



水土保持單元叢書02

透過性防砂壩

Permeable-type Dam

序

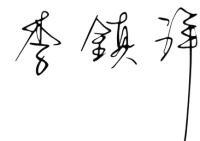
目前水土保持領域主要參考資料，包括水土保持法及其技術規範、水土保持手冊，前者係屬原則性之法規規定，後者則以精簡實用為主。但因水土保持問題與自然複雜的環境變遷息息相關，除了依據法規執行與參考水土保持手冊相關內容所提供之資源外，各項水土保持處理單元及細部議題，應更深入即時以較為寬廣完整之方式予以細緻的呈現。因此，基於水土保持法、水土保持技術規範及水土保持手冊之架構下，將水土保持各項議題和工法之特性及應用，規劃以「單元叢書系列」方式將其設計內容及應用分析更加詳實予以編修，以提供工程師在從事水土保持處理與維護時之參採依循，實屬必要。

本冊「透過性防砂壩」單元叢書架構內容，除針對切口壩與梳子壩等透過性防砂壩，描述基本之定義目的、種類適用範圍、規劃設計原則、安定檢算及設計圖說案例等細部內容外，更進一步將規劃設計原則與步驟予以流程化，並同時提供切口壩與梳子壩設計實例與水文分析流程，使讀者可快速清楚了解透過性防砂壩之設計過程、實際應用與防砂效益功能。

本冊單元叢書撰寫過程與內容，在諮詢水土保持相關技師公會與學者專家之寶貴意見，並承諸多先進前輩及本局同仁踴躍提供意見之下，最終方使得編修工作圓滿完成，謹致萬分謝忱！

行政院農業委員會

水土保持局 局長



謹誌

2018年02月

目錄

目錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	VI
第一章 定義與目的	1-1
1.1 定義.....	1-1
1.2 目的與功能.....	1-2
第二章 種類及適用範圍	2-1
2.1 切口壩(Slit dam).....	2-1
2.2 梳子壩(Comb dam)	2-3
2.3 格子壩(Grid-type dam).....	2-5
第三章 規劃設計原則	3-1
3.1 規劃設計之順序.....	3-1
3.2 各部圖說.....	3-3
3.3 資料蒐集.....	3-6
3.4 壩址選擇.....	3-9
3.5 地形調查與測繪.....	3-10
3.6 溢洪口設計.....	3-15
3.7 壩體開口設計.....	3-26
3.8 壩體設計.....	3-29
3.9 壩翼設計.....	3-48
3.10 基礎設計.....	3-54
3.11 下游保護工設計(消能設施)	3-55
3.12 注意事項.....	3-62
第四章 案例分析.....	4-1
4.1 切口壩設計案例.....	4-2
4.2 梳子壩設計案例.....	4-31
附錄.....	附錄-1
附錄一、Horner 公式相關係數值	附錄-1

附錄二、無因次降雨強度公式係數與平均雨量表.....	附錄-20
附錄三、水文分析流程-以橫流溪為例	附錄-27
附錄四、透過部斷面樑柱間距.....	附錄-58
參考文獻.....	參考-1

表目錄

表 1-1 土石流與一般挾砂水流之差異比較	1-1
表 3-1 水土保持技術規範之逕流係數	3-18
表 3-2 三角形單位歷線洪峰係數與 m 值修正表	3-22
表 3-3 有效降雨延時推估	3-22
表 3-4 出水高與排洪量參考表	3-23
表 3-5 壩頂厚度選取參考表	3-29
表 3-6 防砂壩安定檢算考慮作用力一覽表	3-30
表 3-7 泥砂特性與其內摩擦角一覽表	3-34
表 3-8 各種基礎類型之浮力係數值	3-35
表 3-9 地震分區表	3-36
表 3-10 防砂壩安定計之算各式情況列表	3-40
表 3-11 各種基礎類型與混凝土之摩擦係數	3-43
表 3-12 混凝土之容許應力	3-43
表 3-13 各種基礎類型之容許承载力	3-44
表 3-14 竹節鋼筋尺度表	3-52
表 3-15 鋼筋混凝土之容許握裹力表(N/mm ²)	3-53
表 3-16 混凝土之容許剪應力表(N/mm ²)	3-53
表 3-17 截水牆嵌入深度	3-57
表 4-1 集集雨量站頻率分析結果	4-2
表 4-2 集流時間計算表	4-3
表 4-3 壩體處基本參數表	4-5
表 4-4 壩體參數設定	4-6
表 4-5 溢洪口斷面設計	4-7
表 4-6 參數設定及計算	4-10
表 4-7 水文基本參數表	4-32
表 4-8 壩體處基本參數表	4-33
表 4-9 壩體參數設定	4-34
表 4-10 溢洪口斷面設計	4-35

表 4-11 參數設定及計算	4-39
表 4-12 受力情況表	4-62
表 4-13 抗剪及抗彎檢算表	4-62
表 4-14 受力情況表	4-64
表 4-15 抗剪及抗彎檢算表	4-64
表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-1
表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-5
表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-11
表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-14
表附-5 氣象局北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-17
表附-6 氣象局中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-18
表附-7 氣象局東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-18
表附-8 氣象局南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數	附錄-19
表附-9 離島各雨量站係數表	附錄-20
表附-10 北部地區各雨量站係數和年平均雨量表	附錄-20
表附-11 中部地區各雨量站係數表	附錄-21
表附-12 南部地區各雨量站係數表	附錄-22
表附-13 東部地區各雨量站係數表	附錄-23
表附-14 北部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-24
表附-15 東部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-24
表附-16 中部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-25
表附-17 南部地區各雨量站之年平均雨量表	附錄-26
表附-18 中央氣象局東勢氣象站歷年統計資料表	附錄-28
表附-19 鄰近雨量站測站基本資料表	附錄-29
表附-20 中央氣象局白冷雨量站歷年統計資料表	附錄-30
表附-21 經濟部水利署白鹿雨量站歷年統計資料表	附錄-30
表附-22 集水區基本資料	附錄-31
表附-23 集流時間計算	附錄-31
表附-24 三角單位歷線所需之參數	附錄-32
表附-25 三角單位歷線計算值	附錄-32

表附-26	St 計算表	附錄-34
表附-27	單位歷線轉換過程	附錄-36
表附-28	雨量資料	附錄-37
表附-29	一日最大暴雨量取自然對數表	附錄-37
表附-30	雨量資料參數計算	附錄-38
表附-31	極端值一型分布計算公式	附錄-39
表附-32	極端值一型分布計算結果	附錄-39
表附-33	皮爾遜第三型分布計算公式	附錄-40
表附-34	皮爾遜第三型分布計算結果	附錄-40
表附-35	對數皮爾遜第三型分布計算公式	附錄-41
表附-36	對數皮爾遜第三型分布計算結果	附錄-41
表附-37	三參數對數常態分佈計算公式	附錄-42
表附-38	三參數對數常態分佈計算結果	附錄-42
表附-39	極端值一型區間上限計算表	附錄-44
表附-40	皮爾遜三型區間上限計算表	附錄-44
表附-41	對數皮爾遜三型區間上限計算表	附錄-44
表附-42	三參數對數常態分佈區間上限計算表	附錄-44
表附-43	卡方分布臨界值表	附錄-45
表附-44	SE 檢定相關參數.....	附錄-46
表附-45	極端值一型 SE 檢定表.....	附錄-47
表附-46	皮爾遜三型 SE 檢定表.....	附錄-48
表附-47	對數皮爾遜三型 SE 檢定表.....	附錄-49
表附-48	三參數對數常態分佈 SE 檢定表.....	附錄-50
表附-49	重大颱風事件雨量資料	附錄-51
表附-50	流量疊加計算表	附錄-53

圖目錄

圖 1-1 透過性壩治理土石流之性能	1-2
圖 1-2 土石流通過透過性防砂壩之流動變化示意圖	1-3
圖 2-1 切口壩示意圖	2-2
圖 2-2 切口壩現場照片	2-2
圖 2-3 混凝土梳子壩示意圖	2-4
圖 2-4 混凝土鋼構梳子壩示意圖	2-4
圖 2-5 梳子壩現場照片	2-4
圖 2-6 逆坡穩定結構示意圖	2-5
圖 2-7 格子壩示意圖	2-6
圖 2-8 格子壩現場照片	2-6
圖 3-1 設計流程	3-2
圖 3-2 透過性防砂壩各部位示意圖	3-4
圖 3-3 透過性防砂壩側視圖	3-5
圖 3-4 地形調查與測繪工作流程圖	3-10
圖 3-5 流域等高線分布圖	3-12
圖 3-6 流域等高線分布圖	3-12
圖 3-7 勞倫生法示意圖	3-13
圖 3-8 溢洪口示意圖	3-15
圖 3-9 防砂壩設置於直線溪段	3-15
圖 3-10 防砂壩設置於彎曲溪段	3-16
圖 3-11 各式形狀之溢洪口示意圖	3-16
圖 3-12 溢洪口複式斷面示意圖	3-17
圖 3-13 三角形單位歷線圖	3-20
圖 3-14 溢洪口斷面示意圖	3-23
圖 3-15 耐磨鋼板加裝於溢洪口	3-25
圖 3-16 防砂壩溢洪口使用廢輪胎之保護措施	3-25
圖 3-17 透過部斷面圖	3-28
圖 3-18 防砂壩受上揚力作用示意圖	3-35

圖 3-19 表面調查法	3-39
圖 3-20 表面調查法調查區域示意圖	3-39
圖 3-21 壩體受力偏矩示意圖	3-41
圖 3-22 滑動力示意圖	3-42
圖 3-23 基腳被動土壓力計算示意圖	3-42
圖 3-24 土石流巨礫撞擊梳子壩壩柱	3-46
圖 3-25 梳子壩搭配廢輪胎保護設施	3-47
圖 3-26 透過性防砂壩側視示意圖	3-48
圖 3-27 壩翼頂面與溪岸高度示意圖	3-49
圖 3-28 壩翼具有斜度之溢洪口斷面示意圖	3-50
圖 3-29 壩翼補強示意圖	3-50
圖 3-30 基礎深度示意圖	3-54
圖 3-31 基腳示意圖	3-55
圖 3-32 靜水池池底水平狀況示意圖	3-56
圖 3-33 側牆示意圖	3-58
圖 3-34 側牆配置示意圖	3-59
圖 3-35 護坦具斜坡狀況示意圖	3-60
圖 3-36 逆坡式護坦示意圖	3-60
圖 3-37 主壩、副壩關係示意圖	3-61
圖 4-1 設計流程	4-1
圖 4-2 粗坑吊橋上游野溪整治工程之防砂壩	4-2
圖 4-3 50 年重現期流量歷線	4-4
圖 4-4 細部設計圖說	4-8
圖 4-5 壩體各部尺寸圖	4-9
圖 4-6 未淤滿、普通流量、地震時之防砂壩示意圖	4-13
圖 4-7 未淤滿、最大流量、無地震時之防砂壩示意圖	4-16
圖 4-8 淤滿、最大流量、無地震時之防砂壩示意圖	4-19
圖 4-9 淤滿、普通流量、地震時之防砂壩示意圖	4-22
圖 4-10 淤滿、普通流量、無地震、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時之防砂壩示意圖	4-25

圖 4-11 未淤滿、普通流量、無地震、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時之防砂壩示意圖.....	4-28
圖 4-12 山美 2 鄰野溪災害復建工程之梳子壩.....	4-31
圖 4-13 工程規劃配置圖.....	4-31
圖 4-14 細部設計圖說.....	4-37
圖 4-15 梳子壩示意圖.....	4-38
圖 4-16 未淤滿、地震、普通流量時之防砂壩示意圖.....	4-43
圖 4-17 未淤滿、無地震、最大流量時之防砂壩示意圖.....	4-46
圖 4-18 淤滿、無地震、最大流量時之防砂壩示意圖.....	4-49
圖 4-19 淤滿、地震、普通流量時之防砂壩示意圖.....	4-52
圖 4-20 淤滿、無地震、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時之防砂壩示意圖.....	4-55
圖 4-21 未淤滿、無地震、土石流體衝擊力及巨礫撞擊之防砂壩示意圖.....	4-58
圖 4-22 巨礫撞擊壩柱示意圖.....	4-63
圖 4-23 巨礫撞擊壩柱示意圖.....	4-65
圖附-1 橫流溪集水區鄰近雨量站分布圖.....	附錄-28
圖附-2 三角單位歷線計算示意圖.....	附錄-33
圖附-3 計算後之三角歷線分佈.....	附錄-33
圖附-4 卡方檢定計算過程.....	附錄-43
圖附-5 雨型計算方法.....	附錄-51
圖附-6 流量歷線圖.....	附錄-57

第一章 定義與目的

1.1 定義

透過性壩(permeable-type dam)係指在非透過性壩(impermeable-type dam)溢洪口處切出各種形狀的開口，並用混凝土或鋼構材料於開口處建構柱、樑等。平時一般挾砂水流所攜出的土砂礫石及水流可以自由穿過而不蓄積，使壩體上游可以維持適當之貯砂空間，以備土石流或高含砂流來臨時，可適時發揮攔阻土砂和延遲流出時間之效果，達到消滅土石流規模之橫向構造物。

土石流(debris flow)是一種高含砂濃度的水砂石混合兩相流，其主要的運動特徵是，具有大量土砂礫石集中，並呈隆起的先端部，而以段波形態作高速運動的流動體。由於速度快、含砂量高，使得流動過程中，直進性特強，破壞力極大，異於一般挾砂水流與土體崩塌，土石流與一般挾砂水流之基本差異整理於表 1-1。

表 1-1 土石流與一般挾砂水流之差異比較

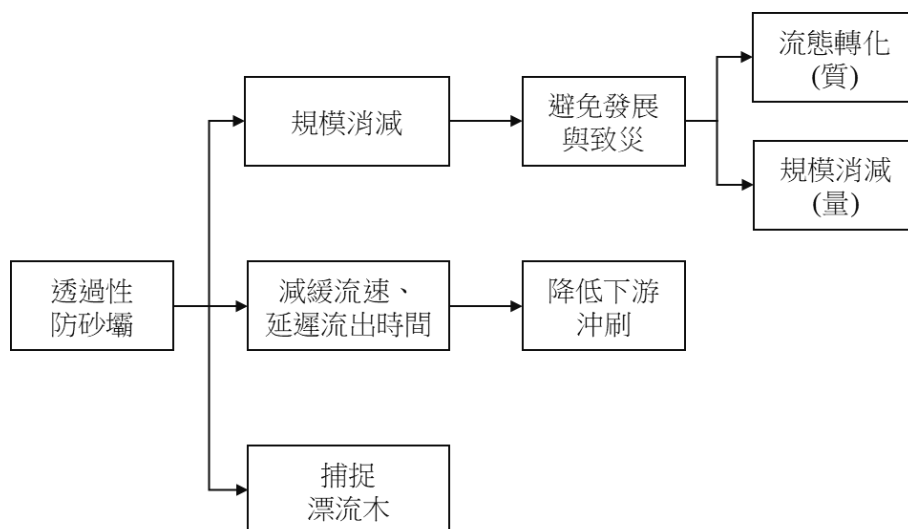
特性	土石流	挾砂水流
搬運方式	集體搬運	個別搬運
搬運力量	以土體為主	以水體為主
礫石分布	巨礫集中在前端	無明顯分布特徵
顆粒組成	粒徑組成寬廣， 小至黏土、大至塊石巨礫	粒徑組成較均勻
堆積性狀	整體堆積，粗顆粒堆積在前端	沿流動方向堆積，具分選性， 細顆粒分布於前端
泥砂含量	體積濃度約在 0.28 以上	體積濃度低
溪床沖刷型態	溪床及兩岸皆呈強烈沖刷， 植生連根帶走	具有一般沖刷及局部沖刷特 徵，仍有植生狀況
流體黏滯性	高	低
運動型態	直進性強	依情況而定

資料來源：水土保持手冊(2017)

1.2目的與功能

透過性壩係於土石流通過時，由壩體上游的有效貯砂空間，適時發揮攔阻較粗顆粒之礫塊石和延遲流出時間之效果，以消滅土石流的勢能與發展及避免致災規模擴大，具有之功能如圖 1-1 所示，包括：

- 1.攔阻土石流或巨大岩塊，調節土石流及高含砂流之土砂輸出量，消滅土石流規模，如圖 1-2 所示。
- 2.降低土石流土砂濃度，使其成為一般挾砂水流，即流態轉化。
- 3.延遲土石流或高含砂流流出扇狀地之時間。
- 4.攔阻漂流木，防止溪床淤積物移動。
- 5.透過性壩體不阻礙水流正常的流出且較不影響魚類生物之上溯，對溪流生態、棲地環境之影響較輕微。



資料來源：修改自水土保持手冊(2017)

圖 1-1 透過性壩治理土石流之性能

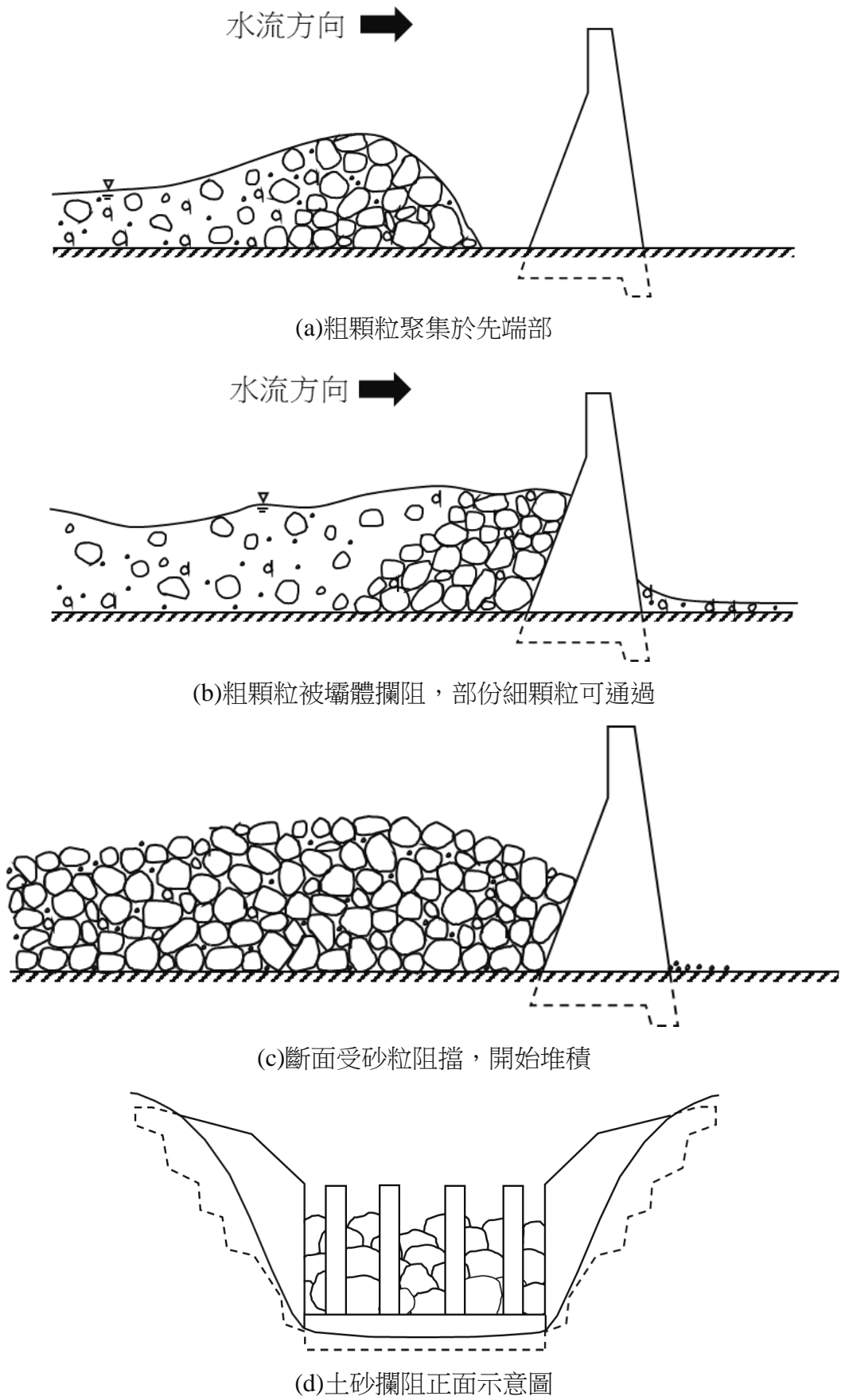


圖 1-2 土石流通過透過性防砂壩之流動變化示意圖

第二章 種類及適用範圍

透過性壩具有多種型式，較常被運用於野溪整治之透過性壩，包括：切口壩、梳子壩及格子壩等。

2.1 切口壩(Slit dam)

於非透過性壩之溢洪口處切出各種形狀的開口即為切口壩，圖 2-1 為各種形式之切口示意圖，切口使一般挾砂水流所攜出的土砂礫石及水流可部份穿過而較少蓄積，以保留足夠的貯砂空間來攔蓄土石流攜出之大量土砂，為透過性壩之基本型態，其他壩體形式皆由切口壩演變而來，圖 2-2 (a)為一般矩形切口壩，而(b)屬特殊形狀之切口壩。

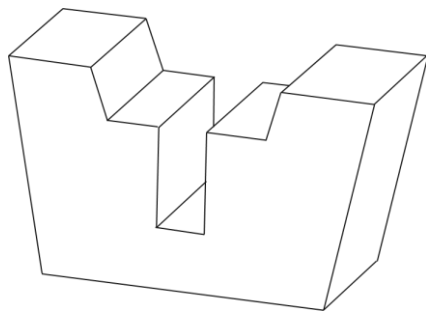
切口壩適用於溪幅較寬之溪流，且其切口寬度較具彈性，適用於床質粒徑較大之溪流，不易遭土石淤滿，使壩體上游維持部分空庫狀況。其優缺點整理如下：

1. 優點

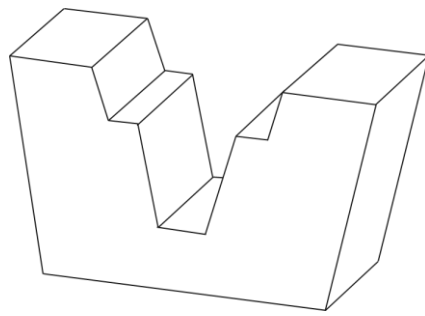
- (1)引導水流自切口處流出，達成穩定流心之效果。
- (2)改善重力式防砂壩無選擇性攔阻土砂之缺點。粒徑較小、土砂量不多之一般山地洪流得以順利由中間切口自由流出，適當補充壩體下游之土砂，不致於造成河床沖刷而溪床下降。待土石流發生時，方有足夠貯砂空間。
- (3)切口壩空庫狀態時保有部分生物縱向通道，維持河川廊道連續性，對溪流生態、棲地環境之影響較重力式防砂壩輕微。

2. 缺點

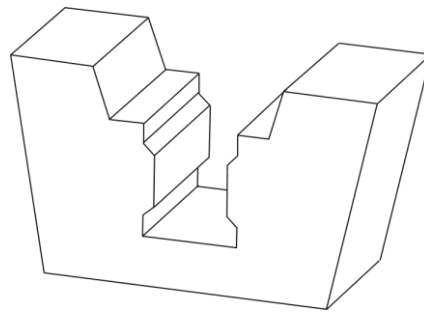
全斷面僅留一處切口，水流集中於切口流出，產生束水攻砂現象，對下游壩體基礎穩定性較不利，因此宜加強下游保護工之設計。



(a) 矩形切口



(b) 梯形切口



(c) 特殊形狀切口(以東西坑溪造型為例)

圖 2-1 切口壩示意圖



圖片來源：行政院農業委員會水土保持局-
粗坑吊橋上游野溪整治工程

(a) 矩形切口



圖片來源：行政院農業委員會水土保持局-
東西坑溪崩塌地及野溪治理五期工程

(b) 特殊形狀切口

圖 2-2 切口壩現場照片

2.2梳子壩(Comb dam)

梳子壩由切口壩演變而來，於切口壩之切口處以混凝土或鋼材構築若干等間距或不等間距之條狀壩體，其形狀似梳子，混凝土構築之梳子壩如圖 2-3 及如圖 2-5(a)所示，而混凝土鋼構梳子壩如圖 2-4 及圖 2-5(b)所示。

梳子壩適用於土石流潛勢溪流流量較大之流動段，且其梳柱間之開口寬度較切口壩小，過壩水流之礫石粒徑也相對較小，對下游區域的威脅性降低，故也適用於下游之溪段上，優缺點整理如下：

1.優點

- (1)對中、小規模土石流而言，可將土石流流動型態轉化為一般挾砂水流並降低危害程度。
- (2)具有較高的通透性，可將水流較均勻地分佈於全斷面上，不會形成集中水流，造成壩體下游溪床土砂之嚴重沖刷現象。
- (3)可蓄積洪水及土石流所挾帶之大量土石，延遲其到達下游時間，降低其尖峰流量。
- (4)設施量體相對較小，視野穿透性佳。
- (5)可以利用梳子壩攔粗排細之特點，維持壩體一定的貯砂容積，以攔阻粗粒石料，達到減災防災之目的。
- (6)空庫狀態時保持水域縱向暢通，避免阻斷魚類等水生生物之上下游棲地連續性，對溪流生態棲地環境之影響較輕微。
- (7)土、砂石淤滿後，洪水退去時會帶出部分淤積之較小砂石，淤積量減少，攔阻砂石之空間自然回復。
- (8)混凝土鋼構梳子壩之鋼構部分屬鋼製品，其形狀及尺寸選擇較為多元化，材料重量較小，可於現地或預先組立，視現地施工條件而定。
- (9)混凝土鋼構梳子壩之鋼構部分能根據現場狀況設計不同型式，以吸收衝撞運動能量。

2.缺點

- (1)當開口寬度較小時，壩體所攔阻的固體顆粒易堆疊成一逆坡之穩定結構，致使梳子間通透空間受阻，如圖 2-6，僅能透過平時中小水流帶出部分較小砂石，較難透過上游流量自然清除淤砂，故須配合便道或溪底路，以便清疏，維持設計淤砂空間。
- (2)混凝土鋼構梳子壩之鋼構部分較易鏽蝕，必須經常性維護且維護作業繁雜。
- (3)混凝土鋼構梳子壩之鋼構部分遭受土石撞擊極易變形。

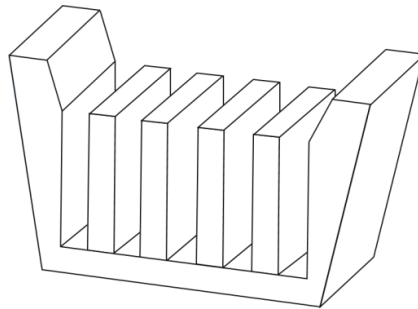


圖 2-3 混凝土梳子壩示意圖

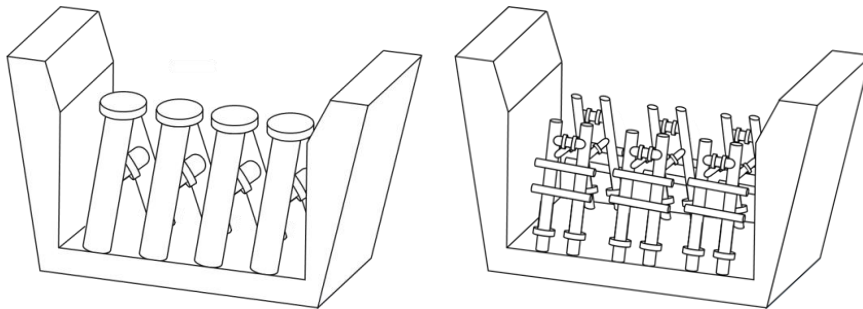


圖 2-4 混凝土鋼構梳子壩示意圖



圖片來源：水土保持手冊(2017)

(a)混凝土壩柱



圖片來源：行政院農業委員會林務局-嘉農溪

(b)鋼構壩柱

圖 2-5 梳子壩現場照片

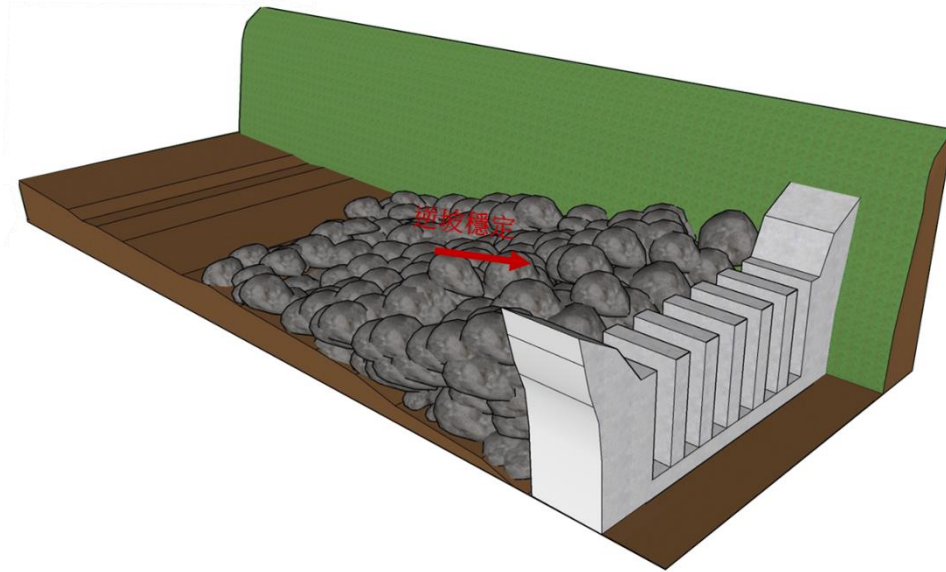


圖 2-6 逆坡穩定結構示意圖

2.3 格子壩(Grid-type dam)

以鋼材組成立體格子狀之透過性壩，如圖 2-7 所示。適用範圍與鋼構梳子壩相同，其優缺點整理如下：

1. 優點

- (1) 可蓄積洪水及土石流所挾帶之大顆粒砂石，延遲其到達下游時間，降低其尖峰流量。
- (2) 對中、小規模土石流而言，可將土石流流動型態轉化為一般挾砂水流並降低危害程度。
- (3) 空庫狀態時可保持水域縱向暢通，避免阻斷魚類等水生生物之上下游棲地連續性，對溪流生態棲地環境之影響較輕微。
- (4) 設施量體相對較小，視野穿透性佳。
- (5) 可於現地或預先組立，視現地施工條件而定。

2.缺點

- (1)構架較複雜，易遭異物阻塞及鏽蝕，維護作業較為繁雜。
- (2)當格子寬度較小時，壩體所攔阻的固體顆粒易堆疊成一逆坡之穩定結構，致使梳子間通透空間受阻，僅能透過平時中小水流帶出部分較小砂石，較難透過上游流量自然清除淤砂，故須配合便道或溪底路，以便清疏，維持設計淤砂空間。
- (3)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，宜加強其下游壩體基礎保護之設計。
- (4)鋼製品遭受土石撞擊極易變形。

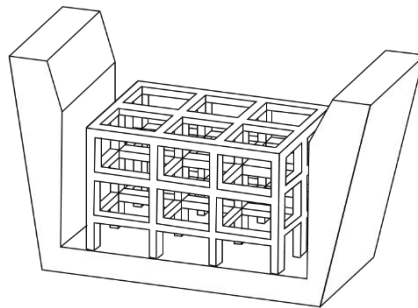


圖 2-7 格子壩示意圖



圖片來源：行政院農業委員會水土保持局-信義鄉豐丘村

圖 2-8 格子壩現場照片

第三章 規劃設計原則

透過性防砂壩之設計流程著重於規劃與設計，且得依序進行，本章節依照設計歷程，說明如何規劃防砂壩，並解說壩體各部位之用途及設計原則。

3.1 規劃設計之順序

透過性防砂壩設計流程如圖 3-1 所示，針對各步驟進行詳細說明如下：

1. 事先須收集雨量、地質、地形及土石粒徑等相關資料，再配合實地的勘查，選定治理溪段，確定壩址位置。
2. 須對整治溪流及其上、下游段之縱、橫斷面與地形進行測量。
3. 利用現地測量與資料收集之地形資料進行分析，計算出溪床坡度、參考河床粒徑以及訂定計畫淤砂坡度。
4. 訂定計畫淤砂坡度後，需進行當地之逕流分析、流量推估及水文水理之時間、空間特性分析，以利於選定防砂壩的型式。
5. 確定壩址與壩型後，接著要進行壩體的設計，首要是先設計其溢洪口。溢洪口的設計需考量壩軸的位置、方向，以及溢洪口的形狀、斷面計算等，以達到經濟且安全之溢流為主。
6. 溢洪口設計完畢後，須根據土石流水理分析及粒徑調查結果設計壩體開口部的寬度、高度及位置的配置，以控制流心且有效攔阻土石流與漂流木。
7. 隨後則針對壩體本身之高度、厚度、斷面以及水、砂石對於壩體本身之作用力進行設計分析，且設計完之壩體須在空庫、淤滿、洪水及地震等各種情況下通過滑動、傾倒及承載力安定分析；而在土石流情況下可抵抗土石流流體衝擊力及巨礫撞擊力，若存在可能滑動、傾倒或破損之疑慮，則應重新設計壩體之高度、厚度及斷面，並選用抗撞擊之壩體材料。
8. 若壩體設計通過了安定分析，接著應設計壩翼頂部之型態、厚度、坡度，以及壩翼嵌入溪岸邊坡之深度。而後可進行壩體之基礎設計，設計壩體之基礎深度以及基腳，以能維持壩體穩定為原則。
9. 在壩體設計大致完成後，須參酌當地溪流之地形、水文水理特性，以及所設計壩體之型態，在壩的下游面增設靜水池、護坦或副壩等保護工。

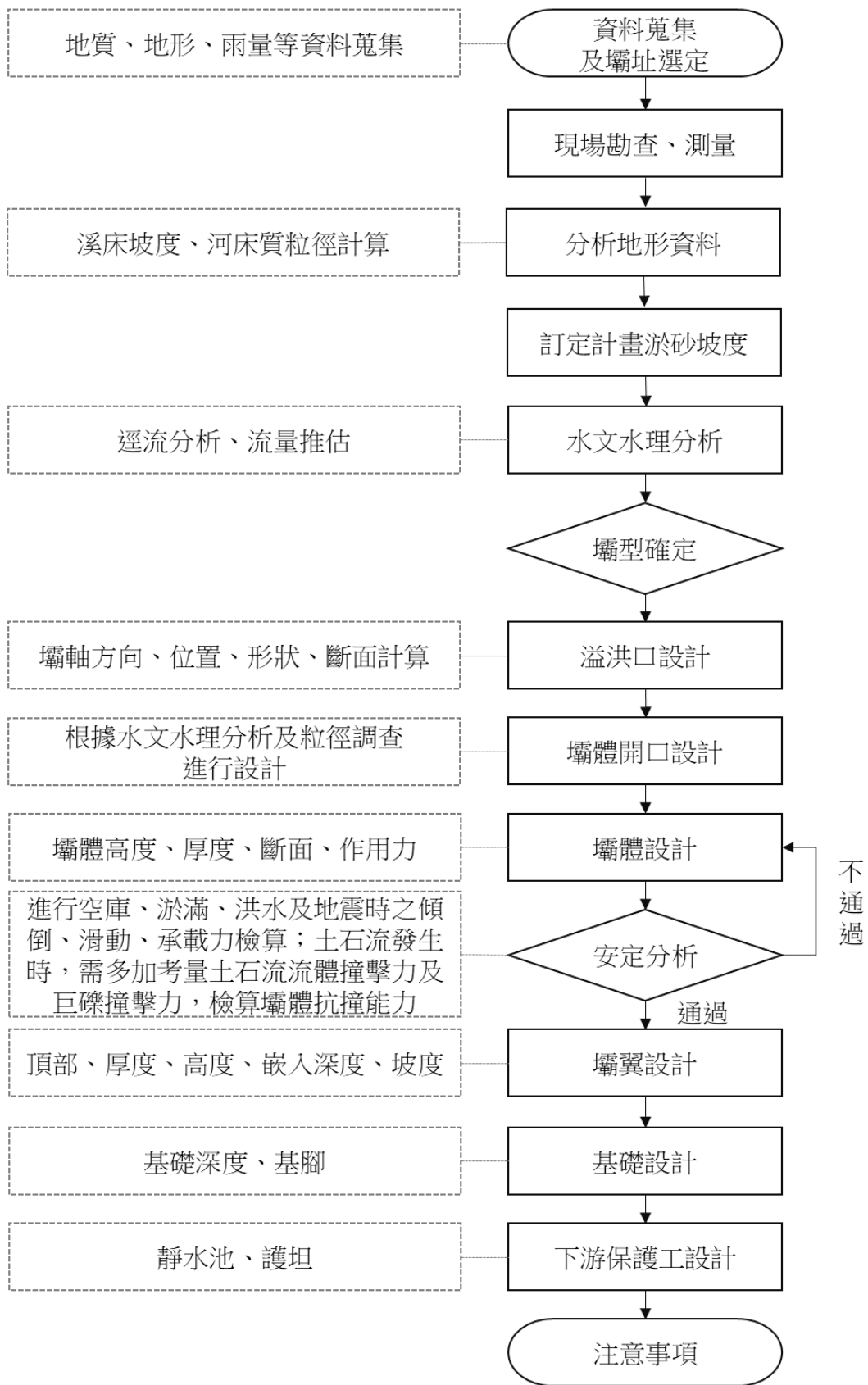
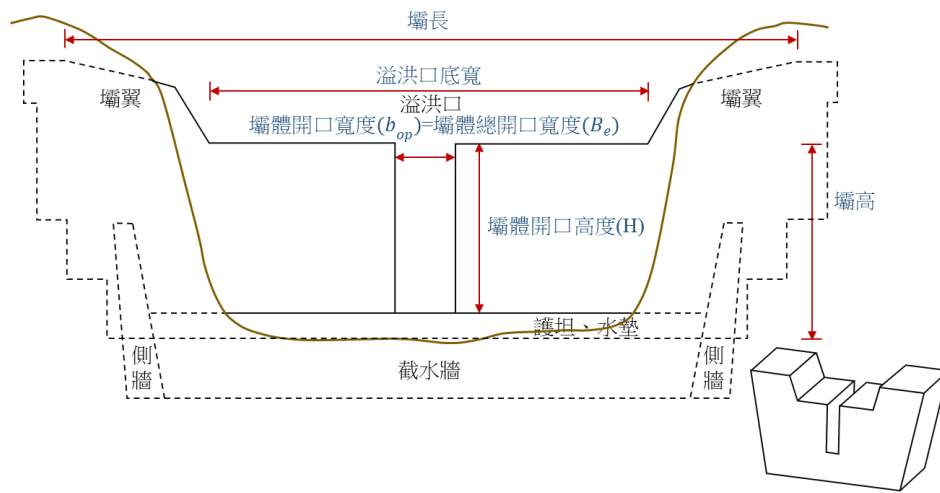


圖 3-1 設計流程

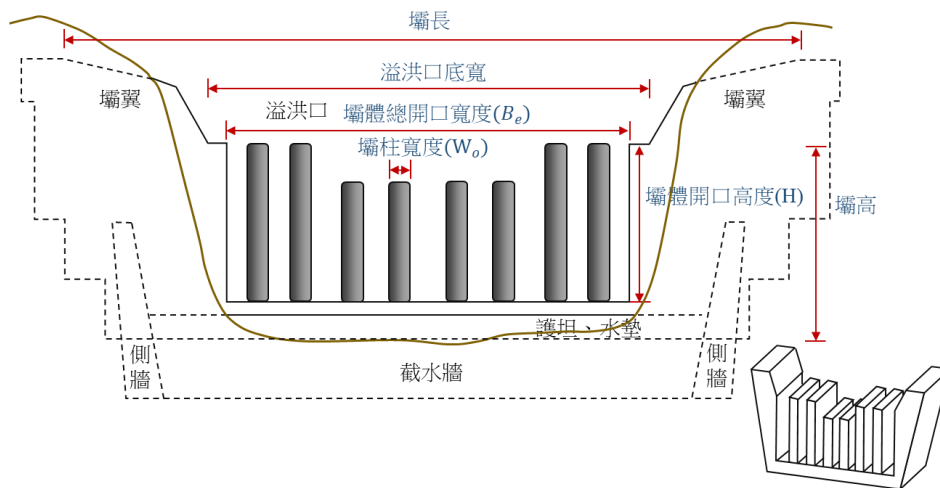
3.2各部圖說

針對上述之切口壩、梳子壩及格子壩各部圖說如圖 3-2 及圖 3-3 所示，各部位說明如下：

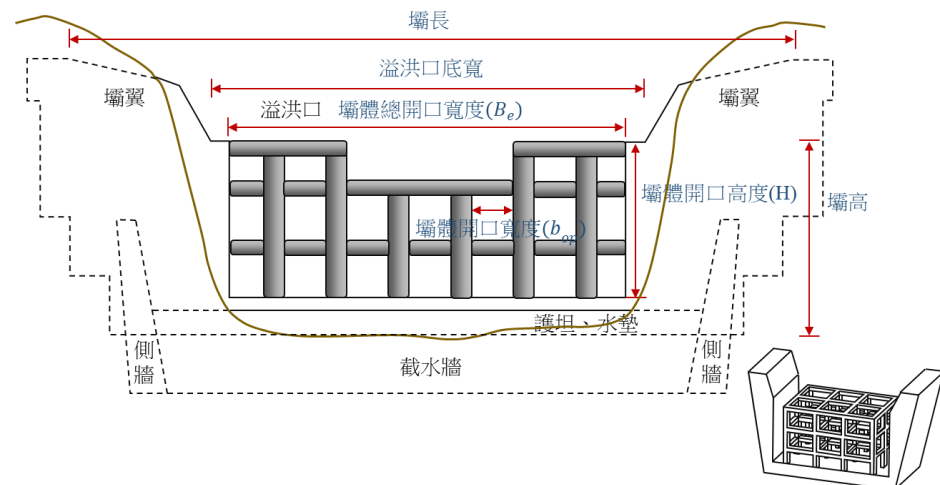
- 1.主壩：防砂壩主要之壩體，不包含：副壩、側牆及水墊。
- 2.溢洪口：於壩體頂端與壩翼形成之缺口，淤滿時水流得以經溢洪口至壩體下游面，有梯形、矩形、拋物線型或其他容許排水型式。
- 3.壩翼：為溢洪口兩側(肩部)至兩岸間非溢流之部分，需嵌入兩岸岸壁內。為避免大量砂石堆積於壩翼上游面，致部分洪水越過壩翼造成壩基淘空，壩翼頂面須向斜溢洪口，其坡度至少 1/20，且不小於計畫河床坡度，壩翼傾斜亦可在兩岸有崩塌之虞時，支持兩岸並防止崩坍。
- 4.壩長：為壩翼兩側端點連線之距離。
- 5.壩高：指主壩從壩底至壩頂(不包含壩翼)之高度。
- 6.有效壩高：原始溪床坡面至壩頂之高度，即壩高扣除主壩河床下基礎深度後之高度。
- 7.基腳：使防砂壩增加穩定度防止壩體傾倒以及滑動，基腳深度越深可達到延長滲流線的效果。可設置在壩底中央或下游處，若置於壩體下游處可防止淘空現象。
- 8.水墊(靜水池)：由主壩至尾檻間之範圍，並用其蓄水作為水流沖擊之緩衝區，保護壩體下游溪床免受水流直接衝擊。
- 9.護坦：與水墊同為保護壩趾安全之構造物，但因無尾檻設計，因此無法利用水深消能，而是利用結構物抵擋沖擊能量。
- 10.副壩：為防止主壩之下游被沖刷，而在主壩之下游面再建築之低壩，高度約為 1/3~1/4 有效壩高。
- 11.尾檻：在水墊末端設置之突起構造物，將通過壩體之水蓄存，一般採用主壩高度之 20%作為尾檻高度。
- 12.側牆：設置於水墊或護坦兩側之構造，若遇壩體下游兩岸地質軟易崩，或欲利用水墊控制流心者，則可設置側牆。
- 13.截水牆：以防止構造物下游淘空與延長滲流線抑制浮力破壞為目的，大多設置在靜水池與護坦下游處，且截水牆兩端應深入河床兩岸或安全地區。
- 14.溪床保護工：固定溪床坡度並保護上游構造物之基腳及兩岸之橫向構造物。



(a) 切口壩

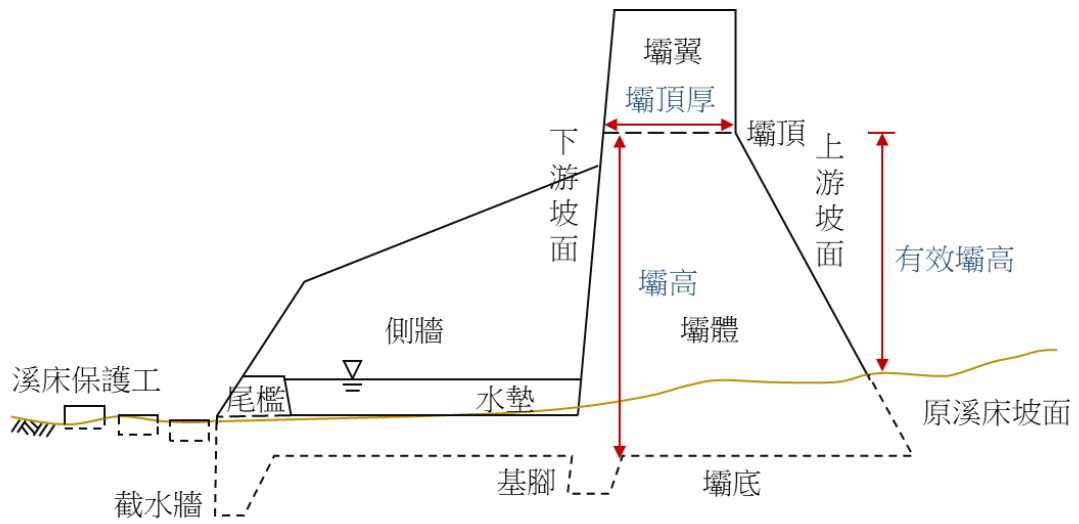


(b) 梳子壩

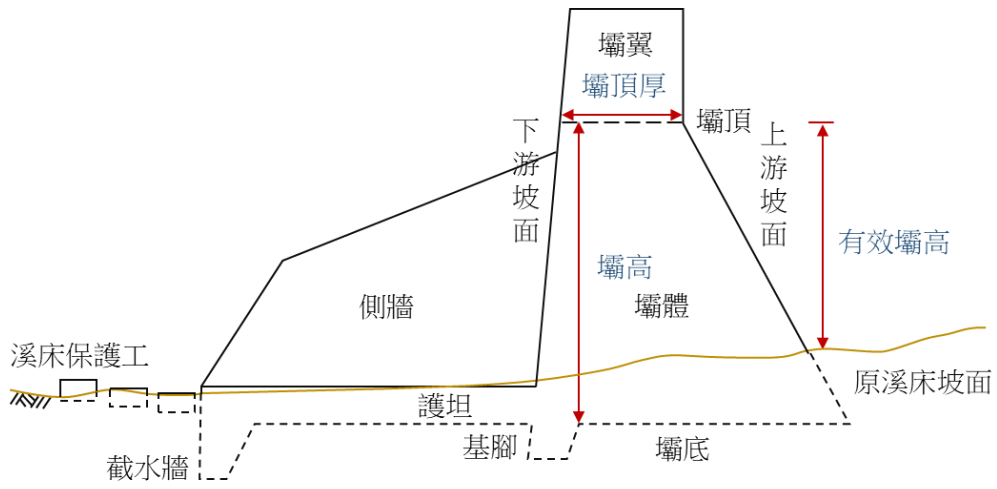


(c) 格子壩

圖 3-2 透過性防砂壩各部位示意圖



(a)有尾檻



(b)無尾檻

圖 3-3 透過性防砂壩側視圖

3.3資料蒐集

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，且為規劃設計之依據，各種資料之獲取方式與分析方法皆詳述於水土保持手冊(2017)基本資料調查與分析篇。以下簡述資料獲取目的與路徑。

1.雨量資料

防砂壩溢洪口之斷面設計需由逕流量估算，才可得知其斷面大小，在水文分析中需藉由取得降雨資料並選擇適當的降雨-逕流模式來推估一定重現期下之逕流量，做為後續設計規劃時重要之參數。雨量資料可至中央氣象局查詢雨量資料；亦可透過經濟部水利署每年公開之水文年報取得年平均等雨量線圖、雨量站分布圖及各站之日雨量及歷年統計資料等。

2.地質資料

地質資料可用於瞭解位於壩址地表層之地質材料、地質構造以及其形成與演化歷史，並可以提供各項規劃、設計、計算及相關工作之參考依據，例如：壩址選定、基礎深度之埋設、壩體基礎承载力、壩底摩擦係數與浮力係數等之選定。相關資料可於經濟部中央地質調查所提供之「國土地質資訊系統」取得。

3.土壤資料

土壤調查結果，可瞭解表層土壤狀況，以供水土保持工程規劃時，協助選定合宜之邊坡穩定處理工程。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、氣候與土地利用等)、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，進而了解建構壩體區域周圍的土壤性質、粒徑分析與評估土壤沖蝕情況。相關資料可向行政院農業委員會農業試驗所、經濟部中央地質調查所及水土保持局申請取得。

4.土石流資料

若防砂壩設置於土石流發生區域，則應調查蒐集土石流集水區之基本資訊，包括行政區、地點、曾發生之災害紀錄、溪流特徵、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。掌握土石流發生及發展之背景條件、流路現況、工程構造物，保全對象之類型、分布、數量、粒徑大小及危害程度等，研擬適當之對策，以降低土石流致災之規模和威脅。詳細內容可至行政院農業委員會水土保持局管理之「土石流防災資訊網」查詢。

5.崩塌地資料

可由經濟部中央地質調查所提供航照山崩目錄、岩屑崩滑潛勢分析圖、岩體滑動潛勢分析圖等，瞭解計畫區之歷年崩塌情形及崩塌潛勢；若進行實際現場勘查，需先蒐集區域地貌、水文、地形與地質等圖資，應儘可能描述或表現該崩塌地之土砂材料、地表特徵、規模與潛在影響範圍，圈繪潛在滑動體，並配合地質圖、環境地質災害圖、地形圖與遙測影像等，使執行現場調查工作時，能快速瞭解調查區域整體概況。

綜整崩塌調查成果，可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。

6.土地利用資料

透過現況調查可進行林相類別及分布概況、農作物之種類、分布概況、建築基地、裸露地及崩塌地等土地利用類別之分類，提供水土保持處理、選擇維護對象及水土保持相關設施規劃之依據，可透過土地利用了解崩塌地分佈及是否有保全對象，作為防砂壩規劃之依據。詳細資訊可至內政部國土測繪中心國土測繪圖資 e 商城查詢，亦可採用遙測影像加以判釋，配合實地調查加以核對。

7.遙測影像資料

利用遙測影像涵蓋廣泛的特性，對施測區域做進一步的分析。可透過衛星影像、航拍影像與無人載具空拍影像來獲取計畫區的現況，或是藉由不同時間的遙測影像進行比對，進而瞭解計畫區改變的情形，例如：流域崩塌地之情形，藉由不同時間的遙測影像得到崩塌地的變化情形，可作為工程治理需求之依據，也可作為防砂壩壩址選定之參考。遙測影像可至林務局農林航空測量所之「航遙測圖資供應平台」及國立中央大學太空及遙測研究中心購買，亦可直接於經濟部中央地質調查所管理之「國土資訊系統自然環境資料庫」及國立中央大學太空及遙測研究中心開發之「SPOT 衛星資料開放平台」查看衛星影像、正射影像及福衛二號影像。

