著作權聲明

使用者下載之水土保持手冊電子檔內容，僅供個人、非商業用途之使用。使用時請明示其出處，並應遵守著作權法所有相關規定，除著作權法第六十五條所規定之合理使用範圍外，不可變更、發行、播送、轉賣、重製、改作、散布、表演、展示或利用其內容賺取利益。

水 土 保 持 手 冊

行政院農業委員會水土保持局
中 華 水 土 保 持 學 會 編印

中華民國九十四年十一月

序

「水土保持手冊」在實務上廣為產、官、學各界所應用；為使水土保持技術精益求精、與時俱進，並配合 92 年 8 月 15 日水土保持技術規範修正，本會水土保持局於 93 年度委託中華水土保持學會辦理水土保持手冊修正。

本次修正經通盤檢討「總論篇」、「坡地保育篇」、「植生方法篇」、「工程方法篇」及「生態工法篇」等五篇，邀請相關學者專家進行研修，大幅充實相關內容，益增實用價值。

本會水土保持局與中華水土保持學會通力合作，集合水土保持界先進鼎力提供學術理論與實務經驗，圓滿完成本次水土保持手冊修正，建立水土保持技術標準，亦為國土保育奠定磐石，個人殊表敬佩。適值手冊修正版付梓之際，謹綴數語為序，併以表彰勗勉相關人員之卓著貢獻。

行政院農業委員會

主　任　委　員



謹識

中華民國 94 年 11 月

序

本會自民國 64 年起，在行政院農業委員會（前身農復會）協助下，與該會水土保持局（前台灣省農林廳山地農牧局），編訂水土保持手冊，作為推動水土保持實務之依據；嗣 2 次增訂，但仍止於「農地水土保持」範疇；至民國 73 年，因應當時之需求，另增訂「工程篇」；民國 79 年，再籌組「水土保持手冊編審委員會」研修水土保持手冊，於民國 81 年修正完成，除將原有之「農地篇」與「工程篇」外，再增列「植生篇」，沿用至今。

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

水土保持手冊之修正及編印，各界至為期待，所參與之學者專家均學有專精，且在百忙中抽空鼎力相助，並提供相關之試驗成果與研究心得，又承行政院農業委員會水土保持局提供實務經驗與需求，方能使理論與實務兼籌並顧，手冊修正工作圓滿完成，謹致萬分謝忱。

中華水土保持學會

理　　事　　長　吳煒龍　謹識

中華民國 94 年 11 月

水土保持手冊編審委員會

總　召　集　人：吳輝龍

顧　　問：游繁結

審　查　委　員：吳輝龍　吳約西

李德河　林美聆

張三郎　張石角

郭一羽　陳文福

陳宏宇　陳信雄

陳榮河　湯曉虞

黃宏斌　黃裕星

詹錢登　趙國昭

鄭皆達　賴典章

賴建興　鍾弘遠

顏仁德

總　論　篇

編　撰　委　員：游繁結

坡地保育篇

編　撰　委　員：林俐玲(召集人)

吳久雄　吳正雄

李錦育　柯燦堂

張新民　張賢明

曹明豐　曹舜評

陳有著　陳榮俊

陳憲開　黃俊銘

黃國禎　黃國鋒

楊宗正　劉鑑明

蔡銖華　鄭泰山

鄭鑑鏘　盧光輝

顏秀峰

秘　　書：施美琴

工 程 方 法 篇

編 撰 委 員 ： 段錦浩(召集人)

丁振章　　王幸隆
王晉倫　　吳家勝
吳嘉俊　　李木青
李鎮洋　　周天穎
林炳森　　林裕益
施東榮　　施彰樹
范正成　　徐景文
徐森彥　　張益通
張博雄　　許中立
連惠邦　　陳紫娥
陳樹群　　傅桂霖
馮正一　　葉　健
葉昭憲　　劉正川
蔡登茂　　蔡豐明
謝平城　　謝金德
蘇苗彬

秘 書 ： 陳重光

植 生 方 法 篇

編 撰 委 員 ： 林昭遠(召集人)

李　鏐　　李榮珍
李耀旭　　周文杰
林文賜　　林長立
邱創益　　張文章
張俊彥　　陳明義
陳美珍　　陸象豫
曾美冠　　黃隆明
謝杉舟

秘 書 ： 陳明賢

生 態 工 法 篇

編 撰 委 員 ： 林信輝(召集人)

王傳益	吳建興
李永祿	李明儒
李訓煌	汪靜明
林德貴	林鎮洋
孫明德	莊志宏
郭一羽	郭金泉
曾晴賢	黃振全
董金進	詹連昌
鄒宗儒	鄭光炎

秘 書 ： 蔡志偉

（以姓氏筆劃為序）

總論篇

目錄

1.1 水土保持之意義與目的(Implication and purposes of Soil and Water Conservation) 總-1
1.2 水土保持之內容(Contents of Soil and Water Conservation) 總-3
1.3 水土保持方法(Practices of Soil and Water Conservation).... 總-5
1.4 台灣水土保持工作之範圍(Scopes of Soil and Water Conservation in Taiwan)..... 總-7

1.1 水土保持之意義與目的

地球上之所以有生物存在，主要是地球上存在許多可供生物生存所必要的資源，尤其以人為本位之生態系統中，人類之各種土地開發行為均在於尋求食、衣、住、行之滿足與方便，而不斷從地球上之自然資源加以獵取，此可由人類從早期利用土地開墾獲取糧食之需求以來，即使至現代已進步到所謂之文明社會，人類仍然必須依賴土地來生產最基本之糧食作物，以及其他延申之開發行為，以維持人類文明之進步與發展，因此土地為地球上人類生存之唯一空間，自不為過。

然而並非所有地球上的土地均可供無限開發利用，仍有其條件之限制，其中以關係再生資源營造環境所需的土壤乃是限制土地資源能否永續利用之另一項重要自然資源，此因土壤的生成需歷時極長且久，以現存地球陸地上的土壤可說係歷經 46 億年的生成物，亦是其殘存物，其存在不論在質或量上均相當有限，若受風吹雨打與水流之沖蝕，將不斷流失，其不論是在量之減少與質之劣化，均將影響農作物的生長與產量之減少。雖目前之科技，人類已可以製造化學肥料，以補充流失的肥力，但卻無法製造大量的土壤，因此，與其任由土壤受自然沖蝕或人為掠奪式開發而造成土壤的流失，以至於無法恢復地力，則對土壤的保育當更具積極性意義。同時，土壤的流失亦代表土地在流失，其所引發的問題乃涉及生死存亡之關鍵，須知當今許多國際上之政治問題或外交問題，乃至於內政問題，無不與土地爭奪有關，畢竟土地是人類生存的基地，土地之減少或消失乃代表一個國家或地區在漸趨沒落或衰亡，因此，一部人類的文明歷史可說是一部土地的開發史。

此外，土壤除了提供農作物、植物或其它生物生長或棲息空間以外，亦是水資源在陸地上涵養之空間。深厚土壤的存在，將有助於水資源之蓄留，並得以控制土壤水份，而發揮水資源的調蓄功能，使水資源供應獲得保障。亦即水資源生成因受限於降水時空分布的限制，因此若能利用土壤乃至於陸地地形之構造特性，將多餘雨水予以儲留在地下，當能適時利用此一預存之水資源，以維繫人類生活需求與各種產業發展。因此水資源之保育首重土壤之保育。

而水土保持的理念乃是人類在開發利用土地之同時，基於維繫生產之永續，深知水、土資源之有限性，而必須加以保護、培育所獲致的共識。換言之，水土保持之意義即是以蓄水、保土為目標，在土地開發利用之同時確保水、土資源之

安定，進而培育水、土資源之充實與涵蓄，以防止水、土災害發生，或降低水、土災害規模，並維持土地永續利用與維護環境安定。

在人口對土地開發壓力還不大嚴重的時期，平地或已足夠供應各種產業開發利用，因此水土流失或土壤劣化等問題當不太嚴重，可能無水土保持需要的急迫性，故無所謂之水土保持問題。但隨著人口日增，土地需求迫切，當平地已不敷供給使用時，首先面臨急需解決的產業發展，即為農業開發問題。因此，為解決農地不足，農業發展即延伸至自然環境較為不利的邊際土地。所謂邊際土地即指坡度較陡，土層瘠薄，土壤流失嚴重的土地；或是沙漠、沙灘、風勢強勁等邊際效益較低的土地。而早期的水土保持理念即以邊際土地之農業生產為對象，考慮保土、保肥、蓄水之配合措施，因此，水土保持措施之重點，乃以提高土地之農業生產力為主。但隨著人口增加所產生的糧食問題以外，居住空間之不足、休閒遊憩之需求、生活品質之提升等問題乃接踵而來，因此，山坡地大面積之非農業開發利用乃日益頻繁，而其所延伸的水土保持問題亦更趨複雜，尤以山坡地大面積開發所造成之各種土砂災害，不論在規模上或是在頻率方面均大且多，使得水土保持的考量從單純的增進土壤肥力與提高農業生產力及蓄水防沖以調節水資源與防止土壤流失等目的，演進至水土災害防止及生活環境品質與安全水準提升等更廣泛的目標。

水土保持雖然隨著時代背景之需求不同，而有不同之理念或目標，但對人類為求生存與生命之維繫，水土保持的最終目的無非是在保護地球上人類賴以生存的這片有限陸地資源，並使這些資源得以適時適地發揮最大之利用效果。

1.2 水土保持之內容

水土保持的主要對象為水資源與土壤資源的保育，但因水土資源分布面極廣，故水土資源之利用型態與方式頗有差別，因此為便於水土保持處理之系統性推動與管理之有效性進行，可將水土保持的工作內容界定如下：

1. 合理之土地利用

由於土地受自然地形之限制，有的土地位於平坦地形，亦有位於陡峻坡地之情形，而平坦土地當無水土流失之虞，相對於陡急坡地即會因降雨或自然重力的作用，而造成嚴重水土流失情形，雖然水土保持工作原即針對此等水土流失嚴重的土地進行保育措施，但以目前之技術，欲達到水土流失之完全控制，可能並不容易，或是須投入極多財力、物力才可勉強達成。因此，基於經濟與安全之考量，理應依土地的自然環境條件，予以適當分級，並就各級土地之容許開發特性作合理之開發利用，以便在人為能力範圍內達成水土資源保育與永續利用的效果。

因此水土保持工作的前題即在合理土地開發利用範疇內進行各項保育措施，至於超過土地所能負荷以上的開發利用，即所謂之土地超限利用，即使進行水土保持措施，其水土保育效果相當有限，因此必須予以限制開發使用，或完全禁止該等開發行為。

2. 農地生產環境之改善

山坡地的農業開發主要在從事作物或果樹等農業生產活動，由於農業耕作不論短期或長期栽培，土壤耕犁、翻土均為必要工作，因此翻鬆的土壤極易遭雨水或地表逕流沖蝕而流失，土壤肥料亦然。因此，山坡地農地水土保持乃在控制土壤沖蝕以收保土、保肥之效，並營造生產環境之安定與安全，以維持土地永續生產與提高生產力。

3. 水土災害之防治

山坡地因地形之特殊性，降雨所產生的地表逕流或地下逕流容易順斜面流下，而且山坡地土壤本身即處於容易向下運動之不穩定狀態，因此，豪雨之際，大量逕流水容易集中而形成洪水或引動坡面上不穩定土體大規模向下坡運動，即釀成水土災害，輕者衝毀田園、房舍，重者掩埋人命，

造成生命財產重大損失。因此，在山坡地地形與地質條件惡劣的環境中，水土災害的預防與治理，乃為避免災害擴大或避免災害發生的重點工作。

4. 集水區之綜合治理

集水區是依地形特性以溪流或河道為中心沿嶺線所環繞的地形單元，由於一個集水區內可能涵蓋各種土地利用類型，更可能有人口聚集與大量公共設施之存在，而集水區更是降雨最終集中流出之所在，因此為避免每個集水區內的社區群落遭受水土災害影響，甚至為使集水區的社會環境能獨立生存與發展，當必須考慮集水區內的水源供應無缺，且遭受災害破壞最小甚至無災害發生，因此必須綜合考量集水區社會人文背景與自然環境特性，而採取多樣化的水土保持工作。因此，集水區綜合治理即包括水源涵養、溪流整治、坡面防沖與土砂災害防治等重點工作。

5. 風蝕防治與沙漠綠化

在風勢強勁且季風盛行的地區，由於長期之強風吹襲，可將表土逐漸風蝕以去，致使表土逐漸減少，土壤變成瘠薄，甚至砂粒長期堆積而逐漸砂漠化，不利於土地利用甚或造成居住環境惡化。因此，在風勢強勁或沙地分布範圍廣大的地區，控制風速與風向的措施及導入植物覆蓋的工作，即為防風定砂的目標，期使表土免受風蝕剝去，並使地表營造一較安定的氣象條件，有利於植生入侵、安定與繁延，進而改變沙漠環境成為蒼鬱之綠色景觀。

6. 生態平衡之維持

各種土地開發利用的同時，為達到水土資源保育目的，可能必須改變不利的地形條件，更可能進行大規模的工程興建，但在從事此等工作的同時，相對的可能會對原有環境造成衝擊，進而破壞生態平衡，並造成環境無法恢復的情形，因此，在進行水土資源保育的各項行為時，必須同時考量對生態系的最小衝擊，與可能對維持生態平衡的必要配合措施，以免顧此失彼，而失去水土保持的真諦。是以在生態保護意識日益被重視之當下，水土保持工作與生態平衡維護的配合，乃是必然趨勢，亦為必須堅持的原則。

1.3 水土保持方法

水土保持措施係依土地特性與環境限制，採取適當的水土保持方法予以配合，因此在不同的利用目標下，而有各種不同的工作項目與範疇，以符合因地制宜，並發揮水土保持方法的最大效果。

水土保持方法係依據農學與工學的基礎理論，並配合土地利用與環境特性所發展出來的水土資源保育技術，主要是藉著自然材料的特性與人為技術的配合，從土壤改良與地形改造為出發點，開發出各種可行的方法。一般可分為農藝方法、植生方法與工程方法等三大類。

1. 農藝方法

水土保持農藝方法是為配合農藝作物或園藝作物的栽培而採用的方法，包括等高耕犁、等高栽植、等高條作等耕作方法。亦即在栽種主要作物時，以採取與等高線平行的耕作與栽植方式，使作物或犁溝等高平行橫列於坡面上，用以阻截沿坡面流下的地表逕流或流失的土壤，並可增加水分滲透，以達到水土保持目標。

農藝方法的施作，作物種類的選擇亦為一重要的項目，由於山坡地土壤裸露或經常翻犁均不利於土壤保育，因此選擇覆蓋率愈高的作物與非勤耕性的作物，方才適合於山坡地栽植。

2. 植生方法

植生方法是以草類、林木或枯枝落葉等殘株作為材料，栽植覆蓋於裸露地表上，以保護土壤避免受雨滴打擊或逕流沖蝕，並由此等植生材料提供有機質，以改良土壤物理性質，使土壤具有良好滲透性與含水能力，充分達到涵養水源功能與防止土壤流失的效果。

一般植生方法有採用植物活體的覆蓋方式，如地表種植草類、林木等，稱之為覆蓋；亦有用植物殘體的覆蓋方式，如稻草、割刈下來的草莖、枯枝落葉等的覆蓋，這種覆蓋方式稱之為敷蓋。

植生方法中的森林覆蓋為水土保持的最佳方法，因為森林樹冠的多層次分布可充分保護地面；而森林生長不斷產生的枯枝落葉，以及森林環境所形成的微氣候特性，對於土壤改善、水源涵養的功能，更是其他植生所無法替代。

為快速達到植生全面覆蓋的效果，植生方法可以採取各種噴植技術或人工植草帶、植草包，以及打樁或穩固基礎的工程等技術的配合；而對特殊地區，如泥岩地區、礦區、或陡坡地等不易使植生入侵的地區，可依其環境特性採行特殊的植生方法予以因應。

3. 工程方法

水土保持工程方法是指以機具與設施構造物以改變地形、抑制土砂運動或攔阻土砂，並有效阻滯水流、涵蓄水源的各種工法。水土保持工程方法是在農藝方法與植生方法均無法有效發揮水土保持功效，或無法以農藝方法與植生方法來施設以控制水土流失的情況下，所不得不採取的對策。

水土保持工程方法大致可分為流路工程與土方工程兩大類。流路工程主要在將坡面上流動的水流予以有效的截留、集流、引流，並安全的排放至適當的場所，以防止水流在坡面上或河道中引起土壤沖蝕，並適度攔阻上游所沖刷下來的土砂。其主要工程項目包括截水溝、跌水、洩槽、暗渠、排水溝等排水工程，與防砂壩、固床工、護岸、堤防等整流工程。至於土方工程則係包括合宜的整地技術及在抑制土體的運動，以防止崩塌、土石流等大規模的土砂災害，其內容包括擋土牆、護坡、打樁、挖填土方、防砂壩等工程。

另為防止風蝕所採用的工程方法則有防風籬（牆）、堆砂籬、防風土堤與砂面覆石等工程。

1.4 台灣水土保持工作之範圍

臺灣地區容易產生水土流失的場所，不外是山坡地與海岸兩大土地敏感區。山坡地因降雨導致水土流失，海岸則因風力造成風蝕，均有其自然環境的因素，同時在此等地區的土地利用方式與對水土資源要求的差異性，使得水土保持工作的推動，依需要的不同而有其不同的目標，故在臺灣地區水土保持工作的實施可分為坡地水土保持、集水區治理與海岸防風定砂等三大方向。

1. 坡地水土保持

坡地的開發依其土地利用需求，大致可分為農業生產，社區建築、遊憩開發等類型，但不論何種使用均可能因坡面的地形特性，而有土壤沖蝕甚或土砂災害之虞，因此在坡地從事土地開發利用時，最主要的水土保持工作乃在防止土壤沖蝕及抑制土砂災害的發生。

坡地的利用若從事農業生產，則為獲得產量的提升及土地的永續利用，其水土保持的工作在選取適當栽培的主作物以外，通常即以農藝方法的栽植方式配合植生方法將作物行株的裸露地予以覆蓋；至於排水設施則配合工程方法並於蝕溝嚴重地點施設蝕溝控制工程，以確保耕地的安全與生產環境的改善。

而社區、遊憩及其他非農業的土地開發，最常發生水土流失災害的階段，乃在整地時因大面積的開挖基地，而使坡面土壤裸露、挖填土方疏鬆，在豪雨下經常釀成崩塌、地滑、土石流等災害。因此整地階段的水土保持工作尤為重要，其水土保持處理通常以植生與工程方法配合施設，務使地面能完全受到保護控制。而開發整地後的各項建築工程及爾後的安全設施，亦需經常的加以維護，以避免意外災害的發生。

另外山坡地開設道路往往必須進行上、下邊坡的挖填行為，其連續性的截斷原來坡面，可能促使道路上下邊坡不穩定，而有崩塌、地滑的發生，其對水土保持的破壞至為嚴重，因此在坡地闢建道路除考慮路基的安定之外，其上下坡面全面性的安全排水、沖蝕控制與邊坡穩定乃為其水土保持工作的重點。

2. 集水區治理

坡面土地在開發作為各種目的使用而以水土保持設施予以整治後，並不代表山坡地即屬安全，因為其他土地雖未加以開發利用，但山地環境的脆弱性，自然崩塌、土壤流失等行為均隨時存在，因此有可能發生水土流失之處所幾乎無所不在，自無法以點狀控制此等水土流失的問題，為此以集水區的地形單元為對象，進行集水區整體治理工作乃為水土保持系統性設施的最基本工作。

所謂集水區即沿山嶺線圍繞而成一以溪谷為中心的集水區域，在集水區內的坡面有各種不同的土地利用方式，但沿坡面流動的水流乃至於入滲至地下的地下水流，最終將匯集於溪谷中的流路沿河溪流至湖、海。因此集水區整體治理的目的除了在山坡地依土地使用方式採取必要的水土保持處理以外，其重點在於將匯集於溪谷中的水流予以有效的控制，一則避免水流在集水區內造成溪谷淘刷，甚而導致崩塌、地滑、土石流等災害發生；再則將水流予以調整，避免豪雨時發生洪患、旱季時則缺水的不調合環境。

因之，集水區治理工作一方面在控制土砂不致於流出集水區外及防止土石流發生，而以整流工程、防砂工程等措施予以整治溪溝；另一方面為涵蓄水源、調節水量、減少土砂生產，而以造林、崩塌地或荒廢地復舊，及蓄水工程相互配合，以達到保土蓄水的水資源保育目標。

近年來，生態保育觀念意識日漸增高，集水區治理的工作除了在保土蓄水之外，更須配合野生動植物棲息環境的改善，而使許多整流工程與防砂工程的設計須作調整，以避免阻斷魚類迴游或破壞生物棲息環境。因此集水區治理工作目標更擴大至生態環境的改善，集水區治理配合生態工法理念的實施，將成為未來集水區治理工作的重要方向。

3. 海岸防風定砂

目前臺灣海岸地區除了澎湖等離島因地理位置特殊而較早開發利用之外，臺灣本島最近才開始利用抽砂造地在海岸地區大量闢建工業區或發電廠。而早期海岸風衝地帶多屬農業使用，基於經濟效益故對防風定砂所採取的對策，均因陋就簡的以竹籬充作防風或定砂的設施，但仍不失其防風定砂的效果。但隨著港區、工業區、發電廠在海岸地區的擴大設立，其保護對象的重要性亦大幅提高，而開始以較具規模的防風構造物予以施設保護，對於風力抑制與風蝕控制的功效大為提高。

而海岸防風定砂的工作，除了構築防風構造物與定砂設施之外，必須配合大面積防風林的營造，方能對海岸強風的氣候環境有所改善，亦才能對風蝕問題得到徹底解決，因此海岸防風林的營造工作乃為海岸防風定砂與氣候改善的最終目標。

坡地保育篇

目錄

一. 通論(Concepts and Principles)..... 坡-1-1

1.1 坡地保育(Slopeland Conservation) 坡-1-1

1.2 土壤沖蝕(Soil Erosion)..... 坡-1-3

1.3 土壤流失量之估算(Soil Loss Estimation) 坡-1-6

1.4 坡地水土保持方法及配置(Methods and Placements of Soil and Water Conservation Measures on Slope land)..... 坡-1-9

1.5 林地水土保持(Soil and Water Conservation for Forest).. 坡-1-10

1.6 分段截流(Water Diversion)..... 坡-1-12

1.7 覆蓋與敷蓋(Cover and Mulch)..... 坡-1-14

1.8 蝕溝處理(Gully Treatment) 坡-1-16

1.9 農路系統(Farm-Road System)..... 坡-1-18

二. 農地水土保持(Soil and Water Conservation Measures for Farmland) 坡-2-1

2.1 等高耕作(Contour Farming)..... 坡-2-1

2.2 山邊溝(Hillside Ditch) 坡-2-2

2.3 山邊溝植草(Grass planting on Hillside Ditches) 坡-2-7

2.4 平台階段(Bench Terraces)..... 坡-2-9

2.5 寬壟階段(Broad Based Terrace) 坡-2-14

2.6 台壁植草(Planting Grass on Rise) 坡-2-17

2.7 石牆法(Stone Walls)..... 坡-2-18

2.8 草帶法(Grass Barriers)..... 坡-2-20

2.9 覆蓋(Cover)..... 坡-2-22

2.10 敷蓋(Mulching) 坡-2-24

2.11 綠肥(Green Manure)..... 坡-2-25

2.12 坡地防風(Windbreak for Slopeland) 坡-2-26

2.13 農地沉砂池(Sedimentation Pond for Farmland) 坡-2-29

三. 蝕溝控制(Gully Control) 坡-3-1
3.1 蝕溝控制(Gully Control) 坡-3-1
四. 安全排水(Safety Drainage) 坡-4-1
4.1 截水溝(Diverse Ditch) 坡-4-1
4.2 草溝(Grassed Waterways) 坡-4-15
4.3 排水溝(Drainage Ditch) 坡-4-20
4.4 路面排水(Road Surface Drainage) 坡-4-31
4.5 小型涵管(Culvert) 坡-4-33
4.6 L 型側溝(L-type Side Ditch) 坡-4-36
4.7 過水路面(Cross Road Surface Drainage) 坡-4-38
4.8 跌水(Drop Structure) 坡-4-41
五. 坡地用水與灌溉(Water Use and Irrigation on Slopeland) 坡-5-1
5.1 水源設施(Water Source Facilities) 坡-5-1
5.2 抽水設施(Water Withdraw Facilities) 坡-5-3
5.3 輸配水設施(Water Transportation Pipe) 坡-5-12
5.4 農塘(Farming Pond) 坡-5-19
5.5 蓄水設施(Water Storage Facilities) 坡-5-21
六. 農路系統(Farm Road System) 坡-6-1
6.1 農路(Farm Road) 坡-6-1
6.2 園內道(Ringed Road) 坡-6-3
6.3 作業道(Working Road) 坡-6-5
6.4 步道(Footpath) 坡-6-7
七. 附錄(Appendix) 坡-7-1
7.1 土壤流失量之推估(Estimating of Soil Losses) 坡-7-1
7.2 山坡地土地可利用限度分類標準(Classification Standard for Slopeland Utilization Limitation) 坡-7-23
7.3 坡度百分比與度數對照表(Contrast Table for Percentage and Degree of Slope) 坡-7-26

表目錄

表 坡-1-1 九十二年度台灣地區土地面積統計表.....坡-1-1
表 坡-1-2 土壤沖蝕程度分級表.....坡-1-6
表 坡-2-1 山邊溝之坡度、溝距對照表.....坡-2-3
表 坡-3-1 溢洪口厚度參考值.....坡-3-15
表 坡-3-2 護坦厚度度參考值.....坡-3-15
表 坡-4-1 本省各區坡地逕流量估計表.....坡-4-2
表 坡-4-2 梯形斷面土築截水溝流量表(單位：m^3/sec).....坡-4-7
表 坡-4-3 曼寧粗糙係數 n 值.....坡-4-8
表 坡-4-4 最大安全流速(m/sec).....坡-4-12
表 坡-4-5 拋物線形斷面流量表(單位：m^3/sec).....坡-4-17
表 坡-4-6 梯形斷面混凝土砌塊石溝流量表(單位：m^3/sec).....坡-4-23
表 坡-4-7 梯形斷面乾砌塊石溝流量表(邊坡 1:0.3).....坡-4-24
表 坡-4-8 梯形斷面乾砌塊石溝流量表(邊坡 1:0.5).....坡-4-24
表 坡-4-9 砌磚溝流量表.....坡-4-25
表 坡-4-10 U 形預鑄溝流量表.....坡-4-26
表 坡-4-11 半圓形預鑄溝流量表.....坡-4-28
表 坡-4-12 涵管口徑、坡度與集水面積關係表.....坡-4-35
表 坡-5-1 抽水機型式與總揚程.....坡-5-4
表 坡-5-2 吸口口徑與吸水流量關係.....坡-5-4
表 坡-5-3 各種抽水機之速度比範圍.....坡-5-5
表 坡-5-4 抽水機效率(Np).....坡-5-5
表 坡-5-5 220V 二相馬達(30Hp 以下)資料表.....坡-5-8
表 坡-5-6 電容器之容量關係表.....坡-5-8
表 坡-5-7 單相馬達(1～5HP)資料表.....坡-5-9
表 坡-5-8 管內摩擦損失水頭計算圖表.....坡-5-15
表 坡-5-9 管內摩擦損失水頭計算圖表.....坡-5-16
表 坡-5-10 不同材質管線之 ks 及 c 係數值.....坡-5-17

表 坡-5-11 管溝之寬度及深度.....坡-5-18
表 坡-5-12 塑膠管最小插入長度.....坡-5-18
表 坡-5-13 塑膠管最小彎曲半徑.....坡-5-18
表 坡-6-1 平曲半徑與縱坡.....坡-6-2
表 坡-7-1 土壤結構參數.....坡-7-2
表 坡-7-2 土壤透性參數.....坡-7-2
表 坡-7-3 S 值之修正比(C_u : C_d).....坡-7-4
表 坡-7-4 S 值之修正比 (C_u、C_m、C_d).....坡-7-5
表 坡-7-5 C 值對照表.....坡-7-8
表 坡-7-6 冠層遮蔽遮蔽因子.....坡-7-9
表 坡-7-7 CS 值.....坡-7-10
表 坡-7-8 等高耕作之 P 值.....坡-7-11
表 坡-7-9 露天採掘之 P 值.....坡-7-11
表 坡-7-10 高填土坡之 P 值.....坡-7-12
表 坡-7-11 台灣各地之年降雨沖蝕指數.....坡-7-16
表 坡-7-12 台灣各地之土壤沖蝕指數.....坡-7-19
表 坡-7-13 波長與坡度 LS 值.....坡-7-22
表 坡-7-14 不同地被狀況之 C 值.....坡-7-22
表 坡-7-15 坡度分級表.....坡-7-23
表 坡-7-16 有效深度之分級表.....坡-7-23
表 坡-7-17 沖蝕程度級別表.....坡-7-23
表 坡-7-18 母岩性質類別表.....坡-7-24
表 坡-7-19 土地可利用限度類別表.....坡-7-24
表 坡-7-20 坡度百分比與度數對照.....坡-7-26

圖目錄

圖 坡-1-1 影響土壤沖蝕因子之關係圖.....坡-1-6
圖 坡-2-1 等高耕作示意圖.....坡-2-1
圖 坡-2-2 山邊溝斷面圖.....坡-2-3
圖 坡-2-3 山邊溝排水示意圖.....坡-2-5
圖 坡-2-4 山邊溝植草斷面圖.....坡-2-7
圖 坡-2-5 平台階段斷面圖.....坡-2-10
圖 坡-2-6 寬壟階段示意圖.....坡-2-14
圖 坡-2-7 階段犁成後之橫斷面圖.....坡-2-16
圖 坡-2-8 推土機構築寬壟階段方法.....坡-2-16
圖 坡-2-9 維持寬壟階段之耕犁方法.....坡-2-16
圖 坡-2-10 台壁植草示意圖.....坡-2-17
圖 坡-2-11 石牆法示意圖.....坡-2-18
圖 坡-2-12 草帶法示意圖.....坡-2-20
圖 坡-2-13 覆蓋作物示意圖.....坡-2-22
圖 坡-2-14 坡地防風示意圖.....坡-2-26
圖 坡-2-15 沉砂池示意圖.....坡-2-29
圖 坡-3-1 單籬壩示意圖.....坡-3-1
圖 坡-3-2 雙籬壩示意圖.....坡-3-2
圖 坡-3-3 樹枝壩示意圖.....坡-3-2
圖 坡-3-4 單排樁樹枝壩示意圖.....坡-3-3
圖 坡-3-5 土袋壩示意圖.....坡-3-4
圖 坡-3-6 堆石壩示意圖.....坡-3-4
圖 坡-3-7 鉛絲網壩示意圖.....坡-3-5
圖 坡-3-8 木格籠壩示意圖.....坡-3-6
圖 坡-3-9 木板壩示意圖.....坡-3-7
圖 坡-3-10 砌石壩示意圖.....坡-3-8
圖 坡-3-11 蛇籠壩示意圖.....坡-3-9

圖 坡-3-12 箱籠壩示意圖.....坡-3-10
圖 坡-3-13 預鑄混凝土板壩示意圖.....坡-3-10
圖 坡-3-14 連續壩示意圖.....坡-3-13
圖 坡-4-1 截水溝示意圖.....坡-4-1
圖 坡-4-2 梯形截水溝斷面積計算圖.....坡-4-9
圖 坡-4-3 梯形斷面截水潤邊長計算圖.....坡-4-10
圖 坡-4-4 矩形斷面截水溝水力半徑計算圖.....坡-4-11
圖 坡-4-5 截水溝流速計算圖.....坡-4-12
圖 坡-4-6 流量計算圖.....坡-4-13
圖 坡-4-7 草溝示意圖.....坡-4-15
圖 坡-4-8 拋物線形斷面草溝水力半徑計算圖.....坡-4-18
圖 坡-4-9 拋物線形斷面草溝流量計算.....坡-4-18
圖 坡-4-10 砌石溝示意圖.....坡-4-20
圖 坡-4-11 砌磚溝示意圖.....坡-4-21
圖 坡-4-12 混凝土溝示意圖.....坡-4-21
圖 坡-4-13 路面排水示意圖.....坡-4-31
圖 坡-4-14 小型涵管示意圖.....坡-4-33
圖 坡-4-15 L 型側溝示意圖.....坡-4-36
圖 坡-4-16 過水溝面示意圖.....坡-4-39
圖 坡-4-17 A 型跌水示意圖.....坡-4-41
圖 坡-4-18 B 型跌水示意圖.....坡-4-42
圖 坡-4-19 C 型跌水示意圖.....坡-4-42
圖 坡-4-20 D 型跌水示意圖.....坡-4-43
圖 坡-4-21 E 型跌水示意圖.....坡-4-43
圖 坡-5-1 水井式水源設施.....坡-5-1
圖 坡-5-2 引水式水源設施.....坡-5-1
圖 坡-5-3 單吸式螺型抽水機揚水裝置.....坡-5-3
圖 坡-5-4 抽水機安裝示意圖.....坡-5-3
圖 坡-5-5 橫軸式馬達抽水機電力內線配線圖.....坡-5-7

圖 坡-5-6 單相電源配置圖 坡-5-9
圖 坡-5-7 吊管工斷面圖 坡-5-12
圖 坡-5-8 明渠斷面圖示意圖 坡-5-12
圖 坡-5-9 管渠斷面圖示意圖 坡-5-12
圖 坡-5-10 農塘示意圖 坡-5-19
圖 坡-6-1 園內道示意圖 坡-6-3
圖 坡-6-2 平台階段之作業道 坡-6-5
圖 坡-6-3 山邊溝內作業道 坡-6-5
圖 坡-6-4 平舖自然石步道舖面參考圖 坡-6-7
圖 坡-6-5 平面圖 坡-6-7
圖 坡-6-6 階梯式枕木等步道參考圖 坡-6-8
圖 坡-6-7 A-A 剖面圖 坡-6-8
圖 坡-6-8 階梯式石板步道參考圖 坡-6-8
圖 坡-7-1 坡面分割圖(L_u:L_d) 坡-7-4
圖 坡-7-2 坡面分割圖(L_u : L_m : L_d) 坡-7-5
圖 坡-7-3 CC 值 坡-7-9
圖 坡-7-4 台灣各地降雨沖蝕指數 坡-7-13
圖 坡-7-5 K_m 值之圖解 坡-7-14
圖 坡-7-6 LS 值之圖解 坡-7-15

水土保持手冊

坡地保育篇

目錄

一. 通論 坡-1-1

1.1 坡地保育 坡-1-1

1.2 土壤沖蝕 坡-1-3

1.3 土壤流失量之估算 坡-1-6

1.4 坡地水土保持方法及配置 坡-1-9

1.5 林地水土保持 坡-1-10

1.6 分段截流 坡-1-12

1.7 覆蓋與敷蓋 坡-1-14

1.8 蝕溝處理 坡-1-16

1.9 農路系統 坡-1-18

表 坡-1-1 九十二年度台灣地區土地面積統計表 坡-1-1
表 坡-1-2 土壤沖蝕程度分級表 坡-1-6

圖 坡-1-1 影響土壤沖蝕因子之關係圖 坡-1-6

一. 通論

1.1 坡地保育

1.1.1 山坡地之定義與範圍

根據「山坡地保育利用條例」第三條所稱山坡地，係指國有林事業區、試驗用林地及保安林地外，經中央或直轄市主管機關參照自然形勢、行政區域或保育、利用之需要，就合於下列情形之一者劃定範圍，報請行政院核定公告之公、私有土地：一、標高在一百公尺以上者。二、標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。又水土保持法第三條第三款所稱山坡地範圍，除山坡地保育利用條例之範圍外，並涵蓋國有林事業區、試驗用林地、保安林地。由以上定義，台灣地區之土地可分為平地與山坡地。九十二年度台灣地區土地面積統計結果如表 坡-1-1 所示。結果顯示台灣地區山坡地總面積計有 2,639,653 公頃(佔總土地面積 3,600,618 公頃之 73.31%)，其中台灣省有 2,622,346 公頃，佔大部分，台北市有 15,493 公頃，高雄市有 1,814 公頃。

表 坡-1-1 九十二年度台灣地區土地面積統計表

地區 / 土地別	台灣省		台北市		高雄市		合計	
	面積(公頃)	百分比(%)	面積(公頃)	百分比(%)	面積(公頃)	百分比(%)	面積(公頃)	百分比(%)
平地	935,732	26.30	11,687	43.00	13,546	88.19	960,965	26.69
山坡地保育利用條例施行範圍之山坡地(A)	966,685	27.17	15,493	57.00	1,048	6.82	983,226	27.31
國有林班地、試驗用林地及保安林地(B)	1,655,661	46.53	—	—	766	4.99	1,656,427	46.00
水土保持法施行範圍之山坡地(A+B)	2,622,346	73.70	15,493	57.00	1,814	11.81	2,639,653	73.31
總計	3,558,078		27,180		15,360		3,600,618	

1.1.2 山坡地保育之目的

台灣因特殊的水文與地文條件，維持良好的植生被覆，由各層植被發揮保育土壤，涵養水源等功效，是坡地最好的保護。但坡地的開發利用是不可避免的，所以必須導入人為的保育方法，即開發利用坡地時應實施水土保持之處理與維護；所謂水土保持之處理與維護係指應用工程、農藝或植生方法，以保育水土資源、維護自然生態景觀及防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流等災害之措施(水土保

持法第三條第一款)。坡地為農地使用時應實施農地水土保持。主要的水土保持措施為山邊溝、果園山邊溝、平台階段、石牆和窄階段。行政院農業委員會水土保持局歷年(56 年至 92 年)已完成農地水土保持面積共計 130,331.49 公頃。除了以上所提之措施外，農地保育可應用植生，如草帶、帶狀覆蓋、全園覆蓋並配合安全排水、跌水和蝕溝控制等，以確保農地之安全。坡地非農業使用之開發最大問題為大量的整地可能造成嚴重的水土流失，因此整地階段之水土保持工作尤為重要。諸如要有安全的排水設施、沉砂滯洪池的設置和植生覆蓋和邊坡穩定工程等。務使地面能完全受到保護與控制。

1.1.3 山坡地利用

目前坡地農業以果樹類最多，另外山坡地種植檳榔、高冷蔬菜等作物，為山坡地之農地使用帶來了更大的隱憂。除了農業使用外，因人口增加及產業發展，坡地非農業使用日趨增加，諸如道路的開闢、社區的開發、遊憩場所的興建、墓地的興建、採礦、土石採取等。非農業開發的過程中，如果整地不當，往往會造成重大的災害；所以在坡地的利用過程中，應依坡地的自然特徵，應用工程、農藝或植生方法，以防治沖蝕、崩塌、地滑，土石流等災害，保護自然生態景觀，涵養水源等水土保持處理與維護。

1.2 土壤沖蝕

1.2.1 前言

土壤受外力(主要如雨水、逕流、風力)的剝蝕作用及地震、海浪、重力、溫度變化等衝擊後，自固結之土體分離、搬移與沉積的現象，稱之為土壤沖蝕。(分離、搬運、沉積稱為土壤沖蝕三過程)。其中最常見且危害最大之沖蝕為水蝕與風蝕。水蝕與風蝕常於同一地點伴同或相互作用影響而大幅增加沖蝕程度。

水蝕由水滴打擊地面之動能與地面逕流之剪力作用而發生。風蝕是藉風之動能引起之土粒移動。開發土地從事農業生產，如過度利用土壤，將破壞自然地面，甚至導致表面土壤之嚴重沖蝕，對農林業經營會產生非常不利之影響。

如果坡地上因降雨而發生大規模土壤粒子之分離與搬運，逕流將洗刷淺層地表土壤而露出下層土壤，經過長期才可能由風化發育形成之土壤卻因沖蝕而流失。

1.2.2 沖蝕之過程

從降雨打擊地面至土砂粒之沉積所造成之加速沖蝕可分為三個過程：

1. 分散作用(Detachment)

   當裸露地表遭受雨滴打擊時雨滴 2/3 之能量消耗在撞擊土壤表面，產生坑口，並使土粒分散，剩下 1/3 之能量則在使土粒飛濺至他處。另一方面，被雨滴分散之細小土粒，可封閉土壤孔隙，而形成硬殼，此等硬殼將減低土壤滲透能力。當降雨強度超過土壤滲透強度時，並超滲雨量初期可形成地表薄膜水，此時土壤中之細粒及膠體物容易懸浮其中。此等雨滴打擊作用與薄膜水之懸浮作用，主要在促使土粒分離，為加速沖蝕的第一階段，謂之分散作用。

2. 搬運作用(Transportation)

   當降雨持續進行，薄膜水深增加，而緩緩以層流向下流動，可將細粒土砂攜帶以去，乃至水深增大再加上雨滴對地表水之擾亂作用，而使地表水形成亂流狀態，此時之流體作用力增大，水流對土粒之曳引力(Tractive Force)益形顯著，非但可將大量分散之土粒搬運以去，甚至可使粗大之石礫移動，即為搬運作用。此為加速沖蝕過程中，對土壤破壞最為嚴重之階段，地表因而形成許多蝕溝。

3. 堆積作用(Deposition)

當隨水流沖蝕而下之土砂，在低平處因流速漸減而逐漸沉積下來，即稱為堆積作用，為加速沖蝕之最終階段。而堆積作用雖非沖蝕之現象，但往往因沉積場所之位置不當，反使良田受淤亦或使低凹之蓄水場所變成沼澤，破壞原來之土地利用型態。

1.2.3 土壤沖蝕之分類

1. 依沖蝕程度分

(1)正常沖蝕(Normal Erosion)

又稱自然沖蝕(Natural Erosion)或地質沖蝕(Geological Erosion)。本為自然界中地質變化之一環。是自然界保持均衡狀態下，原有之良好植被未被破壞時發生之土壤沖蝕。地球上任何陸地，任何時間，此種沖蝕均不斷在進行。其土壤粒子之移動過程極為緩慢，幾乎不易被察覺。下層土壤與母岩經風化作用生成之土壤，應足以抵償被沖蝕所損失之土壤。也能長期保持地面上土壤之均衡。在這種狀態下，沖蝕之程度不會加大，日積月累亦不致因沖蝕使作物減產或土地受到災害。

(2)加速沖蝕(Accelerated Erosion)

當地面植被與土壤之結構被人為因素破壞後，沖蝕現象逐漸加劇，謂之加速沖蝕(Accelerated Erosion)或非自然沖蝕(Abnormal Erosion)。加速沖蝕是土壤粒子與土壤化學物質發生剝離與移動之主因。加速沖蝕期間由母岩生成之土壤不足以抵償已損失之土壤。地面也逐漸失去自然均衡狀態。首先損失表土，所含之某些養分將完全隨表土流失，土地生產力因而降低，然後露出心土再至基岩，終致災害益形擴大。坡地隨即構成沖蝕溝。後來沖蝕溝不斷加深與擴大，流出物沉積於沖積平原、河口三角洲或海岸平原。新近工業化都市中之嚴重沖蝕對農業土壤與水質均發生不良影響。水是另一種主要天然資源，可能同樣遭受沖蝕物質之污染使良田荒廢民生凋萎。

2. 依沖蝕之型態分

造成加速沖蝕之主要動力來自雨滴之打擊力(Impact Forc及地表逕流之曳引力(Tractive Force)，因之，由此力量所造成之沖蝕型態可分類如下：

(1)飛濺沖蝕(Splash Erosion)又名雨滴沖蝕(Raindrop Erosion)

當雨滴落下時與空氣之摩擦作用在接近地面時，成等速運動。一旦到達地面，其本身之動能消耗在打擊地面之作用上，此時裸露之土粒將因雨滴之打擊而被分散，甚至隨飛濺之水滴而濺射至他處，即稱之為飛濺沖蝕，此等沖蝕型態，在無逕流發生之情況下，可將有石礫被覆之裸露地表，沖成數公分高之土柱。

(2)層狀沖蝕(Sheet Erosion)又名表層沖蝕

由超滲雨量逐漸形逕流之初，逕流呈一種緩和而均勻之漫地流，深度多在 0.1～3.0mm 之間，稱為薄膜流 (Film Current)。僅能流動於土粒中間，或帶有極小之波紋在地表面由上而下流動，俟薄膜流之流速加大時，平滑之斜坡地表即遭受沖蝕而成層狀剝落，此為逕流沖蝕之開始，也即層蝕開始，然後演變成紋溝沖蝕。層狀沖蝕將表土內黑褐色或暗褐色之有機質與細土粒沖蝕與之俱去，無顯著之沖蝕痕跡，不易為人查覺，然而因農作物生長所需之養分隨表土沖失而去，形成地力衰退，土壤劣化，損失甚大，極難恢復。

(3)指狀沖蝕(Rill Erosion)也稱細溝或紋溝沖蝕

地表經層狀沖蝕後形成凹凸不平，於是雨水向低窪處或順坡耕犁溝匯流，生成許多小蝕溝，其分佈似手指分歧，故稱為指狀沖蝕。指狀沖蝕之小蝕溝以寬 100 公分、深 30 公分為限，超過者即列為溝狀沖蝕。

(4)溝狀沖蝕(Gully Erosion)又稱為溝壑沖蝕

指狀小蝕溝繼續發展、加深、延長、擴寬、互相兼併，逕流更集中，沖蝕能量大增形成大溝，是為溝狀沖蝕。蝕溝之形狀隨土壤及其基岩之軟、硬、深度、層理與溝底降坡之急緩而異，可歸列如下四種型態：

①寬平淺溝：在土壤堅實粘重之處，雨水挾土粒以去，形成溝。

②V 型蝕溝：表土軟而深厚之土地，蝕溝多成尖底 V 型斷面。

③U 型蝕溝：土壤鬆軟，底部堅硬，蝕溝多成溝底寬平而溝邊陡峭之 U 型斷面。

④複式蝕溝：在 U 型的溝底，下割進展到穿過堅硬的土層或岩盤時，如再遇鬆軟的土層，又形成 V 型深溝，同時兼俱有下部 V 型與上部 U 型的複式斷面。

1.3 土壤流失量之估算

1.3.1 影響土壤沖蝕因子

影響土壤沖蝕速率的因子很多，有氣候、地形、植被、土壤性質與人為保育措施等。而各因子與土壤沖蝕間之關係如圖 坡-1-1。

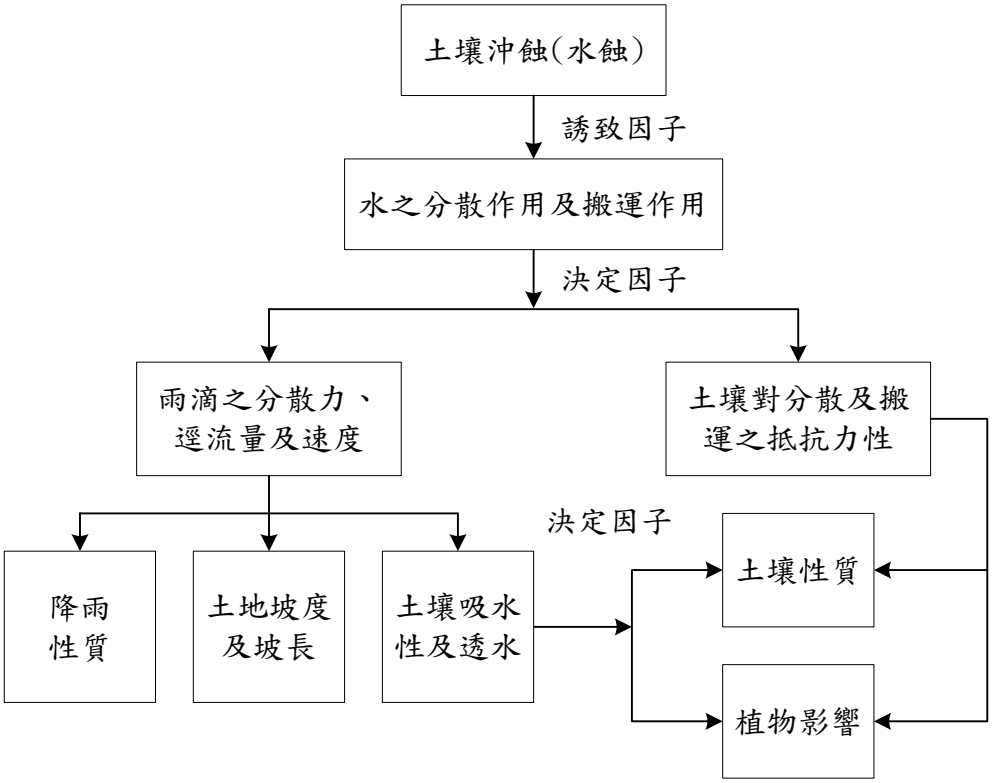


圖 坡-1-1 影響土壤沖蝕因子之關係圖

1.3.2 土壤沖蝕程度分級

層狀沖蝕之年土壤流失深度，以公釐(mm)為單位。層狀沖蝕宜使用通用土壤流失公式估算沖蝕量，如欲以實測計算，其測量精度應提高，測點數亦應增加。

溝狀沖蝕及指狀沖蝕之泥砂生產量，依泥砂運移量調查之方法調查之，將其視為河道輸砂計算其輸砂量。沖蝕溝發展之泥砂生產量，應藉由沖蝕溝之縱、橫斷面測量，計算其土方量。

表 坡-1-2 土壤沖蝕程度分級表

沖蝕級別		分 級 說 明
1 級	輕微沖蝕	地面無顯著的任何沖蝕現象，土壤滲透、覆蓋良好，或坡度甚緩，無遠距離土壤移動現象。表土流失量在 25%以下。
2 級	中等沖蝕	地面有顯著的溝狀沖蝕現象，其沖蝕溝寬度在 30~100 公分間，深度 15~30 公分之土地。礫石、碎石含量在 20%以下，表土流失量超過 25%至 75%。

沖蝕級別		分 級 說 明
3 級	嚴重沖蝕	沖蝕溝寬 100 公分以上且深度 30 公分以上，呈 U 型、V 型或 UV 複合型，仍得植生方法救治。礫石、碎石含量超過 20%至 40%，底土流失量在 50%以下。
4 級	極嚴重沖蝕	沖蝕極端劇烈，表土無固定，且沖蝕已侵入心土母岩，不易以植生方法救治者。含石量超過 44%，底土流失量超過 50%，甚至母岩裸露，局部有崩塌現象。

1.3.3 土壤可容許流失量

根據研究調查的結果，當土地受到人為的擾動後，土壤的生成速率可由原先生成 1 公分厚的土壤約需 200 年的時間縮減為升成 1 公分厚土壤 20 年(Kohnko & Bertrand，1959)。雖然土壤的生成速率加快，讓我們能在較短的時間內有豐沃的表土可資利用，但人為的開發擾動同時也增加了土壤受蝕的機會。根據現場實測的結果發現，在坡度 60%的坡地進行果樹的淨耕栽植，年平均土壤流失量可高達每公頃 294 噸，相當於每公頃平均於一年內流失約 3 公分的表土(黃俊德等，1994；Wu and Wang，1996)。因此在不造成土壤生產力長期受損的前提下，「土壤的流失速率需控制在土壤生成速率之下，此時的土壤流失量稱之為可容許土壤流失量(soil loss tolerance)，或簡稱為 T 值」。

影響可容許土壤流失量的四項決定因子分別是(1)土壤深度、(2)母質種類、(3)表土與底土的相對生產力及(4)先前的土壤沖蝕量。一般而言，土壤深度愈深，植株根系可穿透的厚度就愈大，因此在合理的土地經營管理的模式下可容許較高的土壤流失而不至於嚴重影響土地的生產力。就母質種類而言，鬆散、肥沃的母質應可迅速轉變為土壤，故可容許較高的土壤流失量。但當表土較底土具有顯著的肥力與生產力時，少量的表土損失也會嚴重降低土壤的生產力。如果某一土地之先前沖蝕問題已非常嚴重，應不能容許更多的土壤流失，此時可容許土壤流失量應隨之降低，以確保土壤生產力不再繼續惡化。

1.3.4 土壤流失量之計算

根據影響土壤沖蝕因子，W.H. Wischmeier 及 D.D. Smith 收集並分析全美國 21 州 36 個地方，超過 7,500 個標準試區年(standard plot year)及 500 個集水區年(Watershed-year)的資料，重新評估影響土壤流失量的因子，而發展成為現今廣為世界各國使用之通用土壤流失公式。該公式可寫如下式：

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

其中

A_m：每公頃之年平均土壤流失量(公噸/公頃-年)

R_m：年平均降雨沖蝕指數(10^6 焦耳-毫米/公頃-小時-年)

K_m：土壤沖蝕性指數(公噸-公頃-小時-年/10^6 焦耳-毫米-公頃-年)

L：坡長因子

S：坡度因子

C：覆蓋與管理因子

P：水土保持處理因子

通用土壤流失公式是由標準單位試區(standard unit plot)發展出來的，所謂的標準單位試區是指坡長 22.13m、坡度 9%之均勻坡面、且坡面保持連續兩年以上的休耕和裸露。該公式中之 L、S、C 和 P 因子為任何組配條件下的土壤流失量和標準單位試區土壤流失量之比值。因此，L、S、C 和 P 因子為無因次(dimensionless)因子。詳細計算過程請參閱本篇 7.1。

1.4 坡地水土保持方法及配置

1.4.1 水土保持方法之概述

水土保持是以保育水土資源，促進土地利用，減免土壤沖蝕、崩塌、地滑、土石流災害，涵養水源等為目的，藉農藝、植生與工程方法達成上述目標。鬆軟裸露之坡地表層，極易受降雨與颱風之影響而發生土壤沖蝕或發生山崩、地滑現象，其下游流域也因而容易遭受流出物之淹沒或污染等二次災害。坡地水土保持之各項處理，必須能達到以下各項效果：

1. 合理之土地利用。
2. 防止土壤沖蝕並恢復已沖蝕敗壞土地之生產力。
3. 土壤保育與培育。
4. 減少逕流與增加水資源之涵養。
5. 防止沖蝕污染水土資源。
6. 坡地安全排水與灌溉。
7. 防止風蝕。

1.4.2 水土保持方法之選用原則

坡地上為防止土壤沖蝕與災害所採取之各種水土保持方法，應按下列原則依序考慮：

1. 土地利用要在合理原則下，妥善規劃開發區域內之各種設施。
2. 避免雨滴直接打擊地表，發生飛濺沖蝕現象。
3. 增加土壤抗蝕力。
4. 促使到達地表之雨水滲入土中，以減少地面逕流。
5. 增加地面粗糙率，降低地面逕流水之流速。
6. 地面逕流須妥善導入安全排水系統。
7. 對易發生沖蝕、崩壞之地點，應予添加適當保護措施，選擇各種安全排水處理。

各種水土保持處理均有其目的與效果。任何單一處理常難完全有效控制土壤沖蝕，須視現場情況因地制宜。將若干種處理同時相互配合運用，功用才能相輔相成，以達到水土保持之預期效果。

1.5 林地水土保持

1.5.1 前言

森林內的土壤較為鬆軟、土壤團粒構造良好、透水性佳、保水力強，以及樹冠具有截留降水的作用，加上林下地被物具有的吸水作用，使得在豪雨期間降水量增加時，可緩和急流，調節河川流量，以免山洪暴發釀成災害；在乾旱季節又能維持河川保有適當的流量。降雨時，具有良好森林覆蓋之林地，其中約 25%會暫時停留在樹冠而不久就被蒸發掉，約 25%由地面流失，約 15%被植物吸收，其餘約 35%滲入森林土壤中成為地下水緩慢地流出(許經邦，1997)。而沒有森林覆蓋的地區，大部份的降水，則常成為逕流直接流入河川中。因此，森林的存在對於降水具有截留的作用，增加林地土壤孔隙率(Porosity)和其孔隙大小，以利於水分之入滲及涵養，可以減低洪峰期逕流量並調節枯水期河川流量，對水土保持極具功效。

林地水土保持之對象主要為育林、集材、運材、伐木、林道、修築等作業，應避免引起沖蝕、破壞地表或損及排水系統為原則。育林方法請參考植生篇。伐木、集材、運材、林道修築等作業應依林業相關法規。

1.5.2 應用說明

1. 基本環境資料之調查與分析

   包括水文資料、土壤性質、氣候條件、坡度、原始植被等。

2. 確立規劃設計之目標

   植生復育之成效依規劃設計之目標不同而異，一般可區分為接近自然之保育型、預防災害之水土保持型，森林遊樂型態兼具林業經營功能之植生型等。

3. 確立施工方法

   考量當地之環境基本資料，並融入自然生態概念，以選取最經濟有效之植生工法。

4. 選擇適當之原生樹種

   可先調查當地環境區域之優勢樹種，從中選取二至三種樹種作為復育對象。換言之，即選擇當地之潛在自然植被作為復育樹種之對象，可確保復育成效，縮短復育期程並促使復育成接近自然之植被。

1.5.3 方法及措施

1. 人工撒播
2. 人工栽植
3. 打樁編柵
4. 航空噴植

1.5.4 注意事項

1. 於坡面整地栽植時，應避免破壞坡面，以防誘發坡面崩塌。
2. 使用植物種類應以當地原生樹種為主，避免使用外來種。使用苗木宜採用小苗為主，高度約 30 至 70 公分。使用愈大的苗木，其根系發育愈不健全，較易伏倒。
3. 使用木樁作為打樁編柵之材料，宜採用萌芽力強之九芎、榕樹或黃槿等，並應保持新鮮。打樁時須保護樁頭，避免造成樁頭開裂，降低萌芽力。
4. 使用航空植生方法，應考慮林地坡面條件。其植生材料應充分攪拌均勻。種子材料宜先行進行發芽處理。並慎選施工季節，以確保成效。

1.6 分段截流

1.6.1 前言

為防止坡地之土壤沖蝕，維護土地生產力，通常以分段截流及地表覆蓋與敷蓋二者，以保護地表減免耕地表土流失。經截集之逕流應直接引導至安定之天然坑溝或以人工溝渠安全排除。

分段截流之採用，主要在坡面上分段以接近平行方式，開鑿山邊溝或截水(截洩溝)，以小幅度降坡排除逕流，截斷坡面逕流，可防止坡面因逕流累積所造成之沖蝕力。

1.6.2 規劃設計原則

1. 分段截流處理之原理，在於截短坡長，防止坡面因逕流累積，造成地表之沖蝕，並將截取之逕流引導排除。坡面截流之容許間距以山邊溝溝距為準，截流設施之斷面及降坡以足以排除逕流且不造成溝面沖蝕為原則。
2. 依據預定栽培作物及其經營管理所採用水平或斜面耕作，決定適用平台階段或山邊溝等處理方式。
3. 平台階段之台寬，為配合機械耕作需要，在勤耕作物如雜作或蔬菜之田區，宜以容許小型耕耘機雙向來回耕耘為最基本要求，果園則按單行果樹或多行果樹之行距並預留耕作連絡道之空間而決定。
4. 果園山邊溝之溝距，在山邊溝溝距容許範圍，依 1~3 行果樹之行距作調整。

1.6.3 方法與措施

1. 分段截流之處理方法包括等高耕作、平台階段、山邊溝、石牆、草帶等。除等高耕作為坡面耕作必須採行外，其餘平台階段等則基於耕地條件、耕作需要、水土保持處理費用投資考量等為抉擇之要件。
2. 耕地條件：包括坡度、土層深度、土壤沖蝕性等，通常坡度大，土壤易於沖蝕者，須用較集約之水土保持處理方法如平台階段，而坡度平緩抗蝕性較高者，可採用山邊溝等較為省工之處理。而多塊石之耕地，則撿取用以堆砌石牆。
3. 管理需要：坡地耕作，因採用斜坡耕作或平面耕作，而選用不同水土保持處理方法，如栽培水稻、茭白筍、蓮藕等須蓄水栽植或勤耕之短期蔬菜類，以平台階段較為適合；而長期果樹或長期勤耕作如鳳梨、香茅等適於採用

山邊溝。另外山邊溝處理兼可供耕作機械行使，在果園等省工經營農場多所採用。

4. 基於水土保持處理需用投資考量：平台階段處理需較多之挖填土方，投資成本較高；山邊溝處理則需用投資較少。
5. 分段截流與植生覆蓋、敷蓋為防止耕地土壤最主要之方法，完整之農地水土保持處理，最好二者兼備。其中分段截流處理為坡地農場必要之水土保持處理；植生覆蓋、綠肥作物、敷蓋等則視農作物株下空間或收成後休閒期間配合栽植或處理。
6. 山邊溝及平台階段處理初步完成後應檢視其降坡及排水功能。完成後遇有損壞，即行修復。

1.7 覆蓋與敷蓋

1.7.1 前言

為防止土壤沖蝕、維護土地生產力、保護地表、減免表土流失，地表之覆蓋、敷蓋可遮蔽地表，防止雨滴直接打擊土壤將土粒由原有土體結構分離後由逕流挾帶而去，並可因覆蓋植物根系之作用，固結土壤，增加土壤滲透功能。以及枯枝落葉增進土壤有機質，改良土壤性質，增進抗蝕力。

1.7.2 設計原則

1. 植生覆蓋

   植生覆蓋在於保護土地內之裸露地表、減少小型崩塌、加強邊坡之植生；保護裸露邊坡造成之沖蝕。

   (1)邊坡或裸露地植生：坡地內若有崩塌或陡坡裸露地，則宜作邊坡植生，藉以穩定坡面並防止地表沖蝕，此等土地之植生較無須考量與主作物爭奪生長空間，是以可用灌木或喬木甚至爬藤類等深根性植物與草本配合栽植，在植栽種類之選擇及管理上，應注意景觀配置，避免與主作物互為病虫媒介，防止成為鼠類繁殖或雜草種苗蔓延場所。

   (2)覆蓋作物：栽培於果樹或作物行株間，不影響主作物生長空間，宜選取覆蓋完密，莖葉柔順之矮性草類，用以抑制雜草，防止沖蝕，兼可調節地溫，增加土壤有機質及土壤透氣性等效能。

   (3)綠肥作物：休耕之坡地或短期作物之休耕期間，擇種綠肥，成熟後翻犁入土中作為肥料，具保護及改良土壤之效果。

2. 敷蓋

   敷蓋處理之選用乃基於耕作上之便利、材料取用之難易等而決定，短期勤耕作之行株間中耕除草不易者如鳳梨；防制雜草及病虫害衍生如草莓等多選用 PE 塑膠布敷蓋；而栽培覆蓋作物之果園行株間則可將之割刈敷蓋於株下或植株間作帶狀敷蓋。

1.7.3 方法與措施

1. 植生覆蓋

   (1)植生覆蓋裸露邊坡之植生：保護裸露邊坡防止沖蝕，包括農路系統之邊坡、平台階段之台壁、山邊溝之溝壁或溝面等應行植生。

(2)覆蓋作物：作物行株間栽培覆蓋完密矮性草類，用以抑制雜草，防止沖蝕，兼可調節地溫，增加土壤有機質等效能。

(3)短期作物之休耕期間，擇種綠肥作物。

2. 敷蓋

(1)為保護作物行株間之表土沖蝕、或防止雜草入侵、增高地溫可利用草類、作物殘株、或 PE 塑膠布等敷於行株間。

(2)栽植覆蓋作物之果園，在植株下作圈狀或帶狀敷蓋。

1.7.4 注意事項

1. 分段截流與植生覆蓋、敷蓋為防止耕地土壤流失最主要之方法，完整之農地水土保持處理，最好二者兼備。其中分段截流處理為坡地農場必要之水土保持處理；植生覆蓋、綠肥作物、敷蓋等則視農作物株下空間或收成後休閒期間配合栽植或處理。

1.8 蝕溝處理

1.8.1 前言

蝕溝控制係運用植生方法或工程方法、或兩者方法配合使用，使活動性蝕溝穩定或恢復地力的處理。蝕溝係因天然因素或由於人為活動所造成，活動的蝕溝若不能及時加以控制，勢必將再繼續沖蝕且擴大惡化，不但割裂坡地，造成耕地機械作業之困難，導致土地荒廢；其產生之泥砂更損及下游土地利用價值，並破壞公共設施之安全及經濟效益。因此蝕溝控制為水土保持重要工作之一，其目的為：

1. 穩定蝕溝，防止沖蝕再擴大。
2. 調整溝床降坡，攔阻泥砂，減免下游災害及公共設施維護費。
3. 恢復沖蝕荒廢土地之生產力。
4. 營造植物生長環境。

蝕溝在此係指溝寬 10 公尺以下，集水區面積小於 10 公頃以下為原則。

1.8.2 規劃設計原則

蝕溝控制方法需因地制宜，按其處理目的、蝕溝大小、集水面積、溝床降坡、土壤性質、排水狀況、覆蓋情形、土地利用、施工器材、以及所需控制程度等因子，決定適宜的方法，依其需要性與經濟性，並配合兩岸之水土保持處理及下游作系統性之規劃設計。一般而言，蝕溝控制採用單一方法常難達成其目標，往往需數種方法相互配合運用。

1.8.3 方法及措施

1. 農耕法：田間小溝利用農機具犁平或填平以防止擴大。其次防止人為土地利用不當而產生新的蝕溝。
2. 分水法

(1)截水溝或等高埂：為攔截全部或部分逕流至安全點之溝渠。用於溝頭處理時，宜設在溝頭上方適當地點。

(2)分水階段或山邊溝：橫截溝身，構築連續式之內斜階段，將逕流分散或配合兩岸水土保持處理，構築山邊溝橫截蝕溝，分段截洩溝中逕流，適於坡地內中、小型蝕溝。

(3)溝面整理：整理蝕溝使成平緩坡面，以穩定水流蝕溝兩岸之危崖，易滑落之草木石塊應先行清除，以防阻塞蝕溝。適於施設機具通過或水流不穩定之坑蝕溝。

3. 植生法

(1)自然植生：以各種方法防止蝕溝地區再造成擾動地表之因子，以促進植物自然生長被覆之方法。

(2)人工植生：用人為方法種植或輔助植物生長，完成全面覆蓋，以防止雨滴及逕流沖蝕溝岸，並固結土石，在植生初期常需配合整坡及打樁編柵埋枝等作業。選擇在蝕溝中生長植物如樹木、灌木、藤類、草類等。

4. 工程方法：在氣候或地形限制，嚴重蝕溝地區，植物不易直接建立等，則需要以工程方法來安定蝕溝。其方法有下列種類：

(1)保護溝岸：為防止蝕溝向兩岸擴張，應於蝕溝彎道處設置護岸工程。

(2)控制流心：設置整流工程，控制水流，防止流心偏離，避免蝕溝範圍擴大。

(3)穩定溝床、構築固床工、節制壩等：為調整溝床降坡、固定水道、攔阻泥砂、穩定蝕溝。

(4)攔止土砂：泥砂量較大之蝕溝應構築之。

1.9 農路系統

1.9.1 前言

坡地農場的經營，受到坡度、地形及地質的限制，耕作困難，土壤常發生沖刷，勞動生產力與土地利用率偏低。因此，為提高農場經營管理效率，必須規劃妥善的農場作業道路系統，構築農路支線、園內道、作業道銜接農路、產業道路或一般公路，使農場交通得以串成線、織成面，便利農產資材之運搬及農場作業管理，建立坡地機械化、省工經營體系，降低生產成本及紓解農村勞力缺乏問題。

坡地農路系統的開闢必須開挖移動土石方，因此在規劃設計及施工的階段應該考慮到水土保持問題，施工中或完工後才不致於沖刷崩坍造成災害，開闢坡地農路系統所造成的環境破壞問題有下列各項：

1. 邊坡裸露、崩塌

   農路系統工程施工時，在坡面進行開挖，使原來穩定或植被覆蓋良好之坡面裸露，不但破壞自然景觀，並造成局部陡急坡面。在地形及地質不良地段，土壤剪力強度不足即產生崩坍。

2. 餘土處理不當

   挖填餘土任意傾倒，或施工方法不當，常使下側坡面作物及原有植生覆蓋、土壤表層遭受破壞，復舊不易，並且加速日後土壤沖蝕，餘土流入天然河溝，一遇豪雨，土石下移，釀成災害。

3. 排水設施不完善

   農路系統工程施工後，改變原來坡面自然排水體系，如邊溝或橫向排水等設施不完善，遇雨逕流集中，沖刷路面，侵蝕上側坡面基腳，造成邊坡崩坍，路基及下游受到嚴重沖蝕危害。

1.9.2 規劃設計原則

1. 農路系統的配置應考慮地質、地形條件並配合作物的種類、管理方式、機械性能及坵形分割狀態而決定。
2. 在符合設計標準條件下，應以最便捷的道路達到最高的運輸。
3. 避免通過順向坡、脆弱坡等不穩定地區，以保護路基安全，維持暢通。如必須通過應有適當保護設施。

4. 農路系統應配合農地水土保持處理整體規劃，儘量使山邊溝或平台階段與農路系統互相銜接貫通，否則應以園內道輔助，以達到機械化省工經營目的。
5. 挖填土方力求平衡，減少餘土數量，避免大開挖或大填方。
6. 選線應避免破壞特殊自然景觀，如歷史文物、具保留價值之老樹或林木。

1.9.3 方法及措施

1. 先確定農路支線及排水位置，再布置園內道及農地水土保持處理。
2. 農路系統路線間及與山邊溝或平台階段銜接處，應力求平順，以利機具之迴旋運行空間。
3. 迴頭彎宜設於較平坦之坡面處，以減少土石方而利維護及行車安全。
4. 排水設施
   (1)農路系統互相銜接處之排水應妥善處理，以免逕流匯集，造成嚴重沖刷。
   (2)道路迴頭彎應設妥設排水系統。
   (3)配合護坡設施路段應注意基腳沖刷。
   (4)地質不佳或路基排水不良路段應設妥善排水系統。
   (5)天然溝橫越處，應設橫向排水或橋涵。
   (6)橫向排水入出口宜設消能設施，出口如無天然溝，則需設置排水溝引導到下游安全地帶，以防止路基或下游坡面沖刷。
   (7)坡地之縱向安全排水與農路或園內道交會處，如逕流不大時，可採用拋物線形過水溝面。
   (8)排水溝最小坡度 0.5%以上，管涵坡度 3%以上為原則。
5. 邊坡穩定
   (1)坡腳不穩有崩塌之虞者，應施設擋土設施。
   (2)邊坡土質坡面恢復自然植生不易且有沖蝕之虞者，應予植生。
6. 路面坡度較陡或地質不佳須封面處理外，其餘路段面應迅速完成植草覆蓋，以免路面沖刷。

水土保持手冊

坡地保育篇

目錄

二. 農地水土保持..... 坡-2-1
2.1 等高耕作..... 坡-2-1
2.2 山邊溝..... 坡-2-2
2.3 山邊溝植草..... 坡-2-7
2.4 平台階段..... 坡-2-9
2.5 寬壟階段..... 坡-2-14
2.6 台壁植草..... 坡-2-17
2.7 石牆法..... 坡-2-18
2.8 草帶法..... 坡-2-20
2.9 覆蓋..... 坡-2-22
2.10 敷蓋..... 坡-2-24
2.11 綠肥..... 坡-2-25
2.12 坡地防風..... 坡-2-26
2.13 農地沉砂池..... 坡-2-29

表 坡-2-1 山邊溝之坡度、溝距對照表 坡-2-3

圖 坡-2-1 等高耕作示意圖 坡-2-1
圖 坡-2-2 山邊溝斷面圖 坡-2-3
圖 坡-2-3 山邊溝排水示意圖 坡-2-5
圖 坡-2-4 山邊溝植草斷面圖 坡-2-7
圖 坡-2-5 平台階段斷面圖 坡-2-10
圖 坡-2-6 寬壟階段示意圖 坡-2-14
圖 坡-2-7 階段犁成後之橫斷面圖 坡-2-16
圖 坡-2-8 推土機構築寬壟階段方法 坡-2-16
圖 坡-2-9 維持寬壟階段之耕犁方法 坡-2-16
圖 坡-2-10 台壁植草示意圖 坡-2-17
圖 坡-2-11 石牆法示意圖 坡-2-18
圖 坡-2-12 草帶法示意圖 坡-2-20
圖 坡-2-13 覆蓋作物示意圖 坡-2-22
圖 坡-2-14 坡地防風示意圖 坡-2-26
圖 坡-2-15 沉砂池示意圖 坡-2-29

二. 農地水土保持

2.1 等高耕作

2.1.1 定義

在坡面上沿等高方向所實施之耕犁、作畦及栽培等作業。

2.1.2 目的

1. 增進水分入滲與保蓄。
2. 抑制逕流及減少土壤沖蝕。

2.1.3 圖說

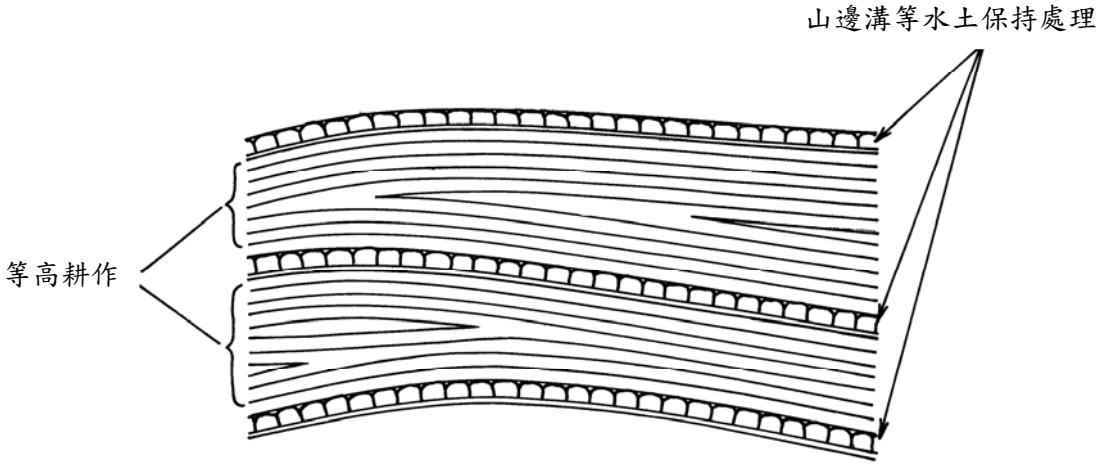


圖 坡-2-1 等高耕作示意圖

2.1.4 應用說明及設計

凡行坡面耕作時實施。

2.1.5 作業程序及注意事項

1. 經山邊溝、寬壟階段、石牆等處理之土地，以該處理為基線，從事耕犁、作畦及栽培等作業。
2. 沿各基線上方等高行畦之長行數，宜在 4～6 行左右。
3. 短行以留置兩基線中間部分為原則。

