SWCB-106-096

水土保持手冊

- 總論篇
- 基本資料調查與分析篇
- 農藝篇
- 工程篇
- 土石流篇
- 植生篇



行政院農業委員會水土保持局　　編印

中華民國106年12月

SWCB-106-096

水土保持手冊

總論篇

基本資料調查與分析篇



行政院農業委員會水土保持局　　編印

中華民國106年12月

序

「水土保持手冊」之內容兼具理論基礎與實務經驗，所涵蓋之專業領域甚廣，為因應水土保持工作新的挑戰，水土保持局針對水土保持手冊進行全面性之編修，目的是讓從事水土保持相關工作者更容易參考使用，並也同時累積傳承臺灣數十年來從事水土保持工作的經驗。

本版水土保持手冊篇幅包括「總論篇」、「基本資料調查與分析篇」、「農藝篇」、「工程篇」、「土石流篇」與「植生篇」等六篇。其中新增編修「基本資料調查與分析篇」及「土石流篇」，以對應充實「水土保持技術規範」之基本資料調查與分析章節，並同時納入水土保持局之土石流防治重要業務；另前版水土保持手冊之「坡地保育篇」、「工程方法篇」及「植生方法篇」，分別調整篇名為「農藝篇」、「工程篇」及「植生篇」，以對應現行「水土保持法」內之專用名詞。

手冊各篇幅之編修重點，係以「總論篇」串連各篇幅，以展現整體性及完整性，「基本資料調查與分析篇」提供水土保持工作中調查任務之參考，「農藝篇」新增處理單元並加入照片圖示說明，「工程篇」新增水土保持工程常用之工法單元，「植生篇」新增植生工程材料及修改特殊地植生工程，「土石流篇」則傳承水土保持局在土石流防災整治上之技術。

本次編修之最大創新特色主要以彙整國內外水土保持新知與廣納各產官學界之意見為主。編修工作係先以參考水土保持局與大學研究單位歷年來之相關研究成果，並同時諮詢相關技師公會及專家先進之實務經驗，最後承蒙水土保持諸多前輩先進、水土保持局及各分局資深人員等積極提供意見，方使得本版水土保持手冊之編修圓滿完成，謹致萬分謝忱！

行政院農業委員會

水土保持局　局長 李鎮洋

謹誌

2017 年 12 月

總論篇

1.1 水土保持之定義與目的(Definitions and purposes of soil and water conservation) 總-1

1.2 水土保持之內容(Contents of soil and water conservation) 總-3

1.3 水土保持方法(Practices of soil and water conservation) 總-6

1.4 水土保持工作範圍(Scopes of soil and water conservation) 總-8

1.5 水土保持手冊發展沿革(The development history of soil and water conservation handbook) 總-10

1.1 水土保持之定義與目的

「水土保持」是自然資源保育與人類永續發展的基石，也是現今各類型環境保護不可或缺的一環。數千年來，隨著全球人口的持續增長，導致對土地的開發需求不斷擴張，近百年來，人類已明確感受到地球上水土資源的有限性。歷史上的眾多文明古國，因過度的農業開發利用，導致良田沃土產生大量土壤流失、環境退化，甚至無力支撐人民糧食需求而最終國家衰亡(Lowdermilk, 1953)。殷鑑不遠，回復人類與土壤的良好關係，就必須經由積極具體的保育措施與災害防治才能達到人類永續發展的目的。土壤侵蝕是受風、水、重力、溫度變化以及生物作用等外力行為而產生土壤流失的自然現象，但人類農業活動則是加速土壤侵蝕的主要因子(Hudson, 1971)。因此二十世紀初對於水土保持或是土壤保育(soil conservation)均是以農業耕種為對象，定義為「以合理之土地利用為基礎，一面使用土地，一面給予土地以其所必須之處理，藉以保持其生產力於永續不衰」(Bennett, 1939)。教育部重編國語辭典修正版(2015)對於水土保持的定義「為求土地安定，防止土壤受侵蝕，並保持其生產力的一種措施。如造林、修建梯田、植草等。」實則上該定義仍指的是農地水土保持。民國 53 年台灣首版水土保持手冊僅有農地篇，當時的基本工作就是以農地水土保持為主體來發展山地農牧業。現今許多開發中國家所提到的水土保持仍是以維護農業生產及保育優良農地為主體的農地水土保持或稱為土壤保育。主要是藉由土壤侵蝕控制(erosion control)，來防止因土地過度利用所導致的肥力降低、土壤流失及土壤鹽鹼化等生產力劣化現象。

土壤除了提供農作物、植物或其它生物生長或棲息空間以外，也具有水源涵養的能力。深厚的土壤層及豐富地表林相覆蓋等，有助於水源之蓄留，並得以調控土壤水份，而發揮水資源的調蓄功能，使水資源供應獲得保障。雖然水資源生成受限於降水時空分布不均的限制，但若能利用土壤以及地表地形之構造特性，以集水區為單元，將雨水儲留在地表或土層，再適時利用此一預存之水資源，即可維繫人類生活需求與各種產業發展。至此由早期農地水土保持的概念，擴及至集水區水源涵養以及各類型水資源保育的內涵。水土保持(soil and water conservation)之意義即是「以蓄水、保土為目標，當土地開發利用時，以治理工法來防止水土流失及保育方法來確保水土資源之永續利用。」

然而水土保持的意涵並非僅預防或治理來自人類使用土地所造成水土流失等問題。特別在台灣坡地農業逐漸式微後，水土流失問題來自天然災害的比重加大。

再加上台灣地狹人稠，山坡地及高山林地涵蓋四分之三的面積，不論何種開發行為，都逐漸迫近土砂災害高危險區。豪雨或地震引發的崩塌、地滑、土石流及山洪等水土災害，除危害到人類的生命與居家安全外，同時也對自然生態環境產生一定程度的破壞，這些生態環境的破壞又經常足以影響到人類的生存，因此水土災害防治與生態環境維護儼然成為水土保持的重心。此階段水土保持可定義為「減免水土災害、保育水土資源、復育生態環境、合理土地利用，以維護自然資源的永續利用。」

民國 83 年《水土保持法》將保育水土資源、涵養水源、減免災害、促進土地合理利用、增進國民福祉，列為水土保持處理與維護的核心目的。而《水土保持法》的完成立法，也將水土保持帶入法治的新階段，同時也將「工法治理」為主的水土保持內涵提升至「法治管理」的層面。

由於全球氣候變遷造成各地的降雨量在過去百年有±20%的變化，以及極端天氣事件發生強度與頻率增加等現象(IPCC, 2014)。臺灣暖化現象更明顯，年平均溫度於過去百年間(1911 至 2009 年)上升 1.4℃，高於全球之平均值(0.74℃)。在降雨強度方面，全臺日雨量在 200 公釐以上之大豪雨發生日數在近五十年中有明顯的增加趨勢；小雨日數則大幅減少，近三十年來每十年減少 4 天。此外，受西北太平洋海溫與颱風增加之影響，1980 年後之侵臺颱風達強颱之比例明顯增加(Shiu et al., 2009)。前述狀況對臺灣地理環境、維生基礎設施、水資源及土地使用等國土安全帶來衝擊，面臨之挑戰包含嚴重水土複合型災害、重要基礎建設受災風險及強度增加，以及國土環境脆弱與敏感度提高等，突顯相關風險管理與調適策略之重要。基於此，綜觀水土保持之內涵，除以集水區永續經營、水土災害防治與土地合理利用為主軸外，更需持續監測環境變遷，隨時更新設計準則，以實踐災害風險管理之概念，降低災害外在暴露量及提升內在耐災度，以達環境永續經營之目地。

隨著自然氣候變遷與人類社經環境演變，水土保持的意涵也有所不同。但無論如何演變，水土保持的最終目的都是以自然資源保育與水土災害防治為主體，來合理利用有限的水土資源，達到人類永續發展的目的。

1.2 水土保持之內容

《水土保持法》第一條第一項：「為實施水土保持之處理與維護，以保育水土資源，涵養水源，減免災害，促進土地合理利用，增進國民福祉，特制定本法。」開宗明義說明了台灣水土保持處理與維護的四大重點為：(1)保育水土資源、(2)涵養水源、(3)減免災害、(4)促進土地合理利用等，而其最終在增進國民福祉，亦即以永續發展為目的。因此水土保持可以說是以人本為前提下的自然資源永續管理作為。此四大重點可以濃縮歸納為三大內容：(1)保育(conservation) ：以集水區永續經營為核心；(2)減災(mitigation) ：即水土災害防治；(3)利用(utilization) ：強調土地合理利用。

一、集水區永續經營：

集水區是依地形特性以溪流或河道為出口，沿嶺線所圈繞的地形單元。集水區內涵蓋地形、地質、地貌及水文等自然環境特性，也涵蓋人類活動的城鄉分佈及工商農林漁牧等土地利用類型。為避免集水區內的人類活動空間遭受水土災害影響，甚至為使集水區的社會環境能永續發展，必須具備集水區內的水資源供應無缺，且減緩災害破壞至最小甚至無災害發生，因此必須綜合考量集水區社會人文背景與自然環境特性，以採取整體性及多樣化的水土保持措施。集水區整體治理係建構在維護開發前的降雨逕流型態與河道輸砂平衡關係下，進行包括水源涵養、生態保育、溪流整治、坡面穩定與土砂災害減緩等多樣化水土保持工作。

各種土地開發的行為，可能必須改變不利開發的地形條件及進行大規模的工程興建，相對的會對原有環境造成衝擊，進而破壞生態平衡，並造成環境無法恢復的情形。因此，為達到水土資源保育目的，也需進行維持生態平衡的必要配合措施，以對生態系最小衝擊。現今生態保護意識日益被重視，水土保持工作與生態平衡維護的配合，乃是集水區經營的宏觀趨勢，亦為必須堅持的原則。

集水區永續經營是在保育自然資源，同時復育人為干擾或遭受天然災害的自然環境，即使在土地開發利用下，亦不致於加速水土流失，以達到永續經營的目的。

二、水土災害防治：

山坡地因地形之特殊性，降雨所產生的地表逕流或土壤含水量容易降低坡面的穩定性，再加上山坡地因受重力影響使土壤本身即處於容易向下運動之不穩定狀態。因此，豪雨之際，大量逕流容易集中而形成洪水或導致坡面不穩定土體向下滑動，即釀成崩塌、地滑、土石流、高含砂水流及山洪暴發等水土災害，輕者衝毀田園、房舍，重者掩埋人命，造成生命財產重大損失。台灣地形陡峻、地質破碎、降雨集中，水土災害發生頻率高。為減免災害發生與擴大，土砂災害的預防與治理為重點工作。

另外在風勢強勁且季風盛行的地區，由於長期之強風吹襲，可將表土逐漸風蝕，土壤變成瘠薄，不利於農業利用，甚至因揚塵問題造成居民健康之隱憂。因此，在風勢強勁的開闊裸露地區，控制風速與風向的措施及導入植物覆蓋的防風定砂工作，也是土砂災害防治的一環。

水土災害防治的目的在保水與定土，其中又以安定土砂為防治災害的重點，期使表層土壤免受重力、風及水的侵蝕，減緩深層土體受地下水及地震影響而滑動。使地表營造一較安定的自然環境，有利於植物生長、土體安定與動物繁延，進而改變裸露環境成為蒼鬱之自然生態景觀。

三、土地合理利用：

土地利用的型態受自然地形變化的影響，但也因降雨或各種外力的作用，而造成不同型態的水土流失。水土保持工作原即針對此等水土流失嚴重的土地進行保育措施，以台灣的地形、地質及氣候條件，地表均夷作用盛行，即使投入極多財力、人力，仍難於完全有效控制水土流失。因此，基於經濟與安全之考量，理應依土地的自然環境條件，予以適當分級，並就各級土地之容許開發特性，擬定合理之開發準則，以便在人為能力範圍內達成水土資源保育與土地永續利用。

水土保持工作的前題，即在合理土地開發利用範疇內進行各項保育措施，至於超過土地所能負荷以上的開發利用，即使進行水土保持措施，其水土保育效果相當有限，必須予以限制開發使用，或完全禁止該等開發行為。農業用地開發主要在從事作物或果樹等農業生產活動，由於農業耕作不論短期或長期栽培，土壤耕犁、翻土、除草均為必要工作，因此翻鬆的土壤極易遭雨水或地表逕流沖蝕而流失，亦會使土壤中的養分流失。農地水土保持乃在控制土壤侵蝕以達保土、保肥之效，並營造生產環境之安定與安全，以維持土地永續生產與提高生產

力。

除了上述的農耕行為外，對位於山坡地及森林區等的開發行為也須實施水土保持計畫，同時對於敏感區位如：山崩潛勢區、土壤液化潛勢區、土石流潛勢區等更需採取嚴格的開發審查，以減免土砂災害，維護人類發展的安定環境。

1.3 水土保持方法

為能達到保育、減災與利用等成效，必須研擬具備可行的方法。《水土保持法》第三條第一款：「水土保持之處理與維護：係指應用工程、農藝或植生方法，以保育水土資源、維護自然生態景觀及防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流等災害之措施。」

水土保持方法係依據基礎理論及應用研究成果，並配合土地利用與環境特性所發展出來的水土保持科技。主要是藉著自然資材或人造材料的特性與人為施作的配合，從土壤改良與地形地貌維護為出發點，開發出各種可行的方法。

為實施水土保持的處理與維護需先進行基本資料的調查，其項目可涵蓋地形、地質、土壤、水文、植生、土地利用、災害潛勢區位及生態資源等。並以集水區整體經營的概念進行水文水理、泥砂產量等分析作業。而其處理與維護可分為農藝方法、植生方法與工程方法等三大類。

一、農藝方法：

農藝方法是指栽培農藝、園藝或雜用等經濟作物，保護此類作物的永續生產而採行以降低土壤流失、保持土壤肥力的農耕方法(如：等高耕犁、等高栽植、平台階段、水梯田等)。原理是在栽種作物時，採取與等高線平行的耕作或栽植方式，使作物或犁溝等高平行橫列於坡面上。坡陡時可搭配打樁編柵、砌石護坡等方式，用以阻截沿坡面流下的地表逕流或流失的土壤，並可增加水分滲透，達到水土保持的目的。相關的配合措施尚包含園內農路系統(含農路、園內道與作業道等)，農田灌溉(如：漫灌、噴灌、滴灌等)與農田排水(如：截水溝、橫向溝、縱向溝、地下排水盲管等)。

農藝方法的施作，除選擇高經濟性作物外，其本身的水土保持特質也是評估的重要選項。由於山坡地土壤裸露或經常翻犁均不利於土壤保育，必要時可以選擇覆蓋率高、非勤耕性或是綠肥等作物。搭配種植低矮植物的覆蓋方法或是鋪設枯枝落葉的敷蓋方式，更能減少土壤流失、增加土壤有機質、增進土壤滲透性等水土保持優點。

二、植生方法：

植生係指草類、蕨類、灌木與喬木等地表高等植物的統稱，也可稱之為植被。植生方法即在選取適宜生長在施工基地內的植生材料，由於植物需要營造良好生長條件，因此必須配合植生前期作業(基礎工)、植生導入作業(播種法、栽植法)及植生維護與管理工作等步驟。目的在藉由植物茁壯的綠化覆蓋，調節微

氣候、增加入滲、降低洪峰及土壤侵蝕，並藉由根系固土作用，增加坡面穩定，達到涵養水源及生態復育的水土保持成效。

基地的土壤、坡度等環境條件與植生成敗息息相關，一般在坡緩土層厚的基地單純使用植生配合坡面排水等簡易基礎工即可。隨著基地環境的艱困，僅藉著植物根系的抗剪力不足以保持坡面穩定，可以搭配植生被覆材料(具透過性之天然纖維及化工合成材料等)的使用，甚至使用自由梁框、擋土牆等工程方法，以維護植生材料持續強化功能，提升水土保持整體治理成效。

台灣的特殊環境地形如：土砂災害控制區(崩塌地、土石流等)、特殊立地條件(泥岩、礦區、海岸帶等)、景觀生態(野溪、濱水帶等)，可依其環境特性採行特殊的植生方法予以因應。植生材料、立地條件、水文環境的完善搭配，可以加速植生演替，復育自然生機。

三、工程方法

水土保持工程方法是指以機具與設施構造物以改變或維護地形、抑制土砂運動或攔阻土砂，並有效蓄滯水流、涵養水源的各種工法。水土保持工程方法是在農藝方法與植生方法均無法有效發揮水土保持功效，或無法單獨以農藝方法與植生方法來控制水土流失的情況下所採取的對策。

水土保持工程方法大致可分為溪溝整治與邊坡整治兩大類。溪溝整治工程主要在將坡面水流予以有效的截留、集流、引流或分散，並安全的排放至適當的場所，以防止水流在坡面上或溪流中引起土壤侵蝕，並適度蓄滯上游之水量與土砂。其主要工程項目包括排水溝、跌水、洩槽、暗渠、滯洪池、沉砂池等坡面排水工程，與防砂壩、固床工、護岸、堤防等溪流整治工程。至於邊坡整治工程則係包括合宜的整地技術及土砂安定工法，以防止崩塌、地滑、土石流等大規模的土砂災害，其內容包括擋土牆、護坡、打樁、挖填土方、集水井、排水廊道等工程。

近年來由於氣候變遷，災害發生的頻率與規模都顯著增加，甚至衍生出許多複合型災害。工程方法也由單純的處理單元，進入整合性防災對策。本手冊之土石流篇即以攔阻工法、淤積工法、導流工法及緩衝林帶，說明工程整體治理的必要性。但工程治理措施無法畢其功於一役，相對地疏散避難、土石流潛勢溪流劃定、影響範圍劃設、觀測系統建置、災情預報與雨量警戒發布等非工程預防措施就顯出其重要性，目前已系統性整合成坡地防災的重要一環。

1.4 水土保持工作之範圍

水土保持工作涵蓋了土木、大地、水利、地質、測量等工程相關領域，同時也建構特有的生態工程、植生工程及集水區經營等保育領域，整體而言係以災害工程治理及自然生態保育為核心的綜合性保育與工程體系。水土保持的從(就)業工作範圍經常與土木工程、大地工程、水利工程等有所交集或互為支援，但若以水土保持的專職工作範圍，則仍以《水土保持法》所述內容為核心。

《水土保持法》第二章的重點為一般水土保持之處理與維護，而其工作範圍詳列於第八條：「下列地區之治理或經營、使用行為，應經調查規劃，依水土保持技術規範實施水土保持之處理與維護：

一、集水區之治理。

二、農、林、漁、牧地之開發利用。

三、探礦、採礦、鑿井、採取土石或設置有關附屬設施。

四、修建鐵路、公路、其他道路或溝渠等。

五、於山坡地或森林區內開發建築用地，或設置公園、墳墓、遊憩用地、運動場地或軍事訓練場、堆積土石、處理廢棄物或其他開挖整地。

六、防止海岸、湖泊及水庫沿岸或水道兩岸之侵蝕或崩塌。

七、沙漠、沙灘、沙丘地或風衝地帶之防風定砂及災害防護。

八、都市計畫範圍內保護區之治理。

九、其他因土地開發利用，為維護水土資源及其品質，或防治災害需實施之水土保持處理與維護。

前項水土保持技術規範，由中央主管機關公告之。」

依上所述，幾乎所有的土地開發行為，均為水土保持之工作範圍。若以第十二條需擬具之「水土保持計畫」，則限於山坡地及森林區內之開發行為。

《水土保持法》第三章的重點為特定水土保持之處理與維護，各類特定水土保持區的範圍明述於第十六條：「下列地區，應劃定為特定水土保持區：

一、水庫集水區。

二、主要河川上游之集水區須特別保護者。

三、海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者。

四、沙丘地、沙灘等風蝕嚴重者。

五、山坡地坡度陡峭，具危害公共安全之虞者。

六、其他對水土保育有嚴重影響者。

前項特定水土保持區，應由中央或直轄市主管機關設置或指定管理機關管理之。」

第十六條旨在強調災害區域或需特別維護的區域應劃定為特定水土保持區域，並擬定長期水土保持計畫。這也說明水土保持的工作範圍更擴及自然災害治理與生態環境維護。

將政府各部門對水土保持業務內容予以整合，台灣水土保持的工作範圍可定義為：「從事水土保持、防洪、灌溉、排水、河道疏濬、堤防護岸、涵渠、道路、防砂壩、集水區治理規劃、野溪治理、土石流防治、坡地災害防治、防風定砂、崩塌地治理、地滑地治理、邊坡保護及擋土設施、土石採取、山坡地開發、土地開發、觀光遊憩、生態復育、農村建設、河川地開發等與《水土保持法》第八條所列有關水土保持處理與維護之規劃、設計、監造、研究、分析、試驗、評價、鑑定、施工、養護、檢驗及計畫管理等業務。」相對的也呼應了水土保持開發行為、災害治理、生態維護的工作範圍。

綜而言之：水土保持的工作重點可概分為一般水土保持與特定水土保持，而其工作範圍即為《水土保持法》第八條及第十六條所述之內容。一般水土保持所從事的工作範圍即為其開發行為具有水土流失之虞地區，依據《水土保持法》第十二條應先擬具「水土保持計畫」。特定水土保持區的劃定係由政府機關行使，由於第十六條所述之區域過大，目前劃定區域多以第一項第六款其他對水土保育有嚴重影響者為原則。一旦劃定為特定水土保持區，依據《水土保持法》第十八條應由管理機關擬定「長期水土保持計畫」。不論是一般之水土保持計畫或是特定水土保持區之長期水土保持計畫其編寫依據即為「水土保持技術規範」，屬於技術法規。法規層面有其嚴謹性，但相對亦有其侷限性。「水土保持手冊」即為技術規範的延伸，治理觀念更新及增修性強，設計之學理計算也能詳盡敘明，又能因應氣候變遷及社經環境隨時調整內容，較具靈活性。

1.5 水土保持手冊發展沿革

民國 50 年台灣省政府在農林廳下成立山地農牧局，至今一甲子以來，台灣水土保持業務內容與工作方向均有所變動，演變的趨勢都顯示在水土保持手冊的編修(陳樹群等，2016)。山地農牧局成立之時為訂定農牧田間作業標準，在中國農村復興聯合委員會(簡稱農復會)資助下成立水土保持手冊研編小組，於民國 53 年首次編頒水土保持手冊(1964)，並於例言中述明為暫行性質，未來將根據經驗與研究試驗結果隨時增訂或修訂。農復會(現農業委員會)於民國 64 年起與臺灣省農林廳山地農牧局完成第一次修訂(水土保持手冊，1975)。農復會於民國 68 年改組成立行政院農業發展委員會(簡稱農發會，現農業委員會)，茲根據經驗與試驗結果，並配合坡地農業經營需要，與山地農牧局再次合作完成第二次修訂(水土保持手冊，1981)，並自民國 71 年開始實施。嗣經 2 次修訂，但仍止於「農地水土保持」範疇，但說明工程與農場規劃等將另訂手冊頒行。其中工程手冊遲至民國 73 年方出版頒行(水土保持手冊，1984)，而農場規劃則因民國 78 年山地農牧局改制為水土保持局，未再成為業務重點。但面對山坡地不同利用與問題之複雜性與日俱增，乃與中華水土保持學會重新籌組「水土保持手冊編審委員會」研修水土保持手冊，於民國 81 年修正完成，除將原有之「農地篇」與「工程篇」外，再增列「植生篇」(水土保持手冊，1992)。該三篇的架構也成為《水土保持法》第三條第一款的主要內容：「水土保持之處理與維護：係指應用工程、農藝或植生方法，以保育水土資源、維護自然生態景觀及防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流等災害之措施。」

水土保持手冊兼具學理基礎與實務經驗，所涉及之專業領域廣泛，應與時俱進，因距前次修正已時隔 13 年，因此，中華水土保持學會再於民國 93 年承行政院農業委員會水土保持局委託進行通盤檢討，並於民國 94 年 11 月編修完成，除配合《水土保持法》將原有之「農地篇」、「工程篇」及「植生篇」，調整為「坡地保育篇」、「工程方法篇」及「植生方法篇」外，增列「生態工法篇」，以因應當時實際需要，並另以「總論篇」串聯前述各篇，展現其整體性與完整性(水土保持手冊，2005)。

水土保持局於民國 104 年 10 月獲得中華水土保持學會同意依著作權法修改作水土保持手冊，包含可自由運用改作後之新版手冊全部內容，且得再授權他人自由運用，新版手冊著作財產權歸屬水土保持局。水土保持局有鑑於距前次修訂已隔 10 年，水土保持相關技術已大幅成長，防災觀念也迭有創新，再加上氣候變遷所引發

的大規模與複合型災害，乃於民國 105 年啟動水土保持手冊之修正及編印，委託中興大學水土保持系組織編修小組，同時由水土保持局邀集產官學等專家學者進行審查。其中包含各級政府機關提供法規實務與管理需求、教育研究單位提供相關之試驗成果與研究心得、各技師公會提供業務執行與施工經驗。在理論與實務兼籌並顧下，將手冊內容修訂為「總論篇」、「基本資料調查與分析篇」、「農藝篇」、「植生篇」、「工程篇」、「土石流篇」。更重視基礎調查分析，也將學理較有爭議的生態工法篇以原則性說明方式納入工程篇，另新增實務需求之土石流篇，作為現今水土保持處理與維護之依循參考。

「水土保持手冊」除提供台灣水土保持教學參考與設計規劃依據外，亦可藉由不斷創新的試驗研發及現地經驗累積，彙整國內外新知，與時俱進，作為「水土保持技術規範」編修之依據。

參考文獻

中國農村復興聯合委員會、台灣省農林廳山地農牧局(1964)，「水土保持手冊(首次頒行)」。

中國農村復興聯合委員會、台灣省農林廳山地農牧局(1975)，「水土保持手冊(第一次修訂)」。

行政院農業發展委員會、台灣省農林廳山地農牧局(1981)，「水土保持手冊(第二次修訂)」。

行政院農業委員會支助，台灣省農林廳山地農牧局、中華水土保持學會編印(1984)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會支助，台灣省水土保持局、中華水土保持學會編印(1992)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2017)，「水土保持相關法規彙編」。

教育部(2015)，「重編國語辭典修正版」，國家教育研究院網頁。

陳樹群、李鎮洋、陳明賢(2016)，「台灣水土保持的發展」，台灣農業學術研究與發展，pp. 147-159，社團法人台灣農學會。

Bennett, H. H. (1939). *Soil conservation*, McGraw-Hill book company, inc., New York, London,.

Hudson, N. (1971). *Soil conservation*, Batsford, London,.

IPCC, 2014, *Climate Change 2104: Synthesis Report*, IPCC: Geneva, Switzerland, p.151.

Lowdermilk, W. C. (1953). *Conquest of the land through 7,000 years*, U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C.

Shiu, C. J., Liu, S. C., and Chen, J. P. (2009). "Diurnally Asymmetric Trends of Temperature, Humidity, and Precipitation in Taiwan." *J Climate*, 22(21), pp. 5635-5649.

基本資料調查與分析篇

壹、通論

1.1 基本資料調查目的與範圍(Purpose and scope) 調-1-1
1.2 輔助調查資料(Ancillary resources) 調-1-2

貳、基本資料調查

2.1 地形調查與測繪(Geomorphic investigation and topographical surveying and mapping) 調-2-1
2.2 地質調查(Geological survey) 調-2-14
2.3 土壤調查(Soil investigation) 調-2-24
2.4 地下水調查(Groundwater investigation) 調-2-30
2.5 蝕溝調查(Gully investigation) 調-2-35
2.6 土石流調查(Debris flow investigation) 調-2-40
2.7 野溪調查(Torrent investigation) 調-2-45
2.8 崩塌地調查(Landslide investigation) 調-2-49
2.9 農路調查(Agricultural road investigation) 調-2-60
2.10 植生調查(Vegetation investigation) 調-2-65
2.11 土地利用現況調查(Land use investigation) 調-2-70
2.12 河床質調查(Riverbed material investigation) 調-2-79
2.13 生態評估調查(Ecological assessment investigation) 調-2-84

參、水文水理與泥砂分析

3.1 水文分析(Hydrological analysis) 調-3-1
3.2 水理分析(Hydraulic analysis) 調-3-18
3.3 集水區泥砂侵蝕、流失與生產分析(Erosion, loss and yield of watershed sediment analysis) 調-3-28

肆、附錄

附錄一、無因次降雨強度公式A、B、C、G、H等係數表 調-4-1
附錄二、修正三角形單位歷線參考算例 調-4-11

附錄三、渠道及天然河流的曼寧粗糙係數n值 調-4-28
附錄四、臺灣各地之年降雨侵蝕指數 調-4-32
附錄五、臺灣各地之土壤侵蝕指數 調-4-35
附錄六、坡度分割表 調-4-38
附錄七、常用輸砂公式 調-4-41

壹、通論

1.1 基本資料調查目的與範圍

1.1.1 調查目的

基本資料調查係以實務可行之作業方法與儀器設備，取得後續水土保持處理與維護作業所需之數據資料，為所有處理與維護作業項目之始，與規劃設計之依據，其調查結果亦可作為環境演變之比對基礎資訊與計畫效益追蹤背景資料。

1.1.2 調查範圍

基本資料調查之空間範圍一般包括計畫區域、影響計畫區域範圍與受計畫區域影響範圍；時間範圍包括現況與過去歷史資料蒐集；調查項目則視調查目的與計畫特性而異。

1.1.3 調查與分析程序

基本資料調查與分析作業程序如圖 調 1-1-1 所示

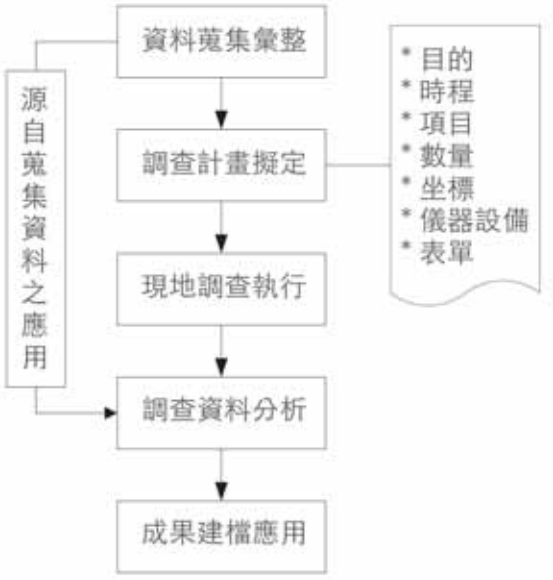


圖 調 1-1-1 基本資料調查與分析作業程序

1.1.4 調查執行原則

為避免調查結果因主觀判斷造成差異過大，且便於資料應用，調查結果應盡量以量化呈現，以便於資料建檔。調查表格會隨時間而有改版，故本手冊中所列表格僅供參考，實際使用時應採用最新版本，同時，若有特殊需求，可視實際情況進行調整。

1.2 輔助調查資料

1.2.1 氣象資料

中央氣象局提供氣象資料包括溫度、雨量、風速、相對濕度、氣壓、日照時數等，其中降雨量為必須蒐集者，並需蒐集至最新供應成果。除交通部中央氣象局外，經濟部水利署、臺灣電力公司、水土保持局、林務局或縣市政府等亦設置有氣象觀測站或雨量站。

1.2.2 遙測影像

遙測影像種類包括衛星影像、航拍影像與無人載具空拍影像等，其優勢為掃描範圍廣泛，可用以快速檢討與分析計畫區之地貌，以提供現場調查或工程相關配置作業前之相關規劃參考。

一、衛星影像：

衛星影像資料解析度相較於其他遙測影像低，且易受大氣及拍攝角度之影響，如雲霧遮蔽及影像扭曲等狀況，使用上自然受限。

二、航拍影像：

航拍影像可分為三類：航空照片類、像片基本圖類及彩色正射影像類，國內一般資料蒐集與分析採彩色正射影像為主。

三、無人載具空拍影像：

因機動性高、取得容易，目前多應用於災害快速調查或需高週期性、高精度之調查。因其拍攝範圍較小，多僅針對特定區域或計畫點位進行拍攝。

1.2.3 相關機關圖資

基本資料蒐集應參考政府各機關最新資料與相關圖資，其來源包括交通部中央氣象局之雨量資料、經濟部水利署與台電公司之水文資料、經濟部中央地質調查所之地質及敏感區資料、內政部國土測繪中心之數值地形資料、林務局農林航空測量所之航拍影像、林班地、保安林地等資料，與農業委員會水土保持局之土石流、土壤等資料。

貳、基本資料調查

2.1 地形調查與測繪

2.1.1 目的

地形調查與測繪之目的，旨在取得環境調查、資料分析、整體治理規劃、工程設計、工程施作、維護管理及成效評估等水土保持相關工作前、中、後之繪製底圖或評估基礎資料。

2.1.2 原則

一、測繪標準化技術及規範參考：

參考國土測繪法(2007)、基本測量實施規則(2007)、應用測量實施規則(2008)、實施航空測量攝影及遙感探測管理規則(2008)等國內測量相關法規。此外，亦可參考各機關因測繪目的不同而修改之規範，如河川區域劃定及變更勘測作業須知(2010)。

二、需備查之工作規模：

國土測繪法(2007)第 18 條規定，測量工作達一定規模，應提報主管機關備查，一定規模可參考國土測繪法施行細則(2007)第 8 條定義，如下列情形之一者。同時，為達資源共享，除於完成測量後，應於六個月內將測量成果送該管主管機關建檔管理外，應參考國土測繪法(2007)第 17 條規定，依據基本控制測量及加密控制測量成果辦理。

(一) 控制點點數一百點以上。

(二) 起迄距離二十公里以上。

(三) 面積或範圍一百公頃以上。

(四) 成圖比例尺一千分之一以上且面積達五十公頃以上。

三、地形調查與測繪範圍：

依水土保持技術規範(2014)第 21 條分為計畫區、水道及道路等三種不同對象：

(一) 計畫區：

涵蓋計畫區及邊界外水平距離至少二十公尺為範圍。

(二) 水道：

涵蓋水道及兩岸外水平距離至少二十公尺為範圍。斷面測量應涵蓋兩岸最高潮位線，測量斷面線應與堤防或水流流向成垂直，並以左椿為起點。

(三) 道路：

以中心線向兩側起算其水平距離為路寬之一倍，但不得少於二十公尺。

四、地形調查及分析項目：

應包括坡度、坡向及地形特徵等項目。其中，地形特徵指該地形、地貌、地物、地質、土壤、水系、排水狀況、植生覆蓋及土地利用所形成之土地特徵，依據不同應用目的，調查及分析對應需求項目。

2.1.3 方法

地形調查與測繪從訂定地形調查與測繪計畫開始，再以應用目的分別進行地形調查及測量，並以測量結果進行分析，獲得對應目的之需求資訊，最後，將調查與測量成果繪製圖說(如圖 調 2-1-1)。

一、訂定地形調查與測繪計畫：

地形調查與測繪計畫即為國土測繪法(2007)第 8 條所定實施計畫及第 18 條所定測量計畫，應參考國土測繪法施行細則(2007)第 3 條辦理，測量工作達一定規模，應提報主管機關備查，備查內容如下(一)~(十)，此外，配合地形調查與測繪目的，若能取得地籍資料或近期地形測繪成果，則應增加(十一)及(十二)兩項內容。

(一) 計畫名稱。

(二) 辦理測量機關。

(三) 計畫範圍及經費。

(四) 計畫目的及依據。

(五) 計畫期程。

(六) 計畫內容及項目；其項目應敘明採用之坐標系統、與上級控制點之聯測、實施步驟等。

(七) 作業方法及使用儀器。

(八) 施測等級及作業精度。

(九) 資料格式、成果檢查及管理；其成果檢查及管理應敘明資料格式、成果檢查機制、後續維護管理等。

(十) 計畫預期成果。

(十一)計畫範圍各宗土地之地號、面積、所有權人及公有土地合法使用人姓名、住所、土地使用現狀及管制事項。

(十二)既有地形調查及測繪資料蒐集。

二、測量：

地形測量是以控制測量成果為依據，並依計畫區面積、精度、密度、比例尺、水下資料及時程等要求，挑選適當地面、水下、空中或衛星測量工具及方法(如表 調 2-1-1)，量測出地表面高低起伏之山脈、平原、河谷等自然形態高程，及人為的房屋、道路、橋梁等地物的平面位置及高程。

(一) 地面測量：

於地面以全測站、衛星定位儀、光達或雷達等儀器，進行角度、距離、坐標及高程測量。較適合小面積測量，特色為精度高，但施測受交通及地形遮蔽等影響較大。

(二) 空中測量：

以光學相機、光達或雷達等設備，搭配飛行載具，由空中進行地表測量。較適合大面積測量，特色為施測較不受交通及地形遮蔽影響，但飛機工作受降雨及風力等天候影響。

(三) 衛星測量：

以光學相機或雷達等設備，由外太空進行地表測量。較適合極大面積測量，與空中測量施測相同，較不受交通及地形遮蔽影響，光學影像易受天候影響，但雷達可突破天候限制，不論降雨或夜間，皆可工作，缺點為精度較低，使用時應注意應用精度需求。

(四) 水下測量：

以測繩(竿)、聲波測深儀、透水光達、透地雷達等設備，於水上或空中對湖、河床、溪谷等水下地形進行測量(如表 調 2-1-2)。測繩、測竿屬於接觸式測量，一般用於斷面測量，需要人於水中操作，較其他方法危險，但其他方法易受泥砂濁度影響。

三、地形調查：

地形調查旨在取得地形特徵資料，並將調查成果配合測量結果一同標示於圖說；其中地形特徵資料包括坡度、坡向、地貌、地物、地質、土壤、水系、排水狀況、植生覆蓋及土地利用所形成之土地特徵。其中，坡度及坡向計算方式詳地形分析。

四、地形分析：

依據水土保持法(2016)、水土保持技術規範(2014)、水土保持手冊(2005)、山坡地土地可利用限度分類標準(2017)及特定水土保持區劃定與廢止準則(2000)等水土保持相關法規於地形分析上，提及坡度及坡向等計算與分類標準。

(一) 坡度分析：

以坡度百分比一般分為七個等級，但山坡地土地可利用限度分類，僅有六個等級(如表 調 2-1-3)。常見坡度之計算方法，有坵塊法、等高線法、實測法及數值地形法。

1. 坵塊法：

(1)在地形圖上，一般會平行或垂直等高線或圖方格框方向畫設正方形網格(如圖 調 2-1-2)，此網格即稱為坵塊。前述坵塊邊長與使用地形資料比例尺、目的及計畫範圍有關，若使用一千分之一、兩千五百分之一、五千分之一或一萬分之一比例尺之地形資料時，則建議可分別使用十公尺、二十五公尺、五十公尺或一百公尺邊長的坵塊。另，山坡地劃出則多採用五千分之一相片基本圖及八十公尺邊長的坵塊。一千分之一、五千分之一及一萬分之一比例尺之等高線首曲線間距可參考內政部之基本圖及數值航測地形圖等測製相關作業規定，依序分別為一公尺、五公尺及十公尺(如表 調 2-1-4)。

(2)每個坵塊各邊與地形圖等高線相交點之點數，註於各邊上，再將四邊之交點數總和註在坵塊中間。

(3)依交點數與坵塊邊長，以下式求得坵塊內平均坡度百分比(Ｓ)或平均坡度(θ)。

$$S(\%) = \frac{n\pi\Delta h}{8L} \times 100 \qquad (2.1.1)$$

式中

S：平均坡度百分比(%)　　n：坵塊內等高線與邊線交點總數和

Δh：等高線間距(公尺)　　π：圓周率。

L：坵塊邊長(公尺)

2. 等高線法：

(1)依地形圖上等高線之疏密程度劃「坡度均質區」(如圖 調 2-1-3)。

(2)以每一坡度均質區之最高與最低等高線間(兩點間高差 h)之垂直線長度(兩點間之水平距離 L)計算該區之平均坡度百分比，如下式。

$$S(\%) = \frac{h}{L} \times 100 \qquad (2.1.2)$$

式中

h：兩點間高程差(公尺)

L：兩間點之水平距離(公尺)

3. 實測法：計算方式與等高線法相同(如式 2.1.2)，以兩點間高程差及水平距離進行計算，常用於溪床構造物間的淤砂坡度計算。實務上，常使用雷射測距儀，特別要注意定水平後，才進行兩點之水平距離及高程差量測，同時，為避免量測到離群值(outlier)，至少會量測三組高點及低點數據分別計算其坡度後，再計算平均值，若三組坡度中有任何一組數據與平均值差異過大(常使用 10%)，則可能有離群值，故會再重新挑選三組，直到三組坡度與平均值近似為止，再以該平均值作為實測法之坡度值。此外，另有測量兩點以上坐標實測法進行計算之方法，亦先計算出水平距離及高程差後，再用前述方法及式 2.1.2 計算。

4. 數值地形法：計算每個數值地形網格與其相鄰之上、下、左、右、左上、左下、右上、右下等周圍八個網格(網格大小為 s)的最大變化率，也就是計算該網格的最陡坡降。計算網格 e 之坡度(如圖 調 2-1-4)，先可分開計算水平面上 X 方向的單位落差(Δz/Δx)，及 Y 方向的單位落差(Δz/Δy)，最後，坡度百分比可由式 2.1.5 計算而得。

$$\frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{(a + 2d + g) - (c + 2f + i)}{8s} \qquad (2.1.3)$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta y} = \frac{(g + 2h + i) - (a + 2b + c)}{8s} \qquad (2.1.4)$$

$$S(\%) = \sqrt{(\frac{\Delta z}{\Delta x})^2 + (\frac{\Delta z}{\Delta y})^2} \times 100 \quad (2.1.5)$$

坡度百分比與坡度之換算可參考式 2.1.6 及式 2.1.7。

$$\text{坡度}(\text{度}) = tan^{-1}(\text{坡度百分比}(\%)/100) \quad (2.1.6)$$

$$\text{坡向百分比}(\%) = tan\,\text{坡度}(\text{度}) \times 100 \quad (2.1.7)$$

(二) 坡向分析：

以方位角分為北、東北、東、東南、南、西南、西、西北等八個不同坡向(如圖 調 2-1-5)。常見坡向之計算方法，有坵塊法及數值地形法。

1. 坵塊法：坡向係指在地形圖上，依使用地形資料比例尺，每固定長度畫一正方形格狀坵塊，取該方格坵塊內垂直於等高線向下坡之方向(如圖 調 2-1-6)。
2. 數值地形法：坡向為網格上的法線之投影至水平面與網格北方(方格北)的夾角，亦為方位角(如圖 調 2-1-7)。先分別以式 2.1.3 及式 2.1.4 計算(Δz/Δx)及(Δz/Δy)，接著，再藉由判斷(Δz/Δx)及(Δz/Δy)計算出坡向。

(1)當$(\frac{\Delta z}{\Delta x})$或$(\frac{\Delta z}{\Delta y})$為 0，則為平地，無坡向。

(2)當$(\frac{\Delta z}{\Delta x})$為正，且$(\frac{\Delta z}{\Delta y})$為正，則以式 2.1.6 計算坡向。

$$\text{坡向}(\text{度}) = tan^{-1}\left(\frac{\left|\frac{\Delta z}{\Delta x}\right|}{\left|\frac{\Delta z}{\Delta y}\right|}\right) \quad (2.1.8)$$

(3)當$(\frac{\Delta z}{\Delta x})$為正，且$(\frac{\Delta z}{\Delta y})$為負，則以式 2.1.7 計算坡向。

$$\text{坡向}(\text{度}) = 90° + tan^{-1}(\left|\frac{\Delta z}{\Delta y}\right| / \left|\frac{\Delta z}{\Delta x}\right|) \quad (2.1.9)$$

(4)當$(\frac{\Delta z}{\Delta x})$為負，且$(\frac{\Delta z}{\Delta y})$為負，則以式 2.1.8 計算坡向。

$$\text{坡向}(\text{度}) = 180° + tan^{-1}(\left|\frac{\Delta z}{\Delta x}\right| / \left|\frac{\Delta z}{\Delta y}\right|) \quad (2.1.10)$$

(5)當$(\frac{\Delta z}{\Delta x})$為負，且$(\frac{\Delta z}{\Delta y})$為正，則以式 2.1.9 計算坡向。

$$\text{坡向}(\text{度}) = 270° + tan^{-1}(\left|\frac{\Delta z}{\Delta y}\right| / \left|\frac{\Delta z}{\Delta x}\right|) \quad (2.1.11)$$

五、地形展繪：

將調查及測量成果展繪成地形圖。

六、地形編修：

此步驟包括調繪及編修。常於現場抽查比對展繪成果，將錯誤或不合理處進行修改。

七、繪製圖說(將完成之最後成果出圖)：

將編修後的成果進行繪製。不同應用目的導致圖內含有不同必要資訊，一般可依地形或斷面等不同測量方式區分。

(一) 地形測量及繪圖項目：

以地形測量為底圖，並依不同應用目的而完成之地形調查及分析成果而繪製之圖說，應包括控制點、斷面樁、等高線、比例尺、方向指示、圖框坐標及地形調查等項目。

(二) 斷面測量及繪圖項目：

依據斷面測量成果而繪製之圖說，應包括平面、縱斷面及橫斷面等三類圖說。分別應包括以下項目：

1. 平面圖：河流及道路、橋梁、公共設施等重要資訊、控制點、斷面樁、斷面線、比例尺、方向指示及圖框坐標等項目。
2. 縱斷面圖：橫軸為各斷面線中心點累計距離、縱軸為標高、斷面中心點測量點及其連線、比例尺等項目。
3. 橫斷面圖：橫軸為同一組斷面樁相對距離、縱軸為標高、斷面測量點及其連線、比例尺等項目。

2.1.4 應用

地形調查與測繪成果可作為環境調查、資料分析、整體治理規劃、工程設計、工程施作、維護管理及成效評估等水土保持相關工作前、中、後之展繪底圖或評估基礎資料。

一、環境調查：

地形受地質構造與岩性控制，能以近期地形調查與測繪成果初步觀察得知，並能作為土石流、崩塌、地滑等各項調查前之規劃野外勘查路線的依據。

二、資料分析：

舉凡崩塌地不穩定土方量體分析、災害規模相關之土方量體評估及水文分析，皆得以地形調查與測繪成果為計算基礎。

三、整體治理規劃：

整體治理規劃的依據是以地形調查與測繪所呈現之地形或環境特性來提出適當治理方法，以及排定優先順序。

四、工程設計：

工程設計一般以地形作為設計基礎，故需要參考地形調查與測繪成果。

五、工程施作：

工程施作過程中有時會遭遇現況環境改變而變更設計，此時也需要參考地形調查與測繪成果及工程設計資料，並進行調整。

六、維護管理及成效評估：

工程完工後，若再次執行地形調查與測繪，即可比對竣工資料，藉以評估工程功能或性能，適時提出維護管理方式。此外，亦可以完工前之地形調查與測繪成果為基礎，以新一期的地形調查與測繪成果進行比對分析，可評估坡面及河道土砂控制量體，藉以量化評估治理成效。

2.1.5 參考文獻

中華民國「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017 年 08 月 08 日修訂。

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

中華民國「水土保持法」，2016 年 11 月 30 日修訂。

中華民國「特定水土保持區劃定與廢止準則」，2000 年 10 月 09 日修訂。

中華民國「國土測繪法」，2007 年 03 月 21 日修訂。

中華民國「國土測繪法施行細則」，2007 年 11 月 30 日修訂。

中華民國「基本測量實施規則」，2007 年 11 月 15 日修訂。

中華民國「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」，2014 年 12 月 31 日修訂。

中華民國「應用測量實施規則」，2008 年 06 月 27 日修訂。

行政院經濟部(2010)，「河川區域劃定及變更勘測作業須知」。

行政院農業委員會水土保持局(2005)，「水土保持手冊」。

鄭錦桐、林伯勳、蕭震洋、梁惠儀、許振崑、連榮吉、林柏壽(2009)，「石門水庫集水區之土砂災害監測及評估技術」，土木水利，36(2)，pp. 6-19。

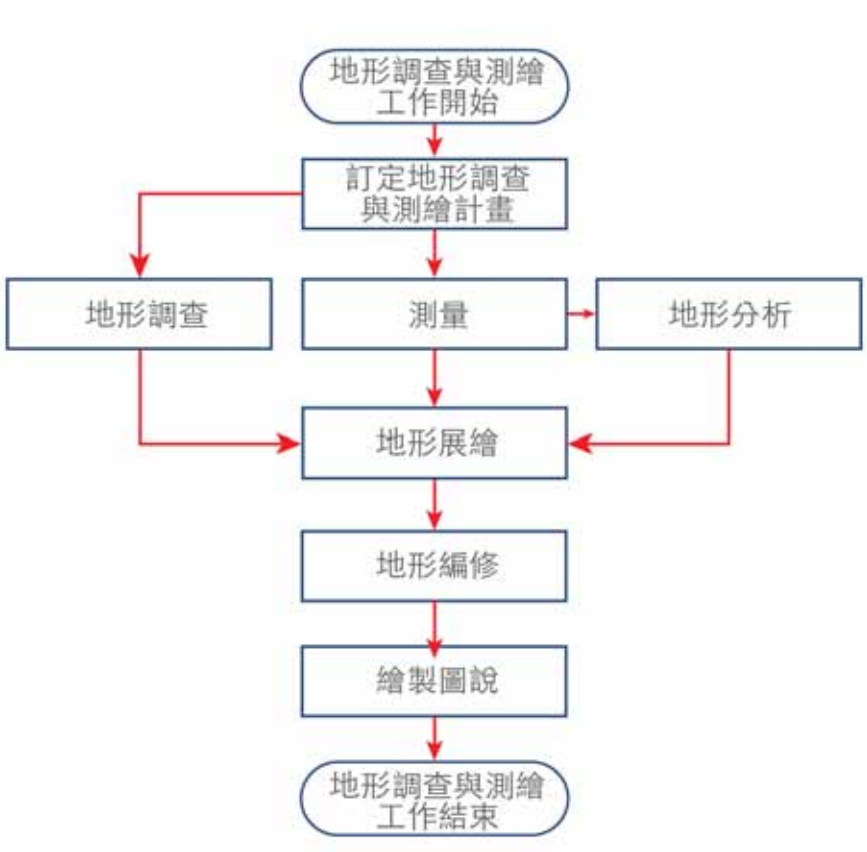


圖 調 2-1-1 地形調查與測繪工作流程圖

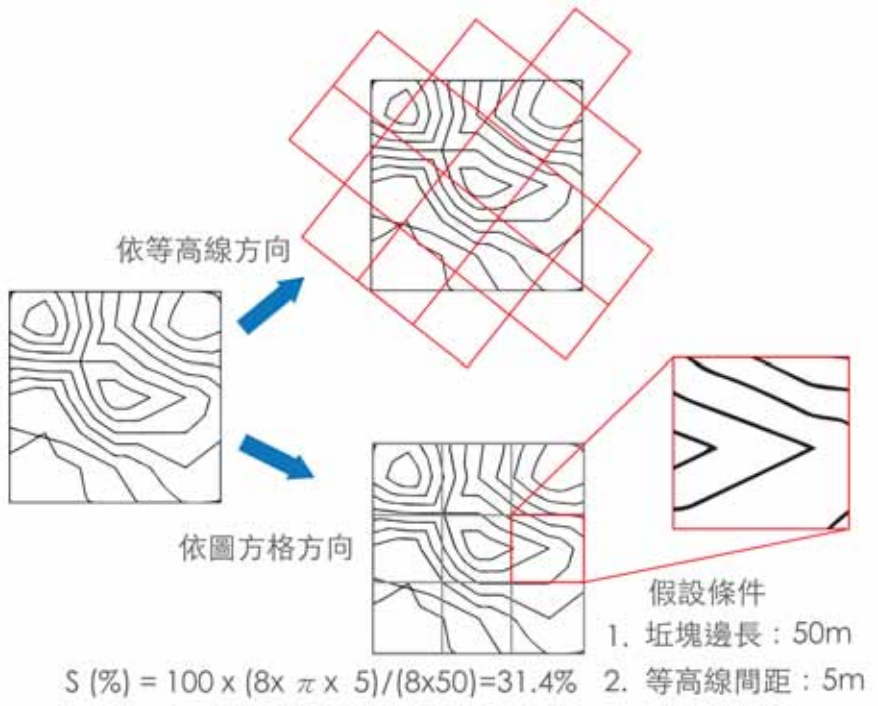


圖 調 2-1-2 坵塊畫設及範例計算示意圖

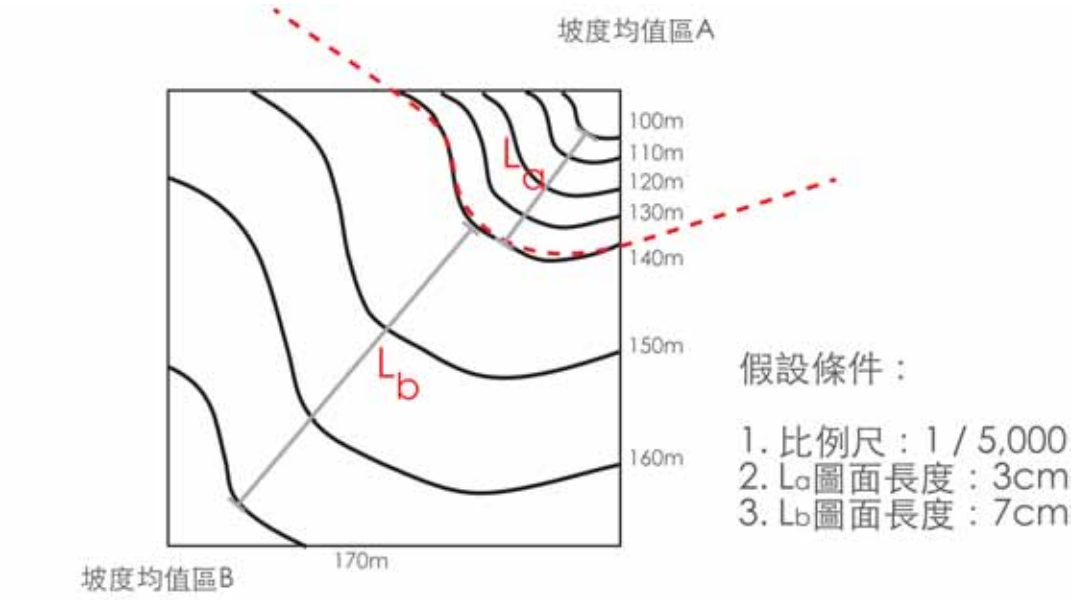


圖 調 2-1-3 坡度均值區及範例計算示意圖

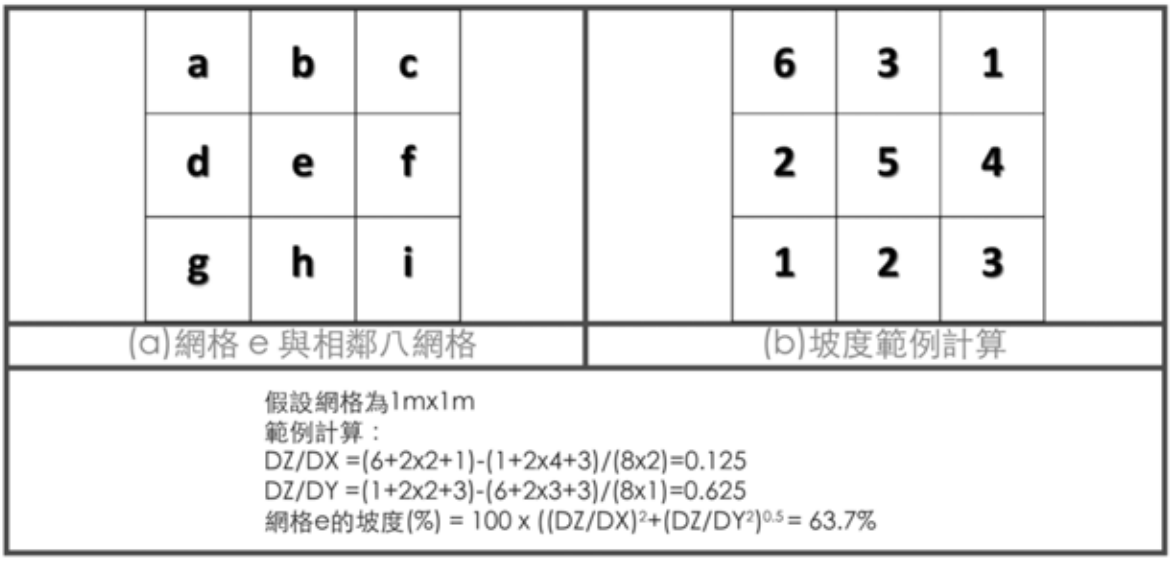


圖 調 2-1-4 網格 e 與相鄰八網格及坡度範例計算示意圖



圖 調 2-1-5 坡向示意圖

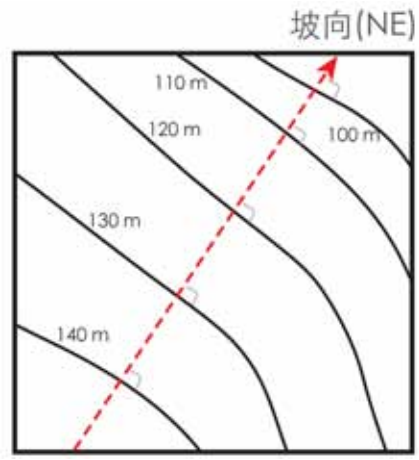


圖 調 2-1-6 坡向分析坵塊法示意圖

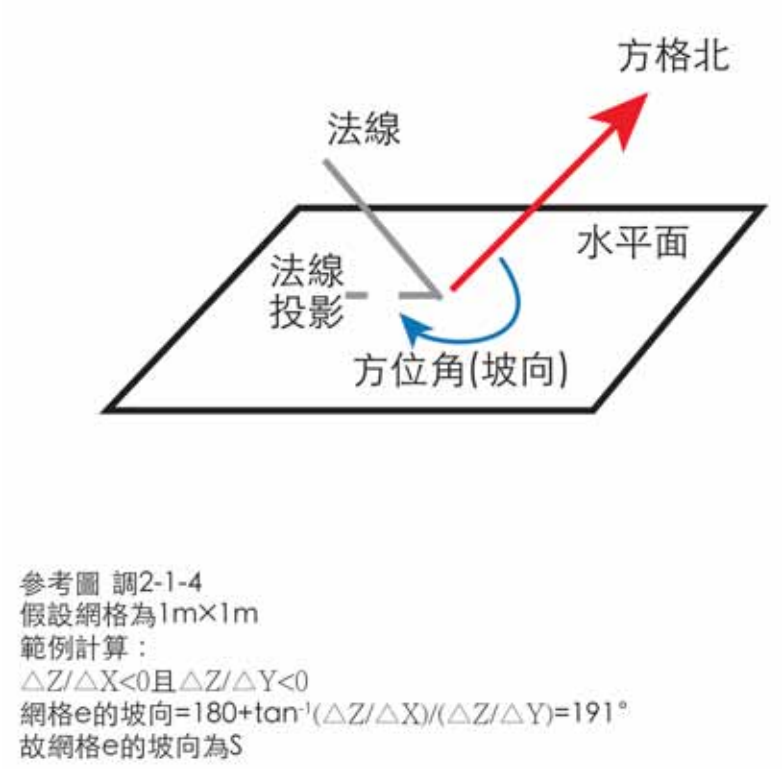


圖 調 2-1-7 坡向及範例計算示意圖

表 調 2-1-1 依規格要求及環境情況之較為適用測量方法

	地面				空中			衛星		水下			
	全測站	衛星定位儀	光達	雷達	光學相機	光達	雷達	光學相機	雷達	測繩(竿)	聲波測深儀	透水光達	透地雷達
範圍大					○	○	○	○	○		○	○	
比例尺大	○	○	○							○			
較不受交通及地形遮蔽影響					○	○	○	○	○				
時程短			○			○	○	○	○			○	
需水下資料										○	○	○	○

表 調 2-1-2 水下測量方法比較表(修改自 鄭錦桐等人，2009)

方法	測繩(竿)	聲波測深儀	透水光達	透地雷達
原理	接觸測量	聲波	雷射	無線電
適用範圍	下游或淺灘	水庫及寬廣溪流或下游感潮河段	寬廣溪流	水庫及寬廣溪流或下游感潮河段
精度	低	高	中高	中
優點	工具容易取得	測量時間短且精度高	測量時間短且精度中高	測量時間短且精度中
限制	水深深或流速大時，無法測量。	(1)至少需來回量測六次以減少誤差。 (2)不易量測流速。 (3)受溫度、泥砂濃度及噪音影響。	夾帶泥砂無法測量。	洪水時，水流夾帶大量泥砂，甚至是土石流，使得量測誤差增大。
施測成本	低	高	高	中

表 調 2-1-3 坡度百分比分級表

一般坡度級別	山坡地土地可利用限度分類之坡度級別	坡度百分比(S)範圍
一級坡	一級坡	S≦5%
二級坡	二級坡	5%＜S≦15%
三級坡	三級坡	15%＜S≦30%
四級坡	四級坡	30%＜S≦40%
五級坡	五級坡	40%＜S≦55%
六級坡	六級坡	55%＜S≦100%
七級坡		S＞100%

表 調 2-1-4 比例尺、坵塊邊長及等高線間距採用對照表

地形資料比例尺	坵塊邊長	等高線首曲線間距
一千分之一	十公尺	一公尺
兩千五百分之一	二十五公尺	二點五公尺 [1]
五千分之一	五十公尺 [2]	五公尺
一萬分之一	一百公尺	十公尺

1.不常見的兩千五百分之一地形圖並沒有等高線首曲線間距規定，故參考其他比例尺規定計算而得。

2.山坡地劃出使用八十公尺邊長坵塊。

2.2 地質調查

2.2.1 地表地質調查

2.2.1.1 目的

瞭解暴露於地表之地質材料與地質構造，及其形成與演化歷史，調查成果可提供各種地質作用現象之機制解釋，並做為各項規劃、設計及相關工作之參據。

2.2.1.2 原則

地表地質調查應包含野外調查、地質圖繪製等，並針對各類調查成果進行判讀與綜合解釋，並歸納彙整為地質圖。

2.2.1.3 方法

調查之程序須先進行資料蒐集，再依據規劃進行野外調查，最後綜合各項調查成果繪製地質圖(圖 調 2-2-1)：

一、資料蒐集：

室內作業時應蒐集遙測影像(航照、衛星影像等)、區域地質圖、環境地質圖、地質敏感區範圍圖、地形圖、高精度數值地形資料、地形測繪資料、災害歷史、氣象資料及可能遭遇之工程問題等，並依據各項圖資先行研判該區域之地質概況，規劃調查範圍、調查內容等，以提高野外調查效率。

二、野外調查：

應於室內作業階段預先透過遙測影像判釋或既有地質資料規劃調查路線，並盡量選取與該區域主要構造軸線垂直或斜交之路線，方能獲得計畫區域之地質概況。調查時首先需判定露頭(outcrop)之真偽，應於謹慎分辨其是否為崩塌之岩塊或已滑移之岩盤後，詳細記錄所見之露頭特性，並記錄其位置坐標及出露面積，藉以建立調查區域之地層、構造分布概況，野外調查之重點包含露頭調查、岩體工程特性調查等(陳培源，2000)：

(一) 露頭調查：

調查項目應包含一般岩性、產狀、位態、層序、變質情形等記錄，提供地質圖繪製參考資訊：

1. 一般岩性：鑑定岩石種類及其屬性，以及顏色、組織、成分等。若為沉積岩，則需另注意固結程度、層理、沉積構造等特徵。

2. 產狀：岩層或岩體之生成形態，例如沉積岩之平整層狀、凸透鏡狀、塊狀等，又如火成岩之基岩、岩脈、岩床、岩流等。

3. 位態：岩層於空間中座落之形式，包含岩層之走向(strike)與傾角(dip)，如有褶皺等變形亦應加以記錄描述。

4. 層序：若露頭有連續性的出露，即可建立該區域之地層層序，以及岩層分布之上下界限、接觸情形(整合接觸、火成接觸、斷層接觸)等。

5. 變質情形：變質程度、岩石特徵(如硬頁岩之鉛筆狀構造)等。

(二) 岩體工程特性調查：調查項目應包含岩石強度及不連續面分布，提供地質圖中各岩層單位之工程特性資訊(洪如江，2001)：

1.岩石強度：岩石受外力作用下達到破壞之極限應力，可利用施密特錘(Schmidt Hammer)進行現地施測，或採樣返回室內進行單壓試驗等方式獲知岩石強度。

2.不連續面分布：不連續面(discontinuity)指既存使岩石之物理或力學性質中斷之面，包括層面、劈理面、片理面、節理面、斷層面、裂隙、張裂縫、不整合面及其他破裂面等，其調查項目應包含：

(1)不連續面位態：不連續面之走向及傾角，以及是否與坡面構成順向坡、逆向坡或斜交坡型態，及其見光(daylight)與摩擦圓(friction cone)等資訊，可以半球投影(hemispherical projection)呈現。

(2)不連續面間距：同一組不連續面中，相鄰不連續面間之距離，其劃分如表 調 2-2-1。

(3)不連續面組數：不連續面中相異位態之組數，可由現場目視觀察得知，或以立體投影圖描繪各不連續面位態後歸納之。

三、地質圖繪製：

地質圖繪製應利用上述野外調查資料進行對比後，判斷區域內主要岩層或岩性以及主要構造線如斷層、褶皺之空間分布概況，以作圖法配合地形起伏資訊完成調查區域之填圖，並將調查所得之位態等資料標記於圖內，必要時輔以數條與主要構造軸線垂直之地質剖面圖說明之(陳培源，2000)。

2.2.1.4 應用

地表地質調查之主要成果為地質圖,其內容除利用平面圖及剖面圖展示岩性、構造以外，若調查對象為崩塌地、地滑、土石流等災害，亦可適時於平面圖上標示地表或人工構造物破裂位置、裂隙張裂方向、滲水位置、土石流流動區與堆積區範圍，以及推測滑動體範圍、推測滑動方向、建議鑽孔位置與深度等資訊，並於剖面圖標示可能之滑動面位置、深度、型態(圓弧型、平面型)、地下水位(或滲水位置)、鑽孔點位與深度等。此外，地表地質調查成果若進一步進行岩體強度分級(Franklin, 1975)或 RMR(Bieniawski, 1979)、Q 法(Barton et al., 1974)之岩體評分，亦可初步提供工程規劃設計參考。然而，地表地質調查之成果可能受限於出露之露頭數量與位置，若調查範圍缺少足夠數量及較佳之露頭時，應避免過度闡釋而致使偏頗，且如能綜合地下地質調查成果，則可更加充份瞭解區域之地質概況。

2.2.2 地下地質調查

2.2.2.1 目的

推斷計畫區內地下之地質材料與地質構造分布概況，及其形成與演化歷史，調查成果可提供各種地質作用現象之機制解釋，並做為各項規劃、設計及相關工作之參據。

2.2.2.2 原則

地下地質調查可採鑽探及地球物理探測等方法，調查後應配合地表地質調查成果進行判讀與綜合解釋，並歸納彙整為地質圖與地質剖面圖。

2.2.2.3 方法

調查之程序須先進行鑽孔點位及地球物理測線規劃，再依據需求進行鑽探、地球物理探測，最後綜合各項調查成果繪製地質圖與地質剖面圖(圖 調 2-2-2)：

一、鑽孔點位及地球物理測線規劃(水土保持技術規範，2014；經濟部中央地質調查所，2008；經濟部中央地質調查所，2014)：

(一) 鑽孔點位規劃：

地質鑽探調查之前，必須進行區域地質文獻分析與地表地質調查，並應按區域地質狀況與現場初勘結果，規劃足以獲得研判基地地質狀況之鑽孔數量、配置、方向與深度，不宜任意採用等距、等深之方格法實施。地質剖面測製所需之鑽孔數量與鑽孔配置以能研判地下地質且符合邊坡穩定分析之需

求為原則：

1. 地質剖面：每個基地至少應鑽探一個剖面，主剖面應儘量與基地主要地質構造線、地層走向垂直，或平行於邊坡滑動方向，且通過崩塌地或地滑滑動面最深之位置，必要時另增加副測線。
2. 鑽孔數量：每個剖面應具三孔(含)以上之鑽井資料，方能進行地層對比，若為崩塌地或地滑時，孔位配置應配合地表地質調查成果以冠部、頭部、腹部、趾部為主，並能研判該剖面地質結構為原則，但在地質變化地點、露頭稀少處及鑽探所得資料與預期不符者，應酌增鑽孔數。此外，基地面積在〇・五公頃以下者，鑽孔數量至少三孔；基地面積每增加一・五公頃，應增加一孔；未滿一・五公頃者，以一・五公頃計。基地面積在十公頃以上者，每增加五公頃，應至少增加一孔；不滿五公頃者以五公頃計為原則。
3. 鑽孔深度：鑽孔深度應配合鑽探孔數與配置，以獲得足以研判完整地質剖面資料為原則。若為人工構造物設計之需求，建議鑽孔深度至少應達載重區寬度之一・五至二・五倍，若為崩塌地或地滑之調查，則建議鑽穿滑動面達未擾動岩盤。
4. 應以全孔連續取樣為原則，鑽孔孔徑則可視需求選用 NQ(孔徑七十五公厘，岩心直徑四十七公厘)或 HQ(孔徑九十六公厘，岩心直徑六十三公厘)規格。
5. 鑽探孔應埋設地下水位觀測管或水壓計觀測管，在地質條件比較複雜，或有潛在基礎沉陷與滑動地區，應利用鑽孔裝設沉陷觀測儀、觀測地滑用應變計之套管以進行觀測，未設監測管之鑽孔應埋設測深管以備查驗。

(二) 地球物理測線規劃：

地球物理測量之主要目的在於補足鑽孔與鑽孔間之地質概況，其測量成果通常需要配合鑽孔成果進行解讀,故其測線之規劃應儘可能配合鑽孔位置，並盡量避開人造建物區，而測線彼此之間應儘量呈十字狀交叉，以利透過多條測線所得之成果獲得地下二維或三維之岩性、構造概況。

二、鑽探：

除透過岩心資料建立地下地質剖面外，亦可輔助說明地表地質調查成果，

綜合各項調查進行交叉比對後，研判地下地質概況。鑽探過程中應記錄岩心之岩層特性、不連續面特性、鑽孔水位等，並取岩心之重要區段進行樣本試驗。取出岩心後之鑽孔亦可利用孔內攝影等分析直接觀察地下地質特性，若為崩塌地或地滑時，亦可放置監測儀器，以掌握邊坡活動特性(經濟部中央地質調查所，2014)。

(一) 岩層特性：

岩層包括風化及新鮮岩盤。記錄岩層之厚度、岩性、顏色、礦物組成、材料組構(如沉積構造)、岩層固結程度、風化程度、岩心銹染狀況以及 RQD(岩石品質指標)等，其中 RQD 係指岩心中，具十公分以上完整岩心長度總和佔鑽取岩心總長度之百分比，其數值愈高表示岩體愈完整，反之則表示岩體愈破碎，可應用於岩體評分或崩塌地之滑動面判定，其計算公式如下：

$$\mathrm{RQD}(\%) = \frac{\text{十公分以上完整岩心長度之總和}}{\text{鑽取岩心總長度}} \times 100\% \qquad (2.2.1)$$

(二) 不連續面特性：

包括層理面、劈理面、片理面、節理面、裂縫、剪裂破碎帶、斷層破碎帶、岩脈、崩塌地或地滑滑動面之深度與位態等。不連續面中若有剪裂泥者，應記錄寬度、顏色、顆粒觸感、是否具剪裂亮面或斷層擦痕等。

(三) 樣本試驗：

包含土壤及岩石試驗，試驗項目除基本物理性質試驗(如單位重、含水量等)外，亦應進行材料力學性質試驗(如三軸試驗、直接剪力試驗等)，以取得其凝聚力(c)、摩擦角(ø)等參數，此外，若鑽探岩心中發現不連續面或滑動面時，亦應加強該面之力學試驗分析。試驗之數量、項目均須符合調查目的與需求，並考量現地應力、水文狀態、受工程影響之變動等進行規劃，表 調 2-2-2 列出各種試驗項目及其目的，可視現場狀況而擇其數種施行之。

(四) 孔內攝影：

在鑽孔孔內壁以影像擷取方式直接獲得岩性、不連續面位態等地下地質概況，其方法包含鑽孔內視鏡(Borescope)、孔內攝影機(Borehole Television)、孔內照相機(Borehole Camera)、孔內拓印法(Impression Packer)等(U.S. Army Corps of Engineers, 1982)，選取方式應依據調查目的與需求進行規劃。

(五) 監測儀器設置：

鑽孔取出岩心後，可進一步於孔內設置邊坡變位之監測儀器如測傾管、傾斜儀、孔內伸縮計、水位計等儀器。

三、地球物理探測：

一般常用之方法包含震測法、電探法、電磁法、重力法、透地雷達等(陳培源，2000；經濟部中央地質調查所，2014)：

(一) 震測法：

應於地下淺處裝入炸藥，或用重錘高高落下，以產生震波，並在地表設置震波接受器，以接收反射或折射震波，並利用各地質材料波傳速度差異，透過接受器接收訊號之時間，反求各地層的波速及深度，進而研判地下地層分布。

(二) 電探法：

利用岩石之孔隙水有無以及電解質含量進行地下地質構造判釋，目前較常使用之電探法為地電阻影像剖面法(Resistivity Image Profiling Method, RIP)，施測時應於調查測線上佈置密集測點，以獲得該剖面之地層構造，並依據電阻資料處理結果繪製成地層電阻率分布圖，配合地表地質調查、鑽探或其他試驗資料成果，解釋地質構造、層態分布及地下水等資訊。

(三) 電磁法：

利用電磁波於地下之反射時間及強度計算地層之電阻率及深度，並據以推測地層、地下水位、破碎帶等分布狀況。電阻率愈低之區域其反射電磁波愈強，其方法通常不受地形效應影響，然需注意是否受高壓電塔等設備之電磁干擾。

(四) 重力法：

利用地下地質材料密度變化所產生之重力差異，推測地下地層及構造之形貌，其結果受地形起伏影響，故施測後仍需進行偏移、高度、緯度與地形修正等。

(五) 透地雷達：

利用雷達波於地下傳播時碰到不同介質之反射特性，分析其反射波來回時間、波型、振幅等資訊，推測地下地層與構造。由於雷達波於地層間傳遞隨深度逐漸衰減，故探測深度受限，一般而言適用三十公尺以內之地下探測。

(六) 其他探測方法：

應考量區域特性後進行方法遴選，其問題對象與相對應之方法範例如表調 2-2-3(洪如江，2001)。

四、地質圖與地質剖面圖繪製：

地球物理探測成果圖中應標示研判之岩土界面、岩性界面、斷層或剪裂帶及其他不連續帶，而地質圖應利用上述地下地質調查成果，配合地表地質調查成果綜合研判後推測地質概況，其圖面應包含地層或岩性、地質構造、位態資料、剖面位置、鑽孔點位、地球物理探測配置、地形等。地質剖面之選取除垂直區域主要構造軸線以掌握整體地質構造外，亦應包含平行及垂直邊坡坡向(或推估滑動方向)，且接近坡面中央位置之縱、橫向剖面以釐清崩塌地或地滑災害機制。剖面圖應包含地層分佈或岩石特性、地質構造、鑽孔位置與岩心判讀結果，若有地下水位資訊亦須一併納入。此外，剖面圖水平與垂直方向之比例尺宜相同，以利研判地質剖面資料。(陳培源，2000；經濟部中央地質調查所，2014；王文能，2016)

2.2.2.4 應用

解釋區域地質概況，其主要成果除地質圖外，更重要者為地質剖面圖之資訊。地質剖面圖可提供豐富之地下岩性、構造等資訊，若調查區域為崩塌地或地滑範圍，則包含滑動面之位置、深度、型態(圓弧型、平面型)、地下水位等資訊，對於災害範圍、災害類型、災害原因、發生機制等說明均有極大助益，對於治理工程而言亦屬極關鍵之參考資料。

2.2.3 參考文獻

王文能(2016)，「崩塌的地質特性與防災」，中華防災學會出版委員會。

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

洪如江(2001)，「初等工程地質學大綱」，財團法人地工技術研究發展基金會。

陳培源(2000)，「野外及礦業地質學」，正中書局。

經濟部中央地質調查所(2008)，工程地質探勘資料庫資料作業規範。

廖瑞堂(2001)，「山坡地護坡工程設計」。

經濟部中央地質調查所(2014)，地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊。

Barton, N., Lien, R., &Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock mechanics, 6(4), pp.189-236.

Bieniawski, Z. T. (1979). The geomechanics classification in rock engineering applications. In 4th ISRM Congress. International Society for Rock Mechanics.

Franklin, J. A. (1975). Size-strength system for rock characterization: Franklin Geotechnical Ltd. Orangeville, Ontario and Research Professor Department of Earth Sciences University of Waterloo, Ontario, Canada.

U.S. Army Corps of Engineers (1982). Engineering and Design-Borehole viewing systems. Pamphlet No.1110-1-10.

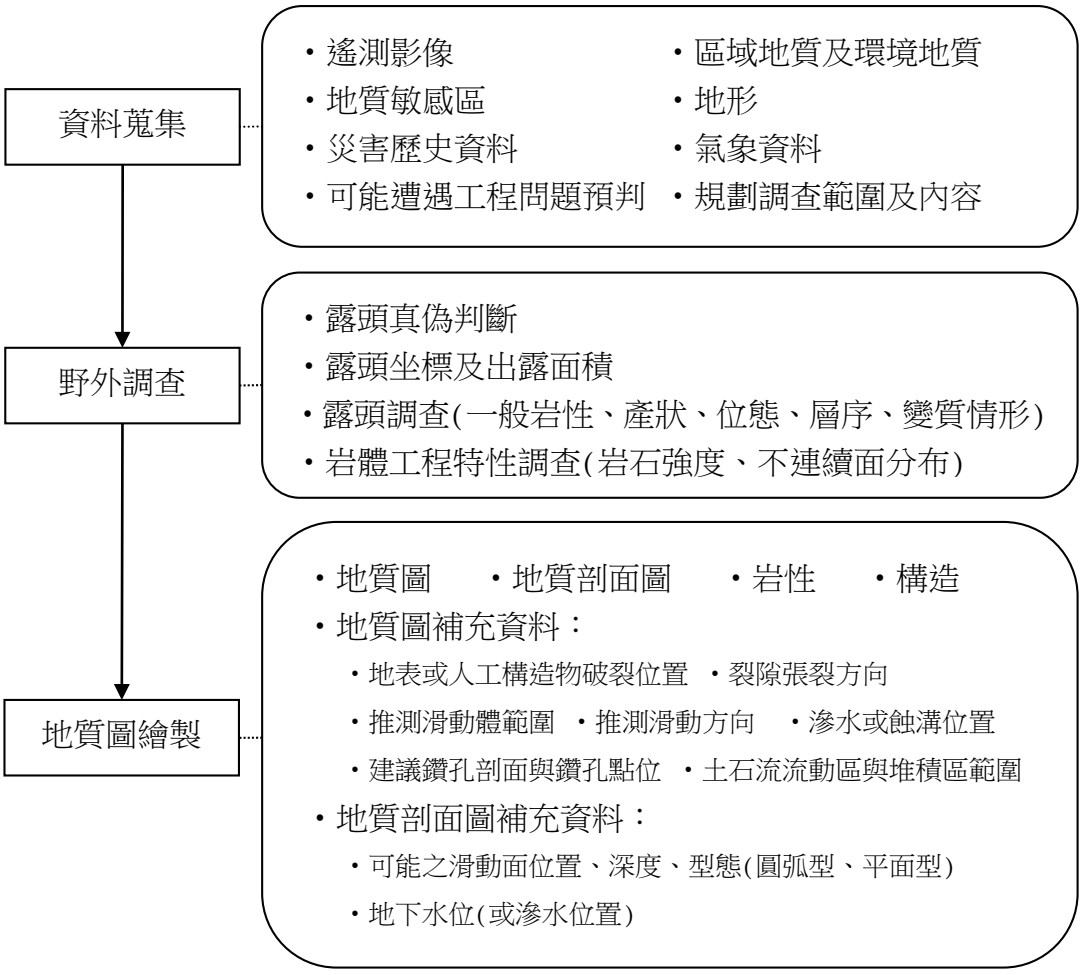


圖 調 2-2-1 地表地質調查流程與項目

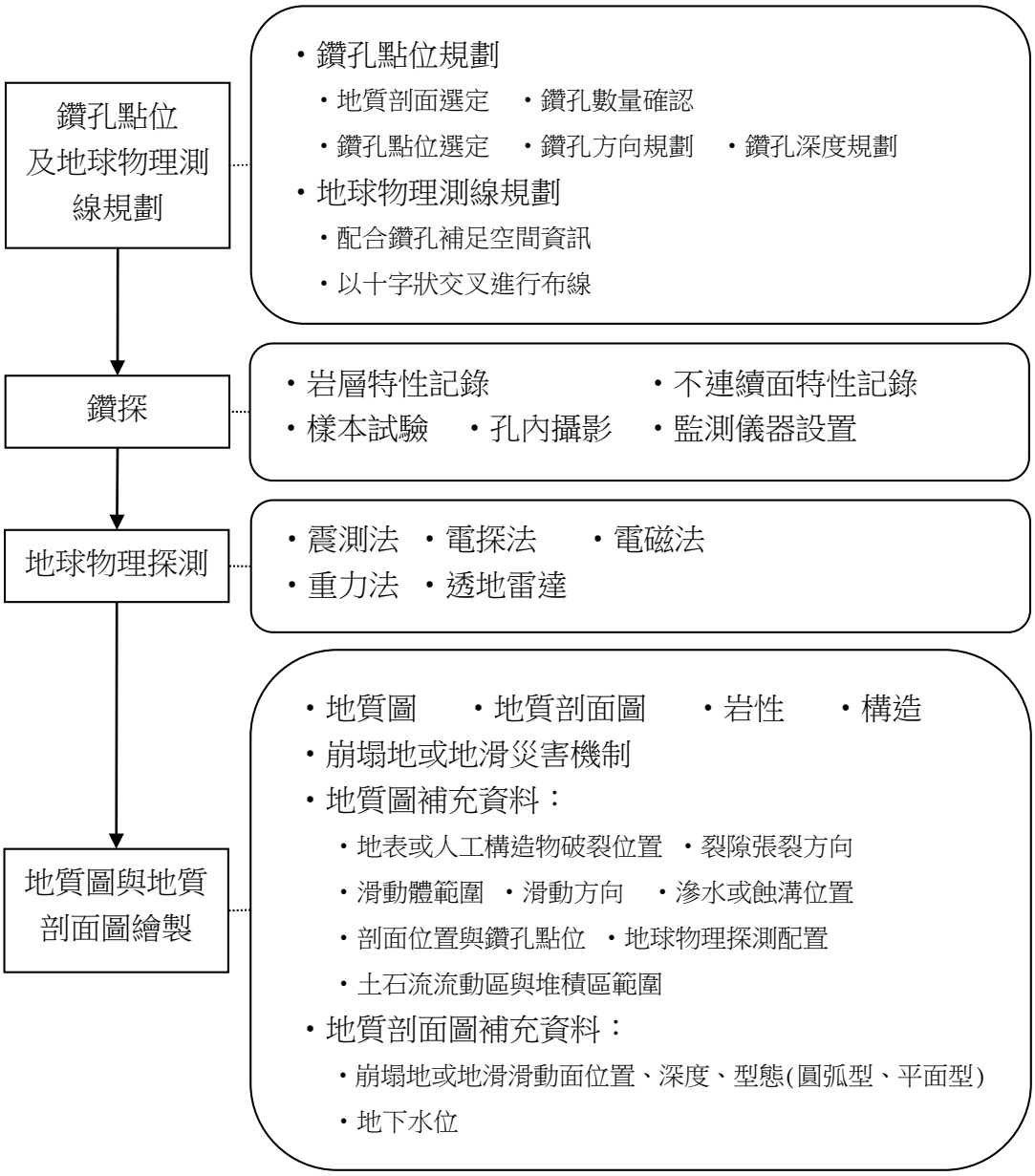


圖 調 2-2-2 地下地質調查流程與項目

表 調 2-2-1 不連續面間距之劃分(Bieniawski, 1979)

分級	間距
極密	<20mm
很密	20 ~ 60 mm
密	60 ~ 200 mm
中度	200 ~ 600 mm
疏	600 ~ 2000 mm
很疏	2000 ~ 6000 mm
極疏	> 6000 mm

表 調 2-2-2 室內試驗種類(資料來源：修改自廖瑞堂，2001)

地層種類	試驗種類	試驗參數	適用狀況
土壤	物理性質試驗	含水量、土體單位重、物理性質、液限、塑限，並加以分類	材料基本性質
	不壓密不排水三軸壓縮試驗(UU)	黏土不排水剪力強度	軟弱黏土填方邊坡
	壓密不排水三軸壓縮試驗(CU)	各種土壤之總應力及有效應力強度參數	1. 軟弱黏土分階段填土邊坡 2. 挖方邊坡
	重模土之三軸試驗	回填土之強度參數	填方邊坡
	夯實試驗	作為回填夯實控制之依據	填方邊坡
	直接剪力試驗	砂性土壤之強度參數	砂性土壤邊坡
	透水試驗	滲透係數	規劃地下抽排水措施
	壓密試驗	土壤壓密特性	應力增加之影響
	環剪試驗	土壤殘餘強度	滑動面及大應變分析
岩石	物理性質試驗	單位重、含水量	材料基本性質
	單軸壓縮強度	岩石無圍壓狀況之破壞強度	概估承載力
	三軸壓縮強度試驗	岩石之強度參數	挖方或填方邊坡
	弱面直接剪力試驗	不連續面(如節理及層面)之強度參數	不同應力歷史狀況下不連續面之抗剪強度
	透水試驗	滲透係數	規劃地下抽排水措施
	消散耐久試驗	岩體抗風化之能力	用以選擇坡面保護工

表 調 2-2-3 不同問題對象之地球物理探測方法(資料來源：修改自洪如江，2001)

問題對象	範例	方法及說明
地層問題	土壤覆於岩盤上之分界、黏土覆於岩盤上之上軟下硬海床	陸地可採震測折射法、電探法等，海域可採連續剖面震測反射法等
侵蝕問題	喀斯特地形、潛伏河道	震測折射法或電探法(上覆地層之寬度須大於深度)
地質構造	潛伏斷層、岩脈	電探法、震測折射法、震測反射法、電磁法、重力法、透地雷達

2.3 土壤調查

2.3.1 目的

為瞭解計畫區表層土壤狀況，應進行有系統的觀察、描述、分類及物理或化學檢驗，並將其分布繪製成圖，以供侵蝕、排水、力學性質、土地生產、土地利用管理等應用研究及其他相關工作之參據。而土壤調查結果，亦可於水土保持工程規劃時，協助選定合宜之邊坡穩定處理工程或挑選適地適當植種。

2.3.2 原則

土壤之調查與分析包含調查區概況(包括位置、地形地貌、地質、水文、氣候、土地利用等)、土壤類型(含土系)、土壤深度、坡度、表土質地、排水及表土與母岩性質等資訊。應以一般通用方法或經主管機關認可之方法，方能獲得該區域之土壤概況。

2.3.3 方法

土壤調查主要以土鑽採樣為主，土壤調查的型式一般有勘查、概測、半詳測、詳測、極詳測及非常詳測等六種，彙整調查類型、製圖比例尺、採樣點密度及應用目的詳如表 調 2-3-1 所示。

一、基本資料蒐集與調查規劃：

土壤調查規劃之初，進行區域內環境基本資料蒐集，包含位置、地形地貌、地質、水文、氣候、土地利用、航照等。到現場前，先在室內判讀航照及地形圖，將地形、地勢相似者分別區劃，然後預定鑽採土樣地點。因任一調查工作其目的、範圍及尺度均有所不同，故應視不同調查區域土壤環境特性及尺度，及實際需求予以訂定資料蒐集項目。前述各項資料可向國內各政府機關包含行政院環境保護署、交通部中央氣象局、經濟部水利署、中央地質調查所及各地方政府申請或參考相關研究成果資料。

二、土壤採樣(參考自 NIEA S102.63B)：

依據調查類型、製圖比例尺、採樣點密度及應用目的之不同，彙整如表 調 2-3-1 所示。另採樣場址特性、常用的土壤調查採樣方式(行政院農委會農業試驗所，2015)如下：

(一) 主觀判斷採樣(Judgmental sampling)：

當確知或可目視所在位置時，根據專業判斷直接於定點採樣。可節省採樣及分析成本，但其結果不適合作統計分析。

(二) 簡單隨機採樣(Simple random sampling)：

將調查區劃分成許多小單位，配合亂數表對各小單位採樣。適用於調查區域內的土壤特性相對均質時，其結果具統計意義，容易計算平均值、採樣濃度分佈與變異。

(三) 分區採樣(Stratified sampling)：

當調查區內土壤特性(如土壤質地、風向、地下水流等)的異質性較高時，可將整個調查區切分成各個均質分區，以各分區的面積權重分配採樣數，再對各分區進行(如隨機)採樣。

(四) 系統及網格採樣(Systematic and grid sampling)：

當土壤分布趨勢或分布範圍過大且不明確時，可利用虛擬網格方法，在網格內或交叉處採樣。在常用的網格定點方法中，若無特殊考量，以瓶架網格(Bottle rack grid method)、平行網格(Parallel grid method)及矩形網格(Rectangular grid method)為主，如圖 調 2-3-1 所示。

(五) 應變叢集採樣(Adaptive cluster sampling)：

利用初步大範圍的系統調查結果，再逐步縮小範圍進行較細密的採樣，適用於特定範圍。

原則上在一般宜農牧地區，以每隔約二百~二百五十公尺鑽探一孔，而在陡坡、急陡坡、利用困難之地區，則擴大距離至每隔五百公尺鑽探一孔。此外仍得視實際地形、土壤變化，而酌情略為增減鑽探距離。其鑽探深度應至少達一百二十公分或土鑽不能通過之深度(係土壤有效深度，如表 調 2-3-2)為止。

三、採樣器材(參考自 NIEA S102.63B，如表 調 2-3-3)：

(一) 採樣鏟(Hand-held shovel)：

常用不銹鋼材質製品，或其表面具有塑膠、鐵氟龍塗佈者。規格大型者如水泥拌合用，小型者如園藝用。如樣品僅檢測重金屬時亦可使用塑膠材質代替。以此器材採樣對樣品擾動程度較大，且採樣位置與深度較不易精確掌握。

(二) 土鑽採樣組(Hand-held auger)：

不銹鋼製或其他金屬製螺旋狀或中空採樣管，配合適於不同土壤性質之各型螺旋狀刀刃組成。如以旋轉方式採樣，所得為受擾動之土壤樣品；如直接以壓力迫使土壤移入中空採樣管中，則可得較不擾動之土壤樣品。使用時以手動鑽入或配合現場電源供應器以手提電(氣)動式鑽入採樣。

(三) 劈管採樣器(Split-barrel sampler)：

外徑 50.5 ± 1.3mm、內徑 38.1 ± 1.3mm、長度 45.7 至 76.2cm之採樣管，或使用其他適當之尺寸，前頭接強化鋼材之靴頭(Driving shoe)。本採樣器必須連接於鑽探設備之採樣桿和打擊重錘組或壓入設備。

(四) 薄管採樣器(Thin-walled tubes sampler)：

適當之外徑、管厚與管長之常見規格如下三種：50.8mm/ 1.24mm/ 91cm、76.2mm/ 1.65mm/ 91cm 及 127mm/ 3.05mm/ 145 cm。本採樣器必須連接於手動土鑽設備或機械動力鑽探設備之採樣器接頭和壓入器具。本採樣器取得之土壤樣品為較不擾動土壤(管徑至少大於土壤樣品最大粒徑之六倍時)，可保持土壤原來的構造、容積密度、孔隙率(porosity)、含水量等物理與力學性質。

(五) 其他土壤採樣器：

1. 活塞式採樣器(Piston rod soil sampler)：利用採樣器內的活塞造成適當的真空，以採集具流動性的樣品(如湧砂)。
2. 雙套管採樣器(Dual tube soil sampler)：具有內、外二組螺桿，內螺桿前端接採樣襯管，同時直接貫入土中，土樣即進入襯管中。適用於採樣孔有崩孔之虞者。

(六) 鑽探設備：

鑽探設備應可提供一合適的乾淨裸孔，且未擾動待採之土壤層。鑽探設備之選用須配合地質狀況，如開孔旋鑽(Open-hole rotary drilling)、旋轉錘鑽(Roller-cone)、中空螺旋鑽(Hollow stem auger)、套筒(Bucket)、實心螺旋鑽(Auger)等，並配合壓入設備使用。

四、土壤特性分析：

依據分析方式區分為基本調查項目、物理實驗分析及化學實驗分析三大類：

(一) 物理分析：

主要以物理方式分析採樣土壤之特性，包括總體密度與孔隙率、土壤水份特性、飽和水力傳導度、粒徑分析(機械分析)等。

(二) 力學實驗分析：

主要以室內或現地試驗分析土壤之力學性質，包括剪力強度、壓縮性質、透水性、阿太堡限度(或界限含水量，Atterberg limits)等。

(三) 化學特性分析：

主要以化學方式分析採樣土壤之特性，包括酸鹼度值、電導度、有機質、可交換鹽基離子(鈣、鎂、鉀等)、陽離子交換量、碳酸鹽含量。

1. 土壤酸鹼度值反應(Soil reaction)：以 pH 值為其量測屬性，可應用於養分可利用性(養分固定法)、毒性(特別是鋁跟錳)、石灰施用情況、含鈉度(sodicity)、與其他物理性、化學性與生物性上屬性的關連性。
2. 電導度(Electrical conductivity ECe or ECs)：以採樣土壤之電導性，評估可溶解的鹽基離子在土壤之危害。
3. 有機質(Oragnic matter)：可應用於養分可利用性、保持、固定法(特別是氮、磷、硫)、陽離子交換量及土壤穩定度與可利用性等。
4. 陽離子交換量 (Cation exchange capacity)：以採樣土壤之可交換鈉(ESP)、鉀(EKP)之一價陽離子(EMP)百分比計算。
5. 碳酸鹽含量：可應用於潛勢氮供給量評估。

2.3.4 應用

土壤調查為調查區域概況的基礎，可供山坡地可利用限度分析、土地利用規劃、土壤適用度分類、土壤改良方法、灌溉與排水技術、問題土壤之管理、土地等級區分、土壤侵蝕及防治等應用研究基礎，藉以推導土壤與其他相關環境要素間之交互關係。

2.3.5 參考文獻

中華民國「土壤檢測方法總則 NIEA S102.63B」，2015 年 2 月 2 日訂定。

中華民國「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017 年 08 月 08 日修訂。

中華民國國家標準(2007)，「土壤薄管採樣法 CNS 12386 A 3284」。

行政院農委會農業試驗所(2015)，臺灣土壤資料庫建置與展望。

Soil Survey Division Staff. (1993) Soil survey manual, Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

表 調 2-3-1 調查類型、製圖比例尺、採樣密度及應用目的彙整表(資料來源：「行政院農委會農業試驗所」，2015)

調查類型	製圖比例尺	採樣密度 (點/km^2)	圖形單位	應用目的
勘查	<1:1,000,000 至 1:500,000	<0.1	1.自然地理單位； 2.發展潛力區。	1.資源概測調查 2.計畫案選址 3.初級可行性分析
概測	1:250,000	0.25-1	1.自然地理單位； 2.土壤聯域； 3.發展潛力區； 4.土地能限單位。	1.初級可行性分析 2.國家級規劃 3.區域性規劃 4.計畫案選址
半詳測	1:100,000	1-5	1.地形單位； 2.土壤聯域或土系； 3.土地適宜性/管理分級單位； 4.主要限制因素。	1.計畫可行性分析 2.地區性規劃 3.廣範發展規劃 4.區域性土地調查
	1:50,000	1-5	1.地形單位； 2.土壤聯域或土系； 3.土地適宜性/管理分級單位； 4.主要限制因素。	1.地區性規劃 2.農村級規劃 3.可行性分析 4.廣範性發展規劃
詳測	1:25,000	4-20	1.土相或土地單位； 2.土地管理單位。	1.田間級發展規劃 2.田間管理計畫
極詳測	1:10,000	25-125	1.土相或土壤單一因子； 2.坡度單位。	1.小田區管理計畫 2.社區級規劃 3.特殊目的之調查
非常詳測	1:2,500	>400	1.土相或土壤單一因子； 2.坡度單位。	1.地點之評估 2.詳細之工程施工

表 調 2-3-2 土壤有效深度分類表(資料來源：「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017)

土壤有效深度分類	對應深度
甚深層	超過九十公分
深層	超過五十公分至九十公分以下
淺層	超過二十公分至五十公分以下
甚淺層	二十公分以下

表 調 2-3-3 土壤採樣方法適用之地質特性(資料來源：「土壤檢測方法總則 NIEA S102.63B」，2015)

地質特性 採樣方法	黏土層	坋砂層	砂層	湧砂 含水層	礫石層	一般土 壤特性
劈管採樣	✓	✓	✓	╳	○	✓
活塞式採樣	✓	✓	✓	✓	✓	✓
雙套管採樣	✓	✓	✓	○	○	✓
薄管採樣	✓	○	╳	╳	╳	○
手動採樣法(採樣鏟或土鑽採樣組)	✓	✓	✓	╳	○	✓

註：依採樣法的普遍性、效率與適用性程度，依序建議：「✓」屬推薦使用，「○」屬適用，「╳」屬不適用。

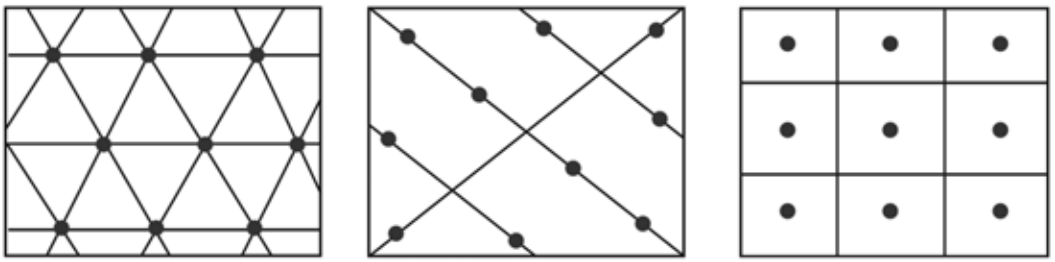


圖 調 2-3-1 不同系統及網格採樣示意圖(資料來源：「土壤檢測方法總則 NIEA S102.63B」，2015)

2.4 地下水調查

2.4.1 目的

為瞭解計畫區地下水之存在與流動狀況，應進行地下水之調查，以提供作穩定分析、地下排水規劃及其他相關工作之參據(水保局，2014)。

2.4.2 原則

調查內容包含水文地質、地下水位或孔隙水壓力及地下水流況等，並就所需項目，選擇適當方法實施之。地下水位或孔隙水壓力，可利用水井或鑽孔觀測之，觀測時間應包括枯、雨季、暴雨後、連續降雨後及適當時間，以能掌握地下水之變化。地下水位變化資料分析時，應與水文地質資料比對及驗證(水保局，2014)。

2.4.3 方法

地下水調查工作包含基本資料蒐集、調查試驗、水文地質概念模型建置等三階段(水規所，2015)：

一、基本資料蒐集：

地下水調查規劃之初，應就區域內環境基本資料進行蒐集，包含氣象、區域地質、地形地貌、地面水水文、地下水水文等。應蒐集之資料項目及於不同地下水環境特性所應蒐集之資料建議如表 調 2-4-1 所示。

前述各項資料可向國內各政府機關包含行政院環境保護署、交通部中央氣象局、經濟部水利署、中央地質調查所或各級政府申請或參考相關研究成果資料。

二、調查試驗：

(一) 觀測井布設及水位觀測：

觀測井之布設原則以可掌握區域地下水位變化為原則，通常可利用水文地質鑽井於探勘完成後，設置井管安裝水壓計進行水位觀測。水位觀測之觀測時間短，仍需尋求其觀測資料與鄰近原有較長期觀測井觀測資料之關係。

(二) 室內及現地試驗：

目的為求得地質材料水力傳導係數。常見的室內試驗包括定水頭滲透儀試驗 (Constant-head Permeameter) 及變水頭滲透儀試驗 (Falling-head Permeameter)，常見之現地試驗包括輸氣滲透儀(Air-entry Permeameter)、鑽孔滲透儀 (Borehole Permeameter) 及密封雙環入滲儀 (Sealed Double-ring Infiltrometer)等，一般現地試驗應較具代表性。

(三) 水文地質鑽探及地球物理井測：

利用旋轉鑽鑿法 (Rotary Method)或衝擊鑽鑿法 (Percussion Method)機械向地下鑽取岩層或土壤，可藉岩心直接判斷含水層或阻水層的特性，若再於孔內進行井測、試驗、採樣或設置觀測儀器等，則可直接測得定量性資料。

(四) 地球物理探勘：

一般應用於水文地質調查規劃之地球物理方法包含震測(Seismic Method)、電測法(Electromagnetic Method)、磁力法(Magnetic Method)、重力法(Gravitational Method)等，各法適用之調查目的如表 調 2-4-2 所示。

(五) 觀測頻率：

分為平時週期性觀測與豪雨事件之機動性觀測，週期性觀測一般以每月一次為原則。

三、水文地質概念模型(Hydrogeological conceptual model)建置：

(一) 說明：

依據資料蒐集及現地調查成果，對於調查區域之水文地質架構予以總體描述，描述重點應包含以下數項：

1. 含水層區位、分布、範圍及邊界條件。
2. 含水層分層、岩性及水文地質參數，包含水力傳導係數(Hydraulic conductivity, K)。
3. 含水層分層交界面地下水流動特性。
4. 地下水側向流入及流出特性。
5. 地下水補注來源或抽水行為。
6. 地面水體分布及地面地下水交互關係。

(二) 概念模型(conceptual model)架構建置：

主要係由靜態組成(岩石及土壤)及動態組成(水)所組合而成，靜態組成部分可依據基本資料蒐集及調查試驗所獲成果，瞭解調查區域之地層及岩性、地質構造及裂隙分布等重要資訊，並據此劃分具相同性質之水文地質單元；動態組成部分則可利用水平衡分析成果，瞭解調查區域之地面水、地下水流動及儲蓄行為。

2.4.4 應用

地下水位或水壓和地面水情形可建立水文地質模型，地下水位或水壓數據為坡地穩定性分析時的重要參數，結合降雨紀錄後，可用以瞭解降雨、地下水與崩塌之關聯。

地下水位量測結果的評估需考慮現地之地質條件與大地工程條件、單一測量結果的準確度、孔隙水壓長時間的變動、觀測期長短及觀測季節與工址的自然氣候條件。評量結果應包含觀測到之地下水位、孔隙水壓之最高值及最低值，並記載該值發生的時間(交通部，2015)。

2.4.5 參考文獻

行政院交通部(2015)，「公路邊坡工程設計規範」。

行政院農業委員會水土保持局(2014)，「水土保持技術規範」。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2015)，「臺灣地下水區可用水量調查分析參考手冊(草案)」。

Delleur, J.W. (2006). “The handbook of groundwater engineering,” CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1320 p.

表 調 2-4-1 常見之地面水及地下水水文資料蒐集項目內容綜整表(資料來源：「臺灣地下水區可用水量調查分析參考手冊(草案)」，2015)

資料類別	資料項目	資料來源	目的	建議	地下水環境		
					沖積平原	山區	島嶼
地面水水文	水文站基本資料描述	向辦理地面水水文觀測之單位進行資料蒐集，如經濟部水利署。	水文站基本資料可得知溪流水位或流量資料之歷史資料長度、觀測溪流及觀測方法等。	-	◎	◎	
	水系概況		水系概況可有助瞭解溪流與含水層間之空間分布關係，進而研判可能之交互作用行為。	-	◎	◎	
	水體分布		水體分布可有助於瞭解地面水體(如湖泊或濕地)與含水層間之空間分布關係，進而研判可能之交互作用行為。	-	◎	◎	◎
	溪流流量		溪流流量為進行地面水地下水交互作用水量估算之重要因子，亦可作為推估溪流側向補注量之依據。	蒐集年限建議至少應達十年以上，以利統計分析。	◎	◎	
	溪流水位		溪流水位可有助於瞭解地面水地下水交互作用類型。	蒐集年限建議至少應達十年以上，以利統計分析。	◎	◎	
地下水水文	地下水水位	向辦理地下水水文觀測之單位進行資料蒐集，如經濟部水利署。	地下水水位資料為瞭解地下水環境之基礎資料，可用以分析地下水流向及流速、地面地下水交互作用行為、抽水行為研判、補助位置研判等。	蒐集年限建議至少應達十年以上，以利統計分析。	◎	◎	◎
	地下水流向		地下水流向有助於瞭解地下水流場特性，亦可進一步研判可能抽水及補注位置。	-	◎	◎	◎
	含水層特性		含水層特性包含含水量分層、深度、厚度及岩性，有助於瞭解地下水流動速率及地下水流場分布。	-	◎		◎
	補注及流出位置		地下水補注及流出位置可瞭解地下水與地面水體交互行為發生區位。	-	◎	◎	
	水位變動長期趨勢		水位變動長期趨勢，可有助瞭解區域地下水抽水及補注情況，用以研判區域地下水情勢。	-	◎		◎
	水文地質參數		水文地質參數為估算地下水流速及流量之重要因子，亦為進行地下水水平衡分析重要參數。	-	◎	◎	◎
	既有觀測井分布		既有觀測井分布有助瞭解地下水水位觀測位置、目前觀測密度、觀測層別等基本資訊。	-	◎	◎	◎

註：◎為在不同地下水環境應蒐集資料

表 調 2-4-2 各水文地質標的及適用之地球物理探勘法(資料來源：Delleur, 2006)

調查對象	適用方法
地下水水位	震波折射法、激化極法。
母岩深度	電阻率法、自然電位法、激化極法、電磁法、震波反射法、震波折射法、重力法。
地層層位	電阻率法、自然電位法、激化極法、電磁法、震波反射法、震波折射法。
斷層位置	電阻率法、自然電位法、激化極法、電磁法、震波反射法、震波折射法、重力法、磁力法。

2.5 蝕溝調查

2.5.1 目的

土壤侵蝕作用在坡面上切割形成各種規模之溝槽，其中不能使用耕犁等方式予以恢復或掩蓋者，稱之為蝕溝(gully)。本項調查係為瞭解坡面蝕溝之侵蝕程度、型態及分布，以作為土砂來源、坡面土壤侵蝕量估算與後續坡面保育治理之參採。

2.5.2 原則

坡面蝕溝調查原則主要係以緊鄰保全對象或道路可通達處之人為開發或地方通報邊坡之裸露地，為優先調查對象，其坡面蝕溝調查點位之選擇，主要係經由近期影像選定裸露地位置，再由航照影像判定並至現場勘查，以瞭解坡面蝕溝位置。

2.5.3 方法

坡面蝕溝調查工作包含調查項目及內容、坡面蝕溝分布以及調查結果彙整等三部分(集水區整體調查規劃工作參考手冊，2008)：

一、調查項目及內容：

辦理現況調查工作(調查表格，詳表 調 2-5-1)，包含基本資料、現場情形，以及位置簡圖及現況照片等資訊。相關項目如下：

(一) 基本資料：

含圖上編號、集水區、行政區、TWD97 坐標、顯著地標、土地類別等，以瞭解坡面蝕溝分布區位以及土地使用類別。

(二) 現場情形：

坡面蝕溝之現場概況，包含侵蝕規模、坡度、侵蝕型態、侵蝕程度、侵蝕原因、土地利用及治理情形等項目，藉以提供土砂來源、坡面土壤侵蝕量估算與後續坡面保育治理之參採。

(三) 位置簡圖及現況照片：

地理位置圖、現況照片與說明，藉由現況調查點位空間分布以及相關照片說明調查地點之植生概況與侵蝕行為。

上述各調查項目及內容用途說明如表 調 2-5-2 所示。

二、坡面蝕溝分布應以 1/5,000 或 1/10,000 以上之影像圖或地形圖標示其位置，並以符號或顏色區分侵蝕程度、型態及類型。

三、相關調查結果依表 調 2-5-3 加以彙整。

2.5.4 應用

坡面蝕溝調查係為瞭解坡面蝕溝之侵蝕程度、型態、原因及分布等，分析重點以坡面侵蝕分布及程度為主，前者係就地形特徵、土地利用形態、土壤特性等因子，歸納分析集水區坡面侵蝕之分布概況，後者則依其蝕溝尺度劃分其侵蝕程度，並依其分布狀況，分析其土砂生產及輸移情形，以作為土砂來源及坡面土壤侵蝕量估算結果比對之參採。

2.5.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「集水區整體調查規劃工作參考手冊」。

表 調 2-5-1 蝕溝調查表(以農地蝕溝為例)(資料來源：修改自「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

(一)基本資料　　調查時間：　　調查者：

圖上編號		集水區	
行政區	縣(市)　　鄉(鎮)　　村(里)		
TWD97 坐標	X：　　；Y：	顯著地標	
土地類別(可複選)	□一般山坡地　□林班地　□區外保安林　□其他		

(二)現場情形

侵蝕規模	長度　　m，寬度　　m，深度　　m	
坡度(%)	□0~5 □5~15 □15~30 □30~40 □40~55 □55~100 □>100	
侵蝕型態	□指狀侵蝕　□溝狀侵蝕(蝕溝、坑溝)　□飛濺侵蝕　□層狀侵蝕	
侵蝕程度	紋溝	□輕微：1. 溝寬<100cm，溝深<30cm 者。
	蝕溝	□中等：1. 溝寬<100cm，溝深<30cm，且母岩裸露，局部有崩塌現象者。 2. 100cm<溝寬<200cm，30cm<溝深<50cm 者。
		□嚴重：1. 100cm<溝寬<200cm，30cm<溝深<50cm，且母岩裸露，局部有崩塌現象者。 2. 200cm<溝寬<350cm，50cm<溝深<70cm 者。
		□極嚴重 1. 200cm<溝寬<350cm，50cm<溝深<70cm，且母岩裸露，局部有崩塌現象者。 2. 350cm<溝寬<500cm，70cm<溝深<100cm 者。
侵蝕原因 (可複選)	□裸露地　□逕流　□敷蓋(含覆蓋)不足　□水土保持設施不足 □陡坡地　□土壤地質因素　□人為因素　□其他	
土地利用現況 (含周邊) (可複選)	□林木　□雜灌木　□雜作　□果樹　□草生地　□竹林　□檳榔 □裸露　□非農業開發地　□其他	
水土保持設施 (可複選)	□無　□等高耕作　□山邊溝　□平台階段　□植生覆蓋　□敷蓋 □其他	
治理區工程數		
處理等級	□極需處理　□優先處理　□計畫處理　□暫緩處理	

(三)位置簡圖及現況照片

地理位置圖(需包含 GPS 點位)	
現況照片與說明	

表 調 2-5-2 蝕溝調查項目及內容用途說明(資料來源：修改自「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

調查項目	內容	說明	用途
基本資料	圖上編號	依調查順序進行流水編號。	瞭解坡面侵蝕與蝕溝分布區位以及土地使用類別。
	集水區	集水區名稱參考水保局公布之圖資為原則填列。	
	行政區	依調查區位所在縣(市)、鄉(鎮、區) 及村(里)位置填列。	
	TWD97 坐標	統一採 TWD97 二度分帶坐標系統填列。	
	顯著地標	記錄調查地點鄰近重要地標。	
	土地類別	調查位置位屬一般山坡地、林班地、區外保安林或其他。	
現場情形	侵蝕規模	測量坡面侵蝕及蝕溝之長度、寬度與深度，藉以量化侵蝕規模。	瞭解坡面侵蝕與蝕溝之現場概況，包含侵蝕規模、侵蝕型態、侵蝕程度、侵蝕原因、土地利用及治理情形等項目，藉以提供土砂來源、坡面土壤侵蝕量估算與後續坡面保育治理之參採。
	坡度	記錄調查地點坡面之坡度。	
	侵蝕型態	分為(1)指狀侵蝕、(2)溝狀侵蝕(蝕溝、坑溝)、(3)飛濺侵蝕、(4)層狀侵蝕。	
	侵蝕程度	分為 (1)輕微、(2)中等、(3)嚴重、(4)極嚴重	
	侵蝕原因	分為(1)裸露地、(2)逕流、(3)敷蓋(含覆蓋)不足、(4)水土保持設施不足、(5)陡坡地、(6)土壤地質因素、(7)人為因素、(8)其他。	
	土地利用現況	分為(1)林木、(2)雜灌木、(3)雜作、(4)果樹、(5)草生地、(6)竹林、(7)檳榔、(8)裸露、(9)非農業開發地、(10)其他。	
	水土保持設施	分為(1)無、(2)等高耕作、(3)山邊溝、(4)平台階段、(5)植生覆蓋、(6)敷蓋、(7)其他。	
	治理區工程數	記錄調查區位之既有工程數量。	
位置簡圖及現況照片	地理位置圖	包含坡面侵蝕與蝕溝位置、山坡地範圍、行政區界等。	藉由現況調查點位空間分布以及相關照片說明調查地點之植生概況與侵蝕行為。
	現況照片與說明	利用現場調查照片簡述調查地點之坡面植生與侵蝕狀況。	
綜合判斷	處理等級	(1)極需處理、(2)優先處理、(3)計畫處理、(4)暫緩處理。	由調查結果初步判斷後續處理對策。
	建議處理方式	(1)排水、(2)截水、(3)節制壩、(4)植生、(5)其他。	

表 調 2-5-3 坡面蝕溝調查彙整表(資料來源：修改自「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

序號	圖上編號	集水區	參考坐標(TWD97)		侵蝕型態	侵蝕程度	侵蝕原因
			X	Y			

侵蝕型態：(1)指狀侵蝕、(2)溝狀侵蝕、(3)飛濺侵蝕、(4)層狀侵蝕

侵蝕程度：(1)輕微(溝寬<100cm，溝深<30cm)、(2)中等(溝寬<100cm，溝深<30cm，且母岩裸露，局部有崩塌現象或 100cm<溝寬<200cm，30cm<溝深<50cm)、(3)嚴重(100cm<溝寬<200cm，30cm<溝深<50cm，且母岩裸露，局部有崩塌現象或 200cm<溝寬<350cm，50cm<溝深<70cm)、(4)極嚴重(200cm<溝寬<350cm，50cm<溝深<70cm，且母岩裸露，局部有崩塌現象或 350cm<溝寬<500cm，70cm<溝深<100cm)。

侵蝕原因：(1)裸露地、(2)逕流、(3)敷蓋(含覆蓋)不足、(4)水土保持設施不足、(5)陡坡地、(6)土壤地質因素、(7)人為因素、(8)其他

2.6 土石流調查

2.6.1 目的

在掌握土石流發生及發展之背景條件、流路現況、工程構造物，以及保全對象之類型、分布、數量及危害程度等，以研擬適當之對策，以降低土石流致災之規模和威脅(水保局，2008)。

2.6.2 原則

土石流之調查係依照土石流發生、流動與堆積等機制，規劃設計必要之調查項目及內容，以記錄發生、流動、堆積等區域之特性(水保局，2006)。

2.6.3 方法

在辦理土石流治理規劃設計之前，應展開必要之調查工作，以分析溪流發生土石流之可能性、保全對象危害程度、既有設施之防災能力、二次災害防止等，其主要調查內容包括基本資料蒐集、溪流流路現況調查、橋涵調查、保全對象調查等項目(水保局，2008、2013)，並可參考表 調 2-6-1 填寫，最後彙整為表 調 2-6-2：

一、基本資料：

於室內作業時應蒐集土石流集水區之基本資訊，包括行政區、坐標、地標、曾發生之災害紀錄、溪流特徵(溪流名稱、溪流長度、溪流坡度、集水區面積、潛勢等級)、發生類型、集水區之崩塌面積及崩塌率、土地類別及是否為特定水土保持區等。

二、溪流流路現況調查：

依土石流集水區之發生區、流動區、堆積區(水保局，2013)分別辦理現況調查，記錄土石流集水區之現況有助於瞭解溪流目前及未來發生土石流之潛勢，以及可能發生災害之區段，各區段建議調查內容如下：

(一) 發生區：

常位於陡峻山嶺凹谷或向源侵蝕之前緣，河道較窄淺，常侵蝕成深溝或峽谷而多呈 V 字形，谷壁崩塌的碎屑會大量堆積於此，因此河道底質多為巨石岩塊與大小不一之塊石。發生區之調查應記錄土砂料源、匯流條件、勢能條件、植被種類、植被覆蓋程度等。

(二) 流動區：

河道常較上游稍寬，若曾發生土石流，則河岸多因土石流淘刷而常呈 U 字形，且植被較疏、露出岩盤或土層，溪流底質可能堆積大量岩石、泥砂或漂流木，但亦可能為光滑之裸岩，流動區之調查應記錄土石停積阻塞、溢流氾濫情形、土砂抑止情形、植被種類、植被覆蓋程度等。

(三) 堆積區：

堆積區多為平坦寬廣之河段或由谷口進入平原地區，坡度平緩，底質多為巨石至砂泥混和堆積，且因受搬運及沉積運動影響，而多成為扇形地形。堆積區之調查應記錄土砂貯存及排出之現況。

三、橋涵調查：

記錄各橋涵之通水斷面尺寸、橋涵區位特徵及調查時之沖刷、崩塌、淤埋等現況，瞭解未來可能致災及需改善之區位。

四、保全對象：

依評估之土石流影響範圍調查可能之建物、交通設施、農林用地、其它設施等保全對象之類別與數量，並評估保全對象可能受危害之方式。

2.6.4 應用

根據溪流土石流發生區、流動區、堆積區之現況及保全對象調查結果，分析各區段土石流發生之可能性及其對保全對象之危害程度，以作為後續研擬處理順序、規劃治理策略、辦理防災規劃之依據(水保局，2008)。

2.6.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2006)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「集水區整體調查規劃工作參考手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2013)，「土石流潛勢溪流劃設作業要點」。

表 調 2-6-1 土石流調查表(資料來源：「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

(一)基本資料

溪流屬性	□野溪　□土石流潛勢溪流
行政區	縣(市)　　鄉(鎮)　　村(里)
TWD97 坐標	X：_____　Y：_____　顯著地標：
近期災害發生時間	年　月　日　時　分　資訊來源
□無	發生原因： □集中暴雨；□颱風豪雨(颱風名稱：_____)
溪流特徵	溪流名稱：_____；集水面積：_____ha
	溪流長度：_____m；溪流坡度：_____%；發生潛勢等級：____
發生類型	□溪流型　□坡面型　□其他_____
集水區崩塌	崩塌面積：_____ (m^2)　崩塌率：_____(%)
土地類別 (可複選)	□一般山坡地(_____ha、____%)　□林班地(_____ha、____%) □區外保安林(_____ha、____%)　□平地(_____ha、____%) □其他_____(_____ha、____%)
特定水土保持區	□是　□否

(二)流路兩側現況調查

土石流發生區	土砂料源	近岸崩塌率_____%　；溪床不安定土砂量_____m^3 巨礫群面積_____*ha*
	匯流條件	有效集水區面積_____*ha*
	勢能條件	溪床坡度_____%
	植被種類 (可複選)	□林木　□雜灌木 □雜作　□果樹　□草生地　□竹林　□檳榔 □裸露　□非農業開發地　□其他_____
	植被覆蓋程度	□裸露：無植被，或植被覆蓋率 < 10% □植被稀疏：10% ≦植被覆蓋率< 30% □植被中等稀疏：30% ≦植被覆蓋率 < 80% □植被密集：植被覆蓋率 ≧ 80%
土石流流動區	土石停積阻塞、溢流氾濫	坡度遷緩河段：□無；□有(自___%降至____%) 溪幅展寬河段：□無；□有(自___*m* 擴大至___*m*) 底床高起河段：□無；□有(□人工構造物□底床岩盤) 彎道(>30 度)：□無；□有(處數：_____) 巨石阻塞流路：□無；□有(河幅遮蔽率_____%) 橋涵斷面束縮：□有；□無(處數：_____)
	土砂抑止	河岸保護措施：□無；□完成；□部分完成 防砂固床措施：□無；□完成；□部分完成
	植被種類 (可複選)	□林木　□雜灌木 □雜作　□果樹　□草生地　□竹林　□檳榔 □裸露　□非農業開發地　□其他_____

	植被覆蓋程度	□裸露：無植被，或植被覆蓋率 < 10% □植被稀疏：10% ≦植被覆蓋率< 30% □植被中等稀疏：30% ≦植被覆蓋率 < 80% □植被密集：植被覆蓋率 ≧ 80%
土石流堆積區	土砂貯存及排出	貯砂設施：□無；□有 導流渠道通洪排砂：□足夠；□不足 流路布置：□遠離保全對象(30 公尺以外)；□接近保全對象
現場初估處理順序等級	□極需處理 □優先處理 □計畫處理 □暫緩處理	

(三)橋涵調查

圖上編號：_____ 橋名：_____ 坐標： X：_____ Y：_____	橋涵類型	□橋梁 □箱涵
	規模尺寸	橋梁：長度_____m；寬(高)度_____m；淨高_____m； 落墩數____支；通水斷面寬度_____m；最小淨跨距___m 箱涵：長度_____m；寬(高)度_____m；高度_____m
	區位特徵(可複選)	□分流處 □合流處 □河道轉彎處 □坡度陡變處 □河寬突變處 □其他_____
	現況問題(可複選)	□溪床沖刷 □溪岸崩塌 □淤埋

(四)保全對象

建物	□房舍(含農舍)_____戶 □工廠_____間 □倉庫_____間 □地方信仰中心____處 □學校房舍____間 □其他公共設施：____
交通設施	□無 □橋梁 □道路
農林用地	□旱作地 □水田 □林地 □其他_____ 總計_____公頃
其他	□遊憩設施(溫泉、渡假村、森林遊樂區、公園..)_____處 設施名稱：
保全對象可能危害方式(複選) □無	□淤埋(□屋舍；□道路；□農田；□河道) □撞擊(□河道構造物；□房舍；□橋梁) □堵塞(□河道；□橋梁) □沖刷(□河床；□河岸；□道路) □磨蝕 □溢流 □擠壓 □其它：_____

(五)土石流位置簡圖及現況照片

土石流潛勢溪流位置圖	位置圖需套繪山坡地界址圖
土石流潛勢溪流各點位置圖	
土石流潛勢溪流各點現況照片說明	

表 調 2-6-2 土石流調查彙整表(資料來源：「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

序號	溪流名稱	編號	溪流屬性	近期發生土石流	處理順序等級	橋涵	
						數量	機能缺失

註：處理順序等級(1)極需處理、(2)優先處理、(3)計畫處理、(4)暫緩處理

2.7 野溪調查

2.7.1 目的

野溪係指河川中、上游集水區具有長度短、溪床坡度陡、溪床變動大、溪流水量變化大等特性之自然溪谷。野溪調查目的係為蒐集和瞭解其溪床沖淤、河岸現況、可能致災點位、保全對象及橋涵通洪能力等相關資料，以作爾後治理規劃之依據(水保局，2014)。

2.7.2 原則

調查區位應針對有土砂沖淤激烈、災害嚴重之野溪或經特別指定區位之野溪河段為主(水保局，2008)。

2.7.3 方法

在辦理野溪治理規劃設計之前，應展開必要之調查工作，以記錄各溪段之溪流流向、流幅、沖刷、淤積等資訊，其主要調查內容包括基本資料蒐集、河床沖刷或兩岸淘刷現況、河床淤積抬升現況、橋涵調查、可能溢流區位及保全對象(水保局，2008)，並可參考表 調 2-7-1 填寫，最後彙整為表 調 2-7-2：

一、基本資料：

於室內作業時應蒐集野溪集水區之基本資訊，包括溪流名稱、集水區、行政區、坐標、地標、溪流特徵(集水區面積、溪流長度、溪流坡度)、集水區土地類別等。

二、河床沖刷或兩岸淘刷現況：

包括在水流沖淤激烈河段或兩岸邊坡土體易遭水流淘刷而滑崩之範圍、危害類型(河床沖刷或兩岸淘刷)、河床質分布(砂質型或礫石型)、通水斷面尺寸及現況描述(含兩岸崩塌、構造物基礎及毀損、致災危險性等)。

三、河床淤積抬升現況：

包括坐標範圍、淤積平均高度、河床質分布(砂質型或礫石型)、通水斷面尺寸及現況描述(含通水斷面變化、嚴重程度、土砂清疏建議等)。

四、橋涵調查：

紀錄各橋涵之通水斷面尺寸、橋涵區位特徵及調查時之沖刷、崩塌、淤埋等現況，瞭解未來可能致災及需改善之區位。

五、可能溢流區位及保全對象：

包括溪流可能溢流區位及其地形特徵(如轉彎段、障礙物處、岸坡高度不足、橋梁斷面窄小處等)，並針對可能溢流地點所評估之影響範圍，調查受影響之建物、交通設施、農林用地、設施等保全對象之類別與數量。

2.7.4 應用

藉由野溪沖淤分析(包括淘刷、沖刷或淤積等)瞭解沖淤區位分布、原因、危害程度(如工程構造物有基礎裸露或塌陷之虞、橋涵或束縮斷面通洪能力)，以及橋涵受水流及溪床間之互制影響等，以選定最適宜之治理策略(水保局，2008)。

2.7.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2006)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「集水區整體調查規劃工作參考手冊」。

表 調 2-7-1 野溪調查表(資料來源：「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

一.基本資料

溪流名稱		集水區	
行政區	縣(市)　　鄉(鎮)　　村(里)		
TWD97 坐標	X：_____ Y：_____ 顯著地標：_____ (坐標定位宜位於溪流或(與)主要道路交會處)		
溪流特徵	集水面積：_____ha ；溪流長度：_____m；溪流坡度：_____%；		
集水區土地類別 (可複選)	□一般山坡地(_____ha、____%) □林班地(_____ha、____%) □區外保安林(____ha、____%) □其他_____(_____ha、____%)		

二.河床沖刷或兩岸淘刷現況

圖上編號及起迄坐標	危害類型	河床質分布	現況 通水斷面	現況描述(含兩岸崩塌、構造物基礎及毀損、致災危險性等)
	□河床沖刷 □兩岸淘刷	□砂質型 □礫石型	寬：　m 深：　m	
	□河床沖刷 □兩岸淘刷	□砂質型 □礫石型	寬：　m 深：　m	
	□河床沖刷 □兩岸淘刷	□砂質型 □礫石型	寬：　m 深：　m	

三.河床淤積抬升現況

圖上編號及起迄坐標	淤積平均高度	河床質分布	現況 通水斷面	現況描述(含通水斷面變化、嚴重程度、土砂清疏建議等)
		□砂質型 □礫石型	寬：　　m 深：　　m	
		□砂質型 □礫石型	寬：　　m 深：　　m	
		□砂質型 □礫石型	寬：　　m 深：　　m	

四.橋涵調查

圖上編號：___ 橋名：_____ 坐標： X：_____ Y：_____	橋涵類型	□橋梁 □箱涵
	規模尺寸	橋梁：長度_____*m*；寬(高)度_____*m*；淨高_____*m*； 落墩數____支；通水斷面寬度_____*m*；最小淨跨距___*m* 箱涵：長度_____*m*；寬(高)度_____*m*；高度_____*m*
	區位特徵 (可複選)	□分流處 □合流處 □河道轉彎處 □坡度陡變處 □河寬突變處 □其他_____
	現況問題 (可複選)	□溪床沖刷 □溪岸崩塌 □淤埋

五.可能溢流區位及保全對象

可能溢流區位 □無	可能溢流區位_____處；圖上編號：_____、_____、_____	
	溢流區位地形特徵：(可複選) □轉彎段____處；□障礙物____處；□岸坡高度不足____處 □橋梁斷面____處；□其他_____	
保全對象說明 (距河岸30公尺範圍)	建物	□房舍(含農舍)_____戶　□工廠_____間　□倉庫_____間 □地方信仰中心_____處　□學校房舍_____間 □其他公共設施：_____ 備註：
	交通設施	□無　□橋梁　□道路
	農林用地	□旱作地　□水田　□林地　□其他_____　總計_____公頃
	其他	□遊憩設施(溫泉、渡假村、森林遊樂區、公園..)_____處 設施名稱：

六.野溪位置圖與現況照片

野溪位置圖	
野溪簡圖	
野溪現況照片與說明	

表 調 2-7-2 野溪調查彙整表(資料來源：「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

序號	溪流名稱	集水區面積(ha)	河床沖刷(或淘刷)處數	河床淤積抬升處數	橋涵		可能溢流處數
					數量	機能缺失	

2.8 崩塌地調查

2.8.1 目的

崩塌調查目的係為瞭解崩塌現況，包括崩塌範圍、環境特性、地文及水文特性、發生條件及致災影響範圍等相關資訊，並應能確定其發生的機制，從而提供最有效經濟之防治規劃基礎，詳細之崩塌分類表參閱工程篇崩塌地處理乙節。

2.8.2 原則

崩塌調查一般可分為基本資料蒐集與判讀、現況調查與機制分析等三部分。基本資料蒐集與判讀係在現況調查前，先蒐集之區域地貌、水文、地形與地質等圖資，應儘可能描述或表現該崩塌地之材料、地表特徵、規模與潛在影響範圍，圈繪潛在滑動體，提供人員執行調查工作時，能快速瞭解調查區域整體概況，增進現場調查效率與崩塌機制研判之準確性，並掌握其崩塌地之重要關鍵資訊。現況調查係就崩塌區之地質與地形條件，進行各種地表現象或特徵等調查，以探究崩塌成因與災害機制，並藉此作為災後緊急防治對策擬定基礎。機制分析乃根據現況調查結果及初步推測破壞成因,以利進行後續更詳細之各種地表與地下調查，獲取詳細之水文地質概況與崩塌行為之關聯性，以提供後續整體防治規劃之依據。

2.8.3 方法

一、基本資料蒐集與判讀：

可參酌山崩現地查核作業手冊(經濟部中央地質調查所，2009)內容，針對地質圖、環境地質災害圖、地形圖、遙測影像等進行蒐集。

(一) 地質圖：

利用地質圖上標示之岩層邊界、構造等，依此資料與地形圖及航照圖來輔助解釋與崩塌地之關係。地質圖之內容表示通常以花紋、顏色、和符號來表示該地區之地質情況，通常包含以下要件：(A)地區岩層單位、年代(B)露頭位置與露頭層面位態(C)地質構造線。由於邊坡穩定特性常與地質構造條件息息相關，地質圖判讀項目應包含：(A)地層位態(B)岩層厚度、岩層順序與對比(C)斷層、褶皺方位與種類(D)區域構造型式。常用地質圖資可參閱經濟部中央地質調查所五萬分之一臺灣地質圖幅與說明書、二萬五千分之一環境敏感區

地質圖、中國石油公司十萬分之一地質圖、經濟部中央地質調查所五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖及國內各研究機構與學校之研究成果出版品等。

(二) 環境地質災害圖：

以經濟部中央地質調查所產製之環境地質災害圖為主，該圖資分為坡地環境地質基本圖與坡地環境地質災害敏感區圖資兩種；坡地環境地質基本圖內容包括落石(崩崖、崩崖面及堆積區)、淺層崩塌(崩崖、崩崖面及堆積區)、深層滑動(崩崖、滑動面及堆積區)、順向坡(地形面範圍)、土石流(流動區、堆積區及古沖積扇)、煤礦坑道及採掘區、棄填土區、河岸與向源侵蝕等資料。而坡地環境地質災害敏感區圖資內容則細分為五類：(A)落石敏感區、(B)淺層崩塌敏感區、(C)深層滑動敏感區、(D)順向坡滑動敏感區及(E)土石流敏感區，各類敏感區均分為高、中敏感區，可用以瞭解計畫坡地整體環境狀況，預判潛在災害發生潛勢區分布。

(三) 地形圖：

地形圖最少應包含三項要件：(A)等高線；(B)方向指示(指北針)；(C)比例尺。其中又以等高線之判讀最為重要，該圖資可顯示計畫區域地形起伏，提供山脊與凹谷位置之研判，並可由等高線間距表現出地表切割深度、河谷剖面寬度、水系形態與分水嶺線型分布。常用之地形圖，則以農委會林務局農林航空測量所之 1/5,000 比例尺相片基本圖及內政部國土測繪中心之 1/25,000 比例尺地形圖進行航照分析。而地質構造與受岩性控制之區位，則可配合地質圖交互確認。另於崩塌地地形判釋，一般可由等高線所形成之閉合曲線，觀察形狀中是否存在上緊下疏予以判釋，因頭部滑落崖之坡度通常存在較陡之地貌，導致崩塌地頭部上緣等高線較為密集；而接近坡趾處，則因崩塌材料受擠壓堆積而凸起，等高線表現上將呈現較疏之分布(圖 調 2-8-1)。

關於舊崩塌地地形，可根據渡正亮及小橋澄治(1987)之分類，大致可分為五大類型，其分別為(A).凸狀山脊地形(convex ridge type)、(B).凸狀台地地形(convex plateau type)、(C).凹狀單丘地形(concave hill type)、(D).凹狀多丘地形(concave poly hill type)、(E).凹狀緩斜面地形(concave gentle slope)等五類，如圖 調 2-8-2 所示。於地形圖判釋時若有類似於上述之等高線特徵，進行現場踏勘時應特別小心查驗是否為舊崩塌地。一般而言，凸狀地形大都發生在岩盤或風化岩盤，而凹狀地形多發生於崩積土或黏性土區域。

(四) 遙測影像：

遙測影像應用於崩塌地調查之時機可分為二階段，分別為調查前及調查中階段。調查前主要為利用遙測影像進行關鍵崩塌區位之判釋與邊界數化，以規劃現地調查工作及取得崩塌區位之空間資訊，如崩塌地長度及寬度等資訊。調查中階段則用以查核遙測影像判釋之崩塌地邊界，以協助初步評估崩塌量體。遙測影像判釋崩塌之方法，可參考 Soeters 與 Van Western(1996)研擬之判釋方法進行判別，並區分落石、岩屑崩滑、岩體滑動等崩塌型態，其各別崩塌類型對應之判釋基準原則如表 調 2-8-1 所示。

另依據遙測影像之色調等特性，輔以正射航照進行崩塌判釋，分析計畫區域內災害事件前後之地貌變化，以數化其崩塌地位置。崩塌地判釋流程如下。

1. 影像色調：由於崩塌地區之地表通常呈現裸露或植生稀疏之型態，故可利用光譜特性進行影像增揚處理，將崩塌體與周圍環境的對比拉大，以 SPOT 影像而言，透過色盤的選擇，可將植生色調增揚處理成紅色，而將崩塌處理成藍綠色，以增加其對比效果。
2. 區位準則：在靠近山脊、河谷攻擊坡、與道路人為開發等處均屬較易發生崩塌之區位，在建立崩塌目錄遙測影像判釋時，應對這些區域特別審慎觀查與判斷。
3. 形狀準則：一般對於遙測影像上之長條型、湯匙型、樹枝狀匯集型、河谷旁之三角型或矩型等色調光亮處屬於崩塌的可能性較大，但對於類似「人工田野」(crop fields)之規則狀裸露地則必須審慎觀查，以免發生誤判崩塌之情況。
4. 方向準則：若遙測影像上發現長軸方向與重力方向或邊坡水流方向一致之色調光亮處，即可能為崩塌，必須特別確認。
5. 陰影準則：利用遙測影像的陰影效果可以看出「河谷」與「山脊」，以獲得立體感。經由「河谷」與「山脊」界線之判別，可對於「跨山脊」或「跨河谷」之疑似崩塌處加以判斷其是否為真實崩塌。

二、現況調查：

現況調查應包括地區的氣象、水文、地形與地質等，其中尤以與崩塌發生有關者為要，必須能足夠的描述出崩塌區的表象特徵、範圍及滑動的情況等。現況調查包含室內作業,調查前應先了解崩塌區及鄰近地區之自然及人文環境，蒐集之資料包括地形、地物、地質、土壤、氣象水文、土地利用史、不同時期拍攝之航空照片、文獻報告(專業技術、歷史性刊物等)、報紙新聞、過去發生災害之紀錄及既有之防災措施等。而進行調查時之範圍至少應大於崩塌區所屬之最小集水區及災害區，按崩塌機制、規模、誘因及影響範圍，進行必要之調查。建議之相關調查表如表 調 2-8-2 所示。

(一) 地形、地質調查：

目的為確認資料調查結果與劃分斜坡上之滑動體，野外踏勘(現地勘查)階段之地質調查，係根據地形圖、地質圖及航空照片等判釋結果，赴實地調查地形特性及依據岩層露頭調查岩性、地層位態、斷層構造等地質特性，以瞭解地滑範圍、運動形態、崩落方向等，並詳細劃分各滑動土體之移動單元，以期完成調查區地表地質圖。地滑滑動體的各部名稱詳工程篇崩塌地處理乙節，於現地踏勘中，應於地形圖上標示地滑區各部的位置，如陷落區(冠部、主崩崖、次崩崖等)、隆起位置(前端、趾部等)、張力裂縫、湧水及地面結構物損壞的情形等等，舉凡與地滑有關的表徵，均應包含在內。詳細的地形調查方法可參見 2.1 節，地質調查則可參見 2.2 節。

(二) 植生調查：

調查地滑區內及其附近之植物種類、數量及分布情形，並掌握根系分布特性，藉以瞭解地滑區內之植被特性，同時探討植物對地滑發生之影響。詳細的植生調查可參見 2.10 節。

(三) 水文調查：

調查項目包含：降雨量、流量、地下水位面、地表湧泉、沖刷、地下水滲流等；推估項目包含：洪峰流量、逕流係數、集流時間、集水面積、水文地質及地下水流狀況，此外並應調查地滑區之相關水文災害歷史紀錄。另於現地踏勘中，亦應掌握地下水露頭(沼澤、溼地、泉水、井水、溪流水、伏流水等)、透水層及不透水層的露頭分布性狀。

(四) 地表移動量與構造物調查：

邊坡於不穩定之狀況下，因坡體應力改變、變形或滑動，促使建造於坡體上之構造物開裂，因此可加以監測，以研判邊坡之穩定性。地表部分可採用水準測量或伸縮計測量；結構物部分則可用地盤傾斜計、裂縫計與地錨荷重計等之設置，視現場狀況、擇取適當者施行之。

(五) 調查測線配置：

根據現況調查結果，在該當滑動體之代表位置上設定測線。主測線是調查與穩定分析時所採用之基準線，若僅依主測線進行調查而無法取得充分之資料時，則再增設副測線進行補充調查。

(六) 地球物理探測：

常用之探測方法有：震測法、電探法、井測法、地溫探測、放射性探測、磁力法、重力法。可視現場狀況而擇其數種施行之，然為確保探測成果合理性，在探測線上必須有鑽探資料供作比對解釋，視現場狀況、擇取適當者施行之。。

(七) 鑽探調查：

鑽探位置的選定應由有關的專業技師研判及進行，依現地地形及地層構造，以涵蓋主要的地形且足夠提供地質研判為主，視現場狀況、擇取適當者施行之。崩塌區的鑽孔配置方式可參考圖 調 2-8-2。

(八) 現地試驗：

一般土層以標準貫入試驗(SPT)(礫石土及岩層不適用)、圓錐貫入試驗(CPT)(礫石土及岩層不適用)及十字片剪試驗(FVT)(適用於軟弱黏土)較常使用。平鈑載重試驗、現地直剪、現場抽水試驗或透水試驗等各有其不同調查目的，另外需根據施工方式及現地應力狀態進行長短期試驗，視現場狀況、擇取適當者施行之。現地試驗種類如表 調 2-8-3 所列。

(九) 室內試驗：

可分為土壤及岩石試驗兩部分，分別進行其基本性質及工程性質試驗。對於不同地質條件，仍須依實際地層特性加以考量，試驗規劃應考量現地應力及水文狀態及受工程影響之變動，表 調 2-8-4 列出各種室內試驗項目及其目的。可視現場狀況而擇其數種施行之。

(十) 地下水調查：

地下水調查或試驗種類有地下水位調查、孔隙水壓調查、地下水追蹤試驗、抽水試驗、水質分析、地下水檢層、水平衡調查等，可依現場狀況加以選擇施行之。詳細的地下水調查可參見 2.4 節。

(十一)滑動面與滑動量調查：

地滑或潛移之滑動面與滑動量調查係利用鑽孔以及儀器，來進行滑動面位置與地下滑動量之量測，調查方法與儀器有滑動面測管法、管式應變計、孔內傾斜儀、孔內伸縮儀(滑動面已知)等，應視現地狀況加以選擇施行之。

2.8.4 應用

綜整崩塌調查成果，可深入瞭解崩塌之危害範圍與致災機制，並於釐清崩塌災害之移動物質與破壞方式後，進一步評估降雨或其他外部營力、土砂量體參數、影響範圍與潛在次生災害可能性，並提供爾後硬體工程防治規劃及軟性防減災措施研擬之參考依據。

2.8.5 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

中華民國「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則」，2013 年 11 月 22 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局(1992)，「崩塌地調查與設計手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2002)，「梨山地區地層滑動整治計畫成效評估計畫成果報告」

行政院農業委員會水土保持局(2005)，「水土保持手冊」。

陳信雄(1995)，「崩塌地調查與分析」。

渡正亮，小橋澄治(1987)，「地すべり・斜面災害の予知と対策」，山海堂，東京。

經濟部中央地質調查所(2006)，「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫－坡地環境地質災害調查研究」，經濟部中央地質調查所。

經濟部中央地質調查所(2007)，「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」，經濟部中央地質調查所。

經濟部中央地質調查所(2009)，「地質敏感區災害潛勢評估與監測-都會區周緣坡地山崩潛勢評估(3/4)-山崩現地查核作業手冊」，經濟部中央地質調查所。

經濟部中央地質調查所(2012)，「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置(95~102 年度)-集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫」。

廖瑞堂(2001)，「山坡地護坡工程設計」。

劉進金、翁勳政、黃金鴻、楊明宗(2001)，「豪雨型崩塌地之遙測影像分析」，二十一世紀土木工程技術與管理研討會論文集，pp. C23-C33。

Hoek, E., and Bray, J.W. (1981) Rock Slope Engineering, 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, UK.

Soeters, R., and van Western, C.J. (1996) Landslides: investigation and mitigation, Transportation Research Board Special Report, 247, pp. 129-177.

Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L., 1996, Landslides: Investigation and mitigation: National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., 673 p.

Varnes, D.J., (1978) Slope movement types and processes,Landslides-Analysis and control:National Research Council, Special Report 176, pp. 11-33.

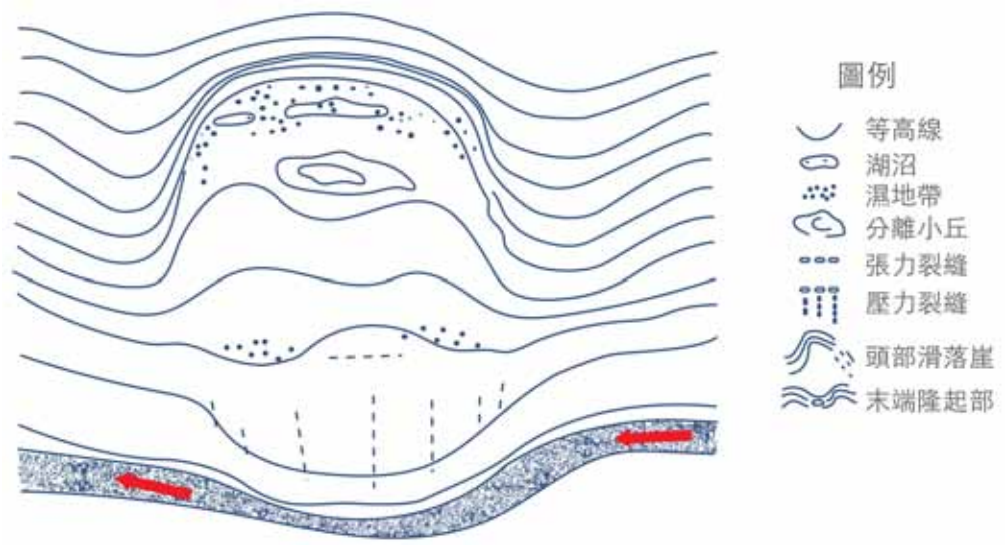


圖 調 2-8-1 一般崩塌地形示意圖(資料來源：渡正亮、小橋澄治，1987)

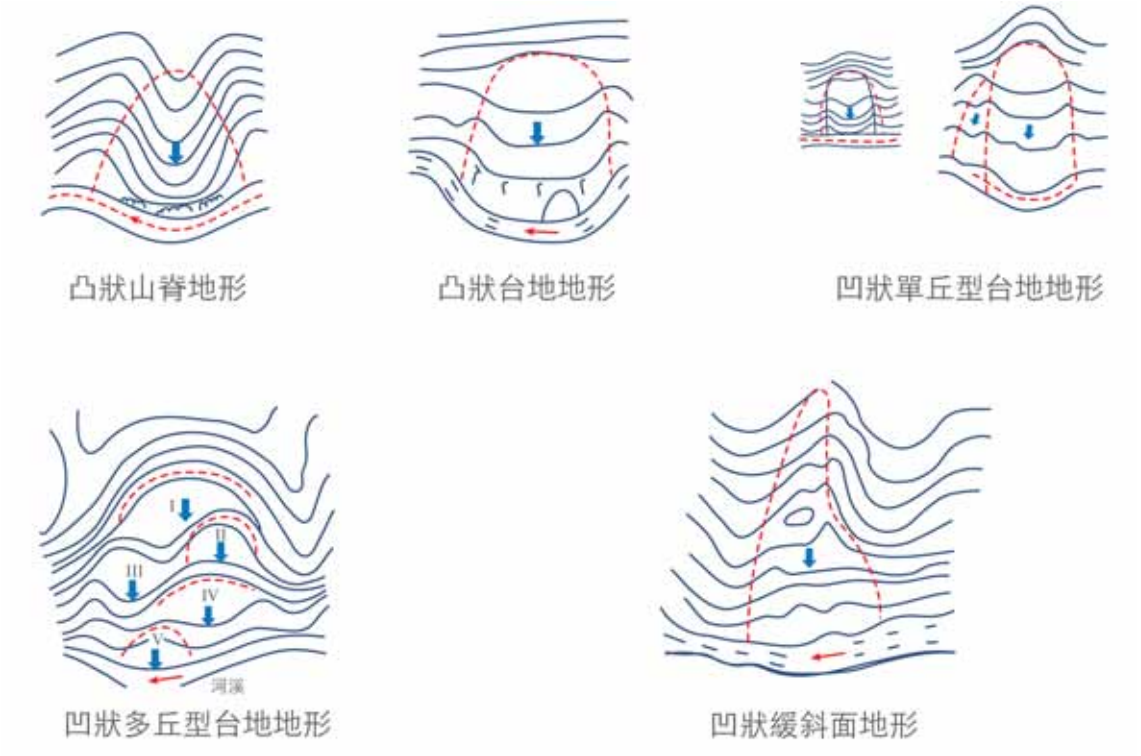


圖 調 2-8-2 崩塌地地形分類(資料來源：渡正亮、小橋澄治，1987)

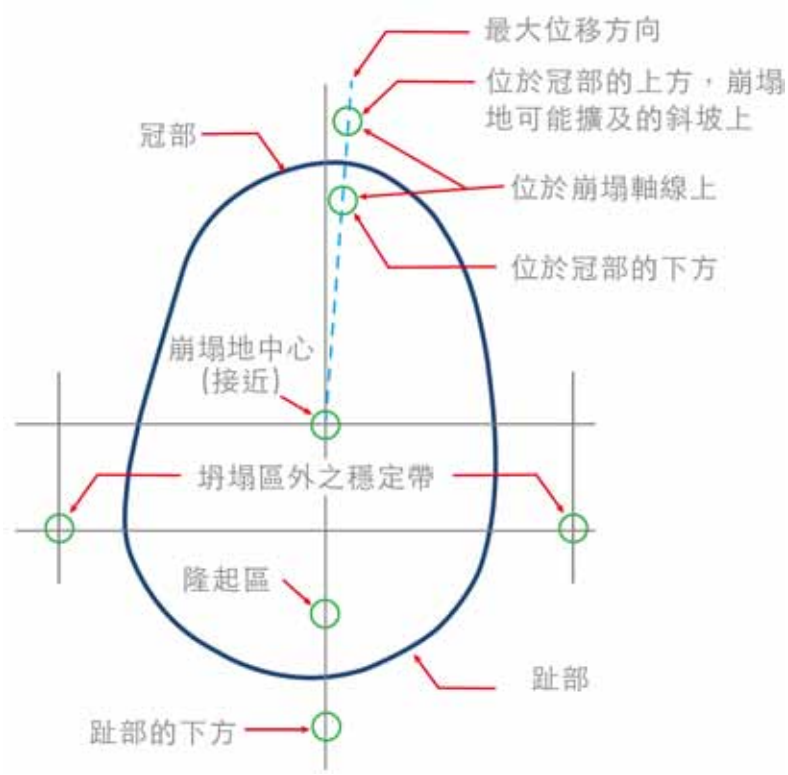


圖 調 2-8-3 崩塌區鑽探調查孔配置示意圖(資料來源：改繪自 Turner and Schuster, 1996)

表 調 2-8-1 崩塌遙測影像判釋基準原則(資料來源：修改自 Soeters and Van Western, 1996)

崩塌類型	地形特徵	植生狀況	排水狀況
落石	一般坡度超過 45 度以上，其岩坡上常見裸露岩盤。亦可見到岩壁或自由面連接約 20~30 度之岩坡或崖錐堆積	沿著落石路徑常見線狀植生痕跡分布，且岩坡上植生密度極低	無具體之特徵
岩屑崩滑	其崩塌面多具平面之特徵；崩塌體深度(D)/長度(L) < 0.1	其源頭區與運動路徑裸露，且崩塌體與周緣植生具明顯之差異	雜亂或樹枝狀水痕常見於崩塌邊緣，且水痕常於趾部偏轉或終止
岩體滑動、地滑 (大規模崩塌)	於地形上常見反凸狀之特徵，其邊界亦具有明顯之雙溝同源特徵；具半月形冠部、反斜崖、圓丘狀堆積等特徵；其崩塌體深度(D)/長度(L)在 0.3~0.1 範圍內，一般坡度分布在 20~40 度之間	崩塌體內與邊界外植生分布相比，具明顯之擾動跡象，但與其它崩塌型態相比，深層崩塌之堆積體上植生密度相對較高	比較崩塌體與未崩壞之邊坡，常見不良之表面排水或水池於反斜崖、坡體或趾部區位附近

表 調 2-8-2 崩塌地調查表(修改自經濟部中央地質調查所，2010；交通部運輸研究所，2012)

日期:　　年　　月　　日

調查位置		行政區			
		空間座標	TWD97 二度分帶座標 X:_____Y:_____		
地形貌	邊坡類型	□土層邊坡□岩層邊坡□礫石層邊坡_____			
	邊坡參數	坡高		坡度	
	邊坡型態	□順向坡　□斜交坡　□正交坡　□逆向坡　□階地崖			
	邊坡滲水情況	□乾燥　□濕潤　□表面水　□湧水			
	崩塌地地形分類	□凸狀山脊地形	□凸狀台地地形	□凹狀單丘型台地地形	
		□凹狀多丘型台地地形	□凹狀緩斜面地形		
	植生狀況	□裸露　□稀疏　□茂密			
	山崩微地形相關	□張力裂縫　□崩崖　□堆積體　□蝕溝			
環境地質狀況	坡地環境地質災害敏感區	□無 □是，敏感區類型: □岩石□淺層崩塌□深層滑動□順向坡滑動□土石流 潛勢等級: □高□中□低			
	坡地環境地質基本圖	□淺層崩塌　□落石　□深層滑動　□土石流　□順向坡			
		□棄填土區　□河岸與向源侵蝕等資料　□煤礦坑道及採掘區			

<table>
<tr><td colspan="2">歷史災害紀錄與現狀</td><td>□災害歷史有
□災害歷史無</td><td>□崩塌新增
□崩塌擴大
□無</td><td colspan="4">平均崩塌深度:_____公尺
崩塌長度:_____公尺
崩塌寬度:_____公尺
崩塌平均面積:_____公尺</td></tr>
<tr><td rowspan="6">地質狀況</td><td rowspan="4">岩性</td><td>□變質岩</td><td colspan="5">□板岩 □片岩 □片麻岩 □大理岩</td></tr>
<tr><td>□沉積岩</td><td colspan="5">□礫岩 □砂岩 □頁岩 □泥岩 □石灰岩 □砂頁互層</td></tr>
<tr><td>□火成岩</td><td colspan="5">□安山岩 □玄武岩 □花崗岩 □凝灰岩 □火山角礫岩</td></tr>
<tr><td>□未固結</td><td colspan="5">□崩積層 □紅土層 □礫石層</td></tr>
<tr><td>有無地質構造經過</td><td colspan="6">□無
□斷層: □正斷層□逆斷層□平移斷層□存疑斷層
□褶皺: □向斜□背斜□複向斜□複背斜</td></tr>
<tr><td rowspan="4">不連續面紀錄</td><td>層面位態</td><td colspan="2"></td><td>劈理位態</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">節裡位態</td><td>第 1 組</td><td></td><td>第 4 組</td><td></td></tr>
<tr><td>第 2 組</td><td></td><td>第 5 組</td><td></td></tr>
<tr><td>第 3 組</td><td></td><td>第 6 組</td><td></td></tr>
</table>

表 調 2-8-3 常用現地試驗種類(資料來源：修改自廖瑞堂，2001)

材料試驗性質		地工材料參數	試驗方法
土壤試驗	強度性質	凝聚力、摩擦角	現場直接剪力試驗
		黏土不排水剪力強度 尖端阻抗、摩擦阻抗 標準貫入試驗 N 值	十字片剪試驗 圓錐貫入試驗 標準貫入試驗
	滲透性	滲透係數	孔內透水試驗 變(定)水頭透水試驗 現場抽水試驗
土壤及岩石試驗	其他	地下水位或水壓	水位觀測井 水壓計
		現地密度或夯實度	砂錐法 核子密度儀
岩石試驗	滲透性	滲透係數	岩層滲漏(Lugeon)試驗
	強度性質	弱面抗剪強度及殘餘強度 凝聚力、摩擦角	現地弱面直剪試驗 現地直剪試驗

表 調 2-8-4 常用室內試驗種類(資料來源：修改自廖瑞堂，2001)

地層種類	試驗種類	試驗參數	適用狀況
土壤	物理性質試驗	含水量、土體單位重、物理性質、液限、塑限，並加以分類	材料基本性質
	不壓密不排水三軸壓縮試驗(UU)	黏土不排水剪力強度	軟弱黏土填方邊坡
	壓密不排水三軸壓縮試驗(CU)	各種土壤之總應力及有效應力強度參數	1．軟弱黏土分階段填土邊坡 2．挖方邊坡
	重模土之三軸試驗	回填土之強度參數	填方邊坡
	夯實試驗	作為回填夯實控制之依據	填方邊坡
	直接剪力試驗	砂性土壤之強度參數	砂性土壤邊坡
	透水試驗	滲透係數	規劃地下抽排水措施
	壓密試驗	土壤壓密特性	應力增加之影響
	環剪試驗	土壤殘餘強度	滑動面及大應變分析
岩石	物理性質試驗	單位重、含水量	材料基本性質
	單軸壓縮強度	岩石無圍壓狀況之破壞強度	概估承載力
	三軸壓縮強度試驗	岩石之強度參數	挖方或填方邊坡
	弱面直接剪力試驗	不連續面(如節理及層面)之強度參數	不同應力歷史狀況下不連續面之抗剪強度
	透水試驗	滲透係數	規劃地下抽排水措施
	消散耐久試驗	岩體抗風化之能力	用以選擇坡面保護工

2.9 農路調查

2.9.1 目的

農路調查目的為掌握農路改善維護之需求，以維農路完整與暢通，避免引發崩塌、地滑及土石流等坡地土砂災害，危及山坡地住民之安全。

2.9.2 原則

農路係指未依公路法管理供以農產及生產資材運輸，由農委會輔建或改善之農用道路(農路養護管理要點)，且非主管機關轄管之編號道路、都市計畫道路、村里聯絡道路、原住民族部落聯絡道路、觀光地區道路、林道及林班地內道路、農地重劃區內等，以及為個人需要、園內道路及私人農場內等(水保局，2016[b])。農路調查原則主要係應就農路路面排水、路基與邊坡穩定等，應視實際需求辦理農路調查工作。

2.9.3 方法

農路調查工作包含室內行前作業、現地調查項目以及現地調查成果彙整等三部分：

一、室內行前作業：

調查前應先蒐集計畫區基本圖資，包含地形圖、航照圖、農路圖冊等圖資，詳表 調 2-9-1 所示。前述圖資可用以查詢農路基本資料，包括農路名稱與編號、行政區等資料，可預先填寫於「農路調查表」，以供農路空間定位及評估作業之參考，詳表 調 2-9-2 所示。

二、現地調查項目：

農路現地調查項目包括基本資料、農路現況以及現況或災害照片三部分：調查位置、路面寬度、路基寬度、跨水構造物、路面型態、路面現況、上邊坡現況、下邊坡現況、排水設施現況、調查點位示意等。

(一) 基本資料：

既有圖資登載有關農路之基本資料，包括農路之名稱、編號、集水區名稱、所屬分局、座落行政區、起訖點坐標、總長度、平均寬度(若有)、以及主要路面型態。

(二) 農路現況：

主要係由現地調查所得，包括調查位置、路面寬度、路基寬度、跨水構造物、路面型態、路面現況、上邊坡現況、下邊坡現況、排水設施現況、調查點位示意圖等。

(三) 現況或災害照片：

農路之現況，或災害引致毀損之照片，併同簡要說明，如坐標、路面型態、損壞情形等內容。

三、現地調查成果彙整：

相關調查結果依表 調 2-9-3 加以彙整

2.9.4 應用

調查結果可提供農路維護與改善之參考，以及提供辦理集水區整體調查規劃於道路水土保持處理與維護需要性之參據。

2.9.5 參考文獻

中華民國「農路設計規範」，2016 年 08 月 19 日修正。

中華民國「農路養護管理要點」，2000 年 01 月 14 日發布/函頒。

行政院農業委員會水土保持局(2010)，「集水區整體調查規劃工作參考手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2013)，「保育治理及農路設施改善工程提報審查作業要點」。

行政院農業委員會水土保持局(2016[b])，「重劃區外緊急農路設施改善(中程)106至 109 年度(第三期)計畫」。

表 調 2-9-1 農路調查資料之權責機關、資料內容及用途

資料項目	權責機關	資料內容	用途
經建版地形圖	內政部國土測繪中心	行政界線、聚落、地(形)貌、植被覆蓋、道路、水系等	標示農路起迄點位。
1/5,000 或 1/10,000 航照圖	林務局農林航空測量所	彩色正射影像圖	標示農路圖層分布、農路毀損及現況調查點位。
1/5,000 或 1/10,000 像片基本圖	林務局農林航空測量所	多色正射影像圖加入道路、水系及等高線等相關資料。	查詢道路、建物及地形貌等分布概況。
非輔(建)農路圖層	各縣市政府	農路、土石流潛勢溪流、都市土地、農地重劃區、林班地	查詢鄰近非輔(建)農路分布概況。
輔(建)農路圖冊	行政院農業委員會水土保持局各分局	農路、土石流潛勢溪流、都市土地、農地重劃區、林班地	查詢鄰近輔(建)農路分布概況。

表 調 2-9-2 農路調查表

調查人員: _____ 調查日期: _____

(一)基本資料

農路名稱編號		集水區名稱		所屬分局	
行政區	縣(市)　　鄉(鎮)　　村(里)				
農路起訖坐標 (TWD97 坐標)	起:X:_____(m) Y:_____(m)		總長度(km)		
	訖:X:_____(m) Y:_____(m)		平均寬度		
主要路面型態	□水泥混凝土(PC) □瀝青混凝土(AC) □級配(碎石) □土質				

(二)農路現況

調查位置	起點(TWD97)X:_____(m) Y:_____ (m);地標(或概略里程): _____ 訖點(TWD97)X:_____(m) Y:_____ (m);地標(或概略里程): _____ 調查長度: _____(m)
路面寬度	□小於 2.5m □2.5~4m □4~5m □5~6m □≥ 6m
路基寬度	□小於 2.5m □2.5~4m □4~5m □5~6m □≥ 6m
跨水構造物	□橋梁/版橋___座　□箱涵___座　□管涵___座 □過水路面___處；坐標(TWD97) X : _____ (m) Y : _____ (m)
路面型態	□水泥混凝土(PC) □瀝青混凝土(AC) □級配(碎石) □土質
路面現況	□無毀損，良好；□龜裂；□破損；□沉陷；□路基掏空；□其他____ 補充說明(劣化區位與量化資訊) : _____

上邊坡現況	□擋土設施(長約____m；有效高約____m)；□排水設施。 現況：□良好；□裂縫；□傾斜；□牆面突出；□混凝土剝落；□其他_____ 補充說明(劣化區位與量化資訊)：_____
下邊坡現況	□擋土設施(長約____m；有效高約____m)；□排水設施。 現況：□良好；□裂縫；□傾斜；□牆面突出；□混凝土剝落；□其他_____ 補充說明(劣化區位與量化資訊)：_____
排水設施現況	□橫向排水溝____公尺，□縱向排水溝____公尺，□截水溝____公尺 現況：□良好；□阻塞；□破損；□機能不足；□其他_____

道路位置圖		各調查點位示意圖	

※ 若無道路圖層或與現場不符時，需沿路標定位置，供以回饋圖層編修作業。

(三)現況或災害照片(每個調查點位至少一張，並簡要說明內容，如坐標、路面型態、損壞情形等)

(現地照片)	(現地照片)
(照片說明) 坐標(TWD97)X：_____ (m)Y：_____ (m)	(照片說明) 坐標(TWD97)X：_____ (m)Y：_____ (m)

(現地照片)	(現地照片)
(照片說明) 坐標(TWD97)X：_____ (m)Y：_____ (m)	(照片說明) 坐標(TWD97)X：_____ (m)Y：_____ (m)
(現地照片)	(現地照片)
(照片說明) 坐標(TWD97)X：_____ (m)Y：_____ (m)	(照片說明) 坐標(TWD97)X：_____ (m)Y：_____ (m)

※ 填表說明：

一、現況概述欄請就農路概況、損壞情形、災情及以往處理情形簡單描述。

二、相關圖片欄位不足時，請自行加附頁。

三、不同農路之調查表應分開填寫(含附頁)。

表 調 2-9-3 農路調查彙整表(資料來源：修改自「集水區整體調查規劃工作參考手冊」，2008)

序號	道路名稱	路面損壞處數	上邊坡損壞處數		下邊坡損壞處數	
			擋土設施	排水系統	排水系統	擋土設施

2.10 植生調查

2.10.1 目的

在瞭解一地區的植物群落概況，推估物種的競爭情形、植物社會可能的演替趨勢與路線，得視需要於規劃、施工、完工等階段辦理，做為未來植物或植物社會變動的參考依據，並供後續水土保持規劃之用 (水保局，2007)。

2.10.2 原則

植生調查應包括定性描述及定量分析。調查區內如具有生態、景觀、保育及學術研究上之重要植物群落，應特別記錄加以保護，調查樣區最小面積如表 調 2-10-1 所示(水保局，2014)。

2.10.3 方法

一般植生調查可分為植物相(flora)調查及植生群落(vegetation association)調查兩部份(水保局，2007)，植物相調查以物種為對象，將某一地區所有植物種類列出清單，並詳細記錄每一物種的族群數量、結構、分布、動態及生育環境等基本資料；而植生群落調查則以植物群落為對象，利用取樣方式，調查某一地區所有植物群落，並記錄每一種植物群落的族群組成、族群結構、族群分布等，以推測各植物群落演替動態及植物群落間的相互關係，如圖 調 2-10-1 所示。

一般進行野外植生群落調查時之過程包括前置作業、野外調查及研究分析三部份。

一、前置作業：

依調查目的、對象及方法，經相關文獻、資料蒐集及現場踏勘後擬定調查計畫。

(一) 相關資料蒐集：

主要之資料蒐集項目為自然環境相關資料、植群調查資料、林相圖及航空照片之資料。

(二) 調查計畫之擬定：

包含現場踏勘計畫擬定、調查樣區位置之選定、訂定調查項目、訂定調查時期及次數等。

(三) 調查工具準備：

如調查用紙、畫板、筆記文具、卷尺、折疊尺、地形圖、植物採集用具、照相機、測量儀器、衛星定位儀器(GPS)、植物相關工具書、望遠鏡(調查地可能包括森林)等。

二、野外調查：

分為植物相調查與植生群落調查。一般於野外常用的植物相調查方法包括穿越線法、沿線調查法、目視記錄法及標本採集法等，而植生群落調查大多採取多樣區法。

(一) 植物相調查：

1. 穿越線法：於調查樣區內先進行勘查並選設若干穿越線，穿越線數可依調查樣區面積之大小、植物社會之多樣性、環境變化幅度或人力資源的充足與否等條件增減。
2. 沿線調查法：於各調查區內沿著現有的公路、林道、產業道路、登山步道、步行小徑等，選定若干調查路線，由調查者沿所設置之路線將兩旁可見到之植物一一記錄。
3. 目視記錄法：凡出現在調查區內之植物經調查者判釋之物種皆一一記錄。
4. 標本採集法：凡出現在調查區內之植物，皆以採集所得之標本作為紀錄。

(二) 植生群落調查：

大多採用多樣區法，選擇地形與植物組成較為均質之林分，設置 20 個 5 m x 5 m 之小區集合為一合成樣區。同時記錄樣區海拔高度、坡度、坡向、土壤等環境因子，並拍攝各種植群及周圍環境，供往後分析時參考。植生群落調查之野外紀錄表範例如表 調 2-10-2 所示。

三、研究分析：

利用植生群落之調查資料，可得知植生群落組成，並製作成各冠層分析圖，亦能求得植物多樣性之相關指數。植生群落分類可依下述步驟進行：

(一) 調查資料表製作

(二) 頻度表製作

(三) 依據表列資料分類之植物種類

(四) 代表種表格製作

(五) 總頻度表製作

(六) 群集歸屬的判定與組成表製作

植生施工後演替過程可透過管理階段促成，如該生態系之變化不盡與預期符合，宜重新檢討工法進行調整。如長期植生演替不如預期或導入植物材料有擾亂自然環境之情形者，則其植生之評價需包括群落特性、景觀生態學等相關參数，以進行分析。

(一) 規劃設計之評估：

1. 植生目標是否適宜(時間規模、空間規模)
2. 計畫內容是否適當(基地整理、植生導入與管理方法等)。
3. 植生基材(含表土之處理)之設計是否合理。
4. 植物之選用是否適宜，是否可能影響當地之生態系。

(二) 供苗與施工階段之評估：

1. 植生材料之產地規格、採取、保存是否合乎規定及按照計畫供給。
2. 是否按照計畫施工，如有變更計畫，是否影響目標進度。
3. 原基地計畫是否與現地相符，有無需檢討植生計畫之相關需求。

(三) 完工後植生調查：

1. 植物材料施工是否達到計畫水準，植生演替是否在控制情況下進行。
2. 植生基礎工程(基地計畫)，是否具備生物棲息環境應有之構造及穩定性。
3. 完工後植物之發芽、成活、成長個數，是否達到原規劃之預定成果。
4. 完工後數個月(一年以內)，應調查植物之成活狀況、入侵種之生育狀況、及相關環境因素(氣象、病蟲害等)。

(四) 生態綠化目標達成率之評估：

1. 生態綠化目標達成率須將植物相、物種組成，植群結構等綜合評估之。
2. 大面積之植生施工地區，需斟酌考量群落入侵演替等之景觀生態特性。
3. 棲地機能調查需包括土壤條件(有效土壤、有機物質、三相分布等)、生態系資源(根域、棲息空間、可用生物或非生物素材等)。
4. 植群效益評估應輔以該區開發前之植群作為對照。包括典型植生群的樹種林齡組成、植被覆蓋率、冠層構造、群落高度或總斷面積等。

2.10.4 應用

透過植生群落調查的資料經統計及分析後，一方面與相關植生群落文獻做比對，進行植生群落分類，區分主要植群型；一方面進行野外評估與測試植群型在植物社會中是否有重現性，以供調查地區植生群落地圖的繪製，可進一步作為景觀植栽設計、景觀生態解說資料、集水區整體治理規劃及植生復育之參考依據(水保局，2007)。

2.10.5 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

行政院農業委員會水土保持局(2007)，「集水區植生群落調查應用手冊」。

表 調 2-10-1 植物分類之調查樣區最小面積(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2007)

分類	樣區面積(平方公尺)
草本層	1~2
低灌木及高草本層	4
高灌木層	16
喬木層	100

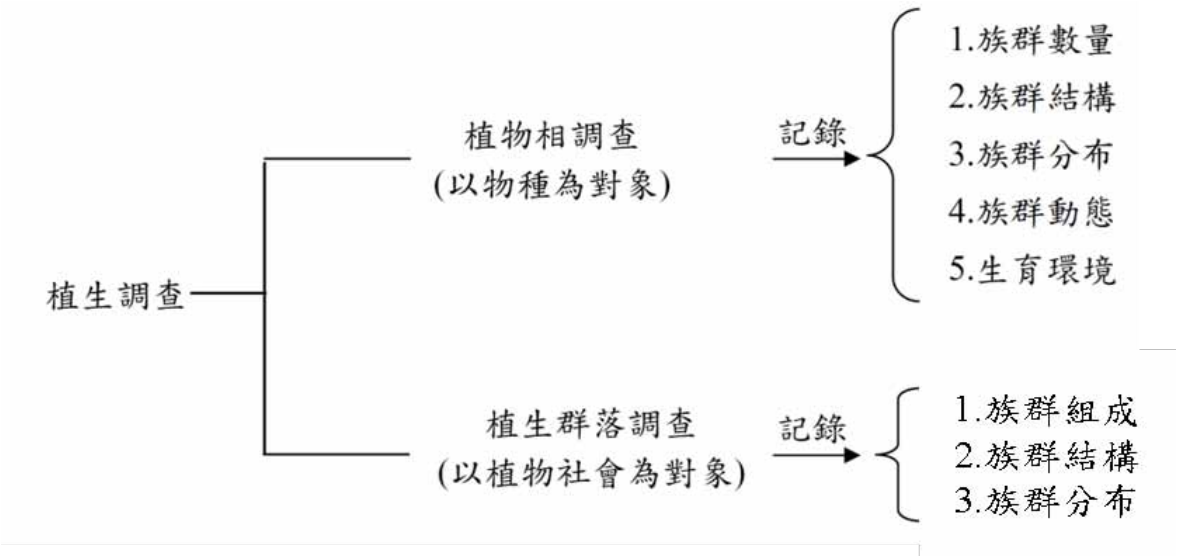


圖 調 2-10-1 植生調查之種類(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2007)

表 調 2-10-2 植生群落調查野外紀錄表(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2007)

<table>
<tr><td colspan="4">調查時間：</td><td colspan="4">調查人員：</td></tr>
<tr><td colspan="4">調查地點：</td><td colspan="4">相片基本編號：</td></tr>
<tr><td colspan="4">樣區編號：</td><td colspan="4">樣區坐標(TWD97)：
X：
Y：</td></tr>
<tr><td colspan="4">樣區長度：</td><td colspan="4">樣區概述：</td></tr>
<tr><td colspan="8">環境特殊描述(包含植被覆蓋情形等)：</td></tr>
<tr><td colspan="4">基本資料(集水區面積等)：</td><td colspan="4">植被剖面圖：</td></tr>
<tr><td colspan="4">植生群落狀況圖(濱水帶)：</td><td colspan="4">備註(稀有、特有或最大優勢植物)：</td></tr>
<tr><td>植物名稱</td><td>編號</td><td>覆蓋長度</td><td>胸高直徑</td><td>豐多度</td><td>頻度</td><td>優勢度</td><td>備註</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">合計</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

註：植物名稱包括陸域、水域、及人工構造物，樣區出現稀有或特有植物需要加註記錄。

2.11 土地利用現況調查

2.11.1 目的

在提供水土保持處理與維護之選擇及水土保持相關設施規劃之依據。透過現況調查可進行林相類別及分布概況、農作物之種類及分布概況、建築基地、裸露地、崩塌地等土地利用類別之分類，亦可得知土地可利用限度分類別及水土保持處理情形(水保局，2014)。

2.11.2 原則

水土保持方面之土地利用資料建置常用之方法係以遙測影像加以判釋為主、實地調查或核對檢視為輔(水保局，2011)。分類項目應適合調查目的及應用，精簡但仍能保留完整性，應包括土地覆蓋(Land Cover)狀況，依不同地表使用予以劃分，可便利未來圖資之快速更新。

2.11.3 方法

一、土地利用類別：

作業流程如圖 調 2-11-1 所示(水保局，2011)。土地利用判釋分類可參照水土保持局 98 年修訂之山坡地土地利用判釋分類，係以兩級方式表示，第一級延續內政部類別及代碼，第二級則以第一級代碼加上英文字母為代碼，如表 調-2-11-1 所示。

現況調查有關之執行方法可再細分為籌劃與準備、參考圖資取得、內業判釋、繪製土地利用圖、外業調繪、土地利用成果圖製作等(水保局，2011)。

(一) 籌劃與準備：

蒐集整理計畫範圍山坡地範圍資料、清查範圍內正射影像數量與品質、工作時程排定。

(二) 參考圖資取得：

除前述正射影像外，視現況調查需要可參考：(1)地籍圖、(2)交通路網圖、(3)國有林事業區範圍、(4)行政區界圖、(5)內政部國土測繪中心國土利用調查成果圖、(6)土地利用成果圖、(7)其他(如：崩塌地)等圖資，取得後需進行精度與坐標一致性之檢核，以確保使用圖資之正確。

(三) 內業判釋：

整合各項圖資，包括不同時期正射影像判釋比對、Google Earth 影像資料庫及照片輔助、及透過 Google Earth 三維顯示地形狀況，及參考土地可利用限度查定等資料協助。

(四) 繪製土地利用圖：

數位化完成後以線(由點組成)所組成之封閉範圍圖檔，轉換為面域之圖形資料，同時建立點、線、面之相互關係，並建立主要資料欄位格式如面積、土地使用型態、土地利用代碼、圖幅編號。

(五) 外業調繪：

內業判釋疑異點位，該無法從航照影像中辨識的土地使用類型部份，則須進行外業實地調繪與圖資修正。外業調查作業流程如圖 調 2-11-2。

(六) 土地利用成果圖製作：

常用之山坡地土地利用分類圖例樣式如表 調 2-11-2 所示，完整之山坡地土地利用示意圖如圖 調 2-11-3 所示。

二、土地可利用限度分類別：

山坡地土地可利用限度分類分級查定基準包括坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質等因子(水保局，2017)。有關坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度之調查方法與定義，詳本篇 2.1、2.3、2.5 節；母岩性質可依土壤下接母岩之性質對植物根系伸展及農機具施作難易決定之，若母岩鬆軟或呈碎礫狀，部分植物根系可伸入其間，農機具可施作者，為軟質母岩；若母岩堅固連接，植物根系無法伸入其間，農機具無法施作者，為硬質母岩。經過調查可將山坡地土地可利用限度分類為(1)宜農、牧地、(2)宜林地，及(3)加強保育地(水保局，2017)。

三、水土保持處理情形：

應調查既有相關水土保持設施與維護情形等資料，如：道路、灌排設施、房舍、墓地及其它公共設施等，登錄及標繪於底圖上，以作為規劃依據。底圖之採用應考量資料精度、圖資取得及人力時間等因素，並應能正確標示各種地物分布位置，且可由圖上計量其數量、長度及面積(國工局，2005)。

2.11.4 應用

透過土地利用現況調查獲得之土地利用類別、土地可利用限度分類別及水土保持處理情形等，各土地利用類別除在 USLE 中對應不同之使用植生覆蓋管理因子，作為山坡地土壤流失量之估算使用外，為因應個別土地利用之水土保持處理需要，可利用既有地形、地籍圖、航空照片判釋，及現場調查作更詳細之分類，再作為山坡地土地使用管理、國土規劃等之基礎資料(水保局，2011)。

2.11.5 參考文獻

中華民國「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017 年 08 月 08 日修訂。

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

交通部臺灣區國道新建工程局(2005)，「國道水土保持設施設置準則及注意事項」。

行政院農業委員會水土保持局(2011)，「全省山坡地土地利用型態調查(第三年)」。

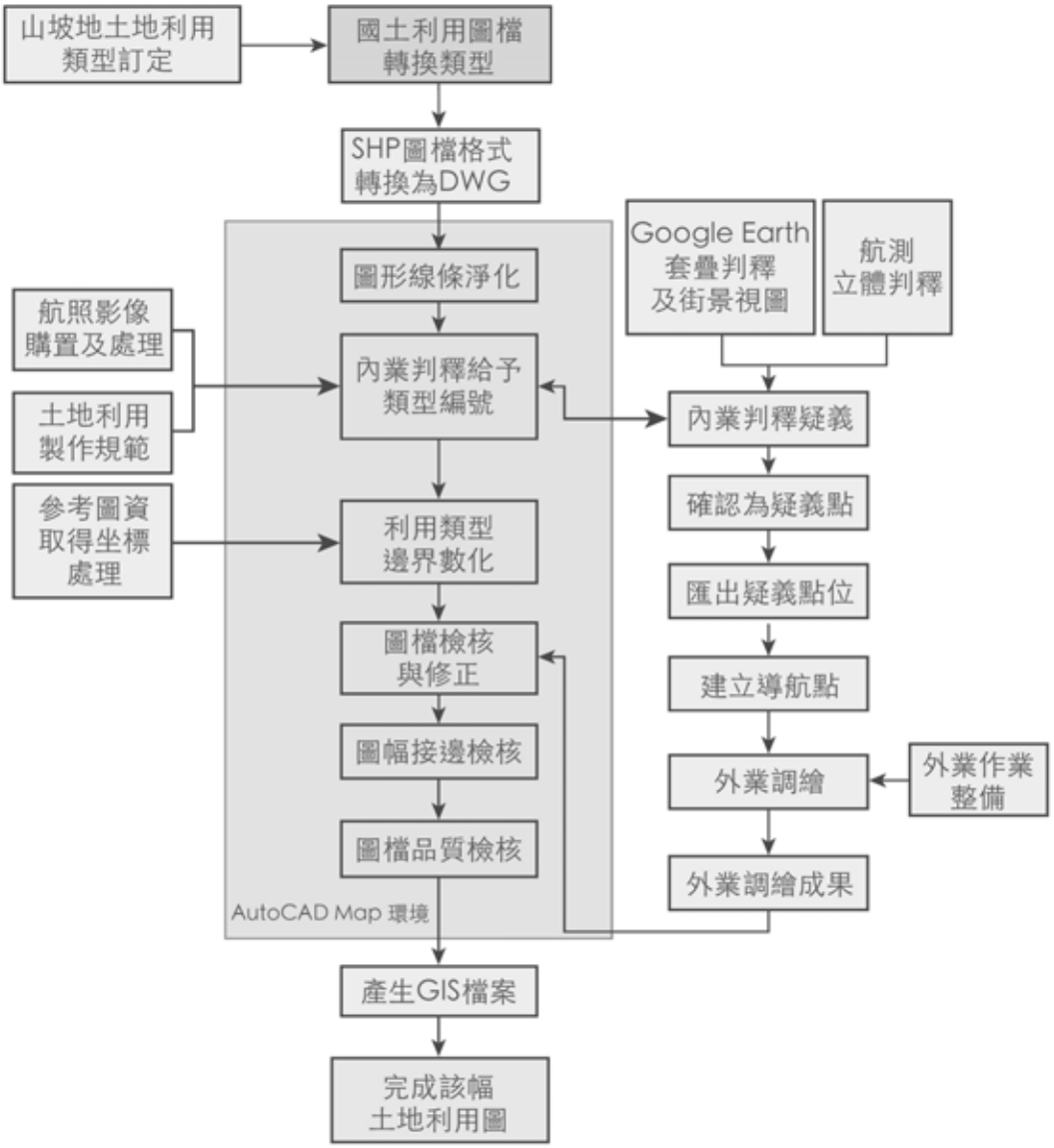


圖 調 2-11-1 山坡地土地利用現況調查更新之作業流程圖(資料來源：水保局，2011)

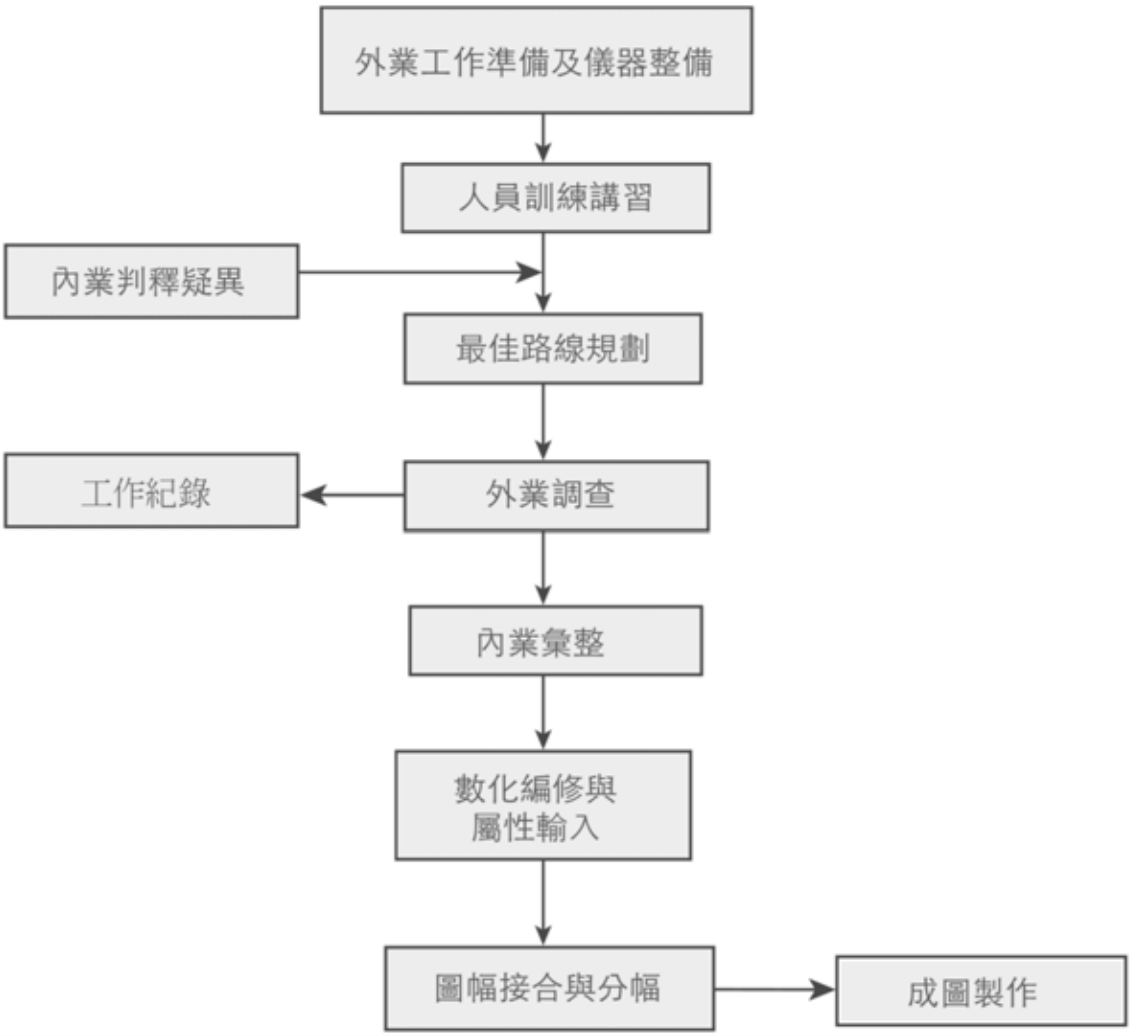


圖 調 2-11-2 山坡地土地利用現況調查外業調繪流程圖(資料來源：水保局，2011)

表 調 2-11-1 山坡地土地利用判釋分類說明表(資料來源：水保局，2011)

第 1 級		第 2 級		說明
類別	代碼	類別	代碼	
農牧用地	1	水田	1A	係指從事稻米栽培之土地。如遇農作作物已收成，尚未栽種其他作物或整地無法分類時，以鄰近之作物為分類原則。間作不視為主要用途
		旱田	1B	係指從事雜糧作物、特用作物及園藝作物栽培以及可種植之裸露地為之。水果類之鳳梨、草莓、百香果等亦歸此類
		檳榔	1C	係指從事檳榔之土地
		茶園	1D	係指從事茶葉栽培之土地
		常綠果樹	1E	指木瓜、印度棗、枇杷、柑桔、香蕉、荔枝、番石榴、椰子、楊桃、蓮霧、龍眼、釋迦、芒果等
		落葉果樹	1F	指李、柿、桃、梅、梨、葡萄、蘋果等
		農業設施	1G	畜禽舍、香菇寮等設施
林業用地	2	闊葉林	2H	係指天然及人工闊葉樹純林，其蓄積或株數至少佔 75%
		針葉林	2I	係指天然及人工闊葉樹純林，其蓄積或株數至少佔 75%
		混淆林	2J	係指天然及人工針、闊葉樹、竹混淆林，其針（或闊）葉樹種蓄積總和或株數總和至少佔 25%以上，75%以下
		竹林	2K	係指各類竹林或竹林佔全林冠 75%以上
		雜木林	2L	係指林相複雜含有許多樹種
交通用地	3	鐵路	3RE	係指鐵路、高鐵使用之路線
		道路	3RO	係指所有道路
		橋梁	3RR	係指公路與河道交叉之橋梁
		交通設施	3R	包括機場、公路車站、鐵路車站、月台、停車場、車輛調度場、車輛檢修場、客貨轉運站、服務區、休息站、監理機構、港口及港口等相關設施
水利用地	4	河道	4RI	係指河川(含護岸)、區排、運河、溝渠(寬度 5M以上)、水道沙洲灘地等
水利用地	4	水庫	4M	係指建立堰壩所形成之水域及其附屬設施
		水池	4N	係指該水域在當地以湖、泊、池、埤、溜、潭、人工湖泊等稱之者

		堤防	4O	包括河堤、海堤、及離岸堤(含消波塊)等
建築及公共設施用地	5	建築區	5P	係指所有建物及政府機關、學校、醫療保健、社會福利設施、公用設施、環保設施等用地。
		墓地	5Q	係指墓地、靈骨塔、公墓則涵蓋相關設施
遊憩用地	6	遊憩景觀區	6S	係指供一般民眾休憩之土地，包括公園、綠地、廣場、花園及相關園藝設施及戶外遊樂場(高爾夫球場、營利性公園、森林樂園、海底樂園、森林遊樂區、露營野餐地、海上樂園、海水浴場等)
礦業用地	7	礦業	7T	包括露天開採金屬礦場、非金屬礦場、石油、天然氣採集場、礦業堆積場及礦業開採設施、附屬設施及其他必要設施
		土石採取場	7U	包括土石採取作業場所、其所需土石堆積場及土石採取場以外之土石加工及其他必要設施
加強保育用地	8	裸露地	8V	係指崩塌地、裸露地等
其他用地	9	緻密草生地	9W	係指目前無栽植農作物及林木枝緻密草生地
		草荒地	9X	係指目前無栽植農作物及林木枝稀疏草生地
		空地	9Y	係指土地空置，如柏油、水泥等舖面

表 調 2-11-2 山坡地土地利用分類圖例樣式表(資料來源：水保局，2011)

第 1 級		第 2 級		圖例	
類別	代碼	類別	代碼	型態(Symbol)	註記 (Label)
農牧用地	1	水田	1A	水田	田
		旱田	1B	旱田	旱
		檳榔	1C	檳榔	檳
		茶園	1D	茶園	茶
		常綠果樹	1E	常綠果樹	果
		落葉果樹	1F	落葉果樹	果
		農業設施	1G	農業設施	農
林業用地	2	闊葉林	2H	闊葉林	闊
		針葉林	2I	針葉林	針
		混淆林	2J	混淆林	混
		竹林	2K	竹林	竹
		雜木林	2L	雜木林	雜
交通用地	3	鐵路	3RE	鐵路	鐵
		道路	3RO	道路	道
		橋梁	3RR	橋梁	橋
		交通設施	3R	交通設施	交
水利用地	4	河流	4RI	河流	河
		水庫	4M	水庫	庫
		水池	4N	水池	池
		堤防	4O	堤防	堤
建築及公共設施用地	5	建築區	5P	建築區	建
		墓地	5Q	墓地	墓
遊憩用地	6	遊憩景觀區	6S	遊憩景觀區	景
礦業用地	7	礦業	7T	礦業	礦
		土石採取場	7U	土石採取場	土
加強保育用地	8	裸露地	8V	裸露地	裸
其他用地	9	緻密草生地	9W	緻密草生地	草
		草荒地	9X	草荒地	荒
		空地	9Y	空地	

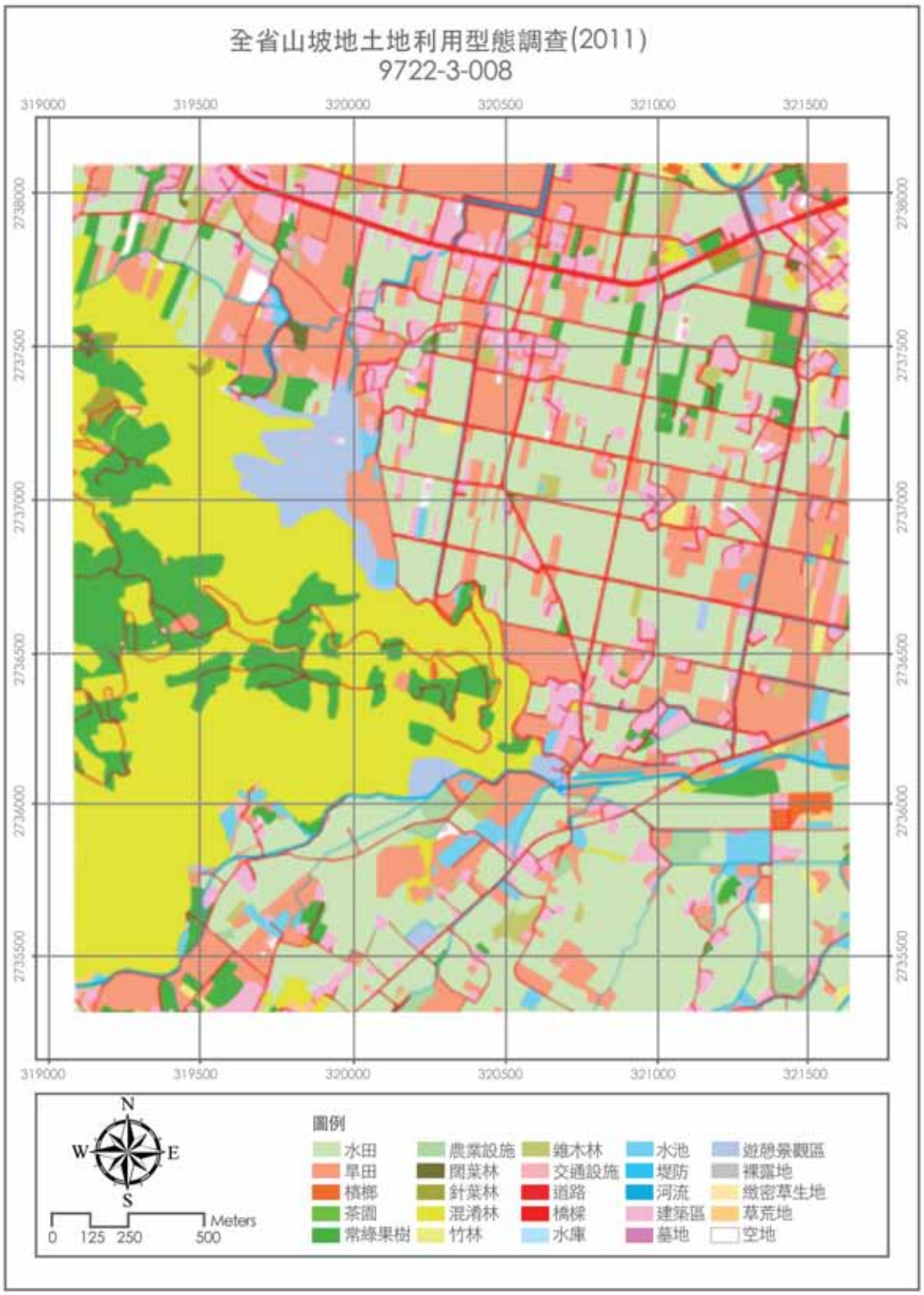


圖 調 2-11-3 單一圖幅山坡地土地利用示意圖(資料來源：水保局，2011)

2.12 河床質調查

2.12.1 目的

為瞭解河床質粒徑材料分布組成及縱斷變化，以研判分析河道特性，並做為水理分析模式之參數計算及泥砂生產量調查之基本依據。

2.12.2 原則

調查包含樣孔粒徑調查及表面粒徑調查兩種，應依河道特性及規模大小辦理採樣。

2.12.3 方法

河床質調查應含樣孔粒徑調查分析及表面粒徑調查分析(調查記錄，詳表 調 2-12-1 至表 調 2-12-3)：

一、採樣孔粒徑調查分析方法：

(一) 河床質採樣：

採樣孔位置選定在沖淤嚴重河段，過去曾受洪水影響之河床面，每一公里調查一處以上。採樣孔至少為一平方公尺之正方形，深度至少六〇公分（如遇岩盤左右移動量測），同時進行野外粗顆粒篩分析，細粒徑以四分法採取樣品攜回室內分析；並記錄採樣孔尺寸，推算採樣體積，記錄最大石徑之尺寸。

(二) 河床質粒徑分析：

1. 野外粗顆粒分析：凡大於標準篩 3/8 吋以上之礫石，分用 1 吋、1/2 吋、3/4 吋及 3/8 吋之方孔篩，於挖掘現場做篩分析，將各篩上停留之礫石分別秤重記錄，大於 3 吋以上之礫石，則直接使用鋼卷尺量其粒徑並秤重，同時記錄各樣孔之最大石徑。
2. 細粒徑分析：通過3/8吋之顆粒，秤總重以四分法檢取約二公斤重之樣品，烘乾秤重，再於室內以標準篩#4、#8、#16、#20、#30、#50、#100、#200號分別做篩分析，將各篩上停留之砂秤重記量，依樣品重與採樣總重之比例，換算各粒徑別之停留重量，再與野外粗顆粒分析結果合併，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率。
3. 粒徑分析：以顆粒分析結果之粒徑別百分率，繪出各採樣孔之顆粒分佈累積曲線，以下列計算式求平均粒徑：

$$D_n = D_i \times P_i \quad (2.12.1)$$

式中

D_n：平均粒徑，單位：mm

D_i：兩相鄰篩號孔徑之幾何平均值，單位：mm

P_i：篩號停留百分率

二、表面粒徑調查分析方法：

(一) 每五百公尺至少取一處為調查之主斷面，再於主斷面上、下游每間距十公尺，另取二個副斷面，合計共五個斷面。

(二) 每一個斷面以等間隔（或整數距離）之測點(半徑零點五公尺)，量測在該測點上之表面粒徑粒徑，每一個斷面以不少於五個測點，測點之間隔不得超過五公尺。

(三) 每一測點量測五公分以上之粒徑，依粒徑大小統計資料繪製粒徑分佈曲線圖。

2.12.4 應用

本調查透過河床粒徑分布範圍及變化，分析計算曼寧粗糙係數，以提供水理演算、土砂收支分析、河床載運移量估算之用，以及集水區整體規劃治理之參據。

2.12.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2010)，「南投縣信義鄉神木地區土砂災害機制歷程調查及潛勢評估分析」。

表 調 2-12-1 採樣孔開挖剖面調查坑剖面記錄(水土保持局，2010)

計畫名稱：_____

調查坑編號：_____試驗編號：_____

調查範圍位置說明：_____

調查範圍中心點坐標：Y_____ X_____（TWD97）

調查坑尺寸：寬x長x深=_____m×_____m×_____m

調 查 者：_____ 日 期：____年____月____日

深度 (cm)	分層組成描述	試坑柱狀剖面圖
____ 20 ____ 40 ____ 60 ____ 80 ____ 100 ____ 120 ____ 140 ____ 160		（開挖面放置標尺或皮尺之照相）
現地記錄照片		
（含開挖前、開挖中、開挖後至少 3 張，以及參與人員、當地街景等）		

表 調 2-12-2 現地篩分析記錄(水土保持局，2010)

計畫名稱：_____

調查坑編號：_____試驗編號：_____

調查坑位置說明：_____

調查範圍中心點坐標：Y_____ X_____（TWD97）

調查坑尺寸：寬x長x深=_____m×_____m×_____m

調 查 者：_____ 日 期：____年____月____日

代 表 性 材 料	篩 尺 寸	採樣位置（深度）			
		m		m	
		（kg）	（%）	（kg）	（%）
	> 12"				
	12" ~ 6"				
	6" ~ 3"				
	3" ~ 1.5"				
	1.5" ~ 3/4"				
	3/4" ~ 1/2"				
	1/2" ~ 3/8"				
	3/8" ~ #4				
	< #4				
總 計					

採樣最大粒徑：_____（cm）

現地紀錄（照片）
（含開挖前、現地篩分析，以及參與人員、當地街景等）

表 調 2-12-3 表面粒徑調查記錄表(水土保持局，2010)

施工計畫名稱：_____

調查坑編號：_____試驗編號：_____

調查範圍位置說明：_____

調查範圍中心點坐標：Y_____ X_____（TWD97）

調查範圍：寬×長=____m×____m

調 查 者：_____ 日 期：___年___月___日

代表性材料	尺寸	數量（顆粒）	長軸 (m)	中軸 (m)	短軸 (m)
現地紀錄（照片）					
(含參與人員、當地街景等)					

2.13 生態評估調查

2.13.1 目的

減輕保育治理工程對生態環境造成的負面影響，以維護集水區生物多樣性資源與棲地環境品質(水保局，2014；水利署，2016)。

2.13.2 原則

生態評估調查為生態檢核之要項，係以文獻蒐集與現地調查之手段，在工程各階段評估可能造成之生態環境衝擊，提出具體之生態保育措施給工程設計與施工單位參考。具體之生態保育與環境友善措施依循迴避、縮小、減輕與補償之優先順序考量與實施(水保局，2014；水利署，2016)。

2.13.3 方法

為記錄及分析生態現況，瞭解施工範圍內的陸水域生態及生態關注區域，生態關注區域係指生態資源豐富或具有生態課題的地理區域，包含法定保護區與文獻及現地調查蒐集之重要生態資訊，作為工程選擇方案及辦理後續生態環境監測之依據，應就工程地點自然環境與治理特性，採取合適之生態調查方法(水利署，2016)。通常採分級評估調查，第一級為地景評估，第二級為棲地快速評估，第三級為密集現地評估，通常建議完成前兩級調查，並由結果評估是否需進行現地密集評估。

常見之第一級評估方式之一為生態關注區域圖繪製，其目的在將生態保育的概念融入工程治理方案，評估工程擾動對生態環境的影響程度，以圖面呈現生態價值高、應予以保全之環境區位，藉以降低工程擾動對自然環境造成之不可逆影響。生態關注區域圖的尺度與繪製原則，依據所探討的生態系功能與應用而有不同，分為大尺度(集水區)全流域考量、中尺度(次集水區)水系完整性考量及小尺度(單一工程)生態保全考量，各尺度之工作目標、工作內容、成果應用如表 調 2-13-1 所示，範例如圖 調 2-13-1 至圖 調 2-13-3 所示(水保局，2013；水利署，2016)。

第二級棲地快速評估為快速綜合評估棲地現況之生態調查方法，常見之評估方法包括河溪棲地評估指標與坡地棲地評估指標。河溪棲地評估指標適用於可涉水通過的野溪環境，其評估指標可分為河溪地形棲地與濱溪植被等兩類，前者包括底棲生物的棲地基質、河床底質包埋度、流速水深組合、沉積物堆積、河道水流狀態、人為河道變化、湍瀨出現頻率與堤岸穩定度等。濱溪植被之評估指標項目包括河岸植生覆蓋狀況及河岸植生帶寬度。坡地棲地評估指標適用於道路邊坡、河溪兩

側等坡地環境，其評估指標項目包括物種豐富度(木本植物覆蓋度)、物種豐多度(植生種數)、原生種族群量(樣區原生種覆蓋度)、植物層次(植物社會層次)及演替序列(演替階段)。

第三級現地密集評估對象若為(關鍵)物種，可參考環境影響評估法之「植物生態評估技術規範」(環保署，2002)及「動物生態評估技術規範」(環保署，2011)，或林務局制定之監測標準作業手冊辦理，若需調查環境因子或生態系功能，可參考濕地保育法之「濕地生態系生物多樣性監測系統標準作業程序」(特生中心，2009)辦理。

2.13.4 應用

生態評估調查併同現場勘查、保育對策研擬等過程與結果應記錄於生態檢核表，並進行生態評析陳述。完整之生態檢核成果應移交給下階段主辦單位，以依據前階段生態保育對策及原則，進行工程設計及施工(水利署，2016；林務局，2017)。

2.13.5 參考文獻

中華民國「動物生態評估技術規範」，2011 年 07 月 12 日修訂。

中華民國「植物生態評估技術規範」，2002 年 03 月 28 日公告。

行政院農業委員會水土保持局(2013)，「工程環境友善措施評估與建議計畫」。

行政院農業委員會水土保持局(2014)，「環境友善措施標準作業書」。

行政院農業委員會林務局(2017)，「國有林治理工程生態友善機制作業程序手冊(初稿)」。

行政院農業委員會特有生物研究保育中心(2009)，「濕地生態系生物多樣性監測系統標準作業程序」。

經濟部水利署(2016)，「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」。

表 調 2-13-1 生態關注區域整合應用方法示意表(資料來源：「水庫集區工程生態檢核執行參考手冊」，2016)

尺度	工作目標	工作內容	成果應用
大	盤點集水區範圍生態資源	蒐集與彙整文獻、圖資分析	集水區分級管理
中	釐清水系擾動的加乘或累積效應	整合學術及民間關注議題	分區治理前期規劃
小	標定個別工程生態保全對象	現勘確認生態保全對象、提出積極保育復育策略	各工程生態保育方案

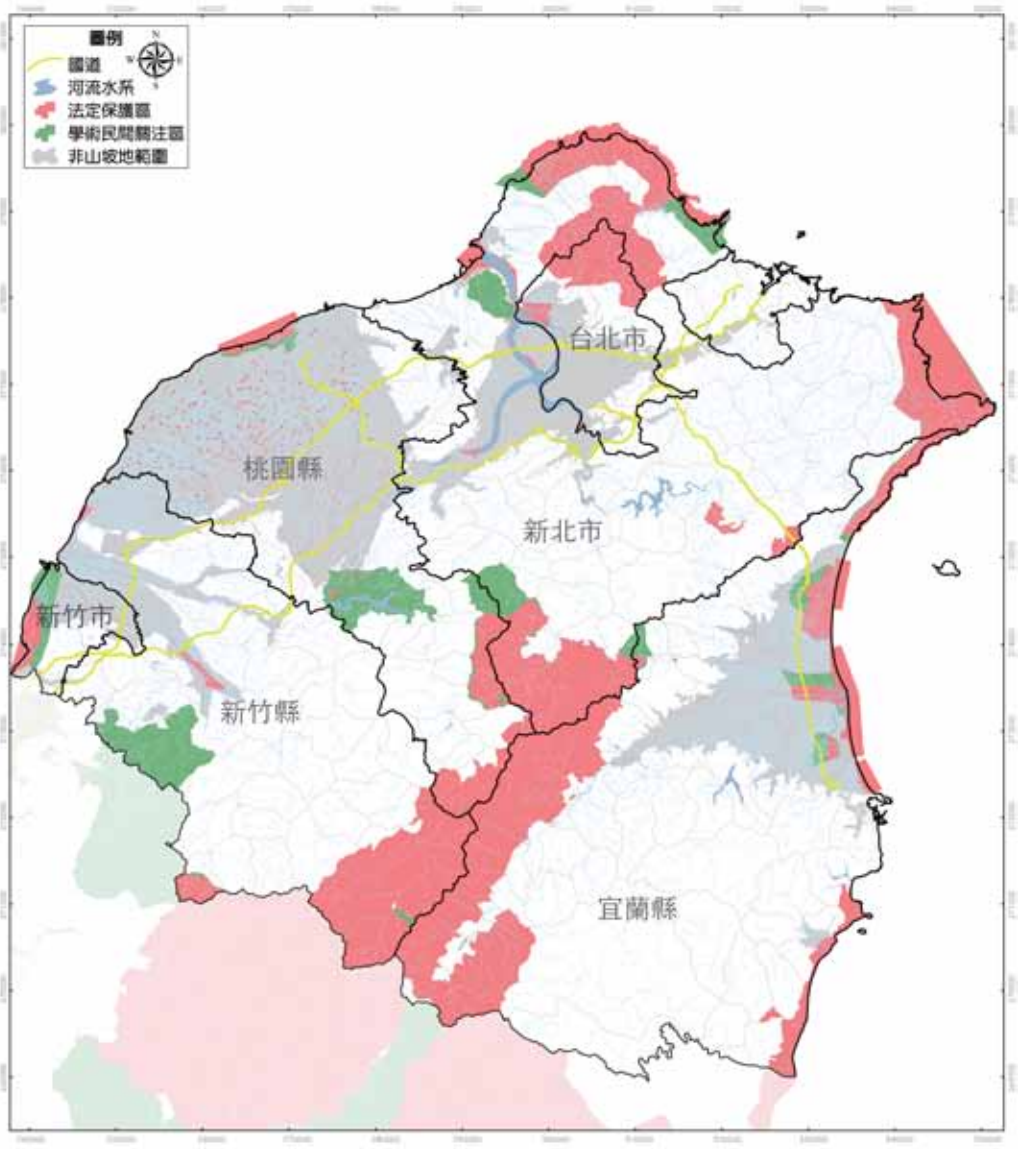


圖 調 2-13-1 大尺度生態關注區域圖(水保局臺北分局轄區)(資料來源：水土保持局，2013)

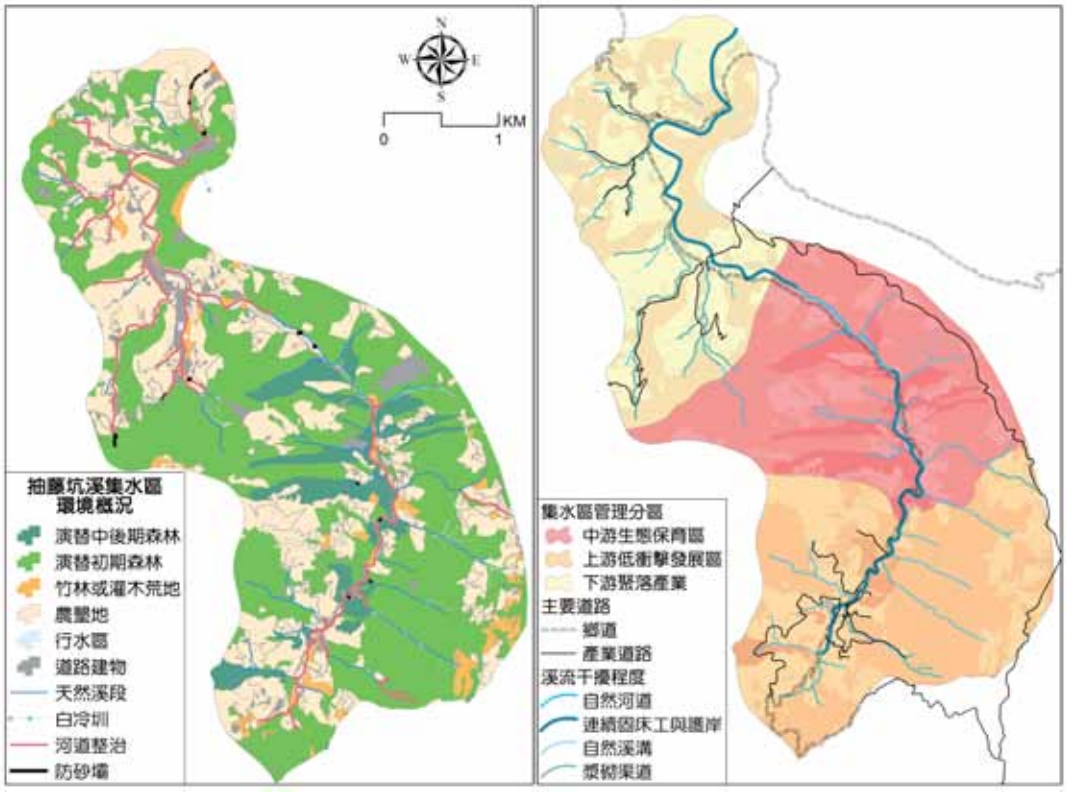


圖 調 2-13-2 中尺度生態關注區域圖(抽藤坑溪集水區)(資料來源：水土保持局，2013)

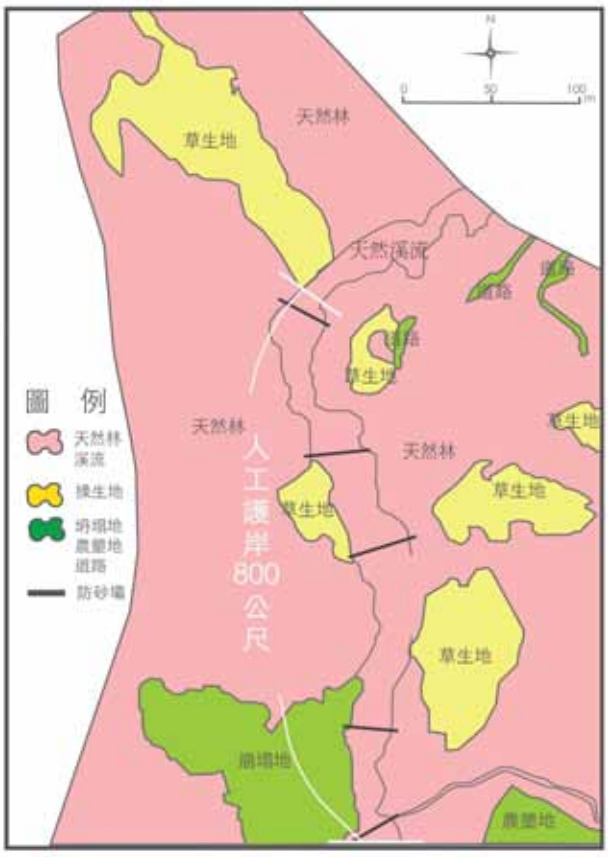


圖 調 2-13-3 小尺度生態關注區域圖(卡拉溪上游土石災害復育工程)(資料來源：「水庫集區工程生態檢核執行參考手冊」，2016)

參、水文水理與泥砂分析

3.1 水文分析

3.1.1 前言

水文分析係指由實測降雨資料選擇適當的分析模型推估在一定重現期下之逕流量。顯然，水文分析涉及了兩個重要的問題：一是實測降雨資料的取得，二是分析模型的選定。前者除了降雨資料的觀測與獲取外，對於雨量紀錄的正確性亦屬重要的環節，這包括雨量紀錄的可靠性分析和補遺方法，以及集水區平均雨量的推估等。

3.1.2 降雨觀測及可靠性分析

水分以各種形式從大氣降落到地面，稱之為降水(precipitation)，其中以水體形式降落者，稱為降雨。它對水文現象的影響很大，尤其是洪水量推估，為一被定期且長期觀測的水文變量。

一、降雨觀測：

降雨計量係以降落在地面上的水體深度表示，常以 mm 為單位。在雨量站、氣象站或水文站等地面觀測站點，用於測量雨量的儀器，稱為雨量計，包括非自記及自記雨量計(hyetometrograph)兩種類型，前者係由一個圓筒形容器和一根有刻度的量尺組成，而後者是以傾斗式為主，如圖 調 3-1-1 所示。本型自記雨量計之量測係通過內部一組不等高之承雨斗承接定量之雨水後，自行下降傾倒並觸發訊號，依觸發次數及時間間距，可以計算降雨量及其與時間之關係。通常雨量計多採用精度 1.0mm 傾斗，上部圓形開口 200mm，20mm 以下雨量量測精度±0.5mm 以內，20mm 以上雨量量測精度±3%以內。

二、雨量站選取：

以雨量測站點雨量值代表集水區(或開發基地)之水文狀況時，必須慎選雨量測站與集水區(或開發基地)之相對位置。一般，選取集水區(或開發基地)內之雨量測站為優先，倘集水區(或開發基地)內無任何雨量測站，則選取與集水區(或開發基地)之地理位置、海拔高度、氣象條件等相近，且紀錄時間較長(至少 15 年以上)之雨量測站進行統計分析。



圖 調 3-1-1 自記式雨量計

三、雨量記錄可靠度分析：

考量雨量站位置因人為疏忽或觀測方法不適當，皆可能導致雨量記錄之誤差，因而在使用雨量資料分析水文問題之初，實有必要採用雙累積曲線法(double mass curve)檢討雨量站記錄之可靠性及一致性，藉以修正雨量記錄。

雙累積曲線法係假設在同一集水區或同一水文氣象條件下，降雨中心所及範圍內，相鄰數雨量站應在相同機率下接收雨量，亦即其中一站接收到降雨時，其餘各站亦同時接收到降雨。這樣，將此相鄰數雨量站視為具有相同降雨環境的群組，任一雨量站的年平均雨量與各站年平均雨量應具有相同的變化趨勢，如圖 調 3-1-2 為雙累積曲線圖。圖中，縱座標為某雨量站歷年年雨量累積值，而橫座標為與該雨量站同一群組歷年各站平均年雨量的累積值(通常均自最近年代反時序累積)，倘若曲線斜率固定不變，表示雨量記錄可靠性高；惟當曲線斜率改變而產生折點時，表示在此點前後之雨量觀測可能存在誤差，必須予以修正，使之成為同一斜率之直線。

雙累積曲線法大多認為目前之紀錄為正確以改正以前之雨量紀錄，修正公式可表為

$$P_{adj} = P_{obs}\frac{S_1}{S_2} \tag{3.1.1}$$

式中，P_{adj}=校正後之雨量；P_{obs}=觀測之雨量；S_1=正確雨量紀錄之斜率；S_2=雨量紀錄有偏差之斜率，如圖 調 3-1-2 所示。

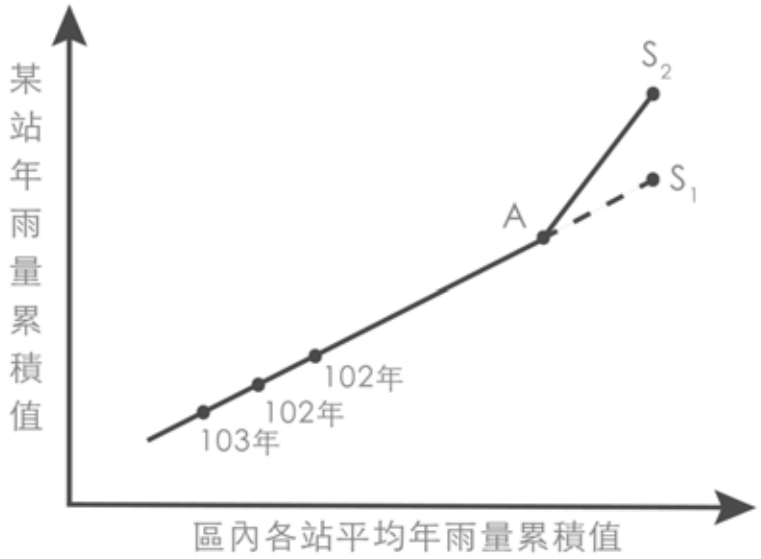


圖 調 3-1-2 雙累積曲線圖

四、雨量記錄補遺方法：

雨量記錄為重要的水文分析資料之一，其完整性是不容忽視的。造成雨量紀錄的不完整或遺漏，主要的原因包括：

(一)人為因素遺失記錄或因事故未能讀取當時雨量記錄。

(二)雨量計機件故障。

因此，當發生雨量記錄遺漏時，必須設法將此遺失的雨量記錄，由附近雨量記錄較完整之各雨量站，以分析方法填補回來。較常用雨量記錄補遺方法有內插法(interpolation method)、標準比例法(normal ratio method)及迴歸法等。如圖 調 3-1-3 為某集水區內設有 A、B、C 及 X 等四雨量站，其中 A、B、C 為雨量記錄完整之雨量站，假設已知各站之年平均雨量分別N_A、N_B、N_C及N_X，且某次暴雨P_A、P_B、P_C皆已知，惟P_X遺失。

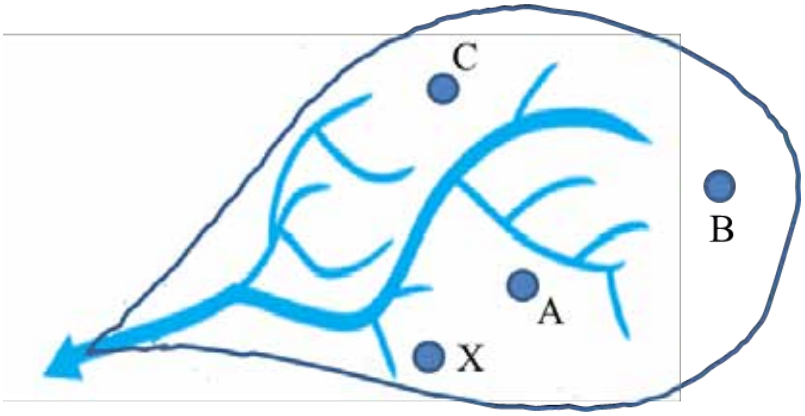


圖 調 3-1-3 集水區雨量站分布示意圖

一、內插法：

如N_A-N_X、N_B-N_X、N_C-N_X皆不超過N_X之 10%者，則可以直接採用內插法推估 X 站某次暴雨所遺失之雨量記錄，即

$$P_X = \frac{1}{3}(P_A + P_B + P_C) \tag{3.1.2}$$

式中，P_X=補遺站之補遺雨量。

二、標準比例法：

如N_A-N_X、N_B-N_X、N_C-N_X任何一組差數超過N_X之 10%者，則必須採用標準比例法，即

$$P_X = \frac{N_X}{n}\sum_{n=1}^{n}(\frac{P_n}{N_n}) \tag{3.1.3}$$

式中，N_X=補遺站有記錄年間之平均雨量；P_n=補遺站擬補遺期間之相鄰測站雨量；n =相鄰測站數；N_n=相鄰各測站有記錄期間之平均雨量。

三、迴歸法：

迴歸法係將補遺站(x 站)與一處相鄰測站(y 站)之相同時間(年、月、旬、日等)雨量逐年點繪於直角座標上，依其分布繪出迴歸曲線，即可求得補遺站所缺漏之雨量記錄，如圖 調 3-1-4 所示。本法係根據同年相同期間之雨量記錄繪製迴歸曲線，如補遺站之觀測資料太少即無法採用，故補遺站至少要有四年以上之雨量記錄。

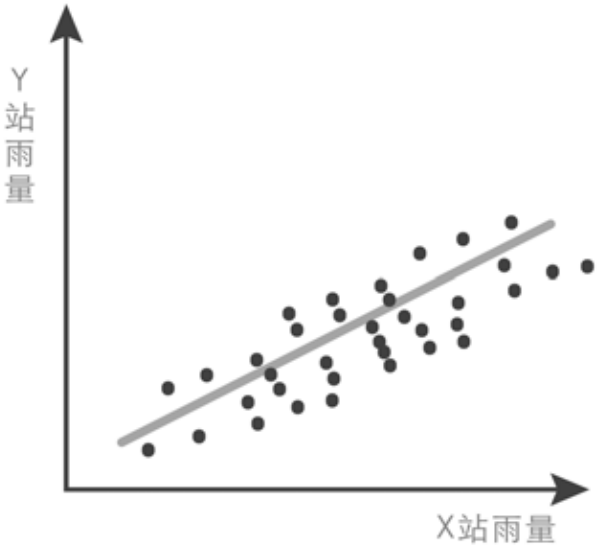


圖 調 3-1-4 迴歸法補遺雨量記錄

3.1.3 降雨時空特性

降雨分析的主要目的，在於把握降雨在不同空間與時間尺度上的分布與變化特性，從而為洪水預警、乾旱預報、水資源評價、雨量警戒等提供有效的訊息。

一、降雨過程的時間變化：

一般，表示雨量紀錄的時間變化，主要是以降雨強度及累積雨量為主。

(一) 降雨強度：

將時段降雨量除以其時段長，可得單位時間的平均降雨量，稱為降雨強度，常以 mm/hr 計。以降雨強度為縱座標時間為橫座標可繪出一場降雨的降雨強度歷線或組體圖，如圖 調 3-1-5 所示。

(二) 累積雨量：

係指一定時間內累計的雨量值，可由降雨強度歷線按時程累加而得，如圖 調 3-1-5 所示。圖中，累積雨量歷線的斜率即為相應的降雨強度。一般演算時通常以 10 分鐘、1 小時、3 小時、6 小時、12 小時、24 小時雨量及日累積雨量等為主。

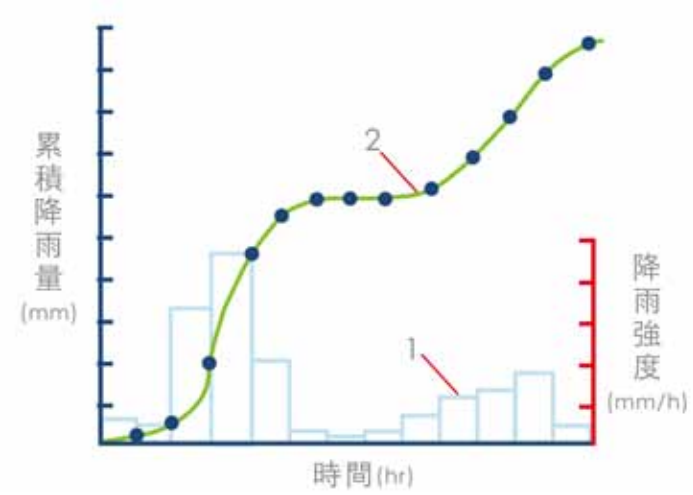


圖 調 3-1-5 降雨時間變化曲線

二、集水區平均雨量：

由於雨量站觀測到的降雨量，僅代表其周圍小面積內之降雨量，故稱為點降雨量。在集水區尺度上進行各種水文分析時，皆須應用集水區平均雨量進行相關的演算，也就是面平均雨量，這可由集水區內各個點降雨量應用以下四種方法推估其平均雨量，力求貼近實際的降雨狀況。

(一) 算術平均法(Arithmetical averaging method)：

係將集水區內各雨量站記錄累加再以其站數除之，可表為

$$\bar{P} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i \qquad (3.1.4)$$

式中，$\bar{P}$=集水區平均雨量(mm)；P_i=第 i 雨量站之平均雨量；n =雨量站數。此方法之優點為快速，適用於地形平坦，雨量變化小之區域。因未考慮雨量站控制範圍、地形變化及雨量站海拔高度等因素，準確性較差。

(二) 徐昇氏多邊形法(Thiessen polygons method)：

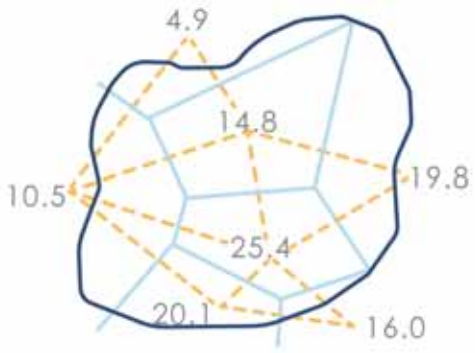
係考量各雨量站雨量觀測的有效範圍(或控制範圍)不同，而將各雨量站所控制的範圍進行面積加權，如圖 調 3-1-6 所示，可表為

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^{n} P_i \frac{A_i}{A} \qquad (3.1.5)$$

式中，A_i=第 i 個雨量站所控制的面積；A =總面積。其計算方法係將n雨量站連接，構成多個三角形，再畫出每一個三角形三邊之垂直平分線，三條

垂直平分線必交於一點，即三角形之外心。

連接各三角形之外心，即可形成 n 個多邊形網(Thi-essen polygons networks)，每個多邊形網內必涵括一個雨量站，而多邊形網面積即為該雨量站所控制之面積。徐昇多邊形法精確度較平均法為佳，惟其仍未考慮地形之變化，且少有彈性，如其中一站遷動，整個多邊形網即得重新繪製，具有拔一髮而動全身之缺點。



觀測降雨量(P_i)	面積權重(A_i/A)	P_iA_i/A
14.8	0.29	4.3
19.5	0.16	3.1
4.9	0.07	0.3
10.5	0.19	2.0
25.4	0.15	3.8
20.1	0.12	2.4
16.0	0.02	0.3
		$\bar{P}$=16.2mm

圖 調 3-1-6 平均雨量計算示意圖

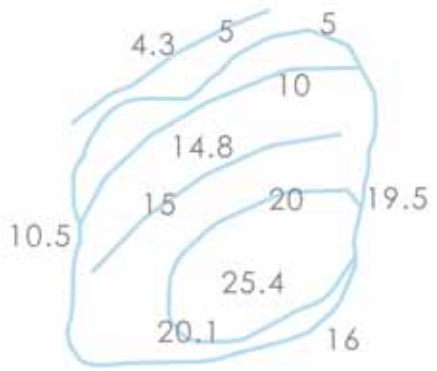
(三) 高度平衡多邊形法(Height-balance polygons method)：

本法多用於地勢崎嶇、山嶺險阻之區域，各雨量站不但經過加權分配，且加以高程之修正。該法為先標明各雨量站之標高，然後連接相鄰兩站，取其標高中點處不一定為該點兩站連接線之中點。接著，連接各標高中點成甚多個三角形，再做各三角形之內角等分線，交於各三角形之內心。連接各內心可圍住一雨量站，此面積即為雨量站所控制之面積。其計算與徐昇多邊形法相同。此法之優點為考慮雨量站之標高及所控制之面積，適合地形崎嶇多變之地區，惟其應用手續繁瑣費時。

(四) 等雨量線法(Isohyetal method)：

為求集水區平均雨量最精確之方法，如圖 調 3-1-7 所示。該法係將不同等雨量線(Isohyets)所圍成之面積 A ，由求積儀(Planimeter)測出，然後乘上該兩等雨量線之平均值，最後累加其總和，再以面積除之；以公式表示可寫為

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{(P_{i-1} + P_i)A_i}{2} \right] / A \qquad (3.1.6)$$



觀測降雨量(P_i)	面積權重(A_i/A)	平均雨量($\bar{P}$)	$\bar{P}A_i/A$
>20	0.3	22.7	6.8
10	0.58	15.0	8.7
5.0	0.12	7.5	0.9
			$\bar{P}$=16.4mm

圖 調 3-1-7 等雨量線平均雨量法

3.1.4 逕流分析

逕流分析係以適當的分析模型推估工程規劃設計中的一定重現期特定延時之洪水，為橋梁、涵洞、護岸、防砂等設施設計的主要依據。一般，分析模型常以分析對象集水區(含開發基地)面積之大小選用之。當集水區面積小於 1,000ha 或集流時間小於 1.0hr 時，一般被歸類為小型集水區；同理，當面積大於 1,000ha 或集流時間大於 1.0hr 者，即屬中、大型集水區。由於位於溪流上游之小型集水區，多欠缺水文站及實測流量資料，而降雨於時間與空間的分布較為均勻，且降雨延時通常大於集流時間，故常以合理化公式法(rational formula method)進行洪峰流量的設計。至於中型集水區以上之洪峰流量演算，因降雨的時變性效應甚為明顯，因而常採用能夠反應時變性降雨強度的方法，如單位歷線法(unit hydrograph method)，而這裡將側重介紹臺灣地區山坡地常用之三角形單位歷線法(triangular unit hydrograph method)。

一、合理化公式法：

合理化公式法為設計都市或公路及小集水區系統而推算洪峰流量，普遍應用於欠缺實測流量之小型集水區中。

(一) 合理化公式：

基於集水區內有效降雨強度不隨時間與空間變化之假定條件下，則在集水區下游特定出口斷面處之設計洪峰流量，可表為

$$Q_p = C\bar{I}A \qquad (3.1.7)$$

式中，Q_p=洪峰流量(peak surface runoff)；C =逕流係數(runoff coeff.)，係反應集水區降雨損失的無因次係數，與地面條件相關；$\bar{I}$ =平均設計降雨強度

(=R_e/t_c)；t_c=集流時間(time of concentration)，從集水區分水嶺最遠點沿主流集流至出口斷面的時間；R_e=在t_c時段內的有效降雨(mm)；A =集水區面積。上式係基於等號左右兩側因次相等的基本特點而謂之合理化公式。合理化公式的基本假設有三：

1.均勻降落於集水區內某已知強度降雨所能產生之洪峰流量，必須是降雨延時(t)等於或大於集流時間(t_c)；換言之，一穩定均勻降雨強度將造成集水區設計出口點之逕流，在集流時間時達到最大流量。

2.推求之洪峰流量與設計降雨強度具有相同之重現期。

3.逕流係數不隨降雨特性而改變，此係數通常決定於集水區地表之不透水程度與入滲容量。

由於合理化公式之計算相當簡單，所以在都市排水及山坡地水土保持工程中廣為使用。但是，如何選定適當的逕流係數及設計降雨強度推估公式，實為應用合理化公式推求洪峰流量的關鍵所在。

(二) 逕流係數：

逕流量與降雨量之比值稱為逕流係數，與集水區面積、形狀、地質、地形、植被覆蓋、土地利用、前期降雨情況等眾多因子相關，難以採用理論方式直接推估。一般，常採以查表方式估計之，如表 調 3-1-1 所示。

表 調 3-1-1 水土保持技術規範之逕流係數(資料來源：水土保持手冊，2005)

集水區狀況	陡峻山地	山嶺區	丘陵地或森林地	平坦耕地	非農業使用
無開發整地區之逕流係數	0.75~.0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
開發整地區整地後之逕流係數	0.95	0.90	0.90	0.85	0.95~1.00

註：開發中之 C 值以 1.0 計算；資料來源：水土保持技術規範，2016

(三) 平均設計降雨強度：

應用合理化公式的另一個關鍵，在於推估特定降雨延時及重現期之平均設計降雨強度。根據降雨強度-延時-頻率公式(intensity-duration-frequency equation, IDF)可表為

$$\mathrm{I} = \frac{cT^m}{(t+b)^k} \tag{3.1.8}$$

式中，I =單位時間降雨量(mm/hr)，即降雨強度；t =降雨延時(min)；a、b、c、m、k =待定常數；T =重現期。通常，降雨強度-延時-頻率公式以採用 Horner 公式為宜，設計時以挑選集水區內或鄰近區域測站近年更新之 Horner 公式為主。惟若缺乏 Horner 降雨強度公式，或集水區欠缺實測資料時，亦可以採用物部公式由日雨量資料推求各延時之降雨強度，即

$$I_t = \frac{r_{24}}{24}\left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} = \frac{1}{24}\left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} r_{24} = C_t r_{24} \tag{3.1.9}$$

式中，I_t= t時間內平均降雨強度(mm/hr)；r_{24}=日雨量(mm)；t =集流時間或洪峰到達時間(hr) ；C_t=係數。上式於降雨延時較小時，C_t值較臺灣一般情形為大，故不宜在較小集水區或集流時間較短中使用(廖培明，1998)。此外，根據水土保持技術規範(2016)提出以集水區年平均降雨量(P)為參數的無因次降雨雨強度公式，即

$$I_t^T = (G + H\log T)\frac{A_x}{(t+B)^{c_x}} I_{60}^{25} \tag{3.1.10}$$

式中， $I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29+0.09}\right)^2$；$A_x = \left(\frac{P}{-189.96+0.31P}\right)^2$；$\mathrm{B} = 55$

$C_x = \left(\frac{P}{-381.71+1.45P}\right)^2$； $\mathrm{G} = \left(\frac{P}{42.89+1.33P}\right)^2$； $\mathrm{H} = \left(\frac{P}{-65.33+1.83P}\right)^2$

式中，P =年平均降雨量(mm)；t =有效降雨延時(min)；T =重現期距(年)；A、B、C、G、H=係數，可依下列原則選用之，即：

1. 當計畫區位於附錄一表列氣象站附近時，前項之年平均降雨量與 A、B、C、G、H 等係數可參考附錄一之各個表單。
2. 當計畫區附近之氣象站只有年平均降雨量，且無 A、B、C、G、H 等係數時，可依前述之計算式分別計算各參數值。
3. 當計畫區附近無任何氣象站時，則從年等雨量線圖查出計畫區之年平均降雨量值，再依計算式分別計算各參數值。

(四) 集流時間：

集流時間(time of concentration)是一種理想化的概念，係指逕流從集水區上最遠的點流到特定出口斷面所需的時間，而最遠的點流到特定出口斷面指的不是距離，是逕流集流的時間(Maidment, 1993)。更恰當的定義應該是，超

滲降雨開始時刻到全集水區的逕流都流到出口斷面處的時刻。基於以上概念，集流時間計算公式可表為

$$t_c = \frac{L}{V} \tag{3.1.11}$$

式中，t_c=集流時間；L =逕流流動長度；V =逕流流速。考量逕流從集水區坡面流至溪流的過程中，水流流速會有很大的變異而影響集流時間的計算，故通常會依流動條件採用分段計算方式，以獲得集水區的總集流時間，即

$$t_c = t_s + t_r + t_y + t_d \tag{3.1.12}$$

式中，t_s=薄層漫地流運行時間；t_r=淺層集中水流運行時間；t_y=管流運行時間；t_d=渠道運行時間。通常，在小型集水區內多簡化為兩種分段，其中由逕流從坡面流入溪流的時間，屬於坡面漫地流段，稱為流入時間(inlet time)；而由溪流最上游流至下游出口的時間，屬於明渠流段，稱為流下時間(travel time)；集流時間即為流下及流入時間之和，即

$$t_c = t_s + t_d \tag{3.1.13}$$

式中，t_s=流入時間；t_d=流下時間。

1.流入時間(t_s)推估

流入時間係指水流由集水區邊界流至排水管或溪流之所需運行時間，與水流流速及流動長度有關。在中、大型集水區，坡面漫地流運行時間所佔的比例相對較小，而在小型集水區中，坡面漫地流則為主要的流動型態。考量坡面漫地流流速受到坡面植被、粗糙度、起伏程度、降雨強度等因素影響，不易以理論方式推估，因而多數簡單地按照坡面植被及坡度直接設定漫地流平均流速約介於 0.3～0.6m/sec 之間。此外，由於坡面漫地流隨著流動距離增加而轉變為淺層集中水流，故必須限制其流動長度；一般，自然坡面上漫地流流動長度不得大於 300m，而開發坡面亦不得大於 100m。因此，流入時間可表為

$$t_s = \frac{\ell_s}{V_s} \tag{3.1.14}$$

2.流下時間推估

流下時間係指從溪流最上游流至下游出口之所需運行時間，屬明渠流(open channel flow)流動型態，與溪流坡度、長度、粗糙度等因素相關，多採經驗或半經驗公式推估之，其中以 Rziha 公式為主。Rziha 公式建議採用以下公式推求水流流速及流下時間，可分別表為(水土保持手冊，2006)

$$V_d = 20(H/\ell_d)^{0.6} \qquad (\mathrm{m/sec}) \tag{3.1.15}$$

$$V_d = 72(H/\ell_d)^{0.6} \qquad (km/hr) \tag{3.1.16}$$

$$t_d = \frac{\ell_d}{V_d} \tag{3.1.17}$$

式中，H=集水區溪流或排水路最上游點至控制點之高程差； =溪流或排水路長度。

3.其他經驗公式

下列經驗公式多具有一定的地域性限制，採用時必須注意其適用性問題。

(1)美國加州公路 Kirpich 公式(1940)(經濟部水利署水利規劃試驗所，2006)

$$t_c = 0.0078\varepsilon L^{0.77} S^{-0.385} \tag{3.1.18}$$

式中，t_c=集流時間(min)；L =流路長度(ft)；S =平均坡度(ft/ft)；ε =修正係數，如表 調 3-1-2 所示。上式係以美國田納西州(Tennessee ,USA)七個鄉村集水區(rural watershed)資料所建立，其中集水區面積介於 0.4~44.8ha，溪流坡度介於 3~10%。不過，上式已廣泛被應用於都市集水區推估漫地流及溪流水流之集流時間，且應用於農業集水區時，其面積可達 80ha 以上。

表 調 3-1-2 Kirpich 公式修正係數

ε 值	說明
1.0	具有明確的渠道漫地流在裸露的地表上流動以及已修剪植被的路側溝渠
2.0	草地上的漫地流
0.4	混凝土或瀝青路面上的漫地流
0.2	混凝土渠道

(2)Bransby-Williams 公式(GEO, 2013)

$$t_c = 0.14465LA^{-.01}S^{-.02} \quad (3.1.19)$$

式中，t_c=集流時間(min)；L =集水區最上游的點至下游出口間的流路長度(m)；A=集水區面積(m^2)；S=平均坡度(m/100m)。根據香港 GEO 研究指出，應用上式推估集水區集流時間往往會有高估的問題。

(3)Papadakis & Kazan 公式(1986)

由美國 22 州 84 個面積小於 5.0km^2鄉村集水區的實測資料獲得

$$t_c = 0.66L^{0.5}n^{0.52}S^{-0.31}I^{-0.38} \quad (3.1.20)$$

式中，t_c=集流時間(hr)；L =流路長度(ft)；S =平均坡度；n = 渠道 Manning's 粗糙係數；I =降雨強度(in/hr)。

(4)Chow, V. T.(1962)

應用於面積介於 0.01~18.5km^2的鄉村區，其坡面介於 0.0051~0.09 之間。

$$t_c = 0.1602L^{0.64}S^{-0.32} \quad (3.1.21)$$

式中，t_c=集流時間(hr)；L =流路長度(km)；S =平均坡度(m/m)。

(5)陳樹群、謝永能公式(2008)

以運動波理論推導之漫地流與渠道流集流時間公式，配合敏感度分析進行簡化，並建立下列公式

$$t_c = 0.8\left(\frac{n_s^2\ell_s^2}{S_s}\right)^{0.3}(1 + kF^{-0.6}) \quad (3.1.22)$$

式中，t_c=集流時間(min)；n_s=漫地流 Manning's 粗糙係數；ℓ_s=漫地流長度(m)；S_s=漫地流坡度；F =集水區形狀係數，為面積與集水區長度平方之比值，即 $F = A/L^2$，當 F 值大時，集水區呈寬胖型，反之，呈狹長型集水區；L =集水區長度；k =地貌係數，介於 0.1~0.4 之間。但若不考慮集水區型態變化，視為單一坡面集流，則 k = 0，上式可簡化為

$$t_c = 0.8(\frac{n_s^2\ell_s^2}{S_s})^{0.3} \quad (3.1.23)$$

二、修正三角形單位歷線法：

三角形單位歷線係假設集水區流量歷線(過程線)呈三角形分布，具有固定的基期，洪峰流量與降雨量成正比例關係，如圖 調 3-1-8 所示。這樣，由三角形面積可得

$$Q_p = \frac{2QA}{T_p + T_r} \tag{3.1.24}$$

式中，Q_p=洪峰流量；Q=總逕流水深；A=集水區面積；T_p=歷線開始至到達洪峰流量時間；T_r=到達洪峰流量時間至歷線終端；T_b=歷線時間基期(=$T_p + T_r$)。當總逕流水深(Q)等於單位有效降雨深度(R_e)(一般取 10mm)，則上式稱之為三角形單位歷線(triangular unit hydrograph)。三角形單位歷線法概念相當簡單，適用於海洋島嶼型小集水區的洪峰流量設計，尤其在欠缺實測資料的上游集水區，更屬重要。

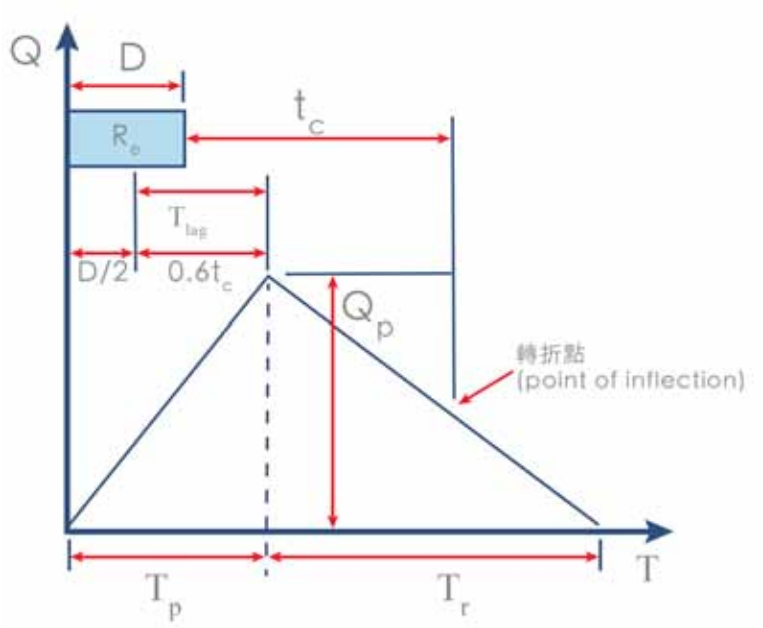


圖 調 3-1-8 三角形單位歷線圖

依圖 調 3-1-8 得知洪峰流量到達時間T_p可以表示為

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag} \tag{3.1.25}$$

式中，D =有效降雨延時(hr)，D ≤ $0.133t_c$；T_{lag}=稽延時間(hr)，表有效降雨中心至洪峰流量到達時間，可表為(Mockus 1957; Simas 1996)

$$T_{lag} = 0.6t_c \tag{3.1.26}$$

式中，t_c=集流時間(hr)，可依前述集流時間相關公式推求之。設$T_r = mT_p$，且 Mockus(1957)提出，m=1.67，則三角形單位歷線洪峰流量及洪峰流量到達時間可分別表為

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot A \cdot R_e}{T_p} \tag{3.1.27}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c \tag{3.1.28}$$

式中，Q_p=洪峰流量(cms)；R_e=單位有效降雨深度(mm)；A =集水區面積(km^2)；T_p=歷線開始至到達洪峰流量時間(hr)。

(一) 洪峰係數修正：

式(3.1.27)中係數 0.208 稱為洪峰係數(peaking factor)，係反應集水區內保留或遲滯水流的能力，與集水區特性相關。根據「美國國家海洋及大氣總署」單位歷線技術手冊建議，針對集水區不同土地利用型態，應修正式(3.1.27)中的係數值，以符合集水區逕流特性，如表 調 3-1-4 所示。

表 調 3-1-4 三角形單位歷線洪峰係數與 m 值修正表(經濟部水利署水利規劃試驗所，2012)

土地使用狀況	洪峰係數	$m = T_r / T_p$
標準 SCS	0.208	1.67
都市地區：陡坡	0.247	1.25
都市與鄉村混合區	0.172	2.25
鄉村：陡坡	0.129	3.33
鄉村：緩坡	0.086	5.5
鄉村：平地	0.043	12.0

(二) 有效降雨延時(D)計算：

由式(3.1.28)得知，有效降雨延時可以由集流時間計算。但是，考量集水區面積較小之實際問題，於是水利署提出了適用於臺灣地區的有效降雨延時的推估方式，並將三角形單位歷線更名為修正三角形單位歷線(Modify Triangular Unit Hydrograph)。其推估方法如表 調 3-1-5 所示。表中，雖然部分

集流時間採用值大於 $0.133t_c$，惟依 Viessman et al.(2003)認為，只要不大於 $0.17t_c$皆屬可容許之範圍。

表 調 3-1-5 有效降雨延時推估(經濟部水利署水利規劃試驗所，2012)

集流時間	$D \le 0.133\,t_c$	採用值(min)
$t_c \ge 6$ hr	>48 min	60
5.0 $\le t_c <$ 6 .0 hr	$40 \le D <$ 48 min	50
4.0 $\le t_c <$ 5.0 hr	$32 \le D <$ 40 min	40
3.0 $\le t_c <$ 4.0 hr	$24 \le D <$ 32 min	30
2.0 $\le t_c <$ 3.0 hr	$16 \le D <$ 24 min	20
1.0 $\le t_c <$ 2.0 hr	$8 \le D <$ 16 min	10
$t_c <$ 1.0 hr	$D <$ 8 min	5

(三) 洪峰流量歷線推求：

使用修正三角形單位歷線推定流量歷線時需配合雨型及推算其時間間距，如果設計雨型時間間距與修正三角形單位歷線之有效降雨延時一致時，修正三角形單位歷線不需再經過 S 歷線轉換，即可配合求得之設計雨型，進行水文設計(規劃設計)或由實際降雨量(集水區演算)推估洪峰流量歷線及其相應之洪峰流量。

1.設計洪水：

水土保持於設計規劃階段(如集水區規劃、土地開發、滯洪設施等)均需要推求集水區或開發基地之設計洪水。一般作法是依據實測水文資料的不同，選擇適當的水文模型進行推求。但是在缺少溪流斷面實測流量，而有比較完整的降雨量觀測資料時，通常會應用單位歷線法等間接方式，由適當之頻率分布推估各重現期特定延時之有效設計暴雨(集水區降雨入滲損失約為 2～4mm/hr)，並結合選定之單位歷線推估設計洪水歷線，而設計洪水歷線之洪峰流量即為設計洪峰流量，其具體參考演算案例，如附錄二所示。

2.集水區逕流演算：

於集水區土砂問題分析時，常需要推估一次性暴雨作用下集水區土砂收支關係及其變化規律，包括土砂生產量、流失量及殘留量間的消長關係。這種暴雨產砂過程的水文分析，皆由實際暴雨結合該集水區之單位歷線，推估其洪水流量歷線及其洪峰流量，其具體參考演算案例，如附錄二所示。

3.1.5 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

陳樹群、謝永能(2008)，集水區型態對集流時間影響之研究，中華水土保持學報, 39(1)： 83-93。

經濟部水利署(2003)，「臺灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析」。

經濟部水利署(2015)，「鳳山溪主流（含支流霄裡溪）治理規劃檢討」。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2012)，「臺灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統平台建立(2/3)」。

廖培明(1998)，「水文調查分析講義」。

Chow, V.T.(1962) Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins. Engineering Experiment Station Bulletin n.462. Urbana, Ill.:University of Illinois College of Engineering, 104 p.

GEO(2013) Review of Methods in Estimating Surface Runoff from Natural Terrain, Geotechnical Engineering Office Report No. 292, Hong Kong.

Kirpich, Z. P.(1940) Time of concentration of small agricultural watersheds, Civil Engrg. (N. Y.), 10(6), pp.362.

Maidment, D. R.(Editor in Chief)(1993) Handbook of hydrology, McGraw Hill, Inc., New York.

Mockus, V.(1957) Use of storm and watershed characteristics in synthetic hydrograph analysis and application. Paper presented at the annual meeting of AGU Pacific Southwest Region.

Papadakis, C., and N. Kazan.(1986) Time of concentration in small rural watersheds. Technical report 101/08/86/CEE. College of Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati, OH.

Simas, M.(1996) Lag time characteristics in small watersheds in the United States. A dissertation submitted to School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, AZ.