8.數值地形資料

數值地形模型(Digital Terrian Model,DTM)是以數值的方式來表示真實地形特徵的三度空間分布，可至內政部國土測繪中心提供之「國土測繪圖資 e 商城」及國立中央大學太空及遙測研究中心購買。一般數值地形資料包含數值高程模型(Digital Elevation Model,DEM)及數值地表模型 (Digital Surface Model,DSM)。DEM 為描述不含植被及人工建物之地表天然高程起伏面的數值模型。而 DSM 則表示地球表面可見光無法穿透的最上層表面的數值模型，與 DEM 不同之處在於表現了建物及植被的最上層表面。數值地形資料可幫助瞭解計畫區之地形起伏、洪水淹沒區評估、土石流地區土方量估計，亦可用於建置水文分析中之地形模型，並可依據水土保持技術規範(2014)之計算方式，求得坡度及坡向。

(1)內政部國土測繪中心

內政部國土測繪中心依地區提供不同解析度之 DTM 資料，網格間距 5 公尺與 1 公尺，各機關可依需求至國土測繪圖資 e 商城申請數值地形資料。

(2)國立中央大學太空及遙測研究中心

國立中央大學太空及遙測研究中心負責保管「台灣地區數值地形模型資料」，此資料由行政院農業委員會委託林務局農林航空測量所測製，該資料為每 40x40 公尺等間距的規則網格資料，若有需要可向其提出申請。

3.4 壩址選擇

1. 切口壩

- (1) 理想之壩址宜設置於土石流流動段坡度較平緩處，可以取得較大貯砂容積之區段。
- (2) 土石流具有直進性，宜選擇在彎道尾段或開闊地段，減少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，對下游具有增強沖刷趨勢，除了不宜設置於上游發生段或坡度過於陡峭之溪段外，壩址亦須具有較好的地質條件，兩岸基岩出露者為佳；必要時加強壩體下游基礎保護工，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疏濬作業，應配置清淤便道。

2. 梳子壩及格子壩

梳子壩及格子壩之壩址選擇原則與切口壩基本是相同的，惟必須慎重考量水流的阻滯效應和過壩水流土砂對下游之影響，而加以考量下列原則：

- (1) 梳子壩因狹縫密度(壩體開口寬度總和 $\sum b_{op}$ /壩體總開口寬度 B_e)可高達50%以上，如示意圖 3-2，對水流阻滯效率低於切口壩，水流之束水攻砂現象較易控制。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，使過壩水流中礫石粒徑相對較小，不僅易於輸送導流，對下游區域的威脅性也相對較低，故適用於下游且接近谷口的溪段上。
- (3) 適合於土石流輸送段構築，因梳子壩另有水砂分離的功能可削減土石流的勢能。

3.5地形調查與測繪

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。其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：

- (1)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。
- (2)水道：涵蓋水道及兩岸外水平距離至少二十公尺為範圍。橫斷面測量應與堤防或水流流向成垂直，並應涵蓋兩岸最高水位線。縱斷面測量應測每一樁點之高程，測量範圍須涵蓋施工河段上游及其下游至少五十公尺，以了解河床變化情形。
- (3)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。

2.工作流程

地形調查與測繪工作流程如圖 3-4 所示，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，簡述各流程如下：

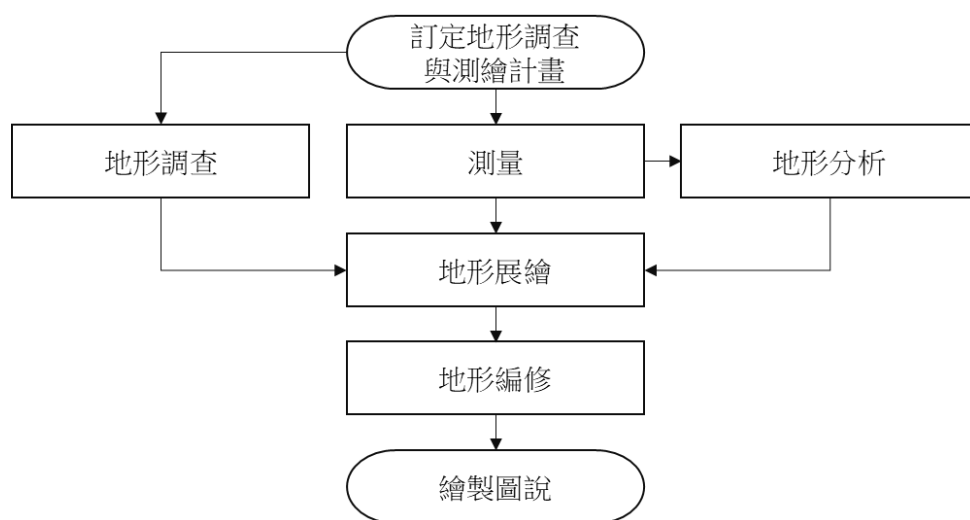


圖 3-4 地形調查與測繪工作流程圖

(1)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。

(2)測量：

地形測量是以控制點測量成果為依據，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，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。

(3)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。

(4)地形分析：

坡度分析包含流域平均坡度及河川平均坡度：

a.流域平均坡度

常用之推求方法包括等高線長度法、等高線面積法及 Horton 交點法：

(a)等高線長度法

適用於較小流域，利用等高線進行劃分，如圖 3-5 所示，先以各等高線控制面積計算其平均坡度，再以加權平均法算出整體流域平均坡度，計算過程如下：

假設 a_i 為第 i 條等高線(圖中 12 線)所控制的面積(圖中 ABCD 之面積)，該面積之平均坡度 s_i 可表為

$$s_i = \frac{D}{w_i} = \frac{Dl_i}{a_i} \quad \text{式 3-1}$$

其中 D =兩等高線差值，為一定值(圖中 D 為 10 公尺)； $w_i = \frac{a_i}{l_i}$ ，為 a_i 之平均寬度； l_i 為等高線長度。

故整體流域之平均坡度 S 可表為

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n s_i a_i}{A} = \frac{\sum \frac{D l_i}{a_i} a_i}{A} = \frac{D \sum l_i}{A} = \frac{DL}{A} \quad \text{式 3-2}$$

其中 S =流域平均坡度； $L = \sum l_i$ ，為流域中所有等高線長度之總和。

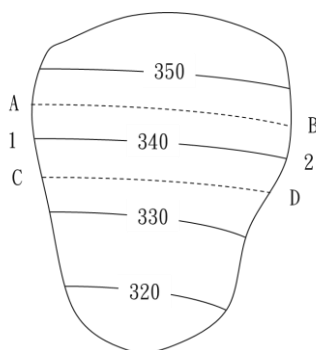


圖 3-5 流域等高線分布圖

(b)等高線面積法

適用於較小流域，亦是利用等高線進行劃分，但其以兩等高間之面積作為計算面積，如圖 3-6 所示。

假設 a_j 為第 j 條等高線與第 $j + 1$ 條等高線間的面積(圖中 1234 之面積)，該面積之平均坡度 s_j 可表為

$$s_j = \frac{D}{w_j} \quad \text{式 3-3}$$

其中 D =兩等高線差值，為一定值(圖中 D 為 10 公尺)； $w_j = \frac{a_j}{\bar{l}_j}$ ，為 a_j 之平均寬度； \bar{l}_j 為第 j 條等高線與第 $j + 1$ 條等高線長度之平均值。

故整體流域之平均坡度 S 可表為

$$S = \frac{\sum_{j=1}^n s_j a_j}{A} = \frac{\sum \frac{D}{w_j} a_j}{A} \quad \text{式 3-4}$$

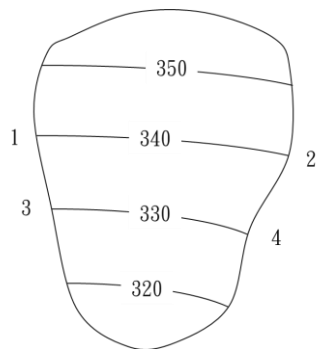


圖 3-6 流域等高線分布圖

(c) Horton 交點法(Horton's intersection-line method)

為經驗近似公式，由 Horton 提出，適用於大流域。將等高線流域圖分成數個方格，再以下列公式進行計算。

$$S = 1.571 \frac{D(n_h + n_v)}{l_h + l_v} \quad \text{式 3-5}$$

其中， D =兩等高線差值，為一定值； n_h =方格之橫線與等高線及分水嶺的交點數； n_v =方格之縱線與等高線及分水嶺的交點數； l_h =等高線所切割之橫方格線總長； l_v =等高線所切割之縱方格線總長。

b. 河川平均坡度

列舉常用之分析方法，包括勞倫生法及泰勒法，分述如下：

(a) 勞倫生法(Laurenson method)

係將河溪剖面繪出，繪一直線使上游河底至直線之面積(A_1)等於下游河底至直線之面積(A_2)，則該直線之坡度即為河川平均坡度。

$$S = \frac{H}{L} \quad \text{式 3-6}$$

其中， H 可由各段溪床長度及高度求得，可表為

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n l_i h_i}{L} \quad \text{式 3-7}$$

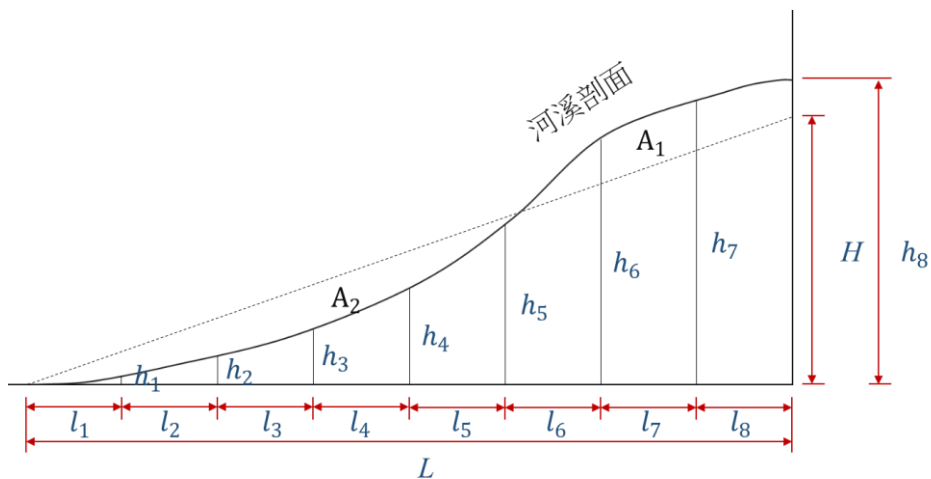


圖 3-7 勞倫生法示意圖

(b)泰勒法(Taylor and Schwarz method)

泰勒法係根據流速之平方與河川平均坡度成正比，故將河川分成 n 段，分別求出各段之平均坡度，再以加權平均法求得整段河川平均坡度，公式如下：

$$S = \left(\frac{\sum s_i^{1/2}}{n} \right)^2 \quad \text{式 3-8}$$

其中， s_i =第 i 段之平均坡度； n =總段數。

(5)地形展繪：

將調查及測量成果展繪成地形圖。

(6)地形編修：

包括調繪及編修，於現場抽查比對展繪成果，將錯誤或不合理處進行修改。

(7)繪製圖說：

將編修後的成果進行繪製。

根據地形調查與測繪成果可得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等，整體治理規劃的依據，必可透過斷面的基本參數規劃防砂壩之規模。

3.6 溢洪口設計

在透過性防砂壩之溢洪口斷面設計方面，因考慮在攔阻土石流後，原有開口處有可能被土石流或漂流木淤塞，如圖 3-8 所示，開口處之排洩量則不予考慮，此時溢洪口必須能充分讓洪水或土石流設計最大流量通過，其方向、位置、形狀、保護設施及斷面設計原則如下：

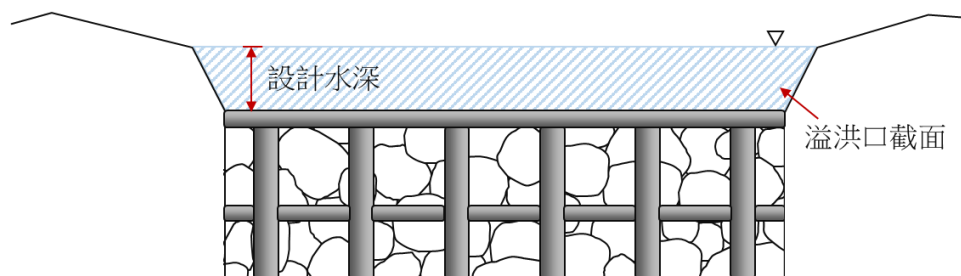


圖 3-8 溢洪口示意圖

1. 溢洪口位置選定

選定溢洪口斷面之位置，需考慮不同溪段之壩軸方向及依據地質選擇設立位置，原則上在壩體中間。

(1) 壩軸方向

當洪流通過防砂壩時，因受到溢洪口導引產生水流流向改變，故設計時必須注意壩體軸向與洪水流流心的關係，包括：

- a. 直線溪段之壩軸應與洪水時流心線垂直，如圖 3-9 所示。

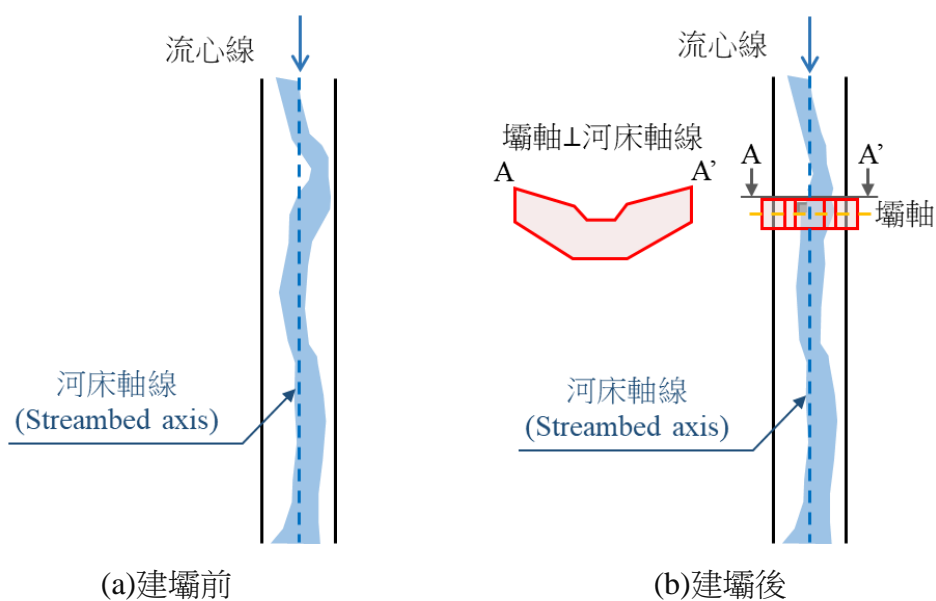


圖 3-9 防砂壩設置於直線溪段

b. 壩址避免選在彎曲段，如圖 3-10(a)所示，凹岸易有河岸侵蝕之現象，不得已時壩軸應與洪水流心線之切線(或弦線)垂直，並增加凹岸壩翼之長度或加強保護，如圖 3-10(b)，以減少壩體凹岸遭受水流沖刷而毀損。

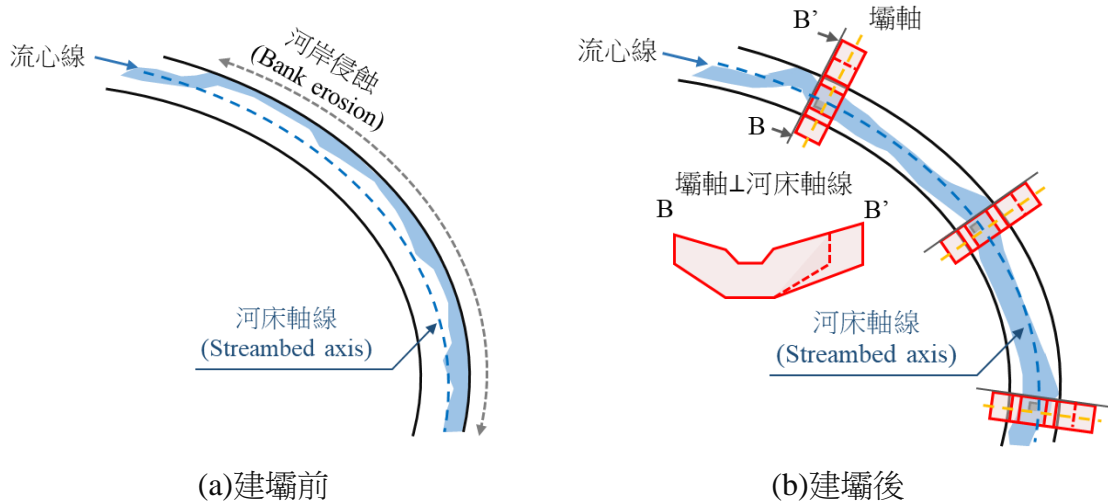


圖 3-10 防砂壩設置於彎曲溪段

(2) 設立位置

以位於溪幅中央位置為原則，並參照壩址上下游地形、地質、溪岸狀況與水流方向等因素予以選定，以不引起上、下游溪岸沖刷和崩塌為首要條件。

- a. 兩岸基岩性質不同，或一岸為非岩盤時，溢洪口應宜略靠近堅硬岩盤岸。
- b. 溢洪口之設置，應使過壩水流遠離崩塌地。

2. 形狀

(1) 溢洪口之形狀有矩形、梯形及拋物線形等，如圖 3-11 所示，考慮開口部淤滿後溢洪口排洪及排導土石流之功能，其形狀宜採用底部水平之倒梯形斷面，兼有其他用途者得依其需要設計之。

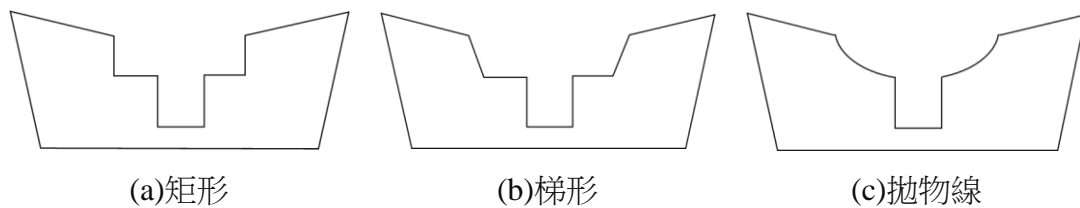


圖 3-11 各式形狀之溢洪口示意圖

(2)為避免壩淤滿時，壩上游河道變寬，使流心變動導致兩岸遭受沖刷，建議溢洪口宜採用複式斷面如圖 3-12 所示，深槽線之小梯形在計算排洪量時可忽略，若河寬較窄則可不必採用，建議複式斷面寬度約為 1/3 溢洪口寬度，深度在 1m 以內。

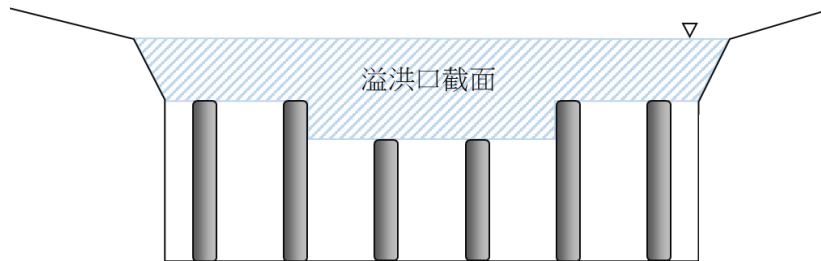


圖 3-12 溢洪口複式斷面示意圖

3.斷面設計

溢洪口斷面設計須由流量推估來選定尺寸與溢流水深，流量之推估流程為先行計算出清水流洪峰流量(Q_p)，再以 Q_p 計算出設計洪峰流量(Q_d)，將 Q_d 代入堰流公式，以試誤法求出斷面尺寸及溢流水深。若要設置在土石流區段，則再須計算土石流設計洪峰量(Q_D)。

(1)清水流洪峰流量(Q_p)

當集水區有實測資料時，洪峰流量估算以實測資料分析。若無實測資料時，面積超過 1,000 公頃者採用單位歷線法分析；面積小於 1,000 公頃者得採用合理化公式(Rational Formula)計算，計算方式如下：

a.合理化公式：

$$Q_p = \frac{1}{360} C \bar{I} A \quad \text{式 3-9}$$

式中， Q_p =洪峰流量(peak surface runoff)(m^3/s)； C =逕流係數(runoff coefficient)； \bar{I} =平均設計降雨強度(mm/hr)(= R_e/t_c)； t_c =集流時間(time of concentration)(hr)； R_e =單位有效降雨深度(mm)； A =集水區面積(ha)。上式基於等號左右兩側因次相等而謂之合理化公式。

其中，逕流係數(C)為逕流量與降雨量之比值，與集水區面積、形狀、地質、土壤、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可參考表 3-1。

表 3-1 水土保持技術規範之逕流係數

集水區 狀況	陡峻 山地	山嶺區	丘陵或 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：水土保持技術規範第 18 條

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)，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：

$$\bar{I} = \frac{a}{(t + b)^c} \quad \text{式 3-10}$$

式中，a、b、c 請參照附錄一：台灣各區 Horner 公式相關係數值。

惟若缺乏 Horner 降雨強度公式或集水區欠缺實測資料時，亦可採用物部公式由日雨量資料推求各延時之降雨強度：

$$I_t = \frac{r_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^c = \frac{1}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^c r_{24} = C_t r_{24} \quad \text{式 3-11}$$

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 是測區而定，台灣地區介於 0.3343 至 0.7641 之間在台灣通常使用 0.506。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(2014)之算式，以集水區年平均降雨量(P)為參數的無因次降雨強度公式，即：

$$I_t^T = (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^C} I_{60}^{25} \quad \text{式 3-12}$$

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2$$

$$A = \left(\frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2$$

$$B = 55$$

$$C = \left(\frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2$$

$$G = \left(\frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2$$

$$H = \left(\frac{P}{-65.33 + 1.836P} \right)^2$$

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，可參考附錄二。

b.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，如圖 3-13 所示，洪峰流量與降雨量成正比例關係，由三角形面積可得

$$Q_p = \frac{2QA}{T_p + T_r} \quad \text{式 3-13}$$

式中， Q_p =洪峰流量(cms)； Q =總逕流水深(mm)； A =集水區面積(km²)； T_p =歷線開始至到達洪峰流量時間(hr)； T_r =洪峰流量至歷線終端的時間(hr)； T_b =歷線時間基期(= $T_p + T_r$)(hr)。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，附錄三為三角歷線之計算流程，可參考此計算流程。

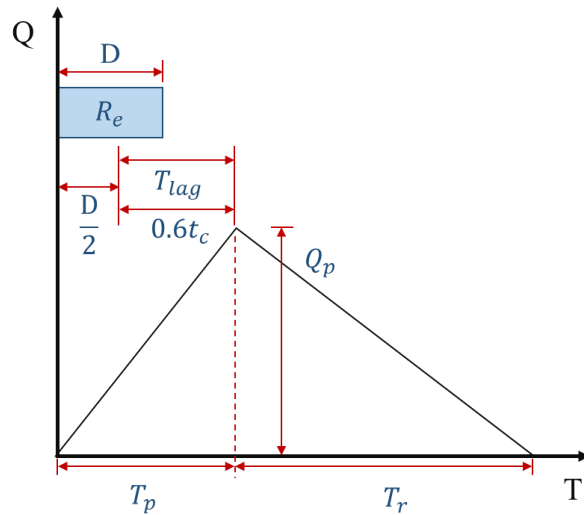


圖 3-13 三角形單位歷線圖

依圖 3-13 得知洪峰流量到達時間 T_p 可以表示為：

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag} \quad \text{式 3-14}$$

式中， D =有效降雨延時(hr)， $D \leq 0.133t_c$ ； 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)：

$$T_{lag} = 0.6t_c \quad \text{式 3-15}$$

式中， t_c =集流時間(hr)，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，計算公式可表為：

$$t_c = \frac{L}{V} \quad \text{式 3-16}$$

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，將薄層漫地流運行時間、淺層集中水流運行時間、管流運行時間及渠道運行時間相加後，以獲得集水區的總集流時間。

通常在小型集水區內多簡化為兩段，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

$$t_c = t_s + t_d \quad \text{式 3-17}$$

式中， t_s =流入時間； t_d =流下時間。

流入時間(t_s)係指水流由集水區邊界流至下游集流點之所需運行時間，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，在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：

$$t_s = \frac{\ell_s}{V_s} \quad \text{式 3-18}$$

式中， ℓ_s =坡面長度； V_s =坡面流速。

流下時間(t_d)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、長度及粗糙度等因素相關，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)：

$$V_d = 20(H/\ell_d)^{0.6} \quad (\text{m/sec}) \quad \text{式 3-19}$$

$$V_d = 72(H/\ell_d)^{0.6} \quad (\text{km/hr}) \quad \text{式 3-20}$$

$$t_d = \frac{\ell_d}{V_d} \quad \text{式 3-21}$$

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

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

$$Q_p = \frac{0.208 \cdot A \cdot R_e}{T_p} \quad \text{式 3-22}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c \quad \text{式 3-23}$$

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)。

式 3-22 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 3-22 中的係數值，如表 3-2 所示，以符合集水區逕流特性。

表 3-2 三角形單位歷線洪峰係數與 m 值修正表

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

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所（2012）

由式 3-23 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，水利署提出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 3-3 所示，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 3-3 有效降雨延時推估

集流時間	$D \leq 0.133t_c$	採用值(min)
$t_c \geq 6$ hr	>48 min	60
$5.0 \leq t_c < 6.0$ hr	$40 \leq D < 48$ min	50
$4.0 \leq t_c < 5.0$ hr	$32 \leq D < 40$ min	40
$3.0 \leq t_c < 4.0$ hr	$24 \leq D < 32$ min	30
$2.0 \leq t_c < 3.0$ hr	$16 \leq D < 24$ min	20
$1.0 \leq t_c < 2.0$ hr	$8 \leq D < 16$ min	10
$t_c < 1.0$ hr	$D < 8$ min	5

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所（2012）

(2)設計洪峰流量(Q_d)

參照水保技術規範第 65 條，一般以採用 50 年重現期距設計降雨強度為原則，並考量水中含砂量

$$Q_d = (1 + \alpha)Q_p \quad \text{式 3-24}$$

式中， Q_d =設計洪峰流量(cms)； Q_p =清水流洪峰水量(cms)； α =水流中含砂率，一般採用 5%~10%，最大值為 50%。

(3)出水高選定與堰流公式

溢洪口斷面之大小以能充分渲洩設計洪峰流量為準，已知溢洪口斷面頂寬為 b_u 及底寬為 b_0 ，如圖 3-14 所示，因此設計出水高 $h_f \geq 0.6\text{m}$ ，且溢流水深 $h \leq 4\text{m}$ 。一般情形時溢流水深宜規畫小於 3.0m，良好岩盤基礎時可設定達 4.0m。

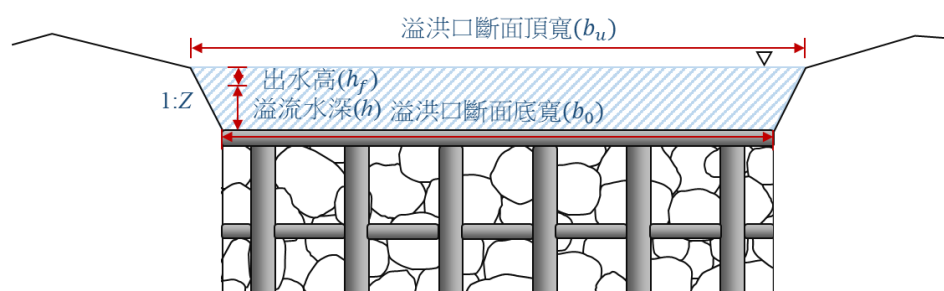


圖 3-14 溢洪口斷面示意圖

溢洪口斷面之出水高可依設計洪峰流量或溪床坡度決定之，一般在 0.6m 以上，如表 3-4 所示，依排洪量選定出水高，並以堰流公式求出溢流水深。

表 3-4 出水高與排洪量參考表

排洪量(cms)	<200	200-500	>500
出水高(m)	0.6	0.8	1.0

資料來源：水土保持手冊(2017)

溢流水深須藉由堰流公式，以試誤法計算來獲取之，堰流公式之計算方式如下：

$$Q_d = 0.354b_u(2 + 3\chi)h^{1.5} \quad \text{式 3-25}$$

式中， Q_d =設計洪峰流量； 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

$$\chi = \frac{b_0}{b_u} \quad \text{式 3-26}$$

式中， b_0 =溢洪口斷面底寬(m)。當溢洪口斷面為矩形時， $\chi=1$ ；當溢洪口斷面為三角形時， $\chi = 0$ ，且 $b_u = 2h \tan(\alpha/2)$ ， α =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。

$$b_u = b_0 + 2Zh \quad \text{式 3-27}$$

代入式 3-25 可得

$$Q_d = 0.354(5b_0 + 4Zh)h^{1.5} \quad \text{式 3-28}$$

當 $Z=1$ 時，則設計洪水量可表為

$$Q_d = (1.77b_0 + 1.42h)h^{1.5} \quad \text{式 3-29}$$

當 $Z=0.5$ 時，則設計洪水量可表為

$$Q_d = (1.77b_0 + 0.71h)h^{1.5} \quad \text{式 3-30}$$

代入設計洪峰流量後，利用試誤法，即可獲得溢流水深。

(4)土石流設計洪水量(Q_D)

以能通過 50 年重現期設計降雨強度之土石流流量為原則，其計算公式可表為：

$$Q_D = \frac{C_m}{C_m - C_d} Q_p \quad \text{式 3-31}$$

式中， Q_D =土石流設計洪峰量； 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，可由下式求得：

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \varphi - \tan \theta)} \quad \text{式 3-32}$$

式中， φ =泥砂內摩擦角，與泥砂特性及其緊密程度相關； θ =壩體上游溪床淤砂坡度； γ_s =土粒單位重量(g/cm^3)； γ_w =清水單位重量(= 1.0 g/cm^3)。

當壩體構築之後，其上游如屬於滿狀態時，則須採用曼寧公式以試誤法推估過壩水流之水深及通水斷面積。

$$A_d R^{2/3} = \frac{n Q_D}{\theta^{1/2}} \quad \text{式 3-33}$$

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； R =水力半徑($=A_d/P$)； P =濕周； n =曼寧粗糙係數，參照水土保持手冊(2017)，土石流先端部之曼寧粗糙係數 $n \approx 0.1$ ； θ =壩體上游淤砂坡度。

4.溢洪口保護工

防砂壩溢洪口及壩體常遭水流挾帶之土砂撞擊、磨蝕，僅以一般混凝土難以抵抗，為避免溢洪口表面之磨損或破壞，可採用高強度混凝土、花崗石、耐磨鋼板、鋼軌、大型車(卡車)廢棄輪胎與現地大粒徑石塊等被覆表面作為抗磨耗材料或以特殊設計方法加以保護，如圖 3-15 與圖 3-16 所示。



圖片來源：水土保持局-碼崙溪上游

圖 3-15 耐磨鋼板加裝於溢洪口



圖片來源：水土保持局：和中部落北側野溪上游

圖 3-16 防砂壩溢洪口使用廢輪胎之保護措施

3.7 壩體開口設計

透過性防砂壩開口部的寬度、高度及位置的配置，必須有效攔阻土石流與漂流木，訂定方式須配合土石流水理分析結果。

1. 開口寬度

透過性防砂壩之開口寬度必須滿足下列兩點：

- (1) 平時能讓含砂水流順利通過，以保持有效貯砂容積，盡量維持空庫狀態，當土石流發生時，能有效貯存土石流挾帶之土砂。
- (2) 土石流過壩後，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降低土石流勢能，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。渡邊正幸(1980)提出梳子壩開口寬度(b_{op})會影響土石流之貯砂效率，當相對開度 $\frac{b_{op}}{D_E} < 2.0$ 時，梳子壩可降低土石流尖峰流出土砂量達 50% 以上。整合 Ikeya and Uehara(1980)、Ashida and Takahashi(1980)及 Mizuyama et al.(1988)研究結果顯示壩體相對開度滿足下式時，對土石流所挾帶的大量土砂就能產生閉塞作用，故壩體開口寬度可參考下列公式設計之，即

$$\frac{b_{op}}{D_E} < 1.5 \sim 2.0 \quad (\text{土石流流況}) \quad \text{式 3-34}$$

式中， b_{op} =透過性壩壩體開口寬度； D_E =設計粒徑，一般建議取 D_{95} 作為設計粒徑，亦可應用一般洪水流況下之溪床泥砂起動公式，即

$$D_s = \frac{\gamma_w h_0 s_0}{(\gamma_s - \gamma_w) \eta} \quad (\text{一般洪水流況}) \quad \text{式 3-35}$$

式中， h_0 =一般洪水水位，宜採 50 年重現期距洪水位設計； s_0 =溪床坡度； η =常數(=0.045~0.06)； γ_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 $D_s = D_E$ ，即可由式 3-34 求得壩體開口寬度 b_{op} 。

若從土石流發生前維持空庫的條件來看，意旨一般挾砂水流所攜帶之最大粒徑能通過開口而不會在壩體上游發生淤積。為此，對鬆散均勻的粗顆粒泥砂來說，其臨界拖曳力與粒徑之關係可表為 Shield's 起動拖曳力公式，即

$$\frac{\tau_{oc}}{(\gamma_s - \gamma_w) D_s} = f \left(\frac{U_* D_s}{\nu} \right) \quad \text{式 3-36}$$

式中， τ_{oc} =臨界拖曳力($=\gamma_w h_0 s_0$)， U_* =剪力速度； ν =水的運動黏滯性係數。當泥砂處於起動條件時，作用在河床表層砂粒上之水流拖曳力與該層砂粒重量之比值應為砂粒雷諾數的函數。根據 Shield's 研究結果顯示，在砂粒雷諾數很大時，上式之 $\frac{\tau_{oc}}{(\gamma_s - \gamma_w) D_s}$ 可表為 0.04~0.06。據此，可得最小開口寬度為

$$b_{min} \geq D_s = \frac{\gamma_w h_0 s_0}{(0.04 \sim 0.06)(\gamma_s - \gamma_w)} \quad \text{式 3-37}$$

此外，水土保持局(2001)依據土石流潛勢溪流之地形條件及其可能促發的土石流規模，提出壩體開口寬度之理論公式，即

$$b_{op} = \omega_0 \frac{C_d}{C_m - C_d} h_D \quad \text{式 3-38}$$

式中， ω_0 =河道實測粒徑修正係數； C_d =土石流泥砂體積濃度； C_m =靜止床面泥砂體積濃度； h_D =土石流流深。

2.開口高度

開口高度應高於土石流與洪水水深，並根據預計攔阻量來決定。

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。

4.透過部斷面

(1)梳子壩

決定梳子縫隙的數量時，主要以能讓中小型洪水流量通過為原則，斟酌其柱間縫隙密度與縫隙寬度之總和。通常只要柱間縫隙的寬度總和相同，即使縫隙較多，其砂石調節效果相同，所以需額外考量梳子型縫隙底部的磨耗與施工性等因素來決定梳子型縫隙的數量。

(2)格子壩

格子壩之透過部斷面的設計，參考日本鋼製防砂委員會「鋼製砂防構造物設計遍覽」(2009，詳附錄四)，主要為有效攔阻砂石並根據粒徑決定其淨間距，透過部斷面示意圖如圖 3-17(b)。

a.柱間距(水平淨間距)

考慮確實攔阻礫石的目的，柱間距應為設計粒徑的 1.0 倍。

b.樑間距(垂直淨間距)

樑間距須設定為設計粒徑的 1.0 倍以下。最下層橫樑的位置設定為設計粒徑的 1.5 倍以下，並須高於中小型洪水流之水深。

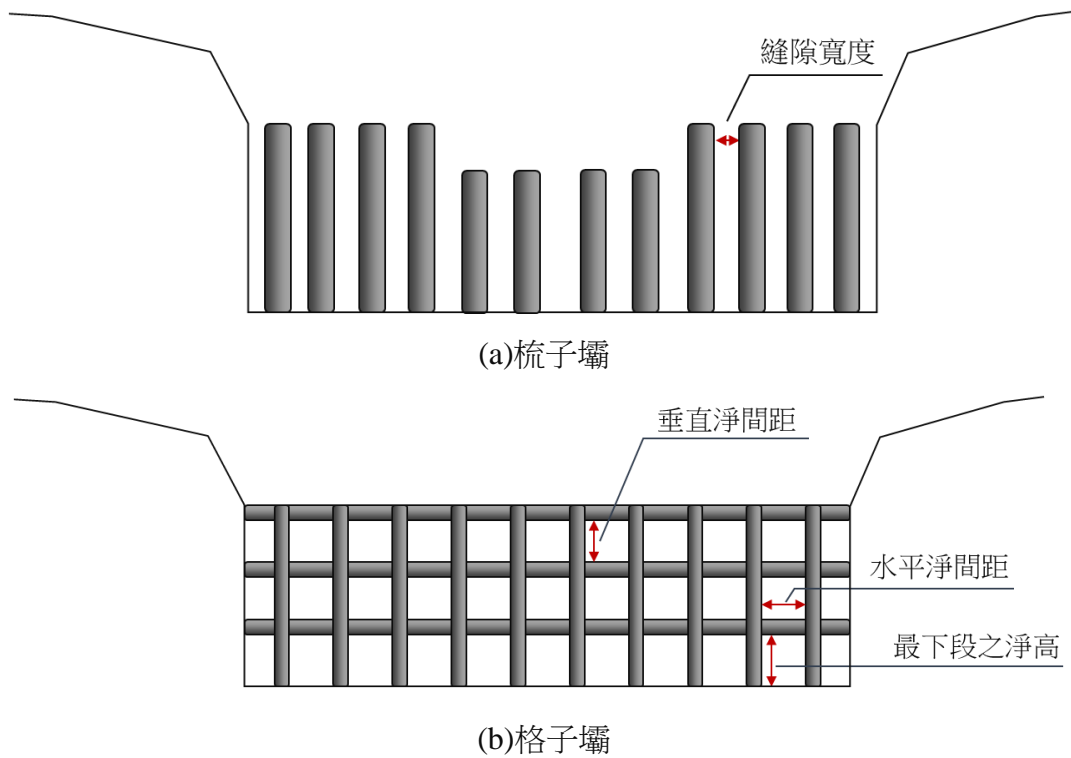


圖 3-17 透過部斷面圖

3.8 壩體設計

在壩體設計時，應考慮壩體的幾何形狀與作用在壩體的所有作用力，使壩體能符合安定分析的所有條件，設計出最經濟且安全的壩體。

1. 壩體幾何設計

防砂壩壩體幾何設計包括壩高、壩頂厚度、壩體上、下游坡面斜率等，分述如下：

(1) 壩體高度

壩高設計取決於築壩目的、壩址地質狀況、淤砂坡度、兩岸岸坡高度及周圍狀況等因素，選定最經濟且有效之高度。

- a. 壩高應依壩址之地質狀況選定之，從壩的安全性來說，其基礎應盡量設在岩盤上，但有時因計畫之需要，亦不得已設置在砂礫為基礎之上，此時壩高應限制在 15 公尺以下。
- b. 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，其淤砂坡度與壩高具有正相關性。
- c. 應考量淤砂線和壩址兩翼之高度是否足以防止土石流溢出及壩址下游之地質條件，是否足以抵抗土石流的直接撞擊和沖刷。

(2) 壩頂厚度

壩頂厚度為壩最頂端(不包含壩翼)之厚度，可依壩高或地況選取妥適之設計值，如表 3-5 所示。

表 3-5 壩頂厚度選取參考表

依壩高選定	
壩高(H)	壩頂厚度(b)
$5.0m \leq H < 10m$	$b = 1.5 \sim 2.0m$
$H \geq 10m$	$b = 2.0 \sim 3.0m$
依河床質地選定	
河床質地	壩頂厚度(b)
一般荒廢野溪	$b = 1.5m$
粒徑粗之溪流	$b = 2.0m$
土石流或大滾石地區	$b = 3.0 \sim 4.0m$

資料來源：水土保持手冊(2017)

(3) 壩體下游面斜率

為防止過壩水流挾帶砂石之直接撞擊，壩體下游面及基腳斜率宜採用陡於 1 : 0.3 之陡坡設計，若採用 1 : 0.3 以上之斜率且有較粗粒徑塊石滾落情況，可加舌狀突出。

(4) 壩體上游面斜率

係防砂壩設計之主要部分。先行決定壩頂厚度與下游壩面坡度，並假設上游壩面坡度，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(選取最小斜率為原則)，使壩體斷面既符合經濟亦能抵擋土石流衝擊力。

2. 安定分析

(1) 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，在土石流區間設置防砂壩則應特別考量土石流撞擊力作用。為避免過度安全設計，如表 3-6 所示，可以參考水土保持手冊(2017)之標準配合壩高選取適當作用力進行安定檢討。

表 3-6 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
$5m \leq H < 7m$	自重 水壓力 土壓力 地震時壩體慣性力 地震時動態土壓力	自重 水壓力 土壓力	自重 靜水壓力 土壓力 土石流流體衝擊力 土石流巨礫撞擊力
$H \geq 7m$	自重 靜水壓力 土壓力 上揚力 地震時壩體慣性力 地震時動態土壓力	自重 靜水壓力 土壓力 上揚力	自重 靜水壓力 土壓力 上揚力 土石流流體衝擊力 土石流巨礫撞擊力

資料來源：水土保持手冊(2017)

a. 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：

$$W = \gamma_c V_s \quad \text{式 3-39}$$

式中， γ_c = 壩體材料單位重量，一般混凝土材料之 $\gamma_c = 2.3 \sim 2.4 \text{ t/m}^3$ ； V_s = 壩體體積。於安定檢算時，壩體踵版上方之水重、淤砂重與踵版自重可視為壩體安定之重量。通常透過性防砂壩之設計以淤滿狀態進行計算，使壩體設計得較為厚重，故可以壩體密閉比(K)進行適當之折減，密閉比可由下式求得：

$$K = 1 - \frac{\text{壩體開口單側面積總合}}{\text{壩體單側面積}} \quad \text{式 3-40}$$

b. 靜水壓力

平常時以靜水壓計算作用於壩體的外力，地震時需計算增加之水壓，但一般透過性壩體普通流量時可不計地震水壓力。若上游水位高於混凝土基礎頂部高程，因上部結構屬透水式結構，水壓甚小，故水壓力應從混凝土基礎頂起算。

(a) 常時靜水壓

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \sqrt{1 + m^2} \quad \text{式 3-41}$$

$$P_{wH} = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \quad (\text{水平分力}) \quad \text{式 3-42}$$

其中，作用點 $h_{ce} = H/3$ ； H = 覆土深(m)； γ_w = 水單位重； m = 斜率。

(b) 地震時靜水壓

當地震發生時，水平水壓力增量如下：

$$\Delta P_w = \frac{7}{12} K_{eh} \gamma_w H^2 \quad \text{式 3-43}$$

其中，作用點 $h_{ce} = 2H/5$ ； K_{eh} = 水平地震係數。

c. 土砂壓力

係指壩體前、後淤積土體對壩側上、下游之作用力。一般作用於壩側上游牆面上主動土壓力，可以 Coulomb 或 Rankine 方法加以計算。

(a) Coulomb 土壓力

$$P_a = \frac{1}{2} K_{ac} \gamma_{sub} H_o^2 \quad \text{式 3-44}$$

式中， K_{ac} =主動土壓力係數； γ_{sub} =浸水單位重； H_o =壩高。故主動土壓力之水平和垂直分力分別為

$$P_{av} = P_a \sin(\delta + \bar{\epsilon}) \quad \text{式 3-45}$$

$$P_{ah} = P_a \cos(\delta + \bar{\epsilon}) \quad \text{式 3-46}$$

式中， δ =牆面與土壤間之摩擦角； $\bar{\epsilon}$ =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

$$K_{ac} = \frac{\cos^2(\phi - \bar{\epsilon})}{\cos^2 \bar{\epsilon} \cos(\bar{\epsilon} + \delta) \left\{ 1 + \left[\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \bar{\epsilon}) \cos(\alpha - \bar{\epsilon})} \right]^{1/2} \right\}^2} \quad \text{式 3-47}$$

式中， ϕ =土壤內摩擦角，可參考表 3-7。對於水平淤砂坡度之無摩擦的垂直牆面而言，即 $\alpha = 0$ ， $\bar{\epsilon} = 0$ ，且 $\delta = 0$ 時，Coulomb 的主動土壓力係數可寫為

$$K_{ac} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{式 3-48}$$

同理，被動土壓力(P_p)及被動土壓力係數(K_{pc})可寫為

$$P_p = \frac{1}{2} K_{pc} \gamma_{sub} H_o^2 \quad \text{式 3-49}$$

$$K_{pc} = \frac{\cos^2(\phi + \bar{\epsilon})}{\cos^2 \bar{\epsilon} \cos(\bar{\epsilon} - \delta) \left\{ 1 + \left[\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\cos(\delta - \bar{\epsilon}) \cos(\alpha - \bar{\epsilon})} \right]^{1/2} \right\}^2} \quad \text{式 3-50}$$

當 $\alpha = 0$ ， $\bar{\epsilon} = 0$ ，且 $\delta = 0$ 時，則 Coulomb 的被動土壓力係數可寫為

$$K_{pc} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{式 3-51}$$

(b) Rankine 土壓力

若採用 Rankine 法計算主動土壓力時，主動土壓力係作用在通過壩踵之垂直面上，即

$$P_{a(Rankine)} = \frac{1}{2} \gamma_{sub} K_{ar} H_t^2 \quad \text{式 3-52}$$

式中， $H_t = H_0 + m_2 H_0 \tan \alpha$ 。故主動土壓力之水平和垂直分力分別為

$$P_{av} = P_{a(Rankine)} \sin \alpha \quad \text{式 3-53}$$

$$P_{ah} = P_{a(Rankine)} \cos \alpha \quad \text{式 3-54}$$

式中，主動土壓力係數可表為

$$K_{ar} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad \text{式 3-55}$$

當淤砂面為水平時，上式與 Coulomb 方法之式相同可寫為

$$K_{ar} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{式 3-56}$$

除了主動土壓力外，在進行安定分析時，尚需考慮被動土壓力，即

$$P_{p(Rankine)} = \gamma_{sub} K_{pr} H_t^2 \quad \text{式 3-57}$$

式中， K_{pr} =被動土壓力係數可表為

$$K_{pr} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad \text{式 3-58}$$

當淤砂面為水平時，上式與 Coulomb 方法之式相同可寫為：

$$K_{pr} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{式 3-59}$$

(c) 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 Mononobe-Okab 理論計算，則地震引起之主動土壓力可表為

$$P_{ae} = \frac{1}{2} K_{ae} (1 - K_v) \gamma_{sub} H_0^2 \quad \text{式 3-60}$$

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

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \bar{\varepsilon} - \bar{\theta})}{\cos \bar{\theta} \cos^2 \bar{\varepsilon} \cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta}) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \bar{\varepsilon}) \sin(\phi - \alpha - \bar{\theta})}{\cos(\bar{\varepsilon} - \alpha) \cos(\delta + \bar{\varepsilon} + \bar{\theta})}} \right]^2} \quad \text{式 3-61}$$

式中，地震角 $\bar{\theta} = \tan^{-1}\left(\frac{K_h}{1-K_v}\right)$ 。由地震所增加之土壓力應為

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a \quad \text{式 3-62}$$

式中， ΔP_{ae} 作用在距壩基 0.6 H 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

$$\Delta P_{aeh} = P_{ae} \cos(\delta + \bar{\varepsilon}) \quad \text{式 3-63}$$

$$\Delta P_{aev} = P_{ae} \sin(\delta + \bar{\varepsilon}) \quad \text{式 3-64}$$

表 3-7 泥砂特性與其內摩擦角一覽表

泥砂特性	緊密程度	土壤內摩擦角 ϕ (°)
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

資料來源：水土保持手冊（2001）

d. 上揚力(壩高小於 7m 可不計入應力)

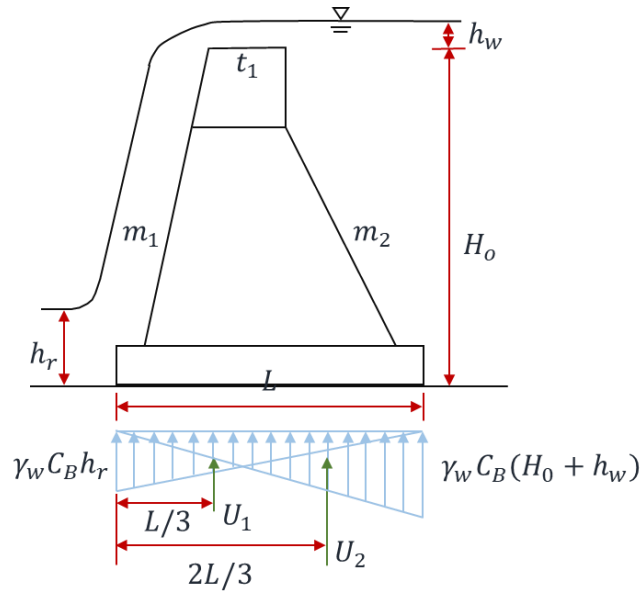
壩體上游面之水滲透至壩底，對壩底所產生之垂直向上作用力稱之上頂力或上揚力，導致壩體有效重量降低，而影響壩體安定，如圖 3-18。上揚力公式可表為：

$$U_1 = \frac{1}{2} C_B \gamma_w d_f L \quad \text{式 3-65}$$

$$U_2 = \frac{1}{2} C_B \gamma_w (H_o + h_w) L \quad \text{式 3-66}$$

$$U = U_1 + U_2 = \frac{1}{2} C_B \gamma_w (H_o + h_w + h_r) L \quad \text{式 3-67}$$

式中， U_1 為針對過壩後之水深做計算； U_2 為針對壩體上游之水深(包含溢流水深)做計算； C_B =浮力係數(=0.2~0.7)，其與基礎種類相關，如表 3-6 所示，為不同基礎種類之浮力係數值； H_o =壩上游水深； d_f =壅水水深； h_w =溢流水深； L =壩底寬度。



資料來源：引用自水土保持手冊(2017)

圖 3-18 防砂壩受上揚力作用示意圖

表 3-8 各種基礎類型之浮力係數值

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

資料來源：水土保持手冊(2017)

e.地震時壩體慣性力

係指地震對壩體本身所產生的慣性力，其作用力會作用於壩體之水平方向，由壩體重量乘以水平地震力係數求得，可表為

$$P_e = K_h W \quad \text{式 3-68}$$

式中， P_e = 壩體受地震影響之水平地震力； W = 壩體重量； K_h = 水平地震力係數(依照內政部營建署之建築技術規則耐震設計規定之「地震甲區」 $K_h = 0.165$ ，及「地震乙區」 $K_h = 0.115$ ，請參考表 3-9。