2.1.6 維護管理

等高耕作之土地，雨後如發生沖蝕，應即時整修。

2.2 山邊溝

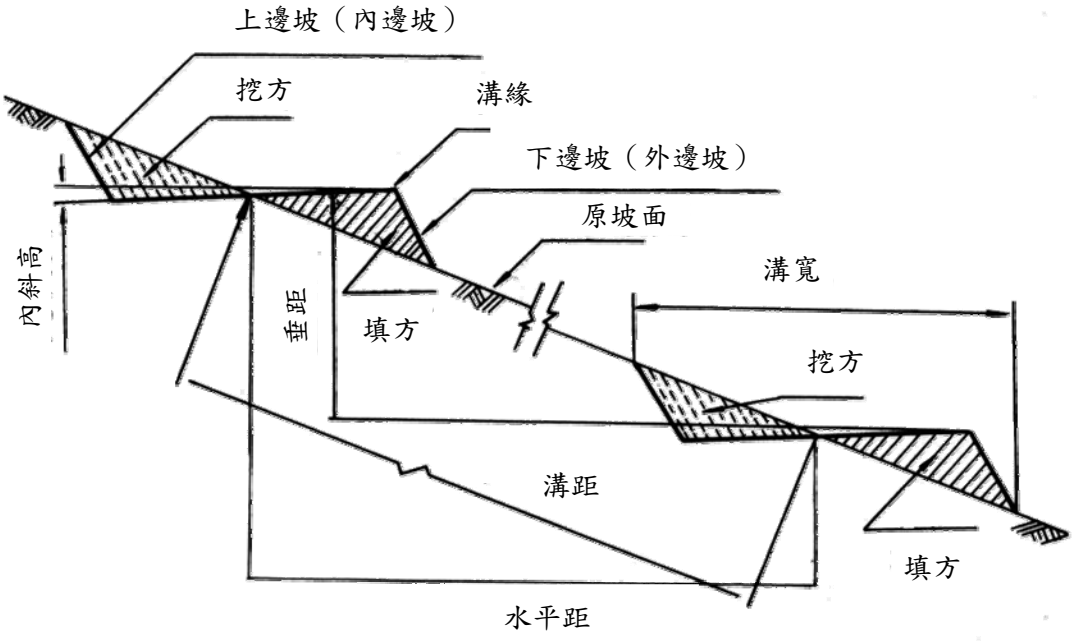
2.2.1 定義

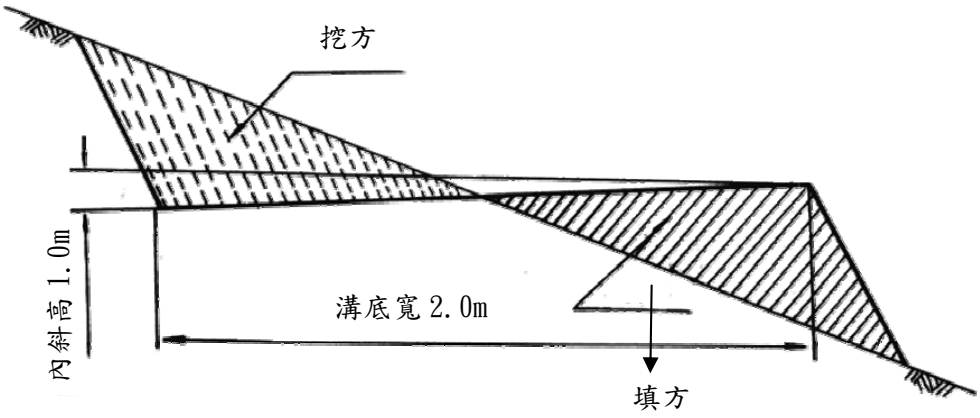
在坡面上，每隔適當距離，沿等高方向所構築之淺三角形溝。

2.2.2 目的

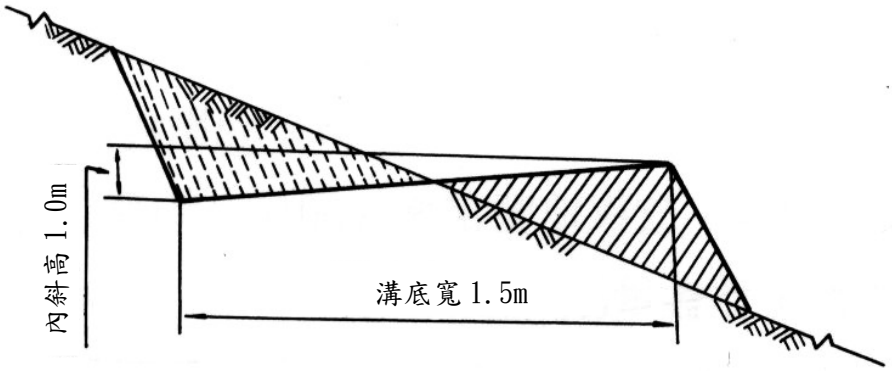
1. 減短坡長，分段截洩逕流以防止沖蝕，增進水土保持效益。
2. 提供田間作業道路，建立坡地省工經營基礎。

2.2.3 圖說





寬型



窄型(僅適用於外斜階段處理區)

圖 坡-2-2 山邊溝斷面圖

2.2.4 應用說明及設計

1. 以坡度 40%以下之坡地為原則。
2. 配合草帶法及外斜式平台階段時，可適應較陡之坡地。
3. 覆蓋完密之果樹園地、牧草地，可適用至坡度 55%。
4. 溝距：溝與溝間之地面距離，按垂直距離決定，其公式為

$$VI = \frac{S+6}{10} \qquad HI = \frac{VI}{S} \times 100 = \frac{S+6}{S} \times 10$$

其中

VI=垂直距離(m)　S=原地面坡度(%)　HI=水平距離(m)

依上式計算溝距如下表：

表 坡-2-1 山邊溝之坡度、溝距對照表

坡度		溝距(m)	
%	度	水平距離(HI)	斜面距離
3	1.7	30.0	30.0
4	2.3	25.0	25.0
5	2.9	22.0	22.0
6	3.4	20.0	20.0
7	4.0	19.0	19.0
8	4.6	18.0	18.0
9~10	5.1~5.7	16.5	16.6
11~15	6.3~6.8	15.0	15.1

坡度		溝距(m)	
16~20	9.1~11.3	13.3	13.5
21~ 25	11.9~14.0	12.6	12.9
26~ 30	14.5~16.7	12.1	12.5
31~40	17.1~21.8	11.7	12.4
41~55	22.3~28.8	11.0	12.0

根據土壤滲透性、沖蝕程度、作物種類及保育耕作情形等項加以研判，必要時得將溝距作 25%範圍內之增減。在草生地，溝距可增加 100%，放牧地暫定增加 50%。均應參照作物行距、機械作業寬度設計，並盡量減少短行。在果樹園，於山邊溝容許溝距範圍內，依 1～3 行果樹之行距而決定其溝距。

5. 採用型式：緩坡地採用寬型(溝底寬 2m)為宜，較陡坡地則可採用窄型(溝底寬 1.5m)，外斜階段處理區可用前列二型或採用梯型施設於階段內側，採用梯型時頂寬 30 公分以上，深度 20 公分以下。(詳註※)
6. 降坡：一般以 1-1.5%為原則，但為配合地形、作物，必要時得局部放寬至 5%。
7. 長度：單向排水之山邊溝，以不超過 100m 為原則，超過時可作雙向排水或中間排水。
8. 過水路面：一般山邊溝排水以中間會合排水為原則，溝與溝之銜接處應以鋪磚石及植草等構築寬底拋物線型明渠，以利農機通過。必要時得改用小型涵管。
9. 出水口：出水口應酌予增加其斷面寬度及降坡，與排水道連接處必須平順，必要時增設護坡或溝面保護工。
10. 宜配合實施上下邊坡及溝面植草。

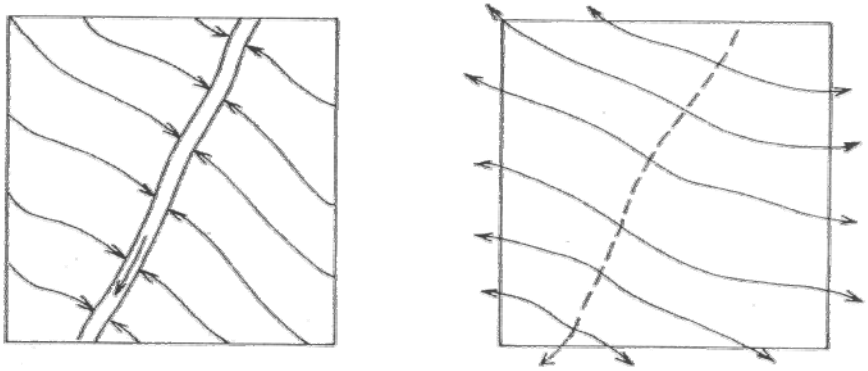


圖 坡-2-3 山邊溝排水示意圖

2.2.5 作業程序及注意事項

1. 勘查規劃：應先作全區勘查，依據地形、土壤、沖蝕及天然排水情形，決定排水位置及採用型式。
2. 決定溝距：就山邊溝所橫跨之坡面測出平均坡度後，查溝距表，再參酌勘查結果，及作物種類決定溝距。
3. 測定樁線：通常自出水口開始測定，每 5～10m 測定一樁，遇急彎處應增加樁數。樁線修正：樁線測定後，應加檢視，並作必要之調整，以消除急彎或減低彎曲程度。
4. 構築順序：應先自最上一條山邊溝依次向下構築。
5. 預留土壤沉陷率：填土應視土壤條件增高約 10%，預留為沉陷率。
6. 整修：初步完成後，應作校正測量。按照設計之斷面及降坡分別校正，從事整修。
7. 山邊溝經過窪地或溝蝕時，應加填實，斷面亦須加強。
8. 配合處理：截水溝、等高耕作與覆蓋作物或敷蓋、山邊溝植草、安全排水系統。

2.2.6 維護管理

1. 雨季前後應加檢視，如有損壞應立即整修。
2. 溝內淤泥、雜物等務必隨時清除。

註※ 各型山邊溝斷面與潤邊長計算

寬型 $A=(0.08\times0.5+1.6)/2\times0.08=0.0656m^2$ 出水高 2cm

P=0.08+1.6=1.68　　A/P=0.039

窄型　A=(0.12×0.5+1.2)/2×0.12=0.0756m^2　　出水高 3cm

P=0.12+1.2=1.32　　A/P=0.0573

梯型　A=(0.26+0.10)×0.16/2=0.0288m^2　　出水高 4cm

P=0.179×2+0.10=0.458　A/P=0.069

2.3 山邊溝植草

2.3.1 定義

在山邊溝溝面及上下邊坡種植適當之草類。

2.3.2 目的

1. 穩定斷面，減少維護工作。
2. 減少除草等管理工作。
3. 上邊坡植草，可穩定坡面，減緩坡面坡度。

2.3.3 圖說

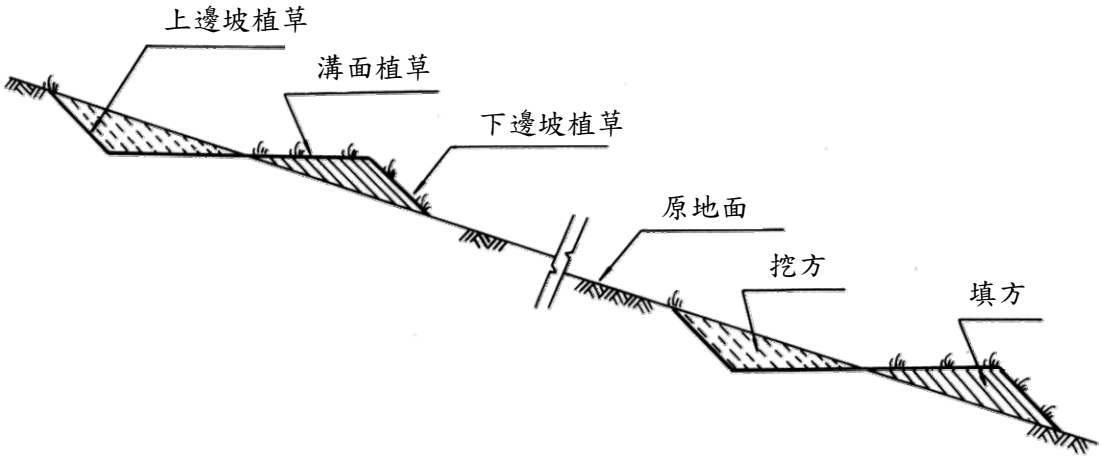


圖 坡-2-4 山邊溝植草斷面圖

2.3.4 應用說明及設計

1. 溝面草種以類地毯草、百喜草、假儉草、地毯草、百慕達草、兩耳草等為原則，亦可選用野生匍匐性草類。
2. 上下邊坡及溝緣以種植百喜草為原則，行株距 30cm×30cm。
3. 百慕達草則可切段撒播後覆土，並行壓實。

2.3.5 作業程序及注意事項

1. 山邊溝構築完成後，儘速種植。
2. 採用草苗種植時，以分株法三角形密植，使用種子時宜採用噴播或植生帶。

2.3.6 養護管理

1. 防止鼠類棲息。

2. 應維持良好覆蓋，缺株即予補植，必要時酌施肥料。

2.4 平台階段

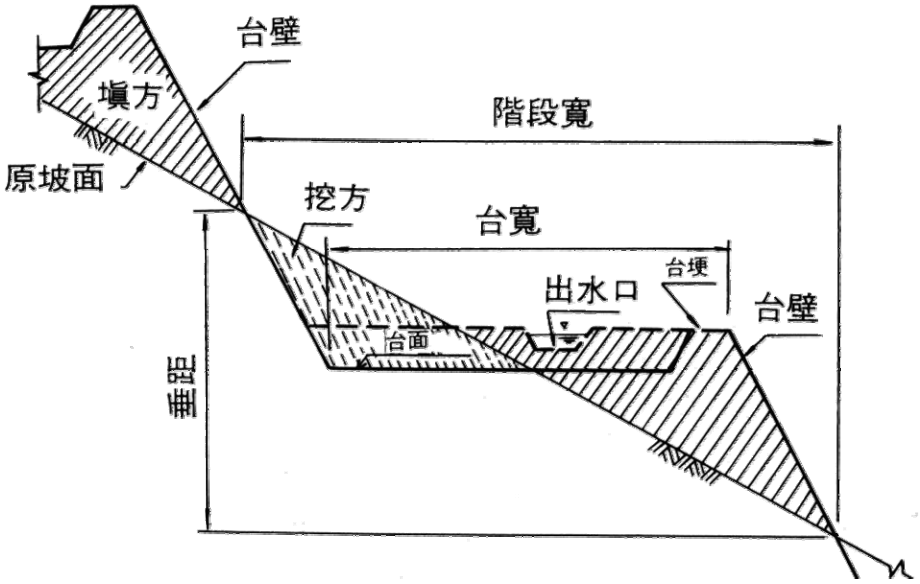
2.4.1 定義

在坡面上每隔適當垂距，沿等高方向，所築成多條連續之水平或微斜階段。

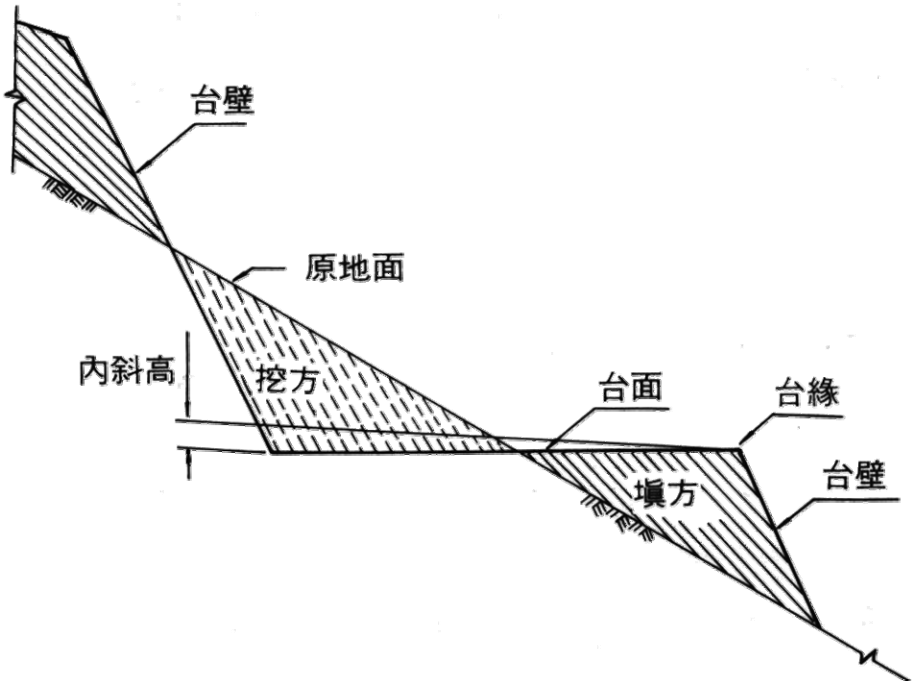
2.4.2 目的

1. 抑制逕流，防止土壤沖蝕。
2. 適應坡地耕作需要，達成安全土地利用。

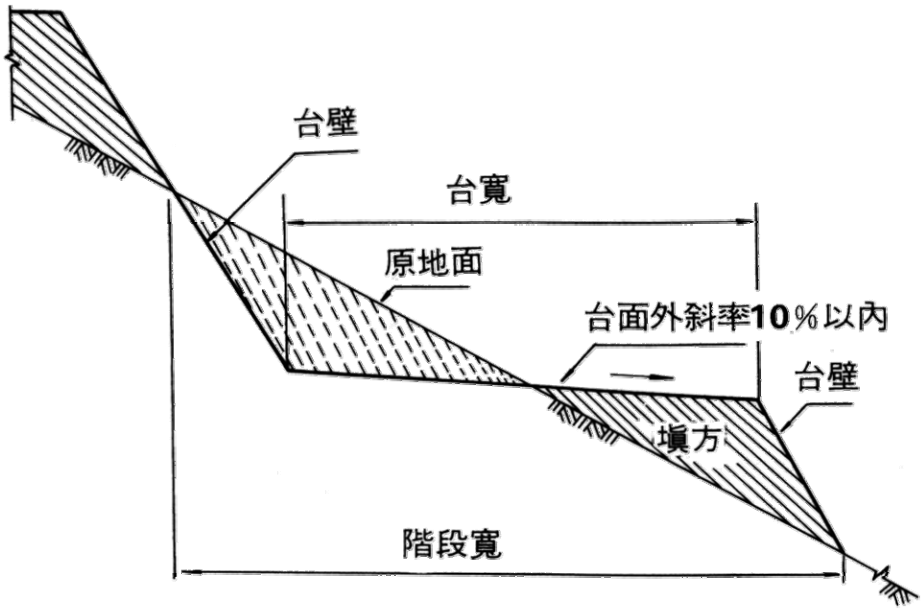
2.4.3 圖說



水平式



內斜式



外斜式

圖 坡-2-5 平台階段斷面圖

2.4.4 應用說明及設計

1. 有相當深度土壤之較陡坡地，視作物經營、機械施工、保育需要而採用。
2. 栽培勤耕作物之陡坡地採用。
3. 採用外斜式階段，階段外緣配合加植草帶。
4. 應用其他較經濟方法已能有效控制土壤沖蝕時，即毋須採用。

5. 台寬：視坡度、土壤深度、作物行株距及作業機械等因素而定。外斜式台寬以不超過山邊溝間距之 1/2 為原則。
6. 台壁：一般斜率挖方部份為 1：0.5，填方部份為 1：1～1.5，仍視土壤條件、植草、砌石等因素而調整，外斜式必須種植覆蓋良好草類。
7. 垂距：可按下列公式求得

(1)水平式

$$VI=\frac{W\cdot S}{100-S\eta}=\frac{W\cdot S/\eta}{100/\eta-S}=\frac{d\cdot S}{100}$$

(2)內斜式

$$VI=\frac{W\cdot S+k\cdot S\cdot\eta}{100-S\cdot\eta}=\frac{W\cdot S/\eta+k\cdot S}{100/\eta-S}=\frac{d\cdot S}{100}$$

(3)外斜式

$$VI=\frac{W\cdot S-k\cdot\eta\cdot S}{100-S\cdot\eta}=\frac{W\cdot S/\eta-W\cdot z\cdot S}{100/\eta-S}=\frac{d\cdot S}{100}$$

VI=垂距(m)　　D=階段寬(m)

W =台寬(m)　　k=內斜或外斜高(m)

S =原地面坡度(%)　　z =台面外斜率(豎比橫)

η=台壁斜率(豎比橫 1：η)

8. 台寬及階段寬：務必適應作物行距及作業機械寬度。

(1)水平式

$$d=\frac{100VI}{S}=W+VI\times\eta$$

(2)內斜式或外斜式

$$d=\frac{100VI}{S}=W+(VI\pm k)\eta$$

(※k 及 z 在內斜式採用正值，在外斜式採用負值)

9. 降坡：內斜式為 0.5～1%，外斜式則與山邊溝降坡相同。

長度：同一流向長度以不超過 100m 為原則。

10. 內斜高：內斜式經沈實後之內斜高，應在 10cm 以上，台寬在 3m 以上時為 5cm。

11. 外斜率：外斜式台面之外斜率，應在 10%以內。
12. 台埂：水平式之台埂，頂寬及高度各為 20cm。
13. 出水口：在銜接排水溝處台埂上，構築深 10cm、寬 20cm 左右之出水口。

2.4.5 作業程序及注意事項

1. 勘查與規劃：就地形、坡度、土壤深度、土壤質地、含石量、沖蝕程度及排水位置等作全面勘查，配合耕作、機械作業道路系統等決定採用形式，進行設計。
2. 測定樁線：選取坡度較均勻位置，就所設計寬度，自上而下測定基本樁，從基本樁開始，每隔 5～10m 定一樁，依次測樁線、台面應盡量等寬，以利耕作管理，遇地形變化較大以短行、局部調整降坡等補正。樁線應加檢視，遇急彎應加調整平順，並注意排水溝之銜接。
3. 清理地面：施工前地面上所有草類、樹木根株、石塊等均應剷除清理。
4. 人工挖填作業：挖掘中心線上側土方，移至中心線下側，應注意與下層原有土壤密接，填土應每 30cm 左右為一層逐層壓實，務求穩固。
5. 砌築台壁基礎：如有石塊可利用砌築台壁，應按台壁線先掘基礎後砌石，宜由下行而上依次溝築，砌石填土應配合進行。
6. 整修：階段施工中或初步完成後，應按設計台面及降坡隨時整修，務必符合規格。
7. 構築次序：一般自坡地最上方之第一條依次向下構築，便於作業及整修，並可防止施工中遇雨受損。如作表面處理或砌石台壁時，得自坡面下方向上構築，但遇雨時視需要開掘臨時截水溝保護。
8. 表土處理：如需表土處理時，方法有二：
   (1)上行表土下移：階段構築後，將上一行之表土移置台面，依次類推。
   (2)同行移置：將表土分段或沿中心線堆集，俟挖填作業後再將表土鋪回。
9. 使用推土機作業時，施工中及施工後，台壁應配合人工整修。
10. 構築完成後，台壁應儘速植草。
11. 平台階段因地形或障礙物限制而需跌段處理時，應加強排水及防止土壤沖蝕措施。

2.4.6 維護管理

1. 構築完成後之挖方部份，應行深耕，並作土壤改良措施。
2. 耕作中應注意維持台面原有標準斷面，損壞時立即整修。
3. 注意台壁草類之管理，保持完密覆蓋。

※土方計算：挖填方及工數計算

(1)每公頃挖填方數

$$\frac{V}{ha}=A\times\frac{100^2}{d}=A\times\frac{100^2}{W+(VI\pm k)\eta}\quad\left(m^3\right)$$

$$A=\frac{W\cdot VI\pm d\cdot k}{8}=\frac{W\cdot VI\left(W\cdot k+k\cdot VI\cdot\eta\pm k^{2\cdot}\cdot\mu\right)}{8}=\frac{d\cdot VI-VI^2\cdot\eta\pm(d\cdot k-VI\cdot k\cdot\eta)}{8}$$

$$\frac{V}{ha}=\text{每公頃挖填土方數}\left(m^3\right)$$

A=挖土或填土斷面積$\left(m^2\right)$

(2)根據每公頃土方數，及挖填整平工率，可求出每公頃需用工數。

2.5 寬壟階段

2.5.1 定義

在坡面上沿等高方向，每隔適當距離所構築之寬壟淺溝。

2.5.2 目的

1. 截短坡長，抑制土壤沖蝕。
2. 蓄積水分，促進作物生育。

2.5.3 圖說

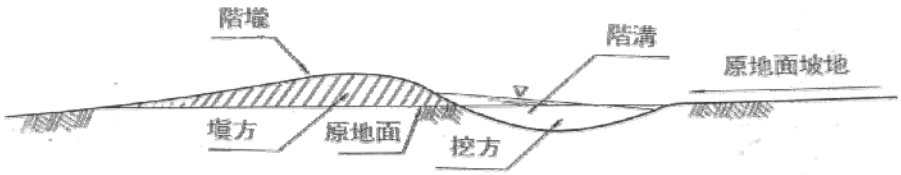


圖 坡-2-6 寬壟階段示意圖

2.5.4 應用說明及設計

1. 適用於土層深厚之緩坡地(坡度 12%以下)。
2. 排水型：坡度 2～12%，或滲透速度慢之土壤。
3. 蓄水型：坡度 0.5～5%，或滲透速度快之土壤。
4. 間距：與山邊溝同。
5. 降坡：排水型階段之降坡可用 0.1-0.6%。土壤滲透性不良或階段長者採用較大降坡，一般多用 0.3%或 0.5%。蓄水型階段之降坡為零。
6. 長度：單向排水之階段長度以 300m 為限，超過時可作雙向排水或中間匯合排水。
7. 橫斷面：階溝之橫斷面積應有 0.23～0.28m^2，以便容納逕流，階溝與階壟之邊坡為 1：4 至 1：6，以利耕作。
8. 出水口：同山邊溝。

2.5.5 作業程序及注意事項

1. 測定樁線：

(1)從田區頂端之最高點開始測量地面坡度，並決定階段之間距。

(2)測定之基線，排水型應以階溝溝底相合，蓄水型應以階段頂端相合。

(3)測量後應檢查，如有過於彎曲，應加調整，使基線圓滑而便於機械之構築與耕作。

(4)為減少短行之發生，定線時可調整降坡，儘量使各基線平行。

(5)如地面坡度均勻時，可實施平行階段之定線。平行階段之關鍵階段定線法與上述者同。其餘各階段之基線，由甲乙兩人用繩或卷尺測定；甲持線之一端，沿已定妥之階段基線行走，乙持線之另一端，其長度與階段之水平距相等，甲乙兩人垂直平行走動，每遇一測站，即將測樁釘入地中。

2. 構築：

(1)整理地面：填平蝕溝，清除雜草及枯葉等，以便構築。

(2)農機具依移動土壤方法之不同而分碟犁、板犁、推土機、挖土機、剷土機。

(3)構築方法：碟犁或板犁之翻滾法（如圖 坡-2-7）。推土機或剷土機（如圖 坡-2-8）。

(4)構築速率：因農機具、土壤水份、地面坡度、階段長度及操作者之技術與經驗而不同。各種農機具之相關構築率為：板犁，1.0；碟犁，1.1；推土機：剷土機：板犁之實際速率，每小時約為 50～100 公尺。

(5)校正測量與整修：階段築完後，往往未能達到標準，必須校正測量。排水型階段之階溝不可過深或過淺，降坡亦需平順。蓄水型階段之階埂須有適當高度，不可存有陷凹處。所測出不符標準處，應作記號，以便修整。階段兩端因曳引機無法構築，需要人工予以完成。

2.5.6 維護要點

1. 階段構築後應常檢查；如發現下陷、缺口或沖毀等，應立即整修。階溝降坡必須維持設計標準。
2. 各種耕作應與階段平行。
3. 為維護階段，應實施如圖 坡-2-9 之適當耕犁方法，對階段維護頗重要。
4. 植畦之排列，先平行下方階段之階溝，築 4～6 條長行之植畦，然後平行上方之階溝，逐次往下方築畦，直到與該 4～6 條長行植畦相遇為止，短行插於其中。

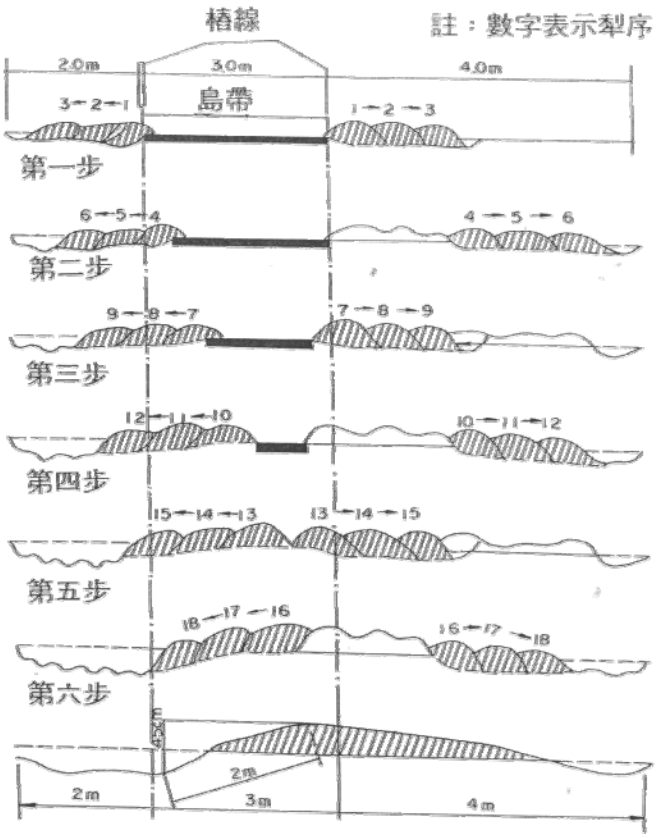


圖 坡-2-7 階段犁成後之橫斷面圖(犁構築寬壟階段之滾翻方法)

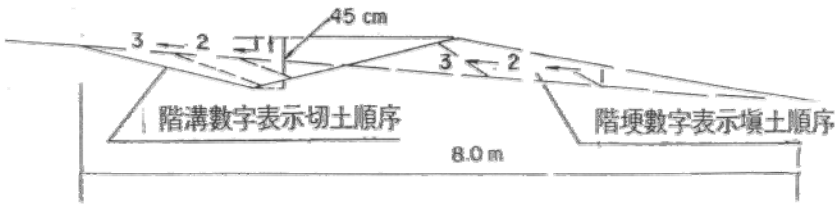


圖 坡-2-8 推土機構築寬壟階段方法

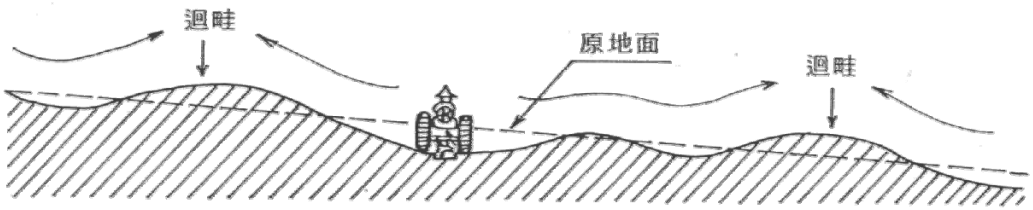


圖 坡-2-9 維持寬壟階段之耕犁方法

(1)單向犁法：若干年後寬壟階段幾乎變成平台階段。虛線表示原來坡面。箭頭表示耕犁時土壤移動之方面。

(2)雙向犁法：維持剖面幾乎不變。

2.6 台壁植草

2.6.1 定義

在平台階段台壁上種植適當之草類。

2.6.2 目的

防止台壁沖蝕，保護階段安全。

2.6.3 圖說

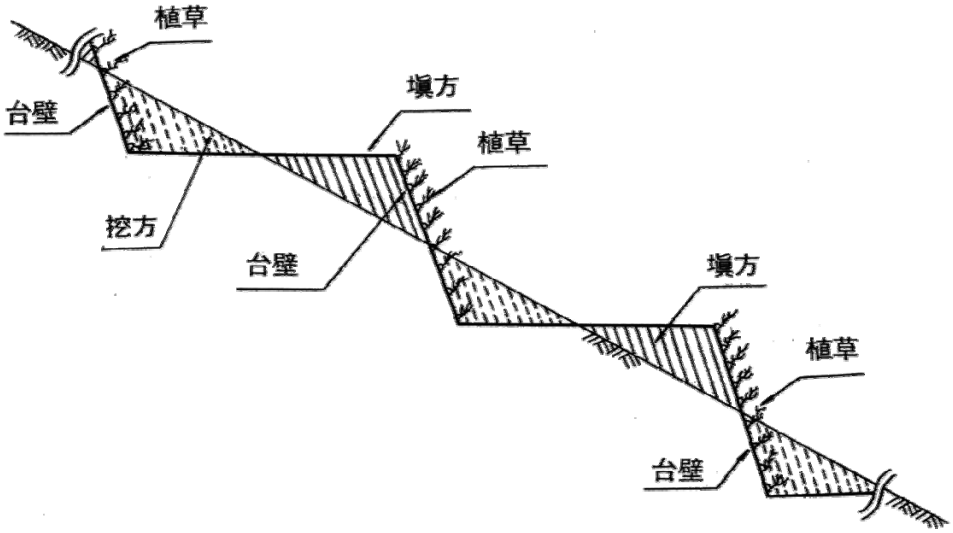


圖 坡-2-10 台壁植草示意圖

2.6.4 應用說明及設計

1. 平台階段除砌石台壁以外所必須實施之處理。
2. 草種以百喜草、類地毯草、假儉草、百慕達草等為原則，亦可選留野生匍匐性草類。

2.6.5 作業程序及注意事項

1. 平台階段構築完成後儘速種植。
2. 採用百喜草苗種植時，以分株法 30cmx20cm 行三角形密植。
3. 使用種子時宜採用噴植或植生帶。

2.6.6 維護管理

1. 旱季宜行割草，以減少土壤水分之損耗。
2. 防止鼠類棲息。
3. 應維持良好覆蓋，缺株應予補植，必要時施加少量肥料。

2.7 石牆法

2.7.1 定義

在坡面上按等高方向，每隔適當距離所砌築之石牆。

2.7.2 目的

1. 就地利用石塊，清除耕作障礙。
2. 減少水土流失，截留下移土壤，逐漸形成平台階段或山邊溝。
3. 減緩耕作面坡度，以利經營管理及機械作業。

2.7.3 圖說

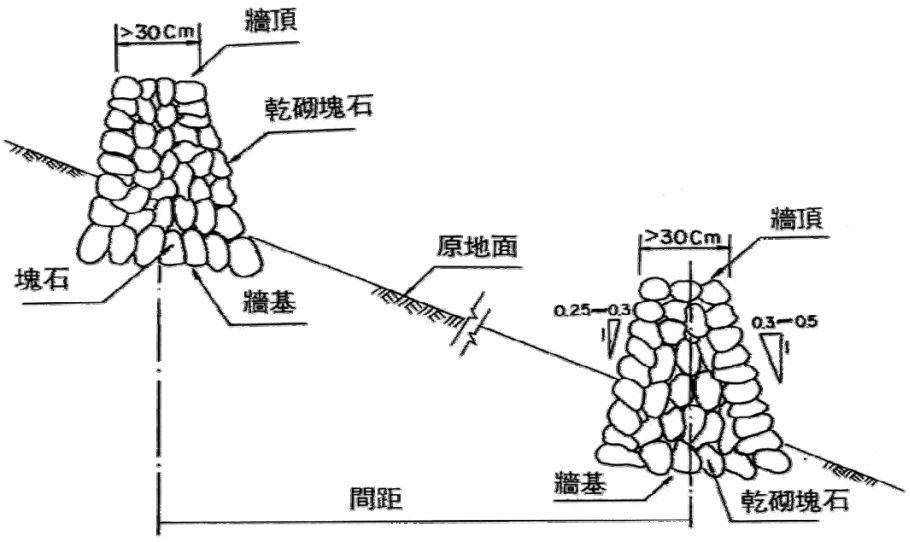


圖 坡-2-11 石牆法示意圖

2.7.4 應用說明及設計

1. 含石量多之坡地。
2. 作為平台階段或山邊溝之初期處理。
3. 斷面：按土地石塊含量多寡而定，下邊坡以 1：0.3 ～1：0.5，上邊坡以 1：0.25～1：0.3 為原則，牆頂儘可能水平，頂寬在 30cm 以上。
4. 間距：按下列情形決定

   (1)形成平台階段時，石牆按計畫台壁線構築。

   (2)形成山邊溝時，石牆按計畫山邊溝線構築。

   (3)減小坡度時，按作物行距並參照機械作業寬度構築。
5. 石牆與石牆應儘量平行，減少短行，以利耕作。

2.7.5 作業程序及注意事項

1. 牆線定樁後，先按基線挖深 30cm 以上之基礎。
2. 基層應選較大石塊，下邊坡應力求穩固。
3. 作平台階段初期處理時，牆不宜過高。
4. 作平台階段初期處理時，視石塊分佈情形可分次砌築。

2.7.6 維護管理：

1. 石牆間應實施等高耕作。
2. 作平台階段或山邊溝之初期處理時，淤至相當高度，應加整修，以符合平台階段或山邊溝之標準。

2.8 草帶法

2.8.1 定義

在坡面上間隔適當間距，沿等高方向栽植之草帶。

2.8.2 目的

1. 阻截逕流，促進入滲作用，滯留下移土壤。
2. 減緩耕作面坡度，以利機械作業。
3. 逐漸形成平台階段。

2.8.3 圖說

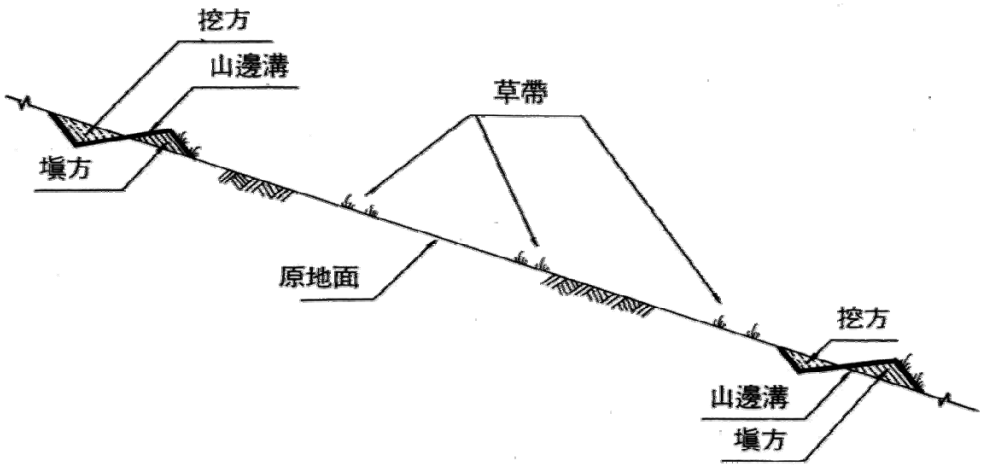


圖 坡-2-12 草帶法示意圖

2.8.4 應用說明及設計

1. 果園或種植勤耕作物等之坡地。
2. 地面起伏不均、土壤含石量高、蝕溝較多等不宜採用。
3. 坡度以不超過 55%為原則。
4. 草種：百喜草、戀風草或對主作物影響少且易於管理之草類。
5. 間距：按照作物栽培之行距決定，以 4～8m 為原則。

2.8.5 作業程序及注意事項

1. 以山邊溝為基準線，在山邊溝間距內，測定草帶樁線，每隔 5～10m 定樁一支，依次施測；山邊溝溝距應配合草帶位置及其間距調整。
2. 將草帶栽植線上之障礙物清除，地形複雜處酌予整勻。

3. 取新鮮草苗以分株法種植時，每穴種植 2～3 株，每條草帶植草二～三行，戀風草行株距為 20cm×10cm，百喜草行株距在一般土壤為 50cm×30cm，但在易於沖蝕之泥岩地區宜採用密植行株距為 30cm×20cm，行三角形植法。採播種法時，草帶寬度須達 50cm 以上，用草蓆或不織網布等加以敷蓋。

2.8.6 維護管理

1. 草帶應維持生育整齊，缺株應隨時補植。
2. 採用播種法時，可用草蓆、不織布、遮蔭網等敷蓋以增加成活率。
3. 草帶應在離地面刈割，保留生長點使易於恢復生長。

2.9 覆蓋

2.9.1 定義

為可充分保護及改良土壤所選用之莖葉繁茂被覆完密之植物。

2.9.2 目的

1. 被覆地表，截阻雨點打擊，抑制沖蝕。
2. 增加土壤有機質含量，改良理化性質。
3. 抑制雜草，降低管理成本。
4. 緩和微氣候及地溫之變化，改善坡地環境。

2.9.3 圖說

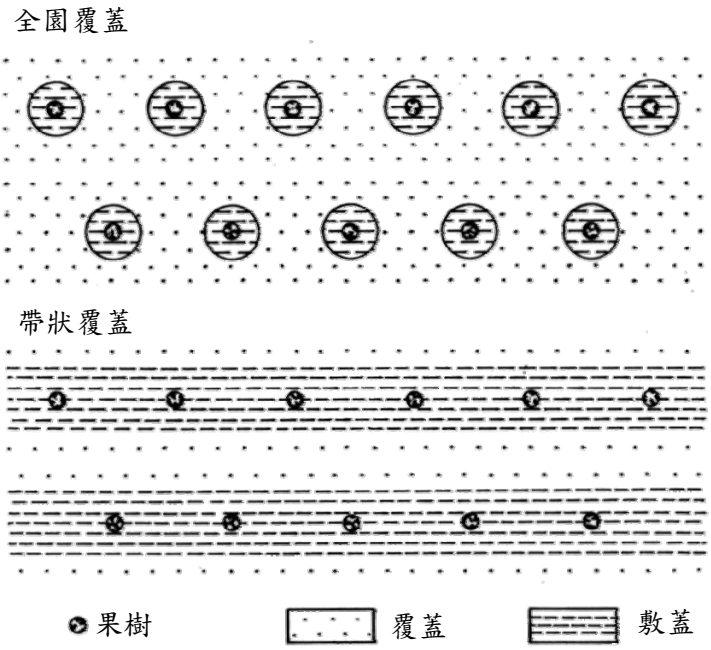


圖 坡-2-13 覆蓋作物示意圖

2.9.4 應用說明及設計

1. 以果樹園為主，為坡地果園之配合處理。
2. 草種以水土保持常用草類為主(詳植生方法篇 6.1)。
3. 一般果園行全面覆蓋，並割草覆於樹冠下方。
4. 幼齡果園，宜作行間帶狀覆蓋及敷蓋(如覆蓋作物示意圖)。

2.9.5 作業程序及注意事項

1. 採百喜草以分株法種植時，行株距 50cm×30cm，三角形植法，種植前先行整苗，每穴種植 2-3 株，雨天種植尤佳。

2. 行播種法時，則以拌土條播、植生帶、草帶敷蓋或使用柏油乳劑噴播。

2.9.6 維護管理

1. 第一年每公頃施用尿素 100-200kg。
2. 旱季前割草一次，以減少土壤水分之損耗。
3. 注意防止鼠類棲息及火災。
4. 割下之草就近敷蓋於植株四周。行帶狀覆蓋時，則敷蓋於帶間。

2.10 敷蓋

2.10.1 定義

將草類、作物殘株或其他材料敷蓋在作物株行間或裸露之地表上。

2.10.2 目的

1. 減少逕流及土壤流失，增進土壤水分含量。
2. 抑制雜草，減少中耕除草。
3. 調節地溫。
4. 增加土壤有機質。
5. 減少土壤水分蒸發。

2.10.3 應用說明及設計

1. 逕流及土壤流失量大之耕地。
2. 為增加土壤有機質調節地溫、減少土壤水分蒸發或抑制雜草生長。
3. 以 PE 材料敷蓋時，僅能達到抑制雜草、減少中耕除草；調節地溫和減少土壤水分蒸發。

2.10.4 作業程序及注意事項

1. 割果樹園之覆蓋作物或草類、作物殘株，可用為敷蓋材料。
2. 利用 PE 材料或人工纖維等作為敷蓋材料時，以在行畦上敷蓋為宜。
3. 注意病蟲害之防治與防火。
4. 以 PE 等敷蓋時逕流必激增，應特別加強排水設施。
5. 粗大殘株應先粉(切)碎後使用。
6. 果園使用有機材料，不宜敷蓋太厚；全面敷蓋宜為條(帶) 狀。

2.11 綠肥

2.11.1 定義

凡經栽培施用於土壤中，作為肥料或改良土壤用之植物。

2.11.2 目的

增加土壤養分及有機質，改良土壤理化性，增進團粒構造，減少土壤沖蝕。

2.11.3 應用說明及設計

1. 砂地、粘重地或貧瘠地之改良。
2. 經濟作物之休閒期栽培或行間間作。

2.11.4 作業程序及注意事項

1. 種類：選擇適應當地氣候土壤、栽培容易、生長迅速、產量高、肥料成分豐富，對主作物或後作物無不良影響且採種容易者。田菁、太陽麻、紫雲英、營多藤、魯冰、虎爪豆、白花三葉草等較適於坡地。
2. 行距：參照附錄，但間作時應視主作物之行距及生長習性調整。
3. 接種：豆科植物一般須接種適當根瘤菌後播種。
4. 播種：按照行距，於春季或秋季土壤保持適當水分時播種。
5. 割取施用：割取時期因土壤、氣候及主作物而異，通常於開花初期含氮量最多，柔嫩多汁易於分解，為適當之割犁入時期。
6. 施肥：豆科植物每公頃施氮 10kg、磷酸 60kg，氧化鉀 30kg 為原則。

2.12 坡地防風

2.12.1 定義

為防止或減輕坡地風害，所栽植之林帶或草帶。

2.12.2 目的

1. 抑制風蝕。
2. 減少作物因強風造成之生理或機械傷害。
3. 減少地表及作物之蒸發散量。
4. 減少鹽害。

2.12.3 圖說

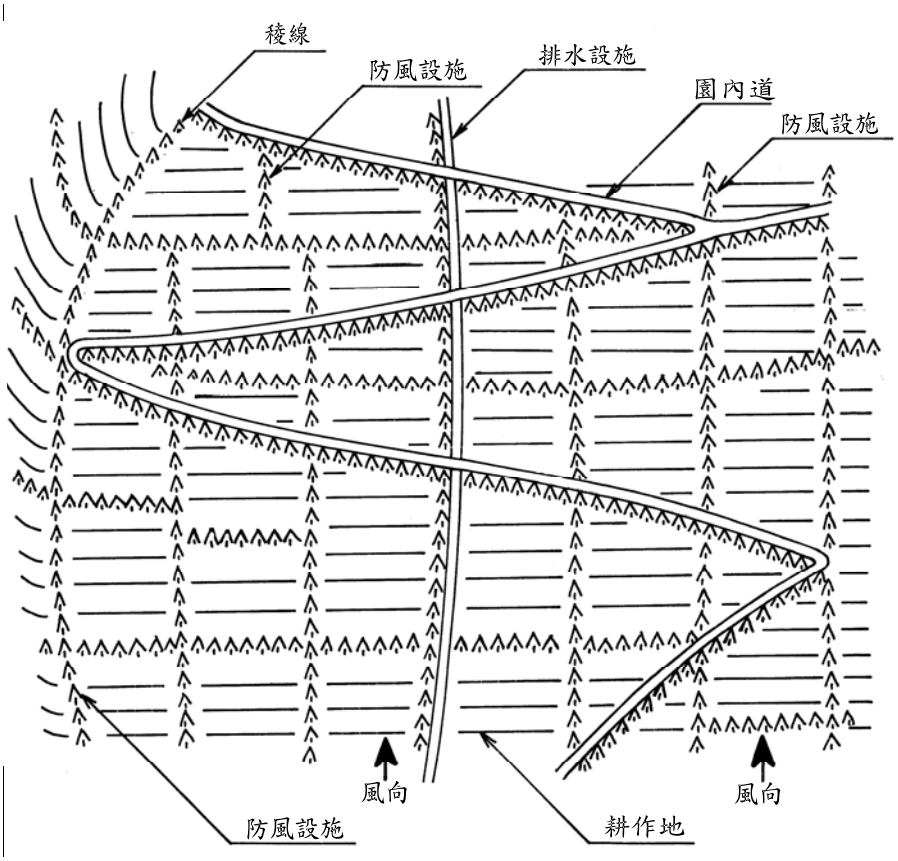


圖 坡-2-14 坡地防風示意圖

2.12.4 應用說明及設計

1. 適用範圍

(1)風蝕或強風地區之坡面。

(2)栽培易受風害作物之坡地。

2. 樹種：以選取深根性多分枝之直立樹種，樹幹及枝葉具有彈性及耐風者為宜。如相思樹、木麻黃、琉球松、赤楊、龍眼、樫柳及竹類等。
3. 草種：防風草類以狼尾草、菅草類等為宜。
4. 間距：林帶及草帶間距一般為樹或草高之 7 倍左右。陡坡地視地形酌予增減。在防風效能範圍內，宜儘量利用田區界線、稜線、道路邊界等設置。
5. 位置及方向之選定

   (1)防風帶與主風向垂直，並自向風面遞次設置。

   (2)橫向防風帶，可略沿等高方向設置。

   (3)防風草帶位置，避免妨礙田間作業。山邊溝區之防風草帶應上下行佈置。

   (4)植防風林帶時，可先在林帶上風方向之側緣植草帶，爭取防風時效，兼可保護幼木，成育後亦有下木功效。

2.12.5 作業程序及注意事項

1. 按設計原則，決定林帶或草帶位置，選取適合之樹種或草種。
2. 種植方法

   (1)按設計原則，決定林帶或草帶位置、選取適合之樹種或草種種植。

   (2)相思樹：可播種或苗木種植，播種行條播或點播，穴距 0.5～1m，行距 1m。

   (3)竹類可行單行栽植，莿竹及長枝竹株距 1～1.5m，觀音竹及八芝蘭竹株距 1m，每穴 1～3 株。

   (4)狼尾草以扦插法種植，株距 20～30cm，行距 30～50cm。

   (5)菅草以分株法種植，株距 20～30cm，行距 30 ～50cm。

   (6)木麻黃、相思樹等較高大樹種應配合種植草帶或灌木。
3. 種植時期：一般以初春或雨季種植。
4. 林帶種植前應先除草整地，種植後注意管理，並酌施肥料。
5. 應防止與主作物之病蟲害寄生與傳播。

2.12.6 維護管理

1. 種植後遇有缺株即應補植，樹木須加修剪，使再萌發密茂小枝，期加強防風效能。竹林應切去不必要枝椏或過多的枝桿，以免妨礙鄰旁作物生長。
2. 防風林帶在風季宜立支柱及編柵，以加強防風效能。
3. 為防止林帶與主作物爭奪水分，在林帶與耕地間可掘溝，並必須作適度修剪，以防止影響作物生長。

2.13 農地沉砂池

2.13.1 定義

於農地排水路或匯流處，設置用以沉積逕流所挾帶泥砂之構造物。

2.13.2 目的

1. 沉積泥砂預防土砂災害。
2. 防止泥砂流出，減少水流污染。
3. 利用沉積泥砂，回鋪農地。

2.13.3 圖說

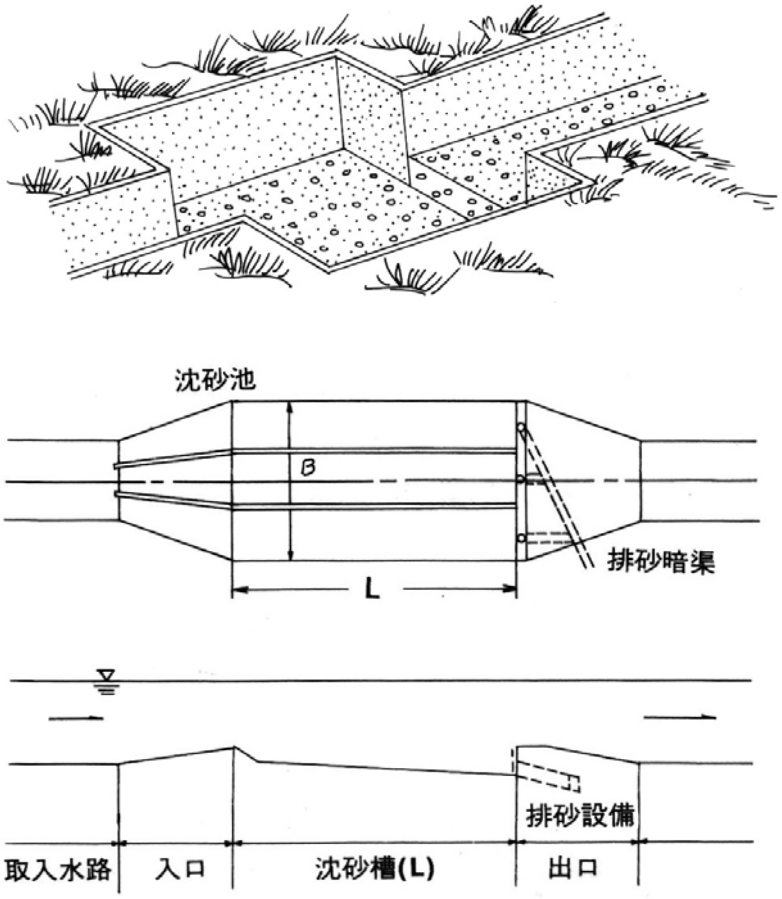


圖 坡-2-15 沉砂池示意圖

2.13.4 應用說明及設計

1. 適用範圍

(1)臨時性沉砂池：於整地或農地水土保持施工時，以簡易施工方式就地取材所構設之臨時性淤砂。常於整地作業完成後即行填平不用。

(2)永久性沉砂池：整地後土地利用開始時或農地水土保持完成後乃有泥砂流出時需加以阻截淤積所設置之永久性構造物。

2. 土壤流失量之估計，由下列三種方法擇一估算之

(1)採用通用土壤流失公式(USLE)估算之，如本篇 7.1。

(2)整地中每年每公頃不小於 500 m^3 之土壤流失量。

(3)完成水土保持處理之新開土地，每年每公頃不少於 30m^3 之土壤流失量。

3. 沉砂池之規格

(1)沉砂池長度

由下式求出，唯農地之沉砂以留置農地流失之土壤為主，極細之懸浮粒比例不多，以能留滯粒徑較粗土粒為主要目標。

$$L = K\left(\frac{H}{Vg}\right)\cdot V$$

式中 L：沉砂池之長度(m)

K：安全係數(1.5～2.0)

H：沉砂池之平均水深(1.5～2.0m)

V：沉砂池內平均流速(0.15～0.30m/sec)

Vg：最小沉積粒徑之臨界沉降速度(m/sec)

(一般採用 0.1m/sec)

4. 沉砂池設計容量，視土壤流出，每年清除次數及沉砂數量而定。永久性沉砂池以每年至少清除一次為宜，颱風豪雨季節視情況而定增加次數，臨時性沉砂池每在降雨後立即予以清除。

5. 沉砂池深度一般以 1.5～3.0m 為宜。

6. 沉砂池之形狀：以長形為宜。

7. 臨時沉砂池以就地取材(土質、砌塊石、編柵或水泥板)，永久性沉砂池即以土質加完密之植生或堅固水泥質材料構築之簡易施工方式構設。

2.13.5 作業程序及注意事項

1. 開挖整地時間應避開颱風豪雨季節。

2. 依作業面積大小、土壤沖蝕量多寡、採分年分區、分段施工設置。並將整地成之坡面，迅速引進植生以防止土壤流失。
3. 整地或構築水土保持設施，應在上坡面設置截水溝，攔截上方逕流。
4. 整地作業施工中，除設置臨時沉砂池外，應配合設置臨時排水溝，防災小土堤或防砂柵。
5. 確實執行沉砂清除作業，保留安全容量，發揮沉砂效果。
6. 設計深度及沉砂池長度，必須足夠，以免污泥流出。

水土保持手冊

坡地保育篇

目錄

三. 蝕溝控制.....1

3.1 蝕溝控制.....1

表 坡-3-1 溢洪口厚度參考值.....15
表 坡-3-2 護坦厚度度參考值.....15

圖 坡-3-1 單籬壩示意圖.....1
圖 坡-3-2 雙籬壩示意圖.....2
圖 坡-3-3 樹枝壩示意圖.....2
圖 坡-3-4 單排樁樹枝壩示意圖.....3
圖 坡-3-5 土袋壩示意圖.....4
圖 坡-3-6 堆石壩示意圖.....4
圖 坡-3-7 鉛絲網壩示意圖.....5
圖 坡-3-8 木格籠壩示意圖.....6
圖 坡-3-9 木板壩示意圖.....7
圖 坡-3-10 砌石壩示意圖.....8
圖 坡-3-11 蛇籠壩示意圖.....9
圖 坡-3-12 箱籠壩示意圖.....10
圖 坡-3-13 預鑄混凝土板壩示意圖.....10
圖 坡-3-14 連續壩示意圖.....13

三. 蝕溝控制

3.1 蝕溝控制

3.1.1 定義

為抑止溝床及溝岸沖蝕，穩定蝕溝之橫向構造物。

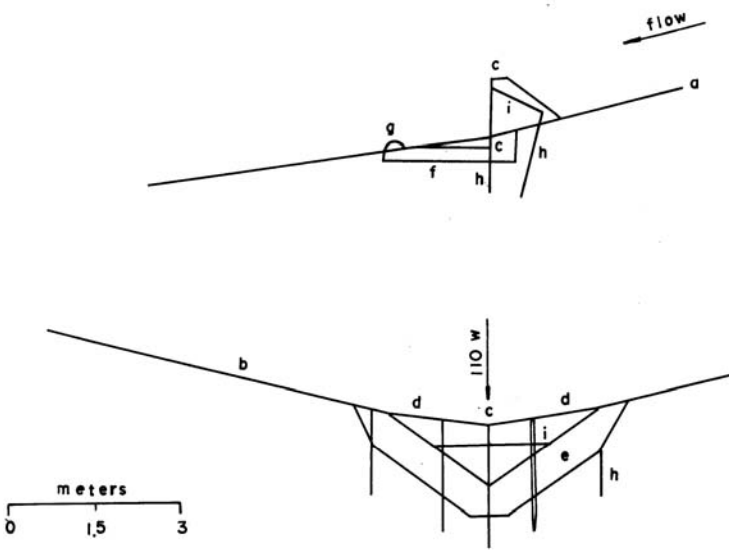
3.1.2 目的

1. 調整溝床降坡，減低水流之曳引力，防止溝床之縱向沖蝕，穩定溝身。
2. 固定水道，防止橫向沖蝕，保護溝岸。
3. 攔阻泥沙，減免下游災害及公共設施之維護費。
4. 促進植物被覆初期之溝身穩定。

3.1.3 圖說

1. 籬樁壩

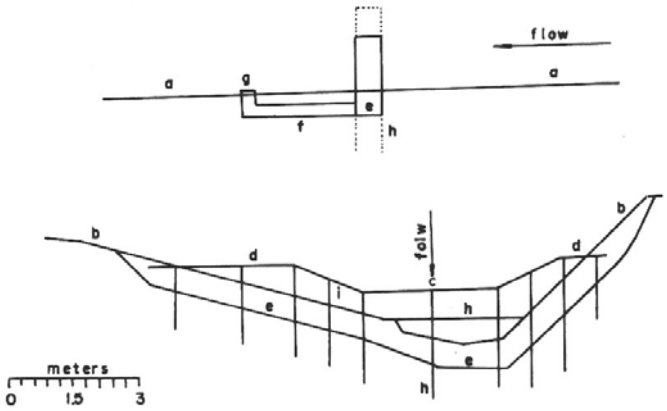
(1)單籬壩



A：平行於蝕溝中心線壩之斷面
B：壩之橫斷面
a：原蝕溝底部
b：原蝕溝橫斷面
c：溢洪道
d：出水高度之頂部
e：開挖做插牆
f：開挖做插牆
g：尾檻
h：鋼籬柱
i：連接桿（rebar）

圖 坡-3-1 單籬壩示意圖

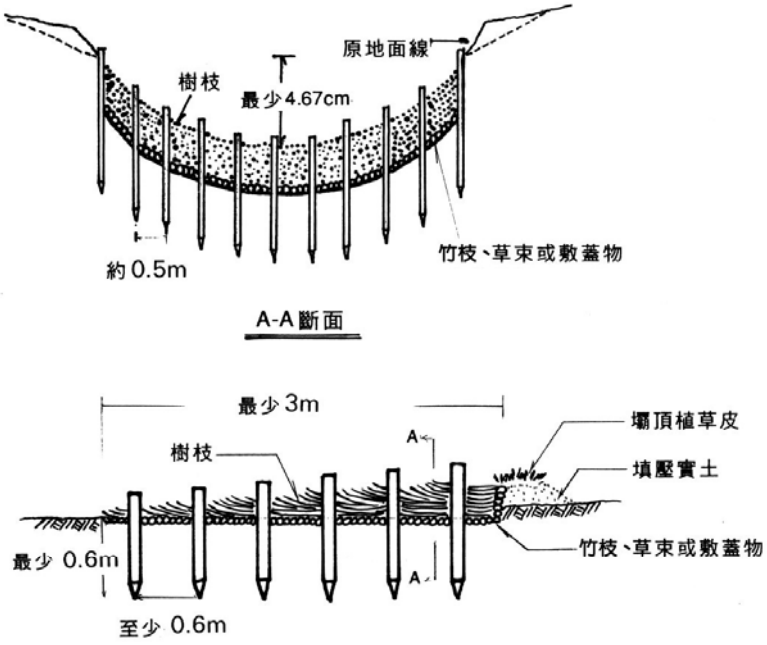
(2)雙籬壩



A：平行於蝕溝中心線壩之斷面
B：壩之橫斷面
a：原蝕溝底部
b：原蝕溝橫斷面
c：溢洪道
d：出水高度之頂部
e：開挖做插牆
f：開挖做護坦
g：尾檻
h：鋼籬柱
i：連接桿（rebar）

圖 坡-3-2 雙籬壩示意圖

2. 樹枝壩



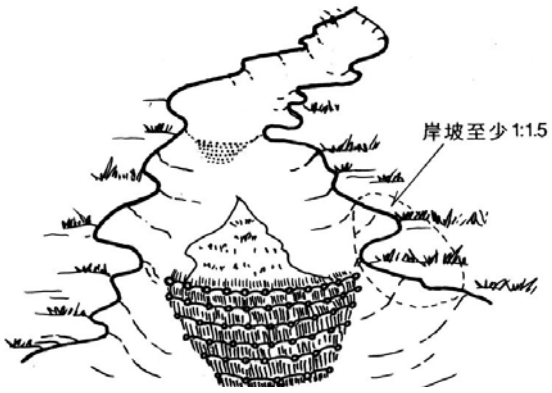


圖 坡-3-3 樹枝壩示意圖

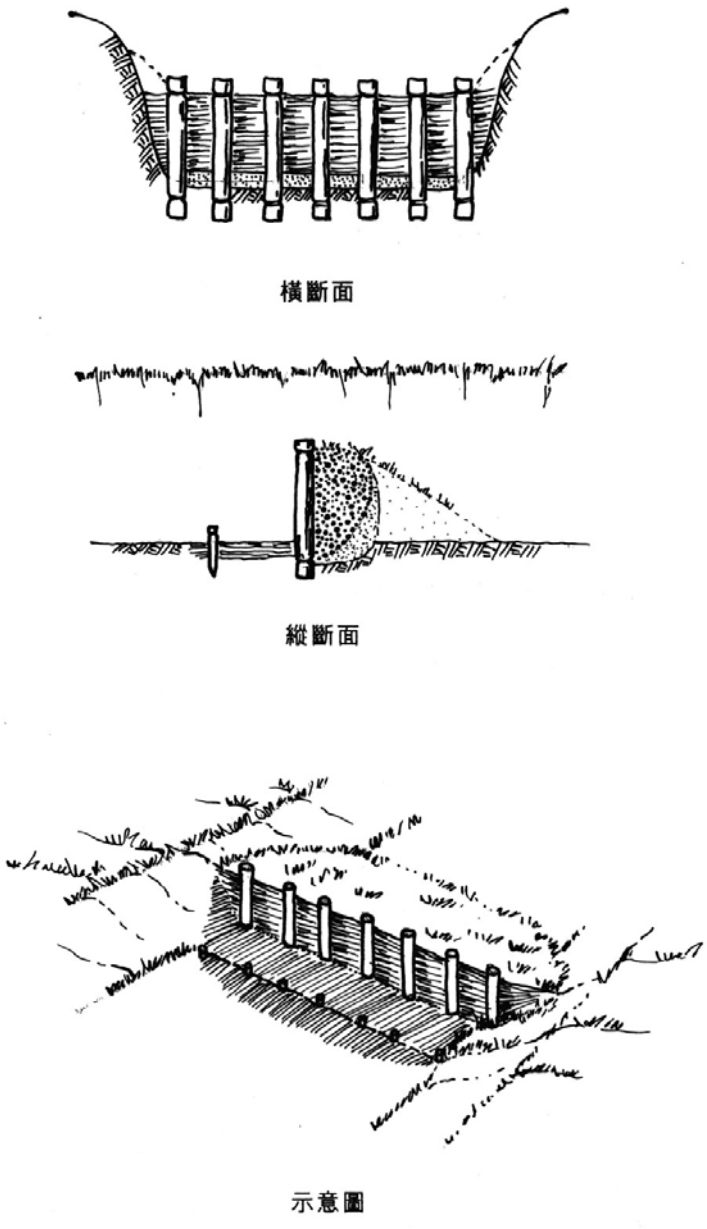


圖 坡-3-4 單排樁樹枝壩示意圖

3. 土袋壩

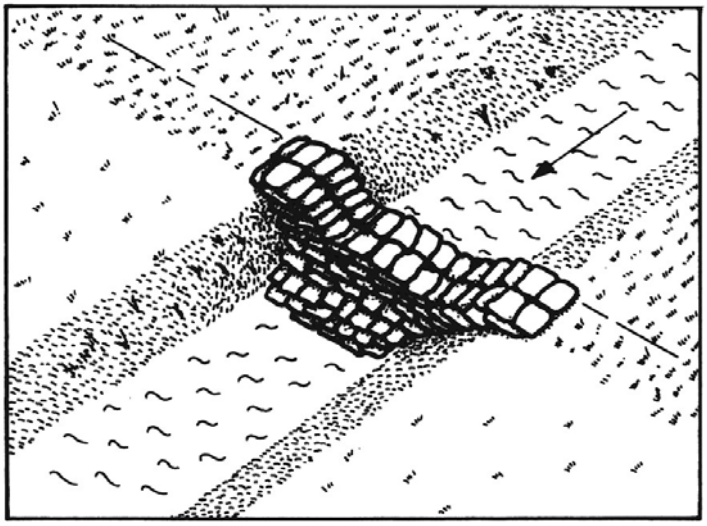


圖 坡-3-5 土袋壩示意圖

4. 堆石壩

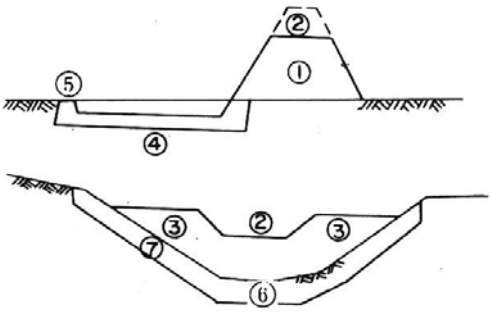
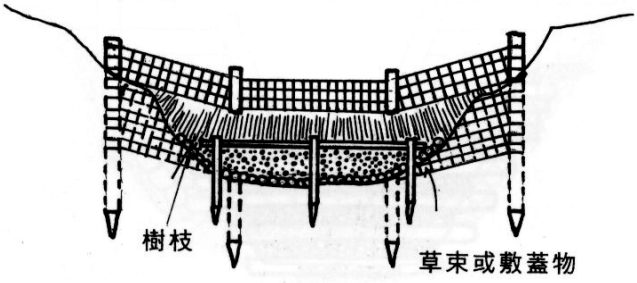
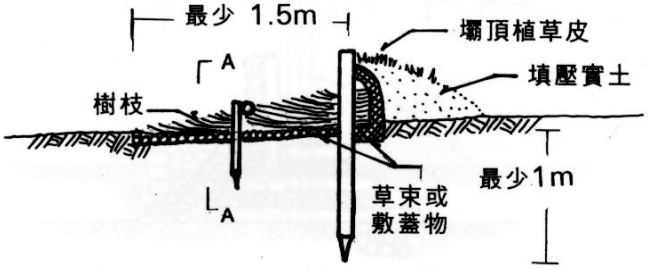


圖 坡-3-6 堆石壩示意圖

5. 鉛絲網壩



A-A斷面



中心斷面（剖面）

鉛絲網壩示意圖

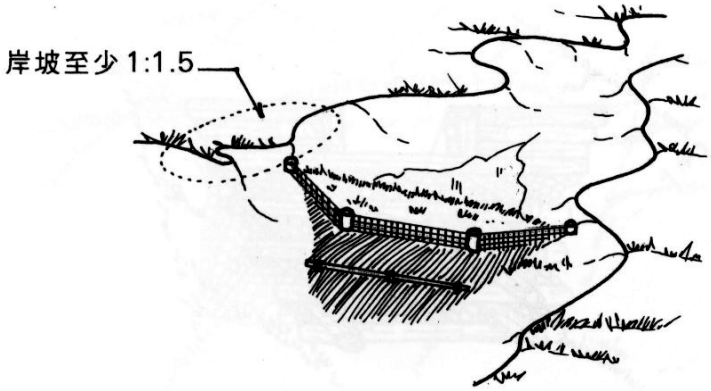
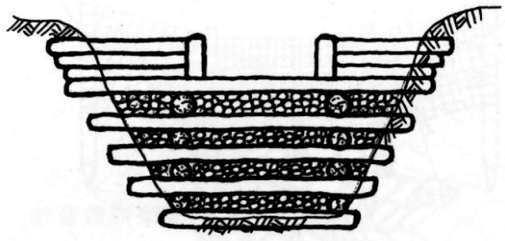


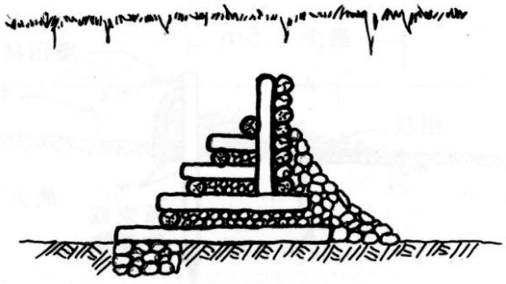
圖 坡-3-7 鉛絲網壩示意圖

6. 木料壩

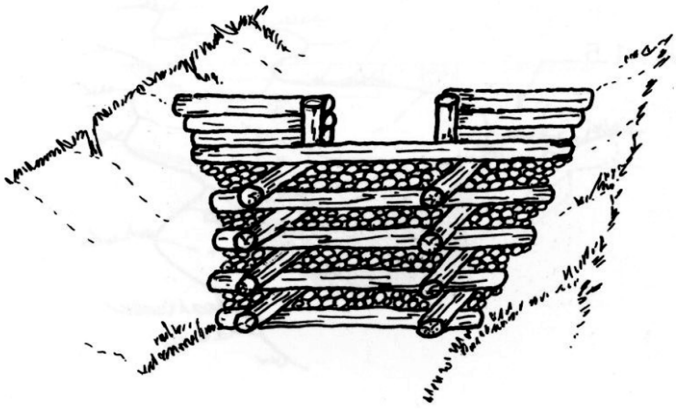
(1)木格籠壩



橫斷面



縱斷面

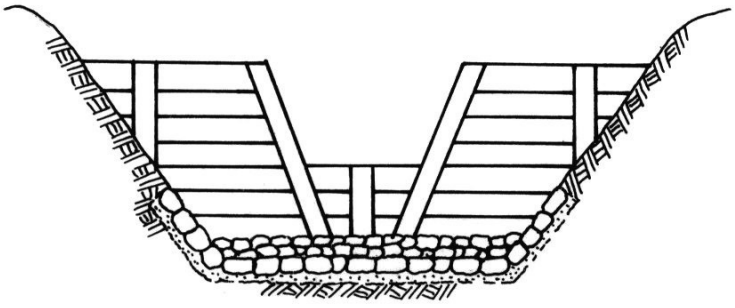


示意圖

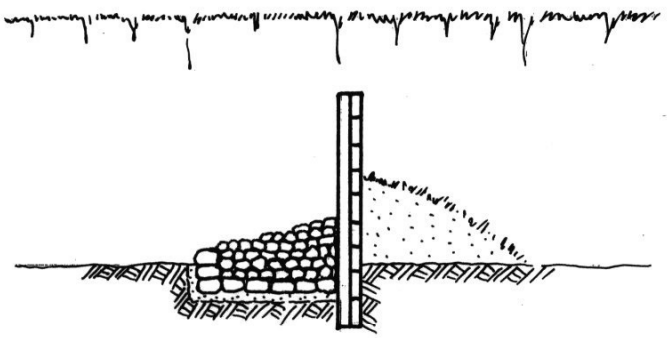
石塊填充之圓木格籠壩示意圖

圖 坡-3-8 木格籠壩示意圖

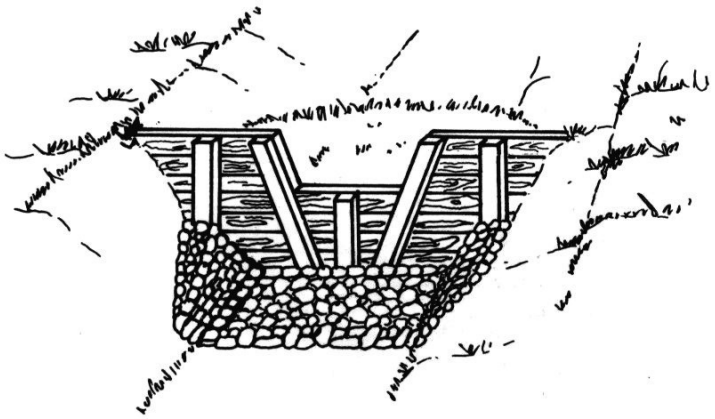
(2)木板壩



橫斷面



縱斷面



示意圖

具砌石護坦之木板壩示意圖

圖 坡-3-9 木板壩示意圖

7. 砌石壩

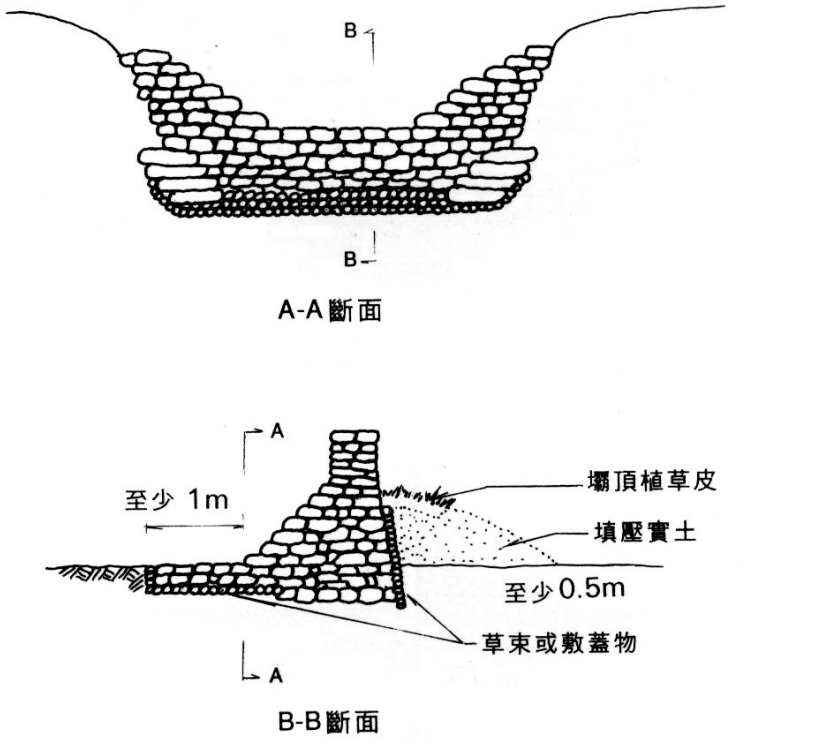
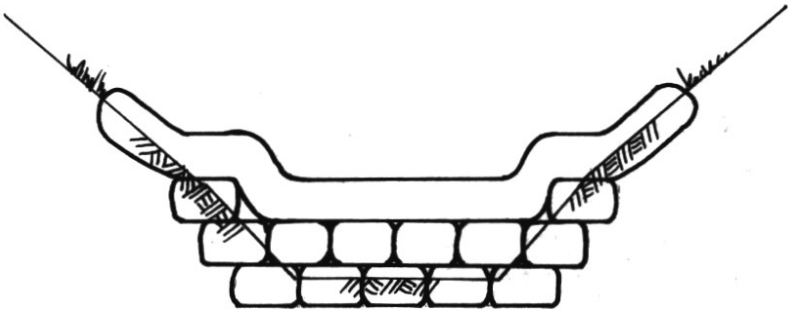
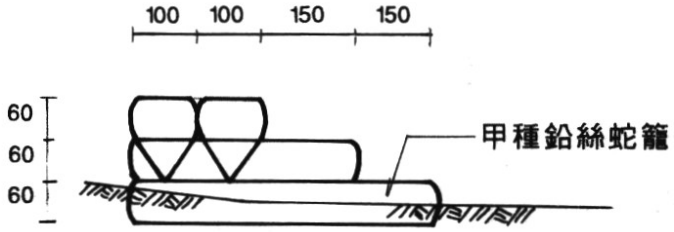


