

目前的須沢砂防工程的全貌

## 陸、生態工法與綠美化

### 一、台灣之山坡地災害造成因素

台灣位於歐亞板塊和菲律賓板塊之交界，由於板塊互相擠壓作用，使得台灣地盤上升速度很快，由於地形上升快，溪谷下切之速度亦變快，坡度就變得很陡，加上雨量及地震多，這些因素組合起來，使得台灣島由於自然因素造成之山崩很多。又由於台灣三分之二地區是山區，人口密度又大，只好向山區發展，山區過度開發之結果，也使得山坡變得很不穩定，因此台灣地區由於人為因素造成之山崩也不少。先天條件不佳加上人為不當調配，使得台灣變成一個幾乎年年有大型山崩及土石流之地區，也使得山崩及土石流變成台灣居民的夢魘。

山坡地之邊坡常因受到自然界之重力、降水、風力、地震力作用而產生滑動、崩壞、落石等現象；如1996年賀伯颱風造成眾多土石流的發生，以及1999年921集集大地震時，在中部地區造成公路邊坡崩塌以及草嶺、九份二山之大滑動等。同時邊坡也因本身之地質種類、地質構造、地形、地下水等條件較為特殊而具有較高之破壞潛能，惟這些自然因素造成邊坡之破壞較具周期性，發生的頻率亦較低，可視為在自然地形輪迴中的必然現象。

一般的自然災害中，其發生包含了地質因素者，通稱為「土砂災害」，包括：地表土壤沖蝕、崩塌、地滑、土石流、河川淘刷與堆積等。其發生之密度與規模，除了與降雨強度及雨量直接相關外，陡峭之坡地及地質脆弱地區尤易發生。另外，人為之開發利用，諸如：伐木、墾植、開路、採礦，及其他有關開發行為，加上不良的水土保持設施，則極易誘發坡地的土砂災害。臺灣的坡地，尤其以中高海拔地區，雨量充沛、地形陡峭且地質脆弱，因此崩塌、地滑等災害頻仍，應屬自然現象；然其因人為之不當開發或水土保持設施不良，誘使災害之發生，災情加劇。

土石流災害之發生，乃因泥、砂、礫及巨石等地質材料與水之混合物受重力作用後產生流動所造成之災害。其發生包括了三個要件：（1）充足的水量（2）足夠的土方（3）有效的河床坡度。充足的水量通常源自降雨強度與累積雨量，而有效的河床坡度則因地而異；臺灣地區之土石流，以河床坡度10度、集水面積10公頃以上地區較易於發生。而集水面積即意謂著水量的大小與流速的快慢；其中，足夠的土方所指的乃是河流上游河谷中堆積物的量，而河流上游之堆積物來源除了地表土壤沖蝕所殘留於河谷中者外，其最主要之來源乃為河流上游邊坡土石因崩塌或地滑而堆積於河谷中者。崩塌或地滑乃指河谷邊坡之岩層因重力加上氣候因素（如暴雨），而產生崩落或滑落之現

象。

土石流之發生，除了降雨的因素外，與地質環境有相當的關係；臺灣處於非常不安定的地質環境中，山高水急加上各項地質活動頻仍，使得自然的地質災害，如崩塌、落石等時以常見，土石流災害發生所需之土方供給不缺，亦為臺灣土石流災害頻繁的原因之一。

## 二、日本之山坡地災害防治（野溪整治）之探討

日本之山坡地災害防治一直以「安全有效」為優先考量，有關「野溪整治工程」係源於「治山管理」，以溪流整治工程為主；以土砂災害之控制，因為混凝土之應用觀念及技術層次之限制，未能積極且整體性採取防止土砂災害措施，且其計畫對象、規模與目標，均以抑制土砂大量移動造成的災害為主；對於小規模之危害，以及溪流環境之影響，大多疏於關心。由於整治工法之人工構造物規模較小，多利用天然石頭或雜木材料等，致河川流域聚落居民，一直承受某一程度的區域土砂災害。

混凝土普遍使用之後，工程設施規模增大，對環境少受到衝擊而或偶發土砂災害且危險度高的地方，已有住民以及土地利用；因此要求完全防止土砂災害之發生，而要求設計功能至上觀念的構造物。近年來，社會人士關心