表 3-9 地震分區表

地震甲區	
宜蘭縣、新竹市、新竹縣、苗栗縣、台中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義市、嘉義縣、台南市、花蓮縣、台東縣。	
高雄市	旗山區、那瑪夏區、六龜區、內門區、甲仙區、杉林區、美濃區、桃源區、茂林區。
屏東縣	恆春鎮、九如鄉、內埔鄉、里港鄉、車城鄉、牡丹鄉、長治鄉、來義鄉、泰武鄉、高樹鄉、春日鄉、獅子鄉、瑪家鄉、萬巒鄉、滿洲鄉、霧台鄉、鹽埔鄉、麟洛鄉、三地門鄉。
地震乙區	
基隆市、台北市、新北市、桃園市、澎湖縣。	
高雄市	鹽埕區、鼓山區、左營區、楠梓區、三民區、新興區、前金區、苓雅區、前鎮區、旗津區、小港區、鳳山區、林園區、大寮區、大樹區、大社區、仁武區、鳥松區、岡山區、橋頭區、燕巢區、田寮區、阿蓮區、路竹區、湖內區、茄萣區、永安區、彌陀區、梓官區
屏東縣	屏東市、東港鎮、竹田鄉、林邊鄉、佳冬鄉、枋山鄉、枋寮鄉、南州鄉、崁頂鄉、琉球鄉、新埤鄉、新園鄉、萬丹鄉、潮州鄉。

資料來源：建築技術規則耐震設計(1999)

f. 土石流流體撞擊力

受到土石流衝擊時需考慮土石流流體衝擊力，係屬面的撞擊力，與壩體安定性分析相關，其與流體性質、流深及流速等因子相關，根據連惠邦(2002)可表為：

$$P_f = K \frac{\gamma_m}{g} \bar{h}_{DE} \bar{U}_{DE}^2 \quad \text{式 3-69}$$

式中， P_f =土石流流體衝擊力(t/m)； γ_m =土石流流體單位重(t/m^3)； \bar{h}_{DE} =土石流流深(m)； \bar{U}_{DE} =土石流流速(m/s)，建議採用式 3-75 估算之； $K \approx 1$ 。

土石流單位重(γ_m ，specific weight)係指單位體積土石流體之質量，可由下式求得：

$$\gamma_m = (\gamma_s - \gamma_w)C_d + \gamma_w \quad \text{式 3-70}$$

式中， γ_m =土石流流體單位重； 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； C_d =泥砂體積濃度，係指單位體積土石流體中固體物質所占的體積比，目前最常採用 Takahashi(1978)建立之土石流先端部平衡泥砂體積濃度公式進行土石流泥砂體積濃度推估，可表為

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \text{式 3-71}$$

式中， $\tan \theta$ =溪床平均坡度； θ =溪床傾角； $\tan \phi$ =靜摩擦係數， ϕ 約介於 $26^\circ \sim 48^\circ$ 之間，如表 3-7 所示。由於式 3-71 係基於平衡條件下的土石流流況所建置，而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 3-71 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 3-71 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，且其溪床坡度需介於 $10 \sim 20^\circ$ 之間。

土石流流速(\bar{U}_{DE})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。

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分布之半經驗公式：

$$\bar{U}_{DE} = \frac{2}{3d_s\lambda} \left\{ \frac{g \sin \theta}{a_i \sin \alpha} \left[C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_w}{\rho_s} \right] \right\}^{1/2} [h_D^{3/2} - (h_D - Y)^{3/2}] \quad \text{式 3-72}$$

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。

依據推導條件及假設，上式適用於礫石型土石流類型。另，土石流斷面平均流速(\bar{U}_{DE})可依上式沿著水深方向積分獲得，即

$$\bar{U}_{DE} = \frac{2}{5d_s\lambda} \left\{ \frac{g \sin \theta}{a_i \sin \alpha} \left[C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_w}{\rho_s} \right] \right\}^{1/2} h_D^{3/2} \quad \text{式 3-73}$$

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：

$$d_s = \sum_{i=1}^n P_i d_{si} \quad \text{式 3-74}$$

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。

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

$$\bar{U}_{DE} = \frac{1}{n_d} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad \text{式 3-75}$$

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_0 =溪床坡度。上式與式 3-33 為同一公式，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，應用於不同地區時必須加以調整。

g. 土石流巨礫撞擊力

巨礫撞擊力為點的撞擊力。壩體混凝土材料的耐撞程度影響壩體整體之安定性，與混凝土強度和厚度相關，而多數採用完全彈性碰撞理論進行巨礫撞擊力推估，根據農業委員會水土保持局(2001)可表為：

$$P_d = 20.2 \bar{U}_{DE}^{1.2} R_E^2 \quad \text{式 3-76}$$

式中： P_d =巨礫撞擊力(t)； R_E =設計粒徑(D_E)之半徑(m)； \bar{U}_{DE} =土石流流速(m/s)，建議採用 Takahashi 半經驗公式估算之。

由式 3-63 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礫石之設計粒徑，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 20cm 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 3-19 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 3-20 所示。

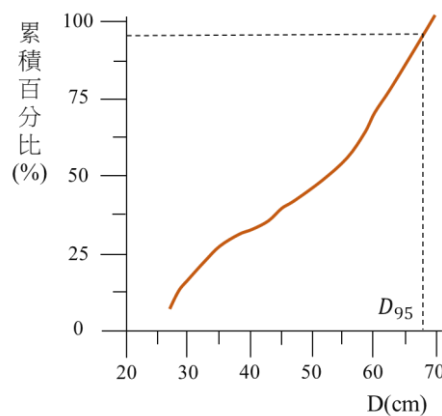


圖 3-19 表面調查法

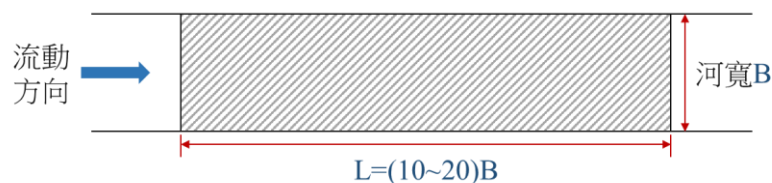


圖 3-20 表面調查法調查區域示意圖

(2)安定檢討

透過性防砂壩的安定計算須在能確保整體構造物功能之完整性、各個構件確實接合及避免過度變形的前提下，並考量空庫、淤滿、洪水、地震及土石流等單獨情況及合理之組合情況下受到各種外力作用下的防傾倒、防滑動及基礎乘載力安定檢討，各式情況如表 3-10 所示。

表 3-10 防砂壩安定計之算各式情況列表

情況	安定計算
土砂未淤滿	依照淤積之土砂高度計算土砂重與土砂壓力
土砂淤滿	壩高等同淤積土砂高度，並計算土砂重與土砂壓力
普通流量	無溢流水深，須計算水重與靜水壓力
最大流量	有溢流水深，須計算水重、靜水壓力與壩前壅水水深
未發生地震	不考慮地震，僅計算土砂壓力
發生地震	須計算地震時土砂壓力與壩體慣性力
土石流流體撞擊	依據相關土石流參數計算土石流流體撞擊
土石流巨礫撞擊	依據設計粒徑計算土石流巨礫撞擊

依照治理溪段選定須演算之情況，並將壩體受到之各種外力作用進行防傾倒、防滑動及基礎承載力安定檢討，須在足夠的壩體應力及基礎承載力下維持安定。因此，對於透過性防砂壩之設計，符合下列規定：

a. 傾倒安定檢討

以壩體趾部為力矩中心，欲使壩體安定，無傾倒之虞，應符合下列條件：

(a) 抗傾倒力矩應大於傾倒力矩，即

$$\sum M_v > \sum M_h \text{ 或 } F.S. = \sum M_v / \sum M_h > 1.0 \quad \text{式 3-77}$$

式中， M_v =抗傾倒力矩； M_h =傾倒力矩； $F.S.$ =傾倒安全係數，一般為 1.1~1.3。

(b) 壩體外力與自重之合力作用點應作用於壩底中央三分之一以內，以防止壩底產生拉應力而傾倒，即

$$\frac{1}{3}L \leq x = \frac{M}{R_v} \leq \frac{2}{3}L \quad \text{式 3-78}$$

式中， M = 總力矩； R_v = 垂直分力之總和； L = 壩底寬度。此外，如圖 3-21 所示，偏心距 $e = x - L/2$ ，代入式 3-78 亦可以下式判別，即

$$e < \frac{L}{6} \quad \text{式 3-79}$$

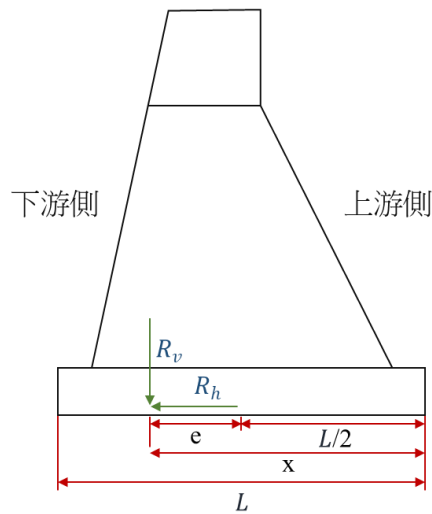


圖 3-21 壩體受力偏矩示意圖

b. 滑動安定檢討

如圖 3-22 為設一物體置於一平面上，有一力 R 作用於物體上，則物體不向前滑動之臨界條件為：

$$f_1 R_v \geq R_h \quad \text{式 3-80}$$

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 3-11 求得； F_k = 摩擦抵抗力 ($= f_1 R \cos \theta$)。

根據上式可知，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：

$$F.S. = \frac{F_k}{R_h} \quad \text{式 3-81}$$

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

$$F_k = \frac{1}{2} \tan \theta (B_{pu} + B_{pd}) L \quad \text{式 3-82}$$

式中， B_{pu} =壩跟垂直應力； B_{pd} =壩趾垂直應力； θ =摩擦角。

若摩擦抵抗力不足，則須加設基腳(止滑樺)以增加抗滑力，加設基腳(止滑樺)後之摩擦抵抗力計算如下：

$$F_k = \frac{1}{2} \tan \phi (B_{pu} + B_{pd}) L + P_p \quad \text{式 3-83}$$

式中， P_p =基腳被動土壓力，可表為

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_{sat} (N_b + h_p)^2 \quad \text{式 3-84}$$

式中， K_p =被動土壓力係數； γ_{sat} =土壤飽和單位重； N_b =基礎深度； h_p =基腳深度(參考圖 3-23)。

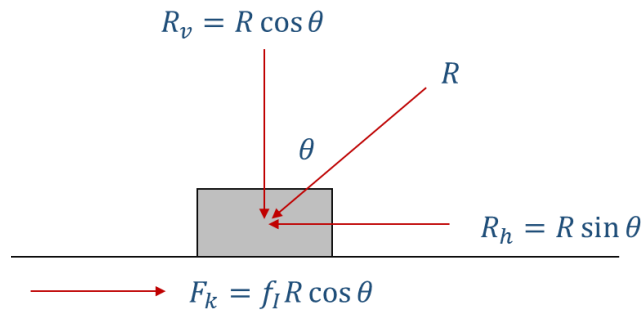


圖 3-22 滑動力示意圖

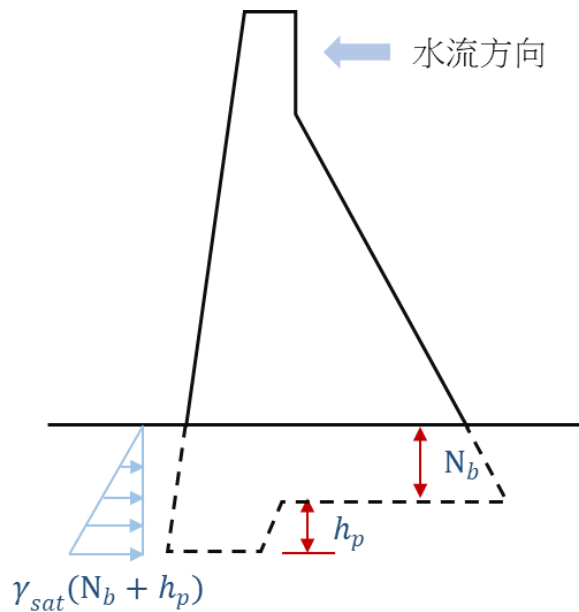


圖 3-23 基腳被動土壓力計算示意圖

表 3-11 各種基礎類型與混凝土之摩擦係數

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

資料來源：水土保持手冊(2017)

c. 壩體容許應力

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，混凝土之容許應力不得超過表 3-12 之規定值，其中 f_c' 為混凝土規定抗壓強度，結構混凝土之 f_c' 不得小於 210 kgf/cm²，預力混凝土之 f_c' 不得小於 280 kgf/cm²。

表 3-12 混凝土之容許應力

應力	類型	規定值
撓曲應力	最外纖維壓應力	$0.45f_c'$
剪應力 (梁、單向版及基腳)	混凝土承受之剪應力 V_c	$0.29 \sqrt{f_c'}$
	混凝土與剪力鋼筋承受之最大剪應力	$V_c + 1.2 \sqrt{f_c'}$
剪應力 (欄柵版之肋梁)	混凝土承受之剪應力 V_c	$0.32 \sqrt{f_c'}$
剪應力 (雙向版及基腳)	混凝土承受之周邊剪應力 V_c ，但不得超過 $0.53 \sqrt{f_c'}$	$0.26(1 + 2/\beta_c)\sqrt{f_c'}$ (β_c =集中載重或反力作用面之長邊對短邊之比值)
承壓應力		$0.3f_c'$

資料來源：混凝土結構設計規範(2017)

d.基礎承載力檢討

壩基承載力應大於壩趾及壩跟之應力。壩跟及壩趾處之垂直應力分別為

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - \frac{6e}{L}\right) \quad \text{式 3-85}$$

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + \frac{6e}{L}\right) \quad \text{式 3-86}$$

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一般可參考表 3-13。

表 3-13 各種基礎類型之容許承載力

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

資料來源：水土保持手冊(2017)

e. 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。在未淤滿的狀況下，作用在柱體上的水平力有靜水壓力、土砂壓力及土石流巨礫撞擊力等外力。因此，總彎矩(ton·m)可表為

$$M = P_d \left(H_m + \frac{D_E}{2} \right) + bP_{wh} \frac{H_m}{3} + bP_{ah} \frac{H_m}{3} \quad \text{式 3-87}$$

式中， P_d =土石流巨礫撞擊力； H_m =柱體上游淤砂高度(未淤滿狀況)； D_E =設計粒徑； b =壩柱寬度； P_{wh} =水平靜水壓力； P_{ah} =水平土砂壓力。而斷面抗彎強度(ϕM_n)為

$$\phi M_n = 0.122\sqrt{f'_c} \times b \times t^2 (\text{ton} \cdot \text{m}) \quad \text{式 3-88}$$

若 $\phi M_n > M$ ，則壩柱可抵抗巨礫撞擊而不會產生彎矩破壞。此外，壩柱抗剪強度為

$$\phi V = 0.1925\sqrt{f'_c} \times b \times t (\text{ton}) \quad \text{式 3-89}$$

若 $\phi V > V(=P_d)$ ，則壩柱可抵抗土石流巨礫之剪切破壞。

然因實際土石流巨礫撞擊力巨大，可考慮配置鋼筋以增加抵抗力，鋼筋混凝土之壩柱設計可採用較保守之工作應力法(Working Stress Method)，分別依照柱子、踵版及趾版所承受之最大剪應力加以設計。設計過程如下：

取剪應力壩柱抗剪強度較大者為設計之剪應力 V_c ，並可由下式推導所需之混凝土有效厚度：

$$d' \geq \frac{V_c \times 1000}{0.55 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b} \quad \text{式 3-90}$$

式中， f'_c =混凝土強度； V =所受剪應力。故所需之鋼筋斷面積為

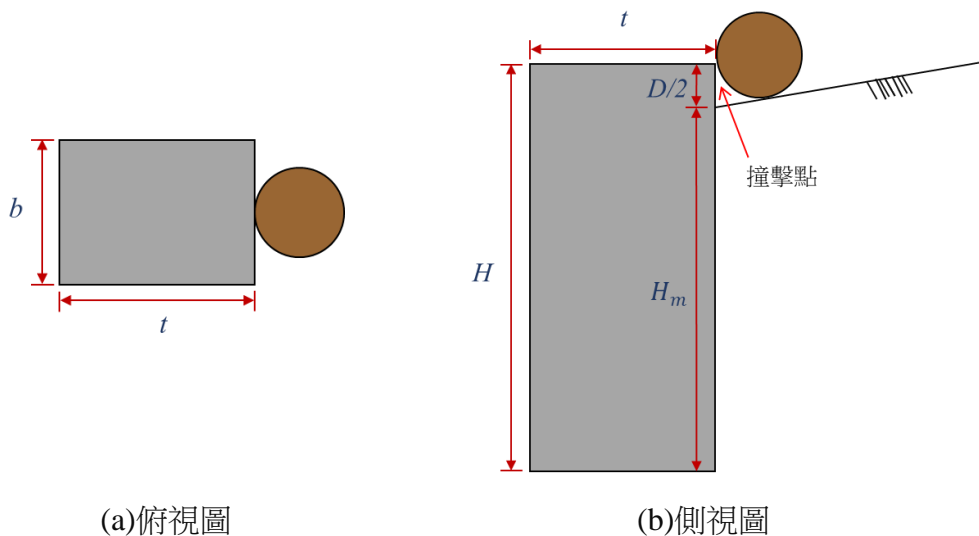
$$A_s = \frac{M}{f_s \times j \times d'} \quad \text{式 3-91}$$

式中， M =總彎矩； f_s =鋼筋強度； j 為設計常數。

而實際混凝土厚度= d' +保護層+ $\frac{1}{2}$ 鋼筋直徑。各部最大剪應力狀態分述如下：

- (a) 柱子：以靜土堆積後單粒巨石撞擊力最大。
- (b) 踵版：於土堆積後單粒巨石撞擊力最大，其需考慮堆積之靜土壓力、土之重量、踵版混凝土自重、承载力及上揚力。
- (c) 趾版：於空壩時土石流撞擊力最大，需考慮覆土重、趾版混凝土自重、承载力。

為得到較保守且安全之壩體，進行壩柱抗剪及抗彎檢算時，建議假設巨礫恰巧撞擊柱子頂，此為極端情況，出現機率很低，此時受力狀況必大於平時狀況，如此設計之壩體於開口變化斷面處才不會因設計不足而遭致破壞。而相鄰之壩柱於同一瞬間被撞擊之機率可視為零；除面板為壩柱外，趾版、踵版、止滑樺均為連續構造，因而在壩體安定分析時，一粒巨礫撞擊，可假設分散到三支梳子(柱)所受力的斷面寬。



資料來源：水土保持手冊(2017)

圖 3-24 土石流巨礫撞擊梳子壩壩柱

此外，由於透過性壩體因束水效應而提高了過壩水流之局部動能，產生水平射流沖刷，流速可依連續方程式推估之，其易導致下游側溪床局部沖刷問題，因此須特別注意開口基礎之設置，並加強保護措施。

3. 壩體保護設施

現今因全球氣候變遷，極端的水文事件如高強度降雨及巨大的洪峰流量發生率增加，為防止壩體經長時間撞擊而損壞，故可設置緩衝材料(例如：橡膠材料、砂包或廢棄輪胎等)有效地消減撞擊時之能量，以保護結構物之安全。因廢棄輪胎成本低、承受衝擊富有相當之彈性變形能力、使用長時間對環境造成之污染小且無毒性較常被使用，如圖 3-25，而廢棄輪胎內填材料之不同造成之效果也有所差異，一般而言，廢輪胎內填充現場砂石仍保其變形能力，可做為緩衝材料，能大幅度消減土石流之衝擊力；而若廢輪胎內加灌混凝土，可增加壩頂抗磨損能力。

緩衝材料之選擇，以配合當地現有之材料、考量交通及環保因素，因此通常建議考慮材質軟、彈性大與省經費之材料。



資料來源：水土保持局-古坑鄉華山野溪

圖 3-25 梳子壩搭配廢輪胎保護設施

3.9 壩翼設計

為使水流能盡量自溢洪口流出以控制流心，且使防砂壩能達到攔蓄土石流及調節土砂之作用，故壩翼需要有足夠的厚度來抵擋後方的衝擊力，也需要足夠的高度以防止土石溢出，更重要的是要嵌入兩岸岸壁以增加壩之安定性。以下針對防砂壩翼頂部厚度、高度、坡度及壩翼嵌入溪岸邊坡土壤之深度做詳細的敘述。

1. 壩翼頂面厚度

為避免被漂流木、石塊撞擊而受損，壩翼頂面厚度可等於或略小於壩頂厚度，最小為 1 公尺，如圖 3-26 所示，且上游面亦須採用緩衝材料(如廢棄輪胎或鋼軌等)加以保護。

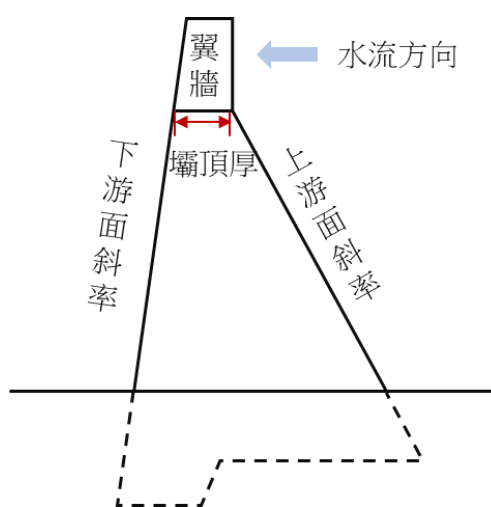


圖 3-26 透過性防砂壩側視示意圖

2. 高度

壩翼高度為壩頂至壩翼頂面之距離，如圖 3-27 所示。壩翼高度一般為溢流水深加出水高。為防止土石溢越壩翼，壩翼坡度宜採用 1：10 或與原溪床坡度向岸邊傾斜至少 5 公尺，惟如位處凹岸時應予加高，其計算公式如下：

$$\Delta h = 2.3 \frac{V^2}{g} \left(\log \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{式 3-92}$$

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/sec²)； 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。

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。但若溪岸附近無任何保全對象時，不在此限。

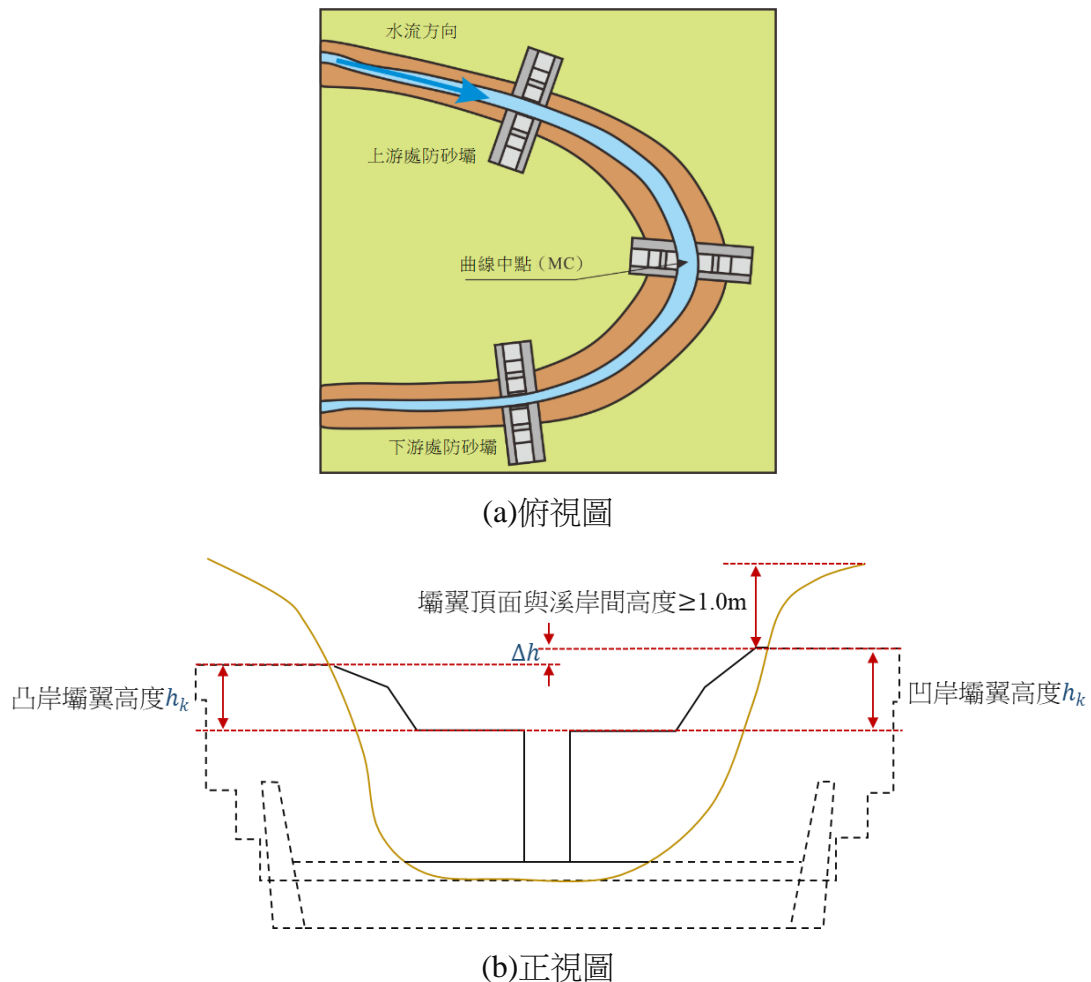


圖 3-27 壩翼頂面與溪岸高度示意圖

3. 嵌入深度

壩翼嵌入深度視兩岸地質決定之，依據水土保持手冊(2017)規定原則上以不小於 1.5m 為原則，一般為 2.0m，若設置在岩盤可僅嵌入 1~1.5m，在砂礫地質則需大於 2m。防砂壩設置於土石流區時，考量大規模之土石流有較大的衝擊力，亦或是壩址上游有崩塌地及漂流木，此類情況原則上應加強嵌入兩岸岸壁內，其深度不小於 1.5m。同時，壩翼嵌入溪岸時，為避免大範圍開挖，依開挖線宜採直接澆置方式施工。

4. 壩翼坡度

壩翼斜度宜以 1:10 向上斜嵌入兩岸岸壁，且至少五公尺長，若單側壩翼長度超過 20m 部分，得採較緩坡度，最小不低於 1:20，如圖 3-28 所示。用於治理土石流時，壩翼至溢口之斜度，須使壩翼斜度等於或大於計畫淤砂坡度 ($S_w \geq S_e$)，並向上斜至少 5 公尺至兩岸再以水平嵌入岸壁。

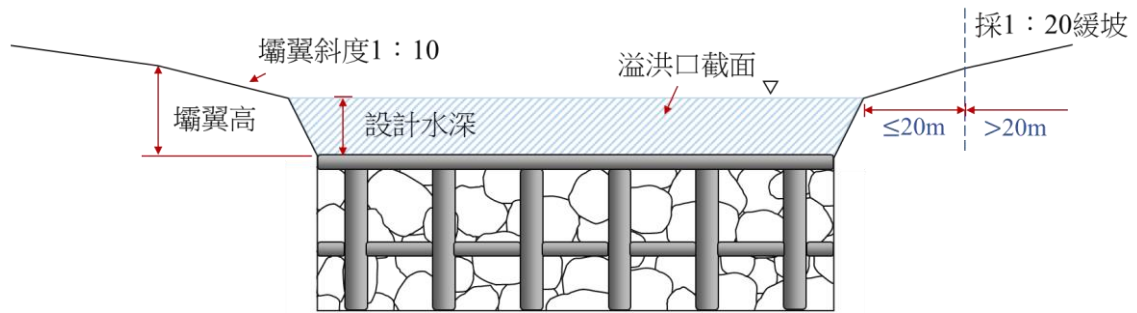


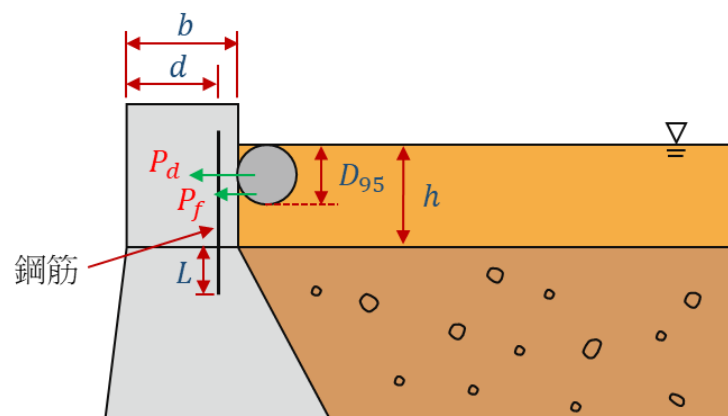
圖 3-28 壩翼具有斜度之溢洪口斷面示意圖

5. 上下游斜率

壩翼下游側斜率與壩體斜率相同，而上游側採垂直為原則，如圖 3-26 所示，惟壩翼甚高時，壩翼頂寬恐不足，此時壩翼下游側得採較陡之斜率。

6. 壩翼補強

為抵抗流體撞擊力，壩翼可以用鋼筋補強，如圖 3-29 所示。以下介紹壩翼所需鋼筋量之算法與應力之檢討。



圖片來源：砂防設計の手引書卷末資料 02(2008)

圖 3-29 壩翼補強示意圖

(1)最大彎矩(M_{max})

在土石流深 $h >$ 巨礫粒徑 D_{95} 時，最大彎矩可表為：

$$M_{max} = F_p \times \left(h - \frac{1}{2} D_{95} \right) + P_f \times \frac{1}{2} h \quad \text{式 3-93}$$

式中， F_p =巨礫撞擊力； P_f =土石流流體撞擊力。

(2)每單位寬度所需之鋼筋量(A_s)與鋼筋總周長(U')

a.每單位寬度所需之鋼筋量(A_s)

$$A_s = \frac{M_{max}}{\sigma_{sa} \cdot 7/8 \cdot d} \quad \text{式 3-94}$$

式中， σ_{sa} =鋼筋容許拉應力(SD280、SD280W 之鋼筋不得超過 137 N/mm²，SD420、SD420W 及以上之鋼筋與熔接鋼線網不得超過 157 N/mm²)，且須再乘上 1.5 變成短期荷重後，才可帶入上式； d =壩翼下游面至鋼筋之有效長度(圖 3-29)。

接著可藉由查詢表 3-14 得知所使用之鋼筋斷面積(A)與周長(U)資料，並以下式求出每 1m 單位寬所需的鋼筋根數(n)：

$$n = \frac{A_s}{A} \quad \text{式 3-95}$$

鋼筋設置之間隔(P)可寫為下式：

$$P = \frac{100}{n} \quad \text{式 3-96}$$

表 3-14 竹節鋼筋尺度表

稱呼	標示代號 #	標稱直徑 Ø(mm)	斷面積 A(mm ²)	單位重量 (kg/m)	周長 U(mm)
D10	3	9.53	71.33	0.56	30
D13	4	12.70	126.7	0.994	40
D16	5	15.90	198.6	1.56	50
D19	6	19.10	286.5	2.25	60
D22	7	22.20	387.1	3.04	70
D25	8	25.40	506.7	3.98	80
D29	9	28.70	646.9	5.08	90
D32	10	32.20	814.3	6.39	101
D36	11	35.80	1007	7.90	113
D39	12	39.40	1219	9.57	124
D43	14	43.0	1452	11.40	135
D50	16	50.20	1979	15.50	158
D57	18	57.30	2579	20.20	180

資料來源：中華民國國家標準 CNS 鋼筋混凝土用鋼筋(2018)

b. 鋼筋總周長(U')

$$U' = n \times U \quad \text{式 3-97}$$

式中， U =周長(表 3-14)。

(3) 最大剪切力(S_{max})

$$S_{max} = F_p + P_f \quad \text{式 3-98}$$

式中， F_p =巨礫撞擊力； P_f =土石流流體撞擊力。

(4) 應力檢討

壩翼配筋須通過握裹力及剪應力檢算，以下分別介紹二者檢算方式：

a. 鋼筋總周長(U')

$$\tau_o = \frac{S_{max}}{U' \cdot 7/8 \cdot d} \leq \tau_{oa} \quad \text{式 3-99}$$

式中， τ_o =握裹力； τ_{oa} =鋼筋混凝土之容許握裹力(表 3-15)，依照表中對應之值，再乘上 1.5 變為短期荷重才能代入上式 τ_{oa} 。

表 3-15 鋼筋混凝土之容許握裹力表(N/mm²)

混凝土設計標準強度 f'_{ck}	鋼筋混凝土之容許握裹力 τ_{oa}
18	1.4
24	1.6
30	1.8
40 ≥	2.0

資料來源：砂防設計の手引書卷末資料 02(2008)

b.剪應力檢討

$$\tau' = \frac{S_{max}}{b \cdot 7/8 \cdot d} \leq \tau_c \quad \text{式 3-100}$$

式中， τ' =剪應力； b =單位寬度； τ_c =混凝土之容許剪應力(表 3-16)，依照表中對應之值，再乘上 1.5 變為短期荷重才能代入上式 τ_c 。

表 3-16 混凝土之容許剪應力表(N/mm²)

混凝土設計標準強度 f'_{ck}	混凝土之容許剪應力 τ_c
18	0.33
21	0.36
24	0.39
30	0.45

資料來源：道路橋示方書 IIIコンクリート橋編

(4)鋼筋在壩體之固定長

鋼筋固定於壩體之長度，如圖 3-29 所示，其長度需大於 20ϕ 與 L_a 以上， ϕ 為依據表 3-14 之鋼筋尺寸， L_a 為根據選定之 ϕ 值所計算出之固定長，下列為計算式：

$$L_a = \frac{\sigma_{sa}}{4 \cdot \tau_{oa}} \times \phi \quad \text{式 3-101}$$

式中， σ_{sa} 與 τ_{oa} 需先乘上 1.5 變為短期荷重，才可帶入上式。

3.10 基礎設計

為使防砂壩能維持穩定，防止傾倒或滑動，應對於防砂壩之基礎進行進一步的規劃設計，以期所建置之防砂壩能維持穩定並發揮抑止土石流及防止崩塌等功能。基礎設計分為基礎深度(h_b)與基腳深度(h_p)。埋設深度在設計方面，以單一壩為原則進行計算，應用於連續性壩體會更為安全。

1. 基礎深度(h_b)

防砂壩基礎深度係按其下游溪床坡度、副壩間距及基腳等因素而定，圖 3-30 為參照水土保持手冊(2017)訂定之基礎深度示意圖，且因基礎深度與壩體高度呈正相關，故可根據壩體高度進行調整， h_b 一般以不小於 1.0m 為原則。

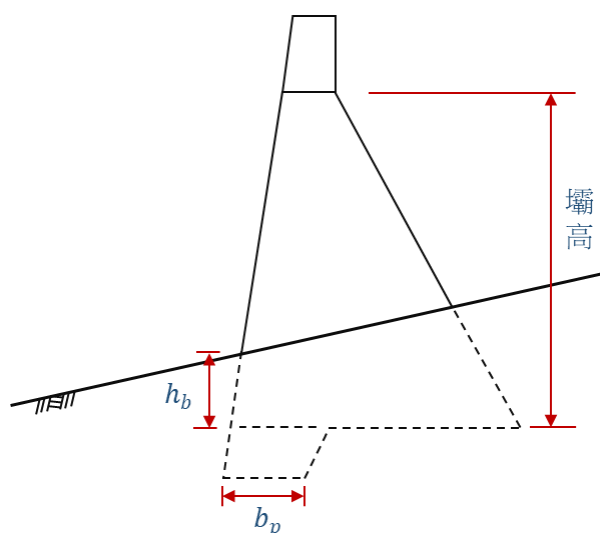


圖 3-30 基礎深度示意圖

2. 基腳深度(h_p)

若基礎深度達不到岩盤，為防止滲流須加基腳，以拉長滲流長度，其配置如圖 3-31 所示。 $\frac{1}{3}$ 壩底寬度 $\leq b_p \leq 5.0m$ ， $2.0m \leq h_p$ ； $n = 0.3 \sim 0.5$ (按挖方線)，施工方式直接澆注混凝土，無須組模。

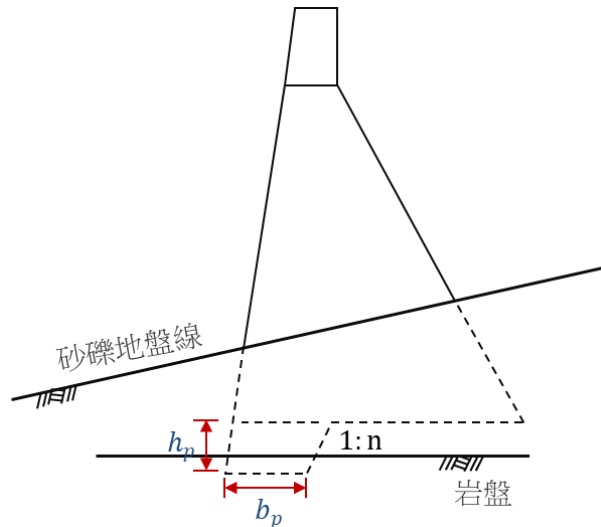


圖 3-31 基腳示意圖

歷年防砂壩壩體損毀主要原因，多為下游面掏刷，導致基礎掏空斷裂及倒塌，建議基礎深度加上基腳深度視情況加深。

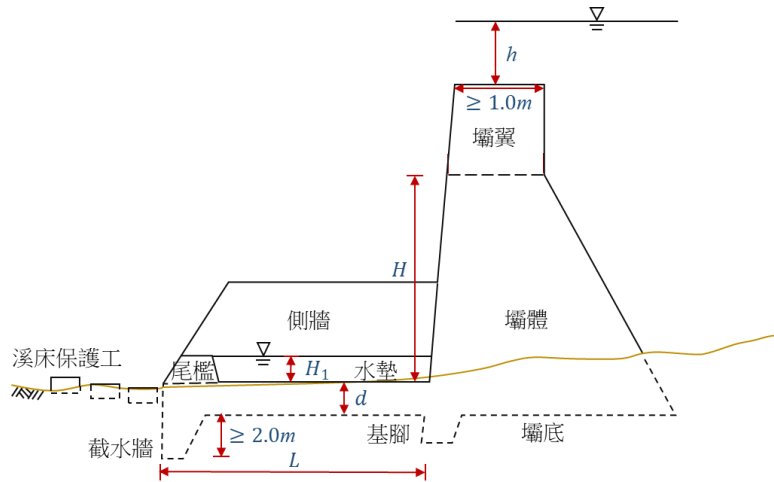
3.11 下游保護工設計(消能設施)

下游保護工為消減過壩水流之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。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)、護坦及副壩等設施為主。若是設置系列壩，則通常只會在最下游之壩體使用保護工，其它壩體可依靠土砂回淤保護基腳。

1. 靜水池(stilling basins)

靜水池係指增加壩體下游水位深度，以形成水躍達成減勢消能之一種工程設施。靜水池混凝土打底之末端築牆，一般稱之為尾檻(end sill)，此等構造可將凝底圍成與尾檻同高之蓄水池，利用其蓄水功用，作為水流衝擊之緩衝水體，將自上游往下沖擊所激起的水流予以消能，一般稱為水墊(water cushion)。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，下游溪床易被沖刷之溪段。倘若溪流水流挾砂量高，且含大量巨礫石時，因易遭土石填塞而失去效用，建議採用副壩而不採用水墊作為消能設施。靜水池設計主要包含混凝土封底長度(L)、厚度(d)、坡度、尾檻、截水牆高度(H)與側牆等項目，如圖 3-32 所示，茲分述如下：



資料來源：修改自水土保持手冊(2017)

圖 3-32 靜水池池底水平狀況示意圖

(1)長度：

靜水池長度一般採用經驗公式：

$$L = c(H + h) \quad \text{式 3-102}$$

式中， H =靜水池底至溢洪口底之高度(m)； h =溢流水深(m)； c =係數，介於 1.5-2.0 之間，當壩高(H)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)。

(2)厚度：

靜水池池底之厚度，一般均採用下列標準決定：

$$d = \begin{cases} 0.5 \sim 1.0 \text{ m} & H + h < 10 \text{ m} \\ 1.0 \sim 1.2 \text{ m} & H + h = 10 \sim 15 \text{ m} \\ \alpha(0.6 H + 3 h - 1.0) & H + h > 15 \text{ m} \end{cases} \quad \text{式 3-103}$$

式中， d =池底厚度(m)； α =係數，介於 0.1~0.2 之間，有靜水池時， $\alpha=0.1$ ； H =靜水池至溢洪口底之高度(m)； h =溢流水深(m)。

(3)坡度：

靜水池盡量以水平為原則。

(4)尾檻(end sill)：

尾檻高度目前尚無理論公式可供參考，一般經驗為主壩高之 10%~20%，即 $H_1 = 0.1 \sim 0.2 H$ 。

另外在土石流堆積區河床易遭沖刷且變動大，於尾檻下游面及施工終點可埋入現地大粒徑石塊以加強保護構造物。

(5)截水牆(cutoff wall)：

截水牆之厚度以 0.5~1.0m 為準；嵌入深度視兩岸及溪床地質條件而定可參照表 3-17，原則上參考水土保持手冊以不小於 1.0m 為原則。在截水牆下游處宜鋪設護床工(如拋大塊石或護坦等)，以防止溪床局部沖刷的擴大及危害。

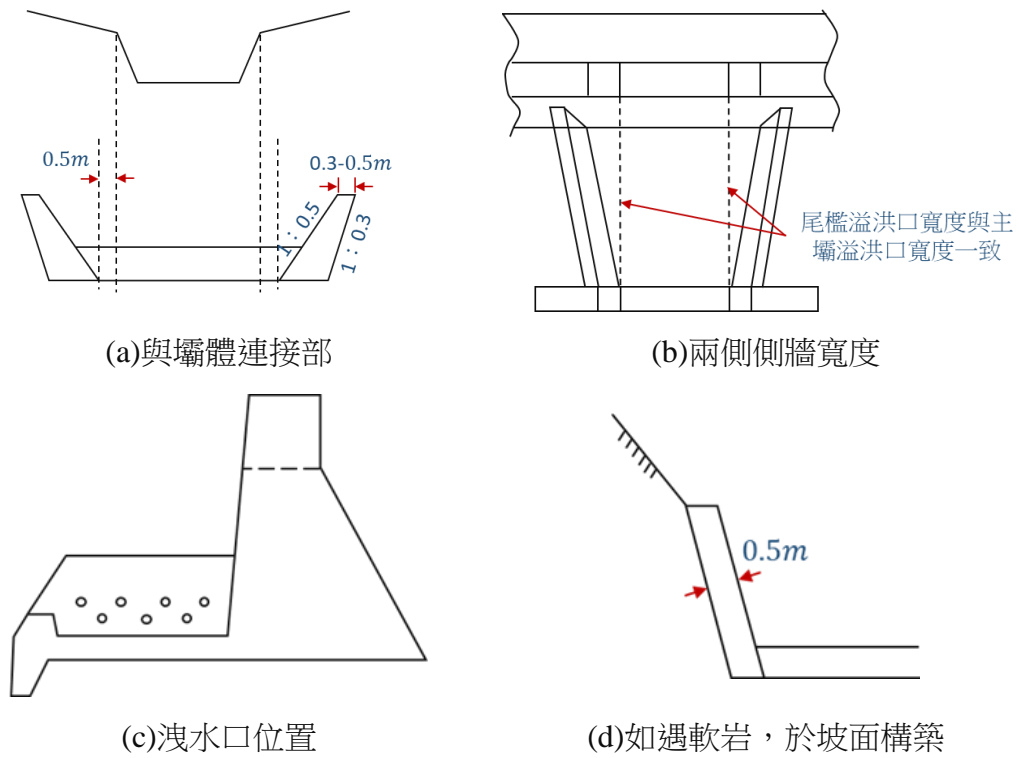
表 3-17 截水牆嵌入深度

地質條件	嵌入深度(m)
土砂	1.5~2.0
軟岩	1.0 以上
硬岩	0.5 以上

(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)，用以預防溢洪口頂端落下的水流造成的侵蝕現象，如圖 3-33 所示。

- a.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。
- b.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 3-33(a)所示，避免沖下之礫石撞擊側牆。
- c.尾檻溢流口寬度：側牆與尾檻相接處之寬度，宜與主壩溢洪口斷面寬度一致或略大於，如圖 3-33(b)所示。
- d.側牆應每 2m²至少設置直徑 ϕ 5cm 以上之洩水孔。如圖 3-33(c)所示，洩水孔位置以在出水高度以下為原則，而最下層洩水孔應盡量接近地面。洩水孔以能順利排水為原則，並應考慮濾水設施。在滲透水量多或地下水水位高之地區，則應在牆後置特別洩水設施。
- e.如兩岸為軟岩時，側牆可於坡面構築，厚度約 0.5m，如圖 3-33(d)所示。
- f.安定檢討：側牆安定檢討可參照護岸或擋土牆。



資料來源：修改自 DPWH(2010)

圖 3-33 側牆示意圖

在土石流區間設置防砂壩，其側牆配置宜考量土石流越壩後之衝擊，側牆位置若設置在土石流越流之範圍內，則可能會遭受巨大石塊擊中，導致側牆毀損，因此必須視實際狀況進行調整，如圖 3-34。

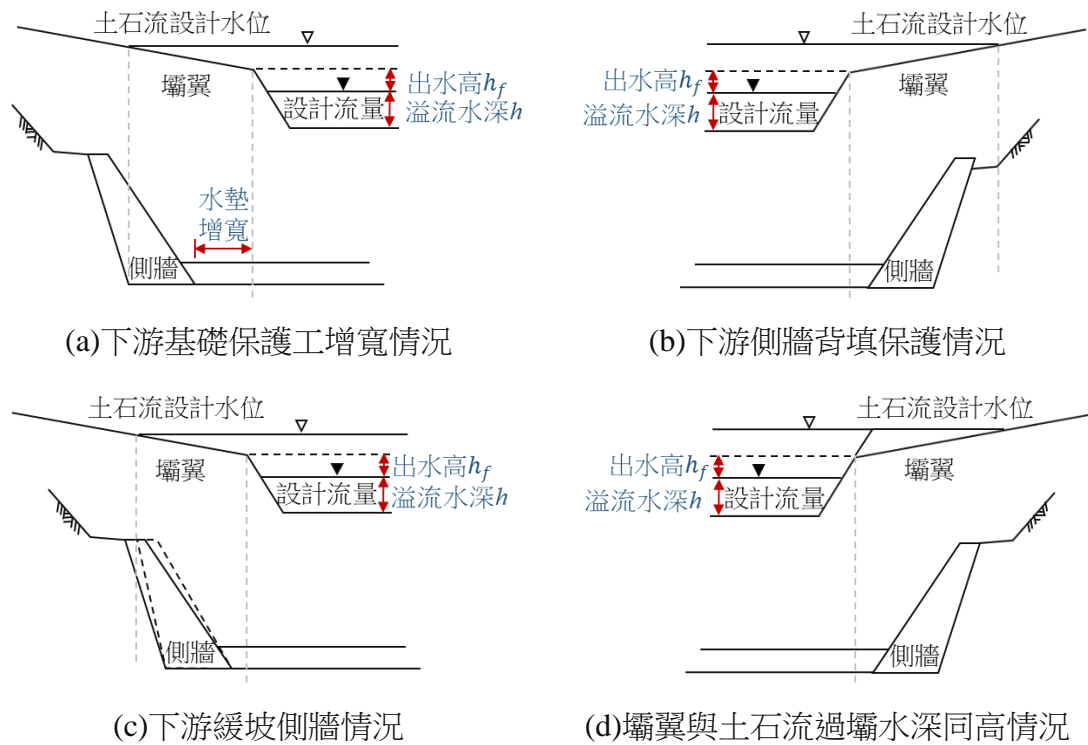


圖 3-34 側牆配置示意圖

近年來已較少使用靜水池作為消能設施，而改為採用加深防砂壩之基腳及副壩的設計。

2. 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(可參照圖 3-35)。一般採用混凝土或鋼筋混凝土築成，適用於在溢流水頭較低，陡坡溪床，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。護坦長度之公式可參照下列算式：

$$L = c(H + h + \Delta h) \quad \text{式 3-104}$$

式中， Δh =護坦前端與後端之高程差； $c \geq 2$ 。

厚度可參照下列標準：

$$d = \begin{cases} 0.5 \sim 1.0 \text{ m} & H + h < 10 \text{ m} \\ 1.0 \sim 1.2 \text{ m} & H + h = 10 \sim 15 \text{ m} \\ \alpha(0.6 H + 3 h - 1.0) & H + h > 15 \text{ m} \end{cases} \quad \text{式 3-105}$$

採用護坦時採 $\alpha = 0.2$ 。

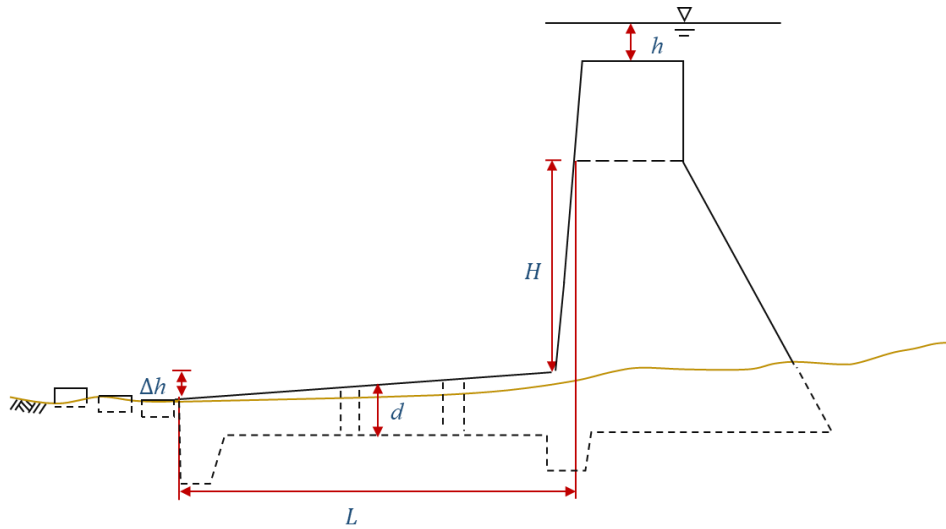


圖 3-35 護坦具斜坡狀況示意圖

護坦雖以混凝土灌注方式保護壩體，但若因粒徑較大之塊石下移而導致直接撞擊時護坦仍易碎裂，或因上下游水位差產生之浮力破壞，失去保護功能。故若有此保護需求，需降低護坦高度，預留護坦上方堆積塊石及於護坦增設洩水管、降低上揚力，以加強保護。

