

91年水土保持宣導專輯④

治山防災構造物之自然生態工法

國立中興大學水土保持學系教授 / 林信輝

農業委員會水土保持局保育組第三股股長 / 李鐸

前言

水土資源為人類社會持續發展及生態系統賴以維生之重要因素，水土資源的退化、劣化不僅會衝擊生態環境的自然運作，更將危及人類社會、經濟發展，「水土保持 (soil and water conservation)」就是合理的使用土地並給與土地必要的處理，以達永續 (sustainable) 利用的目的。台灣位處亞熱帶，氣候多雨潮濕，經依山坡地保育利用條例劃定公告之山坡地面積計 969,617 公頃，約占台灣地區總面積的百分之 27，大部分屬農林邊際土地，人為活動頻繁，由於地形陡峻、地質脆弱，每逢颱風豪雨，極易發生山崩、道路坍方及土石流等災害。而人口密度高且逐年增加，經濟發展蓬勃，生活水準與品質不斷提高，在平地面積有限的情況下，實難以滿足人類利用土地之需求，因此民眾向山坡地開發乃必然之趨勢。加上受熱帶海島氣候影響，導致民眾生活幾乎無法擺脫自然律動的束縛及颱風豪雨之威脅，每遇雨季則山洪氾濫，山崩、地滑、土石流等災害相繼發生；乾季則水源枯竭，河床幾乎見底，沿海地區更飽受季風和飛砂危害。天災威脅人民生命財產安全，並延緩社會繁

榮之腳步，因此自 1964 年起政府即開始進行山坡地之治山防洪工作迄今，利用各種工程方法期能將災害減至最低程度。

多年來政府於集水區山坡地之保育工作主要是訂定法令藉由開發許可審定以強化山坡地之經營管理成效，同時針對土砂來源及容易釀災的地區實施治山防洪工作，其目的皆已達到國土保安、涵養水源、治山防災及保護人民生命財產安全等為首要；然而目前正值環保意識抬頭，人民對居住環境品質要求提高，逐漸重視生態環境保育觀念之際，如何改善原有之工程設計方式，以較符合安全、自然環境及生態之工法，於適地環境下逐步取代過去傳統混凝土構造方式對環境所造成之不協調或衝擊，是為自然生態工法之目的。

治山防災構造物 運用自然生態工法之原則

一、治山防災措施之自然生態工法

治山防災構造物應用自然工法之整治目標，依日本堀內(2001)於民國 90 年 8 月中日與砂防工程研討會，就自然區域災害及溪流環境景觀之特性提出自然工法整治目標之課題方案，茲分述如下：

(一) 促進生態系之再生能力

由於山崩等土砂災害，舊有環境破壞殆盡，原先之主體生態結構無法自然復原時，為盡可能達到原生態系或景觀之再生，依新地形或水域狀況，考量週邊環境上下游流域生態及景觀之連續性，所設計之適合創造生態系或景觀之治山防災構造物。如考量魚類遷移而減低固床工落差；利用緩坡、多孔性材質以提供生物進入及藏匿；增加有機物進入渠道以及能形成水生物所需微棲地（如水潭）之整流工等。

(二) 促進生態系之保護功能

需維持環境現況或盡可能保護溪流環境之地區，其治山防災構造物之設計不應以單一構造物個別設計，必須考量全體流域特性，盡量不改變溪流中生物棲息及景觀現況之連續性，設計出具生態系維護及景觀保護之治山防災措施。

(三) 促進生態系之復原能力

需進行溪流整治之地區，依其施工前地區特性之變化及演替情形，以及依生態系與景觀之實況，盡可能採用當地現有之石材、木料等，並以原生植物為主要植生資材，所設計有助於自然復育能力之治山防災構造物。其設計重點應注意濱水林之保存及復育、確保濱水區以及形成適合生物棲息之多孔質護岸。

(四) 促進溪流之適當利用

依據立地條件及周邊遊憩用途之潛力，考量當地居民對該河溪的使用，利用原溪流環境，重建（改善）生物棲息地及環境學習、自然體驗地點等多重目

的，並同時考量鄰近河溪之整治計畫及現存與將來計畫構造物之相容性，以開創多樣化野外活動空間所設計之河溪整治工程。

以上之構造物設計施工，依自然工法之內涵，仍以工程構造物規模最小化為原則。

二、自然生態工法之尺度

生態系(Ecosystem)一詞，其範圍可大可小，可大至地球為一生態系，島嶼可為一生態系，河川亦為一生態系，而小至一小水潭亦可稱為一個生態系。因此在談到「自然生態工法」設計規劃時，所欲保護復育之區域範圍不同，其設計理念及方向即有很大之差異。現茲根據不同考慮尺度時，實物設計之主軸理念，歸納如下：