圖 坡-3-10 砌石壩示意圖

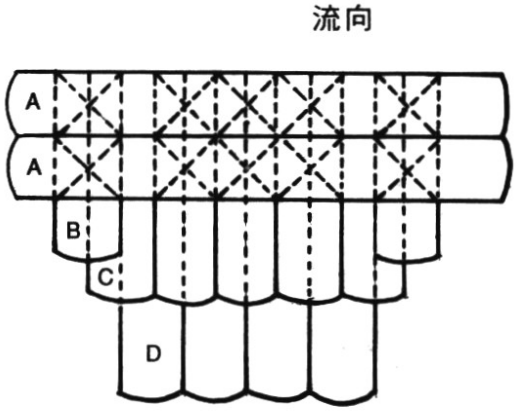
8. 蛇籠壩



正面圖



斷面圖



平面圖

圖 坡-3-11 蛇籠壩示意圖

9. 箱籠壩

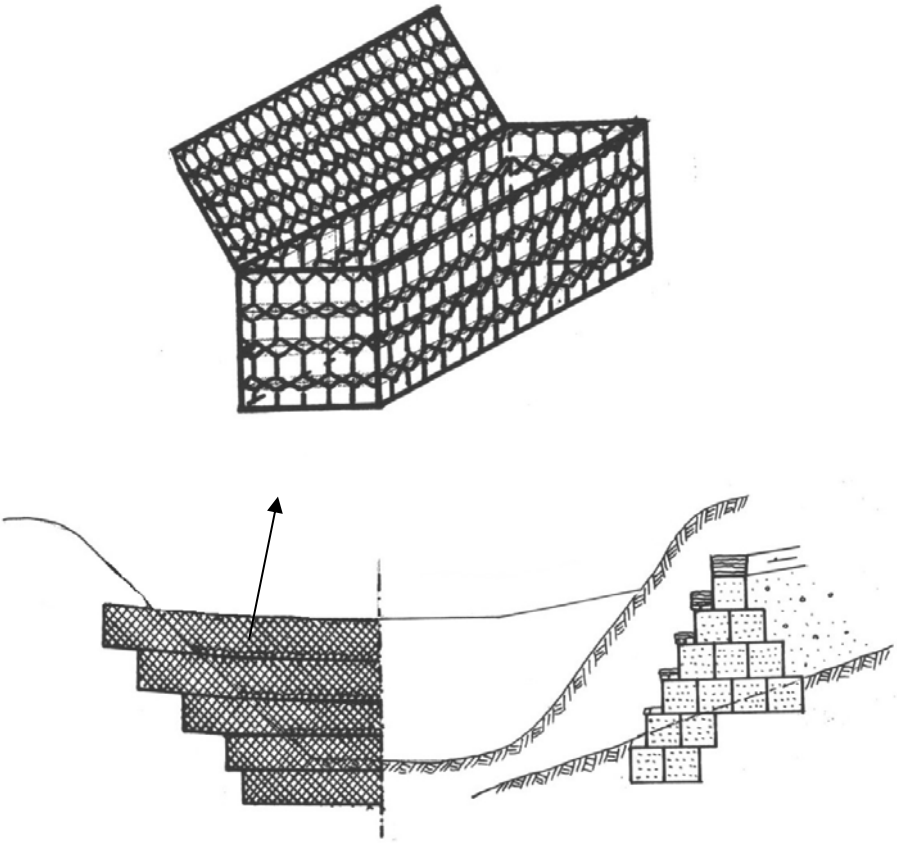


圖 坡-3-12 箱籠壩示意圖

10. 預鑄混凝土板壩

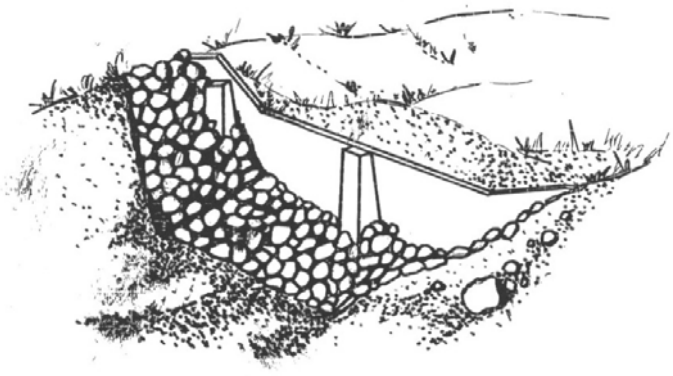


圖 坡-3-13 預鑄混凝土板壩示意圖

3.1.4 應用說明及設計

1. 臨時性壩：為促進植物生長初期所需溝身穩定之臨時性構造物，其特色為可就地取材、施工簡易、造價低廉，但壽命短、且需維護。

(1)木料壩：

①種類：

a.樹枝壩：以一排或多排木樁固定枝梢成壩，可分單排樁橫排枝梢框及多排樁縱排枝梢式。

b.木頭或木板壩：用 φ15～φ20cm 木頭或 5cm 以上厚木板橫排成壩。

c.木樁籠壩：以木樁釘成籠形，其內拋卵塊石成壩。

d.鉛絲網壩：以鐵絲網繫於木樁成壩。

(2)土袋壩：以尼龍肥料袋或麻袋裝土石，橫跨蝕溝重疊成壩，袋內亦可混草種或草根，促進植物生長。

(3)堆石或拋石壩：堆石或拋石於蝕溝中成壩。

(4)適用範圍：

①促進植物生長初期所需溝身穩定，壽命在一年以下為原則，堆石壩可稍長。

②可就地取材或取材容易，價廉且施工容易者。

③壩高 1 公尺以下為原則。

④在多粗粒徑石塊之蝕溝，除堆石壩外均不適用。

2. 一般性壩：為較長期性控制蝕溝之構造物。

(1)透水壩：

①種類：

a.乾砌石壩：以人工乾砌塊石成壩。

b.鉛絲籠壩：

(a)蛇籠壩：以鉛絲蛇型網籠橫鋪疊置成壩，其內填塊石。

(b)箱籠壩：以鉛絲箱型網籠橫鋪疊置成壩，其內填塊石。

c.籬樁壩：

(a)單籬壩：橫跨蝕溝釘一排鋼管樁或埋設一排水泥樁，並捆繫鉛絲網，中間拋填石塊成壩。

(b)雙籬或多排樁柵壩：橫跨蝕溝設置兩排或兩排以上樁柵，間距0.6~1.0 公尺，其上捆繫鉛絲網，中間拋填塊石成壩。

d.輪胎壩：以廢輪胎疊置成壩，其內以水泥或鋼樁固定並拋填石塊。

e.預鑄混凝土板壩：以預鑄混土板及混凝土柱裝併成壩。

f.混凝土格籠壩：以預鑄混凝土柱互聯結成方形籠，其內填排塊石成壩。

②適用範圍：

a.除混凝土格籠壩及預鑄混凝土板壩外，均為半永久性構造物，壽命以 6 年為限，並需加維護。

b.透水壩具撓屈性，適於地滑或潛在地滑地區。

c.壩高以 1.5 公尺以下為原則，但混凝土格籠壩不受此限。

d.多粗粒徑石塊之蝕溝，除混凝土格籠壩及乾砌石壩外，均不適用。

(2)不透水壩：

①種類：

a.卵石混凝土壩：以混凝土砌塊石砌壩面,以卵石混凝土填心成壩體。

b.砌石壩：以混凝土砌塊石砌壩面，以卵石填心成壩體。

c.混凝土壩：以模板澆灌混凝土成壩。

d.砌磚壩：以紅磚為材料砌成之壩。

②適用範圍：

a.屬耐久性構造物，適於溝岸或下游有房舍或重要設 施，需安全性高不需常維護之構造物。

b.漿砌石壩及砌磚壩之壩高以低於 2 公尺為宜；卵石混凝壩及混凝土壩不受此限。

c.在地滑或潛在地滑地區不宜採用。

3. 一般要點：

(1)計畫洪水量：耐久性壩採用 25 年頻率之降雨強度，臨時性可用 10 年頻率之降雨強度。

(2)計畫淤砂坡度採用原溝床降坡之 0.5～0.7 倍，一般採用 0.5 倍。

(3)耐久性壩需設水墊等消能設施。

(4)宜採用鄰近地區易取得之材料，且施工簡易之方法。

4. 壩址之選定：

(1)選在蝕溝斷面較窄處為原則。

(2)連續壩之最下游壩址，宜選在兩岸地質良好或較安全處。

(3)彎曲溝段儘量避免築壩，宜選在彎曲處下游。

5. 連續壩之間距：蝕溝內構築一連串相互銜接之壩，以穩定溝身者，稱為連續壩(詳下圖)。下游壩應考慮能保護到相鄰之上壩。

其最經濟間距之計算公式如下：

$$L = \frac{1}{\tan\alpha - \tan\beta} \times He = \frac{1}{m-n} \times He$$

式中　L=連續壩之間距(m)

He=有效壩高(m)

m=原溝床坡降=tan α

n=計畫淤砂坡降=tan β

計畫淤沙坡度約為原溝床坡度 1／3 ～ 1／2

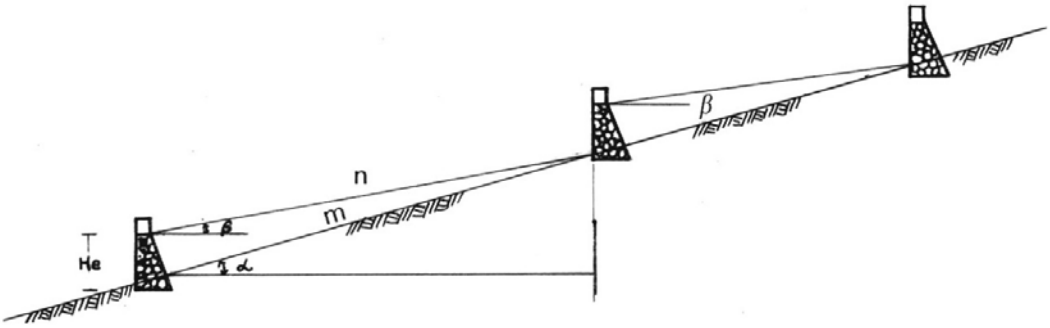


圖 坡-3-14 連續壩示意圖

6. 壩高之決定

(1)依處理目的、蝕溝形狀、土質、地形、穩定性、工程費以及經濟效益而定。

(2)以採用低壩為原則，而建較高壩處可改建一連串之連續壩。

(3)壩之淤砂高度，即自原溝床至溢洪口之高度，稱為有效壩高。

(4)最經濟之有效壩高，堆石壩約為 0.6m，單籬壩約 0.7m，雙籬壩約 1.1m。

7. 壩軸方向：參考工程篇工-2-3

8. 溢洪口之決定：

(1)形狀：依壩之類型決定之，常用者有：

①梯形：最常用，適於塊石混凝土壩、砌石壩、格籠壩等。

②矩形：適於砌磚壩、箱籠壩、格籠壩、木石料壩等。

③拋物線：適於樹枝壩、鉛絲網壩、籠樁壩、土袋壩等。

④複式斷面形：適於不透水壩、壩址斷面寬大之蝕溝。

(2)斷面大小：

①溢洪口寬度：在不使壩下游兩岸遭受沖刷原則下，儘量參照下游溝床寬度設計。

②溢洪口高度：為計畫洪水量時之溢流水深加出水高。

③出水高：以 0.3～1.0 公尺為宜。

④在有枯枝雜物砂石堵塞之虞者，其斷面應比原設計斷面加大。

(3)斷面計算：先決定斷面形狀，利用下列寬頂堰公式，以試算法計算其排洪量，直到與逕流量相等或稍大 5%以下，則為適當之設計。

①梯形斷面：

當梯形斜率 1：1 時，$Q=(1.77b+1.42h)h^{\frac{3}{2}}$

當梯形斜率 1：0.5 時，$Q=(1.77b+0.71h)h^{\frac{3}{2}}$

當梯形斜率 1：0.3 時，$Q=(1.77b+0.425h)h^{\frac{3}{2}}$

②矩形斷面

$$Q=1.767bh^{\frac{3}{2}}$$

上式中 Q=排洪量(m^3/sec)

b=溢洪口底寬(m)

h=溢流水深(m)

9. 溢洪口厚度：溢洪口厚度依壩體種類、材料、溝床粒徑、安全性等決定，一般可參考下表：

表 坡-3-1 溢洪口厚度參考值

壩型	重力式壩	砌磚壩	格籠壩	鉛絲籠壩	堆石壩	拋石壩
溢洪口厚度	採 0.8 倍溢流水深以上且不小於 60 ㎝	3B-4B	1-2m	1-1.5m	1-2m	1.5-2m

10. 壩體邊坡斜率

(1)下游面採較陡斜率，而上游面採較緩，以防溢流砂石之擊損。

(2)較長之壩體，非溢流部份可採上游面陡，而下游面緩，以減少壩體之體積。

(3)重力式壩之下游面斜率，一般採用 n=0.2～0.3 ，上游面斜率一般採大於 0.45，並可保壩體安全為原則。

(4)堆石壩上下游面採 1：1.25～1.50。

11. 護坦或靜水池： 節制壩需設護坦或靜水池，以防壩體下游側遭溢流水淘刷，保護壩基安全，避免兩岸崩坍。

(1)護坦長度之計算公式：

①L=1.5(H+h)，當蝕溝原有坡度≦15%。

②L=1.75(H+h)，當蝕溝原有坡度＞15%。

式中 L=護坦長度(m)

H=壩高(m)

h=溢流水深(m)

(2)護坦厚度：與溢流水質有否含砂石或大滾石，基盤及其本身有無水墊作用有關。其厚度應足以承受溢流水沖擊及護坦底面浮力之上揚作用，可用混凝土、塊石及蛇籠為護坦材料。混凝土及塊石之厚度參考下表：

表 坡-3-2 護坦厚度度參考值

壩高（m）	護坦材料	護坦厚度（m）
< 2	混凝土	0.20
2-3	混凝土	0.20-0.30
3-5	混凝土	0.30-0.50
< 2	拋或排塊石（φ30 ㎝）	>0.30

12. 尾檻

(1)透水性壩如籬樁壩、堆石壩等尾檻高度可採 0.15～0.25 公尺。

(2)不透水壩可採用 0.2～0.6 公尺，視壩高、靜水池長度而定。

13. 鎖壕

(1)鎖壕係嵌入溝岸與溝底之橫向填石壕溝，以防水流淘刷壩底及兩岸，導致壩體塌陷損壞。籬樁壩、堆石壩、乾砌石壩、鉛絲籠壩、樹枝壩等透水壩均需設鎖壕。

(2)鎖壕寬度與深度通常為 0.6 公尺;在不穩定溝岸可增大至 1.2～1.8 公尺。

(3)壕內石材粒徑以 80%小於 14 公分之混合卵石為宜。

14. 透水壩石材之選擇：

(1)石材為透水壩之主要原料，採用之石材宜選用堅硬不易風化之塊石，易於風化崩解之塊石不可採用。

(2)扁平及圓形石材不適於籬樁壩、堆石壩等透水壩。

(3)石材料徑一般不宜小於 10 公分，且所有石材 25%之粒徑應在 10～14 公分等級內。

3.1.5 作業程序及注意事項

1. 儘量避免開闢施工便道，因挖填土易產生新的沖蝕問題。交通不便地區，儘量採用鄰近地區易於取得材料，或利用索道輸送材料及機具。
2. 連續壩一般宜由溝口往上游施工。
3. 挖出土石方除供回填外，應堆置於安全地區。
4. 土方及構造物施工，應減少坡面及植生破壞。
5. 土方工程宜於旱季施工。
6. 施工時應配合兩側水土保持處理。

水土保持手冊

坡地保育篇

目錄

四. 安全排水.....1
4.1 截水溝.....1
4.2 草溝.....15
4.3 排水溝.....20
4.4 路面排水.....31
4.5 小型涵管.....33
4.6 L 型側溝.....36
4.7 過水路面.....38
4.8 跌水.....41

表 坡-4-1 本省各區坡地逕流量估計表 坡-4-2
表 坡-4-2 梯形斷面土築截水溝流量表(單位：m^3/sec)..... 坡-4-7
表 坡-4-3 曼寧粗糙係數 n 值 坡-4-8
表 坡-4-4 最大安全流速(m/sec) 坡-4-12
表 坡-4-5 拋物線形斷面流量表(單位：m^3/sec)..... 坡-4-17
表 坡-4-6 梯形斷面混凝土砌塊石溝流量表(單位：m^3/sec)..... 坡-4-23
表 坡-4-7 梯形斷面乾砌塊石溝流量表(邊坡 1:0.3) 坡-4-24
表 坡-4-8 梯形斷面乾砌塊石溝流量表(邊坡 1:0.5) 坡-4-24
表 坡-4-9 砌磚溝流量表 坡-4-25
表 坡-4-10 U 形預鑄溝流量表 坡-4-26
表 坡-4-11 半圓形預鑄溝流量表 坡-4-28
表 坡-4-12 涵管口徑、坡度與集水面積關係表 坡-4-35

圖 坡-4-1 截水溝示意圖 坡-4-1
圖 坡-4-2 梯形截水溝斷面積計算圖 坡-4-9
圖 坡-4-3 梯形斷面截水潤邊長計算圖 坡-4-10
圖 坡-4-4 矩形斷面截水溝水力半徑計算圖 坡-4-11
圖 坡-4-5 截水溝流速計算圖 坡-4-12
圖 坡-4-6 流量計算圖 坡-4-13
圖 坡-4-7 草溝示意圖 坡-4-15
圖 坡-4-8 拋物線形斷面草溝水力半徑計算圖 坡-4-18
圖 坡-4-9 拋物線形斷面草溝流量計算 坡-4-18
圖 坡-4-10 砌石溝示意圖 坡-4-20
圖 坡-4-11 砌磚溝示意圖 坡-4-21
圖 坡-4-12 混凝土溝示意圖 坡-4-21
圖 坡-4-13 路面排水示意圖 坡-4-31
圖 坡-4-14 小型涵管示意圖 坡-4-33
圖 坡-4-15 L 型側溝示意圖 坡-4-36
圖 坡-4-16 過水溝面示意圖 坡-4-39
圖 坡-4-17 A 型跌水示意圖 坡-4-41

圖 坡-4-18 B 型跌水示意圖 坡-4-42
圖 坡-4-19 C 型跌水示意圖 坡-4-42
圖 坡-4-20 D 型跌水示意圖 坡-4-43
圖 坡-4-21 E 型跌水示意圖 坡-4-43

四. 安全排水

4.1 截水溝

4.1.1 定義

沿近似等高方向，橫跨於被保護土地或保護物之上方，以攔截逕流，並導至安全地點之溝渠。

4.1.2 目的

1. 截洩上方逕流，以免損壞坡地及構造物。
2. 截洩逕流以抑制溝壑沖蝕。

4.1.3 圖說

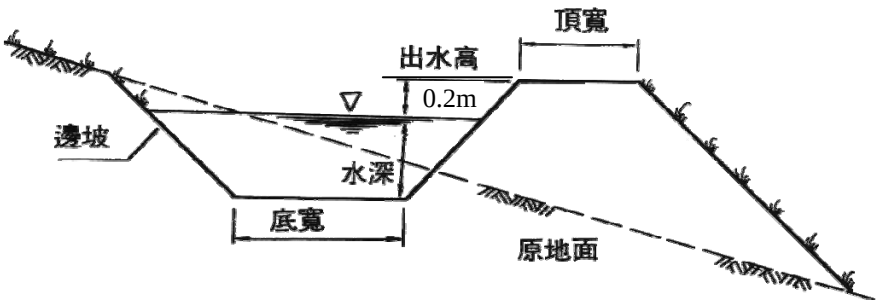


圖 坡-4-1 截水溝示意圖

4.1.4 應用說明及設計

1. 凡需要攔截上方逕流，以免發生沖蝕或災害時適用。
2. 土築截水溝宜植草保護，邊坡及溝底視實際需要施設內面工，以保護溝身安全。
3. 應將水流引導到安全地方排除。
4. 求逕流量：按地區、地面坡度、集水面積大小等，自表查出逕流量，或按「逕流量之估計」計算求得。
5. 決定截水溝斷面：按現場土壤條件或內面工材料,決定截水溝降坡及邊坡種類，查表求得；或採下述方法及步驟求之：

   (1)假定截水溝斷面：根據逕流量及截水溝降坡等，假設斷 面形狀，大小及水深，此時應注意下列數項：

   ①逕流量大，截水溝斷面應增加。

②坡度大時，截水溝斷面可較小，但應注意其容許最大流速。

③其土質鬆軟易於沖蝕者，降坡應小，邊坡亦較緩。

④斷面設計應酌加出水高。

表 坡-4-1 本省各區坡地逕流量估計表

基隆區

(單位：m^3/sec)

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.140	0.141	0.142	0.142	0.142	0.142	0.142	0.143	0.143	0.143
0.4	0.186	0.187	0.187	0.188	0.188	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
0.5	0.232	0.232	0.235	0.233	0.234	0.234	0.235	0.235	0.235	0.235
0.6	0.274	0.276	0.278	0.279	0.279	0.280	0.280	0.280	0.280	0.281
0.7	0.317	0.320	0.322	0.323	0.324	0.325	0.325	0.325	0.325	0.326
0.8	0.360	0.364	0.366	0.367	0.368	0.369	0.370	0.370	0.371	0.371
0.9	0.402	0.407	0.409	0.411	0.412	0.413	0.414	0.415	0.415	0.415
1.0	0.444	0.449	0.452	0.454	0.456	0.457	0.458	0.459	0.459	0.459
2.0	0.839	0.854	0.864	0.871	0.875	0.879	0.881	0.883	0.885	0.886
3.0	1.230	1.230	1.248	1.260	1.269	1.275	1.280	1.284	1.287	1.289
4.0	1.542	1.584	1.610	1.629	1.642	1.652	1.660	1.665	1.670	1.672
5.0	1.862	1.919	1.955	1.981	1.999	2.013	2.023	2.031	2.037	2.040

臺北區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.132	0.132	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133
0.4	0.176	0.176	0.176	0.176	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177
0.5	0.218	0.219	0.219	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
0.6	0.261	0.262	0.262	0.263	0.263	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
0.7	0.303	0.304	0.305	0.305	0.306	0.306	0.307	0.307	0.307	0.307
0.8	0.345	0.347	0.348	0.348	0.349	0.349	0.350	0.350	0.305	0·350
0.9	0.386	0.389	0.390	0.391	0.392	0.392	0.392	0.393	0.393	0.393
1.0	0.428	0.431	0.432	0.433	0.434	0.435	0.435	0.435	0.436	0.437
2.0	0.820	0.837	0.843	0.846	0.849	0.851	0.852	0.853	0.854	0.854
3.0	1.210	1.227	1.237	1.244	1.249	1.253	1.255	1.257	1.259	1.260
4.0	1.575	1.601	1.618	1.629	1.637	1.643	1.647	1.650	1.653	1.654
5.0	1.926	1.963	1.987	2.002	2.014	2.022	2.024	2.033	2.036	2.039

新竹區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.101	0.101	0.101	0.101
0.4	0.133	0.133	0.133	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134
0.5	0.166	0.166	0.166	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
0.6	0.198	0.199	0.199	0.199	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.7	0.231	0.231	0.232	0.232	0.232	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233
0.8	0.263	0.263	0.264	0.265	0.265	0.265	0.265	0.266	0.266	0.266
0.9	0.295	0.296	0.297	0.297	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
1.0	0.327	0.328	0.329	0.330	0.330	0.331	0.331	0.331	0.331	0.331
2.0	0.640	0.644	0.647	0.649	0.649	0.651	0.652	0.653	0.658	0.658
3.0	0.942	0.951	0.957	0.960	0.963	0.965	0.966	0.967	0.968	0.969
4.0	1.235	1.252	1.258	1.264	1.269	1.272	1.274	1.276	1.277	1.278
6.0	1.520	1.541	1.554	1.562	1.568	1.573	1.576	1.579	1.581	1.582

臺中區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.124	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
0.4	0.165	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.167
0.5	0.206	0.206	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.208	0.208
0.6	0.245	0.246	0.247	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248
0.7	0.286	0.287	0.287	0.288	0.288	0.289	0.289	0.290	0.289	0.289
0.8	0.325	0.326	0.328	0.328	0.329	0.329	0.329	0.328	0.330	0.330
0.9	0.365	0.366	0.367	0.368	0.369	0.369	0.370	0.370	0.370	0.370
1.0	0.403	0.406	0.407	0.408	0.409	0.409	0.410	0.410	0.410	0.410
2.0	0.781	0.790	0.794	0.799	0.800	0.802	0.803	0.804	0.804	0.805
3.0	0.142	1.157	1.167	1.173	1.178	1.181	1.183	1.185	0.187	1.189
4.0	1.488	1.512	1.527	1.537	1.544	1.550	1.554	1.556	1.559	1.560
5.0	1.822	1.856	1.876	1.891	1.901	1.909	1.914	1.918	1.922	1.924

臺南區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.143	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144
0.4	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192
0.5	0.238	0.238	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239
0.6	0.285	0.285	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.287	0.287	0.287
0.7	0.331	0.332	0.333	0.333	0.333	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334
0.8	0.373	0.378	0.379	0.380	0.380	0.380	0.381	0.381	0.381	0.381
0.9	0.423	0.425	0.426	0.427	0.427	0.427	0.428	0.428	0.428	0.428
1.0	0.469	0.471	0.472	0.473	0.473	0.474	0.474	0.475	0.475	0.475
2.0	0.918	0.925	0.929	0.932	0.934	0.935	0.936	0.937	0.937	0.938
3.0	1.354	1.366	1.374	1.379	1.383	1.385	1.387	1.389	1.389	1.391
4.0	1.776	1.796	1.803	1.817	1.822	1.827	1.830	1.832	1.834	1.835
5.0	2.186	2.215	2.233	2.245	2.254	2.260	2.654	2.263	2.271	2.273

高雄區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.116	0.116	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.177	0.117
0.4	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.156	0.156
0.5	0.193	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
0.6	0.231	0.232	0.232	0.232	0.232	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233
0.7	0.269	0.270	0.270	0.270	0.271	0.271	0.271	0.271	0.271	0.271
0.8	0.307	0.303	0.309	0.309	0.309	0.309	0.309	0.309	0.310	0.310
0.9	0.345	0.346	0.347	0.347	0.347	0.347	0.348	0.348	0.349	0.348
1.0	0.383	0.384	0.385	0.385	0.385	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386
2.0	0.754	0.758	0.760	0.762	0.763	0.764	0.764	0.765	0.765	0.765
3.0	1.117	1.124	1.129	1.132	1.134	1.136	1.137	1.137	1.139	1.139
4.0	1.472	1.484	1.491	1.495	1.499	1.502	1.504	1.505	1.506	1.507
5.0	1.820	1.837	1.848	1.855	1.860	1.864	1.866	1.869	1.870	1.871

恆春區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.158	0.159	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.4	0.209	0.210	0.211	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.213	0.213
0.5	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.265
0.6	0.309	0.311	0.313	0.314	0.315	0.315	0.316	0.316	0.316	0.316
0.7	0.359	0.362	0.363	0.365	0.365	0.366	0.366	0.367	0.367	0.367
0.8	0.407	0.411	0.413	0.415	0.416	0.417	0.417	0.418	0.418	0.418
0.9	0.455	0.460	0.462	0.464	0.466	0.467	0.467	0.468	0.468	0.468
1.0	0.503	0.503	0.511	0.514	0.515	0.516	0.517	0.518	0.518	0.519
2.0	0.957	0.972	0.982	0.989	0.993	0.997	1.000	1.002	1.003	1.004
3.0	1.377	1.406	1.424	1.437	1.446	1.452	1.457	1.461	1.464	1.466
4.0	1.773	1.816	1.844	1.863	1.877	1.887	1.895	1.900	1.905	1.908
5.0	2.148	2.207	2.245	2.271	2.291	2.035	2.315	2.323	2.329	2.333

台東區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.192	0.194	0.196	0.197	0.198	0.198	0.198	0.199	0.199	0.199
0.4	0.250	0.254	0.257	0.258	0.259	0.260	0.261	0.261	0.262	0.262
0.5	0.307	0.312	0.316	0.318	0.319	0.321	0.322	0.322	0.323	0.323
0.6	0.362	0.369	0.373	0.376	0.378	0.380	0.381	0.382	0.383	0.383
0.7	0.415	0.424	0.429	0.433	0.436	0.438	0.439	0.440	0.441	0.442
0.8	0.467	0.477	0.484	0.489	0.492	0.494	0.496	0.498	0.499	0.499
0.9	0.517	0.530	0.538	0.543	0.547	0.550	0.552	0.554	0.555	0.556
1.0	0.567	0.582	0.590	0.597	0.601	0.605	0.607	0.609	0.611	0.612
2.0	1.012	1.048	1.072	1.088	1.100	1.110	1.116	1.122	1.125	1.128
3.0	1.397	1.455	1.494	1.520	1.542	1.558	1.569	1.578	1.585	1.589
4.0	1.742	1.823	1.877	1.916	1.945	1.968	1.984	1.996	2.005	2.011
5.0	2.059	2.162	2.231	2.281	2.318	2.346	2.368	2.384	2.396	2.404

花蓮區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.116	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117
0.4	0.154	0.155	0.155	0.155	0.156	0.156	0.156	0.156	0.156	0.156
0.5	0.192	0.193	0.193	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
0.6	0.230	0.231	0.231	0.232	0.232	0.232	0.232	0.232	0.233	0.233
0.7	0.267	0.268	0.269	0.270	0.270	0.270	0.270	0.271	0.271	0.271
0.8	0.304	0.306	0.307	0.307	0.308	0.308	0.308	0.309	0.309	0.309
0.9	0.341	0.343	0.344	0.345	0.345	0.346	0.346	0.346	0.347	0.347
1.0	0.378	0.380	0.381	0.382	0.383	0.383	0.384	0.284	0.384	0.384
2.0	0.734	0.741	0.746	0.749	0.751	0.752	0.753	0.754	0.755	0.755
3.0	1.075	1.089	1.097	1.102	1.106	1.109	1.112	1.113	1.114	1.115
4.0	1.403	1.424	1.437	1.446	1.452	1.457	1.461	1.463	1.465	1.466
5.0	1.720	1.750	1.768	1.781	1.790	1.796	1.801	1.805	1.808	1.810

宜蘭區

地面坡度% / 集水面積ha	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.3	0.171	0.174	0.175	0.176	0.176	0.177	0.177	0.178	0.178	0.178
0.4	0.224	0.227	0.230	0.231	0.232	0.232	0.233	0.233	0.234	0.234
0.5	0.274	0.279	0.232	0.284	0.285	0.286	0.287	0.288	0.288	0.288
0.6	0.324	0.330	0.333	0.336	0.338	0.339	0.340	0.341	0.342	0.342
0.7	0.372	0.379	0.384	0.387	0.389	0.391	0.392	0.393	0.394	0.395
0.8	0.418	0.427	0.433	0.437	0.440	0.442	0.444	0.445	0.446	0.446
0.9	0.464	0.475	0.481	0.486	0.490	0.492	0.494	0.495	0.496	0.497
1.0	0.509	0.522	0.529	0.534	0.538	0.541	0.543	0.545	0.546	0.547
2.0	0.921	0.949	0.968	0.982	0.992	0.999	1.005	1.009	1.012	1.014
3.0	1.286	1.332	1.362	1.384	1.400	1.413	1.422	1.429	1.434	1.438
4.0	1.621	1.684	1.726	1.756	1.779	1.796	1.809	1.819	1.826	1.831
5.0	1.935	2.014	2.068	2.106	2.135	2.157	2.174	2.187	2.196	2.203

表 坡-4-2 梯形斷面土築截水溝流量表(單位：m^3/sec)

邊坡種類 / 溝底坡度%	溝寬 b(m)	水深 d(m)	1：0.3					1：0.5				
			0.1	0.5	1	2	3	0.1	0.5	1	2	3
	0.40	0.20	0.034	0.075	0.107	0.149	0.181	0.038	0.085	0.120	0.167	0.203
	0.60	0.30	0.101	0.224	0.315			0.113	0.260	0.353		
	0.80	0.40	0.217	0.482	0.681			0.244	0.540	0.764		
	1.00	0.50	0.391	0.874				0.444	0.991			
	1.20	0.60	0.638	1.424				0.720	1.593			
	1.40	0.70	0.969	2.153				1.090	2.413			

邊坡種類 / 溝底坡度%	溝寬 b(m)	水深 d(m)	1：0.7					1：1				
			0.1	0.5	1	2	3	0.1	0.5	1	2	3
	0.40	0.20	0.043	0.095	0.134	0.187		0.048	0.107	0.150	0.210	
	0.60	0.30	0.126	0.279	0.394			0.140	0.313	0.443		
	0.80	0.40	0.272	0.600	0.847			0.291	0.649	0.917		
	1.00	0.50	0.493	1.094				0.555	1.223			
	1.20	0.60	0.797	1.769				0.891	1.998			
	1.40	0.70	1.134	2.510				1.352	3.014			

邊坡種類 / 溝底坡度%	溝寬 b(m)	水深 d(m)	1：1.5					1：2				
			0.1	0.5	1	2	3	0.1	0.5	1	2	3
	0.40	0.20	0.056	0.125	0.175	0.245		0.064	0.141	0.198	0.277	
	0.60	0.30	0.161	0.357	0.502			0.187	0.418	0.587		
	0.80	0.40	0.358	0.790	1.114			0.403	0.896	1.261		
	1.00	0.50	0.651	1.443				0.730	1.630			
	1.20	0.60	1.046	2.331				1.181	2.635			
	1.40	0.70	1.578					1.784				

註：粗線左方均在安全流速以內；粗線右方則超出安全流速範圍。

⑤估計粗糙係數 n：其大小因溝內物質之光滑程度而異，按溝內物質及其狀態，可自表坡-4-3 查得：

表 坡-4-3 曼寧粗糙係數 n 值

溝內物質		n 值範圍	平均值	溝內物質		n 值範圍	平均值
無內面工者	粘土質溝身整齊者	0.016—0.022	0.020	有內面工者	漿砌磚	0.012—0.017	0.014
	砂壤，粘壤土溝身整齊者	—	0.020		漿砌石	0.017—0.030	0.025
	稀疏草生	0.035—0.045	0.040		乾砌石	0.025—0.035	0.033
	全面密草生	0.040—0.060	0.050		有規則土底兩岸砌石	—	0.025
	雜有直徑1—3公分小石	—	0.022		不規則土底兩岸砌石	0.023—0.035	0.030
	雜有直徑2—6公分小石	—	0.025		純水泥漿平滑面	0.010—0.014	0.012
	平滑均勻岩質	0.030—0.035	0.0325				
	不平滑岩質	0.035—0.045	0.040				

⑥計算水力半徑 R：以下式求之

$$R = \frac{A}{P}$$

梯形截水溝面積可自圖 坡-4-1 或以下式求之：

$A=bd+zd^2$

b=溝底寬(m)

R=水力半徑(m)

d=水深(m)

A=水流斷面積(m^2)

z=邊坡斜率(1：z=豎比橫)

p=潤邊長(m)

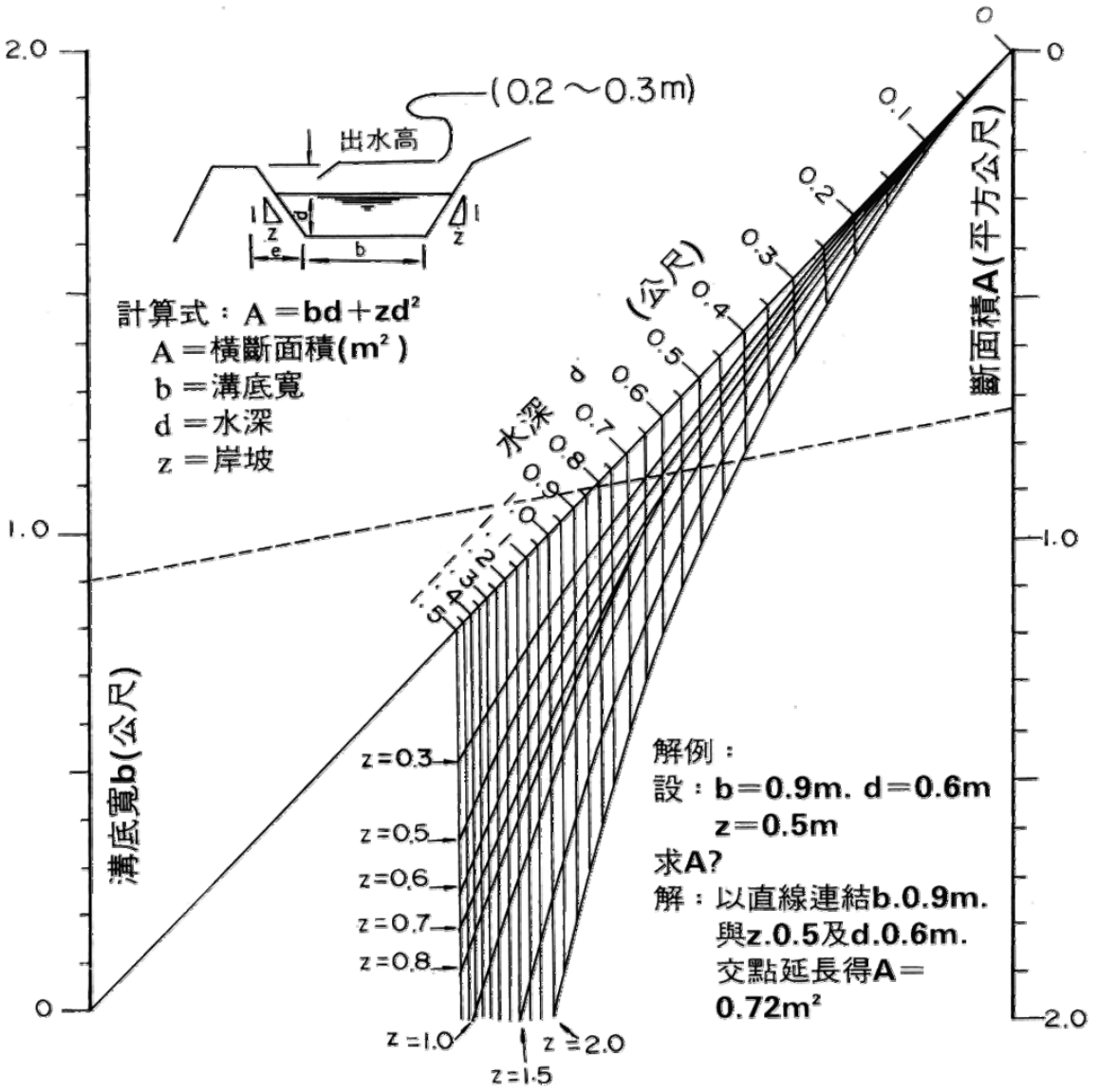


圖 坡-4-2 梯形截水溝斷面積計算圖

求出斷面積後，即自圖 坡 4-2 或下式求出潤邊長：

$$P = b + 2d\sqrt{1+z^2}$$

其中：P=潤邊長(m)　　其他各符號同上式。

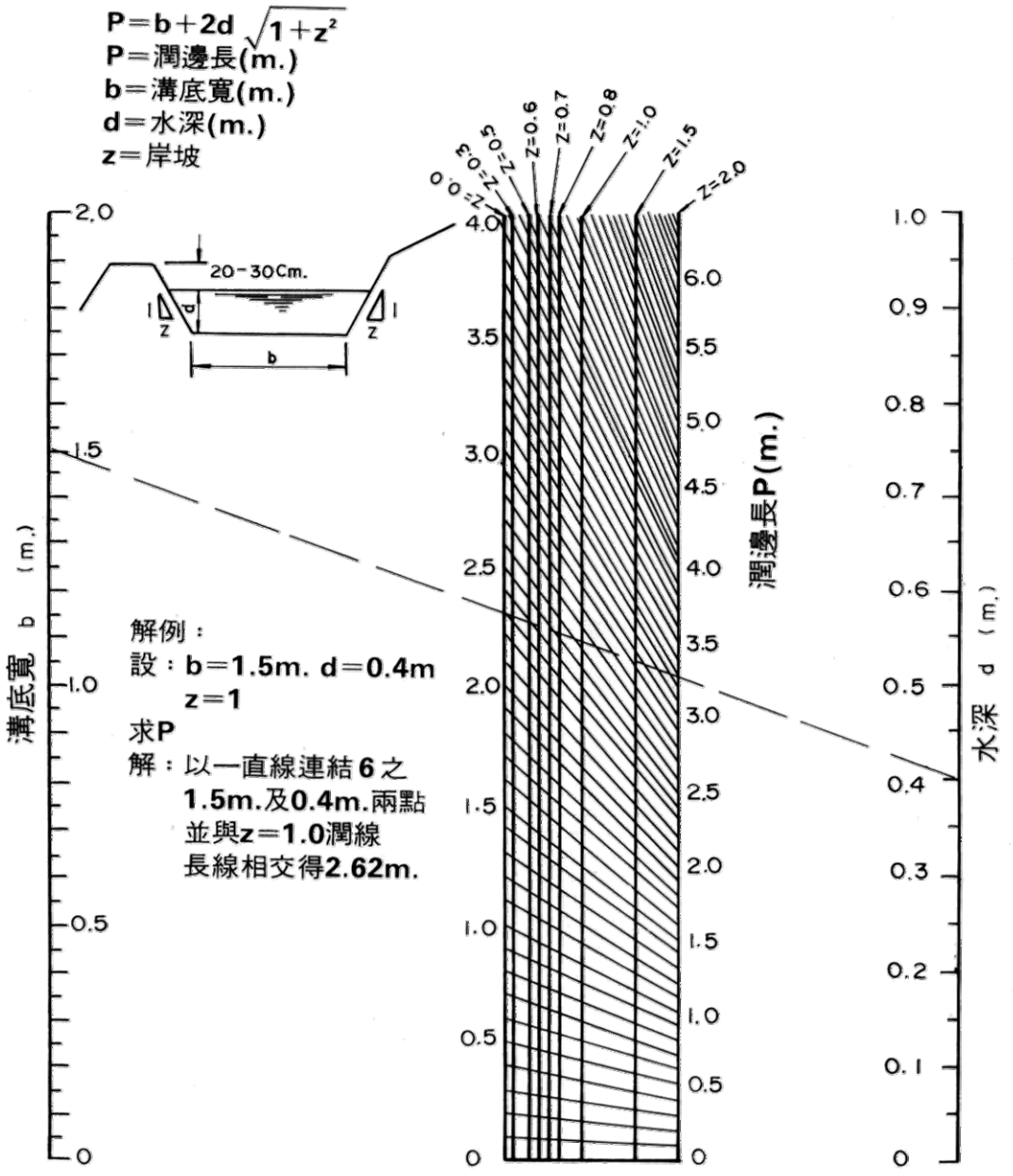


圖 坡-4-3 梯形斷面截水潤邊長計算圖

如係矩形斷面，則可利用圖 坡-4-3，由溝底寬及水深兩項，求得水力半徑 R。

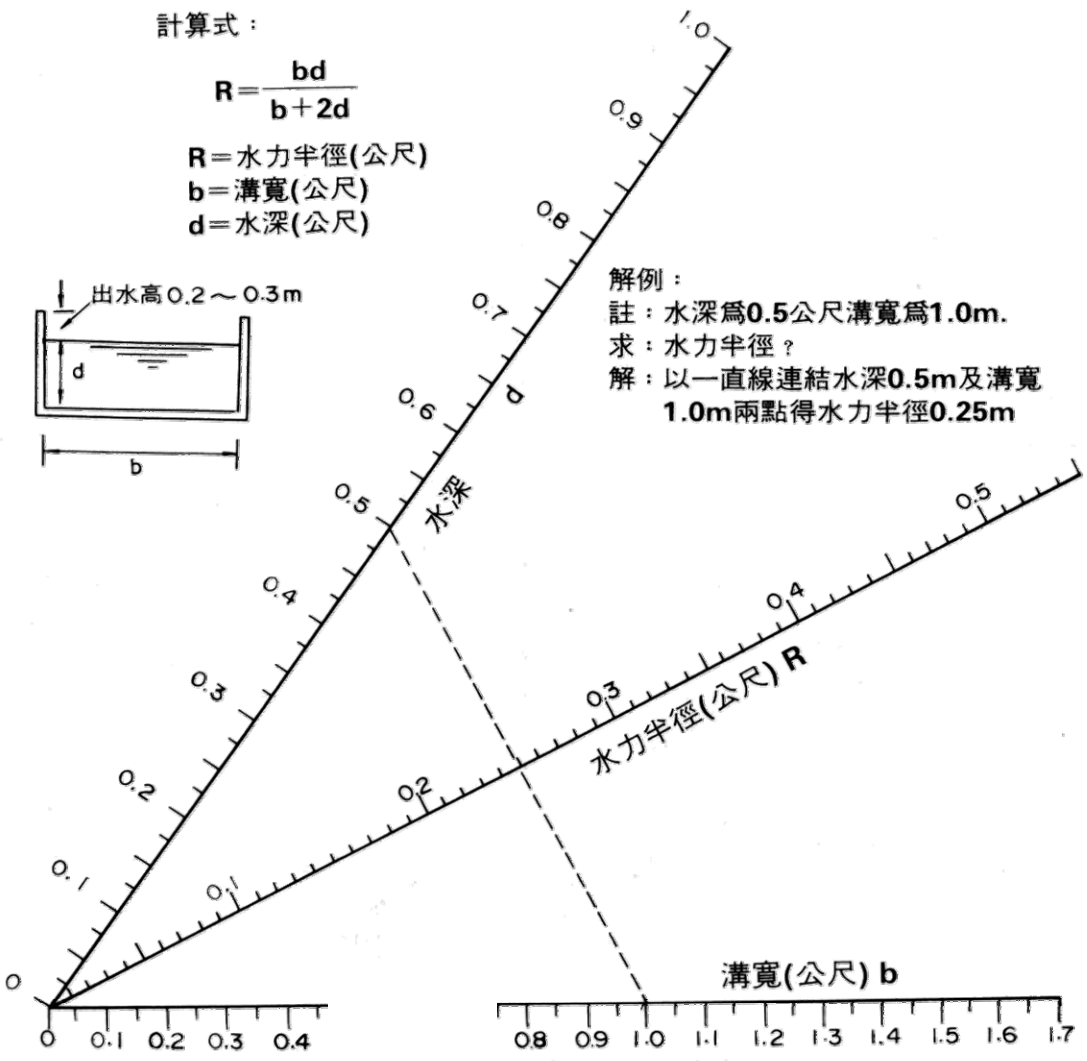


圖 坡-4-4 矩形斷面截水溝水力半徑計算圖

⑦計算平均流速 V：自圖 坡-4-4 或下式求之

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

V=平均流速(m/sec)

n=曼寧粗糙係數

$R = \frac{A}{P}$　水力半徑(m)

S=水面坡度

可用溝底降坡代之。求得之平均流速 V，應小於不致引起沖蝕作用之最大安全流速，各項土質之最大安全流速見表 坡-4-4。

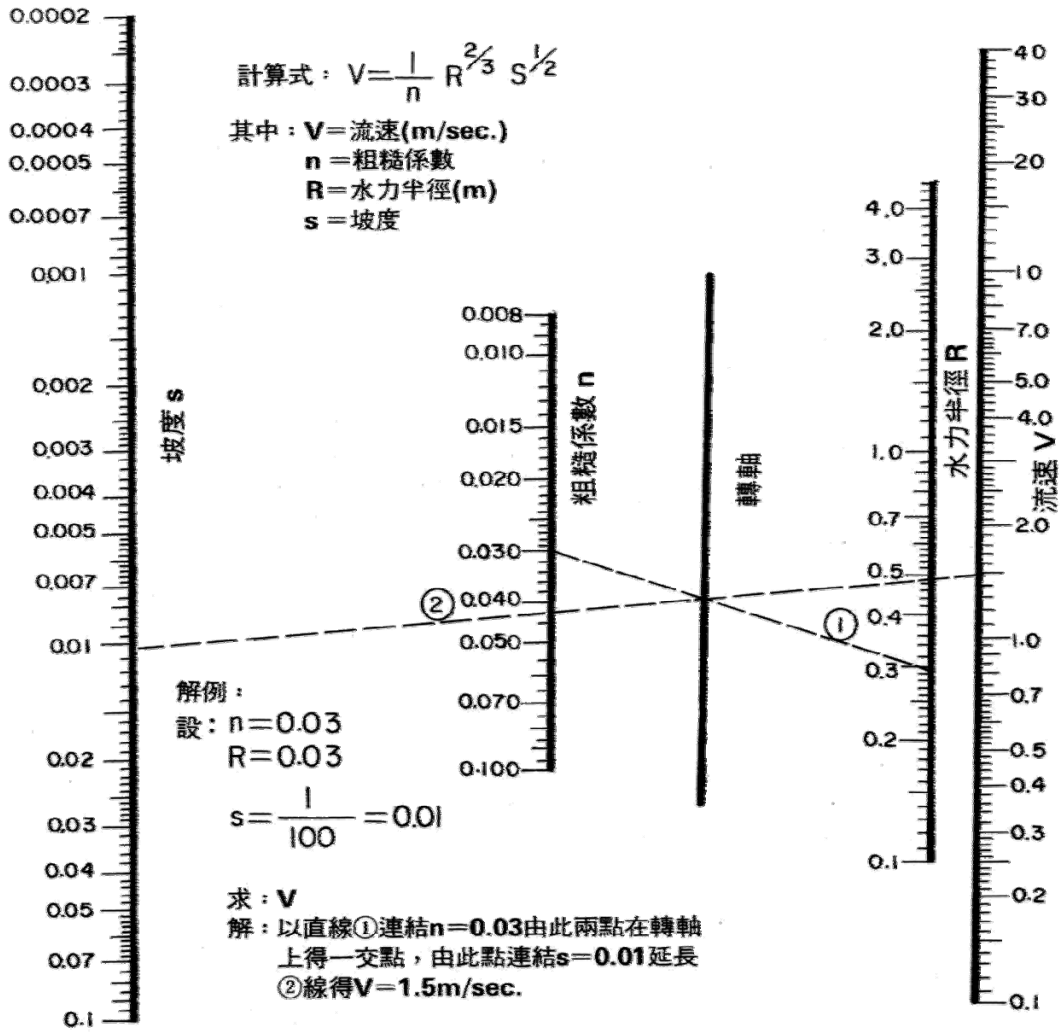


圖 坡-4-5 截水溝流速計算圖

表 坡-4-4 最大安全流速(m/sec)

土質	最大安全流速	土質	最大安全流速
純細砂	0.23－0.30	平常礫土	1.23－1.52
不緻密之細砂	0.30－0.46	全面密草生	1.50－2.5
粗石及細砂土	0.46－0.61	粗礫、石礫及砂礫	1.52－1.83
平常砂土	0.61－0.76	礫岩、硬土層、軟質水成岩	1.83－2.44
砂質壤土	0.76－0.84	硬岩	3.05－4.57
堅壤土及粘質壤土	0.91－1.14	混凝土	4.57－6.10

⑧計算截水溝可通過之流量 Q：自圖 坡-4-5 或下式求之。

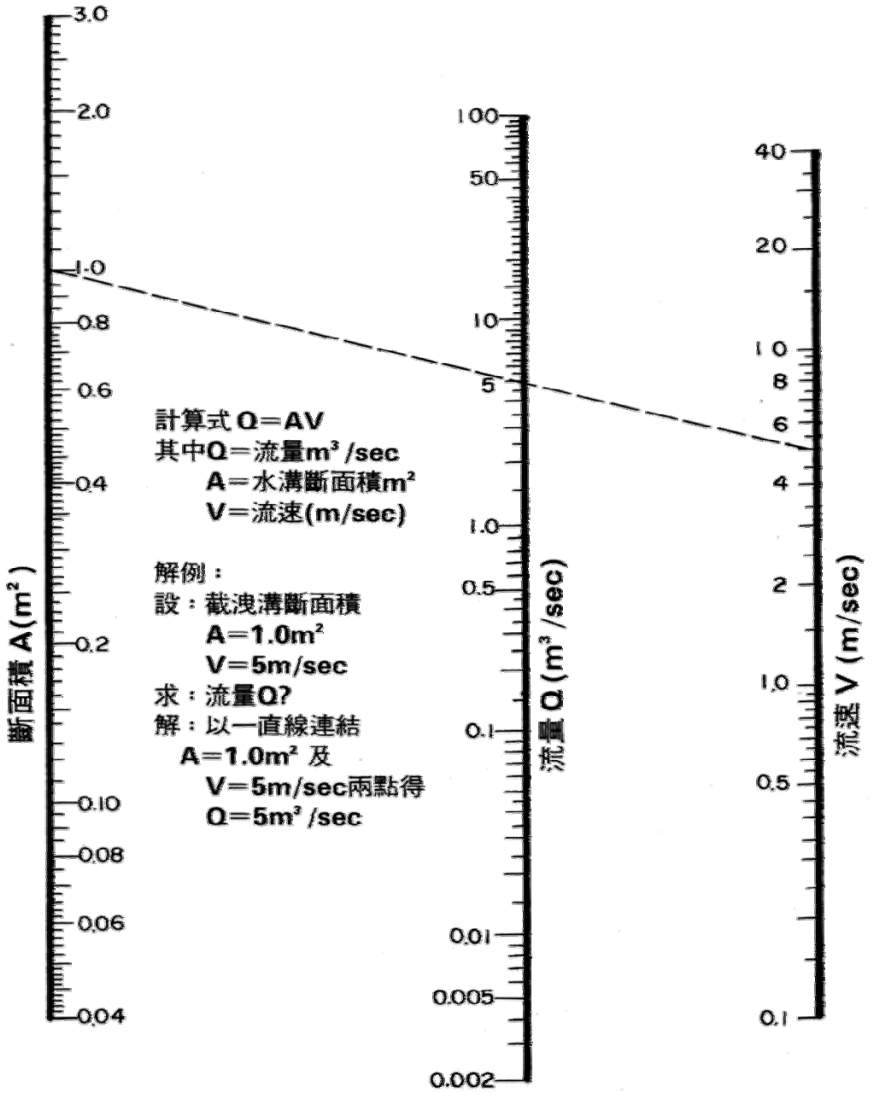


圖 坡-4-6 流量計算圖

Q=AV

Q=流量(m^3/sec)

A=斷面積(m^2)

V=平均流速(m/sec)

⑨如截水溝可通過之流量 Q 與逕流量相等或稍大，則為適宜之設計。如截水溝流量 Q 小於逕流量，則截水溝斷面過小，應改用較大斷面，並重新計算，至截水溝斷面足於通過所估計之逕流量)。如截水溝流量過大，則為不經濟之設計，應減小斷面後重新計算流量 Q，至適當為止。

4.1.5 作業程序及注意事項

1. 挖溝前應先整理截水溝基礎，剷除樹木草皮及其他雜物等 ，填土不得含有樹根、雜草及其他腐蝕物。
2. 填土部分應充分壓實，填土面如有積水應設法排除，以保持適當乾燥，並不得在濕泥及積水上填土。
3. 填土部分應預留高度 10%之沉陷率，其表面應植草，以資安定。
4. 挖出之石塊應盡量設法利用，以加強溝身安全。
5. 填土堆放位置，應事先妥予安排，以免再度搬移，浪費勞力。
6. 溝身須按設計斷面及降坡整平，以免發生流水不暢現象。

4.2 草溝

4.2.1 定義

種植草類以防止沖蝕之土築溝。

4.2.2 目的

1. 宣洩逕流。
2. 植草以防止土壤沖蝕，保護溝身安全。
3. 便利農機作業。
4. 維護景觀生態。

4.2.3 圖說

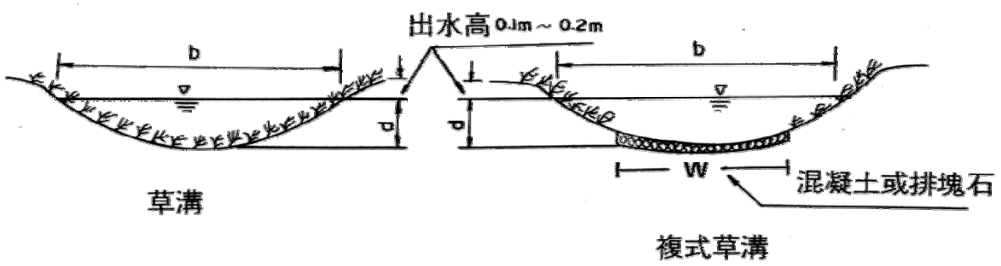


圖 坡-4-7 草溝示意圖

4.2.4 應用說明及設計

1. 坡度在 30%以內，溝長不超過之排水系統。
2. 水流連續不斷或流速超過 1.5m/sec 時適用複式草溝。
3. 日照不足以供草類正常生育，或砂礫地及含石量較多之土地，均不適用。
4. 每隔適當長度，應構築跌水消能。
5. 草類覆蓋良好後方可排水。在未成長前可用透明塑膠布敷蓋，待覆蓋良好後，將塑膠布去除。
6. 估計逕流量：如截水溝設計步驟。
7. 草溝斷面形狀：採用淺寬之拋物線斷面。
8. 草種：百喜草、假儉草、類地毯草等匍匐性草類。
9. 決定草溝斷面大小：按計算所得逕流量大小及溝底坡度，自表 坡-4-5 查出所需斷面大小，或按下列步驟決定之：

   (1)假定草溝斷面：寬度以 2m 以上為原則。

(2)估計粗糙係數 n：百喜草 0.067、假儉草 0.055、類地毯 0.05。

(3)計算水力半徑 R：拋物線斷面水力半徑，自圖 坡-4-8 或以下式求得：

$$R = \frac{bd^2}{1.5b^2 + 4d^2}$$

R=水力半徑(m)　b=溝寬(m)　d=水深(m)

(4)計算平均流速 V 由下式求之：

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

V=平均流速(m/sec)

n=曼寧粗糙係數

R=水力半徑(m)

S=水面坡度(可用溝底坡度代替。)

由此式所得之平均流速 V 應小於規定安全流速。

(5)計算流量

$$Q = AV = \frac{2}{3} dbV$$

Q=流量(m^3/sec)　A=斷面積(m^2)　V=流速(m/sec)

b=溝寬(m)　d=水深(m)

(6)由此式所得流量，須與逕流量相等或稍大，始為適宜之斷面大小否則應修改斷面尺寸，重新計算至適當為止，如逕流量變化較大時應分段計算流量，加大草溝斷面。

10.複式草溝之粗糙係數以植草部分及構造物部分所佔長度比例折算。

11.複式草溝需注意下列通則

(1)設混凝土寬度 w=0.6～1m

(2)設混凝土厚度 t=0.1～0.2m

表 坡-4-5 拋物線形斷面流量表(單位：m^3/sec)

溝寬 \ 溝底坡度% / 水深		0.1	0.5	1	2	3	4	5	6
b(m)	d(m)								
1	0.10	0.0051	0.0136	0.0161	0.0227	0.0278	0.0321	0.0359	0.0394
1.2	0.14	0.0088	0.0198	0.0280	0.0396	0.0485	0.0559	0.0625	0.0685
1.4	0.18	0.0187	0.0419	0.0593	0.0838	0.1027	0.1186	0.1325	0.1452
1.6	0.22	0.0298	0.0667	0.0942	0.1333	0.1633	0.1885	0.2108	0.2309
1.8	0.26	0.0442	0.0987	0.1396	0.1975	0.2419	0.2793	0.3122	0.3402
2.0	0.30	0.0621	0.1389	0.1964	0.2777	0.3402	0.3928	0.4392	0.4811
2.2	0.34	0.0840	0.1878	0.2655	0.3755	0.4599	0.5311	0.5938	0.6504
2.4	0.38	0.1100	0.2460	0.3479	0.4920	0.6206	0.6958	0.7779	0.8522
2.6	0.42	0.1406	0.3144	0.4447	0.6288	0.7702	0.8894	0.9943	1.0892
2.8	0.46	0.1760	0.3935	0.5564	0.7869	0.9638	0.1128	1.2442	1.3630
3.0	0.50	0.2164	0.4838	0.6842	0.9676	1.1850	1.3683	1.5298	1.6758

溝寬 \ 溝底坡度% / 水深		7	8	9	10	12.5	15	17.5	20
b(m)	d(m)								
1	0.10	0.0485	0.0455	0.0482	0.0508	0.0568	0.0623	0.0672	0.0719
1.2	0.14	0.0741	0.0792	0.0840	0.0885	0.0990	0.1084	0.1171	0.1252
1.4	0.18	0.1568	0.1677	0.1778	0.1874	0.2096	0.2296	0.2518	0.2651
1.6	0.22	0.2494	0.2666	0.2828	0.2976	0.3333	0.3651	0.3943	0.4216
1.8	0.26	0.3694	0.3949	0.4189	0.4416	0.4937	0.5408	0.5841	0.6245
2.0	0.30	0.5196	0.5555	0.5892	0.6211	0.6944	0.7606	0.8216	0.8783
2.2	0.34	0.7205	0.7510	0.7966	0.8397	0.9388	1.0284	1.1108	1.1875
2.4	0.38	0.9204	0.9840	1.0434	1.1001	1.2300	1.3474	1.4554	1.5558
2.6	0.42	1.1764	1.2578	1.3340	1.4061	1.5721	1.7221	1.8601	1.9887
2.8	0.46	1.4722	1.5738	1.6693	1.7596	1.9673	2.1550	2.3277	2.4884
3.0	0.50	1.8101	1.9351	2.0525	2.1635	2.4189	2.6497	2.8621	3.0597

註：橫粗線以上者均在容許流速範圍橫粗線以下則超出流速範圍。粗糙係數 n=0.067

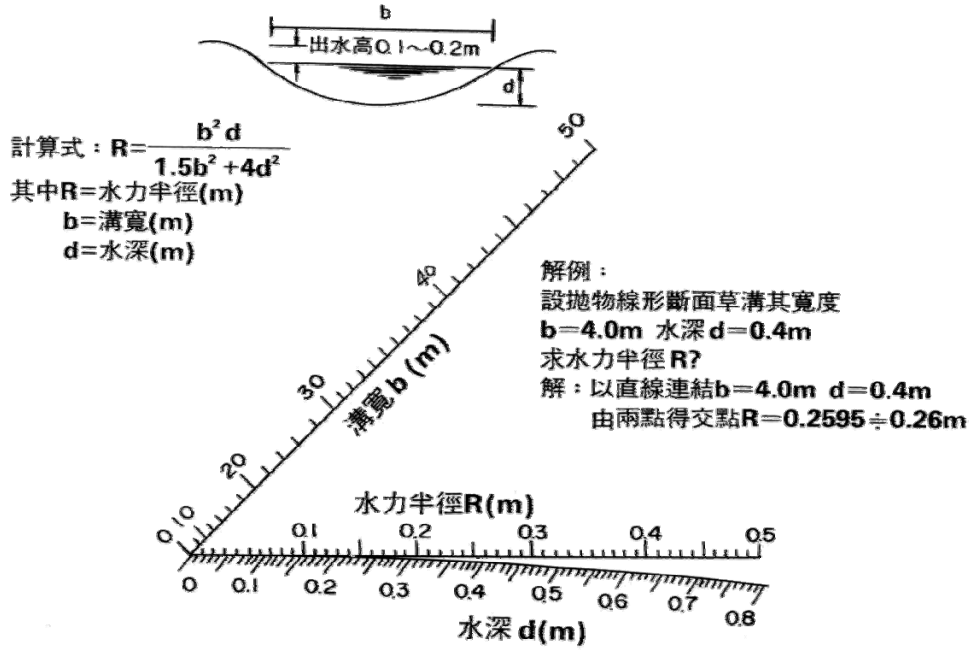


圖 坡-4-8 拋物線形斷面草溝水力半徑計算圖

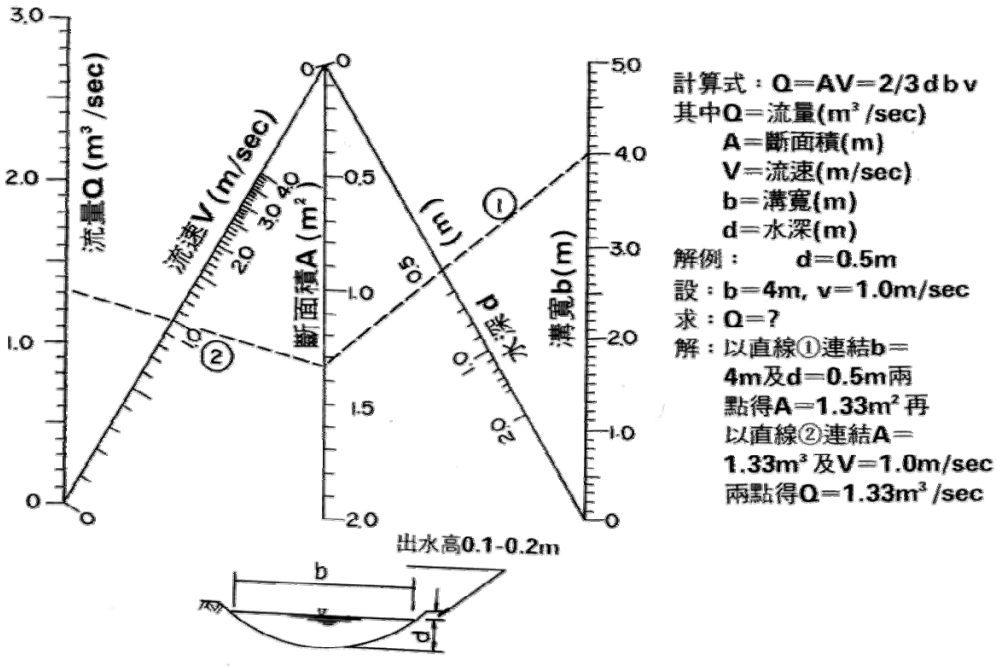


圖 坡-4-9 拋物線形斷面草溝流量計算

4.2.5 作業程序及注意事項

1. 草溝宜儘可能利用天然排水溝，或較低窪之位置。
2. 在預定草溝中心線上端及下端各立一樁，以此二樁為基準，其間每隔 5～10m 釘一樁，草溝如係直線則應使各樁在上下端兩樁連接線上，如按地形調整至平順曲線即為草溝中心線。
3. 按中心線直角方向，自各樁往兩邊量得草溝全寬之一半處各定一樁，即為草溝兩邊之線。
4. 草溝兩邊之線決定後，中心線各樁即可除去，按預定形狀及深度進行挖掘，各部分深度及寬度，可利用水準儀或手持水準儀及皮尺等工具，隨時檢查並校正。
5. 於挖掘成形後，應鋤鬆種植面土壤，並將良好表土客入，每隔 10～20cm 挖一橫向植溝，然後以分株法種植，再行覆土並充分踏實。
6. 如有草皮可資鋪用，則自下游往上游方向進行，以寬長 20～25cm 之草皮，重疊 2cm 接縫鋪植，並覆土踏實；亦可行帶狀鋪植。
7. 植草後應防牲畜踐踏。
8. 植草後在缺雨時應予澆水並行敷蓋。
9. 植草後宜將逕流先行分散，以利草類覆蓋完密後再行排水。

4.3 排水溝

4.3.1 定義

為安全宣洩逕流，在既有小型蝕溝或預定排水路線，以紅磚、塊石、混凝土或鋼板、塑膠製半圓槽等襯砌或鋪設於溝面，以保護溝身安全之縱向排水溝。

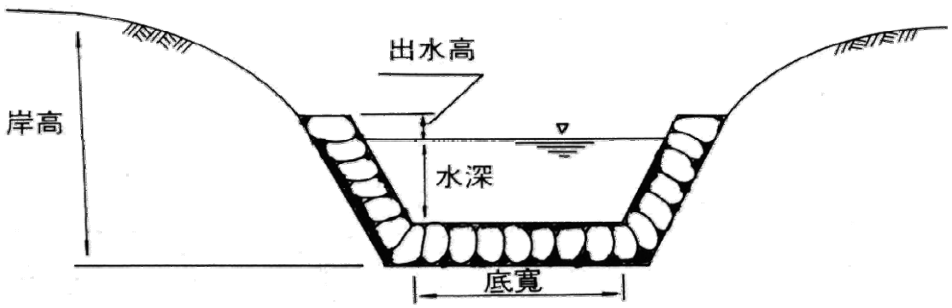
4.3.2 目的

1. 宣洩逕流，保護溝身安全。
2. 匯集水溝、山邊溝、橫向排水等之流水，導引至安全地點排放。

4.3.3 圖說

1. 砌石溝

梯形



拋物線形

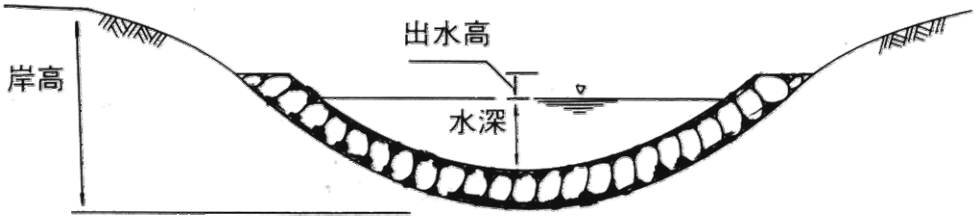


圖 坡-4-10 砌石溝示意圖

2. 砌磚溝

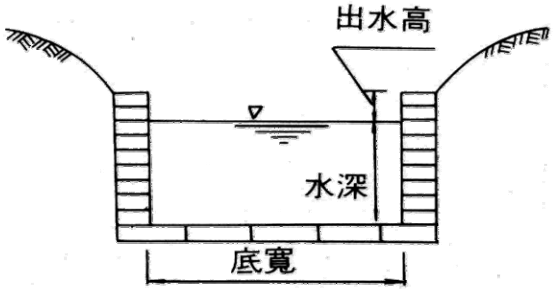
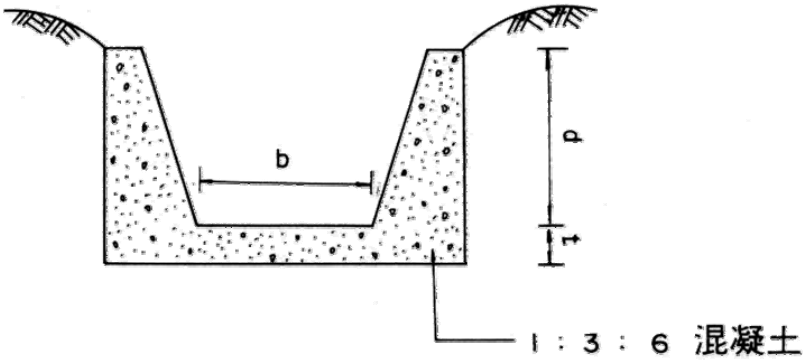


圖 坡-4-11 砌磚溝示意圖

3. 混凝土溝

梯形



拋物線形

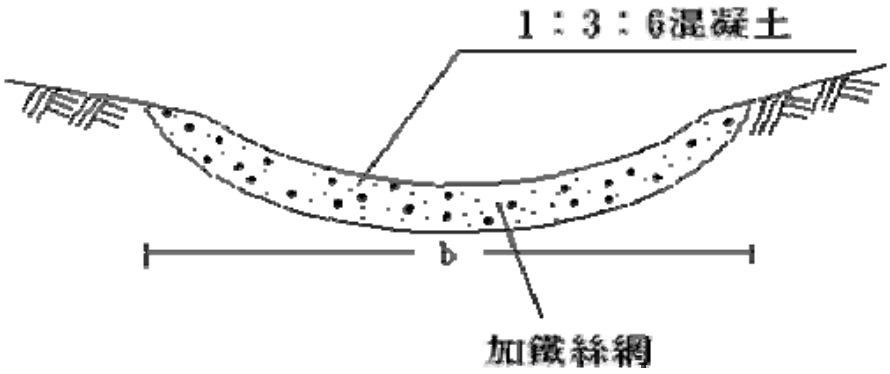


圖 坡-4-12 混凝土溝示意圖

4. 預鑄溝

有 U 形與半圓形等。

4.3.4 應用說明及設計

1. 適用於坡地排水系統。
2. 流量大，坡度陡急之處，宜採用混凝土溝。
3. 實施機械作業場地，宜採用拋物線形斷面。
4. 溝兩側壓力強度較大容易沖蝕崩塌之處，採用混凝土溝。
5. 多石地區可就地取材採用塊石溝，較為經濟。
6. 為爭取施工時效或在施工困難地區，可採用預鑄溝或塑膠製半圓槽鋪設。
7. 淺寬斷面之砌磚溝可兼步道，在較陡處可增建踏階。
8. 與園內道，山邊溝等交會處，宜設置過水路面或埋設涵管以利農機具通行。
9. 每隔適當長度及最下游，應視需要設置跌水；側牆等消能保護設施。
10. 陡坡危險地區，視實際需要加設截牆保護。
11. 農場內之排水溝，視地形許可，宜儘量採用淺寬拋物形溝，以利農機及人員作業通行，便利經營管理。
12. 估計逕流量：同截水溝設計步驟(1)。
13. 較大集流面積之排水溝，應分段估計逕流量。
14. 決定溝面材料及斷面形狀：按現場狀況，農場作業需要，流量等條件，決定襯砌材料及斷面形狀。
15. 決定斷面大小：先行測定溝之坡度，依據逕流量大小及襯砌材種類，由下列流量表查出斷面或按截水溝設計步驟(2)之方法求得。