傳統式的護坦容易受水流淘刷後而損毀，若將靜水池或護坦設置成逆坡式(圖 3-36)，可藉由水躍來消減能量，效果比順坡式護坦良好。

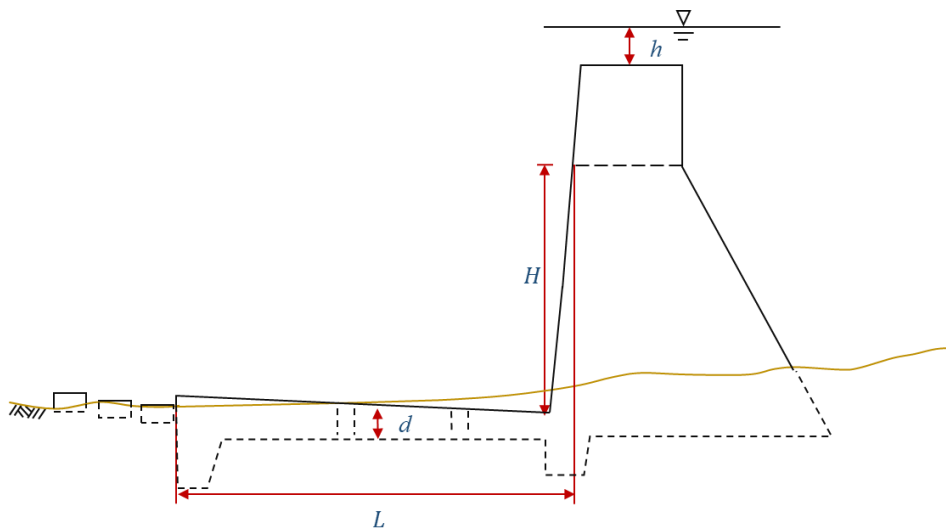


圖 3-36 逆坡式護坦示意圖

3.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。此構造主要利用副壩上游溪床土石消滅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。

一般適用於溪流流量大、溪床質粒徑粗大、坡度陡峭及地質良好之處。

(1)構造：可參考主壩設計，如圖 3-37 所示。

(2)重疊高：副壩與主壩之重疊高，參照下列經驗公式計算

$$H_1 = \text{重疊高} = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}\right) H_e \quad \text{式 3-106}$$

式中， H_e =主壩有效壩高，係指壩頂與溪床面間之高度。

(3)主壩與副壩之間距：

$$L = \text{主副壩間隔距離} = (1.5 \sim 2.0)(H_e + h) \quad \text{式 3-107}$$

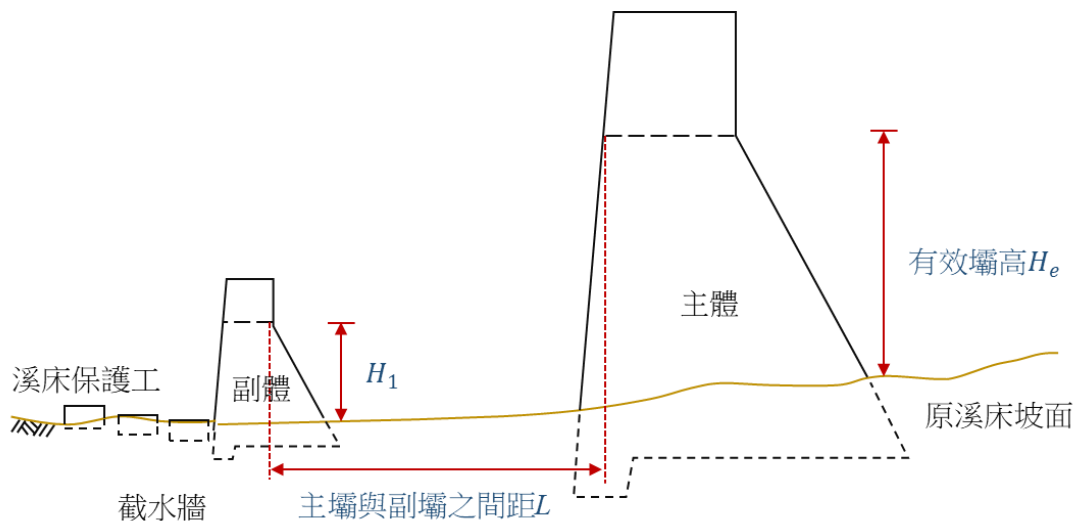


圖 3-37 主壩、副壩關係示意圖

3.12 注意事項

1. 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。
2. 開口寬度端視土石流性質而定。建議切口壩開口寬度以大於 2.5m 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，有利於搬運之交通工具進出壩體上游淤積土砂的移除作業。
3. 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。實施時，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。
4. 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，但因束水而增加動能，導致壩體下游有沖刷現象。
5. 採用廢棄輪胎作為抗撞材料時，輪胎內要填充砂石；作為抗磨材料時，輪胎內要澆置混凝土，設置高出壩體及其欲保護之設施。
6. 土石流的流場高達清水流的 10 倍，但凹谷地形往往無法允許這麼大的土石流的流量，如不得已仍需設置防砂壩，建議應考慮溢壩而不潰壩。

第四章 案例分析

本書詳列水文分析流程及幾座台灣野溪現有之壩體，根據壩體設計流程(圖 4-1)，分別詳述其計算流程，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，沿用時應注意參數的設定。

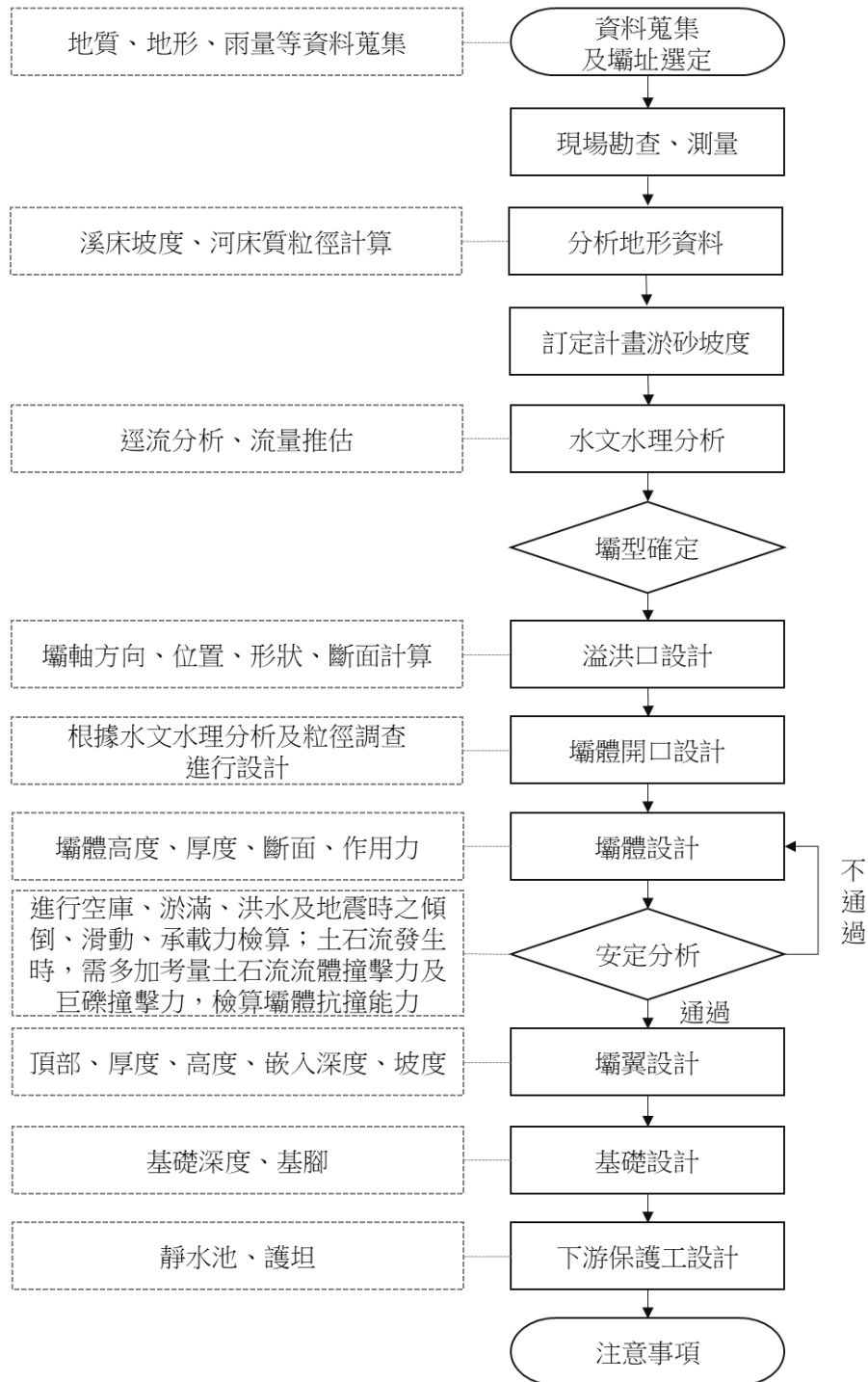


圖 4-1 設計流程

4.1 切口壩設計案例

此案例位於南投縣中寮鄉，為粗坑吊橋上游野溪整治工程，此區域每逢豪雨河道溪水暴漲，沖刷坡腳，上游崩塌地大量土石下移，為穩定道路路基、既有構造物及考量影響本區民眾生活用水品質及用路安全，遂成立本工程計畫，於粗坑吊橋上游處構築切口壩。其設計之基本參數由將暉及乾坤工程技術顧問有限公司提供，詳列於表 4-3。



圖 4-2 粗坑吊橋上游野溪整治工程之防砂壩

本案例之雨量採用集集雨量站之資料，並引用水利署針對集集雨量站之頻率分析結果，詳於表 4-1，其重現期距 50 年之一日最大暴雨量為 552.5mm。

表 4-1 集集雨量站頻率分析結果

降雨延時	2 年	5 年	10 年	20 年	25 年	50 年	100 年	200 年
1	62.9	84.9	101.5	118.9	124.8	143.9	164.7	187.4
3	110.2	148.6	174.9	200.9	209.2	235.5	262.5	290.4
6	137.7	191.0	230.0	270.3	283.7	327.1	373.4	423.0
12	171.8	251.1	308.3	366.3	385.4	446.5	510.5	578.0
24	231.2	332.7	401.0	466.7	487.7	552.5	617.4	682.9
48	275.9	398.2	484.3	570.2	598.2	686.7	778.3	873.4
72	306.1	433.7	521.6	608.1	636.0	723.6	813.0	904.9

採用修正三角形單位歷線法估算流量時，集流時間為其重要之參數，集流時間係指逕流自集水區最遠點流至集水區出口所需之時間，可依水土保持技術規範第 19 條規定求得，即

$$\text{集流時間 } t_c = t_s + t_d$$

式中， t_s ：坡面逕流時間，即為流入時間， t_d ：河道逕流時間，即為流下時間。

$$t_s = \frac{l_s}{V_s}$$

式中， l_s =坡面長度； V_s =坡面流速，一般約 0.3~0.6m/sec。

河道逕流時間 t_d 採用 Rziha 公式計算：

$$t_d = \frac{l_d}{V_d}$$

$$V_d = 20(H/l_d)^{0.6} \quad (\text{m/sec})$$

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

依據水土保持技術規範指出，自然坡面上漫地流流動長度不得大於 300m，透過規劃設計之水理檢算表，獲得三角單位歷線分析所需之參數，詳列於表 4-2。

表 4-2 集流時間計算表

l_1	300 m
v_1	0.5 m/sec
t_s	0.167 hr
l_2	4600 m
Δh	605 m
t_d	0.216 hr
t_c	0.383 hr

修正三角形單位歷線之基期 T_b 、洪峰流量 Q_p 及到達洪峰時間 T_p ，依據美國水土保持局分析之經驗公式如下：

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

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

$$T_b = 2.67T_p$$

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)； D =單位降雨延時(hr)， $D \leq 0.133t_c$ 。

本計畫區集水面積為 1385 公頃，假設單位超滲降雨量為 10 毫米，可由上述公式求得洪峰到達時間 T_p 為 0.255 小時，洪峰流量 Q_p 為 113.15 cms，分析得三角形單位歷線。

再利用 S 歷線將三角形單位歷線轉換為有效降雨延時為 1 小時之單位歷線 $U(1,t)$ ，將 50 年重現期一日最大暴雨量，配合經濟部水資源局「水文設計應用手冊」統計之台灣各地適用長延時雨型分配，將一日最大暴雨量分配於 24 小時，透過單位歷線線性疊加假設，以單位歷線 $U(1,t)$ 推求 50 年重現期距之流量歷線，洪峰流量 Q_p 計算結果為 474.83 cms，流量歷線如圖 4-3 所示。

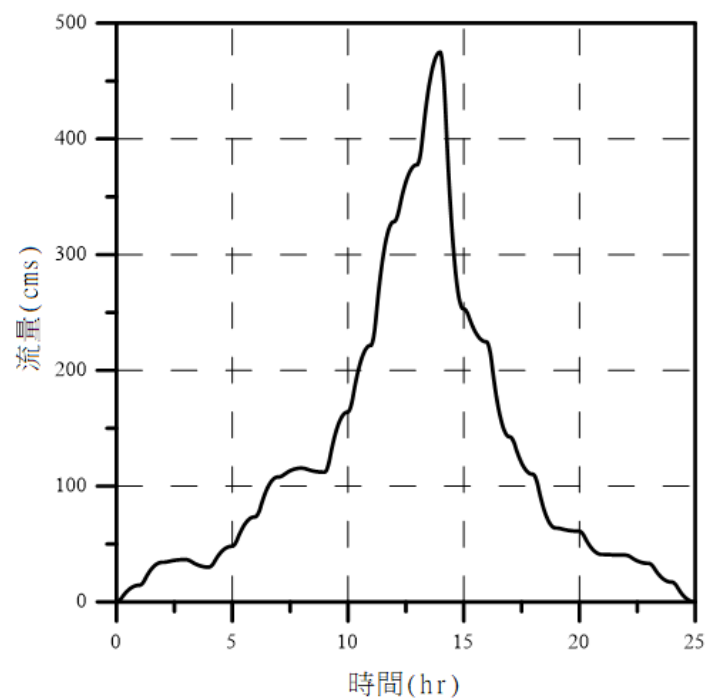


圖 4-3 50 年重現期流量歷線

設計含砂水流洪峰流量 Q_d 則為 $Q_d = (1 + \alpha) \times Q_p$ ，式中 α = 水流中泥砂混和率，一般採用 5%~10%，最大值為 50%，本案例採用 $\alpha = 0.1$ ，求得設計含砂水流洪峰流量 $Q_d = 472.2(\text{cms})$

表 4-3 壩體處基本參數表

參數名及單位	符號	數值	附註(計算)
清水單位重(t/m^3)	γ_w	1.0	
濁水單位重(t/m^3)	γ_{wc}	1.1	
砂比重	G_s	2.6	
砂之孔隙率(%)	n_e	30	
含水量	ω	0.16	$\omega = \frac{n_e}{(1 - n_e)G_s}$
濕砂單位重(t/m^3)	γ_s	2.11	$\gamma_s = G_s\gamma_w(1 - n_e)(1 + \omega) = 2.6 \times 1 \times (1 - 0.3)(1 + 0.16)$
乾砂單位重(t/m^3)	γ_d	1.82	$\gamma_d = G_s(1 - n_e)\gamma_w = 2.6 \times (1 - 0.3) \times 1$
砂粒浸水單位重(t/m^3)	γ_{sub}	1.12	$\gamma_{sub} = \gamma_d - (1 - n_e) \times \gamma_w = 1.82 - (1 - 0.3) \times 1$
砂粒飽和單位重(t/m^3)	γ_{sat}	2.12	$\gamma_{sat} = \gamma_d + n_e \times \gamma_w = 1.82 + 0.3 \times 1$
壩體混凝土單位重(t/m^3)	γ_c	2.3	
壩基摩擦係數	μ	0.65	
浮力係數	C_B	0.4	
容許承载力(t/m^2)	B_p	40~50	
現場溪床平均坡度(°)	S_0	3.03	
計畫淤砂坡度(°)	β	1.15	
淤砂內摩擦角(°)	φ	35	
水平地震係數	K_h	0.165	
垂直地震係數	K_v	0.11	
土石流曼寧粗糙係數	n_d	0.1	與流動邊界及流體條件相關，土石流先端部粗糙係數通常採用 0.1

1. 壩體設計

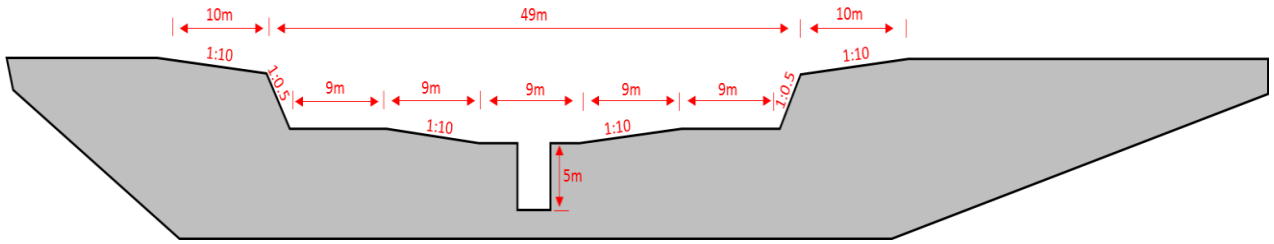
進行壩體設計前，需先根據流域之原始坡度、地質條件等查明壩體基本參數，詳如表 4-4 所示，並依照設定值進行溢洪口斷面計算，本切口壩之溢洪口採用 1:0.5 之梯形設計，設計參數與計算結果整理於表 4-5，壩體各部尺寸標於圖 4-5。

表 4-4 壩體參數設定

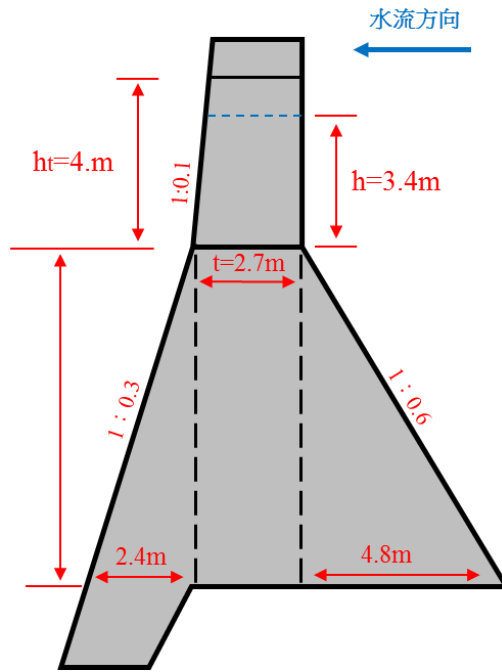
參數名	符號	數值	備註
壩高(m)	H	8.0	設定值
溢洪口斷面底寬(m)	b_o	45.0	
溢洪口斷面兩側斜率	m	0.5	
溢洪口出水高度(m)	h_f	0.8	
壩體下游面斜率	m_1	0.3	
壩體上游面斜率	m_2	0.6	
壩頂寬(m)	t	2.7	
淤滿時淤砂高度(m)	H_m	8.1	$H_m = H + (H \times m_2 \times \tan \beta)$ $= 8 + 8 \times 0.6 \times \tan 1.15^\circ$
未淤滿時淤砂高度(m)	H_s	5	設定值
壩體密閉比	K	1	原始設計參數

表 4-5 溢洪口斷面設計

參數名及單位	符號	數值	計算式
溢洪口斷面底寬(m)	b_o	45.0	設定值
溢洪口斷面兩側斜率	m	0.5	
溢流水深(m)	h	3.4	$Q_d = (1.77b_o + 0.71h)h^{1.5}$ 已知 $Q_d = 510.44\text{cms}$ 、 $b_o = 45\text{m}$ 帶入式中求得 $h = 3.4\text{m}$
溢洪口高度(m)	h_t	4.2	$h_t = h + h_f = 3.4 + 0.8 = 4.2$
溢洪口斷面頂寬(m)	b_u	49.2	$b_u = b_o + 2mh_t$ $= 45 + 2 \times 0.5$ $\times 4.2$
寬頂堰流量(cms)	Q'	518.25	$Q' = \frac{2}{15} \times ch(2gh)^{0.5}(3b_o + 2b_u)$ $= \frac{2}{15} \times 0.6 \times 3.4$ $\times (2 \times 9.8 \times 3.4)^{0.5}$ $\times (3 \times 45 + 2$ $\times 49.2) = 518.25$ ，流量係數 c 採用 0.6 檢算： $Q' = 518.25 >$ $Q_d(510.44, O.K.) >$ $Q_p(474.83, O.K.)$
溢口臨界水深(m)	h_c	2.36	$\frac{Q^2}{g} = \frac{(B_o + B_u)^3 h_c^3}{8B_u}$ ，採試誤法，式中 $Q =$ 寬頂堰流量 $= 518.25\text{cms}$ $g =$ 重力加速度 $= 9.81(\text{m}/\text{s}^2)$ $B_u =$ 溢口臨界水深時水面上寬 $= B_o + 2 \times m \times h_c$ $B_o =$ 溢口臨界水深時水面下寬 $= B_o = 45$
跌水緣水深(m)	h_{ck}	1.69	$h_{ck} = 0.715h_c = 0.715 \times 2.36$



(a)正面



(b)剖面

圖 4-5 壩體各部尺寸圖

2. 安定檢討

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、土石流流體衝擊力、巨礫撞擊力時；及(6)淤滿、
 土石流流體衝擊力、巨礫撞擊力等六種狀況進行應力分析，相關參數設定列於表 4-6。

表 4-6 參數設定及計算

參數名	符號	數值	計算式
壩高(m)	H	8.0	
砂粒飽和單位重量(t/m^3)	γ_{sat}	2.12	
砂粒浸水單位重量(t/m^3)	γ_{sub}	1.12	
水平地震加速度係數	K_h	0.165	
垂直地震加速度係數	K_v	0.11	
浮力係數	C_B	0.4	
基礎承載力(t/m^2)	B_p	40~50	
臨界水深(m)	h_c	2.36	
跌水緣水深(m)	h_{ck}	1.69	$0.715h_c$
常時主動土壓力係數 (Rankine)	K_a	0.271	常時、未淤滿($\beta = 0^\circ$) $K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$ 式中 $\beta =$ 計畫淤砂坡度 = 0° $\varphi =$ 淤砂內摩擦角 = 35°
		0.271	常時、淤滿($\beta = 1.15^\circ$) $K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$ 式中 $\beta =$ 計畫淤砂坡度 = 1.15° $\varphi =$ 淤砂內摩擦角 = 35°

表 4-37 參數設定及計算(續)

參數名	符號	數值	計算式
地震時主動土壓力係數 (Rankine)	K_{ae}	0.38	震時、未淤滿($\beta = 0^\circ$)時， $K_{ae} = \frac{\cos \beta \times \sqrt{a^2 + b^2}}{\cos \theta \times c}$ 式中 $\theta = \text{地震角} = \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1-K_v} \right) =$ $\tan^{-1} \left(\frac{0.165}{1-0.11} \right) = 10.5^\circ$ $\varphi = \text{淤砂內摩擦角} = 35^\circ$ $\beta = \text{未淤滿時淤砂坡度} = 0^\circ$ $a = \cos(\beta - \theta)$ $\quad - \sqrt{(\cos(\beta + \theta))^2 - \cos \varphi^2}$ $b = \sin(\beta + \theta) - \sin(\beta - \theta)$ $c = \cos(\beta + \theta)$ $\quad + \sqrt{(\cos(\beta + \theta))^2 - \cos \varphi^2}$
		0.39	震時、淤滿($\beta = 1.15^\circ$)時， $K_{ae} = \frac{\cos \beta \times \sqrt{a^2 + b^2}}{\cos \theta \times c}$ 式中 $\theta = \text{地震角} = \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1-K_v} \right) =$ $\tan^{-1} \left(\frac{0.165}{1-0.11} \right) = 10.5^\circ$ $\varphi = \text{淤砂內摩擦角} = 35^\circ$ $\beta = \text{未淤滿時淤砂坡度} = 1.15^\circ$ $a = \cos(\beta - \theta)$ $\quad - \sqrt{(\cos(\beta + \theta))^2 - \cos \varphi^2}$ $b = \sin(\beta + \theta) - \sin(\beta - \theta)$ $c = \cos(\beta + \theta)$ $\quad + \sqrt{(\cos(\beta + \theta))^2 - \cos \varphi^2}$
土石流泥砂體積濃度	C_d	0.3	$C_d = \frac{\gamma_{wc} \tan \beta}{(\gamma_s - \gamma_{wc}) \times (\tan \varphi - \tan \beta)} =$ $\frac{1.1 \times \tan 2.29^\circ}{(2.11 - 1.1) \times (\tan 35^\circ - \tan 1.15^\circ)} = 0.03$ $C_{dmin} = \frac{\gamma_w}{\gamma_s + \gamma_w} = \frac{1}{2.04 + 1} = 0.3$ 建議 $C_d > C_{dmin}$ ，採用 0.3
靜止床面泥砂體積濃度	C_m	0.7	$C_m = 1 - n_e = 1 - 0.3 = 0.7$
土石流洪峰流量(cms)	Q_D	830.95	$Q_D = \frac{C_m}{(C_m - C_d)} \times Q_p$ $= \frac{0.7}{(0.7 - 0.3)} \times 474.83$

表 4-37 參數設定及計算(續)

參數名	符號	數值	計算式
土石流流深(m)	h_D	4.66	$h_D = \left[\frac{n_d Q_D}{B \tan \beta^{0.5}} \right]^{0.6} ,$ $B = \text{淤滿後壩頂處溪床寬度(m)} = b_o + 2m(H \times m_2 \times \tan \beta)$ $= 45 + 2 \times 0.5 \times (8 \times 0.6 \times \tan 1.19^\circ)$ $= 45.1$
土石流流速(m/s)	U_D	3.8	$U_D = \frac{R^{\frac{2}{3}} (\tan \beta)^{\frac{1}{2}}}{n_d} ,$ $R = \text{水力半徑} = \frac{A}{P}$ $A = \text{土石流斷面截面積} = [B + (B + 2mh_D)] \times h_D / 2$ $P = \text{土石流斷面濕周} = B + 2 \times \sqrt{1^2 + m^2} \times h_D$ $B = \text{淤滿後壩頂處溪床寬度(m)} = 45.1$ $m = \text{溢口兩側斜率} = 0.5$ $h_D = \text{土石流流深} = 4.66$ <p>此處因壩體實際設計時採用曼寧公式估算，且因無土石流設計粒徑，故維持以曼寧公式計算。</p>
土石流單位重(t/m ³)	γ_m	1.33	$\gamma_m = (\gamma_s - \gamma_w) C_d + \gamma_w$ $= (2.11 - 1) \times 0.3 + 1$
土石流巨礫設計粒徑(m)	D_E	1	設定值
土石流流體撞擊力(t/m)	P_f	4.56	$P_f = K \frac{\gamma_m}{g} h_D U_D^2 = 0.5 \times \frac{1.33}{9.81} \times 4.66 \times 3.8^2 ,$ <p>式中 K=係數介於 0.5~2.0 之間，採用 0.5</p>
土石流巨礫衝擊力(t)	P_d	100.25	$P_d = 20.2 V_D^{1.2} R_E^2$ $= 20.2 \times 3.8^{1.2} \times (1/2)^2$ <p>，V_D 近似 U_D</p>
傾覆安全係數		1.1	水保手冊建議一般為 1.1~1.3，此案例採用 1.1
滑動安全係數		1.1	水保手冊建議採用 1.1~1.25

(1) 未淤滿($H_s = 5m$)、普通流量(無溢流水深)、地震(震時主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.38$)時。

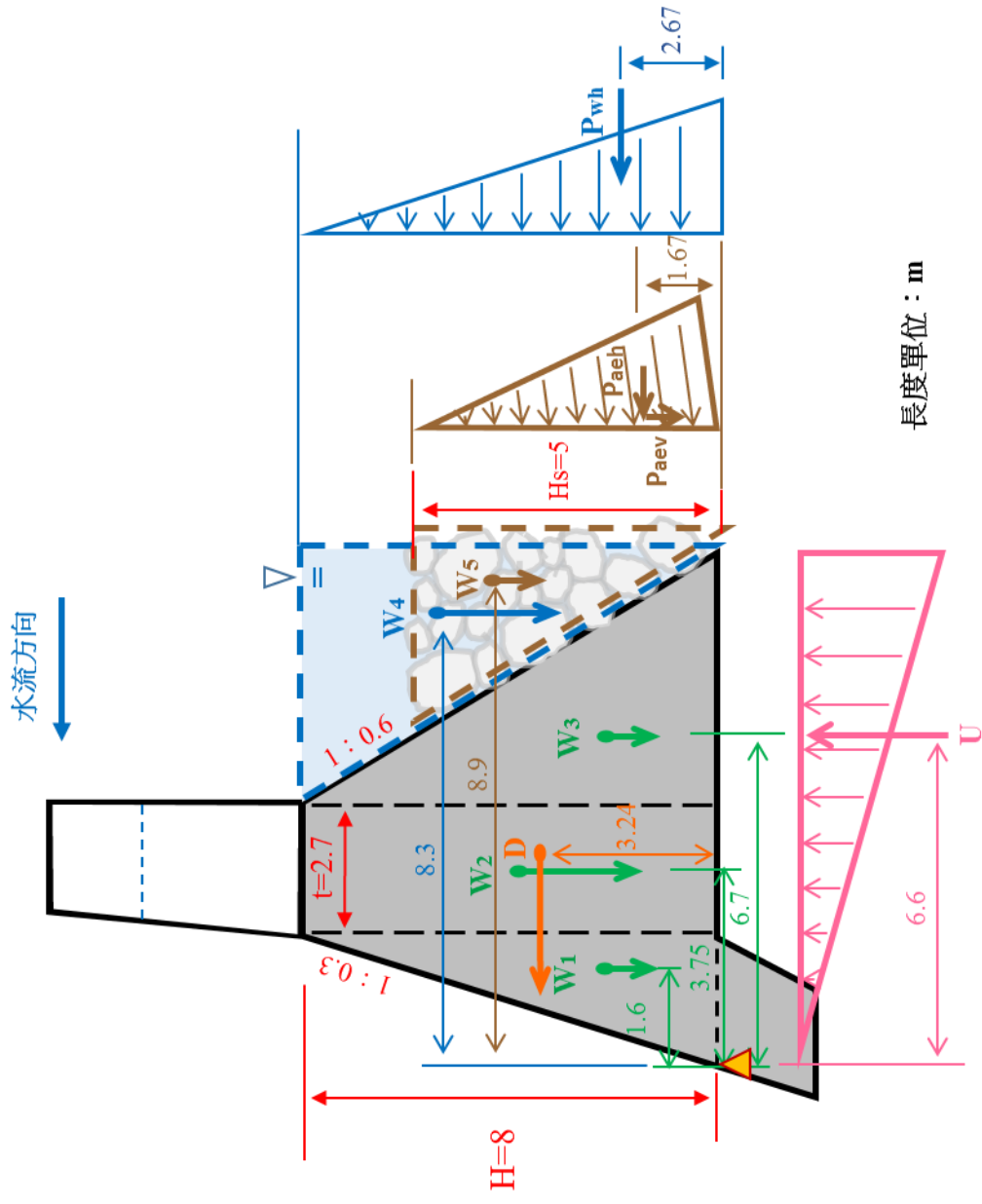


圖 4-6 未淤滿、普通流量、地震時之防砂壩示意圖

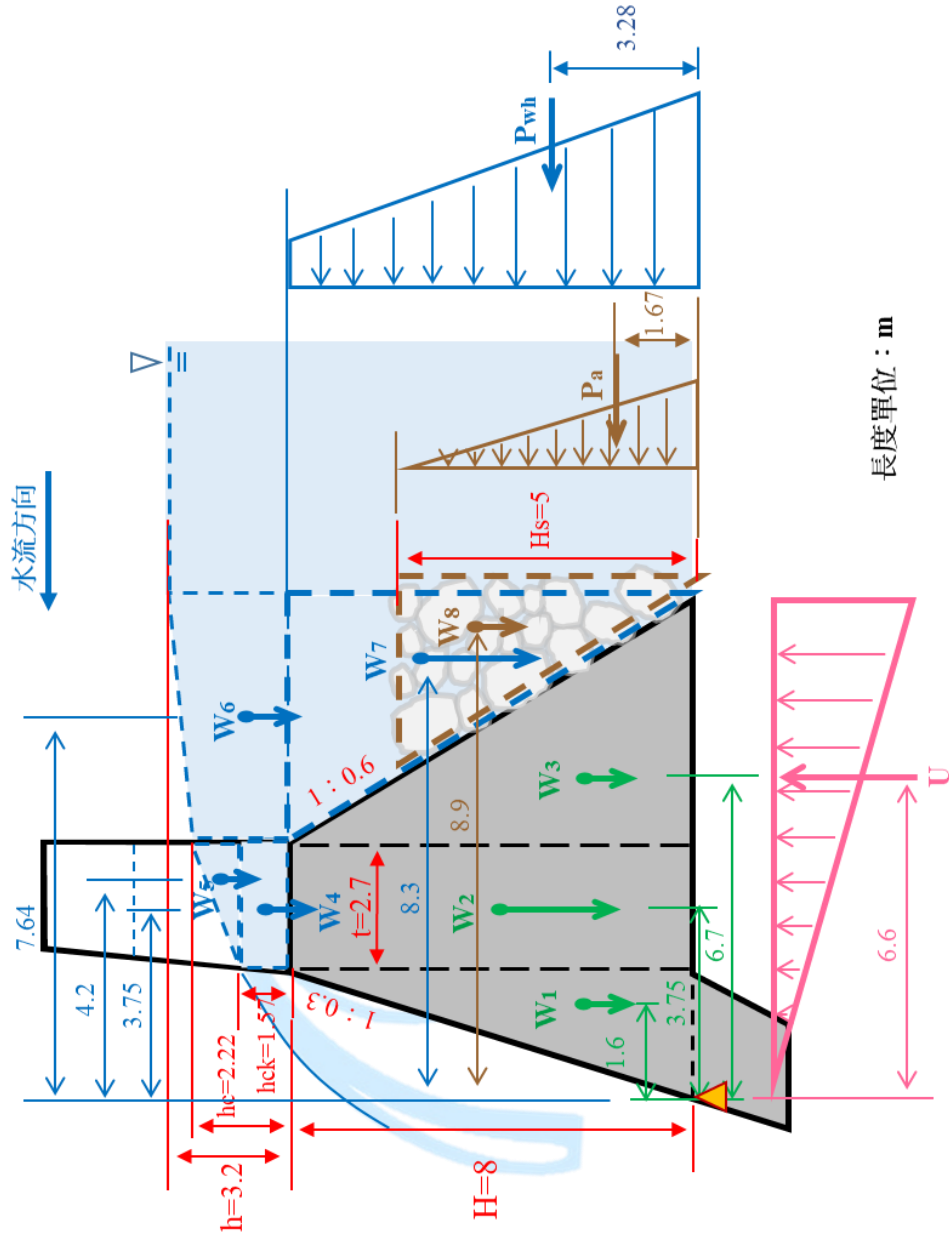
a. 荷重分析

未淤滿(Hs=5m)，普通流量，發生地震(Kae=0.38)						
作用力	符號	計算式	垂直力		力矩	
			Rv	Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2 * (m1 * H) * H * rc * K = 1/2 * (0.3 * 8) * 8 * 2.3 * 1$	22.08		1.60	35.33
	W ₂	$t * H * rc * K = 2.7 * 8 * 2.3 * 1$	49.68		3.75	186.30
	W ₃	$1/2 * (m2 * H) * H * rc * K = 1/2 * (0.6 * 8) * 8 * 2.3 * 1$	44.16		6.70	295.87
	W ₄	$1/2 * (m2 * H) * H * rw = 1/2 * (0.6 * 8) * 8 * 1$	19.20		8.30	159.36
	W ₅	$1/2 * (m2 * Hs) * Hs * rsub = 1/2 * (0.6 * 5) * 5 * 1.12$	8.40		8.90	74.76
地震土壓力	P _{ae}	$1/2 * Kae * (1 - Kv) * rsub * Hs^2 = 1/2 * 0.38 * (1 - 0.11) * 1.12 * 5^2$				0.00
	P _{aeh}	$Pae * cos \epsilon = Pae * cos 43.15^\circ$		3.45	1.67	5.76
	P _{aev}	$Pae * sin \epsilon = Pae * sin 43.15^\circ$	3.24		9.90	32.08
靜水壓力	P _{wh}	$1/2 * H^2 * rwc = 1/2 * 8^2 * 1.1$		35.20	2.67	93.87
上揚力	U	$1/2 * (m1 * H + t + m2 * H) * H * CB * rw = 1/2 * (0.3 * 8 + 2.7 + 0.6 * 8) * 8 * 0.4 * 1$	-15.84		6.60	104.54
地震時壩體慣性力	D	$(W1 + W2 + W3) * Kh = (22.08 + 49.68 + 44.16) * 0.165$		19.13	3.24	61.98
	總計		130.92	57.78		783.70 266.15

b.安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $<x<2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x=[(M+)-(M-)]/R_v$	2/3 壩底寬
3.3	3.95	6.6
條件：FS=(M+)/(M-)>1.1	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.1	2.94	
滑動檢算		
條件：FS=壩底抗滑摩擦力 f/水平力>1.1	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1	85.1	1.47
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力<基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e=$ 壩底寬/2-x	1 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40~50 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd=Rv/壩底寬(1+6e/壩底寬)	21.24 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu=Rv/壩底寬(1-6e/壩底寬)	5.21 (t/m ²)	

(2) 未淤滿($H_s = 5m$)、最大流量($h = 3.4m$)、無地震(常時未淤滿主動土壓力係數 $K_a = 0.271$)時。



長度單位：m

圖 4-7 未淤滿、最大流量、無地震時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

未淤滿(Hs=5m)，最大流量(h=3.4m)						
作用力	符號	計算式	垂直力		力臂	
			Rv	Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc*K=1/2*(0.3*8)*8*2.3*1$	22.08		1.60	35.33
	W ₂	$t*H*rc*K=2.7*8*2.3*1$	49.68		3.75	186.30
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc*K=1/2*(0.6*8)*8*2.3*1$	44.16		6.70	295.87
壩上水重	W ₄	$hck*t*rw=1.69*2.7*1.1$	5.02		3.75	18.82
	W ₅	$1/2*t*(hc-hck)*rw=1/2*2.7*(2.36-1.69)*1.1$	0.99		4.20	4.18
壩上水重	W ₆	$1/2*(hc+h)*(m2*H)*rw=1/2*(2.36+3.4)*(0.6*8)*1.1$	15.21		7.64	116.18
	W ₇	$1/2*(m2*H)*H*rw=1/2*(0.6*8)*8*1.1$	21.12		8.30	175.30
壩上土砂重	W ₈	$1/2*(m2*Hs)*Hs*rs=1/2*(0.6*5)*5*1.12$	8.40		8.90	74.76
土壓力	P _a	$1/2*Ka*rs*Hs^2=1/2*0.271*1.12*5^2$		3.79	1.67	6.34
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*(h+(H+h))*H*rw=1/2*(3.4+(8+3.4))*8*1.1$		65.12	3.28	213.59
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*(H+h)*CB*rw=1/2*(0.3*8+2.7+0.6*8)*(8+3.4)*0.4*1$	-22.57		6.60	148.98
	總計		144.09	68.91		906.73
						368.90

b.安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.3	3.73	6.6
條件：FS=(M+)/(M-)>1.1	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.1	2.46	
滑動檢算		
條件：FS=壩底抗滑摩擦力 f/水平力>1.1	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1	93.66	1.36
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力<基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e = \text{壩底寬} / 2 - x$	1.22 (m)	
基礎容許承載力 B_p	40~50 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 $B_{pd} = R_v / \text{壩底寬} (1 + 6e / \text{壩底寬})$	25.32 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 $B_{pu} = R_v / \text{壩底寬} (1 - 6e / \text{壩底寬})$	3.79 (t/m ²)	

(3) 淤滿($\beta = 1.15^\circ$, $H_m = 8.1m$)、最大流量($h = 3.4m$)、無地震(常時淤滿主動土壓力係數 $K_a = 0.271$)時。

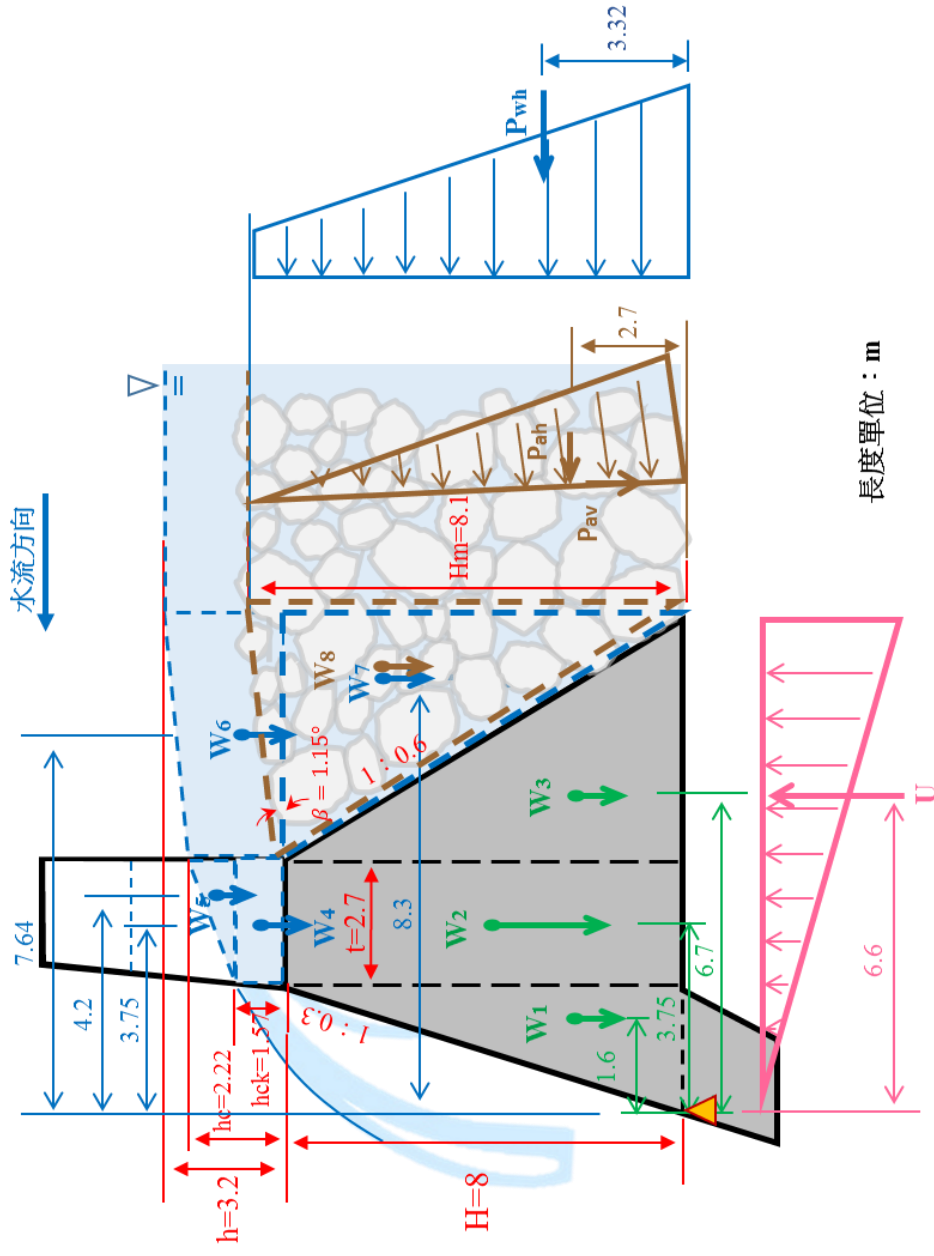


圖 4-8 淤滿、最大流量、無地震時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

已淤滿(Hm=8.1m) · 最大流量(h=3.4m)						
作用力	符號	計算式	垂直力		力矩	
			Rv	Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc*K=1/2*(0.3*8)*8*2.3*1$	22.08		1.60	35.33
	W ₂	$t*H*rc*K=2.7*8*2.3*1$	49.68		3.75	186.30
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc*K=1/2*(0.6*8)*8*2.3*1$	44.16		6.70	295.87
壩上水重	W ₄	$hck*t*rc=1.69*2.7*1.1$	5.02		3.75	18.83
	W ₅	$1/2*t*(hc-hck)*rc=1/2*2.7*(2.36-1.69)*1.1$	0.99		4.20	4.16
	W ₆	$1/2*(hc+h)*(m2*H)*rc=1/2*(2.36+3.4)*(0.6*8)*1.1$	15.21		7.64	116.20
壩上土砂重	W ₇	$1/2*(m2*H)*H*rc=1/2*(0.6*8)*8*1.1$	21.12		8.30	175.30
	W ₈	$1/2*(m2*H)*Hm*rsat=1/2*(0.6*8)*8.1*2.12$	41.21		8.30	342.04
土壓力	P _{dh}	$Pal*cos\beta=1/2*Ka*Hm^2*rc*cos\beta=1/2*0.271*8.1^2*1.12*cos1.15^\circ$		9.95	2.70	26.87
	P _{av}	$Pal*sin\beta=1/2*Ka*Hm^2*rc*sin\beta=1/2*0.271*8.1^2*1.12*sin1.15^\circ$	0.20		9.90	1.98
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*(h+(Hm+h))*Hm*rc=1/2*(3.4+(8.1+3.4))*8.1*1.1$		66.38	3.32	220.38
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*(Hm+h)*CB*rc=1/2*(0.3*8+2.7+0.6*8)*(8.1+3.4)*0.4*1$	-22.77		6.60	150.28
	總計		176.90	76.33		1176.01
						397.53

b. 安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $< x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.3	4.4	6.6
條件：FS = (M+) / (M-) > 1.1	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.1	2.96	
滑動檢算		
條件：FS = 壩底抗滑摩擦力 f / 水平力 > 1.1	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1	114.99	1.51
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e =$ 壩底寬 / 2 - x	0.55 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40~50 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd = Rv / 壩底寬 (1 + 6e / 壩底寬)	23.82 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu = Rv / 壩底寬 (1 - 6e / 壩底寬)	11.91 (t/m ²)	

(4) 淤滿($\beta = 1.15^\circ$, $H_m = 8.1m$)、普通流量(無溢流水深)、地震(震時主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.39$)時。

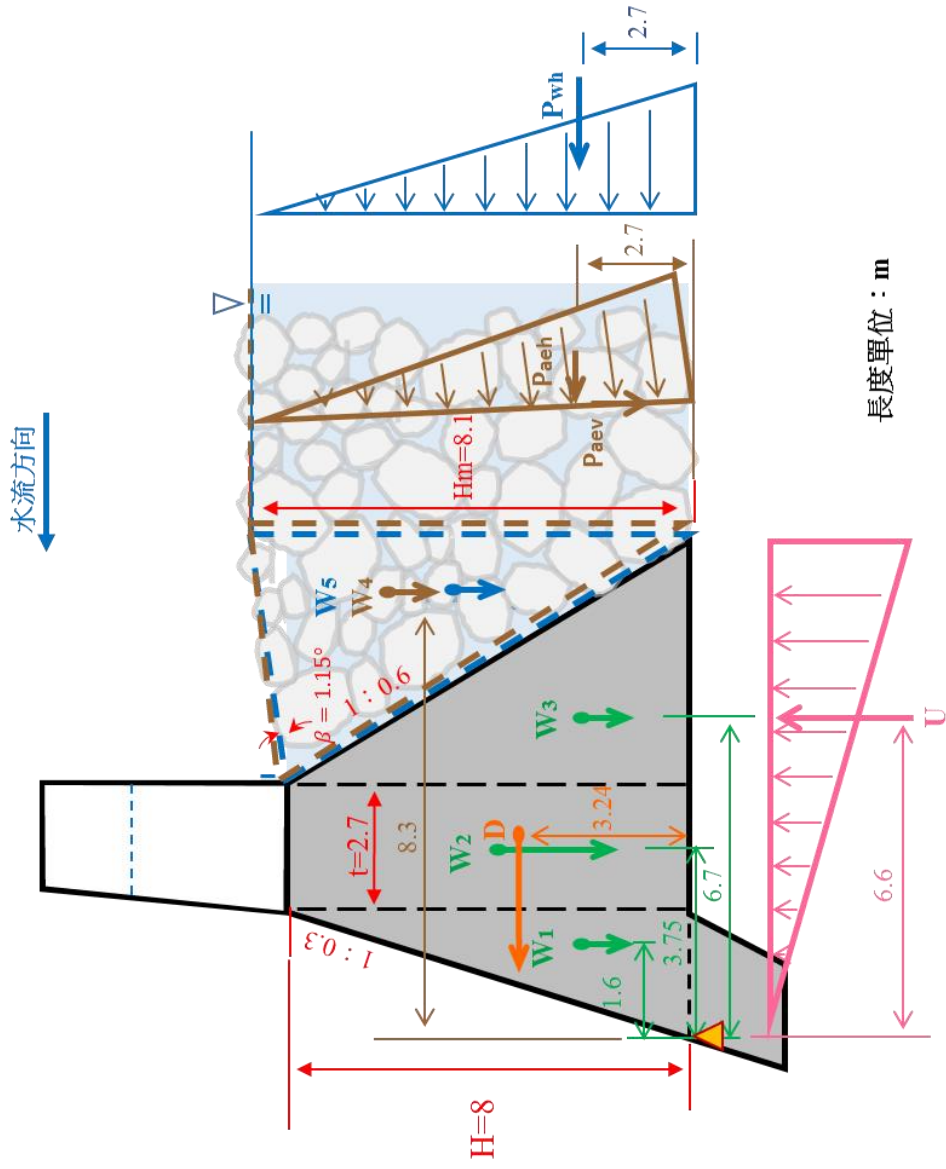


圖 4-9 淤滿、普通流量、地震時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

已淤滿(Hm=8.1m)，普通流量，發生地震(Kae=0.39)						
作用力	符號	計算式	垂直力		力臂	
			Rv	Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc*K=1/2*(0.3*8)*8*2.3*1$	22.08		1.60	35.33
	W ₂	$t*H*rc*K=2.7*8*2.3*1$	49.68		3.75	186.30
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc*K=1/2*(0.6*8)*8*2.3*1$	44.16		6.70	295.87
	W ₄	$1/2*(m2*H)*Hm*rsat=1/2*(0.6*8)*8.1*2.12$	41.21		8.30	342.04
	W ₅	$1/2*(m2*H)*Hm*rwC=1/2*(0.6*8)*8.1*1.1$	21.38		8.30	177.45
地震土壓力	P _{aeh}	$1/2*Kae*Hm^2*rsub*cos\beta=1/2*0.39*8.1^2*1.12*cos1.15^\circ$		14.33	2.70	38.69
	P _{aev}	$1/2*Kae*Hm^2*rsub*sin\beta=1/2*0.39*8.1^2*1.12*sin1.15^\circ$	0.29		9.90	2.87
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*Hm^2*rwC=1/2*8.1^2*1.1$		36.09	2.70	97.44
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*Hm*CB*rw=1/2*(0.3*8+2.7+8*8)*8.1*0.4*1$	-16.04		6.60	105.86
地震時壩體慣性力	D	$(W1+W2+W3)*Kh=(22.08+49.68+44.16)*0.165$		19.13	3.24	61.98
	總計		162.76	69.55		1039.87
						303.98

b. 安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $<x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.3	4.52	6.6
條件：FS = (M+) / (M-) > 1.1	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.1	3.42	
滑動檢算		
條件：FS = 壩底抗滑摩擦力 f / 水平力 > 1.1	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1	105.79	1.52
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e =$ 壩底寬 / 2 - x	0.43 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40~50 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd = Rv / 壩底寬 (1 + 6e / 壩底寬)	20.72 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu = Rv / 壩底寬 (1 - 6e / 壩底寬)	12.16 (t/m ²)	

(5)淤滿、普通流量(無溢流水深)、無地震(常時淤滿主動土壓力係數 $K_a = 0.271$)、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時。