Viessman, Warren, Jr., Gary L. Lewis, and John W. Knapp(2003) Introduction to Hydrology, 5rd ed., Harper and Row, N. Y

3.2 水理分析

3.2.1 前言

當地表逕流匯入野溪、坑溝或坡地排水系統之後，受到兩岸固體邊界之範束，使水流被控制在一定的範圍內流動。為此，由水流與固體邊界間所形成的各種流動狀況，選取適當的分析模型推估水流流速、水位、泥砂量、…等變化，謂之水理分析(hydraulic analysis)。

一般，水流依其水理參數沿著流動方向之變化，而有均勻流(uniform flow)及非均勻流(non-uniform flow)之分。均勻流係指當明渠流沿著流動方向各個斷面上的水深、平均流速及其流速分布都不變。但是，自然界的溪流水流是很難形成均勻流的，即便是定型渠道亦不易形成。例如，當溪流有水流沿程流入或流出時，因溪流中流量沿程變化，不可能形成均勻流；再如溪流中粗糙程度沿程改變時，因粗糙程度越大的地方阻力增大，水流流速減小，而粗糙程度越小的地方阻力減小，水流流速則會增大，從而形成非均勻流。此外，溪流中的障礙物，例如固床工、防砂壩、橋墩、…等構造物也會導致非均勻流的產生。不過，為簡化問題起見，一般在分析野溪、坑溝或坡地排水溝渠之水理問題時，可以近似地視為均勻流，以便應用較簡單的均勻流公式(uniform flow equation)，求解其水理參數之近似解，但它與實際狀況還是存在一定的差異。

3.2.2 河溪動床數值模式

溪流為適應上游來水、來砂量及其過程，而以沖刷或淤積形塑新的固體邊界作出調整，其調整規律(含沖淤規模及位置)的定量推估，除了通過野外觀測或物理模型外，常採用河溪動床數值模型，來模擬求解非均勻流況下的水理參數及泥砂沖淤現象。動床數值模型係指以方程式組定量描述特定的物理過程，同時模擬水流、輸砂及溪床在時間與空間上之變化過程，它的主要關鍵在於建立完整的控制方程式和封閉條件以及有效的演算方法。控制方程式包括水流及泥砂的連續方程式和運動方程式，其中水流部分可寫為

水流連續方程

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q \tag{3.2.1}$$

水流運動方程

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{Q}{A}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\beta Q^2}{2A^2}\right)+g\frac{\partial h}{\partial x}+g\left(S_f-S_0\right)=0 \qquad (3.2.2)$$

式中，x=空間座標；t=時間座標；A =通水面積；Q =流量；h=水深；S_0=溪床縱坡；β =動量修正因子；g =重力加速度；q =單位溪長的側向入流流量；S_f=摩擦坡度。式(3.2.2)在水力學上稱之為動力波(dynamic wave)方程，係基於下列假設推導而得，即(1)溪流基本順直和均勻，可視為一維水流流動；(2)水面曲度很小斷面中各點可以按靜水壓力分布考慮；及(3)阻力係數可以利用穩定流阻力公式計算。

從空間的變化來看，在水砂由上游往下游的輸移過程中，水流中粗顆粒泥砂沿程落淤，而細顆粒泥砂則隨著水流向下游輸移，使得泥砂顆粒粒徑逐漸細化，從而表現出泥砂遞移率隨集水區面積的增大而減少的規律。另一方面從時間變化來看，洪水漲落過程造成特定溪段泥砂沖淤隨著時間變化，並在不同的來水來砂條件下引起不同的溪床變形。這種不平衡的輸砂特性可以具體反應溪流範圍內不同位置的沖淤分布，以及各溪段的沖淤變化過程，可表為一維緩變量流輸砂連續方程，即

$$\frac{\partial(\bar{C}_s A)}{\partial t}+(1-\lambda)\frac{\partial A_b}{\partial t}+\frac{\partial Q_s}{\partial x}=q_{is} \qquad (3.2.3)$$

式中，$\bar{C}_s$=包含懸浮載及推移載之平均泥砂體積濃度；A_b=控制體底部以上溪床(不活動部份)之斷面積；Q_s=輸砂率；λ=孔隙率；q_{is}=單位溪長側向泥砂流入率(流入時取為正值，流出時則為負值)。

目前較為普遍使用的河溪動床數值模式有一維定量/變量流水理模式如HEC-RAS、NETSTARS、CCHE1D、SRH1D 等；二維定量/變量流水理模式如CCHE2D、SRH2D、FLO2D 等。原則上，溪流治理區段洪水位之推演皆以一維定量流演算，尤其是野溪一般坡度較為陡峭，其縱向流速遠大於橫向流速，一維定量流演算已足以模擬其水位及底床沖淤變化；彎道、主支流匯流出、瓶頸斷面(如橋梁附近)或急劇變動的局部溪段，因水流流況複雜，本質上具有二維之特性，如須作進一步瞭解時，可採用二維定量流/變量流模式，模擬分析該溪段之水深、流

速、流向等之分布狀況。選用前述水理模式時應進行模式參數的檢定及驗證。

一、一維河溪動床數值模式：

目前比較常用免費商用之一維河溪動床數值模式，以 HEC-RAS、NETSTARS、CCHE1D 及 SRH1D 等為主，如表 調 3-2-1 所示。茲簡述如下：

(一) HEC-RAS 模式：

HEC-RAS 為美國陸軍工程師團水文工程中心(US Army Corps. of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 簡稱 HEC)所發展之河川分析系統(river analysis system)，於 1995 正式公開發行，而國內目前引進較新的版本為 2016 發行之 Version 5.0.1，兼具一維及二維河溪動床模擬功能，惟國內較少使用，目前係以 Version 4.0 一維河溪動床模式為主。

本模式係因應洪水平原管理之需要而發展出來的，用以計算在自然河溪在某一特定流量下的各個不同地點斷面之水位、流速及能量損失，並可以模擬橋梁、涵洞、攔河堰及洪水平原上結構物對水流之影響，亦可應用於洪水平原之管理及河川堤線布置之分析。HEC-RAS 輸砂模組的水理條件演算方式屬於近似非穩定流(Quasi-Unsteady flow)，它是由一系列穩定流模擬的結果所合成的非穩定流水文歷程。輸砂模擬結果主要包含沿程溪床的沖淤變化、斷面間的沖淤變化等。適用於不同重現期洪水設計分析之長期水理輸砂模擬案例。

(二) NETSTARS 模式：

NETSTARS 模式屬於擬似二維沖淤模式，主要可用於模擬河溪與水庫的長、短期洪水演算及底床沖淤模擬。模式的水理演算有四種演算法可以選擇，包含定量流、變量流、迴水演算(甲)以及迴水演算(乙)等四種方式。在輸砂計算方面，模式提供兩種輸砂量之計算方法，一為總輸砂量法，另一為推移質與懸移質分開計算後再合併為總輸砂量法。模式以水理演算及輸砂演算兩個步驟完成底床沖淤的模擬；其中，水理演算可利用逐時的流量及水位記錄來作為邊界條件及進行檢定參數工作。在水理演算得到每一個斷面的流量與水位後，NETSTARS 模式引用了流管(stream Tube)的概念，將河溪橫斷面上劃分若干流管，並依據等輸水能力原則調整各流管的邊界位置，然後在每一流管中再進行輸砂演算。由於每一計算時間會調整橫斷面上各流管邊界的位置，

故可反應出底床沖淤的橫向變化。一般較平緩、變化不劇烈之天然河溪變量流動床模擬皆可適用。

(三) CCHE1D 模式：

CCHE1D 為美國密西西比大學國家計算水科學及工程中心(National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE)發展之一維河溪水理輸砂模式，包含了水理及輸砂模組。在水理模組方面，係求解聖凡南(de Saint Venant)方程式，在忽略風力及科氏力之假設下，滿足流體為不可壓縮及靜水壓分布，採用普利司蒙(Preissmann)四點隱式有限差分法離散控制方程式，利用雙掃法進行求解；同時考量亞臨界流、超臨界流、定量流、變量流等流況，以及適用於迴水及主支流匯流演算。在輸砂模組方面，使用非平衡輸砂模式演算河溪之非平衡輸砂特性，計算淤積與沖刷量，並伴隨著斷面形狀改變、溪床質組成、溪岸沖刷與深水槽變寬等特性。因此本模式可以用來探討集水區及河溪網路模擬、河溪治理及復育、潰壩及其風險分析、水工建造物附近流場、橋墩局部沖刷、岸壁沖刷、泥砂及污染物傳輸等水利工程常見問題。

(四) SRH1D 模式：

SRH1D (Sedimentation and River Hydraulics, one dimensional)為美國墾務局(United States Bureau of Reclamation)所發展之一維水理輸砂模式。本模式適用於天然渠道與人工渠道之水理模擬，具有模擬穩態流或非穩態流場、水工構造物設定、網狀河系、黏性及非黏性沉滓之輸運及側向入流等能力。

在輸砂演算方面，除了滿足輸砂連續方程式，亦提供 17 組輸砂公式選擇。模擬時，先進行水理計算，求得河川斷面相關之水理參數資料，再進行各斷面之輸砂演算，由輸砂公式計算各斷面之輸砂量，然後依據輸砂連續方程式推求各斷面之沖刷或淤積，最後由最小總河川功率法則求得各斷面的沖刷或淤積方向與深度。

在岸壁沖刷方面，模式中提供水上安息角及水下安息角兩參數，在模擬時大於設定安息角即產生側壁崩塌的概念，來進行岸壁沖刷的計算。

表 調 3-2-1 一維數值模式比較表

項目		HEC-RAS	NETSTARS	CCHE1D	SRH1D
發展單位		美國陸軍工兵團水文工程中心	臺灣大學土木系李鴻源博士	美國國家計算水科學中心	美國墾務局
數值方法		標準步推法	隱式普利斯蒙四點差分法	普利斯蒙四點差分法	標準步推法
水理	亞臨界流	○	○	○	○
	超臨界流	○	○	○	○
	定量流	○	○	○	○
	變量流	○	○	○	○
	迴水演算	○	○	○	○
	主支合流	○	○	○	○
輸砂	懸浮載/推移載	○	○	○	╳
	床質級配	○	○	○	○
	護甲作用	○	○	○	○
	非均勻沉滓	○	○	○	○
	凝聚性沉滓	○	○	○	○
	岸壁沖刷輸砂量	╳	╳	○	╳
使用介面		文字編輯器	文字編輯器	圖形化	文字編輯器

二、二維河溪動床數值模式：

目前常見商用之二維河溪動床數值模式，如 CCHE2D、SMS、FLO2D 等，各模式功能如表 調 3-2-2 所示。茲簡述如下：

(一) CCHE2D 模式：

CCHE2D 為美國國家計算水科學中心研發之二維河溪水理輸砂模式。本模式可以應用於實驗室或天然河溪之定量流、變量流、亞臨界、混合流、超臨界流、穩態及非穩態明渠流等流況，模擬複雜之自由液面流、輸砂、水質、污染傳輸等機制，同時模式可也考慮了水工結構物(如壩、堰、閘門等)及植生之影響。在輸砂模組方面，包括非穩定(non-steady)與非均勻(non-uniform)輸砂計算，且可依溪床條件設定為動床(erodible)與非動床(non-erodible)區域；此外，河溪泥砂淤積、沖刷以及護甲現象亦可被模擬。由於泥砂顆粒組成的改變，造成動床糙度的持續變化在模式中也被考量。

(二) FLO2D 模式：

FLO2D 模式為美國科羅拉多大學 FLO2D 淹水模式中，河溪演算之進階版本，具有計算河溪水流動力波與底床變化之功能，採用有限元素法計算水流模組，三角格網可處理複雜河溪之多邊型邊界設定，為國內外常用之商用二維模式。模式具有之功能」包括：(1)二維深度平均動力波方程式；(2)有限元素法求解；(3)模擬穩態及非穩態流；(4)使用三角格網；(5)擬亞臨界流及超臨界流；(6)僅能計算均質之簡單輸砂行為。

(三) SRH2D 模式：

SRH2D(Sedimentation and River Hydraulics, two dimensional)係由美國墾務局所發展之二維河溪水理輸砂模式，能處理二維動態的波動方程式，即水深方向平均的聖凡南(de Saint Venant)方程式，求解包括水面高程，水深度和深度平均速度，並可輸出包括上述數值及福祿數、床底剪應力、臨界沉降粒徑和輸砂能力。本模式適用於亞臨界流、超臨界流、穩態及非穩態流等流況，可用以模擬河溪內之二維輸砂、溫度、植被、淺灘、辮狀河川等變化。就建模能力而言，SRH2D 可以與很多現有的模型結合，例如 RMA-2(美軍工兵團，1996)以及 MIKE21(DHI 軟體，1996)，在格網的要求上也相當具有彈性，包括結構網格、非結構網格及混合網格皆可使用。

表 調 3-2-2 二維輸砂模式功能比較表

比較項目＼模式名稱		FLO2D	CCHE2D	SRH2D
數值理論		有限差分法	隱式有效元素法	顯式法
水理模組	超、亞、混合流	○	○	○
	定量流、變量流	○	○	○
	乾濕點處理	○	○	○
	紊流模式	*k*-ε model	1.Parabolic Eddy viscosity model 2. mixing length model 3. k-ε model	Parabolic model 2.*k*-ε model
輸砂模組	懸浮載與推移載分離	○	○	○
	床質級配	○	○	○
	護甲作用	○	○	○
	非均勻沉滓	○	○	○
	非平衡輸砂	○	○	○
	凝聚性沉滓	╳	○	○
	軟岩沖刷	╳	○	○
	軟岩沖刷機制	～	泥砂磨蝕	1.泥砂磨蝕 2.水力沖蝕機制
幾何處理	格網處理	～	CCHE_MESH、格網延展	SMS_MESH
	主支合流	○	○	○
	格網挖空	○	○	○
	格網變形	○	○	○

3.2.3 曼寧公式

目前在工程界比較廣泛採用之均勻流公式，係以曼寧公式(Manning's formula)為主要。它已普遍運用於水土保持坡地排水和河溪整治工程中，其方程式可寫為

$$\mathrm{V} = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \qquad (3.2.4)$$

式中，V =平均流速(m/sec)；A =通水斷面積(m^2)；R =水力半徑(=A/P；m)；P =潤周長(m)；S_o =底床坡度(無單位)；n =曼寧粗糙係數($m^{1/6}$)。

以矩形斷面的渠道為例(參見圖 調 3-2-1)，水力半徑可表為

$$\mathrm{R} = \frac{Bh}{2h + B} \tag{3.2.5}$$

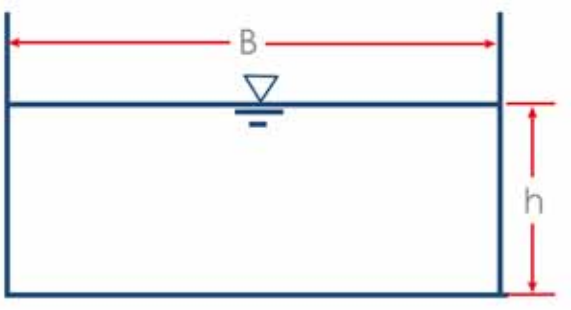


圖 調 3-2-1 矩形斷面渠槽示意圖

式中，B=渠寬；h =水深。對寬廣渠道(或二維渠道)而言，因$\mathrm{B/h} \geq 10$，則上式可簡化為

$$\mathrm{R} \approx \mathrm{h} \tag{3.2.6}$$

故式(3.2.2)可寫為

$$\mathrm{V} = \frac{1}{n} h^{2/3} S_o^{1/2} \tag{3.2.7}$$

根據定量流連續方程式

$$\mathrm{Q} = \mathrm{AV} \tag{3.2.8}$$

可得水流流量為

$$\mathrm{Q} = \frac{A}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \tag{3.2.9}$$

應用曼寧公式進行水力計算時，需根據實際情況來確定其合適之粗糙係數n值。根據曼寧公式得知，粗糙係數 n 是反映與溪流周邊有關影響流速的一個綜合性阻力係數，其大小取決於明渠表面的粗糙程度。嚴格地說，曼寧粗糙係數不僅與人工排水系統溪流表面材料粗糙突起的高度、形狀及分布的不規則性有關，同時受流量的大小和含砂量多寡影響。對於天然溪流，由於溪床的不規則性，實際情況

就更為複雜。因此，選擇粗糙係數必須結合實際情況全面加以考慮。除了按附錄三各種溪床及其兩岸條件選擇合適的粗糙係數外，也有一些經驗公式可供推算天然溪流床面之粗糙係數，通常這類公式都以溪床質粒徑作為主要參數，如表 調 3-2-3 所示。

雖然以曼寧公式只能求解水力問題之近似解，但是對於一些人工排水系統之定型溝渠設計，則具有很大的便利性；即便它在天然河溪的應用上不是很理想，惟亦能提供一些資料作為參考。

曼寧公式在天然河溪之應用係以通洪能力檢算為主。通洪能力檢算為在一已知重現期之入流洪峰流量下，檢算河溪斷面之過流能力及其對各斷面周邊材料可能引起的沖淤情形，進而提供堤岸高度和底床保護措施設計之使用。通常在檢算時，對於河溪斷面之選取應注意以下幾項重點，即：

一、配合溪床質採樣孔粒徑分析之規定，約每 200m～500m 應選取適當斷面進行檢算。

二、遇有斷面突變或彎道時，或兩側具有較低矮之堤岸時，應增設檢算斷面。

三、遇有橋梁或上游已淤滿之防砂壩時，必須檢算其過流能力。

四、以上公式皆屬清水流流況，一般高含砂水流之流量宜加大 10%以上。

五、遇有橋梁時，橋梁通水斷面計算之n值，應依上、下游溪床質條件計算之。

表 調 3-2-3 曼寧粗糙係數經驗公式一覽表(資料修改自：水土保持手冊，2005)

學者	公式	備註
Meyer-peter Muller(1948)	$0.0385\,d_{90}^{1/6}$	d_r =代表粒徑，以公尺(m)計，係指泥沙粒徑組成中 r (%)較之為小之粒徑。通常溪床質代表粒徑是根據採樣孔粒徑分析後所得。
Lane-carlson(1953)	$0.0156\,d_{75}^{1/6}$	
Keulegam(1949)	$0.0238\,d_{90}^{1/6}$	
Einstein(1950)	$0.0132\,d_{65}^{1/6}$	
Strickler(1923)	$0.0389\,d_{50}^{1/6}$	
何黃式	$0.0654\,d_{50}^{1/6}$	

3.2.4 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

經濟部水利署(2013)，「水利工程技術規範～河川治理篇」。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2016)，「臺灣河川輸砂公式建置及應用研究(2/3)」。

農業委員會水土保持局(2008)，「集水區整體調查規劃參考手冊」。

3.3 集水區泥砂侵蝕、流失與生產分析

3.3.1 前言

集水區泥砂的崩蝕(係指各類土壤侵蝕、崩塌及地滑等)、搬運及堆積過程是與時間和空間有關的開放系統。在這個過程中，係由眾多不規則主、支流連接而成的水系，負責輸移從上游至下游沿著流動方向疊加來自坡面和溪谷兩岸之水、砂量體，同時也配合調整適當之斷面形態、底床粒徑組成及坡度，來因應集水區來水量及來砂量之改變；換言之，這個過程是在坡面和溪流載體下進行著水、砂之流失、輸送及生產過程，而水、砂在輸移過程又反過來影響載體的演變特性。因此，集水區泥砂生產過程是由各種不同崩蝕類型和溪流泥砂沖淤所組成的一個極為複雜的過程，它關係著溪流上、下游之間水砂災害的傳遞和平衡問題，是溪流挾砂水流演算不可或缺之關鍵內容。

3.3.2 土壤侵蝕、流失與生產

在土壤侵蝕理論中，土壤侵蝕量(amount of soil erosion)、土壤流失量(amount of soil loss)及泥砂生產量(amount of sediment yield)是一組意義完全不同的術語。土壤侵蝕量(尤指水力侵蝕量)係指在各種外營力作用下，坡面土壤分離位移的總量，而土壤侵蝕量中被輸移離開某一特定坡面或田面的數量，稱為土壤流失量；泥砂生產量則是指輸移至某一流域或集水區特定出口斷面的土砂量(或輸砂量)。例如，大部分坡面地形具有一定的不規則性，使得侵蝕和沉積同時存在，於是在坡面土壤侵蝕量往往不同於坡面下游面的土壤流失量。

以集水區為單元，它係由坡面及溪流兩個地貌單元所組成，基於水、砂輸移在水理上之基本差異，將坡面土壤侵蝕量和崩塌量中輸移匯入溪流的土壤數量，稱之為坡面土壤流失量，而殘留沉積在坡面上未進入溪流的土壤，則不被計入坡面土壤流失量；匯入溪流之後，與水流共同對溪床及兩岸作用而引起之沖淤變化，並攜出特定出口斷面之泥砂數量，謂之泥砂生產量(簡稱產砂量、輸砂量)，如圖 調 3-3-1 為集水區水力侵蝕產砂模型。圖中，集水區泥砂在空間尺度上，係由坡面表土侵蝕量、崩塌量及溪流泥砂沖淤量等所組成，在時間尺度上，則有一次暴雨過程及長期(年)演變之分，如圖 調 3-3-2 所示。

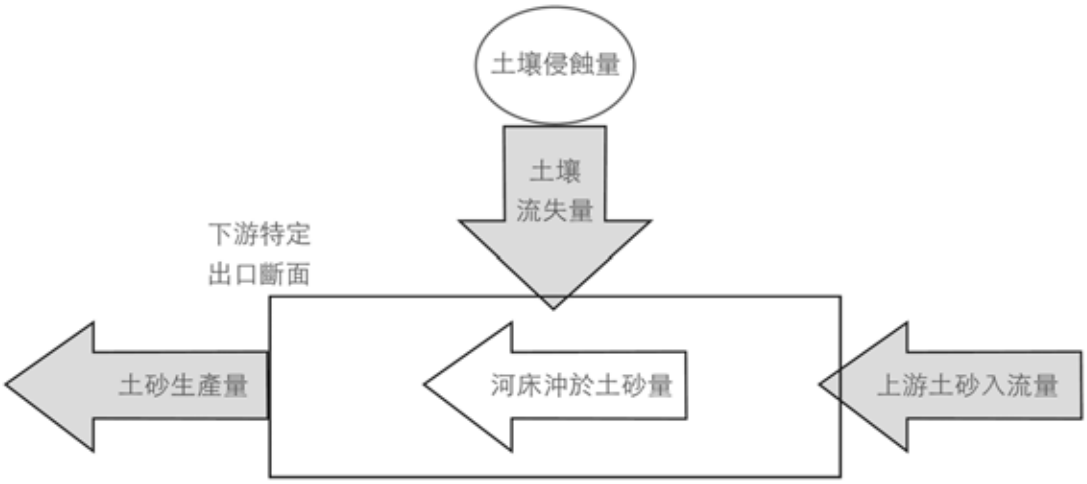


圖 調 3-3-1 集水區水力侵蝕產砂模型示意圖(修改自：連惠邦，2017)

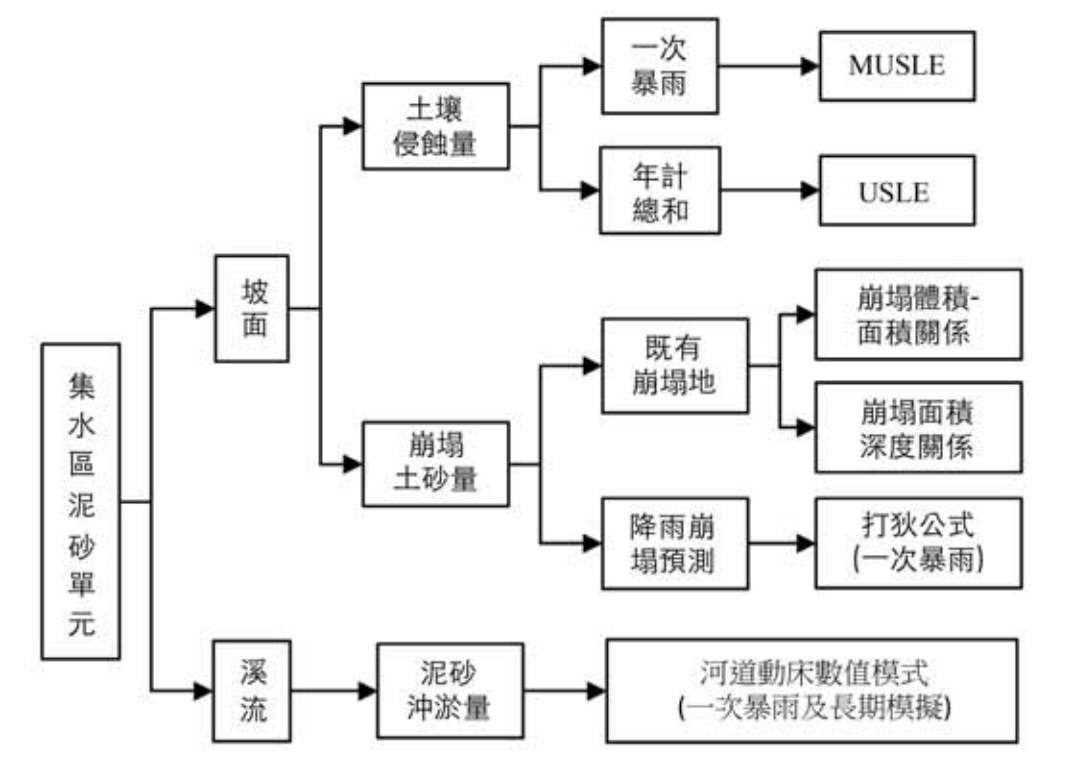


圖 調 3-3-2 集水區泥砂組成單元及時間尺度

3.3.3 土壤流失量估算

集水區土壤流失量為由表面土壤侵蝕量與土體崩塌量所組成，前者係指土壤受外力(主要如雨水、逕流、風力)的剝蝕作用及地震、海浪、重力、溫度變化等衝擊後，自固結之土體分離、搬移與沉積的現象，它是導致土地資源退化乃至徹底破壞的主要原因；後者則是特別針對坡面上的塊體運動，包括地滑、山崩、崩坍、落石等。

一、土壤流失量估算：

Zingg(1940)應用小區的模擬降雨和野外條件，證實坡度增加 1.0 倍，土壤流失量增加 2.61~2.80 倍；而斜坡水平長度增加 1.0 倍，逕流中的土壤流失量增加 3.03 倍，這個關係式可表為

$$A_z = C_o S_o^m L^{n-1} \tag{3.3.1}$$

式中，A_z=單寬坡面在單位面積上的平均土壤流失量；C_o=常數；L =坡長；m及n分別為 1.4 和 1.6。Wischmeier et al.(1957，1958)將美國 21 個州 36 個地區所獲得約 8,000 多個小區一年的土壤侵蝕研究資料進行彙整，對各種影響土壤流失量的因子重新評價，導出了通用土壤流失量公式。而目前應用最廣泛的土壤流失量推估方法，係以 Wischmeier and Smith(Wischmeier et al.，1958；Wischmeier and Smith，1965、1978)所提出作為一種預測紋溝間(interrill)和紋溝(rill)侵蝕的年平均土壤流失公式，可表為

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot LS \cdot C \cdot P \tag{3.3.2}$$

上式即為通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation , USLE)。式中，各項因子茲說明如下。

(一) 年土壤流失量(soil loss , A_m)

年土壤流失量代表某一具體農地或坡面在特定的降雨、作物經營方式及所採用的水土保持措施的條件下，單位面積上產生的年土壤流失量，單位 t/ha/yr。當上式用於選擇合適的農業措施時，A_m值就為容許土壤流失量。

(二) 降雨與逕流侵蝕指數(R_m)

降雨與逕流侵蝕指數表示在標準試區條件(即坡長 22.1 m，坡度 9%均勻坡面，順坡耕作，連續兩年休耕)下，降雨對土壤的侵蝕指標，單位MJ · mm/(ha · hr · yr)。降雨與逕流侵蝕指數對土壤的侵蝕包括兩個方面，一是降雨的雨滴動能對土壤的擊濺，二是降雨形成逕流後逕流的紊動對泥砂的搬運。根據大量研究資料顯示，在降雨以外其他因子不變的情況下，R_m值與降雨的總動能和 30 分鐘的最大降雨強度有關。因此，R_m是暴雨動能和最大 30 分鐘降雨強度的函數，它確定了雨滴擊濺及逕流擾動對田面土壤顆粒遷移的綜合影響，可表為

$$R_m = \frac{1}{100}\sum E \cdot i_{30} \tag{3.3.3}$$

式中，E =某次暴雨過程中某個階段降雨量所產生的動能；i_{30}=某次降雨過程中連續 30 分鐘最大降雨強度。一次降雨過程中連續 30 分鐘最大降雨強度i_{30}，可以從自記雨量計記錄曲線上查得，而降雨過程中某階段所產生的動能 E 可表為

$$\mathrm{E} = E_o \Delta V_x \tag{3.3.4}$$

$$\mathrm{E} = 0.119 + 0.0873 \log i_x \tag{3.3.5}$$

式中，ΔV_x=某降雨時段之降雨深度（mm）增量；E_o=某次降雨過程中某時段的降雨動能(MJ/ha · mm)；i_x=某次降雨過程中某時段降雨強度(mm/hr)。

利用上述方法，可以計算出某一地區一次降雨事件的降雨侵蝕指數，也可以通過逐次計算而求出每旬、每月及每年的侵蝕指數。某一地區多年的侵蝕指數加上一起，除以年份，即為年平均降雨侵蝕指數，亦即通用土壤流失公式中的R_m值，附錄四為臺灣地區之R_m。應用各地區的R_m值，可繪製某範圍內的R_m值等值線圖，如圖 調 3-3-3 所示。

此外，國內亦有類似的研究成果，係以年(或月)降雨量推估年(或月)降雨侵蝕指數，甚屬簡便，惟使用時需注意其適用性問題。例如，盧昭堯等(2005)係以臺中、南投、北部陽明山、臺北市區、基隆、宜蘭、花蓮、臺東、新竹、嘉義等地區天然雨滴粒徑分布，而屏東地區則參考吳嘉俊及王阿碧(1996)建立之屏東老埤地區降雨動能公式，推算降雨侵蝕指數R_m值，以及年降雨侵蝕指數與年降雨量之關係式，如表 調 3-3-1 所示。

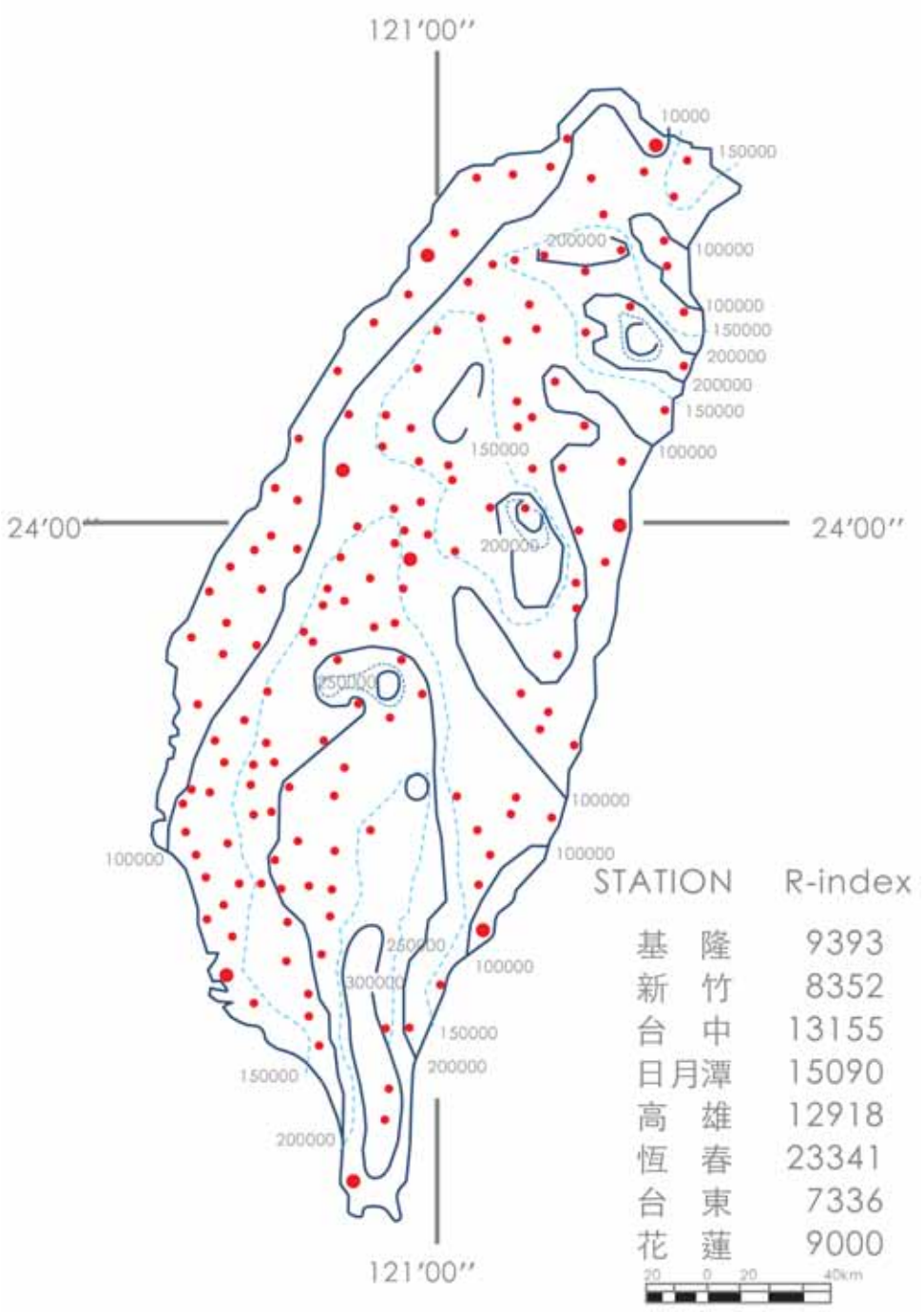


圖 調 3-3-3 臺灣各地降雨侵蝕指數($\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot hr \cdot y}$)(資料來源：水土保持手冊，2005)

表 調 3-3-1 降雨動能與降雨強度、年降雨侵蝕指數與年降雨量之關係式

降雨動能與降雨強度關係式			年降雨侵蝕指數與年降雨量關係式		
地區	$E_o = a + b \log i$		降雨氣候分區	$R_m = a\,P^b$	
	a	*b*		*a*	*b*
臺北陽明山	873.77	416.52	北部地區(臺北試區)	0.000911	1.71557
臺北地區	745.58	350.51	東北部地區(基隆試區)	0.000013	2.18615
基隆地區	836.32	323.08	宜蘭地區(宜蘭試區)	0.000103	1.99179
花蓮地區	781.58	267.22	花蓮地區(花蓮試區)	0.000891	1.78248
臺東地區	756.30	230.33	臺東地區(臺東試區)	0.003030	1.65534
新竹地區	785.82	229.55	西北部地區(新竹試區)	0.000294	1.91672
臺中地區	830.16	274.65	中部地區(臺中試區)	0.003265	1.62653
嘉義地區	808.35	321.81	中南部地區(嘉義試區)	0.001170	1.79835
屏東地區	930.96	238.54	南部地區(高雄試區)	0.006666	1.58975
南投蓮花池地區	897.65	242.73	中部、中南部山區(南投蓮花池試區)	0.020653	1.35072
臺灣地區	883	313			

註：1. E_o（$ft \cdot tonf \cdot acre^{-1} \cdot in^{-1}$）；$R_m$（$100\,ft \cdot tonf \cdot in \cdot acre^{-1} \cdot hr^{-1} yr^{-1}$）；$i$（$in \cdot hr^{-1}$）；$P$（$mm$）。

2.高雄試區降雨資料係以高雄氣象站歷年降雨資料為主。

范正成等(2009)以中央氣象局臺北站之歷年雨量資料(1961~2007 年)及盧昭堯等(2005)提出之降雨動能公式，利用月雨量、月降雨強度與月降雨侵蝕指數間之關係，以迴歸分析法建立適用於臺北地區降雨侵蝕指數推估公式，即

$$R_{mj} = 0.002 P_j^{2.235} \tag{3.3.6}$$

$$R_{mj} = 0.134 \left(P_j \cdot i_j\right)^{1.28} \tag{3.3.7}$$

式中，R_{mj}=月降雨侵蝕指數(MJ · mm/(ha · hr · yr))；P_j=月平均降雨量(mm)；i_j=月降雨強度(mm/hr)，係為月雨量除以月降雨延時之商數。

(三) 土壤侵蝕性指數(K_m)

土壤侵蝕性指數為平均年土壤侵蝕量(A_m)與單位降雨侵蝕指數(R_m)之比，單位t · ha · hr · yr/(MJ · mm · ha · yr)。土壤侵蝕指數為土壤抵抗侵蝕之分離及搬運作用的一種量化指標，它與土壤本身特性有關。萬鑫森及黃俊義(1981)推估臺灣西北部及南部坡地土壤侵蝕指數與土壤流失量，而將K_m值分為低蝕性($K_m < 0.2$)、中蝕性($K_m = 0.2$~0.4)及高蝕性($K_m > 0.4$)等三個等級；而臺灣

現行使用通用土壤流失公式(USLE)之土壤侵蝕性指數(K_m)資料，係萬鑫森及黃俊義(1989)利用 Wischmeier & Smith(1978)列線圖，推算得臺灣 280 處土壤侵蝕性指數K_m值；經分析，臺灣地區K_m值約 73%是小於 0.3，而且變化幅度很小，多介於 0.11~0.4 之間；此外，$K_m < 0.026$者，為低蝕性土壤； $K_m = 0.026 \sim 0.05$者，為中蝕性土壤；$K_m > 0.052$者，為高蝕性土壤。

一般，影響K_m值的土壤特性有土壤的質地、結構、有機質含量、滲透性等，其推估方法有二：一是在標準試區實測法；二是用列線圖法(nomograph)或公式推估。此外，亦可參考附錄五「臺灣各地之土壤侵蝕性指數表」。

1.實測法

在標準試區下方設置沉砂槽，降雨時地面產生逕流，土壤被侵蝕至下方沉砂槽內，然後稱重烘乾，測得土壤流失量A_m。因實驗試區處在標準條件下，通用土壤流失公式中的LS、C及P等因子皆為 1.0，故公式就成為A_m=$R_m K$。這樣，測得A_m值後，只要再計算降雨侵蝕指數R_m值，便可求出K_m值。

2.公式法

Wischmeier et al.(1971)及 Wischmeier & Smith(1978)根據土壤的 5 個參數提出K_m值的計算式，即

$$K_m = 0.1317 \frac{2.1 \times 10^{-4}[d(d+e)]^{1.14}(12-a) + 3.25(b-2) + 2.5(c-3)}{100} \qquad (3.3.8)$$

式中，a =有機質含量(%)，當土壤之有機質含量超過 4%時，仍以 4%計算；b =土壤結構參數(參見表 調 3-3-2)；c =土壤滲透性參數(參見表 調 3-3-2)；d =土壤坋粒(silt)及極細砂(粒徑：0.002mm~0.1mm)含量(%)；e =土壤粗砂(粒徑：0.1mm~2.0mm)含量(%)。不過，上式僅能應用於d <70%的條件。圖 調 3-3-4 係依上式所建立之圖解。

表 調 3-3-2 土壤結構及滲透性參數(資料來源：水土保持手冊，2005)

土壤結構參數			土壤滲透性參數		
參數值	土壤	粒徑 (*mm*)	參數值	滲透速度	*mm / hr*
1	極細顆粒	<1.0	6	極慢	<1.25
2	細顆粒	1~2	5	慢	1.25~5.0
3	中或粗顆粒	2~10	4	中等慢	5.0~20.0
4	塊狀或片狀或粗顆粒	>10	3	中等	20.0~62.5
			2	快	62.5~125.0
			1	極快	>125.0

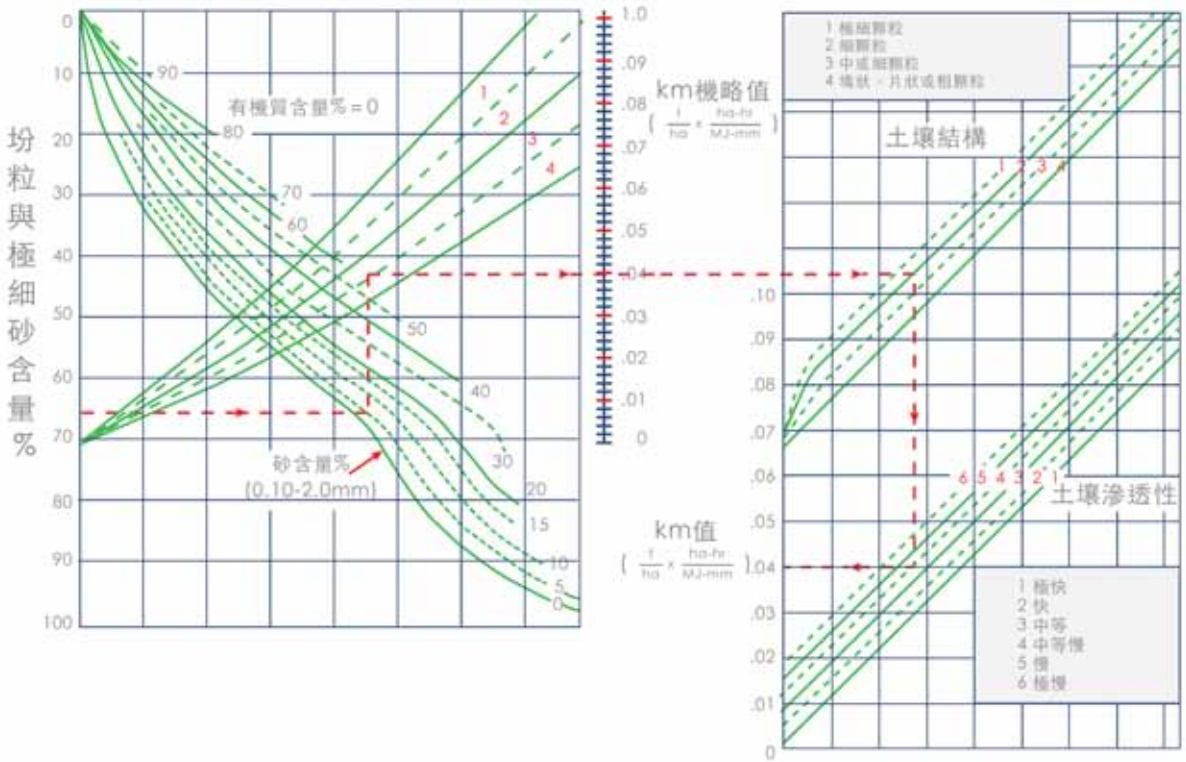


圖 調 3-3-4 臺灣各地土壤侵蝕指數圖解(資料來源：水土保持手冊，2005)

(四) 地形因子(LS)

通用土壤流失公式中，坡長及坡度的影響分別表示為L及S。坡長係指從地表逕流的起點至坡度降到足以發生沉積的位置或逕流進入一個規定渠道的入口的距離，其中渠道也許是一個水文網的一部分，或者是一個人工渠道。坡度是田面或部分坡面的傾角，通常用%表示。不過，通常把它們作為一個獨立的地形因子LS來估算，表徵特定坡面單位面積上土壤流失量與標準試區單位面積土壤流失量之比，其計算式可表為

$$\mathrm{LS} = \left(\frac{\ell}{22.1}\right)^{k} (65.41\, sin^2\,\theta + 4.56 \sin\theta + 0.065) \qquad (3.3.9)$$

式中，ℓ =坡長(m)；θ =坡度(°)；k =指數，與坡面坡度(So)相關，可寫為

$$\mathrm{k} = \begin{Bmatrix} 0.5 \\ 0.4 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{Bmatrix} \quad \begin{matrix} So > 5\% \\ So = 3.0\%\sim5.0\% \\ So = 1.0\%\sim3.0\% \\ So < 1.0\% \end{matrix} \qquad (3.3.10)$$

式中，ℓ =坡長(m)；So =坡面坡度(%)。式(3.3.9)是在單向規則的坡面上發展起來的，故它們只適用於這類坡面。當應用於凹型坡面時，會有高估的問題；反之，應用於凸型坡面時，則有低估之虞。因此，在應用時必須注意複雜坡面地形因子的推估問題。

倘若現場之原地形或開發中、後地形變化顯，無法以單一平均坡度來表示時，應先將代表坡長(L_e)之地形縱斷面，依坡度分割成上坡面(L_u)及下坡面(L_d)，如圖 調 3-3-5 所示。依據上、下坡面之平均坡度，以式(3.3.9)分別求出上、下坡面之S值(即S_u、S_d)，再由上、下坡面所占之比例L_u：L_d，於附錄六中分別查出上、下坡面S值之修正比C_u：C_d，並以下式推估

$$\mathrm{S} = C_u S_u + C_d S_d \qquad (3.3.11)$$

式中，C_u=上游坡面 S 值修正比；C_d=下游坡面 S 值修正比；S_u=上游坡面S值；S_d=下游坡面S值。

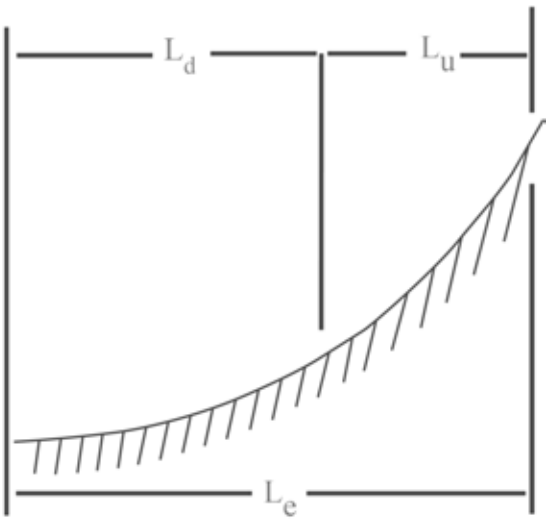


圖 調 3-3-5 坡面分割圖(L_u：L_d)(資料來源：水土保持手冊，2005)

若現場之原地形或開發中、後地形複雜，無法以上、下坡面表示時，則應先將代表坡長(L_e)之地形縱斷面，依坡度分割成上(L_u)、中(L_m)及下坡面(L_d)，如圖 調 3-3-6 所示。依據上、中、下坡面之平均坡度，以式(3.3.9)分別求出上、中、下坡面之S值(即S_u、S_m、S_d)，再由上、中、下坡面所占之比例L_u：L_m：L_d，於附錄六中分別查出上、中、下坡面S值之修正比C_u：C_m：C_d，並以下式推估

$$S = C_u S_u + C_m S_m + C_d S_d \tag{3.3.12}$$

式中，C_m=中游坡面 S 值修正比；S_m=中游坡面S值。

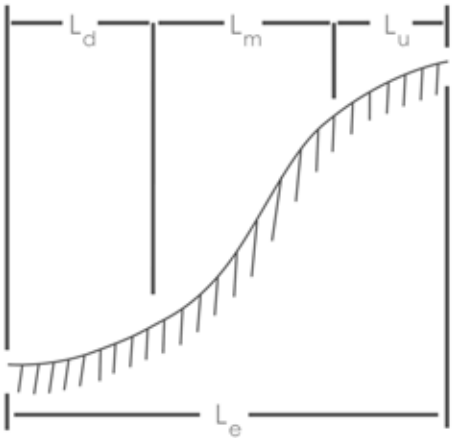


圖 調 3-3-6 坡面分割圖(L_u：L_m：L_d)(資料來源：水土保持手冊，2005)

(五) 覆蓋與管理因子(C)

覆蓋與管理因子(C)係表在相同的土壤、地形和降雨等條件下，實際耕作地上的土壤流失量與連續休耕地上的土壤流失量之比。依現地上不同種類之植生、生育狀況、季節、覆蓋及敷蓋程度而定。C值越大，代表土壤流失量越嚴重，休耕地處於裸露狀態，沒有植被，土壤流失量嚴重，C =1.0；開挖整地處C值不得小於 0.05，而生長茂密的林地，因植被良好，C =0.01。

由於植生或作物的植物冠層遮蔽(canopy cover)與生長或收成後的殘株敷蓋(residual mulch)屬於兩種不同的保護土壤方式，故通用土壤流失公式將覆蓋與管理因子以次因子(subfactor)的方式來分別表示植物冠層遮蔽(CC)及殘株敷蓋(CS)，而代表該覆蓋與管理方式的 C 值即為各次因子之乘積，即

$$C = CC \times CS \tag{3.3.13}$$

C值推估方式如下：

1.依現地之地表及植被狀況，由表 調 3-3-3 直接求得C值。

2.若現地之地表及植被狀況不在表 調 3-3-3 中時,則應依現地植物冠層遮蔽百分比、植株平均落高，由表 調 3-3-4 求出 CC 值。再依現地地表殘株敷蓋百分比，由表 調 3-3-5 求出 CS 值。將 CC 值與 CS 值相乘，即為現地之 C 值。因此，敷蓋百分比 11%的 CS 值即為 0.759。

3.如遇地表礫石敷蓋明顯，應先估計地表礫石敷蓋百分比，再利用表 調 3-3-5 求出CS值，即為礫石敷蓋之 CS 值。

4.如採用地工織物作為土壤侵蝕控制之資材時，應先估計其敷蓋百分比，再利用表 調 3-3-5 求出 CS 值，即為該地工織物之C值。

表 調 3-3-3C值對照表(資料來源：水土保持手冊，2005)

地表及植被狀況	C 值	地表及植被狀況	C 值
百喜草	0.01	裸露地	1.00
水稻	0.10	水泥地	0.00
雜作	0.25	瀝青地	0.00
果樹	0.20	雜石地	0.01
香蕉	0.14	水體	0.00
鳳梨	0.20	建屋用地	0.01
林地（針業、闊葉、竹類）	0.01	牧草地	0.15
蔬菜類	0.90	高爾夫球場植草地	0.01
茶	0.15	雜草地	0.05
特用作物	0.20	墓地	0.01
檳榔	0.10	～	～

表 調 3-3-4 冠層遮蔽遮蔽(CC)因子(資料來源：水土保持手冊，2005)

冠層遮蔽百分比(%)	植株平均落高(*m*)							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	0.958	0.965	0.971	0.975	0.979	0.982	0.984	0.986
10	0.917	0.930	0.941	0.950	0.957	0.963	0.969	0.973
15	0.875	0.895	0.912	0.925	0.936	0.945	0.953	0.959
20	0.833	0.860	0.882	0.900	0.915	0.927	0.937	0.946
25	0.792	0.825	0.853	0.875	0.894	0.909	0.921	0.932
30	0.750	0.790	0.823	0.850	0.872	0.890	0.906	0.919
35	0.708	0.755	0.794	0.825	0.851	0.872	0.890	0.905
40	0.667	0.720	0.764	0.800	0.830	0.854	0.874	0.892
45	0.625	0.685	0.735	0.775	0.808	0.835	0.858	0.878
50	0.584	0.650	0.705	0.750	0.787	0.817	0.843	0.865
55	0.542	0.615	0.676	0.725	0.766	0.799	0.827	0.851
60	0.500	0.580	0.646	0.700	0.744	0.780	0.811	0.837
65	0.459	0.545	0.617	0.675	0.723	0.762	0.795	0.824
70	0.417	0.510	0.587	0.650	0.702	0.744	0.780	0.810
75	0.375	0.475	0.558	0.625	0.681	0.726	0.764	0.797
80	0.334	0.440	0.528	0.600	0.659	0.707	0.748	0.783
85	0.292	0.405	0.499	0.575	0.638	0.689	0.732	0.770
90	0.250	0.370	0.469	0.550	0.617	0.671	0.717	0.756
95	0.209	0.335	0.440	0.525	0.595	0.652	0.701	0.743
100	0.167	0.300	0.410	0.500	0.574	0.634	0.685	0.729

表 調 3-3-5 殘株敷蓋(CS)因子(資料來源：水土保持手冊，2005)

敷蓋百分比(%)	+0	+1*	+2*	+3*	+4*	+5*	+6*	+7*	+8*	+9*
0	1.000	1.000	0.998	0.959	0.925	0.896	0.869	0.844	0.821	0.799
10	0.778	0.759	0.740	0.722	0.704	0.687	0.671	0.655	0.640	0.625
20	0.611	0.597	0.583	0.570	0.557	0.544	0.532	0.519	0.507	0.496

30	0.484	0.473	0.462	0.451	0.441	0.430	0.420	0.410	0.400	0.391
40	0.381	0.372	0.363	0.354	0.345	0.336	0.327	0.319	0.311	0.303
50	0.295	0.287	0.279	0.271	0.264	0.256	0.249	0.242	0.235	0.228
60	0.221	0.215	0.208	0.202	0.195	0.189	0.183	0.177	0.171	0.165
70	0.159	0.154	0.148	0.143	0.137	0.132	0.127	0.122	0.117	0.112
80	0.107	0.102	0.098	0.093	0.089	0.084	0.080	0.076	0.072	0.068
90	0.064	0.060	0.056	0.053	0.049	0.045	0.042	0.039	0.035	0.032
100	0.029									

註：* 代表敷蓋百分比的個位數。

(六) 水土保持處理因子(P)

水土保持處理因子(P)係表有水土保持措施土地上的土壤侵蝕量與順坡耕作的農田上的土壤侵蝕量之比，故P值主要是根據水土保持措施來選取適當的值；措施好的P值小，惟開挖整地處P值不得小於 0.5，未採取任何水土保持措施者、或棄土場、或陸砂及農地砂石開採處，P =1.0。

1.等高耕作之P值與其坡長最長限制，如表 調 3-3-6 所示。

2.露天採掘之P值，如表 調 3-3-7 所示。

3.高填土坡之P值，如表 調 3-3-8 所示。

表 調 3-3-6 等高耕作之 P 值(資料來源：水土保持手冊，2005)

地面坡度(%)	P 值	坡長限制(m)
1～2	0.6	120
3～5	0.5	90
6～8	0.5	60
9～12	0.6	36
13～16	0.7	24
17～20	0.8	18
21～25	0.9	15

表 調 3-3-7 露天採掘之 P 值(資料來源：水土保持手冊，2005)

採掘面坡度(度)	採掘面高度(m)	P 值
60	5	P=0.1299Ln(n)-0.0536
	10	P=0.0628Ln(n)-0.0202
	15	P=0.0453Ln(n)-0.0128
65	5	P=0.1229Ln(n)-0.0509
	10	P=0.0593Ln(n)-0.0186
	15	P=0.0431Ln(n)-0.0116
70	5	P=0.1166Ln(n)-0.0482
	10	P=0.0563Ln(n)-0.0170
	15	P=0.0414Ln(n)-0.0105
75	5	P=0.1109Ln(n)-0.0456
	10	P=0.0538Ln(n)-0.0154
	15	P=0.0401Ln(n)-0.0093
n=階段個數;(n≧2)		

表 調 3-3-8 高填土坡之 P 值(資料來源：水土保持手冊，2005)

填土坡度(度)	P 值
25	0.125
26	0.120
27	0.115
28	0.111
29	0.107
30	0.103

通用土壤流失公式是以推估集水區長期平均(年)的土壤流失量為主，不適用於推估單場暴雨作用下的土壤流失量。因此，採用 Williams and Berndt (1977)提出之修正土壤流失公式(MUSLE)，即

$$A_s = 11.8(V_{eff} \cdot Q_p)^{0.56} \cdot K_m \cdot C \cdot P \cdot L \cdot S \tag{3.3.14}$$

$$V_{eff} = \int_{t_1}^{t_2} Q dt \tag{3.3.15}$$

式中， A_s=一場暴雨所產生土壤流失(ton)；V_{eff}=有效逕流量(Effective Rainfall)(m^3)；Q_p=洪峰流量(Peak Flow Discharge)(cms)；Q=每小時流量(cms)；t_1、t_2=事件起迄時間；其他參數同通用土壤流失公式。

二、修正通用土壤流失公式(RUSLE)

隨著計算機技術的發展，大量觀測數據的更新，對土壤侵蝕理論認識的深入，以及在應用 USLE 過程中出現的一些問題，故美國農業部於 1985 年發表新一代的土壤流失推估公式，即修訂版通用土壤流失公式(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)。修正版通用土壤流失公式具有兩個較為突出的特點，包括：

(一) 建立了計算機模型，並為使用者提供技術和使用手冊。模型還提供了一些主要參數和變量的數據庫，供使用者根據實際情況選擇使用。

(二) 根據已有研究成果，細化了各個因子的計算過程。

1.將降雨與逕流侵蝕指數的計算擴展到西部地區，同時考慮了融雪侵蝕和窪地集水的影響。

2.土壤侵蝕性指數計算考慮了季節變化的影響，並給出了一些特殊類型土壤的可蝕性值。

3.在坡度和坡長因子計算時，分別考慮了紋溝侵蝕和紋溝間侵蝕的差異，以及不同類型坡的組合；其中，坡長因子可表為

$$\mathrm{L} = (\frac{\ell}{72.6})^{k} \tag{3.3.16}$$

式中，ℓ =坡長(ft)；k =待定指數，可依下式計算

$$\mathrm{k} = \frac{B}{1+B} \tag{3.3.17}$$

式中，B =紋溝與紋溝間侵蝕之比值，可表為(McCool et al., 1997)

$$\mathrm{B} = (\sin\theta\ /0.0896)/[3.0(\sin\theta)^{0.8} + 0.56] \tag{3.3.18}$$

當坡長大於 15 ft時，其坡度因子S可表為

$$\mathrm{S} = \begin{cases} 10.8\sin\theta + 0.03 & S_o < 9\% \\ 16.8\sin\theta - 0.5 & S_o \geq 9\% \end{cases} \tag{3.3.19}$$

4.將覆蓋與管理因子的比值表改為由前期土地利用、地表覆蓋、作物覆蓋、地表糙度和土壤水分等 5 個次因子乘積形式的計算公式。

5.在水土保持措施中，不僅將以前包括的措施如等高耕作、帶狀耕作和梯田

計算進行了改進，而且增加了其它一些措施。

6.在上述所有各個因子的計算中，都充分考慮了季節變化或農事活動的影響。降雨侵蝕力的季節變化以半個月為基本時段分別計算，如果其中有作物輪作或農事活動，還可在半個月內進行時段劃分，以便按照這一時段計算覆蓋與管理因子和水土保持措施因子。這樣，便可足以反映不同時期由於自然和人類活動影響造成的地表狀況變化對土壤流失量的影響。

三、土壤侵蝕指標模式(Soil Erosion Index Model，SEIM)

陳樹群等人(1998)為改善 USLE 於臺灣地區之適用性，以 PSIAC(PSIAC, 1968)的概念為基礎，同時運用臺灣地區多年來對土壤侵蝕的野外觀測成果，再考量影響土壤侵蝕的重要因子為依據，發展本土化土壤侵蝕指標模式(Soil Erosion Index Model，SEIM)。本模式採用土壤性質、降雨、地形狀況、土地利用方式及地表植生覆蓋等作為影響土壤侵蝕的主要因子，其架構如圖 調 3-3-7 所示。

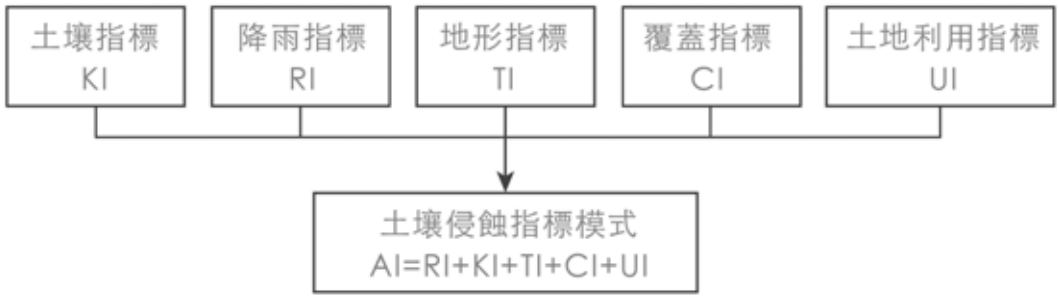


圖 調 3-3-7 土壤侵蝕指標模式架構流程圖

(一) 土壤指標(KI)：

土壤指標推估方式有二：

1.由土壤分類經查表 調 3-3-9 取得對應之土壤指標KI值。

2.直接以 USLE 之土壤侵蝕指數(K_m)代入下式推估之，即

$$\mathrm{KI} = \mathrm{Int}(200K_m) + 1 \tag{3.3.20}$$

(二) 降雨指標(RI)：

降雨指標(RI)係依據月降雨偏差值S_p (單位：mm)與年降雨量P (單位：m)，重新整理合併可得到降雨指標公式，即

$$\mathrm{RI} = \mathrm{Int}\left(\frac{PS_p}{62.5}\right) + 1 \tag{3.3.21}$$

(三) 地形指標(TI)：

地形指標值係以集水區平均坡度為因子，代入下式求得。利用地形指標關係整理出常用坡度之地形指標對照，如表 調 3-3-10 所示。

$$\mathrm{TI} = \mathrm{Int}(10 \times S_o) + 1 \qquad (3.3.22)$$

表 調 3-3-9 臺灣地區各主要土類土壤指標值(資料來源：陳樹群、簡如宏、馮智偉、巫仲明，1998)

土壤分類	*KI*	土壤分類	*KI*
玄武岩石質土	6	片岩暗色崩積土	10
玄武岩暗色崩積土	5	片岩淡色崩積土	8
玄武岩淡色崩積土	6	片岩黃壤	11
玄武岩鹼性黃壤	5	片岩紅壤	9
玄武岩酸性黃壤	9	東北部粘板岩非石灰性老沖積土	12
玄武岩紅壤	7	東北部粘板岩石灰性老沖積土	11
玄武岩黑色土	8	東北部粘板岩非石灰性新沖積土	13
火成岩石質土	5	東北部粘板岩石灰性新沖積土	7
火成岩黑色土	4	版岩石質土	6
玢岩紅壤	8	板岩暗色崩積土	10
砂頁岩老沖積土	12	板岩淡色崩積土	8
砂頁岩非石灰性新沖積土	13	板岩黃壤	11
砂頁岩含石灰結核新沖積土	12	板岩紅壤	9
砂頁岩石灰性新沖積土	10	海岸山脈母岩沖積土	8
含石灰結核臺灣粘土	8	火成岩泥岩混合淡色崩積土	10
北部砂頁岩沖積土	4	火成岩泥岩混合黑色土	11
砂頁岩幼黃壤	9	砂頁岩泥岩混合石質土	10
砂頁岩石質土	6	砂頁岩泥岩混合暗色崩積土	11
砂頁岩暗色崩積土	7	砂頁岩泥岩混合淡色崩積土	8
砂頁岩淡色崩積土	14	砂頁岩泥岩混合黃壤	9
砂頁岩黃壤	7	洪積母質紅壤	7
石灰岩黃壤	9	洪積母質黃壤	10
石灰岩紅壤	7	洪積母質淡色崩積土	11
尼岩石質土	13	紅壤母質沖積土	6
東北部片岩非石灰性沖積土	12	低腐植質粘化土	5
東北部片岩石灰性沖積土	14	有機質土	5
片岩老沖積土	11	洪積物石灰岩混合黃壤	7
片岩非石灰性新沖積土	11	洪積物砂頁岩混合黃壤	9
片岩石灰性新沖積土	3	砂頁岩石灰岩混合黃壤	11
片岩石質土	6		

表 調 3-3-10 常用坡度地形指標值表(資料來源：陳樹群、簡如宏、馮智偉、巫仲明，1998)

平均坡度	*TI*	平均坡度	*TI*
< 10%	1	50% ~ 60%	6
10% ~ 20%	2	60% ~ 70%	7
20% ~ 30%	3	70% ~ 80%	8
30% ~ 40%	4	80% ~ 90%	9
40% ~ 50%	5	> 90%	10

(四) 覆蓋指標(CI)：

覆蓋指標初值係以覆蓋率C_m值為參考因子。若已知地表覆蓋率C_m代入下式中即可求得CI值。根據臺灣不同地表及植被狀況下，整理出常見之覆蓋指標，如表 調 3-3-11 所示。

$$\mathrm{CI} = 21 - \mathrm{Int}(20 \times C_m) \tag{3.3.23}$$

(五) 土地利用指標(UI)：

土地利用指標係根據不同土地利用方式對土壤侵蝕之關係，如表 調 3-3-12 求算權值(U_0)，代入式(3.3.24)獲得不同土地利用指標

$$\mathrm{UI} = \mathrm{Int}(U_0/8.5) + 1 \tag{3.3.24}$$

或是利用開發度對泥砂產量之影響，其中開發度之定義為道路(或平台)和其上下邊坡崩塌面積及裸露地面積之總和與集水區全面積之百分比，如表 調 3-3-13 所示。

表 調 3-3-11 適用於臺灣地區覆蓋指標值表(資料來源：陳樹群、簡如宏、馮智偉、巫仲明，1998)

分類	地表及植被狀	C_m	*CI*
林地	針葉林	100	1
	闊葉林	100	1
	竹林	100	1
草生地	百喜草	100	1
	高爾夫球場	100	1
	巒風草	100	1
	南非鴿草	100	1

	雜草地	93	2
	柏氏小槐花	91	3
	大葉爬地藍	88	3
有樹冠之農園	檳榔	82	5
	香蕉	74	6
	茶	73	6
	柑橘	63	8
	果樹	63	8
農墾地	水稻	82	5
	牧草地	73	6
	特用作物	63	8
	鳳梨	63	8
	雜作	56	10
	花生	50	11
	玉米	50	11
	蔬菜類	39	13
有敷蓋之非農業用地	水泥地	100	1
	瀝青地	100	1
	建屋用地	100	1
	雜石地	100	1
	墓地	100	1
裸露地		0	20
水體		100	1

表 調 3-3-12 不同土地利用下之土壤侵蝕量(日本林野廳，1987)

土地利用型態	土壤侵蝕量(ton/ha)	權值U_o
森林地	1.8	1.0
草生地	2.1	1.2
農墾地	14.8	8.3
裸露地	87.1	48.4
荒廢地	306.9	170.5

表 調 3-3-13 常用土地利用指標值表

土地利用型態	*UI*
森林地(針葉、闊葉、雜林、竹林)	1
草生地	1
農耕地(果園、蔬菜園、茶園、牧草原)	2
低密度開發區(開發度低於 20%)	3
中密度開發區(開發度介於 20%與 40%之間)	7~9
高密度開發區(開發度高於 40%)	19~20
裸露地	6~7
崩塌地	20

(六) 土壤侵蝕指標(AI)：

綜合上述各指標，代入下式可得集水區土壤侵蝕綜合指標，即

$$\mathrm{AI} = \mathrm{KI} + \mathrm{RI} + \mathrm{TI} + \mathrm{CI} + \mathrm{U} \tag{3.3.25}$$

由上式與實測土壤侵蝕量SE經迴歸分析求得之迴歸式，便可求得集水區之土壤侵蝕量SE $(\mathrm{ton} \cdot ha^{-1})$。陳樹群等人(1998)應用臺灣地區北、中及南部三個試區之實測土壤侵蝕量，以及推估土壤侵蝕綜合指標(SE)建立了下列公式

$$\begin{aligned} SE &= 6 \times 10^{-7} AI^{5.12} \quad R^2 = 0.88 \quad for \quad AI \geq 50 \\ SE &= 0.233 AI^{1.83} \quad R^2 = 0.94 \quad for \quad AI > 50 \end{aligned} \tag{3.3.26}$$

式中，R=迴歸係數。

指標法的特點是簡易，且直接採用本土實測資料進行建模，具有較高的區域適用性。不過，僅採三個試區和天然小集水區及水庫集水區進行驗證，在通用性上宜應持續驗證。

四、土壤侵蝕水力模型

除了集水區地表土壤流失量的估算外，土壤侵蝕亦與非點源污染(non-point source pollution)問題息息相關。非點源污染是當今世界上普遍存在的一個嚴重環境問題，它係指降雨期間遭地表水流淋洗沖刷進入水體的地面污染物，包括土壤泥砂顆粒、氮磷等營養物質、農藥殘留、…等。這一類型的污染係伴隨降雨全面產生，沒有集中而明確的發生地點，故稱為非點源污染。由於非點源污染

與土壤侵蝕關係密切，在一些非點源污染預報模型中皆涉及了土壤流失量的估算，包括農業管理系统中的化學污染物逕流負荷和流失模型(Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems ，CREAM)、農業非點源污染模型(Agricultural Non-point Source Model，AGNPS)、農田尺度的水力侵蝕預測模型(Water Erosion Prediction Project，WEPP)、流域非點源污染模擬模型(Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation ，ANSWERS)等涉及了坡面土壤流失的相關演算。

3.3.4 既有崩塌地崩塌土砂量估算

坡面崩塌土砂量與其土壤侵蝕量一樣，均屬集水區泥砂流失量之一類型。崩塌地崩塌土砂量估算之首要課題，係要確定崩塌之面積和深度，或崩塌面積與體積之關係，其中的關鍵在於確定崩塌面積。

以崩塌現象發生與否作為區分，崩塌地面積的估算方式有二：一是已發生崩塌者，可以通過現地調查及各種圖資影像判釋獲得；另一是應用一些統計模型進行崩塌地崩塌面積之預測和分析。由於對崩塌發生預測之發展仍然有待加強，故這裡則偏重既有崩塌地土砂量之推估。

最簡易估計崩塌土體體積的方法，係以崩塌地平均深度與其崩塌面積之乘積獲得。Khazai and Sitar(2000)依據不同坡度給予可能的崩塌深度，而陳樹群(2010)利用石門水庫玉峰溪集水區 2006 年正射影像、5m×5mDEM，二十五萬分一地質圖及崩塌圖層等資料萃取崩塌地之相關參數，並提出斜面坡度與崩塌深度之關係，如表 調 3-3-14 所示。

表 調 3-3-14 斜面坡度與崩塌深度參考表

坡面坡度(度)	Khazai and Sitar(2000)	陳樹群(2005)*
<20	2.0	1.82
20～30		3.09
30～40	1.5	3.63
40～50	1.0	2.68
>50		1,73
*：係石門水庫玉峰溪集水區及大甲溪集水區之平均值		

莊智瑋及林昭遠(2010)認為，採用 Khazai and Sitar 方法推估崩塌土方量會有低估現象，故經修正後提出

$$V_L = 5.792V_{Lk} - 45366 \quad (3.3.27)$$

式中，V_L=崩塌體積(m^3)；V_{Lk}=Khazai and Sitar 方法所推估之崩塌體積(m^3)，V_{Lk}介於 8000～1200000m^3。

除了以崩塌深度間接推估崩塌體積外，應用崩塌地實測資料直接建立崩塌面積與體積之關係式，是目前國際上最為廣泛應用的方法。該法假設崩塌地有自我相似的特性(self-similar behavior)(Guzzetti et al.，2009; Hovius et al.，1997)，意指大面積與小面積的崩塌地形狀具有一定的相似特性，崩塌地的長度、寬度和深度間相互成正比，崩塌面積的 0.5 次方與深度成正比，而崩塌體積又等於其面積與深度的乘積，故當崩塌地呈現完整的自我相似的特性時，崩塌體積與其面積的 1.5 次方成正比。

經濟部中央地質調查所(引用水土保持局，高屏溪及林邊溪集水區土砂收支管理模式建置，2015)統計臺灣 323 處崩塌地(以 LiDAR 或全測站測量)資料，建立崩塌面積(A_L，m^2)與體積(V_L，m^3)之冪次關係，即

$$V_L = 0.075A_L^{1.439} \quad (3.3.28)$$

如以地質分區，則在不同地質區崩塌面積與體積雖然仍維持冪次關係，惟其係數及指數略有不同，如表 調 3-3-15 所示。

表 調 3-3-15 地質分區分類之崩塌體積與面積關係式

適用地質特性	崩塌面積與體積關係式
板岩區	$V_L = 0.0544\ A_L^{1.4718}$
阿里山塊	$V_L = 0.0875\ A_L^{1.4382}$
海岸山脈及縱谷	$V_L = 0.4068\ A_L^{1.1980}$
高山區	$V_L = 0.2116\ A_L^{1.2828}$
變質岩區	$V_L = 0.030\ A_L^{1.5112}$

農委會林務局(2012)蒐集 2,540 處崩塌地資料，依據西部麓山地區、雪山山脈帶、脊樑山脈帶、中央山脈東翼地區及海岸山脈地區等五種地質分區，分別建立了崩塌體積與面積之關係式，如表 調 3-3-16 所示。

在無法或不易取得崩塌前、後的數值地形時，應用崩塌面積概略性地推估其平均崩塌體積是目前普遍的作法。但是，這種方法在區域針對性上特別顯著，於氣候及地質土壤條件一致的小區域內頗為適用，當涵蓋範圍越大，因地面自然條件的差異越明顯，其產生偏差也就越顯著。

其他具有特別針對性的經驗公式，如表 調 3-3-17 所示。

表 調 3-3-16 地質分區分類之崩塌體積與面積關係式

適用地質分區	樣本數	關係式	判斷係數	標準誤差
西部麓山地區(III)	157	$V_L = 0.099\ A_L^{1.356}$	0.85	0.29
雪山山脈帶(Iva)	1,996	$V_L = 0.238\ A_L^{1.188}$	0.89	0.27
脊樑山脈帶(IVb)	304	$V_L = 0.607\ A_L^{1.073}$	0.85	0.28
中央山脈東翼地區(V)	37	$V_L = 0.351\ A_L^{1.132}$	0.92	0.22
海岸山脈地區(VII)	46	$V_L = 0.337\ A_L^{1.147}$	0.87	0.27
全部樣本	2,540	$V_L = 0.24\ A_L^{1.191}$	0.89	0.28

表 調 3-3-17 崩塌體積與面積關係一覽表

方程式(m^3)	最小面積(m^2)	最大面積(m^2)	資料來源
$V_L = 0.517\ A_L^{1.077}$	1.1×10^1	3.7×10^5	陳毅青(2012) 臺灣北部地區
$V_L = 0.202\ A_L^{1.268}$	8.7×10^2	9.4×10^5	陳毅青(2012) 臺灣南部地區
$V_L = 0.05\ A_L^{1.5}$	10^1	10^6	Hovius et al.(1997)
$V_L = 0.015\ A_L^{1.606}$	10^1	10^5	陳樹群等(2010) 石門水庫玉峰溪
$V_L = 0.04\ A_L^{1.38}$	10^2	10^5	陳樹群等(2010) 石門水庫集水區
$V_L = 1.92\ A_L^{1.10}$	10^2	2×10^5	陳樹群等(2010) 大甲溪集水區

3.3.5 溪流輸砂量推估

促使水流中碎屑顆粒運動的力，包括：(1)水流對顆粒的沖擊力；(2)紊流的上舉力；(3)近底床水流上、下流速差異產生的上舉力；及(4)顆粒重量平行於溪床的分力等。如果上舉力大於碎屑顆粒在水中的自重，則這些顆粒將懸浮在水中運動，這種運動叫做懸移(suspended)，其懸移的泥砂顆粒稱為懸浮載(suspended load)。如

果上舉力小於顆粒在水中的重力，則顆粒在水平推力的推動下，或沿溪床滾動，這種運動叫做推移(slide)，其推移的泥砂顆粒謂之溪床載(或推移載)(bed load)。還有一種中間狀態，就是顆粒在水中的重力與上舉力不相上下，由於上舉力的脈動變化，時而重力大於上舉力，時而重力小於上舉力，顆粒在水平推力下跳躍前進，顆粒的這種運動方式叫做躍移(saltation)，亦屬推移載的一種類型。當水動力大小發生改變時，水流中任何粒徑的碎屑顆粒的運動方式都會發生轉換。如水動力減小時，懸移變為躍移，躍移變為推移；如果水動力增大時，變化情況與上述相反。

野溪的懸浮載含砂量視地區而異，在岩石風化不嚴重和植被較好的地區，含砂量較小；相反，在岩石風化嚴重和植被甚差的地區，不但含砂量大，而且在山洪暴發時甚至會形成含砂濃度極大，並攜帶大量石塊的土石流。汛期因坡面逕流大，侵蝕強烈，所以含砂量大而粒徑粗；枯水期則相反，含砂量小而粒徑細，甚至完全變為清水。野溪懸浮載大都是中細砂和粘土，由於坡度及流速大，一般處於不飽和狀態，可全部視為沖洗載(wash load)。

由於溪床載與懸浮載在運動形態及運移機理不同，以致於在推估其輸砂量時亦區分為溪床載、懸浮載及床質載(即溪床載與懸浮載之和)等公式類型。但是，因欠缺溪床載及懸浮載之現地實測資料，各個輸砂量公式推估之輸砂量可能存在極大的差異，卻無法具體驗證，故原則上宜依輸砂方式及溪床質粒徑分布選擇輸砂公式，並過過長期的觀測及經驗的積累，取得各溪流水系之適當輸砂公式。

目前已在使用的輸砂公式眾，各個公式皆有其應用限制，此處僅列舉水土保持常用的幾個輸砂公式，而其他常見的各類輸砂公式則彙整於附錄七中，以供參採。

一、溪床載輸砂公式：

野溪溪床載運移量推估較常採用何黃公式、Schoklitsch 公式及 Bathurst (2007)等。

(一) 何黃公式：

$$q_b = 0.4383S^{1.41}(q - q_c) \tag{3.3.29}$$

$$q_c = 1.259 \times 10^{-7} \times d_g^{1.56} \times S_o^{-1} \tag{3.3.30}$$

$$d_g = \frac{d}{\left[\frac{v^2}{(\sigma/\rho - 1)g}\right]^{1/3}} \tag{3.3.31}$$

(二) Schoklitsch 公式(1934)：

係利用水槽及現地實驗數據推導單寬流量輸砂公式，可寫為

$$q_s = \frac{2500}{\gamma_s} S^{1.5}(q - q_c) \tag{3.3.32}$$

$$q_c = 0.26\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right)^{5/3} \frac{d_o^{3/2}}{S_o^{7/6}} \tag{3.3.33}$$

上式適用於中值粒徑 0.25～32.0mm 之間的床質條件。

(三) Bathurst (2007)公式：

係採用多組現場數據，且假設護甲層(armouring)效應會影響溪床載輸砂量，其迴歸公式可表為

$$q_s = 29.2 S_o^{1.5} \left(\frac{d_{20}}{d_{50s}}\right)^{-3.3} \rho(q - q_c) \tag{3.3.34}$$

$$q_c = 0.0513 g^{0.5} d_{50}^{1.5} S_o^{-1.2} \tag{3.3.35}$$

Bathurst (2007)輸砂公式適用於：溪床坡度S_o=0.00048~0.048；d_{50}=12mm~146mm；d_{50}/d_{50s}=1.52~11。

以上各式中，q_b=單位溪寬溪床載運移量(cms/m)；q_s=單位溪寬床載運移量(kg/sec/m)；S_o=溪床坡度(%)；q =單位溪寬流量(cms/m)；q_c=單位溪寬之溪床載起動流量(cms/m)；d_g=溪床之無因次粒徑；d =溪床載之粒徑(m)，一般可以d_{50}為代表；d_{50}=底床表面通過百分比 50%之泥砂粒徑(m)；d_{50s}=底床表面下方通過百分比 50%之泥砂粒徑(m)； σ =泥砂密度(kg/m^3)，一般石英砂約為 2,650 kg/m^3；ρ =水密度(kg/m^3)，水溫 20℃時，約為 1,000 kg/m^3；ν =水之動黏滯係數(m^2/sec)，水溫 20℃時，ν=1.0×10-6m^2/sec；g =重力加速度(sec/m^2)，一般g =9.8m/sec^2；γ_s=泥砂單位重(N/m^3)。γ =水單位重(N/m^3)；d_0=溪床材料粒徑(mm)，原模式採d_{50}為代表粒徑。

二、懸浮載輸砂公式：

懸浮載輸砂量推估常採用 Einstein 公式(1950)，可表為

$$q_{su} = q_b[(2.303\log\frac{30.2h}{\Delta})I_1 + I_2] \tag{3.3.36}$$

式中，q_{su}=單位溪寬懸浮載輸砂量(kg/sec/m)，不含沖洗載；h =水深(m)；Δ=溪床表面粗糙度；I_1及I_2可分別表為

$$I_1 = 0.216\frac{E^{z-1}}{(1-E)^z}\int_E^1(\frac{1-y}{y})^z dy \tag{3.3.37}$$

$$I_2 = 0.216\frac{E^{z-1}}{(1-E)^z}\int_E^1(\frac{1-y}{y})^z \ln y\, dy \tag{3.3.38}$$

式中， $E = a/D$；a =溪床載運移厚度(可採溪床質d_{90}或兩倍d_{65})；z =懸浮顆粒的沉降速度[=$\omega/(0.4u_*)$]；u_*=剪力速度；$\xi = 2d_r/h$；於均勻砂時，d_{r}=中值粒徑(m)；非均勻砂時，d_{r}=d_{65}。上式，I_1及I_2通常可採用查圖方式求得。

3.3.6 集水區泥砂生產分析

取得集水區泥砂生產量的最直接方法，就是對集水區特定出口斷面的懸移載及推移載作直接且長時間測定。但是，這種方法不僅費時費力，且測定結果因觀測儀器設備及檢定問題，其觀測資料的合理性及正確性也經常備受質疑，除非特殊需求，否則較少被採用。

除了直接量測外，一般集水區產砂量的推估皆以間接方式，包括公式推估、統計經驗、物理成因、泥砂遞移率及數值高程等多種方式。茲分述如下。

一、公式推估法：

集水區泥砂在不同地貌單元及溪流發生不同形式的崩蝕、搬運及堆積等物理過程的量體消長，符合質量守恆定律，可表為

$$\mathrm{SY} = \mathrm{SS} - \mathrm{SR} \tag{3.3.39}$$

式中，SS =集水區各類崩蝕量，包括雨滴飛濺、層狀、紋溝、溝狀及崩塌等崩蝕量，以及溪床泥砂沖刷量； SY =集水區泥砂生產量(產砂量、輸砂

量)(sediment yield)，係指在某一給定的時間內，從流域或集水區某特定出口斷面流出的總泥砂量；由於泥砂在沿著坡面及溪流運移的過程中，部分泥砂會在集水區的各個不同位置沉積下來，於是只有部分崩蝕的泥砂會被帶到這個特地定點，此部分的泥砂謂之泥砂生產量：SR =集水區泥砂殘留堆積量，包括殘留在坡面上，以及溪流底床淤積泥砂量。

這樣，以上式為基礎，完全不考慮集水區各種類型之泥砂量，在運移過程之時間和空間的變異性，而由其中兩個已知的變數直接推估另一變數。一般的作法，是先行推估集水區土砂崩蝕量及下游特定斷面產砂量，再代入式(3.3.39)中推估殘留堆積土砂量。

例如，由表 調 3-3-17 推估在已知既有崩塌面積及坡度下之崩塌體積量，再採用前述何黃公式或 Schoklitsch 公式推估集水區下游出口之泥砂生產量，不過對於陡坡且無溪流粒徑調查時，亦可以採用 Takahashi(1982)輸砂平衡濃度公式概估產砂量，即

$$C_{d\infty} = \exp(1.73 \ln \theta - 5.83) \qquad (3.3.40)$$

式中，$C_{d\infty}$=泥砂體積濃度；θ =溪流底床平均坡度(°)。這樣，當分別獲得集水區崩蝕泥砂量(SS)及生產量(SY)之後，代入式(3.3.39)即可推估集水區土砂殘留堆積量(SR)。

但是，本推估方法欠缺對坡面泥砂進入溪流之時、空變異問題的考量。泥砂(含溪谷邊坡崩塌土體)自坡面進入溪流過程存在很複雜的時、空變異性，例如降雨引發坡面泥砂運移時，它在什麼時候(何時)、什麼地方(何處)、多少量體進入溪流，皆相當程度影響著溪流水流之輸砂和溪床沖淤反應，因而也會改變集水區下游出口產砂量之變化規律。不過，由於本方法計算相當簡易，在一些準確性要求不高的情形下還是被採用。

二、集水區產砂統計法：

由於集水區泥砂在崩蝕、輸送及堆積等過程受到地形地貌、地質條件和人為因素制約，其泥砂運移方式不僅有很大的差異，而且它們在空間和時間上的運移特性更是複雜多變，甚至不存在統一的運移規律。因此，集水區產砂統計法就是將集水區視為一個黑盒(black box)，而以多樣簡易的經驗方程形式表現，其中建構集水區產砂量(SY)直接與其面積(A)關係者，是一種比較簡單的方法。

Avendan˜o et al. (1997)利用西班牙 Upper Llobregat 集水區 60 組實測資料回歸分析也獲得：

$$SSY = 4139A^{-0.43} \tag{3.3.41}$$

式中，SSY =輸砂模數或比產砂量，因次為$\mathrm{Mg/(ha \cdot yr)}$。Wuttichaikitcharoen and Babel(2014)利用主成分分析法建立產砂量之關係式

$$SY = 28.74A^{1.1636} \tag{3.3.42}$$

式中，SY =年產砂量(suspended sediment yield，$\mathrm{ton \cdot yr}$)；A =集水區面積(km^2)。必須注意的是，集水區輸砂模數(SSY)與其面積係呈反比例關係，惟以年產砂量或輸砂量(SY)計量時，則它隨集水區面積而增大。

在國內部分，吳建民(1978)依據臺灣 79 個河溪流量及含砂量測站之相關資料，提出產砂量SY ($\mathrm{ton \cdot yr}$)與集水區面積A (km^2)關係

$$SY = 3080A^{1.154} \tag{3.3.43}$$

經濟部水資會(1993)在臺灣東部區域重要河溪進行產砂量推估研究，建立集水區產砂量推估公式為

$$SY = 0.073A^{0.75} \tag{3.3.44}$$

式中，SY因次為$10^6\mathrm{ton \cdot yr}$；$A$ =集水區面積(km^2)。陳樹群等(2001)以集水區面積為指標，針對全省主要水庫集水區進行產砂量推估，經迴歸分析後可得

$$SY = 0.424A^{0.8982} \tag{3.3.45}$$

式中，SY =年平均淤積量($10^4m^3/\mathrm{yr}$)； A=水庫集水區面積(km^2)。

回顧前述內容，不難看出多從單因子來探討集水區產砂現象，雖然是必要的，但集水區產砂是多因子綜合作用的結果，故僅從單因子來探討其現象，顯然是不夠全面的。因此，從多因子出發及定量角度來研究集水區產砂現象及規律更為重要。何智武及段錦浩(1983)採用石門、德基、曾文及霧社等四水庫之年平均降雨量P (mm)、集水區平均坡度S (%)及森林覆蓋率C (%)等三個因子推導求年平均泥砂產量 SY 公式，即

$$SY = 0.875P^{3.09}C^{-1.53}S^{3.3} \quad (3.3.46)$$

除了上述各種推估公式外，多因子素統計模型中就以美國通用土壤流失公式(USLE)最具代表性。但是，通用土壤流失公式只限於模擬分析坡面紋溝及紋溝間的土壤侵蝕，欠缺對溪谷區溪岸崩塌地滑和溪流底床之泥砂沖淤模擬，還不能表徵集水區產砂的完整面貌。

三、集水區產砂物理法：

本法係由集水區實際發生的水砂物理過程為基礎，用一個或多個數學方程加以描述，並用一定的數值方法加以求解，各項參數具有物理意義；換言之，基於崩蝕力學、水力學、水文學及泥砂運動力學等基本理論，利用各種數學方法，將集水區崩蝕、水砂匯流、泥砂堆積及產砂的物理過程，經過簡化所建立的產砂模型。其中，常應用於溪流部分的產砂模式，包括 HEC-RAS、NETSTARS、CCHE1D、…等一維動床數值模式(參見本篇 3.2 節)。由於本法之物理基礎強，外延精度高，有利於地區移用和延伸，可以模擬侵蝕產砂的時空變化，並可通過參數反映人類活動影響後水砂的變化。

四、泥砂遞移率：

泥砂遞移率(sediment delivery ratio, SDR)係指在一定時段內通過溪流某一已知斷面的實測輸砂量(產砂量)與該斷面以上集水區總崩蝕量(含溪床沖刷量)之比值，它是泥砂崩蝕量與輸砂量之間的轉換係數。在某已知斷面上游泥砂崩蝕量可以估算的情況下，如果知道集水區泥砂遞移率，就可以估算下游的輸砂量，從而滿足規劃或設計之需求。一般，由式(3.3.47)可定義集水區泥砂遞移率為

$$\text{SDR} = \frac{SY}{SS} \quad (3.3.47)$$

泥砂遞移率$\text{SDR} \leq 1.0$，其數值表現可以具體反映集水區水流的輸砂能力，當數值越大，表明水流輸砂能力越強，數值越小，水流輸砂能力越弱；也可以用來評估集水區水土保持保育治理效果，數值越大，設施治理效果越差，數值越小，設施治理效果越好。

推算泥砂遞移率時，必須要具備有斷面以上集水區之土砂崩蝕量和通過斷面的輸砂量，這兩個條件要在同一個集水區同時存在是很難的。因此，經常是

通過其他途徑近似地獲取崩蝕量，從而結合已有之產砂量公式，推估集水區泥砂遞移率，或者通過影響泥砂遞移率的因素相關分析，建立泥砂遞移率之經驗計算式。

求得泥砂遞移率之情況下，選擇與泥砂遞移率相關性最好的一個或多個因子作為自變量，建立泥砂遞移率與主要影響因子的經驗模型，是目前比較普遍的作法。例如，以單因子為主的經驗模型，往往是以作為主要的控制因素(Roehl, 1962)，如表 調-3-3-18 所示(賴益成，1998)。表中顯示，泥砂遞移率隨集水區面積增加而減小，此乃因集水區面積越大，其平均坡度越小，且蓄積泥砂的地方越多，導致泥砂遞移率降低。

儘管單因子經驗模型簡易，惟其可靠性隨著集水區面積增加、地形變化越趨複雜而降低，從而有了多因子經驗模型，包括泥砂遞移率與集水區面積、河溪密度、地形起伏比、集水區加權平均分汊比、..等多因子關係式，茲綜整如表調 3-3-18 所示(賴益成，1998)。表中，各經驗公式為由地貌及自然地理環境單因素及多因素所建構，因各種地理參數的不確地性，而將其外延至其他地區和集水區是困難的。

表 調 3-3-18 基於多因子泥砂遞移率計算公式(修改自：賴益成，1998)

地區		*SDR* 公式	作者
臺灣地區 10 座在槽水庫	單因子	$SDR = 249.14\ A^{-0.316}$	陳樹群、賴益成(2006)
	多因子	$SDR = 126.22\ A^{0.35} S^{0.22}$	
曾文水庫及其他八座水庫集水區	單因子	$SDR_S = 129.02(L/\sqrt{S_r})^{-0.19}$ $SDR = 165.67 A^{-0.24}$	賴益成(1987)
	多因子	$SDR = 149.9 d_{50}^{-0.03}(L/\sqrt{S_r})^{-0.21}$ $SDR = 36.97(W/(2\sqrt{S})^{-0.46} R_c^{0.52}$	
臺灣德基水庫	多因子	$SDR = 574.38 + 0.022\ A - 179(S_a/S) - 648.12\ C$	吳宗寶(1994)
臺灣石門水庫	多因子	$SDR_S = 334 - 84(S_a/S) - 325\ C + 375(V_c/Q_{st})$	阮香蘭(1992)
臺灣石門水庫	多因子	$SDR_S = -15.638 + 5.9692(S_o/S_a) + 66.8314(R/L) + 12.197\ B_R$	劉永得(1989)
臺灣濁水溪流域	多因子	$SDR = -29.1 + 110.2(S_o/S_a) + 112.8(R/L)$	陳中憲(1988)

<附註>

SDR =集水區泥砂遞移率； SDR_S =河溪泥砂遞移率； A =集水區面積； S =集水區平均坡度； L =主河溪長； S_r =溪床坡度； W =集水區平均寬度； R_c =河溪密度； S_a =主流坡度； C =覆蓋率； V_c =防砂壩年平均攔砂量； Q_{st} =年平均泥砂產量； S_o =觀測區段平均坡度； R/L =起伏量比； B_R =分岔比)。

五、數值高程模型(DEM)概估法

由降雨事件前、後之空載光達(LiDAR)數值地形模型(DEM)進行套疊比對，獲取降雨事件前、後集水區之的泥砂崩蝕量、殘留量及其發生區位分布，如圖 調3-3-8 為以直觀微地形立體地圖，分別展示降雨事件前、後及套疊分析後的地形變化比對結果。圖中顯示，圖中淺紅色區域表示無顯著地形地貌改變；淺藍色區域表地表高程下降，屬於土壤侵蝕區域；而深綠色區域表地表高程上升，為泥砂殘留堆積區域。不過必須強調的是，受限於空載光達的高程精度，前、後兩期降雨事件的比對結果仍存在一定的誤差，並不適於推估表層水力侵蝕量(即層蝕、紋蝕及溝蝕等)。

應用空載光達測量資料製作降雨事件前、後高精度的數值地形模型，確實可以求解土砂收支方程式[即式(3.3.39)]，相當簡便，惟必須擁有事件發生前、後之空載光達資料，除了經費較為龐大外，因其垂直精度僅達 15cm 左右，無法據以推估表層土壤侵蝕量。

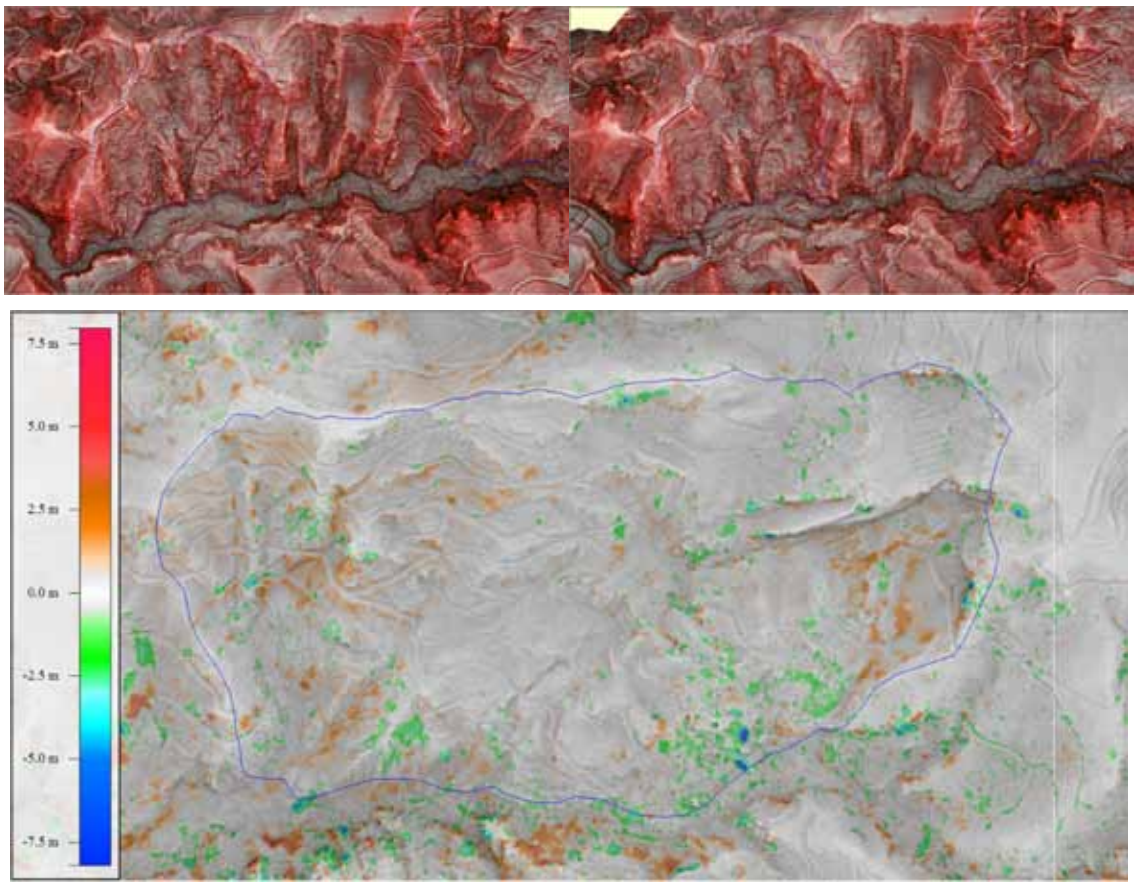


圖 調 3-3-8 99 年及 104 年直觀立體地圖比對分析(地點：阿里山鄉茶山村頓阿巴娜溪集水區)

3.3.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2015)，「高屏溪及林邊溪集水區土砂收支管理模式建置」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會林務局(2012)，國有林莫拉克風災土砂二次災害潛勢影響評估」。

何智武、段錦浩(1983)，「國姓水庫集水區泥砂產量之試驗分析研究」，國立中興大學水土保持研究所。

吳建民(1978)，「臺灣地區河川輸砂量之推估公式」，集水區及河川之經理研討會論文集，國立臺灣大學水資源研究小組，p.184-206。

吳嘉俊、王阿碧(1996)，「屏東老埤地區雨滴粒徑與侵蝕動能之研究」，中華水土保持學報， 27(2)：pp. 151-165。

范正成、楊智翔、劉哲欣(2009)，「台北地區降雨侵蝕指數推估公式之建立及歷年變化趨勢分析」，中華水土保持學報，40(2)：pp. 113-121。

莊智瑋、林昭遠(2010)，「利用 DEM 萃取集水區崩塌深度空間變異情形-Khazai and Sitar 修正關係式」。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

陳毅青(2012)，「降雨誘發崩塌侵蝕之規模頻率及其控制因子，臺灣大學工學院土木工程學系博士論文。

陳樹群、何智武、沈學汶(2001)，「中小型水庫集水區治理成效及土砂整治率評估計畫」，經濟部水資源局。

陳樹群、翁愷翎、吳俊鋐(2010)，「玉峰溪集水區崩塌特性與崩塌體積之探討」，中華水土保持學報，41(3)，pp. 217-229。

陳樹群、馮智偉(2005)，「應用 Logistic 迴歸繪製崩塌潛感圖-以濁水溪流域為例」，水土保持學報，36(2)，pp. 191-206。

陳樹群、簡如宏、馮智偉、巫仲明(1998)，「本土化土壤侵蝕指標模式之建立」，中華水土保持學報，29(3)，pp. 233-247。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2016)，「臺灣河川輸砂公式建置及應用研究(2/3)」。

經濟部水資局(1993)，「臺灣東部區域重要河川輸砂量研究」。

萬鑫森、黃俊義(1981)，「臺灣西北部土壤侵蝕性及流失量之估算」，中華水土保 持學報，12(1)，pp. 57-67。

萬鑫森、黃俊義(1989)，「臺灣坡地土壤侵蝕」，中華水土保持學報，第 20(2)，pp. 17-45。

盧昭堯、蘇志強、吳藝昀(2005)，「臺灣地區年降雨侵蝕指數圖之修訂」，中華水土保持學報，36(2)，pp. 159-172。

賴益成(1998)，「集水區泥砂遞移率之推估研究」，中興大學水土保持學碩士論文。

Avendaño Salas C, Sanz Montero E, Cobo Rayán R, Gómez Montaña J. L.(1997) Sediment yield at Spanish reservoirs and its relationship with the drainage basin area, In Proceedings Nineteenth Congress-International Commission on Large Dams, Florence, Italy, Q.74-R. 54, pp. 863-874.

Khazai, B. & Sitar, N.(2000)Assessment of seismic slope stability using GIS modeling. ,Annals of GIS , 6(2), pp. 121-128.

McCool, D. K., Brown, L. C., Forster, G. R., Mutchler, C. K. and Meyer, L. D., (1987)Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation, Transactions of the ASAE, 30, pp. 1387-1396.

Takahashi, T.(1982)Study on deposition of debris flows(3): Erosion of debris fan, Annuals of Disaster Prevention Research Institute. Kyoto Univ. , Kyoto, Japan, 25B-2, pp. 327-348,1982. (in Japanese)

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D.(1958)Rainfall energy and its relationship to soil loss, Transactions of the American Geophysical Union 39: pp. 285-91.

Wischmeier,W.H. and Smith, D.D.(1978)Predicting rainfall erosion losses, USDA Agricultural Research Service Handbook 537p.

Wuttichaikitcharoen, P. and Babel, M.S.(2014)Principal component and multiple regression analyses for the estimation of suspended sediment yield in ungauged basins of Northern Thailand, Water , 6, pp. 2412-2435.

Zingg, A.W. (1940)Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agricultural Engineering 21, pp. 59-64.

肆、附錄

附錄一 無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 等係數表

附 表 4-1-1 離島各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數表

測站	站號	A	B	C	G	H
澎佳嶼	--	41.24459	55	0.76884	0.45652	0.37764
澎湖	--	67.43539	55	0.87459	0.43048	0.39567
蘭嶼	--	23.88976	55	0.65632	0.54268	0.31782
東吉島	--	46.77038	55	0.82291	0.45675	0.37746

附 表 4-1-2 北部地區各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
基隆	012001	22.32395	55	0.65509	0.55394	0.30996	3301.3
鞍部	030005	9.85432	55	0.50718	0.55906	0.30647	4459.3
福山(2)	030037	13.88876	55	0.53952	0.52893	0.32755	2976.9
孝義(1)	030038	17.95987	55	0.59706	0.63588	0.25322	3558.8
龜山	030042	29.73367	55	0.70359	0.66837	0.23070	3234.9
乾溝(1)	030050	21.54449	55	0.63497	0.60264	0.27630	2841.6
粗坑	030055	45.61652	55	0.81544	0.59061	0.28463	2757.6
台北	030065	36.86933	55	0.75934	0.53313	0.32442	2126.2
火燒寮	030069	18.66015	55	0.59330	0.58439	0.28887	5547.5
竹子湖	030080	10.17801	55	0.49434	0.54251	0.31795	4761.3
淡水	030083	24.62938	55	0.68187	0.53402	0.32378	2011.6
桶後	030121	19.02911	55	0.59839	0.62949	0.25762	3845.8
南山	100002	13.45068	55	0.55261	0.49857	0.34850	2195.4
梵梵(2)	100012	10.79076	55	0.48751	0.48099	0.36078	3016.5
圓山進水口	100013	12.88224	55	0.54525	0.54395	0.31716	3297.0
天埤	100018	10.03551	55	0.47346	0.54376	0.31728	3362.3
宜蘭	100026	18.93080	55	0.61162	0.50141	0.34648	2729.0

新寮	120003	11.19436	55	0.49043	0.49507	0.35098	4192.2
冬山	120004	17.08174	55	0.58006	0.50703	0.34265	3594.2
新竹	130012	28.51528	55	0.69696	0.52670	0.32891	1763.5
大元山	180001	12.59072	55	0.52193	0.48741	0.35694	4968.0
山腳	180002	7.61074	55	0.41063	0.59074	0.28460	5552.0
新北城	--	23.15892	55	0.66036	0.52986	0.32677	＊＊＊

附 表 4-1-3 中部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(㎜)
環山	250002	8.91790	55	0.49562	0.51791	0.33524	2172.5
梨山(2)	250004	19.83246	55	0.60886	0.57620	0.29462	2196.9
達見(3)	250006	15.04943	55	0.55921	0.54762	0.31450	2462.6
青山(3)	250007	14.59370	55	0.55016	0.50476	0.34432	2628.2
谷關	250009	13.81604	55	0.52045	0.53656	0.32227	2624.4
八仙新山	250011	13.85284	55	0.52709	0.56451	0.30264	2674.5
天輪	250017	14.70180	55	0.54040	0.48611	0.35743	2429.9
新伯公	250020	21.47802	55	0.63991	0.58446	0.28719	2315.6
大南	250022	13.44786	55	0.53240	0.63553	0.25352	2286.6
思源(2)	250040	13.70636	55	0.52242	0.50235	0.35694	2263.0
佳陽山	250061	16.88423	55	0.56236	0.52085	0.33315	2575.4
台中	270042	25.20544	55	0.67379	0.46230	0.37368	1728.8
靜觀	290005	15.31955	55	0.56622	0.57215	0.29750	2157.2
天池(2)	290006	13.68458	55	0.49276	0.59452	0.28188	4341.4
雲海(2)	290007	10.10490	55	0.46724	0.53649	0.32233	3160.6
廬山	290010	20.08373	55	0.61455	0.60699	0.27333	2307.1
萬大	290014	29.11286	55	0.68070	0.49629	0.35024	2161.5
奧萬大	290017	26.25378	55	0.65873	0.56938	0.29899	2323.3
武界	290019	24.40627	55	0.64431	0.57024	0.29887	2449.5
青雲(2)	290026	26.87536	55	0.68801	0.58218	0.29056	1831.1
玉山	290029	10.79076	55	0.46930	0.62179	0.26279	2743.8

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
水社	290039	25.87844	55	0.67626	0.50850	0.34177	2064.5
日月潭	290040	20.55841	55	0.61944	0.52178	0.33239	2310.5
大觀	290042	16.18605	55	0.53997	0.45655	0.37798	4581.2
鉅工	290043	28.43697	55	0.66529	0.56718	0.30092	2163.8
集集	290046	26.60795	55	0.69219	0.58603	0.28783	2366.0
阿里山	290055	13.21153	55	0.50597	0.56849	0.29988	4106.4
平岩山	290060	11.52628	55	0.49536	0.49837	0.34881	2101.3
龍神橋	290075	26.36823	55	0.68796	0.62293	0.26216	1957.0
西螺(2)	290080	63.94031	55	0.85671	0.60374	0.27543	1356.7
立鷹	290082	29.57058	55	0.65106	0.53562	0.32280	2633.2
高峰	290084	26.09516	55	0.63310	0.53546	0.32298	1953.1
望鄉	290087	14.05812	55	0.54659	0.53095	0.32608	2427.0
西巒	290088	16.01029	55	0.57247	0.52234	0.33205	2359.6
褒忠(2)	313048	34.03808	55	0.74349	0.52951	0.32707	1096.0
林內	330001	34.31148	55	0.75384	0.63367	0.25470	2039.2
北港(2)	330055	42.69279	55	0.78103	0.57643	0.29443	1328.4
大埔	330061	35.34334	55	0.73459	0.60982	0.27126	2391.7
溪口(3)	330063	43.54566	55	0.78545	0.53373	0.32412	1392.2
中坑(3)	330068	30.48668	55	0.72606	0.60916	0.27171	1947.7

附 表 4-1-4 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
樟腦寮(2)	350042	16.49158	55	0.59612	0.59594	0.28094	3021.5
大湖山	370002	27.00170	55	0.67889	0.57420	0.29601	3290.2
關子嶺	390043	30.16885	55	0.70997	0.62637	0.25975	2776.0
六溪	390047	41.56008	55	0.77689	0.55038	0.31256	2172.0
達邦	410001	13.29157	55	0.52735	0.54883	0.31359	2711.6
照興(2)	410007	20.68110	55	0.61739	0.60212	0.27605	2625.5

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
台南	430022	19.71402	55	0.63609	0.53450	0.32352	1750.9
木柵	450001	37.72111	55	0.74893	0.58880	0.28582	2230.9
阿蓮(3)	450007	30.15468	55	0.69772	0.57104	0.29818	1542.9
竹子腳	470015	31.09416	55	0.72237	0.56087	0.30526	1904.1
高雄	490005	36.15409	55	0.70541	0.46238	0.37358	1748.7
甲仙(2)	510036	57.71863	55	0.84343	0.55292	0.31066	2759.8
屏東(5)	510060	3.12358	55	0.64500	0.62328	0.26194	2137.9
美濃(2)	510081	22.72760	55	0.66283	0.65446	0.24028	2771.3
新豐	510092	24.20526	55	0.65117	0.61317	0.26892	2819.6
旗山(4)	510107	23.72620	55	0.66663	0.63202	0.25580	2262.2
泰武(3)	550001	26.56727	55	0.47048	0.60127	0.27719	5164.8
恆春	650001	23.27919	55	0.66477	0.56130	0.30485	2197.8
新大觀	--	7.29807	55	0.38723	0.52092	0.33304	＊＊＊
新北城	--	23.15892	55	0.66036	0.52986	0.32677	＊＊＊

附 表 4-1-5 東部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
達美多	220005	9.15884	55	0.45203	0.43058	0.39072	2128.2
洛韶	220011	11.86888	55	0.49852	0.44946	0.39863	1997.0
合歡啞口	220012	14.58524	55	0.55850	0.53196	0.32537	2397.6
花蓮	246002	18.96718	55	0.62415	0.59511	0.28134	2044.0
溪口	300015	21.38800	55	0.65809	0.56047	0.30563	2300.6
水簾	300029	10.35542	55	0.47781	0.45257	0.38066	2276.3
清水第一	300031	16.81229	55	0.56955	0.43254	0.39454	1981.0
奇萊(1)	300034	10.47991	55	0.47412	0.48055	0.36120	2644.3
立山	340024	9.87356	55	0.48335	0.54795	0.31421	2031.6
台東	400021	16.89673	55	0.60746	0.57554	0.29495	1822.0
紅葉	400023	12.55664	55	0.52886	0.60210	0.27659	2010.0

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
鹿鳴橋	400033	10.77254	55	0.46708	0.56754	0.30063	1926.7
紹家	540003	23.14480	55	0.65250	0.51950	0.33396	2568.3
大武	546002	17.78650	55	0.59530	0.52993	0.32667	2471.3
成功	--	17.01372	55	0.60148	0.56717	0.30079	1767.8
新大觀	--	7.29807	55	0.38723	0.52092	0.33304	＊＊＊

附 表 4-1-6 北部地區各雨量站之年平均雨量表

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
富貴角	013001	2050.3	大竹	057003	1759.0
三光(1)	030009	2050.3	埔心	057005	1765.6
巴陵	030012	2266.6	平鎮(1)	070002	2066.7
高義	030015	2206.2	宋屋(1)	070004	1869.9
水流東(1)	030018	2694.7	水尾	070010	1868.8
石門(2)	030022	2539.4	觀音(1)	079001	1664.1
大溪(1)	030024	2254.7	新坡	079003	1809.5
缺子	030027	2157.1	大崙	079006	1814.6
三峽	030030	2234.9	礁溪(2)	080002	2439.9
海山	030034	2005.0	新屋	090003	1846.2
新莊	030035	1868.9	永安	090004	1661.9
烏來(1)	030041	3654.2	湖口(1)	091001	1643.6
四堵	030044	3454.4	留茂安	100005	2549.1
坪林(2)	030048	3153.6	土場(1)	100008	2692.8
新店(1)	030056	2489.0	圓山(1)	100016	3014.3
石碇(1)	030058	3341.4	三關	100020	2629.3
鞍部(2)	030081	4762.7	竹林	130002	2294.5
雙峻頭	030082	2273.1	大閣南	130003	2250.0
嘎拉賀	030088	2385.4	梅花	130006	2450.8
暖暖(2)	030095	4666.6	竹東(1)	130011	2035.8
瑞芳(2)	030105	4664.0	新竹(3)	130015	1556.0

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
桃園(1)	050002	1882.1	新竹(2)	130016	1576.6
八德	050004	1849.8	竹南	150001	1543.6
竹圍	050006	1810.8	蘇澳(1)	160001	3989.4
大園	057002	1781.4	大濁水	200003	2403.4

附 表 4-1-7 中部地區各雨量站之年平均雨量表(1)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
南庄(1)	170003	2362.4	山子腳	270054	1465.0
大南埔	170004	1868.5	大肚(1)	270057	1288.2
峨眉	170005	1928.5	永安(1)	279001	1148.3
珊珠湖	170006	1745.8	大城(1)	279003	1193.0
竹南(2)	170008	1525.4	竹塘(2)	279009	1219.6
橫龍山	190002	2483.9	二林(4)	279012	1136.4
大湖(1)	190003	2081.9	后寮	279014	1069.0
苗栗(2)	190005	1581.7	路上(2)	279015	1076.5
新店	190006	2204.1	溪洲(2)	279017	1411.2
後龍	190008	1475.9	溪洲(1)	279018	1387.8
三義(2)	210002	2038.9	原斗	279021	1201.8
苑裡(1)	213001	1244.0	萬興	279026	1140.6
象鼻(1)	230005	2423.4	溪湖(1)	279028	1280.8
卓蘭(1)	230009	2004.8	田中(1)	279031	1535.4
泰安	230010	1740.6	永靖	279034	1374.0
日南	230013	1472.9	員林(1)	279035	1461.4
磁瑤	235002	1402.5	埔鹽	279037	1215.4
大甲	235003	1427.0	打鐵厝	279038	1169.1
白冷(1)	250018	2446.2	安東	279040	1165.0
東勢(1)	250021	2196.4	彰化(1)	279042	1400.5
社寮(1)	250023	1874.6	東埔	290030	2389.9
七星	250024	1535.4	和社	290033	1607.7

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
月眉(2)	250028	1616.0	蓮華池	290041	2389.9
出雲山	250038	3024.5	集集(1)	290045	2366.0
清水(2)	257003	1256.6	清水溝	290047	2624.8
惠蓀	270003	2640.0	溪頭	290048	2645.1
埔里(1)	270012	2160.0	二水	290065	2031.5
埔里(2)	270013	2449.5	下水埔	290067	1515.9
同源	270029	1966.5	鹿場	290071	1348.4
草屯(1)	270035	1641.4	西螺(1)	290072	1366.9
萬斗六	270037	1642.1	大義	290073	1293.1
霧峰(1)	270038	1621.0	桶頭(2)	290079	2782.6
草湖	270041	1612.8	滴子	291001	1283.1
台中(2)	270043	1721.0	阿勸(1)	291002	1100.9
聚興	270047	1771.4	大有(1)	291005	1142.3
豐原(1)	270048	1840.8	豐榮(1)	291006	1218.9
林厝	270052	1493.6	過溪	310004	1447.9
水崛頭	270053	1508.0	廉使	310005	1371.3

附 表 4-1-8 中部地區各雨量站之年平均雨量表(2)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
麥寮(1)	310010	1192.9	同安	313044	1138.2
水林(1)	313001	1381.3	新光	313045	1193.1
水井	313006	1353.6	海豐	313051	1206.5
宜梧(2)	313007	1252.8	梅林	330004	2194.3
頂彎	313011	1249.3	竹圍子(1)	330008	1659.9
口湖(1)	313013	1289.4	斗六(2)	330012	1614.8
土庫(2)	313016	1455.1	惠來	330013	1503.6
埤腳	313018	1357.3	大崙	330014	1921.2
元長(1)	313020	1311.9	古坑(1)	330021	2187.5
五塊	313021	1240.4	斗南(1)	330027	1502.3

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
飛沙	313026	1247.2	大埔美(2)	330031	1817.7
三合	313029	1395.3	大埤(1)	330035	1460.5
虎尾	313030	1260.4	大林(1)	330037	1551.7
東屯	313033	1423.3	鹿寮	330043	1389.5
馬光	313034	1346.6	客厝	330044	1394.4
埔姜	313035	1270.6	內寮	330045	1337.2
褒忠(1)	313036	1094.1	民雄(1)	330048	1579.2
東勢(1)	313037	1269.4	北港(5)	330053	1324.9
台西(1)	313041	1225.6	鳥松(1)	330058	1362.8
昌南	313043	1095.3			

附 表 4-1-9 南部地區各雨量站之年平均雨量表(1)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
興中	335004	1491.6	菁寮(1)	370022	1630.8
月眉	335006	1522.8	仕安	370027	1580.7
新港(1)	335008	1495.8	義竹(2)	370028	1453.2
大客	335009	1484.9	義竹(1)	370029	1506.0
六腳	335013	1409.0	白河(2)	390002	1346.7
溪下子(2)	335017	1370.4	白河(5)	390005	1994.7
鰲股(1)	335018	1244.4	安溪	390009	1730.7
下揖(2)	335019	1362.1	西口	390011	2355.5
竹崎(1)	350003	2478.8	重溪	390016	1790.9
嘉義(1)	350007	2048.0	柳營(1)	390022	1577.0
過溝	350011	1502.1	歡雅	390033	1487.5
中島	350014	1433.2	鹽水(2)	390037	1542.5
太保(2)	350017	1256.6	尖山埤	390040	1720.5
蒜頭(1)	350019	1412.3	分歧	391001	1827.9
蒜頭(2)	350020	1224.8	隆田(1)	391003	1745.9
後潭	350021	1554.7	中營	391008	1602.6

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
梅埔	350022	1526.8	大屯	391011	1580.0
東勢寮	350025	1213.3	麻豆(總爺)	391013	1746.0
朴子(1)	350026	1373.2	後營	391017	1684.1
永和	350029	1355.6	子龍	391021	1620.6
鹿草(1)	350030	1448.3	佳里(2)	391022	1549.9
馬稠後	350032	1336.7	樹子腳	391029	1636.4
松梅	350033	1475.0	七股	391031	1550.1
竹村	350034	1167.1	將軍(1)	391035	1525.9
下潭(2)	350036	1360.6	舊田	391039	1538.3
竹崎(2)	350040	2967.9	東口	410006	2685.4
岸內場	357002	1451.4	楠西	410010	2479.0
光榮	357006	1433.6	玉井(2)	410012	2454.8
樹林	357007	1421.5	北寮	410014	2480.3
前東港	357010	1323.2	二溪	410017	2055.5
新厝	357011	1335.6	茄拔(2)	410026	1794.7
中安	357019	1386.1	烏山頭	410028	1991.5
奮起湖	370001	3763.1	麻豆	410030	1677.3
頂六(1)	370006	2097.1	後大埔	410037	2643.5
中埔(1)	370008	2978.6	善化	413002	1737.9
中埔(2)	370009	2391.2	豐華	413004	1701.7
嘉義(1)	370013	1984.1	安南	413013	1611.3
南靖	370017	1716.6	安定(1)	413014	1637.5

附 表 4-1-10 南部地區各雨量站之年平均雨量表(2)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
善化(2)	413026	1619.9	中壇	510042	2655.2
新市(1)	430003	1781.3	手巾寮	510044	2524.8
新化(2)	430009	1841.0	萊子坑	510045	2337.7
仁德	450015	1782.7	旗尾(3)	510047	2440.3

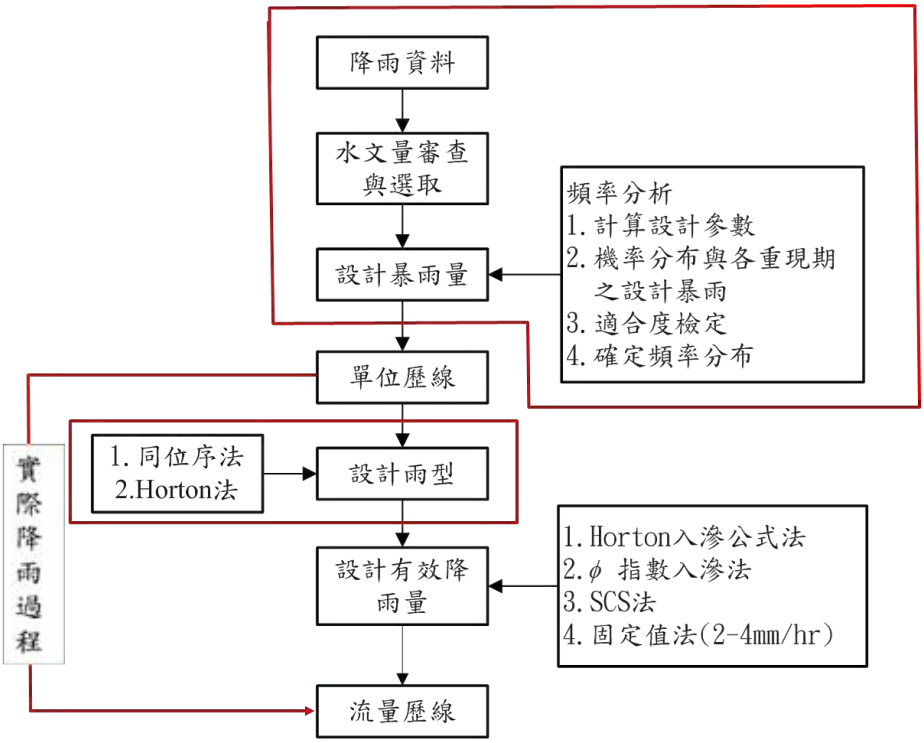
測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
岡山	470003	1865.7	旗山(1)	510048	2423.9
楠梓	479002	1903.3	彌力肚	510050	2371.3
鳥松	490001	1865.9	里港(1)	510055	2305.1
舊城	490003	1745.6	屏東(1)	510062	2369.7
澄清湖	490007	1189.4	屏東(2)	510065	2307.7
高樹(1)	510020	2912.1	東港(1)	530030	1825.3
月眉(1)	510038	2711.0	牡丹	630001	3245.9
月眉(2)	510039	2694.3			

附 表 4-1-11 東部地區各雨量站之年平均雨量表(資料來源：水土保持手冊，2005)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
溪畔(1)	220003	2014.7	玉里(3)	340012	2187.9
北埔	246001	2036.7	富源(1)	340018	2565.6
田埔(1)	280003	1839.9	瑞德穗	340025	1858.9
大富(1)	300001	2582.8	新港	368001	2283.3
大農	300002	2771.2	霧鹿	400002	1770.4
萬里	300009	2281.2	關山(2)	400006	1981.4
鳳林(1)	300011	2324.6	瑞豐	400009	2006.6
平和	300017	1979.1	鹿野	400011	1870.5
豐田(2)	300019	2213.2	岩灣	400018	1659.9
吳全城(2)	300022	2009.7	利嘉	420002	1812.2
銅門	300032	2015.6	大南(2)	440002	2417.8
池上(1)	340002	1916.6	知本(2)	460003	1718.7
池上(2)	340003	1857.5	太麻里	480004	2194.0
富里(1)	340004	2014.0			

附錄二、修正三角形單位歷線參考算例

應用修正三角形單位歷線法推估某集水區實際降雨之洪水歷線及設計洪水時，其推算流程如附 圖 4-2-1 所示。其中，設計暴雨、設計雨型及設計有效降雨量等推算方法，可參考水文學專書，而本附錄則依照本流程圖之相關步驟，詳為說明實際降雨洪水歷線及設計洪水之推算方法，以資參考。



附 圖 4-2-1 設計降雨與流量演算流程

一、修正三角形單位歷線

推算某集水區之洪水歷線前，應由該集水區相關地文資料建立修正三角形單位歷線。其推算步驟如下：

(一) 基本資料：

1.集水區面積A =29.55(km^2)。

2.溪流長度L =10.0(km)。

3.溪流縱斷面高程差H =0.695(km)。

4.坡面漫地流流動長度l =300(m)。

5.坡面漫地流流速v =0.6(m/s)。

(二) 集流時間t_c：

1.流入時間t_1 (雨水經地表面由集水區邊界流至河道所需時間)

$$t_1 = \frac{l}{v} = \frac{300}{0.6} = 500(s) \cong 0.14(hr) \quad (4.2.1)$$

2.流下時間t_2 (雨水流經河道由上游至下游所需時間)，本案例採用芮哈(Rziha)經驗公式估算

流下速度

$$W = 72\left(\frac{H}{L}\right)^{0.6} = 72\left(\frac{0.695}{10.0}\right)^{0.6} = 14.54(km/hr) \quad (4.2.2)$$

流下時間

$$t_2 = \frac{L}{W} = \frac{10.0}{14.54} = 0.69(hr) \quad (4.2.3)$$

3.集流時間t_c如下

$$t_c = t_1 + t_2 = 0.14 + 0.69 = 0.83(hr) \quad (4.2.4)$$

(三) 推定單位降雨延時(D)：

由於t_c <1.0hr，參考表 調 3-1-5 建議選取單位降雨延時D =5min，即1/12hr。

(四) 計算單位歷線U(1/12, t)：

單位歷線U(1/12, t)括號內的 1/12 係指單位降雨延時D=1/12hr。單位歷線相關計算如下：

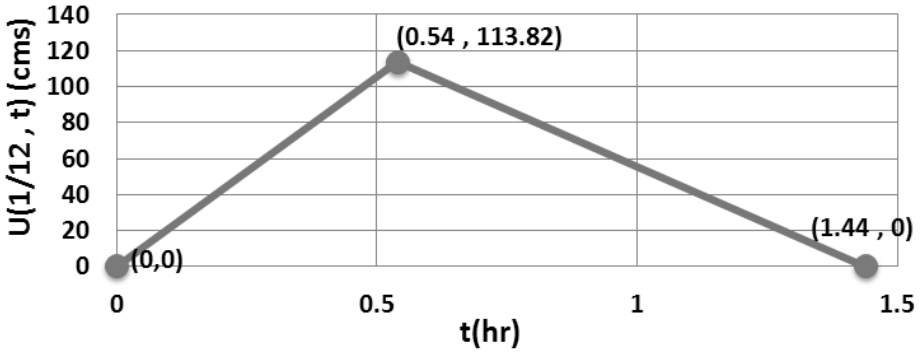
$$R_e = 10(mm) \quad (4.2.5)$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c = \frac{1/12}{2} + 0.6 \times 0.83 = 0.54(hr) \quad (4.2.6)$$

$$T_b = 2.67T_p = 2.67 \times 0.54 = 1.44(hr) \quad (4.2.7)$$

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot A \cdot R_e}{T_p} = \frac{0.208 \times 29.55 \times 10}{0.54} = 113.82(cms) \quad (4.2.8)$$

由Q_p、T_p與T_b等繪出單位歷線U(1/12, t)分布圖，如附 圖 4-2-2 所示。



附 圖 4-2-2 單位歷線U(1/12, t)分布圖

接著，以 1/12hr 為間距，逐步內插單位歷線U(1/12, t)各時間的流量大小，如表 4-2-1 所示。

附 表 4-2-1 單位歷線U(1/12, t)

時間(hr)	$U(1/12,t)$
0.000	0.0
0.083	17.6
0.167	35.1
0.250	52.7
0.333	70.3
0.417	87.8
0.500	105.4
0.583	108.3
0.667	97.8
0.750	87.3
0.833	76.7
0.917	66.2
1.000	55.6
1.083	45.1
1.167	34.6
1.250	24.0
1.333	13.5
1.417	3.0
1.500	0.0

(五) 歷線轉換：

應用單位歷線時，往往因實際降雨有效延時和單位歷線的有效降雨延時不同而引起誤差。例如，實際降雨有效延時短，所用的單位歷線有效降雨延時長，則推算的洪峰流量會偏低，反之偏高。解決的辦法是用 S-歷線法(S-hydrograph method)將已知有效降雨延時D單位歷線轉換為所需的有效降雨延時單位歷線，以符合實際需要。

1.單位歷線U(1/12, t)轉換為U(1/6, t)

本算例係將單位歷線有效降雨延時D=1/12(hr)轉換為有效降雨延時D=1/6。

(1)由於本案例的降雨事件係蒐集「十分鐘雨量」，故配合雨量資料的時間尺度，將單位歷線U(1/12, t)轉換為U(1/6, t)。U(1/6, t)係指單位降雨延時D=1/6(hr)的單位歷線。

(2)先由單位歷線U(1/12, t)求出 S 歷線，過程如附 表 4-2-2 所示。

附 表 4-2-2　S 歷線

時間 (hr)	*S* 歷線疊加過程																			S(t) 歷線
0.000	0.0																			0.0
0.083	17.6	0.0																		17.6
0.167	35.1	17.6	0.0																	52.7
0.250	52.7	35.1	17.6	0.0																105.4
0.333	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0															175.7
0.417	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0														263.5
0.500	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0													368.9
0.583	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0												477.2
0.667	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0											575.0
0.750	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0										662.3
0.833	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0									739.0
0.917	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0								805.2
1.000	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0							860.8
1.083	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0						905.9
1.167	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0					940.5
1.250	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0				964.5
1.333	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0			978.0
1.417	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6	0.0	…	981.0
1.500	0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1	17.6		981.0
1.583		0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7	35.1		981.0
1.667			0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3	52.7		981.0
1.750				0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8	70.3		981.0
1.833					0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4	87.8		981.0
1.917						0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3	105.4		981.0
2.000							0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8	108.3		981.0
2.083								0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3	97.8		981.0
2.167									0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7	87.3		981.0
2.250										0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2	76.7		981.0
2.333											0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6	66.2		981.0
2.417												0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1	55.6		981.0
2.500													0.0	3.0	13.5	24.0	34.6	45.1		981.0
2.583														0.0	3.0	13.5	24.0	34.6		981.0
2.667															0.0	3.0	13.5	24.0		981.0
2.750																0.0	3.0	13.5		981.0
2.833																	0.0	3.0		981.0
2.917																		0.0		981.0

(3)再由 S 歷線轉換成U(1/6, t)，轉換公式如下：

$$U(D',t)=\frac{D}{D'}\left[S(t)-S(t-D')\right] \tag{4.2.9}$$

式中，D=原單位降雨延時，D′=擬轉換成的單位降雨延時。因此，透過轉換公式計算過程如下

$$\begin{aligned} &U\left(\frac{1}{6},t\right)=\frac{1/12}{1/6}\left[S(t)-S\left(t-\frac{1}{6}\right)\right] \\ &\rightarrow U\left(\frac{1}{6},t\right)=0.5\left[S(t)-S\left(t-\frac{1}{6}\right)\right] \end{aligned} \tag{4.2.10}$$

接著，依據上述關係計算U(1/6, t)，過程如附 表 4-2-3 所示。

(4)為方便應用，可將附 表 4-2-3 中的U(1/6, t)以時間間距為 1/6(hr)排列之，如附 表 4-2-4 所示。

附 表 4-2-3 單位歷線U(1/6, t)計算過程

時間 (hr)	$S(t)$歷線	$S(t-1/6)$歷線	$S(t)-S(t-1/6)$	$U(1/6,t)=0.5[S(t)-S(t-1/6)]$
0.000	0.0		0.0	0.0
0.083	17.6		17.6	8.8
0.167	52.7	0.0	52.7	26.4
0.250	105.4	17.6	87.8	43.9
0.333	175.7	52.7	123.0	61.5
0.417	263.5	105.4	158.1	79.1
0.500	368.9	175.7	193.2	96.6
0.583	477.2	263.5	213.7	106.9
0.667	575.0	368.9	206.1	103.1
0.750	662.3	477.2	185.1	92.6
0.833	739.0	575.0	164.0	82.0
0.917	805.2	662.3	142.9	71.5
1.000	860.8	739.0	121.8	60.9
1.083	905.9	805.2	100.7	50.4
1.167	940.5	860.8	79.7	39.9
1.250	964.5	905.9	58.6	29.3
1.333	978.0	940.5	37.5	18.8
1.417	981.0	964.5	16.5	8.3
1.500	981.0	978.0	3.0	1.5
1.583	981.0	981.0	0.0	0.0
1.667	981.0	981.0	0.0	0.0
1.750	981.0	981.0	0.0	0.0
1.833	981.0	981.0	0.0	0.0
1.917	981.0	981.0	0.0	0.0

時間 (hr)	$S(t)$歷線	$S(t-1/6)$歷線	$S(t)-S(t-1/6)$	$U(1/6,t)=0.5[S(t)-S(t-1/6)]$
2.000	981.0	981.0	0.0	0.0
2.083	981.0	981.0	0.0	0.0
2.167	981.0	981.0	0.0	0.0
2.250	981.0	981.0	0.0	0.0
2.333	981.0	981.0	0.0	0.0
2.417	981.0	981.0	0.0	0.0
2.500	981.0	981.0	0.0	0.0
2.583	981.0	981.0	0.0	0.0
2.667	981.0	981.0	0.0	0.0
2.750	981.0	981.0	0.0	0.0
2.833	981.0	981.0	0.0	0.0
2.917	981.0	981.0	0.0	0.0

附 表 4-2-4 單位歷線U(1/6, t)

時間(hr)	$U(1/6,t)$
0.000	0.0
0.167	26.4
0.333	61.5
0.500	96.6
0.667	103.1
0.833	82.0
1.000	60.9
1.167	39.9
1.333	18.8
1.500	1.5
1.667	0.0

2.單位歷線U(1/12, t)轉換為U(1, t)

本算例係將單位歷線有效降雨延時D = 1/12(hr)轉換為有效降雨延時D = 1(hr)。

(1)若降雨資料係「時雨量」，配合雨量資料的時間尺度，將單位歷線U(1/12, t)轉換為U(1, t)。U(1, t)係指單位降雨延時D = 1(hr)的單位歷線。

(2)先由單位歷線U(1/12, t)求出 S 歷線，過程與前述附 表 4-2-2 相同。

(3)再由 S 歷線轉換成U(1, t)，轉換公式如下：

$$U(1,t)=\frac{1/12}{1}[S(t)-S(t-1)]$$
$$\rightarrow U(1,t)=0.0833[S(t)-S(t-1)] \quad (4.2.11)$$

接著，依據上述關係計算U(1, t)，過程如附 表 4-2-5 所示。

附 表 4-2-5 單位歷線U(1, t)計算過程

時間 (hr)	$S(t)$ 歷線	$S(t-1)$ 歷線	$S(t)-S(t-1)$	$U(1,t)=0.0833[S(t)-S(t-1)]$
0.000	0.0		0.0	0.0
0.083	17.6		17.6	1.5
0.167	52.7		52.7	4.4
0.250	105.4		105.4	8.8
0.333	175.7		175.7	14.6
0.417	263.5		263.5	21.9
0.500	368.9		368.9	30.7
0.583	477.2		477.2	39.8
0.667	575.0		575.0	47.9
0.750	662.3		662.3	55.2
0.833	739.0		739.0	61.6
0.917	805.2		805.2	67.1
1.000	860.8	0.0	860.8	71.7
1.083	905.9	17.6	888.3	74.0
1.167	940.5	52.7	887.8	74.0
1.250	964.5	105.4	859.1	71.6
1.333	978.0	175.7	802.3	66.8
1.417	981.0	263.5	717.5	59.8
1.500	981.0	368.9	612.1	51.0
1.583	981.0	477.2	503.8	42.0
1.667	981.0	575.0	406.0	33.8
1.750	981.0	662.3	318.7	26.5
1.833	981.0	739.0	242.0	20.2
1.917	981.0	805.2	175.8	14.6
2.000	981.0	860.8	120.2	10.0
2.083	981.0	905.9	75.1	6.3
2.167	981.0	940.5	40.5	3.4
2.250	981.0	964.5	16.5	1.4
2.333	981.0	978.0	3.0	0.2
2.417	981.0	981.0	0.0	0.0
2.500	981.0	981.0	0.0	0.0
2.583	981.0	981.0	0.0	0.0
2.667	981.0	981.0	0.0	0.0
2.750	981.0	981.0	0.0	0.0
2.833	981.0	981.0	0.0	0.0
2.917	981.0	981.0	0.0	0.0

(4)為方便應用，可將附 表 4-2-5 中的U(1, t)以時間間距為 1.0(hr)排列之，如表 4-2-6 所示。

附 表 4-2-6 單位歷線U(1, t)

時間(hr)	$U(1,t)$
0.000	0.0
1.000	71.7
2.000	10.0
3.000	0.0

二、由實際降雨歷程推算流量歷線

(一) 降雨事件的雨量資料

以短延時降雨事例為例，說明由實際降雨經由修正三角形單位歷線推算其相應之流量歷線。已知集水區發生某場 1.0 hr 之降雨事件，鄰近自動雨量站記錄的 10min 雨量 P 值，如附 表 4-2-7 所示。為配合單位歷線之定義，建議 10min 雨量 P 以公分為單位。

附 表 4-2-7 降雨事件的雨量資料

時間	10*min* 雨量(P , cm)
PM 12：00~12：10	0.2
PM 12：10~12：20	0.5
PM 12：20~12：30	1.1
PM 12：30~12：40	1.8
PM 12：40~12：50	0.9
PM 12：50~13：00	0.3

(二) 洪水流量歷線推估

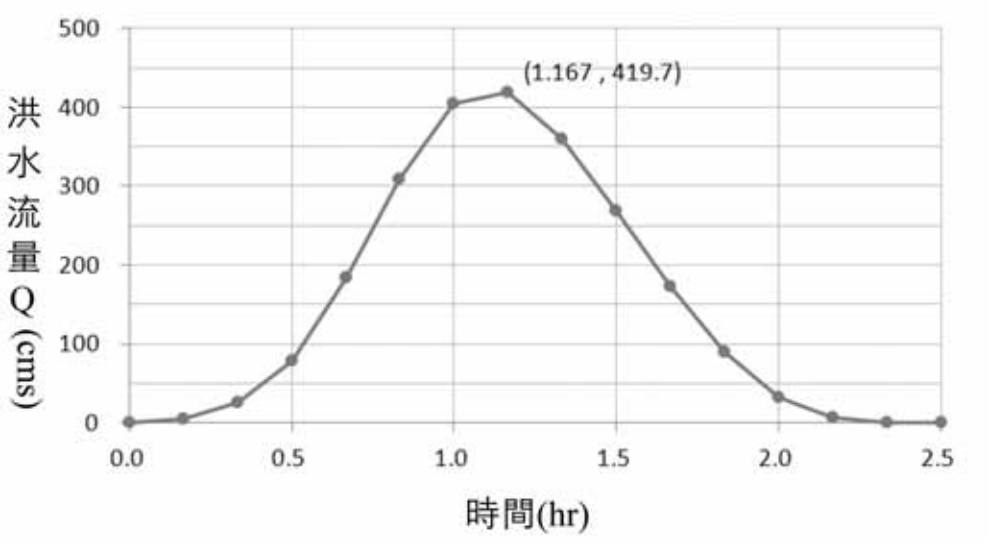
結合附 表 4-2-5 的 10min 雨量P與單位歷線U(1/6, t)計算洪水流量，如下所示

$$Q = P \times U(1/6\ ,t) \tag{4.2.12}$$

式中，Q=洪水流量(cms)，P=10min 雨量(cm)，U(1/6, t)=有效降雨延時 1/6hr 之單位歷線。依據單位歷線之定義，10min 雨量P以公分為單位。洪水流量Q計算過程如附 表 4-2-8 所示，並繪出洪水流量歷線，如附 圖 4-2-3 所示。

附 表 4-2-8 洪水流量Q計算過程

時間(hr)	$0.2\times U(1/6,t)$	$0.5\times U(1/6,t-1/6)$	$1.1\times U(1/6,t-2/6)$	$1.8\times U\left(\frac{1}{6},t-\frac{3}{6}\right)$	$0.9\times U\left(\frac{1}{6},t-\frac{4}{6}\right)$	$0.3\times U\left(\frac{1}{6},t-\frac{5}{6}\right)$	洪水流量 Q (cms)
0.000	0.0						0.0
0.167	5.3	0.0					5.3
0.333	12.3	13.2	0.0				25.5
0.500	19.3	30.8	29.0	0.0			79.1
0.667	20.6	48.3	67.7	47.5	0.0		184.1
0.833	16.4	51.6	106.3	110.7	23.8	0.0	308.8
1.000	12.2	41.0	113.4	173.9	55.4	7.9	403.8
1.167	8.0	30.5	90.2	185.6	86.9	18.5	**419.7**
1.333	3.8	20.0	67.0	147.6	92.8	29.0	360.2
1.500	0.3	9.4	43.9	109.6	73.8	30.9	267.9
1.667	0.0	0.8	20.7	71.8	54.8	24.6	172.7
1.833		0.0	1.7	33.8	35.9	18.3	89.7
2.000			0.0	2.7	16.9	12.0	31.6
2.167				0.0	1.4	5.6	7.0
2.333					0.0	0.5	0.5
2.500						0.0	0.0



附 圖 4-2-3 洪水流量歷線圖

三、設計洪水

(一) 降雨量觀測資料

某已知集水區歷年之最大三小時降雨量觀測數據，如附 表 4-2-9 所示。

附 表 4-2-9 集水區歷年之最大三小時降雨量觀測數據

年份	最大三小時降雨量(mm)	年份	最大三小時降雨量(mm)
1959	309	1987	243
1960	123	1988	91
1961	200	1989	200
1962	428	1990	280
1963	233	1991	154
1964	276	1992	90
1965	392	1993	303
1966	259	1994	175
1967	94	1995	153
1968	107	1996	428
1969	191	1997	421
1970	120	1998	111
1971	396	1999	425
1972	285	2000	99
1973	100	2001	387
1974	84	2002	409
1975	325	2003	253
1976	233	2004	100
1977	203	2005	421
1978	303	2006	196
1979	205	2007	320
1980	246	2008	249
1981	251	2009	296
1982	386	2010	324
1983	359	2011	154
1984	323	2012	92
1985	253	2013	300
1986	260	2014	406

(二) 統計參數計算

依據集水區歷年之最大三小時降雨量觀測數據，進行統計參數計算，如附 表 4-2-10 所示。

附 表 4-2-10 統計參數計算

統計參數	原始資料(x)
平均值	μ =250.4
變異數	s^2 =11794.0
標準差	s =108.6

(三) 各重現期之設計暴雨演算

推估某特定重現期的水文量，可表為

$$x_T = \mu + K_T \sigma \tag{4.2.13}$$

上式為頻率分析之通式。式中，x_T=具重現期T之水文量；μ=水文資料的平均值；σ =水文資料的標準偏差；K_T=頻率因子(frequency factor)，為重現期T和頻率分布的函數。於水文分析中，較為常用的頻率分布包括常態分布、對數常態分布、皮爾遜 III 型分布、對數皮爾遜 III 型分布及極端值分布等。為方便計，本計算例採用極端值一型分布，則各重現期之頻率因子與水文量計算如下，並彙整為表 4-2-11。

$$K_{10} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}\{-ln[-ln(1-\frac{1}{T})] - 0.5772\} = 1.3046 \ ;$$

$$P_{10} = 250.4 + 1.3046 \times 108.6 = 392.1mm$$

$$K_{50} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}\{-ln[-ln(1-\frac{1}{T})] - 0.5772\} = 2.5923 \ ;$$

$$P_{50} = 250.4 + 2.5923 \times 108.6 = 531.9mm$$

$$K_{100} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}\{-ln[-ln(1-\frac{1}{T})] - 0.5772\} = 3.1367 \ ;$$

$$P_{10} = 250.4 + 3.1367 \times 108.6 = 591.0mm$$

附 表 4-2-11 集水區各重現期之最大三小時降雨量

機率分布	10 年	50 年	100 年
極端值一型分布	392.1	531.9	591.0

(四) 設計雨型

雨型係指總降雨量在降雨延時內之時間分布型態，一般常用的設計雨型(design hyetograph)包括同位序平均法、序率馬可夫(SSGM)雨型與 Horner 公式雨型法等三種類型。本計算例茲以比較常用的 Horner 公式雨型法為例，推求不同重現期之降雨時間分布。Horner 公式雨型法可以下列公式表示，即

$$I = \frac{a}{(t+b)^k} \tag{4.2.14}$$

式中， I=降雨延時t分鐘內之平均降雨強度(mm/hr)；t =降雨延時(min)；

a、b、k =常數，與特定雨量站、頻率分布、重現期等因素有關。其推求步驟如下：$6\text{hr} > t_c \geq 5hr$

1.計算集水區集流時間，並依集流時間t_c選擇雨型之單位時間間距t_r，即(a)當$t_c > 6hr$，$t_r = 60min$；(b)當$6\text{hr} > t_c \geq 5hr$，$t_r = 50min$；(c)當$5\text{hr} > t_c \geq 4hr$，$t_r = 40min$；(d)當$4\text{hr} > t_c \geq 3hr$，$t_r = 30min$；(e)當$3\text{hr} > t_c \geq 2hr$，$t_r = 20min$；(f)當$2\text{hr} > t_c \geq 1hr$，$t_r = 10min$；(g)當$1\text{hr} > t_c$，$t_r = 5min$。

2.參考「臺灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析」(經濟部水利署, 2003)查詢特定雨量站之 Horner 公式之常數。

3.利用該雨量站之 Horner 公式計算各延時之降雨強度，其對應之該延時降雨量(即降雨強度與延時之乘積)，再將每相鄰延時的降雨量相減，即得每一單位時間的降雨量。

4.將每個單位時間的降雨量除以總降雨量，可得各個單位時間的降雨百分比，將降雨百分比之最大值放置在中間，再依右大左小依序排列，即可完成尖峰在中央的雨型。

根據上述各個步驟，推求 3 小時雨型。首先，於本計算例中集流時間t_c=0.83hr，故選擇雨型之單位時間間距t_r為 5min。此外，透過「臺灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析」(經濟部水利署, 2003)，查出本計算例鄰近雨量站 50 年重現期的 Horner 公式常數，如附 表 4-2-12 所示。若採用極端值一型理論分布，則 50 年重現期的 Horner 降雨強度公式型式如下

$$I = \frac{325.298}{(t - 2.200)^{0.2302}} \tag{4.2.15}$$

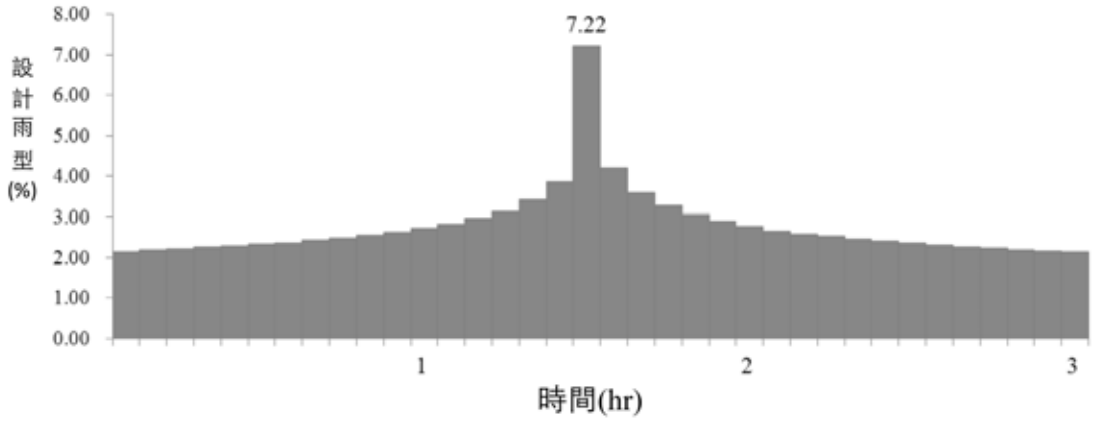
附 表 4-2-12 本範例鄰近雨量站的 Horner 公式常數

重現期(年)	理論分布	a	b	k
50	二參數對數常態	289.345	-3.400	0.2200
	三參數對數常態	268.494	-5.598	0.2071
	皮爾遜三型	256.971	-6.558	0.1977
	對數皮爾遜三型	306.607	-4.151	0.2326
	極端值一型	325.298	-2.200	0.2302

接著，依據上式，推算 50 年重現期之設計 3 小時 Horner 雨型，如附 表 4-2-13 所示；並繪製 50 年重現期之設計 3 小時 Horner 雨型圖，如附 圖 4-2-4 所示。

附 表 4-2-13 推算 50 年重現期之設計 3 小時 Horner 雨型

降雨延時 t(min)	降雨延時 t(min)內之平均降雨強度 I (mm/hr)	該延時降雨量 (mm)	各個單位時間的降雨量(mm)	各個單位時間的降雨百分比(%)	設計雨型(%)
(1)	*(2)*	$(3)=(2)\times\frac{(1)}{60}$	*(4)*	$(5)=\frac{(4)}{296.13}$	將(5)之最大值放置在中間，再依右大左小依序排列
5	256.65	21.39	21.39	7.22	2.15
10	202.73	33.79	12.40 **(註：33.79-21.39)**	4.19	2.18
15	180.88	45.22	11.43	3.86	2.21
20	167.66	55.89	10.67	3.60	2.25
25	158.37	65.99	10.10	3.41	2.29
30	151.31	75.66	9.67	3.27	2.33
35	145.66	84.97	9.31	3.14	2.37
40	140.98	93.99	9.02	3.05	2.42
45	137.00	102.75	8.76	2.96	2.48
50	133.56	111.30	8.55	2.89	2.55
55	130.54	119.66	8.36	2.82	2.62
60	127.85	127.85	8.19	2.77	2.71
65	125.43	135.88	8.03	2.71	2.82
70	123.23	143.77	7.89	2.66	2.96
75	121.23	151.54	7.77	2.62	3.14
80	119.39	159.19	7.65	2.58	3.41
85	117.69	166.73	7.54	2.55	3.86
90	116.12	174.18	7.45	2.52	7.22
95	114.64	181.51	7.33	2.48	4.19
100	113.27	188.78	7.27	2.46	3.60
105	111.97	195.95	7.17	2.42	3.27
110	110.76	203.06	7.11	2.40	3.05
115	109.61	210.09	7.03	2.37	2.89
120	108.52	217.04	6.95	2.35	2.77
125	107.49	223.94	6.90	2.33	2.66
130	106.50	230.75	6.81	2.30	2.58
135	105.57	237.53	6.78	2.29	2.52
140	104.67	244.23	6.70	2.26	2.46
145	103.82	250.90	6.67	2.25	2.40
150	103.00	257.50	6.60	2.23	2.35
155	102.21	264.04	6.54	2.21	2.30
160	101.46	270.56	6.52	2.20	2.26
165	100.73	277.01	6.45	2.18	2.23
170	100.03	283.42	6.41	2.16	2.20
175	99.36	289.80	6.38	2.15	2.16
180 **(註：設計 3 小時雨型)**	98.71	296.13	6.33	2.14	2.14
—	—	—	296.13	—	—



附 圖 4-2-4 繪製 50 年重現期之設計 3 小時 Horner 雨型圖

(五) 設計有效雨量推估

設計有效雨量係由設計暴雨扣除降雨損失而得。一般，降雨損失可採用ϕ指數入滲法、Horton 入滲公式法、SCS(Soil Conservation Service)曲線號碼法及固定值法(2-4mm/hr)等方法推估。本計算例採取較常用之固定值法，並取 3.0mm/hr 或 0.25mm/5 min 推估設計有效雨量，如附 表 4-2-14 所示。

附 表 4-2-14　50 年重現期之設計 3 小時有效雨量

時間 t(min)	時間 t(hr)	設計雨型 (%)	設計雨量(mm)	入滲率 (mm)	設計有效雨量 (mm)	設計有效雨量 (cm)
(1)	*(2)*	*(3)*	$(4)=531.9\times(3)$	*(5)*	$(6)=(4)-(5)$	$(7)=\frac{(6)}{10}$
5	0.083	2.15	11.44	0.25	11.19	1.119
10	0.167	2.18	11.60	0.25	11.35	1.135
15	0.250	2.21	11.75	0.25	11.50	1.150
20	0.333	2.25	11.97	0.25	11.72	1.172
25	0.417	2.29	12.18	0.25	11.93	1.193
30	0.500	2.33	12.39	0.25	12.14	1.214
35	0.583	2.37	12.61	0.25	12.36	1.236
40	0.667	2.42	12.87	0.25	12.62	1.262
45	0.750	2.48	13.19	0.25	12.94	1.294
50	0.833	2.55	13.56	0.25	13.31	1.331
55	0.917	2.62	13.94	0.25	13.69	1.369
60	1.000	2.71	14.41	0.25	14.16	1.416
65	1.083	2.82	15.00	0.25	14.75	1.475
70	1.167	2.96	15.74	0.25	15.49	1.549
75	1.250	3.14	16.70	0.25	16.45	1.645
80	1.333	3.41	18.14	0.25	17.89	1.789
85	1.417	3.86	20.53	0.25	20.28	2.028
90	1.500	7.22	38.40	0.25	38.15	3.815
95	1.583	4.19	22.29	0.25	22.04	2.204
100	1.667	3.60	19.15	0.25	18.90	1.890
105	1.750	3.27	17.39	0.25	17.14	1.714
110	1.833	3.05	16.22	0.25	15.97	1.597
115	1.917	2.89	15.37	0.25	15.12	1.512

120	2.000	2.77	14.73	0.25	14.48	1.448
125	2.083	2.66	14.15	0.25	13.90	1.390
130	2.167	2.58	13.72	0.25	13.47	1.347
135	2.250	2.52	13.40	0.25	13.15	1.315
140	2.333	2.46	13.08	0.25	12.83	1.283
145	2.417	2.40	12.77	0.25	12.52	1.252
150	2.500	2.35	12.50	0.25	12.25	1.225
155	2.583	2.30	12.23	0.25	11.98	1.198
160	2.667	2.26	12.02	0.25	11.77	1.177
165	2.750	2.23	11.86	0.25	11.61	1.161
170	2.833	2.20	11.70	0.25	11.45	1.145
175	2.917	2.16	11.49	0.25	11.24	1.124
180	3.000	2.14	11.38	0.25	11.13	1.113

(六) 設計洪水歷線

由附 表4-2-14之50年重現期3小時設計有效雨量，且時間間距為5min(或1/12hr)，採用修正三角形單位歷線U(1/12, t)計算洪水流量，如下所示

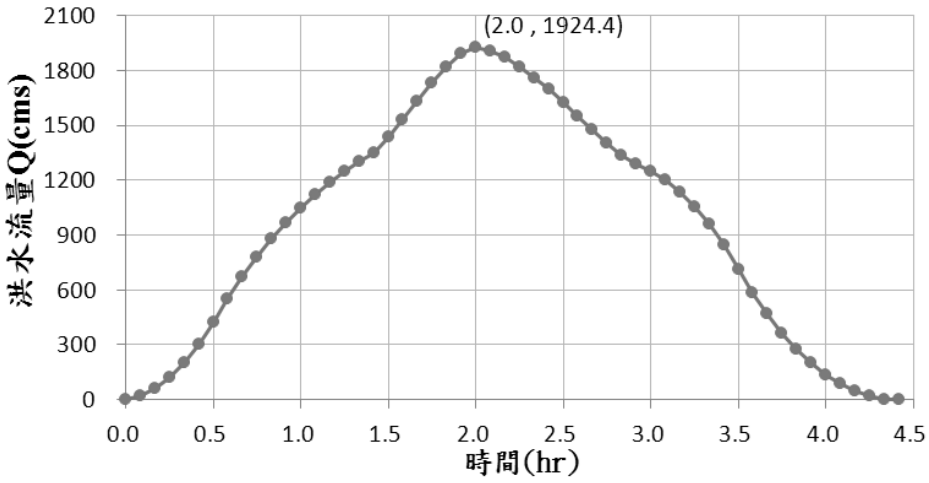
$$Q = P \times U(1/12, t) \qquad (4.2.16)$$

式中，Q =洪水流量(cms)，P =50 年重現期 3 小時設計有效雨量(cm)，U(1/12, t)=單位歷線。附 表 4-2-15 係依據上式推算之設計洪水，並繪出洪水流量歷線，如附 圖 4-2-5 所示。

附 表 4-2-15 洪水流量 Q 計算過程及結果

時間(hr)	$1.119\times U\left(\frac{1}{12},t\right)$	$1.135\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{1}{12}\right)$	$1.150\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{2}{12}\right)$	$1.172\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{3}{12}\right)$	…	$1.113\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{35}{12}\right)$	洪水流量 Q (cms)
0.000	0.0						0.0
0.083	19.7	0.0					19.7
0.167	39.3	20.0	0.0				59.3
0.250	59.0	39.8	20.2	0.0			119.0
0.333	78.7	59.8	40.4	20.6			199.5
0.417	98.2	79.8	60.6	41.1			300.7
0.500	117.9	99.7	80.8	61.8			423.5
0.583	121.2	119.6	101.0	82.4			551.5
0.667	109.4	122.9	121.2	102.9			669.9
0.750	97.7	111.0	124.5	123.5			778.9
0.833	85.8	99.1	112.5	126.9			878.8
0.917	74.1	87.1	100.4	114.6			969.6
1.000	62.2	75.1	88.2	102.3			1051.2
1.083	50.5	63.1	76.1	89.9			1124.3
1.167	38.7	51.2	63.9	77.6			1189.7
1.250	26.9	39.3	51.9	65.2			1247.9
1.333	15.1	27.2	39.8	52.9			1300.5
1.417	3.4	15.3	27.6	40.6			1351.1
1.500	0.0	3.4	15.5	28.1			1437.7
1.583		0.0	3.5	15.8			1534.4
1.667			0.0	3.5			1634.0

時間(hr)	$1.119\times U\left(\frac{1}{12},t\right)$	$1.135\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{1}{12}\right)$	$1.150\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{2}{12}\right)$	$1.172\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{3}{12}\right)$	…	$1.113\times U\left(\frac{1}{12},t-\frac{35}{12}\right)$	洪水流量 Q (cms)
1.750				0.0			1731.1
1.833							1819.7
1.917							1894.4
2.000					…		**1924.4**
2.083							1908.3
2.167							1872.1
2.250							1822.2
2.333							1762.9
2.417							1696.3
2.500							1625.5
2.583							1552.2
2.667							1477.6
2.750							1404.6
2.833							1336.4
2.917						0.0	1286.6
3.000						19.6	1249.8
3.083						39.1	1199.8
3.167						58.7	1135.0
3.250						78.2	1054.5
3.333						97.7	957.9
3.417						117.3	845.0
3.500					…	120.5	715.0
3.583						108.9	584.7
3.667						97.2	468.5
3.750						85.4	365.7
3.833						73.7	276.1
3.917						61.9	199.6
4.000						50.2	135.8
4.083						38.5	84.5
4.167						26.7	45.3
4.250						15.0	18.4
4.333						3.3	3.3
4.417						0.0	0.0



附 圖 4-2-5　50 年重現期 3 小時設計有效雨量之洪水流量歷線圖

附錄三、渠道及天然河流的曼寧粗糙係數 n 值

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
一、渠道			
(一)敷面或襯砌渠道，其材料為：			
1.水泥			
(1)表面光滑、清潔	0.010	0.011	0.013
(2)灰漿	0.011	0.013	0.015
2.木材			
(1)未處理木材，表面刨光	0.010	0.012	0.014
(2)處理木料，表面刨光	0.011	0.012	0.015
(3)表面未刨光	0.011	0.013	0.015
(4)用狹木條拼成的木板	0.012	0.015	0.018
(5)以油毛氈襯裡	0.010	0.014	0.017
3.混凝土			
(1)抹光	0.011	0.013	0.015
(2)用板刮平	0.013	0.015	0.016
(3)磨光，底部有卵石	0.015	0.017	0.020
(4)噴漿，表面良好	0.016	0.019	0.023
(5)噴漿，表面波狀	0.018	0.022	0.025
(6)在開鑿良好的岩石上襯工	0.017	0.020	
(7)在開鑿不好的岩石上襯工	0.022	0.027	
4.用板刮平的混凝土底，邊壁為：			
(1)灰漿中嵌有排列整齊的石塊	0.015	0.017	0.020
(2)灰漿中嵌有排列不規則的石塊	0.017	0.020	0.024
(3)粉飾的水泥塊石圬工	0.016	0.020	0.024
(4)水泥塊石圬工	0.020	0.025	0.030
(5)乾砌塊石	0.020	0.030	0.035
5.卵石底，邊壁為：			
(1)用木板澆注的混凝土	0.017	0.020	0.025
(2)灰漿中嵌亂石塊	0.020	0.023	0.026
(3)乾砌塊石	0.023	0.033	0.036
6.磚			

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
(1)加釉的	0.011	0.013	0.015
(2)在水泥灰漿中	0.012	0.015	0.018
7.圬工			
(1)漿砌塊石	0.017	0.025	0.030
(2)乾砌塊石	0.023	0.032	0.035
8.修整的方石	0.013	0.015	0.017
9.瀝青			
(1)光滑	0.013	0.013	
(2)粗糙	0.016	0.016	
10.槽內有植物生長	0.030		0.050
(二)開鑿或挖掘而不敷面的渠道			
1.渠線順直，斷面均勻的土渠			
(1)清潔，最近完成	0.016	0.018	0.020
(2)清潔，經過風雨傾蝕	0.018	0.022	0.025
(3)清潔，底部有卵石	0.022	0.025	0.030
(4)有牧草和雜草	0.022	0.027	0.033
2.渠線彎曲，斷面變化的土渠			
(1)沒有種植	0.023	0.025	0.030
(2)有牧草和一些雜草	0.025	0.030	0.033
(3)有密茂的雜草或在深槽中有水生植物	0.030	0.035	0.040
(4)土底，碎石邊壁	0.028	0.030	0.035
(5)塊石底，邊壁為雜草	0.025	0.030	0.040
(6)圓石底，邊壁清潔	0.030	0.040	0.050
3.用挖土機開鑿或挖掘的渠道			
(1)沒有植物	0.025	0.028	0.030
(2)渠岸有稀疏的小樹	0.035	0.050	0.060
4.石渠			
(1)光滑而均勻	0.025	0.035	0.040
(2)參差不齊而不規則	0.035	0.040	0.050
5.沒有加以維護的渠道，雜草和小樹未清除			
(1)有與水深相等高度的濃密雜草	0.050	0.080	0.120

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
(2)底部清潔，兩側壁有小樹	0.040	0.050	0.080
(3)在最高水位時，情況同上	0.045	0.070	0.110
(4)高水位時，有稠密的小樹	0.080	0.100	0.140
二、天然河道			
(一)小河流(洪水位時水面寬小於 30 公尺)			
1.平原河流			
(1)清潔，順直，無淺灘和深潭	0.025	0.030	0.033
(2)同上，多石及雜草	0.030	0.035	0.040
(3)清潔，彎曲，有深潭和淺灘	0.033	0.040	0.045
(4)同上，但有些雜草和石塊	0.035	0.045	0.050
(5)同上，水深較淺，河底坡度多變，平面上回流區較多	0.040	0.048	0.055
(6)與(4)相同，但有較多石塊	0.045	0.050	0.060
(7)流動很慢的河段，多草，有深潭	0.050	0.070	0.080
(8)多雜草的河段，河多深潭，及有林木、灌木叢	0.075	0.100	0.150
2.山區河流(河槽無草樹，河岸較陡，岸坡樹叢過洪時淹沒)			
(1)河底：礫石、卵石間有孤石	0.030	0.040	0.050
(2)河底：卵石和大孤石	0.040	0.050	0.070
(二)大河流(洪水位時水面寬大於 30 公尺)相應於上述小河流的各種情況，惟因河岸阻力較小，n 值略小			
1.斷面比較規整，無孤石或叢木	0.025		0.060
2.斷面不規整，床面粗糙	0.035		0.100
(三)洪水時期灘地漫流			
1.草地，無叢木			
(1)短草	0.025	0.030	0.035
(2)長草	0.030	0.035	0.050
2.耕種面積			
(1)未熟禾稼	0.020	0.030	0.040
(2)已熟成行禾稼	0.025	0.035	0.045
(3)已熟密植禾稼	0.030	0.040	0.050
3.矮叢木			

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
(1)稀疏，多雜草	0.035	0.050	0.070
(2)不密，夏季情況	0.040	0.060	0.080
(3)茂密，夏季情況	0.070	0.100	0.160
4.樹木			
(1)平整田地，幹樹無枝	0.030	0.040	0.050
(2)同上，幹樹多新枝	0.050	0.060	0.080
(3)密林，樹下小植物，洪水位在枝下	0.080	0.100	0.120
(4)同上，洪水位淹及樹枝	0.100	0.120	0.160

(資料來源：Chow, V. T.(1959)Open-Channel Hydraulics)

附錄四、臺灣各地之年降雨侵蝕指數

地 區	地 點	Rm	地 點	Rm
台北市、	基隆	9393	台北	11800
台北縣及	五堵	11674	淡水	10898
基隆市	乾溝	8842	三峽	12808
	四堵	10335	孝義	24219
	竹子湖	14035	粗坑	13907
	瑞芳	15568	富貴角	10226
	火燒寮	17030	福山	16918
桃園縣	大溪	12176	石門	15737
	八德	8821	觀音	7855
	平鎮	11208	嘎拉賀	11017
	復興	17861		
新竹縣	關西	13817	白石	11533
	新竹	8352	鞍部	10447
	湖口	7429	竹東	10985
	大閣南	14205	鎮西堡	10120
苗栗縣	竹南	5908	新店	13041
	後龍	6449	卓蘭	16593
	大湖	11509	南庄	15100
	三義	11276	橫龍山	16777
	苑裡	4485	天狗	15796
	土城	16069	馬達拉	21115
台中縣市	台中港	7521	環山	13459
	月眉	11815	梨山	13670
	番子寮	12037	達見	16744
	台中	13155	八仙新山	16028
	橫山	10326	天輪	15080
	雙崎	17997	大南	13676
	雪嶺	29465	鞍馬山	26192
南投縣	玉山	24830	開化	9262
	南投	14201	和社	10095
	翠巒	14879	集集	15135
	清流	13250	明潭	15090
	國姓	13677	溪頭	19582
	埔里	13305	竹山	14658
	北山	12198	龍神橋	11240
	廬山	17936	望鄉	16618
	武界	16320	卡奈托灣	8401
	奧萬大	14504		

地 區	地 點	Rm	地 點	Rm
彰化縣	大城	6560	員林	9441
	萬合	8352	彰化	9519
	溪湖	8171	二水	17165
	永靖	10105	鹿港	4982
	溪湖	8171	二水	17165
	永靖	10105	鹿港	4982
雲林縣	竹圍	9133	褒忠	8241
	大義	8183	斗南	12440
	後安寮	5737	北港	9398
	林內	17195	草嶺	17558
	飛沙	8042		
嘉義縣市	溪口	9638	達邦	18637
	月眉	11815	大埔	17175
	永和	9084	水山	20531
	馬稠後	9276	嘉義	16407
	義竹	10600	南靖	13020
	阿里山	40191	新港	11495
	大湖山	26880	中埔	22696
台南縣市	崁子頭	16288	二溪	16067
	西口	19641	左鎮	18177
	柳營	11420	烏山頭	15931
	尖山埤	13293	溪海	12203
	麻豆	13310	新化	14229
	溫汪	11165	崎頂	14773
	將軍	11182	台南	13088
	玉井	20850	車路墘	13361
	照興	18082		
高雄市及	天池	48008	古亭坑	13361
高雄縣	土壟	24470	阿蓮	12237
	林園	12135	前峰子	13037
	甲仙	21028	本洲	13208
	美濃	23191	楠梓	14773
	小林	21294	鳳山	13650
	馬里山	30197	高雄	12918
	表湖	24511	旗山	20305
	木柵	18603		
屏東縣	古夏	24500	泰武	44712
	三地門	24556	來義	21854
	阿禮	39890	里港	19539
	龍泉	18909	大響營	17258
	屏東	19301	加祿堂	14773
	四林	18501	大漢山	53259
	萬丹	15318	牡丹	38310
	東港	13888	恒春	23341
	新豐	22873	壽卡	46819

地 區	地 點	Rm	地 點	Rm
台東縣	向陽	35551	鹿野	11471
	紹家	32661	台東	7336
	大武	29239	里壟 2 林班	16254
	太麻里	13378	里壟 40 林班	20662
	忠勇	9679	大南	15663
	池上	11659	林班	16595
	霧鹿	10331	大武	16560
	瑞豐	12493		
花蓮縣	西林	8343	壽豐	7365
	溪畔	9172	高嶺	20826
	合歡啞口	13100	西林	11189
	托博闊	9521	玉里	9906
	陶塞	11654	富源	14307
	花蓮	9000	立山	10011
	大觀	34882	三民	8983
	鳳林	11284	奇萊	17360
	清水第一	8787	富里	11982
宜蘭縣	宜蘭	8015	池端	30110
	冬山	11191	天埤	21158
	南山	9410	南澳	21144
	太平山	19884	山腳	52250
	土場	15306	大濁水	12854

R_m 單位：百萬焦耳・公釐/公頃・小時・年(資料來源：修改自黃俊德，1979)

附錄五、臺灣各地之土壤侵蝕指數

地點	Km	地點	Km	地點	Km
台北市、台北縣及基隆市					
石碇小格頭	0.0277	坪林石槽	0.0342	貢寮三紹角	0.0448
貢寮望遠坑	0.0514	雙溪牡丹	0.0132	瑞芳九份	0.0408
瑞芳中坑	0.0263	平溪十分寮	0.0250	石碇永定	0.0408
深坑土庫	0.0474	汐止	0.0527	萬里大坪	0.0316
萬里磺潭	0.0250	金山三界	0.0250	石門草埔尾	0.0290
石門白沙灣	0.0184	三芝八賢	0.0198	三芝北新莊	0.0224
淡水小坪頂	0.0079	八里埤頭	0.0119	五股成仔寮	0.0211
林口（TP-22）	0.0224	新店屈尺	0.0211	烏來	0.0184
烏來孝義	0.0421	新店雙城	0.0395	泰山崎子腳	0.0356
樹林	0.0237	鶯歌中湖社區	0.0369	三峽忠義山莊	0.0382
三峽插角	0.0237	林口下福	0.0461	林口頂福	0.0198
林口（TP-34）	0.0237	八里觀音山麓	0.0369	淡水	0.0329
土城清水	0.0540	八堵	0.0435	七堵東勢中股	0.0369
宜蘭縣					
南澳金岳	0.0290	蘇澳東澳	0.0250	蘇澳猴猴坑	0.0158
蘇澳後湖	0.0158	冬山新寮	0.0171	冬山得安	0.0119
大同寒溪	0.0263	大同松羅	0.0132	員山頭圳	0.0263
員山枕山	0.0250	礁溪匏崙	0.0277	礁溪大忠	0.0250
頭城金面	0.0277	頭城大溪	0.0593		
桃園縣					
龍潭銅鑼台地	0.0329	龍潭二角林	0.0211	龍潭二坪	0.0435
復興水源地	0.0053	復興三民	0.0040	楊梅	0.0237
龜山下湖	0.0356	龜山	0.0079	龜山大湖頂	0.0329
龜山兔坑國小	0.0184	八德仁善	0.0158	大溪三層	0.0158
大溪慈湖	0.0171				
新竹縣市					
峨眉富興	0.0261	峨眉西富	0.0268	北埔獅尾	0.0268
五峰桃山	0.0195	竹東軟橋	0.0616	橫山	0.0389
竹東托盤山麓	0.0270	竹東二重	0.0210	香山元培醫專	0.0435
寶山寶豐牧場	0.0237	新竹市關東橋	0.0250	新豐明新工專	0.0250
芎林	0.0277	新埔昭門	0.0289	竹北義民廟旁	0.0276
關西馬武督	0.0039	新豐新莊子	0.0434	新竹青草湖	0.0158
苗栗縣					
三義	0.0191	三義勝興	0.0243	三義彭厝	0.0081
銅鑼老雞籠	0.0271	苗栗市西郊	0.0407	西湖北坑	0.0110
公館	0.0140	頭屋明德水庫	0.0176	竹南崎頂	0.0101
頭份坪頂	0.0049	頭份東興水庫	0.0117	造橋	0.0219
造橋北極宮旁	0.0040	後龍飯店仔	0.0154	通霄福龍宮旁	0.0345
通霄	0.0160	通霄南勢	0.0130	苑裡蕉埔	0.0216
卓蘭坪頂	0.0070	卓蘭拖車尾	0.0340	大湖中興村	0.0288
大湖	0.0257	獅潭竹木村	0.0250	獅潭和興	0.0226
南庄田美	0.0209				

地點	Km	地點	Km	地點	Km
台中縣市					
龍井東海大學	0.0356	霧峰	0.0421	大里塗城	0.0421
外茅埔	0.0448	北屯大坑	0.0487	新社中興嶺	0.0421
新社水井村	0.0395	石岡德興村	0.0487	東勢新伯公	0.0395
東勢中坑坪	0.0553	豐原南嵩里	0.0382	后里昆盧寺	0.0303
后里仁里村	0.0474	后里月眉	0.0395	清水海風里	0.0342
南投縣					
國姓大旗村	0.0474	大坪頂	0.0132	埔里虎仔山	0.0329
東光	0.0158	過溪仙水農場	0.0461	水頭山隧道口	0.0290
南投武東	0.0369	南投橫山	0.0395	赤水	0.0342
名間松柏坑	0.0329	名間頂南仔	0.0303	竹山外田	0.0395
延平照鏡山	0.0369	鹿谷廣興	0.0277	鹿谷永隆	0.0382
中寮包尾	0.0619	中寮社區	0.0632	中寮桃米坑	0.0579
集集北勢坑	0.0369	水里民和村	0.0211	魚池太平村	0.0316
魚池魚池茶場	0.0132	魚池新城	0.0435		
彰化縣					
芬園下樟	0.0500	芬園八股	0.0603	花壇橋頭	0.0461
雲林縣					
古坑外湖	0.0495	古坑草嶺	0.0463	古坑蕃尾坑	0.0547
古坑內館	0.0377	古坑桂林	0.0326	古坑樟湖	0.0482
古坑尖山埔	0.0264	古坑早寮	0.0281	古坑大埔	0.0279
古坑枋寮埔	0.0274	古坑圳頭坑	0.0236	古坑湖山岩	0.0257
林內觸口	0.0281	林內坪頂	0.0274	林內湖山寮	0.0287
斗六楓樹湖	0.0212	林內林茂	0.0170		
嘉義縣市					
梅山安靖	0.0553	竹崎木履寮	0.0421	竹崎（CY-3）	0.0500
民雄三興	0.0356	民雄寶林寺	0.0566	竹崎（CY-6）	0.0514
嘉義蘭潭水庫	0.0290	嘉義番路江西	0.0487	番路半天岩	0.0408
中埔鹿腳	0.0421	番路下路行	0.0566	中埔（CY-12）	0.0257
中埔沄水	0.0514	中埔（CY-14）	0.0659	水上檳榔樹腳	0.0474
民和	0.0356	大埔	0.0527		
台南縣市					
白河內角	0.0395	白河白河水庫	0.0514	東山六重溪	0.0593
東山仙公廟	0.0421	東山青山	0.0527	東山枋仔林	0.0685
東山牛山礦場	0.0435	官田	0.0421	大內	0.0412
大內烏頭	0.0527	官田鎮安宮旁	0.0369	柳營王爺宮旁	0.0435
六甲大丘園	0.0527	楠栖烏山嶺	0.0290	楠栖曾文水庫	0.0408
楠栖	0.0421	楠栖龜甲溫泉	0.0553	南化水寮	0.0711
南化（TN-19）	0.0395	南化（TN-20）	0.0487	玉井九層林	0.0500
關廟八甲寮	0.0527	龍崎	0.0369	關廟	0.0448
新化新化農場	0.0474	左鎮岡林	0.0540		

地點	Km	地點	Km	地點	Km
高雄市及高雄縣					
內門萊仔坑	0.0435	旗山觀亭	0.0514	杉林愛丁寮	0.0461
甲仙埔尾	0.0329	甲仙	0.0421	六龜（KH-6）	0.0408
六龜（KH-7）	0.0448	旗山	0.0303	旗山花旗山莊	0.0448
田寮崇德	0.0395	燕巢	0.0134	阿蓮小岡山	0.0316
阿蓮	0.0474	小港	0.0369	大寮新莊	0.0158
大寮義仁	0.0329	大寮內坑	0.0250	大樹	0.0408
旗山	0.0316	嶺口	0.0250	燕巢深水	0.0250
大社觀音山麓	0.0487	仁武	0.0408	鳳山	0.0421
屏東縣					
車城射寮龜山	0.0158	恆春社頂	0.0119	恆春水蛙堀	0.0147
恆春鵝鑾鼻	0.0158	墾丁畜牧分場	0.0079	恆春籠子埔	0.0211
墾丁公園（PT-7）	0.0132	墾丁公園(PT-8)	0.0119	恆春核電場旁	0.0171
恆春貓鼻頭	0.0092	恆春白沙	0.0132	滿州港乾橋旁	0.0079
滿州（PT-13）	0.0277	滿州（PT-14）	0.0290	牡丹	0.0290
壽卡	0.0329	楓港	0.0303	楓林	0.0316
春日	0.0277	新開	0.0198	新埤	0.0263
餉潭	0.0250	來義丹林社區	0.0224	來義古樓國小	0.0303
內埔老埤農場	0.0290	三地門	0.0171	高樹廣興	0.0303
高樹大烏	0.0290				
台東縣					
富岡	0.0290	東河興昌	0.0277	東河	0.0277
成功	0.0171	長濱	0.0211	池上	0.0237
海端新武	0.0145	關山	0.0369	達仁	0.0211
大武尚武	0.0158	大武大竹	0.0198	太麻里金崙	0.0263
金峰	0.0263	太麻里南坑	0.0237	卑南	0.0237
卑南初鹿	0.0250	延平紅葉	0.0263	鹿野	0.0250
鹿野新豐	0.0342	關山月眉	0.0342		
花蓮縣					
新城	0.0303	秀林	0.0448	吉安	0.0277
壽豐	0.0263	鳳林	0.0342	萬榮	0.0342
光復	0.0250	瑞穗富源	0.0215	瑞穗舞鶴	0.0364
卓溪太平	0.0261	玉里樂合	0.0198	富里東里	0.0184
富里石牌	0.0250	光復海岸山脈	0.0237	豐濱	0.0158
澎湖縣					
七美東湖	0.0230	七美南港	0.0147	望安水樓	0.0176
望安將軍	0.0096	白沙後寮	0.0197	白沙通梁	0.0134
西嶼竹灣	0.0125	白沙中屯	0.0212	白沙赤崁	0.0131
西嶼大池	0.0161	西嶼池東	0.0151	馬公朝陽	0.0212
湖西中西	0.0202	湖西東衛	0.0057	湖西湖東	0.0147
馬公鎖港	0.0120				

Km 單位：(公噸-公頃-小時-年/10^6 焦耳-毫米-公頃-年)(資料來源：修改自黃俊德，1979)

附錄六、坡度分割表

S 值修正比(C_u ： C_d)

上、下坡面比 (L_u ： L_d)	*S* 值修正比	
	上游坡面(C_u)	下游坡面(C_d)
1:1	0.354	0.646
1:2	0.192	0.808
1:3	0.125	0.875
1:4	0.189	0.911
1:5	0.068	0.932
2:1	0.544	0.456
3:1	0.650	0.350
4:1	0.716	0.284
5:1	0.761	0.239

S 值修正比(C_u ： C_m ： C_d)

L_u ： L_m ： L_d	C_u	C_m	C_d	L_u ： L_m ： L_d	C_u	C_m	C_d
1:1:1	0.192	0.352	0.456	1:2:1	0.125	0.525	0.350
1:1:2	0.125	0.229	0.646	1:2:2	0.089	0.375	0.535
1:1:3	0.089	0.164	0.747	1:2:3	0.068	0.286	0.646
1:1:4	0.068	0.124	0.808	1:2:4	0.054	0.227	0.719
1:1:5	0.054	0.099	0.847	1:2:5	0.044	0.185	0.770
1:3:1	0.089	0.626	0.284	1:4:1	0.068	0.693	0.239
1:3:2	0.068	0.476	0.456	1:4:2	0.054	0.550	0.396
1:3:3	0.054	0.378	0.568	1:4:3	0.044	0.450	0.506
1:3:4	0.044	0.309	0.646	1:4:4	0.037	0.377	0.586
1:3:5	0.037	0.259	0.704	1:4:5	0.032	0.332	0.646
L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d	L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d
1:5:1	0.054	0.740	0.206	2:1:1	0.354	0.296	0.350
1:5:2	0.044	0.650	0.350	2:1:2	0.253	0.212	0.535
1:5:3	0.037	0.507	0.456	2:1:3	0.192	0.161	0.646

1:5:4	0.032	0.433	0.535	2:1:4	0.153	0.128	0.719
1:5:5	0.027	0.375	0.597	2:1:5	0.125	0.105	0.770
2:2:1	0.253	0.463	0.284	2:3:1	0.192	0.568	0.239
2:2:2	同 1:1:1			2:3:2	0.153	0.451	0.396
2:2:3	0.153	0.279	0.568	2:3:3	0.125	0.369	0.506
2:2:4	同 1:1:2			2:3:4	0.105	0.309	0.586
2:2:5	0.105	0.192	0.704	2:3:5	0.089	0.264	0.646
2:4:1	0.153	0.641	0.206	2:5:1	0.125	0.369	0.506
2:4:2	同 1:2: 1			2:5:2	0.105	0.581	0.314
2:4:3	0.105	0.440	0.456	2:5:3	0.089	0.496	0.414
2:4:4	同 1:2: 2			2:5:4	0.078	0.430	0.492
2:4:5	0.078	0.325	0.597	2:5:5	0.068	0.377	0.554
3:1:1	0.46	0.251	0.284	3:2:1	0.354	0.407	0.239
3:1:2	0.354	0.191	0.456	3:2:2	0.281	0.323	0.396
3:1:3	0.281	0.151	0.568	3:2:3	0.230	0.264	0.506
3:1:4	0.230	0.124	0.646	3:2:4	0.192	0.222	0.586
3:1:5	0.192	0.104	0.704	3:2:5	0.164	0.189	0.646
3:3:1	0.281	0.513	0.206	3:4:1	0.230	0.124	0.646
3:3:2	0.230	0.420	0.350	3:4:2	0.192	0.493	0.314
3:3:3	同 1:1:1			3:4:3	0.164	0.421	0.414
3:3:4	0.164	0.300	0.535	3:4:4	0.142	0.365	0.492
3:3:5	0.142	0.260	0.597	3:4:5	0.125	0.321	0.554
3:5:1	0.192	0.646	0.162	4:1:1	0.544	0.216	0.239
3:5:2	0.164	0.551	0.284	4:1:2	0.432	0.172	0.396
3:5:3	0.142	0.478	0.380	4:1:3	0.354	0.141	0.506
3:5:4	0.125	0.419	0.456	4:1:4	0.296	0.118	0.586
L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d	L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d
3:5:5	0.111	0.372	0.517	4:1:5	0.253	0.101	0.646
4:2:1	0.432	0.362	0.206	4:3:1	0.354	0.465	0.182
4:2:2	同 2:1:1			4:3:2	0.296	0.390	0.314
4:2:3	0.296	0.248	0.456	4:3:3	0.253	0.333	0.414

4:2:4	同 2:1:2			4:3:4	0.219	0.288	0.492
4:2:5	0.219	0.184	0.597	4:3:5	0.192	0.253	0.554
4:4:1	0.296	0.542	0.162	4:5:1	0.253	0.601	0.146
4:4:2	同 2:2:1			4:5:2	0.219	0.521	0.260
4:4:3	0.219	0.401	0.380	4:5:3	0.192	0.457	0.350
4:4:4	同 1:1:1			4:5:4	0.171	0.405	0.424
4:4:5	0.171	0.312	0.517	4:5:5	0.153	0.363	0.485
5:1:1	0.604	0.190	0.206	5:2:1	0.494	0.324	0.182
5:1:2	0.494	0.155	0.350	5:2:2	0.414	0.272	0.314
5:1:3	0.414	0.130	0.456	5:2:3	0.354	0.232	0.414
5:1:4	0.354	0.111	0.535	5:2:4	0.306	0.201	0.492
5:1:5	0.306	0.096	0.597	5:2:5	0.269	0.177	0.554
5:3:1	0.414	0.424	0.162	5:4:1	0.354	0.500	0.146
5:3:2	0.354	0.362	0.284	5:4:2	0.306	0.434	0.260
5:3:3	0.306	0.314	0.380	5:4:3	0.269	0.381	0.350
5:3:4	0.269	0.275	0.456	5:4:4	0.239	0.338	0.424
5:3:5	0.239	0.244	0.517	5:4:5	0.213	0.302	0.485
5:5:1	0.306	0.560	0.133				
5:5:2	0.269	0.492	0.239				
5:5:3	0.239	0.436	0.325				
5:5:4	0.213	0.390	0.396				
5:5:5	同 1:1:1						

附錄七、常用輸砂公式

附 表 4-7-1 床質載輸砂公式

作者	床質載輸砂公式
Bagnold (1966)	$q_{tw}=\frac{\gamma}{\gamma_s-\gamma}\tau V(\frac{e_b}{\tan\alpha}+0.01\frac{V}{\omega})$
	1.此式為單位寬度床質載輸砂率。 2. q_{tw} =單位寬度床質載輸砂率[(1*b*/*s*)/*ft*]；γ =水單位重(1*b*/*ft*^{3})；γ_s =砂單位重(1*b*/*ft*^{3})；τ =底床剪應力(1*b*/*ft*^{2})；V =平均流速(*ft*/*s*)；e_b =溪床載效率係； $\tan\alpha$ =底床剪應力與正向應力的比值； ω =沉降速度(*ft*/*s*)。 3.Bagnold 公式，利用流功(stream power)觀念，考慮輸砂行為之沖積系統的有效能量通率和作用功率之間的關係。
Engelund-Hansen (1967)	$f'\phi=0.1\theta^{5/2}$ 其中： $f'=\frac{2gSD}{V^2}$ ； $\phi=q_{tw}\left[\gamma_s\left(\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}\right)gd_m{}^3\right]^{-1/2}$ $\theta=\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d_m}$
	1.此式為粒徑導致的摩擦因子與無因次輸砂量之乘積。 2. f' =摩擦因子；ϕ =無因次輸砂量； g =重力加速度(*ft*/*s*^{2})； S =能量坡降； D =水深(*ft*)； V =平均流速(*ft*/*s*)； q_{tw} =單位寬度床質載輸砂率[(1*b*/*s*)/*ft*]；γ =水單位重(1*b*/*ft*^{3})；γ_s =砂單位重(1*b*/*ft*^{3})； d_m =河床質之中值粒徑(*ft*)； τ =底床剪應力(1*b*/*ft*^{2})。 3.Engelund-Hansene 公式，由 Bagnold 之流功(stream power)觀念及相似原理推導而成。 4.此公式適用於砂丘(dune)床面，也適用於砂粒大於 0.15mm 的高強度水流。

Ackers-White Formula Modified by Day(1980) and Proffitt-Sutherland (1983)	$G_{gr,i}=\frac{C_{ti}D}{i_{tw}d_i\gamma_s/\gamma}\left(\frac{U_*}{V}\right)^n$ $F_{gr,i}=n_iU_n^*\left[gd_i\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}\right)-1\right]^{-1/2}\left[\frac{V}{\sqrt{32}\log(10D/d_i)}\right]^{1-n}$ 其中： Day 之修正係數 $\eta_k=\frac{1}{0.4(d_i/d_A)^{-0.5}+0.6}$ ； $\frac{d_A}{d_{50}}=1.6\left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{-0.28}$ Proffitt-Sutherland 之修正係數 $\eta_k=\begin{cases}0.40, & d_i/d_u\le 0.075\\ 0.53\log(d_i/d_u)+1.0, & 0.075<d_i/d_u\le 3.7\\ 1.30, d_i/d_u>3.7 & d_i/d_u>3.7\end{cases}$
	1.此式為某一粒徑所相應之無因次化床質載公式。 2. C_{ti} =某一粒徑所相應之無因次化床質載濃度； D =水深(*ft*)； i_{tw} =某一粒徑所相應之床質載重量百分比(%)； d_i =某一粒徑(*ft*)； γ =水單位重(1*b/ft*^{3})； γ_s =砂單位重(1*b/ft*^{3})； U_* =剪力速度(*ft/s*)； V =平均流速(*ft/s*)； n =特定係數； $F_{gr,i}$ =某一粒徑所相應之移動數； g =重力加速度(*ft/s*^{2})； d_A, d_u =參考粒徑(*ft*)； $d\big\|_{i=50,84,16}$ =粒徑通過百分比達 50%、84%、16%之粒徑(*ft*)。 3.Ackers-White Formula Modified by Day(1980) and Proffitt-Sutherland (1983)，利用大量實驗室資料對應求出修正係數，將 Ackers-White 公式加以修正。
Yang (1973,1984)	(1)砂質河段 $(0.25mm<d_m<2mm)$ ： $\log C_{ts}=5.435-0.286\log\frac{\omega d_m}{\nu}-0.457\log\frac{U_*}{\omega}$ $+\left(1.799-0.409\log\frac{\omega d_m}{\nu}-0.314\log\frac{U_*}{\omega}\right)\log\left(\frac{VS}{\omega}-\frac{V_{cr}S}{\omega}\right)$ (2)礫質河段 $(2mm<d_m<10mm)$ ：

	$\log C_{tg} = 6.681 - 0.633\log\frac{\omega d_m}{\nu} - 4.816\log\frac{U_*}{\omega}$ $+\left(2.784 - 0.305\log\frac{\omega d_m}{\nu} - 0.282\log\frac{U_*}{\omega}\right)\log\left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega}\right)$ 其中： $C_t = \sum_{i=1}^{n} f_i C_i$
	1.此式均為無因次化床質載濃度。 2. C_{ts} =砂質河段無因次化床質載濃度；C_{tg} =礫質河段無因次化床質載濃度；ω =沉降速度(*ft/s*)；d_m =河床質之中值粒徑(*ft*)；ν =運動黏滯係數(ft^2/s)；U_* =剪力速度(*ft/s*)；*VS*=單位流功(*ft/s*)；$V_{cr}S$=臨界啟動之單位流功(*ft/s*)。 3.Yang 公式，定義單位流功(unit stream power)為流速與坡降的乘積，認為水體輸送泥沙量之大小與單位流功直接相關。
Yang (1979)	砂質河段$(0.25mm < d_m < 2mm)$： $\log C_{ts} = 5.165 - 0.1531\log\frac{\omega d_m}{\nu} - 0.2971\log\frac{U_*}{\omega}$ $+\left(1.78 - 0.361\log\frac{\omega d_m}{\nu} - 0.481\log\frac{U_*}{\omega}\right)\log\frac{VS}{\omega}$
	1.此式為無因次化床質載濃度 2. C_{ts} =無因次化床質載濃度；ω =沉降速度(*ft/s*)；d_m =河床質之中值粒徑(*ft*)；ν =運動黏滯係數(ft^2/s)；U_* =剪力速度(*ft/s*)；*VS*=單位流功(*ft/s*)。 3.Yang(1979)公式，當測量含砂量大於 100 重量 *ppm* 時，與 Yang(1973)精度相當。
Van Rijn (1984)	$q_t = q_b + q_s$ 其中：$\frac{q_b}{\left[\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right)g\right]^{0.5} d_{50}^{1.5}} = 0.053\frac{T^{2.1}}{d^{0.3}}$；$q_s = FVDC_a$
	1.此式為單位寬度床質載輸砂率。 2. q_t =單位寬度床質載輸砂率$\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$；$q_b$ =單位寬度溪床載輸砂率$\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$；$q_s$ =單位寬度懸浮載輸砂率$\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$；$\gamma$ =水單位

	重($1b/ft^3$)；γ_s=砂單位重($1b/ft^3$)；g=重力加速度(ft/s^2)；d_{50}=粒徑通過百分比達 50%之粒徑(m)；T=傳輸參數；d=無因次化粒徑；F=懸浮載修正係數；V=平均流速(m/s)；D=水深(m)；C_a=無因次化參考濃度；α=參考高程(m)。 3.Van Rijn 公式，利用其溪床載公式之參考濃度C_a為基礎，考慮河床質級配與顆粒亂流阻尼發展而成。
SEDTRA module by Garbrecht et al. (1995)	$C_{t*}=\sum_k p_i C_{t*i}$ 其中：$d_{ei}=d_i\left(\frac{d_i}{d}\right)^{-x}$；$x=1.7/B_m$；$B_m=\left(\frac{d_c}{d_f}\right)^{1/2}\sum p_m$
	1.此模組為床質載濃度 2.C_{t*}=床質載濃度($1b/ft^3$)；p_i=某一粒徑所相應之床質載濃度($1b/ft^3$)；d_i=某一粒徑(ft)；d=中值粒徑(ft)；d_{ei}=考慮遮蔽效應之某一臨界啟動粒徑(ft)；d_c=粗砂粒之代表粒徑(ft)；d_f=細砂粒之代表粒徑(ft)；B_m=雙峰參數；p_m=雙峰之間的含砂比例。 3.SEDTRA 模組，結合三種輸砂公式分別為 Laursen(1958)、Yang(1973)、Meyer-Peter and Mueller(1948)。 4. Laursen 公式適用於粒徑範圍：0.01~0.25 mm； Yang 公式適用於粒徑範圍：0.25~2.0 mm； Meyer-Peter and Mueller 公式適用於粒徑範圍：2.0~50.0 mm。
Yang et al. (1996)	$\log C_{ts}=5.165-0.153\log\frac{\omega_m d_m}{\nu_m}-0.297\log\frac{U_*}{\omega_m}$ $+\left(1.780-0.360\log\frac{\omega_m d_m}{\nu_m}-0.480\log\frac{U_*}{\omega_m}\right)\log\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_s-\gamma_m}\frac{VS}{\omega_m}\right)$ 其中：$\omega_m=\omega(1-C_v)^{7.0}$；$C_v=(1-e_b)\frac{\gamma_m}{\gamma_s-\gamma_m}\frac{VS}{\omega_m}$；$\nu_m=\frac{\gamma}{\gamma_m}e^{506C_v}$； $\gamma_m=\gamma+(\gamma_s-\gamma)C_v$
	1.此式為無因次化床質載濃度。 2.C_{ts}=高含砂河段無因次化床質載濃度；ω_m=高含砂河段之沉降速度(ft/s)；d_m=河床質之中值粒徑(ft)；ν_m=高含砂河段之運動黏

	滯係數(ft^2/s)；U_*=剪力速度(ft/s)；γ_s=砂單位重($1b/ft^3$)；γ_m=高含砂河段之砂單位重($1b/ft^3$)；VS=單位流功(ft/s)；ω=沉降速度(ft/s)；C_v=包含沖洗載之無因次化懸浮載濃度；e_b=溪床載效率係數。 3.Yang 公式，修正 Yang(1979)之床質載濃度公式。主要係針對細顆粒懸浮載高時之床質載計算(包含沖洗載)。其特點乃是為維持原始公式中之係數，僅對砂粒之沉降速度、黏滯係數及相應比重量進行修正，該公式曾應用於黃河。
Wu et al. (2000)	$q_{rv} = q_{bv} + q_{sv}$ 其中： $\frac{q_{bv}}{p_{b_i}\sqrt{(\gamma_s/\gamma-1)gd_i^3}} = 0.0053\left[\left(\frac{n'}{n}\right)^{1.5}\left(\frac{\tau}{\tau_{c_i}}\right)-1\right]^{2.2}$ $\frac{q_{sv}}{p_{b_i}\sqrt{(\gamma_s/\gamma-1)gd_i^3}} = 0.0000262\left[\left(\frac{\tau}{\tau_{c_i}}-1\right)\frac{V}{\omega_i}\right]^{1.74}$ $n' = \frac{d_{50}^{1/6}}{20}$ $\omega_i = \sqrt{\left(13.95\frac{\nu}{d_i}\right)^2 + 1.09\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)gd_i} - 13.95\frac{\nu}{d_i}$ $\tau_{c_i} = 0.03\left(\frac{p_{h_i}}{p_{e_i}}\right)^{0.6}(\gamma_s-\gamma)d_i$ $p_{h_i} = \sum_{ji=1}^{n}\frac{p_{b_j}d_j}{d_i+d_j}$ $p_{e_i} = \sum_{ji=1}^{n}\frac{p_{b_j}d_i}{d_i+d_j}$ $\nu = 1.792\times10^{-6}/\left(1.0+0.03368T+0.000221T^2\right)$

	1.此式為某一粒徑所相應之床質載公式。 2. q_{bv} =某一粒徑所相應之單位寬度溪床載輸砂率 $\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$； p_{bi} =某一粒徑所相應之床質載體積百分比(%)； γ =水單位重(kg/m^3)； γ_s =砂單位重(kg/m^3)； g =重力加速度(m/s^2)；d_i=某一代表粒徑(m)；n=曼寧係數； τ =底床剪應力(kg/m^2)； τ_{ci} =某一代表粒徑所相應之臨界啟動剪應力(kg/m^2)； q_{sv} = 某一代表粒徑對應之單寬懸浮載輸砂率 $\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$；$V$ =平均流速(m/s)； ω_i =某一代表粒徑所相應之沉降速度(m/s)；d_{50}=粒徑通過百分比達 50%之粒徑(m)； ν =運動黏滯係數(m^2/s)； p_{h_i} = 某一粒徑所相應之床質載隱蔽作用百分比(%)； p_{e_i} =某一粒徑所相應之床質載暴露作用百分比(%)；T =水溫(℃)。 3. Wu et al.公式，考量遮蔽與暴露效應，其計算結果與多數試驗結果相符。

(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣河川輸砂公式建置及應用研究(2/3)，2016)

附 表 4-7-2 溪床載輸砂公式

作者	溪床載輸砂公式
Bagnold (1980)	$\frac{q_b}{(q_b)_*}=\left(\frac{W-W_0}{(W-W_0)_*}\right)^{3/2}\left(\frac{D}{D_*}\right)^{-2/3}\left(\frac{d}{d_*}\right)^{-1/2}$
	1.此式為單位寬度無因次化溪床載輸砂率。 2. q_b =單位寬度溪床載輸砂率$\left[(1b/s)/ft\right]$；$(q_b)_*$ =單位寬度參考溪床載輸砂率$\left[(1b/s)/ft\right]$；W=單位面積之水流功率$\left[(1b\text{-}ft/s)/ft^2\right]$；W0=砂粒臨界啟動之水流功率$\left[(1b\text{-}ft/s)/ft^2\right]$；$D$=水深$(ft)$；$D_*$ =參考水深(ft)；d=河床質之代表粒徑(ft)；d_* =Bagnold 參考粒徑分布曲線之眾數(ft)。 3.Bagnold 公式，考慮水流功率及非均勻泥砂分組挾砂率。
Smart (1984)	$\phi=\frac{q_b}{\sqrt{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}\right)d^3}}$ 其中：$\phi=4\left[\left(\frac{d_{90}}{d_{30}}\right)^{0.2}S^{0.6}\frac{u}{U_*}\tau_*^{0.5}(\tau_*-\tau_{*c})\right]$； $\tau_{*c}=\tau_{*cr}\cos\alpha(1-\tan\alpha/\tan\beta)$；$\alpha=\tan^{-1}S$；$\beta=33°$；$\tau_*=\tau/(\gamma_s-\gamma)d$
	1.此式為單位寬度無因次化溪床載公式。 2. q_b =單位寬度溪床載輸砂率$\left[(m^3/s)/m\right]$； g =重力加速度(m/s^2)； γ =水單位重(kg/m^3)； γ_s=砂單位重(kg/m^3)； d =泥砂之平均粒徑(m)； d_{90} =粒徑通過百分比達 90%之粒徑(m)； d_{30} =粒徑通過百分比達 30%之粒徑(m)； S =能量坡降； u =距底床 y 處之流速(m/s)； U_* =底床剪力速度(ft/s)； τ_* =無因次化底床剪應力； τ_{*_c} =Shields’之無因次化臨界啟動底床剪應力； $\tau_{*_{cr}}$ =無因次化臨界啟動底床剪應力； α , β =淹沒之床砂安息角； τ =底床剪應力(kg/m^2)。 3.Smart 公式，使用 MPM(1948)方法校正邊壁阻力之影響認為 MPM(1948)在坡度超過 3%時很明顯低估，利用試驗坡度高達 20%支渠槽試驗結果，配合 MPM 部分資料，並考慮阻力及粒徑分布影響發展而成。

	4.此公式適用於坡度範圍：3~20%；粒徑範圍：1.9~10.6 mm 。
郭朝雄等 (1984-1988)	$$\frac{q_b}{\sqrt{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)(d_{50})^3}}=0.104\left(\frac{D}{d_{50}}\right)^{0.529}\left(\frac{V}{gd_{50}}\right)^{1.640}S^{0.833}$$
	1.此式為單位寬度無因次化溪床載公式。 2. q_b =單位寬度溪床載輸砂率$\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$； g =重力加速度(m/s^2)； γ =水單位重(kg/m^3)； γ_s=砂單位重(kg/m^3)；d_{50}=粒徑通過百分比達50%之粒徑(m)；D=水深$\left(m\right)$；V =平均流速$\left(m/s\right)$；S =能量坡降。 3.郭朝雄公式，建立於濁水溪下游自強大橋及小田支線進行的現場輸砂試驗，利用聲納觀測底床砂波運移，間接估算溪床載，並利用因次分析配合現場實測及水槽試驗資料，迴歸分析而成。
Takahashi (1987)	$$\phi=\frac{q_b}{\sqrt{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}\right)d^3}}$$ 其中： $$\phi=\frac{1+5\tan\theta}{\cos\theta}\sqrt{\frac{8}{f}}\tau_*^{3/2}\left(1-\alpha^2\frac{\tau_{*cr}}{\tau_*}\right)\left(1-\alpha\sqrt{\frac{\tau_{*cr}}{\tau_*}}\right)$$ $$\sqrt{\frac{8}{f}}=6.0+5.75\log\left[\frac{0.2\left(\gamma_s/\gamma-1\right)}{1.4S}\right]$$ $$\alpha^2=\frac{2\left(0.425-\frac{\gamma_s/\gamma}{\left(\gamma_s/\gamma-1\right)}\tan\theta\right)}{1-\frac{\gamma_s/\gamma}{\left(\gamma_s/\gamma-1\right)}\tan\theta}\ ；\ \tau_*=\frac{\tau}{\left(\gamma_s-\gamma\right)d}\ ；\ \theta=\tan^{-1}S$$
	1.此式為無因次化溪床載公式。 2. q_b =單位寬度溪床載輸砂率$\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$； g =重力加速度(m/s^2)； γ =水單位重(kg/m^3)； γ_s=砂單位重(kg/m^3)； d =泥砂之平均粒徑$\left(m\right)$； θ=水表面與水平之角度≅渠底之角度； f =Lacey(1930)沖刷深度參數； τ_*=無因次化底床剪應力； $\tau_{*_{cr}}$ =無因次化臨界啟動底床剪應力； α =淹沒之床砂安息角； S =能量坡降； τ =底床剪應力(kg/m^2)。 3.Takahashi 公式，考慮糙度之影響進而修改 Mizuyama(1977)之礫

	石輸砂公式。
Parker et al. (1990)	$W_i^* = \begin{cases} 0.0025\exp\left[14.2(\theta_{50}-1)-9.28(\theta_{50}-1)^2\right], \\ 11.2(1-0.822/\theta_{50})^{4.5},\ \theta_{50}\rangle 1.65 \end{cases}$ 其中：$\theta_i = \dfrac{DS}{(\gamma_s/\gamma-1)d_i\tau_i^*}$ ； $\tau_i^* = 0.0875\, d_{50}/d_i$
	1.此式為某一粒徑所相應之無因次化溪床載公式。 **2.** D =水深(m) ； S =能量坡降； γ =水單位重(kg/m^3) ； γ_S =砂單位重(kg/m^3) ； d_i =某一粒徑(m) ； τ_i^* =某一粒徑所相應之無因次化底床剪應力； d_{50} =粒徑通過百分比達 50%之粒徑(m) 。 3.Parker 公式，基於移動平衡的概念並利用 Oak Creek 實測之礫石底床溪床載粒徑分佈資料發展而成。 4.此公式適用於卵礫石及較粗粒徑，檢定驗證合格的粒徑範圍。
Hunziker and Jaeggi (2002)	$q_i^* = 5\left(\dfrac{d_i}{d}\right)^{-3/2}\left[\left(\dfrac{d_i}{d}\right)^{-\alpha}\left(\tau_{sm}^*-\tau_{scm}^*\right)\right]^{1.5}$ 其中： $\tau_{sm}^* = \dfrac{\tau_{bs}}{\gamma R d}$ ； $\tau_{scm}^* = \tau_{scmo}^*\left(\dfrac{d_{um}}{d}\right)^{0.33}$ ； $\tau_{scmo}^* = 0.05$ ； $\alpha = 0.011\left(\tau_{sm}^*\right)^{-1.5} - 0.3$
	1.此式為某一粒徑所相應之無因次化溪床載輸砂率。 2. q_i^* =某一粒徑所相應之無因次化溪床載輸砂率； d_i =某一粒徑(m) ； d =泥砂之平均粒徑(m) ； τ_{bs} =與底床邊界摩擦之底床剪應力(kg/m^2) ； γ =水單位重(kg/m^3) ； R =水流斷面之水力半徑(m) ； d_{um} =次表層之算術平均粒徑(m) 。 3.Hunziker and Jaeggi 公式，以 PMP(1948)之理論為背景，並考量隱蔽效應(hiding function)。 4.此公式適用於砂及礫石。

(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣河川輸砂公式建置及應用研究(2/3)，2016)

附 表 4-7-3 懸浮載輸砂公式

作者	懸浮載輸砂公式
Zhang (1961)	$C_* = \frac{1}{20}\left(\frac{U^3}{gR\omega_s}\right)^{1.5} \Big/ \left[1+\left(\frac{1}{45}\frac{U^3}{gR\omega_s}\right)^{1.15}\right]$ $\omega_i = \sqrt{\left(13.95\frac{\nu}{d_i}\right)^2 + 1.09\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)gd_i} - 13.95\frac{\nu}{d_i}$
	1.根據泥砂濃度剖面之能量平衡概念，推導出懸浮載濃度與流速及沉降速度之關係。 2. C_*=平均懸浮載濃度$\left(kg/m^2\right)$；U=平均流速$\left(m/s\right)$；g=重力加速度$\left(m/s^2\right)$；R=水力半徑$\left(m\right)$；ω_s=沉降流速$\left(m/s\right)$；ν=運動黏滯係數$\left(m^2/s\right)$；d_i=某一代表粒徑$\left(m\right)$；γ=水單位重$\left(kg/m^3\right)$；γ_S=砂單位重$\left(kg/m^3\right)$。
Wright-Parker (2004)	$\frac{q_{si}}{U_*D} = \frac{9.70}{\alpha}C_{5i}\left(\frac{D}{k_c}\right)^{1/6} I$ 其中：$\alpha = \begin{cases} 1-0.06\left(C_{5t}/S\right)^{0.77} & , \frac{C_{5t}}{S} \le 10 \\ 0.67-0.0025\left(C_{5t}/S\right) & , \frac{C_{5t}}{S} > 10 \end{cases}$ $\frac{k_c}{k_s} = \left(\frac{D}{D_{sk}}\right)^4$；$k_s = 3d_{90}$；$\frac{V}{\sqrt{gD_{sk}S}} = \frac{8.32}{\alpha}\left(\frac{D_{sk}}{k_s}\right)^{1/6}$ $I = \begin{cases} 0.679\exp\left\{-2.23Z_{Ri}\right\} & , Z_{Ri} \le 1 \\ 0.073Z_{Ri}^{-1.44} & , Z_{Ri} > 1 \end{cases}$ $Z_{Ri} = \frac{\omega_i}{\alpha\kappa U_*}$
	1.此式為某一粒徑所相應之無因次化懸浮載輸砂率。 2. q_{si}=某一粒徑所相應之單位寬度懸浮載輸砂率$\left[\left(m^3/s\right)/m\right]$；$U_*$=剪力速度$\left(m/s\right)$；$D$=水深$\left(m\right)$；$\alpha$=分層簡化調適係數；$C_{5i}$=某一粒徑所相應之距底床高程 5%水深處的含砂濃度；k_c=混合粗糙高程$\left(m\right)$；I=懸浮載傳輸積分值；C_{5t}=距底床高程 5%水深處的含砂濃度；S=能量坡降；k_s=平衡粗糙高程$\left(m\right)$；D_{sk}=

	表面摩擦水深(m) d_{90}=粒徑通過百分比達 90%之粒徑(m)；V=平均流速(m/s)；g=重力加速度(m/s^2)；Z_{Ri}=某一粒徑所相應之 Rouse number；ω_i=沉降速度(m/s)；κ=Von Karman 係數。 3.Wright-Parker 公式，利用 Rouse(1937)之濃度分佈及對數流速分佈，考量近床區之泥砂濃度及溪床載捲增率（entrainment rate)與床砂質粒徑組成。
吳建民 (1978)	$Q_{se}=1410\ A^{1.154}$ $Q_s=3080\ A^{1.154}$ $Q_{s\max}=7240\ A^{1.154}$
	1.此式均為總載輸砂量。 2.Q_{se}=輕含砂河川之總載輸砂量$(ton/year)$；Q_s=平均總載輸砂量$(ton/year)$；$Q_{s\max}$=高含砂河川之總載輸砂量$(ton/year)$；A=集水區面積(km^2)。 3.利用臺灣地區各河川輸砂量資料，建立集水區面積、年逕流量與年輸砂量兩兩為一種之三種關係之後歸納而成。 4.Q_{se}適用於輕含砂河川，如淡水河、林邊溪及大甲溪等河川；Q_s為平均曲線，可視為Q_{se}之包函曲線；$Q_{s\max}$適用於高含砂河川，如東部河川及濁水溪等河川，可視為Q_s之包函曲線。
郭朝雄等 (1984-1988)	$Q_t=13.645\ Q^{1.6}$
	1.此式為總載輸砂量。 2.Q=流量(m^3/s)；Q_t=總載輸砂量(m^3/s)。 3.於濁水溪下游自強大橋河段，進行 5 年之現場試驗，並依其所觀測之水理泥砂資料進行迴歸分析而成。

(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣河川輸砂公式建置及應用研究(2/3)，2016)

水土保持手冊

編著者：行政院農業委員會水土保持局

發行人：李鎮洋

發行所：行政院農業委員會水土保持局

策劃指導人員：李鎮洋、林長立、孫明德、王晉倫、連榮吉、柯燦堂、徐森彥、蔡金龍、陳重光、范世億、尹孝元、黃振全、簡俊發、陳榮俊、傅桂霖、王志輝、陳淑媛

編修召集人員：陳樹群(總論篇)、冀樹勇(基本資料調查與分析篇)、唐琦(農藝篇)、林信輝(植生篇)、馮正一(工程篇)、連惠邦(土石流篇)

編審人員：丁文博、王文能、王志雄、王志豪、王志賢、王咏潔、王傳益、王德鏞、何幸娟、吳久雄、吳俊鋐、吳瑞鵬、吳嘉俊、吳聲傑、宋有鍊、宋國彰、巫建達、李木青、李正鈞、李仲強、李佳純、李典耕、李新源、李璟芳、周良勳、周祖明、林仕修、林可薇、林正源、林伯勳、林宏鳴、林宜瑩、林秉賢、林俐玲、林美聆、林國財、林崑龍、武德玲、邱啟芳、施東隆、施東榮、施賢聰、段錦浩、洪勇善、洪崇仁、徐浚祐、高伯宗、張三郎、張玉莽、張光宗、張承遠、張國欽、張勝豐、張集豪、張維訓、張曉康、曹舜評、曹鼎志、梁家齊、許中立、許振崑、許朝欽、連宮瑩、郭玉麟、郭瑞民、陳子裕、陳沛霖、陳俊愷、陳昶憲、陳美珍、陳振宇、陳勝全、陳智誠、陳智賢、陳鶴勳、曾彩欣、游元興、游繁結、黃宏斌、黃志彰、黃盈彰、黃韋凱、黃國鋒、黃博暉、黃瀞瑩、楊孟潭、葉一隆、詹錢登、廖瑞堂、劉西河、潘鴻冀、蔡宗翰、蔡明發、蔡易達、鄭名凱、盧啟榮、蕭國亮、蕭震洋、賴育廷、賴承農、賴旺坤、謝平城、謝正倫、謝杉舟、謝斌宏、鍾明劍、鍾庫比亞、簡仔貞、魏倫瑋、嚴曉嘉、蘇苗彬、蘇郁婷、鐘啟榮 (以姓氏筆畫為序)

行政統籌：王上維、蕭震洋、顏川舜 (以姓氏筆畫為序)

美　　編：何亦桓

地址：54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號

電話：(049)2394300

網址：本書同時刊載於行政院農業委員會水土保持局全球資訊網站(https://www.swcb.gov.tw)

編印日期：中華民國 106 年 12 月

定　　價：1000 元

G P N：1010602832

I S B N：978-986-05-5344-4

著作權：本刊著作權歸行政院農業委員會水土保持局所有

SWCB-106-096

水土保持手冊

工程篇

土石流篇



行政院農業委員會水土保持局　　編印

中華民國106年12月

序

「水土保持手冊」之內容兼具理論基礎與實務經驗，所涵蓋之專業領域甚廣，為因應水土保持工作新的挑戰，水土保持局針對水土保持手冊進行全面性之編修，目的是讓從事水土保持相關工作者更容易參考使用，並也同時累積傳承臺灣數十年來從事水土保持工作的經驗。

本版水土保持手冊篇幅包括「總論篇」、「基本資料調查與分析篇」、「農藝篇」、「工程篇」、「土石流篇」與「植生篇」等六篇。其中新增編修「基本資料調查與分析篇」及「土石流篇」，以對應充實「水土保持技術規範」之基本資料調查與分析章節，並同時納入水土保持局之土石流防治重要業務；另前版水土保持手冊之「坡地保育篇」、「工程方法篇」及「植生方法篇」，分別調整篇名為「農藝篇」、「工程篇」及「植生篇」，以對應現行「水土保持法」內之專用名詞。

手冊各篇幅之編修重點，係以「總論篇」串連各篇幅，以展現整體性及完整性，「基本資料調查與分析篇」提供水土保持工作中調查任務之參考，「農藝篇」新增處理單元並加入照片圖示說明，「工程篇」新增水土保持工程常用之工法單元，「植生篇」新增植生工程材料及修改特殊地植生工程，「土石流篇」則傳承水土保持局在土石流防災整治上之技術。

本次編修之最大創新特色主要以彙整國內外水土保持新知與廣納各產官學界之意見為主。編修工作係先以參考水土保持局與大學研究單位歷年來之相關研究成果，並同時諮詢相關技師公會及專家先進之實務經驗，最後承蒙水土保持諸多前輩先進、水土保持局及各分局資深人員等積極提供意見，方使得本版水土保持手冊之編修圓滿完成，謹致萬分謝忱！

行政院農業委員會

水土保持局　局長 李鎮洋

謹誌

2017 年 12 月

工程篇

壹、通論

1.1 野溪治理(Torrent control)..... 工-1-1

1.2 野溪淤積土石清疏(Torrent dredging)..... 工-1-18

1.3 蝕溝控制(Gully control) 工-1-26

1.4 崩塌地處理(Landslide treatment)..... 工-1-31

1.5 開挖整地(Excavation and site development)..... 工-1-52

1.6 坡地排水(Slope drainage)..... 工-1-60

1.7 礦區及土石採取區(Mining terrain)..... 工-1-63

1.8 沉砂滯洪設施(Detention and sediment control)..... 工-1-67

1.9 生態工程(Ecological engineering)..... 工-1-71

貳、處理單元

2.1 防砂壩(Check dam)..... 工-2-1

2.2 潛壩(Submerged dam)..... 工-2-37

2.3 固床工(Ground sill)..... 工-2-40

2.4 丁壩(Spur dike) 工-2-48

2.5 堤防(Levee)..... 工-2-55

2.6 護岸(Revetment) 工-2-65

2.7 整流工(Regulation works on torrent)..... 工-2-76

2.8 土壩(Earth dam) 工-2-84

2.9 節制壩(Check dam)..... 工-2-91

2.10 擋土牆(Retaining wall) 工-2-107

2.11 樁(Pile)..... 工-2-125

2.12 土釘(Soil nail) 工-2-132

2.13 岩栓(Rock bolt) 工-2-139

2.14 地錨(Anchor)..... 工-2-145

2.15 格梁(Grid beam)..... 工-2-153

2.16 防落石設施(Rockfall protection facility) 工-2-157

2.17 土石堆置場(Soil bank)..... 工-2-164

2.18 排水溝(Drainage ditch) 工-2-170
2.19 暗渠(Underdrain)..... 工-2-177
2.20 跌水(Drop structure)..... 工-2-183
2.21 洩槽(Chute) 工-2-190
2.22 橫向集水管(Horizontal drain pipe)..... 工-2-195
2.23 地下水集水井(Drainage well) 工-2-198
2.24 排水廊道(Drainage tunnel) 工-2-202
2.25 魚道(Fish way) 工-2-206
2.26 沉砂池(Sedimentation pond)..... 工-2-215
2.27 滯洪池(Flood detention pond)..... 工-2-219

參、附錄

附錄一、懸臂式擋土牆設計例(Cantilever wall design example) 工-3-1
附錄二、重力式擋土牆設計例(Gravity wall design example)..... 工-3-9
附錄三、半重力式擋土牆設計例(Semi-gravity wall design example) 工-3-14
附錄四、邊坡穩定圓弧形分析方法簡介(Introduction to slope stability using circular failure surface analysis) 工-3-20

壹、通論

1.1 野溪治理

1.1.1 前言

野溪(Torrent)係指位於河川中、上游山坡地集水區內具有長度短、坡度陡、水量變化大、水路不穩定且床面粒徑粗大等特性之自然水道。它的形成一方面與地殼構造運動相關，一方面也受到水流不斷侵蝕有關。兩者雖然都進行得極為緩慢，但野溪就是受水流不斷縱向切割和橫向拓寬而逐步發展形成的。

野溪多屬最初級水系，不僅坡度陡峭，集水區對降雨之調蓄能力小，加上多數野溪穿過容易破碎崩蝕或滑動區域，往往在一次暴雨的作用下，迅速匯集成大規模洪水侵蝕坡面及溪流邊界，頻頻引發山地洪水、土石流、崩塌、地滑、溪床激烈沖淤等坡地水砂災害。為此，需採用各種工程設施實施野溪治理(Torrent control)，以防止或減輕野溪侵蝕、淘刷與溪岸崩塌，並有效控制土砂流失與搬動，達成穩定流心，減少洪水、泥砂與土石流等災害。

1.1.2 野溪水流作用

野溪水流的侵蝕、搬運及沉積等作用合稱野溪水流作用，是地表地形最大的塑造力量，由此產生的野溪地貌呈現多種形態。從溪谷橫斷面看，分為谷底及谷坡兩大部分；谷底包含溪床及兩岸灘地，谷坡是溪谷兩側岸坡。從溪谷縱斷面看，上游溪谷狹窄，多峽谷、瀑布；中游溪谷較寬，發育有灘地及河階地；下游溪谷坡度變緩、溪幅漸寬，多形成曲流和辮狀河；河口段形成三角洲。

一、侵蝕作用：

溪流在重力作用下，從高處往低處流動的過程中，不斷地將其勢能轉換成動能，持續對溪床及兩岸邊界土體進行沖刷破壞，並使被破壞的土體離開原來位置，造成土砂侵蝕和流失的現象。依溪流侵蝕方向可區分為向下、向側及向源等侵蝕類型。

(一) 向下侵蝕(vertical erosion)：

由水流沖起床面泥砂，致床面高程下降，稱為溪流向下侵蝕。向下侵蝕作用的強弱，受到水流流速、床面岩石岩性、水流含砂量等多種因素影響，其中最重要因素是水流流速。

野溪坡度陡，流速大，含砂量不飽和，均有利於溪床向著向下侵蝕變形方向發展，除了在岩層抗沖性能顯著不同之處，可能形成侵蝕階地外，坡面多數呈直線形或曲線形，溪床和谷坡之間無明顯的界限，整體溪谷斷面往往呈現 V 字形或 U 字形。不過，因野溪溪床多為基岩或卵塊石組成，抗沖性能強，沖刷受到抑制，故儘管從長時間來看它會不斷下切展寬，但從短時段來看這種發育變形卻是十分緩慢，甚至可以認為是基本不變。只是在某些溪段，由於特殊的谷坡和水流條件下產生大量土體崩塌，並轉化形成土石流時，就會導致溪床產生強烈之沖刷變形現象。

(二) 向側侵蝕(lateral erosion)：

水流侵蝕溪流兩側谷坡，促使其左右遷徙或後退之作用，稱為溪流向側侵蝕。向側侵蝕的結果使溪流左右擺動以至彎曲，並引起溪床加寬。當溪流有一個微小的彎曲段時，水流就能在離心力作用下向圓周運動的弧外方向偏離，即偏向彎道的凹岸，形成單向環流而產生側向侵蝕；在順直溪流中，由於溪流橫斷面中央與兩岸水位差形成的雙向環流，也會產生側向侵蝕；此外，因山崩、土石流、支流匯入等原因，往往在野溪的一側有碎屑物堆積，迫使直線型溪流變為彎道型溪流，側向侵蝕作用變得更為強烈。

溪流在向下侵蝕的同時總是伴隨有向側侵蝕現象，但在不同溪段，由於溪床縱向坡度、構造及岩石性質不同，兩種侵蝕方向有著不同程度的表現和發展，從而塑造出不同形態的溪谷。

(三) 向源侵蝕(headward erosion)：

溪流向下侵蝕至一定深度，使溪床高程趨近海平面高程時，水流就不再具有位能差，溪流的向下侵蝕作用也就停止了。基本上，海平面是所有入海溪流向下侵蝕的極限，亦稱為侵蝕基準面(base level of erosion)；對於匯入主流的支流或入湖溪流，主流溪床和湖面高程就是它們的侵蝕基準面，惟因其本身高程仍處於變化，故稱為暫時性侵蝕基準面。侵蝕基準面的變化，影響溪床縱剖面的發展。當侵蝕基準面上升時，水流搬運泥砂的能力減弱，溪流發生土砂淤積，例如在野溪中常見之防砂壩構造物，即屬這種狀況；相反，當侵蝕基準面下降時，則流速加大，向下侵蝕作用強，開始在溪流下游發生侵蝕，然後逐漸向上游發展，這種侵蝕方向稱為向源侵蝕或溪流加長作用。

二、搬運作用：

由野溪水流搬運的物質，除了侵蝕溪床的泥砂產物外，還有來自坡面各種表土侵蝕產物、谷坡崩落物及土石流帶來的物質。這些物質大部份是機械碎屑物，包括各種粒徑的礫石、砂和黏土；小部分為溶解於水中的各種化合物。

溪流搬運方式有機械搬運與化學搬運兩種，前者是溪流對碎屑物質的搬運方式，而後者是溪流對可溶性物質和膠體的搬運方式。

(一) 化學搬運：

一般溪流中的溶解量遠遠沒有達到飽和，同時溪流的化學搬運力取決於流量和水體性質，而與流速無關，因而在溪流化學搬運過程中，儘管溪流流速變化大，但很少發生化學搬運物沉澱的現象。

(二) 機械搬運：

溪流的機械搬運作用，無論搬運數量、碎屑顆粒大小及搬運方式等均受流量和流速的控制。流量增加，可搬運顆粒範圍內的數量可以增加；而流速增加，不但搬運物數量增加，而且搬運物的粒徑的範圍也擴大。根據試驗，水流作用於搬運物而使其開始移動之速度，係與搬運物粒徑平方根成正比，因搬運物體積為粒徑的 3 次方，故被搬運物重量及水流起動流速的 6 次方成正比；也就是說，當水流流速增加 2 倍時，被搬運物顆粒質量將增大 64 倍。起動流速是指促使泥砂顆粒開始運動的水流速度，大於維持泥砂顆粒持續運動所需的流速。因此，溪流在洪水期內可以帶出大量的碎屑物質，也能攜出巨大的岩塊或礫石。

三、沉積作用(Deposition)：

挾砂水流在流動過程中，遇有相對寧靜的大水體(如水庫)、或坡度變緩、或橫斷面擴大、或窄縮段上游等溪段時，由於水流流速減緩，輸移泥砂能力減弱而發生沉積(deposition)。但是，水流中的泥砂多數被搬運至海洋或湖泊水庫後沉積，而沉積在溪床內的土砂只佔水流挾砂量的極小部分，且這些沉積的土砂皆是暫時性沉積，它們有被再次沖刷搬運的可能。就一條溪流而言，一般中、下游處於地勢較低平的地區，溪床縱向坡度較小，水動力減弱，溪流攜帶的大量泥砂在中、下游發生沉積的機會較高。

溪流經常處於沖淤互現的演變過程，直到水流動力正好消耗在搬運泥砂和

克服水流內外摩擦損失，使得溪床的沖刷和淤積達到平衡狀態，此時溪床縱剖面將呈現一條圓滑的曲線，稱為溪流平衡剖面(river profile of equilibrium)。但由於自然因素的複雜性，絕對的平衡剖面在自然的溪流中是難以實現的。

1.1.3 野溪特徵

位處河川上游集水區的野溪，與平原河川一樣，在平面形態上亦具有順直、辮狀及蜿蜒等基本河型；同時，在縱、橫向斷面形態上因水流作用而也都有不同程度的變化。但是，野溪和平原河川在溪床演變上是存在著一些差異。例如，在溪床坡度上，野溪位於地形陡峭地區，而平原河川位於地形較為平坦地區，而它們之間坡度分界，有以 1/20(長谷川和義，1990)、1/50(福原隆一，1992)或 1/50~1/25(水土保持局，2013)等進行區劃，未有統一的坡度分界，不過，從溪床總的變動趨勢而言，前者係以沖刷下降為主，後者則以淤積抬升為主。

野溪深切溪谷較為發達，高灘地一般不很常見，支流匯入處皆有沖積扇，急流深潭或溪幅寬窄沿程相間；由於溪床形態極不規則，也較平原河川多元複雜，常有深潭(pool)、緩流(slow run)、急流(rapids)、岸邊緩流(slack)、迴流(backwater)等多元流況出現。

在流量歷線峰值的分布上，野溪與平原河川也有很大的差異。洪峰流量的陡漲猛落是野溪重要的水文特徵，如圖 工 1-1-1 為在相同流量條件下野溪及平原河川流量歷線型態差異。山區野溪集水區之坡度陡、溪槽比降大，匯流速度快，集水區對降雨的調蓄作用極為微弱，流量歷線呈陡漲陡落的鋸齒形趨勢，變幅甚大，但其持續時間一般都不是很長。丘陵河川集水區之坡度、溪槽比降適中，匯流速度較大，集水區對降雨具有一定的調蓄作用，表現在流量歷線上的漲勢和落水都比山區野溪集水區要緩和一些，上漲時間也延遲。對於平原河川集水區，由於坡度和溪槽的比降都比較平緩，匯流時間長，集水區和溪槽對水流的調蓄作用較大，表現在流量歷線上，漲水段和落水段都比較緩，洪峰值降低，上漲時間延遲，匯流時間增長。

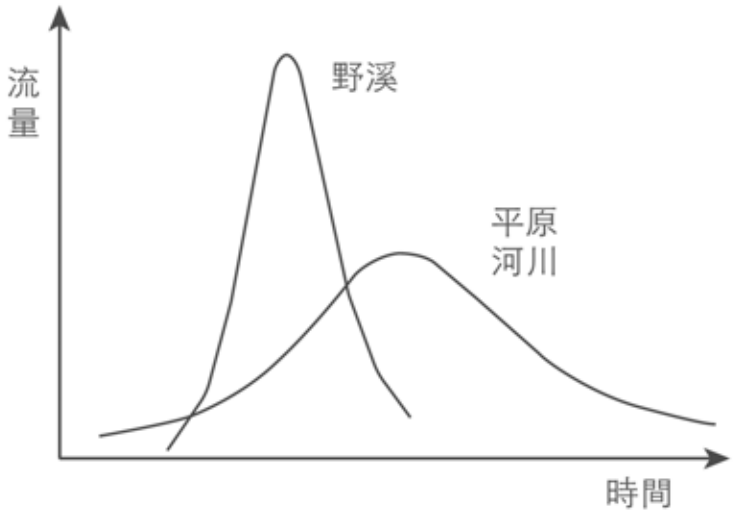


圖 工 1-1-1 野溪及平原河川之流量歷線示意圖

1.1.4 野溪治理原則

雖然上游野溪工程治理措施在工程規模上不及下游平原河川，重要性也沒有受到應有的重視，但是在氣候變遷極端降雨的衝擊之下，野溪卻是通過強烈的土砂沖刷和淤積而引發下游更大規模的水、砂災害的主要徵結。為此，野溪治理理論及方法不僅要考慮野溪溪床演變趨勢的穩定性，也要防止大量土砂下移而影響下游河川的排洪能力，因而有了「治水先治砂、水砂兼顧」的新思維，同時還要考慮採用減少環境衝擊的生態保育措施。基於這個概念，野溪治理時應該在把握主要原則的基礎上，採取相應的措施。

一、以集水區觀點的整體布置：

野溪治理的整體布置，必須做到點、線及面的合理布局。點就是要確定治理的重要溪段和重點部位，一般以保全對象較為集中的溪段為重要範圍，以易崩塌、易沖刷的地段為重點區位，同時對部分溪段的土砂運移恐有向下游傳遞致災之虞者，亦應特別加強處理。

線就是對溪流的岸線、堤線進行上下游、左右岸的統籌布局，例如：應避免新建的堤防或護岸縮減排洪斷面，阻礙排洪；在溪幅不大的溪段宜避免施作丁壩，防止挑流影響對岸的穩定；溪流轉彎半徑不宜太小，應成一連續而平滑的拋物曲線，並注意上下游堤岸線的銜接和左右岸的協調等。

面就是不僅要從溪流本身著手處理，溪流的很多問題皆與集水區坡面的水、砂有關，包括坡面侵蝕、水源涵養和蓄積、土地利用型態、開發程度、…等。因此，一方面在集水區內採取水土保持措施，包括綠地保持(如植樹造林、植草)、

藍帶維持(如埤塘、濕地、水田)、海綿土地(提高入滲)、農地水土保持、蝕溝治理、縱橫向排水、…等措施，來攔截地面逕流及減少泥砂進入野溪；另一方面進行野溪整治，以降低水流流速，延長水流流動時間，提高溪床阻力，維持溪流情勢的穩定。

二、減緩沖刷，維持溪流情勢穩定：

溪床演變關鍵在於泥砂的沖刷，較少的泥砂沖刷，就能降低泥砂的運動和淤積，也就能讓溪流情勢的變化趨於緩和。因此，可以採取一系列的人為措施，以溪、坡兼治，一方面保育坡地水土資源，另一方面引導野溪發育出抵抗沖刷的階梯狀溪床結構，既能穩定溪床，防止床面的下切和侵蝕，又能保持良好的溪流及坡地生態環境。

(一) 形成有利降低沖刷之階梯狀溪床：

提高溪流抵抗沖刷能力，減少泥砂的運移及穩定溪流情勢的關鍵，在於溪流必須形成具有較大阻力的階梯狀溪床，如圖 工 1-1-2 所示。階梯狀溪床之形成有兩種方式：

1.自然形成者：在坡度較陡且床質粒徑分布較寬廣之急流野溪，經常會出現一種階梯-深潭的溪床結構，是由一段陡坡和一段緩坡加上深潭相間連接而成，可以提高溪床對水流的阻力，具有抵抗水流沖刷之功能。

2.人力促成者：以系列防砂壩或固床工等橫向阻水構造物形塑成類似階梯狀之溪床型態，模仿自然階梯狀溪床(即階梯-深潭)也可以達到穩定溪床，維持侵蝕基準面，繼而抑制泥砂的沖刷和輸送，抵抗沖刷下切。

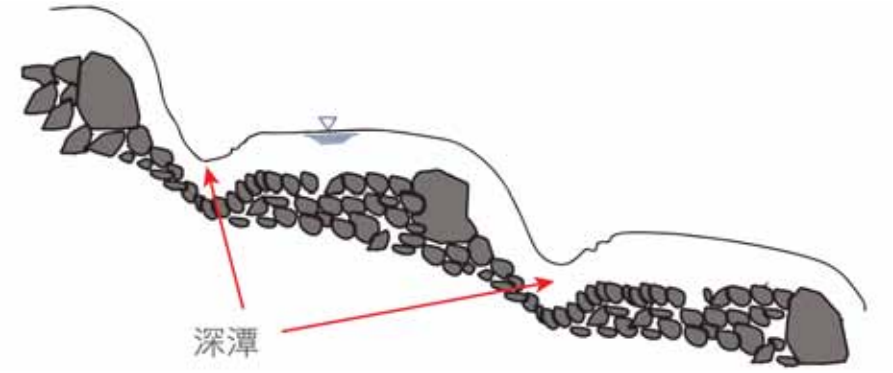


圖 工 1-1-2 階梯狀溪床示意圖

(二) 避免溪流過度渠化：

溪流渠化是增加流速、降低洪水位的一種做法。自然溪流兩岸多為凹凸

不平的線形，許多大石塊和植被分布或鑲嵌在岸邊，既能降低近岸流速保護溪岸，也能維持溪流情勢的穩定，即便是裸露的岸壁亦具有生態重要性(屬於翠鳥等棲息地)。但是，由於部分野溪構築護岸或堤防多數採用混凝土材料，而且表面都十分光滑，雖然使水流能夠更快地通過，增加排洪效率，降低洪水位，惟光滑的護岸堤防使近岸水流的速度增高，這樣就增加了水流沖刷堤岸及溪床的風險，當遇有超大洪水就容易引發災害。因此，容許溪岸的粗糙不平，能使極具沖刷動力之高速水流不能靠岸，對保護溪岸是非常重要的。

(三) 不宜清除障礙加速水流：

清除障礙是溪流減阻的具體措施，初衷是清除溪流中的障礙物，以利洪水能夠更快地下洩。實際上，除非是特大石塊橫亙於溪流流路上，壓縮導引水流向岸攻擊外，溪床上堆集之塊石，可以形成階梯式的溪床結構，增加對水流的阻抗，反而更有利於溪流情勢的穩定，除非是其對水流之阻礙程度，已明顯擠壓流路或造成水流局部加速，並因此影響溪流穩定者，否則不宜任意移除。以往為了形塑生態工程，將溪床粗大塊石砌於溪岸，造成不利於溪流情勢穩定的弱床強岸，在溪流治理時應盡量避免採用。另外，清除障礙則是將洪水由高水位轉化為高流速的威脅，洪水的高水位威脅容易對付，只要提高堤防護岸高度就可獲得較好的效果，但洪水高流速可以對溪床其及兩岸的任一點造成沖刷破壞，其威脅更加危險。

(四) 避免截彎取直：

彎曲是溪流的自然現象，將蜿蜒彎曲的溪流改成順直或截彎，是違背了溪流的本性。截彎取直(straighter)是透過人為方式將彎曲的溪流拉直，增大了溪床坡降，使水流流動速度加快，從而藉助水流加速沖刷水中及底床的沉積物，減少沉積物在溪彎段的沉積。表面上，截彎取直有助於防止洪水泛濫，但是它不僅加劇溪岸淘刷及溪床下切問題，由於截彎取直減少溪流長度和水流流動時間，也加速水流向下游地區匯集。此外，截彎取直使水流能量集中，破壞力增加，洪水沖刷威脅就增大，因而必須採取相應的治理對策，以防止截彎取直後對下游溪流底床的沖刷和加速逕流集中之衝擊。

三、兼顧水域生態棲息地的健康發展：

伴隨著集水區土地開發利用和人類活動的干擾，溪流的水文及地貌特徵被嚴重改變；例如，溪流的截彎取直、渠道化等整治工程，減少了溪流長度和蜿蜒

度，增加了溪床坡降，同時對溪流地貌和棲息地的忽略，而嚴重影響了溪流生態系統的健康發展。因此，在傳統治理工程設計的基礎上，兼顧生態工法的相關理念及技術，以減少對生態環境的衝擊和破壞，是治理溪流思維的一大突破。為此，必須注意到以下幾個面向，包括：

(一) 維持溪流水流流況的多樣化：

深潭(pool)、深流(run)、淺灘(riffles)緩流(glide)及岸邊緩流(slack)等多樣化的水流流況對水域生態影響很大。水域生態於成長階段乃至繁衍後代，對於水域棲地環境的需求不同，部分階段喜好棲息於高流速區，某些時期則會以慢流速區作為生活的重心。

溪流流況多樣化除了符合水中生物的棲地需求外，生態工法中也強調讓溪流流路保持蜿蜒曲折(蜿蜒度)，不僅增加水面面積，且讓水的表面積(或水流域或範圍)沿程變化。因此，溪流渠化或截彎取直措施使溪流均勻整齊歸一化的治理思路是不符合這個原則，不但減少蓄水、滯洪空間及加速下游洪峰到達時間，甚且渠化後的溪流水流流況多樣性減少，使能提供的生物棲息地變得單一，水生物多樣性較低。

溪流中存在著從浮游生物到底棲動物再到魚類的各種生物，其中底棲動物包括各種昆蟲如浮游石蛾、蜻蜓和腹足類等，處於溪流生物鏈的中間環節，既為魚類的餌料又能消耗和轉化許多污染物質。事實證明，底棲動物物種豐富的溪流，其水生態環境和水質也都比較好，整個溪流呈現健康的狀態；相反，不穩定且污染的溪流中，底棲動物的物種少且單一。對底棲動物影響最大的是溪床穩定和底質，卵石溪床、浮泥及水生植物對底棲動物的生長繁衍最有利。因此，在野溪中維持卵石溪床穩定及促進水生植物生長的治理工程，對於淨化水質和維持良好的溪流生態是最為有利的。

(二) 維護生態廊道：

生態廊道係指各種生物在活動或覓食的走道。其中，水生生物的縱向生態廊道，一般是指魚、蝦、鰻等物種的移動路線；就工程而言，主要須考量橫向構造物，如固床工、潛壩等體積大小、平滑度、斜率、落差高低等，盡可能降低對水生生物上、下游移動之難度，維持溪流之縱向連續性。兩棲生物之橫向生態廊道，一般是指蟲、蛙、鳥獸等陸生動物之濱水路線，在治理上主要考量縱向構造物，如護岸、堤防的高差、斜率、粗糙度及岸坡隱蔽效

果等，宜盡量排除影響動物橫向進出移動的難度。

(三) 保護或修復溪畔林草帶緩衝區：

溪流生態棲地維護的另一項重點工作，是保護或修復溪畔林草帶緩衝區。溪畔林草帶生態系統的水文模式有利於植物、昆蟲、動物和微生物的快速繁殖和發育，其植物群落具有結構和分類的多樣性。具有一定寬度的溪岸帶植被，不僅可以減少土壤侵蝕，降低非點源污染，調節溪流逕流、泥砂及水溫，而且是溪流有機物的主要來源，可以為野生動物提供棲息地和遷移廊道，並有利於魚類等水生生物的發育。

(四) 落實生態工程技術：

生態工程技術係指人類基於對生態系統的認知，為實現生物多樣性保護及永續發展，所採取的以安全為基礎、生態為導向，對生態系統損傷最小的永續系統工程設計。它所遵循的原則可概括為：規模最小化、外型緩坡化、界面透水化、表面粗糙化、材質自然化及成本經濟化等。

雖然野溪治理可以起著顯著的穩坡減砂效果，但是野溪範圍僅佔集水區面積的 5%左右，在坡面逕流及侵蝕並未減少的情況下，僅僅實施野溪治理亦難以獲得較好的治理成效。坡面逕流及侵蝕控制是坡面水土保持措施之重要環節，它是通過改變地表微地形(如梯田使坡長減小，坡度減緩到接近水平)或者改變地表覆蓋條件，增加降雨的入滲，使降雨逕流轉化為枯水逕流；另外，由於坡度的減小和植被對地面保護作用的增強，從而降低坡面土壤侵蝕強度，使進入溪流中的泥砂也能大幅減少。因此，將野溪治理與坡面水土保持措施相結合，以「治溪為主、溪坡兼治」之集水區整體治理對策，才能有效地緩解各種土砂災害之強度與威脅。

1.1.5 野溪災害種類及規劃治理對策

水、砂與野溪邊界間的相互作用，是造成野溪大量土砂沖刷及致災之主要關鍵所在。其中，水體係以洪流引發縱、橫向沖淘刷、洪水溢淹等災害類型為主，而泥砂則是因與水體間的不平衡而衍生的各種災害，包括土石流、溪岸崩塌及土砂淤積等，但多數溪段則以水、砂並存之複合型災害類型出現，使得野溪治理不僅須採用「洪水減量」的治理模式，以降低洪流之衝擊，更應加強「土砂減量」措施，適當降低土砂流失與生產，減緩溪床演變速度，避免引發大規模土砂災害。

綜觀歷年野溪的各種災害類型，大致可以歸納為溪岸侵蝕、溪岸崩塌、縱橫向

沖刷、土砂淤積、土石流及山洪等六種主要災害類型，其相關治理對策如表 工 1-1-1 所示。

一、溪岸侵蝕嚴重溪段：

位於野溪兩岸坡度較為陡峭之谷坡，常因降雨漫地流作用而產生地表土壤侵蝕，並逐漸發展成為不同尺度的蝕溝，不僅造成表土流失而影響地力，且流失土砂直接滑落溪流，或隨水流向下游輸移，或堆積於溪床，為下一波超大降雨洪流提供大量之土砂料源，孕育土石流發生的有利環境。

在治理上，除了對谷坡上各級蝕溝進行基本控制外，亦應加強坡面表土之抗侵蝕能力，如植生、造林、坡面保護及縱橫向排水等，均能有效緩解坡面土壤侵蝕問題。此外，溪流不安定土砂如屬來自於兩岸落淤的土砂時，則應施以溪流土砂穩定措施，如系列防砂工程，力求調降土砂遞移率，減少土砂流出下游。

二、溪岸崩塌嚴重溪段：

溪岸土體發生崩塌之原因有二，一是溪岸土體受到水流不斷地淘刷，使得岸坡土體基腳流失而失去支撐，最終引發土體滑崩；二是基於地質因素，溪岸土體受到降雨入滲影響，使得土體抗滑強度降低而導致土體崩塌。假設溪岸土體崩塌嚴重溪段尚無土砂淤積問題時，則治理對策有以下的考量，包括：

(一) 因水流淘刷引發溪岸崩塌者：

治理水流淘刷引發溪岸崩塌問題具有兩項重點，一是必須提供溪岸穩固之基腳支撐，以避免溪岸淘刷不斷地發展(增大自由面)而擴大溪岸崩塌之規模；二是應考量野溪溪床坡度選取適當工法。茲分述如下：

1. 上游溪段：當水流淘刷引發溪岸崩塌區位位於野溪之上游溪段時，因多屬坡陡流急溪段，且溪床佈滿石礫，故適合採用系列防砂壩，通過壩體上游淤砂作為兩岸基腳支撐，減少溪岸臨空面，以穩定溪岸。
2. 中、下游溪段：當水流淘刷引發溪岸崩塌位於野溪之中、下游溪段時，因溪床坡度較緩，崩落土砂易引發溪床淤積而縮減其通洪斷面，可能引發溪流沿岸水砂複合型災害。此等災害肇因於土砂淤積，治理時可參考土砂淤積嚴重溪段之治理對策。

(二) 因地質因素引發溪岸崩塌：

屬於邊坡土體崩塌問題，應採崩塌地處理模式進行治理，包括植生、造

林、縱橫向排水、坡面保護工等集水區水土保持措施。

三、土砂淤積嚴重溪段：

當溪流流出土砂量低於上游土砂入流量時(水流挾砂能力小於實際輸砂率)，溪床就會出現淤積抬升現象。溪床土砂淤積依淤積速度可區為短時間淤積及長時間淤積兩種，前者係在一場或多場颱風豪雨期間，因來自上游大量土砂入流而導致淤積，其發生原因多與溪段特性和上游入流土砂量相關；後者則是因溪流斷面發生局部淤塞，經過長時間(年計)積累而逐漸造成土砂淤積，該類型淤積多與溪流因異物阻塞相關，只要清除溪流異物即能暢通水流。至於短時間淤積類型，除了必要的清疏作為外，消除上游入流土砂量(基本土砂控制)，並配合下游溪流之疏濬作業，打通溪流瓶頸斷面，是降低土砂淤積的不二途徑。

當溪流處於土砂淤積高程抬升或斷面束縮時，溪流會朝著調升溪床坡度及窄縮溪流斷面方向發展，以調整其沖刷能力，來適應溪床的自然演變趨勢。但是，仰賴溪床自動調整機制，以恢復溪流原有通洪斷面，所須時程相當長，在防災為主的野溪治理上通常是難以被接受的。因此，採用人為方式減少土砂淤積量或提高水力輸砂能力，均為短期可以達到立竿見影效果之處理對策。

(一) 溪流對策：

1. 土砂淤積溪段上游：位於土砂淤積溪段之上游溪流治理對策，旨在控制土砂，降低土砂下移量，減少可能的土砂淤積來源，包括系列防砂壩、沉砂設施、清疏工程等。
2. 土砂淤積溪段：土砂淤積溪段處理對策係以防止溢淹及加速水力排砂能力為主，包括清疏工程(減少淤積土砂量及開挖低重現期距洪峰流量通洪斷面)、臨時性護岸、排除淤積原因(增強水力輸砂能力)、沉砂設施等。

(二) 集水區水土保持對策：

對於土砂淤積溪段上游集水區處理目標在於減少土砂進入溪流的數量，故處理對策包括崩塌地處理、坡面保護工、坑溝整治、縱橫向排水等。

四、縱、橫向沖刷嚴重溪段：

當溪流遇有：(1)實際輸砂率小於水流挾砂能力、(2)彎道凹岸、及(3)流路因素(如巨石擠壓流路、流路束縮等)等情況時，溪流就會出現沖(淘)刷現象，但溪流不會長期處於沖(淘)刷形態，它會自動調整溪流幾何、坡度及泥砂供給等條件，

以減緩溪床沖刷，這包括調降坡度，以減少水流輸砂能力；溪床粒徑逐漸粗化，以抵抗水流沖刷作用；溪床逐漸形成階梯狀，以增加其阻抗力；擴大溪幅，以降低水流作用力等，其演變方向係朝土砂回淤趨勢發展。例如：在沖刷下切嚴重溪段常發生兩岸邊坡土體滑崩，不僅擴展溪幅減緩水流流速，亦能藉以補充泥砂，增加水中泥砂含量，以免溪床持續地下切，此即溪流自動調整機制；但是，倘若發生沖刷溪段已構築整流工程，則溪床沖刷因得不到兩岸或溪床泥砂補充，其沖刷範圍就會持續地向下游發展，以及可能導致構造物基礎裸露而致損毀。

導致實際輸砂率小於水流挾砂能力的原因有三：(1)水流通過已構築防砂工程溪段時，或局部動能提高，或泥砂含量降低，使得水流挾砂力突升，導致其下游溪床常會發生沖刷；(2)集水區上游水源涵養功能降低，水量變多，導致水流挾砂力提高；及(3)溪流上游溪床及兩岸土體相當穩定，具有較低的土砂入流量。

處於沖刷下切溪段之最佳因應對策，是盡量不要以人為方式控制其變化，而是讓溪流能夠發揮其自動調整機制；惟考量沿岸保全對象之安危，不得不施以防護工程時，亦應朝向以下兩個面向思考：

(一) 降低水流沖刷能量：

通常消減水流集中流量或降低溪床坡度均可降低水流之沖刷能量，這包括調整溪床坡度、蓄(滯)洪、分洪及涵養水源等均屬之。因此，可行的治理對策，包括集水區水土保持對策：如植生造林、綠地保全、蓄(滯)洪設施、池塘水田濕地、截流分洪設施等，以及溪流工程對策：防砂工程(適於溪流中、上游)、整流工程(適於溪流中、下游)、沖刷溪段上游設置滯洪壩或將防砂設施淤積土砂調節放淤等，皆可達到降低溪床沖刷問題。

(二) 提高溪床抗沖能力：

為降低水流沖刷能力，形塑階梯狀溪床、粗化溪床粒徑及護岸固床等均屬之，其處理係以溪流對策為主，包括防砂工程及整流工程。不過，提高局部溪段之抗沖能力，常會引發其下游溪床之連續沖刷，故以工程構造物提高溪床抗沖能力者，其治理溪段應予擴大至下游溪段，才不致將沖刷區位轉移至下游而衍生其他的問題。

五、山洪易發溪段：

一般，坡陡流短的野溪皆屬山洪之易發溪段，治理時宜加以考量，包括：

(一) 短延時強降雨：

山洪易發溪段均存在於坡度陡峭，洪水調蓄能力較低之小型集水區，以現今對集水區特性的瞭解程度，可事先圈繪出山洪易發溪段的空間分布圖。除此之外，加強山洪易發溪段上游集水區的水土保持措施，包括綠地保持、藍帶維持、坡地保育措施、...等皆能提高集水區對降雨的調蓄能力，以降低山洪暴發的頻率和規模，同時佈設簡易的預警系統，也是緩解山洪致災的有利途徑之一。

(二) 長延時降雨：

由颱風豪雨所引起的山洪，其規模和影響程度更甚於短延時強降雨，不僅引發溪流強烈的沖淤變形，在部分溪段亦可能導致洪水氾濫成災，包括通洪斷面不足、洪流自彎道溢出、瓶頸斷面等，同時溢出溪岸的洪流多以撞擊和淤埋方式造成災害。因此，工程治理時，除了必須排除瓶頸斷面及異物阻塞問題外，加強彎道防護(包括平順彎道線形、擴大彎道溪幅寬度、加高凹岸堤岸高度、加強凹岸基礎保護等措施)及提高斷面設計基準等均能有效防範山洪危害問題。

表 工 1-1-1 總結得知，野溪治理對策主要內容係以防砂壩、固床工、丁壩、護岸及整流工等單獨或綜合應用，以降低土砂災害、維持溪流情勢穩定及生態健康發展為目的的一種綜合性治理措施。

表 工 1-1-1 野溪綜合治理對策一覽表(資料來源：修改自連惠邦，2017)

治理對象	發生原因	野溪			集水區水土保持對策	
		治理區位		工程對策		
溪谷侵蝕嚴重溪段	坡面土壤侵蝕	侵蝕嚴重溪段		系列防砂工程	蝕溝治理(節制壩) 造林、植生、縱橫向排水、坡面保護工(平台階段、山邊溝、樑框、...等)	
縱(橫)向沖刷嚴重溪段	1.流量大、輸砂量低 2.彎道凹岸 3.流路因素(如流路束縮、巨石阻礙等)	沖刷嚴重溪段之上游		滯洪設施(降低流量)、降低防砂強度(放淤)	保育滯(蓄)洪措施	1.保育措施：植生、造林、綠地保全 2.滯(蓄)洪設施：蓄(滯)洪池、水田池塘濕地、截流分洪
		沖刷嚴重溪段	位於溪流中、下游	整流工程		
			位於溪流上游	系列防砂工程		
			位於凹岸	基礎保護工、放寬溪幅		
			流路因素	排除流路因素		
		沖刷嚴重溪段之下游		基礎保護工(局部沖刷)		
溪岸崩塌嚴重溪段(無土砂淤積問題)	水流橫向淘刷	位於溪流上游		系列防砂工程	保育滯(蓄)洪措施	1.保育措施：植生、造林、綠地保全 2.滯(蓄)洪設施：蓄(滯)洪池、水田池塘濕地、截流分洪
		位於溪流中、下游		整流工程(護岸、固床工、丁壩等)		
	山腹崩塌(降雨及地質因素)	～		～	造林、植生、縱橫向排水、坡面保護工	
土砂淤積嚴重溪段	兩岸土體崩塌	淤砂溪段		土石清疏、排除淤砂因素(增強水力輸砂)、臨時性護岸	縱橫向排水、坡面保護工、坑溝整治等(崩塌地處理)	
	1.上游大量土砂入流 2.溪流斷面因素	淤砂溪段		土石清疏、排除淤砂因素(如打通瓶頸段)、沉砂設施		
		淤砂溪段上游		系列防砂工程(土砂控制)、土石清疏、沉砂工程		
山洪易發溪段	短延時強降雨	以預警為主，如易發溪段空間分布圖及預警措施			保育滯(蓄)洪措施	1.保育措施：植生、造林、綠地保全 2.滯(蓄)洪設施：蓄(滯)洪池、水田池塘濕地、截流分洪
	長延時降雨(如颱風)	以防止洪水溢淹為主，如提高護岸局部斷面設計基準、強化彎道凹岸治理[加高護岸高度、加深基礎深度(或設置基礎保護工)、放寬溪幅等]、排除淤砂因素、土石清疏				

註：野溪治理工程旨在控制水流及泥砂運移，力求恢復溪流穩定；集水區治理工程旨在保育水土資源、涵養水源及改變水流匯流條件，達成水砂減量之目的。

1.1.6 注意事項

為確保任何整治措施能夠達到預期之目標，於工程調查規劃、設計及施工等階段均應整體考量溪流及其所在集水區之各種狀況，力求最大治理效益，以防止水、砂災害發生，降低社會成本。因此，在規劃、設計及施工等階段宜注意下列事項，包括：

一、調查規劃階段：

(一) 工程規劃時，應考量其目的性、公益性及合理性，以完備工程之正當性。

(二) 調查範圍宜涵括野溪及其所在集水區，調查項目包括坡面各級蝕溝、崩塌地、野溪、土石流潛勢溪流、道路水土保持、非農業使用行為、綠覆率、池塘、水梯田、濕地及水土保持設施等。

(三) 參照集水區面積選擇適當之水文演算方法。

(四) 依分析目的適當選取水理分析方法。原則上，野溪治理之水理分析以採用一維水理輸砂模式為原則，惟遇有水流流況複雜，如彎道、主支流匯流處、瓶頸斷面(如橋梁附近)、急劇變動溪段等，本質上具有二維水理特性，故可採用二維水理輸砂模式，模擬分析該溪段之水深、流速、流向及溪床沖淤等分布狀況，以提供規劃設計時之參採。

(五) 現地調查須能提供溪流沖刷或淤積趨勢之研判，以作為後續工程設計之參採。

(六) 宜同時運用植生方法或其他工程方法，以兼顧環境生態及整治功效。

(七) 野溪激烈的沖淤變形在某種程度上屬於自然現象，不宜過度干擾其演變發展，宜盡量維持野溪底床的動態平衡。

(八) 依據工程規模及其座落對生態棲地之可能衝擊程度，視實際需求辦理生命週期或一般性之生態檢核作業。

二、工程設計：

(一) 各種處理單元包括防砂壩、整流工程、堤防、護岸、丁壩等之設計標準，以採用 50 年重現期設計降雨強度之洪峰流量為原則。

(二) 除非通水斷面明顯不足，否則不宜隨意改變原有溪流斷面，尤其不可任意縮小其通水斷面，以避免發生嚴重的沖刷破壞情形。

(三) 除非有詳實的水理分析和適當的防護措施，否則溪流不宜隨意截彎取直。

(四) 考量氣候變遷極端強降雨之影響，在人口密集區域或重要建設之上游集水區，得採用 50 年重現期以上降雨強度洪峰流量之保護標準。

(五) 排洪斷面除了需足夠容納設計洪峰流量外，宜考慮洪水所挾帶泥砂、漂流木之影響而加大其斷面。

(六) 施工便道應妥善設計，不僅應盡量減少挖填土方，並宜挖填平衡，避免破壞環境。

(七) 於生態環境敏感溪段，宜視實際需要實施生態檢核機制評估各處理單元對生態棲地之影響，並予以適當處理之。

三、施工階段：

(一) 挖填所剩土方應妥善堆置，並做好水土保持措施，避免阻塞水流。尤其野溪多位於陡峻山區，不應將土石直接堆置於山谷間或隨意棄置，以免造成二次災害。

(二) 回填土方應確實夯實，必要時可採用混凝土(現地拌合工法)或砌石補強。

(三) 基礎開挖時，發現土質鬆軟而有影響工程品質之虞，即應變更設計，加深基礎或打樁強化，以維護工程品質。

(四) 施工時間應盡量選擇在枯水期，避免於汛期施工而危及施工人員、機具及工程之安全。植生工程則應於雨季來臨前完成，以增加植物存活率及加快生長速度。

(五) 施工時應有妥善之防災措施，以避免因突發性暴雨促發嚴重之水土流失問題，而導致人員、材料、機具及工程設施之損失。

(六) 施工時之相關臨時措施，如施工便道、臨時防災措施等，於竣工後應即恢復原狀。

1.1.7 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 9 月 11 日修正。

行政院農業委員會水土保持局(2013)，「氣候變遷下之野溪特性與河川界點探討」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

汪靜明(1990)，「河川魚類棲地生態調查之基本原則與技術」，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，臺北市。

長谷川和義(1990)，「山地河川の形態と流わ」。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

福原隆一(1992)，「山地渓流の形状に関する研究」，京都大学農学部卒業論文，48p。

錢寧、張仁、周志德(1989)，「河床演變學」，科學出版社。

1.2 野溪淤積土石清疏

1.2.1 前言

野溪清疏(Torrent dredging)係指野溪因土石淤積程度已明顯妨礙洪水排洩，並威脅沿岸之道路、橋梁、公共設施或聚落安全時所採用之工程方法，以清淤或疏通溪床上之淤積土石，減免水砂災害之發生。

1.2.2 野溪土石淤積原因

野溪發生土石淤積原因，可依其發生之空間及時間可區分為：

一、空間因素：

係指因溪流流路條件之變化或差異而引起水中挾砂發生落淤，包括遇有：(1)支流大量土砂或土石流短時間匯入主流；(2)坡度遷緩；(3)溪幅展寬；(4)彎曲段；(5)阻礙物(如防砂壩、潛壩、固床工、橋梁、橋台、…等)等流路條件時，均可能削減水流輸運土砂能力而造成土砂淤積。

二、時間因素：

依土砂淤積形成的時間，可以再區分為短時間淤積及長時間淤積兩種。

(一) 短時間淤積：

係在一場或多場颱風豪雨期間，因來自上游大量土砂入流而導致土石淤積者，或稱瞬間淤積。此等淤積發生原因，多與溪流特性和上游入流土砂量相關，除了必要的清疏作為外，消除上游入流土砂量(基本土砂控制)，並配合土石淤積段下游河道之疏濬作業，打通流路，是降低土石淤積的不二途徑。

(二) 長時間淤積：

因溪流斷面或坡度因素而發生局部淤塞，經過長時間(年計)積累而逐漸造成土石淤積者，稱之。該類型淤積材料以淤泥雜草為主，除非改變溪流斷面或坡度，否則即便予以清除，經過一段時間的積累還是會逐漸回淤。

1.2.3 野溪淤積土石清疏類型與功能

野溪淤積土石清疏依土石清離方式，可以區分為清淤及疏通兩種：

一、清淤：

係指以工程手段將淤積土石清離溪床，恢復溪流通洪能力，適用於溪流全斷面淤積嚴重，無法以整理方式恢復其通洪能力者。

二、疏通：

係將溪流淤積土石予以整理(未清離溪床)，以暢通水路，適用於溪流局部斷面淤積，且附近欠缺土石臨時堆置場區之情況。

如依清疏時程劃分，亦可區分為緊急清疏及計畫清疏兩種，即：

一、緊急清疏：

野溪發生瞬間土石淤積而有水砂溢淹成災之虞者，必須立即施以土石清疏作為。由於屬於緊急搶險作為，力求立竿見影之成效，故常以土石疏通為主，惟在時間允許的情況下，實施土石清淤才是緩和問題之根本。

二、計畫清疏：

在有限的時間內實施緊急清疏，僅能暫時性緩和土石淤積所可能引發的致災威脅。由於溪流內仍然淤積大量的土石，惟因土石淤積問題已獲得緩和，故應配合保育治理措施，有計畫性地實施土石清疏作業和基本土砂控制，以徹底解決土石淤積成災問題。計畫清疏宜設計足以排放重現期二年至五年降雨強度之深槽斷面，並得視實際需要，漸次擴大其通洪斷面。

不論是清淤、疏通或緊急、計畫等各種清疏方式，野溪淤積土石清疏皆具有如下功能：

一、可以有效清除淤積土石，降低溪床高程，暢通流路，恢復溪流通洪斷面，減少水砂溢淹風險，具有立竿見影之效果。

二、部分清疏土石可以再次利用，包括回填低窪地或遭淘刷溪岸、改良農地、培厚路堤、治理資材、…等，或野溪沿岸附近之安全場址，作為溪流險情搶修之戰備土石資源。

1.2.4 執行原則

根據野溪沿岸聚落特性，以及水文水理分析、上游來砂、下游清疏配合等綜合考量，研擬土石清疏執行策略，包括：

一、針對最急要之瓶頸段、淤積嚴重段等，辦理野溪土石清疏，營造深槽。

二、仍有安全顧慮及土砂危害之潛在區段，應計畫性地續辦野溪土石清疏。

三、上、中、下游重點區域應同步辦理。

四、結合中央與地方資源，全面進行土石清疏工作。

五、採用滾動式檢討與管理，調整土石清疏需求。

1.2.5 土石清疏規劃

土石清疏規劃包括預定清疏溪段選定、斷面測量、清疏量估算、水文水理分析、土石最終處理方案、清疏執行方式、土石布設區規劃與保護、保育治理措施配合等，茲分述如下：

一、清疏溪段選定：

依據土石淤積程度及其對沿岸聚落安全之影響程度，選定具有清疏需要之溪段。

(一) 溪流土石淤積程度已存在妨礙其通洪能力之虞者。

(二) 溪流土石淤積程度已存在影響沿岸保全對象安全之虞者。

(三) 滿足以上條件之一者，即為具有清疏需要之溪段，宜實施土石清疏。

二、土石清疏溪段斷面測量：

為了掌握野溪土石淤積溪段之地形起伏變化及其淤積量，於每隔適當間距施以斷面測量，以作為清疏土方數量計算之依據。

(一) 為配合後續作業之所需，對具有清疏需求溪段應實施斷面測量，不僅可以掌握其地形起伏變化，亦可據以估算清疏土方量，且能提供清疏深槽斷面尺寸、深槽流路及坡降等規劃之用。

(二) 河道大斷面測量係以全測站經緯儀結合 GPS 衛星定位技術或以無人載具(UAV)空拍方式，就河道橫斷面地形變化之高度及距離施測，經計算平差後，繪製橫斷面圖，並據以繪製縱斷面圖。

三、土石清疏量估算：

(一) 就已知清疏長度、寬度及斷面形式，採用斷面體積法估算清疏土方量。

(二) 選擇適當距離推求其斷面積，接著將相鄰兩斷面之斷面積平均且乘以兩斷面之距離，即可得兩斷面間之清疏土方量，以公式表式時，可寫為

$$V_{12} = \frac{A_1 + A_2}{2} L_{12} \tag{1.2.1}$$

式中，$\boldsymbol{V_{12}}$=斷面 1 與斷面 2 間之清疏土石方(m^3)；A_1、A_2=分別為斷面 1 及斷面 2 之清疏斷面積(m^2)；L_{12}=斷面 1 與斷面 2 之距離(m)。

依此類推，可得清疏土石方之推估公式為：

$$V_T = \sum_{i=1}^{n} V_{i(i+1)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{A_i + A_{i+1}}{2} L_{i(i+1)} \quad (1.2.2)$$

式中，$\boldsymbol{V_T}$=預估清疏總土方量(m^3)。

四、水文水理分析：

土石清疏範圍多屬溪流局部區段，且因挖填土石而較大幅度地改變了溪流斷面、坡度及水理特性，故宜採用二維水理輸砂模式進行水理演算，其水文水理分析方法參照「基本資料調查與分析篇」。

五、土石最終處理方式：

野溪淤積土石經清疏後之清疏物之最終處理計有販售、就地處置及土方交換等方式。

(一) 土石販售：

係將清疏物以有價或無價方式售予需求者，並由需求者自行決定使用標的。依據土石採取及販售方式，可分為採售合一及採售分離兩種方式。

(二) 就地處置：

清疏物除可直接標售外，亦可依現地需求及環境限制採以就地處置方式處理之，包括：

1.回填溪流易淘刷或已遭淘空之河段。

2.填平溪岸附近低窪地，避免淹積水。

3.配合野溪保育治理工程作為回填料。

4.就地結構化作為治理資材等用途。

對於位處環境條件不佳之野溪淤積土石，適合採取就地處置方式，尤其是將土石結構化後作為河工構造物之治理資材，符合現階段永續公共工程之節能減碳目標。

(三) 土方交換：

清疏作業於工程進行前，須針對出土及需土之資料向有關單位申報土方交換(如內政部營建署所建立之「營建剩餘土石方資訊服務中心」)。經撮合成功後，出土工程可直接將土方運往有需求之工地，既可免除土方處理費用，在需土工程部分亦可免編列購土費用，工程雙方僅需支付土方之運費，有效節省工程費用。

六、土石清疏執行方式：

土石清疏執行可區分為採售合一、採售分離及就地處置等三種方式，可以參考現地人文、交通狀況、地形及清疏物性質等因素，選定適當之執行方式。茲分如下：

(一) 人文因素：

清疏工程與人文因素之相關性，主要是體現在清疏物外運過程中，對附近民眾住宅安寧、交通安全、道路舖面及環境整潔等問題之影響程度。因此，在執行野溪清疏工程時，必須考量規劃：(1)輸運路徑；(2)臨時堆置區；(3)道路耐受度；(4)輸運工具；(5)管制措施；及(6)輸運時間等因素。一般而言，即便改道或新闢便道迴避人文問題，還是無法克服清疏過程對附近民眾生活之負面衝擊時，採取就地處置方式是唯一可行的途徑。

(二) 交通因素：

除了就地處置外，其餘執行方式均須有道路交通配合，否則必須新闢或整修輸運便道，以利土石外運。但是，有以下因素存在時，對於輸運便道之新闢或整修均必須審慎考量之，即：(1)位處生態敏感區；(2)位處陡峭地形環境;(3)附近有土砂嚴重侵蝕區或土砂災害區(即土石流、崩塌裸露地、地滑等)；及(4)必須施以大規模挖填工程區域。

(三) 地形因素：

當預定清疏溪段越接近溪流之上游段時，其所造成之負面衝擊就越大，包括加劇岸坡崩塌、影響溪床沖淤平衡趨勢、破壞水陸域生態棲地等。因此，如非必要，應盡量避免於陡峻溪床進行清疏工程；如屬必要，則宜採取就地處置方式辦理清疏工程。

(四) 清疏物性質：

清疏物依其性質可概分為有價料及無價料兩種，前者係扣除清疏成本後，清疏物售出仍具獲利之料源；而後者係扣除清疏成本後，清疏物售出已無獲利空間之料源。對於有價料源而言，因具市場需求，故以採售分離或採售合一方式是比較可行的執行方式；反之，無價料源因欠缺獲利誘因，以就地處置或依『營建剩餘土石方處理方案』處理之。此外，如清疏物中具有粗大塊石者，應管制其外運，可堆置於原地或就地處置(作為治理資材)。

七、土石布設區規劃與保護：

參照「工程篇 2.17 節土石堆置場」。

八、保育治理配合工程：

(一) 河道清疏目的旨在挖除部分淤積土石，以暢通低重現期之洪流，故當遇有較大洪流時，恐有溢出河道而致災之可能。因此，配合河道清疏作業施以必要之保育治理措施，以防護兩岸保全對象之安全，實屬必要。

(二) 土石淤積溪段因土石鬆散，溪床穩定性甚低，實施保育治理措施時應以臨時性措施為佳。

(三) 土石清疏時配合之保育治理措施，宜以當地土石資材為優先，有效舒解部分清疏土石之最終處理壓力。

(四) 考量土石淤積河段通水斷面不足之實際問題，保育治理措施應以構築兩側護岸、或培厚、或加高既有護岸為主。

(五) 於溪流施設沉砂設施時，應規劃其清疏便道，可以即時將淤積土石予以清除。此外，沉砂設施如需配合橫向構造物時，應就橫向構造物之基礎深度及承載力問題，有較為謹慎的考量和設計。

1.2.6 注意事項

野溪淤積土石採取清疏作業已累積很多的實務經驗，茲彙整清疏設計、施工及竣工等階段之常見問題，以供參考。

一、設計階段：

野溪淤積土石清疏於設計階段的重點工作，以清疏區位、清疏斷面設計及土石布設區等為首要。

(一) 必須確定實際工程位置，且套繪土地權屬，並取得土地所有權人施工同意書。

(二) 測量時宜標示清疏中心線、工程起迄點及既有構造物等，同時測量範圍宜擴及沿岸平坦地或可作為土石布設區之範圍。

(三) 沿著溪岸選定土石布設區時，宜考量流路可能的變遷趨勢(如彎道)，並特別加強其基礎保護工。

(四) 應清楚載明土石最終處理方式，如採售分離、即採即售或土石堆置。

(五) 應清楚標示清疏河段各樁號之橫斷面標準圖。

(六) 視清疏規模及其重要性，宜進行一維河溪水理輸砂模式演算；於彎道、橋梁、瓶頸段、主支流匯流處等急變河段，則以二維河溪水理輸砂模式模擬之。

(七) 清疏河段上、下游宜銜接平順；如有必要，應協調上、下游相關權責單位同步辦理清疏工程，以提高效率。

(八) 當土石淤積溪段流路仍然不穩定時，應避免設計永久性或橫向構造物。

(九) 採用箱(蛇)籠等臨時性保護措施時，所需土石料源應以就地取材為原則。

二、施工階段：

野溪淤積土石清疏施工階段之工作重點，係以施工管理、施工品質之常態性訪查及督導缺失追蹤改善等項目為主。

(一) 清疏作業：

1.為減少重複測量或變更等不確定性因素，盡量避免汛期期間施工。

2.清疏時，如遇有岩盤等堅硬床質而未達設計深度，如不妨礙水流，應適當變更工程之內容。

3.土方屬有價料時，必須確實控管土石方之總量及去向。

4.清疏區段周邊坡面如有逕流流入，務必做好導水與消能措施，避免水流亂竄，造成二次災害。

5.應確實設置清疏斷面界樁，並定時檢視清疏成果，或做部分結算。

(二) 土石布設區：

1.布設區高度超過 5 m，應依水土保持技術規範留設階段平台。

2.布設區鄰近道路及聚落，應適度灑水減少揚塵。

3.布設區土體與路面交接處應設置臨時排水設施。

4.開挖面或土石布設區宜加強臨時性覆蓋。

5.鄰近溪岸土石布設區應設置拋石或其他基礎保護工，避免汛期水流淘刷破壞。

(三) 其他：

1.查驗時應出具施工中及完工後測量放樣，檢測及收方書圖資料。

2.裸露坡面應進行植生保護。

三、竣工檢查：

(一) 清疏內容：

1.應加強構造物與岩盤銜接面之穩定，避免形成弱面而沖刷。

2.清疏段下游未做好銜接而影響清疏效能，故於設計時，宜協同其他單位一併實施清疏工程，以竟其功。

3.宜辦理收方測量，以掌握實際清疏土方數量。

(二) 土石布設區：

1.布設區回填完成後略高於鄰近地面，宜注意排水流向避免造成淹水。

2.布設區尚未完成保護措施時，宜注意其表層土壤侵蝕問題。

3.鄰近溪岸之土石布設區，應加強後續的防護措施，尤其是位於凹岸處之土石布設區。

4.為減少揚塵等危害，在不影響安全的前提下，可以作為農業或其他相關活動使用。

(三) 其他：

1.宜注意竣工圖上既有構造物與現場之吻合情形。

2.清疏段下游底床坡度應適當控制在合理坡度內，避免縱向侵蝕。

3.宜加強主、支流匯流處之清疏作業。

1.2.7 參考文獻

行政院農委會水土保持局(2009)，「野溪淤積土石調查與清疏規劃」。

行政院農委會水土保持局(2017)，「台南分局轄區土砂運移及系統資料維護管理計畫」。

1.3 蝕溝控制

1.3.1 前言

土壤侵蝕作用在坡面上切割形成各種規模之溝槽，其中不能使用耕犁等方式予以恢復或掩蓋者，謂之蝕溝(gully)。蝕溝乃為坡面形成溝狀侵蝕(gully erosion)最具代表性之地形特徵，更是地形夷平過程之濫觴。蝕溝形成的主要原因是過多集中的地表逕流，其中氣候變遷及土地利用改變是造成逕流量增加的關鍵，前者可能是因降雨量增加或地面植被減少所致，屬於自然因素，後者則可能是包括砍伐森林、植被和過度放牧等都可以造成更大的逕流量，屬於人為活動所致。由於蝕溝形成後即會因向下、向側及向源等侵蝕作用，而使坡面之穩定條件急劇破壞，終至形成惡地形，若不能及時加以控制，勢必將再繼續侵蝕且擴大惡化，不但割裂坡地，造成耕地機械作業之困難，導致土地荒廢；其產生之泥砂更損及下游土地利用價值，並破壞公共設施之安全及經濟效益。因此，蝕溝控制(gully control)係運用植生方法或工程方法、或兩者方法配合使用，使蝕溝恢復穩定或恢復地力，並不再繼續擴大之處理方式，它是坡面土壤侵蝕控制及坡面穩定之最基本工作對象。

1.3.2 蝕溝之界定

坡面上通過土壤侵蝕作用逐漸發育形成不同規模之深槽溝渠，其特點是平時乾涸無水，降雨時會迅速匯集並引導地表逕流向坡下排洩。各種規模之深槽溝渠，可依其斷面積概分為紋溝(rill)、蝕溝(gully)及野溪等三大類型：

一、紋溝(rill)：

係指溝寬小於 100cm，溝深小於 30cm 之小型自然深槽。

二、蝕溝：

係指溝寬介於 100~500cm，溝深介於 30~100cm 之中型自然深槽。

三、野溪(torrent)：

係指溝寬大於 500cm，溝深大於 100cm 之大型自然深槽。

1.3.3 蝕溝發育過程

蝕溝由短變長、由窄變寬、由淺變深、由發展到衰退的過程，表現為蝕溝加長、加寬、加深的發展和停頓的全部過程，惟其所需時間或長或短，並無一定期程，完全視外力作用情況，以及蝕溝所在土體性質來決定。其發展的過程可分為四期：

一、雛形期(primary stage)：

地面上之土體受外力作用後，發生分散、破碎並逐漸流失，開始有狹窄且淺的蝕溝出現，此一階段稱為雛形期。本階段土石流失量較少，較易控制，如處理適當，即可抑止蝕溝之擴大。

二、擴展期(enlargement stage)：

蝕溝因外力削切作用而逐漸加深，淘刷作用而逐漸加寬，溯源作用而逐漸延長，經此三種綜合作用，土體流失由表土延伸到心土，由心土延伸到母質岩層，最後岩石暴露，成為巨大的蝕溝，此一階段稱為擴展期。此階段蝕溝控制往往必須採取較大之整治工程方能達成。

三、復原期(healing stage)：

蝕溝經擴展期發展至極限時，即不再因外力作用繼續擴展，此時溝岸逐漸有植生復育，使其日趨安定，雖然偶有土石流失情況，惟其量體通常極微少，故此一階段稱為復原期。此階段若能配合適當之處理，將可使蝕溝益形穩定。

四、安定期(stabilization stage)：

蝕溝經復原期後，溝床與溝岸均達較安定之坡度，並受植生保護，此時不但無加速侵蝕發生，而且表土得以逐漸化育，此一階段稱為安定期。

1.3.4 規劃原則

一般而言，蝕溝控制若只採用單一方法，往往難以達到整治目標，故治理規劃需考量運用工程方法、植生方法，或數種方法相互配合，以增加蝕溝穩定效果，使其不再繼續惡化。

蝕溝控制工法之選定，需因地制宜，按其環境因子，決定適宜之方法。原則如下：

一、處理目的：

依保護對象條件，考慮有效且符合經濟效益之整治工法。

二、蝕溝規模：

當蝕溝在不同時期，其發展規模也不同，造成損害之程度相異，其治理方式應有所選擇。因此，可依蝕溝大小、溝床坡降、斷面形狀等因素，考慮整治之方式。整治蝕溝所使用之工法，其適用範圍通常以溝寬 5.0m 以下蝕溝為原則；超過該範圍，其處理方式根據「野溪治理」原則進行。

三、集水區面積：

上游集水區面積大小，往往決定進入蝕溝之水量，而影響蝕溝惡化最直接的因子即是地表逕流量。在規劃治理對策時，需考量集水區面積大小，以提供流量推估，進而安排一連串適當之排水工法，從蝕溝上部、中部、下部的排水狀況，皆需納入考慮。有關蝕溝整治工程之流量一般以 25 年重現期之降雨強度來計算。

四、土壤性質：

不同土壤性質之蝕溝，表層崩解速率快慢不一，蝕溝發展程度亦不盡相同。如泥岩地區土壤容易分散而流失，而紅土礫石層地區，細粒土壤容易分散流失，而粗礫石則容易崩塌。因此，應依其土壤性質，來考量適合之整治工法。

五、土地利用：

地表覆蓋程度往往決定土壤侵蝕之輕重程度，進而影響蝕溝發展的速度。一般而言，當蝕溝出現地區之土地利用情形不甚合理時，如地表裸露、不當開挖、土質不適植物生長等，除了以工程方法整治外，應可考量以土質改良，或是減少不當開發，以避免侵蝕擴大。

六、施工材料：

蝕溝所在之土壤性質、地形條件在影響整治工法與材料之選擇。如泥岩地區之蝕溝，宜配合軟性材料之運用，以避免水流差異侵蝕造成問題，而礫石含量較多之蝕溝，得以現地之粗大礫石配合使用。

1.3.5 方法及措施

一、分散逕流：

蝕溝既是過多的地表逕流所形成，則運用排水系統將上游集水區所匯集的水量全部攔截排除，或是將部份水量分散至安全地點，以減少蝕溝流量為最基本之整治方法。處理工法包括截水溝、洩槽、跌水工、排水溝等，施設位置應在溝頂上方之適當地點。

二、蝕溝整理：

(1)溝頂處理：除了減少逕流量外，亦應防止其他雜物進入蝕溝，造成蝕溝不當阻塞，而形成蝕溝橫向擴大。

(2)溝床處理：採用系列節制壩調整溝床坡度及減緩水流速度，並配合植生工法施作。

(3)溝岸處理：宜加強溝岸之植生復育，同時清除蝕岸危崖、易滑落之草木石塊等，以防蝕溝阻塞，造成逕流四處流竄，危及其他地區。

三、溝岸防護：

為防止蝕溝向兩岸繼續擴張，應於蝕溝彎道處或是溝岸脆弱處設置保護工程，如護岸或植生覆蓋。

四、控制流心：

設置低水流路，以控制水流流向、防止流心偏離，避免蝕溝範圍擴大。

五、構築相關工程：

(1)構築固床工、節制壩等，以控制流心、穩定溝床、調整溝床坡降、固定流路、攔阻泥砂、穩定蝕溝。

(2)構築沉砂滯洪池，一方面降低洪峰流量減少對下游之排放流量，另一方面沉砂攔淤，以減少土砂流出，並調節侵蝕之位能。

(3)構築防砂壩，以控制流心，並攔阻大量泥砂輸送至下游。

1.3.6 注意事項

一、除了溝床治理工程外，兩側溝岸宜配合邊坡保護處理，以防止蝕溝向兩岸擴展。

二、整治工法宜同時運用植生方法和工程方法，以兼顧環境生態及蝕溝安全。

三、蝕溝位於交通不便地區，宜盡量採用索道輸送材料及機具，避免開闢施工便道，以防施工及其周圍表土層之擾動破壞其他地表。

四、土方工程宜於旱季施工，以避免雨季來臨時，土石大量流失情形發生；而植生工程則應於雨季來臨前完成，以增加植物存活率。

五、整治工法規劃應朝向挖填平衡。若無法達到，有工程棄土產生，應堆置於安全地區，以免造成二次災害。

六、土石及構造物工程施工，應減少其相鄰地區之非必要坡面開挖及植生破壞，以防蝕溝規模增大。

七、應避免將溝床封底(地滑區除外)而阻止逕流入滲。

八、蝕溝雖然屬於自然地貌演變的一種地形特徵，但其形成之初通常只呈現小區域的侵蝕現象，經過日積月累的外力作用及人為急速的開發破壞後，即會增加蝕溝擴展的程度。因此，如果能在蝕溝擴展之前，即進行相關整治工程，或避免不當開發行為，應可降低危害程度。

1.3.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

1.4 崩塌地處理

1.4.1 前言

邊坡材料因受外力作用，發生向下滑動或崩落之塊體運動之現象總稱為崩塌(landslide)。崩塌地處理係指防止和控制崩塌之發生，減輕或消除其造成之災害，維繫水土資源之有效與永續利用為目的。

台灣本島之地殼活動相當活躍，且地震頻繁，同時岩層大多受過擠壓而發生褶曲或斷層，以致於節理、劈理或片理相當發達。經由強烈的風化作用，在地形陡峭而岩質破碎及極端降雨等不利的環境之下，一般邊坡之穩定性不佳，故常造成崩塌。

台灣地處亞熱帶，雨量豐富而不均，年平均雨量約 2,500 mm，其中有 70%集中於 5~ 10 月間。且本島河川大都水流短促坡降高陡，水流侵蝕作用強烈，溪谷邊坡趾腳淘刷嚴重，因此集中豪雨、河川侵蝕及地震頻繁是造成崩塌的三個最主要自然影響因素。

台灣全島坡度 30%以上之區域佔總面積約 34%，而坡度 10%以下之平原盆地僅佔 32%。然而人類活動範圍逐漸擴及丘陵或山區，因此在山坡地上不當的開挖與整地、開發社區、闢建道路、建造水庫，開採礦石以及濫墾與濫伐等擾動邊坡安定之活動，是造成崩塌的主要人為影響。

1.4.2 影響邊坡穩定因素(Turner and Schuster, 1996)

一、地質因素(Geological causes)：

(一) 地層軟弱

(二) 地層敏感度高

(三) 地層風化

(四) 地層受剪力作用

(五) 地層有節理或裂縫產生

(六) 岩體具不利之不連續面位態(如層理、片理等)

(七) 地層具不利之構造不連續面位態(如斷層、不整合面、接觸面等)

(八) 地層滲透性差異大

(九) 地層勁度差異大(如堅實密度大的材料位於塑性材料之上)

二、地形與型態因素(Morphological causes)：

(一) 板塊或火山隆起

(二) 冰河解壓回彈

(三) 坡趾受洪水侵蝕

(四) 坡趾受波浪侵蝕

(五) 坡趾受冰河侵蝕

(六) 坡地側向邊界受沖蝕

(七) 地下侵蝕(溶蝕、管湧)

(八) 邊坡或坡頂受自然堆積載重

(九) 植生遭移除(森林火災、旱災)

三、物理因素(Physical causes)：

(一) 豪大雨

(二) 急速融雪

(三) 長期異常的降雨

(四) 水位急洩降(洪水消退、退潮)

(五) 地震

(六) 火山爆發

(七) 解凍

(八) 凍結與融解之風化作用

(九) 收縮與膨脹之風化作用

四、人為因素(Human causes)：

(一) 邊坡或坡趾的挖掘

(二) 邊坡或坡頂受人為增加載重

(三) 道路排水不良

(四) 蓄水或水庫洩洪

(五) 森林砍伐、伐木

(六) 灌溉

(七) 採礦

(八) 人為振動

(九) 公共管路的水滲漏

可能造成邊坡破壞之各種邊坡類型及其破壞原因如表 工 1-4-1。

工 1-4-1 邊坡類型與破壞可能原因(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

邊坡類型	破壞之可能原因
開挖區上游之自然岩石邊坡	地震、降雨、風化、坡趾切除、採礦等
開挖區上游之自然土壤邊坡	地震、降雨、坡趾切除、採礦等
開挖後內之自然岩石邊坡	地震、降雨、坡趾切除、長期風化、爆破等
開挖後內之自然土壤邊坡	坡趾切除、不穩定邊坡之填方、供水或排水線之泥水、草地之噴灑水等
水庫、蓄水池之邊坡	增加土壤及岩石之含水飽和度、提高地下水位、增加浮力(上揚力)及急速降低水位
公路及鐵路之挖填邊坡	過量之雨水，不穩定邊坡之填方，坡趾切除，地下水排水受阻等
土石壩、堤防、水庫壩體之邊坡	滲流壓力過大，地震波動等
填方整地	填方分層夯實不良，地表及地下震動。降雨作用下，排水系統不確實等
開挖坡面及填方坡面	坡面設計不穩定，過高地下水位，不良地下水位控制，抽排水系統之中斷等

1.4.3 崩塌之分類

崩塌依運動方式、材料組成及移動速度不同而有許多分類，惟各國至目前尚無統一之分類標準。因此發生之個案常因其特殊性而有不同之稱謂或分類，包括山崩、落石、崩坍、地滑、陷落等名詞。

2009 年高雄市甲仙區小林村發生大規模崩塌，台灣各界開始對潛在大規模崩塌進行調查與研究，以提出減少大規模崩塌所造成災害對策。大規模崩塌定義為崩塌面積大於 10 ha、崩塌體積超過 100,000 m^3 或崩塌深度在 10 m 以上者。大規模崩塌較一般的崩塌發生頻率比較少，但是所造成災害之規模卻是很大。

基本上，山崩、落石、崩坍、地滑等現象，就自然現象而言，均屬邊坡斜面上土體移動之現象，本質上並無差異。換言之，其發生之機制係因斜面上土體受重力或額外增加之剪應力作用，使土體抗剪強度相對降低而失去平衡，導致土體移動之結果。因此若以概括性分類，則其最大差異乃在於運動方式與規模上有所差別。

一般而言，地滑係指規模較大之土體或岩體，在較緩之坡面上發生移動，其運動之典型特徵在於移動速度緩慢，而移動時可能呈現斷續或持續緩慢運動型態。

至於山崩、崩坍或落石等現象，概念上係屬較小規模之土體或岩體運動，但亦不排除有大規模發生之情形，惟其發生位置多以陡峭坡面為主，可在瞬間發生，且

運動速度較快，其發生均因土體或岩體崩解所致，故一旦發生，其承載之地上構造物即可能完全被破壞。

前述之山崩、崩坍、落石、地滑等土體運動之發生機制均類似，因此概括以崩塌(landslide)稱之。如果以移動型式(movement type)來分類時可分為：(1)墜落(Fall)、(2)翻倒(Topple)、(3)滑動(Slide)、(4)潰散(Spread)、(5)流動(Flow)等 5 類(Varnes, 1978)。如將崩移物質的組成分為岩石、粗顆粒為主土壤及細顆粒為主土壤，則崩塌的各種型式定義即如表 工 1-4-2 所示。這五種移動型式即一般所稱的崩塌基本移動型式；而由兩種以上基本型式組合而成的崩塌，則稱為複合型移動。

表 工 1-4-2 崩塌的型式(資料來源：Varnes, 1978)

移動型式	崩移物質的組成(Type of material)		
	岩石 (Bedrock)	工程土壤(Engineering soils)	
		粗顆粒為主 (Coarse)	細顆粒為主 (Fine)
墜落(Fall)	岩石墜落	土石墜落	泥砂墜落
翻倒(Topple)	岩石翻倒	土石翻轉	泥砂翻轉
滑動(Slide)	岩石滑動	土石滑動	泥砂滑動
潰散(Spread)	岩石潰散	土石潰散	泥砂潰散
流動(Flow)	岩石流	土石流	泥砂流

水土保持局、中央地質調查所及日本國土交通省砂防部之崩塌分類，如表 工 1-4-3、與圖 工 1-4-1：

表 工 1-4-3 國內常見崩塌(landslide)分類(資料來源：彙整自「崩塌地調查、規劃與設計手冊(地滑篇)」，1992、中央地質調查所，2008)

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td>水土保持局</td><td colspan="3">中央地質調查所</td></tr>
<tr><td colspan="2">崩移物質的組成
移動方式</td><td rowspan="2">岩石及土壤</td><td rowspan="2">岩石
(Bedrock)</td><td colspan="2">工程土壤
(Engineering Soils)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>粗顆粒為主
(Debris)</td><td>細顆粒為主
(Earth)</td></tr>
<tr><td colspan="2">墜落(Fall)</td><td rowspan="2">山崩</td><td>落石
(Rock fall)</td><td colspan="2" rowspan="3">岩屑崩滑
(Debris slide)</td></tr>
<tr><td colspan="2">翻倒(Topple)</td><td rowspan="3">地滑</td></tr>
<tr><td rowspan="2">滑動
(Slide)</td><td>圓弧型
(Rotational)</td><td rowspan="2">岩體滑動
(Rock slide)</td></tr>
<tr><td>平面型
(Translational)</td></tr>
<tr><td colspan="2">流動(Flow)</td><td colspan="4">土石流(Debris flow)</td></tr>
</table>

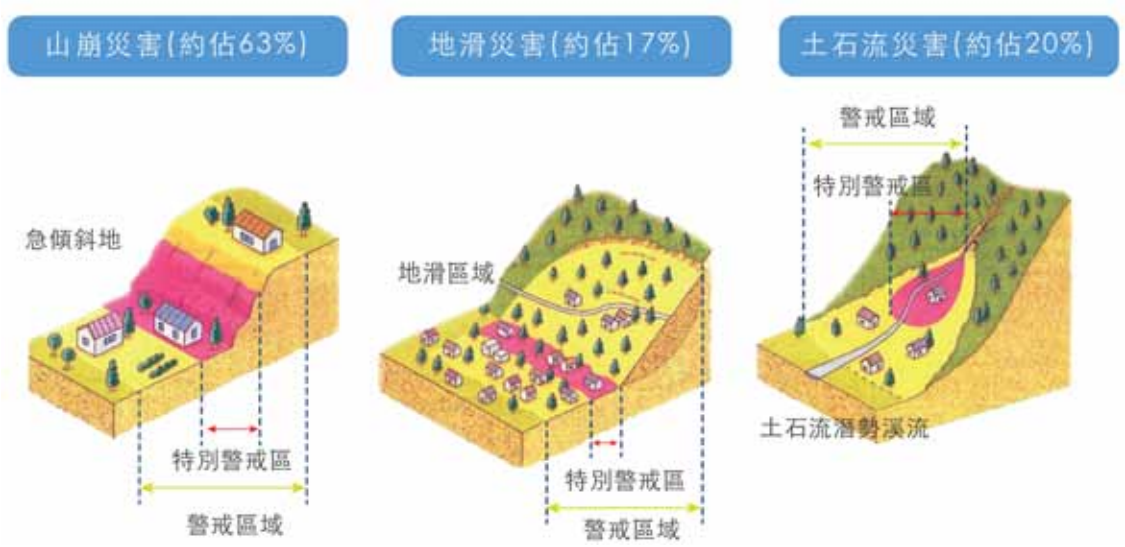


圖 工 1-4-1 日本砂防部崩塌分類(資料來源：修改自「土砂災害防止相關基礎調查手冊」，2015)

以下詳細說明前述五種基本移動型式之崩塌機制：

一、墜落（Fall）：

墜落是體積大小不一的岩石或土壤以自由落體的運動方式，從陡峭邊坡或懸崖掉落。墜落的材料可能會彈跳，可能在墜落撞擊時破裂，或在陡坡上滾動直到坡度較緩。

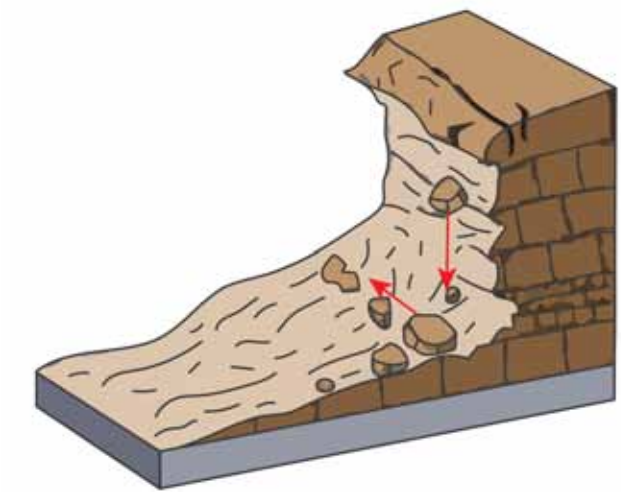


圖 工 1-4-2 崩塌基本移動型式-墜落(資料來源：Highland and Bobrowsky, 2008)

二、翻倒（Topple）：

土壤或岩塊向下坡方向傾斜，導致重心離開岩塊趾部後，一般發生向外翻倒的一種移動方式，通常岩層被兩組近垂直節理切割成柱狀的岩塊最容易發生翻倒型破壞。

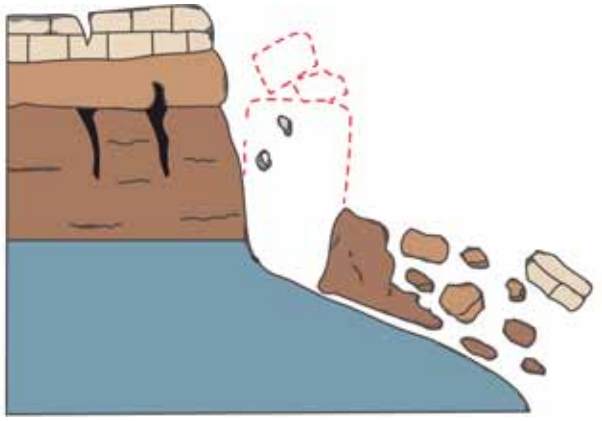


圖 工 1-4-3 崩塌基本移動型式-翻倒(資料來源：Highland and Bobrowsky, 2008)

三、滑動(Slide)：

土壤或岩塊沿著滑動面(破裂面)或相對薄的高剪應變面移動。依照破裂面形狀，可分成兩種：

(一)平移型滑動(Translational slide)：

滑動面形狀近乎平面，常沿著層面、節理面、劈理面、斷層面或崩積土與岩盤的界面等弱面滑動。平面滑動移動常因地層排水不良而觸動，但是也常因坡腳被切除而引發，以發生在路邊、山溝或河流的坡面較多。

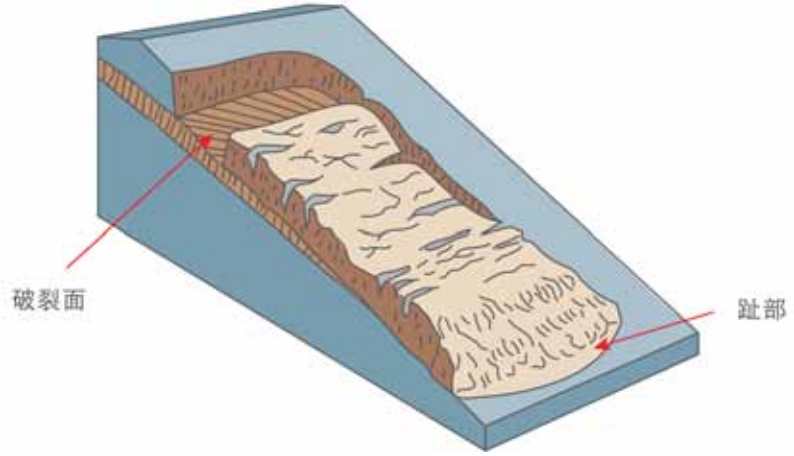


圖 工 1-4-4 崩塌基本移動型式-平移型滑動(資料來源：Highland and Bobrowsky, 2008)

(二)圓弧型滑動(Rotational slide)：

滑動面形成則是開口向上的曲面如湯匙形狀。弧型滑動常發生於邊坡、河岸、公路旁及填土的地方，尤其是土層很厚或岩層高度破碎的地方。在滑動體內及冠部附近經常可見到張力裂縫。事實上，自然界的滑動很少有單一形式者，很多滑動會在頭部為圓弧型滑動，在趾部則轉變為平面型滑動或流動。一般圓弧型滑動的特徵如圖 工 1-4-5 所示，各特徵的定義如表 工 1-4-4 所示。一般在討論滑動之前，可建立一個特徵表，以利表示地滑幾何特徵、尺寸等，以評估其滑動狀況，評估包括土方量、滑動範圍、滑動方向、滑動量等。

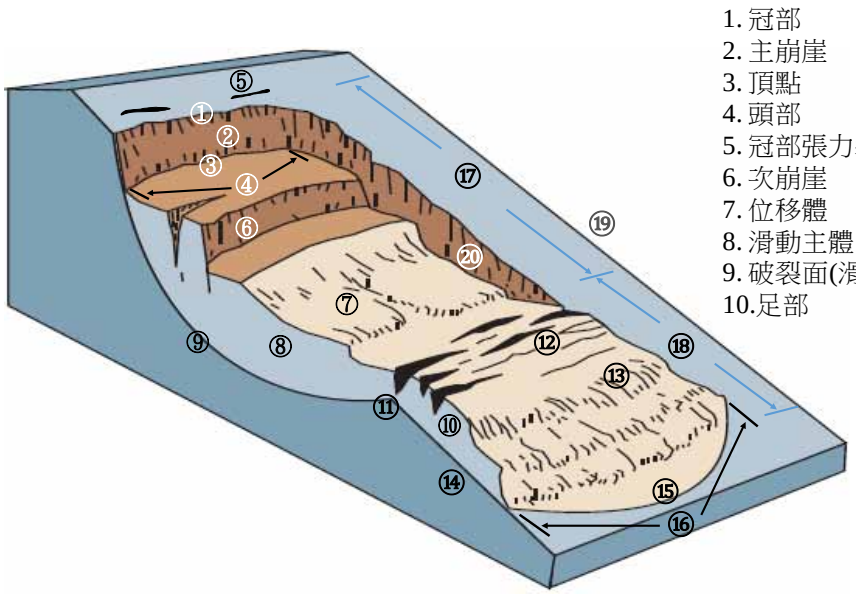


圖 工 1-4-5 崩塌基本移動型式-圓弧型滑動(資料來源：Highland and Bobrowsky, 2008)

表 工 1-4-4 圓弧型滑動崩塌地之主要特徵(資料來源：Turner and Schuster, 1996)

名稱	定義
冠部(Crown)	鄰近主崩崖之最頂端，停留在原地而無滑動之部份。
主崩崖(Main scrap)	崩塌地中最主要的崩塌崖坡。
頂點(Top)	位移體與主崩崖接觸的最高點。
頭部(Head)	位移體上方與主崩崖接觸的部份。
次崩崖(Minor scrap)	次要的崩塌崖坡。
主體(Main body)	位於破裂面上之位移體。
足部(Foot)	在破裂面趾部之前的土體。
趾尖(Tip)	於趾部上，距離頂點最遠之點。
趾部(Toe)	就整個崩塌地來看，離主崩崖最遠之滑動體前緣。
破裂面(Surface of rupture)	又稱為滑動面(slip surface)或破壞面(failure surface)；位移體的下方邊界。
破裂面之趾部(Toe of surface	破裂面下緣與原始坡面的交線處(有時被覆蓋)。

of rupture)	
位移體(Displaced material)	由崩塌運動而從斜坡上原來位置變位後的物質，包括下陷物質和堆積體積。
下陷區(Zone of depletion)	崩塌後，低於原始地表面之區域。
堆積區(Zone of accumulation)	崩塌後，覆蓋原始地表面之區域。
側翼(Flank)	崩塌所造成之破裂面之兩側；以人站立於冠部面向崩塌方向而言，可分為左翼、右翼。

四、潰散(Spread)：

近水平方向的崩塌，破裂面之下通常是一軟弱層，因下方之軟弱層產生塑性滑動、液化、流動等，影響了上方土壤或岩層，而發生接近水平的崩塌。一般包括塊體潰散(block spread)、液化潰散(liquefaction spread)與側向潰散(lateral spread)等。

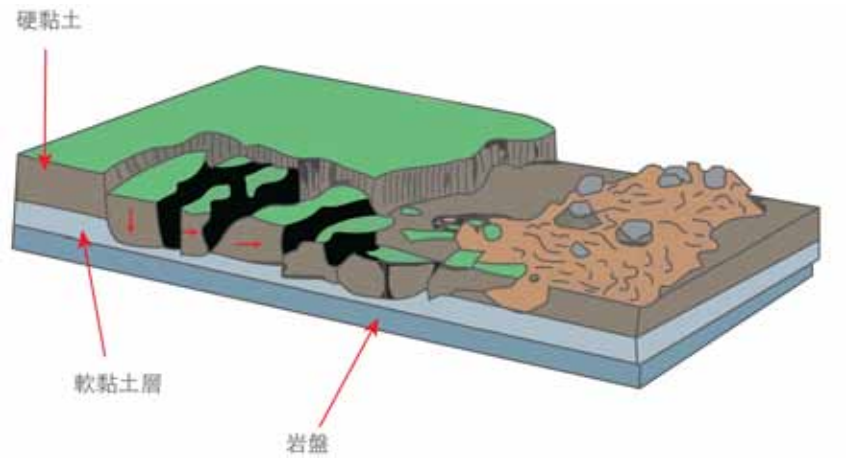


圖 工 1-4-6 崩塌基本移動型式-潰散(資料來源：Highland and Bobrowsky, 2008)

五、流動（Flow）：

流動是崩塌體在空間中連續的移動。該崩塌體內的剪裂面(surfaces of shear)間隔相當緊密，破壞面極多，且形成後存在時間很短，通常不會保留下來。這類崩塌體的移動，一般如粘性流體狀。我們經常會發現，崩塌體常由滑動型式(Slide)轉換為流動型式(Flow)，但這也隨著含水量、流動性和移動的演化而變化。根據Tunner and Schuster(1996)，流動亦有緩慢泥砂流(slow earth flow)、黃土流(loess flow)、乾砂流(dry sand flow)、土石流(debris flow)、土石崩流(debris avalanche)等。台灣一般最常見者為土石流(debris flow)，依地形分類可分為渠道型(channelized)土石流與坡面型土石流。較常見者為渠道型土石流。詳細之土石流之資訊，請參閱本手冊之「土石流篇」。

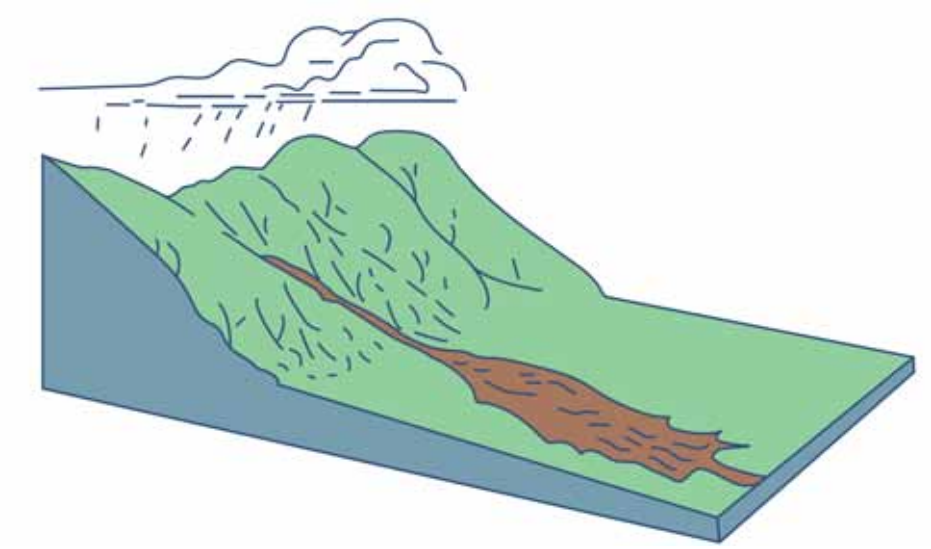


圖 工 1-4-7 崩塌基本移動類型-流動(資料來源：Highland and Bobrowsky, 2008)

1.4.4 崩塌地調查

崩塌地調查之目的係為瞭解崩塌地之範圍、環境特性、發生條件、及可致災對象等相關資料，從而提供最有效而經濟之防治規劃依據。崩塌地調查一般可分為基本資料蒐集與判讀、現況調查、機制調查及機制分析。

一、基本資料蒐集與判讀係為針對地質圖、環境地質災害圖、地形圖、遙測影像等進行蒐集與判讀。

二、現況調查係就地質與地形條件所推測之崩塌區，進行各種地表現象或特徵等調查，以推測崩塌機制，並藉此作為緊急防治對策擬定之依據。包含地形調查、地質調查、植生調查、水文調查及地表移動量調查。

三、機制調查係根據現況調查結果及所推測崩塌機制，進行更詳細之各種地表與地下調查，以利進行更深入之崩塌機制分析與探討，並提供整體防治規劃之依據。包含調查測線之配置、地球物理探測、鑽探、地質特性調查、地下水調查、破裂面(滑動面、破壞面)與滑動量調查等。

四、機制分析係將邊坡類型分為順向坡、逆向坡及斜交坡等，可進行立體投影圖分析運動特性、進行穩定性分析，以確定崩塌破壞之類型與原因，作為後續處置規劃之依據。

崩塌地調查另可參考「基本資料調查與分析篇」之「2.8 崩塌地調查」乙節

1.4.5 邊坡穩定分析

一、利用電腦進行穩定分析與設計，工程師與設計者得以經濟、快速地評估邊坡的臨界滑動面(critical slip surface)，得到滑動面之最小安全係數。在計算穩定分析之前，下列過程是必須的。

(一) 對於邊坡坡面、地層狀況及地質結構完全瞭解。

(二) 充分瞭解地下水位、水源及其水流路徑。

(三) 評估邊坡剖面與最有可能之破壞模式。

(四) 評估地質材料之工程性質，並考量邊坡參數之變異性。

(五) 評估最經濟情況與破壞結果。

二、為求坡面安定，應依整體邊坡之條件，進行邊坡穩定分析。

三、進行邊坡穩定分析時，應依現地之地層剖面、地質構造及地下水條件，採用合理的邊坡破壞型式(如圓弧型、平面型、塊體型及複合型等)及適當分析方法執行穩定計算。若於滑動面幾近已知，則分析時應指定滑動面，以檢核該已知滑動面之穩定性。

四、邊坡之安全係數：

(一) 永久性邊坡穩定分析之安全係數在常時應大於 1.5，在高水位時應大於 1.2，在地震時應大於 1.2。

(二) 臨時性邊坡穩定分析之安全係數在常時應大於 1.2，在高水位時應大於 1.1，在地震時應大於 1.0。

五、安全係數之決定：

研判土壤或岩石邊坡之整體穩定性，一般常以安全係數作為評估之依據。而邊坡安全係數被廣義定義為邊坡之土層本身或弱面之抵抗力與下滑力之比，考慮因素越詳細，所求得之安全係數越可靠。但因地質之多變性、氣候和外在人為等因素，常影響安全係數之求得，為維持邊坡一定的安全水準則需視以下二點因素加以考慮安全係係數。

(一) 對於地質構造、地下水資料、可能滑動面及相關參數瞭解掌握程度。

(二) 當邊坡造成破壞時，可能造成損失之嚴重性。

六、土壤邊坡穩定分析：

進行土壤邊坡穩定分析時，應先根據邊坡地質狀況、地形、地層強度、地下水位及上部載重等各種潛因或外來誘因研判其破壞模式，再根據可能破壞模式採用適當之分析方法。土壤邊坡穩定分析方法之選用係依滑動面之破壞型態而定，如為平面、圓弧及複合等較具規則之破壞型式，可採用平面分析法、圓弧分析法及塊體分析法。對於複雜或其他較不具規則滑動等破壞型式者，可採用數值方法進行分析。分析時可依現地土壤行為選擇「有效應力分析法」或「總應力分析法」進行之。一般長期穩定性以有效應力分析法為主。

七、岩石邊坡穩定分析：

岩石邊坡穩定分析應考慮地質構造及岩體弱面，以評估岩石邊坡之破壞模式，進而選擇適用之分析方法及岩體強度參數以進行穩定分析。如依岩體性質來概分，則岩體可分為連續體與不連續體，連續體常為弧形滑動面，而不連續體則為線形滑動面，其破壞之分析方式建議如表 工 1-4-5 所示。

岩石邊坡之穩定分析步驟如下：

(一) 先由地質構造及岩體弱面初步評估岩石邊坡之破壞模式。

(二) 再藉岩石力學公式、立體投影圖、數值模擬等及相關岩體強度參數進行岩坡穩定分析。

(三) 立體投影圖之分析常採用等面積投影法及下半球投影法進行。在對某一岩坡進行立體投影圖分析時，係將所量得之弱面與坡面位態投影至圖上，藉以瞭解此岩坡之弱面分佈情形與弱面相對於坡面關係。立體投影圖可用以判斷岩石邊坡發生平面型滑動、楔型滑動或翻倒型破壞等條件，如圖 工 1-4-8。

(四) 若安全性堪慮則須再導入適當之工程措施再進行岩坡穩定分析，以達到設計之安全標準。

八、進階邊坡穩定數值分析法：

進階邊坡穩定數值分析法較能模擬邊坡與擋土構造物之互制行為，進階的二維與三維之數值分析軟體已有日益普及之趨勢。進階數值分析法一般可分為下列數種：有限差分法、有限元素法、分離元素法、顆粒流等數值分析程式。

表 工 1-4-5 岩石邊坡穩定分析方式建議(資料來源：「邊坡穩定及保護之設計準則研訂與解說」，2003)

邊坡岩體性質	岩質特性	分析方式
連續體	高度破碎岩體，岩塊粒徑小；極低強度岩體，岩質近似土壤(如泥岩…等)。	圓弧形破壞分析
		潰散型破壞
		流動型破壞
不連續體	岩坡內分佈有層面、節理面…等弱面，弱面之強度相對於岩層強度而言係屬偏低，因而岩體強度係由弱面所控制。	平面型破壞分析
		楔型破壞分析
		翻倒型破壞分析
		落石、岩塊墜落

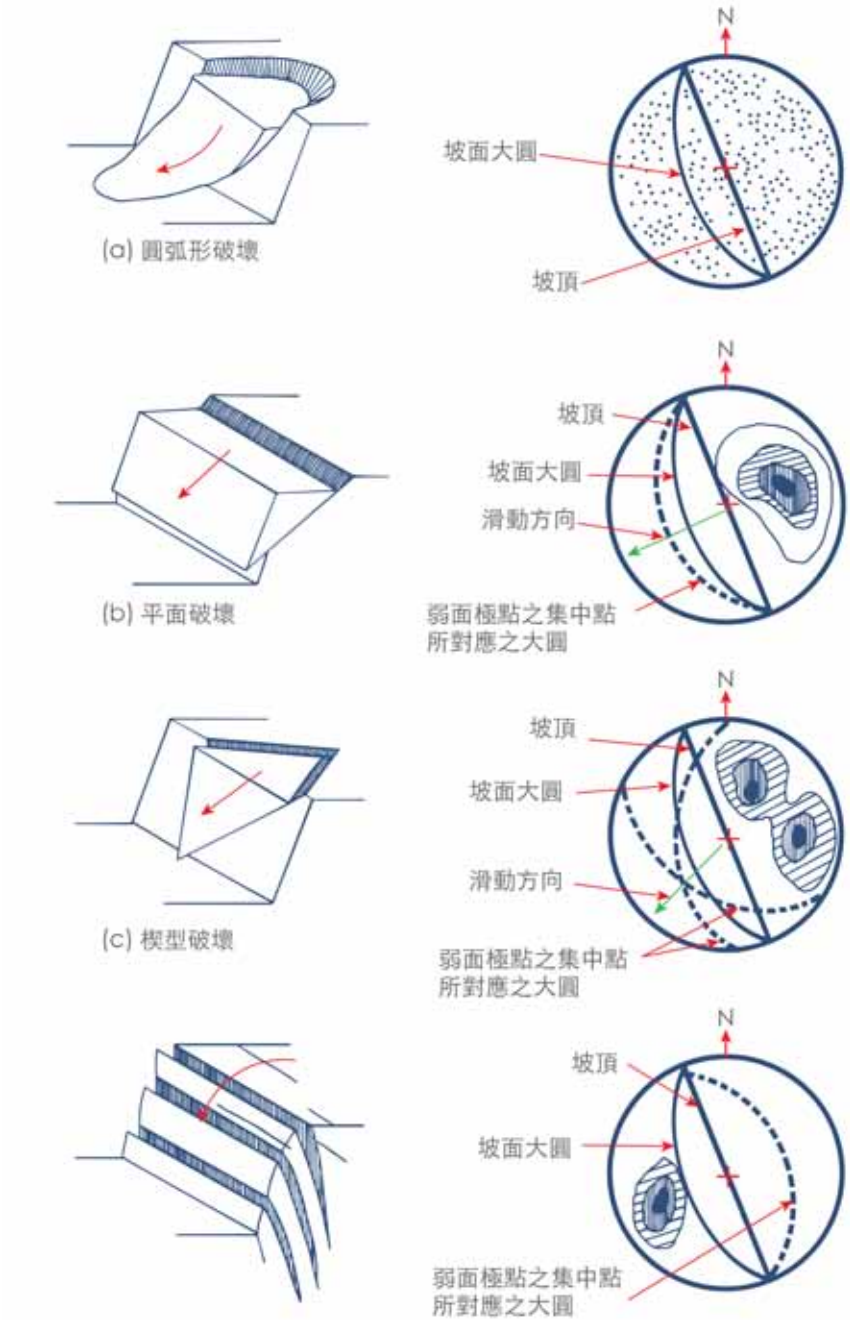


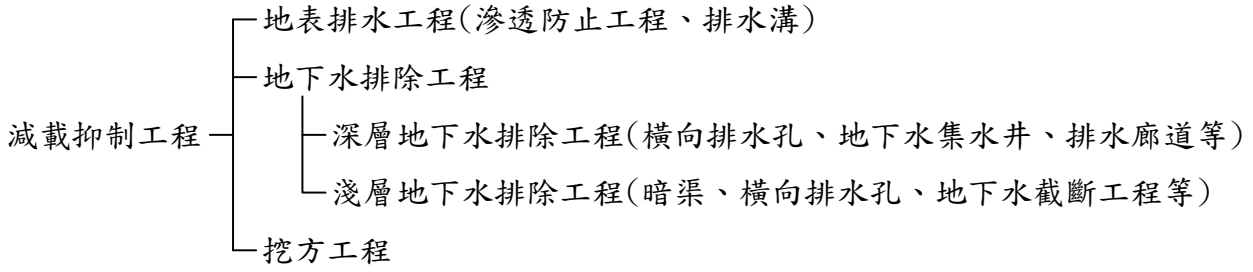
圖 工 1-4-8 岩坡破壞模式及其對應之立體投影圖(資料來源：Hoek and Bray, 1981)

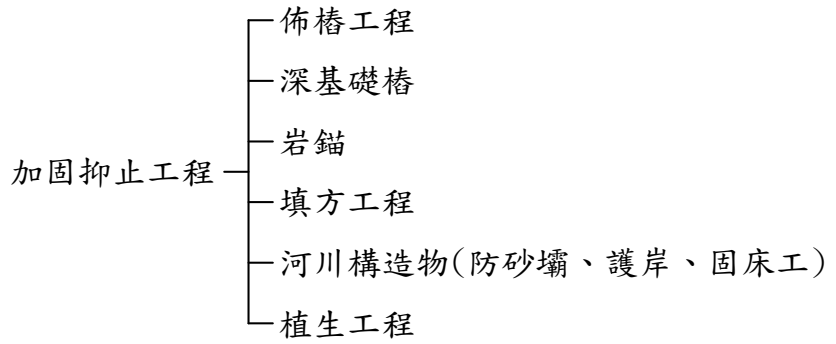
1.4.6 處理規劃

防治工程應依其發生機制與規模，組合適當的減載抑制工程及加固抑止工程，研擬最有效而經濟之工程組合。這些處理亦可配合自然復育與植生篇之植生工程方法進行防治。

一、防治工程：

防治工程大致可分為減載抑制工程與加固抑止工程兩類。減載抑制工程係以改變邊坡之地形或地下水等自然環境條件來穩定邊坡之各種工程設施，如整坡、排水等。加固抑止工程係指以工程結構物來抑止邊坡滑動之各種工程設施，如打設止滑樁、擋土牆等。防治工法之選擇，主要係依據破壞體主測線之地層剖面穩定分析結果來決定。一般而言，防治工程之組合，除了應考慮其經濟性外，整個計畫之即效性亦不容忽視。防治功效之顯現常隨著對策工法或自然環境之不同而會有快慢之差別。因此，規劃防治工程時，宜先依據調查結果，瞭解其發生機制後，再選擇最有效而經濟之工程組合。一般常用之防治工法如下：





二、防治工程之規劃原則：

(一) 針對發生機制選擇適當工法。

(二) 防治工程應以減載抑制工程為主，而加固抑止工程係用以穩定較小之崩體，以防民房或重要設施等保全對象直接受損。

三、方法與對策：

(一) 地表排水工程：

通常使用排水溝、明渠，以儘速攔截地表逕流，並排放至安全場所，藉以降低地表入滲量。明渠配置之位置以能有效截流並匯集水流，進而將水迅速排除至安全區為原則，並避免所匯集之水再度滲入地下。以截水方式不同可分為截洩溝及縱向溝；以溝面襯砌材料類型可分為草溝、砌石溝、砌磚溝、混凝土溝、預鑄溝、土質溝。排水溝面宜採用不透水之鋪面，而在可能發生地滑處，宜採用柔性可撓曲構造物，以防地滑造成排水溝斷裂或變形。此外，可在地表面採取滲透防止工程，包括以粘土輾壓覆蓋表土，或鋪設塑膠布、瀝青等不透水材料。

(二) 地下水排除工程：

地下水排除工程有暗渠、橫向排水管、地下水集水井、地下截水工程等，用以收集地下滲流或排除地下水。暗渠工程宜置於滑落崖下部之地形變化處，及坡面凹陷部等地表水易於蓄集水處。暗渠宜採柔性材料施作，以抵抗地層滑動引起之彎曲折損。同時應於其底部鋪設防水布。蓄集地表水之埋設暗渠，在地表應以礫石、碎石、砂等高透水材料加以填充以便截集地表水流。暗渠排水種類包括透水管暗渠、蛇籠暗渠、卵礫石暗渠及明暗渠組合等。橫向排水管為使用鑽孔機具以邊坡地形現況，以一特定向上傾斜角度進行鑽孔，再將透水管套入鑽孔，藉以引出地下水之設施，其鑽孔仰角通常大於 5°(使地下水能自然流出為原則)，並儘可能貫穿含水層。此外，通常亦依據地下水調查狀況，配置地下水集水井。地下水集水井為收集地滑區內或附近之地下水而開鑿之大口徑井。一般由地下水集水井可收集井身四周輻射方向所配置之橫向排水管之引出水。必要時得以排水廊道配合排水孔之佈設，排除深層之地下水。

地下水截水工程常利用板樁或灌漿，將崩塌地以外之淺層地下水加以攔截，再利用暗渠將其導至地表排除之。

(三) 挖方工程：

在邊坡不穩定、坡度較陡之區域，為防止崩塌發生，所採用之降低邊坡上方載重、削減坡度、階段式邊坡及刷坡等挖方工程。

基本原則為減少坡頂重量(載重)之驅動力、階段式設計、減緩坡度(小於平均安息角)及刷坡等工程，增加邊坡之穩定性、截短坡長使逕流減緩並增加其入滲。亦可配合擋土工程、排水工程與坡面保護工程，增加其邊坡之穩定性。於工程選址應避免裸露的坡面，若無法避開裸露地，需特別注意施工步驟和穩定措施。最後需進行穩定分析，以符合邊坡穩定安全係數。

(四) 填方工程：

邊坡坡趾處增加配重塊體(如礫石或岩塊)，作為坡趾載重與提供側向支撐(buttressing)，以抵抗土壤主動土壓力與增加滑動面剪力強度。整體而言為增加抗滑動之抵抗力。

填方施工前需清除原地表之植生與軟弱土壤，並於填土時適當的分層滾壓夯實，使其增加抗滑抵抗。坡趾載重材料可為加勁土壤或礫石填方，必要時依設計需求配合箱籠採階段式堆疊。填方工程設計需進行邊坡穩定分析計算，並可配合其他的整治工法如地表與地下排水、擋土排樁等並實施坡面植生綠化及妥善之維護與管理，最後分析結果需符合邊坡穩定之安全係數。

(五) 擋土工程：

邊坡開挖或填土後，將邊坡之自由面以結構物保護，稱為擋土工程。擋土工之種類繁多，有三明治式、重力式、半重力式、疊式、扶臂式、版樁式、地錨式等。原則上，在有滑動顧慮之地區，以採用挖方少且具柔性之擋土工為較佳之選擇。

擋土工程設置地點以不因挖掘基礎而誘發地層滑動之處為原則，且擋土工程之位置不宜設在滑動面可能通過之上方區位。

(六) 一般打樁工程：

樁之種類有鋼管樁、合成樁、H 型鋼樁及鋼筋混凝土樁等。樁的位置應選在下側邊坡能提供足夠地盤反力之地層上，其長度並應穿過滑動面足夠之長度，方能提供抗滑力。

(七) 深基樁：

深基樁是在崩塌地上澆置大口徑之場鑄樁，以抑止崩塌體移動造成之推力。主要用於打樁工法無法達到穩定，或受地形上限制打樁機無法施工時採用之。深基樁主要種類有鋼襯版及鋼筋混凝土兩種，由於此類型工程之工程費用高昂，因此應與其他工法比較後，再決定是否採用。

(八) 地錨工法：

利用地錨與岩層錨碇之拉力以穩定邊坡之施加預力構造，一般地錨打設間距為 2~ 3.5 m，鑽孔角度應選擇最經濟且有效之角度，同時錨碇段應深及堅硬之岩盤承載層為宜。

(九) 坡面保護：

將邊坡之斜面以植生的方法，或施築構造物，以保護邊坡，使坡面達穩定狀態之工程方法，稱為坡面保護工程。

常同時配合採用植生方法與工程方法，利用植生之根系加勁土層並提高邊坡之穩定性，以及利用植生來保護坡面防止沖蝕之發生，進而降低表土沖蝕引起土壤結構之鬆散或不穩定。

植生方法有植草苗法、植生帶法、噴植法、挖穴施肥鋪網客土噴植法、打樁編柵法、預鑄框或自由型框客土植生法等。採用構造穩定之工法有噴漿工、混凝土工、框架工、錨碇工、鋪砌塊石工等。

(十) 跡地土質改善：

可用生石灰工法、電氣滲透排水工法等方法，改良土壤之理化性質，促進土壤之壓密作用，提高土壤之抗剪強度。

1.4.7 邊坡設計考量

邊坡設計之參考步驟與流程可參考圖 工 1-4-9 所示，並可適度依邊坡實際狀況調整。邊坡設計之考量可分為主要設計考量與次要設計考量。

一、主要設計考量：

(一) 是否徹底分析現地土層之架構和地質之特性等。

(二) 此地區土層之地下水流網及其流經路線和水源概況等問題。

(三) 評估可能形成的崩塌破壞模式。

(四) 準確評估材料特性之複雜變化下，對任何可能之滑動面進行分析。

(五) 考慮連續破壞情狀況下的經濟問題。

二、次要設計考量：

(一) 山區常因土地之因素導致設計採用陡峭之擋土牆。

(二) 緩坡是否也需要做穩定分析。

(三) 是否節理與侵蝕性高之邊坡需利用陡坡減少其侵蝕之面積或為了減少漫地流速度而保留緩坡風化之材料。

(四) 為了使邊坡整治後能繼續保持植生,其邊坡的坡腳坡度需小於 1：1.5(垂直：水平)。

(五) 設計時應考慮邊坡之美感，邊坡之坡度與坡面的自然感可加以注意。

(六) 設計過程應依地形而定，儘量避免大量開挖或填土，盡量達到挖填平衡原則。

三、其他考量：

(一) 坡面高度超過 5 m 者，應設計為階段式邊坡，其階段高度(H)以不大於 5 m 為原則，示意圖如圖 工 1-4-10 所示。每垂距 5 m 高度，所設置之平台寬度(W)以不小於 2 m 為原則。

(二) 填方邊坡應根據填方材料性質，並參酌現地之地質、地形及氣象等因素來決定施作方式。挖方邊坡則須視地質狀況與地層構造，並依挖方之高度來決定施作方式。同時應於挖、填施工階段進行穩定分析。

(三) 道路邊坡初步設計可參考表 工 1-4-6 及表 工 1-4-7 之資料來進行設計，但其相關邊坡穩定仍須經由專業人員進行基本資料的調查與穩定性分析等來確認其安全無虞。

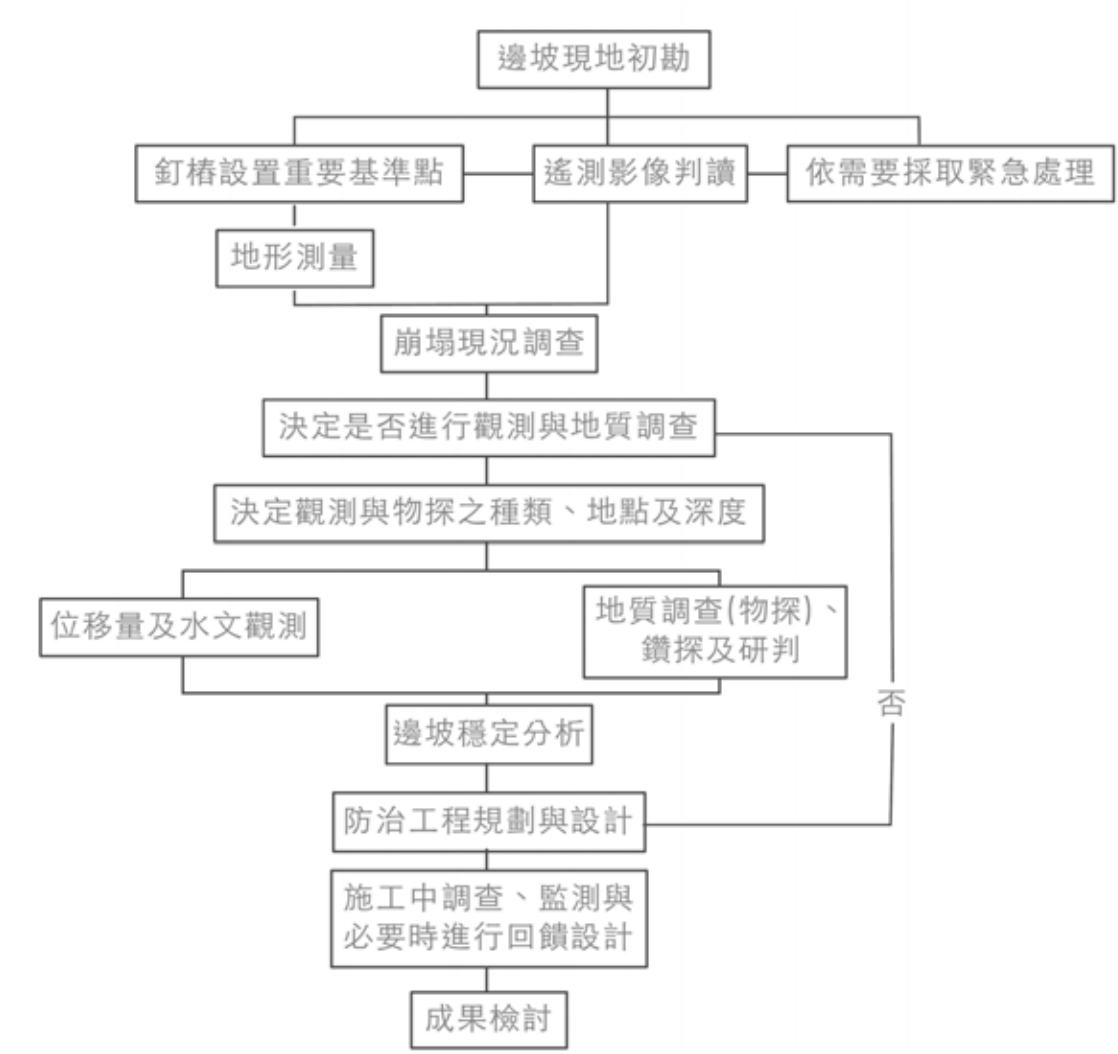


圖 工 1-4-9 邊坡穩定設計之參考步驟流程圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

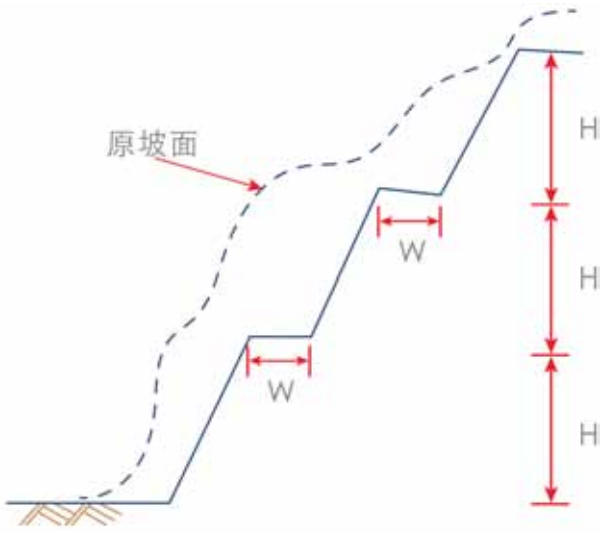


圖 工 1-4-10 階段式邊坡(複式邊坡)示意圖

表 工 1-4-6 填方邊坡之參考坡度(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

填方材料	填方高度(m)	邊坡坡度(垂直：水平)	土壤分類
級配良好之礫石或砂;粉土質礫石；黏土質礫石	0~6 6~15	1：1.25~1：1.5 1：1.5~1：2	GW、SW、GM、GC
級配不良之礫石	0~10	1：1.5~1：2	GP
岩石破碎堆積料	0~10 10~20	1：1.25~1：1.5 1：1.5~1：2	GW、GP、GM
沉泥質砂；黏土質砂；低塑性之黏土或有機土	0~6 6~10	1：1.25~1：1.5 1：1.5~1：2	SM、SC、CL、OL
高塑性之黏土或粉土	0~6	1：1.5~1：2	CH、MH

表 工 1-4-7 挖方邊坡之參考坡度(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

地質情況	挖方高度(m)	邊坡坡度(垂直：水平)	土壤分類
硬岩		1：0~1：0.5	
軟岩		1：0.25~1：0.8	
級配良好(緊密)或級配不良(疏鬆)之砂		1：1.5 或更平緩	SW、SP
沉泥質砂或黏土質砂 砂質土{緊密 砂質土{疏鬆	{0 ~ 5 {5 ~ 10 {0 ~ 5 {5 ~ 10	{1:0.8 {1:0.8 ~ 1:1.0 {1:1.0 ~ 1:1.2 {1:1.2 ~ 1:1.5	SM、SC
級配良好或級配不良之礫石 {級配良好或緊密 {級配不良或疏鬆	{0 ~ 10 {10 ~ 15 {0 ~ 10 {10 ~ 15	{1:0.5 ~ 1:0.8 {1:0.8 ~ 1:1.0 {1:0.8 ~ 1:1.0 {1:1.0 ~ 1:1.5	GW、GM、GC、GP
高塑性或低塑性之粉土，黏土及有機土	0~10	1：0.8~1：1.2	ML、MH、CL、CH、OL、OH
夾岩塊或礫石之粘性土	0~5 5~10	1：1.0~1：1.2 1：1.2~1：1.5	

註：土壤分類符號表示：
G：礫石，C：粘土，S：砂，O：有機質，M：粉土，W：級配良好，P：級配不良，
L：低塑性液性限度 50%以下且壓縮性低，H：高塑性液性限度 50%以上且壓縮性高。

1.4.8 注意事項

一、對複合式之數個崩塌或多重滑動面之坡地，擋土設施之位置應審慎決定，避免造成對下方坡地斜面形成額外加載之情況。

二、植生調查須特別注意樹木枯萎、樹幹裂開或彎曲、傾倒等異常現象。

三、地形測量之基準點應設置於崩塌地外之穩定區。

四、調查主測線應訂在滑動土體之代表位置上。

五、鑽探深度一般以達滑動面或基盤為目標，再加上充裕之深度。

六、安全係數可視保護對象之重要性、距離、位置及災害發生之危險度而提高。

七、擋土工程、打樁工程、地錨工程應確實設置於穩固之地層上。依立地條件及土壤硬度選擇適當植生方法。

八、植生施工時期，以春秋為宜。

九、填土坡應將原地面植被表土及雜物清除，並儘可能將填方嵌入原有坡內。

十、開挖裸露之岩層面若極易風化，應儘速處理。

十一、坡面橫向截水溝與縱向排水溝之匯流處應妥善處理，避免水流外溢。

十二、縱向排水溝應力求平順，若坡度太陡時，應增設跌水或靜水池予以消能。

十三、完工後應適時維護，以維持邊坡之良好狀況。

十四、邊坡開挖與相對應之排水工程及坡面保護工程須避開汛期、梅雨及颱風季節等季節性豪雨。若開挖工程須在雨季中進行，開挖時須對開挖之坡面加以保護及排水。必要時，應修築臨時排水設施。

十五、填土邊坡回填疏鬆，遇持久大雨即有滑動之危險性，填方應分層確實夯實。

十六、施工時應對邊坡進行臨時保護，如加強土壤本身之強度及臨時擋土牆，或進行邊坡表面的防水和防侵蝕處理，以避免未完成之邊坡受到豪雨及地震下產生崩塌。

十七、臨時工程之施工可能導致地下水位降低，使鄰近建築物沉陷，此種沉陷之影響在細顆粒沉積土壤中較為明顯。應確保工程對鄰近邊坡和結構物的影響減到最低。施工過程應有具經驗之工程師對工程進行定期檢查，以減少設施損壞，並可即時修改設計符合現況條件。

十八、對施工中之邊坡進行監測，以防止施工時邊坡發生崩塌，減少勞安事故及緊急處理。

1.4.9 參考文獻

中華民國「公路邊坡工程設計規範」，2015 年12 月 31 日頒布。

交通部國道新建工程局(2003)，「邊坡穩定及保護之設計準則研訂與解說」，交通部國道新建工程局。

行政院農業委員會、台灣省政府農林廳水土保持局、工業技術研究院能源與資源研究所(1992)，「崩塌地調查、規劃與設計手冊(地滑篇)」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

岩手縣土整備部砂防災害課(2015)，「土砂災害防止相關基礎調查手冊」。

香港土木工程署(1998)，「斜坡岩土工程手冊」，香港特別行政區政府土木工程署土力工程處。

經濟部中央地質調查所(2008)，「都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集說明書」。

Highland, L.M., and Bobrowsky, P. (2008) The landslide handbook—A guide to understanding landslides, Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.

Hoek, E., and Bray, J. (1981). Rock slope engineering, Institution of Mining and Metallurgy, London.

Turner, A. K., and Schuster, R. L. (1996). Landslides : investigation and mitigation, National Academy Press, Washington, D.C.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and control (Eds: Schuster, R.L and Krizek, R.J), Transportation and Road research board, National Academy of Science, Washington D.C., pp. 11-33.