環境保育問題，始努力探討災害防止暨生態系保育兩全其美之道。不論行政單位或現場技術人員對生物多樣性保育之必要性、重要性都有所認知，並針對問題的癥結研討對策，逐漸反映在工程設計上。惟過去的做法似乎著重在保護特定貴重物種，而忽略了「生物群集的保育」的思維。考慮生態工法之野溪整治，勢必增加用地費及工程費，雖然它不是推廣生態工法決定性的限制因素，但環境整治之需求面，以及如何因應的相關技術仍無規範可茲遵循，致現場技術人員設計超越目前標準設計圖之構造物時，仍常受各界之批評與質疑，致常躊躇不前，可說是目前的處境。野溪整治工程通常以最低成本建造免維護的設施，其保育對象侷限於人類思維下所進行的地區事業延續發展。結果隨著防砂工程構造物的施工，溪流周邊的生態環境大受影響而改變，導致生物多樣性急劇喪失。所引起之環境問題有：

- (一) 棲地連續性破壞（縱斷、橫斷）。
- (二) 抑制棲地空間之開放。
- (三) 抑制棲地自然動態平衡機制。
- (四) 環境單調化。
- (五) 施工時急劇改變環境以及清除既有生態系。

### 三、日本（野溪整治）生態環境之改善方案

近來由於生態保育意識高張；日本野溪整治時考慮生態環境之可行方案如下：

#### （一）土砂區域植生帶建立

為確保土砂堆積區域(或局部土砂游動區)之空間，在其區域內植樹，可促進土砂的淤積，荒廢地可迅速恢復環境保健機能。如流路部分的計畫斷面過大時，橫斷面方向的分割性較顯著，土砂游動區域發揮機能的機率就小，特別在有坡面保護工(含植生工程)之地區。植栽樹種可考慮採用周遭的本地種植生。

#### （二）透水型防砂構造物

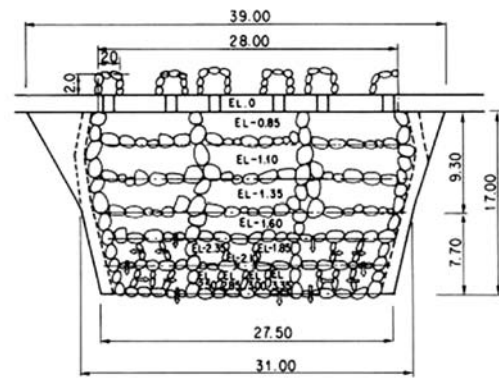
在土砂災害規模較大之地區，可考慮孔隙型或透水型防災構造物，可不妨礙平時或中小流量水時之土砂移動。落差部位亦可施設魚道，無阻斷縱斷方向之慮。但孔隙之大小通常需詳細規劃設計，孔隙寬度縮小可確實地發揮調節效果，但易遭受巨石阻塞，需維護管理之頻度較高。

#### （三）全面階段式水墊

階段式水墊，可消除固床工落差之問題，平時就保持某一程度之水量、高差不大的落差工，可施設池式(Pool)或全面階段式水墊而獲得改善。如河道寬闊，該項工程費增加，不得已只能施設部分時，以容易被水棲生物找到及利用之上溯口為優先。



階段式水墊

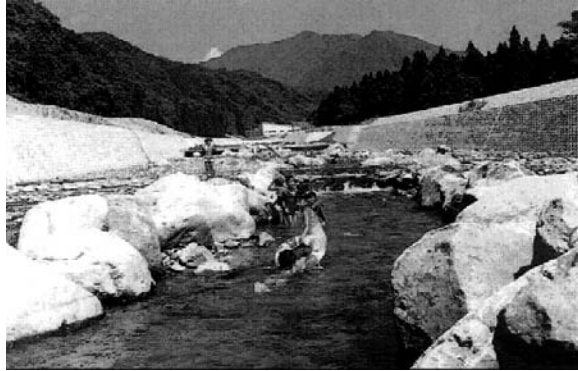


階段式水墊設例計

#### (四)以巨石構成低水路

如防砂設施或有堤防保護河道之流況變化很大時，為了因應較大規模之出水量，流路設計應寬闊，然而水量較少之時期長，要確保某一水深有困難。因此蜿蜒排列巨石，營造有利魚類棲息的低水路空間。有時小流量可能造成細顆粒土砂淤塞河道，若淤積土砂的粒徑不大，平時的水量可把淤積沖走而恢復。

就流路整體而言，若開放區間大，橫斷方向的分割性強時，可檢討考慮引進植生。



巨石構成低水路

#### (五)以基岩保存「淺灘」及「深淵」

整流工程施設之際，充分應用河床岩盤露出部分，營造「淺灘」及「深淵」，消除流路的單調，添加多樣性變化。整流工程本身也需考慮到空間的平衡且保有三階段的斷面（低水流路、主流河道及高水位等）。