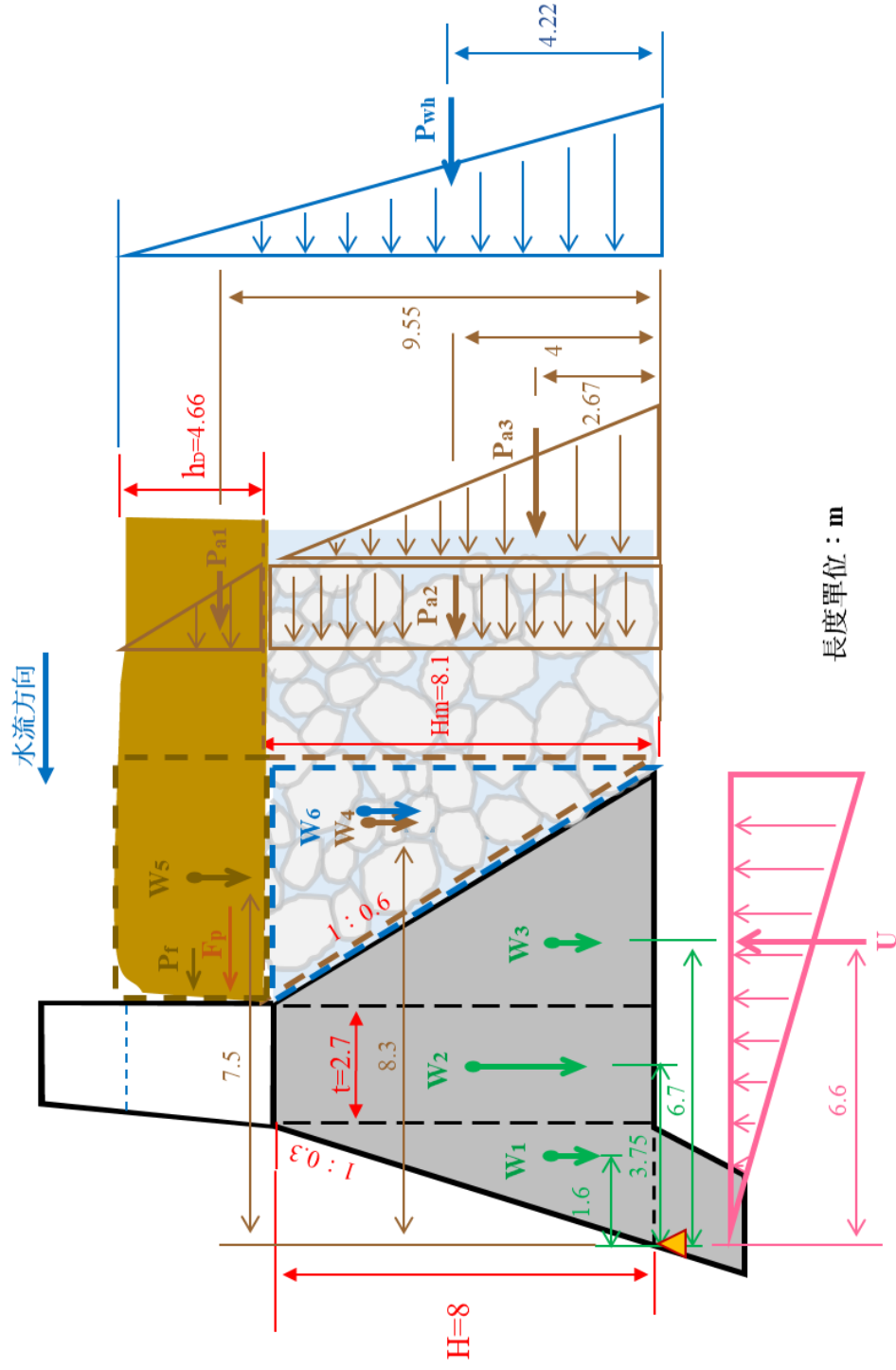


圖 4-10 淤滿、普通流量、無地震、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

淤滿，普通流量，土石流流體衝擊力、巨礫撞擊力							
作用力	符號	計算式	垂直力 Rv	水平力 Rh	力臂	力矩	
						正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc*K=1/2*(0.3*8)*8*2.3*1$	22.08		1.60	35.33	
	W ₂	$t*H*rc*K=2.7*8*2.3*1$	49.68		3.75	186.30	
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc*K=1/2*(0.6*8)*8*2.3*1$	44.16		6.70	295.87	
壩上土砂重	W ₄	$1/2*(m2*H)*Hm*rsat=1/2*(0.6*8)*8.1*2.12$	41.21		8.30	342.04	
壩上土石流重	W ₅	$(m2*H)*hd*rm=(0.6*8)*4.66*1.33$	29.75		7.50	223.13	
壩上水重	W ₆	$1/2*(m2*H)*Hm*rw=1/2*(0.6*8)*8.1*1.1$	21.38		8.30	177.45	
土壓力	P _{a1}	$1/2*Ka*(rm-rwc)*hd^2=1/2*0.271*(1.33-1.1)*4.66^2$		0.68	9.55		6.49
	P _{a2}	$Ka*(rm-rwc)*hd*H=0.271*(1.33-1.1)*4.66*8$		2.32	4.00		9.29
	P _{a3}	$1/2*Ka*rsub*H^2=1/2*0.271*1.12*8^2$		9.71	2.67		25.93
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*(H+hd)^2*rw=1/2*(8+4.66)^2*1.1$		88.15	4.22		371.99
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*(H+hd)*CB*rw=1/2*(0.3*8+2.7+0.6*8)*(8+4.66)*0.4*1$	-25.07		6.60		165.46
土石流流體撞擊力	Pf			4.56	10.33		47.10
土石流巨礫衝擊力	Pd			0.56	8.50		4.76
	總計		183.19	105.98		1260.12	631.03

b. 安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.3	3.4	6.6
條件：FS = (M+) / (M-) > 1.1	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.1	1.95	
滑動檢算		
條件：FS = 壩底抗滑摩擦力 f / 水平力 > 1.1	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1	119.07	1.12
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e =$ 壩底寬 / 2 - x	1.55 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40~50 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd = Rv / 壩底寬 (1 + 6e / 壩底寬)	35.89 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu = Rv / 壩底寬 (1 - 6e / 壩底寬)	1.12 (t/m ²)	

(6) 未淤滿($H_s = 5m$)、普通流量(無溢流水深)、無地震(常時未淤滿主動土壓力係數 $K_a = 0.271$)、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時。

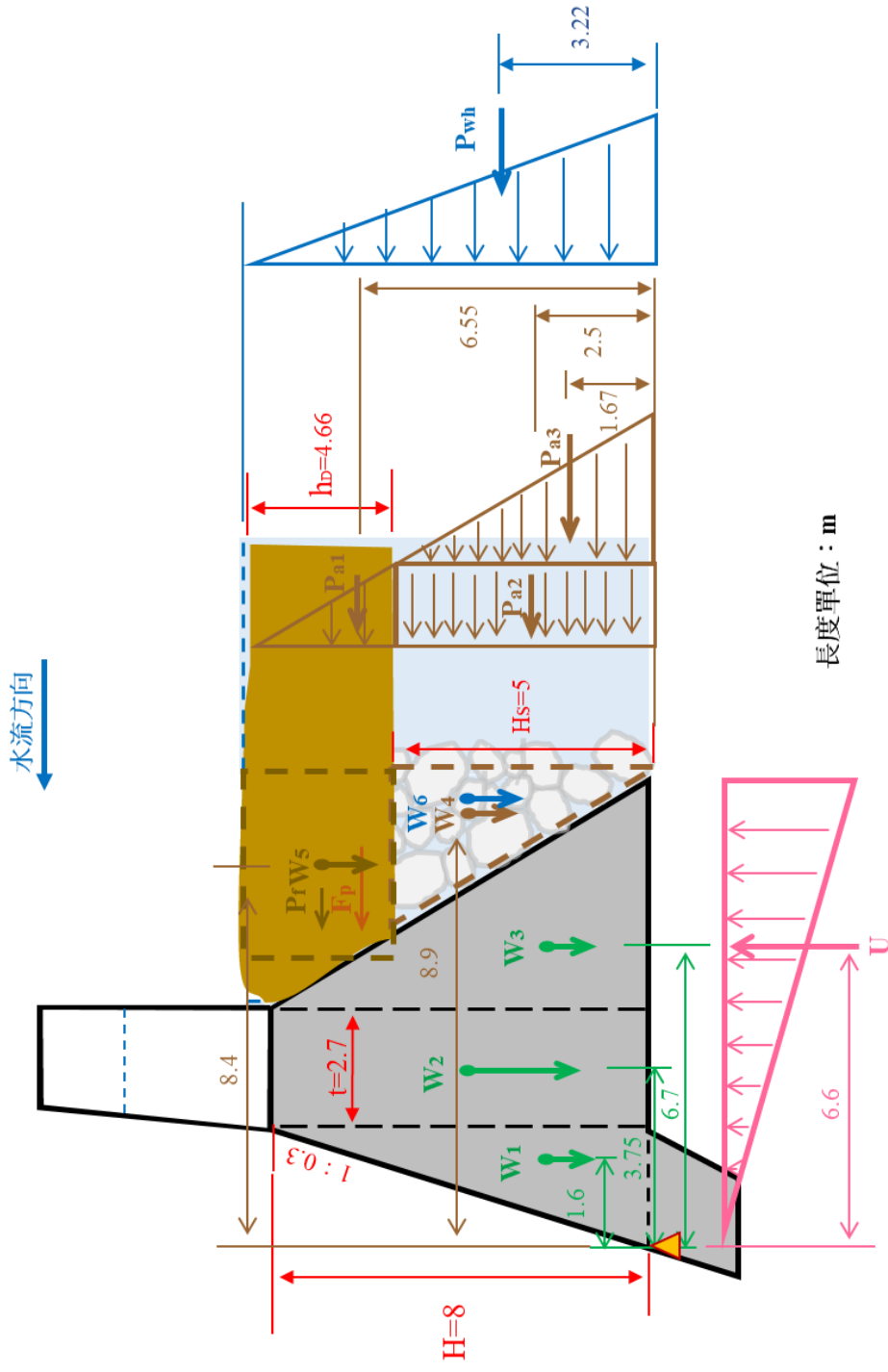


圖 4-11 未淤滿、普通流量、無地震、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

未淤滿，普通流量，土石流體衝擊力、巨礫撞擊力							
作用力	符號	計算式	垂直力 Rv	水平力 Rh	力矩		
					正 M+	負 M-	
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc*K=1/2*(0.3*8)*8*2.3*1$	22.08		1.60	35.33	
	W ₂	$t*H*rc*K=2.7*8*2.3*1$	49.68		3.75	186.30	
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc*K=1/2*(0.6*8)*8*2.3*1$	44.16		6.70	295.87	
壩上土砂重	W ₄	$1/2*(m2*Hs)*Hs*rsat=1/2*(0.6*5)*5*2.12$	15.90		8.90	141.51	
壩上土石流重	W ₅	$(m2*Hs)*hD*rm=(0.6*5)*4.66*1.33$	18.59		8.40	156.16	
壩上水重	W ₆	$1/2*(m2*H)*H*rw=1/2*(0.6*8)*8*1.1$	21.12		8.90	187.97	
土壓力	P _{a1}	$1/2*Ka*(rm-rwc)*hD^2=1/2*0.271*(1.33-1.1)*4.66^2$		0.68	6.55		4.45
	P _{a2}	$Ka*(rm-rwc)*hD*Hs=0.271*(1.33-1.1)*4.66*5$		1.45	2.50		3.63
	P _{a3}	$1/2*Ka*sub*Hs^2=1/2*0.271*1.12*5^2$		3.79	1.67		6.33
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*(Hs+hD)^2*rw=1/2*(5+4.66)^2*1$		46.66	3.22		150.25
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*(Hs+hD)*CB*rw=1/2*(0.3*8+2.7+0.6*8)*(5+4.66)*0.4*1$	-19.13		6.60		126.26
土石流體撞擊力	Pf			4.56	7.33		33.42
土石流巨礫衝擊力	Pd			0.56	5.50		3.08
	總計		152.40	57.70		1003.14	327.42

b. 安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.3	4.43	6.6
條件：FS = (M+) / (M-) > 1.1	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.1	3.06	
滑動檢算		
條件：FS = 壩底抗滑摩擦力 f / 水平力 > 1.1	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1	99.06	1.7
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e =$ 壩底寬 / 2 - x	0.58 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40 ~ 50 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd = Rv / 壩底寬 (1 + 6e / 壩底寬)	20.25 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu = Rv / 壩底寬 (1 - 6e / 壩底寬)	10.54 (t/m ²)	

4.2 梳子壩設計案例

此案例為嘉義縣阿里山鄉之山美 2 鄰野溪災害復建工程。因該區域道路上邊坡有崩塌情形，土砂大量下移，破壞道路及下邊坡並阻塞箱涵。於颱風豪雨時，恐造成兩側邊坡持續崩塌，形成更大之災害，為保護兩岸邊坡及下游居民之生命財產安全，遂成立本工程計畫，於道路上游處構築梳子壩(圖 4-12)，工程規劃如圖 4-13 所示，其設計之基本參數由山林技術顧問有限公司提供，詳列於表 4-7 及表 4-8。



圖 4-12 山美 2 鄰野溪災害復建工程之梳子壩

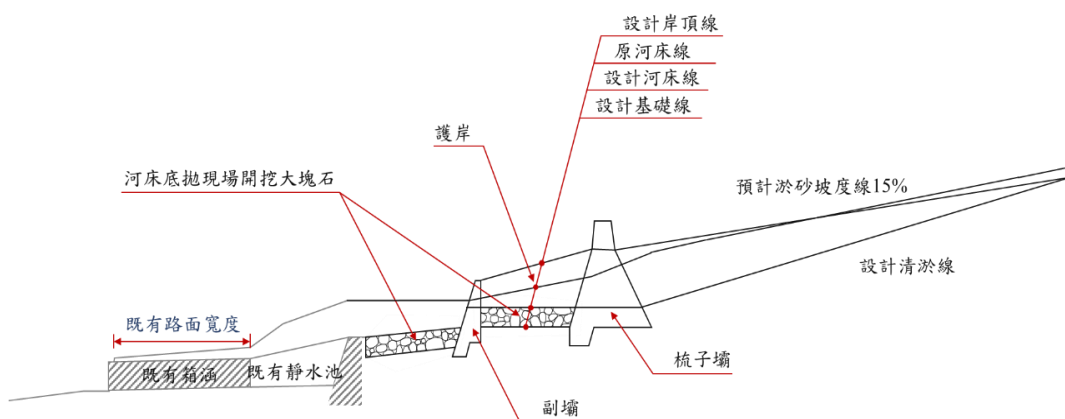


圖 4-13 工程規劃配置圖

表 4-7 水文基本參數表

參數名及單位	符號	數值	附註(計算)
集水區面積(ha)	A	80	$A < 1000\text{ha}$ ，可以採用合理化公式計算流量。
坡面逕流長度(m)	l_1	100	
河道高程差(m)	Δh	480	
河道逕流長度(m)	l_2	1140	
坡面逕流(漫地流)流速(m/s)	v_1	0.6	
逕流係數	C	0.85	依照集水區狀況，參考水土保持技術規範逕流係數規定
年平均降雨量(mm)	P	3763.1	奮起湖雨量站資料
流入時間(sec)	t_s	166.67	$t_s = L_1/v_1 = \frac{100}{0.6}$
流下時間(sec)	t_d	95.78	$t_d = \frac{L_2}{20\left(\frac{\Delta h}{L_2}\right)^{0.6}} = \frac{1140}{20\left(\frac{480}{1140}\right)^{0.6}}$
集流時間(min)	t_c	4.4	$t_c = t_s + t_d$
降雨強度(mm/hr)	I	165.64	採用水土保持技術規範無因次降雨強度公式(重現期距 $T=50$ 年)： 年平均降雨量 $P = 3763.1\text{ mm}$ $I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{(25.29 + 0.094 \times P)}\right)^2$ $= 98.57\text{ mm/hr}$ $A = \left(\frac{P}{(-189.96 + 0.31 \times P)}\right)^2$ $= 14.8476$ $B = 55$ $C = \left(\frac{P}{(-381.71 + 1.45 \times P)}\right)^2$ $= 0.5499$ $G = \left(\frac{P}{(42.89 + 1.33 \times P)}\right)^2$ $= 0.5558$ $H = \left(\frac{P}{(-65.33 + 1.836 \times P)}\right)^2$ $= 0.3023$ $I_t^T = I_{60}^{25} \times (G + H \times \log T)$ $\times \frac{A}{(t + B)^C}$ $= 165.64$

表 4-12 水文基本參數表(續)

參數名及單位	符號	數值	附註(計算)
清水流洪峰流量(cms)	Q_p	31.29	合理化公式： $Q_p = \frac{1}{360} CIA$ $= \frac{1}{360} \times 0.85 \times 165.64 \times 80$
設計含砂水流洪峰流量(cms)	Q_d	34.42	$\alpha =$ 水流中泥沙混和率，一般採用 5%~10%，最大值為 50% 採用 $\alpha = 0.1$ $Q_d = (1 + \alpha) \times Q_p$ $= (1 + 0.1) \times 31.29$

表 4-8 壩體處基本參數表

參數名及單位	符號	數值	附註(計算)
清水單位重(t/m^3)	γ_w	1.0	
濁水單位重(t/m^3)	γ_{wc}	1.1	
砂比重	G_s	2.65	
砂之孔隙率(%)	n_e	35	
含水量	ω	0.16	$\omega = \frac{n_e}{(1 - n_e)G_s}$
濕砂單位重(t/m^3)	γ_s	2	$\gamma_s = G_s \gamma_w (1 - n_e)(1 + \omega)$ $= 2.65 \times 1 \times (1 - 0.35)(1 + 0.16)$
乾砂單位重(t/m^3)	γ_d	1.72	$\gamma_d = G_s(1 - n_e)\gamma_w$ $= 2.65(1 - 0.35) \times 1$
砂粒浸水單位重(t/m^3)	γ_{sub}	1.07	$\gamma_{sub} = \gamma_d - (1 - n_e) \times \gamma_w$ $= 1.72 - (1 - 0.35) \times 1$
砂粒飽和單位重(t/m^3)	γ_{sat}	2.07	$\gamma_{sat} = \gamma_d + n_e \times \gamma_w$ $= 1.72 + 0.35 \times 1$
壩體混凝土單位重(t/m^3)	γ_c	2.3	
壩基摩擦係數	μ	0.7	
壩基浮力係數	C_B	0.60	
容許承载力(t/m^2)	B_p	40~50	
現場溪床平均坡度(°)	S_0	12.57	
計畫淤砂坡度(°)	β	8.53	計畫淤砂坡度： $\frac{1}{2}S_0 \sim \frac{2}{3}S_0$
淤砂內摩擦角(°)	φ	35	
水平地震係數	K_h	0.18	
垂直地震係數	K_v	0.06	
土石流曼寧粗糙係數	n_d	0.1	與流動邊界及流體條件相關，土石流先端部粗糙係數通常採用 0.1

1. 壩體設計

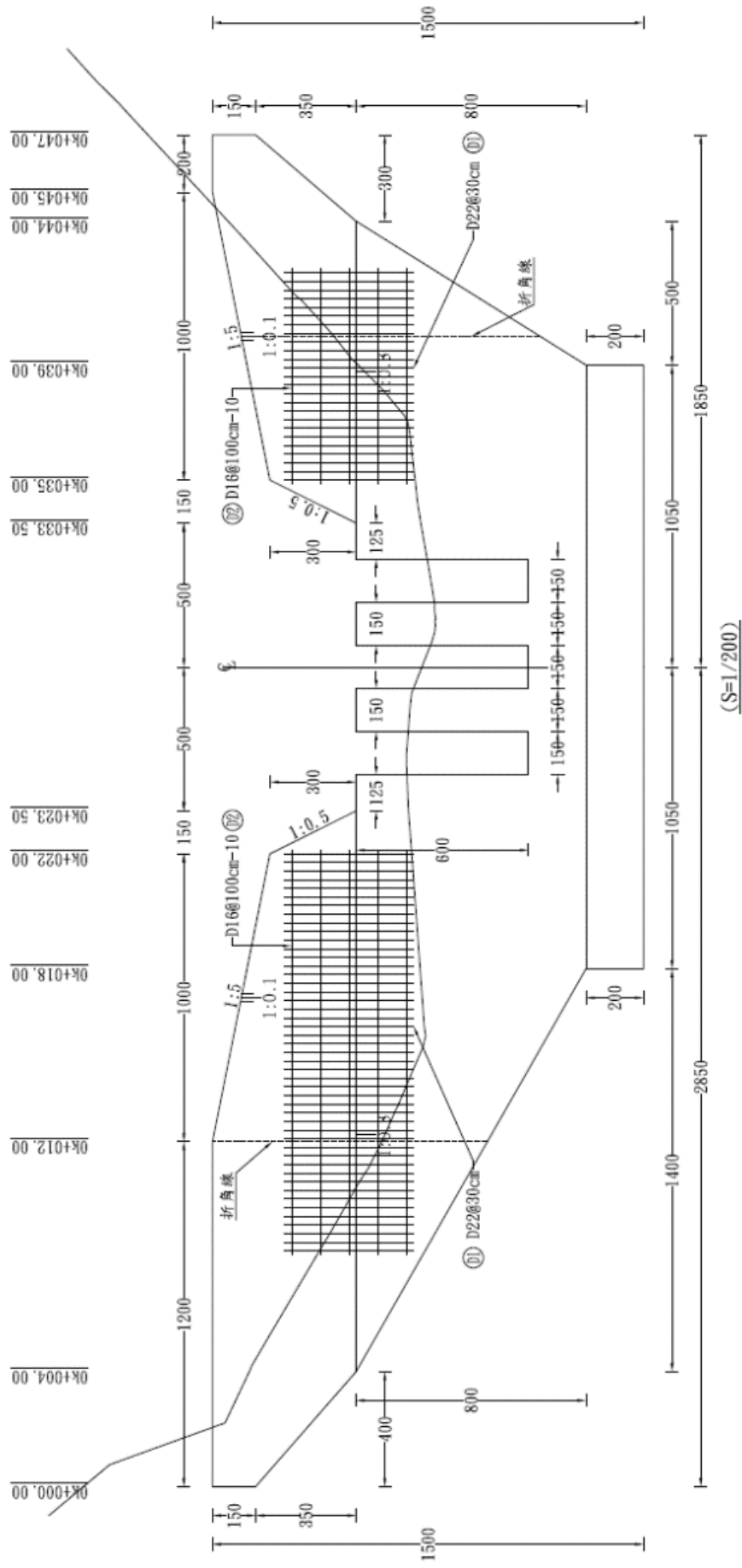
進行壩體設計前，需先根據流域之原始坡度、地質條件等假設壩體基本參數，詳如表 4-9 所示，並依照設定值進行溢洪口斷面計算，本梳子壩之溢洪口採用 1:0.5 之梯形設計，設計參數與計算結果整理於表 4-10，壩體各部尺寸標於圖 4-15。

表 4-9 壩體參數設定

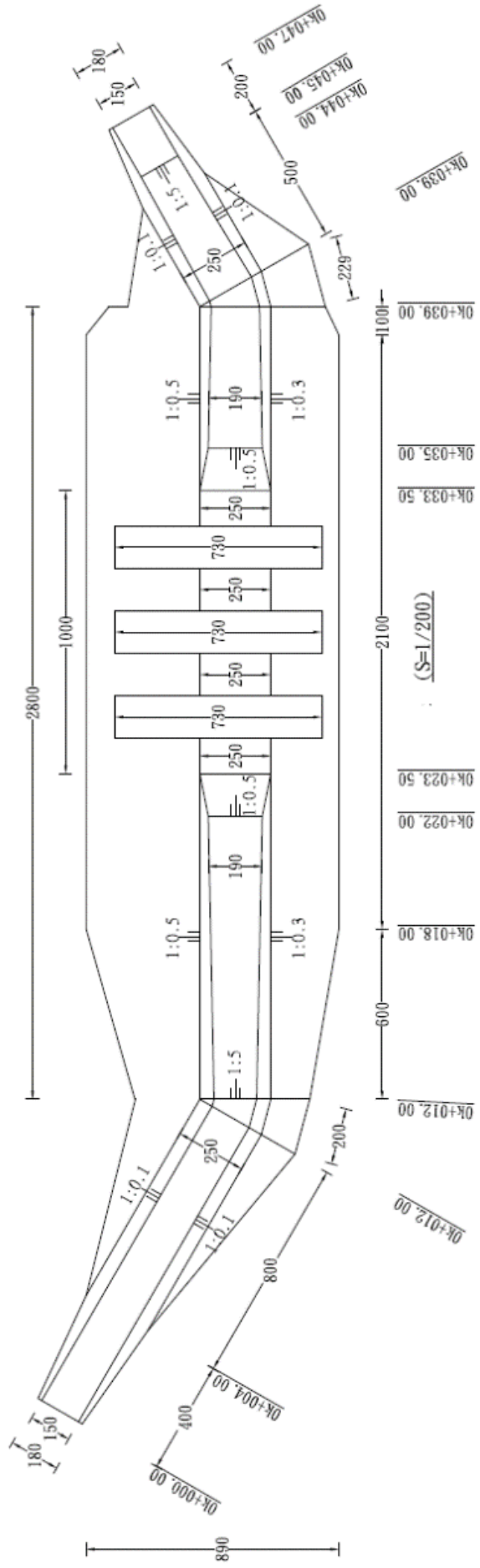
參數名	符號	數值	備註
梳子壩高(m)	H	6	
未淤滿時淤砂高度(m)	H_s	4	
梳子柱正面寬(m)	b	1.5	
梳子柱頂寬(m)	t	2.5	
壩下游坡面水平寬(m)	L_1	1.8	$H \times m_1 = 6 \times 0.3$
壩上游坡面水平寬(m)	L_2	3.0	$H \times m_2 = 6 \times 0.5$
趾版長度(m)	L_3	1.8	
壩體下游面斜率	m_1	0.3	
壩體上游面斜率	m_2	0.5	壩體設計主要變數，應依安定檢算結果調整之。
壩體密閉比	K	1	原始設計參數

表 4-10 溢洪口斷面設計

參數名及單位	符號	數值	計算式
溢洪口斷面底寬(m)	b_o	10	設定值
溢流水深(m)	h	2.20	
溢洪口斷面頂寬(m)	b_u	12.2	$b_u = b_o + 2mh$ $= 10 + 2 \times 0.5 \times 2.2$
寬頂堰流量(cms)	Q'	62.9	$Q' = \frac{2}{15} \times ch(2gh)^{0.5}(3b_o + 2b_u)$ $= \frac{2}{15} \times 0.6 \times 2.2 \times (2 \times 9.8 \times 2.2)^{0.5} \times (3 \times 10 + 2 \times 12.2) = 62.9$ ，c 採用 0.6 檢算： $Q' = 62.9 > Q_d(34.42, O.K.)$ $> Q_p(31.29, O.K.)$
出水高度(m)	h_f	0.8	設定值
溢口臨界水深(m)	h_c	1.48	$\frac{Q^2}{g} = \frac{(B_o + B_u)^3 d_c^3}{8B_u}$ $Q =$ 寬頂堰流量(cms) $g =$ 重力加速度(m/s^2) $B_u =$ 溢口臨界水深時水面上寬 $= b_o + 2 \times h_c \times m$ $B_o =$ 溢口臨界水深時水面下寬 $= b_o$
跌水緣水深(m)	h_{ck}	1.05	$h_{ck} = 0.715h_c = 0.715 \times 1.48$
設計溢流高度(m)	h^*	3	$H = h + h_f = 2.2 + 0.8 = 3$
設計溢流口底寬(m)	b_o^*	10	
設計溢流口頂寬(m)	b_u^*	13	$b_u = 10 + 2 \times 3 \times 0.5 = 13$

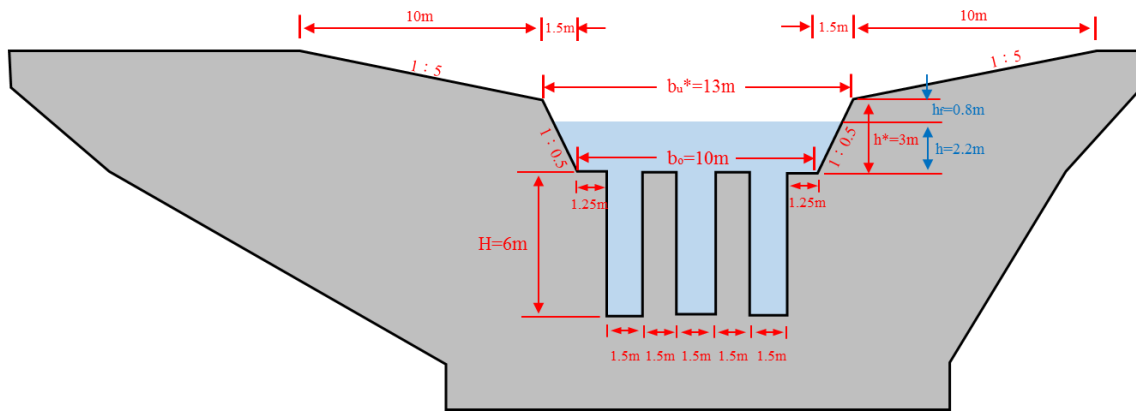


(a)正面圖

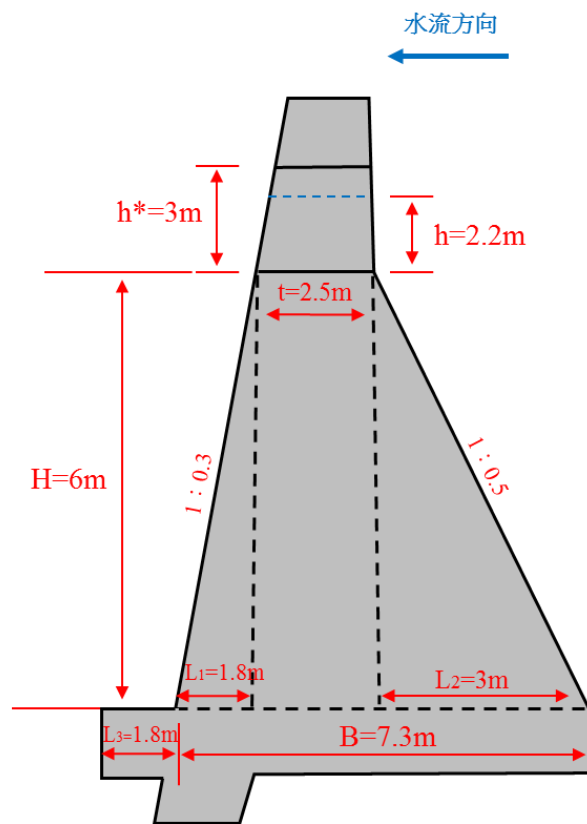


(b) 平面图

圖 4-14 細部設計圖說



(a) 正面



(b) 剖面

圖 4-15 梳子壩示意圖

2.安定檢討

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、土石流流體衝擊力、巨礫撞擊力時；及(6)淤滿、土石流流體衝擊力、巨礫撞擊力等六種狀況之應力分析，參數設定列於表 4-11。

表 4-11 參數設定及計算

參數名	符號	數值	計算式
梳子壩高(m)	H	6	
砂粒飽和單位重量(t/m^3)	γ_{sat}	2.07	
砂粒浸水單位重量(t/m^3)	γ_{sub}	1.07	
水平地震加速度係數	K_h	0.18	
垂直地震加速度係數	K_v	0.06	
浮力係數	C_B	0.6	
基礎承載力(t/m^2)	B_p	40~50	
常時主動土壓力係數 (Rankine)	K_a	0.271	常時、未淤滿($\beta = 0^\circ$)時 $K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$ 式中 $\beta =$ 計畫淤砂坡度 = 0° $\varphi =$ 淤砂內摩擦角 = 35°
		0.279	常時、淤滿($\beta = 8.53^\circ$)時 $K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$ 式中 $\beta =$ 計畫淤砂坡度 = 8.53° $\varphi =$ 淤砂內摩擦角 = 35°

表 4-16 參數設定及計算(續)

參數名	符號	數值	計算式
地震時主動土壓力係數	K_{ae}	0.654	<p>震時、未淤滿($\beta = 0^\circ$)時，</p> $K_{ae} = \frac{\cos(\varphi - \varepsilon - \theta)^2}{\cos \theta (\cos \varepsilon)^2 \cos(\delta + \varepsilon + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \varepsilon) \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\cos(\varepsilon - \beta) \cos(\delta + \varepsilon + \theta)}} \right]^2}$ <p>式中</p> <p>$\varphi =$ 淤砂內摩擦角 $= 35^\circ$</p> <p>$\beta =$ 未淤滿時淤砂坡度 $= 0^\circ$</p> <p>$\theta =$ 地震角 $= \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right)$ $= \tan^{-1} \left(\frac{0.18}{1 - 0.06} \right)$ $= 10.8^\circ$</p> <p>$\delta =$ 牆面與淤砂之間之摩擦角 $= \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 倍之淤砂內摩擦角 $= \frac{1}{2} \times 35^\circ = 17.5^\circ$</p> <p>$\varepsilon =$ 壩體上游牆面與垂直方向之夾角 $= \tan^{-1} \left(\frac{0.5}{1} \right) = 26.57^\circ$</p>
		0.8	<p>震時淤滿($\beta = 8.53^\circ$)時，</p> $K_{ae} = \frac{\cos(\varphi - \varepsilon - \theta)^2}{\cos \theta (\cos \varepsilon)^2 \cos(\delta + \varepsilon + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \varepsilon) \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\cos(\varepsilon - \beta) \cos(\delta + \varepsilon + \theta)}} \right]^2}$ <p>式中</p> <p>$\varphi =$ 淤砂內摩擦角 $= 35^\circ$</p> <p>$\beta =$ 未淤滿時淤砂坡度 $= 8.53^\circ$</p> <p>$\theta =$ 地震角 $= \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right)$ $= \tan^{-1} \left(\frac{0.18}{1 - 0.06} \right)$ $= 10.8^\circ$</p> <p>$\delta =$ 牆面與淤砂之間之摩擦角 $= \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 倍之淤砂內摩擦角 $= \frac{1}{2} \times 35^\circ = 17.5^\circ$</p> <p>$\varepsilon =$ 壩體上游牆面與垂直方向之夾角 $= \tan^{-1} \left(\frac{0.5}{1} \right) = 26.57^\circ$</p>

表 4-16 參數設定及計算(續)

參數名	符號	數值	計算式
臨界水深(m)	h_c	1.48	$\frac{Q^2}{g} = \frac{(B_o + B_u)^3 h_c^3}{8B_u}$ 式中 B_o = 臨界水深時水面下寬 = 10m B_u = 臨界水深時水面上寬 $= 10 + 2mh_c = 11.48m$ Q = 寬頂堰流量 = 62.9cms
跌水緣水深(m)	h_{ck}	1.05	$0.715h_c = 0.715 \times 1.48 = 1.05$
土石流泥砂體積濃度	C_d	0.33	$C_d = \frac{\gamma_{wc} \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_{wc}) \times (\tan \varphi - \tan \theta)}$ $= \frac{1.1 \times \tan 8.53^\circ}{(2 - 1.1) \times (\tan 35^\circ - \tan 8.53^\circ)}$ $= 0.33$ $C_{dmin} = \frac{\gamma_w}{\gamma_s + \gamma_w} = \frac{1}{2 + 1} \cong 0.3$ 建議 $C_d > C_{dmin}$ ，採用 0.33
靜止床面泥砂體積濃度	C_m	0.65	$C_m = 1 - n_e = 1 - 0.35 = 0.65$
土石流洪峰流量(cms)	Q_d	63.56	$Q_D = \frac{C_m}{(C_m - C_d)} \times Q_p$ $= \frac{0.65}{(0.65 - 0.33)} \times 31.29$
土石流流深(m)	h_D	1.4	$h_D = \left[\frac{n_d Q_D}{B \tan \theta^{0.5}} \right]^{0.6}$ $= \left[\frac{0.1 \times 63.56}{10 \times \tan 8.53^{0.5}} \right]^{0.6} \cong 1.4$ 式中 B = 溢口底寬 = 10m
土石流流速(m/s)	U_D	4.08	土石流流速採用 Takahashi 的半經驗公式，較適用於礫石型土石流類型，其平均流速 $U_D = \frac{2}{5d_s \lambda} \left\{ \frac{g \sin \theta}{a_i \sin \alpha} \left[C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_w}{\rho_s} \right] \right\}^{1/2} h_D^{3/2}$ 式中， h_D = 土石流流深 = 1.4； λ = 固體泥砂顆粒之線性濃度 $\lambda = \left[\frac{C_m}{C_d} - 1 \right]^{-1} = \left[\frac{0.65}{0.3} - 1 \right]^{-1}$ ； d_s = 土石流泥砂顆粒粒徑 = 1(m)； a_i = 常數，當 $\frac{1}{\lambda} > 0.071$ 時， $a_i = 0.042$ ； θ = 計畫淤沙坡度 = 8.53 度； α = 淤沙內摩擦角 = 35 度。

表 4-16 參數設定及計算(續)

參數名	符號	數值	計算式
土石流單位重(t/m ³)	γ_m	1.57	一般土石流單位重介於 1.4t/m ³ ~2.3t/m ³ ，採用 1.57
土石流巨礫設計粒徑(m)	D_E	1.0	$D_E = \omega_0 \left(\frac{C_D}{C_m - C_D} \right) h_D$ 式中 $\omega_0 =$ 土石流設計粒徑修正係數 $= 1.0$ $D_E = 1 \times \frac{0.3}{0.65 - 0.3} \times 1.3$ $= 1.11m$ ，採用 1.0m
土石流流體撞擊力(t/m)	P_f	3.72	$P_f = K \frac{\gamma_m}{g} h_D U_D^2$ $= 1.0 \times \frac{1.57}{9.81} \times 1.4$ $\times 4.08^2 = 3.72$ 式中 $K =$ 係數(介於 0.5~2.0)，取 1.0
土石流巨礫衝擊力(t)	P_d	27.23	$P_d = 20.2 V_D^{1.2} R_E^2$ $, V_D \text{ 近似 } U_D$ $P_d = 20.2 \times 4.08^{1.2} \times (1/2)^2$
傾覆安全係數		1.5	水保手冊建議一般為 1.1~1.3，此 案例採用 1.5
滑動安全係數		1.1	水保手冊建議採用 1.1~1.25

(1) 未淤滿($\beta = 0^\circ$, $H_s = 4m$)、地震(主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.654$)、普通流量時。

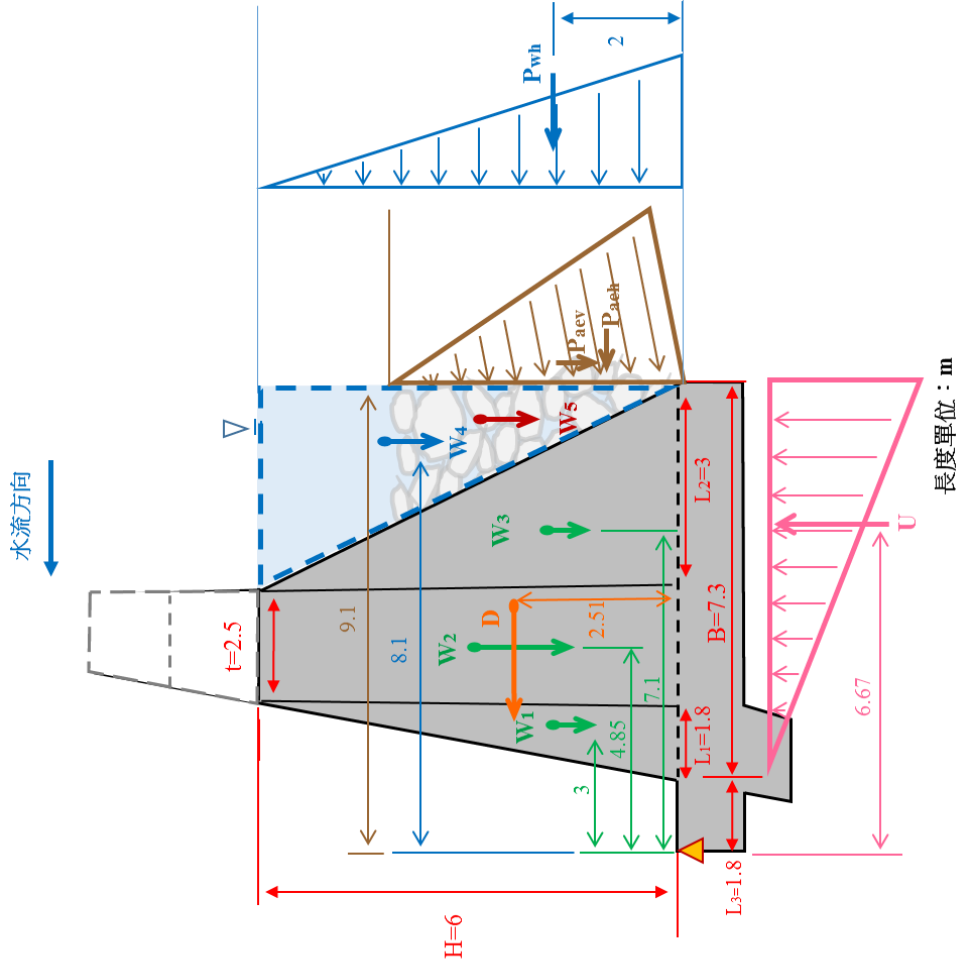


圖 4-16 未淤滿、地震、普通流量時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

未淤滿(Hs=4m)，普通流量，發生地震(Kae=0.654)						
作用力	符號	計算式	垂直力		力矩	
			Rv	水平力 Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc=1/2*(0.3*6)*6*2.3$	12.42		3.00	37.26
	W ₂	$t*H*rc=2.5*6*2.3$	34.50		4.85	167.33
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc=1/2*(0.5*6)*6*2.3$	20.70		7.10	146.97
	W ₄	$1/2*(m2*H)*H*rws=1/2*(0.5*6)*6*1.1$	9.90		8.10	80.19
	W ₅	$1/2*(m2*Hs)*Hs*rsub=1/2*(0.5*4)*4*1.07$	4.28		8.43	36.08
地震土壓力	P _{ae}	$1/2*Kae*(1-Kv)*rsub*Hs^2=1/2*0.654*(1-0.06)*1.07*4^2$				
	P _{aeH}	$Pae*cos\beta=Pae*cos8.53^\circ$		3.13	1.33	4.17
	P _{aeV}	$Pae*sin\beta=Pae*sin8.53^\circ$	4.23		9.10	38.49
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*H^2*rwc=1/2*6^2*1.1$		8.80	2.00	17.60
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*Hs*CB*rw=1/2*(0.3*6+2.5+0.5*6)*4*0.6*1$	-8.76		6.67	58.40
地震時壩體慣性力	D	$(W1+W2+W3)*Kh=(12.42+34.5+20.7)*0.18$		12.17	2.51	30.55
	總計		77.27	24.10		110.72

b. 安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $< x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.03	5.12	6.07
條件：FS = (M+) / (M-) > 1.5	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.5	4.57	
滑動檢算		
條件：FS = 壩底抗滑摩擦力 f / 水平力 > 1.1 ~ 1.25	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1 ~ 1.25	54.09	2.24
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e = x - \text{壩底寬} / 2$	1.47 (m)	
基礎容許承載力 B_p	40 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 $B_{pd} = R_v / \text{壩底寬} (1 + 6e / \text{壩底寬})$	23.37 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 $B_{pu} = R_v / \text{壩底寬} (1 - 6e / \text{壩底寬})$	-2.2 (t/m ²)	

(2) 未淤滿($\beta = 0$, $H_s = 4m$)、無地震(主動土壓力係數 $K_a = 0.271$)、最大流量時($h = 2.2m$)。

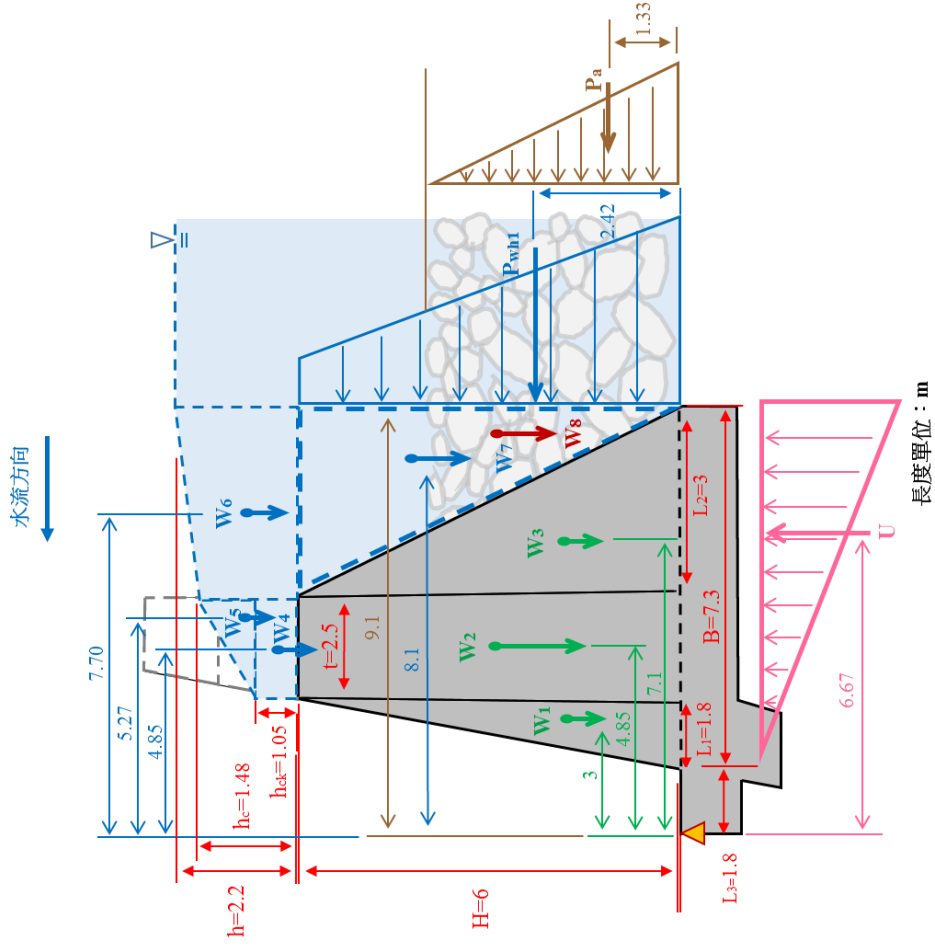


圖 4-17 未淤滿、無地震、最大流量時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

未淤滿(Hs=4m)，最大流量(h=2.2m)							
作用力	符號	計算式	垂直力 Rv	水平力 Rh	力臂		
					正 M+	負 M-	
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc=1/2*(0.3*6)*6*2.3$	12.42		3.00	37.26	
	W ₂	$t*H*rc=2.5*6*2.3$	34.50		4.85	167.33	
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc=1/2*(0.5*6)*6*2.3$	20.70		7.10	146.97	
壩上水重	W ₄	$hck*t*rc=1.05*2.5*1.1$	2.89		4.85	14.00	
	W ₅	$1/2*t*(hc-hck)*rc=1/2*2.5*(1.48-1.05)*1.1$	0.59		5.27	3.12	
	W ₆	$1/2*(hc+h)*(m2*H)*rc=1/2*(1.48+2.2)*(0.5*6)*1.1$	6.07		7.70	46.75	
	W ₇	$1/2*(m2*H)*H*rc=1/2*0.5*6*1.1$	9.90		8.10	80.19	
壩上土砂重	W ₈	$1/2*(m2*Hs)*Hs*rcsub=1/2*(0.5*4)*4*1.07$	4.28		8.43	36.08	
土壓力	P _a	$1/2*Ka*rcsub*Hs^2=1/2*0.271*1.07*4^2$		2.32	1.33		3.09
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*(h+(H+h))*H*rc=1/2*(2.2+(6+2.2))*6*1.1$		34.32	2.42		83.05
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*(H+h)*CB*rc=1/2*(0.3*6+2.5+0.5*6)*(6+2.2)*0.6*1$	-17.96		6.67		119.72
	總計		73.39	36.64		531.70	205.86

b.安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $<x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.03	4.44	6.07
條件：FS=(M+)/(M-)>1.5	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.5	2.58	
滑動檢算		
條件：FS=壩底抗滑摩擦力 f/水平力>1.1~1.25	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1~1.25	51.37	1.4
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力<基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e = x - \text{壩底寬}/2$	0.79 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd=Rv/壩底寬(1+6e/壩底寬)	16.58 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu=Rv/壩底寬(1-6e/壩底寬)	3.53 (t/m ²)	

(3) 淤滿($\beta = 8.53^\circ$, $H_m = 6.45m$)、無地震(主動土壓力係數 $K_a = 0.279$)、最大流量時($h = 2.2m$)。