1.5 開挖整地

1.5.1 前言

開挖整地係指為開發目的，而對原地形採取挖填土石方之行為。於山坡地興建高爾夫球場、遊憩用地、坡地社區及從事其他之山坡地開發，容易因開挖整地而破壞自然穩定平衡狀態及植生覆蓋之情形，導致邊坡穩定性降低及地表逕流量與土壤沖蝕量增加等現象，故必須依水土保持技術規範實施水土保持之處理與維護，以減免洪水及泥砂等災害之發生。

1.5.2 開挖整地對基地及環境之影響

開挖整地後之地表裸露面及鬆動土方，若未經妥善處理將可能發生以下情況：

一、土壤沖蝕與土石流失：

施工期間若遇豪雨，易引起土壤沖蝕、表土沖刷流失及泥砂阻塞排水路之現象，甚至造成河流改道及土石流淹沒鄰近地區等災害。

二、洪峰增大：

基地開發後因地表逕流量之增加及集流時間之縮短，對外排放之洪峰流量將比未開發前大甚多，當下游地區之排水系統無法容納或安全排除時，則將引起下游洪水及土砂災害。

三、地層滑動與邊坡崩塌：

於舊地滑地、斷層破碎帶、順向坡或崖錐等敏感地區進行開發，或開挖整地方式及施工方法不當，常因自然坡面之擾動而引起地層滑動與邊坡崩塌等災害。

四、水土保育功能降低並影響下游河川生態：

基地既經開發，其原有林木及地被植物覆蓋及其對水源涵養及水質過濾等功能必然隨之減低，加上大量泥砂下移，將影響下游河川生態及造成水源污染等問題。

五、不當的道路開闢可能產生之土砂災害：

(一) 不當之棄土：

開挖整地後所產生之棄土，如果沒有經過妥善的處理，任意就地向下邊坡傾倒，常導致坡面崩壞，破壞原有植被，加速土壤沖蝕。如遇到豪雨來臨，

則土石隨著地表逕流流下，常造成水庫淤積、水源污染、農田房舍埋沒，河道、橋涵阻塞甚至迫使溪流改道，並增加溪流之泥砂輸送，造成土砂災害。

(二) 路基崩塌或下陷：

填方坡面太陡或未充分夯實，擋土設施不足，則遇雨易造成路基崩塌流失。道路經過崩坍或地滑地，受地層滑動崩壞，將造成路基下陷或被切斷。

(三) 路基佔用河道，與水爭地：

山坡地或森林區內道路因用地取得不易或地形不良，而使用河川地，以致縮小河道斷面，使得河流流速增大，導致河床刷深，引起路基淘空崩壞或造成對岸沖蝕及崩塌。

(四) 欠缺臨時防災措施造成災害：

道路施工中欠缺臨時防災措施，如落石護欄、擋土設施及臨時性排水與沉砂池等，以致土石滾落，逕流漫溢，表土沖蝕、水源污染，危害人畜、農地及房舍等。

1.5.3 規劃設計前之準備工作

為預先研判基地開發所可能產生之土砂災害問題，並對特殊地形與地質提供妥善之整地施工方法與防災對策之用，應事先做好規劃設計前之資料蒐集與研判、現場調查及試驗分析等工作。

一、資料蒐集與研判：

(一) 收集 1/25000 經建版地形圖、1/5000 相片基本圖及 Google 地圖等初步瞭解基地地形、環境水系、土壤、土地利用狀況等。

(二) 中央地質調查所查詢基本地質資料：

1. 基地是否位於地質敏感區，並瞭解基地環境地質狀況。
2. 查詢基地區域地質狀況，以初步瞭解基地岩層、岩性等資料。
3. 鑽探等資料。

(三) 進行現況地形測量，建立控制點。

(四) 進行地質調查及鑽探，並尋找基地或附近岩層露頭以確認基地岩性。

(五) 適當道路設計規範之選定，是開闢道路時之重要依據。

二、現場調查：

利用完成測量之現況地形圖，進行基地現況地形、地物之標記與檢測。

(一) 現有排水系統種類及尺寸。

(二) 既有建築物、構造物、道路及擋土設施等。

(三) 標定陡坡、大(危)石、大樹等位置。

1.5.4 規劃設計原則

開挖整地之水土保持工作為有效防範水土流失及衍生災害，於規劃設計前應瞭解使用目的，原則上以避免崩塌與減少沖蝕為主，亦以挖填方平衡為最大原則，並注意以下原則：

一、瞭解土地相關限制：

瞭解土地使用計畫及相關法規限制，例如開發建築用地時，詳細調查基地是否位於建築技術規則 262 條：「山坡地基地不得開發建築認定基準」範圍內。

二、確認土地範圍：

製作坡度圖，確認不可開發區、緩衝帶、保留區之範圍。

三、妥善設計道路系統：

(一) 道路設計規範之選定：

開闢道路應按地形、地質、重要程度、交通量及邊坡穩定原則實施，選定適當之道路設計規範，不得超限構築。地形陡峻、地質不良之特殊地段，因施工及維護不易，得選定較低標準之規範，以減少開挖及破壞；惟應加強安全防護措施如護欄、標誌等。

(二) 道路選線：

除了須考慮開發成本及經濟效益外，亦應注意下列各項原則：

1. 道路選線宜避開地形陡峻、地質結構不良、活動斷層、順向坡、易崩塌滑動或生態敏感等地區，並應顧及完工後之養護。
2. 迴頭彎宜設於地形平緩之坡面以減少自然坡面之破壞及挖、填土石方數量。迴頭彎工法亦可設計在隧道內轉彎，可保持山壁完整，並降低對生態環境的影響。兩連續之迴頭彎距離應儘量拉長及錯開，以免造成上、下路線過於接近，致使坡面破壞過鉅，而影響邊坡之穩定。

(三) 挖填土石及餘土處理：

挖填土石方應避免大斷面開挖或填土，並力求挖填平衡，以減少餘土及借土數量。餘土不得沿線隨意棄置，應妥善堆置於區外合法土石方堆置場或

道路水土保持計畫內之堆土場。區外取土場，應納入道路水土保持計畫內。

(四) 道路排水設施：

道路應設邊溝，橫越坑溝或渠道處均應施設排洪斷面足夠之橋樑、箱涵、涵管或過水路面。每隔適當距離應施設一般橫向排水，避免逕流集中。其施設原則如下：

1. 道路邊溝：

(1)邊溝坡度應陡於 0.2%，但山區農路邊溝坡度應陡於 0.5%。

(2)坡面不穩定、土石易掉落阻塞或清除不易之路段以採用 L 型側溝為原則。其他路段視情況得採用梯形、U 形或矩形側溝，惟寬度及深度最小應 30 cm。

2. 道路橫向排水：

(1)每隔 150 m 設置一橫向排水設施為原則，有特殊情形時採分向或集中排水，並應選擇適當地點設置。

(2)橫向排水出口處，應有適當之保護及消能設施，必要時應設置排水溝引導至下游安全地帶，以避免路基及下游坡面沖蝕。

(3)排水涵管縱坡以陡於 3%為原則。

四、有計畫開發遊憩區：

配合現有地形、地貌並避開不穩定地區來配置遊憩區位，妥善集中各遊憩區位以減少道路之舖設。

五、避開不穩定地區：

(一) 避免於地滑地、斷層破碎帶、順向坡及崖錐等下端部份挖掘，以免產生地層滑動或邊坡崩塌。

(二) 避免於崖錐、順向坡與地滑地上端填土。

(三) 於不影響計畫目的之情形下，儘可能將上列不穩定地區規劃為不可開發區或保育區。

六、順應地形、地貌使破壞減至最少：

為降低地表裸露面、鬆動土方及邊坡不穩定等不利因素，並為降低維護成本，開挖整地應依基地原有地形及地貌，以降低開發度之原則進行規劃設計。

七、挖填方區位規劃與挖填平衡：

挖填方應力求平衡，以減低對基地外棄土或取土之需求所造成之水土保持

問題。

八、減少坡長及坡度：

(一) 邊坡高度超過 5 m 者，應設計階段式邊坡及縱、橫向排水。

(二) 經邊坡穩定分析及水理計算安全無虞者，得予以放寬，惟單一階段高度不得超過 10 m。

九、分期分區施工：

(一) 為避免豪雨所可能帶來之土石流失及邊坡崩塌等災害，開挖整地作業期間應盡量避開颱風期及雨季。

(二) 大面積開挖整地時，應以基地內小集水區或單一小排水系統範圍為單元，配合防災措施適當分區實施。

十、安全排水：

(一) 基地內所做之臨時性或永久性排水系統，以能有效安全排除基地內地表及地下水為原則，並應考慮基地內外排水能量，分區排除之。

(二) 為提高安全性，基地開發期間之區內洪峰流量計算，其逕流係數 C 值以採用 1 為原則。

(三) 基地開發，應採用適當方法控制洪峰流量。

1. 開發期間及開發後之洪峰流量不得大於開發前之洪峰流量。

2. 開發期間及開發後不得增加鄰近集水區之洪峰流量。

十一、邊坡穩定：

開挖整地所形成之人工邊坡應力求穩定，符合水土保持技術規範第 73 條之規定，以確保開發基地長期之安全，若受客觀條件之限制，無法達到自然穩定時，應增加必要之保護工程及設施。

十二、開發期間之防災措施：

(一) 防災措施應能有效防止開挖整地期間之土石流失、崩塌及洪峰流量暴漲等所造成之災害。

(二) 為達防災之目的，應配合開挖整地作業預先構築滯洪、沉砂池及防止崩塌等必要擋土設施。

(三) 臨時擋土設施為防止開挖作業時周圍土方崩塌等情形並確保施工順利進行，應有足夠的貫入深度以承受側向土壓力。可視地層強弱與地質特

性，建議臨時擋土設施總長度(L)與開挖深度(H)之比例 L/H 應大於 1.6~ 2.2 以上。但是臨時擋土設施之最終設計，仍需由專業人員進行地層強度調查並據以進行土壓力計算，分析擋土設施之剪力與彎矩、可能之位移與地表沉陷等，以確保臨時擋土結構之穩定性與安全。

1.5.5 現場施工方法與措施

一、豎立開發範圍界樁、另以紅色界樁標示開挖整地範圍。

二、設置防砂、防止崩塌及沉砂滯洪設施：

針對開挖整地之土石流失災害，可使用下列臨時性或永久性防災措施。

(一) 臨時性沉砂池：

主要設置於基地水路間或下游匯流處，用以沉積水流所挾帶之泥砂。

(二) 滯洪池：

設置於主要排水路上，供蓄洪、減洪之用。其容量依據基地開發前後之洪峰流量差值設計。

(三) 擋土柵：

多屬臨時性防災設施，一般設置於基地與鄰近地區交界處，以防止土壤流失，主要材料為木柵、竹柵及板柵等。

(四) 防災土堤：

配合工程進度，設於鄰界下緣或基地內坡度較陡處，以疏導土石流入沉砂池，並可避免造成坡面沖蝕及直接流入下游溝渠。

(五) 簡易擋土壩：

配合整地填土作業，設於河谷中，其常用材料有：砂包、蛇籠或舊輪胎等。

(六) 防砂壩：

一般設置於基地主要排水路之適當位置，以攔截土石，可視填土量及所估算之沖蝕量在谷地適當位置分段布置。

三、取棄土計畫：

(一) 開挖整地應力求挖填平衡，惟必要時仍有借(取)土或棄土之可能，並可配合土石方資源堆置處理場，供土石方資源暫屯、堆置或再利用。

(二) 挖借土區應視同區內挖土工程。挖借土區地點，應先行進行土壤調查，

並作夯實試驗以瞭解其未來之夯實度和土壤強度參數，進而訂定填土工程標準。取土之前應先將垃圾及樹木雜草等清除，開挖時必須避免有積水之情形發生，其開挖底面應略具坡度，以利水流渲洩。此外，挖土作業應隨時作好水土保持工作。

(三) 棄土區之位置宜避免在上、下游面有重要道路、住宅區等重要公共設施之處及崩塌區、地質不良區或容易遭洪患地區，以減少對區域環境之衝擊影響。棄土時應比照填土工程，棄土材料需分層壓實，且必須注意其穩定性。此外，對棄土可能流失之防治措施亦須考慮，必要時需施做沉砂池、滯洪池及埋設地下排水管等。

四、設置土方暫置區：

整地工程進行期間，開挖之土方在未被運棄或供為填方材料前，應避免下雨時為雨水所沖蝕或遭風吹揚，造成二次污染或公害；開挖之土方以隨挖隨用為原則，暴雨來臨時儘可能覆蓋或封層處理。

五、坡面保護工程：

(一) 開發後之裸露面必須適時完成植生或敷蓋並予以維護，力求儘速覆蓋並減低土壤沖蝕量。

(二) 當不適合植生或僅靠植生無法確保邊坡安定時，視狀況需要以適當之結構體做保護工程，一般採用：噴植法、打樁編柵法、鋪網噴植、栽植槽鋪網植生法、自由型格梁、土岩釘等。

(三) 易風化崩解之岩石邊坡，可噴漿處理。

六、坡腳穩定工程：

配合坡面保護工程，以擋土牆等結構物於坡腳不穩定處補強；滑動力較大之邊坡，若僅靠擋土牆結構物仍無法穩定時，需以其他工程配合之，如排樁、地錨、岩栓等。

七、地表及地下水排除：

(一) 橫向排水長度超過 100 m 或有特殊情況時，採分向或集中排水。

(二) 選擇適當降雨頻率，並依所計算之逕流量及流速設計通水斷面及溝身材料。可將地表水引導至滯洪池。

(三) 基地之聯外排水應考慮區外排水系統之排洪能力，例如設計頻率年、上

游集水區面積、排水系統斷面尺寸等。

(四) 依照工程施工程序，於挖方及填方邊坡與自然地盤接觸處之坡頂上方及開挖後之坡腳分設排水溝，填方可適實際需要設置地下排水設施，當坡長太大時，宜分段排水或設置山腹工等。

(五) 依照填方作業進度，在適當地點設置臨時排水溝以匯集排放雨水，避免地表逕流對已完成部份之邊坡造成沖蝕。

1.5.6 注意事項

一、假設工程中應視個案需求設置圍籬、警示燈、黃色警示帶、警告牌、水土保持計畫施工告示牌、發電機及抽水機等。

二、填土區之原有地表草木必須徹底清除，以避免形成滑動面，並作成階梯狀，再行水平逐層填築並夯實。

三、地下水豐富之挖填方邊坡應在坡腳加強地下排水。

四、開挖整地作業若有崩塌或土石落下致有危險之虞時，應設置擋土、支撐等設施及落石防護網。

1.5.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

1.6 坡地排水

1.6.1 前言

坡地排水即是利用工程或其他方法將地表逕流、地下水及地下滲流水有效地引導、分流或排放至下游安全地區，使其破壞力減至最低限度，以減輕或避免災害之發生。

1.6.2 排水之分類

一、以水的存在位置區分：

(一) 地表排水：

以排除地表逕流為主要對象。

(二) 地下排水：

以排出地下水或地下滲流水為主要對象。

二、以設施條件區分：

(一) 明渠排水：

常用於排除地表逕流。

(二) 暗渠排水：

常用於排除地下水及地下滲流水或銜接明渠以排除地表逕流。通常埋設於地下。

三、以動力條件區分：

(一) 自然排水(重力排水)：

係利用自然坡度排水。

(二) 機械排水：

係利用抽水機排水。

四、以用途區分：

農地排水，都市排水，區域排水，道路排水等。

1.6.3 規劃設計原則

一、基本資料調查：

可能影響坡地排水設施之因子有：地形、土壤、地質、覆蓋度、坡度、降雨量及降雨強度、集水區面積大小與形狀等。排水系統規劃時應先蒐集上述基本資料，經分析與比較後，慎重選擇具代表性及適當精度之資料，按水土保持技術

規範規定重現期距之降雨強度，估計其洪峰逕流量、決定排水斷面並控制其流速，使不發生沖刷及淤積之現象，以獲得安全之排水效果。

二、環境水系調查：

開發基地之排水系統，儘可能利用原有之自然排水系統。因此，基地周邊環境水系之通水斷面，坡降及流況等功能，應確實調查分析，以研判未來開發後所能承受之極限。

三、地表排水系統規劃：

(一) 橫向截水系統規劃：

截流系統乃係沿坡面近乎等高所構築之橫向排水系統為主要項目，其配置首先以基地邊界為第一道防線，將可能流入基地或潛在危險邊坡之地表逕流悉數排入橫向截水溝內；同時坡面為避免地表逕流隨坡長之增加而增，亦應在適當間距，構築橫向排水溝，以收分段截水之功效。

(二) 縱向排水系統及消能設施規劃：

坡面經橫向截流系統所匯集之地表逕流，經由縱向排水溝予以有效安全的排放至安全地點，一般縱向排水系統包含排水溝、涵管、箱涵、跌水等，而排水出口有落差或沖蝕之虞者，應設置跌水工或靜水池等消能設施。

四、地下排水系統規劃：

對於填方地區或地下水豐富之邊坡，大量入滲至地表下之逕流，將增加土壤之含水狀態，而隨著土壤水分之增加，孔隙水壓力之作用將使土體不穩定，導致崩塌或地層滑動等問題，因此地下排水系統乃為因應之重要措施。而地下水排水工程包括暗渠、橫向集水管、地下水集水井、排水廊道、地下截水工程等。

五、滯洪設施規劃：

開挖基地或自然坡面所匯集之地表與地下逕流，最終必須排至溪流或開發區以外之排水系統。為避免因開發土地所增加之逕流量對下游地區之天然溪流或原有排水系統無法負荷，因此必須將開發區內所匯集之逕流水予以適當阻滯，令其延長排出之時間，並降低其排出之洪峰流量，因此滯洪設施乃為山坡地非農業開發使用之安全排水的最後一道防線。

1.6.4 注意事項

一、原地形之自然水路、窪地及自然植被均有調節排水功能，應儘可能予以保留。

二、人行步道、停車場、廣場及公園等地勢較平坦區域等之排水設施，應儘量採透水性鋪面設計，以利地表水排除及水源涵養。

三、基地開發應儘量利用天然坑溝作為排洪之用，並不得妨礙上、下游地區原有水路之集、排水功能。

四、排水設施之斷面應參酌泥砂含量加大斷面。

五、排水設施避免設置在填土區上，否則應加強基礎之處理。

六、基地因開挖整地而改變原集水區範圍者，其排水系統應以改變後之集水區為設計之依據，並應與開挖整地工程、道路設施、建築物配置及公共設施等作有效配合。

1.6.5 參考文獻

台灣營建研究院(1998)，「山坡地開發技術」。

行政院公共工程委員會(2016)，「公共工程施工綱要規範」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

1.7 礦區及土石採取區

1.7.1 前言

目前土石及礦產之開採，主要為露天階段及地下坑道開採二種方法，而露天開採其施工作業初期因須砍伐樹木、剝除表土、採掘土石及礦產、堆置棄碴、洗選礦材及土石，如遇岩盤弱面或不安定界面之情形，短期間將影響到水土資源之保育。

然而就國家之經濟建設與民生建設而言，土石及礦產資源之開發，有其必要之需求，如何尋求兩全其美之方法，使各種資源均能被有效開發利用且不致妨礙到其他資源經營管理，並積極促使各種資源間之相互競爭性與衝突性減低至最低限度，對今後國家之經建發展有莫大之關係。

1.7.2 規劃設計原則

一、開採計畫研擬：

適宜之開採除以礦床之分佈情形、地質構造、岩石特性、礦質種類為考量外，水土保持經營管理原則、安全顧慮、最大經濟效益…等因子亦應一併列入。露天開採時應以由上而下之階段方式開採，同時亦應以上述各因子而限制每一開採階段之最大有效長度、作業寬度與採掘殘壁之最大安息角度。尤其對於大面積開採之礦場或土石採取場，更應基於其用途、年平均產量、地文因子等作有計劃性並符合政府法令規範之規劃開採，規劃設計應符合下列事項：

(一) 分期分區作業：

採礦及土石採取場水土保持處理與維護之規劃、設計與施工，應與其開採計畫內之探、採礦作業程序互相配合，分期、分區為之。

(二) 緩衝帶設置：

採礦及土石採取場對週邊地區有水土災害之虞者，應於用地界內緣設置水平距離 15 m 以上之緩衝帶，並配合必要之防災措施。

(三) 最終殘壁：

露天礦場或土石採取場之最終殘壁，每階段高度不得超過 10 m，依下列原則辦理：

1. 土質礦場：

(1)階段高度 5 m 以下者，平台寬度 1.5 m 以上，每五個平台中至少有一平台寬度不得小於 3 m，殘壁邊坡 65° 以下。

(2)階段高度超過 5 m 者，平台寬度 5 m 以上，殘壁邊坡 45° 以下。

2. 原料礦場：平台寬度 5 m 以上，如以預剝式保留殘壁者，平台寬度 4 m 以上，殘壁邊坡 75°以下。

3. 石材礦場：平台寬度 4 m 以上，殘壁邊坡 90°以下。

4. 採取土石場之階段高度 5 m 以下，平台寬度 1.5 m 以上，每五個平台中至少有一平台寬度不得小於 3 m，邊坡應緩於 1：1.5(垂直：水平)為原則；非土質階段邊坡應緩於 1：1(垂直：水平)為原則。但實際上影響邊坡穩定因素眾多，故需進行邊坡穩定分析後確定其邊坡之安全穩定性。

二、廢棄土石處理：

礦碴既是形成礦害糾紛之主因之一，況且亦因其受自然天候條件、本身風化情況及礦種岩性之影響，其理化性質亦有所差異，且為鬆方土石，自需深入瞭解，以尋求適當可行之處理方法，其處理原則略述如下：

(一) 礦碴理化性之分析研究：

針對各式之礦種、堆積時間、海拔狀況及風化情形等加以取樣後，分析其機械組成與理化性質，以瞭解不同狀況下之永久安息角、構造組成及粒徑分佈等，作為處理之參考。

(二) 堆積場所之選定：

堆積地點應避免選取潛在地滑地、崩塌地、洪患地、淹沒區等，並儘量避免堆積於河川、溪流地。倘若礦區附近因限於地形關係，無適當地點而必須堆積於河川溪流附近時，應注意溪流之流向與排洪情形，並儘量避免堆積於凹岸處。

(三) 堆積方式之改善：

目前大多數礦場均以自然堆積形態實施堆置，因此易造成堆積坡面或坡腳之不穩而發生崩塌、滑陷及受沖刷之現象，故有關其堆積方式當依其安息角度，以適當之高度和坡長實施分層堆積為宜。

(四) 植生覆蓋樹種之選擇：

礦碴與一般土壤性質不同，故有關植生樹種當依不同之礦種、海拔高度與氣候條件等加以挑選，一般當以能耐酸、耐旱、耐寒、耐瘠、萌芽力強且深根性者為佳。

(五) 堆積坡面之安定與坡腳之穩定：

坡面之安定性與坡腳之穩定性能加以控制後，植生則較為容易入侵或定著。而礦害亦相形減低。故其坡腳當以適當之工程構造物(如擋土牆、編柵、駁坎等)求其穩定後再實施整坡，求得坡面上之安定後再予以植生綠化。

三、排水規劃：

礦區排水之主要規劃工作，乃在如何以有效之排水工程配合水流性質而加以排除礦區之地表逕流量、入滲水量、地下水量及窪蓄水量。區內之採礦場、作業場、廢土石堆置處及運搬卡車道，均因開發後地形遭受破壞引起排水不良現象，故礦區排水規劃之原則如下：

(一) 區內之各集水分區應設立完整截排水設施，將地表逕流導入沉砂及滯洪設施後，再安全導引至下游排水系統。

(二) 區內之急斜面或斜向變化處要注意排水。

(三) 區內滲透良好地區與滲透不良地區之鄰接處要注意排水之引導。

(四) 區內地下水滲透多時要注意地下排水。

(五) 區內洗選礦場之排水，須排入至防砂壩或沉砂設施。

(六) 區內有長而緩之斜面時要注意分段排水。

四、道路規劃：

目前礦區道路，由於天然條件及人文環境之影響，而與一般山區道路、平原地區之道路均有所不同，故其基本型態與性質亦有所差異。對於礦區道路之選線規劃設計，必須更加謹慎，以免形成集水區經營上之另一困難。規劃礦區道路應注意下列幾點：

(一) 選線踏勘時應注意地質情形，避免通過地質狀況不佳而有滲透水之坡面，同時儘可能與其他交通路線形成道路網。路線以坡度緩、曲線少、構造物少、挖填土方量少，且將來具有充分發揮功效與經濟效益高者為佳。

(二) 道路之路寬、避車道、最短視距、最大縱坡，其坡長及曲率半徑、橫斷坡度等，至少應依農路四級標準。

(三) 注意排水問題，如道路邊溝、暗管、橫溝、上下邊坡之逕流處理排除與跨越野溪溝谷時等問題須考慮到排水問題。

(四) 道路規劃完成後，應充分考慮到所開路線在水文、土壤沖蝕方面所可能產生之變化，以作防範之措施。

五、植生規劃：

請參閱「植生篇」。

1.7.3 注意事項

一、區內剩餘廢土石方，應堆置於安全地區，同時請開發單位考量礦場作業中產生之固體物，相關其回收利用之可行性，避免浪費資源。

二、開採計畫執行時，應減少非必要地區之坡面及植被破壞。

三、為配合採掘基地、捨石場之植生復舊工作及邊坡穩定處理，應進行土壤採樣及肥力分析與一般物理性試驗。

四、剝土計畫宜儘量於旱季施工，並配合採掘階段面之開展而施設臨時性排水、沉砂與滯洪設施。

五、礦石搬運宜儘量以索道或皮帶輸送，以減少礦區內之開路面積。

六、露天採礦，應適當分區、分期為之，其水土保持設施之設計與施工應與作業進度相互配合。

七、堆積廢棄土石計畫地點之設施容量，宜配合開採計畫及年度生產量，估計其堆積容量與使用年限。

八、對於採礦基地之二次土地利用潛能評估，應配合採礦計畫年限後期之開採計畫而審慎擬定，以提升未來礦源開採結束後，採礦基地之土地更新再利用價值。

1.7.4 參考文獻

中華民國「土石採取法」，2008 年 1 月 9 日修訂。

中華民國「礦業法」，2003 年 12 月 31 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

1.8 沉砂滯洪設施

1.8.1 前言

洪災之肇因多取決於洪峰逕流量及泥砂產量，一旦暴雨侵襲，洪峰逕流量因山坡地開發而增加，極可能因此而超過下游地區排水構造物之排洪斷面，且泥砂亦可能堵塞排水道而減低其排洪量。一般而言，具有攔截或沉積土石之構造物都可稱為沉砂設施。具有減少洪峰流量或分散洪峰到達時間之措施，則稱為滯洪設施。其中，水土保持設施之沉砂設施和給水系統之沉砂設施功能略有不同，水土保持設施之沉砂設施主要在攔截或沉積泥砂或礫石，避免其淤積野溪、河道或箱涵，降低河道、箱涵或橋梁之通水斷面，減少漫溢或溢堤之風險。

沉砂設施之形狀及大小係依據流量、推移質砂礫數量、形狀、入口處之河床坡度、淤砂度及地形而定。一般常見者有角型、鳥囊型、胃袋型、盾型、六角型及長橢圓型等，沉砂設施經常使用之周邊護岸材料則有混凝土、漿砌石及土堤等。

依據設置位置區分，滯洪設施可以分在槽式滯洪設施、離槽式滯洪設施和抽排式滯洪設施三種。滯洪設施依滯洪規模大小可以構築滯洪壩、袋狀蓄砂河段或滯洪池以發揮滯洪效益。

其中，滯洪壩、滯洪池及袋狀蓄砂河段為具有降低洪峰、調節泥砂功能之工程設施，一般所指之滯洪壩為傳統防砂壩中間開一矩形或圓形之缺口，其功能為降低洪峰流量，有效調節泥砂。在槽式滯洪池可以是中間設計矩形開口或是圓形孔口之隔板或牆體；離槽式滯洪池則須在主渠道或箱涵側邊設計側流堰，導引洪峰流量自主渠道或箱涵經由側流堰流入位於側邊之蓄水池，必要時，在洪峰消退期間，水流可以設計自蓄水池流回主渠道或箱涵。

滯洪設施之規劃設計原則以以重力排放為主，抽排為輔。在槽式和離槽式滯洪池主要是無控制式設施，亦即毋需人力操作和電力供應之設施。抽排式滯洪池則是在滯洪池排水口高程低於聯外排水底部高程，有電力供應、合適人力操作和維護時採用機械式抽水機搭配使用，適用於合法之建築物為原則。

沉砂設施和滯洪設施有平面共構、分離配置和垂直共構三種，可以依據計畫區地形，可用土地區位、大小加以靈活規劃。平面共構為沉砂設施和滯洪設施採取串聯方式操作，有先沉砂後滯洪，或先滯洪後沉砂兩種方式，依據洪峰逕流量和泥砂

生產量之發生熱點決定規劃方式和區位。分離配置和平面共構類似，只是沉砂設施和滯洪設施之結構體沒有連結在一起。一般而言，平面共構或分離配置採取先沉砂後滯洪之配置方式，可以獲得較佳之沉砂和滯洪效益。垂直共構可視為增加滯洪設施之沉砂空間或提高呆水位之規劃方式。當可使用土地面積非常窘迫時，垂直共構則為較能接受之規劃方式。

1.8.2 規劃設計原則

依據實際調查資料之結果及預定保護區，配合當地地質、地形條件及土地利用情形，社會經濟環境及工程之重要性，選定治理區域，且治理區域應以一個集水區為一個單位，做整體之沉砂滯洪設施規劃設計，避免人力及財力之浪費。

當土地面積有限時，經常會有滯洪、沉砂池垂直共構之規劃設計，滯洪、沉砂池垂直共構時，需要注意下列事項：

一、在槽式滯洪池如果採取和沉砂池共構時，滯洪空間會較大，但沉砂池長度需要設計較長，才能達到同樣之囚砂率。當水位低於滯洪池出水口，亦即沒有出流水情況時，泥砂較容易落淤在沉砂池頭端；當水位高於滯洪池出水口，亦即開始出現出流水情況時，如果是平緩入流渠道坡度時，泥砂較容易落淤在入流渠道上；如果是陡峻入流渠道坡度時，泥砂則會落淤在沉砂池頭端，同時會帶走部分泥砂經由滯洪池出水口流出。

二、抽排式滯洪池應考慮該開發區之總量管制，並以重力排放為主，在無法以重力排放之情況下，則以抽排式輔助；若採取和沉砂池共構時，滯洪空間會較大，但沉砂池長度需要設計較長，才能達到同樣之囚砂率。因為高濃度泥砂集中在池體下方，沉水式抽水機容易損壞。

三、離槽式滯洪池係指滯洪池和沉砂池兩者水平共構或布置，因此，沒有垂直共構問題。

1.8.3 方法與措施

一、依其設置地區之重要性選擇其洪水頻率之流量，做為設計原則，一般設置依地區特性可分為二種：

(一) 一般森林地及山坡地之滯洪、沉砂：

滯洪、沉砂設施之目的為遲滯洪峰、調節泥砂流出量、保護下游居民生命財產安全；在森林、山坡地地區因地下水位高度、邊坡穩定及地質等安全

因素，施作透水保水設施條件較多且複雜，故採用滯洪池、滯洪壩及沉砂池等措施為主要削減洪峰之方式。

(二) 都市滯洪：

都市地區由於土地(空間)難以取得，且較無邊坡穩定、地質等安全性之問題，故得以增加土壤入滲量、減少地表逕流、降低逕流係數為主要方式。

二、在滯洪池容積計算方面，依集水區面積大小可分為兩種：

(一) 集水區面積在一千公頃以下時，得以合理化公式計算滯洪量

(二) 面積在一千公頃以上時，得採用修正三角形單位歷線法計算滯洪量

三、野溪及森林中之開口式滯洪壩宜以鋼筋混凝土構築，可避免損壞，而接近村鎮者為配合景觀可構築鋼筋混凝土心牆外加土施築。其出水口以鋼筋混凝土加鋼條攔污柵構築，同時緊急溢洪口可覆土植生，以達景觀調和之效果。

四、滯洪池應有安全流量放流口，並於洪水過後清除湖中之污泥，使其不致喪失滯洪之效果。

五、滯洪池與沉砂池垂直共構時，滯洪容量因為增加沉砂池空間而增加，有利於滯洪，但降低沉砂池之囚砂率。

1.8.4 注意事項

一、設置滯洪池須配合其立地條件，面積有限之區域不適合。

二、滯洪壩出水口設置柵欄保護時，應以半圓形、半圓柱、半球形為主，以減少堵塞；須於洪水過後清除其攔阻物。

三、滯洪壩應另設緊急溢洪口。

四、都市及野溪排水設施，最好以透水材料鋪設渠底及護岸使其入滲率增加，降低逕流係數。

五、開口式滯洪壩之開口寬，以不破壞及淘刷兩岸壩翼為原則。

六、若滯洪壩設置於上游時，其上游最好築有攔石設施或防砂壩，避免巨石將開口堵塞，喪失其滯洪效果。

七、滯洪池內可鋪設草皮，於洪水過後可作為休閒空地。

八、滯洪沉砂池平面共構或分離配置，應先沉砂再滯洪。

九、抽排式滯洪設施應設置不斷電裝置。沉水式抽水機建議於泥砂濃度較小之池內使用。

1.8.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

1.9 生態工程

1.9.1 前言

水土保持技術規範及水土保持手冊(2005)將生態工法(Ecotechnology)，定義為「採用天然資材為主要材料，以融合周邊地形自然景觀，減少造成生態環境之衝擊為理念設計，構築可供動植物棲息，營造生物多樣性生存空間，創造兼具防災及生態復育功能之工法」。美國研究生態工程的學者 William J. Mitsch (2012)則將生態工程(Ecological engineering)定義為「能同時整合人類社會與其自然環境兩者利益的永續生態系設計」。以定義來看，生態工法與生態工程的目的是一致的，但字面上，前者容易讓人誤以為只是施工方法。因此長年推行生態工法的行政院公共工程委員會，已在 2006 年將「生態工法」修訂為「生態工程」。本手冊將依循此修訂，只用生態工程這個詞。

生態工程主要目的有兩個，一是回復被人類嚴重汙染或破壞的生態系，另一為營造永續性的環境(Mitsch and Jørgensen 2004)。水土保持相關生態工程主要是針對第二個目的，也就是，降低工程對於自然環境與生物多樣性的負面衝擊，讓工程後的環境更能永續。

1.9.2 生態工程應用原則

水土保持技術規範第 168 條:「水土保持之處理與維護除應符合安全、經濟外，並應考慮與自然生態工法之配合運用。」也就是說，以水土保持處理或治山防災工程為目的之生態工程，應以達到安全、經濟及生態三者平衡為目標。

一、安全之考量：

當施工地區有特定保全對象(如村落、民宅)、重要維生體系(如水庫、農業生態系)或特殊災害地點(生態系無法自然復原)時，安全因素將優先考慮。設計規劃時需依安定評估、安全係數設定、應力檢算及坡面穩定分析為依據。又如土石流、崩塌地等大規模災害地區，舊有環境破壞殆盡，原先之主體生態結構無法自然復原時，為盡可能達到原生態系或景觀之再生，依新地形或周邊環境狀況，考量周邊環境、上下游區域生態及景觀之連續性，所設計之適合創造生態系或景觀之治山防災構造物。而如防砂壩與梳子壩等混凝土構造物，目的是希望當土石流來臨時可以攔阻大量的土砂，防止土砂下移造成下游居民的危害，而若因大量土石毀壞道路與橋樑造成交通要道的中斷，則會影響交通運輸與人類活動。

二、經濟之考量：

設計時亦應注意工程設施的經濟性，人工設施的功能與必要性是應用生態工程前重要的考慮要項之一，以避免資(能)源過度浪費。向前推廣到土地開發規劃及評估時，即應就土地開發的必要性與程度，環境保育及所需建構的防災設施進行整體評估，進行投資效益的分析。

三、生態之考量：

施工地區於安全及經濟考量後，生態工程亦應納入。若施工地區為生態保護區、特有或保育生物之復育區或自然復育演替可能性高之地區時，應特別注意水土保持非開發行為工程設施之負面效應，規劃設計時最好能改變工程施工之位置；若工址無法改變時，也應儘量減少外物之導入及人為干擾，依據生物或環境棲地條件及自然演替系列之推測、評估為規劃設計之依據。而需進行溪流整治之地區，依其施工前地區特性之變化及演替情形，以及依生態系與景觀之實況，儘可能採用當地現有之石材、木料等，並以原生植物為主要植生資材，設計有助於自然復育能力之治山防災構造物。其設計重點應注意濱水區生態區域之完整性，以及形成適合生物棲息之多孔性護岸。相同的，因為施工或工程構造物會對環境因子造成的改變也須列入考慮，包括溫度、溼度、地形、地貌等。施工時可依災害規模、災害嚴重性及保全對象等，考慮快速且符合經濟效益的工程方法，唯安全及生態之考量仍有時序上的變化、水土保持非開發行為工程設施尺度之影響，以及生態棲地干擾、復原間之區域相互作用，宜因地制宜、靈活運用。

1.9.3 生態工程規劃原則

當時間與環境不同時，所適用之生態工程會因此而異，所以很難訂定出一套適用於所有時空的標準。但在工程規劃階段中，越能掌握以下基本理念，越能獲得成功的結果。

一、必先有為自然環境設想的觀念：

已為生態工程發表數本書籍的美國的學者 William J. Mitsch 認為生態工程是個「能同時整合人類社會與其自然環境兩者利益的永續生態系設計」。若工程的選用與施工也能把當地自然環境納入保全的範圍，儘量少改變非生物環境，多為其他生物的生存設想，就越能達到生態工程的目的。例如，以生態工程做溪

流整治時，不只要保全當地居民與重要設施，也要提供生育地給原先就生活在當地的水生生物。

二、對現有自然環境有充分的認知：

生態工程的重要目的是減少工程對於當地的自然生態及生物多樣性的衝擊，因此必須在施工前，確定當地的生態現況，以維護現況為目標，才能做出正確的工程規劃。例如，在溪流整治工程前，應先調查當地溪流水量與形態，以及岸邊與水中需要保護的生物。透過生態專業訓練人員及當地居民的參與，能有效提高對當地自然環境的認知。

三、需做整體性的系統考量：

例如魚道的設置是要讓迴游性生物能在河川整治後仍能往上游移動。若魚道只設置在河川上游，而跳過中下游或者未考慮砂石之問題亦會造成土砂淤積等問題。魚道所需考慮的不只是本體設計，而是需要包含上下游邊界、壩體、避難設施等，將其視為一個整體的系統，否則對於迴游性生物的幫助是很有限的，而無法達到生態工程的要求。

四、治本而不只治標：

從問題的源頭來解決問題，通常更能有效且長期解決問題。例如，要解決溪流下游土砂移入量過多的問題，在溪流中上游處設立防砂壩是常用的方法，但更為治本的方法是降低中上游崩塌的發生。

五、就地取材：

工程導入時，若能儘量利用當地自然資材(例如利用原溪床上的石材做整治工程)，這可以減少材料運送的成本與能源消耗，景觀上也容易與當地環境取得視覺的調和。水土保持技術規範第 58 條第 2 款即規定，選用植物材料做植生綠化時，「應以本地或原生植物為原則」。植生方法中，多使用台灣本土的植物物種，甚至從施工當地所取得植物種源，這樣可以降低外來物種的入侵，也可以讓當地的植生能以自然演替方式回復當初的狀況。這樣就能符合水土保持技術規範第 131 條的要求：「水土保持施工，應善用自然力及自然資材，以減少對自然生態環境之衝擊。」

1.9.4 生態檢核實施步驟

一、規劃階段：

這個階段首先要做現地資料蒐集，廣徵相關專家、當地居民及業主的意見，來確定施工前當地的地文及自然環境。很多生物的活動會隨季節變化，因此現地生態調查最好收集兩個或更多不同季節的生態資料。有施工前的地文及自然環境資料，才能規劃出施工後應達到的生態目標。

二、設計階段：

此階段除了在工程設計中要盡量採用生態友善的工程設計外，要反覆評估工程設計對於生態環境的效應。面對會對環境產生負面效應的工程，應依序採取下列措施。

(一) 迴避：

工程的空間規劃(施工地點及施工便道)，要避開或遠離要保全生物的棲息空間、物種歧異度高或較敏感性的環境。

(二) 縮小與減輕：

盡量縮小施工的規模與時間，來減輕負面效應。例如，讓對原先地形地貌改變、工程結構量體與數量降到最小或最少。

(三) 補償：

當工程會破壞到生物的棲息空間、物種歧異度高或較敏感性的環境，且這種破壞無法避免時，應該破壞發生前，先在施工地點附近，塑造同質性之環境，來補償破壞所造成的損失。

三、施工階段：

這個階段除了要按原定設計施工外，應在施工期間，持續做生態檢核，以監測工程對於生態環境的衝擊。一旦有因工程造成意外的生態劣化，施工人員應與專家、居民及業主一起研商解決方法(變更設計或其他可能解決方式)。

四、完工後階段：

施工期間的擾動(如機械進出及開挖)多少會對當地生態環境有暫時性的負面影響，但通常這類擾動一旦停止後，當地的生態就有恢復的機會。因此要評估工程的生態成效或影響，不應該在完工後立刻進行。最好是先讓當地環境恢復至少一年，才再以規劃階段的相同方法，進行另一次的現地資料蒐集，如此才能更準確地評估出該工程的生態成效或影響。

1.9.5 生態廊道之類型概要

一、河道內棲地保育措施：

(一) 卵石組串堆：

卵石群鋪置於河道底床，提供覆蓋、並創造不同流況之多樣性棲地。

(二) 壩堤或橫向固床工：

於河道橫向鋪置具孔性混凝土、原木、卵石或是採石場石材，並將其固定於河岸或河床上，以創造淵瀨棲地，控制河床沖蝕或堆積，並蓄留砂礫性河床質。

(三) 丁壩、導流工：

由河岸向外突出之橫向構造物，但構造物非橫跨兩岸。用以將水流導離河岸，並藉由河道之緊縮使水流加速而形成沖刷型淵潭。

(四) 魚道：

任意一種可用之河道措施，可提高目標魚種自由移動至上游區域產卵之機會，同時可有效運用該區域之棲息地及其他生物所需之棲地機能。

(五) 防遷移障礙物：

在策略性地點設置障礙物以防止下游或其他物種接近上游區域，此方法目前台灣地區之河道較少考慮及應用。

(六) 河道坡降控制措施：

採用岩塊、木材、多孔性材料等，構成單一或連續橫跨河岸之構造物(目前常用連續性固床工、潛壩)，以抵抗河床之沖蝕力並減少上游之能量坡降以防止河床沖刷。



緩坡魚道(引水越堤)



複式斷面固床工

圖 工 1-9-1 河道內棲地保育措施照片例

二、陸域水域交流通道：

(一) 河岸林緩衝帶：

河岸植生可降低水溫，提供岩石及樹林碎屑之料源以改善棲息地，並可減少沈澱物、有機材料、營養物、殺蟲劑及其他污染物移入溪流。

(二) 河岸修整及植生：

修整河岸成穩定岸坡，鋪置表土及植生所需材料，並選擇最適合之樹種進行植生。

(三) 多孔性護岸與植栽：

機編之金屬格網矩形箱籠，內部填充小至中等之石材及土袋包，多組箱籠捆結形成岸趾部防護結構或擋土側壁。或於

坡面上之岩塊、堆石或多孔性混凝土構造物之縫隙中栽植適生植栽材料，栽植方法視孔隙率及孔隙厚度而定。

(四) 岸趾堆石或拋石：

以採石場大塊石或河岸上之大卵石，在河岸坡趾構築一條脊狀帶構造物，以便造成水流於此岸轉向、穩定邊坡及促進沈積物沈澱。或以適當大小石塊所組成之敷墊，由邊坡坡趾鋪設到所需要之高程。



海岸拋石



砌石護岸與踏步式固床工



砌石護岸

圖 工 1-9-2 陸域水域交流通道照片例

三、道路廊道：

(一) 穿越式廊道：

設計時需一併設置誘導網和阻絕設施，誘引動物穿越地下廊道。如複式涵管、箱涵等。

(二) 跨越式廊道：

設計較簡單易行，對跨越能力較大之生物有利。

(三) 樹籬或綠帶:

如行道樹高鬱閉樹冠層栽植、樹林帶之連結等。



斜坡通道側溝



樹籬與綠帶





斜坡通道側溝





型側溝(緩坡化與粗造化)

圖 工 1-9-3 道路廊道照片例

四、集水區及土地利用管理措施：

主要目的為污染物隔離及管理：隔離水源及庇護區、採管理放牧或控制點源污染，以保護、維持或改善河岸之動物相、植物相及水質。

(一) 農業地區：

目的在減輕農業地非點源污染。包括等高耕作、水土保持保育耕作(農地植草、草生栽培等)、階段平台化、緩衝區域植生、廢棄物儲存管理等。

(二) 林地：

目的在減輕林地非點源污染。包括濱水帶管理措施、林道構築與管理、森林造林與撫育、火災控制與管理，崩塌地或擾動區再植生及森林保育地區管理。

(三) 都會區：

目的在減少或防護都市發展及都市活動對溪流廊道造成之衝擊。包括地表逕流與汙水隔離措施、沼澤地、植生過濾帶，入滲(海綿)盆地、多孔鋪面或溝渠，以及都會區森林綠地覆蓋等。

1.9.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

Mitsch, W. J. (2012). "What is ecological engineering?" Ecol Eng, 45, pp. 5-12.

Mitsch, W. J., and Jørgensen, S. E. (2004). Ecological engineering and ecosystem restoration, Wiley, Hoboken, N.J.

貳、處理單元

2.1 防砂壩

2.1.1 定義

防砂壩(sabo dam; check dam)係指為攔蓄及調節溪流土砂、減緩溪床坡度、穩定流心、防止侵蝕、崩塌或抑止土石流所構築 5.0m 以上之橫向阻水構造物，為野溪控制土砂流失與生產的最主要工法之一。

2.1.2 目的

防砂壩的主要特點是壩體高出溪床，使壩體與溪床和兩邊坡之間構成一個可以貯蓄大量土砂的空間；當此貯砂空間蓄積土砂之後，會在原溪床上形成新的溪床面，且因新的溪床面坡度小於原溪床坡度，從而發揮了以下功能，包括：

一、減緩水流輸砂能力：

當挾砂洪流從陡坡溪段進入壩體上游緩坡溪段時，因水流流速減緩，輸砂能力下降，導致水流挾帶的泥砂沿程落淤而減少土砂的流出量；反之，在洪水退走時，淤積在壩體上游的部分土砂會再次被帶走，溪床也逐漸恢復洪水前的樣態。此外，如屬土石流通過時，也能減緩土石流運動勢能，使部分土砂落淤，降低其攜出土砂規模，如圖 工 2-1-1 所示。

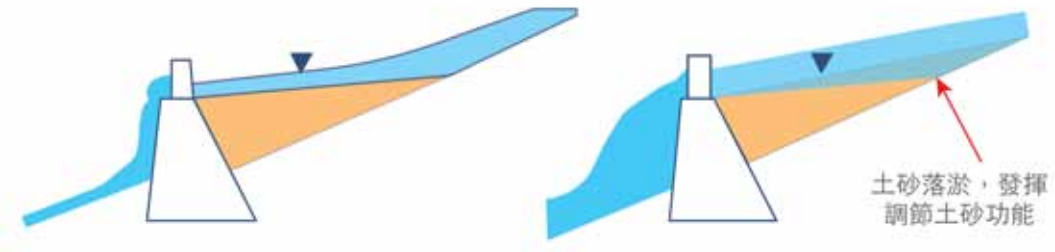
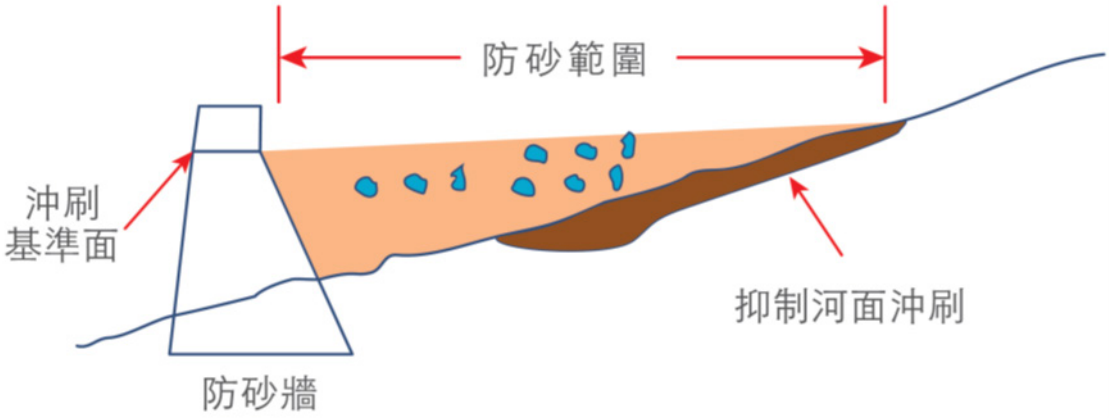


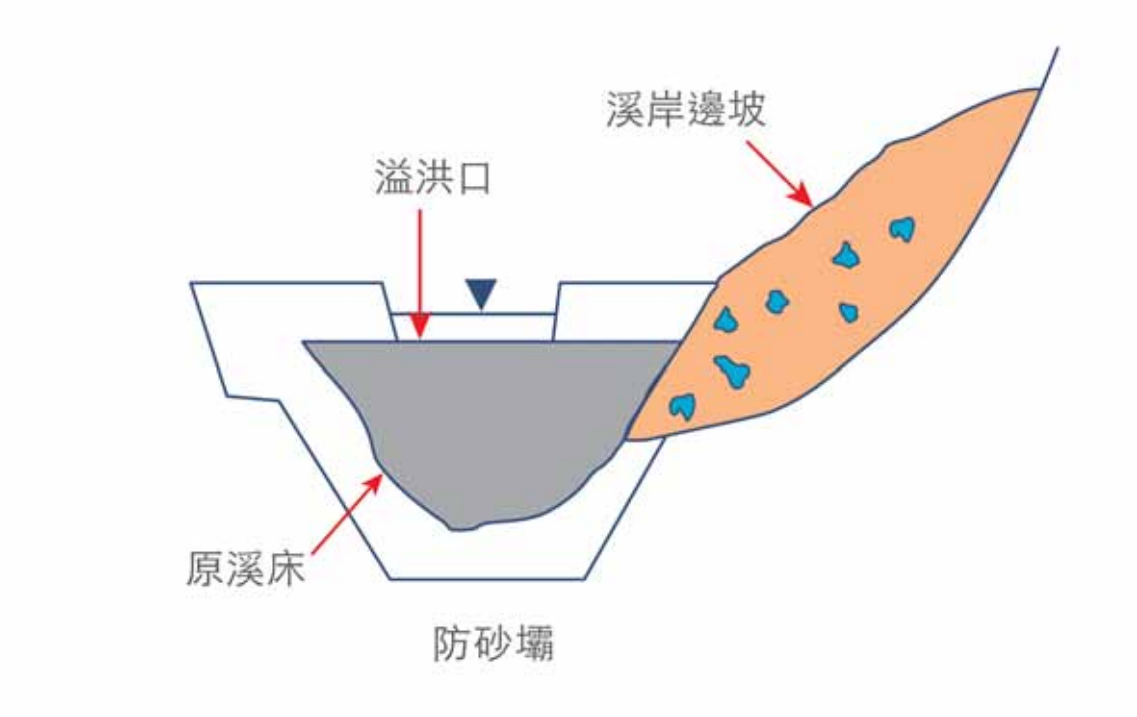
圖 工 2-1-1 防砂壩上游調節土砂流出功能

二、抑制壩體上游縱、橫向沖刷：

防砂壩抬高溪床侵蝕基準面，於基準面以下的溪床及兩岸邊坡皆不再遭受水流沖、淘刷之影響；此外，當壩體上游蓄滿土砂之後，遭土砂所覆蓋的溪床及兩岸部分邊坡，亦能免於水流直接沖、淘刷，如圖 工 2-1-2 所示。因此，防砂壩宜建置於溪流縱、橫向沖刷嚴重溪段之下游側，以發揮其抑制土砂流失之功能。



(a)抑制溪床縱向侵蝕



(b)抑制溪床橫向侵蝕

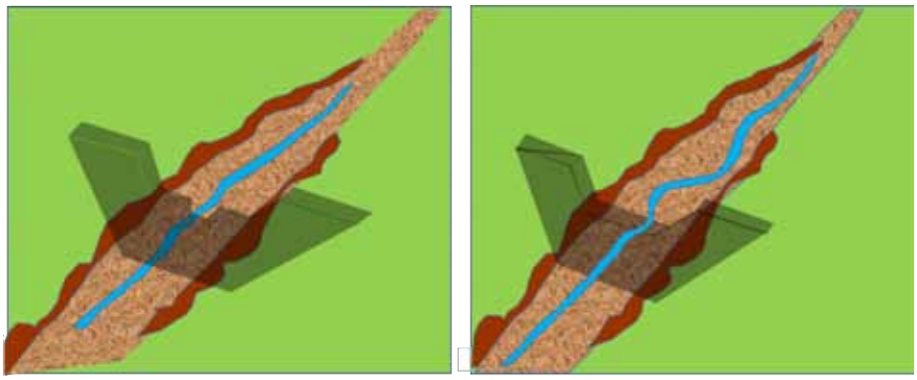
圖 工 2-1-2 防砂壩抑制溪床及兩岸之縱、橫向侵蝕

三、穩定坡腳：

承上所述，位於沖刷基準面以下或遭土砂淤埋範圍的兩岸邊坡，不再有被水流淘刷之虞。這表明，防砂壩可以鞏固其上游淤砂範圍(或影響範圍)之兩岸坡腳，防止兩岸崩塌的持續擴大，如圖 工 2-1-2(b)所示。不過，壩體上游新的溪床面常因溪幅擴大，水流變得比較擺盪不定，時而淘刷兩岸導致溪岸產生新的崩塌。雖然因水流擺盪引發溪岸崩塌規模，遠小於建壩前溪岸崩塌規模(此種溪岸崩塌係由溪床沖刷下切及溪岸淘刷的共同作用結果)，惟仍應慎重處理過壩水流流心穩定的問題，以克服這類問題的產生。

四、控制水流流心：

防砂壩溢洪口係為順利排導洪水而設計，且因具有範束洪流作用，可以引導水流自溢洪口流出達成穩定流心之效果，如圖 工 2-1-2 所示。對於防砂壩上游淤砂形成新的溪床面，導致溪幅擴大引發溪岸崩塌問題，則應考量溪幅寬度而採取溢洪口複式斷面設計，形塑深槽線，以取得控制流心之效果，如圖 工 2-1-3 所示。圖中，相較於複式斷面設計，無複式斷面設計時之水流流路較為蜿蜒，對壩體上游兩岸具有較大的側蝕威脅。



(a)有複式斷面設計　　(b)無複式斷面設計

圖 工 2-1-3 溢洪口斷面設計與其上游水流流路示意圖

五、沿程消能：

於溪床上構築連續數座防砂壩構成系列防砂壩，如圖 工 2-1-4 所示。系列防砂壩打造出近似階梯狀的溪床結構，不僅可以有效消耗過壩水流能量，且具有減緩水流流速之功能，維持河勢的穩定。

六、攔蓄土砂：

防砂壩上游具有一定的容積可以蓄積土砂，故以攔蓄砂石為目的者，壩址宜選在溪寬較狹窄(通常兩岸皆為岩盤)，且其上游寬闊、坡度平緩之地點。



圖 工 2-1-4 系列防砂壩形成階梯狀溪床結構

綜上所述，防砂壩藉由壩體上游淤砂之後的減坡效應，到了降低水流沖刷及穩定兩岸邊坡之作用，顯示當防砂壩上游淤積的土砂越多，其功能才得以有效地發揮，此與一般人認為防砂壩淤滿之後就失去相關功能的錯誤認知相去甚遠，除非是以攔砂為目的之防砂壩，可視實際需求適時予以清疏。

2.1.3 種類與適用範圍

防砂壩種類可依材料及壩體外觀進行分類。

一、依材料分類：

包括土壩、木壩、蛇籠壩、堆石壩、混凝土壩、鋼筋混凝土壩、塊石混凝土壩及格籠壩等，其適用性如表 工 2-1-1 所示。

二、依壩型分類：

包括非透過性、透過性及部分透過性壩等三種類型。

三、依構造分類：

包括重力式、半重力式、懸臂式、撐牆式、拱式等。

四、依壩高分類：

包括高壩($H_o \geq 15m$)、中壩($7\ m \leq H_o < 15\ m$)及低壩($5\ m \leq H_o < 7\ m$)等

(註：H_o=壩高)。

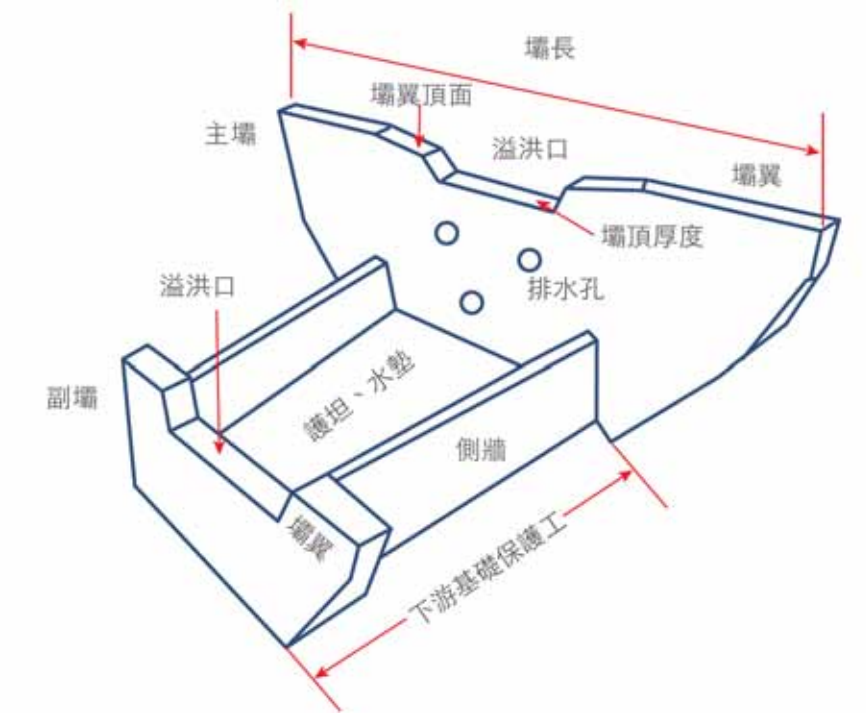
表 工 2-1-1 依材料區分各種壩體之適用性

種類	適用範圍
 土壩(資料來源：王冬成技師)	以攔蓄地表逕流及溪床泥砂為主，適用於集水面積小、溪床質粒徑小、壩基附近溪床具有不透水性及取土容易之地區，一般壩高以不大於 15m 為原則。因屬土石堆填而成，宜注意壩體維護工作。
 木壩	適用於集水面積較小之蝕溝，且現場或附近木料豐富之地區，屬臨時搶修之小型構造物。

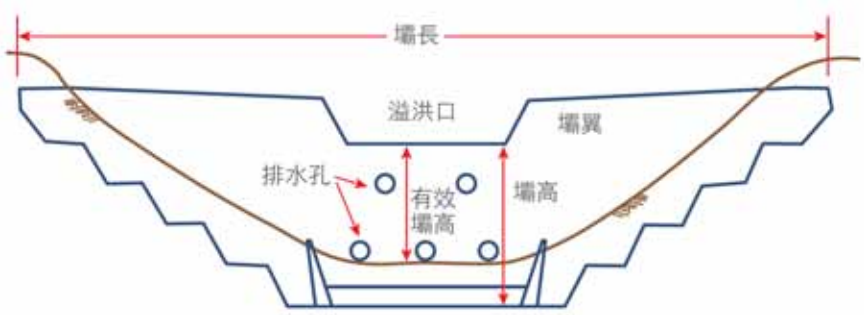
 混凝土壩或鋼筋混凝土壩	因混凝土或鋼筋混凝土材料具有極佳之抗沖耐磨特性，故適用於逕流較大或土砂流失較嚴重之野溪，屬永久性之構造物。
 塊石混凝土壩	因塊石混凝土材料具有極佳之抗沖耐磨特性，故適用於逕流較大或土砂流失較嚴重之野溪，且現場或附近有豐富可利用之塊石材料者，屬永久性之構造物。
 箱(蛇)籠壩(資料來源：王冬成技師)	適用於地盤不穩定、現場或附近有豐富塊石材料之臨時搶修構造物。因抵抗水流衝擊能力不佳，故不適用於逕流量較大之野溪及土石流潛勢溪流。
 梳子壩	適用於土石流潛勢溪流流動段之永久性構造物，具有攔蓄土砂，並降低土石流規模之功能，惟因具有束水攻砂效應，必須適當加強其下游基礎保護。

2.1.4 各部圖說

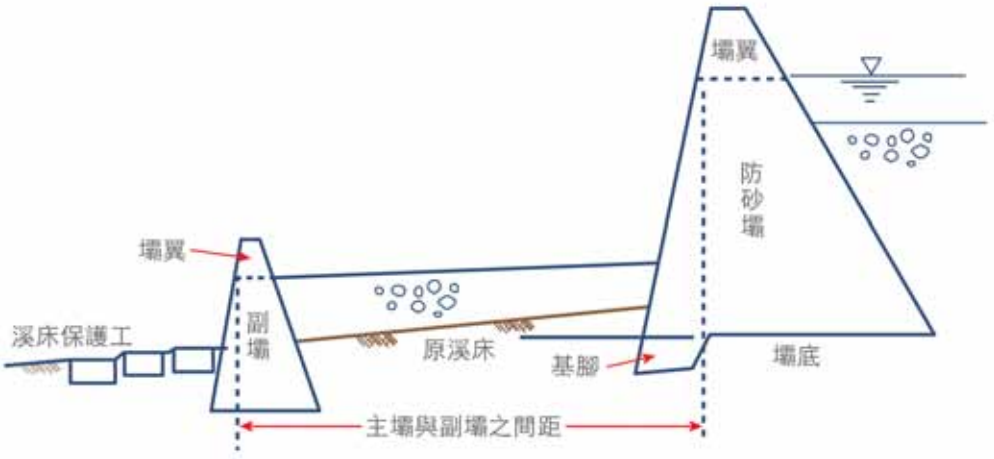
防砂壩係由主壩體及其下游基礎保護工所構成，各部名稱如圖 工 2-1-5 所示。



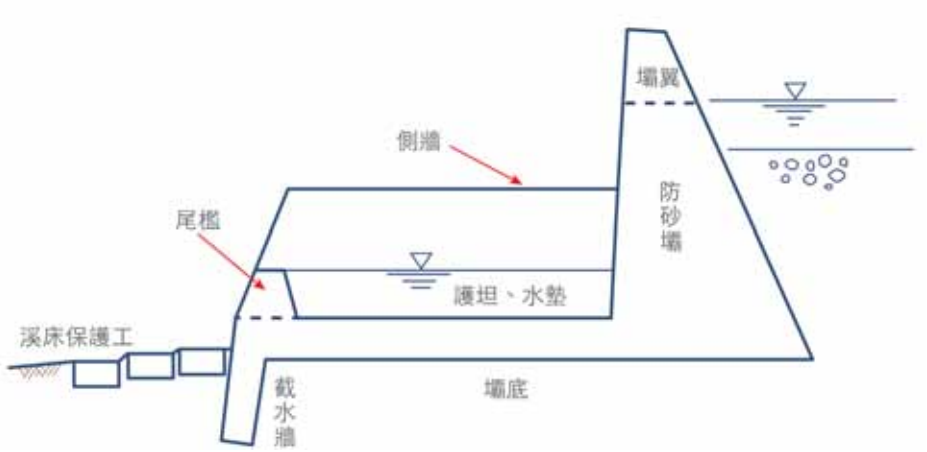
(a) 立體圖



(b) 正視圖



(c) 側視圖(1)



(d) 側視圖(2)

圖 工 2-1-5 重力式防砂壩各部名稱示意圖(資料來源：建設省河川砂防技術基準(案)同解說設計編[II]，1997)

2.1.5 規劃設計原則

防砂壩設計主要包括壩型選定、壩址布置、溢洪口斷面、本體設計、壩翼設計、下游基礎保護工及其附屬設施等項目，如圖 工 2-1-6 為防砂壩一般設計流程。

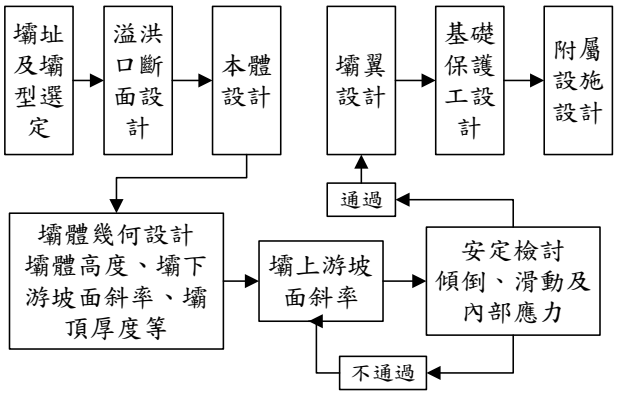


圖 工 2-1-6 防砂壩設計要項與流程

一、計畫淤砂坡度：

淤砂坡度係指防砂壩上游蓄積土砂所形成新的溪床坡度，如圖 工 2-1-7 所示。淤砂坡度範圍即為防砂壩影響或防護範圍，與系列防砂壩之間距設計關係密切，是防砂壩設計時極為重要的參數之一。計畫淤砂坡度受到壩高、原溪床坡度、溪床質及壩體上游來水來砂量等因素之綜合影響，不易通過理論方式獲得。一般認為，計畫淤砂坡度可以採用原溪床坡度 1/2~ 2/3，溪床粒徑粗大者採用 2/3，粒徑較小者用 1/2，砂或泥岩溪床則採用接近水平或水平之計畫淤砂坡度。

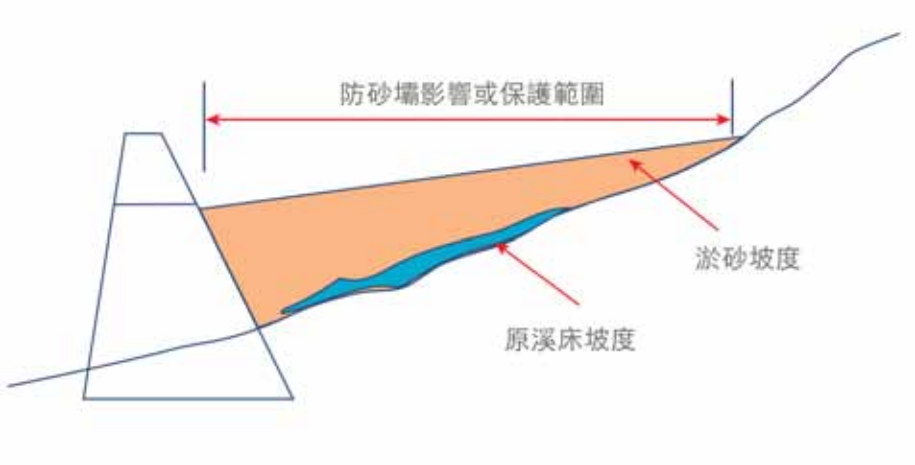


圖 工 2-1-7 計畫淤砂坡度及其影響範圍示意圖

二、防砂壩布置：

防砂壩布置可以概分為獨立壩及系列(群)壩兩種方式。

(一) 獨立壩布置：

防砂壩係以防止土砂流失成災，故其布置應以土砂流失嚴重區域為首要。依據築壩目的，防砂壩布置原則包括：

1. 為鞏固崩塌地坡腳，或為防止溪流縱、橫向侵蝕者，以在其下游處設置為原則。
2. 彎曲段之下游處，具有侵蝕坡腳、溪流寬大易生亂流者，在區間內以固床工及整流工控制流心。
3. 攔蓄砂石為目的者，宜選在溪寬較狹，且其上游寬闊，溪床坡度平緩之溪段設置。
4. 為避免防砂壩興建後，下游產生沖刷或危及壩身之安全，壩址以在溪床及兩岸均為岩盤者為佳；但不得已必須興建在砂礫層上時，應加強其下游基礎保護設施。
5. 在合流點，為安定主流及支流雙方之溪床，則以設置在合流點略下游為佳。

(二)系列壩布置

由於野溪溪床坡度陡峭，單一防砂壩可以防護的範圍相當有限，故為取得較大的防護範圍，有必要沿著溪流連續建置且上、下游壩體間相互制約之多座防砂壩，謂之系列防砂壩。

系列防砂壩設計的主要考量有二：一是系列防砂壩的防護範圍，這與壩體

上游計畫淤砂坡度相關；另一是各防砂壩之間的理論間距布置，這也受制於壩體上游的計畫淤砂坡度。如圖 工 2-1-8 為沿著溪流具有崩塌地長度l_L，且已知防砂壩上游影響範圍(l)，因影響範圍(l)常小於崩塌地沿著溪岸範圍l_L，致使防砂壩無法起到保護不穩定溪岸邊坡之功能，故必須沿著溪流連續施作系列防砂壩，使其防護範圍$\sum l \geq l_L$。因此，問題的關鍵在於防砂壩影響範圍(l)之推估。

防砂壩防護範圍(l)與原溪床坡度、計畫淤砂坡度及壩體有效高度等因素相關，可依下式計算，即

$$\ell = \frac{H_e}{S_o - S_e} \tag{2.1.1}$$

式中，H_e=壩體有效高度；S_o=原溪床坡度；S_e=計畫淤砂坡度。在實務上，為避免壩體下游基礎淘刷而危及其安定，系列防砂壩各壩體之間距建議採用$0.9l$進行設計。

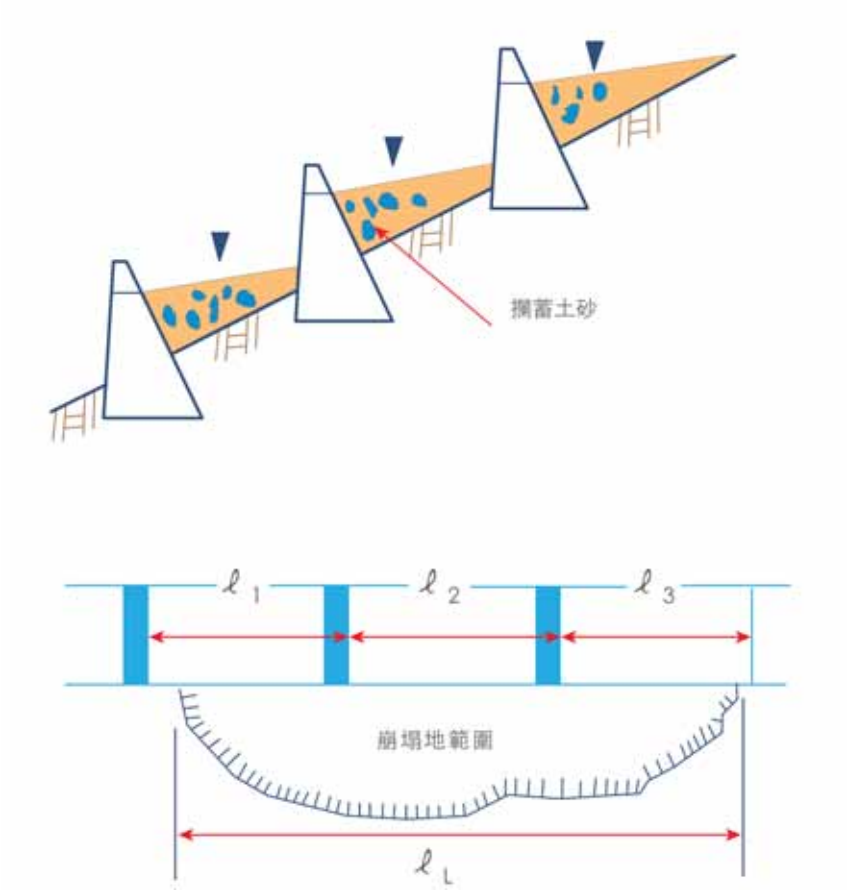


圖 工 2-1-8 系列防砂壩布置原則示意圖(資料來源：修改自連惠邦，2017)

三、溢洪口斷面設計：

(一)壩軸方向：

當洪流通過防砂壩時，會受到溢洪口的導引而引起水流流向的改變，故設計時必須注意壩體軸向與洪水流流心的關係，包括：

1.直線溪段之壩軸應與洪水時流心線垂直。

2.壩址避免選在彎曲段，不得已時壩軸應與洪水流心線之切線垂直，並加強壩翼之保護。

(二)位置：

以位於溪幅中央位置為原則，並參照壩址上下游地形、地質、溪岸狀況、水流方向等因素予以選定，以不引起下游溪岸沖刷及崩塌為首要條件。

1.兩岸及溪床為良好之岩盤者，可不設壩翼。

2.兩岸基岩性質不同，或一岸為非岩盤時，溢洪口應偏向堅硬岩盤岸。

3.溢洪口之設置，應使過壩水流遠離崩塌地。

(三)形狀：

包括矩形、梯形、拋物線形等。

1.溢洪口之形狀，一般採用底部水平之梯形斷面，兼有其他用途者得依其需要設計之。

2.當溢洪口斷面底寬達溪幅寬度之 1/2~2/3 時，宜考量設計複式斷面；此外，當防砂壩上游溪床淤積嚴重，導致流路擺盪不定，亦應考量複式斷面設計，如圖 工 2-1-9 所示。

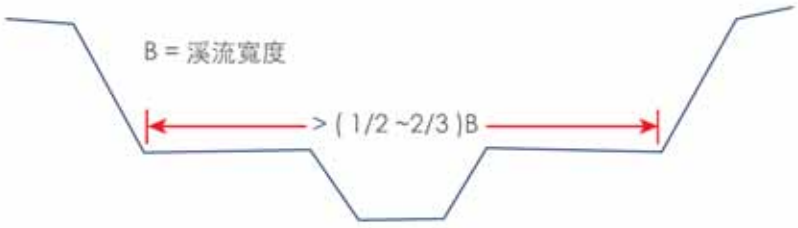


圖 工 2-1-9 複式斷面示意圖

(四)斷面：

溢洪口斷面之大小以能充分渲洩設計洪水量為準，如圖 工 2-1-10 所示。

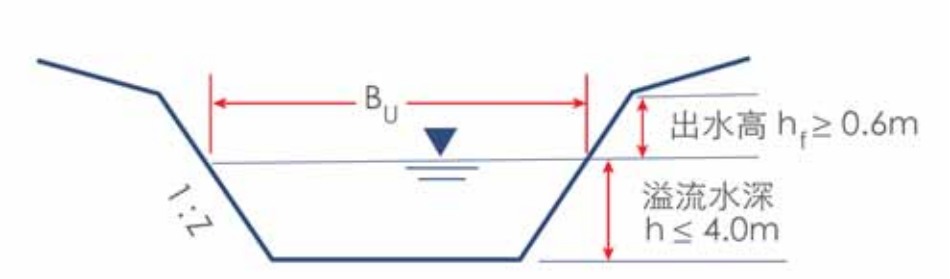


圖 工 2-1-10 溢洪口斷面示意圖

1.溢洪口斷面之出水高可依設計洪水量或溪床坡度決定之，一般在 0.6m 以上，如表 工 2-1-2 及表 工 2-1-3 所示。

2.溢流水深一般情形宜小於 3.0m，良好岩盤基礎時 4.0m。

表 工 2-1-2 出水高與排洪量參考表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

排洪量(m^3/sec)	<200	200-500	>500
出水高(m)	0.6	0.8	1.0

表 工 2-1-3 出水高和溪床坡度參考表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

溪床坡度	出水高(h_f)與溢流水深(h)之比值
>1/10	0.50
1/10~1/30	0.40
1/30~1/50	0.30
1/50~1/70	0.25

(五)斷面設計：

1.設計洪水量：應採用 50 年重現期設計降雨強度為原則，並考量水中含泥量可表為

$$Q_d = (1+\alpha)Q_p \qquad (2.1.2)$$

式中，Q_d=設計洪水量(cms)；Q_p=清水流洪水量(cms)，其計算方法參考「基本資料調查與分析篇」之 3.1.4 節；α=水流中泥砂混合率，一般採用 5%~ 10%，最大值為 50%。

2.斷面計算公式：設計時，溢洪口斷面應採用堰流(weir flow)公式，即

$$Q_d = 0.354 b_u (2 + 3\chi) h^{1.5} \quad (2.1.3)$$

式中，b_u=溢洪口斷面頂寬(m)；h=溢流水深(m)；χ=無因次寬度因子，可表為

$$\chi = b_o / b_u \quad (2.1.4)$$

式中，b_o=溢洪口斷面底寬(m)。當溢洪口斷面為矩形時，$\chi = 1.0$；當溢洪口斷面為三角形時，$\chi = 0$，且$b_u = 2\,h\,tan(\alpha / 2)$($\alpha$=三角形夾角)。例如，已知梯形溢洪口斷面之兩側邊坡斜率為 1：Z，由圖 工 2-1-10 得知，

$$b_u = b_o + 2Zh$$

代入式(2.1.3)可得

$$Q_d = 0.354(5b_o + 4Zh)h^{1.5}$$

當 $Z = 1.0$ 時，則設計洪水量可表為

$$Q_d = (1.77b_o + 1.42h)h^{1.5}$$

另，當防砂壩上游遭土砂淤滿後，因屬明渠流(open channel flow)，故過壩水流溢流水深應以曼寧公式計算之，參考「基礎調查與分析篇」之 3.2.3 節。

(六)溢洪口之保護：

為避免溢洪口底面之磨損或破壞，可採用高強度混凝土、花崗石、廢棄輪胎等保護或以特殊設計方法加以保護，如圖 工 2-1-11 所示。



圖 工 2-1-11 防砂壩溢洪口及壩頂保護措施(資料來源：段錦浩教授提供構想)(地點：宜蘭縣大同鄉執信橋上游)

四、壩翼：

(一)頂面：

壩翼應嵌入兩岸岸壁內。有下列情況者，壩翼斜度宜等於或大於計畫淤砂坡度，向上斜嵌入兩岸岸壁(壩翼長度超過 20m 部分，得採較緩坡度，最小不低於 1：20)如圖 工 2-1-12 所示。

1.有大規模之土石流流下。

2.壩址上游有崩塌地及流木。

3.壩址在溪流之彎曲部。

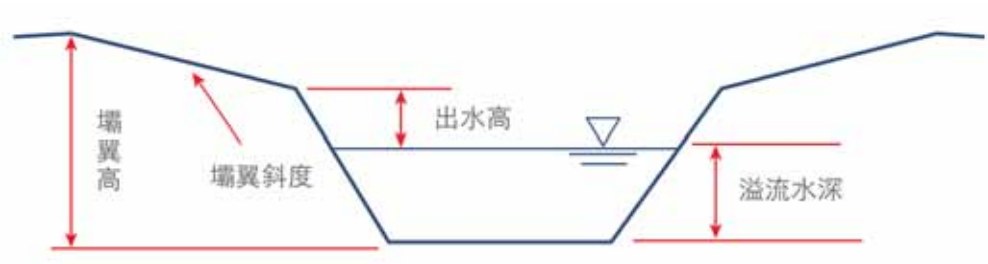


圖 工 2-1-12 壩翼具有斜度之溢洪口斷面示意圖

(二) 高度：

壩翼高度為壩頂至壩翼頂面之距離，如圖 工 2-1-10 所示。惟如位處凹岸時應予加高，其計算公式如下：

$$\Delta h = 2.3\frac{V^2}{g}(log\frac{R_2}{R_1}) \qquad (2.1.5)$$

式中，Δh =加高高度(m)；R_1 =凸岸曲率半徑(m)；R_2 =凹岸曲率半徑(m)；g =重力加速度(m/sec^2)；V =流速(m/sec)。此外，兩岸地質條件不同，則地質條件較差之一岸，其壩翼宜加高。

(三) 嵌入深度：

壩翼嵌入深度視兩岸地質決定之，原則上以不小於 1.0*m* 為原則。同時，壩翼崁入溪岸時，為避免大範圍開挖，宜採直接澆置方式施工。

五、基礎深度：

防砂壩基礎深度係按其下游溪床坡度、副壩間距、基腳等因素而定，如圖 工 2-1-13 所示。一般，以不小於 1.0m 為原則。

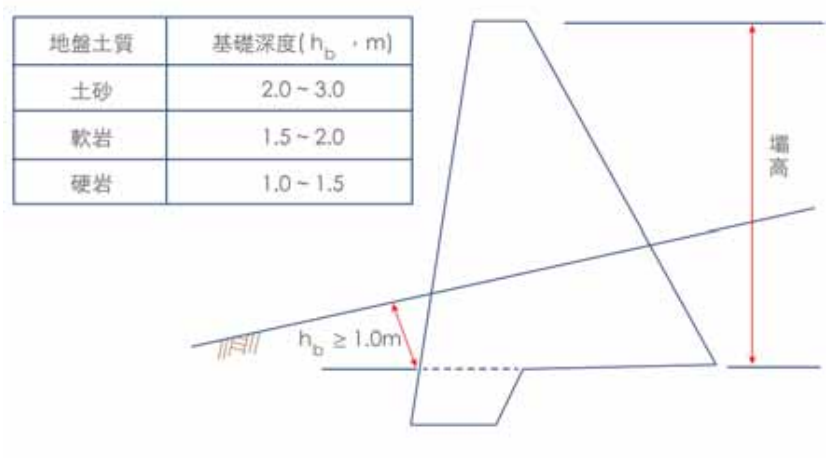


圖 工 2-1-13 基礎深度示意圖

六、基腳：

(一)為防止滲流目的者，必須考量拉長滲流長度，其配置如圖 工 2-1-14(a)所示。

(二)配合下游基礎保護工設置時，其配置如圖 工 2-1-14(b)所示。特別需注意的是，基腳配置不得超過壩體中心。

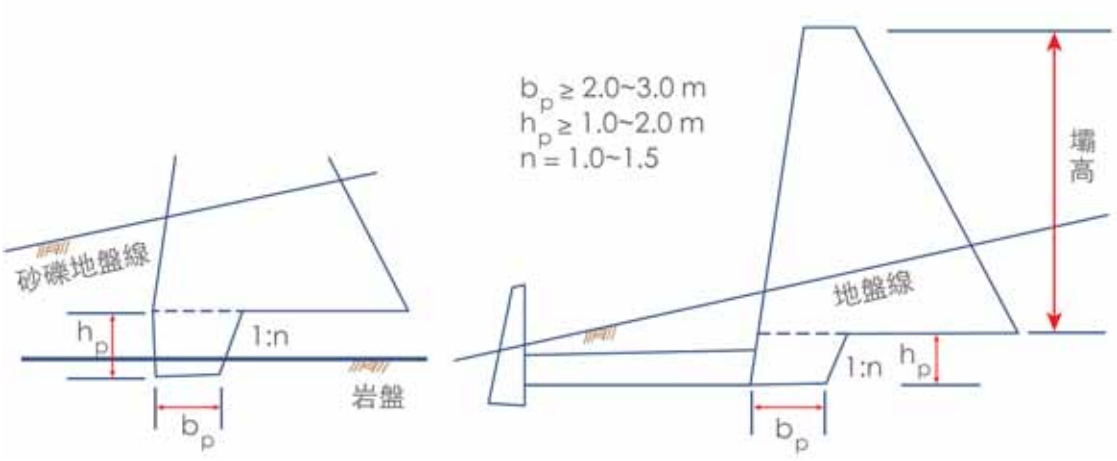


圖 工 2-1-14 基腳示意圖

七、壩體幾何設計：

防砂壩壩體幾何包括壩高、壩頂厚度、壩體上、下游坡面斜率等各部單元，惟各單元幾何的妥適配置，必須通過壩體各種狀況之安定檢討，如圖 工 2-1-5 為防砂壩壩體幾何設計流程。

(一) 壩體作用力：

與壩體安定有關的作用力，包括壩體自重、水壓力、土壓力、上揚力及地震力等。通常，為避免過度安全設計，可以配合壩高選取適當作用力進行安定檢討，一般壩高在 7.0*m* 以下者，僅考慮洪水時之靜水壓力及土壓力作用；壩高在 7.0*m* 以上者，則分別考慮平常時及洪水時之各種作用力組合，如表 工 2-1-4 所示。

表 工 2-1-4 重力式防砂壩安定檢算考慮作用力一覽表

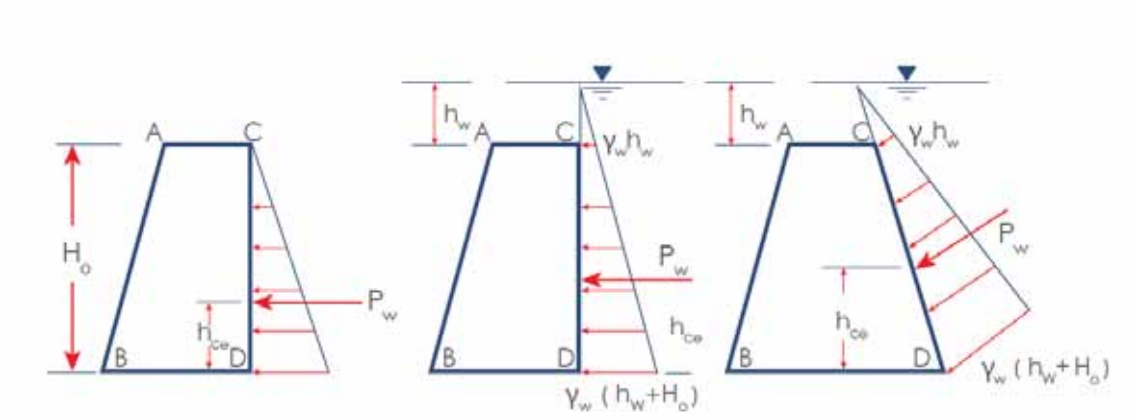
壩高	平常時(含地震時)	洪水時
$5m \le H < 7\ m$	~	靜水壓力、土壓力
$H \ge 7\ m$	靜水壓力、土壓力、上揚力、地震時壩體慣性力及地震時動態土壓力等	靜水壓力、土壓力及上揚力等

1.自重：壩體自重為壩體全部體積與其構築材料單位重之乘積，可表為

$$W = \gamma_c V_s \tag{2.1.6}$$

式中，γ_c =壩體材料單位重量，一般混凝土材料，$\gamma_c = 2.3 \sim 2.4\ t/m^3$；$V_s$ =壩體體積。

2.靜水壓力：係指水體作用於壩體上游面之力量，依照壩體上游坡面及水位高低，而有以下三種情況(參考圖 工 2-1-15)，即



(a) (b) (c)

圖 工 2-1-15 防砂壩壩體靜水壓力示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(1)壩體上游垂直，無溢流水深時，作用於壩體上游面(CD)之單位寬度靜水壓力為[參考圖 工 2-1-15(a)]

$$P_w = \frac{1}{2}\gamma_w H_o^2 \tag{2.1.7}$$

作用點：$h_{ce} = H_o / 3$。式中，H_o=壩高；γ_w=水單位重。

(2)壩體上游面垂直，有溢流水深時，作用於壩體上游面(CD)之單位寬度靜水壓力為[參考圖 工 2-1-15(b)]

$$P_w = \frac{1}{2}[\gamma_w h_w + \gamma_w (h_w + H_o)]H_o = \frac{1}{2}\gamma_w H_o^2 (1 + \frac{2h_w}{H_o}) \tag{2.1.8}$$

作用點：$h_{ce} = \frac{H_o}{3}\frac{H_o+3h_w}{H_o+2h_w}$。式中，$h_w$=過壩水流水深。

(3)壩體上游面傾斜，有溢流水深時，作用於壩體上游面(CD)之單位寬度靜水壓力為[參考圖 工 2-1-15(c)]

$$\begin{aligned} P_w &= \frac{1}{2}[\gamma_w h_w + \gamma_w (h_w + H_o)]\sqrt{1 + m_2^2}H_o \\ &= \frac{1}{2}\gamma_w \sqrt{1 + m_2^2}(2h_w + H_o)H_o \end{aligned} \tag{2.1.9}$$

作用點：$h_{ce} = \frac{H_o}{3}\frac{H_o+3h_w}{H_o+2h_w}$。式中，$m_2$=壩體上游面斜率。

3.土壓力：係指壩體前、後淤積土體對壩體上、下游之作用力。一般作用於壩體上游牆面上主動土壓力，可以 Coulomb 或 Rankine 方法加以計算，如圖 工 2-1-16 所示。

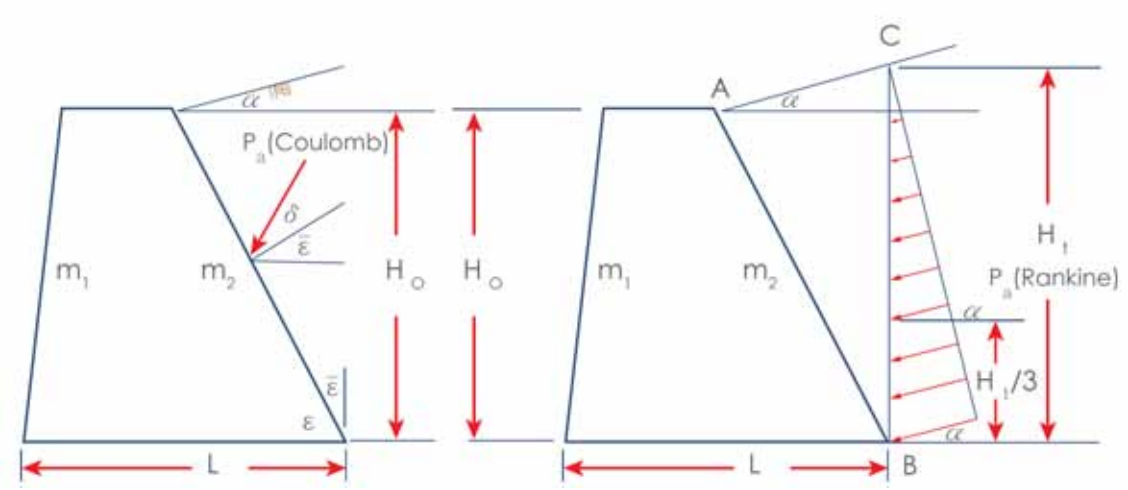
(1)Coulomb 土壓力：圖 工 2-1-16 係採用 Coulomb 方法計算主動土壓力，即

$$P_a = \frac{1}{2} K_{ac} \gamma_{sub} H_o^2 \tag{2.1.10}$$

式中，K_{ac} =主動土壓力係數；γ_{sub} =浸水單位重。故主動土壓力之水平和垂直分力分別為

$$P_{av} = P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) \tag{2.1.11}$$

$$P_{ah} = P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) \tag{2.1.12}$$



(a) (b)

圖 工 2-1-16 防砂壩土壓力示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

式中，δ =牆面與土壤間之摩擦角；$\bar{\varepsilon}$ =壩體上游牆面與垂直方向之夾角。其中，主動土壓力係數(K_{ac})可表為

$$K_{ac}=\frac{cos^2(\phi-\bar{\varepsilon})}{cos^2\bar{\varepsilon}\cos(\bar{\varepsilon}+\delta)\{1+[\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\delta+\bar{\varepsilon})\cos(\alpha-\bar{\varepsilon})}]^{1/2}\}^2} \quad (2.1.13)$$

式中，ϕ=土壤內摩擦角。對於水平淤砂坡度之無摩擦的垂直牆面而言，即$\alpha=0$，$\bar{\varepsilon}=0$，且$\delta=0$時，Coulomb 的主動土壓力係數可寫為

$$K_{ac}=\frac{1-sin\phi}{1+sin\phi}=tan^2(45^o-\frac{\phi}{2}) \quad (2.1.14)$$

同理，被動土壓力(K_{pc})可寫為

$$P_p=\frac{1}{2}K_{pc}\gamma_{sub}H_o^2 \quad (2.1.15)$$

而被動土壓力係數為

$$K_{pc}=\frac{cos^2(\phi+\bar{\varepsilon})}{cos^2\bar{\varepsilon}\cos(\bar{\varepsilon}-\delta)\{1-[\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi+\alpha)}{\cos(\delta-\bar{\varepsilon})\cos(\alpha-\bar{\varepsilon})}]^{1/2}\}^2} \quad (2.1.16)$$

當$\alpha=0$，$\bar{\varepsilon}=0$，且$\delta=0$時，則 Coulomb 的被動土壓力係數可寫為

$$K_{pc}=\frac{1+sin\phi}{1-sin\phi}=tan^2(45^o+\frac{\phi}{2}) \quad (2.1.17)$$

(2)Rankine 土壓力：若採用 Rankine 法[參考圖 工 2-1-14(b)]計算主動土壓力時，主動土壓力係作用在通過壩趾之垂直面上，即

$$P_{a(Rankine)}=\frac{1}{2}\gamma_{sub}K_{ar}H_t^2 \quad (2.1.18)$$

式中，$H_t=H_o+m_2\ H_o\tan\alpha$。故主動土壓力之水平和垂直分力分別為

$$P_{av} = P_{a(Rankine)} sin\alpha \tag{2.1.19}$$

$$P_{ah} = P_{a(Rankine)} cos\alpha \tag{2.1.20}$$

式中，主動土壓力係數可表為

$$K_{ar} = cos\alpha \frac{cos\alpha - \sqrt{cos^2\alpha - cos^2\phi}}{cos\alpha + \sqrt{cos^2\alpha - cos^2\phi}} \tag{2.1.21}$$

當淤砂面為水平時，上式可寫為

$$K_{ar} = \frac{1 - sin\phi}{1 + sin\phi} = tan^2(45^o - \frac{\phi}{2}) \tag{2.1.22}$$

上式與 Coulomb 方法之式相同。除了主動土壓力外，在進行安定分析時，尚需計算土楔 ABC 之重量，即

$$W_s = \frac{1}{2}\gamma_{sub} m_2 H_o H_t \tag{2.1.23}$$

同理，Rankine 被動土壓力為

$$P_{p(Rankine)} = \gamma_{sub} K_{pr} H_t^2 \tag{2.1.24}$$

式中，被動土壓力係數可表為

$$K_{pr} = cos\alpha \frac{cos\alpha + \sqrt{cos^2\alpha - cos^2\phi}}{cos\alpha - \sqrt{cos^2\alpha - cos^2\phi}} \tag{2.1.25}$$

當淤砂面為水平時，上式可寫為

$$K_{pr} = \frac{1 + sin\phi}{1 - sin\phi} = tan^2(45^o + \frac{\phi}{2}) \tag{2.1.26}$$

上式與 Coulomb 方法之式相同。

4.上揚力：係指水滲透經過壩底所產生之向上作用力，導致壩體有效重量降低，而影響壩體安定，如圖 工 2-1-17 所示。上揚力公式可表為

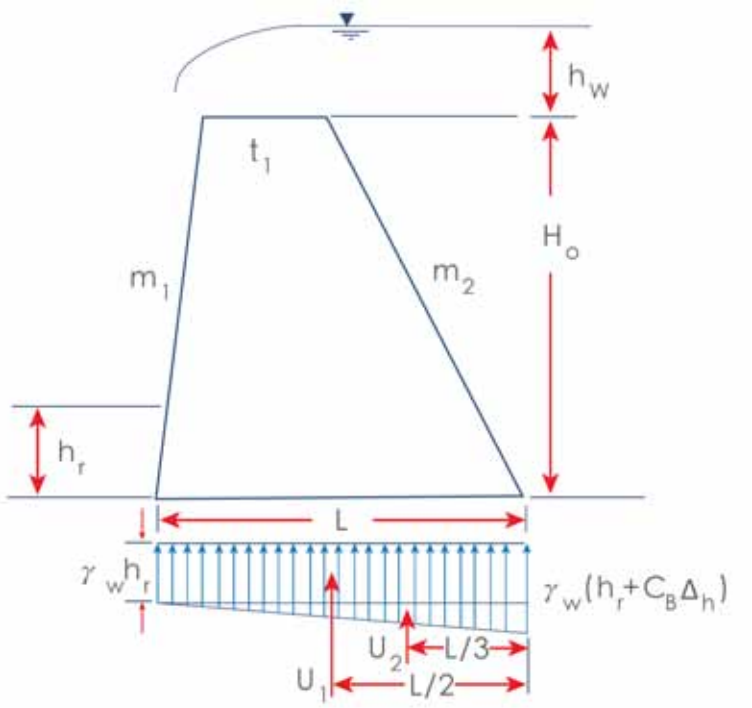


圖 工 2-1-17 防砂壩受上揚力作用示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

$$U_1 = \gamma_w C_B h_r \mathrm{L} \tag{2.1.27}$$

$$U_2 = \frac{1}{2}\gamma_w C_B (H_o + h_w - h_r)\mathrm{L} \tag{2.1.28}$$

式中，C_B=浮力係數(=0.2~ 0.7)。浮力係數與基礎種類相關，如表 工 2-1-5 所示，為不同基礎種類之浮力係數值。

表 工 2-1-5 各種基礎類型之浮力係數值(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

基礎種類		浮力係數
粘土	軟粘土	0.6
	普通粘土	0.5
	硬粘土	0.4
砂	鬆細砂	0.7
	壓實細砂	0.6
	鬆粗砂	0.7
砂石混合或卵石	鬆砂石混合物或卵石	0.6
	壓實砂石混合物或卵石	0.5
堅固岩盤	硬岩	0.3
	強硬頁岩	0.25

5.地震時壩體慣性力：係指地震對壩體本身所產生的慣性力，可表為

$$P_{e1} = \frac{1}{2} K_h \gamma_c m_1 H_o^2 \tag{2.1.29}$$

$$P_{e2} = K_h \gamma_c t_1 H_o \tag{2.1.30}$$

$$P_{e1} = \frac{1}{2} K_h \gamma_c m_2 H_o^2 \tag{2.1.31}$$

式中，K_h=水平地震加速度係數。

6.地震時動態土壓力：係指地震對壩體上游淤砂所產生的土壓力，以 Coulomb 理論計算，則地震引起之主動土壓力可表為

$$P_{ae} = \frac{1}{2} K_{ae} (1 - K_v) \gamma_{sub} H_o^2 \tag{2.1.32}$$

式中，K_v=垂直地震加速度係數；P_{ae}=地震時的主動土壓力；K_{ae}=地震時主動土壓力係數，可表為

$$K_{ae} = \frac{cos^2(\phi - \bar{\varepsilon} - \bar{\theta})}{cos\bar{\theta} cos^2\bar{\varepsilon} \cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta}) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \bar{\varepsilon}) \sin(\phi - \alpha - \bar{\theta})}{\cos(\bar{\varepsilon} - \alpha) \cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta})}}\right]^2} \tag{2.1.33}$$

式中，地震角$\bar{\theta} = \tan^{-1}(\frac{K_h}{1-K_v})$。由地震所增加之土壓力應為

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a \tag{2.1.34}$$

式中，ΔP_{ae} 作用在距壩基$0.6H$ 的位置上。因此，地震時增加主動土壓力之水平及垂直分力分別為

$$\Delta P_{aeh} = P_{ae} \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) \tag{2.1.35}$$

$$\Delta P_{aev} = P_{ae} \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) \tag{2.1.36}$$

(二) 重力式防砂壩安定檢討：

重力式防砂壩在空庫、淤滿、洪水、地震、土石流等單獨及合理組合之情況下，受到各種外力作用時，必須滿足不傾倒、不滑動，有足夠的壩體應力及基礎承載力等條件，始能維持安定。因此，對於直線重力式防砂壩之設計，應

符合下列規定：

1.傾倒安全檢討：以壩體址部為力矩中心，欲使壩體安定，無傾倒之虞，應符合下列條件，即

(1)正力矩應大於負力矩，即

$$\sum M_v > \sum M_h \text{或}$$

$$\text{F.S.} = \sum M_v / \sum M_h > 1.0 \tag{2.1.37}$$

式中，$F.S.$=傾倒安全係數，一般為 1.1~1.3。

(2)壩體外力與自重之合力作用點應在壩底中央三分之一以內，即

$$\frac{1}{3}L \le x = \frac{M}{R_v} \le \frac{2}{3}L \tag{2.1.38}$$

式中，M ＝總力矩；R_v=垂直分力之總和；L=壩底寬度。此外，亦可採用下式判別，即

$$e < L/6 \tag{2.1.39}$$

式中，偏矩$e = x - L/2$，如圖 工 2-1-18 所示。

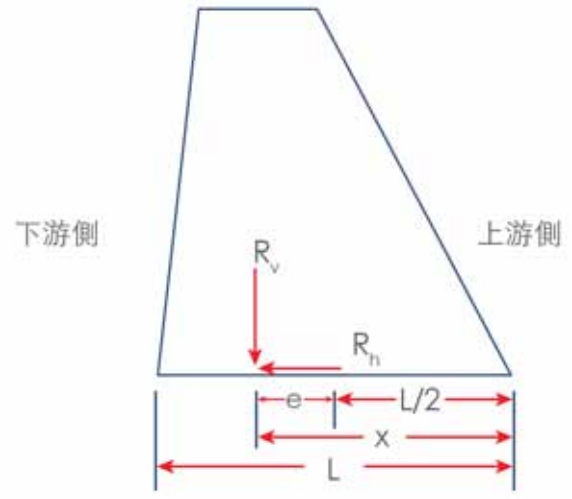


圖 工 2-1-18 防砂壩受力偏矩示意圖

2.滑動檢討之安全係數：如圖 工 2-1-19 為設物體 A 置於物體 B 上，有一力 P 作用於 A 物體上，則物體 A 達不向前滑動之臨界條件為

$$f_1 R_v \geq R_h \tag{2.1.40}$$

式中，R_v=垂直分力(= $R\cos\theta$)；R_h=水平分力(= $R\ \sin\theta$)；f_1=壩基靜摩擦係數，可由表 工 2-1-6 求得；F_k=摩擦抵抗力(= $f_1\ R\ \cos\theta$)。

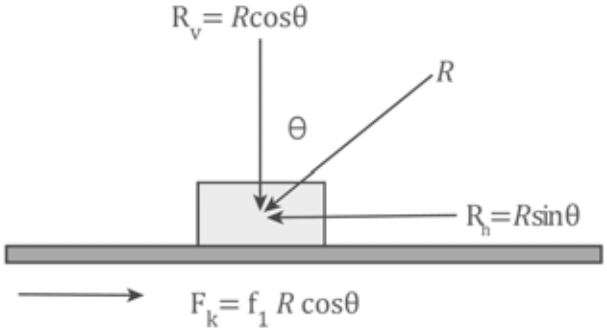


圖 工 2-1-19 滑動力系示意圖

表 工 2-1-6 各種基礎類型與混凝土之摩擦係數(資料來源：水土保持手冊，2005)

基礎類型		混凝土在土壤上之摩擦係數 f_1 值
粘土	粘土	0.30
砂或砂與粘土混合物	被圍濕細砂	0.30~0.40
	砂與粘土混合物	0.40~0.50
	乾砂	0.45~0.55
砂石混合物	卵石及粗砂	0.55~0.60
堅固岩盤	堅固岩盤	0.70

上式表明，壩體內部任何一點均不能發生滑動，即摩擦抵抗力必須大於水平分力。以安全係數表達，則滑動安全係數可表為

$$\text{F. S.} = \frac{F_k}{R_h} \tag{2.1.41}$$

壩高 10m 以下者，安全係數採用 1.1~1.25；壩高超過 10m 者，安全係數採用 1.15~1.5。摩擦抵抗力一般可表為

$$F_k = \frac{1}{2} tan\phi \left(B_{pu} + B_{pd}\right) L + P_p \tag{2.1.42}$$

式中，P_p=被動土壓力，可表為(參考圖 工 2-1-20)

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_{sat} (N_b + h_p)^2 \tag{2.1.43}$$

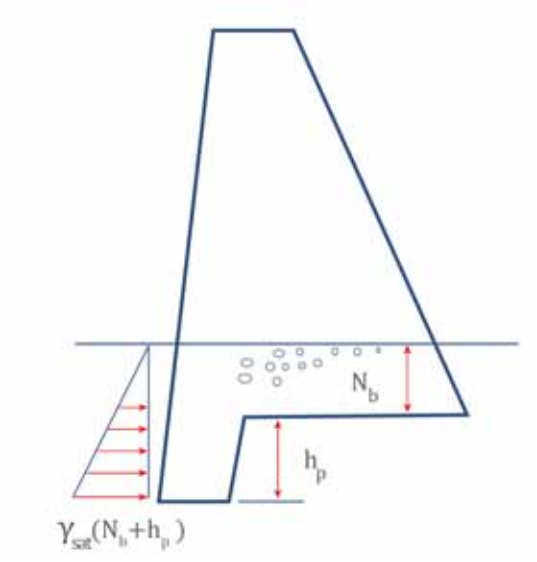


圖 工 2-1-20 基腳被動土壓力計算示意圖

3.壩體內部產生之最大應力應在該壩體材料之容許應力以內。

4.基礎承載力：壩基承載力應大於壩趾之應力。壩跟及壩趾處之垂直應力分別為

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L}(1 - \frac{6e}{L}) \tag{2.1.44}$$

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L}(1 + \frac{6e}{L}) \tag{2.1.45}$$

式中，B_{pu} =壩跟垂直應力；B_{pd} =壩趾垂直應力。此外，各種基礎之容許承載力，如表 工 2-1-7 所示。

表 工 2-1-7 各種基礎類型之容許承載力(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

基礎種類		容許承載力(t/m^2)
粘土	軟粘土	10
	普通粘土	20
	硬粘土	40
砂	鬆細砂	10
	壓實細砂	30
	鬆粗砂	30
砂石混合或卵石	鬆砂石混合物或卵石	40
	壓實砂石混合物或卵石	50
堅固岩盤	硬岩	100
	強硬頁岩	100

(三)壩高：

壩高之決定應以築壩之目的、淤砂坡度、壩址兩岸及上游地區之狀況，選定最經濟有效之高度。

1.壩高應依壩址之地質狀況選定之。

2.壩高應參照上游淤砂範圍內兩岸高度及土地利用狀況選定之。

3.為防止崩塌地坡腳及既有工程構造物基礎受侵蝕為目的者，由壩高所形成之淤砂影響範圍[壩高與淤砂影響範圍成正比例相關，參考式(2.1.1)]，應足以保護崩塌地之坡腳及構造物之基礎為原則。

4.以攔蓄砂石為目的者，應參照壩址地形、地質及上游淤砂範圍內之現況，選定經濟有效之壩高。

(四)壩頂厚度：

壩頂厚度可依壩高或地況選取妥適之設計值，如表 工 2-1-8 所示。

表 工 2-1-8 壩頂厚度選取參考表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

壩高(H)	壩頂厚度(b)	地況	壩頂厚度(b)
$H < 5\ m$	$b = 1.2 \sim 1.5\ m$	一般荒廢野溪	$b = 1.5\ m$
$5.0\ m \le H < 10\ m$	$b = 1.5 \sim 2.0\ m$	粒徑粗之溪流	$b = 2.0\ m$
$H \ge 10\ m$	$b = 2.0 \sim 3.0\ m$	土石流或大滾石地區	$b = 3.0 \sim 4.0\ m$

(五)壩體下游面斜率：

為防止過壩水流挾帶砂石之直接衝擊，壩體下游面及基腳斜率宜採用 1：0.2 至 1：0.3 之陡坡設計。

(六)壩體上游面斜率：

壩體上游面斜率係防砂壩設計之主要部分。通常，在壩體通過安定檢討之基礎上，以選取最小斜率為原則。

八、消能設施(基礎保護工)：

在跌(洩)水構造物下游為消減下射水流動能和保護溪床或構造物免於淘刷破壞而設置之工程設施，稱之。消能設施種類很多，通常應用於防砂壩下游者，以靜水池(水墊)、護坦、副壩等設施為主。

(一)靜水池(stilling basins)：

靜水池係指於壩體下游使水深增加，以形成水躍達成減勢消能之一種工

程設施。靜水池底部稱為護坦(apron)，護坦末端構築一隆起之構造，一般稱之為尾檻(end sill)，此等構造一方面可將上游沖下所激起的水流予以消能，另一方面可以將護坦圍成一與尾檻同高之蓄水池，而利用其蓄水作為水流沖擊之緩衝水體，一般稱為水墊(water cushion)，而此蓄水空間即為靜水池，如圖 工 2-1-21 所示。除了以尾檻形成靜水池外，亦可將溪床挖至一定深度，或兩者兼用，以形成靜水池。

由於消能效果佳，一般可適用於溢流水頭較高，或壩高在 7.0m 以上，下游溪床組織易被沖刷之溪段。不過，倘若溪流水流挾砂量高，且含大量巨礫塊石時，因易於遭土石填塞而失去效用，不建議採用水墊作為消能設施。靜水池設計主要包含護坦長度、厚度、坡度、尾檻、截水牆、側牆等項目，如表 工 2-1-9 所示。茲分述如下：

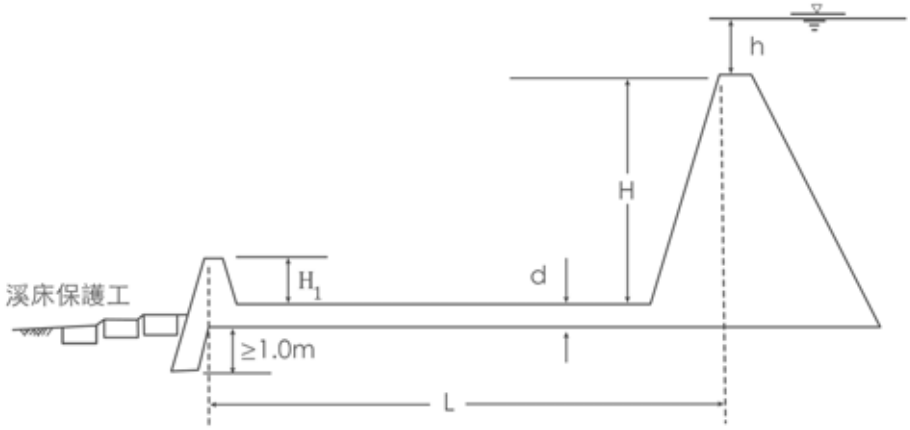


圖 工 2-1-21 靜水池池底水平狀況示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

1.長度：一般經驗公式

$$L=c(H+h) \tag{2.1.46}$$

式中，H=靜水池至溢洪口底之高度(m)；h=溢流水深(m)；c=係數，介於 1.5-2.0 之間，當壩高在 15.0m 以上者，採用 1.5，當壩高在 15.0m 以下者，採用 2.0；L=靜水池長度(m)。當靜水池底非水平狀況時，其長度可依下式計算，即

$$L=c(H+h+\Delta h) \tag{2.1.47}$$

式中，Δh=靜水池前端與後端之高程差，如圖 工 2-1-22 所示。

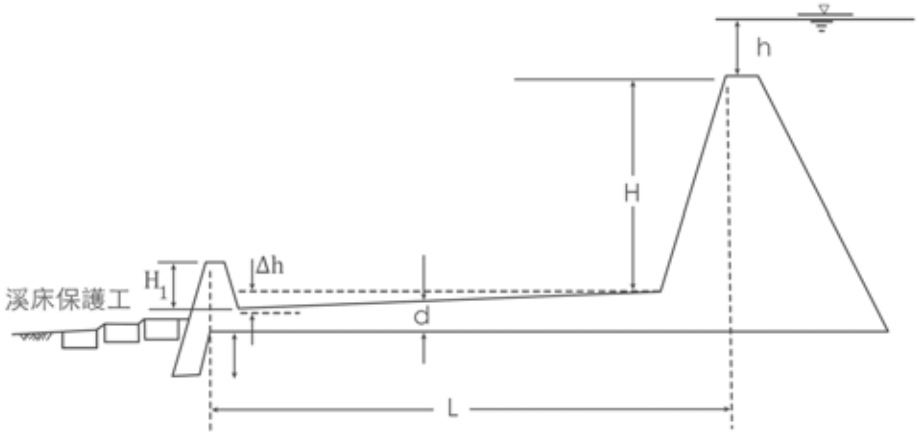


圖 工 2-1-22 靜水池池底具斜坡狀況示意圖

2.厚度：護坦厚度之決定，一般均採用下列標準：

$$d=\begin{cases}0.5\sim 1.0\ m & H+h<10\ m\\ 1.0\sim 1.2\ m & H+h=10\sim 15\ m\\ \alpha(0.6\,H+3\,h-1.0) & H+h>15\ m\end{cases} \qquad (2.1.48)$$

式中，d =護坦厚度(m)；α =係數，介於 0.1~ 0.2 之間，有靜水池時，α =0.1，無靜水池時採α =0.2；H =靜水池至溢洪口底之高度(m)；h =溢流水深(m)。

3.坡度：靜水池以水平為原則。

4.尾檻：尾檻高度目前尚無理論公式可供參考，一般採用經驗或尾檻高度為主壩高之 20%，即$H_1 = 0.2\,H$ 。

5.截水牆(cutoff)：靜水池尾端應設置截水牆，其厚度以 0.5~ 1.0m 為準；截水牆應深入溪床及兩岸，嵌入深度視兩岸及溪床地質條件而定，原則上以不小於 1.0m 為原則，如表 工 2-1-10 所示。另，在截水牆下游處宜鋪設護床工(如拋大塊石、護坦、箱籠等)，以防止溪床局部沖刷的擴大及危害。

表 工 2-1-9 靜水池設計重要尺寸對照表

溢流水深 (h，m)	靜水池至溢洪口底之高度(H，m)	靜水池長度 (L，m)	護坦厚度 (d，m)	尾檻高度 (H_1，m)
1.0	5.0	12.0	0.5~1.0	1.0
	6.0	14.0		1.2
	7.0	16.0		1.4
	8.0	18.0		1.6
	9.0	20.0	1.0~1.2	1.8
	10.0	22.0		2.0
1.5	5.0	13.0	0.5~1.0	1.0
	6.0	15.0		1.2
	7.0	17.0		1.4
	8.0	19.0		1.6
	9.0	21.0	1.0~1.2	1.8
	10.0	23.0		2.0
2.0	5.0	14.0	0.5~1.0	1.0
	6.0	16.0		1.2
	7.0	18.0		1.4
	8.0	20.0	1.0~1.2	1.6
	9.0	22.0		1.8
	10.0	24.0		2.0
2.5	5.0	15.0	0.5~1.0	1.0
	6.0	17.0		1.2
	7.0	19.0		1.4
	8.0	21.0	1.0~1.2	1.6
	9.0	23.0		1.8
	10.0	25.0		2.0
3.0	5.0	16.0	0.5~1.0	1.0
	6.0	18.0		1.2
	7.0	20.0	1.0~1.2	1.4
	8.0	22.0		1.6
	9.0	24.0		1.8
	10.0	26.0		2.0
3.5	5.0	17.0	0.5~1.0	1.0
	6.0	19.0		1.2
	7.0	21.0	1.0~1.2	1.4
	8.0	23.0		1.6
	9.0	25.0		1.8
	10.0	27.0		2.0

表 工 2-1-10 截水牆嵌入深度(資料來源：水土保持手冊，2005)

地質條件	嵌入深度(m)
土砂	2.0
軟岩	1.5
硬岩	1.0

6.側牆(sidewall)：靜水池部分之兩岸地質軟弱，或擬利用靜水池控制流心者，應設置側牆或側壁護岸(sidewall revetment)，如圖 工 2-1-23 所示。

(1)高度：側牆末端高度參考溢洪口之斷面決定，牆頂則斜向壩體方向延伸，其坡度約等於計畫淤砂坡度、如圖 工 2-1-23(b)所示。

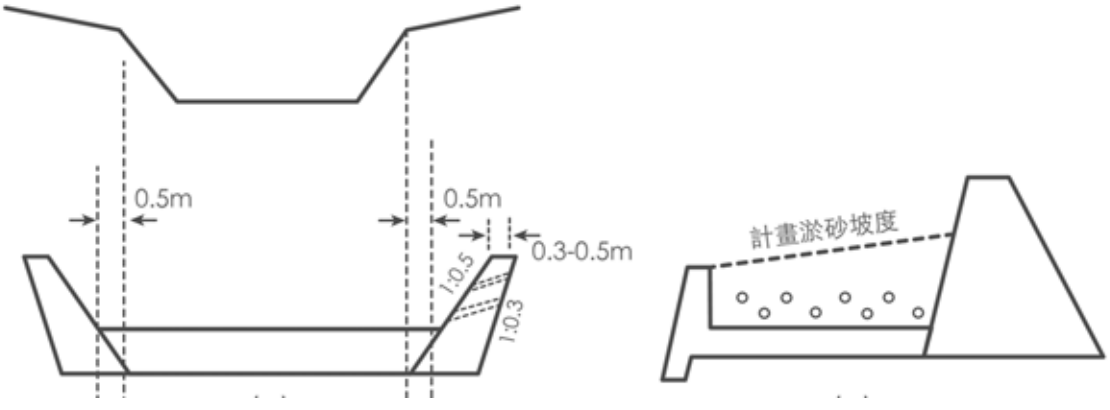
(2)與壩體之連接部：側牆基礎應在溢洪口頂點垂線之外側約 0.5m，如圖 工 2-1-23(a)所示。

(3)兩側側牆寬度：側牆與尾檻相接處之寬度，宜與主壩溢洪口斷面寬度一致，如圖 工 2-1-23(c)所示。

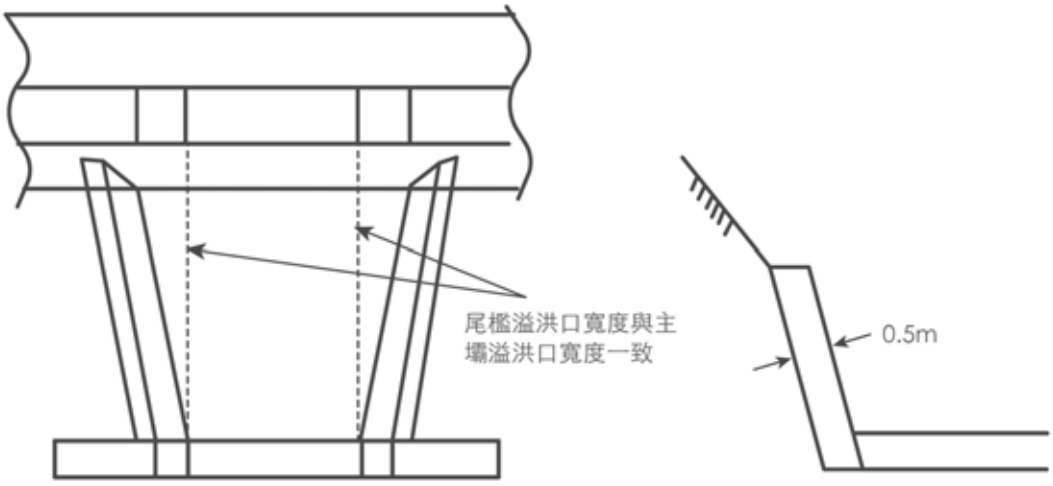
(4)側牆應每 2.0 m^2 至少設置直徑 ϕ 5cm 以上之洩水孔。洩水孔位置以在出水高度以下且位於地下水位範圍為原則，而最下層洩水孔應盡量接近地面。洩水孔應外斜，並應考慮濾水設施。在滲透水量多或地下水位高之地區，則應在牆後置特別洩水設施。

(5)如屬軟岩時，側牆可沿著坡面構築其厚度約 0.5m，如圖 工 2-1-23(d)所示。

(6)安定檢討：側牆安定檢討可參照護岸或擋土牆。



(a) (b)



(c) (d)

圖 工 2-1-23 側牆示意圖(資料來源：DPWH，2010)

(二)護坦(apron)：

護坦係指於壩體下游保護溪床免受水流直接沖擊之護底工程設施。一般採用混凝土塊或鋼筋混凝土築成，適用於在溢流水頭較低，壩高在 7.0m 以下，溪床易遭水流沖刷之溪段。護坦長度、厚度、坡度、截水牆、側牆高度及與壩體之連接部等，可參考靜水池設施。

(三)副壩(secondary dam)：

副壩係指以避免防砂壩(或主壩)下游溪床產生嚴重沖刷而危及壩體為目的所構築之低壩。此等構造主要利用副壩上游溪床土石消減過壩水流之沖擊能量，同時抑制主壩與副壩間局部沖刷坑之持續擴大，達到消能減勢之目的。一般，適用於在溪流流量大、溪床質粒徑粗大、坡度陡峭、地質良好之處，如圖 工 2-1-24 所示。

1.構造：可參考主壩設計。

2.重疊高：副壩與主壩之重疊高，參照下列經驗公式計算：

$$H_1 = \text{重疊高} = (1/3 \sim 1/4)\ \ H_e \qquad (2.1.49)$$

式中，H_e=有效壩高，係指壩頂與溪床面間之高度。

3.主壩與副壩之間距：

$$\text{L=主副壩間隔距離}=(1.5\sim 2.0)(H_e+h) \qquad (2.1.50)$$

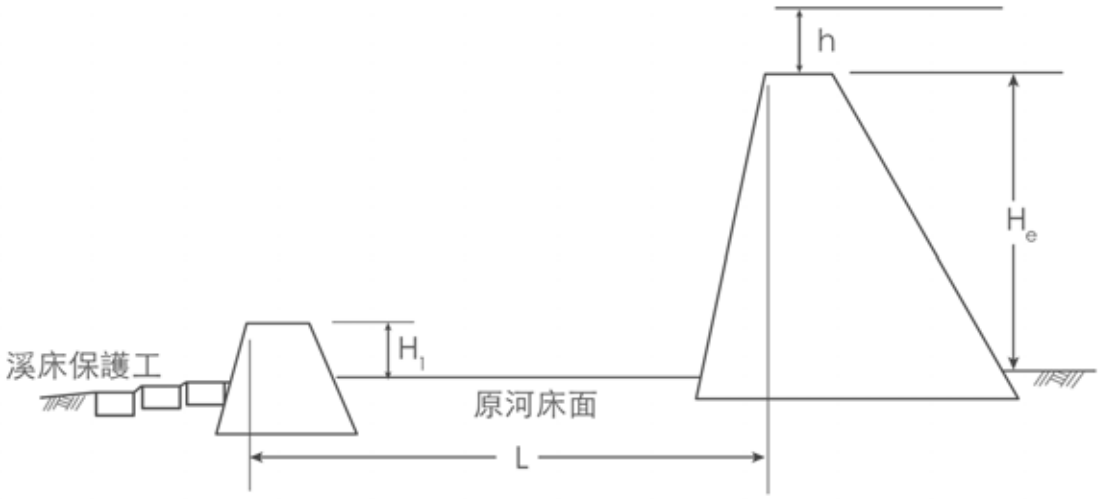


圖 工 2-1-24 主壩、副壩關係示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

九、附屬設施：

防砂壩主要附屬設施以排水孔及防止漂流木的相關設施為主。

(一)排水孔：

排水孔具有減輕滲透水壓、調節流出土砂量之功能，並兼有部分施工中排水之效果，如圖 工 2-1-25 所示。惟欲設置魚道或細顆粒溪床質溪流不宜設之。

1.排水孔底層沿溪床高度排設，頂層至少應離溢洪口下 1.5~ 2m，其範圍不得超過溢洪口頂寬。

2.數個排水孔之設置，其排列形狀應呈三角狀，排水孔之間隔距離為 2.0~ 3.0m。

3.排水孔之形狀有圓形、四方形、馬蹄形等型式，其中以圓形為佳，一般採用孔徑 30~ 50cm 之圓形涵管，惟設置時必須考量過多的排水孔對壩體強度和安全影響問題。

4.考量壩體結構安全，不宜施設過多的排水孔。

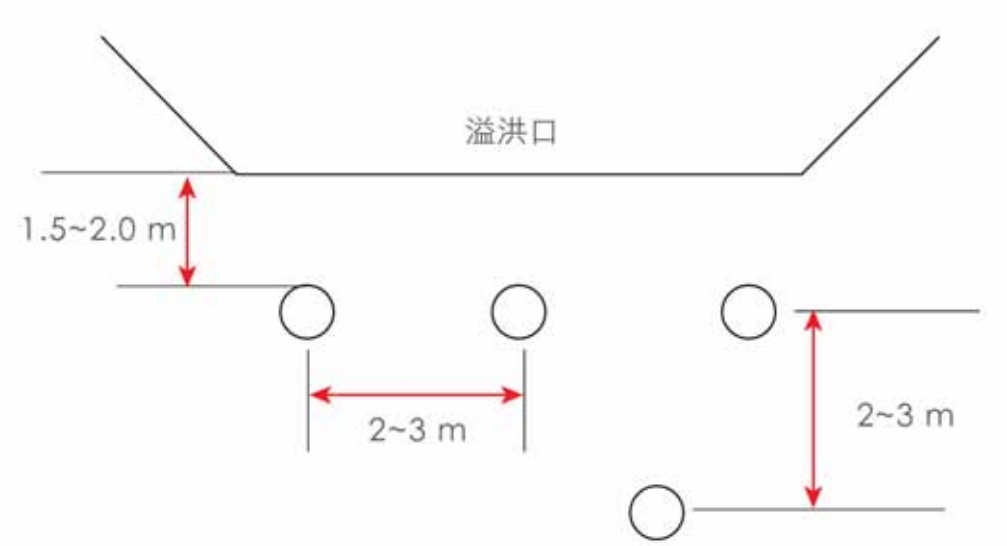


圖 工 2-1-25 排水孔布置示意圖

(二)漂流木防止工：

野溪於洪流過程中，經常伴隨大量漂流木而引發下游不同程度的危害事件，故在防砂壩設計時應視實際需求，於溢洪口處布置一些透過性構件(如梳子型、立體格子型等)，可以有效攔阻漂流木的下移，惟於設計時必須考量漂流木撞擊力及經常性的維護工作。

2.1.6 防砂壩防砂量演算

根據防砂壩之各項功能，除了具有一定數量的貯砂能力外，它還兼具對土砂的生產調節及流失抑制量，茲分述如下：

一、攔(貯)砂量：

防砂壩與原溪床和兩岸之間所蓄積之土砂量，如圖 工 2-1-26 所示。令淤砂坡度為原溪床坡度的 1/2，則貯砂量體(sediment storage)可表為

$$S_{V1} = nH_e^2\bar{B} \tag{2.1.51}$$

式中，S_{V1}=防砂壩貯砂量(m^3)；$n = 1/S_o$；S_o=原溪床坡度；$\bar{B}$=防砂壩上游淤砂範圍之平均溪寬(m)；H_e=壩體有效高度(m)。

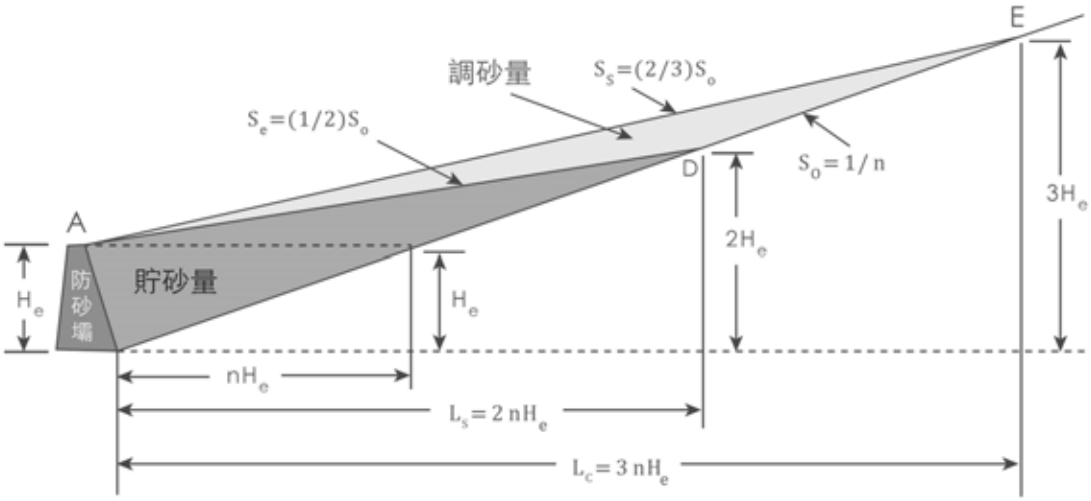


圖 工 2-1-26 防砂壩上游貯砂容積示意圖(資料來源：DPWH，2010)

二、土砂生產調節量：

防砂壩上游淤積土砂而調降其溪床坡度之後，當洪水流在防砂壩上游自陡坡段進入淤積土砂之緩坡段時，因水流輸砂能力減弱而致土砂逐漸落淤，直到洪水退去過程，才有部分淤積土砂再度被攜往下游，這是防砂壩對上游來砂發揮時間及空間的調節作用。令洪水來臨時大量土砂進入壩體上游緩坡段而產生淤積的坡度 $S_c=(2/3)S_o$，如圖 工 2-1-26 所示。圖中，調砂量可表為

$$S_{V2}=0.5nH_e^2\bar{B} \tag{2.1.52}$$

式中，S_{V2}=土砂生產調節量。一般而言，只要挾砂洪水通過防砂壩時，壩體就會發揮土砂之調節作用，為防砂壩重要的防砂機能。此外，調砂量除了採用上述公式進行推估外，對於系列防砂壩之整體調砂量推估，因壩體間具有相互制約之效果，故建議採用溪流動床數值模式或其他方法進行演算為佳。

三、土砂流失抑制量：

當防砂壩上游兩岸(或單岸)具有土體崩塌潛勢的邊坡斜面時，通過壩體上游淤積的土砂提供邊坡基腳之防護作用，使之得以控制兩岸邊坡土體崩塌產砂，減緩溪岸持續性的擴大及向源侵蝕，如圖 工 2-1-27 為兩岸邊坡土砂生產抑制模型。其中圖 工 2-1-27(a)為防砂壩淤砂範圍(縱向影響範圍)，圖 工 2-1-27(b)為防砂壩及其上游淤砂範圍內之任意橫斷面。假設：a.邊坡土體組成為均質之堆積物；b.邊坡崩壞屬平面破壞模式(無限邊坡破壞)；及 c.假設坡頂附近無裂縫時，自坡頂向溪床邊緣逐漸變厚，土體崩壞剖面呈三角形(註：如有裂縫時，C 點應於裂縫

處)。因此，分別於築壩前溪床可能沖刷深度及築壩後淤砂床面與側岸交點處向坡頂劃出一條延伸線，兩延伸線與坡頂形成一三角形範圍(即△ABC)，即為防砂壩可抑制之土砂生產面積，可寫為

$$\mathrm{A} = \frac{1}{2} y_m L_d \tag{2.1.53}$$

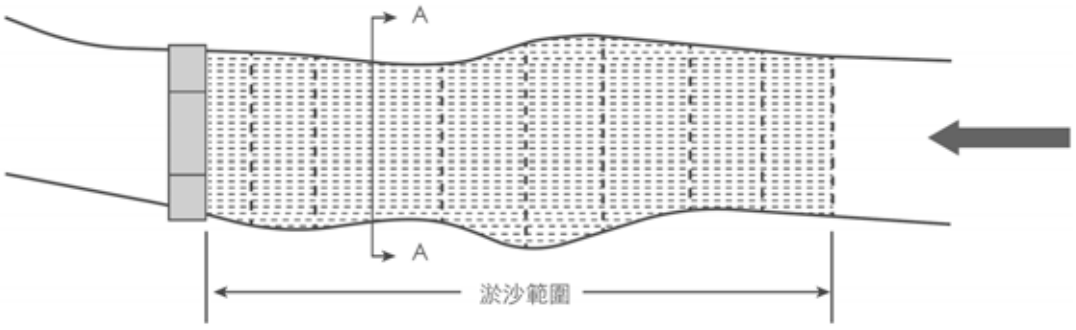
式中，y_m =最大沖刷深度與有效壩高之和；L_d =A 和 C 點之水平距離。在淤砂範圍內兩岸坡面土砂流施抑制量(S_{V2})則可表為

$$S_{V2} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{A_{Ri} + A_{R(i+1)}}{2} + \frac{A_{Li} + A_{L(i+1)}}{2} \right) \ell_i \tag{2.1.54}$$

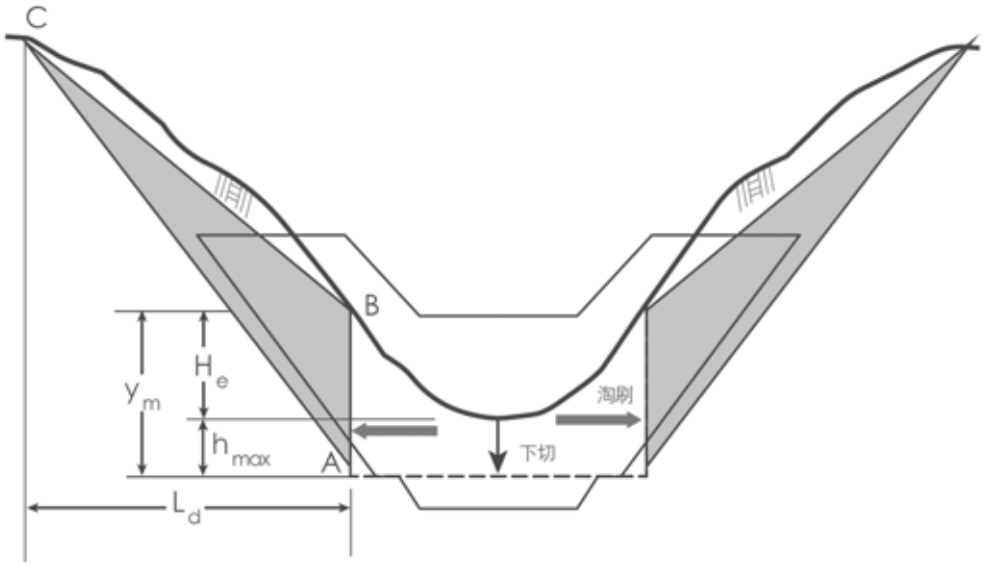
$$\text{且} \mathrm{L} = \sum_{i=1}^{n} \ell_i \tag{2.1.55}$$

式中，A_{Ri} =第 i 斷面右岸可抑制崩塌面積；$A_{R(i+1)}$ =第(i+1)斷面右岸可抑制崩塌面積；A_{Li} =第 i 斷面左岸可抑制崩塌面積；$A_{L(i+1)}$ =第(i+1)斷面左岸可抑制崩塌面積；l_i =第 i 與(i+1)斷面之間距；L =淤砂長度。必須注意的是，如側岸為岩盤(屬岩體崩塌)時，或原溪床面(築壩前)與側岸交點處之坡面坡度小於安息角時，均假設屬安定邊坡。

除了防砂壩可直接抑制之土砂量外(即ΔABC)，位於 BC 面以上至地表面間之土砂量體，雖然不是直接由防砂壩保護，但當ΔABC 土體發生崩壞時，此部分土體亦無法維持安定；不過，即便ΔABC 土體可以維持安定，BC 面土體亦可能受到地表逕流侵蝕而逐漸流失。為了區分這兩種土體之於防砂壩防砂機能，故將ΔABC 土體視為防砂壩直接定砂量，而 BC 面以上至地表面間之土體，則屬防砂壩間接定砂量，如圖 工 2-1-27(b)所示。



(a)縱向影響範圍



(b)A-A 斷面示意圖

圖 工 2-1-27 防砂壩上游兩岸坡面土砂抑制量縱橫向範圍示意圖(資料來源：連惠邦，2017)

2.1.7 注意事項

一、防砂壩壩翼及基礎開挖，宜避免使用炸藥爆破，以免鬆動壩體周圍之土石，而影響壩體強度。

二、壩翼崁入溪岸時，開挖面不宜組模，以避免開挖過大而影響邊坡安定。此外，壩翼上游面通常無護岸或其他設施保護，為避免水流直接淘刷，宜回填塊石予以保護。

三、基礎開挖深度大於 1.5m 時，應設置施工架及臨時擋土設施。

四、靜水池底採用混凝土護坦封底時，宜增加洩水管避免積水。

五、壩體分層澆置時，除了應確實以震動機搗實外，於每次升層面上宜將之粗糙化或增加凹槽(榫)。

六、在溪床坡度陡峻、溪幅狹窄之溪流，不宜設計較高之防砂壩(超過 5.0m)，應採用連續低壩群之設計較經濟。

七、採用廢棄輪胎作為抗磨緩衝材料時，輪胎內應避免澆置混凝土。

八、系列防砂壩防砂量演算宜採用數值模擬或其他方法模擬分析之。

九、以攔砂為目的之防砂壩，於設計時宜考量其清疏便道及土石堆置場址。

十、在溪床易沖刷或脆弱地質之溪段，應酌加溪床保護工之設計。

十一、對於同一溪流構築系列防砂壩或潛壩時，如為保護下游人民生命財產、水利設施或穩定溪床，宜由下游往上游依序構築；如為控制上游崩塌地，則宜採用上游往下游依序構築為原則。(臺灣省山地農牧局，臺灣省防砂壩工程調查報告，1982)

2.1.8 參考文獻

台灣省山地農牧局(1982)，「台灣省防砂壩工程調查報告」。

行政院農業委員會水土保持局(2001)，「土石流防治工法之研究評估」。

行政院農業委員會水土保持局(2011)，「土保持防砂工程防砂整備之推估與應用」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

社團法人日本河川協會編(1997)，「建設省河川砂防技術基準(案)同解說設計編[II](改訂新版)」，山海堂。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

Department of Public Works and Highways Japan International Cooperation Agency(2010)Technical standards and guidelines for planning and design of sabo structures.

2.2 潛壩

2.2.1 定義

潛壩(Submerged dam)係為穩定溪床、防止縱向侵蝕、穩固坡腳及保護護岸基礎為目的所構築高度 5.0 m 以下之橫向阻水構造物，如圖 工 2-2-1 所示。



圖 工 2-2-1 系列潛壩(資料來源：水土保持局南投分局)

2.2.2 目的

潛壩與防砂壩最大的不同點，在於後者係通過攔蓄土砂，以發揮調節土砂、穩定溪床及兩岸、防止侵蝕、抑止土石流等功能，而潛壩則是以控制水流流速為目的，達成以下功能，包括：

一、減緩溪流各種構造物基礎之沖刷。

二、穩定溪床，減少溪床堆積物流出。

三、調節水流流速，抑制縱橫向侵蝕。

2.2.3 種類與適用範圍

參照「2.1 節防砂壩」。

2.2.4 圖說

參照「2.1 節防砂壩」。

2.2.5 規劃設計原則

潛壩設計主要包括壩址布置、溢洪口斷面、本體設計、壩翼設計、下游基礎保護工及其附屬設施等項目。

一、壩址布置：

(一) 溪床沖刷溪段或有可能被沖刷地點之下游處；

(二) 主支流匯流處之下游溪段；

(三) 以保護構造物基礎為目的者，應選定於構造物之下游處；

(四) 以穩定溪岸崩塌或地滑為目的者，應選定在其下游處；

(五) 避免在彎曲段設置；

(六) 於溪幅寬廣、紊流激烈溪段設置。

二、計畫淤砂坡度：

淤砂坡度係指潛壩上游蓄積土砂所形成新的溪床坡度，與壩體高度、原溪床坡度、溪床粒徑分布、流量等因素相關。通常，潛壩計畫淤砂坡度取原溪床坡度之 1/2 為原則；系列潛壩間距約為下游潛壩計畫淤砂坡度線與原溪床交點的兩倍距離作為上游潛壩設置位置，如圖 工 2-2-2 所示。

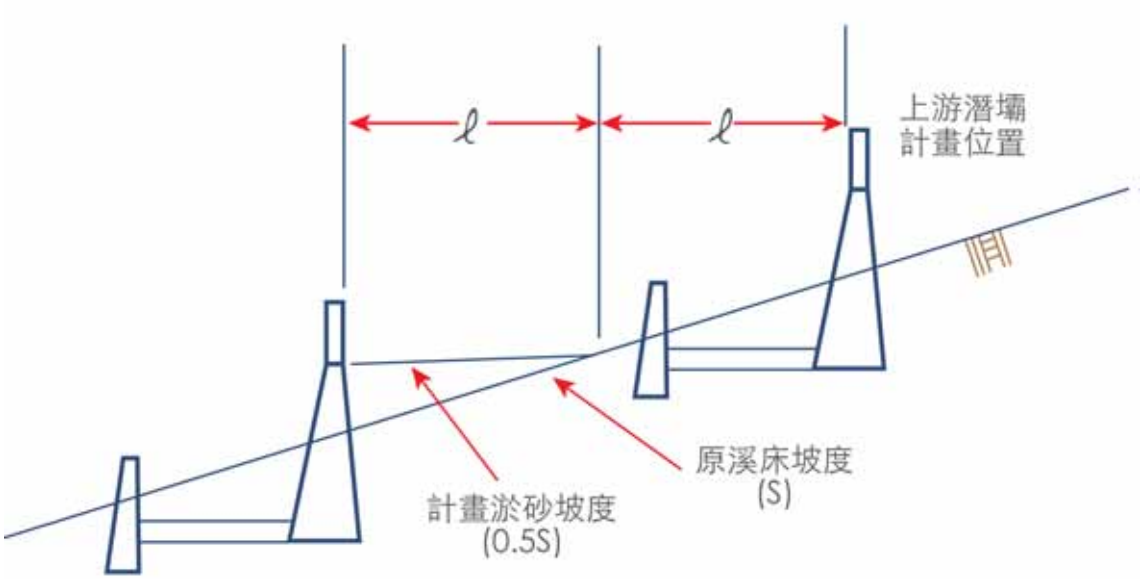


圖 工 2-2-2 系列潛壩布置示意圖

三、高度

潛壩高度在 5.0 m 以下，考量基礎深度，故其最大有效壩高介於 3.5~ 4.5 m 之間，如圖 工 2-2-3 所示。不過，當有效高度小於 1.0 m 時，則稱之為固床工，參見「2.3 節固床工」。

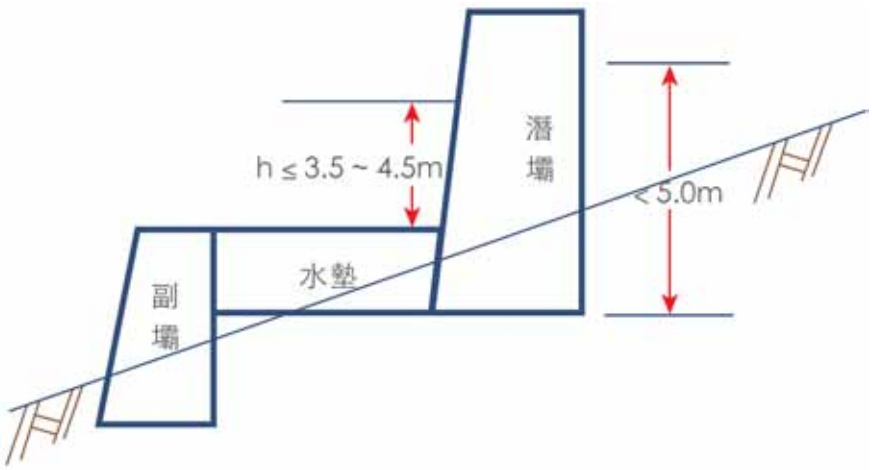


圖 工 2-2-3 潛壩高度示意圖(資料來源：修改自社團法人日本河川協會編，1997)

四、其他

包括溢洪口斷面、壩翼、基礎深度、基腳、壩體設計、消能設施及附屬設施等皆直接參照「2.1 節防砂壩」。

2.2.6 參考文獻

行政院農業委員會支助，台灣省水土保持局、中華水土保持學會編印(1992)，「水土保持手冊」。

社團法人日本河川協會編(1997)，「建設省河川砂防技術基準(案)同解說設計編[II](改訂新版)」，山海堂。

2.3 固床工

2.3.1 定義

固床工(Ground sill)係以保護溪床免於被洪水沖刷下切為目的所構築有效高度在 1.0 m 以下之橫向阻水構造物。依據其實施目的，固床工有效高度可以略低於溪床、或與溪床齊平、或略高於溪床面。通常，固床工皆與堤防或護岸共構，且多採用連續施設方式構成一系列固床工，以擴大其溪床保護範圍，如圖 工 2-3-1 為系列固床工。



圖 工 2-3-1 系列固床工(地點：屏東縣滿州鄉欖仁溪)

2.3.2 目的

固床工對水流具有很好的阻滯效應，不僅可以減緩水流流速，也在一定程度上維持溪床的最小變形。因此，固床工主要目的係於洪水時，可以發揮：

一、抑制溪床面泥砂的輸移，有效維持溪床最小的變形。

二、緩和床面及兩岸的流速，具有整流、導流、減緩沖刷、調整溪床坡度等。

2.3.3 種類與適用範圍

傳統固床工主要以混凝土材料所構築，多與堤防或護岸共構，其斷面型態以直線型居多，部分採用拋物線型，使水流趨中而發揮導流之功能。不過，考量其下游溪床局部沖刷及縱向生態廊道連續問題而有各種改良類型，如表 工 2-3-1 所示。

表 工 2-3-1 固床工種類與適用範圍(資料來源：水土保持局，2003)

種類	適用範圍
 (1)斜坡式混凝土鋪石固床工	係於鋼筋混凝土上鑲嵌塊石構成一種緩斜坡的蓆墊，一般以 10~ 15%為原則，坡面以塊石(中徑 30~ 50 cm，形狀係數大於 0.5)排砌或植石，並預留低水流量之水道，常與階(梯)段式固床工配合構築。
 (2)階梯式固床工	係利用跌水的方式，削減水流的能量。固床工下游面之平均坡度以緩於 13%(約 1∶8)為原則，階梯間之高差以不超過 30 cm 為宜。在多砂溪流，階梯恐遭砂礫石塊撞擊磨蝕而損壞，故採用時宜加強階梯的防護措施，如廢輪胎等緩衝抗磨材料。
 (3)石樑固床工	具有提高溪溪流穩定功能，且其生態棲地保持性能極佳，惟在溪幅較寬廣的溪段，拱之作用較小，不宜採用；下游側基礎有被淘空之虞者，可於石樑下加設混凝土基座。
 (4)階段式固床工	沿著溪段採用系列方式構築具有落差的固床工，固床工下游面填鋪塊石以消減水流勢能，並可增加水中溶氧，在設計上應考慮落差的高度，高差以不超過 30 cm 為宜。

 (5)踏步式固床工	適用在各種溪流條件，通常高度較低的固床工可避免阻絕縱向廊道，且配合較高固床工的跌水造波設計形成多樣多變的流況，有助於水域生態的棲息環境。不過，水流通過較低固床工時會形成水平射流，必然對下游溪床產生強烈的局部沖刷現象，故須加強其基礎保護，如拋塊石等。
 (6)複式斷面固床工	複式斷面的功能，在枯水期低流量時，可以將水流集中，避免水流分散，水深太淺，影響魚類迴游；當豐水期高流量時，可起到穩定流心，降低水流偏移沖岸問題。

一、斜坡式混凝土鋪石固床工：

本型固床工係於鋼筋混凝土上鑲嵌塊石構成一種緩斜坡的蓆墊，水流經過時會因塊石阻抗而激起水花，藉以提高溪流溶氧及消能效果，降低下游側溪床之局部沖刷下切，如表 工 2-3-1 之(1)所示。在溪幅較寬廣的溪段，宜設計供常流水過流之深槽水道，而坡面坡度應視溪床流速、坡度及魚類生態而調整，一般以10～15%為原則，坡面以塊石(中徑 30～50 cm，形狀係數大於 0.5)排砌或植石，常與階(梯)段式固床工配合構築。

二、階梯式固床工：

型如階梯而得名，主要利用跌水的方式，削減水流能量，如表工-2-3-1 之(2)所示。其下游面平均坡度以緩於 13%(約 1：8)為原則，階梯間之高差以不超過30cm 為宜。

三、石樑固床工：

本型固床工係利用足以抵抗水流拖曳力之大石塊作為力石，與較小之連結石緊密聯成一個整體，形成類似拱形結構，以抵擋水流及土砂壓力，如表工-2-3-1 之(3)所示。本型固床工適用於溪幅較小之溪流，在溪幅較寬廣的溪段，因拱的

作用較小，故不宜採用。應用時，下游側基礎有被水流淘空之虞者，可以加設混凝土基座。

石樑固床工不僅具有提高溪溪穩定功能，且其生態棲地保持性能極佳，故為促進溪溪環境的良性發展，其石塊大小及布置之設計必須考量水域生態棲地之需求，即於低水位時，允許部分石塊露出水面，且石樑不宜阻斷水路，應盡量保有部分之流路供水域生物自由活動；而於高水位時，水流淹沒石塊，除必須避免石塊流失外，更應發揮減低水流沖刷能量，維持溪床穩定。

四、階段式固床工：

本型固床工係沿著溪流將其築成具有落差之構造形式，常以混凝土材料構築，如表 工-2-3-1 之(4)所示。一般，固床工間之落差以不超過 30cm 為宜，且在固床工下游面填鋪塊石以消減水流勢能，並可增加水中溶氧。

五、踏步式固床工：

將不同高度的固床工有序地排列在同一橫斷面上者稱之，如表 工 2-3-1 之(5)所示。本型固床工具有傳統固床工的一般機能，適用在各種溪流條件，通常高度較低的固床工可避免阻絕縱向廊道，且配合較高固床工的跌水造波設計形成多樣多變的流況，有助於水域生態的棲息環境。不過，水流通過較低固床工時會形成水平射流，必然對下游溪床產生強烈的局部沖刷現象，故須加強其基礎保護，如拋塊石等。

六、複式斷面固床工：

在具有常流水之溪流，常將固床工設計成複式斷面，使在枯水期低流量時，可以將水流集中，避免水流分散水深太淺而影響魚類迴游；當豐水期高流量時，可起到穩定流心及降低水流偏移沖岸之功能，如表 工-2-3-1 之(6)所示。

2.3.4 圖說

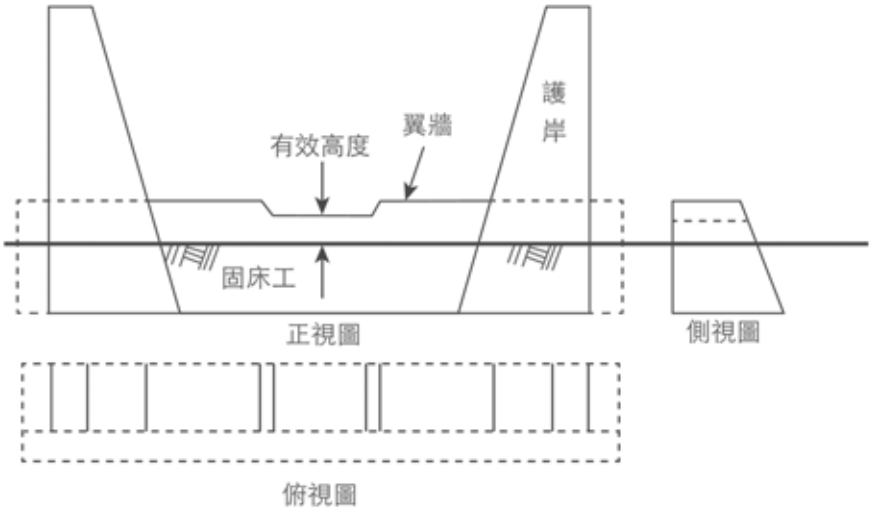


圖 工 2-3-2 有效高度略高於溪床之固床工布置示意圖

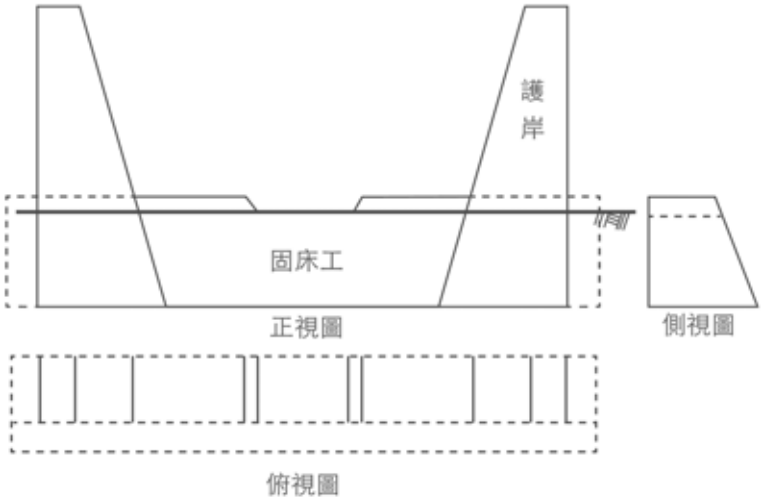


圖 工 2-3-3 有效高度與溪床齊平之固床工布置示意圖

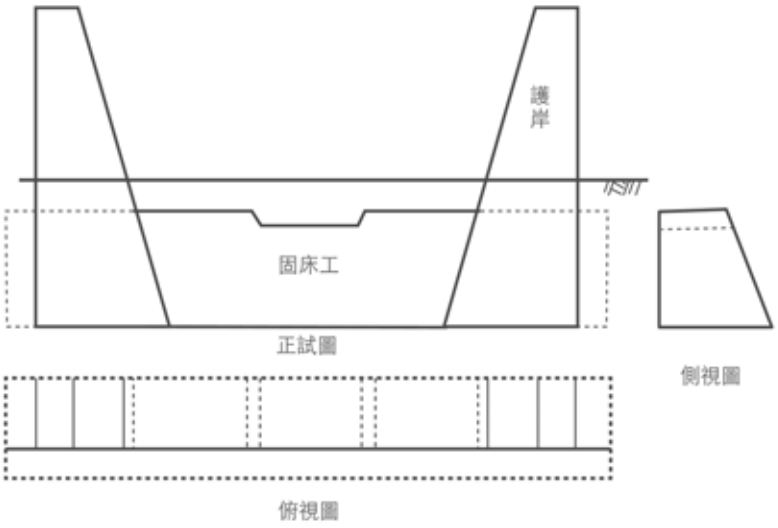


圖 工 2-3-4 有效高度略低於溪床之固床工布置示意圖

2.3.5 規劃設計原則

一、固床工布置：

固床工布置的關鍵有二：一是其座落位置，二是系列固床間距設計。

(一) 位置選定：

由於固床工旨在穩定溪床，免於被水流沖刷而引發溪流的重大變形，故施作位置宜選定沖刷嚴重溪段為原則。

1.溪床沖刷之溪段，或有可能被沖刷地點之下游。

2.泥砂侵蝕地區如屬主、支流合流處，宜選定在合流點之下游處。

3.以保護構造物基礎為目的者，宜選定在構造物之下游處。

4.溪岸崩塌或地滑處，宜選定在其下游處。

5.固床工盡量採複式斷面施作，以導引水流。

(二) 系列固床工間距：

系列固床工係為保護溪床免於被沖刷下切之多座橫向阻水構造物所組成，其對溪床之穩定效能，與系列防砂壩類似，皆屬仿照階梯狀溪床結構而施設。

由於固床工突出溪床的高度僅約 1.0 m，對上游溪床防護範圍相當有限，但在這個防護範圍內的溪床泥砂皆受其保護而不被水流沖刷外移，故系列固床工間距應小於固床工影響範圍，使後一座固床工一定要在前一座固床工的防護範圍內，這樣才能起到系列固床工的聯合作用。因此，系列固床工間距設計與其穩坡固床之效能密切相關，而效能之良窳端視其間距之設計是否得宜。系列固床工之理論設計間距，可以下列公式推估，即

$$L_g \leq \frac{H_g}{(1-S_r)S_o} \tag{2.3.1}$$

式中，L_g=固床工間距(m)；H_g=固床工高度；S_o=原溪床坡度；S_r=淤砂坡度比(=Sd /S_o；Sd=計畫溪床坡度)。一般，令S_r=0.5，故上式可寫為

$$L_g \leq \frac{2H_g}{S_o} \tag{2.3.2}$$

由上式得知，系列固床工間距與溪床坡度呈反比例關係，即當坡度愈陡，固床工間距愈小；反之，坡度愈緩，其間距愈大。不過，據實務經驗得知，當系列固床工間距大於 25.0 m 時，因間距過大，恐無法發揮系列固床工之間的

相互保護效果，而間距小於 7.0 m 時，也有過度設計之虞。為此，系列固床工適當間距約介於 7.0 m 至 25 m 之間為佳。

二、固床工有效高度

固床工旨在抑制洪水時對溪床的沖刷作用，力求溪床的最小變形。因此，根據溪床預定高程配置適當之固床工有效高度，或與既有溪床齊平，或略高於、略低於既有溪床，以因應不同溪床條件及流況。其中，固床工有效高程低於既有溪床之設計者(參考圖 工 2-3-4)，必須配合堤防護岸基礎深度，其與既有溪床間之高差以不超過 1.0 m 為宜，此種設計方式在水域生態豐富的溪流尤為適用。

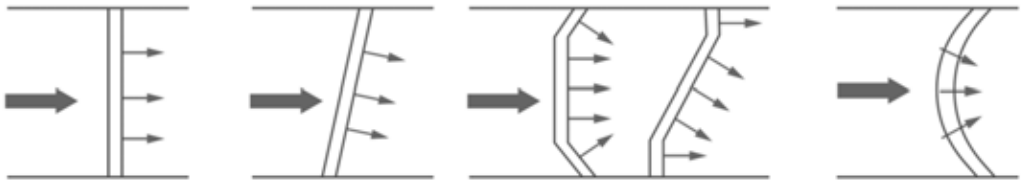
三、通水斷面設計：

(一)軸向：

當洪水流通過時，會受到低水斷面的導引而引起流向的改變，故設計時必須注意斷面軸向與洪水流流心的關係，包括：

1.斷面軸向與洪水時流心線呈垂直為原則，惟於特殊狀況下(如溪流某岸地質條件不佳或有保全重要對象等)必須導引水流時，可以依現地條件改變軸向與水流方向，如圖 工 2-3-5 所示。

2.於彎道處，斷面軸向應與洪水流心線之切線垂直，並加強翼牆保護。



(a)垂直式　(b)斜向式　(c)折式　(d)弧形

圖 工 2-3-5 固床工軸向類型示意圖(資料來源：修改自連惠邦，2017)

(二)位置：

以位於溪幅中央位置為原則，不引起下游溪岸沖刷及崩塌為首要條件。此外，在溪幅條件適當區段，上、下游固床工通水斷面中心軸可以相互錯開，以利形塑蜿蜒流路。

(三)形狀：

包括矩形、梯形、拋物線形等。

1.通常，斷面形狀採用底部水平之梯形，兼有其他用途者得依其需要設計之。

2.在溪幅較大之溪流，宜採複式斷面設計。

四、翼牆嵌入溪岸深度：

與護岸共構，為導引水流而設置翼牆時，固床工宜穿過護岸適當深度(約小於 1.0 m)，如圖 工 2-3-2 所示。惟無設置翼牆者，則可依現地條件嵌入護岸，以嵌入護岸基礎厚度約 1/2 為原則。

五、基礎深度：

考量溪流坡度、溪床質、溢流深及固床工間距等因素而定，原則上以不小於 1.0 m 為原則。

2.3.6 注意事項

一、固床工破壞常因基礎深度或保護措施不足所致，故為避免固床工下游局部沖刷而影響其安定，於其下游處宜採用拋塊石、混凝土塊等加以保護，尤其是系列固床工之最後一支固床工的保護措施，必須詳加考量及設計。

二、於多砂溪流宜注意固床工與水流接觸面之磨蝕問題，必須加強其防護措施。

三、固床工與護岸共構時，因其下游常發生局部沖刷而導致護岸基礎淘空裸露，故必須加強護岸基礎保護或加深護岸基礎深度。

四、固床工於凹岸處翼牆宜適當加高，以導引水流遠離凹岸。

2.3.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2003)，「山地河川生態調查及棲地改善模式之建置」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

Lenzi MA, D'Agostino V, Billi P., 1999, Bedload transport in the instrumented catchment of the Rio Cordon Part I: Analysis of bedload records, conditions and threshold of bedload entrainment. Catena 36: pp. 171-190.

2.4 丁壩

2.4.1 定義

丁壩(Spur dike)為由溪岸伸向溪流中心方向，在平面上與溪岸構成 T 字形的橫向阻水構造物，如圖 工 2-4-1 所示。



圖 工 2-4-1 丁壩

2.4.2 目的

丁壩是由三部分組成，與溪岸相接的部分稱為壩根，伸向溪流中心的頭部稱為壩頭，壩頭與壩根之間的部分稱為壩身，其主要目的如下：

一、改變水流方向，降低近岸水流流速，促進泥砂的掛淤及造灘，保護溪岸和溪床免受冲刷。

二、挑改水流流向，導引水流歸槽，維護岸線，建立正常溪寬，達到治導之目的。

三、保持正常的溪寬和水深，維持溪流穩定。

四、導流集水，以利取水。

五、增強水流及地形的多樣性，改善野溪的局部生態棲地條件。

2.4.3 種類與適用範圍

丁壩種類可依結構、越流狀況、方向、構築材料等進行分類。從結構可分為透水(permeable)及不透水(impermeable)丁壩，後者又稱固體丁壩；如水流越過壩頂，稱為浸沒(submerged)丁壩，否則稱非浸沒(non-submerged)丁壩；依構築材料可分為混凝土，樁柵，蛇籠、排樁及拋石等類型丁壩；依壩軸與水流之交角可分為向上游、直交與向下游等三種，如圖 工 2-4-2 所示。

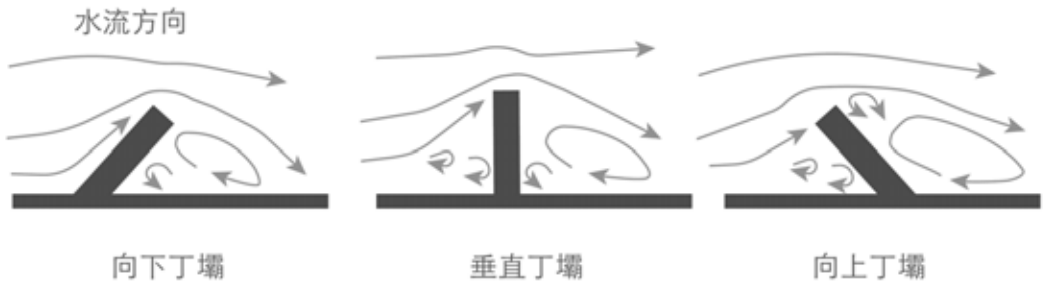


圖 工 2-4-2 丁壩方向示意圖

透水丁壩主要用於溪床質為细砂或粉细砂的沖積平原河道上，可由單排或數排樁组成。與傳統不透水丁壩相比，透水丁壩具有一定的透水率，對水流有導有透，除了具有通過挑流控導河勢的作用外，還可以減緩過壩水流的流速，使泥砂在壩後沉積，有目的的落淤造灘；同時，還具有結構簡單，施工機械化程度高，壩頭局部沖刷深度小於一般不透水丁壩，壩身安全性高，維護容易，可適應各種洪水標準，是一種極具功能的溪流構造物。

不透水丁壩主要功能在於挑離水流，並於壩田間促成淤積。越流式不透水丁壩，於下游側及壩頭發生刷深，應盡量避免這種方式的設計；不越流時，將沿壩體向溪流中心流下，致使壩頭發生紊流且有激烈沖刷之現象，需要因應加固。一般不透水丁壩均採越流式低壩身方式設計。

透水與不透水丁壩之選擇，端視實地狀況而定。下游平原河川，床質較細之河流，可採用透水丁壩；坡降較陡，有漂流木或堆積質多之野溪，基於構造物之安定及工法限制，可採較為堅固之不透水丁壩。用作防護堤防及溪岸的丁壩，壩身與岸身相連，壩頂高程略低於岸頂高程，一般不被洪水淹沒；用於防護河灘崩塌，而離岸較遠的丁壩，壩身與河灘相連，壩頂高程與灘地齊平，當洪水漫灘時才被淹沒。

各種丁壩種類依溪流坡度及溪床質不同，其適用情形如表 工 2-4-1 所示。

表 工 2-4-1 各種丁壩適用性一覽表(資料來源：防洪工程規劃講義，1981)

丁壩種類	溪流坡度	溪床質	備註
排樁丁壩	1/500~1/3,000	砂、粘土、沉泥、砂礫	視溪床情形可設單床沉床及蛇籠護底。
碼槎丁壩	1/200~1/1,500	砂、砂礫	可適用於無法打樁處。
拋石丁壩	1/1,000 以下	砂、泥土	不易排水之深水溪段。
箱(蛇)籠丁壩	1/250~1/1,500	砂、砂礫、小卵石	
混凝土丁壩	1/1,000 以下	砂、砂礫、卵石	視坡度，可調整混凝土塊大小。

2.4.4 圖說

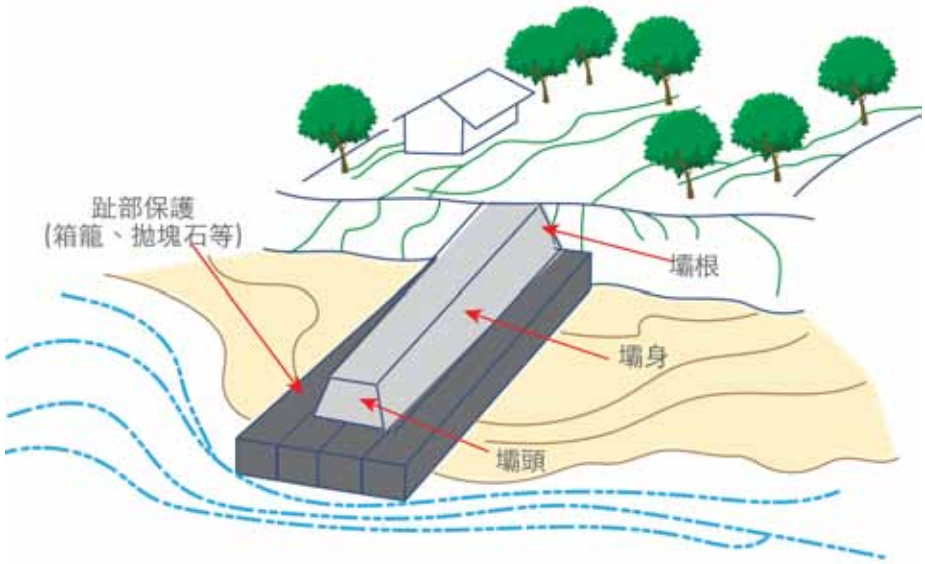


圖 工 2-4-3 丁壩示意圖(資料來源：Department of Public Works and Highways Japan International Cooperation Agency, 2002)

2.4.5 設計原則

丁壩設計主要有系列丁壩整體布置及獨立丁壩壩體設計兩大面向。

一、系列丁壩的整體布置：

系列丁壩的整體布置是由丁壩水流特點所決定。由圖 工 2-4-4 得知，丁壩回流長度(L，re-circulation length 或 re-attachment length)或影響範圍係指丁壩下游回流末端至壩根之間的距離，它是丁壩布置的一個重要指標。系列丁壩中各丁壩間距的布置，主要考慮的就是丁壩的影響範圍，即丁壩之間的間距小於丁壩有效影響長度，後一座丁壩一定要在前一座丁壩的保護範圍內，這樣才能發揮系列丁壩的聯合作用，這與系列防砂壩及固床工的有效影響範圍概念完全相同。

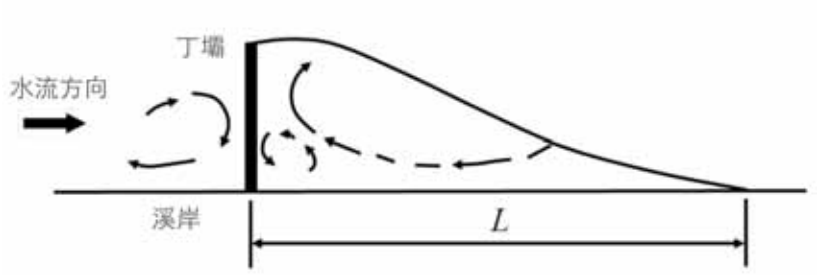


圖 工 2-4-4 丁壩回流長度或影響範圍示意圖

在以往的實務應用中，常採用等間距方式布置。實際上，系列丁壩上游側間距變化對壩後的防護範圍影響很大，而且數量不同的丁壩壩後的防護範圍又各不相同；若沿程丁壩皆採用等間距布置，勢必造成部分丁壩作用未能完全發揮，增加工程造價，甚至影響治理效果，這些都是丁壩布置不合理所致。因此，Shoji Fukuoka (1995)提出了彎曲河道中丁壩布置設計的基本原則，包括：

(一)當 D/ℓ < 2.0時，丁壩之間會形成死水區。(註：D=丁壩間距；ℓ =壩長)

(二)第一座丁壩的水流慣性作用很強，一般第一座丁壩與第二座丁壩的間距最大，約 D/ℓ=3.0~5.0；在直線段溪流中，間距 D=8.0ℓ。

(三)下游各座丁壩處於上游丁壩的緩流區內，受到上游丁壩的遮蔽作用，越過丁壩的水流慣性減弱，所以第二座丁壩和第三座丁壩的間距相應減小，約 D/ℓ=1.0~1.5，以後各座丁壩的間距 D=2.0ℓ。

這樣布置丁壩不僅使主槽水流平穩，溪床能得到較充分的沖刷，而且壩田區也能得到較好的淤積。此外，系列丁壩間距亦有採用下列原則設計，即：

(一)D/H=10~ 30。

(二)直岸：D/ℓ =2.0~ 3.0。

(三)凹岸：D/ℓ =1.5~ 2.0。

(四)凸岸：D/ℓ =2.5~ 3.5。

二、獨立丁壩布置：

(一)壩長的確定：

丁壩的長度應根據堤防護岸、灘地與水道治理線距離而定。丁壩長度取決於岸邊至低水槽治理線之距離，如尚未作出系統的整治規劃，則應兼顧上下游和兩岸要求，按有利於導引水流的原則確定壩長，一般取ℓ=(0.2~0.3)B [註：B＝低水槽寬度]。通常保護堤岸為目的者，採用 20 *m* 至 40 *m*，過長的丁壩不但對上下游及對岸受災之虞，且堤身易遭沖壞，維護亦較難；惟若為維持或形

塑低水流路者，則可因應需求而採用較長之丁壩。特別注意的是，於溪流寬度小於 30 *m* 者，不宜採用丁壩治理。

(二)壩頂寬：

應足以抵抗水流之衝擊及沖刷，可依下式計算

$$b = (H_1 + H_2)/3 \tag{2.4.1}$$

式中，b=壩頂寬；H_1、H_2=分別為壩頭及壩根高度。一般採用 4.0~ 6.0*m*。

(三)壩頭高：

壩頭高度可依下式計算，或與溪岸高齊平，即

$$H_1 = h_o + \Delta z \tag{2.4.2}$$

式中，h_o =壩頭處水深；Δz =丁壩壅水高度。壩根高度可表為

$$H_2 = H_1 + i_s \ L \tag{2.4.3}$$

式中，i_s =由壩根向溪流中心之縱坡。當 $H_2 \geqq P$ 時，採用計算值 H_2；當 $H_2 < P$ 時，則 $H_2 = P$。P=溪床至溪岸頂的垂直距離。

(四)坡度：

由壩根向溪流中心之縱坡(i_s)，考慮溪床橫斷面與洪水坡降，一般採用 1/30~ 1/100。

(五)壩根護岸：

丁壩壩根如不與堤防或護岸相接時，應施設壩根護岸，以免洪水繞襲壩後，以致丁壩孤立溪中。壩根護岸長度一般以上下游各 15m 為度或不得少於壩長 2/3，且高度宜在洪水位以上。

(六)護坦：

係為保護壩身免受水流淘深而平鋪於溪床之措施，需具屈撓性及整體性，以適應溪床變動；為防止與壩體脫離，亦需與壩體聯結。其厚度、長度及寬度等設計，端視水流曳引力及溪床沖刷狀況而定，其工法與護岸工程之護腳工類似。

三、丁壩方向：

在丁壩的布置上還要考慮丁壩的方向。向上游之丁壩，由於水流越過壩體時，將趨近於與壩體成直角之方向往下流，可使水流趨向溪流中心，並使下游之堤防護岸附近有較顯著之掛淤，但壩頭因抵抗水流激烈，較易被淘刷。向下游丁壩，水流越過壩頂時，會增加下游岸腳之沖刷，除非壩距較密可免水流直沖岸腳，或為特殊理由容許引導進水以維持水深者，不宜隨意採用。直交丁壩適用於水流散亂或流向變遷無常之溪段，一般最常採用，惟從效能來看，可採用略為向上游的丁壩，其壩軸與垂直水流方向傾向上游的角度，通常採用如下：

(一) 直岸：10°～15°

(二) 凹岸：10°～12.5°

(三) 凸岸：5°～10°

2.4.6 注意事項

一、丁壩一般甚少單獨設置，多視實際需要，以數座丁壩形成系列丁壩。

二、混凝土透水丁壩係由若干混凝土塊組成，其高度不宜超過寬度，底面積應大於任何一側面積。排列混凝土塊時，應以稜線迎向水流，每排混凝土塊之排列，自上游向下游逐漸遠離岸腳，並錯開排列。壩身基礎通常與溪床平，惟向溪流中心傾斜不超過 1/30。壩身基礎四周須設截牆。

三、鉛絲蛇籠丁壩大部份是越流壩，為減低越流後之水流沖擊力，壩身下游坡面應較緩，以 1：2.5 為宜，壩根護岸及丁壩應分開興建。流速大，沖刷力強之溪段，壩頭護坦應加強，並加長心籠及其枕籠。

四、壩軸方向採用垂直丁壩為原則，如採用向上丁壩時，其與堤防護岸間之夾角介於 10°～15° 之間為佳。

五、為減緩流速，加速泥砂落淤，一般以短丁壩為主；為挑流改變流路導水歸槽，則以長丁壩為主。長丁壩挑流時，如設計不當，常影響對岸之安定，應特別注意考量。

六、丁壩損毀常因壩頭附近溪床刷深而導致壩頭斷裂流失或下沉，並逐漸擴及壩身所致，故壩頭設計及防護設計非常重要。通常，應估計壩頭可能沖刷深度，以加深壩頭基礎或加強加寬壩頭護坦保護。為減低壩頭水流之阻力，一般採用較低的高度埋入溪床中。

2.4.7 參考文獻

台灣省水利局(1981)，「防洪工程規劃講義」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南出版社。

Shoji Fukuoka (1995)，「彎曲河道中丁壩的布置」，河口與海岸工程，5(2), pp. 72-79。

Department of Public Works and Highways Japan International Cooperation Agency(2002)Technical standards and guidelines for planning and design: Volume I Flood Control.

Ouillon, S. and LeGuennec,B., 1996, Modeling non cohesive suspended sediment transport in 2D vertical free surface flows, Journal of Hydraulic Research, 34(2), pp. 219-236.

2.5 堤防

2.5.1 定義

堤防(Levee)係指順著溪流方向構築高於地面之構造物，用以防禦及範束水流不使氾濫，以達保護沿岸之生命財產安全。凡地勢低窪，經常引發洪水氾濫，淹沒兩岸農田或都市區域者，均應築堤防洪。由於堤防係河溪工程中最重要的防洪構造物，故設計時應滿足安全、耐久、易於維護、經濟等方面之要求，並貫徹因地制宜、就地取材之原則，謹慎採用合適的工法、技術及材料。

2.5.2 目的

保護溪岸及其鄰近土地、村落、公共設施等，免於氾濫成災。

2.5.3 種類與適用範圍

依地形或用途區分，堤防可概分為主堤、副堤、開口堤、橫堤、溢流堤及導流堤等 11 種類型，如圖 工 2-5-1 所示，其定義與適用範圍如表 工 2-5-1 所示。

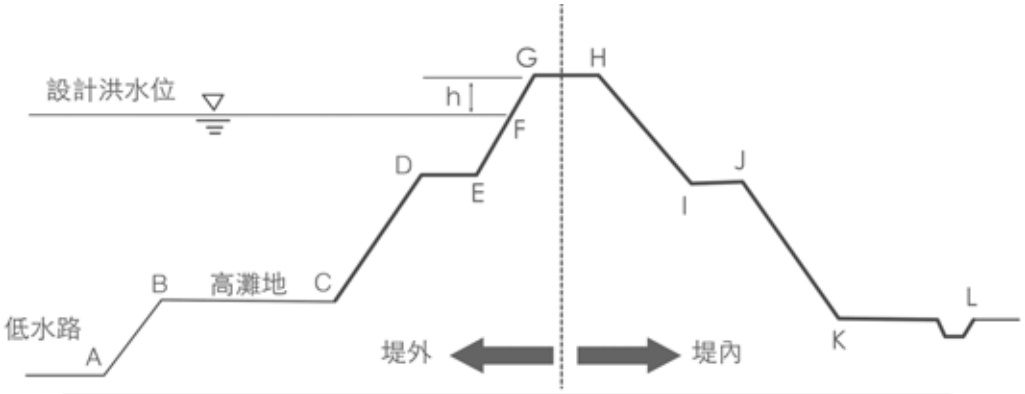


圖 工 2-5-1 各類型堤防示意圖(資料來源：防洪工程規劃講義，1981)

表 工 2-5-1 依功能區分之堤防種類(資料來源：防洪工程規劃講義，1981)

名稱	定義與適用範圍
本堤或主堤	亦稱本堤，係直接防止洪水氾濫為目的之最主要堤防
副堤	為與主堤相對稱之名稱，與主堤間隔適當距離而設置之。位於堤外者，稱爲前堤或圍堤，比主堤爲低，主要目的爲當發生中小型洪水時，用以減少溪流內之受害。位於堤內者，係考量主堤强度不足或所保護的區域特別重要而施設，或為防災之第二道防線。副堤有時不只一座，如急流河溪之地形，或爲其他原因而防患破壞時，在副堤背後再設一座副堤。
接山堤、圍堤	連接兩高山者、稱爲接山堤；普通可作連續堤，但在坡度陡峻之水域內施設不連續堤。另，環繞某區域周圍之堤防，稱爲圍堤(輪中堤)。此等堤防可不必基於整體治理計畫而各自施工。
開口堤	堤防能夠連續建造時，稱爲連續堤，否則稱爲不連續堤。開口堤爲不連續堤之代表形式，堤防下游段開放，下一堤防之上游爲重複延長於堤內者，重複延長部份需考慮主流之背水位與堤內地盤高而決定之。適用於急流河溪，不但有洪水調節之效果，且不發生堤內積水、排水問題，同時洪水延續時間及泛濫時間縮短，故有減少破堤、溪床堆積及農業災害等之優點。開口堤對於主流而言，係產生導流堤之一種效果，故其末端方向之處理，須特別注意。
橫堤	係由本堤或高地作爲壩根向河心,大略成直角方向延伸築造。當河道夠寬、堤外又有許多耕作地時，將該部份作爲滯洪區或同時爲減低流速保護耕地及農作物，拖延洪水流下時間。
分流堤或隔堤	當兩河溪合流時，常於合流點附近淤積土砂，產生橫流，使得溪床不穩定,或因迴水而使水位高漲,發生堤內排水困難。因此，為降低迴水且在能使對主流不影響之地點將二河溪分離，以防止其災害，乃築堤隔開，此種堤防稱爲分流堤或隔堤。
逆流堤	於支流與主流合流點，為避免主流迴水影響，常於支流施作之堤防，稱之。
溢流堤或越流堤	於某特定河段，將部份堤防高度降低，使高於此高度的水位溢出而減低主流洪水位者，稱之。
導流堤或導水堤	河溪合流點、分流點或開口堤前端，爲了調整流向，或溪流水流入海時，或爲固定流路，需要整流而施設之堤防，稱之。尤其流入海時，為防止河口淤積、閉塞，由河口向海的方向延伸施設導流堤，或稱爲突堤。
堵塞堤	河溪支流或開挖新河溪而放棄舊的溪流時，截斷舊有溪流所施作之堤防，稱之。
廢堤	以人為或自然因素改變溪流流路時，舊堤成爲不使用之堤防者，稱之。

2.5.4 圖說



名稱	位置	名稱	位置	名稱	位置
堤外肩	G	堤外肩	H	堤外肩	G-H
出水高	h	出水高	C-D;E-G	出水高	H-I;J-K
堤外戧道	D-E	堤外戧道	I-J	堤外戧道	K-L
堤前坡腳	C	堤前坡腳	K	堤前坡腳	B-C

圖 工 2-5-2 堤防各部名稱示意圖

2.5.5 設計原則

一、堤防布置

原則上，堤防布置應根據河溪治理基本計畫及規劃報告，沿著水道治理線布設，實際布置時尚需考量現地地形、地質條件、河流變遷，結合現有建築物的位置、施工條件、已有工程狀況、用地取得情形、文物保護等因素；如水道治理計畫線無法符合該等現況因素，則應作局部檢討及調整。

(一)已劃定公告水道治理計畫線之溪流，依該線構築。

(二)盡量順流水方向構築，避免急彎。

(三)溪流彎曲部分，其曲率半徑宜為其寬度的 10~ 20 倍。

(四)兩岸堤線盡可能採取平行，避免激烈之溪寬變化。

(五)反彎曲段間(S curve)應介於直線之過渡段(緩和段)，其長度宜在 6 倍溪寬以上。

(六)彎曲溪流凹岸處之堤防應考量超高，其高度可依下式推估，即

$$\Delta h = \frac{V^2}{g}\left(2.303 log \frac{R_2}{R_1} + \frac{0.0042}{h}\sqrt{\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}}\right) \quad (2.5.1)$$

式中，V=流速(m/sec)；R_1、R_2=分別為凸岸及凹岸之曲率半徑(m)；g=重力加速度(m/sec2)；h=水深(m)；Δh=超高，即凹岸處高出靜水面之高度(m)。

(七)彎曲段宜放寬溪幅，如圖 工 2-5-3 所示。

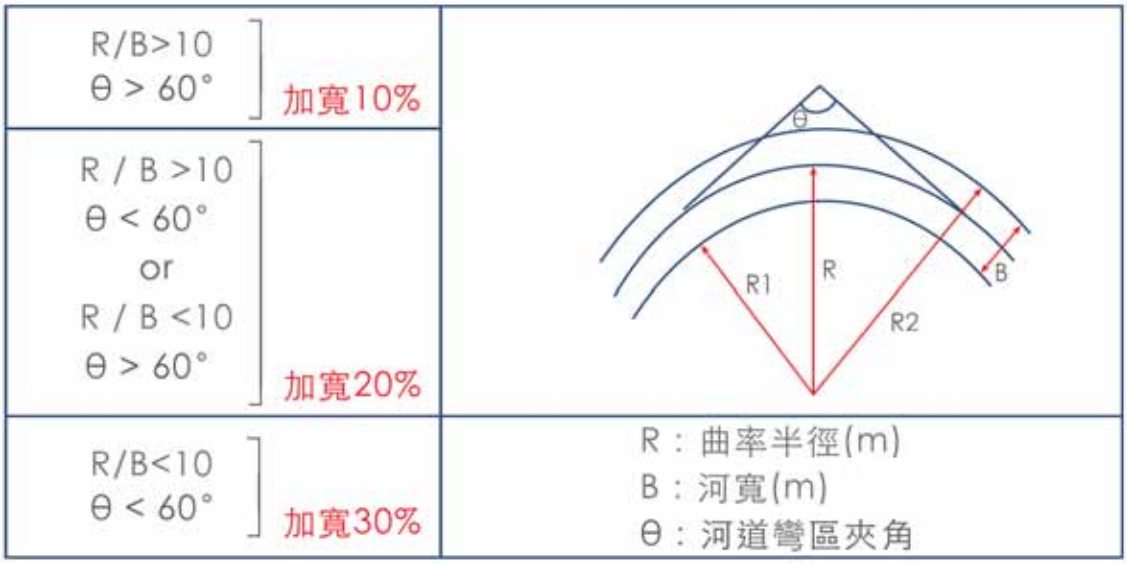


圖 工 2-5-3 彎曲段加寬示意圖(資料來源：水土保持手冊，2005)

二、築堤材料：

築堤材料主要可分為土料、石料及砂礫料，應符合下列規定：

(一)土料及石料：一般以就地取用溪床料為原則，不得含植物根莖、磚瓦、垃圾等雜質。

(二)砂礫料：耐風化，穩定性好，就地取用溪床料為原則。

三、堤頂高度及寬度：

設計堤頂高度係計畫洪水位高程與出水高之和，出水高可依表 工 2-5-2 決定之。此外，一般情況下，為減少堤身土石壓密與基礎沉陷對堤防功能之影響，視實際需要可酌增加約 3%~ 8%之堤高高度；於地層下陷區域，則建議採 5 年之沉陷量作為增加量，以策安全。

表 工 2-5-2 出水高參考標準(資料來源：經濟部水利署，2014)

計畫洪水量(*cms*)	出水高(*m*)	計畫洪水量(*cms*)	出水高(*m*)
200 以下	0.6 以上	2000~ 5000	1.2 以上
200~ 500	0.8 以上	5000~ 10000	1.5 以上
500~ 2000	1.0 以上	10000 以上	2.0 以上

堤頂寬度可依計畫洪水量經驗公式決定之，如表 工 2-5-3 所示。惟土堤堤頂寬度至少須大於 3.0 m，而石堤至少須大於 2.5 m。

表 工 2-5-3 堤頂寬度一般採用參考值(資料來源：經濟部水利署，2014)

計畫洪水量(*cms*)	堤頂寬度(*m*)	備註
500 以下	≥3.0	1.堤頂寬度亦可依下式估計： $B = H/5 + 3.0$ B =堤頂寬； H ＝堤高。 2.土堤堤頂寬度≥3.0*m*；石堤堤頂寬度≥2.5*m*；若經安定及滲流分析，滿足堤防之安全性時，則堤頂寬度亦可酌減之。
500~ 2000	≥4.0	
2000~ 5000	≥5.0	
5000~ 10000	≥6.0	
10000 以上	≥7.0	

四、堤坡坡度及戧台：

堤防坡度應根據築堤材料特性、斷面配置、護坡材料性質與水流特性訂定之，其建議參考範圍如表 工 2-5-4 所示。

堤高超過 6.0 m 者，宜設置戧台。戧台寬度應大於 1.5 m。

表 工 2-5-4 堤坡坡度一般採用參考值(資料來源：經濟部水利署，2014)

堤坡形式	設計坡度
土坡	1：2~ 1：8
拋石	1：2~ 1：4
混凝土坡面工	1：1.5~ 1：2
乾砌塊(卵)石	1：2~ 1：3
混凝土砌塊(卵)石	1：0.5~ 1：2
混凝土排塊(卵)石	1：0.5~ 1：2
混凝土砌襯排塊(卵)石	1：0.5~ 1：2

五、護坡設計：

當堤外水流流速大於 1.5 m/sec 時，應適當設置護坡。護坡應堅固耐久、就地取材、利於施工與維護。對不同堤段或同一坡面的不同位置可選用不同的護坡型式。

臨水側(堤外坡)護坡的型式應根據近堤水流，結合堤高、堤身與堤基土質等因素確定；背水側(堤內坡)護坡的型式，除本身因素外，尚需考慮當地民眾意見及維護管理需要。

護坡保護區域至少需高於計畫洪水位，以避免堤體材料流失。不同流速可採用護坡工法，如表 工 2-5-5 所示。

如採用砌石、舖石與混凝土護坡時，需於護坡材料與堤體間設置墊層。墊層材料可採用砂、礫石、碎石、塊石或地工織物。若使用砂礫石墊層，其厚度不可小於 10 cm。

如採用混凝土砌石與混凝土等不透水式護坡時，應於坡面設置排水孔，孔徑約介於 50 mm~100 mm，水平與垂直孔距建議約 2.0 m，採交錯式排列，並配合至少每 10 m 設置一道伸縮縫。

表 工 2-5-5 常見護坡工法與容許流速(資料來源：經濟部水利署，2013)

護坡工法	適用條件	流速(*m/sec*)
土坡	流速小坡度緩及小流量之溪流	1.0~ 1.5
砌石護坡	就地取材及流速不高之中小型溪流	1.5~ 3.0
混凝土護坡	流速大之溪流	3.0~ 6.0
箱(蛇)籠護坡	護坡高度不大時	3.0~ 5.0
串聯混凝土塊護坡、串磚護坡	中小型溪流	2.0~ 4.0
混凝土格框護坡	1.流速小坡度緩及小流量之溪流 2.宜設置於計畫洪水位以上區域	2.0~ 3.0
編柵護坡	流速小之緩流流況	2.0~ 4.0

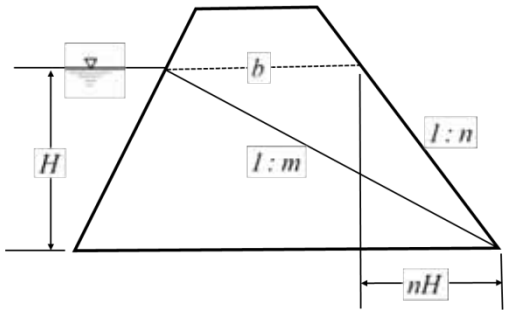
六、堤腳工：

砌石與混凝土護坡在堤腳、戧台、堤頂等坡度改變處，考量整體安全穩定下，視現地情形需要設置基腳。基腳可採預鑄或場鑄型式之混凝土、鋼筋混凝土與板樁工等。若有基腳沖刷之虞，必要時可加深基腳深度或基腳前方設置護坦工，以維護整體結構物之安全性。

七、安全檢核：

土(石)堤需檢核計畫洪水位時，堤外坡與堤內坡之安全穩定與基礎承載力；此外，亦應進行滲流分析，避免流線出露於坡面及符合滲流比之需求。相關檢核項目與空制安全係數，如表 工 2-5-6 所示。

表 工 2-5-6 安全檢核項目與安全係數控制表(資料來源：經濟部水利署，2014)

<table>
<tr><th>檢核項目</th><th>控制安全係數</th></tr>
<tr><td>堤坡安全穩定</td><td>$FS = \frac{CL+\sum N tan\phi}{\sum T}$ FS≧1.5
式中，FS=安全係數；C=土壤黏聚力；L=破壞圓弧總長度；N=作用於法線方向之分力；T=作用於切線方向之分力； ϕ=靜摩擦角。</td></tr>
<tr><td>基礎承載力</td><td>1.設計前應辦理工程地質調查、鑽探及試驗，確認地質特性及基礎承載能力。
2.堤防垂直作用力須小於該處基礎材料之容許承載力；若承載力不足時，則需進行基礎加固處理。
3.不同基礎材料之建議容許承載力，如下表所示。
<table>
<tr><th>基礎材料</th><th>容許承載力(t/m^2)</th></tr>
<tr><td>黏土，軟</td><td>10</td></tr>
<tr><td>黏土，中</td><td>20</td></tr>
<tr><td>黏土，硬</td><td>40</td></tr>
<tr><td>砂，細而鬆散</td><td>10</td></tr>
<tr><td>砂，細而緊密</td><td>30</td></tr>
<tr><td>砂，粗而鬆散</td><td>30</td></tr>
<tr><td>礫，鬆散之砂礫混料</td><td>40</td></tr>
<tr><td>礫，緊密之砂礫混料</td><td>50</td></tr>
<tr><td>堅硬岩盤</td><td>100</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>滲流線控制</td><td>流線不可出露於堤坡，應滿足
mH<(b+nH)
式中，m=臨水面計畫洪水位處至背水面堤腳處之斜率；H=堤腳至計畫洪水位之垂直高度；b=臨水面背水面與計畫洪水位交接處之寬度；n=背水面斜率。
 
</td></tr>
<tr><td>滲流比控制</td><td>1.滲流比(creep ratio)即為滲流線長度與有效水頭之比值。
2.滲流比需滿足該處基礎材量之容許值：
<table>
<tr><th>基礎土壤種類</th><th>滲流比之容許最小值</th></tr>
<tr><td>粒狀土(砂或礫)</td><td>10</td></tr>
<tr><td>顆粒均勻之細砂或壤土</td><td>20</td></tr>
<tr><td>級配良好之砂質壤土</td><td>40</td></tr>
<tr><td>黏質壤土及黏質黏土</td><td>10</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>權重滲流比控制</td><td>1.權重滲流比為權重滲流距與有效水頭之比值，其中權重滲流距係指直滲流距(陡於 45°)加平滲流距(小於 45°)三分之一。
2.權重滲流比需滿足該基礎材料之容許值：
<table>
<tr><th>基礎土壤種類</th><th>滲流比之容許最小值</th></tr>
<tr><td>極細砂或泥</td><td>8.5</td></tr>
<tr><td>細砂</td><td>7.0</td></tr>
<tr><td>中級砂</td><td>6.0</td></tr>
<tr><td>粗砂</td><td>5.0</td></tr>
<tr><td>細礫</td><td>4.0</td></tr>
<tr><td>中級礫</td><td>3.5</td></tr>
<tr><td>粗礫包括卵石</td><td>3.0</td></tr>
<tr><td>大石附有若干卵石及礫</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td>軟黏土</td><td>3.0</td></tr>
<tr><td>中級黏土</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td>硬黏土</td><td>1.8</td></tr>
<tr><td>極硬黏土或硬泥盤</td><td>1.6</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

八、堤防植生綠化：

堤防植生綠化應著重對堤防的保護功能與植生與環境條件的搭配，考量堤外坡與堤內坡在防洪機能的差別，並以生態綠廊的思維進行植生林帶，在植生種類的選擇上考量其基本條件，以提高植生的存活率。

(一)地域環境基本考量：

1.計畫所處位置為山區、平地或濱海地區，植生綠化需配合其地域環境採用適宜的植生種類。

2.配合鄰近環境，以實質開發程度為考量，決定植生採自然或人工種植方式做整體設置考量。

(二)堤外坡與堤內坡的考量：

1.堤外坡：為臨水側，應考量水流影響，盡可能以深根性的地被類植物進行堤坡綠化。一般植生無法抵抗流速大於 2.0m/sec 的水流沖刷，故宜以此條件定位植生之強度及功能。

2.堤內坡：多緊鄰水防道路，為堤坡需加強綠化側，可配合各類工法發展多樣化的綠化方式，並配合周邊開發狀況及民眾需求決定綠化強度。

3.堤頂：如提供作為步道，可考量種植不超過 50 cm 之草木。

4.高灘地：於高灘地植栽，應著重強化高灘地防沖刷能力，以有效保護堤腳，視實際條件可植栽形成綠丁壩。

(三)植生林帶：

保護堤防安全和維護生態環境的植生工程可分為防浪林帶、護堤林帶、草皮護坡等項目，其防護效果，應滿足以下要求：

1.消浪防沖，降低暴雨洪水、風沙、海潮、波浪等對堤防之侵蝕破壞。

2.擋砂固灘，保護堤防和護岸工程之基腳安全。

3.涵養水土資源，綠化堤岸，形成生態廊道。

(四)植生選擇：

植生主要功能除保護坡面不受水流與雨水侵蝕破壞外，兼具環境景觀美化之效，植生選擇應考量：

1.植栽種類，依設置目的選擇喬木、灌木、地被及爬藤不同機能之植栽。

2.對土質適應性強者，具耐旱、耐寒，對環境適應性強者。

3.綠化期長、根系長、具水土保持功能。

2.5.6 注意事項

一、為減緩流速，堤外坡宜加設消能牆(中心距 5.0 m)；另，為防止基腳沖刷，亦宜加設混凝土塊、蛇籠或丁壩等基腳保護工。尤其在凹岸處，更應加深堤防基礎或加強保護工。

二、堤線應選擇堅固之地盤，基礎鬆軟時應加強處理。

三、堤防經過市鎮房屋密集處，不能採用規定斷面時，為節省用地及拆遷費，可採用防洪牆等特殊堤防代替。

四、主流與支流匯合處，堤線之交角宜小於 60°。

五、堤防起點應選擇在洪水時不會流入堤內；長度太長時，為避免堤內積水，宜設開口堤或涵管等排水設施。

六、堤防終點應設堤尾工，其設計型式一般以堤頂、堤腳寬度之中心距為半徑所構築之半圓。

2.5.7 參考文獻

台灣省水利局(1981)，「防洪工程規劃講義」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

經濟部水利署(2013)，「水利工程技術規範-河川治理篇」。

經濟部水利署(2014)，「水利工程基本圖彙編及資料庫建置」。

2.6 護岸

2.6.1 定義

護岸(Revetment)為保護溪岸而直接構築於岸坡之縱向順水構造物，具有保護溪岸及穩定坡腳之功能。

2.6.2 目的

通常護岸會設置於容易發生溪岸崩塌或易遭受淘刷之坡腳，用以控制水流流向，從而達到保護溪岸免於崩塌或沿岸土地流失之目的。傳統的護岸工程基於安全考量，均採用抗沖材料(如混凝土)直接覆蓋於溪岸上，來提高整個護岸的強度及抗沖能力。相較於丁壩對溪岸發揮點、線之保護效果，護岸對溪岸的保護則是更為全面性。護岸工程對水流的干擾很小，不會改變水流流路的整體走向。儘管是彎道或順直溪流的水流結構，基本上也不會有顯著的影響，只是在護岸施作後強化了溪岸的穩定性，限制了溪床橫向變形，凹岸崩塌相應減弱，溪流外形基本穩定。但是，由於水流橫向沖刷受到限制，為了滿足其挾砂的需求，便向溪床取得泥砂的補充，使得護岸下方或凹岸深槽的沖刷問題，會變得比較嚴重一些，。

此外，護岸都會比天然溪岸順直，且臨水面粗糙度也比較小，對水流的阻滯效果較低，使得水流流速會比施作前更快，不僅提高水流匯流速度及洪峰流量，也加劇了對下游溪岸的沖(淘)刷作用。因此，沿著天然溪岸施作，不刻意拉直，且糙化護岸臨水面，使水流停留在溪流的時間拉長，皆有利於溪流之穩定。

2.6.3 種類與適用範圍

護岸種類可依坡面傾角及構築材料進行分類。以坡面傾角分類可區分為緩坡式、陡坡式及直立式等類型。其中，當護岸坡面傾角小於溪岸土質安息角者，稱為緩坡式護岸；當護岸坡面傾角大於溪岸土質安息角者，稱為陡坡式護岸；當護岸坡面傾角趨於直角者，稱為直立式護岸。

以構築材料劃分，包括混凝土、混凝土砌石、混凝土型框、拋石、箱籠(含蛇籠)、土石籠、乾砌石、蜂巢圍束網格、木排樁、木樁捲包、加勁、地工沙腸袋、生態槽等護岸類型，其適用範圍如表 工 2-6-1 所示。除了混凝土護岸及混凝土砌石護岸外，其餘護岸類型皆兼具生態保護及符合工程安全需求之仿自然護岸，且已經成為河溪整治工程的主要部分。

護岸自然化及多樣化設計，主要是改變硬質護岸上植物不能生長、昆蟲難以棲息的狀態，在濱水部分恢復水生植物及營造魚蝦等水域生物棲息地，有些護岸工程也在接觸水面的部位設置魚巢等魚類的棲息地。在這些恢復自然或者恢復溪流多樣性的過程中，其景觀也會得到很大的改善。

根據生態護岸採用的資材類型可以概分為兩大類：一是採用自然或人工資材仿自然護岸，以及由不同植被種類所營造的自然植生護岸。

一、植生護岸：

通常是在經過平整處理的岸坡上種植不同品種植物，通過植被根系能夠提高土體的抗剪強度，增強土體的黏聚力，從而使土體結構趨於堅固和穩定，達到保土蓄水，防止水土流失，並在滿足生態環境需要的同時進行景觀美化。這類護岸最貼近實際自然溪流岸坡狀態，與溪流生態系統的物質能量交換能力也最強，物種多樣性也最豐富，並且造價低廉。但是，因植被生長需要一定時間，不能馬上起到護岸作用，一般要在工程初期採取一些輔助措施進行臨時性的岸坡侵蝕防護。在岸坡淘刷侵蝕比較嚴重的區域，可先種植一些發育比較快，適於不同季節要求的草類或其他物種。此外，野溪暴漲暴落的特性對植物種類的要求也比較嚴苛。因此，植被護岸多應用於溪流流速平緩，水位起伏較小，淘刷侵蝕較低的溪段。

表 工 2-6-1 護岸種類與適用範圍

類型	適用範圍
 (1)混凝土(鋼筋混凝土)護岸	1.適用範圍：水勢強烈溪段、易生岸坡崩塌溪段、凹岸及重要保全地區等。 2.因抗沖性強，導致溪床易遭沖刷下切，設計時必須考量其基礎深度。 3.溪床承載力應足以支撐結構體，防止大量沉陷。

 (2)混凝土砌石護岸 (資料來源：謝金德)	1.適用範圍：石料豐富地區，且水勢強烈溪段、易生岸坡崩塌溪段、凹岸及重要保全地區等。 2.溪床承載力應足以支撐結構體，防止大量沉陷。 3.每隔 10~15 m 設置間隔牆。 4.表面具有自然景觀，砌石縫隙空間利於動物棲息及植物生長。岸趾可拋石，製造蜿蜒水域，增加生物棲息空間。 5.石塊中徑約0.3 m；岸高宜小於3.0 m。 6.不適用於土石流潛勢溪流。
 (3)乾砌石護岸 (資料來源：水土保持局，2003)	1.適用範圍：透水性佳，適用於岸坡可能遭滲出水流而產生管湧淘空破壞之區位。 2.因抗沖性較低，不適於凹岸，以及流路和溪床變動幅度較大之溪流。 3.每隔 10~15 m 設置間隔牆。 4.表面具有自然之景觀，砌石縫隙之空間利於動物棲息及植物生長。 5.結構體僅由塊石間圍砌密靠取得穩定，故必須加強基礎穩定性，防止不均勻沉陷。 6.石塊中徑約0.3 m；岸高宜小於3.0 m。
 (4)拋石護岸 (資料來源：水土保持局，2003)	1.適用範圍：石料豐富地區，水勢不強之溪段。 2.石塊大小應考量水流流速進行適當配置。 3.施工簡單，塊石適應性強，對岸坡和溪床的後期變形可自我調整。 4.在水流長期的作用下，部分石塊會逐漸損失，因而需要進行經常性維護加固。 5.不適用於土石流潛勢溪流。
 (5)箱籠護岸	1.具有排水佳、多孔性、粗糙面等優點，適用於石料豐富、流速大、沖刷嚴重、生態敏感、兩岸高地下水位之緩坡溪岸。 2.具較好的撓曲性，能適應較大的不均勻沉陷及變形。 3.必須注意箱籠金屬線格網可能受填充石材或溪床質之碰撞摩擦而發生裂損腐蝕劣化或破壞，進而導致整體結構之潰散。 4.不適用於土石流潛勢溪流。

 (6)土石籠護岸 (資料來源：乾坤顧問股份有限公司)	1.工法構造簡單，利於堆置及運搬，組裝調整快捷，施作時可依現況進行彈性調整，故適用於陸域及水域各項改善及防災工程，以及災害緊急搶修及偏遠地區之施工。 2.使用野溪清疏出來土石作為土石籠袋內填土，達到土方平衡，減少棄土，並減少工程材料運輸及碳排放。 3.考慮現地土石回填夯實問題，加上載重後恐怕會產生沉陷或造成結構不穩定，故施工計畫應注意其基礎夯實及穩定性，整體結構高度不宜超過5.0 m。
 (7)混凝土型框護岸	1.適用流速範圍：約小於 8.0 m/sec。 2.適用於岸坡規則、石料豐富、生態棲地維持需求、岸坡綠化需求之溪段。 3.透水性佳，適用於岸坡可能遭滲出水流而產生管湧淘空破壞之區位。
 (8)加勁護岸 (資料來源：GESM資訊網，2014)	1.屬於重力式柔性結構，撓曲性較好。 2.具有排水佳、多孔性、粗糙面、生態復育及減碳等優點，適用於固灘、護岸工程與災害地區邊坡穩固之功用。 3.須考慮護岸下方或凹岸深槽的可能沖刷問題，必須依據現地條件設計不同型式之基礎工。
 (9)地工沙腸袋護岸 (資料來源：GESM資訊網，2014)	1.適用野溪清疏土砂形成大型護岸結構體，兼具降低溪岸水流侵蝕、穩固溪岸等優點， 2.具有減少工程材料運輸及碳排放功能，減少工程對生態環境之破壞，降低混凝土用量及整體工程之碳排放量。 3.須考量河溪漂流木可能破壞其表層。

 (10)生態槽護岸 (資料來源：GESM資訊網，2014)	1.粗糙面層構造具有消能、減緩水流速度之功用。 2.兼具排水性佳與多孔性，提供水中魚、蝦生物躲藏棲息空間，以及溪岸植物生長和動物棲息之環境。 3.為防止土砂沖刷流失，生態槽應內襯不織布或土包袋，以防止土砂沖刷流失。

二、仿自然護岸：

係針對植物護岸防沖能力較差的缺點，通過工程和植物的有機結合，構建一個利於植物生長，以及增強岸坡的穩定性和抗侵蝕能力之仿自然護岸。當植物生長後，通過根系加筋固結作用，亦能起到抑制暴雨逕流之侵蝕作用。

(一) 乾砌石護岸(Dry Pitching Stone Revetment)：

係以大卵石(塊石)疊砌而成者，適用於可能遭到滲流作用產生管湧淘空破壞之岸坡，如表 工 2-6-1 之(3)所示。由於表面具有自然的景觀，砌石縫隙之空間利於動物棲息及植物生長，惟結構體僅由塊石間圍砌密靠取得穩定，故必須加強基礎穩定性防止不均勻沉陷及變形。由於抗淘刷侵蝕能力較低，不適用於河溪凹岸，以及流路和溪床變動幅度較大的溪流。

(二)拋石護岸(Riprap Revetment)：

與乾砌石護岸類似之拋石護岸，在國內、外河溪整治工程中應用非常廣泛，如表 工 2-6-1 之(4)所示。該項技術施工簡單，塊石適應性強，對岸坡和溪床的後期變形可自我調整。塊石有很高的水力糙率，可以阻滯水流，保護溪岸土體抵禦水流沖刷侵蝕。但是，在水流長期的作用下，部分石塊會逐漸損失，因而需要進行經常性維護加固。如果在拋石底部設置碎石或地工布反濾層，則可有效解決土體侵蝕和塊石流失問題，且具備促淤效果。

拋石間隙扦插萌芽枝條及木樁，或在水流相對平穩的溪段內，將大型樹木殘枝規則地放置在石塊之間，也可以依賴自然修復能力，在拋石縫隙間形成野生植被。當萌芽枝條生長後形成植被，既可消散水流能量，減緩流速，促進攜帶營養物的泥砂淤積，樹木殘枝及拋石縫隙也可為魚類及其他野生動物提供多樣性的棲息地環境。

(三)箱籠護岸(Box Gabion revetment)：

係由箱籠及填充塊石堆疊而成的護岸，屬於重力式柔性結構，撓曲性較好，能適應比較大的岸坡不均勻沉陷，同時具有排水佳、多孔性、粗糙面等優點，適用於低流速、侵蝕嚴重、岸坡滲水多的緩坡溪岸，如表 工 2-6-1 之(5)所示。在降雨量大，地下水位高之溪岸地區，可利用其結構之高滲透性以利排水。耐沖刷性佳，形成粗糙化岸面，並且內外透水性良好，反濾層可防止土壤流失。由於有金屬線格網充填塊石直徑變化範圍可以較大，塊石間的孔隙能為溪流中的微生物、魚類及其他水生物提供一個優良的生態環境。

不過，箱籠結構雖不需特殊技術工，惟必須仰賴人工；另外，金屬線格網(wire mesh)雖採用鍍鋅(zinc-galvanized)，並在外層裹覆聚氯乙烯(PVC，Poly Vinyl Chloride)，加強保護，惟仍可能受填充石材或溪床質之碰撞摩擦而發生裂損腐蝕劣化。再者，結構其中一個組成單元的損壞，亦可能使石材漏失並形成大的孔洞，進而導致整體結構之潰散。

(四)土石籠護岸(Geotextile Bags Revetment)：

本工法係於箱籠或蛇籠網內襯織布袋，以現地粗、細顆料土砂回填，形成重力式柔性結構，因具有透水性及擋土特性，可以達到保護溪岸之效果，如表工 2-6-1 之(6)所示。

由於本工法構造簡單利於堆置及運搬，組裝調整快捷，施作時可依現況進行彈性調整，故適用於各種改善及防災工程，以及災害緊急搶修及偏遠地區之施工。另，使用野溪清疏土石作為土石籠袋內填土，達到土方平衡，減少棄土，並減少工程材料運輸及碳排；土石籠完工後之植生綠化效果顯著，袋體具透水性更兼顧隔離土石之優點，可恢復溪流水質的自淨能力，並營造有利於水岸之昆蟲、鳥類、魚類及其他水生物棲息環境，植被具有吸碳及固碳減碳之效用，具有顯著減碳之成效。

考慮現地土石回填夯實問題，加上載重後恐怕產生沉陷或造成結構不穩定，所以施工計畫應注意基礎夯實及穩定性，整體結構高度不宜超過 5.0 m。

(五)混凝土型框護岸：

以混凝土材料構築型框，並於框內填充石材及沃土，必要時可人為植栽草種或喬灌木營造自然景觀，如表 工 2-6-1 之(7)所示。本工法適用於岸坡規則、石料豐富、生態棲地維持需求、岸坡綠化需求之溪段，以及中高流速之溪流。

(六)加勁護岸(Geosynthetic-Wrap Around Revetment)：

回包式加勁護岸利用加勁格網與現地之土砂回填互制，就地整坡固灘，屬於重力式柔性結構，撓曲性較好，同時具有排水佳、多孔性、粗糙面、生態復育及減碳等優點，適用於固灘、護岸工程與災害地區邊坡穩固之功用，如表 工 2-6-1 之(8)所示。

本工法採用現地土砂，作為加勁護岸構造物背填土及面層抗沖蝕網袋內之填土，達到清疏土砂就近使用，減少土砂外運、運輸及碳排；加勁護岸牆面完工後之植生綠化效果顯著，兼具多孔性、粗糙面及恢復水質的自淨能力之優點，並有利於昆蟲、鳥類、魚類及其他水生物復育，讓區域生態環境逐步自主恢復，減少工程對於生態環境之破壞；另，牆面植生具有吸碳及固碳減碳之效用。惟考慮護岸下方或凹岸深槽的可能沖刷問題，宜依據現地條件設計不同型式之基礎工。

(七)地工沙腸袋護岸(Geotextile Tubes Revetment)：

地工沙腸袋護岸係利用現地土砂回填進大型管狀織布袋，形成大型護岸結構體，兼具降低溪岸水流侵蝕、穩固溪岸等優點，如表 工 2-6-之(9)所示。由於就地回填剩餘土方減少工程材料運輸及碳排放，降低工程對生態環境之破壞，且減少混凝土用量及整體工程之碳排放量。惟考量河溪漂流木可能破壞其表層，應依現地條件設計不同之表層保護工。

(八)生態槽護岸(Ecological Tank Revetment)：

本工法係運用預鑄槽體中空之設計，以現地野溪清疏後產生之土石就地回填，形成一重力式結構物。生態槽體以仿自然岩石之設計，粗糙面層構造具有消能、減緩水流速度之功用，同時兼具排水性佳與多孔性提供水中魚、蝦生物躲藏棲息空間，提供溪岸植物生長以及動物棲息之環境，如表 工 2-6-1 之(10)所示。。

運用清疏土石就地回填減少工程材料運輸及碳排放，減少工程對生態環境之破壞，採用預鑄中空多孔生態槽護岸，亦能降低混凝土使用量，達至減碳目標。生態槽面層開孔與槽體內中空特性，營造現地環境之生態性，多孔隙設計，提供區域植物生長與魚類一個優良棲息空間，讓區域生態環境逐步自主恢復。另，為防止土砂沖刷流失，生態槽應內襯不織布或土包袋以防止土砂沖刷流失。

總之，護岸生態工程技術模仿溪岸的自然規律，它所重建的近自然環境除了滿足以往強調的工程安全、土地保護、水土保持等功能，以及後來提倡的環境美化、休閒遊憩外，同時還兼顧維護各類生物適宜的棲息環境和生態景觀完整性的功能，使在工程安全和溪流生態維持之間獲得一較佳的平衡點。

2.6.4 圖說

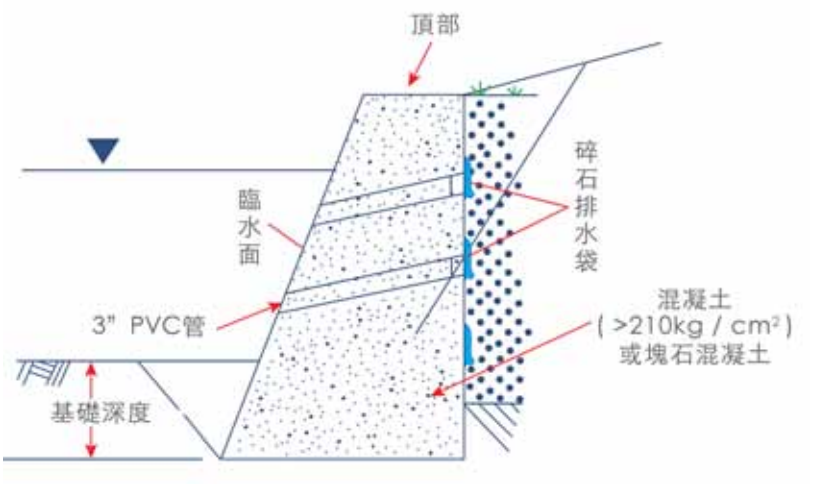


圖 工 2-6-1 混凝土護岸(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

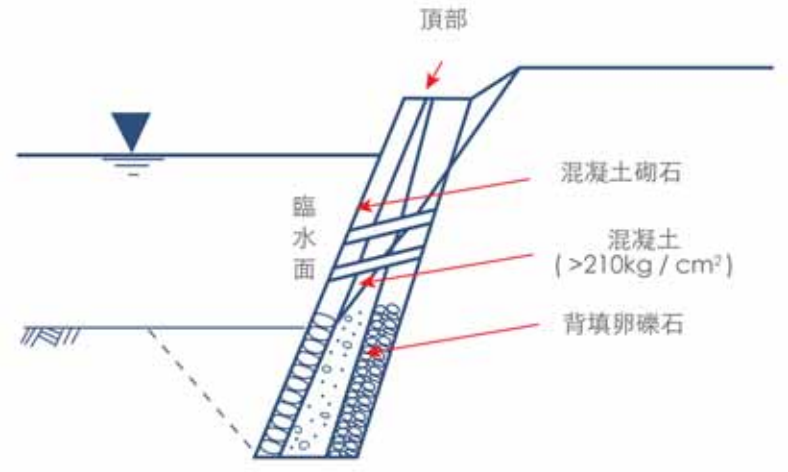


圖 工 2-6-2 混凝土砌石護岸(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

2.6.5 設計原則

以混凝土(鋼筋混凝土)護岸為對象，說明其相關設計參數，包括：

一、布置原則：

(一)適用於側向淘刷嚴重而致生溪岸崩塌之溪段，如彎曲段、水衝處、溪岸凹陷處等。

(二)溪流下游土砂堆積溪段，因流路高度不穩定，導致溪岸淘刷可能危及附近耕地或住戶區域。

(三)保護溪岸基腳，免於邊坡崩塌致生災害之溪段。

二、本體設計：

(一)護岸高度：

一般採用設計洪水位加出水高 0.6~ 1.0 m 為護岸高度，惟可視實際需要與地面同高。護岸設計洪水位之設計標準，係採重現期 50 年設計降雨強度為原則，其計算流程及方法可參考「基本資料調查與分析篇」3.1 及 3.2 之水文水理分析。

(二)臨水面坡度：

採用 1：0.2~ 0.3 為原則，砌石一般採用 1：0.3~ 1：1。

(三)基礎深度：

以設計溪床高度或現況溪床高度中較低者為準，其伸入溪床深度一般介於 1.0 m~ 2.0 m，或(1/3~1/4)H(H=護岸高度)，惟於凹岸處宜適當增加基礎深度。

(四)彎道超高：

彎曲段凹岸處因水面橫比降而導致水位超高時，其超高程度可依下列公式推估之，即

$$\Delta h = 2.3\frac{V^2}{g}\log(\frac{R_2}{R_1}) \qquad (2.6.1)$$

式中，Δh =超高(以溪床中心線設計高為準)(m)；V=流速(m⁄sec)；g=重力加速度(m/sec^2)；R_1=凸岸之曲率半徑(m)；R_2=凹岸之曲率半徑(m)。

(五)岸線：

起點應有穩固之地形或插入適當之岸內，終點應引導水流順岸流下或導離溪岸；凹岸處應延長至曲線終點以下。

(六)安定檢討除考慮水壓力外，餘與擋土牆相同。

2.6.6 防砂量推估

護岸旨在於保護溪岸及穩定坡腳，抑制溪流兩岸坡面之土砂流失，與防砂壩對於坡面土砂流失抑制功能一樣，如圖 工 2-6-3 所示。護岸對坡面土砂流失抑制量推估，可依式(2.1.51)推估土砂流失面積，其直接抑制量體則可依下式計算之，即

$$S_{VR} = \sum_{i=1}^{n} (\frac{A_i + A_{(i+1)}}{2}) \ell_i \quad (2.6.2)$$

$$且 L_R = \sum_{i=1}^{n} \ell_i \quad (2.6.3)$$

式中，A_i=第 i 斷面右岸(或左岸)可抑制崩塌面積；$A_{(i+1)}$=第(i+1)斷面右岸(或左岸)可抑制崩塌面積；ℓ_i=第 i 與(i+1)斷面之間距；L_R=護岸長度。另位於 BC 面以上至地表面間土體之穩定性，雖非直接由護岸保護，惟亦與護岸相關，屬於護岸間接抑制量體，其大小端視地形和地質狀況而定。

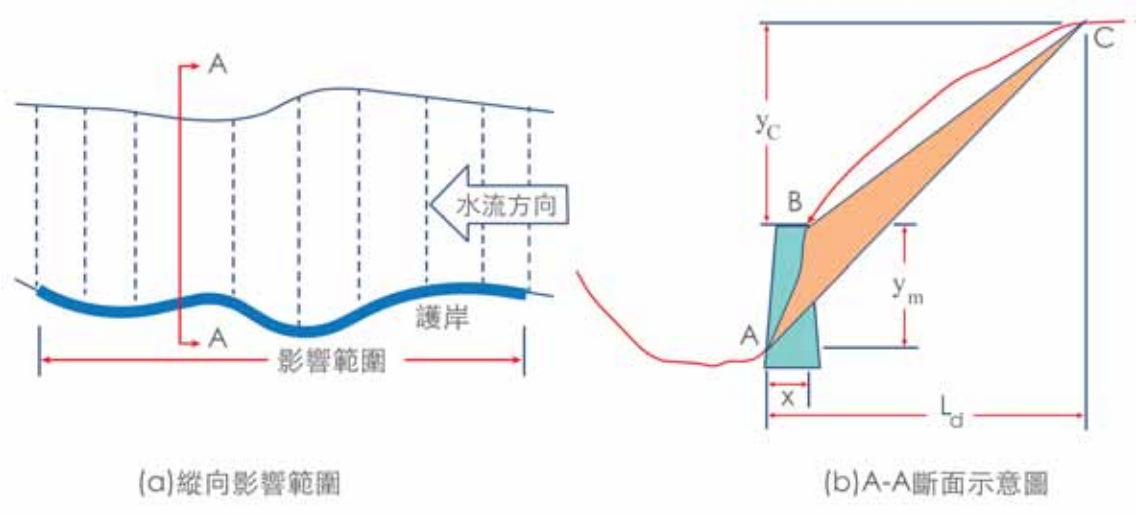


圖 工-2-6-3 護岸坡面土砂抑制量縱橫向範圍示意圖(資料來源：連惠邦，2017)

2.6.7 注意事項

一、於水衝段設置護岸時，水流會向下游移動，故需設計足夠的護岸長度。

二、在凹岸處，除了基腳應採用混凝土塊、蛇籠、潛壩等加強保護外，亦應考量水流超高問題，且宜適當加大溪幅。

三、橋梁或閘門等構造物上、下游因水流紊亂，其上、下游需布置相當長度的護岸。

四、採用混凝土塊、蛇籠等保護基腳時，不得與護岸坡腳固結。

五、岸頂背後填土應充分夯實並略高出岸頂，以免積水而增加背後壓力。

六、臨水面糙度宜盡量與溪床糙度一致。

七、新舊護岸宜注意其銜接面的平順，且如無其他特殊考量，採用的工法及材料亦須盡量一致。

八、部分仿自然護岸較無法抵禦水流的沖淘刷作用，設計時宜建置於設計洪水

位之上，可以避免受到水流的直接作用。

九、地下水豐富地區，於背填面應設過濾布或過濾層，以防止背填土流出，如圖 工 2-6-4 所示。

十、排水孔應每 2.0 m^2 至少設置直徑 ϕ 5 cm 以上之排水孔。排水孔位置以在出水高度以下且位於地下水位範圍為原則，而最下層排水孔應盡量接近地面。排水孔應外斜，並應考慮濾水設施。在滲透水量多或地下水位高之地區，則應在牆後置特別排水設施。

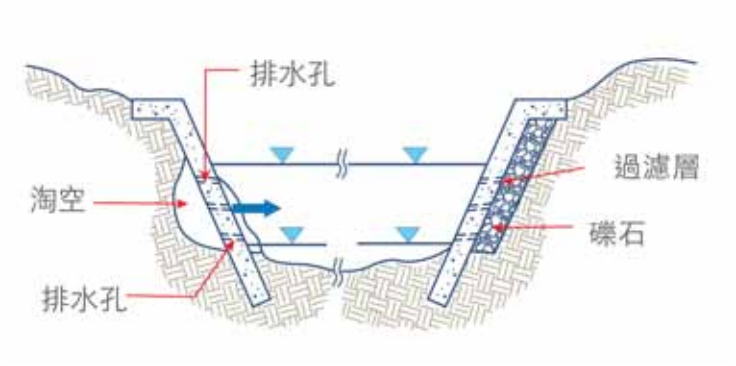


圖 工 2-6-4 背填面過濾層示意圖

2.6.8 參考文獻

GESM 永續綠色工程資訊網：http://www.gesm.com.tw/

行政院農業委員會水土保持局(2003)，「山地河川生態調查及棲地改善模式之建置」。

行政院農業委員會水土保持局(2011)，「土保持防砂工程防砂整備之推估與應用」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

2.7 整流工程

2.7.1 定義

整流工程(Regulation works on torrent)係指以導流及防止縱、橫向侵蝕為目的之一種溪流保護工程。一般，在溪流沖(淘)刷嚴重區段，採取縱向(如堤防或護岸)和橫向(如固床工、潛壩、丁壩或溪床保護工等)構造物，截長補短共同發揮抵禦水流對溪流斷面之變形作用。通常，整流工程係由單一或多種工法組合而成，兼具了縱向構造物保護溪岸免於被水流淘刷之功能，以及橫向構造物防止溪床沖刷下切之優點。

2.7.2 目的

整流工程依其目的而採用不同形式之縱、橫向構造物進行組合，其功能包括：

一、控制溪流縱、橫向侵蝕，防止兩岸崩塌及穩定溪床。

二、調整水流，降低溪床堆積物流出。

三、保護構造物基礎，免於沖刷而破壞。

四、降低水流流速，抑制溪流斷面變形。

2.7.3 種類與適用範圍

野溪坡陡水急，溪床縱、橫向變形相當激烈，其變形結果往往表現為大規模土砂災害，對山坡地周遭環境帶來極大之衝擊。為此採用護岸(或堤防)、固床工、丁壩等相關工程設施，控制減輕縱、橫向變形程度，已成為野溪治理的主要工法之一。

一般位於野溪上游陡坡溪段(接近溪流源頭區位)，因溪床下切嚴重，溪岸崩塌相當發達，屬於野溪土砂流失之主要料源區，故常施以系列防砂設施抑制土砂流失，降低土砂的生產和流出；這樣，當上游溪段經過系統性的治理之後，土砂流失和生產獲得了控制，流至下游的挾砂水流也逐漸從過飽和變為未飽和流況。此時，為了滿足水流挾砂需求，水流必須通過沖刷溪床或淘刷溪岸邊界獲得泥砂的補充，以調整水流挾砂量。不過，由於溪岸淘刷往往衍生邊坡土體的崩塌，使得部分溪段時而沖刷，時而淤積，水流流路變得擺盪多變，相當不穩定，於是在溪岸崩塌嚴重區段施以護岸設施，溪床沖刷下切嚴重區河段施以固床工，水流主流流路擺盪不定河段施以丁壩控制水流流向等，力求迅速恢復野溪的穩定狀態；然而，野溪自然條件千差萬別，任何一種工程防護措施都不是萬能的，也不可能一勞永逸的；護岸雖然防護溪岸免於淘刷崩塌，惟卻增加水流對溪床的沖刷強度；固床工能夠控制溪床下切，

但卻也提高水流對溪岸淘刷破壞之機率。由此可見，為了減緩上游防砂工程對下游溪床穩定之衝擊，綜合各種工程設施治理優勢的組合工法~ 整流工程，就變得相當重要了。

根據野溪縱、橫向侵蝕變形問題，整流工程可以有適當的組合配置，包括：

一、護床型整流工程：

護床型整流工程係以護岸(或堤防)及系列固床工組合而成，如圖 工 2-7-1(a)所示。本組合工法常用於坡度陡或水流流量較大之順直河段，或各類防砂設施下游，用以增加溪床阻力，抵抗水流沖刷。

二、消能型整流工程：

消能型整流工程係以護岸及系列潛壩組合而成，如圖 工 2-7-1(b)所示。本組合工法適用於坡度極陡、水流流量大且泥砂含量少的河段，利用跌水消能方式消減水流強烈之沖刷能力。

三、挑流護岸型整流工程：圖 工 2-7-1 各類型整流工程

挑流護岸型整流工程係以護岸及系列丁壩組合而成，如圖 工 2-7-1(c)所示。本組合工法特別針對流路經常發生偏流(橫流)而攻擊溪岸的區段，利用丁壩挑流改變水流方向，以達到保護溪岸之目的；不過，野溪因溪幅狹窄不利於設置丁壩，一般於溪幅寬度小於 30 m 者，不宜使用丁壩進行挑流護岸。



(a)護岸及固床工組合



(b)護岸及潛壩組合



(c)護岸及丁壩組合

圖 工 2-7-1 各類型整流工程

2.7.4 設計原則

整流工程設計宜以構築目的為考量，並對通洪斷面、順向及橫向構造物等之安全性和經濟性加以評估，使水流能安全通過，且不影響鄰近地區之水資源利用、逕流入滲、自然環境以及工程之維護管理，如圖 工 2-7-2 為整流工程之設計流程。

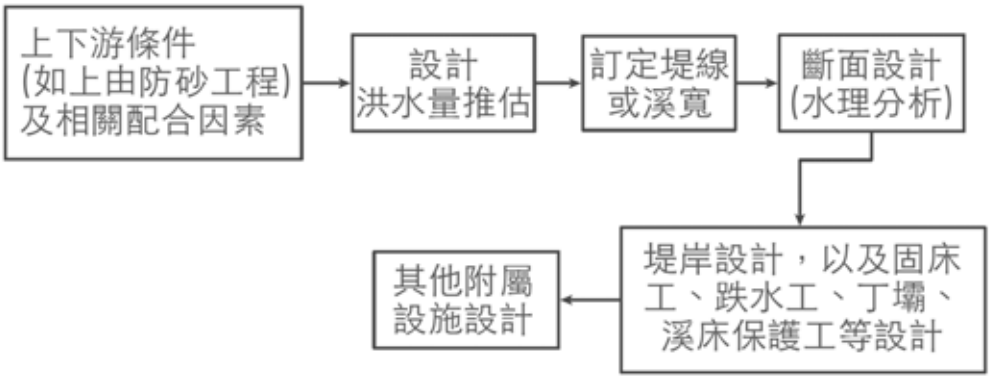


圖 工 2-7-2 整流工程設計流程圖

一、設計洪水量估算：

整流工程設計洪水量至少採用 50 年重現期設計降雨強度之清水流洪峰流量為原則。其中，集水區面積小於 1,000 ha 者，且無實測資料者，得採用合理化公式推估洪峰流量(Q_p)，惟集水區面積大於 1,000 ha 者，得採用修正三角形單位歷線推求洪峰流量。合理化公式及修正三角形單位歷線法之計算方式，參考「基本資料調查與分析篇」。

此外，考量實際洪水挾砂之影響，使清水流洪峰流量(Q_p)往往低於設計洪水量(Q_d)，故必須以水流中泥砂混合率予以修正，即

$$Q_d = (1+\alpha)Q_p \tag{2.7.1}$$

式中，α =水流中泥砂混合率，一般採用水流量之 5%~ 10%，最大值為 50%。

二、堤線訂定：

溪流已制定有水道治理計畫線者，依該線訂定；未制定水道治理計畫者，可依下式推估其設計溪流寬度，即

$$B_t = \beta Q_d^{1/2} \tag{2.7.2}$$

式中，B_t =理論溪流寬度(m)；β=係數，與集水區面積相關，如表 工 2-7-1 所示。以式(2.7.2)推估理論溪流寬度，僅能提供設計之參考，實際設計寬度宜再參照溪流線形、土地利用、工程用地等因素，加以調整修正。

表 工 2-7-1 理論溪寬係數參考表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

集水區面積 A (km^2)	β 值
$A \leqq 1$	2~3
$1 < A \leqq 10$	2~4
$10 < A \leqq 100$	3~5
$A > 100$	3~6

三、斷面設計：

排洪斷面設計係在已知溪床坡度、溪床質及溪流寬度等條件下，設計足以排除設計洪水量之斷面尺寸。一般，可依曼寧公式推估之，即

$$Q_d = \frac{A}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \tag{2.7.3}$$

式中，A=排洪斷面；S_o=溪床平均坡度；n=曼寧粗糙係數；R=水力半徑(=A/P；P=潤周長，即與水體接觸的周邊長度)。圖 工 2-7-3 為以矩形斷面為例，其水力半徑可表為

$$\mathrm{R} = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{2h + B} \tag{2.7.4}$$

當 B/h>5~10 時，上式水力半徑可以水深替代之，即R ≈ h。

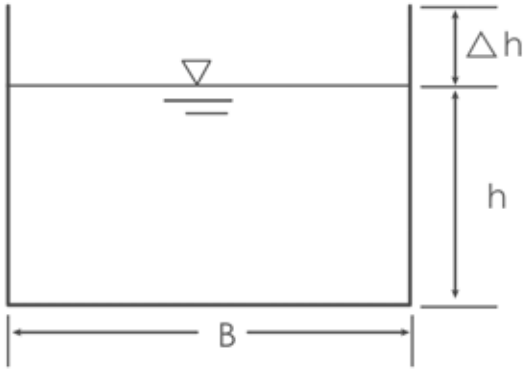


圖 工 2-7-3 矩形斷面示意圖

於主、支流合流點下游之溪流寬度，應考慮主，支流之情況決定之。一般可採用下列原則設計：

(一)當主、支流泥砂量少，且二者溪床坡度、設計洪水位高相近時(即主、支流之拖曳力相同)，合流點下游溪流寬度為主流及支流寬度之和，如圖 工 2-7-4(a)所示。

(二)當支流拖曳力大於主流時，或其底床高於主流時，為了避免合流點產生激烈的泥砂沖淤問題，合流點下游溪流寬度不宜大於主流與支流寬度之和，如圖 工 2-7-4(b)所示。

(三)當支流拖曳力小於主流時，為避免支流產生壅水回淤，造成支流排洪不易，宜將接近合流點之支流底床適當抬高。

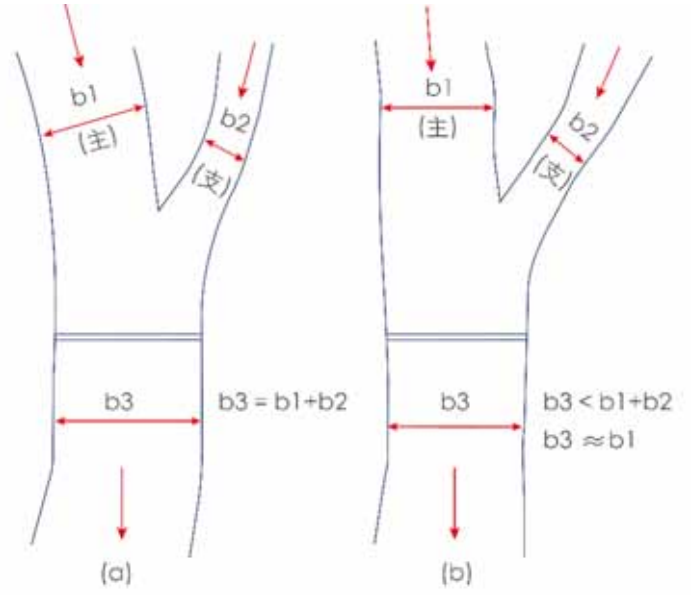


圖 工 2-7-4 主支流合流點下游河幅寬度示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

由式(2.7.3)推求設計洪水位之後，必須考量出水高，即兩側堤防或護岸高度為設計洪水位與出水高之和。其中，出水高可依據設計洪水量或溪床坡度推估之，如表 工 2-7-2 及表 工 2-7-3 所示

表 工 2-7-2 出水高參考值(資料來源：水土保持手冊，2005)

設計洪水量 Q_d (cms)	出水高 $\Delta h\,(m)$
$Q_d \le 200$	0.6 以上
$200 < Q_d \le 500$	0.8 以上
$Q_d > 500$	1.0 以上

表 工 2-7-3 溪床坡度與Δh/h之關係(資料來源：水土保持手冊，2005)

坡度	10%以上	10%~3.3%	3.3%~2%	2%~1.4%	1.4%~1%	1%~0.5%
$\Delta h / h$	0.5	0.4	0.3	0.25	0.2	0.1

四、彎曲段處理：

當於彎曲段構築整流工程時，宜優先加強凹岸基礎保護工。同時，適當放寬溪流寬度或加高位於凹岸處之護岸(或堤防)高度，如圖 工 2-7-5 所示，可表為

$$\Delta h = \frac{V^2}{g}\left(2.303 log \frac{R_2}{R_1} + \frac{0.0042}{h}\sqrt{\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}}\right) \quad (2.7.5)$$

式中，Δh=超高，即凹岸處高出靜水面之高度(m)；B=溪流寬度(m)；V=彎曲段水流平均速度(m/sec)；R=彎曲段野溪中心線之曲率半徑(m)；R_1、R_2=彎曲段凸岸及凹岸之曲率半徑(m)；h=水深(m)；g=重力加速度(m/sec^2)。

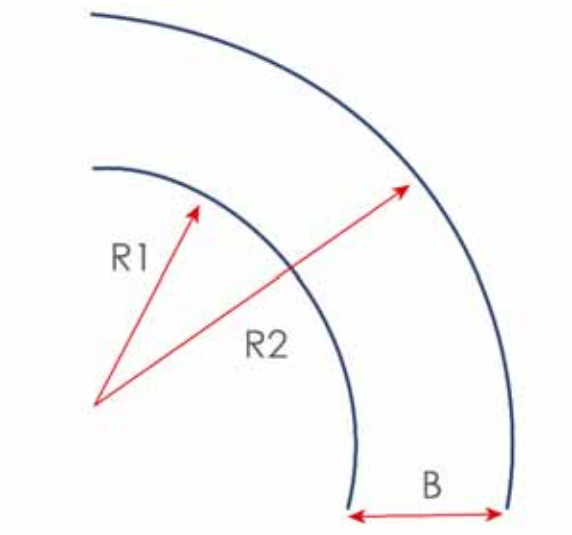


圖 工 2-7-5 彎曲段及其曲率半徑示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

從直線段進入彎曲段時，護岸或堤防加高漸變段長度(L)，可依下式計算，即(參見圖 工 2-7-6)

$$L = \frac{gR\Delta h}{V^2} \quad (2.7.6)$$

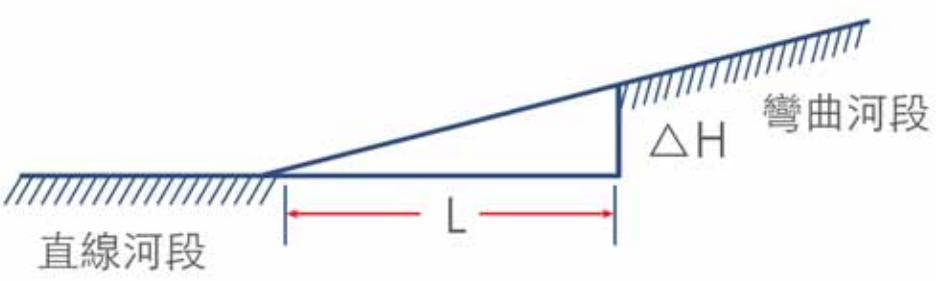


圖 工 2-7-6 護岸(或堤防)加高漸變段長度示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

特別說明得是，彎曲段如屬急速轉彎而呈 S 型時，不適用上述公式，需先調整堤線減緩彎曲度。倘彎曲段處地形容許時，可放寬溪流寬度約 10%~ 20%；又彎曲段夾角$\theta \leq 60°$ 時，曲率半徑與設計溪流寬度之比，宜介於 10~ 20 倍之間。

五、溪床保護工：

於橫向構造物下游處，以及橫向與縱向構造物銜接處應加強溪床保護，以防止局部沖刷而導致基礎裸露破壞。

(一) 混凝土襯底：

厚度 0.2~ 0.5 m，一般為 0.3 m，多塊石溪段應予以加厚，且襯底應加設透水孔，惟仍以盡量避免使用混凝土襯底方法為宜。

(二) 蛇籠：

以蛇籠鋪設溪床，適用於地下水滲出或塊石豐富河段。

(三) 混凝土塊：

使用各種混凝土塊體鋪設於溪床，形成護坦或基腳保護工，混凝土塊頂面應與設計溪床面齊平。

(四)鋪砌石或拋石。

六、系列橫向構造物布置：

各種橫向構造物，如防砂壩、固床工、丁壩等布置方式，可以直接參考系列防砂壩、固床工及丁壩等。溪床坡度大於 13°，溪幅較狹地區，水流超過安全流速時，溪底需保護或內襯。

2.7.5 注意事項

一、整流工程上游處宜有布設適當之防砂設施，此即「先防砂、後整流」之野溪整治概念。

二、整流工程下游地區須要有適當之保護或安全設施。

三、採用複式斷面時，其低水斷面宜採用不大於 5 年重現期設計降雨強度之洪峰流量進行設計。

四、應以原溪流通水斷面進行工程整治和配置，不宜隨意縮小，致使設計水位太大，而增加水流沖刷動能，突增毀岸破堤之風險。

五、原有溪流流路不宜隨意截彎取直或改道，以避免對下游溪床沖刷及加速逕流集中之衝擊。

六、整流工程之固床工、丁壩、潛壩等翼牆，應深入安定之溪岸或良好之岩盤為原則。

七、潛壩壩翼與護岸應平整，不宜突出。

八、整流工程起迄點須在良好岩盤或安定之溪段。

九、溪床不得封底，且不宜將床面粗大石礫隨意移除。

十、固床工方向宜與下游水流之流心線成直角。

十一、調查規劃時應注意工程附近之排水等公共設施， 工程施工中或完工後應不妨礙公共設施之原有功能。

十二、堤防或護岸背側填土應高於堤防或護岸頂。

十三、凹岸處，除了基礎應加深或設置保護工外，於現況許可下，亦可適當放寬溪幅。

2.7.6 參考文獻

中華民國，「水土保持技術規範」，2014 年 9 月 11 日修正。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.8 土壩

2.8.1 定義

土壩(Earth dam)係指於溪流或窪地選擇適當地點，利用當地土料、砂礫、石料或混和料等經過拋填、輾壓等方法填築而成，以攔蓄地表逕流之擋水構造物，為山坡地區域性水資源利用之重要設施之一。它的優點是對壩基的要求不太嚴格，只要有足夠的土砂和石料就可以構築，不過最大的顧慮在於必須要有一足以排洩洪水之溢洪道，才能確保不發生壩頂溢流破壞之災害。此外，泥砂淤積亦為土壩蓄水利用之主要隱憂。

2.8.2 功能

攔溪築壩形成小型水庫，藉以達到調節逕流，蓄積水源，來滿足水資源綜合利用之需求，是坡地水土保持之重要環節之一。

2.8.3 種類及適用範圍

輾壓式土壩依其構築方式可概分為均質土壩、心層土壩及非均質土壩等三種類型。

一、均質土壩：

壩體基本上係由一種具有黏性的壤土填築而成，不特別設置防滲設施，如圖工 2-8-1(a)所示。

二、心層土壩：

採用透水性及阻滑性較佳的砂或砂礫料填築壩體，而以防滲性較好的黏土或混凝土作不透水防滲帷幕，設於壩體剖面的中間部位，這種壩型稱為心層土壩，如圖 工 2-8-1(b)所示。心層土壩較均質土壩的剖面小，工程量也較小，且採用黏土方量占壩體總土方量的比重較小，施工受季節影響相對不大，惟其缺點是心層與壩體施工時必須同步進行，施工干擾大。

二、非均質土壩：

壩體由防滲體及若干透水性不同的土料分區構築，如圖 工 2-8-1(c)所示。按防滲心層位置的不同，本壩型可分為：(1)上游防滲型，土料透水性自上游向下游逐漸增大；及(2)中間防滲型，防滲體在中央，土料透水性自中央分別向上、下游逐漸增大。

由於土壩對地基要求低，施工技術較為簡單，能就地取材，故除了壩高以不超過 15m 為原則外，適用於溪床質粒徑小、壩基附近溪床具有不透水性，且取土容易之地區，可以節約大量的水泥、鋼材、木料等基本建設物資，符合節能減碳之生態意涵。

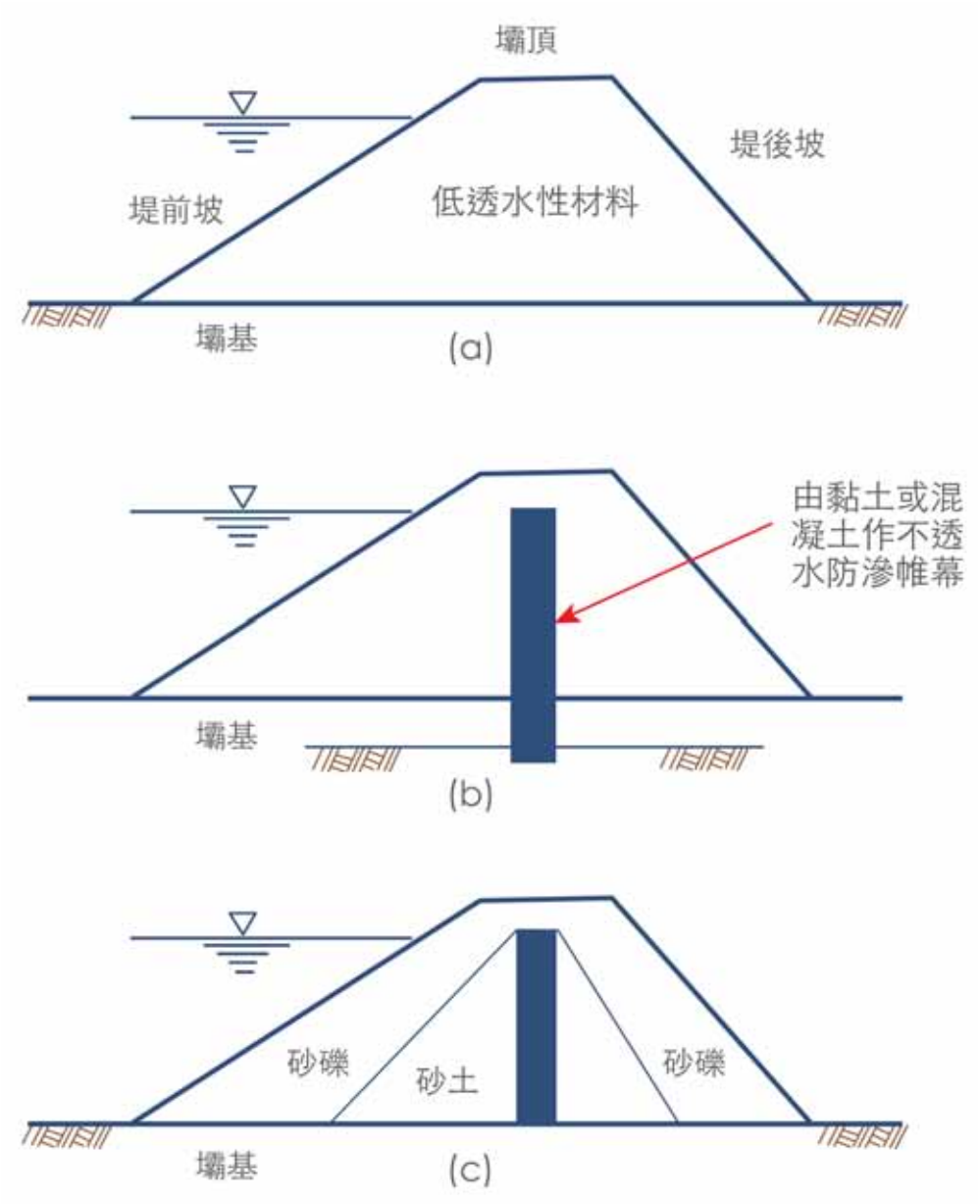
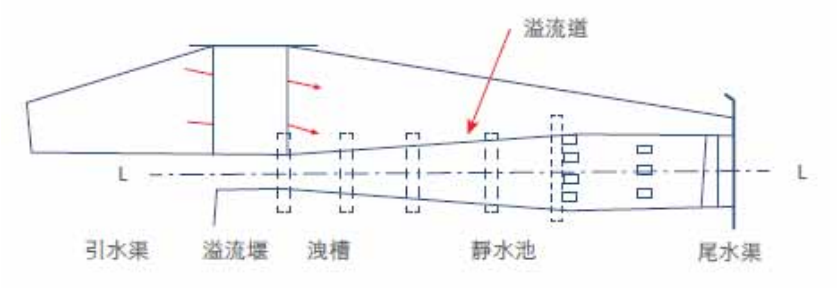
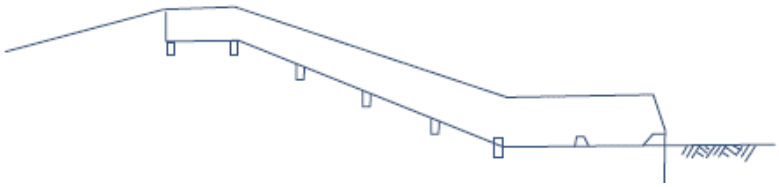


圖 工 2-8-1 土壩壩型

2.8.4 圖說



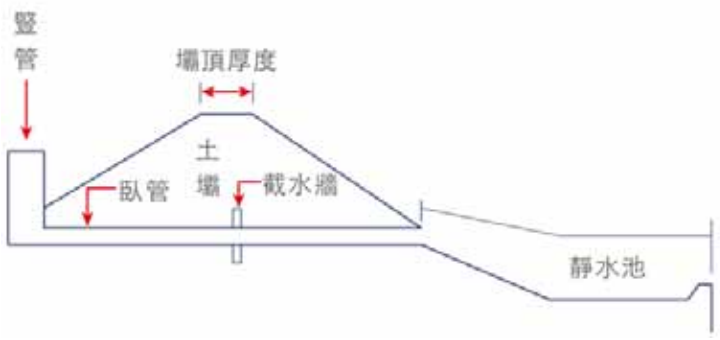
平面圖



L-L 斷面圖

圖 工 2-8-2 明渠式溢洪道土壩(資料來源：水土保持手冊，2005)

(a) 平面圖



(b) 斷面圖

圖 工 2-8-3 垂流涵洞式溢洪(資料來源：水土保持手冊，2005)

2.8.5 設計原則

土壩設計宜按照壩址附近土石料的分布狀況(土石料的種類、儲量、運距等)，以及地基條件選定適宜的壩型，然後在此基礎上擬定壩體的剖面尺寸及其構造設計。

一、築壩材料

築壩材料需具低壓縮性、高剪力強度、低透水性者為佳，包括：

(一) 適用於填築防滲心層及均質土壩的土料：

填築防滲心層及均質土壩的土料，壓實後應具有要求的抗剪強度與低滲透性能，並且最好是壓實容易、變形量小及塑性好。具體要求如下：

1.土料中按重量計的有機質含量應小於 1.0%，水溶鹽含量小於 3.0%。

2.填築心層土料應具有一定的可塑性，以適應不均勻沉陷，避免產生變形裂縫。一般塑性指數介於 7～20 的土料，較適宜作為防滲心層。

3.土料浸水或失水時的體積變化應較小，以防發生顯著的膨脹與收縮而致出現裂縫。

(二) 適用於填築壩殼的土石料：

填築壩殼的土石料應具有排水性能佳、抗剪強度高、易於壓實及抗震穩定性好等特點。

1.土石料中按重量計的有機質含量應小於 5.0%，水溶鹽含量小於 8.0%。

2.均勻的中、細砂及粉砂不易壓實，於振動荷載下容易液化，在地震區應盡量避免採用；雲母含量過多的風化砂難以壓實，在長期荷載作用下壓縮量大，浸水後還會產生顯著的膨脹現象，因此不宜用於築壩。

3.顆粒級配良好的中砂、粗砂、礫石卵石及其混合料皆屬較好的填築壩殼的材料。

二、斷面尺寸

(一)壩頂高程：

土壩是一種人為碾壓而成的散粒結構，其抗沖能力較低，一般不允許壩頂溢流，故壩頂高程為設計滿水位與出水高度之和，而出水高以 1.0～2.0 m 為原則。

(二)壩頂厚度：

壩頂厚度主要是根據交通搶險壩體高度和施工等因素來確定，一般需在 2.0 m 以上，若以機械施工持至少 2.5 m，壩頂如兼作道路時，其寬度應視需要酌增。

(三)壩面坡度：

上游壩面應緩於 1：3（垂直高：水平距），泥岩地區可用 1：2；下游壩面應緩於 1：2。

三、土壩構造

土壩構造主要包括壩頂、防滲心層、排水設施及護坡等四個部分。

(一) 壩頂構造：

壩頂上宜實施保護措施。若無交通要求，可用單層砌石或礫石保護，亦可採用植生保護，防止降雨逕流侵蝕。若壩頂兼作道路使用時，可以鋪設瀝青混凝土或其他材料。

(二) 防滲心層：

採用黏土或混凝土形成一個低滲透性的帷幕，以防止壩體滲漏。一般，土壩位於透水基礎時，防滲心層宜延伸至基礎內。

(三) 壩體排水設施：

土壩雖有防滲設施，惟仍有一定水量滲入壩體，如不及時排出，則會造成壩體內浸潤線升高，孔隙水壓增加，不利於壩體之穩定。常用的排水設施是於趾部堆石或用粗材料所構成的排水被覆，使得滲漏水在溝內匯集並從一安全的地方排出。

(四) 護坡：

為避免逕流沖刷及其他外力作用而損壞，壩體坡面須加以保護。一般，下游壩面須全面植生，上游壩面則自最高洪水位以上植生。最高水位以下得以拋石、砌石混凝土或生石灰混合土壤確實鋪面保護之（厚度 30 cm 以上）。

四、壩基處理

土壩填築前要清除表層腐植土及鬆動的土砂，例如較薄的細砂、稀泥、草皮、亂石及鬆動岩塊等，清除深度約為 10-30 cm。土壩防滲心層與壩基必須可靠地連接。當基礎為岩基時，應先對岩石表面的各種節理和裂縫進行適當的處理。

五、溢洪道設計

溢洪道分主溢道及緊急溢洪道兩種。主溢洪道可區分明渠式及垂流涵洞式。採用垂流涵洞式溢洪道者，應設置緊急溢洪道。溢洪道不得設置在鬆軟基礎上。主溢洪道以鋼筋混凝土或混凝土為主要材料。

(一) 主溢洪道採用 50 年一次頻率。緊急溢洪道採用 10 年一次頻率。

(二) 明渠式溢洪道：

可以建在基岩上，亦可建在土基上，但盡量建在岩基上，以提高溢洪道的安全性，減少工程量，如圖 工 2-26-2 所示。本式溢洪道係由引水渠、溢流堰、泄槽、靜水池及泄水渠等所組成。

1.引水渠：為使水流平順地進入溢洪道，通常將引水渠做成喇叭口形狀進口的人工渠道。引水渠的水頭損失要小，故流速不宜大於 3.0 m/sec。引水渠度面大多為梯形。

2.溢流堰：為水流控制段，大多採用寬頂堰的型式，大型土壩一般裝設閘門，中小型土壩也有不設閘門。

3.泄水槽：泄水槽底坡皆大於臨界坡降，槽內流速較大。泄槽縱坡因地制宜確定，在岩基上可以達到 1：1，在土基上最好不要陡於 1：3。橫斷面在岩基上常為矩形，在土基上以邊坡 1：1 的梯形為宜。

4.靜水池：或謂擴散消能段；泄槽出口一般須設擴散段，減少單寬流量，以利消能。可設挑流鼻坎或消力池進行消能。

5.尾水渠：係將排泄下來的水導引至下游溪流，其構造要求與一般渠道相同。

(三) 垂流涵洞式溢洪道：

1.豎管：進口形狀可為正方形、矩形、圓形、喇叭形等，高度以不超過 8.0 m 為原則，管徑入口流量可依依堰流公式計算。

2.臥管：形狀可分正方形、矩形、圓形、馬蹄形等，配合豎管形狀選定。長度依壩高及現場需要決定。臥管之斷面以 75%之流水斷面及 1～5%之坡度設計；臥管出口靜水與明渠式相同。此外，為減緩滲流之速度，臥管每隔 8～10 m 設置截水牆。

2.8.6 注意事項

一、詳細調查築壩附近重要公共設施及淹沒區。

二、取土場應有足夠築壩材料、交通方便，並應作好水土保持及注意公共安全。

三、壩基及兩岸腐殖土、樹根、雜草、風化表土等雜物應清除。

四、壩基及兩岸須挖掘至堅硬土層或岩層。岩層有裂隙時用灌漿等方法封塞之。

五、挖基時，若遇地下水，須設法排除，並以灌漿等方法封塞。

六、填土施工應分層填壓，每層厚度 30～50 cm，壓密度 90～95%。

七、容許沉陷量約為填土高度之 10%計。

八、截水壕應嵌入不透水層 30 cm 以上。

2.8.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.9 節制壩

2.9.1 定義

節制壩(small check dam)係指為抑止溝床及溝岸侵蝕，穩定蝕溝之橫向構造物。雖然節制壩外觀型式與防砂壩類似，惟因規模較小，且多採用就地取材方式構築，使得兩者在功能上存在一定的差異，不宜混淆。

2.9.2 目的

節制壩係以穩定蝕溝為主，其施設之主要目的有：

一、調整溝床降坡，減低水流之曳引力，防止溝床之縱向沖蝕，穩定溝身。

二、固定流路，防止側向侵蝕，保護溝岸。

三、攔阻泥砂，減緩下游泥砂災害之威脅，且能夠降低公共設施之維護費。

四、促進植物被覆，維持地力。

2.9.3 種類與適用範圍

依節制壩構築材料可區分為籬樁壩、樹枝壩、土袋壩、堆石壩、鉛絲網壩、木料壩、砌石壩、蛇籠壩、箱籠壩及預鑄混凝土板壩等類型，亦可概分為臨時性壩及一般性壩兩種類型，前者為促進植物生長初期所需溝身穩定之臨時性構造物，其特色為可就地取材、施工簡易、造價低廉，但壽命短、且需維護；後者為較長期性控制蝕溝之構造物，如表 工 2-9-1 所示。

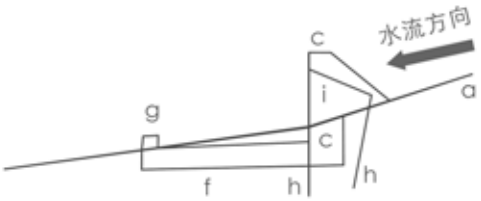
表 工 2-9-1 各類型節制壩及其適用範圍

類型			組成	適用範圍
臨時性	木料壩		用 φ15~ φ20 cm 木頭或 5 cm 以上厚木板橫排成壩。	1.促進植物生長初期所需溝身穩定，壽命在一年以下為原則，堆石壩可稍長。 2.可就地取材或取材容易，價廉且施工容易者。 3.壩高 1.0 m 以下為原則。 4.在多粗粒徑石塊之蝕溝，除堆石壩外均不適用。
	土袋壩		以尼龍肥料袋或麻袋裝土石，橫跨蝕溝重疊成壩，袋內亦可混草種或草根，促進植物生長。	
	樹枝壩		以一排或多排木樁固定枝梢成壩，可分單排樁橫排枝梢框及多排樁縱排枝梢式。	
	木樁籠壩		以木樁釘成籠形，其內拋卵塊石成壩。	
	鉛絲網壩		以鐵絲網繫於木樁成壩。	
	堆石壩		堆石或拋石於蝕溝中成壩。	
一般性	透水壩	乾砌石壩	以人工乾砌塊石成壩。	1.除混凝土格籠壩及預鑄混凝土板壩外，均為半永久性構造物，壽命以 6 年為限，並需加維護。 2.透水壩具撓屈性，適於地滑或潛在地滑地區。 3.壩高以 1.5 m 以下為原則，但混凝土格籠壩不受此限。 4.多粗粒徑石塊之蝕溝，除混凝土格籠壩及乾砌石壩外，均不適用。
		鉛絲籠壩	以鉛絲蛇型或箱型網籠橫鋪疊置成壩，其內填塊石。	
		籬樁壩	1.單籬壩：橫跨蝕溝釘一排鋼管樁或埋設一排水泥樁，並捆繫鉛絲網，中間拋填石塊成壩。 2.雙籬或多排樁柵壩：橫跨蝕溝設置兩排或兩排以上樁柵，間距 0.6~1.0 m，其上捆繫鉛絲網，中間拋填塊石成壩。	
		輪胎壩	以廢輪胎疊置成壩，其內以水泥或鋼樁固定並拋填石塊。	
		預鑄混凝土板壩	以預鑄混土板及混凝土柱裝併成壩。	
		混凝土格籠壩	以預鑄混凝土柱互聯結成方形籠，其內填排塊石成壩。	
	不透水壩	卵石混凝土壩	以混凝土砌塊石砌壩面,以卵石混凝土填心成壩體。	1.屬耐久性構造物，適於溝岸或下游有房舍或重要設施，需安全性高，低維護之構造物。 2.漿砌石壩及砌磚壩之壩高以低於 2.0 m 為宜；卵石混凝壩及混凝土壩不受此限。 3.在地滑或潛在地滑地區不宜採用。
		砌石壩	以混凝土砌塊石砌壩面，以卵石填心成壩體。	
		混凝土壩	以模板澆灌混凝土成壩。	
		砌磚壩	以紅磚為材料砌成之壩。	

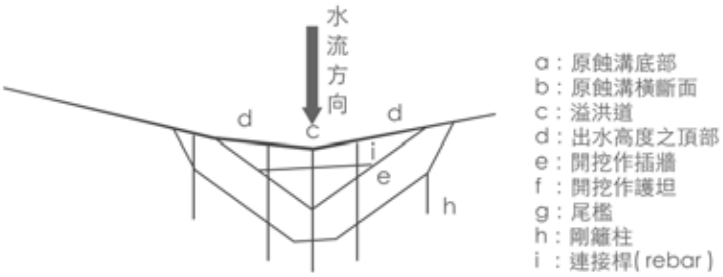
2.9.4 圖說

一、籬樁壩：

(一)單籬壩：



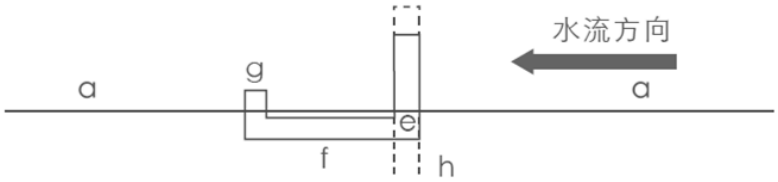
(a)側視圖



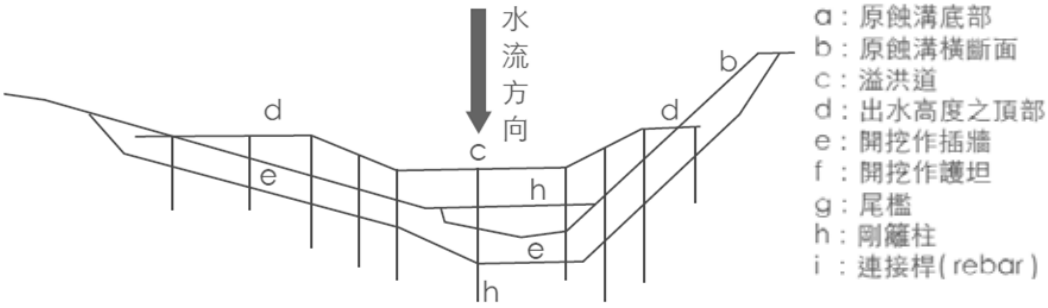
(b)正視圖

圖 工 2-9-1 單籬壩示意圖

(二)雙籬壩：



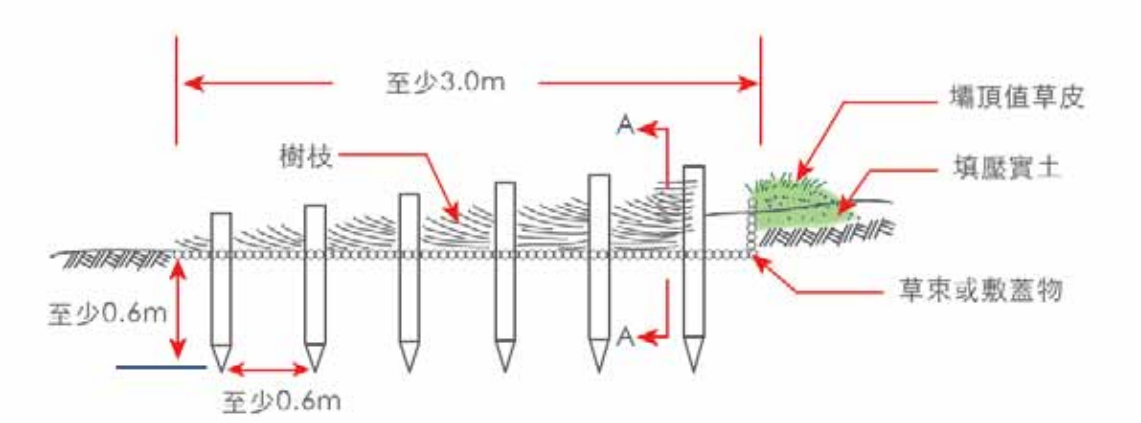
(a)側視圖



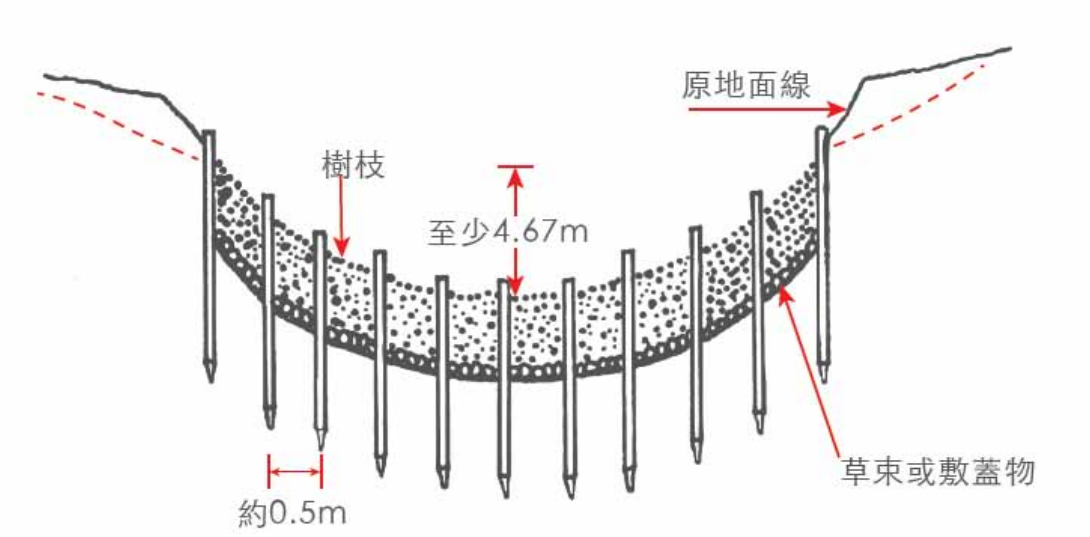
(b)正視圖

圖 工 2-9-2 雙籬壩示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(三)樹枝壩：



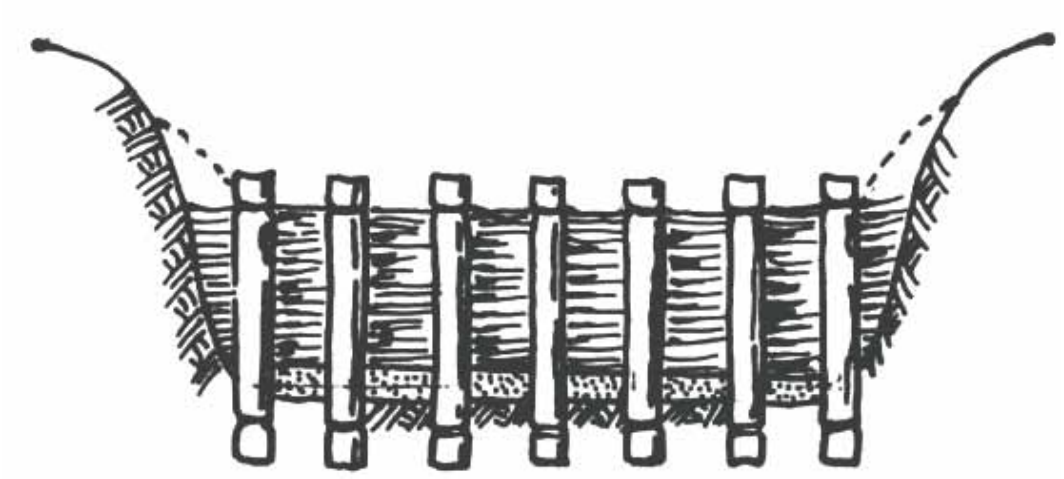
(a)正視圖



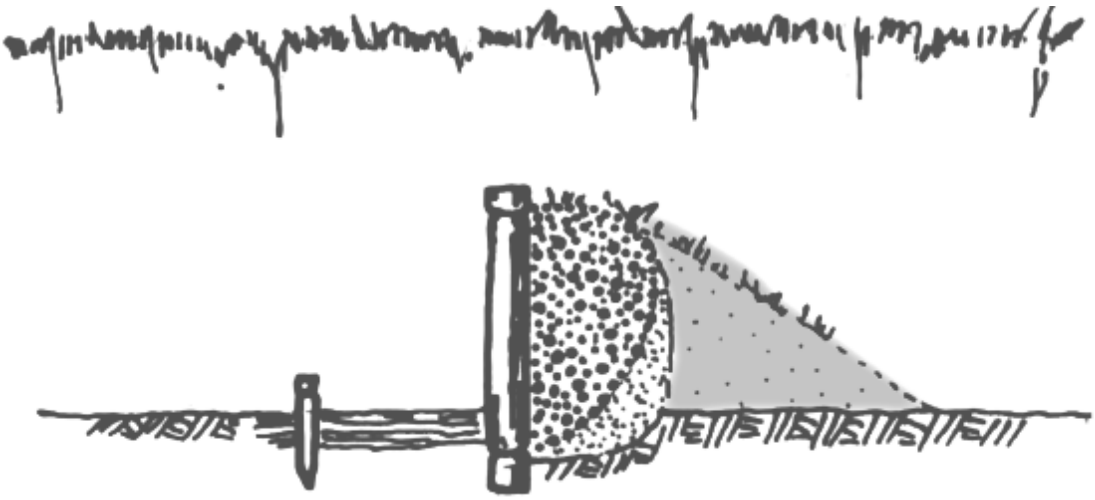
(b)A-A 斷面



圖 工 2-9-3 多椿縱排或樹枝壩示意圖(資料來源：水土保持手冊，2005)



(a)正視圖



(b)側視圖

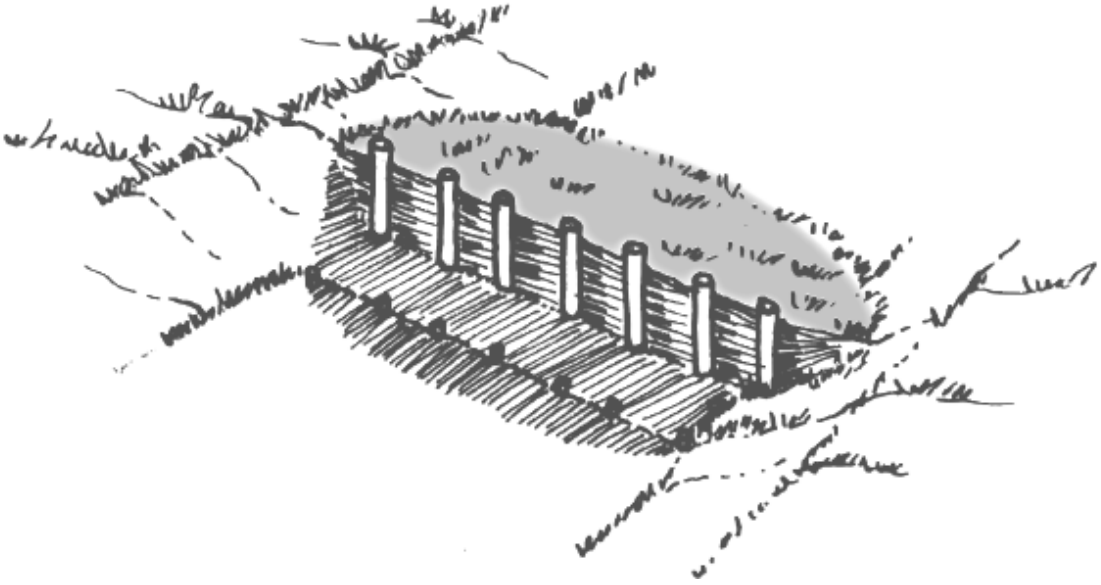


圖 工 2-9-4 單縱椿樹枝壩示意圖(資料來源：水土保持手冊，2005)

(四)土袋壩：

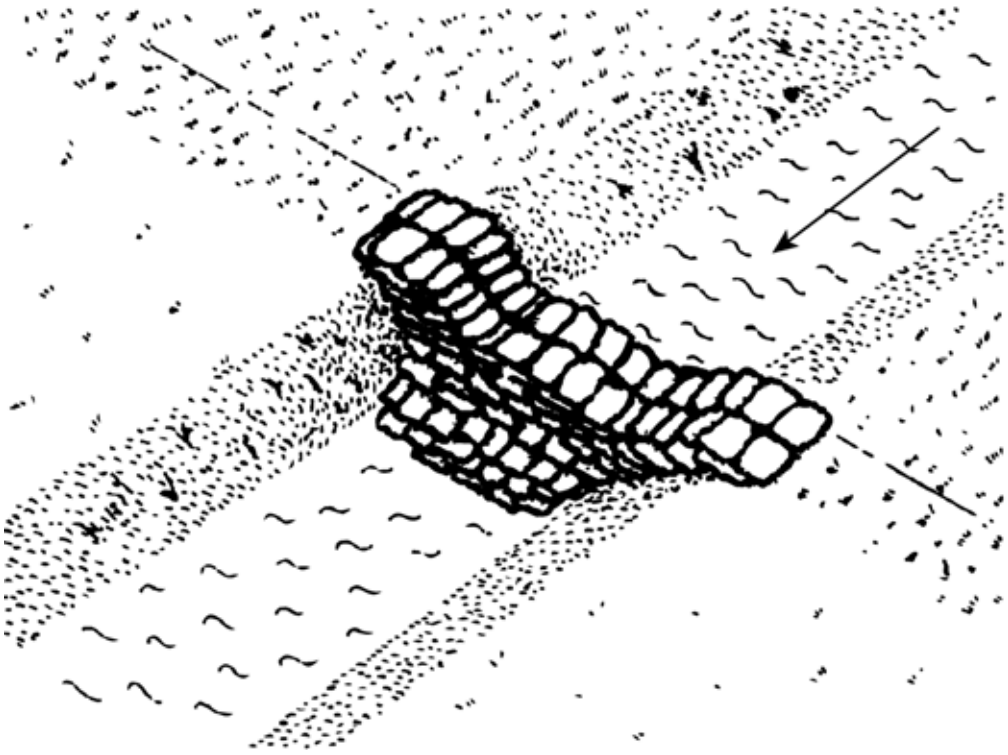
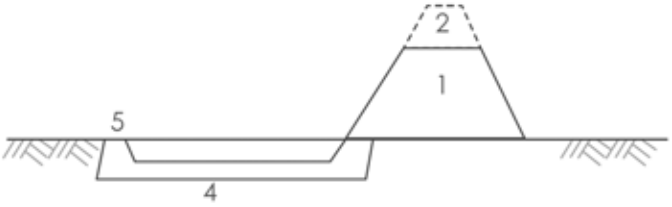
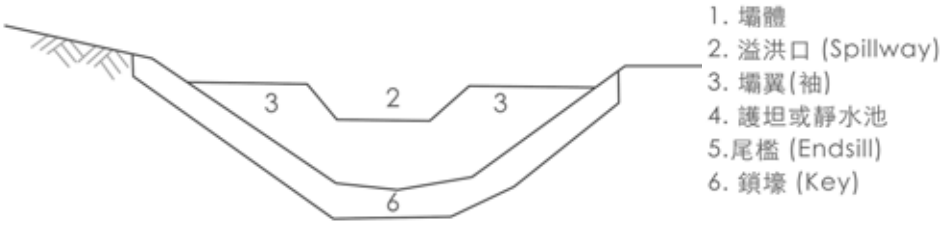


圖 工 2-9-5 土袋壩示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(五)堆石壩：



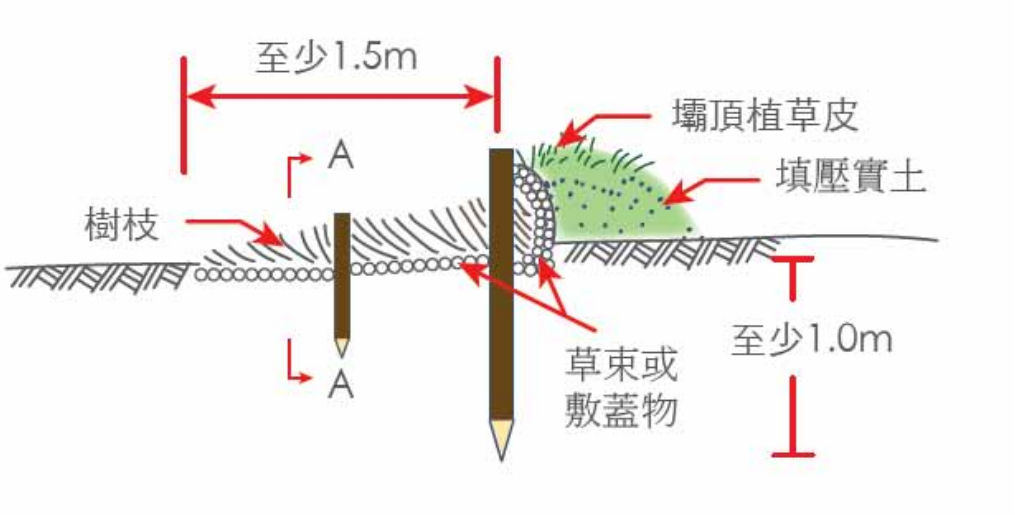
(a) 側視圖



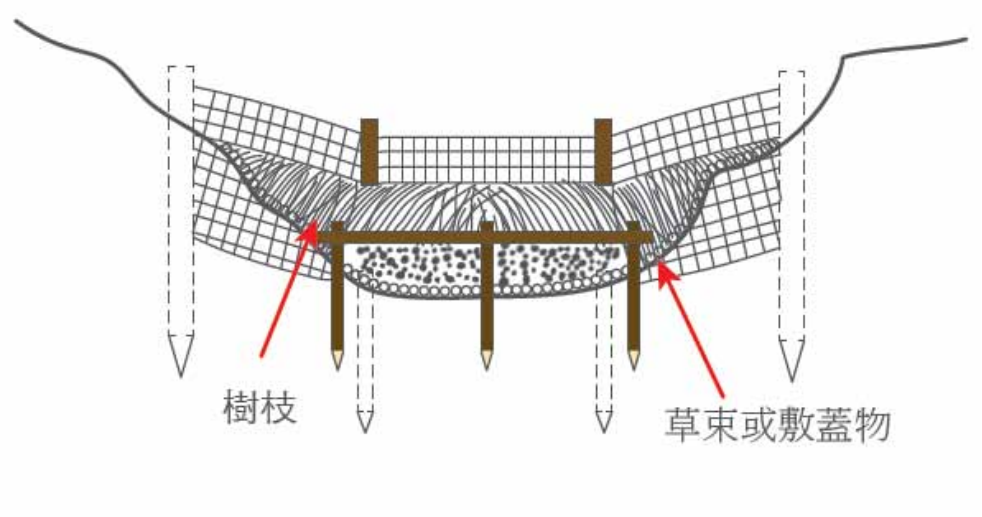
(b)正視圖

圖 工 2-9-6 堆石壩示意圖(資料來源：水土保持手冊，2005)

(六)鉛絲網壩：



(a)側視圖



(b)A-A 斷面

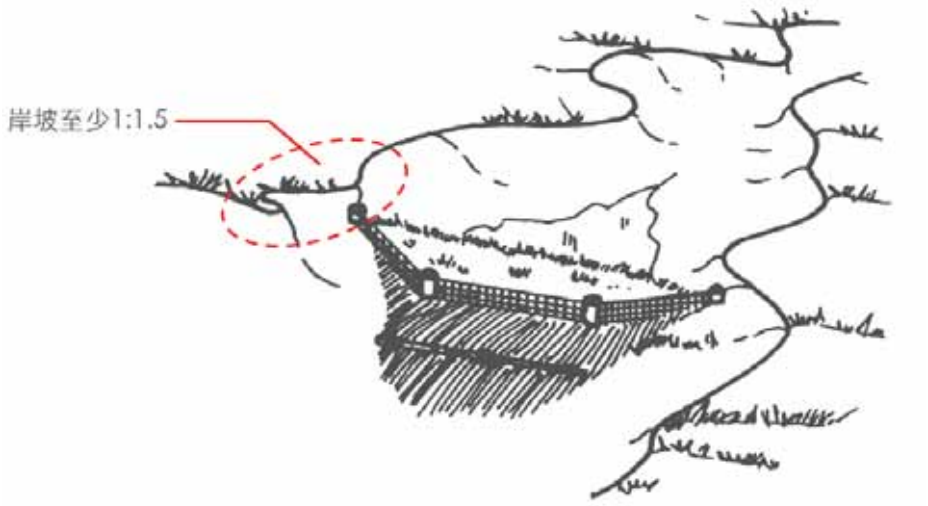
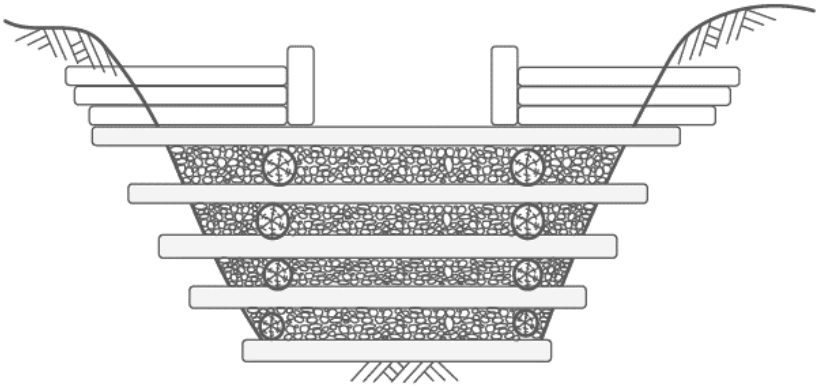


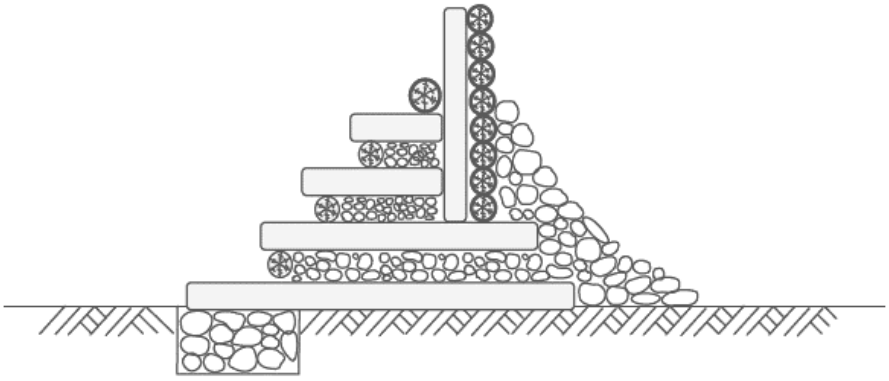
圖 工 2-9-7 鉛絲網壩示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(七)木料壩：

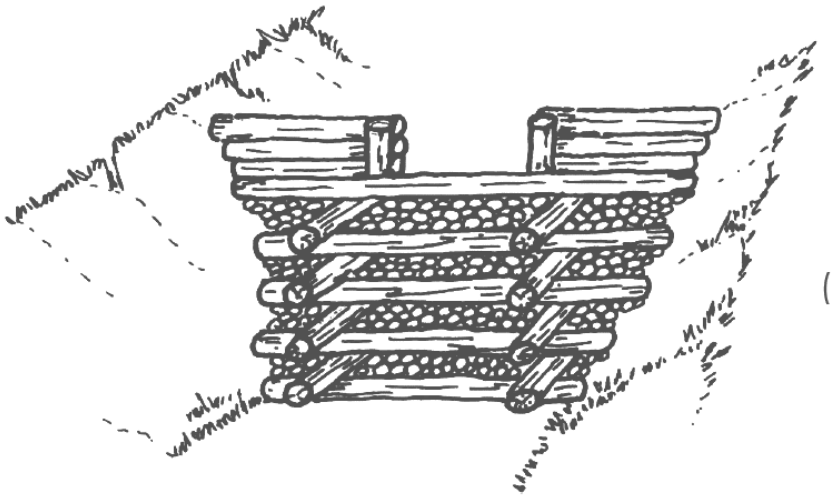
1.木格籠壩：



(a)正視圖



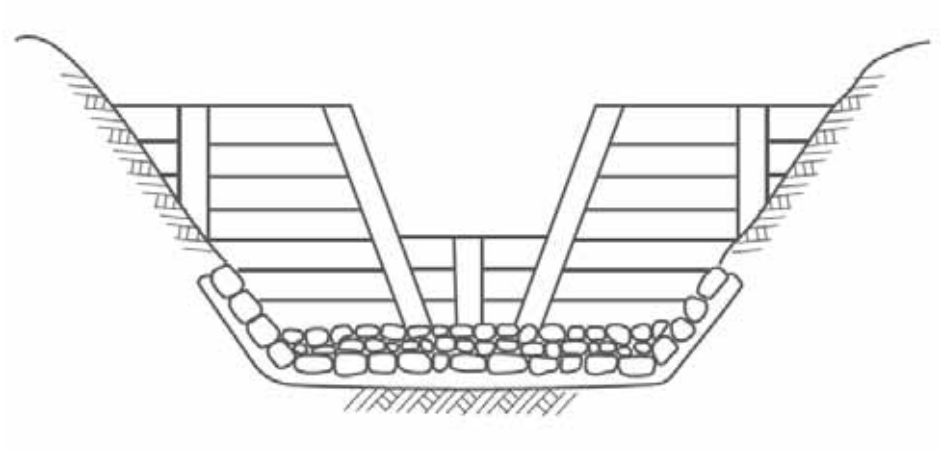
(b)側視圖



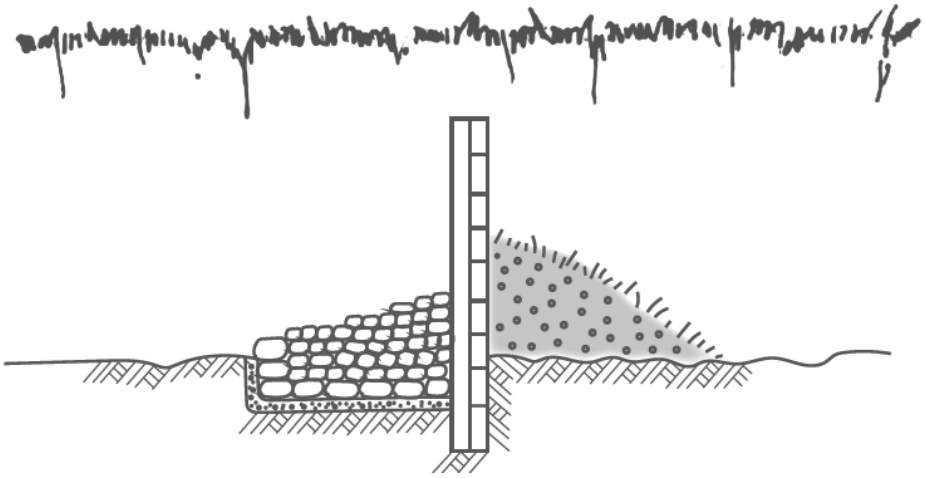
(c)透視圖

圖 工 2-9-8 石塊填充之圓木格籠壩示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

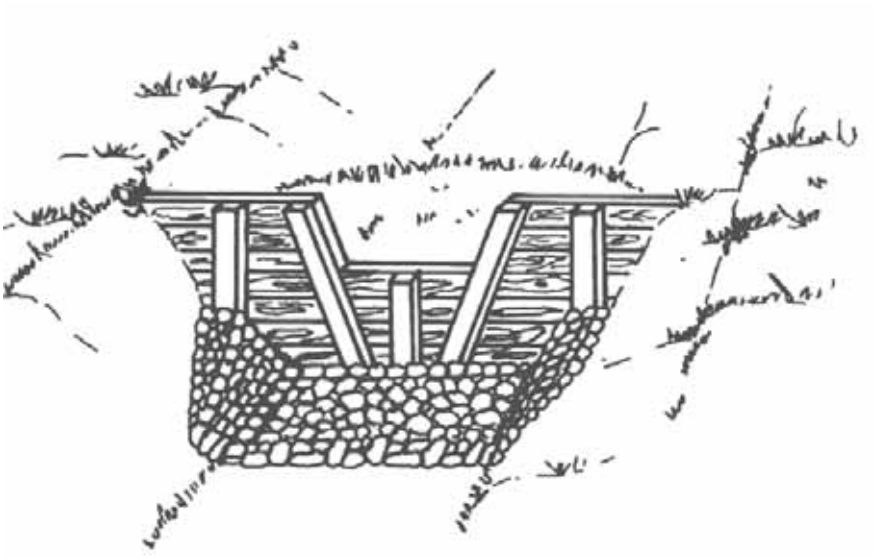
2.木板壩：



(a)正視圖



(b)側視圖



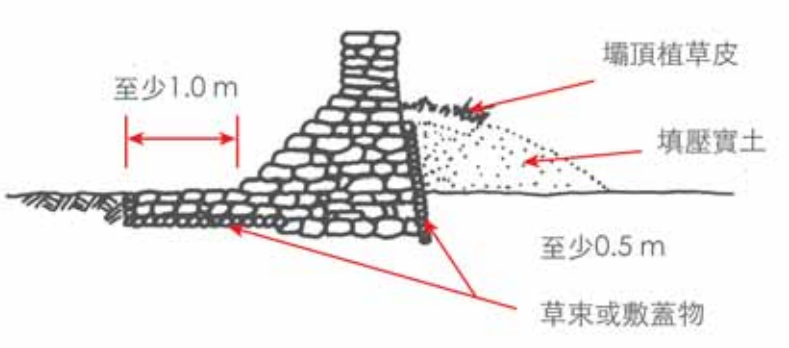
(c)透視圖

圖 工 2-9-9 具砌石護坦之木板壩示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

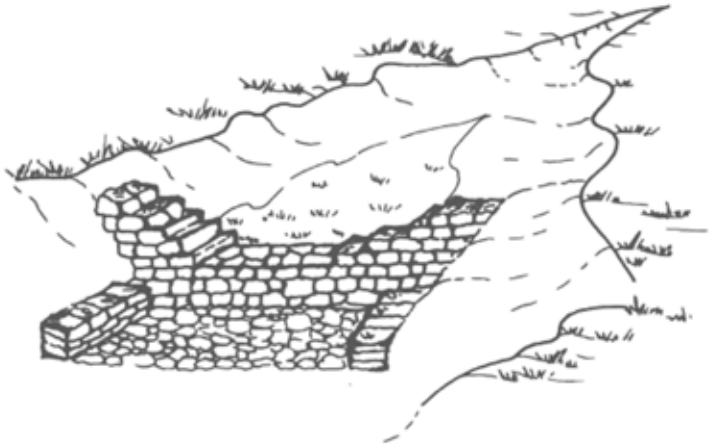
(八)砌石壩：



(a)正視圖



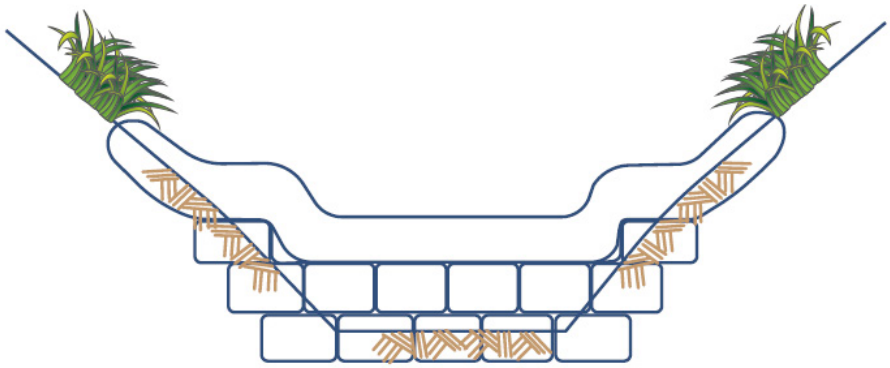
(b)側視圖



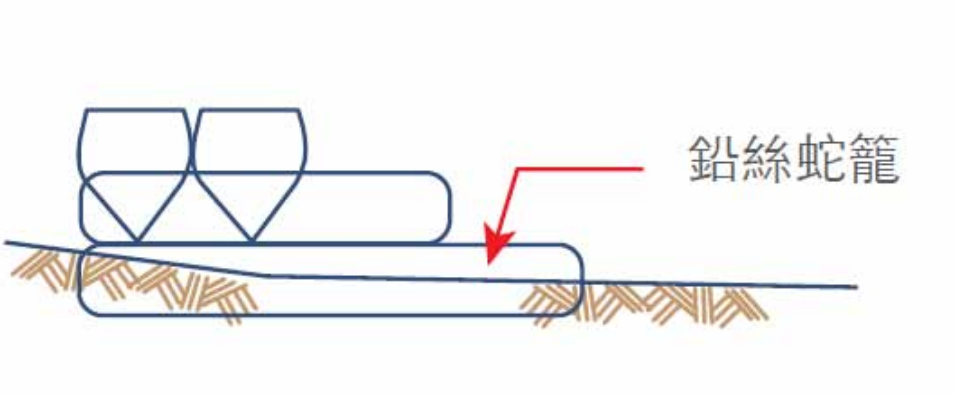
(c)透視圖

圖 工 2-9-10 砌石壩示意圖(資料來源：水土保持手冊，2005)