表 坡-4-6 梯形斷面混凝土砌塊石溝流量表(單位：m^3/sec)

溝寬 b(m) \ 溝底坡度%	水深 d(m)	0.1	0.5	1	5	10	15	20	25
0.30	0.15	0.013	0.029	0.040	0.088	0.123	0.156	0.180	0.201
0.50	0.25	0.050	0.111	0.156	0.343	0.498	0.606	0.700	0.778
0.70	0.35	0.120	0.266	0.375	0.829	1.204	1.467	1.691	1.882
0.90	0.45	0.238	0.529	0.746	1.656	2.386	2.908	3.350	3.728
1.10	0.55	0.404	0.905	1.274	2.791	4.072	4.956	5.723	6.361
1.30	0.65	0.632	1.409	1.983	4.355	6.357	7.737	8.932	9.924
1.50	0.75	0.930	2.070	2.910	6.410	9.300	11.350	13.100	14.550
溝寬 b(m) \ 溝底坡度%	水深 d(m)	30	35	40	45	50	55	60	65
0.30	0.15	0.221	0.237	0.253	0.269	0.285	0.297	0.309	0.325
0.50	0.25	0.855	0.917	0.979	1.043	1.106	1.151	1.199	1.260
0.70	0.35	2.069	2.220	2.369	2.520	2.671	2.676	2.788	2.939
0.90	0.45	4.101	4.399	4.697	4.995	5.294	5.517	5.741	6.939
1.10	0.55	6.995	7.510	8.011	8.526	9.034	9.417	9.786	10.169
1.30	0.65	10.915	10.712	11.509	12.279	13.074	13.696	14.280	14.829
1.50	0.75	15.990	17.173	18.335	19.490	20.650	21.530	22.387	23.560

表 坡-4-7 梯形斷面乾砌塊石溝流量表(邊坡 1:0.3)

（邊坡1：0.3）單位：m^3/sec

溝寬 b(m)	水深 d(m)	溝底坡度% 0.1	0.5	1	5	10	15	20	25
0.30	0.15	0.100	0.022	0.030	0.067	0.097	0.119	0.137	0.152
0.50	0.25	0.038	0.084	0.118	0.259	0.377	0.459	0.530	0.589
0.70	0.35	0.091	0.202	0.285	0.627	0.912	1.112	1.233	1.425
0.90	0.45	0.181	0.401	0.565	1.242	1.807	2.203	2.542	2.824
1.10	0.55	0.308	0.684	0.960	2.121	3.085	3.760	4.338	4.820
1.30	0.65	0.481	1.068	1.505	3.311	4.815	5.869	6.771	7.523
1.50	0.75	0.710	1.570	2.200	4.850	7.050	8.590	9.910	11.030
溝寬 b(m)	水深 d(m)	溝底坡度% 30	35	40	45	50	55	60	65
0.30	0.15	0.167	0.179	0.192	0.204	0.216	0.225	0.234	0.246
0.50	0.25	0.648	0.669	0.742	0.789	0.836	0.872	0.907	0.954
0.70	0.35	1.568	1.682	1.769	1.910	2.024	2.109	2.195	2.309
0.90	0.45	3.106	3.332	3.558	3.784	4.010	4.180	4.349	4.574
1.10	0.55	5.302	5.688	6.073	6.459	6.845	7.133	7.423	7.808
1.30	0.65	8.276	8.877	9.473	10.082	10.683	11.134	11.586	12.188
1.50	0.75	12.130	13.010	13.890	14.770	15.640	16.300	16.960	17.840

表 坡-4-8 梯形斷面乾砌塊石溝流量表(邊坡 1:0.5)

（邊坡1：0.5）單位：m^3/sec

溝寬 b(m)	水深 d(m)	溝底坡度% 0.1	0.5	1	5	10	15	20	25
0.30	0.15	0.011	0.024	0.034	0.074	0.107	0.131	0.151	0.168
0.50	0.25	0.042	0.094	0.132	0.290	0.422	0.514	0.539	0.659
0.70	0.35	0.103	0.230	0.323	0.712	1.035	1.261	1.456	1.617
0.90	0.45	0.202	0.449	0.633	1.393	2.026	2.469	2.849	3.165
1.10	0.55	0.346	0.767	1.081	2.378	3.460	4.216	4.865	5.405
1.30	0.65	0.540	1.198	1.686	3.710	5.396	6.577	7.590	8.432
1.50	0.75	0.790	1.760	2.480	5.440	7.900	9.530	11.120	12.360
溝寬 b(m)	水深 d(m)	溝底坡度% 30	35	40	45	50	55	60	65
0.30	0.15	0.185	0.198	0.211	0.225	0.238	0.248	0.258	0.272
0.50	0.25	0.725	0.778	0.831	0.883	0.936	0.976	1.016	1.068
0.70	0.35	1.780	1.908	2.038	2.167	2.297	2.394	2.491	2.620
0.90	0.45	3.482	3.735	3.988	4.241	4.494	4.684	4.874	5.127
1.10	0.55	5.946	6.378	6.811	7.243	7.676	8.000	8.324	8.757
1.30	0.65	9.276	9.950	10.623	11.299	11.974	12.479	12.989	13.660
1.50	0.75	13.580	14.580	15.560	16.550	17.530	18.280	19.020	20.010

表 坡-4-9 砌磚溝流量表

（單位：m^3/sec）

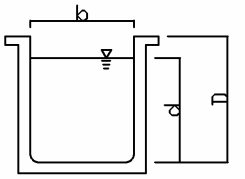
溝寬 b(m) \ 溝底坡度% / 水深 d(m)	0.1	0.5	1	5	10	15	20	25
0.25 / 0.13	0.011	0.025	0.035	0.076	0.111	0.136	0.156	0.174
0.40 / 0.20	0.039	0.087	0.123	0.270	0.393	0.479	0.553	0.614
0.50 / 0.25	0.071	0.158	0.223	0.463	0.714	0.870	1.004	1.116
0.65 / 0.33	0.144	0.318	0.448	0.984	1.432	1.745	2.014	2.237
0.85 / 0.43	0.292	0.652	0.918	2.019	2.575	3.578	3.728	4.584
1.00 / 0.50	0.455	1.007	1.418	3.118	4.035	5.527	5.823	7.082
1.20 / 0.60	0.734	1.635	2.308	5.059	6.649	8.902	9.564	11.509
1.35 / 0.68	1.008	2.236	3.148	6.926	10.075	12.279	14,167	15.741

溝寬 b(m) \ 溝底坡度% / 水深 d(m)	30	35	40	45	50	55	60	65
0.25 / 0.13	0.191	0.205	0.219	0.233	0.247	0.257	0.268	0.282
0.40 / 0.20	0.675	0.725	0.774	0.823	0.872	0.909	0.946	0.995
0.50 / 0.25	1.227	1.317	1.406	1.495	1.584	1.651	1.718	1.807
0.65 / 0.33	2.461	2.640	2.819	2.998	3.177	3.311	3.445	3.624
0.85 / 0.43	5.047	5.414	5.581	5.747	6.515	6.790	7.066	7.433
1.00 / 0.50	7.795	8.362	8.929	9.496	10.063	10.488	10.913	11.480
1.20 / 0.60	12.667	13.588	14.509	15.430	16.352	17.042	17.734	18.655
1.35 / 0.68	17.315	18.574	19.834	21.093	22.352	23.297	24.242	25.501

b：溝寬　　D：溝深(m)　　d：水深(m)　　S：坡度(%)

V：流速(m/s)　　Q：流量(m^3/sec)

表 坡-4-10 U 形預鑄溝流量表



b：溝寬(m)　　D：溝深(m)　　d：水深(m)

S：坡度(%) V：流速(m/s)　　Q 流量：(m^3/sec)

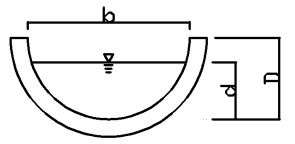
S		b D d	0.20 0.25 0.15	0.25 0.30 0.20	0.30 0.40 0.30	0.35 0.45 0.35	0.40 0.50 0.35	0.45 0.55 0.40	0.50 0.60 0.45	0.55 0.65 0.50	0.60 0.70 0.55
2	v		1.60	1.94	2.79	2.92	3.04	3.19	3.35	3.51	3.68
	Q		0.0464	0.1636	0.3464	0.4582	0.5291	0.6839	0.8687	1.0868	1.3404
4	v		2.27	2.75	3.94	4.13	4.29	4.51	4.74	4.97	5.20
	Q		0.0656	0.2313	0.4899	0.6480	0.7483	0.9672	1.2285	1.5370	1.8957
6	v		2.78	3.36	4.83	5.06	5.26	5.53	5.80	6.09	6.37
	Q		0.0804	0.2833	0.6000	0.7937	0.9165	1.1846	1.5046	1.8824	2.3217
8	v		3.21	3.88	5.58	5.85	6.07	6.38	6.70	7.03	7.36
	Q		0.0928	0.3271	0.6928	0.9165	1.0582	1.1368	1.7373	2.1736	2.6808
10	v		3.59	4.34	6.23	6.54	6.79	7.14	7.49	7.86	8.23
	Q		0.1038	0.3657	0.7746	1.0247	1.1831	1.5293	1.9424	2.4302	2.9973
12	v		3.93	4.76	6.83	7.16	7.43	7.82	8.21	8.61	9.01
	Q		0.1137	0.4006	0.8485	1.1225	1.2961	1.6752	2.1278	2.6621	3.2834
14	v		4.12	5.14	7.38	7.73	8.03	8.45	8.87	9.30	9.74
	Q		0.1191	0.4327	0.9165	1.2124	1.3999	1.8095	2.2983	2.8754	3.5465
16	v		4.41	5.49	7.89	8.27	8.59	9.03	9.48	9.94	10.41
	Q		0.1273	0.4626	0.9798	1.2961	1.4966	1.9344	2.4569	3.0739	3.7913
18	v		4.51	5.62	8.08	8.47	8.79	9.25	9.71	10.18	10.66
	Q		0.1304	0.4737	1.0034	1.3273	1.5326	1.9809	2.5161	3.1479	3.8826
20	v		4.92	6.14	8.82	9.24	9.60	10.09	10.60	11.11	11.64
	Q		0.1424	0.5172	1.0954	1.4491	1.6732	2.1627	2.7469	3.4367	4.2388
22	v		5.16	6.44	9.25	9.70	10.07	10.59	11.11	11.66	12.21
	Q		0.1493	0.5425	1.1489	1.5198	1.7549	2.2682	2.8810	3.6045	4.4457
24	v		5.39	6.72	9.66	10.13	10.52	11.06	11.61	12.17	12.75
	Q		0.1559	0.5666	1.2000	1.5874	1.8329	2.3691	3.0091	3.7648	4.6434
26	v		5.61	7.00	10.05	10.54	10.95	11.51	12.08	12.67	13.27
	Q		0.1623	0.5897	1.2490	1.6522	1.9077	2.4658	3.1320	3.9185	4.8330
28	v		5.82	7.26	10.43	10.94	11.36	11.94	12.54	13.15	13.77
	Q		0.1684	0.6120	1.2962	1.7146	1.9798	2.5589	3.2502	4.0664	5.0154
30	v		6.03	7.52	10.80	11.32	11.76	12.36	12.98	13.61	14.25
	Q		0.1743	0.6334	1.3416	1.7747	2.0492	2.6487	3.3643	4.2092	5.1915
32	v		6.23	7.77	11.15	11.69	12.15	12.77	13.40	14.06	14.72
	Q		0.1801	0.6542	1.3857	1.8830	2.1165	2.7356	3.4747	4.3172	5.3618

S	Q	b	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
		D	0.25	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
		d	0.15	0.20	0.30	0.35	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
34	v		6.42	8.00	11.49	12.05	12.52	13.16	13.82	14.49	15.17
	Q		0.1856	0.6744	1.4283	1.89	2.1816	2.8198	3.5816	4.4810	5.5268
36	v		6.60	8.24	11.83	12.40	12.88	13.54	14.22	14.91	15.61
	Q		0.1910	0.6939	1.4697	1.9441	2.2448	2.9016	3.6854	4.6109	5.6870
38	v		6.78	8.46	12.15	12.74	13.24	13.91	14.61	15.32	16.04
	Q		0.1962	0.7129	1.5099	1.9974	2.3063	2.9811	3.7864	4.7372	5.8428
40	v		6.96	8.68	12.47	13.12	13.58	14.27	14.98	15.72	16.46
	Q		0.2013	0.7314	1.5492	2.0563	2.3663	3.0585	3.8848	4.8600	5.9946
42	v		7.13	8.90	12.78	13.40	13.92	14.93	15.35	16.10	16.86
	Q		0.2063	0.7495	1.5874	2.0999	2.4247	3.1340	3.9807	4.9803	6.1426
44	v		0.73	9.11	13.08	13.71	14.24	14.97	15.72	16.48	17.26
	Q		0.2111	0.7671	1.6248	2.1493	2.4817	3.2078	4.0743	5.0975	6.2871
46	v		7.46	9.31	13.37	14.02	14.56	15.31	16.07	16.85	17.65
	Q		0.2159	0.7844	1.6613	2.1976	2.5375	3.2799	4.1659	5.2121	6.4285
48	v		7.62	9.51	13.66	14.32	14.88	15.64	16.42	17.22	18.03
	Q		0.2205	0.8013	1.6970	2.2449	2.5921	3.3504	4.2556	5.3242	6.5688
50	v		7.78	9.71	13.94	14.62	15.18	15.96	16.75	17.58	18.40
	Q		0.2251	0.8178	1.7321	2.2912	2.6456	3.4195	4.3433	5.4340	6.7022
52	v		7.94	9.90	14.22	14.91	15.48	16.28	17.09	17.92	18.76
	Q		0.2295	0.8340	1.7664	2.3366	2.6980	3.4872	4.4293	5.5416	6.8349
54	v		8.09	10.09	14.49	15.19	15.78	16.59	17.41	18.26	19.12
	Q		0.2339	0.8499	1.8000	2.3311	2.7494	3.5537	4.52	5.6472	6.9651
56	v		8.24	10.27	14.75	15.47	16.07	16.89	17.73	18.60	19.47
	Q		0.2382	0.8655	1.8330	2.4248	2.7998	3.6189	4.60	5.7508	7.0929
58	v		8.38	10.45	15.01	15.74	16.35	17.19	18.04	18.93	19.82
	Q		0.2424	0.8808	1.8655	2.4677	2.8494	3.6829	4.6779	5.8526	7.2185
60	v		8.52	10.63	15.27	16.01	16.63	17.48	18.35	19.25	20.16
	Q		0.2466	0.8958	1.8974	2.5099	2.8981	3.7459	4.7579	5.9527	7.3419
62	v		8.67	10.81	15.52	16.27	16.91	17.77	18.66	19.57	20.49
	Q		0.2506	0.9106	1.9287	2.5514	2.9460	3.8078	4.8365	6.0511	7.4632
64	v		8.80	10.98	15.77	16.54	17.18	18.06	18.95	19.88	20.82
	Q		0.2546	0.9252	1.9596	2.5922	2.9931	3.8687	4.9139	6.1479	7.5826

表 坡-4-11 半圓形預鑄溝流量表

b：溝寬(m) D：溝深(m) d：水深(m) S：坡度(%)

V：流速(m/s) Q 流量：(m^3/sec)



S	V/Q	b	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
		D	0.10	0.125	0.15	0.175	0.20	0.225	0.25	0.275	0.30
		d	0.05	0.075	0.10	0.125	0.125	0.125	0.150	0.175	0.20
2	V		0.96	1.23	1.50	1.70	1.73	1.75	1.96	2.16	2.38
	Q		0.0059	0.0153	0.0305	0.0524	0.0580	0.063	0.0972	0.1402	0.1936
4	V		1.36	1.74	2.12	2.40	2.44	2.47	2.77	3.05	3.36
	Q		0.0084	0.0216	0.043	0.0741	0.0820	0.0891	0.1374	0.1982	0.2737
6	V		1.67	2.14	2.60	2.94	2.99	3.02	3.40	3.74	4.12
	Q		0.0102	0.0265	0.0529	0.0907	0.1004	0.1092	0.1683	0.2423	0.3352
8	V		1.92	2.47	3.00	3.39	3.45	3.49	3.92	4.31	4.76
	Q		0.1182	0.0305	0.0611	0.1048	0.1159	0.1261	0.19	0.2804	0.3871
10	V		2.15	2.76	3.36	3.80	3.86	3.91	4.39	4.82	5.32
	Q		0.0132	0.0342	0.0683	0.1171	0.1296	0.1409	0.2173	0.3135	0.4328
12	V		2.36	3.02	3.68	4.16	4.23	4.23	4.80	5.28	5.83
	Q		0.0144	0.0374	0.0748	0.1283	0.1420	0.1544	0.2380	0.3434	0.4741
14	V		2.55	3.26	3.97	4.50	4.57	4.62	5.19	5.08	6.29
	Q		0.0156	0.0404	0.0303	0.1386	0.1533	0.1668	0.2571	0.3709	0.5121
16	V		2.72	3.49	4.25	4.80	0.89	4.94	5.55	6.10	6.73
	Q		0.0167	0.0432	0.0864	0.1481	0.1639	0.1783	0.2748	0.3965	0.5475
18	V		2.79	3.57	4.35	4.92	5.00	5.06	5.68	6.25	6.89
	Q		0.0171	0.0443	0.0884	0.15	0.1679	0.1826	0.2315	0.4060	0.5606
20	V		3.043	3.90	4.75	5.37	5.46	5.52	6.20	6.82	7.52
	Q		0.0187	0.048	0.0966	0.1656	0.1833	0.1993	0.3073	0.4433	0.6121
22	V		3.19	4.09	4.98	5.63	5.73	5.79	6.50	7.16	7.89
	Q		0.0196	0.0507	0.1013	0.1737	0.1922	0.2090	0.3223	0.4649	0.6419
24	V		3.33	4.27	5.20	5.88	5.98	6.05	6.79	7.47	8.24
	Q		0.0205	0.0529	0.1058	0.1814	0.2008	0.2183	0.3366	0.4856	0.6705
26	V		3.47	4.45	5.41	6.12	6.23	6.30	7.07	7.78	8.58
	Q		0.0213	0.0551	0.1101	0.1888	0.2090	0.2272	0.3504	0.5054	0.6979
28	V		3.60	4.62	5.62	6.36	6.46	6.53	7.34	8.07	8.90
	Q		0.0221	0.0572	0.1142	0.1960	0.2169	0.2358	0.3636	0.5245	0.7242

S		b	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
		D	0.10	0.125	0.15	0.175	0.20	0.225	0.25	0.275	0.30
		d	0.05	0.075	0.10	0.125	0.125	0.125	0.15	0.175	0.20
30	V		3.73	4.78	5.81	6.58	6.69	6.76	7.60	8.35	9.21
	Q		0.0229	0.0592	0.1183	0.2029	0.2245	0.2441	0.3764	0.5429	0.7496
32	V		3.85	4.93	6.00	6.79	6.91	6.99	7.84	8.63	9.52
	Q		0.0236	0.0611	0.1221	0.2095	0.2318	0.2521	0.3887	0.5607	0.7742
34	V		3.97	5.09	6.19	7.00	7.12	7.20	8.09	8.89	9.81
	Q		0.0244	0.0630	0.1259	0.2160	0.2390	0.2599	0.4007	0.5780	0.7980
36	V		4.08	5.23	6.37	7.20	7.33	7.41	8.32	9.15	10.09
	Q		0.0251	0.0648	0.1295	0.2222	0.2459	0.2674	0.4122	0.5947	0.8212
38	V		4.20	5.38	6.54	7.40	7.53	7.61	8.55	9.40	10.37
	Q		0.0258	0.0666	0.1331	0.2283	0.2526	0.2743	0.4236	0.6110	0.8437
40	V		4.30	5.52	6.71	7.60	7.72	7.81	8.77	9.65	10.64
	Q		0.0264	0.068	0.1366	0.2342	0.2592	0.2819	0.4346	0.6269	0.8656
42	V		4.41	5.65	6.88	7.78	7.92	8.00	8.99	9.88	10.90
	Q		0.0271	0.0700	0.1399	0.2400	0.2656	0.2888	0.4453	0.6424	0.8870
44	V		4.51	5.79	7.04	7.97	8.10	8.19	9.20	10.12	11.16
	Q		0.0377	0.0717	0.1432	0.2457	0.2718	0.2956	0.4558	0.6575	0.9078
46	V		4.62	5.92	7.20	8.15	8.28	8.38	9.41	10.34	11.41
	Q		0.0283	0.0733	0.1464	0.2512	0.2780	0.0323	0.4660	0.6423	0.9282
48	V		4.71	6.04	7.35	8.32	8.47	8.56	9.61	10.57	11.65
	Q		0.0289	0.0749	0.1496	0.2566	0.2339	0.3088	0.4761	0.6868	0.9482
50	V		0.81	6.17	7.51	8.49	8.64	8.73	9.81	10.78	11.90
	Q		0.0295	0.0764	0.1527	0.2619	0.2398	0.3151	0.4859	0.7009	0.9678
52	V		4.91	6.29	7.65	8.66	8.81	8.90	10.00	11.00	12.13
	Q		0.0301	0.0779	0.1557	0.2671	0.2955	0.3214	0.4955	0.7148	0.9869
54	V		5.00	6.41	7.80	8.83	8.97	9.07	10.19	11.21	12.36
	Q		0.0307	0.0794	0.1587	0.2722	0.3012	0.3275	0.5055	0.7284	1.006
56	V		5.09	6.53	7.94	8.99	9.14	9.24	10.38	11.41	12.59
	Q		0.0313	0.0809	0.1616	0.2772	0.3067	0.3335	0.5142	0.7418	1.0242
58	V		5.18	6.64	8.08	9.15	9.30	9.40	10.56	11.61	12.81
	Q		0.0318	0.0823	0.1644	0.2321	0.3121	0.3394	0.5233	0.7549	1.0423
60	V		5.27	6.76	8.22	9.30	9.46	9.57	10.74	11.81	13.03
	Q		0.0324	0.0837	0.1672	0.2369	0.3175	0.3452	0.5322	0.7678	1.0601
62	V		5.36	6.87	8.36	9.46	9.62	9.72	10.92	12.01	13.25
	Q		0.0329	0.0851	0.1700	0.2916	0.3227	0.3509	0.5410	0.7805	1.0777
64	V		5.44	6.98	8.49	9.61	9.77	9.88	11.09	12.20	13.46
	Q		0.0334	0.0864	0.1727	0.2963	0.3279	0.3656	0.5497	0.7930	1.0949

4.3.5 作業程序及注意事項

1. 挖掘溝身時須按設計斷面及降坡整平，以利施工並保持流水順暢。
2. 挖土深度須足夠，溝頂應比地面低 10 ㎝以上，使兩岸向溝心傾斜完工後堆積之土石應散開或搬移他處。
3. 溝兩側應與地面密合，如有空隙應填土並充分壓實，溝緣宜植草保護，百喜草為較佳草種。
4. 砌石溝使用之塊石應力求大小均勻且質堅耐用者，混凝土砌塊石施工時，應將石塊洗滌潤濕，並於完工後經常灑水以保持濕潤，防止龜裂。
5. 紅磚在使用前應充分潤濕，形狀不良之紅磚儘量使用於溝底。每層紅磚儘量使其成為平行，各層之垂直接合縫應相互交錯並與牆面成直角。
6. 預鑄溝務須直線修築，因地形限制必須轉彎以跌水聯結之; 接時務使接口凹槽向上游，由下而上施工，接頭應密合。
7. 以鋼板或塑膠半圓槽鋪設時，以採用波形褶皺者則為佳，應確實貼緊溝底及固定於溝面。
8. 回填土應夯實，應依第 2.點高於襯砌之構造物並使兩旁逕流可以順暢匯集。如情況許可，側邊配合植草。

4.4 路面排水

4.4.1 定義

安全排除路面逕流及積水，保護路面之穩定。

4.4.2 目的

1. 排除路面逕流，保護路面及路基穩固。
2. 防止路面積水，維持道路順暢通行。

4.4.3 圖說

1. 簡易橫向排水，約隔 20m 一處，有倒溝之路段可酌以加長。

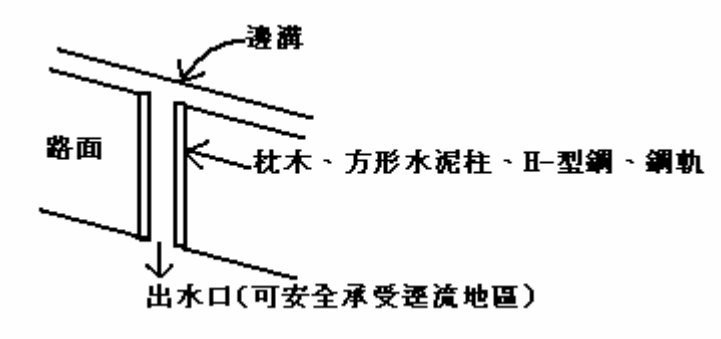


圖 坡-4-13 路面排水示意圖

2. L 型側溝、U 型排水溝、過水路面、小型涵管等詳參相關章節。

4.4.4 應用說明及設計

1. 坡地農場內道路，有虞因逕流匯集造成沖刷處，應設置 L 型側溝或 U 型排水溝等邊溝排水設施。
2. 道路與坡面排水交會處，應設置過水路面、涵管等橫向排水。
3. 有較大面積逕流匯集路段之邊溝，以及道路與坡面排水系統交會處設置之過水路面，涵管等，應估算逕流量，並依據容許流量設計排水斷面。
4. 路面排水設施應配合坡面排水系統，以分段排除為原則，避免逕流累積，如無適當地點可排出，則應加設排水溝等引導至安全地點排除。
5. 為防止路面逕流發生或排除積水，可在適當地點加設簡易排水設施，通常以枕木或方形水泥柱等二支並排埋設於路面，中間留有 5~10cm 之間距，供積水或逕流流入內側邊溝或流出路外。流出路外時，其下邊坡應選取足以安全承受及排除逕流之地點。

6. 農場內道路交會處，上坡方向之邊溝，匯流於下方邊溝，有兩道下坡方向之路面時，配合坡面排水系統，選擇其中之一作安全排除。通常以埋設涵管匯流於下方邊溝，或加高外側路面增加內斜，以防止逕流溢出路面，或在防止逕流流入之路面，在其下側方向適予填高，構築成近似過水路面之功能，引導逕流由一方安全排除。

4.4.5 作業程序及注意事項

1. 坡地道路之布置，應與坡面排水系統及農地水土保持處理相配合，農地水土保持處理之逕流，避免匯流於路面，必要時應加強邊溝排水施設。
2. 農場內道路設計，應有相當之降坡，以免路面積水。
3. 坡地道路之迴頭彎道處，其上方之邊溝排水，應引導至安全地點排除，或設涵管導入下方路邊溝排除。
4. 注意路面之維修，維持適當之內斜或路拱，防止路面積水或逕流沖蝕。
5. 注意排水設施之維護，遇有損壞或土砂、雜物等阻塞，隨時維護或清除。

4.5 小型涵管

4.5.1 定義

排水與道路系統交叉處，埋設涵管，以利宣洩逕流及農機行駛。

4.5.2 目的

1. 方便土地利用與道路通行。
2. 避免表土冲蝕。

4.5.3 圖說

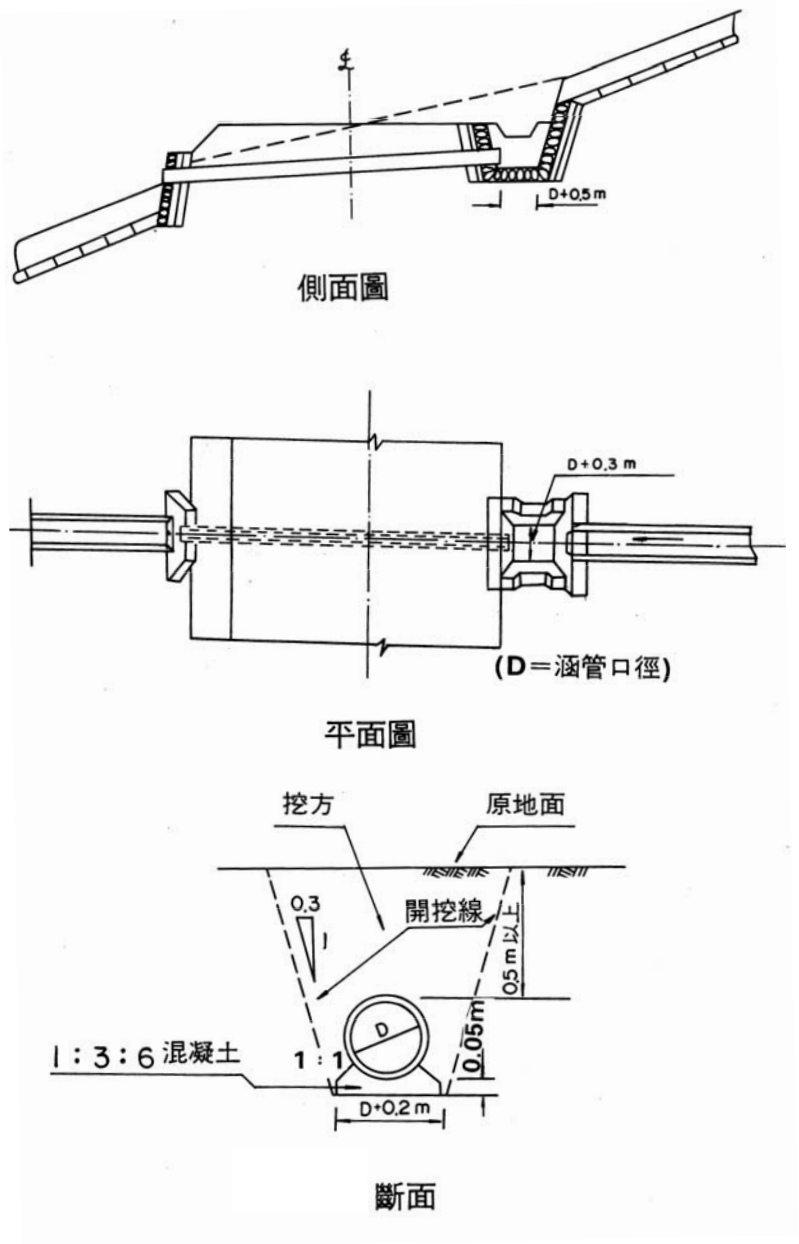


圖 坡-4-14 小型涵管示意圖

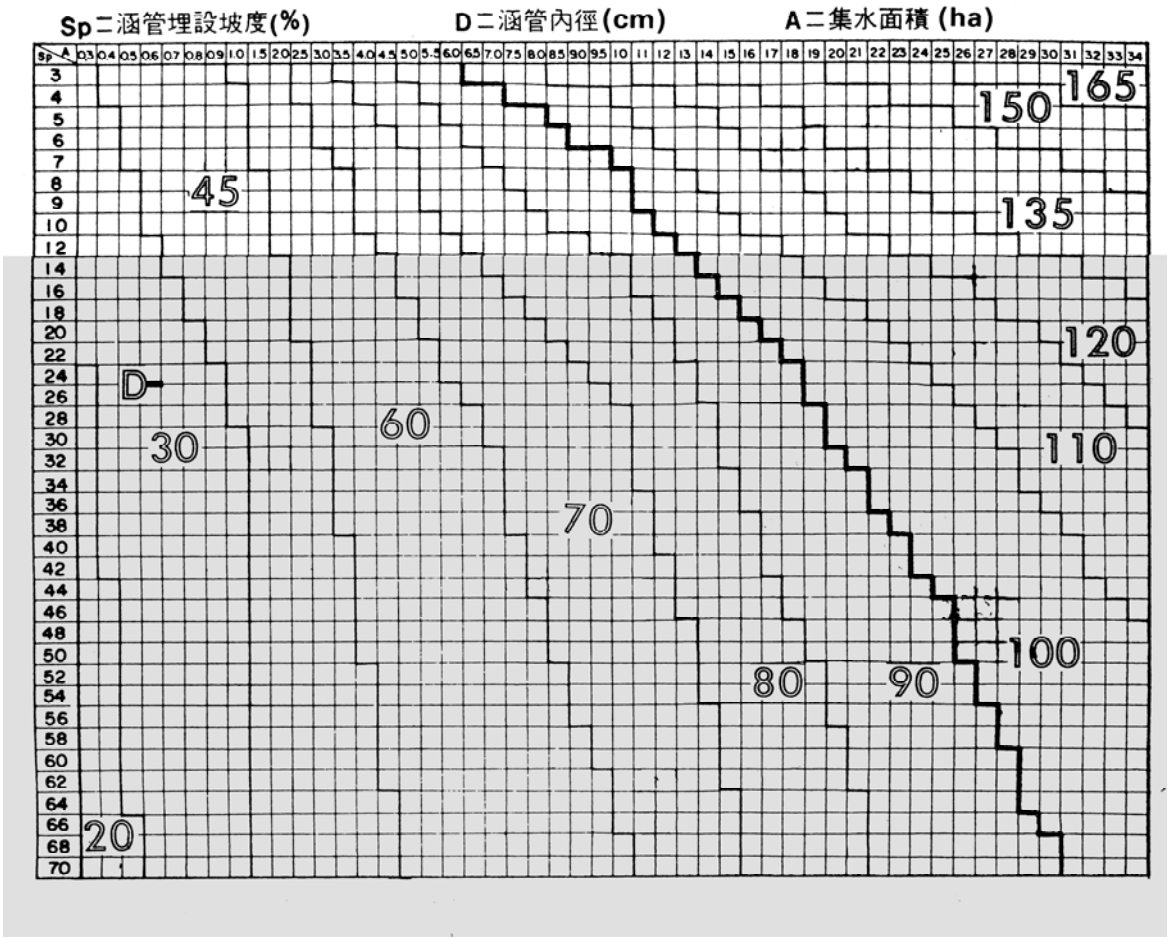
4.5.4 應用說明及設計

1. 斟酌考慮設置攔污柵。
2. 最大荷重限制為 H-20(20 噸級車輛重)。
3. 涵管以直徑 30cm 以上，90cm 以下為原則，超出此範圍應專案處理。
4. 涵管坡度應大於 3%，小於 26%為原則。
5. 涵管斷面以不滿流為設計原則，最佳水深為 0.75D，以免泥砂或樹枝淤塞。
6. 涵管長度，應長於路面寬度，上側設有靜水池者，應嵌入內側坡面，不宜佔用路面。
7. 估計逕流量：參考截水溝之規定。
8. 決定涵管埋設坡度：依據地面坡度、土壤沖蝕、淤砂等情形決定。
9. 決定管徑：假定水流為穩定流，應用曼寧公式以試算法計算管徑。
10. 決定入口靜水池大小。
    (1)靜水池底長 D+50cm，底寬為 D+30cm，涵管底距靜水池底至少 20cm 為宜。
    (2)砌石靜水池邊坡以 1：0.3 為宜。
    (3)與路邊溝連接之靜水池，兩側牆應留適當之缺口。
    (4)靜水池可以預製混凝土板組成。
11. 涵管銜接處應加套頭。

4.5.5 作業程序與注意事項

1. 普通涵管埋設深度至少 50cm 以上，壓力管 20cm 以上，涵管底距靜水池底至少 20cm 為宜。
2. 涵管底座應確實整平，用普通水泥管時鋪設混凝土加強。
3. 接頭應以 1：3 水泥砂漿填縫。
4. 回填土應先以細壤土填實 30cm，再填土充分壓實。

表 坡-4-12 涵管口徑、坡度與集水面積關係表



4.6 L 型側溝

4.6.1 定義

於坡地道路內側，構築之 L 型混凝土排水溝。

4.6.2 目的

1. 利於宣洩逕流。
2. 防止溝身及路基沖蝕。
3. 保護邊坡，防止崩塌，並利於淤積物清除。
4. 兼供車輛行駛。

4.6.3 圖說

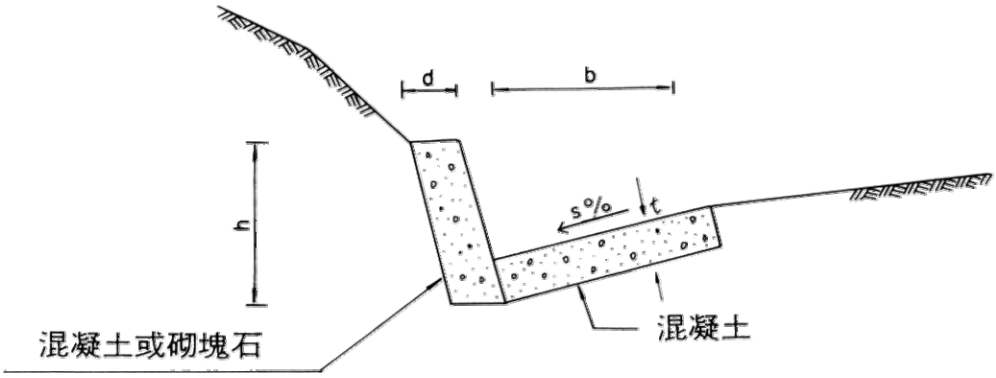


圖 坡-4-15 L 型側溝示意圖

4.6.4 應用說明及設計

1. 適用於小逕流量或寬度較窄之坡地農路支線，園內道內之側邊溝。
2. 與山邊溝交會處設置過水路面以利農機具通行。
3. 側牆高度視地形調整以 60cm 以下為原則超過時應加設護坡。
4. 採用混凝土為原則。
5. 估計逕流量：同截水溝設計(1)。
6. 為安全宣洩逕流及供車輛通行，應注意下列通則。

溝寬	b≧60cm
溝底內斜坡度	S：10%≦S≦30%
側牆高度	h=60cm
側牆寬度	d=20cm～30cm
溝底厚度	t=12cm～20cm

7. L 型側溝應配合坡面排水，並在適當地點設置橫向排水，以利逕流分段排除，不宜累積過多逕流，擾亂坡面自然或設計之排水體系，造成沖蝕災害。

4.6.5 作業程序及注意事項

1. 挖土深度須足夠，溝緣比路面稍低以利排水。
2. 道路路基宜稍具內斜以排除路面逕流。
3. L 型側溝與設計有水泥路面者，應同時施工。

4.7 過水路面

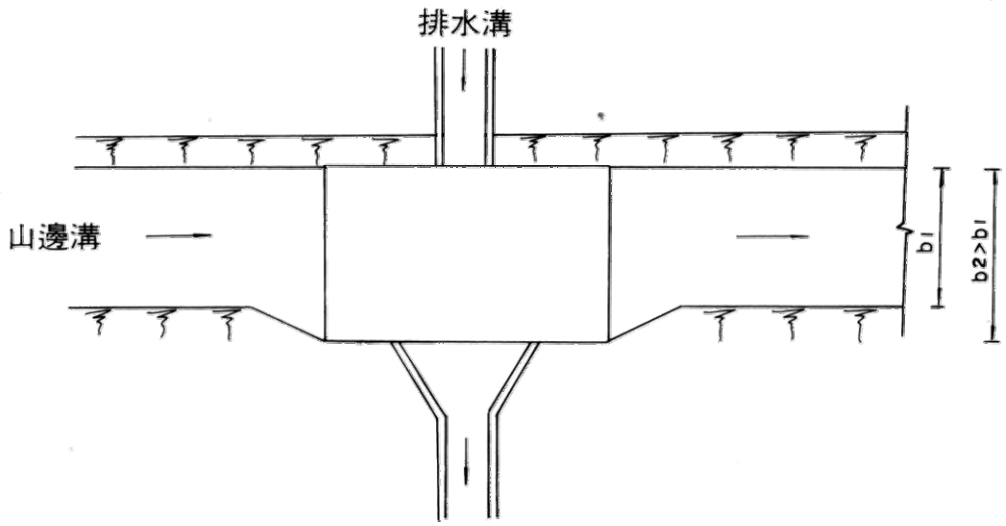
4.7.1 定義

為便利車輛通行，在排水溝與道路交會處，以植草、鋪設磚石，混凝土等構築之寬底拋物線形之明渠。

4.7.2 目的

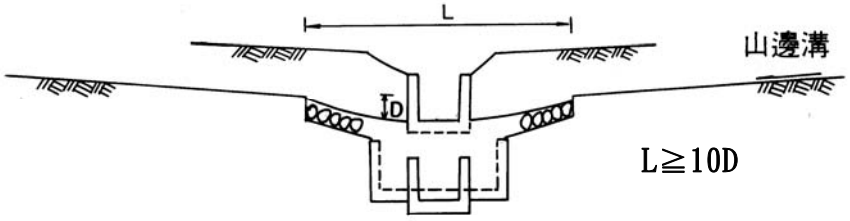
1. 代替暗渠，宣洩逕流。
2. 便利車輛通行。

4.7.3 圖說



L ≧10 D

S ≦ 10 %



斷面圖

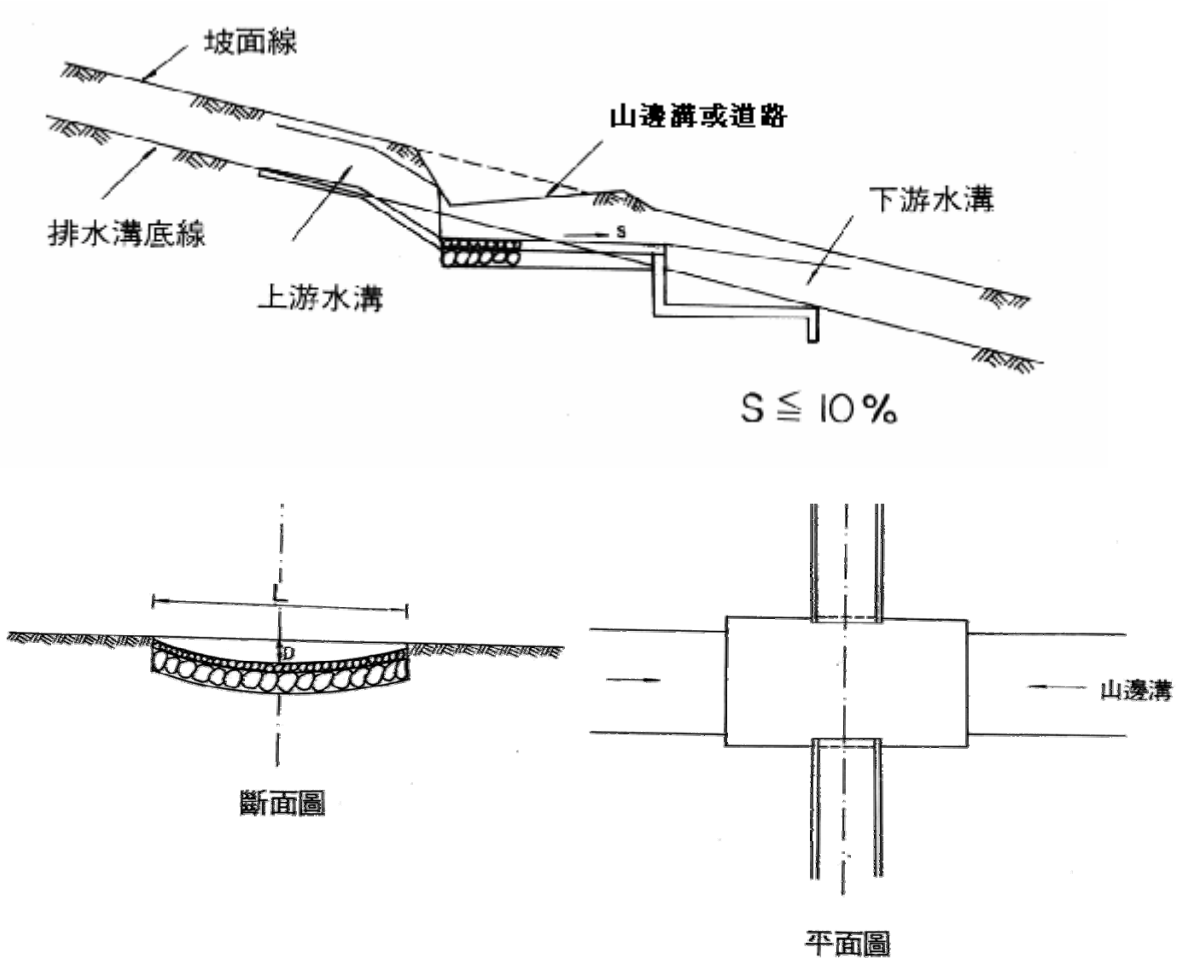


圖 坡-4-16 過水路面示意圖

4.7.4 應用說明及設計

1. 適用於逕流量較小之排水溝與山邊溝或道路交會處。
2. 逕流量較大或較長時間有流水時，上下游宜加設保護工，溝面鋪設混凝土。
3. 估計逕流量：同截水溝設計(1)或參考拋物線形斷面流量表求得。
4. 為安全宣洩逕流及供車輛通行，過水路面寬度應考量道路與排水溝等中心線縱坡，注意下列通則。

   (1)溝底縱坡在 10%以內。

   (2)溝面寬度宜大於道路寬度。

   (3)溝面長度宜超過深度 10 倍以上，即 L≧10D

   L=溝面長度(m)

   D=溝面深度(m)

4.7.5 作業程序及注意事項

1. 斷面決定後，按設計深度挖掘整修。
2. 溝面採植草時，假儉草等具匍匐性草類為宜。
3. 採用磚石、混凝土等材料，應力求平順。
4. 過水路面上下游應視情況做適當的保護。

4.8 跌水

4.8.1 定義

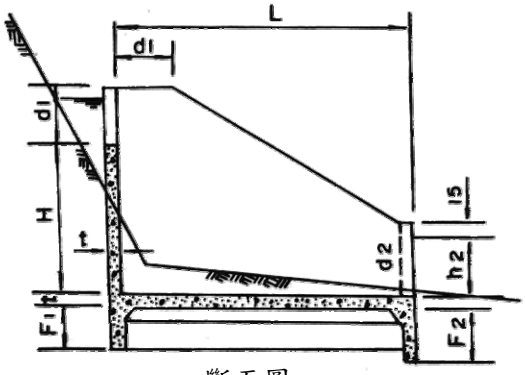
溝渠坡度過陡，水流速度超過限制流速，則易侵蝕溝底。為減緩流速，消除能量，於適當地點建造控制落差之構造物。

4.8.2 目的

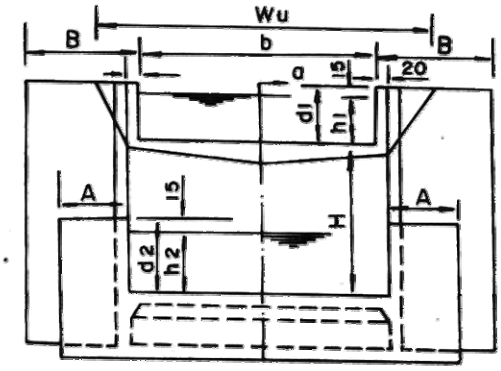
減緩溝渠中水流流速及動能，以減少對渠底之侵蝕並約束流心。

4.8.3 圖說

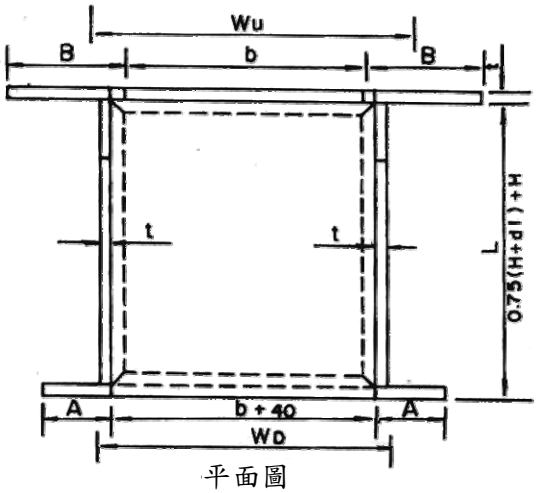
1. A 型跌水（直線形入口，護坦式）：砌磚或混凝土造。



a-a 斷面圖



正面圖

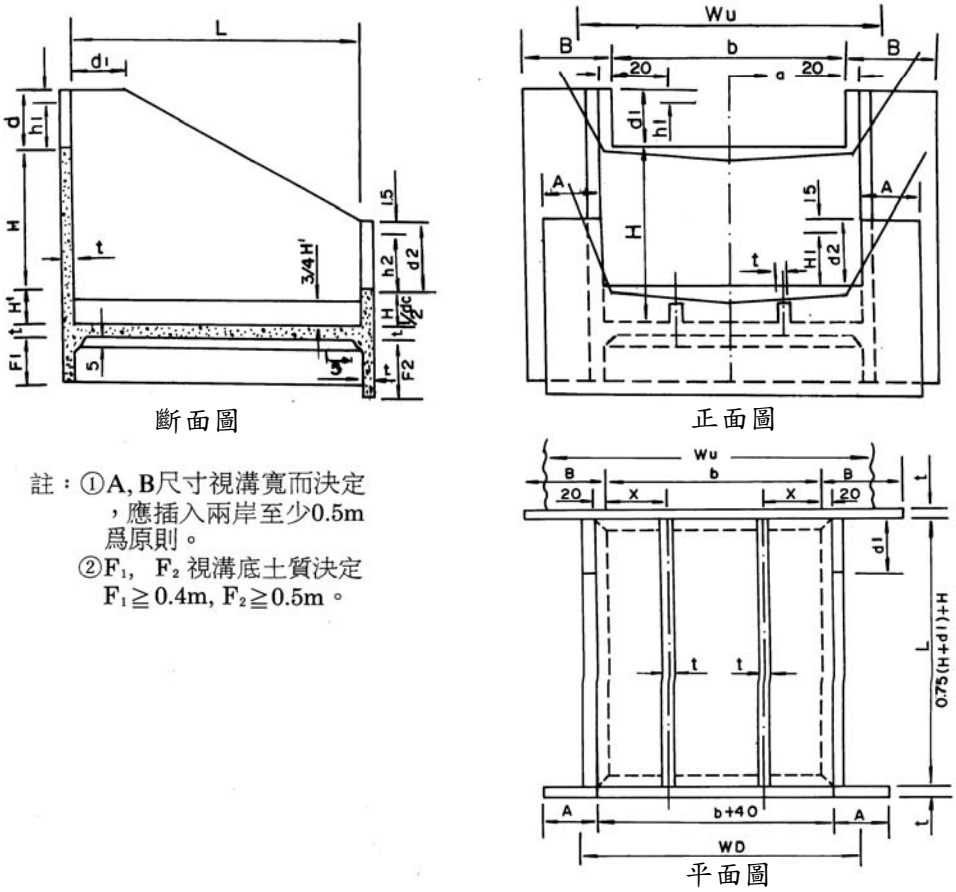


平面圖

註：①A, B 視上下游溝寬按實際情形增減，應入兩岸至少0.5m爲原則。
②F_1, F_2 視溝底土質決定 $F_1 \geqq 0.4m$, $F_2 \geqq 0.5m$。

圖 坡-4-17 A 型跌水示意圖

2. B 型跌水（直線形入口，靜水池式)：砌磚或混凝土造。



註：①A, B尺寸視溝寬而決定，應插入兩岸至少0.5m爲原則。
②F_1, F_2 視溝底土質決定 $F_1 \geqq 0.4m$, $F_2 \geqq 0.5m$。

圖 坡-4-18 B 型跌水示意圖

3. C 型跌水（箱型入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造.

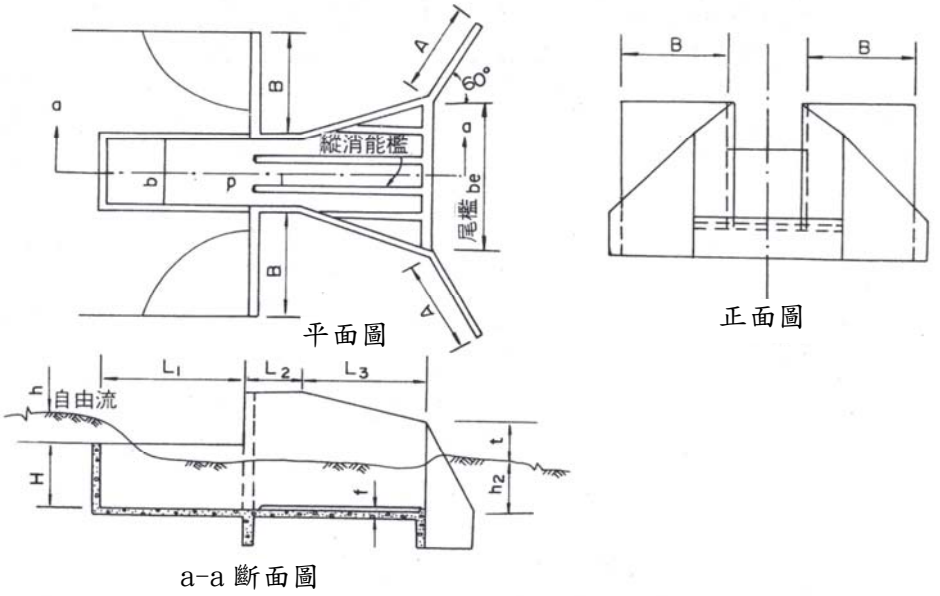
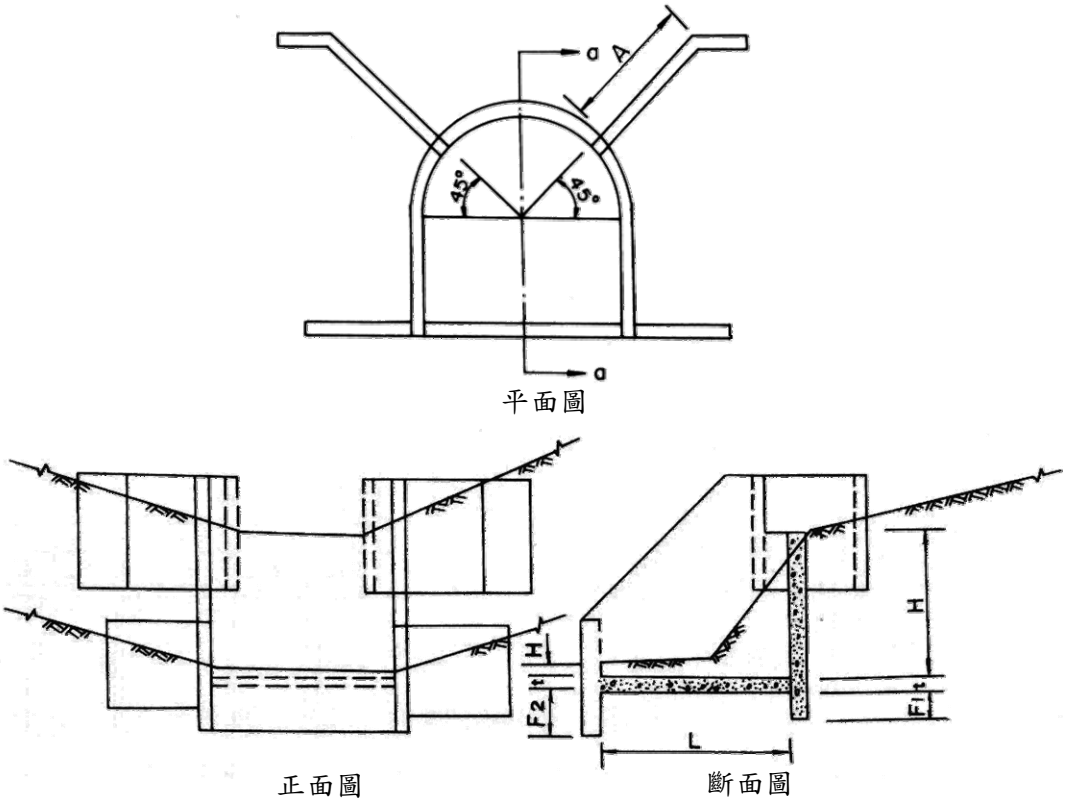


圖 坡-4-19 C 型跌水示意圖

4. D 型跌水（弧形入口，靜水池式）：砌磚或鋼筋混凝土造.



平面圖　正面圖　斷面圖

圖 坡-4-20 D 型跌水示意圖

5. E 型跌水（直線形入口，靜水池式）：砌磚或鋼筋混凝土造。

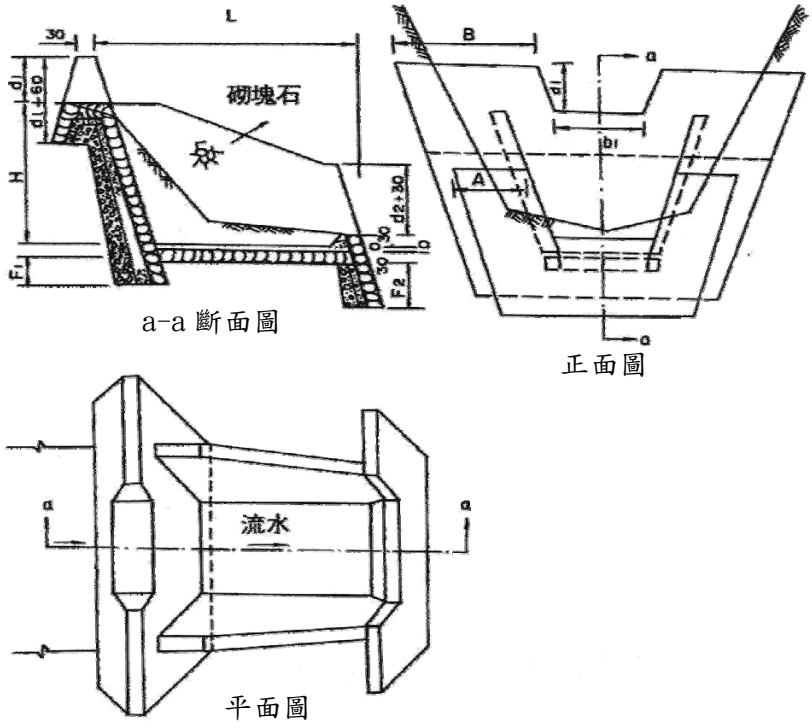


圖 坡-4-21 E 型跌水示意圖

4.8.4 應用說明及設計

1. 凡溝渠坡度垂直落差大，可能繼續擴大沖蝕處適用。
2. 跌水高度 H，以 3m 為限，超過 3m 者應專案處理。
3. 磚砌跌水高度不得超過 2m，牆高 1m 以上者用 1B。
4. 高差及流量稍大時，A 型跌水不適用。
5. A 型跌水必要時得連續構築。
6. 流量較大，必須流經狹窄構造物，而在低水頭時採用 D 型跌水較佳。
7. 鋼筋混凝土造之跌水，高度 2m 以下者，厚度採用 12cm，鋼筋用 φ3/8″，間距 25cm 以內；高度 2m 以上者，厚度用 15cm，鋼筋 φ3/8″，間距 20cm 以內。
8. 受地形限制，靜水池無法按規定長度構築時，可稍縮短，但不得小於計算長度之 80%。
9. 估計逕流量 Q：請參閱截水溝設計(1)。
10. 決定跌水型式：按溝寬、溝渠縱坡、落差、逕流量及工程材料決定。
11. 跌水入口應配合入流溝之斷面。
12. 計算跌水護坦或靜水池長度

A 型跌水：

護坦長度　　L=0.75(H+d)+H

式中　　L=長度(m)

H=跌水落差(m)

d=h+出水高(m)

B.D.E 型跌水：

靜水池長度 L 按下列步驟求之

(1)先求入口臨界水深 $d_c=\sqrt[3]{\dfrac{Q^2}{b^2\cdot g}}$　，　其中 g=9.8(m^2/sec)

(2)求 $L=\sqrt{Hd_c}\cdot\left(2.5+1.1\dfrac{d}{H}+0.7\left(\dfrac{d_c}{H}\right)^3\right)$

13. 計算護坦或靜水池各部分尺寸

(1)上游擴展牆長度 $B=\dfrac{1}{2}\left(W_u-b\right)+h_1+0.2>1.0\text{m}$ (各型跌水適用)

(2)翼牆長度 $A=\frac{1}{2}(W_d-b-0.4)+h+0.2$ A>1m (A,B,D,E 各型跌水適用)

式中 Wu=上游溝寬(水面寬)m

Wd=下游溝寬(水面寬)m

14. 消能檻

B,D,E 型跌水

$H'=\frac{1}{2}d_c$

$X=C_x b+0.45$

其中 C_x 值如下表

W_d/b	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.5	16	1.7	1.8	2.0
C_x	0	0.075	0.125	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27

4.8.5 作業程序注意事項

1. 構造物施設地點應詳加勘查，注意跌水關係位置，急彎處跌水入口及出口方向，應與上下游流向一致。
2. 注意放樣，使護坦或靜水池稍低下游地盤線。
3. 挖出之土方不可置於渠道中，應堆置兩邊。
4. 回填土應充分夯實，高度應超過跌水翼牆至少 20cm，並向跌水呈內斜狀。
5. 施工中如發現原設計深度之基礎土質過鬆，應即追加深度。
6. 跌水胸牆及兩邊翼牆均須設洩水孔，大小以 φ 3～5cm，每 $1m^2$ 設一孔為原則。

水土保持手冊

坡地保育篇

目錄

五. 坡地用水與灌溉..... 坡-5-1

5.1 水源設施..... 坡-5-1

5.2 抽水設施..... 坡-5-3

5.3 輸配水設施..... 坡-5-12

5.4 農塘..... 坡-5-19

5.5 蓄水設施..... 坡-5-21

表 坡-5-1 抽水機型式與總揚程 坡-5-4
表 坡-5-2 吸口口徑與吸水流量關係 坡-5-4
表 坡-5-3 各種抽水機之速度比範圍 坡-5-5
表 坡-5-4 抽水機效率（Np） 坡-5-5
表 坡-5-5 220V 二相馬達（30Hp 以下）資料表 坡-5-8
表 坡-5-6 電容器之容量關係表 坡-5-8
表 坡-5-7 單相馬達(1～5HP)資料表 坡-5-9
表 坡-5-8 管內摩擦損失水頭計算圖表 坡-5-15
表 坡-5-9 管內摩擦損失水頭計算圖表 坡-5-16
表 坡-5-10 不同材質管線之 ks 及 c 係數值 坡-5-17
表 坡-5-11 管溝之寬度及深度 坡-5-18
表 坡-5-12 塑膠管最小插入長度 坡-5-18
表 坡-5-13 塑膠管最小彎曲半徑 坡-5-18

圖 坡-5-1 水井式水源設施 坡-5-1
圖 坡-5-2 引水式水源設施 坡-5-1
圖 坡-5-3 單吸式螺型抽水機揚水裝置 坡-5-3
圖 坡-5-4 抽水機安裝示意圖 坡-5-3
圖 坡-5-5 橫軸式馬達抽水機電力內線配線圖 坡-5-7
圖 坡-5-6 單相電源配置圖 坡-5-9
圖 坡-5-7 吊管工斷面圖 坡-5-12
圖 坡-5-8 明渠斷面圖示意圖 坡-5-12
圖 坡-5-9 管渠斷面圖示意圖 坡-5-12
圖 坡-5-10 農塘示意圖 坡-5-19

五. 坡地用水與灌溉

5.1 水源設施

5.1.1 定義

蓄存供給坡地灌溉水量之構造物。

5.1.2 目的

提供灌溉、防除病蟲害、人畜使用等用水。

5.1.3 圖說

1. 蓄水式：見農塘章。
2. 水井式

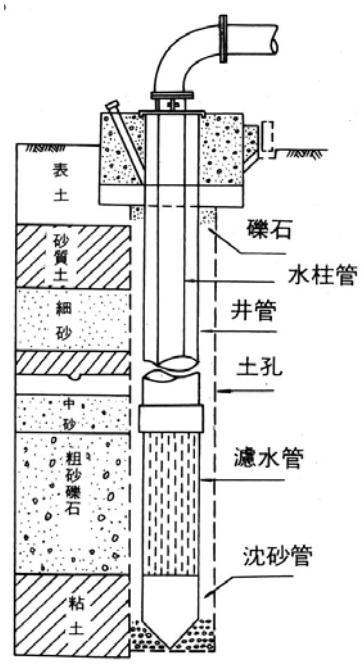


圖 坡-5-1 水井式水源設施

3. 引水式

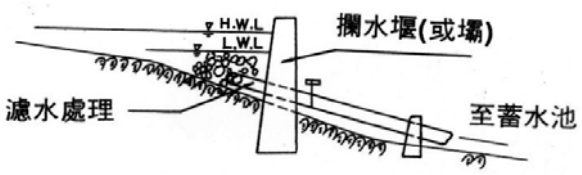


圖 坡-5-2 引水式水源設施

5.1.4 應用說明及設計

1. 蓄水式：蓄水之農塘或攔水壩利用抽水設施揚水或引水至灌區。參見農塘章。
2. 引水式：在常年有地面水或地下水之溪澗或排水溝設置攔水堰 (或壩)藉重力之位能高差將水引至灌區。此種方式水源高於灌區。
   (1)攔水堰(或壩)依重力防砂壩原理計算。
   (2)進水口應有濾水處理。
   (3)水源之水質如渾濁或含有泥沙者，應在堰(或壩)體下游加設沉沙池等濾沙設施。
3. 水井式：在灌區附近有豐沛之地下水時，可鑿井安裝抽水機揚水至灌區。此方式水源低于灌區。鑿井前應瞭解鑿井地點之地層狀況。宜先開鑿小口徑地層試探井，採取砂樣作機械分析，繪製砂樣曲線及試水紀錄，以為設計之依據。
   (1)井管直徑之選擇：井管之口徑應較選定之抽水機機體之尺寸為大。
   (2)水井之深度：水井之深度係根據含水層之位置及厚度決定，為得最大容許水位洩降及較高之比出水量，水井通常開鑿至含水層之底部或相當深度。
   (3)濾水管長度：
      ①濾水管之進水流速應為每秒 0.03m 左右為宜。
      ②選擇濾水管長度時，須考濾水層之厚度、粗砂層與細砂層之排列位置及地下水之靜水位。
      ③自靜水位至濾水管管頂之距離，謂之容許水位洩降，即假定水井抽水時，水位不致降低至濾水管頂以下，因總抽水量為容許水位洩降與出水量之乘積為最大值，最佳濾水管長度應為飽和水層厚度之 1/3～1/2。

5.2 抽水設施

5.2.1 定義

由機械動力將水揚至灌區之設施。

5.2.2 目的

提供灌區作物灌溉、人畜、病蟲害防除等用水。

5.2.3 圖說

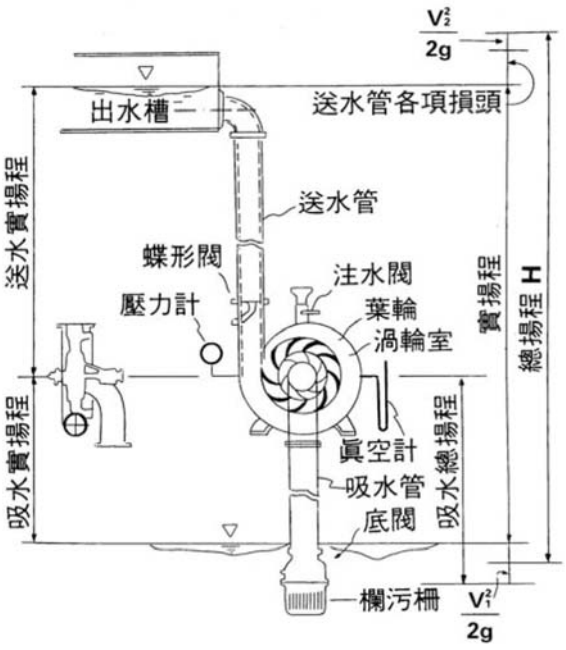


圖 坡-5-3 單吸式螺型抽水機揚水裝置

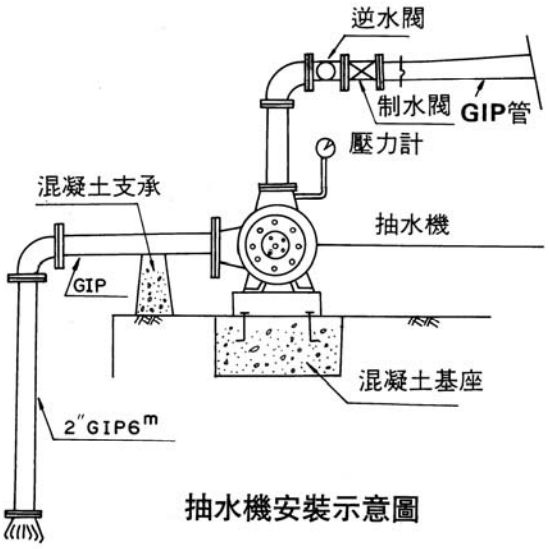


圖 坡-5-4 抽水機安裝示意圖

5.2.4 應用說明及設計

1. 種類及適用範圍：抽水機種類的選擇，總揚程為主要決定條件。抽水機型式與總揚程如表 坡-5-1：

表 坡-5-1 抽水機型式與總揚程

型式	軸流抽水機	斜流抽水機	螺型抽水機	透平型抽水機		柱塞式抽水機
				單段	多段	
總揚程(m)	4 以上	3-15	4-30	18-60	20 以上	20 以上

上表所列數值係一般使用上之數值，實際選定時，應考慮抽水機之性能特徵、計畫基本條件等決定之。

(1)揚程變化較少，只需調整水量，以採用螺型抽水機為主。

(2)水量變化不多，揚程變化較大者，以採用透平型抽水機為主。

(3)高揚程、小水量或噴藥，以採用柱塞式抽水機為主。

2. 抽水機：

(1) 口徑之決定

$$D = 146\sqrt{\frac{Q}{V}}$$

D=抽水機吸入口之口徑(mm)

Q=吸水量(m^3/min)

V=吸入水之流速(m/sec)(約 1.5～3.0m/sec)

吸口口徑與吸水流量之關係如下表

表 坡-5-2 吸口口徑與吸水流量關係

吸口口徑(mm)	40	50	65	75	100	125	150
水量(m^3/min)	0.11-0.22	0.18-0.36	0.28-0.56	0.45-0.9	0.71-1.4	1.12-2.24	1.8-3.35
標準水量(m^3/min)	0.13	0.23	0.42	0.56	1.10	1.70	2.50
吸口口徑(mm)	200	250	300	350	400	500	
水量(m^3/min)	2.8-5.6	4.5-9.0	7.7-14	9.0-18	11.2-22.4	18-35.3	
標準水量(m^3/min)	4.80	7.10	11.0	16.0	21.0	33.0	

(2)速度比：

即每 1m 之揚程出水量時每分鐘需要之轉速。

$$Ns = \frac{NQ^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Ns=速度比(rpm)

Q=揚水量(m^3/min)

N=抽水機之迴轉數(rpm)

H=總揚程(m)

各種抽水機之速度比範圍如表 坡-5-3

表 坡-5-3 各種抽水機之速度比範圍

型式	渦輪型抽水機	螺型抽水機	斜流型抽水機	軸流型抽水機
速度比 Ns（m-m^3/sec-rev/min）	120-250	200-450 (軸流)	700-1200	1200-2000
		450-900 (混流)		

(3)抽水機動力計算：

①軸馬力

$$SH_P = 0.222\frac{Q \cdot H}{N_P}$$

SHp：軸馬力

Q：揚水量(m^3/min)

H：總揚程(m)

表 坡-5-4 抽水機效率（Np）

流量 (m^3/min)	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
A 效率 (%)	33	40	44	49	53	55	57	60	62	65	67	70	71
B 效率 (%)	29	34	37	42	45	47	49	51	53	55	57	59	60

上表為小型渦流式抽水機之效率，A 為最大效率，B 為最低效率。

②所需馬力

$$RH_P = SH_P \times \frac{1}{n_i} \times e$$

RHp：所需馬力(Hp)

SHp：軸馬力(Hp)

n_i 傳動效率

- 三角度帶 = 0.93 - 0.95
- 平皮帶 = 0.90 - 0.93
- 橫軸正齒輪變速器 = 0.92 - 0.98
- 傘型齒輪變速器 = 0.90 - 0.95
- 直結式(法蘭) = 1

e：安全係數

使用電動機時=1.10～1.20

使用引擎時=1.15～1.25

3. 抽水站

(1)基礎：抽水站應設置在堅硬地質之地上，其基礎厚度應 40 公分以上，固定抽水機於基座上之螺絲釘通常使用 φ16mm 以上，其埋入深度按螺型採用直徑 25 ～ 40 倍左右。

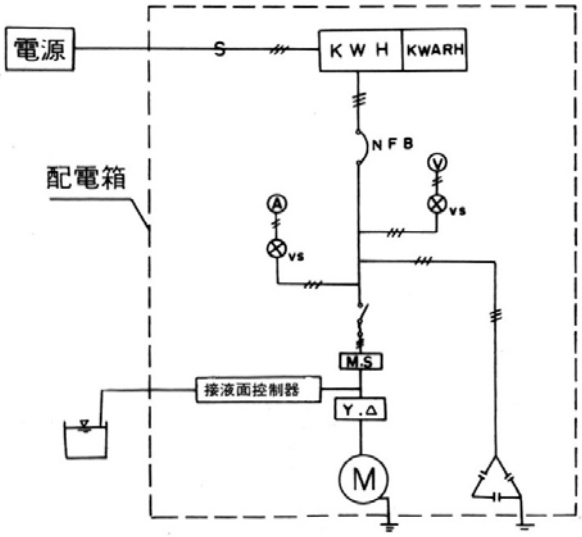
(2)機房：機房設計前應調查各項機件如抽水機、馬達或引擎之尺寸與重量，以供設計之依據。機房內應保留較寬廣之空地，便於機械之搬運裝卸，並保持乾燥、通風及良好光線，機房出入口之大門，應有充分之寬度，便於機械之搬運。

4. 動力設備

(1)電力

①內線：

三相電源：其配置見圖及表。



符號	名稱	說明
S	表前開關	電線線徑 22m/m² 以下免設
K.W.H	電錶	
K W A R H	無效表	馬達20HP以上裝設
N.F.B	無熔絲開關	規格見下表
Ⓥ	電壓計	0－300V
Ⓐ	電流計	規格見下表
Ⓧ vs	三段開關	
	刀型開關	規格見下表
M.S	電磁開關	規格見下表
Y.△	Y.△起動開關	馬達7.5HP以上裝設
Ⓜ	馬達	見下表
	電容器	規格見下表
	三線電線	規格見下表
	二線電線	
	接地裝置	