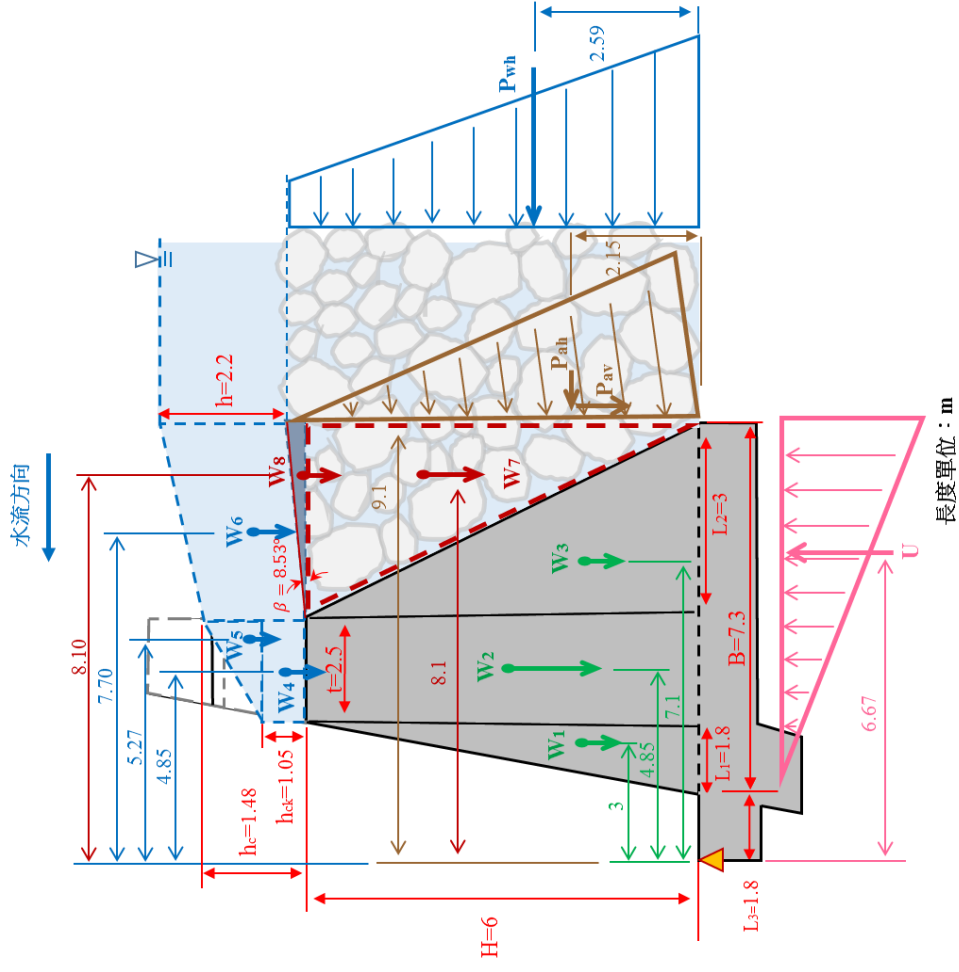


圖 4-18 淤滿、無地震、最大流量時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

已淤滿(Hm=6.45m) , 最大流量(h=2.2m)						
作用力	符號	計算式	垂直力		力矩	
			Rv	水平力 Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc=1/2*(0.3*6)*6*2.3$	12.42		3.00	37.26
	W ₂	$t*H*rc=2.5*6*2.3$	34.50		4.85	167.33
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc=1/2*(0.5*6)*6*2.3$	20.70		7.10	146.97
壩上水重	W ₄	$hck*t*rw=1.05*2.5*1.1$	2.89		4.85	14.02
	W ₅	$1/2*t*(hc-hck)*rwc=1/2*2.5*(1.48-1.05)*1.1$	0.59		5.27	3.11
	W ₆	$1/2*(hc+h)*(m2*H)*rwc=1/2*(1.48+2.2)*(0.5*6)*1.1$	6.07		7.70	46.74
壩上土砂重	W ₇	$1/2*(m2*H)*H*rsat=1/2*(0.5*6)*6*2.07$	18.63		8.10	150.90
	W ₈	$1/2*(m2*H)*(m2*H*tan\beta)*rsat=1/2*(0.5*6)*(0.5*6*tan8.53^\circ)*6.45*2.07$	1.40		8.10	11.34
土壓力	P _{dh}	$Pa1*cos\beta=1/2*Ka*Hm^2*rsub*cos\beta=1/2*0.279*6.45^2*1.07*cos8.53^\circ$		6.14	2.15	13.20
	P _{av}	$Pa1*sin\beta=1/2*Ka*Hm^2*rsub*sin\beta=1/2*0.279*6.45^2*1.07*sin8.53^\circ$	0.92		9.10	8.37
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*(h+(Hm+h))*Hm*rwc=1/2*(2.2+(6.45+2.2))*6.45*1.1$		38.49	2.59	99.69
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*(Hm+h)*CB*rw=1/2*(0.3*6+2.5+0.5*6)*(6.45+2.2)*0.6*1$	-18.94		6.67	126.33
	總計		79.18	44.63		586.03
						239.22

b.安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $<x<2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x=[(M+)-(M-)]/Rv$	2/3 壩底寬
3.03	4.38	6.07
條件：FS=(M+)/(M-)>1.5	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.5	2.45	
滑動檢算		
條件：FS=壩底抗滑摩擦力 f/水平力>1.1~1.25	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1~1.25	55.43	1.24
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力<基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e=x$ -壩底寬/2	0.73 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd=Rv/壩底寬(1+6e/壩底寬)	17.35 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu=Rv/壩底寬(1-6e/壩底寬)	4.34 (t/m ²)	

(4) 淤滿($\beta = 8.53^\circ$, $H_m = 6.45\text{m}$)、地震(主動土壓力係數 $K_{ae} = 0.8$)、普通流量時。

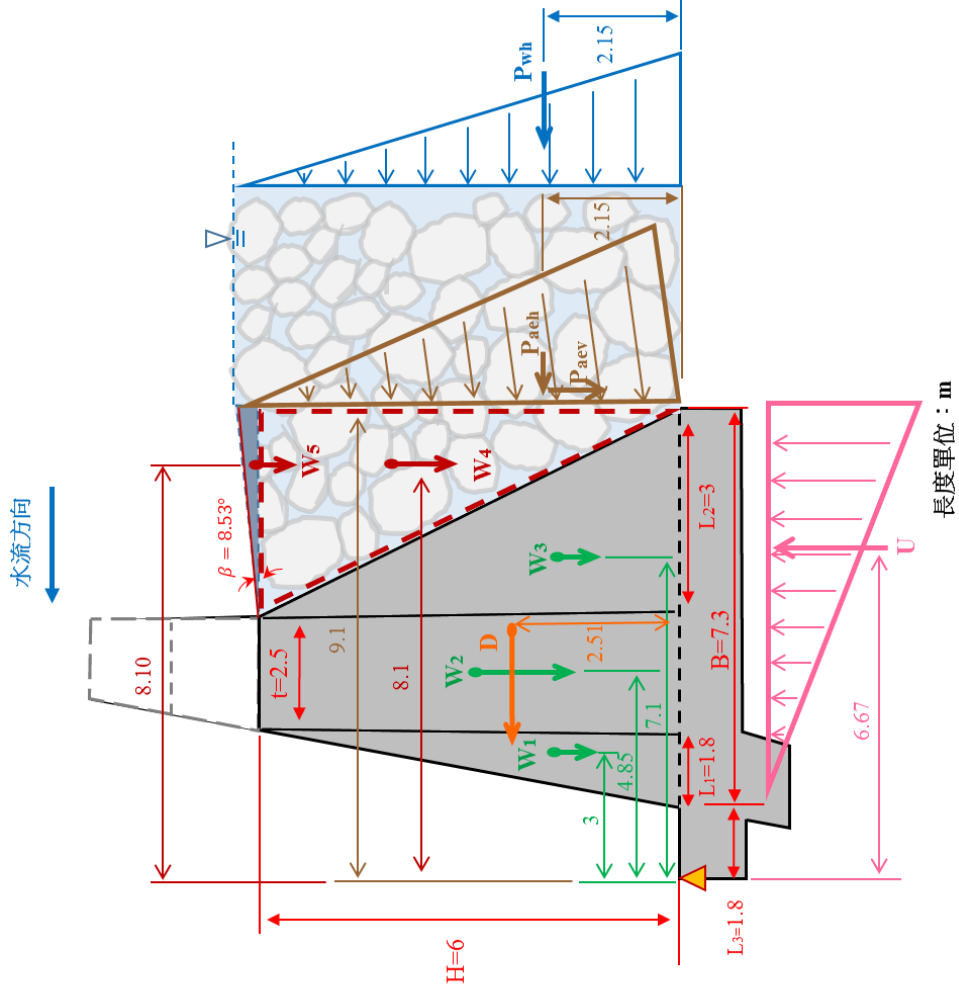


圖 4-19 淤滿、地震、普通流量時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

已淤滿(Hm=6.45m)，普通流量，發生地震(Kae=0.8)						
作用力	符號	計算式	垂直力		力矩	
			Rv	水平力 Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2 * (m1 * H) * H * rc = 1/2 * (0.3 * 6) * 6 * 2.3$	12.42		3.00	37.26
	W ₂	$t * H * rc = 2.5 * 6 * 2.3$	34.50		4.85	167.33
	W ₃	$1/2 * (m2 * H) * H * rc = 1/2 * (0.5 * 6) * 6 * 2.3$	20.70		7.10	146.97
壩上土砂重	W ₄	$1/2 * (m2 * H) * H * rsat = 1/2 * (0.5 * 6) * 6 * 2.07$	18.63		8.10	150.90
	W ₅	$1/2 * (m2 * H) * (m2 * H * \tan \beta) * rsat = 1/2 * (0.5 * 6) * (0.5 * 6 * \tan 8.53^\circ) * 6.45 * 2.07$	1.40		8.10	11.34
地震土壓力	P _{aeh}	$1/2 * Kae * (1 - Kv) * Hm^2 * rsub * \cos \beta =$ $1/2 * 0.8 * (1 - 0.06) * 6.45^2 * 1.07 * \cos 8.53^\circ$		16.55	2.15	35.58
	P _{aev}	$1/2 * Kae * (1 - Kv) * Hm^2 * rsub * \sin \beta =$ $1/2 * 0.8 * (1 - 0.06) * 6.45^2 * 1.07 * \sin 8.53^\circ$	2.48		9.10	22.57
靜水壓力	P _{wh}	$1/2 * Hm^2 * rwc = 1/2 * 6.45^2 * 1.1$		22.88	2.15	49.19
上揚力	U	$1/2 * (m1 * H + t + m2 * H) * Hm * CB * rw = 1/2 * (0.3 * 6 + 2.5 + 6 * 6) * 6.45 * 0.6 * 1$	-14.13		6.67	94.25
地震時壩體慣性力	D	$(W1 + W2 + W3) * Kh = (12.42 + 34.5 + 20.7) * 0.18$		12.17	2.51	30.55
	總計		76.00	51.60		536.37
						209.57

b.安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 $x < 2/3$ 壩底寬	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.03	4.3	6.07
條件：FS = (M+) / (M-) > 1.5	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.5	2.56	
滑動檢算		
條件：FS = 壩底抗滑摩擦力 f / 水平力 > 1.1 ~ 1.25	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1 ~ 1.25	53.2	1.1
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e = x - \text{壩底寬} / 2$	0.65 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd = Rv / 壩底寬 (1 + 6e / 壩底寬)	15.97 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu = Rv / 壩底寬 (1 - 6e / 壩底寬)	4.85 (t/m ²)	

(5) 淤滿、無地震(主動土壓力係數 $K_a = 0.279$)、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時。

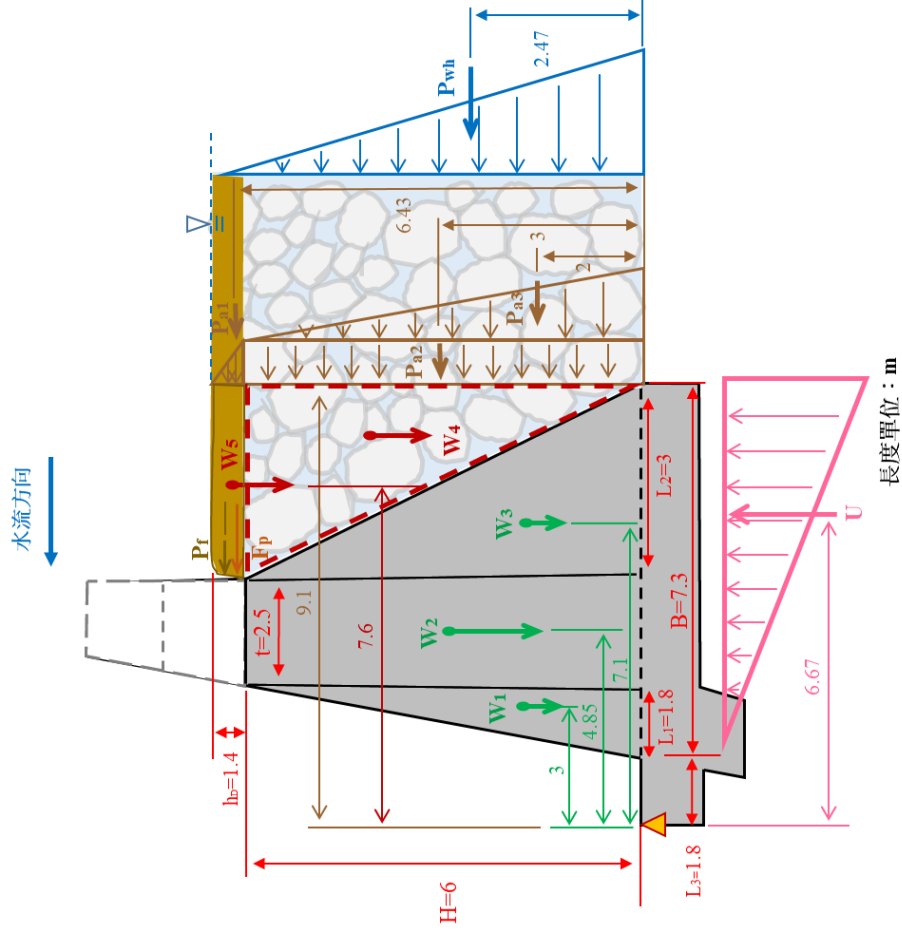


圖 4-20 淤滿、無地震、土石流體衝擊及其巨礫撞擊時之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

		淤滿，普通流量，土石流流體衝擊力、巨礫撞擊力				
作用力	符號	計算式	垂直力		力矩	
			Rv	水平力 Rh	正 M+	負 M-
壩體自重	W ₁	$1/2 * (m1 * H) * H * rc * K = 1/2 * (0.3 * 6) * 6 * 2.3 * 1$	12.42		3.00	37.26
	W ₂	$t * H * rc * K = 2.5 * 6 * 2.3 * 1$	34.50		4.85	167.33
	W ₃	$1/2 * (m2 * H) * H * rc * K = 1/2 * (0.5 * 6) * 6 * 2.3 * 1$	20.70		7.10	146.97
壩上土砂重	W ₄	$1/2 * (m2 * H) * H * rsat = 1/2 * (0.5 * 6) * 6 * 2.07$	20.03		8.10	162.24
壩上土石流重	W ₅	$(m2 * H) * hD * rm = (0.5 * 6) * 1.4 * 1.57$	6.59		7.60	50.08
土壓力	P _{a1}	$1/2 * Ka * (rm - rwc) * hD^2 = 1/2 * 0.279 * (1.57 - 1.1) * 1.4^2$		0.13	6.47	0.84
	P _{a2}	$Ka * (rm - rwc) * hD * H = 0.279 * (1.57 - 1.1) * 1.4 * 6$		1.10	3.00	3.30
	P _{a3}	$1/2 * Ka * rsub * H^2 = 1/2 * 0.279 * 1.07 * 6^2$		5.37	2.00	10.74
靜水壓力	P _{wh}	$1/2 * (H + hD)^2 * rwc = 1/2 * (6 + 1.4)^2 * 1.1$		30.12	2.47	74.40
上揚力	U	$1/2 * (m1 * H + t + m2 * H) * (H + hD) * CB * rw = 1/2 * (0.3 * 6 + 2.5 * 6 + 0.5 * 6) * (6 + 1.4) * 0.6 * 1$	-16.21		6.67	108.07
土石流流體衝擊力	P _f			3.72	6.70	24.92
土石流巨礫撞擊力	P _d			2.72	6.50	17.68
	總計		78.03	43.16		563.88
						239.95

b. 安定檢算

傾覆檢算	
條件：1/3 壩底寬 $<x < 2/3$ 壩底寬	合格
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$ 2/3 壩底寬
3.03	4.15 6.07
條件：FS = (M+) / (M-) > 1.5	合格
傾覆安全係數	FS
1.5	2.35
滑動檢算	
條件：FS = 壩底抗滑摩擦力 f / 水平力 > 1.1 ~ 1.25	合格
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f FS
1.1 ~ 1.25	54.62 1.27
壩底垂直應力檢算	
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格
偏心距 $e = x - \text{壩底寬} / 2$	0.5 (m)
基礎容許承載力 Bp	40 (t/m ²)
壩趾垂直應力 Bpd = Rv / 壩底寬 (1 + 6e / 壩底寬)	15.08 (t/m ²)
壩踵垂直應力 Bpu = Rv / 壩底寬 (1 - 6e / 壩底寬)	6.3 (t/m ²)

(6) 未淤滿($\beta = 0^\circ$)、無地震(主動土壓力係數 $K_a = 0.271$)、土石流體衝擊力、土石流巨礫撞擊。

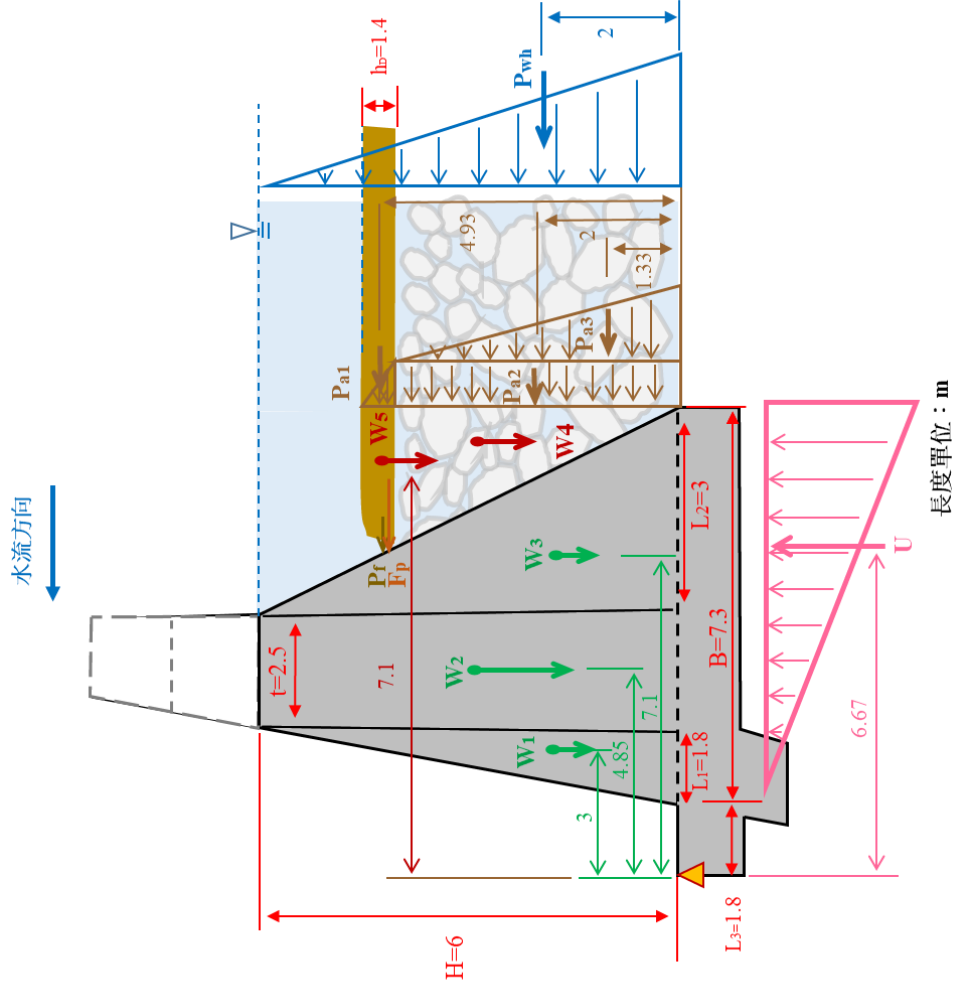


圖 4-21 未淤滿、無地震、無地震、土石流體衝擊力、土石流巨礫撞擊之防砂壩示意圖

a. 荷重分析

未淤滿，普通流量，土石流流體衝擊力、巨礫撞擊力							
作用力	符號	計算式	垂直力		水平力		
			Rv	Rh	力臂 正 M+	力臂 負 M-	
壩體自重	W ₁	$1/2*(m1*H)*H*rc*K=1/2*(0.3*6)*6*2.3*1$	12.42		3.00	37.26	
	W ₂	$t*H*rc*K=2.5*6*2.3*1$	34.50		4.85	167.33	
	W ₃	$1/2*(m2*H)*H*rc*K=1/2*(0.5*6)*6*2.3*1$	20.70		7.10	146.97	
壩上土砂重	W ₄	$1/2*(m2*Hs)*Hs*rcsub=1/2*(0.5*4)*4*1.07$	4.28		8.43	36.08	
壩上土石流重	W ₅	$(m2*H)*hD*rm=(0.5*6)*1.4*1.57$	6.59		7.10	46.79	
土壓力	P _{a1}	$1/2*Ka*(rm-rwc)*hD^2=1/2*0.271*(1.57-1.1)*1.4^2$		0.12	4.93	0.59	
	P _{a2}	$Ka*(rm-rwc)*hD*(H-hD)=0.271*(1.57-1.1)*1.4*(6-1.4)$		0.82	2.00		
	P _{a3}	$1/2*Ka*rcsub*H^2=1/2*0.271*1.07*6^2$		5.22	1.33		
靜水壓力	P _{wh}	$1/2*H^2*rc=1/2*6^2*1.1$		19.80	2.00	39.60	
上揚力	U	$1/2*(m1*H+t+m2*H)*Hm*CB*rcw=1/2*(0.3*6+2.5+6*6)*6.45*0.6*1$	-14.13		6.67	94.20	
土石流流體衝擊力	Pf			3.72	4.70	17.48	
土石流巨礫撞擊力	Pd			2.72	4.50	12.25	
	總計		64.36	32.40		434.42	164.13

b.安定檢算

傾覆檢算		
條件：1/3 壩底寬 <math>x < 2/3 \text{ 壩底寬}</math>	合格	
1/3 壩底寬	合力作用點距壩趾 $x = [(M+) - (M-)] / R_v$	2/3 壩底寬
3.03	4.2	6.07
條件：FS=(M+)/(M-)>1.5	合格	
傾覆安全係數	FS	
1.5	2.65	
滑動檢算		
條件：FS=壩底抗滑摩擦力 f/水平力>1.1~1.25	合格	
滑動安全係數	壩底抗滑摩擦力 f	FS
1.1~1.25	45.05	1.39
壩底垂直應力檢算		
條件：壩趾(踵)垂直應力 < 基礎容許承載力	合格	
偏心距 $e = x - \text{壩底寬} / 2$	0.55 (m)	
基礎容許承載力 Bp	40 (t/m ²)	
壩趾垂直應力 Bpd=Rv/壩底寬(1+6e/壩底寬)	12.8 (t/m ²)	
壩踵垂直應力 Bpu=Rv/壩底寬(1-6e/壩底寬)	4.83 (t/m ²)	

3. 單一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。梳子壩壩柱其最小斷面積為 $b \times t = 1.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ ，柱高6m。

因巨礫恰巧撞擊柱子頂，此為極端情況，出現機率很低。故假設：相鄰梳柱於同一瞬間被撞擊之機率可視為零；且壩體為連續構造，因而在壩體安定分析時，一粒巨礫撞擊，可假設分散到三支梳柱所受力的斷面寬，即作用力會分散至三支梳柱之斷面寬。

(1) 壩後未淤滿(安定檢算 6 之情況，淤砂高度 $H_s = 4\text{m}$)且受到土石流流體衝擊及巨礫撞擊，則作用在單一柱體面積上的水平力有土石流巨礫撞擊力 (P_d')、靜水壓力(P_{wh}')及土砂壓力(P_{ah}')等外力。其中，

a. 單一壩柱土石流巨礫撞擊力

$$P_d' = \frac{P_d}{3b} = \frac{27.23}{3 \times 1.5} = 6.05(\text{t}) ,$$

b. 單一壩柱之靜水壓力

$$P_{wh}' = P_{wh} \times b = 19.8 \times 1.5 = 29.7(\text{t}) ,$$

c. 單一壩柱之土砂壓力

$$P_{ah}' = P_{ah} \times b = (0.12 + 0.82 + 5.22) \times 1.5 = 9.24(\text{t}) .$$

d. 單一壩柱所受的力可得總彎矩 M

$$\begin{aligned} M &= P_d' \left(H_s + \frac{D_E}{2} \right) + P_{wh}' \frac{H_s}{3} + P_{ah}' \frac{H_s}{3} \\ &= 6.05 \times \left(4 + \frac{1}{2} \right) + 29.7 \times \frac{4}{3} + 9.24 \times \frac{4}{3} \\ &= 79.02(\text{ton} \cdot \text{m}) , \end{aligned}$$

e. 混凝土斷面抗彎強度 φM_n 為

$$\begin{aligned} \varphi M_n &= 0.122 \sqrt{f_c'} \times b \times t^2 \\ &= 0.122 \sqrt{210} \times 150 \times 250^2 = 165.75 (\text{ton} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

因 $M < \phi M_n$ ，故壩柱不會遭巨礫撞擊而產生彎矩破壞。而壩柱抗剪強度為：

$$\begin{aligned}\phi V &= 0.1925\sqrt{f'_c} \times b \times t \\ &= 0.1925 \times \sqrt{210} \times 150 \times 250 = 104.61(\text{ton})\end{aligned}$$

因 $V = P_d' = 24.21(\text{t}) < \phi V$ ，故壩柱不會遭土石流巨礫之剪切破壞。

表 4-12 受力情況表

未淤滿情況(安定檢算 6)			
單一支壩柱受的外力	受力(t)	力臂(m)	力矩(t·m)
土石流巨礫撞擊力	6.05	4.5	27.23
靜水壓力	29.7	1.33	39.5
土砂壓力	9.24	1.33	12.29
	總力矩	M (t·m)	79.02
混凝土抗壓強度	f'_c	210	kg/cm ²
	混凝土斷面抗彎強度	ϕM_n (t·m)	165.75
	壩柱抗剪強度	ϕV (t)	104.61

表 4-13 抗剪及抗彎檢算表

抗彎檢算		壩柱抗彎合格
單一支壩柱受之總力矩	79.02	(t·m)
混凝土斷面抗彎強度	165.75	(t·m)
抗剪檢算		壩柱抗剪合格
土石流巨礫撞擊力	6.05	(ton)
壩柱抗剪強度	104.61	(ton)

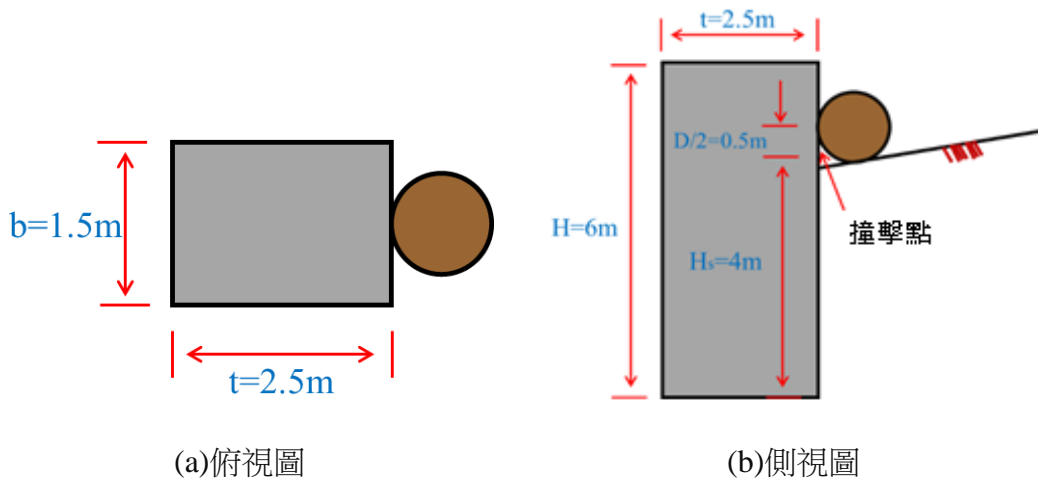


圖 4-22 巨礫撞擊壩柱示意圖

(2)壩後未淤滿，土石流巨礫恰好撞擊柱頂時，淤砂高度為 $H_s = 5.5m$ ，且受到土石流流體衝擊及巨礫撞擊，則作用在單一柱體面積上的水平力有土石流巨礫撞擊力(P_d')、靜水壓力(P_{wh}')及土砂壓力(P_{ah}')等外力。

其中，

a.單一壩柱土石流巨礫撞擊力

$$P_d' = \frac{P_d}{3b} = \frac{27.23}{3 \times 1.5} = 6.05(t) ,$$

b.單一壩柱之靜水壓力

$$P_{wh}' = P_{wh} \times b = \frac{1}{2} \times 1.1 \times 5.5^2 \times 1.5 = 24.96(t) ,$$

c.單一壩柱之土砂壓力

$$P_{ah}' = P_{ah} \times b = 8.24(t) .$$

d.單一壩柱所受的力可得總彎矩 M 為

$$\begin{aligned} M &= P_d' \left(H_s + \frac{D_E}{2} \right) + P_{wh}' \frac{H_s}{3} + P_{ah}' \frac{H_s}{3} \\ &= 6.05 \times \left(5.5 + \frac{1}{2} \right) + 24.96 \times \frac{5.5}{3} + 8.24 \times \frac{5.5}{3} \\ &= 97.06(\text{ton} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

e.混凝土斷面抗彎強度為

$$\begin{aligned} \varphi M_n &= 0.122 \sqrt{f_c'} \times b \times t^2 \\ &= 0.122 \sqrt{210} \times 150 \times 250^2 = 165.75 (\text{ton} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

因 $M < \phi M_n$ ，故壩柱不會遭巨礫撞擊而產生彎矩破壞，因此需在壩柱前加回填砂石之廢輪胎緩衝材料。壩柱抗剪強度為：

$$\begin{aligned}\phi V &= 0.1925\sqrt{f_c'} \times b \times t \\ &= 0.1925 \times \sqrt{210} \times 150 \times 250 = 104.61(\text{ton})\end{aligned}$$

因 $V = P_d = 24.21(\text{ton}) < \phi V$ ，故壩柱不會遭土石流巨礫之剪切破壞。

表 4-14 受力情況表

土石流巨礫恰好撞擊柱頂情況			
單一支壩柱受的外力	受力(t)	力臂(m)	力矩(t·m)
土石流巨礫撞擊力	6.05	6	36.3
靜水壓力	24.96	1.83	45.68
土砂壓力	8.24	1.83	15.08
	總力矩	$M(\text{t} \cdot \text{m})$	97.06
混凝土抗壓強度	f_c'	210	kg/cm ²
	混凝土斷面抗彎強度	$\phi M_n (\text{t} \cdot \text{m})$	165.75
	壩柱抗剪強度	$\phi V (\text{t})$	104.61

表 4-15 抗剪及抗彎檢算表

抗彎檢算		壩柱抗彎合格
單一支壩柱受之總力矩	97.06 (t·m)	
混凝土斷面抗彎強度	165.75 (t·m)	
抗剪檢算		壩柱抗剪合格
土石流巨礫撞擊力	6.05 (ton)	
壩柱抗剪強度	104.61 (ton)	

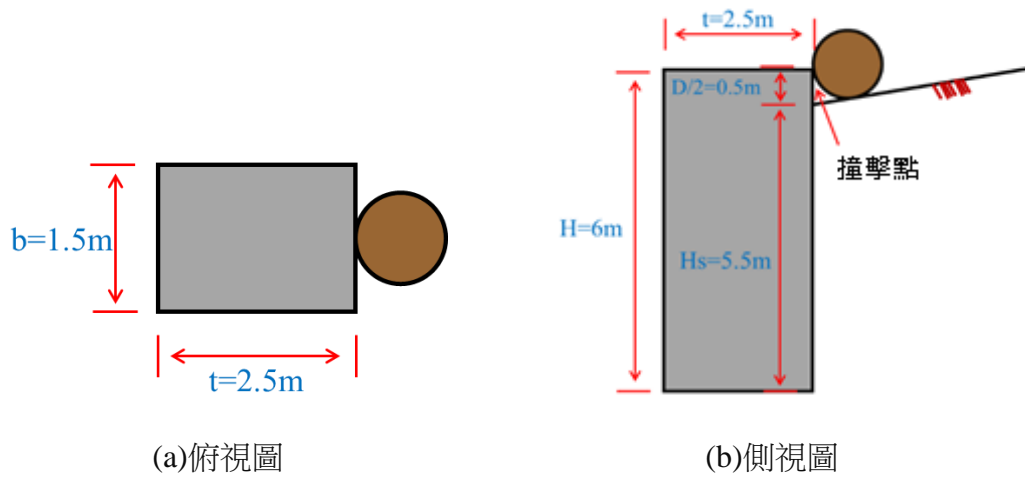


圖 4-23 巨礫撞擊壩柱示意圖

附錄

附錄一、Horner 公式相關係數值

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年	
		參數								
冬山河	冬山	a	652.90	997.62	1339.05	2037.46	2950.41	4625.92	8183.97	
		b	21.92	29.29	38.65	57.72	79.69	112.10	160.71	
		c	0.5375	0.5474	0.5606	0.5875	0.6170	0.6580	0.7151	
		R ²	0.9977	0.9961	0.9943	0.9899	0.9845	0.9767	0.9664	
	新寮	a	733.80	799.81	836.96	866.59	873.42	865.99	844.50	
		b	22.26	21.02	22.41	25.25	27.65	29.96	31.88	
		c	0.5217	0.4796	0.4539	0.4215	0.3968	0.3711	0.3442	
		R ²	0.9872	0.9881	0.9896	0.9900	0.9870	0.9784	0.9606	
南澳溪	大元山	a	466.41	777.55	1044.31	1461.67	1835.48	2268.32	2775.22	
		b	4.85	16.30	26.13	40.37	51.80	63.73	76.23	
		c	0.4264	0.4480	0.4652	0.4878	0.5042	0.5203	0.5362	
		R ²	0.9977	0.9948	0.9939	0.9936	0.9934	0.9929	0.9919	
	武塔	a	734.19	617.24	577.40	546.29	530.33	517.71	507.81	
		b	24.90	10.84	6.06	2.30	0.40	-1.05	-2.18	
		c	0.5542	0.4999	0.4764	0.4547	0.4421	0.4314	0.4222	
		R ²	0.9904	0.9971	0.9980	0.9963	0.9936	0.9902	0.9863	
	樟林	a	886.93	945.94	994.90	1054.50	1091.35	1125.00	1154.17	
		b	47.16	45.78	45.60	45.58	45.32	45.06	44.69	
		c	0.5363	0.5055	0.4959	0.4884	0.4841	0.4807	0.4777	
		R ²	0.9944	0.9842	0.9729	0.9551	0.9406	0.9255	0.9103	
	淡水河	大豹	a	924.25	1028.55	1163.82	1373.95	1556.91	1766.55	2005.39
			b	16.42	15.25	17.28	21.15	24.67	28.72	33.25
			c	0.6320	0.6055	0.6018	0.6032	0.6070	0.6125	0.6192
			R ²	0.9959	0.9949	0.9955	0.9949	0.9927	0.9889	0.9835
中正橋		a	1767.13	2546.37	3290.83	4741.47	6457.74	9137.76	13435.59	
		b	17.31	25.03	33.65	49.20	64.86	84.75	109.34	
		c	0.7679	0.7679	0.7759	0.7969	0.8204	0.8506	0.8872	
		R ²	0.9930	0.9944	0.9966	0.9971	0.9955	0.9928	0.9893	
五堵		a	1047.46	1155.51	896.53	620.85	486.27	395.15	333.24	
		b	23.32	24.02	18.42	9.99	4.34	-0.26	-3.68	
		c	0.6505	0.6128	0.5400	0.4457	0.3835	0.3295	0.2833	
		R ²	0.9998	0.9957	0.9918	0.9877	0.9856	0.9844	0.9834	

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
淡水河	火燒寮	a	571.48	626.20	631.81	629.70	625.33	620.18	615.07
		b	11.73	9.59	7.60	5.25	3.68	2.27	1.01
		c	0.5260	0.4932	0.4710	0.4462	0.4300	0.4153	0.4020
		R ²	0.9971	0.9968	0.9963	0.9952	0.9941	0.9929	0.9916
	台北(5)	a	887.04	1369.49	1905.13	3329.11	5923.76	12141.62	27384.40
		b	11.05	20.26	32.19	60.04	96.70	151.66	224.58
		c	0.6747	0.6878	0.7053	0.7488	0.8034	0.8761	0.9603
		R ²	0.9991	0.9990	0.9985	0.9950	0.9893	0.9794	0.9611
	(阿玉進水) 孝義	a	594.16	616.42	645.37	687.02	719.34	751.76	785.88
		b	12.80	13.78	15.16	17.27	18.96	20.70	22.57
		c	0.5333	0.4986	0.4877	0.4798	0.4764	0.4741	0.4730
		R ²	0.9985	0.9968	0.9958	0.9945	0.9936	0.9926	0.9916
	坪林(4)	a	789.66	586.81	520.11	481.66	470.92	467.18	468.42
		b	27.55	9.64	2.08	-3.10	-5.17	-6.48	-7.33
		c	0.5634	0.4797	0.4431	0.4127	0.3977	0.3864	0.3780
		R ²	0.9997	0.9982	0.9974	0.9971	0.9968	0.9966	0.9962
	林口(1)	a	1066.01	2430.09	3615.30	5221.82	6395.19	7552.32	8655.39
		b	26.90	47.17	58.46	69.14	74.92	79.58	83.27
		c	0.6832	0.7560	0.7890	0.8165	0.8297	0.8395	0.8466
		R ²	0.9950	0.9928	0.9938	0.9937	0.9915	0.9875	0.9819
	乾溝	a	1126.78	844.29	693.87	562.53	492.86	439.31	396.81
		b	25.08	16.56	11.75	7.17	4.56	2.46	0.72
		c	0.6449	0.5634	0.5157	0.4659	0.4347	0.4076	0.3837
		R ²	0.9960	0.9990	0.9971	0.9904	0.9830	0.9739	0.9634
	梵梵(2)	a	351.52	470.04	572.63	725.66	861.28	1019.48	1210.00
		b	7.27	8.35	10.60	14.44	18.09	22.46	27.80
		c	0.4323	0.4181	0.4188	0.4246	0.4317	0.4406	0.4514
		R ²	0.9946	0.9913	0.9865	0.9780	0.9705	0.9622	0.9532
	桶後	a	599.80	563.78	562.60	574.31	587.90	603.93	621.45
		b	15.44	10.43	7.99	5.85	4.69	3.79	3.06
		c	0.5210	0.4723	0.4543	0.4401	0.4332	0.4283	0.4248
		R ²	0.9965	0.9957	0.9968	0.9975	0.9970	0.9956	0.9934
瑞芳(2)	a	642.96	1097.68	1649.73	2960.90	4810.18	8031.76	13693.88	
	b	17.21	27.63	40.48	65.06	90.05	120.19	154.94	
	c	0.5756	0.6027	0.6333	0.6851	0.7323	0.7840	0.8391	
	R ²	0.9998	0.9986	0.9965	0.9928	0.9897	0.9863	0.9821	

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
淡水河	碧湖	a	801.81	747.26	679.17	608.04	568.62	538.29	514.42
		b	24.62	17.38	11.47	5.34	1.91	-0.71	-2.73
		c	0.5816	0.5255	0.4893	0.4503	0.4262	0.4056	0.3878
		R ²	0.9952	0.9968	0.9965	0.9952	0.9939	0.9927	0.9916
	(利莫干) 福山	a	392.48	487.96	610.75	854.57	1113.27	1445.71	1865.31
		b	7.51	12.55	20.01	33.88	46.42	59.65	72.96
		c	0.4643	0.4421	0.4507	0.4764	0.5009	0.5270	0.5536
		R ²	0.9942	0.9906	0.9901	0.9922	0.9949	0.9967	0.9956
頭前溪	梅花	a	1175.95	1064.22	1000.77	946.73	918.37	899.87	886.48
		b	30.86	24.33	20.49	16.63	14.27	12.39	10.77
		c	0.6507	0.5747	0.5355	0.4968	0.4734	0.4539	0.4370
		R ²	0.9893	0.9856	0.9853	0.9846	0.9835	0.9818	0.9795
	清泉	a	828.96	1303.76	2012.20	3525.14	5133.45	7126.46	9443.42
		b	34.62	62.00	91.05	133.38	163.76	190.85	214.16
		c	0.5736	0.5721	0.6020	0.6487	0.6813	0.7098	0.7338
		R ²	0.9848	0.9723	0.9670	0.9658	0.9678	0.9708	0.9741
	鳥嘴山	a	815.82	903.85	991.64	1100.46	1175.97	1245.95	1315.06
		b	28.35	32.57	34.42	35.41	35.45	35.08	34.62
		c	0.5563	0.5175	0.5079	0.5011	0.4977	0.4951	0.4933
		R ²	0.9932	0.9878	0.9855	0.9832	0.9816	0.9799	0.9780
	太閣南	a	875.89	886.21	938.81	1030.32	1121.58	1228.95	1369.02
		b	28.10	30.17	33.64	39.47	45.15	51.75	60.08
		c	0.6071	0.5547	0.5376	0.5255	0.5219	0.5213	0.5243
		R ²	0.9936	0.9910	0.9881	0.9837	0.9797	0.9755	0.9708
蘭陽溪	古魯	a	328.68	433.70	559.59	788.87	1017.24	1296.78	1635.20
		b	8.58	13.63	18.65	24.97	28.94	31.90	33.94
		c	0.3670	0.3732	0.3957	0.4321	0.4613	0.4902	0.5186
		R ²	0.9939	0.9954	0.9979	0.9983	0.9947	0.9870	0.9751
	南山	a	260.34	365.32	449.12	571.56	677.36	797.37	937.09
		b	4.41	8.04	11.91	17.97	23.29	29.24	36.00
		c	0.4611	0.4546	0.4580	0.4662	0.4742	0.4833	0.4935
		R ²	0.9983	0.9960	0.9937	0.9901	0.9871	0.9837	0.9799
	新北成	a	583.87	789.18	1012.25	1430.24	1881.85	2496.68	3335.11
		b	14.64	17.42	21.92	30.24	38.38	48.00	59.01
		c	0.5558	0.5466	0.5540	0.5725	0.5913	0.6128	0.6365
		R ²	0.9991	0.9996	0.9996	0.9978	0.9949	0.9909	0.9859

表附-1 台灣北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
蘭陽溪	山腳	a	515.96	474.03	442.64	408.60	387.59	369.75	354.26
		b	21.09	17.78	15.68	13.28	11.65	10.14	8.69
		c	0.4424	0.3856	0.3519	0.3152	0.2916	0.2706	0.2516
		R ²	0.9946	0.9957	0.9946	0.9911	0.9868	0.9808	0.9730
鹽寮溪	鹽寮	a	1219.89	1419.20	1361.90	1218.29	1101.04	984.46	876.04
		b	23.19	27.51	27.31	25.18	22.80	19.83	16.53
		c	0.7067	0.6851	0.6553	0.6138	0.5829	0.5523	0.5223
		R ²	0.9991	0.9997	0.9982	0.9932	0.9876	0.9811	0.9743

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
大甲溪	上谷關	a	370.12	419.27	437.60	456.46	468.67	480.89	492.87
		b	7.52	9.88	10.94	12.29	13.32	14.49	15.74
		c	0.4761	0.4365	0.4147	0.3926	0.3790	0.3675	0.3576
		R ²	0.9897	0.9797	0.9753	0.9709	0.9682	0.9657	0.9634
	平岩山	a	141.99	189.82	244.69	357.66	498.61	733.49	1173.57
		b	-1.64	1.23	5.09	13.20	22.70	36.57	57.58
		c	0.3832	0.3682	0.3761	0.4007	0.4292	0.4670	0.5175
		R ²	0.9981	0.9943	0.9891	0.9786	0.9676	0.9539	0.9372
	合歡山(2)	a	142.73	239.66	337.65	515.20	701.75	956.19	1306.91
		b	-2.27	1.05	4.52	10.40	15.94	22.65	30.56
		c	0.3540	0.3831	0.4112	0.4509	0.4824	0.5155	0.5501
		R ²	0.9989	0.9967	0.9932	0.9864	0.9801	0.9729	0.9652
	志佳陽大山	a	125.66	197.94	262.36	358.13	438.19	523.94	616.18
		b	-1.35	1.57	3.69	6.12	7.70	9.06	10.29
		c	0.3913	0.4023	0.4167	0.4350	0.4477	0.4592	0.4699
		R ²	0.9974	0.9918	0.9885	0.9853	0.9834	0.9821	0.9808
	*佳陽山	a	115.11	168.14	236.10	388.82	620.64	1182.84	3073.82
		b	-4.86	-3.16	0.39	9.18	22.33	48.81	102.85
		c	0.3702	0.3741	0.3968	0.4417	0.4920	0.5686	0.6867
		R ²	0.9897	0.9913	0.9935	0.9881	0.9785	0.9681	0.9618
	松茂(2)	a	124.37	152.29	172.24	198.61	219.13	239.70	261.18
		b	-3.00	-3.32	-3.64	-4.15	-4.56	-5.02	-5.47
		c	0.3878	0.3783	0.3745	0.3710	0.3691	0.3669	0.3652
		R ²	0.9970	0.9955	0.9951	0.9942	0.9929	0.9909	0.9882
	松峰	a	243.73	271.57	266.45	259.09	255.76	254.21	253.75
		b	5.96	2.29	-1.09	-4.09	-5.56	-6.59	-7.34
		c	0.4457	0.4300	0.4078	0.3815	0.3651	0.3510	0.3387
		R ²	0.9956	0.9977	0.9978	0.9949	0.9913	0.9873	0.9831
	青山(3)	a	325.24	473.35	449.89	398.20	371.10	353.41	343.06
		b	12.39	19.23	13.89	5.86	1.41	-1.77	-3.97
		c	0.4829	0.4776	0.4352	0.3794	0.3447	0.3160	0.2924
		R ²	0.9951	0.9864	0.9864	0.9891	0.9910	0.9926	0.9937
思源(2)	a	203.36	246.89	283.66	334.30	373.91	414.52	456.57	
	b	-0.24	1.13	2.34	3.96	5.18	6.37	7.58	
	c	0.4263	0.3910	0.3820	0.3772	0.3761	0.3760	0.3768	
	R ²	0.9947	0.9947	0.9941	0.9921	0.9897	0.9869	0.9836	

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
大甲溪	桃山	a	215.52	290.52	334.33	385.10	420.81	454.85	487.72
		b	8.48	9.27	8.73	7.79	7.12	6.48	5.90
		c	0.4549	0.4471	0.4430	0.4389	0.4366	0.4347	0.4331
		R ²	0.9922	0.9879	0.9878	0.9884	0.9888	0.9891	0.9891
	捫山	a	192.02	201.96	204.90	206.67	207.16	206.72	205.47
		b	-2.04	-4.47	-5.95	-7.47	-8.32	-8.96	-9.41
		c	0.4214	0.3820	0.3558	0.3236	0.3005	0.2778	0.2551
		R ²	0.9956	0.9941	0.9913	0.9859	0.9806	0.9742	0.9670
	梨山(2)	a	152.86	211.31	252.50	306.16	346.92	388.93	431.34
		b	-2.12	-1.58	-1.00	-0.19	0.43	1.09	1.73
		c	0.4196	0.4279	0.4331	0.4391	0.4433	0.4474	0.4512
		R ²	0.9965	0.9974	0.9982	0.9988	0.9990	0.9990	0.9989
	無明山	a	175.40	170.58	180.31	199.73	217.82	238.37	261.24
		b	2.17	-2.52	-4.44	-6.05	-6.86	-7.45	-7.89
		c	0.3868	0.3165	0.2956	0.2833	0.2803	0.2805	0.2830
		R ²	0.9972	0.9919	0.9870	0.9807	0.9767	0.9734	0.9710
	新伯公	a	1277.49	991.10	872.46	774.55	726.99	694.27	672.48
		b	19.02	10.97	6.26	1.56	-1.09	-3.13	-4.69
		c	0.6773	0.5929	0.5504	0.5081	0.4831	0.4624	0.4451
		R ²	0.9995	0.9991	0.9988	0.9981	0.9975	0.9967	0.9959
	達見(3)	a	196.99	263.69	302.10	349.15	384.91	421.61	462.47
		b	0.01	2.73	4.79	7.91	10.65	13.78	17.59
		c	0.4300	0.4214	0.4137	0.4056	0.4012	0.3980	0.3966
		R ²	0.9986	0.9983	0.9972	0.9948	0.9923	0.9892	0.9854
	環山	a	124.45	162.64	220.72	336.39	456.98	614.09	815.08
		b	-2.52	-1.36	2.62	10.51	17.68	25.68	34.31
		c	0.3755	0.3625	0.3807	0.4147	0.4419	0.4695	0.4966
		R ²	0.9962	0.9919	0.9828	0.9457	0.8988	0.8414	0.7803
大安溪	松安	a	547.25	484.58	464.47	464.81	474.66	488.11	503.74
		b	20.57	11.99	7.37	3.96	2.42	1.31	0.48
		c	0.5232	0.4475	0.4132	0.3849	0.3705	0.3594	0.3505
		R ²	0.9693	0.9662	0.9757	0.9849	0.9882	0.9888	0.9868
	馬達拉	a	463.70	756.02	951.69	1167.22	1270.99	1284.92	1151.70
		b	34.19	54.20	63.18	68.70	67.35	59.39	41.41
		c	0.5057	0.5062	0.5018	0.4906	0.4766	0.4549	0.4183
		R ²	0.9871	0.9721	0.9550	0.9242	0.8963	0.8687	0.8523

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
		參數							
大安溪	雪嶺	a	255.92	259.05	261.80	270.84	279.18	287.25	294.55
		b	10.52	0.42	-3.81	-6.78	-8.04	-8.84	-9.34
		c	0.3915	0.3465	0.3227	0.3002	0.2866	0.2742	0.2625
		R ²	0.9843	0.9887	0.9921	0.9922	0.9896	0.9854	0.9804
	雙崎(2)	a	953.53	666.50	563.93	492.92	463.30	444.07	431.44
		b	25.19	11.81	4.85	-0.74	-3.30	-5.04	-6.25
		c	0.6094	0.5147	0.4703	0.4306	0.4092	0.3923	0.3786
		R ²	0.9988	0.9978	0.9977	0.9974	0.9969	0.9961	0.9952
中港溪	南庄(1)	a	882.09	865.38	851.15	823.82	797.56	766.95	736.27
		b	14.03	9.77	7.54	4.79	2.76	0.75	-1.10
		c	0.6272	0.5698	0.5393	0.5054	0.4823	0.4604	0.4398
		R ²	0.9996	0.9951	0.9876	0.9765	0.9688	0.9629	0.9586
北港溪	大埔	a	2441.68	1960.32	1553.84	1114.48	873.36	700.55	580.25
		b	29.91	22.51	15.93	7.24	1.56	-2.82	-5.82
		c	0.7823	0.7070	0.6459	0.5643	0.5046	0.4487	0.3980
		R ²	0.9981	0.9997	0.9983	0.9937	0.9903	0.9875	0.9846
	林內(1)	a	1996.74	2168.47	2338.37	2570.96	2755.28	2944.46	3131.57
		b	23.58	24.76	26.04	27.69	28.94	30.17	31.30
		c	0.7556	0.7252	0.7143	0.7052	0.7009	0.6977	0.6952
		R ²	0.9997	0.9990	0.9985	0.9976	0.9968	0.9960	0.9951
後龍溪	大湖(1)	a	1020.82	756.34	609.58	491.29	434.09	393.18	362.19
		b	27.10	20.01	13.78	7.70	4.38	1.86	-0.13
		c	0.6276	0.5349	0.4797	0.4242	0.3913	0.3640	0.3405
		R ²	0.9895	0.9919	0.9944	0.9946	0.9923	0.9882	0.9823
	*橫龍山	a	455.13	424.67	419.43	417.01	417.11	418.39	419.38
		b	3.29	0.33	-0.69	-1.61	-2.11	-2.49	-2.84
		c	0.4923	0.4263	0.3975	0.3693	0.3525	0.3382	0.3254
		R ²	0.9984	0.9960	0.9916	0.9822	0.9723	0.9601	0.9460
烏溪	六份寮	a	1653.79	2058.51	2464.58	3196.70	3965.82	4980.21	6342.78
		b	24.25	33.25	43.01	59.56	75.17	93.45	114.65
		c	0.7331	0.7065	0.7008	0.7041	0.7129	0.7254	0.7414
		R ²	0.9994	0.9995	0.9995	0.9992	0.9987	0.9979	0.9965
	北山(2)	a	1072.39	976.61	886.41	800.02	755.18	722.97	698.58
		b	18.49	15.46	12.36	8.82	6.65	4.85	3.30
		c	0.6709	0.5998	0.5548	0.5073	0.4784	0.4540	0.4329
		R ²	0.9942	0.9942	0.9947	0.9954	0.9957	0.9959	0.9959