適度配置形成砂礫洲的寬闊腹地，可緩和橫斷方向的分割性。如能確保兩側高的樹木則成蔭效果更佳。



利用基岩保存淺灘



### (六) 河岸林的保育

為防止不穩定土砂的再次移動而施設帶工時，為避免影響需要有適度湛水河岸林（柳樹類）之棲地環境，避免設置固定水流路徑，帶工可用無翼(袖)構造，其頂端高度需相當於現有河床之高度。



河岸林之保育

### (七) 使用砌石或空心磚等代用石塊的整流工

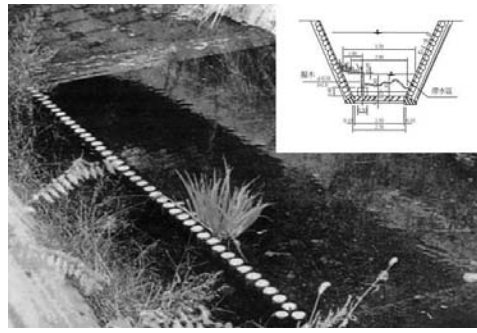
在螢火蟲棲生地施設流路工，採用空心磚構築護岸。施工後經數年自空心磚長出植物，螢火蟲數目顯著增加。如果整流工的寬度被束縮成單一斷面，河床堆積物常是粒徑粗大的礫石。需在流路之適當部位加設寬闊的腹地可讓其沈積。

### (八) 整流工程中施設植生槽

因用地限制，在三面內襯混凝土之整流工，以適當的間隔施設植生槽，可確保了蜻蜓、澤蟹及幼小魚類等的棲息環境，部分區段能保有天然空間對生物多樣性保育是有益無害的。



植生槽



植生槽近照

#### 四、日本坡地整治綠化工程介紹

##### (一)日本的綠化工法歷史：

日本1955年左右坡地綠化工程即針對惡地荒山整治綠化開始發展，1960開始以大規模的高速道路、鐵路、住宅區之建設等為目標對廣大的人造邊坡進行迅速的植生綠化，其綠化觀念與工法的演進方式為：

- 1、1955年左右：以坡面侵蝕的防止為主，以植草為主要手段的快速綠化工程。
- 2、1965年左右：強調以環境保護的技術及自然景觀復原的原則進行綠化。
- 3、現階段：綠化工程全面考慮環境保護問題，包括考慮地球溫暖化，沙漠化、熱帶雨林減少的问题。

## (二)日本治山防洪及水土保持之綠化工程

山坡地綠化工程之體系爲了防止荒廢裸露山坡之侵蝕，先以植生植被方式及各類水保工程提昇自然景觀及人類生活場所好保全保持，最終目標是高機能的森林植生的達成。

### 1、山坡綠化工程：

(1)山坡綠化基礎工程：植物生育環境之整備。

- A、生育基質之安定的各類工程。
- B、生育基礎環境之造成與改善的各類工程。
- C、減緩氣象條件衝擊的各類工程。

(2)植生工程：植物之植栽

- A、以植物種子植生之各種工程。
- B、直接植栽之各種工程。
- C、促使自然植生生長之各種工程。

(3)植生景觀工程：植生地區之維持與保護。

- A、儘早達到植生目標之管理工程。
- B、植生地區之維持保護工程。
- C、植物地區危害防止及危害恢復工程。

水土保持事業：於山坡荒廢地土木工程工地導入植生工程，以植生來保護水源及防止水土流失。

治山事業：以植生造林，形成森林爲基本，來涵養水源、保護國土。

(4)工程工地：

- A、關於崩塌地等難以自然恢復之山坡整地之復舊計畫：對於有擴大崩塌之虞的山坡地，土木工程進行時應以穩定邊坡為首要，其次以植生的手段防止地表的風化與侵蝕。崩塌地往往有破碎地與土質鬆散地之存在是首先要確認的。
- B、關於光禿特殊地質等難以自然復原地段之復舊計畫：地區形成光禿地之前其植被植物之種類可以推測到，因此進行土木工程設計時對初期植物生長必須的表土固定，土壤改良、地表排水等須做好，再以植生來達到工程的效果。