圖 坡-5-5 橫軸式馬達抽水機電力內線配線圖

表 坡-5-5 220V 二相馬達（30Hp 以下）資料表

名稱		單位	數值						
馬達		H	5	7.5	10	15	20	25	30
電線最小線徑		m/m²	5.5	5.5	8	14	22	38	38
無熔絲開關 N.F.B.	框架容量	AF	50	50	50	100	100	225	225
	跳脫電流選定值	A	40	40	50	70	100	125	125
電磁開關	過載電流選定值	A	17.2	25	31	46	60	72	90
電流計	標示值	A	30	30	50	75	100	100	150
刀型開關	額定電流	A	30	50	60	100	100	150	200
	熔絲容量	A	30	30	50	75	75	100	150

表 坡-5-6 電容器之容量關係表

HP	1800 rpm
	電容器最大額足 KWAR 單相
10	4
15	5
20	5
25	7.5
30	10

KVAR	UF
1.83	100
2.73	150
3.35	200
4.56	250
5.47	300
6.39	350
7.30	400
9.12	450

單相電源：其配置見圖

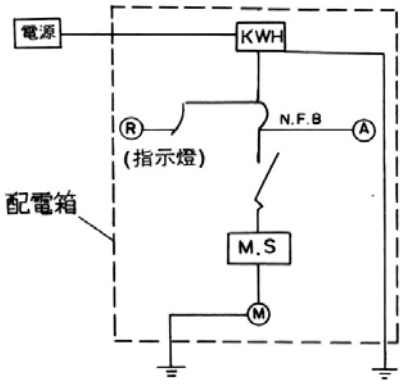


圖 坡-5-6 單相電源配置圖

表 坡-5-7 單相馬達(1～5HP)資料表

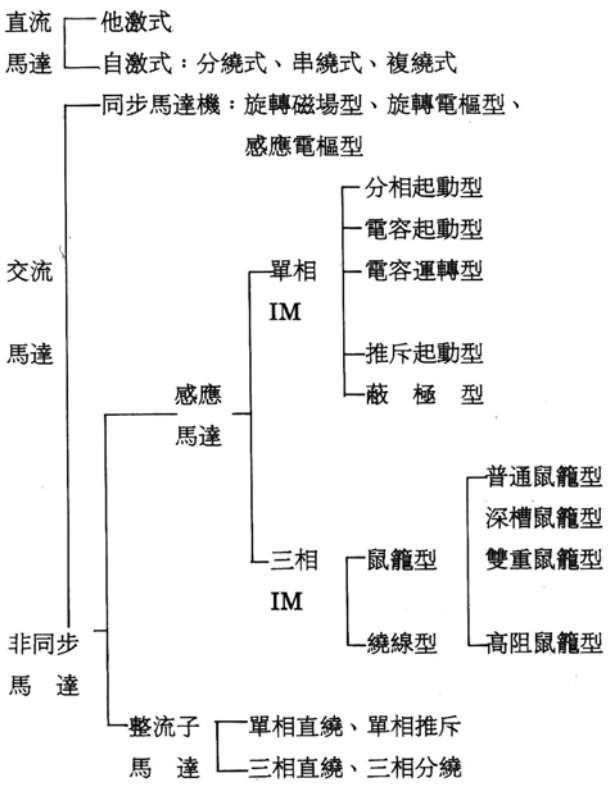
名稱		單位	數值		
馬達		馬力	1-2	3	5
電線最小線徑		m/m^2	5.5	5.5	5.5
N.F.B.無熔絲開關	框架容量	AF	50	50	50
	跳脫電流選定值	AT	30	40	40
電磁開關	過載電流選定值	A	9	12	18
電流計標示值		A	15	20	30
刀型開關額定電流		A	20	20	30
熔絲容量		A	15	20	30

②外線：架設經費依台灣電力公司核算編列。

(2)電動機：(又稱馬達)

①種類

a.依使用電源分：(示意圖)



b.依軸向方式分：

(a)橫型。

(b)豎立型：軸向上、軸向下。

c.依外殼型式分：

(a)開放型：有開孔，外氣可通過內部。

(b)全閉型：內外不相通風之構造。

②額定：製造廠商對製品之使用條件及保證限度之規定，馬達之各動類額定依規定應記於銘板上。馬達之主要額定包括：額定輸出、額定轉速、額定週率、額定電壓、額定電流、溫昇、時間額定等。

(2)引擎：

①汽油引擎：轉速一般為 1700 ～ 3600rpm， 小型氣冷 汽油引擎使用於渦流式抽水機。

②柴油引擎：

a.小型柴油引擎：馬力 3～20Hp，轉速為 1600～2400rpm。

b.中型柴油引擎：轉速 800 ～ 1,500rpm，馬力 15 ～ 1000Hp 廣用於低揚程，低轉速之抽水機，如軸流式、斜流式抽水機。

c.高速柴油引擎：轉速 2000rpm 以上，馬力 15 ～300Hp 用於高揚程之渦流式抽水機。

5.2.5 作業程序及注意事項

1. 抽水機各性能曲線應在製造廠試車驗收(時間為 72 小時)。
2. 抽水機宜由製造廠派員安裝。
3. 抽水機以配裝電動馬達為經濟，不得已需要裝配引擎時宜採用柴油引擎，不宜用汽油引擎。
4. 採用電動之抽水設備，可視現場需要配裝液面自動開關。自動預潤水系統，定時自動開關。
5. 揚程超過 150 公尺時宜設中繼站分段抽水。
6. 三相感應馬達之效率為 70%～95%(馬力由大而小)。單相感應馬達之效率為 70%～75%(電容器運動馬達除外)，故動力在 2 馬力以下採用單相，3 馬力以上最好採用三相。
7. 抽水機房應有避雷針之設置。

5.3 輸配水設施

5.3.1 定義

將水揚至灌區或水源藉重力的位能高差將水輸送到灌區的設施。

5.3.2 目的

使灌區能適時獲得適量的用水。

5.3.3 圖說

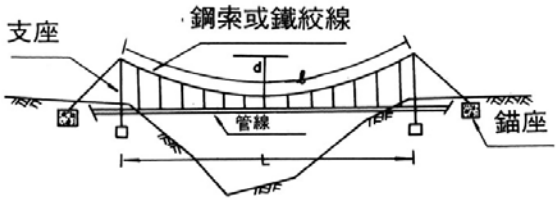


圖 坡-5-7 吊管工斷面圖

1. 明渠



圖 坡-5-8 明渠斷面圖示意圖

2. 管渠

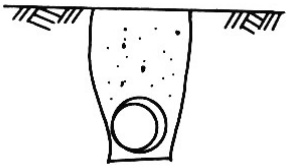


圖 坡-5-9 管渠斷面圖示意圖

5.3.4 應用說明與設計

1. 明渠：以明渠為輸配水設施在坡地較少使用，其設計參考有關灌溉工程部分。

(1)土渠：施工簡易，滲透性高，但輸水損失大，而影響灌溉效率。

(2)內面工渠：以混凝土或磚塊為襯砌材料。

2. 管路系統：

(1)聚氯乙烯塑膠管(PVC)：質輕、耐蝕、不積垢、可塑性高、經濟、施工容易，為一般坡地灌溉管路系統常採用。

(2)聚丙烯塑膠管(PE 管)：質輕、耐寒、耐蝕、可撓性佳、施工容易、適用於小管徑 (φ10mm) 以下低壓管路系統。

(3)鋼管：耐高壓，適用任何地形，但價格高昂，故坡地灌溉管路系統僅在首段配管，零件及強度特高之處採用。

(4)鑄鐵管：高強度、耐蝕、容易管理、施工容易，適用於大管徑之管路系統，在坡地灌溉管路系統中使用其零件。

(5)流量設計：灌溉計畫用水量決定後，即可使一天所需水量以 T 小時抽水或 24 小時引水方式設計。

$$Q = \frac{Q'}{T}$$

Q：流量(m^3/sec)

Q'：計畫用水量(m^3)

T：時間(sec)，引水時以 24 小時計，抽水時一般

以 16-20 小時為準。配水系統流量則以灌溉時間以 10-12 小時為原則。

(6)管徑：

①揚水管之管徑：一般以抽水機口徑放大一級為準。

②輸配水管徑：依據流量，假設管徑以試算法計算摩擦損頭及兩點間高差(壓力)找出適合之管徑。

(7)揚程：

①實揚程(Ha)：由吸水面至出水面之高度。

②直管摩擦損頭(Ht)：

a. Williams & Hazen 實驗公式(見圖）

$$Ht = \frac{6.819L \cdot V^{1.852}}{C^{1.852} D^{1.167}}$$

Ht：摩擦損頭(m)

L：直管長度(m)

V：管中平均流速(m/sec)

C：摩擦係數(表 坡-5-8)

D：管徑(mm)

b.Scobey's 式實驗公式(表 坡-5-9)

$$Ht = \frac{2.59Ks \cdot L \cdot V^{1.9}}{1000 \cdot D^{1.1}}$$

Ks=摩擦係數(見表)

其餘符號同上式

c.Darcy 氏公式

$$Ht = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

λ：摩擦係數 $= 0.02 + \left(\frac{1}{2000 + D} \right)$

其餘符號同上式。

當 D=50mm 以下，V=1.5m/sec 以上時應用 Williams & Hazen 式及 Scobey's 式須注意其精度。Q=7600 l/min 及 L=2400m 以下時宜採用 Scobey's 式，超此值利用 Williams & Hazen 式。

③其他零星損頭(Hf)

a.底閥損頭。

b.制水閥損頭。

c.逆止閥損頭。

d.曲管損頭。

e.異徑管損頭。

f.T 型管損頭。

g.剩餘速度損頭。

總零星損頭依直管損頭之 5%計之。

④總揚程(H)=Ha+Ht+Hf

表 坡-5-8 管內摩擦損失水頭計算圖表

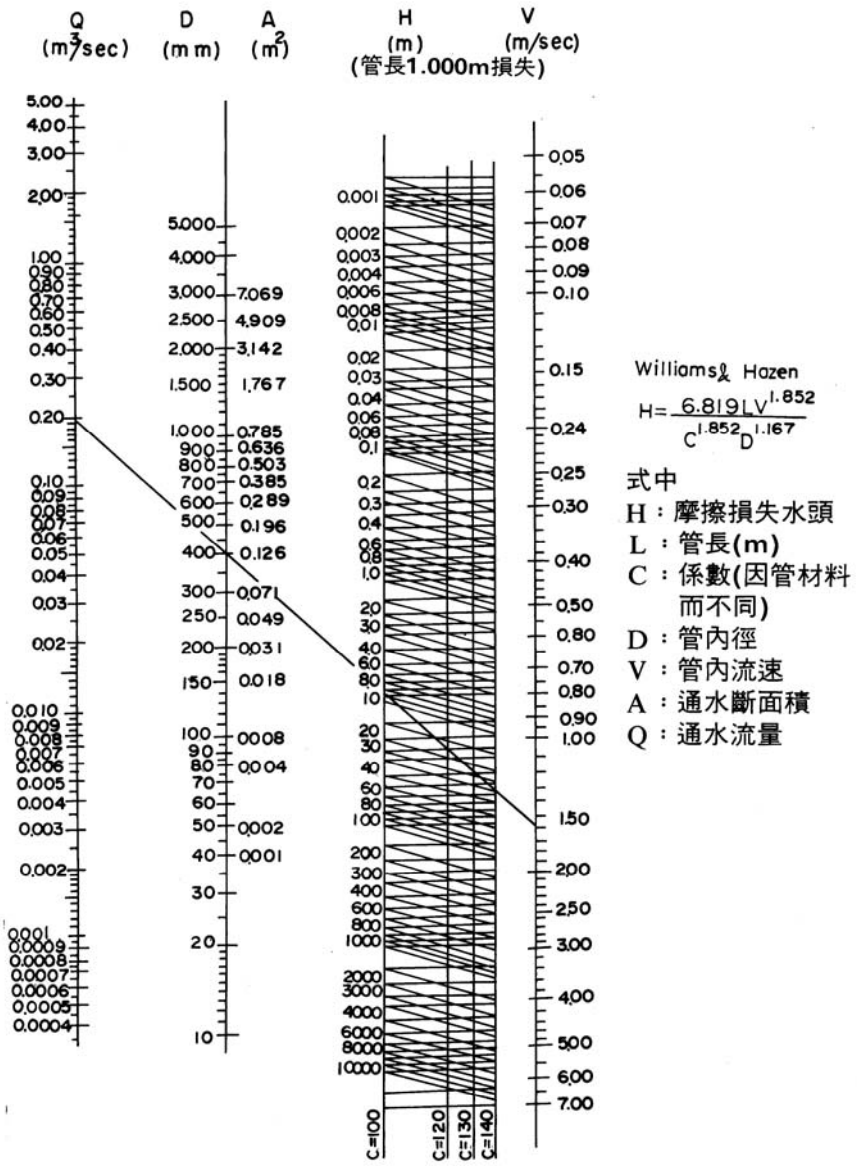


表 坡-5-9 管內摩擦損失水頭計算圖表

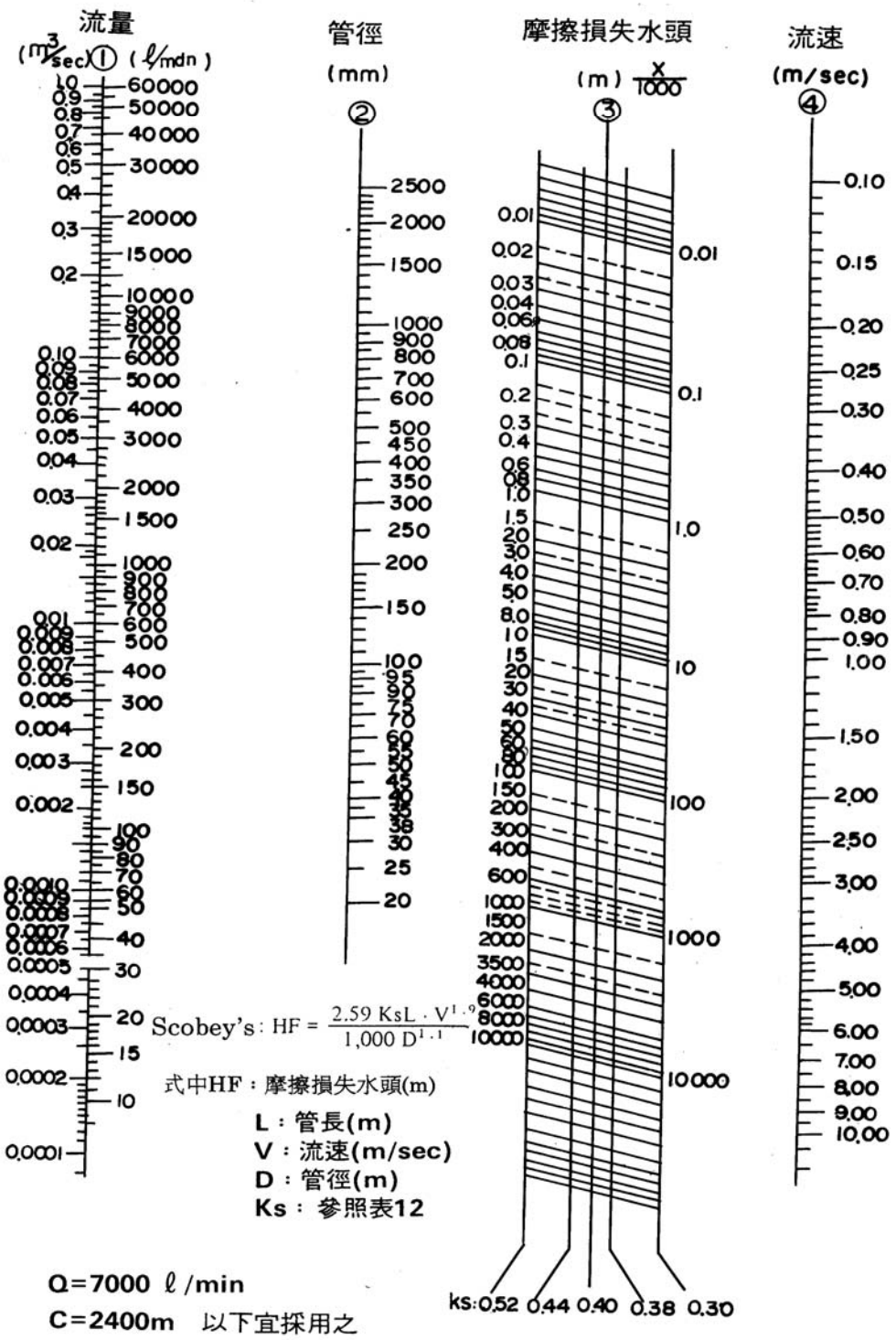


表 坡-5-10 不同材質管線之 ks 及 c 係數值

管之種類	Ks (Scobey)	C (Williams&Hazen)
平滑之螺狀熔接鋼管	0.32	140
新鋁管	0.32	140
螺狀熔接鋼管	0.40	120
鉚釘鋼管	0.44	110
再製管	0.52	95
鉛管	0.28~0.32	150~140
木管	0.40	120
木管	0.44	110
橡膠管(內面襯橡膠)	0.32~0.44	140~110
移動式鋁管及接頭	0.40	120
移動式塑膠管及接頭	0.42	115
移動式塑膠管及接頭	0.32~0.38	140~125
石綿水泥管	0.32~0.36	140~130
離心式鋼筋混凝土管	0.36	130
混凝土管陶管	0.40	120

3. 吊管工：當管線須橫跨溪谷或溪澗時未能依地形埋設，利用吊管工架設管線。

(1)最大張力

$$H_{\max} = \frac{WL^2}{8d}$$

W=單位重(鋼索重+水重+管重)

Hmax：最大水平應力

$$T = H_{\max}\left(1+\left(\frac{4d}{L}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

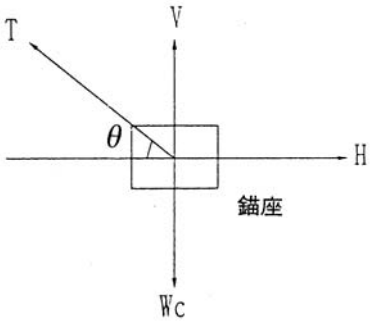
$$l = L\left(1+\frac{8}{3}\left(\frac{d}{l}\right)^2\right)$$

(2)錨座

V=T・COSθ＜W

V：上拔力

Wc：錨座自重



5.3.5 作業程序及注意事項

1. 在連續上坡管線為防止水鎚作用發生管線故障，應於適當地點設置逆止閥。
2. 管溝之寬度及深度：

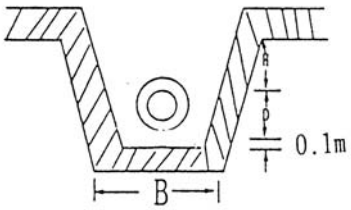


表 坡-5-11 管溝之寬度及深度

管徑(mm)	13-38	50~63	80~300
B(m)	0.30	D+15	D+15
H(m)	0.45	0.80	1.00

3. 塑膠管臼塞膠合接頭：採用冷接法接合其插口插入長度見下表

表 坡-5-12 塑膠管最小插入長度

管徑(mm)	9	13	19	25	38	50	63	80	100	>150 以上
插入長度(mm)	20	25	35	40	60	70	90	100	130	180

4. 塑膠管彎曲：最小彎曲半徑見下表，管線埋設於地形之凸部時必須加設排氣閥。管線埋設於地形之凹部，選擇適當之排水路或設置排污管。

表 坡-5-13 塑膠管最小彎曲半徑

管徑(mm)	9	13	19	25	38	50	63	80	100	150	200	250	300
彎曲半徑(mm)	40	60	85	110	190	250	300	350	450	650	900	1,200	1,500

5. 管溝挖出之土石方，可堆置管溝兩旁，其堆置寬度應力求縮小，以不妨礙交通為原則。
6. 管線裝接完成後之回填，塑膠管週邊，一律以砂或砂土回填。其周邊即以原挖出之土石方回填，但管頂 30cm 內不得有石塊雜物。
7. 管線架設如須跨越道路時，應與其主管單位協調。

5.4 農塘

5.4.1 定義

在低窪地區或溪流選擇適當地點，構築堤壩攔蓄地表逕流，提供農業等用水之設施。

5.4.2 目的

1. 提供人畜日常用水以及灌溉、養殖、病蟲害防除用水。
2. 提供休閒、遊憩場所。
3. 改進週邊生態環境及美化景觀。

5.4.3 圖說

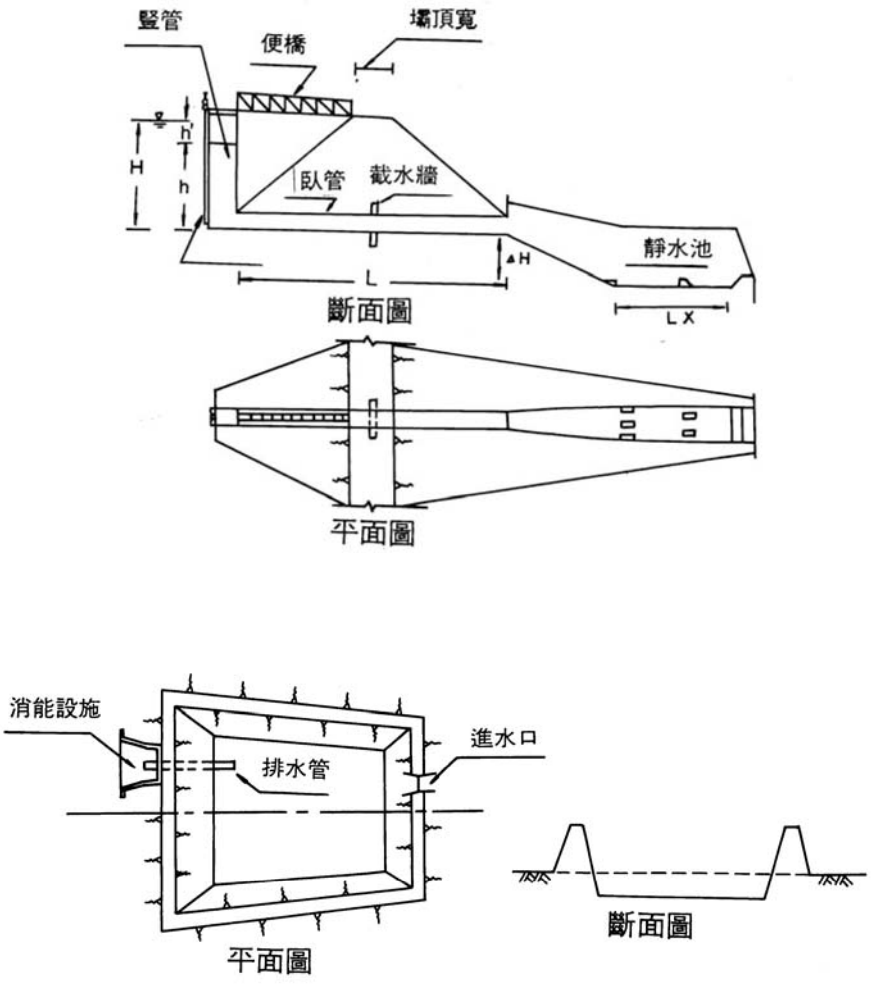


圖 坡-5-10 農塘示意圖

5.4.4 應用說明及設計

1. 築壩式農塘之壩體及溢洪道之設計參考土壩章。離槽式農塘應同時計算其集水區之逕流量。其附屬工程包括排砂閘、便橋等。排砂閘：由鋼鐵及其他金屬組合而成，含有捲揚機座、螺桿、排砂門等。
2. 開挖式農塘：以挖地貯水為主，並在低窪之週邊，配合築矮堤方式增加部分貯水量之農塘。

(1)堤高不得超過 3m。

(2)土堤堤體頂寬應在 1.0m 以上，堤面坡度(內外側)應緩於 1:1.5。堤面保護參考土壩章。

(3)混凝土堤頂寬 0.3～0.5m，以擋土牆方式設計，酌量考慮水壓力。

(4)出水高：0.4～1.0m。

(5)出水口高度應低於堤頂 0.4～1.0m，出水口斷面應足以宣洩最大進水量。

5.4.5 作業程序及注意事項：參考工程方法篇土壩章。

5.5 蓄水設施

5.5.1 定義

貯存部分水量，藉配水設施調整灌區末端灌溉水之構造物。

5.5.2 目的

使灌區末端適時適量得到水之供應，以利作物之生長。

5.5.3 應用說明及設計

1. 磚造：方型或圓型，容量 20 公噸以內之管路噴藥適用。
2. 鋼筋混凝土造：圓形容量 30 公噸以上之管路灌溉適用。
3. 不鏽鋼造

容量：

$$Q = \frac{Q'}{E} \times 10Au\left(T_1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

Q：蓄水池之容量(m^3)

Q'：作物灌溉日需水量(mm/day)

E：灌溉效率

Au：灌溉面積(ha)

T_1：輸水管路每日輸水時間(hr)

T_2：每日灌溉時間(hr)

水土保持手冊

坡地保育篇

目錄

六. 農路系統..... 坡-6-1
6.1 農路..... 坡-6-1
6.2 園內道..... 坡-6-3
6.3 作業道..... 坡-6-5
6.4 步道..... 坡-6-7

表 坡-6-1 平曲半徑與縱坡 坡-6-2

圖 坡-6-1 園內道示意圖 坡-6-3
圖 坡-6-2 平台階段之作業道 坡-6-5
圖 坡-6-3 山邊溝內作業道 坡-6-5
圖 坡-6-4 平舖自然石步道舖面參考圖 坡-6-7
圖 坡-6-5 平面圖 坡-6-7
圖 坡-6-6 階梯式枕木等步道參考圖 坡-6-8
圖 坡-6-7 A-A 剖面圖 坡-6-8
圖 坡-6-8 階梯式石板步道參考圖 坡-6-8

六. 農路系統

6.1 農路

農路之設計與應用原則依據農路設計規範之相關規定，將農路等級分類如下：

農路一級：設計行車速度每小時 25km，路基寬度 6m，最小曲率半徑 20m，最大縱坡度為 12%之農用道路。

農路二級：設計行車速度每小時 20km，路基寬度 5m，最小曲率半徑 15m，最大縱坡度 12%之農用道路。

農路三級：設計行車速度每小時 15km，路基寬度 4m，最小曲率半徑 10m，最大縱坡度 15%之農用道路。

農路四級：設計行車速度每小時 15km，路基寬度 2.5m 以上未滿 4m，最大縱坡度 20%之支線農用道路。

有關詳細之農路設計原則及施工注意事項，請參照農路設計規範。

6.1.1 定義

銜接耕作區與產業道路或公路之道路。

6.1.2 目的

供農場經營資材及產物運輸交通。

6.1.3 應用說明及設計

1. 適用範圍

   (1)尚無農路、產業道路或一般公路到達之農地。

   (2)極需解決交通之地區而受地形限制無法按聯絡道標準設計實施之路線。

2. 寬度：2.5～4m

3. 除寬度外、設計原則參照水土保持局農路設計規範。

4. 受地形等因素限制時：

   (1) 最大坡度 20%，其 16～20%之坡段長度不得超過 40m。平曲半徑與縱坡參照下表設計。

表 坡-6-1 平曲半徑與縱坡

曲率半徑（m）	5-8	8-15	15-20	20-25	25-30	30-35
縱坡度（%）	6	7	8	9	10	11

(2)最小曲線：最小半徑為 5m

5. 配合自然地形或農場排水規劃，施設橫向排水，逕流量大之路段，應設 L 型側溝。

6.1.4 作業程序及注意事項

1. 勘查現場之地形、地質、排水等因素，並考慮將來可予以拓寬或改善成聯絡道標準為原則進行規劃設計。
2. 按樁線進行施工。
3. 注意挖填方之處理，以免造成災害。
4. 路邊及路面排水系統應予以妥善處理。
5. 較易沖蝕破壞路段應加強處理。
6. 上下邊坡有安全顧慮時應設護坡構造物，或植生護坡處理。
7. 路邊溝橫向排水酌設進出水口構造物。
8. 路邊溝宜採用 L 型側溝。
9. 適當地段設避車道。

6.2 園內道

6.2.1 定義

園區內銜接農路、山邊溝或作業道之道路。

6.2.2 目的

1. 建立農場內部連貫性道路系統。
2. 適應作業機械之運行。

6.2.3 圖說

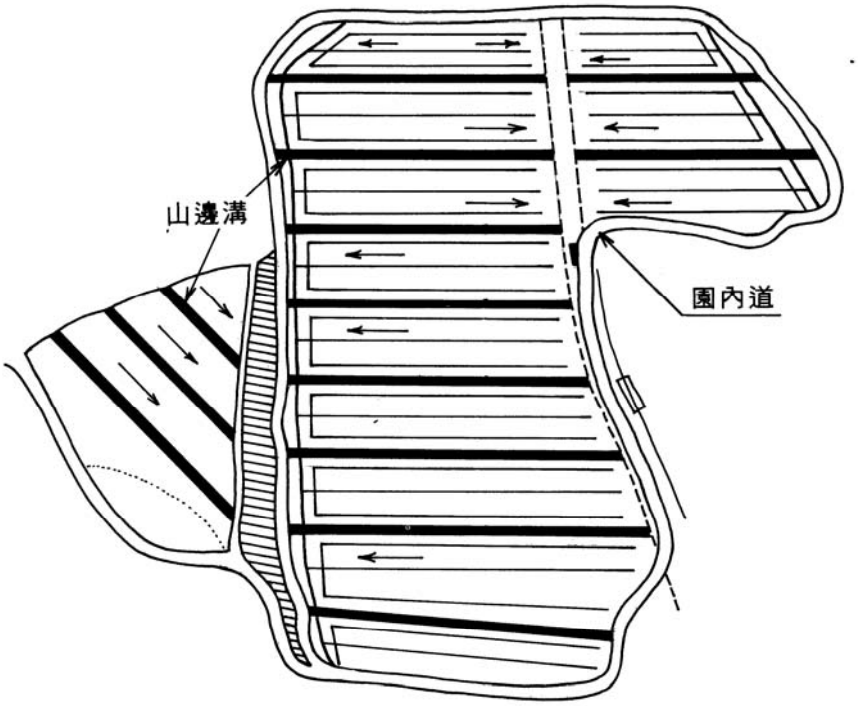


圖 坡-6-1 園內道示意圖

6.2.4 應用說明及設計

1. 適用範圍：凡山邊溝、平台階段或作業道系統無法與支線農路相銜接之坡地。
2. 縱坡：最大縱坡以 30%為限，其在 20～30%坡段長度不得超過 30m 為原則。
3. 寬度：2～2.5m。
4. 平曲線：最小半徑以 5m 為原則。

5. 園內道之布置，應以便利全區耕作管理為原則，避免造成園區內耕作管理上之死角。
6. 配合區內排水系統做適當布置，路面或邊坡有沖蝕之虞處，應加強防沖措施，每隔適當距離，應設簡易橫向排水如開頂橫向排水槽。

6.2.5 作業程序及注意事項

1. 於農地規劃時按山邊溝、平台階段、安全排水或作業道之布置，作一全盤勘查後，研判選定路線位置進行規劃。
2. 按規劃設計圖測定樁線後施工。
3. 配合山邊溝或作業道施工，園內道宜於平台階段，山邊溝施工前處理完成;既成之平台階段，山邊溝區處理區則在園內道處理前應配合既成排水體系適作配置，完成後並應就其與各山邊溝及作業道之銜接地點、及全區排水功能作檢視。
4. 應以單位耕作區一次施工為原則。
5. 與路面銜接處務必平順。
6. 應注意園區排水系統之完整。

6.2.6 維護管理

1. 道路植草儘速完成，期及早完成覆蓋，防止沖蝕。
2. 平時注意管理，維持交通順暢。

6.3 作業道

6.3.1 定義

水土保持處理之坡地，為方便農作經營管理所構築之園區內作業道路。

6.3.2 目的

1. 提供管理作業及小型機械之通行。
2. 銜接園內道路，構成區內作業道路系統。

6.3.3 圖說

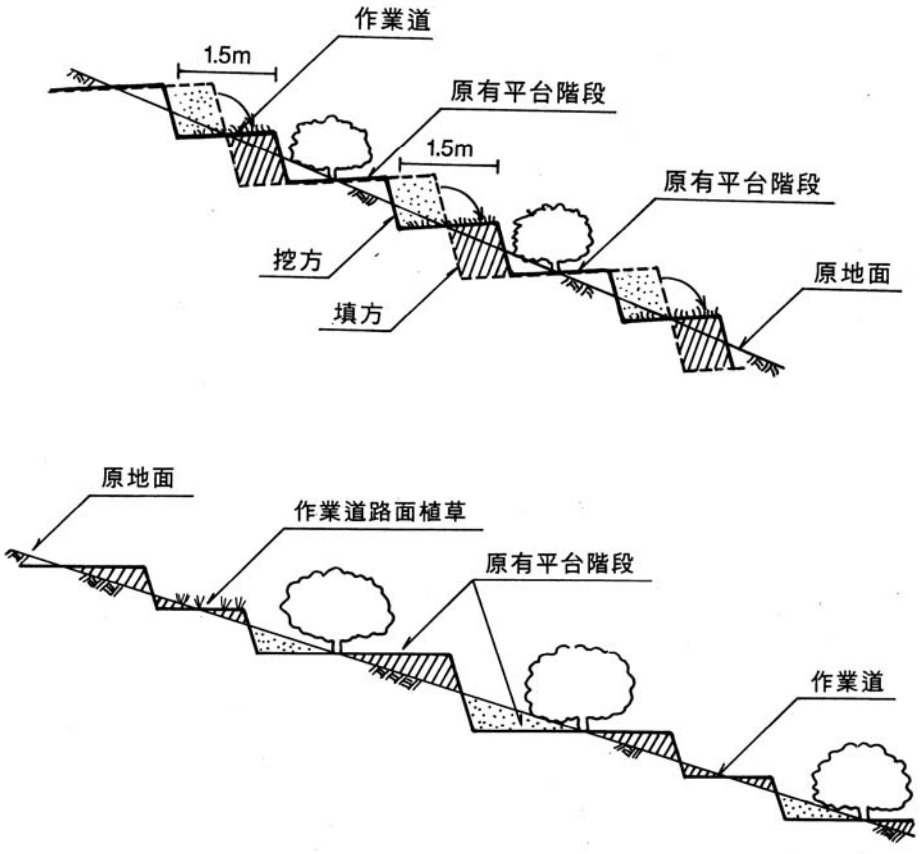


圖 坡-6-2 平台階段之作業道

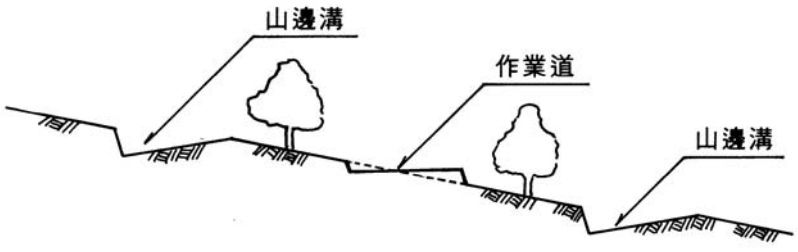


圖 坡-6-3 山邊溝內作業道

6.3.4 應用說明及設計

1. 適用範圍：實施機械作業之平台階段或山邊溝處理區。
2. 間距：在平台階段或山邊溝間，依果樹栽植位置，使用機械種類及管理作業需要而定。
3. 寬度：以 1～2m 為原則。
4. 作業道路面可採水平、內斜或微量外斜。

6.3.5 作業程序及注意事項

1. 比照平台階段挖填作業。
2. 作業道經過排水溝處，設小型涵管或構築淺寬之拋物線型斷面之過水溝面，以利機械通行。
3. 路面及邊坡植草保護。
4. 作業道與園內道路應妥予銜接，以發揮道路系統功能。
5. 挖掘時應避免過度損傷果樹根系。
6. 作業道兩旁之果樹枝椏，需作必要之修剪，以利通行。

6.4 步道

6.4.1 定義

坡地經營管理作業或遊客使用之步行道路。

6.4.2 目的

1. 供坡地經營管理之通行使用。
2. 供坡地觀光遊客步行活動。

6.4.3 圖說

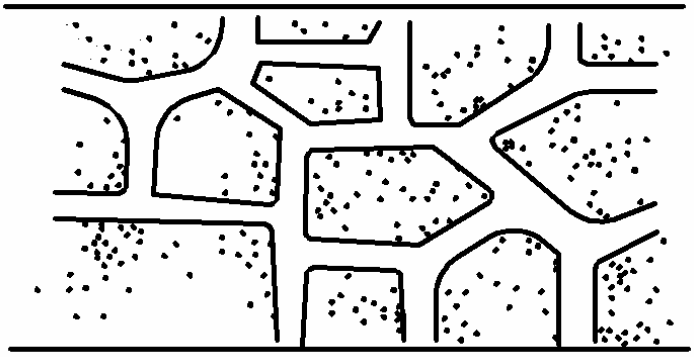


圖 坡-6-4 平鋪自然石步道鋪面參考圖

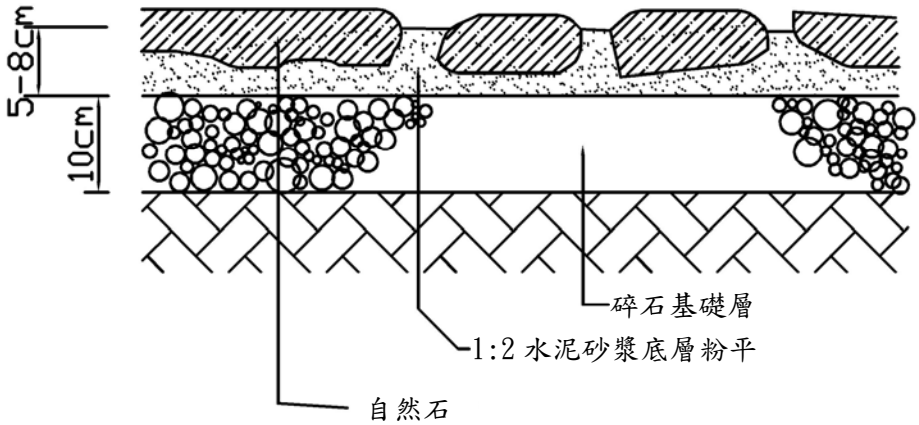


圖 坡-6-5 平面圖

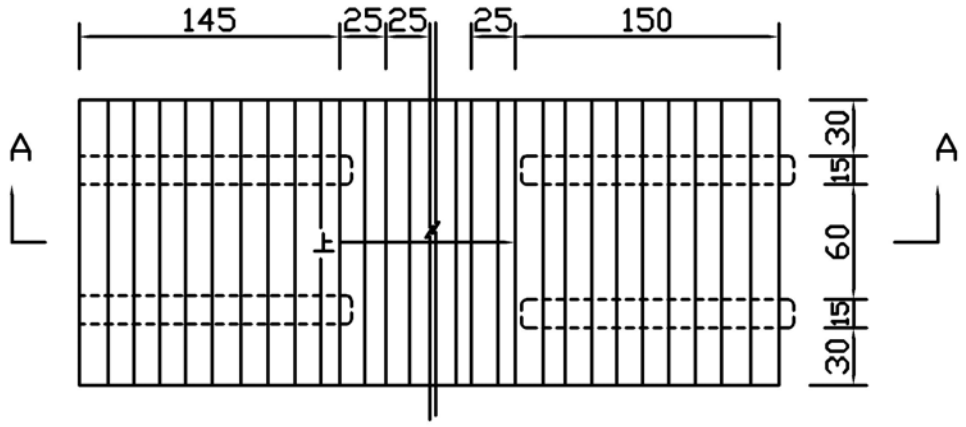


圖 坡-6-6 階梯式枕木等步道參考圖

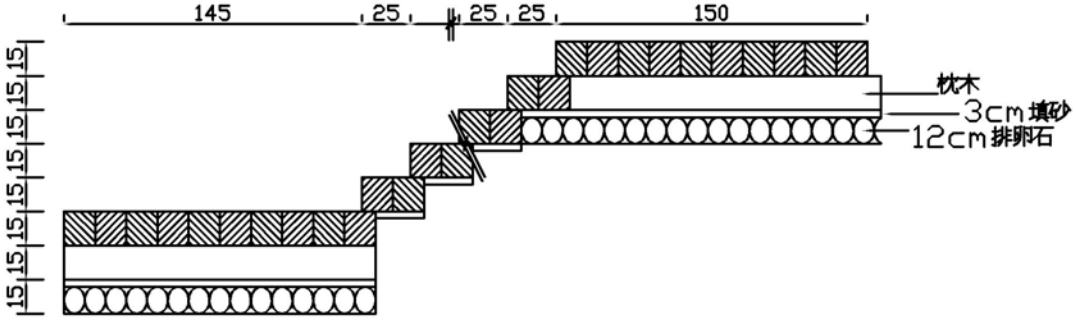


圖 坡-6-7 A-A 剖面圖

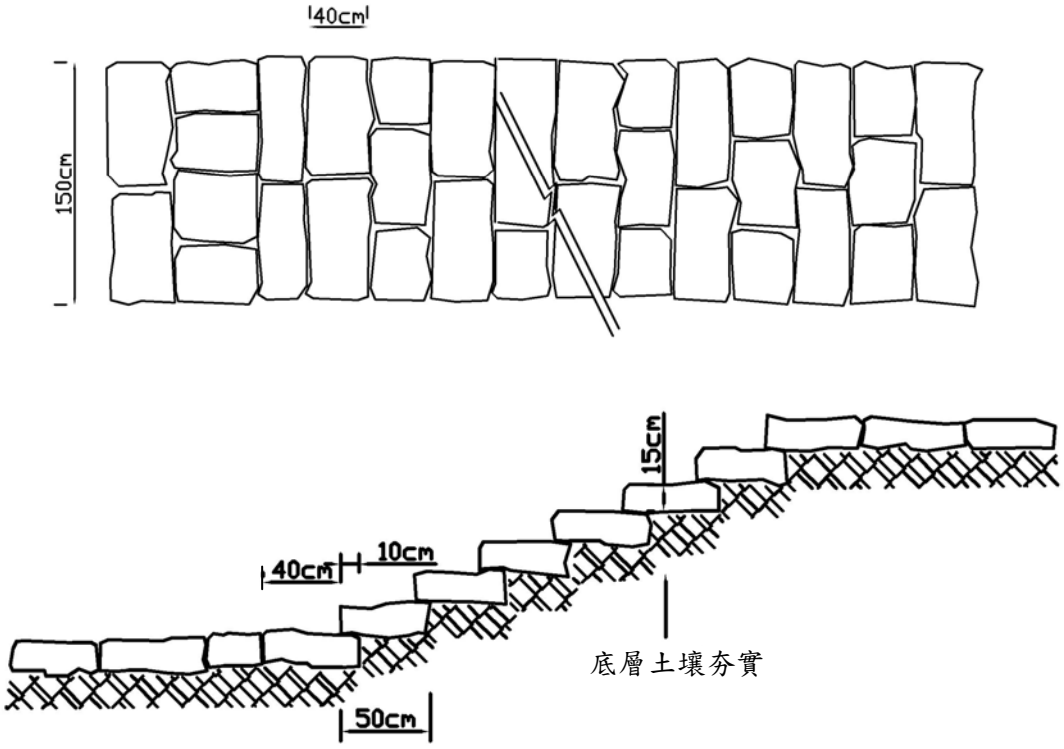


圖 坡-6-8 階梯式石板步道參考圖

6.4.4 應用說明及設計

1. 適用範圍：

   (1)農場內部分坡地因坵塊或地形限制，無法構築園內道，需設置階梯式步道連貫。

   (2)供遊客採果、自然賞景及休閒健行之觀光農場。

2. 寬度 1.2~2.3m。

3. 坡度：不設階梯之路面以不超過 10%為原則，10~20%之間過長切面應設轉折，25%以上應設階梯，最陡坡不可超過 75%，同時適當距離應有緩和區配置，以調適體力。

4. 鋪面

   依步道區位，使用性質，鋪面種類有碎石、木材、石片、磚塊、混凝土、柏油等。

5. 排水

   地下水用蜂巢管導水；地表水用水柵、陰溝、明溝或斜坡排水，斜坡排水坡度約 5%至 3%。

6.4.5 作業程序及注意事項

（一）目標訂定 → （二）基本資料調查 → （三）選線作業 → （四）類型確定 →
（五）路線構築 → （六）排水及附屬設施 → （七）管理及維護

1. 路基土壤及基礎材料須充分夯實。
2. 水平地面原則上應墊高，落葉雜物應先清除。
3. 須考慮路面防滑止滑。
4. 鋪面色彩應與週邊環境調合。
5. 外表層與基礎層材料，須清洗乾淨。
6. 鋪面自然石應選用質材堅固，不易風化，用石面較平坦，且為同一基地或系統一致的石塊。編排時避免大小各集中一堆。
7. 平鋪式鋪面約每六公尺留一伸縮縫。

8. 注意與區域內排水系統配合。
9. 路旁植物生長若影響步道行進和景物觀賞，則應予修剪。
10. 陡峭階梯或岩石危險地帶應設扶手欄杆。
11. 步道定線勘側，應配合農場景緻之布設及特色之觀賞。
12. 步道應定期檢查，發現破損即行修復，以維持步道之方便性、安全性及可及性之功能。

水土保持手冊

坡地保育篇

目錄

七. 附錄 坡-7-1

7.1 土壤流失量之推估 坡-7-1

7.2 山坡地土地可利用限度分類標準 坡-7-23

7.3 坡度百分比與度數對照表 坡-7-26

表 坡-7-1 土壤結構參數 坡-7-2
表 坡-7-2 土壤透性參數 坡-7-2
表 坡-7-3 S 值之修正比(Cu : Cd) 坡-7-4
表 坡-7-4 S 值之修正比 (C_u、C_m、C_d) 坡-7-5
表 坡-7-5 C 值對照表 坡-7-8
表 坡-7-6 冠層遮蔽遮蔽因子 坡-7-9
表 坡-7-7 CS 值 坡-7-10
表 坡-7-8 等高耕作之 P 值 坡-7-11
表 坡-7-9 露天採掘之 P 值 坡-7-11
表 坡-7-10 高填土坡之 P 值 坡-7-12
表 坡-7-11 台灣各地之年降雨沖蝕指數 坡-7-16
表 坡-7-12 台灣各地之土壤沖蝕指數 坡-7-19
表 坡-7-13 波長與坡度 LS 值 坡-7-22
表 坡-7-14 不同地被狀況之 C 值 坡-7-22
表 坡-7-15 坡度分級表 坡-7-23
表 坡-7-16 有效深度之分級表 坡-7-23
表 坡-7-17 沖蝕程度級別表 坡-7-23
表 坡-7-18 母岩性質類別表 坡-7-24
表 坡-7-19 土地可利用限度類別表 坡-7-24
表 坡-7-20 坡度百分比與度數對照 坡-7-26

圖 坡-7-1 坡面分割圖(Lu:Ld) 坡-7-4
圖 坡-7-2 坡面分割圖(L_u : L_m : L_d) 坡-7-5
圖 坡-7-3 CC 值 坡-7-9
圖 坡-7-4 台灣各地降雨沖蝕指數 坡-7-13
圖 坡-7-5 K_m 值之圖解 坡-7-14
圖 坡-7-6 LS 值之圖解 坡-7-15

七. 附錄

7.1 土壤流失量之推估

7.1.1 通用土壤流失公式

山坡地土壤流失量之估算方法如下：

1. 估算台灣山坡地年土壤流失量之各項參數，應使用台灣地區之區域性參數值。如調查區尚未建立區域性參數者，則沖蝕量之估算得以例外情形辦理。
2. 山坡地土壤流失量之估算，得採用通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation USLE)，其公式如下：

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

式中

A_m ：土壤流失量(公噸/公頃-年)

R_m ：降雨沖蝕指數(10^6 焦耳-毫米/公頃-小時-年)

K_m ：土壤沖蝕性指數(公噸-公頃-小時-年/10^6 焦耳-毫米-公頃-年)

L ：坡長因子

S ：坡度因子

C ：覆蓋與管理因子

P ：水土保持處理因子

7.1.2 估算臺灣各地年土壤流失量之步驟如下：

1. 決定年降雨沖蝕指數 R 值：根據臺灣各地區已建立之年降雨沖蝕指數 R 值，直接由表 坡-7-11 查出。
2. 若估算地點之年降雨沖蝕指數 R 值無法由表中直接查得時，得依據「台灣等降雨沖蝕指數圖」，採內插法由等降雨沖蝕指數線求得，或得由估算地點附近三個已知地點之 R 值，以下列公式估算之：

$$Rm = \frac{\sum_{i=1}^{3} \frac{Rm_i}{L_i^{\,2}}}{\sum_{i=1}^{3} \frac{1}{L_i^{\,2}}} = \frac{Rm_1 / L_1^{\,2} + Rm_2 / L_2^{\,2} + Rm_3 / L_3^{\,2}}{1/L_1^{\,2} + 1/L_2^{\,2} + 1/L_3^{\,2}}$$

式中， Rm ：估計地點之年降雨沖蝕指數

Rm_i：已知地點之年降雨沖蝕指數

L_i：已知地點至估算地點之直線距離

3. 決定土壤沖蝕指數 Km 參數：應根據臺灣各地區已建立之土壤沖蝕指數 Km 值，直接由表查出。

4. 倘若估算地點的 Km 值不在表中或估算地點因施工之故，需進行表土夯實而影響表土的滲透性時，得根據土壤調查與分析結果，分別求出下列ａ、ｂ、ｃ、ｄ、ｅ等五個參數：

ａ：有機質含量百分比(%)

ｂ：土壤結構參數，參數值之判定如下表：

表 坡-7-1 土壤結構參數

參數值	土壤	顆粒大小
1	極細顆粒	<1.0mm
2	細顆粒	1-2mm
3	中或粗顆粒	2-l0mm
4	塊狀、片狀或粗顆粒	<l0mm

ｃ：土壤透性參數之判別，如下表：

表 坡-7-2 土壤透性參數

參數值	滲透速度	(mm/hr)
6	極慢	＜1.25
5	慢	1.25～5.0
4	中等慢	5.00～20.0
3	中等	20.00～62.5
2	快	62.50～125.0
1	極快	＞125.0

ｄ：土壤坋粒與極細砂(粒徑 0.001 至 0.1 公釐)含量之百分比(%)

ｅ：土壤粗砂(粒徑 0.1 至 2 公釐)含量之百分比(%)經土壤調查與分析求得上列ａ、ｂ、ｃ、ｄ、ｅ 等五參數值後，以下列公式求得估算地點之ｋ值：

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

一般設定土壤沖蝕指數 Km 值未滿 0.026 者為低蝕性土壤；在 0.026 以上，未滿 0.052 者為中蝕性土壤；在 0.052 以上者為高蝕性土壤。

若使用上式計算土壤沖蝕性指數時需要注意兩件事：

(1)所求得的土壤沖蝕性指數其單位為英制，若要換算成公制時，需乘以 0.1317；亦即 Km＝0.1317K。

(2)此公式的適用範限於目標土壤的坋粒與極細砂含量少於 70%。

5. 決定坡長因子 L 值：應先行測出現場代表坡長(Representative slope length)之水平距離，再以下列公式求之：

$$L=\left(\frac{l}{22.13}\right)^{m}$$

式中,l=坡長之水平距離(單位為 m)

當坡度小於 1%, m=0.2

當坡度介於 1%與 3% m=0.3

當坡度介於 3%與 5% m=0.4

當坡度大於 5% m=0.5

6. 決定坡度因子 S 值：

若現場之原地形、開發中、後地形之變化不大，則應先求得代表坡長之平均坡度後，再以下列公式求得 S 值。

$$S=65.41\sin^{2}\theta+4.56\sin\theta+0.065$$

式中，θ：坡度 (以度計算)

7. 倘若現場之原地形或開發中、後地形變化顯，無法以單一平均坡度來表示時，應先將代表坡長(L_e)之地形縱斷面，依坡度分割成上坡面(L_u)及下坡面(L_d)(如下圖所示)。再依據上、下坡面之平均坡度，以上列公式分別求出上、下坡面之 S 值 (S_u、S_d)。最後依據上、下坡面所占之比例(L_u：L_d)，自下表中分別查出上、下坡面 S 值之修正比(C_u：Cd)，分別乘以上、下坡面之 S 值，累加乘積，即為地形起伏變化明顯坡地的 S 值。但需注意，此複合地形的 L 值需以代表坡長之全坡長(L_e)計算之。

$$S=C_uS_u+C_dS_d$$

式中，C_u：上游坡面 S 值修正比

C_d：下游坡面 S 值修正比

S_u：上游坡面 S 值

S_d：下游坡面 S 值

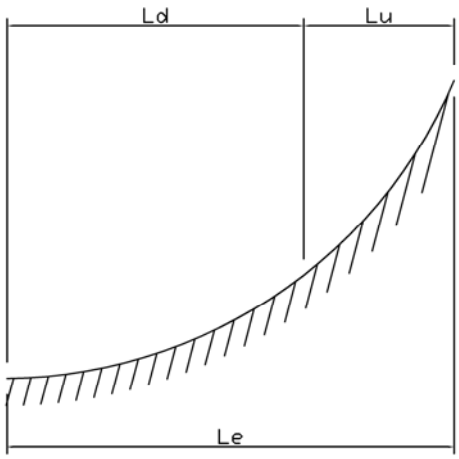


圖 坡-7-1 坡面分割圖(L_u : L_d)

表 坡-7-3 S 值之修正比(C_u : C_d)

上、下游比例(L_u:L_d)	S 值修正比	
	上游坡面(S_u)	下游坡面(C_d)
1:1	0.354	0.646
1:2	0.192	0.808
1:3	0.125	0.875
1:4	0.189	0.911
1:5	0.068	0.932
2:1	0.544	0.456
3:1	0.650	0.350
4:1	0.716	0.284
5:1	0.761	0.239

8. 若現場之原地形或開發中、後地形複雜，無法以上、下坡面表示時，則應先將代表坡長(L_e)之地形縱斷面，依坡度分割成上(L_u)、中(L_m)及下坡面(L_d)(如下圖所示)。再依據上、中、下坡面之平均坡度，求出上、中、下坡面之 S 值(S_u、S_m、S_d)。最後依據上、中、下坡面所占之比例(L_u : L_m : L_d)，自下表中分別查出 S 值之修正比 (C_u、C_m、C_d)，分別乘以上、中、下坡面之 S 值，累加乘積，即為地形起伏變化明顯坡地之 S 值。但需注意，此複合地形之 L 值需以代表坡長之全坡長(L_e)計算之。

$$S=C_uS_u+C_mS_m+C_dS_d$$

式中，C_u：上游坡面 S 值修正比

C_m：中游坡面 S 值修正比

C_d：下游坡面 S 值修正比

S_u：上游坡面 S 值

S_m：中游坡面 S 值

S_d：下游坡面 S 值

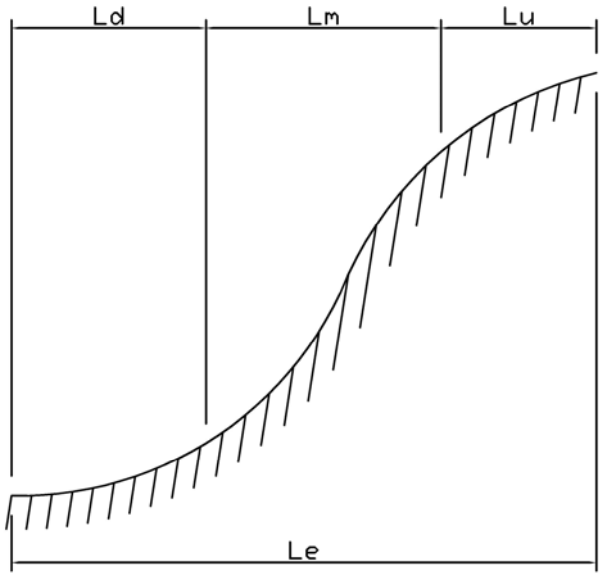


圖 坡-7-2 坡面分割圖(L_u : L_m : L_d)

表 坡-7-4 S 值之修正比 (C_u、C_m、C_d)

L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d	L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d
1:1:1	0.192	0.352	0.456	1:2:1	0.125	0.525	0.350
1:1:2	0.125	0.229	0.646	1:2:2	0.089	0.375	0.535
1:1:3	0.089	0.164	0.747	1:2:3	0.068	0.286	0.646
1:1:4	0.068	0.124	0.808	1:2:4	0.054	0.227	0.719
1:1:5	0.054	0.099	0.847	1:2:5	0.044	0.185	0.770
1:3:1	0.089	0.626	0.284	1:4:1	0.068	0.693	0.239
1:3:2	0.068	0.476	0.456	1:4:2	0.054	0.550	0.396
1:3:3	0.054	0.378	0.568	1:4:3	0.044	0.450	0.506
1:3:4	0.044	0.309	0.646	1:4:4	0.037	0.377	0.586
1:3:5	0.037	0.259	0.704	1:4:5	0.032	0.332	0.646

L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d	L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d
1:5:1	0.054	0.740	0.206	2:1:1	0.354	0.296	0.350
1:5:2	0.044	0.650	0.350	2:1:2	0.253	0.212	0.535
1:5:3	0.037	0.507	0.456	2:1:3	0.192	0.161	0.646
1:5:4	0.032	0.433	0.535	2:1:4	0.153	0.128	0.719
1:5:5	0.027	0.375	0.597	2:1:5	0.125	0.105	0.770
2:2:1	0.253	0.463	0.284	2:3:1	0.192	0.568	0.239
2:2:2	同 1:1:1			2:3:2	0.153	0.451	0.396
2:2:3	0.153	0.279	0.568	2:3:3	0.125	0.369	0.506
2:2:4	同 1:1:2			2:3:4	0.105	0.309	0.586
2:2:5	0.105	0.192	0.704	2:3:5	0.089	0.264	0.646
2:4:1	0.153	0.641	0.206	2:5:1	0.125	0.369	0.506
2:4:2	同 1:2: 1			2:5:2	0.105	0.581	0.314
2:4:3	0.105	0.440	0.456	2:5:3	0.089	0.496	0.414
2:4:4	同 1:2: 2			2:5:4	0.078	0.430	0.492
2:4:5	0.078	0.325	0.597	2:5:5	0.068	0.377	0.554
3:1:1	0.465	0.251	0.284	3:2:1	0.354	0.407	0.239
3:1:2	0.354	0.191	0.456	3:2:2	0.281	0.323	0.396
3:1:3	0.281	0.151	0.568	3:2:3	0.230	0.264	0.506
3:1:4	0.230	0.124	0.646	3:2:4	0.192	0.222	0.586
3:1:5	0.192	0.104	0.704	3:2:5	0.164	0.189	0.646
3:3:1	0.281	0.513	0.206	3:4:1	0.230	0.124	0.646
3:3:2	0.230	0.420	0.350	3:4:2	0.192	0.493	0.314
3:3:3	同 1:1:1			3:4:3	0.164	0.421	0.414
3:3:4	0.164	0.300	0.535	3:4:4	0.142	0.365	0.492
3:3:5	0.142	0.260	0.597	3:4:5	0.125	0.321	0.554
3:5:1	0.192	0.646	0.162	4:1:1	0.544	0.216	0.239
3:5:2	0.164	0.551	0.284	4:1:2	0.432	0.172	0.396
3:5:3	0.142	0.478	0.380	4:1:3	0.354	0.141	0.506
3:5:4	0.125	0.419	0.456	4:1:4	0.296	0.118	0.586

L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d	L_u:L_m:L_d	C_u	C_m	C_d
3:5:5	0.111	0.372	0.517	4:1:5	0.253	0.101	0.646
4:2:1	0.432	0.362	0.206	4:3:1	0.354	0.465	0.182
4:2:2	同 2:1:1			4:3:2	0.296	0.390	0.314
4:2:3	0.296	0.248	0.456	4:3:3	0.253	0.333	0.414
4:2:4	同 2:1:2			4:3:4	0.219	0.288	0.492
4:2:5	0.219	0.184	0.597	4:3:5	0.192	0.253	0.554
4:4:1	0.296	0.542	0.162	4:5:1	0.253	0.601	0.146
4:4:2	同 2:2:1			4:5:2	0.219	0.521	0.260
4:4:3	0.219	0.401	0.380	4:5:3	0.192	0.457	0.350
4:4:4	同 1:1:1			4:5:4	0.171	0.405	0.424
4:4:5	0.171	0.312	0.517	4:5:5	0.153	0.363	0.485
5:1:1	0.604	0.190	0.206	5:2:1	0.494	0.324	0.182
5:1:2	0.494	0.155	0.350	5:2:2	0.414	0.272	0.314
5:1:3	0.414	0.130	0.456	5:2:3	0.354	0.232	0.414
5:1:4	0.354	0.111	0.535	5:2:4	0.306	0.201	0.492
5:1:5	0.306	0.096	0.597	5:2:5	0.269	0.177	0.554
5:3:1	0.414	0.424	0.162	5:4:1	0.354	0.500	0.146
5:3:2	0.354	0.362	0.284	5:4:2	0.306	0.434	0.260
5:3:3	0.306	0.314	0.380	5:4:3	0.269	0.381	0.350
5:3:4	0.269	0.275	0.456	5:4:4	0.239	0.338	0.424
5:3:5	0.239	0.244	0.517	5:4:5	0.213	0.302	0.485
5:5:1	0.306	0.560	0.133				
5:5:2	0.269	0.492	0.239				
5:5:3	0.239	0.436	0.325				
5:5:4	0.213	0.390	0.396				
5:5:5	同 1:1:1						

9. 決定覆蓋與管理因子C值：依現地上不同種類之植生、生育狀況、季節、覆蓋及敷蓋程度而定。覆蓋與管理因子C值為冠層遮蔽次因子(CC值)與殘株敷蓋次因子(CS值)的乘積；亦即，

$$C = CC \times CS$$

式中,CC:灌層遮蔽次因子(值)

CS:殘株敷蓋次因子(值)

C 值之估算方法如下：(裸露地之 C 值設定為 1.0)

(1) 依現地之地表及植被狀況，由下表直接求得 C 值：

表 坡-7-5 C 值對照表

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

(2)若現地之地表及植被狀況不在表中時，則應依現地植物冠層遮蔽百分比、植株平均落高，由下表求出 CC 值。

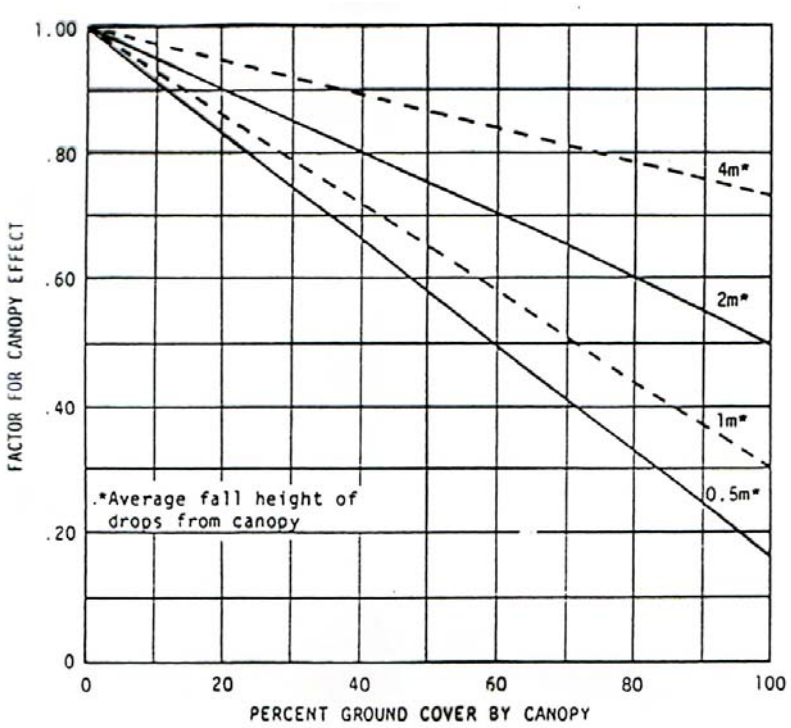


圖 坡-7-3 CC 值

表 坡-7-6 冠層遮蔽遮蔽因子

冠層遮蔽百分比(%)	植株平均落高(m)							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
	→							
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	0.958	0.965	0.971	0.975	0.979	0.982	0.984	0.986
10	0.917	0.930	0.941	0.950	0.957	0.963	0.969	0.973
15	0.875	0.895	0.912	0.925	0.936	0.945	0.953	0.959
20	0.833	0.860	0.882	0.900	0.915	0.927	0.937	0.946
25	0.792	0.825	0.853	0.875	0.894	0.909	0.921	0.932
30	0.750	0.790	0.823	0.850	0.872	0.890	0.906	0.919
35	0.708	0.755	0.794	0.825	0.851	0.872	0.890	0.905
40	0.667	0.720	0.764	0.800	0.830	0.854	0.874	0.892
45	0.625	0.685	0.735	0.775	0.808	0.835	0.858	0.878
50	0.584	0.650	0.705	0.750	0.787	0.817	0.843	0.865
55	0.542	0.615	0.676	0.725	0.766	0.799	0.827	0.851
60	0.500	0.580	0.646	0.700	0.744	0.780	0.811	0.837

65	0.459	0.545	0.617	0.675	0.723	0.762	0.795	0.824
冠層遮蔽百分比(%)	植株平均落高(m)							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
	→							
70	0.417	0.510	0.587	0.650	0.702	0.744	0.780	0.810
75	0.375	0.475	0.558	0.625	0.681	0.726	0.764	0.797
80	0.334	0.440	0.528	0.600	0.659	0.707	0.748	0.783
85	0.292	0.405	0.499	0.575	0.638	0.689	0.732	0.770
90	0.250	0.370	0.469	0.550	0.617	0.671	0.717	0.756
95	0.209	0.335	0.440	0.525	0.595	0.652	0.701	0.743
100	0.167	0.300	0.410	0.500	0.574	0.634	0.685	0.729

再依現地地表殘株敷蓋百分比，由下表求出 CS 值。將 CC 值與 CS 值相乘，即為現地之 C 值。

表 坡-7-7 CS 值

敷蓋百分比(%)	+0	+1*	+2*	+3*	+4*	+5*	+6*	+7*	+8*	+9*
	→									
0	1.000	1.000	0.998	0.959	0.925	0.896	0.869	0.844	0.821	0.799
10	0.778	0.759	0.740	0.722	0.704	0.687	0.671	0.655	0.640	0.625
20	0.611	0.597	0.583	0.570	0.557	0.544	0.532	0.519	0.507	0.496
30	0.484	0.473	0.462	0.451	0.441	0.430	0.420	0.410	0.400	0.391
40	0.381	0.372	0.363	0.354	0.345	0.336	0.327	0.319	0.311	0.303
50	0.295	0.287	0.279	0.271	0.264	0.256	0.249	0.242	0.235	0.228
60	0.221	0.215	0.208	0.202	0.195	0.189	0.183	0.177	0.171	0.165
70	0.159	0.154	0.148	0.143	0.137	0.132	0.127	0.122	0.117	0.112
80	0.107	0.102	0.098	0.093	0.089	0.084	0.080	0.076	0.072	0.068
90	0.064	0.060	0.056	0.053	0.049	0.045	0.042	0.039	0.035	0.032
100	0.029									

備註：* 代表敷蓋百分比的個位數。

因此，敷蓋百分比 11%的 CS 值即為 0.759

(3)如遇地表礫石敷蓋明顯，應先估計地表礫石敷蓋百分比，再利用上表求出 CS 值，即為礫石敷蓋之 CS 值。

(4)如採用地工織物作為土壤沖蝕控制之資材時，應先估計其敷蓋百分比，再利用上表求出 CS 值，即為該地工織物之 C 值。

10. 決定水土保持處理因子 P 值：無任何水土保持處理、或棄土場、或陸砂及農地砂石開採處，P 值設定為 1.0。

(1) 等高耕作之 P 值與其坡長最長限制如下：

表 坡-7-8 等高耕作之 P 值

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

(2) 露天採掘之 P 值如下：

表 坡-7-9 露天採掘之 P 值

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

(3) 高填土坡之 P 值如下：

表 坡-7-10 高填土坡之 P 值

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

11. 求出全部之土壤流失量 Am：利用通用土壤流失公式，將第一至第十款步驟求出之各數值相乘，即 $A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$，即獲得每公頃之年土壤流失量。

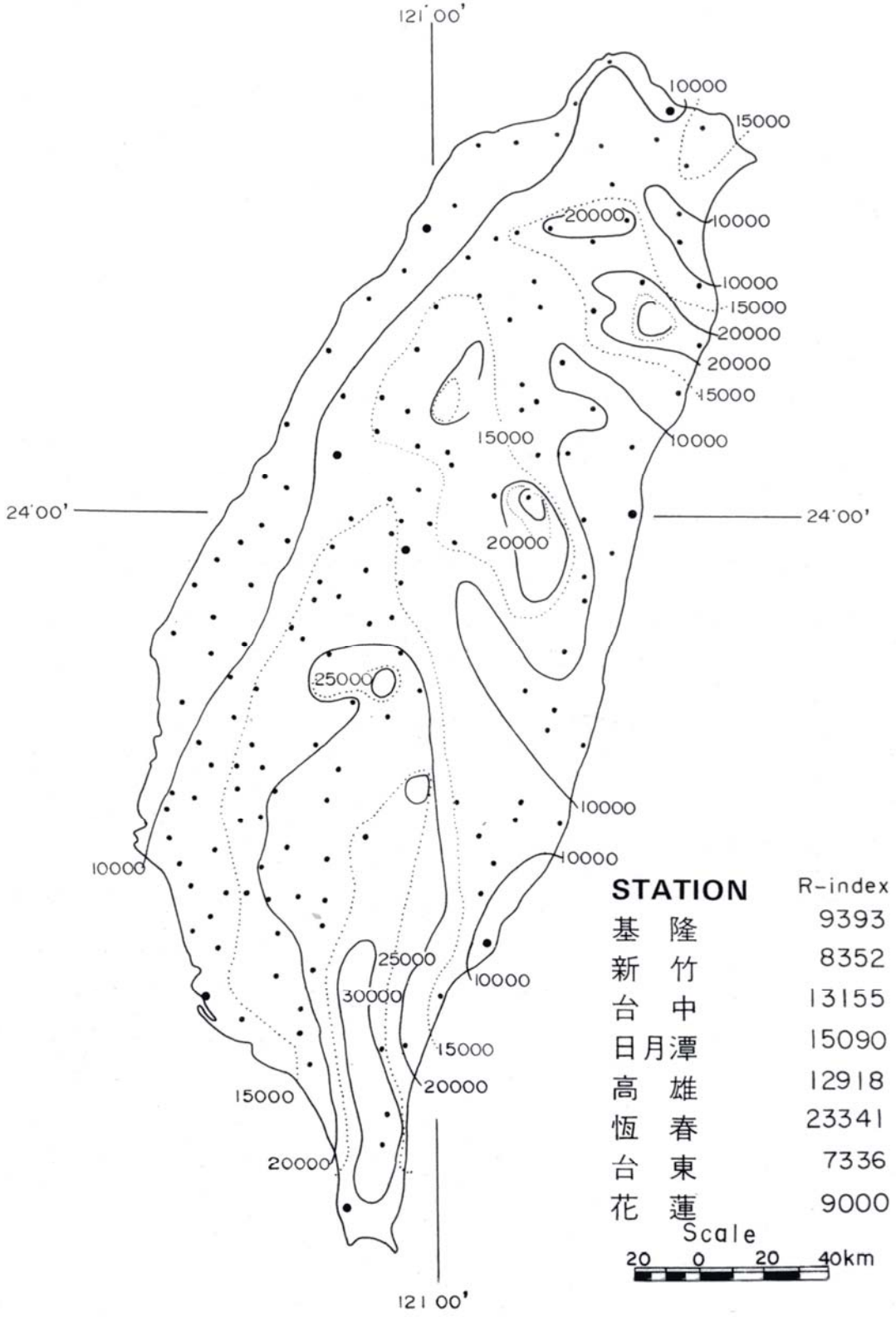


圖 坡-7-4 台灣各地降雨沖蝕指數 $\frac{MJ-mm}{ha-hr-y}$

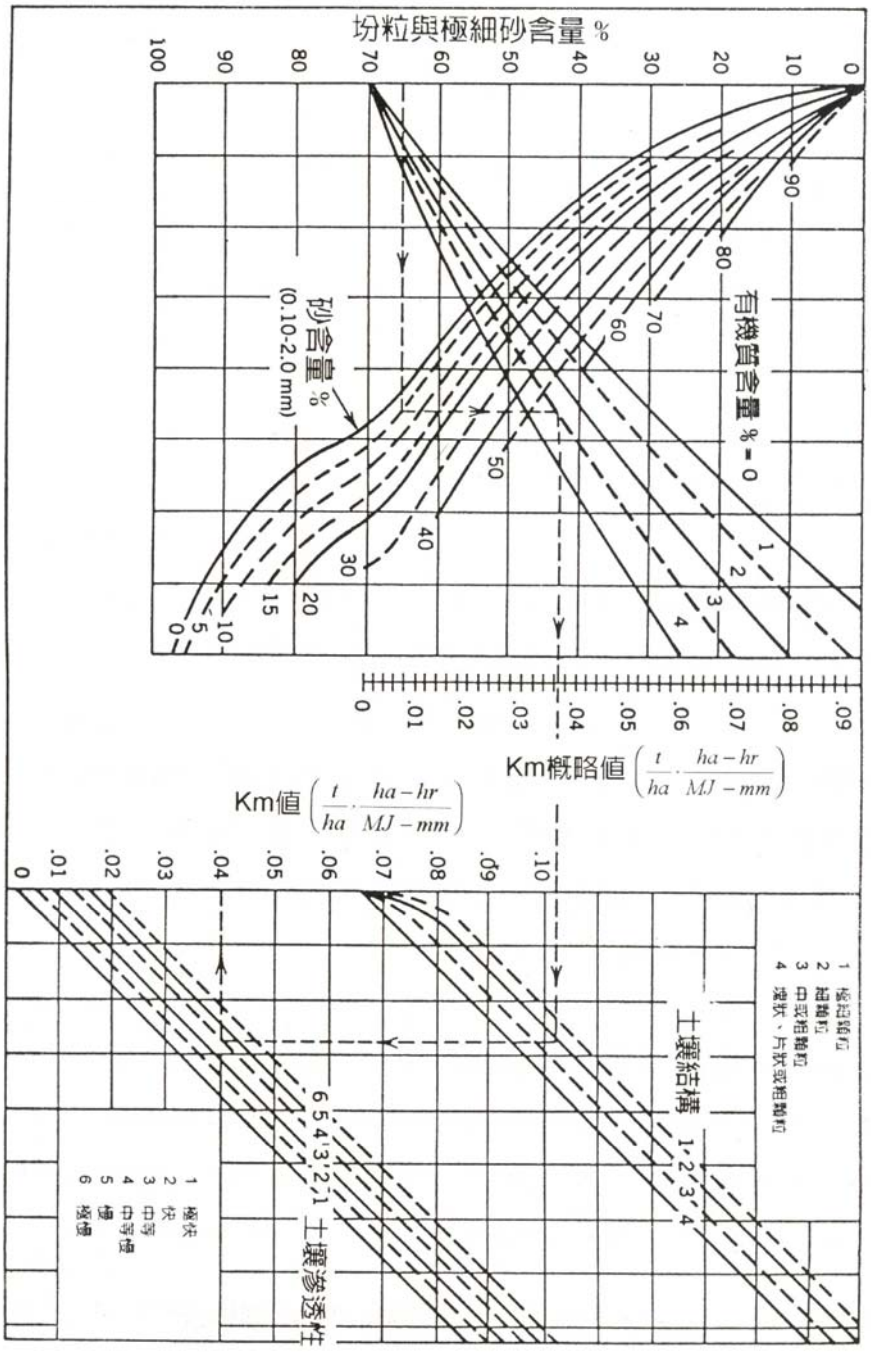

坋粒與極細砂含量 %
砂含量 %
(0.10-2.0 mm)
有機質含量 % = 0
Km概略值 $\left(\frac{t}{ha}\cdot\frac{ha-hr}{MJ-mm}\right)$
Km值 $\left(\frac{t}{ha}\cdot\frac{ha-hr}{MJ-mm}\right)$
土壤結構
土壤滲透性
1 極快
2 快
3 中等
4 中等慢
5 慢
6 極慢
1 極細顆粒
2 細顆粒
3 中或粗顆粒
4 塊狀、片狀或粗顆粒