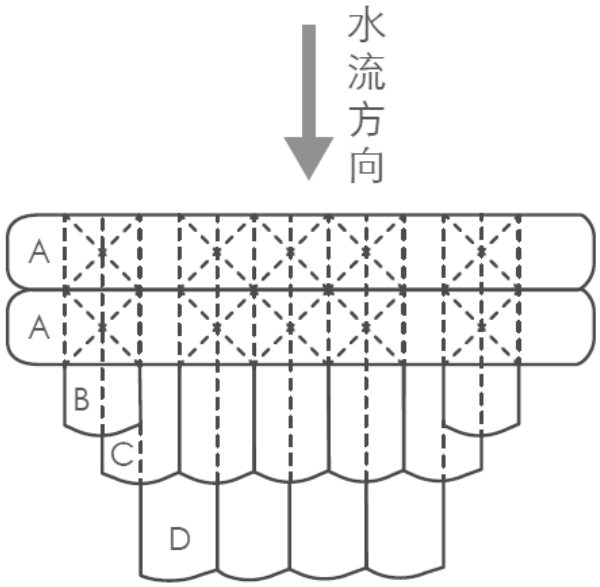
(九)蛇籠壩：



(a)正視圖



(b)側視圖



(c)上視圖

圖 工 2-9-11 蛇籠壩示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(十)箱籠壩：

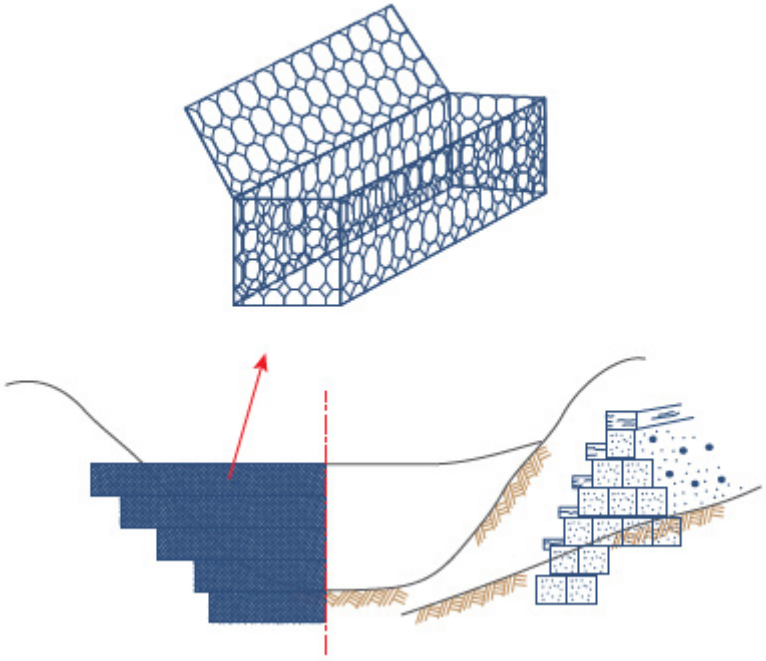


圖 工 2-9-12 箱籠壩示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(十一)預鑄混凝土板壩：

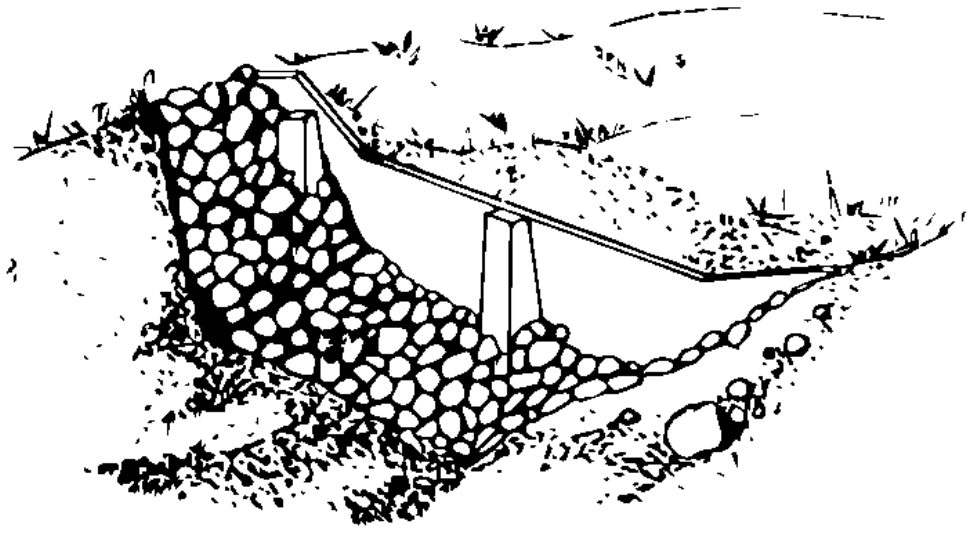


圖 工 2-9-13 預鑄混凝土板壩示意圖(資料來源：水土保持手冊，2005)

2.9.5 規劃設計原則

一、壩址選定：

(一)獨立壩壩址：

1.為鞏固崩塌地坡腳，或為防止溝床縱、橫向侵蝕者，以在其下游處設置為原則。

2.宜設置於蝕溝斷面較窄處為原則。

3.為避免興建後於下游產生沖刷或危及壩身之安全，壩址以在溝床及兩岸均為岩盤者為佳；系列壩之最下游壩址，宜選在兩岸地質良好或較安全處。

4.彎曲溝段盡量避免築壩，宜選在彎曲處下游。

(二)系列壩布置：

參照「2.1 節防砂壩」。惟計畫淤砂坡度採用原溝床降度之 0.5~ 0.7 倍，一般採用 0.5 倍。

二、壩高決定：

(一)依處理目的、蝕溝形狀、土質、地形、穩定性、工程費以及經濟效益而定。

(二)以採用低壩為原則，而建較高壩處可改以一連串之系列低壩替代。

(三)壩上游之淤砂高度，即自原溝床至溢洪口之高度，稱為有效壩高。最經濟之有效壩高，堆石壩約為 0.6 m；單籬壩約 0.7 m；雙籬壩約 1.1 m。

三、溢洪口斷面設計：

(一)壩軸方向：

1.直線段之壩軸應與洪水時流心線垂直。

2.壩址避免選在彎曲段。不得已時，壩軸應與洪水流心線之切線垂直，並加強壩翼之保護。

(二)形狀：

依壩之類型決定之，常用者有：

1.梯形：最常用，適於塊石混凝土壩、砌石壩、格籠壩等。

2.矩形：適於砌磚壩、箱籠壩、格籠壩、木石料壩等。

3.拋物線：適於樹枝壩、鉛絲網壩、籠樁壩、土袋壩等。

4.複式斷面形：適於不透水壩、壩址斷面寬大之蝕溝。

(三)斷面大小：

溢洪口斷面之大小，以能充分宣洩設計洪水量為準。

1.設計洪水量：耐久性壩採用 25 年重現期之降雨強度，臨時性可用 10 年重現期之降雨強度。

2.溢洪口寬度：在不使壩下游兩岸遭受沖刷原則下，盡量參照下游溝床寬度設計。

3.溢洪口高度：溢流水深與出水高之和。

4.出水高：以 0.3~ 1.0 m 為宜。

5.在有枯枝雜物砂石堵塞之虞者，其斷面應比原設計斷面加大。

(四)斷面計算：

先決定斷面形狀，再利用下列堰流公式，以試算法計算其排洪量，直到與設計洪水量(Q_d)相等或稍大 5%以下，則為適當之設計。

$$Q_d = 0.354 b_u (2 + 3\chi) h^{1.5} \quad (2.9.1)$$

式中，Q_d=設計洪水量(cms)；b_u=溢洪口斷面頂寬(m)；h=溢流水深(m)；χ =無因次寬度因子，可表為

$$\chi = \frac{b_o}{b_u} \quad (2.9.2)$$

式中，b_o=溢洪口斷面底寬(m)。當溢洪口斷面為矩形時，$\chi = 1.0$；當溢洪口斷面為三角形時，$\chi = 0$，且$b_u = 2htan(\alpha/2)$ (α =三角形夾角)。

四、壩頂厚度：

壩頂厚度依壩體種類、材料、溝床粒徑、安全性等決定，一般可參考表 工 2-9-2 所示。

表 工 2-9-2 壩頂厚度參考值(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

壩型	重力式壩	砌磚壩	格籠壩	鉛絲籠壩	堆石壩	拋石壩
壩頂厚度(m)	採 0.8 倍溢流水深以上，且不小於 60cm	$3b_o$~$4b_o$	1.0~ 2.0	1.0~ 1.5	1.0~ 2.0	1.5~ 2.0

五、壩體邊坡斜率：

(一)下游面採較陡斜率，以防溢流砂石之沖擊磨損。

(二)較長之壩體，非溢流部份可採上游面陡，而下游面緩，以減少壩體之體積。

(三)重力式壩下游面斜率介於 0.2~ 0.3，上游面斜率應以確保壩體安全之前提下，採取大於 0.45 為原則。

(四)堆石壩上、下游面斜率介於 1：1.25~ 1.50。

六、消能設施：

一般以靜水池(水墊)或護坦工程，以防壩體下游側遭過壩水流沖刷而危及壩體安全。

(一)護坦或靜水池長度之計算公式：

1.當蝕溝原有坡度≦15%時，L=1.5(H+h)。

2.當蝕溝原有坡度＞15%時，L=1.75(H+h)。

式中，L=護坦長度(m)；H=壩高(m)；h=溢流水深(m)。

(二)護坦厚度：

與溢流水質是否含砂石或大滾石，基盤及其本身有無水墊作用有關。其厚度應足以承受溢流水沖擊及護坦底面浮力之上揚作用，可用混凝土、塊石及蛇籠為護坦材料。混凝土及塊石之厚度參考表 工 2-9-3 所示：

表 工 2-9-3 護坦厚度參考值(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

壩高（m）	護坦材料	護坦厚度（m）
< 2	混凝土	0.20
2-3	混凝土	0.20-0.30
3-5	混凝土	0.30-0.50
< 2	拋或排塊石（直徑≧30 ㎝）	>0.30

七、尾檻：

(一)透水性壩如籬樁壩、堆石壩等尾檻高度可採 0.15~ 0.25 m。

(二)不透水壩可採用 0.2~ 0.6 m，視壩高、靜水池長度而定。

八、鎖壕：

(一)鎖壕係嵌入溝岸與溝底之橫向填石壕溝，以防水流淘刷壩底及兩岸，導致壩體塌陷損壞。籬樁壩、堆石壩、乾砌石壩、鉛絲籠壩、樹枝壩等透水壩均需設鎖壕。

(二)鎖壕寬度與深度通常為 0.6 m；在不穩定溝岸可增大至 1.2~ 1.8 m。

(三)壕內石材粒徑以 80%小於 14 cm 之混合卵石為宜。

九、透水壩石材選擇：

(一)石材為透水壩之主要原料，採用之石材宜選用堅硬不易風化之塊石，易於風化崩解之塊石不可採用。

(二)扁平及圓形石材不適於籬樁壩、堆石壩等透水壩。

(三)石材直徑一般不宜小於 10 cm，且所有石材 25%之粒徑應在 10~ 14 cm 等級內。

2.9.6 注意事項

一、盡量避免開闢施工便道，因挖填土易產生新的侵蝕問題。交通不便地區，盡量採用鄰近地區易於取得材料，或利用索道輸送材料及機具。

二、連續壩一般宜由溝口往上游施工。

三、挖出土石方除供回填外，應堆置於安全地區。

四、土方及構造物施工，應減少坡面及植生破壞。

五、土方工程宜於旱季施工。

六、施工時應配合兩側水土保持處理。

七、耐久性壩需設靜水池等消能設施。

八、宜採用鄰近地區易取得之材料，且施工簡易之方法。

2.9.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.10 擋土牆

2.10.1 定義

擋土牆(Retaining wall)為攔阻天然或填築之土石、砂礫及類似的粒狀物質所構築之構造物。

2.10.2 目的

一、維持兩高低不同地面的安定。

二、防止填土或開挖坡面之崩塌。

三、穩定邊坡，減少挖填土石方。

2.10.3 種類與適用範圍

一、三明治式擋土牆：

牆面為混凝土砌塊石，再背填混凝土及卵石。

二、懸臂式擋土牆：

以鋼筋混凝土灌成，適用於填方坡面。

三、重力式擋土牆：

(一) 卵石混凝土擋土牆：

以卵石混凝土灌成。

(二) 混凝土擋土牆：

以混凝土灌成。

四、半重力式擋土牆：

混凝土擋土牆內發生張應力部分以鋼筋加強者。

五、扶壁式擋土牆：

(一) 前支撐式擋土牆(buttress wall)：

以鋼筋混凝土鑄造，扶壁支撐在牆前，較不美觀，空間利用較少。

(二) 扶壁後撐式擋土牆(counterfort wall)：

以鋼筋混凝土鑄造，扶壁支撐在牆背，較常使用此類型，空間利用也較為乾淨，因為牆面不會看到牆背的扶壁。

六、疊式擋土牆：

(一) 蛇籠擋土牆：

以鉛絲編成蛇籠，裝填卵塊石疊築而成。

(二) 箱籠擋土牆：

以鉛絲編成箱籠，裝填塊石疊築而成。

(三) 格籠擋土牆：

由鋼筋混凝土桁條或木材組合成，框箱內疊砌卵塊石而成。

(四) 加勁擋土牆：

利用回填土壤作為背填材料及加勁材分層置於回填土壤之間，透過加勁材料與土壤間的摩擦力，使得土壤產生束制作用，以增加抗剪能力。國內較常使用地工織物、地工格網作為加勁材料之選擇，且應符合公共工程施工綱要規範「第 02838 章加勁擋土牆－地工合成加勁材」相關規定。

依加勁材料區分：

1. 金屬：金屬加勁材料有鈑條、鋼片、鋼筋、鋼棒等，應用於加勁土體時具有變形量小、強度大等優點。但其金屬性質容易受到土壤中的酸鹼作用而影響，進而產生腐蝕之現象，嚴重影響其耐久性及強度，近年來工程多改為耐久性、抗腐蝕性較高之鍍鋅金屬材料。
2. 非金屬：非金屬加勁材料以地工合成材料為主，其構造為聚合物纖維所組成，較常用為「地工織物」、「地工格網」。其性質敘述如下：

(1)地工織物：具有優良的抗腐蝕性、侵蝕能力且具有較高耐久性，惟紫外線會損傷聚合物纖維之結構，應避免其曝曬於陽光下。

(2)地工格網：相較於地工織物，具有較高之勁度，其網格孔徑較大，較適合具有較大顆粒之回填土壤。

七、板樁式擋土牆：

(一) 懸臂板樁擋土牆：

以鋼質或混凝土等材料之板樁打入地下而成。

(二) 錨繫板樁擋土牆：

板樁上緣以繫條連結錨座而成。

(三) 錨碇擋土牆：

鋼筋混凝土柱或板，每隔適當間距，以鋼索連結錨座，並施預力而成。

表 工 2-10-1 擋土牆使用範圍與高度建議表(資料來源：彙整自「水土保持手冊」，2005；行政院公共工程技術資料庫 02830 擋土牆，2007；行政院公共工程技術資料庫 2.4 護坡工程)

擋土牆種類	建議使用範圍	擋土牆有效高度之建議
1.三明治擋土牆	適用挖填坡面。	1. 開挖坡面有效高 4 m 以下。 2. 填方坡面有效高 2 m 以下。
2.懸臂式擋土牆	適用填方坡面。	有效高 8 公尺以下。
3.重力式擋土牆	適用挖填坡面。	1. 重力式擋土牆:有效高 4 m 以下。 2. 卵石混凝土、混凝土擋土牆:有效高 4 m 以下。
4.半重力式擋土牆	適用挖填坡面。	有效高 4 m 以下。
5.扶壁後撐式擋土牆	1. 適用於較高邊坡。 2. 前支撐式適用於挖填坡面。	有效高 8~10 m 以下。
6.扶壁前支撐式擋土牆	1.適用於較高邊坡。 2.前支撐式適用於挖填坡面。	有效高 8~10 m 以下。
7.蛇籠擋土牆	適用多滲透水坡面或基礎軟弱較不穩定之地區。	有效高 4 m 以下。
8.箱籠擋土牆	1. 大多以混凝土作為基礎台，並於台上設置箱籠，其多孔性有利於動植物之生長。 2. 常作為緊急修復之用，屬柔性結構，可抵抗較大之變形。	有效高 4 m 以下。
9.格籠擋土牆	1. 以預鑄之混凝土堆疊成框並內填卵石設於混凝土基礎台上，以達穩定邊坡之用。 2. 適用於急需排水之地區(如崩積土之護坡)。 3. 於格框間可加入該地之適生植物，以加速綠美化。 4. 適用於需緊急搶修之邊坡。	1. 以鋼筋混凝土為桁條材料者，有效高 6 m 以下。 2. 以木材為桁條材料者，有效高 3 m 以下。
10.加勁擋土牆	1. 適用高度填方坡面。 2. 坡面可植生綠化可容許適度之沉陷發生。	有效高 10 m 以下。
11.懸臂板樁擋土牆	1. 適用已發生災害之邊坡補強。 2. 適用高挖方邊坡。 3. 適用岩層破碎帶，節理發達之岩層或地滑地區。	挖方坡面有效高 5 m 以下之施工護牆。
12.錨繫板樁擋土牆		適用於 5~10 m 深之挖土施工護牆。
13.錨碇擋土牆		有效高 30 m 以下。

2.10.4 圖說

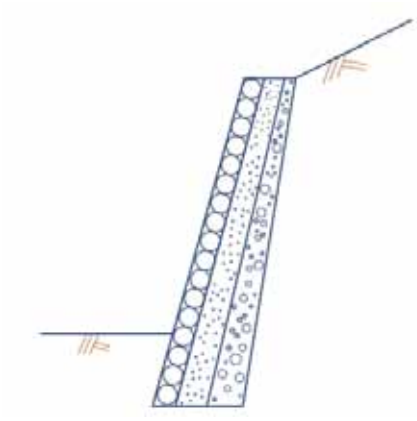


圖 工 2-10-1 三明治擋土牆

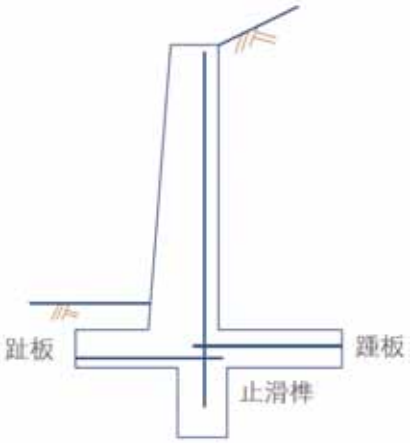


圖 工 2-10-2 懸臂式擋土牆

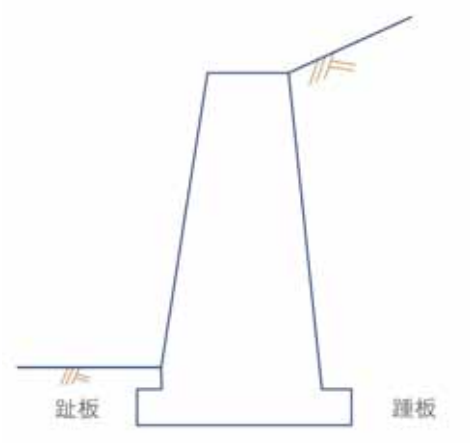


圖 工 2-10-3 重力式擋土牆

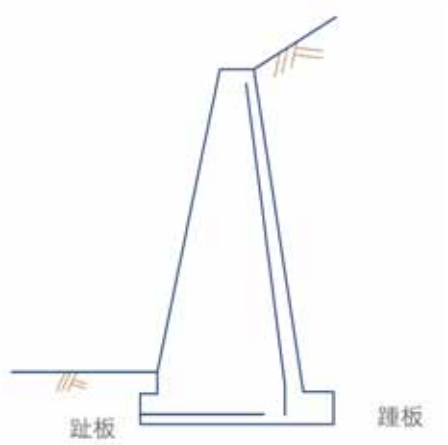


圖 工 2-10-4 半重力式擋土牆

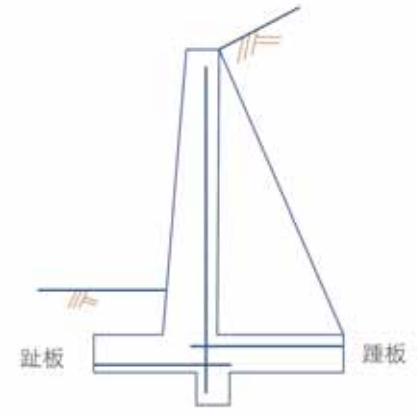


圖 工 2-10-5 扶壁後撐式擋土牆

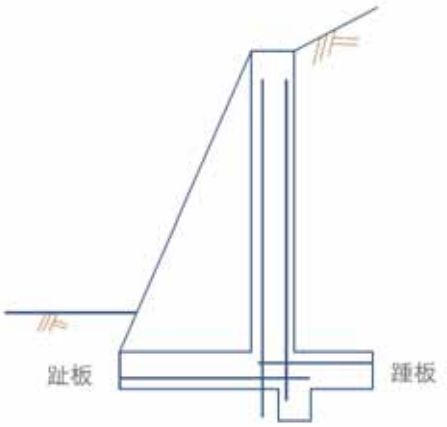


圖 工 2-10-6 扶壁前支撐式擋土牆

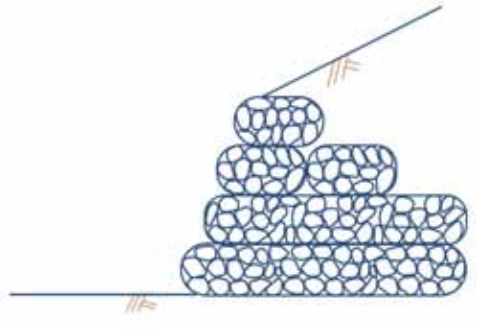


圖 工 2-10-7 蛇籠擋土牆

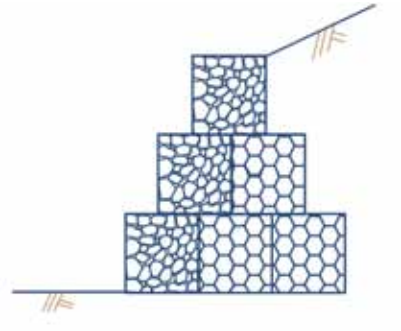


圖 工 2-10-8 箱籠擋土牆

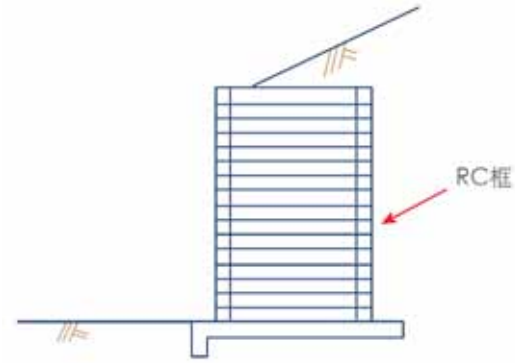


圖 工 2-10-9 格籠擋土牆

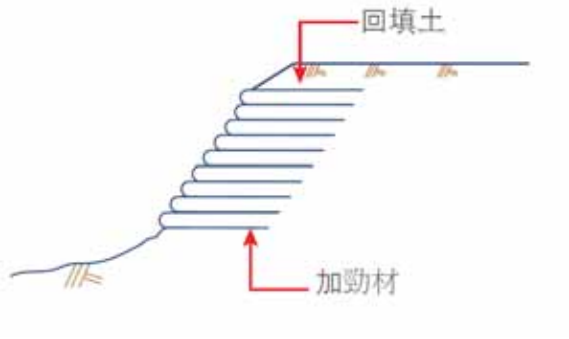


圖 工 2-10-10 加勁擋土牆



圖 工 2-10-11 懸臂板樁擋土牆

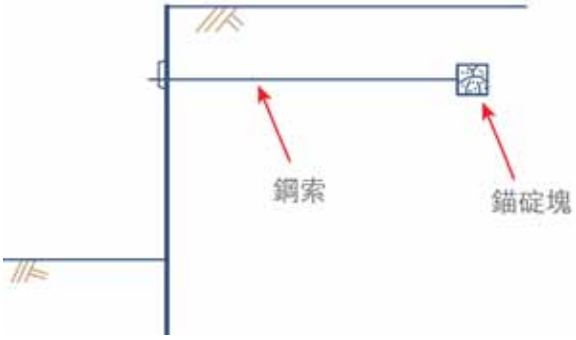


圖 工 2-10-12 錨繫板樁擋土牆

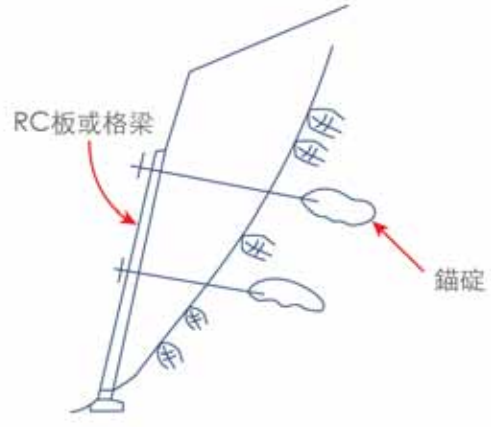


圖 工 2-10-13 錨碇擋土牆

2.10.4 規劃設計原則

一、擋土牆設計可參考下列各項準則設計。

(一) 滑動：

安全係數一般要求要大於 1.0，永久擋土牆建議安全係數長期情況 1.5 與地震情況 1.2。臨時性擋土牆建議安全係數長期情況 1.2 與地震情況 1.0，如表 工 2-10-2。混凝土與基礎土壤之摩擦係數估計值如表 工 2-10-3。

表 工 2-10-2 擋土牆滑動之建議安全係數表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

項目	對應情況	最小安全係數
永久擋土牆	常時	FS≧1.5
	地震時	FS≧1.2
臨時擋土牆(施工中)	常時	FS≧1.2
	地震時	FS≧1.0

表 工 2-10-3 混凝土與土壤間之摩擦係數估計值(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

物料	混凝土與土壤間之摩擦係數
堅固岩盤	0.70
卵石及粗砂	0.55 至0.60
乾砂	0.45 至0.55
濕細砂	0.30 至0.40
砂與粘土混合物	0.40 至0.50
粘土	0.30

(二) 傾倒：

擋土牆之穩定力矩必須大於傾倒力矩，且建議安全係數地震情況 1.5 與常時情況 2.0。合力作用點須合於下列之規定。

(三) 基礎壓力合力的偏心矩(e)，必須在下列限度內：

1. 岩盤基礎：合力作用點必須在基礎底寬的 1/2 中段內。即 e≦1/4d（d 為基礎底寬）。

2. 堅實土層基礎：合力作用點必須在基礎底寬的 1/3 中段內。即 e≦1/6d。

3. 容易壓縮的土層基礎：合力作用點必須在基礎底寬的 1/4 中段內。即 e≦1/8d，避免差異沉陷。

(四) 基礎承載力：

基礎趾端的土壤壓力 Pt 及踵端應力 Ph 必須在容許限度以內；且基礎承載力之建議安全係數應大於 2。牆身所受各種應力，必須在各種材料容許應力範圍內(依據 ACI 規範)。基礎容許承載力亦可依據地質調查結果，以下式計算：

$$q_a = \frac{q_{ult}}{F_s} \tag{2.10.1}$$

式中

F_s ：容許承載力安全係數

q_{ult} ：土壤極限承載力

q_a ：土壤容許承載力

極限承載力可利用 Terzaghi 基礎承載力公式或其它淺基礎承載力理論計算。以 Terzaghi 基礎極限承載力公式為例：

$$q_{ult} = c \times N_c + D_f \times \gamma_1 \times N_q + \frac{1}{2} \times B \times \gamma_2 \times N_\gamma \tag{2.10.2}$$

式中

c：土壤凝聚力

D_f：基礎埋入深度(m)

B ：基礎寬度(m)

γ_1：覆土之單位重

γ_2：基礎面土壤單位重

N_c，N_q，N_γ：承載力係數，對應於不同摩擦角。極限承載力計算時因應不同基礎形狀與深度，有各種形狀之基礎承載，作適當之形狀係數與深度係數之修正。

二、擋土牆所受各作用力：

(一) 牆身自重：

構築材料作用於斷面的重心上之單位重乘以斷面積而得。

(二) 土壓力的計算：

有主動土壓力、靜止土壓力及被動土壓力之分。主動土壓力與被動土壓力的計算有「庫倫(Coulomb)」及「郎金(Rankine)」兩種學說與計算方式，這些理論根據，都假定土壤不是黏性，故擋土牆回填土需以砂、礫石為之。

這兩種土壓力計算公式適用於兩種狀況：

1. 若牆背不為垂直或土壤與牆背間具有摩擦力，例如重力式及半重力式擋土牆，以「庫倫(Coulomb)公式」計算土壓力較適合。
2. 若牆背為垂直且為平滑面，例如懸臂式或扶臂式擋土牆則以「郎金(Rankine)公式」計算土壓力較適合。

(三) 主動土壓力：

擋土牆向外略為移動，其側向土壓力將減少。當側向土壓力減至最小時即為主動土壓力，牆背 h 深度處之單位面積被動土壓力 σ_A，可依式(2.10.3)計算，合力 Pa 可依式(2.10.4)計算，其合力作用點於基礎版底以上 1/3 擋土牆高度(H)處。

1. 庫倫(Coulomb)主動土壓力公式

$$\sigma_A = K_a \times \gamma_s \times h \tag{2.10.3}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_s \times H^2 \tag{2.10.4}$$

$$K_a = \frac{cos^2(\emptyset - \theta)}{cos^2\theta \cos(\delta + \theta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \emptyset)\sin(\emptyset - \alpha)}{\cos(\delta + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \tag{2.10.5}$$

式中

K_a：主動土壓力係數

Pa：主動土壓力(tf/m)

γ_s：顆粒土壤之單位重(tf/m^3)

h：擋土牆頂至欲求土壓力點之垂直深度(m)

H：擋土牆之高度(m)

∅：土壤內摩擦角

δ：擋土牆背面與土之摩擦角

α：上邊坡與水平面之夾角

θ：擋土牆之背面與垂線之夾角。背面垂直者 θ= 0°(如圖 工 2-10-14 a)、牆背外斜者 θ 為"－"(如圖 工 2-10-14 b)、牆背內斜者 θ 為"＋"(如圖 工 2-10-14 c)

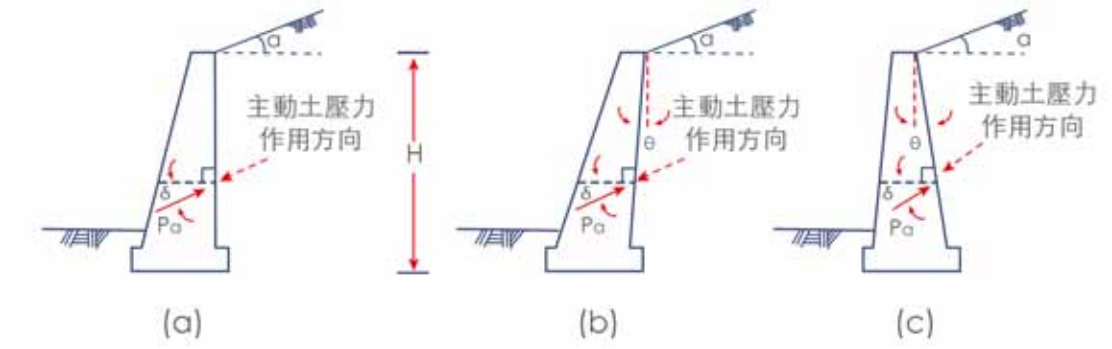


圖 工 2-10-14 擋土牆背夾角 θ 示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

2. 郎金(Rankine)主動土壓力公式

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_s \times H^2 \tag{2.10.6}$$

$$K_a = \frac{1 - sin\emptyset}{1 + sin\emptyset} = tan^2\left(45^\circ - \frac{\emptyset}{2}\right) \tag{2.10.7}$$

式中符號說明與式(2.10.3)~ (2.10.5)之符號說明相同。

(四) 被動土壓力：

擋土牆向內移動，以致牆背土壤發生剪力破壞，則該牆所受到的水平土壓力即為被動土壓力。

1. 庫倫(Coulomb)被動土壓力公式

$$P_p = \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma_s \times H^2 \tag{2.10.8}$$

$$K_p = \frac{cos^2(\emptyset + \theta)}{cos^2\theta\cos(\theta - \delta) \times \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \emptyset)\sin(\emptyset + \alpha)}{\cos(\theta - \delta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \quad (2.10.9)$$

式中

K_p：被動土壓力係數

P_p：被動土壓力(tf/m)

其餘符號說明與式(2.10.3)~ (2.10.5)之符號說明相同。

2. 郎金(Rankine)被動土壓力公式

$$P_p = \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma_s \times H^2 \quad (2.10.10)$$

$$K_p = \frac{1 + sin\emptyset}{1 - sin\emptyset} = tan^2\left(45^\circ + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad (2.10.11)$$

其餘符號說明與式(2.10.3)~ (2.10.5)之符號說明相同。

(五) 靜止土壓力係數 K_0：

加在靜止狀態擋土牆上之土壓力，砂性土壤一般可概估$K_0 \approx 1 - \sin\emptyset$。

(六) 地震力：

在有地震力之情況下擋土牆所受之主動力，可由物部與岡部公式求得：

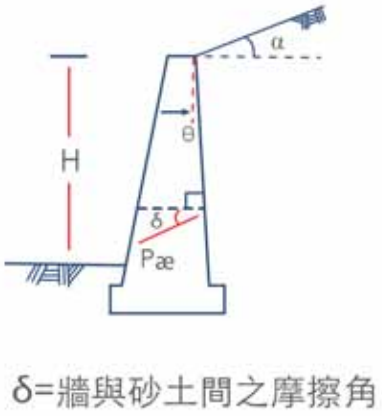


圖 工 2-10-15 牆與砂土間之摩擦角示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

1. 動態主動土壓力

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \times \gamma_s \times H^2 \times (1 - k_v) \times K_{ae} \quad (2.10.12)$$

$$K_{ae}=\frac{cos^2(\emptyset-\theta-\varphi)}{cos\varphi cos^2\theta cos(\delta+\theta+\varphi)\left\{1+\sqrt{\left[\frac{sin(\delta+\emptyset)\,sin(\emptyset-\varphi-\alpha)}{cos(\delta+\theta+\beta)\,cos(\theta-\alpha)}\right]}\right\}^2} \quad (2.10.13)$$

$$\varphi=\tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \quad (2.10.14)$$

式中

P_{ae}：每單位牆長度所受之主動力(tf/m)

K_{ae}：地震時之主動土壓力係數

k_h：水平向地震係數(原則上可取地表水平向尖峰加速度值之半估計)

k_v：垂直向地震係數(原則上可取地表垂直向尖峰加速度值之半估計)

尖峰加速度選擇，應參考設計年限某超越機率之地震危害度分析結果慎選之，可參考內政部「建築物耐震設計規範與解說」。特殊情況之尖峰加速度值估計，可參考內政部「建築物基礎構造設計規範」。

其餘符號說明與式(2.10.3)~ (2.10.5)之符號說明相同。

2. 動態被動土壓力

$$P_{pe}=\frac{1}{2}\times\gamma_s\times H^2\times(1-k_v)\times K_{pe} \quad (2.10.15)$$

$$K_{pe}=\frac{cos^2(\emptyset+\theta-\varphi)}{cos^2\theta cos\varphi cos(\delta-\theta+\varphi)\left\{1-\sqrt{\left[\frac{\sin(\delta+\emptyset)\sin(\emptyset-\varphi+\alpha)}{\cos(\delta-\theta+\varphi)\cos(\alpha-\theta)}\right]}\right\}^2} \quad (2.10.16)$$

$$\varphi=\tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \quad (2.10.17)$$

式中

P_{pe} ：每單位牆長度所受之被動力(tf/m)

K_{pe} ：地震時之被動土壓力係數

其餘符號說明與式(2.10.3)~ (2.10.5)之符號說明相同。

三、加載荷重：

作用於擋土牆背面之加載荷重，主要有建築物荷重之情況。製作壓力分佈圖時，加載荷重必須轉換為具有與該回填物料相同之等值載重，而高度為 h 的追加回填，如圖 工 2-10-16 a。此時之土壓力分為三角形（圖 工 2-10-16 b）與加載荷 H 土壓分佈之矩形（圖 工 2-10-16 c）等合計為梯形(圖 工 2-10-16 a)，其上寬為 P1 (相當於深度 h 的等值土壤載重壓力)，下寬為 P2(相當於在深度 H+h 處的等值土壤載重壓力)。

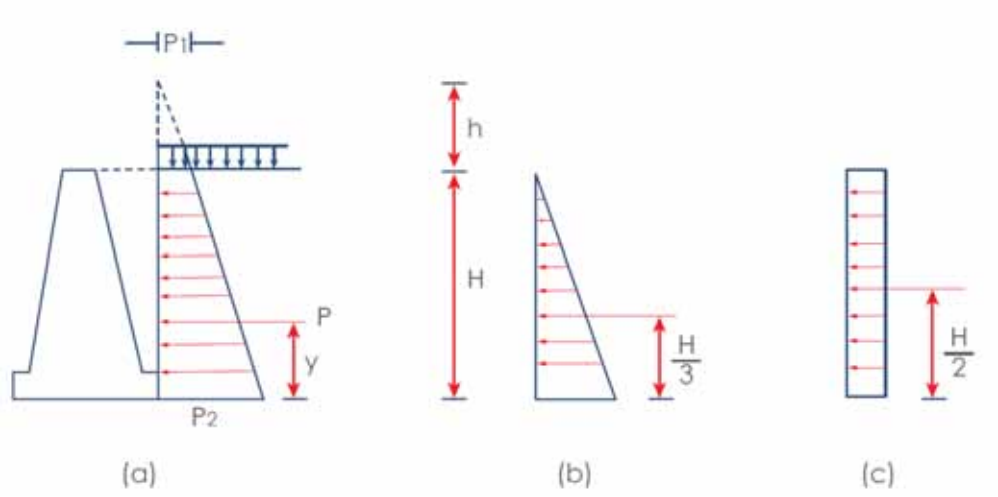


圖 工 2-10-16 加載荷重土壓分佈圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

總壓力

$$\mathrm{P} = (P_1 + P_2) \times \frac{H}{2}$$

即

$$\mathrm{P} = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_s \times H \times (H + 2h)$$

其作用點高度

$$\mathrm{y} = \frac{H}{3} \times \frac{H + 3h}{H + 2h}$$

一般回填土上之建築物等值加載以每平方公尺面積上承載之荷重 W，

換算為回填土同單位重之荷重高度而得，即

$$\mathrm{h} = \frac{W(t/m^2)}{\gamma_S(t/m^3)}$$

四、水壓：

一般擋土牆均設有排水孔，除了透水性較佳之疊式擋土牆等，原則上洩水孔應該於擋土牆底部開始設置洩水孔，由下往上設置到擋土牆頂下約 0.5 m 處，每 1.5~ 2 m^2 至少乙孔(直徑大於 5 cm 以上)，角度應外斜約 3~ 15 度，且牆背回填土均以透水性良好之砂、礫石為主。在滲透水充足或地下水位高的地區，牆背除土壓外，尚有高水位水壓，必要時增加面版高度 1/3 的水壓，一併考慮計算。

五、牆基礎的垂直壓力：

牆底所生的承載壓力，皆假定為直線變化，其形狀為矩形、三角形或梯形，以此壓力的合力 V，如圖 工 2-10-17，e 為作用點偏心距離。

(一) 合力 V 作用於牆底為等分佈應力，其大小為 q =V/B 如圖 工 2-10-17a。

(二) 垂直合力偏心$\mathrm{e} \le \frac{B}{6}$，應力分佈如圖 工 2-10-17b。

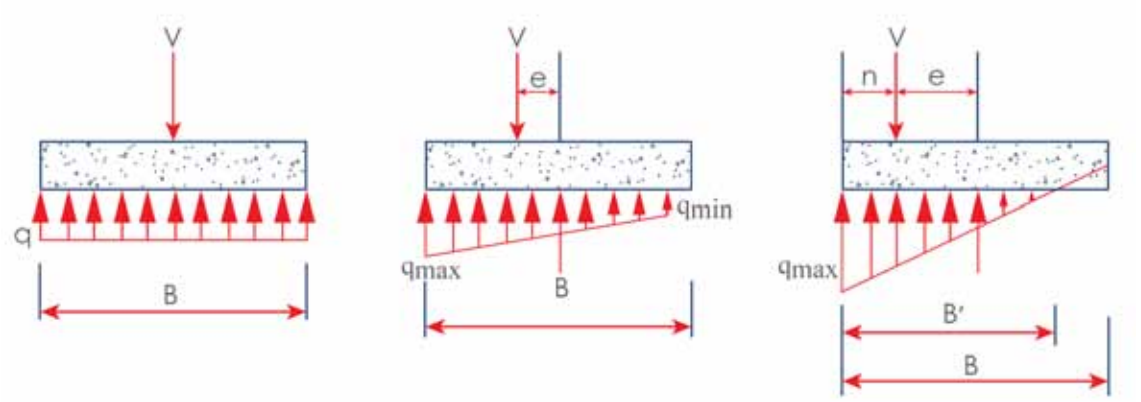
$$q_{max} = \frac{V}{B}(1 + \frac{6e}{B}) \tag{2.10.17}$$

$$q_{min} = \frac{V}{B}(1 - \frac{6e}{B}) \tag{2.10.18}$$

(三) 垂直合力偏心$\mathrm{e} > \frac{B}{6}$，此時q_{min}為負值，即產生張應力，由於土壤抗張強度極低，通常忽略不計。ΣFy=0，得$\mathrm{V} = \frac{1}{2}q_{max}B'$，反力的合力與 V 在同一線上，$B' = 3n$且$\mathrm{n} = \frac{B}{2} - e$。故應力分布如圖 工 2-10-17c。

$$\mathrm{V} = \frac{1}{2}q_{max}3n \tag{2.10.19}$$

$$q_{max} = \frac{2V}{3n} = \frac{2V}{3(\frac{B}{2} - e)} \tag{2.10.20}$$



(a)垂直合力無偏心　　(b)垂直合力偏心e $\leq \frac{B}{6}$　　(c)垂直合力偏心e $> \frac{B}{6}$

圖 工 2-10-17 (資料來源：施國欽，2010)

六、牆基礎的水平壓力：

基礎水平壓力值，係以垂直壓力乘以土與混凝土的摩擦係數而得。牆基礎受水平壓力合力作用滑動之安全係數計算式為：

$$F_S = \frac{\Sigma V \tan\delta + P_P}{\Sigma P_h} \qquad (2.10.21)$$

式中

F_s：滑動安全係數

δ：土與混凝土之摩擦角

P_p：被動土壓力(tf/m)

P_h：水平壓力之合力

七、懸臂式擋土牆之經驗尺寸：

進行懸臂式擋土牆尺寸設計時，國內對於基礎版長度、厚度，及擋土牆牆身厚度並無明確的規範。參考國外懸臂式擋土牆設計參考文獻，尺寸設計依據大多是由經驗公式而來，但無統一的標準。本手冊參考 Braja M. Das (2014)、C. K. Wang and C. G. Salmon (2007)以擋土牆總高及基礎版長度作為懸臂式擋土牆尺寸設計之建議，如表 工 2-10-4。

表 工 2-10-4 懸臂式擋土牆設計經驗尺寸(資料來源：Das, 2014；Wang and Salmon, 2007)

	Das (2014)	Wang and Salmon (2007) (註)
牆身頂厚度	≧30 cm	25~30cm
牆身底(Stem)厚度	0.1H	0.12~0.16 L 或0.1~ 0.12 H
基礎版長度 L	0.5~ 0.7H	$\sqrt{\frac{K_A}{3\beta^2}} \times H$
基礎版厚度	0.1H	0.07~ 0.1H

(註：L 為基礎版長度、H 為擋土牆總高)

懸臂式擋土牆基礎版長度 L 之計算依據 Wang and Salmon (2007)，其原理為假設擋土牆平均單位重 W 為所有材料之總和(混凝土與土壤)，並作用在 abcd 長方形基礎版內，並忽略趾部版之作用力，如圖 工 2-10-18 所示，推導而得。其公式如下：

$$\mathrm{L} = \sqrt{\frac{K_A}{3\beta^2}} \times H \qquad (2.10.22)$$

式中

L：基礎版長度

H：擋土牆總高

K_A：主動土壓力係數

β：當基礎土壤性質為良好級配或顆粒狀土壤時，β 取 0.667；當基礎土壤性質為黏土層時，β 取 0.5

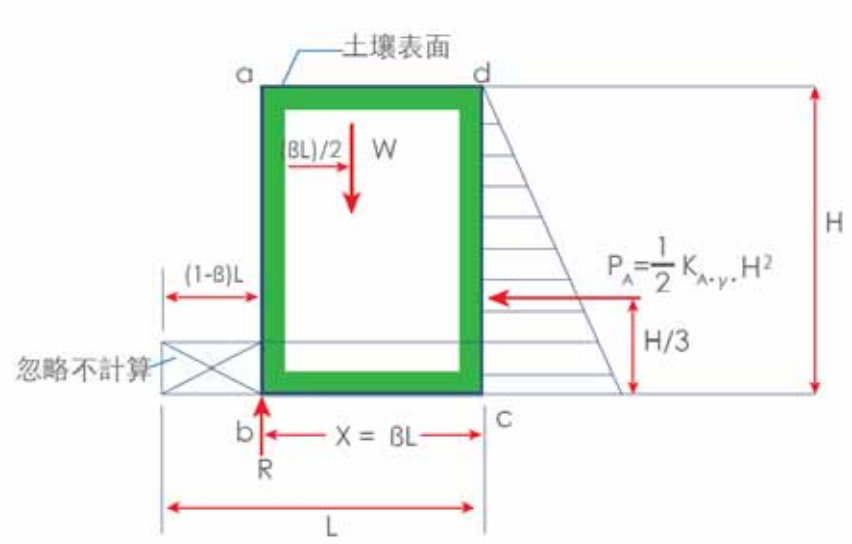


圖 工 2-10-18 懸臂式擋土牆計算基礎版長示意圖(資料來源：Wang and Salmon, 2007)

八、擋土牆牆背回填之透水材料粒徑建議：

擋土牆牆背之回填透水材料，應使用潔淨、堅硬耐磨之砂、礫石、碎石及卵石等天然材料，或以表 工 2-10-5 通過重量百分比之土壤級配作為牆背回填之透水材料。現地土壤如果為黏性土壤(如黏土、粉土、頁岩挖除後之材料等)不應做為牆背回填土。

表 工 2-10-5 擋土牆牆背回填透水材料之粒徑建議

篩孔徑（篩號）	通過重量百分比（%）
2"	100
1 1/2"	95~ 100
3/4"	50~ 100
3/8"	15~55
4.75mm（No.4）	0~ 25
2.36mm (No.8)	0~ 5
0.075mm（No.200）	0~ 3

九、擋土牆配筋之原則：

(一) 擋土牆之外力常以 Rankine 與 Coulomb 的土壓力計算，將擋土牆作為平面應變行為來假設，故以垂直紙面方向之單位長度來設計。背填土側之混凝土受張力，應設置主拉力鋼筋，受壓側則放溫度鋼筋。

(二) 擋土牆應在適當長度設置伸縮縫，避免土壓力受力不平均，而產生垂直裂縫。故擋土牆長度每 20 m 至 40 m 應加設伸縮縫。

(三) 擋土牆如未能設置伸縮縫，則容易造成三維度應變行為，非平面應變行為容易導致擋土牆面產生垂直裂縫，故應設置伸縮縫以避免之。且擋土牆之兩側端點容易有三維之「角隅效應(corner effect)」，容易應力集中，故應適度以斜向鋼筋或水平鋼筋垂直於可能開裂面之混凝土張力側補強之。

2.10.6 施工注意事項

一、擋土牆之設計，一般設計時假設牆背水壓必須排除，故背填材料以砂、礫石、碎石及卵石等天然材料為佳，施工中應檢查是否符合規劃設計原則第 8 點之擋土牆背回填之透水材料粒徑建議。

二、基礎壓力超過土壤容許承載力時，應加大基礎面積、打樁或其他方法補強之。

三、施工發現基礎土壤承載力低於預估容許承載力時，應立即變更設計。

四、牆後回填材料應為潔淨、堅硬耐磨之砂、礫石、碎石、卵石或再生粒料等高透水性質之材料，不得含有機物、黏土塊，其高度應高於牆頂 20 cm 以上。牆後回填土下陷或低於牆頂時，應立即回填。

五、擋土牆每 20 至 40 m 應加設伸縮縫一處。

六、重力式擋土牆之混凝土施工冷縫面應予粗糙化處理，並以冷縫鋼筋補強之，以防擋土牆由冷縫處鬆脫滑落。

七、在計算擋土牆抵抗滑動之安全係數方面，若擋土牆無設置剪力榫，則被動土壓力多不計入；若擋土牆設置剪力榫，則被動土壓力得予計入。其可能滑動破壞面假設在剪力榫底端，在計算牆底之摩擦力方面應對剪力榫前後分別採土壤內摩擦角及牆體底面與土壤間摩擦角。

2.10.7 參考文獻

中華民國「建築物基礎構造設計規範」，2001 年 10 月 02 日訂定。

行政院公共工程委員會(2006)，「2.4 護坡工程」。

行政院公共工程委員會(2007)，「公共工程施工綱要規範」之 02830 擋土牆、02839 加勁擋土牆。

行政院公共工程委員會(2013)，「公共工程施工綱要規範」之 02319 選擇性材料回填、02838 加勁擋土牆-地工合成加勁材。

李錫霖、陳炳煌(2007)，「鋼筋混凝土學」，第 2 版，五南文化事業，pp. 593-630。

林明華、林錦宏、楊介碩(2007)，「台灣地區公路邊坡工程處理探討-以加勁擋土牆及加勁邊坡為例」，中華技術，75，pp. 94-109。

施國欽(2010)，「大地工程學(二)基礎工程篇」，文笙書局，pp. 1-1~1-95。

Das, B. M. (2014). “Principles of Foundation Engineering.” 8th Edition, Pacific Grove, pp. 650-708.

Wang, C. K., Salmon, C. G. and Pincheira, J. A. (2007). “Reinforced Concrete Design.” John Wiley, pp. 404-429.

2.11 樁

2.11.1 定義

樁(Pile)一般分為垂直承載力樁與側向承載力樁。垂直承載力樁主要承受垂直載重，如承受構造物重量、提高基礎承載力等。側向承載力樁承受側向土壓力，如承受邊坡滑動側向力、承受開挖邊坡側向主動土壓力等。

2.11.2 目的

一、提供垂直承載力，因應淺基礎承載力不足問題。

二、提供側向抵抗力，減少開挖之側向變形。

三、止滑樁可提高邊坡滑動面之穩定性。

2.11.3 種類與適用範圍

一、依樁受力行為區分：

(一) 垂直承載力樁：

1. 點承樁：樁身通過軟土層，樁底貫入硬土層或岩盤，由樁底承受端點支承力。
2. 摩擦樁：樁身通過土層，但樁底未貫入硬土層或岩盤之樁，由樁身提供摩擦力承受樁表面摩擦阻力。

(二) 側向承載力樁：

1. 側向力樁承受地層主被動側向土壓力可抵抗擋土、開挖工程中之側向主動土壓力。作為止滑樁提供抵抗邊坡滑動面滑動之剪力。

二、依功能區分：

(一) 承載功能：

建築構造物基礎下之土層若為鬆軟，而無法承受較高的壓力時，可將樁設置於基礎下方增加承載力，以避免建物發生沉陷(承載力不足)或者是傾斜(承載力不足且不均)之情況。

(二) 擋土功能：

將樁排列並打至預定深度，做擋土之用以抵抗側向土壓力。排樁常在開挖軟弱地層之擋土使用，也常用於邊坡穩定處理之抗滑動使用。

(三) 地質改良功能：

將基樁打入地層中，達到改良地層強度之功能。

三、依材料區分：

(一) 預壘樁：

預壘樁屬於場鑄，為利用螺旋鑽挖至預定深度後，再將鑽頭緩慢提升，同時由前端鑽頭灌注預壘砂漿，用以排出土砂，灌漿完成後，插入鋼筋籠或 H 型鋼。適用於一般土壤層，建議樁長約 10 至 15 m。

(二) 鋼筋混凝土樁：

鋼筋混凝土樁依樁製成的場所，可區分為預鑄鋼筋混凝土樁及場鑄鋼筋混凝土樁。鋼筋混凝土樁為利用機械挖孔方式，並採用反循環施工的方式插入鋼筋籠，至預定深度後利用特密管灌注混凝土即完成。反循環施工為鑽掘孔洞時同時利用穩定液穩定孔壁。也可採用全套管工法一邊置入套管一邊開挖，利用套管穩定孔壁直至預定深度。適用於各類地層。

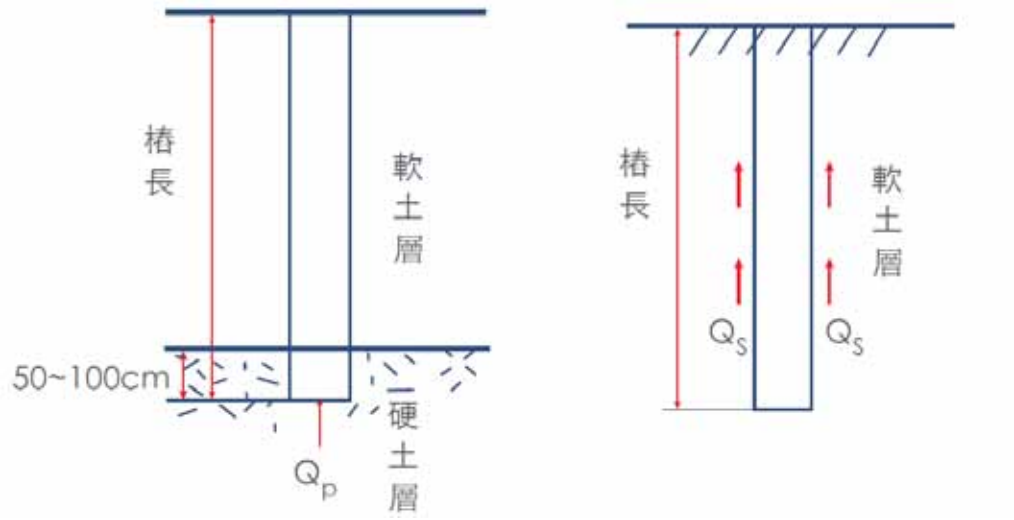
(三) 鋼板(管)樁：

鋼樁包括鋼板、鋼管樁及 H 型鋼樁等，以震動或壓入方式將鋼樁置入地層，直至預定深度。設計時應考慮樁與樁間之適當間距。鋼樁適用於一般土壤層，岩石地層不易貫入故較不適合。

表 工 2-11-1 依材料區分各樁型比較表

樁型 / 項目	預壘樁	鋼筋混凝土樁	鋼板(管)樁
施工技術性	要求不高，施工容易快速。	要求高，施工工期較長。	要求不高，施工容易快速。
強度	強度較差，只能作為暫時性的擋土壁體使用。	強度較大，能當作永久性的結構。	垂直向強度佳，勁度較低。
工作深度	適用深度較淺，深度增加時，排樁容易參差不齊，偏差變大。	適用深度較深，樁長可自由調整。	不適用於深開挖。
噪音、振動	噪音及振動較大	噪音及振動較小	噪音及振動較大
適用地質	較適用於土壤層。	可貫穿卵礫石，砂土質地盤中易施工。	較適用於土壤層，不適用於岩石地層。

2.11.4 圖說



(a)點承樁　　(b)摩擦樁

圖 工 2-11-1 垂直承載力樁示意圖(資料來源：修改自「建築物基礎構造設計規範」，2001)

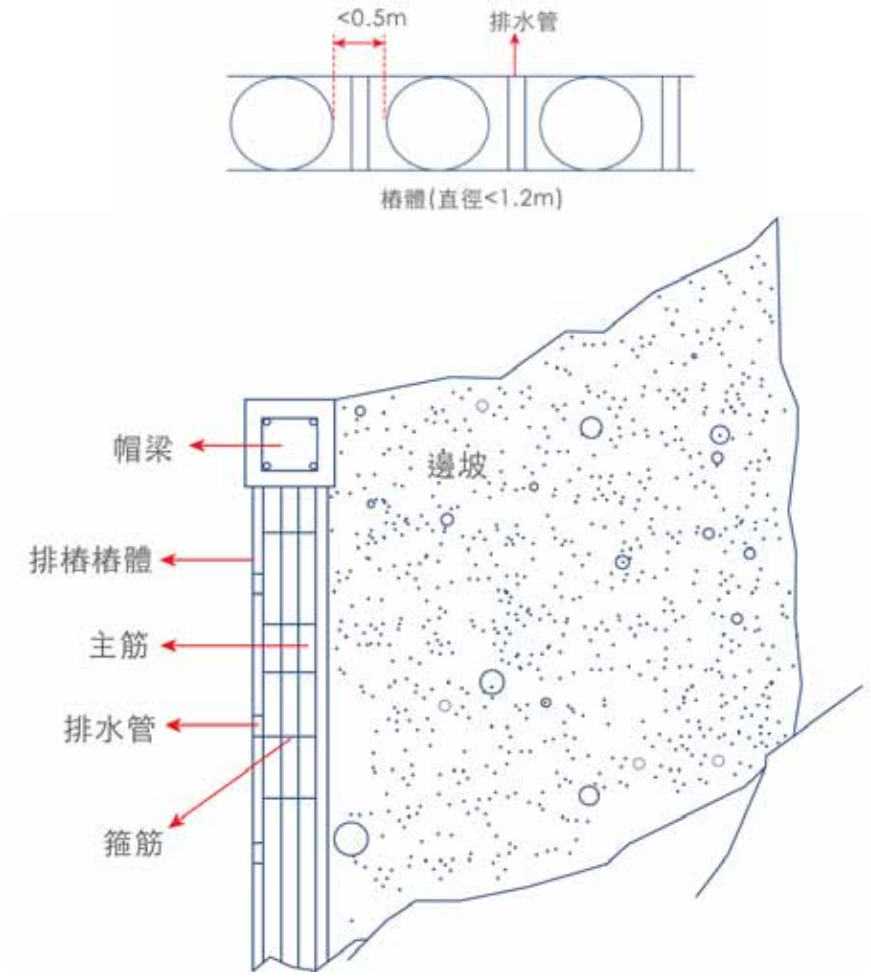


圖 工 2-11-2 樁工法示意圖

2.11.5 規劃設計原則

一、樁容許垂直支承力：

單樁之設計原則須考量極限垂直支承力，包含由樁體表面之摩擦阻力及由樁底端點提供之支承力，分別可依靜力學公式、標準貫入試驗公式、樁體載重試驗等方法推估之。單樁之極限垂直支承力與容許垂直支承力得依下列公式估算:

$$Q_u = Q_s + Q_b = f_s A_s + q_b A_b \tag{2.11.1}$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{FS} = \frac{Q_s}{FS_1} + \frac{Q_b}{FS_2} \tag{2.11.2}$$

式中

Q_u：單樁之極限垂直支承力。

Q_a：單樁之容許垂直支承力。

Q_s：樁表面摩擦阻力。

Q_b：樁底端點支承力。

FS：樁總垂直支承力之安全係數(建議安全係數 2~ 3)。

FS_1：表面摩擦阻力之安全係數(建議安全係數 2~ 3)。

FS_2：端點支承力之安全係數(建議安全係數 2~ 3)。

f_s：樁表面摩擦力。

A_s：樁身之表面積。

q_b：樁端之極限支承壓力。

A_b：樁端之斷面積。

樁側向力：樁側向力常以 p-y curves 理論、相關之有限元素或有限差分程式估算之。

二、樁基本設計要求：

(一) 樁體所受承載力不可超過樁材最大容許承載力。

(二) 樁體所受承載力造成沉陷量不得超過土壤容許沉陷量。

(三) 基樁承受側向載重時，其容許之側向支承力應不致使樁體各部份之應力超過材料之容許應力值，且樁頂部之變位不得超過所容許之側向變位。

三、預壘樁：

(一) 預壘樁施工順序一般採取跳樁方式。

(二) 預壘樁使用水泥砂漿施作，非一般混凝土，其抗壓強度不得小於 210 kg/cm^2。

(三) 預壘樁工法常採用的樁徑為 30~ 60 cm。

(四) 預壘樁樁體施工完成後，須於樁頂設置繫(壓)樑固定。

(五) 預壘樁的樁體鑽掘必須與地界線保持約 25 cm 淨距，否則施工不易。

四、鋼筋混凝土樁(預鑄)：

(一) 預鑄鋼筋混凝土樁之混凝土規定抗壓強度不得少於 280 kg/cm^2。

(二) 主鋼筋直徑不得小於 16 mm，且鋼筋總斷面積不得少於樁斷面積 1/100。

(三) 主鋼筋須以箍筋或螺筋紮緊，箍筋直徑不得小於 6 mm，樁兩端各 3 倍樁徑範圍內，箍筋間距不得大於 8 cm，其餘部份間距不得大於 20 cm。

(四) 混凝土樁主鋼筋之保護層，不得少於 5 cm。

(五) 設計載重下所受之單位支承應力不得大於其規定壓力強度之 1/3。

五、鋼筋混凝土樁(場鑄)：

(一) 場鑄混凝土樁之混凝土規定抗壓強度不得小於 210 kg/cm^2。

(二) 場鑄樁澆注之混凝土強度應視混凝土之規定抗壓強度及其澆注環境做適當之提高。

(三) 主鋼筋直徑不得小於 19 mm，且鋼筋總斷面積不得小於樁斷面積之 5/1000，保護層之淨厚度不得小於 7.5 mm，箍筋直徑不得小於 13 mm。

(四) 場鑄樁之施工應儘可能保持垂直，原則上樁身之最大偏心距，不宜超過樁長之 1/75，且基樁應力分析應考慮此偏心彎矩之影響。

六、鋼樁：

基樁承受側向載重時，其容許之側向支承力應不致使樁體各部份之應力超過材料之容許應力值，且樁頂部之變位不得超過容許之側向變位，該側向變形應考慮排樁間之相互影響及樁頭之束制條件。

2.11.6 施工注意事項

一、預壘樁：

(一) 樁孔鑽掘完成後，在未注入水泥砂漿前或未置入保護套管，不可先行拔出鑽桿，以防止孔壁坍塌，樁體無法成形。

(二) 注漿過程必須不間斷持續進行，若因故中斷或拆卸鑽桿，時間不可超過三分鐘。

二、鋼筋混凝土樁(預鑄)：

(一) 預鑄混凝土樁之材料儲藏、搬運、吊裝、應處置適當，以避免過大之彎曲應力、破碎、剝落及其他損傷。

(二) 於海水或鹼性土壤中者，應避免表面磨損，應增加保護層厚度使內部混凝土不因外露而損傷。

三、鋼筋混凝土樁(場鑄)：

(一) 遇到地下水時，由於抓斗中土石將會隨地下水流失，因此必需加配取土筒之裝備，遇到大卵石或岩盤，抓斗無法取出時，必需使用重錘將其擊碎後再取出。

(二) 在非凝聚性之土壤情況，尤其在地下水位以下之部份，通常會造成鑽孔周圍之土壤坍陷現象導致超挖，故在鑽掘過程中應防止鑽頭超出套管施工。

(三) 當鑽掘到地下水位時，套管內應灌水，保持在地下水位以上，防止管內會產生砂湧或土湧之現象或因套管外的壓力過大，而使套管產生變形。

四、鋼樁：

(一) 鋼樁之打樁、截樁、接樁方法應按經核准之工作圖說所示辦理。

(二) 打樁過程中，如因樁帽或墊塊擺設置不當，或因墊塊硬化，致使樁頭或樁身過分受力損壞，或打樁完成後之樁位偏移量、垂直度偏差超出設計圖說規定容許值，無法補救者，均須以廢樁處理，重新打新樁。

(三) 鋼樁應垂直打入預定深度，避免發生嚴重偏差或傾斜現象。

(四) 鋼樁施打時，必須隨時注意其相鄰樁間接槽是否完全聯鎖緊密不可鬆動，如有裂隙可能造成抽水時大量漏水，影響施工品質及進度。

(五) 鋼樁施打過程中，除鋼板樁間接槽必須緊密不得開裂外，並須適時加裝支撐或拉桿，以免因受土壓影響導致傾倒而發生意外。

2.11.7 參考文獻

賴景波(1993)，「基礎工程施工與實務」，現代營建雜誌社，台灣，pp. 256-259。

內政部(2001)，「建築物基礎構造設計規範」，第五章樁基礎、第八章基礎開挖。

許建裕、周延聲(2012)，「預壘樁工法」，水利土木科技資訊，55，pp. 46-49。

經濟部(2012)，「水利署施工規範」，第 02469 章全套管式鑽掘混凝土基樁。

Reese, L. C., and Van Impe, W. F. (2011). Single piles and pile groups under lateral loading, CRC Press/Balkema, Leiden ; Boca Raton.

2.12 土釘

2.12.1 定義

土釘(Soil nail)是藉由植入具抗張特性之加勁材料，使其穿越預估可能的破壞面，以加勁現有地層，增加邊坡整體穩定性。

2.12.2 目的

增加土壤邊坡之整體穩定性。

2.12.3 種類與適用範圍

土釘適用邊坡的土壤包括具一定程度之毛細水凝聚力的中細砂土、含自然膠結能力的砂土和礫石土，以及具有凝聚力的沉泥及低塑性黏土與風化岩層等。土釘工法之適用與不適用地層條件，整理如表 工 2-12-1。塑性指數 PI 大於 20 之黏土不宜採用土釘加勁作為永久性邊坡補強，而塑性限度 PL 大於 20、液性限度 LL 大於 50 之黏性土壤，在未深入測定瞭解潛變勢能前不能使用土釘作為邊坡補強。

一、鑽孔灌漿釘

在欲加勁之土層鑽孔，置入抗張材(常用竹節鋼筋)，再灌漿填孔，使得鋼筋和外裹的水泥砂漿結合，並與周圍土壤形成一結構體。為了確保鋼筋置入鑽孔中心位置，使得鋼筋周圍有足夠的漿體作為保護層，因此沿鋼筋每隔 2~ 3 m 設置中心固定器(如圖 工 2-12-2)。

二、擊入釘

使用角鋼、圓鋼或鋼管作為土釘材料，由振動沖擊或液壓錘擊，只將土釘打入而不灌漿，因此與土體的接觸面積小，加上釘長又受到限制，所以土釘配置需較密集，每平方公尺內需配置 2~ 4 根土釘。擊入釘不適用於卵礫石層及鬆散砂土，擊入釘在緊密砂土中的加勁效果優於黏性土壤。

三、灌漿擊入釘

使用表面帶孔而底部封閉之鋼管，在擊入或鑽掘後由管內灌漿並透過鋼管壁上的孔將漿體滲出。此特殊加工的土釘，在軸向有孔槽，能在置入土體後灌漿使土釘與周圍土體黏結。

四、高壓噴射灌漿擊入釘

土釘中間有縱向小孔，由高頻率沖擊振動錘將土釘擊入，同時以約 20MPa

的壓力，將水泥漿從土釘底部的小孔中射出。在土釘置入土體的過程中，流射出的水泥漿不但能發揮潤滑作用，並且能滲透入周圍的土體，達到提高土釘與土體間黏結力的效果。

表 工 2-12-1 土釘工法適用與不適用之地質條件(資料來源：Byrne et al., 1998)

適用之地層條件	1.堅實、低塑性且不具潛變之黏土質沉泥。 2.視凝聚力大於5 kN/m^2，且自然含水量大於5%之細或中細砂。 3.具低凝聚力之緊密砂層或礫石層。 4.殘留土壤或沒有不利傾向之風化岩層。 5.地下水位以上。
不適用之地層條件	1.有機土或黏土液性指數大於0.2，及不排水剪力強度低於50 kN/m^{2}之黏土層。 2.標準貫入試驗N值低於10，或相對密度小於30%之鬆砂土層。 3.均勻係數(Cu)低於2之不良級配礫石或砂(極緊密者除外)。 4.高膨脹性之土壤。 5.含水量極高或含有水袋(wet pocket)之地層。 6.高度破碎且具有開口節理或蝕洞之岩石。 7.礦渣堆積或具有不利弱面之岩石。

2.12.4 圖說

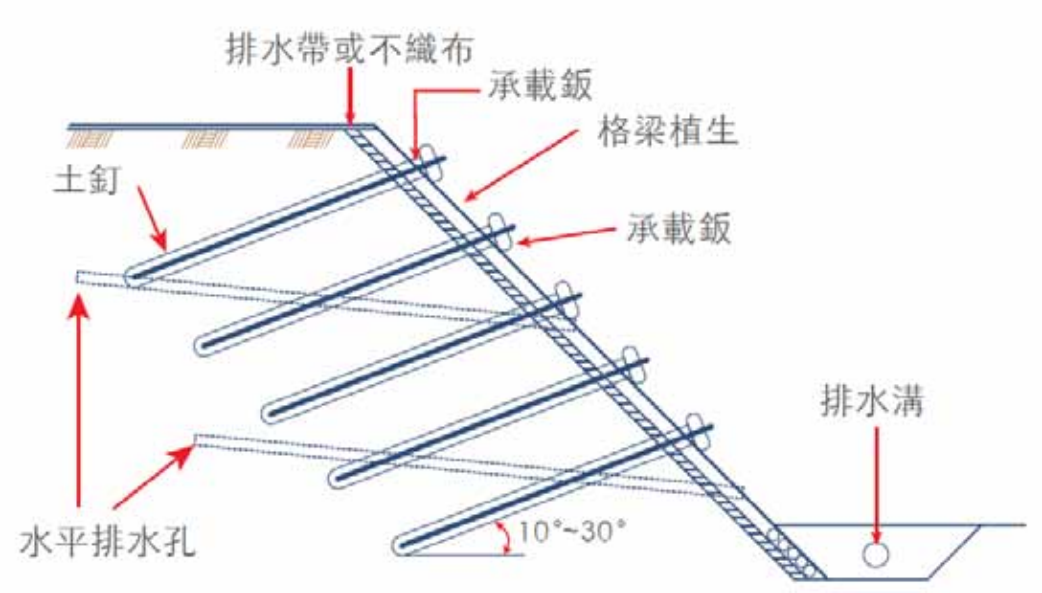


圖 工 2-12-1 土釘邊坡示意圖(資料來源：洪勇善，2005)

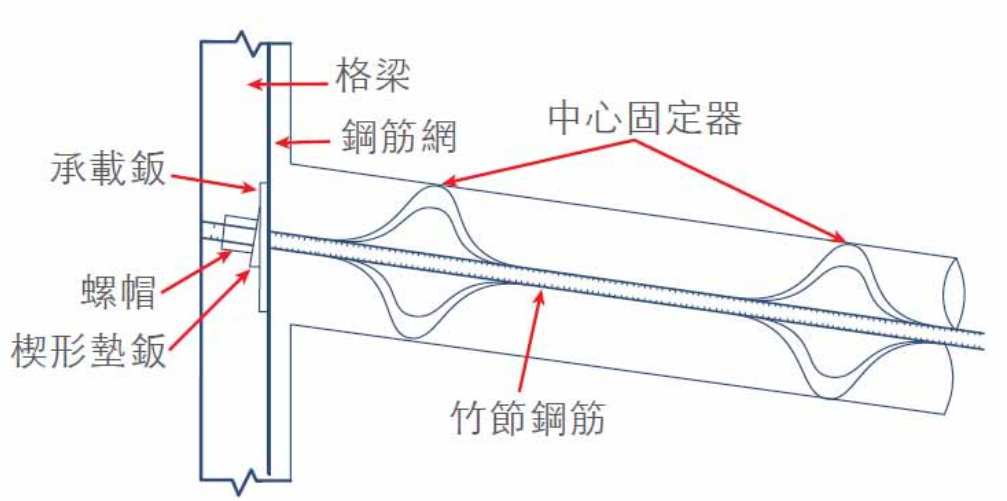


圖 工 2-12-2 鑽孔灌漿釘構造(資料來源：洪勇善，2005)

2.12.5 規劃設計原則

土釘工法為現地土壤加勁技術，利用土釘與土壤之摩擦阻抗增加整體邊坡穩定，或抵抗因施工開挖或其他因素改變原土壤平衡力系所造成之作用力。土釘因不需如地錨般施加預力，故於長期之穩定性與耐久性而言，無需考慮因時間而可能損失之預力與摩擦力，也因此土釘相當適合作為永久性邊坡穩定之措施。有關設計所需之參數與配置如下：

一、基本參數：

(一) 土壤性質：

含水量、單位重、粒徑分布、阿太堡限度、土壤分類、強度參數(c、ϕ)等。

(二) 土釘的力學性質：

土釘的抗張強度。

(三) 土釘與土壤界面間之握裹性質：

設計土釘加勁邊坡前或施工時應於現地進行適量之拉拔檢測試驗，以求取土釘與現地土壤間之極限拉出阻抗，尤其是對於大型工程而言更為重要。

(四) 土釘的幾何條件：

土釘直徑、長度及打設角度等。

(五) 邊坡頂面荷重情形、地下水位高度及現地其他影響因子。

二、極限拉出阻抗：

針對常用的鑽孔灌漿釘而言，不同的灌漿壓力和鑽孔方式對於界面的黏結性能影響很大，對於滲透係數在 10^{-2}~ 10^{-1} cm/s 之間的砂、礫石和軟弱岩體，漿體可滲入土體孔隙或岩體裂隙中，進而提高黏結範圍；而滲透係數小於 10^{-3} cm/s 的粉細砂，則應使用壓力灌漿使其密實。極限拉出阻抗可參考 Lazarte 等人(2003)的建議作為初步設計參考。

三、配置：

土釘長度、分布密度、傾角等設計參數，主要依據工程經驗並經分析計算而定。土釘的設計參數指標：

(一) 長度比－L/H，其中 L 為土釘長度，H 為坡(牆)高。

(二) 黏結比－DL/S，其中 D 為孔徑，S 為每一土釘承受的土體面積，為土釘水平間距和垂直間距的乘積。

(三) 強度比－d^2/S，其中 d 為鋼筋(棒)直徑，若抗張材非圓截面，則以面積相等的原則來決定等效直徑 d。

上述參數範圍如表 工 2-12-2，僅適用鑽孔灌漿釘於無地下水作用的陡坡穩定（坡度≧70°），設計時可依此作為初步配置之參考，但尚需經分析確保邊坡達安全之要求。此外，對於配置部分建議鑽孔灌漿釘在初步設計釘長、間距和傾角可依據以下之原則：

(一) 土釘長度：

在一般均質土層中，上下所有土釘取成等長，或頂部土釘稍微偏長較為合適。一般坡地土釘長度宜大於 0.5 倍坡(牆)高。

(二) 土釘密度：

一般可選擇土釘水平間距與垂直間距相等，於砂土層宜介於 1~ 2 m。

(三) 土釘傾角：

不論邊坡坡度，土釘傾角(與水平面夾角)一般採用 10°~ 30°能獲得較佳的邊坡穩定。除非更大之傾角有利於土釘置入下層較好之土層，否則土釘傾角不宜過大。

表 工 2-12-2 鑽孔灌漿釘初步設計參數(資料來源：Bruce and Jewell, 1987)

地質材料	設計參數		
	L/H	DL/S	d^2/S (10^{-3})
砂質土層	0.5~ 0.8	0.3~ 0.6	0.4~ 0.8
堅硬粘土層	0.5~ 1.0	0.15~ 0.20	0.10~ 0.25

2.12.6 土釘之材料

土釘施做大致可分兩部份，一為面層部份(結構體外之部分)，另一為握裹段部份(結構體內部承受握裹之受力段)，如圖 工 2-12-1。以下針對各部分之材料說明：

一、面層部分：

(一) 釘頭：

抗張材之延伸，主為抗張材受力後將力傳至結構體外之主要部分。

(二) 螺母：

固定抗張材之延伸釘頭部分，待土釘漿體固化後，配合承載鈑將螺母旋緊，並產生微預力。

(三) 承載鈑：

主要分散土釘應力於坡面之部分，強度與尺寸應能承受來自土釘釘頭之荷重。

(四) 鋼絲網：

常用於配合自由型格梁植生護坡，方式為先舖設立體鋼絲網，並以短釘固定再置格框鋼筋。

(五) 噴凝土或混凝土：

格梁鋼筋之保護層，鋼筋包裹在內可避免產生鏽蝕，並防止不當外力造成鋼筋過度變形。

(六) 植生基材：

以植生方式防止裸露山坡侵蝕，提升坡面保護及自然景觀。

二、握裹段部分：

灌漿材料：水泥砂漿為灌漿材料，形成土釘與土壤間之摩擦力來源，也使金屬抗張材於一定期限內免受腐蝕。水泥漿之拌合注入需保持良好流動性，使滲入周圍土體能力佳，此可擴大灌漿體之範圍及界面粗糙度，增加拉出阻抗。水泥

漿體應依據 CNS1010 水硬性水泥抗壓強度檢驗法之規定製作試體。水泥漿中所使用之材料包含水泥、水、細骨材、及添加劑等，可視所需之強度及施工性設計最佳配比。

2.12.7 施工方法

一、施工準備：

土釘工法的施行需仰賴確實的地質調查及正確的穩定分析，而大部分地層並非均質，穩定分析之潛在滑動面往往沿弱面產生，因此施工前需充分收集相關的地形、地質、水文資料，掌握施工期限內的各種可能狀況。

二、修坡：

土釘施做無論在補強工程或開挖工程皆需予以修坡整地，以利於土釘施做的進行。施工方式需按設計規定分層順序施工，在未完成上層施做及噴凝土護坡前不宜進行下一層施工。

三、排水系統：

邊坡排水即將地下水有效引導、分流或排除至坡外，以減輕或避免地下水導致之破壞。

四、鑽孔：

鑽孔位置與角度須經過詳細之計算與配置，找出最適合之打設間距與埋設深度，以設計足夠穩定之邊坡，且對於鑽孔應依設計圖所示之孔徑、方向和深度等施工，誤差皆須在合理範圍內。鑽孔過程若遇有障礙須調整孔位時，不得影響設計之安全係數。最後鑽孔後需清孔檢查，對於孔中出現局部漏水或崩坍應立即處理，避免灌漿後產生漿體坍孔現象而導致握裹力不足。

五、安置抗張材與灌漿作業：

土釘係以抗張材及灌漿料之組合完成主要加勁構造，此兩部份之施工方式將影響土釘日後之加勁效能。抗張材在鑽孔作業後即進行設置，過程中以中心固定器確保抗張材能位於鑽孔中心即可施行灌漿作業。

六、釘頭處理：

釘頭部份通常由承載鈑、鋼筋、螺母所組成，主要使加勁材應力能傳遞分散於面層。施工完成後對於過長之鋼筋須與以切除，並以螺母將鋼筋固定於承載鈑上。使用之螺母、承載鈑均須經過熱浸鍍鋅處理，並配合噴凝土噴漿，抑制鏽蝕產生。

2.12.8 施工注意事項

一、由於土釘打設密度高，尤其對於坡地住宅區而言，應事先做好詳盡之既有地下構造物調查，諸如地下車道、管溝及其他維生管線等，以免施工時造成損害。

二、對於地下水位高之地區，應配合採用適當之降水工法或坡面排水工法。

三、對於高靈敏度或膨脹性黏土而言，應謹慎評估土釘施工因土層之擾動及土壤遇水弱化之情形。

四、若為永久性結構，則須考慮土釘之防鏽性與耐久性，應依其使用功能、限制及現地腐蝕環境，評估防鏽處理之方式與必要性。

2.12.9 參考文獻

洪勇善(2000)，「現地坡面土釘加勁工法之應用」，土木技術，31，pp. 45-55。

洪勇善(2005)，「坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編」，內政部建築研究所委託研究報告。

Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1987). “Soil nailing: application and practice- part 2,” Ground Engineering, 20(1), pp. 21-38.

Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C. and Ueblacker, G. (1998). “Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Wall,” Federal Highway Administration.

Lazarte, C. A., Elias, V., Espinoza, R. D. and Sabatini, P. J. (2003). “Geotechnical Engineering Circle NO.7,” Federal Highway Administration.

2.13 岩栓

2.13.1 定義

插入岩盤中之鋼棒、鋼筋或鋼管，承受剪力以阻止岩盤之滑動者，稱為非預力岩栓或岩釘(Rock dowel)。若插入岩盤中之鋼棒、鋼筋或鋼管，有施加預力或承受拉力者，稱為預力岩栓，一般即簡稱岩栓(Rock bolt)。非預力岩栓長度大多在 2 公尺左右或以下；預力岩栓長度自 2 公尺至 8 公尺者最多。二者皆常用於邊坡穩定工程中。預力岩栓也常用於隧道工程與地下廠房工程。

2.13.2 目的

一、穩定地盤、抵抗節理面滑動及穩定懸浮岩塊。

二、使岩體呈現三度空間圍壓狀態，可增進岩體之自持能力。

2.13.3 種類與適用範圍

目前常見之岩栓種類共有六種，包括 SN 岩栓、樹脂岩栓、開縫管岩栓、膨脹管岩栓、自鑽式岩栓、玻璃纖維岩栓等(資料來源：行政院公共工程委員會，施工綱要規範)。分述如下：

一、SN 岩栓：

鑽孔後，裝入瞬結劑，再灌水泥砂漿，插入岩栓，旋轉岩栓可刺破瞬結劑，讓砂漿及早硬化迅速固定岩栓。

二、樹脂岩栓：

鑽孔後，將樹脂膠囊插入孔底，然後插入岩栓，刺破膠囊並攪拌，使樹脂充滿孔內，黏住整支岩栓。

三、開縫管岩栓：

鑽孔孔徑稍微較岩栓直徑小一些，然後用鑽機將開縫管岩栓用力推入孔內，此種岩栓能立即產生支撐作用。

四、膨脹管岩栓：

鑽孔後，將岩栓管插入孔內，用手提高壓水泵以預設水壓將孔內岩栓管膨張，使其與孔內岩壁不規則面產生摩擦力，岩栓管膨脹使岩栓長度縮短與端板緊壓岩面或噴凝土面。

五、自鑽式岩栓：

岩栓本身可以接續，是鑽桿也是灌漿管，使鑽孔、灌漿、錨碇與固結一次作完，適用於鑽孔困難但又不致於堵塞灌漿孔的岩體，灌漿錨固可採用水泥系列材料或化學材料。

六、玻璃纖維岩栓：

岩栓是由玻璃纖維加在多元酯（Polyester）或環氧樹脂（Epoxy Resin）製造而成，可以樹脂或水泥漿使其與岩體錨固。

2.13.4 圖說

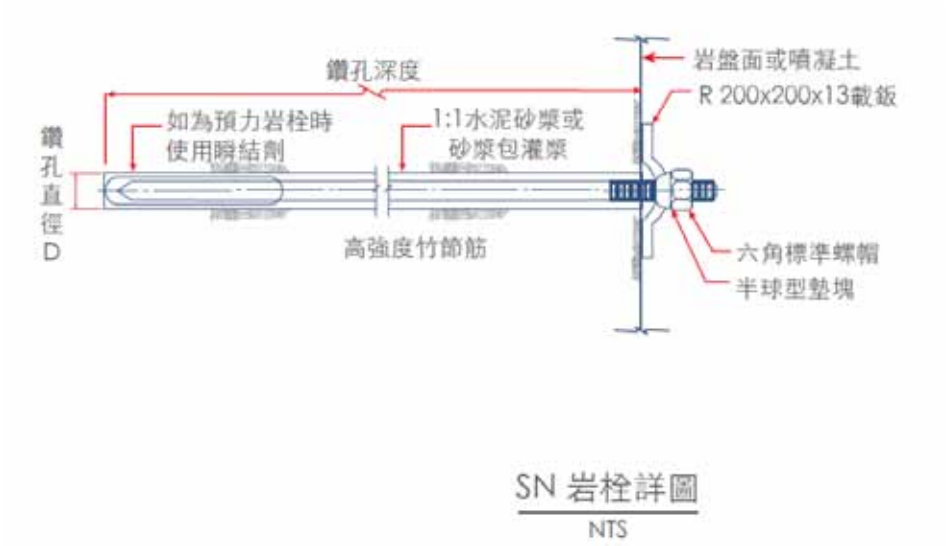


圖 工 2-13-1 SN 岩栓詳圖(資料來源：中興工程顧問社工程設計圖）

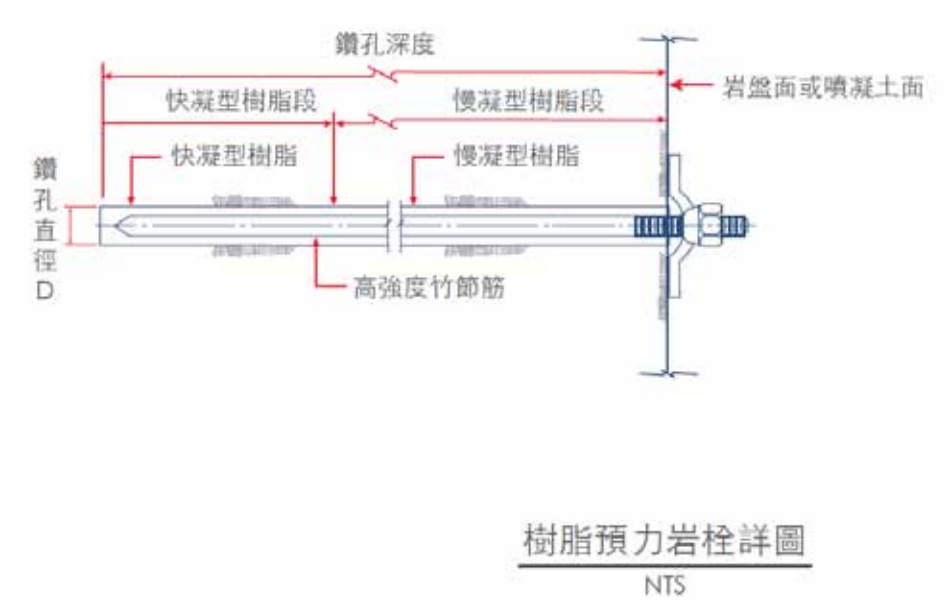


圖 工 2-13-2 樹脂岩栓詳圖(資料來源：中興工程顧問社工程設計圖）



圖 工 2-13-3 開縫管岩栓示意圖(修改來源：Stillborg, 1994)

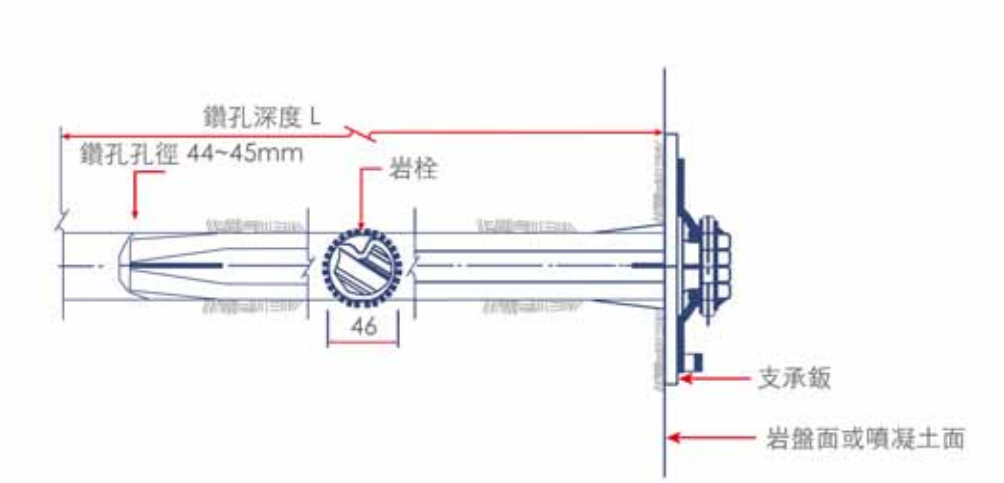


圖 工 2-13-4 膨脹管岩栓示意圖(資料來源：中興工程顧問社工程設計圖）

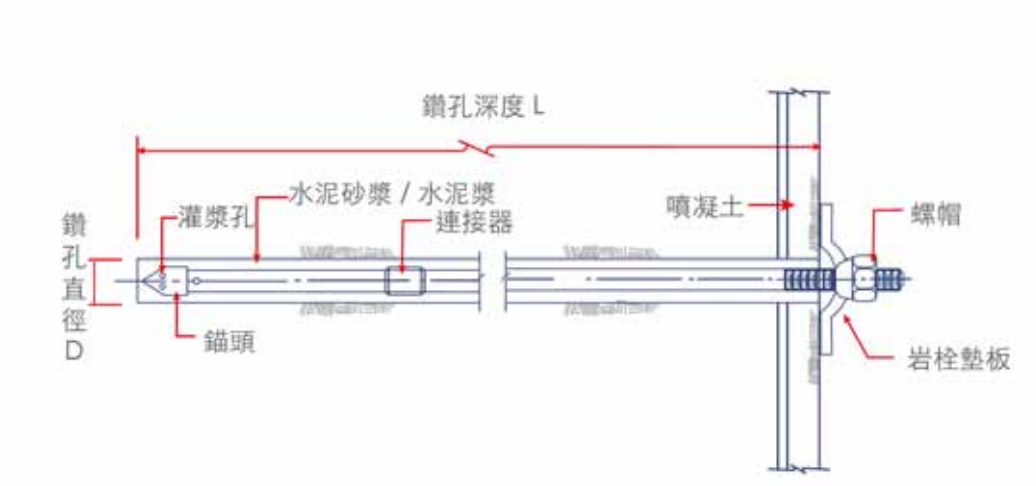


圖 工 2-13-5 自鑽式岩栓示意圖(資料來源：中興工程顧問社工程設計圖）

2.13.5 規劃設計原則

一、岩栓屬於主動式支撐，於岩盤弱面尚未發生錯動變形之前，即提供預力增加岩體強度以抵抗變形。

二、岩釘(非預力岩栓)一般設計長度較短，主要功能在於保護表層岩盤。

三、岩栓一般設計長度較非預力岩栓長，保護範圍較深入岩體。

四、岩栓之入岩角度以垂直岩盤弱面為原則，除提供最大正向應力或穿越最多岩體弱面。惟仍須考量施工機具及作業空間等因素。

五、岩體之地質條件：詳盡考慮岩體強度、岩體弱面組數、位態、厚度、連續性、裂隙填充物等，以利岩栓錨碇固著於堅硬岩盤，增加岩體之穩定性及安全性。

六、岩栓之安裝設計：應考慮岩栓錨碇之位置、岩栓打設之方向及長度。

七、岩栓之選擇：選定岩栓之種類、直徑大小、錨碇段之長度等。

八、群體岩栓間之間距：系統性岩栓之間距取決於岩體力學穩定分析之計算，惟須考量群體岩栓之折減係數，並可以現地(岩栓拉拔)試驗結果進行研判。

九、安全係數值之選定：視結構物或邊坡之重要程度，及其影響範圍內之保全對象重要性，選擇相對應之安全係數值進行設計。愈重要之結構物或邊坡，其岩栓設計之安全係數應愈高。一般而言，安全係數採用 2 以上。

十、設計時，尚須考量岩盤與水泥漿之握裹力及錨桿與水泥漿之握裹力，均不得大於岩體之抗剪強度及設計拉力不得超過岩栓之極限強度或降伏強度。

十一、握裹段所需長度可以假設剪應力沿著錨碇桿件在岩石與水泥交界面為均勻分布，並經由下列公式推算：

$$\tau_a = \frac{T}{\pi l_b d_h} \tag{2.13.1}$$

T：設計拉力強度(N)

d_h：鑽孔直徑(mm)

τ_a：容許錨碇握裹力(N/mm^2)

l_b：錨鏈長度(mm)

根據錨碇區岩石之單軸抗壓強度估算，各岩石之容許錨碇握裹力τ_a之推估可參考表 工 2-13-1 之經驗值，進行施工時應進行拉拔試驗，以確定現場之容許錨碇握裹力。

表 工 2-13-1 岩栓之容許錨碇握裹力(資料來源：Wyllie, 1991)

岩石強度與種類	容許錨碇握裹力(MPa)	受壓強度範圍(MPa)
強(強度)	1.05~1.40	>100
中(強度)	0.7~ 1.05	≈50~ 100
弱(強度)	0.35~ 0.7	≈20~ 50

2.13.6 施工注意事項

一、岩栓之準備：

依據現場地質及岩體狀況，選用適當之岩栓。並做好岩栓儲存、防蝕、錨頭螺紋保護等工作。

二、鑽孔工作：

選用適當之鑽孔機具、鑽進方式(旋轉式或衝擊式)、鑽孔速度、沖洗物質(空氣或水)等，並要注意鑽孔之角度與方向之維持。

三、錨碇段之岩體軟弱、岩盤破碎、弱面發達、容易漏漿時，可採預灌措施，以改善錨碇強度。

四、岩栓之安裝：應考慮岩栓之大小、重量、安裝作業之空間、採人力或機械作業等。安裝過程中應注意岩栓之推進情形、推進速度、推進方向感、灌注壓力(膨脹管岩栓)等，以避免岩栓本體及及保護措施之損害。

五、岩栓之灌漿作業應注意以下事項：

(一) 水泥砂漿之配比、水灰比、黏稠度、添加料成份。

(二) 速結劑、樹脂藥包之裝設深度與施工步驟。

(三) 灌漿管、回漿管之布設，並使錨桿位於孔中央。

六、預力岩栓應於岩栓裝設完成後，可參考相關工程技術規範所規定之時間內施加預力，方式有旋轉扭矩法及直接拉拔法。如圖 工 2-13-6 所示。

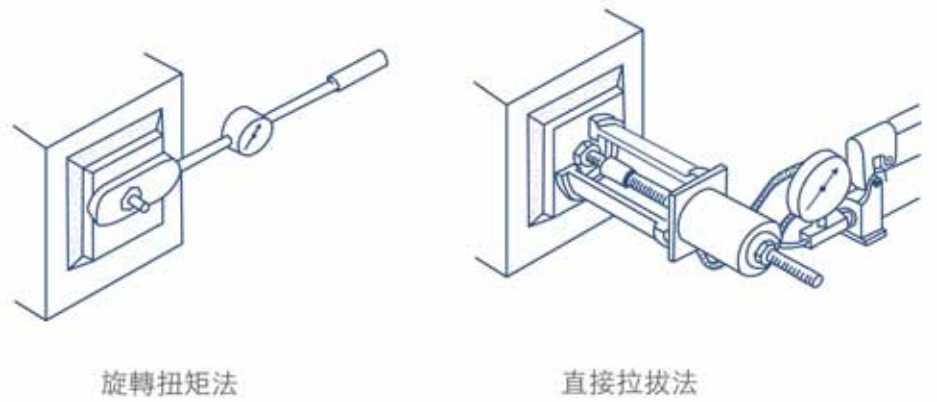


圖 工 2-13-6 岩栓預力施加示意圖(資料來源：曹治宗，1986)

七、為確保岩栓符合設計要求，於岩栓施工前、施工中、施工後，得進行岩栓拉拔試驗。

2.13.7 參考文獻

行政院公共工程委員會(2007)，「施工綱要規範第 02423 章 V5.0 隧道用岩栓」。

洪如江(2002)，「力學名詞辭典」，國家教育研究院雙語辭典、學術名詞暨辭書資訊網，<http://terms.naer.edu.tw/detail/1329951/?index=5>。

曹治宗、張吉佐(1986)，「岩錨-設計、施工與檢驗」，地工技術，14，pp. 16-29。

廖洪鈞、周功台(1994)，「地岩錨設計和施工準則之研究」，中國土木水利工程學會。

劉弘祥、黃崇仁、陳怡名(1996)，「不同型式岩釘及預力地錨於砂、泥岩層內之行為特性探討」，地工技術，15，pp. 89-100。

盧錫煥(1989)，「地岩錨之設計與品質管制」，現代營建雜誌社。

International Society for Rock Mechanics. Committee on Field Tests. (1974), “Suggested methods for rockbolt testing, ” I.S.R.M..

Stillborg, B. (1986). “Professional Users Handbook for Rock Bolting. Series on Rock and Soil Mechanics.” Vol.15.

Stillborg, B. (1994). “Professional Users Handbook for Rock Bolting. Series on Rock and Soil Mechanics.” Vol.18.

Turner, A. K., and Schuster, R. L. (1996). “Landslides : investigation and mitigation, ”National Academy Press, Washington, D.C., pp. 482-486.

Wyllie, D. C. (1991). “Rock Slope Stabilization and Protection Measures. ”National Symposium on Highway and Railway Slope Stability, Association of Engineering Geologists, pp. 41-63.

2.14 地錨

2.14.1 定義

地錨(Anchor)是岩錨(Rock anchor)及土錨(Soil anchor)的統稱。其原理係在地中鑽孔至相對穩定的地層，並灌注水泥漿形成錨碇段，再藉由鋼絞線或鋼棒等抗張材傳遞至地表(自由段)，然後施加預力並以錨頭之握線器鎖定，如此預力將充分分布在錨碇段與錨頭間的地層，形成抵抗邊坡下滑的構造物稱為地錨。

2.14.2 目的

一、提高邊坡下滑抵抗力。

二、提高擋土牆側向支撐力。

2.14.3 種類與適用範圍

一、地錨依其使用年限不同，可分為兩種：

(一) 長久性地錨：

一般常使用於邊坡的補強或穩定，其使用年限同結構體或大於 50 年。

(二) 臨時性地錨：

大都使用在地下室開挖時，提供臨時之擋土支撐背拉系統，其使用年限大都小於 2 年。

二、依地錨荷重傳遞方式的不同，大約可分為 3 種，如圖 工 2-14-2 所示。台灣的地錨依其荷重傳遞方式，大多屬承拉式摩擦阻抗型地錨。

(一) 摩擦阻抗型

(二) 承載阻抗型(或稱擴座地錨)

(三) 複合(摩擦+承載)型

2.14.4 圖說

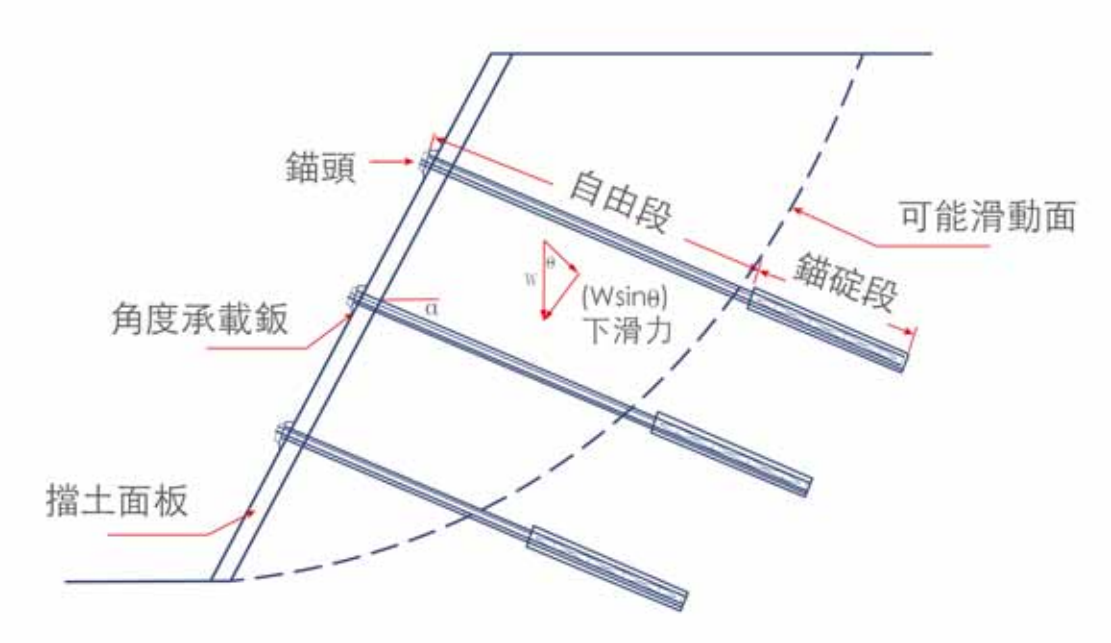


圖 工 2-14-1 地錨構造示意圖(資料來源：廖瑞堂，2002)

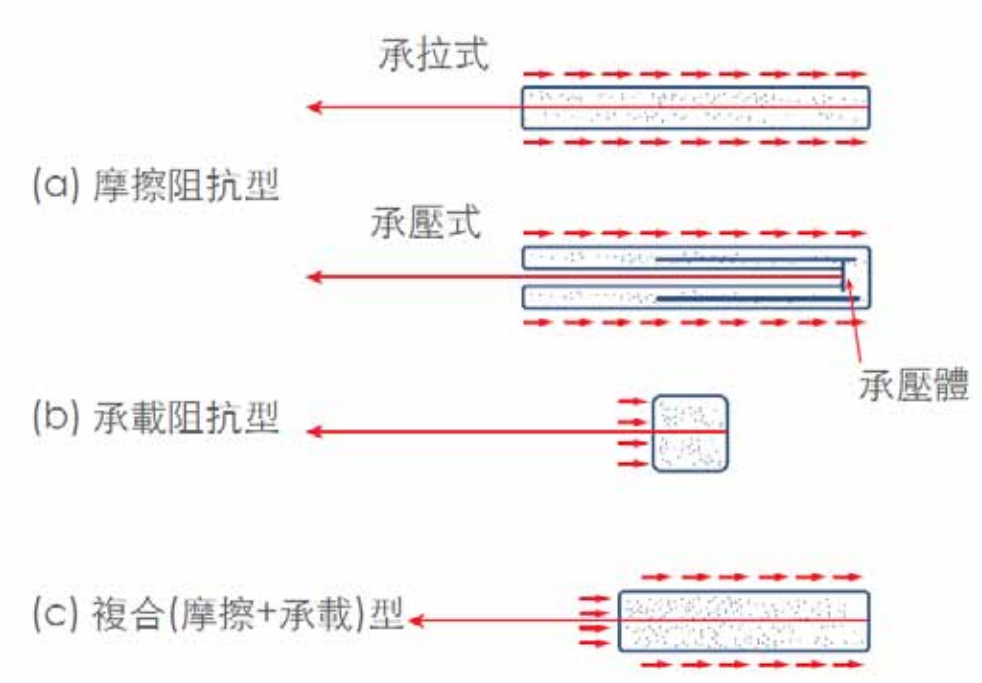


圖 工 2-14-2 地錨荷重傳遞方式(資料來源：國道新建工程局，2014)

2.14.5劃設計原則

地錨應遵循完整的設計流程加以設計，必須要透過詳細的地質調查、地下水調查及滑動面調查，並經邊坡穩定分析後，再決定地錨的設計拉力、長度及配置，當邊坡滑動深度超過 30 m 以上，地錨工法宜配合其他工法一併使用，如此才能發揮地錨抗滑之功能。

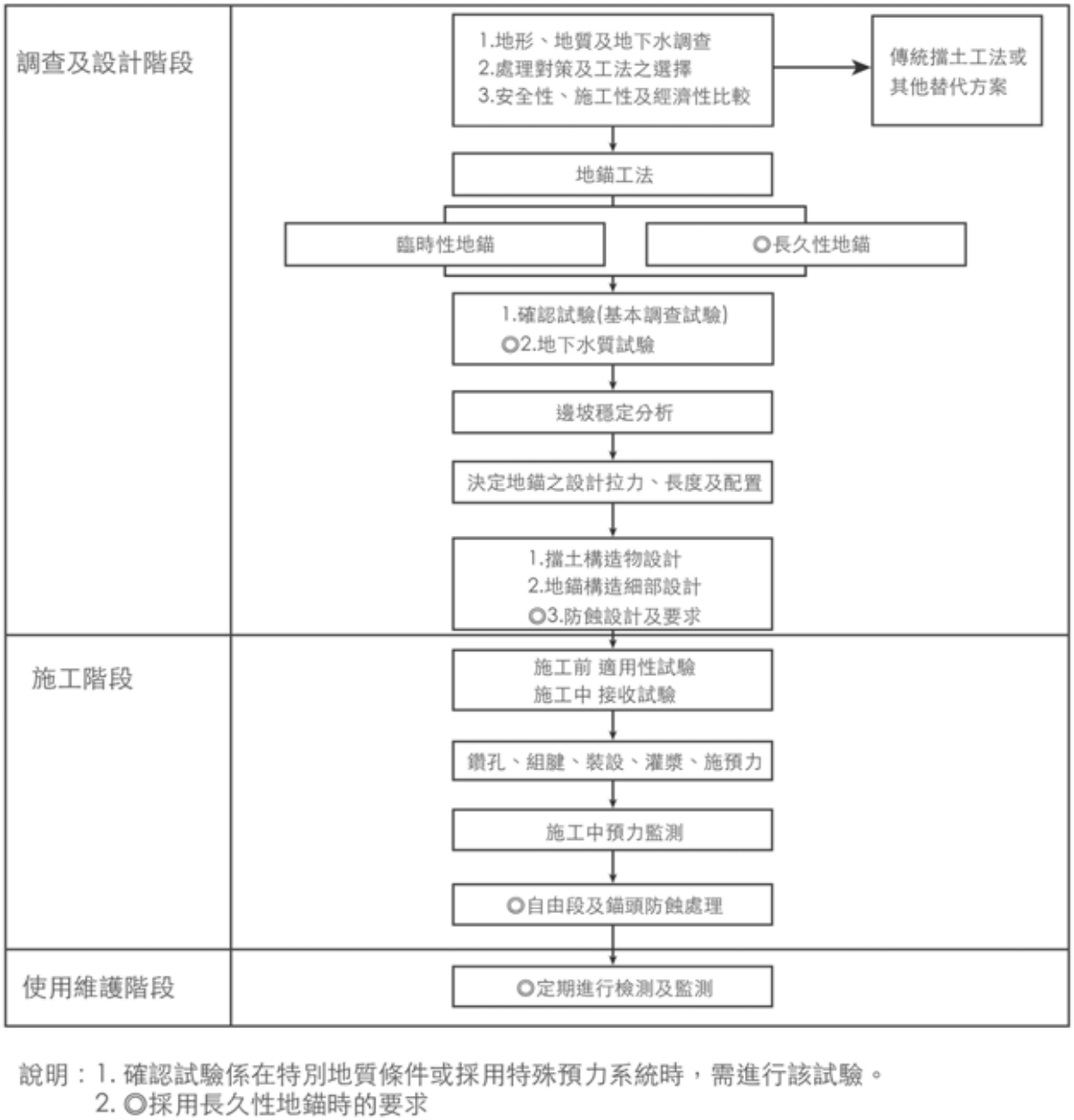


圖 工 2-14-3 地錨完整的設計及試驗流程

2.14.6 地錨的構造

地錨可分為錨碇段、自由段及錨頭等三大部分。

一、錨碇段：

利用灌漿體與地盤間的摩擦力或擴孔的尖端阻抗提供抗拉力，錨碇段必需錨碇在可能滑動面以外，相對穩定的地層中。

二、自由段：

係為傳遞錨碇段與錨頭間之預力為主要功能，自由段長度係 由監測調查結果研判滑動深度所決定,若無調查成果方可採用邊坡穩定分析成果加以決定。

三、錨頭：

係在施力時鎖定鋼腱或鋼棒，並傳遞錨碇預力至承壓結構體及其下方之地層，錨頭包含握線器、承壓鈑及其保護措施。錨頭依鎖定構造不同分為夾片型、螺帽型及二者複合型。台灣目前大都採用夾片型錨頭。

2.14.7 地錨整體的配置

地錨的整體配置包括決定地錨的水平間距、垂直間距、每一個分析臨界剖面所需抗拉力、地錨俯角、自由段長度及錨碇段長度等細部尺寸。以下就決定地錨整體配置加以說明。

一、地錨所需支數或抗拉力：

由邊坡穩定分析結果，決定每一個分析臨界剖面，所需地錨支數、噸數或水平間距。一般而言，地錨垂直或水平間距大都為 2~ 3.5 m，另為避免群錨效應，地錨間距不宜小於 1.2 m。

二、地錨設計拉力的決定：

地錨的設計拉力取決於邊坡穩定分析及錨碇段的地質條件。一般而言，地錨的設計拉力大都小於 100 t，其中以 30~ 60 t 最常使用。

三、錨碇段如果座落在卵礫石層或堅硬的砂岩，因摩擦力較大，其錨碇效果較佳，設計拉力可以採用 60~80 t；如果座落在細顆粒土壤或含泥量較高的岩盤，則其錨碇效果較差，可採用較低之設計拉力或採承載阻抗型的擴座地錨。

四、地錨俯角：

基於經濟性及施工性的考量，使地錨能儘早錨碇在穩定地層，以減少地錨長度，打設通常為向下打設，俯角大都 10°～45° 之間。

五、錨碇段設計：

錨碇段設計包括錨碇段長度、錨碇段防蝕保護措施、錨碇段的灌漿系統。錨碇段長度取決於地錨設計拉力及地質條件，一般地錨的錨碇段長度大都小於 10 m，當錨碇段長度增加時其抗拉力不會呈線性增加。至於錨碇段無法避免座落在特殊地層(如泥岩或軟弱地盤)必需在設計階段先藉由確認試驗加以決定。如果是錨碇段座落在粗顆粒土壤或砂岩可在設計階段藉由分析或經驗決定一適當長度後，再藉由施工階段的適用性試驗及接受試驗加以確認。

六、自由段設計：

由於地錨施工機械的能力限制，自由段的長度大都小於 50 m，但自由段長度也不可太短，避免地錨受外力或地震作用力下，產生脆性破壞，自由段長度規定不可小於 4 m。

七、承壓構造物的型式：

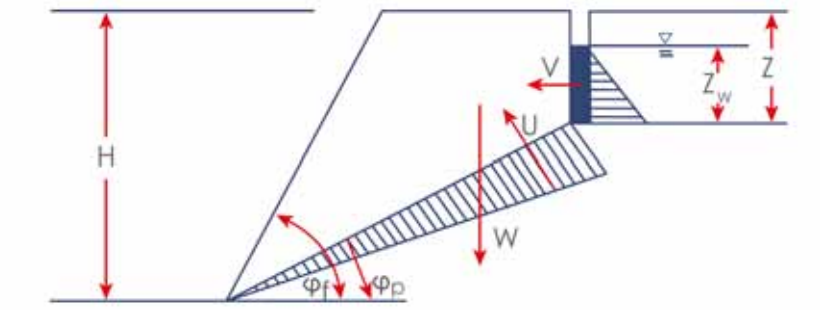
地錨護坡常用的地表承壓構造物型式包括場鑄排樁、RC 格梁面板、RC 面板或預鑄 RC 承壓塊等。設計時通常考量邊坡開挖施工中的穩定性及表層土壤的容許承載力加以決定，至於細部尺寸需經結構分析決定其厚度及配筋。

2.14.8 邊坡穩定分析及安全係數要求

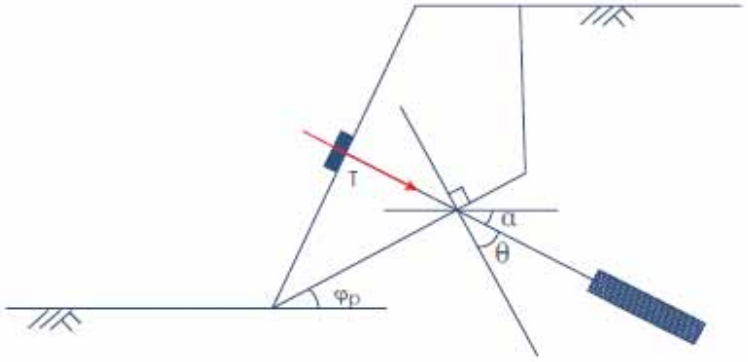
一、地錨設計時需考量邊坡整體的穩定性，檢核在平時、暴雨或地震狀況下的安全係數是否符合水土保持技術規範第 73 條之要求。

二、邊坡穩定分析：

邊坡穩定分析可採極限平衡法或有限元素法分析地錨設置前後之安全係數。至於破壞模式應視地質條件及弱面的位態加以決定，圖 工 2-14-4 適用於順向坡之平面破壞模式，但對於破壞岩盤、土壤或填土區則不適用。不同個案的破壞模式須能模擬較符合現地滑動面之可能破壞形狀為原則。



$$F.S_1 = \frac{CA + (Wcos\varphi_p - U - Vsin\varphi_p)tan\varphi}{Wsin\varphi_p + Vcos\varphi_p} \quad (2.14.1)$$



$$F.S_2 = \frac{CA + (Wcos\varphi_p - U - Vsin\varphi_p + Tcos\theta)tan\varphi}{Wsin\varphi_p + Vcos\varphi_p - Tsin\theta} \quad (2.14.2)$$

圖 工 2-14-4 地錨平面破壞模式之邊坡穩定分析資料來源：Hoek and Bray, 1981)

式中：

V：水壓力=1/2 × $r_w z_w^2$

U：上浮力=1/2 × $r_w z_w$ × A

W：滑動土體重

C：滑動面之土壤凝聚力

φ：滑動面之土壤摩擦力

φ_p：滑動面之傾角

α：地錨俯角

θ：90° $-\varphi_p-\alpha$

$F.S_1$：未加地錨前之安全係數

$F.S_2$：錨定後邊坡之安全係數

地錨設計除考量整體穩定外，尚需檢核主要組成材料與構件介面間之可能破壞機制，決定抗張材(鋼腱)之尺寸、支數及灌漿材料與地層是否拉脫之可能，其安全係數要求如表 工 2-14-1 所示。

表 工 2-14-1 地錨細部構件安全係數之要求(資料來源：國道新建工程局 2014)

分類	抗張材	抗張材與漿體介面	地層與漿體介面
臨時性地錨	1.6	2.0	2.0
長久性地錨	2.0	3.0	3.0

2.14.9 防蝕保護設計

地錨設計需就其使用目的、使用年限及地層條件，採取必要的防蝕保護措施，臨時性地錨使用時間大都小於 2 年，故設計著重於抗滑的功能，是否可達成穩定目的，至於長久性地錨由於使用期限甚長，防蝕保護必需特別考慮，不然地錨的功能會隨著鋼腱鏽蝕逐漸降低，甚至產生破壞，故防蝕的目標係確保地錨在使用年限內，不致因鏽蝕而喪失地錨的擋土功能。

地錨的防蝕功能需以地錨構件三大部分加以說明：

一、自由段的防蝕保護：

(一) 自由段具錨頭與錨碇段間自由傳力的功能，故需使用 PE 平面管包覆鋼腱，使其具有滑動及防蝕的功能，故長久性地錨的自由段保護除整束採較大口徑 PE 平面管護管外，增加防蝕功能，每條鋼腱表面亦可再塗抹防蝕材料並採小口徑 PE 平面護管包覆。

(二) 長久性地錨施完預力後，進行之自由段二次灌漿時，務必確認是否灌滿漿，否則地下水易流入自由段，當鋼腱不受水泥漿包覆時，極易鏽蝕。

二、錨碇段的防蝕保護：

(一) 錨碇段的防蝕保護大都具有雙重防蝕措施，第一重防蝕為水泥漿灌漿材，第二重為 PE 浪型管，但 PE 浪型管不得任意開孔，影響防蝕功能。

(二) 錨碇段與自由段中間的封漿器需要特別處理，例如採用熱縮管，不收縮水泥等材料，確保錨碇段及自由段的正常功能，並避免該介面的漏漿，影響防蝕效果。

三、錨頭的防蝕保護：

錨頭具有鎖定預力的功能，同時又與地表接觸，故錨頭及其下方 50 cm 是整支地錨最易鏽蝕的地方。其設計時應注意：

(一) 長久性地錨長期有維護及檢視的必要，為了後續管理維護，錨頭可採鍍鋅鋼管或 PVC 材質的可拆卸保護座，內灌防鏽油脂或防蝕膏。

(二) 錨頭下方應採用其他防水措施，避免地表水或地下水滲入錨頭。

2.14.10 施工注意事項

一、先確認地錨係為臨時性地錨或長久性地錨，再決定其防蝕措施及安全係數。

二、必須先進行詳細地形、地質、滑動面及地下水等相關調查。

三、決定採用地錨工法前需先檢討有無其他替代方案或工法。

2.14.11 參考文獻

中華民國「公路邊坡工程設計規範」，2015 年 12 月 31 日頒布。

交通部國道新建工程局(2014)，「地錨應用於邊坡工程設計與施工規範(草案)」。

地盤工學會(2012)，「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解說」，日本。

廖瑞堂、陳昭維、楊品錚(2002)，「地錨在台灣之邊坡穩定發展沿革及適用性探討」，地工技術，94，pp. 105-116。

Hoek, E and Bray, J. W., (1981), “Rock Slope Engieering”, E&FN Spon, New York.

2.15 格梁

2.15.1 定義

格梁(Grid beam)為使用預鑄混凝土、現場澆鑄之混凝土或噴混凝土等，於坡面構築成格子狀之梁，並可配合土釘、岩栓、地錨及植生等以增加邊坡穩定。

2.15.2 目的

對於坡度較陡或不穩定之邊坡，以格梁隨坡度變化縱橫交錯舖設於邊坡上，格梁內可填客土袋、植生包植草保護，避免土壤流失，進而可促成植生生長、施工迅速並兼顧生態與安全。

2.15.3 種類與適用範圍

格梁一般適用於坡面岩質風化速度較緩，且坡面起伏較大或不規則之邊坡，以及地層屬砂岩、頁岩或砂頁岩互層、逆向坡或層面傾角較小之邊坡。以下就自由型格梁、場鑄鋼筋混凝土格梁、預鑄鋼筋混凝土格梁、圓木格梁分別說明其定義與適用範圍：

一、自由型格梁(圖 工 2-15-1(a))：

(一) 採用噴凝土配合鋼絲網與鋼索所組成，可隨著邊坡地勢噴灑成框，框內噴植草種或植生基材，抗沖蝕效果良好。

(二) 因其施工較容易，坡面起伏較大者、表層呈風化或崩落現象者及坡度為 45~ 68 度(1:1~ 1:2)之邊坡較常使用。

二、場鑄鋼筋混凝土格梁(圖 工 2-15-1(b))：

(一) 打設岩栓並綁紮鋼筋及組立模板，澆鑄混凝土或噴凝土配合鋼筋或鋼絲網，完成後於格梁內填土植草。

(二) 因鋼筋混凝土格梁斷面大、施工較不具彈性，且需配合岩栓組立，故對於高度大且陡(大於 45 度)之邊坡施工不易應注意，建議用於坡度小於 45 度之低階邊坡。

三、預鑄鋼筋混凝土格梁：

(一) 預鑄鋼筋混凝土格梁為工廠預鑄後運至工地組裝，節點連結效果較差，對於邊坡之穩定作用較低。

(二) 因其施工不易且較難配合岩栓、地錨支撐，故適用於表層剝落較輕微及坡度小於 45 度之邊坡。

四、圓木格梁(圖 工 2-15-2)：

(一) 以鐵絲將等長之圓木綑綁並固定成方格狀，鋪設於坡面上，配合植生可綠化、穩定邊坡之效果。

(二) 因其植生結構強度較低，故適用於沉陷凹凸輕微且坡度小於 45 度之坡面。

(三) 一般圓木材料耐久性較混凝土不佳，可能只有幾年時間，故不建議在永久性設施上使用。

2.15.4 圖說



(a)自由型格梁　　(b)場鑄鋼筋混凝土格梁

圖 工 2-15-1 格梁(資料來源：洪勇善，2005)

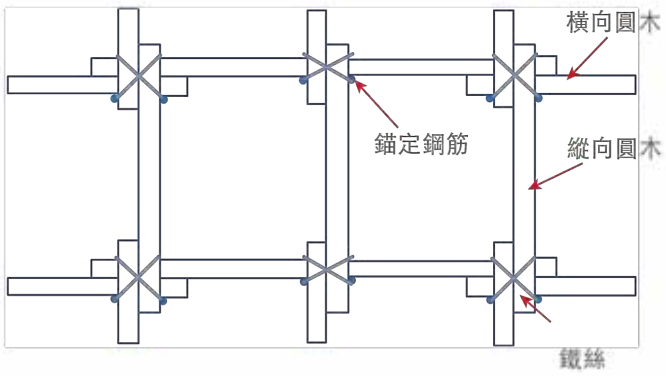


圖 工 2-15-2 圓木格梁示意圖

2.15.5 規劃設計原則

一、自由型格梁之厚度通常為 10~ 15 cm。其橫向格梁建議平行於等高線，縱向格梁則應與等高線垂直。於坡度較陡之邊坡可採噴凝土配合鋼絲網或鋼筋，並加設立體鋼絲網以增強土壤穩固性。

二、場鑄鋼筋混凝土格梁在坡度大於 45 度之坡面，可加設立體鋼絲網，增強土壤穩固性。若於陡坡施工困難，可採用自由型格梁施工。

三、格梁可配合土釘、岩栓或地錨等穩定邊坡。坡面凹凸不平者、坡面岩質風化緩慢且具地下水位者、坡面表層有滑落現象者、開挖面屬薄層砂頁岩互層或其它岩層者、逆向坡或順向坡等穩定性較易不足之邊坡，建議加岩釘或岩栓加強保護(日本建築學，2001；林明華等，2007)。

四、錨碇鋼筋與岩栓適當間距約為 1~ 3 m，長度至少 1 m 以上。

五、建議於場鑄鋼筋混凝土格梁或預鑄混凝土格梁最下層之橫向格梁兩側鑽孔，作為排水之功效，並防止水淤積使土壤不穩定。

六、圓木格梁接合處需配合錨碇鋼筋及鐵絲固定，錨碇鋼筋最頂端應與上層圓木齊高。

2.15.6 施工注意事項

一、為防止格梁內填入之沃土或植生包因坡面雨水沖刷而位移或粒料流失，植生包應緊密堆置。

二、格梁內需植生範圍建議在現場排設鋼筋及岩釘筋打設完成後，於噴設水泥砂漿前以塑膠布鋪設保護。

三、土釘、岩栓與地錨施工時應隨坡面地勢起伏構築，並依照坡面狀況與實際需求調整。

四、預鑄混凝土格梁、場鑄鋼筋混凝土格梁及自由型格梁之混凝土需至少連續濕潤養護 7 天。

五、錨碇鋼筋打入土中後，圓木格梁建議先放置橫向圓木，再放置縱向圓木並捆紮固定。

2.15.7參考文獻

日本建築學(2001)，「建築構造圖解教材」，科技圖書股份有限公司。

水土保持局(2013)，「水土保持局施工規範」，第 02376 章格梁護坡，pp. 3-4。

林明華、林錦宏、楊介碩(2007)，「台灣地區公路邊坡處理探討-以加勁擋土牆及加勁邊坡為例」，中華技術期刊，75，pp. 96-98。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書出版股份有限公司。

洪勇善(2005)，「坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編」，內政部建築研究所委託研究報告，pp. 29-31。

2.16 防落石設施

2.16.1 定義

防落石設施(Rockfall protection facility)係在陡峭易發生落石處，不使交通發生通行障礙或直接撞擊造成人員傷亡之安全設施。防落石設施包含落石預防工法及落石防護工法。

2.16.2 目的

一、對可能發生落石的邊坡加以良好管理。

二、防止落石直接滾落地面，危及道路行人、車輛及房舍等。

2.16.3 種類與適用範圍

一、落石預防工法：

(一) 修坡：

將發生落石之坡面修整、清除危木及調整坡度，排除造成落石之原因。

(二) 浮石清除：

將浮凸出坡面之浮石直接挖除移至安全坡面,排除可能造成落石之材料。

(三) 根部固定：

不易除去之浮石採用根部固定設施，防止岩石風化以及確保穩定。

(四) 排水：

為預防降雨及湧水造成落石，應設置排水設施引至安全處排放。

(五) 噴凝土：

使用噴漿工法增加坡面的穩定。

(六) 岩栓：

將坡面較大之浮石以岩栓固定於穩定之岩層上，防止剝落。

(七) 地錨：

將坡面大範圍之浮石以地錨固定於穩定之岩層上，防止剝落。

二、落石防護工法：

(一) 防落石牆：

似擋土牆之構造物，主要功能為吸收落石及崩塌土之能量。

(二) 防落石護欄：

容易發生落石之斜坡下方或中段以鋼柱支柱、鋼絲網或鋼索等設置攔阻落石繼續滾落。

(三) 掛網、攔石網、消能網：

在較陡之坡面，以鋼絲網或合成纖維網等，成網狀全面覆蓋坡面，使落石岩網內面落下，減少彈跳。

2.16.4 圖說

一、修坡：

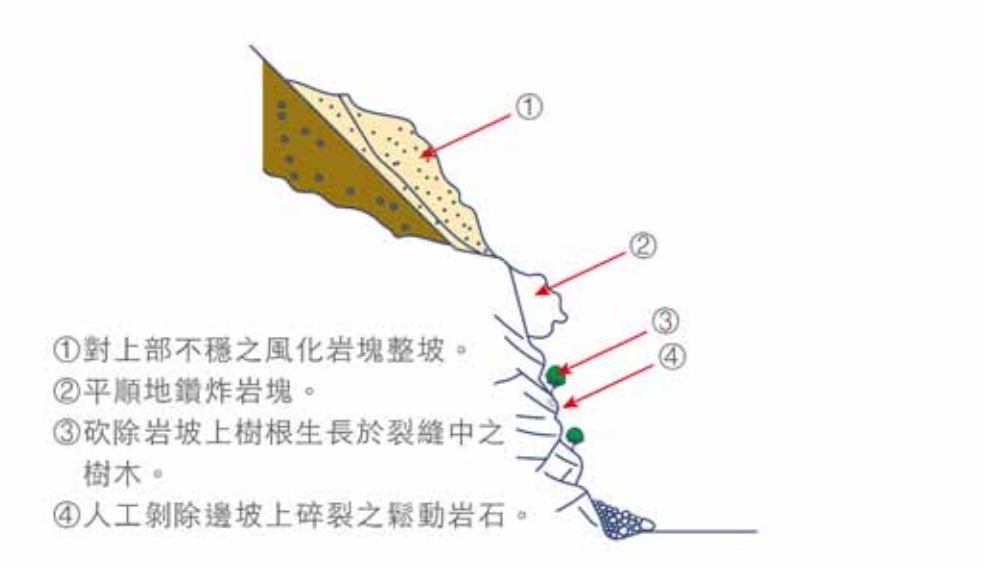


圖 工 2-16-1 修坡示意圖(資料來源：Turner and Schuster, 1996)

二、根部固定：



(a)混凝土　　(b)堆石　　(c)H 型鋼混凝土

圖 工 2-16-2 根部固定示意圖 (資料來源：國道新建工程局，2014)

三、岩栓：

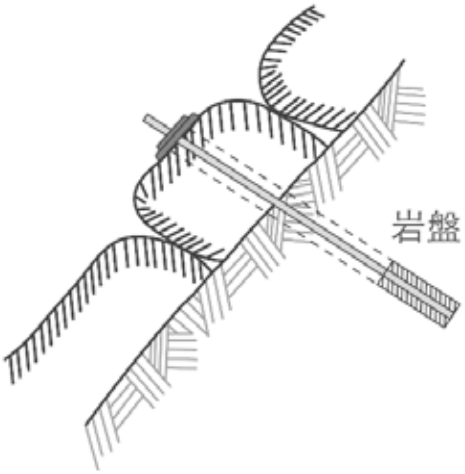


圖 工 2-16-3 岩栓示意圖(資料來源：國道新建工程局，2014)

四、落石防護牆：

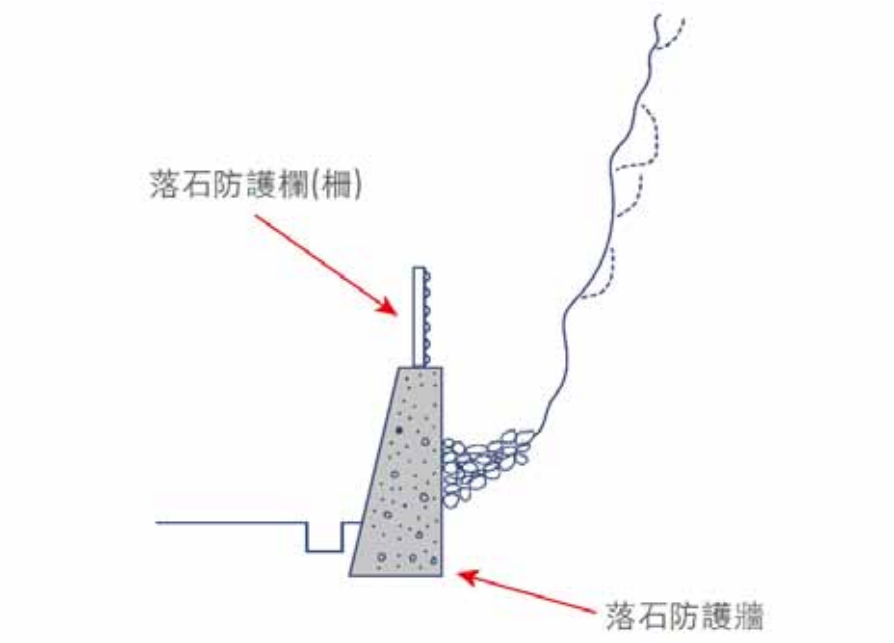
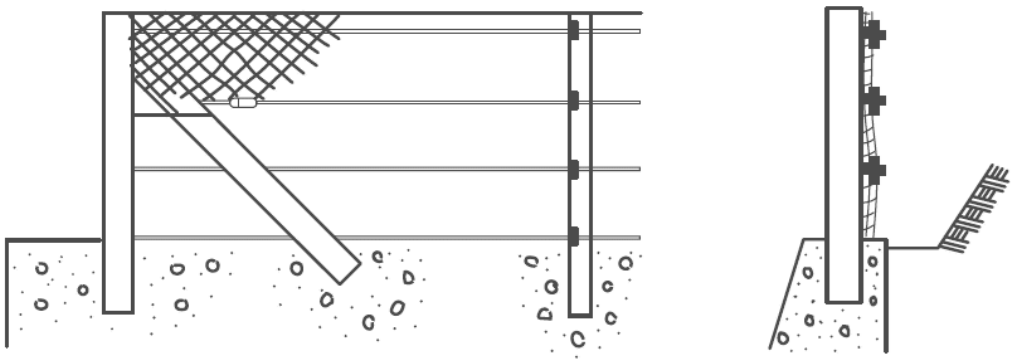


圖 工 2-16-4 落石防護牆示意圖(資料來源：國道新建工程局，2014)

五、落石防護欄(柵)：



正視圖　　側視圖

圖 工 2-16-5 鋼纜金屬網式落石防護欄(柵)示意圖(資料來源：國道新建工程局，2014)

六、掛網、攔石網、消能網：



圖 工 2-16-6 掛網、攔石網、消能網(資料來源：Highland and Bobrowsky, 2008)

2.16.5 規劃設計原則

防落石設施基本考量路線特性、落石的規模、落石的頻率、災害頻率等條件後，可分為兩種工法為落石預防工法與落石防護工法，並採適當的配合，將災害減至最低程度，相關的基本原則如下：

一、於施工前妥善應用落石坡面調查結果。

二、決定落石源頭對策前須周詳考量現場狀況。

三、應充分考量各防治工法的功能上對於現地之限制。

四、併用組合多種工法較採用單一工法之效果顯著。

落石預防工法與落石防護工法的各項措施如下：

一、落石預防工法：

為防止落石發生而將落石固定於坡面上之設施為落石預防措施。應進行妥善的設計及施工，考慮落石發生原因、地形條件、道路構造、周邊環境等影響因素，選擇有效之工法並相互配合使用。

(一) 修坡：

將分布於坡面及接近道路兩側坡面可能成為落石的材料及危木等進行移除，已達坡面穩定之工法，應詳細調查及檢討地形與地質，特別是上段坡面不太平緩時，施工前應更加注意。

(二) 根部固定：

不容易移除的浮石，可於岩縫中採用根部固定工法。小浮石可以使用混凝土工或現地取材小浮石做堆石工支撐，若浮石規模較大時，可加強改用鋼筋混凝土或 H 型鋼等支撐。於施工中必須注意降雨時逕流沖刷坡面的情形，避免造成過度的沖刷。

(三) 噴凝土：

將水泥砂漿或混凝土噴至於坡面，避免膠結破碎的岩層或風化岩盤與空氣及水份接觸，通常不適用於湧水坡面，特別適用於砂岩與頁岩互層的地方。噴水泥砂漿厚度約 5 cm 以上，於氣候惡劣等地區宜 10 cm 以上；噴混凝土厚度約 10 cm 以上。

(四) 岩栓：

通常使用在較小規模之浮石，利用鑽孔機在岩石上鑽孔，需注意於鑽孔時之振動而產生落石，貫穿浮石後插入岩栓注入砂漿並栓緊固定於相當強固之基岩，防止其剝落下落。固定的方式分為固定式、全面接合式或者併用式。通常於岩層較發達處會配合坡面掛網噴漿施工。詳細設計可參考工程篇 2-13 岩栓。

(五) 地錨：

使用地錨在大粒徑浮石上，將不穩定塊體固定在邊坡上，以預防掉落。

二、落石防護工法：

依據道路及邊坡的狀況，選擇最適當的對策實施。設計時先分析防護構造物可能承受之外力，預想落石重量、方向、速度等，所以必須根據現場調查或過

去落石防治經驗等，以決定最適合的設計條件。但是以落石防護欄或落石防護網，亦可直接依據坡面的實際經驗做相關設計。

(一) 落石防護牆：

適用於坡度較緩或道路旁較寬廣的地方，並於牆後設置落石溝也可與落石防護欄(柵)同時採用，為防止落石滾落至道路上的防護措施。防護牆之設計可以參考重力式擋土牆，主要功能為吸收落石及崩塌土運動能量，轉換成擋土牆主體及支撐變形的能量，於設計時需考慮落石重量、高度等以決定防護牆設置之長度於絕對安全的範圍內。

(二) 落石防護欄(柵)：

根據坡面狀況，決定防護欄(柵)的種類及大小，通常適用於較小規模的落石。依防護欄(柵)材料可分為鋼纜金屬網式與 H 型式。於道路沿線彎曲或長度過長的情況，依情況分段設置防護欄(柵)，而防護欄(柵)交接處宜相互重疊，可防止落石掉入防護欄(柵)間隙內。可視情況增加廢輪胎等緩衝材料增加消能效果。考慮清理方便性，建議底層為活動式，以利於落石之清除作業。落石清除方式，可將落石從底部拆卸支承鋼纜金屬網或無須拆卸而直接以人工及機器對護欄內進行清空處理。

(三) 掛網、攔石網、消能網：

適用於岩層非常破碎、岩坡落石太頻繁或邊坡陡峭時，可在坡腹設置攔石網或消能網，以限制落石的運動、削減撞擊的能量或導向其他安全地方，減少落石掉到路面或危害保全對象。

2.16.6 施工注意事項

一、岩石邊坡上不宜設計階段式岩坡，以防止落石彈跳及堆積於階段平台上，不易清理。

二、工程施作宜於旱季施工，若延到雨季，則需加強安全排水，確保工程、鄰近邊坡及結構物的影響為最低。

三、岩錨之設計應考慮邊坡排水不良及降雨等坡面沖蝕導致地錨預力損失。

2.16.7 參考文獻

中華民國「公路邊坡工程設計規範」2015 年 12 月 31 日頒布。

台北市政府建設局、中華水土保持學會(1995)，「臺北市水土保持手冊」。

交通部台灣區國道新建工程局(2014)，「公路邊坡工程設計與施工規範(草案)」，台灣，pp. 157-167。

Highland, L., Bobrowsky, P. T., and Geological Survey (U.S.) (2008). The landslide handbook : a guide to understanding landslides, U.S. Geological Survey, Reston, Va.

Turner, A. K., and Schuster, R. L. (1996). Landslides : investigation and mitigation, National Academy Press, Washington, D.C.

2.17 土石堆置場

2.17.1 定義

工程施工所產生之剩餘泥、土、砂、石、磚、瓦、混凝土塊做有效管理利用，供土石方資源暫屯、轉運、堆置、破碎、碎解、洗選、篩選、分類、拌合、加工、回收、處理、再生利用功能及機具設備之場所為土石堆置場(Soil bank)，避免施工過程造成環境破壞與災害，以維護公共交通、環境衛生及環境安全等。

2.17.2 目的

基本上，設置土石堆置場的積極主要功能如下：

一、暫囤堆置：

可容納剩餘土石、礦碴及建築剩餘土石方暫時堆置，以防止土石方任意棄置。且良質土可直接成為回填材料，暫時堆置於土石堆置場，等待再利用。

二、加工改良：

不良之土方需先經土質改良，如加入石灰、混泥土等拌合後改善土質，或大塊碎解、選別、分類、煆燒之加工改良方式等，以便回收再利用。

三、回收利用：

如填海造地，或置於河川浮覆地以開發之，但需同時做好環境保育及水土保持；如此不但可以增加土地面積，亦可提高經濟效益。

四、防止土石災害：

依規定堆置於土石堆置場內之土石，可維持土石之穩定，防止沖蝕及下游之災害，保護生命財產及公共設施之安全。

五、維護環境及景觀：

將剩餘或待處理之土石方集中於土石堆置場，降低土砂飛揚所造成之空氣污染，並減輕土石任意堆置之景觀衝擊。

2.17.3 種類與適用範圍

一、山谷土石堆置場：

利用低窪之山谷，在其較平坦之處設置擋土、排水、護坡、植生等設施，以供堆積剩餘土石，如圖 工 2-17-1。其上游集水區面積以不超過 20 ha 為原則，

超過時排水設施應加強。暗渠排水之進水口應設計防堵塞設施，以免堵塞，如圖工 2-17-5。

二、河岸土石堆置場：

利用溪岸在局部寬闊地區，設置順堤、護岸等設施，以供堆置剩餘土石，如圖 工 2-17-2。設置地點以不影響排洪及防洪工程之安全為準。

三、山腹土石堆置場：

利用山腹平坦地設置排水及邊坡穩定等設施，以供堆置剩餘土石，如圖 工 2-17-3。其下方影響範圍內有崩塌之虞及房舍、重要公共設施者，不得使用為棄土場。

四、平坦地土石堆置場：

利用平坦地堆置剩餘土石方，應有妥善之保護措施，不得妨礙交通及排水，如圖 工 2-17-4。

2.17.4 圖說

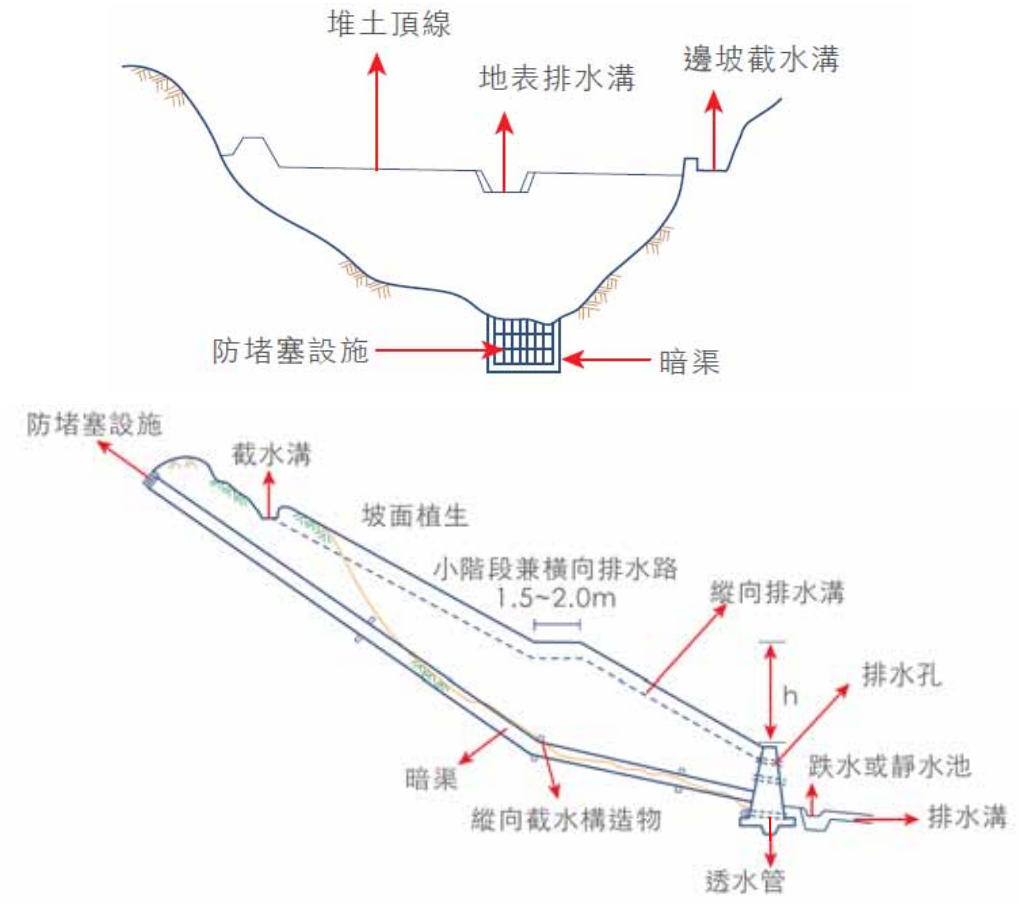
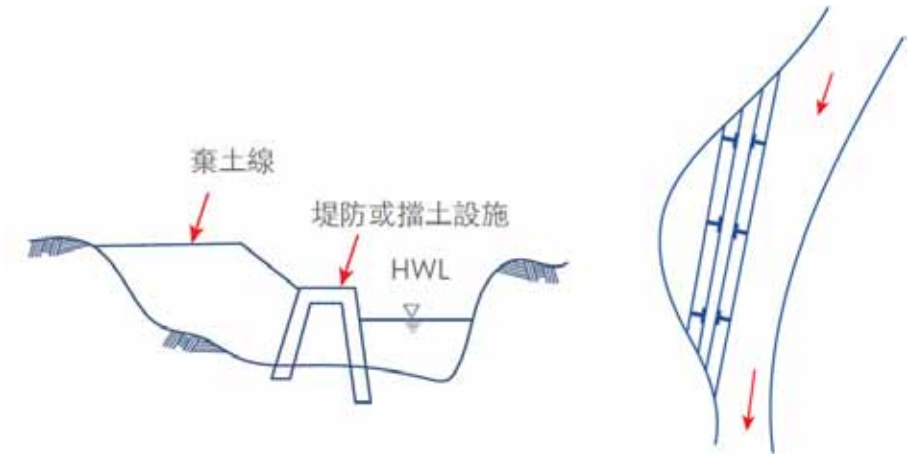
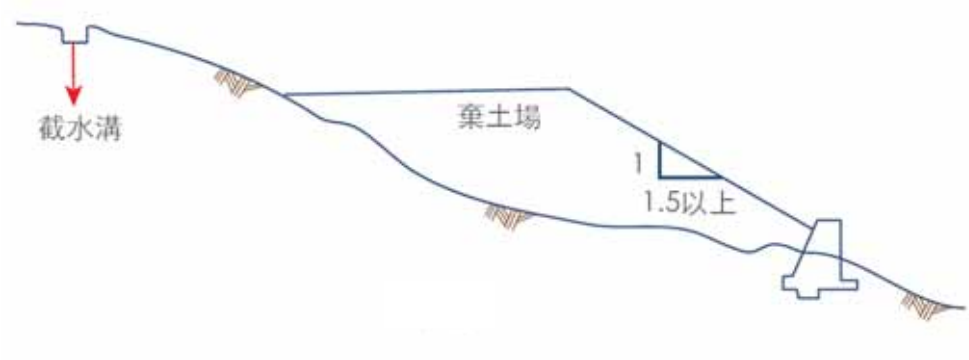


圖 工 2-17-1 山谷土石堆置場示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

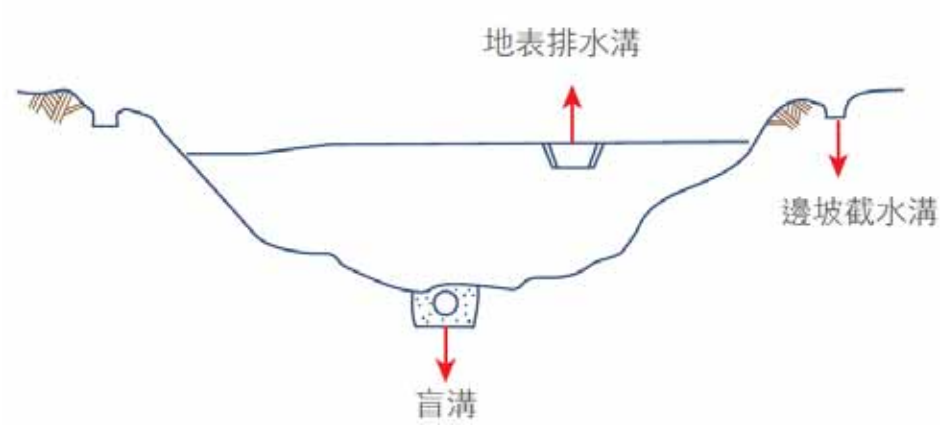


橫斷面　　平面圖

圖 工 2-17-2 河岸土石堆置場示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)



斷面圖



橫斷面圖

圖 工 2-17-3 山腹土石堆置場示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

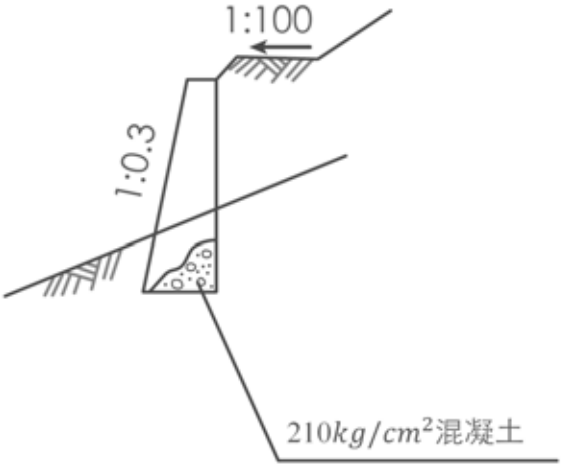


圖 工 2-17-4 平坦地土石堆置場示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

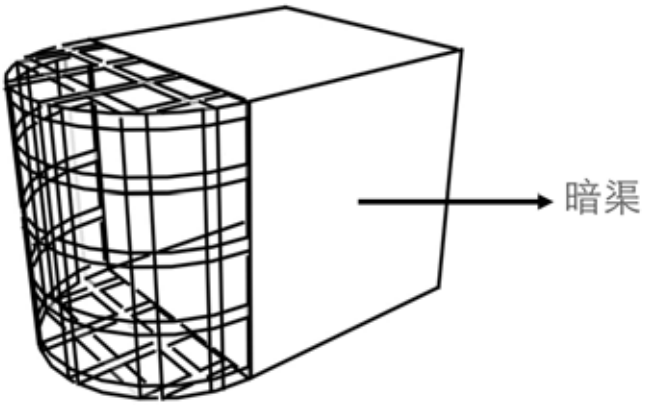


圖 工 2-17-5 防堵塞設施示意圖

2.17.5 規劃設計原則

一、土石堆置場之主要構造物：

表 工 2-17-1 土石堆置場之主要構造物(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

種類	主要構造物			
山谷土石堆置場	擋土牆	防砂壩	排水系統	植生
河岸土石堆置場	堤防	護岸	排水系統	植生
山腹土石堆置場	擋土牆	排水系統	植生	
平坦地土石堆置場	擋土牆	排水系統	植生	

(一) 一般土石堆置場之位置，應按堆積物種類、集水區之地質、環境、出水情形、經費等諸因子選定之。

(二) 為避免土石堆置場內之土石造成下游地區之災害，堆置場內需設置滯洪及沉砂設施，並以臨時滯洪池及臨時沉砂池之設計容量為標準，並須考量攔污柵等設計。土石堆置場出口處需設置洗車台，避免造成場外道路污染。

(三) 各主構造物之設計除參照各有關章節外，其他各項標準如下：

1. 盲管排水：為排除土石堆置場之滲透水，應設盲管。一般盲管可採用 ϕ15~ 30 cm 之透水管，外緣以卵礫石堆砌其厚度 30~ 50 cm。
2. 暗渠排水：為宣洩上游集水區逕流，山谷及山腹土石堆置場應設暗渠，其斷面應足以安全排除逕流、浮游物及泥砂。山谷或山腹土石堆置場最高填土面兩側之山坡應設置截水溝。

二、土石堆置場之坡面每隔 50 m 應設縱向排水溝。

三、為排除滲透水及湧水，應沿牆線於牆趾下方設置排水溝。

四、各種土石堆置場之堆土高度，以不超過鄰近地況高度為原則。每填土高 5 m 應設 1.5~ 2 m 之階段，填土坡度不得大於 33% (1:1.5)，並應通過邊坡穩定分析之檢核。

五、土石堆置場之表面，除流水之接觸面者另設保護工程外，應全面施以植生綠化。綠化用之植物以採用鄉土植物為原則。

六、土石堆置場週邊應設置緩衝帶，以降低對鄰地之影響。

2.17.6 施工注意事項

一、土石堆置場供為大塊岩石堆積時，為避免由高處傾倒衝擊壩體，壩體背面應預先填築小土堤或在堆土底部開挖壕溝阻擋。

二、一般土石堆置場設計坡度應小於或等於自然安息角。

三、不得將都市垃圾有機物質捨棄於場內。

四、土石堆置場內之原地面植被應予清除，以防滑動及過分沉陷。

五、公共工程建設應土石堆置場納入工程施工計畫內予以管理，由工程主辦機關負責督導剩餘土石方之處理。

六、土石堆置場之設置地點應以低窪地、山谷地或海埔地優先建置，但有妥善處理計畫，經主管機關審查認為不影響安全者不在此限。

七、管理及維護：

(一) 山谷土石堆置場之進水口、沉砂池應隨時注意清除並增設防堵塞設施，避免阻塞影響排洪。

(二) 土石堆置場之周邊設備、截水溝、排水溝及擋土牆之排水孔應保持暢通。

(三) 應隨時注意坡面植生之維護。

2.17.7 參考文獻

中國水土保持學會水土保持規劃設計專業委員會(2011)，「生產建設項目水土保持設計指南」，中國水利水電出版社。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.18 排水溝

2.18.1 定義

排水溝(Drainage ditch)為將地表逕流有效的引導、分流或排放至下游安全地點而施設之構造物。

2.18.2 目的

一、攔截逕流，以免下方坡面發生沖蝕，保護坡地安全。

二、控制逕流之流量、流速及流向，並與天然或人工渠道銜接形成排水系統，以有效引導分流，排放逕流。

2.18.3 種類與適用範圍

一、以作用分：

(一) 橫向截水溝：

沿近似垂直逕流流動方向，設置於保護對象之上方，以攔截逕流導引至安全地點者，凡需要攔截上方逕流，以免下方坡面發生沖蝕或災害時適用。

(二) 縱向排水溝：

順地面坡度構築以安全宣洩逕流者，一般在襯砌材料容許流速範圍內均適用。

二、以斷面形式分：矩形、梯形、U 形、拋物線形、L 形等。

三、以襯砌溝面材料分：

(一) 草溝：

密植草類於土築溝面，以防止沖蝕，維護生態景觀。坡度平緩，無常流水流速 2.5 m/s 以下適用，有常流水或流速超過 2.5 m/s 時適用複式草溝。

(二) 砌石溝：

用卵石襯砌溝面，以保護溝身安全者。農地排水系統、道路邊溝、坡地社區排水等速度較大、土壤易沖蝕之處適用。

(三) 混凝土溝：

用混凝土或鋼筋混凝土襯砌溝面，以保護溝身安全者。道路邊溝、坡地社區排水、都市排水等坡度陡需快速排放逕流之處適用。

(四) 土質溝：

原地面開挖整修成溝。土質佳之緩坡或臨時性排水適用。

(五) 浪型鋼板溝：

用浪型鋼板襯砌溝面，以保護溝身安全者。地滑、邊坡不穩區利用鋼材高延長性及質輕特性，適用坡頂截水或坡面排水。

2.18.3 圖說

一、矩形：

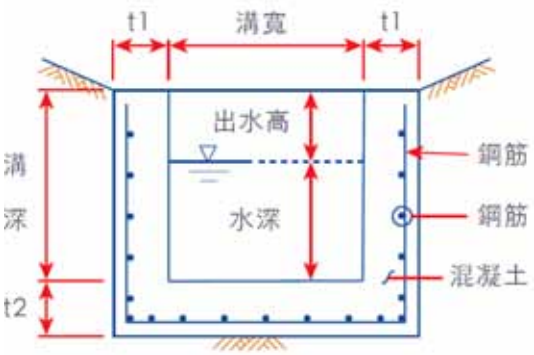


圖 工 2-18-1 鋼筋混凝土溝(資料來源：水土保持局，2011)

二、U 形：

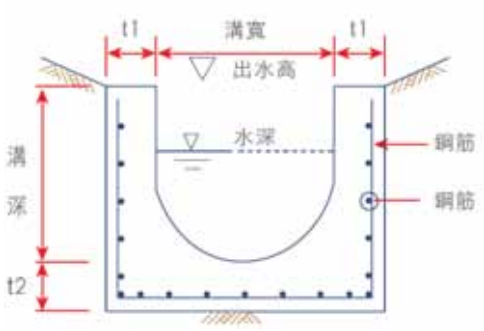


圖 工 2-18-2 鋼筋混凝土溝示意圖(資料來源：水土保持局，2011)

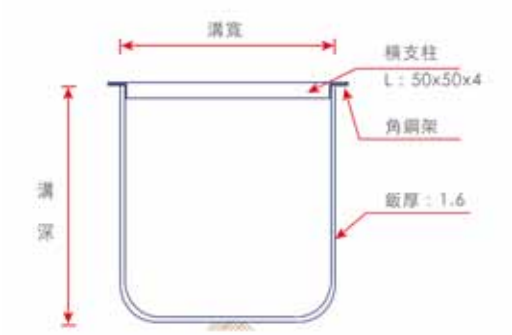


圖 工 2-18-3 浪型鋼板溝示意圖

三、梯形：

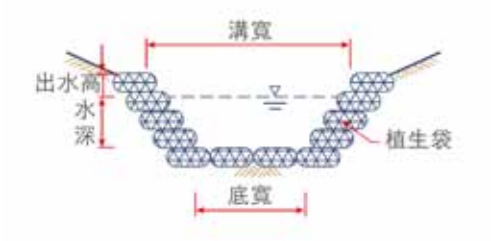


圖 工 2-18-4 植生袋溝示意圖(資料來源：林務局，2010)



圖 工 2-18-5 乾砌石溝示意圖(資料來源：公共工程委員會，2004)

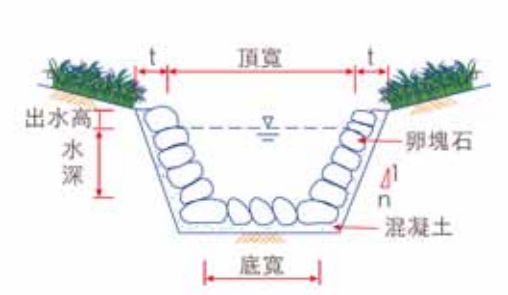


圖 工 2-18-6 漿砌石溝示意圖(資料來源：林務局，2010)

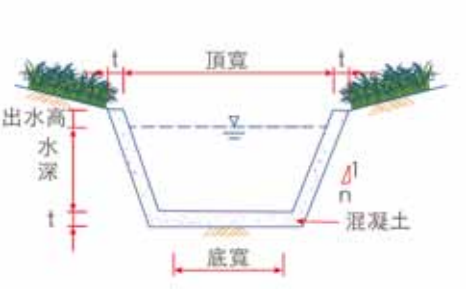


圖 工 2-18-7 混凝土溝示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

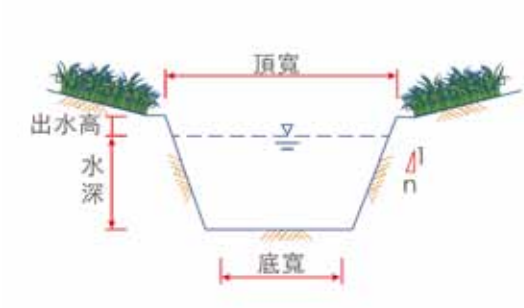


圖 工 2-18-8 土溝示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

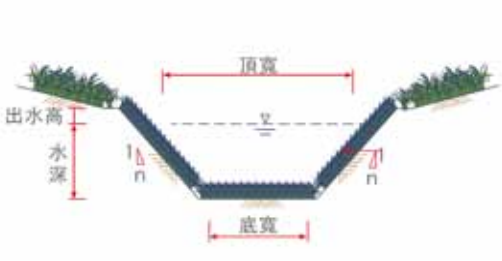


圖 工 2-18-9 草溝示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

四、拋物線型：

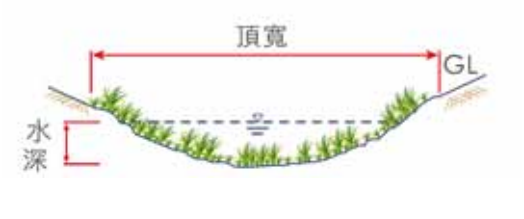


圖 工 2-18-10 草溝示意圖(資料來源：公共工程委員會，2004)

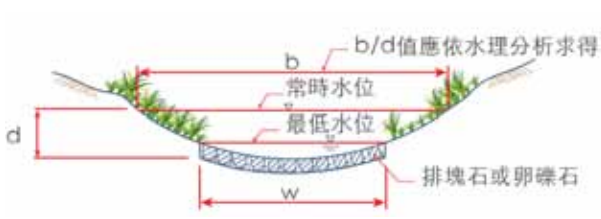


圖 工 2-18-11 複式草溝示意圖(資料來源：公共工程委員會，2004)

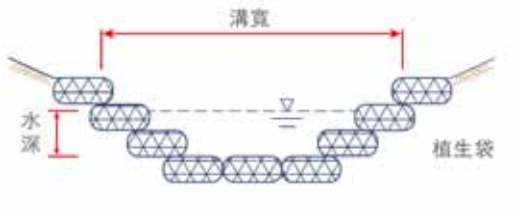


圖 工 2-18-12 植生袋溝示意圖(資料來源：林務局，2010)

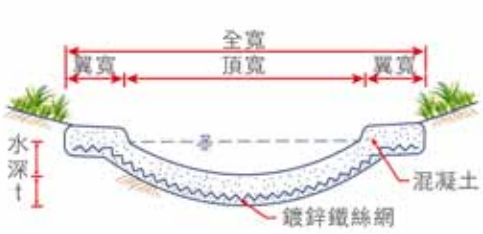


圖 工 2-18-13 拍漿溝示意圖(資料來源：林務局，2010)

五、L 型：

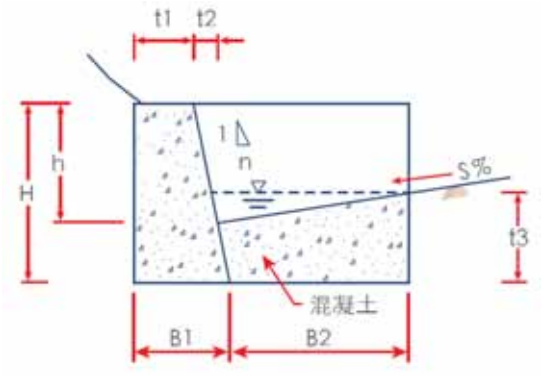


圖 工 2-18-14 L 型溝示意圖(資料來源：林務局，2010)

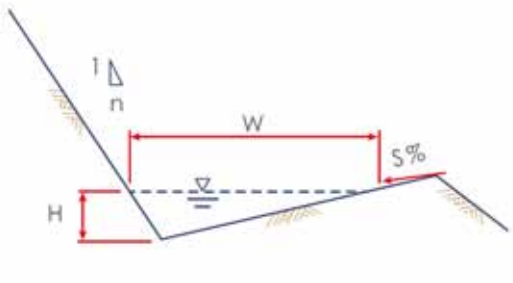


圖 工 2-18-15 平台階段內斜溝示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

六、集水井：

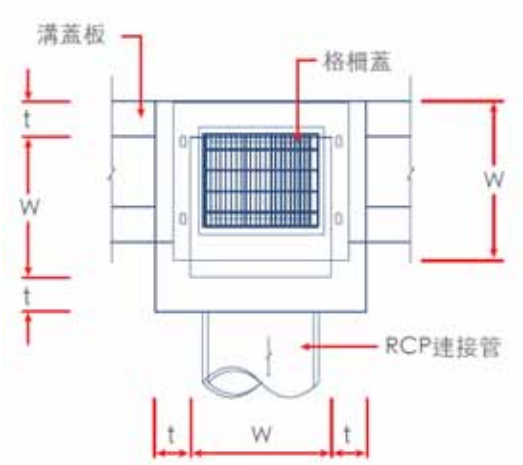


圖 工 2-18-16 集水井平面示意圖(資料來源：公共工程委員會，2004)

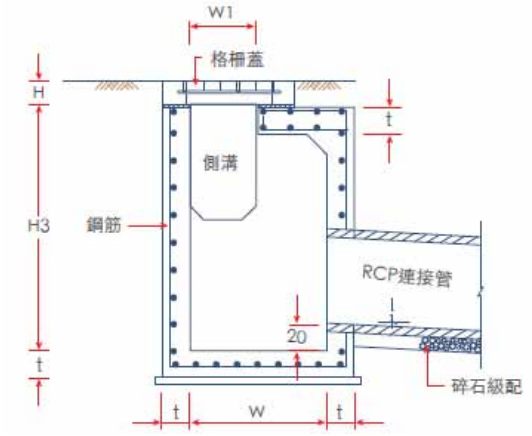


圖 工 2-18-17 集水井剖面示意圖(資料來源：公共工程委員會，2004)

2.18.4 規劃設計原則

一、逕流量Q_i：

按水土保持技術規範規定重現期距之降雨強度，推估洪峰流量設計。

二、坡降S：

水力坡降，曼寧公式中之坡度雖為水力學上之坡度，但由於排水溝為人工渠道，其水面與溝底坡度相同，故設計上可以渠道縱坡計算，如該排水溝溝底坡降不同，則應分段計算。

三、形式：

常用排水溝斷面形式有矩形、梯形、U形、拋物線形及 L 形等，就經濟、安全、有效及景觀生態等適用情形選定。

四、斷面大小：

根據逕流量、泥砂含量、坡降、襯砌材料、粗糙程度等設定斷面大小(即溝寬及水深)。

五、排洪量：依據設定排水溝斷面所得 A 及 V 求得排洪量，公式如下：

$$Q_0 = \mathrm{A} \times \mathrm{V} \tag{2.18.1}$$

式中

Q_0：排洪水量(m^3/sec)

A：斷面積(m^2)

V：平均流速（m/sec）

(一) 平均流速：平均流速採用曼寧公式計算。

$$\mathrm{V} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \tag{2.18.2}$$

式中

V：平均流速(m/sec)

n：曼寧粗糙係數

R：水力半徑(m)

S：渠道縱坡

(二) 水力半徑：

$$\mathrm{R} = \frac{A}{P} \tag{2.18.2}$$

式中

R：水力半徑(m)

A：通水斷面積(m^2)

P：潤周長，即與水接觸斷面之長度(m)

(三) 曼寧粗糙係數：

其大小因溝內物質之光滑程度而異，按溝內物質及其狀態列如表 工 2-18-1。

表 工 2-18-1 曼寧粗糙係數 n 值(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

溝內物質		n 值範圍	平均值	溝內物質		n 值範圍	平均值
無內面工	粘土質	0.016-0.022	0.020	有內面工	漿砌磚	0.012-0.017	0.014
	溝身整齊者砂壤、粘壤土	—	0.020		漿砌石	0.017-0.030	0.020
	溝身整齊者稀疏草生	0.035-0.045	0.040		乾砌石	0.025-0.035	0.030
	全面密草生	0.040-0.060	0.050		有規則土底兩岸砌石	—	0.025
	雜有直徑 1.3 公分小石	—	0.022		不規則土底兩岸砌石	0.023-0.035	0.030
	雜有直徑 2.6 公分小石	—	0.025		純水泥漿平滑者	0.010-0.014	0.012
	平滑均勻岩質	0.030-0.035	0.033		礫石底兩岸混凝土	0.015-0.025	0.020
	不平滑岩質	0.035-0.045	0.040				

六、最大容許流速：

坡地排水之平均流速，應小於最大容許流速，常流水之最大容許流速依下表選定之。

表 工 2-18-2 最大容許流速(資料來源：水土保持技術規範，2014)

土　　質	最大容許流速（m/s）	土　　質	最大容許流速（m/s）
純細砂	0.23-0.30	平常礫土	1.23-1.52
不緻密之細砂	0.30-0.46	全面密草生	1.50-2.50
粗石及細砂石	0.46-0.61	粗礫、石礫及砂礫	1.52-1.83
平常砂土	0.61-0.76	礫岩、硬土層、軟質、水成岩	1.83-2.44
砂質壤土	0.76-0.84	硬岩	3.05-4.57
堅壤土及粘質壤土	0.91-1.14	混凝土	4.57-6.10

無常流水之最大容許流速可提高如下：

(一) 混凝土(140 kg/cm^2)或混凝土砌塊石：最大容許流速為 6.1 m/s。

(二) 鋼筋混凝土(210 kg/cm^2)：採最大容許流速為 12 m/s。可依混凝土抗壓強度比例調整最大容許流速。

七、最小容許流速：

混凝土或鋼筋混凝土排水設施之平均流速，應大於 0.8 m/s 以防泥砂淤積。

八、出水高：排水溝出水高之設計原則如下：

(一) 依設計水深之 25%計算之。

(二) 最小值為 20 cm。但 L 型、拋物線型排水溝，不在此限。

2.18.5 施工注意事項

一、排水溝儘可能依直線設置，避免急轉彎；或於彎曲部外側加強保護並加高。

二、排水溝斷面由上游至下游宜分段隨流量增加而加大，溝頂應低於兩岸原地面 10 公分以上，以利兩岸之排水。

三、排水溝縱坡應力求平順，避免變化過大。坡度在 10%以上者，每隔 10~40 m 應設截水牆一處，兼具截水與止滑的功能，截水牆需高於坡面 5 cm 以上，軸向略往上，以收集地表水。

四、排水溝每隔適當長度，視需要轉角處設置靜水池，匯流處設置匯流井及高差大或流末設置跌水以消能兼沉砂功能。

五、梯形草溝溝面坡度應小於 1:1.5，以利草溝生長，並適時修剪以維持設計通水斷面。

六、浪型鋼板溝應用於地滑地時需設洩水孔，兩側需回填碎石，避免水流無法流入溝內或地下水位升高溝體變型。

2.18.6 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

行政院公共工程委員會(2004)，「基層公共工程基本圖彙編」。

行政院農業委員會水土保持局(2011)，「農村再生設施設計參考基本圖」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會林務局(2010)，「工程構造物基本圖冊」。

2.19 暗渠

2.19.1 定義

暗渠(Underdrain)施設於地表下，用於排除地下水及地下滲流水或銜接明渠以排除地表逕流，有效地引導、分流或排放至下游安全地區。

2.19.2 目的

一、排除地下水及地下滲流水等。

二、銜接明渠以排除地表逕流。

三、增進土地利用與道路通行。

2.19.3 種類與適用範圍

一、涵管：

(一) 普通混凝土管：

一般規格為長 60 cm，管徑 20~ 120 cm，以鋼筋混凝土鑄成。適用於農地排水系統，道路最大負荷重限制為H-10。

(二) 離心式混凝土管：

鋼筋混凝土製品，以離心力法製造。適用於各種排水系統，道路最大荷重H-20，一般規格管徑 20~ 120 cm 者，有效管長為 2.5 m，管徑 135~ 300 cm 者，有效管長為 2.43 m。外壓強度則由小管徑之 780 kg/m^2 至大管徑之 11,730 kg/m^2。

(三) 聚乙烯管(PE)、高密度聚乙烯管(HDPE)：

PE 為聚乙烯擠壓製成、HDPE 為高密度聚乙烯擠壓製成，兩者皆質輕堅韌、施工簡便、耐酸鹼。HDPE 抗壓強度大於 PE，較適用於各種排水系統而其上方未有明顯荷重者，如公園、遊憩用地、運動或軍事場地等。

二、箱涵：

鋼筋混凝土構造，依據公路標準圖為正方形或長方形，大小為 1 m×1 m~ 3 m×3 m，每 50 cm 為一級，除單孔箱涵外，亦可設計成雙孔及三孔箱涵，適用於各種排水系統，道路最大荷重 HS-20。

三、盲溝：

盲溝可分為兩種，分別為碎石盲溝及塑料盲溝，適用於收集淺槽(地表下約 5m 以內)之地下水，或收集回填土與原地層界面間之滲流水。

(一) 碎石盲溝：

1. 盲溝內分層填入不同粒徑大小之碎石，利用其透水性，將地下水匯集於溝內，並沿溝排放置適當位置。
2. 滲透材料為碎石，故其滲透性強，擋土性弱。易造成土砂淤積堵塞，使盲溝之集水與排水能力降低。組成結構較鬆散，抵抗變形能力差，易受周圍土體擠壓變形。
3. 適用於工程較小之填方邊坡底部，以排除邊坡入滲之地下水。

(二) 塑料盲溝：

1. 盲溝內埋設排水管或尼龍絲網製成之滲透材料，並於盲溝外填以碎石或低透水性回填土。有擋土、排水及防止土砂淤積堵塞之功能。
2. 塑料盲溝開孔率高(85%~95%)，芯體耐壓性及彈性佳，不易受土體擠壓變形，故其抗壓性強、排水量大、耐久性佳且施工方便。
3. 適用於水流使土體產生嚴重滲透變形處，將濾水材料設置於土體中之排水體周圍，以確保工程安全。

2.19.3 圖說

一、涵管：

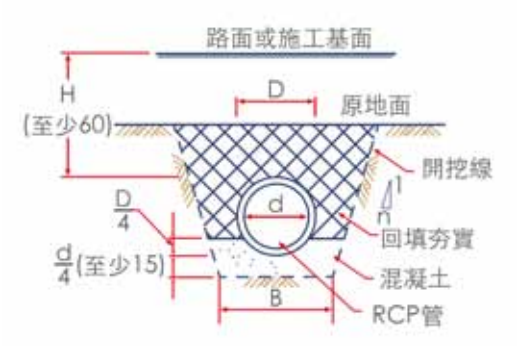


圖 工 2-19-1 涵管(RCP)示意圖(資料來源：「公共工程委員會」，2004)

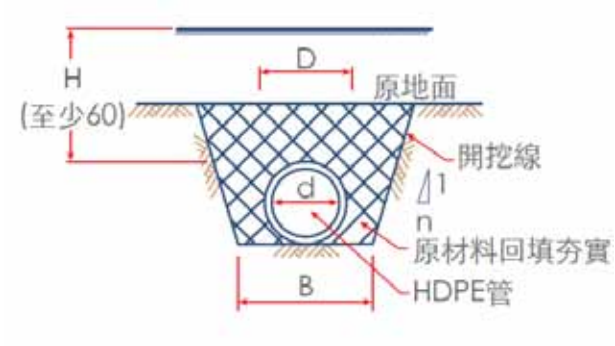


圖 工 2-19-2 涵管(HDPE)示意圖(資料來源：「公共工程委員會」，2004)

二、箱涵(配筋數量及間距為示意圖)：

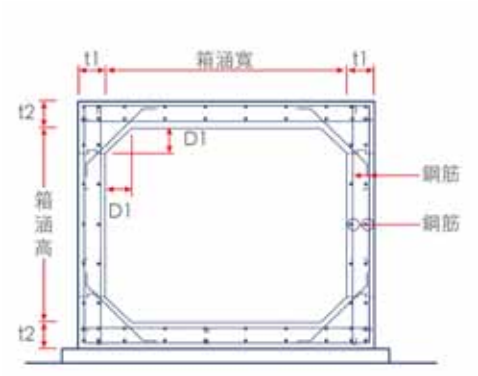


圖 工 2-19-3 單孔箱涵示意圖(資料來源：林務局，2010)

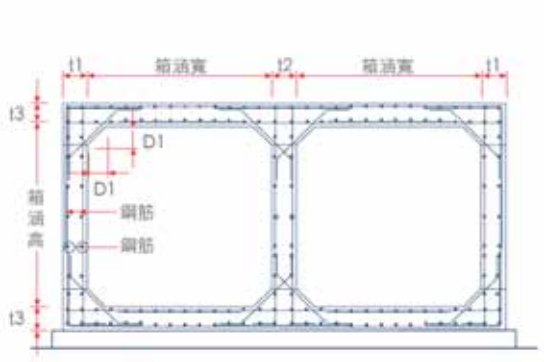


圖 工 2-19-4 雙孔箱涵示意圖(資料來源：林務局，2010)

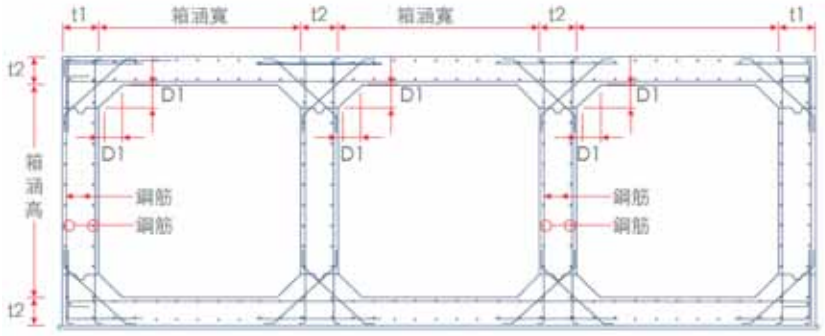


圖 工 2-19-5 三孔箱涵示意圖(資料來源：林務局，2010)

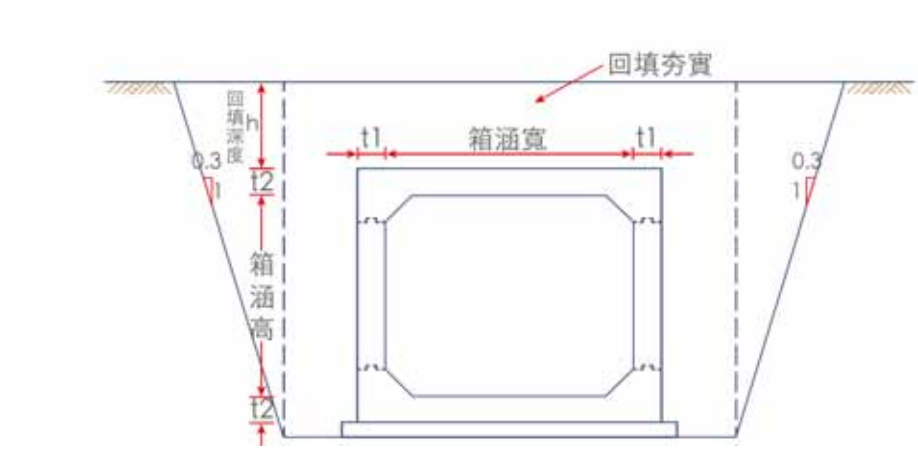
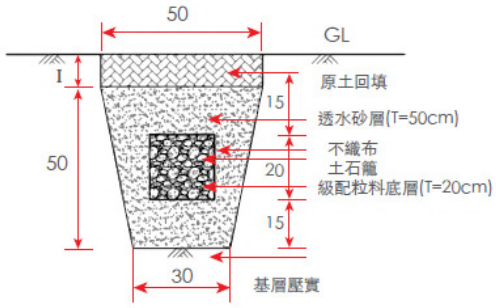
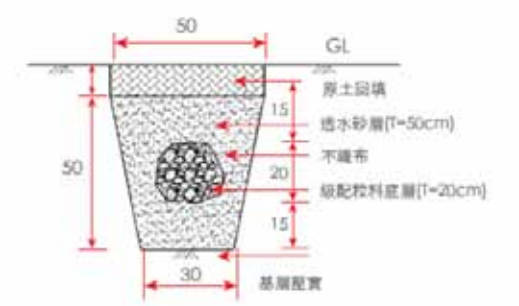


圖 工 2-19-6 箱涵埋設斷面示意圖(資料來源：林務局，2010)

三、盲溝：

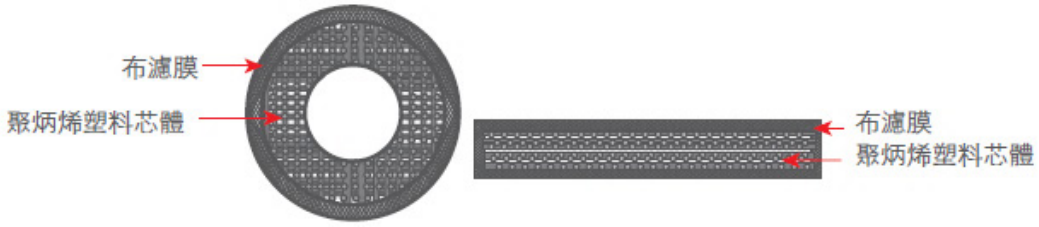


簡易暗渠 1 側剖面圖



簡易暗渠 2 側剖面圖

圖 工 2-19-7 盲溝示意圖(資料來源：水土保持局，2011)



(a)中空原型塑料盲溝　　(b)多孔矩形塑料盲溝

圖 工 2-19-8 塑料盲溝示意圖(資料來源：顧衛，2010)

2.19.4 規劃設計原則

一、估計逕流量Q：

請參閱「2.18 節排水溝」設計。

二、涵管：

(一) 涵管斷面以不設計滿流為原則，水深不大於內徑之 0.75 倍。

(二) 涵管原則上坡度介於 3~ 26%，但實務上之坡度應以實際計算為主。坡度較陡者建議設止滑榫或截水牆等防止下滑。

(三) 涵管埋設深度，普通混凝土管至少 50 cm 以上，離心式壓力混凝土管為 20 cm 以上，且以不大於 6 m 為原則。

(四) 涵管出口之底部，應與其下游排水溝水面相等或高於水面，必要時需設置跌水等消能設施。

三、箱涵：

(一) 箱涵常用斷面為正方形，亦即箱涵高 H 等於箱涵寬 W。若採矩形時，箱涵寬 W 不大於 2H。

(二) 箱涵之高、寬以不小於 1.5 m 為原則，以利清淤作業。

(三) 通常箱涵設計水深為 y=0.8H，H 為箱涵高，並於入水口處設置半圓柱型攔污柵以防阻塞。

(四) 箱涵埋設深度為 0~ 7 m。

四、盲溝：

(一) 盲溝之設計應以使地下水及雨水可順利排出坡面為原則(建議將盲溝接出坡面)。

(二) 當地下水影響路基強度或邊坡穩定時，建議設置盲溝，並視需求決定埋設深度，以透水材料進行回填。

(三) 盲溝之橫斷面可考慮設計為渠狀或上寬下窄之梯形。

(四) 若為排除淺層地下水之使用時，盲溝之深度不宜超過 5 公尺。

(五) 盲溝之排水能力小，不宜過長。出水口底面高程應較溝外最高水位高 20 cm，以防止水流倒流。

(六) 碎石盲溝底部建議填以粒徑較大之碎石(3~ 5 cm)，其空隙大，使水較易流動。盲溝上部則可填入低透水性回填土，減少雨水入滲。

(七) 設置於路基挖方與填方交界處之橫向盲溝，可攔截或排除路基下方之層間水或泉水，以保持路堤填土之穩定性。

五、箱涵及涵管於管渠之方向、坡度及管徑變化，落差過大處及管渠之合流點匯合點必須設置人孔，人孔以 50 m 及 60 m 設置一處原則，如為雙孔以上箱涵時應分別設置並交錯排列。

2.19.5 施工注意事項

一、涵管底座應確實整平並儘量避免埋設於填土區上，如位於填土區上，應注意基礎土壤夯實，並加強涵管銜接部分，以防止涵管脫落。若土質較差地區使用混凝土管時，應鋪設 140 kg/cm^2 混凝土加強，接頭應以水泥砂漿填縫，周圍回填土應選用不含大塊石之顆粒性材料分層夯實。

二、涵管底座可分為：

(一) 砂基座：

適用於地質良好地盤，底座厚度一般為涵管外徑之 0.4～0.5 倍，回填砂高度可達半管或全管。

(二) 碎石基座：

適用於鬆軟地盤，地下水位較高處，回填厚度為 20～30 cm。

(三) 混凝土基座：

除適用於軟弱地盤外，尚具有保護涵管之功用。

三、涵管入口宜設半圓柱或半球型攔污柵，出口應設消能設施或銜接排水溝。

四、涵管之排水容量，除應足以宣洩設計洪水量外，尚應參酌泥砂含量及漂流物而加大斷面。

五、涵管橫越道路等主要設施時，儘量與其成正交。

六、涵管埋於山坡地或倒虹吸構造時，須設置混凝土加強座（或稱項圈）以防止滑動變形及滲流。

七、處理地滑地區地下滲透水，應先觀察、測定地下水來源、流動方向，並研判滑動面後，在其上方靠近源頭處設置暗渠排水、集水井等設施。

八、當涵管流況為進口控制時，涵管通水能力受頭水位、涵管進口幾何形狀及斷面大小之影響，因此在進口視水理需要設置端牆、翼牆、導流牆，材料一般用混凝土砌卵石、混凝土或鋼筋混凝土，其厚度為 20 至 30 cm。涵管進口前溝渠如流速太快，須設置跌水或其他消能設施以消減過高能量。

九、離心式混凝土管接頭可按需要選擇膠圈接頭，平口接頭及大頭型承插式膠圈接頭三種。

十、碎石盲溝所使用之濾層材料應符合公共工程委員會施工綱要規範第 02319 章「選擇性回填材料」規定之碎石粒料。

十一、盲溝施工時採用外裹濾布，應注意濾布是否遭碎石撕裂破壞。

2.19.6 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修正。

交通部台灣區國道新建工程局(2014)，「公路邊坡設計與施工規範草案」。

行政院公共工程委員會(2004)，「基層公共工程基本圖彙編」。

行政院農業委員會水土保持局(2011)，「農村再生設施設計參考基本圖」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會林務局(2010)，「工程構造物基本圖冊」。

顧衛、邵琪、許映軍(2010)，「塑料盲溝用於邊坡客土層底部排水的實驗研究」。

2.20 跌水

2.20.1 定義

當溝渠內逕流之平均流速大於最大容許流速時，將逐漸侵蝕渠底結構。為減緩流速及消減動能，於適當地點建造控制落差之構造物稱為跌水(Drop structure)。

2.20.2 目的

減緩溝渠中水流流速及動能，以減少對渠底之侵蝕並約束流心。

2.20.3 種類與適用範圍

一、種類

(一) A 型跌水(直線形入口，護坦式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(二) B 型跌水(直線形入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(三) C 型跌水(箱形入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(四) D 型跌水(弧形入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(五) E 型跌水(直線形入口，靜水池式)：混凝土砌塊石造。

二、適用範圍

(一) 凡溝渠坡度垂直落差大，可能繼續擴大沖蝕處皆可適用。

(二) 跌水高度 H，以 3 m 為限，超過 3 m 者應專案處理。

(三) 磚砌跌水高度不得超過 2 m，牆高 1 公尺以上者用 1B。

(四) 高差及流量稍大時，A 型跌水不適用。

(五) A 型跌水必要時得連續構築。

(六) 流量較大，必須流經狹窄構造物，而在低水頭時採用 D 型跌水較佳。

2.20.4 圖說

一、A 型跌水（直線形入口，護坦式）：砌磚或鋼筋混凝土造。

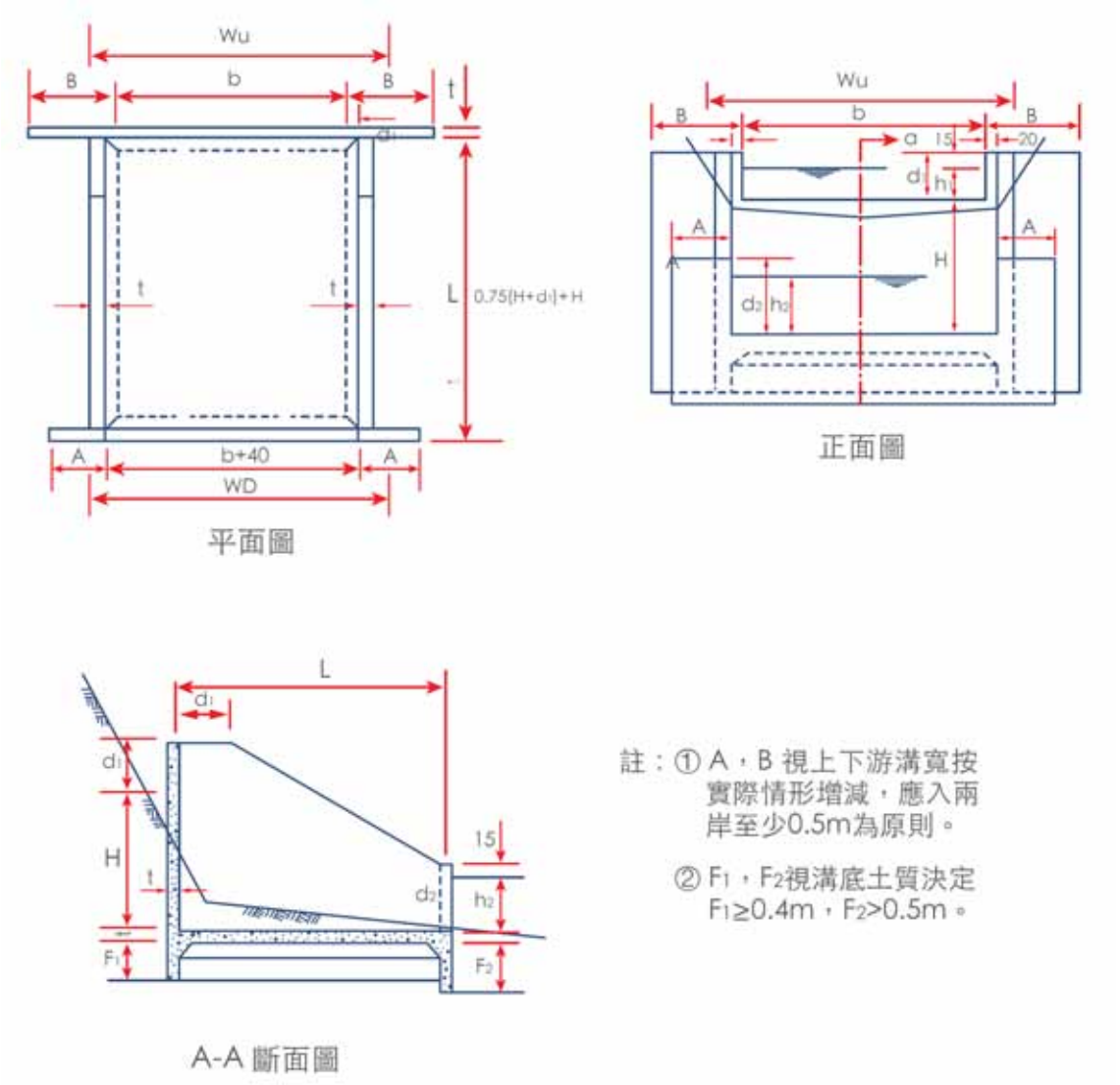


圖 工 2-20-1 A 型跌水示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

二、B 型跌水（直線形入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

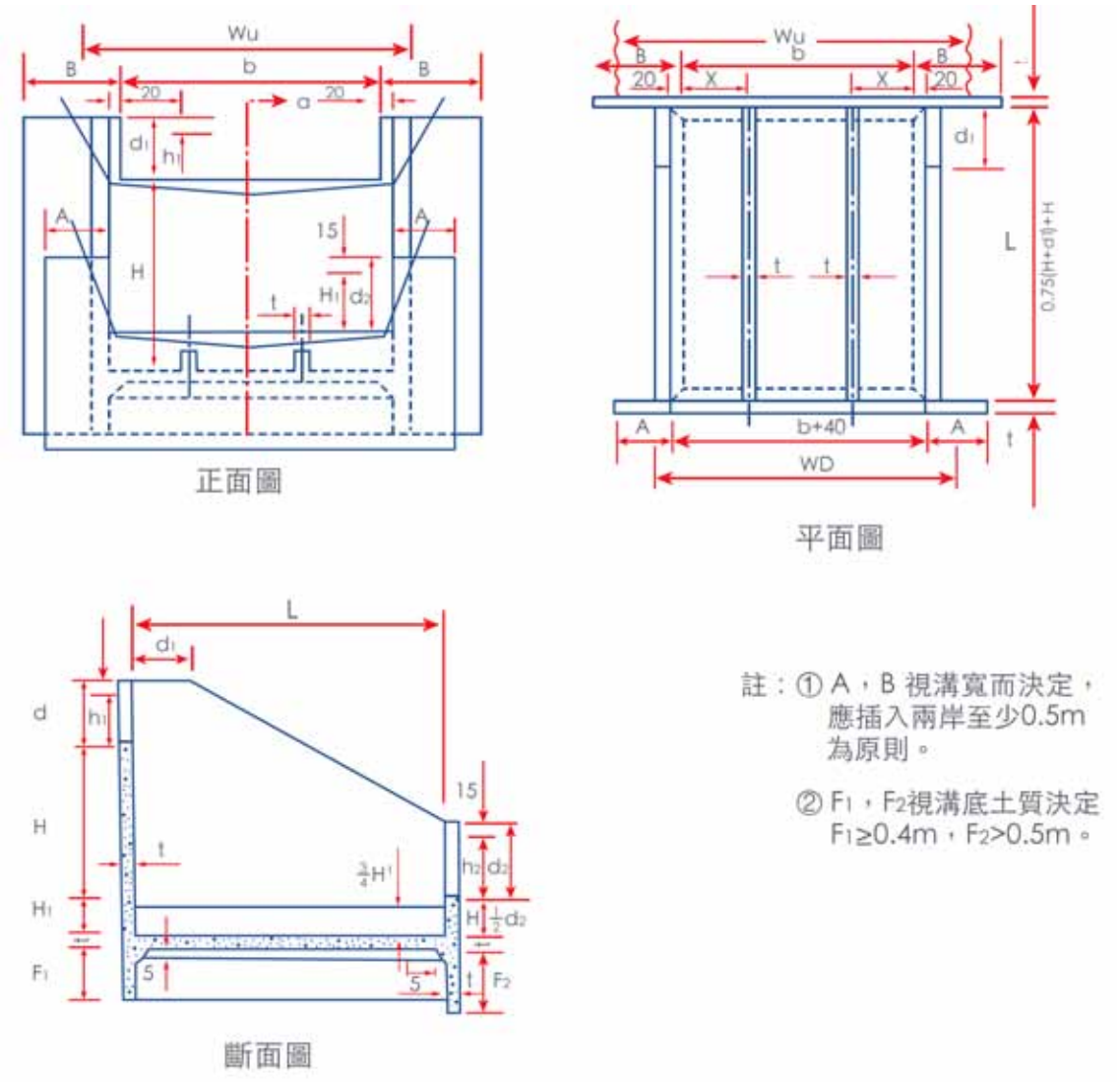


圖 工 2-20-2 B 型跌水示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

三、C 型跌水（箱形入口，靜水池式）：砌磚或鋼筋混凝土造

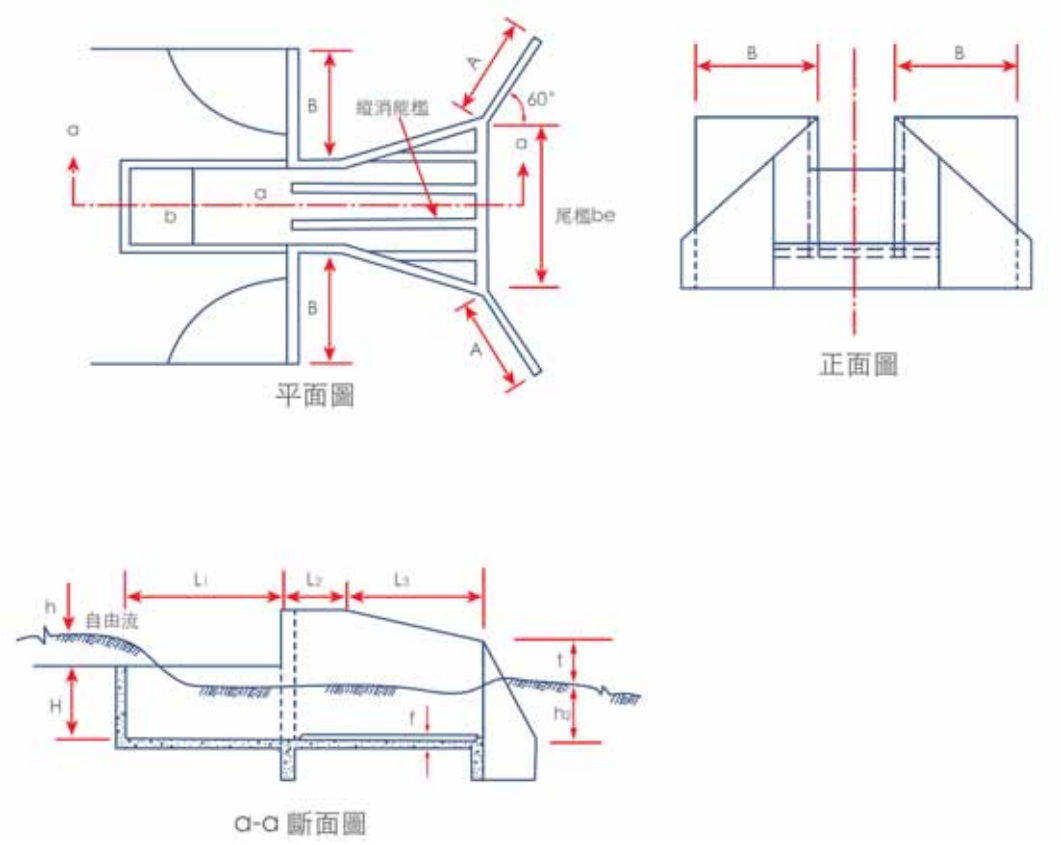


圖 工 2-20-3 C 型跌水示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

四、D 型跌水（弧形入口，靜水池式）：砌磚或鋼筋混凝土造

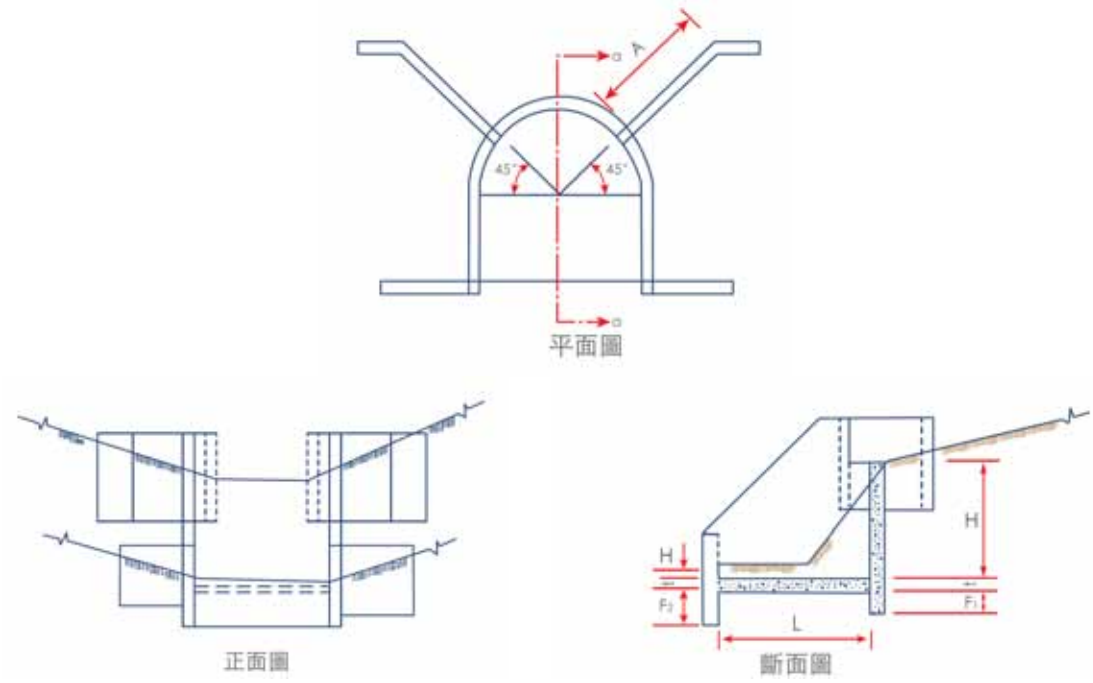


圖 工 2-20-4 D 型跌水示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

五、E 型跌水（直線形入口，靜水池式）：砌磚或鋼筋混凝土造。

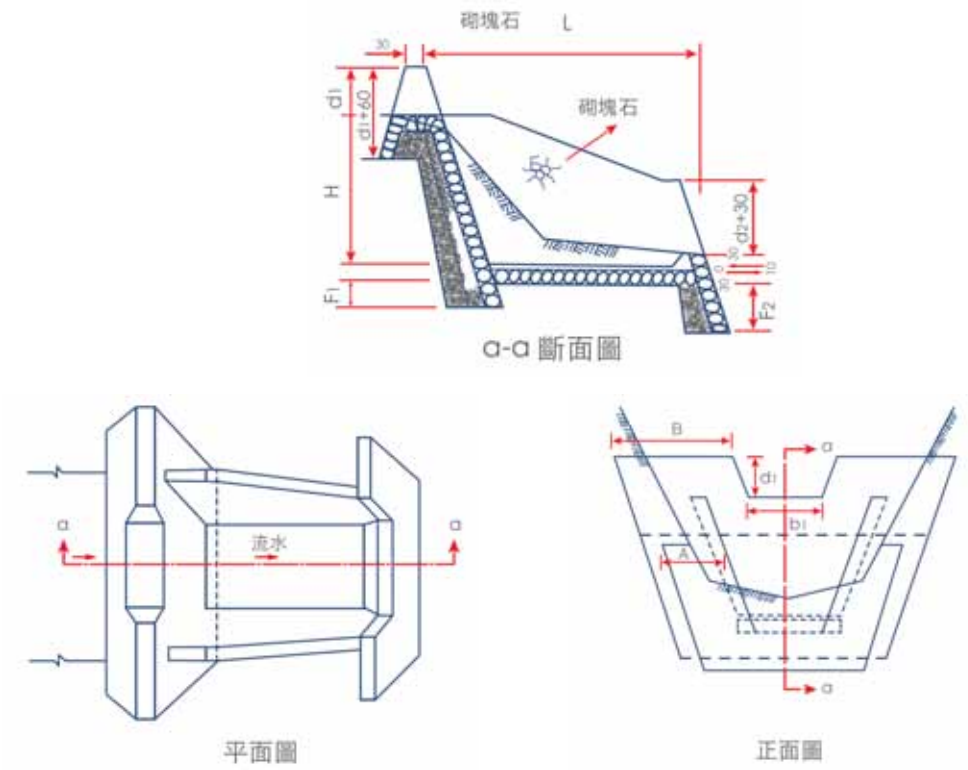


圖 工 2-20-5 E 型跌水示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

2.20.5 規劃設計原則

一、鋼筋混凝土造之跌水，高度 2 m 以下者，厚度採用 15 cm 以上，鋼筋用 D13 螯米間距 25 cm 以內；高度 2 m 以上者，厚度用 20 cm 以上，鋼筋 D13 螯米，間距 20 cm 以內。

二、受地形限制，靜水池無法按規定長度構築時，可稍縮短，但不得小於計算長度之 80%。

三、估計逕流量 Q：

請參閱排水設施設計。

四、決定跌水型式：

按溝寬、溝渠縱坡、落差、逕流量及工程材料決定。

五、跌水入口應配合入流溝之斷面。

六、計算跌水護坦或靜水池長度：

(一) A 型跌水：

護坦長度

$$L = 0.75(H + d) + H \tag{2.20.1}$$

式中

L ：長度(m)

H ：跌水落差(m)

d ：h+出水高(m)

(二) B、D、E 型跌水：

靜水池長度 L 按下列步驟求之

1. 先求入口臨界水深 $d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 \cdot g}}$ (公尺)，其中 g=9.8(m/s^2)

2. 求$L = \sqrt{Hd_c} \cdot \left(2.5 + 1.1\frac{d}{H} + 0.7\left(\frac{d_c}{H}\right)^3\right)$

(三) 計算護坦或靜水池各部分尺寸：

1. 上游擴展牆長度$B = \frac{1}{2}(W_u - b) + h_1 + 0.2 > 1.0$ m (各型跌水適用)。

2. 翼牆長度$A = \frac{1}{2}(W_d - b - 0.4) + h + 0.2$，A>1 m (A,B,D,E 各型跌水適用)。

式中

W_u：上游溝寬(水面寬)(m)。　　W_d：下游溝寬(水面寬)(m)。

(四) 消能檻：

B、D、E 型跌水：

$$H' = \frac{1}{2}d_c \tag{2.20.2}$$

$$X = C_x b + 0.45 \tag{2.20.2}$$

其中C_x值如下表：

W_d/b	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.5	16	1.7	1.8	2.0
C_x	0	0.075	0.125	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27

2.20.6 施工注意事項

一、構造物施設地點應詳加勘查，注意跌水關係位置，急彎處跌水入口及出口方向，應與上下游流向一致。

二、注意放樣，使護坦或靜水池稍低下游地盤線。

三、挖出之土方不可置於渠道中，應堆置兩邊。

四、回填土應充分夯實，高度應超過跌水翼牆至少 20 cm，並向跌水呈內斜狀。

五、施工中如發現原設計深度之基礎土質過鬆，應即追加深度。

六、跌水胸牆及兩邊翼牆均須設洩水孔，大小以 φ80 cm，每 1 m^2 設一孔為原則。

2.20.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.21 洩槽

2.21.1 定義

洩槽(Chute)係指溝渠經過陡坡或地形突變之處，為控制流速、約束流路以削減能量等所設置之構造物。洩槽與跌水設施具有類似功能，又可稱為陡槽或急流槽。

2.21.2 目的

減緩溝渠中水流流速及動能，以減少對渠底之侵蝕並約束流路。

2.21.3 種類與適用範圍

洩槽設置於高差約 4~ 6 m 之坡面，其最大容許流速可參考工程篇排水溝章節，並適時配合消能方法，如水墊消能法、水躍消能法等。

洩槽內依溝渠材料，可分為石砌洩槽、混凝土洩槽、HDPE 類塑膠溝及鋼式溝等，以下為洩槽的建議適用範圍：

一、石砌洩槽：洩槽之內面工由卵石漿砌而成稱為石砌洩槽，適用於坡度大於 20%，流速大於 2.5 m/s 之坡地。

二、混凝土洩槽：洩槽之內面工由混凝土構築而成稱為混凝土洩槽，適用於坡度大於 20%，流速大於 2.5m/s 之坡地。

2.21.4 圖說

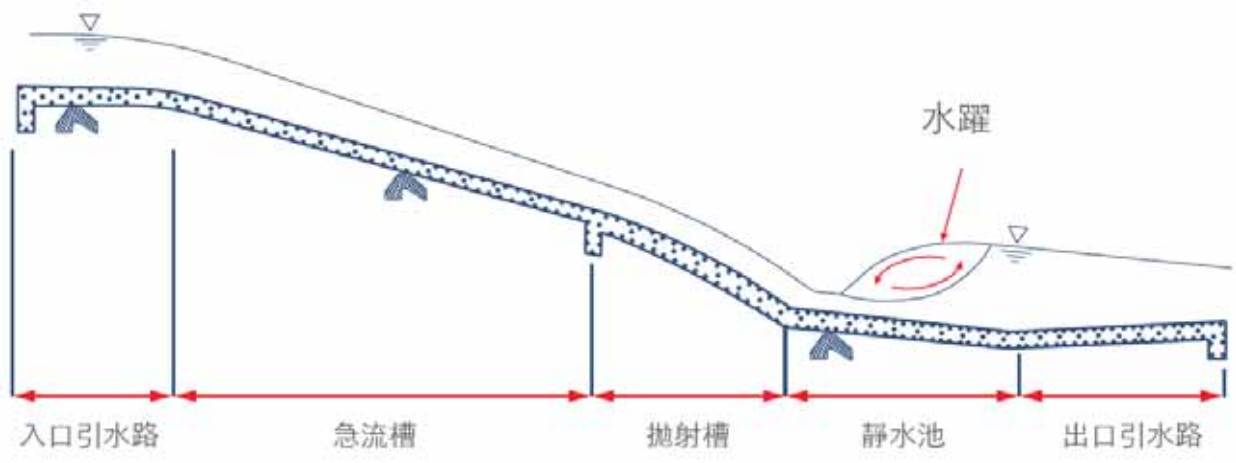


圖 工 2-21-1 洩槽示意圖(資料來源：灌溉設施，1978)

2.21.5 規劃設計原則

一、洩槽分為五個區段(入口引水路、急流槽、拋射槽、靜水池、出口引水路)，如圖 工 2-21-1 所示，排水不良處需注意其滲透水而影響基礎。

二、容量：

洩槽容量通常由入口斷面控制，其入口型式與直線型或箱型跌水相似，可參考工程篇跌水章節。其估計逕流量可參考「基本資料調查與分析篇」之水文分析章節。

三、結構尺寸：

(一) 入口引水路：

入口引水段需設計與上游渠道相等比能量之控制斷面，避免上游渠道因水位洩降增加流速，導致渠道遭沖刷。

$$E_c = \frac{2Q^2}{g(T_c + B_c)^2 {d_c}^2} + d_c \tag{2.21.1}$$

$$d_c = \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{g^{\frac{1}{3}}} \times \frac{2{T_c}^{\frac{1}{3}}}{T_c + B_c} \tag{2.21.2}$$

式中

d_c ：臨界水深(m)

E_c ：控制斷面能量高(m)

Q ：流量(cms)

g ：重力加速度(m/s^2)

T_c ：控制斷面之水面寬度(m)

B_c ：控制斷面之底部(m)

(二) 急流槽：

急流槽控制斷面可設計直線型或漸變型。急流槽控制斷面需設計高於出水高度，出水高度公式如下：

$$\Delta H_1 = C\left(\frac{QVd}{A}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{2.21.3}$$

式中

ΔH_1 ：急流槽出水高度

C ：係數（矩形斷面= 0.1，梯形斷面= 0.13）

Q ：流量(cms)

V ：縱向流速(m/sec)

d ：渠道水深(m)

(三) 拋射槽：

拋射槽控制斷面可設計為直線型(如圖 工 2-21-2)及漸變型。直線型底部曲線可由下方公式做聯立求解。漸變型公式可參考「灌溉排水工程設計」之第四章陡槽設計章節。

$$Y = X\ \tan\theta + \frac{KX^2}{4h_v\cos^2\theta} \tag{2.21.4}$$

$$\frac{dY}{dX} = S = \ \tan\theta + \frac{KX}{2h_v\cos^2\theta} \tag{2.21.5}$$

式中

θ：拋射槽起點處渠底面與水平面之交角

X、Y ：拋射槽上某點 P 之橫距與縱距（其坐標原點即為拋射線起點）

S ：拋射槽之坡降

h_v ：拋射槽起點之流速水頭

K ：跌水垂直方向速度與重力加速度之比，採用小於 0.5 之值

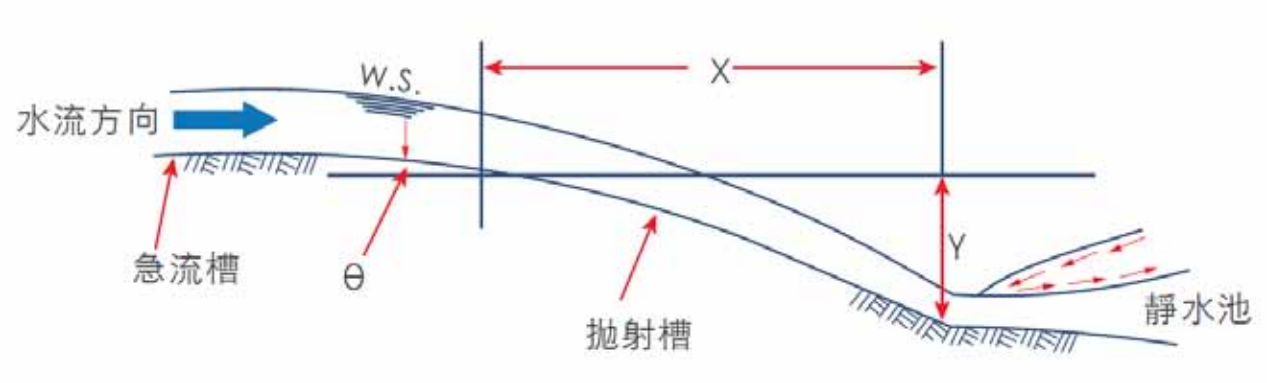


圖 工 2-21-2 拋射槽示意圖(資料來源：灌溉排水工程設計，1978)

(四) 靜水池：

1. 靜水池控制斷面需設計高於出水高度，出水高度以下方公式計算

$$\Delta H_2 = C \times V \times D_1^{\frac{1}{2}} \tag{2.21.6}$$

式中

ΔH_2 ：淨水池出水高度(m)

C：係數，矩形斷面=0.17；梯形段面=0.25

V：斷面流速(m/s)

D_1：水躍斷面 I 水深(m) 靜水池出水高度(m)

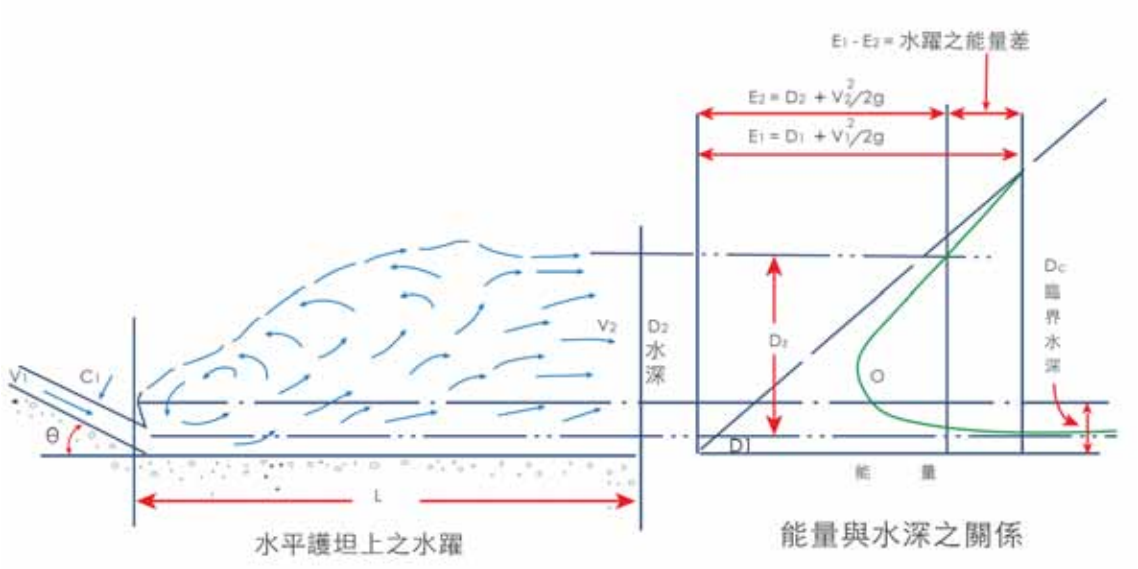


圖 工 2-21-3 水躍的特性(資料來源：水土保持手冊，2005)

2. 靜水池設計牆高，以下方公式計算

$$H = D_2 + h_{v2} + \Delta H_2 \tag{2.21.7}$$

$$h_{v2} = \frac{{v_2}^2}{2g} \tag{2.21.8}$$

式中

H：靜水池牆高

D_2 ：水躍斷面 II 之水深

v_2 ：水躍斷面 II 之流速

3. 靜水池設計長度為福祿數F_r所求得水躍長度。可由圖 工 2-21-4 查得。

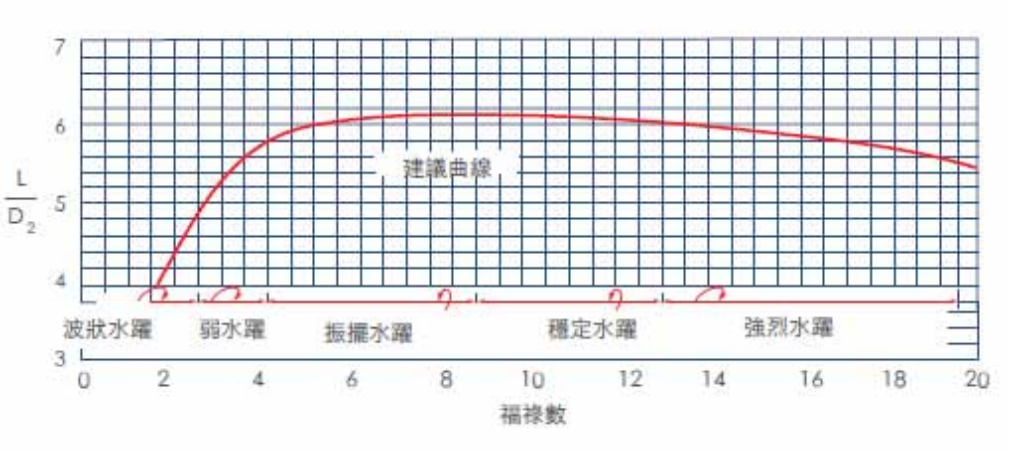


圖 工 2-21-4 水躍長度與 D_2 曲線(資料來源：水土保持手冊，2005)

四、出口保護：如果洩槽下方之結構物不穩定，則可使用懸臂式出口保護。在正常情況下則可使用直線型或砥柱式護坦，直線型護坦適用於小型構造物。砥柱式護坦中砥柱約占靜水池寬度的 40~55%。

五、當洩槽流速超過其最大容許流速時，需設置跌水等消能設施。

六、槽頂宜低於坡面至少 20 cm，且避免兩岸邊坡受到水流碰撞砥柱而濺起水花之沖蝕。

七、若洩槽遇到轉角處，需設置靜水池，當其他洩槽匯流時，宜設置匯流井。

2.21.6 施工注意事項

一、施工前進行坡面之整理，將雜草樹木等清除後進行整坡工程使坡面呈均勻坡度。

二、施工材料的選擇必須謹慎，如構築磚石洩槽時，選擇大小均勻且堅硬的石塊。

三、注意工程維護與管理，洩槽受堵塞或損壞龜裂等立即通報相關單位處理。

2.21.7參考文獻

台灣省水利局(1978)，「灌溉排水工程設計」，台灣省水利局，pp. 392-418。

李醒民(1980)，「水土保持工程學」，徐氏基金會，台灣，pp. 197-198。

林龍海(1978)，「灌溉設施」，徐氏基金會，台灣，pp. 237-239。

姜萬勤、張新華、舒仲英(2001)，「水土保持學」，新文京開發出版股份有限公司，台灣，pp. 226-228。

蔡如藩(1971)，「水土保持學」，中央圖書出版社，pp. 198-206。

Schwab, G. O. (1993). Soil and water conservation engineering, Wiley, New York.

2.22 橫向集水管

2.22.1 定義

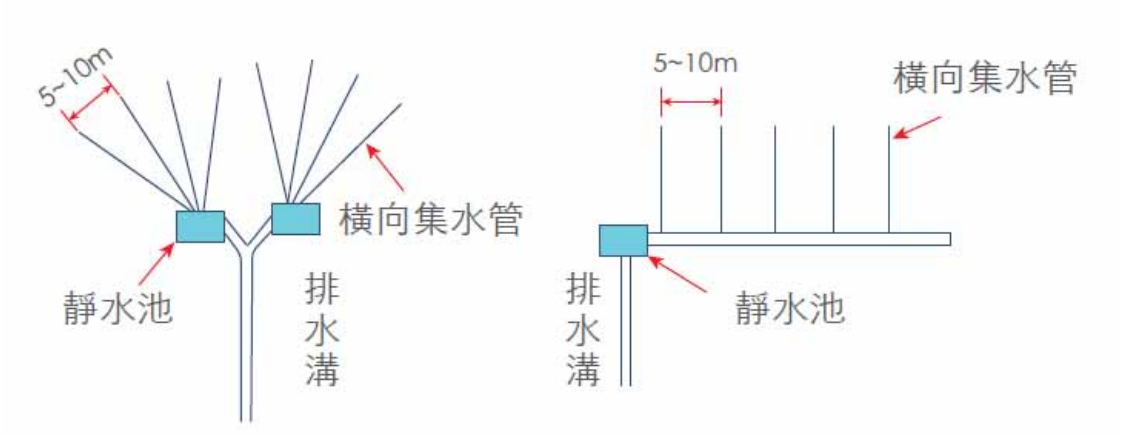
橫向集水管(Horizontal drain pipe)係自地表鑽鑿橫向鑽孔，以收集不利於坡地穩定的地下水並排出地表的設施。

2.22.2 目的

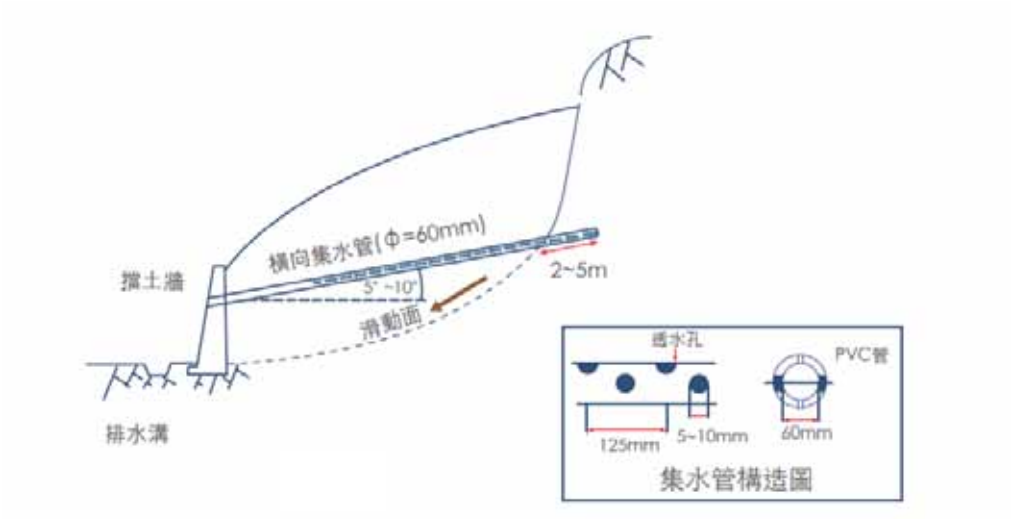
一、排除地下水：暗渠無法排除的地下水，可自地表朝坡體(滑動體)內或滑動面附近地下水豐富之處，布設橫向集水管，讓地下水自然排出坡體。

二、排出高含水量坡體內之水分，減少或減緩坡體發生塑性變形。

2.22.3 圖說



平面圖



斷面圖

圖 工 2-22-1 橫向集水管地下排水工程示意圖(資料來源:王文能，2016)

2.22.4 規劃設計原則

一、依據地下水、地質、地形等調查結果，於適當地點，朝目標區鑽鑿仰角 5°~ 10°的橫向鑽孔(孔徑 66 mm 以上)後，插入 PVC 管($\phi \geqq$60 mm)，並於進水位置加鑽ϕ=5~ 10 mm 透水孔，如圖 工 2-22-1，而成集水管，以收集地下水。

二、為了避免匯集到的地下水，於排出地表途中，再度滲漏至地層內，可於該區段施作防滲漏處理，例如，僅於集水管橫斷面的上半部鑽鑿透水孔，並小心將該集水管插入橫向鑽孔內，直到透水孔位於鑽孔底部。

三、橫向集水管的出口處，應作保護設施，例如石籠、混凝土牆等，以防土砂崩落。流路末端與地表排水溝相接，使排出的地下水不再滲入地下。

四、橫向集水管通常於滑動體頭部或側方崖附近，呈放射狀或平行排列佈設數支，各集水管末端間距 5~10 m(圖 工 2-22-1)。

五、橫向集水管的管徑、長度、角度等，依據地下水、地質、地形等調查結果決定，但集水管管長應穿越滑動面 2~ 5 m。

六、橫向集水管工程完工數年後，即會逐漸被阻塞而降低排水功能，必須再以高壓水流來清洗，故規劃設計橫向集水管工程時，即應一併考慮日後的監測及維護管理工作問題。

2.22.5 施工注意事項

一、設計的橫向集水管長度若達 50 m 時，則最後鑽掘孔徑仍需大於 66 mm。

二、橫向集水管施工時，原則上朝目標區呈仰角 5°~ 10°鑽掘，隨時注意鑽掘方向、確認有無偏孔，且防範收集到的地下水自集水管內滲漏出來。

三、對於受壓水層，有時亦可朝下俯向鑽掘，讓受壓地下水自噴而排出地表。

四、集水管外側可考慮使用不織布包裹或填充級配料，以防止細粒土壤流失和阻塞。

五、為保持排水功能正常，排水管需定期加以清洗維護，清洗頻率視淤積、結晶與植物生長速度而定。如果清洗後仍無法順利排水，則應考慮重新鑽孔。

2.22.6 參考文獻

內政部建築研究所(2010)，「邊坡穩定補強操作手冊」，山坡地住宅安全系列叢書，pp. 72。

王文能(2016)，「崩塌的地質特性與防災」，中華防災學會出版委員會，pp. 140-142。

国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所(2008)，「地すべり防止技術指針及び同解説」，（社）全国治水砂防協会，pp. 94。

高秋振等(2014)，「坡地安全檢查與維護」，技師期刊，第 67 期，臺北市土木技師公會出版，pp. 80-81。

2.23 地下水集水井

2.23.1 定義

地下水集水井(Drainage well)是自地表垂直向下之直徑 3.5~ 4.0 m 井筒，並於內鑽鑿橫向集水管，收集地下水，再由排水管排出(如圖 工 2-23-1)。

2.23.2 目的

針對不穩定邊坡或崩塌地以降低地下水位為手段來增加邊坡穩定性與控制位移。

2.23.3 種類與適用範圍

地下水集水井依井筒襯砌材料的不同，可分為鋼襯板地下水集水井與混凝土環片地下水集水井兩種(圖 工 2-23-3、圖 工 2-23-4)。襯砌材料的選用，多依材料搬運至施工地點的難易程度、施工至維護管理階段的總經費等條件決定；一般的施工場所多在交通不便之處，難以使用大型機具搬運材料，且在同一地點所使用的材料數量亦不大。因此質輕且易施工的材料，常為選用材料的考慮重點之一。

一、鋼襯板地下水集水井：井筒以浪形鍍鋅鋼板組合襯砌而成，為了提升鋼襯板井筒強度，常用 H 鋼作成的加強環與垂直加強柱補強，甚至可增設水平加強杆(圖 工 2-23-2、圖 工 2-23-3)。鋼襯板較輕，搬運方便，而地下水集水井又多設置在滑動體的頭部，因此最常採用鋼襯板。

二、混凝土環片地下水集水井：井筒以適當厚度的預鑄混凝土環片組合襯砌而成，適用於地下水多且易產生砂湧(Boiling)的砂質土、受壓地下水層影響而產生隆起(Heaving)的粘質土等地質區，若自地表需長 50 m 以上的橫向集水管方可達降水目標區者，即應考慮採用地下水集水井工程。

2.23.4 圖說

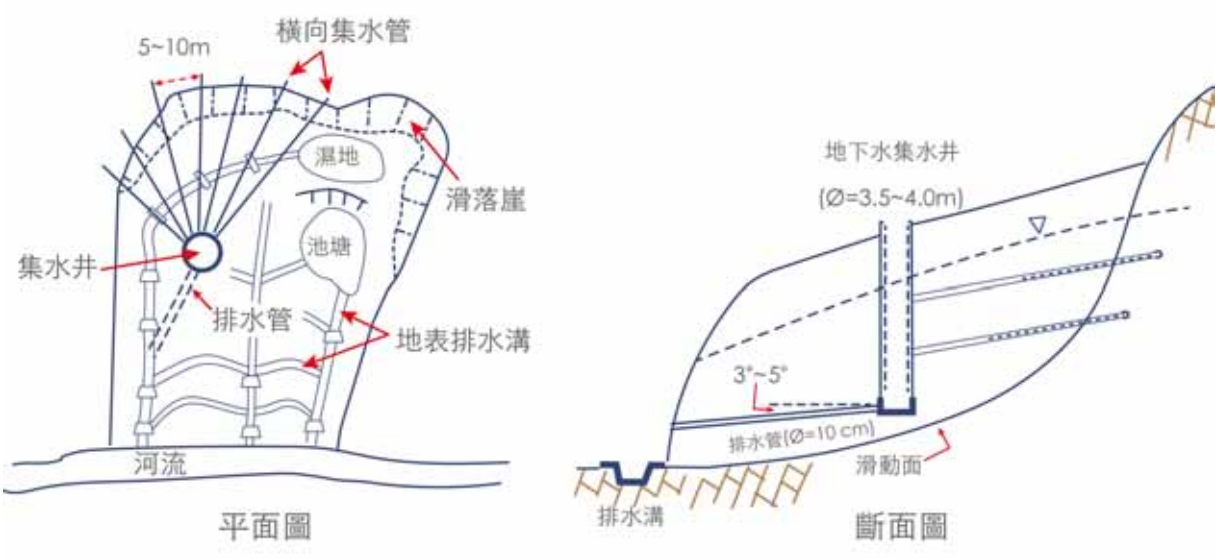


圖 工 2-23-1 地下水集水井工程規劃設計概念圖(資料來源:王文能，2016)

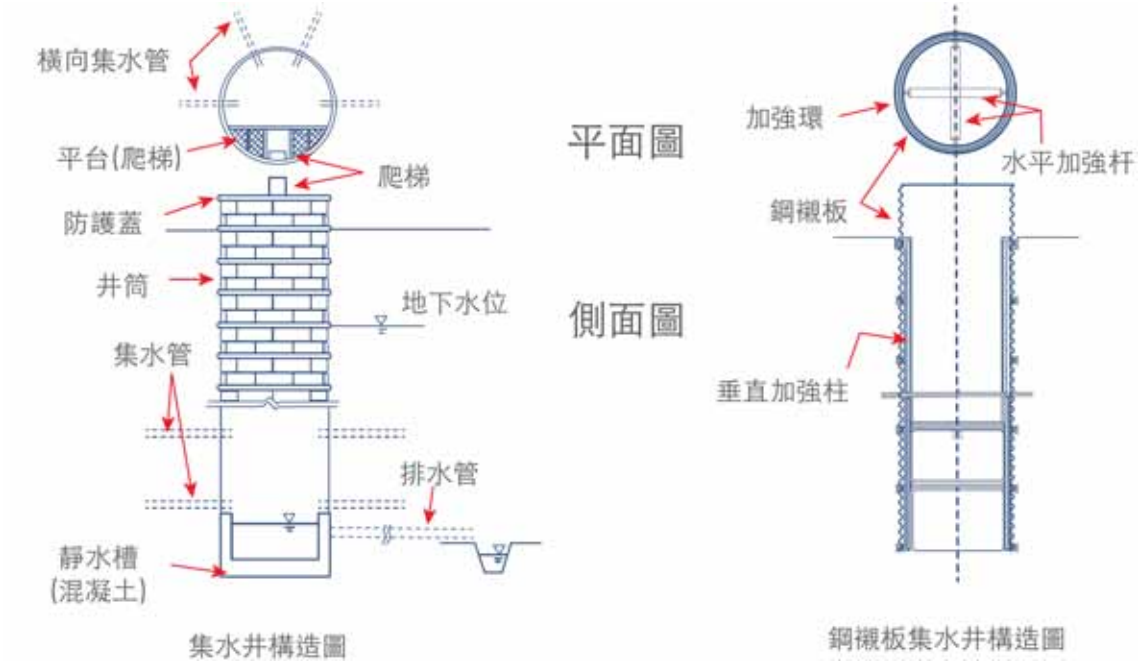


圖 工 2-23-2 地下水集水井工程構造示意圖(資料來源:王文能，2016)

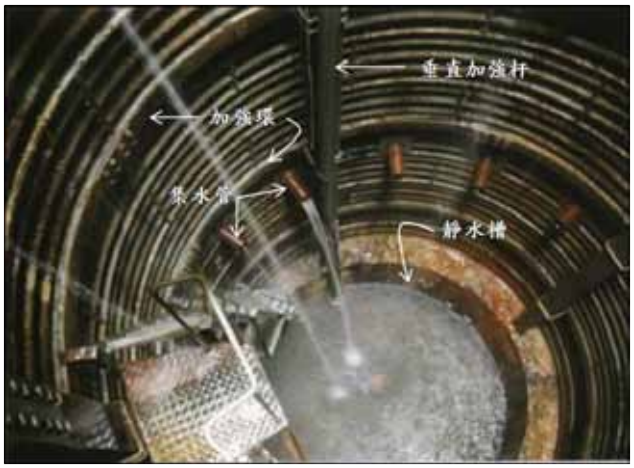


圖 工 2-23-3 鋼襯板地下水集水井照片(資料來源:王文能，2016)



圖 工 2-23-4 混凝土環片地下水集水井照片(資料來源:王文能，2016)

2.23.5 規劃設計原則

一、地下水集水井一般為直徑 3.5~ 4.0 m 的井筒，參考調查資料，例如：孔內傾斜觀測、地下水檢層等，自井筒內朝滑動面附近的地下水目標區，鑽鑿橫向集水管，並匯集於井筒底座的靜水槽內，再經由排水管排放至地表如圖 工 2-23-2。

二、地下水集水井工程，主要靠井壁的橫向集水管發揮地下排水功能，光靠井壁的滲水，難以期待地下排水成效。

三、地下水集水井的深度，對於活動中的地滑，井筒基礎應設於滑動面上方約 2 m 處；對於已停止活動的地滑，則可設於滑動面下方穩定層內。

五、地下水集水井收集到的地下水，以管徑約 10 cm 的排水管(傾角 3˚~ 5˚)自然排放至地表。排水管長度，原則上，不超過 100 m，若無法直接排放至地表時，可規劃中繼地下水集水井。

六、為了防止排水管因地滑活動而損毀，排水管儘可能不要穿越滑動面。

七、必要時可於同一地下水集水井內的不同高程處，施作橫向集水管。地下水集水井的位置，應依據地質鑽探資料，確認地質與基盤狀況後而決定。

2.23.6 施工注意事項

一、於較活躍的地滑區內施作地下水集水井時，應設置監測儀器，隨時瞭解地滑活動狀況，維護施工人員安全。

二、地下水集水井內空間狹小，施工中尤須防範上方各種異物掉落入井內。

三、每天施工前均應檢測有無有害氣體殘留於井內。

四、地下水集水井挖掘時，使用經緯儀與垂球比對垂直度及角度，如發現傾斜應立即修正。

五、挖掘作業進行時不可在地下水集水井外周圍開挖，應採用井內挖掘辦法。如井內積水可以抽乾時，可採用普通人工及機械挖掘。如積水不能抽乾，則須用抓泥機（Clamshell）或潛水工挖掘。

六、挖掘時應由地下水集水井中央開始，向四周平均對稱擴展，不可局部挖掘過深，否則會導致地下水集水井偏倚。無論用何種方法挖掘，均不得破壞地下水集水井內壁。

2.23.7 參考文獻

水土保持局(2013)，「水土保持局施工規範」，第 02640 章集水井(φ 3.5 公尺以上)，pp. 4。

王文能(2016)，「崩塌的地質特性與防災」，中華防災學會出版委員會，pp. 143-145。

2.24 排水廊道

2.24.1 定義

排水廊道(Drainage tunnel)工法，係自廊道內施作集水管，收集目標區地下水排出至地表的工程設施。

2.24.2 目的

排除地滑區滑動面附近的深層地下水。

2.24.3 種類與適用範圍

對於大規模地滑區以橫向集水管或集水井等工法仍難以排除深層地下水時，可規劃排水廊道，其分類與適用範圍如下：

一、底設排水廊道：排水廊道原則上不設於滑動體內，而設於滑動面下的穩定層內，如圖 工 2-24-1 所示。

二、周緣排水廊道：設於地滑區周邊穩定區者，如圖 工 2-24-2 示。

2.24.4 圖說

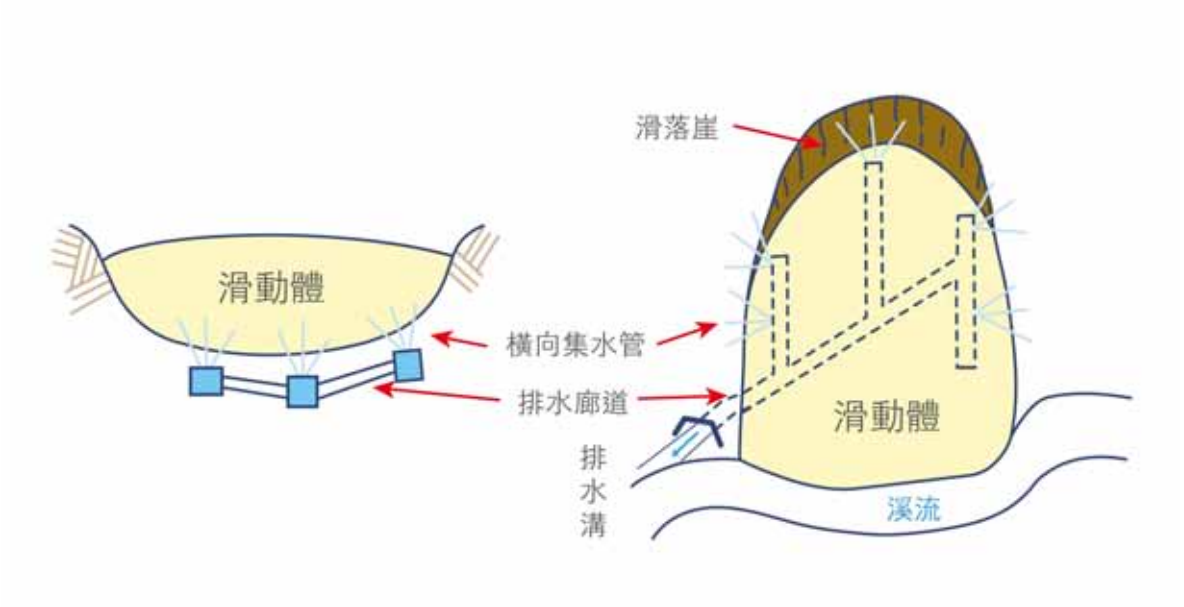


圖 工 2-24-1 底設排水廊道示意圖(資料來源：王文能，2016)

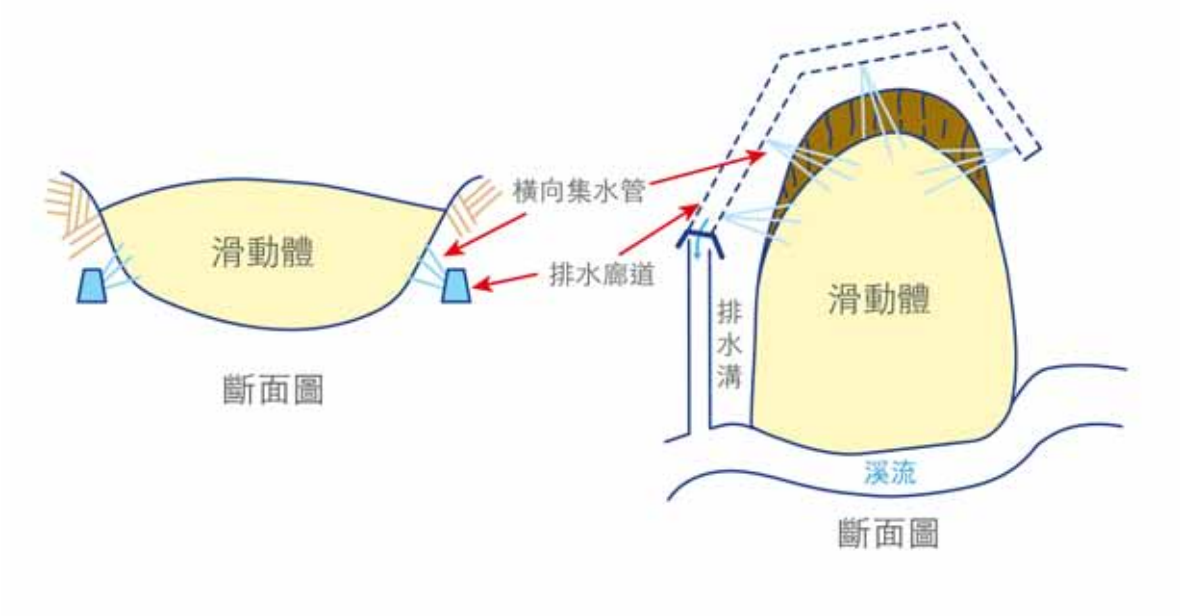


圖 工 2-24-2 周緣排水廊道示意圖(資料來源：王文能，2016)

2.24.5 規劃設計原則

一、排水廊道工程費用龐大，規劃設計前，應與其他工法詳加比較檢討。

二、依據不利於坡地穩定之地下水脈、滑動面、岩盤狀況等調查結果，並考慮工程的安全、經濟、排水的有效性等條件，決定施工位置。

三、排水廊道最好配置在可收集到滑落崖下或滑動體兩側地下水之處，且廊道出口儘可能設於堅固的岩體中。

四、排水廊道頂端與滑動面的距離，應大於廊道直徑的 2 倍。

五、排水廊道可依地質狀況，鋼襯板、木頭等不同支保材料，其中以鋼襯板較可靠，但費用較高。木頭支保施工容易且經濟，但耐久性及強度較差，因此只用於短且斷面小的排水廊道內。

六、排水廊道的橫斷面，多為上部呈半圓的馬蹄形，但有時亦可隨襯砌材料的不同而開挖成圓形或梯形，馬蹄形較易施工，圓形則可承受較大外力。一般襯砌材料有鋼襯板、皺紋鋼管、混凝土等。此外，橫斷面高度多在 2 m 左右，底部(Floor)為具有如同排水溝水密性的構造，以防收集到的地下水再度滲入地下。

七、排水廊道的縱斷面，為了讓收集到的地下水能自然排出地表，應朝出口傾斜，其傾角一般在 1.5%以下(國土交通省砂防部・獨立行政法人土木研究所，2008)。

八、排水廊道工程，仍然要依靠廊道內的橫向集水管來達到排水的目的。通常在橫向集水管的施工區段，將該區段的廊道擴大成寬約 4 m、高約 3 m、長約 4 m 的鑽鑿工作區，自廊道內朝目標區，呈放射狀施設仰角 5~ 45 度的集水管數支。

2.24.6 施工注意事項

一、對於具有大量湧水、瓦斯、岩爆等之虞的岩層，挖掘之前，應先行鑽探確認後再施工。

二、長度超過 1000 m 的排水廊道，為了安全管理考量，應增設逃生用斜坑或直井。

三、施工時，坑內應維持良好的通風換氣。

四、深層地下水位高之邊坡，建議使用橫向排水管、地下水集水井搭配排水廊道進行治理。

五、大規模地滑之地區，地下水應依照不同層次(淺、中、深)及區域分別使用排水管、地下水集水井及排水廊道整治。

六、施工順序建議根據工程之困難度及緊急性，由低而高進行施工，橫向集水管為優先，再進行地下水集水井工程，排水廊道工程則為最後。

七、設置排水廊道應避開滑動面，以免因滑動造成其結構受損而喪失功效，建議設於滑動面以下之穩定地層或岩盤為較佳之選擇。

八、若欲設置排水廊道附近有建築物，開挖時應避免使用炸藥造成建築物損壞。於硬岩可採用機械開挖，軟岩則可採人工開挖。

九、由於排水廊道施工之地質通常較為複雜，開挖前應重新評估地盤等級。

十、排水廊道工程應以機械或人工開挖，未經核准不可使用炸藥，經核准之炸藥於施工前應先進行試炸。

十一、於穩定性良好之岩盤內，排水廊道之材質可使用型鋼及木支柱作為支撐；穩定性較差之岩盤可考慮使用施工性佳、承受較大變形仍可維持功能之鍍鋅鋼襯板。

2.24.7 參考文獻

王文能(2016)，「崩塌的地質特性與防災」，中華防災學會出版委員會，pp. 145-146。

国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所(2008)，「地すべり防止技術指針及び同解説」，（社）全国治水砂防協会。

陳德天(2003)，「梨山地滑區排水廊道之設計及施工」，坡地防災學報 2(1)，pp. 33-43。

2.25 魚道

2.25.1 定義

魚道(Fish way)為河溪內構築之魚類通道，以供魚類活動及迴游之工程構造物。

2.25.2 種類與適用範圍

一、階段式魚道：

(一) 利用階段式之設計，以達到魚類活動之效果。

(二) 其適用之魚類有台灣鏟頜魚、台灣石魚賓、台灣馬口魚、粗首鱲、台灣爬岩鰍及台灣纓口鰍等。

二、潛孔口式魚道：

(一) 係指將潛孔等類似的通道置於水中，以做為便利於魚類活動之構造物。

(二) 其流速受水位差與潛孔口形狀所控制。

(三) 適合底棲性的魚類。

三、魚骨型魚道：

(一) 又稱為改良型舟通式魚道，由於阻流材形狀類似魚骨，故稱之為魚骨型魚道(陳樹群、王順昌，2002)。

(二) 具有魚骨區、休息區及水道區等三種流速空間，可提供魚類加速上溯及短暫休憩等多樣化行為。

(三) 具有高效能的排砂效率，適合配置於防砂壩及攔河堰等橫向結構物。

(四) 適合台灣游泳性、攀爬性及躍移性魚類或兩棲性動物使用之全功能魚道(Chen et al., 2017)。

四、導流壁式魚道：利用隔板將通直之通道隔成迂迴狀，以減低流速及坡度，供魚群通過。

五、防砂壩式魚道：利用篩型鋼板柵將大粒徑之礫石加以分離，並沿壩面做 Z 字型迂迴上升，供魚群通過。

2.25.3 圖說

一、階段式魚道

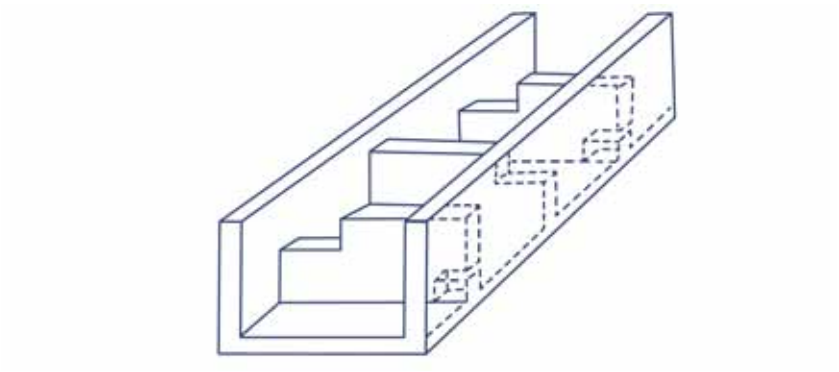


圖 工 2-25-1 階段式魚道示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

二、潛孔口式魚道：

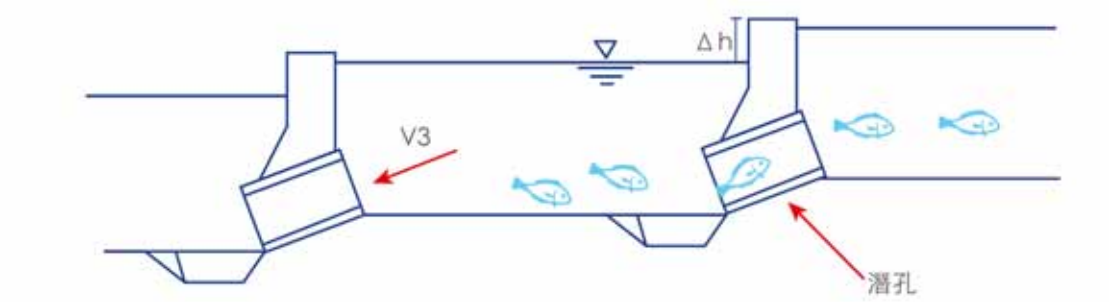


圖 工 2-25-2 潛孔口式魚道示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

三、魚骨型魚道：

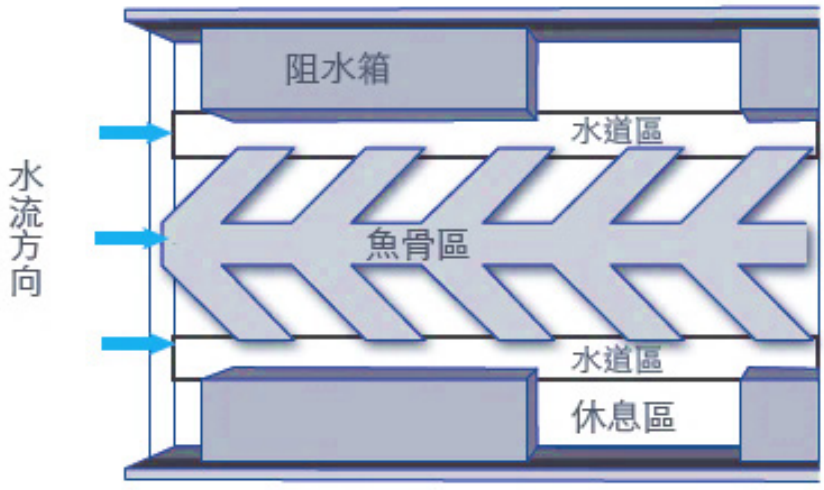


圖 工 2-25-3 魚骨型魚道示意圖(資料來源：Chen et al., 2017)

四、導流壁式魚道：

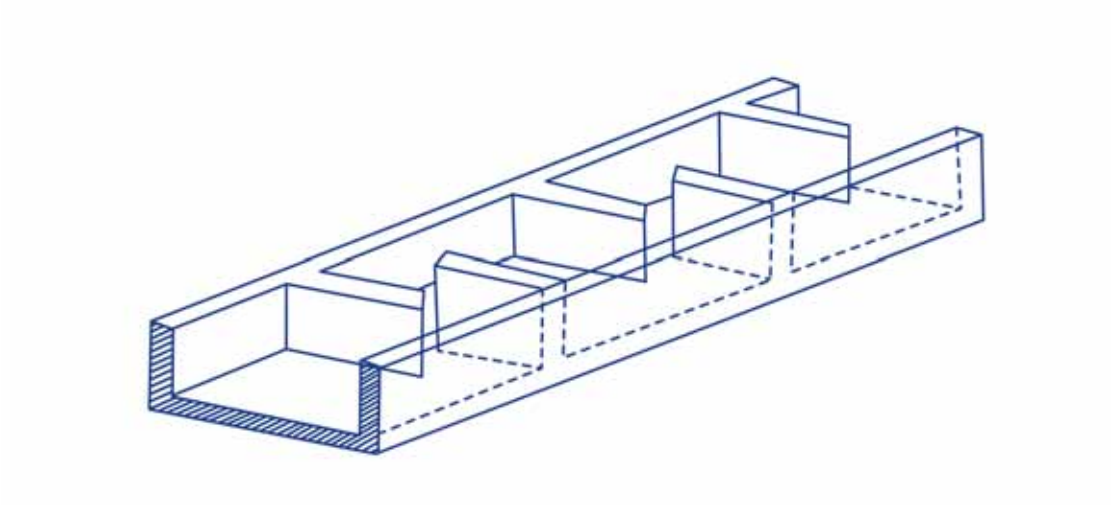


圖 工 2-25-4 導流壁式魚道示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

五、防砂壩式魚道：

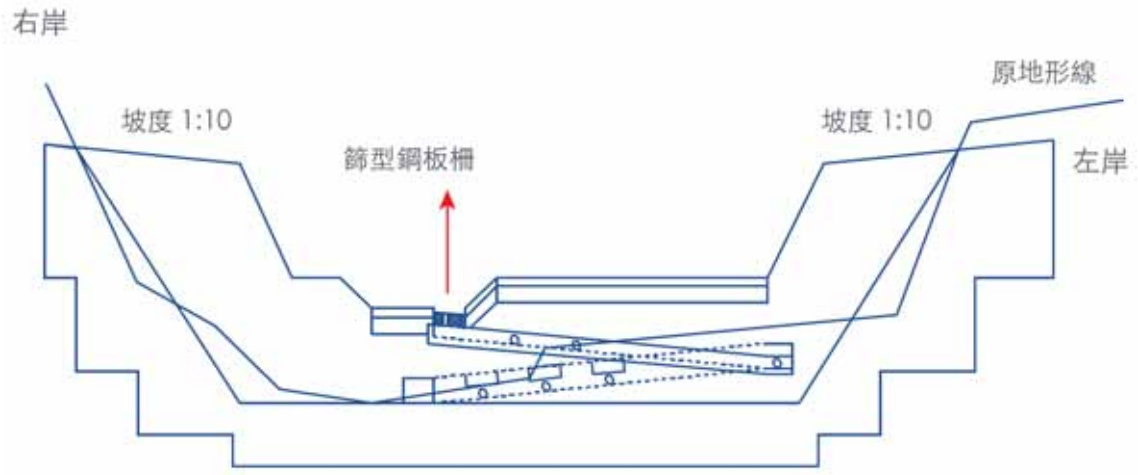


圖 工 2-25-5 防砂壩式魚道示意圖(資料來源：段錦浩，1999)

2.25.4 規劃設計原則

一、魚道之基本設計原則如下：

(一) 可藉由提供超額流速及落水聲來產生集魚效果。

(二) 需依現地魚群種類及上、下游附屬構造物設置，設計最大流速、最適坡度及魚道種類等，以達到導游、集魚、補注及分流等效果，並保全魚類生態系(中村中六，1991)。

(三) 由魚道游出之魚類必須被引導至正確之流場、且避免停滯於魚道之出口等。且魚道施作方向與河川流心線之交角以 30°~ 60°為宜。

(四) 就國內實地調查而言，中上游河段之鯉科魚類跳躍高度可達 30 cm 以

上，故水位差之標準大約為 30 cm。

(五) 最大流速之設計須小於魚類之突進泳速，若無突進泳速之生態調查資料，其大小可以 10 倍之尾叉長來計算。而一般魚道之建議流速大約為 1.5 m/s~ 1.7 m/s，但仍須依魚類特性加以改良。而魚道之設計尚須考慮最小流速，以避免魚類喪失上溯之意願，一般魚道之流速以不小於 0.4m/s 為宜。

(六) 體型較大之魚類水深以 1.5 m~ 2.5 m 較佳、體型較小之魚類水深則約介於 0.3 m~ 0.6 m 為宜。而一般鮭魚及鱒魚之設計水深至少需介於 0.6 m~ 1 m。

(七) 一般坡度以 1/8~ 1/10 為宜，但仍須配合現地環境之特性做修正。水池型魚道之坡度則以 1/10~ 1/20 為宜。丹尼爾型魚道在歐美國家之設計坡度較陡，其坡度可達 1/6。而在台灣實際應用上，魚骨型魚道針對台灣鏟頷魚等研究，則以 1/8~ 1/10 為最佳坡度。

(八) 開孔寬度須大於魚類之最大體寬，大致上為 30 cm。

(九) 一般建議水池型魚道應每隔 10 塊隔板設置一休息區，且魚道彎曲處亦需設置休息區。而丹尼爾型魚道以高程差 1.5 m 或平面距離 5 m~ 10 m 之距離設置休息池較佳。

(十) 魚道入口處之布置及水理設計：

1. 一般入口水深宜約為 1.0 m~ 1.5 m。
2. 魚道入口處較容易沖蝕，應特別降低魚道入口處之設計高程。
3. 魚道出水處較容易淤積，故可設計多個不同水位之開口，以適應水位變化。
4. 出水處若有紊流之情形，應加裝擾流板。

二、不同種類魚道之設計原則如下：

(一) 階段式魚道：

1. 設計時水位差應在 10~ 40 cm 之間，若河口段之稚魚溯游能力較弱時水位差宜在 20 cm 以下。若水位差大於 40 cm 時，較不易造成不穩定流況。

2. 流速：階段式魚道中的隔板附近，魚類所對抗的流速有越流流速 V_1(overflow velocity)、落下流速 V_2(fall velocity)與潛孔流速 V_3(orifice velocity)等三種(如圖 工 2-25-6、圖 工 2-25-7)。又其流速計算可依下列公式(廣瀨、中村，1991)：

(1)越流流速(overflow velocity)：

$$V_1 = \sqrt{gh_c} \tag{2.25.1}$$

(2)落下流速：

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2g\Delta h} \tag{2.25.2}$$

(3)潛孔流速：

$$V_3 = C\sqrt{2g\Delta h} \tag{2.25.3}$$

式中

h_1：隔板頂端之越流水深。

h_c：臨界水深，可用以越流水深的 2/3 倍估算。

V_1：越流速度，通常等於臨界流速。

g：重力加速度=9.81(m/s^2)。

C：潛孔口流速係數，通常與潛孔口形狀及平滑與否有關。

Δh：魚道隔板上下方之水位差，則由坡度與隔板間距共同決定。

水位差可由下式計算而得：

$$\Delta h = S \times \Delta L$$

式中

S 為魚道坡度(相當於 tanθ)、ΔL 為隔板間距。

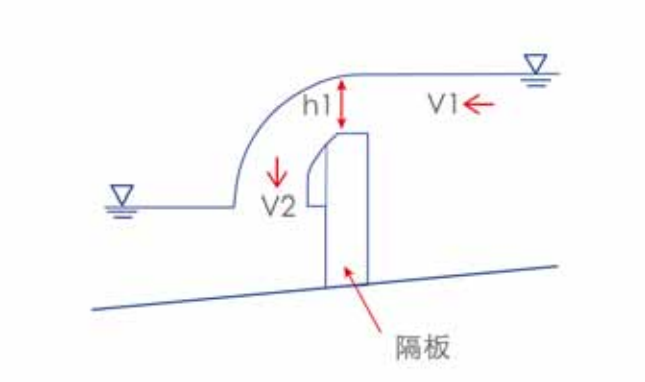


圖 工 2-25-6 階段式魚道中的越流流速(V_1)及落下流速(V_2) (資料來源：水土保持手冊，2005)

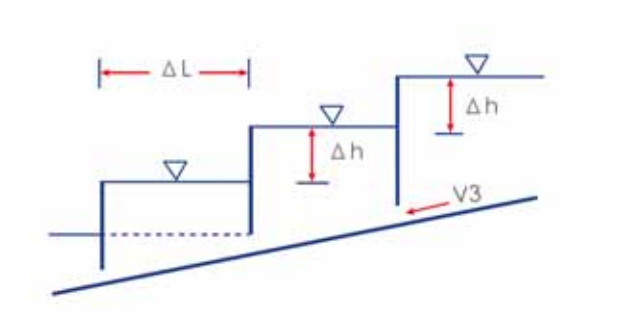


圖 工 2-25-7 階段式魚道中的潛孔流速(V_3) (資料來源：水土保持手冊，2005)

3. 流況：魚道流速或流量較小時，其流況會呈落下流狀態，此時的越流速度，相對較重要，其代表流速可用越流流速公式表示，而此流速值則與流量大小有絕對關係。又因其流量大，則相對的越流水深 h_1 增大，使的越流速度變大，如圖 工 2-25-8。而流量大增或坡度較陡之魚道，較容易發生表面流狀態，其流速則受魚道坡度控制，如圖 工 2-25-9。

(1)落下流狀態代表流速：

$$V_v = \sqrt{2gh_1/3} \tag{2.25.4}$$

(2)表面流狀態代表流速：

$$V_s = 1.5\sqrt{gSL} \tag{2.25.5}$$

S 為魚道坡度，L 為隔板間距。

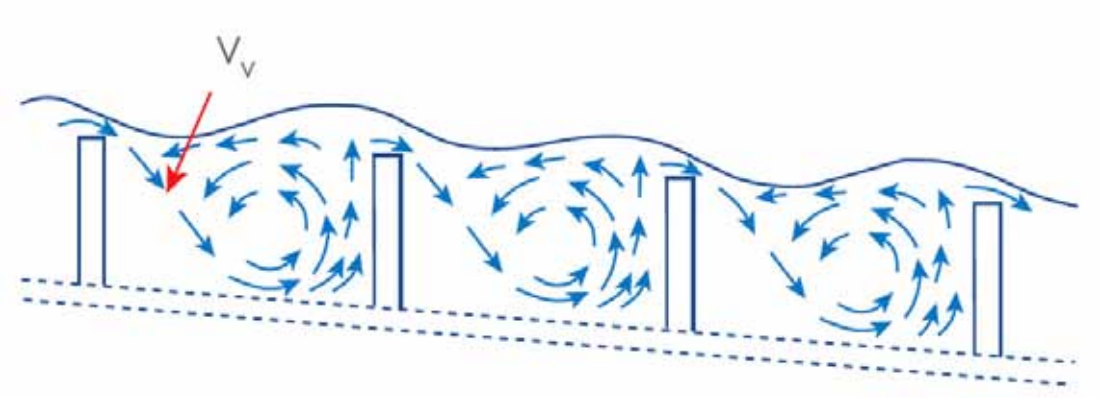


圖 工 2-25-8 落下流狀態(Plunging Flow) (資料來源：水土保持手冊，2005)

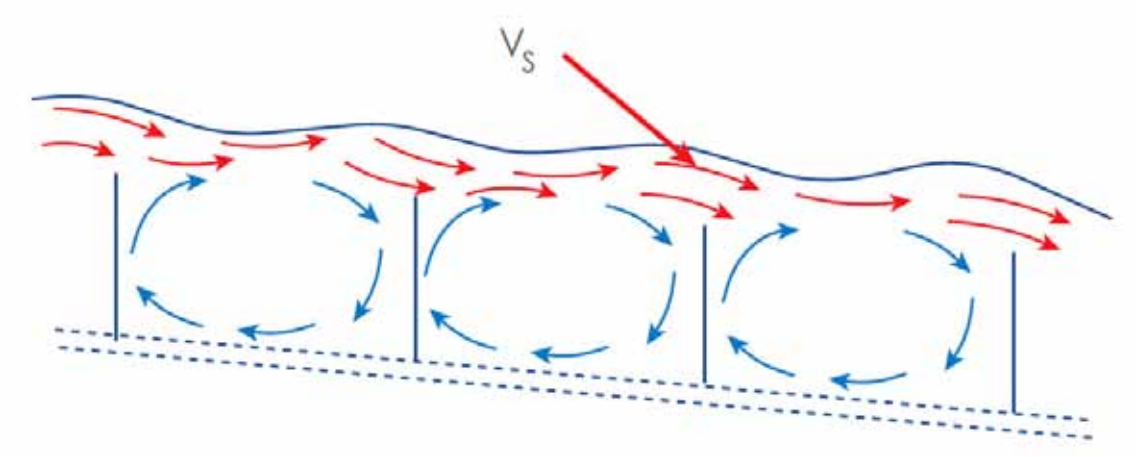


圖 工 2-25-9 表面流狀態(Streaming Flow) (資料來源：水土保持手冊，2005)

4. 魚道隔板間距 ΔL 的限制：魚道隔板間距 ΔL，有一定的上下限，一方面要大於目的魚類的 3 倍體長。另一方面要控制其水位差小於規範的要求。

(二) 潛孔口式魚道：

1. 流速：

$$V_3 = \sqrt{2g\Delta h} \tag{2.25.6}$$

潛孔口式魚道與水位差相關，與流量關係不大。

2. 流量：

$$Q_{V_3} = Cby\sqrt{2g\Delta h} \tag{2.25.7}$$

其中 b 為潛孔寬度、y 為潛孔深度。

(三) 魚骨型魚道：

1. 魚骨型魚道具有全方向之魚類上溯及排砂功效，在不同流量及流速下均可提供不同型態之魚類使用。
2. 在小流量或為無水僅呈現濕潤邊壁之情況，仍可提供蝦類、蛙類或台灣爬岩鰍等攀爬性魚類使用。
3. 一般流量均可提供台灣鏟頷魚、粗首鱲等游泳性魚類使用，高水位高於魚骨區時，則是白鰻最佳上溯時機。
4. 洪水導致流速過高，魚類無法使用時，魚道之魚骨順水型態反可提供最佳之排砂效率。

(四) 導流壁式魚道：

1. 具有全垂直方向的缺口，能同時提供底棲性與跳躍性的魚種利用，在設計上必須特別注意控制魚道入口之尾水水位及各部位流速水深狀況，否則若魚道中水位遽降，會造成魚道失敗。
2. 此種魚道設計坡度不宜過陡，適用於水庫型魚道，通常長度會拉得很長，成本亦高，且其流速受坡度所控制。
3. 因導壁的形狀、間隔和突出的角度均有許多不同的型式，會造成一些渦流或緩流區，可提供魚類短暫休息的場所。

(五) 防砂壩式魚道：

1. 防砂壩須設計成複式斷面，以控制流心，可使水流沿深槽線流動且於旱季時尚能維持一定水深。
2. 魚道之配置型式，採部份懸掛於壩體下游面，沿壩面做 Z 字型迂迴上升，若長度不夠，可利用壩體下游護岸做延伸。
3. 防砂壩的含砂量較大，常遇魚道阻塞毀壞等情形，故段錦浩(1999)設計一礫石與水分離的篩型鋼板柵，鋼板柵間距視通過之魚類決定，可將礫石與水分離，如圖 工 2-25-10 所示，並以向下游方向及魚道傾斜方向鋪設，使礫石能快速滾動通過，且不會打擊到魚道。

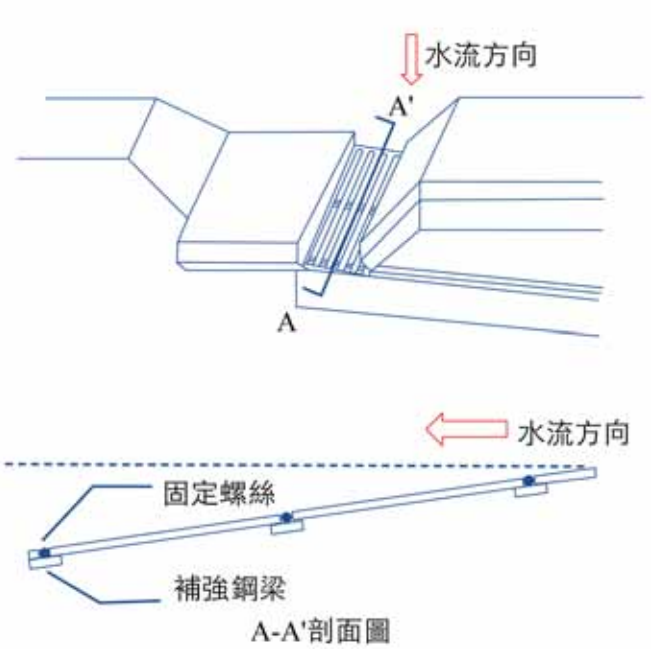


圖 工-2-25-10 篩型鋼板柵示意圖(資料來源：段錦浩，1999)

2.25.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

段錦浩(1999)，「堤防及防砂壩自然工法設計參考手冊」，水土保持局。

陳樹群、王順昌(2002)，「魚骨型魚道之水理及泥砂特性試驗研究」，中華水土保持學報」，33(4)： pp. 271-282。

廣瀨利雄、中村中六(1991)，「魚道の設計」，山海堂，日本東京。

Chen et al. (2017). “Hydraulics driven upstream migration of taiwanese indigenous fishes in a fish-bone-type fishway.” Ecological Engineering, 108, pp. 179-193.