## 2、綠化基礎工程：

穩定人工斜坡之堆積土，同時施行排水溝路之設計施工，以防止雨水之侵蝕，同時將工程地區以將來使成為林區之考量來進行基礎工程施作。

- (1)攔砂壩：通常以小規模的堰堤（攔砂壩）做為綠化工程的基礎，在侵蝕規模較大的場所或是崩塌地則以其他工法施作。
- (2)坡面整理：為緩和山坡不穩定之土層，施行坡面整理。
- (3)擋土牆：做為自然邊坡或人工邊坡之穩定保護，以及做為排水溝渠之基礎。
- (4)排水工程：排水工程可防止雨水之沖蝕，工程原

則是達到能收集地表水再安全地排至外部。

(5)階段工程（階梯式工程）

3、植生工程：於工地直接導入植物植生的綠化工法。

(1)山坡工程：打樁編柵工程、植苗工程。

(2)掛網工程：於表層土質鬆動的場所施作掛網工程  
做為植生基礎。

(3)播種工程：於山坡直接播種草木種子。

(4)植生基礎工程：在表土較薄，斜度大之邊坡該工  
程可使綠化較快達成。

(5)植栽工程：木本苗木直接種植。

(6)等高線梯田工程。

(7)岩盤綠化工程。

(8)飛機噴灑綠化工程。

(9)以噴灑、吹送種子綠化工程。

4、山坡斜面補強工程：無法靠植生防止崩塌之情況下，  
以水泥鋼筋工程減緩山坡之崩壞的工法。

(三)山坡工程各種工法的選定：

1、山坡基礎工程：攔砂壩工程→擋土牆→斜坡  
工程→排水工程→暗渠工程→道路維護工程→山  
坡綠化工程

2、山坡綠化工程：山坡基礎工程→掛網工程→播種工程→植栽工程→山坡工程安全監測管理。

3、山坡基礎工程→山坡地安全監測管理。

(四) 山坡傾斜面之綠化：

1、傾斜面之分類：削切傾斜面、堆土傾斜面、堤面、斜面坡上緣、斜面坡下緣。

2、斜面坡斜度、削土斜面之斜度

斜面坡斜度是由堆積土多少而形成，急傾斜之坡面，崩塌之可能性愈高。

斜面坡堤防、堰堤，其比例以【1：1】或【1：0.8】來表示。

斜面坡斜度之決定由考量構造物、地質、施工方式等因素來決定。

3、斜坡維護工程基本考慮方式與種類

斜面保護工程：爲了防止斜坡的侵蝕或風化，以植生或坡面復蓋物來維護，另外輔以排水溝、擋土牆等工程。

由於削切或堆土面形成之斜坡，隨時間之經過，受到風化，透蝕水滲透等的影響，而導致不安定，因此迅速確定的進行邊坡穩定是最重要的。

(1)邊坡穩定性之確保：對水所造成的影響應確實評

估。

- (2) 與環境之協調：要考慮到週邊環境或景觀之調和。
- (3) 永續性之確保：要考慮到使用之材料，施工方式及施工時期的影響。
- (4) 維護管理之簡便性：儘量考量到維護管理上之簡便及有效性。

#### 4、以植生保護邊坡之工程：

##### (1) 綠化工程之流程：

預先調查→基本調查→綠化目標→綠化工程（植生基礎邊坡區之整備）→植生工程施作→維護管理及安全監測

爲了防止邊坡之侵蝕，使用能儘速成長的植物種類，但能拿到大量種子的植物幾乎全是外國（外來）的植物。

##### (2) 植生工程的種類：

- A、噴灑種子之綠化工程。
- B、植生蓆墊工程，植生網工程。
- C、鋪草坡植生工法。
- D、植生盤工法，植生袋工程。
- E、植生條植栽工法。
- F、植生穴工法（穴植管工法）。

G、岩盤綠化工法。

H、植生架工法。

I、植樹工法。

(3)植生保護邊坡之植物種類：

一般以播種方式的草本類3~6月為夏草型，9~10月的為冬草型，木本植物以在3~6月期間最適當植栽。

5、以構造物保護邊坡的工法

(1)噴灑砂漿工法。

(2)噴灑水泥工法。

(3)砌塊鋪面工法、砌塊堆積工法。

(4)邊坡鑲板工法。

(5)落石防止工法。

(6)擁壁工法。

(7)地錨工法。

(8)蛇籠工法。

(9)井字工法。





打樁編柵施工情形1



打樁編柵施工情形2



緩和山坡不穩定之土層，施行坡面整理施工情形



工程施作時盡量維持當地環境