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
		參數							
烏溪	北港(2)	a	882.92	2072.33	4039.27	9096.94	15889.08	26358.10	42288.57
		b	14.57	35.25	56.24	85.02	106.05	125.59	144.19
		c	0.6437	0.7242	0.7975	0.8892	0.9528	1.0106	1.0648
		R ²	0.9981	0.9941	0.9925	0.9916	0.9892	0.9844	0.9770
	草屯(4)	a	1768.86	1987.48	1985.16	1931.08	1893.17	1859.53	1833.28
		b	25.37	28.66	30.27	32.05	33.54	35.15	36.95
		c	0.7626	0.7238	0.6936	0.6577	0.6348	0.6145	0.5965
		R ²	0.9978	0.9996	0.9999	0.9979	0.9945	0.9895	0.9829
	萬興(2)	a	1075.08	1579.01	2034.43	2766.25	3435.26	4224.05	5121.25
		b	23.48	29.80	34.86	41.87	47.36	53.02	58.57
		c	0.6942	0.7007	0.7125	0.7312	0.7462	0.7617	0.7766
		R ²	0.9994	0.9982	0.9954	0.9892	0.9832	0.9766	0.9696
	翠巒	a	254.51	338.48	375.27	399.51	403.70	399.23	388.09
		b	6.33	6.03	5.93	5.67	5.34	4.92	4.38
		c	0.4797	0.4738	0.4552	0.4210	0.3899	0.3558	0.3190
		R ²	0.9992	0.9994	0.9992	0.9978	0.9943	0.9860	0.9675
	頭汙	a	1001.59	1120.70	1145.52	1139.09	1115.24	1080.65	1043.15
		b	20.00	16.96	14.08	10.12	7.12	4.23	1.59
		c	0.6915	0.6598	0.6388	0.6127	0.5936	0.5746	0.5563
		R ²	0.9995	0.9995	0.9995	0.9978	0.9954	0.9927	0.9903
頭汙坑	a	1013.59	951.89	1345.76	3751.40	14491.55	78269.70	531912.88	
	b	15.98	13.63	21.47	58.02	125.59	221.90	333.48	
	c	0.6523	0.5778	0.5820	0.6679	0.8090	0.9910	1.1996	
	R ²	0.9975	0.9932	0.9933	0.9956	0.9966	0.9684	0.8600	
新虎尾溪	褒忠(2)	a	630.32	1381.47	2437.12	4831.10	7604.67	11357.61	16227.07
		b	11.73	28.48	44.48	66.68	82.45	96.72	109.45
		c	0.6176	0.6846	0.7415	0.8132	0.8610	0.9032	0.9405
		R ²	0.9965	0.9971	0.9979	0.9987	0.9984	0.9968	0.9937
濁水溪	丹大	a	352.10	554.82	833.94	1359.14	1854.09	2416.44	3033.32
		b	9.54	16.46	25.08	36.33	43.12	48.30	52.09
		c	0.5203	0.5285	0.5613	0.6059	0.6350	0.6599	0.6810
		R ²	0.9829	0.9745	0.9706	0.9703	0.9724	0.9750	0.9773
	(2) 卡奈托灣	a	474.64	371.55	309.00	261.28	240.62	227.32	217.93
		b	25.61	13.78	5.93	-0.57	-3.47	-5.36	-6.67
		c	0.5659	0.4718	0.4147	0.3587	0.3269	0.3014	0.2799
		R ²	0.9626	0.9588	0.9601	0.9622	0.9625	0.9614	0.9597

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
		參數							
濁水溪	西螺(2)	a	1881.24	1579.80	1383.12	1193.43	1088.75	1008.61	945.34
		b	26.99	19.41	14.97	10.45	7.76	5.58	3.76
		c	0.7682	0.7004	0.6578	0.6112	0.5818	0.5563	0.5340
		R ²	0.9997	0.9995	0.9989	0.9970	0.9947	0.9918	0.9884
	西巒	a	496.29	585.21	717.42	984.60	1314.37	1834.78	2662.26
		b	9.39	13.47	19.48	31.45	45.32	64.55	89.58
		c	0.5405	0.5007	0.4989	0.5124	0.5334	0.5626	0.5983
		R ²	0.9932	0.9869	0.9794	0.9644	0.9491	0.9321	0.9152
	青雲	a	1293.50	1193.48	1124.90	1059.12	1024.46	998.70	984.20
		b	21.88	22.88	23.97	25.80	27.51	29.49	31.93
		c	0.7147	0.6481	0.6095	0.5690	0.5441	0.5226	0.5045
		R ²	0.9991	0.9993	0.9983	0.9948	0.9904	0.9842	0.9761
	後寮寮	a	877.86	2324.62	5394.15	18744.14	53159.63	168373.16	607917.19
		b	16.46	38.35	64.17	110.65	155.20	209.30	274.15
		c	0.6889	0.7695	0.8492	0.9737	1.0809	1.2017	1.3383
		R ²	0.9983	0.9945	0.9959	0.9971	0.9883	0.9659	0.9292
	草嶺(2)	a	1104.01	1070.84	1050.13	1062.66	1109.39	1201.64	1362.09
		b	38.12	50.85	58.69	70.74	82.97	99.91	124.24
		c	0.6073	0.5396	0.5047	0.4734	0.4587	0.4515	0.4521
		R ²	0.9925	0.9744	0.9611	0.9427	0.9274	0.9106	0.8921
	*郡大	a	199.73	264.80	335.92	471.34	623.07	847.16	1207.69
		b	-2.43	-2.06	-1.05	1.09	3.49	6.89	12.06
		c	0.4488	0.4375	0.4433	0.4607	0.4800	0.5050	0.5380
		R ²	0.9964	0.9971	0.9972	0.9917	0.9798	0.9578	0.9224
	望鄉	a	515.70	520.06	496.57	472.00	458.86	449.28	442.50
		b	10.66	9.14	7.12	4.85	3.44	2.25	1.23
		c	0.5443	0.4786	0.4373	0.3944	0.3683	0.3461	0.3269
		R ²	0.9940	0.9898	0.9889	0.9882	0.9878	0.9873	0.9868
桶頭(2)	a	3163.86	2630.12	2306.37	1982.76	1784.23	1621.39	1486.31	
	b	43.65	45.87	45.06	42.84	40.43	37.83	35.15	
	c	0.7856	0.7048	0.6587	0.6092	0.5768	0.5480	0.5221	
	R ²	0.9986	0.9963	0.9943	0.9906	0.9872	0.9829	0.9779	
集集	a	1527.46	1489.78	1552.11	1664.51	1770.96	1889.57	2031.34	
	b	18.10	18.20	20.01	23.05	25.82	28.85	32.41	
	c	0.7122	0.6525	0.6290	0.6084	0.5980	0.5903	0.5854	
	R ²	0.9991	0.9985	0.9963	0.9903	0.9835	0.9750	0.9646	

表附-2 台灣中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
濁水溪	雲海	a	304.71	428.47	588.86	1047.21	1793.31	2995.25	4725.40
		b	14.29	30.46	52.01	104.52	165.54	232.32	297.65
		c	0.4334	0.4335	0.4553	0.5107	0.5679	0.6222	0.6697
		R ²	0.9844	0.9531	0.9279	0.8946	0.8750	0.8636	0.8581
	奧萬大	a	397.91	544.38	656.38	816.01	950.11	1102.74	1277.21
		b	14.07	17.53	18.53	18.87	18.77	18.63	18.48
		c	0.5152	0.5168	0.5221	0.5314	0.5395	0.5488	0.5592
		R ²	0.9861	0.9831	0.9857	0.9898	0.9914	0.9908	0.9877
	翠峰	a	334.00	381.72	395.94	407.18	412.59	416.65	420.34
		b	11.07	11.77	11.24	10.38	9.70	9.04	8.45
		c	0.4872	0.4719	0.4591	0.4441	0.4339	0.4246	0.4161
		R ²	0.9982	0.9989	0.9980	0.9950	0.9917	0.9876	0.9830
	靜觀	a	489.32	598.58	582.48	533.92	495.78	461.34	430.07
		b	24.49	32.49	32.20	29.53	27.03	24.53	22.03
		c	0.5454	0.5228	0.4947	0.4582	0.4328	0.4098	0.3884
		R ²	0.9829	0.9766	0.9764	0.9770	0.9774	0.9776	0.9775
	龍神橋	a	1470.54	1314.29	1169.09	985.27	870.44	787.38	741.82
		b	30.59	26.40	19.64	9.59	2.86	-2.12	-5.22
		c	0.7122	0.6462	0.6037	0.5518	0.5160	0.4851	0.4612
		R ²	0.9994	0.9953	0.9881	0.9778	0.9748	0.9771	0.9809
關門	a	327.75	427.39	529.60	697.42	849.79	1026.51	1224.44	
	b	12.89	10.04	9.51	9.44	9.50	9.57	9.48	
	c	0.4427	0.4285	0.4389	0.4611	0.4804	0.5007	0.5207	
	R ²	0.9769	0.9823	0.9861	0.9860	0.9818	0.9741	0.9630	
櫻社	a	281.77	428.22	584.52	879.42	1196.37	1622.88	2194.25	
	b	5.34	9.26	12.72	17.63	21.46	25.25	28.88	
	c	0.4672	0.4869	0.5111	0.5484	0.5789	0.6104	0.6424	
	R ²	0.9887	0.9888	0.9916	0.9954	0.9972	0.9970	0.9943	

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
二仁溪	木柵	a	912.12	992.34	1078.16	1205.71	1312.86	1433.32	1572.64
		b	9.96	8.61	8.99	10.15	11.38	12.94	14.91
		c	0.6135	0.5841	0.5751	0.5696	0.5684	0.5691	0.5718
		R ²	0.9973	0.9995	0.9984	0.9931	0.9863	0.9775	0.9669
八掌溪	大湖山	a	1109.78	790.84	668.61	575.15	530.32	496.42	465.77
		b	11.60	2.39	-2.20	-5.99	-7.72	-8.81	-9.47
		c	0.6095	0.4972	0.4371	0.3749	0.3358	0.3008	0.2673
		R ²	0.9984	0.9972	0.9956	0.9908	0.9850	0.9778	0.9694
	小公田(2)	a	874.89	795.06	739.27	671.53	628.44	596.44	575.41
		b	20.41	16.27	11.60	5.03	0.60	-2.86	-5.33
		c	0.5652	0.5012	0.4644	0.4223	0.3941	0.3696	0.3487
		R ²	0.9973	0.9965	0.9933	0.9877	0.9846	0.9832	0.9831
朴子溪	沙坑	a	1606.73	1654.00	1748.33	1906.72	2043.12	2193.76	2345.73
		b	20.65	19.48	20.10	21.71	23.26	25.03	26.77
		c	0.7178	0.6762	0.6583	0.6416	0.6318	0.6236	0.6158
		R ²	0.9977	0.9973	0.9970	0.9937	0.9874	0.9765	0.9594
	樟腦寮(2)	a	1351.41	1098.80	1025.70	977.95	960.74	953.76	953.76
		b	21.61	17.25	15.21	13.05	11.60	10.24	8.93
		c	0.6463	0.5596	0.5183	0.4766	0.4509	0.4284	0.4085
		R ²	0.9989	0.9983	0.9971	0.9943	0.9910	0.9863	0.9799
林邊溪	南和	a	864.70	1068.83	1178.60	1306.51	1409.90	1532.97	1721.22
		b	18.10	20.94	22.47	24.45	26.40	29.13	34.08
		c	0.5864	0.5661	0.5539	0.5412	0.5348	0.5316	0.5343
		R ²	0.9995	0.9968	0.9883	0.9702	0.9521	0.9304	0.9032
	泰武(2)	a	709.17	829.04	956.37	1170.59	1378.98	1648.96	2005.61
		b	15.84	20.61	25.55	33.73	41.49	51.10	62.95
		c	0.4699	0.4485	0.4487	0.4575	0.4685	0.4831	0.5010
		R ²	0.9948	0.9907	0.9862	0.9785	0.9714	0.9632	0.9541
	新來義	a	844.18	873.91	869.57	854.49	842.86	833.01	824.91
		b	19.30	18.48	16.05	12.50	10.00	7.79	5.85
		c	0.5313	0.4991	0.4817	0.4629	0.4512	0.4411	0.4322
		R ²	0.9978	0.9948	0.9935	0.9925	0.9921	0.9919	0.9918
阿公店溪	竹子腳	a	1033.36	1181.81	1389.42	1749.45	2089.61	2507.40	3019.37
		b	16.05	16.47	18.58	22.41	25.89	29.95	34.61
		c	0.6518	0.6224	0.6191	0.6239	0.6313	0.6414	0.6534
		R ²	0.9996	0.9995	0.9988	0.9960	0.9924	0.9875	0.9817

表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
阿公店溪	阿蓮(2)	a	901.38	1137.66	1331.50	1594.75	1799.67	2007.76	2212.16
		b	14.80	16.59	18.37	20.62	22.17	23.61	24.81
		c	0.6268	0.6142	0.6126	0.6132	0.6145	0.6160	0.6172
		R ²	0.9969	0.9970	0.9966	0.9954	0.9942	0.9927	0.9911
急水溪	六溪	a	1702.11	2090.95	2209.51	2209.84	2116.24	1953.04	1746.52
		b	22.14	23.83	22.74	19.27	15.31	10.32	4.75
		c	0.7209	0.7033	0.6810	0.6440	0.6111	0.5734	0.5314
		R ²	0.9935	0.9977	0.9997	0.9945	0.9842	0.9716	0.9616
	關子嶺(2)	a	1623.51	1458.78	1369.83	1289.63	1247.38	1219.96	1202.22
		b	22.51	17.59	14.00	9.98	7.45	5.37	3.63
		c	0.6815	0.6217	0.5891	0.5555	0.5349	0.5177	0.5029
		R ²	0.9970	0.9978	0.9980	0.9977	0.9973	0.9968	0.9962
高屏溪	三地門	a	707.35	932.72	1218.57	1824.65	2533.40	3536.38	4929.20
		b	10.70	14.25	19.34	28.84	37.57	46.85	56.13
		c	0.5423	0.5357	0.5503	0.5829	0.6134	0.6462	0.6799
		R ²	0.9985	0.9983	0.9959	0.9896	0.9828	0.9739	0.9620
	天池	a	227.46	216.91	209.04	201.98	198.16	195.00	192.26
		b	6.65	0.34	-2.78	-5.33	-6.57	-7.45	-8.09
		c	0.3791	0.3433	0.3245	0.3063	0.2955	0.2862	0.2781
		R ²	0.9939	0.9954	0.9946	0.9920	0.9894	0.9866	0.9836
	民族	a	539.36	624.05	681.21	751.84	802.02	849.87	895.60
		b	10.16	14.77	17.23	19.74	21.21	22.40	23.34
		c	0.5084	0.4828	0.4720	0.4621	0.4564	0.4515	0.4472
		R ²	0.9992	0.9995	0.9988	0.9972	0.9957	0.9939	0.9918
	甲仙(2)	a	665.81	858.12	1032.52	1305.77	1552.73	1841.21	2177.93
		b	2.30	0.17	-0.56	-1.12	-1.37	-1.52	-1.61
		c	0.5467	0.5417	0.5475	0.5598	0.5712	0.5837	0.5971
		R ²	0.9978	0.9919	0.9860	0.9770	0.9693	0.9611	0.9523
	阿禮	a	458.35	698.63	963.05	1474.16	2027.86	2759.70	3709.51
		b	10.78	23.55	34.42	49.75	61.35	72.11	81.66
		c	0.4270	0.4434	0.4683	0.5080	0.5404	0.5730	0.6052
		R ²	0.9977	0.9931	0.9873	0.9764	0.9660	0.9539	0.9402
屏東(5)	a	674.82	970.09	1469.48	2711.05	4282.17	6635.10	10090.63	
	b	10.57	19.51	31.23	49.88	63.28	74.81	84.43	
	c	0.5741	0.5770	0.6125	0.6753	0.7249	0.7737	0.8213	
	R ²	0.9977	0.9973	0.9967	0.9935	0.9830	0.9583	0.9154	

表附-3 台灣南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
		參數							
高屏溪	美濃(2)	a	826.54	878.09	938.94	1030.37	1102.13	1175.76	1250.62
		b	8.87	9.37	10.75	13.05	14.92	16.86	18.83
		c	0.5878	0.5557	0.5452	0.5380	0.5348	0.5327	0.5315
		R ²	0.9997	0.9997	0.9995	0.9984	0.9966	0.9939	0.9900
	*梅山(2)	a	279.21	313.11	341.35	382.51	418.08	458.91	508.00
		b	4.25	6.18	8.33	11.93	15.41	19.68	25.09
		c	0.4204	0.3889	0.3768	0.3678	0.3646	0.3639	0.3658
		R ²	0.9989	0.9975	0.9953	0.9906	0.9856	0.9794	0.9720
	新瑪家	a	555.19	869.66	1487.32	3359.27	6327.67	11737.21	21529.29
		b	10.43	27.65	56.73	113.50	164.49	217.94	272.95
		c	0.4522	0.4641	0.5134	0.5984	0.6670	0.7345	0.8012
		R ²	0.9927	0.9851	0.9824	0.9865	0.9907	0.9924	0.9902
	新豐	a	861.23	979.76	1061.87	1167.40	1246.42	1325.32	1404.71
		b	12.04	10.37	8.93	7.31	6.29	5.42	4.68
		c	0.5901	0.5663	0.5585	0.5531	0.5509	0.5497	0.5492
		R ²	0.9966	0.9972	0.9985	0.9995	0.9996	0.9991	0.9982
	萬山	a	689.80	779.49	835.20	898.81	941.84	980.85	1016.77
		b	12.16	10.96	10.38	9.73	9.28	8.84	8.40
		c	0.5342	0.5114	0.5023	0.4938	0.4889	0.4845	0.4807
		R ²	0.9994	0.9986	0.9977	0.9960	0.9945	0.9929	0.9913
旗山(4)	a	918.59	850.87	808.62	772.48	756.13	744.95	738.64	
	b	13.29	9.95	8.07	6.32	5.37	4.61	4.02	
	c	0.6277	0.5737	0.5434	0.5126	0.4942	0.4786	0.4653	
	R ²	0.9984	0.9967	0.9957	0.9944	0.9934	0.9922	0.9910	
曾文溪	西阿里關	a	814.07	874.02	879.16	885.39	900.59	926.92	964.22
		b	19.17	16.37	11.91	6.45	3.21	0.71	-1.20
		c	0.5509	0.5149	0.4936	0.4721	0.4606	0.4527	0.4477
		R ²	0.9970	0.9942	0.9945	0.9960	0.9972	0.9980	0.9984
鹽水溪	崎頂	a	879.13	820.56	820.87	835.23	849.75	866.13	882.36
		b	11.92	8.43	7.30	6.37	5.85	5.42	5.03
		c	0.6200	0.5690	0.5482	0.5291	0.5179	0.5086	0.5004
		R ²	0.9980	0.9985	0.9989	0.9989	0.9985	0.9978	0.9967

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
大武溪	紹家	a	485.37	576.42	638.32	723.32	793.45	870.28	954.91
		b	6.91	5.81	4.76	3.44	2.55	1.75	1.03
		c	0.5331	0.5013	0.4821	0.4604	0.4461	0.4331	0.4213
		R ²	0.9981	0.9984	0.9981	0.9951	0.9897	0.9813	0.9694
立霧溪	合歡壘口	a	149.71	229.91	320.25	492.82	675.82	916.84	1226.96
		b	-1.60	-1.07	0.73	4.00	6.83	9.76	12.62
		c	0.3848	0.4019	0.4270	0.4652	0.4954	0.5255	0.5548
		R ²	0.9964	0.9978	0.9990	0.9995	0.9987	0.9964	0.9924
	洛韶	a	267.04	576.83	987.80	1927.79	3134.95	5043.64	8028.23
		b	4.88	29.80	57.58	102.32	140.94	182.98	227.53
		c	0.4157	0.4519	0.4936	0.5526	0.5984	0.6447	0.6910
		R ²	0.9909	0.9746	0.9727	0.9738	0.9734	0.9711	0.9667
	溪畔(2)	a	619.79	658.90	587.80	453.60	408.00	391.72	386.99
		b	31.57	34.29	22.63	3.02	-3.66	-6.50	-7.91
		c	0.5029	0.4422	0.3951	0.3272	0.2925	0.2700	0.2537
		R ²	0.9962	0.9704	0.9424	0.9374	0.9440	0.9480	0.9506
	綠水	a	507.38	1056.12	1948.80	5444.98	13965.80	40125.55	127239.15
		b	26.03	61.65	109.80	219.52	341.73	494.89	675.57
		c	0.4439	0.4761	0.5278	0.6321	0.7336	0.8491	0.9757
		R ²	0.9895	0.9690	0.9494	0.9247	0.9109	0.9014	0.8952
秀姑巒溪	立山	a	287.85	418.47	587.60	918.26	1256.48	1678.21	2186.37
		b	3.87	9.31	18.40	34.07	46.87	59.60	71.81
		c	0.4277	0.4354	0.4622	0.5035	0.5340	0.5627	0.5890
		R ²	0.9911	0.9931	0.9958	0.9982	0.9963	0.9894	0.9768
	卓麓(4)	a	406.50	634.06	954.54	2316.18	6856.51	27257.86	149559.89
		b	8.04	14.87	28.68	77.82	161.95	291.70	472.69
		c	0.4832	0.4987	0.5312	0.6260	0.7524	0.9139	1.1121
		R ²	0.9966	0.9947	0.9866	0.9656	0.9526	0.9511	0.9539
	苗圃	a	498.24	464.39	420.03	383.23	366.60	355.86	348.49
		b	23.30	12.01	4.98	-0.77	-3.45	-5.27	-6.56
		c	0.4826	0.4188	0.3755	0.3317	0.3060	0.2847	0.2666
		R ²	0.9977	0.9954	0.9944	0.9920	0.9895	0.9864	0.9829
卑南溪	上里	a	716.05	762.59	762.74	748.62	735.76	721.84	706.86
		b	31.93	29.63	27.57	24.90	23.13	21.51	19.97
		c	0.5399	0.5137	0.4996	0.4840	0.4743	0.4655	0.4574
		R ²	0.9897	0.9880	0.9872	0.9864	0.9856	0.9848	0.9840

表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
		參數							
卑南溪	向陽(2)	a	233.82	290.31	334.68	394.72	441.08	488.23	535.75
		b	6.19	7.70	9.19	11.15	12.55	13.87	15.08
		c	0.3983	0.3924	0.3944	0.3991	0.4032	0.4073	0.4113
		R ²	0.9939	0.9938	0.9935	0.9904	0.9860	0.9798	0.9722
	武陵	a	548.51	573.92	544.83	510.50	490.70	475.11	463.26
		b	25.72	19.59	15.21	10.93	8.54	6.63	5.10
		c	0.5399	0.4960	0.4615	0.4236	0.3998	0.3792	0.3613
		R ²	0.9916	0.9930	0.9955	0.9973	0.9974	0.9967	0.9953
	鹿鳴橋	a	433.56	568.40	603.99	610.94	604.67	598.70	597.40
		b	14.52	16.00	11.63	5.12	1.06	-1.93	-3.99
		c	0.4944	0.4932	0.4847	0.4696	0.4578	0.4473	0.4390
		R ²	0.9956	0.9969	0.9918	0.9823	0.9780	0.9766	0.9766
	新武(3)	a	357.93	398.52	433.87	485.55	527.86	573.17	621.40
		b	13.85	6.29	2.69	-0.64	-2.48	-3.91	-5.04
		c	0.4695	0.4382	0.4275	0.4202	0.4176	0.4166	0.4166
		R ²	0.9969	0.9984	0.9984	0.9962	0.9931	0.9890	0.9841
	霧鹿	a	238.78	290.29	311.97	331.51	342.44	351.07	358.86
		b	5.79	2.75	1.00	-0.90	-2.09	-3.14	-4.02
		c	0.4354	0.4150	0.4004	0.3828	0.3705	0.3589	0.3482
		R ²	0.9978	0.9981	0.9972	0.9953	0.9934	0.9914	0.9890
和平溪	太平山	a	326.63	366.88	397.66	434.22	460.75	486.56	512.61
		b	6.43	6.77	5.69	3.76	2.39	1.16	0.13
		c	0.3773	0.3453	0.3379	0.3335	0.3324	0.3323	0.3331
		R ²	0.9968	0.9869	0.9816	0.9776	0.9759	0.9751	0.9746
知本溪	知本(5)	a	423.02	696.42	1049.38	1844.19	2866.81	4450.14	6916.29
		b	10.06	16.27	24.97	40.35	54.51	69.98	86.53
		c	0.5005	0.5389	0.5819	0.6463	0.6988	0.7519	0.8057
		R ²	0.9942	0.9968	0.9975	0.9971	0.9964	0.9956	0.9948
花蓮溪	水簾	a	354.92	616.28	911.83	1506.70	2189.57	3184.47	4625.77
		b	9.05	30.59	54.19	93.64	128.94	168.78	212.39
		c	0.4288	0.4437	0.4703	0.5119	0.5458	0.5815	0.6182
		R ²	0.9908	0.9784	0.9740	0.9731	0.9744	0.9761	0.9776
	西林	a	733.06	929.12	969.34	956.41	935.61	920.79	918.63
		b	36.95	35.41	27.91	16.81	9.80	4.48	0.71
		c	0.5407	0.5251	0.5111	0.4915	0.4783	0.4679	0.4607
		R ²	0.9959	0.9960	0.9933	0.9879	0.9841	0.9813	0.9794

表附-4 台灣東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數(續)

流域名	雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
		參數							
花蓮溪	奇萊	a	259.50	356.47	441.20	591.38	768.34	1068.46	1641.26
		b	2.58	5.67	10.04	19.74	32.57	54.19	90.26
		c	0.3902	0.3714	0.3725	0.3853	0.4046	0.4352	0.4802
		R ²	0.9989	0.9946	0.9872	0.9719	0.9562	0.9376	0.9180
	清水(1)	a	488.76	730.10	918.05	1161.99	1342.01	1508.32	1665.38
		b	14.66	23.73	30.46	37.98	42.76	46.47	49.46
		c	0.4857	0.4821	0.4879	0.4954	0.5003	0.5036	0.5060
		R ²	0.9701	0.9640	0.9646	0.9683	0.9718	0.9755	0.9788

註 1：R 為相關係數。

註 2：一般雨量站以最小化為 $\left(\frac{I-\hat{I}}{I}\right)^2$ 目標函數；標示「*」者，則以最小化

$(I - \hat{I})^2$ 為目標函數；I 為頻率分析之降雨強度， \hat{I} 為 Horner 公式推求之降雨強度。

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-5 氣象局北區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
	參數							
台北	a	1134.01	1774.89	2349.18	3197.17	3894.28	4635.31	5406.00
	b	22.85	36.01	45.19	55.42	61.88	67.47	72.26
	c	0.6959	0.7098	0.7229	0.7385	0.7487	0.7576	0.7653
	R ²	0.9993	0.9992	0.9994	0.9993	0.9987	0.9976	0.9962
竹子湖	a	1667.27	738.14	407.44	286.17	257.35	244.08	237.33
	b	211.75	109.96	25.80	-21.61	-36.08	-44.10	-49.08
	c	0.6322	0.4722	0.3661	0.2901	0.2582	0.2358	0.2185
	R ²	0.9829	0.9736	0.9786	0.9834	0.9807	0.9741	0.9647
宜蘭	a	956.14	1403.44	1646.57	1864.54	1979.22	2055.10	2103.84
	b	50.29	64.46	69.32	71.23	70.89	69.32	66.95
	c	0.6358	0.6404	0.6352	0.6217	0.6092	0.5953	0.5805
	R ²	0.9997	0.9999	0.9998	0.9989	0.9972	0.9946	0.9906
基隆	a	890.15	1011.37	1032.55	1010.61	973.98	925.63	868.20
	b	25.89	20.15	17.91	15.55	13.99	12.39	10.53
	c	0.6435	0.6180	0.5956	0.5633	0.5381	0.5121	0.4851
	R ²	0.9995	0.9991	0.9989	0.9983	0.9973	0.9956	0.9930
淡水	a	1092.22	1322.10	1449.51	1612.94	1739.51	1877.43	2031.83
	b	59.05	50.48	42.78	33.56	27.34	21.87	17.12
	c	0.6792	0.6581	0.6456	0.6329	0.6253	0.6195	0.6153
	R ²	0.9986	0.9994	0.9994	0.9978	0.9953	0.9918	0.9872
新竹	a	1532.22	2289.58	2901.00	3785.50	4512.25	5280.70	6104.41
	b	59.09	71.32	79.67	89.81	96.85	103.32	109.42
	c	0.7303	0.7375	0.7448	0.7549	0.7622	0.7690	0.7756
	R ²	0.9980	0.9996	0.9997	0.9984	0.9968	0.9947	0.9924
鞍部	a	1149.92	476.25	334.41	266.52	243.85	230.42	221.60
	b	119.15	23.95	-14.58	-37.72	-46.21	-51.25	-54.39
	c	0.5928	0.4242	0.3514	0.2950	0.2673	0.2461	0.2288
	R ²	0.9948	0.9940	0.9942	0.9923	0.9893	0.9854	0.9811
彭佳嶼	a	1252.66	2071.38	3064.72	5254.61	8117.61	12882.24	21333.04
	b	52.96	62.70	74.35	93.84	111.93	133.03	158.26
	c	0.7149	0.7284	0.7514	0.7907	0.8269	0.8682	0.9162
	R ²	0.9998	0.9992	0.9982	0.9960	0.9935	0.9903	0.9863

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-6 氣象局中區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量站名	重現期	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
	參數							
日月潭	a	1450.57	3323.26	8571.08	42317.58	170171.38	772701.07	4005127.07
	b	45.11	133.22	249.01	472.82	687.31	933.98	1212.28
	c	0.6941	0.7401	0.8292	0.9945	1.1421	1.3030	1.4779
	R ²	0.9997	0.9901	0.9798	0.9701	0.9667	0.9655	0.9651
台中	a	1242.02	1552.27	2045.83	3267.72	5118.64	8824.96	17328.61
	b	37.58	45.20	58.12	84.44	113.95	154.25	210.05
	c	0.6974	0.6701	0.6741	0.6989	0.7326	0.7801	0.8448
	R ²	0.9995	0.9989	0.9980	0.9958	0.9928	0.9886	0.9826

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-7 氣象局東區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量站名	重現期	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
	參數							
大武	a	994.86	1481.26	1778.34	2139.82	2389.36	2634.07	2878.33
	b	55.14	70.32	77.61	85.28	89.88	94.07	97.97
	c	0.6332	0.6413	0.6421	0.6423	0.6415	0.6409	0.6404
	R ²	0.9996	0.9983	0.9971	0.9954	0.9941	0.9929	0.9916
台東	a	615.96	745.73	907.28	1174.03	1412.89	1687.04	1996.99
	b	33.80	29.06	32.97	40.66	47.19	54.04	61.01
	c	0.5667	0.5506	0.5547	0.5657	0.5756	0.5861	0.5966
	R ²	0.9988	0.9991	0.9989	0.9984	0.9977	0.9969	0.9960
成功	a	620.03	767.71	912.25	1135.54	1332.12	1548.05	1791.06
	b	9.02	12.36	19.14	29.84	38.78	47.89	57.37
	c	0.5526	0.5421	0.5455	0.5544	0.5629	0.5717	0.5810
	R ²	0.9987	0.9984	0.9982	0.9974	0.9962	0.9944	0.9923
花蓮	a	673.16	1043.65	1528.06	2561.86	3813.22	5712.50	8625.84
	b	27.49	39.38	56.12	82.66	105.17	129.49	155.50
	c	0.5713	0.5882	0.6182	0.6651	0.7038	0.7447	0.7875
	R ²	0.9996	0.9996	0.9994	0.9983	0.9964	0.9936	0.9899
蘭嶼	a	1337.33	1613.83	1762.32	1941.23	2078.15	2217.26	2375.24
	b	45.14	52.57	58.07	65.69	71.81	78.17	85.25
	c	0.7079	0.6892	0.6774	0.6654	0.6586	0.6531	0.6495
	R ²	0.9989	0.9998	0.9997	0.9981	0.9958	0.9926	0.9888

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

表附-8 氣象局南區雨量站 Horner 公式係數與相關係數

雨量站名	重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
	參數							
台南	a	1439.21	1455.01	1376.34	1268.75	1197.45	1135.26	1078.93
	b	48.68	43.27	35.76	25.80	18.85	12.46	6.50
	c	0.6920	0.6462	0.6156	0.5811	0.5587	0.5387	0.5204
	R ²	0.9996	0.9998	0.9994	0.9985	0.9976	0.9967	0.9957
玉山	a	1129.98	1578.41	1162.93	887.35	835.04	846.56	896.33
	b	277.32	247.63	134.35	41.32	6.38	-12.98	-24.22
	c	0.6157	0.6340	0.5843	0.5364	0.5195	0.5130	0.5130
	R ²	0.9803	0.9978	0.9980	0.9978	0.9978	0.9981	0.9984
阿里山	a	10766.93	27731.43	21389.03	8355.32	3480.17	1510.06	773.44
	b	526.71	744.62	733.19	580.13	412.36	243.00	108.01
	c	0.8298	0.8910	0.8319	0.6889	0.5626	0.4410	0.3394
	R ²	0.9883	0.9865	0.9835	0.9780	0.9739	0.9718	0.9737
恆春	a	1125.08	1959.25	2770.41	4143.36	5427.92	6963.51	8794.83
	b	50.18	71.64	86.74	105.30	118.06	130.02	141.36
	c	0.6455	0.6843	0.7144	0.7520	0.7783	0.8030	0.8265
	R ²	0.9992	0.9991	0.9984	0.9969	0.9956	0.9941	0.9926
高雄	a	1146.53	2537.17	5125.96	14373.33	33503.01	83373.79	220661.11
	b	52.59	99.64	144.69	213.88	271.80	334.31	400.55
	c	0.6661	0.7189	0.7840	0.8891	0.9795	1.0793	1.1876
	R ²	0.9990	0.9992	0.9986	0.9948	0.9887	0.9797	0.9677
東吉島	a	1167.13	2398.65	3748.84	6249.26	8801.41	12105.80	16359.01
	b	50.68	70.46	74.50	71.88	66.32	59.32	51.68
	c	0.7359	0.7851	0.8210	0.8649	0.8954	0.9246	0.9529
	R ²	0.9997	0.9983	0.9964	0.9942	0.9932	0.9926	0.9925
澎湖	a	536.95	1461.92	3782.81	13564.31	35991.29	97785.88	270348.19
	b	18.70	53.77	79.36	101.08	110.90	117.81	122.73
	c	0.6237	0.7111	0.8167	0.9664	1.0846	1.2081	1.3355
	R ²	0.9978	0.9955	0.9975	0.9995	0.9963	0.9875	0.9725

註：R 為相關係數。

資料來源：經濟部水資源局之水文設計應用手冊

附錄二、無因次降雨強度公式係數與平均雨量表

表附-9 離島各雨量站係數表

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

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-10 北部地區各雨量站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	***

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-11 中部地區各雨量站係數表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
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
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

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-11 中部地區各雨量站係數表(續)

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量 (mm)
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

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-12 南部地區各雨量站係數表

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
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	***

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-13 東部地區各雨量站係數表

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
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	***

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-14 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)	測站	站號	年平均雨量 (mm)
富貴角	013001	2050.3	大竹	057003	1759.0	嘎拉賀	030088	2385.4
三光(1)	030009	2050.3	埔心	057005	1765.6	暖暖(2)	030095	4666.6
巴陵	030012	2266.6	平鎮(1)	070002	2066.7	瑞芳(2)	030105	4664.0
高義	030015	2206.2	宋屋(1)	070004	1869.9	桃園(1)	050002	1882.1
水流東(1)	030018	2694.7	水尾	070010	1868.8	八德	050004	1849.8
石門(2)	030022	2539.4	觀音(1)	079001	1664.1	竹圍	050006	1810.8
大溪(1)	030024	2254.7	新坡	079003	1809.5	大園	057002	1781.4
缺子	030027	2157.1	大崙	079006	1814.6	梅花	130006	2450.8
三峽	030030	2234.9	礁溪(2)	080002	2439.9	竹東(1)	130011	2035.8
海山	030034	2005.0	新屋	090003	1846.2	新竹(3)	130015	1556.0
新莊	030035	1868.9	永安	090004	1661.9	新竹(2)	130016	1576.6
烏來(1)	030041	3654.2	湖口(1)	091001	1643.6	竹南	150001	1543.6
四堵	030044	3454.4	留茂安	100005	2549.1	蘇澳(1)	160001	3989.4
坪林(2)	030048	3153.6	土場(1)	100008	2692.8	大濁水	200003	2403.4
新店(1)	030056	2489.0	圓山(1)	100016	3014.3	雙峻頭	030082	2273.1
石碇(1)	030058	3341.4	三關	100020	2629.3	大閣南	130003	2250.0
鞍部(2)	030081	4762.7	竹林	130002	2294.5			

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-15 東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)	測站	站號	年平均雨量 (mm)
溪畔(1)	220003	2014.7	玉里(3)	340012	2187.9	銅門	300032	2015.6
北埔	246001	2036.7	富源(1)	340018	2565.6	池上(1)	340002	1916.6
田埔(1)	280003	1839.9	瑞德穗	340025	1858.9	池上(2)	340003	1857.5
大富(1)	300001	2582.8	新港	368001	2283.3	富里(1)	340004	2014.0
大農	300002	2771.2	霧鹿	400002	1770.4	大南(2)	440002	2417.8
萬里	300009	2281.2	關山(2)	400006	1981.4	知本(2)	460003	1718.7
鳳林(1)	300011	2324.6	瑞豐	400009	2006.6	太麻里	480004	2194.0
平和	300017	1979.1	鹿野	400011	1870.5	吳全城(2)	300022	2009.7
豐田(2)	300019	2213.2	岩灣	400018	1659.9	利嘉	420002	1812.2

資料來源：水土保持手冊(2017)

表附-16 中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)	測站	站號	年平均雨量 (mm)
南庄(1)	170003	2362.4	山子腳	270054	1465.0	麥寮(1)	310010	1192.9
大南埔	170004	1868.5	大肚(1)	270057	1288.2	水林(1)	313001	1381.3
峨眉	170005	1928.5	永安(1)	279001	1148.3	水井	313006	1353.6
珊瑚湖	170006	1745.8	大城(1)	279003	1193.0	宜梧(2)	313007	1252.8
竹南(2)	170008	1525.4	竹塘(2)	279009	1219.6	頂鸞	313011	1249.3
橫龍山	190002	2483.9	二林(4)	279012	1136.4	口湖(1)	313013	1289.4
大湖(1)	190003	2081.9	后寮	279014	1069.0	土庫(2)	313016	1455.1
苗栗(2)	190005	1581.7	路上(2)	279015	1076.5	埤腳	313018	1357.3
新店	190006	2204.1	溪洲(2)	279017	1411.2	元長(1)	313020	1311.9
後龍	190008	1475.9	溪洲(1)	279018	1387.8	五塊	313021	1240.4
三義(2)	210002	2038.9	原斗	279021	1201.8	飛沙	313026	1247.2
苑裡(1)	213001	1244.0	萬興	279026	1140.6	三合	313029	1395.3
象鼻(1)	230005	2423.4	溪湖(1)	279028	1280.8	虎尾	313030	1260.4
卓蘭(1)	230009	2004.8	田中(1)	279031	1535.4	東屯	313033	1423.3
泰安	230010	1740.6	永靖	279034	1374.0	馬光	313034	1346.6
日南	230013	1472.9	員林(1)	279035	1461.4	埔姜	313035	1270.6
磁璠	235002	1402.5	埔鹽	279037	1215.4	褒忠(1)	313036	1094.1
大甲	235003	1427.0	打鐵厝	279038	1169.1	東勢(1)	313037	1269.4
白冷(1)	250018	2446.2	安東	279040	1165.0	台西(1)	313041	1225.6
東勢(1)	250021	2196.4	彰化(1)	279042	1400.5	昌南	313043	1095.3
社寮(1)	250023	1874.6	東埔	290030	2389.9	同安	313044	1138.2
七星	250024	1535.4	和社	290033	1607.7	新光	313045	1193.1
月眉(2)	250028	1616.0	蓮華池	290041	2389.9	海豐	313051	1206.5
出雲山	250038	3024.5	集集(1)	290045	2366.0	梅林	330004	2194.3
清水(2)	257003	1256.6	清水溝	290047	2624.8	竹圍子(1)	330008	1659.9
惠蓀	270003	2640.0	溪頭	290048	2645.1	斗六(2)	330012	1614.8
埔里(1)	270012	2160.0	二水	290065	2031.5	惠來	330013	1503.6
埔里(2)	270013	2449.5	下水埔	290067	1515.9	大崙	330014	1921.2
同源	270029	1966.5	鹿場	290071	1348.4	古坑(1)	330021	2187.5
草屯(1)	270035	1641.4	西螺(1)	290072	1366.9	斗南(1)	330027	1502.3
萬斗六	270037	1642.1	大義	290073	1293.1	大埔美(2)	330031	1817.7
霧峰(1)	270038	1621.0	桶頭(2)	290079	2782.6	大埤(1)	330035	1460.5
草湖	270041	1612.8	湳子	291001	1283.1	大林(1)	330037	1551.7
台中(2)	270043	1721.0	阿勸(1)	291002	1100.9	鹿寮	330043	1389.5
聚興	270047	1771.4	大有(1)	291005	1142.3	客厝	330044	1394.4
豐原(1)	270048	1840.8	豐榮(1)	291006	1218.9	內寮	330045	1337.2
林厝	270052	1493.6	過溪	310004	1447.9	民雄(1)	330048	1579.2
水堀頭	270053	1508.0	廉使	310005	1371.3	北港(5)	330053	1324.9
烏松(1)	330058	1362.8						

表附-17 南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)	測站	站號	年平均雨量 (mm)
興中	335004	1491.6	菁寮(1)	370022	1630.8	善化(2)	413026	1619.9
月眉	335006	1522.8	仕安	370027	1580.7	新市(1)	430003	1781.3
新港(1)	335008	1495.8	義竹(2)	370028	1453.2	新化(2)	430009	1841.0
大客	335009	1484.9	義竹(1)	370029	1506.0	仁德	450015	1782.7
六腳	335013	1409.0	白河(2)	390002	1346.7	岡山	470003	1865.7
溪下子(2)	335017	1370.4	白河(5)	390005	1994.7	楠梓	479002	1903.3
鰲股(1)	335018	1244.4	安溪	390009	1730.7	鳥松	490001	1865.9
下揖(2)	335019	1362.1	西口	390011	2355.5	舊城	490003	1745.6
竹崎(1)	350003	2478.8	重溪	390016	1790.9	澄清湖	490007	1189.4
嘉義(1)	350007	2048.0	柳營(1)	390022	1577.0	高樹(1)	510020	2912.1
過溝	350011	1502.1	歡雅	390033	1487.5	月眉(1)	510038	2711.0
中島	350014	1433.2	鹽水(2)	390037	1542.5	月眉(2)	510039	2694.3
太保(2)	350017	1256.6	尖山埤	390040	1720.5	中壇	510042	2655.2
蒜頭(1)	350019	1412.3	分歧	391001	1827.9	手巾寮	510044	2524.8
蒜頭(2)	350020	1224.8	隆田(1)	391003	1745.9	萊子坑	510045	2337.7
後潭	350021	1554.7	中營	391008	1602.6	旗尾(3)	510047	2440.3
梅埔	350022	1526.8	大屯	391011	1580.0	旗山(1)	510048	2423.9
東勢寮	350025	1213.3	麻豆(總爺)	391013	1746.0	彌力肚	510050	2371.3
朴子(1)	350026	1373.2	後營	391017	1684.1	里港(1)	510055	2305.1
永和	350029	1355.6	子龍	391021	1620.6	屏東(1)	510062	2369.7
鹿草(1)	350030	1448.3	佳里(2)	391022	1549.9	屏東(2)	510065	2307.7
馬稠後	350032	1336.7	樹子腳	391029	1636.4	東港(1)	530030	1825.3
松梅	350033	1475.0	七股	391031	1550.1	牡丹	630001	3245.9
竹村	350034	1167.1	將軍(1)	391035	1525.9	豐華	413004	1701.7
下潭(2)	350036	1360.6	舊田	391039	1538.3	安南	413013	1611.3
竹崎(2)	350040	2967.9	東口	410006	2685.4	安定(1)	413014	1637.5
岸內場	357002	1451.4	楠西	410010	2479.0	中埔(2)	370009	2391.2
光榮	357006	1433.6	玉井(2)	410012	2454.8	嘉義(1)	370013	1984.1
樹林	357007	1421.5	北寮	410014	2480.3	南靖	370017	1716.6
前東港	357010	1323.2	二溪	410017	2055.5	後大埔	410037	2643.5
新厝	357011	1335.6	茄拔(2)	410026	1794.7	善化	413002	1737.9
中安	357019	1386.1	烏山頭	410028	1991.5	頂六(1)	370006	2097.1
奮起湖	370001	3763.1	麻豆	410030	1677.3	中埔(1)	370008	2978.6

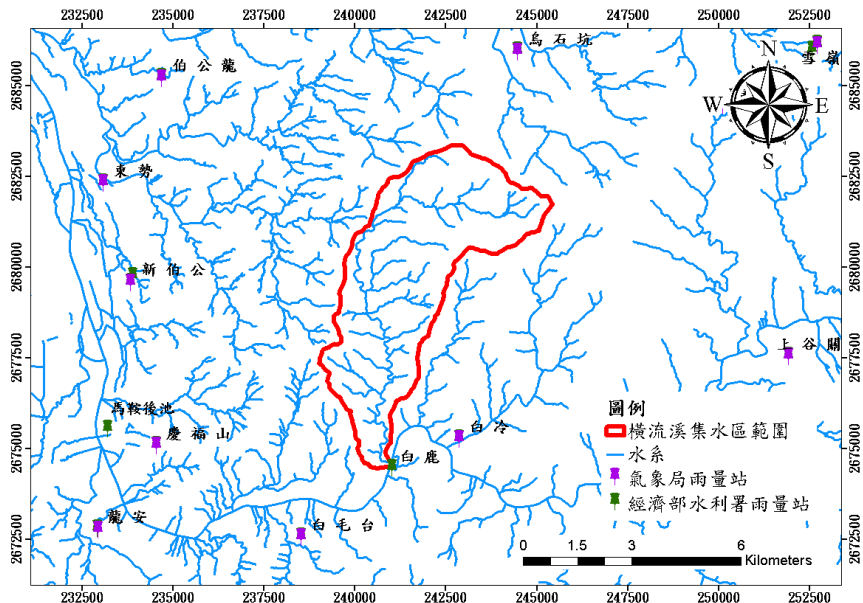
資料來源：水土保持手冊(2017)

附錄三、水文分析流程-以橫流溪為例

水文分析案例以大甲流域中之橫流溪集水區為例。橫流溪集水區位於大甲流域之八仙山事業區 11~23 林班範圍內，坐落於台中市和平區與台中市東勢區、南投縣國姓鄉及苗栗縣泰安鄉為鄰。

氣象方面，採用鄰近橫流溪流域之東勢氣象站(C0F850)為氣象特性代表，統計 2011 年 11 月至今之氣象觀測資料(表附-18)，東勢站其各月平均氣壓變化於 959.1hPa 至 974.8hPa 之間，歷年平均氣壓為 968.8hPa；歷年平均氣溫為 22.0℃，月平均氣溫以七月為最高約 27.1℃，以一月為最低約 15.3℃，冬夏季溫差達 11.8℃；本區風向以北風頻率較高，全年變化小，歷年月平均風速約 0.9m/s；降雨日數集中於五月至八月，該月份達半月以上皆為降雨日，歷年平均降雨日數合計為 127.5 天；其各月平均相對濕度變化於 78.0%至 82.3%之間，歷年平均相對溼度約為 80.7%。

水文方面，經套繪中央氣象局及經濟部水利署現存雨量站位置，如圖附-1 所示，基本資料整理於表附-22，採用鄰近之白冷(C1F9C1)及白鹿(1420P082)兩處雨量站歷年統計資料，資料列於表附-19 及表附-20。白冷雨量站紀錄年限自 100 年 11 月起至今，其統計之歷年平均年降雨量為 2,834.0mm，最大年雨量為 101 年 3,621.0mm，最小年雨量為 104 年 2,227.5mm，雨季為每年的五月至八月；白鹿雨量站紀錄年限自 99 年起至今，其統計之歷年平均年降雨量為 2,526.3mm，最大年雨量為 94 年 4,900.0mm(94 年)，最小年雨量為 92 年 1,286.0mm(92 年)，雨季為每年的五月至八月。



圖附-1 橫流溪集水區鄰近雨量站分布圖

表附-18 中央氣象局東勢氣象站歷年統計資料表

月份 項目	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
分月平均 氣壓(hPa)	974.8	974.2	972.4	969.3	966.6	959.1	964.2	963.0	965.8	969.3	972.3	974.6
分月平均 氣溫(°C)	15.3	15.8	18.4	22.1	24.7	26.6	27.1	26.6	26.1	23.7	21.3	16.3
分月平均風速 (m/s)	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7
分月平均降雨 日數(day)	7.7	6.9	10.0	11.0	16.7	16.8	15.3	16.5	8.5	3.3	6.6	8.1
分月平均 相對溼度(%)	80.7	81.0	81.4	80.9	82.3	80.8	79.0	82.0	80.0	78.0	79.7	81.4
平均氣壓(hPa)	平均氣溫(°C)		平均風速(m/s)			平均降雨日數(day)			平均相對溼度(%)			
968.8	22.0		0.9			127.5			80.7			

資料來源：中央氣象局及本計畫彙整，統計自 100-11 至 107-04 止

表附-19 鄰近雨量站測站基本資料表

站名	站號	所屬單位	站址	海拔 (m)	X TWD97	Y TWD97	記錄 年份
東勢	C0F850	中央氣象局	臺中市東勢區東關路 647號(東勢林區管理 處雙崎工作站內)	379	233046	2682325	100/11/01 迄今
上谷關	C1F871	中央氣象局	臺中市和平區(博愛國 小谷關分校附近)	1,00 0	251894	2677559	100/11/01 迄今
白冷	C1F9C1	中央氣象局	臺中市和平區天輪里 天輪巷42號 (臺中市和平區白冷國 民小學校園內)	610	242877	2675275	100/11/01 迄今
白毛台	C1F9D1	中央氣象局	臺中市新社區福興里 福民路13號旁	639	238510	2672562	100/11/01 迄今
龍安	C1F9E1	中央氣象局	臺中市新社區中和里 內(距龍安橋約1.2k處)	563	232925	2672808	100/11/01 迄今
伯公龍	C1F9F1	中央氣象局	臺中市東勢區勢林街(宏覺寺旁)	500	234674	2685199	100/11/01 迄今
慶福山	C1F9G1	中央氣象局	臺中市東勢區(台8線 10.5k往馬鞍農場方向)	810	234595	2675061	100/11/01 迄今
新伯公	C1F911	中央氣象局	臺中市東勢區詒福段 163地號(台電公司門 前右前方)	417	233858	2679548	100/11/01 迄今
白鹿	1420P082	經濟部水利署 中區水資源局	東關路2段白鹿巷	580	241033	2674461	99迄今
馬鞍後池	1420P083	經濟部水利署 中區水資源局	馬鞍電廠上段	440	233215	2675544	99迄今