2.26 沉砂池

2.26.1 定義

沉砂池(Sedimentation pond)為攔截或沉積土石之構造物。

2.26.2 目的

減少土石下移、保護下游土地房舍及公共設施。

2.26.3 種類及適用範圍

沉砂池之形狀及大小係依據流量、推移質砂礫數量、形狀、入口處之河床坡度、淤砂度及地形而定。一般常見者有角型、鳥囊型、胃袋型、盾型、六角型及長橢圓型等，其周圍護岸之材料有混凝土、漿砌石及土堤等。

2.26.4 圖說

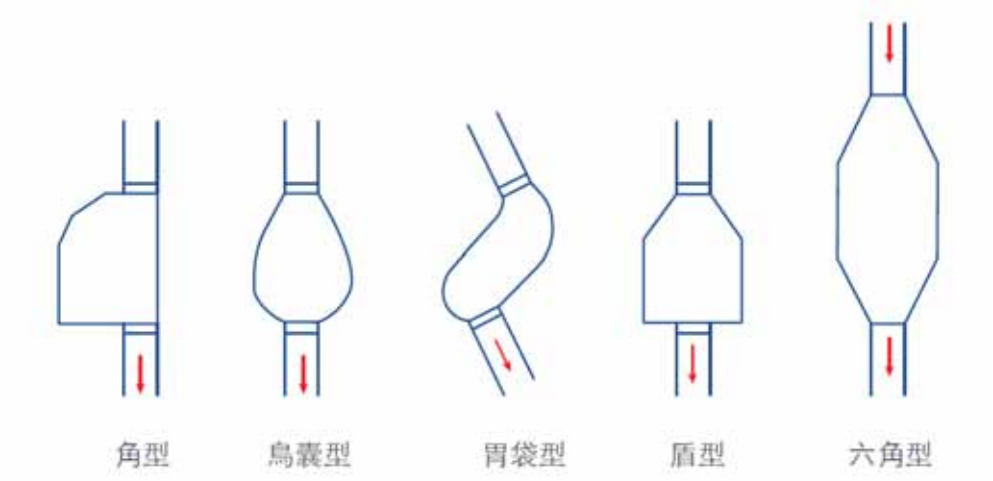


圖 工 2-26-1 沉砂池示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

2.26.5 規劃設計原則

一、容量之決定：

沉砂池之泥砂生產量依通用土壤流失公式估算值之二分之一估算。

(一) 土壤流失量估算：

上游集水區土壤流失量應依其降雨、地形、面積、地質、開發程度、覆蓋情形，予以估算。

(二) 臨時性沉砂池：

開挖整地部分，每公頃之泥砂生產量不得小於二百五十立方公尺；未開挖整地或完成水土保持處理部分，每公頃不得小於十五立方公尺。

(三) 永久性沉砂池：

完成水土保持處理部分，每公頃之泥砂生產量不得小於三十立方公尺；未開挖整地部分或符合建築法之建築物面積得扣除泥砂生產量。

(四) 臨時性沉砂池須於每次豪雨後清除，永久性沉砂池則每年至少清除一次。

(五) 通用土壤流失公式估算：

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \tag{2.26.1}$$

式中

A_m：每公頃之年平均土壤流失量(公噸/公頃-年)

R_m：年平均降雨沖蝕指數(10^6焦耳-毫米/公頃-小時-年)

K_m：土壤沖蝕性指數(公噸-公頃-小時-年/10^6焦耳-毫米-公頃-年)

L ：坡長因子

S ：坡度因子

C ：覆蓋與管理因子

P ：水土保持處理因子

二、構造物：

(一) 沉砂池之長度和深度得依據哈真數(Hazen number)計算

哈真數為：

$$H_a = \frac{W_s L}{VH} \tag{2.26.2}$$

囚砂率：

$$\eta = 1 - e^{-H_a} \tag{2.26.3}$$

Ws：泥砂(4 號篩以上粒徑)之沉降速度(公尺/秒)

L：沉砂池長度(公尺)

V：進入沉砂池之速度(公尺/秒)

H：沉砂池深度(公尺)

建議以 4 號篩粒徑砂石為代表粒徑計算。因砂率計算結果應採：

$$\eta \geq 0.67 \tag{2.26.4}$$

或是採用下列參數設計：

(二) 沉砂池寬度應為入流水寬 3 倍以上。

(三) 沉砂池長度應大於寬度。

(四) 沉砂池深度應為入流溝渠水深 2 倍以上。

(五) 以開挖方式施設，其深度視容量而定，建議至少在 0.5 m 以上，其縱坡度 0.5% 以上。

(六) 入口處放入之角度視溪流狀況，施工位置而異，一般 θ=30°~ 60°。

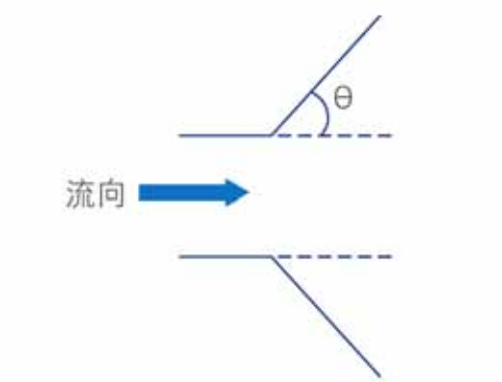


圖 工 2-26-2 沉砂池水流流向示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(七) 設計清除淤積土石之道路時，應考慮以機械直接清除及搬運，並應防止洪水經由道路溢流。

三、沉砂池因砂率的計算步驟如下：

(一) 以 van Rijn (1984)推估模式計算粒徑分布內各個粒徑之沉降速度

$$W_s = \frac{1}{18}\frac{(S-1)gD^2}{\nu} \quad for\ \ D < 0.1 \text{ 公厘} \tag{2.26.5}$$

$$W_s = 10\frac{\nu}{D}\left(\sqrt{1+\frac{0.01(S-1)gD^3}{\nu^2}}-1\right) \ for\ \ 0.1 \text{ 公厘} < D < 1 \text{ 公厘} \tag{2.26.6}$$

$$W_s = 1.1\sqrt{(S-1)gD} \quad for\ \ D > 1 \text{ 公厘} \tag{2.26.7}$$

式中

D：泥砂粒徑(公尺)

S：泥砂比重(約 2.65)

ν：20°C 水溫之運動粘滯係數，(1.003×10^{-6} 平方公尺/秒)

(二) 計算沉砂池內平均速度。

(三) 計算粒徑分布內各個粒徑之滯留時間和沉降時間。

(四) 計算粒徑分布內各個粒徑之 Hazen 數。

(五) 計算粒徑分布內各個粒徑之囚砂率。

(六) 計算總囚砂率。

2.26.6 施工注意事項

一、出口之橫向構造物應設置排水管，將池中之水儘速排除，以防孳生蚊蟲破壞環境。

二、沉砂池周圍應設置防護措施，以策人畜安全。

三、整流工程之沉砂池，可依地形及土砂量於中游或下游設置多處。

四、入口應防止堵塞而產生漫流。

五、於溪流設置沉砂池時，其入口及出口處均應設置固床工，兩岸以護岸保護。

2.26.7 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 9 月 11 日修正。

行政院農業委員會水土保持局(2017)，「滯洪池及沉砂池設計原則分析與檢討」。

2.27 滯洪池

2.27.1 定義

滯洪池(Flood detention pond)係指在河床或基地水路構築橫向構造物或側流堰，或挖填土方產生窪地，以無控制設施或抽排設備藉由所製造之蓄水空間暫時儲蓄暴雨逕流以調整洪峰流量之池堰構造物。

2.27.2 目的

降低因開發山坡地而增加下游地區洪峰流量之衝擊，藉由滯洪池之蓄水體積及限制出流量而達到降低洪峰流量、遲滯洪峰到達時間或增加入滲等目的。若其出口高於池底，則滯洪池亦能達到污染及泥砂控制之目的。而透過適當的設計及位置選擇，滯洪池尚具有減輕下游之河道沖蝕之功能。

2.27.3 種類及適用範圍

根據構造材料、出口高度、設置位置及出口設計等分類標準，滯洪池可分為不同種類，而其適用範圍亦不相同。

一、依構造材料區分：

(一) 種類：

分為土壩、混凝土或鋼筋混凝土壩體或池堰。

(二) 適用範圍：

1. 土壩：適用於壩高以不超過 15 m，溪床質粒徑小、壩基附近溪床具有不透水性，且取土容易之地區。
2. 混凝土壩或池堰：適用於野溪中下游，規模較大之地段。
3. 鋼筋混凝土壩或池堰：適用於逕流量較大，在野溪中下游，規模較大且具永久性治理效能之構造物。

二、依出口高度區分：

(一) 種類：

分為乾式滯洪池(Detention pond)及濕式滯洪池(Retention pond)兩類。前者之出口設施位於池底最深處而暴雨結束後並無儲蓄水體，後者因最低之出口高度仍高於池底高程而在暴雨結束後可保有水體。

(二) 適用範圍及設置限制維修路徑或出入口：

1. 乾式滯洪池：適用於未規劃蓄水、生態功能之開發區。

(1)為確保兩場暴雨之間，乾式滯洪池內無積蓄水體，應規劃適當之池底斜率，使底層池水可順暢排出。

(2)透水性之池底設計不適於周圍有擋土牆、重要結構物及道路等有地盤流失及地滑之虞之地區。

(3)除非通過土力檢算，否則填土區不適合佈置滯洪池。

(4)不宜設於下游地區屬於水溫敏感區域之開發基地，因為滯洪池無足夠時間降低來自不透水區之水溫。

2. 濕式滯洪池(或滯洪沉砂池共構)：適用於景觀生態造型或沉砂池與滯洪池合併設置之開發區。

(1)除非通過土力檢算，否則填土區不適合佈置滯洪池。

(2)所需面積較大，較不適於非常高使用密度之都市區域。

(3)依據其平常之呆水位深度，安全設計應予以考量。

三、依設置位置區分：

(一) 種類：

分為在槽(in-stream)滯洪池及離槽(off-stream)滯洪池。

(二) 適用範圍：

1. 在槽滯洪池：適用於開發範圍內之河道或水路具有適當區位足以設置橫向構造物並提供所需體積之處。其位置以在河床及兩岸均為岩盤之處，且其上游有相當腹地儲蓄洪水者為佳。若無岩盤時，則應加強兩岸及下游河床之保護，見圖 工 2-27-1。

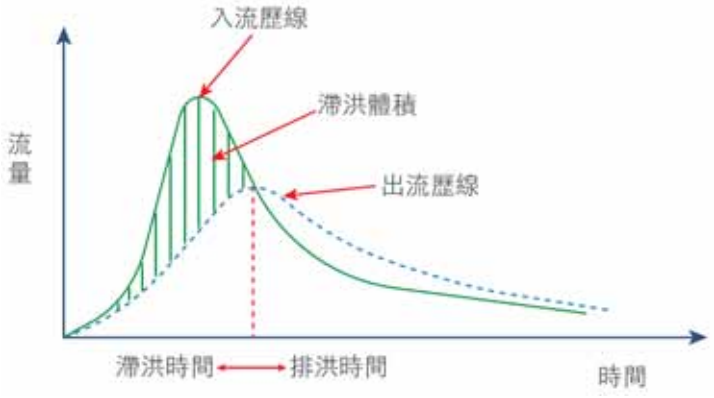


圖 工 2-27-1 在槽式滯洪設施入、出流歷線圖

(1)當入流量小於設計出流量時，出流量等於或大於入流量。

(2)當入流量大於設計出流量時，多餘之水量即蓄留於池體內，並持續排放出流。

(3)容納多餘流量量體即為滯洪設施容量。

2. 離槽滯洪池：主要分無側流堰和具有側流堰兩種型式。若開發範圍內並無明顯之河道或水路，或無合適位置可供設置橫向構造物，則利用挖填土方產生窪地以製造蓄水體積，再以排水溝渠或管涵連接至河道或水路。或是在河床或基地水路構築側流堰，將洪峰逕流導引至側邊之蓄水窪地暫時蓄洪，見圖 工 2-27-2。

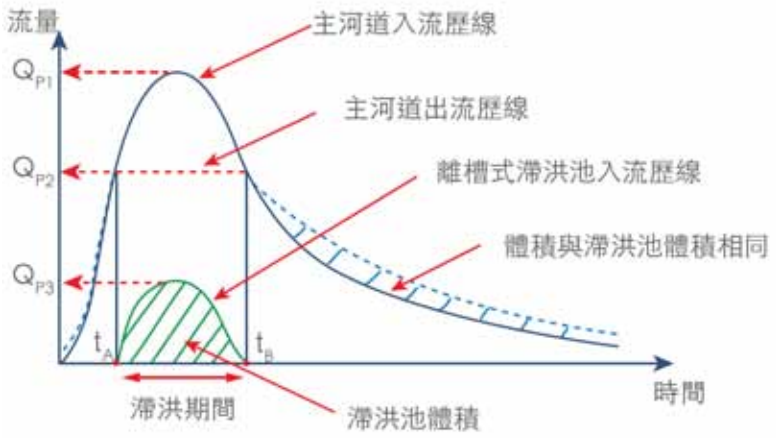
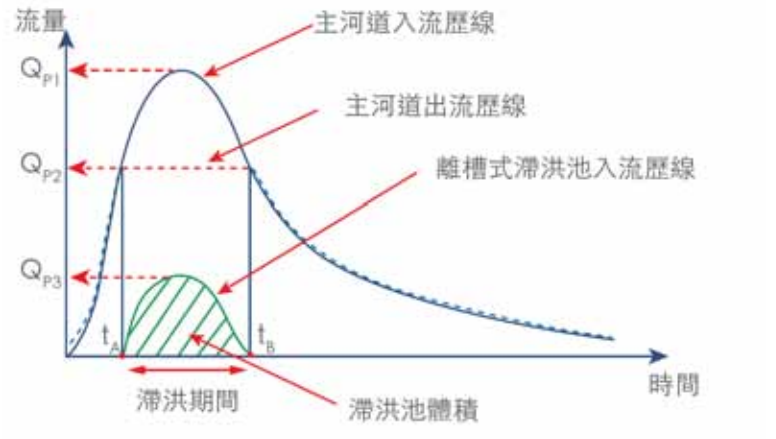
	主河道入流量等於主河道出流量及滯洪池入流量之和 $Q_{P1} = Q_{P2} + Q_{P3}$ 當時間$t_A < t < t_B$，主河道水位高於側溢流堰，開始側溢流至離槽式滯洪池中。 當時間$t > t_B$，主河道水位低於側溢流堰，河水維持在主河道中流動，且離槽式滯洪池開始流放。
 滯洪池不出流	主河道入流量等於主河道出流量及滯洪池入流量之和 $Q_{P1} = Q_{P2} + Q_{P3}$ 當時間$t_A < t < t_B$，主河道水位高於側溢流堰，開始側溢流至離槽式滯洪池中。 當時間$t > t_B$，主河道水位低於側溢流堰，河水維持在主河道中流動；因離槽式滯洪池未放流，主河道出流歷線與主河道入流歷線重合。

圖 工 2-27-2 離槽式滯洪設施入、出流歷線圖

(1)無側流堰設施：吸納全部洪峰逕流，等洪峰消退後，再以排水溝渠或管涵連接至河道或水路。如果滯洪池排水口高程低於聯外排水底部高程，無法以排水溝渠或管涵連接聯外排水系統，且有電力供應、合適人力操作和維護時，得採用機械式抽水機搭配使用。

(2)具有側流堰設施：

A.當排水渠道或箱涵水位小於滯洪設施側流堰頂高程時，排水渠道或箱涵出流量等於入流量，沒有洪峰逕流進入滯洪設施蓄水池體。

B.當排水渠道或箱涵水位高於滯洪設施側流堰頂高程時，高於側流堰頂高程水位逕流被導引進入滯洪設施蓄水池體，排水渠道或箱涵以滯洪設施側流堰頂高程水位之流量(設計出流量)流出。

C.滯洪設施和排水渠道或箱涵間除側流堰外，必要時得設置滯洪設施蓄水池排水口。等排水渠道或箱涵水位低於滯洪設施蓄水池排水口底部高程時，即可自動打開蝶閥，讓滯洪設施蓄水池內水流自動排入排水渠道或箱涵內。

四、依出口設計區分：

主要由頂端之溢洪口和底部不同形狀之排洪口，或自溢洪口處加一矩形開口所組成。

五、依控制方式區分：

主要是毋需人力操作和電力供應之無控制式設施，以及在滯洪池排水口高程低於聯外排水底部高程，有電力供應、合適人力操作和維護時採用機械式抽水機搭配使用之抽排式滯洪池，見 圖 工 2-27-3。

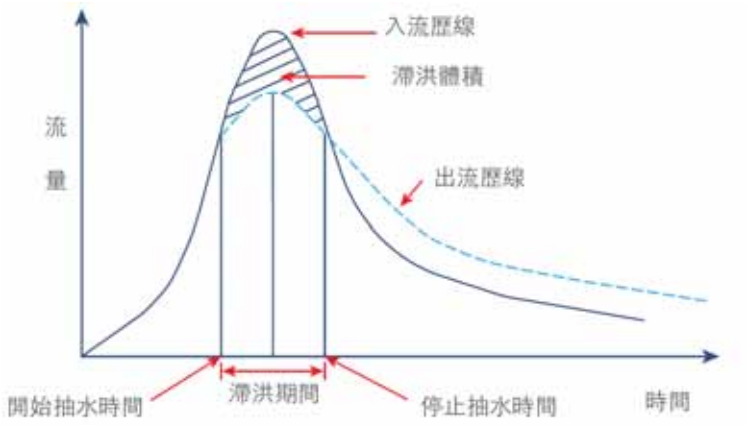


圖 工 2-27-3 抽排式滯洪設施入、出流歷線圖

(一) 當滯洪設施蓄水池水位到達抽水水位(亦即滯洪期間起點)時，立即啟動抽水機抽水。抽水量同樣不得大於水土保持技術規範之容許排放量，也不得大於下游承受水體之涵容量。

(二) 當滯洪設施蓄水池水位降到原先之抽水水位時，即可停止抽水。

(三) 降雨停止後，再抽乾滯洪設施內之蓄水。

2.27.4 圖說

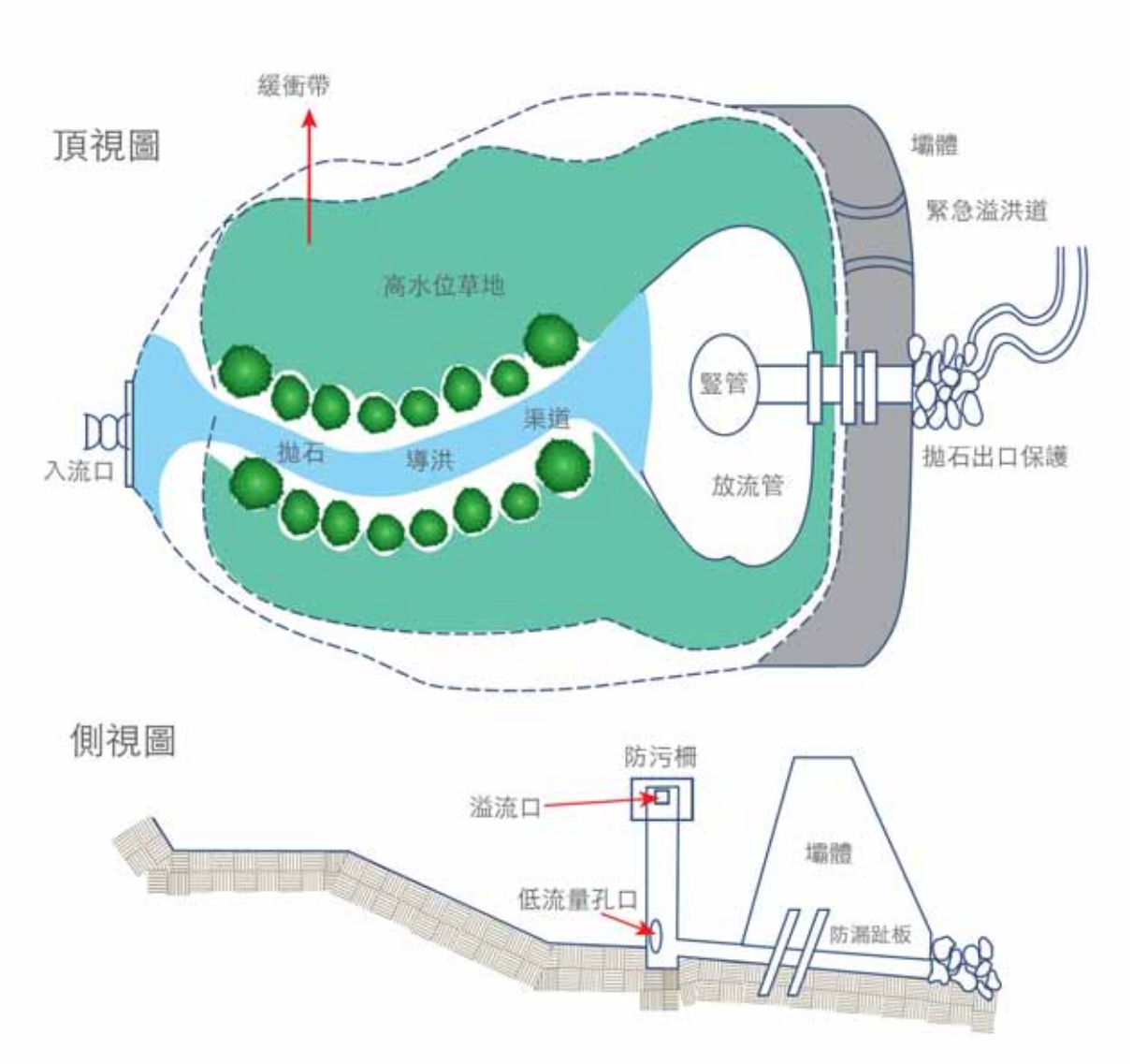


圖 工 2-27-4 乾式滯洪池(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

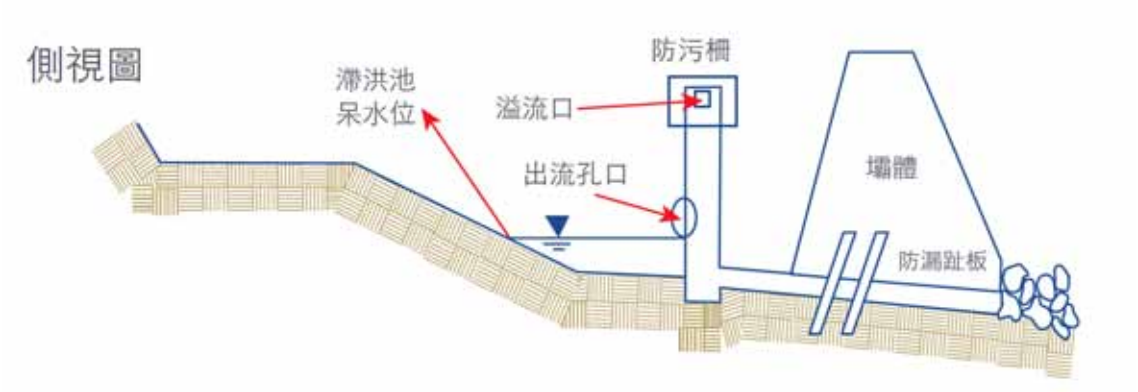


圖 工 2-27-5 濕式滯洪池(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

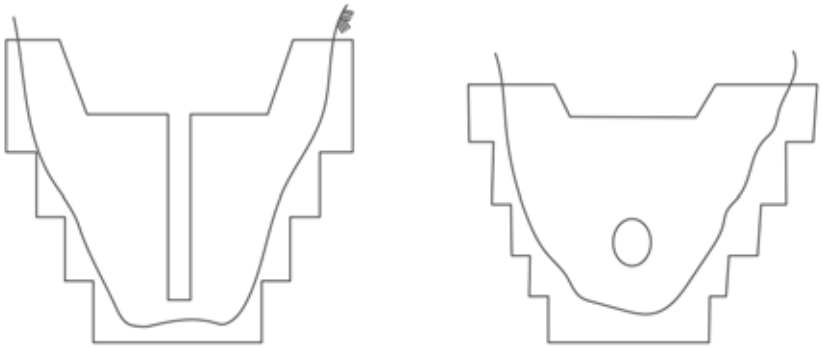


圖 工 2-27-6 滯洪壩正面示意圖-出口型式(矩形及圓形) (資料來源：水土保持手冊，2005)

2.27.5 規劃設計原則

一、滯洪壩之規劃設計原則：

(一) 滯洪壩之開口為深而窄之矩形，開口處斷面為抵抗水流黏滯力及砂石滾動所產生的摩擦力，其結構應加強。可於開口兩側下游面設置撐牆加強其支撐力量。

(二) 矩形開口之出流量與水位高之關係，可依下式決定：

1. 重力壩體：

$$Q = 2.09BH^{1.73} \tag{2.27.1}$$

式中

Q：流量(m^3/s)

W：壩址的平均寬度(m)

B：開口寬度(m)

H：開口以上水位高度(m)

適用條件：

相對出流口寬度 0.061<B/W<0.318

壩體下游面坡度 1：0.3

壩體上游面坡度 1：0.5

2. 懸臂式壩體：

$$Q = 2.36B^{1.13}H^{1.53} \tag{2.27.2}$$

適用條件：S(坡度)=5%

相對出流口寬度：B/W=0.033~ 0.175

(三) 圓型開口型：

$$Q = 2.78D^2h^{0.5} \tag{2.27.3}$$

式中

Q：流量(m^3/s)

h：出流口水頭高度(m)

D：孔口直徑(m)

二、在槽式滯洪池之規劃設計原則：

在槽式滯洪設施設計的主要控制參數為入流量、出流量、滯洪體積及滯洪池水位，得以水庫演算相關參數，演算公式如下：

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \tag{2.27.4}$$

$$(\mathrm{I_1 + I_2}) + \left(\frac{2\mathrm{S_1}}{\Delta \mathrm{t}} - \mathrm{O_1}\right) = \left(\frac{2\mathrm{S_2}}{\Delta \mathrm{t}} + \mathrm{O_2}\right) \tag{2.27.5}$$

式中

Δt：演算時距(hr)

ΔS：演算時距Δt之蓄水體積變化(m^3)

I_1、I_2：演算時距Δt前後之入流量(m^3/s)

O_1、O_2：演算時距Δt前後之出流量(m^3/s)

其中，I_1及I_2可由水文分析結果中，設計重現期距的流量歷線，依時距得之。

滯洪演算時尚需準備滯洪池的水位與滯洪體積關係曲線(H-V 曲線)，及滯洪水位與出流量關係曲線(H-O 曲線)。

三、離槽式滯洪池之設計原則：

離槽式滯洪設施側流堰之流量計算係依能量守恆定律推導而得，若渠道形狀為矩形稜柱體，得依據狄馬奇(De Marchi)的假設條件：

(一) 渠道形狀為矩形稜柱體(rectangular and prismatic)。

(二) 側流堰長度短和比能為常數，有

$$S_0 - S_f = 0 \ \ or \ \ S_0 = 0 \ \ and \ \ S_f = 0 \tag{2.27.6}$$

(三) 為銳緣、正常通氣水舌(proper aeration of the nappe)之堰流。

(四) 動力能量校正係數(kinetic energy correction factor)為 1.0。

當堰長和渠寬比小於 3.0，$L/B \leq 3.0$時，有三種類型：

第一類：緩坡，$y_0 > y_{c1}$ and $s > y_{c1}$

$$y_2 < y_t \tag{2.27.7}$$

於側流堰頭端，水面剖線為M_2曲線，尾端$y_2 = y_t$

$$y_{c1} < y_1 < y_0 \tag{2.27.8}$$

第二類：緩坡，$y_0 > y_{c1}$ and $s < y_{c1}$

$$y_1 = y_{c1} \tag{2.27.9}$$

於側流堰頭端，水面剖線為M_2曲線，尾端$y_2 < y_t$，y_2以水躍達到y_t水位。

第三類：陡坡，$y_0 < y_{c1}$ and $s < y_{c1}$

於側流堰頭端，$y_1 = y_0$ 尾端$y_2 < y_t$，y_2以S_3 水面剖線漸進到y_t。

空間變異流(Spatially Varied Flow)公式為：

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy(-dQ/dx)}{gB^2y^3 - Q^2} \tag{2.27.10}$$

當側流堰公式為：

$$-\frac{dQ}{dx}=\frac{2}{3}C_M\sqrt{2g}(y-s)^{1.5} \tag{2.27.11}$$

則

$$\frac{dy}{dx}=\frac{4}{3}\frac{C_M}{B}\frac{\sqrt{(E-y)(y-s)^3}}{3y-2E} \tag{2.27.12}$$

積分得狄馬奇方程式：

$$\mathrm{x}=\frac{3B}{2C_M}\cdot\phi_M(y,E,s)+const. \tag{2.27.13}$$

其中，狄馬奇變量流方程式為：

$$\phi_M(y,E,s)=\frac{2E-3s}{E-s}\sqrt{\frac{E-y}{y-s}}-3\,sin^{-1}\sqrt{\frac{E-y}{E-s}} \tag{2.27.14}$$

因此，側流堰長度：

$$L=x_2-x_1=\frac{3B}{2C_M}\cdot(\phi_{M2}-\phi_{M1}) \tag{2.27.15}$$

$$Q_s=Q_1-Q_2 \tag{2.27.16}$$

$$C_M=0.864\sqrt{\frac{1-F_1^2}{2+F_1^2}} \tag{2.27.17}$$

亞臨界流流況時，

$$C_M=0.7-0.48F_1-0.3\frac{s}{y_1}+0.06\frac{L}{B} \tag{2.27.18}$$

式中

S_0、S_f：渠床坡度、能量坡度

B：渠道寬度(m)

y、y_0、y_1、y_2、y_{C1}、y_t：渠道水深、正常水深、側流堰頭端

水深、側流堰尾端水深、側流堰頭端臨界水深、尾水深(m)

s：側流堰高(m)

Q、Q_1、Q_2、Q_s：流量、側流堰頭端流量、側流堰尾端流量、側流堰流量(m^3/s)

L：側流堰長度(m)

x：離側流堰起點距離(m)

E：總能量頭(m)

C_M：狄馬奇係數，De Marchi coefficient

g：重力加速度(m/s^2)

F_1：側流堰頭端福祿數

四、抽排式滯洪池：

抽排式滯洪設施設計的主要控制參數，與在槽式滯洪設施同理，為入流量、出流量、滯洪體積及滯洪池水位，其中，出流量係機械排水或抽水機之抽水量，同樣得以水庫演算相關參數，演算公式如下：

$$\frac{I_1+I_2}{2}-\frac{O_1+O_2}{2}=\frac{\Delta S}{\Delta t}=\frac{S_2-S_1}{\Delta t} \tag{2.27.19}$$

$$(I_1+I_2)+\left(\frac{2S_1}{\Delta t}-O_1\right)=\left(\frac{2S_2}{\Delta t}+O_2\right) \tag{2.27.20}$$

抽水機種類包括離心式、往復式及旋轉式三種，具有揚程高者流量小；流量大者揚程低之特性。抽排式滯洪池之構造與一般滯洪池一樣，出流水經出水口排出後，再行抽水，抽水量同樣不得大於水土保持技術規範之容許排放量，也不得大於下游承受水體之涵容量。

五、抽水設施：

(一) 定義：

由機械動力將水揚至下游排水系統之設施。

(二) 目的：

為解決重力無法排放洪流量之設施。

(三) 種類及適用範圍：

表 工 2-27-1 抽水機形式及總揚程(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

型式	軸流式抽水機	斜流式抽水機	螺式抽水機	透平式抽水機		柱塞式抽水機
				單段	多段	
總揚程(m)	4 以上	3~15	4~30	18~60	20 以上	20 以上

上表所列數值一般使用上之數值，實際選定時，應考慮抽水機之性能特徵、計畫基本條件等決定之。

1. 揚程變化較少，只需調整水量，以採用螺式抽水機為主。
2. 水量變化不多，揚程變化較大者，以採用透平式抽水機為主。
3. 高揚程、小水量，以採用柱塞式抽水機為主。

(四) 設計原則：

1. 抽水機選定：

(1) 口徑之決定：抽水機吸管口徑，由出水量及入口流速決定，入口流速在 1.5~3.0 m/s，並考慮發動機回轉數，吸入揚程而定。其吸入口徑計算如下：

$$D = 146\sqrt{\frac{Q}{V}} \qquad (2.27.21)$$

其中，

D：抽水機吸入口之口徑(mm)

Q：吸入水量(m^3/min)

V：吸入口水之流速(m/sec)(約 1.5~3.0m/sec)

吸口口徑與吸水流量之關係如表 工 2-27-2 所列。

表 工 2-27-2 吸口口徑與吸水流量之關係(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

吸口口徑(mm)	40	50	65	75	100	125	150
水量(m^3/min)	0.11-0.22	0.18-0.36	0.28-0.56	0.45-0.9	0.71-1.4	1.12-2.24	1.80-3.35
標準水量(m^3/min)	0.13	0.23	0.42	0.56	1.10	1.70	2.50
吸口口徑(mm)	200	250	300	350	400	500	
水量(m^3/min)	2.8-5.6	4.5-9.0	7.7-14.0	9.0-18.0	11.2-22.4	18.0-35.3	
標準水量(m^3/min)	4.80	7.10	11.00	16.00	21.00	33.00	

(2)速度比：每 1m 之揚程每 1m^3/min 之出水量時每分鐘需要之轉速。

$$N_s = \frac{NQ^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \tag{2.27.22}$$

其中，

N_s：速度比(rpm)

Q：揚水量(m^3/min)

N：抽水機之迴轉數(rpm)

H：總揚程(m)

表 工 2-27-3 各種抽水機之速度比範圍(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

型式	抽水機			
	渦輪型	螺型	斜流型	軸流型
速度比Ns (m-m^3/sec-rev/min)	120-250	200-450(軸流)	700-1200	1200-2000
		450-900(混流)		

(3)抽水機動力計算

A.軸馬力

$$SH_P = 0.222\frac{Q \times H}{N_p} \tag{2.27.23}$$

其中，

SH_P：軸馬力

Q：揚水量(m^3/min)

H：總揚程(m)

表 工 2-27-4 抽水機效率(Np) (資料來源：「水土保持手冊」，2005)

流量 (m^3/min)	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
最大效率 (%)	34	40	44	49	53	55	57	60	62	65	67	70	71
最低效率 (%)	29	34	37	42	45	47	49	51	53	55	57	59	60

B.所需馬力

$$RH_p = SH_p \times \frac{1}{n_i} \times e \qquad (2.27.24)$$

其中，

RH_P：所需馬力(H_p)

SH_P 軸馬力(H_p)

n_i：傳動效率

1.三角度帶=0.93~0.95

2.平皮帶=0.90~0.93

3.橫軸正齒輪變速器=0.92~0.98

4.傘型齒輪變速機=0.90~0.95

5.直結(法蘭西)式=1

e：安全係數，使用電動機時=1.1，使用引擎時=1.15~ 1.25

2. 抽水站：

基礎：抽水站應設置在堅硬地質上，其基礎厚度應 40 cm 以上，固定抽水機於基座上之螺絲釘通常使用 16 mm 以上，其埋入深度按螺型應採用直徑 25~40 倍左右。

機房：機房設計前應調查各項機件，如抽水機、馬達或引擎尺寸與重量，以供設計之依據。機房內應保留較寬廣之空地，以便機械搬運，並保持乾燥、通風及良好光線。機房出入口之大門，應有充分寬度，以便機械搬運。

(五) 作業程序及注意事項：

1. 抽水機個性能曲線應在製造廠試車驗收(時間為 72 hr)。
2. 抽水機由宜製造廠配員安裝。
3. 抽水機以配裝電動馬達為經濟，不得已需安配引擎時宜採用柴油引擎，不宜使用汽油引擎。
4. 採用電動之抽水設備，可是現場需要配裝意麵自動開關。自動預潤水系統，自動開關。
5. 揚程超過 150 m 時宜設中繼站分段抽水。

6. 三相感應馬達之效率為 70%~95%(馬力由大而小)。單向馬達效率為 70%~75%(電容器運動馬達除外)，故動力在 2 馬力以下採用單相，3 馬力以上採用三相。

7. 抽水機房應有避雷針之設施。

因山坡地開發而設置之滯洪池，以下各原則亦應一併考量：

一、滯洪池之類型與其位置應依實際調查資料之結果，並配合當地地質、地形條件，針對開發區域內之河道或水路狀況、土地使用分配及其他功能要求(如沉砂、景觀)等因素綜合考量。其位置之選定、方向、斷面、水墊等參考防砂壩及土壩章。

二、為避免泥砂沉積而減少滯洪池調洪容量，可在滯洪池前設置沉砂池。如果沉砂池與滯洪池設計在同一地點時，則滯洪池底部開口下端以下之池堰容量需大於或等於沉砂池之設計容量，而滯洪池之形狀與尺寸則應配合沉砂需求而調整。滯洪安全措施：若滯洪池深度超過 1.5 m 以上，應於滯洪池頂加設安全護欄。平常保有水體之滯洪池（如濕式滯洪池或沉砂滯洪池）得豎立警告標誌，必要時滯洪池可採用安全階台（safety ledge）之設計。

三、滯洪池各單元之設計要點

(一)最大洪峰流量：

滯洪池之最大洪峰流量，可依合理化公式估算之。其入流歷線至少採五十年以上之洪水頻率，出流歷線則為二十五年以下之洪水頻率，並應以五十年洪水頻率之計算標準提供滯洪設施。滯洪池對外排放之洪峰流量，不得超過開發前之洪峰流量，並使排出之洪水量能容納於原排水系統中。

(二) 池堰邊坡：

若滯洪池之構造主體為土壩，則滯洪池上游壩面應緩於一比三(垂直高比水平距)並配合邊坡植生，泥岩地區可用一比二。若沉砂池與滯洪池設計在同一地點時，土質池堰邊坡為防止波浪侵蝕，應以拋石等加以保護；池頂厚度則依壩體類型(土壩、混凝土壩、鋼筋混凝土壩…等)設計。

(三) 出水口：

滯洪池之出水口型式，可依當地環境條件，設計為矩型開口型式或圓形開口型式等，所需尺寸可利用實驗或理論公式藉由最大洪峰流量推算。為抵

抗水流衝力及砂石碰撞所產生之撞擊力，出口處之斷面應加強其結構設計。為防止雜物阻塞而影響排水能力，出水口應有防汙柵(半圓形、半圓柱、半球形為主)等設計。出水口以溝渠或管涵連接至開發區外現有河道或水路處，應設置保護或消能設施。

(四) 安全措施：

若滯洪池深度超過 1.5 m 以上，應於滯洪池頂加設安全護欄。平常保有水體之滯洪池（如濕式滯洪池或沉砂滯洪池）得豎立警告標誌，必要時滯洪池可採用安全階台（safety ledge）之設計。

四、設計流程

滯洪池之設置主要在於減緩暴雨逕流之衝擊，因此其設計重點在於尋求足以容納因開發行為而在基地內額外產生之暴雨體積，並依規定將之排放至開發區外之現有水路或排水系統。滯洪池之設計流程應包含以下主要步驟(圖 工 2-27-7)：

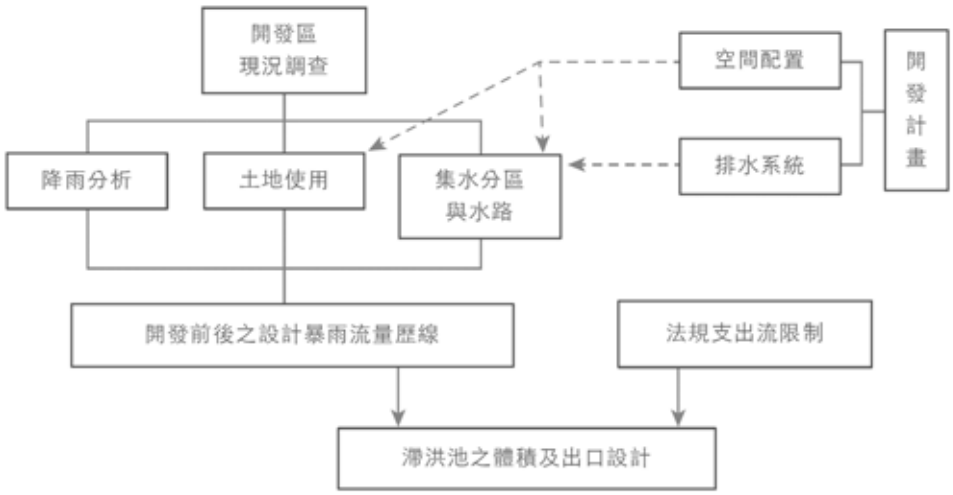


圖 工 2-27-7 滯洪池設計流程圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

(一)開發區現況調查：

針對開發區之降雨特性、土地使用之類別及面積、現有水路及對應集水分區進行調查，利用合理化公式或修正三角形單位歷線分別推算。

(二) 開發後之流量歷線估算：

根據開發計畫，以其空間配置對開發區之未來土地使用類別及面積進行估算，並利用其排水系統設計以對集水分區集水路進行修正，最後以合理化公式或修正三角形單位歷線計算開發後之集水分區以及全區流量歷線。

(三) 滯洪池體積估算：

1.集水區面積在一千公頃以下時，得以使用合理化公式計算滯洪量。

$$V = \frac{(Q_2 - Q_1)t_r}{2} \times 3600 \tag{2.27.25}$$

$$Q_2 = \frac{1}{360} C_2 I A \tag{2.27.26}$$

$$Q_1 = \frac{1}{360} C_1 \frac{d}{t'} A \tag{2.27.27}$$

$$V = 5A\left(C_2 I - C_1 \frac{d}{t'}\right) t_r \tag{2.27.28}$$

式中，

V：滯洪體積(m^3)

tr：滯洪時間(hr)(以一小時為原則)

Q_2：開發後流量(m^3/s)

Q_1：滯洪後放流量(m^3/s)

C_2：開發後逕流係數

C_1：開發前逕流係數

I：50 年以上重現期距之降雨強度(mm/hr)

A：集水面積(ha)

d：25 年以下重現期距一小時延時之降雨深度(mm)

t'：排水時間(hr)(以小於或等於一小時為原則)

2.面積在一千公頃以上時，得採用修正三角形單位歷線法計算滯洪量。

$$Q_p = \frac{0.00208 P_e A}{t_p} = \frac{0.00208 P_e A}{\frac{D}{2} + t_{lag}} \tag{2.27.29}$$

$$t_{lag} = 0.6 \cdot t_c \tag{2.27.30}$$

式中：

Q_p：三角形單位歷線洪峰流量(m^3/s)

P_e：有效降雨量(公厘)

t_p：洪峰到達時間(小時)

D：單位降雨延時(小時)

t_{lag}：洪峰稽延時間(小時)

A：集水區面積(公頃)

t_c：集流時間(小時)

其時間間距 t_r 選用如下，

集流時間$t_c(hr)$	D≦0.133t_c	採用值 D (min)
$t_c \geq 6.0hr$	>48 min	60
$5.0 \leq t_c < 6.0hr$	$40 \leq D < 48\ min$	50
$4.0 \leq t_c < 5.0hr$	$32 \leq D < 40\ min$	40
$3.0 \leq t_c < 4.0hr$	$24 \leq D < 32\ min$	30
$2.0 \leq t_c < 3.0hr$	$16 \leq D < 24\ min$	20
$1.0 \leq t_c < 2.0hr$	$8 \leq D < 16\ min$	10
$t_c < 1.0hr$	$D < 8\ min$	5

2.27.6 透水保水設施

依據水土保持法第 12 條(2016)，水土保持義務人於山坡地或森林區內從事下列行為，應先擬具水土保持計畫，送請主管機關核定，如屬依法應進行環境影響評估者，並應檢附環境影響評估審查結果一併送核：

一、從事農、林、漁、牧地之開發利用所需之修築農路或整坡作業。

二、採礦、採礦、鑿井、採取土石或設置有關附屬設施。

三、修建鐵路、公路、其他道路或溝渠等。

四、開發建築用地、設置公園、墳墓、遊憩用地、運動場地或軍事訓練場、堆積土石、處理廢棄物或其他開挖整地。

五、經過整理，得到下列山坡地開發行為：

(一)農地整坡：

1.農地整坡坡面　　3.邊坡穩定

2.坡面排水　　4.農地沉砂池

(二) 道路：

1.道路挖填方　　3.排水設施

2.取、棄土區　　4.邊坡穩定

(三) 探採礦：

1.探、採礦場
2.鑽井場
3.坑口
4.捨石場
5.貯礦場
6.洗選場
7.運搬道路
8.採掘面
9.最終殘壁
10.索道區
11.邊坡穩定

(四) 開發建築：

1.挖填方
2.排水設施
3.邊坡穩定
4.取棄土

(五) 堆積土石：

1.滯洪、沉砂
2.堆積土石
3.排水
4.沉砂
5.排水
6.邊坡穩定

(六) 公園、墳墓、遊憩用地(同開發建築)

(七) 處理廢棄物(同堆積土石)

(八) 臨時水土保持設施

表 工 2-27-5 山坡地開發行為對應之水土保持處理措施

開發行為	挖填方	排水	邊坡穩定	取棄土	滯洪沉砂
農地整坡	○	○	○		○
探採礦	○	○	○	○	○
道路	○	○	○	○	○
開發建築	○	○	○	○	○
公園、墳墓、遊憩用地	○	○	○	○	○
堆積土石		○	○		○
處理廢棄物		○	○		○
臨時水保設施	○	○	○	○	○

六、設計理論：

水土保持計畫範圍(山坡地建築基地除外)之保水指標，和山坡地建築一樣，為開發後固定時間內之總滲透量和開發前原滲透量之比值，亦即開發後計畫範圍保水量和原計畫範圍保水量之比值，而且，該比值必須小於或等於 0.3。

水土保持計畫範圍(山坡地建築基地除外)之保水指標計算值應依下式計算，其計算值 λ 必須小於或等於基地保水基準值λ_c

$$\lambda = \frac{\text{開發後計畫範圍保水量}}{\text{原計畫範圍保水量}} = \frac{Q'}{Q_0} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{A_0 \cdot f \cdot t} \leq \lambda_c = 0.3 \qquad (2.27.31)$$

λ：水土保持計畫範圍保水指標

λC：水土保持計畫範圍保水指標基準

Q'：各類保水設施之保水量總和(m^3)

Q_i：某類保水設施之保水量(m^3)

Q_0：原計畫範圍保水量(m^3)

A_0：水土保持計畫總面積(m^3)

f：基地最終入滲率(m/s)，(係指降雨時，雨水被土壤吸收之速度達穩定 時之值，應在現地進行入滲試驗求之，或以表層 2 m 以內土壤認定之。)

t：最大降雨延時基準值(s)，標準值為 1 hr，3600 sec。

七、計算方式：

水土保持開發行為主要可分為挖填方區、排水設施、邊坡穩定、取棄土區、滯洪沉砂等，相對應之透水保水設施有：

表 工 2-27-6 水土保持開發行為相對應之透水保水設施

透水保水設施	挖填方	排水	邊坡穩定	取棄土	滯洪沉砂
滯洪池					○
草溝		○			
透水集水井		○			
透水鋪面	○		○	○	
探採礦	○	○	○	○	○
道路	○	○	○	○	○
開發建築	○	○	○	○	○
公園、墳墓、遊憩用地	○	○	○	○	○
堆積土石		○	○		○
處理廢棄物		○	○		○
臨時水保設施	○	○	○	○	○

(一)滯洪池：

滯洪池之透水保水體積分為貯存體積及入滲體積，計算公式如下：

1. 貯存體積＝深度(公尺)×面積(平方公尺)，深度係指濕式滯洪池或生態滯洪池平常續存水位；乾式滯洪池之貯存體積為 0。
2. 入滲體積＝滯洪池底部面積（平方公尺）×最終入滲率（公尺/秒）×時間（小時）×3,600，時間以 1 小時計算。

(二) 草溝：

草溝之透水保水體積計算方法如下：

入滲體積＝草溝通水斷面周長（公尺）×草溝總長度（公尺）×草溝入滲率(公尺/秒)×時間(小時)×3,600，時間以 1 小時計算。

或

入滲體積＝草溝面積(平方公尺)×入滲率(公尺/秒)×時間(小時) ×3,600，時間以 1 小時計算。

(三) 透水集水井：

透水集水井之透水保水體積計算方法如下：

集水井體積=集水井底部面積(平方公尺)×集水井沉砂深度(公尺)

(四) 透水鋪面：

透水鋪面之透水保水體積計算方法如下：

1. 粗灌溉水量計算公式

(1)表面層貯存體積＝表面層厚度(公尺)×面積(平方公尺)×孔隙率

(2)粒料層貯存體積＝粒料層厚度(公尺)×面積(平方公尺)×孔隙率

2. 入滲體積＝入滲區底部面積（平方公尺）×最終入滲率（公尺/秒）×時間（小時）×3,600，時間以 1 小時計算。

(五) 緩衝帶：

緩衝帶是一個靠近坡頂、坡腳、河流、湖泊、水塘和溼地旁之永久性樹木和灌木區域，可作為逕流緩衝，並具有提供生態多樣性和水質改善效益。

緩衝帶之透水保水體積計算方法如下：

入滲體積=緩衝帶面積(平方公尺)×最終入滲率(公尺/秒)×時間 (小時)×3,600。時間以 1 小時計算。

表 工 2-27-7 透水保水體積計算表(資料來源：「建築基地保水設計技術規範」，2012)

透水保水設施	計算公式	變數說明
滯洪池	$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t + h_1 \cdot A_1$	h_1：濕式或生態滯洪池水位（m） A_1： 濕式或生態滯洪池面積（m^2）
草溝	$Q_2 = R \cdot L \cdot f \cdot t$ $Q_2 = A_2 \cdot f \cdot t$	R：草溝通水斷面周長（m） L：草溝總長度（m） A_2：草溝面積（m^2）
透水集水井	$Q_3 = n(A_3 \cdot f \cdot t + h_3 \cdot A_3)$	n：透水集水井個數 h_3：透水集水井沉砂深度（m） A_3： 透水集水井底部面積（m^2）
透水鋪面	$Q_4 = (h_4 + h_5) \cdot A_4 \cdot f \cdot t$	h_4：透水鋪面表面層厚度（m） h_5：透水鋪面粒料層厚度（m）
緩衝帶	$Q_5 = A_5 \cdot f \cdot t$	A_5：緩衝帶面積（m^2）

表 工 2-27-8 土壤最終入滲率及滲透係數值(參考資料：「建築基地保水設計技術規範」，2012)

土層分類描述	粒徑 D_{10}(mm)	統一土壤分類	最終入滲率 f(m/s)	土壤滲透係數 k(m/s)
不良級配礫石	0.4	GP	10^{-5}	10^{-3}
良級配礫石		GW		10^{-4}
沈泥質礫石		GM		
黏土質礫石		GC		
不良級配砂		SP		10^{-5}
良級配砂	0.1	SW		
沈泥質砂	0.01	SM	10^{-6}	10^{-7}
黏土質砂		SC		
泥質黏土	0.005	ML	10^{-7}	10^{-8}
黏土	0.001	CL		10^{-9}
高塑性黏土	0.00001	CH		10^{-11}
1.若基地表層土為回填土時，其最終入滲率統一取$10^{-5}m/s$。 2.屬於相同土壤統一分類的不同土質，會因為緊密程度以及組成的不同，其滲透係數的值會有所差異。以保守計，本表乃是取其最小值。				

表 工 2-27-9 土壤最終入滲率及滲透係數簡易對照表(資料來源：「建築基地保水設計技術規範」，2012)

土 質	砂土	粉土	黏土	高塑性黏土
最終入滲率 f(m/s)	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}
土壤滲透係數 k(m/s)	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-11}

八、流程架構

首先，計算山坡地開發水土保持計畫範圍內之法定滯洪量，接著，評估水土保持計畫範圍內之土地土壤性質及其滲透能力，繼而選擇透水保水設施位置，再規劃透水保水設施型式和數量，最後評估規劃之保水透水設施是否達到預期效益，如果可行，即可進行設計、施工和維護管理；如果不可行，再重新規劃透水保水設施型式和數量。

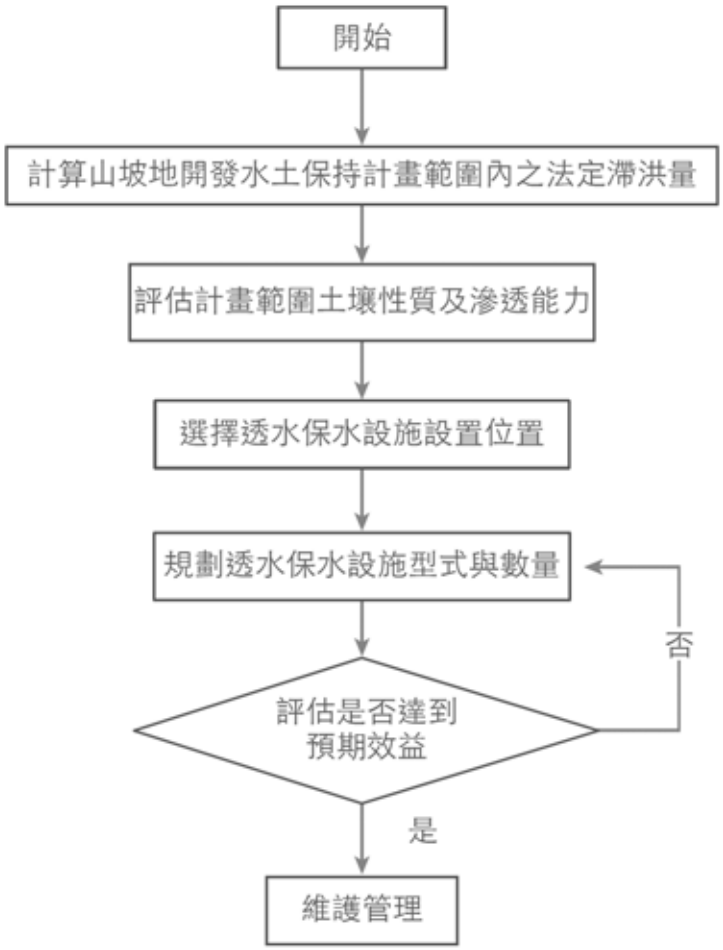


圖 工 2-27-8 基地透水保水設施規劃流程圖(資料來源：「新北市透水保水設施規畫參考手冊」，2012)

評估時可以藉由評估表，如表 工 2-27-10 之評估項目，逐一檢核評估，以總分大於 40 分為適合建置透水保水設施之區位，小於 20 分者為不適合建置透水保水設施之區位。

表 工 2-27-10 透水保水設施設置前之初步調查和評估原則

評估項目	評分
1. 透水保水設施控制區域(含透水保水設施區域)不滲透區域(A_{IMP})與可入滲區域(A_{INF})之比例	
■ $A_{INF} > 2\ A_{IMP}$	15
■ $A_{IMP} \leqq A_{INF} \leqq 2\ A_{IMP}$	10
■ $0.5\ A_{IMP} \leqq A_{INF} < A_{IMP}$	5
■ $A_{INF} \leqq 0.5\ A_{IMP}$	0
2. 透水保水設施預定地地表土壤組成概況	
■ 含有少許有機粗粒土壤	7
■ 自然腐質土壤(Humus Soil)	5
■ 含大量有機物之細粒土壤	0
3. 透水保水設施預定地地表下土壤組成概況	
■ 若地表下土壤顆粒較地表土壤粗，則按照項目 2.評分	
■ 若地表下土壤顆粒較地表土壤細，則下列三點評分	
・礫石、砂或含礫石、砂之冰河沉積土(Glacial till)	7
・泥質砂(Silty sand)或壤土	5
・細砂泥(Fine silt)或黏土	0
4. 地表坡度(S)	
■ S ＜ 7%	5
■ 7% ≦ S ≦ 20%	3
■ S ＞ 20%	0
5. 透水保水設施預定地地表覆蓋及植生狀況	
■ 覆蓋良好之地表	7
■ 覆蓋良好之草地	5
■ 新植生之草地	3
■ 無植生－裸露之地表	0
6. 透水保水設施設置位置土地使用概況	
■ 使用頻率較低之區域	10
■ 常使用之徒步區域	7
■ 使用頻繁之徒步區域	5
■ 使用頻率較低之車輛行駛區域	3

■ 使用頻繁之車輛行駛區域	0
7. 透水保水設施設置位置之地下水狀況	
■ 地下水位位於地表下 20 m 以上	7
■ 地下水位位於地表下 5~20 m	5
■ 地下水位位於地表下 1~5 m 以上	3
■ 地下水位位於地表下 1 m 以下	0
8. 透水保水設施預定地之坡腳構造物	
■ 具有地下排水系統之構造物	5
■ 沒有地下排水系統之構造物	0
■ 擋土牆、箱涵或涵管	0

總 分	設置位置說明
＞40	最佳，透水保水設施可發揮極佳的效能。
40 ｜ 20	良好，建議設置前處理措施以防止透水保水設施阻塞而失去效能。 中等，必須設置前處理措施以防止透水保水設施阻塞而失去效能。 較差，需審慎估算持蓄時間且必須設置前處理設施。
＜20	不適合設置透水保水設施。

滯洪減量：開發單位得藉由維護管理完善之透水鋪面、綠地、草溝、滲透集水井、滲透排水管、滲透側溝、花園土壤雨水截留、可入滲景觀設施、雨水貯集利用系統等降低逕流流出量，再以開發行為應吸收之逕流量減去這些雨水回收或增加之入滲量後，計算需設置之濕式或乾式滯洪池容量。

2.27.7 規劃設計原則

透水性鋪面之設計原則如下:(摘錄自行政院環保署 2013 年出版之降雨逕流非點源汙染最佳管理技術(BMP)手冊)

一、施工最後階段再施作透水性鋪面及入滲設施。

二、不得設置於土壤夯實區域。

三、入滲區：

(一) 入滲區深度 30 cm 至 90 cm 為原則，得依深度與降雨貯存需求、場址坡度及負荷設計。

(二) 入滲區底部水平。

(三) 礫石或粒狀材料層與土壤間應鋪設砂層或地工織物，濾除細顆粒物質，避免阻塞土壤孔隙失去透水性。

(四) 砂層應填充堅硬、潔淨、乾燥之細砂，不含黏土、植物、石子或其他雜質。細砂粒徑為 0.3 cm 至 1.2 cm，鋪設厚度為 3 cm 至 6 cm。

(五) 內部應填充乾淨、規格一致之礫石或粒狀材料，孔隙度 40%以上。粒徑為 4 cm 至 6 cm 為原則，粒徑大小取決於當地材料，可使用較大或較小之粒徑。

(六) 設計豎管，以觀察礫石或粒狀材料層水位及入滲率。豎管應設置管蓋，以防異物阻塞。

(七) 必要時，入滲區內設計多孔排水管，均勻水平分散於入滲區，連接清洗孔及入流口，排水管提供貯水空間。

(八) 設置標誌標示。避免透水性鋪面因不注意而重鋪或封蓋，以延長透水鋪面之使用年限。

四、維護管理：

透水鋪面最怕材料之孔隙被細粒泥砂或灰塵堵塞，而失去其透水功能。因此維護管理事項如下：

(一) 每年雨季來臨前或適當時間測定透水性。

(二) 透水性降至一定程度時應立即進行清洗；每二年以真空吸除方式清理鋪面，禁止以高壓空氣或水柱清除。

(三) 每年清理入流或溢流構造物二次。

(四) 透水性鋪面周圍種植草皮，防止泥土沖刷，過濾降雨沉積物。若有沖刷情形，立即清除；若有裸露地立即補植草皮；若有可見垃圾立即移除。

(五) 禁止卡車或其他重型機具及車輛行駛於透水性鋪面上，載運有害物質之車輛，禁止進入透水性鋪面停車場。

(六) 禁止泥土建材堆積於透水性鋪面上。

2.27.8 施工注意事項

一、滯洪池之管理依滯洪池類型對以下幾項考量進行維護管理工作：

(一) 一般維護管理：為避免雜物流入並堆積於池內而減少滯洪體積，滯洪池除定期清理外，暴雨過後亦應視需要立即清理。

(二) 植草區域：滯洪土壩之邊坡植草區域應定期修剪，並檢查是否有沖蝕或沖刷情況。植草區域至少維持 85%之邊坡面積，若超過 50%之植生區域受損則應立即重新植草。若需使用農藥及肥料，應考量對下游水質之影響。

(三) 構造單元：所有滯洪池之構造單元至少每年一次檢查是否有龜裂或沖蝕之情況。

(四) 其它維護原則：若與沉砂池設計在同一地點時，淤砂應定期清除，池底應能放乾，以利清淤並注意沉砂池水體可能引發蚊蟲孳生問題。

2.27.9 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 9 月 11 日修正。

中華民國「建築物雨水貯留利用設計技術規範」，2012 年 6 月 27 日修正。

行政院農業委員會水土保持局(2017)，「山坡地開發行為之透水保水設施探討」。

行政院農業委員會水土保持局(2017)，「滯洪池及沉砂池設計原則分析與檢討」。

行政院環境保護署(2013)，「降雨逕流非點源汙染最佳管理技術(BMPs)手冊」。

新北市水利局(2012)，「透水保水設施規劃參考手冊」。

參、附錄

附錄一、懸臂式擋土牆設計例

一、計算斷面形式及側向土壓力：

假設斷面形式及尺寸，下列斷面提供參考：懸臂式擋土牆如圖 附 1-1 懸臂式擋土牆示意圖，擋土牆上方假設有 2.5 m 覆土壓力。土壤單位重 r_m=1.9 t/m^3，土壤摩擦角ϕ =35 度，假設地下水在基礎版以下，不考慮地下水作用力。材料抗壓強度(f 'c) = 210 kgf/cm^2、降伏強度(f 'y) = 4200 kgf/cm^2，基礎混凝土版與土壤間之摩擦係數 μ =0.6(約 tan 31 度)，基礎面最大極限土壤承載力 q_{ult} = 60 t/m^2，請設計基礎版寬度、厚度及擋土牆厚度並檢核其穩定性與安全係數(包括傾倒、滑動、土壤承載力)，並增加剪力榫提高滑動之安全係數。

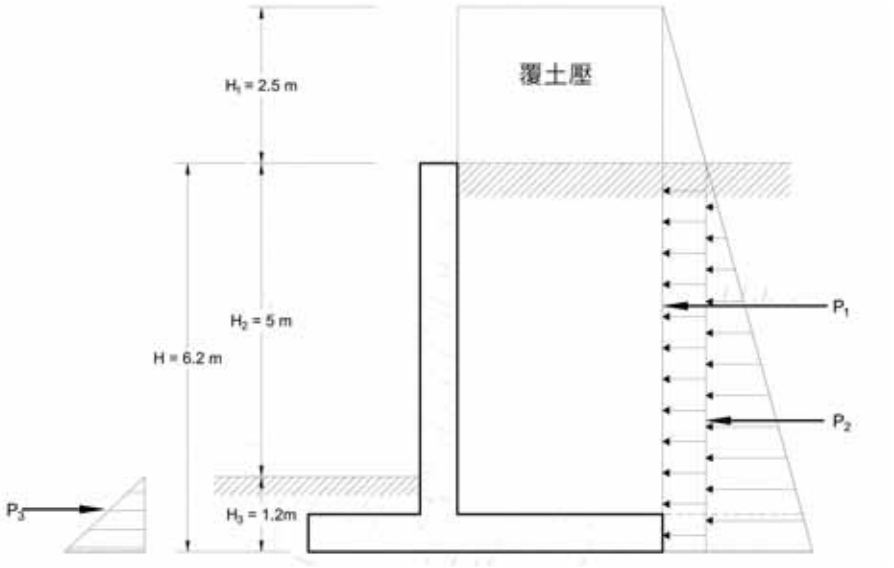


圖 附 1-1 懸臂式擋土牆示意圖(資料來源：修改自 Wang and Salmon, 2007)

(一) 作用土壓力之計算：

Rankine 主動土壓力係數

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-0.573}{1+0.573} = 0.271$$

Rankine 被動土壓力係數

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \frac{1+0.573}{1-0.573} = 3.69$$

地面覆載之側向主動土壓力

$$p_1 = r_m \times H_1 \times K_a = 1.9 \times 2.5 \times 0.271 = 1.287 \ \text{t/m}^2$$

$$P_1 = p_1 \times H = 1.287 \times 6.2 = 7.98 \ \text{t/m}^3$$

土壤之側向主動土壓力

$$P_2 = 0.5 \times K_a \times r_m \times H_2 = 0.5 \times 0.271 \times 1.9 \times 6.2^2 = 9.89 \ \text{t/m}^3$$

牆前趾版之側向被動土壓力

$$P_3 = 0.5 \times K_p \times r_m \times H_3^2 = 0.5 \times 3.69 \times 1.9 \times 1.2^2 = 5.05 \ \text{t/m}^3$$

(二) 設計基礎版寬度 L：

根據 Wang and Salmon（2007）所提出的基礎版寬度設計公式。

設計取β=$\frac{2}{3}$(基礎趾版前伸$\frac{1}{3}$L)，則：

$$L = \sqrt{\frac{K_A}{3\beta^2}} \times H$$

$$L = \sqrt{\frac{0.271}{3\times(\frac{2}{3})^2}} \times (H+H_1) = 0.45\times(6.2+2.5) = 3.92 \ \text{m}$$

決定基礎版寬度 L = 4 m。

(三) 設計基礎版厚度 T：

$$T = (0.07\sim0.1)\times H = (0.07\sim0.1)\times(6.2+2.5) = 0.61\sim0.87 \ \text{m}$$

決定基礎版厚度 T = 75 cm。

設計擋土牆牆身厚度 T_S

牆頂設計使用 T_S = 30 cm。

牆底設計使用

$$T_S = (0.12\sim0.16)\times L = (0.12\sim0.16)\times 4 = 0.48\sim0.64 \ \text{m}$$

決定牆底(Stem)厚度採用 T_S = 65 cm。

二、檢核擋土牆尺寸設計是否恰當：

(一) 檢核擋土牆厚度：

土壓力深度= 5+1.2-0.75(基礎版厚度) = 5.45 m。

鋼筋混凝土強度設計法之土壓力放大載重係數為 1.6。

彎矩臨界斷面在擋土牆與基礎板交界處：

$$P'_2 = 1.9\times5.45\times0.271 = 2.81\ t/m^2$$

斷面之設計彎矩：

$M_u = \phi M_n$　ϕ = 強度折減係數，本例題採 0.90

$$M_u = 1.6\times\left[\frac{1}{2}\times1.287\times5.45^2+\frac{1}{2}\times2.81\times5.45\times\left(\frac{1}{3}\times5.45\right)\right]$$

$$= 52.84\ \text{t-m/m}$$

$$M_n = 52.84 \div 0.9 = 58.71\ \text{t-m/m}$$

混凝土保護層一般厚度為 7.5~10 cm，本設計案例採用 7.5 cm。

$$d = 65 - 7.5 = 57.5$$

材料強度比：

$$m = \frac{f_y}{0.85f'_c} = \frac{4200}{0.85\times210} = 23.53$$

抗彎係數：

$$R_n = \frac{M_n}{\phi bd^2} = \frac{5871000}{0.9\times100\times57.5^2} = 19.73$$

式中

b = 斷面縱向之牆身長度，一般取 100 cm 計算

d = 有效深度(cm)

計算所需鋼筋比：

$$\rho = \frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2mR_n}{f_y}}\right]$$

$$= \frac{1}{23.53}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 23.53\times 19.73}{4200}}\right]$$

$$= 0.00499 > \rho_{min} = \frac{14}{f_y} = \frac{14}{4200} = 0.0033 \quad \text{OK}$$

$$\rho = \frac{As}{bd} \rightarrow 0.00499 = \frac{As}{57.5\times 100} \rightarrow As = 28.69\ cm^2$$

式中

As 為鋼筋混凝土構件所需的斷面積

#6 鋼筋斷面積為 2.865 cm^2，配#6 鋼筋 10 支。

剪力臨界斷面取位於牆與基礎版交界處

斷面之設計剪力：

$$V_u = 1.6\times\left(1.287\times 5.45+\frac{1}{2}\times 2.81\times 5.45\right) = 23.47\ t/m$$

混凝土剪力強度(剪力折減係數採ϕ=0.75)

$$\phi V_c = \phi\times 0.53\sqrt{f'_c}\,b_0 d$$

$$= \frac{0.75\times 0.53\times\sqrt{210}\times 100\times 57.5}{1000}$$

$$= 33.12\ t/m > 23.47\ t/m \quad \text{OK}$$

三、檢核擋土牆之穩定性：

(一) 傾倒：

假設混凝土單位重= 2.4 t/m3，對 R 點計算彎矩

	W	X	W × X
W_1	1.9×(2.5+5.45)×2.05=30.97	2.975	92.14
W_2	1.9×0.35×(2.5+5.45)×0.5=2.64	1.83	4.83
W_3	2.4×0.75×4=7.2	2	14.4
W_4	2.4×(0.65+0.3)×5.45×0.5=6.21	1.55	9.63
	Σ=47		Σ=121

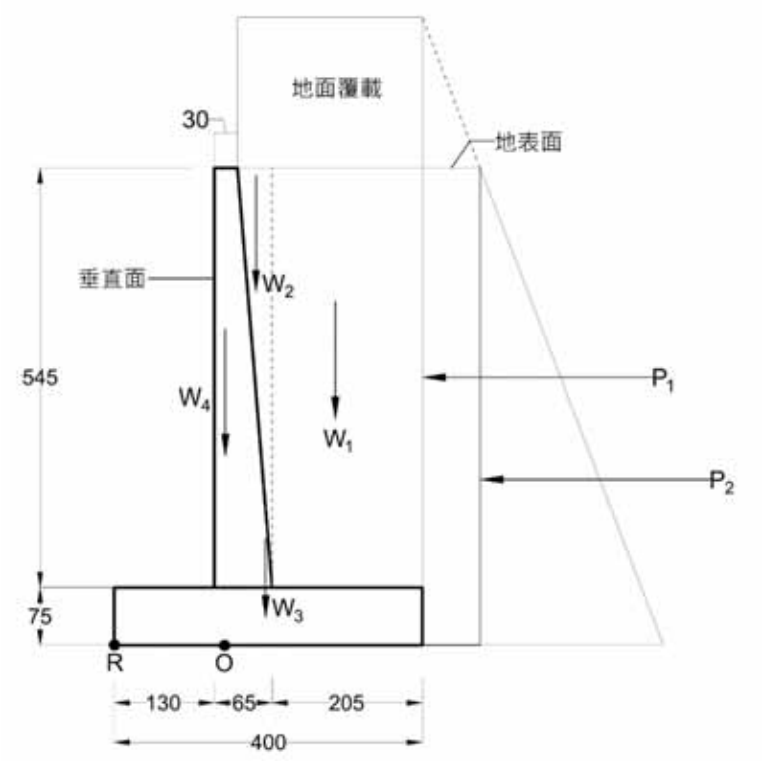


圖 附 1-2 懸臂式擋土牆受力示意圖(資料來源：修改自 Wang and Salmon, 2007)

抵抗力矩(忽略被動土壓力)

M_R =121 t-m/m

傾倒力矩：

$$M_0 = P_1 \times \frac{H}{2} + P_2 \times \frac{H}{3}$$

$$= 7.98 \times 3.1 + 9.89 \times 2.067 = 45.18 \text{ t-m/m}$$

安全係數：

$$FS = \frac{M_R}{M_0} = \frac{121}{45.18} = 2.68 > 2.0 \quad OK$$

(二) 滑動：

側向推力：

$$P_1 + P_2 = 7.98 + 9.89 = 17.87 \text{ t/m}^3$$

摩擦抵抗力：

$$\mu R = 0.6 \times 47 = 28.2 \text{ t/m}^3$$

忽略被動土壓力作用：

$$P_P=0$$

安全係數：

$$FS=\frac{\mu R+P_P}{P_1+P_2}=\frac{28.2}{17.87}=1.58>1.5 \quad OK$$

(三) 土壤承載力：

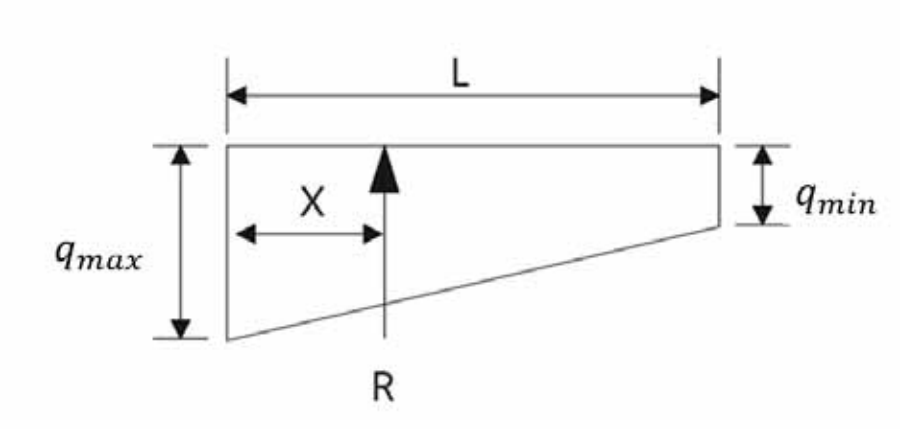


圖 附 1-3 懸臂式擋土牆受力示意圖(資料來源：修改自 Wang and Salmon, 2007)

垂直合力距牆趾之距離：

$$X=\frac{M_R\text{-}M_O}{R}=\frac{121\text{-}45.18}{47}=1.61m$$

$$\frac{L}{6}=\frac{4}{6}=0.67\ m$$

偏心距計算：

$$e=\frac{L}{2}\text{-}1.61=2.0\text{-}1.61=0.39\ m<\frac{L}{6}=0.67$$

土壤承載力之最大值、最小值：

$$q_{max,min}=\frac{R}{L}\left(1\pm\frac{6e}{L}\right)=\frac{47}{4}\left(1\pm\frac{6\times0.39}{4}\right)=18.62\ \frac{t}{m^2},4.88\frac{t}{m^2}$$

$$<q_{ult}=60\ t/m^2$$

安全係數：

$$FS=\frac{q_{ult}}{q_{max}}=\frac{60}{18.62}=3.22>2 \quad OK$$

四、增加剪力樁提高滑動之安全係數：

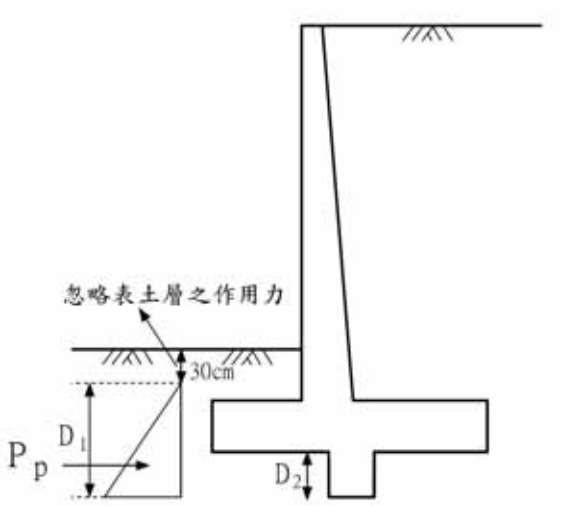


圖 附 1-4 懸臂式擋土牆剪力樁受力示意圖(資料來源：修改自 Das, 2016)

若滑動之安全係數不足時，可考慮於基礎底板增加剪力樁的方式來增加抗滑能力。假設剪力樁在基礎版下深度為 D_2=0.6 m

則單位長度擋土牆之被動土壓力為:

$$P_p = \frac{1}{2}\times\gamma_m\times D_1{}^2\times K_P = \frac{1}{2}\times 1.9\times(0.9+0.6)^2\times 3.69 = 7.88\ t/m^3$$

考慮被動土壓力需在牆體產生較大變位時方能完全貢獻，因此計算時被動土壓力宜折減 50%。(參考建築物基礎構造設計規範-擋土牆篇)

側向推力：

$$P_1+P_2 = 7.98+9.89 = 17.87\ t/m^3$$

摩擦抵抗力：

$$\mu R = 0.6\times 47 = 28.2\ t/m^3$$

安全係數：

$$FS = \frac{\mu R+P_P}{P_1+P_2} = \frac{28.2+3.94}{17.87} = 1.8 > 1.5 \quad OK$$

參考文獻

內政部營建署(2001)，「建築物基礎構造設計規範第 7 章擋土牆篇」。

行政院公共工程技術資料庫，「2.4 護坡工程」。

李錫霖、陳炳煌 (2007)，「鋼筋混凝土學第二版」，五南文化事業，pp. 593-630。

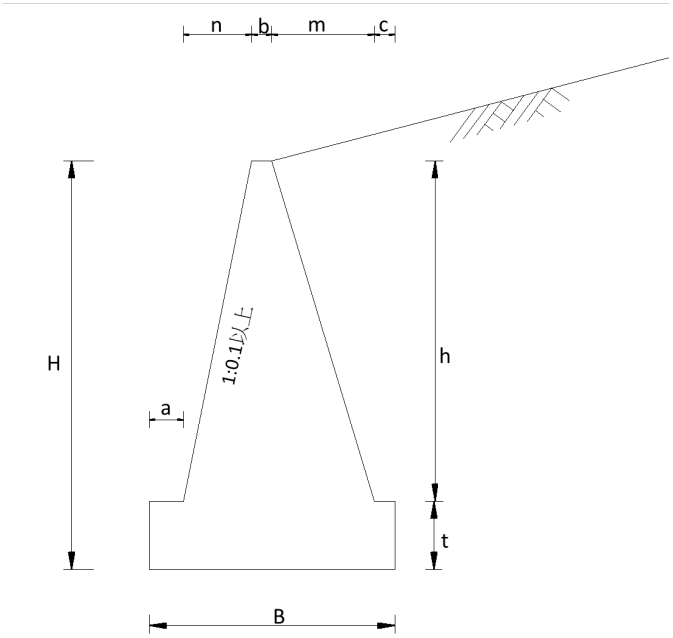
Das, B. M. (2016). “Principles of Foundation Engineering.” Cengage Learning, pp. 384-387.

Wang, C. K. et al. (2007). “Reinforced Concrete Design.” John Wiley, pp. 404-429.

附錄二、重力式擋土牆設計例

一、設計步驟：

(一) 假設斷面：參考實例及經驗，假設斷面形式及尺寸，下列斷面圖 附-2-1 供參考：



$a=\frac{1}{2}t\sim t$

$b=\frac{1}{12}h$ (最小 30cm)

$t=\frac{1}{6}\sim\frac{1}{8}H$

$B=\frac{1}{2}\sim\frac{2}{3}H$

圖 附 2-1 重力式擋土牆示意圖

(二) 計算擋土牆自重、重心位置力臂及力矩。

一般土壤重量：回填土重：1.8 t/m^3
基礎土重：1.9 t/m^3
混凝土重：2.3~2.4 t/m^3，一般採用 2.35 t/m^3

(三) 計算土壓力及加載荷重之大小、力臂及力矩。

(四) 檢討合力是否滿足擋土牆之安定條件。

檢討結果如為不安定或不經濟者，則須修正擋土牆斷面尺寸，重新檢討至滿足安定條件及經濟斷面為止。

二、設計例：

(一) 設計一重力式擋土牆，高度為 6 m，牆後地面為 15°向上傾斜。

〔以知〕回填土重為 1.8t/m^3，摩擦角為 30°

地基土重為 1.9 t/m^3，摩擦角為 35°

地基容許乘載壓力為 25 t/m^2

混凝土強度f′c=140 kg/m^2

混凝土單位重為 2.35 t/m^3

地基土壤與混凝土間摩擦角為 35°

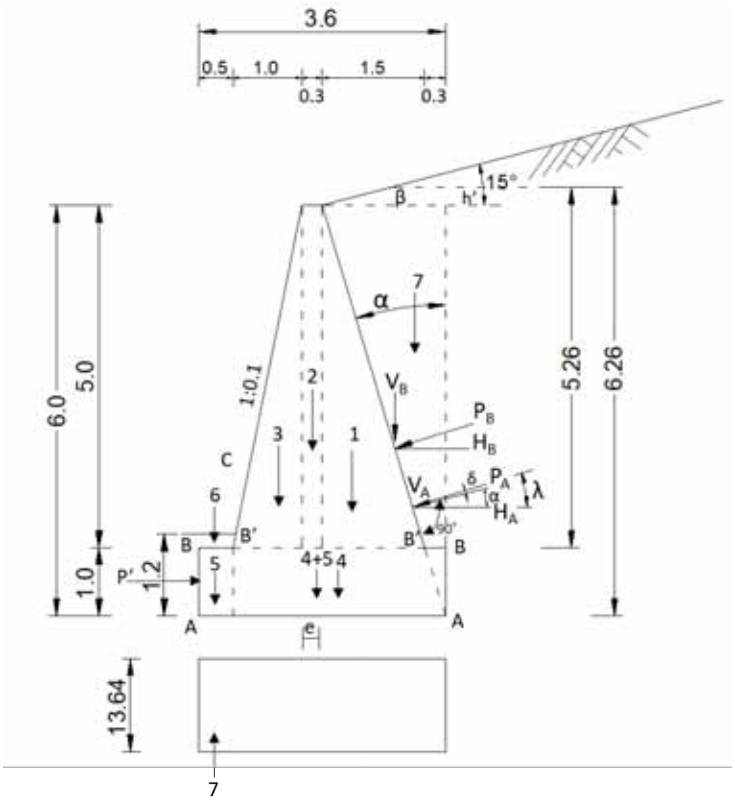


圖 附 2-2 重力式擋土牆示意圖

(二) 擋土牆自重、土壓及其他外力計算如下表

其中

$$\tan\alpha = \frac{1.8}{6.0} = 0.3$$

$$\therefore \alpha = 16.7°$$

$$\lambda = \alpha + \delta$$

$$\beta = 15°$$

該混凝土與土壤之摩擦角

$$\delta = \frac{2}{3}\phi = 20°$$

∴λ=20°+16.7°=36.7°

sin λ=0.598

cos λ=0.802

h'= sin 15°=0.26

項目	1 斷面	2 載重	3 計算式	4 單位重 t/m^3	5 力 t	6 力臂 m	7 力矩 t-m	8 應力計算
1	A-A	1	$1/2 \times 1.5 \times 5.0$	2.35	8.81	1.3	11.46	$Z_A = \frac{\sum M_A}{\sum V_A} = \frac{88.45}{49.09} = 1.80$
2	及	2	$= 3.75$	2.35	3.525	1.95	6.87	
3	B-B	3	$0.3 \times 5.0 = 1.5$	2.35	5.875	2.43	14.28	eA $= 1.8 - 1.80 = 0.0 \leq \frac{3.6}{6} = 0.60$ o.k
4		Σ	$1/2 \times 1.0 \times 5.0$		18.21		32.61	
			$= 2.50$					$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{\sum V_A}{AA}(1 \pm \frac{6eA}{AA}) = \frac{49.09}{3.6}(1 \pm \frac{6 \times 0}{3.6})$
			$7.75m^2$					
5	A-A	4+5	$1.0 \times 3.6 = 3.6$	2.35	8.46	1.80	15.23	$\delta_1 \& \delta_2$ 13.64 & 13.64
6		6	$0.2 \times 0.5 = 0.10$	1.8	0.18	3.35	0.60	$Z_B = \frac{\sum M_B}{\sum V_B} = \frac{60.01}{33.87} = 1.77$
7		7	$6.26 \times 1.8/2 = 5.63$	1.8	10.14	0.6	6.08	
8		V_A	18.60×0.598		12.10	0	0	eB $= 1.77 - 0.3 - \frac{2.8}{2} = 0.07 < \frac{2.8}{4} = 0.7$ o.k
9		H_A	18.60×0.802		16.24	2.09	33.94	
10	V_A	Σ	4 及 5 項 A=$11.35m^2$	ΣV_A	49.09	ΣM_A	88.45	$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{\sum V_B}{BB'}\left(1 \pm \frac{6eB}{BB'}\right) = \frac{33.87}{2.8}(1 \pm \frac{6 \times 0.07}{2.8})$
11	B-B	V_B	14.29×0.598		8.55	0.3	2.57	$= 13.91$ & 10.2 o.k.
12		H_B	14.29×0.802		11.46	1.67	19.14	
		7	$5.26 \times 1.5/2 = 3.95$	1.8	7.11	0.8	5.69	$f = \frac{6 \times 1.37}{1 \times 1.0^2} = 8.22t/m^2$
13		Σ		ΣV_B	33.87	ΣM_B	60.01	
	H_B							$= 0.82$kg/cm < 0.03fc ÷ 4.2 o.k.
14	C-C	6	$0.2 \times 0.5 = 0.1$	1.8	0.18	0.25	0.05	註:$f = \frac{My}{I} = \frac{M \times \frac{d}{2}}{\frac{bd^3}{12}} = \frac{6M}{bd^2}$
15		5	$1.0 \times 0.5 = 0.5$	2.35	1.18	0.25	0.29	
16		7	0.5×13.64		6.82	0.25	-1.71	
17		Σ			-5.46		-1.37	

庫倫土壓係數

$$k_a = \frac{cos(30° - 16.7°)^2}{cos(16.7)^2 \times cos(20° + 16.7°)\left[1 + \sqrt{\frac{sin(30° + 20°)\, sin(30° - 15°)}{cos(20° + 16.7°)\, cos(15° - 16.7°)}}\right]^2}$$

$$= \frac{cos(13.3°)^2}{cos(16.7°)^2 \times cos\, 36.7°\left[1 + \sqrt{\frac{sin(50°)\, sin(15°)}{cos(36.7°)\, cos(-1.7°)}}\right]^2}$$

$$= \frac{0.9471}{0.9174 \times 0.8018 \times \left[1 + \sqrt{\frac{0.7660 \times 0.2588}{0.8018 \times 1}}\right]^2}$$

$$= \frac{0.9471}{0.9174 \times 0.8018 \times 2.242} = 0.574$$

$$P_A = \frac{1}{2} k_a \gamma_S {H_A}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.574 \times 1.8 \times 6.26^2 = 20.24 t/m$$

$$V_A = 20.24 \times 0.598 = 12.10 t/m$$

$$H_A = 20.24 \times 0.802 = 16.23 t/m$$

$$P_B = \frac{1}{2} k_a \gamma_S {H_B}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.574 \times 1.8 \times 5.26^2 = 14.29 t/m$$

$$V_B = 14.29 \times 0.598 = 8.55 t/m$$

$$H_B = 14.29 \times 0.802 = 11.46 t/m$$

(三) 檢討：

1.A-A 斷面

(1)滑動安全因素：

$$F_s = \frac{\sum V_A \tan \phi + P'}{\sum H_A}$$

$$\therefore P' = \frac{1}{2} \gamma_s h \frac{1 + sin\, \phi}{1 - sin\, \phi} = \frac{1}{2} \times 1.9 \times 1.2^2 \times \frac{1 + sin\, 35°}{1 - sin\, 35°}$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.9 \times 1.44 \times \frac{1 + 0.5736}{1 - 0.5736} = 5.05 t/m$$

$$\therefore F_s = \frac{49.09 \times tan\,35° + 5.05}{16.24} = 2.43 > 1.5 \;\; OK$$

若P′不計則

$$F_s = \frac{49.09 \times tan\,35°}{16.24} = 2.12 > 1.5 \;\; OK$$

(2)傾倒安全係數及基礎壓力：

$$Z_A = \frac{\Delta M_A}{\Delta V_A} = \frac{88.45}{49.09} = 1.8$$

偏心距

$$e_A = 1.8 - \frac{3.6}{2} = 0 < \frac{3.6}{6} = 0.6 \;\; OK$$

基礎壓力

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{\sum M_A}{AA}\left(1 \pm \frac{6eA}{AA}\right) = \frac{49.09}{3.6}(1 \pm \frac{6 \times 0}{3.6})$$

δ_1&δ_2為 13.64&13.64<25t/m^2

2. B-B 斷面

$$Z_B = \frac{\sum M_B}{\sum V_B} = \frac{60.01}{33.87} = 1.77$$

偏心距

$$e_B = 1.77 - 0.3 - \frac{2.8}{2} = 0.07 < \frac{2.8}{4} = 0.7 \;\; OK$$

3. C-C 斷面

最大應力為

$$f = \frac{6Mc}{1 \times h^2} = \frac{6 \times 1.37}{1 \times 1.0^2} = 8.22t/m^2$$
$$= 0.82kg/cm^2 < 4.2kg/cm^2 \;\; OK$$

ACI 規範規定值為

$$0.03fc' = 0.03 \times 140 = 4.2kg/cm^2 \;\; OK$$

附錄三、半重力式擋土牆設計例

一、設計步驟：

(一) 假設斷面：一般半重力式擋土牆的體積比重力式的小，斷面中某部份可能發生拉應力，當其超過允許應力時則以鋼筋加強，下列斷面圖 附 3-1 供參考：

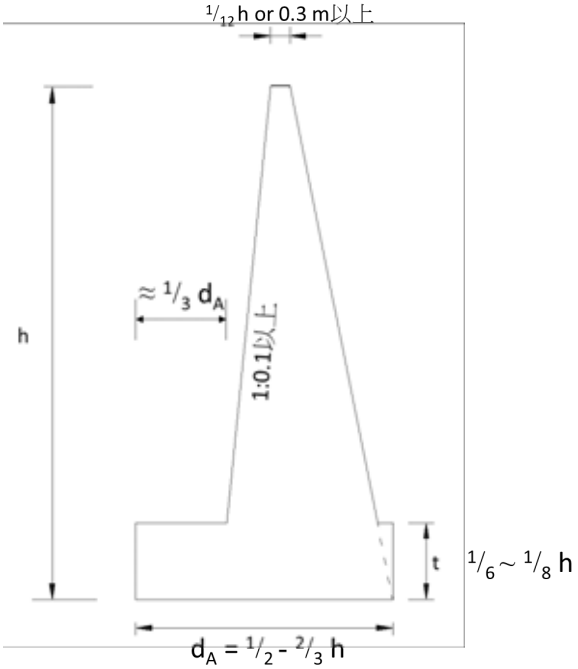


圖 附 3-1 半重力式擋土牆示意圖

(二) 計算擋土牆自重、中心位置、力臂及力矩：同重力式擋土牆。

(三) 計算土壓力及其他外力之大小、力臂及力矩：同重力式擋土牆。

(四) 檢討基礎合力是否滿足擋土牆之安定條件：同重力式擋土牆。

(五) 超出混凝土允許張應力部份，計算鋼筋用量、間距及標示其排法。

二、設計例：

設計一半重力式擋土牆，高度為 8 m，牆後地面為 15˚向上傾斜，已知條件為：

回填土重 $W_s = 1.8\ \mathrm{t}/m^3$　　$\phi = 30°$

地基土重 $W_s = 1.9\ \mathrm{t}/m^3$　　$\phi = 35°$

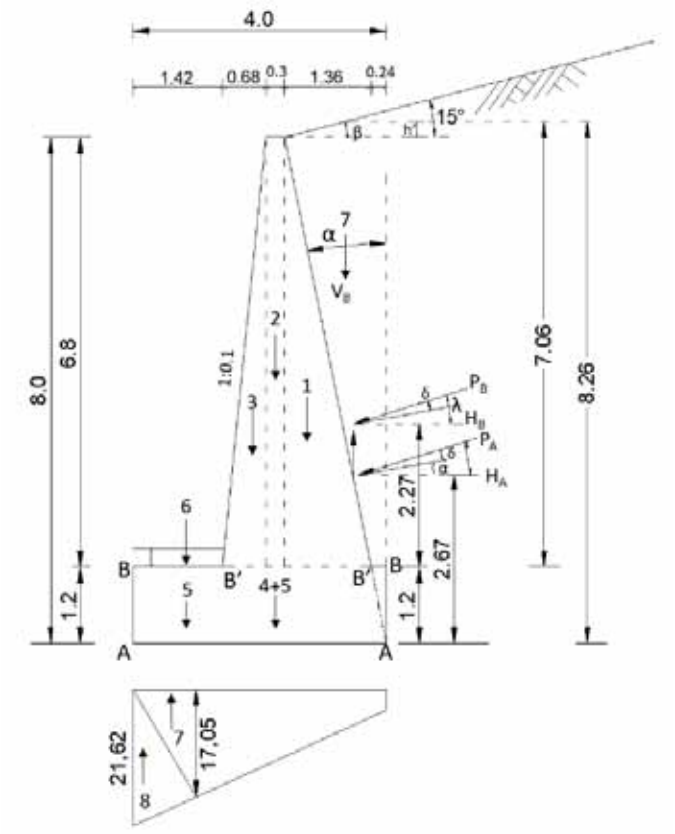
混凝土重 $W_s = 2.35\ \mathrm{t}/m^3$　　$f_c' = 140\ \ \mathrm{kg}/cm^2$

鋼筋允許應力　　$f_s = 1400\ \mathrm{kg}/cm^2$

地基允許壓力 25 t/m^2

地基土壤與混凝土間摩擦角為 35˚

[解]1.假設斷面如下圖 附 3-2



其中$\tan\alpha = \frac{1.6}{8.0} = 0.2$

$$\alpha = 11.3°$$

$$\therefore\ \lambda = \alpha + \delta$$

$$\beta = 15°$$

該混凝土與土壤之摩擦角

$$\delta = \frac{2}{3}\phi = 20°$$

$$\therefore\ \lambda = 11.3° + 20° = 31.3°$$

$$\sin\lambda = 0.5195$$

$$\cos\lambda = 0.8545$$

$$h' = \sin 15° = 0.26$$

圖 附 3-2 半重力式擋土牆示意圖

庫倫土壓係數

$$k_a = \frac{cos^2(30° - 11.3°)}{\cos 11.3° \cos(20° + 11.3°)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30° + 20°)\sin(30° - 15°)}{\cos(20° + 11.3°)\cos(15° - 11.3°)}}\right]^2}$$

$$= \frac{cos^2 18.7°}{\cos 11.3° \cos 31.3°\left[1 + \sqrt{\frac{\sin 50° \sin 15°}{\cos 31.3° \cos 3.7°}}\right]^2}$$

$$= \frac{0.8972}{0.9806 \times 0.8545\left[1 + \sqrt{\frac{0.7660 \times 0.2588}{0.8545 \times 0.998}}\right]^2}$$

$$= \frac{0.8972}{0.9806 \times 0.8545 \times 2.1972} = 0.487$$

$$P_A = \frac{1}{2} k_a \gamma_s {H_A}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.487 \times 1.8 \times 8.26^2 = 29.90 \ \ t/m$$

$$V_A = 29.90 \times 0.5195 = 15.53 \ \ t/m$$

$$H_A = 29.90 \times 0.8545 = 25.55 \ \ t/m$$

$$P_B = \frac{1}{2} k_a \gamma_s {H_B}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.487 \times 1.8 \times 7.06^2 = 21.85 \ \ t/m$$

$$V_B = 21.85 \times 0.5195 = 11.35 \ \ t/m$$

$$H_B = 21.85 \times 0.8545 = 18.67 \ \ t/m$$

三、檢討：

(一) A-A 斷面

1. 滑動安全因數

$$F_s = \frac{\sum V_A \tan \phi + P'}{\sum H_A}$$

$$\because P' = \frac{1}{2} W_s h^2 \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1}{2} \times 1.9 \times 1.5^2 \times \frac{1 + \sin 35°}{1 - \sin 35°}$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.9 \times 2.25 \times \frac{1 + 0.5736}{1 - 0.5736} = 7.89 \ \ t/m$$

$$\therefore F_s = \frac{52.03 \ \times \ tan\, 35° \ + \ 7.89}{23.97} = 1.85 > \ \ 1.5 \ \ \ O.K$$

若P'不計，則

$$F_s = \frac{52.03 \ \times \ tan\, 35°}{23.97} = 1.52 \ \ > \ \ 1.5 \ \ \ O.K$$

2. 傾倒安全因數及基礎壓力

$$Z_A = \frac{\sum M_A}{\sum V_A} = \frac{139.14}{60.91} = 2.28$$

偏心距:

$$e_A = 2.28 - 2.0 = 0.28 < \frac{4.0}{6} = 0.67 \ \text{O.K}$$

基礎壓力：

$$\delta_1 \ \& \ \delta_2 = \frac{60.91}{40}\left(\ 1 \pm \frac{6 \times 0.28}{4.0} \ \right)$$

$$= 21.62 \ \& \ 8.83\frac{t}{m^2} < 25\frac{t}{m^2} \ \ O.K$$

項目	1 斷面	2 載重	3 計算式	4 單位重	5 力	6 力臂	7 力矩	8 應力計算
1	A-A	1	$1/2 \times 6.8 \times 1.36 = 4.62$	2.35	10.86	1.15	12.49	
2	及	2	$0.3 \times 6.8 = 2.04$	2.35	4.79	1.75	8.38	
3	B-B	3	$1/2 \times 6.8 \times 0.68 = 2.312$	2.35	5.43	2.13	11.57	
4		Σ	$10.332m^2$		21.08		32.44	
5		7	$1/2 \times 7.06 \times 1.36 = 4.8$	1.8	8.64	0.69	5.96	$Z_B = 84.99/41.07 = 2.07$
6	B-B	V_B	21.85×0.5195		11.35	0.24	2.72	$e_B = 2.07 - 1.17 = 0.9 > \frac{d_B}{4} = 0.685$
7		H_B	21.85×0.8545		18.67	2.35	43.87	
8		Σ		ΣV_B	41.07	ΣM_B	84.99	合力作用點超出四分點須以鋼筋補強
9	A-A	4+5	$1.2 \times 4.4 = 5.28$	2.35	12.41	2.20	27.30	$Z_A = 139.14/60.91 = 2.28$
10		6	$1.42 \times 0.3 = 0.43$	1.8	0.77	3.69	2.84	$e_A = 2.28 - 2.0 = 0.28 < \frac{4.0}{6} = 0.67 \ \ O.K$
		7	$1/2 \times 8.26 \times 1.6 = 6.61$	1.8	11.89	0.53	6.30	
11		V_A	29.90×0.5195		15.53	0.00	0.00	$\delta_1/\delta_2 = \frac{60.91}{4.0}(1 \pm \frac{6 \times 0.28}{4.0})$
12		H_A	29.90×0.8545		25.55	2.75	70.26	
13		Σ		ΣV_A	60.91	ΣM_A	139.14	$= 21.62 \ \ \& \ \ 8.83\,t/m^2 < 25\,t/m^2 \ \ \ O.K$
14	C-C	5	1.42×1.2	2.35	4.00	0.71	2.84	$f = \frac{6M_o}{1 \times h^2} = \frac{6 \times 16.88}{1 \times 1.2^2}$
15		6	$1.42 \times 0.3 = 1.42$	1.8	0.77	0.71	0.55	
16		7	$1/2 \times 17.05 \times 1.42$		-12.11	0.47	-5.69	$= 70.33\,t/m^2 = 7.03\,kg/cm^2 > 0.03f_c'$
17		8	$1/2 \times 21.62 \times 1.42$		-15.35	0.95	-14.58	$= 4.2\,kg/cm^2$
18		Σ		ΣV_c	-22.69	ΣM_c	-16.88	須以鋼筋補強

(二) B-B 斷面

$$Z_B = \frac{\sum M_B}{\sum V_B} = \frac{84.99}{41.07} = 2.07$$

∴ 偏心距 $e_B = 2.07 - 1.17 = 0.9 > \frac{d_B}{4} = 0.685$ O.K

合力作用點超出四分點，故需以鋼筋補強，所需鋼筋量：

$$A_s = \frac{M_{HB}}{f_s jd} = \frac{43.87}{1.4 \times 0.87 \times 2.24} = 16.08\ cm^2$$

∵ $d = 2.34 - 0.1(\text{保護層}) = 2.24$

用 #8 鋼筋 @30cm $A_s = 17.00\ cm^2$

(三) C-C 斷面

混凝土的彎曲拉應力

$$f = \frac{6M}{1 \times h^2} = \frac{6 \times 16.88}{1 \times 1.2^2} = 70.32\ t/m^2 = 7.03\ kg/cm^2$$

$0.03f_c' = 4.2\ kg/cm^2$

(ACI 規範規定$f < 0.03f_c'$)

故須用鋼筋加固，所需鋼筋量：

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{16.88}{1.4 \times 0.87 \times 1.1} = 12.60\ cm^2\text{(保護層 0.1)}$$

$$\sum O = \frac{V}{ujd} = \frac{22.69}{140.0 \times 0.87 \times 1.1} = 0.169M = 16.9cm$$

($u = 0.1f_c' = 14.0\ kg/cm^2 = 140\ t/m^2$)

用 #8 鋼筋 @30cm $A_s = 17.00\ cm^2$

$\sum O = 23.33cm > 16.9cm$ O.K

附錄四、邊坡穩定圓弧形分析方法簡介

邊坡破壞型式中，滑動(平面型、圓弧型)破壞之邊坡穩定分析方法，通常採用極限平衡法計算安全係數。極限平衡法可考慮總應力分析與有效應力分析等方式。在此我們以簡化 Bishop's 切片法採有效應力分析為例簡介之。

以下說明極限平衡法中之簡化 Bishop's 切片法計算單一圓弧形滑動面之安全係數步驟。

一、調查地形剖面資料、地層材料強度參數、單位重及地下水位等資料。

二、選定一圓弧形破壞面之圓心點，繪製欲計算之圓弧面。

三、於選定之圓弧進行切片(如圖 附 4-1)。

四、計算並列出各切片間之相關參數及數據於表格中(如表 附 4-1)。

五、以公式(附 2.1)計算各切片 N_1 後並加總；此 N_1 總和代表總驅動力矩。

六、預設一安全係數 F_a，代入公式(附 4.2)計算各切片之 N_2 後並加總；此 N_2 之總和代表總抵抗力矩。

七、將 N_1 之總和與 N_2 之總和代入公式(附 4.3)計算，以獲得 F_c 之安全係數。

八、如果所選擇之 F_a 與計算所得之 F_c 不同時，則進行下一次疊代，並重複進行步驟五到七，直到 $F_a=F_c$ 為止。

九、此時之 $F_a=F_c$ 即為該滑動面之安全係數 F_s。

$$N_1 = w\ sin\ \alpha \qquad \text{(附 4.1)}$$

$$N_2 = \frac{\left[\left(\frac{w}{cos\ \alpha} - ul\right)\ tan\ \phi + cl\right]}{\left[1 + \frac{tan\ \alpha\ \ tan\ \phi}{F_a}\right]} \qquad \text{(附 4.2)}$$

$$F_c = \sum(N_2) / \sum(N_1) \qquad \text{(附 4.3)}$$

w：單一切片重量(kN/m)

c：土壤之凝聚力(kN/m2)

ϕ：土壤內摩擦角(°)

u：孔隙水壓(kN/m2)

α：切片底部中點之傾角(°)

l：切片底部長度(m)

b：單一切片寬度(m)

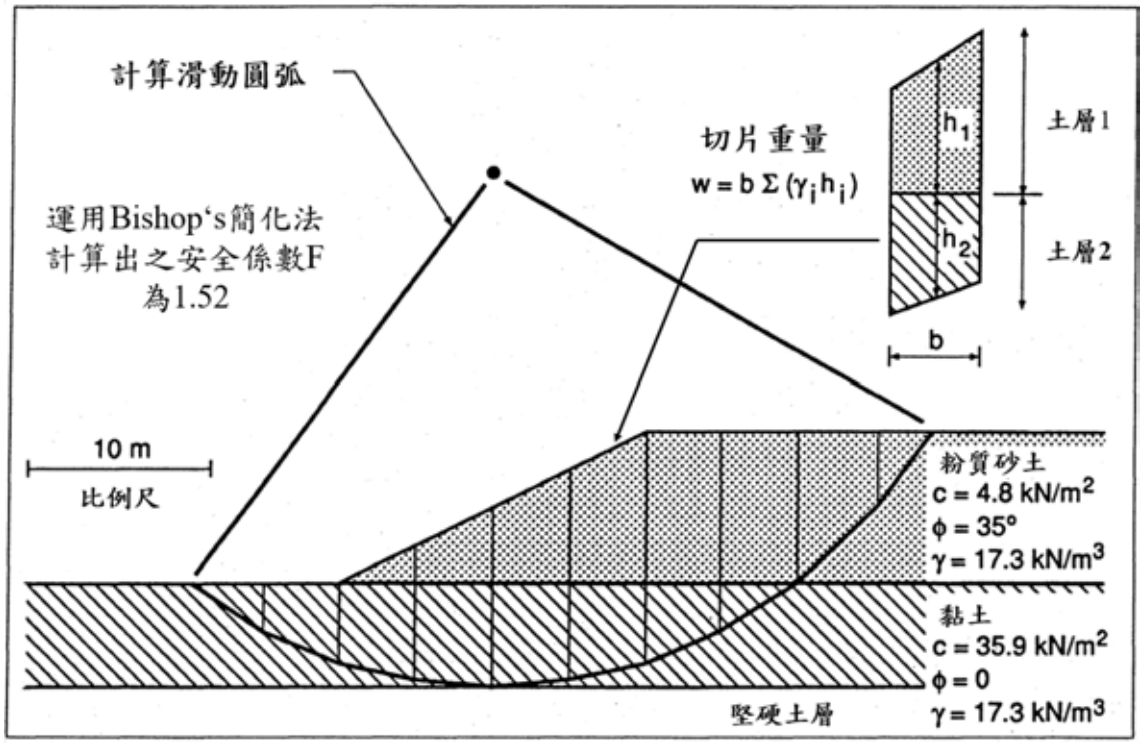


圖 附 4-1 簡化 Bishop's 切片法示意圖(資料修改自：Turner and Schuster, 1996)

表 附 4-1 簡化 Bishop's 切片法計算過程(資料來源：Turner and Schuster, 1996)

							F_a =	1.43	1.51	1.52	
Slice No.	W	l	α	c	ϕ	u	N_1	N_2	N_2	N_2	N_2
1	112	5.3	-32.0	35.9	0.0	0	-60	192	192	192	
2	297	4.9	-22.0	35.9	0.0	0	-111	177	177	177	
3	499	4.7	-13.0	35.9	0.0	0	-112	170	170	170	
4	726	4.6	-4.0	35.9	0.0	0	-51	165	165	165	
5	903	4.6	4.0	35.9	0.0	0	63	165	165	165	
6	1,028	4.7	13.0	35.9	0.0	0	231	170	170	170	
7	1,003	4.9	22.0	35.9	0.0	0	376	177	177	177	
8	818	5.3	32.0	35.9	0.0	0	433	192	192	192	
9	587	6.7	43.0	4.8	35.0	0	400	408	415	416	
10	128	5.6	55.0	4.8	35.0	0	105	108	111	111	
11							0	0	0	0	
12							0	0	0	0	
13							0	0	0	0	
14							0	0	0	0	
15							0	0	0	0	
						Σ=	1,275	1,925	1,934	1,935	
						Fc=		1.51	1.52	1.52	

隨著科技的進步，目前以軟體建立數值模型分析居多，常見的程式例如 STABL、SLIDE、SLOPE/W 等。這些程式之使用方法可參見其使用手冊。

參考文獻

Turner, A. K., and Schuster, R. L. (1996). Landslides : investigation and mitigation, National Academy Press, Washington, D.C.

土石流篇

壹、通論

1.1 土石流基本特性(Debris flow basic characteristic)..... 土-1-1
1.2 土石流相關參數(Debris flow related parameters)..... 土-1-17
1.3 土石流防治(Debris flow prevention and control) 土-1-28

貳、處理單元

2.1 土石流攔阻工法(Debris flow ckecking or capturing works)..... 土-2-1
2.2 土石流淤積工法(Debris flow depositing works)..... 土-2-22
2.3 土石流導流工法(Debris flow training works) 土-2-25
2.4 土石流緩衝林帶(Debris flow dispersing forest works)..... 土-2-30

參、非工程防護對策

3.1 土石流潛勢溪流判釋(Potential debris flow torrent) 土-3-1
3.2 土石流影響範圍劃設(Debris flow influence zone)..... 土-3-5
3.3 土石流觀測(Debris flow monitoring)..... 土-3-9
3.4 土石流警戒基準值訂定(Rainfall threshold value for debris flow warning) 土-3-17

肆、附錄

附錄一、重力式防砂壩設計例(Check dam design example) 土-4-1
附錄二、切口壩設計例(Opening dam design example)..... 土-4-22
附錄三、梳子壩設計例(Slit dam design example)..... 土-4-35

壹、通論

1.1 土石流基本特性

1.1.1 前言

土石流(debris flow)是河川中、上游集水區常見的一種自然地質現象，常發生在山區的溪溝或是陡峭邊坡斜面上，是一種飽含大量泥砂石塊和巨礫的流動體，但它所造成的後果不僅給人們生命安全及財產帶來威脅，而且嚴重破壞生產基盤及生態環境。

有關土石流從發生、流動到停止的過程所衍生之各種現象，在國內外學者歷經數十年來的觀測、調查與分析研究下，已能對土石流有一定程度的認識與瞭解，並能掌握其大致的機制；同時，對土石流防制課題亦從基本學理的建構及經驗法則的認知，透過理論分析、公式推估、各種工法或設施的引入配置，已有相當程度的發展和精進。除了在於嘗試控制土石流災害的發生以外，更期望能對土石流的發生可以及早的預測，以進行必要的防災避難措施。然而土石流的發生有其複雜性與不確定性，要能準確預測其發生時間和空間之分布特徵，以目前的研究水準，尚難以達到這種期待。因此，現階段僅能以現有的知識、技術和經驗，透過工程、非工程之相關處理和預防措施，以達到防減災之目的。

1.1.2 定義及其基本特徵

土石流是擁有多種樣貌之流動特徵，不僅含砂量特高，且水砂之間的作用也相當地複雜，但是總結以往的相關定義，普遍認為土石流是一種飽含泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔的一種高濃度且流動快速的兩相流(two-phase flow)，具有明顯或至少可以辨識的坑溝流路，其下游側經常有舌狀或耳狀淤積段，且淤積段前緣有巨大石礫聚集；同時，具有以下特徵：

一、土體之結構性質：

土體結構性與屈服剪應力(yield stress, τ_B)有關。土石流屈服剪應力$\tau_B \neq 0$，而一般挾砂水流是沒有結構性的，其屈服剪應力$\tau_B \approx 0$。

二、水體之流動性質：

水體流動性具體表現為流速梯度 du/dy（u =離底床 y 處的水流流速)(velocity gradient)。土石流流動過程中具有一定的流速梯度，這一性質是與崩塌、地滑區分之重要指標。

三、只發生在陡坡地形之性質：

包括較大的流動坡度及含有由小至大分布極廣的泥砂粒徑組成，這些性質可區分高含砂水流(high-concentration flow)與土石流間之差異。

1.1.3 土石流分類

由於土石流從發生前的各種自然現象之作用過程，至流動過程流體的屬性及地面條件的制約，使得土石流現象擁有多種樣貌和特性，因而有很多分類的方式。按現有文獻，比較常見且重要的分類係以泥砂顆粒組成、地貌條件、固體物質提供方式及動力學特徵等為主。

一、依泥砂顆粒組成分類：

土石流的流動特徵與其泥砂顆粒組成密切相關。土石流泥砂顆粒組成不但影響其泥砂含量(體積濃度)之變化，而且在某種程度上可以具體反映其運動機制及動力作用。因此，按顆粒組成將土石流進行分類具有多重的意義，相當重要。一般，依顆粒組成可概分為礫石型土石流、泥流型土石流及土石流等三類。

(一) 泥流型土石流(mud-type debris flow)：

粒徑 d_s <0.1 mm 以下的細顆粒泥砂含量超過 50%，且粒徑 d_s >2.0 mm 以上的粗顆粒泥砂含量少於 10%者。這種流型係由水體和細顆粒泥砂混合而成的漿體，屬於單相流(one-phase flow)。

(二) 土石流(debris flow)：

粒徑 d_s <0.1 mm 的細顆粒泥砂含量介於 10%~50%，且粒徑 d_s 大於 2.0 mm 的粗顆粒泥砂含量介於 50%~10%者。這種流型因大小泥砂顆粒之填充作用，使得泥砂顆粒間孔隙變得很小，從而導致水砂混合體具有較高的泥砂含量。

(三) 礫石型土石流(gravel-type debris flow)：

粒徑 d_s <0.1 mm 的細顆粒泥砂含量小於 10%，且粒徑 d_s >2.0 mm 的粗顆粒泥砂含量超過 50%者。這種流型屬於固液兩相流，其中液相部分係由水體和極少量細顆粒泥砂所組成，固相部分則以粗顆粒泥砂為主，並為運動特徵之

主導因素。在流變模型上，多認為屬於非牛頓流體中的膨脹流體(dilatant fluid)。

二、依地貌條件分類：

依據土石流發生的地貌形態而將之區分溪流型及坡面型土石流，雖然只是發生區域特徵略有差異，但卻使它們之間的集水區、堆積物及致災等特徵存在著很大的不同。

(一) 溪流型土石流(channelized debris flow)：

這類型土石流的發生、運動和堆積過程皆在一條發育較為完整的溪谷內進行，具有較為完整的發生段、流動段及淤積段，固體物質主要來自溪床質及兩岸邊坡崩塌，如圖 土 1-1-1 所示。於 1/25000 地形圖上具有明顯溪谷地形，且可看出土石流之發生段、流動段及淤積段者；此類型土石流流路較長，集水區面積較大，堆積物前端之礫石呈規則性的排列。

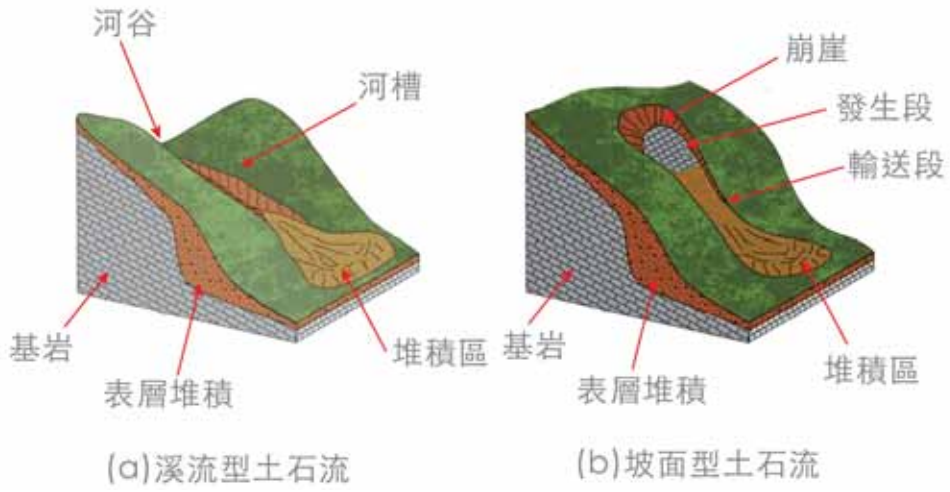


圖 土 1-1-1 坡面型與溪流型土石流示意圖(資料來源：Nettleton, I. M. et al.,2005)

(二) 坡面型土石流(hillslope debris flow)：

這類型土石流係發育在山坡的中、上部有一定集水條件的凹型坡面，在暴雨的激發下凹型坡面內的土體飽水後突然起動，沿著基岩表面向下快速運動而轉化為土石流。此類型土石流固體物質僅僅來自坡面，流量不大，其發生和運動過程皆沿著坡面或蝕溝進行，發生段和流動段不易區分，且因坡度陡，流速快，來勢猛，土石多為一次性搬運，稜角均較明顯，往往只要幾分鐘的時間就可以造成巨大損失，而土石多堆積在坡腳或蝕溝出口，堆積範圍與坡面坡度相關。由於坡面型土石流於 1/25000 地形圖上無明顯溪谷地形，故其發生區位不易在土石流發生之前加以判釋。

三、依土砂料源分類：

依據土石流形成過程土砂料源的提供方式，可以概分為崩塌型、潰壩型、溪流沖刷型、地滑型及混合型等五種類型。由於不同的土砂料源，促發土石流的機制不同，在探討土石流形成機制時，這種分類是極為重要的。

(一) 崩塌型土石流：

豪雨時，山腹斜面上土體因吸收大量水分而發生崩塌。在崩塌之同時，一方面土體含水量超高，或地表水之不斷供應，使該崩塌土體含水量突增而成流體狀；另一方面崩塌處下方邊坡提供了足夠的坡度及坡長，使在流動中不斷積累其規模，進而轉化成為土石流。

(二) 潰壩(臨時壩)型土石流：

溪流兩側岸坡土體因發生大規模崩塌而滑落溪床，雖然部份崩落土體被水流直接帶走，惟因土體數量過於龐大，使得多數的土體淤積在溪床上，並將溪谷予以阻攔而形成臨時壩或天然壩。由於臨時壩或天然壩阻擋其上游來水，使壩前水位逐漸提高，隨著降雨不斷地供應水體，水位迅速提高之後，在動水壓力及滲流力之聯合作用下而致潰壩，並形成土石流。

(三) 溪床沖刷型土石流：

這類型土石流的產生係由水流沖刷溪床質所引發。它必須在具有一定集水面積的溪谷內產生足夠的水量，才可能帶走溪床上大量鬆散厚層的堆積土體，並混合成漿體而轉變成土石流。

(四) 地滑型土石流：

這類型土石流通常發生在位於高位的地滑地，在久雨之後又遭大雨或直接由颱風暴雨侵襲，使地滑地因大量雨水滲透及地下水作用而發生滑動，而滑動體在滑動過程中，遭到強烈擾動充分液化。當它到達溪床時，滑動體已充分流體化而變成土石流，繼續沿著溪床向下流動。

(五) 混合型土石流：

這類型土石流的土砂料源相當多元。通常在颱風暴雨侵襲之下，首先由溪流上游溯源侵蝕、崩塌、地滑等方式瞬間提供大量固體物質，並與溪流水流充分混合之後，沿著溪流向下流動；在行進過程中，受到地形條件的制約，或沖刷溪床堆積土體，或瞬間淤塞，而引發了不同類型的土石流流動型態。

四、依動力學特徵分類：

本分類係依據雨水在地面土體的分布性狀，以及其對土體作用力的差異，而區分為土力類和水力類土石流。前者與雨水入滲和土體基本特性(黏聚力係數及靜摩擦係數)相關，而後者則取決於集中水流的流速及流量。

(一) 土力類土石流(soil-mechanical type debris flow)：

這類型土石流係由於土體含水飽和後，因其抗剪強度減弱，導致坡體失去平衡，沿著較陡的坡面運動而形成土石流。其中，土體運動並不是由水體提供動力，而是靠其自重沿坡面的分力引起和維持運動的。

(二) 水力類土石流(hydraulic-driven type debris flow)：

這類型土石流多發育在野溪中，靠著特大洪水沖起大量溪床質而形成的；尤其是在布滿頑石巨礫之抗沖覆蓋床面上，一旦遭洪流破壞而引起床面泥砂沖刷的連鎖效應時，可能因而引發大規模的土石流運動。

1.1.4 土石流危害方式

土石流對鄰近區域環境之危害方式，可以區分為淤積、沖刷、撞擊及磨蝕等四種主要形式，可能為單一形式，但多數是多種形式綜合作用結果而造成災害。因此，防災規劃及對策研擬時必須仔細勘查其危害形式，藉以掌握土石流之致災模式。

一、淤積：

土石流的淤積作用主要出現於溪流坡度驟減、或溪幅展寬、或兩者兼具的地形條件，尤其在溪流下游流出谷口後的寬平地形所形成之扇狀地，是土石流主要的淤積區域。

(一) 中、上游溪段的局部淤積

當土石流行進過程中遇有地形改變(主要是部分溪段坡度變緩)，則可能在溪流上產生局部或暫時性的淤積。這些淤積體很容易受到後續水流動壓力作用而再度起動，形成更大規模的土石流；或因淤積體淤塞溪流斷面，使得後續水流發生改道或溢淹的情形，危害溪岸周邊房舍或因此沖毀橋梁，如圖 土1-1-2 為 2012 年因蘇拉颱風侵台而造成花蓮縣秀林鄉和中社區左側野溪(非屬土石流潛勢溪流)土石流災害。

(二) 下游寬平溪段的淤積

當土石流進入坡度減緩或兩側溪岸束狹作用消除(溪幅放寬)之下游寬平

溪段時，因動力條件消失而使流速驟減，土石流便會發生顯著之淤積現象，並逐漸形成扇狀地形。由於扇狀地向為耕地、聚落及各項設施的集散區，使得土石流在扇狀地的淤埋作用常引發毀滅性的災難，如圖 土 1-1-3 所示。



圖 土 1-1-2 土石流於溪流中游因淤積改道成災情形(資料來源：水土保持局，2012)(地點：花蓮縣/秀林鄉/和中部落)



圖 土 1-1-3 扇狀地遭土石流淤埋情形(資料來源：盧廷治)(地點：新竹縣/五峰鄉/桃山村/清泉部落)

(三) 堵塞擠壓主流

當支流土石流短時間沖出大量土砂進入主流時，由於大量土砂瞬間淤積在主流上，使主流的部分斷面遭到土石堵塞，主流部分斷面遭堵塞，不僅束縮主流通水斷面，同時將主流的水流逼向對岸，引發其嚴重淘刷，或溪岸崩塌後退，或危害沿岸各種設施，皆造成一定規模的水砂災害，如圖 土 1-1-4

所示。另一種情況是，支流土石流匯入大量土砂堵塞主流全部斷面而形成臨時壩或天然壩，因壩體結構疏鬆，加上其上游不斷來水，提高壩前水位，在溢壩水流、動水壓力及滲流力之綜合作用下，可能導致潰壩而形成另一波土石流事件。



圖 土 1-1-4 遭土石流擠壓導致對岸發生沖刷現象(地點：嘉義縣/大埔鄉/曾文水庫集水區)

二、沖刷：

土石流的沖刷作用主要表現在上游段的溪床下切及中游段的側蝕擴床兩個面向。

(一) 土石流上游沖刷下切作用

土石流沖刷下切之所以出現在上游野溪，係由於上游坡度陡峭，溪谷狹窄，在水流集中沖刷之下，不僅使床面刷深，且兩岸谷坡加大，自由面增高，導致溪谷崩塌機會提高，為引發更大規模土石流提供了有利的條件，如圖 土 1-1-5 所示。



圖 土 1-1-5 上游野溪溪床沖刷下切情形(地點：南投縣/信義鄉/筆石溪上游)

(二) 土石流中游側蝕擴床作用

土石流對野溪中游的沖刷作用，包括溪床下切、局部沖刷及側向淘蝕擴床等。溪流中游段因坡度較上游段緩和，多屬土石流的流動段，有沖有淤，沖淤交替，但總的趨勢是沖多淤少，如圖 土 1-1-6 為土石流對中游流動段的側蝕擴床作用。



圖 土 1-1-6 土石流側蝕擴床現象(地點：南投縣/信義鄉/二部坑)

三、撞擊：

土石流的撞擊作用係以其攜出的巨礫和流體撞擊力為主。

(一) 巨礫撞擊力

土石流在行進時較大石塊多聚集於前端頭部處，加上具有很強大的動能與直進性，撞擊力特強。由於巨礫撞擊屬於點撞擊力，往往讓流經路線上的構造物被撞擊毀損，如圖 土 1-1-7 為建築物遭土石流巨礫撞擊後牆面破損的情形。



圖 土 1-1-7 建築物遭土石流巨石撞擊毀損情形(地點：南投縣/信義鄉/三部坑與台 21 線交會口建築物)

(二) 流體撞擊力：

土石流具有很高的土石含量和單位重，在高速流動下的流體撞擊力相當強，不僅可以直接撞斷橋梁，甚至將之整個浮托起來；此外，當遇有阻礙物(如彎道、橋墩、構造物、..等)時，因流體動能瞬間轉換為位能，土石流會沖起或爬高，如屬彎道或低矮溪岸時(即溢流點)，則可能有大量流體挾帶土砂溢出或沖上溪岸，或淤埋沿岸保全對象，亦可使兩岸堤岸潰決改道，造成重大的傷亡事件。

四、磨蝕：

含有大量土石的水流在高速流動時，不斷地摩擦護岸、固床工、防砂壩等混凝土構造物表面，造成表面材料剝落析離而破壞構造物之正常機能，如圖 土 1-1-8 所示。



圖 土 1-1-8 防砂壩溢洪口外觀遭磨蝕現狀(地點：嘉義縣/大埔鄉/曾文水庫集水區/里佳壩)

1.1.5 土石流發生條件與特性

在土石流分類中，不論是由溪床堆積土體遭水動力沖刷、或臨時壩潰決、或崩塌(或地滑)土體在運動過程轉化而形成土石流者，其發生原因不外是土砂料源、溪流坡度(地形)及降雨(水源)等多項因素之綜合作用結果。

一、土砂料源：

鬆散土砂顆粒係土石流形成之潛在條件。根據土石流發生時土砂料源之供給方式，可以區分為兩大類型：一是由溪床堆積物供給，這部分的土砂係由溪流上游或兩側谷坡長期崩滑累積下來，暫時堆積在溪床上；另一是由坡面或溪流兩側谷坡崩塌(或地滑)土體直接轉化而來。崩塌(或地滑)的形成，係取決於集水區的地質特徵，包括岩性、構造、新構造運動、地震及火山活動等內應力作

用，以及風化、各種重力作用、流水侵蝕搬運堆積等外力作用。一般，在地質構造複雜、剪裂皺褶發達、地震多、邊坡穩定性差、岩層破碎或崩塌地滑頻發的地區，能為土石流的形成提供豐富的鬆散土砂。此外，人類活動(例如山坡地不當利用與開發、森林濫砍濫伐、山坡地道路開發、工程棄土及礦區棄渣處理不當等)，亦能為土石流的形成提供大量鬆散土砂。

二、溪流坡度條件

溪流底床坡度是提供土石流發生及流動的動力來源，坡度陡的地區較容易發生土石流。當土石流流經坡度較陡的地方時，由於其強大的侵蝕力，會沖起溪岸及溪床物質，使土石流規模逐漸擴大；反之，當土石流流經坡度較緩的地方時，由於勢能減小，部分土石會開始沉積，土石和水體相繼分離，使土石流規模逐漸減小，甚至停止流動。

由於發生區域的降雨、地質、溪谷、植被、及人為開發程度等背景條件不同，各國有關土石流發生坡度的經驗也很不一樣。

在日本方面，谷勳(1968)為 1953 年 9 月兵庫縣發生的 20 起土石流進行了研究得出的結論是，受嚴重侵蝕部分的坡度為 15~19 度。蘆田和男等(1976)以航空照片判讀為基礎，調查高知縣仁淀川流域 34 處土石流發生段，最小溪床傾斜角度約 5.7 度，且多數集中在 10 度以上，以 14~15 度之間居多。

國內部分，游繁結及陳重光(1987)研究南投信義豐丘土石流，顯示該區於 1984 年之土石流係發生在坡度 23 度的溪床；游繁結(1992)調查德基水庫集水區提出，以平均坡度 15~30 度之溪谷最易發生土石流；謝正倫(1992)調查花蓮地區土石流發生坡度約介於 10~25 度之間；尹承遠等(1993)整理國內過去十餘年土石流發生段之相關資料亦發現，地形傾斜角度均在 11 度以上。

總結國內、外的相關調查及研究結果，對於由溪床堆積物形成的土石流而言，常以溪床坡度 15 度作為土石流發生的臨界值，而溪床傾斜角大於 10 度，則具有土石流發生潛勢。

三、降雨條件(誘發條件)

土石流形成的基本要件中，水體不僅是土石流體的重要組成部分，更是激發土石流的直接條件。水體來源係以降雨為主，而地下水、泉水和臨時壩(或堰塞湖)潰決等也能成為土石流之水體來源。台灣是一個多暴雨的國家，在每年 5

月至 10 月期間大部分地區都受到颱風暴雨影響。據統計，台灣地區年平均降雨量分布或 6-10 月個別颱風或西南氣流帶來的暴雨，大多數均集中於中央山脈東西兩側的山麓上，正好也是主要水系的上游溪段；大部分山區年平均降雨量均在 2,000*mm* 以上，部分高山地區更超過 4,000*mm*，為土石流發生提供了絕佳的水源條件。

值得注意的是，土石流發生前數日內的降雨而使土壤維持較高的含水量對土石流產生有著重要的影響。一般而言，土石流形成區的地滑、崩塌和坡面侵蝕是土石流的重要土砂料源，不同的前期降水可使一定數量的供給土砂處於不穩定狀態，為後續降雨激發土石流提供土砂準備。這樣，前期降雨較為充沛，自然會使土石流發生的臨界雨量下降，對於降雨相對較多的山區，前期降雨量往往成為暴發土石流的關鍵因素。

1.1.6 土石流流動特性

土石流是一種高泥砂濃度的水砂混合兩相流，其外觀類似預拌混凝土之流動現象。主要的運動特徵是，具有大量土砂礫石集中，並呈隆起的先端部(forefront)，而以段波形態作高速運動的流動體，如圖 土 1-1-9 所示。由於速度快，含砂量高，使得流動過程中，遇彎走直，遇阻不繞流，直進性特強，破壞力極大，異於一般挾砂水流與土體崩塌，如表 土 1-1-1 為土石流與一般挾砂水流之基本差異。綜合以往觀測資料，土石流運動過程具有以下較為突出的幾項特點，包括：

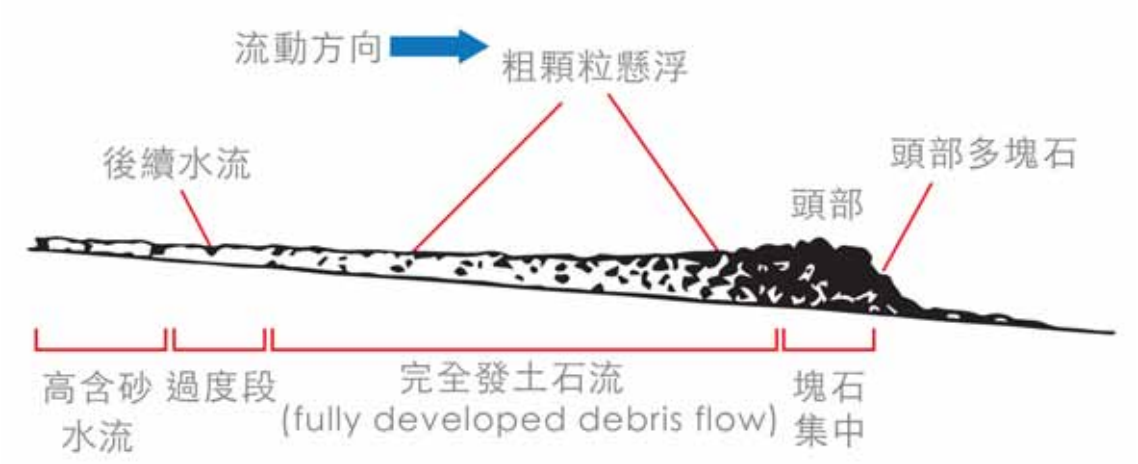


圖 土 1-1-9 土石流段波示意圖(Source: Hungr, et al., 2001)

表 土 1-1-1 土石流與一般挾砂水流之區別

特性	土石流	挾砂水流
搬運方式	集體搬運	個別搬運
搬運力量	以土體為主	以水體為主
礫石分布	巨礫集中在前端	無明顯分布特徵
顆粒組成	粒徑組成寬廣，小至黏土、大至塊石巨礫	粒徑組成較均勻
堆積性狀	整體堆積，粗顆粒堆積在前端	沿流動方向堆積，具分選性，粒顆粒分布於前端
泥砂含量	體積濃度約在 0.28 以上	體積濃度低
溪床沖刷型態	溪床及兩岸皆呈強烈沖刷，植生連根帶走	具有一般沖刷及局部沖刷特徵，仍有植生狀況
流體黏滯性	高	低
運動型態	具直進性，遇阻不繞流	依情況而定

一、土石流經常呈間歇性之流動，當先端部分受阻而停止時，其後續部份會因慣性而產生壅高，並因壓力之加大迫使先端部再次流動。

二、土石流先端部份呈波浪狀，並常有巨礫集中之現象。相對於土石流先端部聚集大量之巨石，其後續部份礫石之大小及濃度等皆逐漸相對減小。

三、土石流於流動中之橫斷形狀，在先端部份呈隆起形狀，而在後續部份則呈凹陷形狀。

四、土石流表面之流速明顯地高於其平均流速，顯示土石流具有表面快而底面慢之流速分布特性。

五、土石流流動速度與其粒徑分布、濃度及溪谷坡度等密切相關。一般而言，礫石型土石流流速約在 3~10*m/s* 之間，而泥流型土石流流速則介於 2~20*m/s* 之間。

六、土石流流動時因動量大，且直進性超強，常於彎曲溪谷之凹岸側壅高，或越過凸岸之堤防、護岸。此外，因遇阻不繞流，會直接撞擊阻礙物，加上巨礫集中先端部，故破壞力超強，可沖毀橋樑及各種溪流構造物，並對兩側坡趾及床面造成嚴重之沖淘刷現象。

1.1.7 土石流淤積特性

當土石流向下游運移時，遇有野溪邊界條件(如溪床坡度減緩或溪幅展寬)的突然改變而發生脫水或勢能驟減時，由於土石流沒有足夠的勢能支撐輸移大量土砂，因而部分土砂就沿程快速落淤，流量及流速也迅速降低，流動體如同汽車緊急煞

住般呈現整體淤塞停積，便形成一個由谷口為起點向外擴散的淤積地形，因形如扇子，故稱之為土石流扇狀地(debris fan)。如圖 土 1-1-10 為發生於 2011 年屏東縣滿州鄉老佛山土石流之堆積性狀。由於土石流扇狀地係由多次流向不定的土石流，以輻射狀擴散淤積形成。淤積進行時，因坡度變為平緩，流速降低，對混凝土結構物之破壞力減弱，惟仍具有極大的淤埋能力。



圖 土 1-1-10 土石流堆積性狀(地點：屏東縣/滿州鄉/老佛山)

土石流扇狀地的形成是相當複雜的，它是土石流流態、流量、總輸砂量、粒徑組成、谷口下游地形寬平程度等要素綜合作用的結果。一般而言，谷口越是寬平，土石流流到此處都要降低流速和搬運能力，流速降低是由於坡度減緩、兩側束狹消失以及土石流中的水體滲出分離，導致泥砂濃度增加，阻力變大所致。因此，土石流不僅在谷口扇狀地上有局部或整體停積的特徵，而且存在著巨礫塊石沿程有規律的落淤現象。一個典型土石流段波(參見圖 土 1-1-9)形成的扇狀地，具有三個明顯的區塊，如圖 土 1-1-11 所示。圖中，土石流自扇頂開始淤積，其前端較大的土石隨之落淤，形成巨礫塊石區，它是土石流塊石落淤的地段和土石流體大量停淤區；粗砂區，是土石流停積後，由粗礫中擠出的泥漿液及後續水流越過扇狀地向下繼續漫流地段；細砂區，是土石流吸出的水分向扇的邊緣區散流的高含砂水流區。當後續土砂流量大時，越過扇狀地後會攜走細小土砂而出現新的侵蝕溝，並形成天然堤防。

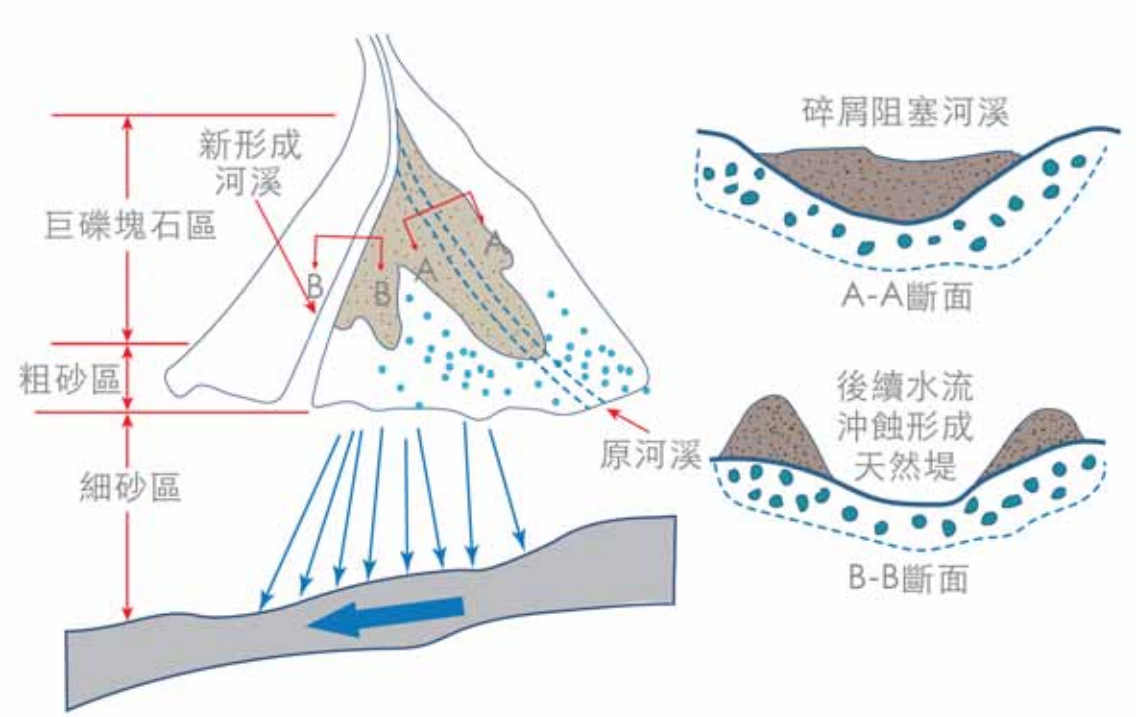


圖 土 1-1-11 典型土石流扇狀地(資料來源：修改自土砂災害與防治，2017)

當土石流流經之溪床坡度急速變緩或溪幅變寬時，流動體因有脫水現象，使其流動性大為降低，而逐漸停止流動並堆積，其堆積特性如下：

一、當土石流流出谷口時，因狹窄流路瞬間擴寬，且坡度由陡變緩，使其向兩側擴張並淤積形成扇狀地。

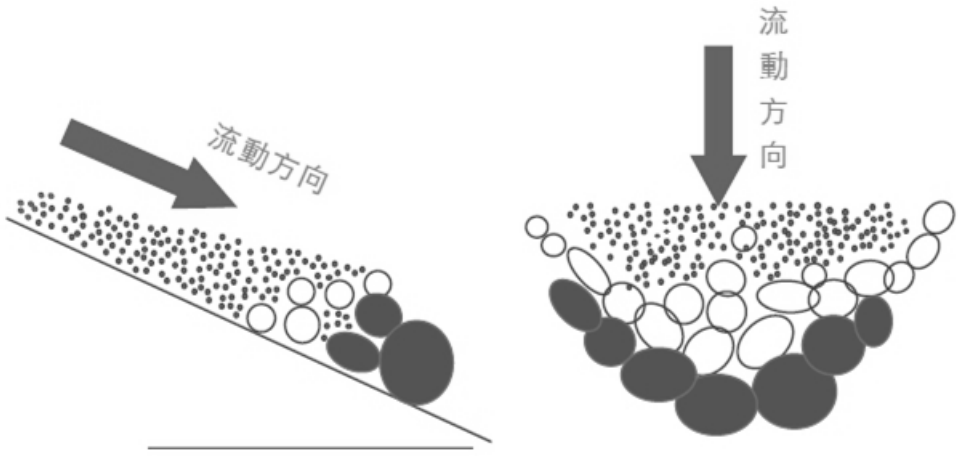
二、土石流扇狀地係由多次流向不定之土石流以輻射狀擴散淤積所形成。淤積進行時，雖因坡度變為平緩，使流動減緩，破壞力減弱，但其大量土砂仍能將房舍淹沒。

三、土砂含量高且黏性大之土石流，常會形成數個耳狀或舌狀之淤積，分布在寬闊之溪床或溪谷出口之扇狀地上。

四、後續土砂流量大時，會越過既成扇狀地，並擴大受災面。

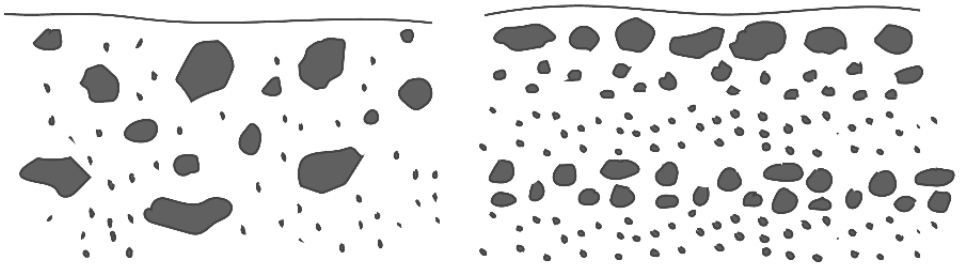
五、後續土石流可穿越扇狀地並切割侵蝕原淤積面，其所造成之狹窄蝕溝(gully)之兩側可形成一天然堤防。

六、由整體扇狀淤積表面觀之，淤積扇扇基部之粒徑比扇緣部顯著偏小，但若有後續土砂流越過扇緣分散流出之情形，則在扇緣之堆積粒徑則較少，如圖 土 1-1-12 所示。另，於淤積之垂直縱斷面上，則無明顯之粒徑分層與大小規則分布之現象，此乃異於一般沖積河川水流依粒徑大小分層淤積之特性，如圖 土 1-1-13 所示。



(a)剖面圖　　(b)平面圖

圖 土 1-1-12 土石流停積時之縱向及平面粒徑分布示意圖



(a)非層狀淤積　　(b)層狀淤積(一般洪積扇)

圖 土 1-1-13 扇狀地剖面粒徑分布

1.1.8 參考文獻

尹承遠、翁勳政、吳仁明、歐陽湘(1993)，「臺灣土石流之特性」，工程地質技術應用研討會(V)論文集，工業技術研究院能源與資源研究所主辦，pp. 70-90。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

吳積善、田連權、陳志成、張有富、劉江(1993)，「泥石流及其綜合治理」，科學出版社。

谷勳(1968)，「土石流(山津波)について」，水利科學，60，pp.109-126。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

游繁結(1992)，「利用地理資訊系統建立山坡地之土石流數值地理模式」，81農建-9.1-林-26(5-7)，中興大學水土保持學系。

游繁結、陳重光(1987)，「豐丘土石流發生之探討」，中華水土保持學報，18(1)，pp. 76-92。

盧田和男、高橋保、奥村武信、横山康二(1976)，「台風 5 號、6 號による仁淀川流域の土砂流出災害に關する研究」，昭和 50 年度文部省科學研究費特別研究，昭和 50 年 8 月風水害に關する調查研究總合報告書，pp. 132-140。

謝正倫、江志浩、陳禮仁(1992)，「花東兩縣土石流現場調查與分析」，中華水土保持學報，32(2)，pp. 109-122。

Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., and Hutchinson, J.N.(2001)Review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Geoscience, VII, pp. 221-238.

Nettleton, I. M., Martin, S., Hencher, S., and Moore, R.(2005)Debris Flow Types and Mechanisms, In M. G. Winter, F. Macgregor, and L. Shackman, eds., Scottish Road Network Landslide Study. The Scottish Executive

Takahashi, T.(1978) Mechanical characteristics of debris flow, J. of Hydr., ASCE, 104(HY8), pp. 1153-1169.

1.2 土石流相關參數

與土石流相關之重要參數，包括泥砂體積濃度、流速、流量、流出土砂量及撞擊力等。

1.2.1 平衡泥砂體積濃度

土石流內含大量的土砂石礫，使其表現出來的運動行為和特徵有別於一般挾砂水流，顯然泥砂含量之多寡，是決定土石流特殊性質的關鍵因素之一。一般，表達土石流泥砂含量方式有二：

一、泥砂體積濃度(C_d，volumetric concentration of sediment)：

係指單位體積土石流體中固體物質所占的體積比。

二、單位重(γ_m，specific weight)：係指單位體積土石流體之質量。

上述兩種表達方式具有以下關係，即

$$\gamma_m = (\gamma_s - \gamma_w)C_d + \gamma_w \tag{1.2.1}$$

式中，γ_m=土石流體單位重；γ_s=固體物質單位重(=$\rho_s g$)；ρ_s=固體物質密度；g=重力加速度；γ_w=水體單位重(=$\rho_w\ g$)；ρ_w=水體密度。

目前最常用於推估土石流泥砂體積濃度，係以 Takahashi(1978)建立之土石流先端部平衡泥砂體積濃度公式，可表為

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan\theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\phi - \tan\theta)} \tag{1.2.2}$$

式中，$\tan\theta$=溪床平均坡度；θ=溪床傾角；$\tan\phi$=靜摩擦係數，約介於26°~48°之間，如表 土 1-2-1 所示。受到式(1.2.2)分母靜摩擦係數與溪床平均坡度之差的限制，使得上式僅能適用於溪床坡度介於 10~20^o 之間。

真實溪流的溪床是凹凸不平的，其坡度具有非均一特性，沿程不斷地變動，使得土石流泥砂體積濃度經常是隨著溪床坡度的變化而改變。但是，式(1.2.2)係基於平衡條件下之土石流流況所建構，而平衡態土石流流況的存在條件是溪流要有足夠且平穩的流動長度，故在驟變的溪床坡度下是很難出現的。因此，在實際運用式(1.2.2)時，宜採用分段計算方式，每段長度不宜超過溪流寬度的 5-10 倍為原則。

表 土 1-2-1 泥砂特性與其內摩擦角一覽表(資料來源：水土保持局，2001)

泥砂特性	緊密程度	土壤內摩擦角(ϕ，^{o})
砂：圓形顆粒	鬆散	27~30
	中等緊密	30~35
	緊密	35~38
砂：角形顆粒	鬆散	30~35
	中等緊密	34~40
	緊密	40~45
卵石中夾雜泥砂		34~48
沉泥		26~35

除了 Takahashi 公式外，亦有從水力學角度出發，建立了土石流平衡泥砂體積濃度之理論表達式(Lien, H. P. and Tsai, F. W., 2003)

$$C_d = \frac{1}{2}\left[(C_m + \chi_1 + \chi_2) \pm \sqrt{(C_m + \chi_1 + \chi_2)^2 - 4\chi_1 C_m}\right] \tag{1.2.3}$$

$$\chi_1 = \frac{\gamma_w \tan\theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\alpha - \tan\theta)} \tag{1.2.4}$$

$$\chi_2 = \frac{\xi}{\tan\alpha - \tan\theta} \tag{1.2.5}$$

$$\text{且} \tan\theta \neq \tan\alpha \tag{1.2.6}$$

式中，$tan\alpha$=動摩擦係數；C_m=靜止土體最大泥砂體積濃度(=1-n_e)；n_e=孔隙率(porosity)，表孔隙體積與全部體積之比，介於 0 至 1 之間，如表 土 1-2-2 為各種土壤孔隙率及其相應靜止土體最大泥砂體積濃度之參考表；ξ=待定常數(=0.04)。同時，由於沒有任何挾砂水流之泥砂含量，會大於靜止狀態下泥砂體積濃度C_m值，且令土石流最小泥砂體積濃度為C_{dmin}，則式(1.2.3)平衡泥砂體積濃度之合理解應介於(連惠邦，1997)

$$C_{dmin} \leq C_d < 0.9C_m \tag{1.2.7}$$

式中，土石流最小泥砂體積濃度可表為

$$C_{dmin} = \frac{\gamma_w}{\gamma_w + \gamma_s} \tag{1.2.8}$$

例如，土石流潛勢溪流溪床坡度分別為 5^o、10^o、15^o、 20^o及 25^o，且

已知C_m=0.7、$\phi = 35^o$及$tan\alpha = 0.32$，分別採用式(1.2.2)及式(1.2.3)推估泥砂體積濃度，結果如表 土 1-2-3 所示。表中，式(1.2.2)於溪床坡度小於 10^o及大於20^o時，泥砂體積濃度偏離合理範圍[即式(1.2.7)]，故不適用；而式(1.2.3)則有比較合理的推估值。

表 土 1-2-2 自然狀態下各類土壤孔隙率與C_m值參考表(資料來源：周毅、洪明瑞，1996)

土壤種類	孔隙率	C_m
疏鬆均勻砂	0.44	0.56
緊密均勻砂	0.31	0.69
疏鬆之稜角狀粉土質砂	0.39	0.61
緊密之稜角狀粉土質砂	0.29	0.71
硬粘土	0.38	0.63
軟粘土	0.47-0.58	0.53-0.42
黃土	0.47	0.53
軟弱有機質土	0.71-0.76	0.29-0.24

表 土 1-2-3 各土石流泥砂體積濃度公式比較

溪床傾角	5^o	10^o	15^o	20^o	25^o
式(1.2.2)	0.087	0.2047	0.376	0.6566	1.209
式(1.2.3)	0.172	0.391	0.539	0.602	0.633

1.2.2 土石流流速公式

土石流流速推估主要有半經驗及經驗兩種方式，前者係以土石流流動模型為主，主要是通過一定的物理理論推導及參數取得所建立，後者則是通過大量的現地觀測資料，在曼寧公式(Manning's formula)的基礎上所建立。

一、土石流流速半經驗公式

Takahashi(1978)參考 Bagnold 顆粒碰撞理論，建立了土石流膨脹流體(dilatant fluid)模型，並據以導出土石流流速之半經驗公式

$$u_d = \frac{2}{3d_s\lambda}\left\{\frac{g\sin\theta}{a_i\sin\alpha}\left[C_d + (1-C_d)\frac{\rho_w}{\rho_s}\right]\right\}^{1/2} {h_D}^{3/2}\left[-(h_D - Y)^{3/2}\right] \qquad (1.2.9)$$

依據推導條件及假設，上式係適用於礫石型土石流類型。另，土石流斷面平均流速(U_D)可依上式沿著水深方向積分獲得，即

$$U_D = \frac{2}{5d_s\lambda}\left\{\frac{g\sin\theta}{a_i\sin\alpha}\left[C_d + (1-C_d)\frac{\rho_w}{\rho_s}\right]\right\}^{1/2} h_D{}^{3/2} \tag{1.2.10}$$

式中，h_D=土石流流深；y=從底床起算之任意點高度；λ=固體泥砂顆粒之線性濃度(linear concentration of solid)，$\lambda = [(C_m / C_d) - 1]^{-1}$；$d_s$=土石流泥砂顆粒粒徑($m$)；$a_i$=常數。由上式得知，當粒徑越大，泥砂體積濃度越高，則流速越小。其中，土石流泥砂顆粒粒徑d_s，可表為

$$d_s = \sum_{i=1}^{n} P_i d_{si} \tag{1.2.11}$$

式中，i=土體顆粒分組數，從 1 到 n；P_i=第i組顆粒在級配曲線上所佔的重量百分比；d_{si}=第i組顆粒的平均粒徑(m)，$d_{si} = (d_{sM} + d_{sm})/2$；$d_{sM}$=該組顆粒的最大粒徑；$d_{sm}$=該組顆粒的最小粒徑；當$1/\lambda > 0.071$時，$a_i$=0.042，當$C_d$值大於此式之限值時，$a_i$值則隨$C_d$值的增大而急劇增大。

二、土石流流速經驗公式

通過統計分析土石流一些現地之觀測數據，並參照曼寧公式型式建立適用於特定溪流之土石流流速公式，即

$$U_D = \frac{1}{n_d} R^{2/3} S_0{}^{1/2} \tag{1.2.12}$$

式中，n_d=土石流曼寧粗糙係數(≈ 0.1)，與其流動邊界及流體條件相關；R=水力半徑($= A/P$)；P=潤溼周；A=土石流斷面積；S_o=溪床坡度。上式，在實務上已得到廣泛的應用，但因係以黑盒模型來處理，缺乏充分的物理基礎，針對性強，在作地區移用時必須加以調整。

1.2.3 土石流流量公式

土石流流量是反映其規模的重要指標。由於野溪溪床沿程坡度變化很大，時而陡峭，時而平緩，具有多個遷緩或遷急斷面，使得土石流在流動過程中隨著溪床坡度的改變，也呈現時而快速流動、時而暫時停積的陣流(intermittent-flow)流動型態，相當不穩定，使得土石流流量推算要比相同頻率的洪水流量複雜得多。

Takahashi(1991)假定土石流以連續流方式行進時，其流量可以由平均流量表達，即

$$Q_D = \frac{C_m}{C_m - C_d} Q_p \tag{1.2.13}$$

式中，Q_D=土石流洪峰流量；Q_p=清水流洪峰流量，可由合理化公式推求。例如，已知土石流潛勢溪流溪床坡度為 15°，已知其洪峰流量為 47cms 及緊密均勻砂C_m=0.7，則由式(1.2.2)推估土石流泥砂體積濃度

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan 15}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan 35 - \tan 15)} = 0.376 \tag{1.2.14}$$

將上式代入式(1.2.13)中，可得土石流流量

$$Q_D = \frac{C_m}{C_m - C_d} Q_p = \frac{0.7 \times 47}{0.7 - 0.376} = 101.5 cms \tag{1.2.15}$$

此外，土石流流量係由清水流量和固體顆粒流量兩部分組成，按配方法原理，土石流流量Q_D可表為

$$Q_D = Q_s + Q_w \tag{1.2.16}$$

式中，Q_w=土石流中之清水流量；Q_s=土石流中之固體物質流量。由上式可得

$$\frac{Q_D}{Q_w} = \frac{1}{1 - C_d} \tag{1.2.17}$$

式中，$C_d = Q_s / Q_D$。上式即為土石流流量最基本和簡潔的表達式，它將複雜的土石流流量過程大大地簡化了。對於一定頻率的降雨條件，上式中清水流量可用已有的水文學計算方法進行計算(參考「基本資料調查與分析篇」)。根據上式，當清水流量為固定時，土石流的平均流量將與土石流泥砂體積濃度有關，而土石流泥砂體積濃度又與溪流的輸砂能力及固體物質的補給能力有關。

1.2.4 土石流流出土砂量推估

土石流流出土砂量(debris-flow volume)係指一次土石流過程流出的總土砂量，或稱為土石流發生規模。一次土石流可能流出土砂量不僅與工程治理措施之設計標準有關，亦影響非工程預防措施之相關規劃，是重要的土石流運動參數之一。

土石流可能流出土砂量的估算，可依據地形圖、現場調查及過去土石流記錄等方式予以決定。目前有幾種推估的方法，茲分述如下：

一、不安定土砂推估法

不安定土砂係指在降雨過程中可能由地表逕流攜出下游特定基準點以下之土砂量。一般，可以分別採取現地調查方式推估集水區內可能移動土砂量，以及由公式推估計畫規模可搬運土砂量，並取其較小值作為土石流一次可攜出之土砂量。(日本建設省河川局砂防部，1989)

(一) 集水區內可能移動土砂量推估：

通過現地調查方式，推估集水區重要溪流及其兩岸蝕溝可能崩塌土砂量，包括溪床堆積土砂量及可能崩塌土砂量之和，即

$$V_T = V_a + V_b \tag{1.2.18}$$

式中，V_T =集水區可能移動土砂量(m^3)；V_a =可能崩塌土砂量(m^3)；V_b =溪床堆積土砂量(m^3)。由圖 土 1-2-1 得知，可能崩塌土砂量及溪床堆積土砂量可分別表為

$$V_a = \sum_i (A_{si} \times L_{si}) \tag{1.2.19}$$

$$V_b = A_b \times L_b \tag{1.2.20}$$

式中，A_s =蝕溝崩塌斷面積(m^2)；L_s =蝕溝長度(m)；A_b =溪床堆積土砂之平均斷面積(m^2)($=B \times D_b$)；B =溪床堆積土砂之平均溪床寬度(m)；D_b =溪床堆積土砂之平均堆積深度(m)；L_b =溪床堆積土砂長度(m)。

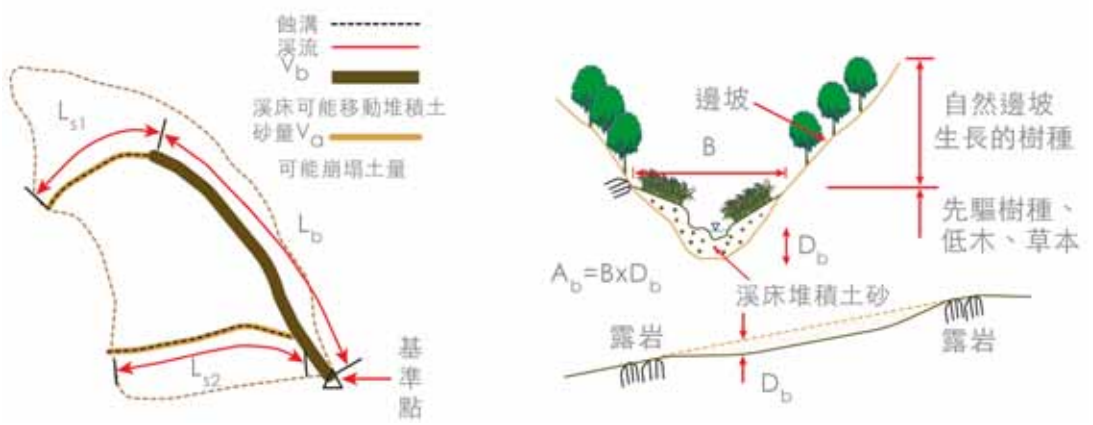


圖 土 1-2-1 溪流可能移動土砂量(資料來源：日本建設省河川局砂防部，1989)

若推算正確之可能崩塌土砂量有困難時，亦可以採用下式推算土石流可能移動土砂量，即

$$V_T = A_T \times L_T \tag{1.2.21}$$

式中，A_T=溪床平均斷面積(=$B_{bed} \times D_b$)；B_{bed}=溪床平均寬度；L_T=溪流總長度，係自谷口至集水區最遠處沿流路所量測之距離，有支流時亦應加上其長度(m)。

(二) 計畫規模可搬運土砂量推估：

係直接應用下列公式進行推算之，即

$$V_{TC} = f_r \frac{10^3 \times R_t \times A}{1 - P_r}\left[\frac{C_d}{1 - C_d}\right] \tag{1.2.22}$$

式中，V_{TC}=土石流可搬運土砂量(m^3)；C_d=平衡泥砂體積濃度(式 1.2.2)；R_t=t 小時之降雨量(mm)；A=集水區面積(km^2)；P_r=溪床堆積土砂孔隙率；f_r=修正係數，介於*0.5*至*0.1*之間。

二、集水區面積推估法：

土石流流出土砂量係指土石流流出谷口的總土砂量，主要是受集水區面積大小所控制，雖然料源區內的岩性和氣候也起一定的影響，但總體趨勢為流出土砂量和集水區面積具有以下關係：

$$V_{SF} = cA^n \tag{1.2.23}$$

式中，V_{SF}=土石流流出土砂量，係指一次土石流過程沖出的總土砂量；A=集水區面積；c、n=待定係數。水原邦夫(1990)調查 1972 年～1985 年 14 年間 663 場土石流流出土砂量與集水區面積之關係，給出了以下公式

$$V_{SF} = 11400A^{0.583} \tag{1.2.24}$$

式中，V_{SF}=土石流流出土砂量(m^3)；A=谷口上游集水區面積(km^2)，適用範圍：0.05～30 km^2。謝正倫等(1999)參考日本建設省(1989)自 500 處土石流現場調查結果獲得集水區面面積與其流出土砂量之關係，如圖 土 1-2-2 所示。圖中，通過最小二乘法迴歸獲得 50%不被超過機率之迴歸方程式，再由相同斜率分別求出各種不被超過機率之迴歸式，表 土 1-2-4 所示。其中，謝正倫(1999)點繪我

國實測土石流流出量發現，多數居於不被超過機率為 90%的高標準，因而建議採用超過機率 90%對應的迴歸方程式推估土石流流出土砂量，即

$$V_{SF} = 70992A^{0.61} \tag{1.2.25}$$

式中，A=集水區面積(km^2)，適用範圍如圖 土 1-2-2 所示。

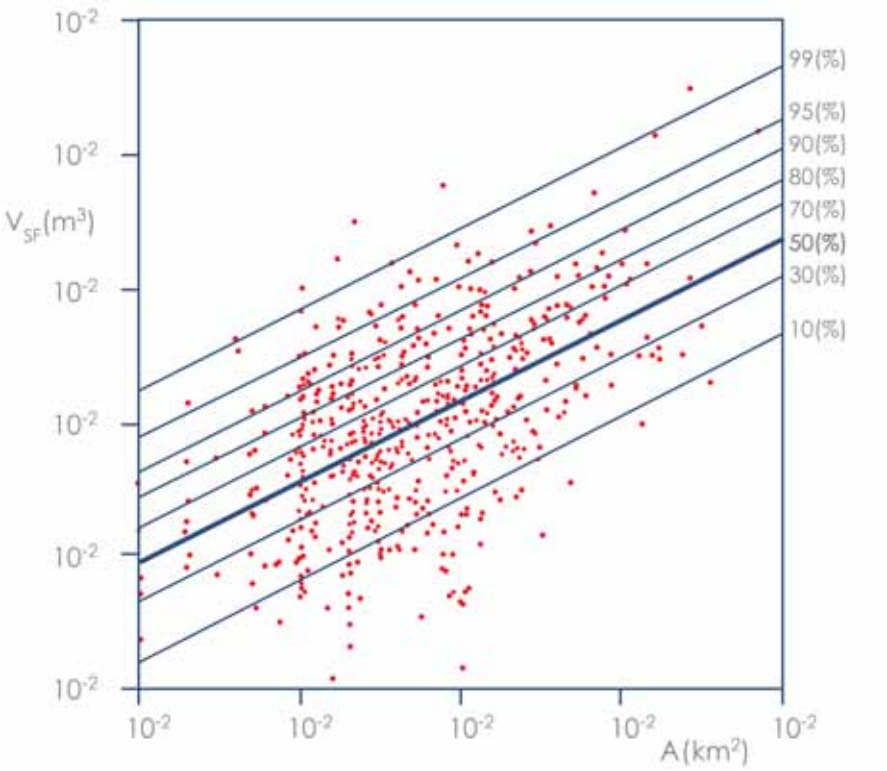


圖 土 1-2-2 日本土石流流出土砂量超過機率曲線(資料來源：日本建設省河川局砂防部，1989)

表 土 1-2-4 日本土石流流出土砂量迴歸式一覽表(資料來源：日本建設省河川局砂防部砂防課，1989)

流出土砂量不被超過機率(%)	迴歸方程式
50	$V_{SF} = 13600\ A^{0.61}$
70	$V_{SF} = 27064\ A^{0.61}$
80	$V_{SF} = 40800\ A^{0.61}$
90	$V_{SF} = 70992\ A^{0.61}$
95	$V_{SF} = 113968\ A^{0.61}$
99	$V_{SF} = 274720\ A^{0.61}$

1.2.5 撞擊力推估

土石流撞擊力係指土石流運動過程中對所觸及的一切物體產生之作用力，可分為流體撞擊力和巨礫撞擊力兩種；前者係屬面的撞擊力，與壩體安定性分析相

關，而後者為點的撞擊力，為評估混凝土材料的耐撞程度，與混凝土強度和厚度相關，亦嚴重影響壩體整體之安定性。據研究指出，土石流流體撞擊力約為 10～$5\times10^3\ KN/m^2$，而巨礫撞擊力則為$10^2\sim10^4\ KN/m^2$，其規模約在 1~2 個級距之間(黃宏斌等，2007)。

一、土石流流體撞擊力

土石流流體撞擊力係與流體性質、流深及流速等因子相關，可表為

$$P_f = K\frac{\gamma_m}{g}h_D{U_D}^2 \tag{1.2.26}$$

式中，P_f=與作用面垂直之土石流單寬流體力(t/m)；γ_m=土石流單位重(t/m^3)，可由式(1.2.1)推估；h_D=土石流流深(m)；U_D=土石流平均流速(m/s)，可由式(1.2.10)推估；K=係數，介於 0.5~2.0 之間。

二、土石流巨礫撞擊力(水土保持局，2001)

巨礫撞擊力多數採用完全彈性碰撞理論進行推估，可表為

$$F_p = 20.2{V_D}^{1.2}{R_E}^2 \tag{1.2.27}$$

式中，F_p=礫石撞擊力(N)；R_E=巨礫半徑(m)；V_D=土石流先端部巨礫流速(m/s)，可近似採用式(1.2.10)推估之。

1.2.6 土石流巨礫設計粒徑(D_E)

按式(1.2.27)得知，推估土石流巨礫撞擊力時，必須先行確定其巨礫之代表粒徑，稱之為設計粒徑(D_E，design diameter)。由於土石流可能攜出石礫之設計粒徑，可能是來自溪床表面淤積物(最單純狀況)，或被淤埋於溪床底部無法測得，或來自兩岸崩塌的產物，具有高度的不確定性，很難透過理論或實測方式予以獲得，即使決定了土石流設計粒徑，亦無法事前加以驗證。因此，為實務應用起見，目前較常用的方法是溪床表面調查法，它是採集調查範圍內溪床表面大於 20*cm* 以上之巨礫群全部取樣，量測其粒徑(中軸徑或長、中及短軸徑之算術平均值)，並按各粒徑級占全部樣本數之百分比，繪出其分布曲線如圖 土 1-2-3 所示。一般建議取 D_{95} 作為設計粒徑，而調查範圍通常是取壩址上游 10~20 倍溪幅長度，如圖 土 1-2-4 所示。

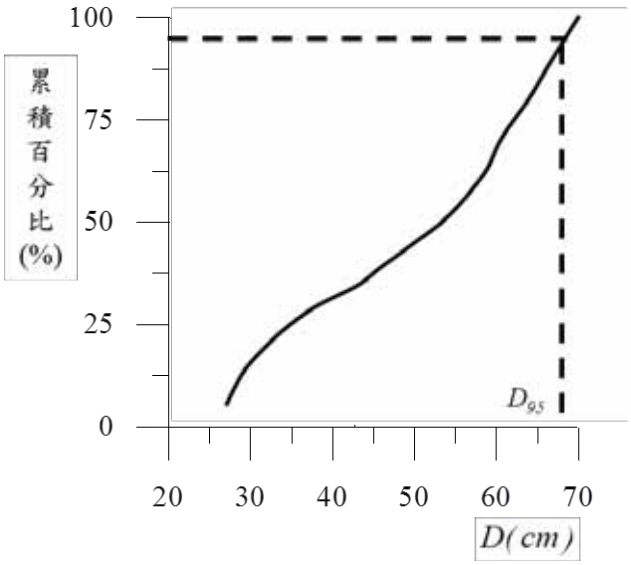


圖 土 1-2-3 表面調查法

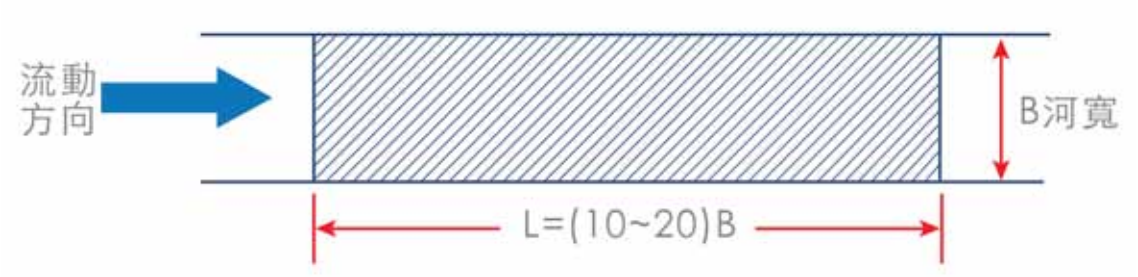


圖 土 1-2-4 表面調查法調查區域示意圖(資料來源：連惠邦，2017)

1.2.7 參考文獻

日本建設省河川局砂防部砂防課(1989)，「土石流對策技術指針(案)」。

水原邦夫(1990)，「土石流による流出土砂量とその關連因子との關係」，[片岡 順(研究代表者)；土石流の發生及び規模の予測に關する研究]，科學研究費[自然災害の予測と防災力]研究成果，pp.48~53。

行政院農業委員會水土保持局(2001)，「土石流防治工法之研究評估」。

周毅、洪明瑞(1996)，「大地工程原理」，高立圖書有限公司。

連惠邦(1997)，「土石流定量判別模式」，中華水土保持學報，28(2)，pp. 129~136。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

黃宏斌、楊凱鈞、賴紹文(2007)，「土石流對梳子壩之撞擊力研究」，台灣水利，55(1)，pp. 41~58。

謝正倫、吳輝龍、顏秀峰(1999)，「土石流特定水土保持區之劃定」，第二屆土石流研討會論文集。

Lien, H. P. and Tsai, F. W.(2003)Sediment concentration distribution of debris flow. J. of Hydra. Engng. 129(12), pp. 995-1000.

Takahashi, T.(1978)Mechanical characteristics of debris flow, J. of Hydr., ASCE, 104(HY8), pp.1153-1169.

Takahashi, T.(1991)Debris Flow, Disaster Prevention Reserach Institute, Kyoto University, Published for the International Association for Hydraulic Research, the Netherlands.

1.3 土石流防治

1.3.1 前言

岩石圈侵蝕性之均夷作用(gradation)是一種自然現象，其表現方式有漸進式和激烈式之分，前者係水流作用地表土壤產生之侵蝕現象，而後者則多以水流配合重力作用的加乘下，發生大規模泥砂之侵蝕現象，如崩塌、地滑、土石流等。以長期的觀點，此等作用均屬正常現象，非人力可以完全防止。因此。對於危害性極高之土石流，在防治對策上應有兩種基本的思維：一種是排除全部的外力因素，以消弭災害的發生；當無法做到時，控制調節其傳遞過程，或用堅固而有效的構造物保護生活場所，這是一種帶有積極因素的工程治理措施；另一種是應用災害發生前的一些徵兆，對生活及生產場所進行調整或組織性的疏散迴避，以防止傷亡損失，這是一種帶有消極因素的非工程防護措施。對於土石流這種自然災害型態，基本上也是依照工程治理和非工程防護的彈性思維，具體實施各項防災對策。

1.3.2 土石流防治目的和基本原則

土石流的發生、發展和危害與特定的地質地理環境有關，也與區域性人為開發範圍及程度關係密切。土石流防治是根據土石流的發生條件、基本性質、發展趨勢和治理需要，採取以集水區工程治理措施及區域性(包含數個集水區)非工程防護措施，以控制土石流發生和發展，並減輕或消除對保全對象的危害，使被治理區域恢復或建立起新的良性生態平衡，改善環境。因此，土石流防治應掌握以下三個基本原則，包括：

一、綜合評估，掌握重點

不論是颱風暴雨或區域性暴雨所激發的土石流危害事件皆具有空間的群發特性；換言之，通常土石流的發生不會是單一事件，它可能在一個集水區內爆發多次土石流危害事件，甚至在不同集水區同時爆發多起土石流，使得土石流的危害不再侷限於單一土石流潛勢溪流的有限範圍，而這也導致要在短時間內逐一完成整治，有其實質的困難，且成效亦屬有限。因此，土石流防治工作必須將區域內幾個集水區視為一個整體，優先通過現地調查深入瞭解眾多土石流潛勢溪流的再發生潛勢及可能的危害程度，從中選取較具危險性的土石流潛勢溪流進行上、中及下游的整體規劃，統籌兼顧工程治理與非工程防護對策需求，擬定短、中期的分級、分期處理計畫。

土石流危害方式多元，而危害程度則與保全對象的種類及分布相關。因此，在眾多土石流潛勢溪流中，應分析評估其受害的方式及可能的風險，再以風險可接受程度選定治理保護對象，因地制宜實施適當的治理措施；同時考量土石流規模有大有小，危害有輕有重，治理有易有難，故依土石流規模、難易度以及保全對象種類和重要性，研擬治理規模及保護水準之分級管理(中央與地方)和分期治理計畫(或劃定特定水土保持區)，徹底杜絕土石流對保全對象及自然環境的影響和危害。

二、防護優先，防護和治理結合

在土石流災害發生後的短時間內，工程治理尚無法發揮治災功能之前，應優先採取非工程防護措施，避免引起重複性致災事件，再依實際狀況適時導入工程治理措施，以減少土石流災害或降低災害發生機率及規模。

以非工程防護措施為優先的第一個要件，就是要開展土石流的監測警戒工作。土石流監測警戒工作包括兩項內容：一是以目前土石流潛勢溪流發育的環境背景資訊，配合必要之現地調查工作，進行區域性或單條土石流潛勢溪流的監測，隨時掌握其降雨及土砂動態，提供短期發生機率的預測與警戒：二是開展疏散避難的組織性迴避措施，減少人員的損傷。

以非工程防護措施為優先的第二個要件，就是要停止不合理的土地開發行為，減少水土流失，從而縮小土石流的規模和危害程度，使土石流活動強度逐漸降低到自然狀態下的水平。

但是，採行非工程防護措施，並不是排斥工程治理措施，而是要在避免民眾再次受災的前提下，適時導入工程治理措施，以控制土石流的再度發生。其原因有三：

(一)停止不合理的土地開發利用行為，並不能立即發揮保土蓄水之效益，它必須經過一段較長的時間，慢慢地讓土地恢復平衡狀態。

(二)疏散警戒只能減輕土石流的危害程度，但不能削減土石流的活動強度，因此無法替代土石流治理之功能。

(三)防災可以在短時間內開展而獲得一定的成效，但工程治理必須花費一段時間始能完成，在完成工程治理前從事土石流預警工作，則可以發揮減災之宏效。

三、治山治水兼顧，主次有別

土石流的形成與集水區的土砂料源和水體因素密切相關。其中，集水區陡峭的邊坡斜面既為土石流形成提供能量及能量轉化條件，又為土石流形成提供能量載體～鬆散土砂料源，使在足夠水量及水動力條件下激發土石流。因此，土石流潛勢溪流集水區的治理，除了治水外，亦須兼顧治山。

土石流形成的機理不同，其治理對策亦應有主、次區分。例如，對土力類土石流宜以治山(坡)為主，採用源頭處理、攔擋、護岸、護坡及坡地保育等水土保持措施來穩定坡腳，降低坡面土壤侵蝕，減少鬆散土體來源，以控制形成土力類土石流最主要的元素~土體；對水力類土石流，宜以治水為主，即採用滯、蓄水工程及造林植生來調蓄逕流，削減洪峰，以控制形成水力類土石流的最重要元素-水體動力。

1.3.3 土石流防治的工程治理措施

工程治理措施係指以人為的力量、機具與材料，施設堅固而有效的構造物，控制調節土石流的發生與發展，並使其無害通過，以達到安全需求或特殊目的的一種措施，這是一種帶有積極因素的工程治理方法。理想的土石流工程治理措施應有以下「三個避免」之基本思維，包括：

一、避免土石流發生

土石流工程治理的首要課題，就是在可能提供土石流土砂料源的區域，事先將這些不穩定的土砂加以控制，以避免土石流的發生。通常，土石流土砂料源多來自於溪流上游陡峻的溪床沖刷及其兩側谷坡崩塌土石，故常採取比較積極的控制工法，包括系列防砂壩、崩塌地處理，坡面保護工等。

二、避免土石流發展

當在溪流上游各種控制土砂工法無法施展，抑或控制工法無法完全有效防止土石流發生時，則退而求其次，在其流動可能通過的斷面上，通過攔阻土石流攜出的土砂量，以削減其規模及流速，有效降低破壞力。例如，各種類型之系列透過性壩及防砂壩等，均能有效發揮抑制土石流發展之效能。

三、避免土石流成災

當受到自然地形或其他非技術因素之限制，以及工程治理效能之有限性，治理工程仍無法完全控制土石流的發展及破壞力時，則設法在可讓土石流淤積

的谷口寬平區域，採取圍堵、導引與緩衝方式，將土石流攜出的大量土砂沉積或疏導至安全場所，以避免危及鄰近地區保全對象之安全。例如，沉砂設施、導流堤、導流渠道、緩衝林帶等工法，皆能起到避免土石流成災之功能。

綜合上述，土石流潛勢溪流之工程治理措施種類眾多，主要有抑制工、攔阻工、淤積工、疏導工及緩衝林帶等工法，各種工法因功能不同，適用場合和條件亦不盡相同，其整體布置可依土石流潛勢溪流之發生段、流動段、淤積段及排導段等進行綜合規劃，如圖 土 1-3-1 及表 土 1-3-1 所示。茲綜述如下：

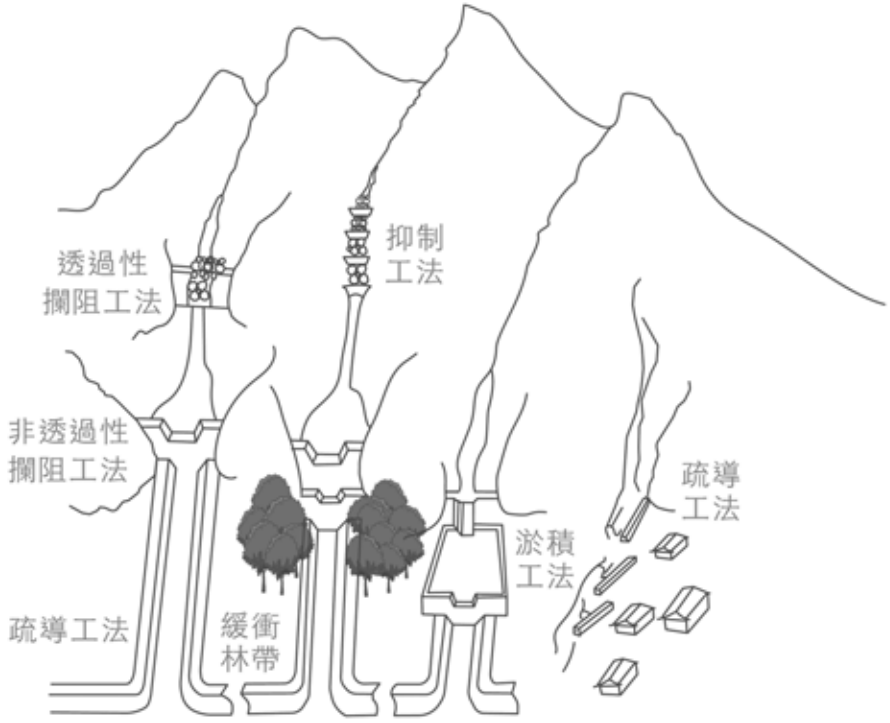


圖 土 1-3-1 土石流潛勢溪流工程配置模式(資料來源：水土保持手冊，2006)

一、土石流發生區：溪床坡度約在 10˚以上

(一) 土砂料源處理：

溪流上游陡峻的溪床淤積物和兩岸谷坡崩塌土體向為土石流的土砂主要來源，常在暴雨逕流的水動力作用下，大量固體物質與水體混合後，在重力作用的配合下轉化成為土石流。因此，其治理標的在於防止溪床及其岸坡土石之沖刷與崩落，並控制已崩落於溪床上之土石移動，以阻止土石流獲得土石材料之補充。此類工法包括在溪床不穩定淤積土體及岸坡崩塌地的下游側設置系列防砂壩(參見圖 土 1-3-2)，並配合岩錨、固定框、打樁編柵、鋪網噴植等坡面保護工法，以穩定土體。

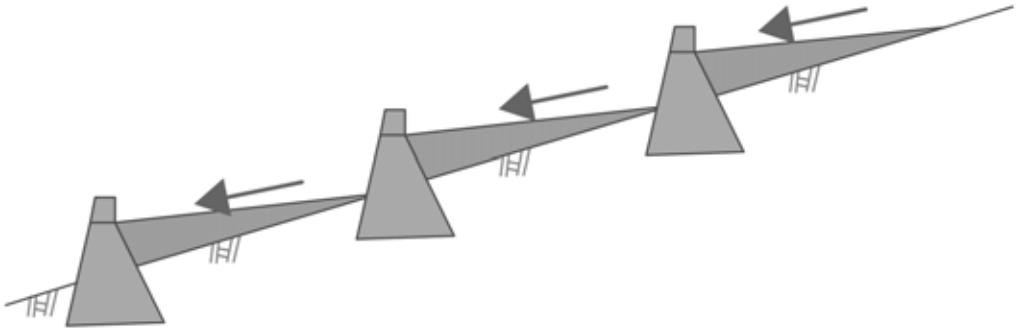


圖 土 1-3-2 系列防砂壩示意圖

(二) 降雨逕流處理：

降雨導致溪流上游溪床及坡面土體運移的關鍵有二：一是增加了不穩定邊坡土體的重量，以及裂縫或結構面含水飽和後，其間的抗拉、抗剪強度大為降低，引發土體崩塌下滑；另一是暴雨期間因溪流水流水位抬高，流速大增，使得溪床沖刷下切及溪岸淘刷而導致大量土體流失。因此，除了在溪床上設置系列防砂壩，以沿程消能及穩定溪床外，於坡面上實施地表及地下排水設施，迅速將坡面逕流予以排除，以提高坡面土體之穩定性。

二、土石流流動段：溪床坡度約介於 6~12˚之間

(一) 沿程消能：

土石流一旦流下，由於其強大的侵蝕力，會沖起溪岸及溪床物質，使土石流規模逐漸擴大。因此，在流動段上構築系列防砂壩、潛壩及固床工等橫向阻水構造物，增加對土石流的阻滯效應，就能達到消能固床之效果。

(二) 土砂攔阻：

土石流流動性主要是受到水量的支配，一旦土石流中的水分脫出後，土石流就會變得較為濃稠，流動性及流速變小，並逐漸停止下來。為此，可以在溪流上設置透過性壩(如切口壩、梳子壩、立體格子壩、透水柵等)，以取得以下效能，包括：(1)減少流出的土砂量；(2)延遲土石流流出時間；(3)防止溪床淤積物的移動；(4)捕捉土石流前端部的巨礫、流木，並減少其先端部流量；及(5)轉化土石流成為一般挾砂水流。

三、土石流下游淤積段：溪床坡度約小於 6˚

(一) 淤積土砂：

在溪流下游處，由於溪流斷面寬度放大或溪床坡度減緩，使得土石流流速迅速降低，並向下游及周邊分散漫溢，故於地勢低平處以圍堤方式或事先

規劃妥當之沉砂設施，讓土石流所攜出的大量土砂集中淤積下來，自然就能降低土石流的威脅。

(二) 疏導土砂：

當溪流下游扇狀地無適當空間可配置沉(貯)砂設施時，或通過沉砂設施之後剩餘的土砂及水流，以人工渠道或導流堤等工法，誘使土石流沿既定之安全路線流動，並將其引導至一安全地區。但是，採用人工渠道導引土石流必須特別注意渠道斷面的設計問題，主要是土石流流動特性不同於挾砂水流，

渠道斷面及坡度皆應以高含量條件下的流動體進行考量，否則易有土砂溢出溪岸之風險。

(三) 緩衝林帶：

考量土石流在坡度減緩或局部斷面寬度放大的溪段，因土砂可能快速淤積，導致通水斷面無法承載而溢出致災時，利用野溪沿岸樹林帶控制土石流之向外擴散，並使之停積，讓土石流和保全對象間具有充分的緩衝空間，具有生態減災之意涵。

表 土 1-3-1 土石流潛勢溪流各區段之適用工法(資料來源：修改自游繁結，2016)

區段	地　形　特　徵	現象	治理目標	治理工法機制	適用工法
發生段	1.位於溪流上游區段，呈漏斗狀 2.溪床坡度約在 10°以上 3.岸坡陡峻，具有 V 字形橫斷面，土石裸露，岩石破碎，崩塌、地滑發達	溪床及崖錐不安定土砂移動	避免土石流發生	穩定溪床不安定土砂	系列防砂壩及固床工
		溪谷崩塌、地滑		控制溪谷崩塌、地滑之發生	系列防砂壩、擋土牆、坡面保護工程等
		降雨入滲及地表逕流		溪床沿程消能及坡面地表和地表下排水	系列潛壩、固床工、截排水設施、地表下橫向排水等
流動段	1.溪床坡度介於 6~12°之間。 2.溪流平面順直，多屬 V 型斷面，床質較為均勻。 3.均勻流動，沖淤互現，含砂濃度呈動態平衡。土層厚度可高達數至數 10.0m。	土石流撞擊	避免土石流發展	1.攔阻巨礫 2.降低流速	透過性壩(梳子壩、切口壩、格子壩等)、系列防砂壩、部分透過性壩
		土石流氾濫		溢流點附近溪岸加高及加固	護岸、基礎保護工、導流堤
		土石流量遞增		鞏固溪床及兩岸、攔阻土石	系列防砂壩、固床工、透過性壩、部分透過性壩
		後續含砂水流氾濫		妥適工程設計及降低土石淤積溪床	清疏、工程適當設計(如預留足夠的出水高度)
		漂流木		阻截漂流木	透過性壩、部分透過性壩
淤積段	1.位於溪流下游段，多呈扇形 2.溪床坡度在 6°以下 3.淤積大小石塊混雜，無明顯的篩分 4.易發生漫流改道，流路不穩定	土石流氾濫	避免土石流成災	圍堵土石在一定範圍	沉砂池
		土石流撞擊		導流及降低流速	導流堤、沉砂池
		後續含砂水流氾濫		導流、防止溪床土砂淤積及氾濫	導流堤、導流渠道、整流工程、緩衝林帶
		流路擺盪不定		防止溪床土砂淤積、排除障礙物	整流工程、導流渠道、清疏
排導區	1.位於淤積段下游，常與主流連接 2.溪床坡度較淤積段為緩和	後續含砂水流氾濫		防止溪床土砂淤積及氾濫	整流工程、導流渠道、清疏、緩衝林帶

1.3.4 規劃設計原則

一、確定土石流潛勢溪流

參考水土保持局土石流潛勢溪流及其影響範圍公開資訊，或利用地形圖及航空照片，並配合現場調查，判釋具有土石流發生潛勢之溪流。

二、依土石流潛勢溪流危害程度，優先辦理非工程防護措施

業經確定為具有發生土石流之潛勢溪流時，在工程治理措施治未完成之前，視防災需求，宜盡速建立土石流警戒避難或觀測機制。

三、各類土砂量規劃

土石流治理措施之規劃與設計，有必要推估土石流計畫流出土砂量(V_{SF})、計畫容許排放土砂量(V_D)、計畫攔阻土砂量(V_I)、計畫淤積土砂量(V_S)及計畫抑制土砂量(V_C)等，並滿足下列關係式，以決定治理措施之規模、數量、型式、配置及順序等，即

$$V_{SF} - V_D - (V_I + V_S + V_C) = 0 \qquad (1.3.1)$$

式中，V_{SF}=土石流計畫流出土砂量，可依 1.2.4 節推估之；V_D=計畫容許排放土砂量，係指對下游地區安全無虞之排放土砂量；V_I=計畫攔阻土砂量，係指攔阻工法捕捉之土砂量；V_S=計畫淤積土砂量，係指以淤積工法捕捉之土砂量；V_C=計畫抑制土砂量，係指以抑制工法減少之土砂流出量。

由上式得知，由土石流計畫流出土砂量(V_{SF})減去容許排放土砂量(V_D)後剩餘之土砂量($V_I + V_S + V_C$)，即為以各種工法加以控制之部分。其中，容許排放土砂量係指土石流流出溪流下游時，不致產生安全威脅之排出土砂量，與下游地區之安全直接相關。純就土石流治理和防災的觀點來看，容許排出土砂量應與土石流溪流下游地區之排導能力相關，可依下列兩種條件決定之，即：

(一) 土石流轉化為挾砂水流時之排出土砂量。

(二) 以土石流溪流下游導流渠道之輸移能力為標準，只要導流渠道可以安全排出而不會造成淤積成災之土砂量。

第(一)項的主要概念，係以土石流為標的之工程治理措施，由於在設計標準上都較一般野溪為高，故只要能夠透過相關工程措施將土石流轉化為一般挾

砂水流，其安全自然無虞。第(二)項則是依據土石流潛勢溪流下游導流渠道輸移泥砂能力，只要能夠將流出下游的土砂量順利地排導，不要有因土砂淤積而泛濫之情形發生時，土石流之危害自然得以消減。

四、土石流工程配置應參考各類土砂量規劃擬定綜合治理對策

依據土石流發生、流動及淤積等區段之流動特徵，以及前述各種工法治理土砂量規劃結果，並參考 1.3.3 節中各項方法相互配合運用，擬定短、中期的分級、分期處理計畫，方能克盡全功。

1.3.5 注意事項

一、土石流治理措施之結構體安定性分析，除了需考慮土石流流體撞擊力外，尚須考慮巨礫衝擊力。

二、土石流疏導工法之渠道寬度或堤間寬度之決定，需依土石流流量及最大粒徑進行檢討，以免因巨石之阻塞而產生溢流。

三、土石流疏導工法中，渠道彎曲部之超高及曲率半徑之規劃與設計，需考慮土石流之直進性及其最大彎曲角度。

四、攔阻工法不宜設置於扇狀地等無法取得足夠庫容之地點。

五、攔阻工法屬於橫向構造物，具有阻水且提高局部動能(非透過性壩)，或因束縮斷面而提高過壩水流流速(透過性壩)，凡此皆造成壩體下游溪床局部沖刷的規模和危害程度，故於攔阻工法下游溪床應加強其基礎保護工。

六、緩衝林帶林木密度在不影響生長之情況下，以高密度植栽為原則。

七、土石流對混凝土結構物表面具有強烈之磨損作用，各項工程治理措施於設計時，宜採取必要的耐磨處理；此外，亦須於構造物上游側設計緩衝消能措施，如車輛用廢輪胎並內填砂石，如圖 土 1-3-3 所示。

八、為使土石流防治措施能發揮正常功能，宜對於各項措施採定期之清理與檢查。



圖 土 1-3-3 以廢輪胎作為緩衝消能措施(資料來源：段錦浩教授)(地點：南投縣/信義鄉/二部坑)

1.3.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2001)，「土石流防治工法之研究評估」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

游繁結(2016)，「土石流系列～土石流災害防治與避難」，財團法人中興工程科技研究發展基金會。

貳、處理單元

以治理土石流為主的工程處理單元，包括坡面水土保持措施及溪流治理措施兩大單元，前者係以坡面保土蓄水為主，包含坡地各種保育措施及植生工程；後者則以控制引導溪流土砂運移為主，包含攔阻、導流及淤積等工法，同時配合野溪治理措施，如防砂、固床、整流等措施，以收土石流治理之宏效。其中，坡面水土保持措施部分已於「農藝篇」及「植生篇」中述及，而防砂、固床、整流等溪流整治措施亦於「工程篇」中詳述，故本章則側重於以攔阻、淤積、導流及緩衝林帶等為主之土石流相關治理工法。

2.1 土石流攔阻工法

土石流攔阻工法(Debris flow ckecking or capturing works)係通過攔蓄及(或)調節土石流攜出之土砂量，以降低流速、減少土砂流出規模及轉化土石流為挾砂水流之各種壩工，主要包括非透過性壩(non-permeability dam)、透過性壩(permeability dam)及部分透過性壩(partially permeability dam)等三大類型。非透過性壩係指傳統壩體無通透性能之防砂壩，透過性壩依其開口形式而有梳子壩(slit dam)、切口壩(opening dam)、鋼構壩(steel dam)、透水柵(bottom-screen dam)等之分，部分透過性壩為整合透過性及非透過性壩於一體，兼具了透過性及非透過性壩之機能。在這些壩型中，則以重力式防砂壩(即非透過性壩)、切口壩(含其演化變形而成之各種壩型，如梳子壩、鋼構壩、…等)、部分透過性壩等壩型較常用於治理土石流。

2.1.1 非透過性壩(重力式防砂壩)

一、定義

參考「工程篇」2.1 節防砂壩。

二、目的

非透過性壩多為典型重力式防砂壩，運用於土石流潛勢溪流治理時，其目的在於控制溪流上游土砂的流失，如圖 土 2-2-1 所示。一般而言，非透過性壩上游遭土砂淤滿之後，因提高溪床侵蝕基準面，進而鞏固其上游兩岸邊坡坡腳，從而抑制溪岸崩塌之發展及發生，減緩溪流土砂料源之供給，有效降低土石流的發生頻度和規模。此外，由於壩體上游淤砂坡度較原溪床坡度為平緩，同時流路展寬及壩翼攔阻等因素，亦能達到減勢及部分攔阻之效果。

因此，以治理土石流為主的非透過性壩(即重力式防砂壩)，適用於上游土石流發生段，以抑制土體崩塌及土砂流失為主。

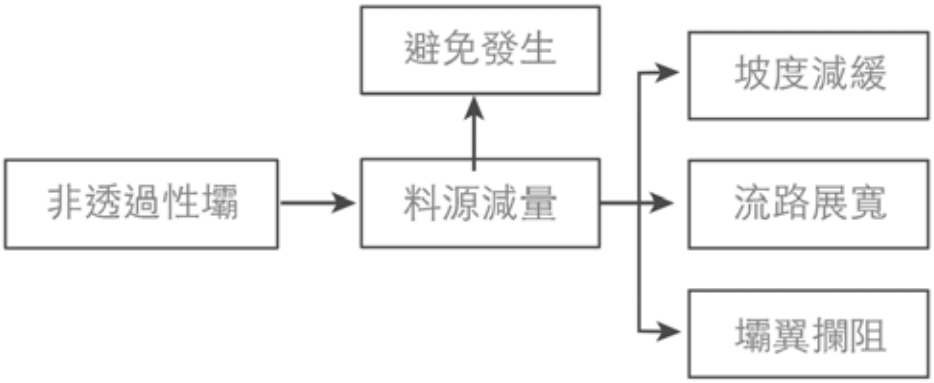


圖 土 2-1-1 非透過性壩治理土石流之性能(資料來源：水土保持局，2001)

三、各部圖說

參考「工程篇」2.1 節防砂壩。

四、壩址選擇

非透過性壩通常是被運用在溪流上游的土砂料源供給區，作為抑制土砂供給及重力侵蝕的主要工法，其壩址選定除了參照「工程篇」2.1 節防砂壩壩址選定原則外，還須特別注意：

(一) 壩址宜選在兩岸崩塌嚴重下游段、淤滿後溪幅展寬顯著…等區段，尤其在溪幅窄縮段(岩盤出露)之上游處，常有大量土砂崩落蓄積，是築壩的良好位址。

(二) 於溪流窄縮段築壩，存在過水斷面不足而無法安全排洩設計土石流流量之虞者，必須詳加檢算分析其各項水理因子。

(三) 考慮土石流直進特性，應避免將壩址設置於緊臨曲率半徑較小的彎道上游處，防止土石溢出。

(四) 兩岸高度不足之溪流段，不宜築壩。

五、設計原則

(一) 設計流程

參照「工程篇」2.1 節防砂壩。

(二) 溢洪口斷面

溢洪口斷面設計包括壩軸方向、位置、形狀及溢洪口保護等皆可參照「工程篇」2.1 節防砂壩進行設計，惟其溢洪口斷面尺寸則須特別考量土石流流況。

1.設計洪水量(Q_d)：以採用 50 年重現期設計降雨強度為原則，並考量水中含泥量可表為

$$Q_d = (1+\alpha)Q_p \tag{2.1.1}$$

式中，Q_d=設計洪水量(cms)；Q_p=清水流設計洪水量(cms)；α=水流中泥砂混合率，一般採用水流量之 5%～10%，最大值為 50%。

2.斷面計算公式：溢洪口斷面通洪能力計算，可以採用堰流公式，即

$$Q_d = 0.354 b_u (2+3\chi) h^{1.5} \tag{2.1.2}$$

式中，b_u=溢洪口斷面頂寬(m)；h=溢流水深(m)；χ=無因次寬度因子，可表為

$$\chi = b_o / b_u \tag{2.1.3}$$

式中，b_o=溢洪口斷面底寬(m)，$b_o \geq 3.0\ m$。當溢洪口斷面為矩形時，$\chi = 1.0$；當溢洪口斷面為三角形時，$\chi = 0$，且$b_u = 2\,h\,tan(\alpha/2)$($\alpha$=三角形夾角)。

3.溢流水深(h)：一般情形宜小於 3.0m，良好岩盤基礎時 4.0m。

4.出水高度(h_f)：可依設計洪水量或溪床坡度決定之，一般在 0.6m 以上，參照「工程篇」2.1 節防砂壩。

5.溢洪口斷面側邊坡度：一般取 1：0.5。

6.土石流設計洪水量：以能通過 50 年重現期設計降雨強度之土石流洪水量為原則，其計算公式可表為

$$Q_D = \frac{C_m}{C_m - C_d} Q_p \tag{2.1.4}$$

式中，Q_D=土石流設計洪水量；C_m=靜止床面泥砂體積濃度(=1-n_p；n_p =孔隙率)；C_d=土石流泥砂體積濃度。當壩體構築之後，其上游如屬淤滿狀態時，則須採用曼寧公式推估過壩水流之水深及通水斷面積

$$A_d R^{2/3} = \frac{nQ_D}{S_e{}^{1/2}} \tag{2.1.5}$$

式中，A_d=土石流過壩時之斷面積，與溢洪口斷面形狀及土石流溢流水深(h_d)有關，如圖 土 2-1-2；R=水力半徑(=A/P)；P=潤周；n=曼寧粗糙係數，土石流流況n ≈ 0.1；S_e=壩體上游淤砂坡度。

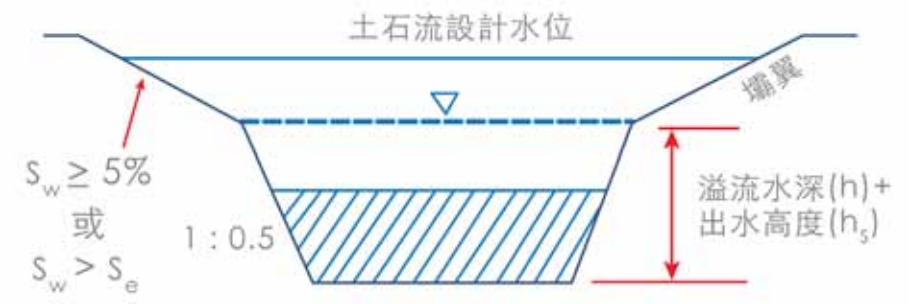


圖 土 2-1-2 土石流溢洪口斷面示意圖

(三) 壩翼

1. 頂面：為避免漂流木石塊撞擊而受損，壩翼頂面寬度可等於或略小於壩頂厚度，且上游面亦須採用緩衝材料(如輪胎)加以保護，如圖 土 2-1-3 所示。

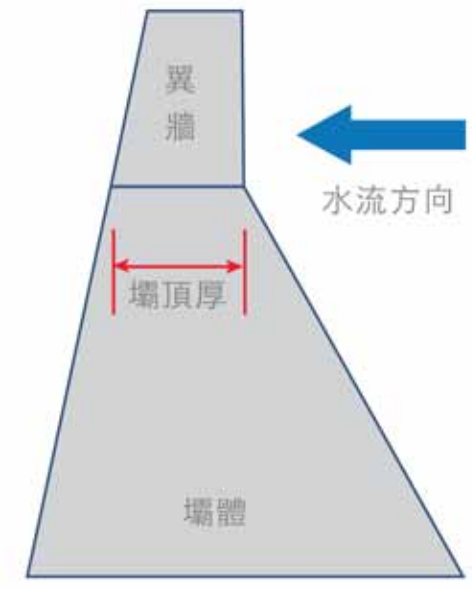


圖 土 2-1-3 防砂壩側視示意圖

2. 高度(h_k)：壩翼高度係指壩頂至壩翼頂面之高度，如圖 土 2-1-4 所示。考量土石流過壩時，遭到壩體攔阻之後會發生爬高效應，倘若兩岸高度不足，則可能造成土石溢出致災。為此，壩翼頂面與溪岸高度間必須保

留一定的安全高度，一般以不小於 1.0m 為原則。惟如溪岸附近無任何保全對象或負面衝擊時，不在此限。

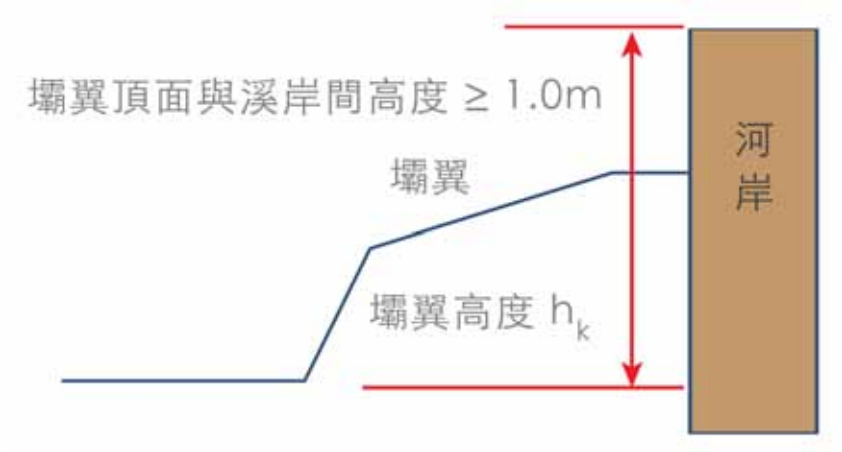


圖 土 2-1-4 壩翼頂面與溪岸高度之保留高度示意圖

3.坡度(S_w)：治理土石流時，壩翼應作成斜度，使壩翼斜度等於或大於計畫淤砂坡度($S_w \geq S_e$)，並向上斜至兩岸在以水平嵌入岸壁，惟其壩翼斜度不宜小於 5.0%，如圖 土 2-1-2 所示。

4.嵌入深度：考量土石流較大的衝擊力，其嵌入深度宜視兩岸地質而定，原則上不小於 1.5m。

(四) 壩體幾何設計

1.壩體作用力：與壩體安定有關的作用力，除了壩體自重、水壓力、土壓力、上揚力及地震力外，應特別考量土石流撞擊力作用，各作用力計算公式參照「工程篇」2.1 節防砂壩。一般，防砂壩高度在 7m 以下者，僅考慮洪水時靜水壓力的作用；壩高大於 7m 者，則分別考慮平常時及洪水時的各種作用力組合，如表 土 2-1-1 所示。

表 土 2-1-1 重力式防砂壩安定檢算考慮作用力一覽表

壩高	平常時(含地震時)	洪水時	土石流時
$5m \leq H < 7\ m$	～	靜水壓力、土壓力	靜水壓力、土壓力、土石流撞擊力(含流體與巨礫撞擊力)
$H \geq 7\ m$	靜水壓力、土壓力、上揚力、地震時壩體慣性力及地震時動態土壓力	靜水壓力、土壓力、上揚力等	靜水壓力、土壓力、上揚力、土石流撞擊力(含流體與巨礫撞擊力)

2.重力式防砂壩安定檢討：重力式防砂壩受到各種荷重作用下，必須滿足不傾倒、不滑動，有足夠的壩體應力及基礎承載力等條件始能維持安定，其檢討方式參照「工程篇」2.1 節防砂壩。

3.壩高：除參照「工程篇」2.1 節防砂壩外，應詳加考量：(1)淤砂線和壩址兩岸之高度是否足以防止土石流溢出；(2)壩址下游地質條件，是否足以抵抗土石流的直接撞擊和沖刷。

4.壩頂厚度：於土石流潛勢溪流之壩頂厚度介於 2.0m~4.0m。

5.壩體下游面及上游面斜率：

(1)為避免土石的直接撞擊，壩體下游面斜率以採用 1：0.2 至 1：0.3 為原則。

(2)壩體上游面斜率為與壩體體積相關之因子，其選定必須配合壩體安定檢算。一般作法是先行決定壩頂寬(或厚度)，經安定檢算後，在安全無虞且經濟的情況下，選定一適當上游面斜率值。

(五) 基礎深度(h_b)：

防砂壩基礎深度係按地質條件而定，如圖 土 2-1-5 所示。原則上以不小於 1.0m 為原則。

地盤土質	基礎深度(h_b ，m)
土砂	2.0 ~ 3.0
軟岩	1.5 ~ 2.0
硬岩	1.0 ~ 1.5

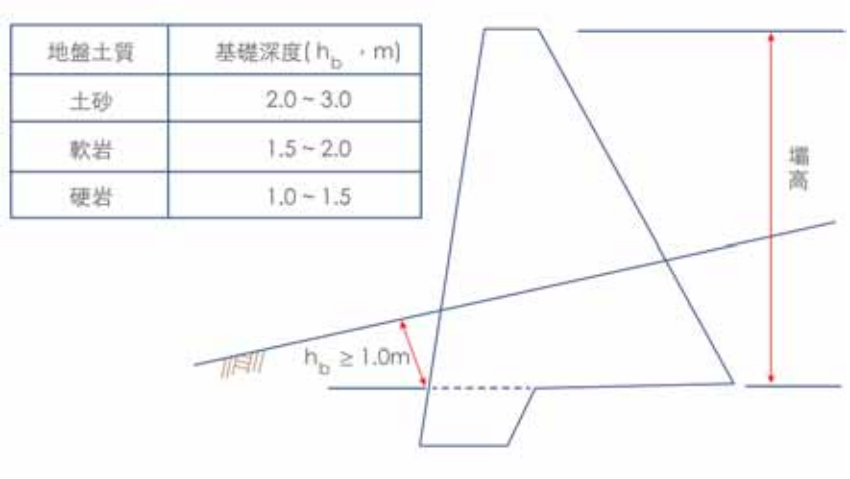
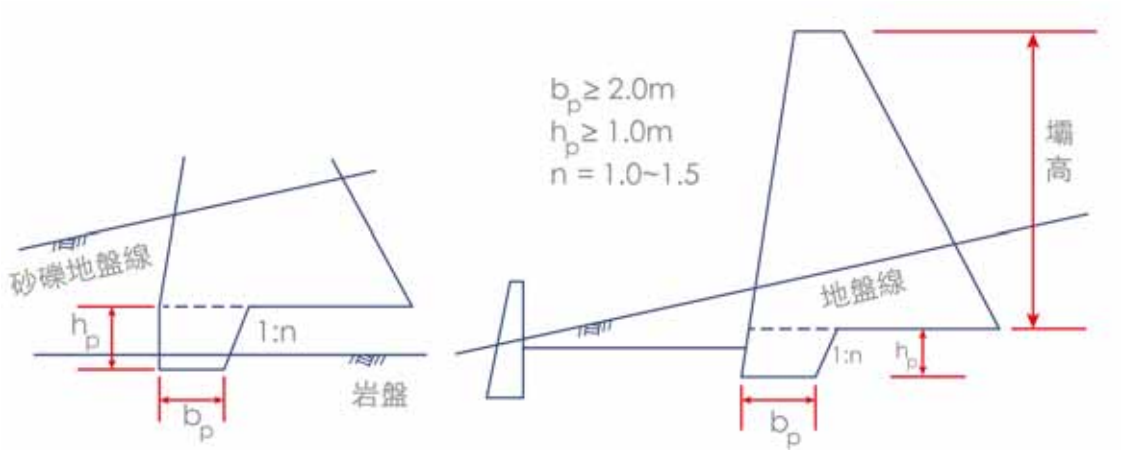


圖 土 2-1-5 基礎深度示意圖

(六) 基腳：

1.為防止滲流目的者，必須考量拉長滲流長度，其配置如圖 土 2-1-6(a)所示。

2.配合下游基礎保護工設置時，其配置如圖 土 2-1-6(b)所示。

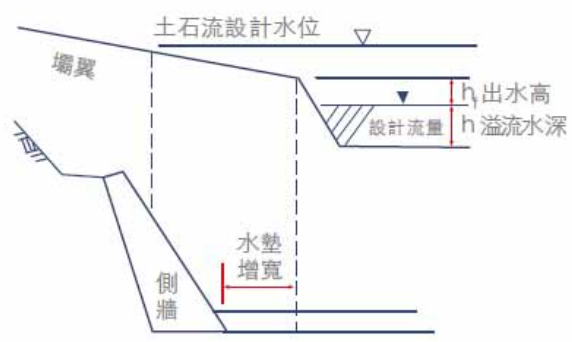


(a) (b)

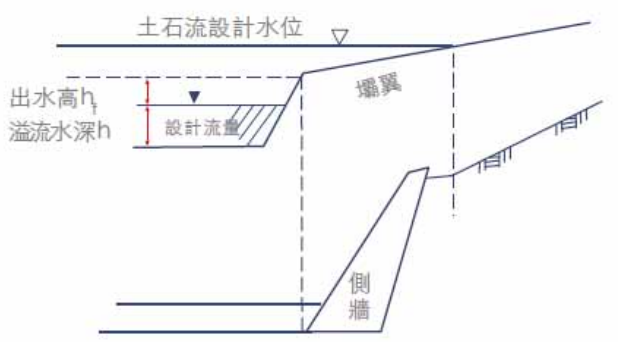
圖 土 2-1-6 基腳示意圖

(七) 基礎保護工(消能設施)

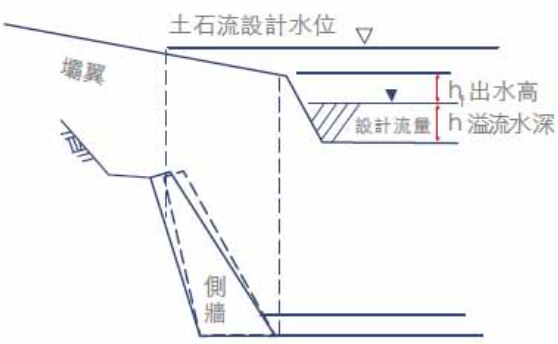
包括水墊、護坦及副壩等類型各部分設計方式，參照「工程篇」2.1 節防砂壩。不過，側牆配置宜考量土石流越壩後之衝擊，必須視實際狀況進行調整，如圖 土 2-1-7 所示。



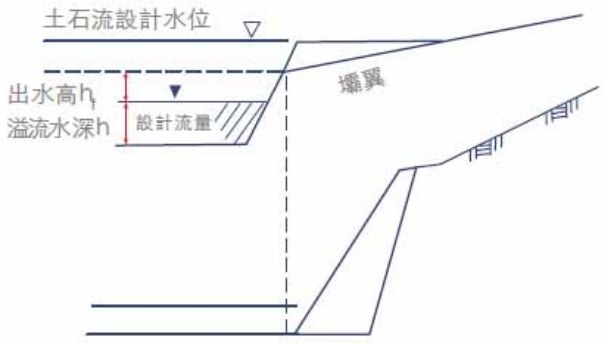
(a)下游基礎保護工增寬情況



(b)下游側牆背填保護情況



(c)下游緩坡側牆情況



(d)壩翼與土石流過壩水深同高情況

圖 土 2-1-7 側牆配置示意圖(資料來源：建設省河川局砂防部，1989)

(八) 最小斷面：

考量塊石、漂流木、…等異物阻塞而影響其功能，溢洪口宜有訂定最小斷面之必要，如圖 土 2-1-8 所示。圖中，溢洪口斷面底寬宜大於 3.0*m*，而壩頂至壩翼頂面高度宜控制在 1.0*m* 以上。

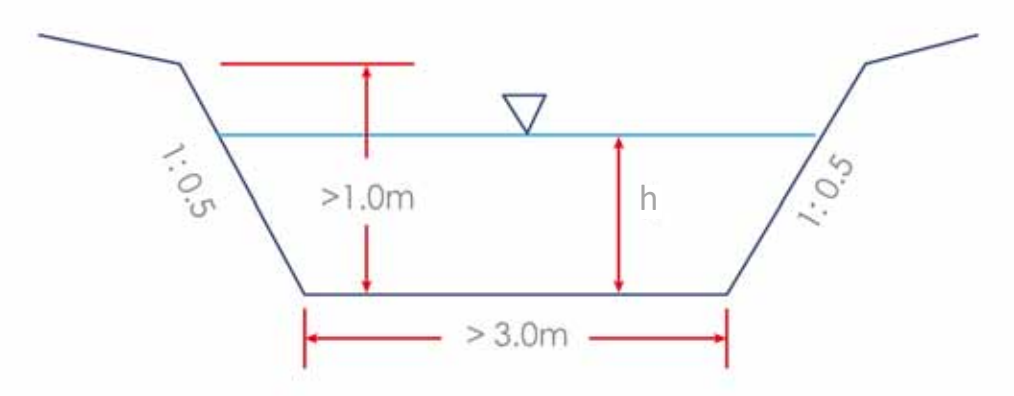


圖 土 2-1-8 防砂壩溢洪口最小斷面

六、治理效率

重力式防砂壩是一種非透過性的混凝土壩體，具有無選擇性地攔阻砂石之特性，其壩體上游貯砂容積易遭淤滿，往往在土石流發生的時候，因壩體上游貯砂空間已遭淤埋，無法透過攔蓄泥砂方式直接降低土石流流出規模；惟淤滿後的地形特徵對土石流流動存在兩個重要的影響，分別為：

(一) 坡度減緩：

根據調查當壩體上游淤滿之後，其計畫淤砂坡度 $S_e=(1/2\sim2/3)S_o$ (S_o = 原溪床坡度)，較原溪床坡度為緩和，可以有效地減緩土石流之流速，降低其衝擊力量，如圖 土 2-1-9 所示。

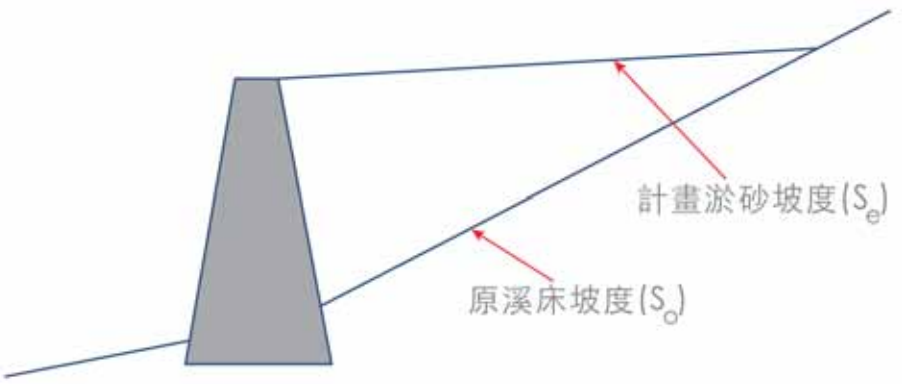


圖 土 2-1-9 防砂壩上游計畫淤砂坡度示意圖

(二) 流路展寬：

當壩體上游淤滿之後，因溪床面提高，造成溪幅展寬，使得土石流因流路展寬而致流深降低，阻力增加，從而減緩流動速度，甚至停積。

事實上，坡度減緩及流路展寬的地形條件，與溪流下游谷口扇狀地的地形特徵相類似，可以緩和土石流之流速和撞擊能量；加上壩體兩側翼牆對直進性特強的土石流具有一定之攔擋效果，且溢洪口斷面也較溪幅為小，造成過壩時土石流洪峰流量產生一定的變化。因此，在流路展寬和坡度減緩的綜合作用下，土石流過壩後洪峰流量可表為

$$Q_{DE} = \lambda_0 \frac{C_m - C_d}{C_m - C_{de}} \frac{Q_D}{B_E} b_o \qquad (2.1.6)$$

式中，Q_{DE} =土石流過壩後的洪峰流量；Q_D =未受壩體上游淤砂影響之土石流洪峰流量；C_{de} =土石流通過淤滿後溪床之泥砂體積濃度；B_E =壩頂處溪流寬度；b_o =溢洪口斷面底寬；C_m =靜止土體最大泥砂體積濃度；λ_0 =平衡流態修正係數，一般取$\lambda_0 = 1.0$。

2.1.2 透過性壩

一、定義

透過性壩(permeable-type dam)係指於非透過性壩(imrmeable-type dam，如重力式防砂壩)溢洪口處切出倒梯形或矩形的開口，並在開口處採用混凝土或鋼構材料以構成各種壩型。由於非透性壩在土石流過壩之反應和表現，可能無法完全滿足安全防禦之需求，故在一些以治理土石流為主的壩工設計，係以改善重力式防砂壩壩體通透性，讓平時一般挾砂洪流所攜出的土砂礫石可以自由穿過而不蓄積，俟土石流發生且通過時，可以有較多的餘裕容積，蓄積土石流所攜出的大量土砂，達到消減土石流規模之目的。

二、目的

透過性壩係於土石流通過時，由壩體上游的有效貯砂空間，適時發揮攔阻土砂和延遲流出時間之效果，以避免土石流的發展和致災規模，因而具有下列各項功能，如圖 土 2-1-10 所示，包括：

(一) 攔阻土石流或巨大岩塊，不僅可減少流出土砂量，亦能使流出土石顆粒變小(規模消減)。

(二) 調節土石流及高含砂流之土砂輸出量(規模消減)。

(三) 延遲土石流或高含砂流流出扇狀地之時間。

(四) 補捉漂流木，防止溪床淤積物移動。

(五) 轉化土石流成為一般挾砂水流(流態轉化)。

(六) 壩體需經常維持通透，不阻礙水流正常的流出和魚類生物之上溯，對溪流生態棲地環境之影響相當輕微。

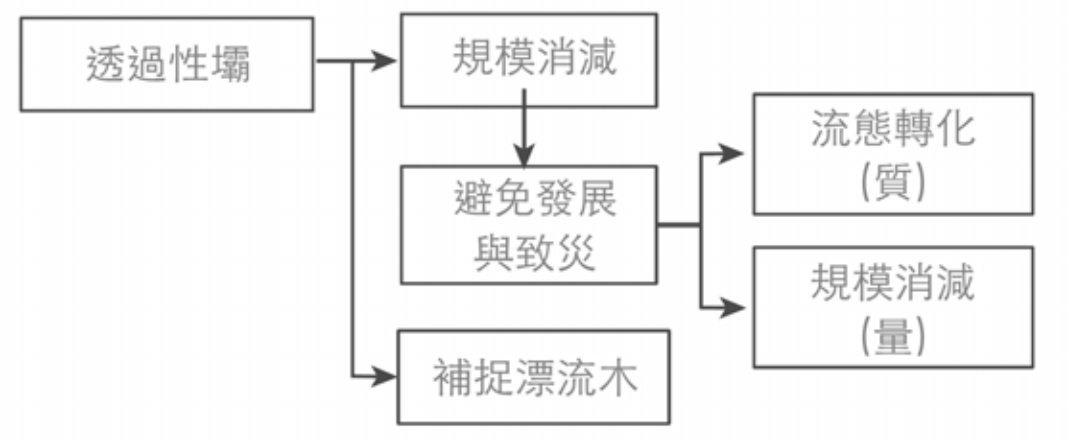


圖 土 2-1-10 透過性壩治理土石流之性能(資料來源：水土保持局，2001)

三、種類及適用範圍

透過性壩具有多種型式，如表 土 2-1-2 所示。表中，給出了比較常用之透過性壩，惟其基本型態皆由切口壩演化變形而來。其中，於切口壩開口以鋼構件組立形成某特定壩型，稱為鋼構壩。此類型壩體除了具有調節攔蓄泥砂輸移機能外，亦能攔阻漂流木流出下游。鋼構防砂設施具良好之防減災效果、符合保護生態環境及節能減碳等特點，且鋼製品強度大、撓曲度高，其形狀及尺寸選擇性多元化，材料重量較小、易於組裝與施工等優點，相當適用於土石流潛勢溪流。但是，易受土石撞擊而變形、土石嵌入壩體內不易清除(如格子壩)、日常防銹作業必須確實、維護作業繁雜等為其主要的缺點，故在應用時宜審慎考量之。

表 土 2-1-2 各類型透過性壩及其適用範圍一覽表

類型	適用範圍
 切口壩	1.適用於溪幅較寬之溪流，具有引導水流之功能。 2.切口寬度較具彈性，適用於床質粒徑較大之溪流，不易遭土石淤滿，使壩體上游維持部分空庫狀況。 3.開口較大，易於清疏。 4.因束水攻砂效應，下游溪床易有局部沖刷問題，宜加強基礎保護之設計。
 梳子壩	1.於切口壩開口處以多支混凝土柱所構成，故柱體間之開口小於切口壩開口，惟總開口寬度多大於切口壩。 2.具有分散水流之功能。 3.易遭土石阻塞，須配合便道或溪底路，以便清疏，維持庫容。 4.雖具分散水流功能，惟水流通過個別開口時，因束水效應而使下游側產生局部沖刷，宜加強其基礎保護之設計。
 A 型梳子壩	1.於切口壩開口處以多支 A 字型鋼材組立而成之透過性壩，適用於多漂流木之溪流。 2.可於現地或預先組立，視現地施工條件而定。 3.可於非透性防砂壩溢洪口設置，具有攔阻雜物及漂流木之功能。 4.易遭異物阻塞及鏽蝕，必須經常性維護。 5.水流穿過壩體時，因受鋼柱間相互干擾及束水效應，其下游側易生局部沖刷問題，宜加強其基礎保護之設計。
 格子壩 (資料來源：鋼構防砂設施本土化可行性評估與設計手冊彙編，水土保持局，2013)	1.於切口壩開口處以鋼材組立成立體格子狀之透過性壩，適用於多漂流木之溪流。 2.可於現地或預先組立，視現地施工條件而定。 3.可於非透性防砂壩溢洪口設置，具有攔阻雜物及漂流木之功能。 4.易遭異物阻塞及鏽蝕，必須經常性維護。 5.水流穿過壩體時，因受鋼柱間相互干擾及束水效應，其下游側易生局部沖刷問題，宜加強其基礎保護之設計。

四、各部圖說

(一) 切口壩：

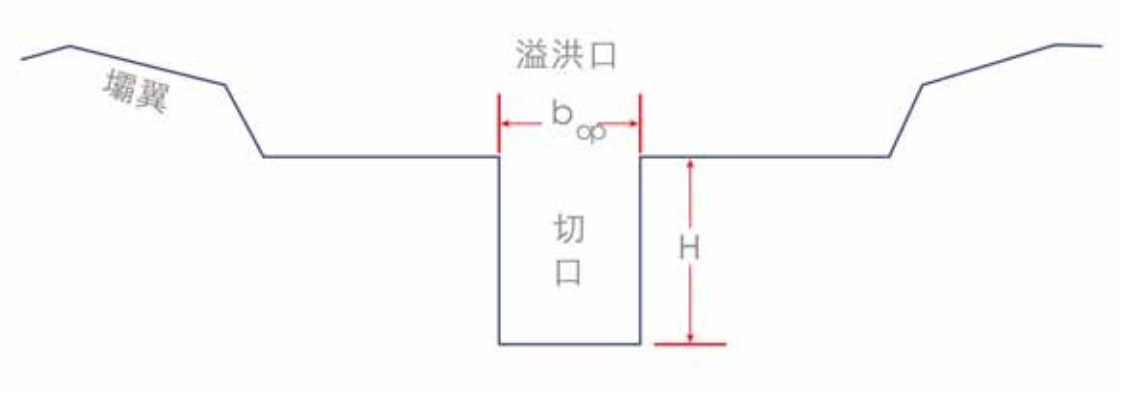


圖 土 2-1-11 切口壩各部名稱示意圖(資料來源：水土保持局，2001)

(二) 梳子壩

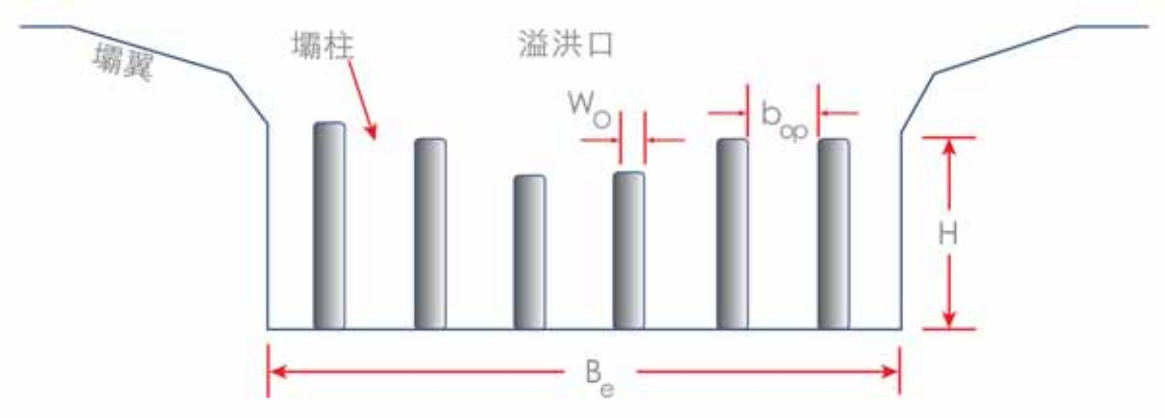


圖 土 2-1-12 梳子壩各部名稱示意圖(資料來源：水土保持局，2001)

(三) 格子壩

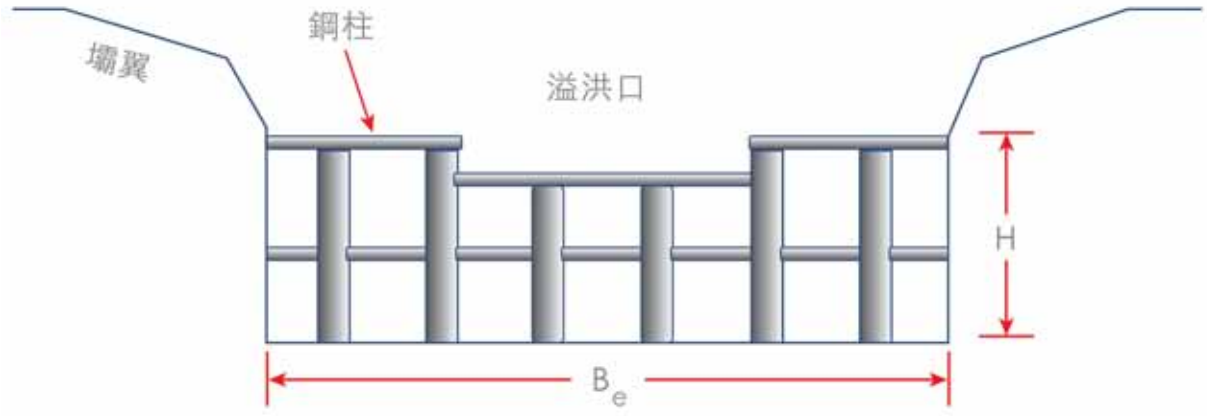


圖 土 2-1-13 格子壩各部名稱示意圖

五、壩址選擇

(一) 切口壩

1.宜設置於土石流流動段坡度平緩處，可以取得較大貯砂容積之區段，為理想之壩址。

2.土石流具有直進性，宜選擇在彎道尾段或開闊地段，借助地形消能，減輕土石流對壩體的直接撞擊；若在順直溪段上設壩時，應注意土石流撞擊力對壩體之影響。

3.因具束水攻砂效應，對下游具有強烈之沖刷趨勢，除了不宜設置於上游發生段或坡度較陡峭之溪段外，壩址亦須具有較好的地質條件，兩岸基岩出露者為佳；如無適當地質條件配合，必須加強壩體下游基礎保護工(消能設施)(以副壩、系列固床工為主)，防止過壩高速水平射流(horizontal jet)的強烈沖刷。

4.配合壩體上游土砂淤滿之後的清疏作業，如無便道或溪底路可及，原則上是不適宜築壩的。

(二) 梳子壩(含鋼構壩)

梳子壩壩址選擇的一般原則，與切口壩基本是相同的，惟必須慎重考量梳子壩對水流的阻滯效應和過壩水流土砂粒徑組成之影響，而加以考量：

1.因總開口寬度(或稱狹縫密度，slit density)(=$\sum b_{op} / B_e$)可以高達50%以上，對水流阻滯程度低於切口壩，水流在壩體及其下游處所引起之局部沖刷現象，易於控制。因此，在治理配置上，梳子壩適用於流量較大的流動段。

2.因梳子壩相對開口寬度較切口壩為小，越是粗大的礫石越不容易穿過，使得過壩水流中粗大礫石之含量低，不僅易於輸送導流，對下游區域的威脅性亦能有效地降低，故相當適用於下游且接近谷口的溪段上。

六、設計原則

透過性壩與非透過性重力式防砂壩的最大差異是，壩體上具有一定寬度之開口，並足以讓洪水挾砂自由流出而不淤積。因此，本壩型壩體幾何設計時，除了開口尺寸外，其餘相關設計要素及原則，皆可直接引用「工程篇」2.1 節防砂壩及本章「2.1.1 節非透過壩設計原則」進行設計。

(一) 壩體開口

1.開口寬度：透過性壩開口寬度必須滿足：

(1)土石流發生前壩體上游應盡量維持空庫狀態；

(2)土石流過壩之後，將部分土砂予以攔阻，使排出壩體的土砂不具有土石流流動性狀及危害性。

換言之，壩體開口寬度不宜太大，否則無法有效攔蓄並轉變土石流流況，惟亦不可太小，避免壩體上游貯砂容積縮減而影響攔阻效能。因此，壩體開口寬度可參考下列公式設計之，即

$$\frac{b_{op}}{D_E} < 1.5\sim2.0\text{(土石流流況)} \tag{2.1.7}$$

式中，b_{op}=透過性壩壩體開口寬度；D_E=設計粒徑，除了可以參照本章「1.2.6 節土石流巨礫設計粒徑」外，亦可應用一般洪水流況下之溪床泥砂起動公式，即

$$\frac{\gamma_w h_0 S_0}{(\gamma_s - r_w)D_s} = \eta\text{(一般洪水流況)} \tag{2.1.8}$$

式中，h_0 =一般洪水水位，宜採 50 年重現期洪水位設計；S_0 =溪床坡度； η =常數(=0.045~0.06)；r_w =液體單位重；γ_s =固體泥砂顆粒單位重；D_s =一般洪水流作用下，溪床可起動之最大泥砂顆粒粒徑，令D_s=D_E，代入式(2.1.7)可得壩體開口寬度b_{op}。

2.透過性壩因束水效應而提高了過壩水流之局部動能，使下游側溪床易生局部沖刷問題。因屬水平射流沖刷，相較於非透過性壩之跌水射流沖刷，具有較長的沖刷範圍及沖刷深度較小之特點。其中，水平射流流速可依連續性方程式(流速=流量/斷面積)推估之。

3.開口位置：開口位置以位於溪幅中央為原則；兩岸基岩性質不同，或一岸為非岩盤時，開口宜偏向堅硬岩盤岸；開口之設置，須使水流遠離溪岸崩塌地。

(二) 壩體各部斷面設計：

包括溢洪口斷面、壩翼、壩體幾何、基礎深度及基腳等，均可直接參照本章「2.1.1 節非透過壩設計原則」。

(三) 安定檢討：

透過性壩體宜考量在壩體上游部分淤積及完全淤滿時，分別檢討在平常時(含地震)、洪水時及土石流時等三種情況下，受到各種外力作用之安定性，如表土-2-1-1 所示。

(四) 基礎保護工(消能設施)：

下游因束水攻砂而易有溪床局部沖刷問題，必須實施副壩、系列固床工等各種保護工，防止下游溪床局部沖刷擴大而危及壩體安全。

七、注意事項

(一) 因攔蓄土石流而淤滿其上游庫容後，必須適時移除淤積的土石，力求恢復透過性壩之功能。

(二) 開口寬度端視土石流性質而定。一般切口壩開口寬度以大於 2.0m 為原則，除了可以避免於土石流發生前壩體上游有效貯砂容積遭土砂淤積而減少外，亦有利於壩體上游淤積土砂的移除作業。

(三) 實施系列透過性壩時，其開口宜自上游向下游逐漸減小，構成類似多層篩網之功能。

(四) 為發揮攔阻土石流之功效，宜考量採用系列透過性壩之整治規劃。

(五) 透過性壩雖然對土石流具有很好的攔阻減勢之效果，以及可避免對溪流水域生態通道之縱向阻隔,但是因須經常性保持未淤積土砂之空庫狀態，而喪失一般非透過性壩攔砂、防砂及調砂之功能，甚至洪水時過壩水流因束水而增加動能，導致壩體下游嚴重之沖刷現象。因此，在設計時必須審慎考量，倘有維持生態通道之需求，可以考慮於非透性壩體採用內嵌式魚道等補償措施，以避免防砂功能之降低。

2.1.3 部分透過性壩

一、定義

部分透過性壩(partially permeability dam)係指在非透過壩溢洪口上採用混凝土或各種鋼構材料構築具有通透性之構造形式，使之兼具非透過性壩和透過性壩之優點，如圖 土 2-1-14 所示。圖中，下半部分為非透過性重力式防砂壩，其上游處於土砂淤滿狀態，具備一般防砂壩的各項功能；而上半部則以切口壩或梳子壩為主體，再與各種鋼材組立而成為透過性壩，其上游必須保持空庫，以發揮抑制土石流持續發展之功能。



圖 土 2-1-14 雲林縣華山溪部分透過性壩

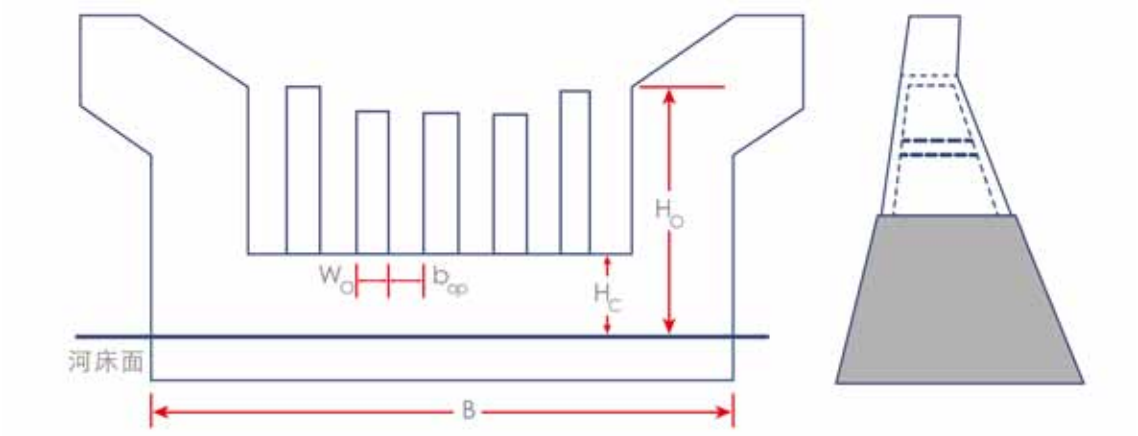
二、目的

由於部分透過性壩兼具非透過性壩和透過性壩之優點，不僅可以通過非透過壩於短期間內取得穩坡固床之效果，減緩溪床坡度及土石流流速，降低對透過性壩之直接撞擊力，同時可以利用透過性壩攔粗排細之特點，維持一定的貯砂容積，以攔蓄土石流及補捉漂流木，達到減災防災之目的。

三、適用範圍

部分透過性壩係在非透過性壩基本防砂效能之基礎上，額外運用透過性壩對土石流流態轉化及規模消減之性能，以獲得雙重的治理成效。因此，本壩型適用於一般野溪及土石流潛勢溪流，同時也適用於溪流之中、上游段，達到抑制土砂料源及攔阻土石流出之雙重效益，且能因應現地條件彈性調整透過性壩體型式，具有高度因地制宜之特性。

四、各部圖說



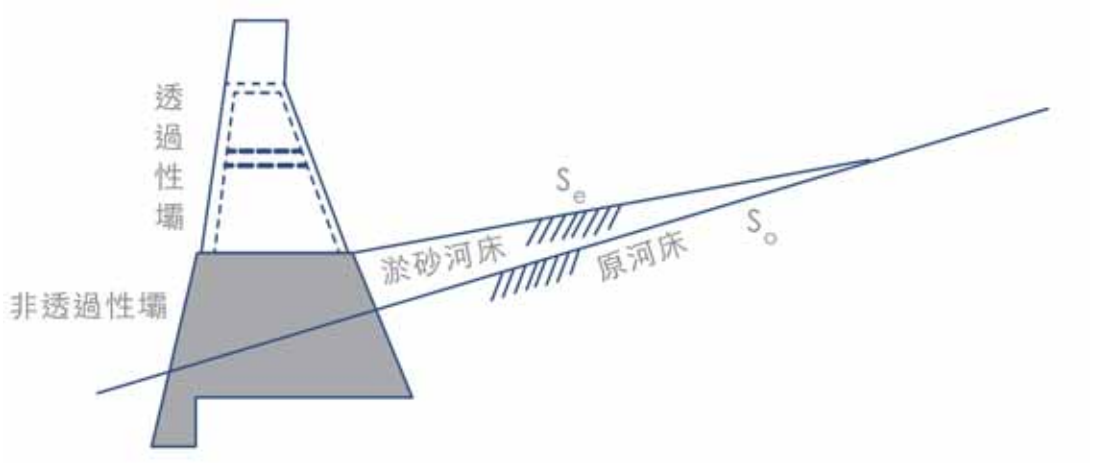


圖 土 2-1-15 部分透過性壩示意圖

五、壩址選定

由於本壩型兼具非透過性壩和透過性壩之特點，其壩址選定可直接參考非透過性壩和透過性壩之壩址選定原則。

六、設計原則

參照本章「2.1.1 節非透過性壩(重力式防砂壩)」及「2.1.2 節透過性壩」。

七、注意事項

(一) 因上半部透過性壩具有束水及濾砂效果，從而提升過壩水流動能，增加對下游溪床局部沖刷之威脅。因此，除了必須加強壩下游基礎保護工外，下半部非透過性壩有效壩高亦不宜太高，避免壩下游局部沖刷問題而危及壩體安全。

(二) 應有便道可及，配合清疏作業需求。

2.1.4 透水柵

一、定義

透水柵(infiltration screen)係指由多支鋼構材料規則地排列形成條狀縫隙，且沿著溪床或近似水平方式布設的一種透水性構造物，常與非透過性壩共構。

二、目的

透水柵類似平舖於溪床上之梳子壩，其目的在於抑制土石流的發展和減少土砂流出規模，以降低對保全對象之安全威脅。透水柵的作用原理，係當土石流流經其上時，其部分水體自高透水性之柵縫間流出，表現為水、砂分離的快速脫水現象，此時土石流泥砂體積濃度會瞬間拉高，加上透水柵多數沿著溪床近似水平布設，在勢能極為有限的情形下，致使運動中的土石流如同緊急煞車

般地在柵的上方停積下來，即便有部分的土砂持續流向下游，其規模亦已被明顯地削弱。

三、適用範圍

受限於透水柵的布設方式，通常僅適用於土石流潛勢溪流之流動段，且需具備落差集中的地形條件。因此，常與非透過性壩共構，除了可以取得與溪床間的一定落差外，更能將通過壩體土石流的水、砂予以分離和停積，提升非透性壩抑制土石流之效能。此外，透水柵因多採近似水平布設，不僅兼具梳子壩對土砂之攔粗排細功能，且可以避免土石流的直接撞擊，在一些溪床坡度較為陡峭，且塊石顆粒較為粗大的土石流潛勢溪流，是相當實用的一種土石流控制工法。

四、各部圖說

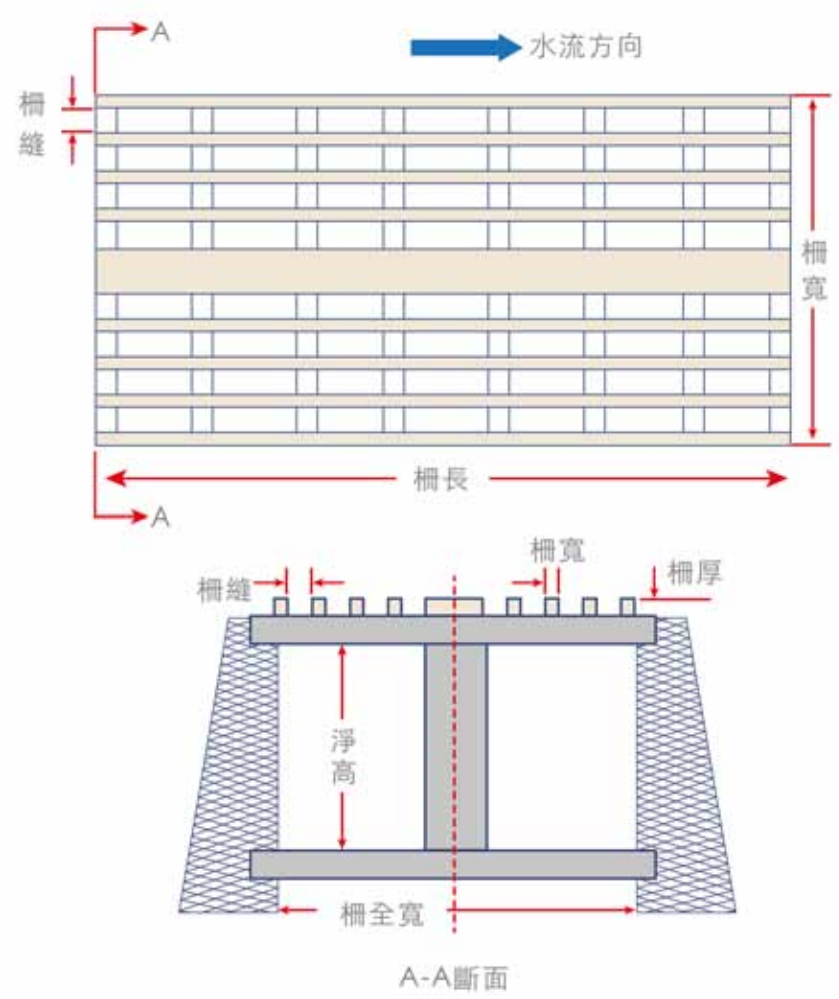


圖 土 2-1-16 透水柵示意圖

五、設計原則

透水柵主要是利用鋼構件排列成具有高透水性的多個縫隙,將土石流的水、砂予以分離和停積，並讓停積的土砂堆置於柵上。因此，透水柵的設計重點，包括柵縫寬度、鋼柵與溪床落差及下游溪床保護工等。

(一) 柵縫寬度：透水柵縫隙寬度必須滿足

1.土石流通過前，柵上不可淤積砂石或使縫隙阻塞，故柵縫寬度不宜太小。

2.土石流通過時，縫隙寬度足以將土石流中的水、砂予以分離，使大部分的水體及少量的土砂穿過柵縫流出，大部分的土砂則停積於柵上，故柵縫寬度不宜太大。

為符合上述條件，柵縫寬度應大於一般挾砂洪流可攜出的最大粒徑[即式(2.1.8)]，但小於土石流設計粒徑，即柵縫寬度(b_{bs})應介於$D_s \sim D_E$之間。D_E及D_s之推估，參考本章 1.2.6 節及式(2.1.8)。

(二) 柵長：

透水柵長度決定於土石流流出土砂量及預估攔蓄土砂量之關係，且與溪流地形及使用鋼材材質有關。原則上，考量停積空間和荷重因素，其長度約介於溪幅寬度的 2～3 倍之間，惟不短於 10m，也不大於 50m。

(三) 柵面全寬：

柵面全寬約等於或略寬於溢洪口斷面寬度。

(四) 鋼柵：

鋼柵宜採用高強度 H 型鋼，且以螺栓與混凝土接合。

(五) 淨高：

與溢洪口切齊，其淨高約為壩體有效高度。

(六) 安定檢討：

透水柵係平舖以近似水平或順著溪床坡度而布設，除了停積土石的靜止載重外，不考慮土石流撞擊力，且因鋼柵與土石流接觸面極小，土石流剪力作用亦可忽略之。

(七) 基礎保護工(消能設施)

由於透水柵與非透過性共構,或可視為非透過性壩下游側之附屬構造物，故基礎保護工須依非透過性壩之設計原則辦理之。

六、注意事項

(一) 雖然高強度鋼構材料具有自重輕、材料均勻、尺寸形狀彈性大、製作簡便等優點，惟必須注意其耐腐蝕性差、耐熱但不耐火、低溫等條件可能發生脆性斷裂等問題，宜加強鋼材的維護工作。

(二) 所有螺栓皆應採用高強度螺栓，其規格應符合 CNS 或 ASTM 或 JIS 之規定。安裝螺栓前應將構件表面之鐵銹、鱗皮、污泥及油垢等徹底清除，俾構件接合面具有適宜之摩擦係數。螺栓應小心保護，不得損傷螺牙，已使用過或帶有傷痕銹蝕者，不得再用，其有污泥、油垢者，使用前須清除乾淨。

(三) 鋼材依現場條件檢討，進行防銹及防蝕之塗裝。

(四) 鋼構材建置後須要定期檢查，以確保能充分發揮功能，並在土石流通過後進行檢查，當早期發現異常時，須進行清疏等必要措施。

(五) 應用透水柵最大的問題，除了於柵面上不易清除淤積的土砂外，因土砂停積在柵上必然影響後續水流之暢通，或土砂持續回淤，或水流被迫改道，均可能引發其他負面的衝擊，在運用時必須格外慎重。

2.1.5 清疏計畫

透過性壩(含透水柵)治理土石流的基本要素，係壩體上游維持空庫狀態，以備土石流通過時可以攔蓄大量的土砂，以消減土石流流速及其攜出的土砂量，藉以轉化土石流成為一般挾砂水流。因此，當壩體因某些因素而蓄積土砂時，必須採用適當方法將之移除，以保持經常性地的空庫狀況。一般，為維持透過性壩對土石流的治理效益，在構築透過性壩時應預留必要的施工道路或利用溪床作為施工便道，以利清疏。

2.1.6 參考文獻

建設省河川局砂防部砂防課(1989)，「土石流対策指針(案)」。

行政院農業委員會水土保持局(2001)，「土石流防治工法之研究評估」。

行政院農業委員會水土保持局(2013)，「鋼構防砂設施本土化可行性評估與設計手冊彙編」

国土交通省砂防部(2016)，「砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策 編）解説」。

国土交通省砂防部(2016)，「土石流・流木対策設計技術指針解説」。

張敬昌(2003)，「平面透水柵對渠床沖刷及土石流防治之研究」，中興大學水土保持學系博士論文。

矢澤昭夫、水山高久、森田昭宏(1986)，「土石流を制御する構造物に關する實 驗」，土木技術資料，28(8)，pp. 403-408。

林忠義(1999)，「透水柵調節土石流之機制研究」，逢甲大學土木及水利研究所碩士論文。

連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版社。

2.2 土石流淤積工法

2.2.1 定義

土石流淤積工法(Debris flow depositing works)係指以人為措施或自然地形條件將土石流沖出之土砂予於沉積的一種控制工程。一般，常採用沉砂設施(storage basin)作為土石流的主要淤積工法，如圖 土 2-2-1 所示。

2.2.2 目的

土石流淤積工法主要是以龐大的容積蓄積土石流沖出的土砂，使之不再持續流動，只允許部分無礙安全的含砂水流流出，達到土砂減量和停積之效能，以減少對下游保全對象及設施之危害。

2.2.3 適用範圍

一般，土石流淤積工法適用於地面開闊且地勢平坦的地形條件，包括土石流潛勢溪流流動段及下游淤積段之寬平地形。不過，流動段常受到地形上的限制，少有適當位址可以施作淤積工法，而多數淤積工法皆設置於土石流潛勢溪流下游扇狀地上。

土石流潛勢溪流下游淤積段多為寬平之扇狀地，向為耕地、聚落及各項設施的集散區，使得容許實施沉砂設施的土地空間通常都相當有限，對於規模較大的土石流難以發揮其淤積減災之效能。因此，在規劃時宜先行評價發生段 流動段辦理之各項保育治理措施之成效，估算其可能的流出土砂量，據以估算所需之最小土地面積；倘若土石流流出土砂量大於沉砂設施容積，須持續加強溪流之保育治理，否則不宜採用之。

2.2.4 設計原則

沉砂設施設計流程，如圖 土 2-2-1 所示，包括地點選定(參考適用範圍)、土石流流出土砂量(V_{SF})、貯砂容積及範圍(依現地條件估算)、堤岸及固床工設計(參考工程篇)、清疏計畫(參考 2.1.5 節)及附屬設施等。其中，土石流流出土砂量可參考 1.2.4 節估算之，惟須考量各種攔阻工法所減少的土砂量，倘無法具體推估其減少土砂量體時，則建議視攔阻工法規模採用(0.5～0.7) V_{SF}計算之。不過，土石流淤積工法宜根據當地具體情況因地制宜，沒有一定的規律可循，如圖 土 2-2-2 皆為因應現地地形及構造物分布而規劃施作之各種土石流淤積工法。

特別注意的是，實施淤積工法時，其上游側土石流潛勢溪流應已完成一定程度的工程治理措施，使流出土砂規模降低，才能獲得具體之治理成效。

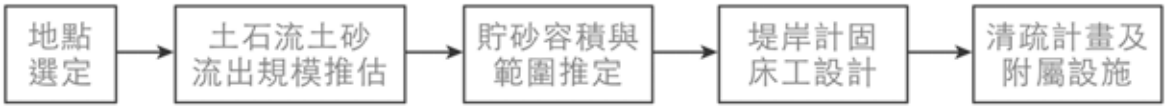


圖 土 2-2-1 土石流淤積工法設計流程

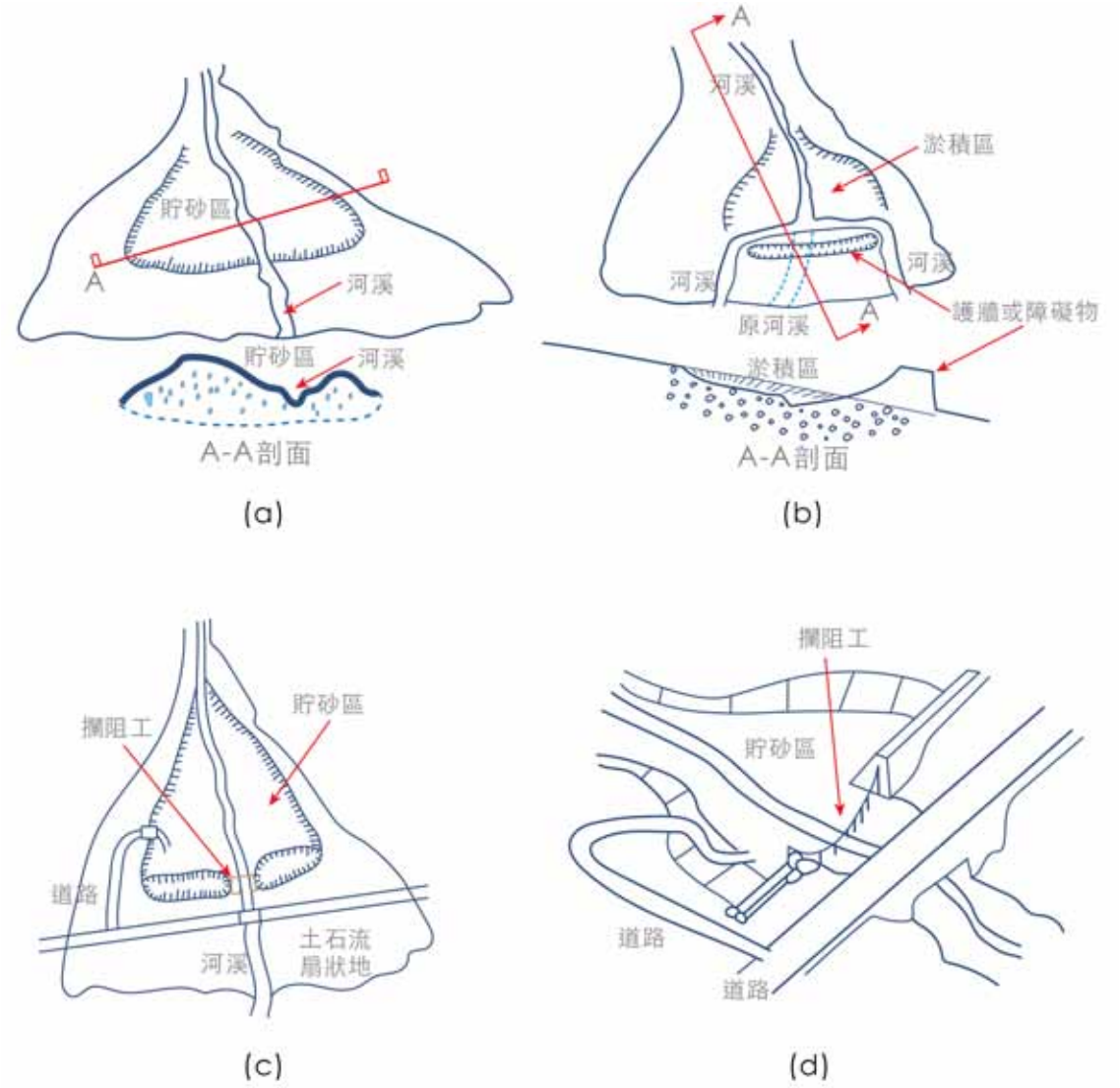


圖 土 2-2-2 土石流各種淤積工法(資料來原：VanDine, 1996)

2.2.5 注意事項

一、沉砂池形狀和容積應以參考當地地形，設計出適當的形狀和足夠的容積。

二、通常將沉砂池與導流渠道共構。平時及洪水時，以輸送洪水為主；當土石流流出時，可發揮沉砂和導流之功能。

三、沉砂池內坡度宜緩和，且其上游處(入口附近)底床坡度應較下游處為高。

四、計畫淤砂量可依計畫淤砂坡度及沉砂池形狀和容積推求之。

五、沉砂池內輸洪渠道應設置整流工程予以保護；出口處宜設透過性壩，以攔粗排細，避免下游導流渠道發生土砂淤積而致災情事。

六、當沉砂池淤積大量土砂後，應盡速清除淤積砂石。

七、為配合砂石清除工作，沉砂池設計時需考量設置工作便道。

2.2.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2001)，「土石流防治工法之研究評估」。

行政院農業委員會水土保持局(2013)，「鋼構防砂設施本土化可行性評估與設計手冊彙編」

建設省河川局砂防部砂防課(1989)，「土石流対策指針(案)」。

VanDine, D. F.(1996) “Debris flow control structures for forest engineering,” Province of British Columbia, Ministry of Forests Research Program, pp. 08.

2.3 土石流導流工法

2.3.1 定義

土石流導流工法(Debris flow training works)係指利用渠道或導流堤(training wall)引導土石流安全無礙地排出的一種控制工程，如圖 土 2-3-1 所示。

2.3.2 目的

導流工法係將土石流攜出之大量流出土砂有效地導引至下游安全地區，而不致淤積或泛濫成災。例如，於土石流潛勢溪流沿岸或下游扇狀地保全對象聚集區域，可以採用導流堤控制土石流溢流土砂遠離保全對象，以策安全；或於沉砂設施下游側實施導流渠道，將含砂濃度較低的土砂流予以安全排出。

2.3.3 適用範圍

導流工法常應用於：(1)土石流潛勢溪流輸送段無適當壩址之河段；(2)下游扇狀地(淤積段)；(3)沉砂設施下游出口；或(4)扇狀地沒有足夠的空間興建沉砂設施(以採用導流堤為主)等狀況下，單獨或配合其他設施興建，以有效排導土石流。除了導流堤外，導流渠道必須要有相應的地形條件和下游主流輸砂能力的配合，而不是任何地方皆可奏效的。一般而言，當坡度較為陡峻的地區，導流渠道輸移泥砂的能力較佳；反之，在坡度平緩的地區，其輸移能力就會顯著地降低。然而不巧的是，溪流下游扇狀地(淤積段)通常都是坡度比較平緩的地區，這就為該地區設置導流渠道帶來一些困難。

為了保證導流渠道安全輸送土石流或高含砂水流而不致淤積泛濫，導流渠道適用於下列兩種情況，即：

一、土石流業經整治

受到地形條件的限制，溪流下游扇狀地的地形坡度多不利於輸送高濃度的土石流，故在土石流到達之前，應先行採用一些攔阻工法，使其泥砂體積濃度和土砂輸出量得以降低，以利於泥砂的輸移。為此，配合導流渠道之應用，其上游攔阻工法設計時必須滿足以下兩個條件，即

(一) 過流能力：

通過壩體的水流流量(可能為土石流或一般挾砂水流)≦導流渠道排洪量；

(二) 過砂能力：

通過壩體的石塊最大粒徑≤導流渠道最大輸移粒徑；

上述兩項條件提供了導流渠道應用之基本需求，也為攔阻工法設計之依據，即土石流潛勢溪流各攔阻工法之計畫攔蓄土砂量體，宜以其下游扇狀地不致造成危害的土砂流出規模為原則；假如溪流下游扇狀地沒有適當的地形或土地條件配合設置沉砂設施或導流渠道，則讓大部分的土石流土砂量蓄積於溪流系列壩上，以抑制土石流發展之設計理念，是有其必要的。

二、地形坡度條件適當

底床坡度是導流渠道安全輸移泥砂之保證，亦即必須取得一定的底床坡度，始能達到預期的設計目標。

三、出口應高於主流河道

除了輸送段上的導流渠道外，在扇狀地上修築導流渠道時均應延伸至下游主流之匯流口，以便將大量砂石固體物質直接送入主流帶走，否則末端淤積堵塞仍會向上游回淤而影響渠道導流效果。然而，經由導流渠道流至匯流口的土砂不會立即被主流帶走，它們之間存在著時間上的不連續問題。因此，為了防止土石流排導過程的回淤頂托，導流渠道末端出口標高應高於主流底床，使其留有一定的砂石貯存空間，淤積一時來不及為主流帶走的砂石。

2.3.4 設計原則

導流渠道能夠連續輸移上游洪水量及土砂量的主要的關鍵點，在於：(1)上游水流或土石流入流條件；(2)渠道縱坡；(3)斷面尺寸；及(4)下游出流條件等四個因素。只有滿足這四個重要因素，始能讓土石流或一般挾砂水流在渠道內不淤、不堵、不溢流。

一、導流渠道坡度

決定泥砂輸送能力的首要因素是渠道之縱坡，但這經常是土石流潛勢溪流下游淤積段構築導流渠道最難以克服的一項自然因素。土石流自溪流輸送段捲起大量土砂在一定的溪床坡度向下游運動，理論上它是可以維持不沖不淤的理想流況，惟若遇有坡度趨緩之地形條件時，除非水流中的泥砂落淤，降低含砂量，否則是無法作持續性的運動；換句話說，導流渠道設置的先決條件，乃土石流必須經由一定的工程治理程序來降低其泥砂含量，否則以淤積段縱坡小於輸送段的實際情況，是無法讓土石流順利通過的。

假設導流渠道上游係以土石流流態入流，且其泥砂體積濃度C_d為已知時，則根據土石流平衡泥砂體積濃度公式，可得渠道坡度與泥砂體積濃度之關係，即

$$\tan\theta_{CH} = S_{CH} = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)C_d \tan\phi}{\gamma_w + (\gamma_s - \gamma_w)C_d} \qquad (2.3.1)$$

式中，$\tan\theta_{CH}$ =渠道底床坡度(=S_{CH})；。上式表明，導流渠道入流條件與其最小縱坡之關係。一般來說，土石流導流渠道合理坡度為 5%~18%。設計時必須配合原溪床坡度來決定其坡度值，並避免渠道坡度突然改變。

二、導流渠道橫斷面設計

(一) 斷面型態

為渲洩洪水及土石流，導流渠道橫斷面型態的設計應在其他條件相同情況下，爭取具有較小潤周和較大的水力半徑為原則。若同時顧及洪水之渲洩和有利於沉積泥砂的沖刷清除，則採用較窄底寬的複式梯形斷面，或具有橫向底坡的 V 形槽底的梯形斷面是比較有利的，如圖 土 2-3-1 為三種可行的渠道型態。鑑於實際工程的可行性，建議採用圖 土 2-3-1(a)作為導流渠道斷面，而其底床型態可利用系列固床工加以塑造。

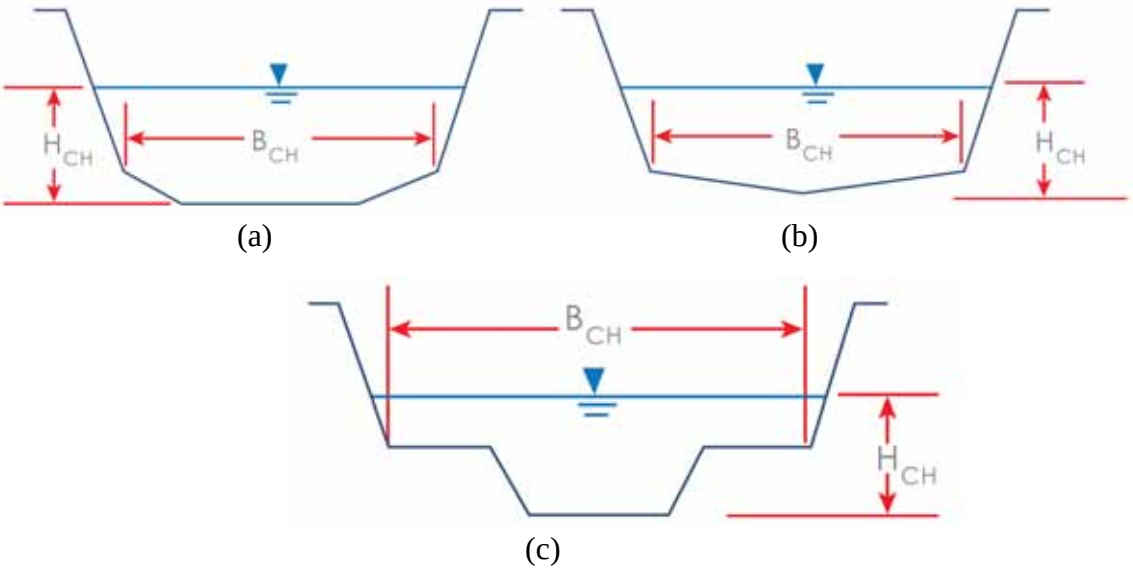


圖 土 2-3-1 導流渠道斷面型態

(二) 斷面幾何

1.渠道寬度(B_{CH})：以土石流可能流入渠道最大粒徑之 2.0~2.5 倍寬設計，即

$$B_{CH} = (2\sim2.5)D_E \tag{2.3.2}$$

式中，D_E=土石流設計粒徑。惟考量渠道通水排洪及輸移土石流能力，渠道斷面寬度宜擴大，並採用複式斷面進行設計。

2.渠道深度(H_{CH})：由於導流渠道入流水流有土石流和一般挾砂水流之分，其流深應分別計算之，並取較大者作為設計值。

(1)土石流入流時($C_d > 0.23$)：以曼寧公式計算，土石流流深可表為

$$H_{CH} = \chi\left(\frac{n_d Q_D}{B_{CH}{S_{CH}}^{0.6}}\right) \tag{2.3.3}$$

式中，Q_D=土石流設計洪水量(cms)；n_d=土石流曼寧粗糙係數，一般土石流先端部$n_d = 0.1$；S_{CH} =渠道底床坡度；χ =係數，與渠道出水高度有關，$\chi = 1.25$。必須特別說明的是，此處採用土石流泥砂體積濃度$C_d > 0.23$作為土石流標準，除了是安全考量外，亦為配合「工程篇」2.7 節整流工程中最大泥砂混合率$\alpha = 0.5$之建議。

(2)一般挾砂水流入流時($C_d \le 0.23$)：

$$H_{CH} = 1.25\left(\frac{n_w Q_d}{B_{CH}{S_{CH}}^{0.5}}\right)^{0.6} \tag{2.3.4}$$

式中，n_w=含砂水流曼寧粗糙係數，可參考水土保持技術規範第 196 條規定；Q_d=設計洪水量(cms)，可表為

$$Q_d = (1+\alpha)Q_p \tag{2.3.5}$$

式中，Q_p=清水流設計洪水量，可按合理化公式推估之；α=水流中泥砂混合率，一般採用水流量之 5%～10%，最大值為 50%。

2.3.5 注意事項

一、兼具輸洪排砂及導流功能：

由於洪水流發生頻率遠高於土石流，故導流渠道一方面被要求輸移含有大量泥砂的土石流，並維持不沖不淤，惟另一方面亦須安全排導洪水流，而不致造成底床泥砂沖刷。

二、流路宜順直，避開下游保全對象：

為避免渠道因淤積溢堤而擴大土石流的危害距離和範圍，導流渠道的路線布置應儘量避開村落、重要工程設施或其他保全對象。同時，為避免近直線渠道及坡度之設計，而引起底床泥砂之嚴重沖刷，有必要沿程布置系列固床工或其他保護工，以維持沖刷基準面，這項前提對位於輸送段上的導流渠道(即整流工)尤為重要。

三、穿越道路橋涵斷面設計問題：

當土石流穿越道路橋涵時，常因斷面不足阻滯土石流流下，導致大量土石溢出溪流而致災，故設計時除了須以土石流水理進行演算外，亦應視現地條件盡量放大通水斷面。

2.3.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2001)，「土石流防治工法之研究評估」。

周必凡、李德基、羅德富、呂儒仁、楊慶溪(1991)，「泥石流防治指南」，科學出版社。

建設省河川局砂防部砂防課(1989)，「土石流対策指針(案)」。

2.4 土石流緩衝林帶

2.4.1 定義

土石流緩衝林帶(Debris flow dispersing forest works)係指利用林木枝幹的韌性作為阻擋土石流，為土石流與保護對象間之緩衝區，以避免土石流直接撞擊致災的一種綠色工法。

2.4.2 目的

當土石流潛勢溪流下游扇狀地構築淤積或導流工法時，因地處較為寬平的地形，加上工程規模往往小於土石流流出土砂規模，使得土石流可能溢出工程範圍而造成災害。因此，在淤積工法(沉砂設施)內或導流渠道的沿岸附近設置緩衝林帶，利用林木間支幹的強大韌性，將溢出的土砂予以阻擋，避免土砂持續溢出擴散而成災。

2.4.3 適用範圍

土石流緩衝林帶常與淤積或導流工法共構，形成一道柔性的防護網，防止土砂的漫溢和致災，如圖 土 2-4-1 及圖 土 2-4-2 所示。

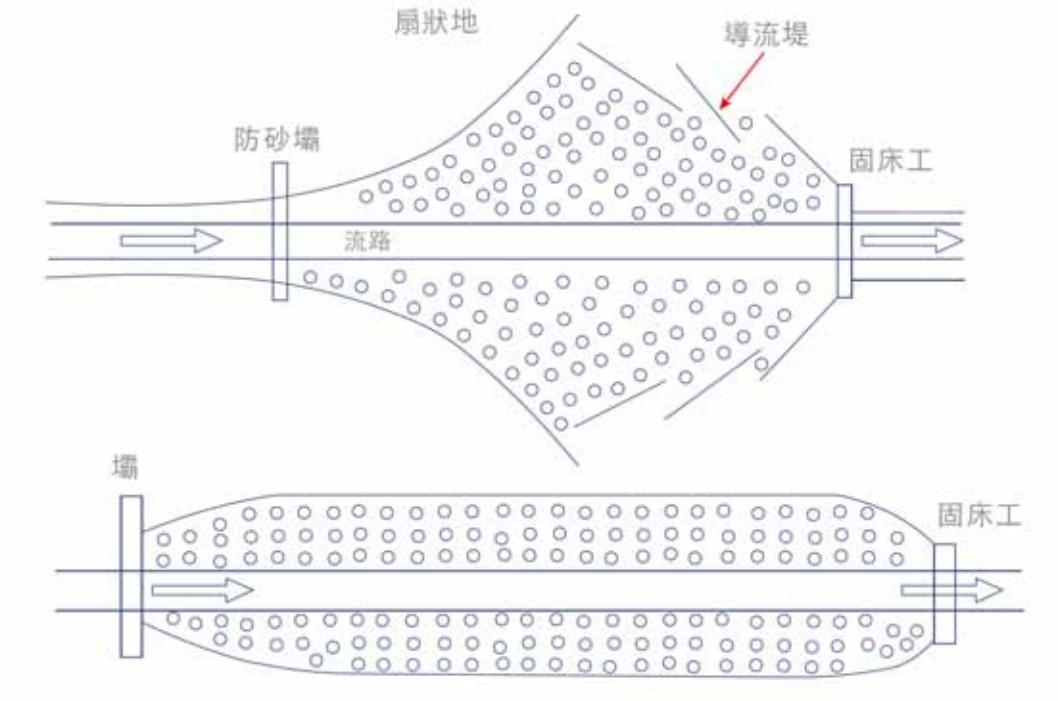


圖 土 2-4-1 土石流緩衝林帶平面示意圖(資料來源：日本建設省河川局砂防部砂防課，1989)

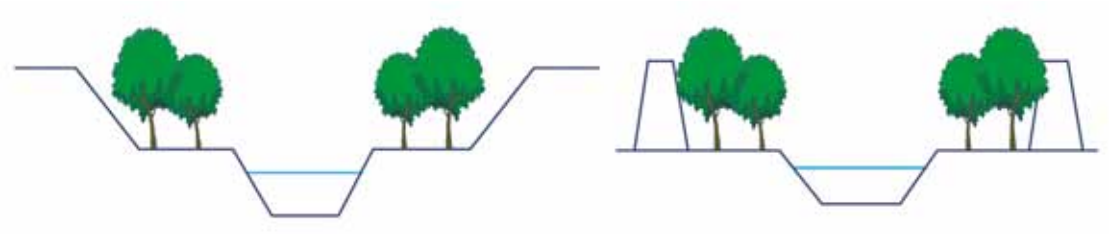


圖 土 2-4-2 土石流緩衝林帶剖面示意圖(資料來源：日本建設省河川局砂防部砂防課，1989)

2.4.4 設計原則

土石流緩衝林帶設計係以樹種選定及其種植密度為主，前者應選擇樹木米徑較為粗大，且韌性強的原生針葉林或闊葉林為宜；種植密度與樹種有關，在不影響林木生長的條件下，採用高密度種植為原則。

2.4.5 注意事項

一、種植密度與樹種有關，可以參考「植生篇」相關內容。

二、不宜採用單一樹種。

三、林木生長需要很長的時間才能發揮阻擋土石流之效能，故必須有長期的規劃及短、中期的配合治理措施。

2.4.6 參考文獻

国土交通省砂防部(2016)，「土石流・流木対策設計技術指針解説」。

建設省河川局砂防部砂防課(1989)，「土石流対策指針(案)」。

參、非工程防護對策

土石流可以在極短時間內攜出大量的土砂，不僅毀損淤埋溪流下游聚落及各種保全設施，而且沿著溪流沖起大量土砂，導致兩岸瞬間崩退擴床，嚴重影響溪流沿岸民眾之安全。凡此現象，實非工程構造物可以完全控制的；相反的，多數工程構造物往往僅能發揮部分的治理功能，無法杜絕災害的發生，於是仰賴非工程防護對策的相關防災作為，乃應運而生。所謂非工程防護對策係指採取非工程構造物方式，達到減災效果者。除了通過行政措施如土地利用限制、住宅遷移、組織性疏散避難等措施外，亦有採以土石流相關理論為基礎之相關對策，主要包括土石流潛勢溪流判釋、土石流潛勢溪流影響範圍劃設、土石流觀測及土石流警戒基準值訂定等，如圖 土 3-1-1 為土石流非工程防護對策。

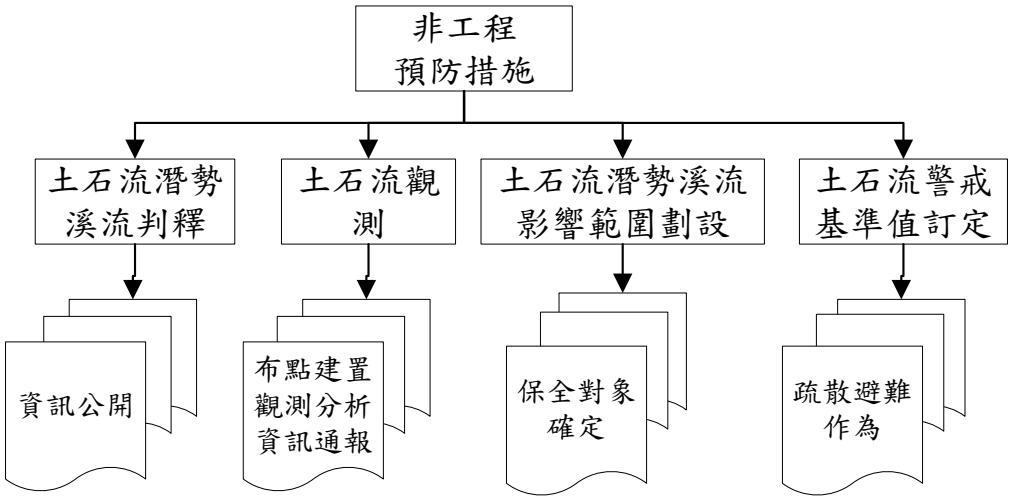


圖 土 3-1-1 土石流非工程防護對策

3.1 土石流潛勢溪流判釋

3.1.1 定義

土石流潛勢溪流(potential debris flow torrent)係指溪流具備土石流發生的自然因子和條件，且其影響範圍內具有保全對象，綜合評估研判有可能發生土石流災害之溪流或蝕溝。

3.1.2 目的

由於土石流具有高強度的輸砂能力和强烈的沖淤作用，能在極短時間內攜出大量大小混雜的固體物質，不僅危害溪流沿岸和下游地區的人民生活及財產安全，

也嚴重影響水土資源保育，劣化上游集水區生產及生態基盤，已成為溪流災害防治的重要課題之一。因此，為了進行土石流的基本防災規劃與治理，以及災害防治資源作有效的配置，必須先行確定哪些溪流具有土石流發生的可能性，就是判定土石流潛勢溪流的空間分布，就顯得格外重要了。

3.1.3 土石流潛勢溪流判釋

一、國外判釋方式

日本係以 1/25,000 地形圖研判具有谷地地形，集水面積在 5km^2 以下，配合土地利用現況與開發計畫等社會條件，作為土石流潛勢溪流(日本稱為「土石流危險溪流」)初步判定之依據，並以坡度 2˚作為其影響範圍之邊界條件。其中，土石流潛勢溪流下游影響範圍內，具有 5 戶以上保全對象者，屬 I 級土石流潛勢溪流；1 戶以上，未滿 5 戶者，為 II 級土石流潛勢溪流，至於目前雖無保全力，但未來可能有者(例如該農仍為建地)，則為 III 級。

Rickenmann et al. (2008)建議，當集水區面積小於 2,500ha，且平均溪床坡度大於 5%~10%時，就可以發生土石流。Montgomery and Foufoula-Georgiou(1993)分析 Storm King Mountain 84 場土石流發生段的坡度及其相應集水區面積，獲得以下關係

$$A_e = 1726(\tan\theta_e)^{-2.90} \tag{3.1.1}$$

式中，A_e=溪流上游土石流發生段以上之有效集水區面積(m^2)；θ_e=土石流發生段溪床平均坡度。上式，當θ=15°時，有效集水面積A_e=7.86 ha；當θ=10°時，有效集水面積A_e=26.5ha。嶋大尚(2007)統計日本 I 級及 II 級土石流潛勢溪流集水區面積大於 12.0ha 者(谷口以上面積)，約佔 63%。

由此可見，國外判釋土石流潛勢溪流的主要依據，多以溪流坡度及其對應集水區面積為主。

二、國內判釋方式

自 1992 年起，我國就進行了土石流潛勢溪流空間分布的判釋工作。此期間，因應實際發生案例及經驗的積累，除了從地形因素進行判釋外，並已考量歷史災害及地質災害潛勢區兩項因子進行綜合性的判釋，如圖 土 3-1-2 所示。圖中，主要是受到 2009 年 8 月莫拉克颱風豪雨導致南部山區地形地貌的嚴重變形，同時因應地質災害潛勢區公布，對於新增具有土石流發生之虞的溪流，除了沿用既

有環境條件之判釋條件外，特別增加考量「歷史災害」及「地質災害潛勢區」兩項災害條件，只要滿足環境條件，且至少符合一項災害條件者，即劃設為土石流潛勢溪流。

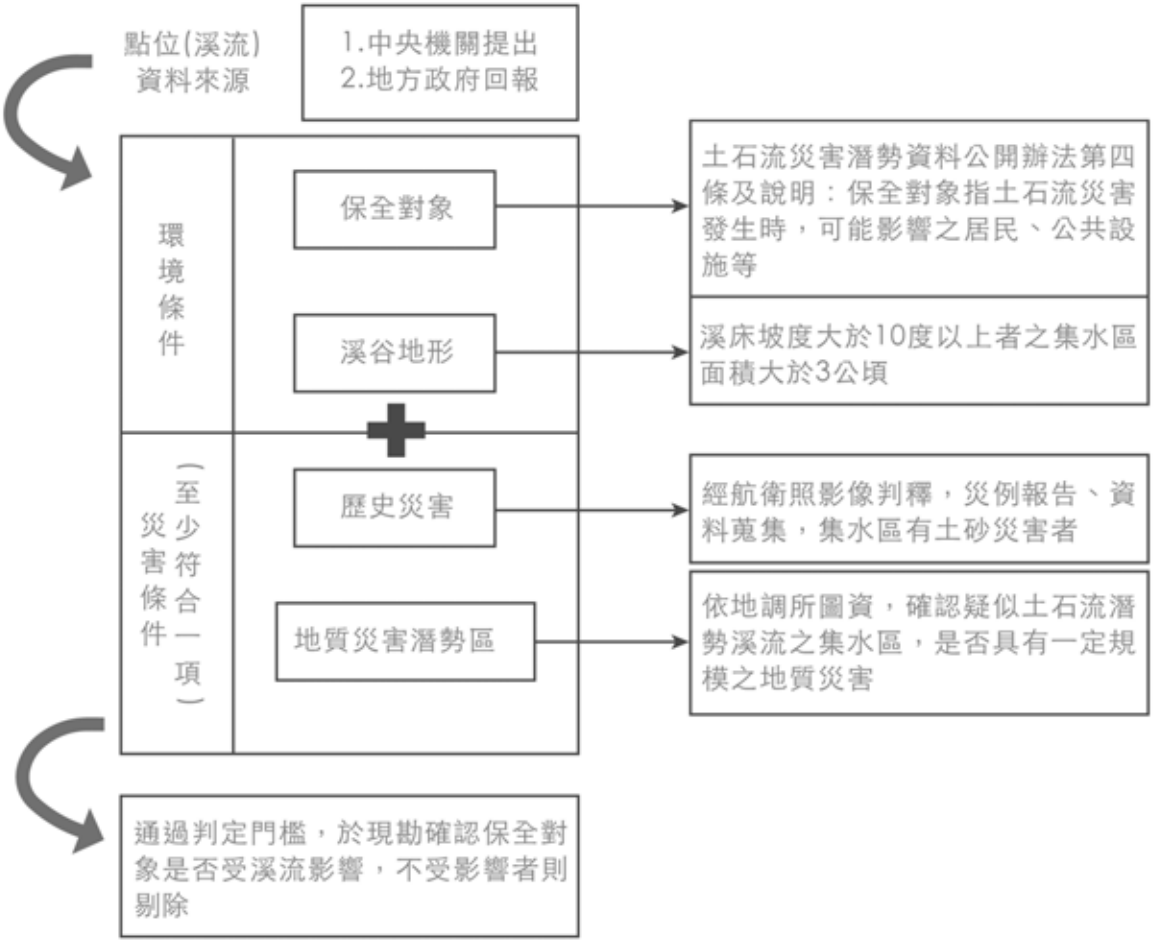


圖 土 3-1-2 新增土石流潛勢溪流判定標準流程圖(資料來源：水土保持局，2017)

3.1.4 參考文獻

日本建設省河川局砂防部(1999)，「土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領（案）」。

行政院農業委員會水土保持局(2016)，「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」。

行政院農業委員會水土保持局全球資訊網(2017)，「土石流防災資訊網」。

嶋大尚(2007)，「土石流・流木対策の技術指針に関する講習会－計画例・設計例－」，（財）砂防・地すべり技術センター。

Montgomery, D. R. and Foufoula-Georgiou, E.(1993) “Channel network source representation using digital elevation models,” Water Resours. Res. (29), pp. 3926-3934.

Rickenmann D., Hunzinger L., and Koschni A.(2008) Hochwasser und Sediment transport w¨ahrend des Unwetters vom August 2005 in der Schweiz. In: Mikos M, Huebl J, Koboltschnig G (eds) Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen. Interpraevent 26–30 May 2008, Dornbirn, Vorarlberg, Austria. Conference proceedings, vol 1. Internat. Research Society Interpraevent, Klagenfurt, pp. 465-476.

3.2 土石流影響範圍劃設

3.2.1 定義

土石流影響範圍(Debris flow influence zone)係指土石流溢出溪流或坡面後，可能遭土石撞擊、淤埋之範圍，或稱為土石流運動空間範圍。

3.2.2 目的

土石流潛勢溪流沿岸或下游測扇狀地向為耕地、聚落及各項設施的集散區，具有高度保全之必要。惟土石流常因直進特性而溢出溪流，或於下游寬平的扇狀地上停積，形成一個自溢流點(overflow point)為起點向外擴散的淤積地形，嚴重影響保全對象之安全。由於這個問題的解決具有強烈的現實意義，故有必要通過科學方法，配合現地地形條件，將可能的影響範圍予以圈繪確定，讓範圍內的民眾提前做好防範措施，將土石流所造成的損失降至最低。

3.2.3 影響範圍類型

依土石流溢流點的不同，可區分為谷口下游及流路溢流點下游兩種影響範圍，前者係土石流流出溪流下游扇狀地而發生的土石淤積範圍，後者則是因溪流彎曲、或溪岸高度不足、或溪床淤積抬升、或障礙物等因素，導致土石流自溪流輸送段溢出溪岸而產生土石淤積的範圍。

3.2.4 影響範圍劃設方法

目前土石流下游扇狀地影響範圍的劃設可區分初步劃設、現地勘查修正及室內編修等三個階段：

一、初步劃設

初步劃設係屬室內作業，首先應選用適當地形圖為底圖(一般採用 1/5,000 地形圖)，並於圖上依序完成溢流點位置擇定、土砂流出量及淤積長度推估。

(一) 溢流點位置擇定：

可能成為溢流點者，包括坡度陡變處、地形開闊處起點、谷口、障礙物處或彎曲段等區位，故土石流潛勢溪流溢流點通常不止一處；一般而言，溢流點下游面的一側或兩側多無束狹，可提供土石流溢出後擴散，並導致停積和致災。擇定溢流點之後，同時繪製溢流點以上集水區範圍及面積。

(二) 一次土石流流出土砂量估算：

依據下列公式推估一次土石流流出土砂量，即

$$V_{SF} = 70992A^{0.61} \quad (3.2.1)$$

式中，V_{SF} =土石流土砂流出量(m^3)；A =溢流點以上集水區面積(km^2)。

(三) 淤積長度：

影響範圍劃設應以安全為考量，可採用池谷 浩公式，即

$$L_d = 8.6(V_{SF} \tan\theta_u)^{0.42} \quad (3.2.2)$$

式中，L_d =淤積長度，以谷口或扇狀地起點(建議採用溪床坡度 10 度)至土石流前緣間之距離；$\tan\theta_u$ =土石流輸送段(transportation zone)平均坡度。

(四) 初步劃設：

於確定溢流點位置及淤積長度之後，以溢流點為頂點，依據土石流最大擴散角 105°及計算所得淤積長度為半徑，向下劃設扇狀形區域，即為土石流之影響範圍。若當淤積長度已延伸至坡度 2°以下的範圍時，則以坡度 2°之等坡度線作為土石流可到達的邊界，如圖 土 3-2-1 為北市 DF026 土石流潛勢溪流影響範圍初步劃設結果。

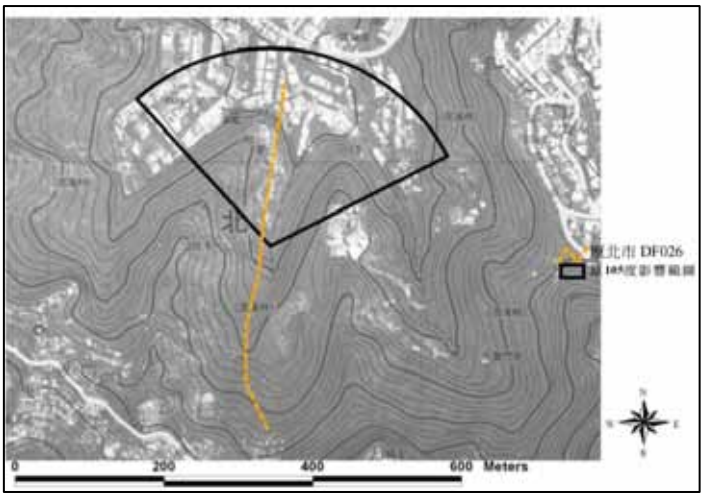


圖 土 3-2-1 北市 DF026 初步劃設之影響範圍圖(資料來源：水土保持局，2013)

二、現地勘查修正

現地勘查修正係在初步劃設結果的基礎上，於現場進行修正調整，以供後續室內編修使用。若現場大幅調整溢流點位置，則須重新利用池谷 浩淤積長度公式計算淤積長度及劃設影響範圍。依據現地地形、地貌，修正初步劃設之影響範圍，其修正依據為：

(一) 優先參考歷史災害影響範圍進行修正，原則上應包含歷史災害範圍。

(二) 依據現地地形、地貌判斷於室內擇定之溢流點位置是否適當，並於現地重新定位，確定其正確位置所在。此外，如有鄰近保全對象之溢流點存在，則增加溢流點位置及其對應之影響範圍。

(三) 根據現地地形，將土石流不可能會經過之部分劃出範圍。

(四) 若兩岸地勢高程值高出溪流 10～12m(約 3～4 層樓)，大致已高出土石流之可能淤積高度，則可劃出影響範圍。

(五) 若以池谷 浩公式所計算的扇狀地長度不足以涵蓋整個保全對象範圍，則依現地狀況延長扇狀地之半徑長度。

三、室內編修

依據現地勘查所得之 GPS 溪流定位、溢流點位置定位及及現地勘查修正之影響範圍底圖，於室內作業時套繪 1/5,000 彩色航照或黑白相片基本圖編修成為數值圖層，如圖 土 3-2-2 所示。圖中，黑色框線為北市 DF026 溪流所繪製之 105°初步影響範圍圖，紅色框線為依照重新編修過後之北市 DF026 所繪製之 105°影響範圍圖層，而因為重新編修後之北市 DF026 溪流長度變短，集水區面積也較原來的小，故此紅色框線範圍也較黑色框線範圍小。藍色框線即為依照現地調查後所編修之影響範圍圖層，其溢流長度與依照重新編修後之北市 DF026 所繪製之影響範圍半徑長度相近。修正完畢後，套繪於 1/5000 比例尺之彩色航照底圖上。

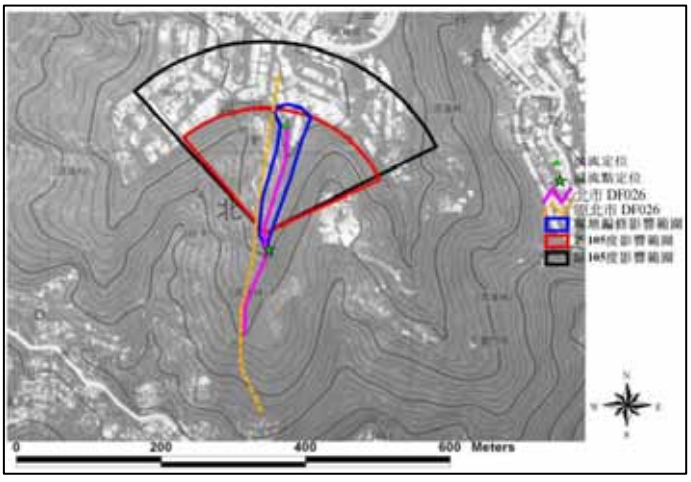


圖 土3-2-2北市 DF026 依現地勘查所編修之影響範圍圖(資料來源:水土保持局，2013)

3.2.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2013)，「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」。

3.3 土石流觀測

3.3.1 定義

土石流觀測(Debris flow monitoring)係於土石流潛勢溪流及其集水區範圍選擇適當位址架設各種先進量測儀器和高效率傳輸系統，即時追蹤回報土石流、崩塌及地滑等發生及其動態資訊，以收防患於未然之功用。此外，因同時蒐集雨情、水情及其集水區土砂運移等相關資料，有助於掌握集水區土砂運移變遷及災害發生潛勢之預測。

3.3.2 目的

根據土石流防治的基本原則，當土石流災害發生後的短時間內，工程治理尚無法發揮治災功能之前，應優先辦理土石流災區之觀測警戒工作，避免引起重複性致災事件，接著再依實際狀況適時導入工程治理措施，以減少土石流災害或降低災害發生機率及規模。其中，土石流觀測及站體之建置，係按土石流潛勢溪流集水區發育的環境背景資訊，或實際成災條件及狀況，配合必要之現地調查與評估工作，進行區域性或單條土石流潛勢溪流的觀測，隨時掌握其降雨及土砂動態，提供短期發生機率的預測和警戒。因此，土石流觀測站具備以下三大特點，包括：

一、運用各項先進觀測儀器及通訊傳輸系統，即時觀測並回報集水區坡面及溪流的各種土砂運移及其衍生相關災害之動態訊息。

二、具備穩定通訊傳輸方式，可以將現場影像及其他物理量即時回傳，提供即時分析、研判和決策，以研擬有效之災中緊急應變措施，減低土砂致災之損失。

三、累積土石流動態之相關數據和經驗，增進對土石流災害發生、運動及淤積過程之瞭解，以作為後續學理研究、制定工程及非工程治理措施之參考。

由於土石流觀測站具有即時掌握土石流災害發生前之邊坡變形預兆，以及發生時的流動動態，不僅有助於土石流各項學理之發展，在防災應變方面，尤能在災害未發生前即時獲得現地可能變異的即時資訊，可以大幅提升防災應變之減災避災能力。

3.3.3 類型及適用範圍

依據現行土石流觀測站之建置規模、觀測方式及觀測範圍等進行區分，大致可以劃分為固定式、行動式及簡易式等三種類型。茲綜述如下：

一、固定式土石流觀測站

固定式觀測系統係將各式儀器和傳輸系統以固定方式架設於現地土石流發生頻度較高之潛勢溪流，守株待兔式地捕捉土石流動態資訊。以觀測範圍及功能區分，可分為「傳統型」及「網絡型」兩種類型。

(一) 傳統型

係指以儀器屋為中心，在直徑約 1.0km 範圍內觀測溪流水、砂之動態，由於觀測範圍受到傳輸系統之限制而無法擴大，故建置區位以位於溪流中、下游溪段為主。不過，為因應複合式坡地土砂災害之觀測需求，本型觀測站亦增加安裝架設多項觀測儀器，包括土壤含水量計等，將觀測標的擴及至坡面的崩塌地觀測，以符合現行觀測之基本需求。

(二) 網絡型

網絡型土砂觀測站係採用簡易觀測點分散於觀測區域內執行觀測工作。其中，觀測點係建置於鑄鐵桿件上，桿件上具備完整之觀測儀器、電力、資訊處理及傳輸系統等，可以獨立進行觀測、紀錄、資訊處理及傳輸等各項基本功能，即便部分桿件遭受外力破壞，亦不會影響觀測系統之正常運作。由於無線通訊技術及速度不斷地提升，各觀測點已能擴及廣大的區域(非通視距離直徑約 10km)，涵蓋整個集水區坡面及溪流上、中、下游溪段，且觀測對象已從溪流土石流動態擴展至坡面土體滑動觀測，具有極高之觀測效率。

二、行動式土石流觀測站

行動式觀測系統是按海上及陸上颱風警報預測豪雨之分布狀況，選擇降雨集中且土石流發生機率較高之溪流，將行動式觀測系統(車)拖運至預先選定位置進行現場安裝架設，俟豪雨過後再行移回。相較於固定式土石流觀測系統，行動式觀測機動性高，較具彈性，且能減少固定式土石流觀測系統之建置站數。行動式土石流觀測站係以車載為主，包含觀測儀器、展示系統、電力系統、通訊系統及資訊系統等五大部分組成，如圖 土-3-3-1 所示。



圖 土-3-3-1 行動式土石流觀測站（資料來源：水土保持局，2016)

三、簡易式土石流觀測站

簡易式土石流觀測站係針對車輛無法到達，改以觀測者背負之觀測模組，包含觀測設備模組、資料處理模組、通訊網路模組、電源控制模組、人機介面模組與機箱主體等六大架構，其中觀測儀器設備包括輕量型雨量計、探針式土壤含水量計、地聲檢知器與輕量型攝影機等，如圖 土-3-3-2 為基本型簡易式土石流觀測站。



圖 土-3-3-2 基本型簡易式土石流觀測站（資料來源：水土保持局，2016)

3.3.4 選址與評估

由於台灣地區山坡地受地形與地質因素影響，通常土石流災區上游集水區均伴隨規模不一之崩塌災害，使得土石流觀測時必須兼顧土石流及崩塌(含地滑)，前者主要活動範圍位於河溪及其兩側邊坡斜面(溪谷區)，而後者則以邊坡斜面為主。因此，在觀測點位及儀器設備規劃時，必須全盤考量各方面因素，以確保觀測資料之可靠性及穩定性。

為了確實選取具有建置土砂觀測站需求之場址，必須配合相關的調查與評估工作，如圖 土-3-3-3 所示。茲簡述如下：

一、建站集水區篩選

以高潛勢土石流潛勢溪流或近一年曾發生土石流災害之溪流所在集水區對象。

二、現地調查及評估

(一) 基本資料蒐集彙整：蒐集其相關基本資料，包括地質土壤、氣象水文、地文、交通、以往災害原因及處理情形等。

(二) 現地調查：參考「基本資料調查與分析篇」。

(三) 調查資料評估：參考調查結果，依據：(1)集水區致災潛勢、(2)治理難易度、及(3)短期治理成效等因素綜合考量及評估，初步選定若干重要集水區。

三、複評：

邀集相關單位及專家學者辦理現地勘查。

四、建站優先順序：

依評估及複評結果，將需建站集水區區分為緊急、優先及計畫等不同等級進行排序。

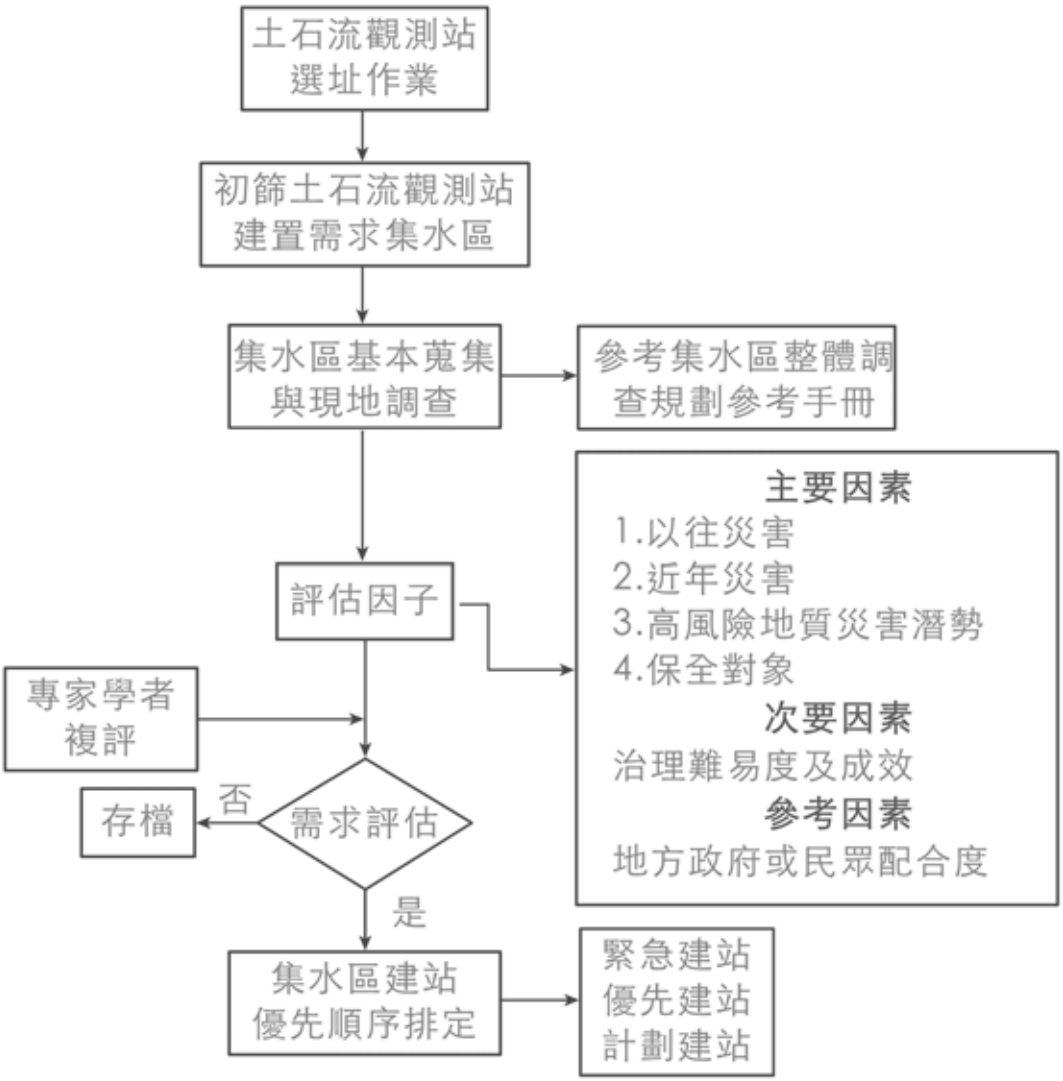


圖 土-3-3-3 土石流觀測站選址與評估(資料來源：水土保持局，2015)

3.3.5 觀測點位選定與儀器規劃

確定需建站集水區後，接著宜就集水區內各種災害類型、可能發生區位、觀測儀器種類、交通可及性、通訊傳輸條件、電力供給條件等項目，進行建站區位之綜合規劃，包括：

一、災害類型確定

觀測站主要觀測之災害類型，包括土石流、崩塌、大規模崩塌(或地滑)及含兩種以上災害類型(即複合型)等。因此，通過歷史災害點位及現地調查結果確認觀測站之觀測標的，以利後續觀測儀器及點位規劃之進行。

二、可能發生區位

掌握集水區內具有災害發生之潛勢區域，係與觀測點建置點位選取直接相

關，故必須從歷史發生地點、現地調查及地方民眾訪談結果等各面向綜合評估後，研判各災害潛勢類型之發生區域，以作為觀測點建置點位規劃之使用。

三、觀測點位址選定

觀測點位址應以能觀測到各種觀測標的為佳，例如坡面崩塌災害觀測點必須設置於不受崩塌土石影響及破壞之上游測或兩側穩定邊坡；如屬土石流災害者，如以觀測其發生為主，宜設於溪流上游段之溪岸附近；如以觀測其發展及運移動態時，宜於溪流中游段設點；如以觀測其淤積性狀者，則溪流下游段是比較妥適之區位。除了考量觀測標的外，觀測點位址選定尚須考量以下四個重要因素，包括：

(一) 交通可及性：

當可能發生災害點位確定之後，必須評估其交通可及性，這將影響觀測站建置規模及後續維護安檢作業之可行性。交通可及性因子主要考慮是否有道路可以到達觀測站地點或其附近，以利於建站作業時，材料及設備的運送，並方便日後進行尋常性維護工作。另外，在災時應變時，觀測站如有任何突發狀況，能夠讓工作人員快速到達現場，進行修復及故障排除。因此，在站址選定過程中，是否有道路可達應列入重要考慮因素之一。一般而言，交通可及性低者，較適合建置簡易且低耗電之觀測點。

(二) 電力供給：

由於觀測點多以市電為主要供電來源，故建站地點應以能銜接市電之區位或範圍為優先考慮。位於山區或溪流上游位置，因距離因素無法申請市電接線服務，不建議採用高耗電之觀測儀器(如攝影機)，觀測點以簡易型為佳。

(三) 通訊傳輸：

觀測點通訊傳輸係以確保現地觀測資料回傳至應變中心之穩定性及持續性。根據固定式觀測站之通訊傳輸方式得知，傳統型觀測模組主要以衛星通訊及固網頻寬線路兩條通訊線路作為主要通訊方式，兩條線路互為備援並進行資訊分流；而網絡型觀測模組則分別採用固網頻寬、3G 及無線電等作為各觀測點間的傳輸系統，建立集水區內各觀測點、資料匯集點及應變中心等介面間之資料傳輸。

因此，當於集水區內初步選定觀測點位置後，應就各種通訊傳輸方式之訊號強弱進行基本測試，篩選出數種比較可靠的通訊傳輸方式，再交互聯結

配置最佳之通訊傳輸模式，以利災時應變仍能發揮資料傳輸的最大功效。不過，為避免觀測資料於應變階段，因通訊傳輸問題而遺失，一般在儀器屋(傳統型)或資料匯集點(網絡型)均應設置資料即時儲存裝置。

(四) 用地取得：

用地是觀測站選址之必要考量因素之一，甚為重要。於傳統型觀測模組中，主要採用一固定空間來放置各項資訊、電力、通訊等設備，故需要建置觀測站主體(或儀器屋)，不論是採用傳統混凝土結構物，或是不銹鋼箱體設計等型式，皆需要一處可容納站體設備的土地來施做，依站體型式而有不同面積的要求，一般至少要有 10 m × 10 m 或 5 m × 10 m 的面積較佳；而網絡型觀測模組方面，雖然土地面積需求較小(約 1 m× 1 m)，惟亦有土地合法取得或借用問題。因此，取得土地合法使用權利已成為觀測點選址之優先解決問題之一。

四、觀測儀器種類選定原則

通過以上各項因素評估之後，即可初步選定適當之觀測儀器種類。根據現行較常採用之相關觀測儀器，可以概分為以下幾種類型，包括：

(一) 低耗電型：

一般以乾接點(DIO)開關量測原理之觀測儀器，如雨量計、鋼索檢知器等屬之。反之，利用電壓差量測原理者，多屬於相對高耗電型儀器，雖然可以透過改變偵測頻率達到節電效果,但是在無市電或太陽能充電效能不佳區域，高耗電儀器仍建議不宜設置，如高畫質 CCTV 影像、震動計、加速度計、地聲檢知器、GPS 位移計等。

(二) 窄頻寬型：

觀測數據屬純物理量者，其無線傳輸所需的頻寬較窄，易於傳輸，如雨量計、水位計、鋼索檢知器、土壤含水量計、傾斜計、土壓計、位移計等；而攝影機影像及地聲檢知器訊號等，則屬高頻觀測儀器。

(三) 低維護型：

觀測儀器不必經常維護者，如雨量計、鋼索檢知器、傾斜計、位移計、土壤含水量計等。

(四) 溪流型：

屬於溪流觀測儀器，包括鋼索檢知器、地聲檢知器、土壤含水量計、水位計等。

(五) 坡面型：

屬於坡面觀測儀器，包括傾斜計、土壓計、位移計、土壤含水量計等

(六) 複合型：

適用於溪流及坡面觀測者，包括雨量計、攝影機、遠紅外線熱影像儀等。

特別需注意的是，如為緊急建站需求之集水區，因必須在極短時間內完成建站，加速投入服務，故儀器設備宜以基本簡單為原則，如雨量計、水位計及攝影機等。

3.3.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2015)，「宜蘭寒溪及苗栗火炎山土砂觀測站精進與維運暨聚落型雨量網研析計畫」。

行政院農業委員會水土保持局(2016)，「105現地資料蒐集暨觀測站維運管理及設備更新計畫」。

行政院農業委員會水土保持局全球資訊網(2017)，「土石流防災資訊網」。

3.4 土石流警戒基準值訂定

3.4.1 定義

土石流警戒基準值(rainfall threshold value for debris flow warning)係利用中央氣象局之雨量資料，以有效累積雨量及降雨強度兩降雨參數之乘積為降雨驅動指標(*RTI*)，將具有相類似性質之土石流潛勢溪流集水區整合為一群集，以統計方法計算出同一群集之土石流降雨警戒雨量值，再行簡化為累積雨量，以供各地區研判土石流防災疏散必難時機之參考雨量警戒值。

3.4.2 目的

台灣地區土石流潛勢溪流分布極廣且多，並容易造成人員傷亡及財產損失，但每條土石流潛勢溪流的發生頻率難以預測，如全仰賴硬體工程，不僅曠日廢時，且實務上仍無法完全消除災害可能造成的衝擊，因此建立準確的警戒系統，即時發布土石流災害警戒，適時疏散土石流災害潛勢區內的民眾，是土石流防減災的重要措施之一。

3.4.3 警戒類型

國內、外已有許多研究嘗試使用不同類型的指標來建立具體可行的土石流災害警戒系統。土石流災害警戒依其採用設備或指標而可區分為直接法(或事發型，如鋼索檢知器、地聲檢知器等)及間接法(或事前型，如雨量計、地下水位計等)兩種，前者準確性高，惟因土石流已發生，可供避難疏散作業時間過於倉促，而後者則以雨量計觀測之降雨量為主。由於降雨量係造成土石流災害的重要誘因，且實務上降雨量資料是比較容易即時取得之現地觀測資訊，使得以降雨量作為土石流發生之警戒指標，已成為國內、外最常採用之方式。

3.4.4 雨場分割與有效累積雨量

激發土石流的直接雨量係指一場降雨的起始時刻至土石流發生時刻之間的累積雨量，稱為「直接降雨量」，惟因多數降雨皆由大大小小不連續的時間系列所組成，使得直接降雨量的起算時刻不太容易確定，於是必須先行進行雨場分割工作，以確定一場連續降雨。根據詹錢登(2002)研究結果指出，一場連續降雨係指在降雨時間序列中，當時雨量大於 4.0mm 時為本次降雨之開始時刻；當時雨量連續 6.0 小時均小於 4.0mm 時為該次降雨之結束時刻，如圖 土 3-4-1 所示。其中，直接降雨量係指本次降雨開始時刻至土石流發生時刻的降雨，是本次降雨事件中對土石

流發生有直接貢獻的降雨量，其累積雨量稱為本次前段降雨累積雨量；至於土石流發生後至結束之間的降雨，只能影響其流動規模，其累積雨量稱為本次後段降雨累積雨量；而土石流結束之後的降雨，對本次土石流的形成及規模則沒有影響。此外，本次降雨開始時刻之前的降雨，因與土體含水程度相關，亦影響土石流的發生，稱為「前期降雨量」。本次降雨之直接降雨量及前期降雨量之和，稱為土石流發生的有效累積降雨量，可表為(詹錢登，2016)

$$R_t = R_O + P \approx R_O + \sum_{i=1}^{N} \alpha^i R_i \qquad (3.4.1)$$

式中，R_t =土石流發生的有效累積降雨量；R_o =本次降雨開始後至某時間之累積雨量(前段降雨)；P =前期降雨量；R_i =本次降雨開始t_o前i日(24 小時)雨量；N =考量前期降雨之天數，一般N =7 天；α =每日(24 小時)雨量激發土石流效能衰減係數，可採用 0.7 或 0.8。目前台灣較常採用α =0.7 來計算有效累積雨量(詹錢登，2016)。

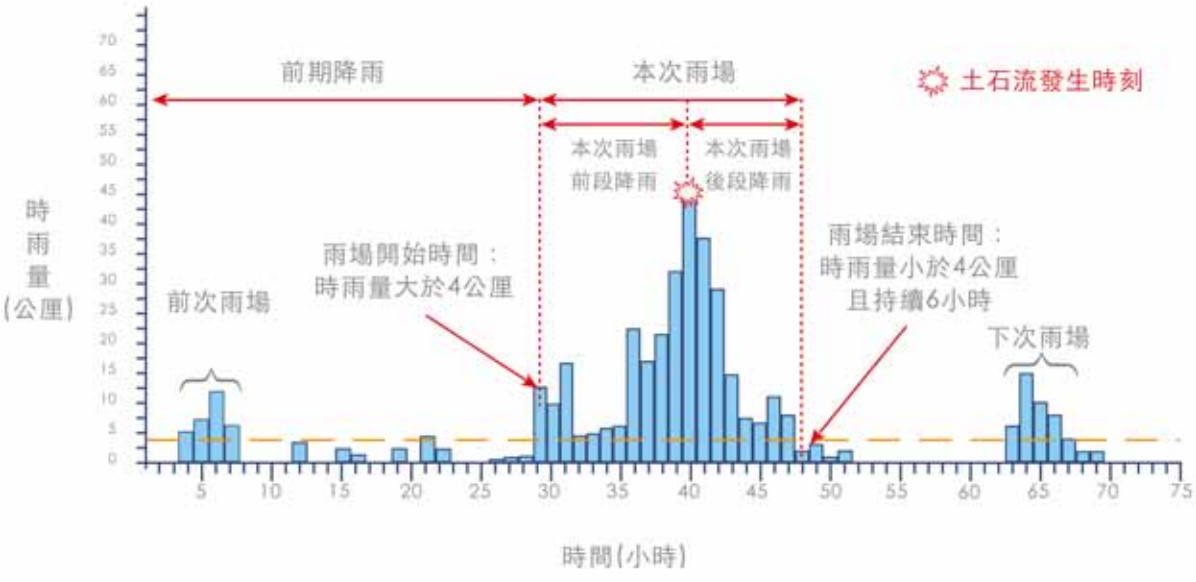


圖 土 3-4-1 雨場分割示意圖（資料來源：水土保持局，2002）

3.4.5 降雨驅動指標

降雨驅動指標(Rainfall Triggering Index, *RTI*)係指降雨事件某時刻t的小時降雨強度$I(t)\,(mm/hr)$和該時刻之前的總有效累積雨量$R_t(t)(mm)$的乘積，用以作為土石流發生警戒基準值之依據，即

$$\mathrm{RTI(t)} = \mathrm{I(t)}R_t(t) \tag{3.4.2}$$

在降雨事件中降雨強度及其累積雨量會隨時間的增加而有所變化，故降雨驅動指標也是隨著時間變化的。當降雨強度或累積雨量較大時，降雨驅動指標 RTI 值也會越大。式(3.4.2)表一場降雨中的降雨驅動指標 $RTI\ (t)$。對於土石流潛勢溪流集水區而言，$RTI\ (t)$ 值愈大，表示降雨強度或有效累積雨量愈大，愈容易激發土石流。不過，$R_t(t)$ 之計算方式，與是否有明確的雨場開始時間 t_o 有關，茲分述如下：

一、當雨場開始時間 t_o 已知時之總有效累積雨量計算

將土石流事件發生時間 t 之前 24 小時內之降雨視為前段降雨 R_o，其小時(或 60 分鐘)雨量記為 $r_{60o}(t)$，並且參照式(3.4.1)之表達方式，則本次降雨開始時間 t_o 至土石流事件發生時間 t 之累積雨量 $R_t(t)$ 表為

$$\begin{aligned} R_t(t) &= R_o(t) + P \\ &= \sum_{j=m}^{t-t_0-m} r_{60}(t_0+j) \\ &+ \sum_{i=1}^{m/24}\left[\alpha^i \sum_{j=24(i-1)}^{24i-1} r_{60}(t_0+j)\right] \\ &+ \sum_{i=\frac{m}{24}+1}^{N}\left[\alpha^i \sum_{j=24(i-\frac{m}{24}+1)}^{24(i-\frac{m}{24})} r_{60}(t_0-j)\right] \end{aligned} \tag{3.4.3}$$

式中，當 $0 < t - t_o < 24$ 小時，m =0；當 $24 \le t - t_o < 48$ 小時，m =24；當 $48 \le t - t_o < 72$ 小時，m =48。例如，當本次降雨的時間範圍為 $0 < t - t_o < 24$ 小時，m =0，其累積雨量 $R_t(t)$ 可表為

$$R_t(t) = R_o(t) + P = \sum_{j=0}^{t-t_0} r_{60}(t_0+j) + \sum_{i=1}^{N}\left[\alpha^i \sum_{j=24(i-1)+1}^{24i} r_{60}(t_0-j)\right] \tag{3.4.4}$$

當本次降雨的時間範圍為 $48 \le t - t_o < 72$ 小時，m =2，其累積雨量 $R_t(t)$ 可表為

$$R_t(t) = R_o(t) + P$$
$$= \sum_{j=48}^{t-t_0-48} r_{60}(t_0 + j)$$
$$+ \sum_{i=1}^{2}\left[\alpha^i \sum_{j=24(i-1)}^{24i-1} r_{60}(t_0 + j)\right] \quad (3.4.5)$$
$$+ \sum_{i=3}^{N}\left[\alpha^i \sum_{j=24(i-3)+1}^{24(i-2)} r_{60}(t_0 - j)\right]$$

其餘雨場開始時間t_o至土石流事件發生時間t的時間範圍，則依此類推。

二、當雨場開始時間t_o未知時之總有效累積雨量計算

很多的情況是不清楚本次降雨的開始時間t_o，但必須計算任意時間t情況下之降雨驅動指標$RTI\ (t)$值時，可以採用下列簡單的方式計算某時間t之總有效累積雨量$R_t(t)$，即

$$R_t(t) = \sum_{i=0}^{N}\left[\alpha^i \sum_{j=24i}^{24(i+1)-1} r_{60}(t - j)\right] \quad (3.4.6)$$

上式計算方式係每小時(或每 60 分鐘)有一筆雨量資料，將時間t之前 24 小時內($0 \le t - j < 24$小時)的降雨視為本場降雨，而將時間t之前 24 小時前的降雨視為前期降雨，前期降雨的衰減係數以每隔 24 小時計算一次，總有效累積雨量所涵蓋之時間為 N+1 天。距離某時間t前 N+1 天以上的降雨，對於觸發土石流的影響較小，予以忽略不計。使用式(3.4.6)計算總有效累積雨量$R_t(t)$時，雖然是使用以每 24 小時間隔的衰減係數 α，但是在計算時是隨著時間t的增加，以每小時順移的方式進行計算，比較不會導致$R_t(t)$因衰減係數因素突然發生下降的問題。台灣地區目前使用 N = 7 及α = 0.7 的方式計算總有效累積雨量$R_t(t)$。

通過上述總有效累積雨量計算方法，可以由降雨事件之歷史資料，計算代表一場降雨的降雨驅動指標(RTI)，其方法可分成三類：

一、對於有發生土石流事件，且明確知道土石流發生時間者，以該時間為基礎劃分土石流發生前之降雨及土石流發生後之降雨，計算降雨參數及降雨驅動指標。

二、對於有發生土石流事件，但是不確定土石流發生時間者，以該雨場最大降雨強度發生時間為基礎劃分土石流發生前之降雨及土石流發生後之降雨，計算降雨參數及降雨驅動指標。

三、對於沒有發生土石流的降雨事件，以該雨場最大降雨強度發生時間為基礎，計算該雨場最大降雨強度、有效累積雨量及所對應之降雨驅動指標(一般情形，相當於該場降雨的最大降雨驅動指標)。

以圖 土 3-4-1 為例，說明降雨參數及降雨驅動指標之計算結果。圖中，本次降雨事件中在時間 $t = 40$ 小時，降雨強度 $I = 43\ mm/hr$ ，本次降雨的累積雨量已達 $R_0(t)$ =189 mm(29≤ t ≤ 40 小時)，前期有效降雨量 P = 0.7×39 + 0.49×4 = 15.34 mm(假設 t < 1.0 小時有好長一段時間沒有下雨)，此時總有效累積雨量 $R_t(t) = R_o(t) + P$ = 204.34 mm，所對應之降雨驅動指標 RTI = 8,787 mm^2/hr 。在時間 $t = 40$ 小時恰巧也是土石流發生時間，故本次降雨事件引發土石流的代表降雨驅動指標即為 RTI = 8,787 mm^2/hr 。

3.4.6 臨界降雨驅動指標

由土石流潛勢溪流集水區的參考雨量站的雨量歷史資料，使用 3.4.5 節計算方法推求出各降雨事件所對應的代表 RTI 值後，應用統計的方法，並配合土石流發生事件紀錄，即可計算出該地區不同之 RTI 特定值，如： RTI_{10} 、 RTI_{50} 與 RTI_{90} ，下標數字代表 土石流發生可能性，用以區分土石流發生機率之高低，訂定方法說明如下：

一、將某地區代表雨量站歷年雨場之 RTI 值按照大小排列後，以經驗機率(empirical probability)公式計算出歷年雨場 RTI 值較小的 10%，記為 RTI_{10} (下警戒值)；換言之， RTI_{10} 表示僅有 10%的 RTI 值小於此值。其中，當水文系列 n 很大時，則樣本系列中大於或等於某一變量值 x_T 的出現次數 m 與樣本總量的比值，即

$$\mathrm{P}(\mathrm{X} \geq x_T) = \frac{m-a}{n+1-2a} \tag{3.4.7}$$

式中，P =變量大於或等於某一變量值 x_T 的超越機率(exceedance probability)；m =由大到小排列的序號，即在 n 次觀測資料中出現大於或等於某一值 x_T 的次數；n =樣本系列總量；a =係數。目前較常用經驗機率公式係以韋伯(Weibull)公式為主，即

$$\mathrm{P}(\mathrm{X} \geq x_T) = \frac{m}{n+1} \tag{3.4.8}$$

二、同樣將歷年雨場之 *RTI* 值按照大小排列後，計算出歷年雨場 *RTI* 值中的 RTI_{90} ， RTI_{90} 表示有 90%的 *RTI* 值小於此值，並記為上警戒值。

三、上下警戒基準值($\boldsymbol{RTI_{10}}$ 與 $\boldsymbol{RTI_{90}}$)之間，以線性分布計算出其他的 *RTI* 特定值(如 $\boldsymbol{RTI_{50}}$ 或 $\boldsymbol{RTI_{70}}$ 等)，其計算公式可表為

$$\mathrm{RTI}_M = \mathrm{RTI}_{10} + (\frac{M-10}{80})(\mathrm{RTI}_{90} - \mathrm{RTI}_{10}) \tag{3.4.9}$$

例如，已知某土石流潛勢溪流集水區歷年降雨事件與其對應之降雨趨動指標(*RTI*)，樣本數為 $n = 39$ ，如表 土 3-4-1 所示。將歷年雨場之 *RTI* 值按照大小排列後，以韋伯(Weibull)公式計算出歷年雨場 *RTI* 值較小的 10%及 90%，如表 土 3-4-2 所示。表中，RTI_{10} 與 RTI_{90} 分別為 283 及 4920。如欲推估 $\boldsymbol{RTI_{50}}$ ，則將 $\boldsymbol{RTI_{10}}$ 及 $\boldsymbol{RTI_{90}}$ 分別代入式(3.4.9)，可得 $\boldsymbol{RTI_{50}}$ =2602。

表 土 3-4-1 土石流潛勢溪流集水區歷年降雨事件及其對應之 *RTI* 值

時間(年)	*RTI* 值	時間(年)	*RTI* 值	時間(年)	*RTI* 值
1987	5034	2000	320	2009	7932
1987	4920	2001	279	2009	4210
1988	520	2001	1920	2010	3010
1990	894	2003	1293	2010	265
1990	795	2004	283	2011	1720
1992	1540	2004	310	2011	667
1993	1880	2004	389	2012	782
1993	290	2005	459	2012	839
1996	103	2007	7730	2103	3263
1996	2830	2007	3203	2014	2734
1997	4765	2008	284	2015	592
1998	3276	2008	683	2015	607
1999	458	2009	473	2105	4310

表 土 3-4-2 歷年降雨事件之 *RTI* 值依大小排列及對應之機率

排序	*RTI* 值	*P*	排序	*RTI* 值	*P*	排序	*RTI* 值	*P*
1	103	2.5	14	592	37.5	27	2734	67.5
2	265	5.0	15	607	40.0	28	2830	70.0
3	279	7.5	16	667	42.5	29	3010	72.5
4	283	10.0	17	683	45.0	30	3203	75.0
5	284	12.5	18	782	47.5	31	3263	77.5
6	290	15.0	19	795	50.0	32	3276	80.0
7	310	17.5	20	839	52.5	33	4210	82.5
8	320	20.0	21	894	55.0	34	4310	85.0
9	389	22.5	22	1293	57.5	35	4765	87.5
10	458	25.0	23	1540	60.0	36	4920	90.0
11	459	27.5	24	1720	62.5	37	5034	67.5
12	473	30.0	25	1880	65.0	38	7730	70.0
13	520	32.5	26	1920	67.5	39	7932	72.5

依據過去降雨事件的RTI值，以降雨驅動指標為縱座標及降雨時間為橫座標，可以建立土石流發生降雨警戒的下緣線(例如，RTI=RTI_{10})及上緣線(例如RTI=RTI_{90})。當降雨事件中某時刻的 *RTI*(*t*) 值低於下緣線，表示降雨事件中該時刻降雨激發土石流的可能性較低；當 *RTI*(*t*) 值高於上緣線，表示此降雨事件中該

時刻降雨激發土石流的可能性較高。因此，按照RTI的大小，可以將土石流發生可能性區隔為三個區域：高可能發生區、中可能發生區及低可能發生區，如圖 土 3-4-2 為某土石流潛勢溪流集水區降雨事件與其對應之降雨驅動指標，並以RTI_{10}及RTI_{90}為降雨警戒的下緣線及上緣線，將土石流發生可能性區隔為：高可能發生區(RTI $>RTI_{90}$)、中可能發生區($RTI_{10}<$ RTI $<RTI_{90}$)及低可能發生區(RTI<RTI_{10})等三個區域。

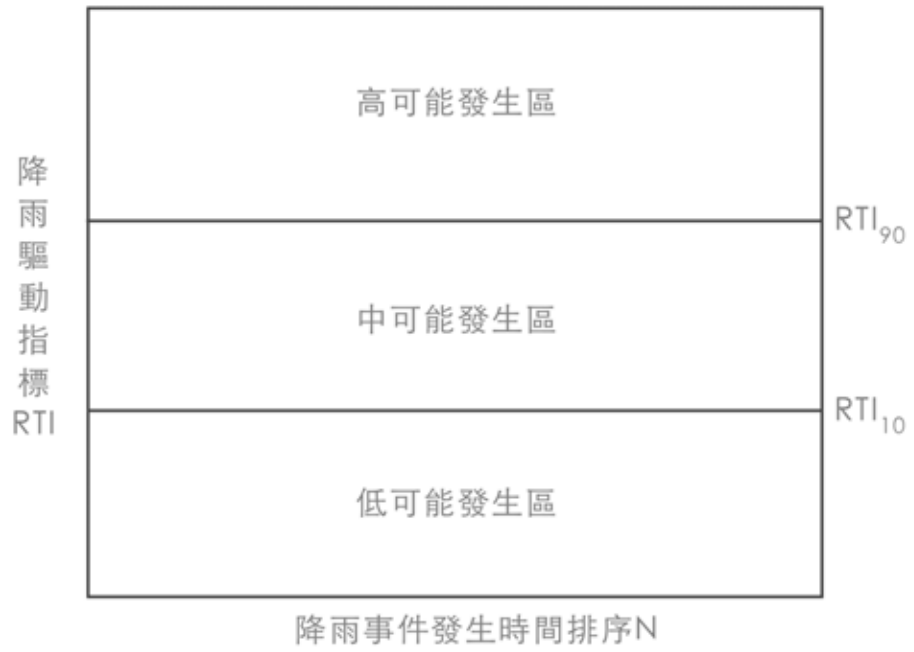


圖 土 3-4-2 以降雨驅動指標劃分土石流發生可能性

3.4.7 土石流警戒基準值

從實務的角度，降雨驅動指標具有一定的專業性，民眾不易理解的，這將不利於防災工作之推動，實有必要加以簡化。因此，為了讓一般民眾也能瞭解土石流降雨警戒之意義，水土保持局自 2005 年起建立以有效累積雨量作為土石流降雨警戒基準值。

土石流警戒基準值訂定的方法是先以 RTI_{70} 為土石流發生降雨驅動指標的警戒值，在設定小時降雨強度 I=10 mm/hr 的條件下，並以 50 mm 為級距，將土石流降雨驅動指標警戒值 RTI_{70} 轉化為以總有效累積雨量為指標的土石流警戒基準值 R_{tc} 擬定值。例如，RTI_{70} = 3,450 mm^2/hr ，RTI_{70} /10= 345mm，再以每 50mm 為級距，得到土石流警戒基準值 R_{tc} = 350 mm。

水土保持局土石流警戒基準值 R_{tc} 的訂定，經過多年實務操作及經驗累積，已從 2005 年 4 個級距(R_{tc} = 200、250、300 及 350 mm 等)演化至現行採用 9 個級距(R_{tc} =200、250、300、350、400、450、500、550 及 600mm 等)，並以鄉鎮區為單元，公開土石流潛勢溪流之土石流警戒基準值。

3.4.8 土石流警戒分級

土石流警戒基準值訂定過程及其後來的應用，需要符合土石流防災相關法令的規定及實務應用的配合，以確實達到土石流防災避災之效果。因此，水土保持局自 2005 年起將土石流警戒等級區分為「黃色警戒」及「紅色警戒」兩種，如圖土 3-4-3 所示。

一、黃色警戒：

當中央氣象局發布某土石流潛勢區的預測雨量大於土石流警戒基準值，且實際降雨量已達警戒基準值的 30%(該區警戒基準值≤400 mm)或 40%(該區警戒基準值>400 mm)時，隨即發布該地區為黃色警戒區。黃色警戒發布後，地方政府負責告知土石流影響區內之民眾可能會發生土石流的訊息，並勸導民眾提早做好避難疏散準備或直接進行避難疏散。

二、紅色警戒：

當土石流潛勢區的實際降雨量已經達到土石流警戒基準值時，隨即發布該地區為紅色警戒區。紅色警戒發布之後，累積雨量已經很大了，隨時有可能發生土石流，地方政府應負責疏散土石流影響區域內的民眾。

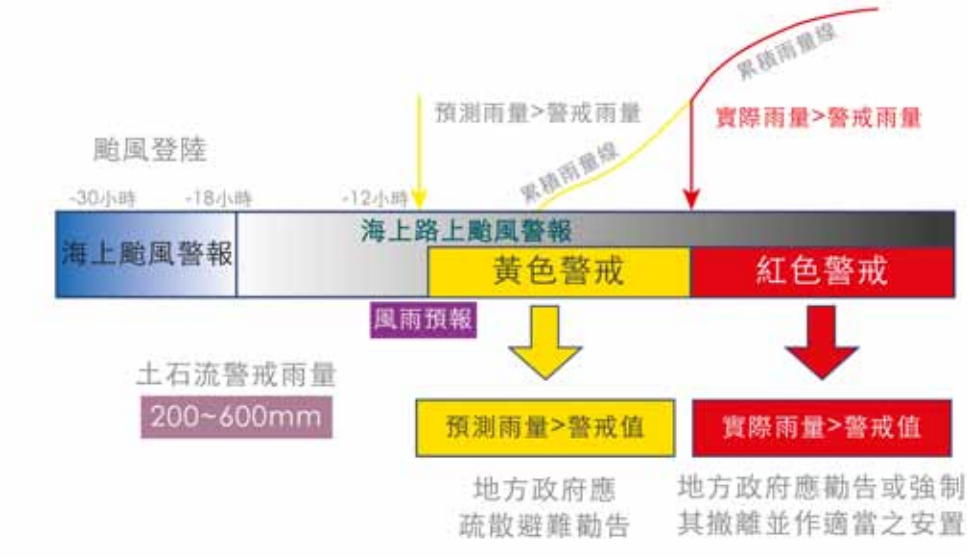


圖 土 3-4-3 土石流警戒發布時機及其因應作為（資料來源：水土保持局，2013）

3.4.9 土石流警戒基準值更新

土石流警戒基準值並非一成不變，隨著土石流發生事件及雨量資料紀錄的累積，以及地震和各區環境條件的改變，在一定程度上都會影響土石流之降雨警戒基準值，故有必要建立土石流雨量警戒基準值更新機制，以符合實際需求，有效提升土石流警戒發布準確度。可能造成土石流降雨警戒基準值改變的原因，包括：

一、新增雨量或土石流發生事件：

土石流警戒基準值是依據土石流潛勢溪流集水區地文條件、歷年雨量資料及土石流發生紀錄而擬定，並考量當地居民避難疏散所需時間等因素而訂定。然而，有許多土石流潛勢溪流集水區的雨量資料時間很短，土石流發生事件也很少，甚至沒有土石流發生過的紀錄。因此，當有新增的雨量資料(尤其是颱風及豪大雨資料)或有新增的土石流發生事件時，則需要將這些新增雨量資料及土石流發生資料納入考量，重新分析以重新檢視原有土石流警戒基準值的適用性。

二、地震影響：

地震可能造成坡面上大面積的土體崩塌，因而產生大量鬆散土砂，即使地震後未明顯造成崩塌，但其震度在一定規模(震度 5 級)以上，因震動搖晃亦可能影響到坡面上土壤之緊密程度，使得在較小的降雨事件下可能引發土石流，這表明地震可能會降低土石流警戒基準值。例如，1999 年 921 大地震後，陳有蘭溪集水區有大量的鬆散土方，於 2000 年及 2001 年期間，即便雨量不大也引發許多的土石流。因此，受地震震度達 5 級以上影響之地區，需要進行土石流警戒基準值的檢討與更新。

三、新增崩塌影響：

集水區發生新的崩塌事件後，原先植被覆蓋良好的斜坡變成裸露地，遇到降雨時，土壤入滲增加，坡面侵蝕嚴重，再加上新增崩塌後坡面上殘存的鬆散土砂，均為後續土砂災害提供土砂材料，從而降低發生土石流所需的降雨門檻值。因此，集水區發生大面積崩塌後，有必要評估是否需要調整土石流警戒基準值。

四、新增土石流潛勢溪流或土石流警戒區：

土石流潛勢溪流確定之後，並不是固定不變，而是每年進行檢討及更新。當新的土石流潛勢溪流被納入時，需要為它訂定合適的土石流警戒基準值。如

該溪流所在地區先前未設定過土石流降雨警戒基準值，可藉由參考參考鄰近參考雨量站之雨量資料以及其地文情況，進行該地區之土石流警戒基準值的推估。

五、其他因素

土石流警戒基準值之更新除了上述之考量外，更需考量實務操作上之各項可能影響，包含疏散避難之交通、溪床土砂堆積情況或土砂堆積位置、是否會有孤島效應(也就是部落對外交通完全中斷，救援困難之效應)或土石流警戒基準值調整之緊急程度等等諸多因素。由上述可知，土石流警戒基準值之更新所需考量之因子相當多，而且有其因地制宜的特性。

綜合以上原因，農委會水土保持局提出常態性更新及立即性調整兩種類型土石流警戒基準值更新作業程序及方法，如圖 土 3-4-4 所示。

一、土石流警戒基準值常態性更新

(一) 常態性更新週期為每年一次。

(二) 土石流警戒基準值常態性更新之考量要素，為新增雨量事件、新增土石流事件、震度達 5 級以上(未達 6 級)之地震事件及土石流警戒區之環境變異概況。

二、土石流警戒基準值立即性調整

(一) 重大土砂災害事件發生，以重大土石流災害及重大地震事件(震度 6 級以上)屬之，應依據各災區情勢對土石流警戒基準值提出調整建議。

(二) 新增土石流潛勢溪流地區(位於既有土石流警戒區內)，應檢討現行土石流警戒基準值有無更新之需要，若有應即檢討更新。

(三) 新增之土石流警戒區(新增的土石流潛勢溪流，不屬於既有警戒區而需新增者)，應根據歷年降雨資料、土石流發生事件及其地文資料等，以訂定土石流警戒基準值。

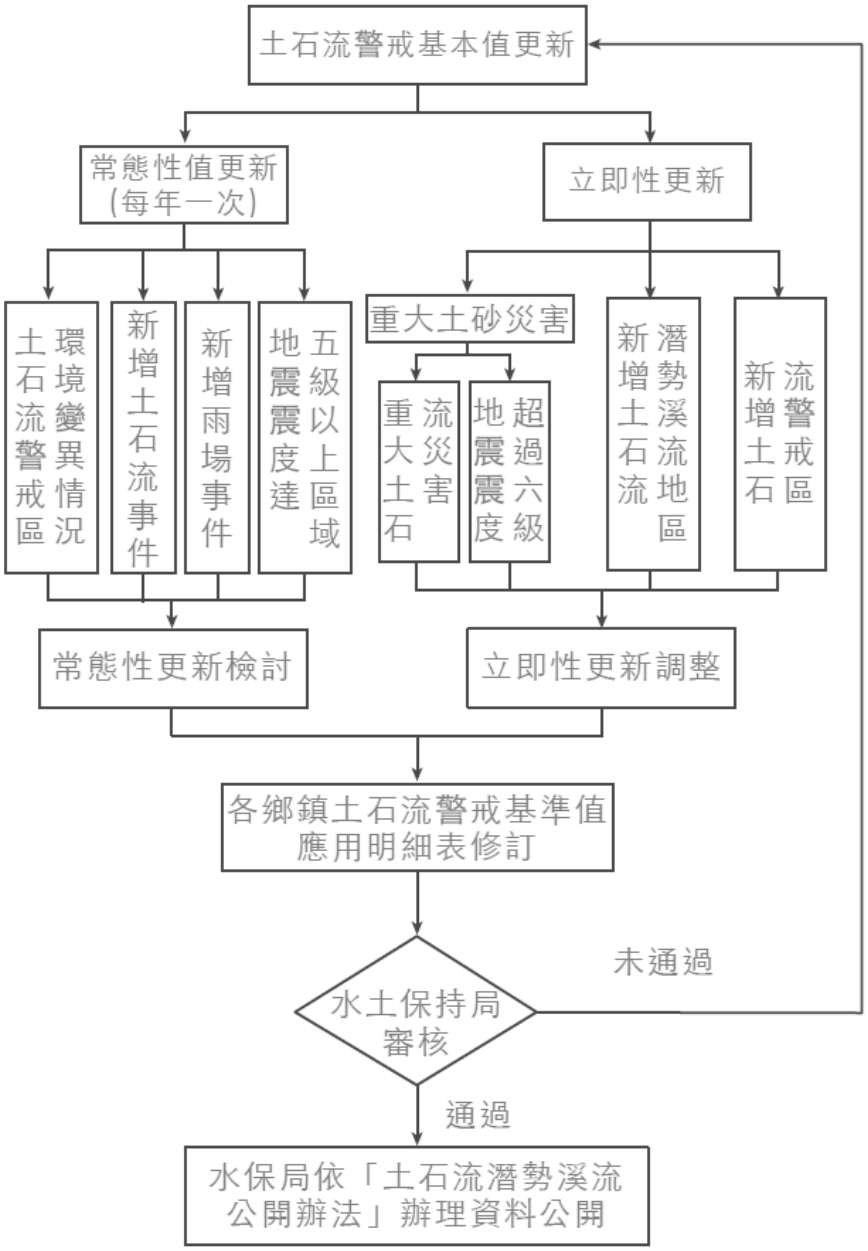


圖 土 3-4-4 土石流警戒基準值更新標準作業程序(資料來源：水土保持局全球資訊網，2017)

3.4.10 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2002)，「土石流發生降雨警戒值模式之研究」。

行政院農業委員會水土保持局全球資訊網(2017)，「土石流防災資訊網」。

陳振宇(2013)，「以雨量為基礎之土砂災害警戒系統成效評估—以台灣及日本為例」，中華水土保持學報，44(1)，pp. 50-64.