(一) 區域計畫與規劃(Planning)

此一設計將牽涉一大範圍地域之整體規劃，可能包括特定目標生物復育保護，同時恢復其棲地多樣性及生育之復原。尤其於保護區或國家公園或屬重要保育生態系之等區域，其規劃之整體構想需考量生態系（含農地、森林等維生生態系）之穩定及次級生態系相互間棲地走廊之連結性，其中工程措施、經營管理等為配合規劃目的之次要考慮因素，則較屬於生態工法之範疇。

(二) 工程規劃與設計(Engineering)

當進行實體工程規劃與設計時，規劃區域內土石災害、工程經濟、工程配置及該地土地利用狀況等，均為重要考量因素，由於需因應生活環境之要求，

- 一 設計時需一併考量工程整體功能、景觀協調美化及周邊保全對象之生活互動等因素，則較屬自然工法之範疇。

(三) 工程構造物之設計 (Structure)

依環境特性調查、水文力學分析等客觀條件，已確定需進行工程構造物（如防砂壩、護岸等）之地點，就合乎保護目的之構造物本身，進行改善構造物之型態與結構以符合部分自然生態目標之設計，即為「治山防災構造物之自然工法」所欲達成之目標。依此原則，其規劃設計之主要考慮方向如下：

1. 表面粗糙化（結構物表面雜異化）
2. 高壩低矮化（壩體階段化）
3. 坡度緩坡化（棲地廊道與景觀美質）
4. 材質自然化（材料多樣化）
5. 施工經濟化（現地條件與合理規劃）

自然生態工法之應用

目前自然生態工法之應用主要著重於水域環境之保育或重建，其中水土保持工程處理項目中之護岸、防砂壩、潛壩、及固床工均為重點項目。工程構造物應用自然生態工法之最終目標在期使施作之工程構造物對河川野溪之生態系統衝擊最小，亦即對河溪水流之流量、流速、搬淤平衡、環境外觀等影響最小，同時大量創造動物棲息及植物生長所須之多樣性生活空間。

現階段所提出之各種工法，在選用

及施作之前應事先調查工址之現況，並詳估工程構造物失敗可能造成之潛在性災害。於災害風險較低之工址，可採用柔性、多孔、低矮之工程設計。反之，對於高流速、陡峭、易滑動、土壓大之不穩定河岸則必須採用剛性、實心、大規模之防災構造物。主要之自然生態工法，茲簡述如下：

一、砌石護岸

主要目的在防護河岸坡趾免受沖蝕破壞，尤其可防止河岸坡面受滲流水侵入後產生管湧淘空破壞。施工良好之砌石護岸可作為擋土工，抵擋河岸坡面後方之土壓力並防止坡面之局部崩塌破壞。使用之石材及完工表面具有自然的景觀，砌石縫隙之空間利於動物棲息及植物生長。（如圖1所示）



圖1 乾砌護岸

二、箱龍護岸

在沖蝕力大，流速快之溪流，降雨量高，地下水高之河岸地區可利用其結構之高滲透性以利排水。另外，河岸區之土層有不均勻沉陷，或大量沉陷之顧

慮時可運用其柔性結構的本質以抵抗大變形。(如圖2所示)



圖2 箱籠護岸

三、加勁護岸

適用於洪水位低、沖蝕力小、流速低之溪流河岸。結構本質上屬柔性，對於地質條件不佳易產生不均勻沉陷之河岸或有地震疑慮之地區可考量採用本工法。(如圖3所示)



圖3 加勁護岸

四、鋼筋混凝土格籠護岸

本工法完工岸面可提供大量孔隙供動植物生長。由於採用堆疊方式施作，故施工十分迅速，當河岸破壞需緊急修復時，可考慮採用本工法。另外，其內

部孔隙多，為透水性結構，岸背孔隙水極易排除，因此不必配置排水設施，內部亦可供浮游生物棲息而不受亂流干擾。

五、混凝土砌塊石護岸

砌石後方之混凝土牆及基座設計主要目的在防護河岸坡趾免受沖蝕破壞，尤其可防止河岸坡面受滲流水侵入後產生管湧淘空破壞。本工法之混凝土護岸部份可作為擋土工，抵擋河岸坡面後方之土壓力並防止坡面之局部崩塌破壞。岸面砌石使完工表面具有自然的景觀，砌石縫隙之空間利於動物棲息及植物生長。(如圖4所示)