表附-20 中央氣象局白冷雨量站歷年統計資料表

月份 項目	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
平均月 雨量(mm)	81.9	58.7	110.8	196.3	546.8	663.8	356.3	483.0	160.8	30.7	82.3	66.1
最大月 雨量(mm)	290.0 (105)	164.5 (101)	340.0 (105)	396.0 (102)	889.0 (103)	1536. 5 (106)	904.5 (102)	1037. 0 (102)	319.5 (104)	66.5 (105)	203.0 (101)	129.0 (102)
最小月 雨量(mm)	0.0 (103)	0.0 (102)	51.5 (107)	34.5 (103)	128.5 (105)	119.5 (104)	74.0 (101)	117.0 (106)	31.5 (101)	0.0 (103)	2.5 (103)	18.0 (105)
平均年雨量	最大年雨量		最小年雨量			年一日最大雨量		年二日最大雨量		年三日最大雨量		
2834.0	3621.0 (101)		2227.5 (104)			531.5 (102/07/13)		617.0 (102/07/12)		832.5 (101/06/10)		

資料來源：中央氣象局及本計畫彙整，統計自 100-11 至 107-04 止

表附-21 經濟部水利署白鹿雨量站歷年統計資料表

月份 項目	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
平均月 雨量(mm)	66.8	116.6	131.5	174.2	348.7	453.3	433.8	424.4	228.6	32.0	55.6	45.8
最大月 雨量(mm)	302.0 (89)	881.0 (89)	560.0 (94)	366.5 (89)	1267. 0 (94)	1272 (106)	1352. 0 (93)	1068. 0 (94)	1377. 0 (97)	67.0 (105)	264.0 (89)	125.0 (102)
最小月 雨量(mm)	0.0 (94)	0.5 (102)	35.5 (91)	7.0 (91)	55.5 (98)	98.0 (93)	51.0 (101)	80.0 (100)	26.5 (100)	0.0 (103)	0.0 (94)	0.0 (92)
平均年雨量	最大年雨量		最小年雨量			年一日最大雨量		年二日最大雨量		年三日最大雨量		
2526.2	4900.0 (94)		1286.0 (92)			586.0 (102/07/13)		844.0 (97/09/14)		1076.5 (93/07/02)		

資料來源：經濟部水利署-中華民國 106 年臺灣水文年報，統計自 2000 至 2017 止

透過白冷及白鹿歷年統計表(表附-20 及表附-21)得知，兩者差距甚微，考量資料蒐集難易度，雨量站採用白冷雨量站為橫流溪代表雨量站。集水區基本水文資料表整理如表附-22，根據基本水文資料計算出流入時間(t_s)、流下時間(t_d)及集流時間(t_c)，計算過程及結果如表附-23。

表附-22 集水區基本資料

集水區參數	數值	單位	備註
漫地流流動長度 ℓ_s	300	m	開發坡面不得大於 100m，集水區不得大於 300m
漫地流流速 V_s	0.6	m/s	一般採用 0.3~0.6m/s
溪流長度 ℓ_d	14.12	km	
溪流縱斷面高程差 H	1.1	km	
集水區面積 A	23.37	km ²	

表附-23 集流時間計算

參數	公式計算	數值	單位	備註
流入時間 t_s	$t_s = \ell_s / V_s$	500	s	雨水經地表面由集水
流下速度 V_d	$V_d = 72(H/\ell_d)^{0.6}$	15.65	km/hr	
流下時間 t_d	$t_d = \ell_d / V_d$	0.90	hr	雨水流經河道由上游
集流時間 t_c	$t_c = t_s + t_d$	1.04	hr	

1.三角單位歷線計算

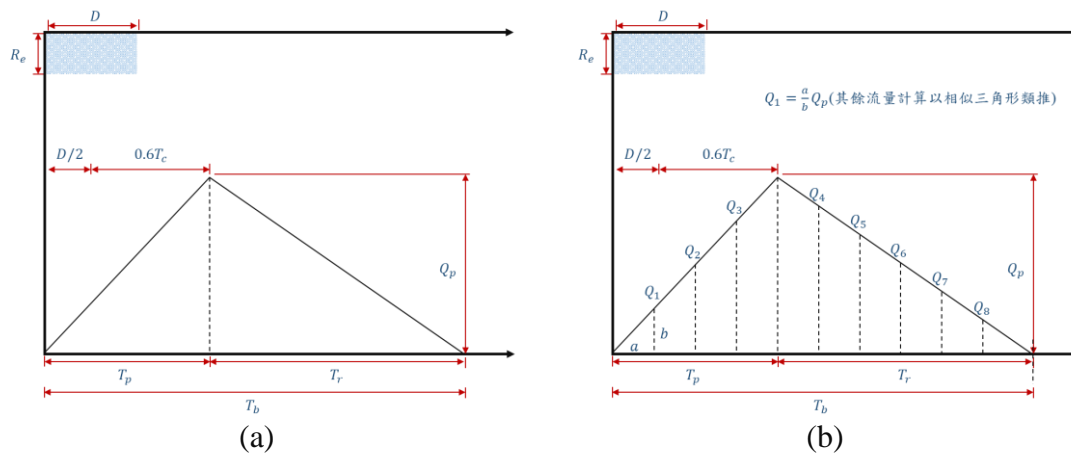
計算三角單位歷線(圖附-2)所需之參數包括單位超滲降雨量(R_e)、單位降雨延時(D)、開始漲水至洪峰流量發生時間(T_p)、修正三角形單位歷線之基期(T_b)及洪峰流量(Q_p)，計算過程整理於表附-24。計算所得之三角單位歷線如表附-25 及圖附-3 所示：

表附-24 三角單位歷線所需之參數

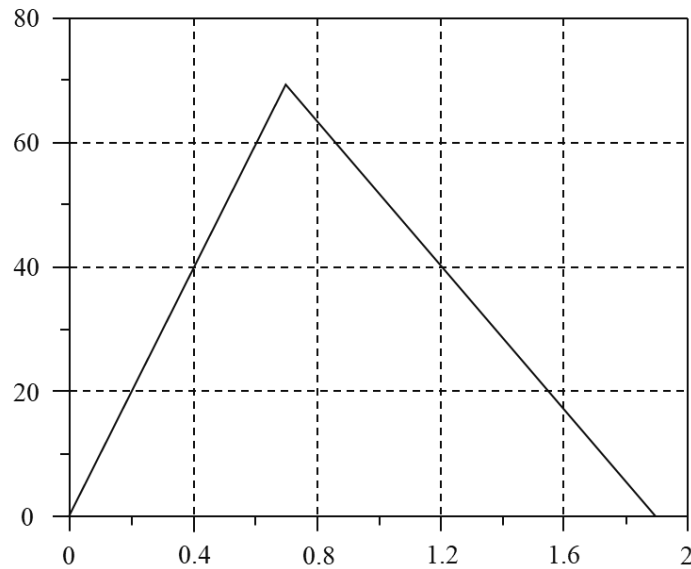
參數	公式計算	數值	單位	備註
單位超滲降雨量 R_e		10	mm	單位超滲降雨量多假設 10mm
單位降雨延時 D	$D \leq 0.133t_c$	0.1	hr	
開始漲水至洪峰流量發生時間 T_p	$T_p = D/2 + 0.6t_c$	0.7	hr	
修正三角形單位歷線之基期 T_b	$T_b = 2.67T_p$	1.9	hr	為方便 S 歷線轉換，建議 T_b 以可被 D 值整除之值為主
洪峰流量 Q_p	$Q_p = 0.208 A R_e / T_p$	69.44	cms	

表附-25 三角單位歷線計算值

時間(hr)	U(0.1,t)	時間(hr)	U(0.1,t)
0	0.00	1	52.08
0.1	9.92	1.1	46.29
0.2	19.84	1.2	40.51
0.3	29.76	1.3	34.72
0.4	39.68	1.4	28.93
0.5	49.60	1.5	23.15
0.6	59.52	1.6	17.36
0.7	69.44	1.7	11.57
0.8	63.65	1.8	5.79
0.9	57.87	1.9	0.00



圖附-2 三角單位歷線計算示意圖



圖附-3 計算後之三角歷線分佈

接著透過 S 歷線轉換，將單位降雨延時由 0.1 小時轉換為 1 小時，轉換公式如式 4-1，數值帶入後得式 4-2，後經 $S(t)$ 計算過程呈表附-26，轉換過程及結果列於表附-27。

$$U(T', t) = \frac{T}{T'} [S(t) - S(t - T')] \quad \text{式 4-1}$$

$$U(1, t) = \frac{0.1}{1} [S(t) - S(t - 1)] \quad \text{式 4-2}$$

表附-26 S(t)計算表

時間 (hr)	U(0.1, t)	U(0.1, t-1)	U(0.1, t-2)	U(0.1, t-3)	U(0.1, t-4)	U(0.1, t-5)	U(0.1, t-6)	U(0.1, t-7)	U(0.1, t-8)	U(0.1, t-9)	U(0.1, t-10)	U(0.1, t-11)	U(0.1, t-12)	U(0.1, t-13)	U(0.1, t-14)	U(0.1, t-15)	U(0.1, t-16)	U(0.1, t-17)	S(t)
0	0																		0
0.1	9.92	0																	9.92
0.2	19.84	9.92	0																29.76
0.3	29.76	19.84	9.92	0															59.52
0.4	39.68	29.76	19.84	9.92	0														99.2
0.5	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0													148.8
0.6	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0												208.32
0.7	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0											277.76
0.8	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0										341.41
0.9	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0									399.28
1	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0								451.36
1.1	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0							497.65
1.2	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0						538.16
1.3	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0					572.88
1.4	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0				601.81
1.5	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0			624.96
1.6	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0		642.32
1.7	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	0	653.89
1.8	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	9.92	659.68
1.9	0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	19.84	659.68
2		0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	29.76	659.68
2.1			0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	39.68	659.68

表附-26 S(t)計算表(續)

時間 (hr)	U(0.1, t)	U(0.1, t-1)	U(0.1, t-2)	U(0.1, t-3)	U(0.1, t-4)	U(0.1, t-5)	U(0.1, t-6)	U(0.1, t-7)	U(0.1, t-8)	U(0.1, t-9)	U(0.1, t-10)	U(0.1, t-11)	U(0.1, t-12)	U(0.1, t-13)	U(0.1, t-14)	U(0.1, t-15)	U(0.1, t-16)	U(0.1, t-17)	S(t)
2.2				0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	49.6	659.68
2.3					0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	59.52	659.68
2.4						0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	69.44	659.68
2.5							0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	63.65	659.68
2.6								0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	57.87	659.68
2.7									0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	52.08	659.68
2.8										0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	46.29	659.68
2.9											0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	40.51	659.68
3												0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	34.72	659.68
3.1													0	5.79	11.57	17.36	23.15	28.93	659.68
3.2														0	5.79	11.57	17.36	23.15	659.68
3.3															0	5.79	11.57	17.36	659.68
3.4																0	5.79	11.57	659.68
3.5																	0	5.79	659.68
3.6																		0	659.68

表附-27 單位歷線轉換過程

時間(hr)	U(0.1,t)	S(t)	S(t-1)	S(t)-S(t-1)	U(1,t)
0.0	0.00	0.00		0.00	0.00
0.1	9.92	9.92		9.92	0.99
0.2	19.84	29.76		29.76	2.98
0.3	29.76	59.52		59.52	5.95
0.4	39.68	99.20		99.20	9.92
0.5	49.60	148.80		148.80	14.88
0.6	59.52	208.32		208.32	20.83
0.7	69.44	277.76		277.76	27.78
0.8	63.65	341.41		341.41	34.14
0.9	57.87	399.28		399.28	39.93
1.0	52.08	451.36	0.00	451.36	45.14
1.1	46.29	497.65	9.92	487.73	48.77
1.2	40.51	538.16	29.76	508.40	50.84
1.3	34.72	572.88	59.52	513.36	51.34
1.4	28.93	601.81	99.20	502.61	50.26
1.5	23.15	624.96	148.80	476.16	47.62
1.6	17.36	642.32	208.32	434.00	43.40
1.7	11.57	653.89	277.76	376.13	37.61
1.8	5.79	659.68	341.41	318.27	31.83
1.9	0.00	659.68	399.28	260.40	26.04
2.0		659.68	451.36	208.32	20.83
2.1		659.68	497.65	162.03	16.20
2.2		659.68	538.16	121.52	12.15
2.3		659.68	572.88	86.80	8.68
2.4		659.68	601.81	57.87	5.79
2.5		659.68	624.96	34.72	3.47
2.6		659.68	642.32	17.36	1.74
2.7		659.68	653.89	5.79	0.58
2.8		659.68	659.68	0.00	0.00

2.各頻率年之一日最大暴雨量計算

一日最大暴雨量計算需先蒐集集水區歷年之最大暴雨量，得以進行頻率分析，再透過卡方及 SE 檢定，方可得到各頻率年之一日最大暴雨量。

(1)雨量資料蒐集

本案例採用中央氣象局白冷雨量站之雨量資料，蒐集 1997 年至 2017 年各年之一日最大暴雨量，扣除缺測資料後，結果表示於表附-28。

表附-28 雨量資料

年份	一日最大暴雨量	年份	一日最大暴雨量
2002	145.5	2010	145
2003	182	2012	438
2004	418.5	2013	531.5
2005	476	2014	232.5
2006	316.5	2015	162.5
2007	340	2016	95.5
2008	502.5	2017	432
2009	451.5		

(2)頻率分析

為利於後續頻率分析，首先計算歷年一日最大暴雨量之對數值，列於表附-29，並將一日最大暴雨量(x)與對數一日最大暴雨量(x_y)分別計算平均值(\bar{x})、標準差值(s)、偏態係數(C_s)及修正後之偏態係數(C_s')，計算過程及結果詳如表附 3-30

表附-29 一日最大暴雨量取自然對數表

年份	自然對數	年份	自然對數
2002	4.980176	2010	4.976734
2003	5.204007	2012	6.082219
2004	6.036677	2013	6.275703
2005	6.165418	2014	5.44889
2006	5.757323	2015	5.090678
2007	5.828946	2016	4.559126
2008	6.219596	2017	6.068426
2009	6.112575		

表附-30 雨量資料參數計算

參數	計算公式	計算值
平均值 \bar{x}	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	324.633
標準差值 s	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	150.928
偏態係數 C_s	$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / s^3 \right]$	-0.192
修正後之偏態係數 C_s'	$C_s' = C_s \times \frac{[n - (n-1)]^{0.5}}{n-2} \times \left(1 + \frac{8.5}{n}\right)$	-0.301
對數平均值 \bar{y}	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{y_i}$	5.654
對數標準差值 s_y	$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{y_i} - \bar{y})^2}$	0.560
對數偏態係數 C_{s_y}	$C_{s_y} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \left[\sum_{i=1}^n (x_{y_i} - \bar{y})^3 / s_y^3 \right]$	-0.628
修正後之對數偏態係數 C_{s_y}'	$C_{s_y}' = C_{s_y} \times \frac{[n - (n-1)]^{0.5}}{n-2} \times \left(1 + \frac{8.5}{n}\right)$	-0.985
備註	n 為樣本總數	

依據國內過去較常使用之統計分布，包含：極端值一型分布、皮爾遜第三型分布、對數皮爾遜第三型分布及三參數對數常態分布等四種常用於極端事件之機率分布進行頻率分析，計算過程分述如下：

a.極端值一型分布

表附-31 極端值一型分布計算公式

參數	計算公式
重現期距 T 之水文量 X_T	$X_T = \bar{x} + K_T s$
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$
重現期距 T 之頻率因子 K_T	$K_T = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} \left(0.5772 + \ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right) \right)$
備註	T 為重現期距

表附-32 極端值一型分布計算結果

T	P	K_T	X_T
2	0.5	-0.164	299.840
5	0.2	0.719	433.220
10	0.1	1.305	521.528
20	0.05	1.866	606.236
50	0.02	2.592	715.882
100	0.01	3.137	798.046
200	0.005	3.679	879.910

b.皮爾遜第三型分布

表附-33 皮爾遜第三型分布計算公式

參數	計算公式	
重現期距 T 之 水文量 X_T	$X_T = \bar{x} + K_T s$	
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$	
W	$W = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{P^2}\right)}$	$0 < P \leq 0.5$
	$W = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-P)^2}\right]}$	$P > 0.5$
標準常態值 t	$t \approx W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}$	$0 < P \leq 0.5$
	$t \approx -(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3})$	$P > 0.5$
重現期距 T 之 頻率因子 K_T	$K_T = t + (t^2 - 1) \frac{C_s'}{6} + \frac{1}{3} (t^3 - 6t) \left(\frac{C_s'}{6}\right)^2$ $- (t^2 - 1) \left(\frac{C_s'}{6}\right)^3 + t \left(\frac{C_s'}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{C_s'}{6}\right)^5$	
備註	$C_0 = 2.515517 ; C_1 = 0.802853$ $C_2 = 0.010328 ; d_0 = 1.432788$ $d_1 = 1.189269 ; d_2 = 0.001308$	

表附-34 皮爾遜第三型分布計算結果

T	P	W	t	K_T	X_T
2	0.5	1.177	0.000	0.050	332.178
5	0.2	1.794	0.841	0.852	453.273
10	0.1	2.146	1.282	1.245	512.528
20	0.05	2.448	1.645	1.555	559.382
50	0.02	2.797	2.054	1.890	609.917
100	0.01	3.035	2.327	2.105	642.340
200	0.005	3.255	2.576	2.296	671.141

c. 對數皮爾遜第三型分布

表附-35 對數皮爾遜第三型分布計算公式

參數	計算公式	
重現期距 T 之自然對數水文量 y_T	$y_T = \bar{y} + K_T s_y$	
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$	
W	$W = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{P^2}\right)}$	$0 < P \leq 0.5$
	$W = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-P)^2}\right]}$	$P > 0.5$
t	$t \approx W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}$	$0 < P \leq 0.5$
	$t \approx -\left(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}\right)$	$P > 0.5$
重現期距 T 之頻率因子 K_T	$K_T = t + (t^2 - 1) \frac{C_{sy}'}{6} + \frac{1}{3} (t^3 - 6t) \left(\frac{C_{sy}'}{6}\right)^2$ $- (t^2 - 1) \left(\frac{C_{sy}'}{6}\right)^3 + t \left(\frac{C_{sy}'}{6}\right)^4$ $+ \frac{1}{3} \left(\frac{C_{sy}'}{6}\right)^5$	
備註	$C_0 = 2.515517 ; C_1 = 0.802853$ $C_2 = 0.010328 ; d_0 = 1.432788$ $d_1 = 1.189269 ; d_2 = 0.001308$	

表附-36 對數皮爾遜第三型分布計算結果

T	P	W	t	K_T	y_T	e^{y_T}
2	0.5	1.177	0.000	0.160	5.743	312.061
5	0.2	1.794	0.841	0.849	6.129	459.090
10	0.1	2.146	1.282	1.130	6.287	537.420
20	0.05	2.448	1.645	1.325	6.396	599.586
50	0.02	2.797	2.054	1.509	6.499	664.511
100	0.01	3.035	2.327	1.611	6.557	703.866
200	0.005	3.255	2.576	1.693	6.602	736.674

d.三參數對數常態分佈

表附-37 三參數對數常態分佈計算公式

參數	計算公式
重現期距 T 之自然對數水文量 y_T	$x_T = \bar{x} + K_T s$
超越機率 P	$P = \frac{1}{T}$
r_1	$r_1 = \frac{e^{3s_y^2} - 3e^{s_y^2} + 2}{(e^{s_y^2} - 1)^{3/2}}$
w	$w = \frac{[-r_1 + (r_1^2 + 4)^{1/2}]}{2}$
Z_2	$Z_2 = \frac{1 - w^{2/3}}{w^{1/3}}$
W	$W = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{P^2}\right)}$
	$W = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-P)^2}\right]}$
t	$t \approx W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}$
	$t \approx -\left(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_0 W + d_1 W^2 + d_2 W^3}\right)$
重現期距 T 之頻率因子 K_T	$K_T = \frac{e^{[\ln(1+Z_2^2)]^{1/2} t - [\ln(1+Z_2^2)]/2} - 1}{Z_2}$
備註	$C_0 = 2.515517 ; C_1 = 0.802853$ $C_2 = 0.010328 ; d_0 = 1.432788$ $d_1 = 1.189269 ; d_2 = 0.001308$

表附-38 三參數對數常態分佈計算結果

常態分佈	P	W	t	r_1	w	Z_2	K_T	x_T
2	0.5	1.18	0.00	2.05	0.41	0.61	-0.24	288.53
5	0.2	1.79	0.84				0.61	416.49
10	0.1	2.15	1.28				1.24	511.71
20	0.05	2.45	1.65				1.89	610.11
50	0.02	2.80	2.05				2.80	747.62
100	0.01	3.03	2.33				3.54	858.43
200	0.005	3.26	2.58				4.31	975.77

(3)卡方檢定

由白冷雨量站一日最大暴雨量蒐集可知，雨量資料共 15 筆，依據卡方檢定分組方法 $1 + 3.3 \log n$ (n 為資料筆數)，將雨量資料分為 5 組，並進行後續卡方檢定，卡方檢定計算如圖附-4 所示。此外，各組區間範圍因頻率分析方式不同而異，故將各方式區間上限求法列於表附-39 至表附-42，而卡方理論值可由表附-43 取得。

$n \times P_i = E_i$

依區間上限統計落於區間內之一日最大暴雨量資料個數

當卡方分析值 < 卡方理論值
即表示此機率方式通過卡方檢定

機率分佈	理論機率	理論累積機率	期望次數	區間上限	實際次數	卡方值		通過檢定
	P_i	F_i	E_i	X_{U_i}	O_i	分析值	理論值	
極端值 I 型 (二參數)	0.200	0.200	3.00	200.71	5	1.333	5.991	是
	0.200	0.400	3.00	267.00	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	335.76	1	1.333		
	0.200	0.800	3.00	433.22	3	0.000		
	0.200	1.000	3.00	最大值	5	1.333		
	1.000		15		15	5.333		
皮爾遜 III 型 (三參數)	0.200	0.200	3.00	202.47	5	1.333	3.841	是
	0.200	0.400	3.00	293.84	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	369.68	2	0.333		
	0.200	0.800	3.00	453.27	4	0.333		
	0.200	1.000	3.00	最大值	3	0.000		
	1.000		15		15	3.333		
對數皮爾遜 III 型 (三參數)	0.200	0.200	3.00	188.53	5	1.333	3.841	是
	0.200	0.400	3.00	271.43	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	354.87	2	0.333		
	0.200	0.800	3.00	459.09	4	0.333		
	0.200	1.000	3.00	最大值	3	0.000		
	1.000		15		15	3.333		
對數常態 (三參數)	0.200	0.200	3.00	209.62	5	1.333	3.841	否
	0.200	0.400	3.00	260.55	1	1.333		
	0.200	0.600	3.00	320.87	1	1.333		
	0.200	0.800	3.00	416.49	1	1.333		
	0.200	1.000	3.00	最大值	7	5.333		
	1.000		15		15	10.667		

總機率為 1，分為五組，
一組發生機率為 $1/5=0.2$

$$\text{卡方分析值} = \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i}$$

卡方理論值為 $\chi_{0.05, k-p-1}^2$
 k 為組數
 p 為分析方法之參數個數
 $k-p-1$ 為自由度

圖附-4 卡方檢定計算過程

表附-39 極端值一型區間上限計算表

累積機率	超越機率	K_T	X_T (區間上限)
0.2	0.8	-0.82	200.71
0.4	0.6	-0.38	267.00
0.6	0.4	0.07	335.76
0.8	0.2	0.72	433.22

表附-40 皮爾遜三型區間上限計算表

累積機率	超越機率	W	t	K_T	X_T
0.2	0.8	0.67	-0.83	-0.81	202.47
0.4	0.6	1.01	-0.25	-0.20	293.84
0.6	0.4	1.35	0.25	0.30	369.68
0.8	0.2	1.79	0.84	0.85	453.27

表附-41 對數皮爾遜三型區間上限計算表

累積機率	超越機率	W	t	K_T	y_T	e^{y_T}
0.2	0.8	0.67	-0.83	-0.74	5.24	188.53
0.4	0.6	1.01	-0.25	-0.09	5.60	271.43
0.6	0.4	1.35	0.25	0.39	5.87	354.87
0.8	0.2	1.79	0.84	0.85	6.13	459.09

表附-42 三參數對數常態分佈區間上限計算表

累積機率	超越機率	W	t	r_1	w	Z_2	K_T	x_T
0.2	0.8	0.67	-0.83	2.05	0.41	0.61	-0.76	209.62
0.4	0.6	1.01	-0.25	2.05	0.41	0.61	-0.42	260.55
0.6	0.4	1.35	0.25	2.05	0.41	0.61	-0.02	320.87
0.8	0.2	1.79	0.84	2.05	0.41	0.61	0.61	416.49

表附-43 卡方分布臨界值表

χ^2 值	右尾機率值 α									
自由度	0.9950	0.9900	0.9750	0.9500	0.9000	0.1000	0.0500	0.0250	0.0100	0.0050
1	0.0000	0.0002	0.0010	0.0039	0.0158	2.7055	3.8415	5.0239	6.6349	7.8794
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	4.6052	5.9915	7.3778	9.2103	10.5966
3	0.0717	0.1148	0.2158	0.3518	0.5844	6.2514	7.8147	9.3484	11.3449	12.8382
4	0.2070	0.2971	0.4844	0.7107	1.0636	7.7794	9.4877	11.1433	13.2767	14.8603
5	0.4117	0.5543	0.8312	1.1455	1.6103	9.2364	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496
6	0.6757	0.8721	1.2373	1.6354	2.2041	10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476
7	0.9893	1.2390	1.6899	2.1673	2.8331	12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777
8	1.3444	1.6465	2.1797	2.7326	3.4895	13.3616	15.5073	17.5345	20.0902	21.9550
9	1.7349	2.0879	2.7004	3.3251	4.1682	14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5894
10	2.1559	2.5582	3.2470	3.9403	4.8652	15.9872	18.3070	20.4832	23.2093	25.1882
11	2.6032	3.0535	3.8157	4.5748	5.5778	17.2750	19.6751	21.9200	24.7250	26.7568
12	3.0738	3.5706	4.4038	5.2260	6.3038	18.5493	21.0261	23.3367	26.2170	28.2995
13	3.5650	4.1069	5.0088	5.8919	7.0415	19.8119	22.3620	24.7356	27.6882	29.8195
14	4.0747	4.6604	5.6287	6.5706	7.7895	21.0641	23.6848	26.1189	29.1412	31.3193
15	4.6009	5.2293	6.2621	7.2609	8.5468	22.3071	24.9958	27.4884	30.5779	32.8013
16	5.1422	5.8112	6.9077	7.9616	9.3122	23.5418	26.2962	28.8454	31.9999	34.2672
17	5.6972	6.4078	7.5642	8.6718	10.0852	24.7690	27.5871	30.1910	33.4087	35.7185
18	6.2648	7.0149	7.2307	9.3905	10.8649	25.9894	28.8693	31.5264	34.8530	37.1565
19	6.8440	7.6327	8.9065	10.1170	11.6509	27.2036	30.1435	32.8523	36.1909	38.5823
20	7.4338	8.2604	9.5908	10.8508	12.4426	28.4120	31.4104	34.1696	37.5662	29.9968
21	8.0337	8.8972	10.2829	11.5913	13.2396	29.6151	32.6706	35.4789	38.9322	41.4011
22	8.6427	9.5425	10.9823	12.3380	14.0415	30.8133	33.9244	36.7807	40.2894	42.7957
23	9.2604	10.1957	11.6886	13.0905	14.8480	32.0069	35.1725	38.0756	41.6484	44.1813
24	9.8862	10.8564	12.4012	13.8484	15.6587	33.1962	36.4150	39.3641	42.9798	45.5585
25	10.5197	11.5240	13.1197	14.6114	16.4734	34.3816	37.6525	40.6465	44.3141	46.9279
26	11.1602	12.1981	13.8439	15.3792	17.2919	35.5632	38.8851	41.9232	45.6417	48.2899
27	11.8076	12.8785	14.5734	16.1514	18.1139	36.7412	40.1133	43.1945	46.9629	49.6449
28	12.4613	13.5647	15.3079	16.9279	18.9392	37.9159	41.3371	44.4608	48.2782	50.9934
29	13.1211	14.2565	16.0471	17.7084	19.7677	39.0875	42.5570	45.7223	49.5879	52.3356
30	13.7867	14.9535	16.7908	18.4927	20.5992	40.2560	43.7730	46.9792	50.8922	53.6720
40	20.7065	22.1643	24.4330	26.5093	29.0505	51.8051	55.7585	59.3417	63.6907	66.7660
50	27.9907	29.7067	32.3574	34.7643	37.6886	63.1671	67.5048	71.4202	76.1539	79.4900
60	35.5345	37.4849	40.4817	43.1880	46.4589	74.3970	79.0819	83.2977	88.3794	91.9517
70	43.2752	45.4417	48.7576	51.7393	55.3289	85.5270	90.5312	95.0232	100.4252	104.2149
80	51.1719	53.5401	57.1532	60.3915	64.2778	96.5782	101.8795	106.6286	112.3288	116.3211
90	59.1963	61.7541	65.6466	69.1260	73.2911	107.5650	113.1453	118.1359	124.1163	128.2989
100	67.3276	70.0649	74.2219	77.9295	82.3581	118.4980	124.3421	129.5612	135.8067	140.1695
110	75.5500	78.4583	82.8671	86.7916	91.4710	129.3851	135.4802	140.9166	147.4143	151.9485
120	83.8516	86.9233	91.5726	95.7046	100.6236	140.2326	146.5674	152.2114	158.9502	163.6482
備註	$P(\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha}) = \alpha$ $P\left(\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq \chi^2 \leq \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \alpha$									

(4)SE 檢定

本案例之 SE 檢定採 weibull 繪圖法，其相關參數整理於表附-44。首先將各年之一日最大暴雨量資料由大至小排列，並計算其繪圖法機率，依不同頻率分析方法推求該機率下之雨量值，經 SE 比較結果，最小者既為本雨量站之最佳頻率分析方式，其相關計算如表附-45 至表附-48 所示。由 SE 檢定結果可知，皮爾遜法為本雨量站之最佳頻率分析方法，故取皮爾遜三型之各頻率年雨量計算結果，用於流量計算中。

表附-44 SE 檢定相關參數

參數	計算公式
平方差和 SSE	$SSE = \sum (x_i - \hat{x}_i)^2$
標準誤差 SE	$SE = \left[\frac{\sum (x_i - \hat{x}_i)^2}{N} \right]^{1/2}$
weibull 繪圖法機率 P_w	$P_w = \frac{i}{N + 1}$
備註	N 為觀測資料個數 x_i 為第 i 個觀測樣本資料 \hat{x}_i 為利用點繪公式計算第 i 個觀測樣本 x_i 累積機率，再由選用之統計分佈估算對應該累積機率之水文量 \hat{x}_i

表附-45 極端值一型 SE 檢定表

一日最大暴雨 (大到小排序)	i	P_w	K_T	X_T	SSE	SSE 和	SE
531.5	1	0.06	1.69	579.21	2275.80	41982.40	56.83
502.5	2	0.13	1.12	493.64	78.42		
476	3	0.19	0.78	441.69	1176.91		
451.5	4	0.25	0.52	403.32	2320.88		
438	5	0.31	0.32	372.23	4325.98		
432	6	0.38	0.14	345.56	7472.18		
418.5	7	0.44	-0.02	321.76	9359.33		
340	8	0.50	-0.16	299.84	1612.82		
316.5	9	0.56	-0.30	279.11	1398.14		
232.5	10	0.63	-0.43	258.99	701.59		
182	11	0.69	-0.57	238.92	3240.41		
162.5	12	0.75	-0.70	218.27	3110.51		
145.5	13	0.81	-0.85	196.08	2558.50		
145	14	0.88	-1.02	170.56	653.19		
95.5	15	0.94	-1.25	136.70	1697.75		

表附-46 皮爾遜三型 SE 檢定表

一日最大暴雨 (大到小排序)	i	P_w	W	t	K_T	X_T	SSE	SSE 和	SE
531.5	1	0.06	2.35	1.53	1.46	545.30	190.39	4924.67	20.26
502.5	2	0.13	2.04	1.15	1.13	495.15	54.07		
476	3	0.19	1.83	0.89	0.89	459.53	271.11		
451.5	4	0.25	1.67	0.67	0.70	430.03	460.93		
438	5	0.31	1.53	0.49	0.52	403.73	1174.39		
432	6	0.38	1.40	0.32	0.36	379.20	2787.60		
418.5	7	0.44	1.29	0.16	0.20	355.57	3960.58		
340	8	0.50	1.18	0.00	0.05	332.18	61.19		
316.5	9	0.56	1.07	-0.16	-0.11	308.47	64.53		
232.5	10	0.63	0.97	-0.32	-0.27	283.84	2636.17		
182	11	0.69	0.87	-0.48	-0.44	257.58	5712.65		
162.5	12	0.75	0.76	-0.67	-0.64	228.65	4375.80		
145.5	13	0.81	0.64	-0.87	-0.86	195.33	2483.52		
145	14	0.88	0.52	-1.12	-1.13	154.21	84.85		
95.5	15	0.94	0.36	-1.46	-1.52	95.89	0.16		

表附-47 對數皮爾遜三型 SE 檢定表

一日最大暴雨 (大到小排序)	i	P_w	W	t	K_T	y_T	e^{y_T}	SSE	SSE 和	SE
531.5	1	0.06	2.35	1.53	1.27	6.36	581.00	2450.60	25302.99	45.92
502.5	2	0.13	2.04	1.15	1.05	6.24	514.28	138.72		
476	3	0.19	1.83	0.89	0.88	6.15	467.26	76.39		
451.5	4	0.25	1.67	0.67	0.73	6.06	429.12	500.90		
438	5	0.31	1.53	0.49	0.59	5.98	396.04	1760.36		
432	6	0.38	1.40	0.32	0.45	5.90	366.17	4333.12		
418.5	7	0.44	1.29	0.16	0.30	5.82	338.42	6412.47		
340	8	0.50	1.18	0.00	0.16	5.74	312.06	780.59		
316.5	9	0.56	1.07	-0.16	0.01	5.66	286.54	897.58		
232.5	10	0.63	0.97	-0.32	-0.16	5.57	261.39	834.49		
182	11	0.69	0.87	-0.48	-0.34	5.46	236.13	2930.39		
162.5	12	0.75	0.76	-0.67	-0.55	5.35	210.23	2277.92		
145.5	13	0.81	0.64	-0.87	-0.79	5.21	182.90	1398.74		
145	14	0.88	0.52	-1.12	-1.11	5.03	152.81	60.93		
95.5	15	0.94	0.36	-1.46	-1.60	4.76	116.71	449.81		

表附-48 三參數對數常態分佈 SE 檢定表

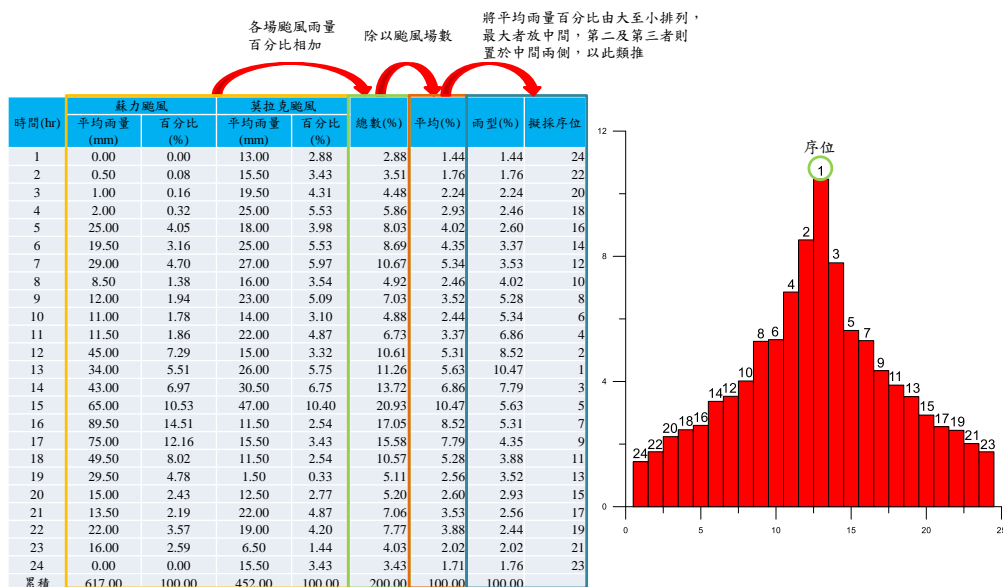
一日最大暴雨 (大到小排序)	i	R_w	W	t	r_1	w	Z_2	K_T	x_T	SSE	SSE 和	SE
531.5	1	0.06	2.35	1.53	2.05	0.41	0.61	1.68	577.97	2159.50	62022.46	71.89
502.5	2	0.13	2.04	1.15				1.03	480.82	470.01		
476	3	0.19	1.83	0.89				0.67	425.29	2571.73		
451.5	4	0.25	1.67	0.67				0.41	386.04	4285.62		
438	5	0.31	1.53	0.49				0.20	355.39	6824.59		
432	6	0.38	1.40	0.32				0.04	329.99	10405.72		
418.5	7	0.44	1.29	0.16				-0.11	308.06	12196.22		
340	8	0.50	1.18	0.00				-0.24	288.53	2648.96		
316.5	9	0.56	1.07	-0.16				-0.36	270.68	2099.38		
232.5	10	0.63	0.97	-0.32				-0.47	253.98	461.50		
182	11	0.69	0.87	-0.48				-0.57	238.00	3135.81		
162.5	12	0.75	0.76	-0.67				-0.68	222.30	3576.53		
145.5	13	0.81	0.64	-0.87				-0.78	206.39	3707.90		
145	14	0.88	0.52	-1.12				-0.90	189.47	1977.27		
95.5	15	0.94	0.36	-1.46				-1.03	169.67	5501.73		

3.雨型設計

本案例蒐集蘇力及莫拉克等兩大颱風事件 24 小時內之時雨量資料，列於表附-49 所示，並根據圖附-5 所示，進行雨型推估。

表附-49 重大颱風事件雨量資料

時間(hr)	蘇力 颱風	莫拉克 颱風	時間(hr)	蘇力 颱風	莫拉克 颱風
1	0	13	13	34	26
2	0.5	15.5	14	43	30.5
3	1	19.5	15	65	47
4	2	25	16	89.5	11.5
5	25	18	17	75	15.5
6	19.5	25	18	49.5	11.5
7	29	27	19	29.5	1.5
8	8.5	16	20	15	12.5
9	12	23	21	13.5	22
10	11	14	22	22	19
11	11.5	22	23	16	6.5
12	45	15	24	0	15.5



圖附-5 雨型計算方法

4.S 歷線疊加

以皮爾遜三型分析之 50 年重現期距降雨量為例，配合上述計算降雨延時 1 小時之單位歷線進行流量疊加，詳表附-50。此外，考量疊加過程計算量甚多，故採三小時逕流量疊加，疊加步驟如下，最後成果則如圖附-6。

- (1)將一日降雨量依雨型百分比分配於各小時中。
- (2)將降雨延時 1 小時之單位歷線與超降雨量相乘，可獲得各小時降雨之流量歷線。
- (3)透過各小時流量歷線疊加，即可求得 24 小時 50 年重現期距之流量歷線。

表附-50 流量疊加計算表

1日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3		23	24	
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24		2.02	1.76	流量歷線
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37		1.23	1.07	
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)		1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	
0	0.00	0.00						0.00
0.1	0.99	0.87						0.87
0.2	2.98	2.61						2.61
0.3	5.95	5.22						5.22
0.4	9.92	8.70						8.70
0.5	14.88	13.05						13.05
0.6	20.83	18.27						18.27
0.7	27.78	24.36						24.36
0.8	34.14	29.95			...			29.95
0.9	39.93	35.02						35.02
1	45.14	39.59	0.00					39.59
1.1	48.77	42.78	1.06					43.84
1.2	50.84	44.59	3.19					47.78
1.3	51.34	45.03	6.37					51.40
1.4	50.26	44.08	10.62					54.70
1.5	47.62	41.76	15.93					57.69
1.6	43.40	38.07	22.30					60.37
1.7	37.61	32.99	29.73					62.72
1.8	31.83	27.92	36.55					64.46
1.9	26.04	22.84	42.74					65.58
2	20.83	18.27	48.32	0.00				66.59
2.1	16.20	14.21	52.21	1.35				67.78
2.2	12.15	10.66	54.42	4.06				69.14
2.3	8.68	7.61	54.95	8.12				70.69
2.4	5.79	5.08	53.80	13.54				72.42
2.5	3.47	3.05	50.97	20.31				74.33
2.6	1.74	1.52	46.46	28.44				76.42

表附-50 流量疊加計算表(續)

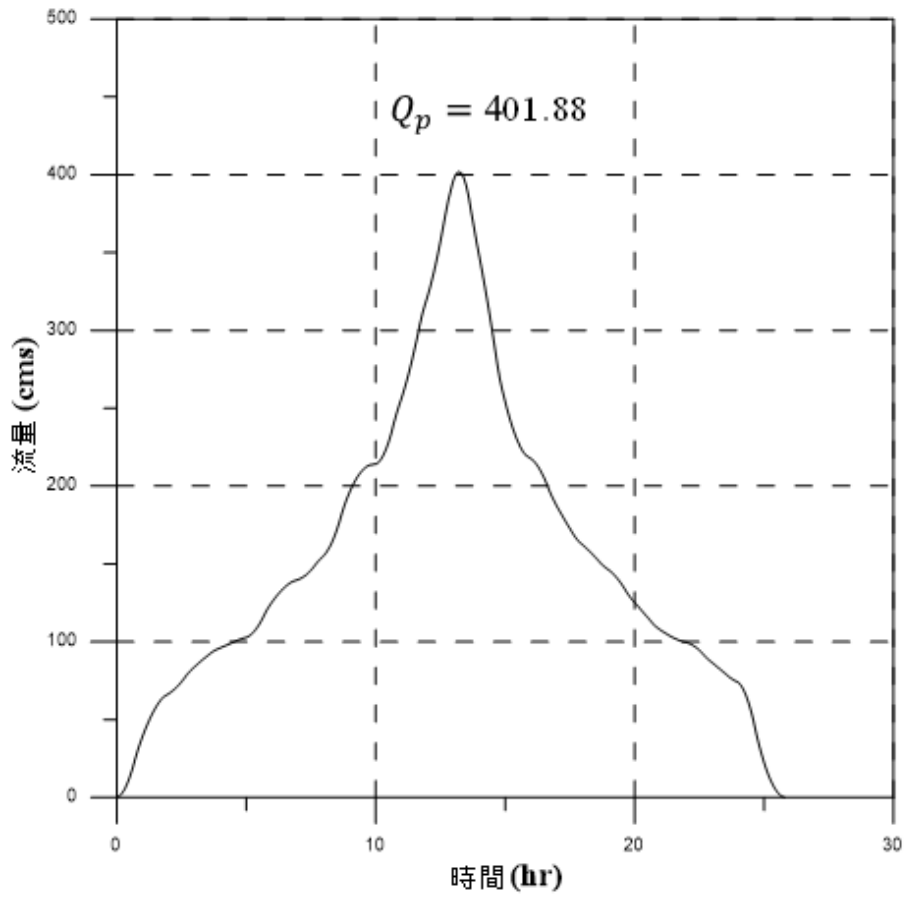
1日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3	23	24	流量歷線	
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24	2.02	1.76		流量歷線
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37	1.23	1.07		
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)	1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	Q(cms)	
2.7	0.58	0.51	40.26	37.92			78.69	
2.8	0.00	0.00	34.07	46.61			80.68	
2.9			27.88	54.50			82.38	
3			22.30	61.61			83.91	
3.1			17.34	66.58			85.41	
3.2			13.01	69.40			86.87	
3.3			9.29	70.08			88.29	
3.4			6.19	68.61			89.68	
3.5			3.72	65.00			91.03	
3.6			1.86	59.24	...		92.34	
3.7			0.62	51.34			93.62	
3.8			0.00	43.45			94.64	
3.9				35.55			95.42	
4				28.44			96.12	
4.1				22.12			96.83	
4.2				16.59			97.55	
4.3				11.85			98.27	
4.4				7.90			98.99	
4.5				4.74			99.73	
4.6				2.37			100.47	
4.7				0.79			101.21	
4.8				0.00			101.83	
4.9							102.33	
5							102.77	
5.1							103.63	
5.2							104.90	
5.3							106.59	

表附-50 流量疊加計算表(續)

1日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3	...	23	24	
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24		2.02	1.76	流量歷線
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37		1.23	1.07	
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)		1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	Q(cms)
5.4								108.69
5.5								111.21
5.6								114.14
5.7								117.49
5.8								120.52
		⋮					⋮	
22						0.00		99.66
22.1					...	1.22		99.07
22.2						3.66		98.27
22.3						7.32		97.25
22.4						12.20		96.02
22.5						18.29		94.57
22.6						25.61		92.91
22.7						34.15		91.03
22.8						41.97		89.34
22.9						49.09		87.84
23						55.49	0.00	86.49
23.1						59.96	1.06	85.14
23.2						62.50	3.19	83.77
23.3						63.11	6.37	82.40
23.4						61.79	10.62	81.02
23.5						58.54	15.93	79.63
23.6						53.35	22.30	78.24
23.7						46.24	29.73	76.84
23.8						39.13	36.55	75.67

表附-50 流量疊加計算表(續)

1日 暴雨量 (mm)	t(hr)	1	2	3		23	24	
609.920	雨型 分配率 (%)	1.44	1.76	2.24		2.02	1.76	流量歷線
	超滲 降雨量 (cm)	0.88	1.07	1.37		1.23	1.07	
t(hr)	U(1,t)	0.88*U(1,t)	1.07*U(1,t-1)	1.37*U(1,t-2)		1.23*U(1,t-23)	1.23*U(1,t-24)	
23.9						32.01	42.74	74.76
24						25.61	48.32	73.93
24.1						19.92	52.21	72.13
24.2						14.94	54.42	69.36
24.3						10.67	54.95	65.63
24.4					...	7.11	53.80	60.92
24.5						4.27	50.97	55.24
24.6						2.13	46.46	48.59
24.7						0.71	40.26	40.98
24.8						0.00	34.07	34.07
24.9							27.88	27.88
25							22.30	22.30
25.1							17.34	17.34
25.2							13.01	13.01
25.3							9.29	9.29
25.4							6.19	6.19
25.5							3.72	3.72
25.6							1.86	1.86
25.7							0.62	0.62
25.8							0.00	0.00



圖附-6 流量歷線圖

附錄四、透過部斷面樑柱間距

1. 透過部斷面的柱間距(水平淨間距)

透過性防砂壩的柱間距須設定為設計粒徑的 1.0 倍，但設置複數座透過性防砂壩時，可加寬至 1.5 倍。由於土石流前端有巨粒聚集，若柱間距設定為設計粒徑的 1.5 ~ 2.0 倍，會因礫石的拱作用(Arch Action)而使開口部分阻塞，只要開口部分阻塞，後續的砂石也會被攔阻。惟若有土石流前端無法抵達防砂壩情形時，將柱間距設定為設計粒徑的 1.5~2.0 倍，可能會無法發揮攔阻砂石的功效。另外，當土石流中包含流木時只要將柱間距設定為流木長度的 1/2，就能攔阻砂石，就算構材的純間距設定為礫石的 1.5~2.0 倍，也能維持其攔阻能力。因此，考量到確實攔阻礫石的目的，不管有無流木，柱間距應設定為設計粒徑的 1.0 倍。

當在流動區域設置複數座透過性防砂壩時，若上游的透過性防砂壩構材間距太過狹窄，將無法提供下游的透過性防砂壩足夠砂石，因此下游防砂壩的柱間距須較上游狹窄。連續設置透過性防砂壩時，必須注意壩與壩間之位置與當地的粒徑分佈，上游之構材間距可加寬至設計粒徑之 1.5 倍。

2. 透過部斷面的樑間距(垂直淨間距)

透過性防砂壩的樑間距須設定為設計粒徑的 1.0 倍。但設置複數座透過性防砂壩時可加寬至 1.5 倍。開口部分最下層的透過部斷面高度須設定在設計粒徑的 1.5 倍以下。在流動區域構材間距設定在設計粒徑的 1.5 倍以下時可攔截到土石流的前端。但當壩高較高時，可能會發生透過部斷面上方為阻塞前，後續土石流就已經通過的情形。因此有必要設置橫樑。

設置在開口部分的樑間距，必須具備攔阻後續土石流中礫石之功能。因此在考慮後續土石流濃度較稀，礫石為分別搬運的情形下，樑間距須設定為設計粒徑的 1.0 倍以下。而開口部分最下層的透過部斷面高度，除了要確實攔阻土石流前端的巨礫群，也兼具讓平時的砂石流至下游的功能。因此最下層橫樑的位置設定為設計粒徑的 1.5 倍以下以求攔阻土石流前端，並須高於平時水深。

當土石流水深小於設計粒徑時，最下層的透過部斷面高度若採土石流水深時，會小於上方的水平與垂直純間距，會與構材間距設定目的的形狀有違。因此，依據粒徑來設定建材間距是較合理的設計方式。

參考文獻

- 1.行政院農業委員會水土保持局(2017),「水土保持手冊」。
- 2.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)」。
- 3.砂防・地すべり技術センター(2009),「鋼製砂防構造物設計便覽」。
- 4.廖培明(1998),「水文調查分析講義」,臺灣省水利規劃試驗所。
- 5.渡邊正幸、水山高久、上原信司(1980),「土石流對策砂防設施關檢討」,新砂防 No.115, pp.40-45。
- 6.連惠邦等(2002),「土石流防治工法之研究評估(二)」,行政院農業委員會水土保持局。
- 7.Ashida and Takahashi(1980) Study on debris flow control –Hydraulic function of grid type open dam, Annuals of DPRI (Disaster Prevention Research Institute) of Kyoto Univ, 23B-2, pp.433-441.
- 8.Ikeya and Uehara.(1980) Experimental study about the sediment control of slit Sabo dams. Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering (JSECE), 114(1980), pp.37-44.
- 9.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.
- 10.Mizuyama, T., Y. Ishikawa (1988) Technical standard for the measures against debris flow (draft), Technical Memorandum of PWRI, No. 2632.
- 11.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.
- 12.Takahashi, T.(1978)Mechanical characteristics of debris flow, J. of Hydr., ASCE, 104(HY8), pp.1153-1169.
- 13.Viessman, Warren, Jr., Gary L. Lewis, and John W. Knapp(2003) Introduction to Hydrology, 5rd ed., Harper and Row, N. Y

水土保持單元叢書 02-透過性防砂壩

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、王晉倫、連榮吉、柯燦堂、范世億、周廷彰、王志雄、林仕修、
吳瑞鵬

編審人員：尤敬弦、王志豪、石軒寧、李木青、李麗萍、林宜瑩、林彥伯、段錦浩、洪啟耀、
洪崇仁、孫明德、張三郎、梁家齊、陳沛霖、游元興、游以民、童遠欽、馮美禎、
黃柏璥、黃瀨瑩、黃胤慈、詹勳全、鍾庫比亞、嚴曉嘉、蘇中鈺
(以姓氏筆畫為序)

行政統籌：顏川舜

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 (<http://www.swcb.gov.tw>)

編印日期：中華民國 108 年 02 月

定 價：600 元

G P N：1010800304

I S B N：9789860586701

著作權：本刊著作權歸行政院農業委員會水土保持局所有



9 789860 586701



行政院農林業委員會水土保持局 編印