詹錢登(2016)，「土石流系列～土石流防災降雨警戒」，財團法人中興工程科學研究發展基金會

肆、附錄

本附錄係在假設一些基本參數的基礎上，應用本手冊相關計算公式，分別舉出非透過性壩及透過性壩(如切口壩及梳子壩)壩體幾何之設計流程及計算方式。不過，此等案例僅提供參考，具體集水區應依其實際資料進行設定和計算，不宜直接複製。

4.1 重力式防砂壩設計例

4.1.1 基本資料設定和計算

基本資料設定係為計算清水流洪峰流量、土石流洪峰流量、流速、泥砂體積濃度等相關參數，以因應後續壩體幾何設計之用途。

一、參數設定及輸入

參數名及單位	符號	數值	參數名及單位	符號	數值
集水區面積(ha)	A	122	壩址溪床寬度(m)	B	25
坡面長度(m)	L_1	150	溪床堆積物濃度	C_m	0.68
溪流長度(m)	L_2	1430	糙率(土石流先端部)	n	*0.1*
溪流高程差(m)	Δh	55.6	砂粒單位重(t/m^3)	γ_s	2.6
漫地流流速(m/s)	v_1	0.5	清水單位重(t/m^3)	γ_w	1.0
逕流係數	C	0.8	濁水單位重(t/m^3)	γ_{wc}	1.1
年平均降雨量(mm)	P	2,500	土壤內摩擦角(^{o})	ϕ	35
溪床平均傾角(^{o})	θ	15	混凝土單位重量(t/m^3)	γ_c	2.3
溪床平均坡度(%)	S_o	26.8	土石流設計粒徑(m)	D_E	1.0

二、參數計算

參數名及單位	符號	計算式	數值
計畫淤砂平均坡度(%)	S_e	$2\,S_o/3$	17.87
計畫淤砂平均坡度(^{o})	α	$tan^{-1}(S_e/100)$	10.13
清水流洪峰流量(cms)	Q_p	基調篇式(3.1.7)合理化公式	40.0
設計洪水量	Q_d	$1.5\,Q_p$	60.0
土石流泥砂體積濃度	C_d	$\frac{\gamma_w \tan\theta}{(\gamma_s-\gamma_w)/(\tan\phi-\tan\theta)}$	0.388
淤滿後土石流過壩前泥砂體積濃度	C_{de}	$\frac{\gamma_w \tan\alpha}{(\gamma_s-\gamma_w)/(\tan\phi-\tan\alpha)}$	0.21
土石流單位重量	γ_m	$(\gamma_S-\gamma_W)C_d+\gamma_W$	1.62

土石流流量(cms)	Q_D	$\frac{C_m}{C_m - C_d} Q_p$	93.2
淤滿後土石流過壩前單位重量	γ_{me}	$(\gamma_s - \gamma_w) C_{de} + \gamma_w$	1.336
淤滿後土石流過壩前設計流量(cms)	Q_{DE}	$\frac{C_m}{C_m - C_{de}} Q_p$	58.0
土石流流深(m)	h_D	$[n_d \, Q_D / (B \, S_o^{0.5})]^{0.6}$ ； $n_d = 0.1$	0.82
土石流流速(m/s)	U_D	$Q_D / (h_D \, B)$	4.5

4.1.2 壩體設計

一、參數設定

參數名	符號	數值	備註
有效壩高(m)	H_e	8.0	
淤滿後壩頂處溪床寬度(m)	B_E	30.82	依現地條件。
壩翼頂部溪流寬度(m)	B_t	39.0	依現地條件。
壩體上游面斜率	m_2	0.8	壩體設計主要變數，應依安定檢算結果調整之。
壩體下游面斜率	m_1	0.2	
壩體上游面與水平向夾角(^{o})	ε	51.34	依m_2值改變。
溢洪口斷面邊坡係數	Z	0.5	
出水高度(m)	h_f	1.0	表工-2-1-2。
壩頂厚度(m)	t_1	3.0	表工-2-1-8。
壩體基礎嵌入深度(m)	N_b	1.5	圖工-2-1-13。
側邊嵌入深度(m)	N_s	1.0	
壩翼嵌入深度(m)	N_w	2.0	工程篇防砂壩之壩翼。

二、參數計算

(一) 溢洪口斷面設計

參數名及單位	符號	計算式	數值
溢洪口斷面底寬(m)	b_o	設定值	11.0
溢流水深(m)	h	工程篇式(2.1.3)，採試誤法	2.0
溢洪口斷面上部寬度	b_u	$b_o + 2Z(h + h_f)$	14.0

(二) 壩體幾何設計

參數名及單位	符號	計算式	數值
壩翼斜率(%)	S_e	$\tan\alpha$	17.87
壩頂至壩翼頂部高度 (m)	h_k	$h+h_f+12.5\tan(10.13)$	5.2
壩翼頂部厚度(m)	t_2	$t_1-m_1\,h_k$	1.96
壩高(m)	H_a	H_e+N_b	9.5
壩體底部厚度(m)	L	$t_1+(m_1+m_2)H_a$	12.5

(三) 壩體各部尺寸圖

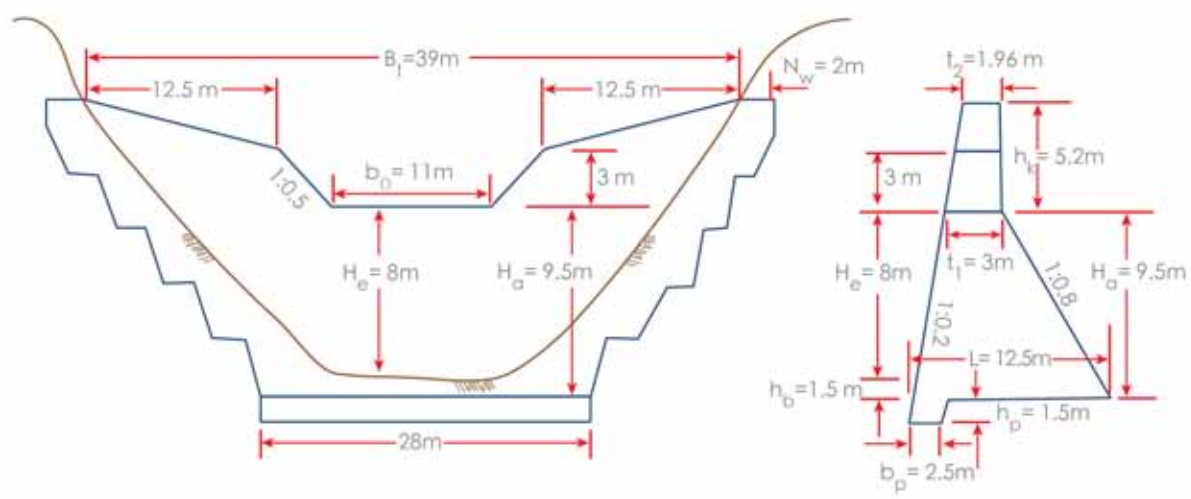


圖 附 4-1-1 重力式防砂壩各部尺寸示意圖

4.1.3 安定檢討

一、參數設定及計算

參數名及單位	符號	計　算　式	數值
壩高(m)	H_a	H_o+N_b	9.5
土壤飽和單位重量(t/m^3)	γ_{sat}	$(\gamma_s-\gamma_w)C_m+\gamma_w$	2.09
浸水單位重量(t/m^3)	γ_{sub}	$\gamma_{sat}-\gamma_w$	1.09
牆與土壤摩擦角(^{o})	δ	~	21.8
壩體游面與垂線夾角(^{o})	$\bar{\varepsilon}$	~	38.66
水平地震係數	K_h	~	0.22
垂直地震係數	K_v	$2\,K_h/3$	0.147
地震角(^{o})	$\bar{\theta}$	$\tan^{-1}[K_h/(1-K_v)]$	14.47
浮力係數	C_B	工程篇表工 2-1-5	0.3
基礎承載力(t/m^2)	B_p	工程篇表工 2-1-7	100
主動土壓力係數(Coulomb)	K_{ac}	工程篇式(2.1.12)	0.717

被動土壓力係數(Coulomb)	K_{pc}	工程篇式(2.1.15)	5.3
主動土壓力係數(Rankine)	K_{ar}	工程篇式(2.1.20)	0.28
被動土壓力係數(Rankine)	K_{pr}	工程篇式(2.1.24)	3.44
地震動態土壓力係數	K_{ae}	工程篇式(2.1.32)	1.682
壩體上游淤砂高度(m)	H_m	自行設定	8.12
臨界水深(m)	h_c	$\frac{Q_d^2}{g}=\frac{(b_o+b_u)^3}{8\,b_u}h_c^3$	1.38
跌水緣水深(m)	h_{ck}	$0.75\,h_c$	1.0
淤積土砂時土石流流量(cms)	Q_{DE}	$\frac{C_m}{C_m-C_{de}}Q_w$	58.0
淤積土砂時土石流流深(m)	h_{DE}	$h_d=(\frac{n_d\,Q_{DE}}{B_E S_e^{0.5}})^{0.6}$	0.62
淤積土砂時土石流流速(m/s)	U_{DE}	$Q_{DE}/(h_{DE}\,B_E)$	3.04

二、應力計算

考量空庫、淤滿、洪水、地震、土石流等單獨情況及合理之組合情況下，包括：

(一)未淤滿、地震、普通流量時

(二)未淤滿、最大流量時

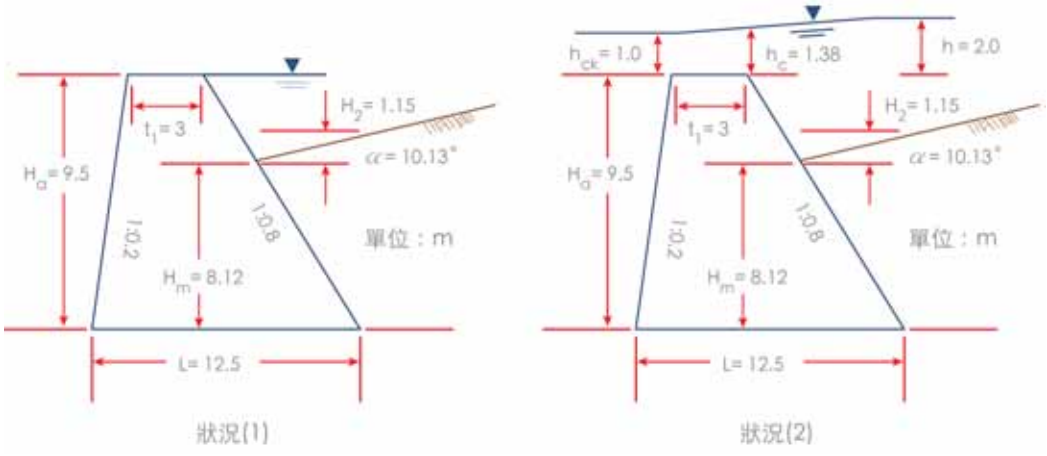
(三)淤滿、最大流量時

(四)淤滿、地震、普通流量時

(五)未淤滿、土石流流體與巨礫撞擊力時

(六)淤滿、土石流流體與巨礫撞擊力

等六種狀況進行應力分析，如圖 附 4-1-2 所示。



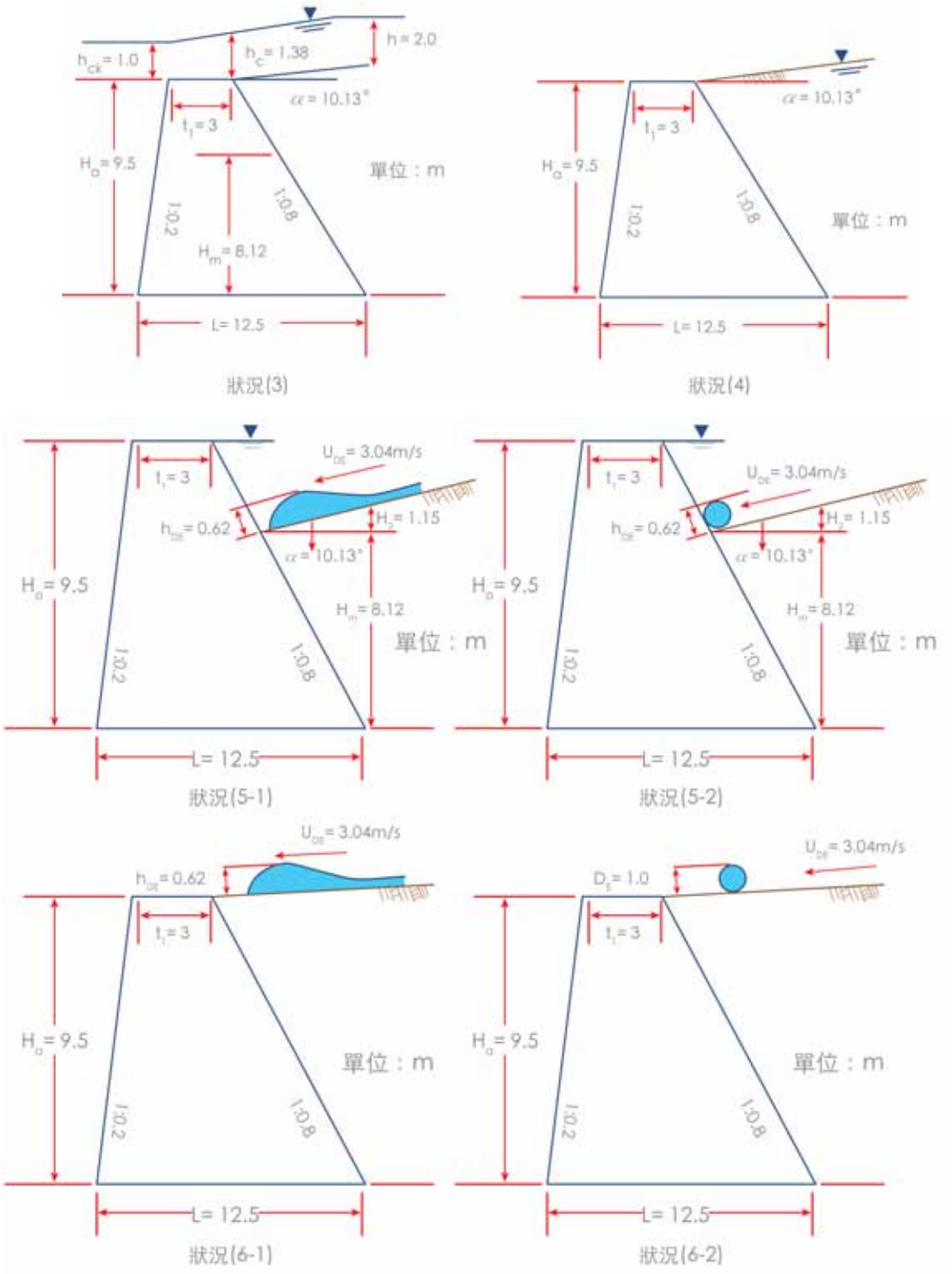


圖 附 4-1-2 應力檢算六種狀況示意圖

1. 未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、地震、普通流量($h = 0\ m$)時

(1)荷重檢算($H_1 = H_a - H_m = 9.5 - 8.12 = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 1.38\ m$ ； $\overline{H} = H_a = 9.5\ m$)

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 20.76$	+20.76		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 11.23$	233.0
	W_2	$\gamma_c\,t_1\,H_a = 65.55$	+ 65.55		$m_2\,H_a + t_1/2 = 9.1$	596.5
	W_3	$0.5\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 83.0$	+ 83.0		$2\,m_2\,H_a/3 = 5.07$	421.0
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\,\gamma_w H_1^2 = 0.95$		+0.95	$H_1/3 + H_m = 8.58$	8.2
	P_{wh2}	$0.5\gamma_w(2H_3 + H_m)H_m = 44.17$		+44.17	$(H_m/3)(H_m + 3H_3)/(H_m + 2H_3) = 3.05$	134.7
	P_{wv1}	$0.5\,\gamma_w\,m_2 H_1^2 = 0.76$	+0.76		$m_2 H_m + m_2 H_1/3 = 6.86$	5.2
	P_{wv2}	$\gamma_w m_2 H_m (H_1 - H_2) = 1.5$	+1.5		$m_2 H_m/2 = 3.25$	4.9
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m (H_m + H_2) = 30.1$	+30.1		$m_2 H_m/3 = 2.17$	65.3
	P_{wv4}	$0.5\gamma_w m_2 H_m H_2 = 3.7$	+3.7		$2m_2 H_m/3 = 4.34$	16.0
土砂壓力	P_a	$0.5\,K_{ac}\,\gamma_{sub}\,H_m^2 = 25.76$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 12.7$		+12.7	$H_m/3 = 2.7$	34.3
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 22.4$	+22.4		$m_2 H_m/3 = 2.17$	48.6
上揚力	U	$0.5\,\gamma_w\,C_B\,L\,\overline{H} = 17.8$	-17.8		$L/3 = 4.17$	-74.2
地震時壩體慣性力	D_1	$0.5\,\gamma_c\,K_h\,m_1\,H_a^2 = 4.57$		+4.57	$H_a/3 = 3.17$	14.5
	D_2	$\gamma_c\,K_h\,t_1\,H_a = 14.4$		+14.4	$H_a/2 = 4.75$	68.4
	D_3	$0.5\,\gamma_c\,K_h\,m_2\,H_a^2 = 18.3$		+18.3	$H_a/3 = 3.17$	58.0

地震時土砂壓力增量	P_{ae}	$0.5K_{ae}(1-K_v)\gamma_{sub}\ H_m^2 = 51.56$				
	ΔP_{ae}	$P_{ae} - P_a = 25.8$				
	ΔP_{aeh}	$\Delta P_{ae}\cos(\delta+\bar{\varepsilon}) = 12.7$		+12.7	$0.6\,H_m = 4.87$	61.85
	ΔP_{aev}	$\Delta P_{ae}\sin(\delta+\bar{\varepsilon}) = 22.4$	+22.4		$m_2 H_m / 3 = 2.17$	48.6
合　計			232.0	107.8		1745.0

(2)安定檢算

A.傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2L/3\,(m)$	判定
12.5/3=4.17	1745/232=7.5	$2\times 12.5/3=8.33$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=3.6$		O.K

B.承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.5-6.25=1.25$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6e}{L})=7.4\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6e}{L})=29.7\,(t/m^2)$		O.K.

C.滑動檢算：被動土壓力$=0.5\gamma_{sat}K_p(N_b+1.5)^2=50\,t/m^2$

水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
107.8	232	0.4	142.8	$=142.8/107.8$ $=1.32>1.1$	O.K.

2. 未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、最大流量($h = 2\ m$ ； $h_c = 1.38\ m$ ； $h_{ck} = 1.0m$)時

(1)荷重分析($H_1 = H_a - H_m = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 3.38\ m$ ； $\overline{H} = H_a + h = 10.5\ m$)

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 20.76$	＋20.76		$L - 2\ m_1\ H_a / 3 = 11.23$	233.0
	W_2	$\gamma_c\ t_1\ H_a = 65.55$	＋65.55		$m_2\ H_a + t_1 / 2 = 9.1$	596.5
	W_3	$0.5\,\gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 83.03$	＋83.03		$2\ m_2\ H_a / 3 = 5.07$	421.0
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\gamma_{wc}(2h + H_1)H_1 = 4.08$		+4.08	$(H_1/3)(H_1 + 3h)/(H_1 + 2h) + H_m = 0.63$	2.57
	P_{wh2}	$0.5[2\gamma_{wc}H_3 + \gamma_w H_m]H_m = 63.2$		+63.2	$(H_m/3)[H_m + 3H_3)]/[H_m + 2H_3)] = 3.05$	192.8
	P_{wv1}	$0.5\,\gamma_{wc}\ m_2\ H_1^2 = 0.84$	＋0.84		$m_2 H_1/3 + m_2 H_2 = 0.88$	0.74
	P_{wv2}	$\gamma_{wc}\ m_2\ H_m\ (H_1 - H_2) = 1.64$	+1.64		$m_2 H_m / 2 = 3.25$	5.3
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m (H_m + H_2) = 30.1$	+30.1		$m_2 H_m / 3 = 2.17$	65.3
	P_{wv4}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H_m H_2 = 4.1$	+4.1		$2m_2 H_m / 3 = 4.34$	17.8
	P_{wv5}	$0.5\gamma_{wc}(h + h_c)m_2 H_a = 14.0$	+14.0		$m_2 H_a / 2 = 3.8$	53.2
	P_{wv6}	$0.5\gamma_{wc}(h_c + h_{ck})\,t_1 = 3.82$	+3.82		$m_2 H_a + t_1 / 2 = 9.1$	34.8
土砂壓力	P_a	$0.5\ K_{ac}\ \gamma_{sub}\ H_m^2 = 25.76$				
	P_{ah}	$P_a\ \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 12.7$		+12.7	$H_m / 3 = 2.7$	34.3
	P_{av}	$P_a\ \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 22.4$	+22.4		$m_2\ H_m / 3 = 2.17$	48.6
上揚力	U	$0.5\,\gamma_w\ C_B\ L\ \overline{H} = 21.56$	-21.56		$L/3 = 4.17$	-90.0
合　計			225.0	80.0		1616.0

(2)安定檢算

A.傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\ (m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
12.5/3=4.17	1616/225=7.18	$2\times 12.5/3=8.33$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=6.0$		O.K

B.承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.18-6.25=0.93$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6\,e}{L})=9.96\ (t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6\,e}{L})=26.0\ (t/m^2)$		O.K.

C.滑動檢算：被動土壓力$=0.5\gamma_{sat}K_p(N_b+1.5)^2=50\ t/m^2$

水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
225.0	80.0	0.4	140.0	$=140/80.0$ $=1.75>1.1$	O.K.

3. 淤滿、最大流量($h = 2\ m$ ； $h_c = 1.38\ m$ ； $h_{ck} = 1.0m$)時

(1)荷重分析($H_a = 9.5m$ ； $H_1 = 0\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 2\ m$)

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\ \gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 20.76$	＋20.76		$L - 2\ m_1\ H_a / 3 = 11.23$	233.0
	W_2	$\gamma_c\ t_1\ H_a = 65.55$	＋65.55		$m_2\ H_a + t_1 / 2 = 9.1$	596.5
	W_3	$0.5\ \gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 83.03$	＋83.03		$2\ m_2\ H_a / 3 = 5.07$	421.0
靜水壓力	P_{wh}	$0.5\,[2\ \gamma_{wc} H_3 + \gamma_w H_m]H_m = 66.0$		+66.0	$(H_m/3)(H_m + 3h)/(H_o + 2h) = 3.64$	240.0
	P_{wv1}	$0.5\gamma_w m_2 H_m (H_m + H_2) = 41.3$	+41.3		$m_2 H_m / 3 = 2.53$	104.5
	P_{wv2}	$0.5\gamma_{wc}(h + h_c) m_2 H_a = 14.0$	+14.0		$m_2 H_a / 2 = 3.8$	53.2
	P_{wv3}	$0.5\gamma_{wc}(h_c + h_{ck})\ t_1 = 3.8$	+3.8		$m_2 H_a + t_1 / 2 = 9.1$	34.6
土砂壓力	P_a	$0.5\ K_a\ \gamma_{sub}\ H_a^2 = 35.27$				
	P_{ah}	$P_a\ \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 17.3$		+17.3	$H_a / 3 = 3.17$	54.84
	P_{av}	$P_a\ \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 30.74$	+30.74		$m_2 H_a / 3 = 2.53$	77.8
上揚力	U	$0.5\ \gamma_w\ C_B\ L\ (H_m + H_2 + h) = 24.1$	-24.1		$L / 3 = 4.17$	-100.5
合　計			235.0	83.3		1715.0

(2)安定檢算

A.傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
12.5/3=4.17	1715/235=7.3	$2\times 12.5/3=8.33$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=4.9$		O.K

B.承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.3-6.25=1.05$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6\,e}{L})=9.3\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6\,e}{L})=28.3\,(t/m^2)$		O.K.

C.滑動檢算：被動土壓力$=0.5\gamma_{sat}K_p(N_b+1.5)^2=50\,t/m^2$

水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
83.3	235.0	0.4	144.0	$=144/83.3$ $=1.73>1.1$	O.K.

4. 淤滿($H_m = H_a = 9.5\ m$)、地震、普通流量($h = 0\ m$)時

(1)荷重分析(1. $H_1 = 0\ m$ ；2. $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ；3. $H_3 = h + H_1 = 0$)

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 20.76$	＋20.76		$L - 2\ m_1\ H_a/3 = 11.23$	233.0
	W_2	$\gamma_c\ t_1\ H_a = 65.55$	＋65.55		$m_2\ H_a + t_1/2 = 9.1$	596.5
	W_3	$0.5\,\gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 83.03$	＋83.03		$2\ m_2\ H_a/3 = 5.07$	421.0
靜水壓力	P_{wh}	$0.5\,\gamma_w H_m^2 = 45.1$		+45.1	$H_a/3 = 3.17$	143.0
	P_{wv}	$0.5\,\gamma_w\ m_2\ H_m(H_m + H_2) = 41.3$	＋41.3		$m_2 H_a/3 = 2.53$	104.5
土砂壓力	P_a	$0.5\ K_a\ \gamma_{sub}\ H_a^2 = 35.27$				
	P_{ah}	$P_a\ \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 17.3$		+17.3	$H_a/3 = 3.17$	54.84
	P_{av}	$P_a\ \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 30.74$	+30.74		$m_2 H_a/3 = 2.53$	77.8
地震時壩體慣性力	D_1	$0.5\,\gamma_c\ K_h\ m_1\ H_a^2 = 4.57$		+4.57	$H_a/3 = 3.17$	14.5
	D_2	$\gamma_c\ K_h\ t_1\ H_a = 14.4$		+14.4	$H_a/2 = 4.75$	68.4
	D_3	$0.5\,\gamma_c\ K_h\ m_2\ H_a^2 = 18.3$		+18.3	$H_a/3 = 3.17$	58.0
地震時土砂壓力增量	P_{ae}	$0.5 K_{ae}(1 - K_v)\gamma_{sub}\ H_m^2 = 70.6$				
	ΔP_{ae}	$P_{ae} - P_a = 35.3$				
	ΔP_{aeh}	$\Delta P_{ae}\ \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 17.3$		+17.3	$0.6\ H_a = 5.7$	98.6
	ΔP_{aev}	$\Delta P_{ae}\ \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 30.74$	+30.74		$m_2 H_a/3 = 2.53$	77.8
上揚力	U	$0.5\,\gamma_w\ C_B\ L\ (H_m + H_2) = 20.36$	-20.36		$L/3 = 4.17$	-84.9
合　計			251.8	117.0		1863.0

(2)安定檢算

A.傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
12.5/3=4.17	1863/251.8=7.4	$2\times 12.5/3=8.33$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=3.26$		O.K

B.承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.4-6.25=1.15$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6\,e}{L})=9.0\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6\,e}{L})=31.3\,(t/m^2)$		O.K.

C.滑動檢算：被動土壓力$=0.5\gamma_{sat}K_p(N_b+1.5)^2=50\,t/m^2$

水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
117.0	251.8	0.4	150.7	$=150.7/117$ $=1.29>1.1$	O.K.

5. 未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、土石流體撞擊、土石流巨礫撞擊($D_E = 1.0\ m$)

(1)荷重分析 ($H_1 = H_a - H_m = 9.5 - 8.12 = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 1.38\ m$

$q = \gamma_{me}\ \bar{h}_{DE} = 1.336 \times 0.62 = 0.83\ t/m^2$)

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\ \gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 20.76$	+20.76		$L - 2\ m_1\ H_a/3 = 11.23$	233.0
	W_2	$\gamma_c\ t_1\ H_a = 65.55$	+ 65.55		$m_2\ H_a + t_1/2 = 9.1$	596.5
	W_3	$0.5\ \gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 83.0$	+ 83.0		$2\ m_2\ H_a/3 = 5.07$	421.0
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\ \gamma_w H_1^2 = 0.95$		+0.95	$H_1/3 + H_m = 8.58$	8.2
	P_{wh2}	$0.5\gamma_w(2H_3 + H_m)H_m = 44.17$		+44.17	$(H_m/3)(H_m + 3H_3)/(H_m + 2H_3) = 3.05$	134.7
	P_{wv1}	$0.5\ \gamma_w\ m_2 H_1^2 = 0.76$	+0.76		$m_2 H_m + m_2 H_1/3 = 6.86$	5.2
	P_{wv2}	$\gamma_w m_2 H_m (H_1 - H_2) = 1.5$	+1.5		$m_2 H_m/2 = 3.25$	4.9
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m (H_m + H_2) = 28.45$	+28.45		$m_2 H_m/3 = 2.17$	61.7
	P_{wv4}	$0.5\gamma_w m_2 H_m H_2 = 2.1$	+2.1		$2m_2 H_m/3 = 4.34$	9.1
土砂壓力	P_a	$0.5\ K_{ac}\ \gamma_{sub}\ H_m^2 + K_{ac} q H_m = 38.8$				
	P_{ah}	$P_a\ \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 19.12$		+19.12	$H_m/3 = 2.7$	51.6
	P_{av}	$P_a\ \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 33.74$	+33.74		$m_2 H_m/3 = 2.17$	73.2
上揚力	U	$0.5\ \gamma_w\ C_B\ L\ H_a = 15.2$	-15.2		$L/3 = 4.17$	-68.4
土石流體撞擊力	P_f	$\gamma_{me}\ \bar{h}_{DE}\ \bar{U}_{DE}^2 / g = 0.78$		+0.78	$h_{DE}/2 + H_m = 0.62/2 + 8.12 = 8.43$	6.6
土石流巨礫撞擊力	P_d	$20.2\ \bar{U}_{DE}^{6/5} D_E^2 / B = 3.1$		+3.1	$D_E/2 + H_m = 1.0/2 + 8.12 = 8.62$	26.72
合計			221.0	68.12		1564.32

(2)安定檢算

A.傾倒檢算

$L/3\,(m) \le$	$x = M/V\,(m)$	$\le 2L/3\,(m)$	判定
12.5/3=4.17	1564.32/221=7.08	$2\times 12.5/3 = 8.33$	O.K.
安全係數	$\sum M_v / \sum M_h = 5.45$		O.K

B.承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x - L/2 = 7.15 - 6.25 = 0.9$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6e}{L}) = 10.0\ (t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6e}{L}) = 25.3\ (t/m^2)$		O.K.

C.滑動檢算：被動土壓力= $0.5\gamma_{sat}K_p(N_b+1.5)^2 = 50\ t/m^2$

水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
68.12	221.0	0.4	77.2	$=77.2/68.12$ $=1.13 \ge 1.1$	O.K.

6. 淤滿、土石流體撞擊、土石流巨礫撞擊($D_E = 1.0\ m$)

(1)荷重分析：[$\kappa_1 = (B_E - b_o)/B_E = 0.74$ ； $\overline{B} = B_E - b_o = 22.82\ m$ ； ； $q = \gamma_{me}\ \overline{h}_{DE} = 1.336 \times 0.62 = 0.83\ t/m^2$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\ \gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 20.76$	＋20.76		$L - 2\ m_1\ H_a/3 = 11.23$	233.0
	W_2	$\gamma_c\ t_1\ H_a = 65.55$	＋65.55		$m_2\ H_a + t_1/2 = 9.1$	596.5
	W_3	$0.5\ \gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 83.03$	＋83.03		$2\ m_2\ H_a/3 = 5.07$	421.0
靜水壓力	P_{wh}	$0.5\ \gamma_w H_m^2 = 45.1$		+45.1	$H_a/3 = 3.17$	143.0
	P_{wv}	$0.5\ \gamma_w\ m_2\ H_m(H_m + H_2) = 41.3$	＋41.3		$m_2 H_a/3 = 2.53$	104.5
土砂壓力	P_a	$0.5\ K_{ac}\ \gamma_{sub}\ H_m^2 + K_{ac}\ q\ H_a = 50.3$				
	P_{ah}	$P_a\ \cos(\delta + \overline{\varepsilon}) = 24.8$		+24.8	$H_a/3 = 3.17$	78.6
	P_{av}	$P_a\ \sin(\delta + \overline{\varepsilon}) = 43.8$	+43.8		$m_2 H_a/3 = 2.53$	110.8
土石流體撞擊力	P_f	$\kappa_1\ \rho_m\ \overline{h}_{DE}\ \overline{U}_{DE}^2/g = 0.58$		+0.58	$h_{DE}/2 + H_a = 9.8$	5.7
土石流巨礫撞擊力	P_d	$20.2\ \overline{U}_d^{\,6/5} D_E^2/\overline{B} = 3.4$		+3.4	$D_E/2 + H_a = 1/2 + 9.5 = 10.0$	34.0
上揚力	U	$0.5\ \gamma_w\ C_B\ L(\ H_m + \overline{h}_d\ ) = 20.4$	-20.4		$L/3 = 4.17$	-85.0
合　計			234.0	74.0		1642.0

(2)安定檢算

A.傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2L/3\,(m)$	判定
12.5/3=4.17	1642/234=7.0	$2\times 12.5/3=8.33$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=5.08$		O.K

B.承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.06-6.25=0.81$	100 (t/m^2)	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6e}{L})=11.4\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6e}{L})=26.0\,(t/m^2)$		O.K.

C.滑動檢算：被動土壓力$=0.5\gamma_{sat}K_p(N_b+1.5)^2=50\,t/m^2$

水平力	垂直力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
74.0	234.0	0.4	143.6	$=143.6/74$ $=1.9>1.1$	O.K.

4.1.4 設計案例檢討

通過以上安定檢算結果，歸納出以下兩點說明，包括：

一、本案例在各種條件(傾倒。承載力。滑動等)之安全係數皆有偏高情形，不符經濟原則，故有必要依照上述計算流程及方法，重新設定壩體上游斜面坡度值(m_2)再行檢算。

二、本案例因壩高達 9.5m，安定檢算必須考量所有外力情況。不過，依表 土 2-1-1 得知，當壩高小於 7.0m 時，僅考量洪水及土石流條件即可。

4.2 切口壩設計例

切口壩設計除了切口寬度及安定檢算外，其餘計算流程及方法皆與附錄 4.1 節重力式防砂壩相同，故有關基本資料設定和計算、壩體設計均可直接參考附錄 4.1 節。

4.2.1 基本資料設定和計算

同附錄 4.1 節重力式防砂壩之 4.1.1 節。

4.2.2 壩體設計

有關溢洪口斷面設計可以直接參考附錄 4.1 節重力式防砂壩之 4.1.2 節，惟切口壩之口寬度則設定為 7.6m，以作為後續計算之依據。

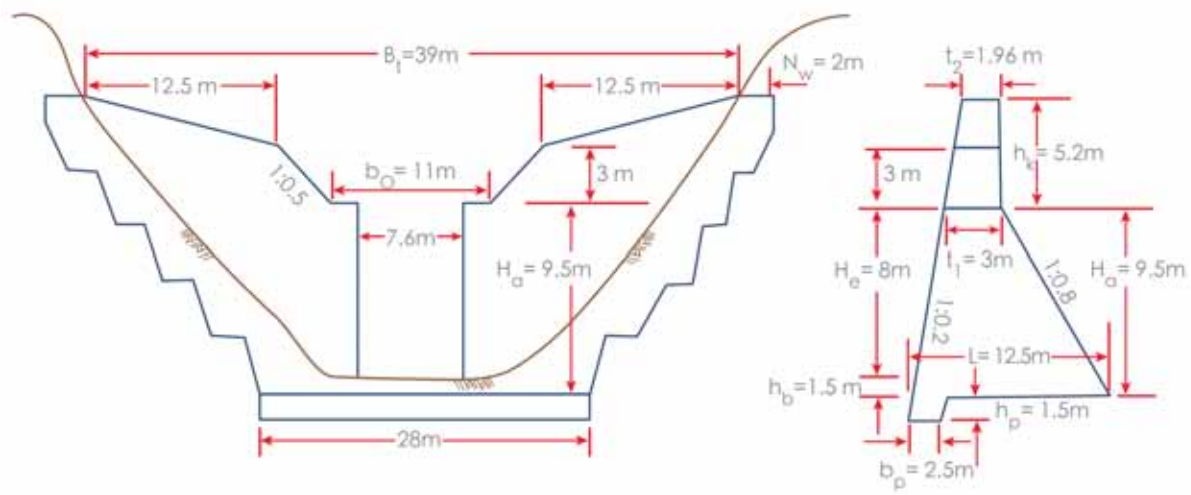


圖 附 4-2-1 切口壩各部尺寸示意圖

4.2.3 安定檢討

一、參數設定及計算：同重力式防砂壩。

二、應力計算

考量空庫、淤滿、洪水、地震、土石流等單獨情況及合理之組合情況下，包括：(1)未淤滿、地震、普通流量時；(2)未淤滿、最大流量時；(3)淤滿、最大流量時；(4)淤滿、地震、普通流量時；(5)未淤滿、土石流流體與巨礫撞擊力時；及(6)淤滿、土石流流體與巨礫撞擊力等六種狀況進行應力分析，各狀況示意圖參見圖 附 4-1-2。

(1)未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、地震、普通流量($h = 0$)時

A.荷重分析($H_1 = H_a - H_m = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ；3. $H_3 = h + H_1 = 1.38\ m$ ；4. $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.744$)

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 15.4$	+15.4		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 11.2$	172.5
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 48.8$	+ 48.8		$m_2\,H_a + t_1/2 = 9.1$	444.1
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 61.8$	+ 61.8		$2\,m_2\,H_a/3 = 5.07$	313.3
靜水壓力	P_{wh}	$05\,\kappa_2\,\gamma_w H_m^2 = 24.6$		+24.6	$H_m/3 = 2.7$	66.4
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m (H_m + H_2) = 31.0$	+31.0		$m_2 H_m/3 = 2.17$	67.1
土砂壓力	P_a	$0.5\,K_{ac}\,\gamma_{sub} H_m^2 = 25.76$				
	P_{ah}	$P_a\,\cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 12.7$		+12.7	$H_m/3 = 2.7$	34.3
	P_{av}	$P_a\,\sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 22.4$	+22.4		$m_2 H_m/3 = 2.7$	60.5
上揚力	U	$0.5\,\gamma_w\,C_B\,L\,H_a = 17.8$	-17.8		$L/3 = 4.17$	-74.2
地震時壩體慣性力	D_1	$K_h\,W_1 = 3.78$		+3.78	$H_a/3 = 3.17$	12.0
	D_2	$K_h\,W_2 = 12.0$		+12.0	$H_a/2 = 4.75$	56.85
	D_3	$K_h\,W_3 = 15.2$		+15.2	$H_a/3 = 3.17$	48.0
地震時土砂壓力增量	P_{ae}	$0.5K_{ae}(1 - K_v)\gamma_{sub}\,H_m^2 = 51.56$				
	ΔP_{ae}	$P_{ae} - P_a = 25.8$				
	ΔP_{aeh}	$\Delta P_{ae}\,\cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 10.16$		+10.16	$0.6\,H_m = 4.87$	49.48
	ΔP_{aev}	$\Delta P_{ae}\,\sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 23.7$	+23.7		$m_2\,H_m/3 = 2.7$	64.0
合　計			185.0	78.0		1314.0

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1314/185=7.1	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=3.92$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.1\text{-}7.2=\text{-}0.1$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6e}{L})=13.4\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6e}{L})=12.3\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
185.0	78.0	0.4	86.5	$=86.5/78.0$ $=1.11>1.1$	O.K.

(2)未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、最大流量時($h = 2.0\ m$ 、 $h_c = 1.38\ m$ 、 $h_{ck} = 1.0m$)

A.檢算[$H_1 = H_a - H_m = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 2.38\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.744$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 15.4$	+15.4		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 11.2$	172.5
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 48.8$	+ 48.8		$m_2\,H_a + t_1/2 = 9.1$	444.1
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 61.8$	+ 61.8		$2\,m_2\,H_a/3 = 5.07$	313.3
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\gamma_{wc}(2h + H_1)H_1\kappa_2 = 1.9$		+1.9	$(H_1/3)(H_1 + 3h)/(H_1 + 2h) + H_m = 8.7$	16.6
	P_{wh2}	$0.5[2\gamma_{wc}H_3 + \gamma_w H_m]H_m\kappa_2 = 40.3$		+40.3	$(H_m/3)[H_m + 3H_3)]/[H_m + 2H_3)] = 3.2$	129.0
	P_{wv1}	$0.5\,\gamma_{wc}\,m_2\,H_1^2 = 0.84$	+ 0.84		$m_2 H_1/3 + m_2 H_m = 6.86$	5.8
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m(H_m + H_2) = 31.0$	+31.0		$m_2 H_m/3 = 2.17$	67.1
	P_{wv4}	$0.5\gamma_{wc}m_2H_mH_2 = 4.1$	+4.1		$2m_2H_m/3 = 4.34$	17.8
	P_{wv5}	$0.5\gamma_{wc}(h + h_c)m_2H_a = 7.2$	+7.2		$m_2 H_a/2 = 3.8$	27.4
	P_{wv6}	$0.5\gamma_{wc}(h_c + h_k)\,t_1 = 4.0$	+4.0		$m_2 H_a + t_1/2 = 9.1$	36.4
土砂壓力	P_a	$0.5\,K_{ac}\,\gamma_{sub}H_m^2 = 25.76$				
	P_{ah}	$P_a\cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 12.7$		+12.7	$H_m/3 = 2.7$	34.3
	P_{av}	$P_a\sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 22.4$	+22.4		$m_2 H_m/3 = 2.7$	60.5
上揚力	U	$0.5\,\gamma_w\,C_B\,L\,(H_a + h) = 20.7$	-20.7		$L/3 = 4.8$	-99.36
合　計			174.8	55.5		1225.4

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1225.4/174.8=7.0	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=5.8$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.94\text{-}7.2=\text{-}0.26$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6\,e}{L})=13.5\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6\,e}{L})=10.9\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
174.8	55.0	0.4	82.4	$=82.4/55$ $=1.5>1.1$	O.K.

(3)淤滿($H_m = 9.5$)、最大流量時($h = 2.0\ m$ 、 $h_c = 1.38\ m$ 、 $h_{ck} = 1.0m$)

A.荷重分析[$H_1 = 0$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 2.0\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.744$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 15.4$	+15.4		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 11.2$	172.5
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 48.8$	+ 48.8		$m_2\,H_a + t_1/2 = 9.1$	444.1
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 61.8$	+ 61.8		$2\,m_2\,H_a/3 = 5.07$	313.3
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\gamma_{wc}(2h + H_1)H_1\kappa_2 = 0$		+0		0
	P_{wh2}	$0.5[2\gamma_{wc}H_3 + \gamma_w H_m]H_m\kappa_2 = 41.4$		+41.4	$(H_m/3)[H_m + 3H_3)]/[H_m + 2H_3)] = 3.4$	140.8
	P_{wv1}	$0.5\,\gamma_{wc}\,m_2\,H_1^2 = 0$	+ 0			0
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m(H_m + H_2) = 41.3$	+41.3		$m_2 H_m/3 = 2.53$	104.5
	P_{wv4}	$0.5\gamma_{wc} m_2 H_m H_2 = 5.7$	+5.7		$2m_2 H_m/3 = 5.06$	28.8
	P_{wv5}	$0.5\gamma_{wc}(h + h_c)m_2 H_a = 14.0$	+14.0		$m_2 H_a/2 = 3.8$	53.2
	P_{wv6}	$0.5\gamma_{wc}(h_c + h_k)\,t_1 = 4.8$	+4.8		$m_2 H_a + t_1/2 = 9.1$	43.7
土砂壓力	P_a	$0.5 \times \gamma_{sub} \times K_{ac} \times H_m^2 = 35.3$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 35.3 \times \cos 66.8 = 13.9$		+13.9	$H_m/3 = 3.17$	44.0
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 35.3 \times \sin 66.8 = 32.4$	+32.4		$m_2 H_m/3 = 3.17$	102.7
上揚力	U	$0.5 \times \gamma_w \times C_B \times L \times (H_m + H_2 + h) = 24.0$	-24.0		$L/3 = 4.8$	-115.2
合計			200.2	55.0		1332.4

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1332.4/200.2=6.7	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=6.0$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.9\text{-}7.2=\text{-}0.3$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6\,e}{L})=14.8\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6\,e}{L})=11.5\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
200.2	55.0	0.4	92.6	$=962.6/55$ $=1.7>1.1$	O.K.

(4)淤滿($H_m = 9.5\ m$)、地震、普通流量($h = 0\ m$)時

A.荷重分析[$H_1 = 0$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 0\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.744$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 15.4$	+15.4		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 11.2$	172.5
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 48.8$	+ 48.8		$m_2\,H_a + t_1/2 = 9.1$	444.1
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 61.8$	+ 61.8		$2\,m_2\,H_a/3 = 5.07$	313.3
靜水壓力	P_{wv1}	$0.5 \times \gamma_w \times m_2 \times H_m(H_m + H_2) = 42.56$	+42.56		$H_m/3 = 3.17$	134.9
	P_{wh}	$0.5 \times \gamma_w H_m^2 \times \kappa_2 = 33.6$		+33.6	$(H_m/3)(H_m + 3H_3)/(H_m + 2H_3) = 3.17$	106.4
土砂壓力	P_a	$0.5 \times \gamma_{sub} \times K_{ac} \times H_m^2 = 35.3$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 13.9$		+13.9	$H_m/3 = 3.17$	44.0
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 32.4$	+32.4		$m_2 H_m/3 = 3.17$	102.7
地震對壩體慣性力	D_1	$K_h\,W_1 = 3.78$		+3.78	$H_a/3 = 3.17$	12.0
	D_2	$K_h\,W_2 = 12.0$		+12.0	$H_a/2 = 4.75$	56.85
	D_3	$K_h\,W_3 = 15.2$		+15.2	$H_a/3 = 3.17$	48.0
地震時土砂壓力增量	P_{ae}	$0.5K_{ae}(1 - K_v)\gamma_{sub}\,H_a^2 = 70.6$				
	ΔP_{ae}	$P_{ae} - P_a = 35.3$				
	ΔP_{aeh}	$\Delta P_{ae} \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 13.9$		+13.9	$0.6\,H_a = 5.7$	79.23
	ΔP_{aev}	$\Delta P_{ae} \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 32.4$	+32.4		$m_2 H_a/3 = 2.53$	82.0
上揚力	U	$0.5 \times \gamma_w \times C_B \times L \times (H_m + H_2) = 20.0$	-20.0		$L/3 = 4.8$	-96.0
合計			211.4	92.4		1500.0

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1500/211.4=7.1	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=3.3$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.04\text{-}7.2=\text{-}0.16$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6\,e}{L})=15.7\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6\,e}{L})=13.8\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
211.4	92.4	0.4	97.0	$=97/92.4$ $=1.05<1.1$	NO.

(5)未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、土石流體撞擊、土石流巨礫撞擊力($D_E = 1.0\ m$)

A.荷重分析[$H_1 = H_a - H_m = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 1.38\ m$ ； $q = \gamma_{me}\ \bar{h}_{DE} = 1.336 \times 0.62 = 0.83\ t/m^2$ ；$\kappa_2 = 1 - (H_o\ \sum b_{op})/(BH_a) = 0.744$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 15.4$	+15.4		$L - 2\ m_1\ H_a/3 = 11.2$	172.5
	W_2	$\kappa_2\ \gamma_c\ t_1\ H_a = 48.8$	＋48.8		$m_2\ H_a + t_1/2 = 9.1$	444.1
	W_3	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 61.8$	＋61.8		$2\ m_2\ H_a/3 = 5.07$	313.3
靜水壓力	P_{wh}	$05\ \kappa_2 \gamma_w H_m^2 = 24.6$		+24.6	$H_m/3 = 2.7$	66.3
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m (H_m + H_2) = 30.0$	+30.0		$m_2 H_m/3 = 2.17$	65.0
土砂壓力	P_a	$0.5\ K_{ac}\ \gamma_{sub} H_m^2 + K_{ac}\ q\ H_m = 35.2$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 13.86$		+13.86	$H_m/3 = 2.7$	37.4
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 32.35$	+32.35		$m_2 H_m/3 = 2.7$	87.3
上揚力	U	$0.5\ \gamma_w\ C_B\ L(H_m + H_2) = 17.4$	-17.4		$L/3 = 4.8$	-83.5
土石流體撞擊力	P_f	$\gamma_m\ \bar{h}_{DE}\ \bar{U}_{DE}^2 / g = 0.78$		0.78	$h_d/2 + H_m = 8.43$	6.9
土石流巨礫撞擊力	P_d	$20.2\ \bar{U}_{DE}^{6/5} D_E^2 / B = 3.1$		+3.1	$D_E/2 + H_m = 8.62$	26.72
合計			171.0	42.34		1136.0

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1136/171=6.64	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=6.5$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.5\text{-}7.2=\text{-}0.7$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{B\,L}(1-\frac{6\,e}{L})=15.3\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{B\,L}(1+\frac{6\,e}{L})=8.4\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
171.0	43.7	0.4	81.0	$=81/43.7$ $=1.85>1.1$	O.K.

(6)淤滿($H_m = 9.5\ m$)、土石流體撞擊力、土石流巨礫撞擊力($D_E = 1.0\ m$)

A.荷重分析[$H_1 = 0$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 0\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.744$ ；

$\kappa_1 = (B_E - b_o)/B_E = 0.31$ ； $\overline{B} = B_E - b_o = 20.82\ m$ ； $q = \gamma_m \overline{h}_{DE} = 0.83\ t/m^2$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 15.4$	+15.4		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 11.2$	172.5
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 48.8$	+ 48.8		$m_2\,H_a + t_1/2 = 9.1$	444.1
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 61.8$	+ 61.8		$2\,m_2\,H_a/3 = 5.07$	313.3
靜水壓力	P_{wv1}	$0.5\times\gamma_w\times m_2\times H_m(H_m + H_2) = 42.56$	+42.56		$H_m/3 = 3.17$	134.9
	P_{wh}	$0.5\times\gamma_w H_m^2\times\kappa_2 = 33.6$		+33.6	$(H_m/3)(H_m + 3H_3)/(H_m + 2H_3) = 3.17$	106.4
土砂壓力	P_a	$0.5\times\gamma_{sub}\times K_{ac}\times H_m^2 + K_{ac}\,q\,H_m = 46.3$				
	P_{ah}	$P_a\cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 18.24$		+18.24	$H_m/3 = 3.17$	57.8
	P_{av}	$P_a\sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 42.6$	+42.6		$m_2 H_m/3 = 3.17$	135.0
上揚力	U	$0.5\times\gamma_w\times C_B\times L\times(H_m + H_2) = 21.0$	-21.0		$L/3 = 4.8$	-100.8
土石流體撞擊力	P_f	$\kappa_1\,\gamma_m\,\overline{h}_{DE}\,\overline{U}_{DE}^2/g = 0.24$		+0.24	$h_{DE}/2 + H_m = 9.81$	2.35
土石流巨礫撞擊力	P_d	$20.2\,\overline{U}_{DE}^{6/5} D_E^2/\overline{B} = 3.72$		+3.72	$D_E/2 + H_m = 10.0$	37.2
合計			190.0	55.8		1302.8

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1302.8/190=6.9	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=5.2$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.9\text{-}7.2=\text{-}0.3$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{B\,L}(1-\frac{6\,e}{L})=14.8\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{B\,L}(1+\frac{6\,e}{L})=11.5\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
190.0	55.8	0.4	88.5	$=88.5/55.8$ $=1.59>1.1$	O.K.

4.2.4 設計案例檢討

通過以上安定檢算結果，歸納出以下兩點說明，包括：

一、本案例在各種條件(傾倒、承載力、滑動等)之安全係數皆有偏高情形，不符經濟原則，故有必要依照上述計算流程及方法，重新設定壩體上游斜面坡度值(m_2)再行檢算。

二、本案例因壩高達 9.5m，安定檢算必須考量所有外力情況。不過，依表 土-2-1-1 得知，當壩高小於 7.0m 時，僅考量洪水及土石流條件即可。

4.3 梳子壩設計例

4.3.1 基本資料設定和計算：

同附錄 4.1 節重力式防砂壩之 4.1.1 節。

4.3.2 壩體設計

一、參數設定

參數名	符號	數值	備註
有效壩高(m)	H_e	8.0	
淤滿後壩頂處溪床寬度(m)	B_E	30.82	依現地條件。
壩翼頂部溪流寬度(m)	B_t	39.0	依現地條件。
壩體上游面斜率	m_2	0.8	壩體設計主要變數，應依安定檢算結果調整之。
壩體下游面斜率	m_1	0.2	
壩體上游面與水平向夾角(^{o})	ε	51.34	依m_2值改變。
溢洪口斷面邊坡係數	Z	0.5	
出水高度(m)	h_f	1.0	表工-2-1-2。
壩頂厚度(m)	t_1	3.0	表工-2-1-8。
壩體基礎嵌入深度(m)	N_b	1.5	圖工-2-1-13。
側邊嵌入深度(m)	N_s	1.0	
壩翼嵌入深度(m)	N_w	2.0	工程篇防砂壩之壩翼。

二、參數計算

(一) 溢洪口斷面設計

參數名及單位	符號	計算式	數值
溢洪口斷面底寬(m)	b_o	設定值	25.0
溢流水深(m)	h	工程篇式(2.1.3)，採試誤法	1.2
溢洪口斷面上部寬度(m)	b_u	$b_o + 2\,Z\,(h + h_f)$	27.2

(二) 壩體幾何設計

參數名及單位	符號	計算式	數值
壩翼斜率(%)	S_e	$\tan\alpha$	17.87
壩頂至壩翼頂部高度 (m)	h_k	$h + h_f + 12.5\tan(10.13)$	3.4
壩翼頂部厚度(m)	t_2	$t_1 - m_1\,h_k$	2.3
壩高(m)	H_a	$H_e + N_b$	9.5
壩體底部厚度(m)	L	$t_1 + (m_1 + m_2)\,H_a$	12.5

(三) 壩體各部尺寸圖

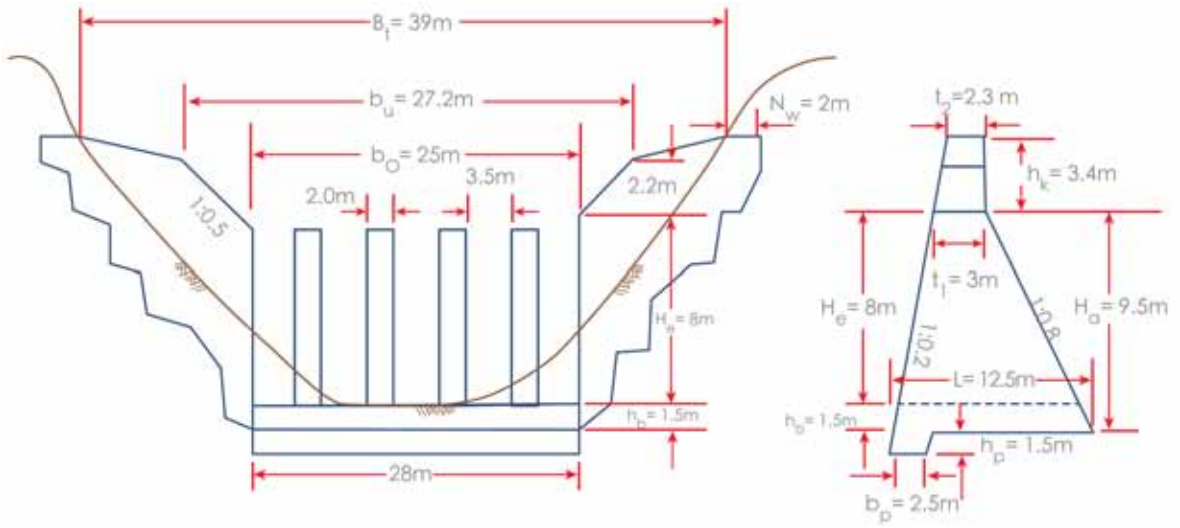


圖 附 4-3-1 梳子壩各部尺寸示意圖

4.3.3 安定檢討

一. 參數設定及計算

參數名	符號	計 算 式	數值
實際壩高(m)	H_a	$H_o + N_b$	9.5
土壤飽和單位重量(t/m^3)	γ_{sat}	$(\gamma_s - \gamma_w)C_* + \gamma_w$	2.09
浸水單位重量(t/m^3)	γ_{sub}	$\gamma_{sat} - \gamma_w$	1.09
牆與土壤摩擦角(^{o})	δ	~	21.8
壩體上游面與垂線夾角(^{o})	$\bar{\varepsilon}$	~	45.0
水平地震係數	K_h	~	0.22
垂直地震係數	K_v	$2K_h/3$	0.147
地震角(^{o})	$\bar{\theta}$	$\tan^{-1}[K_h/(1-K_v)]$	14.47
浮力係數	C_B	工程篇表工 2-1-5	0.3
基礎承載力(t/m^2)	B_p	工程篇表工 2-1-7	100
主動土壓力係數(Coulomb)	K_{ac}	工程篇式(2.1.13)	0.717
被動土壓力係數(Coulomb)	K_{pc}	工程篇式(2.1.15)	5.3
主動土壓力係數(Rankine)	K_{ar}	工程篇式(2.1.20)	0.28
被動土壓力係數(Rankine)	K_{pr}	工程篇式(2.1.24)	3.44
地震動態土壓力係數	K_{ae}	工程篇式(2.1.32)	1.682
淤積高度(m)	H_m	自行設定	8.12
臨界水深(m)	h_c	$\frac{Q_d^2}{g} = \frac{(b_o + b_u)^3}{8\,b_u} h_c^3$	0.83
跌水緣水深(m)	h_{ck}	$0.715\,h_c$	0.6
淤滿後土石流流量(cms)	Q_{DE}	$\frac{C_m}{C_m - C_{de}} Q_w$	58.0

淤滿後土石流流深(m)	h_{DE}	$h_d = (\frac{n_d\ Q_{DE}}{B_E S_e^{0.5}})^{0.6}$	0.62
淤滿後土石流流速(m/s)	U_{DE}	$Q_{DE}/(h_{DE}\ B_E)$	3.04

二. 應力計算

考量空庫、淤滿、洪水、地震、土石流等單獨情況及合理之組合情況下，包括：(1)未淤滿、地震、普通流量時；(2)未淤滿、最大流量時；(3)淤滿、最大流量時；(4)淤滿、地震、普通流量時；(5)未淤滿、土石流流體撞擊力、土石流流體撞擊力時；及(6)淤滿、土石流流體撞擊力、巨礫撞擊力等六種狀況進行應力分析，各狀況示意圖參見圖 附 4-1-2。

(1)未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、地震、普通流量($h = 0\ m$)時

A.荷重分析[$H_1 = H_a - H_m = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 1.38\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.41$ ；$\overline{H} = h + H_2 + H_m = 9.27\ m$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 8.5$	+8.5		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 13.1$	111.4
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 26.95$	＋26.95		$m_2\,H_a + t_1/2 = 11$	296.5
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 42.6$	＋42.6		$2\,m_2\,H_a/3 = 6.3$	268.4
靜水壓力	P_{wh}	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_w H_m^2 = 13.5$		+13.5	$H_m/3 = 2.7$	36.5
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m(H_m + H_2) = 45.7$	+45.7		$m_2 H_m/3 = 2.7$	123.4
土砂壓力	P_a	$0.5\,K_{ac}\,\gamma_{sub} H_m^2 = 25.76$				
	P_{ah}	$P_a\cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 12.7$		+12.7	$H_m/3 = 2.7$	34.3
	P_{av}	$P_a\sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 22.4$	+22.4		$m_2 H_m/3 = 2.7$	60.5
上揚力	U	$0.5\,\gamma_w\,C_B\,L\,\overline{H} = 20.0$	-20.0		$L/3 = 4.8$	-96.0
地震時壩體慣性力	D_1	$K_h\,W_1 = 1.87$		+1.87	$H_a/3 = 3.17$	5.93
	D_2	$K_h\,W_2 = 5.93$		+5.93	$H_a/2 = 4.75$	28.2
	D_3	$K_h\,W_3 = 9.4$		+9.4	$H_a/3 = 3.17$	29.8
地震時土砂壓力增量	P_{ae}	$0.5K_{ae}(1 - K_v)\gamma_{sub}\,H_m^2 = 51.56$				
	ΔP_{ae}	$P_{ae} - P_a = 25.8$				
	ΔP_{aeh}	$\Delta P_{ae}\cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 10.16$		+10.16	$0.6\,H_m = 4.87$	49.48
	ΔP_{aev}	$\Delta P_{ae}\sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 23.7$	+23.7		$m_2\,H_m/3 = 2.7$	64.0
合　計			150.0	51.3		998.0

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	998/150=6.65	$2\times14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=4.7$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.67\text{-}7.2=\text{-}0.53$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6e}{L})=12.8\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6e}{L})=8.1\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
150.0	51.3	0.4	72.5	$=72.5/51.3$ $=1.4>1.1$	O.K.

(2)未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、最大流量時($h = 1.2\ m$ 、 $h_c = 0.83\ m$ 、 $h_{ck} = 0.6\ m$)

A.荷重分析[$H_1 = H_a - H_m = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 2.58\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.41$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 8.5$	+8.5		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 13.1$	111.4
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 26.95$	+ 26.95		$m_2\,H_a + t_1/2 = 11$	296.5
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 42.6$	+ 42.6		$2\,m_2\,H_a/3 = 6.3$	268.4
靜水壓力	P_{wh1}	$0.5\gamma_{wc}(2h + H_1)H_1\kappa_2 = 1.16$		+1.16	$(H_1/3)(H_1 + 3h)/(H_1 + 2h) + H_m = 8.7$	10.0
	P_{wh2}	$0.5[2\gamma_{wc}H_3 + \gamma_w H_m]H_m\kappa_2 = 22.2$		+22.2	$(H_m/3)[H_m + 3H_3)]/[H_m + 2H_3)] = 3.2$	71.1
	P_{wv1}	$0.5\,\gamma_{wc}\,m_2\,H_1^2 = 1.0$	+ 1.0		$m_2 H_1/3 + m_2 H_m = 8.58$	8.58
	P_{wv3}	$0.5\gamma_w m_2 H_m(H_m + H_2) = 37.7$	+37.7		$m_2 H_m/3 = 2.7$	101.8
	P_{wv4}	$0.5\gamma_{wc}m_2 H_m H_2 = 5.14$	+5.14		$2m_2 H_m/3 = 5.4$	27.8
	P_{wv5}	$0.5\gamma_{wc}(h + h_c)m_2 H_a = 10.5$	+10.5		$m_2 H_a/2 = 4.75$	50.0
	P_{wv6}	$0.5\gamma_{wc}(h_c + h_{ck})t_1 = 2.3$	+2.3		$m_2 H_a + t_1/2 = 11$	25.3
土砂壓力	P_a	$0.5\,K_{ac}\,\gamma_{sub}H_m^2 = 25.76$				
	P_{ah}	$P_a\,\cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 12.7$		+12.7	$H_m/3 = 2.7$	34.3
	P_{av}	$P_a\,\sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 22.4$	+22.4		$m_2 H_m/3 = 2.7$	60.5
上揚力	U	$0.5\,\gamma_w\,C_B\,L\,(H_a + H_2 + h) = 25.6$	-25.6		$L/3 = 4.8$	-122.9
合　計			131.5	36.1		942.8

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	942.8/131.5=7.17	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=7.25$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.13\text{-}7.2=\text{-}0.07$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6e}{L})=9.4\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6e}{L})=8.9\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
131.5	36.1	0.4	65.1	$=65.1/36$ $=1.8>1.1$	O.K.

(3)淤滿($H_m = 9.5$)、最大流量時($h = 1.2\ m$ 、 $h_c = 0.83\ m$ 、 $h_{ck} = 0.6\ m$)

A.荷重分析[$H_1 = 0$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 1.2\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o\ \sum b_{op})/(BH_a) = 0.41$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 8.5$	+8.5		$L - 2\ m_1\ H_a / 3 = 13.1$	111.4
	W_2	$\kappa_2\ \gamma_c\ t_1\ H_a = 26.95$	+ 26.95		$m_2\ H_a + t_1 / 2 = 11$	296.5
	W_3	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 42.6$	+ 42.6		$2\ m_2\ H_a / 3 = 6.3$	268.4
靜水壓力	P_{wv1}	$0.5 \times \gamma_w \times m_2 \times H_m (H_m + H_2) = 51.6$	+51.6		$H_m / 3 = 3.17$	163.6
	P_{wv2}	$0.5 \times \gamma_{wc} \times (h + h_c) \times H_m = 20.4$	+20.4		$m_2 H_m / 2 = 4.75$	96.9
	P_{wv3}	$0.5 \times \gamma_{wc} \times (h_{ck} + h_c) \times t_1 = 4.18$	+4.18		$t_1 / 2 + m_2 H_m = 11$	46.0
	P_{wv4}	$0.5 \times \gamma_{wc} \times m_2 \times H_m \times H_2 = 7.12$	+7.12		$2 m_2 H_m / 3 = 6.34$	45.0
	P_{wh}	$0.5 \times [2\gamma_{wc} H_3 + \gamma_w H_m] \times H_m \times \kappa_2 = 22.8$		+22.8	$(H_m / 3)(H_m + 3H_3) / (H_m + 2H_3) = 3.44$	78.4
土砂壓力	P_a	$0.5 \times \gamma_{sub} \times K_{ac} \times H_m^2 = 35.3$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 35.3 \times \cos 66.8 = 13.9$		+13.9	$H_m / 3 = 3.17$	44.0
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 35.3 \times \sin 66.8 = 32.4$	+32.4		$m_2 H_m / 3 = 3.17$	102.7
上揚力	U	$0.5 \times \gamma_w \times C_B \times L \times (H_m + H_2 + h) = 28.2$	-28.2		$L / 3 = 4.8$	-135.4
合計			165.6	37.0		1117.5

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1117.5/165.6=6.75	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=8.1$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.76\text{-}7.2=\text{-}0.44$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6e}{L})=13.6\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6e}{L})=9.4\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
165.6	37.0	0.4	78.7	$=78.7/37$ $=2.1>1.1$	O.K.

(4)淤滿($H_m = 9.5\ m$)、地震、普通流量($h = 0\ m$)時

A.荷重分析[$H_1 = 0$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 0\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.41$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_1\,H_a^2 = 8.5$	+8.5		$L - 2\,m_1\,H_a/3 = 13.1$	111.4
	W_2	$\kappa_2\,\gamma_c\,t_1\,H_a = 26.95$	+ 26.95		$m_2\,H_a + t_1/2 = 11$	296.5
	W_3	$0.5\,\kappa_2\,\gamma_c\,m_2\,H_a^2 = 42.6$	+ 42.6		$2\,m_2\,H_a/3 = 6.3$	268.4
靜水壓力	P_{wv1}	$0.5 \times \gamma_w \times m_2 \times H_m(H_m + H_2) = 51.6$	+51.6		$H_m/3 = 3.17$	163.6
	P_{wh}	$0.5 \times \gamma_w H_m^2 \times \kappa_2 = 18.5$		+18.5	$(H_m/3)(H_m + 3H_3)/(H_m + 2H_3) = 3.17$	58.6
土砂壓力	P_a	$0.5 \times \gamma_{sub} \times K_{ac} \times H_m^2 = 35.3$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 13.9$		+13.9	$H_m/3 = 3.17$	44.0
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 32.4$	+32.4		$m_2 H_m/3 = 3.17$	102.7
地震對壩體慣性力	D_1	$K_h\,W_1 = 1.87$		+1.87	$H_a/3 = 3.17$	5.93
	D_2	$K_h\,W_2 = 5.93$		+5.93	$H_a/2 = 4.75$	28.2
	D_3	$K_h\,W_3 = 9.4$		+9.4	$H_a/3 = 3.17$	29.8
地震時土砂壓力增量	P_{ae}	$0.5K_{ae}(1 - K_v)\gamma_{sub}\,H_a^2 = 70.6$				
	ΔP_{ae}	$P_{ae} - P_a = 35.3$				
	ΔP_{aeh}	$\Delta P_{ae} \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 13.9$		+13.9	$0.6\,H_a = 5.7$	79.23
	ΔP_{aev}	$\Delta P_{ae} \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 32.4$	+32.4		$m_2 H_a/3 = 2.53$	82.0
上揚力	U	$0.5 \times \gamma_w \times C_B \times L \times (H_m + H_2 + h) = 23.5$	-23.5		$L/3 = 4.8$	-112.8
合計			171.0	64.0		1158.0

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2\,L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1158/171=6.8	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=3.63$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.62\text{-}7.2=\text{-}0.58$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{L}(1-\frac{6\,e}{L})=14.8\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{L}(1+\frac{6\,e}{L})=9.06\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
171.0	64.0	0.4	81.3	$=81.3/64$ $=1.27>1.1$	O.K.

(5)未淤滿($H_m = 8.12\ m$)、土石流體撞擊及其巨礫撞擊($D_E = 1.0\ m$)時

A.荷重分析[$H_1 = H_a - H_m = 1.38\ m$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.15\ m$ ； $h = 0$ ； $H_3 = h + H_1 = 1.38\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.41$]；

$h_{DE} = 0.62\ m$ ； $U_{DE} = 3.04\ m/sec$ ； $B = 25\ m$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 8.5$	+8.5		$L - 2\ m_1\ H_a / 3 = 13.1$	111.4
	W_2	$\kappa_2\ \gamma_c\ t_1\ H_a = 26.95$	+ 26.95		$m_2\ H_a + t_1 / 2 = 11$	296.5
	W_3	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 42.6$	+ 42.6		$2\ m_2\ H_a / 3 = 6.3$	268.4
靜水壓力	P_{wh}	$0.5\ \kappa_2 \gamma_w H_m^2 = 13.5$		+13.5	$H_m / 3 = 2.7$	36.5
	P_{wv3}	$0.5 \gamma_w m_2 H_m (H_m + H_2) = 37.3$	+37.3		$m_2 H_m / 3 = 2.7$	100.7
土砂壓力	P_a	$0.5\ K_{ac}\ \gamma_{sub} H_m^2 + K_{ac}\ q\ H_m = 35.2$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 13.86$		+13.86	$H_m / 3 = 2.7$	37.4
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 32.35$	+32.35		$m_2 H_m / 3 = 2.7$	87.3
上揚力	U	$0.5\ \gamma_w\ C_B\ L(H_m + H_2 + h) = 19.92$	-19.92		$L / 3 = 4.8$	-95.6
土石流體撞擊力	P_f	$\gamma_{me}\ \bar{h}_{DE}\ \bar{U}_{DE}^2 / g = 0.78$		0.78	$h_{DE} / 2 + H_m = 8.43$	6.6
土石流巨礫撞擊力	P_d	$20.2\ \bar{U}_{DE}^{6/5} D_E^2 / B = 3.1$		+3.1	$D_E / 2 + H_m = 8.62$	26.72
合計			128.0	31.24		876.0

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	876/128=6.84	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=6.2$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=6.97\text{-}7.2=\text{-}0.23$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{BL}(1-\frac{6e}{L})=9.85\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{BL}(1+\frac{6e}{L})=7.93\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
128.0	31.24	0.4	63.7	$=63.7/31.24$ $=2.0>1.1$	O.K.

(6)淤滿($H_m = 9.5\ m$)、土石流體撞擊力、土石流巨礫撞擊($D_E = 1.0\ m$)

A.荷重分析[$H_1 = 0$ ； $H_2 = m_2 H_m \tan\alpha = 1.36\ m$ ； $H_3 = h + H_1 = 0\ m$ ； $\kappa_2 = 1 - (H_o \sum b_{op})/(BH_a) = 0.41$ ； $\kappa_1 = (B_E - b_o)/B_E = 0.19$ ；

$\overline{B} = B_E - b_o = 5.82\ m$ ； $q = \gamma_{me}\ \overline{h}_{DE} = 0.83$]

作用力	符號	計算式	R_v	R_h	作用點	力矩
壩體自重	W_1	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_1\ H_a^2 = 8.5$	+8.5		$L - 2\ m_1\ H_a / 3 = 13.1$	111.4
	W_2	$\kappa_2\ \gamma_c\ t_1\ H_a = 26.95$	+ 26.95		$m_2\ H_a + t_1 / 2 = 11$	296.5
	W_3	$0.5\ \kappa_2\ \gamma_c\ m_2\ H_a^2 = 42.6$	+ 42.6		$2\ m_2\ H_a / 3 = 6.3$	268.4
靜水壓力	P_{wv1}	$0.5 \times \gamma_w \times m_2 \times H_m (H_m + H_2) = 51.6$	+51.6		$H_m / 3 = 3.17$	163.6
	P_{wh}	$0.5 \times \gamma_w H_m^2 \times \kappa_2 = 18.5$		+18.5	$(H_m / 3)(H_m + 3H_3)/(H_m + 2H_3) = 3.17$	58.6
土砂壓力	P_a	$0.5 \times \gamma_{sub} \times K_{ac} \times H_m^2 + K_{ac}\ q\ H_m = 46.3$				
	P_{ah}	$P_a \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) = 18.24$		+18.24	$H_m / 3 = 3.17$	57.8
	P_{av}	$P_a \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) = 42.6$	+42.6		$m_2 H_m / 3 = 3.17$	135.0
上揚力	U	$0.5 \times \gamma_w \times C_B \times L \times (H_m + H_2 + h) = 23.5$	-23.5		$L / 3 = 4.8$	-116.2
土石流體撞	P_f	$\kappa_1\ \gamma_m\ \overline{h}_{DE}\ \overline{U}_{DE}^2 / g = 0.15$		+0.15	$h_{DE} / 2 + H_m = 9.81$	1.5
土石流巨礫撞擊	P_d	$20.2\ \overline{U}_{DE}^{6/5} D_E^2 / \overline{B} = 13.3$		+13.3	$D_E / 2 + H_m = 10.0$	133.0
合計			148.75	50.2		1109.6

B.安定檢算

(A)傾倒檢算：

$L/3\,(m)\leq$	$x=M/V\,(m)$	$\leq 2L/3\,(m)$	判定
14.4/3=4.8	1109.6/148.75=7.46	$2\times 14.4/3=9.6$	O.K.
安全係數	$\sum M_v/\sum M_h=3.4$		O.K

(B)承載力檢算：

作用力	符號	計　　算　　式	B_p	判定
偏矩(m)	e	$x-L/2=7.45\text{-}7.2=0.25$	100 t/m^2	
上游承載力	B_{pu}	$\frac{R_v}{BL}(1-\frac{6e}{L})=9.3\,(t/m^2)$		O.K.
下游承載力	B_{pd}	$\frac{R_v}{BL}(1+\frac{6e}{L})=11.5\,(t/m^2)$		O.K.

(C)滑動檢算：$P_p=0.5\times\gamma_{sat}\times K_{pc}\times 1.5^2=12.5\,t/m$

垂直力	水平力	摩擦係數	摩擦阻力	安全係數	判定
148.75	50.2	0.4	72.0	$=72.0/50.2$ $=1.43>1.1$	O.K.

4.3.4 壩柱抗剪及抗彎檢算

除了壩體整體的安定性外，檢算單一柱體的抗剪強度及抗彎強度，以評估柱體本身材料的強度，亦是不可或缺的工作之一。考慮重力式梳子壩壩柱屬於純混凝土，其最小斷面積(b×h)為 2 m×3 m ，柱高 8 m ，假設柱體上游淤砂高度達 $H_m = 7\ m$時(未淤滿狀況)，則作用在柱體上的水平力計有靜水壓力、土砂壓力及土石流巨礫撞擊力等外力，如圖 附 4-3-2 所示。因此，總彎矩可表為

$$M = P_d\,(7 + D_E\ /\ 2) + b\ P_{wh}\ H_m\ /\ 3 + b\ P_{ah}\ H_m\ /\ 3 \qquad (ton \cdot m)$$

參考安定檢算之(5)未淤滿、土石流巨礫撞擊時，已知總垂直力V =128ton，而總彎矩M 為

$$M\ = 77.4 \times 7.5 + 27.0 \times 2.33 + 27.72 \times 2.33 = 708\ \ ton \cdot m$$

混凝土斷面抗彎強度為

$$\phi\, M_n = 0.122\sqrt{f_c^{'}}\ b \times d^2 = 0.122 \times \sqrt{210} \times 200 \times 300^2 = 318\, t \cdot m$$

因$\phi\, M_n < M$ ，故壩柱會遭巨礫撞擊而產生彎矩破壞。

壩柱抗剪強度為

$$\phi V_n = 0.1925\sqrt{f_c^{'}}\ b \times d = 0.1925 \times \sqrt{210} \times 200 \times 300 = 167\, t$$

因$\phi V_n > V = 77.4\ (t)$ ，故壩柱可抵抗土石流巨礫之剪切破壞。

總結以上分析，壩柱可能會遭土石流巨礫撞擊而產生彎矩破壞，必須施以緩衝材料於壩體上游面加以保護。

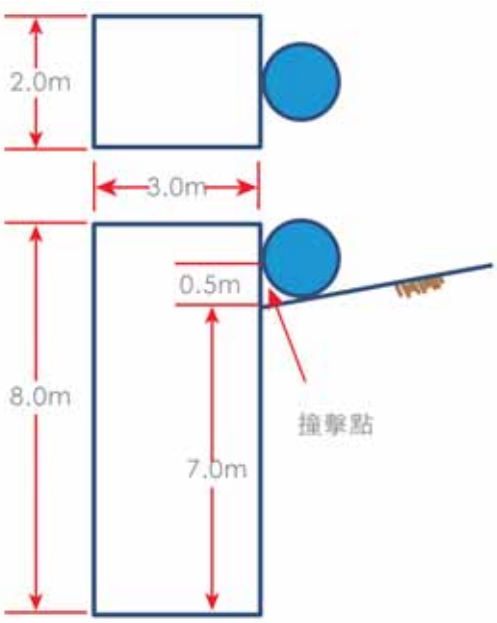


圖 附 4-3-2 土石流巨礫撞擊梳子壩壩註示意圖

水土保持手冊

編著者：行政院農業委員會水土保持局

發行人：李鎮洋

發行所：行政院農業委員會水土保持局

策劃指導人員：李鎮洋、林長立、孫明德、王晉倫、連榮吉、柯燦堂、徐森彥、蔡金龍、陳重光、范世億、尹孝元、黃振全、簡俊發、陳榮俊、傅桂霖、王志輝、陳淑媛

編修召集人員：陳樹群(總論篇)、冀樹勇(基本資料調查與分析篇)、唐琦(農藝篇)、林信輝(植生篇)、馮正一(工程篇)、連惠邦(土石流篇)

編審人員：丁文博、王文能、王志雄、王志豪、王志賢、王咏潔、王傳益、王德鏞、何幸娟、吳久雄、吳俊鋐、吳瑞鵬、吳嘉俊、吳聲傑、宋有鍊、宋國彰、巫建達、李木青、李正鈞、李仲強、李佳純、李典耕、李新源、李璟芳、周良勳、周祖明、林仕修、林可薇、林正源、林伯勳、林宏鳴、林宜瑩、林秉賢、林俐玲、林美聆、林國財、林崑龍、武德玲、邱啟芳、施東隆、施東榮、施賢聰、段錦浩、洪勇善、洪崇仁、徐浚祐、高伯宗、張三郎、張玉莽、張光宗、張承遠、張國欽、張勝豐、張集豪、張維訓、張曉康、曹舜評、曹鼎志、梁家齊、許中立、許振崑、許朝欽、連宮瑩、郭玉麟、郭瑞民、陳子裕、陳沛霖、陳俊愷、陳昶憲、陳美珍、陳振宇、陳勝全、陳智誠、陳智賢、陳鶴勳、曾彩欣、游元興、游繁結、黃宏斌、黃志彰、黃盈彰、黃韋凱、黃國鋒、黃博暉、黃瀞瑩、楊孟潭、葉一隆、詹錢登、廖瑞堂、劉西河、潘鴻冀、蔡宗翰、蔡明發、蔡易達、鄭名凱、盧啟榮、蕭國亮、蕭震洋、賴育廷、賴承農、賴旺坤、謝平城、謝正倫、謝杉舟、謝斌宏、鍾明劍、鍾庫比亞、簡仔貞、魏倫瑋、嚴曉嘉、蘇苗彬、蘇郁婷、鐘啟榮 (以姓氏筆畫為序)

行政統籌：王上維、蕭震洋、顏川舜 (以姓氏筆畫為序)

美　　編：何亦桓

地址：54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號

電話：(049)2394300

網址：本書同時刊載於行政院農業委員會水土保持局全球資訊網站(https://www.swcb.gov.tw)

編印日期：中華民國 106 年 12 月

定　　價：1000 元

G P N：1010602832

I S B N：978-986-05-5344-4

著作權：本刊著作權歸行政院農業委員會水土保持局所有

SWCB-106-096

水土保持手冊

農藝篇

植生篇



行政院農業委員會水土保持局　　編印

中華民國106年12月

序

「水土保持手冊」之內容兼具理論基礎與實務經驗，所涵蓋之專業領域甚廣，為因應水土保持工作新的挑戰，水土保持局針對水土保持手冊進行全面性之編修，目的是讓從事水土保持相關工作者更容易參考使用，並也同時累積傳承臺灣數十年來從事水土保持工作的經驗。

本版水土保持手冊篇幅包括「總論篇」、「基本資料調查與分析篇」、「農藝篇」、「工程篇」、「土石流篇」與「植生篇」等六篇。其中新增編修「基本資料調查與分析篇」及「土石流篇」，以對應充實「水土保持技術規範」之基本資料調查與分析章節，並同時納入水土保持局之土石流防治重要業務；另前版水土保持手冊之「坡地保育篇」、「工程方法篇」及「植生方法篇」，分別調整篇名為「農藝篇」、「工程篇」及「植生篇」，以對應現行「水土保持法」內之專用名詞。

手冊各篇幅之編修重點，係以「總論篇」串連各篇幅，以展現整體性及完整性，「基本資料調查與分析篇」提供水土保持工作中調查任務之參考，「農藝篇」新增處理單元並加入照片圖示說明，「工程篇」新增水土保持工程常用之工法單元，「植生篇」新增植生工程材料及修改特殊地植生工程，「土石流篇」則傳承水土保持局在土石流防災整治上之技術。

本次編修之最大創新特色主要以彙整國內外水土保持新知與廣納各產官學界之意見為主。編修工作係先以參考水土保持局與大學研究單位歷年來之相關研究成果，並同時諮詢相關技師公會及專家先進之實務經驗，最後承蒙水土保持諸多前輩先進、水土保持局及各分局資深人員等積極提供意見，方使得本版水土保持手冊之編修圓滿完成，謹致萬分謝忱！

行政院農業委員會

水土保持局　局長 李鎮洋

謹誌

2017 年 12 月

農藝篇

壹、通論

1.1概論(Introduction) 農-1-1
1.2臺灣山坡地利用概況(Outline for slopeland utilization in Taiwan) 農-1-10
1.3土壤侵蝕與控制(Soil erosion and control) 農-1-18
1.4水土保持農藝方法(Agronomic practices for soil and water conservation) 農-1-25
1.5防風定砂(Windbreaks for sand fixation) 農-1-29
1.6農地水土保持規劃(Soil and water conservation planning on farmland) 農-1-31

貳、處理單元

2.1等高耕作(Contour farming) 農-2-1
2.2覆蓋(Cover) 農-2-4
2.3敷蓋(Mulching) 農-2-6
2.4綠肥(Green manure) 農-2-8
2.5山邊溝(Hillside ditch) 農-2-13
2.6平台階段(Bench terraces) 農-2-18
2.7寬壟階段(Broad based terraces) 農-2-24
2.8石牆法(Stone walls) 農-2-28
2.9草帶法(Grass barriers) 農-2-30
2.10農塘(Farming pond) 農-2-32
2.11農地沉砂池(Sedimentation pond for farmland) 農-2-36
2.12農地防風(Windbreak for farmland) 農-2-39
2.13乾砌石護坡(Rockery slope protection works) 農-2-44
2.14梯田(Terrace) 農-2-47
2.15農地整坡(Regulate slope for farmland) 農-2-53
2.16過水溝面(Cross farm road surface ditch) 農-2-56

參、農地水土保持相關配合措施

3.1農路系統(Farm road system) 農-3-1
3.2農地排水(Farmland drainage) 農-3-13

3.3農地灌溉(Farmland irrigation).....農-3-18

肆、附錄

附錄一、山邊溝之坡度、溝距對照(The chart of slope and interval for hillside ditch) 農-4-1
附錄二、平台階段土方表(The table of earthmoving of bench terraces).....農-4-2
附錄三、臺灣坡面農地逕流量估計(The estimation of farmland runoff on slope land in Taiwan).....農-4-8

壹、通論

1.1 概論

1.1.1 前言

早期先民移居臺灣，既已進行梯田的開闢，是為本島水土保持的濫觴，及光復初期開始由政府推廣農地水土保持，同時對山坡地宜農、宜牧地進行調查、區分、規劃，研擬頒布如：公有山坡地整理辦法、國有原野地清理、國有森林用地解除後土地處理及保育利用方案等相關山坡地農牧土地利用法規、山坡地農牧地經營利用、水土保持相關工程、致力於山坡地農藝、園藝及其他經濟作物之改進與推廣、山坡地畜牧作業改進與推廣、其他有關山坡地發展保育利用，規定放領宜農地，必須俟承領人完成水土保持處理，並於繳清地價後，始得憑承領證書及水土保持合格證書換發土地所有權狀，前指水土保持處理包括：完成平台階段(應包含梯田)、山邊溝、石牆法、寬壟階段及其必要之農地安全排水設施。後續為配合勞動人力結構改變，開始發展山坡地農藝、園藝、作物生產技術及農地基盤改進等事項。歷經過水土保持界前輩戮力作為與經驗累積，已能配合勞動人力結構改變及增產農糧需求，此即開發山坡地之淺丘及邊際土地成為農牧用地，藉農地水土保持配合省工經營以達到永續農業耕作之基礎。

近年來，政府基於水土資源保育需要對坡地農業之開發越趨嚴謹，使得開發規模與面積漸減，為使農地水土保持推廣工作與項目，以及早期發展之農地水土保持技術體系應能與時俱進，期能發展出因地制宜及就地取材之農地水土保持方法，除可藉省工經營及草生栽培，達到兼具保水護土、減緩土壤流失與增高作物產量等功能外，亦期望能因應氣候變遷與極端氣象事件下，能有調適之農地水土保持措施。有鑑於此，檢視我國適用於農地之水土保持農藝方法，並依個別處理項目及綜合方法定義、目的、適用範圍、類型與規劃設計、作業方法與注意事項等分別說明，期望能提供相關山坡地開挖整地及農業耕作管理相關水土保持處理與維護之參考依據。

1.1.2 臺灣現有坡地作物

當植物不受人類干擾，任其自生自滅者為野生植物(wild plant)；又當植物合乎人類需要，經人工馴化栽培者為作物(crops)。作物在人為干涉下繁殖及適生環境中生長，使其具有經濟價值，而廣為種植。在臺灣山坡地本以保育森林資源為主，早

在十九世紀初期，日人即對臺灣進行兩次各期十年的山地森林調查計畫，依據第二次調查計畫成果乃於 1928 年 11 月 8 日，制定森林計畫事業規程，將山坡地區分為：要存置林野、準要存置林野及不要存置林野三類，納管廣大山林為官有，此亦即為國內現今採用：國有林班地、山胞保留區及國有原野地的前身。國有林班地自 1960 年代末期，因應中淺山麓國有林班地受濫墾嚴重，曾解除 6 萬 8 千公頃外，其餘迄今仍保持森林資源，未受耕墾破壞。時值今日，臺灣在高山地區仍保有大面積林地，包括：未解除之國有林班地、試驗林地及保安林地等，面積廣達 166 萬餘公頃，占廣義山坡地面積約 63%。當農民在中淺山麓地區有土壤較深及坡度較緩之山坡地，由於土地面積有限，並因人口增加對糧食以至外銷需求，農民會在土壤厚度較深及坡度較緩之坡地，種植高經濟作物，期望提高土地利用價值及增加收益。加以臺灣山坡地區域植物生態豐富及多樣性，常可種植高經濟價值作物，除可增加農民收益，改善山地農業社區環境外，亦可與平地區域作物栽植間進行產期調節，勢使山坡地闢墾農牧用地已儼成自然趨勢。針對作物，一般依照應用、需要性及栽培規模可簡分為三大類(陳慶雄、謝杉舟，1994；古明萱，2016)：

一、農藝作物(Agronomic crops)：

栽培面積規模較大，經營方式較粗放者，且具較短栽培期間。其可再區分為：

(一) 食用作物(Alimentary crops, Edible crops, Food crops)：

供人類食用及家畜飼料之主要作物。

1. 禾穀類(Cerceal crops)：以禾本科為主，主要為食用穀物類作物，包括：稻、小麥、燕麥、黑麥、玉蜀黍、蕎麥、茭白筍等。
2. 豆菽類(Legume crops)：以豆科為主，主要為食用豆類作物，包括：大豆、豌豆、蠶豆、落花生等。
3. 薯類(Tuber crops)：以根莖作物為主，主要為食用肥大的根或莖(地下莖)作物，包括：甘藷、馬鈴薯、木薯、芋頭等。
4. 飼料類(Forage crops)：以禾本科或豆科為主，通常以含氮量較高的豆科或草本植物選作飼料作物。

(1)禾本科：狼尾草、梯牧草、盤固拉草、天竺草、飼料玉米及飼料稻等。

(2)豆科：三葉草、苜蓿、紫雲英等。

(3)十字花科：蕪菁等。

(4)藜科：甜菜、紅藜等。

(二) 特用作物(Special crops)：

為供應特殊用途而栽培的作物，多與食用作物差異不甚明顯，當以特定用途，則其供應範圍不限於食用方面，而以工業原料為主，必須經加工後方能應用。特用作物經過加工後，價格提高，又耐儲藏，因此可以當作貿易品，故特用作物也可稱為貿易作物(commercial crops)。其可再區分為：

1. 纖維作物(Fiber crops)：以植物根、莖、葉或種實為主，採取其纖維以供各種紡織物、縫紉、線繩或漁網等原料之作物。

   (1)莖：黃麻、亞麻、苧麻、鐘麻、洛神葵、藺草等。

   (2)葉：馬尼拉麻、鳳梨、瓊麻、香蕉、林投、芒、龍舌蘭等。

   (3)種實：木棉、絲瓜、可可椰子等。

2. 油料類作物(Oiling crops)：以植物種子所蘊含之油脂成分，根、莖、葉或種實為主，榨取後可供食用及工業用之油脂作物，如大豆、落花生、油菜、向日葵、油椰子、可可椰子、胡麻、橄欖、茶籽、棉、亞麻、蓖麻、油桐等。

3. 糖料類作物(Sugar plants)：以植物根莖中所蘊含之糖份，經採取或榨取後可供製造糖之作物，如甘蔗、甜菜、甜高粱等。

4. 嗜好類作物(Stimulant crops)：以植物根、莖、葉或種實所蘊含之特殊成分，經採取或處理以供人食用後具有刺激和興奮神經的作用，當長久食用即成為一種嗜好之作物，如茶、菸草、咖啡、可可、檳榔、荖藤等。

5. 藥用類作物(Drugscrops)：以植物根、莖、葉或種實之全體或一部分所蘊含之特殊成分，經採取或處理以供製造藥劑治療疾病或殺蟲劑之作物，如薄荷、除蟲菊、當歸、毒魚藤、辣椒、煙草、樟腦、肉桂、大蒜、茶葉、天竺葵、薑、肉豆蔻、羅勒、魚腥草、黃蓮等。

6. 染料類作物(Dye crops)：利用根、莖、葉、花及種子部位所含之色素，調製成染料以供染色用的作物屬之，例如鳳仙花、黃梔、山藍、胭脂樹等。

7. 香料類(Perfumery crops)：利用植物全部或一部分所含之香料成分作為製造香料及化妝品的原料。例如香水茅、薄荷、茉莉、玫瑰、羅勒、迷迭香等。
8. 橡膠類作物(Rubber crops)：利用植物分泌之樹液調製成工業用品，例如巴西橡膠樹、漆樹等。
9. 調味料類作物(Flavor crops)：利用植株所含特殊成分以作為食物的調味料者，例如山葵、八角茴香、芫荽、胡椒、生薑、薑黃等。

二、園藝作物(Horticultural crops or Garden crops)：

主要為栽培規模較小及集約性栽培之作物，可再區分為三大類：

(一) 蔬菜類(Vegetable)：

1. 根莖類作物(Root vegetable)
   (1)塊莖類：馬鈴薯、甜菜等。
   (2)根莖類：藕、白蘿蔔、胡蘿蔔等。
   (3)鱗莖類：青蔥、大蒜、洋蔥、百合等。
   (4)嫩莖類：茭白筍、竹筍、茭白、蘆筍等。
   (5)球莖類：芋頭、荸薺等。
2. 葉菜類作物(Leaf vegetable)：甘藍、油菜、菠菜、莧菜、空心菜等。
3. 花蕾類作物(Flower vegetable)：花椰菜、青花菜、金針菜、朝鮮薊等。
4. 果菜類作物(Fruit vegetable)：
   (1)莢果類(豆類)：豌豆、蠶豆、菜豆、落花生等。
   (2)茄果類：茄、辣椒、番茄等。
   (3)瓜果類：冬瓜、西瓜、芒瓜、甜瓜等。
   (4)其他：玉蜀黍等。

(二) 果實類(Pome or Pomaceous fruit)：

1. 仁果類(Pip fruit)：蘋果、梨等。
2. 核果類(Stone fruit)：桃、梅、李、杏、橄欖等。
3. 漿果類(Berry fruit)：葡萄、香蕉等。
4. 準仁果類(Quasi pome fruit)：柿等。
5. 柑桔類(Citrus fruit)：檸檬、柚子、甜橙、椪柑等。
6. 殼果類(Shell fruit)：栗、荔枝、龍眼等。

7. 聚合果(Aggregatefruit)：鳳梨、刺莓、草莓、釋迦、波羅蜜等。

(三) 花卉類(Flower)：

1. 花草類(Flowering straw)：一、二年生草本花卉、宿根花卉、球根花卉等。
2. 花木類(Flowering wood)：含喬木、灌木、藤蔓類等花木。
3. 觀葉類(Berry fruit)：黃金葛、椒草等。
4. 觀果類(Quasi pomes fruit)：鳳梨、金桔等。

三、雜用作物(Miscellaneous crops)：

無特定用途，可以歸納為下列各類:

(一) 短期作物(Catch crops)：

當主要作物因天時不利，如水旱災致使播種流失時或種子不良等原因，而造成作物無法收穫，此時應立即補種短期作物如：黑麥、粟、綠豆、蕎麥、豌豆等作物，以增加部份收穫並避免造成歉收，故短期作物又稱為救荒作物或代用作物；此外亦可在兩種主要作物之間擇一生長期較長的作物，配合種植另一短期作物，其也可稱為救荒作物。

(二) 覆土作物(Cover crops)：

覆土作物主要目的是保護土壤，尤其在坡地可依等高栽培方式使其具有防止土壤沖刷效果，主要將作物具有生長點之莖、葉及種實如熱帶葛藤、紫雲英、綠豆、大豆等直接耕犁土中，利用其完密植被冠層可避免地表受雨滴沖擊與地表逕流水沖刷，同時又可使土壤增加養分，而覆土作物與綠肥作物有時很難分別，其主要差在於覆土作物根系較少附生根瘤菌。

(三) 埋藏飼料作物(Ensilage crops)：

豆科及禾本科的作物在開花期中收割，可將其截為數段，分層置放並緊壓於地窖中，於每層之上撒佈定量食鹽，使其作物局部發酵，及維持濕潤狀態，此可供家畜維生不時之需，故能用於埋藏所栽培的作物皆屬之。例如馬齒種玉蜀黍、青割大豆、向日葵、牧草等。

(四) 保護作物(Nurse crops)：

在同一塊田地，同時栽培兩種作物，其中一種作物能保護另一種作物，並促其生長良好免受損害，稱為保護作物。如禾本科及豆科飼料作物通常與穀類作物同時間作。

(五) 綠肥作物(Green manure crops)：

將作物的莖葉耕翻土中，增加土壤的養分和有機質及改良土壤的物理性者，統稱為綠肥作物。以豆科作物作為綠肥作物最多，例如大豆、田菁、紫雲英；非豆科綠肥作物有黑麥、蕎麥、大麥、油菜等。

1.1.3 農地水土保持目的

農地水土保持是建立在農業的友善環境基礎觀念上，使土地利用可兼具環境生態保育功能。其過程主要是在土地利用之際，藉著等高耕作、覆蓋、敷蓋、栽植草帶等具有水土保持效能之農藝方法來栽種作物，以達到控制土壤侵蝕與保育水土資源，同時也要能改善土壤內物理化學及微生物環境條件，進而提供良好的農業生態環境，讓生產力永續獲得。因此，農地水土保持目的包括：

一、合理土地利用：

農地經營為符合水土保持與永續利用之理念，須依照「山坡地土地可利用限度分類標準」，將山坡地分為宜農牧地、宜林地及加強保育地。其分類方式分別是以坡度、土壤有效深度、土壤侵蝕程度與母岩性質做為分類之指標。其中，一至四級地屬宜農牧地，為一般坡地農業用地之範圍。倘若於五級為宜林地及六級為加強保育地之山坡地，從事不適宜作農耕行為，將導致土壤流失、地力衰退等現象。

二、土壤改良：

一般作物栽培區若進行植生覆蓋或保留地被植物，可緩衝坡地土壤之日夜溫差或季節之暑害或寒害，亦可供給微生物與蚯蚓活動的適宜環境。若加以妥善管理和利用，如地上部之枯枝落葉腐爛後進入土壤可增加其有機質，能促進土壤團粒化及改善土壤化學性；其根系穿入土壤，能疏鬆表土，改善土壤物理性。特別是綠肥植物之固氮作用與水土保持禾本科草類植物，每年有半數以上的細根系遺留、腐爛於土壤中，其改良土壤之效果更佳。另外，利用作物殘株敷蓋、生物或非生物性材料敷蓋等，更可防止雨滴直接打擊地面，增進土壤含水量，進而提高作物產值，提升農民收益。

三、控制地表逕流：

山坡地種植檳榔、高冷蔬菜、茶園等，因其所造成區域開發規模、開發密度通常較大，較易造成土壤侵蝕與土砂災害。短期勤耕作物因需定時進行土壤翻犁耕作，會使翻鬆後的土壤極易遭雨水或地表逕流侵蝕而流失。因此，山坡地在

農地保育利用需規劃完整之分段截流及安全排水系統以降低地表逕流，並應著重控制土壤侵蝕與逕流控制方法。山坡地藉由農地植生覆蓋與敷蓋來增加地表粗糙度，使地表逕流流速減緩，營造安定與安全的生產環境。

四、改善水質與增加水量：

降雨至坡地，會經地面逕流匯集到山溝、野溪與河川，此為地表水。部分降雨經土壤滲漏到達地下水層，並有部分以中間流或湧水等形式，回流到地表或溪流後，形成地下水。而當地表水及地下水在集水區上游妥善經營管理，可確保兩者的水質良好與水量豐足。若人類引用水流，在經過土地不當利用或高密度農業墾殖等地區，水質便可能會有惡化或汙染之情形，除含砂量增加，還有農藥、肥料，甚至家畜排泄物之細菌等問題。又當坡地之農地水土保持不足，如未有植生覆蓋與敷蓋地面，在降雨下，會直接以地表逕流方式由坑溝匯入河川，使得降雨經土壤滲漏到達地下水層之情形減少，進而降低中間流或湧水等地下水來源。故合理利用的土地規劃、緩衝帶設置與草生栽培等農地水土保持方法可達到淨化水質的作用。

五、地被覆蓋與草生栽培：

在坡度較陡地區之坡地果園，特別需仰賴地表覆蓋植物控制土壤侵蝕，以達到較佳之農地水土保持效果。臺灣夏季雨量大且急驟，農地在裸露下之土壤流失量甚高，若於園區保有地表覆蓋植物，可降低土壤流失量。因此，土壤流失嚴重地區，農地闢墾有平台階段、山邊溝、草溝、農路、邊坡等處理時，均可應用推廣草類或選留雜草進行覆蓋，可為農場得到質量俱佳的綠資源，更能積極促進農場的環境保育和經濟效益。

六、因地制宜之農地水土保持方法：

農地水土保持方法係依據農學與工學的基礎理論，配合土地利用與環境特性所發展出來的水土資源保育技術。主要是藉著自然材料的特性與人為技術的配合，從土壤改良與地形改造及永續利用為出發點，開發出各種可行的方法。如人力及物力未逮之處，利用適生鄉土植物配合實施地表植被覆蓋，則可節省大量的人力及物力，又可保育水土資源。故在不同的利用目標下，農地水土保持可應用各種不同的保育措施，以符合因地制宜，並發揮水土保持方法的最大功效。

1.1.4 臺灣農地水土保持問題

臺灣山坡地地勢陡峻及降雨集中等均會使水源涵養不易，復以近年來氣候變遷下常有強降雨或旱害事件，使得農地經營更加需要因應。當瞭解農地水土保持問題後，方可藉完善的水土保持項目施作，使其達到生產力永續不竭，而相關臺灣農地水土保持問題有：

一、自然條件不利山坡地農業發展：

臺灣的構造屬於一個板塊造山作用活躍，因呈現多處斷層而使得地質相當脆弱，在此脆弱地質條件下之山坡地進行闢墾農地，勢必應妥善規劃。臺灣地理位置及高山地形，直接影響區域內氣候，更在季風與颱風影響下，常出現豪雨，甚或強降雨事件多使山坡地水土流失頻仍。因此在臺灣山坡地發展農業，須妥適設計規劃與施作農地水土保持，是不可或缺的事項。

二、侵蝕與土壤流失：

山坡地農業開發時，須利用其有限的土地資源與水資源進行農業生產活動，此等開發行為須經常翻動土地，造成地表裸露、地被植生之減少，或導致坡地災害等現象。在坡度陡峻的地形上自然侵蝕率每年約 0.45 ton/ha，當人為因素加速了侵蝕發生時之每年侵蝕速率約為 45-450 ton/ha(吳嘉俊等，1996)，可知侵蝕能引發土壤大量流失，然而如何降低土壤侵蝕流失速率，則是水土保持處理與維護之基本要求。

三、土壤生產力降低：

以往在作物栽培中，常以農作物生產的經濟效益為考量，稱園區內非栽培之天然地被植物為雜草。故對地被植物之處理方式，多以防除、淨耕為主。但施行淨耕後易造成農地表土侵蝕與土壤養分流失，導致土壤劣化、土體中可提供作物之養分減少，而使土壤生產力降低乃致使作物產量降低。

四、土壤微生物減少：

農地土壤為一有機體，特別在植物根系生長範圍內，土壤微生物扮演重要的角色，如微生物之固氮作用減少，取而代之的是過度施用肥料，使得土壤酸化。農藥、殺草劑施用會影響微生物生存與生長，造成土壤有機質分解與土壤團粒化構造遭受破壞，以致結構緊密，不利於作物生產與農地永續利用。

五、水源涵養問題：

山坡地栽植作物時，因土地翻耕、除草等管理行為而致土壤裸露、土壤團粒結構破壞、枯枝落葉、腐植質及其他可吸收大量水分之有機物減少，導致漫地流流速增加且地表入滲率下降，影響土壤對水分之涵養能力。

1.1.5 參考文獻

古明萱(2016)，「農藝學，第二章作物的分類與品種，國立屏東科技」，大學創意教學教材數位化，<http://cec.npust.edu.tw/e-learning/agronomy/>。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

吳嘉俊、林俐玲、盧光輝(1996)，「土壤流失量估算手冊」，國立屏東技術學院編印。

謝杉舟、陳慶雄(1994)，「農地水土保持」，國立屏東技術學院

1.2 臺灣山坡地利用概況

1.2.1 前言

臺灣山坡地由於地形地勢和海拔高度歧異，使全境土壤及氣候因素差異性大，同時造成農地資源利用會因不同環境條件而有多元利用。早期臺灣居民由平原地區逐漸移居至淺山丘陵帶，主要是開墾河階台地及山嶺谷地階段以種植水稻，亦在坡地就原地面開墾種植甘藷、小米、花生等自給性勤耕作物。嗣後有茶、甘蔗等特用作物陸續種植於山坡地，又因臺灣經蓬勃發展，人口增加及產業發展下，促使坡地非農業使用情形日趨增加，諸如山坡地道路開闢、社區開發、遊憩場所闢設、墓地興建、採取礦產與土石等。此等非農業開發的過程中，遇有整坡整地不當之際，常會造成重大的土石災害。故在山坡地開發利用過程中，確實應依山坡地自然特徵，因地制宜採用合適水土保持方法，以防治土壤侵蝕、邊坡崩塌與地滑、土石流等災害，進而永續利用山坡地資源，保護自然生態景觀，以及涵養水資源等。而臺灣山坡地農業利用主要農作物(林信輝，2014)包括：

一、果樹種植：

臺灣地區果樹栽植一般常見多為柑桔、香蕉、鳳梨、芒果、荔枝、龍眼、柿、梨、桃與芭樂等，配合階段式水土保持處理除可減緩坡度、減少土壤流失，另可提供果樹栽植空間。當平台階段構築費用較高並非所有農民皆可自行設置時，考量經費問題，利用適生之水土保持草類作為帶狀覆蓋或全面覆蓋，成為較符合經濟效益之水土保持處理方法。而近年來有推廣果園自然農法、草生栽培等經營管理方式，且禁止或減低使用殺草劑等因應未來果園地區保育利用之發展前景。

二、茶樹種植：

臺灣地區茶園多闢建在丘陵地區海拔較高之山坡地上較平坦之稜線區域，面積集中且多具大規模，但初期生長速度較為緩慢，遇栽植初期有地面裸露情形，常會造成土壤侵蝕及逕流集中情形。另外，在茶樹生長中期除每年冬季進行深耕外，其餘各季皆需要施用肥料及進行中耕除草，此時當暴雨後常會產生大量地表逕流，若有逕流集中而無法安全排放於園內之排水系統，則必定造成嚴重水土流失。因此茶園多著重於坡面排水、階段、等高栽植等配合，於茶樹生長初期利用稻草蓆與花生殼敷蓋，與百喜草、地毯草等較不易影響茶樹生長且耐

蔭性較高之水土保持應用草類進行地表植物覆蓋可減少地表逕流量、增加土壤入滲量、地表粗糙度，減緩逕流速度，以降低土壤侵蝕量。

三、高山蔬菜種植：

受自然環境、氣候等條件影響，高山蔬菜具有優異品質及產期調節功能。然蔬菜屬勤耕作物其根系為鬚根且僅分布於表土層，無法增加土壤抗侵蝕力，加以農民為增加產量施用過多肥料，會造成水庫集水區水質汙染及優養化，而不利水資源利用。一般而言，若能配合平台階段構築，採用適生水土保持草類進行帶狀栽植覆蓋，或休耕期播撒綠肥覆蓋等，可有效減緩土壤流失及肥料汙染問題。同時於此等農地外緣或鄰近坑溝區域種植緩衝林帶，更可進一步達到攔阻土砂、減緩坡度、降低肥料流失及農藥汙染問題。

四、泥岩地區農業利用：

泥岩地區在公有承租地的使用除保留原莿竹林或長枝竹林粗放式經營(extensionoperation)管理外，私有或其承租的土地以果園型態之農場經營為主，種植的作物主要有龍眼、芒果、荔枝、香蕉、棗子等果樹及短期作物鳳梨、樹薯、甘藷等。然而泥岩質地緻密，遇水易軟化，基岩或風化土壤經夯實乾燥後能形成不透水層，農民普遍採用土壩或土堤等水土保持處理來設置農塘以提供灌溉水源。在泥岩地區進行農業活動，應施作平台階段與山邊溝，進行逕流控制，配合使用農塘截蓄保水或規劃緩衝林帶以減少土壤流失。

五、紅土地區農業利用：

紅土土壤主要分布在台地、階地等山坡地，土壤構造明顯，通氣、排水良好，物理性質絕佳，但土壤呈強酸性，肥力差，粘性及可塑性佳，因此生產力差，但可配合適當之肥培管理亦可使作物生產提高產量。目前大都種植茶葉、荔枝、鳳梨、甘蔗等農作物。常施作之農地水土保持處理有全園覆蓋、等高栽植、平台階段、山邊溝及耕地防風林等，可使農業利用過程中，對裸露坡面能截洩導排地表逕流與表土流失，有助於迅速恢復地表植生，達成穩定邊坡之功效。

六、坡地風衝地區農業利用：

坡地風害除了源於颱風或冬季季風外，地形性強風害如焚風、九降風與落山風等，均會造成農作物產生落葉、落花及落果之現象，嚴重時會發生折枝、折幹、傾倒及引發病害等情形。目前大都種植牧草、禾稻、甘藷、馬鈴薯、落花生

等低矮農作物。當為減少及防止坡地風害，需選擇適當地點栽植林帶或草帶，以抑制風蝕、減少作物因強風造成之機械傷害、減少地表及作物之蒸發量。

1.2.2 山坡地之定義與範圍

依「山坡地保育利用條例」第三條規定，山坡地係指國有林事業區、試驗用林地及保安林地以外，經中央或直轄市主管機關參照自然形勢、行政區域或保育、利用之需要，就合於標高在 100 m 以上或標高未滿 100 m，而其平均坡度在 5%以上之一者劃定範圍，報請行政院核定公告之公、私有土地。依「水土保持法」第三條第三款規定所稱之山坡地範圍，尚包括國有林事業區、試驗用林地、保安林地。爰此，臺灣地區之土地可分為平地與山坡地，其統計結果(如表 農 1-2-1)。表中顯示臺灣地區總土地面積 3,618,861 ha，對照水土保持法認定山坡地總面積計有 2,637,163 ha，其中臺灣省有 1,925,981 ha。

表 農 1-2-1 臺灣地區土地面積統計表(迄 2016 年 9 月止)(資料來源：水土保持局，2016)

省市及縣市別	(1)土地總面積(ha)	(2)山坡地保育利用條例山坡地(ha)	山坡地保育利用條例山坡地 (2)/(1) %	(3)國有林＋保安林＋試驗林 (ha)	(4)水土保持法山坡地【(2)+(3)】 (ha)	水土保持法山坡地 (4)/(1) %
宜蘭縣	214,363	33,297	16	141,876	175,167	82
基隆市	13,276	10,400	78	2,108	12,508	94
新竹縣	142,754	65,427	46	58,144	123,571	87
新竹市	10,415	4,097	39	99	4,196	40
苗栗縣	182,031	87,389	48	71,926	159,314	88
南投縣	410,644	127,822	31	262,358	390,180	95
彰化縣	107,440	10,020	9	3,180	13,200	12
雲林縣	129,083	8,150	6	5,590	13,740	11
嘉義縣	190,364	42,644	22	66,596	109,240	57
嘉義市	6,003	394	7	289	683	11
屏東縣	277,560	91,969	33	89,882	181,851	66
台東縣	351,525	97,540	28	231,750	329,290	94
花蓮縣	462,857	78,384	17	334,137	412,521	89
澎湖縣	12,686	-	0	520	520	4
臺灣省小計	2,511,001	657,533	26	1,268,455	1,925,981	77
新北市	205,257	110,076	54	70,319	180,395	88
臺北市	27,180	12,658	47	2,349	15,007	55
桃園市	122,095	31,317	26	24,344	55,661	46
臺中市	221,490	56,301	25	103,033	159,334	72
臺南市	219,165	50,609	23	31,807	82,416	38
高雄市	294,762	62,775	21	155,594	218,369	74
金門縣	15,166	-	0	-	-	0
連江縣	2,880	-	0	-	-	0
合計	3,618,861	981,269	27	1,655,901	2,637,163	73

1.截至 2016 年 10 月底為止(小數點第 1 位四捨五入)。
2.國有林事業區、保安林地、試驗用林地等資料錄自農委會統計年報及林務局提供圖資計算面積。
3.山坡地係指國有林事業區、試驗用林地及保安林地以外，經中央或直轄市主管機關參照自然形勢、行政區域或保育、利用之需要，就合於標高在 100 m 以上或標高未滿 100 m，而其平均坡度在 5 %以上之一者劃定範圍，報請行政院核定公告之公、私有土地。
4.土地總面積依據行政院農業委員會 2013 年農業統計年報(小數點第 1 位四捨五入)。
5.臺北市政府、新北市政府、桃園市政府、臺中市政府、臺南市政府、高雄市政府山坡地範圍由各該直轄市提供。

1.2.3 山坡地土地可利用限度分類分級查定基準

山坡地保育利用條例第十六條第三項規定所訂定之山坡地土地可利用限度分類標準第一條，山坡地土地可利用限度分類分級查定基準規定如下：

一、坡度：

指一筆坵塊土地之平均傾斜比，以百分比(%)表示之，其分級如下表 農 1-2-2。

表 農 1-2-3 坡度分級表(資料來源：「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017)

坡度級別	分級範圍
一級坡	坡度百分之五以下。
二級坡	坡度超過百分之五至百分之十五。
三級坡	坡度超過百分之十五至百分之三十。
四級坡	坡度超過百分之三十至百分之四十。
五級坡	坡度超過百分之四十至百分之五十五。
六級坡	坡度超過百分之五十五。

二、土壤有效深度：

指從土地表面至有礙植物根系伸展土層深度，以公分表示之，其分級如下表 農 1-2-4。

表 農 1-2-5 土壤分級表(資料來源：「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017)

有效深度級別	分級範圍
甚深層	超過九十公分。
深層	超過五十公分至九十公分。
淺層	超過二十公分至五十公分。
甚淺層	二十公分以下。

三、土壤侵蝕程度：

依土地表面所呈現侵蝕徵狀與土壤流失量決定，其分級如下表 農 1-2-6。

表 農 1-2-7 土壤侵蝕程度分級表(資料來源：「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017)

侵蝕程度級別	土地侵蝕徵狀及土壤流失量
輕微	沖蝕溝寬度未滿三十公分且深度未滿十五公分之土地。
中等	地面有溝狀沖蝕現象，其沖蝕溝寬度三十公分至一百公分且深度十五公分至三十公分之土地。
嚴重	地面侵蝕溝甚多，片狀侵蝕活躍，土石顏色鮮明，礫石、碎石含量超過百分之二十至百分之四十，底土流失量在百分之五十以下。
極嚴重	沖蝕溝寬度逾一百公分且深度逾三十公分之土地，甚至母岩裸露，局部有崩塌現象。

四、母岩性質：依土壤下接母岩性質對植物根系伸展及農機具施工難易決定，其分類如下

表 農 1-2-8 母岩性質表(資料來源：「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017)

母岩性質類別	母岩特性
軟質母岩	母岩鬆軟或呈碎礫狀，部分植物根系可伸入其間，農機具可施作者。
硬質母岩	母岩堅固連接，植物根系無法伸入其間，農機具無法施作者。

1.2.4 山坡地土地可利用限度分類及保育處理分級標準

針對實地觀測土壤有效深度、土壤物理特性、植物根系之通透性及基地坡度、坡長、方位、地貌狀況、土壤可蝕性、天然災害程度等，配合作物種類及集約經營程度等加以考量，以做為農地水土保持規劃依歸。『山坡地土地可利用限度分類標準』以坡度、土壤有效深度、土壤侵蝕程度及母岩性質做為分類指標，將土地分為宜農牧地，為一般農業用地範圍；宜林地，用以造林；加強保育地須加強保育。分類標準與土地特性等說明如下：

一、宜農、牧地：應符合下列規定之一，並依水土保持技術規範實施水土保持處理與維護：

(一) 一級坡至三級坡。

(二) 甚深層、深層及淺層之四級坡。

(三) 甚淺層之四級坡，且其土壤沖蝕輕微或中等及下接軟質母岩。

(四) 甚深層、深層之五級坡。

(五) 淺層之五級坡，且其土壤沖蝕輕微或中等及下接軟質母岩。

二、宜林地：應符合下列規定之一，並造林或維持自然林木或植生覆蓋，不宜農耕之土地：

(一) 甚淺層之四級坡，且其土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩。

(二) 甚淺層之五級坡。

(三) 淺層之五級坡，且其土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩。

(四) 六級坡。

三、加強保育地：沖蝕極嚴重、崩塌、地滑、脆弱母岩裸露之土地。

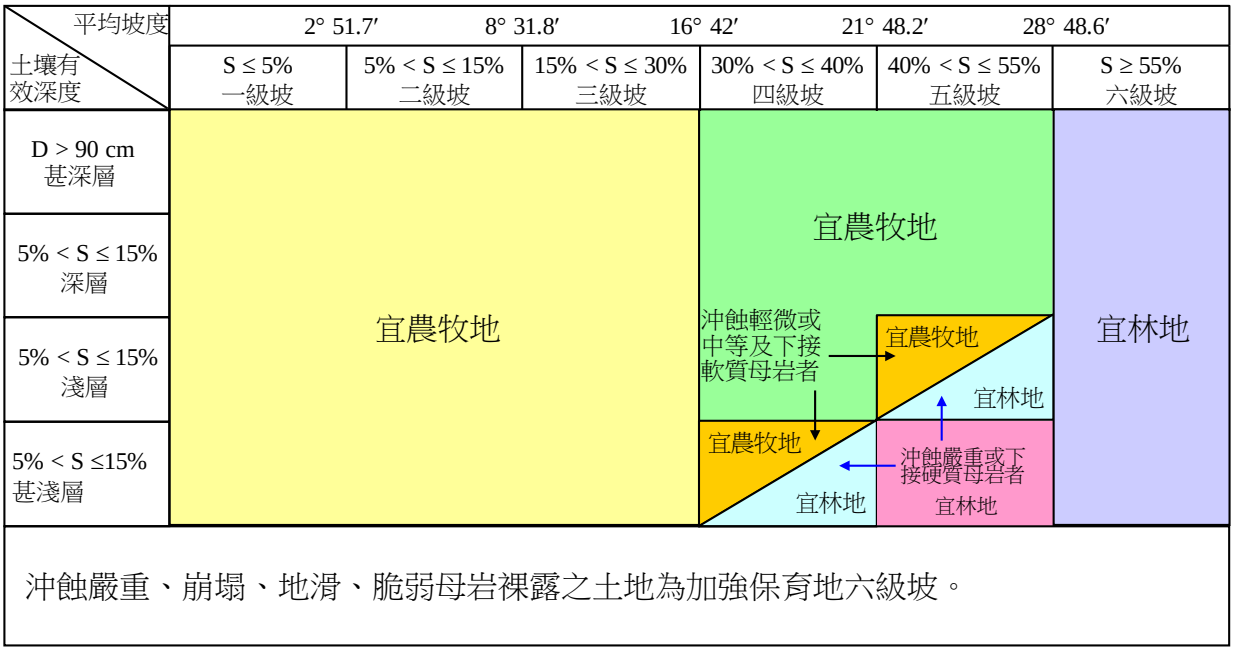


圖 農 1-2-1 依山坡地可利用限度分類標準圖解(資料來源：「山坡地土地可利用限度分類標準」，2017)

山坡地有下列情事之一者，中央或直轄市主管機關得查定為宜林，不適用前條第二款分類標準之規定：

一、必須依賴森林或林木以預防災害，保育水土資源，維護公共安全且具有下列情形之一之土地：

(一) 依行政院農業委員會林務局母樹林設置管理要點設置之母樹或母樹林。

(二) 依文化資產保存法第八十一條公告之珍貴稀有植物。

(三) 依森林法第三十八條之二公告具有生態、生物、地理、景觀、文化、歷史、教育、研究、社區及其他重要意義之群生竹木。

二、水庫集水區或河川保護地帶。

三、區域計畫、都市計畫或國家公園計畫認應加強資源保育與自然環境保護之土地。

1.2.5 合理利用臺灣山坡地

臺灣山坡地開發應能依照山坡地土地可利用限度分類標準，採用符合水土保持之農地經營方法與配置，減免土壤侵蝕與土石災害發生，進而達到永續利用。相關合理利用山坡地，可依下列農地水土保持方法與配置原則加以考慮：

一、土地利用要在合理原則下，妥善規劃開發區域內之各種設施。

二、避免雨滴直接打擊地表，發生飛濺侵蝕現象。

三、增加土壤抗蝕力。

四、促使到達地表之雨水滲入土中，以減少地面逕流。

五、增加地面粗糙率，降低地面逕流水之流速。

六、地面逕流以分段截流方式妥善導入安全排水系統，再排入已安定之天然坑溝或滯洪沉砂設施。

七、對易發生侵蝕、崩壞之地點，應予增加適當保護措施，及選擇各種安全排水處理。

各種水土保持處理均有其目的與效果，任何單一處理常難完全有效控制土壤侵蝕，為求合理利用山坡地，須視現場情況因地制宜，將若干種處理同時相互配合運用，功用才能相輔相成，進而達到山坡地永續利用。

1.2.6 參考文獻

中華民國(2016)，「山坡地保育利用條例」。

中華民國(2016)，「水土保持法」。

行政院農業委員會(2017)，「山坡地土地可利用限度分類標準」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

吳嘉俊、林俐玲、盧光輝(1996)，「土壤流失量估算手冊」，國立屏東技術學院編印。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

1.3 土壤侵蝕與控制

土壤受外力(主要如雨水、逕流、風力)的剝蝕作用及地震、海浪、重力、溫度變化等衝擊後，自固結之土體分離的現象，稱之為土壤侵蝕(分離、搬運、沉積稱為土壤侵蝕三過程)。其中最常見且危害最大之侵蝕為水蝕與風蝕。水蝕與風蝕常於同一地點伴同或交互作用影響而大幅增加侵蝕程度。

水蝕，是由水滴打擊地面之動能與地面逕流之剪力作用而發生。風蝕，是藉風之動能引起之土粒移動。開發土地從事農業生產，如過度利用土壤，將破壞自然地面，甚至導致表面土壤之嚴重侵蝕，對農林業經營會產生非常不利之影響。如果坡地上因降雨而發生大規模土壤粒子之分離與搬運，經由逕流而侵蝕淺層地表土壤，甚或露出地表下層心土，此心土在經過長期風化與發育形成土壤，此時則應避免侵蝕作用以避免土壤資源流失。

1.3.1 土壤侵蝕與土壤流失

山坡地農地區域通常土層淺薄，不易保蓄水分，當降雨時，地表受雨滴打擊並形成逕流，土壤會受到侵蝕作用，造成土壤及其所含養分流失，導致作物生產力下降，快速損耗地力，不利農業發展。山坡地進行農業生產活動，此等開發行為須經常翻動土地及施加肥料，尤以栽植勤耕作物，多造成地表裸露、地被植生減少或導致坡地災害等現象，最後會有害生態環境維續。參考田間土壤侵蝕量試驗資料，作物在無水土保持處理配合下，以第一年開挖整地時之侵蝕情形最嚴重，年間土壤侵蝕量可高達 156 ton/ha，最嚴重地區之土壤流失量為有施作水土保持地區之 100 倍以上(林信輝，2014)。

1.3.2 土壤侵蝕之過程

從降雨打擊地面至土砂粒之沉積所造成之加速侵蝕，可分為三個過程：

一、分散作用(Detachment)：

當裸露地表遭受雨滴打擊時，約有 2/3 之雨滴動能會消耗在撞擊土壤表面，可產生坑口，並使土粒分散，剩下 1/3 之雨滴動能則使土粒飛濺至他處。另一方面，被雨滴分散之細小土粒，可阻塞土壤孔隙，而形成硬殼，此等硬殼將減低土壤滲透能力。當降雨強度超過土壤滲透強度，並超滲雨量初期可形成地表薄膜水，此時土壤中之細粒及膠體物容易懸浮其中。此等雨滴打擊作用與薄膜水產生懸浮作用，促使土粒分離，為加速侵蝕的第一階段，謂之分散作用。

二、搬運作用(Transportation)：

當降雨持續進行，薄膜水深增加，而緩緩以層流向下流動，可將細粒土砂攜帶流失，乃至水深增大再加上雨滴對地表水之擾亂作用，而使地表水形成亂流狀態，當其流動作用力增大，則水流對土粒之曳引力(tractive force)益形顯著，非但可將大量分散之土粒搬運流失，並加速剝離流路週邊的土壤，甚至可使粗大之石礫移動，即為搬運作用。此為加速侵蝕過程中，對土壤破壞最為嚴重之階段，地表因而形成許多蝕溝。

三、堆積作用(Deposition)：

當隨水流侵蝕而下之土砂，部分奔流入海，部分則在低平處因流速減緩而逐漸沉積下來，即稱為堆積作用，此為加速侵蝕之最終階段。而堆積作用雖非侵蝕之現象，但往往因沉積場所之位置不當，反而使良田等受淤或使低窪之場所變成沼澤，明顯破壞原來之土地利用型態。

1.3.3 土壤侵蝕之分類

一、依侵蝕程度：

(一) 常態侵蝕(Normal erosion)：

又稱自然侵蝕(Natural erosion)或地質侵蝕(Geological erosion)，是地球上自然界保持均衡狀態下，原有之良好植被未被破壞時發生之土壤侵蝕，屬於自然界中地質變化之一環。此種侵蝕在任何陸地、任何時間，均不斷在進行，其土壤顆粒之移動過程極為緩慢，幾乎不易被察覺。地表下層土壤與母岩經風化作用生成之土壤，應足以抵償被侵蝕所損失之土壤。也能長期保持地面上土壤之均衡。在這種狀態下，侵蝕之程度不會加大，日積月累亦不致因侵蝕使作物減產或土地受到災害。

(二) 加速侵蝕(Accelerated erosion)：

又稱非自然侵蝕(Abnormal erosion)，當地面植被與土壤之結構被人為因素破壞後，侵蝕現象逐漸加劇，謂之加速侵蝕。加速侵蝕是土壤粒子與土壤化學物質發生剝離與移動之主因。加速侵蝕期間由母岩生成之土壤不足以抵償已損失之土壤。地面也逐漸失去自然均衡狀態。首先損失表土，所含之某些養分將完全隨表土流失，土地生產力因而降低，然後露出心土再至母岩，終致災害益形擴大，坡地隨即構成侵蝕溝。當侵蝕溝不斷加深與擴大，顯示有土壤流出物會出現及沉積於沖積平原、河口三角洲或海岸平原。當嚴重侵

蝕會對農業發展之土壤與水質產生不良影響，如灌溉水源遭受侵蝕物質之污染，即會使良田荒廢而民生凋萎，並會影響土地之水資源涵養功能。

二、依侵蝕之型態：

造成加速侵蝕之主要動力來自雨滴之打擊力(impact force)及地表逕流之曳引力(tractive force)，因之，由此力量所造成之侵蝕型態可分類如下：

(一) 飛濺侵蝕(Splash erosion)：

當雨滴落下時與空氣之摩擦作用在接近地面時，成等速運動。一旦到達地面，其本身之動能消耗在打擊地面之作用上，此時裸露之土粒將因雨滴之打擊而被分散，甚至隨飛濺之水滴而濺射至他處，即稱之為飛濺侵蝕，此等侵蝕型態，在無逕流發生之情況下，可將有石礫被覆之週邊裸露地表，直接沖擊飛濺，造成數公分高且上覆石礫之土柱。

(二) 層狀侵蝕(Sheet erosion)：

由超滲雨量逐漸形成逕流之初，逕流會呈現一種緩和而均勻之漫地流，深度多在 0.1~3.0 mm，稱為薄膜流(film current)。僅能流動於土粒中間，或帶有極小之波紋在地表面由上而下流動，俟薄膜流之流速加大時，平滑之斜坡地表土壤即遭受侵蝕而成層狀剝離，此為逕流侵蝕之開始，意即發生層蝕，然後演變成紋溝侵蝕。層狀侵蝕能將表土內較深褐色之有機質與細土粒侵蝕而去，但無顯著之侵蝕痕跡，不易為人查覺。然而因農作物生長所需之養分已隨表土流失而去，形成土壤劣化，產量衰退，損失日增，地力恢復不易。

(三) 指狀侵蝕(Rill erosion)：

地表經層狀侵蝕後，留下較粗土粒與礫石，使地面形成凹凸不平狀態，於是雨水向低窪處順坡匯流，進而生成許多小蝕溝，其分佈似手指分歧，故稱為指狀侵蝕。指狀侵蝕之小蝕溝以寬 100 cm、深 30 cm 為限。

(四) 溝壑侵蝕(Gully erosion)：

當指狀小蝕溝繼續發展、加深、延長、擴寬、互相兼併，逕流更集中，當侵蝕能量大增而形成大溝，其寬及深分別超過 100 cm 及 30 cm 者，即為溝壑侵蝕。蝕溝之形狀會隨土壤及其母岩之軟、硬、深度、層理與溝底降坡之急緩而異，可歸列如下四種型態：

1. 寬平淺溝：在土壤堅實粘重之處，雨水挾土粒以去，形成底寬廣而溝邊圓平之淺溝。

2. V 型蝕溝：表土軟而深厚之土地，蝕溝多成上寬下窄之 V 型斷面之深溝。
3. U 型蝕溝：土壤鬆軟，底部堅硬，蝕溝多成溝底寬平而溝邊陡峭之 U 型斷面之深溝。
4. 複式蝕溝：在 U 型的溝底，下割進展到穿過堅硬的土層或岩盤時，如再遇鬆軟的土層，又形成 V 型深溝，同時兼俱有下部 V 型與上部 U 型的複式斷面之深溝。

1.3.4 土壤流失量

一、影響土壤侵蝕因子：

影響土壤侵蝕速率的因子很多，有氣候、地形、植被、土壤性質與人為保育措施等。而各因子與土壤侵蝕間之關係如圖 農 1-3-1。

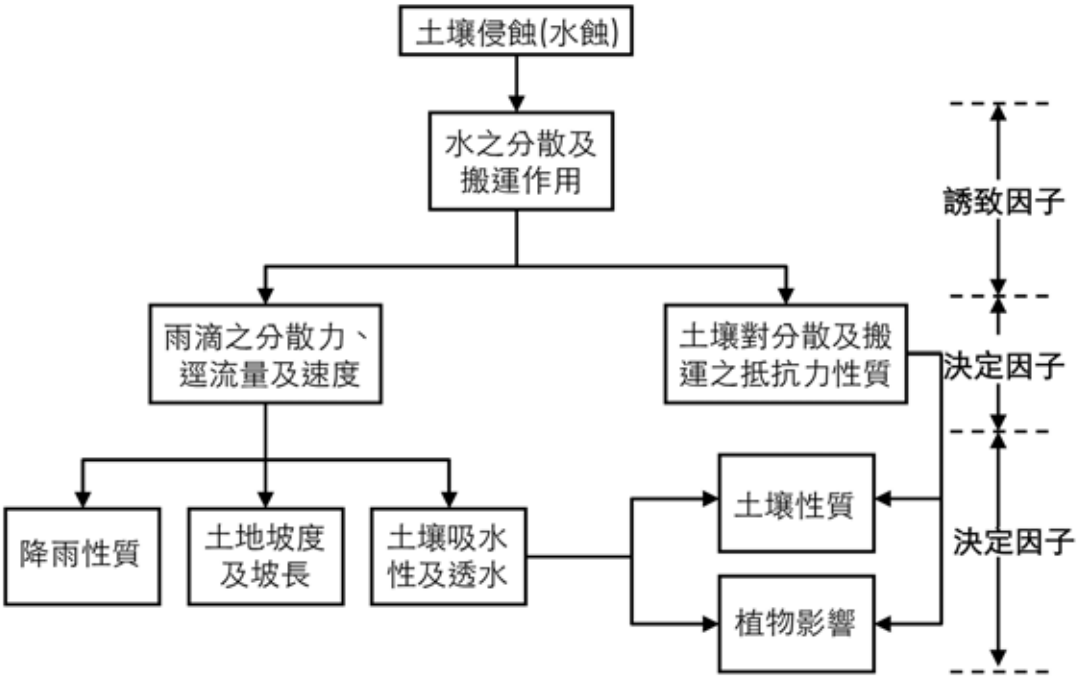


圖 農 1-3-1 影響土壤侵蝕因子之關係圖(資料來源：林信輝，2014)

二、土壤侵蝕程度分級：

層狀侵蝕之年土壤流失深度，以 mm 為單位。層狀及指狀侵蝕宜使用通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)估算侵蝕量，如欲以實測計算，其測量精度應提高，測點數亦應增加。溝壑侵蝕之泥砂生產量，依泥砂運移量調查之方法調查之，將其視為河道輸砂計算其輸砂量。侵蝕溝發展之泥砂生產量，應藉由侵蝕溝之縱、橫斷面測量，計算其土方量。

三、土壤可容許流失量：

根據研究調查的結果，土壤的生成速率可由原先可生成 10 mm 厚的土壤約需 200 年的時間，當土地受到人為的擾動後，10 mm 厚土壤的生成速率將縮減為 20 年(Kohnko and Bertrand, 1959)。雖然土壤的生成速率加快，讓我們能在較短的時間內有豐沃的表土可資利用，但人為的開發擾動同時也增加了土壤受侵蝕的機會。根據現場實測的結果發現，在坡度 60%的坡地進行果樹的淨耕栽植，年平均土壤流失量可高達 294 ton/ha，相當於每年平均流失深度約 30 mm 的表土(黃俊德等，1994；Wu and Wang, 1996)。因此在不造成土壤生產力長期受損的前提下，「土壤的流失速率需控制在土壤生成速率之下，此時的土壤流失量稱之為可容許土壤流失量(Soil loss tolerance)，或簡稱為 T 值」。影響可容許土壤流失量的四項決定因子分別是：

(一) 土壤深度

(二) 母質種類

(三) 表土與底土的相對生產力

(四) 先前的土壤侵蝕量

一般而言，土壤深度愈深，植株根系可穿透的厚度就愈大，因此在合理的土地經營管理的模式下，可容許較高的土壤流失而不至於嚴重影響土地的生產力。就母質種類而言，鬆散、肥沃的母質應可迅速轉變為土壤，故可容許較高的土壤流失量。但當表土較底土具有顯著的肥力與生產力時，少量的表土損失也會嚴重降低土壤的生產力。如果某一土地先前侵蝕問題已非常嚴重，應不能容許更多的土壤流失，此時可容許土壤流失量應隨之降低，以確保土壤生產力不再繼續惡化。

四、土壤流失量之估算：

吳嘉俊等(1996)根據 W.H. Wischmeier 及 D.D. Smith 收集並分析全美國 21 州 36 個地方，超過 7,500 個標準試區年(standard plot-year)及 500 個集水區年(watershed-year)的資料，重新評估影響土壤流失量的因子，而發展成我國使用之土壤流失量估算手冊，其通用土壤流失公式可寫如下式：

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \qquad (1.3.1)$$

A_m：每公頃之年平均土壤流失量(ton/ha·yr)；R_m：年平均降雨侵蝕指數(MJ·mm/ha·hr·yr)；K_m：土壤侵蝕性指數(ton·ha·hr·yr/MJ·mm·ha·yr)；L ：坡長因子；S ：坡度因子；C ：覆蓋與管理因子。

通用土壤流失公式是由標準單位試區(standard unit plot)發展出來的，所謂的標準單位試區是指坡長 22.13m、坡度 9%之均勻坡面、且坡面保持連續兩年以上的休耕和裸露。該公式中之 L、S、C 和 P 因子為任何組配條件下的土壤流失量和標準單位試區土壤流失量之比值。因此 L、S、C 和 P 因子為無因次(dimensionless)因子。詳細估算過程請參閱「基本調查與分析篇」之「集水區泥砂生產與流失」章節，而其他相關之土壤流失量之計算也於該章節作介紹。

1.3.5 土壤侵蝕之控制方法

根據圖 農 1-3-1 與土壤流失量之估算過程可初步得知，影響土壤侵蝕之自然因子包括：降雨、土壤侵蝕性等，以及人為因子包括：坡長、坡度、覆蓋與管理、水土保持處理等。前指自然因子及人為等因子當被用來進行土壤侵蝕控制，其方法包括：

一、降雨：

於坡面建置橫向截洩與縱向排水等溝渠，分區調整或減少排水面積，達到遲滯降雨後地表逕流集中之形成，降低逕流之分散作用與搬運作用發生，進而直接減免發生土壤侵蝕外營力。

二、土壤侵蝕性：

採用客土、植生覆蓋或土壤改良資材等改善坡面土壤理化性質，包括：質地、入滲率、團粒度、酸鹼度、有機質等，藉以提升對土壤分散及搬運之抵抗能力，此即增加抵抗土壤侵蝕之內營力。

三、坡長：

降雨到達坡面，會受土壤吸水性及透水性影響而入滲土層，當超滲雨量逐漸形成逕流之初，即受重力作用下，於坡面特定長度處逐漸形成地表逕流，此即是發生土壤侵蝕之初始坡長，若能截短坡長，如建構山邊溝即能阻絕地表逕流形成或降低逕流水深以達到減緩流速，故其有直接減免發生土壤侵蝕外營力。

四、坡度：

坡面之坡度愈大，物體移動時之位能將更容易轉為動能，故降雨到達坡面，出現降雨超滲時，出現地表逕流沿坡面流動，當其匯流量加大時，則流速會以加速度增加，在坡面之坡度減緩下，如平台階段即是將坡面利用營造坡度平緩之耕區，能直接減緩流速，也能增加降雨後地表逕流入滲土層，同時也減少地表逕流對土壤分散及搬運動能，因此降低坡度亦為直接減免發生土壤侵蝕外營力。

五、覆蓋與管理：

地表植被覆蓋一直是減少坡面土壤侵蝕之最有效控制方法之一，維持管理地表植被覆蓋能先阻絕降雨對坡面地表土壤出現分散，同時植被本身除能增加地面粗糙率以減緩地表逕流之流速，加以植被根系能增加地面逕流入滲地面及裹握土壤，更能提升土壤抵抗雨水打擊及其逕流造成分散及搬運之能力，意即增加抵抗土壤侵蝕之內營力。

六、水土保持處理：

當減免上述因素造成之土壤侵蝕，可採用農藝、工程及植生等方法之水土保持處理，其主要原則：截短長坡、減緩坡面坡度與增加地面粗糙條件，可做到減免發生土壤侵蝕外營力及內營力。

1.3.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

吳嘉俊、盧光輝、林俐玲(1996)，「土壤流失量估算手冊」，行政院農業委員會編印。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

黃俊德、吳嘉俊、徐森雄、陳慶雄(1994)，「土壤侵蝕與保育之研究-陡坡地果園土壤侵蝕量觀測(三)」，行政院農業委員會。

Kohnke, H., and Bertrand, A. R. (1959). Soil conservation, McGraw-Hill, New York,.

Wu, C.C., and Wang, A.B. (1996). “Soil loss and soil conservation measures on steep sloping orchard.” International Soil Conservation Organ

1.4 水土保持農藝方法

1.4.1 水土保持農藝方法之效能

水土保持農藝方法定義應以符合水土保持之農耕操作來進行栽培有價值作物，以農業友善環境觀念，建立兼具有生態環境保育、減少土壤侵蝕，達到永續生產之耕作方法。當山坡地農業開發時，有受農民人力及物力之限時，會先就坡度較緩農地來推廣具簡便與低廉費用之農藝方法包括：綠肥、覆蓋、敷蓋、等高耕作、輪作、間作、條作穴植、深耕、密植、宿根等項目，以達到兼具水土保持效能。而實施水土保持農藝方法之效能應該包括：

一、獲得且維持較高生產量

二、藉作物改良農地土壤肥力與理化性質

三、降低水土流失以增加土壤水分涵養

四、農地合理利用促進永續農業發展

1.4.2 水土保持農藝方法分類

山坡地農地水土保持之技術以防止土壤侵蝕為首務，而水土保持農藝方法應是藉作物栽植來增加地面粗糙率及促使雨水滲入土中，以減少地表逕流發生及增加土壤抗蝕力(水土保持手冊，1992)。故水土保持農藝方法之廣義而言，意指在農地上利用作物本身生長及耕作制度調整以達到防止土壤侵蝕災害與水土資源保育之方法。而一般農藝方法分類(古明萱，2016、謝杉舟及陳慶雄，1994)包括：

一、依覆蓋方式：

(一) 覆蓋(Cover)：

1. 草類(Grasses)：利用禾本科具莖葉密生之草類種植於地表，以達到覆蓋地表之效。
2. 藤類(Rattan)：利用植物無主莖及無法直立生長之蔓性或匍匐性，以達到覆蓋地表之效。
3. 灌木(Shrubs)：利用無中心主幹且具枝葉茂盛及莖幹低矮之木本植物，以達到覆蓋地表之效。
4. 喬木(Forests)：利用具主幹且具枝葉茂盛之高大木本植物，以達到覆蓋地表之效。

(二) 敷蓋(Mulching)：

利用修剪草類、枯死灌木及林木之枝葉、刈割作物殘株或礫石等，直接舖設於農地表面以保護其土壤，直接避免受雨滴打擊或逕流侵蝕，能減少土壤水分蒸發，進入土壤成為有機質，增進土壤滲透性。

1. 橫臥敷蓋(Prostrate mulching)：

(1)交叉：於農地沿等高方向將敷蓋材料左右交疊舖於地面。

(2)順行：於農地順坡向將敷蓋材料橫舖於地面。

(3)插壓：將具枝稈、長莖葉之敷蓋材料於農地沿等高方向部分插入地面，餘者舖於坡向朝上地面。

2. 直立敷蓋(Erect mulching)：於農地沿等高方向將具枝稈、長莖葉之作物殘株約 2/3 長度，採垂直埋入地面方式，可以減少地表風蝕作用。

二、依耕作方式：

(一) 等高耕犁(Contour plowing)：

係在坡面上沿等高方向實施之耕犁、作畦，以配合栽培作物之方法。

(二) 等高栽植(Contour planting)：

係在坡面上沿等高線方向，將作物按適當之間距做橫向栽植，相鄰兩行間之植栽採交錯方式種植於坡地上。

(三) 穴植(Holly farming)：

係配合植栽或作物在山坡地挖掘土穴，挖掘出土方構築半圓形小土壟於於土穴下側，土穴之橫向及縱向應能排列整齊。

(四) 方格種植(Waffle cultivation)：

在土層較薄之山坡地構築縱向及橫向土壟且成垂直方格狀，並使縱向及橫向土壟所圍方格維持 2 m 以內之間距，其間可種植作物。

三、依作物栽培：

(一) 輪作(Crop rotation)：

在同一農地依循環交替種植深根或淺根等不同作物，以充分利用土壤內肥料之養份，改善農地土壤理化性質，能配合產期調整增加收益，及避免或降低病蟲害。

(二) 條作(Strip cropping)：

又稱橫條間栽，係在坡面上沿不同條帶之等高線方向，採間隔方式栽植二種以上作物，如採密生作物與疏生作物，或草類與作物等。

(三) 間作(Intercrop)：

在主作物生育期間，選擇其栽植之畦行或行株間，種植另一種作物，能充分利用農地空間以增加收益，且覆蓋地面可減少土壤侵蝕。

(四) 混作(Mixed cropping)：

在同一農地同時栽培二種以上作物，利用異種作物間對抗病蟲害能力不同，來對主作物或作物間都有益之栽培。

(五) 密植(Close planting)：

在同一農地以每一作物充分成長空間考量，密集種植作物，使其冠層被覆地面，期能達到最高生產量及減少土壤侵蝕。依建築基地綠化設計技術規範(2009)建議密植低矮灌木，其密集度採每 m^2 至少栽植 4 株以上，土壤深度 0.5m 以上。

(六) 宿根(Perennial root)：

在農地種植二年生或多年生草本作物，莖葉經刈割收穫或枯萎後，其基部仍可存活，直到翌年重新發芽成長，此種作物即具有宿根。宿根作物可以採用分蘗、根插等無性繁殖方法加以培育。種植宿根作物不需經常耕犁表土，可減少土壤侵蝕。

四、依增加肥力：

(一) 有機物(Organic matter)：

利用刈割、修剪及收穫作物後之殘株，提供有機物來源，經過腐熟作用產出堆肥(compost)，或與畜牧排遺、墊料和飼料殘屑等混合而漚成的廐肥(farmyard manure)，亦可將綠色植物整體莖根埋入土層內直接當作綠肥(green manure)。

(二) 無機物(Inorganic matter)：

泛指除碳元素外之各種元素的無機化合物，用於增加作物所需養分及調整土壤酸鹼值為主，包括：氧化物、酸、鹼、鹽四大類，部分碳化合物如一氧化碳、二氧化碳、碳酸、碳酸鹽、氰化物等，由於它們的組成和性質與其他無機化合物相似，通常將其納入無機化合物。就農地針對作物最常採用易

溶於水的無機物包括：氮肥(N)、磷肥(P)，鉀肥(K)，石灰(Lime)等人工無機物肥料。

1.4.3 參考文獻

古明萱(2016)，「農藝學，第二章作物的分類與品種」，國立屏東科技大學創意教學教材數位化，<http://cec.npust.edu.tw/e-learning/agronomy/>。

行政院公報資訊網(2009)，「內政篇：行政規則建築基地綠化設計技術規範」，15(124)，PP.20485-20538。

行政院農業委員會支助，臺灣省水土保持局、中華水土保持學會編印(1992)，「水土保持手冊」。

吳嘉俊、林俐玲、盧光輝(1996)，「土壤流失量估算手冊」，國立屏東技術學院編印。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

謝杉舟、陳慶雄(1994)，「農地水土保持」，國立屏東技術學院編印。

1.5 防風定砂

1.5.1 前言

臺灣西部海岸幾乎全部屬於砂岸，主要源自於各河川溪流在洪水挾帶山區流失下來的泥砂，於潮間帶堆積成砂灘，當潮汐改變使砂灘裸露，經太陽曝曬後使其表面水分蒸發，使砂體含水率降低，當砂粒失去其與砂體之粘著性，會在風速達到砂粒起動值，而產生風蝕或飛砂揚塵。風蝕常引發濱海區域砂丘推移，時有淹沒農田、道路、房舍，造成嚴重災害；又鄰近耕地與坡面農地有出現較空曠地形者，常因降坡氣流風向與坡向相近而出現局部強風，亦會使栽植作物之枝葉破損而引發機械性傷害。濱海區域農地有受季節性強風或熱帶氣旋之暴風挾帶鹽霧侵襲而直接造成作物生長受阻，同時易提高蒸發散作用，若無適當供給水分，將直接減損農地收益。臺灣濱海地區適逢冬季經常遭受東北季風影響，平均風速介於 10~15 m/s，而瞬間最大風速可達 30 m/s，伴隨強風常使砂灘飛砂揚塵，更會危害人體健康(黃隆明等，2014)。因此抑制風蝕與定砂措施，以減少作物因強風造成之生理或機械傷害或鹽害，以及增進國土保育，是防風定砂的主要目的。

濱海地區耕地與山坡地較空曠地形有受季風或沉降氣流影響而出現有強風情形時，利用改良土壤、地物或設施構造物等措施，達到增加粗糙程度、減低風速、改變風向及增加蔽風範圍，為重要的防風定砂原則。因此，在濱海風衝地區，可建造海岸防風林、耕地防風林與欄砂構造物等，以減少風砂與鹽霧對作物生長環境與居民生活品質影響，相關施作事項請參閱：本手冊植生篇-7.4 海岸地區植生方法所述內容。而在坡面農地有出現較空曠地形者，亦可依上述原則進行相關具防風定砂功能之林帶、綠籬，草帶、構造物及砂丘等(林信輝，2014)，以落實農地防風處理。

1.5.2 防風定砂方法

為有效降低風速、過濾飄鹽、防止飛砂及安定砂丘，其主要方法包括(參考水土保持手冊－農地篇，1992)：

一、防風林帶：

選取深根性多分枝之直立樹種，其樹幹及枝葉具有彈性及耐風者，藉以建造海岸防風林，直接攔阻泥砂起動，進而達到防止飛砂、安定砂丘及過濾飄鹽功能。

二、防風綠籬：

沿海受強風影響地區，在構築高大之防風林有樹種成活不易，且易受風切作用而倒伏或折枝幹等情形下，可改選種適生低矮植物，以降低砂灘地表泥砂起動值，增加植被覆蓋，以降低風蝕。

三、防風草帶：

強風季節可配合選種適生草本濱海植物，直接保護海岸耕地作物，植栽苗木，或配合防風林帶之林緣栽植，達到防風定砂與林木保護之功能。

四、防風定砂構造物：

如防風牆、防風網、防風柵等構造物，直接減少強風吹襲，使構造物背風面建構一個弱風區域，利於地表植被覆蓋維持，進而減少風蝕及達到定砂作用。

五、建構砂丘：

利用堆砂籬減少地表風速，使泥砂能暫留該籬前後，隨強風持續吹襲，逐次壅高堆砂以形成砂丘，此可利於植物入侵，增加植被覆蓋，進而減少風蝕及達到定砂作用。

1.5.3 參考文獻

行政院農業委員會支助，臺灣省水土保持局、中華水土保持學會編印 (1992)，「水土保持手冊」。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書出版公司。

黃隆明、周廷韋、李霽修、陳財輝(2014)，「防風林配置對定砂效果之研究」，中興大學農林學報，63(1)，pp.1-14。

1.6 農地水土保持規劃

1.6.1 前言

臺灣因特殊的水文與地文條件，能維持良好的植生被覆，由各層植被發揮保育土壤，涵養水源等功效，是坡地最好的保護。農地水土保持規劃常需因地制宜，其最主要考量應是避免山坡地超限利用，以達合理土地利用，同時在農地上採用合適的農藝方法以防止或減少水土流失，進而使山坡地農業生產永續發展。所以必須導入人為的保育方法，即坡地開發利用時，農地應實施水土保持處理與維護，主要處理方法包括：等高耕作、覆蓋、敷蓋、綠肥、山邊溝、平台階段、寬壟階段、石牆法、草帶法、農塘、農地沉砂池、坡地防風措施、防風石牆、乾砌石護坡、梯田、農地整坡等(水土保持手冊，1992、2005)。除了以上所提處理方法之外，同時應將農地水土保持相關配合措施納入，包括：農路系統、農地排水、農地灌溉等作有系統之規劃配置示如圖 農 1-6-1，以確保農地開發利用安全無虞。



圖 農 1-6-1 農地水土保持規劃示意圖(繪圖者：陳桂娥、鄭勝鴻)(資料來源：水土保持知識探索－小魚的秘密假期，2015)

依據林信輝(2014)所提農地水土保持規劃流程，調整相關配合措施將其流程繪如圖 農 1-6-2。

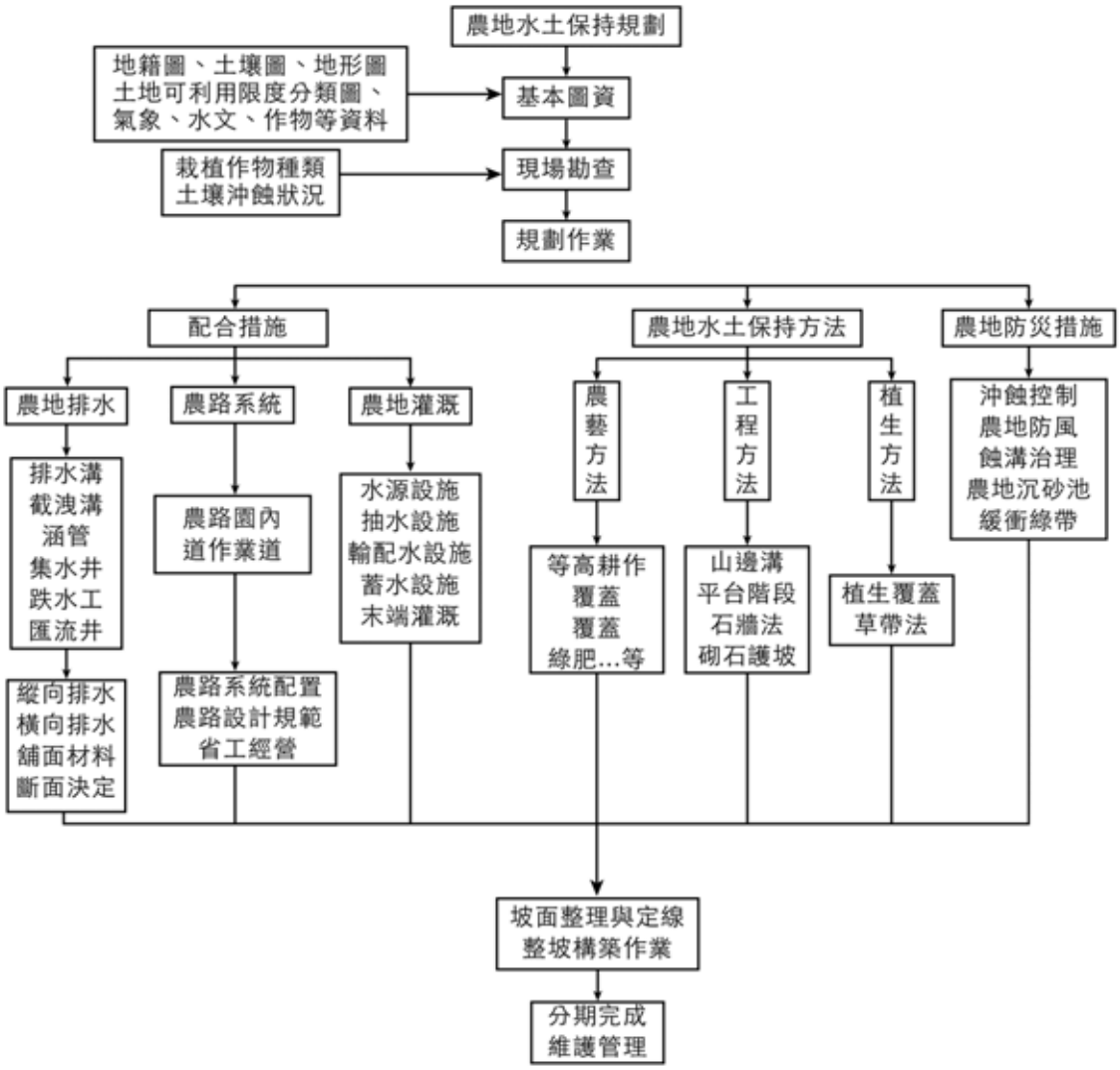


圖 農 1-6-2 農地水土保持規劃流程圖(林信輝，2014)

1.6.2 農地水土保持規劃目標

基於經濟與安全之考量，山坡地農地利用應先依土地的自然環境條件予以適當分級，並就各級土地之容許開發特性做合理之利用，以便在人為能力範圍內達成水土保持。臺灣受自然地形、地質與氣候等影響，在山坡地農地會因降雨或自然重力等因素，使得農地在開發或闢墾下之鬆軟裸露地表土層，極易受降雨影響而造成水土流失之情形。因此，農地水土保持規劃，應能依照山坡地土地可利用限度分類標準，採用符合水土保持之農地經營方法與配置，減免土壤侵蝕與土石災害發生，進而達到永續利用。

農地水土保持規劃需考量周邊土地利用與農業生產類型、作物生長之環境適宜性以及可配合或支援條件等，使農民生活、生產與生態保育間取得平衡，且應避

免過度之開發破壞。而在山坡地宜農牧地區之農地，不論短期或長期栽培之農業耕作，皆會進行土壤耕犁、翻土等工作，極易遭雨水或地表逕流而侵蝕流失表土，此時即需依照不同作物種類與經營管理方法，施作不同的農地水土保持方法與設施。如配合規劃排水系統、緩衝綠帶、平台階段、沉砂設施及休耕期綠肥覆蓋等水土保持方法，在多年生果樹區施行草生栽培或長期地被覆蓋良好的作物栽植區則可配合規劃山邊溝、等高栽植等方法(林信輝，2014)。據此，本手冊「農藝篇」相關農地水土保持規劃之處理單元，可分類包括：農地耕作措施(等高耕作、覆蓋、敷蓋、綠肥、農地整坡)、省工經營措施(山邊溝、平台階段、寬壟階段、石牆法、梯田)、農地防災措施(草帶法、砌石護坡、農塘、農地沉砂池、農地防風)、農地水土保持配合措施(農路系統、農地排水、農地灌溉)。而在合理土地開發利用範疇內，結合農地水土保持措施以配合機械作業及作業方式改進達到省工經營設施，能兼具防止土壤侵蝕及便利農業經營外，亦透過農地水土保持配合措施改善坡地農業經營環境，進而促進農現代化。故坡面推展農地水土保持規劃必須能達到以下各項目標：

一、合理之土地利用

二、防止土壤侵蝕並恢復受侵蝕敗壞土地之生產力

三、土壤保育與培育

四、減少逕流與增加水資源涵養

五、防止侵蝕污染水土資源

六、坡地安全排水

七、防止風蝕

1.6.3 農地整坡作業

山坡地開墾農地，應先以山坡地保育可利用限度分類標準，來確定其分級，若屬於宜農牧地，則在進行整坡作業前可先就現地包括：雜草刈割、卵塊石及障礙地物清除、小侵蝕溝整理、預定農場規劃(如排水、灌溉、農路、農塘等)進行資料蒐集，並考量注意事項應包含有整坡作業期程以避開不利天候，及盡速完成地表覆蓋，配合作物栽培需求規劃整坡作業，施工期間必須防止水土流失，善用土壤包以避免水土保持流失與災害發生。顯示農地之整坡作業亟需詳細規劃，而相關山坡地宜農牧地為利於農場耕作管理需進行開挖整修坡面，均應依規定向主管機關申辦同意後始得實施。其中整坡作業可採用下列方式進行：

一、人工：

適用在陡坡、地形複雜、農地面積侷限、卵塊石偏多、機械作業不易之山坡地，其多在人力豐沛時使用手持式掘土、鏟土、耕犁等工具進行整地及整坡作業，故多出現有工作期程延長、深耕不易及無法集約經營情形。

二、機械：

適用在坡度緩、地形平整、農地面積較大、機械易於進出之山坡地，其在人力不足時可採用具有動力之小型挖土、鏟土及推土等機具進行整坡作業，故多出現有工作期程縮短、減少人力成本、易於深耕、增加表土與心土之孔隙及集約經營情形。

為使農地達到集約經營且具深耕化，而採用機械進行整坡作業，是國內常見的方式，其中常採用雙碟犁依照寬壟階段方式進行整地。受國內推動農業友善環境一時流行，農場耕作管理所進行整坡作業，有農地全面整坡行為，常使農民時有出現不符合宜農牧用地作為。因此農地整坡作業，不應以整地及整平為優先考量，而是應依山坡地原有地形及地貌，先施行山邊溝、平台階段、安全排水系統、農地滯洪沉砂措施等農地水土保持處理與維護，以增加現地防災能力，及減低開發強度及水土流失情形發生。

當農地整坡作業所產生之挖填土石方則應力求最小化及平衡，此係避免過度擾動地表原有植被覆蓋及維持農地原有地力之必需作為。農地整坡作業期間有土石方暫置規劃時，應有防止水土流失之措施。當為配合作物栽培需要，可分為：開挖植穴者可採用 30~50 cm；中耕除草者深度通常不應超過 30 cm 為宜；深耕者利用鋤、碟、犁或曳引機，可先進行犁土 30 cm 以上，再配合移土 40 cm 覆於其上，則農地深耕將可出現深度達 70 cm。又當山坡地農地全面進行整地及整坡作業深度超過 50 cm 者，若屬機械整地及整坡作業，應依相關法令規定申辦並經主管機關審核後實施。

農地整坡有施作為平台階段與山邊溝等水土保持處理時，依據其垂距需求，邊坡應注意包括：邊坡高度不超過 1.5~2.5 m 者為宜。宜農牧用地作為畜牧乳酪養殖用途，應於整坡作業，盡速以密生優良牧草進行全園覆蓋，同時結合安全排水系統，以適度截排區外及截洩區內於暴雨後地表逕流，並依水土保持技術規範規定設置沉砂設施，進而使畜牧農場能永續經營。

1.6.4 參考文獻

中華民國「山坡地保育利用條例」，2016 年 11 月 30 日修訂。

行政院農業委員會支助，臺灣省水土保持局、中華水土保持學會編印(1992)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2015)，「水土保持知識探索－小魚的秘密假期」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

貳、處理單元

2.1 等高耕作

2.1.1 定義

等高耕作(Contour farming)係指在坡面上沿等高方向所實施耕犁、作畦及栽植之保育耕作。

2.1.2 目的

一、抑制逕流及減少土壤侵蝕。

二、增進水分入滲與保蓄。

2.1.3 圖說

等高耕作如圖 農 2-1-1。

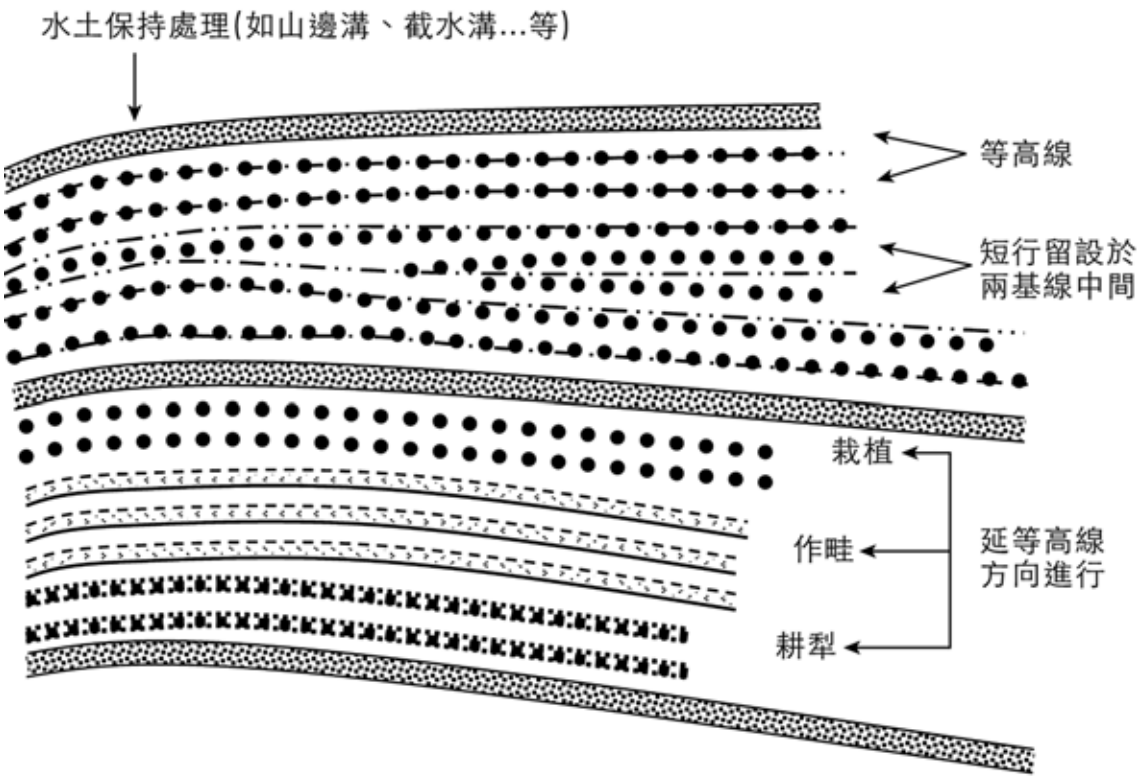


圖 農 2-1-1 等高耕作示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

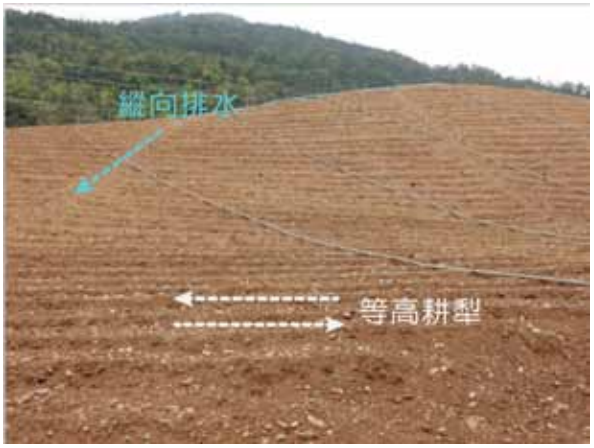


圖 農 2-1-2 等高耕犁



圖 農 2-1-3 等高作畦(資料來源：黃國鋒，2017)

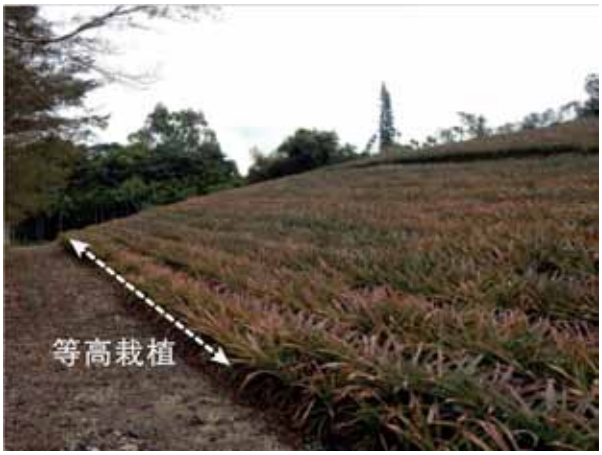


圖 農 2-1-4 等高栽植

2.1.4 應用說明及設計

一、坡面耕犁與作物栽植時實施。

二、低矮密植作物。

三、機械整坡之淨耕作物栽植區。

四、配合山邊溝等橫向截水溝之耕犁作業地區。

五、配合沿等高線方向將作物栽植於坡地。

2.1.5 作業程序及注意事項

一、經山邊溝、寬壟階段、石牆、截水溝等處理之土地，以該處理為基線，再沿各基線上方等高方向作畦數道，長行者宜在 4~6 行左右。

二、短行以留置兩基線中間部分為原則。

2.1.6 維護管理

等高耕作之土地，於暴雨後如有發生蝕溝，應即時修整。

2.1.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.2 覆蓋

2.2.1 定義

覆蓋(Cover)係指可充分保護及改良土壤所選用莖葉繁茂及完密被覆地表之植物。

2.2.2 目的

一、被覆地表，截阻雨滴打擊，抑制侵蝕。

二、增加土壤有機質含量，改良理化性質。

三、抑制雜草，降低管理成本。

四、緩和微氣候及地溫之變化，改善坡地環境。

2.2.3 圖說

覆蓋處理如圖 農 2-2-1、圖 農 2-2-2 所示。

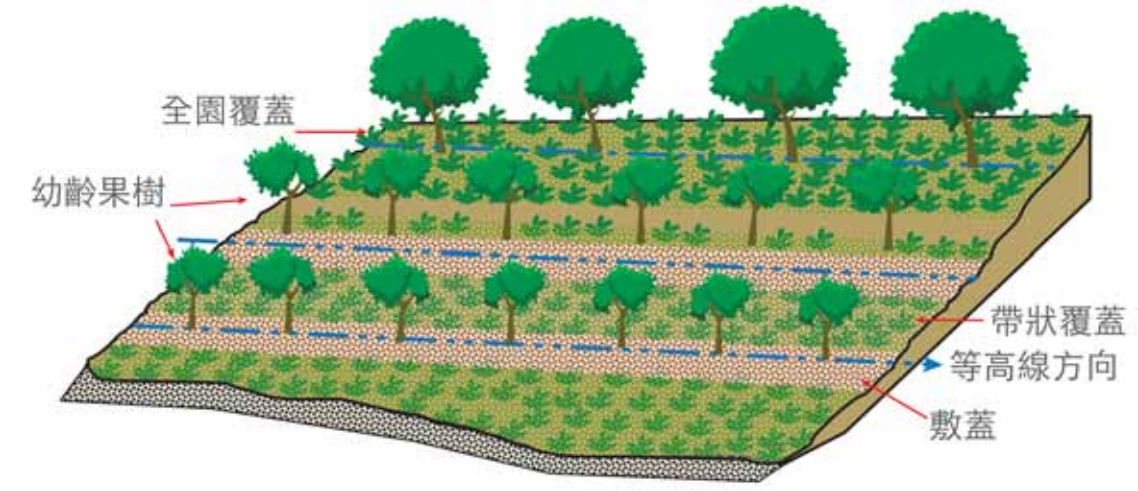


圖 農 2-2-1 覆蓋處理示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)



圖 農 2-2-2 覆蓋處理圖

2.2.4 應用說明及設計

一、以果樹園為主，為坡地果園之配合處理。

二、草種以水土保持常用草類為主。

三、一般果園行全面草類覆蓋，有刈割時應將草類殘株敷蓋於樹冠下方。

四、幼齡果園，宜作行間帶狀覆蓋及敷蓋(如圖 農 2-2-1、圖 農 2-3-1)。

2.2.5 作業程序及注意事項

一、播種法：以撒播、拌土條播或配合土壤袋、植生帶、草類殘株或使用柏油乳劑噴播等方法進行。播種後可配合初期灑水維護與稻草蓆鋪設。

二、扦插法：在坡面上沿等高線，每隔適當距離種植草苗，以覆蓋坡面、防止侵蝕之方法。採百喜草以分株法種植時，行株距 50 cm×30 cm，等高三角形植法，種植前先行整苗，每穴種植二至三株，雨天種植尤佳。

三、草莖撒播法：將草莖撒於整坡後之坡面，再利用機器適做輾壓、灑水及上覆砂土之步驟，以達快速全面覆蓋之效果。

四、草皮鋪植：掘取草皮並移置所需鋪設之處，或將選定之草類種子放置於適當大小之土盤或苗床栽植後，連莖根及部分土壤一併移植到邊坡上。可藉草類茂密植株及根系保護地表、盤結土壤，減低植生初期之土壤侵蝕。

五、割草與敷蓋：旱季前割草一次，以減少土壤水分之損耗，並須注意鼠類棲息及乾旱季節火災。割下之殘株可就近敷蓋於作物植株四周。行帶狀覆蓋時，則敷蓋於帶狀草帶間。

六、天然草類選留：一般農地內原有自生草種，經由適當之經營管理，消除不易管理與覆蓋效果不佳之雜草，選留農民可接受的草類。鬱閉度高之果樹地區，可依環境條件選留適生且可為農民接受之耐蔭性草類或藤類種植以達到植生覆蓋效果。

2.2.6 維護管理

一、第一年每公頃施用氮肥 100~ 200 kg。

二、旱季前割草一次，以減少土壤水分之損耗。

三、注意防止鼠類棲息及火災。

四、割下之草類殘株應就近敷蓋於果樹基部四周。

2.2.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.3 敷蓋

2.3.1 定義

敷蓋(Mulching)係指將草類、作物殘株或其他材料敷蓋在作物株行間或裸露之地表或果樹基部週邊之作業方法。

2.3.2 目的

一、減少逕流及土壤流失，增進土壤水分含量。

二、抑制雜草，減少中耕除草。

三、調節地溫。

四、增加土壤有機質。

五、減少土壤水分蒸發。

2.3.3 圖說

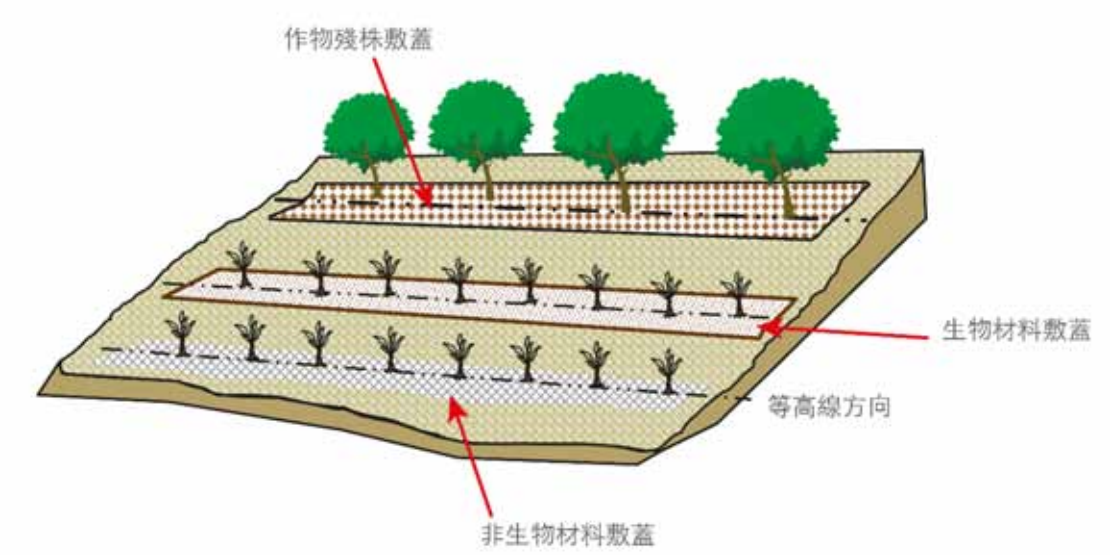


圖 農 2-3-1 敷蓋處理示意圖



圖 農 2-3-2 敷蓋處理圖

2.3.4 應用說明及設計

一、土壤流失量大之耕地或裸露地，或可配合作物栽培管理作業之殘株處理地區。

二、利用敷蓋以抑制雜草生長之地區，能增加土壤有機質、調節地溫、減少土壤水分蒸發。

三、單株果樹週邊以可分解或無環境汙染材料敷蓋時，能達到抑制雜草、減少中耕除草、調節地溫和減少土壤水分蒸發。

四、需敷蓋以保育土壤水分，促進作物生長之地區。

五、規劃類型：

(一) 非生物材料敷蓋：使用可分解塑膠布、人工纖維或無環境汙染資材進行敷蓋。

(二) 生物材料敷蓋：使用作物本身殘株，於種植區域進行敷蓋。或使用如覆蓋草類刈割後之枯枝落葉、稻草、花生殼、稻殼等生物材料進行敷蓋。

2.3.5 作業方法及注意事項

一、果樹園區人工割除之覆蓋作物或草類、作物殘株，可用為敷蓋材料。

二、利用可分解塑膠布、人工纖維或無環境汙染資材等作為敷蓋處理時，以在行畦上敷蓋為宜。

三、敷蓋會造成主作物根系基部或果樹基部潮濕程度增加，則需注意病蟲害防治。

四、以可分解塑膠布等敷蓋，若會增加地表逕流，需特別加強導排水設施。

五、較粗大之作物殘株應先切碎後再做為敷蓋材料。

六、果園使用有機材料敷蓋，不宜敷蓋太厚。全面敷蓋宜為條(帶)狀。

2.3.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.4 綠肥

2.4.1 定義

綠肥(Green manure)係指栽培植物於田間，再將其新鮮的植體，翻犁入土壤中作為肥料，或用來改善土壤理化性質者。

2.4.2 目的

一、釋出肥料元素，增加土壤有機質、提供作物所需養分。

二、改良土壤理化性，促進土壤有益微生物活動。

三、提供休耕期農地覆蓋以減少土壤侵蝕。

四、防止雜草叢生，綠美化農村景觀。

2.4.3 應用說明及設計

一、砂地、黏土地或貧瘠地之改良。

二、經濟作物之夏季、冬季休耕期之植生覆蓋，與作物行輪作或間作。

三、提供畜牧飼料作物與蜜源植物。

四、綠肥植物導入坡地以改良土壤地力，有助於二次植生導入演替復育成效。

五、綠肥選用多年生豆科植物在考量初期生長緩慢下，需要人工管理，建議可覆蓋稻草或刈割後作物殘株，以利形成完密的植被覆蓋，達到抑制雜草及兼作綠肥效果。若綠肥採用藤本植物，栽培於果園時，應予修剪以避免纏繞果樹而影響果樹生長。

六、綠肥選用一年生豆科植物有初期生長明顯效能，且易形成完密的植被覆蓋，適於緩坡或坡地平台上需每年耕犁之農地者種植。

2.4.4 作業方法及注意事項

一、經濟作物於休耕期之栽培或行間間作，且應利於機械掩施於田間。

二、種類選擇：

能適應當地氣候與土壤、栽培容易、生長迅速、產量高、肥料成分豐富，對主作物或後作物無不良影響且採種容易者。

三、根瘤菌接種：

豆科植物一般需接種適當根瘤菌種後播種。

四、播種：

按照行距，於春季或秋季土壤保持適當水分時播種，建議播種量 25~40 粒

/m^2 以上，覆土深度 2~5 cm 為宜，並避免播種後遇連續降雨而易使種子腐爛情事發生。

五、機械整地條播：

前作收穫後即整地，利用曳引機或中耕機附帶播種器，進行作畦或平畦播種，適選綠肥植物，惟仍應注意初期生長，以避免雜草叢生而增加後作管理工作。

六、割取施用：

割取時期因土壤、氣候及主作物而異，通常於開花初期含氮量最多，柔嫩多汁易於分解，為適當之翻犁掩埋時期，掩埋深度 10 cm 為宜，並保持適當的土壤水分，綠肥掩埋後 15~20 天為植物體分解期，不宜種植主作物。

七、施肥：

一般綠肥田菁的栽培，以不施任何肥料為主，唯對貧瘠土壤或早春低溫下栽培，仍須酌施肥料，才能提高生草量。每公頃肥料需要量，硫酸銨 0~ 70 kg 或尿素 0~ 35 kg，過磷酸鈣 100~ 200 kg，氯化鉀 50~ 100 kg (卓家榮，1998)。

八、綠肥翻犁掩埋時期，若遇土壤 pH 值低於 5.5，可施用石灰每公頃施 1500~2000 kg 為原則，以調整綠肥分解時所產生之有機酸。

九、臺灣地區主要綠肥作物有多年生花生、太陽麻、鵲豆、綠肥大豆台南 7 號、青皮豆、虎爪豆、羽扇豆、田菁、埃及三葉草、苕子，相關常用綠肥植物使用情形如表 農 2-4-1 所示。

表 農 2-4-1 常用綠肥植物一覽表(資料來源：林信輝，2014)

植物名稱	植物性狀及其應用	相片
多年生花生(蔓花生) (*Arachis glabrata* Benth) 英名：Perennial peanut 別名：亞瑪莉樂花生	1.為豆科多年生草本植物，對土壤適應性強，較適宜酸至中性土壤；耐鹽性不強，在黏土且積水地區生育不佳。 2.其走莖形成厚實植被可抑制雜草生長及防止土壤沖刷，成群的黃色小花可美化景觀，故目前多應用於地被景觀、公路邊坡及果園草生栽培。	

太陽麻(*Crotalaria juncea* L.) 英名：Sun hemp 別名：菽麻、印度麻	1.豆科一年生草本植物，性喜溫暖氣候，土壤選擇不嚴，以排水良好之砂壤土最宜；不耐濕，耐旱性佳，成株於旱季仍能生育良好。 2.其走莖形成厚實植被可抑制雜草生長及防止土壤沖刷，成群的黃色小花可美化景觀，目前多應用於緩坡或坡地平台上栽植為佳。	
鵲豆(*Lablab purpureus* (L.) Sweet) 英名：Lablab、Hyacinth bean 別名：藊豆、肉豆	1.豆科多年生匍匐型蔓生草本植物，喜高溫多日照之生長環境，適合排水良好之砂壤土栽培。 2.莖葉濃密，可供為長期休耕農地之覆蓋綠肥，但因具攀爬及纏繞性，以栽培於無地上物之荒地、坡地上、預備新植果樹或廢耕後之果園為宜。	
綠肥大豆(台南 7 號)(*Glycine max* Merr.) 英名：Soybean	1.豆科一年生草本植物，初期生長勢強；耐濕、耐旱及耐寒，植株匍匐生長，對雜草抑制效果佳。 2.對雜草抑制效果佳，生育期長，可供為休耕田全年覆蓋綠肥栽培。適合果園草生栽培。因種子裸露於表土易遭鳥食，若栽培於坡地，以可行覆土之坡地平台或緩坡為宜。	
羽扇豆(*Lupinus luteus* L.) 英名：Lupine 別名：魯冰	1.豆科一年生草本植物，性喜冷涼潮濕，忌浸水，適合於排水良好之坡地種植，耐酸性強，在酸性土壤中仍能生長良好。 2.主要供為北部水稻田綠肥及茶園覆蓋綠肥。因種子裸露於表土易遭鳥害，若栽培於坡地，以可行覆土之坡地平台或緩坡為宜。	

青皮豆(*Glycine max* Merr.) 英名：Blue soybean	1.豆科一年生草本植物，性喜溫暖潮濕，莖葉生長茂盛，臺灣各地區中低海拔皆可栽培。 2.主要供為農田綠肥或果園覆蓋綠肥。因種子裸露於表土易遭鳥食，若栽培於坡地，以可行覆土之坡地平台或緩坡為宜。	
虎爪豆(*Mucuna pruriens* L.) 英名：Velvet bean 別名：黎豆、富貴豆	1.豆科多年生匍匐型蔓生草本植物，性喜高溫多日照，不適合栽培於寒冷及潮濕的地區；對土壤選擇不嚴，於貧瘠地亦能生長。 2.莖葉濃密，可供為長期休耕農地之覆蓋綠肥，因具攀爬及纏繞性，以栽培於無地上物之荒地、坡地上、預備新植果樹或廢耕後之果園為宜。	
田菁 (*Sesbania roxburghii* Merr.) 英名：Sesbania 別名：山菁、大菁	1.豆科一年生草本植物，對土壤適應性強，尤其於排水不良地區，雨季時田菁為少數仍可生長良好的豆科綠肥作物。 2.栽植於陡坡時，土壤侵蝕防止與保育功能低。若於貧瘠坡地欲栽植田菁作為先驅植生，以緩坡或坡地平台上栽植為佳。	
埃及三葉草(*Trifolium alexandrinum* L.) 英名：Egyptian clover、Berseem clover 別名：非洲椒草	1.豆科一年生草本植物，屬溫帶型作物，性喜冷涼氣候，不耐熱亦不耐霜，於雨水充足地區之砂壤土生長最佳，耐鹽性高，濱海地區亦可生長。 2.耐蔭性強，可為坡地果園或葡萄棚架下之冬季綠肥。	

苕子(*Vicia dasycarpa* Tenore) 英名：Vetch 別名：野豌豆、大巢菜或小巢菜	1.豆科一年生蔓性草本植物，土壤適應性廣，可於鹽分地或酸性紅土栽培；因具匍匐性蔓生莖，覆蓋效果佳。 2.其莖葉之飼料品質佳，可做為牧草。因俱匍匐性蔓生莖，覆蓋效果佳，其莖葉覆蓋表土可減少雨水沖刷及抑制雜草滋生，可做為果園坡地草生栽培。	

2.4.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

卓家榮(1998)，「台南區農業改良場特刊第 2 號」，行政院農業委員會臺南區農業改良場編印。

2.5 山邊溝

2.5.1 定義

山邊溝(Hillside ditch)係指在坡面上，每隔適當距離，沿等高方向所構築寬淺之三角形溝。

2.5.2 目的

一、分段減短坡長，以截洩逕流及減少侵蝕。

二、增進水分入滲與保蓄，兼作坡地安全排水系統基礎。

三、提供田間作業道路，建立坡地省工經營基礎。

2.5.3 圖說

山邊溝配置示意如圖 農 2-5-1、圖 農 2-5-2，又依坡面坡度及使用需求可分為寬型山邊溝及窄型山邊溝，示意如圖農 2-5-3、圖 農 2-5-4。

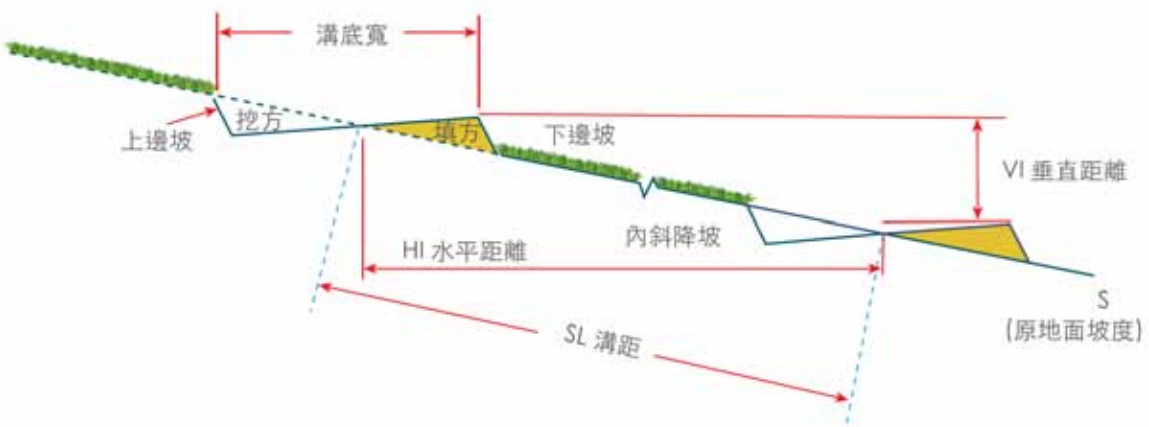


圖 農 2-5-1 山邊溝示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

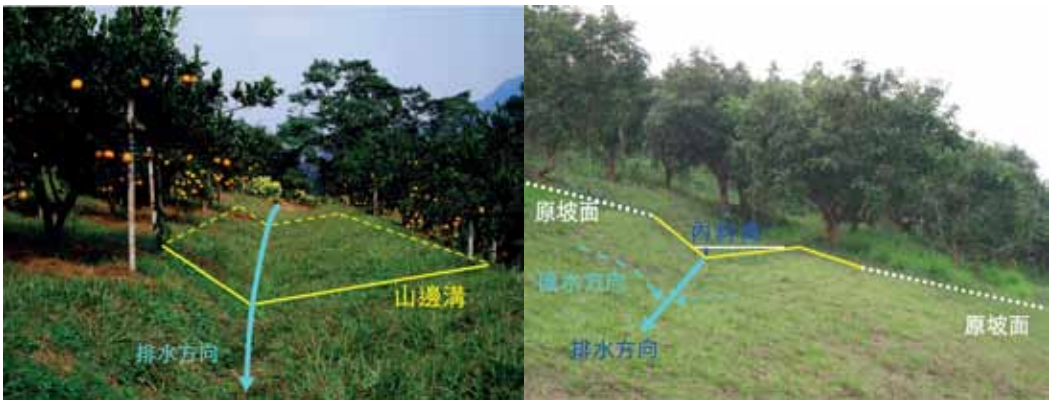


圖 農 2-5-2 山邊溝(資料來源：水土保持局)

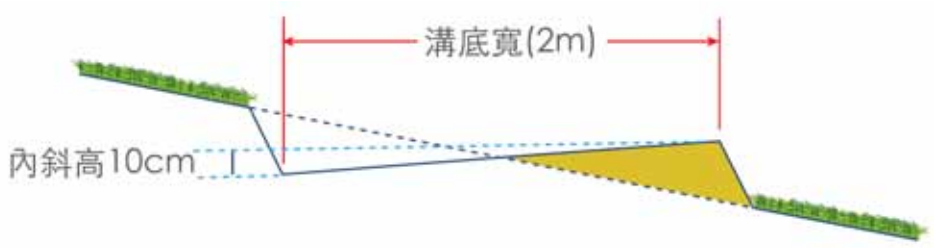


圖 農 2-5-3 寬型山邊溝剖面示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

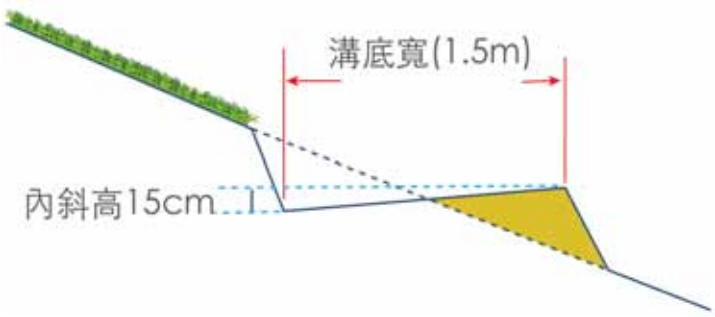


圖 農 2-5-4 窄型山邊溝斷面示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

2.5.4 應用說明及設計

一、以坡度 40%以下之坡地為原則。

二、配合草帶法及外斜式平台階段時，可適應較陡之坡地。

三、覆蓋完密之果樹園地、牧草地，可適用至坡度 55%。

四、溝距：

溝與溝間之地面距離，按垂直距離決定，其公式為

$$VI = \frac{S + 6}{10} \tag{2.5.1}$$

$$HI = \frac{VI}{S} \times 100 = \frac{S + 6}{S} \times 10 \tag{2.5.2}$$

其中，VI：垂直距離(m)；S：原地面坡度(%)；HI：水平距離(m)；溝距可依上列 VI 及 HI 進行計算。又為利於一般民眾使用，山邊溝之坡度、溝距對照表請參閱附錄一。

根據土壤滲透性、侵蝕程度、作物種類及保育耕作情形等項加以研判，必要時得將溝距作 25 %範圍內之增減。溝距在草生地可增加 100 %，在放牧地可增加 50 %。山邊溝均應參照作物行距、機械作業寬度進行溝距設計，並盡量減少

短行。在坡面果樹園，於山邊溝容許溝距範圍內，可依 1~ 3 行果樹之行距來決定其溝距。

五、採用型式：

坡度小於 20%之緩坡地採用寬型(溝底寬 2 m)及溝面內斜高 0.1 m(或以內斜降坡 5%)為原則；坡度大於 20%之較陡坡地可採用窄型(溝底寬 1.5 m)及溝面內斜高得局部放寬至 0.15 m(或以內斜降坡 10%)為原則。

六、山邊溝排水降坡：

一般以 1~ 1.5%為原則，但為配合地形、作物，必要時得局部放寬至 5%。

七、山邊溝排水長度：

山邊溝單向排水長度，以不超過 100 m 為原則，超過時可改作雙向排水或中間會合排水，如圖 農 2-5-5。

八、過水溝面：

山邊溝排水以中間會合排水為原則，當山邊溝與縱向排水溝銜接處應以拍漿、鋪磚石及植草等方式來構築寬底拋物線型溝面，必要時得改用小型涵管，以利於作業機具通過。

九、出水口：

山邊溝會合排水之出水口應酌予增加其斷面寬度及降坡，與排水道連接處力求平順，並利人員通行，同時可增設護坡或溝面保護工以確保出水口功能順暢。

十、山邊溝臨接上邊坡之挖方深度與下邊坡填方高度二者各小於 1 m 為宜，在挖填作業完成後邊坡及溝面均應配合實施植草覆蓋。



圖 農 2-5-5 山邊溝排水示意圖

2.5.5 作業程序及注意事項

一、勘查規劃：

應先做全區勘查，依據地形、土壤、侵蝕及天然排水情形，決定山邊溝採用型式及排水位置。

二、決定溝距：

就山邊溝所橫跨之坡面測出平均坡度後，依據溝距公式，再參酌勘查結果及作物種類，決定適當溝距。

三、測定樁線：

在農地間選取上下坡度較平順之坡面，選定為山邊溝樁線起點，依其預定排水方向，每 5~ 10 m 測定一樁，遇急彎處應增加樁數。

四、樁線修正：

樁線測定後，應加檢視，並作必要之調整，以消除急彎或減低彎曲程度。

五、構築順序：

應先自最上一條山邊溝樁線上下緣，進行開挖，完成後一次進行下一條山邊溝之構築。

六、預留土壤沉陷率：

山邊溝之填土溝面，應視其土壤條件增高約 10%，以預留為土壤沉陷率。

七、整修：

山邊溝初步構築完成後，應做校正測量，按照設計之斷面及降坡分別校正，從事整修。

八、山邊溝經過窪地或蝕溝時，應予填實，斷面亦須加強。

九、配合處理：

包括截水溝、等高耕作、覆蓋作物、敷蓋、山邊溝植草、安全排水系統等處理，以加速裸露坡面覆蓋，減少土壤侵蝕。

2.5.6 維護管理

一、雨季前後應加檢視，如有損壞應立即整修。

二、溝內淤泥、雜物等務必隨時清除。

三、在山邊溝溝面及上下邊坡種植類地毯草、百喜草、假儉草、地毯草、百慕達草、兩耳草等草苗，以分株三角形密植，使用種子時宜採用噴播或植生帶。亦可選用野生匍匐性草類，缺株即予補植，必要時酌施肥料，以期維持良好覆蓋。

四、防止鼠類或其它穴居動物類棲息。

2.5.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.6 平台階段

2.6.1 定義

平台階段(Bench terraces)在坡面上，每隔適當垂距，沿等高方向，所構築成多條連續水平或緩斜之階段。

2.6.2 目的

一、分段減短坡長，抑制逕流，防止土壤侵蝕。

二、適應坡地耕作需要，達成安全土地利用。

三、增進水分入滲與保蓄。

2.6.3 圖說

平台階段依台面傾斜型式可分為水平式、內斜式及外斜式，示意如圖 農 2-6-1 至圖 農 2-6-5；另針對坡地果園，為方便機械作業與經營管理，有果園改良式平台階段，示意如圖 農 2-6-6。

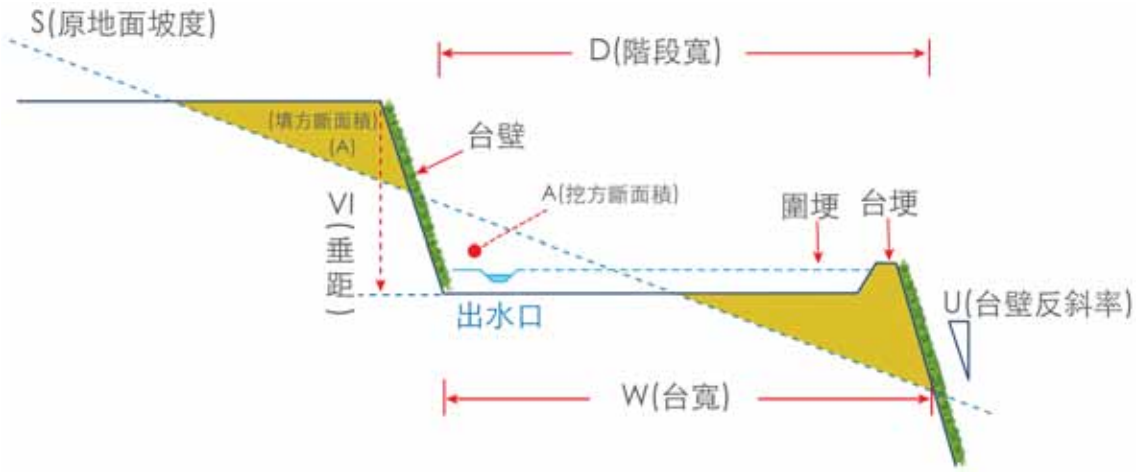


圖 農 2-6-1 水平式平台階段斷面圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)



圖 農-2-6-2 水平式平台階段



圖 農 2-6-3 水平式平台階段(砌石台壁處理)(資料來源：黃國鋒，2017)

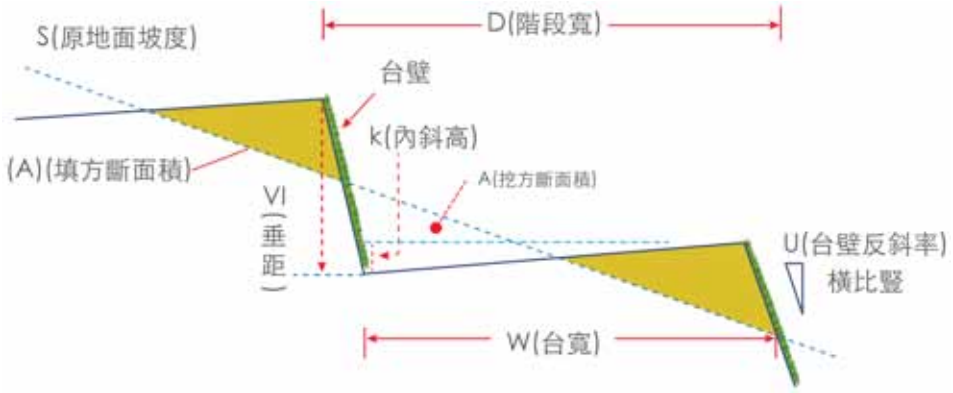


圖 農 2-6-4 內斜式平台階段斷面圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

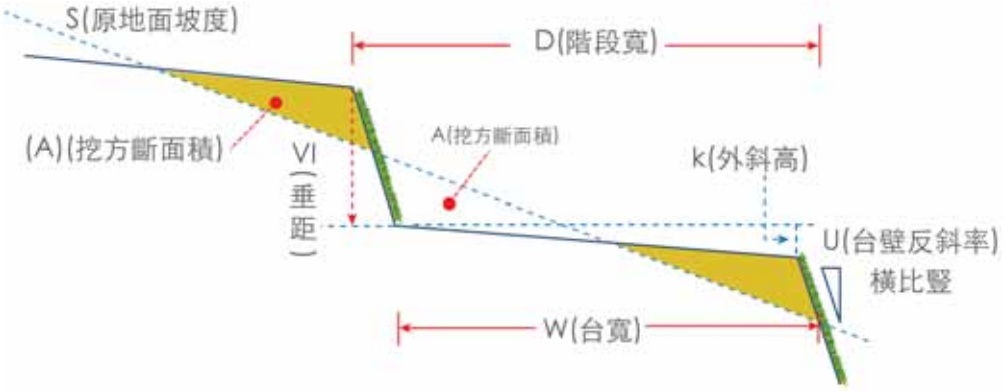


圖 農 2-6-5 外斜式平台階段斷面圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

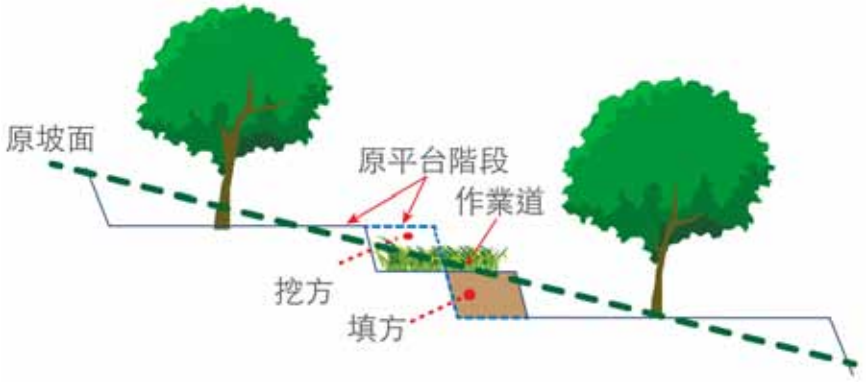


圖 農 2-6-6 果園改良式平台階段斷面圖

2.6.4 應用說明及設計

一、有相當深度土壤之較陡坡地，視作物經營、機械施工、保育需要而採用。栽培勤耕作物之陡坡地採用。

二、採用外斜式階段，階段外緣配合加植草帶，台壁種植覆蓋良好草類。應用其他較經濟方法已能有效控制土壤侵蝕時，即毋須採用。

三、台寬：

視坡度、土壤深度、作物行株距及作業機械等因素而定。外斜式台寬以不超過山邊溝間距之 1/2 為原則。

四、台壁：

一般台壁斜率，在挖方部份應緩於 1：0.5，在填方部份應緩於 1：1~ 1.5，並視土壤條件、植草、擋土設施等因素而調整。台壁高度以低於 1.5 m 為原則，超過者應種植覆蓋良好草類或構築擋土設施保護。

垂距：可按 Sheng(1981)下列公式求得：

水平式：

$$VI=\frac{W\cdot S}{100-S\cdot U}=\frac{W\cdot S/U}{100/U-S}=\frac{D\cdot S}{100} \tag{2.6.1}$$

內斜式：

$$VI=\frac{W\cdot S+k\cdot S\cdot U}{100-S\cdot U}=\frac{W\cdot S/U+k\cdot S}{100/U-S}=\frac{D\cdot S}{100} \tag{2.6.2}$$

外斜式：

$$VI=\frac{W\cdot S-k\cdot S\cdot U}{100-S\cdot U}=\frac{W\cdot S/U-W\cdot z\cdot S}{100/U-S}=\frac{D\cdot S}{100} \tag{2.6.3}$$

式中：VI：垂距(m)；W：台寬(m)；D：階段寬(m)；k：台面之內斜高或外斜高(m)；S：原地面坡度(%)；U：台壁反斜率(%，橫比豎)；z：台面外斜率(%，豎比橫)。

八、台寬及階段寬：

依作物適當行距及作業機械寬度決定台寬及階段寬(水土保持手冊，1992)。

(一) 水平式：

$$D=\frac{100\cdot VI}{S}=W+VI\times U \qquad (2.6.4)$$

(二) 內斜式或外斜式：

$$D=\frac{100\cdot VI}{S}=W+(VI\pm k)\times U=W+(VI\pm W\cdot z)\times U \qquad (2.6.5)$$

(註：k 在內斜式採用正值，在外斜式採用負值)

九、台面降坡：

內斜式為 0.5~1%，外斜式為 10%以內，與山邊溝排水降坡相同。

十、排水長度：

同一流向長度以不超過 100 m 為原則。

十一、內斜高：

內斜式經壓實後之內斜高，應在 10 cm 以上，當台寬超過 3 m 時可為 5 cm 以上。

十二、台埂：

水平式平台之台埂，其頂寬及高度各為 20 cm 以上。

十三、出水口：

在銜接排水溝處台埂上，構築深 10 cm、寬 20 cm 左右之出水口，並予以適當植草或鋪面處理。

十四、外斜式平台階段應每隔 2~ 3 階，配合施作山邊溝處理或截水溝處理。

2.6.5 作業程序及注意事項

一、勘查與規劃：

就地形、坡度、土壤深度、土壤質地、含石量、侵蝕程度及排水位置等做全面勘查，配合耕作、機械作業道路系統等決定採用形式，進行設計。

二、測定樁線：

選取坡度較均勻位置，就所設計寬度，自上而下測定基本樁；從基本樁開始，沿等高方向每隔 5~ 10 m 釘定一樁，依次測樁線。台面應盡量等寬，以利日後耕作管理，遇地形變化較大以短行、局部調整降坡等進行補正。樁線應加檢視，遇急彎處應加調整平順，並注意排水溝之銜接。

三、清理地面：

施工前地面上所有草類、樹木根株、石塊等均應剷除清理。

四、挖填作業：

台面挖掘中心線上側土方，移至中心線下側，應注意與下層原有土壤密接，填土應每 30 cm 左右為一層逐層壓實，務求穩固。

五、砌築台壁基礎：

如有石塊可做為砌築台壁，應按台壁線掘妥基礎後砌石台壁，由下行而上依次構築，砌石與填土配合進行。

六、整修：

階段施工中或初步完成後，應按設計台面及降坡隨時整修，務必符合規格。

七、構築次序：

一般自坡地最上方之第一條依次向下構築，便於作業及整修，並可防止施工中遇雨受損。如作表面處理或砌石台壁時，得自坡面下方向上構築，但遇雨時視需要應開掘臨時截水溝進行坡面保護。

八、表土處理：

如需表土處理時，方法有以下兩種：

(一) 上行表土下移：

階段構築後，將上一行之表土移置台面，依次類推。

(二) 同行移置：

將表土分段或沿中心線堆集，俟挖填作業後再將表土鋪回。

九、使用推土機作業時，施工中及施工後，台壁應配合人工整修。

十、構築完成後，台壁應儘速植草，加速裸露坡面覆蓋，減少土壤侵蝕。

十一、平台階段因地形或障礙物限制而需迭段處理時，應加強排水及防止土壤侵蝕措施。

2.6.6 維護管理

一、平台階段構築完成後之挖方部份，應行深耕，並做土壤改良措施。

二、耕作中應注意維持台面原有標準斷面，損壞時立即整修。

三、平台階段之台壁植草，以防止台壁侵蝕，保護階段安全。

四、台壁上種植草類建議以百喜草、類地毯草、假儉草、百慕達草等為原則，採用百喜草苗種植時，以分株法 50 cm×30 cm 行三角形密植，使用種子時宜採用噴播或植生帶。亦可選留野生匍匐性草類，缺株應予補植，必要時施加少量肥料，以保持完密覆蓋。

五、平時注意台壁草類管理，旱季宜行刈割作業，以減少土壤水分之損耗。

六、防止鼠類或其它穴居動物類棲息。

2.6.7 土方計算

參照水土保持手冊(1992)挖填土方計算如下式：

一、每公頃挖填土方數

$$V=A\times\frac{100^2}{D}=A\times\frac{100^2}{W+(VI\pm k)U} \tag{2.6.6}$$

$$A=\frac{W\cdot VI\pm D\cdot k}{8}=\frac{W\cdot VI\pm(W\cdot k+k\cdot VI\cdot U\pm k^2\cdot U)}{8}$$
$$=\frac{D\cdot VI-VI^2\cdot U\pm(D\cdot k-VI\cdot k\cdot U)}{8} \tag{2.6.7}$$

式中 V：每公頃挖填土方數量(m^3/ha)；A：挖土方或填土方斷面積(m^2)

二、平台階段土方表：

見附錄二。

2.6.8 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

Sheng, T. C. (1981). “Technical Notes on Terraces.” Undp/Fao Jam/78/006 Project Paper.

2.7 寬壟階段

2.7.1 定義

寬壟階段(Broad based terraces)係指在坡面上，每隔適當距離，沿等高方向先進行條狀挖方以構築淺寬型階溝，再將挖方表土順坡面向階溝下側填方堆疊形成寬型階壟，當階溝攔蓄坡面下移表土，將可漸次達到構築條狀寬壟階段。

2.7.2 目的

一、截短坡長，抑制土壤侵蝕。

二、蓄積水分，促進作物生育。

2.7.3 圖說

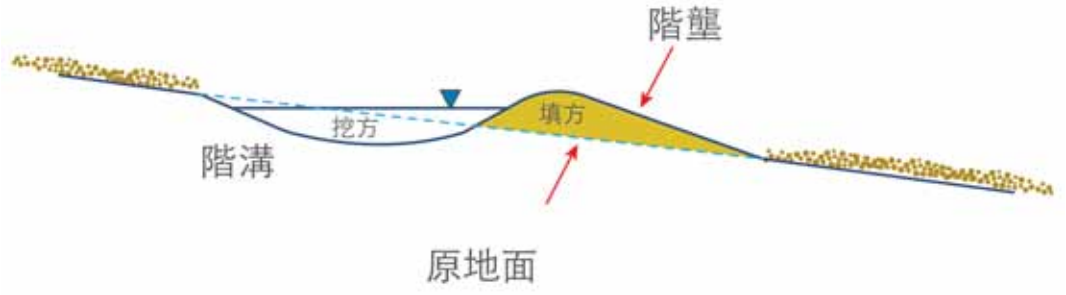




圖 農 2-7-1 寬壟階段示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

2.7.4 應用說明及設計

一、適用於土層深厚之緩坡地。

二、排水型：

坡面坡度 5~10 %者或滲透速度慢之土壤，應考量階溝具排水效能。

三、蓄水型：

坡面坡度 0.5~ 5 %者或滲透速度快之土壤，應考量階溝具蓄水效能。

四、間距：

與山邊溝同。

五、階溝降坡：

階溝之降坡可用 0.1~ 0.6 %；土壤滲透性不良或階段長者之階溝降坡，可採用 0.3 或 0.5 %。當階溝蓄水時之降坡為 0%。

六、階溝長度：

單向排水之階段長度以 300 m 為限,超過時可作雙向排水或中間匯合排水。

七、階溝橫斷面：

寬度及深度應有 2 及 0.3 m 以上，便於容納逕流，階溝與階壟之邊坡為 1：4 至 1：6，以利耕作機具通行。

八、出水口：

階溝匯合排水之出水口應酌予增加其斷面寬度及降坡，與排水道連接處必須平順，必要時增設護坡或溝面保護工。

2.7.5 作業程序及注意事項

一、測定樁線：

(一) 從田區頂端之最高點開始測量地面坡度，並決定階段之間距。

(二) 測定之基線，排水型應以階溝之溝底相合，蓄水型應以階壟之頂端相合。基線長度建議 5~ 10 m，以利其方向能順應地形。

(三) 測量後應檢查，如有過於彎曲，應加調整，使基線圓滑而便於機械之構築與耕作。

(四) 為減少短行之發生，定線時可調整降坡，儘量使各基線平行。

(五) 如地面坡度均勻時，可實施平行階段之定線，其關鍵階段定線法與上述者同。其餘各階段之基線，由甲乙兩人用繩或卷尺進行測定，當甲持繩或卷尺之一端，沿已定妥之階段基線行走，乙則持同繩或卷尺之另一端，其長度與階段之水平距相等，甲乙兩人垂直平行走動，每遇一測站，即將測樁釘入地中。

二、構築作業：

(一) 整理地面：填平蝕溝，清除雜草及枯葉等，以便構築。

(二) 農機具依移動土壤方法之不同，可分為：碟犁、板犁、推土機、挖土機、剷土機。

(三) 構築方法：碟犁或板犁之翻滾法(如圖 農 2-7-2)。推土機或剷土機(如圖 農 2-7-3)。

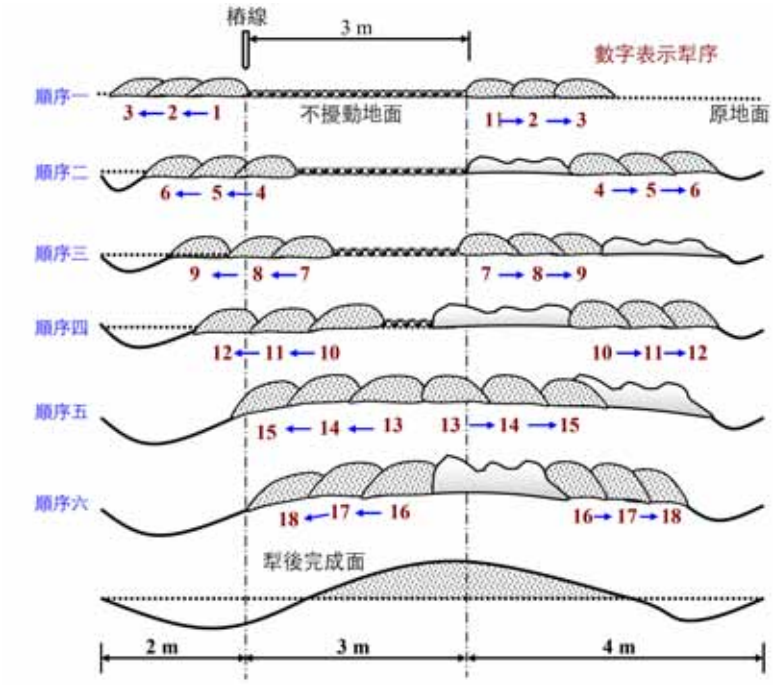


圖 農 2-7-2 階段犁成後之橫斷面圖(碟犁或板犁構築寬壟階段之滾翻方法)(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

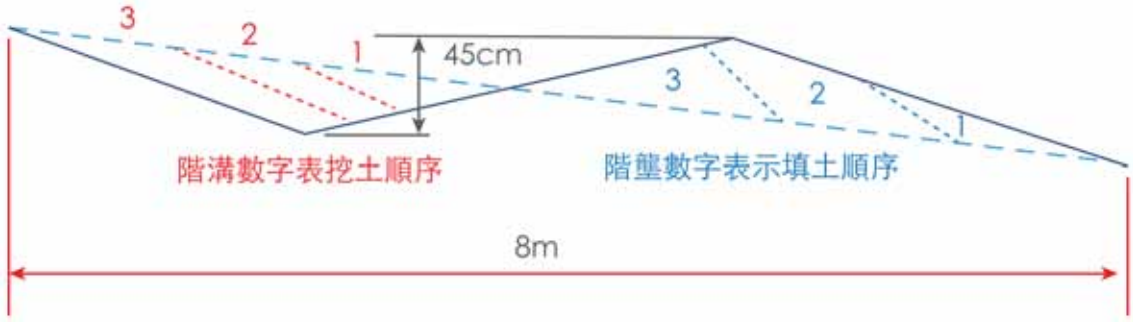


圖 農 2-7-3 推土機或剷土機構築寬壟階段方法(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

(四) 構築速率：因農機具、土壤水份、地面坡度、階段長度及操作者之技術與經驗而不同。相關推土機、剷土機、板犁之實際構築速率，每小時約為 50~ 100 m。

(五) 校正測量與整修：平行階段築完後，往往未能達到標準，必須校正測量。排水型階段之階溝不可過深或過淺，降坡亦需平順。蓄水型階段之階壟須有適當高度，不可存有陷凹處。所有測出不符標準處，應作記號，以便修整。階段兩端因曳引機無法構築時，則需要人工予以完成。

2.7.6 維護管理

一、階段構築後應常檢查；如發現下陷、缺口或沖毀等，應立即整修。階溝降坡必須維持設計標準。

二、各種耕作應與階段平行。

三、為維護階段，應實施適當耕犁方法，此對階段維護頗重要。

(一) 單向犁法：若干年後寬壟階段幾乎變成平台階段。

(二) 雙向犁法：維持斷面幾乎不變。

四、植畦之排列，先平行下方階段之階溝，逐次向上方構築 4~ 6 條之植畦，然後再以平行上方階段之階溝，逐次往下方構築植畦，直到與先構築完成之 4~ 6 條長行植畦相遇為止，短行設置於其中。

2.7.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

2.8 石牆法

2.8.1 定義

石牆法(Stone walls)係指每隔適當距離，沿等高方向進行條狀挖方，配合卵石、塊石以乾砌修築成一低矮石牆，可做為平台階段或山邊溝之初期處理。

2.8.2 目的

一、清除坡面耕作障礙，就地利用小徑卵石、塊石。

二、減少水土流失，截留下移土壤，利於逐漸形成平台階段或山邊溝。

三、減緩耕作面坡度，以利經營管理及機械作業。

四、適應坡地耕作需要，達成安全土地利用。

2.8.3 圖說

石牆法如圖 農 2-8-1 所示。

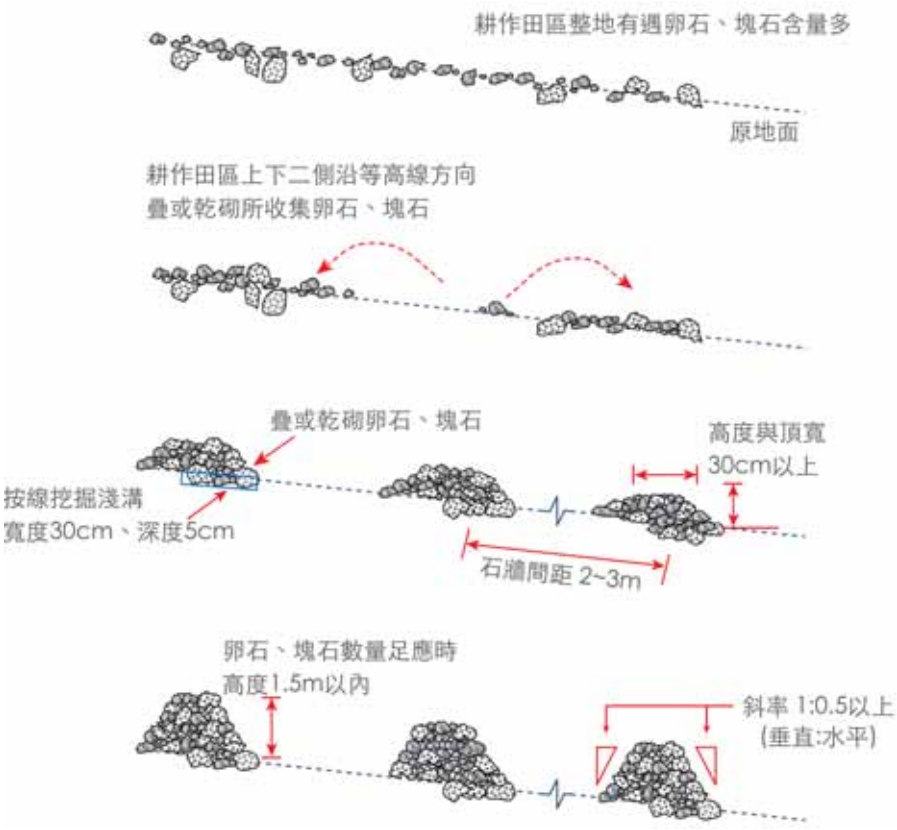


圖 農 2-8-1 石牆法

2.8.4 應用說明及設計

一、坡面在耕作田區整地時，有遇卵石、塊石含量多者，可就耕作田區上下二側沿等高方向堆疊或乾砌所收集卵石、塊石，藉以形成一低矮石牆，增加耕作田區防止水土流失效能。

二、石牆採用卵石、塊石長徑仍應依序向上縮減，及不超過石材長徑之 5 倍者，使有效高度不超過 1.5 m 為原則。

三、長徑 20~ 30 cm 之卵石、塊石堆疊或乾砌至石牆外側，石牆內側可置放坡面土地收集長徑 20 cm 以下之各粒徑石材。

四、石牆做為平台階段或山邊溝之初期處理。

五、石牆斷面：石牆上、下牆面斜率(垂直：水平)宜達 1：0.5 以上，以及堆疊或乾砌之高度與頂部寬度均在 30 cm 以上為宜。

六、為配合日後平台階段構築，初期石牆可按計畫台壁線構築。

七、為配合日後山邊溝構築，初期石牆可按計畫山邊溝線構築。

八、石牆間距，宜參照按計畫山邊溝溝距，配合作物行距及機械作業寬度以進行構築；當以手耕作業時，可就耕作工具調整石牆間距，一般可採 2~ 3 m。

九、石牆之間應儘量平行，減少短行，以利耕作。

2.8.5 作業程序及注意事項

一、石牆基線定樁後，先依收集卵石、塊石數量多寡，按基線挖掘寬度 30 cm 及深度 30 cm 以上之淺溝，以利置放石材於該淺溝下沿依序砌築成為石牆基礎。

二、石牆基礎面層應選置長徑 20 cm 以上之卵石、塊石，由石牆下側牆面應選用粒徑較大，質地堅硬之卵石、塊石，妥為依序漸次向上側堆疊或乾砌，並注意石牆力求穩固。

三、若為平台階段或山邊溝初期處理時，石牆高度宜控制在 30~50 cm，可視卵石、塊石分布情形分次砌築。

2.8.6 維護管理

一、石牆間應配合實施等高耕作，耕作期間有遇卵石、塊石，即可移至石牆基部，再依次由下向上堆疊或乾砌牆面。

二、做為平台階段或山邊溝之初期處理時，有遇淤積表土至相當高度，即應加以整修，期能符合平台階段或山邊溝之標準。

三、堆疊或乾砌石牆之牆面有遇掉落或破損，應適時修護。

2.8.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.9 草帶法

2.9.1 定義

草帶法(Grass barriers)係指在坡面上間隔適當間距，沿等高方向栽植一定寬度之草帶。

2.9.2 目的

一、阻截逕流，促進入滲作用，滯留下移土壤。

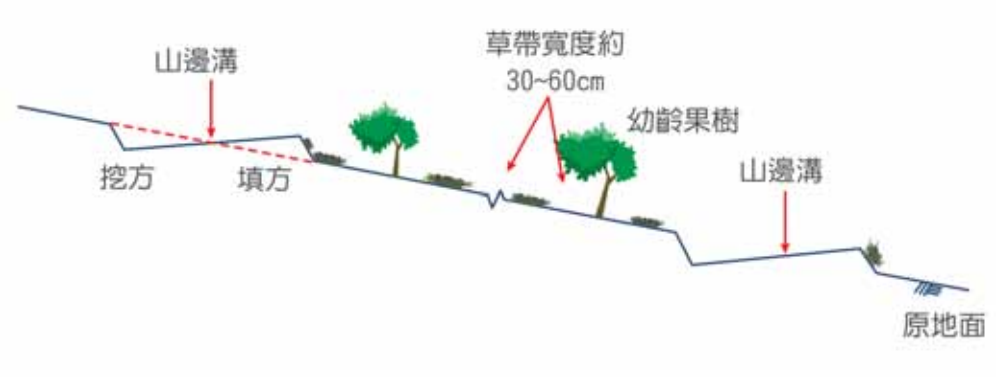
二、減緩耕作面坡度，以利機械作業。

三、逐漸形成平台階段。

四、形成緩衝帶保護坡面濱水區域。

2.9.3 圖說

草帶法如圖 農 2-9-1 所示。



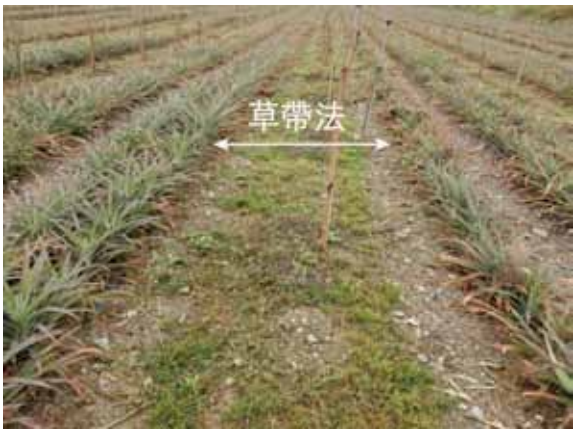


圖 農 2-9-1 草帶法示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

2.9.4 應用說明及設計

一、果園或種植勤耕作物等之坡地適用。

二、地面起伏不均、土壤含石量高、蝕溝較多等不宜採用。

三、坡度以不超過 55 %為原則。

四、草種：

百喜草、百慕達草或對主作物影響少且易於管理之草類，並配合不同海拔高度可選用適於生長之水土保持草類，相關草類說明可參閱本手冊植生篇。

五、間距：

按照作物栽培之行距決定，以 4~ 8 m 為原則。

2.9.5 作業程序及注意事項

一、以山邊溝為基準線，在山邊溝間距內，測定草帶樁線，每隔 5~ 10 m 定樁一支，依次施測；山邊溝溝距應配合草帶位置及其間距調整。

二、將草帶栽植線上之障礙物清除，地形複雜處酌予整勻。

三、取新鮮草苗以分株法種植時，每穴種植 2~ 3 株，每條草帶植草 2~ 3 行，假儉草行株距為 20 cm×10 cm，百喜草行株距在一般土壤為 50 cm×30 cm，但在易於侵蝕之泥岩地區宜採用密植行株距為 30 cm×20 cm，行等高三角形植法。採播種法時，草帶寬度須達 50 cm 以上，可配合草蓆或不織網布等加以敷蓋。

2.9.6 維護要點

一、草帶應維持生育整齊，缺株應隨時補植。

二、採用播種法時，可用草蓆、不織布、遮蔭網等敷蓋以增加成活率。

三、刈割草帶應保留其植株離地面之生長點，以利於恢復生長勢。

2.9.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.10 農塘

2.10.1 定義

農塘(Farming pond)係指在低窪地區或溪流流路選擇適當地點，構築堤壩攔蓄地表逕流，以提供農業等用水及改進生態環境並提供休閒遊憩之設施。

2.10.2 目的

一、提供人畜日常用水以及灌溉、養殖、病蟲害防除用水。

二、提供休閒、遊憩場所。

三、改進週邊生態環境及美化景觀。

四、可兼具沉砂滯洪池以降低洪峰之功能。

2.10.3 圖說

農塘之斷面圖與平面圖如圖 農 2-10-1 所示。

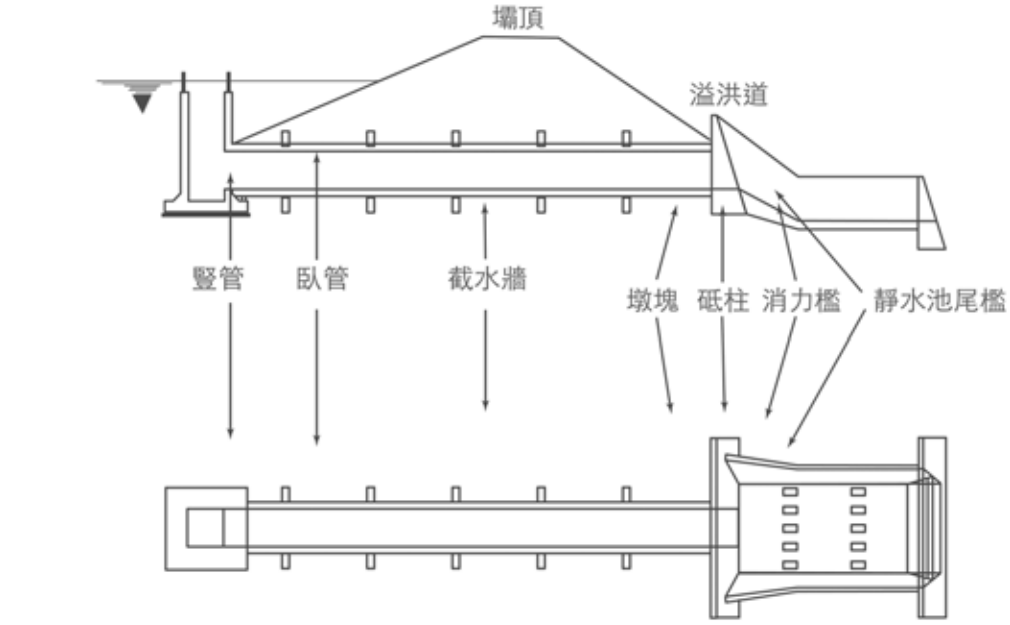




圖 農 2-10-1 農塘示意圖(資料來源：洪志祥，2017)

2.10.4 應用說明及設計

一、適用範圍

(一) 坡面湧水地區。

(二) 易乾旱地區或土壤保水力低之地區(如泥岩地區)。

(三) 需提供農業用水及逕流儲蓄利用之地區。

二、類型

(一) 依構築方式分類

1. 築壩式農塘：在溪流、坑溝、低窪等地區選擇適當地點構築土壩，攔蓄地表逕流以提供農業用水之設施。
2. 開挖式農塘：利用山坡窪地配合挖掘土方構築土堤，經引水入流而儲蓄水量，以供農業噴藥或補充灌溉用之設施。

以上農塘會配合築矮堤方式再增加部分貯水量，可在農塘底部舖設防水布、細質地土壤或皂土，以減少蓄水滲漏損失與管湧現象。

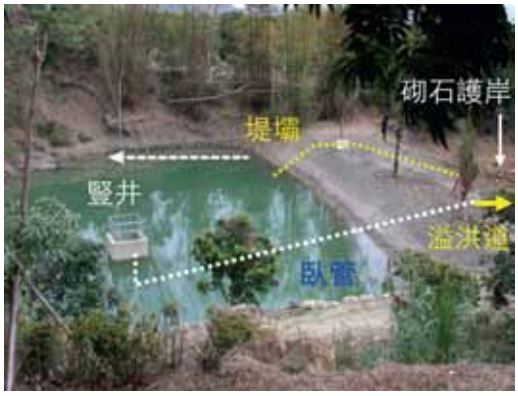


圖 農 2-10-2 築壩式農塘



圖 農 2-10-3 開挖式農塘

(二) 依功能性分類

1. 蓄水灌溉型：為農村常見之設施，一般多設置於農作物集中區域，結合水圳及灌溉溝渠間的串流，分散佈設均勻於適當處，達到循環供水灌溉及病蟲害防治之目的。
2. 滯洪防災型：主要藉由農塘蓄水及出口設計來降低坡地開發而對下游地區所增加之洪峰流量與遲滯洪峰到達時間，進而達到滯洪防災之效能，亦可攔住地表逕流所挾帶泥砂。
3. 觀光遊憩型：除提供基本蓄水、淨化水質及灌溉功能外，亦可利用生態環境與景觀營造來改善周邊原本單調的林地、草生地或旱作地，並

透過休憩設施導入與步道建置，可再提供地方居民從事休閒活動，達到生態水池建置之多重目標。

4. 儲蓄水量型：藉蒸發作用可潤濕大氣，同時於地層入滲可增進地下水補注功能。

三、規劃設計

(一) 築壩式農塘

1. 適用於河床質粒徑小、壩基附近溪床具有不透水性，且取土容易之地區。
2. 蓄留水體時，應計算其集水區之逕流量及沉砂量以決定出水口位置。相關逕流量估算可參閱附錄三。
3. 構築高度不超過 15 m 之土壩以攔蓄地表逕流，當蓄水溢流，可由土壩之主溢洪道及緊急溢洪道進行排放。
4. 壩頂寬度需 2 m 以上，若以機械施工時至少 2.5 m，壩頂如作道路時，期寬度應視需要酌增。壩面坡度在內側應緩於 1：3 及外側應緩於 1：2。同時，壩頂及壩面均須以植生保護。
5. 內側壩面於最高洪水位以下部分需進行拋石或鋪面保護
6. 出水高：1~ 2 m。
7. 當採用土壩之填土施工應分層填壓夯實，每層厚度為 30~ 50 cm，相對夯實度達 90%以上為原則，而土壩之壩體施工及基礎處理均應避免滲漏及管湧現象。
8. 主溢洪道可分明渠式及垂流涵洞(豎井)式，如採用垂流涵洞式溢洪道者，應設置加固其緊急溢洪道措施。
9. 溢洪道不得設置在鬆軟基礎上，主溢洪道應以鋼筋混凝土或混凝土為主要材料。
10. 主溢洪道以鋼筋混凝土為主要材料，其設計洪水量採用重現期距 50 年以上之降雨強度設計，緊急溢洪道採用 10 年以上之降雨強度設計。

以上相關土壩之相關設圖說等，可參照本手冊「工程篇」之「2.8 土壩」乙節。

(二)開挖式農塘

1. 以挖掘窪地以貯水為主，可在低窪區域週邊配合如：土壤包、植草、防水布、磚石等資材以簡易堆置或砌築矮堤以增加部分貯水量之農塘。
2. 堤高不得超過 3 m。
3. 土堤之堤體頂寬應在 1 m 以上，填土施工應分層填壓夯實，每層厚度為 30~ 50 cm，相對夯實度達 90%以上為原則，堤面坡度(內外側)應緩於 1：1.5。
4. 混凝土堤體頂寬 0.3~ 0.5 m，當以擋土牆方式設計，應檢算靜水壓力。
5. 出水高：0.4~ 1.0 m。
6. 出水口高度應低於堤頂 0.4~ 1.0 m，出水口斷面需足應最大灌溉用水量。

2.10.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.11 農地沉砂池

2.11.1 定義

在農地排水或匯流處，設置供逕流所挾帶泥砂沉積之設施，減少土砂流失及災害。

2.11.2 目的

一、沉積泥砂預防土砂災害。

二、防止泥砂流出，減少水流污染。

三、利用沉積泥砂，回鋪農地。

2.11.3 圖說

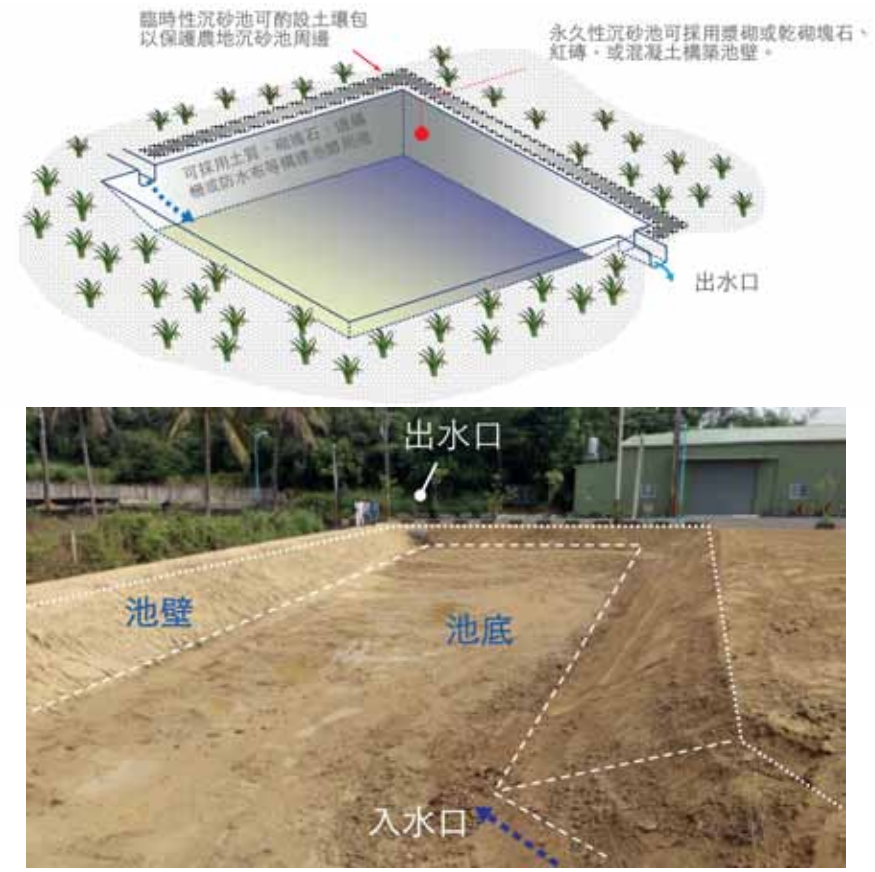


圖 農 2-11-1 農地沉砂池示意圖

2.11.4 應用說明及設計

一、適用範圍：

(一) 臨時性沉砂池：

於開挖整地時，以簡易施工方式就地取材所構築之臨時性淤砂設施，於整地作業完成後即行填平。

(二) 永久性沉砂池：

於整地完成後，當有泥砂流出時需加以阻截淤積，可採用紅磚、卵石、塊石或混凝土等構築沉砂池池壁，以設置為永久性沉砂池。

二、土壤流失量之決定可由下列三種方法擇一估算之：

(一) 面積超過 1 ha 者建議可採用通用土壤流失公式(USLE)估算土壤流失量。

(二) 面積小於 1 ha 者之整地，建議可採用每年 1 ha 不小於 500 m^3 之土壤流失量。

(三) 完成水土保持處理之新開土地，每年 1 ha 不少於 30 m^3 之土壤流失量。

依估算方法(一)及(二)得知土壤流失量可作為臨時沉砂池設計依據，而估算方法(三)則可作為永久性沉砂池設計依據。

三、沉砂池設計容量，應視土壤流出情形、沉砂數量及每年有數次清除次數而定。永久性沉砂池以每年至少清除一次為宜，颱風豪雨季節視情況而定增加次數，臨時性沉砂池於降雨後應立即予以清除。

四、沉砂池之形狀：

池身以矩形為宜，池底面積小於其頂部，並得依據現地之地形，採因地制宜調整其形狀。

五、沉砂池深度一般以 1.5 m 以上為宜，應視沉砂設計容量決定池身之寬度與長度，二者比例 1：2~ 3 為原則，而一般長度應達 10 m 以上為宜。

六、沉砂池入水口不宜與出水口同側，或調整入水口之入流角度使流路達到較長者為宜。

七、入水口溝底高程應高於設計沉砂高度。

八、臨時性沉砂池以就地取材(土質、砌塊石、編柵或防水布等)構建池體周邊，其斜率 1：1 以上為原則。永久性沉砂池周邊採用土質時，其斜率 1：1~1.5 以上為原則，同需加以植生覆蓋完密；當採用砌塊石、編柵或混凝土構築方式，其斜率 1：0.5 以下，需注意其堅固程度。

2.11.5 作業程序及注意事項

一、開挖整地時間應避開颱風豪雨季節。

二、依作業面積大小、土壤侵蝕量多寡，可採分年分區、分段施工設置。並將整地完成之坡面，迅速植生覆蓋完密以防止土壤流失。

三、沉砂池周遭應設防護措施，以免致生墜落情事發生。

四、整地或構築水土保持設施前，應在其上坡面設置截水溝，攔截上方逕流。

五、整地作業施工中，除設置臨時性沉砂池外，應再配合土壤袋圈圍、臨時排水溝、防災土堤、防砂柵欄或敷蓋處理。

六、確實執行沉砂清除作業，保留安全容量，發揮沉砂效果。

七、沉砂池設計之深度及長度，必須足夠，以免造成聯外排水管涵內出現淤積。

八、沉砂池如為封底池，應設一洩水孔，以避免孳生蚊蟲

2.11.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

2.12 農地防風

2.12.1 定義

為防止或減輕強風對坡面或濱海區域農地風害，所栽植之林帶、草帶或石牆等防風措施。

2.12.2 目的

一、抑制風蝕。

二、減少作物因強風造成之生理或機械傷害。

三、減少地表及作物之蒸發散量。

四、減少鹽害。

五、適應耕作需要，達成安全土地利用。

2.12.3 圖說

坡地防風與防風石牆規劃設置，示意如圖 農 2-12-1、圖 農 2-12-2、圖 農 2-12-3。

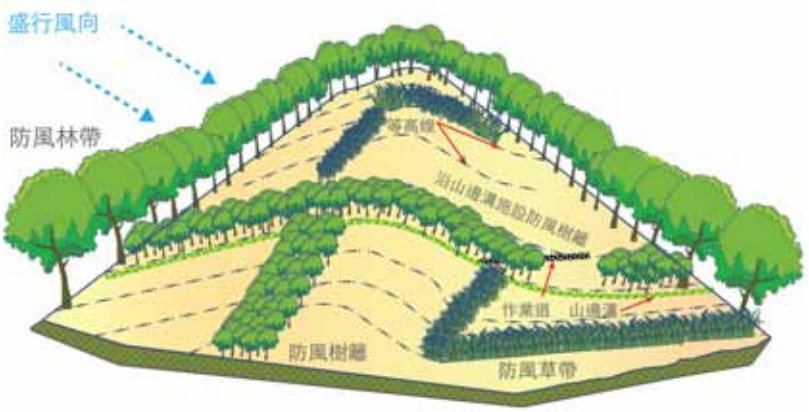


圖 農 2-12-1 坡地防風示意圖(1)



圖 農-2-12-2 坡地防風示意圖(2)

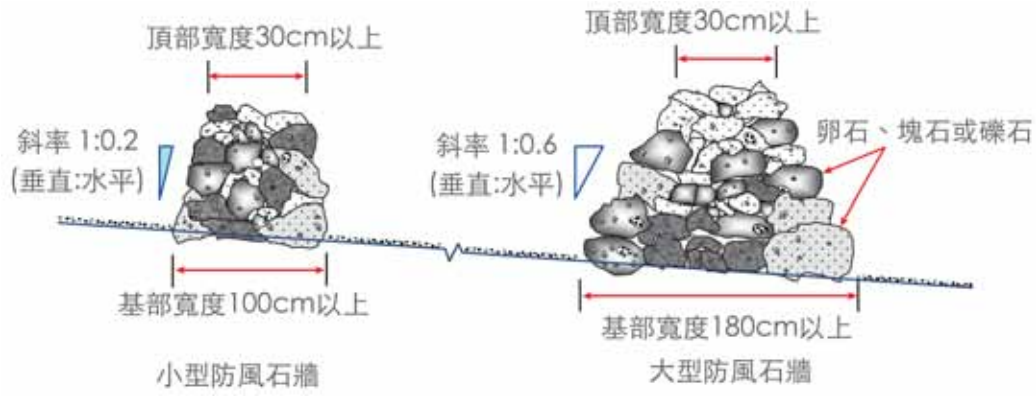


圖 農 2-12-3 防風石牆示意圖

2.12.4 應用說明及設計

一、防風林帶：

濱海區域或陡坡地區有強風盛行處，可沿耕作田區四周土堤選植深根性多分枝之直立樹種，如相思樹、木麻黃、白千層、杜英、龍眼、檉柳及竹類(觀音竹、長枝竹)等，利用其樹幹及枝葉具有彈性及耐風特性，達到減少風害發生。



圖 農 2-12-4 防風林帶

二、防風綠籬：

沿海強風且陡坡地區，構築高大之防風林樹種成活不易，且易受風切作用而倒伏或折枝幹等情形。可沿耕作田區四周土堤或田埂種植 1.5-2.5 m 高之綠籬植物，如朱槿、革葉石斑木、日本女貞、臺灣海桐、白水木等，可達到農地減少風害發生。



圖 農 2-12-5 耕地防風綠籬

三、防風草帶：

耕作田區有局部強風出現，可沿田區四周土堤或田埂選植高莖、葉量多且富撓性草類，如狼尾草、甜根子草等草類，達到減少風害發生。又遇有強風季節可再配合竹柵固定於草帶前側，以增加防風效果。

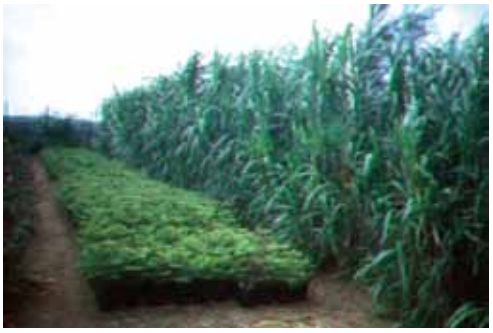


圖 農 2-12-6 防風草帶(林信輝，2014)

四、防風石牆：

濱海耕作田區整地時，有遇卵石、塊石或礫石等堆砌石牆材料，可沿耕作田區四周堆疊或乾砌所收集石材，藉以形成一低矮石牆，能減少風害，同時增加耕作田區防止風蝕之防護。相關防風石牆設計原則包括：

(一) 採用卵石、塊石長徑 15~45 cm 為主，並就收集石材數量多寡調整防風石牆大小。

(二) 一般防風石牆頂部寬度 30 cm 以上為原則。

(三) 防風石牆由小型至大型，可調整基部寬度由 100 cm 至 180 cm，對應有效高度 80 ~ 120 cm。

(四)當配合漿砌處理，有效高度可酌增至 200 cm 以上，石牆立面斜率由 1：0.2 至 1：0.6。



圖 農 2-12-7 防風石牆(資料來源：黃國鋒，2017)

2.12.5 作業程序及注意事項

一、適用範圍：

(一) 風蝕或強風地區之坡面。

(二) 栽培易受風害作物之坡地。

二、樹種：

以選取深根性多分枝之直立樹種，樹幹及枝葉具有彈性及耐風者為宜。如相思樹、木麻黃、琉球松、赤楊、檉柳及竹類等。

三、草種：

以狼尾草、甜根子、菅草類等具有彈性及耐風者為宜。

四、種植方法：

(一) 按規劃設計原則，決定防風林帶或防風草帶位置、選取適合之樹種或草種來種植。

(二) 種植時期：一般以初春或雨季種植。

(三) 林帶種植前應先除草整地，種植後注意管理，並酌施肥料。

(四) 應防止與主作物之病蟲害寄生與傳播。

以上，相關防風林帶或防風草帶種植方法請詳參本手冊「植生篇」。

五、間距：

(一) 防風林帶、防風綠籬及防風草帶間距一般約為樹高或草高之 10~ 15 倍。陡坡地視地形酌予增減。在防風效能範圍內，宜儘量利用田區界線、稜線、道路邊界等設置。

(二) 防風石牆在防風效能範圍內，宜儘量利用田區界線、屋舍圍牆或農業經營設施等設置防風石牆。

六、位置及方向之選定：

(一) 防風林帶與主風向垂直，並自向風面遞次設置，但坡地通常風向變化大，需縱橫向栽植並配合園內道林帶之植生。

(二) 橫向防風林帶，可略沿等高方向設置。

(三) 防風草帶位置，避免妨礙田間作業，在構築山邊溝地區之防風草帶應上下行配置栽植。

(四) 種植防風林帶時，可先在林帶上風方向之側緣先種植草帶，以爭取防風時效，兼可保護幼木，成育後亦對林木下側提供強風防護功效。

(五) 海岸地區具飄砂、揚塵、風害、潮害、土壤鹽害、土壤貧瘠、高溫乾燥等災害，防風林帶之規劃設置需配合地區之地形、氣象等條件，利用複層之種植方式，有助於防風林生長與增加保護功能。

(六) 防風石牆應與強風盛行風向垂直，並自向風面遞次設置。耕作田區受限經營管理，可就田區四周圍起乾砌防風石牆。

(七) 防風石牆應避免於面向強風盛行風向處設置出入口。防風石牆疊砌先檢視石牆基線地面及配合人工或機具整平，依收集卵石、塊石數量多寡，決定防風石牆基礎寬度及設置樁線。

(八) 石牆基礎面層應選置長徑 30 cm 以上之塊石，由石牆下側依序漸次向上側堆疊或乾砌，並注意石牆基礎力求穩固。

(九) 若耕作田區有長徑 15 cm 以下之各粒徑石材，可將其置放石牆內側，同時，應視卵石、塊石分布情形，將乾砌石牆分次砌築，其高度宜控制在 30~ 50 cm。

2.12.6 維護管理

一、種植後遇有缺株即應補植，樹木須加修剪，使其能再萌發密茂小枝，以達到加強防風效能。竹林應切去不必要枝椏或過多的枝稈，以免妨礙鄰旁作物生長。

二、防風林帶在季風盛行前，宜就樹木基部埋設立柱及林帶前緣進行編製低矮柵欄，以加強防風效能。

三、為防止林帶與鄰邊主作物爭奪水分，在林帶與耕地間可掘溝增加灌溉，並對林帶適作截根或修剪方式處理，以防止影響作物生長。

四、乾砌防風石牆遇有缺損掉落即應修護，以避免出現風口有風速增強情形。

五、防風石牆頂部，可視其空間酌量乾砌部長徑 30 cm 以上之塊石，以加強防風效能。

2.12.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局編印。

2.13 乾砌石護坡

2.13.1 定義

乾砌石護坡(Rockery slope protection works)係指在農地中之道路、平台階段、山邊溝等邊坡，或局部陡坡及不安定地區，為穩固其坡面，以塊石為主體材料所構築之護坡構造物。

2.13.2 目的

一、穩定農地邊坡，達到安全土地利用。

二、減緩邊坡侵蝕與崩塌土石災害。

2.13.3 圖說

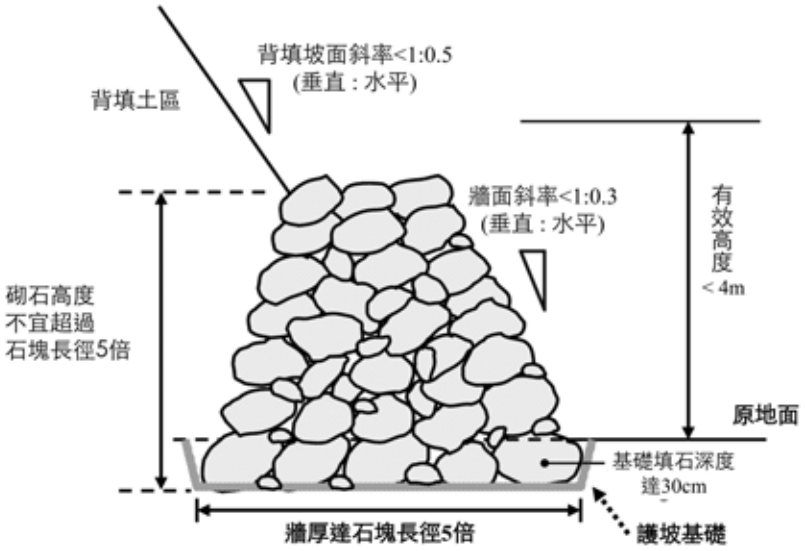


圖 農 2-13-1 小長徑塊石乾砌石護坡(資料來源：修改自「生態護岸工法」，2001)

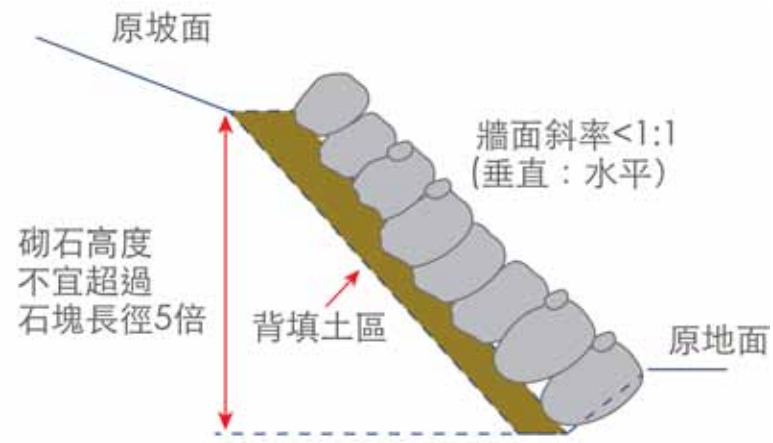


圖 農 2-13-2 大長徑塊石乾砌石護坡(資料來源：修改自「水土保持局施工規範」，2003)



圖 農 2-13-3 乾砌石護坡

2.13.4 應用說明及設計

乾砌石護坡可參考行政院業農業委員會水土保持局施工規範-砌排石工(2003)及農田水利會施工規範-砌排石工(2005)及水土保持技術規範-砌石擋土牆(2016)等，歸納乾砌石護坡設計注意事項包括：30 cm 以上

一、砌石應分段自護坡基腳砌起，基腳處應選擇原地面較密實處，當使用挖(掘)土機配合施作，可自原地面向下挖一淺溝，其深度大於 30 cm 或依設計圖說規定，寬度配合護坡厚度調整，並對此溝面進行整平夯實，以為護坡基礎。每段所砌有效高度不宜超過 3 m，坡度較陡於垂直、水平比為 1：1 及以下者，不得超過 2 m。長徑 50 cm 以下石塊供作砌石護坡之外側面牆斜率緩於 1：0.3 為原則。當乾砌石護坡鄰近排水流路，宜採用長徑 50 cm 以上石塊供作砌石護坡，其外側面牆斜率可參酌砌石護岸之砌石安息角應緩於 1：1 為原則。

二、砌石應使塊石之長徑垂直於坡面，交錯銜接，並使礫石之接觸面盡量加大，以增加摩擦力；砌石面力求平順、露面成三角孔型。砌石長徑均應依序向上縮減，且向上計算之高度均不宜超過石材長徑之 5 倍。

三、砌石各石縫間不可呈現直線或近似直線，為防止坡面土砂流失，空隙應以直徑 0.5~ 3 cm 之小石填實，每 m^2 砌石中之填充小石用量依石材長徑 20~ 30 cm 選用 0.03~ 0.07 m^3。

四、乾砌石護坡厚度達砌石長徑之 5 倍為原則，漿砌石護坡厚度達砌石長徑之 6.5 倍為原則。

五、農地乾砌石護坡，以六圍砌為原則(如圖 農 2-13-4)，五圍砌、七圍砌亦可使用，但注意不可橫砌及重疊。

六、適用牆背回填土中之地下水必須快速排除之情況。

七、砌石構造除了可抵擋土壓力外，表面具有自然的景觀，砌石之縫隙可提供動植物棲息之用。

八、石料包括天然卵石、不規則形狀塊石等，儘量就地取材，須質地堅硬，無明顯風化，無裂縫、頁岩夾層及其他結構上之缺點者。相關石材大小可參考表 農 2-13-1。



圖 農 2-13-4 以六圍砌方式構築為主

表 農 2-13-1 石材分類表(資料來源：公共工程委員會，2001)

石材	長徑(ϕ)	用途
卵石	15cm 以下	基礎、坡面舖石
塊石	15 cm≦ϕ≦40cm	坡面砌石、混凝土砌石
大塊石	41cm≦ϕ≦80cm	坡面舖石、基礎填石

2.13.5 作業程序及注意事項

一、砌石應自基腳砌起，平均水平昇高砌築，基礎底部各層應選用較大塊石求穩固。

二、砌石時應小心排砌安放，不得拋置，並不得施以重大錘擊以免搖動。

三、砌石應相互相交錯連鎖，其中空隙或不穩處，須用小卵石嵌塞穩固。

四、砌石起終點除設計圖示另有規定外，應按實地情況插入原有地盤內。

2.13.6 參考文獻

中華民國「水土保持局水土保持工程施工規範，第 02386 章　砌排石工」，2013 年 4 月 8 日修正。

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 9 月 11 日修正。

中華民國「農田水利施工規範，第 02386 章砌排石工」，2005 年 1 月 24 日發布。

行政院公共工程委員會 (2001)，「生態護岸工法」。

2.14 梯田

2.14.1 定義

梯田(terraces)指在水源豐富地區之坡面上，每隔適當垂距，沿等高方向，構築成多條連續水平階段，配合圍埂引流溪溝、山泉或農塘蓄水等水源，流入田間攔蓄，並予以提供農業耕作、高需水作物生長之設施。

2.14.2 目的

一、分段減短坡長，抑制逕流，提供滯洪效能。

二、適應坡地耕作需要，達成安全土地利用。

三、增進水分保蓄，兼作坡地安全排水系統基礎。

四、涵養坡地水源，調節微氣候。

五、改進週邊生態環境及美化景觀。

2.14.3 圖說

視坡地土層內土壤質地、灌溉水源、作物經營、機械施工、保育需要而採用梯田，並依灌區耕作及灌溉方式不同可區分為旱梯田與水梯田二種型式，其施作示意圖如下：

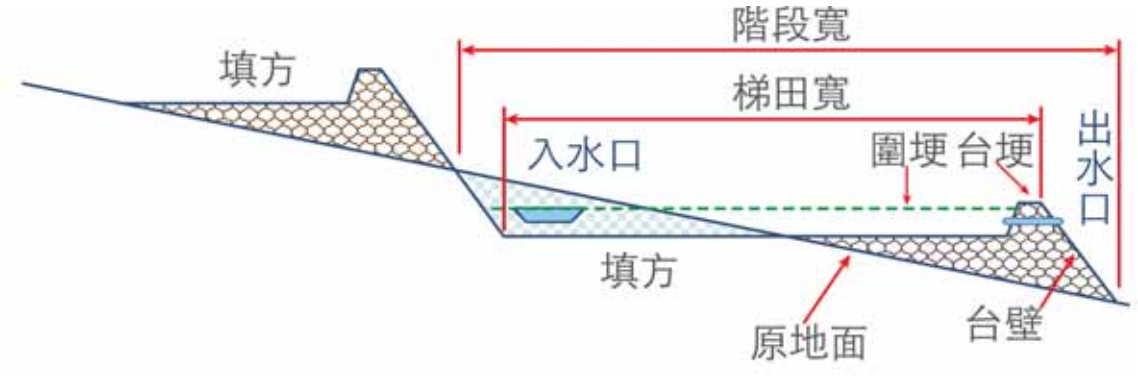






圖 農 2-14-1 梯田斷面圖

2.14.3 應用說明及設計

旱梯田與水梯田相關應用說明及設計原則整理如下表：

表 農 2-14-1 旱梯田與水梯田相關應用說明及設計原則

	旱梯田	水梯田
土壤及灌溉	相當深度土壤者，可考量土層滲漏情形，配合採用如噴灑灌溉、穿孔管及滴水灌溉等方式。	相當深度與較細質地土壤如粘土、壤土等條件者，利於形成耕犁層，可配合漫灌方式進行水田湛水者。
適用作物	勤耕性作物	耗水性作物
水平式階段	配合圍埂構築灌溉區，圍埂外緣配合植草。	施作初期需夯實壓密土層厚度達 10 cm 以上，以利形成硬盤層，再依作物栽培需要施以較細質地土壤以為耕犁層所需，同時配合圍埂以構築水梯田灌溉區。
梯田寬(建議值如圖農 2-14-2)	應視現地坡度、土壤深度、作物行株距及作業機械等因素而定，但仍需考量台壁基礎應位於硬盤層，予以調整梯田寬。	同左列
梯田降坡	受圍埂攔蓄地表逕流，但當田區降坡有大於 4 %，建議將田區整順，以降低田區地表逕流出現流速過快、溢流圍埂等情況，進而衝擊田區的穩定。	田區降坡 0~ 4 %
台壁	依灌區作業方式及田區出水口避免出現水躍現象。 1.建議台壁高度應低於 1 m。 2.台壁坡度 1：0.1~ 0.5，並視土壤條件配合植草、砌石等方式保護台壁。	田區出水口避免出現水躍現象外，當越田逐區灌溉作業之田區，需考量梯田灌區作業方式，及避免構築田區於湛水水位下，有因浸潤而出現台壁基礎滲流情況。台壁高度及其坡度同左列。

垂距及階段寬	可參照水平式平台階段方式進行施作。	同左列
長度	同一流向長度以不超過 100 m 為原則	同左列
圍埂	頂寬及高度各為 30 cm 以上	配合水田湛水深度決定圍埂尺寸，一般頂寬及高度各為 30 cm 以上。 1.受湛水水位之浸潤圍埂，建議可改採襯砌鋪面處理及在圍埂 2.內置隔水裝置，以增強圍埂穩固性。
入水口	配合漫灌作業可在圍埂銜接灌溉溝渠處，或配合越田逐區灌溉作業可在二田區相鄰台埂銜接處。構築適量深 10 cm、寬 20 cm 左右之入水口，並予以塊石、磚、混凝土等鋪面處理之矩型構造物，以增加其穩固性。	同左列
出水口	於圍埂銜接灌排水溝渠處留設，以排除暴雨期間造成之田區地表逕流。出水口並為下段之入水口應配合採用不同襯砌溝面進行施作，其深度及寬度應在 20 cm 以上，或採埋設小型管涵者之管徑應在 20 cm 以上。	施作方式同左列。 當考量栽培作物所需，出水口底部高程宜使田區湛水水位低於台壁背填土方區之下，又有砌築台壁基礎者除外。

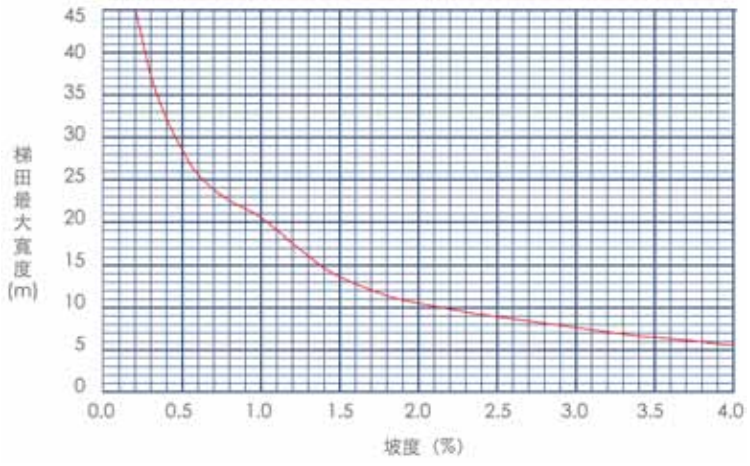


圖 農 2-14-2 田區坡度與梯田最大寬度之建議值(資料來源：修改自甘俊二等，2002)

2.14.5 作業程序及注意事項

梯田作業依照水土保持手冊(1992)及中國農業工程手冊(1990)相關作業程序及注意事項如下，

一、勘查與規劃：

梯田構築於平台階段，需先就坡地之地形、坡度、土壤深度、土壤質地、土壤滲透、土層含石量、侵蝕程度、灌溉引水及灌排水路位置等作全面勘查，同時配合作物栽培、機械作業、道路系統等條件以決定採用旱梯田與水梯田型式後，始能進行規劃設計。

二、測定樁線：

選取坡度較均勻位置，就所設計階段寬度，自灌溉引水之入水口處，由上而下測定基本樁；從基本樁開始，沿等高方向每隔 5~10 m 釘定一樁，依次測設樁線；遇地形變化較大時，應能以短行、局部調整降坡等方式以進行補正。樁線測設完成應再加檢視，有遇急彎處應再加調整平順，並注意灌排溝渠之銜接。

三、清理地面：

(一) 小徑木伐除

(二) 直徑 5 cm 以下之灌木，可利用農機具與雜草一併清除地上物與根系；直徑 5~15 cm 之喬木可利用人力或機具砍伐運出，再進行挖掘樹根；直徑 15 cm 以上高大喬木，可利用大型農機具進行砍伐及挖掘樹根。

(三) 地上物清除

(四) 階段寬內之樹木殘枝、灌木、雜草及塊石，可利用人工或機械清除，落葉及植物殘株可收集作為堆肥資材。

(五) 耕犁翻土

(六) 視土壤情況決定耕犁深度，在草木繁茂坡地可一次耕犁深度為 30 cm，如在貧瘠坡地，應採逐年增加耕犁深度為宜，依序：10 cm、15 cm、20 cm、30 cm，對於土壤改良及構築耕犁層效果較好。

四、挖填作業：

參照平台階段挖填作業方式，自首條樁線向坡面上側挖掘土方，並堆填至該樁線下側坡面，並注意堆填土方應與下側坡面原有土壤間之密接程度。填土深度約 30 cm 為一層要逐層壓實，務求穩固，同時階段台面需順應地形施作，盡量等寬，以利日後耕作管理。

五、逐層夯實壓密下層土壤，如遇心土土質不良，即需客土 6~ 10 cm 深度，以利營造耕犁層，然後再將挖掘土方填回階段台面。

六、階段台面挖掘土方為構築梯田後之耕作土壤，其厚度應達 30 cm，又階段台面開闢梯田初期，土壤滲透量顯著，大約是熟田之 3 倍，此時可保留部份階段台面之耕地為旱梯田，待其開田後之田區漸為熟田化後，再逐漸增加漫灌面積。

七、砌築階段台壁基礎：

現地挖掘土方作業有石塊者，可作為台壁砌築用，其順序應先按台壁線掘妥基礎後，由下行而上行依次構築砌石台壁基礎，並應配合進行堆填土方作業。

八、整修：

施工階段中或初步完成後，應按設計台面及降坡隨時整修，務必控制梯田降坡小於 4%。

九、構築次序：

一般自坡地最上方之第一條依次向下構築，便於作業及整修，亦可防止施工中遇雨受損。如作表面處理或砌石台壁時，得自坡面下方向上構築，但遇雨時視需要應開掘臨時截水溝或敷蓋防水資材以進行坡面保護。

十、表土處理：

如需表土處理時，方法有以下兩種：

(一) 上行表土下移：

階段構築後，將上一行之表土向下一行台面移置，依次類推。

(二) 同行移置：

將表土分段或沿中心線堆集，俟挖填作業後再將表土鋪回。

十一、使用推土機作業，於施工中及施工後，均應配合人工整修台壁，以確實達到台壁基礎穩固。

十二、平台構築完成後，台壁應儘速植草。

十三、平台進行圍埂以構築梯田，則圍埂宜採低矮土堤或土壤袋堆疊方式施作，又考量田區地表逕流或湛水水位有出現浸潤圍埂者，可增加襯砌鋪面處理或在圍埂內置隔水裝置，以增強圍埂穩固性。

十四、梯田在圍埂銜接灌溉溝渠處，或越田逐區灌溉於二田區相鄰圍埂銜接處有需跌段處理時，應加強排水及防止土壤侵蝕措施。

2.14.6 維護管理

一、在梯田構築完成後，應作土壤改良措施，包括：物理方法(除礫、客土、製造硬盤層、心土破碎、深耕、混層耕、反轉客土、暗渠、洗出、刮除、冬耕、或積土乾燥)、化學方法(鹽分地或鹼土施用石膏或硫磺、紅壤或酸性土施用石膏、特殊土壤施用無機化學肥料、增進肥力及消滅病蟲害施行燒土)、生物方法(選用適合土壤特性之耐酸、耐鹽、耐硼、耐肥等作物，配合輪作及種植綠肥作物)(中國農業工程手冊，1990)。

二、耕作中應注意維持田區原有梯田降坡，圍埂有損壞時立即整修。

三、台壁有適合種植草類建議以百喜草、類地毯草、假儉草、百慕達草等為原則，亦可選留野生匍匐性草類，缺株應予補植，以保持植生覆蓋完密。

四、在梯田圍埂上種植適當草類，以防止圍埂及台壁侵蝕，進而保護梯田安全。

五、平時注意台壁草類管理，旱季宜行刈割作業，以減少土壤水分之損耗。

六、台壁應防止鼠類棲息。

2.14.7 參考文獻

中國農業工程學會(1990)，「中國農業工程手冊－農業水利之部：灌溉、墾殖、管理」，中國農業工程學會編印。

甘俊二、陳清田、張煜權、張焜耀、郭勝豐(2002)，「灌溉排水營運管理」，行政院農業委員會。

2.15 農地整坡

2.15.1 定義

農地整坡(Regulate slope for farmland)係指於宜農牧地內，以機械開挖整地、整修坡面，使其利於農場耕作管理。

2.15.2 目的

一、整修坡面，便於農場耕作管理。

二、減緩坡度，增進機械化作業效率。

三、修整地形提高土地利用率。

2.15.3 圖說

整坡作業如圖 農 2-15-1 及圖 農 2-15-2 所示。

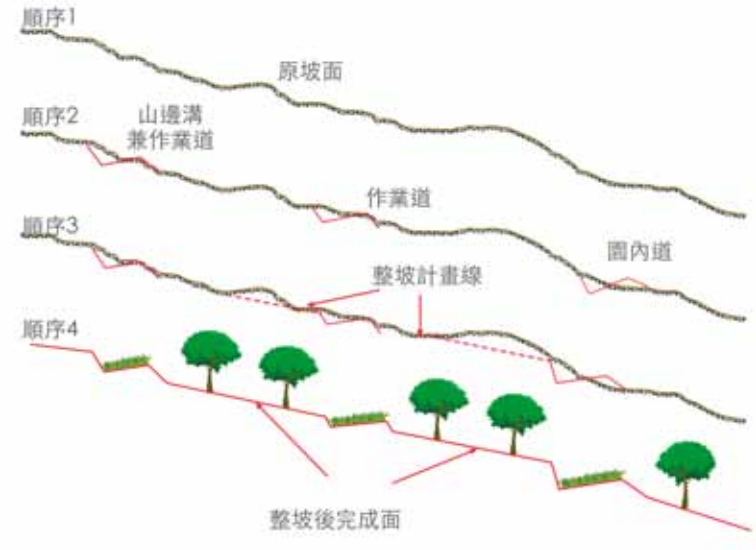


圖 農 2-15-1 整坡作業示意圖

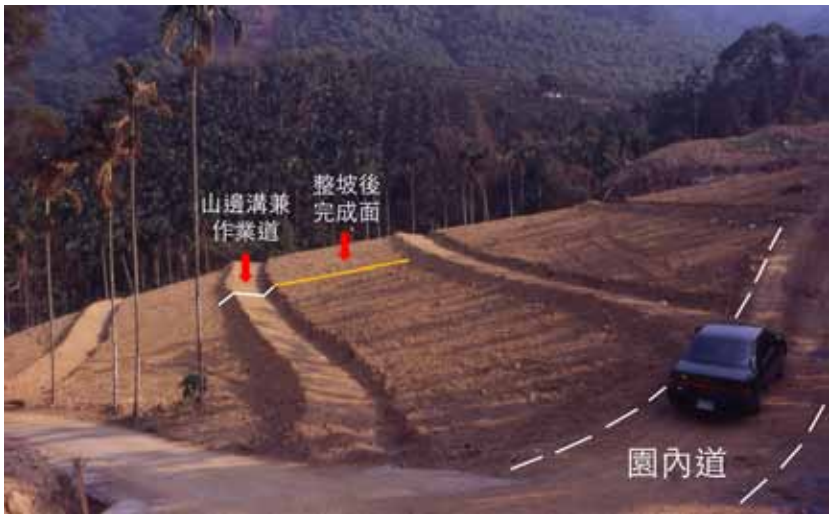


圖 農 2-15-2 農地整坡(資料來源：黃國鋒，2017)

2.15.4 應用說明及設計

一、農地整坡作業應於宜農牧地內進行，並需符合相關農業經營目的。

二、在地滑、崩塌、順向坡、斷層、破碎帶等之不穩定地區避免整坡。

三、土層淺薄、立地條件不良，且不利於農業耕作栽培之坡面，應避免整坡。

四、陡坡地不宜進行整坡作業，以避免形成過高、過陡之坡面。整坡有遇較大粒徑之浮石、塊石應妥善運用於相關之水土保持處理項目，遇有樹木基徑粗大者宜儘量保留，未移除樹木基部地面應與整坡後之坡面平順，並避免其與坡面落差有過大而造成倒伏情形。

五、宜農牧地之坡面應配合農地水土保持規劃與農藝方法處理單元進行整坡作業，以避免形成過高、過陡之坡面。

六、宜農牧地進行農地整坡之挖方及填方深度各不宜超過 0.3 m；當進行農場耕作之農地開挖整地及整坡作業，應以挖填平衡為原則，挖方總量須依水土保持技術規範之農業使用挖方總量限制辦理，則挖方及填方深度可配合農場耕作調整。

七、規劃設計

(一) 原則：

1. 依地勢分段設定計畫坡面，同等高帶坡面以近似坡度為原則。
2. 順應地形地貌以最小挖填土方為原則，且兩者需平衡。
3. 整坡作業後，應能填復具肥力或可作土壤改良之表土於挖掘坡面處。
4. 人力機具進行整坡作業宜注意沿等高方向施作，當採用動力機械進行整坡作業易造成大量挖填土方，應確實評估可達成減緩宜農牧地之平均坡度，否則應保持原有地形地貌而避免整坡。
5. 在山谷或流路兩岸應留設一定寬度之植被覆蓋作為緩衝綠帶，建議寬度 10 m。

(二) 規劃作業

1. 依照宜農牧地之經營目標進行現況勘查，以確定整坡範圍。
2. 考量土地利用需求進行雜草清除、岩石及障礙物清除、小侵蝕溝整理。
3. 應配合如排水、灌溉、農路、農塘等之出水口，進行整坡。
4. 整坡作業期間坡面易有裸露，應規劃如利用土壤包等建構擋土措施、截水溝、沉砂池等臨時性防災措施。

5. 表土處理及確定運土方向，挖填方力求平衡。
6. 建立適當之排水系統，避免遇暴雨引發水土流失。
7. 整坡作業後之裸露地應盡速完成植生覆蓋或敷蓋。
8. 邊坡遇有窪地填方處應充分壓實，並施設截洩溝在填方處上坡面，以截排區內地表逕流，在窪地填方處有地下水位偏高情形，可埋設地下盲管以排除地下逕流，進而防止填方處表土塌陷或崩滑。

(三) 作業程序

1. 地形測量：測繪比例尺 1/500~ 1/1000 及等高距 1~ 2 m 之地形圖。
2. 繪製包含整坡範圍及農地水土保持處理單元之平面配置於地形圖。
3. 整坡範圍內沿等高線方向建議採用 20 m 之間距，繪製剖面圖及符合挖填土方平衡之坡面線，以決定整坡之設計高與挖填高。
4. 擬定基礎工程先行施工。
5. 整坡範圍上下周邊留設適當距離後，自坡面由下而上漸進施作整坡，遇面積較大者，可配合山邊溝及農路系統，採分區進行整坡。
6. 土方移動前先行清除雜草、竹木，並收集表土分區堆置，備供覆回耕作表土，不良土質或礫、塊石先行填埋。

(四) 施工注意事項

1. 地表之草木，必需清除乾淨，免生腐朽引起地面凹陷或滑動。
2. 填方地盤應先推成階梯狀，其所填土方應分層進行，並力求確實夯實藉以穩定。
3. 安全排水系統應避免設在填方層面。
4. 避免在雨季期間施工。
5. 施工範圍為避免土砂流出可採用土壤袋圈圍。
6. 大面積者應分區橫帶隔離施工。

2.15.5 參考文獻

行政院農業委員會支助，台灣省水土保持局、中華水土保持學會編印(1992)，「水土保持手冊」。

2.16 過水溝面

2.16.1 定義

過水溝面(Cross farm road surface ditch)係指在坡地農場耕作田區內縱向排水溝與逕流量較小之山邊溝、作業道或園內道有交會處，可採用植草、磚石或混凝土等材料，襯砌溝面成一寬底拋物線形之淺溝，達到機械作業機具便利通行。