圖4 漿砌石頭岸

六、混凝土蓆墊漿砌石護岸

於流速大、沖蝕嚴重、土質較差之緩坡可採用本工法，鋼筋混凝土蓆墊之作用猶如筏式基礎(Mat Foundation)，可提供上方砌石層相當之承载力(bearing capacity)，漿砌石對河流水之抗沖蝕力較佳，砌石半埋於砂漿中，上部暴露砌石間之縫隙利於動物棲息及植

→ 物生長，砌石表面粗糙化並具有自然景觀性。

七、粒料墊層鋪石護岸

本工法適於岸坡滲出水多，流速中等之河岸。粒料墊層與土工織物過濾層除了利於排除岸背孔隙水外，對於軟弱之岸坡土質亦可提升其承载力，抑制上層砌石發生下陷。塊石半埋於粒料中，且互不相連以創造透水化及多孔之功能性空間。岸面砌石使完工表面具有自然的景觀，砌石縫隙之空間利於動物棲息及植物生長。

八、石籠席護岸

本工法適用於高流速、沖蝕嚴重，岸坡滲水多之緩河岸。石籠屬柔性結構，對於不均勻沉陷自我調整性佳。岸面相當粗糙化及透水化，石材間之縫隙利於動物棲息，植物生長，水線以上之石籠面可利用客土袋植生。

九、隱式蛇籠護岸

本工法適用於沖蝕力大，流速快之溪流。尤其在雨量豐沛或地下水高之河岸地區可利用其多孔性排孔隙水。另外，河岸區之土層有不均勻沉陷，或大量沉陷之顧慮時可運用其柔性結構的本質以抵抗大變形。岸面相當粗糙化及透水化，石材間之縫隙利於動物棲息及植物生長，水線以上之蛇籠面可利用客土袋植生。（如圖5所示）

十、拋石護岸

本工法適用於低流速、沖蝕小、水深淺之河溪岸，同時工址周圍石材之供應無虞之情況。使用之石材及完工表面



圖5 隱式蛇籠護岸

具有自然的景觀，表面粗糙化後之拋石縫隙可供動物棲息及植物生長，亦不會造成原有地貌有太大的改變。（如圖6所示）



圖6 拋石護岸

十一、木排樁護岸

本工法適用於須緊急處理或暫時性修補工程，工法施工迅速，成本低且易於配合蜿蜒地形施工。完工護岸低矮且親水性高，植生容易符合綠美景觀化之要求。本工法不適用於高流速，高沖蝕之河岸。另外，木樁雖經處理（高壓），其使用年限仍然有所限制。（如圖7所示）



圖7 木排橋護岸

十二、蜂巢圓束網格堆疊護岸

適用於各種流速及沖蝕情況之溪流河岸。河岸區之土層有不均勻沉陷或地震顧慮時，可運用其柔性結構的本質以抵抗可能之大變形量。（如圖8所示）



圖8 蜂巢圓束網格堆疊護岸

十三、蜂巢圓束網格緩坡護岸

本工法適用於各種流速及沖蝕情況之溪流河岸，尤其於緊急處理或有時效性之工程，由於其預組性及重覆性高，施工迅速簡易。於緩坡度之河岸，具有較寬廣之河岸腹地時更具有實用性。河岸區之土層有不均勻沉陷或地震顧慮時，可運用其柔性結構的本質以抵抗可

能的大變形量。

十四、箱籠潛壩

適用於流速大，沖蝕嚴重之河段，為全斷面透過性壩體，雖然透水性高，但對於特定粒徑之土石仍有繫留之功能。屬於柔性結構，抗震力佳，對壩體不均勻沉陷之自我調整性佳。依據過去經驗，壩體可達相當之高度($H>10m$)。表面粗糙化、材料自然化，及透水化為本工法之生態考量。（如圖9所示）



圖9 箱籠潛壩

十五、鋼筋混凝土格籠潛壩

本工法採用混凝土格籠堆疊方式施作並以石材填充，重覆性高施工迅速。內部多孔隙為完全透水結構。上下游面複式格籠設計除可增加壩體之整體勁度、調緩高速水流外，亦適合提供動物魚類所需之棲息場所。（如圖10所示）

十六、蛇籠潛壩

（一）單式堆疊蛇籠潛壩

本工法施工簡單迅速，利於緊急處理工程之使用。屬於柔性結構，河道區之土層若有不均勻沉陷，或大量沉陷之顧慮時可運用其柔性結構的本質以抵抗



圖10 鋼筋混凝土格龍潛堤

大變形。本工法之透水性佳允許水流通過仍可繫留特定粒徑之土石，於流速低之河道，其多孔性提供大量動物棲息所需之空間。表面相當粗糙化，對於高流速或沖蝕嚴重之河道於壩體上、下游面採用適當之斜度可達有效的消能作用。