圖 坡-7-5 K_m 值之圖解

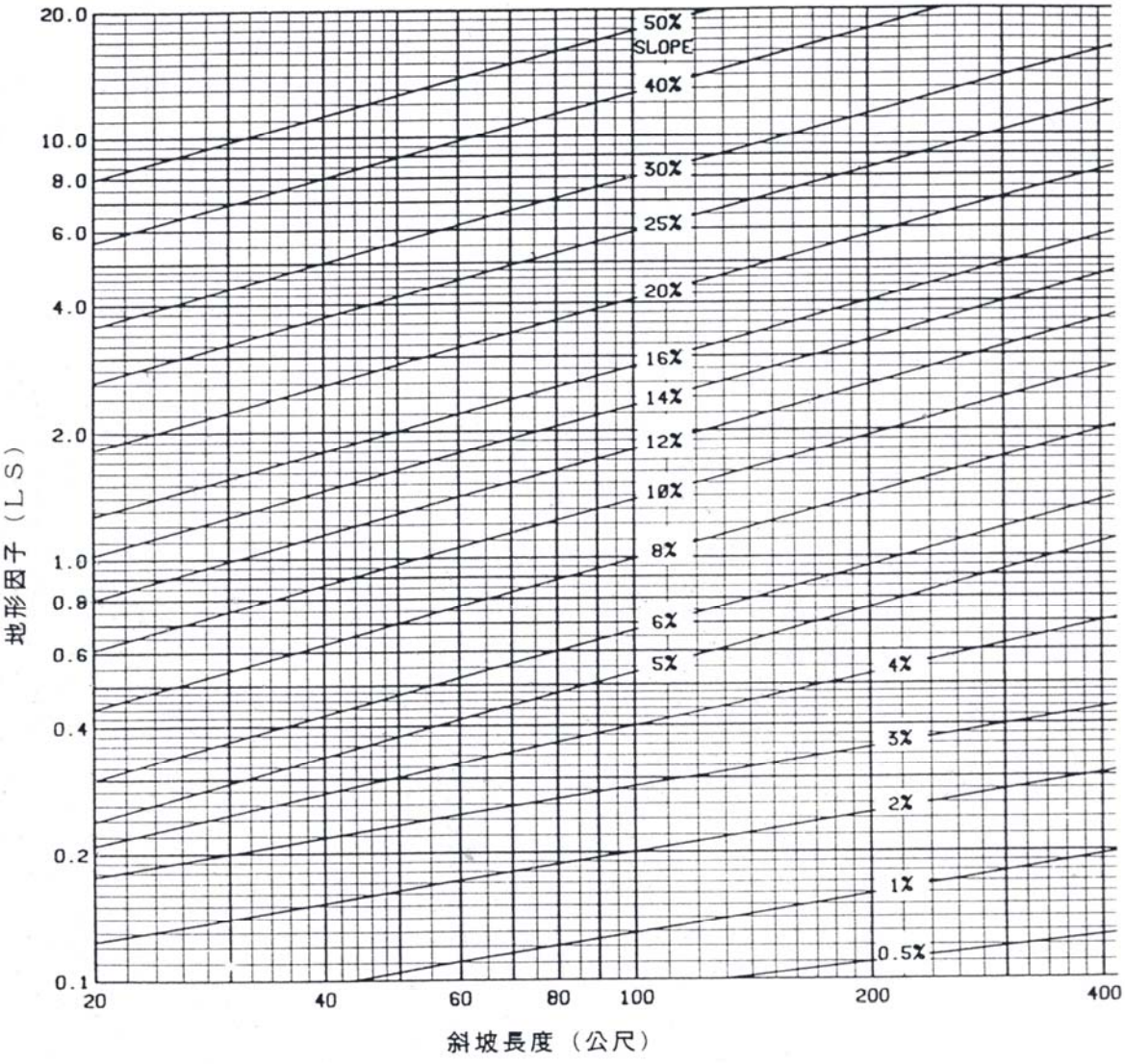

20.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.1
地形因子（LS）
20
40
60
80
100
200
400
斜坡長度（公尺）
50%
SLOPE
40%
30%
25%
20%
16%
14%
12%
10%
8%
6%
5%
4%
3%
2%
1%
0.5%

圖 坡-7-6 LS 值之圖解

表 坡-7-11 台灣各地之年降雨沖蝕指數

地 區	地 點	Rm	地 點	Rm
台北市、台北縣及基隆市	基隆	9393	台北	11800
	五堵	11674	淡水	10898
	乾溝	8842	三峽	12808
	四堵	10335	孝義	24219
	竹子湖	14035	粗坑	13907
	瑞芳	15568	富貴角	10226
	火燒寮	17030	福山	16918
桃園縣	大溪	12176	石門	15737
	八德	8821	觀音	7855
	平鎮	11208	嘎拉賀	11017
	復興	17861		
新竹縣	關西	13817	白石	11533
	新竹	8352	鞍部	10447
	湖口	7429	竹東	10985
	大閣南	14205		
苗栗縣	鎮西堡	10120	新店	13041
	竹南	5908	卓蘭	16593
	後龍	6449	南庄	15100
	大湖	11509	橫龍山	16777
	三義	11276	天狗	15796
	苑裡	4485	馬達拉	21115
	土城	16069		
台中縣市	台中港	7521	環山	13459
	月眉	11815	梨山	13670
	番子寮	12037	達見	16744
	台中	13145	八仙新山	16028
	橫山	10326	天輪	15080
	雙崎	17997	大南	13676
	雪嶺	29465	鞍馬山	26192
南投縣	玉山	24830	開化	9262
	南投	14201	和社	10095
	翠巒	14879	集集	15135
	清流	13250	明潭	15090
	國姓	13677	溪頭	19582
	埔里	13305	竹山	14658
	北山	12198	龍神橋	11240
	廬山	17936	望鄉	16618
	武界	16320	卡奈托灣	8401
	奧萬大	14504		
彰化縣	大城	6560	員林	9441
	萬合	8352	彰化	9519
	溪湖	8171	二水	17165
	永靖	10105	鹿港	4982
	溪湖	8171	二水	17165
	永靖	10105	鹿港	4982

地 區	地 點	Rm	地 點	Rm
雲林縣	竹圍	9133	褒忠	8241
	大義	8183	斗南	12440
	後安寮	5737	北港	9398
	林內	17195	草嶺	17558
	飛沙	8042		
嘉義縣市	溪口	9638	達邦	18637
	月眉	11815	大埔	17175
	永和	9084	水山	20531
	馬稠後	9276	嘉義	16407
	義竹	10600	南靖	13020
	阿里山	40191	新港	11495
	大湖山	26880	中埔	22696
台南縣市	崁子頭	16288	二溪	16067
	西口	19641	左鎮	18177
	柳營	11420	烏山頭	15931
	尖山埤	13293	溪海	12203
	麻豆	13310	新化	14229
	溫汪	11165	崎頂	14773
	將軍	11182	台南	13088
	玉井	20850	車路墘	13361
	照興	18082		
高雄市及	天池	48008	古亭坑	13361
高雄縣	土壟	24470	阿蓮	12237
	林園	12135	前峰子	13037
	甲仙	21028	本洲	13208
	美濃	23191	楠梓	14773
	小林	21294	鳳山	13650
	馬里山	30197	高雄	12918
	表湖	24511	旗山	20305
	木柵	18603		
屏東縣	古夏	24500	泰武	44712
	三地門	24556	來義	21854
	阿禮	39890	里港	19539
	龍泉	18909	大響營	17258
	屏東	19301	加祿堂	14773
	四林	18501	大漢山	53259
	萬丹	15318	牡丹	38310
	東港	13888	恒春	23341
	新豐	22873	壽卡	46819
台東縣	向陽	35551	鹿野	11471
	紹家	32661	台東	7336
	大武	29239	里壟20林班	16254
	太麻里	13378	里壟40林班	20662
	忠勇	9679	大南	15663
	池上	11659	林班	16595
	霧鹿	10331	大武	16560
	瑞豐	12493		

地 區	地 點	Rm	地 點	Rm
花蓮縣	西林	8343	壽豐	7365
	溪畔	9172	高嶺	20826
	合歡啞口	13100	西林	11189
	托博闊	9521	玉里	9906
	陶塞	11654	富源	14307
	花蓮	9000	立山	10011
	大觀	34882	三民	8983
	鳳林	11284	奇萊	17360
	清水第一	8787	富里	11982
宜蘭縣	宜蘭	8015	池端	30110
	冬山	11191	天埤	21158
	南山	9410	南澳	21144
	太平山	19884	山腳	52250
	土場	15306	大濁水	12854

Rm 單位：(百萬焦耳·公釐 / 公頃·小時·年)　(資料修改自：黃俊德，1979)

表 坡-7-12 台灣各地之土壤沖蝕指數

地點	Km	地點	Km	地點	Km
台北市、台北縣及基隆市					
石碇小格頭	0.0277	坪林石槽	0.0342	貢寮三紹角	0.0448
貢寮望遠坑	0.0514	雙溪牡丹	0.0132	瑞芳九份	0.0408
瑞芳中坑	0.0263	平溪十分寮	0.0250	石碇永定	0.0408
深坑土庫	0.0474	汐止	0.0527	萬里大坪	0.0316
萬里磺潭	0.0250	金山三界	0.0250	石門草埔尾	0.0290
石門白沙灣	0.0184	三芝八賢	0.0198	三芝北新莊	0.0224
淡水小坪頂	0.0079	八里埤頭	0.0119	五股成仔寮	0.0211
林口（TP-22）	0.0224	新店屈尺	0.0211	烏來	0.0184
烏來孝義	0.0421	新店雙城	0.0395	泰山崎子腳	0.0356
樹林	0.0237	鶯歌中湖社區	0.0369	三峽忠義山莊	0.0382
三峽插角	0.0237	林口下福	0.0461	林口頂福	0.0198
林口（TP-34）	0.0237	八里觀音山麓	0.0369	淡水	0.0329
土城清水	0.0540	八堵	0.0435	七堵東勢中股	0.0369
宜蘭縣					
南澳金岳	0.0290	蘇澳東澳	0.0250	蘇澳猴猴坑	0.0158
蘇澳後湖	0.0158	冬山新寮	0.0171	冬山得安	0.0119
大同寒溪	0.0263	大同松羅	0.0132	員山頭圳	0.0263
員山枕山	0.0250	礁溪匏崙	0.0277	礁溪大忠	0.0250
頭城金面	0.0277	頭城大溪	0.0593		
桃園縣					
龍潭銅鑼台地	0.0329	龍潭二角林	0.0211	龍潭二坪	0.0435
復興水源地	0.0053	復興三民	0.0040	楊梅	0.0237
龜山下湖	0.0356	龜山	0.0079	龜山大湖頂	0.0329
龜山兔坑國小	0.0184	八德仁善	0.0158	大溪三層	0.0158
大溪慈湖	0.0171				
新竹縣市					
峨眉富興	0.0261	峨眉西富	0.0268	北埔獅尾	0.0268
五峰桃山	0.0195	竹東軟橋	0.0616	橫山	0.0389
竹東托盤山麓	0.0270	竹東二重	0.0210	香山元培醫專	0.0435
寶山寶豐牧場	0.0237	新竹市關東橋	0.0250	新豐明新工專	0.0250
芎林	0.0277	新埔昭門	0.0289	竹北義民廟旁	0.0276
關西馬武督	0.0039	新豐新莊子	0.0434	新竹青草湖	0.0158
苗栗縣					
三義	0.0191	三義勝興	0.0243	三義彭厝	0.0081
銅鑼老雞籠	0.0271	苗栗市西郊	0.0407	西湖北坑	0.0110
公館	0.0140	頭屋明德水庫	0.0176	竹南崎頂	0.0101
頭份坪頂	0.0049	頭份東興水庫	0.0117	造橋	0.0219
造橋北極宮旁	0.0040	後龍飯店仔	0.0154	通霄福龍宮旁	0.0345
通霄	0.0160	通霄南勢	0.0130	苑裡蕉埔	0.0216
卓蘭坪頂	0.0070	卓蘭拖車尾	0.0340	大湖中興村	0.0288
大湖	0.0257	獅潭竹木村	0.0250	獅潭和興	0.0226
南庄田美	0.0209				

地點	Km	地點	Km	地點	Km
台中縣市					
龍井東海大學	0.0356	霧峰	0.0421	大里塗城	0.0421
外茅埔	0.0448	北屯大坑	0.0487	新社中興嶺	0.0421
新社水井村	0.0395	石岡德興村	0.0487	東勢新伯公	0.0395
東勢中坑坪	0.0553	豐原南嵩里	0.0382	后里昆盧寺	0.0303
后里仁里村	0.0474	后里月眉	0.0395	清水海風里	0.0342
南投縣					
國姓大旗村	0.0474	大坪頂	0.0132	埔里虎仔山	0.0329
東光	0.0158	過溪仙水農場	0.0461	水頭山隧道口	0.0290
南投武東	0.0369	南投橫山	0.0395	赤水	0.0342
名間松柏坑	0.0329	名間頂南仔	0.0303	竹山外田	0.0395
延平照鏡山	0.0369	鹿谷廣興	0.0277	鹿谷永隆	0.0382
中寮包尾	0.0619	中寮社區	0.0632	中寮桃米坑	0.0579
集集北勢坑	0.0369	水里民和村	0.0211	魚池太平村	0.0316
魚池魚池茶場	0.0132	魚池新城	0.0435		
彰化縣					
芬園下樟	0.0500	芬園八股	0.0603	花壇橋頭	0.0461
雲林縣					
古坑外湖	0.0495	古坑草嶺	0.0463	古坑蕃尾坑	0.0547
古坑內館	0.0377	古坑桂林	0.0326	古坑樟湖	0.0482
古坑尖山埔	0.0264	古坑早寮	0.0281	古坑大埔	0.0279
古坑枋寮埔	0.0274	古坑圳頭坑	0.0236	古坑湖山岩	0.0257
林內觸口	0.0281	林內坪頂	0.0274	林內湖山寮	0.0287
斗六楓樹湖	0.0212	林內林茂	0.0170		
嘉義縣市					
梅山安靖	0.0553	竹崎木屐寮	0.0421	竹崎（CY-3）	0.0500
民雄三興	0.0356	民雄寶林寺	0.0566	竹崎（CY-6）	0.0514
嘉義蘭潭水庫	0.0290	嘉義番路江西	0.0487	番路半天岩	0.0408
中埔鹿腳	0.0421	番路下路行	0.0566	中埔（CY-12）	0.0257
中埔沄水	0.0514	中埔（CY-14）	0.0659	水上檳榔樹腳	0.0474
民和	0.0356	大埔	0.0527		
台南縣市					
白河內角	0.0395	白河白河水庫	0.0514	東山六重溪	0.0593
東山仙公廟	0.0421	東山青山	0.0527	東山枋仔林	0.0685
東山牛山礦場	0.0435	官田	0.0421	大內	0.0412
大內烏頭	0.0527	官田鎮安宮旁	0.0369	柳營王爺宮旁	0.0435
六甲大丘園	0.0527	楠梓烏山嶺	0.0290	楠梓曾文水庫	0.0408
楠梓	0.0421	楠梓龜甲溫泉	0.0553	南化水寮	0.0711
南化（TN-19）	0.0395	南化（TN-20）	0.0487	玉井九層林	0.0500
關廟八甲寮	0.0527	龍崎	0.0369	關廟	0.0448
新化新化農場	0.0474	左鎮岡林	0.0540		

地點	Km	地點	Km	地點	Km
高雄市及高雄縣					
內門萊仔坑	0.0435	旗山觀亭	0.0514	杉林愛丁寮	0.0461
甲仙埔尾	0.0329	甲仙	0.0421	六龜（KH-6）	0.0408
六龜（KH-7）	0.0448	旗山	0.0303	旗山花旗山莊	0.0448
田寮崇德	0.0395	燕巢	0.0134	阿蓮小岡山	0.0316
阿蓮	0.0474	小港	0.0369	大寮新莊	0.0158
大寮義仁	0.0329	大寮內坑	0.0250	大樹	0.0408
旗山	0.0316	嶺口	0.0250	燕巢深水	0.0250
大社觀音山麓	0.0487	仁武	0.0408	鳳山	0.0421
屏東縣					
車城射寮龜山	0.0158	恆春社頂	0.0119	恆春水蛙堀	0.0147
恆春鵝鑾鼻	0.0158	墾丁畜牧分場	0.0079	恆春籠子埔	0.0211
墾丁公園（PT-7）	0.0132	墾丁公園(PT-8)	0.0119	恆春核電場旁	0.0171
恆春貓鼻頭	0.0092	恆春白沙	0.0132	滿州港乾橋旁	0.0079
滿州（PT-13）	0.0277	滿州（PT-14）	0.0290	牡丹	0.0290
壽卡	0.0329	楓港	0.0303	楓林	0.0316
春日	0.0277	新開	0.0198	新埤	0.0263
餉潭	0.0250	來義丹林社區	0.0224	來義古樓國小	0.0303
內埔老埤農場	0.0290	三地門	0.0171	高樹廣興	0.0303
高樹大烏	0.0290				
台東縣					
富岡	0.0290	東河興昌	0.0277	東河	0.0277
成功	0.0171	長濱	0.0211	池上	0.0237
海端新武	0.0145	關山	0.0369	達仁	0.0211
大武尚武	0.0158	大武大竹	0.0198	太麻里金崙	0.0263
金峰	0.0263	太麻里南坑	0.0237	卑南	0.0237
卑南初鹿	0.0250	延平紅葉	0.0263	鹿野	0.0250
鹿野新豐	0.0342	關山月眉	0.0342		
花蓮縣					
新城	0.0303	秀林	0.0448	吉安	0.0277
壽豐	0.0263	鳳林	0.0342	萬榮	0.0342
光復	0.0250	瑞穗富源	0.0215	瑞穗舞鶴	0.0364
卓溪太平	0.0261	玉里樂合	0.0198	富里東里	0.0184
富里石牌	0.0250	光復海岸山脈	0.0237	豐濱	0.0158
澎湖縣					
七美東湖	0.0230	七美南港	0.0147	望安水樓	0.0176
望安將軍	0.0096	白沙後寮	0.0197	白沙通梁	0.0134
西嶼竹灣	0.0125	白沙中屯	0.0212	白沙赤崁	0.0131
西嶼大池	0.0161	西嶼池東	0.0151	馬公朝陽	0.0212
湖西中西	0.0202	湖西東衛	0.0057	湖西湖東	0.0147
馬公鎖港	0.0120				

Km 單位：（公噸-公頃-小時-年/10^6焦耳-毫米-公頃-年）　　（資料修改自：黃俊德，1979）

表 坡-7-13 坡長與坡度 LS 值

坡度 S	坡長 L(m)									
%	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
5	0.216	0.307	0.434	0.434	0.531	0.613	0.686	0.751	0.868	0.970
6	0.270	0.385	0.471	0.543	0.666	0.769	0.860	0.942	1.089	1.217
8	0.40	0.57	0.69	0.80	0.98	1.13	1.27	1.39	1.60	1.79
10	0.55	0.78	0.96	1.11	1.36	1.57	1.75	1.92	2.22	2.48
12	0.72	1.02	1.27	1.46	1.78	2.07	2.31	2.53	2.92	3.27
14	0.93	1.31	1.61	1.86	2.28	2.63	2.94	3.22	3.72	4.15
16	1.51	1.63	1.99	2.30	2.82	3.25	3.64	3.98	4.60	5.14
18	1.39	1.93	2.41	2.78	3.41	3.93	4.40	4.82	5.56	6.22
20	1.65	2.34	2.86	3.30	4.05	4.67	5.22	5.73	6.61	7.39
25	2.36	3.34	4.09	4.72	5.78	6.67	7.46	8.18	9.44	10.55
30	3.18	4.51	5.52	6.37	7.80	9.00	10.07	11.03	12.73	14.24

表 坡-7-14 不同地被狀況之 C 值

冠層覆蓋		地表覆蓋或敷蓋（%）					
型態與樹高	覆蓋度（%）	0	20	40	60	80	95
無可看樹冠	0	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
高草地或灌木 平均雨滴落下高	25	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
高草地或灌木 平均雨滴落下高	50	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
高草地或灌木 平均雨滴落下高	75	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
灌木或灌叢 平均雨滴落下 2m	25	0.40	0.18	0.09	0.04	0.013	0.003
灌木或灌叢 平均雨滴落下 2m	50	0.34	0.16	0.08	0.038	0.012	0.003
灌木或灌叢 平均雨滴落下 2m	75	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
灌木但無短叢 平均雨滴落下高 4m	25	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
灌木但無短叢 平均雨滴落下高 4m	50	0.39	0.18	0.09	0.04	0.013	0.003
灌木但無短叢 平均雨滴落下高 4m	75	0.36	0.17	0.09	0.039	0.012	0.003

7.2 山坡地土地可利用限度分類標準

7.2.1 山坡地土地可利用限度之分類分級查定基準規定如下

1. 坡度：指一坵塊土地之平均傾斜比，以百分比表示之，其分級如下：

表 坡-7-15 坡度分級表

坡度級別	坡度分級範圍
一級坡	坡度百分之五以下
二級坡	坡度超過百分之五至百分之十五
三級坡	坡度超過百分之十五至百分之三十
四級坡	坡度超過百分之三十至百分之四十
五級坡	坡度超過百分之四十至百分之五十五
六級坡	坡度超過百分之五十五

2. 土壤有效深度：指從土地表面至有礙植物根系伸展之土層深度，以公分表示之，其分級如下：

表 坡-7-16 有效深度之分級表

有效深度級別	有效深度之分級範圍
甚深層	超過九十公分
深層	超過五十公分至九十公分
淺層	超過二十公分至五十公分
甚淺層	二十公分以下

3. 土壤沖蝕程度：依土地表面所呈現之沖蝕徵狀與土壤流失量決定之，其分級如下：

表 坡-7-17 沖蝕程度級別表

沖蝕程度級別	土地沖蝕徵狀及土壤流失量
輕微	地面無小沖蝕溝跡象，表土流失量在百分之二十五以下。
中等	地面有蝕溝系統之跡象，礫石、碎石含量在百分之二十以下，表土流失量超過百分之二十五至百分之七十五。
嚴重	地面沖蝕溝甚多，片狀沖蝕活躍，土石顏色鮮明，礫石、碎石含量超過百分之二十至百分之四十，底土流失量在百分之五十以下。
極嚴重	掌狀蝕溝分歧交錯，含石量超過百分之四十，底土流失量超過百分之五十，甚至母岩裸露，局部有崩塌現象。

4. 母岩性質：依土壤下接母岩之性質對植物根系伸展及農機具施工難易決定之，其分類如下：

表 坡-7-18 母岩性質類別表

母岩性質類別	母岩特性
軟質母岩	母岩鬆軟或呈碎礫狀，部分植物根系可伸入其間，農機具施工無大礙者。
硬質母岩	母岩堅固連接，植物根系無法伸入其間，農機具施工有礙者。

7.2.2 山坡地土地可利用限度分類標準

表 坡-7-19 土地可利用限度類別表

土地可利用限度類別	土地等級	土地特性	備註
宜農牧地	一級地	甚深層之一級坡。 深層之一級坡。	依中央主管機關規定標準實施水土保持
	二級地	甚深層之二、三級坡。 甚深層之二級坡。 淺層之一級坡。	
	三級地	甚深層之四級坡。 深層之三級坡。 淺層之二級坡。	
	四級地 1	甚深層之五級坡。 深層之四、五級坡。 淺層之三、四級坡。 甚淺層之一、二、三級坡。	
	四級地 2	淺層之五級坡。 甚淺層之四級坡。	1.土地利用僅限於種植長年地面覆蓋不須全面擾動土壤之多年生果樹或牧草。 2.如必須栽種勤耕作物，應由主管機關指定其水土保持設施。
宜林地	五級地	甚深層、深層、淺層之六級坡。 甚淺層之五、六級坡。 淺層之五級坡，土壤沖蝕嚴重者。 甚淺層之四級坡，土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩者。	應行造林或維持自然林木或植生覆蓋，不宜農耕之土地，初期造林有沖蝕嚴重現象時，應配合必要之水土保持。
加強保育地	六級地	沖蝕極嚴重、崩坍、地滑、脆弱母岩等，應加強保育處理，減免災害發生之土地。	依主管機關指定方式實施水土保持

7.2.3 山坡地有下列情事之一者，中央或直轄市主管機關得查定為宜林地，不受前二點規定之限制

1. 必須依賴森林或林木以預防災害，保育水土資源，維護公共安全之土地或林業試驗用地及重要母樹或紀念性林木生育之土地。
2. 保護自然文化景觀、生態環境、名勝、古蹟、公共衛生之用地。
3. 水庫集水區或河川保護地帶。
4. 區域計畫擬定機關配合山坡地多目標發展之保育利用，所擬整體發展計畫之區域。

7.3 坡度百分比與度數對照表

表 坡-7-20 坡度百分比與度數對照

坡度百分比(%)	度數		坡度百分比(%)	度數		度數		坡度百分比(%)
	(°)	(')		(°)	(')	(°)	(')	
1	0	34.4	21	11	51.6	0	30	0.8
2	1	8.7	22	11	24.4	1		1.7
3	1	43.1	23	12	57.2	1	30	2.6
4	2	17.4	24	13	29.7	2		3.5
5	2	51.7	25	14	2.2	2	30	4.4
6	3	26.0	30	16	42.0	3		5.2
7	4	0.3	35	19	17.4	3	30	6.1
8	4	34.4	40	21	48.2	4		7.0
9	5	8.6	45	24	13.7	4	30	7.9
10	5	42.6	50	26	33.9	5		8.7
11	6	16.6	55	28	48.6	5	30	9.6
12	6	50.6	60	30	57.8	6		10.5
13	7	24.4	65	33	1.4	6	30	11.3
14	7	58.2	70	34	59.5	7		12.3
15	8	31.8	75	36	52.5	7	30	13.2
16	9	5.4	80	38	39.6	8		14.1
17	9	38.9	85	40	21.9	8	30	14.9
18	10	12.2	90	41	59.2	9		15.8
19	10	45.5	95	43	31.9	9	30	16.7
20	11	18.6	100	45	0.0	10		17.6
						11		19.4
						12		21.3
						13		23.1
						14		24.9
						15		26.8
						16		28.7
						17		30.6
						18		32.5
						19		34.4
						20		36.4
						22		40.4
						25		46.6
						30		57.7
						40		83.9
						45		100.0

水土保持手冊
工程方法篇
目錄

一. 通論(Concepts and Principles) 工-1-1
1.1 野溪治理(Torrent Control) 工-1-1
1.2 坑溝整治(Gully Control) 工-1-9
1.3 崩塌地處理(Landslide Treatment) 工-1-14
1.4 土石流防治(Debris Flow Prevention and Control) 工-1-22
1.5 邊坡穩定(Slope Stabilization) 工-1-32
1.6 坡地排水(Slope Drainage) 工-1-38
1.7 滯洪及沉砂設施(Detention and Sediment Control) 工-1-40
1.8 道路水土保持(Soil and Water Conservation on Road) 工-1-43
1.9 礦區及土石採取區水土保持(Soil and Water Conservation on Mining Terrain) 工-1-47
1.10 開挖整地水土保持(Soil and Water Conservation on Developing Site) 工-1-54
1.11 遊憩區之水土保持(Soil and Water Conservation on Resort Area) 工-1-59
二. 處理單元(Measures) 工-2-1
2.1 防砂壩(Check Dam) 工-2-1
2.2 梳子壩及開口壩(Slit Dam) 工-2-18
2.3 固床工(Ground Sill) 工-2-26
2.4 丁壩(Spur Dike) 工-2-28
2.5 堤防(Levee) 工-2-32
2.6 護岸(Revetment) 工-2-36
2.7 整流工程(Regulation Works on Torrent) 工-2-39
2.8 土壩(Earth Dam) 工-2-46
2.9 擋土牆(Retaining Wall) 工-2-62

2.10 土石堆置場(Soil Bank) エ-2-75
2.11 排水設施(Drainage Facilities) エ-2-80
2.12 沉砂池(Sedimentation Pond) エ-2-95
2.13 滯洪池(Flood Detention Pond) エ-2-98
三. 附錄(Appendix) エ-3-1
3.1 逕流量估計(Runoff Calculation) エ-3-1
3.2 水理演算(Hydraulic Routing) エ-3-17
3.3 土石流演算(Debris Flow Analysis) エ-3-24
3.4 懸臂式梳子壩設計例(Slit Dam Design) エ-3-28

表目錄

表 工-1-1 災害治理對象與相關治理工程.....工-1-7
表 工-1-2 邊坡類型及破壞型式.....工-1-32
表 工-1-3 填方邊坡之參考坡度.....工-1-33
表 工-1-4 挖方邊坡之參考坡度.....工-1-34
表 工-1-5 台灣地區土石採取區及礦區水土保持方法及措施..工-1-53
表 工-2-1 出水高與排洪量參考表.....工-2-4
表 工-2-2 一般基礎之容許承載力.....工-2-12
表 工-2-3 基礎之浮力係數.....工-2-13
表 工-2-4 安全係數表.....工-2-16
表 工-2-5 基礎與混凝土之摩擦係數.....工-2-16
表 工-2-6 堤面坡度適用表.....工-2-33
表 工-2-7 河幅係數參考表.....工-2-41
表 工-2-8 出水高參考值.....工-2-41
表 工-2-9 河床坡度與計畫水位高、出水高之比值.....工-2-42
表 工-2-10 建議之安全係數表.....工-2-65
表 工-2-11 混凝土與土壤之摩擦係數.....工-2-65
表 工-2-12 土壤容許承載力 q_a.....工-2-66
表 工-2-13 曼寧粗糙係數 n 值.....工-2-89
表 工-2-14 最大安全流速(m/s).....工-2-90
表 工-3-1 逕流係數 C 值之選擇參考表.....工-3-2
表 工-3-2 離島各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數表.....工-3-3
表 工-3-3 北部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表.....工-3-4
表 工-3-4 中部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表.....工-3-5
表 工-3-5 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、

H係數和年平均雨量表 工-3-6
表 工-3-6 東部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表 工-3-7
表 工-3-7 北部地區各雨量站之年平均雨量表 工-3-8
表 工-3-8 中部地區各雨量站之年平均雨量表(1) 工-3-9
表 工-3-9 中部地區各雨量站之年平均雨量表(2) 工-3-10
表 工-3-10 南部地區各雨量站之年平均雨量表(1) 工-3-11
表 工-3-11 南部地區各雨量站之年平均雨量表(2) 工-3-12
表 工-3-12 東部地區各雨量站之年平均雨量表 工-3-13
表 工-3-13 渠道及天然河流的曼寧粗糙係數 n 值 工-3-19
表 工-3-14 使用代號說明 工-3-29

圖目錄

圖 工-1-1 崩塌地調查與處理流程圖 工-1-21
圖 工-1-2 土石流流動之縱橫斷面圖 工-1-24
圖 工-1-3 各種工法之配置範例 工-1-31
圖 工-1-4 階段式邊坡(複式邊坡)示意圖 工-1-37
圖 工-2-1 重力壩示意圖 工-2-2
圖 工-2-2 水墊工程示意圖 工-2-8
圖 工-2-3 側牆示意圖 工-2-8
圖 工-2-4 主壩、副壩關係示意圖 工-2-9
圖 工-2-5 水壓力作用示意圖 工-2-10
圖 工-2-6 土壓力作用示意圖(一) 工-2-11
圖 工-2-7 土壓力作用示意圖(二) 工-2-12
圖 工-2-8 上揚力作用示意圖 工-2-13
圖 工-2-9 重力式梳子壩各部名稱 工-2-19
圖 工-2-10 重力式開口壩各部名稱 工-2-19
圖 工-2-11 壩翼斜率示意圖 工-2-22
圖 工-2-12 現有固床工改善示意圖 工-2-27
圖 工-2-13 壩體之排列示意圖 工-2-29
圖 工-2-14 砌石面堤示意圖 工-2-32
圖 工-2-15 混凝土面堤示意圖 工-2-33
圖 工-2-16 彎曲段加寬示意圖 工-2-34
圖 工-2-17 混凝土砌石護岸示意圖 工-2-36
圖 工-2-18 混凝土護岸示意圖 工-2-36
圖 工-2-19 鋼筋混凝土護岸示意圖 工-2-37
圖 工-2-20 整流工程設計流程圖 工-2-40
圖 工-2-21 彎曲河道凹岸增高幅度示意圖 工-2-42
圖 工-2-22 彎曲河道河床加高漸變段長度示意圖 工-2-43
圖 工-2-23 主支流合流點下游斷面示意圖 工-2-44

圖 工-2-24 土壩之設計-明渠式溢洪道示意圖 工-2-46
圖 工-2-25 土壩之設計-垂流涵洞式溢洪道示意圖 工-2-47
圖 工-2-26 渠道水躍示意圖 工-2-47
圖 工-2-27 水躍特性形狀與福祿指數之關係圖 工-2-49
圖 工-2-28 水躍長度與 D_2 曲線(靜水池工) 工-2-50
圖 工-2-29 水躍的特性(第一靜水池) 工-2-50
圖 工-2-30 水平護坦尚水躍長度(靜水池一,二,三) 工-2-51
圖 工-2-31 福祿數 F1≧4.5 ..... 工-2-52
圖 工-2-32 福祿數 F1>4.5 ..... 工-2-53
圖 工-2-33 福祿數 F1=2.5~4.5 靜水池特徵 工-2-54
圖 工-2-34 急流槽及靜水池出水高 工-2-55
圖 工-2-35 豎管示意圖 工-2-56
圖 工-2-36 不同接近水深時,圓形溢頂之係數 C 與 H_0/R_S 之關係豎管示意圖 工-2-57
圖 工-2-37 臥管示意圖 工-2-58
圖 工-2-38 臥管截水牆示意圖 工-2-58
圖 工-2-39 豎管應力計算圖 工-2-59
圖 工-2-40 圓形管應力計算圖 工-2-60
圖 工-2-41 各式擋土牆示意圖 工-2-64
圖 工-2-42 擋土牆背夾角 θ 示意圖 工-2-68
圖 工-2-43 牆與砂土間之摩擦角示意圖 工-2-69
圖 工-2-44 加載荷重土壓分佈圖 工-2-71
圖 工-2-45 H-20 汽車荷重土壓分佈計算例 工-2-72
圖 工-2-46 牆基礎的垂直壓力計算例 工-2-73
圖 工-2-47 山谷土石堆置場示意圖 工-2-76
圖 工-2-48 河岸土石堆置場示意圖 工-2-76
圖 工-2-49 山腹土石堆置場示意圖 工-2-77
圖 工-2-50 平坦地土石堆置場示意圖 工-2-77
圖 工-2-51 各式排水溝示意圖 工-2-88

圖 工-2-52 沉砂池示意圖 工-2-95
圖 工-2-53 沉砂池水流流向示意圖 工-2-96
圖 工-2-54 乾式滯洪池（濕式滯洪池則無低流量孔口） 工-2-100
圖 工-2-55 滯洪壩正面示意圖-出口形式（矩形及圓形） 工-2-100
圖 工-3-1 台灣等雨量線圖 工-3-14
圖 工-3-2 由空壩到土石流推擊 工-3-33
圖 工-3-3 淤滿後靜土石堆積狀態圖 工-3-37
圖 工-3-4 土石流淤滿後土石流溢流 工-3-41
圖 工-3-5 土石流接近淤滿時巨礫撞擊 工-3-45

水土保持手冊

工程方法篇

目錄

一. 通論.....1
1.1 野溪治理.....1
1.2 坑溝整治.....9
1.3 崩塌地處理.....14
1.4 土石流防治.....22
1.5 邊坡穩定.....32
1.6 坡地排水.....38
1.7 滯洪及沉砂設施.....40
1.8 道路水土保持.....43
1.9 礦區及土石採取區水土保持.....47
1.10 開挖整地水土保持.....54
1.11 遊憩區之水土保持.....59

表 工-1-1 災害治理對象與相關治理工程 工-1-7
表 工-1-2 邊坡類型及破壞型式 工-1-32
表 工-1-3 填方邊坡之參考坡度 工-1-33
表 工-1-4 挖方邊坡之參考坡度 工-1-34
表 工-1-5 台灣地區土石採取區及礦區水土保持方法及措施 工-1-53

圖 工-1-1 崩塌地調查與處理流程圖 工-1-21
圖 工-1-2 土石流流動之縱橫斷面圖 工-1-24
圖 工-1-3 各種工法之配置範例 工-1-31
圖 工-1-4 階段式邊坡(複式邊坡)示意圖 工-1-37

一.通論

1.1 野溪治理

1.1.1 前言

野溪治理係指在平時流量甚小或無水流，但豪雨時因地表逕流快速匯集，而使流量暴增之溪流，該溪流本身之自然條件不佳，大流量時溪流水容易使溪岸或溪床容易發生侵蝕、淘刷、崩塌、土石淤積及流路不穩定之河道，經治理後可消除或減少前述問題，以達成減免災害之目的。

1.1.2 野溪之界定與特徵

野溪(Torrent)一般係指位於河系中、上游之小溪流，以河川級序(Stream Order)來判斷，通常多屬於最初級河系，其主要特徵如下：

1. 長度短

   野溪通常位於河川之源頭，或沿河川兩側發育而成，就完整發育之整條河川長度而言，野溪通常僅佔河川長度之一小部分。

2. 溪床坡降陡

   (1)野溪因發育於集水區源頭，或河川兩側坡面，受坡面傾斜之影響，其溪床坡度通常均較陡。

   (2)野溪流量變化大，在雨季時，流量大、流速快，容易造成河床下切作用。

3. 溪床變動大

   由於平時與降雨時的流量差異甚明顯，故輸送土砂量差異亦大，而使溪床因沉積與沖刷作用之交互出現，故溪床經常變動，不易保持穩定。

4. 溪床多岩塊或巨礫

   較細小土砂容易往下輸送，故溪床上殘留的岩塊或巨礫特別顯著。

5. 溪流水量變化大

   野溪一般不屬於常流性河川，因流短坡陡，又位於河川之源頭，平時流量少，甚至有河道乾枯的現象；而在降雨時，匯流時間短，流量急速增加，雨後退水也快。

1.1.3 野溪災害之種類

在野溪地區常發生的災害種類，大概可區分為兩大類：

1. 洪水災害

(1)洪水氾濫

野溪水位變化起伏範圍大，多位於河川之最上游，或河川兩側陡急的山坡地，屬於降水之地表逕流匯集區，一旦降雨來臨，逕流匯集速度快，流量增加迅速，此結果除了容易加速河床淘刷，造成縱向、橫向侵蝕以外，溪水常因溪床淤積或斷面不足而宣洩不及，而溢出兩岸氾濫成災。

(2)溪流改道

由於野溪河道變化範圍廣而不確定，溪床土砂粒徑變化大，溪床斷面不穩定，水流方向經常改變，造成流心不穩，容易向兩側溪岸侵蝕，形成新流路。

2. 土砂災害

(1)水資源之影響

降雨時，野溪匯集坡面逕流除使其流量暴增之外，坡面表土沖蝕所帶下之土壤與肥份等一併匯入野溪，同時溪流流量大增，流速加快，而造成溪床、溪岸之淘刷，使得溪水含砂量大增，直接影響到溪流水質。且為水庫淤積提供土砂來源，減少水庫蓄水量，嚴重影響水資源之利用。此外河川砂源亦為下游海岸砂源之主要來源，對於沙灘海岸特性有決定性之影響。

(2)崩塌發生

由於溪水作用，使得兩側溪岸逐漸淘刷，而成較陡之岸坡，未降雨時，亦可能造成崩塌，產生更大量的土石堆積，下次降雨時，輕者土石漸漸被輸送至下游；重者則形成土石流等大量往下游移動，此可能嚴重影響下游溪岸旁作物生長及民眾居住環境。

1.1.4 野溪沖蝕之種類

野溪之沖蝕依水流作用與位置之不同，大致可分下列三種沖蝕作用形式：

1. 縱向沖蝕

當降水匯集於野溪中，其流速不但因時因地發生變化，即使同一橫斷面流速亦不相同。概言之，水流與溪床及兩岸之接觸面，因摩擦之影響，其流速較為緩慢，水面則因受表面張力之影響，流動亦受阻滯，故最大流速常

在溪床上水深 5/8 處。若溪流橫斷面為規則形狀，在直線河槽線對稱軸兩邊的速率應相等，惟一般野溪之斷面形狀極不規則。如將各橫斷面之最大流速點連成一縱曲線，稱為急流線或槽線(channel line)；另將各橫斷面之最深點連成一縱曲線，稱為深水線或谿線(thalweg line)，則低水位時槽線與谿線相符，洪水期時，槽線較低水位時期為短，大致位於溪床斷面中央，谿線仍會隨河身彎曲，忽左忽右。在彎曲處，因流線向下，溪床受位能、動能與壓能之作用，故沖蝕逐漸加深。在兩個反向彎曲相接處，因流線向上，水流動能減少，故產生淤積，使溪床變淺，此種沿溪流縱斷面之沖刷變遷之現象稱為縱向沖蝕。

2. 橫向沖蝕

溪水上漲時，河心之流水面高於河岸之水面，形成橫流，呈迴轉式前進，此時橫流沖擊兩岸，部份水流滲入溪岸之土壤，引起土壤結構破壞，唯因橫流產生之壓力作用，暫無崩坍發生，惟仍有溪岸土砂遭水流沖刷。退水時，河心之水面低於兩岸之水面，發生反向橫流，因作用於土壤之壓力解除，滲入溪岸之水份源源自土中排出，故溪岸崩潰發生，河床增寬，此種溪岸土壤沖刷之現象稱為橫向沖蝕。

3. 漩流沖蝕

當流水發生橫流時，水中形成壓力分配不均的現象，因而產生漩流，漩流強度愈強所產生的速度愈快，連帶破壞力愈強，對岸趾及溪床之沖蝕力愈大，終造成溪床或岸壁土壤流失，形成深淵，此種現象稱為漩流沖蝕。河道彎曲處，如有突出石塊，則凹岸處常產生壓力漩流，凸岸處常產生吸力漩流。

1.1.5 影響野溪改變之因素

野溪治理之目標，乃在針對造成野溪變化之各因素，採取對應措施，因此如何掌握各野溪之環境因子，乃野溪治理之必要工作，茲將影響野溪改變之主要因素分述如下：

1. 溪床比降

溪流之比降可分為兩種，一為溪床比降(gradient of channel bed)，即溪床之縱向降坡；一為水面比降(gradient of water surface)，即水面之縱向降坡，受

流量與流速的影響而產生變化。洪水期因河水上漲，槽線變直距離縮短，此時水面比降較溪床比降大，流速急，兩相反彎曲中間之淺灘變為洪水槽線，該處容易發生沖蝕。原有彎曲處之深槽，則變為迴流集中地，洪水前期彎曲處為深槽，而反向曲線相交處為淺灘。洪水後期水面比降下降，流速減低，原有淺灘處之流速較深槽處之流速先行減低，因此先形成淤積，緊接著深槽處亦因水面比降下降，流速減低，拖引力減少，開始淤積，此時河床開始發生輕微之變化。低水位時，水面比降與河床比降大致一致，此時淺灘淤積之泥砂發生分離作用，小顆粒者下移，大顆粒者留於原處，不再受沖蝕，因而形成河床之深槽與淺灘相間之現象。

2. 流速

河道中之流水，於單位時間內流動之平均距離稱為流速。流速之大小因水分子流動狀態而有所不同。水分子流動狀態可分為層流、亂流，及介於二者之間之漸變流。凡水分子流動路線不變，流線規則時稱為層流(laminar flow)，其流速小，根據 Reynolds 氏研究，層流之流速僅 2～3cm/sec，河道中甚少有此種流速，對沖蝕影響亦小。當水分子流動路線紊亂，流線不規則時稱為亂流(turbulent flow)，其流速大，常會引起沖蝕現象。當流速由一種流況轉變為另一種流況時，期間轉捩點之流速稱為臨界流速(critical velocity)，據 R.G.Kennedy 氏試驗於臨界流速時，無淤積亦無沖蝕現象發生。流速之大小影響溪流沖擊力，由水動力學知，直線段流水作用於某物體之衝擊力等於該物體使流水發生的動量變化率，因此可用下式表示：

$$F = \rho Q\left(V_1 - V_2\right)$$

式中，F 為沖擊力，Q 為單位時間的流量，ρ 為水的密度，V_1、V_2 為撞擊前後之流速。

3. 流量

流水於單位時間內，通過任一水道斷面之體積稱為流量(discharge)。流量、流速與水道橫斷面面積之關係，如下式所示：

$$Q = AV$$

式中，Q 為流量(cms)，A 為水道之橫斷面面積(m^2)，V 為流速(m/sec)。流水能量可分為動能、壓能及位能，其總能量可以下式表示，即：

$$E = W\left(\frac{V^2}{2g}\right) + Wd + WZ$$

W：若定義為單位體積之水重，則其單位為 $\frac{N}{m^3} = \frac{kg \cdot m/\sec^3}{m^3}$

式中，E 為總能量(kg-m)， V 為平均流速，g 為重力加速度，d 為水深，Z 為底床在基準面上的高度。

由上式可知流量愈大，所產生之總能量愈高，沖蝕將愈嚴重，故洪水期改變溪床之動力甚大。

4. 荷載

荷載(load)俗稱含砂量，乃是水流攜帶泥砂量之總稱，而此等泥砂量係集水區坡面或溪岸與溪床遭受沖蝕而產生。依荷載於流水中運動型態之不同，可分為溶解荷載(dissolved load)、懸浮荷載(suspended load)及河床荷載(bed load)三種。溶解荷載為溶於水之物質，常可增加水之比重，使流水之能量增加，助長河道改變作用。懸浮荷載為懸浮水中移動之物質，而河床荷載為沿河床移動之物質，其運動之型式有滑動、滾動及跳躍等。懸浮荷載與河床荷載間並無明顯之界線，概言之，懸浮荷載多半體積小重量輕，如細砂、泥土等；河床荷載多半體積大重量大，如礫石等，兩者常因流量及流速之變化而有變異。當流量多，流速快時，部份河床荷載常變為懸浮荷載；反之，流量少，流速低時，部份懸浮荷載又將轉變為河床荷載，甚至下沈淤積。當懸浮荷載與河床荷載於水中移動時，其所需之動能與其大小有關，移動後質量大者所具備之能量亦大，對河岸或溪床之破壞力愈強，造成之沖蝕愈嚴重；反之，質量小者所具備之能量亦少，對河岸或溪床之破壞力亦弱，所引起之沖蝕亦輕。

5. 地質與土壤

溪流兩岸之土壤或岩層，若因組織鬆散、岩性軟弱、岩層破碎等因素，在岸趾遭受沖蝕後，岸坡易發生崩坍，如崩坍量大時，泥砂不能及時變為懸浮荷載或河床荷載隨水流輸送時，將會堆積於河道中，而影響水流排出，甚至阻斷水流而形成所謂之堰塞湖。若堆積高度大，蓄積水量多時，一旦堆積土體潰決，將引起大洪水，或是土石流等災害，並危及下游。

1.1.6 規劃設計原則

野溪因流量與輸砂來源不穩定而特異於一般常流性河川，因此可能造成的災害自然不同於一般河道，同時其治理方法亦應針對現地較易形成之災害種類來進行規劃。其規劃設計原則可分述如下：

1. 治理區域之確定

   先對現地進行實地調查，再依據調查資料將沖蝕或嚴重崩塌地區、泥砂堆積區、潛在危險地區及預定保護區列為評估對象，並參照當地社會、經濟、環境等需求劃定治理區域，尤其須將野溪對下游民眾生命財產影響程度的評估，加入考量。治理區域之選定與工程之投資、效益、施工及維護關係密切，亦應詳加調查、分析及研判。

2. 治理計畫應具整體性

   治理計畫應以集水區為單元，應用系統觀念及原理，研擬對上中及下游影響評估之整體性治理計畫。除了納入自然條件、社會經濟、財務、資源、土地利用現況及區域規劃、工程重要性、及施工難易、交通等要素之外，研擬可行處理方案。

3. 治理計畫應按其重要性排定優先順序

   針對集水區內野溪所產生之災害進行評估，在雨季來臨時，何者會立即發生、其影響區域範圍如何、其影響程度如何、何項治理工程能收到立即的成效…等，均需列入考量，且依據各項考量，安排施工順序，以免事倍功半。此不但會造成施工費用提高用，更可能發生嚴重之災害。

4. 治理計畫與鄰近集水區之關聯性應予以考量

   為了能達到治理功效，應對鄰近集水區納入考量範圍，進行效益評估，以免不適宜之野溪治理，造成浪費公帑，或是無法達到治理目標。

1.1.7 方法及措施

由於野溪災害因子複雜，其治理方法除需符合治理目標外，尚需參酌當地之自然環境、工程環境及社會經濟狀況，來選定適當之治理工法。茲將災害之治理對象與相關治理工程列表於下，以供規劃參考。

表 工-1-1 災害治理對象與相關治理工程

治理對象	相關治理工程
1.坡面沖蝕，沖蝕溝發達地區	造林、植生、蝕溝治理、縱橫向排水、坡面保護工、節制壩
2.岸坡崩塌	防砂壩、固床工、潛壩、護岸、丁壩、植生、排水
3.亂流河段	潛壩、整流工程、防砂壩、堤防、丁壩
4.淤砂嚴重河段	防砂壩、潛壩、沉砂工程、土壩、疏浚。
5.縱向沖蝕河段	防砂壩、固床工、潛壩
6.土石流地區	源頭處裡、防砂壩、固床工、沉砂工程、梳子壩
7.洪氾地區	滯洪壩、堤防、護岸、疏濬

以上各項治理方法對集水區野溪治理工程而言，很難以單項處理而達成預期之治理成效，為期發揮構造物之最大功效，應依其治理目的，採用多項治理工程相互配合應用。

1. 治理工法之選定與配置

(1)各項工程之設置位置，應根據調查資料分析研判，並參酌地形、地質、溪流特性及興建之目的，予以妥適之選定。

(2)在溪床坡度陡峻、溪幅狹窄之溪流，不宜設計較高之防砂壩(超過五公尺)，應採用連續低壩群之設計較經濟。

(3)實施整流工程時，最上游宜配合興建防砂壩或潛壩，最下游應設置固床工及消能設施，同時應對下游地區之安全進行嚴謹的檢討，以能配合下游河川治理工程最為理想。陡峻溪床應配合固床工，將河床調整為階梯狀。

(4)丁壩以配合堤防、護岸為原則，溪幅寬度小於三十公尺之溪段，不宜設置丁壩。設計丁壩挑離流心時，應特別注意對岸之安全。

(5)堤防、護岸及整流工程宜儘量配合自然河道設計，應避免急彎；遇轉彎時，凹岸應增高及加強保護。

(6)終年有水之野溪，溪流整治時應避免破壞兩岸生態，依環境需要考慮河川生態保育設施，如魚梯設置…等。

(7)原有溪流通水斷面不宜隨意縮小，致使設計水深太大，而增加水流沖蝕力。

2. 洪水量估算之基準

整治工程為確保其防災之需求，宜以 50 年頻率之降雨強度作為水理分析之依據。在人口密集區域或重要建設之上游集水區，得採用 50 年頻率以上之降雨強度計算。各項治理工程洪水量估算所依據之頻率年建議如下：

(1)防砂壩及潛壩設計，應以考慮 50 年頻率之降雨強度計算。

(2)整流工程、堤防、護岸、丁壩等以 25 年至 50 年頻率之降雨強度為原則。

(3)排洪斷面除需足夠容納設計流量以外，應考慮洪水所挾帶泥砂、漂流木並加大其斷面。

1.1.8 野溪治理注意事項

為確保任何治理規劃能達到應有之目標，於工程設計與施工均應慎重，以防造成災害發生，增加社會成本。其所應注意事項包括：

1. 施工便道應妥善規劃，儘量減少挖填土，並朝挖填平衡進行，避免破壞原有環境。
2. 挖填所剩土方應妥善堆置，並做好水土保持措施，避免阻塞水流。尤其野溪多位於陡峻山區，治理時，不應將土石直接堆置於山谷間，以免造成二次災害。
3. 防砂壩壩翼及基礎開挖，宜避免使用炸藥爆破，以免鬆動壩體周圍之土石，而影響壩體強度。
4. 回填應確實夯實，必要時可採用混凝土或砌石補強，以減少填方工程構造物之不穩定現象，進而避免形成崩塌而加速野溪穩定性之惡化。
5. 基礎開挖至設計深度，發現土質鬆軟，應即變更設計，加深基礎或打樁加強，以維護工程品質。
6. 施工時間應儘量選擇在枯水期，避免於雨季中及雨季後進行，以免危及施工人員、機具及工程之安全。而植生工程則應於雨季來臨前完成，以增加植物存活率及加快生長速度。
7. 施工時，應注意突發性暴雨，並應有妥善之防災措施，以避免土石流出、基礎埋沒、材料機具流失，及危及人命致增加施工成本。
8. 整治工法宜同時運用植生方法和工程方法，以兼顧環境生態及整治功效。

1.2 坑溝整治

1.2.1 前言

坑溝(Gully)係土壤沖蝕作用初期在坡面上切割所形成之深溝，由於地形外觀特別顯著，且為坡面土壤強烈沖蝕作用之表徵，更是地形夷平過程之濫觴，因此坑溝之形成乃為坡面加速沖蝕最具代表性之地形特徵。同時坑溝形成後即會因下切、橫向沖蝕與溯源沖蝕之同時擴張，而使坡面之穩定條件急劇破壞，終至形成惡地形。因此坑溝整治乃為坡面土壤沖蝕控制及坡面穩定之最基本工作對象。坑溝的出現顯示地形之凹陷或土壤疏鬆，岩性脆弱之地質條件，因此極易因地表逕流之匯集而擴大坑溝之規模。因此坑溝整治係運用植生方法和工程方法，使坑溝恢復穩定、不再繼續擴大的處理方式。

1.2.2 坑溝之界定

坑溝係坡面土壤集中沖蝕，將坡面切割所形成之深槽，平時乾枯無水，雨時地表逕流匯集集中之所在。由於深槽之深度及寬度發展至何等規模方定義為坑溝，並無一定之分類標準可尋，同時，坑溝與野溪如何界定，因涉及整治工程之規模、方法及目標，因此暫以溝寬 20 公尺以下，且其集水面積在 20 公頃以下之蝕溝定義為坑溝。

1.2.3 坑溝發展之過程

地表土體受外力作用後，發生嚴重的流失，日久逐漸形成坑溝，其所需時間或長或短，並無一定期程，完全視外力作用情況，以及土體本身的性質來決定。其發展的過程可分為四期：

1. 雛形期(primary stage)

   地面上之土體受外力作用後，發生分散、破碎並逐漸流失，開始有狹窄且淺的坑溝出現，此一階段稱為雛形期。本期土石流失量較少，較易控制，如處理適當，即可抑止坑溝之擴大。

2. 擴展期(enlargement stage)

   坑溝因外力削切作用而逐漸加深，淘刷作用而逐漸加寬，溯源作用而逐漸延長，經此三種綜合作用，土體流失由表土延伸到心土，由心土延伸到母質岩層，最後岩石暴露，成為巨大的坑溝，此一階段稱為擴展期。此一時期之坑溝控制往往必須採取較大之整治工程方能達成。

3. 復原期(healing stage)

坑溝經擴展期發展至極限時，即不再因外力作用繼續擴展，因此溝壁逐漸有植生發生，使坑溝日趨安定，雖然偶有土石流失情況，其量通常極微少，故此一階段稱為復原期。此時若能配合適當之處理，將可使坑溝更形穩定。

4. 安定期(stabilization stage)

坑溝經復原期後，溝底之比降與溝壁均達較安定之坡度，並受植生保護，此時不但無沖蝕發生，而且表土得以逐漸化育，此一階段稱為安定期。

1.2.4 坑溝之類型

坑溝因受氣候、地質、土壤、地形、時間等因素之影響，不但大小有別，而且形狀亦不盡相同。

1. 依坑溝的深度及排水面積分類，可區分如下：

(1)小溝(small gully)

坑溝深度小於 1 公尺，集水面積不超過 2 公頃，稱為小溝。通常此時期皆在坑溝發展的雛形期。

(2)中溝(medium gully)

坑溝深度介於 1～5 公尺，集水面積介於 2～10 公頃者，稱為中溝。

(3)大溝(large gully)

坑溝深度超過 5 公尺，集水面積超過 20 公頃以下者，稱為大溝。。

2. 依坑溝之橫斷面形狀分類，可區分如下：

(1)U 型坑溝

凡坑溝之溝壁呈現垂直陡立，溝底寬闊平坦，形狀類似 U 字型者，稱為 U 型溝(U-shaped gully)；此種坑溝易發生於土粒較粗之砂礫石土坡面，或石灰質含量多之地區，乾燥區及沖積谷地亦常發現。

(2)V 型坑溝

坑溝之溝壁傾斜，溝底窄狹，形狀類似 V 字型者，稱為 V 型溝(V-shaped gully)；此種坑溝多發生於土粒較細之紅土地區，含石灰質量少或不含石灰質之地區，濕潤地區亦常出現此種型態。

(3)UV 型複式溝

在坑溝之上部溝壁直立，下部溝壁傾斜，溝底則呈現窄狹狀，稱為 UV 型複式溝(U-V-shaped gully)。其形成原因可分為以下幾種：

①土層上部含石灰量較下部多。

②土層上部為黃土層，下部為礫石層。

③軟質母岩於溝底暴露後，繼續遭受外來侵蝕力作用。

④邊坡土石崩落堆積於溝底，再受外力侵蝕形成。

1.2.5 規劃設計原則

一般而言，坑溝整治若只採用單一方法，往往難以達到整治目標，所以治理規劃需考量運用工程方法、植生方法，或數種方法相互配合，以增加坑溝穩定效果，使其不再繼續惡化。

坑溝整治工法之選定需因地制宜，按其環境因子，決定適宜之方法。其原則如下：

1. 處理目的

   依坑溝發展地區之保護對象條件，考慮有效且符合經濟效益之整治工法。

2. 坑溝規模

   當坑溝在不同時期，其發展規模也不同，造成損害之程度相異，其治理方式應有所選擇。因此可依坑溝大小、溝床坡降、坑溝形狀…等因素，考慮整治之方式。整治坑溝所使用之工法，其適用範圍通常以溝寬 20 公尺以下或集水區面積小於 20 公頃之坑溝為原則；超過該範圍，其處理方式根據「野溪治理」原則進行。

3. 集水區面積

   上游集水區面積大小，往往決定進入坑溝之水量；而影響坑溝惡化最直接的因子即是地表逕流量。在規劃設計治理對策時，需考量集水區面積大小，以提供流量推估，進而安排一連串適當之排水工法，從坑溝上部、中部、下部的排水狀況，皆需納入考慮。有關坑溝整治工程之流量一般以 25 年頻率之降雨強度來計算。

4. 土壤性質

   不同土壤性質之坑溝，表層崩解速率快慢不一，坑溝發展程度亦不盡相同。如泥岩地區土壤容易分散而流失，而紅土礫石層地區，細粒土壤容易分散

流失，而粗礫石則容易崩塌。因此應依其土壤性質，來考量適合之整治工法。

5. 土地利用

地表覆蓋程度往往決定土壤沖蝕之輕重程度，進而影響坑溝發展的速度。一般而言，當坑溝出現地區之土地利用情形不甚合理時，如地表裸露、不當開挖、土質不適植物生長…等，除了以工程方法整治外，應可考量以土質改良，或是減少不當開發，以避免沖蝕擴大。

6. 施工材料

坑溝所在之土壤性質、地形條件在在影響整治工法與材料之選擇，如泥岩地區之坑溝，宜配合軟性材料之運用，以避免水流差異侵蝕造成問題，而礫石含量較多之坑溝，得以現地之粗大礫石配合使用。故各種施工材料之選擇應加以考慮其不同之適合性。

1.2.6 方法及措施

1. 分散逕流

進入坑溝之逕流水量多寡，會直接影響到坑溝破壞程度。運用排水系統之配置將上游集水區所匯集的水量全部攔截排除，或是將部份水量分流至安全地點，以減少坑溝流量為最基本之整治方法。其處理工法包括截水溝、洩槽、跌水工、排水溝等，施設位置應在溝頂上方適當地點。

2. 坑溝整理

(1)溝頂處理：除了減少逕流量外，亦應防止其他雜物進入坑溝，造成坑溝不當阻塞，而形成坑溝外擴。

(2)溝面處理：整理坑溝使溝床成為較平緩坡面，可採用節制壩減緩水流速度，並配合植生工法師施作。

(3)溝壁處理：坑溝兩岸之危崖、易滑落之草木石塊應先行清除，以防坑溝阻塞，造成逕流四處流竄，危及其他地區。

3. 構建護岸

為防止坑溝向兩岸繼續擴張，應於坑溝彎道處或是溝壁脆弱處設置保護工程，如護岸或植生覆蓋。

4. 控制流心

設置連續性之導流工程或整流工程例如潛壩或丁壩，以控制水流流向、防止流心偏離，避免坑溝範圍擴大。例如潛壩、丁壩工程。

5. 構築相關工程

(1)構築固床工、節制壩等，以穩定溝床、調整溝床坡降、固定流路、攔阻泥沙、穩定坑溝。

(2)構築沉砂滯洪池，一方面降低洪峰流量減少對下游之排放流量，另一方面沉砂攔淤，以減少土砂流出，並調節沖蝕之位能。

(3)構築防砂壩，以攔阻大量泥砂輸送至下游。

1.2.7 注意事項

1. 除了溝底治理工程外，兩側溝壁宜配合邊坡保護處理，以防止坑溝向兩岸擴展。
2. 整治工法宜同時運用植生方法和工程方法，以兼顧環境生態及坑溝安全。
3. 坑溝位於交通不便地區，宜儘量採用索道輸送材料及機具，避免開闢施工便道，以防施工及其周圍表土層之擾動破壞其他地表。
4. 土方工程宜於旱季施工，以避免雨季來臨時，土石大量流失情形發生；而植生工程則應於雨季來臨前完成，以增加植物存活率。
5. 整治工法規劃應朝向挖填平衡。若無法達到，有工程棄土產生，應堆置於安全地區，以免造成二次災害。
6. 土石及構造物工程施工，應減少其相鄰地區之非必要坡面開挖及植生破壞，以防坑溝規模增大。
7. 應盡量避免溝床封底(地滑區除外)阻止逕流入滲。
8. 坑溝雖然屬於自然地貌演變的一種地形特徵，但其形成之初通常只呈現小區域的沖蝕現象，但經過日積月累的外力作用及人為急速的開發破壞後，即會增加坑溝擴展的程度。因此，如果能在坑溝擴展之前，即進行相關整治工程，或避免不當開發行為，應可降低危害程度。

1.3 崩塌地處理

1.3.1 前言

邊坡材料因受重力作用，發生向下滑動或崩落之塊體運動之現象稱之為崩塌(landslide)。

台灣本島之地殼活動相當活躍，旦地震頻繁，同時岩層大多受過擠壓而發生褶曲或斷層，以致於節理、劈理或片理相當發達，再者經由強烈的風化作用，在地形陡峭而岩質破碎之環境下，一般邊坡之地質條件並不佳，是造成崩塌之主要潛因之一。

台灣地處亞熱帶，雨量豐富而不均，在 2,512mm 的年平均雨量中，有 70%集中於 5～10 月間。且本島河川大都水流短促坡降高陡，水流侵蝕作用強烈，溪谷邊坡趾腳淘刷嚴重，因此集中豪雨、河川侵蝕，及地震頻繁是造成崩塌的三個最主要自然影響因素。

台灣全島坡度在 30%以上之區域佔全島總面積約 34%，而坡度 10%以下之平原盆地僅佔 32%，然而為疏解人口壓力及推動經濟建設，人類活動範圍逐漸擴及丘陵或山區，因此在山坡地上不當的開挖與整地、開發社區、闢建道路、建造水庫，開採礦石以及濫墾與濫伐等大規模擾動邊坡安定之活動，是造成崩塌的主要人為影響。

1.3.2 崩塌之分類

崩塌依運動方式材料組成及移動速度不同而有許多分類，惟至目前尚無統一之分類標準，因此發生之個案常因其特殊性而有不同之稱謂或分類，包括山崩、落石、崩坍、地滑等名詞。

基本上，山崩、落石、崩坍、地滑等現象，就自然現象而言，均屬邊坡斜面上土體移動之現象，本質上並無差異，換言之，其發生之機制係因斜面上土體受重力或額外增加之剪應力作用，使土體抗剪強度相對降低而失去平衡，導致土體移動之結果。因此若以概括性分類，則其最大差異乃在於運動方式與規模上有所差別。

一般而言，地滑係指規模較大之土體或岩體，在較緩之坡面上發生移動，其運動之典型特徵在於移動速度緩慢，而移動時可能呈現斷續或持續緩慢之運動型態，通常移動土體上方之構造物尚可保持原狀。

至於山崩、崩坍或落石等現象，概念上係屬較小規模之土體或岩體運動，但亦不排除有大規模發生之情形，惟其發生位置多以陡峭坡面為主，可在瞬間發生，且運動速度較快，其發生均因土體或岩體崩解所致，故一旦發生，其承載之地上構造物即可能完全被破壞。

由於山崩、崩坍、落石、地滑等土體運動之發生機制均類似，因此概括以崩塌稱之，惟為強調其運動型態時，亦得以特殊名詞形容之，而本文所稱之崩塌，即涵蓋此等土體運動現象。

1.3.3 崩塌地調查

崩塌地調查之目的係為瞭解崩塌地之範圍、環境特性、發生條件、及可致災對象等相關資料，從而提供最有效而經濟之防治規劃依據。崩塌地調查一般可分為現況調查與機制調查。現況調查係就地質與地形條件所推測之崩塌區，進行各種地表現象或特徵等調查，以推測崩塌機制，並藉此作為緊急防治對策擬定之依據；機制調查係根據現況調查結果及所推測崩塌機制，進行更詳細之各種地表與地下調查，以進行更深入之崩塌機制分析與探討，並提供整體防治規劃之依據。

1. 現況調查

調查前應先了解崩塌地及鄰近地區之自然及人文環境。蒐集之資料包括地形、地物、地質、土壤、氣象水文、土地利用史、不同時期拍攝之航空照片、文獻報告(專業技術、歷史性刊物等)、報紙新聞、過去發生災害之記錄及既有之防災措施等。而進行調查時之範圍至少應大於崩塌地所屬之最小集水區及災害區，按崩塌類型、規模、誘因及影響範圍，進行必要之調查。

(1)地形、地質調查

於野外踏勘(現地勘查)階段之地質調查，係根據地形圖、地質圖及航空照片等判釋結果，赴野外實地調查地形特性及依據岩層露頭調查岩性、地層位態、斷層構造等地質特性，以瞭解崩塌範圍、運動形態、崩落方向等，並詳細劃分各崩塌土體之移動單元。

(2)植生調查

調查崩塌區內及其附近之植物種類、數量及分佈情形，並掌握根系分布特性，藉以瞭解崩塌區內之立地及植被特性，同時探討植物對崩塌發生之影響。

(3)水文調查

崩塌地之水文調查，係就地表即能瞭解之範圍內，調查地表水文與地下水文。項目包括降雨量、滲透量、地表水、中間流、蒸發量、土壤水分貯留量、地下水貯留量等。

(4)地表移動量調查

地表移動量調查的目的，係在觀測地滑或潛移所造成地表面的傾斜變化量及伸縮量，以瞭解其危險範圍，同時為了推測日後之活動性，可利用上述量測數據藉以辨認破壞土體承受張力作用或壓力作用之部位，或劃分破壞體之涵蓋範圍等，以供防治工程規劃之參考。調查方法可採用測量或伸縮計、地盤傾斜計等之設置，並視現場狀況、擇取適當者施行之。現況調查之同時，並應視情況採取必要之緊急處理措施。緊急處理措施包括警告標誌、臨時性排水設施、防止地表水滲入(如鋪塑膠布、或以粘土填塞裂縫等)、坡趾穩定(如堆土、蛇籠施作等)，並嚴密監測邊坡之動態。

2. 機制調查

機制調查是針對崩塌區內之地質、破壞面深度、破壞型態、規模及水文等進行三度空間的調查。

(1)調查測線之配置

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

(2)地球物理探測

地球物理探測，是根據地層之波傳特性、導電性、溫度梯度或是地下放射性等物理現象來探測地下地質構造與地下水之分佈等。常用之探測方法有：震測法、電探法、井測法、地溫探測、放射性探測、磁力法、重力法。可視現場狀況而擇其數種施行之。

(3)鑽探

鑽探不但可直接獲得地層剖面及地質等資料外，而且可利用該鑽孔進行其它現地試驗或調查。

(4)地質特性調查

地質特性調查之主要目的是為掌握崩塌區之土壤與岩石之物理及力學性質，作為邊坡穩定分析與崩塌防治工程設計之參考資料。

(5)地下水調查

地下水調查即調查崩塌區與其周圍地下水之貯存狀態、流路及物理與化學性質，以瞭解地下水與崩塌滑動之相關性，作為崩塌防治工程規劃之基本資料。地下水調查或試驗種類有地下水位調查、孔隙水壓調查、地下水追蹤試驗、抽水試驗、水質分析、地下水檢層、水平衡調查等，可依現場狀況加以選擇施行之。

(6)滑動面與滑動量調查

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

1.3.4 處理規劃

防治工程應依其發生機制與規模，組合適當的抑制工程及抑止工程，研擬最有效而經濟之工程組合。

1. 防治工程

防治工程大致可分為抑制工程與抑止工程兩類。抑制工程係以改變邊坡之地形或地下水等自然環境條件來穩定邊坡之各種工程設施，如整坡、排水等。抑止工程係指以工程結構物來抑止邊坡滑動之各種工程設施，如打設止滑樁、擋土牆等。

防治工法之選擇，主要係依據破壞體主測線之地層剖面穩定分析結果來決定。一般而言，防治工程之組合，除了應考慮其經濟性外，整個計畫之即效性亦不容忽視。防治功效之顯現常隨著對策工法或自然環境之不同而會有快慢之差別。因此，規劃防治工程時，宜先依據調查結果，瞭解其發生機制後，再選擇最有效而經濟之工程組合。

一般常用之防治工法如下：

- 抑制工程
  - 地表排水工程(滲透防止工程、排水溝)
  - 地下水排除工程
    - 深層地下水排除工程(橫向排水孔、集水井、排水廊道、截牆)
    - 淺層地下水排除工程(暗渠、橫向排水孔、地下水截斷工程)
  - 挖方工程
- 抑止工程
  - 佈樁工程
  - 深基礎樁
  - 岩錨
  - 填方工程
  - 河川構造物(防砂壩、護岸、固床工)
  - 植生工程

3. 防治工程之規劃原則

(1)針對發生機制選擇適當工法。

(2)防治工程應以抑制工程為主，而抑止工程係用以穩定較小之崩體，以防民房或重要設施直接受損。

4. 方法與對策

(1)地表排水工程

通常使用排水溝，以儘速攔截地表逕流，並排放至安全場所，藉以降低地表滲透量。排水溝面宜採用不透水之鋪面，而在可能發生地滑處，宜採用柔性可繞區構造物，以防地滑造成排水溝斷裂或變形。此外，可在地表面採取滲透防止工程，包括以粘土輾壓覆蓋表土，或鋪設塑膠布、瀝青等不透水材料。

(2)地下水排除工程

地下水排除工程有暗渠、橫向排水孔、集水井、地下截水工程等，用以收集地下滲流或排除地下水。暗渠工程宜置於滑落崖下部之地形變化處，及坡面凹陷部等地表水易於蓄集水處。橫向排水孔乃利用鑽孔排水，其鑽孔仰角常大於5°(使地下水能自然流出為原則)，並儘可能貫穿含水層。此外，通常亦依據地下水調查狀況，配置集水井。必要時得以排水廊道配合排水孔之佈設，排除深層之地下水。

地下水截水工程常利用版樁或灌漿，將崩塌地以外之淺層地下水加以攔截，再利用暗渠將其導至地表排除之。

(3)挖方工程

挖方工程應以減輕崩塌驅動力，且不影響挖方區上部邊坡穩定等施作原則，來決定挖方深度。通常開挖成階段式之坡面，以避免邊坡過長，且坡面應加以保護。

(4)填方工程

填方工程係於滑動區之坡趾，藉填方荷重以增加對土體破壞之抗滑力，惟應以不影響下邊坡之穩定為條件，同時其基礎不得因填土而發生破壞，且在填土前，必須將植生清除乾淨。坡面之處理，一般依現場需要，在坡趾以工程方法穩固之，再配合縱橫向排水溝，並實施坡面植生綠化，以及妥善之管理維護。

(5)擋土工程

擋土工程種類繁多，設置地點以不因挖掘基礎而誘發地層滑動之處為原則，且擋土工程之位置不宜設在破壞面可能通過之上方區位。

(6)一般打樁工程

樁之種類有鋼管樁、合成樁、H 型鋼樁及鋼筋混凝土樁等。樁的位置應選在下側邊坡能提供足夠地盤反力之地層上。

(7)深基樁

深基樁是在崩塌地上澆置大口徑之場鑄樁，以抑止崩塌體移動造成之推力。主要用於打樁工法無法達到穩定，或受地形上限制打樁機無法施工時採用之。深基樁主要種類有鋼襯版及鋼筋混凝土兩種，由於此類型工程之工程費用高昂，因此應與其他工法比較後，再決定是否採用。