2.16.2 目的

一、順應坡地農場內山邊溝、作業道或園內道橫越縱向排水溝渠，且達到宣洩逕流。

二、便利機械作業機具通行。

2.16.3 圖說

過水溝面如圖 農 2-16-1 所示。

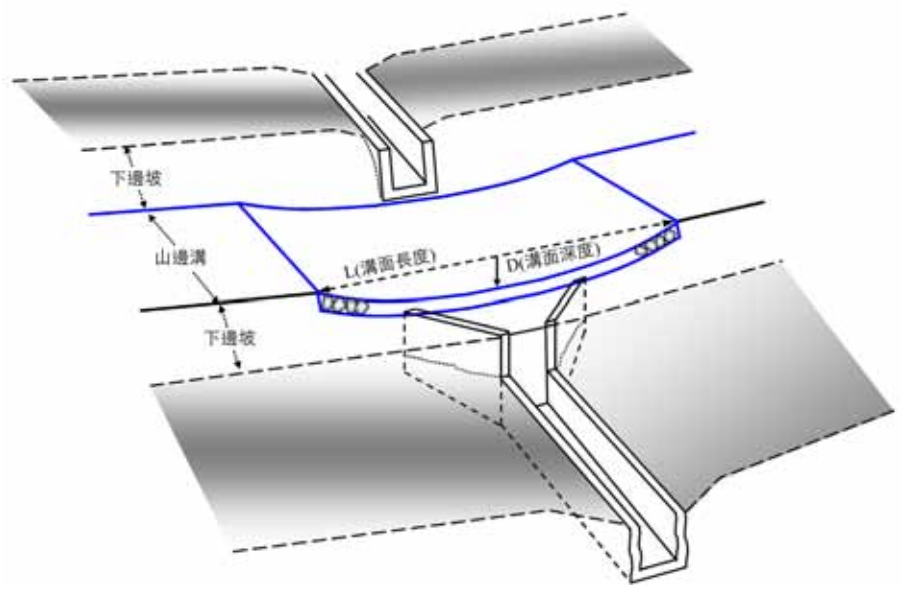


圖 農 2-16-1 過水溝面示意圖

2.16.4 應用說明及設計

一、適用於逕流量較小之排水溝與山邊溝或道路交會處，植草、磚石。

二、逕流量較大或較長時間有流水時，上下游宜加設保護工，溝面鋪設混凝土。

三、估計溝面：

請參考本篇之附錄三，推估農地逕流量，及本手冊「工程篇」之「2.18 排水溝」規劃設計原則進行估計。

四、為安全宣洩逕流及供車輛通行，過水溝面寬度應考量排水溝與山邊溝或道路等中心線縱坡，並應注意：

溝底縱坡在 10%以內、溝面寬度宜大於道路寬度、溝面長度(L)宜超過溝面深度(D)之 10 倍以上。

2.16.5 作業程序及注意事項

一、斷面決定後，按設計深度挖掘整修。

二、溝面採植草時，假儉草等具匍匐性草類為宜。

三、採用磚石、混凝土等材料，應力求平順。

四、過水路面上下游應視情況做適當的保護。

2.16.6 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

參、農地水土保持相關配合措施

3.1 農路系統

3.1.1 前言

狹義的農路係依行政院農業委員會農路設計規範在山坡地及森林區內所修築的農路。廣義的農路則是在農地耕作田區內提供作物或果樹維護管理與收穫運搬的作業道路，及便利於經營作業所需人員通行、農業機械、農產資材，經由機動搬運載具進入整個農地耕作田區的園內道路，再則是提供運送耕作田區內作物或果樹收穫至市場販售的區外道路。因此，農路系統應該包括：農地耕作田區內作業道路及園內道，銜接一般公路的農路支線與農路。當農路系統經過完善規劃及建構，則農地耕作田區經營作業能符合坡地機械化、省工經營體系，大幅降低生產成本及紓解農村勞力缺乏問題。

農路系統在坡地開闢時，常必須開挖移動土石方，因此在規劃設計及施工的階段須顧及水土流失問題，即施工中或完工後不可致生沖刷崩坍等災害，而開闢坡地農路系統會造成的環境破壞問題包括下列各項：

一、邊坡裸露、崩塌：

農路系統工程施工時，在坡面進行開挖，使原來穩定或植被覆蓋良好之坡面裸露，不但破壞自然景觀，並造成局部陡急坡面，使得在地形及地質不良地段易產生崩塌。

二、餘土處理不當：

挖填餘土任意傾倒，或施工方法不當，常使下側坡面作物及原有植生覆蓋、土壤表層遭受破壞，復舊不易，並且加速日後土壤侵蝕，餘土流入天然河溝，一遇豪雨，土石下移，釀成災害。

三、排水設施不完善或改變原來坡面自然排水體系：

農路系統工程施工後，改變原來坡面自然排水體系，如邊溝或橫向排水等設施不完善，遇雨逕流集中，沖刷路面，侵蝕上下側坡面，造成邊坡崩塌、新增蝕溝或增大原有蝕溝之逕流量，致使路基及道路下方受到嚴重侵蝕危害。

四、路基崩塌或下陷：

填方坡面太陡或未充分夯實，擋土設施不足，則遇雨易造成路基崩塌流失。道路經過崩坍或地滑地，受地層動滑崩壞，將造成路基下陷或被切斷。

五、路基佔用河道造成與水爭地：

山坡地或森林區內道路因用地取得不易或地形不良，而使用河川地，以致縮小河道斷面，使得河流流速增大，導致河床刷深，引起路基淘空崩壞或造成對岸侵蝕及崩塌。

六、欠缺臨時防災措施造成災害：

道路施工中欠缺臨時防災措施，如落石護欄、擋土設施及臨時性排水與沉砂池等，將引致土石滾落、逕流漫溢、表土侵蝕、水源污染、危害人畜、農地及房舍損毀等。

3.1.2 農路規劃設計

一、農路等級分類：

依 2016 年 8 月行政院農業委員會水土保持局修增「農路設計規範」，將農路等級扼要分類如下表。

表 農 3-1-1 農路等級分類(資料來源:農路設計規範，2016)

農路等級	農路一級	農路二級	農路三級	農路四級
車道	單車道			
設計速率(km/hr)	25	20	15	15
路基寬度(m)	6	5	4	3~ 4 m(於山坡地域區因受地形限制得減至 2.5 m)
路肩(m)-左右各寬	0.75	0.5	0.5	0.3~ 0.6
路面寬度(m)	4.5	4	3	2.5
最小曲率半徑(m)	20	15 不得已時 12	10 不得已時 8	10 不得已時 5
最大縱坡度(%)	12	12	15	20

二、農路設計規劃時需考慮之事項：

(一) 工程規劃設計涉及應擬具水土保持計畫者，應依照水土保持法與其施行細則及水土保持計畫審核監督辦法等相關規定辦理。

(二) 選用農路各級設計規範時，各級設計規範間不得混合使用。

(三) 農路系統的配置應考慮地質、地形條件並配合作物的種類、管理方式、機械性能及坵塊形狀分割狀態而決定。

(四) 農路選線原則應避免路線通過順向坡、脆弱坡等不穩定地區，應有適當保護設施，及避免破壞具有如歷史文物、具保留價值之老樹或林木之特殊自然景觀。

(五) 農路系統之作業道及園內道，應配合農地水土保持處理單元之山邊溝或平台階段施設，達到機械化省工經營目的。

(六) 農路構築時，挖填土方最小化下，力求平衡，減少餘土數量，避免大開挖或大填方。

(七) 確定農路系統之排水出口位置，再佈置作業道及園內道。

(八) 農路坡腳不穩而有崩塌之虞者，應施設擋土牆。

(九) 農路植草主要草類包括百喜草、類地毯草、百慕達草等。

三、方法及措施：

(一) 先確定農路主支線及田區排水位置，在佈置園內道及農地水土保持處理。

(二) 農路系統路線間及與山邊溝或平台階段銜接處，應力求平順，以利機具之迴旋運行空間。

(三) 迴頭彎宜設於較平坦之坡面處，以減少自然坡面之破壞及挖、填土石方，而利於日後養護及行車安全。

(四) 排水設施：

1. 農路系統互相銜接處之排水應妥善處理，以免逕流匯集，造成嚴重沖刷。
2. 道路迴頭彎應設妥排水系統。
3. 配合護坡設施路段應注意基腳沖刷。
4. 地質不佳或路基排水不良路段應設妥善排水系統。
5. 配合自然地形或農地耕作田區排水規劃，施設橫向排水或橋涵。
6. 橫向排水入出口宜設消能設施，出口如無天然溝，則需設置排水溝引導到下游安全地帶，以防止路基或下游坡面沖刷。
7. 坡地之縱向安全排水與農路或園內道交會處，如逕流量不大時，可採用拋物線形過水溝面。

8. 農路邊溝縱坡度應大於 0.2 %，山區農路邊溝坡度應大於 0.5 %，管涵坡度以大於 3 %為原則。邊溝最小溝底寬度及深度大於 30 cm 以上，以利配合機械於溝底清淤，達到防止致生堵塞溢流。

(五) 邊坡穩定：

1. 坡腳不穩有崩塌之虞者，應施設擋土設施。
2. 邊坡土質坡面恢復自然植生不易且有侵蝕之虞者，應即進行植草覆蓋或打樁編柵等坡面保護措施。
3. 道路邊坡應維持適當之挖填坡度，挖方或填方坡面高度超過 5 m 者，以階段式挖填為原則。
4. 農路坡度較陡或地質不佳須封面處理外，其餘路段面應迅速完成植草覆蓋，以免路面沖刷。

四、農路鋪面：

農路主要提供作業機具、農產資材及機動搬運載具與整個農場間之聯繫外，亦為農場產物運送至市場販售之途徑，農路舖面有以土質及礫石級配為之，當考量載重需要，其道路舖面則多採用：水泥混凝土及瀝青混凝土等 2 種為主，其中農路路面需處理者，以鋪設水泥混凝土路面為原則，另因應個案環境條件或行車安全前提下，得使用其他鋪面材料。但是當有山坡地上之四級農路、道路縱坡度大於 10 %、平曲線半徑小於 15 m、路面排水欠佳、路基軟弱陰濕路段等情形之一者，應鋪設水泥混凝土路面。相關農路鋪面設計規定如下：

(一) 水泥混凝土路面：

1. 水泥混凝土路面設計厚度，採 15 cm 以上為宜，並加鋪鋼筋或鋼線網。
2. 採用混凝土路面設計時，路面伸縮縫處理，其間隔不得大於 8 m；另為考量路面起迄點之銜接，避免造成落差而影響行車之順暢，應依現況與原路面高度銜接平順。
3. 路基穩定或路基材料為砂、礫石、黏土混合物能壓實者，無需加鋪級配底層，但應視路基情況整平或滾壓；不穩定路基或填方路基或水位高路基，得加鋪級配底層，其一般厚度為 10 cm，路基軟弱不穩定路段底層厚度可達 15 cm，必要時得增加。
4. 水泥混凝土路面之混凝土 28 天抗壓強度不得低於 350 kgf/cm^2，對於高山地區不低於 280 kgf/cm^2。

5. 有筋水泥混凝土鋼筋用量為 3~ 4 kg/m^2，間距不得大於 35 cm，設計時參照交通量情形設計之，必要時得增加；惟為便於施工，得採用鋼線網設計，但鋼線直徑不得小於 6 mm，間距不得大於 15 cm。
6. 水泥混凝土路面設計，其結構圖與施工程序剖面圖如下：

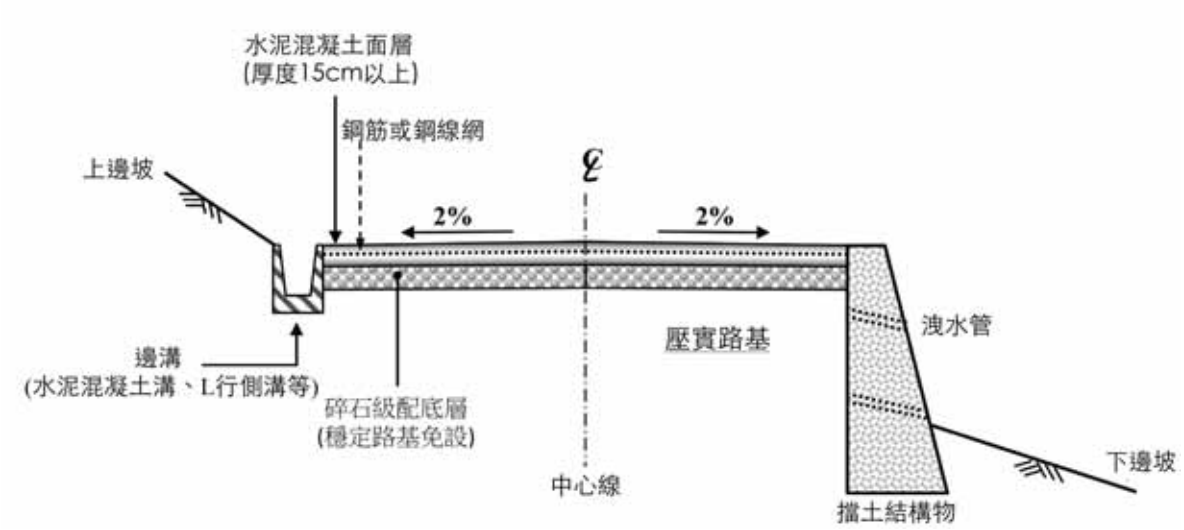


圖 農 3-1-1 水泥混凝土路面結構示意圖(資料來源：「農路設計規範」，2016)

(二) 瀝青混凝土路面：

1. 瀝青混凝土面層之厚度，新鋪設為 7.5~ 10 cm，加鋪最小厚度 5 cm 以上，設計時依農路路基狀況選用之。
2. 瀝青混凝土拌合料其粒料配比與瀝青含量參照相關施工規範辦理。
3. 透層、粘層材料按照設計圖之規定，材料用量參照工料分析表數量，有關施工方法參照相關施工規範規定辦理。
4. 碎石級配底層厚度之設計，可視路基性質酌予增減，若設計厚度小於 15 cm 者，可一次鋪築滾壓；若設計厚度大於 15 cm 時，應將底層材料分為兩層或多層鋪平滾壓，惟每層鋪平滾壓後之厚度不得大於 15 cm，亦不得小於所用粒料最大標稱尺寸之兩倍。
5. 碎石級配底層之級配規格參照相關施工規範辦理。
6. 砂石混合料基層，設計者可視工地路基情形增設之，其厚度依路基性質設計，有關基層混合料級配規格參照相關施工規範辦理。
7. 瀝青混凝土路面，農路一、二級鋪設寬度不得低於 4 m，農路三級宜不得低於 3 m，農路四級宜不得低於 2.5 m 為原則，惟為利於路肩之維護及排水，其鋪設寬度得配合底層級配路面寬度鋪築之。

8. 鋪設瀝青混凝土路面時，需辦理瀝青含量及級配試驗、瀝青混凝土壓實度試驗、厚度檢驗等各項檢驗。

9. 瀝青混凝土路面設計，其結構圖與施工程序剖面圖如下：

(1)結構示意圖

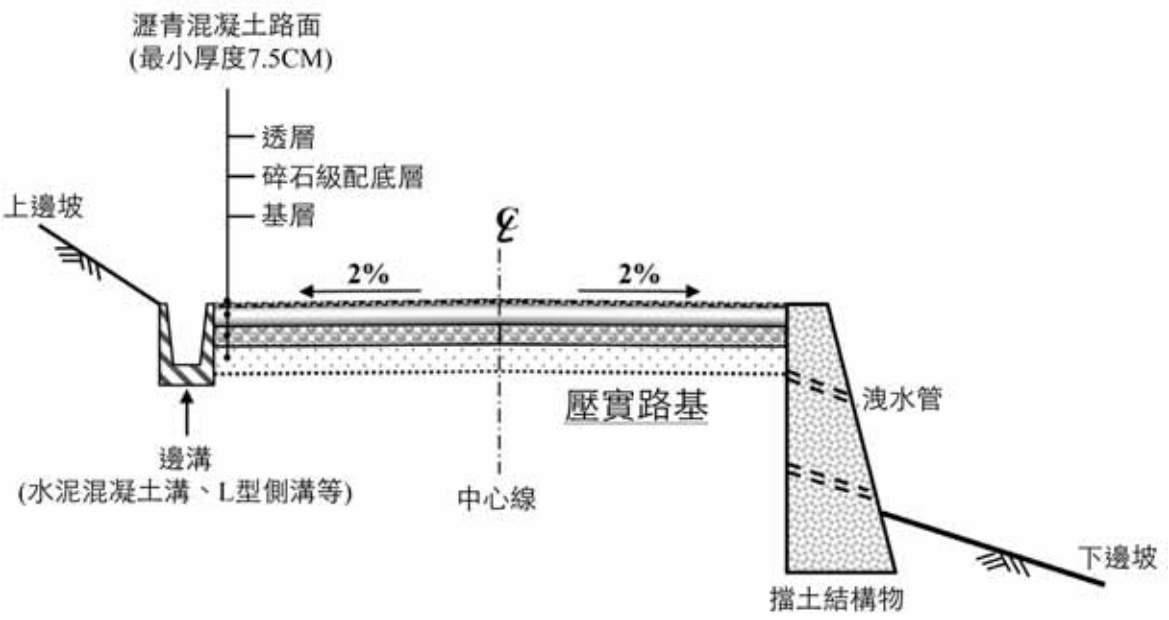


圖 農 3-1-2 瀝青混凝土路面結構示意圖(資料來源：「農路設計規範」，2016)

(2)鋪於原有瀝青或水泥路面之瀝青混凝土面層施工程序剖面圖：

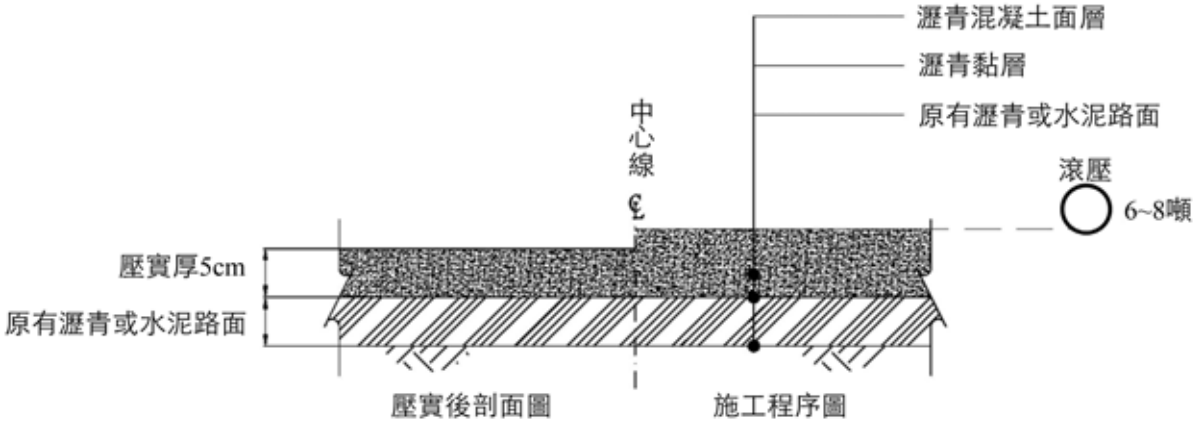


圖 農 3-1-3　5 cm 瀝青混凝土面層(鋪築於原有瀝青或水泥路面)(資料來源：「農路設計規範」，2016)

(3)鋪於新築碎石級配底層之瀝青混凝土面層施工程序剖面圖：

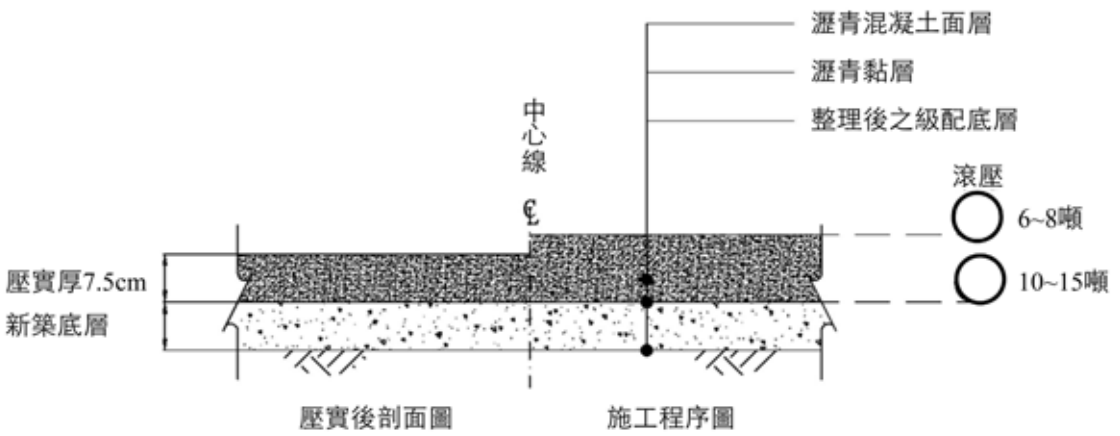


圖 農 3-1-4 瀝青混凝土面層施工剖面圖(鋪於新築碎石級配底層)(資料來源：「農路設計規範」，2016)

五、農路支線：

銜接山坡地農場區外與農路或公路間之道路，以提供農場經營資材及產物運輸交通。

(一) 圖說

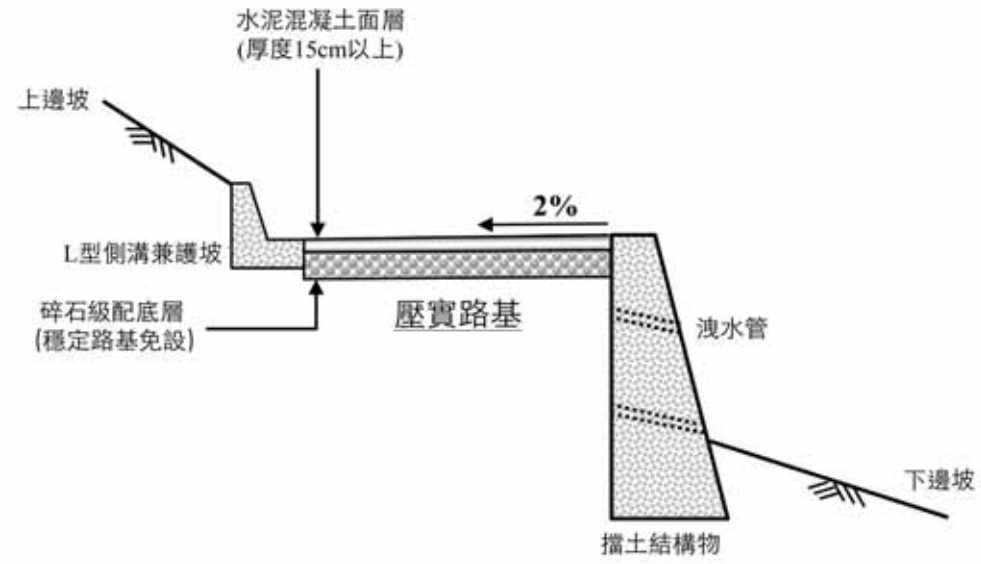


圖 農 3-1-5 農路支線結構示意圖

(二) 應用說明及設計：

1. 適用範圍：

(1)尚無農路或一般公路到達之農地。

(2)極需解決交通之地區而受地形限制無法按農路標準設計實施之路線。

2. 路基寬度：2.5~ 4 m。

3. 設計原則可參照水土保持局「農路設計規範」(2016)。

4. 農路受地形等因素限制時：

(1)最大縱坡度 20%，其 16~ 20%之坡段長度不得超過 40 m。

(2)最小平曲線曲率半徑不得低於 5 m。

5. 配合自然地形或農場排水規劃，施設橫向排水，逕流量大之路段，應設 L 型側溝。

6. 坡面不穩定、土石易掉落阻塞或清除不易之路段以採用 L 型側溝為原則。其他路段視情況得採用梯形、U 形或矩形側溝，惟寬度及深度最小應 30 cm。

7. 橫向排水以每隔 100~ 150 m 為原則選擇適當地點設置一橫向排水設施。

(三) 作業程序及注意事項：

1. 勘查現場之地形、地質、排水等因素，並考慮將來可予以拓寬或改善成農路標準為原則進行規劃設計。

2. 按樁線進行施工。

3. 注意挖填方之處理，以免造成災害。

4. 路邊及路面排水系統應予以妥善處理。

5. 較易侵蝕破壞路段應加強處理。

6. 上下邊坡有安全顧慮時應設護坡構造物，或植生護坡處理。

7. 路邊溝橫向排水酌設進出水口構造物。

8. 路邊溝宜採用 L 型側溝。

9. 適當地段設避車道。

(四) 維護管理：

1. 道路上及下邊坡有植草覆蓋者應儘速完成，以防止侵蝕。

2. 平時注意管理，維持交通順暢。

3. 相關道路邊溝請依本手冊「工程篇」之「2.18 排水溝」乙節相關內容進行設計。

3.1.3 園內道

指山坡地農場區內能用以銜接農路、山邊溝或作業道等之道路。其目的包括：建立農場內部連貫性道路系統及適應作業機械之運行。

一、圖說：

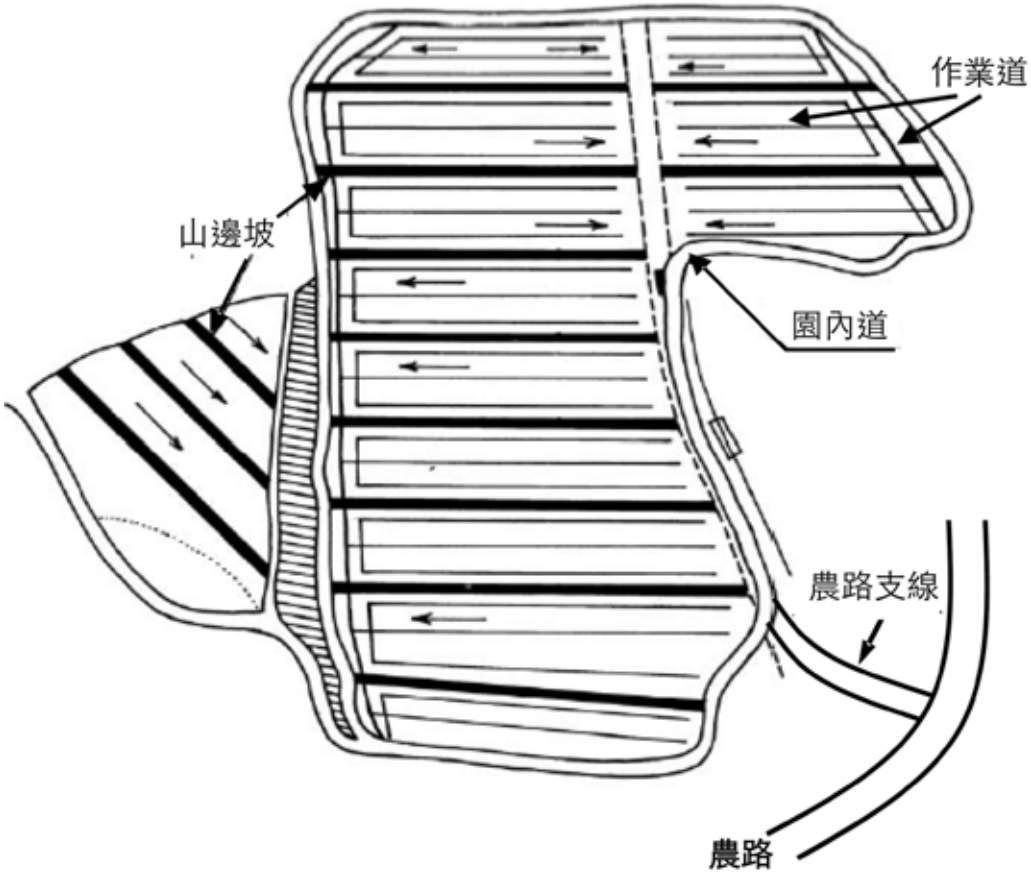


圖 農 3-1-6 園內道示意圖(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

二、應用說明及設計：

(一) 適用範圍：凡山邊溝、平台階段或作業道系統無法與農路相銜接之坡地。

(二) 縱坡：最大縱坡以 30%為限，坡段之長度不得超過 30m。

(三) 寬度：2~ 2.5 m。

(四) 平曲線：最小半徑以 5 m 為原則。

(五) 園內道佈置，應以便利全區耕作管理為原則，避免造成園區內耕作管理上之死角。

(六) 配合區內排水系統做適當佈置，路面或邊坡有侵蝕之虞處，應加強防侵蝕措施，每隔適當距離，應設簡易橫向排水溝渠。

三、作業程序及注意事項：

(一) 於農地規劃時按山邊溝、平台階段、安全排水或作業道之布置，作一全盤勘查後，研判選定路線位置進行規劃。

(二) 按規劃設計圖測定樁線後施工。

(三) 配合山邊溝或作業道施工，園內道宜於平台階段，山邊溝施工前處理完成。既成之平台階段，山邊溝區處理區則在園內道處理前應配合既成排水體系適作配置，完成後並應就其與各山邊溝及作業道之銜接地點及全區排水功能作檢視。並注意：

1. 應以單位耕作區一次施工為原則。
2. 與路面銜接處務必平順。
3. 園區排水系統之完整性。

四、維護管理：

(一) 道路植草儘速完成，期及早完成覆蓋，防止侵蝕。

(二) 平時注意管理，維持交通順暢。

3.1.4 作業道

水土保持處理後之坡地，為方便農作經營管理所構築之園區內作業道路，用以銜接園內道路，構成區內作業道路系統，可提供管理作業及小型機械之通行。

一、圖說：

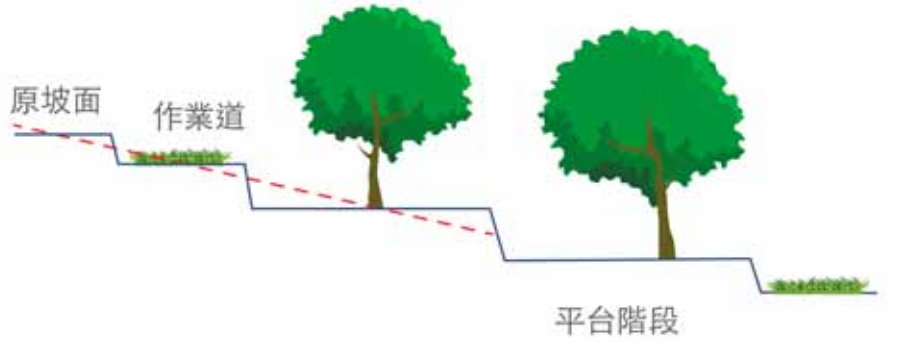


圖 農 3-1-7 平台階段與作業道(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

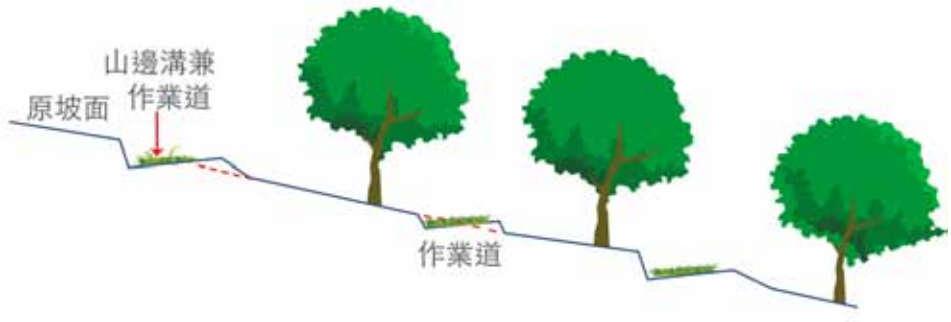


圖 農 3-1-8 山邊溝與作業道(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

二、應用說明及設計：

(一) 適用範圍：實施機械作業之平台階段或山邊溝處理區。

(二) 間距：在平台階段或山邊溝間，依果樹栽植位置，使用機械種類及管理作業需要而定。

(三) 寬度：以 1~ 2 m 為原則。

(四) 作業道路面可採水平、內斜或微量外斜。

三、作業程序及注意事項：

(一) 比照平台階段挖填作業。

(二) 作業道經過排水溝處，設小型涵管或構築淺寬之拋物線型斷面之過水溝面，以利機械通行。

(三) 路面及邊坡植草保護。

(四) 作業道與園內道路應妥予銜接，以發揮道路系統功能。

(五) 挖掘時應避免過度損傷果樹根系。

(六) 作業道兩旁之果樹枝椏，需作必要之修剪，以利通行。

四、維護管理：

(一) 道路植草儘速完成，期及早完成覆蓋，防止侵蝕。

(二) 平時注意管理，維持交通順暢。

3.1.5 農場規劃之農路系統

農場規劃主要項目包括：農路系統、水土保持處理項目、灌溉給水設施、安全排水設施及其他設施，其中完善規劃之農路系統，應能視農場地形及經營規模來考量如：最短農路路線來達到最大運輸功能、農路系統兩側農產及資材集運最便利、避免農路系統經過地表土層不穩定區域使養護便利，以使得農路系統效益達到最佳狀態。經由完整銜接的作業道、園內道、農路支線及農路之農路系統，可使作業機械暢通整個農地耕作田區，更可使坡向相似之農地上建構灌溉給水及安全排水系統。龜甲型道路系統(圖 農 3-1-9)為耕作田區內最適合的農路系統規劃，主因該道路系統可配合機械於陡坡地進行耕作，也可配合耕作田區之大小及作物種類而彈性調整，同時該道路系統也可結合作業道、園內道等做為耕作田區之界線及對耕作田區橫向截洩地表逕流，使得龜甲型道路系統應為耕作田區內最適合之農路系統。相關龜甲型農路系統建構順序為：橫向作業道大致以近水平式構築，而縱向之園內道或農路因陡坡地道路不能沿坡面直接往上構築，須酌予迂迴向上，以減低道路縱向坡度，故從坡面對面可看見其道路系統有類似龜甲之形式，如圖 農 3-1-9 所

示。作業道為方便農作經營管理所構築之道路；作業道之兩端與園內道連結，可連結至一般農路、鄉縣道等，達到省工經營之效益。

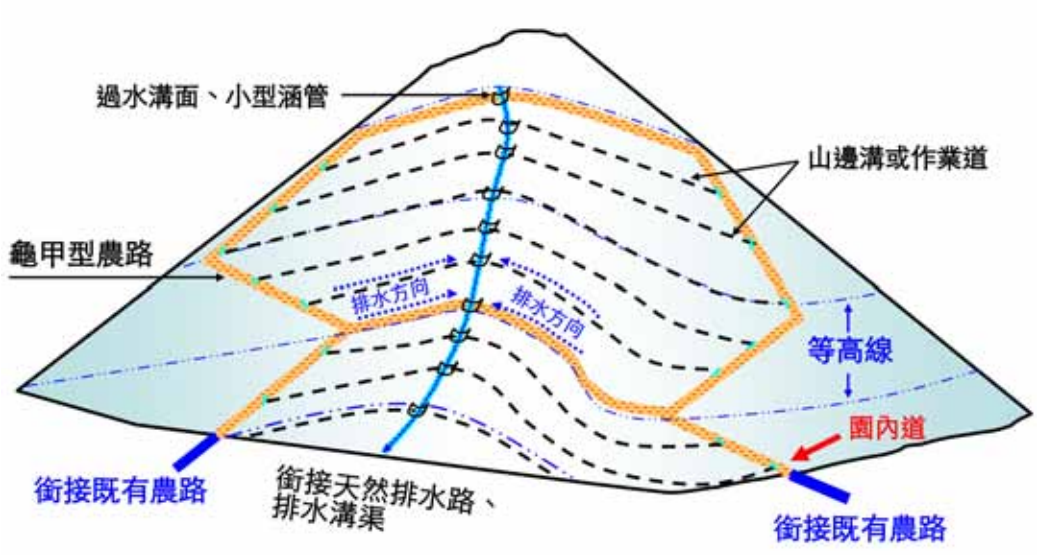


圖 農 3-1-9 龜甲型農路系統示意圖

3.1.6 參考文獻

中華民國「農路設計規範」，2016 年 08 月 19 日修正。

古明萱(2016)，「農藝學，第二章作物的分類與品種」，國立屏東科技大學創意教學教材數位化，<http://cec.npust.edu.tw/e-learning/agronomy/>。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

吳嘉俊、林俐玲、盧光輝(1996)，「土壤流失量估算手冊」，國立屏東技術學院。

林信輝(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」，行政院農業委員會水土保持局。

3.2 農地排水

3.2.1 前言

農地排水主要是利用人為方式對土壤內蓄滯過多水分進行排除，同時也要阻截區外地表逕流匯入農地。當農地排水良好有利雨水入滲，會降低地表逕流及土壤侵蝕，尤以山坡地墾殖之農地為最重要，做到安全排水是農地水土保持之先決課題。農地在墾殖時地表多有裸露，當降雨後若有地表逕流集中情形，可藉農地排水與農藝方法改善耕作方式達到降低逕流流速，再以適當排水措施來宣洩逕流，避免水土流失。故農地安全排水重要考量，乃為有效排除農地逕流，避免沖蝕危害，並能配合坡地道路、平台階段或山邊溝等水土保持處理，建構安全排水系統。

3.2.2 農地排水規劃原則與方法

一、農地排水規劃原則：

坡地排水即是利用工程或其他方法將地表逕流或地下滲流水經由縱向及橫向排水設施匯集後，有效地引導、分流或排除至下游安全地區，使其破壞力減至最低限度，減輕或避免災害發生與農地安全排水效果。

(一) 耕作田區內排水系統配置：

1. 蒐集可能影響坡地排水設施之因子如：地形、土壤、地質、作物類別、覆蓋度、坡度、降雨量及降雨強度、集水區面積大小與形狀等。
2. 針對各因子進行分析與比較以決定農地排水需求後，再選定適當的位置進行相關排水系統規劃。

(二) 選擇具代表之暴雨下逕流量估計值，配合排水設施斷面決定排水容量。

1. 檢核控制排水設施流速應符合其安全容許流速。
2. 檢核排水設施之出流口鄰接坑溝或流路安定性。

二、農地排水方法：

當平時排水與洪水時排水之流量明顯差異，其排水方法亦為不同，前者應該以地下水流出、灌溉餘水及其他事業用水，而後者則應就暴雨或颱風雨逕流排除為主要考量，然再考量排水措施用地取得，則平時與洪水時之排水路共用，勢必難免。因此排水處理多以重力排水原則，盡量避免機械排水，其方法概述如下：

(一) 防止外水進入排水流路：

1. 構築截水溝、排水溝等設施截除上側坡面逕流。

2. 道路穿越農地田區時，配合道路邊溝或側溝設置排水設施。

(二) 促進內水排除，使過多水流減少集中於局部地區。

1. 農地內施設排水位置之選定，以坡面自然既有之流路體系為原則。

2. 配合農地內道路及分段截流之水土保持設施如：平台階段或山邊溝等配置，作適當調整。

3. 增加農地之地表面粗糙程度，調整排水流路長度、溝底縱向坡度與斷面，以減緩地表逕流形成。

3.2.3 排水設施類型

一、依用途：

(一) 截水溝：

沿近似等高方向，橫跨於坡地或保護物之上方，以攔截逕流並導引至安全地點者。適用於需要攔截上方逕流，以免發生侵蝕或災害之地點。

(二) 縱向溝：

沿坡面縱向構築以安全宣洩逕流者。一般於坡度大、流速快且在襯砌材料允許流速範圍內均適用。

(三) 橫向溝：

沿坡面近似等高方向，橫跨於坡地以攔截逕流並導引至縱向溝者。多能結合園內道、作業道進行施設。

(四) 跌水：

溝渠縱向坡度過陡，水流速度超過限制流速之處，為降低流速與能量並控制水流落差之構造物。設計時，跌水高度原則上以 3 m 為限。

(五) 涵管：

排水系統與道路系統交會處，或排水路無法以明溝方式構築時，可採用埋於地面下之涵管宣洩水流。

(六) 過水溝面：

在耕作田區內縱向排水溝與逕流量較小之山邊溝、作業道或園內道有交會處，可採用植草、磚石或混凝土等材料，襯砌溝面成一寬底拋物線形之淺溝，其溝面寬度宜大於交會處之山邊溝、作業道或園內道寬度，溝面縱向洩水坡度小於 10%，達到機械作業機具便利通行。

二、依溝面襯砌材料：

排水溝可視現地與流況進行各類襯砌溝面調整，可以採用單一或複合襯砌溝面，以使得排水溝不致生沖淤情事，常見襯砌溝面包括：

(一) 草溝：

種植草類於土築溝面，以防止水流侵蝕者。一般農地排水時間短暫，坡度小於 10 %，流速不超過 1.5 m/s；溝長 30 m 以內者適用。當草溝內有水流集中或滯留情況，為使溝面不因浸潤使草生覆蓋損壞或刷深，建議可在其溝底增加砌石、砌磚及混凝土鋪面，形成複式斷面之草溝。

(二) 砌石溝：

在現地有塊石材料可適用於襯砌溝面，以保護溝身安全者。砌石溝有乾砌及漿砌二類型，多使用於農地排水溝、農塘溢洪道、道路邊溝、小型蝕溝、土壤易侵蝕之地區處。

(三) 砌磚溝：

用紅磚襯砌溝面，以保護溝身安全者。農地地形複雜、溝底坡度變化較大及缺少塊石地區適用。

(四) 混凝土溝：

用混凝土或鋼筋混凝土襯砌溝面，以保護溝身安全者。農地縱向排水溝、農塘溢洪道、道路邊溝、侵蝕溝、聯外排水溝與土壤侵蝕之處較適用。

(五)預鑄溝：

按既定之規格，預先鑄造之混凝土製品，搬運至現場襯砌溝面，以保護溝身安全者。農地截水溝或坡度較緩、流徑較短或施工地區缺水、運搬不便處適用。

(六) 土質溝：

原地面開挖整修成溝，土質佳、緩坡地區或田區間兼用灌排水地區適用。

(七) 土袋溝：

用土壤袋密排溝面，以保護溝身安全者。需水土保持處理地區之臨時性排水溝，或農地縱向、橫向排水溝交接處等適用。當其溝底坡度超過 30 %時，建議每隔 1~ 3 m 埋設 0.5 m 深度以上之橫跨排樁固定，能防止溝底逕流大量入滲下之淘刷情形，或可於溝底加鋪不透水塑膠布配合土壤袋疊置溝身二側

上緣，惟應注意逕流集中後之流速增加情形，必要時應設置相關臨時性消能或集水措施，以進行保護。

(八)拍漿溝：

坡度較陡或地形變化較大地區，在原有之土質溝面，埋置 0.3 m 深度以上之卯釘固定點焊鋼絲網平順舖設後，澆置混凝土漿，並拍附整平且使溝面略呈粗糙，以提供較安定之排水溝面。

以上各類型排水溝之相關設計圖說等，可參照本手冊「工程篇」之「2.18 排水溝」乙節。

3.2.4 規劃設計與注意事項

農地排水主要是配合農地耕作管理而設置，應依該設施之排水方向及間距慎選適當地點設置，而相關排水設施流路之規劃設計與注意事項如下：

一、排水設施流路應避免急轉彎，或於流路彎曲段外側來加強保護並加高。

二、排水設施(溝)斷面由上游至下游宜隨流量增加而分段加大。排水設施(溝)兩側應略低於原地面，以利地表逕流匯(進)入排水設施。

三、排水設施(溝)縱坡應力求平順，避免起伏變化過大。當排水設施(溝)底縱向坡度在 30%以上者，則每隔 10~ 40 m 應設置跌水或消能設施 1 處，以減緩流速低於排水溝安全容許流速(詳見本手冊工程篇「排水溝」乙節)；另於排水設施(溝)底部下接土層，建議配合襯砌溝面埋設 0.5 m 深度以上之榫或樁，以防止排水設施(溝)面層滑動。

四、排水溝每隔適當長度及最下游，視需要設置靜水池或跌水。淺寬斷面砌磚溝可兼步道，在較陡處可設置踏階，以增加流路長度及達到減緩流速效能。

五、草溝應用在水流連續不斷地區時，可用複式斷面，如其溝底部份若配合襯砌，安全排水效果尤佳。但日照不足以供草類正常生育，或砂礫地及含石量較多之地區不適用草溝。草溝經植草後，應防牲畜踐踏，缺雨時應予澆灌以維持完整覆蓋。

六、農地內田區或耕區道路交接處有遇排水設施流路，宜採用淺寬之拋物線形斷面，以利農機具通行。

七、混凝土預鑄溝須以直線方式修築為主，因地形限制必須轉彎時，宜設置集水井或跌水來聯結。裝接時務使接口凹槽向上游，順坡面由下而上施工，

各接頭應密合，以免出現滲漏情形。若配合道路邊溝施設時，應考慮路面所產生之側向壓力。

八、土質溝之溝面應予以夯實，有遇填土部份則應考量沉陷率(一般採 10%計)而增加填土高度，溝面應盡速植草，以資安定。

九、當排水設施(溝)底縱向坡度在 30%以上者，或溝渠縱坡方向垂直落差達 3 m，且有可能繼續擴大侵蝕處適用跌水。

十、跌水入口及出口方向，應與上下游流向一致，流末下接護坦或靜水池稍低於下游地盤線。

十一、涵管經考量厚度應達 0.01 m 以上，以利埋設穩固，涵管直徑應大於 0.2 m，埋設深度至少 0.5 m 以上；直徑 0.2 m 以上之壓力管，涵管底距靜水池底至少 0.2 m 為宜。

十二、集水管如盲管、暗渠，依土壤滲透性、作物種類、地下水位深及排水系統出口決定埋管深度，在潮濕地屬無機土壤者 0.6 m，置於排水明溝下者 0.75~ 1.5 m，控制鹽分者 2 m 以上。

3.2.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2015)，「水土保持知識探索－小魚的秘密假期」。

3.3 農地灌溉

3.3.1 前言

臺灣地區因雨量分布不均，在乾旱季節，坡面農地有作物需水量不足之際，即需進行灌溉作業，是維持農作物正常生長之必要措施。而坡地灌溉之特性可包括：

一、地面坡度較大、起伏不平。

二、以種植旱作物為主，水稻種植少。

三、一般採用節水灌溉，如噴灑灌溉或滴水灌溉，水田則採越田灌溉。

四、如採用地表灌溉，多以等高線溝灌法、水盤法或坑灌法為之。

五、水源地點之設置非常重要。

六、灌溉以採用重力之方式較為經濟。

七、坡地灌溉用水，常與病蟲害防治及人、蓄用水共同使用。

3.3.2 灌溉方法與灌溉配置

坡地灌溉主要方法包括：挑水灌溉、等高線溝灌溉、等高線畦溝灌溉、浸潤灌溉、軟管灌溉、噴灑灌溉、穿孔管灌溉、固定注管灌溉、固定噴嘴灌溉及滴水灌溉等。本節就常用於坡地灌溉之方法，包括漫灌、噴灑灌溉、穿孔管及滴水灌溉等進行說明。

一、漫灌：

(一) 定義：

漫灌係依地形情況或依等高線作圍埂的灌溉方式(如圖 農 3-3-1)，故又稱等高圍埂，或稱梯田灌溉。此種灌溉水源以埤塘為主，灌溉排水型態為越田方式。

(二) 目的：

漫灌用於坡地灌溉以提供水梯田之灌溉為主，此種灌溉方式所需之流量較大，適用於低滲透率的土壤，例如粘土或壤土等。

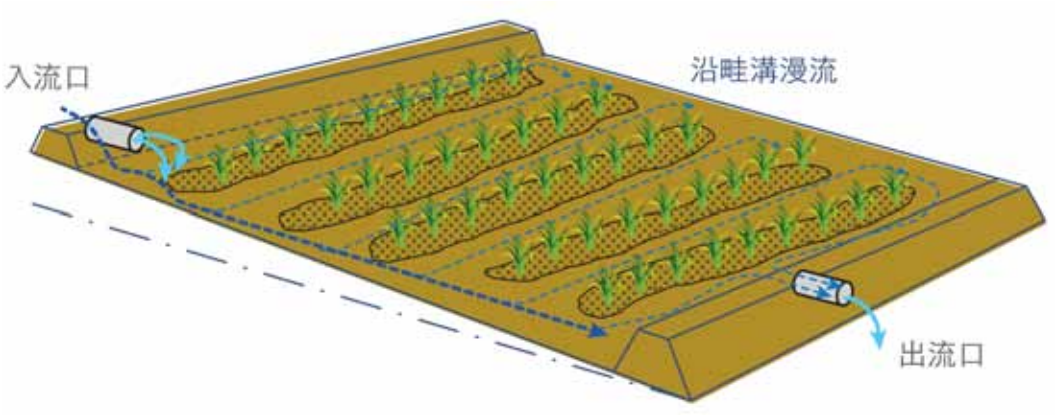


圖 農 3-3-1 漫灌配置示意圖

(三) 灌溉配置設計：

坡地採漫灌方式進行灌溉，其配置不只考慮灌溉區域大小與形狀，尚須考慮內耕地之大小與形狀、地表坡度、土質、可引灌水量、灌溉水深及實務操作方式等。在梯田之灌區寬度主要受限於坡度的大小，當坡度太陡，灌區寬度則不宜太大，否則灌區則須整平以降低水流速度，若田區坡度大於 4％，建議將田區整平，以降低田區地表水流流速過快所造成對田區的衝擊。此外，灌區之大小除考慮坡度外，尚需考慮土壤質地及可供灌溉水量。水梯田之灌溉水源可利用農塘蓄水或取用山泉水灌溉，在灌溉系統配置只要依地形建構渠道，再利用越田逐區灌溉，以供給田區所需水量。

(四) 注意事項：

1. 坡地漫灌對水量之掌握不易，田區土壤水之分布不均，因此須注意地表坡度之整平。
2. 在越田灌溉之入水口與出水口要適當選擇，以避免水流不均勻分佈。
3. 在水稻種植過程，須停灌期間要控制水分停留田區時間。

二、噴灑灌溉：

(一) 定義：

利用動力將灌溉水如降雨般的方式向地面散佈之灌溉系統(如圖 農 3-3-2)。

(二) 目的：

將水源以管道系統適量供水，以提供作物獲得灌溉水的滋潤，以達到增產之目的。

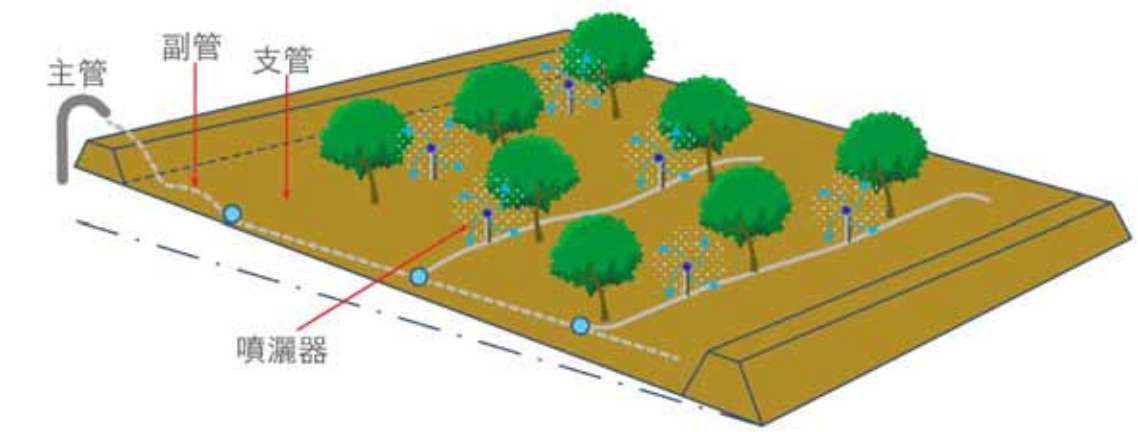


圖 農 3-3-2 噴灌配置示意圖

(三) 灌溉配置設計：

噴灌系統的組成包括水源工程、輸配水系統、調壓穩壓及減壓設施。

1. 水源工程：

(1)蓄水設施：蓄水設施主要將坡地逕流或河川水流攔蓄起來，以減少水土流失危害，以提供農田灌溉，提高作物產量。當水源高於灌區地表，且有足夠水頭時，往往需要建設蓄水池，以調節水量及壓力水頭。如果水源位置較低需機械加壓時，也需建造蓄水池以調節水量。

(2)加壓泵站：坡地噴灌系統之加壓站最好是分級、分段設置，設置形式可採固定泵站或依灌區位置分級設置泵站。前者可依灌區位置及壓力需求調整水泵之開設數量，後者則在灌區下方水源設置泵站，並於適當地點設置泵站，以多級加壓供水至田區。

2. 輸配水系統：將水從水源處引至灌區，再將水分配至田區的各級壓力管道稱為輸配水系統。輸配水系統可分為主管、支管及噴頭等，主管為水源輸水至田區的管路，支管為主管至噴頭間的管路。輸配水系統配置不但要考慮管路在平面位置的布置，亦要考慮到沿高程上的立體布置。

3. 支管系統配置：輸配水管網的布置應能控制全灌區，當地形坡度較陡時，一般使主管沿主坡方向布置，支管則以平行等高線布置，以使各噴頭之壓力儘量一致。

4. 調壓穩壓及減壓設施：坡地噴灌由於灌區內高差大，壓力不平衡，管道輸水容易產生水錘現象，必須增加調壓穩壓設備。有時水源與灌區下邊界的落差大於管道允許承壓能力時，就需要採用減壓設施，以避免壓力過大，而影響噴頭的正常運作。

(四) 注意事項：

1. 噴灑灌溉過程易受風干擾，影響灌溉均勻度。

2. 與噴藥作業共用時，噴嘴易受阻塞，必要時要設置過濾器。

3. 固定設施會影響田間操作，移動式設施則須花費較多勞力。

4. 施工與維護需要較高技術。

三、穿孔管及滴水灌溉：

(一) 定義：

利用一條小直徑的塑膠管且管上附有適當之噴嘴，以無壓力或低壓慢速狀態將水自支管之滴嘴滴出之設施，包括穿孔管(如圖 農 3-3-3)及滴水灌溉(如圖 農 3-3-4)。

(二) 使用目的：

以低壓方式適量濕潤土壤，以提供作物生長所需水分。

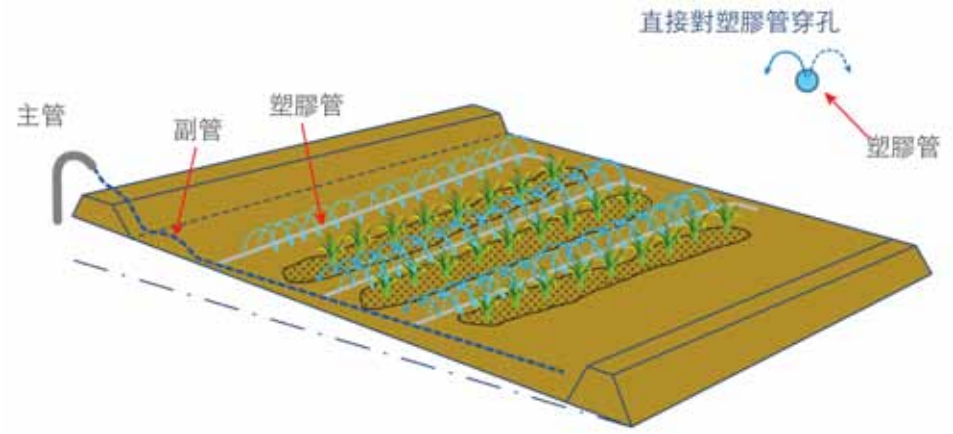


圖 農 3-3-3 穿孔管灌溉配置示意圖

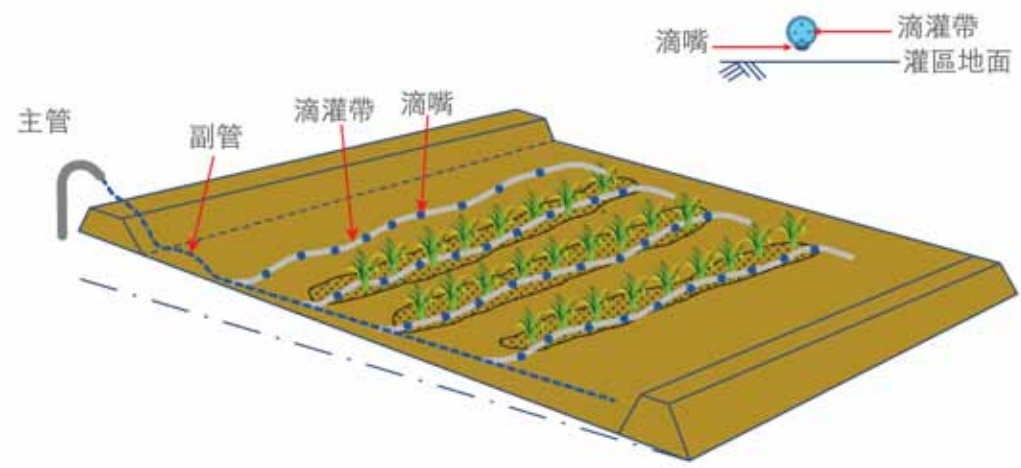


圖 農 3-3-4 滴水灌溉配置示意圖

(三) 灌溉配置設計：

滴水灌溉系統包含水源工程、控制系統、水質處理設備、主管及副管、支管、滴水孔或放射孔等。

1. 水源工程一般是指為提取水源而修建的攔水、引水、蓄水、提水及沉澱工程，以及相關輸配電工程。
2. 控制系統係以閥門與壓力來控制滴灌流量，控制方式可分為手動控制、半自動控制及全自動控制等三種。
3. 水質處理設備為過濾器，過濾器的選擇主要根據其有效過濾程度來決定。
4. 主管、副管及支管可將水輸送至田區。
5. 滴水管則將支管水分輸出至土壤，以提供作物使用。

一般而言，滴水流量大，間距可以放大，而土壤含砂越多，則間距以越小為宜。因砂土之水分擴散方式較深且窄，粘土則寬且淺。滴水灌溉用於多年生果樹或山坡地，宜先種植後再裝設配水支管及作物旁布置滴嘴。

為確保滴灌系統能長期正常運作，使用時先打開某輪灌組控制閥或控制開關，使灌水器能夠流出水；再逐級打開上游開關，以保證灌溉系統各部分的安全。要嚴格控制滴灌系統的工作水壓，且不可超壓或水壓過低，否則影響灌溉品質。

(四) 注意事項：

1. 滴灌時，在滴嘴附近可產生濕潤區，通常作物不適宜種植在地面可見濕潤區之外，以避免作物缺水。
2. 滴灌對灌溉水質要求較高，若水中含有較大粒徑的懸浮固體顆粒，可能會在滴水器水流通道口形成一個弧形堆積帶，造成堵塞。要防止弧形堆積帶的形成，過濾器必須能把大於 1/7″出水孔直徑的雜質全部攔截。
3. 溪流、池塘或水井的水，都須過濾雜質及水質處理才可用於滴灌。
4. 定期檢查灌溉系統之完整性，特別是過濾器，要定期排砂沖洗，如發現濾網破損應及時更換。
5. 滴灌帶為薄壁管，收放時不可用力拉扯和扭曲，以延長其使用壽命。
6. 在非灌溉時期，應排除各級管路內的積水，以防止管路內產生微生物造成滴水堵塞。

3.3.3 灌溉水量

一、定義：

作物生育期間受蒸散作用、光合作用及其他生育代謝所需的水分總和即為作物需水量(crop water requirement)。當作物種植於田間，除考量作物需水量外，需納入田間：蒸發量、滲漏量、流失或排水量，及扣除有效雨量，可得知田間用水量(field water requirement)。田間土壤具有涵養水分的機制，可提供種植作物生育所需，此為田間土壤有效含水量(available soil moisture)，可由田間容水量(field moisture capacity)與凋萎點(wilting point)之差值求得。再當田間用水量大於田間含水量之際，即需進行灌溉水量(irrigation water requirement)提供。不考慮輸水損失下，

(一) 作物需水量：

依據水土保持手冊(1992)所提供參考值(如表 農 3-3-1)進行採參。

表 農 3-3-1 坡地作物需水量(參考值)

作物種類	最大需水量(mm/day)	救旱及防除之參考需水量(mm/day)
柑橘	4.0	1.0
蘋果	3.0	0.6
芒果	2.5	0.25
荔枝	3.0	0.25
枇杷	3.0	0.25
芭樂	2.0	0.2
葡萄	5.7	1.2
香蕉	4.5	1.0
木瓜	2.5	0.25
鳳梨	2.0	0.2
梨	3.5	0.8
茶	4.0	1.0
草地	2.0	0.5

(二) 田間土壤有效含水量、田間含水量與凋萎點：

依據水土保持手冊(1992)所提供參考值(如表 農 3-3-2)進行採參。

表 農 3-3-2 各種土壤田間田間容水量、凋萎點與有效含水量(參考值；單位：%)

土壤種類	砂土	壤質砂土	砂壤土	壤土	砂質粘壤土及粘質壤土	坋質粘壤土及粘土
田間容水量	2.2~3.5	3.5~8.5	8.5~16.0	13.0~22.0	18.0~28.0	25.0~36.0
凋萎點	1.2~1.7	1.5~3.5	8.5~22.0	13.0~22.0	18.0~28.0	14.0~22.0
有效含水量	1.0~1.8	2.0~5.0	5.0~9.0	8.0~12.0	10.5~13.0	11.0~14.0

(三) 灌溉水量決定：

一般農地在灌溉水源無虞下，有為簡便使用，可逕自採參表 農 3-3-1 各作物需水量參考值，直接決定灌溉水量。若為考量農地各種土壤水分變化，則可採用一次灌溉水量及粗灌溉水量。

1. 一次灌溉水量計算公式

$$\mathrm{Wr} = \frac{1}{100(\mathrm{FC} - \mathrm{WP})} \cdot \mathrm{Sa} \cdot \mathrm{d} \qquad (3.3.1)$$

其中，Wr：一次灌溉水量(mm)；FC：田間容水量(%)；WP：凋萎點(%)；Sa：土層土壤容積比重(假比重)(g/cm^3)；d：土層深度(mm)。

Sa 在含礦物質多而結構差的土壤(如砂土)約 1.4～1.7，含有機質多而結構好的團粒化壤土及黏土約為 1.1～1.4，故一般農地建議採用 1.3～1.35 g/cm^3。

2. 粗灌溉水量計算公式

$$\mathrm{D} = \frac{\mathrm{Wr}}{\mathrm{Ea}} \times 100\% \qquad (3.3.2)$$

D：粗灌溉水量(mm)；Ea：供水效率(%)，一般農業供水效率應達 80%以上(臺灣水資源效率化利用策略，2014)。

3.3.4 灌溉水源

一、水源設施：

(一) 定義：

蓄存供給坡地灌溉水量之構造物。

(二) 目的：

此種設施之目的為提供灌溉、防除病蟲害、人畜使用等用水。

(三) 水源：

坡地灌溉之水源以設置蓄水池或農塘為主，引用山泉水或抽用地下水灌溉為輔。農塘係指在低窪地區或溪流適當地點，構築堤壩攔蓄逕流，以提供滯洪、農業等用水及改進生態環境並供休閒、遊憩之用。

(四) 應用說明及設計：

1. 蓄水式：係於農塘或攔水壩利用抽水設施揚水或引水至灌區，參見「農藝篇」「2.10 農塘」乙節說明。
2. 引水式：圖說如圖 農 3-3-5，係在常年有地面水或地下水之溪澗或排水溝設置攔水堰(或壩)，藉重力之位能高差將水引至灌區。此種方式水源高於灌區。其中應注意：

   (1)攔水堰(或壩)依重力防砂壩原理計算。

   (2)進水口應有濾水處理如拋石、塊石等或濾水措施如石籠等。

   (3)水源之水質如混濁或含有泥砂者，應在堰(或壩)體下游加設取水箱或沉砂池等濾砂設施。

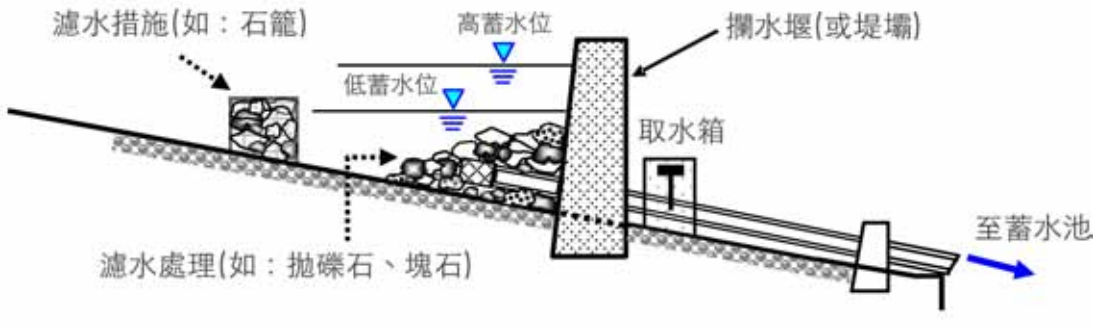


圖 農 3-3-5 引水式水源設施(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

3. 水井式：圖說如圖 農 3-3-6，係在灌區附近有豐沛之地下水時,可鑿井安裝抽水機揚水至灌區，此方式水源低于灌區。鑿井前應瞭解鑿井地點之地層狀況，宜先開鑿小口徑地層試探井，採取砂樣作機械分析，繪製砂樣曲線及試水紀錄，以為設計之依據。

   (1)井管直徑之選擇：井管之口徑應較選定之抽水機機體之尺寸為大。

   (2)水井之深度：水井之深度係根據含水層之位置及厚度決定，為得最大容許水位洩降及較高之比出水量，水井通常開鑿至含水層之底部或相當深度。

   (3)濾水管長度：

   A.濾水管之進水流速應為每秒 0.03 m 左右為宜。

B.選擇濾水管長度時，須考慮水層之厚度、粗砂層與細砂層之排列位置及地下水之靜水位。

(4)自靜水位至濾水管管頂之距離，謂之容許水位洩降，即假定水井抽水時，水位不致降低至濾水管頂以下，因總抽水量為容許水位洩降與出水量之乘積為最大值，最佳濾水管長度應為飽和水層厚度之 1/3~1/2。

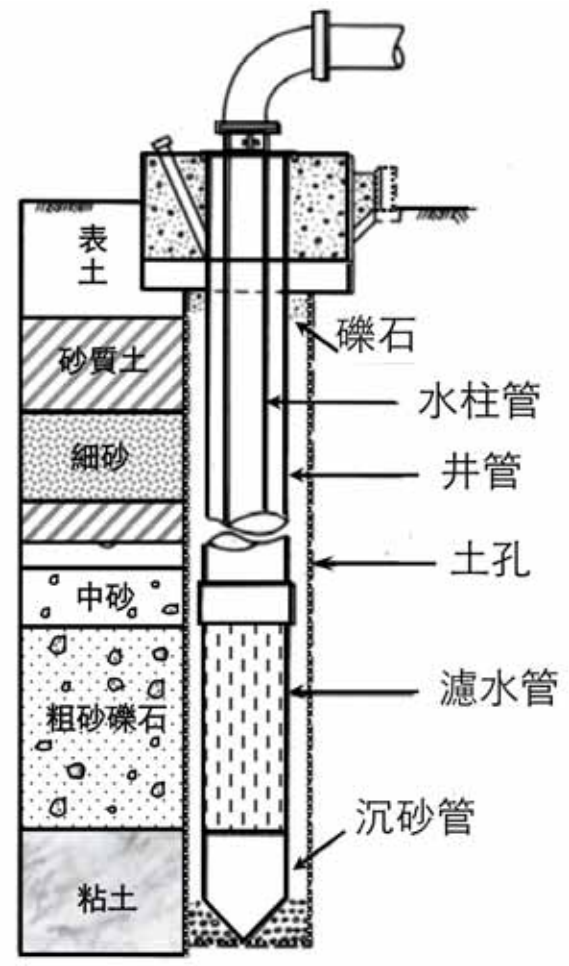


圖 農 3-3-6 水井式水源設施(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

二、抽水設施：

(一) 定義：

由機械動力將水揚至灌區之設施。

(二) 目的：

此種設施之目的為提供灌區作物灌溉、人畜、病蟲害防除等用水。

(三) 應用說明及設計：

相關規劃設計原則及注意事項可參考「工程篇」「2.27 滯洪池」乙節之抽水設施。

三、輸配水設施：

(一) 定義：

將水揚至灌區或水源藉重力的位能高差將水輸送到灌區的設施，可使灌區能適時獲得適量的用水。

(二) 應用說明及設計：

1. 明渠：為農地主要輸配水設施(如圖 農 3-3-7)，早期坡地梯田多由坑溝以明渠引水供用。常見型式有：

(1)土渠：施工簡易，滲透性高，但輸水損失大，影響灌溉效率。

(2)內面工渠：以混凝土或磚塊為襯砌材料。



圖 農 3-3-7 明渠斷面圖示意圖

(3)管路系統：在坡地較常使用，可為農地輸配水設施(如圖 農 3-3-8)。

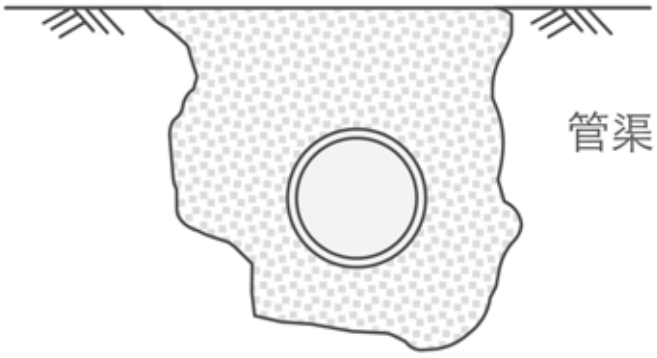


圖 農 3-3-8 管渠斷面圖示意圖

其主要採用設計考量有：

A.聚氯乙烯(PVC)塑膠管：質輕、耐蝕、不積垢、可塑性高、經濟、施工容易，為一般坡地灌溉管路系統常採用。

B.聚丙烯(PP)塑膠管：質輕、耐寒、耐蝕、可撓性佳、施工容易、適用於小管徑(ϕ10mm) 以下低壓管路系統。

C.高密度聚乙烯(HDPE)塑膠管：質輕、耐候性、耐衝擊性、可撓性、耐強震及富韌性，兼具金屬管與橡皮之優點，無任何重金屬添加

劑，管材完全無毒性，適用於各種大小管徑之坡地灌溉與排水管路系統。

D.鋼管：耐高壓，適用任何地形，但價格高昂，故坡地灌溉管路系統僅在首段配管，零件及強度特高之處採用。

E.鑄鐵管：高強度、耐蝕、容易管理、施工容易，適用於大管徑之管路系統，在坡地灌溉管路系統中使用其零件。

F.流量設計：灌溉計畫用水量決定後，即可使一天所需水量以 T 小時抽水或 24 小時引水方式設計。

$$Q=\frac{Q'}{T} \tag{3.3.3}$$

式中，Q=流量(m^3/s)，Q'=計畫用水量(m^3)，T=時間(sec)，引水時以 24 hr 計，抽水時一般以 16-20 hr 為準。配水系統流量則以灌溉時間以 10-12 hr 為原則。

(4)管徑：

A.揚水管之管徑：一般以抽水機口徑放大一級為準。

B.輸配水管徑：依據流量,假設管徑以試算法計算摩擦損頭及兩點間高差(壓力)找出適合之管徑。

(5)揚程：

A.實揚程(Ha)：由吸水面至出水面之高度。

B.直管摩擦損頭(Ht)：

*Hazen-Williams 實驗公式

若管流直徑在 5.08 cm~ 1.83 m 之間，流速不超過 3.05 m/s，可利用 Hazen-Williams 公式計算摩擦損頭，計算公式如下：

$$V=0.85\times C\times R^{0.63}\times s^{0.54} \tag{3.3.4}$$

$$H_t=\frac{6.819\times L\times V^{1.852}}{C^{1.852}\times D^{1.167}} \tag{3.3.5}$$

式中，V=管中平均流速(m/s)，R=管流水力半徑(m)，S=能量損失/管流長(m/m)，Ht=摩擦損頭(m)，L=直管長度(m)，C=Hazen-Williams 係數(見表 農 3-3-1)，D=管徑(mm)。

*Scobey's 式實驗公式

$$H_t=\frac{2.59\times K_s\times L\times V^{1.9}}{1000\times D^{1.1}} \quad (3.3.6)$$

Ks =摩擦係數(見表 農 3-3-3)。

*Darcy-Weisbach 氏公式

$$H_t=\lambda\times\left(\frac{L}{D}\right)\times\left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (3.3.7)$$

λ=摩擦係數，一般為雷諾數與管壁面相對粗糙度之函數。

對新鑄鐵管：

$$\lambda=0.02+\left(\frac{1}{2000+D}\right) \quad (3.3.8)$$

當 D=50 mm 以下，V=1.5m/s 以上時應用 Hazen-Williams 式及 Scobey’s 式須注意其精度。Q=7600 l/min 及 L=2400 m 以下時宜採用 Scobey’s 式，超出此值可利用 Hazen-Williams 式進行推求。

(6)其他零星損頭(H_f)

A.底閥損頭。

B.制水閥損頭。

C.逆止閥損頭。

D.曲管損頭。

E.異徑管損頭。

F.T 型管損頭。

G.剩餘速度損頭。

總零星損頭依直管損頭之 5%計之。

(7)總揚程(H)=$H_a+H_t+H_f$

表 農 3-3-3 不同材質管線之 Ks 及 C 係數值

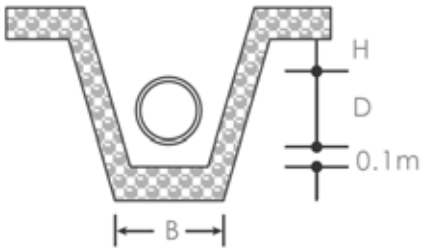
管之種類	K_s (Scobey)	C (Hazen-Williams)
平滑之螺狀熔接鋼管	0.32	140
新鋁管	0.32	140
螺狀熔接鋼管	0.40	120
鉚釘鋼管	0.44	110
再製管	0.52	95
鉛管	0.28~ 0.32	150~ 140
木管(光滑面)	0.40	120
木管	0.44	110
橡膠管(內面襯橡膠)	0.32~ 0.44	140~ 110
移動式鋁管及接頭	0.40	120
塑膠管及接頭	0.42	130~ 150
石綿水泥管	0.32~ 0.36	140~ 130
離心式鋼筋混凝土管	0.36	130
混凝土管陶管	0.40	120

(三) 作業程序及注意事項：

1. 在連續上坡管線為防止水鎚作用發生管線故障，應於適當地點設置逆止閥。

2. 管溝之寬度及深度如表 農 3-3-4 所示。

表 農 3-3-4 管溝之寬度及深度



管徑(mm)	13-38	50~ 63	80~ 300
B (m)	0.30	D+15	D+15
H (m)	0.45	0.80	1.00

3. 塑膠管臼塞膠合接頭：採用冷接法接合其插口插入長度見表 農 3-3-5。

表 農 3-3-5 塑膠管最小插入長度

管徑(mm)	9	13	19	25	38	50	63	80	100	>150 以上
插入長度(mm)	20	25	35	40	60	70	90	100	130	180

4. 塑膠管彎曲：最小彎曲半徑見表 農 3-3-6，管線埋設於地形之凸部時必須加設排氣閥。管線埋設於地形之凹部，選擇適當之排水路或設置排污管。

表 農 3-3-6 塑膠管最小彎曲半徑

管徑(mm)	9	13	19	25	38	50	63	80	100	150	200	250	300
彎曲半徑(mm)	40	60	85	110	190	250	300	350	450	650	900	1,200	1,500

5. 管溝挖出之土石方，可堆置管溝兩旁，其堆置寬度應力求縮小，以不妨礙交通為原則。
6. 管線裝接完成後之回填，塑膠管週邊，一律以砂或砂土回填。其周邊即以原挖出之土石方回填，但管頂 30 cm 內不得有石塊雜物。
7. 管線架設如須跨越道路時，應與其主管單位協調。

四、蓄水設施：

(一) 定義：

貯存部分水量，藉配水設施調整灌區末端灌溉水之構造物。

(二) 目的：

此種設施之目的為使灌區末端適時適量得到水之供應，以利作物之生長。

(三) 應用說明及設計：

1. 磚造：方型或圓型，容量 20 ton 以內之管路噴藥適用。
2. 鋼筋混凝土造：圓形容量 30 ton 以上之管路灌溉適用。
3. 不鏽鋼造：以不鏽鋼製作為成品，以圓形為主。

(四) 蓄水池之容量：

蓄水池之容量大小須視補充水源取得、設施經濟效益與灌溉水量而定。以灌溉日需水量來估算蓄水池之容量，可以下式計算：

$$Q=10\times A_u\times(Q'/E)\times(1-T_2/T_1) \qquad (3.3.9)$$

若蓄水池供水管線每日 24 小時供水，則 T_1 為 24 hr，則

$$Q=10\times A_u\times(Q'/E)\times(1-T_2/24) \qquad (3.3.10)$$

式中，Q =蓄水池之容量(m^3)，Q' =作物灌溉日需水量(mm/day)，E =灌溉效率，A_u =灌溉面積(ha)，T_1 =輸水管路每日輸水時間(hr)，T_2 =每日灌溉時間(hr)。

(五) 建造地點：

宜選擇在供水方便、配管最短且不妨礙栽培作業之處。

3.3.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

財團法人中技社(2014)，「臺灣水資源效率化利用策略」。

肆、附錄

附錄一、山邊溝之坡度、溝距對照

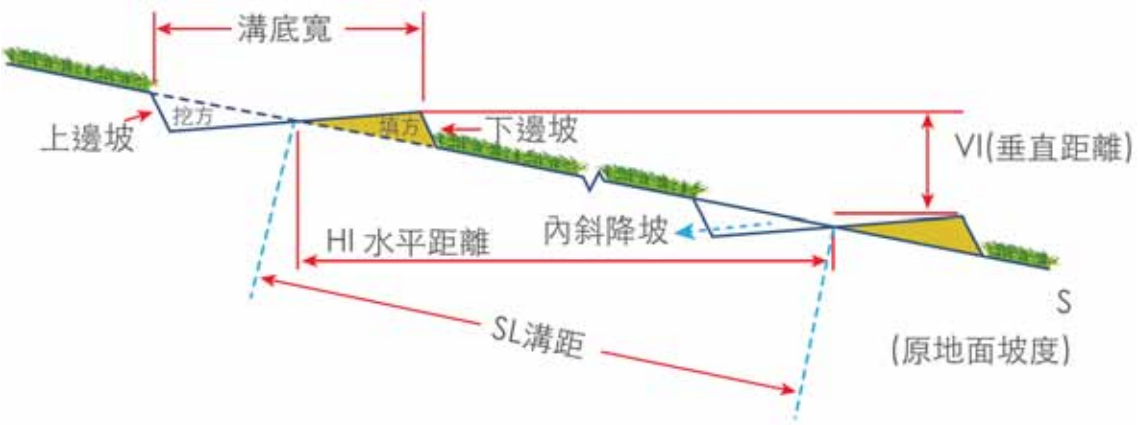


圖 附 4-1-1 山邊溝之坡度、溝距示意圖(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

$$VI=\frac{S+6}{10}$$

$$HI=\frac{VI}{S}\times 100=\frac{S+6}{S}\times 10$$

式中：VI：垂直距離(m)；SL：溝距(m)；HI：水平距離(m)；S:原地面坡度

表 附 1-1 山邊溝之坡度、溝距對照表(資料來源：修改自「水土保持手冊」，2005)

原地面坡度(S)		距離(m)		
		垂直(VI)	水平(HI)	溝距(SL)
3%	1.7°	0.9	30.0	30.01
4%	2.3°	1	25.0	25.02
5%	2.9°	1.1	22.0	22.03
6%	3.4°	1.2	20.0	20.04
7%	4.0°	1.3	18.57	18.62
8%	4.6°	1.4	17.5	17.56
9-10%	5.1°-5.7°	1.5-1.6	16.67-16.0	16.73-16.08
11-15%	6.3°- 8.5°	1.7-2.1	15.45-14.0	15.55-14.16
16-20%	9.1°-11.3°	2.2-2.6	13.75-13.0	13.92-13.26
21-25%	11.9°-14.0°	2.7-3.1	12.86-12.4	13.14-12.78
26-30%	14.6°-16.7°	3.2-3.6	12.31-12.0	12.72-12.53
31-40%	17.2°-21.8°	3.7-4.6	11.94-11.5	12.50-12.39
41-55%	22.3°-28.8°	4.7-6.1	11.46-11.09	12.39-12.66

附錄二、平台階段土方表

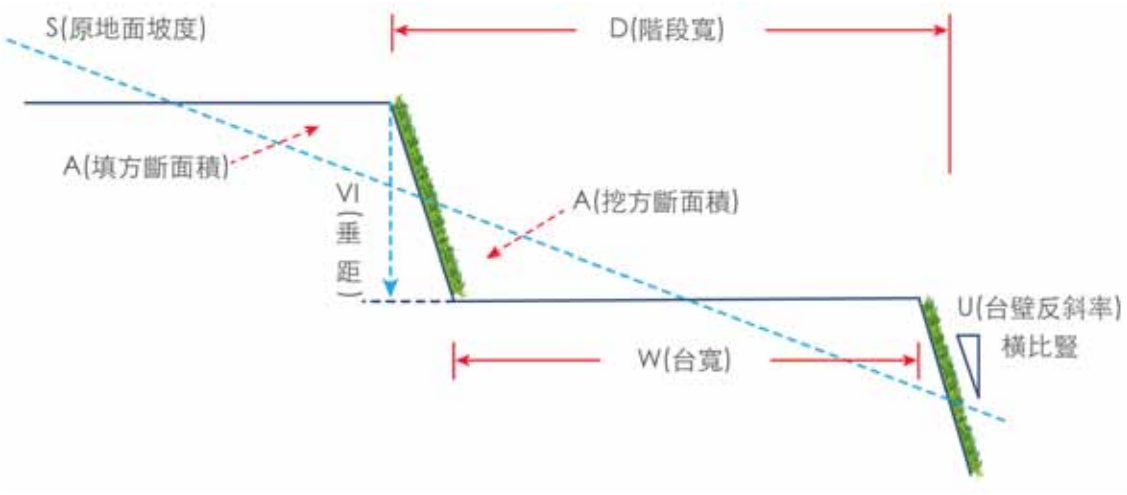


圖 附 4-2-1 水平式平台階段(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

$$VI=\frac{W\cdot S}{100-S\cdot U}\ ；D=\frac{100\cdot VI}{S}=W+VI\times U\ ；A=\frac{W\cdot VI}{8}\ ；V=A\times\frac{100^2}{D}$$

式中：VI：垂距(m)；W：台寬(m) ；S：原地面坡度(%)；U：台壁反斜率；D：階段寬(m) ；A：斷面積(m^2) ；V：土方(m^3) ；

表 附 4-2-1 水平式平台階段土方表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

W(m)	θ(°) / s(%)	2 / 3.49	3 / 5.24	4 / 6.99	5 / 8.74	6 / 10.51	7 / 12.27	8 / 14.05	9 / 15.83	10 / 17.63	11 / 19.43	12 / 21.25	13 / 23.08	14 / 24.93	15 / 26.79	16 / 28.67	17 / 30.57	18 / 32.49	19 / 34.43	20 / 36.39	21 / 38.38	22 / 40.40	23 / 42.44	24 / 44.52	25 / 46.63	26 / 48.77	27 / 50.95	28 / 53.17	29 / 55.43	30 / 57.73	備註
1	VI(m)	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24	0.26	0.28	0.31	0.33	0.36	0.39	0.42	0.44	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.68	0.72	0.77	0.81	台埂土方不計在內
	D (m)	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.17	1.18	1.19	1.21	1.22	1.24	1.25	1.27	1.29	1.30	1.32	1.34	1.36	1.38	1.41	
	A (m^2)	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	
	V (m^3)	43.63	65.50	87.38	109.25	131.38	153.38	175.63	197.88	220.38	242.88	265.63	288.50	311.63	334.88	358.38	382.13	406.13	430.38	454.88	479.75	505.00	530.50	556.50	582.88	609.63	636.88	664.63	692.88	721.63	
1.5	VI(m)	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.36	0.39	0.43	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.67	0.71	0.76	0.81	0.86	0.91	0.97	1.03	1.09	1.15	1.22	
	D (m)	1.53	1.54	1.55	1.57	1.58	1.60	1.61	1.63	1.65	1.66	1.68	1.70	1.71	1.73	1.75	1.77	1.79	1.81	1.83	1.86	1.88	1.90	1.93	1.96	1.98	2.01	2.04	2.08	2.11	
	A (m^2)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.22	0.23	
	V (m^3)	65.44	98.25	131.06	163.88	197.06	230.06	263.44	296.81	330.56	364.31	398.44	432.75	467.44	502.31	537.56	573.19	609.19	645.56	682.31	719.63	757.50	795.75	834.75	874.31	914.44	955.31	996.94	1039.31	1082.44	
2	VI(m)	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.39	0.43	0.48	0.52	0.57	0.62	0.67	0.72	0.78	0.83	0.89	0.95	1.01	1.08	1.15	1.22	1.29	1.37	1.45	1.53	1.62	
	D (m)	2.04	2.05	2.07	2.09	2.11	2.13	2.15	2.17	2.19	2.22	2.24	2.26	2.28	2.31	2.33	2.36	2.39	2.42	2.44	2.47	2.51	2.54	2.57	2.61	2.64	2.68	2.72	2.77	2.81	
	A (m^2)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.29	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.41	
	V (m^3)	87.25	131.00	174.75	218.50	262.75	306.75	351.25	395.75	440.75	485.75	531.25	577.00	623.25	669.75	716.75	764.25	812.25	860.75	909.75	959.50	1010.00	1061.00	1113.00	1165.75	1219.25	1273.75	1329.25	1385.75	1443.25	
2.5	VI(m)	0.09	0.13	0.18	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.48	0.54	0.59	0.65	0.71	0.77	0.84	0.90	0.97	1.04	1.11	1.19	1.27	1.35	1.43	1.52	1.61	1.71	1.81	1.92	2.03	
	D (m)	2.54	2.57	2.59	2.61	2.64	2.66	2.69	2.71	2.74	2.77	2.80	2.83	2.86	2.89	2.92	2.95	2.98	3.02	3.06	3.09	3.13	3.17	3.22	3.26	3.31	3.35	3.41	3.46	3.51	
	A (m^2)	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.35	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.50	0.53	0.57	0.60	0.63	
	V (m^3)	109.06	163.75	218.44	273.13	328.44	383.44	439.06	494.69	550.94	607.19	664.06	721.25	779.06	837.19	895.94	955.31	1015.31	1075.94	1137.19	1199.38	1262.50	1326.25	1391.25	1457.19	1524.06	1592.19	1661.56	1732.19	1804.06	
3	VI(m)	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33	0.39	0.45	0.52	0.58	0.65	0.71	0.78	0.85	0.93	1.00	1.08	1.16	1.25	1.33	1.42	1.52	1.62	1.72	1.82	1.93	2.05	2.17	2.30	2.43	
	D (m)	3.05	3.08	3.11	3.14	3.17	3.20	3.23	3.26	3.29	3.32	3.36	3.39	3.43	3.46	3.50	3.54	3.58	3.62	3.67	3.71	3.76	3.81	3.86	3.91	3.97	4.03	4.09	4.15	4.22	
	A (m^2)	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53	0.57	0.61	0.64	0.68	0.73	0.77	0.81	0.86	0.91	
	V (m^3)	130.88	196.50	262.13	327.75	394.13	460.13	526.88	593.63	661.13	728.63	796.88	865.50	934.88	1004.63	1075.13	1146.38	1218.38	1291.13	1364.63	1439.25	1515.00	1591.50	1669.50	1748.63	1828.88	1910.63	1993.88	2078.63	2164.88	
4	VI(m)	0.14	0.22	0.29	0.37	0.44	0.52	0.60	0.69	0.77	0.86	0.95	1.04	1.14	1.24	1.34	1.44	1.55	1.66	1.78	1.90	2.03	2.15	2.29	2.43	2.58	2.73	2.90	3.07	3.25	
	D (m)	4.07	4.11	4.14	4.18	4.22	4.26	4.30	4.34	4.39	4.43	4.48	4.52	4.57	4.62	4.67	4.72	4.78	4.83	4.89	4.95	5.01	5.08	5.15	5.22	5.29	5.37	5.45	5.53	5.62	
	A (m^2)	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.39	0.43	0.48	0.52	0.57	0.62	0.67	0.72	0.78	0.83	0.89	0.95	1.01	1.08	1.15	1.22	1.29	1.37	1.45	1.53	1.62	
	V (m^3)	174.50	262.00	349.50	437.00	525.50	613.50	702.50	791.50	881.50	971.50	1062.50	1154.00	1246.50	1339.50	1433.50	1528.50	1624.50	1721.50	1819.50	1919.00	2020.00	2122.00	2226.00	2331.50	2438.50	2547.50	2658.50	2771.50	2886.50	
5	VI(m)	0.18	0.27	0.36	0.46	0.55	0.65	0.76	0.86	0.97	1.08	1.19	1.30	1.42	1.55	1.67	1.80	1.94	2.08	2.22	2.37	2.53	2.69	2.86	3.04	3.22	3.42	3.62	3.83	4.06	
	D (m)	5.09	5.13	5.18	5.23	5.28	5.33	5.38	5.43	5.48	5.54	5.59	5.65	5.71	5.77	5.84	5.90	5.97	6.04	6.11	6.19	6.27	6.35	6.43	6.52	6.61	6.71	6.81	6.92	7.03	
	A (m^2)	0.11	0.17	0.23	0.29	0.35	0.41	0.47	0.54	0.60	0.67	0.74	0.82	0.89	0.97	1.05	1.13	1.21	1.30	1.39	1.48	1.58	1.68	1.79	1.90	2.02	2.14	2.26	2.40	2.54	
	V (m^3)	218.13	327.50	436.88	546.25	656.88	766.88	878.13	989.38	1101.88	1214.38	1328.13	1442.50	1558.13	1674.38	1791.88	1910.63	2030.63	2151.88	2274.38	2398.75	2525.00	2652.50	2782.50	2914.38	3048.13	3184.38	3323.13	3464.38	3608.13	
6	VI(m)	0.21	0.32	0.43	0.55	0.67	0.78	0.91	1.03	1.16	1.29	1.43	1.57	1.71	1.86	2.01	2.17	2.33	2.50	2.67	2.85	3.04	3.23	3.44	3.65	3.87	4.10	4.35	4.60	4.87	
	D (m)	6.11	6.16	6.22	6.27	6.33	6.39	6.45	6.52	6.58	6.65	6.71	6.78	6.85	6.93	7.00	7.08	7.16	7.25	7.33	7.42	7.52	7.62	7.72	7.82	7.93	8.05	8.17	8.30	8.43	
	A (m^2)	0.16	0.24	0.33	0.41	0.50	0.59	0.68	0.77	0.87	0.97	1.07	1.17	1.28	1.39	1.51	1.62	1.75	1.87	2.00	2.14	2.28	2.42	2.58	2.74	2.90	3.08	3.26	3.45	3.65	
	V (m^3)	261.75	393.00	524.25	655.50	788.25	920.25	1053.75	1187.25	1322.25	1457.25	1593.75	1731.00	1869.75	2009.25	2150.25	2292.75	2436.75	2582.25	2729.25	2878.50	3030.00	3183.00	3339.00	3497.25	3657.75	3821.25	3987.75	4157.25	4329.75	
7	VI(m)	0.25	0.38	0.51	0.64	0.78	0.92	1.06	1.20	1.35	1.51	1.66	1.83	1.99	2.17	2.34	2.53	2.72	2.91	3.11	3.32	3.54	3.77	4.01	4.26	4.51	4.79	5.07	5.37	5.68	
	D (m)	7.12	7.19	7.25	7.32	7.39	7.46	7.53	7.60	7.68	7.75	7.83	7.91	8.00	8.08	8.17	8.26	8.36	8.46	8.56	8.66	8.77	8.89	9.00	9.13	9.26	9.39	9.53	9.68	9.84	
	A (m^2)	0.22	0.33	0.44	0.56	0.68	0.80	0.93	1.05	1.18	1.32	1.46	1.60	1.74	1.89	2.05	2.21	2.38	2.55	2.72	2.91	3.10	3.30	3.51	3.72	3.95	4.19	4.44	4.70	4.97	
	V (m^3)	305.38	458.50	611.63	764.75	919.63	1073.63	1229.38	1385.13	1542.63	1700.13	1859.38	2019.50	2181.38	2344.13	2508.63	2674.88	2842.88	3012.63	3184.13	3358.25	3535.00	3713.50	3895.50	4080.13	4267.38	4458.13	4652.38	4850.13	5051.38	
8	VI(m)	0.28	0.43	0.58	0.73	0.89	1.05	1.21	1.38	1.55	1.72	1.90	2.09	2.28	2.47	2.68	2.89	3.10	3.33	3.56	3.80	4.05	4.31	4.58	4.86	5.16	5.47	5.79	6.13	6.49	
	D (m)	8.14	8.22	8.29	8.37	8.44	8.52	8.60	8.69	8.77	8.86	8.95	9.04	9.14	9.24	9.34	9.44	9.55	9.66	9.78	9.90	10.03	10.15	10.29	10.43	10.58	10.73	10.90	11.07	11.25	
	A (m^2)	0.28	0.43	0.58	0.73	0.89	1.05	1.21	1.38	1.55	1.72	1.90	2.09	2.28	2.47	2.68	2.89	3.10	3.33	3.56	3.80	4.05	4.31	4.58	4.86	5.16	5.47	5.79	6.13	6.49	
	V (m^3)	349.00	524.00	699.00	874.00	1051.00	1227.00	1405.00	1583.00	1763.00	1943.00	2125.00	2308.00	2493.00	2679.00	2867.00	3057.00	3249.00	3443.00	3639.00	3838.00	4040.00	4244.00	4452.00	4663.00	4877.00	5095.00	5317.00	5543.00	5773.00	
10	VI(m)	0.36	0.54	0.72	0.91	1.11	1.31	1.51	1.72	1.93	2.15	2.38	2.61	2.85	3.09	3.35	3.61	3.88	4.16	4.45	4.75	5.06	5.39	5.73	6.08	6.45	6.84	7.24	7.67	8.12	
	D (m)	10.18	10.27	10.36	10.46	10.55	10.65	10.76	10.86	10.97	11.08	11.19	11.30	11.42	11.55	11.67	11.80	11.94	12.08	12.22	12.37	12.53	12.69	12.86	13.04	13.22	13.42	13.62	13.83	14.06	
	A (m^2)	0.44	0.67	0.91	1.14	1.39	1.63	1.89	2.15	2.42	2.69	2.97	3.26	3.56	3.87	4.18	4.51	4.85	5.20	5.56	5.94	6.33	6.73	7.16	7.60	8.06	8.55	9.05	9.59	10.14	
	V (m^3)	436.25	655.00	873.75	1092.50	1313.75	1533.75	1756.25	1978.75	2203.75	2428.75	2656.25	2885.00	3116.25	3348.75	3583.75	3821.25	4061.25	4303.75	4548.75	4797.50	5050.00	5305.00	5565.00	5828.75	6096.25	6368.75	6646.25	6928.75	7216.25	
12	VI(m)	0.43	0.65	0.87	1.10	1.33	1.57	1.81	2.06	2.32	2.58	2.85	3.13	3.42	3.71	4.02	4.33	4.66	4.99	5.34	5.70	6.08	6.46	6.87	7.30	7.74	8.20	8.69	9.20	9.74	
	D (m)	12.21	12.32	12.43	12.55	12.67	12.78	12.91	13.03	13.16	13.29	13.43	13.57	13.71	13.86	14.01	14.17	14.33	14.50	14.67	14.85	15.04	15.23	15.44	15.65	15.87	16.10	16.35	16.60	16.87	
	A (m^2)	0.64	0.97	1.30	1.65	2.00	2.35	2.72	3.09	3.48	3.87	4.28	4.70	5.13	5.57	6.02	6.50	6.98	7.49	8.01	8.55	9.11	9.70	10.31	10.95	11.61	12.31	13.04	13.80	14.61	
	V (m^3)	523.50	786.00	1048.50	1311.00	1576.50	1840.50	2107.50	2374.50	2644.50	2914.50	3187.50	3462.00	3739.50	4018.50	4300.50	4585.50	4873.50	5164.50	5458.50	5757.00	6060.00	6366.00	6678.00	6994.50	7315.50	7642.50	7975.50	8314.50	8659.50	
15	VI(m)	0.53	0.81	1.09	1.37	1.66	1.96	2.27	2.58	2.90	3.23	3.57	3.91	4.27	4.64	5.02	5.41	5.82	6.24	6.67	7.12	7.59	8.08	8.59	9.12	9.67	10.25	10.86	11.50	12.17	
	D (m)	15.27	15.40	15.54	15.69	15.83	15.98	16.13	16.29	16.45	16.61	16.78	16.96	17.14	17.32	17.51	17.71	17.91	18.12	18.34	18.56	18.80	19.04	19.30	19.56	19.84	20.13	20.43	20.75	21.09	
	A (m^2)	1.00	1.51	2.04	2.57	3.12	3.68	4.25	4.83	5.44	6.05	6.69	7.34	8.01	8.70	9.41	10.15	10.91	11.70	12.51	13.36	14.24	15.15	16.11	17.10	18.14	19.23	20.37	21.57	22.82	
	V (m^3)	654.38	982.50	1310.63	1638.75	1970.63	2300.63	2634.38	2968.13	3305.63	3643.13	3984.38	4327.50	4674.38	5023.13	5375.63	5731.88	6091.88	6455.63	6823.13	7196.25	7575.00	7957.50	8347.50	8743.13	9144.38	9553.13	9969.38	10393.13	10824.38	

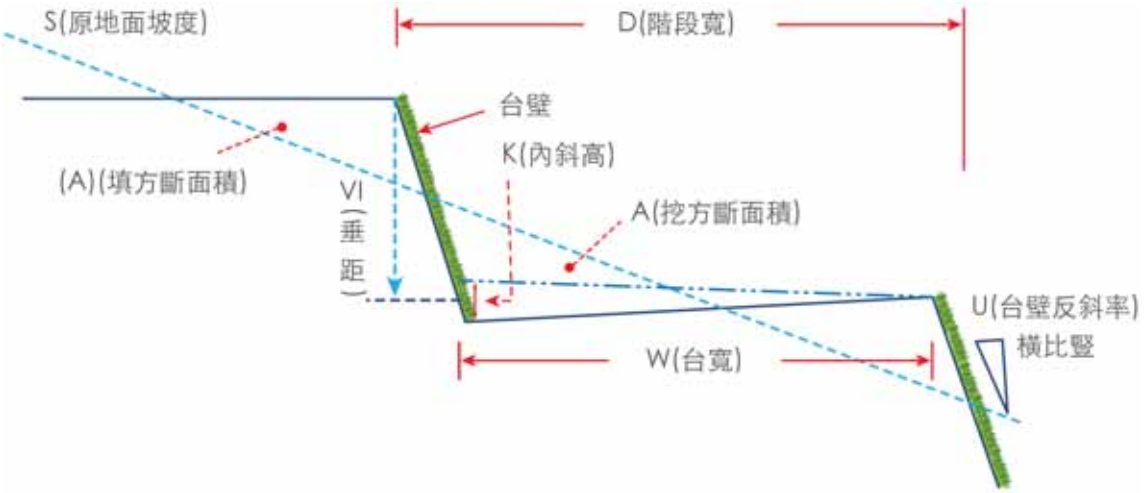


圖 附 4-2-2 內斜式平台階段(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

$$VI=\frac{W\cdot S+k\cdot S\cdot U}{100-S\cdot U}\ ；D=W+(VI+k)\times U；A=\frac{W\cdot VI+D\cdot k}{8}\ ；V=A\times\frac{100^2}{D}$$

式中：VI：垂距(m)；W：台寬(m)；S：原地面坡度(%)；U：台壁反斜率；D：階段寬(m)；A：斷面積(m^2)；V：土方(m^3)；k：內斜高(m)；

表 附 4-2-2 內斜式平台階段土方表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

W(m)	θ(°) / s(%)	2 3.49	3 5.24	4 6.99	5 8.74	6 10.51	7 12.27	8 14.05	9 15.83	10 17.63	11 19.43	12 21.25	13 23.08	14 24.93	15 26.79	16 28.67	17 30.57	18 32.49	19 34.43	20 36.39	21 38.38	22 40.40	23 42.44	24 44.52	25 46.63	26 48.77	27 50.95	28 53.17	29 55.43	30 57.73	備註
1	VI (m)	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.25	0.27	0.30	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53	0.57	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76	0.81	0.85	
	D (m)	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.19	1.20	1.21	1.23	1.24	1.25	1.27	1.28	1.30	1.32	1.33	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45	1.48	
	A (m^2)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	
	V (m^3)	168.63	190.50	212.38	234.25	256.38	278.38	300.63	322.88	345.38	367.88	390.63	413.50	436.63	459.88	483.38	507.13	531.13	555.38	579.88	604.75	630.00	655.50	681.50	707.88	734.63	761.88	789.63	817.88	846.63	
1.5	VI (m)	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.69	0.74	0.78	0.84	0.89	0.94	1.00	1.06	1.12	1.19	1.26	
	D (m)	1.58	1.59	1.61	1.62	1.64	1.65	1.67	1.68	1.70	1.72	1.73	1.75	1.77	1.79	1.81	1.83	1.85	1.87	1.89	1.92	1.94	1.97	1.99	2.02	2.05	2.08	2.11	2.14	2.18	
	A (m^2)	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.24	0.25	0.26	
	V (m^3)	190.44	223.25	256.06	288.88	322.06	355.06	388.44	421.81	455.56	489.31	523.44	557.75	592.44	627.31	662.56	698.19	734.19	770.56	807.31	844.63	882.50	920.75	959.75	999.31	1039.44	1080.31	1121.94	1164.31	1207.44	
2	VI (m)	0.07	0.11	0.15	0.19	0.23	0.27	0.31	0.35	0.40	0.44	0.49	0.53	0.58	0.63	0.69	0.74	0.80	0.85	0.91	0.97	1.04	1.10	1.17	1.25	1.32	1.40	1.48	1.57	1.66	
	D (m)	2.09	2.11	2.12	2.14	2.16	2.18	2.20	2.23	2.25	2.27	2.29	2.32	2.34	2.37	2.39	2.42	2.45	2.48	2.51	2.54	2.57	2.60	2.64	2.67	2.71	2.75	2.79	2.84	2.88	
	A (m^2)	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.22	0.23	0.24	0.26	0.28	0.29	0.31	0.33	0.35	0.36	0.38	0.41	0.43	0.45	
	V (m^3)	212.25	256.00	299.75	343.50	387.75	431.75	476.25	520.75	565.75	610.75	656.25	702.00	748.25	794.75	841.75	889.25	937.25	985.75	1034.75	1084.50	1135.00	1186.00	1238.00	1290.75	1344.25	1398.75	1454.25	1510.75	1568.25	
2.5	VI (m)	0.09	0.14	0.18	0.23	0.28	0.33	0.39	0.44	0.49	0.55	0.61	0.67	0.73	0.79	0.85	0.92	0.99	1.06	1.13	1.21	1.29	1.37	1.46	1.55	1.64	1.74	1.85	1.96	2.07	
	D (m)	2.60	2.62	2.64	2.67	2.69	2.72	2.74	2.77	2.80	2.82	2.85	2.88	2.91	2.94	2.98	3.01	3.04	3.08	3.12	3.16	3.20	3.24	3.28	3.33	3.37	3.42	3.47	3.53	3.58	
	A (m^2)	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.24	0.26	0.28	0.30	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44	0.47	0.50	0.53	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	
	V (m^3)	234.06	288.75	343.44	398.13	453.44	508.44	564.06	619.69	675.94	732.19	789.06	846.25	904.06	962.19	1020.94	1080.31	1140.31	1200.94	1262.19	1324.38	1387.50	1451.25	1516.25	1582.19	1649.06	1717.19	1786.56	1857.19	1929.06	
3	VI (m)	0.11	0.16	0.22	0.28	0.34	0.40	0.46	0.52	0.59	0.66	0.73	0.80	0.87	0.94	1.02	1.10	1.18	1.27	1.36	1.45	1.54	1.64	1.75	1.85	1.97	2.09	2.21	2.34	2.48	
	D (m)	3.10	3.13	3.16	3.19	3.22	3.25	3.28	3.31	3.34	3.38	3.41	3.45	3.48	3.52	3.56	3.60	3.64	3.68	3.73	3.77	3.82	3.87	3.92	3.98	4.03	4.09	4.15	4.22	4.29	
	A (m^2)	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.19	0.21	0.24	0.26	0.29	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.52	0.56	0.59	0.63	0.66	0.70	0.75	0.79	0.83	0.88	0.93	0.98	
	V (m^3)	255.88	321.50	387.13	452.75	519.13	585.13	651.88	718.63	786.13	853.63	921.88	990.50	1059.88	1129.63	1200.13	1271.38	1343.38	1416.13	1489.63	1564.25	1640.00	1716.50	1794.50	1873.63	1953.88	2035.63	2118.88	2203.63	2289.88	
4	VI (m)	0.14	0.22	0.29	0.37	0.45	0.53	0.61	0.70	0.78	0.87	0.96	1.06	1.15	1.25	1.36	1.46	1.57	1.68	1.80	1.92	2.05	2.18	2.32	2.46	2.61	2.77	2.93	3.11	3.29	
	D (m)	4.12	4.16	4.20	4.24	4.27	4.31	4.36	4.40	4.44	4.49	4.53	4.58	4.63	4.68	4.73	4.78	4.84	4.89	4.95	5.01	5.08	5.14	5.21	5.28	5.36	5.43	5.52	5.60	5.69	
	A (m^2)	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.45	0.49	0.54	0.59	0.63	0.68	0.74	0.79	0.85	0.90	0.96	1.02	1.09	1.16	1.22	1.30	1.37	1.45	1.54	1.62	1.71	
	V (m^3)	299.50	387.00	474.50	562.00	650.50	738.50	827.50	916.50	1006.50	1096.50	1187.50	1279.00	1371.50	1464.50	1558.50	1653.50	1749.50	1846.50	1944.50	2044.00	2145.00	2247.00	2351.00	2456.50	2563.50	2672.50	2783.50	2896.50	3011.50	
5	VI (m)	0.18	0.27	0.37	0.46	0.56	0.66	0.76	0.87	0.98	1.09	1.20	1.32	1.44	1.56	1.69	1.82	1.96	2.10	2.25	2.40	2.56	2.72	2.89	3.07	3.26	3.45	3.66	3.87	4.10	
	D (m)	5.14	5.19	5.23	5.28	5.33	5.38	5.43	5.48	5.54	5.59	5.65	5.71	5.77	5.83	5.90	5.96	6.03	6.10	6.17	6.25	6.33	6.41	6.50	6.59	6.68	6.78	6.88	6.99	7.10	
	A (m^2)	0.18	0.23	0.29	0.35	0.42	0.48	0.54	0.61	0.68	0.75	0.82	0.89	0.97	1.05	1.13	1.21	1.30	1.39	1.48	1.58	1.68	1.78	1.89	2.00	2.12	2.24	2.37	2.51	2.65	
	V (m^3)	343.13	452.50	561.88	671.25	781.88	891.88	1003.13	1114.38	1226.88	1339.38	1453.13	1567.50	1683.13	1799.38	1916.88	2035.63	2155.63	2276.88	2399.38	2523.75	2650.00	2777.50	2907.50	3039.38	3173.13	3309.38	3448.13	3589.38	3733.13	
6	VI (m)	0.21	0.33	0.44	0.55	0.67	0.79	0.91	1.04	1.17	1.30	1.44	1.58	1.72	1.87	2.02	2.18	2.35	2.52	2.69	2.87	3.06	3.26	3.46	3.68	3.90	4.14	4.38	4.64	4.91	
	D (m)	6.16	6.21	6.27	6.33	6.39	6.45	6.51	6.57	6.63	6.70	6.77	6.84	6.91	6.99	7.06	7.14	7.22	7.31	7.40	7.49	7.58	7.68	7.78	7.89	8.00	8.12	8.24	8.37	8.50	
	A (m^2)	0.24	0.32	0.41	0.49	0.58	0.67	0.77	0.86	0.96	1.06	1.16	1.27	1.38	1.49	1.61	1.73	1.85	1.98	2.11	2.25	2.39	2.54	2.70	2.86	3.03	3.20	3.39	3.58	3.79	
	V (m^3)	386.75	518.00	649.25	780.50	913.25	1045.25	1178.75	1312.25	1447.25	1582.25	1718.75	1856.00	1994.75	2134.25	2275.25	2417.75	2561.75	2707.25	2854.25	3003.50	3155.00	3308.00	3464.00	3622.25	3782.75	3946.25	4112.75	4282.25	4454.75	
7	VI (m)	0.25	0.38	0.51	0.64	0.78	0.92	1.07	1.21	1.36	1.52	1.68	1.84	2.01	2.18	2.36	2.54	2.73	2.93	3.14	3.35	3.57	3.80	4.04	4.29	4.55	4.82	5.11	5.41	5.72	
	D (m)	7.18	7.24	7.31	7.37	7.44	7.51	7.58	7.66	7.73	7.81	7.89	7.97	8.05	8.14	8.23	8.32	8.42	8.52	8.62	8.72	8.83	8.95	9.07	9.19	9.32	9.46	9.60	9.75	9.91	
	A (m^2)	0.31	0.42	0.54	0.66	0.78	0.90	1.03	1.16	1.29	1.43	1.57	1.71	1.86	2.01	2.17	2.33	2.50	2.67	2.85	3.04	3.23	3.44	3.65	3.87	4.10	4.34	4.59	4.85	5.13	
	V (m^3)	430.38	583.50	736.63	889.75	1044.63	1198.63	1354.38	1510.13	1667.63	1825.13	1984.38	2144.50	2306.38	2469.13	2633.63	2799.88	2967.88	3137.63	3309.13	3483.25	3660.00	3838.50	4020.50	4205.13	4392.38	4583.13	4777.38	4975.13	5176.38	
8	VI (m)	0.29	0.43	0.58	0.74	0.89	1.05	1.22	1.38	1.56	1.73	1.91	2.10	2.29	2.49	2.69	2.90	3.12	3.35	3.58	3.82	4.08	4.34	4.61	4.89	5.19	5.50	5.83	6.17	6.53	
	D (m)	8.19	8.27	8.34	8.42	8.50	8.58	8.66	8.74	8.83	8.92	9.01	9.10	9.20	9.30	9.40	9.50	9.61	9.72	9.84	9.96	10.09	10.22	10.36	10.50	10.65	10.80	10.97	11.14	11.32	
	A (m^2)	0.39	0.54	0.69	0.84	1.00	1.16	1.32	1.49	1.67	1.84	2.03	2.21	2.41	2.61	2.81	3.02	3.24	3.47	3.70	3.95	4.20	4.46	4.74	5.03	5.33	5.64	5.97	6.31	6.67	
	V (m^3)	474.00	649.00	824.00	999.00	1176.00	1352.00	1530.00	1708.00	1888.00	2068.00	2250.00	2433.00	2618.00	2804.00	2992.00	3182.00	3374.00	3568.00	3764.00	3963.00	4165.00	4369.00	4577.00	4788.00	5002.00	5220.00	5442.00	5668.00	5898.00	
10	VI (m)	0.36	0.54	0.73	0.92	1.11	1.31	1.52	1.73	1.94	2.16	2.39	2.62	2.86	3.11	3.36	3.63	3.90	4.18	4.47	4.77	5.09	5.41	5.76	6.11	6.48	6.87	7.28	7.71	8.16	
	D (m)	10.23	10.32	10.41	10.51	10.61	10.71	10.81	10.91	11.02	11.13	11.24	11.36	11.48	11.60	11.73	11.86	12.00	12.14	12.29	12.44	12.59	12.76	12.93	13.11	13.29	13.49	13.69	13.90	14.13	
	A (m^2)	0.57	0.80	1.04	1.28	1.53	1.78	2.03	2.30	2.57	2.84	3.13	3.42	3.72	4.03	4.35	4.68	5.02	5.38	5.74	6.12	6.52	6.93	7.36	7.80	8.27	8.76	9.27	9.81	10.37	
	V (m^3)	561.25	780.00	998.75	1217.50	1438.75	1658.75	1881.25	2103.75	2328.75	2553.75	2781.25	3010.00	3241.25	3473.75	3708.75	3946.25	4186.25	4428.75	4673.75	4922.50	5175.00	5430.00	5690.00	5953.75	6221.25	6493.75	6771.25	7053.75	7341.25	

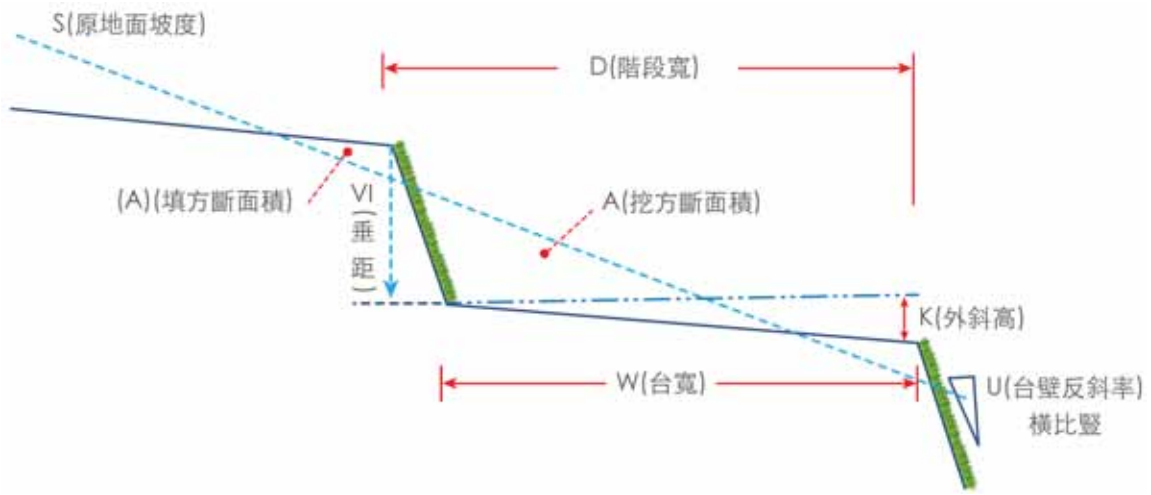


圖 附 4-2-3 外斜式平台階段(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

$$VI=\frac{W\cdot S-k\cdot S\cdot U}{100-S\cdot U}\ ；D=W+(VI-k)\times U\ ；A=\frac{W\cdot VI-D\cdot k}{8}\ ；V=A\times\frac{100^2}{D}$$

式中：VI：垂距(m)；W：台寬(m)；S：原地面坡度(%)；U：台壁反斜率；D：階段寬(m)；A：斷面積(m^2)；V：土方(m^3)；k：內斜高(m)；

表 附 4-2-3 外斜式平台階段土方表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

W(m)	θ(°) / s(%)		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	備註
			12.28	14.05	15.83	17.63	19.43	21.25	23.08	24.93	26.79	28.67	30.57	32.49	34.43	36.39	38.38	40.40	42.44	44.52	46.63	48.77	50.95	53.17	55.43	57.73	
1	VI	(m)	0.124	0.144	0.163	0.184	0.204	0.226	0.248	0.271	0.294	0.318	0.343	0.369	0.395	0.423	0.451	0.481	0.512	0.544	0.578	0.613	0.649	0.688	0.728	0.771	
	D	(m)	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.15	1.16	1.18	1.19	1.21	1.22	1.24	1.26	1.27	1.29	1.31	1.34	
	A	(m^2)	0.003	0.005	0.008	0.010	0.012	0.015	0.018	0.020	0.023	0.026	0.029	0.032	0.035	0.038	0.042	0.045	0.049	0.053	0.057	0.061	0.065	0.070	0.075	0.080	
	V	(m^3)	28.5	50.6	72.9	95.4	117.9	140.6	163.5	186.6	209.9	233.4	257.1	281.1	305.4	329.9	354.8	380.0	405.5	431.5	457.9	484.6	511.9	539.6	567.9	596.6	
1.5	VI	(m)	0.190	0.219	0.249	0.280	0.312	0.345	0.378	0.413	0.449	0.485	0.523	0.562	0.603	0.645	0.689	0.734	0.781	0.830	0.882	0.935	0.991	1.050	1.112	1.177	
	D	(m)	1.54	1.56	1.57	1.59	1.61	1.62	1.64	1.66	1.67	1.69	1.71	1.73	1.75	1.77	1.79	1.82	1.84	1.87	1.89	1.92	1.95	1.98	2.01	2.04	
	A	(m^2)	0.016	0.022	0.027	0.033	0.038	0.044	0.050	0.057	0.063	0.070	0.077	0.084	0.091	0.099	0.107	0.115	0.123	0.132	0.142	0.151	0.162	0.172	0.183	0.195	
	V	(m^3)	105.2	138.4	171.8	205.6	239.3	273.4	307.8	342.4	377.3	412.6	448.2	484.2	520.6	557.3	594.6	632.5	670.8	709.8	749.3	789.4	830.3	871.9	914.3	957.4	
2	VI	(m)	0.255	0.295	0.335	0.377	0.420	0.464	0.509	0.555	0.603	0.653	0.704	0.756	0.811	0.867	0.926	0.987	1.050	1.117	1.186	1.258	1.333	1.412	1.495	1.583	
	D	(m)	2.08	2.10	2.12	2.14	2.16	2.18	2.20	2.23	2.25	2.28	2.30	2.33	2.36	2.38	2.41	2.44	2.48	2.51	2.54	2.58	2.62	2.66	2.70	2.74	
	A	(m^2)	0.038	0.047	0.057	0.068	0.078	0.089	0.100	0.111	0.123	0.135	0.147	0.160	0.173	0.187	0.201	0.216	0.232	0.248	0.265	0.282	0.301	0.320	0.340	0.361	
	V	(m^3)	182.0	226.3	270.8	315.8	360.8	406.3	452.0	498.3	544.8	591.8	639.3	687.3	735.8	784.8	834.5	885.0	936.0	988.0	1040.8	1094.3	1148.8	1204.3	1260.8	1318.3	
2.5	VI	(m)	0.320	0.370	0.421	0.474	0.527	0.583	0.639	0.698	0.758	0.820	0.884	0.950	1.019	1.090	1.164	1.240	1.320	1.403	1.490	1.580	1.675	1.774	1.879	1.988	
	D	(m)	2.61	2.64	2.66	2.69	2.71	2.74	2.77	2.80	2.83	2.86	2.89	2.93	2.96	2.99	3.03	3.07	3.11	3.15	3.19	3.24	3.29	3.34	3.39	3.44	
	A	(m^2)	0.068	0.083	0.098	0.114	0.131	0.148	0.165	0.183	0.201	0.220	0.240	0.260	0.281	0.303	0.326	0.349	0.374	0.399	0.426	0.453	0.482	0.513	0.545	0.578	
	V	(m^3)	258.7	314.1	369.7	425.9	482.2	539.1	596.3	654.1	712.2	770.9	830.3	890.3	950.9	1012.2	1074.4	1137.5	1201.3	1266.3	1332.2	1399.1	1467.2	1536.6	1607.2	1679.1	
3	VI	(m)	0.386	0.446	0.507	0.570	0.635	0.701	0.770	0.840	0.913	0.987	1.065	1.144	1.227	1.312	1.401	1.493	1.589	1.689	1.794	1.903	2.017	2.137	2.262	2.394	
	D	(m)	3.14	3.17	3.20	3.24	3.27	3.30	3.33	3.37	3.41	3.44	3.48	3.52	3.56	3.61	3.65	3.70	3.74	3.79	3.85	3.90	3.96	4.02	4.08	4.15	
	A	(m^2)	0.105	0.128	0.150	0.173	0.197	0.222	0.247	0.273	0.300	0.327	0.356	0.385	0.416	0.447	0.480	0.514	0.549	0.586	0.625	0.665	0.707	0.751	0.797	0.846	
	V	(m^3)	335.4	401.9	468.6	536.1	603.6	671.9	740.5	809.9	879.6	950.1	1021.4	1093.4	1166.1	1239.6	1314.3	1390.0	1466.5	1544.5	1623.6	1703.9	1785.6	1868.9	1953.6	2039.9	
4	VI	(m)	0.517	0.597	0.679	0.764	0.850	0.939	1.031	1.125	1.222	1.322	1.425	1.532	1.643	1.757	1.876	2.000	2.128	2.262	2.402	2.548	2.700	2.861	3.029	3.206	
	D	(m)	4.21	4.25	4.29	4.33	4.38	4.42	4.47	4.51	4.56	4.61	4.66	4.72	4.77	4.83	4.89	4.95	5.01	5.08	5.15	5.22	5.30	5.38	5.46	5.55	
	A	(m^2)	0.206	0.245	0.286	0.328	0.370	0.414	0.459	0.506	0.554	0.603	0.654	0.707	0.762	0.818	0.877	0.938	1.001	1.068	1.137	1.209	1.284	1.363	1.446	1.533	
	V	(m^3)	488.9	577.5	666.5	756.5	846.5	937.5	1029.0	1121.5	1214.5	1308.5	1403.5	1499.5	1596.5	1694.5	1794.0	1895.0	1997.0	2101.0	2206.5	2313.5	2422.5	2533.5	2646.5	2761.5	
5	VI	(m)	0.648	0.748	0.851	0.957	1.065	1.177	1.291	1.410	1.531	1.657	1.786	1.920	2.059	2.202	2.351	2.506	2.667	2.835	3.010	3.193	3.384	3.585	3.796	4.017	
	D	(m)	5.27	5.32	5.38	5.43	5.48	5.54	5.60	5.65	5.72	5.78	5.84	5.91	5.98	6.05	6.13	6.20	6.28	6.37	6.45	6.55	6.64	6.74	6.85	6.96	
	A	(m^2)	0.339	0.401	0.465	0.530	0.597	0.666	0.737	0.810	0.886	0.963	1.043	1.126	1.212	1.301	1.393	1.489	1.588	1.692	1.801	1.914	2.032	2.156	2.287	2.424	
	V	(m^3)	642.4	753.1	864.4	976.9	1089.4	1203.1	1317.5	1433.1	1549.4	1666.9	1785.6	1905.6	2026.9	2149.4	2273.8	2400.0	2527.5	2657.5	2789.4	2923.1	3059.4	3198.1	3339.4	3483.1	
6	VI	(m)	0.778	0.899	1.023	1.150	1.280	1.415	1.552	1.695	1.841	1.991	2.147	2.308	2.475	2.647	2.826	3.012	3.205	3.407	3.618	3.838	4.068	4.309	4.563	4.829	
	D	(m)	6.34	6.40	6.46	6.53	6.59	6.66	6.73	6.80	6.87	6.95	7.02	7.10	7.19	7.27	7.36	7.46	7.55	7.65	7.76	7.87	7.98	8.10	8.23	8.36	
	A	(m^2)	0.505	0.594	0.686	0.781	0.878	0.978	1.080	1.186	1.295	1.407	1.523	1.642	1.766	1.894	2.027	2.166	2.310	2.460	2.617	2.780	2.951	3.131	3.319	3.517	
	V	(m^3)	795.9	928.8	1062.3	1197.3	1332.3	1468.8	1606.0	1744.8	1884.3	2025.3	2167.8	2311.8	2457.3	2604.3	2753.5	2905.0	3058.0	3214.0	3372.3	3532.8	3696.3	3862.8	4032.3	4204.8	
7	VI	(m)	0.909	1.050	1.195	1.344	1.496	1.652	1.813	1.979	2.150	2.326	2.508	2.696	2.890	3.092	3.301	3.519	3.744	3.980	4.226	4.483	4.751	5.033	5.329	5.640	
	D	(m)	7.40	7.48	7.55	7.62	7.70	7.78	7.86	7.94	8.02	8.11	8.20	8.30	8.40	8.50	8.60	8.71	8.82	8.94	9.06	9.19	9.33	9.47	9.61	9.77	
	A	(m^2)	0.703	0.826	0.951	1.080	1.213	1.349	1.488	1.633	1.781	1.934	2.092	2.255	2.424	2.599	2.781	2.970	3.166	3.371	3.585	3.807	4.041	4.286	4.543	4.813	
	V	(m^3)	949.4	1104.4	1260.1	1417.6	1575.1	1734.4	1894.5	2056.4	2219.1	2383.6	2549.9	2717.9	2887.6	3059.1	3233.3	3410.0	3588.5	3770.5	3955.1	4142.4	4333.1	4527.4	4725.1	4926.4	
8	VI	(m)	1.040	1.201	1.367	1.537	1.711	1.890	2.074	2.264	2.459	2.661	2.869	3.084	3.306	3.536	3.776	4.025	4.283	4.553	4.834	5.128	5.435	5.758	6.096	6.452	
	D	(m)	8.47	8.55	8.63	8.72	8.81	8.90	8.99	9.08	9.18	9.28	9.38	9.49	9.60	9.72	9.84	9.96	10.09	10.23	10.37	10.51	10.67	10.83	11.00	11.18	
	A	(m^2)	0.934	1.094	1.259	1.428	1.601	1.779	1.962	2.151	2.344	2.545	2.752	2.965	3.186	3.415	3.653	3.900	4.157	4.425	4.705	4.996	5.302	5.622	5.959	6.312	
	V	(m^3)	1102.8	1280.0	1458.0	1638.0	1818.0	2000.0	2183.0	2368.0	2554.0	2742.0	2932.0	3124.0	3318.0	3514.0	3713.0	3915.0	4119.0	4327.0	4538.0	4752.0	4970.0	5192.0	5418.0	5648.0	
10	VI	(m)	1.302	1.504	1.710	1.924	2.141	2.366	2.596	2.834	3.078	3.330	3.591	3.860	4.138	4.426	4.726	5.037	5.360	5.698	6.050	6.418	6.802	7.206	7.630	8.075	
	D	(m)	10.60	10.70	10.81	10.91	11.02	11.13	11.25	11.37	11.49	11.62	11.75	11.88	12.02	12.16	12.31	12.47	12.63	12.80	12.98	13.16	13.35	13.55	13.76	13.99	
	A	(m^2)	1.495	1.746	2.003	2.268	2.539	2.818	3.104	3.400	3.704	4.017	4.341	4.676	5.022	5.381	5.753	6.141	6.542	6.963	7.401	7.857	8.336	8.838	9.365	9.919	
	V	(m^3)	1409.8	1631.3	1853.8	2078.8	2303.8	2531.3	2760.0	2991.3	3223.8	3458.8	3696.3	3936.3	4178.8	4423.8	4672.5	4925.0	5180.0	5440.0	5703.8	5971.3	6243.8	6521.3	6803.8	7091.3	
12	VI	(m)	1.563	1.806	2.054	2.310	2.572	2.841	3.118	3.403	3.697	3.999	4.312	4.636	4.970	5.316	5.676	6.050	6.438	6.844	7.266	7.707	8.170	8.655	9.164	9.698	
	D	(m)	12.73	12.85	12.98	13.11	13.24	13.37	13.51	13.65	13.80	13.95	14.11	14.27	14.43	14.61	14.79	14.97	15.17	15.37	15.58	15.80	16.03	16.28	16.53	16.80	
	A	(m^2)	2.186	2.548	2.919	3.302	3.692	4.095	4.508	4.934	5.372	5.825	6.292	6.775	7.275	7.791	8.328	8.888	9.467	10.073	10.705	11.364	12.054	12.779	13.539	14.337	
	V	(m^3)	1716.8	1982.5	2249.5	2519.5	2789.5	3062.5	3337.0	3614.5	3893.5	4175.5	4460.5	4748.5	5039.5	5333.5	5632.0	5935.0	6241.0	6553.0	6869.5	7190.5	7517.5	7850.5	8189.5	8534.5	
15	VI	(m)	1.956	2.259	2.570	2.890	3.217	3.555	3.901	4.258	4.625	5.003	5.395	5.799	6.218	6.650	7.100	7.569	8.054	8.562	9.091	9.642	10.221	10.827	11.464	12.133	
	D	(m)	15.93	16.08	16.24	16.40	16.56	16.73	16.90	17.08	17.26	17.45	17.65	17.85	18.06	18.28	18.50	18.73	18.98	19.23	19.50	19.77	20.06	20.36	20.68	21.02	
	A	(m^2)	22.91	22.99	23.07	23.15	23.23	23.31	23.40	23.49	23.58	23.68	23.77	23.87	23.98	24.09	24.20	24.32	24.44	24.57	24.70	24.84	24.98	25.13	25.29	25.46	
	V	(m^3)	14386.1	14297.5	14208.5	14118.5	14028.5	13937.5	13846.0	13753.5	13660.5	13566.5	13471.5	13375.5	13278.5	13180.5	13081.0	12980.0	12878.0	12774.0	12668.5	12561.5	12452.5	12341.5	12228.5	12113.5	

附錄三、坡面農地逕流量估計

為使一般民眾能在山坡地宜農牧地從事農業耕作前，可簡易了解暴雨下之坡面農地逕流量，以初步了解可施作農地排水等相關水土保持處理與維護，同時可提供民眾認知應提送水土保持主管機關之水土保持書件審查或報備參考。本手冊考量農地栽培作業方式，沿用水土保持手冊(1992、2005)針對山坡地土地可利用限度分類標準之宜農牧地四級坡以內，依坡面坡度漸增以決定其漫地流流速約為 0.3~0.6 $m \cdot s^{-1}$，再將漫地流流速與其農地面積(即集水面積)進行乘積，則可估算出漫地流流速約為 1$m \cdot s^{-1}$ 以下，除符合堅壤土及粘質壤土表面之安全容許流速，亦能符合重現期距 10 年之降雨強度下之坡地逕流量估計。依臺灣全境共區分 10 區，表列如後：

表 附 4-3-1 臺灣地區坡地逕流量估計(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

基隆區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.100	0.100	0.100	0.100	0.101	0.101	0.102	0.102	0.102	0.102
0.4	0.133	0.133	0.134	0.134	0.135	0.135	0.136	0.136	0.136	0.136
0.5	0.166	0.166	0.167	0.167	0.168	0.169	0.169	0.170	0.170	0.170
0.6	0.199	0.199	0.201	0.201	0.202	0.203	0.203	0.204	0.204	0.204
0.7	0.233	0.233	0.234	0.234	0.235	0.236	0.237	0.238	0.238	0.238
0.8	0.266	0.266	0.268	0.268	0.269	0.270	0.271	0.272	0.273	0.273
0.9	0.299	0.299	0.301	0.301	0.303	0.304	0.305	0.306	0.307	0.307
1.0	0.332	0.332	0.335	0.335	0.336	0.338	0.339	0.340	0.341	0.341
2.0	0.664	0.664	0.669	0.669	0.673	0.676	0.678	0.680	0.681	0.681
3.0	0.997	0.997	1.004	1.004	1.009	1.013	1.017	1.020	1.022	1.022
4.0	1.329	1.329	1.338	1.338	1.345	1.351	1.356	1.360	1.363	1.363
5.0	1.661	1.661	1.673	1.673	1.682	1.689	1.695	1.700	1.704	1.704

臺北區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.094	0.094	0.095	0.095	0.095	0.096	0.096	0.096	0.097	0.097
0.4	0.125	0.125	0.126	0.126	0.127	0.128	0.128	0.129	0.129	0.129
0.5	0.157	0.157	0.158	0.158	0.159	0.160	0.160	0.161	0.161	0.161
0.6	0.188	0.188	0.189	0.189	0.191	0.191	0.192	0.193	0.193	0.193
0.7	0.219	0.219	0.221	0.221	0.222	0.223	0.224	0.225	0.226	0.226
0.8	0.251	0.251	0.253	0.253	0.254	0.255	0.256	0.257	0.258	0.258
0.9	0.282	0.282	0.284	0.284	0.286	0.287	0.288	0.289	0.290	0.290
1.0	0.313	0.313	0.316	0.316	0.318	0.319	0.320	0.321	0.322	0.322
2.0	0.627	0.627	0.631	0.631	0.635	0.638	0.641	0.643	0.644	0.644
3.0	0.940	0.940	0.947	0.947	0.953	0.957	0.961	0.964	0.967	0.967
4.0	1.253	1.253	1.263	1.263	1.271	1.277	1.281	1.285	1.289	1.289
5.0	1.566	1.566	1.579	1.579	1.588	1.596	1.602	1.607	1.611	1.611

新竹區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.090	0.090	0.091	0.091	0.091	0.092	0.092	0.092	0.093	0.093
0.4	0.120	0.120	0.121	0.121	0.122	0.122	0.123	0.123	0.124	0.124
0.5	0.150	0.150	0.151	0.151	0.152	0.153	0.153	0.154	0.154	0.154
0.6	0.180	0.180	0.181	0.181	0.182	0.183	0.184	0.185	0.185	0.185
0.7	0.210	0.210	0.211	0.211	0.213	0.214	0.215	0.216	0.216	0.216
0.8	0.240	0.240	0.242	0.242	0.243	0.244	0.246	0.246	0.247	0.247
0.9	0.269	0.269	0.272	0.272	0.274	0.275	0.276	0.277	0.278	0.278
1.0	0.299	0.299	0.302	0.302	0.304	0.306	0.307	0.308	0.309	0.309
2.0	0.599	0.599	0.604	0.604	0.608	0.611	0.614	0.616	0.618	0.618
3.0	0.898	0.898	0.906	0.906	0.912	0.917	0.921	0.924	0.926	0.926
4.0	1.198	1.198	1.208	1.208	1.216	1.222	1.228	1.232	1.235	1.235
5.0	1.497	1.497	1.510	1.510	1.520	1.528	1.534	1.540	1.544	1.544

臺中區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.092	0.092	0.092	0.092	0.093	0.093	0.094	0.094	0.094	0.094
0.4	0.122	0.122	0.123	0.123	0.124	0.125	0.125	0.126	0.126	0.126
0.5	0.153	0.153	0.154	0.154	0.155	0.156	0.156	0.157	0.157	0.157
0.6	0.183	0.183	0.185	0.185	0.186	0.187	0.188	0.188	0.189	0.189
0.7	0.214	0.214	0.216	0.216	0.217	0.218	0.219	0.220	0.220	0.220
0.8	0.244	0.244	0.246	0.246	0.248	0.249	0.250	0.251	0.252	0.252
0.9	0.275	0.275	0.277	0.277	0.279	0.280	0.282	0.282	0.283	0.283
1.0	0.305	0.305	0.308	0.308	0.310	0.312	0.313	0.314	0.315	0.315
2.0	0.611	0.611	0.616	0.616	0.620	0.623	0.626	0.628	0.629	0.629
3.0	0.916	0.916	0.924	0.924	0.930	0.935	0.938	0.941	0.944	0.944
4.0	1.222	1.222	1.232	1.232	1.240	1.246	1.251	1.255	1.259	1.259
5.0	1.527	1.527	1.540	1.540	1.550	1.558	1.564	1.569	1.573	1.573

臺南區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.090	0.090	0.091	0.091	0.092	0.092	0.092	0.093	0.093	0.093
0.4	0.120	0.120	0.121	0.121	0.122	0.123	0.123	0.124	0.124	0.124
0.5	0.150	0.150	0.152	0.152	0.153	0.153	0.154	0.155	0.155	0.155
0.6	0.180	0.180	0.182	0.182	0.183	0.184	0.185	0.186	0.186	0.186
0.7	0.211	0.211	0.212	0.212	0.214	0.215	0.216	0.216	0.217	0.217
0.8	0.241	0.241	0.243	0.243	0.244	0.246	0.247	0.247	0.248	0.248
0.9	0.271	0.271	0.273	0.273	0.275	0.276	0.277	0.278	0.279	0.279
1.0	0.301	0.301	0.303	0.303	0.305	0.307	0.308	0.309	0.310	0.310
2.0	0.601	0.601	0.607	0.607	0.611	0.614	0.616	0.618	0.620	0.620
3.0	0.902	0.902	0.910	0.910	0.916	0.921	0.924	0.928	0.930	0.930
4.0	1.203	1.203	1.213	1.213	1.221	1.228	1.233	1.237	1.240	1.240
5.0	1.504	1.504	1.517	1.517	1.527	1.534	1.541	1.546	1.550	1.550

高雄區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.094	0.094	0.095	0.095	0.096	0.096	0.097	0.097	0.097	0.097
0.4	0.126	0.126	0.127	0.127	0.128	0.128	0.129	0.129	0.130	0.130
0.5	0.157	0.157	0.159	0.159	0.160	0.160	0.161	0.161	0.162	0.162
0.6	0.189	0.189	0.190	0.190	0.192	0.192	0.193	0.194	0.194	0.194
0.7	0.220	0.220	0.222	0.222	0.223	0.225	0.225	0.226	0.227	0.227
0.8	0.252	0.252	0.254	0.254	0.255	0.257	0.258	0.258	0.259	0.259
0.9	0.283	0.283	0.286	0.286	0.287	0.289	0.290	0.291	0.291	0.291
1.0	0.315	0.315	0.317	0.317	0.319	0.321	0.322	0.323	0.324	0.324
2.0	0.630	0.630	0.635	0.635	0.639	0.641	0.644	0.646	0.648	0.648
3.0	0.945	0.945	0.952	0.952	0.958	0.962	0.966	0.969	0.971	0.971
4.0	1.260	1.260	1.269	1.269	1.277	1.283	1.288	1.292	1.295	1.295
5.0	1.574	1.574	1.587	1.587	1.596	1.604	1.610	1.615	1.619	1.619

恆春區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.092	0.092	0.092	0.092	0.093	0.093	0.094	0.094	0.094	0.094
0.4	0.122	0.122	0.123	0.123	0.124	0.125	0.125	0.126	0.126	0.126
0.5	0.153	0.153	0.154	0.154	0.155	0.156	0.156	0.157	0.157	0.157
0.6	0.183	0.183	0.185	0.185	0.186	0.187	0.188	0.188	0.189	0.189
0.7	0.214	0.214	0.216	0.216	0.217	0.218	0.219	0.220	0.220	0.220
0.8	0.244	0.244	0.246	0.246	0.248	0.249	0.250	0.251	0.252	0.252
0.9	0.275	0.275	0.277	0.277	0.279	0.280	0.282	0.282	0.283	0.283
1.0	0.305	0.305	0.308	0.308	0.310	0.312	0.313	0.314	0.315	0.315
2.0	0.611	0.611	0.616	0.616	0.620	0.623	0.626	0.628	0.629	0.629
3.0	0.916	0.916	0.924	0.924	0.930	0.935	0.938	0.941	0.944	0.944
4.0	1.222	1.222	1.232	1.232	1.240	1.246	1.251	1.255	1.259	1.259
5.0	1.527	1.527	1.540	1.540	1.550	1.558	1.564	1.569	1.573	1.573

臺東區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.093	0.093	0.094	0.094	0.094	0.095	0.095	0.095	0.096	0.096
0.4	0.124	0.124	0.125	0.125	0.126	0.126	0.127	0.127	0.127	0.127
0.5	0.155	0.155	0.156	0.156	0.157	0.158	0.158	0.159	0.159	0.159
0.6	0.186	0.186	0.187	0.187	0.188	0.189	0.190	0.191	0.191	0.191
0.7	0.217	0.217	0.219	0.219	0.220	0.221	0.222	0.222	0.223	0.223
0.8	0.248	0.248	0.250	0.250	0.251	0.252	0.253	0.254	0.255	0.255
0.9	0.279	0.279	0.281	0.281	0.283	0.284	0.285	0.286	0.287	0.287
1.0	0.310	0.310	0.312	0.312	0.314	0.316	0.317	0.318	0.319	0.319
2.0	0.619	0.619	0.624	0.624	0.628	0.631	0.634	0.636	0.637	0.637
3.0	0.929	0.929	0.936	0.936	0.942	0.947	0.950	0.954	0.956	0.956
4.0	1.239	1.239	1.249	1.249	1.256	1.262	1.267	1.271	1.275	1.275
5.0	1.548	1.548	1.561	1.561	1.570	1.578	1.584	1.589	1.593	1.593

花蓮區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.092	0.092	0.093	0.093	0.094	0.094	0.094	0.095	0.095	0.095
0.4	0.123	0.123	0.124	0.124	0.125	0.125	0.126	0.126	0.127	0.127
0.5	0.154	0.154	0.155	0.155	0.156	0.157	0.157	0.158	0.158	0.158
0.6	0.185	0.185	0.186	0.186	0.187	0.188	0.189	0.190	0.190	0.190
0.7	0.215	0.215	0.217	0.217	0.218	0.220	0.220	0.221	0.222	0.222
0.8	0.246	0.246	0.248	0.248	0.250	0.251	0.252	0.253	0.253	0.253
0.9	0.277	0.277	0.279	0.279	0.281	0.282	0.283	0.284	0.285	0.285
1.0	0.308	0.308	0.310	0.310	0.312	0.314	0.315	0.316	0.317	0.317
2.0	0.615	0.615	0.620	0.620	0.624	0.627	0.630	0.632	0.634	0.634
3.0	0.923	0.923	0.931	0.931	0.936	0.941	0.945	0.948	0.950	0.950
4.0	1.231	1.231	1.241	1.241	1.248	1.255	1.260	1.264	1.267	1.267
5.0	1.538	1.538	1.551	1.551	1.561	1.568	1.574	1.580	1.584	1.584

宜蘭區(單位：m^3/s)

地面坡度(%) / 集水面積(ha)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.094	0.094	0.095	0.095	0.096	0.096	0.097	0.097	0.097	0.097
0.4	0.126	0.126	0.127	0.127	0.128	0.128	0.129	0.129	0.130	0.130
0.5	0.157	0.157	0.159	0.159	0.160	0.160	0.161	0.161	0.162	0.162
0.6	0.189	0.189	0.190	0.190	0.192	0.192	0.193	0.194	0.194	0.194
0.7	0.220	0.220	0.222	0.222	0.223	0.225	0.225	0.226	0.227	0.227
0.8	0.252	0.252	0.254	0.254	0.255	0.257	0.258	0.258	0.259	0.259
0.9	0.283	0.283	0.286	0.286	0.287	0.289	0.290	0.291	0.291	0.291
1.0	0.315	0.315	0.317	0.317	0.319	0.321	0.322	0.323	0.324	0.324
2.0	0.630	0.630	0.635	0.635	0.639	0.641	0.644	0.646	0.648	0.648
3.0	0.945	0.945	0.952	0.952	0.958	0.962	0.966	0.969	0.971	0.971
4.0	1.260	1.260	1.269	1.269	1.277	1.283	1.288	1.292	1.295	1.295
5.0	1.574	1.574	1.587	1.587	1.596	1.604	1.610	1.615	1.619	1.619

植生篇

壹、通論

1.1 適用範圍與內涵(Application scope and subject) 植-1-1

1.2 植生之保育功能(Conservation functions of vegetation) 植-1-3

1.3 植生工程基本規劃設計(Design principals of vegetation engineering)... 植-1-10

1.4 基地立地條件與植生對策(Site conditions and corresponding strategies of vegetation engineering) 植-1-14

1.5 植生演替系列與植生復育(Plant succession and revegetation)..... 植-1-20

貳、植生工程材料之特性與應用

2.1 種子材料(Seeds) 植-2-1

2.2 苗木材料(Seedlings) 植-2-7

2.3 一般木樁材料(Natural Wooden Stakes)..... 植-2-11

2.4 植生木樁材料(Living stakes) 植-2-14

2.5 植生被覆材料(Ground covering materials)..... 植-2-16

2.6 植生之纖維材料(Fibrous materials) 植-2-20

2.7 客土材料(Guest soils)..... 植-2-23

2.8 其他植生應用材料(Other materials)..... 植-2-26

參、植生調查

3.1 植生調查類別(Type of vegetation surveys) 植-3-1

3.2 植物相調查項目與方法(Methods for flora surveys) 植-3-2

3.3 植生定量調查方法(Quantitative surveys for vegetation) 植-3-7

3.4 植生調查分析與應用(Analysis and application of vegetation data) 植-3-12

肆、植生前期作業

4.1 植生前期作業之工作項目(Element of preoperation works for vegetation engineering)..... 植-4-1

4.2 坡面處理(含整地) (Slope treatment (including land grading))..... 植-4-2

4.3 坡面保護工程(含安定設施) (Slope protecting engineering (including slope stabilization structures)) 植-4-6

4.4 坡腳保護工程(含安定設施) (Slope's toe protecting engineering (including slope stabilization structures)) 植-4-23
4.5 坡面排水工程(Slope drainage engineering) 植-4-30

伍、植生導入作業

5.1 植生導入工法之種類(Type of Introducing practices) 植-5-1
5.2 播種工法(Seeding approaches) 植-5-2
5.3 栽植工法(Transplanting approaches) 植-5-9
5.4 植生誘導法(Vegetation induction methods) 植-5-11

陸、植生維護與管理

6.1 播種法與地被植物之維護管理與成果調查(Maintenance and result survey for seeding and ground cover plants) 植-6-1
6.2 栽植工程之維護管理與苗木檢驗(Maintenance of planting works and seedling inspection) 植-6-4
6.3 其他維護管理之問題與對策(Problems and Countermeasures of Other Maintenance Management) 植-6-10

柒、常用植生工法類型

7.1 直播(Direct seeding) 植-7-1
7.2 噴植工法(Hydroseeding) 植-7-3
7.3 植生帶(毯)鋪植(Vegetation blanket) 植-7-7
7.4 草苗栽植(Grass seedling transplanting) 植-7-11
7.5 苗木栽植(Tree seedling transplanting) 植-7-18
7.6 大型苗木斷根作業(Root pruning operations for large saplings) 植-7-24

捌、特殊地植生工程

8.1 特殊地之類型(Types of special areas) 植-8-1
8.2 紅土地區植生方法(Vegetation engineering for red soil areas) 植-8-4
8.3 泥岩地區植生方法(Vegetation engineering for mudstone areas) 植-8-8
8.4 水庫裸露帶植生方法(Vegetation engineering for bare riparian zones of reservoirs) 植-8-13

8.5 採礦區或採石場植生方法(Vegetation engineering for mining areas)....植-8-15
8.6 強酸(鹼)性土壤地區(Vegetation engineering for strong acid (alkali) areas) 植-8-21
8.7 海岸地區植生方法(Vegetation engineering for coastal areas).....植-8-24

玖、其它地區植生方法

9.1 崩塌地植生工程(Vegetation engineering for landslide sites).....植-9-1
9.2 緩衝綠帶(Green buffer strips) 植-9-4
9.3 道路植生(Vegetation for roads).....植-9-8
9.4 景觀生態考量植生方法(Vegetation engineering oriented by landscape ecology) 植-9-11

拾、附錄

附錄一、植生工程常用草本、木本種子材料一覽表 植-10-1
附錄二、臺灣常用植生木椿(萌芽椿)一覽表.....植-10-7
附錄三、常用植生工程植物種類一覽表 植-10-14
附錄四、常用水土保持草類與特性一覽表 植-10-18

壹、通論

1.1 適用範圍與內涵

1.1.1 前言

臺灣之水土保持植生工作，早期散見於坑溝穩定與崩塌地治理工項中，以萌芽樁排釘或打樁埋枝方法進行坡面穩定處理等。及於 1960 年代，初期以農地水土保持植生覆蓋及草生栽培等方法為推動重點，至 1970 年代興建中山高速公路，大量引進國外植生設備、資材與植生施工作業方法，推行道路邊坡穩定植生工程，1983 年後則分別針對紅土、泥岩地區及石灰石礦採礦區等特殊地之植生技術進行試驗探討。1984 年由當時臺灣省政府成立綠化年推行小組，開始推廣道路、校園、工廠及居家環境等環境綠化工作。1999 年九二一大地震後，因應廣大面積及國土綠化復育需求，確立以生態為基礎、安全為導向之生態工程之發展，水土保持植生工作推動國土防災與植生復育工作。近年來因氣候變遷所帶來之災害與影響，水土保持植生工作推動農村綠資源環境調查，鼓勵廣植林木，建設具生態及緩衝功能之綠帶方向進行，植生工作逐漸受到廣泛之重視，植生工程技術亦漸成熟。

1.1.2 適用範圍

本手冊植生篇歸納過去臺灣道路、社區及其他邊坡地區，運用植生之實際經驗或有關邊坡植生研究結果，特別在豪雨、地質不良等易於沖蝕、滑崩之土地，或在道路、坡地開發地區之棄土石地、岩層裸露地等，需進行建立植生復育作業之地點，就主要植生導入作業或與坡面工程處理配合之植生處理方法等，加以編撰，供從事水土保持相關植生工作及坡地植生復育規劃設計者參據。

1.1.3 植生相關定義與內涵

一、植生之定義與內涵：

植生(vegetation)為某一地區生長之所有植物的總和，特別是指地表面所生長之草類、蕨類、灌木及喬木等高等植物(水土保持局，2008)。水土保持領域之植生，較關注於藉由人為導入植生資材或人為輔助植生演替，及加速建立具有坡地防災、環境保育功能性及永續性之植生結構，包括涵養水源、防止地面沖蝕、防止淺層崩塌、減弱洪害、淨化空氣、美化環境等(林信輝，2016)。

二、植生工程之定義與內涵：

植生工程(vegetation engineering)為植生設計目的之工程方法與技術，選取適宜生長之植生材料，配合基礎與保護工程之構築，再進行植生導入施工作業。植生工程包括「植生前期作業(植生基礎工)」、「植生導入作業(植生工法)」及「植生維護與管理」等工作(水土保持局，2008)。藉由植物繁茂生長，以減低雨水與逕流沖蝕，進一步藉其植物根系之作用，增加土壤抗剪強度及坡面安定，以期達到坡面與周邊自然環境調和之效果。

1.1.4 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「水土保持技術用語事典暨雙語名詞彙編」。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

1.2 植生之保育功能

1.2.1 植生之環境調適功能

一、調節微氣候：

植生之結構會影響地面受陽光輻射作用,植物能遮蔽太陽直射光及反射光、減小風速,也會透過蒸散作用,消耗熱能而調節夏天的氣溫,達到調節微氣候,緩和地面之溫差,且森林內外的溫度變化更能促進空氣流動,營造舒適之環境。

二、空氣淨化：

植物行呼吸作用時,能由葉部氣孔吸收部分污染氣體,如碳氫化合物、硫化物、氟化物、及氮化物等聚積葉內,然後經由落葉回歸於土地。具有補氧作用、過濾作用、除臭作用、吸收與吸附作用等淨化空氣之功能。

三、噪音之控制：

植物對噪音具有吸收、反射、折射及偏向等作用,可有效地減除環境中之噪音污染,尤其是緩衝綠帶或開發基地周邊緩衝帶之設置,能有效噪音控制。

四、交通之引導：

應用植生綠帶、綠籬或構築樹林帶等,可有效降低眩光干擾。設計時應避免種植易致眩光植物,提供用路人舒適之交通環境。道路中之行道樹,分隔島之綠帶,亦可減小風速,達到調節微氣候及維護行車安全之效果。

五、水質之淨化：

瀕臨天然河道、溪溝地區、農塘或濕地之植生保護綠帶設置,具安定水岸、淤濾泥沙及過濾汙染物之淨化水質效能,水源水質保護區建構良好的森林林相與植被覆蓋,具有穩定提供優良水質之功能。

六、生物棲息地營造：

多層林冠覆蓋或種歧異度高之植物群落,可提供生物食物來源,供應物質能量循環及營造野生動物之棲息環境,也提供人們休閒或遊憩之場所。

1.2.2 植生之水土保持功能

一、植生對水源涵養之功能：

(一) 樹冠層截留作用

樹冠層(crown caopy)位於樹幹上方，枝端芽能不斷生長之區域，或指著生於樹木上部的枝、葉部分(水土保持局，2008)。樹木樹冠層可截留降雨，減少降雨到達地表面的體積與比率。在森林植被覆蓋良好之地區，約能夠產生一年的降雨量中 30%的截留效果。就一場降雨而言，降雨量較小時，其樹冠截留率可達 100%，在降雨強度較大時，其截留率約為 25%左右(林信輝，2004) 。樹冠截留量或截留率會受樹種、樹齡、鬱閉度、枝幹形態、樹皮粗糙度、葉型態特性等影響。

(二) 地表保護

植生覆蓋可有效的阻止雨滴衝擊地面而產生的分離、流失，地面表層藉由植生的保護，可有效防止表面硬化，增加團粒穩定性與土壤入滲率。

地被植物或樹冠高度較低的樹種，較能減低雨滴衝擊的速度與能量。而較高的樹冠高度，可能使雨滴到地面之速度與能量較大。一般而言，植物覆蓋比率會影響植生抵抗降雨衝擊的程度，植生覆蓋率少於 70%的地區，逕流率及沖蝕量因植生覆蓋減少而快速增加(林信輝，2004)。

(三) 增加入滲作用

植物覆蓋可增加土壤表層水分滲透性與入滲作用，原因包括：

1. 植物之根基突出地面之水平根系與其地上部基幹、枯枝等之存在，可增加地表粗糙度，並可延展雨水在地表滯留時間，增加入滲量。
2. 植物根系腐朽所形成之管狀孔隙或孔洞等，有利土壤保水及土壤水份入滲作用。一般而言，草類根系每年約有 1/2-2/3 之根系腐爛及新根之生長，木本植物則約有 1/5-1/10 之根系斷裂分離及腐爛情形。
3. 表土形成較低的容積密度和較好的團粒結構，可增加土壤保水力。
4. 植物之樹冠層、枯枝落葉層，可延遲降雨落至地表面之時間，可以有效增加入滲量。

(四) 逕流減緩

在同一地區若自然條件相同，逕流大小主要受植生覆蓋狀況影響。植生覆蓋度越高(或鬱閉度)愈高，則逕流率越低(林信輝，2004)，原因包括：

1. 植物樹冠截留雨水，降低林內雨量。
2. 枯枝落葉層及地被植物等具吸收降雨水分之功能。
3. 枯枝落葉層下之土壤，因腐植質增加與團粒結構及腐蝕根群遺留孔隙的作用，有利於逕流水滲入土中。
4. 植物根群可改善深層土壤之性質，增加土壤保水及入滲能力。
5. 受地表植物根株阻礙，流速減低，增加入滲土壤水量，逕流量因而減少。
6. 植被根系呈網狀綜錯交結，減少地表沖蝕與蝕溝之發育。

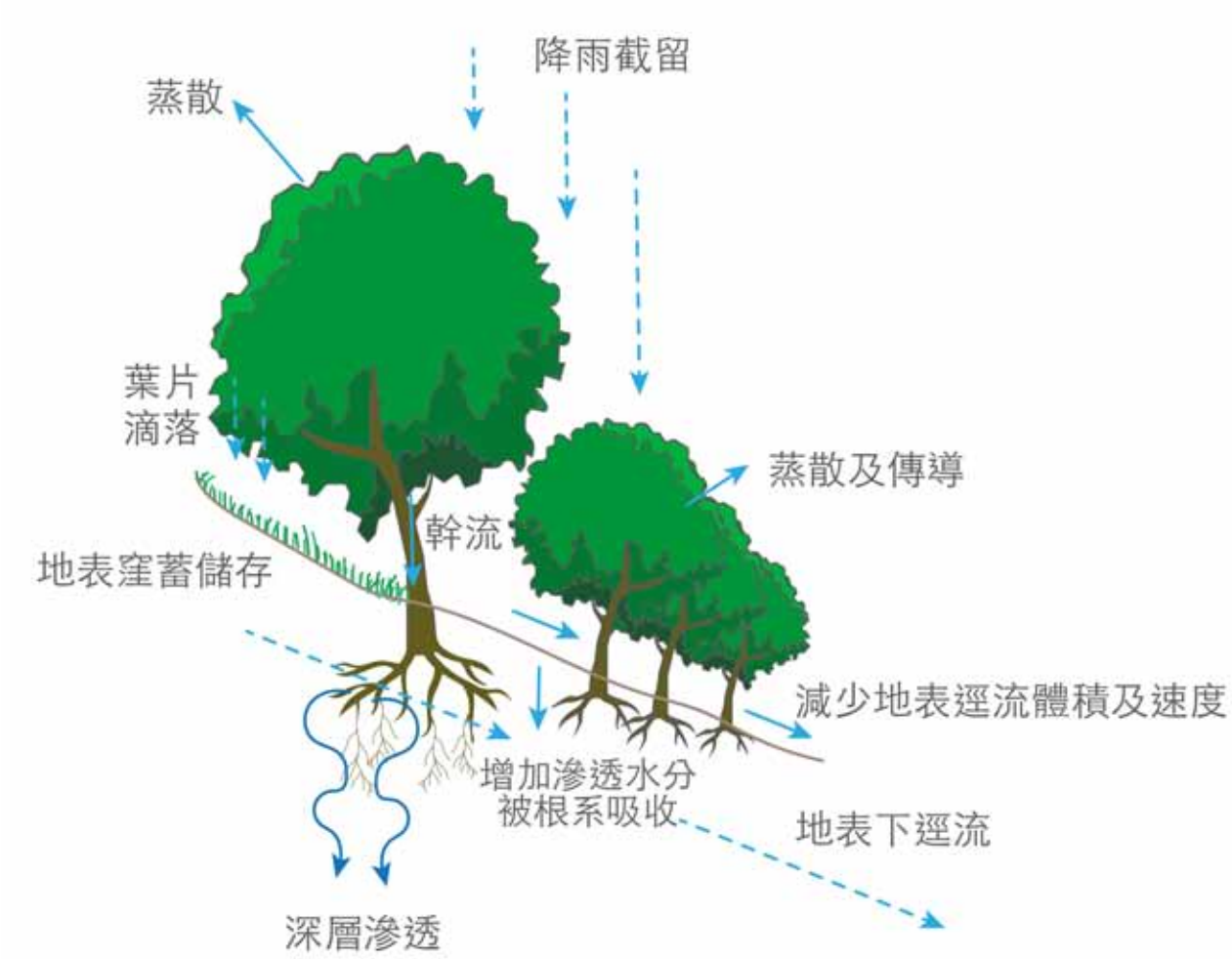


圖 植 1-2-1 植生對逕流與水源涵養影響之示意圖(資料來源：林信輝，2004)

二、植生與邊坡穩定：

(一) 植物對邊坡穩定之影響因素

植生除具有對水文循環之影響及坡面保護功能外，亦會對邊坡穩定性產生效應。植物對邊坡穩定性之影響，包括水文機制效應與力學機制效應兩部分(Coppin and Richards，1990)，如表 植 1-2-1。

表 植 1-2-1 植生對邊坡穩定的影響作用一覽表(資料來源：修改自 Coppin and Richards，1990)

<table>
<tr><th colspan="2">水文機制</th><th>效應</th><th colspan="2">力學機制</th><th>效應</th></tr>
<tr><td rowspan="3">冠層或葉片截留作用</td><td>1.林內雨量減少，土壤入滲量減少。</td><td>+</td><td rowspan="3">土壤根系網結作用</td><td>1.限制土粒移動，減少沖蝕。</td><td>+</td></tr>
<tr><td>2.減少雨滴動量，降低沖蝕量。</td><td>+</td><td>2.根系增加剪力強度。</td><td>+</td></tr>
<tr><td>3.雨滴由葉片再滴下，局部強度變大。</td><td>-</td><td>3.根系形成網狀，網結下方土層。</td><td>+</td></tr>
<tr><td rowspan="3">根基與枯枝葉作用</td><td>1.地表儲蓄水增加，更多入滲。</td><td>-/+</td><td rowspan="2">根系穿透土層作用</td><td>1.錨錠入深層，形成保護層。</td><td>+</td></tr>
<tr><td>2.地面糙度增加，降低流速。</td><td>+</td><td rowspan="2">2.支撐上邊坡形成拱狀(拱壁作用)。</td><td rowspan="2">+</td></tr>
<tr><td>3.不均勻的植生可能造成集中水流速度增加。</td><td>-</td><td rowspan="2">樹木荷重作用</td></tr>
<tr><td rowspan="3">含根土層作用</td><td>1.縫隙增加入滲。</td><td>-</td><td>1.增加邊坡載重，垂直重及滑下的力皆增加。</td><td>-/+</td></tr>
<tr><td>2.吸水產生蒸散，降低孔隙水壓力，增加張力進而增加土壤強度。</td><td>+</td><td rowspan="2">地表植生覆蓋作用</td><td>2.承受風的作用。</td><td>-</td></tr>
<tr><td>3.促進乾濕裂隙的生成，造成較多入滲。</td><td>-</td><td>1.車輛等外力干擾作用之緩衝，保護地表。</td><td>+</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>2.保護地表避免受水流沖蝕。</td><td>+</td></tr>
</table>

備註：1.”-”為有害的效應，即植物之存在，可能有不利於邊坡穩定之情形。
2.”+”為有益的效應，即植物(特別指樹木)之存在有利於邊坡穩定。

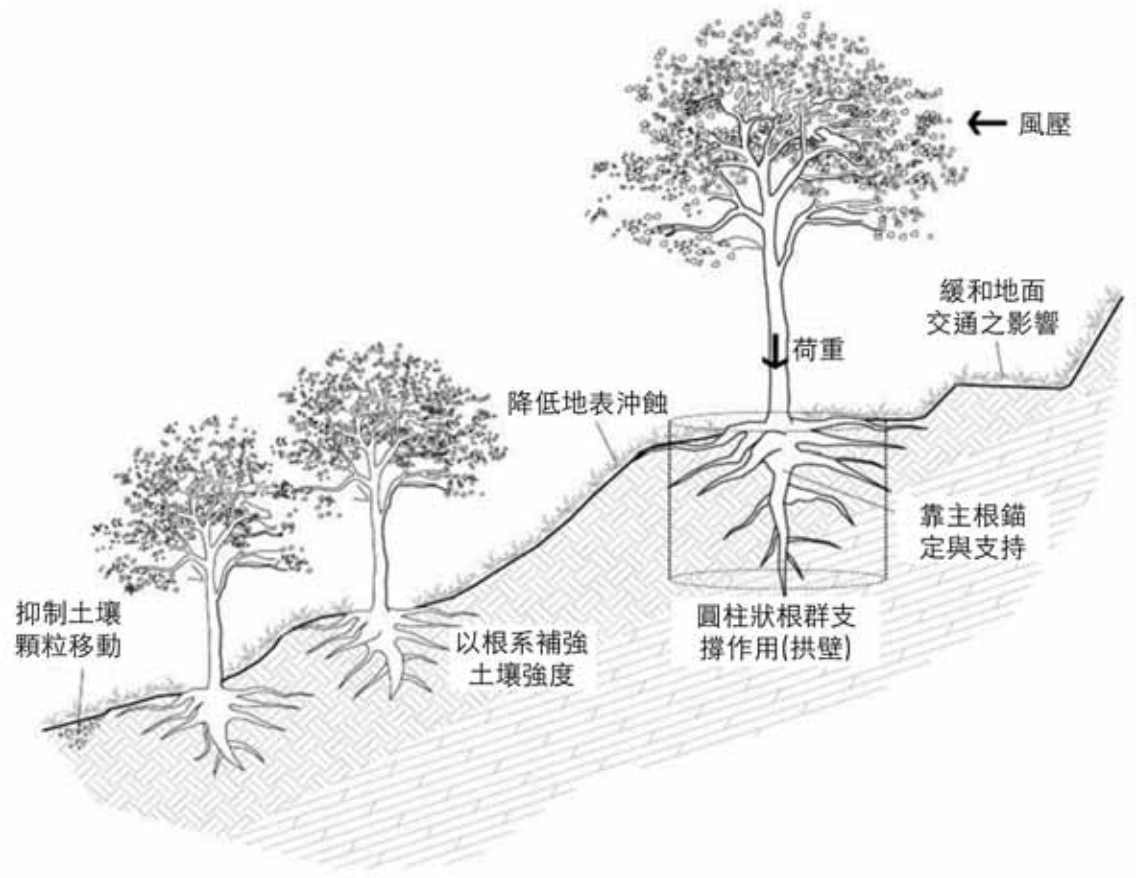


圖 植 1-2-2 植生對邊坡穩定之影響機制示意圖(資料來源：林信輝，2004)

1. 樹木根系對土壤補強效益

(1)土壤根系網結作用：根系之存在對地表風化之碎屑岩層或含有機質之表層土壤具有網狀固結作用。伸入土層的根系可增加土壤之凝聚力，及深入岩層之根系網結作用，具抗拉斷之作用(根段張力強度)，可增加土壤抗剪強度，統稱為土壤根系之根系補強(root reinforcement)作用。

(2)錨錠與拱壁作用：樹種之主根穿透進入土壤深層產生錨錠作用以避免下坡面之運移。樹木主根之根椿如邊坡穩定之作用一樣，可支撐上坡面之土層，防止向下移動。樹木與樹木之間距若太大，未受錨錠支撐之土體部分會崩壞 Gray(1978)，通常在樹木間距較小時，其上方土層會產生拱壁作用，而不至滑落。拱壁作用大小受下列三點所影響：

A.樹木之直徑、間隔距離以及根系向下伸展情形。

B.坡面破碎層傾角與土層深度。

C.土壤之剪力強度。

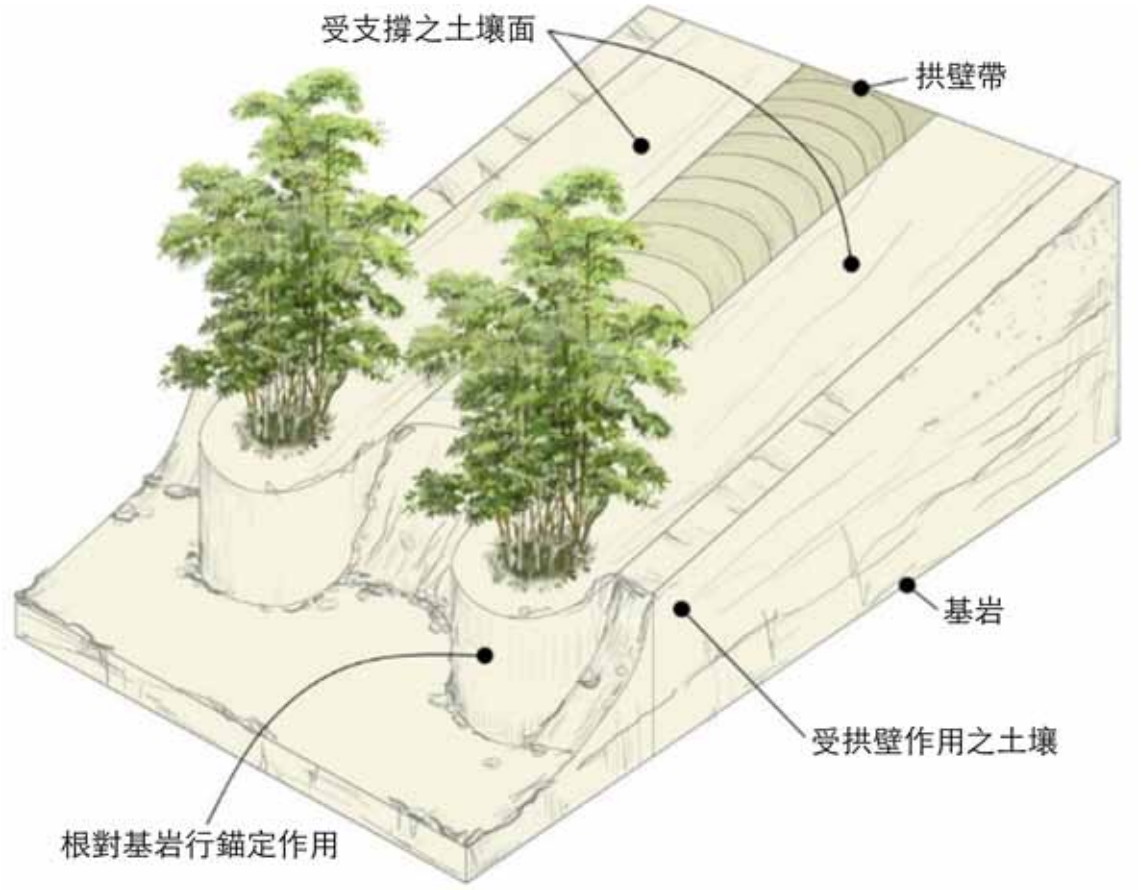


圖 植 1-2-3 樹木對坡面錨錠、支撐及拱壁作用之示意圖(資料來源：林信輝，2004)

(3)樹木荷重作用：由坡面之植生所造成之超載荷重，通常僅大型樹木有此效應，草類或初期生長之樹木，因重量相較甚小，因此常忽略不予考慮，坡面上樹木生長之區位，會左右樹木荷重之影響；另樹木因林齡、病蟲因素、根系發育不良，或地表沖蝕、河川淘刷或邊坡開挖等，亦會增加樹木荷重作用而影響坡面安定。上坡面樹木荷重之水平分力較大時，會減低土體的穩定性，而下坡面之超載荷重之垂直分力較大時，則有助於土體之安定性。自然生長在坡面上的林木，因土層厚薄、土壤肥力、乾濕度或強風作用等因素，有其自我調整根莖比(T/R)、生長型態、高度及其固定生長於坡面之自行調適機能。另考量臨界破壞面時，樹木的重力中心對坡面會產生一個恢復力矩，當大多數之樹木生長於下坡面時，此現象最為顯著，樹木荷重之分量會增加摩擦阻抗，有助於抑制滑動面的破壞。

1.2.3 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「水土保持技術用語事典暨雙語名詞彙編」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

Coppin, N. J. and Richards, I. G. (Edi.).(1990). “Use of Vegetation in Civil Engineering.”. Butterworth-Heinemann.

Gray, G. W. and Deneke, F. J. (1978). “Urban Forestry.” .John Wiley and Sons.

1.3 植生工程基本規劃設計

1.3.1 植生工程規劃之要項

植生工程規劃時，需先確立植生工程預期目標，藉以研訂植生工程計畫。研擬時應以植生前期作業、植生導入作業、植生維護與管理等一併加以考慮。主要工作項目如圖 植 1-3-1，依規劃構想及現地施工的技術面，建立具體而明確的植生施工方法，如屬土砂災害地區或坡面不穩定地區，需配合防砂工程或邊坡穩定工程計畫擬定或施作，以決定植生基礎工與植生導入作業方法。

一、植生前期作業：

指在裸露坡面導入植生前所做的工程保護措施，目的在減低土壤沖蝕、穩定坡面、防止崩塌面積擴大、增強坡面基礎穩定，並營造有利植物發芽、生長、演替之環境條件等。將植物導入坡面時，其前提是基地的坡度與沖蝕控制、土壤基質之物化特性、氣候條件等，必須適合標的植物群落之成長與建立。

二、植生導入作業：

指依坡面條件與植生目的，所使用合適的方法使植物能在基地上繁衍生長之作業方法。植生導入作業方法可概分為播種法、栽植法與植生誘導法。

三、維護管理作業：

指為確保植生工程成效所需採行的措施。



圖 植 1-3-1 植生工程之工作項目示意圖

1.3.2 植生工程設計目標基本類型

植生工程基本設計類型可概分為下列四種，如表 植 1-3-1。

一、水土保持型：

在人為開發、植被破壞地區或自然災害裸露地區的快速植生覆蓋方法，為水土資源保育、減低沖蝕、防止災害等目的，如與水土保持工程配合則成效更佳。

二、園景綠地型：

配合人工構造物，進行植生導入作業，原則上以本地植物及景觀植物為主，以創造綠地空間與景觀美質。

三、自然保育型：

為自然植生演替而達到近極盛相之植生群落，使用植物以本地植物為原則，藉以恢復既有的植生狀態，一般為自然森林公園或保育地區。

四、配合造林型：

主要為林業經營管理，藉經濟林樹種之栽植及人工撫育，在短期內達到人工林群落，常使用實生苗木與小苗栽植，以確保樹木(根部)正常生長及以較經濟之作業達成目標。

表 植 1-3-1 植生工程基本設計類型的比較(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

類型 / 特性	水土保持型	園景綠地型	自然保育型	配合造林型
植物材料	• 覆蓋草類 • 先驅植物 • 速生樹種 • 綠肥植物	• 造園植物 • 景觀植物 • 生態綠化植物 • 觀賞植物 • 棲地保育植物	• 原生植物 • 潛在植被(本地種苗) • 棲地復育植物	• 造林樹種 • 經濟林樹種 • 生態綠化植物
適用地點	• 緩衝綠帶 • 土砂災害地 • 宜保育地 • 人為開發地區	• 公園 • 庭園造景 • 都市綠地 • 道路綠地 • 植生緩衝帶	• 自然公園 • 原始森林 • 保安林 • 保育地區	• 林班地 • 海岸林 • 保安林 • 緩衝林帶
栽植與管理	• 少量植物維護與管理 • 速生植物播種 • 撒播、噴植或苗植	• 植物競爭控制 • 苗木栽植 • 成木移植 • 群團化栽植 • 限制危害生物	• 植物天然競爭 • 天然植生演替 • 人為輔助管理	• 危害植物控制(除草、除蔓) • 小苗木栽植 • 長期撫育管理

目的與功效	・植生覆蓋 ・土壤沖蝕控制 ・邊坡穩定 ・快速森林化	・造景造園 ・環境綠美化 ・人工景觀美質 ・保健修養 ・大氣淨化(都市林)	・棲地保育 ・水土資源保育 ・大氣淨化(綠資源保育) ・自然美(原始林相)	・木材生產 ・自然人工美(經濟林相) ・森林遊憩 ・大氣淨化 ・碳蓄積

1.3.3 植生工程之計畫流程

植生工程計畫需考慮植生基地之營造，即選用植物生育之需求，在整地計畫之初就應充分掌握。植生前期作業(植生基礎工)應視為植生工程之標準作業項目，不宜只進行植生導入作業，應於導入作業前就將基礎工與植生導入工加以組合施作。植生工程之計畫流程，如圖 植 1-3-2。

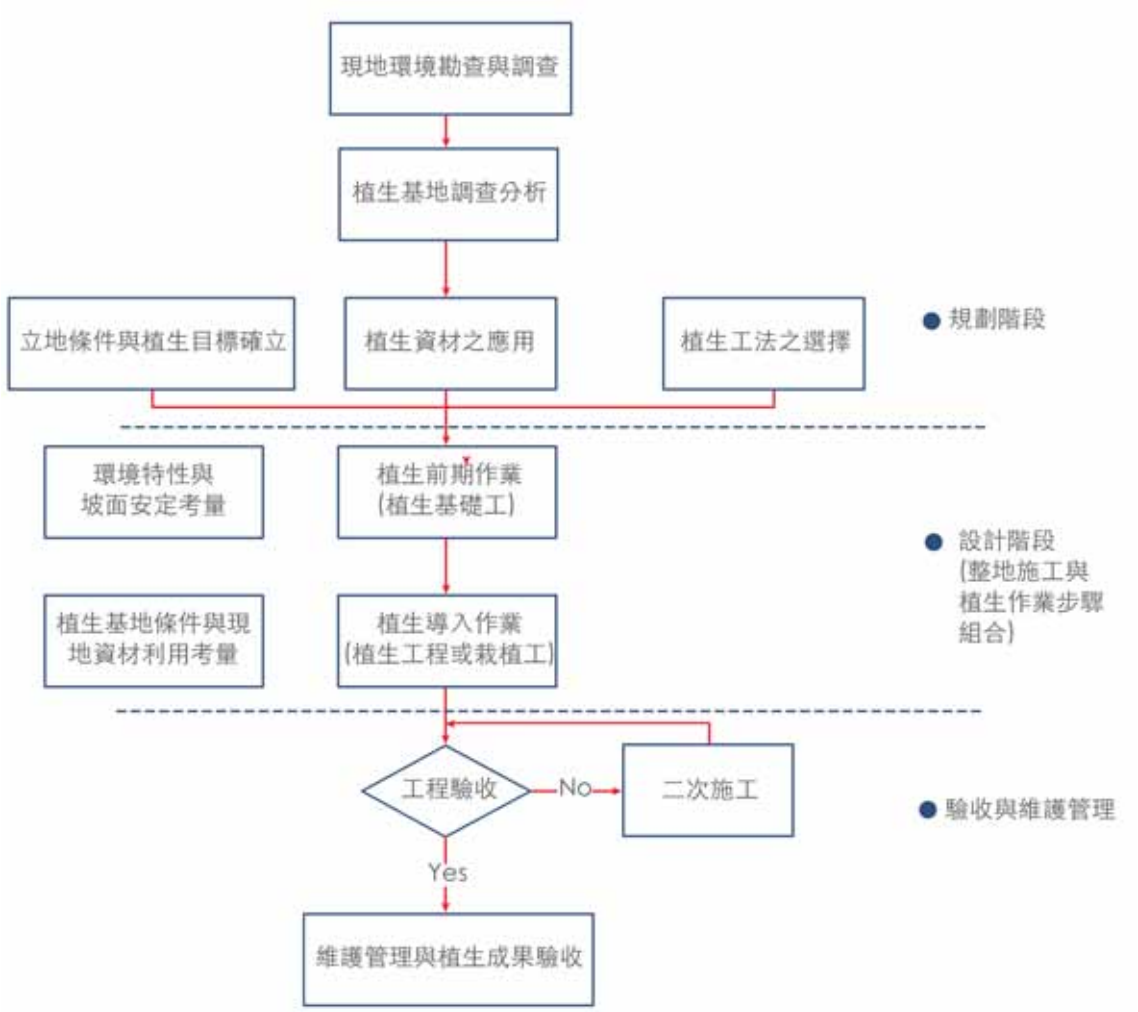


圖 植 1-3-2 植生工程計畫流程圖

1.3.4 植生工程施工之相關需注意事項

一、植生基地若屬石質土、軟岩、硬岩、強酸性或強鹼性土壤時，坡面導入之植物通常生育不良且短暫，此時需基地改善、土壤改良或客土等，使成適合植物生長之條件。

二、排水不良或湧水坡面地區，須進行排水工或相關設施；在風衝地等氣象條件極不利的地方，此時須採取減緩氣象條件的對策。

三、植生基地植物導入後常有衰退、滑落、枯損等現象，需於施工後進行植生維護管理，輔助植物生長以達到設定之植生群落目標。必要時得依施工區環境特性變更植生設計或進行追播、補植、追肥等工作。

四、最適工期之建議，臺灣地區夏季會受到梅雨及颱風影響產生豪大雨，而冬季則受到東北季風產生低溫影響，北部地區噴植工期應盡量避開不利植物生長或施工作業之時間，選擇 2~6 月或 9~11 月適合的氣候條件下施工，而苗木植栽可選擇雨量及溫度適合的春季(2~5 月)進行施工；中部地區主要受到梅雨及颱風影響產生較大雨量，噴植及植栽施工應該避開這時期(約 5~8 月)；南部地區夏季高溫多雨且炎熱，冬季乾冷，因此適合的噴植及植栽工程約在 4~6 月及 9~10 月期間(林信輝，2016)。

1.3.5 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「水土保持技術用語事典暨雙語名詞彙編」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」。經濟部水利署北區水資源局編印。

林信輝(2016) ，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016) ，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

1.4 基地立地條件與植生對策

1.4.1 影響植物生長之環境應力

植物生長受周邊環境條件之影響，包括氣候因子(光照、氣溫、降雨、強風等)、土壤因子(土壤有效深度、土壤之物理性及土壤之化學性)及地形地質(坡度)等。

一、氣候：

(一) 光照

植物需要充足陽光才能茂盛生長，在強光照條件下生長發育健壯的植物稱為陽性植物。陽性植物通常具有耐高溫、耐乾旱的能力，初期生長快速且能先發於裸地且能生存下來的先驅植物特性。例如五節芒、血桐、山黃麻、構樹等(林信輝，2004)。

能在較微弱光線下長期生長的植物稱為耐蔭性植物。耐蔭性植物可生長於林蔭間，利用短暫或微弱之林內光照下吸收光能，提供 CO_2 固定作用所需之能源。

(二) 氣溫

氣溫受緯度、海拔高度、風及地形地貌影響，但緯度相近時，海拔為影響氣溫的重要因素，臺灣地區從海平面至高山山頂近四千公尺，因海拔高度不同，造成氣溫變化，因而形成榕楠林帶、楠櫧林帶、櫟林帶、鐵杉雲杉、冷杉林帶等不同植物群帶(林信輝，2016)。

(三) 降雨量

臺灣地區因季風和地形因素相互作用，雨量豐沛，一般年平均雨量約達 2,500mm，但雨量分配不均。北部地區的雨量，以 5~9 月間較多，其它月份亦有相當之降雨量，可植生施工及植物生長期較長，較適宜之植物生長季節為 3~9 月。南部地區雨季集中於 5~10 月份，此期之降雨量高達全年雨量之 85%以上；植生工作適於雨季前之 4~9 個月間進行，並選用耐旱性植物植生，否則植物會因缺水而生長受阻或死亡(林信輝，2016)。

(四) 風

風對植物之作用包括：

1. 乾燥作用：可將植物葉部表層濕潤空氣吹走、促進蒸散作用，致使葉片乾燥及氣孔關閉、光合作用降低之結果。

2. 機械作用：植物因強風吹襲而造成葉片破裂、枝條折斷及造成畸形木(flag)、擠壓木(compression wood)生長之情形。淺根性之樹木易因風之作用而倒伏或傾斜。
3. 鹽霧作用：源自海中之鹽分隨風飄運至海岸地區，對低耐鹽性的植物可造成嚴重之傷害，含鹽分之水氣(水滴)灑布在葉片上，會致使氣孔關閉，生長停滯，鹽分灑布在受損枝條上，會產生壞疽現象。
4. 風積作用：沿海砂丘地區，砂粒易受風之吹襲而移動，而移動之砂粒會在風力減弱或遇到障礙物處產生堆積，稱為風積作用。砂粒之堆積會導致植物根域的通氣性降低，植物莖部受砂埋作用會因溫度增高而導致植物致病害或死亡。

二、土壤物理特性：

土壤物理性除影響養分及水分的保持與供給之外，也影響根系的發展分布及微生物之活動，自然狀態的土壤，其物理性對植物的生育、地力維持甚為重要，另影響森林涵養水之滲透率、保水等亦受土壤物理性所左右。以下即針對幾項較為重要的土壤物理性質項目進行說明。

(一) 土壤含石量

土壤通常指粒徑小於 2 mm 顆粒者，大於 2mm 的岩塊及其碎屑部分稱為含石量。含石量大於 50%之土壤稱為石質土，不適機械整地，自然植物入侵生長不易，需部分客土植生，土壤含石量過高將阻礙植物根系發展，影響植物生長(林信輝，2016)。

(二) 土壤硬度

土壤硬度(soil hardness)和土壤緻密度之涵義相同。測定抵抗土壤粒子連結力和摩擦力時，將測定器嵌入土壤內部某一定容積所需力量之值。硬度太高之土壤，植物根系並無法深入土壤中，依日本山中式硬度計之標準，植物根系適合生長之土壤硬度介於 10~26mm，而植物正常深入土壤中之界線為 26mm，若超過則需改良土壤物理性質以利植物生長。

(三) 土壤三相組合

土壤三相(three phases of soil)分別為固相、液相、氣相，固相可供給植物根系固著、儲存養分；液相可提供水分、養分、氧氣之運輸；氣相可供給氧氣、存積雨水及孔隙排水等。土壤三相的組成比例左右通氣、滲透性、保水

性等影響植物生長之物理性。液相和氣相二者所佔空間合稱為孔隙，土壤中孔隙所占之比例和基地內樹木生育有密切關係，一般坡地土壤三相組成(即固相－液相－氣相比例)為 50－25－25%，其土壤容積密度約為 1.3 左右，而一般認為良好的森林土壤三相組合約是 40－30－30%左右(林信輝，2016)。

(四) 土壤質地

土壤質地(soil texture)影響土壤保水、保肥與通氣的能力，進而影響植物的生長。土壤之組成包含大小不同粒徑的顆粒，依其不同粒徑相對含量所組成之比率(百分比)，會呈現土壤的粗細程度，這些粒徑分布的範圍，可概分為砂粒(sand)、坋粒(silt)與黏粒(clay)等。為瞭解其各大小粒徑之組成，將小於 2 mm 顆粒者進行土壤機械分析, 即以機械方式將土壤打散,包括以木槌將土塊敲散，必要時加入土壤分散劑，然後透過篩分析(sieve analysis)、沈降比重測定，得知各粒徑之組成比率後，利用土壤質地三角座標圖對土壤進行分類(林信輝，2016) (圖 植 1-4-1)。

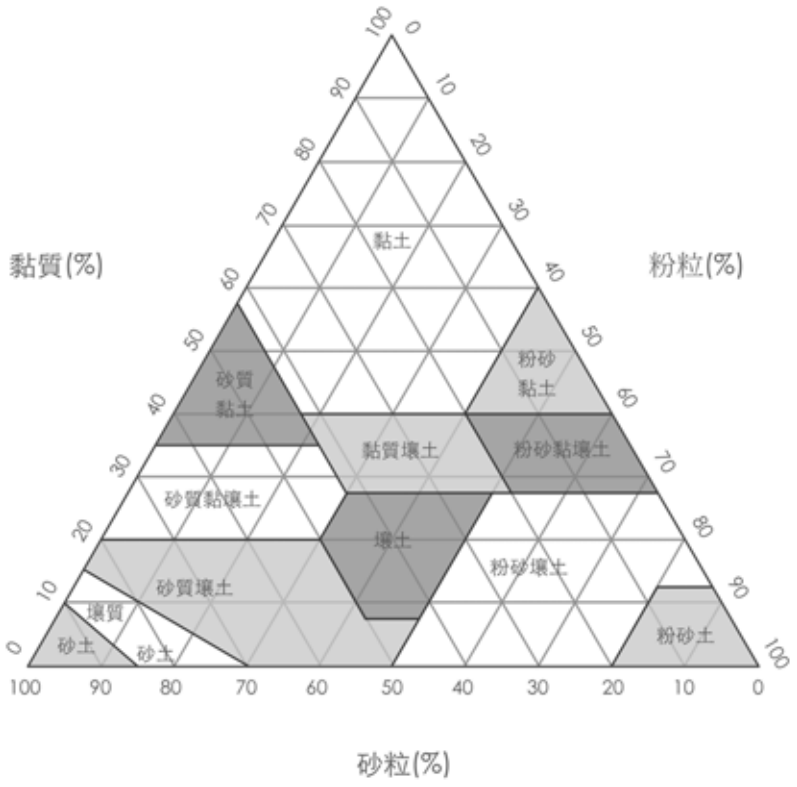


圖 植 1-4-1 土壤質地三角座標圖(資料來源：林信輝，2016)

三、土壤化學特性：

土壤內可成為植物生長所需養分的化學成分，包括含量、比例、性質等統稱為土壤的化學性。植物要維持良好的生育，需要氮、磷、鉀等之肥料三要素及鈣、鎂等合計五要素最為重要。土壤中這些要素含量，可供給性受土壤反應、水分、各要素量之比例等綜合影響，因此判斷植物養分之豐富與否，須從土壤整體化學性組成來評估。

(一) 土壤酸鹼值

土壤溶液中常含有 H^+及 OH^-離子，兩者的含量多寡因土壤種類而異，致使土壤呈酸性、中性及鹼性等性質，通常以 pH 值表示。pH 值的大小關係到營養元素是否能被植物吸收利用，pH 太高或太低皆可能導致由某種營養元素引起的毒害。一般植物喜生長於 pH 值約 6.5 左右之土壤環境。

(二) 土壤養分

土壤養分不足或過量將影響植物之生長，其可能產生之病徵分述如下：

1. 氮肥：氮為葉綠體構成之來源，而葉綠體為植物行光合作用之場所，缺乏時葉片會成不鮮明的黃至綠色；過量時葉呈暗綠、葉肉多汁柔軟，開花、結果延後，果實少。
2. 磷肥：磷為核酸核蛋白之構成元素，且其在能源轉換過程中扮演重要角色，缺乏時細胞分裂衰退，植物發育不良，葉片呈狹窄狀，老葉出現紅色；過量時葉肉肥厚、樹幹矮小、根發育不良、果實過度早熟且產量減少。
3. 鉀肥：鉀為 50 種酵素反應之必需活性劑，且影響蛋白質之合成，缺乏時植株矮小、葉之尖端有褐色出現，嚴重時有壞疽產生，過量時新葉有增大的傾向，且植株伸長，生長勢弱。
4. 鎂肥：鎂為葉綠素之主要元素，且為光合作用之活性劑，缺乏時，葉片除葉脈外，皆出現黃化之現象；過量時將抑制鉀、鈣之吸收。
5. 微量元素：微量元素在植物體中含量極微，但其量不足時，往往使植物發生異常症狀而枯死，如缺鐵時植物之幼葉有黃萎病，因鐵對葉綠體形成有很大影響，缺鋅時幼葉生長受到抑制而出現叢生的症狀，缺銅時會不易形成種子。

1.4.2 基地立地條件與植生工程處理

一、邊坡坡度：

邊坡坡度大小會影響植物自然入侵機制，坡度較陡時需以工程處理，於坡面與基礎安定後栽植植物。裸露坡面之坡度在 35º 以下時，植物較易入侵，但坡度超過 35º 以上時，植物自然入侵繁殖較為緩慢，又坡度在 45º~60º 以上時，植物根系之抗剪力較難以保持坡面安定，故必須工程處理後配合植栽植物。關於不同坡度植生時所需之配合工程處理，依山寺喜成教授(1988)及道路綠化保全協會等有關植生綠化基準之資料，整理說明如表 植 1-4-1。

表 植 1-4-1 不同坡度時植生所需工程處理之配合(資料來源：修改山寺喜成，1988)

坡　度	植栽生育情形	配 合 工 程 處 理
35°以下	1 植物生育良好。 2.植物自然入侵生長通常良好。 3.可能復原為喬木為主之植物社會。	1.以排水及坡面整理措施為主。 2.可應用草皮鋪植、鋪植生帶、噴植等植生處理。 3.挖植溝、坡面排水簡易之基礎工程處理後植生。
35°~45°	1.以灌木與草本之植物群落為主。 2.栽植喬木具危險性且易招致生育基地之不安定。 3.坡度超過 35°以上，植物自然入侵繁殖較為緩慢。	1.簡易之基礎工程處理後植生。 2.擋土牆、擋土柵、打樁編柵、蛇籠護坡、挖植穴等。 3.鋪網噴植、型框等。
45°~60°	1.以灌木與草本之植物群落為主。 2.45°～50°為栽植喬木之臨界坡度。 3.坡面安定困難，整坡之階段面配合栽植植物。	1.固定框、擋土牆。 2.鋪立體網、複合網配合客土噴植。
60°以上	植物不易栽植或自然入侵生長困難。	1.擋土牆、自由樑框。 2.設置緩衝區或落石防止措施。

備註：泥岩等劣化土地或沖蝕嚴重之地區，不同坡度之配合工程處理，需依現地立地條件調整之。

二、土壤硬度：

土壤硬度之指標通常以山中式硬度計之測值為標準。山中式硬度計長 23cm、直徑 5cm、重量 0.65kg，將圓錐體之尖端插入土中，其內含 8kg 抵抗強度之彈簧內縮長度，即為土壤硬度計之測值。不同土壤硬度需配合不同之植生方法，如表 植 1-4-2。

表 植 1-4-2 不同土壤硬度時植生工程處理方法原則(資料來源：林信輝，2004)

土壤硬度測值(H)	植物生育情形	配合植生工程處理
H<10mm	1. 土壤鬆軟、乾燥，土壤保水力不佳而植物發芽生育不良。 2. 坡面未整理或大於安息角時，易生崩落。	1. 以覆蓋稻草蓆等防止乾燥措施。 2. 固定框客土植生。 3. 種子噴播後覆稻草蓆。
10~20mm	1. 根系伸展良好。 2. 種子發芽及生育良好。	1. 可栽植木本植物。 2. 植生方法可用種子噴植法、植生帶、土壤袋、鋪網客土噴植等方法。
20~26mm	1. 植物生長良好。 2. 噴植外來草種時可能會有快速衰退情形。	1. 可栽植木本植物，但仍需加強穴植與客土量之設計。 2. 可配合中層資材應用之播種工法。
26~30mm	1. 根系生長受阻或可能快速衰退。 2. 若土壤有大孔隙，植物根系仍有生長之可能。	1. 以鑽孔或挖植溝等改善土壤硬度。 2. 避免採用栽植、種子撒播及埋幹等植生方法。 3. 宜用鑽孔後種子噴播或厚層客土後鋪植生帶、鋪網客土噴植、固定框客土植生等。
H>30mm	1. 植物根系無法入侵生長。 2. 生育困難。	1. 鑽孔後客土噴植。 2. 蛇籠配合客土、型框客土植生。

1.4.3 參考文獻

山寺喜成(1988)，「採石跡地植生復元對策調查」，日本社團法人道路綠化保全協會。

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「水土保持技術用語事典暨雙語名詞彙編」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

1.5 植生演替系列與植生復育

1.5.1 植生演替之定義

植生演替(plant succession)係指一特定地區，植物種類、數量等隨時間系列改變之過程，稱為植生演替或植物消長(水土保持局，2008)。植物社會之組成與構造並非一成不變的，而是具有動態之性質，植生演替過程為一個植物社會被另一個植物社會取代之現象。

1.5.2 典型的植生演替系列變化

以臺灣山坡地森林植被地區，崩塌裸露後之植生演替系列變化為例，一年生草本常為多年生草本取代，草本多為灌木取代，灌木為喬木取代，而形成複層林植物社會，其演替歷程大致為受擾動形成裸地→草生地(陽性草本)、灌叢植物(陽性灌叢木本)→陽性樹種(5 到 6 年出現)→陰性樹種(30 到 50 年出現)→陰性草本→陰性大樹(70 到 80 年出現)→著生、蔓藤植物→極盛相複層林(地被層、草本層、灌木層、中喬木層、大喬木層)(林信輝，2016；Chen，2014)，植生演替系列變化如圖 植 1-5-1 所示。

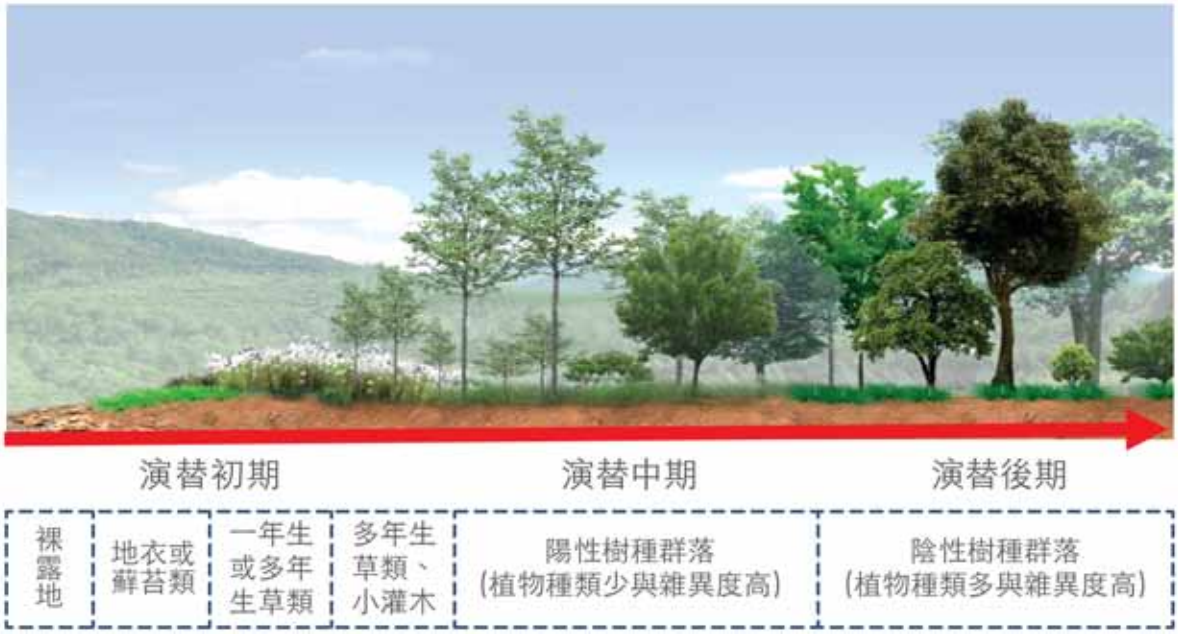


圖 植 1-5-1 植生演替系列變化示意圖

1.5.3 植生演替觀念之應用考量

裸露地植生演替過程中，最先入侵的是在貧瘠地能生長且對地力需求度低之先驅植物，而入侵之先驅植物逐漸改善貧瘠地，土壤變成較為肥沃，微氣候亦隨著逐漸改善，使對地力需求高之植物得以生長，因此，在崩塌裸露地導入植生之材料通常為水土保持草類或先驅樹種，屬植生演替過程中先期群落，不可能一開始導入形成極盛相的群落植物，縱然在植生施工過程中造成厚層客土且栽植潛在植生植物(常綠闊葉樹、陰性樹等)，也無法迅速造成極盛的群落。遵從自然形成群落的程序，使其在自然生態系下恢復群落，可達事半功倍及永續保育之效果。

1.5.4 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「水土保持技術用語事典暨雙語名詞彙編」。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

Chen, Yi-Chang., Chen-Fa Wu, Shin-Hwei Lin, (2014), “Mechanisms of Forest Restoration in Landslide Treatment Areas. ” Sustainability, 2014, 6(10)：pp.6766-6780.

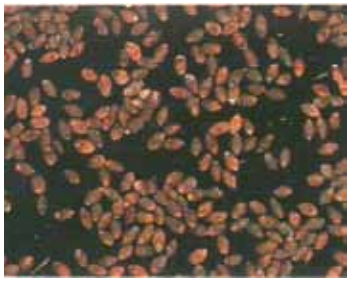
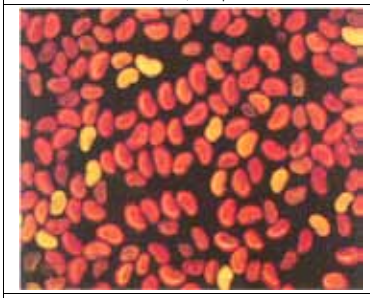
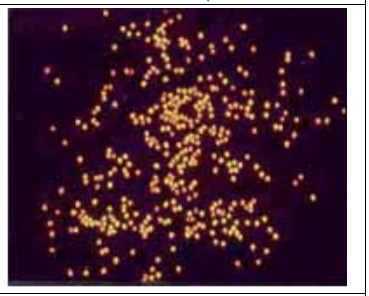
貳、植生工程材料之特性與應用

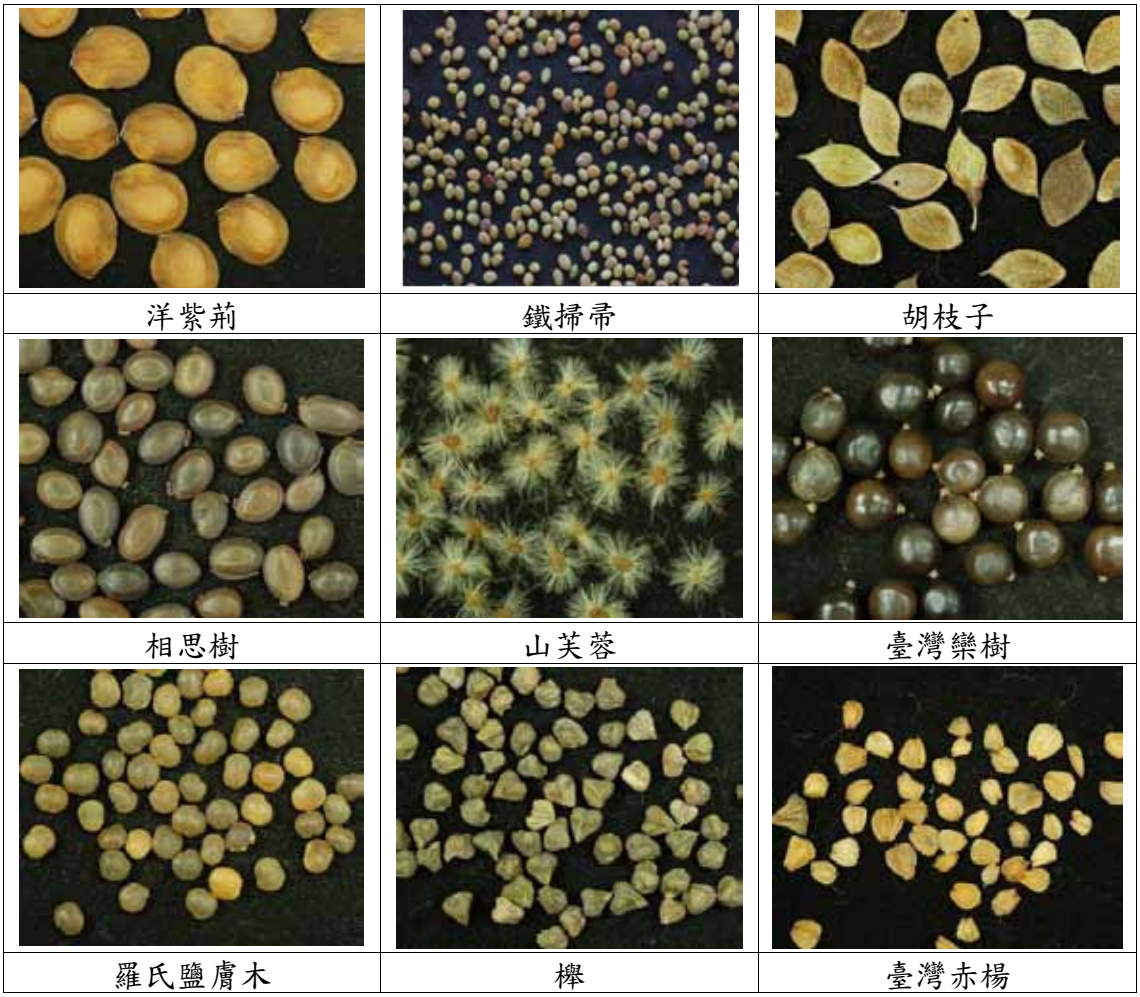
2.1 種子材料

2.1.1 種子材料之特性與應用

一、種子材料之種類：

種子因其材料的取得、儲藏與搬運容易，施工經費便宜，適於廣大面積的快速植生綠化。播種工法採用種子之種類與用量依工法之種類、基地地形與土質條件，以及期待植生群落之成果而定。目前臺灣植生工程主要使用之草、木本種子材料，如圖 植 2-1-1，其他植生工程使用之草本、木本種子材料資料，詳如附錄一(石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊，2007；水土保持局，2006)。

		
百慕達草	高狐草	多花黑麥草
		
百喜草	類地毯草	假儉草
		
營多藤	果園草	白花三葉草



備註：目前設計使用羅氏鹽膚木種子時，常有誤用外購種子鹽膚木(*Rhus chinensis* Mill.)之情形，須確實查核。

圖 植 2-1-1 植生工程常用種子材料照片例

二、種子預措處理(發芽促進處理) ：

一般植生工法施作時通常使用發芽率較高之種子，且期望其在不同時期發芽生長，以增加其對野外環境應力之適應性，故對發芽率較高之草類種子，通常視情況進行或不進行種子預措處理，但中層或厚層噴植時，為了提高木本種子發芽率，會對種子進行預措處理，以利木本種子快速發芽及生長，相關種子預措處理，可參考林務局育林手冊，或國際種子檢查規則。

2.1.2 影響種子品質與活力之因素

種子材料購買時須挑選品質有保證者，一般以發芽率高、夾雜物含量少、參雜其它種子含量低為佳，亦即選擇採取地、採取年月日、發芽率、純度記錄清楚者，而影響種子活力之因素主要包括：

一、溫度：

一般而言，在較高溫下形成之種子，其發芽率較高。

二、日照：

通常母株日照較長，其種子發芽率較高。

三、母株之營養：

母株缺乏氮鉀鈣肥時，其種子發芽率較低，而磷肥(根肥)較不影響種子發芽率。

四、母株成熟度：

母株正值成熟期，其種子發芽率較高，種子亦有後熟作用。

2.1.3 種子活力測定方法

種子活力之測定有物理滲透法及化學法、染色法、酵素測定法及 TTC 法。

一、物理滲透法：

種子活力低者，種子浸在水中會滲透出可溶性之物質，此滲出物質越多則其導電性必增加，相反的，種子活力強的則導電性低。

二、化學法：

種子滲透出來各種物質在檢測溶液中顯現出不同顏色，亦可測定種子之活力。

三、染色法：

可利用甲基藍(methylene blue)將各種還原酵素還原成無色，而測定該種子是否具有活力。

四、TTC(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride)法：

該法實際上亦為酵素測定法之一種，為目前最常用之方法。有關 TTC 測定之方法與標準，詳請參考國際種子檢查規則。

2.1.4 種子發芽率與發芽試驗

一、種子純度檢定：

一般種子中常混有異種、野草之種子、莖葉碎屑及砂粒等夾雜物，將降低品質種子純度及售價，故種子純度之檢定，有助於適宜種子之選擇，其計算式如下：

$$種子純度(\%) = \frac{除去夾雜物後純潔種子之重量}{樣品重量} \times 100\%$$

(資料來源：國際種子檢查規則，1998。)

二、發芽率及發芽勢計算：

發芽率(germination rate)係指在指定發芽條件下，正常發芽種子數目之比率。發芽勢(germinating energy)指自發芽試驗開始後，某一特定期間之發芽率，一般為最高發芽率日期(或稱發芽勢截止日期)之總發芽率，為決定種子的最大發芽潛能，用於不同批種子品質之比較及估算田間播種之價值。發芽率與發芽勢有如下之計算方法：

$$發芽率(\%) = \frac{\Sigma A}{\mathrm{N}}$$

$$發芽勢(day^{-1}) = \frac{(100)(A1 + A2 + A3 + \cdots + An)}{(A1T1 + A2T2 + A3T3 + \cdots + AnTn)}$$

$$發芽勢(\%) = \frac{發芽最高峰日期(發芽截止日期)之發芽總數}{供應種子總數}$$

式中　　A=發芽種子數

T=發芽時間(日)

n=「試驗」後天數

ΣA=發芽種子總數

N=供試種子總數

(資料來源：國際種子檢查規則，1998。)

2.1.5 種子之壽命與儲藏

一、種子之壽命分類：

實際使用上，種子不僅要求發芽旺盛，而且必需發芽整齊，老化之種子則失去此二特性。所以種子具有實用價值之年限，常比其本身之壽命為短。大多數植物之種子，能維持 10 年以上之發芽年限者甚少。植物種子之發芽年限可分為三類：

(一) 長壽種子，發芽年限 4~6 年或以上者。

(二) 常壽種子，發芽年限 2~3 年者。

(三) 短壽種子，1~2 年後發芽極不良者。

二、種子之儲藏方法：

種子於採收處理之後，若不立即播種或銷售者，應予以適當儲藏，以延長其壽命，其方法有乾燥儲藏法、低溫乾藏法、密封儲藏法及濕藏法，說明如下：

(一) 乾燥儲藏法：

種子含水率經陰乾或曬乾降至 10%以下，再以鋁箔袋密封，避免受到相對濕度變化的影響，不用特殊設備，放置於普通室內，並可大量儲藏。僅適宜短期的儲存。

(二) 低溫乾藏法：

種子經陰乾或曬乾後，宜即貯存於適宜之容器內，並置於冷涼而乾燥之處。如欲長期儲藏，宜有冷室設備，以人工調節溫度，使之適合於儲藏之需要，一般以攝氏 2~6℃為適用，室內濕度宜低，一般在 15~45%之內。

(三) 密封儲藏法：

種子在密封之容器中，氧氣含量甚少，可使呼吸作用減至最低程度。此法最需注意種子之含水量，必須盡量減低，其最高之含水量，宜在 6~10%之內。

(四) 濕藏法：

凡不耐乾燥之異儲型種子，必須保持高含水率狀態，適宜儲藏於濕潤之環境中，方能保持其生活力。闊葉樹種子中相當大的比例是屬於此類型的種子，但有些種子之含水量，若低於 35%，即不能發芽。(備註： 異儲形種子是指種子非常不耐乾燥，若其含水率降到 12~31%以下時，種子活力會隨著脫水的嚴重程度而持續下降)

2.1.6 參考文獻

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2006)，「水土保持植物解說系列(一)－坡地植生草類與綠肥植物」。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

臺灣省政府農林廳(1998)，「國際種子檢查規則」。行政院農業委員會。

鍾永立、張乃航(1990)，「臺灣重要林木種子技術要覽」。林業叢刊第 35 號。行政院農業委員會臺灣省林業試驗所印行。

2.2 苗木材料

2.2.1 苗木之種類與其應用要件

植生規劃設計為苗木栽植時，先將植物材料於容器育苗袋內培育，或由小盆換至大盆培育後，再穴植於坡面上(林信輝，2016)。苗木依其形態、生長特性與材料標準化的要件，分述如下：

一、喬木：

喬木選擇時可依照以下幾點進行選擇成長力旺盛、枝葉繁茂者、根系擴展、盤結固土力強者、對貧瘠地、乾旱、蟲害適應性大且抗力強及有改良土壤功效者。

喬木具自然樹形且有明顯單一主幹部份，植株高度 4～5 m 以上者，依其樹冠生長形態又可概略分為二大類：

(一) 開張型喬木

係指成株的樹冠多呈橢圓形、半圓形，無明顯單一生長勢強之頂芽(梢) ，如樟樹、榕樹、水黃皮等。

(二) 直立型喬木

係指成株的樹冠多呈塔形、長橢圓形，具明顯單一生長勢強之頂芽(梢)，使樹形由基部至頂梢形成一明顯單一軸線形主幹，如小葉欖仁、臺灣烏心石、欖仁、木棉、 大葉桃花心木、黑板樹、桉樹、小葉南洋杉等。

喬木苗木材料之選則要件如下：

1. 全株不可有嚴重受損之傷口痕跡。
2. 全株樹皮或枝葉無寄生蟲體、蟲孔、病徵或病斑。
3. 冠下方具明顯單一主幹，主幹先端無膨大現象且直立不可有彎曲。
4. 根系擴張及細根發育良好，無腐根、受傷、二段根、偏側根等情形，且根系和土壤充分密接者。

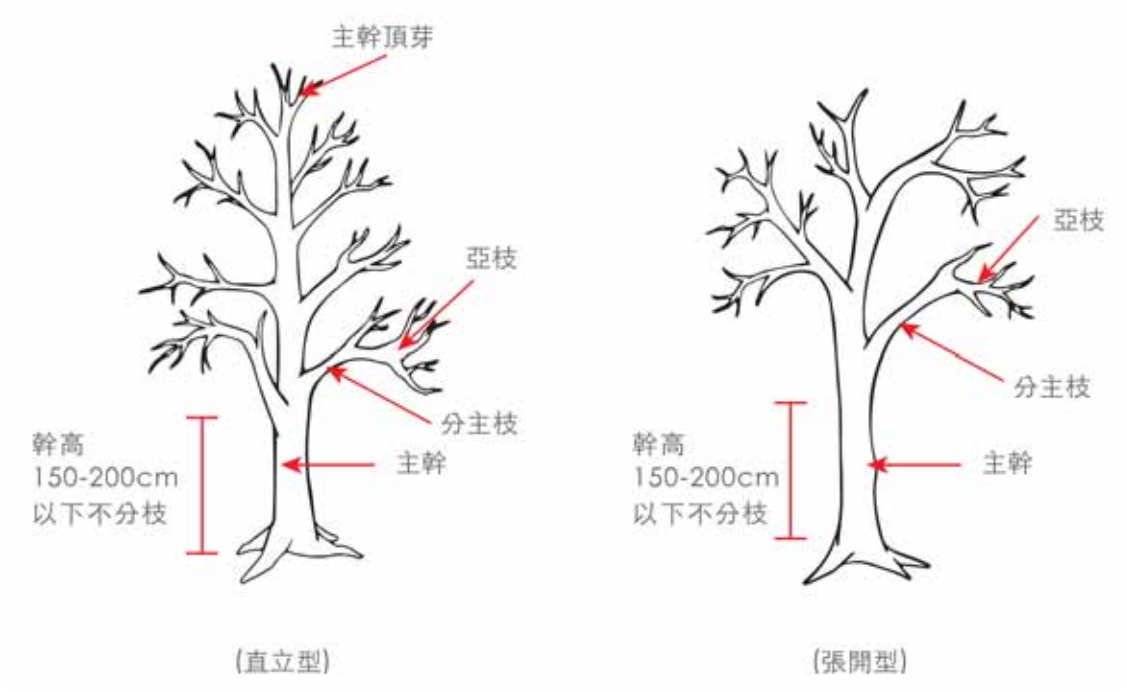


圖 植 2-2-1 苗木標準枝幹架構（修剪後）(資料來源： 修改自圖解植生工程，2016)

二、灌木：

灌木係指枝幹成熟後會呈木質纖維化（木材），自然樹形不易有明顯單一主幹，多數分枝自基部產生，植株高度 3～4m 以下者，依其自然生長高度可分為小灌木、中灌木及大灌木，其苗木材料選擇的要件如下：

(一) 全株不可有嚴重受損之傷口痕跡。

(二) 全株樹皮或枝葉無寄生蟲體、蟲孔、病徵或病斑。

(三) 分枝點低，裸露基幹不宜過高。

(四) 分枝茂密，使樹冠形成緊密圓形或橢圓形。

(五) 節間長度適當，無細弱徒長情形。

(六) 盆栽苗木之根群已長至盆緣或排水孔處，根尖呈健康透明狀白色，無明顯盤根情形。

三、地被植物：

地被植物係指植株高度在 20～25 cm 以下，易產生多數分蘗（基部不定芽），地上莖柔軟，常呈匍匐生長，地被植物材料選擇的要件如下：

(一) 多汁的枝葉飽滿、挺立，無軟弱下垂現象。

(二) 植株無蟲體、蟲孔、病斑或葉片枯黃現象。

(三) 枝葉茂密，無稀疏、無開張現象。

(四) 節間長度適當，無細弱徒長現象。

(五) 盆栽苗之根群已長至盆緣或排水孔處，根尖呈健康透明狀白色。

四、草花：

草花係指被當作一、二年生栽培的季節性草本花卉，其生長勢於當季花期過後，常漸呈衰弱，須定期換植新苗，以維持觀賞價值。草花材料之選擇條件如下：

(一) 枝葉飽滿、挺立，無軟弱下垂現象。

(二) 植株無蟲體、蟲孔、病斑或葉片枯黃現象。

(三) 節間長度適當，無細弱徒長現象。

(四) 盆栽苗之根群已長至盆緣或排水孔處，根尖呈健康透明狀白色。

(五) 苗高在 15～20 cm 以下。

(六) 設計栽植後須快速開花之植物，其植株需可見花苞成形，並且部分花苞已著色。

2.2.2 苗木材料應用之注意事項

以苗木做為植生工程之植物，注意事項如下：

(一) 如基地保護與維護管理措施良好，苗木種植可全年施作，情形良好者存活率可達 90 %以上。

(二) 苗木雖可當做工程材料執行，但使用時需與其它工程材料或相關施工程序結合，方能達到預期效果。

(三) 苗木之標準和檢定，因樹種不同而有所不同，宜於事前溝通，加以明確原則訂定，使工程後續爭議少。

(四) 苗木選擇生長勢強，成蔭快之樹種，則其植生效果快速。

2.2.3 苗木栽植之常用樹種

苗木栽植植物材料之選用，除需參考前述章節之相關說明外，可參考附錄一、附錄二與附錄三所列之植物材料(石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊，2007)，或參考行政院環保署核定 60 種環境綠化育苗喬木樹種，及其他相關參考文獻。

2.2.4 參考文獻

中華民國「植物生態評估技術規範」，2002 年 03 月 28 日修訂。

林信輝(2016) ，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

劉業經、呂福原、歐辰雄(1994)，「臺灣樹木誌」。國立中興大學農學院。

環境綠化育苗計畫網站< http：//freshair.epa.gov.tw/s01.asp>。

2.3 一般木樁材料

2.3.1 一般木樁之定義與目的

一、定義：

一般木樁係指利用疏伐材、雜木樁等，作為打樁編柵或插枝壓條等施工方法之材料，或加工製成木製構造物等，其大多應用於一般土壤挖填方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面。

二、目的：

一般木樁應用於邊坡打樁編柵或加工製成木製構造物作為擋土設施，具有改善坡度、防止沖刷、景觀美化並營造適宜植物生長環境之功能。

2.3.2 木樁材料之特性

一、木樁材料的優點

(一) 重量輕，容易處理及搬運。

(二) 加工簡單，工作設備容易取得。

(三) 比重上，木材之強度較其他材料強。

(四) 聲音振動及衝擊之吸收性高。

(五) 外觀美，與周圍景觀環境相配。

(六) 對環境影響少之自然素材。

二、木樁材料之缺點

(一) 容易腐朽(在水中或土中等之耐久性較好) 。

(二) 個體、部位或方向等處之材質不均一。

2.3.3 木樁材料之應用原則

一、植生施工基地木樁材料以不經防腐處理為原則。

二、未經防腐處理之木質材料極易腐朽而失去其安定功能，較不適用於需要堅固結構、以安全為施工考量之工程。

三、若利用防腐處理以增加其安定程度，則需要考慮其經濟效益與防腐處理方式之效益及其對當地生態環境之影響。

四、疏伐木若欲搬出利用，切鋸枝條時，應注意不在材面留下小枝節及傷到材身。

五、為求疏伐木儘早乾燥、減輕重量、搬運容易及避免病蟲害之發生，可進行天然乾燥、剝皮等工作。

2.3.4 木樁材料環境條件影響與耐久性

一、木樁材料環境條件影響：

現行應用木製構造物常設置於河川、坡面、農地、公園等場所，若依其設置地點之環境條件、對木材之影響及利用方法，則可區分如下。

表 植 2-3-1 設施地點(環境條件)對木材的影響(資料來源:「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」，2007)

設置地點(環境條件)	設置條件對木材之影響	主要利用方法
地中	完全設置於地中的情況，因呈缺氧狀態而不易腐朽。	基礎樁 過濾材
水中	完全設置於水中的情況，因溫度較低且呈缺氧狀態，所以不易腐朽。	沈床工 生態水池
地面	為重複乾燥濕潤之地點，營養補給容易，所以因腐朽較快劣化。	坡面保護工 防護柵 標識、看板類
水面	為重複乾燥濕潤之地點，容易因腐朽發生劣化與龜裂。	護岸工 整流工
地上	容易遭受日照、降雨、風等氣象條件影響，容易產生變色、龜裂等，其腐朽乃是造成劣化的主要原因。	防護柵工 支柱

二、木樁材料之耐久性：

一般在天然環境中，木材都會腐爛及劣化，即使作了防腐處理增加耐久性，乃無法完全避免腐爛，只能延長其使用時間。木製構造物的耐久性除了木材材料自身之耐久性能之外，亦因其所設置環境條件之不同而互異。因此，在木製構造物設計施工時，應先考量木材腐爛之問題。

依據上述木材材料之特性，木製構造物在以下之情形與耐用年限之限制時，可使用一般不作防腐處理之木材。

(一) 在逕流量較少，且沒有土石流災害之地點，施作之護岸工、整流工等構造物，至木材腐爛時，植生之繁茂生長可達預期替代功能者。

(二) 背面土石量較少之坡面擋土構造物，至木材腐爛時，可利用植生之繁茂生長替代其功能者。

(三) 編柵工、條狀工等坡面保護工之地點，藉由植生的繁茂生長防止坡面侵

蝕且可替代其功能者。

(四) 設置於地中之基礎樁或設置於水中之構造物等較難腐朽，可預期較有長期之效果者。

(五) 假設工程用防護柵、緊急工程構造物，供作暫時使用者。

2.3.5 使用木樁材料時應注意事項

一、打樁前，應檢查所用之樁材，確係符合規格，始可著手工作。

二、採用質地堅硬、耐久性佳之木樁，不得有腐痕、裂跡、彎、節等疵病。

三、木樁之尺寸應合予圖樣規定，打樁之前應將表皮除去，其小頭之直徑與圖樣之規定尺寸相差不得超過 5%;打完後，因錘擊而破裂之頂端應行鋸截平整。

四、所用樁木須材質均勻，不得有過大彎曲之情形。木樁首尾兩端連成一直線時，各截面中心與該直線之偏差程度不得超過木樁直徑之 1/4。另樁身不得有蛀孔、裂紋或其他足以損害強度之瑕疵，木樁之下端，應削成尖形，但其長度不得大於末梢直徑之兩倍。

五、除另有規定外木樁材料不需作防腐處理，則材料應符合 CNS 442 O1001 及設計圖說之規定，可由承包商出具製造出廠證明。

六、木樁之外徑、長度、外觀依 CNS 443 O1002 及設計圖說之規定，視需要每批檢驗 10 ％。

2.3.6 木樁打樁施工注意事項

一、承包商須按設計圖所示，於地面標定木樁之預定打設位置，並經工程司勘視核可後始得打樁。

二、打樁前，其樁頂須先截鋸平整，其樁身需加以保護不得有影響功能之碰撞傷痕。

三、承包商應依樁徑、樁長及現場地質條件選用適當之樁錘，並提供樁錘製造廠商之使用說明，包括最大錘速、錘擊能量，打樁過程中，如遇堅硬地層或觸及地下障礙物，以致不能打至預定深度時，應報請工程司核定處理方式，如樁頂設計高程低於原地面，應先將樁頭打至地面齊平後，再於樁頭上另加引樁筒繼續施打至設計高程；引樁須經工程司認可後方可施工。

四、打樁過程中，凡產生劈裂、折斷情形，或打樁完成後之樁位偏移量、垂直度超過設計容許值，經監造單位研判無法補救者，均須廢樁。

2.4 植生木樁材料

2.4.1 植生木樁暨活枝條之定義與目的

一、定義：

植生木樁與活體枝條係指利用具萌芽力的植物枝幹(條)，作為打樁編柵或插枝壓條等施工方法之材料，其大多應用於一般土壤挖填方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面。

二、目的：

植生木樁應用於邊坡打樁編柵之材料，除具有改善坡度、防止沖刷並營造適宜植物生長環境之功能外，植生樁本身萌芽生長，可快速建立林木植生覆蓋，達到坡面保護之功能。

2.4.2 臺灣主要適用植生木樁(萌芽樁)之種類

植生木樁材料之選取，依其在不同立地環境條件下之適用性而異，須同時考慮到其環境適應性、繁殖力、成活率、供應性、生物多樣性等條件。目前臺灣使用之植生木樁，即可供現地打樁及能萌芽生長之植物種類，主要為九芎、黃槿、水柳，次要如茄冬、雀榕、稜果榕、榕樹、水黃皮(九重吹)、小葉桑、白肉榕、破布木等。各萌芽樁植物之適用地點、材料來源及生育特性說明詳如附錄二(林信輝，2009；石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊，2007；生態工法材料使用調查、評估及替代材料開發之研究，2005)。

2.4.3 植生木樁設計時需注意事項

一、木樁應保持新鮮，以現採現用為原則，打樁時須保護樁頭，不使打裂，裂開部份需鋸掉，以免影響其萌芽能力，如萌芽樁不足時，可以其他雜木樁混合使用。

二、萌芽樁建議用於水陸域交界處或用於坡度小於 35^{o} 之填方堆積地點，以提高存活率。

三、臺灣植生木樁之最適工期，北、中、南雖稍有差異，但以 3 月到 5 月最為合適。

四、萌芽樁地上部萌芽時間約 3~7 天，而地下部根系長出則約需 2~3 個星期；整體之植生木樁生長評估，需經 3 個月左右之觀察期，以確認其新芽是否繼續生長，才得以判定其是否存活(吳錫融，2008)。

五、採集木樁之樹木樹齡，幼壯年樹優於老樹。

六、用於直接打入坡面之植生木樁，其直徑以 3~8cm 較適宜;小於 3cm 之木樁枝條強度不足無法直接打入坡面，且易於乾燥死亡，可應用於插枝壓條或扦插育苗後栽植；大於 10cm 之植生木樁不易直接打入土中，且老枝條較不易萌芽。

七、以竹類作為植生木樁時，須以含有基部根器官之材料為要件，萌芽率可達50%以上，若不含根部則不易萌芽。另竹林於洪水期間，其叢聚特性常導致橋孔阻塞造成災情，故不建議應用於水域之周邊植生。

2.4.4 參考文獻

行政院公共工程委員會(2005) ,「生態工法材料使用調查、評估及替代材料開發之研究(第二期) 」,社團法人中華民國環境綠化協會。

行政院農委會水土保持局(2007),「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」。

林信輝(2007),「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」,經濟部水利署北區水資源局編印。

林信輝、余婉如(2009) ,「生態工程應用植生木樁材料之適用性評估因子分析」,水土保持學報，41(1)，pp. 81-92。

吳錫融(2008),「臺灣地區應用植生木樁萌芽與根系生長特性之研究」,國立中興大學水土保持學系碩士論文。

2.5 植生被覆材料

2.5.1 植生被覆材料之定義與特性

一、定義：

植生被覆材料，指以具滲透性之鐵網、天然纖維、化工合成材料之不織布、梭織布或針織物等素材，結合土壤、肥料、木料等形成整體之結構性材料。利用被覆材料可滲透之特性，將其應用於植生工程之產品，皆可稱為植生被覆材料(林信輝，2016)。

二、特性：

坡面被覆資材依敷蓋、噴植輔助、植根輔助與網結等多種類型加以區分，其材料應有的特性包括：

(一) 敷蓋目的之材料需具高遮蔽率、保溫及防土壤水分蒸發、可通透性及伏貼性等，視應用目的可採用天然可分解或非天然長期耐久材等。

(二) 噴植輔助需具高表觀孔徑、良好通透性、高容積的固土性、伏貼性及抗壓縮性等。

(三) 植根輔助應具備良好通透性、保濕性、伏貼性及抗壓縮性。

(四) 網結輔助需求通常為耐久型非天然材質，需具備良好機械強度和抗環境劣化性(如抗 UV、耐微生物分解及酸鹼性)。

2.5.2 植生被覆材料之種類(林務局，2015；北水局，2007)

一、鐵絲網:

(一) 可概分為菱形鐵絲網、鍍鋅立體網與柵欄用鐵絲網(龜甲網)等，常以鍍鋅鐵絲經過機械編成菱形或六邊型孔目之網材，網孔 5cm×5cm，結構厚度約 3cm，網材材料開展結構示意圖與照片如圖 植 2-5-1。

(二) 於較陡峭之岩石坡面可做為防落石網之功用。

(三) 菱形鐵絲網、鍍鋅立體網普遍做為鋪網噴植網材材料，其噴植基材之穿透狀況良好，於土表形成一層敷蓋，可固著土壤、減低基材之沖蝕流失，確保種子發芽。

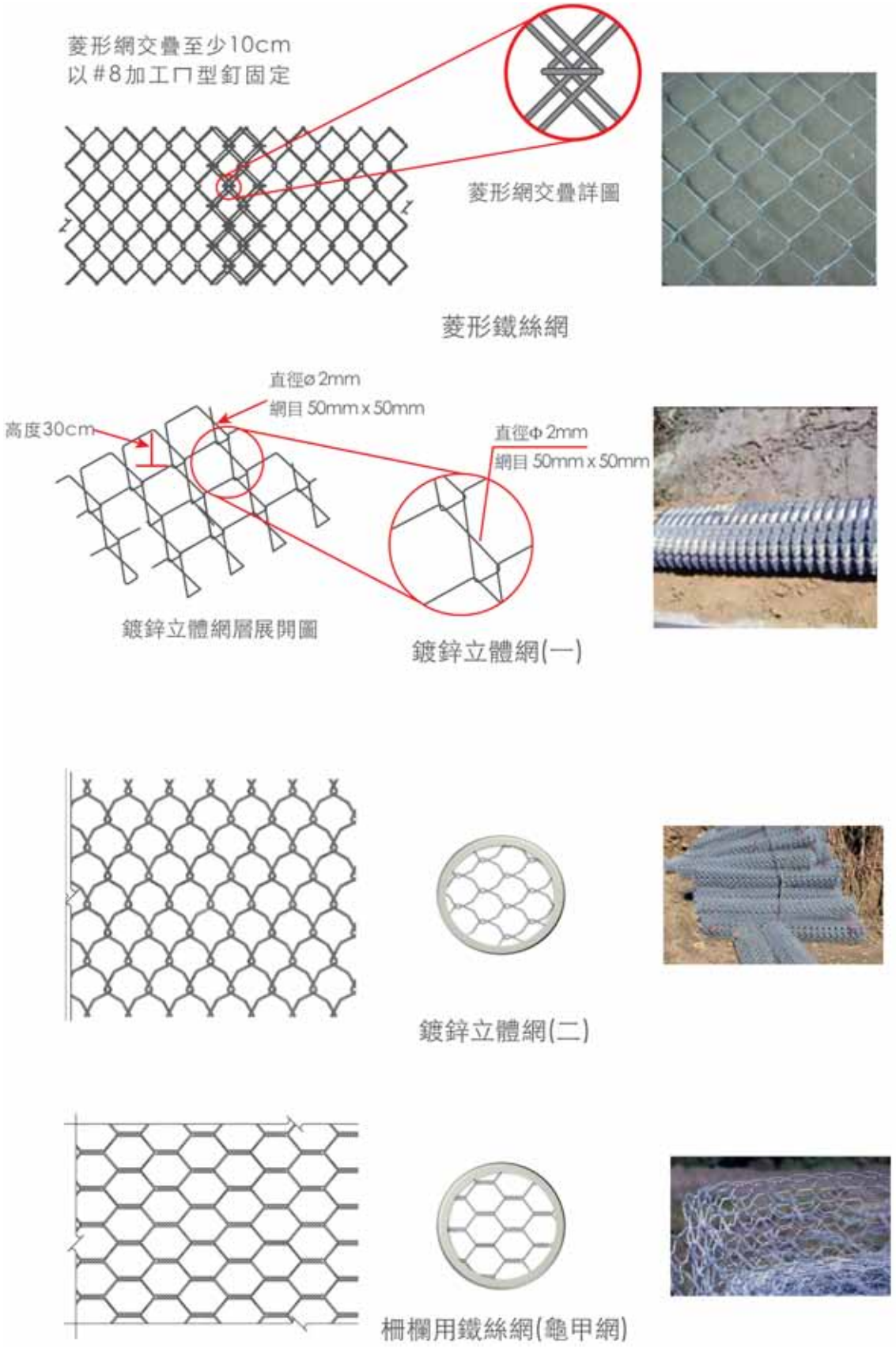


圖 植 2-5-1 鐵絲網材料開展結構示意圖與照片例(資料來源：林信輝，2016)

二、椰殼纖維毯：

(一) 主要為天然椰纖材料，上下面以聚乙烯(PE)或聚丙烯(PP)網包覆之三明治結構，結構厚度約 1cm。

(二) 天然椰纖可提供植物根部支持及保護，且具有良好吸水能力，可防止土壤沖蝕及保持水分，但避免應用於需長期保護與穩定坡面之區域。

三、複合型立體網：

(一) 為加勁格網和 Nylon、PP、PE 或 PET 塑膠膠條無排列規則結合而成，格網網孔 2cm×2cm，結構厚度 1~3cm。

四、編織立體網-綠蓆網：

(一) 以化學纖維織網 PP、PE 或 PET 製作的三維立體網材，網孔約為 1cm×1cm，結構厚度維持 0.5~1cm。

(二) 網材伏貼性佳，線材柔軟網孔細小，可緊密與崩塌地裸坡面密貼。綠蓆網具有可拉伸之性質，於較陡之坡度時，可能因降雨使負重增加，拉伸滑動導致上方植生基材不穩，故較適用於緩坡。

五、編織立體網-矩形錐立體網：

(一) 矩形錐立體植生網係由綠色聚丙烯單絲(monofilament)纖維編織黏結而成之網材。

(二) 其具有矩形立體四角錐結構形成種子和植生基材保護單元，防止植被未長成前受雨水沖刷流失。

(三) 單絲纖維與植根形成多根點多網結的加勁根網層結構，其抗拉強度可耐受施工拉扯及噴附材之重量。

六、編織立體網-三維立體網毯：

(一) 立體植生毯係以 100%聚乙烯(PE)纖維絲，經機械編織一體成形，因具有多數目之菱形網目且彈性佳，可提昇坡面之耐沖蝕性及提供植物生長之良好空間，可與噴植系統之草樹種根群、坡面表層土壤、植生毯，結合成為保護層，達到抑止坡面土壤之沖刷，減緩地表逕流之目的及綠化坡面之功效。

(二) 網材具彈性、伏貼性佳，可緊密與崩塌地裸坡面密貼，但不適用於較陡之坡度，因降雨致網材負重增加，其可拉伸滑動之性質將導致上方植生基材不穩。

七、非編織立體網-立體抗沖蝕網：

(一) 3D 立體網 Nylon, PP, PE 或 PET 塑膠經押出機熱熔擠出成連續細長膠條，膠條間不規則排列相互黏結並以模具形塑成單凸或雙凸立體結構。

(二) 開放式多孔結構網材，具有多數獨立凸點結構的固土單元可防止植生基材受雨水沖刷流失。

2.5.3 覆蓋材料設置之注意事項

一、網材種類眾多，應視使用目的、現場狀況而選用之。

二、採用含有種子等覆蓋材料時，須依環境條件與植生目標設計種子種類和配合比例。

三、配合種子撒播或噴植時，網材鋪設之目的在使種子及植生基材能確實和土壤密切接觸，特別在不規則地形、礫石地區需加強施作。

2.5.4 參考文獻

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

2.6 植生之纖維材料

2.6.1 植生之纖維材料定義與目的

一、定義：

纖維材料為噴植植生使用基材，混合主要添加材料。

二、目的：

連結地表土、客土材料與網材，防止噴植基材因降雨沖蝕而流失。

2.6.2 種類與用途特性

在植生噴植工法應用之纖維材料主要包括泥炭苔、稻穀、炭化稻殼、樹皮堆肥、菇類堆肥、蔗渣堆肥、木質纖維、紙漿與椰殼纖維等(林信輝，2016) ，纖維材料之用途、特性與來源如表 植 2-6-1。

表 植 2-6-1 植生之纖維材料一覽表(資料來源：林務局，2015；林信輝，2014；林信輝，2016；北水局，2007)

纖維材料	用途	特性	來源
泥炭苔	1.作為改善不良土壤之資材。 2.增加土壤有機質。 3.改良土壤的物理性。	保水性、通氣性高，具備優良的物理性質。幾近無菌狀態，不含雜草種子，極為清潔。炭化程度高，分解緩慢，可維持較長期之固定形狀。	主要分布於北方寒冷沼澤地方。
稻殼	1.作為改善不良土壤之資材。 2.增加土壤有機質。 3.改良土壤的物理性。	可直接混用，質輕，易取得，通氣排水性佳，保水性差；醱酵或炭化後使用較佳，炭化後 pH 與 EC 值高，使用時須注意。	國內農會米倉及碾米廠均可大量供應。
炭化稻殼	1.作為改善不良土壤之資材。 2.增加土壤有機質。 3.改良土壤的物理性。	炭化的過程使稻殼粒子破裂，因此密度增加，降低通氣性，但是炭化後的稻殼其保肥力卻可提升一倍，陽離子交換能力。	國內農會米倉及碾米廠可大量供應。
樹皮堆肥	1.作為改善不良土壤之資材。 2.增加保水及養分。 3.改良土壤的物理性。 4.增加有機質。	碳氮比高、高陽離子交換容量之長效性有機質肥料，適用改良土壤之物理性質使用。透水性、保水性佳、因分解較慢且纖維較粗，可固結土石防止沖刷。	樹皮、鋸屑等木質廢棄物，經由回收堆積發酵有機肥料。

纖維材料	用途	特性	來源
菇類堆肥	1.作為改善不良土壤之資材。 2.增加保水及養分。 3.改良土壤的物理性。 4.增加有機質。	栽培香菇堆肥材料配方，主要以稻草為主，然後添加化學氮源、磷源等營養成分為輔，材料先堆積 4 星期後製成香菇堆肥，透水性、保水性佳。目前為台灣噴植常用纖維材料。(*有汙染土壤之疑慮，故須審慎選用)	經由廢棄太空包與鋸木屑混合發酵之有機肥料。
蔗渣堆肥	1.作為改善不良土壤之資材。 2.增加保水及養分。 3.改良土壤的物理性。	其理化性和金菇木屑極接近，但 pH 值及緩衝能力卻類似泥炭苔，具改良土壤及提供植物生長之肥分，深黑色較黏稠，缺點是使用中容易因分解而減量。	經由甘蔗渣與糞尿混合發酵而成之有機堆肥。
木質纖維	1.改良土壤的物理性。 2.增加保水及養分。	可做種子之敷蓋物，具保溫、保濕及防鳥食之功能。在水中之分散性良，使種肥土易均勻附著於地面，小苗之覆蓋率效果佳，以多量使用亦不影響種子之發芽者為宜，遇水時，使表層土之吸水性提高，易增加地表沖蝕之危險性。	乃由天然樺木之樹皮經加工粉碎而成；或由國內造紙公司生產提供。
紙漿	1.作為改善不良土壤之資材。 2.增加保水及養分。	紙漿堆肥保水效果佳，多量使用亦無礙種子發芽情形。	天然紙漿或廢棄之再生紙板泡水由資源回收場或紙漿公司下料轉送至有機肥生產公司加工而成。
椰殼纖維	1.改良土壤的物理特質。 2.增加保水及養分。	椰殼之纖維多而強韌，其軟木質彈性佳、含水性好，且不易腐爛。缺點：酸度過強時需要調整。使用椰子殼噴植時，需要注意氮質肥料的補充。	由南洋地區泰國、越南等地區進口加工，或臺灣地區自行將椰子殼切成小塊絲狀後再乾燥製成。

2.6.3 參考文獻

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

林信輝、 謝政諺、巫清志、 陳意昌(2014)，「含水泥與菇類堆肥噴植資材配方之試驗研究」，水土保持學報，46(2)，pp. 1015-1028。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

2.7 客土材料

2.7.1 客土材料之定義與應用

一、定義：

客土(carring soil)指為改善植生立地環境之土質條件及利於導入植物生長，於施工地點施放富含有機質且較佳物化性質之土壤。客土材料通常與原坡面土壤之性質不同，而將原地面表土改良或添加有機質材料後，再施放於表面上，供植生基材之價值已異於原表面土壤，亦屬客土之作業方法。

二、應用：

在大面積坡地開發之裸露地區、道路挖填方之坡面、泥岩地區或採礦區等，由於其先天立地與土壤條件不佳，造成植物生長相當困難;另苗木穴植，或需快速緻密草皮生長之植生工程施工地，需進行客土處理，以達到植生預期成果。

2.7.2 客土材料之分級與檢定

植生工程設計時，因客土來源難以充分把握，太嚴格之限制客土標準可能造成執行上之困難，故目前植生工法設計時，客土均以有機質土或沃土等名稱說明之。表 植 2-7-1 為一般土壤肥力分級標準，適用於一般農地或農作物栽培管理之參考依據，表 植 2-7-2 則為現地客土材料適用性評估依據之參考。

表 植 2-7-1 一般土壤特性與肥力分級標準(資料來源：陳仁炫、林正鈁、郭惠千，1992)

營養元素		實驗方法	極低	低	中	高	極高
pH		---	≤ 4.0	4.1-5.5	5.6-6.5	> 6.5	---
有機質(OM，%)		---	< 0.5	0.5-1.5	1.5-3.0	> 3.0	---
磷(P) ppm		Bray-1	< 3	3-7	7-20	> 20	---
		Bray-2	< 7	7-16	16-46	> 46	---
		Olsen	---	0-5	5-10	10-15	15-20
		Mod.Olsen	---	<8	8-12	12-20	> 20
氮含量(Kjeldahl method,by weight)		% of soil	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	> 1.0
有效鉀 (ppm)	中性醋酸銨	---	0-14.9	15-29.8	29.9-49.6	49.7-99.2	> 99.2
交換鉀 (ppm)	醋酸銨抽出液,1:10，30min	土類(Ⅰ)	< 15	15-25	25-50	50-80	> 80
		土類(Ⅱ)	< 20	20-40	40-70	70-95	> 95
鈣(Ca)ppm		---	< 285.7	285.7-571.4	571.4-1143	> 1143	---
鈉(Na)meg/100g		---	< 0.1	0.1-0.3	0.3-0.7	0.7-2.0	> 2.0

鎂(Mg) ppm	---	< 24.1	24.1-48.2	48.2-96.4	> 96.4	---
鋅(Zn) ppm	---	< 0.32	0.32-0.80	0.80-2.40	> 2.40	---
銅(Cu)ppm	---	0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	> 6.0	---
鐵(Fe)(暫定)ppm	---		< 50	50-300	> 300	---
錳(Mn)(暫定)ppm	---		< 20	20-140	> 140	---

備註：土類(I)包括紅黃壤(RY)黏板岩(AT,ATL,ATH)砂頁岩(ASc,ASn)片岩石灰岩(Ac)沖積土石質土(L)。土類(II)包括看天田(H)紅壤(R)黑土(B)。(土壤肥力因子之分級標準彙集,1992,國立中興大學土壤研究所。)

表 植 2-7-2 植生工程現地客土材料適用性之評估依據(資料來源：修改自 Coppin and Richards，1990)

客土材料參數	單位	適 用 等 級			不 適 用
		良	普通	不良*	
質地	---	fLS,SL SZL,ZL	SCL,CL ZCL,LS	SC,ZC,S	C > 45 %**
含石率	体積%	< 5	5-10	10-15	> 15
有效含水量	体積%	> 20	15-20	10-15	< 10
pH 值	---	5.5-7.0	5.0-5.5 7.0-7.5	4.5-5.0 7.5-8.0	< 4.5 > 8.0
電導度	mmhos/cm	< 2	2-4	4-8***	> 8
全氮	重量%	> 0.2	0.05-0.2	< 0.05	---
全磷	mg/kg	> 37	27-37	< 27	---
有效性磷(Bray No.1)	mg/kg	> 20	14-20	< 14	---
有效性鉀(交換性鉀)	mg/kg	> 185	90-185	< 90	---
有機質含量	%	> 3	2.1-3.0	1.1-2.0	< 1.0

備註：*：土壤適用性等級不良，需土質改良或施用添加物
**：土壤黏粒含量
***：如無其他客土來源時，應使用耐鹽性之植物材料
SC：砂質黏土　ZC：坋質黏土　C：黏粒含量
CL：黏質壤土　LS：壤質砂土
SL：砂質壤土　ZL：坋質壤土
fLS：細壤質砂土　SZL：砂質坋壤土
SCL：砂質黏壤土　ZCL：坋質黏壤土

2.7.3 使用客土材料時應注意事項

一、規劃設計時，應標明有機質含量或肥力，避免以泛稱為田土、沃土或有機質土等，作為設計使用。

二、含有機質堆肥之客土材料，應充分腐熟。

三、黏土含量不能太高，以免造成透水性不良，乾旱時龜裂及造成排水孔堵塞。

四、含石率不宜太高以免影響植物正常根系之生長。

五、盡量使用中性土壤，其電導度應符合適用性評估。

六、使用現地土壤為客土材料時,其有機質含量以略大於3%為佳。如苗木穴植、草花栽植作業時，經混合有機堆肥後做為基肥使用之客土材料，依一般施行技術之建議，其有機質總含量應達 20%，腐植質達 10%以上(體積比)。

2.7.4 參考文獻

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

陳仁炫、林正鈁、郭惠千(1992)，「土壤肥力因子之分級標準彙集」，國立中興大學土壤研究所。

Coppin, N. J. and Richards, I. G. (Edi.).(1990). “Use of Vegetation in Civil Engineering”. Butterworth-Heinemann.

2.8 其他植生應用材料

2.8.1 肥料

一、化學肥料：

(一) 單質肥料與複合肥料

肥料三要素之氮、磷、鉀肥中，其中以鉀較易流失，宜分期施用(追肥)，磷肥之移動性較慢，可全量當基肥施用，追肥次數因土壤質地而異;一般黏質地土壤之保肥力較強，一次可施用較多量之肥料，追肥次數可酌量減少;砂質土保肥力較差，每次宜少量施用，追肥次數應增加。複合肥料施用簡易，可免除單質肥料混合之麻煩。

施肥量若以氮(N)、磷酐(P_2O_5)及氧化鉀(K_2O)成分表示，使用時需依照所採用肥料之各要素含量，換算施用量，即為：

$$\text{單質肥料施用量(kg)} = \frac{\text{各要素用量}(kg) \times 100}{\text{肥料要素含量(\%)}}$$

目前坡面植生所使用肥料之含量，一般每 m^2 使用台肥 43 號複合肥料 0.05kg/m^2，即每公頃需施用 500kg，此肥料用量若換算為各單質肥料，則需施用：硫酸銨：15%×500×100/21=357kg/ha

過磷酸鈣：15%×500×100/18=416.7kg/ha

氯化鉀：15%×500×100/60=125kg/ha

(二) 常用化學肥料之種類與要素含量

常用化學肥料之三要素含量，列如表 植 2-8-1

表 植 2-8-1 常用化學肥料之種類與要素含量(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

肥料名稱	要素含量(%)			
	N	P_2O_5	K_2O	MgO
硫酸銨	21			
硝酸銨鈣	20			
尿　　素	46			
過磷酸鈣		18		
硫酸鉀			50	
氯化鉀			60	
台肥 1 號複合肥料	20	5	10	
台肥 5 號複合肥料	16	8	12	
台肥 43 號複合肥料	15	15	15	4

二、有機質肥料：

(一) 有機質肥料之種類

有機質肥料之材料主要來自動物、植物及微生物殘體。有機質肥料在土壤中分解速度依材料特性及腐熟度不同而異，可區分為易分解型及不易分解型，易分解型之有機質肥料如糞便堆肥、大豆粕、米糠、魚粉、垃圾堆肥等，施用主要目的為供應營養，不易分解型之有機質肥料如樹皮堆肥、泥炭、硬殼類等，以改良土壤理化性及微生物環境為主，維持時間較長。挖方坡面施工地點大多土質不良、乾旱貧瘠，其生育基盤施用有機質肥料，不但可以改良土壤之質地，亦可改善土壤理化性，及增加土壤保肥與保水力。常用有機質肥料之要素含量列如表 植 2-8-2。

表 植 2-8-2 常用有機質肥料之要素含量(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

肥料名稱	要素含量(%)		
	N	P_2O_5	K_2O
台肥 1 號有機肥料	1.5	4.0	3.0
樹皮堆肥	1.14	0.77	0.36
泥炭苔	0.5~1.0	0.1~0.3	0.4~1.0
泥炭土	0.8~1.8	0.1~0.5	0.6~1.5
草木灰	--	1~2	4~10
大豆粕	7.52	1.77	2.77
魚粉	7~10	7~10	--
乾雞糞	3.0	3.1	1.3
花生粕	6.55	1.33	1.00
米糠	1.95	4.38	1.49

(二) 有機質肥料之施用要領

有機質肥料施用量依不同土壤而有差異，不易分解型有機質肥料，如樹皮堆肥、泥炭類(泥炭土及泥炭苔)等堆肥類為 1～4kg/m^2，易分解型有機質肥料為 1～1.5kg/m^2。有機質肥料腐熟度愈高愈不易引起植物與微生物之營養競爭，愈腐熟者效果愈佳，未腐熟之有機質肥料可提早施用。腐熟堆肥之 C/N 值需小於 20。

三、施肥量及時期：

肥料施用量及施用時期因基地土壤條件及栽植之植物種類而異：

(一) 地被植物(包括植草)：

基肥用量為有機質肥料 2kg/m^2 及台肥 43 號複合肥料 0.05kg/m^2。追肥應視需要施用，每 m^2 用量，約台肥 43 號 0.05kg，或相等用量之化學肥料。

1.灌木：施用基肥每株使用推肥 2kg。追肥應於栽植 60 天後視需要施用，每株施用量同上，約等於台肥 43 號 0.05kg。

2 喬木：施用基肥每株使用堆肥 4kg。追肥應於栽植 60 天後視需要施用，每株施用量同上，約等於台肥 43 號 0.05kg。

2.8.2 泥炭土

一、泥炭土之定義：

在沼澤等地區生長的水生植物或其他植物遺體未充分分解的堆積物，富含纖維質、木質素等有機物質，可用肉眼識別其植物組織程度的分解堆積物稱為泥炭，以泥炭為主形成的土壤稱為泥炭土。泥炭土被定義為一種有機土質，它必須含有 65%以上之有機質，有機質未達 65%或配以不同成分之礦質土只能稱為壤土。

二、泥炭土之特性：

(一) 泥炭土之物理性質

泥炭土加工後變成細粒，帶有木質或纖維，手觸摸有滑膩之感，具高容水量特性，相當於其乾體重量的 15 至 30 倍。若經過極度的排水，因物質固化及氧化作用而處於不可還原的乾化狀態及收縮體積。

泥炭土的大量孔隙能改善土壤，尤其是重黏土中的空氣流通性，黏土含有很多細孔及很大的容水量，但其滲透性及空氣流通不良，因此泥炭土的氣容量使泥炭土本身極適合與重黏土混合使用。

(二) 泥炭土之化學性質

泥炭土一般都屬酸性，其酸鹼度介於 4.0 至 4.5 之間，白塵、石灰或白雲石粉多被用來提高其酸鹼度至 5.0~6.5，以便適合植物生長。

泥炭土含有很高的陽離子交換能量(C.E.C.)，相當於每 100g 即有 80 至 170mg 當量；簡而言之，泥炭土會有很大的容量去容納施加的肥料，避免因水而流失或化為氣體消失，可減少肥料的損失。

(三) 泥炭土之其他特性

泥炭土內之半腐化木質分解緩慢，是良好的土壤改良劑，但使用時仍需

配合其他肥料以免初期肥料供應不足。一般需在 1ton 中之泥炭土配合 50kg 之液肥(N：P：K=4.5：9：9)或 2.25kg 氮素、4.5kg 磷素及 4.5kg 鉀素。

2.8.3 石灰質材料

一、石灰質材料之種類與特性：

石灰質材料之不同，對土壤酸性之中和效果亦異，各石灰材料之中和值如下表 植 2-8-3 所示。

表 植 2-8-3 不同石灰質材料之特性(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

石灰材料	分子量	中和值(%)
$CaCO_3$	100	100
$MgCO_3$	84	119
$Ca(OH)_2$	74	135
$Mg(OH)_2$	58	172
CaO	56	178
MgO	40	250

若石灰質材料含有兩種以上主要成分者，如苦土石灰，其中和值之計算方法如下例：

某苦土石灰含 80％$CaCO_3$，20％$MgCO_3$

其中和值為 80×100%+20×119%=103.8

中和值較大者，其施用量應按比例減少。施用石灰改良土壤 pH，除了應選用適當之石灰質材料外，尚需考慮石灰質材料本身與土壤兩者之質地，石灰質材料之質地較細者，短期間內之改良效果較佳，土壤質地較黏者，因其緩衝(buffer)作用較強，其施用量應較砂質土為多。

為便於田間或現場工作人員之需要，茲建議改善酸性土壤之酸鹼度(pH)至5.5～5.6所需要的苦土石灰之參考量如表 植 2-8-4。如超過每分地 200kg 之施用，需逐次或逐年分施，尤其土壤有機質含量低的需配合有機質肥料應用。

表 植 2-8-4 不同土壤質地及酸鹼度之石灰石粉施用參考量(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

土壤質地	原 土 壤 酸 鹼 度 (pH)					
	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
砂壤土	140~170	100~140	70~100	40~70	0~40	0~20
壤 土	240~280	170~200	100~150	50~100	0~40	0~20
黏壤土	290~350	200~250	130~200	60~120	0~40	0~20

二、石灰質材料之使用要領：

以石灰改良酸性土時，應與土壤充分混合，方能達到預期效果，尤其在陡坡地，若僅把石灰撒施其上，一遇暴雨石灰即被沖失，而減緩其改良效果，且石灰會因與土壤混合不完全,造成局部土壤石灰含量過高影響植物之發芽生長，其中以中和值高者為最，若土壤 pH 值甚低，石灰需要量所求得之用量可能高達 3ton/ha 以上，此時不能將所求得之用量一次全部施入土壤，應分批施用，逐年改善土壤 pH，否則將使植物發生營養障礙。碳酸石灰最大用量不得超過 3ton/ha/yr，若土壤甚酸，為了克服分批施用石灰之麻煩，可選擇耐酸植物或客土處理，亦可達綠化效果。

2.8.4 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

參、植生調查

3.1 植生調查類別

3.1.1 目的

植生調查目的在求得某區域內植物社會之所有群集及其屬性，研析此植物群落之組成個體、大小、數量、排列等特性及相互間關係，進而推估物種的競爭情形、植物社會可能的演替發展。

3.1.2 類別定義

植生調查常以樣區資料來推估母體之屬性，以較少的調查資料推測植生群落之整體特性，做為參考依據。植生調查類別可概分為植物相(flora)調查與植物群落(vegetation association)調查，茲分別說明如下：

一、植物相調查：

植物相調查是以某一地區所有植物物種為對象，進行植物之採集及判釋工作，記錄或估測各物種的屬性、族群數量、分布及生育環境條件等基本資料，研析此植物群落組成(特別指優勢種植物)之個體大小、數量、排列等特性及相互間之關係，其調查內容包括野外調查、植物名錄製作、植物型態特徵圖或示意圖繪製(水土保持局，2008)。

二、植生群落調查：

以植生群落為調查對象，在均質環境之植生群落設置樣區，記錄調查樣區內植物種類、組成結構、分布，並依需要調查主要優勢植物的樹高、胸高直徑等資料，供植生群落型態分析、植生圖及植生群落剖面圖之製作參考及推測植生演替、族群間之相互關係。植生群落調查可區分為植生定性調查與植生定量調查。

3.1.3 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」。

林信輝(2008)，「集水區植生群落調查應用手冊」行政院農業委員會水土保持局編印。

3.2 植物相調查項目與方法

3.2.1 植物相調查

一、植生相調查方法：

於野外常用的植物相調查方法，包括穿越線法、沿線調查法及目視記錄法茲分述如下(林信輝，2016；水土保持局，2008)：

(一) 穿越線法

於調查樣區內先進行勘查並選設若干穿越線，穿越線數可依調查樣區面積之大小、植物社會之多樣性、環境變化幅度或人力資源的充足與否等條件增減。穿越線之長度可為 100 m、500 m 或 1,000 m 不等，其可依現有之步道、等高線或沿稜線、溪谷等設置，設置後由調查者沿所設置之穿越線將兩旁 5 m 內可見到之植物一一記錄，無法判釋但可取得標本者，攜回鑑定。

(二) 沿線調查法

於調查區內沿著現有的公路、林道、產業道路、登山步道、步行小徑等，選定若干調查路線，此路線長度可為 1km、2 km 或 3 km 等或某兩處明顯地標物之間現有的路徑，俟路線選定後，由調查者沿所設置之路線將兩旁可見到之植物一一記錄。

(三) 目視記錄法

凡出現在調查區內之植物經調查者判釋之物種皆一一記錄，調查者依經驗直接記錄所見之物種，不需採標本，但需注意優勢種、稀有種、較特殊的物種等。

(四) 標本採集法

凡出現在調查區內之植物，皆以採集所得之標本作為記錄，除較為特殊之物種，如好幾年才開花一次或結果一次的植物。但仍以所記錄之物種均需引證一份標本為主。

二、植物基本資料之主要紀錄項目：

(一) 樹高：木本植物由地面量至樹梢頂部的最終生長高度。

(二) 胸高直徑：木本植物主幹距地約 1.2m 高之樹幹直徑。

(三) 根缽：植物根系分布範圍。

(四) 樹冠：位於樹幹上方，每年新生枝條，增加樹高，枝端芽能不斷生長。

(五) 冠寬：木本植物樹冠的最大寬度。

三、植物名錄製作：

以調查結果製作植物名錄，其內容包括包括植物之科別、中名、學名、生長習性、原生/外來、分布(豐多度)等。可參照 Flora of Taiwan(2003)、圖鑑及標本館等資料，逐一鑑定核對，以確定種類無誤，並製作植物清單或植物種類一覽表，如表 植 3-2-1 植物名錄(範例)。以瞭解整體植物相狀況。

表 植 3-2-1 植物名錄(範例)(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2008)

科別 Family	中名	學名	生長習性	來源屬性	分布 (豐多度)
鐵線蕨科 Adiantaceae	粉葉蕨	*Pityrogramma calomelanos*	草本	歸化	普遍
爵床科 Acanthaceae	卵葉鱗球花	*Lepidagathis inaequalis*	草本	原生	稀有
松科 Pinaceae	琉球松	*Pinus luchuensis*	喬木	栽培	普遍
羅漢松科 Podocarpaceae	百日青	*Podocarpus nakaii*	喬木	特有	稀有
楓樹科 Aceraceae	樟葉楓	*Acer albopurpurascens*	喬木	特有	普遍

備註：稀有植物及大樹調查--根據調查所得之名錄資料，將其詳細核對「臺灣特稀有植物名錄或臺灣的稀有及瀕危植物資料庫」(行政院農委會)，檢查有無特稀有植物種類。並評估及建立稀有植物名錄及稀有植物、大樹或老樹之分布位置，以供工程規劃、施工地點、施工方法及施工中植物社會維護與施工後復舊之參考。(一般所謂老樹係指胸高直徑大於 1 m 以上，樹齡 100 年生以上；大樹係指胸高直徑 30 cm 以上，樹齡 20 年生以上)。

3.2.2 植物群落調查

一、植物群落定性調查：

植物定性調查為依均質程度，以優勢種植物為植生群落代表，調查植物社會特徵，通常藉由主觀觀察，就一植物社會所組成之植物，賦予依特性描述以表此植物之性狀，往後可藉由植物性狀間接瞭解當地環境特性。植生定性項目如下：

(一) 植生個體之群集程度(社會性)

植物族群的社會性(sociability)係指植物族群個體聚集之程度，即群族個體之相對群居性或集結度(relative gregariousness or clumping)，社會度可分為五級，詳細說明如表 植 3-2-2 所示。

表 植 3-2-2 植物族群社會度分級表(資料來源：彙整「水土保持手冊」，2005、「水保技術規範」，2014、「坡地植生工程」，2016)

級序	群集程度	生長型態
第一級(soc.1)	單獨生長	單株生長 (growing solitary，single)
第二級(soc.2)	成群生長	形成集團或密生之群體 (forming clumps or dense groups)
第三級(soc.3)	成片生長	形成小塊群體或被覆情形 (forming small patches or cushions)
第四級(soc.4)	成小群生長	生育成小塊聚落或形成較大面積之被覆情形 (growing in small colonies or forming larger carpets)
第五級(soc.5)	成大群生長	生育成大塊群體，幾乎成為純林植物相分 (growing in larger，alomst pure population stands)

(二) 植生群落結構(層次)特性

植物之群落一般具有一定的生物組成，生物分布上有分層現象，在時間上有晝夜節律、季節變化和消長等現象，且各種生物互相依賴、相互影響，並與其所屬環境及生物族群存有緊密相互影響關係。

1.植生群落之層次(垂直結構):森林植物植生群落社會有高度之層次分化(stratification)，其森林垂直層次可分為樹冠層、喬木層、灌木層、草本層、地被層。有些植物固定生育在某一層次(layer)，且層次高低可顯示整個植物社會優勢度之控制程度，故進行植生調查之時應分別依植物層次予以分類，於每株植物賦予記號，以便記錄各層次之植物。

2.植生群落分布(水平結構):植物群落會因為地理位置、地質、地形、光照的明暗、濕度等因素，使植物呈現成群的分布。如水域周邊或濕度較大的區域常見巴拉草、開卡蘆及象草成群的生長，而陽光充足的貧瘠地或崩塌跡則遍生五節芒。裸露岩層或林地外緣常見臺灣蘆竹、杜虹花等，陸域地區(根系不受水位影響之範圍)則常見相思樹、構樹、桂竹、山黃麻等。

(三) 植物之物候性(週期變化)

物候現象(或稱生物氣候學，phenology)主要是受到遺傳因子及環境因子影響，不同的植物有不同的物候現象，同一種植物在不同的生育地，物候現象亦可能不同，甚至不同的單株也會呈現不同的物候現象。

水土保持技術規範第四十三條，植生週期變化可分為萌芽、開花、結實、

落葉及休眠等。本篇彙整相關資料，將植物週期變化分為八個時期，有關各種物候期之植物生長型態之分類，整理說明如如表 植 3-2-3。

表 植 3-2-3 植物之物候期區及其生長型態(資料來源:彙整「水土保持手冊」,2005、「水保技術規範」，2002、「坡地植生工程」，2016)

物候期	型態
萌芽期	芽苞膨大開始抽長至芽伸出嫩葉的尖端。
幼葉期	可以明顯地看出綠色葉芽起至葉展開且葉未完全變色。
展葉期	葉片展開至葉完全平展並轉變為成熟葉色為止。
落葉期	針對落葉樹種而言，在秋冬時葉開始掉落至葉片完全掉落。
開花期	花苞開始膨大或花序抽長至花落。
結果期	雌花柱頭變黑為幼果期之開始到果實長大至成熟時之大小。
落果期	果實開始掉落至全部掉落止。
休眠期	植物體或其器官在發育的某個時期生長和代謝暫時停頓的現象。

(四) 植物之生活型

植物生活型之分析方法大多採用浪氏之系統，計分成 10 群之生活型，統計各型所佔之種數百分率，如此形成之數列，稱為生活型譜(life-from spectrum)。其沿用代號如表 植 3-2-4 所述。

表 植 3-2-4 浪式系統植物生活型分類代號(資料來源：彙整「水土保持手冊」，2005、「坡地植生工程」，2016)

代號	植物生活型	代號	植物生活型
S	肉質莖植物	Ch	地表植物
E	著生植物	H	半地中植物
MM	大喬木及中喬木植物	G	土中植物
M	小喬木植物	HH	水中植物(hydrophytes) 及喜水植物(heliophytes)
N	灌木植物	Th	一年生種子植物

二、植物群落定量調查：

植物群落定量調查略述主要調查項目、方法說明如下一節所述。

3.2.3 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

中華民國「植物生態評估技術規範」，2002 年 03 月 28 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2008)，「集水區植生群落調查應用手冊」行政院農業委員會水土保持局編印。
林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

3.3 植生定量調查方法

3.3.1 樣區取樣調查法考量要點

植生定量調查方法係依調查地區之環境，植物之生活型、冠層結構分布及調查目的等條件，選取適宜之樣區，進行植物種類數量及生長情形之調查，再依調查所得之相關參數加以組合分析，作為計算植生群落特性之方法。

樣區取樣調查方法，先決條件為確認調查區之等質性，惟有等質之調查區，才能以一小樣區調查結果來評估全區之植被特性；同時調查樣區之設置，需考量的樣區特徵因子有樣區形狀、樣區走向、樣區分布方式、最小樣區面積、最低樣區數目等，如下所示：

一、樣區形狀之選定：

樣區之選定可依地形及調查之便利性而有所不同，一般常用的有正方形、長方形、帶狀橫截樣區或線狀樣區(線截法)。



圖 植 3-3-1 坡地利用線截法進行植生調查(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2008)

二、樣區之走向與分布：

樣區之設置，尚須考慮其走向(orientation)，即長軸或短軸之配列方向。若植物社會為等質性，則走向較無影響，但一般山區植群因地形起伏而稍有變化梯度，故選定樣區之長軸應跨越變化梯度，以求得準確(變方較小)之資料。但若所調查地區為大規模植生群落，非單一植物社會，則常用客觀之合成法設置樣區，再將所得樣區資料分類，以求出鑲嵌體構造。即將每一林分設置一大樣區，令其足以單獨代表該林分，以便與其他樣區比較，此時則帶狀橫截樣區或長方形區之長邊，應沿著等高線或植生群落帶狀分化之平行方向，以避免與其他樣區重疊(林信輝，2008)。

三、樣區之面積：

在取樣調查時，首要決定為設置樣區面積應採多大，一般而言，選取樣區面積除考慮植物社會之組成是否為均質外，其與植生群落生活型態息息相關，選取樣區大小時，可依經驗法則，選擇適宜方法求取樣區大小(林信輝，2008)。

在植生群落調查時，樣區面積所需之最小面積為依植物社會種類之豐富度而定，其最小樣區面積之決定如表 植 3-3-1 所示。

此法為依不同植生群落類別直接選取最小樣區面積，故條件受限大，除考慮現地植物社會組成是否具均質性，且不為零星分布再加上選取時多仰賴經驗判定，故使用上較無客觀性。

表 植 3-3-1 類植生群落調查之最小樣區面積(資料來源：「水保技術規範」，2014)

植生群落類別	最小樣區面積(m^2)
草本層	1~2
低灌木及高草本層	4
高灌木層	16(4x4)
喬木層	100(10x10)



圖 植 3-3-2 低莖草本(左)、高莖草本(右)樣區取樣調查(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2008)

四、樣區之數量：

樣區的數目一般須由植生群落之變化、後勤時間、經費及人力等因素決定。然而在精密之植生群落調查，應先確定樣區佔研究地區面積之百分率，同時在勘查時看出有幾種植群型，並於取樣時每一種植群型不僅皆需涵蓋，同時應有

所重複，因樣區之數目會影響調查之精度，而在決定適當之樣區數時大多採用「種數-樣區數曲線」法，此法與種數-面積數曲線法相似，即以植物種數與樣區數目之關係進行繪圖研析。

3.3.2 樣區取樣調查項目與方法

一、植生調查之定量介質：

可用來定量植生群落較為常用的為密度(density)、頻度(frequency)、覆蓋度(cover)或優勢度(dominance)。此外，尚有許多可使用的介量，如生物量，此乃經由收割獲得，常以每單位面積之重量來表示。另葉面積指數(leaf area index)，亦為常用之介量。

(一) 密度(density)

指單位面積內植物之個體數，其計算通常以每 m^2 或 ha 上之株數來表示。但在應用上常引起困難，原因有

1. 個體確認之困難：如叢生竹類、匍匐狀灌木或草皮等。
2. 樣區之邊界效應(marginal effect)：樣區的邊界可能跨過一個植物個體，難以評斷是否該計算或加以排除。
3. 時間之花費：於計算草本植物或灌木植物時，常需花費大量時間。

(二) 頻度(frequency)

指某種植物在各設置的樣區或樣點中出現的次數，通常以調查中被記錄到的樣區數，對總設置的樣區數之比值來加以表示。但頻度並非絕對的量值，其受樣區大小及形狀影響甚大。通常用百分率表示，為方便統計以百分率予以分級(水保技術規範)如表 植 3-3-2 所示。

表 植 3-3-2 頻度等級區分(資料來源：「水保技術規範」，2014)

等級	被紀錄樣區數之百分比(%)
第 A 級	1~20
第 B 級	21~40
第 C 級	41~60
第 D 級	61~80
第 E 級	81~100

(三) 覆蓋度(covering)

覆蓋度係以某種植物樹冠或枝條投影面積對地表面積的比值，常以分數

或百分率表示之。通常做為植生群落內，不同植物所占空間比率之差異性比較，及作為植物於生育地的優勢度(dominance)之參數。

表 植 3-3-3 覆蓋度等級區分(資料來源：「水保技術規範」，2014)

等級	覆蓋面積百分比(%)
第 A 級	少於 5
第 B 級	6~25
第 C 級	26~50
第 D 級	51~75
第 E 級	76~100

備註：如使用覆蓋率一詞，通常指現地實測或分析所得數據，但不做為植生覆蓋等級上之區分之用。

3.3.3 無樣區取樣調查法

一、點中心四分法(point-centered quarter method)：

本法亦稱為四象限法。於此法中每一個樣點需量測四個距離，其步驟如下：

(一) 先以羅盤儀定出一基準線，於此線上訂出一些樣點。

(二) 於每一樣點上，以一線垂直於基準線，將之劃分成四象限，如圖 植 3-3-3

(三) 量測每一象限中，距此樣點最近之林木與此樣點間之距離，並計算其平均值。

(四) 記錄每一樹種名稱與胸徑，以供分析使用。

(五) 多次樣點測值之平均值略等於單株之平均距離 d。

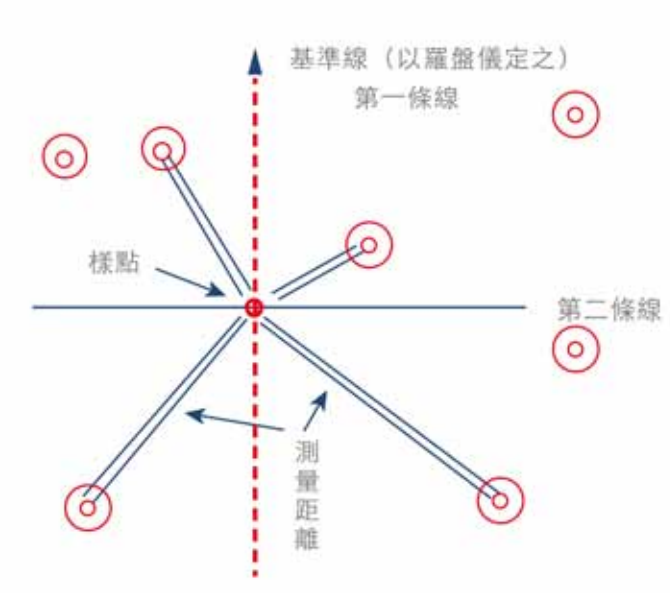


圖 植 3-3-3 點中心四分法(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2008)

表 植 3-3-4 點中心四分法調查表(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2008)

測點	象限號碼	林木種類	胸高直徑(cm)	距離(cm)
1				
2				
3				

二、點框法(point-frame method)：

本法亦稱點截法(The point-intercept method)或點樣區法(point-quadrat method)。其原理為估測植物覆蓋度時，將植物覆蓋的輪廓描繪至方格紙上，然後計算其所佔方格數，所得加以計算即為此植物之覆蓋度。量測時，所適用器具為點頻度框(point-frequency frame)，此框架通常由木材所製，高與長均為1 m，具有十根與支架等長之線針，從孔中穿插而過。此框因高度受限，故只適用於一般高度(20~50 cm)之草本植物或低矮灌木群等。取樣時，因沒有邊界及面積之限制，僅需考慮位置因子，故其為最簡單、迅速之調查方法，但一般以調查下層植物為宜。點頻度框之尺寸、孔數多寡或線針間隔可視草本植群情形調整，亦可以貼地面板框降行調查如圖 植 3-3-4。

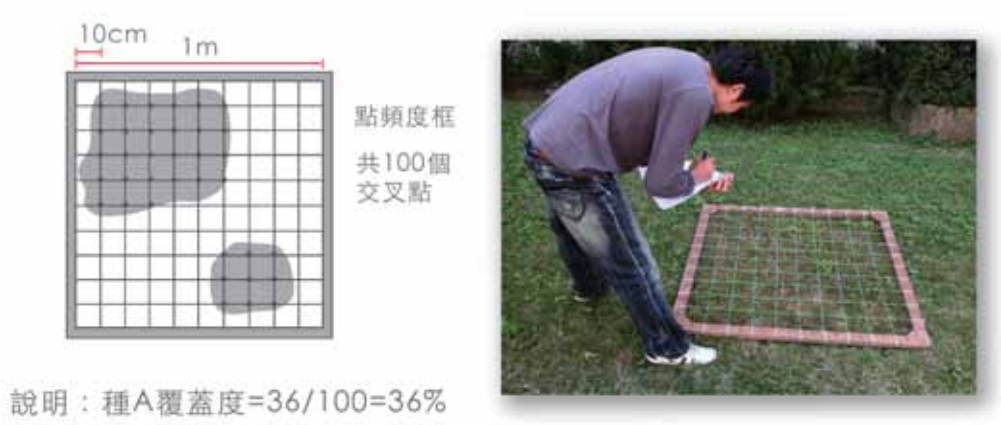


圖 植 3-3-4 點截法使用之板框(資料來源：林信輝，2016)

3.3.4 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

林信輝(2008)，「集水區植生群落調查應用手冊」行政院農業委員會水土保持局編印。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

3.4 植生調查分析與應用

3.4.1 重要性與種歧異度之計算

一、重要值指數之計算：

植物社會介量以重要值指數值(important value index, IVI)表示。將植物社會分成上下兩層(喬木層和地被層)，計算各種植物在各樣區中之密度、頻度及優勢度，再轉換成相對值，上層植物社會重要值即三者相對值之總和，下層植物社會重要值即相對頻度和相對優勢度之總和，其意義代表某植物在林分樣區中所佔有之重要性。各計算式如下：

$$\text{喬木層優勢度(dominance)} = \frac{\text{某種植物樹冠投影面積(或胸高斷面積)之總和}}{\text{所調查之總樣區數}}$$

$$\text{地被層優勢度(dominance)} = \frac{\text{某種植物覆蓋面積總和}}{\text{所調查樣區面積總和}}$$

$$\text{相對密度(relative density)\%} = \frac{\text{某種植物之密度}}{\text{所有植物密度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對頻度(relative frequency)\%} = \frac{\text{某種植物之頻度}}{\text{所有植物頻度之總和}} \times 100\%$$

$$\text{相對優勢度(relative dominance)\%} = \frac{\text{某種植物之優勢度}}{\text{所有植物優勢度之總和}} \times 100\%$$

喬木層 IVI=相對密度+相對頻度+相對優勢度(總和為 300)

地被層 IVI=相對頻度+相對優勢度(總和為 200)

另植物生長優勢度(summed dominance ratio, SDR)可視為植物之社會地位程度。常以生育地內植物重要值(IVI)指數之總和 100 為基準值，做為植物生長優勢度之計算依據。以草本植物而言，其生長優勢度為相對頻度與相對覆蓋度之平均，而木本植物則考慮其植物相對密度，因此，各植物生長優勢度計算公式如下。

$$\text{SDR}\left(\text{草本植物}\right) = \frac{\left(\text{相對頻度} + \text{相對覆蓋度}\right)}{2} = \frac{\text{IVI}}{2}$$

$$\text{SDR}\left(\text{木本植物}\right)=\frac{\left(\text{相對密度}+\text{相對頻度}+\text{相對優勢度}\right)}{3}=\frac{\text{IVI}}{3}$$

二、種歧異度指數之計算：

一個植物社會，若其組成分子越複雜，則其越能夠承受外力的干擾。反言之，若這個植物社會的物種相當單純，一旦植物社會的優勢植物種類遭受干擾，則對於整個植物社會的影響，將極為嚴重。植物社會的複雜程度係以種歧異度(species diversity index)來表示。其表示方法有下列四項：

(一) 種豐富度(Species richness, R)

$$\text{R}=\frac{S}{N}$$

S：在所調查的植物社會中，總共出現的種類。

N：在所調查的植物社會中，總共出現的個體數(株數)。

(二) 辛浦森氏歧異度指數(Simpson index of diversity, Dsi)

$$\text{D}_{\text{si}}=1-\sum\left(\frac{\text{n}_\text{i}}{\text{N}}\right)^2=1-\sum(\text{P}_\text{i})^2$$

n_i：第 i 種植物個體數。

N：整個植物社會所有植物種類個體數之和。

$P_i= n_i/N$：各物種出現之可能率

(三) Shannon 歧異度指數(Shannon index of diversity, Dsh)

$$\text{D}_{\text{sh}}=-\sum\left(\frac{\text{n}_\text{i}}{\text{N}}\right)*\ln\left(\frac{\text{n}_\text{i}}{\text{N}}\right)=-\sum(\text{P}_\text{i})*\ln\text{P}_\text{i}$$

n_i：第 i 種植物個體數。

N：整個植物社會所有植物種類個體數之和。

3.4.2 植生群落分析

一、植生群落相似性：

為比較兩植物群落之相似度， Motyka 等人(1950)以物種優勢度等為介量，來計算 Smo 相似度指數，比較兩地區植物群落之相似性。

$$\text{Smo}=\frac{2\text{Nw}}{(\text{Na}+\text{Nb})}\times100\%$$

式中：Na=A 樣區群落的總個體數

Nb=B 樣區群落的總個體數

Nw=兩樣區之共有種所含個體數較少者之總和

二、矩陣群團分析：

依上述不同調查樣區間之群落相似性指數之計算，進行矩陣群團分析。可將調查區域之植生群落加以歸群，最終以樹形圖方式表達此調查區植生群落分布情形。一般而言，計算出任意兩樣區或林分間之相似性係數，排成矩陣而後依相似性水準，將兩相似之樣區，依相似性之高低次序，先後合併，逐次分群。此分類法稱為矩陣群團分析(Matrix cluster analysis)，又稱為樹形圖圖解法(Dendrogram)。計算步驟如下：

(一) 選擇一群落相似性指數公式，來計算所有樣區兩兩之間的相似性指數，製成一相似性指數矩陣。

(二) 從相似性指數之矩陣中，找出相似性指數最大者，挑出此二樣區，在圖上將其連結在一起。

(三) 將此面積區合併為一樣區後，再計算所有族群樣區之相似性指數矩陣。

(四) 指出重新計算所得之相似性指數最大者，將其再合併為一族群樣區。

(五) 重複 3.4 之步驟，到最後剩兩樣區為止，如此可依相似性指數之大小連結，即為一樹形圖，如圖 植 3-4-1 所示。

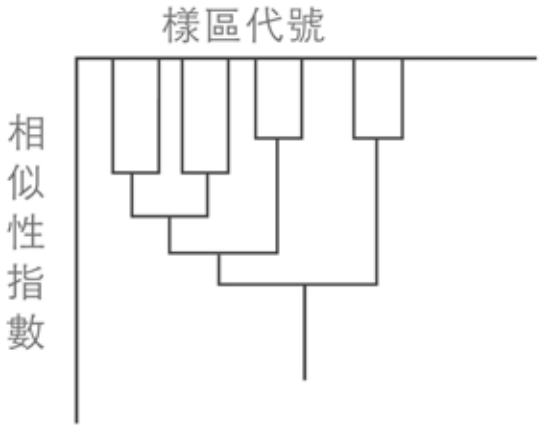


圖 植 3-4-1 樹形圖之雛形(資料來源：「集水區植生群落調查應用手冊」，2008)

3.4.3 常態化差異植生指標

常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)為近紅外光波段與紅光波段之差與這兩波段之和的比值，可以用來判別植生反射量之多寡及監測植生變化。常態化差異植生指標之計算原理，係採用健康的綠色植生在近紅外光有強烈反射且因光合作用對紅光有強烈吸收的特性，其公式一般表為：

$$\text{NVDI} = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

式中 NIR：近紅外光反射值

R：紅光反射值

常態化差異植生指標值域介於–1~1 之間，NDVI 值小於零之像元，通常屬於非植生群落之雲層、水域、道路及建築物等，而指數越大，代表綠色生物量越多。NDVI 較一般植被比(Vegetation Index, VI＝NIR/R)來得嚴謹，VI 可測定某地區之相對綠度，但對地區間及季節間則會產生頗大之差異，而 NDVI 則改善了此種情形，此因該指標具有常態化效果，可減低地區間及季節間因光能量不同所造成之波譜反射差異，故為植物生長狀態及植被空間分布密度之最佳指標之一，其已被廣泛應用於測定綠色植物之光合作用、植物之覆蓋率及生物量等(水土保持手冊-植生篇，2005；林信輝，2016)。

3.4.4 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2008)，「集水區植生群落調查應用手冊」行政院農業委員會水土保持局編印。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

Motyka, J. B. Dobrzanski and S. Zawadski. (1950).Wstepne badania nad lakami, poludniowowschodney. Lubelszczyzny (Preliminary studies on mead ow sin the southeast of the province Lublin. Summary in English), Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska, Sec. E. 5：pp.367-447.