(二) 複式堆疊蛇籠潛堤

蛇籠施工簡單迅速，利於緊急處理工程之使用。屬於柔性結構，河道區之土層若有不均勻沉陷，或大量沉陷之顯慮時可運用其柔性結構的本質以抵抗大變形。本工法之透水性佳允許水流通過但可繫留特定粒徑之土石，於流速低之河道，其多孔性提供大量動物棲息所需之空間。表面相當粗糙化，對於高流速或沖蝕嚴重之河道於壩體上、下游面採用適當之斜度可達有效的消能作用。

(三) 拋石固床工

本工法主要目的為防止河床被河水掏刷，穩定坑溝，防止流心偏離，使河道保持固定，降低河水的流速，採用拋石可使完工後具有自然的景觀。本工法施工快速，較適合於低流速、常流水位

低之小溪。

(四) 階梯式混凝土鋪石固床工

本工法主要目的在防止河床被河水掏刷，穩定坑溝，防止流心偏離，使河道保持固定，降低河水的流速。採用鋪石可使完工後具有自然的景觀。因本工法使用混凝土蓆墊固定鋪石，適用於河流流速較大的地方，對於河水則有消能效果，並且可以調整河道之坡降。另外本法亦適用於有基座之護岸，連接河道兩岸基座使其成為本工法基礎之一部份。（如圖11~13所示）

十九、階梯型卵石及踏步式固床工

本工法主要目的為防止河床被河

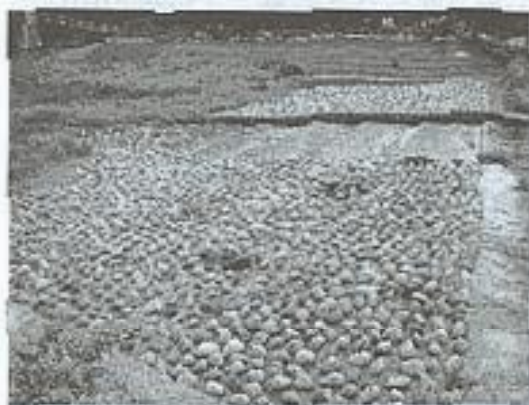


圖11 階梯式混凝土鋪石固床工1



圖12 階梯式混凝土鋪石固床工2



圖13 階梯式混凝土鋪石固床工3



圖14 箱籠鋪石固床工

水掏刷，穩定坑溝，防止流心偏離，使河道保持固定，降低河水的流速。採用炭石可使完工後具有自然的景觀，並且可以配合兩岸的親水設施設計，因此其親水性佳。採用階梯式設計，對於河水則有消能效果，可以保護下游面之結構物，並調整河道之坡降。

二十、箱籠鋪石固床工

本工法適用於降低河水流速，減緩河床淘刷及穩定流心。採用現地塊石並配合箱籠鋪設可使完工表面具有自然的景觀。因本工法使用箱籠固定鋪石，施工簡易迅速，適用於須緊急施作之河道，亦可以作為臨時性低矮潛壩體之護坦工，以防止下游面河床冲刷造成壩趾破壞。（如圖14所示）

結 論

台灣山坡面積佔總面積百分之73，此生存環境之開發利用及保育，勢須兼顧生產、生活及生態，在總體經濟及土地綜合開發考量下，合理而制度化調整

目前現有資源之使用方式，以改善資源之低度使用及低收益現象，以減輕其沉重負擔，進而解決水土保持資源取得不易或成本過高之困境，資源之轉用應適時調整，以科技之實力及經驗，改變現有產業之面貌，更應對水土保持新技術及對坡地資源重新認識，且為維護生態環境及平衡成長之產業結構調整，謀求其安定與繁榮，在在均需依賴創新與突破，因此今後水土保持之試驗研究與技術發展方向及目標，將扮演關鍵性角色。

水土保持工作不論在山坡地、農地或非農地的開發，均是積極且不可或缺的任務，其目的不但在力求災害的抑止與確保水土資源的永續利用，同時更是維護自然環境與改善生產環境的必要手段。展望未來之水土保持工作，更應積極主動推及為各產業發展的安全保障，降低治山防災所付出的社會成本，維護綠色資源，提升國民的生活品質，帶給社會嶄新的風貌。