(8)地錨工法

利用地錨與岩層錨碇之拉力以穩定邊坡之施加預力構造，一般地錨打設間距為 1.5~3m，鑽孔角度應選擇最經濟且有效之角度，同時錨碇段應深及堅硬之岩盤承載層為宜。

(9)坡面保護

常同時配合採用植生方法與工程方法，利用植生之根系加勁土層並提高邊坡之穩定性，以及利用植生來保護坡面防止沖蝕之發生，進而降低表土沖蝕引起土壤結構之鬆散或不穩定。

(10)跡地土質改善

可用生石灰工法、電氣滲透排水工法等方法，改良土壤之理化性質，促進土壤之壓密作用，提高土壤之抗剪強度。

1.3.5 注意事項

1. 對複合式之數個崩塌或滑動面，擋土設施之位置應審慎決定，避免造成對下方坡地斜面形成額外加載之情況。
2. 植生調查須特別注意樹木枯萎、樹幹裂開或彎曲、傾倒等異常現象。
3. 地形測量之基準點應設置於崩塌地外之穩定區。
4. 調查主測線應訂在滑動土體之代表位置上。
5. 鑽探深度一般以達滑動面或基盤為目標，再加上充裕之深度。
6. 安定分析之安全係數，視保護對象之重要性、距離、位置及災害發生之危險度而定。
7. 擋土工程、打樁工程、沉箱基礎、地錨工程應確實設置於穩固之岩盤上。

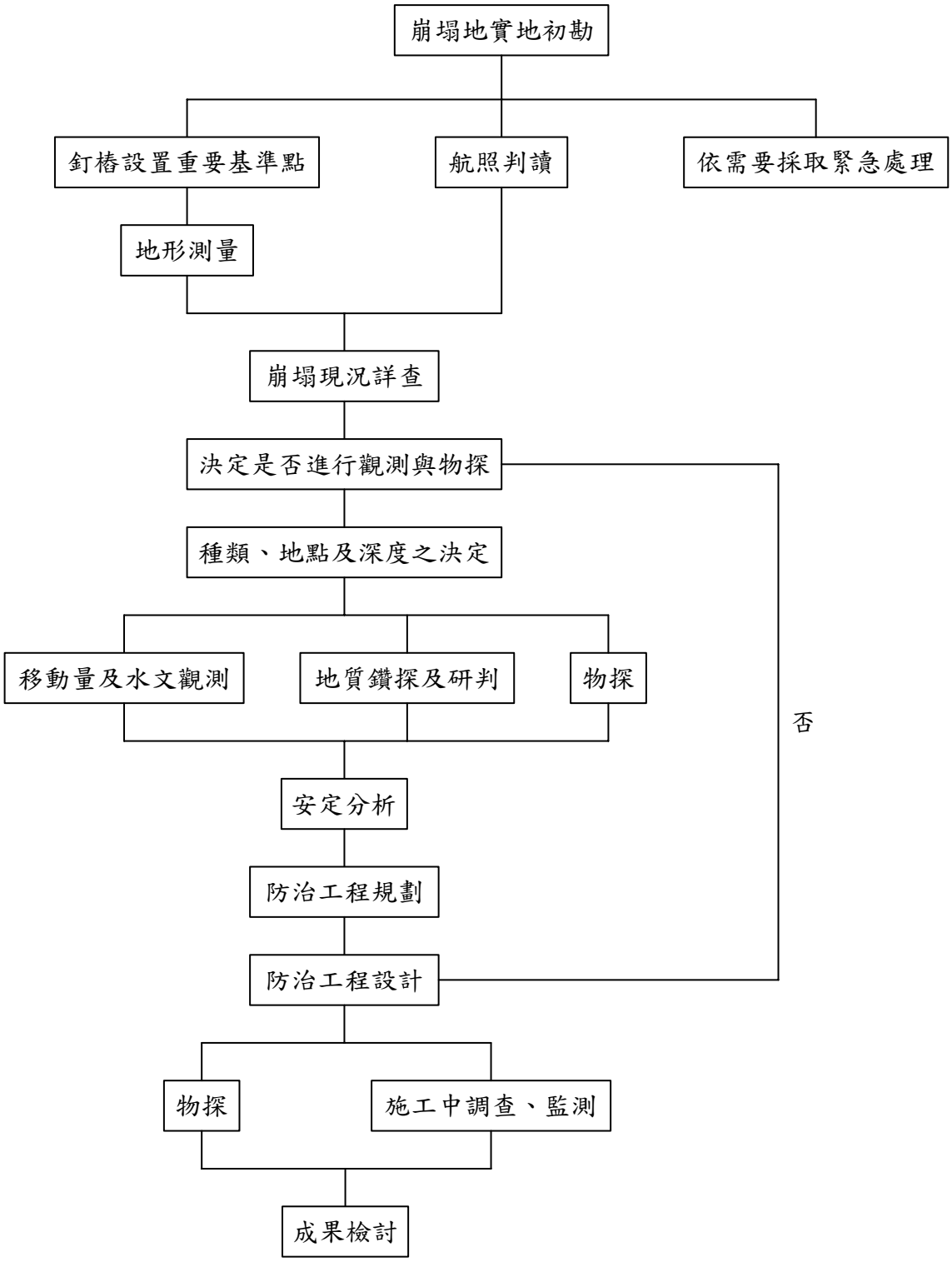


圖 工-1-1 崩塌地調查與處理流程圖

1.4 土石流防治

1.4.1 前言

近年來，台灣地區部份山坡地經常遭受土石流之威脅，其所造成的人命傷亡與財產損失，較之山崩、地滑等災害規模與損失實有過之而無不及，使得土石流災害儼然成為臺灣地區山坡地土砂災害的代名詞，同時也是現階段山坡地土砂災害防治之主要重點工作之一。

由於土石流防治工作與其發生機制、流動行為、堆積性狀等密切相關，且受到河溪地文、河床質及匯流條件之影響，使得土石流防治工作變得相當複雜。因此，土石流防治工作除了必須深入瞭解保全對象之類型、分布、數量及危險程度外，尤應掌握土石流發生及發展之背景條件，據以研擬適當之對策，因地制宜，期有效降低土石流致災之規模和威脅。

1.4.2 土石流之定義

由於土石流係以土石塊體土砂運動為主。惟土石流因所含固體土砂顆粒與水體充分混合，而以流動方式行進，與一般山崩、落石、地滑等運動方式，不論在運動的連續性、含水量或速度上均有顯著之差別，而可自成另一種塊體運動類型。此外，土石流因含有大量的水分及土、砂、礫、岩塊等材料，故常受到各種材料組成比例及水分含量多寡之影響，而有土砂流、泥流、礫石型土石流、土流...等不同流態之分。惟目前對於土石流運動行為和材料組成間之關係的瞭解程度還是相當有限，尚無法對其不同材料和運動機制作更嚴謹之分類，因此現階段仍以土石流作為統稱並定義為土、砂、礫石等材料與水混合物，以重力作用為主，水流作用為輔之高濃度。依此定義可將土石流相關特性界定如下：

1. 材料組成：由土、砂、礫、石、岩屑等固體材料與水體之混合體。
2. 運動現象：固體材料在運動過程中因相互碰撞及動量傳遞而產生連續且永久性之變形。
3. 水體功能：水體在固體材料間扮演潤滑作用之角色，可以降低流動過程中之阻力，促進水土混合體作持續性流動。

1.4.3 土石流之發生

土石流之發生主要是因溪床上鬆散的堆積土體或陡坡斜面上的破碎岩體，受豪雨所形成之地表逕流或地下水位上升的影響下，失去原有安定狀態，並在適當

的溪床坡度配合之下，順著溪流或邊坡斜面瞬間流出的一種高濃度集體流動現象。一般而言，依固體土砂材料來源及其起始運動位置之不同，而可將土石流發生概分為以下五種類型，即

1. 崩塌型土石流：豪雨時，山腹斜面上土體因吸收大量水分而發生崩塌。在崩塌之同時，一方面土體含水量超高，或地表水之不斷供應，使該崩塌土體含水量突增而成流體狀，另一方面崩塌處下方之地層坡度提供了足夠的勢能，使流動的崩塌土體轉化成為土石流。
2. 潰壩 (天然壩) 型土石流：溪流兩側岸坡土體因發生大規模崩塌而崩落溪床，雖然部份崩落土體被水流攜離，惟因土體數量龐大，使得大部分的土體堆積在溪床上，並將溪谷或河道予以阻攔而形成臨時壩或天然壩。由於臨時壩或天然壩攔阻其上游之水流，使之水位逐漸提高，隨著降雨不斷地供應水重，水位迅速提高之後，在水壓力及滲流水之聯合作用下而致潰壩，並形成土石流。
3. 溪流沖刷型土石流：豪雨時，因河溪流量激增，使水流得以沖刷堆積在溪流兩岸或溪床上較為鬆散之土體，並混合成漿狀體而轉變成土石流流下。
4. 地滑型土石流：粘質土之地滑區因大量雨水之滲透及地下水之作用，使滑動土體之含水量超過其液性限度，而發生流動，形成土石流。
5. 火山爆發型土石流：火山爆發所噴出之火山灰或火山碎屑在降至地面時或沉降至地表後，因豪雨之配合，而使之發生泥漿狀之流動，形成土石流。

1.4.4 土石流之流動

土石流流動時具有下列諸項特性：

1. 土石流組成材料之粒徑分布受地質構造、岩性及風化程度之影響，其大小自數公尺至 0.01 *mm* 以下，粒徑分佈範圍十分廣泛。
2. 依組成材料粗、細泥砂砂顆之含量，可將土石流概分如下：
   (1)礫石型土石流：粒徑 0.1 *mm* 以下之細顆粒泥砂含量小於 10%，且粒徑 2.0 *mm* 以上之石礫含量超過 50%者。
   (2)泥流型土石流：粒徑 0.1 *mm* 以下之細顆粒泥砂含量超過 50%，且粒徑 2.0 *mm* 以上之礫石含量少於 10%者。
3. 土石流單位體積重量(流動中)約在 1400kg/m^3~2300kg/m^3 間。

4. 土石流經常呈間歇性之流動，當前端部分受阻而停止時，其後續部份會因慣性而產生壅高，並因壓力之加大迫使前端再次流動。
5. 土石流前端部份呈波浪狀，並常有巨礫集中之現象。相對於土石流前端聚集大量之巨石，其後續部份礫石之大小及濃度等皆逐漸相對減小。
6. 土石流於流動中之橫斷形狀，在湧波前端部份其中央呈隆起之形狀，而在後續部份之中央部份則呈凹陷之形狀。
7. 土石流表面之流速明顯地高於其平均流速，顯示土石流具有表面快而底面慢之流速分佈特性。
8. 土石流流動速度與其粒徑分佈、濃度及溪谷坡度等密切相關。一般而言，礫石型土石流流速約在 3~10m/s 之間，而泥流型土石流流速則介於 2~20m/s 之間。
9. 土石流常受到坡度急速變緩或溪幅變寬之地形影響，逐漸脫水並減速或停積，在溪谷出口處尤為顯著。
10. 土石流發生地點之坡度大約在 15°~30°間為最多，持續流動之坡度則在 5～15°之間，而堆積地點之坡度以在 3°~5°間為最多。
11. 土石流流動時因動量大，且直進性超強，常於彎曲溪谷之凹岸側壅高，或越過凸岸之堤防、護岸。此外，因遇阻不繞流，會直接撞擊阻礙物，加上巨礫集中前端部，故破壞力超強，可沖毀橋樑、及各種水工構造物，並對兩側坡趾及床面造成淘刷。

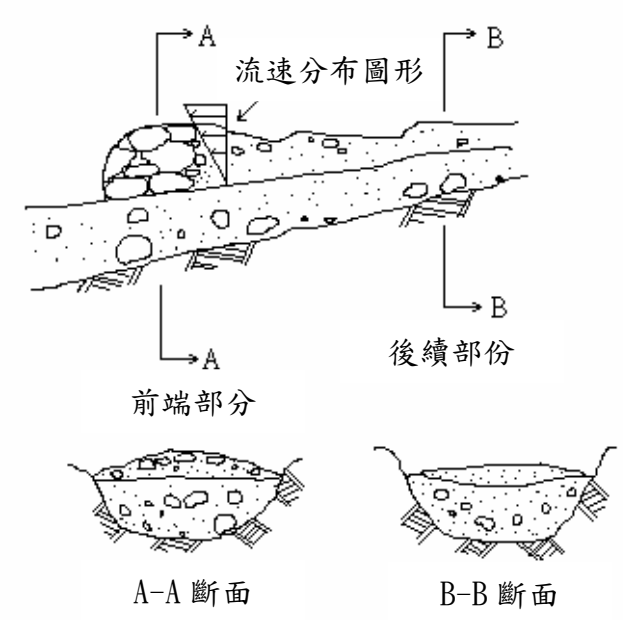


圖 工-1-2 土石流流動之縱橫斷面圖

1.4.5 土石流之堆積

當土石流流經之溪床坡度急速變緩或溪幅變寬時，流動體因有脫水現象，使其流動性大為降低，而逐漸停止流動並堆積，其堆積特性如下：

1. 當土石流流出溪谷谷口時，因狹窄流路瞬間擴寬，且坡度由陡變緩，使其向兩側擴張並堆積形成扇狀堆積。
2. 土石流堆積扇係由多次流向不定之土石流以輻射狀擴散堆積所形成。堆積進行時，雖因坡度變為平緩，使流動減緩，破壞力減弱，但其大量土砂仍能將房舍淹沒。
3. 土砂含量高且黏性大之土石流，常會形成數個耳狀或舌狀之堆積，分佈在寬闊之溪床或溪谷出口之扇狀地上。
4. 後續土砂流量大時，會越過既成之扇狀堆積，並擴大受災面。
5. 後續土石流可穿越扇狀堆積並切割侵蝕原堆積面，其所造成之狹窄沖蝕溝之兩側可形成一天然堤防。
6. 由整體扇狀堆積表面觀之，堆積扇之扇基部之粒徑比扇緣部顯著偏小，但若有後續土砂流越過扇緣分散流出之情形，則在扇緣之堆積粒徑則較少。另於堆積之垂直縱斷面上，則無明顯之粒徑分層與大小規則分佈之現象，此乃異於一般沖積河川水流依粒徑大小分層堆積之特性。

1.4.6 土石流防治目標

土石流係屬於再生性高之土砂運動，只要在充裕之土砂料源供應下，可以一再地重複發生。因此，土石流防治目標係依照土石流發生、流動與堆積等機制，規劃設計必要之軟硬體設施，以避免土石流的發生或減小其災害波及範圍。為達成防治目標，而必須依照土石流潛勢溪流特性擬定相關防治方案，茲分述如下：

1. 綜合治理方案

   本方案是針對整個集水區採取防止土石流發生和危害之治理體系。在可能或已發生土石流的主要溪流中，採取控制土石流運動的工程措施，其下游設置預報和警報網點，以減輕或避免災害，並通過科學的行政管理及有關政策、法令系統，防止人為土石流的發生，保證各項措施順利實施及防治效益的有效發揮。這種治理方案屬於綜合性的，它包括了工程防治、水土

保持措施、軟體預警及有害行為限制等，實際運用於整個集水區內，土石流相當活躍且下游有重要保全對象之情況。

2. 以工程治理為主體之規劃方案

本方案主要是在土石流的發生、輸送、淤積段內，採取相應的治理工程(如蓄水、排水、攔擋、調節、排導、導流、貯砂工程等)為主，同時輔以其他措施(如緩衝林帶、預警系統等)，控制土石流的發生和危害，此類方案在土石流規模大、暴發不很頻繁、鬆散土石材料補給及水力條件相對集中，保護對象重要，要求防治標準高、見效快、一次解決問題的情況下適用。

(1)以治水為主的方案

主要利用蓄水、排(引)水和截水等工程減少地表逕流，削弱水流動力條件，使水土分離，穩定邊坡；其次是修建少量攔擋、排導及植生工程，以穩定部分土體。該類方案主要適用於溪流沖刷型土石流之治理。

(2)以治土為主的方案

利用攔擋及護坡工程，攔蓄土石流固體物質，穩定岸坡崩塌及地滑；同時輔以排導、截水工程及植樹造林等。該類方案主要適用於崩塌型土石流之治理。

(3)以貯砂導流為主的方案

主要是利用貯砂池、渠道及渡槽等工程，蓄積土石流攜出之大量土砂，並排導其流出下游的部分土砂，以降低土石流之危害。有時亦在中上游地段修建部分攔擋工程和植樹造林等，以求減小土石流之規模、改變土石流體性質，以利於排導效果。該類方案對於土石流溪流下游段具有保全對象時頗為適用。

3. 以水土保持措施為主體之規劃方案

這種方案主要是在集水區內採取造林、植生及崩塌地處理和維護，並堅持超限利用土地退耕還林；在匯流處，開挖截水溝、分洪溝等措施，控制水土流失，恢復生態平衡。該方案適用於以面蝕為主、水土流失嚴重，並有部分坡面蝕溝形成的坡面土石流。

4. 以軟體預警系統為主體之規劃方案

此種方案主要是在土石流潛勢溪流佈設預報、警報網點，設置有關預報警報裝置。根據土石流發展及活動特點，當條件具備時，就按一定的模式發

出預報、警報信息，從而達到減輕或避免土石流災害之目的。該類方案不僅適用於一時難於採取其他防護措施的土石流溪流，而且也適用於已有防護設施的土石流潛勢溪流。這種方案投資不高，但要求有較高的研判知識及技術。

5. 以行政管理及法令措施為主體的規劃方案

通過嚴格的科學管理及有關法令的認真執行，使激發土石流的人為因素被控制和消除，例如合理開發水土資源、防止對生態環境破壞、嚴禁濫砍、濫伐及陡坡墾植，禁止隨意大量棄石、棄土和其他有關破壞邊坡土體穩定之有害行為等；此外，推動特定水土保持區之劃定工作，有效管理和限制有害行為，亦有助於降低災害規模。該類方案適合於因水土流失嚴重、人為因素為主的土石流溪流及邊坡斜面。

以上五種基本方案，在實際應用時，可依問題本質和執行目標進行結合，以制定符合當地環境需求之適當方案。

1.4.7 土石流調查

土石流治理對象選定後，在進行治理規劃設計之前，應對治理對象展開必要之調查工作，其主要調查內容包括：

1. 地形調查

土石流之發生大多沿既有之溪谷流出，而少部分則係山坡斜面之土體因豪雨或地表、地下逕流之作用，使得鬆軟土方產生流動而成土石流之流態。因此應調查土石流發生溪谷或邊坡之地形，包括集水區面積、集水區平均坡度、溪谷之坡度變化、溪谷之寬度、沖積扇之面積、沖積扇之坡度變化，及沖積扇上溪流之變動等地形特徵。

2. 崩塌地調查

土石流之發生大多係邊坡崩塌土砂之供應而導致，因此應調查集水區內崩塌地之位置、面積、坡度及崩塌土砂量，以推估其可能供給之土砂量。

3. 土砂量調查

(1)溪床土砂量之調查：堆積於溪床上之土砂量為土石流持續發生之主要土砂來源，因此應瞭解在溪谷上、中游之堆積土砂深度與寬度，並推估可能產生之土砂量。

(2)沖積扇之土砂量調查：沖積扇之土砂量係代表歷次土石流發生而流出之土砂量，由該土砂量之多寡，可研判該發生土石流之嚴重懲度，及其土石流流下之堆積之機制。因此應調查沖積扇之堆積土砂分佈及其土砂量。

4. 土砂組成調查

土石流之土砂組成可顯示土石流流動特性，因此應調查溪谷上、中、下游之土砂組成特性，除由現地踏勘瞭解最大粒徑之分佈，以推估該等大粒徑岩塊之衝力以外，應調查粒徑分別在 80~2mm、2~0.1mm 及 0.1mm 以下之土砂組成比率，作為土石流流動性狀分析之依據。此外，亦應分析土砂之密度、液性限度、凝聚力、內摩擦角及堆積狀態之土砂單位體積重。

5. 保護對象之調查

土石流防治主要在防止土石流對田園、房舍與公共設施之破壞，因此在土石流發生、流動與堆積所可能波及之各保護對象，應加以調查，以作為防治工程配置規劃之依據。

6. 安全避難路線與場所之調查

由於土石流之防治工程可能無法立即發揮功效，同時，即使土石流硬體防治工程均按計畫完成，亦無法完全保證其功能之完全發揮，因此為避免居民之生命遭受危害，應依聚落之分佈調查其避難之安全路線，並瞭解可作為安全避難場所之位置，以作為警戒避難系統建立之依據。

1.4.8 規劃設計原則

1. 土石流潛勢溪流與區域之確定

利用地形圖及航空照片並配合現場調查，可以有效判釋出具有土石流潛在危險之溪流與區域。準確的潛勢溪流判釋，可以使規劃與設計先期化，防止土石流災害於未然。

2. 業經確定為具有土石流潛在危險之溪流或區域，在硬體之防治措施未完成前，需儘速建立土石流警戒避難系統。

3. 土石流之防治需從整體之觀點，依土石流各發展之各階段(發生、流動、淤積)之特性，綜合上述方法相互配合運用，方能克盡全功。

4. 土石流有關之各類土砂量需事先予以估算：土石流防治措施之規劃與設計，事先需依預估之土石流設計流出量(Q)、計畫容許排放量(D)、計畫攔

砂量(I)、計畫淤積量(S)及計畫土石流發生抑制量(C)等各土砂量，以滿足下列關係式為依據，決定防治措施之大小、數量、型式、配置及順序等。即

$$Q-D-(I+S+C)=0$$

其中

Q(設計流出量)：考慮以往該溪流之土石流出量及現有溪床之土石堆積量加以估算。

D(容許排放量)：對下游地區安全無虞之排放量。

I (計畫攔砂量)：以攔阻工法捕捉之土砂量。

S(計畫淤積量)：以淤積工法捕捉之土砂量。

C(計畫抑制量)：以抑制工法減少之土砂流出量。

由上式可知，由土石流之流出量(Q)中減去容許排放到下游之量(D)後，所剩餘之土砂量(I+S+C)即為以各種工法加以控制之部分。其中，容許排放量係指土石流流出溪流下游谷口時不致產生安全威脅之土砂排出量，為與下游地區之安全直接相關。純就土石流治理和維安的觀點來看，容許排出土砂量應與土石流溪流下游地區的排導能力相關，可以由下列兩種情形決定之，即：

(1)土石流轉化為挾砂水流時之排出土砂量，視為容許排出土砂量。

(2)以土石流溪流下游導流渠道之輸移能力為標準，只要導流渠道可以安全排出而不會造成淤積成災之土砂量，即為容許排出土砂量。

上述第(1)項的主要概念是認為，以土石流為標的之工程治理措施，在規模上和設計標準上通常都較一般山地洪流為高，故只要能夠透過相關工程措施將土石流轉化為一般山地洪流(或挾砂水流)，其安全自然無虞；而第(2)項則是以導流渠道輸移泥砂能力作為衡量之基準，因為只要能夠將流出下游的土砂量順利地排入主流，不要有淤積泛濫之情形發生時，則土石流的危害自然得以消減。

5. 土石流硬體防治對策

(1)土石流發生之防止：即在土石流發生區採取抑制土砂發生流動之對策，一般係對溪床坡度達 15°以上之範圍，將導致土石不穩定之地表水、地下水等予以排除，或將其上之土砂予以穩定之，必要時得先行加以清除。

(2)土石流輸送段之處理：應視輸送段流路狀況，因地制宜，以不增加土石流流量及降低土石流流動勢能為對策。

(3)土石流流速之減緩：在溪床坡度 5°~15°之範圍為土石流之流動區域，由於土石流一旦開始流動，可能受慣性力、重力等影響而產生加速作用，於寬廣溪段可設法增加溪床之攔阻效果或設置減緩坡度之必要設施，甚至於擴大流路寬度，使流動之土石流受阻力作用或擴幅影響而降低其流動勢能，進而抑制其流速。

(4)土石流之攔阻：土石流因含土砂量大，且其中巨大石礫因動量大，而使土石流之坡壞力亦大，因之將此等巨大石礫予以攔阻，僅容許細粒土砂通過，將可減少土石流之勢能，同時，在攔阻過程中，讓土水分離產生脫水現象，亦可降低土石流之勢能，但宜在寬廣之溪段為主。

(5)安全流路之規劃：由於土石流流速快，直進性強，容易侵蝕兩岸及溪床，擴大災害規模，因此以護岸及固床工法為主。

(6)土石流堆積段之處裡：在土石流淤積區，即坡度在 5°以下之溪床或溪谷出口，規劃足夠空間以收容土石流所帶下之土砂量。

6. 土石流軟體防治對策

(1)土地利用之管制：在土石流可能波及之範圍，限制土地開發行為，以減少災害之損失。

(2)村落遷移：在採取各種土石流防治工法仍無法避免土石流可能危害之村落，即應採取遷村計畫。

(3)警戒避難體系之規劃：對土石流可能危及之住家，在未能遷移之前，應規劃各住家之避難路線，並予以告知及施以演練，而避難場所亦應規劃有各種安全防護措施。

1.4.9 注意事項

1. 土石流防治措施之結構體安定性分析，除了需考慮土石流流體力外，尚須考慮巨石衝擊力。
2. 土石流疏導工法之渠道寬度或堤間寬度之決定，需依土石流流量及最大粒徑進行檢討，以免因巨石之阻塞而產生溢流。

3. 土石流疏導工法中，渠道彎曲部之超高及曲率半徑之規劃與設計，需考慮土石流之直進性及其最大彎曲角度。
4. 攔阻工法不宜設置於扇狀地等無法取得足夠庫容之地點。
5. 緩衝林帶林木密度在不影響生長之情況下，以高密度植栽為原則。
6. 土石流對混凝土結構物之表面具有強烈之磨損作用，因此土石流之各項防治措施於設計時，宜採必要之緩衝消能措施及耐磨處理。
7. 為使土石流防治措施能發揮正常功能，宜對於各項措施採定期之清理與檢查。

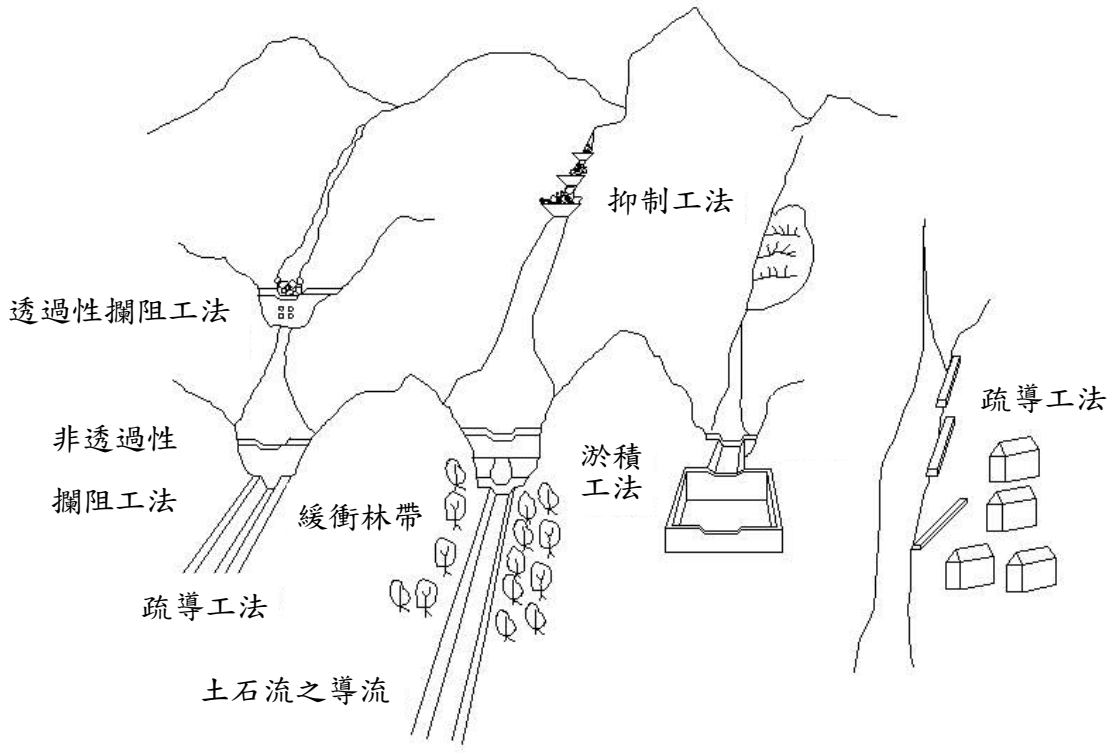


圖 工-1-3 各種工法之配置範例

1.5 邊坡穩定

1.5.1 前言

自然山坡斜面亦或人工挖填所成之邊坡，由於傾斜之地形特性，在自然重力或人為擾動之影響下，而各區位之作用力失去平衡時將導致邊坡破壞之發生。造成邊坡破壞之原因可歸納為驅動力之增加及邊坡岩土材料抵抗力之減少兩部分。驅動力之增加包括邊坡上之額外負載、地表水或地下水之增加、地震力之作用等；而岩土材料抵抗力之減少則包括側向支撐之移除、河岸沖刷、坡趾淘空、以及岩土材料強度性質之弱化等。因此為維持邊坡之穩定，乃針對此兩種破壞原因，採取必要之穩定措施，其方式可分為抑制工法與抑止工法兩種。抑制工法係指將破壞因子去除所採用之工程方法，至於抑止工法則係以人為方式增加岩土材料對邊坡破壞之抵抗力所採用之工程方法。一般邊坡破壞有其自然與周遭環境條件之限制，因此穩定之道宜針對環境特性因地制宜，採取各種適當之工法相互配合，以使邊坡能維持長久之穩定。

1.5.2 影響邊坡穩定因素及其破壞型態

影響邊坡穩定之因素包括地質構造、土壤特性、岩石風化程度、及地形之坡向、坡度等自然環境條件，以及降雨、逕流、人為擾動等外營力之作用等。可能造成邊坡破壞之各種邊坡類型及其破壞原因、破壞型式等，大致可歸類如表 工-1-2。

表 工-1-2 邊坡類型及破壞型式

邊坡類型	破壞之可能原因	破壞型式及其後果
開挖區上游之自然岩石邊坡	地震、降雨、風化、坡趾切除、採礦等	型式：山崩、平面形式或楔形滑動、崩落 後果：埋沒道路、阻塞河流
開挖區上游之自然土壤邊坡	地震、降雨、坡趾切除、採礦等	型式：泥流、土石流、地滑 後果：埋沒村莊、阻塞河流
開挖後內之自然岩石邊坡	地震、降雨、坡趾切除、長期風化、爆破等	型式：山崩、順向坡破壞、落石 後果：埋沒道路及社區、阻礙排水
開挖後內之自然土壤邊坡	坡趾切除、不穩定邊坡之填方、供水或排水線之泥水、草地之噴灑水等	型式：通常為緩慢、蠕動式破壞 後果：造成水管、排水系統破壞及道路之損毀
水庫、蓄水池之邊坡	增加土壤及岩石之含水飽和度、提高地下水位、增加浮力(上揚力)	型式：快速或緩慢之邊坡破壞 後果：損毀鐵、公路，阻塞溢流口，引致壩體之傾倒，造成洪水、生命

邊坡類型	破壞之可能原因	破壞型式及其後果
	及急速降低水位	之損失
公路及鐵路之挖填邊坡	過量之雨水，不穩定邊坡之填方，坡趾切除，地下水排水受阻等	型式：挖方破壞阻塞道路，基礎移動 後果：引致路面、物產之破壞及生命之損失
土石壩、堤防、水庫壩體之邊坡	滲流壓力過大，地震波動等	型式：突然之下陷滑動造成整體之滑動破壞 後果：淹沒下游地區，造成人員財產之損失
填方整地	填方分層夯實不良，地表及地下震動。降雨作用下，排水系統不確實等	型式：陷落、地滑及土石流造成整體之破壞 後果：土石移動淹沒下游地區
開挖坡面及填方坡面	坡面設計不穩定，過高地下水位，不良地下水位控制，抽排水系統之中斷等	型式：邊坡破壞或開挖面底部的隆起 後果：嚴重的影響工程進度，機具的損壞，財物的損失等

1.5.3 規劃設計原則

1. 整坡工程

(1)整坡方式

坡面高度超過 5m 者，應設計為階段式邊坡，其階段高度以不大於 5m 為原則，如圖一所示。每垂距 5m 高度，所設置之平台寬度不得小於 1.5m。如為填方邊坡應根據填方材料性質，並參酌現地之地質、地形及氣象等因素來決定施作方式。挖方邊坡則須視地質狀況與地層構造，並依挖方之高度來決定施作方式。同時應於挖、填施工階段進行穩定分析。惟道路邊坡若無詳細之調查數據及分析時，可參考表 工-1-3 及表工-1-4 之資料來進行整坡。

表 工-1-3 填方邊坡之參考坡度

填方材料	填方高度(公尺)	邊坡坡度(直：橫)	土壤分類
級配良好之礫石或砂；沉泥質礫石；黏土質礫石	0~6 6~15	1：1.25~1：1.5 1：1.5~1：2	GW、SW、GM、GC
級配不良之礫石	0~10	1：1.5~1：2	GP
岩石破碎堆積料	0~10 10~20	1：1.25~1：1.5 1：1.5~1：2	GW、GP、GM
沉泥質砂；黏土質砂；低塑性之黏土或有機土	0~6 6~10	1：1.25~1：1.5 1：1.5~1：2	SM、SC、CL、OL

填方材料	填方高度(公尺)	邊坡坡度(直：橫)	土壤分類
高塑性之黏土或沉泥	0~6	1：1.5~1：2	CH、MH

表 工-1-4 挖方邊坡之參考坡度

地質情況	挖方高度(公尺)	邊坡坡度(直：橫)	土壤分類
硬岩		1：0~1：0.5	
軟岩		1：0.25~1：0.8	
級配良好(緊密)或級配不良(疏鬆)之砂		1：1.5 或更平緩	SW、SP
沉泥質砂或黏土質砂 砂質土 緊密 砂質土 疏鬆	0～5 5～10 0～5 5～10	1:0.8 1:0.8～1:1.0 1:1.0～1:1.2 1:1.2～1:1.5	SM、SC
級配良好或級配不良之礫石 級配良好或緊密 級配不良或疏鬆	0～10 10～15 0～10 10～15	1:0.5～1:0.8 1:0.8～1:1.0 1:0.8～1:1.0 1:1.0～1:1.5	GW、GM、GC、GP
高塑性或低塑性之沉泥，黏土及有機土	0~10	1：0.8~1：1.2	ML、MH、CL、CH、OL、OH
夾岩塊或礫石之粘性土	0~5 5~10	1：1.0~1：1.2 1：1.2~1：1.5	

註：土壤分類符號表示：

G—礫石，C—粘土，S—砂，O—有機質，M—沉泥，W—級配良好，P—級配不良，L—低塑性液性限度 50%以下且壓縮性低，H—高塑性液性限度 50%以上且壓縮性高

(2)邊坡穩定分析

為求整坡後之坡面安定，應依整體邊坡之條件，進行邊坡穩定分析，且岩土材料所採用之有效應力凝聚力與有效應力內摩擦角，應取直剪試驗或其他強度試驗之最小值，即以殘餘剪力強度之有效應力凝聚力與有效應力內摩擦角分析之。

進行邊坡穩定分析時，應依現地之地層剖面、地質構造及地下水條件，採用合理的邊坡破壞型式(如圓弧型、平面型、塊體型及複合型等)及分析方法執行穩定計算。若於潛在滑動面可能預知的情況下，應強制分析滑動面通過此潛在滑動面以檢核最臨界狀況之穩定性。

(3)安全係數

邊坡穩定分析之安全係數在常時應大於 1.5，在暴雨時應大於 1.1，在地震時應大於 1.2。

2. 排水工程

排水工程之目的在攔截地表或地下水，並加以誘導排除，避免邊坡因水的影響(如孔隙水壓升高、抗剪強度降低、含水量增加)而破壞，故排水工程應依據地形、地下水或岩盤面分布狀況之調查後，再選擇最有效而經濟之排水方法。

3. 擋土工程

擋土工程乃是利用構造物之施作於坡面或坡趾位置提供滑動抵抗力，一般需配合挖填工程及排水工程之進行適時適點施作，以確保其有效性。

4. 坡面保護工程

坡面保護工程旨在防止坡面受風化及沖刷等作用，對邊坡所造成之不良影響，一般以採用植生為原則。若邊坡含崩積層並有崩塌之虞時，應以灌木與喬木等深根性植生予以強化保護之。於岩石邊坡或不含土壤成分之岩石碎屑坡地，且植物無法生長之情況，必要時可在坡面鋪置客土(坡度須緩於 1：0.8)或以構造物穩定坡面。穩定坡面時亦須納入完整之排水措施(包括地表水及地下水之排除)。

1.5.4 方法及措施

1. 排水工程

穩定邊坡之最關鍵工作，即在將坡地之地面水或地下水導引至下游之安全地區。一般採用之排水設施包括：

(1)明渠排水

明渠配置之位置以能有效截流並匯集水流，進而將水迅速排除至安全區為原則，並避免所匯集之水再度滲入地下。

以截水方式不同可分為截洩溝及縱向溝;以溝面襯砌材料類型可分為草溝、砌石溝、砌磚溝、混凝土溝、預鑄溝、土質溝。

(2)暗渠排水

暗渠宜採柔性材料施作，以抵抗地層滑動引起之彎曲折損。同時應於其底部鋪設防水布。蓄集地表水之埋設暗渠，在地表應以礫石、碎石、砂

等高透水材料加以填充以便截集地表水流。暗渠排水種類包括透水管暗渠、蛇籠暗渠、卵礫石暗渠及明暗渠組合等。

(3)橫向排水孔排水

為使用鑽孔機具以邊坡地形現況，以一特定向上傾斜角度進行鑽孔，再將透水管套入鑽孔，藉以引出地下水之設施。

(4)集水井

為收集地滑區內或附近之地下水而開鑿之大口徑井。一般由集水井可收集井身四周輻射方向所配置之橫向排水孔之引出水。

2. 擋土工程

邊坡開挖或填土後，將邊坡之自由面以結構物保護，稱為擋土工程。擋土工之種類繁多，有三明治式、重力式、半重力式、疊式、扶臂式、版樁式、地錨式等。原則上，在有滑動顧虞之地區，以採用挖方少且具柔性之擋土工為較佳之選擇。

3. 坡面保護工程

將邊坡之斜面以植生的方法，或施築構造物，以保護邊坡，使坡面達穩定狀態之工程方法，稱為坡面保護工程。

植生方法有植草苗法、植生帶法、噴植法、挖穴施肥鋪網客土噴植法、打樁編柵法、預鑄框或自由型框客土植生法等。採用構造穩定之工法有噴漿工、混凝土工、框架工、錨定工、鋪砌塊石工等。

1.5.5 邊坡穩定處裡注意事項

1. 依立地條件及土壤硬度選擇適當植生方法。
2. 植生施工時期，以春秋為宜。
3. 填土坡應將原地面植被表土及雜物清除，並儘可能將填方嵌入原有坡內。
4. 填方應分層確實夯實。
5. 開挖裸露之岩層面若極易風化，應儘速處理。
6. 坡面橫向截水溝與縱向排水溝之匯流處應妥善處理，避免水流外溢。
7. 縱向排水溝之坡度太陡時，應增設跌水或靜水池予以消能。
8. 縱向排水溝之溝面應力求平順，若設置消能塊時，應防止水花濺溢至溝外。

9. 完工後應適時維護，以維持邊坡之良好狀況。

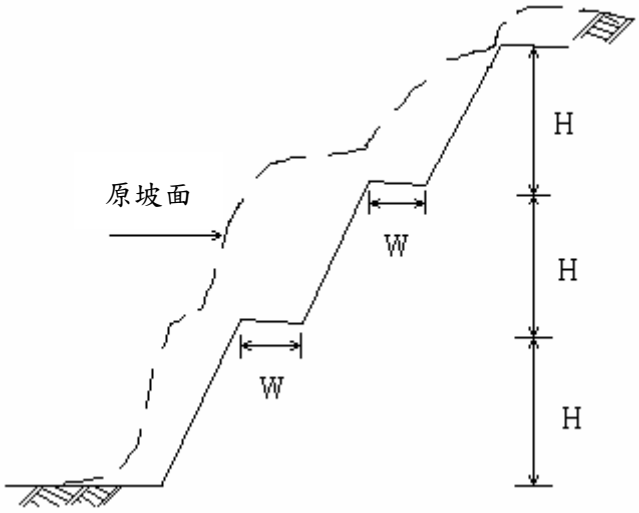


圖 工-1-4 階段式邊坡(複式邊坡)示意圖

1.6 坡地排水

1.6.1 前言

坡地上遇久雨或暴雨時，除部份的雨水被蒸發或被植物吸收或滲入地下外，其餘之雨水則因其本身之重力沿坡面流下，形成地表逕流。而原坡面上裸露的地表或鬆弛的土壤受到逕流之作用後造成侵蝕之現象，若是原本乾涸的低窪坑溝，在匯集逕流後，將因水量的增加而產生破壞力，若不設法加以防範，則將造成莫大之災害。

1.6.2 排水系統規劃之重要性

坡地排水即利用工程或其他方法將逕流或地下滲流水有效地引導、分流或排除至下游安全地區，使其破壞力減至最低限度，以減輕或避免災害之發生。可能影響坡地排水設施之因子有：地形、土壤、地質、覆蓋度、坡度、降雨量及降雨強度、集水區面積大小與形狀等。排水系統規劃時應先蒐集上項基本資料，經分析與比較後，慎重選擇具代表性及適當精度之資料，估計其洪峰逕流量、決定排水斷面並控制其流速，使坑溝不發生沖刷及淤積之現象，才能獲得安全之排水效果。

1.6.3 排水系統規劃之重要原則

1. 原排水系統功能之確定

   開發基地之排水系統，儘可能利用原有之自然排水系統，以避免為重整出一新的排水系統，而大規模改變地形。因此，原有排水之流通斷面，坡降及流況等功能，應確實調查分析，以研判未來開發後所能承受之極限。

2. 截流系統之規劃

   地表逕流沿坡面流動過程中，不但增加地表水入滲之機會，更可能沿坡面引致表土沖蝕的可能，而入滲之逕流雖可降低地表逕流量，但相對的在增加土壤水分含量，甚至提高地下水位，對於邊坡之穩定帶來負面之效應，因此對開挖整地之邊坡或道路邊坡，乃至於自然邊坡，常因地表逕流之肆意漫流，而造成邊坡崩塌，地滑等案例處處可見，因此坡面之截流系統乃為固守開挖基地或邊坡穩定之首要工作。

   而截流系統乃係沿坡面近乎等高所構築之橫向排水系統為主要項目，其配置首先以基地邊界為第一道防線，將可能流入基地或潛在危險邊坡之地表

逕流悉數排入橫向截水溝內；同時坡面為避免地表逕流隨波長之增加而增，亦應在適當間距，構築橫向排水溝，以收分段截水之功效。

3. 地表縱向排水系統之規劃

坡面經橫向截流系統所匯集之地表逕流，當然不能令其任意漫流，而應以縱向排水溝予以引導排下，因此縱向排水系統，在匯集坡面之所有地表逕流後，由於水量增加，及縱向坡度之陡峻，為避免陡坡排水之能量太大，而產生縱向侵蝕，因此地表縱向排水系統應包含排水溝、跌水、道路邊溝、管涵、截水牆等項目，以有效而安全的將坡面地表逕流排放至安全地點。

4. 繞道排水之規劃

坡面地表逕流經截水溝截流與縱向排水之匯流之後，其水流在可能情況下，以不流入整地之基地內為宜，因此依地形條件及原有之排水系統儘可能將此部份之水量採取繞道(by-pass)方式予以排出，將可減少基地內排水規模及必要防護措施之設置。

5. 地下排水系統之規劃

對於填方地區或地下水豐富之邊坡，大量入滲至地表下之逕流，將增加土壤之含水狀態，而隨著土壤水分之增加，孔隙水壓力之作用將使土體不穩定，導致崩塌或地層滑動等問題，因此地下排水系統乃為因應之重要措施。而地下排水系統包括橫向排水管，地下截水牆，集水井，地下涵管等項目，主要透過地下水排水管線之佈置，使地表下之逕流水能透過排水管之匯集排除之。

6. 滯洪設施之規劃

開挖基地或自然坡面所匯集之地表與地下逕流，最終必須排至溪流或開發區以外之排水系統。為避免因開發土地所增加之逕流量對下游地區之天然溪流或原有排水系統無法負荷，因此必須將開發區內所匯集之逕流水予以適當阻滯，令其延長排出之時間，並降低其排出之流量，因此滯洪設施乃為山坡地非農業開發使用之安全排水的最後一道防線。而滯洪設施主要係由一特殊開口之滯洪構造物，配合一具有相當容量之滯洪池所組成。

1.7 滯洪及沉砂設施

1.7.1 前言

洪災之肇因多取決於洪峰逕流量及泥砂產量，一旦暴雨侵襲，洪峰逕流量因山坡地開發而增加，極可能因此而超過下游地區排水構造物之排洪斷面，且泥砂亦可能堵塞排水道而減低其排洪量。一般而言，具有減低洪峰流量、降低逕流係數之措施，皆可稱為滯洪設施。

其中滯洪壩、遲滯湖及袋狀蓄砂河段為具有降低洪峰、調節泥砂功能之工程設施，一般所指之滯洪壩為傳統防砂壩中間開一矩形或圓形之缺口，其功能為降低洪峰流量，有效調節泥砂。

1.7.2 規劃設計原則

依據實際調查資料之結果及預定保護區，配合當地地質、地形條件及土地利用情形，社會經濟環境及工程之重要性，選定治理區域，且治理區域應以一個集水區為一個單位，做整體之規劃設計，避免人力及財力之浪費。

1. 滯洪壩之設計準則

(1)滯洪壩之開口為深而窄之矩形，開口處斷面為抵抗水流黏滯力及砂石滾動所產生的摩擦力，其結構應加強。可於開口兩側下游面設置撐牆加強其支撐力量。

(2)矩形開口之出流量與水位高之關係，可依下式決定：

①重力壩體

$$Q = 2.09BH^{1.73}$$

Q：流量(cms)；W：壩址的平均寬度(公尺)。

B：開口寬度(m)；

H：開口以上水位高度(m)；D：孔口直徑(公尺)。

適用條件：

0.061<B/W<0.318

壩體下游面坡度 1：0.3

壩體上游面坡度 1：0.5

②懸臂式壩體

$$Q = 2.36B^{1.13}Hd^{1.53}$$

適用條件：S(坡度)=5%

相對出流口寬度 B/W=0.033~0.175

(3)圓型開口型

$$Q = 2.78D^2h^{\frac{1}{2}}$$

Q：流量(cms)；

h：入流口水頭高度(公尺)。

D：孔口直徑(公尺)。

2. 沉砂池之設計準則

(1)沉砂池之容量應為預估土壤沖蝕量之 1.5 倍以上。

①土壤沖蝕量之估算：上游集水區土砂流出量應依其降雨、地形、面積、地質、開發程度及覆蓋情形予以估算。

a.臨時性沉砂池：開挖整地工程之土壤流失量以挖填面積不得小於每公頃每年 500m^3 估算。

b.永久性沉砂池：以下列公式估算，採取較大值，且不得小於每公頃 30m^3。

c.依據通用土壤流失公式計算。

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

其中

A_m：每公頃之年平均土壤流失量(公噸/公頃-年)

R_m：年平均降雨沖蝕指數(10^6 焦耳-毫米/公頃-小時-年)

K_m：土壤沖蝕性指數(公噸-公頃-小時-年/10^6 焦耳-毫米-公頃-年)

L：坡長因子

S：坡度因子

C：覆蓋與管理因子

P：水土保持處理因子

②沉砂池寬度應為入流水寬 3 倍以上。

③沉砂池長度應大於寬度。

④沉砂池深度應為入流溝渠水深 2 倍以上。

⑤設計清除淤積土石之道路時，應考慮以機械直接清除及搬運，並應防止洪水經由道路溢流。

1.7.3 方法及措施

1. 依其設置地區之重要性選擇其洪水頻率之流量，做為設計原則，一般設置依地區特性可分為二種：

   (1)一般森林地及野溪之滯洪沉砂

   滯洪沉砂設施之目的常為遲滯洪峰、調節泥砂流出量、保護下游居民生命財產安全，故可採用之措施為遲滯湖、滯洪壩及袋狀蓄砂河段等。

   (2)都市滯洪

   都市地區由於難以取得，故以增加土壤入滲量、減少地表逕流、降低逕流係數為主要方式。

2. 野溪及森林中之開口式滯洪壩宜以鋼筋混凝土構築，可避免損壞，而接近村鎮者為配合景觀可構築鋼筋混凝土心牆外加土施築。其排水口以鋼筋混凝土加鋼條攔污柵構築，同時緊急溢洪口可覆土植生，以達景觀調和之效果。

3. 坡地上設置遲滯湖，應於洪水過後清除湖中之污泥，使其不致喪失滯洪之效果。

1.7.4 注意事項

1. 設置遲滯湖須配合其立地條件，面積有限之區域不適合。
2. 滯洪壩排水口設置柵欄保護時，應以半圓形、半圓柱、半球形為主，以減少堵塞；須於洪水過後清除其攔阻物。
3. 滯洪壩應另設緊急溢洪口。
4. 都市及野溪排水設施，最好以透水材料鋪設渠底及護岸使其入滲率增加，降低逕流係數。
5. 開口式滯洪壩之開口寬，以不破壞及淘刷兩岸壩翼為原則。
6. 若滯洪壩設置於上游時，其上游最好築有攔石設施或防砂壩，避免巨石將開口堵塞，喪失其滯洪效果。
7. 遲滯湖內可鋪設草皮，於洪水過後可作為休閒空地。

1.8 道路水土保持

1.8.1 前言

道路水土保持係指為防止山坡地或森林區內鐵路、公路、農路及其他道路於施工中及營運時期水土流失所採取之水土保持處理與維護。山坡地或森林區內道路之開闢由於地形起伏變化大，故土石方之挖填量大，且因地形坡度因素之存在，故道路之安定有其先天之不利條件，同時地質破碎，順向坡發達等自然環境背景，均使山坡地或森林區內道路之開闢乃至於維護甚為不易。甚至因道路開闢、選線之不當，而加速山坡地或森林區內水土流失並引起或擴大土砂發生之災害。

由於山坡地或森林區內道路之開闢雖屬於線狀之土地開發行為，惟道路開闢後，沿線道路上下邊坡亦受破壞，因此往往可導致面狀之破壞，其最常見者包括表土流失、崩塌等土砂災害。而其開發行為不當更造成大量土砂棄置溪谷、河道，導致水文環境改變，遂引致河道堵塞、水庫淤砂，並造成排水不良而增加洪泛、土石流等水土災害發生之機會與規模。因此山坡地或森林區內道路之水土保持往往是山地開發良否之關鍵問題。

1.8.2 道路開闢之水土保持問題

1. 邊坡裸露、沖蝕及崩塌

   道路沿線之地形、地質及土層結構不佳地段，開發道路容易造成邊坡裸露、沖蝕、崩塌及滑動，尤其是陡峻山坡、順向坡或崩積斜面，基腳開挖後容易造成坡面崩坍或地層滑動。

   而施工不當亦會導致邊坡崩塌，包括使用過量的炸藥開炸造成地層鬆動，或挖方邊坡之土層解壓，常因地震或降雨而引起崩塌及落石。

2. 不當之棄土

   開挖坡面後所產生之棄土，如果沒有經過妥善的處理，任意就地向下邊坡傾倒，常導致下坡面崩壞，破壞原有植被，加速土壤沖蝕。如遇到豪雨來臨，則土石隨著地表逕流流下，常造成水庫淤積、水源污染、農田房舍埋沒，河道、橋涵阻塞甚至迫使溪流改道，並增加溪流之泥砂輸送，造成嚴重災害。

3. 排水設施不完善

山坡地或森林區內開闢道路容易破壞原有天然排水系統，導致逕流集中，且因未妥善導引至安全地帶，易造成新蝕溝或崩塌。而道路邊溝或所埋設之涵管斷面太小，常會遭土石阻塞；橫向排水不足，亦會造成地表漫流；排水溝或涵管出口未妥善處理，也會造成下方邊坡的沖蝕及崩塌。

4. 路基崩塌或下陷

填方坡面太陡或未充分夯實，擋土設施不足，則遇雨易造成路基崩塌流失。道路經過崩坍或地滑地，受地層滑動崩壞，將造成路基下陷或被切斷。

5. 路基佔用河道，與水爭地

山坡地或森林區內道路因用地取得不易或地形不良，而使用河川地，以致縮小河道斷面，使得河流流速增大，導致河床刷深，引起路基淘空崩壞或造成對岸沖蝕及崩塌。

6. 欠缺臨時防災措施造成災害

道路施工中欠缺臨時防災措施，如落石護欄、擋土設施及臨時性排水與沉砂池等，以致土石滾落，逕流漫溢，表土沖蝕、水源污染，危害人畜、農地及房舍等。

1.8.3 規劃設計原則

1. 道路設計規範之選定

開闢道路應按地形、地質、重要程度、交通量及邊坡穩定原則實施，選定適當之道路設計規範，不得超限構築。地形陡峻、地質不良之特殊地段，因施工及維護不易，得選定較低標準之規範，以減少開挖及破壞；惟應加強安全防護措施如護欄、標誌等。

2. 道路選線

山坡地或森林區內道路路線之選定，除了須考慮開發成本及經濟效益外，亦應注意下列各項原則：

(1)道路選線宜避開於地形陡峻、地質結構不良、活動斷層、順向坡、易崩塌滑動或生態敏感等地區，並應顧及完工後之養護。

(2)迴頭彎宜設於地形平緩之坡面以減少自然坡面之破壞及挖、填土石方數量；兩連續之迴頭彎距離應儘量拉長及錯開，以免造成上、下路線過於接近，致使坡面破壞過鉅，而影響邊坡之穩定。

(3)沿河岸構築道路時，路基以不占用河道為原則。

3. 挖填土石及餘土處理

挖填土石方應避免大斷面開挖或填土，並力求挖填平衡，以減少餘土及借土數量。餘土不得沿線隨意棄置，應妥善堆置於區外合法土石方堆置場或道路水土保持計畫內之堆土場。區外取土場，應納入道路水土保持計畫內。

4. 排水設施

道路應設邊溝，橫越坑溝或渠道處均應施設排洪斷面足夠之橋樑、箱涵、涵管或過水路面。每隔適當距離應施設一般橫向排水，避免逕流集中。其施設原則如下：

(1)邊溝

①邊溝坡度應陡於 0.2%，但山區農路邊溝坡度應陡於 0.5%。

②坡面不穩定、土石易掉落阻塞或清除不易之路段以採用 L 型側溝為原則。其他路段視情況得採用梯形、U 形或矩形側溝，惟寬度及深度最小應 30 公分。

(2)橫向排水

①以每隔一百五十公尺設置一橫向排水設施為原則，並應選擇適當地點設置。

②橫向排水出口處，應有適當之保護及消能設施；必要時應設置排水溝引導至下游安全地帶，以避免路基及下游坡面沖蝕。

③排水管涵縱坡以陡於 3%緩於 26%為原則。

5. 邊坡穩定

道路邊坡應維持適當之挖填坡度，挖方或填方坡面高度超過五公尺者，以階段式挖填為原則，但經邊坡穩定分析及水理計算安全無虞者或道路主管機關另有規定者，得予以放寬；護坡、擋土牆、邊坡排水及植生等設施，並應同時規劃設計之。

1.8.4 注意事項

1. 岩石邊坡宜儘量使用機械直接開挖，避免使用炸藥，雖然會因而增加成本，惟對邊坡安定及保護有莫大之助益。

2. 開挖時禁止一次使用大量炸藥，以免造成大崩坍或破壞邊坡，且容易引起地層鬆動，日後地震及降雨將會引發崩坍及落石。
3. 坡面陡峻路段，挖土石方前應施設防止土石滾落之設施，如護欄或防護柵，以免造成下方房舍及行人車輛受到傷害。
4. 填方坡面雜物應事先清除並作成階梯狀，再行填土並夯實，以免日後枝葉雜草腐爛造成沉陷及形成不連續面，導致坡面向下滑動。
5. 坡頂如有鬆動危石及危樹，應於施工時一併清除，以防掉落妨礙行車安全。

1.9 礦區及土石採取區水土保持

1.9.1 前言

礦產及土石為國家重要地下資源，然而若因開採後所遺留下來之廢棄土石與污水，不能予以適當而有效之處理，勢必與築路、伐木、濫墾、過度放牧等各種破壞地表資源之人為因素相同，造成沖蝕與災害，不僅影響到集水區之經營管理，對於國土保安與民生建設亦有危害。

目前土石及礦產之開採，不外乎是坑道開採與露天開採二種，而露天開採因須砍伐樹木、剝除表土、採掘土石及礦產、堆置棄碴、洗選礦材及土石，因而有崩動鬆軟斜面，造成不安定界面之情形，將影響到水土資源之保育。

然而就國家之經濟建設與民生建設而言，土石及礦產資源之開發，有其必要之需求，如何尋求兩全其美之方法，使各種資源均能被有效開發利用且不致妨礙到其他資源經營管理，並積極促使各種資源間之相互競爭性與衝突性減低至最低限度，對今後國家之經建發展有莫大之關係。

1.9.2 礦區及土石採取區之水土保持問題

1. 開採方法不當

   目前露天開採，有部份採用下拔方式開採。所謂下拔法，即是先行去除岩石或礦脈下盤基腳之支撐力，導致產生不平衡狀態，促使礦體或土石因受自然重力作用而自然崩塌、滑落之一種不合理開採方式。此種開採方式，雖一時能達到省時省工，但就整體開發、安全管理與國土保安而論，可謂既不經濟安全，且易破壞水土資源。因而基於水土保持立場，積極探討合理開發之新科技，實不容忽視。

2. 廢土石之處理

   廢土石之產生，可說是開採後所造成之後遺症，亦為造成災害之主因。廢土石之理化性與一般土壤不同，如煤礦礦碴一般多為黑灰色之頁岩與中粗粒之片岩或砂岩，石灰石礦碴則大多為灰白色之含碳酸鈣礦質與中粗粒之片岩或砂岩，故其沖蝕情形與處理情形亦不同。

   一般堆積之廢棄土石，初期時其坡面、坡腳之穩定性均堪慮，且植生亦不容易，顯示出一片裸露之鬆軟不安定狀態，孔隙大、透水性強易受風蝕及水蝕而流失成災。又長期堆置之廢棄土石，雖植生逐漸入侵而恢復覆蓋地

表功能，但卻堆置疏鬆，經年累月之沖蝕行為促使蝕溝之滋長擴大，而有發生崩塌、滑動、陷落等之虞。

3. 水污染問題

開採時為分離礦石，多用水洗選，此種沖洗後之水含有多量之懸浮物質、泥沙，有時更含有溶解性之有毒物質。金屬礦場所排出之廢污水常含有重金屬；洗煤場之廢污水則含有大量煤屑，且礦物中之硫磺易氧化成為硫酸，造成所謂惡性酸性水。石灰石礦之洗選，由於本身之易溶解而造成碳酸鈣溶解質影響到水質；瓷土礦之過濾分離沈澱，亦因其顆粒細小，易成為懸移質流失而造成污染現象。

4. 排水問題

露天開採後，由於地表覆蓋物遭受破壞而形成裸露地面，致使整個集水區內之水路系統遭受擾動而產生不安定狀態，一旦遭遇颱風豪雨，因地形地貌改變，植生效果消失，必然無法抵擋雨滴或逕流沖蝕。加上土壤組織及含水狀態發生變化，勢必無法含蓄相當之水份，造成逕流漫溢情況，增加水流之侵蝕原動力，致使開採區內之採掘面、坑道、廢土石堆坡面、道路路基及上下邊坡形成積水、崩塌、滑動現象。

因此，開採區排水規劃乃成為開採過程中不可缺乏的重要工作。尤其是開採後區內之地文因子改變，形成區內之窪蓄水量過多、土壤含水量過飽和、透水性降低等，導致地表逕流宣洩受阻而形成漫地流，慢慢沖刷形成了許多小沖蝕溝，進而惡化成大的沖蝕溝壑，直接影響土粒間之凝聚抵抗力及團粒安定度，破壞土壤本身之結構，形成崩塌或土石流之災禍。

5. 道路問題

道路乃為礦源開發與礦場運輸補給之主幹，但由於開路所造成之大量挖填土方，成為集水區內泥沙來源之一，造成對於水土保持之危害。尤其台灣開採區道路均採用低標準設計，但是卻要行駛超重之大卡車，形成負荷過重及安全疑慮。同時又因山區豪雨較大，平時又疏於養護，必然造成更多土石流失、路基塌方、道路上下邊坡崩落滑動及排水不良等現象，不但影響道路本身之作業運輸情形，亦為集水區之經營管理帶來困擾。故有關搬運道路之選線設計、統一規劃及養護問題，均為礦區水土保持工作之重點之一。

6. 植生綠化與復舊整建

植生工作並非一時即可收立竿見影之效，但是不可否認的是可收長期穩定功效，尤其開採後廢石堆裸露，若不能配合適當之植生季節，選擇適當可行之植生方法加以處理，則不但有礙風景觀瞻，亦容易受水蝕、風蝕成災。然而有開採區之植生綠化問題，因侷限於海拔高度、植生地點之水文、地貌因子、岩石礦種之特性…等，而影響樹種之選定與植生方法之決定。例如同一礦種但卻因位於不同之海拔地區與地形狀況，其植生樹種與方法亦有所差異；又同一海拔高度與地形狀況，卻因礦種不同，自然其植生處理方法亦不同。所以有關開採區植生綠化問題與採掘跡地之復舊整建工作均甚為複雜，能否獲致成效，常須經過長期之考驗，方能得知。

1.9.3 規劃設計原則

1. 開採技術的改進

礦產既成為國富民強之重要地下資源，自當本著「物盡其用」之原則，加以合理開發。合理之開採當以礦床之分佈情形、地質構造、岩石特性、礦種種類、水土保持經營管理原則、安全顧慮、最大經濟效益…等因子，實施由上而下之階段方式開採。同時亦應以上述各因子而限制每一開採階段之最大有效長度、作業寬度與採掘殘壁之最大安息角度。尤其對於大面積開採之礦場，更應基於其礦源用途、年平均產量、地文因子…等作有計劃性之規劃開採，故精研合理採礦科技，改善現行開採技術缺點，實為礦區配合水土保持處理之重點工作。

2. 廢棄土石處理

礦碴既是形成礦害糾紛之主因之一，況且亦因其受自然天候條件、本身風化情況及礦種岩性之影響，其理化性質亦有所差異，且為鬆方土石，自需深入瞭解，以尋求適當可行之處理方法，其處理原則略述如下：

(1)礦碴理化性之分析研究

針對各式之礦種、堆積時間、海拔狀況及風化情形等加以取樣後，分析其機械組成與理化性質，以瞭解不同狀況下之永久安息角、構造組成及粒徑分佈等，作為處理之參考。

(2)堆積場所之選定

堆積地點應避免選取潛在地滑地、崩塌地、洪患地、淹沒區等，並儘量避免堆積於河川、溪流地。倘若礦區附近因限於地形關係，無適當地點而必須堆積於河川溪流附近時，應注意溪流之流向與排洪情形，並儘量避免堆積於凹岸處。至於現已堆積於河川、溪流或河床者，應對過去與目前之沖蝕情形加以考慮，以決定建築工程構造(如丁壩、護岸等)之可行性與需要性。

(3)堆積方式之改善

目前大多數礦場均以自然堆積形態實施堆置，因此易造成堆積坡面或坡腳之不穩而發生崩塌、滑陷及受沖刷之現象，故有關其堆積方式當依其安息角度，以適當之高度和坡長實施分層堆積為宜。

(4)植生覆蓋樹種之選擇

礦碴與一般土壤性質不同，故有關植生樹種當依不同之礦種、海拔高度與氣候條件等加以挑選，一般當以能耐酸、耐旱、耐寒、耐瘠、萌芽力強且深根性者為佳。

(5)堆積坡面之安定與坡腳之穩定

坡面之安定性與坡腳之穩定性能加以控制後，植生則較為容易入侵或定著。而礦害亦相形減低。故其坡腳當以適當之工程構造物(如擋土牆、編柵、駁坎等)求其穩定後再實施整坡，求得坡面上之安定後再予以植生綠化。

3. 水污染防制

水污染之防治，主要乃在於維護水質以適於各種用途。至於如何防止水污染問題及加強管理水質問題，可就下列各項原則加以處理：

(1)對於洗選礦物應設立完整之機械化洗選設備與足夠容量之分離式沈澱過濾設備，並加強洗選設備之維護，以及沈澱污水池設備之清理工作。

(2)於排出廢污水時，應充分考量所排入渠道河川、溪流之涵容能力。

(3)嚴格執行有關水污染防治規定，隨時檢驗水質污染程度。

4. 排水規劃

區內之採礦場、作業場、廢土石堆置處及運搬卡車道，均因開發後地形遭受破壞引起排水不良現象，故礦區排水規劃之原則如下：

(1)區內之急斜面或斜向變化處要注意排水。

(2)區內滲透良好地區與滲透不良地區之鄰接處要注意排水之引導。

(3)區內地下水滲透多時要注意地下排水。

(4)區內洗選礦場之排水，須配合設置防砂壩或沉砂設施。

(5)區內有長而緩之斜面時要注意分段排水。

(6)區內缺乏植生覆蓋地區或植生覆蓋不良地區須加強排水及滯洪。

而礦區排水之主要規劃工作，乃在如何以有效之排水工程配合水流性質而加以排除礦區之地表逕流量、入滲水量、地下水量及窪蓄水量。至於應如何針對此四種水量而加以有系統之排除，可就下列各原則進行處理。

(1)設立防砂壩或沉砂、滯洪設施以避免廢棄土石流入河溪並緩和洪峰流量。

(2)開採地點之週圍應隨時預留一小面積空地以便因應臨時滯洪用。

(3)進行植生措施並配合實施草溝排水。

(4)廢土石堆積地點，應避免堆積於與水爭道地區，若因限於地形而無法避免時，則必須設置分水集水設施以引導排水。

(5)在採掘面及階段上應設置臨時性引水道，以引導排水。

(6)於逕流集中之處及坡度較陡之處，應設置砌石水道或配合其他工程構造物排水。

(7)於有沖蝕溝之地區應作適當之引水道或分段排水道。

5. 道路規劃設計

目前礦區道路，由於天然條件及人文環境之影響，而與一般山區產業道路、平原地區之道路均有所不同，故其基本型態與性質亦有所差異。對於礦區道路之選線規劃設計，必須更加謹慎，以免形成集水區經營上之另一困難。規劃設計礦區道路應注意下列幾點：

(1)選線踏勘時應注意地質情形，避免通過地質狀況不佳而有滲透水之坡面，同時儘可能與其他交通路線形成道路網。路線以坡度緩、曲線少、構造物少、挖填土方量少，且將來具有充分發揮功效與經濟效益高者為佳。

(2)道路之路寬、避車道、最短視距、最大縱坡，其坡長及曲率半徑、橫斷坡度等，至少應依農路四級標準。

(3)注意排水問題，如道路邊溝、暗管、橫溝、上下邊坡之逕流處理排除與跨越野溪溝谷時等問題須考慮到排水問題。

(4)道路規劃完成後，應充分考慮到所開路線在水文、土壤沖蝕方面所可能產生之變化，以作防範之措施。

6. 植生規劃

由於採礦引起對於水土資源及觀光資源之影響，因此植生綠化工作不但可以達到恢復景觀與水土保持之目的，同時亦可收永久綠化之效。然由於礦種岩性不同，礦區分佈情形、海拔高度的差異、天然氣候條件及植生季節等均影響到植生綠化樹種之選定與植生方法之決定，原則上挑選樹種應依下列各點酌予選取：

(1)選擇適應性較強者，如耐貧、耐酸、耐鹼及耐旱者等。

(2)樹冠要能維持鬱閉性。

(3)根為深根性者，且能充分蔓延而固結土石及發育良好者。

(4)萌芽力強、存活力高且能生長迅速者。

(5)儘量以陽性之鄉土樹種者為宜。

(6)抗病蟲害較強者。

1.9.4 注意事項

1. 植生工作宜在旱季完成整坡，俟雨季來臨前配合栽植，以春、秋雨季為宜。
2. 區內剩餘廢土石方，應堆置於安全地區，必要時應考慮其回收利用之可行性。
3. 開採計畫執行時，應減少非必要地區之坡面及植被破壞。
4. 為配合採掘跡地、捨石場之植生復舊工作及邊坡穩定處理，應進行土壤採樣及肥力分析與一般物理性試驗。
5. 剝土計畫宜儘量於旱季施工，並配合採掘階段面之開展而施設臨時性排水、沉砂與滯洪設施。
6. 礦石搬運宜儘量以索道輸送，以減少礦區內之開路面積。
7. 洗選設備應附設廢水處理，以合乎放流水標準。
8. 堆積礦碴或廢棄土石者，應注意其區位並評估其對週邊環境影響。

9. 露天採礦，應適當分區、分期為之，其水土保持設施之設計與施工應與作業進度相互配合。
10. 堆積廢棄土石計畫地點之設施容量，宜配合開採計畫及年度生產量，估計其堆積容量與使用年限。
11. 礦產開發如有導致嚴重礦害或增大洪峰之虞者，應設置防砂或滯洪設施。
12. 對於採礦跡地之二次土地利用潛能評估，應配合採礦計畫年限所餘後期之開採計畫而審慎擬定，以提升未來礦源開採結束後，採礦跡地之土地更新再利用價值。

表 工-1-5 台灣地區土石採取區及礦區水土保持方法及措施

處理地點	水土保持措施	
	工程方法	植生方法
採掘階段面	1.坡面穩定 2.臨時性悱水措施	
採掘跡 (含最終殘壁)	1.坡面穩定 2.縱橫向排水	穴狀直播配合種子點播、鋪網客土噴植等。
捨石場	1.坡面穩定處理 2.坡面排水 3.基腳穩定處理 4.地表下排水	穴狀直播、塑膠袋育苗栽植、打樁編柵、鋪網客土噴植等。
貯礦場	1.臨時性排水措施 2.暫時性坡面安定處理 3.基腳穩定處理	
洗選場	1.洗選廢污水放流管制 2.沉砂設備配置 3.排水系統配置 4.污染存放設施配置	
道路	1.道路排水 2.上下邊坡安定處理 3.路基穩定處理	
備註	若以整體礦區作綜合性水土保持規劃時，如需要設計沉砂池、滯洪設施，應依沉砂池及滯洪壩之規定辦理。	

1.10 開挖整地水土保持

1.10.1 前言

興建高爾夫球場、遊憩用地、坡地社區及從事其他之山坡地開發，容易因開挖整地而破壞自然穩定平衡狀態及植生覆蓋之情形，導致邊坡穩定性降低及地表逕流量與土壤沖蝕量增加等現象，其所造成之水土保持問題較為明顯者有下列幾項：

1. 土石流失

   開挖整地後之地表裸露面及鬆動土方在未經妥善處理之情況下，於施工期間若遇豪雨，將引起表土沖刷流失及泥砂阻塞排水路之現象，甚至造成河流改道及土石流失淹沒鄰近地區等災害。

2. 洪峰增大

   基地開發後因地表逕流量之增加及集流時間之縮短，對外排放之洪峰流量將比未開發前大甚多，當下游地區之河道無法容納或安全排除時，則將加劇河岸侵蝕並肇致山洪暴發與河水氾濫。

3. 地層滑動與邊坡崩塌

   於舊地滑地、斷層破碎帶、順向坡或崖錐等敏感地區進行開發，或開挖整地方式及施工方法不當，常因自然坡面之擾動而引起地層滑動與邊坡崩塌等災害。

4. 水土保育功能降低並影響下游河川生態

   基地既經開發，其原有林木及地被植物覆蓋及其對水源涵養及水質過濾等功能必然隨之減低，加上大量泥砂下移，對下游河川生態之影響及所造成之水源污染問題不可謂不大。

為預先研判基地開發所可能產生之災害問題，並對特殊地形與地質提供妥善之整地施工方法與防災對策之用，應事先做好規劃設計前之資料蒐集與研判、現場調查及試驗分析等工作。

1.10.2 規劃設計原則

開挖整地之水土保持工作為有效防範水土流失及衍生災害，於規劃設計時應注意下列原則：

1. 避開不穩定地區

(1)避免於地滑地、斷層破碎帶、順向坡及崖錐等下端部份挖掘，以免產生地層滑動或邊坡崩塌。

(2)避免於崖錐、順向坡與地滑地上端填土。

(3)於不影響計畫目標之情形下，儘可能將上列不穩定地區規劃為不可開發區或保育區。

2. 順應地形、地貌使破壞減至最少

為降低地表裸露面、鬆動土方及邊坡不穩定等不利因素，並為降低維護成本，開挖整地應依基地原有自然地形及地貌，儘量採減低開發度與外力擾動程度之原則規劃設計。

3. 挖填平衡

挖填方應力求最小及平衡，以減低對基地外棄土或取土之需求所造成之水土保持問題。

4. 減少坡長及坡度

邊坡的坡長與坡度會影響土壤沖蝕的大小，坡長愈長、坡度愈陡，則逕流之流速愈快，因此侵蝕力量也愈大。故減少坡長與坡度可降低逕流流速、減少地面沖刷及預防邊坡崩塌。

5. 分期分區施工

(1)為避免豪雨所可能帶來之土石流失及邊坡崩塌等災害，開挖整地作業期間應儘量避開颱風期及雨季。

(2)大面積開挖整地時，應以基地內小集水區或單一小排水系統範圍為單元，配合防災措施適當分區實施。

6. 安全排水

(1)基地內所做之臨時性或永久性排水系統，以能有效安全排除基地內地表及地下水為原則，並應考慮基地內外排水能量，分區排除之。

(2)為提高安全性，基地開發期間之區內洪峰流量計算，其逕流係數 C 值以採用 1 為原則。

(3)基地開發，應採用適當方法控制洪峰流量

①開發期間及開發後之洪峰流量不得大於開發前之洪峰流量。

②開發期間及開發後不得增加鄰近集水區之洪峰流量。

7. 邊坡穩定

(1)開挖整地所形成之人工邊坡應力求自然平衡穩定之坡度，以確保開發基地長期之安全。若受自然條件之限制，無法達到自然穩定之坡度而採取較陡之人工邊坡，則應考慮各項必要之保護工程設施。

(2)原自然邊坡若屬不穩定之條件，雖無即時邊坡破壞之虞，仍應予以改善，以維邊坡長期之安全。

8. 開發期間之防災措施

(1)基地內之防災措施，應能有效防止開挖整地期間之土石流失、崩塌及洪峰流量暴漲等所造成之災害。

(2)為達防災之目的，應配合開挖整地作業預先構築滯洪、沉砂池及防止崩塌等必要設施。

1.10.3 方法與措施

1. 土方暫置計畫

整地工程進行期間，開挖之土壤在未被運棄或供為填方材料前，應擬定儲存計畫，以免下雨時為雨水所沖蝕或遭風吹揚，造成二次污染或公害。故挖填土應採局部平衡原則，每一開挖區之土方迅速分層滾壓回填，於暴雨來臨時儘可能封層處理，將地表沖刷之土石減至最低。此外，應選擇距開挖面最近之平臺處，將尚未運棄或回填之土方暫時堆積；惟開挖之土方以隨挖隨用為原則，若堆存數量過多，防礙施工進行，或有造成崩落之危害者，應隨即停工，俟堆積土石處理後再行開工。而堆積場周圍應挖掘臨時排水溝；必要時應在大雨或雨季之前，以塑膠布暫時覆蓋於儲存場上，以防止雨水沖刷。