肆、植生前期作業

4.1 植生前期作業之工作項目

植生前期作業，主要工作包括基地之整地與坡面處理、坡面保護、坡腳保護、坡面排水及其它必要工程等。水土保持技術規範第 59 條之規定，補充列述，如表植 4-1-1。

表 植 4-1-1 植生前期作業之工作項目(資料來源：修改自「水保技術規範」，2014)

類別	工作項目		目的
坡面處理 (含整地)	1.坡面整理 2.表土、棄土處理 3.重要樹木與植物群落保護與移植 4.客土與土壤改良 5.階段設置 6.其他坡面處理		1.消除坡面之植生障礙因子。 2.營造有利植物生長環境。 3.現地表土有效利用。
坡面保護工程 (含安定設施)	1.固定框工 2.打樁編柵 3.網材鋪設工 4.栽植槽 5. 其他坡面安定設施		1.營造穩定之植生立地條件 2.增加坡面粗糙度，降低邊坡土壤下移之風險。
坡腳保護工程 (含安定設施)	1.混凝土擋土構造物 2.砌石擋土構造物 3.疊式擋土構造物 4.原木(木格框)擋土構造物		1.增加邊坡之穩定性，供植物生長之良好環境。 2.降低坡面坡度，改善植生立地條件。 3.填方或挖方坡面之安定處理
坡面排水	地表	坡緣排水 縱橫向排水 小平臺排水 路緣排水	1.增加土壤之透水量，降低地表逕流。 2.防止逕流造成坡面崩塌與地表沖蝕。
	地下	水平排水管 盲溝排水	1.降低土壤含水量與地下水位。 2.防止滲流或湧水造成坡面之沖蝕為害。
其他	必要之臨時性土砂災害防止設施。	1.臨時土砂緩衝區 2.簡易防砂壩 3.防災土堤調節池 4.其他簡易攔砂設施等	1.施工前或施工中以簡易方式施工，於工程完工後清除。 2.攔截或沉積土石，防止泥砂外移。 3.避免位於逕流水、湧水等水量過多之地區。 4.保護施工人員、機具與上坡構造物之安全。

註：坡面保護工程、坡腳基礎工程及坡面排水工程亦合稱為植生基礎工。其工程規模尺寸較小時，可由植生工程設計施工單位完成，若工程規模如屬較大規模之工程構造物，相關資料可參閱本手冊工程篇、圖例說明。

4.2 坡面處理(含整地)

4.2.1 坡面處理(含整地)原則與目的

一、原則：

(一) 在坡面較陡之深層崩塌地區，常形成許多不規則裸岩，會造成邊坡不穩定或有後續崩塌可能，應給予適當之坡面整理。

(二) 在坡面上如有既存植物時，若無妨礙工程之施作應予以保留。

(三) 當黏性土坡面太平滑時，植生基材不易密著，應適當鑽孔、挖植溝或鋪網材等，以增加坡面糙度。

(四) 若有保全對象時，整地後之坡度應小於該土層安定之臨界坡度。但在陡峻地形或坡面長等地區，因為挖方的土方不易處理，應依土質、地形、地質及環境條件，決定整地作業方法之坡度。

二、目的：

(一) 土石滑落與崩塌之慮的坡面，去除不安定土方或整理坡面型態以穩定坡面。

(二) 植生基地外緣，削除頂部區位不穩定或不規則狀態的浮石或殘餘土，造成穩定度較高的坡面。

(三) 將坡面整理成平緩，以營造植物適合生長、繁殖與演替之生育基盤；並使綠化資材與坡面密接，利於植生之固定與著生。

4.2.2 坡面整地

一、整地後之坡度以緩於 1：1 為準則。岩盤坡面上施工時，較大之凹凸坡面有利於造成植生容易成功之生育基盤，亦即對於沒有崩塌危險之坡面，以做成較大型之凹凸坡面為佳(林信輝，2016)。

二、在不安定的坡面上，配合坡面保護構造物並同時進行坡面植生基地條件。

三、在岩質坡面，有浮石或不安定土石等會影響植生工程施作時，應進行移除或刷坡處理。

四、用鋪稻草蓆或不織布等施工時，坡面整成平滑較適當。

五、採用種子撒播法施工時，以有某種程度之凹凸坡面較利於綠化資材之密接與植生之固定及著生。

六、在一般硬質土層坡面、無土壤之岩質坡面、硬度較大之土壤或特殊岩層之坡面上，挖溝與鑽孔以供客土。其設計與施工方法，略說明如下：

(一) 清除坡面危石及殘枝等雜物。

(二) 用開溝機械或尖嘴鋤頭於坡面上每隔 50cm 挖掘寬 10~15cm，深 10~20cm 之小溝，或用鑽孔機在坡面上每 m^2 鑽 6~9 個穴，每穴深 15~20cm、直徑 6~10cm(林信輝，2016)。

(三) 於溝內或穴內客土並施堆肥或遲效性肥料，以利於植物根系之生長。

(四) 坡面開溝或鑽穴後，可配合鋪網客土噴植。

(五) 開溝與鑽穴對於土壤硬度在 25~30mm 範圍之土壤處理較為有效。但對於土壤度在 25mm 左右之黏性土壤，亦可改善其通氣性，有助於植物根系之生長(林信輝，2016)。

(六) 在礫石層地區不宜進行挖溝與鑽孔，泥岩坡面上需坡度緩於 1：1.5 時，才能進行。

4.2.3 表土之保存利用

一、坡面上之表土通常指地表面上厚度約為 10～30 cm，含有有機質之土層範圍(林信輝，2016)。

二、預先調查坡面表土之情況，若表土具有豐富之有機質與良好之質地與物化特性，可規劃將表土做為植生基材使用。

三、採取表層土時，可供利用之樹木(灌木、小苗)需同時採取，假植於肥沃地或苗圃，供為植生用苗木。

四、採取之表土，堆積於平坦地，撒播豆科或草本植物種子，或蓋上塑膠布以防止土壤流失。

五、表土可直接供存播種與栽植時使用，或經土壤改良後作為植生基材使用。

4.2.4 重要樹木與植物之保留

一、預先調查並確認具保存價值的樹木或植物群落之存在與否。

二、在景觀上、學術上重要之巨木、貴重群木及稀有與具經濟價植樹種，於坡面整地時應設法予以保留。

三、現有樹木經現地調查後，應區分為伐除、截短、保留或移植等進行不同之處理，在不影響施工作業情形下，應盡量保留現有樹木；必須移到其他場

所栽植時，需視需要進行切根或假植，移植時期應避開嚴冬或酷暑之季節，通常在 3～5 月進行栽植較佳(林信輝，2016)。

4.2.5 土壤之改良與客土

一、坡面土壤改良，一般可分為客土及添加土壤改良劑兩種處理。土層淺薄、石礫地或嚴重污染地，可用客土處理，土層深厚之酸性或鹼性土壤，可添加土壤改良劑以中和土壤 pH 值及改良土壤物化特性。

二、由於崩塌地通常土壤淺薄，進行土壤改良有實質上的困難，故通常以客土或鋪撒腐熟堆肥等植生基材為主進行。

三、若土壤貧瘠無法供植物正常生育時，亦可施有機土、栽植綠肥(豆科植物)或栽植固氮喬木及草類等進而達到土壤之改良，如赤楊、楊梅、相思樹等固氮樹種可以混植及間植的方式，均可有效增加土壤全氮含量。

4.2.6 坡面階段處理

一、坡長過長(大於 10m 以上)時，需在坡面上設置階段，並在階段上栽植草木，以安定坡面。

二、主要目的為縮短坡長，防止漫地流集中，並作為各種作業之基礎、作業道，提供植物生育之基盤，尤其在陡坡地，設置階段頗有效。

三、用地受限制的坡面，常因設置階段而使坡面變陡，故坡面宜植草以防沖刷。

四、階段之一般設計規格，階段間隔為 5~7m；階段台面採內斜式，斜率為 5~10%；階段台面寬度小於 1.5m 時，通常稱為小階段處理，其階段面以排水為主，或以栽植中小灌木為宜。

五、階段上需設置排水設施，縱向降坡約 1~2% 。

六、階段台面寬 1.5m 以上或至 2.5m 時，階段台面可客土植生，配合內側排水；階段台面寬 3m 以上時可規劃複層植栽，階段上栽植高大木本植物時，可能誘發坡面崩塌，宜慎重為之。

七、階段上鋪設 U 型預鑄水泥溝時，需注意埋設深度與接頭處之施工。

4.2.7 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2016) ，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016) ，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

4.3 坡面保護工程(含安定設施)

4.3.1 坡面保護工程之目的

一般而言，坡面保護工主要為增加坡面安定、減緩坡面土壤流失、改善坡面不適合植物生長環境等，而不同施工方法及整理後造成坡面之凹凸程度，均會影響植物之生長。主要工程設施包含固定框、打樁編柵、被覆材料鋪設、植栽槽等(水土保持手冊-植生篇，2005；林信輝，2016)。

4.3.2 固定框

一、固定框之定義與目的：

(一) 定義：

固定框(frame work)為坡面上施設連續之格子狀框，包括預鑄之水泥框條組合及鐵製菱形框，或是現場打造之混凝土框、型框等，將坡面由格框區分為小區塊，防止雨水集中或逕流沖蝕，藉由框材錨定穩定坡面以利格框內部噴植或客土植生之工法。

(二) 目的：

1. 保護坡面:防止土壤條件不良的坡面受沖蝕及風化，同時保護客土等植生基材，框內易於達到植生覆蓋成效。本法適用在背向土壓較小之地點，坡面格框不會從坡面滑落者為宜，並視需要配合使用錨釘固定。
2. 防止坡面崩塌:坡面岩層裂隙發達，崩塌或裸露坡面有可能擴大或發生土石滑落之危險時，固定框施作需配合岩錨固定在堅實岩層上，抑止土壓力可能導致崩壞之情形。在坡面有湧水或易積水地區，應先施設排水溝，且框內應為可透過性，使框內植生植物根系伸入原地層生長，若為邊坡穩定之需要，框內以混凝土密封時，可採用土壤袋鋪置植草或厚層噴植植生。

二、固定框之種類與適用範圍：

(一) 混凝土固定框(使用模板)

1. 坡地社區或重要道路等之邊坡，其地質條件較差者
2. 坡面起伏較大且不規則之邊坡。
3. 坡面表層呈現風化、崩落現象者。
4. 坡度 45˚~65˚之邊坡，如在硬質岩面，則可在更陡之坡面進行。
5. 有湧水之風化岩或長期不安定之地方。

6. 岩錨坡面安定工法之配合處理方法。

7. 框內客土噴植或放植生土袋等，形成厚層客土層以利植生。

(二) 噴漿式混凝土框(型框、自由梁框，不使用模板)

1. 坡面起伏較大且不規則之邊坡。

2. 坡面表層呈現風化及有落石現象者。

3. 坡度 45˚~65˚之邊坡，如在硬質岩面，則可在更陡之坡面進行。

4. 有湧水之風化岩或長期不安定之地方。

(三) 預鑄框

1. 坡地社區或重要道路等之邊坡，其地質條件較差者。

2. 坡面凹凸較少，坡度緩於 45˚之邊坡。

(四) 鐵製框

1. 坡地社區或重要道路等之邊坡，其地質條件較差者。

2. 坡面凹凸較少，坡度緩於 45°之邊坡。

3. 無土壤之岩石坡面。

三、固定框工之規劃設計原則：

(一) 混凝土固定框(使用模板)

現場打造之混凝土連續框具固定力強之特性。一般以表 植 4-3-1 所列參考值為主。

表 植 4-3-1 混凝土固定框常用規格概要(資料來源：林信輝，2016)

目的		框材寬度	框材間距	安定分析考量項目
保護坡面	1.防止挖方坡面的表面風化。 2.配合框內植生。 3.防止表面剝脫而崩塌。	15~20 cm	100~120 cm	荷重小、強度夠，原則上不作安定計算。
		20~30 cm	100~200 cm	自重及填充材料的重量。
防止坡面崩塌	1.抑制小崩塌或圓弧形滑動。 2.防止小規模地滑。	30 cm 以上	200 cm 以上	1.坡面中間部位圓弧形地滑的土體，框縱軸及橫軸的自重及填充材料的重量。 2.滑動面以上土體之移動計算之，不足部分用錨定栓或地表錨定抑制之。

(二) 噴漿式混凝土框(型框、自由梁框，不使用模板)

在坡面上舖鉛絲網，用錨釘固定之，在其上配置格子狀鋼絲並噴上水泥漿，狀似將鋼絲包起來形成框。因變形自如、能適用於未完全均勻整坡之坡面。

1.坡面略加整理後，於坡面中以坡肩為基準線，沿基準線垂直方向，每隔 1.2 m 設置錨釘一排，錨釘深度一般為 50 cm，並可依坡面狀況及實際需要調整之。

2.不使用模板的優點，價廉、坡面變化大的地點亦可施工、工期短。

3.適用於淺層崩塌坡面，軟岩或有落石危險地點。不適用於有膨脹性和收縮性的岩層坡面。

4.現場排設鐵筋及噴水泥漿後，通常配合噴客土植生。

(三) 預鑄框

使用混凝土等既成品的框條、角材或圓弧形材料，鋪設於坡面，框內予客土綠化，使用於斜率比 1：1.5 以下，坡面平滑者。

1.坡面整修平順，使框條與坡面密切接合。

2.框條每個長 100 cm，寬高各 10 cm。

3.在框條接合處以預埋之#12 鐵絲，互相連接固定後，再於接點處打入鋼管，或安裝錨釘固定框條。

4.客土於水泥框條內，厚度約 10 cm，壓實整平後植草。

5.有地下水或滲透水的坡面，內宜砌石處理。

6.坡度緩於 35°時，框內用客土植生；坡度大於 35°時，鋪埋設網後用噴植法植生或土壤袋客土植生。

7.泥岩地區或有滑動危險地區，不宜使用預鑄水泥框。

(四) 鐵製框

穿孔鋼板或鐵絲網製成約 1 m 直徑之圓形或菱形框，安裝於坡面上以利客土植生。其適用範圍與預鑄水泥框略同，但較適合於地面略有凹凸或地質條件惡劣之地區。

1.將坡面略加整理後，以鋼板或鐵絲製成約 1 m 直徑之圓形框或菱形框，框高 10 cm，並以直徑 1.3 cm，長 50~70 cm 之錨釘固定之。

2.邊坡坡度緩於 45°時，客土可用砂壤土；陡於 45°時，客土宜用黏壤土並應加強框桁之錨定，或配合土壤袋植草。

3.客土並應確實整平後植草。

4.鐵製框以折曲之鋼條於坡面上安置成菱形框，則材料搬運較為方便。

5.鐵製框空隙多，植物根系可伸出框外而相互連結，利於植物生長與邊坡安定。

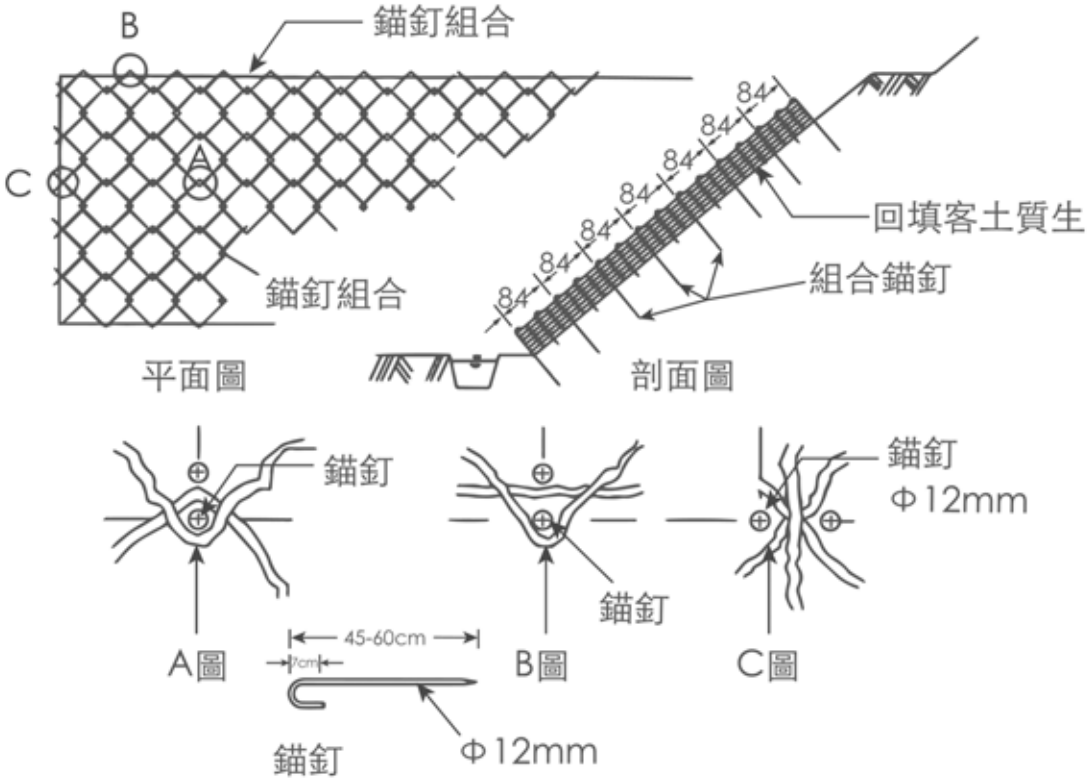




圖 植 4-3-1 鐵製框工法設計示意圖與案例照片(資料來源：「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」，2007)

四、固定框配合植生：

(一) 岩層地下水位高或有湧水之情形時，框內以鋪石為佳。

(二) 直接客土時，其客土情形與填方坡面相同，僅能應用在緩坡 35˚以下)之固定框內。

(三) 大型植生袋或土壤袋使用時，避免袋體破壞後土壤溢出，其應用範圍之最大坡度為 45˚。

(四) 下層岩面具不透水性時，需配合排水孔之設計。

(五) 框內鋪鐵絲網配合噴植之施工方法，可應用至較陡坡度。

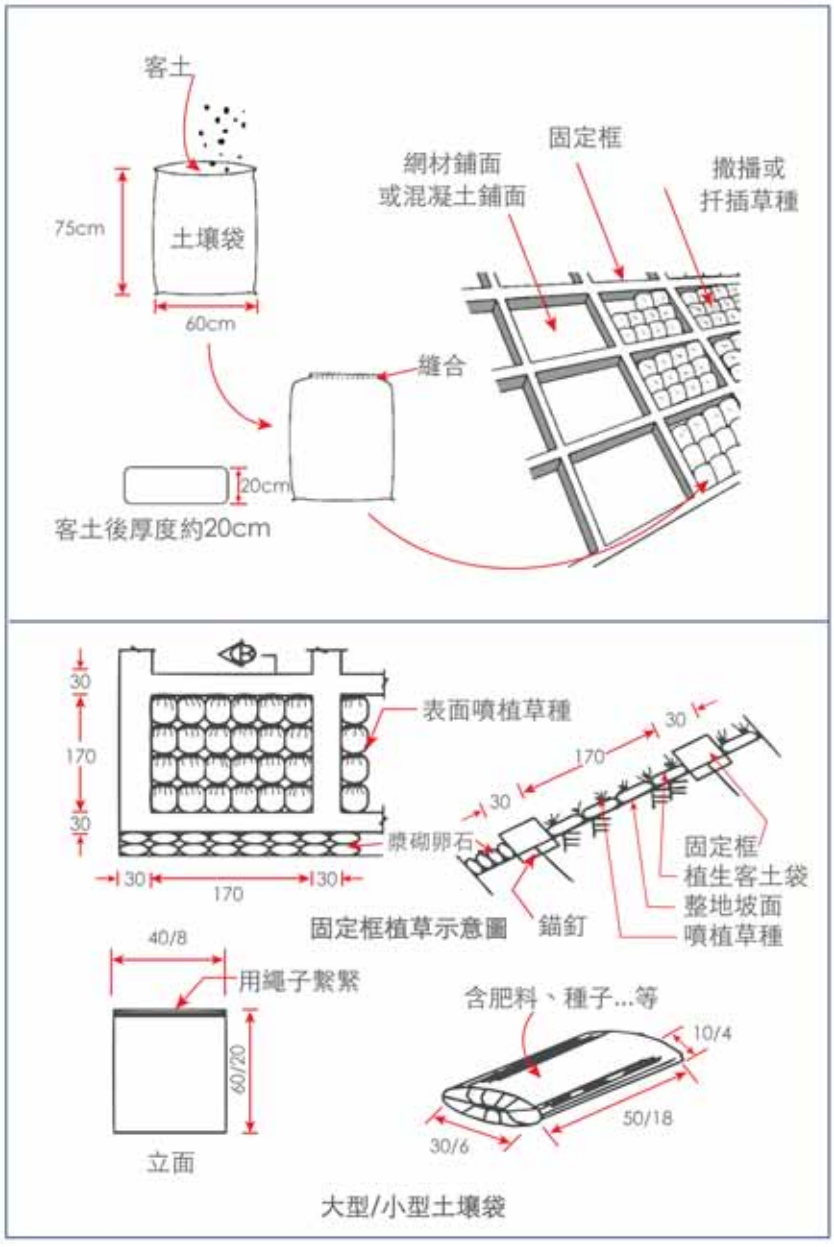
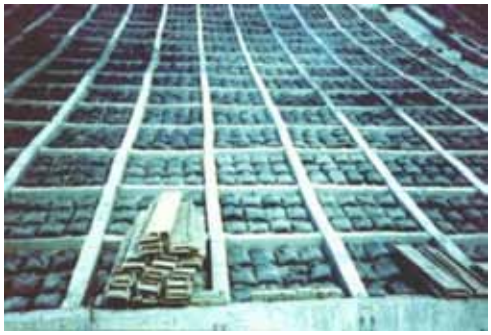


圖 植 4-3-2 固定框內土壤袋客土植生工示意圖(資料來源： 林信輝，2016、水保手冊，2005)



大型固定框內配合擋土柵與苗木栽植



混凝土固定框客土-土壤袋鋪設完工



框內山芙蓉苗木植栽



框內苗木植栽與噴植工法併用(日本)



框內噴植多種木本植物種子(半年後成果)

圖 植 4-3-3 固定框配合植生案例照片(資料來源： 林信輝)

4.3.3 打樁編柵

一、打樁編柵之定義與目的：

(一) 定義：

使用萌芽、不萌芽之木樁或其他材料製造之樁，依適當距離打入土中，並以枝梢、竹片、PE 網、鐵絲網等材料編織成柵之方法(林信輝，2016)。簡言之，打樁編柵係以適當角度打入地面之竹木樁或鐵樁，及柔軟之植物枝條或網材編柵而成，打樁編柵之種類與設計示意圖，如圖 植 4-3-4。

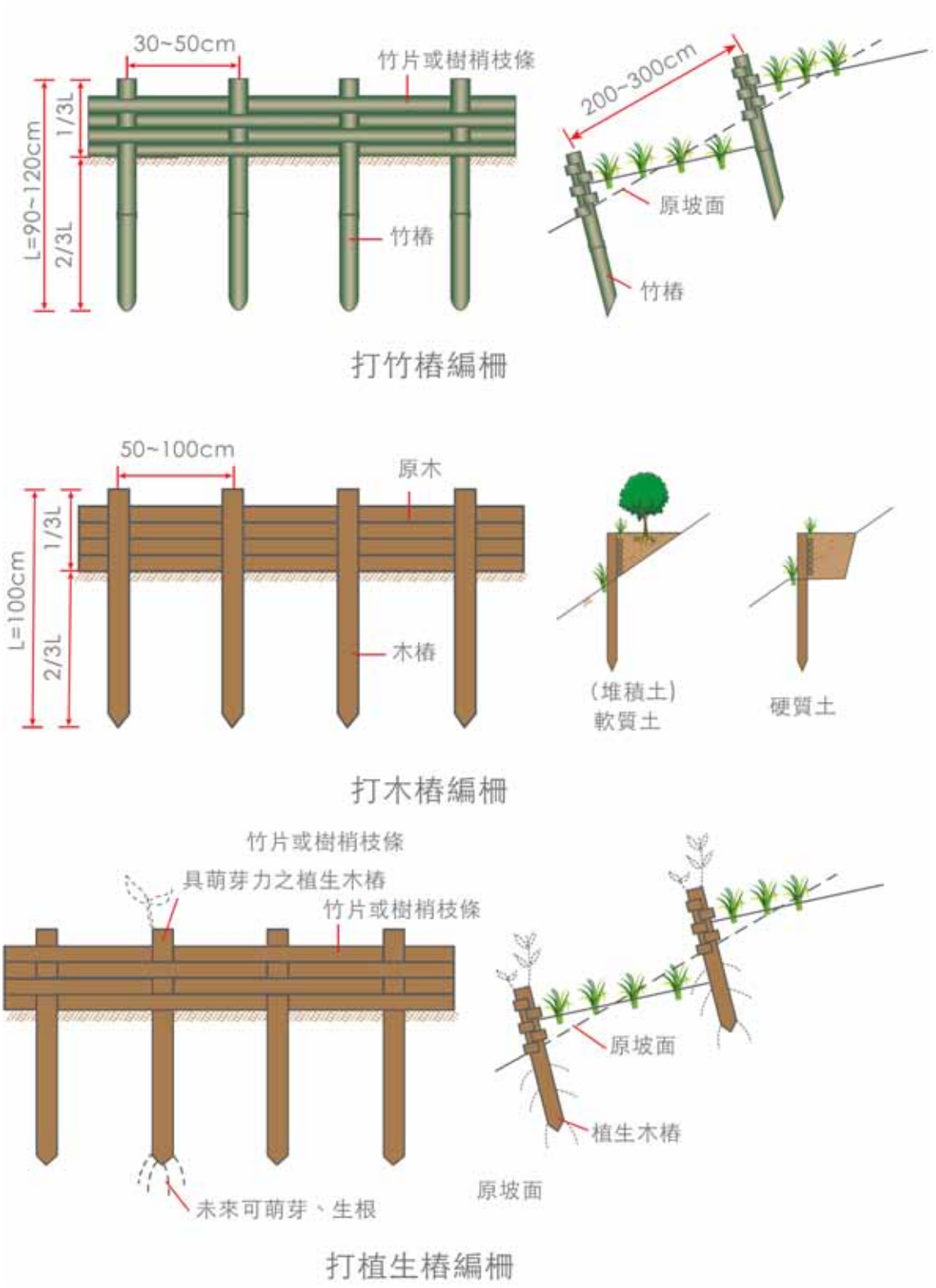


圖 植 4-3-4 打樁編柵類型設計示意圖(資料來源： 林信輝，2016)

(二) 目的：

固定不安定的土石、改善坡度、防止沖刷及造成有利植物生長之環境。適用於一般土壤挖填方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面。

二、打樁編柵之種類、特徵與應用方法：

(一) 打竹樁編柵

適用於一般土壤之挖方坡面、坡度 45˚以下之填方坡面及崩積土或淺層崩塌坡面。施工前需稍加坡面整平及消除沖蝕溝，清除危石及植物殘株，並依邊坡形狀及地質狀況，於坡頂及坡面構築截洩溝。樁距視坡度及地質條件而異，一般排樁之行距為 2～3 m，樁距為 30～50 cm。竹樁末端直徑 5～8 cm，長度 0.9～1.2 m，竹樁打入土中之角度，以垂直線與坡面垂直線交角之 1/2 為原則，打入土中 2/3 以上，出土 15～30 cm，樁間以竹片、樹梢枝條或其他材料編柵(林信輝，2016)。易沖蝕之地區，必要時得另加鋪不織布。

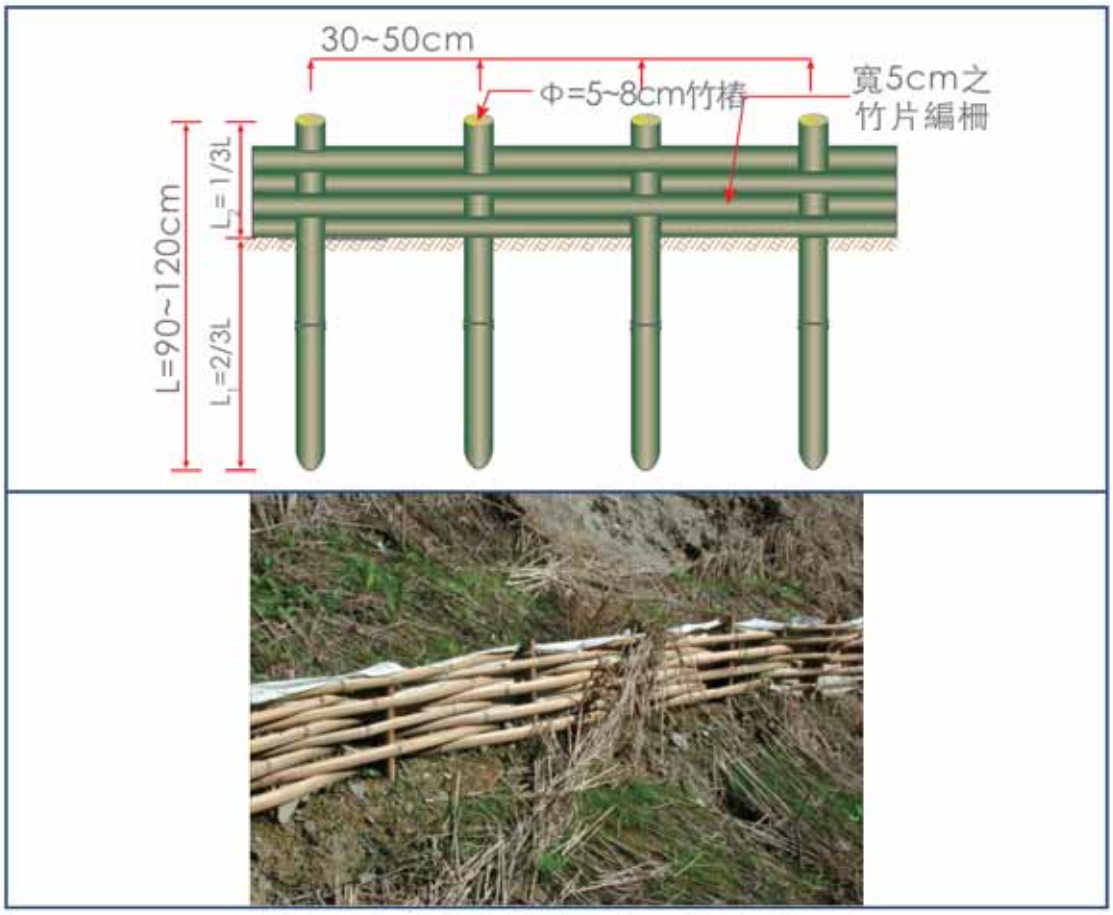


圖 植 4-3-5 打竹樁編柵示意圖與案例照片(資料來源：林信輝、「水保手冊」，2005)

(二) 打木樁編柵

打木樁編柵係無萌芽力之木樁材料，通常樁距為 50～100 cm，行距則依地形與擋土高度而異，木樁直徑約為 10～15 cm，以適當喬木及灌木樹種之材料(以柔軟分枝少、耐久力高者)製作(林信輝，2016)，其相關案例，如圖 植 4-3-6 所示。打木樁編柵之特徵與使用方法說明如下：

1. 施工前需略為整平坡面及消除蝕溝，清除危石及植物殘株，並依邊坡形狀及地質狀況於坡頂及坡面構築截洩溝。
2. 需於邊坡進行簡易擋土工處理之地點，且坡度小於 45° 的崩塌坡面。
3. 打樁間距視坡度與地質條件而異，一般每排樁之行距以 1～3 m，樁距以 50～100 cm 為原則。
4. 如以塑膠網或鐵絲網為編柵材料時，中間夾不織布，並以#10〝∩〞型鐵釘固定於木樁上，最上端需用鐵絲扭緊，以防脫落。使用人工材料之編柵，如 PE 網、鐵絲網等，須注意材料之顏色，使其與景觀調和。
5. 如使用打木樁編 PE 網柵之施工，在棄土場土石量較大或下方有溪流沖蝕之慮時，通常需配合於坡腳設置擋土牆。
6. 在坡面較緩、含石量較多、木樁直徑較大或為防止表層鬆方土石移動，可採用明挖溝(穴)後埋設木樁方式及配合小徑木之擋土柵體設置。爾後客土或回填表土至原坡面，及配合苗木栽植(此方法日本稱之為山腹工之主要設計，或稱為木製擋土柵)。



圖 植 4-3-6 打木樁編柵案例照片(資料來源：林信輝)

(三) 打植生樁編柵

使用具有萌芽力之植生木樁(如黃槿、九芎及水柳等配合編柵而成)。打植生樁編柵可以藉由木樁根系固定表層土，及連結表層土與基盤層，使用木樁之長度、粗細與間距，依填坡面表土厚度、打樁編柵之有效間距與所預測抵抗土壓而定。編柵材料以具萌芽能力之細軟活枝條最佳，打樁編柵後必須以土壤包圍其兩面，藉以生根發芽，其特徵與使用方法如下：

1. 使用萌芽之植生樁，依適當距離打入土中，並以枝梢、竹片、PE 網、不織布、鐵絲網等材料編織成柵之方法。
2. 一般而言，沿等高線以 1～2 m 之間隔打入長度 60～100 cm、徑 3～8 cm 之植生樁，編柵之柵體突出於地表約 15~20 cm。
3. 適用於坡度 45°以下之填方坡面、一般土壤挖方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面。
4. 木樁以採用萌芽力強之九芎、黃槿、水柳、稜果榕、雀榕、白肉榕、小葉桑、水黃皮、破布木、茄苳等木樁為主(林信輝，2007)。
5. 木樁應保持新鮮，打樁時須保護樁頭，不使打裂，裂開部分需鋸掉，以免影響其萌芽能力，如植生樁不敷使用時可以用末徑 6～15 cm 之疏伐木木樁或直徑 4～10 cm 之雜木樁材來替代。
6. 木樁打入土中之角度，以垂直線與坡面垂直線交角之 1/2 為原則，打入土中 2/3 樁長以上，出土 15～30 cm，樁間以竹片、PE 網或其他材料編柵之。
7. 打樁編柵後需削土及回填，使每段邊坡略呈平臺狀，或在平臺上客土，高度約 10 cm。每 m2 均勻施以 1 kg 之堆肥混合，樁行間亦可配合種子撒播或噴播方法。

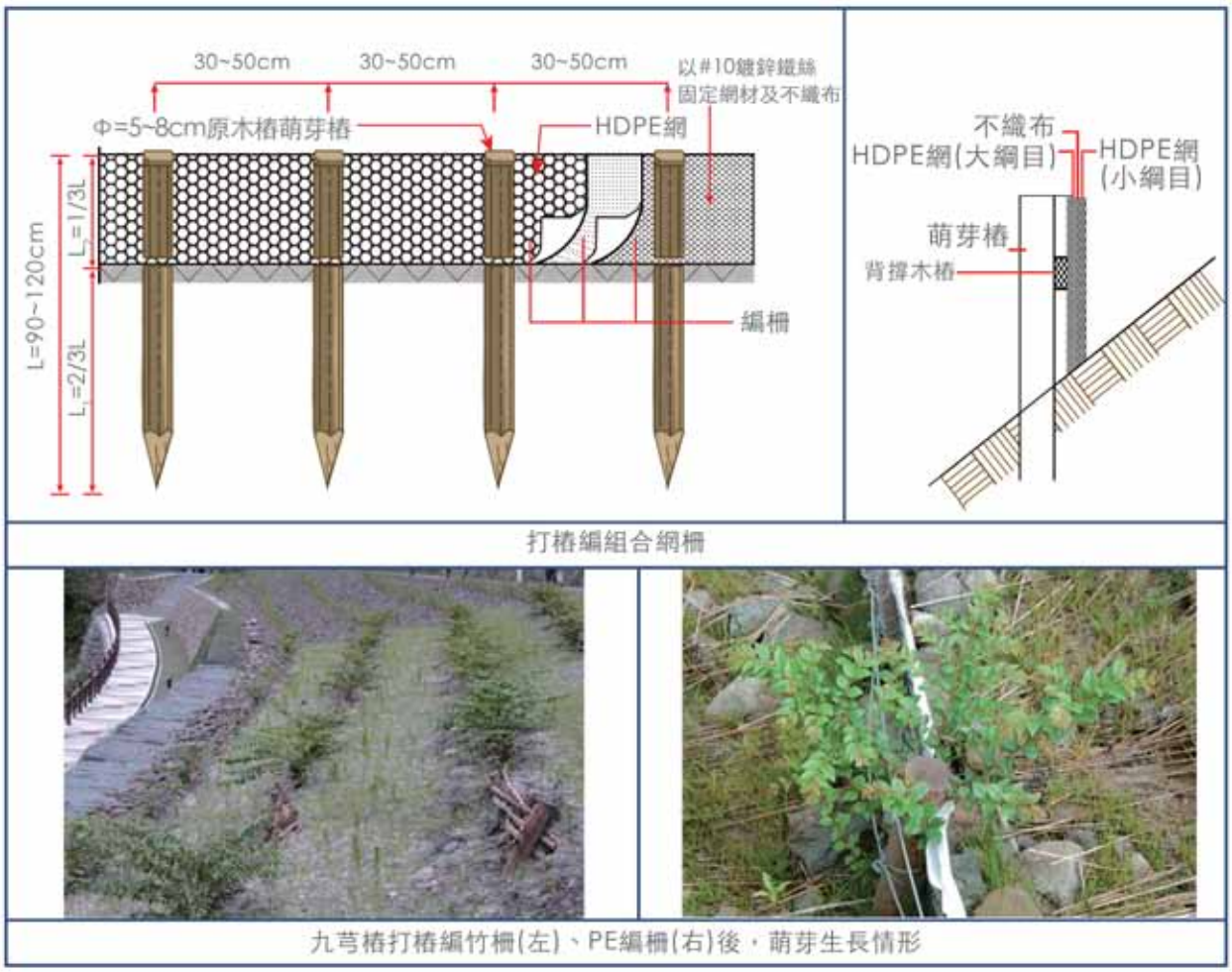


圖 植 4-3-7 打植生樁編柵示意圖與案例照片(資料來源：林信輝、「水保手冊」，2005)

三、打樁埋枝與切枝壓條：

(一) 打樁埋枝

上述之打木樁、竹樁或植生樁等打樁後於樁體之坡面上方，將細小直徑活體枝條或稻草、竹梢等綑綁成束，埋設入土中或敷蓋後進行覆土作業，以達坡面保護、促進植物萌芽生長或促進植生入侵演替之成效。常使用埋枝之植物材料包括九芎、水柳、五節芒、桂竹梢等。



圖 植 4-3-8 打樁埋枝相關照片(資料來源：林信輝)

(二) 切枝壓條

切枝壓條(brush layer)或稱枝梢埋置工，係將活體枝條散置於土壤層，彼此相互交叉重疊，其枝條末端突出於回填面，可快速生長、萌芽，達到減少坡面逕流、過濾泥砂之效果。

1. 種類與適用範圍

(1)應用於穩定邊坡、防止淺層滑動，並防止土壤侵蝕。

(2)大多利用木本植物之栽植及較厚之表土，配合適當之生長之環境，利安定土、防止土壤流失及固結土壤之方法。

(3)因其安定坡面之功效需待植物之根系深入地盤後方可顯現，故其不適用於有立即危險之坡面。

(4)適用於一般挖填方坡面或計畫洪水位以上之河岸

2. 設計原則

(1)可於冬末或初春時切下枝條，以發芽促進方法處理，待 3-4 月份時進行春季植物萌芽時，始有土層保護之功效。

(2)若土壤太乾燥，在初期要澆水，以增加萌芽率，待根系深入土層後，則可停止澆水，但應避免雨季前施工。

(3)枝條生長端應朝邊坡表面。如有倒插情形，可能使萌芽生長速度減緩，或致生長不良。

(4)每層的間距約為 1.5~3.0m，邊坡底部可再縮小間距，以加強其穩定功效。

(5)使用植物種類，已具有萌芽能力、當地原生種為主，可選用附錄二所列之植生木樁植物種類。

(6)與打樁編柵相比，切枝壓條施工後之坡面保護與土石安定之承載力較低，但價格略便宜，較適於較緩之坡面及期望快速植生覆蓋之地點。

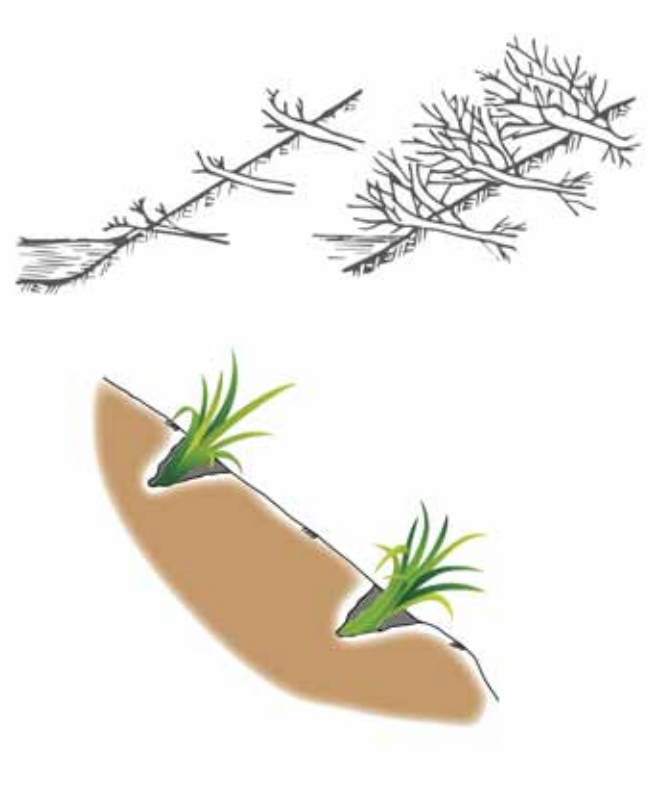


圖 植 4-3-9 切枝壓條設計示意圖(資料來源： 生態工法，2001、「水保手冊」，2005)

4.3.4 被覆網材鋪設

一、設置目的與適用性：

(一) 土質粗鬆之坡面或陡坡面，因地表逕流沖蝕或表層土石有不穩定與滑落之慮者，為保護坡面或植生導入作業，增加材料的附著與連結而使用。

(二) 適用於防止坡面上播種的種子或肥料流失，或者預防發芽的植生受乾旱之害者。

(三) 網材種類眾多，應視使用目的、現場狀況而選用之。

(四) 覆蓋材料鋪設可與植生導入工同時進行，或施工後再進行植生。

(五) 採用含有種子等覆蓋材料時，須依環境條件與植生目標設計種子種類和配合比例。

(六) 配合種子撒播或噴植時，網材鋪設之目的在使種子及植生基材能確實和土壤密切接觸。特別在不規則地形、礫石地區需加強施作。

二、被覆網材應用工法類型：

被覆網材應用工法類型、所使用之材料及適用地點詳如表 植 4-3-2 所述。

表 植 4-3-2 被覆網材應用工法類型與應用(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

類 別	材 料	應 用 說 明
噴水泥漿封層工法	鉛絲網配合水泥漿噴佈	應用於落石、湧水、陡坡地區，坡面有崩塌之虞或植生施工困難之地點。
粗枝條工法	粗枝條、活體植生材料	防止坡面小平臺間之沖蝕崩塌，配合暗溝排水，易取得枝條或活體植生材料及撒播之地點。
敷稻草蓆工法	稻草蓆、草稈	應用的坡面少雨乾旱、表土鬆軟且粗糙地區。撒播種子後可採用敷稻草蓆防止種子飛散。亦可於工廠製成含種子之稻草蓆於坡面鋪置後，覆土植生。
鋪鐵網工法	鉛絲網或包膠鐵絲網	坡面裂隙發達、風化土層表面易滑落移動，植生種子著床不易之地點。鋪網客土噴植，於坡面上先鋪上一層鐵絲網或鉛絲網，增加坡面穩定性後，再噴客土、黏著劑、種子之方法。適用於坡度 50°左右之挖方坡面。
化學纖維類材料組合網材鋪置	塑膠網、編織立體網、非編織立體網、化學纖維	配合坡面保護工程之應用，坡面植生材料保護、噴植基材材料之穩定。
木質纖維類材料組合網材鋪設	椰殼纖維、麻纖維、組合型纖維網	天然纖維材料或木質纖維素(cellulose)，可與種子、肥料均勻附著，有敷蓋保護小苗之功效，可先行網材鋪設以保護噴植基材安定。

4.3.5 植栽槽

一、定義與適用範圍：

(一) 定義：

沿坡面每隔適當距離，或於坡面之上方或下方，構築一單體型或連續型之栽植槽，以利客土及植生綠化之目的者。

(二) 適用範圍

1. 破碎岩層且無土壤之挖方坡面或階段平台。
2. 礫石含量甚多之一般挖方坡面。
3. 實施水泥噴漿後之道路、堤防邊坡。
4. 配合中大型苗木栽植之客土作業。

二、栽植槽類型：

(一) 栽植槽類型

栽植槽可利用石塊、混凝土、預鑄塊(板)、木板(樁)或現地材料等，所構築之格框狀、柵狀或箱狀之構造物，來達到擋土、客土、護土及利於植生之目的。其構造物形成長使用混凝土栽植槽、預鑄栽植槽、L 型栽植槽，如圖 植 4-3-10 所示。

(二) 栽植植物種類與客土厚度

栽植槽依照所設計使用之栽植植物，需給予相對應之客土厚度，以利生長，而其生活型栽植植物對應之土壤厚度如表 植 4-3-3 所示。

表 植 4-3-3 栽植槽客土厚度與栽植植物生育之關係(資料來源：「水土保持植生工程」，2004)

客土厚度		<15cm	30 cm	45 cm	60 cm	90 cm	150 cm
排水層厚度		-	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm	30 cm
栽植植物	草皮	A	C	C	C	C	C
	小灌木	-	A	C	C	C	C
	大灌木、小喬木	-	A	B	C	C	C
	淺根性喬木	-	-	A	B	C	C
	深根性喬木	-	-	-	A	B	C

備註：A：有灌溉設施可生育良好。
B：小苗開始栽植可生育良好。
C：可自然生育良好。

三、栽植槽之設計與施工作業(以混凝土栽植槽為例)：

(一) 先將坡面上之危石或雜物清除，其坡面並略加整平。

(二) 以沿基腳做寬高 60cm 之連續混凝土栽植槽為宜，以增加植物根系之伸展空間，如區分為各獨立栽植槽等高排列，目前常用之栽植槽間隔 2m。

(三) 栽植槽之底部，每隔 20~30cm 應留有一排或兩排直徑 3~5cm 之透水孔，以利排水。

(四) 栽植槽內客土，建議以 1m^3 良質土壤與 100 kg 堆肥及適量緩效性肥料混合使用。

(五) 於坡面較安定處，可沿邊坡基腳構築 L 型栽植槽，內側與原坡面土層接觸，以保蓄坡面上之流水，增加植生之效果。

(六) 栽植槽內栽植藤類植物時，於坡面上得鋪設網材或鐵絲網，以輔助藤類初期生長。

(七) 邊坡基腳部位，亦有 L 型栽植槽之設計，配合排水工程或其他坡面穩定工程等。

(八) 坡面栽植槽植生後常有植物生長不良或雜草化之情形，期望植物生長良好，除應規範客土品質與客土數量外，應特別注意客土是否與原坡面接觸，植物根系是否可伸入原地層及儘量用連續性栽植槽等。

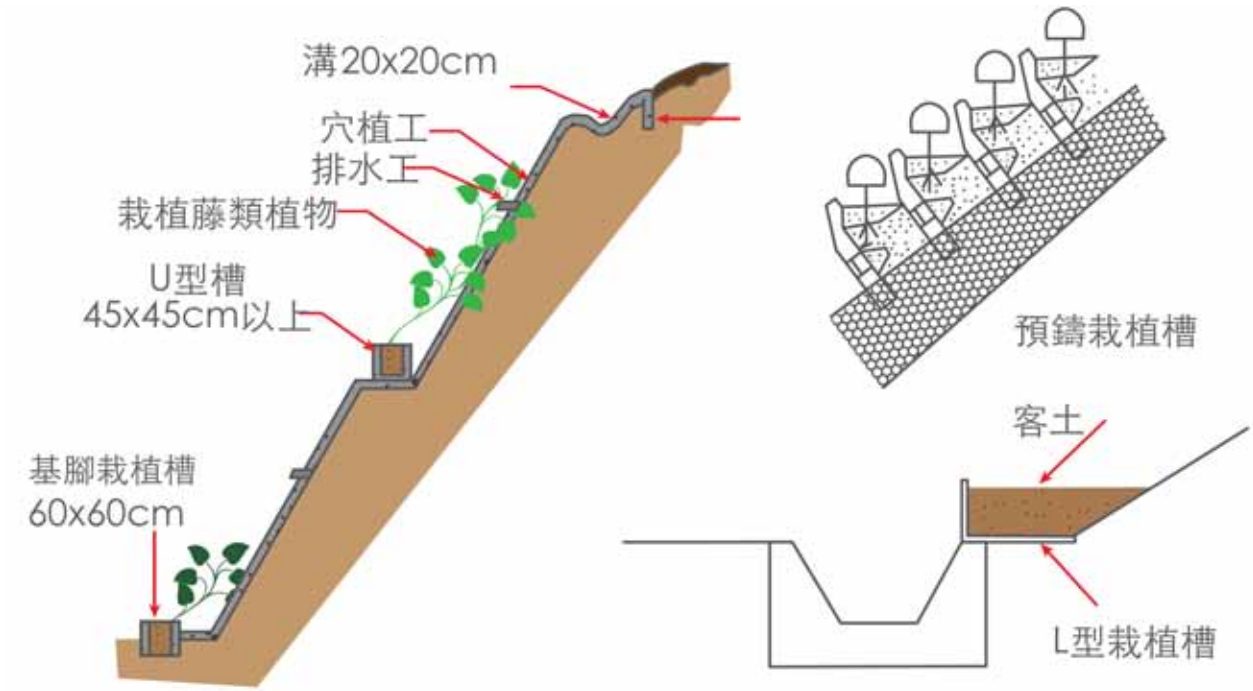


圖 植 4-3-10 栽植槽示意圖(資料來源：「水保手冊」，2005)



圖 植 4-3-11 栽植槽植生照片例(資料來源：「圖解植生工程」，2016)

4.3.6 參考文獻

日本全國治水砂防協會(1998)，「新・斜面崩壞防止工事設計之實例－急傾斜地崩壞防止工事技術指針(本編) 」，建設省河川局砂防部監修。

行政院農業委員會水土保持局(2007)，「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」。

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

林信輝(2016) ，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016) ，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

4.4 坡腳保護工程(含安定設施)

4.4.1 坡腳基礎工程(坡腳擋土構造物)之目的與設計原則

一、目的：

(一) 穩定邊坡並降低其主動土壓力。

(二) 穩定崩積土及邊坡開挖產生之土砂。

(三) 緩和、改善坡面坡度。

(四) 排水溝、暗溝等之基礎保護。

(五) 水流方向變化處之安定。

二、設計原則(以植生工程之觀點)：

(一) 應用於植生工程之坡腳保護工程，通常屬簡易型擋土構造物。簡易型擋土構造物指為「於邊坡之基腳或坡面上，以石塊、混凝土、預鑄板、廢輪胎等材料，構築小型、低矮之簡易構造物，藉以安定坡腳，減緩坡度及利用於客土植生」。

(二) 原則上以現地取材，利用現地可資使用的自然材料，經人工堆砌或綁紮後，造成片狀、柵狀、箱狀或格框狀，來達到擋土、客土、護土及利於植生等目的。

(三) 坡腳擋土構造物設施位置、高度宜符合現場地形，坡腳擋土構造物連續施設，但因施工地點多在不甚安定之坡面上，其高度宜在 4m 以下。

4.4.2 坡腳擋土牆之種類與施工設計

混凝土擋土構造物之種類與適用範圍詳見本手冊工程篇-擋土牆章節說明。

4.4.3 坡面保護工程構造物與植生方法

一、擋土構造物與植生方法：

(一) 混凝土擋土構造物

混凝土擋土構造物配合植生方法時，可於構造物上方填土區栽植喬木、灌木、藤類等植物材料。栽植灌木時，其植穴應距設施至少 60cm，並覆土適當厚度；栽植喬木時，期植穴應距設施至少 120 cm，表層覆沃土(有機質土)至少 30 cm，並以支架固定苗木(林信輝，2016)；藤類一般栽植於鄰近構造物位置，並利用其攀爬、懸垂之特性，達到牆面綠化之效果，喬、灌木與藤類栽植可搭配應用。有關應用例，如圖 植 4-4-1。





圖 植 4-4-1 混凝土護岸鄰近腹地植栽配置照片例(資料來源：「圖解植生工程」，2016)

(二) 預鑄槽景觀擋土牆

為使擋土牆同時提供景觀及生態功能，使用工廠預鑄之混凝土坡景磚疊砌，完成後之外觀具立體美感，牆身具透水性且階段設施植栽槽提供綠美化空間(林信輝，2016)。適用於景觀道路及風景區周邊，有關應用案例詳如圖 植 4-4-2。



道路邊坡景觀栽植槽



海岸堤防坡面與坡腳栽植槽

圖 植 4-4-2 預鑄槽景觀擋土牆施工實例(資料來源：「圖解植生工程」，2016)

(三) 箱籠擋土構造物

使用金屬網線機編成箱形網籠，內填裝塊石材料，以保護河岸及穩定坡腳而直接構築於岸坡趾部之擋土構造物。屬於較簡易且具彈性之擋土設施，多使用於崩塌地坡度較緩處，且無再崩塌之虞者，其應用說明如下：

1. 大多以混凝土作為基礎臺，並於臺上設置箱籠，一方面作為擋土用、一方面可作為動植物棲息之場所。
2. 常作為緊急修復之用，且屬柔性結構，可抵抗較大之變形。
3. 其多孔性有利於植物之生長，促進植物生長與演替。
4. 箱籠設計之總高度以小於 4m 為宜。
5. 可配合自然景觀規劃與栽植設計。

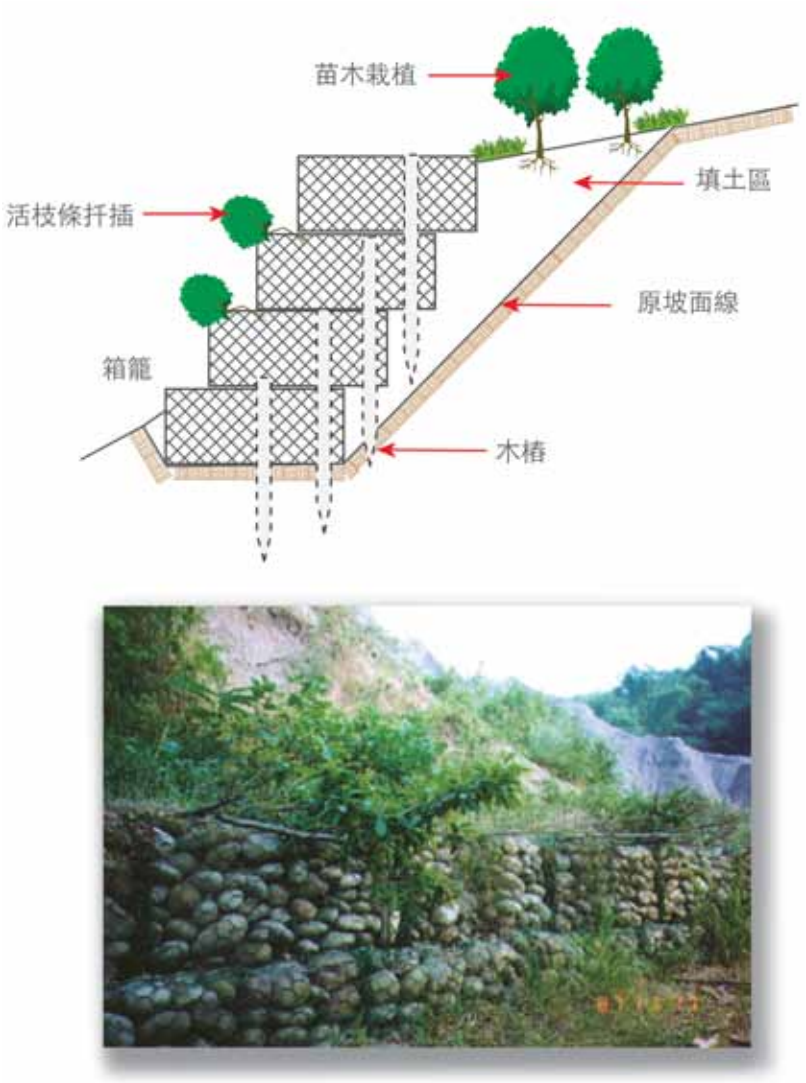


圖 植 4-4-3 箱籠擋土構造物植生示意圖與案例照片(資料來源：林信輝)

二、河溪上護岸保護配合植生方法：

(一) 河溪護岸設計類型

常見護岸類型與說明如下，詳細施工內容可參考水土保持局生態工程種類網站(2007)或相關生態工程手冊。

1. 砌石護岸：

(1)主要目的在防護河岸坡趾免受沖蝕破壞，尤其可防止河岸坡面受滲流水入侵後產生管湧掏空破壞。

(2)施工良好之砌石護岸可作為擋土工，抵擋河岸後方之土壓力並防止坡面局部崩塌破壞。

(3)使用之石材及完工表面具有自然的景觀，砌石縫隙之空間利於動物棲息及植物生長。

2. 漿砌卵石護岸：

(1)適用於流速大、沖蝕嚴重、土質較差之緩坡。

(2)其適用地點應選擇卵石量多的河道上，適切的運用當地資材並配合混凝土澆置於河岸上。

3. 箱籠護岸：

(1)適用於沖蝕力大，流速快之溪流。

(2)尤其在雨量豐沛或地下水高之河岸地區可利用其多孔性排水。

(3)其柔性結構的本質能抵抗河岸區土層不均勻沉陷造成之大變形。

(4)岸面相當粗糙化及透水化，石材間之縫隙利於動物棲息及植物生長，水線以上之箱籠面可利用客土袋植生。

4. 蛇籠護岸：

(1)適用於沖蝕力大，流速快之溪流配合混凝土基礎使用，或直接應用於地下水高、緩衝土石堆積之河岸地區，可利用其多孔性排水達到穩定之功能。

(2)其柔性結構的本質能抵抗河岸區土層不均勻沉陷造成之大變形。

(3)岸面相當粗糙化及透水化，石材間之縫隙利於動物棲息及植物生長，水線以上之蛇籠面可利用客土袋植生。

5. 木樁捲包護岸：

(1)施工迅速、成本低且能配合蜿蜒地形。

(2)適用於須緊急處理或暫時性修補工程，但不適用於高流速，高沖蝕之河岸。

(3)適用於水位變化較小之河段。

(4)可維持原有生態環境及棲地情形，且具良好之生態性及親水性。

(5)植生容易且符合綠美化之需求。

(6)因材料為木樁，相較於混凝土構造物易損壞，故在維護管理上須多加注意。

6. 木排樁護岸：

(1)施工迅速、成本低且能配合蜿蜒地形。

(2)適用於須緊急處理或暫時性修補工程，但不適用於高流速，高沖蝕之河岸。

(3)適用於水位變化較小之河段。

(4)可維持原有生態環境及棲地情形，且具良好之生態性及親水性。

(5)植生容易且符合綠美化之需求。

(6)因材料為木樁，相較於混凝土構造物易損壞，故在維護管理上須多加注意。

7. 打樁編柵護岸：

(1)適用於需緊急處理或暫時性修補工程。

(2)工程完成後經一段時間，岸邊植物會茂密的覆蓋在此護岸上，動物也會在此處棲身，達到生態的調和。

(3)惟此護岸不能抵抗較大洪水侵襲，因而適合施作在水流平緩之地區。

8. 拋石護岸：

(1)適用於低流速、沖蝕小、水深淺之河溪岸，同時工址周圍石材之供應無慮之情況。

(2)使用之石材及完工表面具有自然的景觀，表面粗糙化後之拋石縫隙可供動物棲息及植物生長，亦不會造成原有地貌有太大的改變。

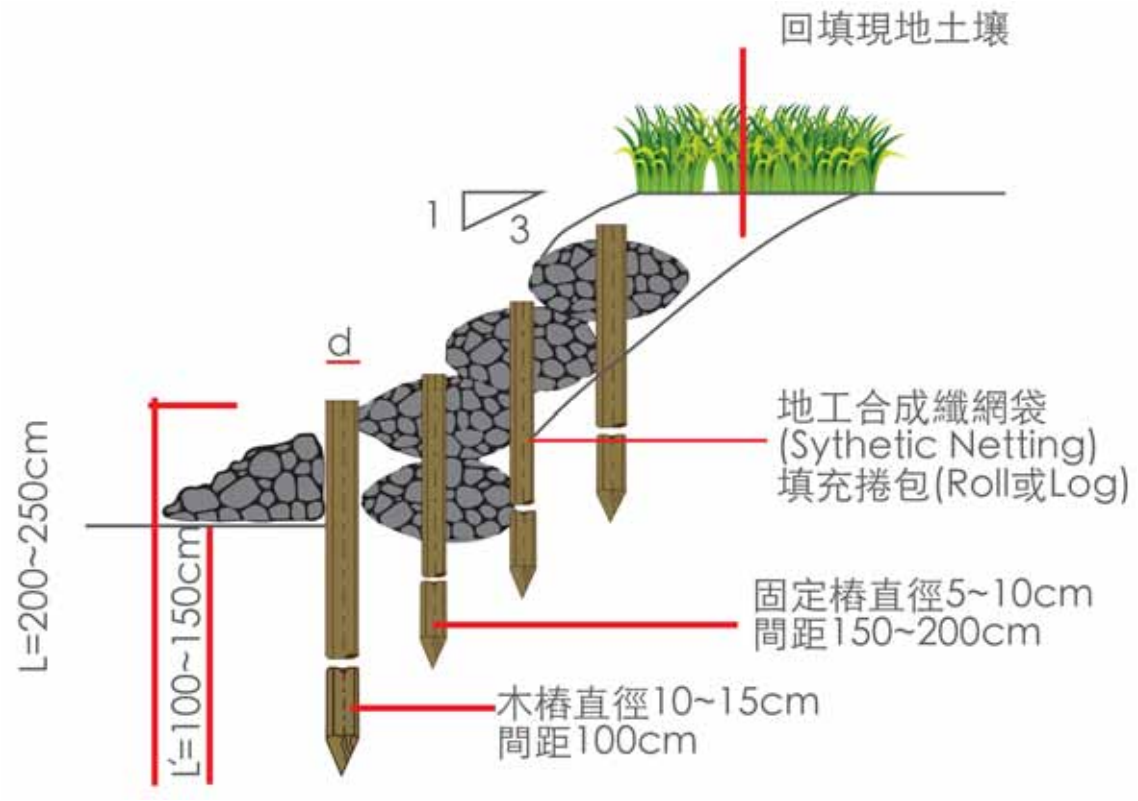


圖 植 4-4-4 木樁捲包護岸示意圖(資料來源：水土保持局生態工程種類，2007)

(二) 河溪護岸配合植生

傳統之混凝土護岸工法具極高之安全性，但常常破壞了原有河岸生態及生物棲地功能。因此，護岸之造型、選材，應兼用植物、木材、石材等天然資材，以創造出適合植生生長、生物棲息之水邊環境。一般配合植生之護岸保護工法如栽植槽、乾(漿)砌石、箱籠、打樁編柵、植生網帶、植生護毯、布袋模毯或鋪網噴植、木排樁、木樁捲包等。





圖 植 4-4-5 河溪護岸保護措施配合植生照片例與案例照片(資料來源：林信輝)



圖 植 4-4-6 打樁編柵(柳枝工)護岸案例照片(資料來源：林信輝)

4.4.4 參考文獻

日本全國治水砂防協會(1998)，「新・斜面崩壞防止工事設計之實例－急傾斜地崩壞防止工事技術指針(本編) 」，建設省河川局砂防部監修。

行政院農委會水土保持局(2007) ，「水土保持局生態工程種類」。

林信輝(2016) ，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016) ，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

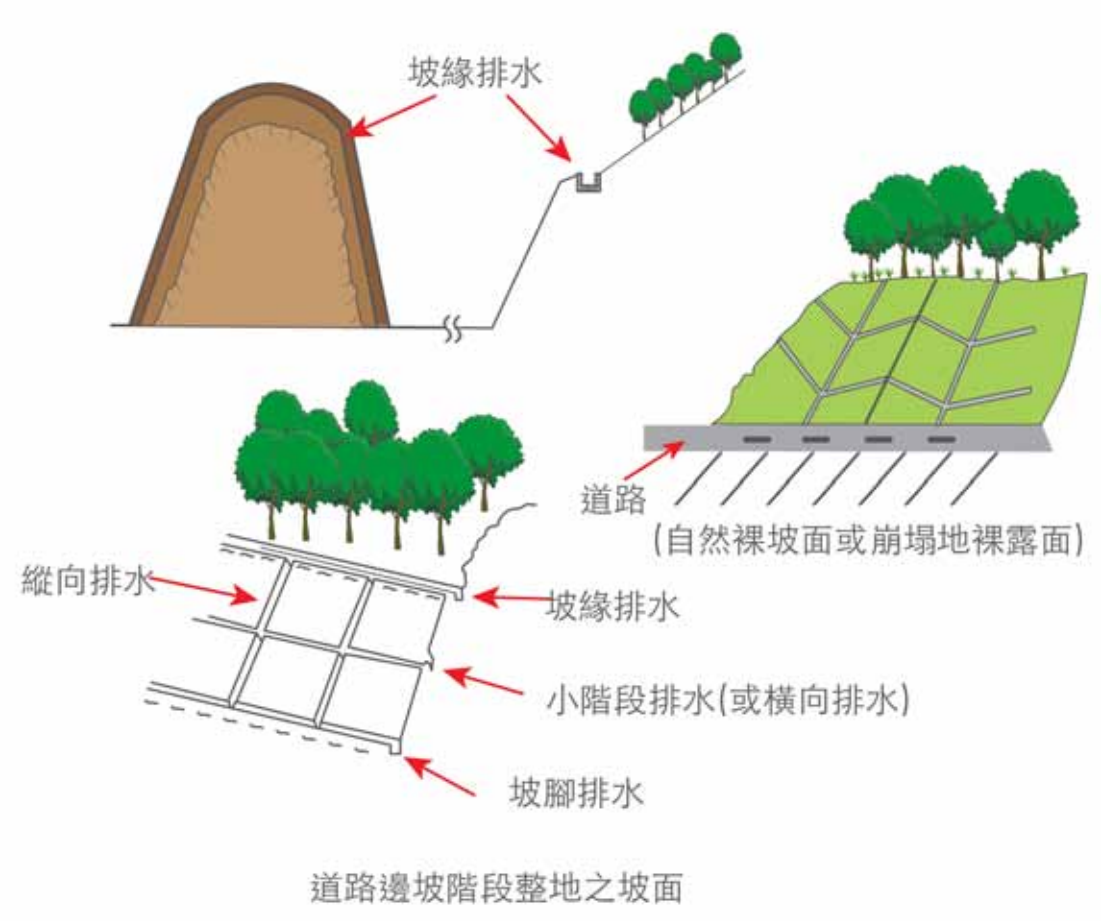
4.5 坡面排水工程

4.5.1 排水工程之目的與設計原則

一、排水工程之目的在於利用工程或其他方法將逕流或地下滲流水有效地引導、分流或排除至下游安全地區，使其破壞力減至最低限度，以減輕或避免災害之發生。

二、在植生工程施工區域內出現湧水，施工基地坡面凹型而致周邊地表水集中，或坡面地質條件差不堪地表水沖蝕等情況下，應設置排水構造物，以宣洩地表逕流。

三、不同地點坡面排水工程配置示意圖如圖 植 4-5-1。



道路邊坡階段整地之坡面

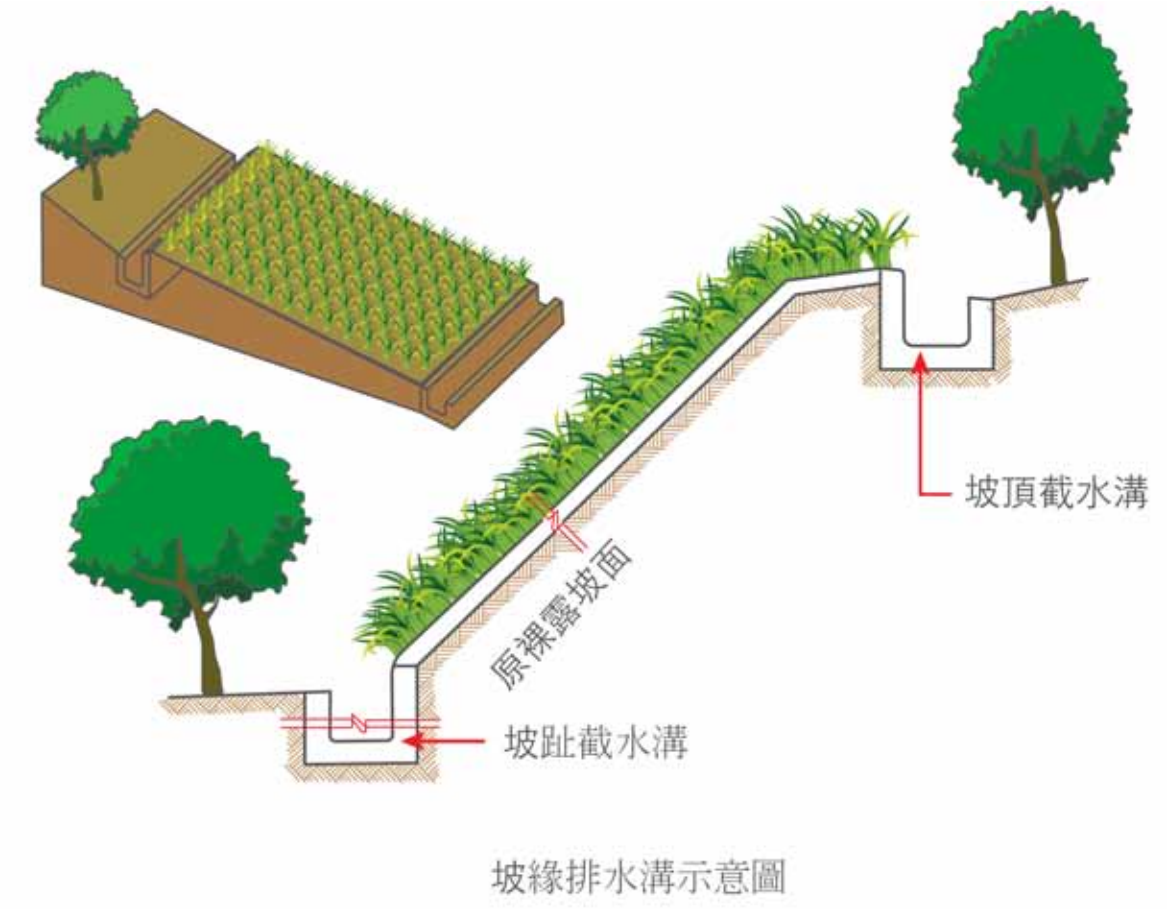


圖 植 4-5-1 坡面與坡緣排水溝示意圖(資料來源：坡地植生工程二版：2016；「農地水土保持方法實例圖冊」，2014)

4.5.2 坡面排水工程之種類與施工設計

坡面排水工程之種類與施工設計詳見本手冊工程篇-坡面排水、排水溝章節說明。

4.5.3 參考文獻

林信輝(2016) ，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

行政院農業委員會水土保持局(2014)，「農地水土保持方法實例圖冊」。

伍、植生導入作業

5.1 植生導入工法之種類

植生材料導入作業，或一般稱之為植生工法，包括播種法、栽植法與植生誘導法。

一、播種法係以草本類、木本類種子為植生材料，直接撒播或混合植生基材撒播、噴植或黏附於纖維網材後，覆蓋於地面上之植生方法。

二、栽植法係利用扦插、分株或育苗苗木栽植於坡面上，如樹木栽植、藤類栽植、草苗栽植、草皮鋪植、扦插、土袋植生等。

三、植生誘導法係以改善基地坡度或土壤肥力，使立地條件利於周邊植物自然入侵於裸露坡面，形成演替，多用於無保全對象或自然復育之區域(林信輝，2016)。

5.2 播種工法

5.2.1 播種工法之基本分類

依播植基本材料種類、施工撒播或噴播於坡面之厚度及撒布情形等，播種法共可分為 27 種方法，詳如表 植 5-2-1。其中臺灣常用之播種工法，包括種肥撒播、條播、點播、厚層噴植、植生帶鋪植、掛網肥束帶鋪植、種肥及表土全面播植加稻草敷蓋、格框客土、厚層客土噴植等(林信輝，2016)，另依使用大型機具與否，概分為直接播種(人工播種)與機械播種(噴植)兩種類型，茲分述如表 植 5-2-2：

表 植 5-2-1 播種法基本分類(資料來源：「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，2007)

施工厚度 / 播種材料	a.表層 (0~3cm)	b.中層 (3~6cm)	c.厚層 (6cm 以上)
a.基本材料 (種子、肥料)	1.aaa(點播) 2.aab(行列條播) 3.aac(種子撒播)	10.aba(挖溝點種) 11.abb(挖溝條播) 12.abc(鑽孔客土撒播)	19.aca(鑽孔點狀全面播種) 20.acb(挖溝條播) 21acc(挖孔客土撒播)
b.基本材料+土壤或有機質土+沖蝕防止劑	4.baa(點狀粒劑點播) 5.bab(植生帶鋪植) 6.bac(薄層噴植)	13.bba(點狀植生穴法) 14.bbb(植生盤條狀鋪植) 15.bbc(表層基材噴植)	22.bca(客土穴植+敷蓋網) 23.bcb(挖溝客土條播) 24.bcc(格框客土噴植)
c.基本材料+土壤或有機質土壤+物理防沖蝕劑	7.caa(有機質土+種肥點播) 8.cab(帶狀敷蓋+種肥) 9.cac(覆蓋網材+種肥)	16.cba(植生穴+被覆網材) 17.cbb(掛網肥束帶鋪植) 18.cbc(鋪網噴植)	25.cca(植生穴、客土+被覆網材) 26.ccb(階段面蛇籠+厚客土播種) 27.ccc(埋設網，厚層客土噴植)

註：1.表中符號係依植生材料及地表處理排列，如第 10 種 aba；第一個 a 代表基本材料，使用種子和肥料；第二個 b 代表施工厚度為 3~6cm；第三個英文字母 a 代表點狀(點播、穴植)、b 代表線狀(條播、帶狀栽植)與 c 代表面狀(全面撒播、噴植)之施工作業。
2.括號內為施工法之例。1-27，為施工法之號碼。
3.日本常用方法略為 3.5.6.9.15.17.22.23.24.27 等；臺灣常用方法略為 2.3.5.8.9.15.17.18.23. 24 等。



噴植機具(八角金剛)



氣壓式(濕式)噴植設備



基材噴口與管線



氣壓式(乾式)噴植機具

圖 植 5-2-1 噴植工法常用機具設備(資料來源:「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」, 2015)

5.2.2 播種工法之應用分類

播種工法依施工機具之使用與規模尺度可概分為機械播種與人工播種，如表 植 5-2-2 及表 植 5-2-3。

表 植 5-2-2 播種工法之施工分類(資料來源：「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」, 2015)

工法種類			施工方法	適用條件（岩性、坡度）
機械播種工法	水力式	種子噴播（直接、薄層噴植）	使用水力式或小型氣壓式噴播機撒佈（厚度 0.1～3 cm）	黏性土（土壤硬度 27 mm 以下） 砂質土（土壤硬度 23 mm 以下），坡度小於 50°
	氣壓式	植生基材噴植	使用噴植機或氣壓式噴槍，厚度（3～6 cm）	岩層或礫石較多之土層，坡度 50°左右（配合鋪網）
		客土或厚層基材噴植	使用噴漿機或氣壓式噴槍，（厚度 6 cm 以上）	如上之其他有節理之岩層、坡度小於 1：0.5（配合固定網等）

人工播種工法	種子點播、條狀播種或撒播	直接將植生材料播於坡面之方法	坡度小於 35∘之一般土壤挖方、填方坡面，其噴植厚度小於 1cm。
	植生帶或植生毯鋪植	全面鋪植或鋪設成帶狀	同上

表 植 5-2-3 人工播種工法之種類與特性(資料來源：「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」，2015)

工法種類	施工方法	使用材料			適用條件（地質、坡度）
		植生基材	植物	肥料	
種子點播、條狀播種或撒播	直接將植生材料播於坡面之方法	黏著劑、種子、肥料	外來、本地草本種子	複合肥料	坡度小於 35∘之一般土壤挖方、填方坡面，其噴植厚度小於 1cm。
植生帶或植生毯鋪植	全面鋪植或鋪設成帶狀	黏附種子、肥料等之不織布或草蓆	外來、本地草本種子	複合肥料	同上

一、播種工法之選擇原則與考量要項：

(一) 設計播種工法植生時，宜選定具有自然繁殖能力之先驅植物作為植物材料，或在施工坡面施以足夠的土壤含肥量，或設計可促進根系伸入生長之工法設計等。

(二) 在考慮坡面之土質狀態與植生設計目標時，應先考量先期生長之優勢樹種需要何種植生基盤。

(三) 需充分檢討施工地區之立地條件，如氣候、土壤適宜程度、生長環境及播植時期等，選定適當之工法，考慮坡面之土質狀態與綠化目標時，應針對主構成樹種需要何種植生基盤為工法選擇依據。

(四) 土壤袋植生在坡度太陡時（坡度大於 1：1.2）土壤袋有可能滑落之情形，且土壤袋中含草類種子需保肥力較高之客土土壤。

(五) 挖植溝施放基肥覆土後在其上撒播種子，一般適合在階段上或緩坡之堆積土，無逕流沖蝕或土石飛散之虞的坡面。

二、播種種子材料之選擇：

(一) 草本種子

僅撒播草本類種子，主要係為求快速面狀綠化之效果，以防止坡面遭受沖蝕；草本類植物之選擇原則如下：

1. 耐貧瘠地、抗環境應力之種類。
2. 生育初期及成長後，覆蓋地表效果大者。
3. 快速生長、葉量多、茂盛者。
4. 根系擴張，固結土壤效果大者。
5. 有改良土壤效果，增加土壤有機質者。

(二) 木本種子

只撒播木本種子，多應用在不適苗木栽植或困難的地點。木本類發芽後初期生長較緩慢，表面沖蝕嚴重的地方恐有遭流失之虞。木本種子之中有粒徑大者，使用機械撒播可能有所困難。故選定樹種時應一併考慮施工性及經濟性，林類植物之選擇原則如下：

1. 耐貧瘠地、抗環境應力的種類。
2. 成長快速、繁殖力強、發芽率高者。
3. 根系擴張，固結土壤效果大者。
4. 葉量多、有肥分，有改良土質增加肥力者。
5. 抗蟲害、風害強者。

(三) 木本和草本種子之混播

大面積的施工，或草本類植生覆蓋後栽植樹木困難的地方，可採草本種子和木本種子的混播，但引進種類或混播比率不適當時，木本植物會遭受草本植物壓抑，影響發芽或生育，因此須考慮採用葉量、高度不致影響或妨礙木本成長的草本類，或需減少草本種子之比例用量。

1. 草木本植物種子混播時，木本植物種子發芽比草本植物慢，故常有木本植物種子發芽不易或發芽後被壓之情形。因此有必要減少草本種子之播種量，或需考量木本種子發芽時可忍受的地被草類之覆蓋量限界。
2. 木本和草本種子粒數比以 1：1～1：2 為佳，或草本類植物之初期發芽數目期望限制於 300 粒/m^2 以下，另如一種類之播種量未達全播種量之

10 %時，其著生、生長會受其他植物影響，因此各種植物其播種量須設定在 10 %以上。

3. 木本植物常見有粒徑大之種子，不利於噴植工法施作，設計時須加以充分考量或避免使用。

三、播種量之設計與計算：

依日本相關綠化技術及植生基準資料彙整所得，使用外來草種時，期待發芽株總數約為 5,000 株/m^2 以上，如使用木本植物時，期待發芽株數約為 1,000 株/ m^2。惟若以發芽勢截止日期或特定日期田間發芽個體之調查(通常是播種四個月後)時，草本植物發芽株數應為 1,000 株/ m^2 以上。實際上，種子在坡面上之發芽數，大約只有播種量之 50%，經過一年後約只剩下 200 株/ m^2，木本類植物在一年後大約僅剩 1～50 株/ m^2 的範圍內，經過數年後，有時會只剩 0～1 株/ m^2。

採用多種種子混合使用之客土噴播法時，外來草種之常用播種設計量各約 1,000～2,000 粒/ m^2，鄉土草種各約 500～1,000 粒/ m^2，木本類植物共約為 300～600 粒/ m^2；如以臺灣地區之引進草種混播而言，常用之比率（重量比）為百慕達 15 %、百喜草 30 %、類地毯草 30 %及高狐草 25 %。

(一) 標準播種量之計算

$$W = \frac{G}{S \times P \times B}$$

W：導入植物別之播種重量(g/m^2)

G：期待發芽株數(株/m^2)(播種後一年左右所發芽生長之總數，含其中死亡之株數)

S：種子之單位粒數(粒/g)

P：種子純度(%)

B：種子之發芽率(%)

(二) 播種量修正

1. 屬點播、條播或其他非屬全面性播種之方法，須依其播種區域之施工面積比例(播種區(m^2)/總面積(m^2))修正之。
2. 不同播種作業方法之播種量修正，如表 植 5-2-4：

表 植 5-2-4 不同播種作業方法之播種修正(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

播種作業	修正值(%)	備註
A.可能造成發芽障礙之工法	+20~50	如植生袋工法等
B.可能造成播種超出方施工區域之損失	+10~30	如航空噴植等
C.播種面積太小或種子易被沖蝕流失之情形	+20~50	如坡面撒播、點播

3. 特殊施工基地環境條件下之播種量修正，如表 植 5-2-5

表 植 5-2-5 特殊施工基地之播種量修正(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

環境條件	修正值(%)
A.岩塊礫石含量多之地區	+20
B.土壤硬度較大之地區	+10
C.乾燥或貧瘠之土地	+20
D.強酸、鹼性之地區	+20
E.陡坡地區	+20
F.非適宜施工季節時	+30
G.特殊易沖蝕地質環境區域(如泥岩地區)	+30~50
H.含肥沃土質地區	-30
I.氣候濕潤地區	-20
J.平地或緩坡地區	-10

「+」：需增加標準播種量之%；「-」：需減少標準播種量之%

4. 不同施工厚度之修正值

中厚層噴植工法，如種子與植生基材一次噴植時會造成下層種子無法發芽或發芽率減低之情形，須酌予增加播種量 50~100%。

四、播種期：

種子發芽受溫度、水分影響最大，種子發芽、生育所需溫度因樹種而異，如非適溫範圍內，會出現發芽障礙。低溫時，吸收水分的種子因凍結而有礙發芽；乾旱期施工則剛發芽之幼苗因容易乾旱枯死。一般而言，春季播種種子發芽後有充分之生育期，易覆蓋坡面(林信輝，2016)。相關種子之播種期可參考育林手冊或國際種子檢查規則等文獻資料。

5.2.3 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

5.3 栽植工法

5.3.1 栽植工法種類

栽植工法依使用材料之種類，可概括分為草藤類栽植與樹木栽植。如圖 植 5-3-1。

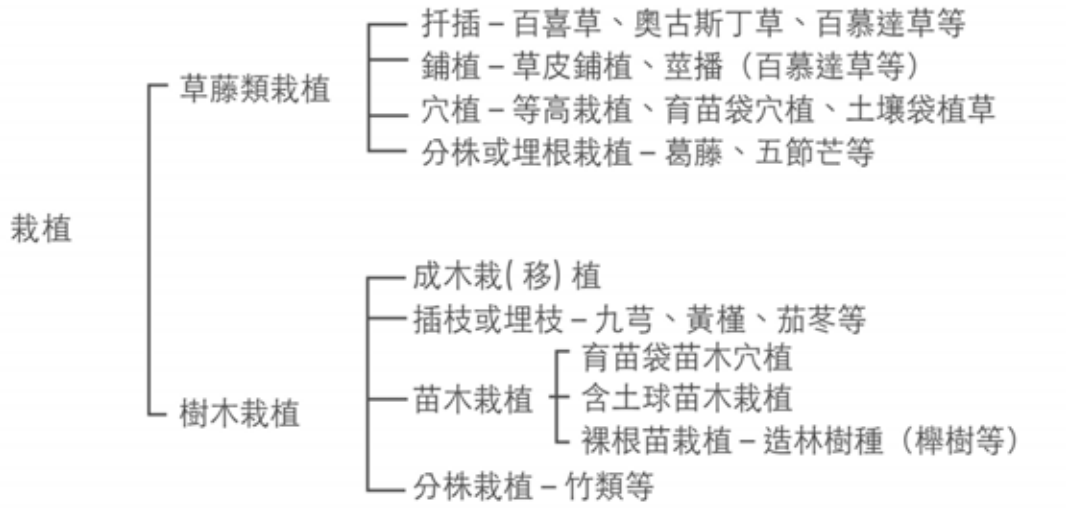


圖 植 5-3-1 栽植工法之分類(資料來源：「水土保持手冊」-植生篇，2005)

5.3.2 栽植工法之設計要點

一、栽植工法之設計需考量下列事項：

(一) 調查栽植地土質、土壤的差異，並加以區分。

(二) 選定栽植樹種。

(三) 決定栽植棵數。

(四) 決定栽植時期、方法等。

(五) 施肥，養護計畫及其他。

二、栽植計畫：

栽植作業之前，需先做好基地之安全排水，坡面保護與其相關土壤沖蝕控制之設施與工作，並就其基地之土質、土壤等差異充分考量擬定因應之植栽計畫。栽植計畫應包括栽植前準備作業(移植前修剪、斷根、挖掘、土球之包紮)、栽植作業(搬運、裝卸、植穴開挖、客土準備、定植及立支架)、與後續維護管理作業等(臺灣地區水利生態工程適用植物與植栽技術手冊，2004)。

三、栽植方法與時期：

栽植時期應選定苗木著生、成活最適溫度及獲得水分的時期，一般而言，以春夏季為較適宜時期。混植時樹種之排列、間隔方式，原則上以主要樹種為主決定之，如考慮到如肥料木等不需長期存在之樹木衰退後，存留之主林木間隔整體呈均勻林相，則植穴之大小，應以苗木根系獲得適當成長的空間為準(緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編，2012)。

四、栽植樹種：

栽植樹種以選擇適合環境條件者最重要，另可加之具有防災、促進生態、景觀調和等功能者更佳，具有防災功能之樹種係指具有下列條件者：

(一) 成長力旺盛、枝葉繁茂者。

(二) 根系擴展、盤結土壤強者。

(三) 對貧瘠地、乾旱、寒害、蟲害適應性大且抗力性強者。

(四) 具有改良土壤功效者。

5.3.3 參考文獻

中國生物學會(2005)，「大樹保護技術研習會研習手冊」，行政院農業委員會林務局。

行政院農業委員會水土保持局(2012)，「緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2004)，「臺灣地區水利生態工程適用植物與植栽技術手冊」，社團法人中華民國環境綠化協會。

5.4 植生誘導法

5.4.1 植生誘導法之應用原則

一、以簡單整坡、坡面排水，或利用臨近地區之表土、客土等設置規劃於坡面，以增加自然植生之發展與功能。

二、經植生工程處理後之崩塌地坡面，除人為植生導入之成果外，崩塌地周邊之植物亦有自然入侵演替之現象，如鋪設菱型鐵絲網並噴植植生資材與百慕達草種子後，初期坡面較安定且有草種生長覆蓋，坡面上方如有成熟之羅氏鹽膚木、相思樹等先驅樹種為母樹，能成為坡面上天然下種之來源，及可快速成為主要優勢種之次生林相。

5.4.2 植生誘導法之作業方法

一、人為輔助植生演替：

不進行植生材料導入作業，即不播種或栽植植物，但依基地之自然條件施以植生基礎工，增強坡面安定性及植物自然入侵演替之可能性，以達到自然植生復育之效果(林信輝，2016)。

二、利用當地土壤潛在種子之方法：

埋藏在土中未發芽的活種子，在光線不足的林下無法發芽而呈休眠狀態，一旦得到適合的環境條件即發芽，利用其特性，坡地整地或工程施工前將表土集中，工程完工後再將表土回填，有助於植生演替及快速恢復植生覆蓋之成果。

三、現有樹木之保留：

一般裸露坡面或崩塌地裸露面，樹木保留可增加以林木拓展及促進演替、森林化棲地復育之功能(林信輝，2013)，此效益通常稱為樹島效應(tree island effect-t)。茲說明如下：

(一) 林木遮蔭下之草類生長保護

保留木能營造周邊微氣候，其底層的枯枝落葉具有大量吸收水分的功能可增加林內濕度，且樹冠遮陰效果，減低溫差與乾燥作用，有助於周邊草類與小苗之生長。

(二) 根系固土、土壤保育作用

保留既存樹木可以減少對地表的擾動，且因崩塌過後坡面乾燥，會促使植物面臨環境應力，根系向下生長尋找水源，深入土體可增加土壤保育力與

土壤盤結力，另外既存樹木的保留可以降低降雨所帶來的沖蝕降低雨滴的打擊作用力。

(三) 減風作用及風傳播種子下種、繁殖

一般而言，風力傳播者距離較遠，而樹木本身具有降低風速的功能，當風速降低時所攜帶的種子便會降到地面。

(四) 引導鳥類棲息，其糞便攜帶種子下種

既存樹木的保留可作為動物棲所或使鳥類稍作停留，而經過動物體內的種子，或經鳥類糞便排出之種子，由於其體內酵素作用可增加種子發芽率。

(五)分蘗與殘根莖萌芽拓展

闊葉樹種常具有旺盛的萌芽力，其中樟科與殼斗科兩類的樹種萌蘗情形相當顯著，且當植物面臨生長逆境時或在裸露地邊緣生長間隙(gap)出現時，發生的情況更加明顯，且萌蘗苗可利用母株的根系與養分快速生長更可當母株死亡之後利用原本的生長空間，在更新上更具優勢。

5.4.3 參考文獻

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝、蘇郁婷(2013)，「崩塌地既存樹木保留之群落拓展研究。園景觀學報」，19(3)，pp. 1-13。

陸、植生維護與管理

6.1 播種法與地被植物之維護管理與成果調查

6.1.1 澆水

一、澆水的方法可概分為地面澆水、地下澆水及葉面噴灑。大面積噴植植生施工地點，大多以人工地面灑水或水壓式旋轉噴頭噴灌為主，或配合季節施工，及添加保水資材，期望其自然生長，而不進行植生施工後之灑水作業。

二、新鋪植草皮或植物種子導入坡面後，植物生長初期，應適量澆水。

三、第一次澆水時必須均勻濕透，夏季炎熱天候下，澆水時間最好選擇晨間6~8 時及傍晚地溫下降時為佳。

四、種植後澆水量及頻率應配合天候及植物特性，以免因水份過多或過少而影響植物生長。

五、以地面灑水為例，原則以植生播種或栽植後 30 天內，須每天澆水(雨天除外)，每次澆水量依植栽植物密度及大小而定。

六、種植完成後應即充分澆水，並繼續保持濕潤狀態，至完全覆蓋後，可視天候等實際狀況再適時澆水。設計澆水量為 20L/ m^2。

七、肥料可溶入水中時，於澆水時一併施用，但應注意不得傷及植株之花、葉。

6.1.2 施肥與追肥

一、地被植物之施肥，須平均散布，否則會產生生育不均之現象，施肥後立即配合灑水，以免肥料附著在葉片上產生肥傷，導致焦葉的症狀。

二、植穴施放基肥時，應儘量避免與植物根群直接接觸，宜於基肥上方客土5~10cm 厚，以防肥傷，亦可施用有機質肥料與土壤分層填入植穴內。

三、定植後 1~2 個月開始施撒，以後每隔約 2 個月施撒一次，休眠期的植物應停止施肥。若經檢視發現應增施肥料，宜配合施加。

四、養護期間開始後之第 60 天及第 110 天應各施追肥一次，施用量每 m^2 施用複合肥料（如台肥 43 號）0.05 kg。

五、養護期間開始後之第 60 天及第 110 天應各施追肥一次，每 m^2 基肥用量為有機質肥料 2kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05kg。追肥應視需要施用，每次約使用台肥 43 號 0.05kg 或相等用量之化學肥料。

6.1.3 追播、疏伐

一、種子播種後，如發現種子不發芽，或發芽後枯萎、生長不良、草苗滑失、病蟲害等現象，無法達到預期成活率時，須進行追播。

二、特殊地區為要求景觀調合、觀光區美化、休憩區綠化、防火之設計及地被植物之正常生長，須疏伐部分植物。

6.1.4 病蟲害防治

為防治病蟲害的發生，可採取以下幾項措施：

一、採用適合當地環境的植物材料。

二、採用不同種之植物，進行混播。

三、選擇健康的種苗。

四、提供適當的生育基地，如良好的排水、通風及適時的施肥；植物發生病蟲害時，為維護其成活及生長，可採自然天敵或人為防治，其藥劑防治方法可參考行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所出版之植物保護手冊。

6.1.5 成果調查

一、有關植生工程之完工調查，應依植生工程施工範圍、工法配置、施工規範及植生覆蓋率、成活率及其他合約之相關規定，進行現地調查與核對。

二、植生成效之判定係由使用植物、施工時期、施工目的等，在經過一定時間後進行確認(如：木本類植物之發芽確認，必須經過最少 3 個月)。

三、全體成長數目不足時，且因施工後氣象等影響不明確時必須觀察一段時間。成長數目不足時，確認其原因後，再進行追播等工程。

四、植生覆蓋率調查：覆蓋率或綠覆率判定應以自坡面垂直上方之植株投影面積比率為準，依施工地區之立地條件、應用植物種類及植生方法，設計覆蓋率。一般土質坡面噴植或水土保持植生施工後並經維護管理之覆蓋率應達 90 %以上，地被植物栽植施工後並經維護管理之覆蓋率應達 80 %以上；經人工整坡之土層坡面或均勻厚客土之坡面，一般施播草種並予妥善

之維護 4 個月後，其覆蓋率應達 90 ％，但自然開採或局部客土之坡面導入植物後，其平均覆蓋率應達 75 ％。

6.1.6 其他注意事項

一、噴植工程之養護：一般噴植植生工程的養護期約為 4 個月，而若遇其他環境條件差植生不易處，植生養護期可酌延長至 8 個月。

二、澆水時可配合追肥(尿素或複合肥料)及植物生長激素之使用。

三、在水源困難地區，植生工程需配合雨季進行，並儘量採用高耐旱植物或特殊材料施工法，並可以植物殘株直接置於植栽植物之周邊，以減少水分之蒸發，確保植生綠化效果。

四、施用殺蟲劑或殺菌劑時，應選擇合宜的天候及時間，並應以臨時樁及繩子圍繞標示噴灑範圍，再將標示噴灑時間等警語之防水標籤掛於範圍繩上，危險期過後即拆除該臨時性警告設施。

五、如使用除草劑，其產品用量應經核可，並依使用說明施用，注意避免過度使用。

6.1.7 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2016) ，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016) ，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2004)，「臺灣地區水利生態工程適用植物與植栽技術手冊」，社團法人中華民國環境綠化協會。

6.2 栽植工程之維護管理與苗木檢驗

6.2.1 澆水

一、澆水灌溉方式包括地面澆水、地下澆水、葉面噴灑等，得視實際情況而利用之。治山防災工程配合苗木栽植之地點，目前常設計以地面灑水或水壓式噴灌為主。

二、在水源困難之處，植生宜配合雨季進行，盡量使用耐旱植物或特殊材料施工法，並可將植物殘株直接敷蓋於植栽植物之周邊，以減少水分之蒸發，以確保植生綠化效果，在特殊情況下為顧及植生成長的適量澆水。

三、苗木穴植(定植)後為使客土與根球密接，第一次澆水時必須均勻濕透，夏季炎熱天候下，澆水時間最好選擇晨間 6～8 時及傍晚地溫下降時為佳。種植後澆水量及頻率應配合天候及植物特性，以免因水份過多或過少而影響植物生長。

四、澆水時的氣候狀況、水溫、水質及水量等均需加以注意。

五、原則上，在植生栽植後 30 天內，須每天澆水(雨天除外)；或當栽植後苗木根域(root zone)土壤的有效水分少於 50% 時，便需澆水。每次澆水量依植栽植物密度及大小而定。澆水時可配合追肥(尿素或複合肥料)、植物生長激素之使用。

6.2.2 施肥

肥料施用量及施用時期因栽植之植物種類而異。穴植苗木之施肥以基肥為主。實施追肥作業時，須平均散布，否則會產生生育不均之現象，施肥後立即灑水，以免肥料附著在葉片上產生肥傷。

崩塌地或土砂災害地區之土壤條件通常較為惡劣，因此樹木難有旺盛的生育機能，栽植林木時一般都需加以施肥。有關施肥時需考量與注意事項，略述如下：

一、施肥方式有植穴底施放、3 點點狀施放、半圓形溝狀施放、撒放在地表面等。栽植時施肥目的在促進苗木初期成長，故施放位置最有利於樹木吸收地點，稱謂基肥。一般常採用植穴底施放及 3 點點狀施放方式。

二、施肥位置：植物吸收水分、養分之根系，主要分布於土壤表層約 30~50 cm 之範圍，降雨時土壤水自地表面向下方移動，因此，施肥宜施於土壤表層，

但栽植時之基肥，應施於苗木土球之底下，可促使根系向地中深處發展。栽植後之追肥無法施於土壤之深層,可施於樹木之根系周圍約10 cm之處。

三、灌木施用基肥每株可使用堆肥 2kg，喬木施用基肥每株使用堆肥 4kg，追肥應於栽植後 60 天及 110 天左右，視需要每株施用約為台肥 43 號 0.05kg 或等量代用品，或依設計圖說所示施用之。

四、有機質肥料之肥料成分含有率低、施用量多，但因其有較多種類之肥料成分，較不會產生微量要素欠缺症；無機肥料包括化學肥料及石灰等，對樹木而言，化學肥料以使用三要素之複合肥料為宜；化學肥料之肥料成分含有率高，施用簡便且經濟。

五、通常選用有遲效性肥料或複合性肥料(如台肥 2 號、43 號等)，惟有適量混合速效性肥料，若現場的土壤不良，欠缺保肥、保水功能者，則應考慮客土或使用土壤改良劑改善之。

六、栽植地應注意清除植穴內之雜草，耙鬆表土五~十公分深，並清除其中之雜草根及其他雜物後，再行施肥。

七、施肥量應視土壤狀態、苗木種類而異。施用量過多引起過度成長而植株個體弱化，若施肥量太少或特定肥料之缺乏，則有礙成長。樹木對氮素的需求特別敏感，其他養分元素之施用效果較不明顯，若只施氮肥會造成氮之過量危害或磷酸及鈣之缺乏症，因此樹木之施肥量，以不產生氮之過量危害為原則，決定氮之施肥量，同時施用其半量或同量之磷酸及鈣。

6.2.3 補植

一、苗木種植後因枯損而致林木密度低或部分地點產生空隙而影響整體植生演替或植被功能時，需進行補植苗木。

二、補植時需先調查苗木枯損原因及樹種之適宜性等，避免補植後再度發生枯損情形。

三、補植方法及栽植時期，原則上和原栽植方法林木相同，若需要先行整地，則依一般造林方法進行。

四、原則上，種植後 1~2 年內進行補植，補植所用的苗木，較新植當時的樹齡大 1~2 年，且形狀較大者為宜。

6.2.4 疏伐(植栽密度之調整)

疏伐係栽植木或天然下種之稚樹，已生長至高於雜草階段，將其部分稚樹除去，以助於基地林木發育成預期林型之樹木。

一、疏伐時須選定砍伐對象，但樹種、伐採量，依現況林分的構成樹種、地形、氣象條件等而異，嶺線或陡坡等區域，為防止發生風害及地表之乾燥，疏伐時程度宜輕。

二、疏伐對象之樹木，如果只由栽植樹種或天然下種的樹種成林，或以此為目標的林分，將入侵樹、萌芽木以及形質不良且妨礙他樹生育的栽植木砍除，除種植樹種之外，對保安林功能有益的入侵木、殘存木、萌芽木，除非對種植木成長有妨礙者否則予以保留為宜。

三、進行疏伐的時期，以周邊樹木和栽植木發生競存時期為宜。疏伐季節，以能減弱被砍伐後樹木之萌芽力、保存下來的樹木枝葉能充分擴張的夏季為宜。

四、株數調整時的伐採作業，以留存立木平衡配置為重點考量，雖相對生長劣勢的立木個體，砍伐後可能配置上失去平衡而較其他地點產生較大空間即予保留不伐。此外，優勢木呈集團存在，若引起相互間生育上有妨礙時亦得予砍除。

五、「相對照度」在株數調整疏伐之際，是決定標準伐採量的有效指標，一般為增加林床植生，最低要有 5%左右的相對照度。

六、陡坡地植生覆蓋較低的地區，地表若因施行強度的株數調整伐採而有遭沖蝕或風倒之危險，則應分多次施行，逐漸增加日照量促進下草或低木的生長，若下層長有陰性樹，一時增加太多的日照量可能引起陰性樹枯死。

6.2.5 病蟲害防治

一、病蟲害類型：

(一) 病害之種類原因有黴菌、細菌、濾過性病毒。

(二) 蟲害起因於昆蟲類，啃食、吸取樹液等屬於直接為害，間接危害指媒介病毒或帶進其他害蟲類，擴散病菌或蟲害的範圍。

二、防治措施：

(一) 採用適合當地環境的植物材料。

(二) 採用不同種之植物，進行混播。

(三) 選擇健康的種苗。

(四) 提供適當的生育基地，如良好的排水、通風及適時的施肥；植物發生病蟲害時，為維護其成活及生長，可採自然天敵或人為防治，其藥劑防治方法可參考農業藥物毒物試驗所出版之植物保護手冊。

三、注意事項：

(一) 病蟲害視種類不同而罹害情形殊異，一旦發現危害情形，迅速調查原因並個別剔除，以採取適當的處置；又一般病蟲害種類和罹害樹種間，有某種密接關係，因此特定的病蟲害發生在特定樹種上的頻率相當高。

(二) 罹患病蟲害時之防治方法，有捕殺、包稻草蓆、燒毀、撒布殺菌劑、殺蟲劑、殺線蟲劑等。預防方法為採用耐病蟲害性樹種，增強抵抗力的肥培管理等。撒布農藥，有時波及棲息在林內的無害昆蟲或小動物，甚至影響周邊人、畜、水質等安全，需充分檢討考慮撒布方法、範圍、實施時期、時間、風向等問題。

6.2.6 苗木檢驗

一、苗木良窳之判斷要點：

(一) 植株成活之判定，應符合原規劃設計之植株尺寸、正常生長且無病蟲害及枯萎現象。植生基地樹木品質優劣之判斷，由樹型、根系、枝幹等判斷之。

(二) 樹木的形狀及尺寸之判斷是否符合設計規格。

(三) 根系的判斷：根系擴張良好，細根發育極良好、無腐根及受傷者、無二段根、偏側根者、根系和土壤充分密接者。

(四) 樹形樹冠的判斷：側枝之冠幅與側枝之有無、無樹冠空隙，保持樹種固有樹形者。

(五) 樹幹與樹枝的判斷：下枝無枯損者（枝下高適度者）、應注意側枝寬度與節間長短、無徒長枝、樹幹無寄生植物、幹先端無膨大者、幹無受傷者、幹無彎曲者。

二、苗木材料檢驗項目與基準：

苗木檢驗可分為標準苗木檢驗與進場檢驗，試分述於下：

(一) 材料之標準苗木檢驗項目

主要目的在檢驗苗木之樣品，以確定苗木之品質，一般依苗木之高度、樹冠幅、幹徑、根球及枝下高等為基準，予以檢定。

1. 植株高度(H)：指植株頂梢至地面（G.L.）的高度。
2. 樹冠幅(W)：指植株枝葉冠水平方向直徑尺寸之平均值。
3. 胸高直徑(φ)：指樹幹離地面 1m 處直徑平均值；雙幹、多幹或分枝樹則以斷面積推算之。
4. 根球(Br)：指栽植前植株根部周圍根球；根球直徑以其平均值計之。
5. 枝下高（BH）：由主幹之根際至第一分枝之高度。

表 植 6-2-1 植物材料規格檢驗基準參考表(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

檢驗項目	細目	內容	檢驗基準
樹木地上部	喬木	植株高	植株高矮之差距，不得超過設計規格高度之 10 ％。
		樹冠幅	較標準規格小者，其差距不得小於設計規格之 10 ％，但大於標準規格者，經同意後准予代用。
		胸高直徑	植株 1 米高之直徑值，不得超過設計規格直徑之 10 ％。
		枝下高	枝下高之差距，不得超過設計規格高度之 10 ％。
	灌木	植株高	植株高矮之差距，不得超過設計規格高度 10 ％。
		樹冠幅	較設計規格小者，其差距不得小於設計規格之 10 ％，但大於設計規格者，經同意後准予代用。
	樹種	樹種、品種、變種	符合所指定之樹種，若須以其他品種或變種替代，應徵求甲方及原設計規劃監造同意。
	樹形	樹枝分佈	符合樹木原來的基本樹形，樹枝分佈均衡而無殘缺不全情形
		樹幹直立性	樹幹通直無歪斜情形
檢驗項目	細目	內容	檢驗基準
枝葉	葉色	葉色	葉色為原有之葉色，無病蟲害或營養不良情形
		修剪痕	修枝切口癒合良好，無腐朽情形
		樹皮	樹皮無折傷情形
	病蟲害	病蟲害的發生	無下列病徵：變色、壞疽、凋萎、矮化、萎縮、肥大、簇葉、黑穗、潰瘍、捲葉、流膠、殭果、腐敗及蟲體或害蟲所造成的傷口

	移植及運搬	枝幹保護	按指定材料將樹幹及主枝包捲
		葉	葉無嚴重受損情形
		枝幹	枝幹無裂傷受損及歪斜情形
		運搬狀況	苗木運搬時，對根群、枝葉及樹皮均能妥善保護，且無損傷情形

6.2.7 參考文獻

中島宏(1992)，「植栽の設計・施工・管理」，財團法人經濟調查會。

中國生物學會(2005)，「大樹保護技術研習會研習手冊」，行政院農業委員會林務局。

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農委會林務局(2010)，「育林實務手冊」，國立嘉義大學。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

張育森(2006)，「行道樹栽植與移植技術」，94 年度栽植工程監工實務講習訓練資料。

6.3 其他維護管理之問題與對策

6.3.1 植生問題診斷與對策

植生工程施工地區常會發生植物生長不良、倒伏、死亡等情形，其發生原因各有不同，分別受植栽基地特性、環境物理逆境及生物間相互作用所共同影響，如表 植 6-3-1。

表 植 6-3-1 植生問題診斷與對策表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

症狀	原因	診斷	對策
草生地、生長不良或垂死	養分缺乏	萃取性養分含量、陽離子交換能力低	施肥，應用豆科植物加有機改良劑。
	強酸性土壤	pH＜4.0	加石灰並使用耐酸性植物。
	乾旱	土壤有效水分低，質地粗糙	加有機改良劑，增加灌溉設施。
	植物體含氮量低	C/N＞25	施用氮肥
喬木與灌木植栽失敗	苗木不健壯、栽植或處理不當	立地條件良好	補植
		立地條件惡劣	土壤改良
	土壤過度壓密	壓密度＞1.75	空壓打動
	排水不良	植穴不透水	補植
		地下水位高	排水
生長不良	養分缺乏	葉片或土壤分析	施肥
	強酸性土壤	土壤分析	加石灰
	乾旱	土壤水分測定	敷蓋、灌溉
	地被植物競爭	喬木周圍植被密度過高	有機質改良、敷蓋或除草
植物器官受損	病害	病毒、菌類或昆蟲危害症狀	病蟲害防治、修剪或砍除隔離感染樹木

6.3.2 常見植物病害特徵與防治方法

一、苗立枯病：

(一) 危害特徵：

在高溫多濕的環境下，植物幼苗接近土面處，易腐爛萎縮倒折，並很快傳染給周圍幼苗。

(二) 防治方法：

引起病害的土壤需要好速殺或土壤殺菌劑消毒，才能再播種栽培。幼苗

可用立枯靈、億力、好速殺等殺菌劑防治；栽培環境力求通風良好，避免高溫多濕，土壤排水、通氣也要改善。

二、根腐病：

(一) 危害特徵：

夏季高溫多雨或土壤中的病菌感染，靠近地面之莖葉、根部呈浸水狀腐爛，導致全株死亡。

(二) 防治方法：

病株要掘棄、隔離，使用好速殺、大生 45 或億力殺菌；栽培環境保持通風良好、適當的溫度及濕度。

三、黑斑病：

(一) 危害特徵：

高溫多濕時期，老熟葉片產生紫褐色小斑，逐漸擴大成圓形或不規則病斑，病斑周圍有黃色暈環，後期中央褪色為灰白色，導致黃化落葉。

(二) 防治方法：

摘除病葉並避免淋濕葉片，使用大生 78、好速殺等防治；改善通風、光照，修剪枝葉。

四、白粉病：

(一) 危害特徵：

晝夜溫差大時，莖、葉常附著白色粉末狀，蔓延病株，停止發育而逐漸萎縮死亡。

(二) 防治方法：

可用可利生、克靈粉、億力、回生丹等施用；花木不可密植、改善通風，設法降低周圍溫度。

五、病黴病：

(一) 危害特徵：

陰雨空氣濕度高，日照不足、通氣不良易發生，病株莖葉軟腐或出現灰色黴。

(二) 防治方法：

用大生、億力、好速殺等防治；梅雨季節避免過濕、密植，改善營養、通氣、透光狀況。

六、煤病：

(一) 危害特徵：

花木多在通風不良環境下，葉片常披被一層黑色煤煙狀膜，這是由介殼蟲、蚜蟲之分泌物滯留引起。

(二) 防治方法：

可用速滅精、速滅松、夏油等防治，並改善通風。

七、銹病：

(一) 危害特徵：

病株莖葉或花朵產生黃淡綠色條紋，嚴重時莖葉畸形萎縮。

(二) 防治方法：

可用大生或飛邦防治；改善通風狀況，保持葉片乾燥。

八、萎縮病：

(一) 危害特徵：

病株莖葉或花朵產生黃淡綠色條紋，嚴重時莖葉畸形萎縮。

(二) 防治方法：

病原菌由傷口侵入，播種的種子或扦插的插穗切口要消毒，摘心時先摘健壯株，再摘病株以防傳染；平時撲殺蚜蟲、介殼蟲媒介，若發現病株，應立即拔除。

6.3.3 常見植物蟲害特徵與防治方法

植物的害蟲危害情況極迅速，常有幾天內就把枝葉嚙食精光，若有發現，應立即防治，若用藥正確，幾分鐘內就能把害蟲殺死。蟲害的農藥甚烈，必須按說明書規定的倍數稀釋施用，不可擅自提高濃度，以免藥害。

一、介殼蟲類：

(一) 危害特徵：

介殼蟲是花木普遍常見的害蟲，分別為有殼或無殼粉介殼蟲，常爬附莖幹或葉面吸食養分，被害部位由綠轉黃，並分泌黏液蜜汁，招引螞蟻，引發煤病、枝葉衰弱或全株枯萎。

(二) 防治方法：

量少時用手或毛刷清除，量多時用滲透性較強的農藥如速滅精、速滅松、

夏油、馬拉松等噴灑。有殼介殼蟲死亡後，蟲殼仍會附著在植物上，可以用手揉揉，如果還有濕濕的體液，就表示尚未死亡，必須再噴藥。

二、蚜蟲：

(一) 危害特徵：

蚜蟲是非常普遍的害蟲，常爬附於花木幼嫩新芽、葉背或花瓣吸食養分，導致新芽衰弱枯萎，新葉萎縮畸形，傳佈毒素病，分泌蜜汁引螞蟻出沒，尤其散佈毒素病之病源危害蟲之最，潛在性危害最大，一發現應立即撲滅。

(二) 防治方法：

危害初期量較少，可用手或毛刷捏除，用水沖洗，量多時用蚜克靈、速滅松、萬靈等噴灑。

三、蛾蝶類：

(一) 危害特徵：

蛾、蝶類幼蟲是花木最常見普遍的病蟲，常爬附於各種花木嚙食幼嫩莖葉，甚至在枝葉間結繭，其食量甚驚人，甚至數天內能把莖葉啃食精光。

(二) 防治方法：

發現蟲時或莖葉被啃食，可用手補殺或用水沖除，量多時用速滅松、萬靈、速滅精噴灑即可殺死，防治可噴萬靈或在葉片撒佈殺蟲粉劑，如撲滅松粉劑。

四、夜盜蟲、切根蟲：

(一) 危害特徵：

夜盜蟲種類很多，成蟲白天潛伏在陰暗處或地下棲息，夜晚才悄悄爬上地面嚙食幼苗或植物幼嫩莖葉，切根蟲潛在地下危害植物根部。

(二) 防治方法：

量少時趁夜晚用手補殺，量多時在傍晚施用萬靈、剋地蟲或抗蟲得農藥撲滅；地面撒好年冬可長期防治。

五、紅蜘蛛(蠕類) ：

(一) 危害特徵：

常見吸食葉汁，被害部位葉綠色漸失，變成灰白至乾枯脫落，或危害球根，致使根腐。

(二) 防治方法：

使用各種殺蟎劑噴灑，如總無蟎、錫克蟎、速滅蟎等。

六、薊馬：

(一) 危害特徵：

會飛到花葉唼吸汁液，危害部位褪色萎縮或呈白色斑點、條紋。

(二) 防治方法：

量少時用香菸燻死或驅離、用手補殺、用水沖除，量多可用萬靈、古斯靈、大禧等防治。

七、根瘤線蟲：

(一) 危害特徵：

寄生於植物根部，形成根瘤，使根部變小、腐蝕，生長衰弱，減少開花或全株枯黃死亡。

(二) 防治方法：

選擇抗線蟲品種，掘取病株殘根燒毀，使用好年冬、萬強、地蜜等殺蟲劑撒施土壤殺蟲。

八、螞蟻：

(一) 危害特徵：

常在盆內作窩，危害根部，和蚜蟲、介殼蟲為伍共生，傳佈病蟲害，搬移種子、肥料。

(二) 防治方法：

用殺蟻劑如蟻酸、BHC 粉劑、第滅靈、速滅松等噴灑；寄居盆內，將盆浸入水中驅除或淹死。

6.3.4 植生維護管理作業方法

表 植 6-3-2 植生維護管理作業項目與時間表(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

位置	作業		作業時期及次數												年間作業次數	備註
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
環境綠帶	喬木	整枝(常綠)	▬	▬				▬	▬						適度	顧慮到坡面的透適度，僅對過密部分實施。
		整枝(落葉)				▬				▬	▬	▬	▬		適度	
		補植(常綠)	▬		▬	▬		▬	▬					▬	適度	
		補植(常綠)	▬									▬	▬	▬	適度	
		澆水				▬	▬	▬							適度	栽植初期二至三年之乾燥期
	灌木	修剪	▬	▬	▬	▬	▬							▬	1 次	開花植物應在開花後馬上修剪
		補植	▬		▬	▬		▬	▬					▬	適度	
	草坪	剪草		▬	▬	▬	▬	▬	▬						4 次左右	
		除草	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬				▬	▬	2 次左右	
		補植	▬	▬											適度	
	草花	除草		▬	▬		▬	▬							2 次	
		補植	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬			▬		適度	
既存林	間伐												▬	▬	適度	由弱小者依序伐採，使將來能保持 100 株/m^2 左右
	除蔓												▬	▬	5~10 年 1 次	
	補植		▬									▬	▬	▬	適度	
斜坡帶	除草(幼苗栽植地)		▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬					2 次	植栽 2~3 年期間
	除草(樹木種子噴播)		▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬					適度	
	種子補播								▬	▬					適度	木、草本種子噴播有不均勻情況時
其他栽植地	喬木	澆水				▬	▬	▬							適度	栽植初期二至三年之乾燥期
	灌木	修剪	▬	▬	▬	▬	▬								1 次	花掉落後馬上修剪
	草坪	剪草		▬	▬	▬	▬	▬	▬						4 次左右	
		除雜草	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬						2 次左右	

柒、常用植生工法類型

7.1 直播

7.1.1 定義與目的

將種子做必要之預措處理後，混合少量之肥料、土壤基材，直接播種於坡面上，以達到植生綠化之目的。

7.1.2 適用範圍

一、坡度緩於土壤安息角之填方坡面。

二、經加鋪客土，坡度緩於 30˚之挖方坡面。

三、配合栽植法之種子撒播。

7.1.3 直播種類

一、點播：

將種子與植生基材混合後，按一定距離放置約 1 升之種肥基材團粒。

二、條播：

於坡面上整平後，適當距離挖淺溝後將種肥基材植於溝內者。

三、撒播：

將種子做必要之預先處理後，直接撒於坡面上者。

7.1.4 施工方法與設計準則

一、除去地面雜物、危石、殘株及耙平坡面。

二、一般土壤每 m^2 施堆肥 1.5 kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05 kg，但得視其土壤肥力狀況增減 20 %。

三、將每 10~ 30 g / m^2 之種子均勻撒播於坡面，或挖 20-30cm 深之植溝後進行撒播。

四、取鬆軟之表層土微量覆蓋於撒播種子後之坡面，以防止陽光曝曬及增加種子固著。

五、撒播後視需要覆蓋稻草蓆，以防止種子飛散並保持土壤水分。鋪草蓆需重疊 5 cm，並以長 25~ 30 cm 之# 10 鐵絲作成”∩”型鐵絲或竹籤固定。

六、稻草蓆寬度 1 m，其重量約為 350g / m^2。

七、在立地條件較佳之坡面可採撒播方式為之，係簡單易行之植生方法之一。



種子拌合材料



挖植溝後撒播種子



階段坡面條播後植物生長情形

圖 植 7-1-1 直播施工作業照片例(資料來源：林信輝；「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，2007)

7.1.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2008)，「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

7.2 噴植工法

7.2.1 噴植工法定義與分類

一、定義：

噴植工法為將種子、肥料、有機質肥料(或土壤)、黏著劑與適量之水充分攪拌成泥狀後，利用水力式或氣壓式機具將前述材料噴佈於坡面之植生方法。

二、分類：

臺灣地區噴植方法之各類型工法及其說明如表 植 7-2-1。

表 植 7-2-1 臺灣噴植方法之類型(資料來源：「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」，2015；林信輝，2004；林信輝，2016)

類型區分	工法名稱	說明
依噴植厚度區分	1.薄層噴植	噴植厚度為 1cm 以下，通常為使用水力式噴植機直接噴植，適用於填土區或道路邊坡小面積沖蝕裸露地區。
	2.淺層噴植	噴植厚度為 1～3cm，適用於土壤硬度小於 25mm(山中式硬度測值)之一般土質坡面。
	3.中層噴植	噴植厚度為 3～6cm ，噴植於鋪設鐵絲網之坡面上，適用於軟岩坡面。
	4.厚層噴植	噴植厚度為 6～10cm，噴植於鋪設鐵絲網之坡面，適用於無土層或硬岩坡面。
依使用材料與應用技術區分	1.直接噴植	直接將黏著劑、種子、肥料等植生材料噴植於坡面之方法，常用於需快速草類覆蓋之裸坡地區或一般填方地區，其噴植厚度通常小於 1cm。
	2.鋪網噴植	坡面先以鐵絲網、編織立體網等鋪置後再噴植基材之方法；噴植厚度通常為 5cm。常用於崩塌裸坡面或挖方坡面。
	3.混合土壤團粒化劑噴植	添加土壤團粒化劑可促使土壤團粒化，增加孔隙度，本工法僅適用於薄層噴植。
	4.連續纖維團粒化劑噴植	基材在噴槍口與空氣、團粒劑攪拌形成團粒反應，並於噴出槍中時結合連續纖維，形成具有團粒結構與纖維補強之基材土壤，噴佈於坡面上。
	5.航空噴植	深山或偏遠地區、地形陡峻等條件不佳之地點，其它植生工法較困難時使用。
依使用機具與作業方法區分	1.水力式(噴植機)噴植工法	以水為載體，將事先經過合理配比和適當預處理的各種草類種子與植生基材，透過可調壓的噴頭均勻地噴播在基質表面之方法。
	2.氣壓式(噴植機)噴植工法	將適當預處理之種子與植生基材等依一定比例混合後，透過氣壓式噴漿機(12 kg/cm^2)將植生基材噴布於坡面上之噴植方法。又可分為濕式與乾式。

7.2.2 直接噴植(薄層噴植)

一、定義：

直接將種子、肥料、纖維材料、黏著劑與適當之水分充分攪拌後，利用強力水泵噴灑於坡面之植生

二、目的：

為利植生材料均佈於坡面上，以達快速綠化之功效。

三、適用範圍：

(一) 一般土質坡面挖方、填方地區。

(二) 有水源(噴植用水)持續供應之地點(或水車載運可達地點)。

(三) 噴植厚度通常為 1cm 以下。

(四) 亦可適用於較不良植生之惡劣地質，如礫石層、砂岩、砂頁岩、頁岩、軟岩等之坡面。

四、設計與施工方法：

(一) 將坡面上妨礙植生之雜物移除。得視土壤條件於坡面上沿著等高線每間隔 40～60 cm，挖掘寬 10～15 cm 的植溝後施堆肥，每 m^2 約撒施有機肥料 2kg。

(二) 將草種子、肥料、黏著劑加水充分攪拌後，以噴植機噴植，其拌合比例應視所用草種而定，一般為每 m^2 使用 2～4 種草種混合使用，合計用量約為 0.015kg，複合肥料(如台肥 43 號)0.05 kg，黏著劑 0.1～0.25kg 及水 0.5～2.0kg，如與有機質土或木質纖維等材料混合噴植其厚度可大致 1cm 至 3cm，黏著劑與水之使用量應於施工現場試驗並調整之。

(三) 目前使用之黏著劑種類繁多，其使用量因黏著劑種類及立地條件而異，曾使用的黏著劑有柏油乳劑 0.25 kg/m^2。石化系列白色乳劑 0.06～0.12 kg/m^2 及天然樹脂 1 kg/m^2 等。

(四) 施工坡面如過於乾燥，噴植前應適予灑水。

(五) 噴植後保水能力差之坡面，須加蓋稻草蓆或其他材料敷蓋，以免流失。

五、施工時應注意事項：

(一) 在填方坡面噴植材料固著良好或礫石層地區，可不必挖掘植溝。

(二) 噴植後 4 個月內坡面應禁止人為破壞與干擾。

(三) 噴植材料中可酌加固氮菌與緩衝劑後一次噴植。

7.2.3 鋪網噴植

一、定義：

鋪網噴植方法是先於崩塌裸坡面上鋪設鐵絲網或包膠網材，再將種子、肥料、有機質、黏著劑等與適當之水分充分攪拌混合後，利用強力壓縮機噴植於坡面上之植生方法。

二、適用範圍：

(一) 表土沖蝕嚴重或沖蝕造成危害生態環境地區。

(二) 噴植機可到達之施工地點。

(三) 軟岩或土壤硬度高之崩塌坡面，可配合坡面挖穴後施工。

(四) 坡度緩於 50°之一般挖方、填方坡面。

(五) 噴植厚度通常為 3～6 cm。

(六) 亦可適用於較不良植生之惡劣地質，如礫石層、軟岩、破碎岩及較陡之岩盤坡面。

三、設計與施工方法：

(一) 整坡後，將菱形鐵絲網(#14 網目 50 mm×50 mm)拉緊，平鋪於坡面，然後每 m^2 以一支鐵栓固定。其中坡腳與坡頭以 ϕ 13 mm、L100 cm 鐵栓固定；坡面以 ϕ 13 mm、L70 cm 鐵栓固定。

(二) 客土材料依立地條件不同而異，可以砂質壤土或木屑等材料為基材，其每 m^3 加 30~100 kg 堆肥、台肥 43 號複合肥料(或等值肥料)4~10 kg 與適量的水均勻混合使用，先行以噴植機噴佈形成 3 cm 以上之客土層。再將每 m^2 黏著劑 0.2~0.5 kg，2~4 種草木本種子各 0.01 kg 及適量的水混合後，噴植於客土上。

(三) 若為坡面條件較不佳之地區，可配合打樁編柵、鋼索固定或添加侵蝕防止材料、基盤營造材料等。

(四) 土壤硬度大於 25 mm(山中式硬度計測值) 以上之一般硬質土層坡面或泥岩地區，可配合用機械挖溝，於坡面上每隔 50 cm 挖掘寬 10~15 cm，深 10~20 cm 之小溝，以供客土及利於植物根系之伸展與防止客土層滑落。如使用鑽孔機鑽孔，可酌量減小孔徑，增加孔之密度，以確保植物成活生長。

(五) 噴植材料如含大量比例的樹皮纖維、鋸木屑、香菇堆肥，配合其他資材一次噴植時，應特別注意噴植基材的孔度、吸水性、pH 值、C/N 值，以確保植物發芽生長。

(六) 噴植後通常需全面覆蓋稻草蓆。

(七) 鋪網噴植工法設計案例，如圖 植 7-2-1。其中錨釘之規格設計，需依現地地質、坡面安定條件及施工作業機具之適宜性，酌以調整之。

(坡地植生工程二版，2016；圖解植生工程，2016；鍾弘遠，1992)

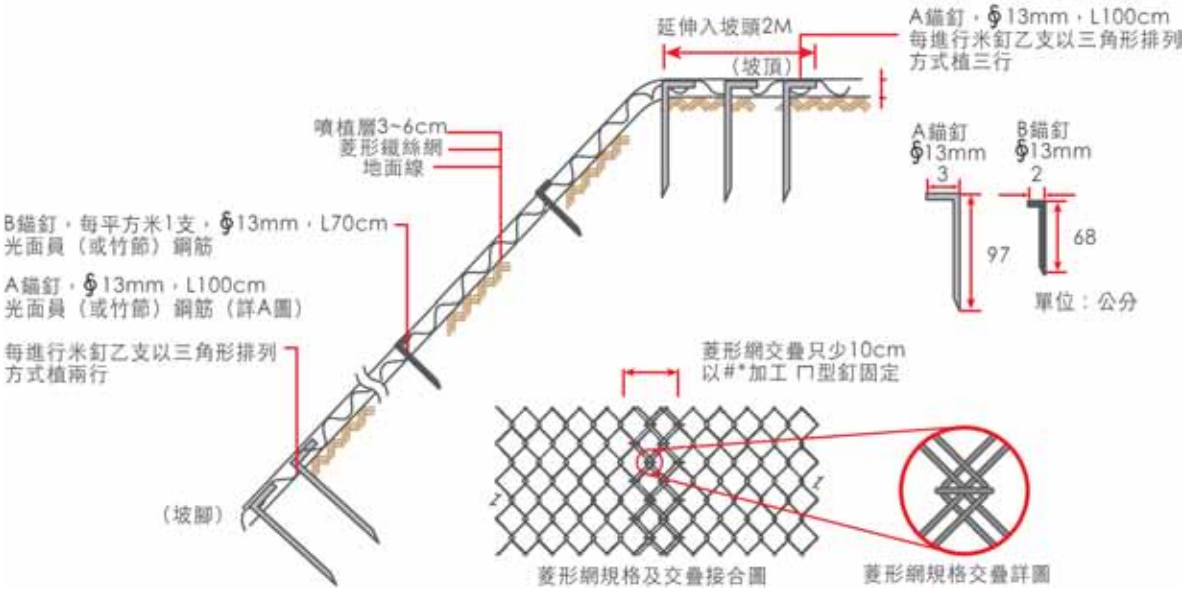


圖 植 7-2-1 鋪網噴植工法設計案例(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

7.2.4 參考文獻

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

鍾弘遠(1992)，「植生工程施工與設計」，地景出版社，pp. 200-250。

7.3 植生帶(毯)鋪植

7.3.1 植生帶(毯)之定義與目的

一、定義：

植生帶(vegetation sheet)(毯)由不織布、稻草毯、椰纖或其他資材以層狀方式形成，在兩層資材層間或在帶體上方黏附種子、肥料或視需要放置腐質土、植生資材等作成層狀。

二、目的：

(一) 利用層狀覆蓋之效果達到植生及防止土壤沖蝕。

(二) 植生帶材料尺寸比較大、容易貯藏，全面或帶狀鋪設可快速完成。

(三) 植生帶可提供初期種子萌芽的生育養分、基盤，有助於確保種子發芽。

7.3.2 不織布植生帶鋪植

一、定義:

不織布植生帶(non-wove vegetation belt)鋪植以未經編織過程之棉紗及化學纖維(約各 50 %) 製成之植生帶，不織布植生帶通常為雙層，中間夾有種子之植生商品材料，進行鋪植作業之植生方法。

二、適用範圍:

適用於坡度緩於 45°，土壤硬度小於 25 mm(山中式硬度計測值)之一般土壤邊坡均適用。

三、目的：

利用不織布敷蓋之效果達到植生及防止土壤沖蝕。

四、設計與施工方法:

(一) 整坡鋤鬆表土除去石塊，在填方邊坡每 m^2 施放堆肥 1～3 kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05 kg，與土壤混合後整平；挖方邊坡之施肥量應為填方之兩倍；覆土不均勻時，植生帶會懸空而致種子乾燥而發育不良。

(二) 不織布植生帶一般幅寬 1 m，鋪設時，應 5 cm 左右之重疊。

(三) 鋪設後在每 m^2，以一支"∩"型鐵絲或竹片固定之。

(四) 在坡長較短、坡度較緩且平整之處，植生帶可由上往下鋪設，因其鋪

設效率較高；但應由上往下以鐵絲或竹片固定之，使其與土壤充分接合，防止植生帶懸空而致減低種子之發芽率及成活率，坡長大於 3 m 時，則以橫鋪為宜。

(五) 不織布植生帶鋪設後，應覆上稻草蓆，並微量覆土以利植物生長。稻蒿植生帶亦需微量覆土。

(六) 植生帶以全面鋪設為宜，在坡面排水不良時，植生帶之下方土壤易產生沖蝕問題。

(七) 不織布植生帶之貼地性及防沖效果優於稻蒿植生帶，但對大粒種子之發芽則有妨礙，稻蒿植生帶雖有利於大粒種子之發芽，但防沖效果較差。

(八) 在坡度 35°～45°之陡坡地或沖蝕較嚴重之地區，植生帶鋪植後，可被覆鐵絲網固定之，以防施工坡面土石之崩落。

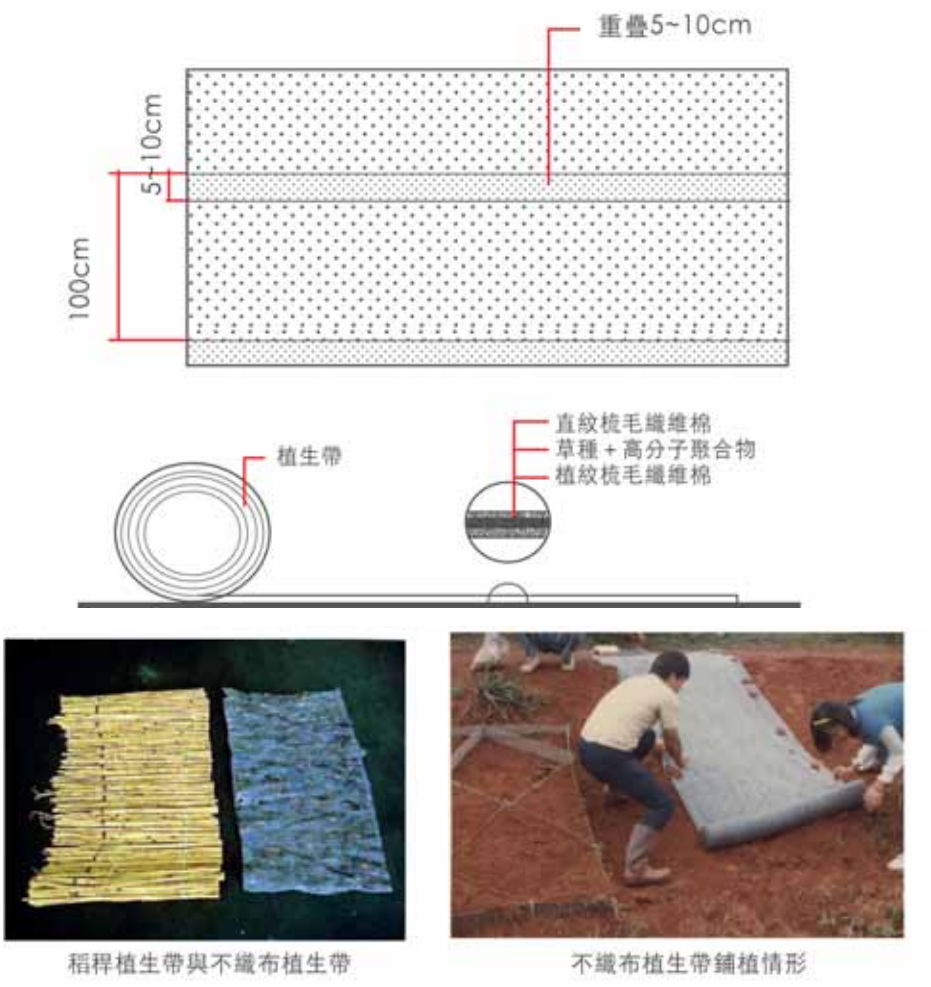


圖 植 7-3-1 不織布植生帶鋪植示意圖與照片例(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

7.3.3 肥束網帶或其類似產品之鋪設

一、定義與適用範圍

由纖維棉布、稻草、細尼龍及塑膠網或其他有機、無機之纖維質材料混合捲紮成束，纖維束中間包夾 IB 等緩效性肥料、保水劑等，鋪設於坡面之方法。其產品依材料種類與設計施工目的之不同而有肥束帶、肥束網袋、植生網毯等不同之產品名稱，適用於一般道路邊坡裸露地或崩塌地。

二、設計與施工方法

(一) 欲施工坡面需經整地，清除其上草木雜枝或鬆動石塊。

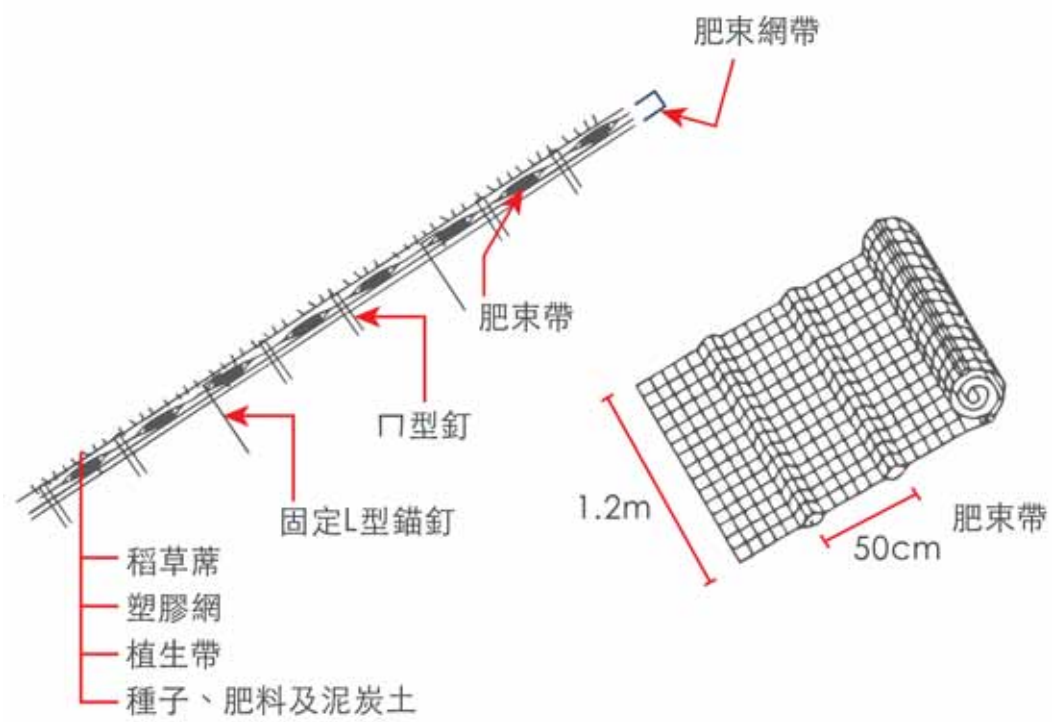
(二) 材料規格長 1 m，直徑可依設計需要而彈性配合。依設計需要於坡面沿等高線，以每隔 50 cm 或 1 m 行距，鋪釘肥束帶。鋪釘前必須先微鏟挖出一淺溝，使肥束帶能更為緊密貼地，每行束與束間必須緊密相連。

(三) 每束需釘 3～4 支長 15 cm 之鐵釘或鋼釘，套襯 Washer(華司墊片)後固定之。

(四) 依設計需要可配合草種噴植、厚層客土噴植及鋪蓋稻草蓆。

(五) 如於泥岩或砂岩坡面施工時，沿坡面等高線設計以行距 50 cm 或 1 m 鋪釘一束之肥束帶（或防沖束）配合掛網鋪植後，配合施行厚層客土噴植。

(六) 現行有產品化肥束網袋，採固定行距編製肥束袋，便於直接鋪植。



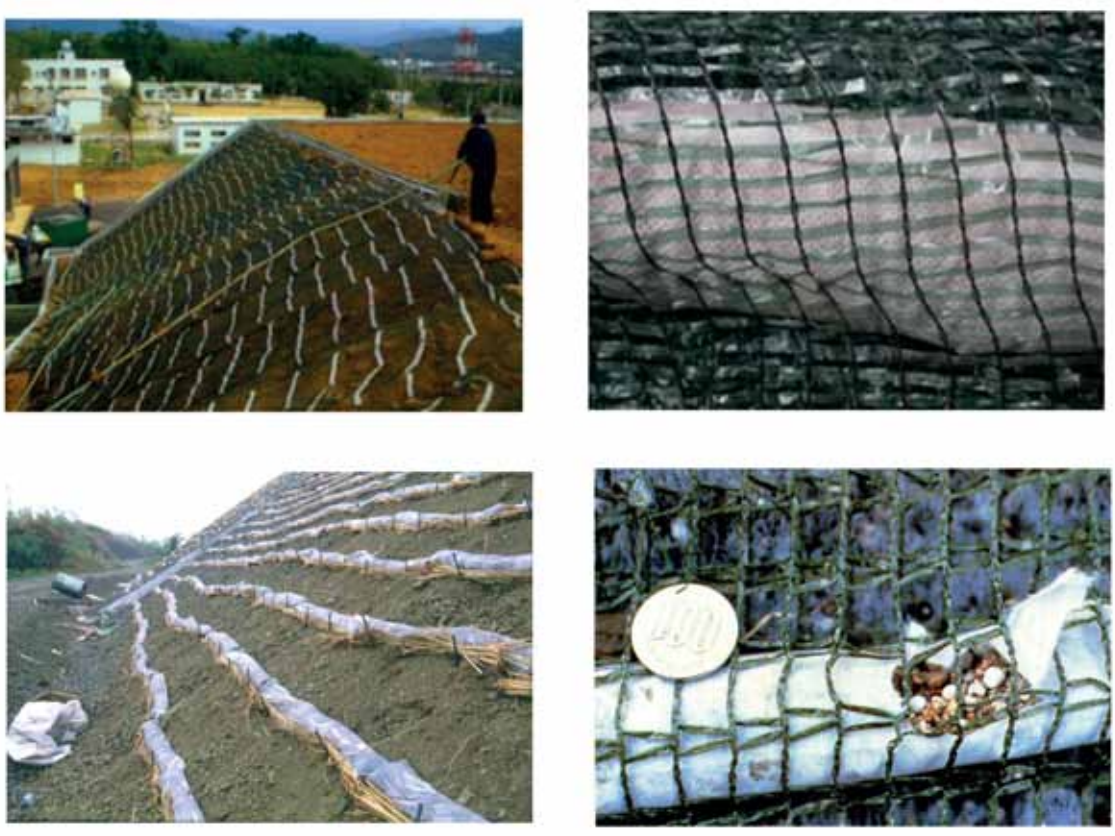


圖 植 7-3-2 肥束帶設計示意圖與照片(資料來源： 「水土保持植生工程」，2004、「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」，2007)

7.3.4 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會林務局南投林區管理處(2015)，「崩塌地噴植工法與應用基材手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2007)，「坡地植生工程暨植生調查應用手冊」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

7.4 草苗栽植

7.4.1 草苗扦植

一、定義:

在坡面上沿著等高線，每隔適當距離扦植草莖或含根草莖，以覆蓋坡面、防止沖蝕之植生方法。

二、適用範圍：

(一) 一般填方或挖方土壤，其坡度緩於 45°者。

(二) 土層深厚，施工容易之小面積坡面植生。

三、設計與施工方法：(以百喜草及百慕達草為例)

(一) 坡面整平後,沿等高線每隔 30～40cm 挖掘深寬各約 10～15cm 之植溝，植溝之溝底應稍內斜，以截蓄水分。

(二) 於溝內施放基肥，並與原土壤拌合，基肥施用量可以每 m^2 施放堆肥 1～1.5 kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05 kg，或添加緩效性肥料。

(三) 植溝內每隔約 15cm 左右種植草苗一束，不同草種隔行間植。苗高約 10～15cm，充分壓實並澆水，至少二節埋入土中，如以直接挖穴植草苗，則每 m^2 應多於 15 穴。

(四) 中、低海拔地區，邊坡基礎工程構造物周邊之裸露坡面，種植百喜草，具加固補強效果；百喜草種植時，要將其枯葉去除，以利根芽生長。

(五) 此法栽植宜儘量利用陰天或雨後土壤潮溼時種植，所採之草苗應放置陰涼處，但百喜草可加以澆水或適當浸水，並儘速種植。

(六) 百喜草與百慕達草隔行栽植或混合栽植時，由於百慕達草生長快速，可達到初期覆蓋效果，但後期則百喜草生育良好。

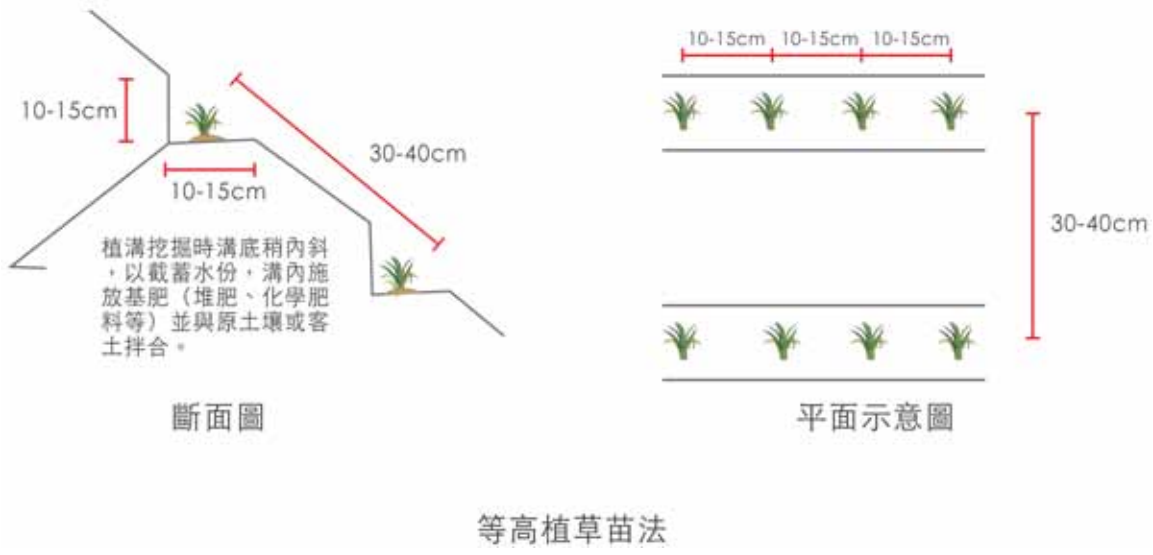


圖 植 7-4-1 草苗栽植(扦插法)設計示意圖(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

7.4.2 草莖鋪植

一、定義：

草莖鋪植(grass stem pavement)是將草莖撒於整坡後之坡面，再利用機器輾壓、灑水及覆砂之步驟，4 個月至半年可達全面覆蓋。

二、適用範圍：

(一) 大面積之造園綠地廣場。

(二) 高爾夫球場草皮或特殊用途之運動場。

(三) 海岸砂地植草覆蓋。

三、設計與施工方法：

(一) 將草類根莖切成 3～5 cm，均勻撒布於經整地後之地表面。

(二) 撒佈草莖之數量，即撒布後播莖之覆蓋面積比約 1/5～1/20 左右。其中百慕達草品系(Tifton)因生長快速，用量可較少，約為 1/15～1/20；芝草屬之草類生長較慢，其撒布後之覆蓋面積約為 1/5～1/10。(林信輝，2007)

(三) 草莖撒播後需淺層鋪砂或覆砂、土，並以滾筒式碾壓機碾壓。

(四) 配合噴撒灌溉或水車灑水，以確保初期之發芽生長。

7.4.3 草皮鋪植

一、定義：

草皮鋪植(turf pavement)是將草皮掘取並移植於所需鋪設之處，或將選定之草類種子放置於適當大小之土盤或苗床栽植後，連根帶莖及部份土壤一併移植到邊坡上，如此可藉草類茂密植株及根系之保護地表盤結土壤，減低植生初期之土壤沖蝕，達到快速覆蓋之效果。

二、適用範圍：

(一) 坡度緩於 30°之挖方坡面。

(二) 擬快速覆蓋之一般填方坡面。

(三) 植草磚草溝等地配合植草。

(四) 公園綠地植草。

三、草皮鋪植方式分類：

草皮鋪植方式依草皮或草毯塊間的距離可分為：

(一) 緊密鋪植

在規劃設計之植生工程區域全面舖設現成草皮，一般用於坡度較大或需快速綠化覆蓋之裸露地，或草溝溝面鋪植。

(二) 帶狀舖植

捲式草皮或切片草皮，帶狀間隔約 30~40 cm，但坡地地區可配合等高栽植或階段處理，帶狀間隔可採 1~2 m 之間隔，單列或多條狀。

(三) 間隙鋪植

植生工程規劃設計範圍內進行草皮鋪植，草皮覆蓋密度約為 70~80 %。一般用於坡度較緩，有綠化成本考量之區域。

(四) 設計與施工方法

1.選定種植範圍後，視地表土質情形挖深土壤 10 cm 以上，清除土中有害植物根系生長之雜物。

2.剷平地表後適度壓實，並做出有利排水的坡度。

3.視需要撒布砂質壤土，以利草皮與土壤接觸。

4.草皮挖起應有足量土壤與濕潤，存放不得超過 72 小時，運送及儲存草皮，需小心處理以免損壞草皮。

5.鋪草皮前須將草皮略微撕開，以促進草根再生(較陡坡面可不加撕開草皮，以防止乾燥，但需以ㄇ型鐵釘或竹簽固定之)，依設計圖將草皮鋪植於地面，平地由內往外，坡地由上往下鋪植。

6.鋪完草皮後，略鋪薄砂填補間隙並灌水，再將草皮鎮壓、滾平，使草根與土壤密接。

7.完成後再次灌水以保持土壤濕度。

8.擬達到快速綠化覆蓋之坡面或草溝溝面，需以全面鋪植方式進行作業。

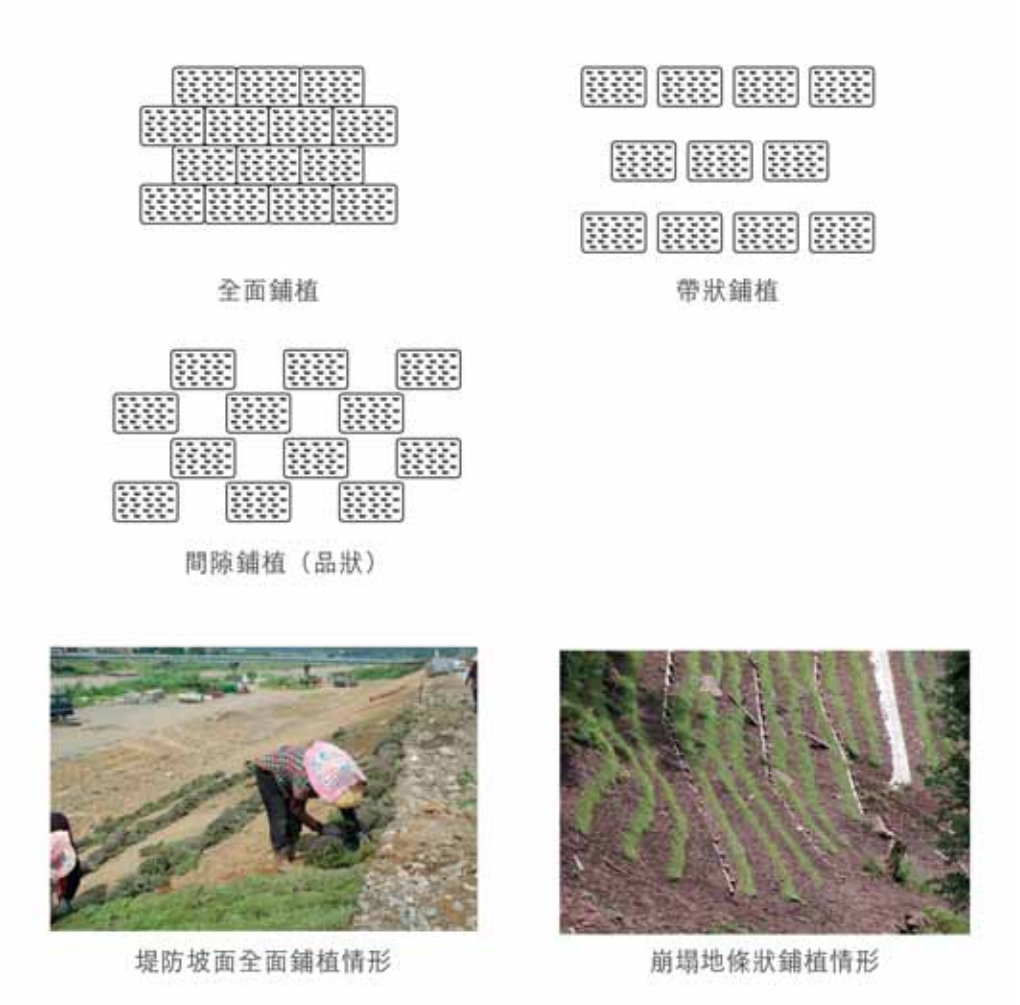


圖 植 7-4-2 草皮鋪植之配置類型示意圖與照片例(資料來源：「水土保持植生工程」，2004；「坡地植生工程二版」，2016)

7.4.4 草藤(容器)苗栽植

一、定義：

在特殊地區，無法挖溝植草時，先將植物材料於容器苗袋內培育後再穴植於坡面上之植生方法。

二、適用範圍：

(一) 土層薄、礫石含量多，沖蝕嚴重、植物生長不易之坡面。

(二) 礦區棄土石地，含石率較高之地區。

(三) 需迅速綠化或補植之地區。

三、設計與施工方法:

(一) 將表土堆肥及台肥 43 號複合肥料等均勻混合，其比率以 1 m^3 土壤：100kg 堆肥：10kg 複合肥料為原則，填裝於容器育苗容器內，供為栽培植物之用。

(二) 若採用容器育苗者時，容器應大於 20cm×20cm，容器底部應打孔 5～10 個，以供排水、透氣及根部生長。

(三) 將坡面危石清除並將沖蝕溝整平後，沿等高線挖植穴，其直徑深度需略大於育苗容器之大小，植穴配置法為等邊三角形，穴與穴之中心間距，視植物種類及立地條件而定，穴內酌量施放緩效性肥料。

(四) 將已培育完成之育苗袋，置於穴內，如使用容器育苗者並應割開或除去塑膠袋，周圍之空隙並須填實壓密。

(五) 育苗袋內可以草類或藤類等不同植物材料栽植，栽植後坡面再行點播或撒播草類種子，以加速覆蓋效果。

四、容器育苗穴植之優點：

(一) 以容器栽培之植物，其土球較之於田間栽培植物的土球不易鬆散，而可搬運容易。

(二) 因帶土團出圃造林，樹冠及根系完整，幼苗不需恢復期，成活率及成林率高。

(三) 育苗時不受場地的限制，可以機械操作，有利於工廠化育苗，可大量生產。

(四) 無移植衝擊，因而全年均可出售，種植較不受季節限制。

(五) 可發展為自動化生產、管理的方式。

五、容器育苗穴植之缺點：

(一) 容器育苗易盤根，易造成植物生長衰退或死亡，為了避免盤根，必須不斷地換盆，亦即由小盆種起，再不斷的更換大盆，但換盆的費用極高。

(二) 容器栽植的苗木生長速度較慢，延長了培育管理之時間，增加了成本。

(三) 傳統容器易被風吹倒，造成植株傷害，故需立支柱，因而提高了生產成本。

(四) 如使用較大型木箱栽植，成本高且搬運笨重。

(五) 澆水、施肥及雜草控制等管理不易，影響栽植成本。

7.4.5 草花栽植

草花類植物材料一般以 3 寸軟盆育苗，再移植到規劃地點栽植，適用於花壇、植栽槽、公園綠地等具觀賞性目的之植生場所(圖解植生工程，2016)。

一、設計與施工方法：

(一) 先將坡面深 25 cm 內之雜草根株及石礫除去，耕鋤鬆軟及耙平，並注意排水。

(二) 加入適當的有機肥料，並與土壤充分的攪拌均勻，以促進草花的根部吸收。

(三) 草花具有高度的觀賞價值，通常進行小區塊花壇栽植或沿步道側、溪岸等列植。

(四) 於種植草花前先檢查育苗袋內有無雜草，若有需拔除，再將已培育完成之草花自容器或草袋中取出，植於穴內，周圍之空隙並須填實壓密。

(五) 種植草花的時間盡量避免選擇早上，以免種下後經陽光照射，草花失水。

(六) 植穴深度應與根球的大小相仿，使種下後的土面高度與原花壇的土壤高度相同。

(七) 每株草花苗的距離約植株本體大小 1 到 1.5 倍距離，或常為 15~25 cm，距離過大顯得太疏，太密則有礙花苗生長；枝葉太密造成通風不良，容易感染病蟲害。

7.4.6 常用水土保持草類特性說明

山坡地之土壤若失去植物之保護，沖蝕的現象隨即產生。草類具有一些特性，對於水土資源保育有相當大之貢獻，常用水土保持草類如類地毯草、地毯草、百喜草、百慕達草等，其他水土保持草類特性與相關栽植方式詳如附錄四。

7.4.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2014)，「地水土保持方法實例圖冊」。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

7.5 苗木栽植

7.5.1 苗木栽植之定義與適用範圍

一、定義：

將苗圃培育之容器苗、土球苗、假植苗等苗木，移植至需植生處理之地區進行苗木栽植。

二、目的：

將目標樹木以苗木的方式引進至植生施工地點，特別在須快速建立森林植被之地點。

三、適用範圍：

(一) 一般造林地區。

(二) 崩塌堆積區或綠帶植生地區。

(三) 砌石、箱籠或原木擋土牆上方填土之平坦區域(通常為小徑苗木)。

(四) 挖方坡面階段平台區域。

7.5.2 規劃設計原則

一、栽植時期

(一) 落葉樹之栽植季節以落葉後休眠期間至翌年新梢萌芽前最適當，約 1 月至 2 月上旬間。

(二) 常綠樹以早春萌芽前最適宜，尤其春雨期最佳。

(三) 針葉樹則最佳時期為 3~4 月，其次為 9 月下旬。

(四) 苗木自掘苗至栽植，期間愈短愈好，栽植適合時期，北部為 1~3 月、中部為 1~5 月、南部為 5~7 月、東部為 11 月~翌年 3 月。

二、栽植苗木之應用考量原則

以苗木做為植生工程之植物材料，需考量如下之特性與原則：

(一) 保護與維護措施良好，苗木種植可全年施作，情形良好者存活率可達 90%以上。

(二) 苗木雖可當做工程材料執行，但使用時須與其它工程材料或相關施工程序結合，方能達到預期效果。

(三) 苗木之標準和檢定，因樹種不同而有所不同，宜於事前溝通，加以明確原則訂定，工程後續爭議少。

(四) 苗木選擇生長勢強，成蔭快之樹種，則綠化效果快速。

三、苗木材料選擇要件：

(一) 全株不可有嚴重受損之傷口痕跡。

(二) 全株樹皮或枝葉無寄生蟲體、蟲孔、病徵或病斑。

(三) 樹冠下方具明顯單一主幹，主幹先端無膨大現象且直立不可有彎曲。

(四) 根系擴張及細根發育良好，無腐根、受傷、二段根、偏側根等情形，且根系和土壤充分密接者。

四、苗木混植配置

苗木混植是將不同生活型之苗木進行混合栽植，混植時樹種之排列、間隔方式，原則上以主要樹種(主林木)為考量標的；不同苗木混合栽植，不僅增加環境棲地與生物多樣性，對景觀上來說也較豐富，並可減少病蟲害，不使蔓延迅速，造成樹種枯損(林信輝，2007)。

如考慮到如肥料木等不需長期存在之樹木衰退後。常用苗木的混植類型有:

(一) 木本植物栽植配合草類種子撒播、草苗栽植。

(二) 針葉樹與闊葉樹種混植。

(三) 深根性與淺根性樹種混植。

(四) 主林木與肥料木混植。

(五) 陽性樹種與陰性樹種混植。

(六) 肥料木係指具有根瘤菌或菌根菌，可固定空氣中之 N_2，有助於增加氮肥及改良土壤效果者。

7.5.3 苗木栽植施工作業

為使種植苗木之成活及生長良好，須注意取得健全且適宜之苗木、應使苗木不受乾燥、種植深度適宜及根系與土壤密切接觸等。從苗圃取苗至現地栽植施工作業，茲分述如下：

一、容器苗斷根與修剪

容器苗木移植前一個月須先行移床或進行斷根作業，斷根時要同時配合枝葉的修剪，防止水分過度蒸散，經過恢復生長才可栽植。

二、土球苗掘苗

現地栽植之苗木須於移植前 1 個月先行斷根，且應避免讓斷根長出之細根受傷，挖掘苗木前，應使泥土潮濕，必要時在兩天前灌水，以保持土球之黏性及完整，土球苗掘取後應包以草蓆或粗麻布。

三、搬運

苗木掘苗後，根球、枝葉及樹皮應妥善保護，避免遭受損害及陽光直接曝曬，立刻運搬到栽植地點後隨即栽植，如一時無法栽植，或因數量較大需分批進行，則必須予以假植以備定植。方法有根部埋在土中的“土假植法”及泡在流水中的”水假植法”。

四、栽植穴挖掘及施用基肥

依照設計圖於現場標示預定種植位置，挖掘植穴，植穴大小以根球的兩倍為宜，植穴的深度應比根球厚度略深，挖掘的時候，表土與心土應分開放置在植穴的兩側，植穴底部放入腐熟堆肥或其他肥料，以利栽植後根部生長發育。

五、栽植

苗木定植時應調整樹形方向及拆除不易分解之根球包裹物，將苗木埋入土中，種植太深會妨礙根系之呼吸作用，栽植時土壤應分層埋入壓實，避免傷及根系及土球，且同時灌水，栽植妥後應作適當的淺凹窪地減少水分流失。

(一) 鬆方或填土地區，苗木初放入植穴時，根球上部應略高於地面 3~5 cm，以免填土搗實及灌水時，樹木下陷，但植穴太小或底部土質堅硬時，為防止土壤沖蝕及灌溉保水效果，栽植時根球上部(根頸部)稍略低於地面 2~3 cm 為原則。

(二) 回填土壤時，最好能在根球附近放置保水劑或土壤改良劑。

(三) 裸根苗木(即未帶土球苗木)時，以土壤放至植穴 1/3~1/2 時，注入水用木棒攪和使成泥漿，如此反覆 2~3 次，至添土加到地表高度為止，以提高成活率。

(四) 為了能在灌水或下雨時能截留貯存水分，則須在地面幹徑 5~6 倍外圍地面用土築一「土圍」或掘一「貯水槽」(高或深 10~20 cm)。

六、修剪

栽植後應略再行修剪，除整理樹枝外，並能促進成活，減少過多葉片水分蒸散；修剪之程度視根系受損之情形而定，如不須再修剪即能成活苗木最為理想。

七、支柱與樹木保護

在風衝地帶，利用中、大苗木種植時，需保護苗木不受風作用之影響，栽植後不久之苗木，根系尚未充分發展，容易受風影響倒伏，或造成根系截斷面伸長受阻礙，支柱為苗木栽植至正常成活期間，減輕外力影響、增加抗風力、保持苗木正常生長狀態。

支柱架設有單柱式(用於較小樹木)、雙柱式(用於中等幹莖的樹木，柱頂間用橫桿相連)、三柱式、四柱式(用於較大樹木 5 m 以上)等，通常小苗木用單柱式，中、大苗木用雙柱式。支柱的粗細或橫桿的位置，視風或坡度之大小、方向等外力條件而定。

支柱的材料一般多為經過防腐處理的杉木柱或桂竹柱，末端直徑約為五公分以上，或採用鋁製品及鐵製品為材料，支柱與植物樹幹接觸的地方應襯以柔軟的材料，再利用麻繩、布繩、草繩、PE 帶或橡膠帶綁牢固，以防止新植樹木搖晃。

另外可利用麻布包裹樹幹(早期以草繩為主)減少水份散失稱為幹卷。樹木經過移植，吸收能力減弱，幹卷可以減少樹體水分的散失，有助於水分的平衡，同時又可避免機械損傷和害蟲，一般幹卷從主幹基部向上層層緊密纏繞至主幹 2/3 高，並於植栽成活後第二年內拆除，以免影響植物莖幹生長(大樹保護技術研習會研習手冊，2005)。



圖 植 7-5-1 苗木栽植與基肥施用法示意圖(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016、「水土保持手冊」，2005)

7.5.4 一般土球苗移植作業

土球苗一般指不需斷根之較小苗木(通常米高徑小於 10cm)，挖掘苗木前，應使地表土壤濕潤，必要時在兩天前灌水，以保持土球之黏性及完整。土球苗掘取後應包以草蓆或粗麻布。

一、地表清理，土球大小決定

(一) 清除表土及草根莖、落葉等。

(二) 決定土球之大小，土球直徑為樹幹基徑之 3~5 倍。

二、周邊土壤挖掘

(一) 斜外挖：自決定圓周處，鏟面朝外，由內往外斜向下約 60°~80°，剷斷根挖掘繞一周。

(二) 斜內鏟：自決定圓周處之外圍約 20cm 處，產面朝內，由外向內鏟，剷除挖掘土方繞一周。

(三) 直外挖：自決定圓周處之外圍約 5cm 處，鏟面朝外，幾近垂直向下剷，斷根剷切繞一周。

(四) 直內鏟：自垂直下鏟圓周處的外圍約 20cm 處，鏟面朝內，由外向內剷除土方繞一周。

三、下方土壤挖掘

自垂直下鏟圓周處，緊貼球面使鏟面斜下約 30°~45°，斷根剷切繞一周。

四、根球下方主根切斷與挖出

(一) 斷根球：自土球下方圓周處，鏟面略朝上(近水平)斷根剷切繞一周。

(二) 依上述原則反覆處理至確實斷根後，即可將苗木根球部挖出。

五、土球保護將土球以網布、麻繩等材料捆包。

7.5.5 參考文獻

中島宏(1992)，「植栽の設計・施工・管理」，財團法人經濟調查會。

中國生物學會(2005)，「大樹保護技術研習會研習手冊」，行政院農業委員會林務局。

林六合、陳秋銓(2003)，「行道樹栽植與維護管理作業手冊」，行政院農業委員會林務局。

林信輝(2007)，「石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊」，經濟部水利署北區水資源局編印。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

張育森(2006)，「行道樹栽植與移植技術」，94 年度栽植工程監工實務講習訓練資料。

7.6 大型苗木斷根作業

7.6.1 大型苗木斷根與移植作業原則

因應景觀規劃配置，或複層植被栽植上之需要，需設計較大型枝苗木材料時，自苗圃出栽之前，需進行苗木斷根處理，其處理作業原則如下：

一、原則上，胸高直徑大於 10 cm 之苗木於掘苗前需先進行斷根處理，之後回填土壤，待一段時日再進行掘苗作業。其成木斷根與移植作業流程。

二、斷根處理作業依樹種及現地生長情況而異，因此移植斷根作業方法，需視樹種、立地條件等不同酌以調整，可洽詢在地有經驗人員，或參考相關移植成功案例。

三、斷根處理過程中，適度修剪樹枝並注意勿將主生長枝剪除，以確保其成活率與生長勢及樹形完整性。如屬全樹冠移植，須先事前規劃，評估其可行性，以避免移植後，主幹、側枝乾枯，葉芽於基部生長之情形。

7.6.2 大型苗木斷根與移植作業流程

一、苗木選定與樹冠修剪：

選定欲移植之苗木，需清除表土與枯枝落葉層，並修剪樹冠，修冠時應注意勿將主生長枝剪除。

二、確定根球大小：

根球直徑一般以基徑約 5 倍為原則，沿植株周圍掘一環溝，剪掉露出的根。

三、斷根與環溝挖掘：

斷根時需考慮後續切根及土體固定作業而預留空間，挖掘也須配合側根根系生長位置，如分為二次斷根，則將環溝分成數等份，每次斷根一半，必要時需配合支柱固定之。

四、根球土體固定保護：

以繩子綑綁固定根系與土體，繩子綑綁時，需穿入底層土後回包固定之。

五、土壤回填：

環溝內回填富含有機質之砂質壤土或原有土壤，並壓實及充分灌水。

六、掘苗(斷根處理後)：

斷根約 2 個月後進行挖掘，遇側根、支根、大根或主根時，需切斷並保持切口平整。

七、根球保護：

以草蓆、草繩或可自然分解等材料綑綁根球，一般以八爪對角綁法為原則。

八、枝條修剪：

上車前再度進行枝葉修剪，保留原生長之 1/3 枝葉，以減少植物搬運水份蒸散，提高存活率，並增加搬運車裝方便性。

九、苗木搬運：

搬運至栽植地點過程，應注意根球土體之完整，搬運至栽植地點後，進行栽植作業。

十、移植後固定作業：

使用杉木或鋼索等設施進行加強固定大型苗木。

7.6.3 參考文獻

中島宏(1992)，「植栽の設計・施工・管理」，財團法人經濟調查會

中國生物學會(2005)，「大樹保護技術研習會研習手冊」，行政院農業委員會林務局。

林六合、陳秋銓(2003)，「行道樹栽植與維護管理作業手冊」，行政院農業委員會林務局

林信輝(2016)，「圖解植生工程」，五南圖書公司。

張育森(2006)，「行道樹栽植與移植技術」，94 年度栽植工程監工實務講習訓練資料。

新北市政府農業局(2013)，「新北市政府樹木移植作業方式及技術要領」。

捌、特殊地植生工程

8.1 特殊地之類型

8.1.1 特殊地之定義及類型

特殊地係指特殊地質、土壤或氣候環境，或因人為挖填、干擾等，導致表土匱乏、地表土壤沖蝕嚴重、地被植生覆蓋減少或整體土地生產力降低之區域。依「水土保持技術規範」第六十三條臺灣之特殊地區主要包括紅土地區、泥岩地區、水庫裸露帶、採礦區或採石場、強酸(鹼)性土壤地區、海岸強風地區等

8.1.2 特殊地區規劃設計原則

依「水土保持技術規範」第六十三條，其植生方法除進行植生施工前之坡腳及坡面安定工程外，一般之規劃設計原則如下：

一、紅土地區：

紅土地區包含紅土層及礫石層，植生時應酌量添加土壤改良劑，植生方法得採用打樁編柵、植草木苗法、噴植法、鋪植生帶、穴植法及土壤袋植生等處理。

二、泥岩地區：

泥岩地區之植生邊坡整地後之坡度應緩於一比一・五，每隔五公尺至七公尺坡長作階段為原則。植生方法得採用植生帶、打樁編柵、肥束網帶、格梁框配合草袋、噴植等處理；應用植物材料以混播禾草、豆科植物種子，及耐鹽、耐旱之鄉土植物為主，並應盡量配合農塘、土堤等設施以貯留水份、控制泥砂流出量。

三、水庫裸露帶：

水庫裸露帶或庫岸濱水地區之植生，應依崩積土、礫石地、岩面等之地質及土壤特性，選取適生且快速覆蓋之草類及固土能力高之木本植物為主。

四、採礦區或採石場：

採礦區或採石場之植生方法應依礦區礦產種類、開採方法、土質特性及採礦後之立地條件不同而異。其棄石場之植生方法得採用表土與棄土之處理、階段處理、噴植、簡易擋土牆、打樁編柵、土袋植生、撒播、植生帶鋪植、草木

苗栽植、容器育苗穴植等；採掘跡地植生方法得採用階段設置、鋪網噴植、容器育苗穴植、客土栽植、栽植槽植藤等。

五、強酸(鹼)性土壤地區：

植生施工前得採用泥炭土、苦土石灰、有機肥或其它添加物等，以改善土壤結構及酸鹼值使之適合植物生長環境後，再進行適宜之植生作業。

六、海岸強風地區：

海岸地區建造海岸防風林、耕地防風林、防風綠帶、攔砂籬或防風網等構造物，以減少風砂及鹽霧為害，改善植物生長環境。

8.1.3 立地特性與植生考量要點

臺灣部分地區因其本身之地質、土壤條件，形成紅土、泥岩等特殊地區。依其土砂災害控制、特殊立地環境及坡地保育利用之情況不同，需依立地環境特性選取適宜植生工法，將分述各立地條件與植生工法考量要點，說明如表 植 8-1-1。

表 植 8-1-1 特殊地立地特性與植生考量要點(資料來源:「水土保持技術規範」,2014；「特殊地植生工程」，2012)

特殊地類型	植生考量要點
紅土地區 (紅土礫石層)	1. 由碳酸鹽類或其他鐵鋁氧化物的岩石在濕熱氣候條件下形成。 2. 一般呈紅褐色，具有高含水率、低密度、強度高但壓縮性較低的土壤。
泥岩地區	1. 岩質遇水軟化，於泥岩面上沖刷成許多溝壑；乾燥則形成堅硬的不透水層。 2. 泥岩出露區土壤平均厚度多小於一公尺。地質貧瘠，含可溶性鹽份高，不利植物生長。
緩衝帶 (保護帶、水庫裸露帶)	1. 泛指人為開發地區與自然環境間的過渡帶。 2. 保護帶因應不同的保護功能(水庫、工程周邊等)而異。
礦區 (礦場、採石場)	依礦區礦產種類、開採方法、土質特性及採礦後之立地條件不同而異。
強酸(鹼) 土壤地區	1. 植生施工前得採用泥炭土、苦土石灰、有機肥或其他添加物等，以改善土壤結構及酸鹼值使之適合植物生長環境後，再進行適宜之植生作業。 2. 可使用耐酸(鹼)性植物為植生材料，以利於現地生長。
海岸地區	強風、飛砂、鹽霧、高溫造成植物不易生長。

8.1.4 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。。

行政院農業委員會水土保持局(2012)，「坡地特殊棲地環境屬性調查與保育措施應用分析」。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

8.2 紅土地區植生方法

8.2.1 紅土與紅土台地之特性

一、紅土

紅土或稱為紅壤，泛指成紅顏色之土壤，因此紅棕壤、赭土、紅黏土等具有紅顏色土壤皆被視為廣義之紅土。

紅土廣泛分布於溫暖潮濕之地區，可概分為紅棕壤、黃棕壤、紅壤、紅、黃色準灰壤等類型，這些土壤在高溫多雨、乾濕季節分明的環境中發育。土壤淋洗作用旺盛，使土壤中富含鐵或鋁之氧化物，而使土壤顏色呈現紅色，且因受到強烈淋洗，其土壤酸鹼值多屬中至強酸性(pH <5.5)，土壤有機質與肥力低。

二、紅土台地

紅土台地分布於臺灣西部丘陵、山地、海岸台地或河階台地。依據經濟部中央地質調查所調查報告，臺灣自北向南有：林口台地、楊梅台地、中壢台地，湖口台地、火炎山、鐵砧山、大肚山、八卦山、凍頂台地、嘉義觸口台地、高雄嶺口台地及恆春西方台地等。

紅土台地因頂部廣闊且地形平坦，容易形成聚落或農地開墾地區，但台地邊緣之坡地容易因降雨崩塌破壞使坡頂或坡址保全對象受到危害，加以紅土礫石層中常有低透水性之層面混雜，且各地紅土礫石層之破壞狀況並不一致，使狀況更為複雜。

紅土台地坡面沖蝕，常因於河岸淘刷、地表逕流或因地下水滲流夾帶細粒土質材料，於降雨期間大量滲出坡面，使表面礫石層失去細粒土質交結而持續鬆脫分離，並於坡腳形成扇狀堆積，如鐵砧山北側及大肚台地北緣，經長時間蝕溝沖蝕會發展為台地邊緣之溪谷，以及人為邊坡開挖、道路興建等，為影響台地地形之重要侵蝕來源。



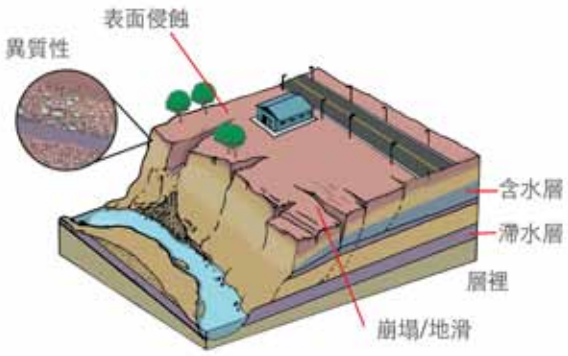
紅土礫石層裸露坡面(一)



紅土礫石層裸露坡面(二)



紅土坡面常呈現沖蝕與生長不良情形



紅土台地坡面沖時與破壞形態示意圖

圖 植 8-2-1 紅土地區環境與整治照片(資料來源：坡地特殊棲地環境屬性調查與保育措施應用分析，2012；鄭斯元，2012；林信輝)

8.2.2 紅土台地地區整治規劃原則

一、紅土台地之自然裸露坡面通常坡度甚陡，因坡面沖蝕現象持續進行，整治較為困難，常在坡趾構築箱籠擋土牆或加勁擋土牆，及配合排水設施，以穩定上方坡面。

二、如無保全對象或裸露地面積及土砂產量少，可僅掛鐵絲網輔助其自然植生演替。

三、在較陡坡面設置坡腳擋土設施應配合緩衝區之設置，坡腳以箱籠等透水性之擋土構造物穩定坡面及於上方栽植緩衝綠帶。

四、紅土台地地質特性多礫石，施工時應避免挖溝及鑽孔，如考慮設計鋪網噴植工程時，應考量坡面坡度、礫石大小含量，避免網材無法貼附坡面或坡面逕流入滲而致錨釘鬆脫造成破壞，儘可能在紅土層較厚、礫石較少或坡度較緩的坡面進行。

五、坡面整坡時，斜率一般以 1：1.5 為原則，從上坡至下坡沿等高方向每隔 40～50cm 開一淺溝，礫石層因開溝困難或可能引致坡面破壞，可不需開溝。

六、相關整治工法案例照片



坡腳構築混凝土基礎、加勁擋土牆



加勁擋土牆與排水溝組合配置



坡腳構築箱籠擋土牆

圖 植 8-2-2 紅土台地地區整治工法相關照片(資料來源：林信輝)

8.2.3 紅土地區之植生方法設計概要

一、鋪植生帶法：

(一) 設計概要可參照本篇 7.3 節

(二) 適於紅土層邊坡，較不適用於礫石層邊坡。

(三) 需完成植生前之坡面處理後，再進行植生帶鋪設，為密接原坡面土壤，可配合黏性土壤作為中間界層後實施鋪植作業。

二、草藤苗栽植：

(一) 設計概要可參照本篇 7.4

(二) 適用於紅土礫石地區，礫石含量多，沖蝕嚴重、土層薄及其坡度緩於40°者。

(三) 配合紅土地區石質土地質特性，在植物的選擇上應以叢生性草類為主或搭配容器苗進行使用。

三、噴植法：

(一) 設計概要可參照本篇 7.2

(二) 由於紅土地區之特殊性，在進行坡腳進行噴植處理時，屬於防沖蝕型噴植工法，採用薄層噴植團粒化劑噴植，但由於紅土台地礫石多不利於網材鋪設，在施工時應盡量清除坡面礫石，以避免網材無法貼附坡面而造成破壞，在坡腳堆積區亦可設置箱籠擋土牆已達穩定。

8.2.4 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2012)，「坡地特殊棲地環境屬性調查與保育措施應用分析」。

鄭斯元(2012)，「降雨引致基質吸力變化對紅土台地異質性邊坡穩定性之影響」，臺灣大學碩士論文。

8.3 泥岩地區植生方法

8.3.1 泥岩環境特性與植生問題

一、泥岩分布範圍

泥岩(mudstone)又稱青灰岩，泥岩地區因地質與氣候因素之影響，為臺灣地區坡地災害中最難整治、植生綠化困難度最高之區域。

泥岩主要分布於曾文溪以南的台南市、高雄市丘陵地區的古亭坑層，其次為自卑南大溪東側向北延伸至玉里東邊的利吉層、南部恆春半島的墾丁層，而北部基隆、台北和桃園亦有零星分布，總面積達二千餘平方公里。

臺灣地區泥岩的分布主要有三處：

(一) 西南部泥岩地區：北自台南新營附近的龜重溪，南抵高雄壽山與旗楠公路附近之麓山丘陵。

(二) 花東泥岩地區：分布於海和山脈的南側及其西緣向北延展約七十公里，達花東縱谷安通溫泉附近。

(三) 恆春半島泥岩地區：分佈於恆春半島的西半部，從枋寮南延至墾丁國家公園，稱為墾丁層。

二、泥岩之地質特性

泥岩因屬海相沉積岩、地質年輕、岩石膠結不良，遇水很快迅速崩解，又因其岩層受過度壓密作用，當壓力消除或受雨水淋洗時，由自身減壓所造成之裂隙，使岩質軟化，易造成土壤侵蝕及流失。根據調查，裸露坡面之年沖蝕深度約六至八公分，最高甚至可達十公分以上，為臺灣最易沖蝕之土壤。

三、泥岩之土壤特性

泥岩地質與一般地質差異甚大，土壤酸鹼度(pH 值)高，坋粒含量多，乾燥時堅硬，潮濕時軟化，植物生長不易。

四、泥岩之植生問題

泥岩之特殊地質與臺灣西南部旱雨分明之暴雨型天候互為作用下，使植生工程所面臨之問題更為複雜。茲就此區域環境特性與植生問題彙整分析如表 植 8-3-1：

表 植 8-3-1 泥岩地區之環境特性與植生問題(資料來源：泥岩地區應用植物，2003)

天　候	地　質	植 生 問 題
1. 旱雨分明，旱季長達半年以上 2. 降雨集中，多為暴雨 3. 夏季日蒸發量高達 9.1 mm 4. 幾乎終年處於乾旱狀態	1. 乾旱時地表層收縮龜裂形成剝落界面 2. 膠結疏鬆，觸水風化表層即崩解流失 3. 組成細密，水分無法入滲，地質不具含水層 4. 土壤硬度高(山中式硬度計測值小 25~35mm)植物根系無法穿透深入 5. 地質貧瘠，且含大量可溶性鹽類，會隨水分蒸散作用蓄積於地表	1. 表層乾濕收縮現象，會造成植物根部傷害 2. 逕流侵蝕使根部外露 3. 植物因乾旱缺水而致死亡 4. 植物常因養分缺乏，生長不良、老化，幼苗易受鹽害死亡

8.3.2 泥岩地區整治與工法應用概要

一、泥岩地區挖方坡面

泥岩人工挖方邊坡之整地應注意事項如下：

(一) 整地坡度應緩於 1：1.5。

(二) 每 5m 高差應設置階段及內斜式截水溝。

(三) 坡面階段平台之寬幅不宜小於 2m。

(四) 階段平台須採內斜且斜度應在 5%左右。

(五) 坡面等高方向約 30m 間距，應設置一縱向(混凝土)排水溝，並配合溝緣防沖蝕處理。

二、泥岩地區坡腳穩定工程

泥岩地區坡腳穩定措施以混凝土擋土牆與石籠為主，其中又以混凝土擋土牆佔多數，每逢雨季混凝土擋土牆損毀率相當高，多數係肇因於基礎受水流淘空或軟化沉陷及土體水壓宣洩不良所致，損毀之擋土牆又以重力式雙面模製之牆體佔多數(特殊地植生工程，2012)。由於泥岩坡腳穩定措施係坡面安定與道路暢通之所繫，因此對泥岩地區擋土牆之設置須依其立地特性，如地質結構、坡面水文條件等而採不同之設計對策。

三、泥岩地區坡面排水

(一) 坡頂截水溝

泥岩坡頂覆蓋層地質常為礫石、砂岩或砂壤及破碎頁岩，其透水性佳，故坡頂截水溝應足以排除坡頂逕流，可考慮應用複式混凝土溝或噴漿水溝。

(二) 坡面階段截水溝

縱橫向排水溝槽的挖掘，常使該處成為坡面最脆弱之區域，其損壞率極高，因此，溝槽挖掘後應先充分灑水使溝底基礎完全密實後，再施行排筋或鋪網作業。

(三) 排水溝溝面處理

排水溝溝面混凝土鋪設以採高壓機具噴覆為佳，溝體兩側應略低於原地表，兩側與原地表接合處應採防水份滲蝕入溝底設計，並密植匍匐性且耐旱性植物。

(四) 泥岩地區之混凝土排水構造物

應設法防止地表逕流在混凝土與泥岩岩層介面間流動，宜在混凝土等構造物表層直接排入安全排水地點。

8.3.3 泥岩地區植生方法規劃設計

一、規劃設計原則

針對泥岩地區特殊環境特性，坡面保育工法，配合植生工程導入植栽，進行小集水區整體規劃，訂定整治之策略目標，再按部就班，分階段施行治理及配合植生措施。其植生方法規劃設計原則說明如下：

(一) 於裸露區適當地點配置截泥措施（土堤、土壩）或滯水設施，將降雨量盡可能留蓄，以控制泥砂流出量及改善區域微氣候，營造動植物適生環境，貯留之水用於植物養護之需，使植物能迅速成林。

(二) 同步施行機械整地快速造成設計坡面地形，及構築排水、擋土等水土保持設施（如使用混凝土材料，應使其與基岩緊密接觸，避免因風化土層之滲水而導致構造物與坡面土層分離之情形）。

(三) 採用之苗木以小苗木現地馴化方式提高其抗逆境能力，同步施行植生基材與植物導入作業。

(四) 採用之植物著重於快速地被覆蓋植物與生態林營造植物併用，藉以改善植被單一化之缺點。

(五) 泥岩地區之自然沖蝕坡面，直接施用於坡面之植生方法，通常其效果不佳，應儘量避免使用，或可於其坡面基腳設置石籠、土堤或混凝土擋土牆，待擋土構造物淤泥後，再進行淤積區之植生導入作業，可得事半功倍之效。

(六) 人工坡面之整坡與植生工程施工過程中儘量減少挖穴、開條溝等造成坡面攪動之措施。施工後，應能即時改善坡面之立地條件防止地表雨水沖刷，營造穩固之植物生長基盤，防止或降低施工目的種子（含發芽後）與土壤流失。

二、主要應用工法彙整

依現場調查及相關資料彙整所得，主要應用坡面保育工法如下表

表 植 8-3-2 泥岩地區整治與植生工法一覽表(資料來源：泥岩地區應用植物，2003)

項目	坡面排水工程	基礎安定工程	坡面植生工程	農地水土保持(果園)
主要工法	1. 噴漿溝(配合防滲處理)	1. 整坡(坡度與坡面整理) 2. 土堤 3. 土壩 4. 蛇籠與箱籠	1. 植生帶鋪植 2. 肥束網帶鋪植	1. 農塘(配合豎管排水)
其他工法	1. R.C.混凝土溝* 2. 漿砌石溝 3. 草溝 4. 涵管排水	1. 菱形鐵框(固定框) 2. 混凝土型框 3. 加勁擋土牆	1. 植生帶鋪植 2. 肥束網帶鋪植	1. 山邊溝(配合安全排水) 2. 果園覆蓋、敷蓋

*需配合土袋包或防滲材料處理

8.3.4 泥岩地區應用植物材料概要

常見泥岩地區應用植物，依使用區域不同，常見之使用植物如下(泥岩地區用植物，2003)：

一、泥岩地區主要先驅植物：

雞屎藤、山葛、葎草、血桐、鹽地鼠尾粟、甜根子草、五節芒、臺灣蘆竹、臺灣澤蘭、腺葉澤蘭、艾納香、鯽魚膽、孟仁草。

二、坡面噴植植生：

百慕達草（狗牙根）、百喜草（小葉品系）、羅滋草、田菁、相思樹、山鹽青（羅氏鹽膚木）。

三、填方坡腳或緩衝帶植生：

苦藍盤、月桃、田菁、刺竹、赤桉、垂榕、稜果榕、臭娘子、草海桐、培地茅、馬纓丹、相思樹、刺桐、水柳、榕樹、海檬果、九芎、小葉桑、水黃皮、構樹、臺灣海棗。

四、土堤坡面植生：

百喜草（大葉品系、小葉品系）、蟛蜞菊、百慕達草（狗牙根）、馬尼拉芝（斗六草品系）、白茅、甜根子草、田菁、月桃、馬纓丹、奧古斯丁草、類地毯草、鹽地鼠尾粟、鯽魚膽。

五、農塘週邊植生：

蘆葦、水柳、黃槿、茄苳、春不老、小葉桑、稜果榕、構樹、甜根子草、月橘、鯽魚膽。

六、生態綠化：

稜果榕、構樹、相思樹、臭娘子、朴樹、楝、九芎、山芙蓉、番石榴、野桐、血桐、山鹽菁（羅氏鹽膚木）、小葉桑、長穗木、蟲屎、春不老、海檬果、馬利筋。

七、造林樹種（早期推廣造林樹種）：

柚木、鐵刀木、相思樹、大葉桃花心木、木麻黃、無葉檉柳、朴樹、刺竹、水黃皮、茄苳、楝、臺灣欒樹、無患子、黃槿、木棉、破布子、麻六甲合歡、大葉合歡。

8.3.5 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2003)，「泥岩地區應用植物。水土保持植生綠化叢書系列」。

行政院農業委員會水土保持局(1994)，「西南部泥岩地區之災害特性與植生保育」。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」。五南圖書公司。

8.4 水庫裸露帶植生方法

8.4.1 水庫保護帶定義與目的

一、定義

(一) 依「水土保持法」第二十條規定，水庫保護帶(reservoir protective strip)為經劃定為特定水土保持區之水庫集水區，其管理機關應於水庫滿水位線起算至水平距離三十公尺或五十公尺範圍內，設置保護帶。

(二) 依「水庫蓄水範圍使用管理辦法」第 3 條規定：本辦法所稱水庫蓄水範圍，指水庫滿水位與其迴水所及蓄水域、蓄水相關重要設施之土地與蓄水域周邊必要之保護範圍。

二、目的

(一) 水庫周邊維持自然的植被可以分散地表逕流或渠道流，以減少紋蝕、溝蝕的發生，並且可減緩水流速度，增加地表逕流的入滲量。

(二) 地表逕流挾帶的泥砂與污染物也會因植被的阻擋、過濾與根部的吸收、土壤的吸附而減少直接進入溪流中的泥砂、污染物量。

(三) 保護帶亦具有提供動物棲息、覓食、活動及對水庫魚類提供遮陰、養分、穩定水溫等重要生態上的功能。

(四) 植生旨在造成上下層林相繁茂的複層林，藉不同植物發揮不同功效，如喬木的穩定淺層土壤安定，灌木及草本植物對地表的覆蓋，以防止地表逕流沖蝕及雨滴沖蝕，並增加貯水之功能。

8.4.2 水庫裸露區護岸植生方法規劃原則

一、水庫沿岸裸露區植生方法

水庫滿水位至低水位間之裸露地區，因其土質條件不同，植生方法亦異。

(一) 裸露崩積土

水庫裸露邊坡崩積土，因含土量較多、土壤肥力較佳、坡度緩、土壤硬度適宜，可用打樁編柵、砌石牆、水泥柵或不織布植生帶配合鋪網，及種植耐水性強之植物。

(二) 裸露礫石地

礫石地土壤含量少，缺水分及養分，植物不易入侵且生長不佳。植生方

法需採用植生袋客土或客土袋植生，並用鐵柱予以固定。或配合特殊護網袋、注入式客土袋或植生。

(三) 裸露岩壁

岩壁之岩質硬度、坡度較陡，無水分及養分，不易栽植植物，在有崩壞之虞或下方淘刷時，需配合水泥噴漿封面或水泥格樑等安定設施。

二、水庫保護帶植生方法

水庫保護帶之水土保持植生方法旨在造成上下層林相繁茂的複層林，藉不同植物發揮不同功效，如喬木的穩定淺層土壤安定，灌木及草本植物對地表的覆蓋，以防止地表逕流沖蝕及雨滴沖蝕。並增加貯水之功能。

(一) 水庫保護帶植生基礎工事

1. 基礎工事設計概要可參照本篇 4.3 節
2. 框法：儘量使用鐵框或柔性坡面防沖固定材料，需用水泥固定框時，框內不封底。
3. 排水：設坡頂排水溝、坡面排水溝或暗管以排除坡面水分。

(二) 水庫保護帶植生導入作業

1. 植生導入作業設計概要可參照本篇第伍章
2. 生態造林法：以本地植物之小苗密植之，草木混植植生栽植或噴植。

(三) 水庫保護帶應用植生植物

適合當地環境並具穩定邊坡效用之木本植物及草類,如草類有百慕達草、百喜草、克育草、野薑花等；木本植物則有水柳、茄苳、黃槿、九芎、白飯樹等(特殊地植生工程，2012；水庫濱水帶植物，2006)。

8.4.3 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2012)，「坡地特殊棲地環境屬性調查與保育措施應用分析」。

行政院農業委員會水土保持局(2012)，「緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編」。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

林信輝(2006)，「水庫濱水帶植物」，經濟部水利署編印。

8.5 採礦區或採石場植生方法

8.5.1 礦區開採與水土保持

礦區經開採後，破壞自然生態環境及景觀留下大面積的採掘殘壁，階段台面及捨石場等裸露跡地，常引起嚴重的水土保持問題，特別是在石灰石類礦區，採礦過程中可能造成大面積裸露之採掘跡與捨石場，故採礦前及採礦中的環境保護、水土保持，以及採礦後的土地復整、植生綠化，實為礦業重要課題。

礦區採掘方法視土石之種類、分布、地形及其他立地條件而異，為近年來利用大型機械，已階段狀採掘為多。依照計畫之坡面坡度及各階段之垂直高度，從坡面上部開始以階段方式由上往下開採，大規模開採地之作業效率高，逐次完成階段式最終殘壁，可一次進行植生綠化。

故本章所述及之礦區植生方法，概以石灰石礦區大面積階段開採為例，分述如下：

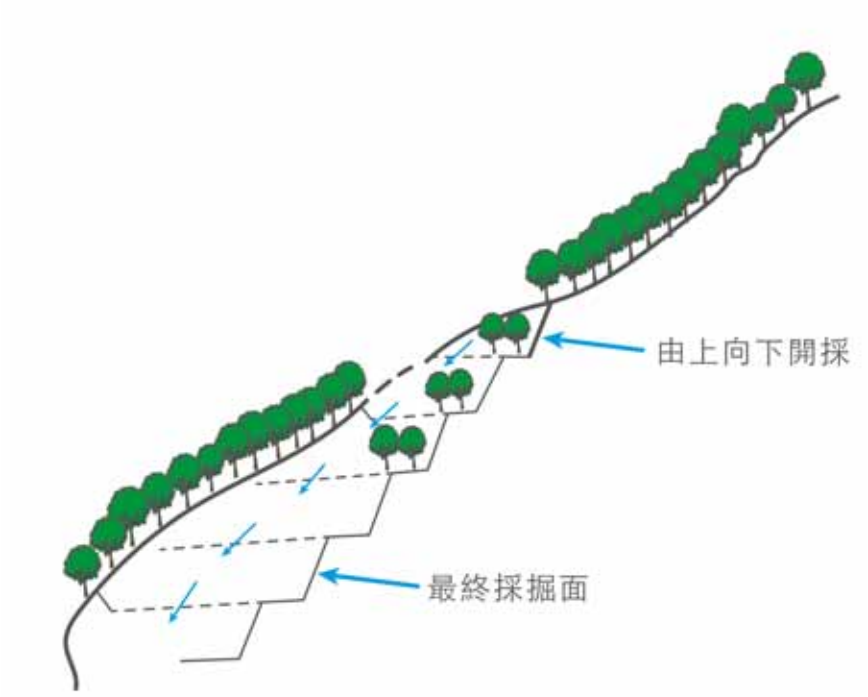


圖 植 8-5-1 階段開採與步驟示意圖(資料來源：「特殊地植生工程」，2012)

8.5.2 石灰石類礦區環境特性

一、捨石場之土石性質

捨石場係指礦區開採並取其所需之礦產後，存留於礦區附近或搬離堆積場之廢棄土石堆而言，其成分因礦產種類、開採方法、開採地點而異。石灰石礦區之棄土石，因其岩石層次不同，其成分差異極大，難將其精細分類，茲就其影響植生工作進行之幾種棄石地之性質說明如下：

(一) 坡度

坡度係影響棄石地植生工程及未來土地再利用之重要因素，坡度太大之地區，需配合工程護坡與階段之設置，以維護其安全防止土石沖蝕。

目前礦區自然堆積之棄石地邊坡，通常介於 30°～39°之間，堆積之土石遇雨後常有崩塌或沖蝕現象。植生的工作如需在繼續沖蝕的地區進行，將甚難產生植生覆蓋之效果，必須配合有關之輔助措施，如打樁、編柵、覆蓋、護坡工程等，以減緩沖蝕及穩定邊坡。

(二) 含石量及粒徑大小

含石量之多寡，受礦業類別、開採方法與岩層結構不同而異。一般而言，含石量多者不僅影響植物本身之生長，亦影響整地、鬆土、播種等工作之進行。

以美國農業部棄石地分類標準，粒徑 10″ 以上之含石量大於 1%時，就會影響耕作機器之操作，含石量大於 15%以上者，則不宜以機械方式植生，必須配合人工植生方法進行；若含石量大於 50%以上者，則不適於植生綠化工作。

(三) 酸鹼值（pH 值）

捨石場土質之酸鹼度因礦產之類別而異，但大部分在 7.5 至 8.3 之間，差異不大，然部分特殊及問題土壤地區，捨石場土質之 pH 值亦有屬強酸性土壤者，如新竹縣關西鎮玉山石礦，嘉義欣欣水泥採石礦廠等，其部分棄石場土壤 pH 值為 3.5 及 3.7，此類酸性土壤之捨石場相關植生對策，除了慎選耐酸性土質之植生材料外，亦可以石灰之施用而改良之。

(四) 植生介質的含肥量

礦區捨石場之有機質含量高低不一，因此，除選取適宜之植生種類外，適當之施肥亦為植生進行前之重要工作項目。有關肥料之施用，如使用化學

肥料時，初期使用氮肥較容易被流失，若使用有機肥料，如堆肥、廄肥或糖業公司之濾泥、下水道之淤泥等當屬更佳，因其不僅可增加肥力，亦可改良土石之物理性質。

二、採掘跡之立地特性

採掘跡又稱採掘殘壁，礦區因坡面開發過程之鑽孔機作業，常造成其坡面坡度通常為 70º 至 75º 之情形，地質堅硬不易保水，且無植物藉以生長之土壤介質，故植物生長不良，常呈大面積之裸露，其自然植生演替亦受阻而無法順利發展。

植生導入作業以階段面植生、栽植槽植藤為宜，階段台面上，以土石回填坡腳或台面土堤配合改良土質之客土處理後，則可應用一般之植生方法處理，如人工提供之植生基材之受限，植物長期生育會受影響，植物材料之選用，應以草類、豆類與小灌木類之混合為宜。

8.5.3 石灰石礦區植生工法

石灰石礦區植生工法如表 植 8-5-1，相關之工法說明如本篇伍、柒章內文，惟其中回填坡腳直播與階段客土植生僅適用於採石礦區，階段開採地點說明如下：

表 植 8-5-1 石灰石礦區捨石場及採掘跡適用植生工法(資料來源：石灰石礦區植生工法與礦區植物，1994)

地點	植生前期作業（基礎工）	植生工法
捨石場	1.表土與棄土之處理 2.坡度與坡面整理 3.簡易擋土牆 4.打樁編柵	1.撒播 2.噴植 3.植生帶（束）鋪植 4.草苗栽植 5.容器育苗穴植 6.土壤袋植生
採掘跡	1.鋪網 2.開溝與鑽穴 3.栽植槽	1.岩面噴植 2.回填坡腳直播 3.階段面客土植生 4.栽植槽植藤

一、石灰石礦區回填坡腳直播

設計與施工方法如下

(一) 將廢棄土石或無法供植生使用之碎屑石塊填於坡腳下層，上層回填表層土，每 1m^3 施有機肥 1~ 2 kg、台肥 43 號複合肥料 200 g。

(二) 以百喜草、百慕達草、相思樹、山水柳、田菁、構樹、血桐、羅氏鹽膚木等種子混合播種，並鋪稻草蓆或採噴植方式施工。

(三) 階段外緣配合苗木栽植，栽植苗木以高度 1.2m 為佳。

(四) 岩層下層為廢棄礦渣，上層客土植生可採播種法或苗木栽植，以達迅速植生復舊的功效。



圖 植 8-5-2 回填坡腳直播施工情形（含試驗與成果）(資料來源：石灰石礦區植生工法與礦區植物，1994；特殊地植生工程)

二、石灰石礦區階段面客土植生

石礦開採區通常為配合機械鑽孔與石礦材料運輸作業，常造成坡長十公尺，坡度 70°~ 75°及階段面寬四公尺以上之採掘跡壁，階段上客土栽植草木，以達

到植生綠化效果。設計與施工方法(特殊地植生工程，2012；山寺喜成，1988)彙整如下：

(一) 有效土壤客土厚度約五十公分厚。

(二) 客土外緣採用簡易擋土設施

(三) 階段台面採以內斜式排水為宜，斜率為 5~ 10 %，台面寬度小於 2.5m 時，栽植以中小灌木為宜。

(四) 階段上栽植高大木本植物時，常誘發坡面崩塌，宜慎重為之，階段上不栽植植物時，宜設置不透水排水溝。

(五) 客土土層宜採用採礦區之當地表層土，可藉潛在種子發芽，形成與景觀調和之植群。若表層土無法獲得，則礦區棄土石混合樹皮堆肥或垃圾堆肥亦可作為植生客土基材。





圖 植 8-5-3 階段面客土植生綠化情形(資料來源：特殊地植生工程，2012)

8.5.4 應用植物

一、礦區植生木樁材料

宜選取礦區附近之竹樁或木樁材料，以即採即用為原則，在礦區棄石地已不再堆積，含石量較少，需急速綠化覆蓋及邊坡穩定之地區進行打樁工作，唯植生木樁打樁後需配合編柵（wattling）或埋枝以增加成活率及綠化覆蓋效果。如：黃槿、鳥桕、水柳、九芎或竹類等木本植物。

二、礦區種子材料

礦區棄石地之土石性質差異甚大，選用何種植物種子需因時因地而異，一般而言，發芽率高之多年生禾草、豆科及本地之灌木、林木種子為主要之材料來源(石灰石礦區植生工法與礦區植物，1994)。

(一) 木本植物：血桐、構樹、山鹽菁、相思樹、山芙蓉、胡枝子等。

(二) 草本植物：營多藤、田菁、百慕達草、百喜草、高狐草（綠柏草、K31F品系）等。

三、草藤類植物

草苗包括狼尾草、五節芒、百喜草、克育草、甜根子草等，藤苗如地錦、薜荔、蟛蜞菊、雲南黃馨、蔓花生、律草、槭葉牽牛。藤類植物具有吸附性及攀繞性，在大面積之棄石地上，栽植苗木可藉其匍匐莖而達到全面之覆蓋。

四、苗木材料

臺灣肖楠、烏心石、土肉桂、羊蹄甲、相思樹、胡枝子、鐵掃帚、水黃皮、田菁、印度田菁、鵝掌柴、楓香、水柳、臺灣赤楊、青剛櫟、臺灣櫸、木麻黃、白榕、榕、稜果榕、鳥榕、小葉桑、山水柳、臺灣海桐、海桐、木芙蓉、黃槿、茄苳、野桐、烏桕、白桕、白匏子、番石榴、九芎、野牡丹、欖仁、月橘、苦楝、臺灣欒樹、羅氏鹽膚木、臺灣光蠟樹、破布木。

8.5.5 參考文獻

山寺喜成(1988)，「採石跡地植生復元對策調查」，日本社團法人道路綠化保全協會。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2004)，「土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

經濟部礦業司(1994)，「石灰石礦區植生工法與礦區植物」。

8.6 強酸(鹼)性土壤地區

8.6.1 強酸(鹼)性土壤定義

一、土壤反應(土壤酸鹼值)

土壤反應(soil reaction)意指土壤溶液中常含有 H+及 OH-離子，兩者的含量多寡因土壤種類而異，致使土壤呈酸性、中性及鹼性等性質，通常以 pH 值表示。pH 值的大小除直接影響植物生長外，並關係到營養元素是否能被植物吸收利用，pH 太高或太低皆可能導致由某種營養元素引起的毒害，例如土壤之 pH 值較低時，微量元素(鐵、鎂、硼、鋅和銅等)的移動活性將會增大，因此植物吸收量增加，若超過植物所需，將對植物之生長產生危害；反之若 pH 值太高，微量元素之活動性不足，植物之吸收量也因而不足，造成微量元素缺乏。一般植物喜生長於 pH 值約 6.5 左右之土壤環境，且土壤硬度介於 10~26mm(山中式硬度計測值)之間。

二、酸性土壤

酸性土壤是指土壤的酸度已經影響土壤中養分的可供給度、根的伸展與微生物活性，使植物生長產生障礙。一般土壤 pH 值小於 5.5 時，溶解性的鐵、鋁及錳含量會增加，但是在植物的生理需求上，並不需要太多的鐵、鋁及錳，因此會對植物造成毒害；在強酸性土壤環境，磷會與鐵及鋁結合成為不溶性的磷酸鐵及磷酸鋁沉澱化合物，導致植物對磷的吸收困難；土壤有機物很難釋放出植物所需要的氮、硫及磷等元素。

酸性土壤之生成，主要受土壤母質與氣候環境之影響，其次為多與氣候與長期施用化學肥料。

三、鹼性土壤

鹼性土壤包括石灰質土壤、鹽土與鹼土三種，其 pH 值介於 7.5~8.5，成因為含高石灰物質之母岩，風化後所形成之土壤；另在雨量少於蒸發量地區，土壤表土層中易聚積碳酸鈣、碳酸鎂或碳酸鈣鎂等，形成鹼性土壤、鈣質土壤、甚至海邊形成鹽土，鹽鹼性土面積約 25000 公傾，鹼性土常因土壤 pH 高，影響微量元素的有效性，阻礙作物對水分及養分的吸收。

8.6.2 強酸(鹼)性土壤改良

土層深厚之酸性或鹼性土壤，可添加土壤改良劑以中和土壤 pH 值及改良土壤物化特性。

一、酸性土壤之土壤改良

酸性土壤施用改良劑如石灰類、白雲石、蚵殼粉等，其施用量依土壤不同而異。一般酸性愈強(pH 值愈低)，需要鹼性中和的材料愈多，可依該土壤測定之石灰需要量之 1/2 至 1/4 施用。如全量施用時需要配合有機質肥料，以免引起其他土壤問題，在應用上，如石灰需要量達 3ton/ha 以上，宜分批施用並逐年改善。石灰材料愈細，則改良效果快且佳；土壤質地愈細愈黏者，則需施用較多之石灰資材，通常 pH 值提高至 5.5-6.0，以利於植物或作物生長。

二、石灰之特性與應用

石灰質材料之種類與特性詳見本篇-2.7.3 石灰章節說明

三、鹼性土壤之土壤改良

鹼性土壤可施用之改良劑有硫磺粉、強酸性泥炭土及有機質肥料等，施用量依土壤不同而異，一般鹼性愈強(pH 愈高)，需要酸性中和的材料愈多，可依該土壤測定之硫磺粉需要量之 1/2 至 1/4 施用，如全量施用時需要配合有機質肥料，以免引起其他土壤問題。施用方法可將酸性資材撒施於土壤表面，或與基肥同時翻入土中。通常 pH 值調整至 7.5 以下，以利於作物與植物之生長，前述泥岩地區、石灰石礦區之土壤均屬鹼性至強鹼性之土壤特性，其植生方法可參考其內容說明。

8.6.3 應用植物概要

一、耐酸性植物(例)：

杜鵑屬、越桔屬、茶花屬、杉木、松樹類、楊梅、馬醉木、紅淡比、野牡丹、假儉草、類地毯草、五節芒*、培地茅*。

二、耐鹼性植物(例)：

血桐、營多藤、黃槿、馬櫻丹、苦楝、構樹、羅氏鹽膚木、檉柳、紫穗槐、相思樹、狼尾草、竹節草、奧古斯丁草、羅茲草、番石榴、胡枝子、女貞、大葉黃楊、地錦、雞屎藤、五節芒*、山芙蓉*、兩耳草*、狗牙根(百慕達草)*。

(備註：*屬廣適性植物，可兼具適應酸性與鹼性土壤)

8.6.4 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2004)，「水土保持植生工程」，高立圖書公司。

林信輝(2016)，「坡地植生工程二版」，五南圖書公司。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

8.7 海岸地區植生方法

8.7.1 海岸地區之環境應力

海岸飛砂地區因砂地土壤為單粒結構，本身膠結力低、保水力弱，容易被風所吹動，尤其在西部桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、雲林等縣市沿海之砂丘或飛砂地區，每年冬季季風期間，飛砂與鹽風之作用下砂丘地區環境特性屬保水力差且土壤貧瘠，經常為高溫、乾旱，土粒因強風而產生經常性移動致使植物生長不良，農作物生長受損、死亡，因此，需使用能抵抗強風、飛砂等環境應力的植物或配合設置防風離、防風網等保護措施來減低風速、保護植物及改善當地的耕作與生活環境。

8.7.2 海岸地區環境應力與植生工法概要

表 植 8-7-1 海岸地區植生工法與應用植物(資料來源：特殊地植生工程，2012)

環境應力	植生保護與植生工法	植物選擇
飛砂	1.堆砂籬、防風網、定砂籬之建立。 2.敷蓋定砂。 3.種植定砂之地被植物。	1.深根性且根系強健。 2.莖觸地生根且水平根發達。 3.耐覆蓋、耐乾旱。 4.如濱刺麥、蔓荊、濱刺麥、海雀稗、馬鞍藤、單花蜈蚣菊等。
風害	1.利用防風籬、防風網降低風速。 2.利用支柱固定植栽。 3.適當密度配置植栽。 4.防風林帶之設置。	1.深根系且根系強健 2.T/R(莖根比)較低 3.枝幹強勁，抗風性強植物，如木麻黃、黃槿、檉柳等。
潮害	1.噴水沖洗植物枝葉之鹽沫結晶。 2.設置竹籬、防風網或築堤。 3.選擇適宜植栽區位。	1.葉片厚實、革質葉片、葉片角質層厚。 2.抗潮植栽，如水筆仔、海茄苳、五梨跤、蓮葉桐、大葉山欖、林投、棋盤腳等。
土壤鹽害	1.客土與土壤改良。 2.築堤洗鹽。 3.整地及設置排水溝渠。	1.革質葉片或具鹽腺。 2.耐鹽樹種，如苦藍盤、過江藤、濱水菜、草海桐、馬鞍藤等。
土壤貧瘠	1.客沃土或添加肥料。 2.先行種植肥料木或綠肥植物(具提供或改善土壤養分功能之植物) 。	1.具有根瘤、菌根之植物。 2.耐貧瘠之樹種，如狼尾草、田菁等。
高溫乾燥	1.設置噴灌系統。 2.改善土壤以增加保水力。 3.地表敷蓋稻草。	1.耐旱、耐高溫植物：葉片厚實、革質葉片、葉片角質層厚。 2.深根性植物。

8.7.3 海岸防風措施

一、防風籬

在海岸前砂丘堆積完成，或無飛砂但風力十分強勁的地區，為確保植生、林木能儘速成長，發揮其功能，有必要設置防風構造物，此等構造物種類雖然繁多，但功效則大致相同，一般以竹梢籬或網籬較為簡便而且實用，其高度一般為 2m、編籬間隔 10~12m，通常以竹材(枝、芒)編柵而成，走向與季風風向成垂直；防風籬施設之時機一般在新植之前，其最主要之目的在保護林木免於強風鹽霧之危害。

二、防風網

防風網原則上設在栽植地的邊緣，高度約 2m，支柱以竹子為材質，網材通常為透風率 60%之尼龍網。防風網的架設最好能維持二~三年，且設置應與主風向垂直；並採固定間隔設置，間隔為 8~12m，俟栽植林木達到樹冠鬱閉後，即可將防風網去除。

三、防風綠帶

在海岸風衝地區周邊，以防風植物營建防風綠帶，減弱風勢防止風力直接危害，保護作物生長，減少道路、村舍及港埠設施之危害。

(一) 防風草帶

常以高莖、耐乾旱、抗風力強之甜根子草、狼尾草，於耕地或苗圃區受風前線設置防風草帶，藉以保護後方的作物，避免其直接承受強風吹襲而倒伏或生長不良。

其次，在澎湖部分地區發展狼尾草防風草帶，亦有不錯的效果，其做法為防風林帶設置地區栽植一列寬度約 1.5～2m 的狼尾草防風牆，不但有綠化防風的效果，且其出產的牧草還可做為畜牧之用。

(二) 防風綠籬

沿海強風且陡坡地區，構築高大之防風林樹種成活不易，且易受風切作用而有倒伏或折枝幹等情形，可種植 1.5-2.5m 高之綠籬植物，來達到防風效果，如革葉石斑木、日本女貞、臺灣海桐等。防風綠籬通常為方格栽植，避免其直接承受強風吹襲而倒伏或生長不良。強風季節可配合竹柵固定，以增加防風效果。

另為防風與環境保育功能之需要，需種植較高大樹種時，可配合竹柵編籬，將苗木密植固定，互相保護，形成樹籬。

8.7.4 海岸定砂措施

一、攔砂籬(或稱堆砂籬)

海岸飛砂地設置堆砂籬以攔截砂石，再植定砂植物，以穩定砂丘，是最常用且最有效之方法。堆砂籬之設計配置與堆砂型態說明如下：

(一) 攔砂籬材料：通常以竹樁、竹桿與桂竹稍編柵而成。

(二) 攔砂籬角度：以與風成 60°～90°最佳，因其沉砂量最多。

(三) 主籬長度：堆砂籬有長至數百公尺者，亦有僅數公尺者，端視砂源之多寡及其欲保護之面積而定，無一定之規格與標準。

(四) 翼籬長度：一般之堆砂籬都無翼之構造，若欲增加沉砂量而設置翼，其長度應達籬高之 6 倍左右(籬高通常為一公尺)，與主籬成 15°～30°夾角安置，才能達到增加攔砂量之效果。

(五) 攔砂籬間距：地質脆弱、疏鬆之地，堆砂籬之間距不應太大，通常間距以籬高之 12 倍左右之沉砂效果最好。

(六) 攔砂籬高度：通常以一公尺左右為原則。堆砂籬愈高，沉砂量愈大，但須考慮材料耐久年限、成本、受風面積及施工方法等。

(七) 可配合栽植之定砂植物包括濱刺麥、甜根子草、馬鞍藤、象草、濱水菜、海雀稗等；甜根子草之草苗栽植例。

二、插草定砂

砂丘地採用插草來達到防風定砂的目的，此法施做簡單且所費材料與人工不多，春初或秋初時防風效果良好，為農民所最普遍應用。草本及藤類植物對地表極具覆蓋性，利用極貼地表之特性減低地表風速，使土壤含蓄水分，提高抗風蝕能量，根系固結作用，加強砂地結合力，以及供給砂中有機質，促進砂粒團結與穩定。一般常用植物材料為稻草，插草定砂後，可配合馬鞍藤、濱刀豆、蜈蚣菊、濱水菜、海雀稗、甜根子草、狼尾草、田菁等栽植或播種，以增加定砂效果。

三、人工砂堤

在定砂植物生長之位置形成天然砂丘後，能攔止部分飛砂，減低砂源，有助於後方海岸植物之生長。在砂丘地區或飛砂來源較少之地區或配合土方堆置

地點，為快速定砂造林，可以人工堆積土砂形成帶狀砂堤，配合堆砂籬構築與植草定砂，及堤後造林之植生法。

四、定砂植物

定砂植物多有匍匐生長、莖葉肥厚、節節生根、深根性等特點，能適應海岸砂地環境，並固定風砂及形成砂丘構造。

(一) 匍匐生長:生長於砂礫灘之植物為了對抗強風,大多有匍匐生長之傾向，讓莖葉貼近地面來避免強風烈日之傷害。

(二) 莖葉肥厚：海邊的強風及烈日加速了植物水分之蒸散，為了儲存更多的水分,植物將莖葉特化成肥厚保水力強的狀態,以維持正常之生理機能。

(三) 節節生根：匍匐性之植物的節常長出一些細根以抓附地面，用來固定植物體避免強風之吹襲。

(四) 深根性:砂礫灘的植物為了吸收充足之水分及養分,特化出較長之根系，有些植物之根還可儲存養分，以供不時之需。

(五) 典型的砂地植物如蟛蜞菊、濱刺麥、海雀稗、蘆竹、濱水菜、狼尾草、甜根子草等。

8.7.5 耕地防風林

一、適用植物

一般耕地防風林之樹種，以枝條堅韌、富有彈性、萌芽力強、適於當地之土壤、抗風力強之植物為宜。目前臺灣地區現存耕地防風林之樹種主要為有木麻黃、長枝竹、朱槿、觀音竹、無葉檉柳、黃槿、夾竹桃、甜根子草等，通常以單行純林或混交林之形式,垂直於主風向之方向栽植於田埂上,以減低風速、防止風害。其中採用之樹種以木麻黃最多。

二、耕地防風林之設計規格

(一) 高度

防風林高度越高則其背後之保護距離越大。

(二) 密度

一行排列之耕地防風林密度越大，則其背風狹小範圍之風速減低效果越佳，但防風之有效距離將減小。一般而言，以木麻黃防風林為例，其密度以60～80% 最佳。

(三) 方向

耕地防風林帶之方向，一般是與主風向垂直，因其最具防風效果，但在風速甚大、風力極強之地，則迎風面所受風之壓力過大，可能危害防風林本身之安全，故防風林之方向，宜依其風速之大小而做適量之改變，大概在最大風速 15m/s 以下者，可與風向成垂直，超過 15 m/s 以上者，可酌量改變方向，使成 65°～75°之夾角。

(四) 防風林之完整性

單一防風林帶之外側區域，農路或水溝穿越林帶而形成之缺口，或林木因風害、病蟲害等而枯死所形成之風口，常因風速增強而造成嚴重之危害。因此防風林帶之完整與統一規劃甚為重要，如欲於林帶間距之中間加植另一防風林帶時，應避免於耕地上造成長短不一之林帶端，而使兩端之作物遭受危害。已經產生長短不一之林帶端，應設法即速補植延長，使其完整，或試於林帶末端加植與主林帶成垂直或成適當角度之翼林帶，亦可減少風速消弭旋流。無法避免之農路與水路穿越防風林帶時，應盡量使風口保持最窄寬度，防風林帶周邊氣流模式如圖 植 8-7-1。

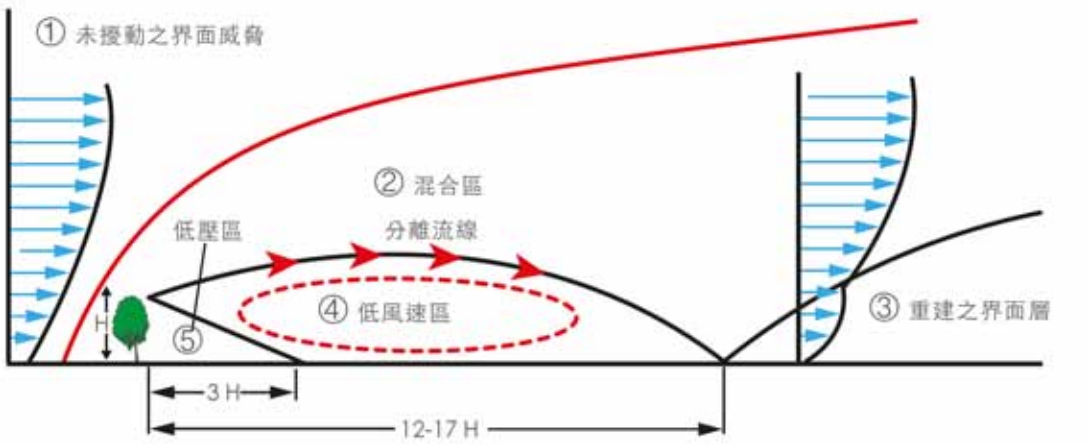


圖 植 8-7-1 防風林帶周邊氣流模式(資料來源：特殊地植生工程，2012)

8.7.6 海岸防風林

一、適用植物

臺灣地區海岸防風林主要為木麻黃純林，但因其純林甚易衰退，且易受星天牛、黑角舞蛾等為害。故以其他樹種或以混交造林方式代替木麻黃純林為目前防風林研究及經營之方向。

目前臺灣地區主要應用推廣之海岸防風林造林樹種有木麻黃、黃槿、草海桐、瓊崖海棠、海檬果、福木、檉柳及林投等(臺灣海岸溼地植物，1999；臺灣海岸地區應用植物，2002)。

二、海岸防風林之設計規格

(一) 樹高

理論上樹高越高越佳，但海岸地區由於氣候環境惡劣、林木生長不易，尤以海岸第一線必須藉防風籬之保護方能使林木成活，進而逐年成長，林木超過防風構造物之高度，則易受風害及鹽害，通常第一線林帶林木成長高度極限在 5～6m 左右。

(二) 林帶寬度

海岸林帶寬度原則上越寬效果越佳，但由於土地取得不易，而且土地需經濟利用，故林帶不宜太寬。原則上林帶寬度以在 80～160m 為宜，若考慮林帶的更新問題，則林帶寬度可適度增加。

(三) 複層防風林

複層防風林之應用植物，如圖 植 8-7-2，依冠層之層次而言，上、中層之樹木，如木麻黃、黃槿、福木、瓊崖海棠、海檬果、蓮葉桐、水黃皮、榕樹、砂朴、小葉南洋杉、紅淡比、相思樹、白千層、茄苳(重陽木)、鳥榕、臺灣海桐、欖仁、大葉山欖、樟樹、無葉檉柳、苦楝、毛柿等；下層以灌木為主，如林投、草海桐、夾竹桃、白水木、朱槿、臭牡丹、胡頹子、日本女貞等(臺灣海岸溼地植物，1999；臺灣海岸地區應用植物，2002)。上層林冠之喬木每株間隔約四公尺，林下可間植灌木植群，達到複層防風林的目標，為構成歧異度大之傾斜式複層防風林，樹種選擇時，必須考慮其生長速度及各樹種之需光性特性。

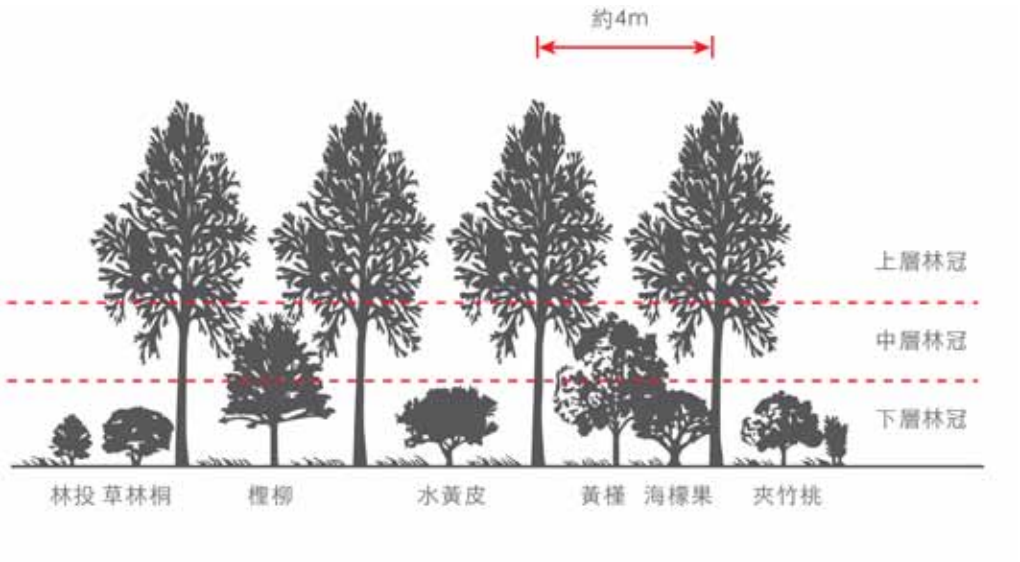


圖 植 8-7-2 海岸複層防風林示意圖(資料來源：特殊地植生工程，2012)

(四) 生態綠化

海岸生態綠化是利用經選擇之海岸適生植物，以人工的方式建造海岸自然林，以期達到涵養水源、調節微氣候、防風、美觀等環境保護及引誘野鳥、蝴蝶等生物群棲之保育功能，更可提供人們至海濱活動、休憩之地點。

海岸生態綠化與維護之基本原則如下：

1. 選擇當地原生樹種以及類似生育地之樹種。
2. 採用小苗栽植，選用 1~2 年生容器苗，並配合季節性出栽。
3. 實施必要之土壤改良。
4. 確實執行後續之撫育管理工作，如灑水、補植等。
5. 栽植區如屬強風及鹽分高之處，栽植初期要有防風設施。
6. 濱海地區氣候土壤條件不佳，設計之植栽經費時，用於土壤改良、灌溉等設施應增加比例，並選用優良健壯之容器苗。
7. 植物栽植作業後，須有適當之灌溉與病蟲害的防治。

8.7.7 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝、歐辰雄(2002)，「臺灣海岸地區應用植物」。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

陳明義(1999)，「臺灣海岸溼地植物」，行政院農業委員會、中華民國環境綠化協會編印。

陳財輝(2008)，「海岸防風林的營造與機能」，興大農業 66，pp. 6-11。

玖、其它地區植生方法

9.1 崩塌地植生工程

9.1.1 崩塌地整治工法規劃原則

一、崩塌地對象之處理原則

崩塌面積分布與發生機率受地質、區位與環境敏感度所影響，而現存崩塌地亦有再崩塌或二次災害之情形，全面整治有其困難及不必然性。以往整治重點在於有重要保全對象之區域，相對花費經費高，而現今因氣候變遷、地震頻繁，已無法全盤皆以安全為導向，需要根據以下原則調整整治方向與最終達成目的，作為治理必要性之依據。

(一) 優先處理：

下游地區有村落、住家、道路或公共設施，崩塌土石會造成土石災害之地區，應列為最優先處理，需於最短時間完成坡面安定工程處理，及促進植被之形成。

(二) 暫緩處理：

崩塌地下游地區無住家或重要交通道路，無立即性之危險，需依崩塌地整體考量規劃及基礎工程完工後再進行植生處理。

(三) 無法植生處理：

因崩塌地造成垂直陡坡、岩層滑動坡面之地區，應以整體坡面安定考量為先決條件，並配合沉砂區、緩衝帶等之設置，以減少土石災害。

二、崩塌地面積

裸露面積大者易於雨水侵蝕下造成表面土壤流失量較多，甚至雨勢強烈衝擊下，易觸動土石流之機制，引發二次災害之可能性大為提升。因此，大面積崩塌更需要比小面積優先整治，尤其是 1~3 公頃以上之崩塌地或可能處於不安定或表層受侵蝕等情況，植生演替時間相較小面積崩塌更需要較長之自然植生恢復期。

(一) 崩塌地立地條件與植生導入作業

在規劃崩塌地植生導入時需依照立地環境之不同考量應用不同物種之導入，必要時進行二次或三次植生導入作業以達到預期之植生期望目標。

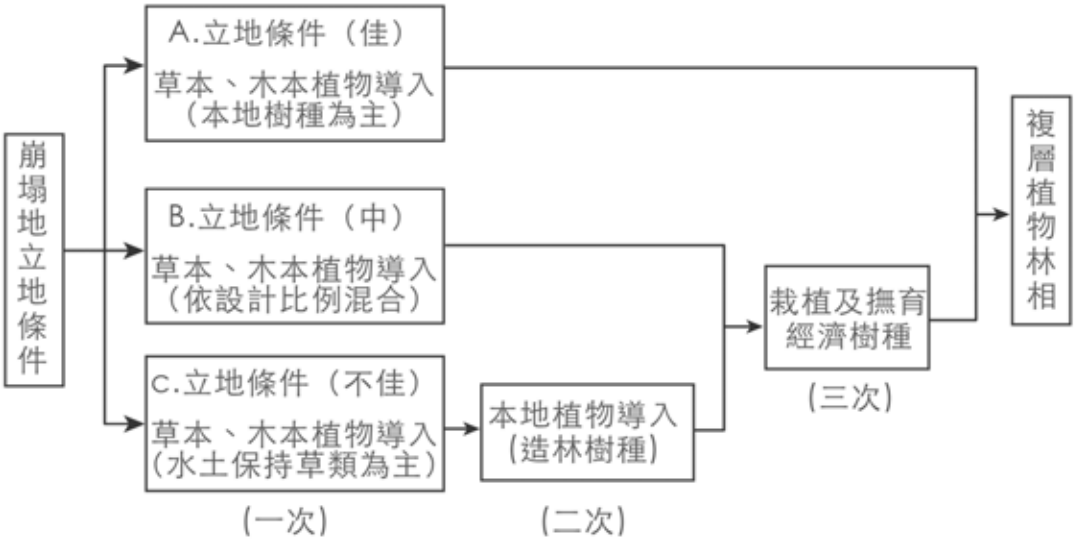


圖 植 9-1-1 崩塌地不同應力植物材料導入作業流程圖(資料來源：特殊地植生工程，2012)

9.1.2 崩塌地處裡常用工法與應用植物

崩塌地之整治需配合坡腳與坡面保護工程整治後進行植生導入作業。崩塌地主要之植生工法包括：直接噴植、鋪網噴植、土壤袋配合植生工法、肥束網帶配合播種工法、栽植工法、草皮鋪植…等。各工法相關內容，請參考本篇相關說明章節。

一、崩塌地植物材料導入之綜合判斷

崩塌地立地條件較差，自然復育演替費時較長，以經濟可行之植物導入實屬必要，在植物材料之選擇方面，可以下列各因素考量綜合判斷之：

(一) 植物種類之選擇應以鄉土(原生)植物為主，外來馴化種植物為輔，並考量種子取得及適應性等問題。

(二) 崩塌地自然演替之先驅草木與優勢植物，易於採種，繁殖且生長快速者。

(三) 荒廢地造林適宜樹種，有充裕苗木供應者。

(四) 防災功能較強或水土保持推廣應用之木本植物種子、扦插木椿材料等，適於崩塌地植生施工或生長者。

(五) 水土保持推廣應用草類或豆科草本植物，可大量獲得種子、快速植生覆蓋，且其長期推廣不致生態危害之植物。

(六) 木本植物以現地植物材料為主(依據現地植被調查與植生演替推測資料)。

(七) 先驅覆蓋草類種子之選用，以可大量供應之本地草類；可外購之本地草種種子；或臺灣地區長期使用(20 年以上)且未具侵略、生態干擾現象之治山防災用草類為主。

9.1.3 參考文獻

日本全國治水砂防協會(1998)，「新・斜面崩壞防止工事設計之實例-急傾斜地崩壞防止工事技術指針」，建設省河川局砂防部監修。

行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

9.2 緩衝綠帶

9.2.1 緩衝綠帶之定義與目的

一、定義：

緩衝綠帶泛指人為開發地區與自然環境間的過渡帶而言，通常是人為栽植或輔助植生演替的帶狀植生地區。

二、目的：

改善、減少沖蝕發生、維護周遭生物多樣性及達到水土保持之功效。

三、適用範圍：

緩衝綠帶通常設置於工業區外緣之緩衝區域、都會周邊之荒野地、沿海防風林、河溪護岸、道路兩側、水庫保護帶等地點；另外，坡地開發或坡地保育工程(如野溪工程、防砂工程、道路工程、泥岩惡地等)施作地區經重新建構或部份補植的植生區域，亦可視為緩衝帶。

9.2.2 緩衝綠帶類型

緩衝綠帶因其功能目的之不同，可略分為防風林帶、防火綠帶、水庫保護帶、汙染過濾緩衝帶、泥砂攔阻緩衝帶及生物多樣性保護帶等，說明如下(水土保持手冊，2005；綠化技術用語事典，1990)：

一、工程周邊緩衝綠帶 (buffer greenbelt around the engineering area)：

指工程周邊經整地及工程構造物施作完工後所閒置之裸地，進行人工植栽後之綠地。其具有保護工程與景觀美化之功效。

二、水庫保護帶 (reservoir protective strip)：

水庫周邊維持自然的植被可以分散地表逕流或渠道流，以減少紋蝕、溝蝕的發生，並且可減緩水流速度，增加地表逕流的入滲量。地表逕流挾帶的泥砂與污染物也會因植被的阻擋、過濾與根部的吸收、土壤的吸附而減少直接進入溪流中的泥砂、污染物量。

三、防火綠帶 (fireproof greenbelt)：

(一) 在易發生野火之公墓地或草生地之周邊，以防火植物營建綠帶，阻絕野火之蔓延，保護相鄰區域安全。

(二) 在主管機關指定或易燃之坡地與範圍，應營造防火綠帶，以隔阻野火。易燃之坡地包括松樹林地、芒草地、玉山箭竹或五節芒、天竺草草生地及墓地四周之山坡地。

(三) 防火綠帶植物應選用樹冠龐大、樹葉茂密、葉片厚且為革質、含油脂類之可燃性物質少、生長迅速和林下不易生長地被植物為原則，防止火災區域之擴大，充分發揮防火效果。

(四) 防火綠帶之適用植物為常綠之木荷、大頭茶、草海桐、青剛櫟、福木、瓊崖海棠、榕樹、杜英及鵝掌藤等。

四、防災綠帶 (green belt for disaster prevention, green belt for disaster mitigation)：

防災綠帶係由喬木、灌木或草本植物所組成之植生群落，依其營造目的可分為緩衝綠帶、防風綠帶、防火綠帶等（水土保持技術規範 第 132 條）。在已知之敏感地區或具公共安全維護之必要地區，可事先規劃適當寬度之緩衝帶，作為防止災害發生或減輕災害規模之處理，此即為防災綠帶之設置。一般容易造成水土流失並引致災害之主要敏感地區，包括水庫集水區、溪流兩岸、沿海風砂與飄鹽地區、及易燃地區，因此這些地區即應當營造防災綠帶，以減免災害。

五、防風綠帶 (green belt for wind protection)：

風害、砂害與鹽害之控制與防止，乃是海岸地區土地開發利用之必要措施。此等災害防止，雖可用各種工法予以克服，惟為提昇環境品質且使災害控制得以持續，則防風綠帶之設置即為必要工作。防風綠帶之設置，除了在沿海空曠土地可以大面積造林方式營造所謂之海岸防風林，以改善大範圍之環境以外，亦可在耕地之迎風面營造所謂之耕地防風林，或在特定保護對象周圍營造防風林，以改善局部之環境品質及減輕或防止風害等之發生。

六、河溪緩衝帶 (stream buffer strip)：

緊臨河溪之植生帶，其範圍之全部或大部分之林木被保留，有時被認為是發展成熟、未受干擾及經營管理之針、闊葉林植被。具有防止河岸地表沖蝕土壤流失、延緩洪峰減弱洪害、涵養水源淨化空氣、吸附污染改善水質、提供野生動物之食源與棲所及改善微氣候美化景觀。

七、沼澤保護帶 (wetland protection zone)：

沼澤地之存在可做為緩衝帶，可減低海浪、逕流侵蝕及減低風速，亦可做為污染緩衝系統(pollution buffer system)，控制污染源及保護水鳥。沼澤地因其植物群落不同有下列三類生態系：草澤(marsh)、沼澤林(swamp)和苔蘚沼澤地(bog)。

八、植生過濾帶 (vegetated filter strip)：

以一定寬度的永久植生區，區內種植樹木、草類或濕生植物等作為緩衝區，過濾有害物質（包含表土、農藥或有機質等）以防止河川遭受污染。

九、道路保護帶 (road protective strip)：

於道路兩側營建 3～5m 寬之綠帶，以穩定坡面及美化環境。

9.2.3 植生緩衝綠帶之寬度設計

植生緩衝帶之寬度若設計不足，則無法達到淨化逕流水質的預期效果(吳嘉駿，2005)。反之，若寬度過大，將造成農地或其他用地的損失，人民配合的意願不高。彙整國內外相關學者、法規等，針對緩衝帶之寬度設計，其範圍從 5~100m 不等，說明如下：

一、美國農業部在其耕地保育計畫內所推薦之植生緩衝帶寬度為 20～30 m，而在森林集水區內，沿著溪流兩旁之保護帶最少需 30 m。

二、緩和水溫緩衝帶需 30m，阻隔泥沙緩衝帶需 80m，維持並促進生態歧異度緩衝帶需 100m。

三、植生緩衝帶之合理寬度，取決於過濾後放流水之水質，影響放流水水質的變因甚多，例如地形、土壤、土地利用、水文特性與緩衝帶的植生種類及其覆蓋度之不同而有所差異。集水區內不同地區間之地文與水文變化甚大，考量集水區地文與水文之變化以建立合理緩衝帶寬度，可利用地理資訊系統連結指標模式或農業非點源污染模式（Agricultural Non-Point-Source Pollution Model, AGNPS），依配置區段分類。

四、水庫保護帶：

依水土保持法第二十條規定水庫保護帶為經劃定為特定水土保持區之水庫集水區，其管理機關應於水庫滿水位線起算至水平距離 30m 或 50m 範圍內，設置保護帶。

五、水岸保護帶：

在濱臨天然河道或溪溝地區，保留或營造 5~10m 寬之保護綠帶。

六、道路保護帶：

於道路兩側營建 3～5m 寬之綠帶。

9.2.4 參考文獻

中華民國「水土保持技術規範」，2014 年 09 月 11 日修訂。

日本綠化工學會(1990)，「綠化技術用語事典」，財團法人山海堂。

行政院農業委員會水土保持局(2012)，「緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編」。

吳嘉俊(2005)，「緩衝帶寬與適用植物之研究」，行政院農業委員會。

林信輝(2012)，「特殊地植生工程」，五南圖書公司。

9.3 道路植生

9.3.1 道路植生綠化規劃原則

道路是交通工具通行之路徑，道路主題工程泛指道路路面、兩側邊坡安定與保護工程、基礎擋土牆、坡面與路面排水和道路植栽等。

一、有關道路路邊植生綠帶之配置，應分別考量車輛駕駛人視野，及提供引導生物移動、避免撞上鳥類、減少人為干擾等優點。

二、考量車輛駕駛人視野與安全時，可選用有不同高度之樹木，於距路肩外側先種植地被植物，約 2~5m 距離開始栽植樹木，由小灌木、大灌木、小喬木漸次到中、大喬木。樹木種類應減少使用易落葉和掉落大果之樹種，保障開車者安全。

9.3.2 樹種選種之基本考量與常見問題

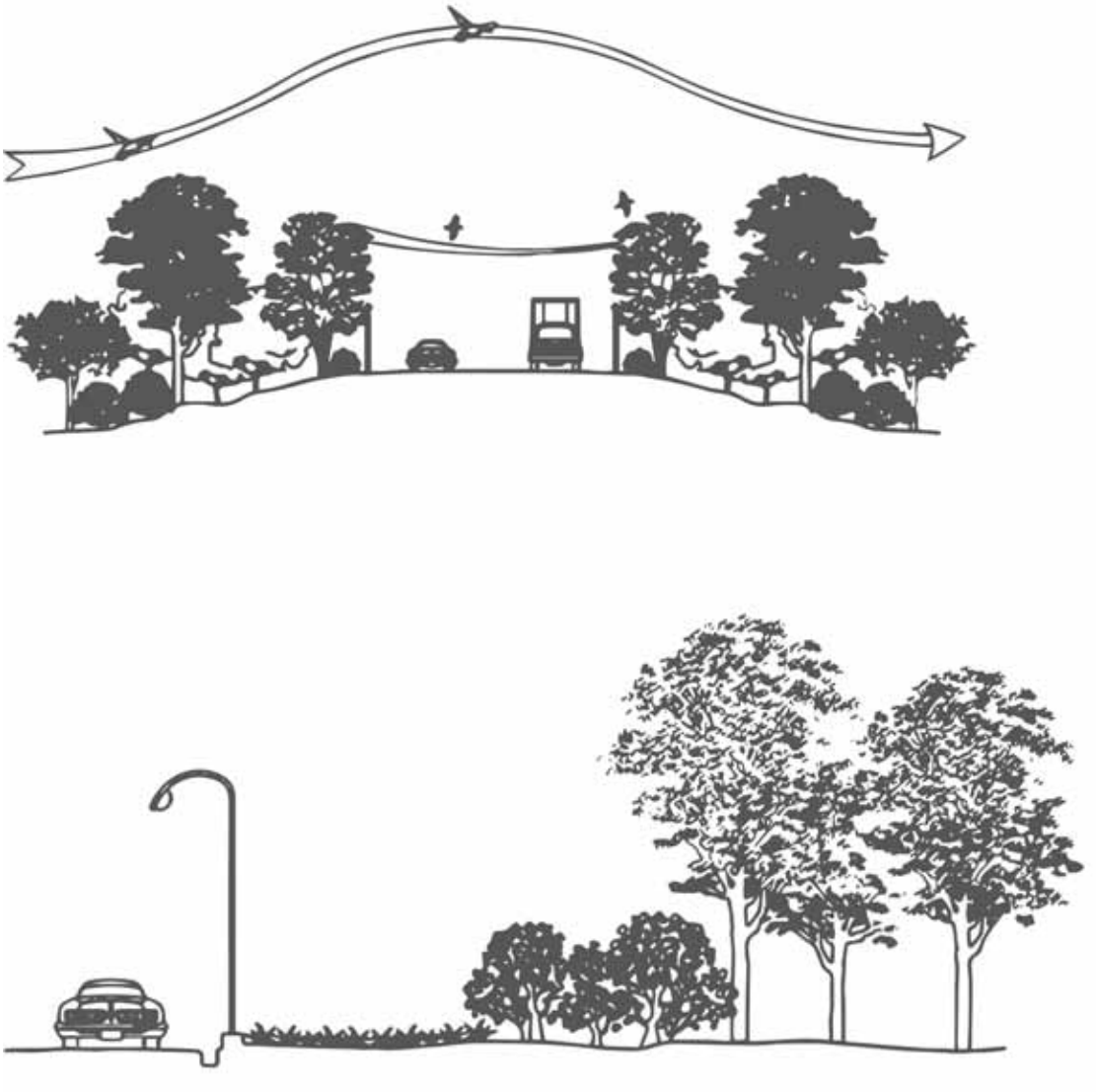
行道樹為栽植於道路兩旁或中央安全島上之喬灌木，與一般栽植作業方法本質上差異不大，唯行道樹之栽植空間、密度、環境、後續維護管理作業，需視不同道路類型予以規劃。在樹種選擇上需考量道路用途、環境改善功能與植物之適地性等。行道樹種選種之問題與基本考量，說明如下：

一、植栽選種宜考量基地環境條件，用路人車之安全，以具適地性且易維護管理的本地樹種為宜，避免選用生態入侵種，或具不良氣味(如黑板樹、福木、掌葉蘋婆)、有毒花粉、易分泌汁液或易落果之樹種。

二、若採用淺根、板根、柱狀支持根之樹種，應考量避免爾後產生負面之影響。

三、應考量樹種之抗風性。依樹木受風損害狀況不同，可分為風倒木、傾斜木、枝折木、幹折木等。

四、需注意枝條、樹冠高度與樹形大小是否影響視線或電線與建築物。



(上圖：環境生態考量；下圖： 車輛駕駛人考量)

圖 植 9-3-1 道路兩側植生帶配置示意圖(資料來源：圖解植生工程，2016)



樟樹　　白千層

圖 植 9-3-2 優良行道樹照片例(資料來源：圖解植生工程，2016)

9.3.3 道路植生綠化設計考量概要

一、鄉村或市郊等地區，為表現自然景觀或當地植栽特色，宜採多種類之原生或鄉土樹種，考量以自然群植方式配置。

二、植栽設計時宜考量防止眩光、誘導車行、遮蔽不良景觀、綠蔭、減低噪音、減少空氣污染並不得妨礙行車視線。

三、路口為保持良好行車視距，植栽帶距停止線 25 m 內，宜栽植高度低於 0.5 m 之灌木或草花。距停止線 50 m 內之植栽帶，於駕駛人視線水平高度 5.5 度仰角區間內之枝葉應予以剪除。車道出入口或標誌系統附近，應避免植栽遮蔽視線。

四、植穴需有足夠生長空間，並考量土壤通氣性、排水性、保水性及易於導入雨水澆灌之功能。

五、人行道植穴與植栽帶面積儘量加大，淨寬至少 1 m，並以中小型喬木為主體，樹木栽植間距大於 6m 為原則，並配合一般建築柱位，優先採連續性帶狀方式設計。

六、為確保樹枝下人車通行的基本高度，其分枝高應在 2 m 以上。

七、中央分隔島植栽以複層植栽為原則，寬度大於 7m 以上者建議採交叉種植；栽植縱向間距以大於 6m 為原則。

八、鄉村道路綠化設計可選用有不同高度樹木，於路肩外側先種植地被植物，約二~五公尺距離開始栽植小灌木、大灌木、小喬木漸次到中、大喬木。

9.3.4 參考文獻

林六合、陳秋銓(2003)，「行道樹栽植與維護管理作業手冊」，行政院農業委員會林務局。

張育森(2006)，「行道樹栽植與移植技術」，94 年度栽植工程監工實務講習訓練資料。

9.4 景觀生態考量植生方法

9.4.1 綠籬

綠籬是指將植物密植排列當作圍籬，以達到區隔空間、引導動線、排列圖案或阻斷視界為目的園景設施。「綠籬植物」泛稱可作綠籬使用之植物，針對綠籬植物的特性、綠籬的型態及綠籬植物種類與應用特性說明之。

一、綠籬植物的特性

可以作為綠籬應用之植物，需具有終年常綠、生長旺盛、耐修剪、萌芽力強的生長習性，與新芽、葉、花、果可供觀賞的功能。一般以分支旺盛的灌木為主，竹類及喬木幼年期或適合修剪矮化的樹木亦可作成綠籬。另外，藤蔓植物則可配合支架、格網等材料支撐作成綠籬。

二、綠籬植物的功能

(一) 空間區隔：

綠籬的主要功能及空間的劃分與隔離，低矮綠籬如花壇緣栽，可界定花木與草坪之區域範圍；中、高綠籬則可區隔內外空間、造成隔間或隱密性效果。

(二) 軟化建築：

綠籬應用於建築物基座位置，可遮掩生冷硬實的建築物直角，具遮擋不良視線或不讓人窺視之屏風功效。

(三) 構成圖案：

歐洲古典庭園常以植物列植，並加修剪整型成幾何造型或對稱圖案裝飾庭園。

(四) 引導動線：

於入口、通道及轉角利用列植綠籬植物，可指引方向、導引動線、製造指標效果之功能。

(五) 消噪減光：

道路中間分隔島或沿火車、捷運系統鄰近社區，須要減少噪音、遮蔽過往車輛的眩光，可採用密植綠籬植物作圍牆，達到緩和削減的功效。

三、綠籬的型態

一般在設計運用綠籬時，依照使用目的可概分為四類型，分述如下：

(一) 低矮綠籬：

多作為花壇、草地緣栽使用，或列植成線條圖案。植株高度維持在 45 cm(膝高)以下，多使用植株矮小、葉片細緻的灌木，如矮仙丹花、六月雪、黃金露花、小葉黃楊，刺葉黃褥花、銀姬小蠟、藍柏…等。

(二) 中型綠籬：

高度維持在 90~120 cm(腰高)左右，有引導動線與阻隔空間的效果，但不影響視線穿透性，在園景及公共空間普遍性使用，亦使用於「花園迷宮」，適用植物如杜鵑花、茶梅、月橘、立鶴花、女貞、玉利紅(冬青)、春不老…等。

(三) 高型綠籬：

株高維持在 150 cm 以上者(眼高)，主要當作圍牆使用，以阻斷視界及防止外人踰越，多使用樹冠緻密，枝葉粗硬、堅韌，甚或具有棘刺的樹種，以達最佳效果，如垂榕、羅漢松、火刺木、福木、厚皮香…等。

(四) 藤蔓綠籬：

利用既有圍牆、欄杆、鐵絲網等人工設施，讓成長迅速的藤蔓植物攀爬其上形成綠籬，具有阻隔性良好，與花繁葉茂的高觀賞性。如炮仗花、蒜香藤、落葵、使君子、忍冬、珊瑚藤、九重葛…等。

9.4.2 誘蝶誘鳥

一、蜜源與食草植物

(一) 蜜源植物：

蝴蝶常會被不同植物的花之顏色、香味或形狀所吸引，但最有吸引力的還是花蜜，例如芸香科、菊科、蓮科及睡蓮科植物，因花瓣包圍著充滿花粉之雄蕊及雌蕊，為多種蝴蝶喜歡的蜜源植物。

依誘蝶而言，通常多樣化而數量多、集中成群的植物會比分散隔離之單株植物更能吸引蝴蝶，故植栽時以成群植栽為佳，並考慮一年四季不同時期不同花開，讓不同時期羽化之蝴蝶皆可獲得充分蜜源。誘蝶植物可選取臺灣原生植物中紅楠、五掌楠、大頭茶、野牡丹、欖仁、福木、木槿、黃槿、構樹、過山香、月橘、楝、臺灣欒樹、樹杞長穗木、冇骨消、臺灣澤蘭、咸豐草、柑橘類、荔枝、龍眼、烏桕、羅氏鹽膚木等。

(二) 食草植物：

食草植物係指母蝶賴以下卵及孵化後之幼蟲賴以攝食的植物；有適當而充足的食草植物才可能營造出蝴蝶飛舞的園地，幾乎所有的蝴蝶都有很專一的食草，通常它們只喜歡一、二種或少數幾種植物，故誘蝶植物之搭配選擇需要專業技術和資訊協助，最好妥慎參考相關資料或請教專家。一般而言，鳳蝶科的蝴蝶如曙鳳蝶、麝香鳳蝶、臺灣麝香鳳蝶、紅紋鳳蝶、大紅紋鳳蝶等均以馬兜鈴科之大葉馬兜鈴、異葉馬兜鈴及港口馬兜鈴等為主要食草；斑鳳蝶、寬青帶鳳蝶、青帶鳳蝶等以樟科之樟樹、香楠、紅楠、大葉楠等為主要食草；烏鴉鳳蝶、琉璃帶鳳蝶、白紋鳳蝶、琉璃紋鳳蝶、玉帶鳳蝶、臺灣鳳蝶、柑橘鳳蝶等則以芸香科之賊仔樹、飛龍掌血、雙面刺、食茱萸、柑橘類、烏柑仔等為主要食草，紅擬豹斑蝶喜歡楊柳科之水柳及水社柳，粉蝶科之紋白蝶及臺灣紋白蝶則喜歡十字花科之焊菜、芥藍、油菜、花菜、白菜、蘿蔔等，寬尾鳳蝶之專一食草為樟科的臺灣檫樹、珠光鳳蝶之專一食草為馬兜鈴科的港口馬兜鈴，夸父綠小灰蝶之專一食草為殼斗科的山毛櫸，東陞蘇鐵小灰蝶則以蘇鐵及台東蘇鐵等蘇鐵屬之植物為食草，這些都是很特別的食草專一性現象。

二、誘鳥植物

(一) 常見的鳥類食餌植物：

闊葉林、針葉林、交界帶、草生地與濱水區域，也常因棲地能提供的食物、掩蔽性不同，而有明顯不同的鳥類群聚，因此誘鳥植生之設計，常需由鳥類習性與棲地的要求著手。

表 植 9-4-1 常見鳥類之食餌植物例(資料來源：「農村社區常用植栽應用手冊」，2011)

植物中名	食用部	常見之採食鳥種
山黃麻	花、果	白頭翁、麻雀、綠繡眼、繡眼畫眉、山紅頭、小彎嘴畫眉、粉紅鸚嘴、紅嘴黑鵯。
構樹	嫩葉、果	白頭翁、麻雀、綠繡眼、白環鸚嘴鵯、五色鳥、紅嘴黑鵯、赤腹鶇。
榕樹	果	白頭翁、麻雀、綠繡眼、紅嘴黑鵯、珠頸斑鳩、臺灣藍鵲、小桑鳽、白環鸚嘴鵯、黃眉柳鶯、白眉鶇、赤腹鶇、五色鳥。
雀榕	果	白頭翁、麻雀、綠繡眼、紅嘴黑鵯、珠頸斑鳩、臺灣藍鵲、黃眉柳鶯、白眉鶇、赤腹鶇、五色鳥。
小葉桑	花、果	白頭翁、麻雀、綠繡眼、鉛色水鶇、小彎嘴畫眉、五色鳥。
菩提樹	果	白頭翁、麻雀、綠繡眼、樹鵲。
樟樹	果	白頭翁、綠繡眼、紅嘴黑鵯、赤腹鶇、斑點鶇、赤腹山雀。
苦楝	果	白頭翁、五色鳥。
茄苳	花、果	白頭翁、麻雀、綠繡眼、小桑鳽、赤腹鶇、白耳畫眉、五色鳥。
烏桕	果	白頭翁、綠繡眼、繡眼畫眉、樹鵲。
山桕	花、果	白頭翁、赤腹山雀、樹鵲、五色鳥。
刺桐	花	白頭翁、綠繡眼、紅嘴黑鵯。
白匏子	果	白頭翁、綠繡眼、小彎嘴畫眉、紅嘴黑鵯、樹鵲、藪鳥。
江某	花、果	白頭翁、綠繡眼、白耳畫眉、紅嘴黑鵯、白腹鶇、繡眼畫眉。
九芎	果	白頭翁、綠繡眼、赤腹山雀、尖尾文鳥、藪鳥。
山櫻花	花、果	白頭翁、綠繡眼、麻雀、青背山雀、冠羽畫眉、繡眼畫眉、紋翼畫眉、白耳畫眉、紅頭山雀、金翼白眉、灰鶯、赤腹鶇。
番石榴	果	白頭翁、麻雀。
山鹽青	果	白頭翁、綠繡眼、麻雀、珠頸斑鳩、冠羽畫眉、紫嘯鶇、藍磯鶇、紅嘴黑鵯、五色鳥。
山黃梔	果	白頭翁、綠繡眼、繡眼畫眉、白耳畫眉。
杜虹花	果	白頭翁、綠繡眼、冠羽畫眉。
野牡丹	花	白頭翁、綠繡眼。
冇骨消	花、果	白頭翁、繡眼畫眉、藪鳥、冠羽畫眉。
五節芒	果	白頭翁、麻雀、斑文鳥、尖尾文鳥、栗腹文鳥、褐頭鷦鶯、斑紋鷦鶯、岩鷚。
稻、蘆葦	果	麻雀、斑文鳥、尖尾文鳥、黑臉鵐、褐頭鷦鶯。

9.4.3 野溪治理工址周邊植生

野溪治理工程之構造物常以施工快速、強度高之混凝土工法為主，致植物無適當的生長空間，及當地景觀與棲地生態遭受破壞，若能工程週邊導入適地適生之植物材料，除可恢復植被覆蓋，亦可達到美化景觀、改善微氣候及提供野生動物棲地之效果。

一、不同護岸之植生設計類型

河岸植生設計時，應重視自然環境保育及與週邊植生景觀之連貫性，植生目標之設定應以營造生物多樣性之自然河川型態，以植生之營造促進生態系之機能，包括營造昆蟲類及鳥類的良好棲息地在內(林信輝，2005)。依植生設計目標及依期望植生覆蓋及演替時程之不同，河溪護岸可區分為快速植被覆蓋型、促進演替植被型、特定河岸植被型以及長期演替植被型。

二、工址週邊植物材料選用

植物栽植時，除依據植物之生理生態習性及景觀工程配置設計而選用植物外，應考量其是否具備邊坡與土壤保育功能、調節微氣候的功能，及符合生態效益與植物材料之供應來源等。

三、不同護岸之植生設計

(一) 具透水性之構造物包括：

土壩、木壩、蛇籠壩、堆石壩、格籠壩等，這些構造物表面通常具有孔隙，可提供植物入侵空間，種植根系範圍小的草本及藤本植物，綠美化工作應以先驅適生樹種與地被植物之栽植或具固氮作用之綠肥植物或肥料木為主。

(二) 不具透水性之構造物包括：

混凝土壩、鋼筋混凝土壩、卵石混凝土壩、梳子壩等，如欲導入植生，必須於工程施作之前，先預留栽植槽，同樣可導入根系範圍小之植物，或是利用多孔性的造型模板貼覆構造體表面，創造植物生長空間。若防砂工程週邊腹地廣大欲設置休憩設施及植栽時，宜選用中、淺根性植物，避免破壞工程結構。

(三) 生態上之考量：

栽植具有誘鳥、誘蝶之原生樹種，吸引野生動物棲息，選用植物種類切勿使用具侵略性之外來種，如小花蔓澤蘭，破壞當地原有生態環境，導致該

區原有棲息之物種消失。植物種類可使用：山芙蓉、冇骨消、月橘、五節芒、白雞油、臺灣石楠、杜虹花、鵝掌藤、杜英、青剛櫟、百慕達草(狗牙根)、紅楠(豬腳楠)、山棕、小葉桑、野牡丹、朴樹、地錦、楝、烏桕、烏心石等。

(四) 景觀上之考量：

植物的綠色枝葉，既具有美化的效果，並可利用變葉、開花之原生樹種，增加河岸兩旁景觀的變化。植物種類可使用：楓香、欖仁、豬腳楠、臺灣欒樹、山櫻花、流蘇樹、山芙蓉、野牡丹、厚葉石斑木、無患子等。

(五) 安全上之考量：

配合固床工，於兩岸邊坡利用現地之巨石與石礫，或是格框植生工法，上層填植生土袋，下層堆疊卵石的方式，保護河岸防止沖刷。於施作結構物的隙縫中，栽種固土性強的草花、蔓藤植物或高度較低之喬灌木。植物種類可使用地錦、雲南黃馨、苦藍盤、構樹、稜果榕、蔞蒿菊、雞屎藤…等。

四、應用植物

(一) 喬木層植物：

相思樹、榕樹、茄苳、雀榕、楓香、樟樹、臺東漆樹、青剛櫟、黃槿、鵝掌柴、苦楝、臺灣欒樹、無患子、烏桕、櫸、朴樹、海檬果、豬腳楠、大頭茶、白桕、山櫻花、水黃皮、水柳、九芎、春不老、臺灣石楠、野鴉椿、烏皮九芎。

(二) 灌木層植物：

山黃梔、月橘、厚葉石斑木、大葉樹蘭、朱槿、山芙蓉、小葉桑、金露花、桃金孃、野牡丹、鵝掌藤、臺灣山桂花、日本女貞、杜虹花、苦藍盤、長春花、草海桐、臺灣黃楊、臺灣火刺木、海桐、絡石、雲南黃馨、冇骨消、臺灣海桐、臺灣馬桑。

(三) 地被層植物：

波斯菊、蔞蒿菊、文珠蘭、輪傘莎草、類地毯草、地毯草、竹節草、狗牙根、假儉草、高狐草、兩耳草、百喜草、甜根子草、奧古斯丁草、馬尼拉芝、高麗芝、姑婆芋、水燭、月桃、野薑花、美人蕉。

(四) 藤本層植物：

鵝鑾鼻蔓榕、薜荔、越橘葉蔓榕、洋落葵、營多藤、地錦、山素英、馬鞍藤、軟枝黃蟬、姚金孃、野牡丹、長春花、洛石。

9.4.4 水域與濱水帶植生

一、水生植物屬性分類

(一) 水生植物之屬性分類：

水生植物依據植物體成熟開花時，其葉片與水面的相對位置和生活習性(水生植物，2007)，可分為下列五種如圖 植 9-4-1：

1. 漂浮植物

漂浮植物的葉部漂浮於水面，但根系並沒有固著於土壤中，而是漂浮於水中之植物。

2. 浮葉植物

指葉片自由漂浮於水面上，根系或地下莖固著於水下土壤層之水生植物。

3. 沉水植物

係指植物體完全或大部分沉沒於水中生長，根系固著在水下土壤層之水生植物。

4. 挺水植物

挺水植物通常生長在水深五十公分至一公尺左右之淺水區，其根系固著在水下之土壤層，莖葉的一部分或大部分伸出水面的植物。

5. 濱水植物

濱水帶係指陸與水域間之過渡地帶，或指河岸兩側高灘地與濕潤水域間之濱水區域之植物。

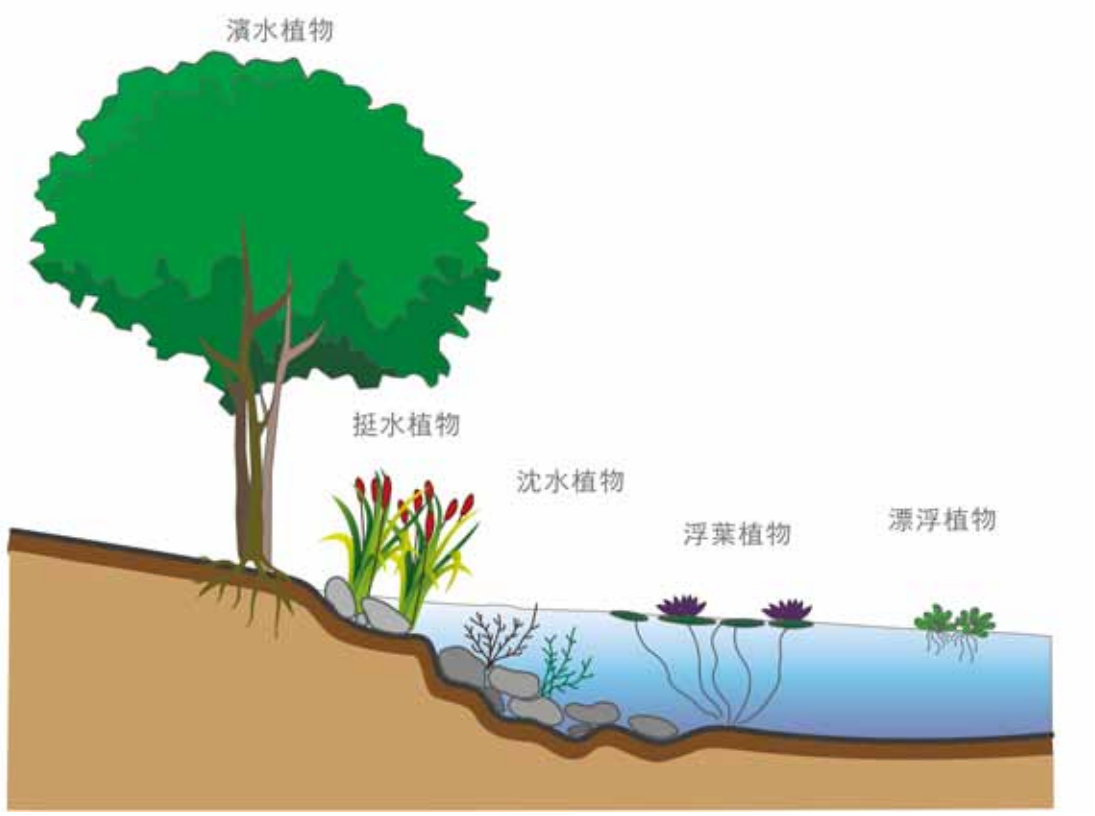


圖 植 9-4-1 水生植物類型示意圖(資料來源：「農村社區常用植栽應用手冊」，2011)

二、水域植生導入與維護管理

(一) 水域植生導入作業：

包括人為規劃特殊植物種類的植栽區、含種子土壤之混合物促進演替生長、植物地下莖或塊莖之扦植或整株植物之苗植等，若種植範圍大於 1 公頃，使用種子材料較為經濟(但種子發芽生長之過程較難預料) ，以容器或泥炭盆栽雖最初的價錢較高，但其存活率較高，勝過裸根移栽的植物，故通常較為經濟，為目前較常用容器苗栽植；為確保水域植物固著及生長良好，可採用纖維網束或泥炭盆栽植。

(二) 植栽密度：

種植密度因植栽種類而異，挺水性植物約每平方公尺 1 株，較小之草花植物則以每平方公尺 2 株為主；為補償預期自然死亡、水流破壞及來自野生生物所造成的損失，可增加栽植密度與植苗(扦苗)之大小，某些植物具侵略性，可能需要被迫完全地種植在盆內。

(三) 植栽季節：

植栽季節需配合植物之生理狀況及水域之水文條件，如果來不及種植，可延緩至翌年栽植。

(四) 浮葉植物之維護管理：

浮葉植物具降低水溫及遮蔽日照效果，提供水生動物棲息躲藏空間，部分浮葉植物可作為魚類食物，為構成生態水池完整植物群落的重要元素，惟浮葉植物蔓延快速，應配合植物管理措施一併考量。為防止浮葉植物過度蔓延，遮蔽日照，應保留部分開放性水域，可採用浮索、繩索、竹竿等攔截設施，圍束浮葉植物於一定範圍生長，方便植物生長管理與控制。

(五) 肥料之管理：

應避免使用易流失之化學肥料，宜以低生產力為設計標的，在植栽穴底下置入有機肥或緩效肥料，可限制藻類繁殖。

(六) 自生植物之應用：

自生的植物種類能促成水池超過 90%的覆蓋和物種多樣性，但依鄰近的種子來源與傳播途徑、現有植被、濕地建造的時間及土壤類型而有所差異。生態水池植物應以該區域自生的植物為主，除非為加速自然植被的再生，才採用人工種植方法。

(七) 枯枝落葉的處理：

過多的枯枝落葉會影響水質變化，可做適度的修除，但仍須保留部分做為水生動物之隱藏或棲息場所。

(八) 生物之管理：

如種植外來植物，應侷限於特定區域，避免其擴大蔓延，如發現其擴大蔓延或非規畫引入之外來植物，應立即移除，以維持水中生態平衡。

池中及岸邊植物，視其生長及競爭情形隨時做分次分區整理，以維持多樣化之水池生態性。

三、濱水(岸)帶植栽設計

(一) 濱水(岸)帶植栽設計以採取複層式為原則，營造多層次、多物種生物組成環境，構成具韌性的林緣效果，以強化對自然逆境之抵抗能力，藉由多層次植栽之阻截效果，營造具攔污、過濾與吸附作用的植栽濾床，形成具一定縱深的緩衝帶。

(二) 濱水帶坡度以 1：3(垂直：水平)比例為原則，必要時可考慮階段式設施，分段設置平台。平台高度控制在 15~20cm 以下，以緩坡化、低矮化方式構成順暢之生物通道，提供小型動物及昆蟲上下運動空間；平台高度小於 15cm 旨在考慮昆蟲跳躍、垂直爬升時，藉由草莖高度提供必要遮蔽保護。

(三) 濱水帶區域一般以透水性舖面為原則，或以自然土壤滲透水分方式提供順暢之介質轉換機制，為促進植物復育，可加舖約 30cm 砂質壤土改善植生基盤。

(四) 濱水帶坡度較大區域考慮設置緩流設施，依等高線植草或設置連續矮柵及排樁等防止表土沖蝕。

(五) 濱水帶之縱深、植生密度、植生種類之配置與池岸坡度、土壤質地、地下水位、輔助截流設施之有無等相關，需視實際環境條件以及期望之緩衝效果進行設計。

9.4.5 參考文獻

行政院農業委員會水土保持局(2007)，「水生植物手冊」。

行政院農業委員會水土保持局(2011)，「農村社區常用植栽應用手冊」。

林信輝、張俊彥(2005)，「景觀生態與植生工程規劃設計」，明文書局。

拾、 附錄

附錄一、 植生工程常用草本、木本種子材料一覽表

草本種子						
中名	學名/英名	海拔	性狀、習性	繁殖方法	種子粒/g (播種量)	主要用途
黃野百合	*Crotalaria pallida* var. *obovata* Common Crotalaria	低海拔	0.5～0.7 m 直立亞灌木	播種	191	工程環境綠美化、荒地植生
*營多藤	*Desmodium intortum* Intortum Clover	低海拔 (1,000m 以下)	0.2～0.3 m 短期、蔓莖	播種	700	噴植草種 荒地植生 綠肥植物
鐵掃帚	*Lespedeza cuneata* Truncate-leaved Lespedeza	低海拔	0.6～1.0 m 多年、草木直立	播種	720	崩塌地植生、土質改良、荒地植生
*賽芻豆	*Macroptilium atropurpureum* Purple Bean	低海拔 500 m 以下	0.8～0.9 m、多年、藤本	播種	55	邊坡植生、綠肥植物
田菁	*Sesbania cannabiana* Indian Sesbania	低海拔	2～4 m	撒播	67 (2.5-3g/m^2)	荒地植生、綠肥植物
埃及三葉草	*Trifolium alexandrinum* Egyptian Clover	1,000m 以下	0.4～1 m	播種	323 (1-2g/m^2)	邊坡植生、噴植草種
白花三葉草	*Trifolium repens* White Clover	中、高海拔 (3,000m 以下)	0.2～0.5 m 匍匐莖	播種、扦插	1,200	高冷地植草、噴植草種
非洲鳳仙花	*Impatiens salleriana* Garden Impatiens	中、低海拔 (1,500m 以下)	0.15～0.6 m 多年、草本	播種、扦插	1750 (0.75g/m^2)	工程環境綠美化、庭園綠美化
長春花	*Catharanthus roseus* Periwinkle	中、低海拔 (1500m 以下)	0.15～0.6 m、多年生草本	播種	600 (0.5g/m^2)	工程環境綠美化、庭園綠美化
大波斯菊	*Cosmos bipinnatus* Common Cosmos.	中、低海拔 (2,000 m 以下)	0.2～2 m、一年生或多年生草本	播種	167 (1.0g/m^2)	工程環境綠美化、道路美化
天人菊	*Gaillardia pulchella*	沿海地區	0.2～0.6 m、一年生草本	播種	430 (0.75g/m	海濱植生、荒地綠

草本種子						
	Ggaillardia				^{2})	化
類地毯草	*Axonopus affinis* Carpet Grass	中、低海拔(2,000 m 以下)	0.05～0.35 m 多年、匍匐莖	分株、播種	2,500	草溝、邊坡穩定、草皮草種
*羅滋草	*Chloris gayana* Rhodes Grass	低海拔	1～1.45 m 匍匐枝	播種	400	鹽地植生、荒地植生
百慕達草	*Cynodon dactylon* Bermuda Grass	低海拔(600 m 以下)	0.05～0.4 m 多年、走莖、宿根	扦插、播種	3,800	路面植草、噴植草種、邊坡植生
果園草	*Dactylis glomerata* Orchard Grass	中、低海拔(2,500 m 以下)	0.5～0.7 m 多年、叢生	撒播、穴植	820	果園覆蓋、高冷地植生
假儉草	*Eremochloa ophiuroides* Centipede Grass	中、低海拔(1,400 m 以下)	0.05～0.15 m 多年、叢生	撒播	1,600	邊坡植生、庭園綠化 草皮綠化
高狐草 K31F(K31F 或絲柏草品系)	*Festuca arundinacea* Tall Fescue	中、高海拔(3,000 m 以下)	0.6～1 m 多年、草木直立	播種	400	噴植草種 邊坡植生、崩塌地植生
義大利黑麥草	*Lolium multiflorum* Italian Ryegrass	中海拔(2,500 m 以下)	0.65～0.75 m	播種	460	噴植草種 高冷地植生、果園覆蓋
多年生黑麥草	*Lolium perenne* Perennial Ryegrass	中海拔(1,500～2,500 m)	0.2～0.3 m 短期、叢生	播種	460	邊坡植生、噴植草種 高冷地植生
五節芒	*Miscanthus floridulus* Japanese Silver Grass	中、低海拔(1,500 m 以下)	2～4 m 多年、叢生	撒播、分株	1,250	荒地植生、惡地植生
百喜草	*Paspalum notatum*	中、低海拔	0.3～0.5 m	播種	350	噴植草

草本種子						
A33 (或小葉品系)	Bahia Grass	(1,500 m 以下)	多年、分蘗			種、草溝、邊坡植生

*：屬外來植物中之侵略種，應謹慎使用，避免影響原生植物生育。

木本種子						
中名	學名及英名	海拔	性狀、習性	繁殖方法	種子粒/g	主要用途
臺灣二葉松	*Pinus taiwanensis* Taiwan Red Pine	中、高海拔 (700～3,000 m)	常綠喬木	播種	80	崩塌地植生、高冷地植生、先驅樹種
烏心石	*Michelia formosana* (Kaneh.) Masamune et Suzuki Formosan Michelia	中、低海拔 (200～2,200 m)	常綠喬木	播種	13	造林樹種、園景樹種
樟樹	*Cinnamomum Camphora* Camphor Tree	中、低海拔 (1,500 m 以下)	常綠喬木	播種	10～15	行道樹、造林樹種
山胡椒	*Litsea cubeba* Mountain Litsea	1,000 m	落葉灌木或小喬木	播種	--	邊坡植生、荒 地植生
相思樹	*Acacia confusa* Taiwan Acacia	中、低海拔 (1,200 m 以下)	常綠中大喬木 高 5 m	播種	42	噴植種子、荒地植生、早期造林樹種
胡枝子	*Lespedeza bicolor* Shrub Lespedeza	中、高海拔	常綠灌木	播種	160	噴植種子、邊坡穩定、荒地植生
水黃皮	*Pongamia pinnata* Poonga-oil Tree	低海拔至沿海地區	半落葉中喬木	扦插、播種	1	海岸植生、生態綠化
楓香	*Liquidambar formosana* Hance Formosan Sweet Gum	平地至海拔 1500 m	落葉大喬木	播種	191	園景樹種、植生、造林樹種
赤楊	*Alnus japonica*	高、中、低海拔	10 m 常綠喬木	播種	1250	崩塌地植生、荒地復

木本種子						
	Formosan Alder	(3,000 m 以下)				舊、先驅樹種
山黃麻	*Trema orientalis* India-charcoal Trema	低海拔 200～1,000 m	常綠喬木	播種	95	邊坡植生、荒地植生、先驅樹種
榔榆	*Ulmus parvifolia* Chinese Elm	低海拔	落葉喬木	播種	---	造林樹種、園景樹種
櫸	*Zelkova serrata* Taiwan Zelkova	中、低海拔 (300～1,400 m 以下)	落葉喬木	播種、扦插	45～50	園景樹種、造林樹種、噴植種子
構樹	*Broussonetia papyrifera* Paper Mulberry	中、低海拔	落葉或半落葉中、小喬木	播種	420	邊坡植生、先驅植物
小葉桑	*Morus australis* Taiwan Mulberry	中、低海拔 100～750 m	落葉喬木	扦插	---	荒地植生、先驅樹種
山芙蓉	*Hibiscus taiwanensis* Taiwan Cotton-rose	中、低海拔	落葉灌木	播種、扦插	500	噴植種子、荒地植生、生態綠化
茄苳	*Bischofia javanica* Autumn Maple Tree	低海拔至山麓地區	常綠半落葉大喬木	播種、扦插	650	濱水帶植生、邊坡植生、綠美化
血桐	*Macaranga tanarius* Macaranga	中、低海拔 (1,000 m 以下)	陽性、速生常綠喬木	播種	---	生態綠化、荒地先驅植物
野桐	*Mallotus japonicus* Japanese Mallotus	中、低海拔 (1,300 m 以下)	半落葉性小喬木	播種	80	邊坡植生、荒地植生
白匏子	*Mallotus paniculatus* Turn In The Wind	低海拔裸坡面	半落葉中喬木	播種	60～70	邊坡植生、生態綠化
白柏	*Sapium discolor* Taiwan Sapium	低海拔	半落葉性中喬木	播種	---	荒地先驅植物、生態綠化
烏桕	*Sapium sebiferum*	低海拔	8～15 m	播種、	13	生態綠化、

木本種子						
	Chinese Tallow Tree		落葉喬木	扦插		濱水帶植生
福木	*Garcinia subelliptica* Common Garcinia	沿海地區或低海拔地區	常綠小喬木	播種	---	海岸防風林、園景樹種
番石榴	*Psidium guajava* Guava	低海拔	5～8 m 常綠小喬木	播種、扦插	380	礦區植生、泥岩植生
九芎	*Lagerstroemia subcostata* Subcostate Crape myrtle	中、低海拔 (1,400 m 以下)	20 m 半落葉喬木	扦插、播種	550～700	邊坡植生、植生木樁、濱水帶植生
苦楝	*Melia azedarach* China tree	中低海拔	落葉喬木	播種	1	濱海植生、生態綠化
臺灣欒樹	*Koelreuteria henryi* Flamegold	低海拔	落葉喬木	播種	25	噴植種子、生態綠化、園景樹種
黃連木	*Pistacia chinensis* Chinese pistacia	低海拔	落葉或半落葉喬木	播種	17	造林樹種、園景樹種
羅氏鹽膚木(山鹽菁)	*Rhus javanica* var. *roxburghiana* Roxbrugh Sumac	中、低海拔 (1,900 m 以下)	半落葉喬木 高 4 m	播種	100～150	邊坡植生、荒地植生
臺灣光臘樹	*Fraxinus griffithii* Formosan Ash	低海拔	半落葉性喬木	播種	110	邊坡植生、造林樹種

備註：目前設計使用羅氏鹽膚木種子時，常有誤用外購種子鹽膚木(Rhus chinensis Mill.)之情形，須確實查。

附錄二、 臺灣常用植生木樁(萌芽樁)一覽表

植物名稱	適用地點	材料來源	生育特性與規格	現地照片
九芎 *Lagerstroemia subcostata* Koehne	1.用於一般土壤挖填方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面等，可防止土砂崩落。 2.亦可做為河溪濱水區之植生樹種。材堅重緻密，有耐蟻性，可為枕木、農具及建築用，且為良好薪炭材。 3.崩塌地打樁編柵施工地區植生復育。	1.原生植物現地採集，現採現用，主要分布於台灣平地至海拔1,400m，瘠地、坡地均見其植物生長。 2.果期 9～12 月；2～8月以扦插育苗爾後栽植；11～12 月採種子播種育苗後栽植。	落葉中喬木，扦插易、耐旱瘠、耐湛水、萌芽率高，係目前台灣最主要且萌芽生長最佳之植物。打樁之木樁採用直徑 6~8cm 為原則。	
黃槿 *Hibiscus tiliaceus* L.	1.主要應用於砂岸之海濱，為海岸生態造林、耕地防風之優良樹種。 2.崩塌地打樁編柵用之植生樁材料。 3.於河岸或水庫岸邊可作為過濾帶或保護帶植物，生長迅速，成活率高。	1.產台灣本島及各離島。 2.春夏季以扦插育苗爾後繁殖。	常綠喬木，樹高 4~10 m。喜生長於沿海地區的鹽地和砂地。	

植物名稱	適用地點	材料來源	生育特性與規格	現地照片
水柳 *Salix warbrugii* O.Seem	1.應用地點於一般土壤挖填方坡面、崩積土或河溝護岸、濱水帶等。 2.可做為水岸保護帶或過濾帶植物，亦可用為泥岩地區農塘週邊之植栽材料。 3.河岸或沿海地區棲地保育主要應用植物材料。 4.生態工法中，水岸柳枝工、編柵工之主要植生木樁材料。	1.原生植物現地採集，特產台灣平地原野及低海拔山地，最高可達海拔 200 m。 2.果實 5～6 月成熟，以種子或插條繁殖，3 月適期。早春適於插條萌芽爾後種植；6~7 月以種子播種育苗移植。	中喬木，高可達 15m，徑 20～40cm，生育於較濕地，不擇土壤，耐旱及耐浸水性均強。	
茄苳 *Bischoffia javanica* Blume	主要應用地點於河岸、開闊之向陽地或荒山復舊。	1.原生植物現地採集，主要分布於台灣海拔 100~700m。 2.果實 4 月至翌年 1 月成熟，以種子繁殖。每公克有約 72 粒種子。6~12 月採種子播種育苗後移植。	半落葉大喬木。喜強光照和濕潤土壤，耐水濕，常見於平地至山麓、山谷疏林濕地或水邊。為速生樹種。	

植物名稱	適用地點	材料來源	生育特性與規格	現地照片
鳥榕 *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq.	植生木椿之主要應用於邊坡穩定，適合栽植於一般土壤向陽之開闊地。	1.原生植物現地採集，主要分布於台灣低海拔地區。 2.全年都可看到開花結果，以種子或插條繁殖，尤易以插條繁殖。2~5 月以扦插萌芽爾後移植。	落葉大喬木，每年落葉 2~3 次。喜向陽乾旱地，不擇土壤。	
稜果榕 *Ficus septica* Burm. F.	1.一般土壤挖填方坡面、崩積土、淺層崩塌坡面。 2.河岸、海岸或生態綠化植栽樹種。	1.原生植物現地採集，普遍分布於台灣低地叢林及海岸。 2.4～10 月開花，1～12 月皆可結果，移植容易，以扦插繁殖為主，亦可用種子繁殖。	常綠喬木，性喜較濕地，不擇土壤。木椿萌芽生根容易，但木質較脆弱、易斷，不利於直接打椿入土。	

植物名稱	適用地點	材料來源	生育特性與規格	現地照片
榕樹 *Ficus microcarpa* L. F.	1.植生木樁適用於一般土壤挖填方坡面、淺層崩塌坡面或海岸地區造林等。 2.每栽植於綠地庭園，為巨大園景樹，供庇蔭乘涼之用。	1.原生植物現地採集，普遍分布於台灣中低海拔各地。 2.全年都可看到開花結果；易以插條繁殖。	常綠大喬木。常自幹、枝垂生氣根，到達地面後形成支柱根，可現採現用。性喜向陽地，不擇土壤，對空氣污染抗害力特強。	
白榕(白肉榕) *Ficus vigata* Reinw. *ex* Blume	1.植生木樁之主要應用地點於台灣南部地區崩積土或淺層崩塌坡面等。 2.為良好的觀賞及綠美化植物，有固土防塌之功；可栽培供觀賞，木材則主為薪柴。	1.原生植物現地採集，產全島平野、山地和海濱，極為普通。 2.全年都可看到開花結果，以種子或插條繁殖。2~6 月以扦插萌芽爾後移植；9~12 月採種子播種育苗後移植。	常綠中喬木，常有許多垂下大氣根而成支持幹。	

植物名稱	適用地點	材料來源	生育特性與規格	現地照片
水黃皮(九重吹) *Pongamia pinnata*(L.)Pierre *ex* Merr.	1.適於公園、庭園、校園、較狹道路美化及海岸地帶、綠美化植物。 2.植生木椿可應用於沿海地區護岸植生。	1.原生植物現地採集，主要產於恆春半島和台灣北部海岸、台東及各離島地區。 2.栽培土質不拘，以富含有機質之砂質埌土最佳。每公克有約 1 粒種子。春夏均可以高壓法育苗後移植；8~12 月採種子播種育苗後移植。	落葉中喬木。喜生長於熱帶海岸林內，對空氣污染之抗害力強，抗風、耐鹽，耐乾旱，耐陰性強，可現採現用，萌芽力強，對土質之選擇不嚴。	
小葉桑 *Morus australis* Poir.	1.主要應用地點於一般土壤挖填方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面等。 2.特別適用於荒坡乾旱地區之植生。	1.原生植物現地採集，普遍生長於台灣中海拔山區。 2.果實 6~8 月成熟，以種子或插條繁殖。1~2 月以扦插萌芽爾後移植；7~9 月採種子播種育苗後移植。	落葉大灌木或小喬木，高可達 8 m。性喜向陽之開闊地，不擇土壤。	

植物名稱	適用地點	材料來源	生育特性與規格	現地照片
破布子 *Cordia dichotoma* Forst. f.	1.植生木椿適用於向陽崩積土或供為防塌植被復舊之樹種。 2.少量人為栽植。	1.原生植物現地採集，主要生長在台灣各地低海拔的森林內。 2.果期 8~10 月，以種子繁殖。9~12 月採種子播種育苗後移植。	落葉小喬木；有極多的分枝。	
刺竹 *Bambusa stenostachya* Hack.	1.可應用為泥岩地區坡腳淤泥之植栽材料、河溝護岸、植生木椿。 2.叢生型竹類因擴張生育範圍極為緩慢，植株可做當防風林及扦止土砂用；用於災後復建，成活較快。	1.台灣低海拔地區多栽植於河岸、村莊附近及山坡地；西南部泥岩地區為早期主要造林植物，成大面積純林生長。但目前無經濟價值。 2.栽植：3~5 月以分株或扦插萌芽爾後移植。	多年生常綠木本。單稈叢生甚密成簇，取得含根之椿材容易，萌芽率較高。木椿之耐用年限約 3～5 年，較常用於中南部低海拔地區。	

植物名稱	適用地點	材料來源	生育特性與規格	現地照片
孟宗竹 *Phyllostachys pubescens*	1.竹類材質具經濟利用價值。 2.散生型因會逐年擴張、其錯綜複雜之地下莖，對水土保持、防止崩塌之效能較叢生型為佳。	1.屬單稈散生型，取得含根之樁材不易。 2.木樁之耐用年限約 5 年，通常用於海拔 800m 以上地區。竹樁若含有根部，耐用年限可略延長 1～2 年。	台灣栽培於海拔 150～1,800m 地區，尤以中部為多。	
麻竹 *Dendrocalamus latiflorus*	1.叢生型竹類因擴張生育範圍極為緩慢，植株可當做防風林及扦止土砂用；用於災後復建，成活較快。 2.適宜在溪流沿岸含水量較多的土壤造林，其次是平地和缓坡地栽植。	1.根莖淺，根系分布範圍狹窄，耐旱力不強。取得含根之樁材容易，可作為植生木樁。 2.木樁之耐用年限約3～5 年，較常用於中北部低海拔地區。竹樁若含有根部，耐用年限可略延長 1～2 年。	台灣普遍栽培，尤以雲林縣古坑鄉為多。	

附錄三、 常用植生工程植物種類一覽表

編號	科別	俗名	學名	生長海拔高	性狀、習性	植生導入方法	種子粒數/公克
1	柏科 Cupressaceae	臺灣肖楠 Taiwan incense-cedar	*Calocedrus macrolepis* var. *formosana*	中北部山區(300-1,900m)	常綠喬木	苗木栽植	-
2	木蘭科 Magnoliaceae	烏心石 Formosan michelia	*Michelia compressa* var. *compressa*	200-2,200m	常綠喬木	苗木栽植	9
3	楊柳科 Salicaceae	水柳 Water willow	*Salix warburgii*	低海拔	落葉喬木	苗木栽植、扦插	-
4	樺木科 Betulaceae	臺灣赤楊 Formosan alder	*Alnus formosana*	3,000m 以下	落葉喬木	播種	1,250
5	殼斗科 Fagaceae	青剛櫟 Ring-cupped oak	*Cyclobalanopsis glauca*	中、低海拔(0-2,000m)	常綠喬木	苗木栽植	-
6	榆科 Ulmaceae	朴樹 Chinese sinensis	*Celtis sinensis*	低海拔	落葉喬木	播種	8~15
7	榆科 Ulmaceae	櫸樹 Taiwan zelkova	*Zelkova serrata*	300-1,400m	落葉喬木	播種、苗木栽植	45~50
8	榆科 Ulmaceae	榔榆 Chinese Elm	*Ulmus parvifolia*	1,000m 以下	半落葉喬木	播種、苗木栽植	-
9	桑科 Moraceae	雀榕 Red fruit fig-tree	*Ficus superba*	低海拔	落葉喬木	苗木栽植、扦插	-
10	樟科 Lauraceae	樟樹 Camphor tree	*Cinnamomum camphora*	中、低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
11	樟科 Lauraceae	土肉桂 Odourbark Cinnamomum	*Cinnamomoum osmophloeum*	低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
12	樟科 Lauraceae	陰香 Burmann's Cassia	*Cinnamomum burmannii*	低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
13	樟科 Lauraceae	紅楠 Common machilus	*Machilus thunbergii*	200-1,800m	常綠喬木	苗木栽植	-
14	樟科 Lauraceae	大葉楠 Large-leaved nanmu	*Machilus japonica* var. *kusanoi*	中、低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-

編號	科別	俗名	學名	生長海拔高	性狀、習性	植生導入方法	種子粒數/公克
15	樟科 Lauraceae	香楠 Incense machilus	*Machlius zuihoensis*	中、低海拔	常綠喬木	苗木栽植	720
16	山茶科 Theaceae	大頭茶 Taiwan gordonia	*Gordonia axillaris*	中、低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
17	山茶科 Theaceae	木荷 Chinese guger-tree	*Schima superba*	中、低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
18	金縷梅科 Hamamelida-ceae	楓香 Formosan sweet gum	*Liquidamber formosana*	中、低海拔(100-1,500m)	落葉喬木	苗木栽植	191
19	豆科 Leguminosae	相思樹 Taiwan acacia	*Acacia confusa*	中、低海拔(1,600m 以下)	常綠喬木	播種、苗木栽植	350
20	豆科 Leguminosae	黃野百合 Common crotalaria	*Crotalaria pallida*	低海拔	直立灌木	播種	191
21	豆科 Leguminosae	胡枝子 Shrub lespedeza	*Lespedeza bicolor*	低海拔	常綠灌木	播種	160
22	豆科 Leguminosae	水黃皮 Poonga-oil tree	*Millettia pinnata*	低海拔	落葉喬木	苗木栽植、播種	1
23	大戟科 Euphorbiaceae	茄苳 Autumn maple tree	*Bischofia javanica*	低海拔	半落葉喬木	播種、苗木栽植、扦插	72
24	大戟科 Euphorbiaceae	白桕 Taiwan sapium	*Sapium discolor*	中、低海拔	半落葉性喬木	苗木栽植	-
25	大戟科 Euphorbiaceae	烏桕 Chinese tallow-tree	*Sapium sebiferum*	低海拔	落葉喬木	苗木栽植	-
26	楝科 Meliaceae	大葉桃花心木 Honduras mahogany	*Swietenia macrophylla*	低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
27	楝科 Meliaceae	苦楝 China tree	*Melia azedarach*	低海拔	落葉喬木	播種、苗木栽植	2
28	槭樹科 Aceraceae	青楓 Green maple	*Acer serrulatum*	中、低海拔	落葉喬木	播種、苗木栽植	40
29	槭樹科 Aceraceae	臺灣三角楓 Taiwan Buerger Maple	*Acer buergerianum* var. *formosanum*	中、低海拔	落葉喬木	苗木栽植	-
30	漆樹科 Anacardiaceae	黃連木 Chinese pistache	*Pistacia chinensis*	低海拔	半落葉喬木	播種、苗木栽植	10

編號	科別	俗名	學名	生長海拔高	性狀、習性	植生導入方法	種子粒數/公克
31	漆樹科 Anacardiaceae	羅氏鹽膚木 Roxburgh sumac	*Rhusjavanica* var. *roxburghiana*	中、低海拔(1,900m 以下)	落葉喬木	播種	100~150
32	無患子科 Sapindaceae	臺灣欒樹 Flamegold	*Koelreuteria henryi*	低海拔	落葉喬木	播種、苗木栽植	16~17
33	無患子科 Sapindaceae	無患子 Soap-nut tree	*Sapindus mukorossi*	中、低海拔	落葉喬木	苗木栽植	73
34	杜英科 Elaeocarpaceae	杜英 Common Elaeocarpus	*Elaeocarpus sylvestris*	中、低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
35	胡頹子科 Elaeagnaceae	楦梧 Oldham elaeagnus	*Elaeagnus oldhamii*	低海拔	常綠灌木	苗木栽植	-
36	錦葵科 Malvaceae	山芙蓉 Taiwan cotton-rose	*Hibiscus taiwanensis*	中、低海拔	半落葉灌木	播種、苗木栽植	430
37	錦葵科 Malvaceae	黃槿 Linden hibiscus	*Hibiscus tiliaceus*	沿海至低海拔(600m 以下)	常綠喬木	扦插、苗木栽植	73
38	千屈菜科 Lythraceae	九芎 Subcostate crape myrtle	*Logerstoremia subcostata*	中、低海拔(1,400m 以下)	半落葉喬木	扦插、苗木栽植	550~700
39	桃金孃科 Myrtaceae	番石榴*Guave tree	*Psidium guajava*	中、低海拔	常綠小喬木	播種	3,800
40	木犀科 Oleaceae	白雞油 Formosan ash	*Fraxinus griffithii*	中、低海拔	半落葉性喬木	苗木栽植	-
41	柿樹科 Ebenaceac	毛柿 Taiwan Ebony	*Diospyros discolor*	低海拔	常綠喬木	苗木栽植	-
42	薔薇科 Rosaceae	山櫻花 Taiwan Cherry	*Prunus campanulata*	中、低海拔	半落葉性喬木	苗木栽植	2
43	豆科 Lehuminosae	鐵掃帚	*Lespedeza cuneata*	低海拔	多年、草木直立	播種	720
44	豆科 Lehuminosae	賽芻豆*	*Macroptilium atropurpureum*	低海拔 500m 以下	多年生藤本	播種	70~75
45	豆科 Lehuminosae	白花三葉草	*Trifolium repens*	中、高海拔(3,000m 以下)	短期、單生蔓莖	播種	700
46	豆科 Lehuminosae	青皮豆	*Glycine max*	低海拔	一年生草本	播種	11~17
47	禾本科 Gramineae	類地毯草	*Axonopus affinis*	2,000m 以下	多年、匍匐莖	播種、草皮	2,500
48	禾本科 Gramineae	地毯草	*Axonopus compressus*	200m 以下	多年、匍匐莖	播種、草皮	2,500

編號	科別	俗名	學名	生長海拔高	性狀、習性	植生導入方法	種子粒數/公克
49	禾本科 Gramineae	羅滋草*	*Chloris gayana*	低海拔	多年、叢生匍匐莖	播種	4,250
50	禾本科 Gramineae	百慕達草	*Cynodon dactylon*	1,100m 以下	多年走莖、宿根	播種、草皮	3,800
51	禾本科 Gramineae	假儉草	*Eremochloa ophiuroides*	中、低海拔(1,800m 以下)	多年、匍匐莖	播種、草皮	1,600
52	禾本科 Gramineae	高狐草(K31F 或綠柏草品系)	*Festuca arundinacea*	中、高海拔 (K31F： 3,000m 以下) (綠柏草： 1,000m 以下)	多年、叢生	播種	400
53	禾本科 Gramineae	多年生黑麥草	*Lolium perenne*	中、高海拔(1,500～2,500m)	多年、叢生	播種	460
54	禾本科 Gramineae	五節芒	*Miscanthus floridulus*	2,500m 以下	多年、叢生	分株、花序播種	1,250
55	禾本科 Gramineae	兩耳草	*Paspalum conjugatum*	2,000m 以下	多年、走莖	播種	4,600
56	禾本科 Gramineae	百喜草(小葉品系)	*Paspalum notatum*	1,500m 以下	多年、分蘗	播種、草皮	350
57	禾本科 Gramineae	培地茅	*Vetiveria zizanioides*	平地	多年、叢生	分蘗播種	-

備註：*施工現地常呈現抑制植物入侵演替情形，使用時應為審慎評估。

附錄四、 常用水土保持草類與特性一覽表

中　　名	學名	生長海拔高	形態	生長速率	繁殖方法	種子粒數/公克	耐瘠	耐旱	耐濕	耐暑	耐寒	耐酸	耐蔭	耐鹽	耐踐踏	主要用途
類地毯草(普通地草)	*Axonopus fissifolius*	中、高海拔(2,000 m 以下)	0.05-0.35m 多年、匍匐莖	中	分株、播種	2,500	••	••	•••	•••	•••	•••	••	••	•••	邊坡穩定、草溝、庭園草皮
地毯草(熱帶地毯草)	*Axonopus compressus*	低海拔(200 m 以下)	0.15-0.4m 多年、走莖	慢	扦插	3,000	••	•	•••	•••	•	••	•••	•	••	林下覆蓋、草皮草種
羅滋草(蓋氏虎尾草)	*Chloris gayana Kunth.*	低海拔地區(500 m 以下)	1-1.45 m 叢生、多年	快	播種	3,333	•••	•••	•	•••	•	••	•	•••	•	鹽地植生、荒地植生
竹節草(蜈蚣草)	*Chrysopogon aciculatus* (Retz.) Trin.	低海拔(700 m 以下)	0.05-0.1m 多年、匍匐莖	慢	分株、扦插	950	•••	•••	•	•••	•	••	••	•••	•••	鹽地植草、天然草地
狗牙根(百慕達草)	*Cynodon dactylon* (L.) Pers.	低海拔(600 m 以下)	0.05-0.4 m 走莖、宿根多年	快	扦插、播種	3,800	••	••	••	•••	•	•••	•	•••	•••	天然草地、噴植草種、邊坡植生
改良品系百慕達草	*Cynodon dactylon* C. transvaalensis	低海拔(600 m 以下)	走莖地下化、節間短	中	扦插	-----	••	••	••	••	•	••	•	••	••	球場草皮、庭園草皮

中　名	學名	生長海拔高	形態	生長速率	繁殖方法	種子粒數/公克	耐瘠	耐旱	耐濕	耐暑	耐寒	耐酸	耐蔭	耐鹽	耐踐踏	主要用途
果園草(鴨茅)	*Dactylis glomerata* L.	高海拔 (2,500 m 以下)	0.5-0.7m 叢生、多年	中	分株、播種	820	••	••	••	•	•••	••	•••	•	•	高海拔草種、果園覆蓋
戀風草(垂愛草)	*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees.	低海拔	0.7-0.8m 叢生、多年	中	播種	-----	••	••	•	•••	•	•	•	••	•	草帶草種、台壁植草
假儉草(蜈蚣草、林口草)	*Eremochloa opiuroides* (Munro) Hack.	中、低海拔 (1,400 m 以下)	0.05-0.15m 多年、匍匐莖	中	分株、播種	1,600	•••	••	••	•••	••	•••	••	••	••	草皮草種、邊坡植生
高狐草 (葦狀羊茅)	*Festuca arundinacea* Schreb	中、高海拔 (3,000 m 以下)	0.5-1 m 深根、叢生多年	快	播種	400	••	•••	••	••	•••	••	••	•	•	崩塌地植生、噴植草種
多年生黑麥草(黑麥草)	*Lolium perenne* L.	高海拔 (1,500~2,500 m)	0.2-0.4m 叢生、短期	快	播種	460	••	•	••	•	•••	••	••	•	•	噴植草種
五節芒(芒草、菅芒)	*Miscanthus floridulus* (Labill) Warb.	中、低海拔 (2,500 m 以下)	2-4m 多年、叢生	快	播種、分株	1,250	•••	•••	•	•••	••	•••	••	•••	••	荒地植生、邊坡穩定
兩耳草(毛穎雀稗)	*Paspalum conjugatum* Berg.	中、低海拔 (2,000 m 以下)	0.05-0.3m 高走莖、多年	快	扦插	4,600	••	•••	•••	•••	••	••	•••	••	•••	天然草地、果園天然覆蓋

中　名	學名	生長海拔高	形態	生長速率	繁殖方法	種子粒數/公克	耐瘠	耐旱	耐濕	耐暑	耐寒	耐酸	耐蔭	耐鹽	耐踐踏	主要用途
大理草(毛花雀稗)	*Paspalum dilatatum* Poir.	中海拔(2,000 m 以下)	0.5-1.5m叢生、多年	中	分株、播種	460	••	••	••	••	•••	••	•••	••	••	邊坡植生、果園覆蓋
百喜草(大葉品系A44)	*Paspalum notatum* Flugge	中、低海拔(800 m 以下)	0.3-0.5m多年、分蘗	中	分株、播種	350	••	••	••	•••	••	•••	••	••	••	草帶草種、草溝、果園覆蓋
百喜草(小葉品系A33)	*Paspalum notatum* Flugge	中、低海拔(1,500 m 以下)	0.3-0.5m多年、分蘗	中	分株、播種	350	••	••	••	•••	••	••	••	••	••	邊坡面植生、草溝、噴植草種
海雀稗	*Paspalum vaginatum*	沿海地區	匍匐	慢	分株、扦插	-----	•••	•••	•••	•••	•	•	••	•••	••	定砂草種、鹽地植生
舖地狼尾草(克育草)	*Pennisetum clandestinum* Hoohst. ex Chiov.	中海拔(500~2,000m)	植株變化大多年、分蘗	快	扦插	-----	•••	•••	••	•	•••	••	••	••	•••	邊坡穩定、中高海拔草原
狼尾草	*Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng	中海拔(1,500 m 以下)	2-4m叢生、多年	快	分株、播種、扦插	143	•••	•••	•••	••	•	••	••	•••	•	防風定砂、荒地植生

中　名	學名	生長海拔高	形態	生長速率	繁殖方法	種子粒數/公克	耐瘠	耐旱	耐濕	耐暑	耐寒	耐酸	耐蔭	耐鹽	耐踐踏	主要用途
甜根子(草濱芒、野蔗、甘蔗萱)	*Sactharum spontaneum* Linn.	沿海地區	1-3 m 叢生直立、多年	中	分株、扦插	-----	•••	•••	•	•••	•	•	••	•••	•	防風定砂、防風草帶
濱刺麥(濱刺草、貓鼠刺)	*Spinifex littoreus* (Burm. f.) Merr.	沿海地區	0.3-1.0m 多年、宿根、匍匐莖	中	分株、扦插	-----	•••	•••	••	•••	•	•	•	•••	•	定砂草種
奧古斯丁草(鈍葉草、聖奧古斯丁草)	*Stenotaphrum secundatum* (Walt.) Kuntze	低海拔 (500 m 以下)	0.05-0.2m 多年、匍匐莖	中	扦插	-----	••	•••	••	•••	•	••	•••	•••	•••	海岸植生、泥岩植生
培地茅(香根草)	*Chrysopogon zizanioides*	低海拔	1-3m 多年、叢生	快	分株	-----	•••	•••	••	•••	•	•••	••	•••	••	草帶草種、惡地植生、荒地植生
馬尼拉芝(斗六草品系)	*Zoysia matrella* (L.)Merr	低海拔至沿海地區	0.05-0.1m 多年、匍匐莖	快	扦插	-----	•	••	••	•••	•	••	••	••	••	海岸植生、植被覆蓋
高麗芝(臺北草)	*Zoysia tenuifolia* Willd. ex Trin.	低海拔至沿海地區	3-8cm 匍匐莖、多年	慢	分株、扦插	-----	•	••	•	••	••	••	••	••	••	草皮草種、庭園植草

水土保持手冊

編著者：行政院農業委員會水土保持局

發行人：李鎮洋

發行所：行政院農業委員會水土保持局

策劃指導人員：李鎮洋、林長立、孫明德、王晉倫、連榮吉、柯燦堂、徐森彥、蔡金龍、陳重光、范世億、尹孝元、黃振全、簡俊發、陳榮俊、傅桂霖、王志輝、陳淑媛

編修召集人員：陳樹群(總論篇)、冀樹勇(基本資料調查與分析篇)、唐琦(農藝篇)、林信輝(植生篇)、馮正一(工程篇)、連惠邦(土石流篇)

編審人員：丁文博、王文能、王志雄、王志豪、王志賢、王咏潔、王傳益、王德鏞、何幸娟、吳久雄、吳俊鋐、吳瑞鵬、吳嘉俊、吳聲傑、宋有鍊、宋國彰、巫建達、李木青、李正鈞、李仲強、李佳純、李典耕、李新源、李璟芳、周良勳、周祖明、林仕修、林可薇、林正源、林伯勳、林宏鳴、林宜瑩、林秉賢、林俐玲、林美聆、林國財、林崑龍、武德玲、邱啟芳、施東隆、施東榮、施賢聰、段錦浩、洪勇善、洪崇仁、徐浚祐、高伯宗、張三郎、張玉莽、張光宗、張承遠、張國欽、張勝豐、張集豪、張維訓、張曉康、曹舜評、曹鼎志、梁家齊、許中立、許振崑、許朝欽、連宮瑩、郭玉麟、郭瑞民、陳子裕、陳沛霖、陳俊愷、陳昶憲、陳美珍、陳振宇、陳勝全、陳智誠、陳智賢、陳鶴勳、曾彩欣、游元興、游繁結、黃宏斌、黃志彰、黃盈彰、黃韋凱、黃國鋒、黃博暉、黃瀞瑩、楊孟潭、葉一隆、詹錢登、廖瑞堂、劉西河、潘鴻冀、蔡宗翰、蔡明發、蔡易達、鄭名凱、盧啟榮、蕭國亮、蕭震洋、賴育廷、賴承農、賴旺坤、謝平城、謝正倫、謝杉舟、謝斌宏、鍾明劍、鍾庫比亞、簡仔貞、魏倫瑋、嚴曉嘉、蘇苗彬、蘇郁婷、鐘啟榮 (以姓氏筆畫為序)

行政統籌：王上維、蕭震洋、顏川舜 (以姓氏筆畫為序)

美　　編：何亦桓

地址：54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號

電話：(049)2394300

網址：本書同時刊載於行政院農業委員會水土保持局全球資訊網站(https://www.swcb.gov.tw)

編印日期：中華民國 106 年 12 月

定　　價：1000 元

G P N：1010602832

I S B N：978-986-05-5344-4

著作權：本刊著作權歸行政院農業委員會水土保持局所有

行政院農業委員會
水土保持局
與您一起打拼

行政院農業委員會水土保持局
54044南投市中興新村光華路6號
http://www.swcb.gov.tw