2. 取棄土計畫

整地工程以挖填平衡為最經濟之計畫，惟必要時仍有挖土或棄土之可能。挖借土區應視同區內挖土工程，以免滋生危險。挖借土區地點，應先行進行土壤調查，並作夯實試驗以瞭解其未來之夯實度和土壤強度參數，進而訂定填土工程標準。取土之前應先將垃圾及樹木雜草等清除，開挖時必須避免有積水之情形發生，其開挖底面應略具坡度，以利水流渲洩。此外，挖土作業應隨時作好水土保持工作。

棄土區之位置宜避免在上、下游面有重要道路、住宅區等重要公共設施之處、崩塌區、地質不良區或容易遭洪患地區，以減少對區域環境之衝擊影響。棄土時應比照填土工程，棄土材料需分層壓實，且必需注意其穩定性。此外，對棄土可能流失之防治措施亦須考慮，必要時需施做沉砂池、埋設地下排水管等。

3. 坡面保護工程

(1)開發後之裸露面必須適時完成植生或敷蓋並予以維護，力求儘速覆蓋並減低土壤沖蝕量。

(2)當不適合植生或僅靠植生無法確保邊坡安定時，視狀況需要以適當之結構體做保護工程，一般採用：噴植法、打樁編柵法、鋪網噴植、栽植槽鋪網植生法或自由樑框工法。

(3)易風化崩解之岩石邊坡，可噴漿處理。

4. 坡腳穩定工程

配合坡面保護工程，以擋土牆等結構物於坡腳不穩定處補強；滑動力較大之邊坡，若僅靠擋土牆結構物仍無法穩定時，需以其他工程配合之，如地錨工程等。

5. 地表及地下水排除

(1)選擇適當降雨頻率，並依所計算之逕流量及流速設計通水斷面及溝身材料。

(2)依照工程施工程序，於挖方及填方邊坡與自然地盤接觸處之坡頂上方及開挖後之坡腳分設排水溝，當坡長太大時，宜分段排水或設置山腹工等。

(3)依照填方作業進度，在適當地點設置臨時排水溝以匯集排放雨水，避免地表逕流對已完成部份之邊坡造成沖蝕。

6. 滯洪設施

(1)設置滯洪池於主要排水路上，供蓄洪、減洪之用。

(2)滯洪池之容量應依據基地開發前後之洪峰流量差值設計。

7. 防砂及防止崩塌設施

針對開挖整地之土石流失災害，可配合使用下列數種臨時性或永久性防砂設施防治之。

(1)沉砂池

主要設置於基地水路間或下游匯流處，用以沉積水流所挾帶之泥砂。

(2)擋土柵

多屬臨時性防災設施，一般設置於基地與鄰近地區交界處，以防止土壤流失，主要材料為木柵、竹柵及板柵等。

(3)防災土堤

配合工程進度，設於鄰界下緣或基地內坡度較陡處，以疏導土石流入沉砂池，並可避免造成坡面沖蝕及直接流入下游溝渠。

(4)簡易擋土壩

配合整地填土作業，設於河谷中，其常用材料有：砂包、蛇籠或舊輪胎等。

(5)防砂壩

一般設置於基地主要排水路之適當位置，以攔截土石，可視填土量及所估算之沖蝕量在谷地適當位置分段佈置。

1.10.4 注意事項

1. 填土區之原有地表草木必須徹底清除，以避免形成滑動面。
2. 填方作業應按水平逐層填築，並分層壓實。
3. 地下水豐富之挖填方邊坡應在坡腳加強排水設施。
4. 開挖整地作業若有崩塌或土石落下致有危險之虞時，應設置擋土支撐等設施，並應施設防護網。

1.11 遊憩區之水土保持

1.11.1 前言

遊憩區係指適合各野外育樂活動，並准許興建適當育樂設施及有限度資源利用行為之地區。

不當之遊憩區開發易造成開挖整地範圍超量、最適宜遊憩活動型態與土地利用方式選用不當、遊憩區位配置不當，增加道路設計長度、排放污水影響下游河川生態等之水土保持問題。

1.11.2 規劃設計之原則

1. 依整體遊憩規劃模式(The Recreational Planning System)利用 LAC(The Limits of Acceptable Change)選定最適宜遊憩承載量，依序有下列步驟：
   (1)確定規劃基地特性、範圍與主題。
   (2)詳細探討了解遊憩潛力。
   (3)選定影響遊憩活動型態之自然資源與社會因素。
   (4)就自然資源與社會因素進行詳細調查與分析。
   (5)尋找、訂定自然資源與社會因素之影響條件。
   (6)尋找可行之替選方案或替選基地。
   (7)探討不同替選方案應採之經營管理對策。
   (8)就基地選定與遊憩計畫再行評估並選定最適宜之方案與其基地。
   (9)執行計畫，並重複觀測遊憩活動情況以作必要之修正。
2. 配合現有地形、地貌並避開不穩定地區來配置遊憩區位，以避免發生地滑或崩塌。
3. 妥善集中各遊憩區位以減少道路之舖設。
4. 排水系統
   (1)污水排放之設計
   除原洪峰流量外應加計依最適宜遊憩承載量計算所得之污水排放量。
   (2)避免逕流集中
   若逕流過度集中，應同時治理下游排水系統或重新檢討排洪分配。
   (3)洪峰流量設計

開發期間，合理化公式之 C 值以 1 計算，並合理高估洪峰，以增加安全性。

5. 開發期開之防災設施

為防止開發期間之土石流失、崩塌及洪峰暴漲等造成災害，應事先構築滯洪、防砂及防止崩塌等防災設施。

1.11.3 方法與措施

1. 開挖整地

(1)邊坡保護工程(坡面植生、混凝土工法、框架、錨定等…)。

(2)地表、地下水排除工程。

(3)滯洪設施。

(4)防砂及防塌設施(含沉砂池、擋土牆、防砂壩等…)。

2. 道路工程

(1)路線應儘量避免通過地質及地形不良地區，並避免挖填。

(2)棄土應配合穩定工程妥善處理，以防止流失或崩塌。

(3)排水系統應儘量分散水流降低流速,排水斷面應配合遊憩區全區排水計畫設計。

(4)邊坡可設置擋土牆予以穩定處理。

3. 排水系統

應計算遊憩區上游集水區之進流量及計畫區內之逕流量與排污量,配合計畫區下游原始坑溝之排水斷面之大小分配排水量。

4. 崩塌地處理工程

遊憩區內之崩塌地若瀕臨點或影響全區任何配置計畫項目時,必需依下列各措施予以治理：

(1)地表或地下排水工程。

(2)挖除崩塌區上部土方。

(3)於崩塌區滑動下方堆填土方，以增加滑動阻力。

(4)因地施以適當之擋土工程。

(5)利用各類化學成品注入土壤內部以增加土壤抗滑力，阻絕崩塌。

1.11.4 注意事項

1. 填方區之表土草木必需徹底清除，以避免形成滑動面。
2. 填方作業應水平逐層填築，並分層壓實。
3. 地下水豐富之挖填方邊坡應在坡腳加強排水設施。
4. 挖方作業若有崩塌或土石落下而使作業員或附近住家產生危險之虞時，應設置擋土支撐等設施，並應施設防護網保護。
5. 植生工程施工宜於春秋兩季，以增加存活率。
6. 岩石區開挖時，避免使用炸藥。

水土保持手冊

工程方法篇

目錄

二. 處理單元.....1
2.1 防砂壩.....1
2.2 梳子壩及開口壩.....18
2.3 固床工.....26
2.4 丁壩.....28
2.5 堤防.....32
2.6 護岸.....36
2.7 整流工程.....39
2.8 土壩.....46
2.9 擋土牆.....62
2.10 土石堆置場.....75
2.11 排水設施.....80
2.12 沉砂池.....95
2.13 滯洪池.....98

表 工-2-1 出水高與排洪量參考表 工-2-4
表 工-2-2 一般基礎之容許承載力 工-2-12
表 工-2-3 基礎之浮力係數 工-2-13
表 工-2-4 安全係數表 工-2-16
表 工-2-5 基礎與混凝土之摩擦係數 工-2-16
表 工-2-6 堤面坡度適用表 工-2-33
表 工-2-7 河幅係數參考表 工-2-41
表 工-2-8 出水高參考值 工-2-41
表 工-2-9 河床坡度與計畫水位高、出水高之比值 工-2-42
表 工-2-10 建議之安全係數表 工-2-65
表 工-2-11 混凝土與土壤之摩擦係數 工-2-65
表 工-2-12 土壤容許承載力 q_a 工-2-66
表 工-2-13 曼寧粗糙係數 n 值 工-2-89
表 工-2-14 最大安全流速(m/s) 工-2-90

圖 工-2-1 重力壩示意圖 工-2-2
圖 工-2-2 水墊工程示意圖 工-2-8
圖 工-2-3 側牆示意圖 工-2-8
圖 工-2-4 主壩、副壩關係示意圖 工-2-9
圖 工-2-5 水壓力作用示意圖 工-2-10
圖 工-2-6 土壓力作用示意圖(一) 工-2-11
圖 工-2-7 土壓力作用示意圖(二) 工-2-12
圖 工-2-8 上揚力作用示意圖 工-2-13
圖 工-2-9 重力式梳子壩各部名稱 工-2-19
圖 工-2-10 重力式開口壩各部名稱 工-2-19
圖 工-2-11 壩翼斜率示意圖 工-2-22
圖 工-2-12 現有固床工改善示意圖 工-2-27
圖 工-2-13 壩體之排列示意圖 工-2-29
圖 工-2-14 砌石面堤示意圖 工-2-32
圖 工-2-15 混凝土面堤示意圖 工-2-33

圖 工-2-16 彎曲段加寬示意圖 工-2-34
圖 工-2-17 混凝土砌石護岸示意圖 工-2-36
圖 工-2-18 混凝土護岸示意圖 工-2-36
圖 工-2-19 鋼筋混凝土護岸示意圖 工-2-37
圖 工-2-20 整流工程設計流程圖 工-2-40
圖 工-2-21 彎曲河道凹岸增高幅度示意圖 工-2-42
圖 工-2-22 彎曲河道河床加高漸變段長度示意圖 工-2-43
圖 工-2-23 主支流合流點下游斷面示意圖 工-2-44
圖 工-2-24 土壩之設計-明渠式溢洪道示意圖 工-2-46
圖 工-2-25 土壩之設計-垂流涵洞式溢洪道示意圖 工-2-47
圖 工-2-26 渠道水躍示意圖 工-2-47
圖 工-2-27 水躍特性形狀與福祿指數之關係圖 工-2-49
圖 工-2-28 水躍長度與 D_2 曲線(靜水池工) 工-2-50
圖 工-2-29 水躍的特性(第一靜水池) 工-2-50
圖 工-2-30 水平護坦尚水躍長度(靜水池一,二,三) 工-2-51
圖 工-2-31 福祿數 $F1 \geqq 4.5$ 工-2-52
圖 工-2-32 福祿數 $F1>4.5$ 工-2-53
圖 工-2-33 福祿數 $F1=2.5\sim4.5$ 靜水池特徵 工-2-54
圖 工-2-34 急流槽及靜水池出水高 工-2-55
圖 工-2-35 豎管示意圖 工-2-56
圖 工-2-36 不同接近水深時，圓形溢頂之係數 C 與 H_0/R_S 之關係豎管示意圖 工-2-57
圖 工-2-37 臥管示意圖 工-2-58
圖 工-2-38 臥管截水牆示意圖 工-2-58
圖 工-2-39 豎管應力計算圖 工-2-59
圖 工-2-40 圓形管應力計算圖 工-2-60
圖 工-2-41 各式擋土牆示意圖 工-2-64
圖 工-2-42 擋土牆背夾角 θ 示意圖 工-2-68
圖 工-2-43 牆與砂土間之摩擦角示意圖 工-2-69
圖 工-2-44 加載荷重土壓分佈圖 工-2-71

圖 工-2-45 H-20 汽車荷重土壓分佈計算例 工-2-72
圖 工-2-46 牆基礎的垂直壓力計算例 工-2-73
圖 工-2-47 山谷土石堆置場示意圖 工-2-76
圖 工-2-48 河岸土石堆置場示意圖 工-2-76
圖 工-2-49 山腹土石堆置場示意圖 工-2-77
圖 工-2-50 平坦地土石堆置場示意圖 工-2-77
圖 工-2-51 各式排水溝示意圖 工-2-88
圖 工-2-52 沉砂池示意圖 工-2-95
圖 工-2-53 沉砂池水流流向示意圖 工-2-96
圖 工-2-54 乾式滯洪池（濕式滯洪池則無低流量孔口） 工-2-100
圖 工-2-55 滯洪壩正面示意圖~~出口形式（矩形及圓形） 工-2-100

二. 處理單元

2.1 防砂壩

2.1.1 定義

為攔蓄河道泥砂、調節泥砂輸送、穩定河床及兩岸崩塌、防止侵蝕、沖蝕、抑止土石流所構築高度五公尺以上之橫向構造物。

2.1.2 目的

1. 攔阻或調節河床砂石。
2. 減緩河床坡度，防止縱橫向沖蝕。
3. 控制流心，抑止亂流，防止橫向沖蝕。
4. 固定兩岸坡腳，防止崩塌。
5. 抑止土石流，減少災害。

2.1.3 種類及適用範圍

1. 依構造或材料分類

(1)土壩

適用於流域面積小、逕流量小、壩址地質條件較差、現場或附近有豐富可利用之土石材料者。

(2)木壩

林木豐富、交通不便、逕流量小、臨時搶修之小型構造物適用之。

(3)蛇籠壩

適用於荒廢小侵蝕溪流、交通不便或地滑地區、臨時搶修等。

(4)堆石壩

適用於現場或附近有豐富之可利用塊石材料、臨時搶修等。

(5)混凝土壩

適用於逕流或規模較大，且具永久性治理效能之構造物。

(6)鋼筋混凝土壩(含半重力式鋼筋混凝土壩)

利用鋼筋拉力特性以節省材料運送費用，增加效能之構造物適用之。

(7)卵石混凝土壩

適用現場或附近有豐富之可利用卵石材料者。

(8)格籠壩

適用於逕流量不大、地質條件較差、施工期間短，為透水型之永久性構造物。

(9)梳子壩

適用於發生土石流溪流，利用其透過性，經常保持貯砂容量，以備攔阻土石流之快速流動及粗大粒徑砂石。(註：另詳 2.2 梳子壩及開口壩)

2. 依壩型之分類：

(1)重力壩

(2)拱壩

(3)半重力壩

(4)透過型壩

2.1.4 圖說

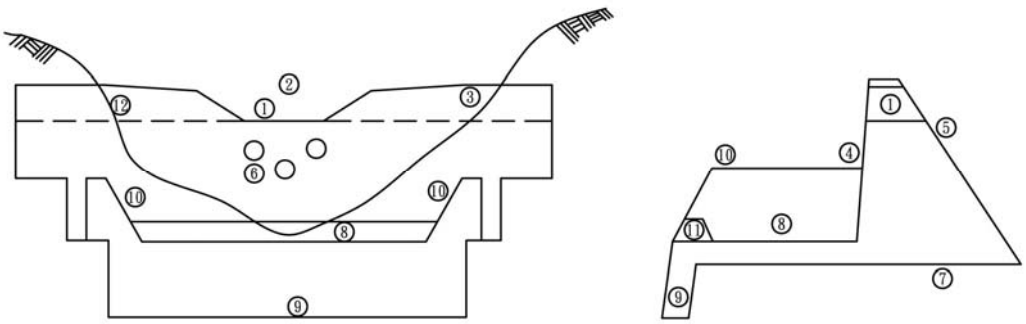


圖 工-2-1 重力壩示意圖

①有效壩頂寬	②溢洪口	③壩翼
④壩體下游坡面	⑤壩體上游坡面	⑥排水孔
⑦壩底	⑧護坦、水墊	⑨截水牆
⑩側牆	⑪尾檻	

2.1.5 設計原則

1. 位置之選定

防砂壩之位置，應依構築目的選定之。

(1)為固定崩塌地之坡腳，或溪流侵蝕引起崩塌者，以在其下游設置為原則。但崩塌地點順著溪流距離較長，或河床坡度較陡者，常需二座以上之壩工。

(2)溪流縱向或橫向侵蝕嚴重之區域，或兩岸崩塌距離較長者，則在侵蝕崩塌區間內設置連續性壩。

(3)連續性防砂壩，最下游之壩址，溪床應為岩盤，否則應加強其下游河床保護。

(4)對抗縱向侵蝕，以安定河床為目的者，應在河床刷深處或深處下游點設置。

(5)溪流彎曲部之下游，具有侵蝕山腳、溪流寬大易生亂流者，在區間內以固床工及整流工控制流心。

(6)攔蓄砂石為目的者，選在河寬較狹、其上游寬闊、河床坡度平緩之地點。

(7)為避免防砂壩興建後，下游產生沖刷或危及壩身之安全，壩址以在河床及兩岸均為岩盤者為佳，但不得已必須興建在砂礫層上時，應加強其防護設施。

(8)在合流點，為安定主流及支流雙方之溪床，則以設置在合流點略下游為佳。

2. 壩軸方向

(1)直線河段之壩軸應與洪水時流心線垂直。

(2)壩址避免選在河道彎曲部，不得已時壩軸應與洪水流心線之切線垂直，並加強壩翼之保護。

3. 計畫淤砂坡度

一般採用原河床坡度 1/2～2/3，河床粒徑粗大者採用 2/3，粒徑較小者用 1/2，砂或泥岩之河床則採用接近水平或水平之計畫淤砂坡度。

4. 高度

壩高之決定應以築壩之目的、淤砂坡度、壩址兩岸及上游地區之狀況，選定最經濟有效之高度。

(1)壩高之決定應依壩址之地質狀況選定之。

(2)壩高之決定應參照上游淤砂範圍內土地利用狀況選定之。

(3)為防止崩塌地坡腳及既有工程構造物基礎受侵蝕為目的者，壩之高度以其淤砂線足以保護崩塌地之坡腳及構造物之基礎為原則。

(4)以攔蓄砂石為目的者，應參照壩址之地形、地質及上游淤砂範圍內之現況，選定經濟有效之壩高。

5. 溢洪口

(1)位置

原則上其中心點應在河床中央位置，並參照壩址上下游地形、地質、河岸狀況、水流方向等因素予以選定，以不引起下游河岸沖刷崩塌為首要條件。

①兩岸及河床為良好之岩盤者，可不設壩翼。

②兩岸基岩性質不同，或一岸為非岩盤時，溢洪口應偏向堅硬岩盤岸。

③溢洪口之設置，應使水流遠離崩塌地。

(2)形狀

矩形、梯形、拋物線形。

①溢洪口之形狀，一般採用底部水平之梯形斷面，兼有其他用途者得依其需要設計之。

②河幅寬闊、河床淤積嚴重、溢洪口上游有淤積砂石助長亂流時，宜設計複式斷面。

(3)斷面

斷面之大小以能充分渲洩設計洪水量為準，溢洪口斷面之底寬在容許範圍內儘量放大。

①出水高依其計畫洪水量定之，一般在 0.6 公尺以上。為考慮土石流、流木、河床斷面...等，設計斷面應加大 30%～50%。

表 工-2-1 出水高與排洪量參考表

排洪量 m^3/s	未滿 200	200-500	500 以上
出水高 m	0.6	0.8	1.0

②溢流水深一般情形宜小於 3 公尺，良好岩盤基礎時 4 公尺。

(4)計算

①設計洪水量之計算採用 50 年一次洪水頻率為原則，其計算方法參考附錄。

②常用計算公式

a.矩形斷面

$$Q = 1.767bh^{3/2}$$

式中

Q：排洪量(cms)

b：溢洪口底寬(m)

h：溢流水深(m)

b.梯形斷面

$$Q = \frac{2}{15}(2b_u + 3b_o)ch\sqrt{2gh}$$

式中

b_u：梯形頂寬(m)

h：溢流水深(m)

b_0：梯形底寬(m)

g：重力加速度 9.8 m/sec^2

Q：排洪量(cms)

C：流量係數以 0.6 計。

梯形兩邊斜率為 1：1

$$Q = (1.77b_0 + 1.42h)h^{3/2}$$

梯形兩邊斜率為 1：0.5

$$Q = (1.77b_0 + 0.71h)h^{3/2}$$

(5)溢洪口之保護：

為避免溢洪口底面之磨損或破壞，可採用高強度混凝土、鋼軌、鋼板等保護或以特殊設計方法加以保護。

6. 壩翼

(1)頂面

壩翼應嵌入兩岸岸壁內。有下列情況者，壩翼斜度應等於或大於計畫淤砂坡度，向上斜嵌入兩岸岸壁(以 V：H=1：10 為原則，壩翼長度超過 20 公尺部分，得採較緩坡度，最小不低於 1：20)。

①有大規模之土石流流下。

②壩址上游有崩塌地及流木。

③壩址在河流之彎曲部。

(2)高度

壩翼高度為溢流水深加出水高，遇凹岸時壩翼應予加高，其計算公式如下：

$$\Delta h = 2.3\frac{V^2}{g}(\log R_2 - \log R_1)$$

式中

Δh：加高高度(m)

R_1：凸岸曲率之半徑(m)

R_2：凹岸曲率之半徑(m)

g：重力加速度(m/sec^2)

V：流速(m/sec)

(3)嵌入深度

壩翼嵌入深度，視兩岸地質決定之。岩盤為 1～2 公尺，砂礫層、崩積土層為 3 公尺以上(與坡面垂直方向)，回填處應加強保護。

兩岸地質條件不同，則地質條件較差之一岸，其壩翼應加高。

7. 排水孔

排水孔具有減輕滲透水壓、調節流出土砂量之功能，並兼有部分施工中排水之效果。惟欲設置魚道或細顆粒河床質溪流不宜設之。

(1)排水孔底層沿河床高度排設，頂層至少應離溢洪口下 1.5～2 公尺，其範圍不得超過溢洪口頂寬。

(2)數個排水孔之設置，其排列形狀應呈三角狀，排水孔之間隔距離為 2～3 公尺。

(3)排水孔之形狀有圓形、四方形、馬蹄形，一般採用孔徑 30～60cm 之圓形涵管。

8. 消能設施

為一種保護壩址安全之構造物，一般以靜水池(水墊)、護坦、副壩等工程保護，必要時在截水牆下游再加拋石、混凝土塊等防止沖刷。

(1)水墊工程

一般溢流水頭較高，壩高在七公尺以上，下游河床組織易被沖刷者，設置水墊工程較有效。

①長度：一般經驗公式

$$L = c(H + h - n \times H)$$

式中

H：水墊至溢口之高度(m)

h：溢流水深(m)

n：壩體下游面坡度

c：係數 1.5～2

L：水墊長度(m)

一般設計 c 值，高壩(15m 以上)採用 1.5 倍，低壩(15m 以下)採用 2 倍。

②厚度：水墊厚度之決定，一般均採用下列標準：

H+h＜10m 時，d=0.5～1.0m。

H+h=10～15m 時，d=1.0～1.2m。

H+h>15m 時，以下列經驗公式求得 $d = \alpha(0.6H + 3h - 1.0)$

式中

d ：水墊厚度(m)

α ：係數≒0.1～0.2(有靜水池時採 0.1，無靜水池時採 0.2)

H ：水墊至溢口之高度(m)

h ：溢流水深(m)

③坡度：水墊以水平為原則。

④尾檻

尾檻之高度目前尚無理論公式可供參考，一般採用經驗或尾檻高度為主壩高之 20%，即 $h' = 0.2H$ 。

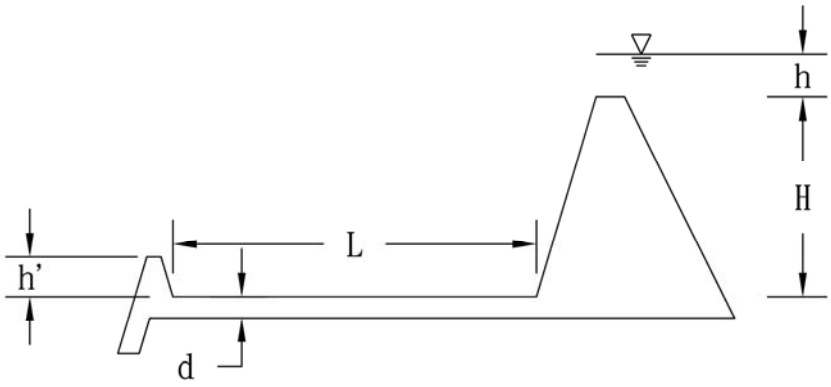


圖 工-2-2 水墊工程示意圖

⑤截水牆

水墊尾端應設置截水牆，其厚度以 0.5～1.0 公尺為準，牆兩端應深入河床兩岸或安全地區，或預估下游溪床下降情況決定其深度。

⑥側牆

水墊部分之兩岸地質軟弱，或擬利用水墊控制流心者，應設置側牆。

a.高度

側牆末端之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

側牆之基礎應在溢洪口頂點垂線之外側約 0.5 公尺。

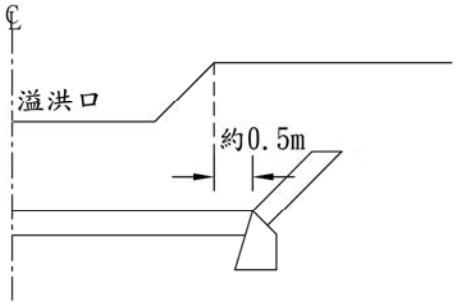


圖 工-2-3 側牆示意圖

(2)護坦工程

一般溢流水頭較低、壩高在七公尺以下及河床質易被沖刷者，設置護坦工程比較經濟有效。其長度、厚度、坡度、截水牆、側牆高度及與壩體之連接部等參考水墊工程。溪床坡度較大者，可沿溪床施設，其長度按下式計算。

(3)副壩

河川流量大、河床質粒徑粗大、地質良好之處，為防止防砂壩主壩壩趾被淘刷所設之低壩。

①構造：可參考主壩設計。

②重疊高：

副壩與主壩之重疊高，參照下列經驗公式計算：

H'=重疊高=(1/3～1/4)H

L=主副壩間隔距離=(1.5～2.0)(H－h)

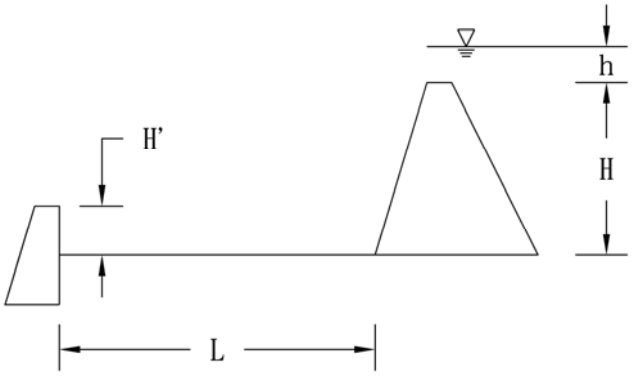


圖 工-2-4 主壩、副壩關係示意圖

9. 壩體作用力

對防砂壩之作用力包括壩體自重、水壓力、土砂壓力、基礎承載力、上揚力、地震力、膨脹收縮力、土石流之衝擊力等。

(1)自重

壩體之自重，依壩體構築材料單位重量計算之，混凝土之單位重量，一般採用 2.3～2.4t/m^3。

(2)水壓力

以作用於壩體上游面之靜水壓為主，動水壓僅做為決定壩頂寬之參考。靜水壓之計算公式如下：

①壩體上游垂直，無溢流水深時之水壓：

A 點水壓為零；B 點水壓為 $\gamma_w H$，作用於壩體之水壓為 $P_w = ½\gamma_w H^2$，作用點 $h_c = H/3$

②壩體上游面垂直，有溢流水深時之水壓：

$$P_w = \frac{1}{2}[\gamma_w h + \gamma_w (h+H)]H = \frac{1}{2}\gamma_w H^2\left(1+\frac{2h}{H}\right)$$

$$h_c = \frac{H}{3}\frac{H+3h}{H+2h}$$

③壩體上游面傾斜，有溢流水深時之水壓：

$$P_w = \frac{1}{2}[\gamma_w h + \gamma_w (h+H)]CD$$

$$CD = \sqrt{H^2 + (mH)^2} = H\sqrt{1+m^2}$$

$$P_w = \frac{1}{2}[\gamma_w h + \gamma_w (h+H)]H\sqrt{1+m^2} = \frac{\gamma_w}{2}H(2h+H)\sqrt{1+m^2}$$

$$h_c = \frac{H}{3}\frac{H+3h}{H+2h}$$

水平分力 $P_{wH} = \frac{1}{2}\gamma_w H(H+2h)$

垂直分力 $P_{wV} = \frac{1}{2}\gamma_w mH(H+2h)$

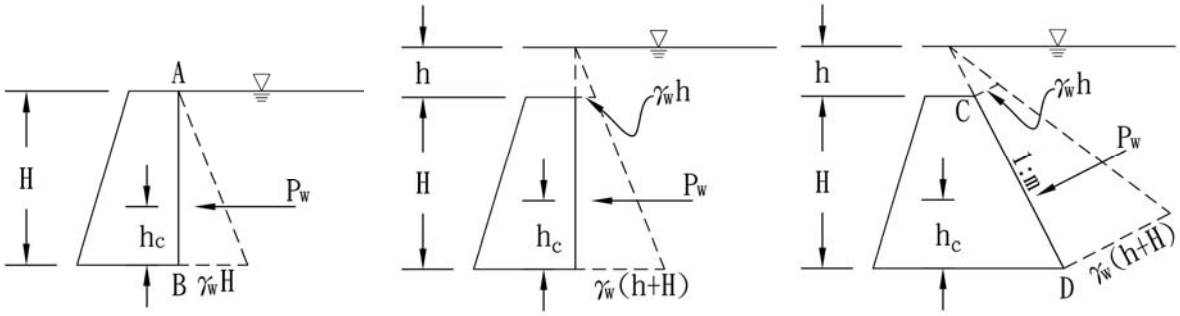


圖 工-2-5 水壓力作用示意圖

(3)土砂壓力

係指壩後淤積土砂對壩上游面之主動壓力，其計算公式如下：

①壩上游面垂直，淤砂坡度為 α 時，土壓力 $E = \frac{K\gamma_s H^2}{2}$

式中

γ_s：土單位重(t/m^3)

K：土壓係數

於上式，主動土壓力時$K=K_a$，被動土壓力時$K=K_p$

$$K_p=\cos\alpha\frac{\cos\alpha-\sqrt{\cos^2\alpha-\cos^2\phi}}{\cos\alpha+\sqrt{\cos^2\alpha-\cos^2\phi}}$$

$$K_p=\cos\alpha\frac{\cos\alpha+\sqrt{\cos^2\alpha-\cos^2\phi}}{\cos\alpha-\sqrt{\cos^2\alpha-\cos^2\phi}}$$

式中

ϕ：土砂內摩擦角(一般採用安息角代之)此時土壓之方向與地面平行，其作用點在壩上游面由壩底向上H/3 處。若淤砂面為水平，即α=0 時

$$K_a=\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}=\tan^2\left(45^\circ-\frac{\phi}{2}\right)$$

$$K_a=\frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}=\tan^2\left(45^\circ+\frac{\phi}{2}\right)$$

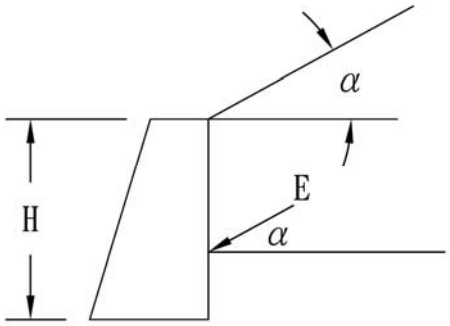


圖 工-2-6 土壓力作用示意圖(一)

②若壩後淤砂坡度等於安息角時，即$\alpha=\phi$時，

$K_a=K_p=\cos\phi$

壩上游面傾斜，游砂坡度為α時作用於ＢＣ之土壓力Ｅ′可由$E'=K\gamma_s H^2/2$ 求得，但作用於壩面ＡＢ之土壓力及方向，可由Ｅ′與△ＡＢＣ內之土石重量W_s之合力求得，其合力Ｅ之大小、方向及作用點，可由作圖法簡單求出。惟一般為方便檢算則再將土壓分成水平與垂直兩力。

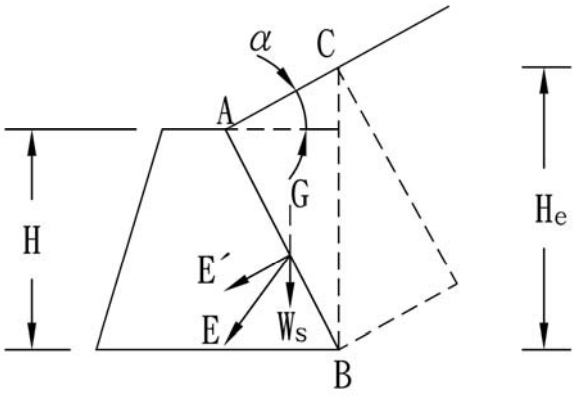


圖 工-2-7 土壓力作用示意圖(二)

(4)基礎承載力

壩體作用於基礎之力量應小於基礎容許之承載力。構築高壩時基礎承載力應由調查試驗分析決定之。表工-2-2 之容許承載可供參考。

表 工-2-2 一般基礎之容許承載力

基礎種類	容許承載力(t/m^2)
軟粘土	10
普通粘土	20
硬粘土	40
鬆細砂	10
壓實細砂	30
鬆粗砂	30
鬆砂石混合物或卵石	40
壓實砂石混合物或卵石	50
硬岩	100
強固頁岩	100
花崗岩	450

(5)上揚力

上揚力係水滲透經過壩底所產生之向上作用力，可使壩體之有效重量減輕。其公式如下：

$$U = C\frac{h_1 + h_2}{2}B\gamma_w$$

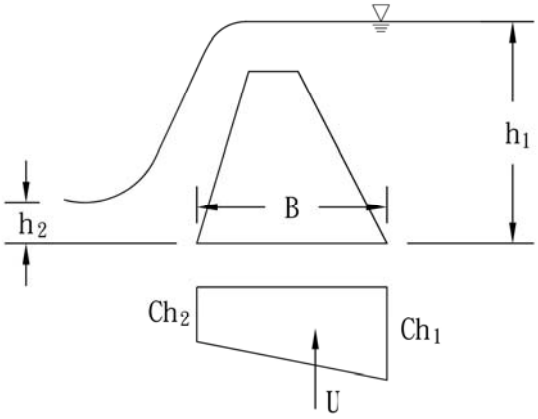


圖 工-2-8 上揚力作用示意圖

式中

U：浮力

h_1：壩上游水深(m)

h_2：壩下游水深(m)

B：壩底寬度(m)

C：浮力係數(0.2～0.7)

γ_w：水之單位重量(t/m^3)

表 工-2-3 基礎之浮力係數

基礎種類	浮力係數 C
軟粘土	0.6
普通粘土	0.5
硬粘土	0.4
鬆細砂	0.7
壓實細砂	0.6
鬆粗砂	0.7
鬆砂石混合物或卵石	0.6
壓實砂石混合物或卵石	0.5
硬岩	0.3
堅硬頁岩	0.25

(6)地震力

地震發生時對防砂壩之影響，以下分為兩點討論：

①壩體受地震水平加速度產生之水平推力

$$P_e = K_E W$$

$$K_E = \frac{a}{g} = 0.115或0.165$$

式中

P_e：地震直接影響壩體之水平地震力

W：壩體重量

K_E：水平地震力係數

註：地震之水平加速度：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_E=0.165，及「地震乙區」K_E=0.115。

②壩體所受之土壓力(物部與岡部公式)

在有地震力之情況下壩體所受之主動土壓力，可由下式求得：

$$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma_s H^2 (1-k_v) K_a{}'$$

$$K_a{}' = \frac{\cos^2(\phi-\theta-\overline{\beta})}{\cos^2\theta\cos\overline{\beta}\cos(\delta+\theta+\overline{\beta})\left\{1+\left[\frac{\sin(\delta+\phi)\sin(\phi-\alpha-\overline{\beta})}{\cos(\delta+\theta+\overline{\beta})\cos(\theta-\alpha)}\right]^{1/2}\right\}^2}$$

$$\overline{\beta} = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$$

式中

P_{ae}：每單位牆厚所受之主動土壓力

γ_s：顆粒土壤之單位重

ϕ：顆粒土壤之摩擦角

θ：牆背面與土之摩擦角

H：上游河床面距離壩底之高

K_h：橫向慣性力

K_v：縱向慣性力

註：上式通常稱之為物部與岡部公式(Mononobe-Okabe)。建議在設計時，K_v 可為 0，K_h=K_E =0.115~0.165，牆背面與土之摩擦角 δ 可為 $0^o, \frac{1}{2}\phi, \frac{2}{3}\phi$。

(7)膨脹力、收縮力

台北地區溫差變化不大，可省略，或以伸縮縫克服之。

(8)土石流之衝擊力

①在崩塌地附近的防砂壩，可能受到土石流之衝擊，故必需考慮土石流之衝擊力。

②不僅溢洪口部份受此壓力，壩翼部份亦應包括在內。

一般防砂壩高度在 7 公尺以下者，考慮實際荷重狀況，並將水之單位重量提高為 1.1 至 1.2 t/m^3 計算之，(5)(7)兩項不計列；壩高超過七公尺或較大河川之防砂壩，應將上項因數加入檢討。

10.壩體斷面

(1)有效壩頂寬

①以壩高分

壩高 (H)	壩頂寬(b)
H＜5m	b=1.2～1.5m
5m≦H＜10m	b=1.5～2.0m
10m≦H	b=2.0～3.0m

②以地況分

地況	壩頂寬(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=2.0～4.0m

(2)下游面斜率

為防止砂石之衝擊壩體下游面及基腳，其斜率採用 1：0.2 至 1：0.3。

(3)斷面之決定

重力式壩安定計算之一般式，使作用在壩體之外力與自重之合力作用點，能夠在壩體底寬之中間 1/3 範圍之處，即壩底下游端 1/3 處之力矩等於零為條件。

11.重力式壩之安全檢討：防砂壩若為重力式壩，需滿足下列三個條件

(1)傾倒之安全檢討

以壩底之下游端為軸不傾倒，即壩體自重力及外力之合力點，應在壩底之中間 1/3 範圍以內。

(2)滑動之安全檢討

壩體內部任何一點均不能發生滑動，即摩擦抵抗力必需大於水平分力。其安全係數(摩擦力比水平力)F.S 如表 工-2-4；一般容許摩擦係數(μ)如表 工-2-5。

表 工-2-4 安全係數表

有效壩高	安全係數 F.S
H=10m 以下	F.S=1.10～1.25
H>10m 以上	F.S=1.15～1.50

表 工-2-5 基礎與混凝土之摩擦係數

基礎物料	混凝土在土壤上之摩擦係數 μ 值
堅固岩盤	0.7
卵石及粗砂	0.55~0.60
乾砂	0.45~0.55
被圍濕細砂	0.3~0.4
砂與粘土混合物	0.4~0.5
粘土	0.3

(3)內部應力檢討

壩體內部產生之最大應力，必須在容許應力以內，壩體以不產生張應力為原則。

①基礎地盤十分堅固者

d=L/3 時之斷面最為理想。

d＞L/3 時之斷面較為安全。

d＜L/3 時壩體上游面將產生張力，為不安全之斷面。

② δ_1 值比基礎之容許承載力大時，壩基可能產生沉陷，δ_1 值亦應小於混凝土之設計強度。

③壩基承載力之檢討

壩基承載力必需大於壩體內部產生之最大應力。其安全檢討一般採用防砂壩淤滿前及淤滿後，於最大洪水及地震分別發生下之安全性，應大於基礎承載力。

2.2 梳子壩及開口壩

2.2.1 定義

在土石流或土砂流量較高之溪流，為減少大量土砂流出致災，而將防砂壩壩體加以改良，其中壩體設計成狀似梳子型態者，謂之梳子壩；壩體設計成單一矩形或倒梯形切口型態者，謂之開口壩。梳子壩及開口壩均屬透過型壩，在一般山地洪流時，水流及土砂得以穿越壩體，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通過時，可適時發揮攔阻土砂和延遲流出時間之效果。

2.2.2 目的

1. 攔阻土石流或巨大岩塊，減少流出土砂量。
2. 調節土石流及高含砂流之土砂輸出量。
3. 延遲土石流或高含砂流流出扇狀地之時間。
4. 防止溪床堆積物移動。
5. 將土石流轉化成為土砂流。

2.2.3 種類及適用範圍

1. 依構造或材料分類
   (1)混凝土壩—適用於土石流規模較大或發生頻率較高之溪流，為具有永久性攔阻土砂功能之構造物。
   (2)鋼筋混凝土壩(含半重力式鋼筋混凝土壩)—利用鋼筋拉力特性以節省材料運送費用，增加效能之構造物適用之。
   (3)卵石混凝土壩—適用現場或附近有豐富之可利用卵石材料者。
   (4)鋼管混凝土壩—適用於土石流規模小、粗大石礫含量少、容許簡易、快速施工之溪流。
2. 依壩型分類
   (1)重力式壩
   (2)半重力式壩
   (3)懸臂式壩

2.2.4 圖說

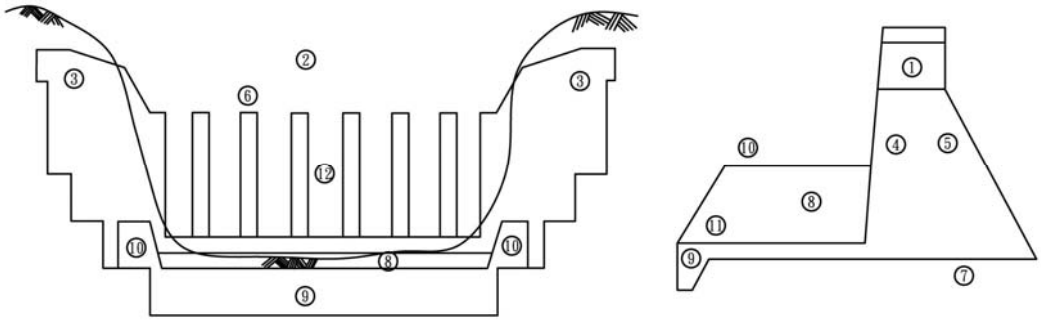


圖 工-2-9 重力式梳子壩各部名稱

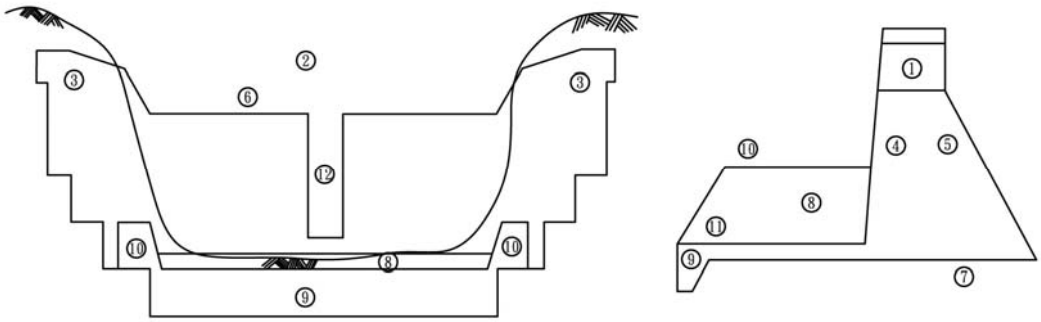


圖 工-2-10 重力式開口壩各部名稱

①有效壩頂寬	②溢洪口	③壩翼
④壩體下游坡面	⑤壩體上游坡面	⑥壩體
⑦壩底	⑧護坦、水墊	⑨截水牆
⑩側牆	⑪尾檻	⑫壩體開口寬度

2.2.5 設計原則

1. 位置選定

(1)壩址選定可依照一般重力式防砂壩壩址選定原則。

(2)以攔蓄土砂為主時，須有較大貯砂容積相配合，故宜選在溪流寬闊且溪床坡度平緩之河段。

(3)以減緩土石流流動勢能為主時，壩址宜選定於流動段；惟因土石流具有直進性，宜選定在彎道尾段或開闊地段，借助地形消能，減輕土石流對壩體的直接撞擊；若在順直河段上設壩時，應注意土石流衝擊力對壩體之影響。

(4)土石流發生段不宜作為梳子壩或開口壩之壩址，除了坡度太陡，無法提供足夠的容積攔蓄土石外，由於土石流遭壩體攔截掉部分粗顆粒泥砂後，受到溪床坡度影響，其沖刷侵蝕能力會增大，仍可沿程沖刷侵蝕溪床堆積物恢復其濃度，而可能促成另一波土石流的發生。

(5)開口壩整體開口寬度較梳子壩小，對水流之阻滯性高於梳子壩，容易產生束水攻砂之現象，其下游保護工設計如有不慎，可能會引起床面泥砂之激烈沖刷，進而影響壩體之安定，除非是開口壩負有滯洪功能，且其下游具有良好之地質條件或保護措施，可以考慮設置外，開口壩是比較不適用於流量較大之溪流條件；反之，梳子壩總開口寬度(或稱狹縫密度，slit density)高達 50%以上，對水流阻滯程度遠低於開口壩，水流在壩體及其下游處所引起之局部加速現象，對溪床影響易於控制，故在壩址選定上，梳子壩適用於流量較大之溪流條件。

(6)配合下游堆積區沉砂池之導流渠道，於沉砂池下游出口處可構築梳子壩或開口壩。

(7)若為便於維護和清除淤砂，以維持壩上游貯砂容積，壩址宜選在交通便利之地點。

2. 壩軸方向

(1)直線河段之壩軸應與流心線垂直。

(2)壩址避免選在河道彎曲部，不得已時壩軸應與流心線之切線垂直，並加強壩翼之保護。

3. 計畫淤砂坡度一般採用原河床坡度 1/2～2/3。

4. 高度

壩高決定應以築壩目的、計畫淤砂坡度、壩址兩岸及上游地區狀況等因素，選定最經濟有效之高度。

(1)壩高之決定應依壩址地質狀況選定之。

(2)壩高之決定應參照兩岸岸坡高度及上游計畫淤砂範圍內土地利用狀況選定之。

(3)以攔蓄砂石為目的者，應參照壩址地形、地質及上游淤砂範圍內之現況，選定經濟有效之壩高。

5. 溢洪口

(1)位置

原則上其中心點應在河床中央位置，並參照壩址上下游地形、地質、河岸狀況、水流方向等因素予以選定，以不引起下游河岸沖刷崩塌為首要條件。

(2)形狀

①梯形、矩形、拋物線形。

②考慮壩體淤滿後溢洪口排洪及排導土石流之功能，溢洪口形狀宜採用底部水平之梯形斷面，若河幅寬闊時，亦可採用複式斷面設計，兼有其他用途者得依其需要設計之。

(3)斷面

①斷面之大小以能充分渲洩土石流或洪水設計流量為準，溢洪口斷面之底寬在容許範圍內儘量放大。

②出水高度一般在 0.6 公尺以上，如集水面積大，礫石粒徑大或接近崩塌地應予以加大。

③溢流水深一般情形宜小於 3 公尺，良好岩盤基礎時 4 公尺。

(4)斷面計算

以土石流流量作為溢洪口斷面設計流量為原則。土石流流量可由清水流流量及泥砂體積濃度推估，即：

$$Q_D = \frac{C_*}{C_* - C_D} Q_P$$

式中

Q_D=土石流流量(cms)

C_*=溪床面堆積土體之泥砂體積濃度(%)

Q_P=清水流量(cms)

C_D=平衡泥砂體積濃度公式，可表示為

$$C_D = \frac{\gamma_w \tan\theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\phi - \tan\theta)}$$

式中

ϕ=泥砂內摩擦角，與泥砂特性及其緊密程度相關，其值介於 26°～48°之間

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(=1.0g/cm^3)

(5)溢洪口之保護

為避免溢洪口底面之磨損或破壞，可採用高強度混凝土、鋼軌、鋼板等保護或以特殊設計方法加以保護。

6. 壩翼

(1)頂面

壩翼應嵌入兩岸岸壁內，且壩翼斜度應等於或大於計畫淤砂坡度，向上斜至兩岸再以水平嵌入岸壁，惟壩翼斜度不得小於 5%。

(2)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。

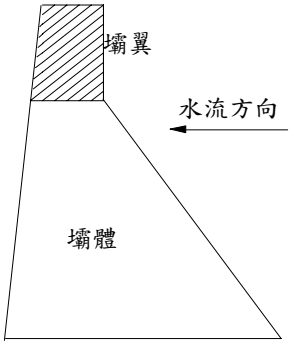


圖 工-2-11 壩翼斜率示意圖

(3)高度

壩翼高度為壩頂至壩翼頂部間之高度。遇凹岸時壩翼應予加高其計算公式如下：

$$\Delta h = 2.3\frac{V^2}{g}(\log R_2 - \log R_1)$$

式中

Δh：加高高度(m)

R_1：內曲岸之半徑(m)

R_2：外曲岸之半徑(m)

V：土石流流速(m/sec)

(4)嵌入深度

壩翼嵌入深度，視兩岸地質決定之。岩盤為 1～2 公尺，砂礫層、崩積層為 3 公尺以上(與坡面垂直方向)，回填處應加強保護。

(5)兩岸地質條件不同，則地質條件較差之一岸，其壩翼應加高。

7. 消能設施

(1)參考防砂壩篇。

(2)透過性防砂壩在未淤積土石之前，壩體因阻礙水流，導致動能增量而造成束水攻砂的水平射流沖刷現象，惟當壩體淤滿後，其下游溪床沖刷與傳統重力式防砂壩相同，均屬跌水沖刷，故消能設施除了可以依照傳統防砂壩施作外，亦可採用與床面齊平或略高於床面之系列固床工。

8. 壩體作用力

對梳子壩及開口壩之作用力包括壩體自重、水壓力、土砂壓力、基礎承載力、上揚力、地震力、膨脹收縮力、土石流衝擊力等。其中，壩體自重、水壓力、土砂壓力、基礎承載力、上揚力、地震力及膨脹收縮力等可參照防砂壩篇，而在土石流衝擊力方面，應分別考慮巨礫衝擊力及流體衝擊力。

(1)土石流巨礫衝擊力

$$P_d = 20.2V^{1.2}D_e^{\ 2}$$

(此公式係數介於 20~50，本章節採用 20.2，附錄的設計例所採用的係數為 50)。

式中

P_d=土石流巨礫衝擊力(t)

D_e=土石流設計粒徑(m)

(2)土石流流體衝擊力

$$P_f = \frac{\gamma_m}{g} h_d V^2$$

式中

P_f=土石流流體衝擊力(t/m)

γ_m=土石流體單位重量(t/m^3)

h_d=土石流流深(m)

9. 壩體斷面

(1)有效壩頂寬(b)

b=2.5m～4.0m。

(2)下游面斜率

為防止砂石之衝擊壩體下游面及基腳，其斜率採用 1：0.2 至 1：0.3。

(3)上游面斜率

壩體上游面斜率應配合壩體安定檢算選取適當斜率，使壩體斷面既符合經濟亦能抵擋土石流衝擊力。

(4)壩柱寬度

考慮土石流衝擊力之影響，梳子壩壩柱寬度以不小於 2.0 公尺為原則。

(5)開口寬度

壩體開口受壩址地形條件、下游河道自然輸砂能力、橋涵斷面、最大輸送粒徑等因素綜合影響，一般以等開口寬度設計，可按下式設計，即：

$$b_o = (1.5 \sim 2.0) D_e$$

式中

b_o=梳子壩或開口壩開口寬度(m)

D_e=土石流設計粒徑(m)

(6)土石流設計粒徑的取樣可依下述原則進行

①在土石流溪流下游堆積區上量測 50 個以上曾參與運動的大礫石的平均粒徑；量測方法可測量三軸向長度或用重量法換算。

②在預定壩址上游約 5 至 10 倍河道寬度的範圍內，量測 150 個以上的大礫石群(不包括零星巨礫)的三軸向長度。

10. 系列壩

通常土石流或高含砂流溪流之坡度普遍陡峭，壩體上游貯砂空間有限，難以僅由單一壩工可以阻斷土石流之發展，故必須視河溪狀況得設置系列壩工(包括透過型及非透過型壩)。

11. 壩體保護

為避免壩體受土石流直接衝擊而損毀，宜採用適當緩衝材料以緩和土石流之衝擊力。如卡車廢輪胎，胎內可填現場砂石，但不得填混凝土。

12. 安全檢討

參考附錄懸臂式梳子壩設計例。

2.3 固床工

2.3.1 定義

固床工為一個橫向構造物，可以與河床齊平或略高於河床面，同時常採用連續施設方式而構成一系列固床工，以擴大河道的保護區段。

2.3.2 目的

1. 有效抑制河床面泥沙的輸移，防止河床產生嚴重沖刷現象。
2. 可以緩和床面及兩岸的流速，具有整流、導流、減緩沖刷、調整河床坡度等功能。

2.3.3 種類及適用範圍

系列式固床工：依據階梯狀河床之原理，使水流通過時能逐層作跌水消能。

2.3.4 設計原則

1. 位置之選定

(1)河床沖刷之河段，或有可能被沖刷地點之下游。

(2)沖蝕地區如屬主支流合流處，應選定在合流點之下游處。

(3)以保護構造物之基礎為目的者，應選定在構造物之下游處。

(4)河岸崩塌或地滑處，應選定在其下游處。

(5)固床工盡量採複式斷面施作，以控制流心並且方便魚類迴游。

(6)下凹處並向下游傾斜約 10%，更利於魚類上溯。

2. 固床工間距及坡度

詳細請參照 2.7 整流工程。

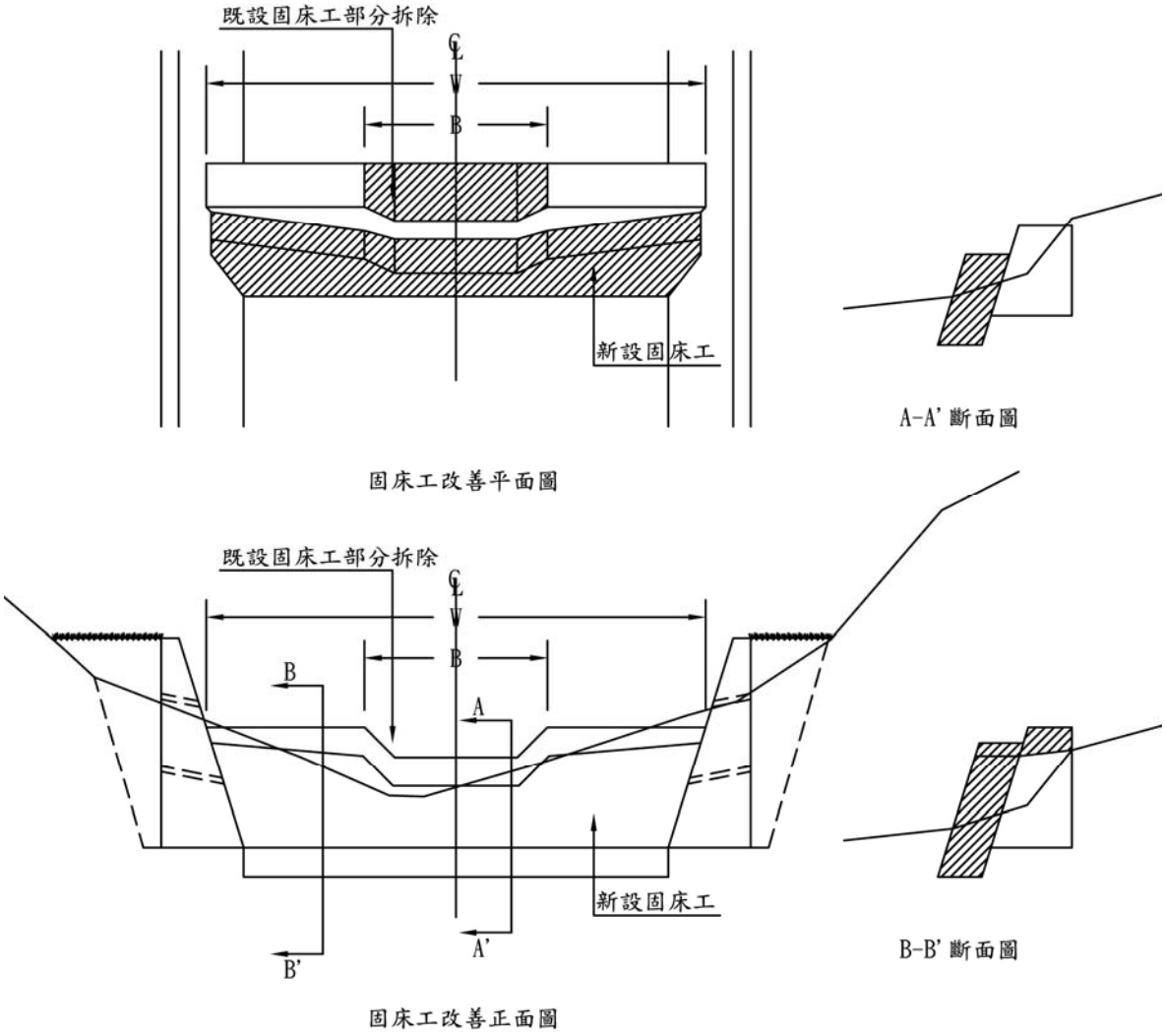


圖 工-2-12 現有固床工改善示意圖

2.4 丁壩

2.4.1 定義

由河岸向河心方向構築，藉以達到掛淤、造灘、挑流或保護河岸之構造物。

2.4.2 目的

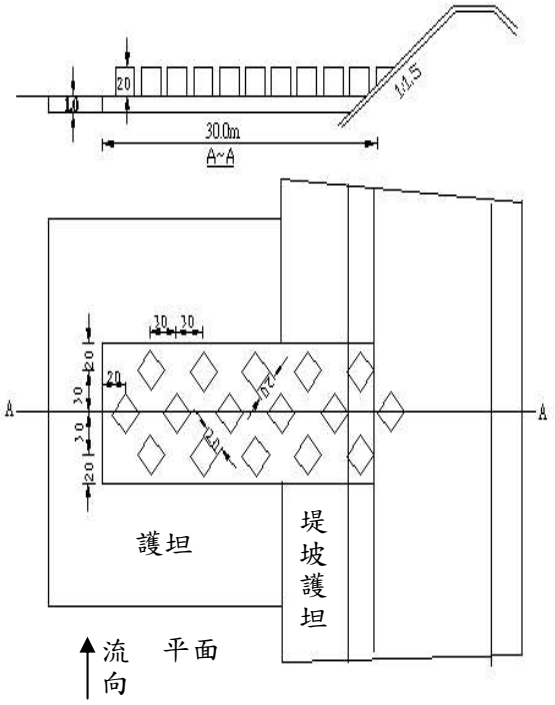
1. 改變水流流向，保護河岸。
2. 建立正常河寬，疏導河道。
3. 誘聚河灘堆積物，建立新河岸。

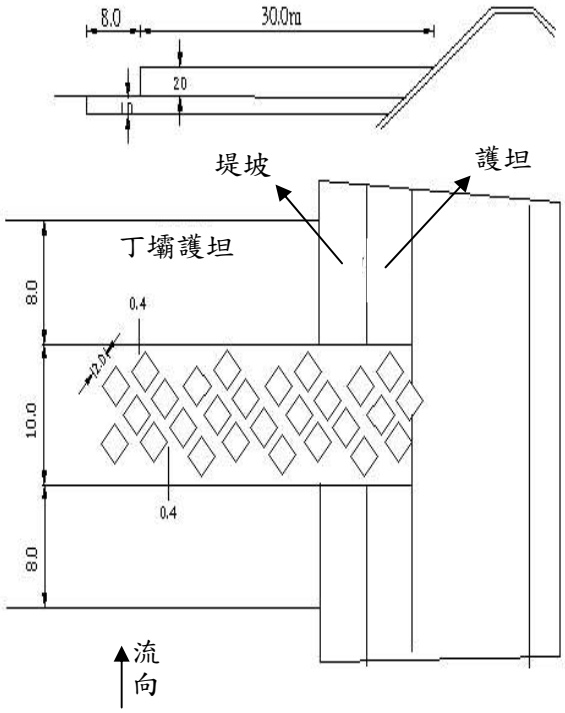
2.4.3 種類及適用範圍

1. 混凝土丁壩：滾石撞擊力強，地形變更較緩處。
2. 鉛絲蛇籠丁壩：沖刷力特強，地形極易沖刷處。

2.4.4 圖說

1. 混凝土丁壩
2. 鉛絲蛇籠丁壩





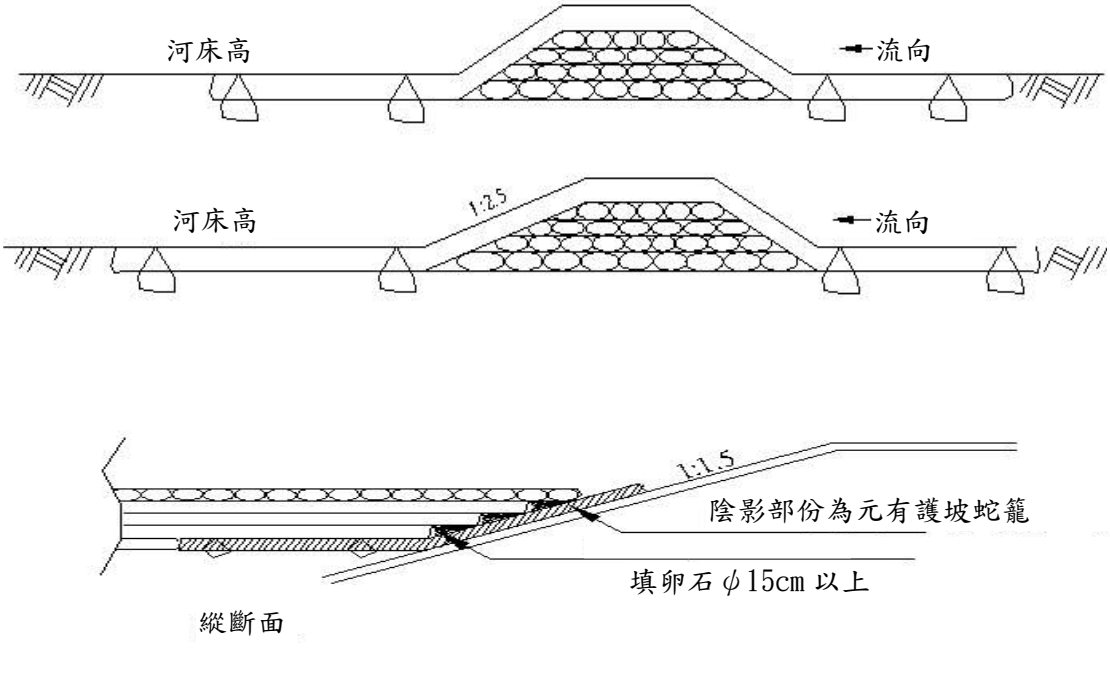


圖 工-2-13 壩體之排列示意圖

2.4.5 設計原則

1. 方向

丁壩壩軸與水流之交角可分為向上游、直交與向下游三種。向上游之丁壩，由於水流越過壩體時，將趨近於與壩體成直角之方向往下流，可使水流趨向河心，並使下游之堤岸附近有較顯著之掛淤，但壩頭因抵抗水流激烈，較易被淘刷。直交丁壩適用於水流散亂或流向變遷無常之河段，一般最常採用。水流越過壩頂時，會增加下游岸腳之沖刷，除非壩距較密可免水流直沖岸腳，或為特殊理由容許引導進水以維持水深者，不宜隨意採用。

2. 間距

設丁壩之間距為 D，長度為 L，高度為 H，則其關係採用下列為原則

(1)D/H=10～30。

(2)直岸：D/L=2.0～3.0。

(3)凹直岸：D/L=1.5～2.0。

(4)凸岸：D/L=2.5～3.5。

3. 壩長

依其施設目的、河寬情形、考慮上下游及對岸之影響及本身之安全而定。

4. 寬度

應足以抵抗水流之衝擊及沖刷，普通採 4～6 公尺。

5. 坡度

由壩根向河心之縱坡，考慮河床橫斷面與洪水坡降，一般採用 1/30～1/100。

6. 高度

依其型式並參考計畫洪水位及河床之地形高度而定，以能達到其施設之目的。

7. 壩根護岸

丁壩壩根如不與堤防或護岸相接時，應施設壩根護岸，以免洪水繞襲壩後，以致丁壩孤立河中。其長度一般以上下游 15 公尺為度或不得少於壩長 2/3。其高度宜在洪水位以上。

8. 壩頭

壩頭基礎應考慮其可能沖刷深度而加深，並採用較平緩之坡度或較低之高度以減低對水流之阻力。

9. 護坦

宜採用串聯之混凝土塊或鉛絲蛇籠等具有撓屈性及整體性之構造物；為防止與壩體脫離，亦需與壩體聯結。

2.4.6 施工注意事項

1. 混凝土丁壩係由若干混凝土塊組成，其高度不宜超過寬度，底面積應大於任何一側面積。排列混凝土塊時，應以稜線迎向水流，每排混凝土塊之排列，自上游向下游逐漸遠離岸腳，並錯開排列。壩身基礎通常與河床平，惟向河心傾斜不超過 1/30。壩身基礎四週須設截牆。
2. 鉛絲蛇籠丁壩大部份是越流壩，為減低越流後之水流沖擊力，壩身下游坡面應較緩，以 1：2.5 為宜，壩根護岸及丁壩應分開興建。流速大，沖刷力強之河段，壩頭護坦應加強，並加長心籠及其枕籠。

2.5 堤防

2.5.1 定義

順溪流方向構築，高於地面用以防禦及約束水流不使氾濫之構造物。

2.5.2 目的

保護岸邊及鄰近土地、村落、公共設施等，避免被沖刷及淹水。

2.5.3 種類及適用範圍

一般常用之堤面如下：

1. 砌石堤面：塊石材料取得容易之處。
2. 混凝土堤面：堤面易被磨損之處。

2.5.4 圖說

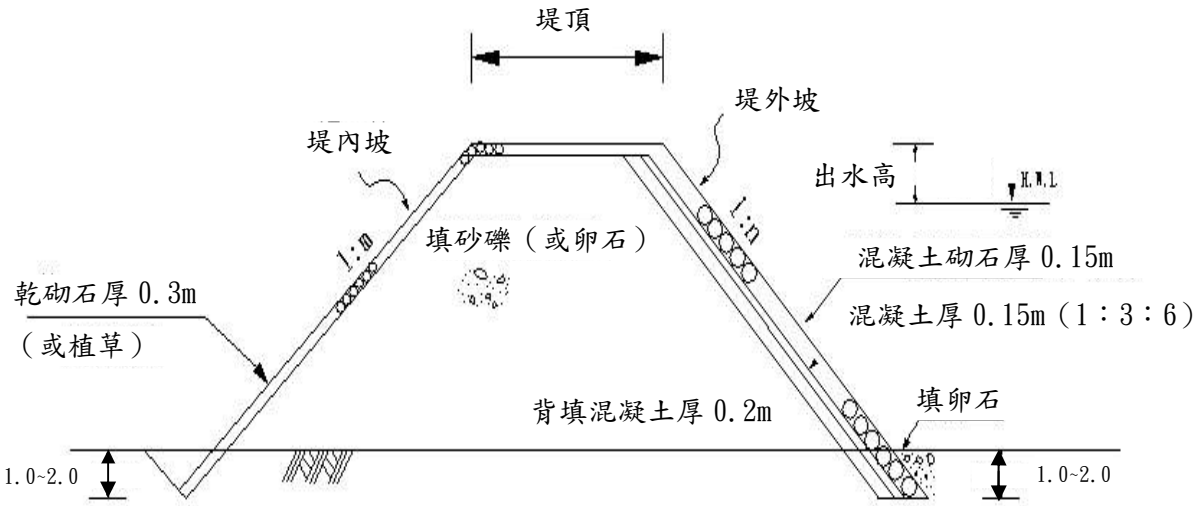


圖 工-2-14 砌石面堤示意圖

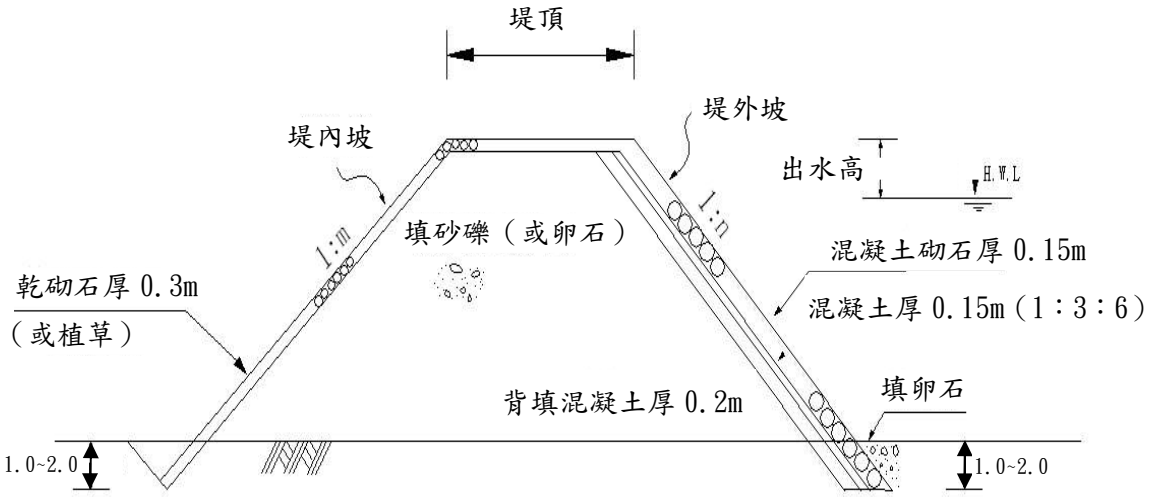


圖 工-2-15 混凝土面堤示意圖

2.5.5 設計原則

1. 出水高

   0.8～1.2 公尺。

2. 堤頂寬

   堤高在 2.5 公尺以下者，採用 1.5～2.0 公尺；在 2.5 公尺～5 公尺間者，採用 2.0～2.5 公尺；在 5 公尺以上者，採用 2.5 公尺以上。

3. 堤面坡度

表 工-2-6 堤面坡度適用表

堤高 / 種類	2.5m 以下		2.5m~5.0m		5m 以上	
	堤外	堤內	堤外	堤內	堤外	堤內
砌石面	1：0.5	1：1.5	1：0.5~1：1	1：1.5	1：1~1：1.5	1：1.5
混凝土面	1：1	1：1.5	1：1.25	1：1.5	1：1.5	1：1.5

4. 堤線

   (1)已劃定公告水道治理計畫線之溪流，依該線構築。

   (2)儘量順流水方向，避免急彎。

   (3)河道彎曲部分，其曲率半徑宜為河道寬度之 10～20 倍。

   (4)兩岸之堤線儘可能採取平行，避免激烈之河寬變化。

   (5)反彎曲段間(S curve)，應介以直線之過渡段(緩和段)，其長度宜在 6 倍河寬以上。

(6)彎曲河道凹岸處應加超高，加高之高度請詳 2.7 節。

式中 V 為流速，R1、R2 分別為凸岸及凹岸之曲率半徑，g 為重力加速度，(△h 以河床中心線設計高為準)。

(7)彎曲段加寬如下：

$R/B>10$
$\theta>60^{\circ}$
加寬 10%

$R/B>10$
$\theta<60^{\circ}$
or
$R/B<10$
$\theta>60^{\circ}$
加寬 20%

$R/B<10$
$\theta<60^{\circ}$
加寬 30%

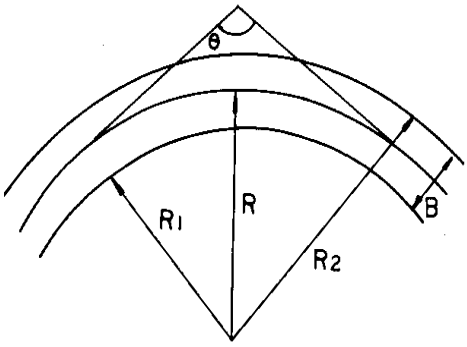


圖 工-2-16 彎曲段加寬示意圖

R：曲率半徑(m)

B：河寬(m)

θ：河道彎曲夾角

2.5.6 施工注意事項

1. 堤高加填

   由於堤身之壓縮及基礎地盤之沉陷，築堤填方時應較計畫高度為高，加填標準如下：

   (1)坋土、粘土：H／10～H／20。

   (2)沙、砂礫：H／20～H／40。

   (3)H：為計畫堤高(m)。

2. 為減緩流速，堤外之坡面宜加設消能牆(中心距 5 公尺)；又為防止基腳沖刷，亦宜加設混凝土塊、蛇籠或丁壩等保護工。尤其在凹岸處，更應加深堤防基礎或加強保護工。

3. 堤線應選擇堅固之地盤，基礎鬆軟時應加強處理。

4. 堤防經過市鎮房屋密集處，不能採用規定斷面時，為節省用地及拆遷費，可採用防洪牆等特殊堤防代替。
5. 本流與支流匯合處堤線之交角宜小於 60°。
6. 堤防起點應選擇在洪水時不會流入堤後處；長度太長時為避免堤內積水，宜設開口堤或管涵等排水設施。
7. 堤防終點，應設堤尾工。其設計型式一般以堤頂、堤腳寬度之中心距為半徑所構築之半圓，堤腳亦應設保護工。

2.6 護岸

2.6.1 定義

為保護河岸而直接構築於岸坡之構造物。

2.6.2 目的

保護河岸及穩定坡腳。

2.6.3 種類及適用範圍

1. 混凝土（或鋼筋混凝土）護岸：在水勢強烈之處或重要地區使用。
2. 混凝土砌石護岸：在石料豐富地區採用。
3. 其他如崩塌、地滑等特殊地形，宜配合採用屈撓性較大或其他特殊構造物（參考擋土牆章）

2.6.4 圖說

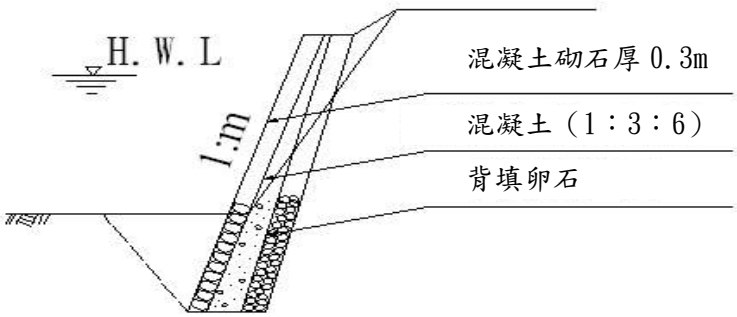


圖 工-2-17 混凝土砌石護岸示意圖

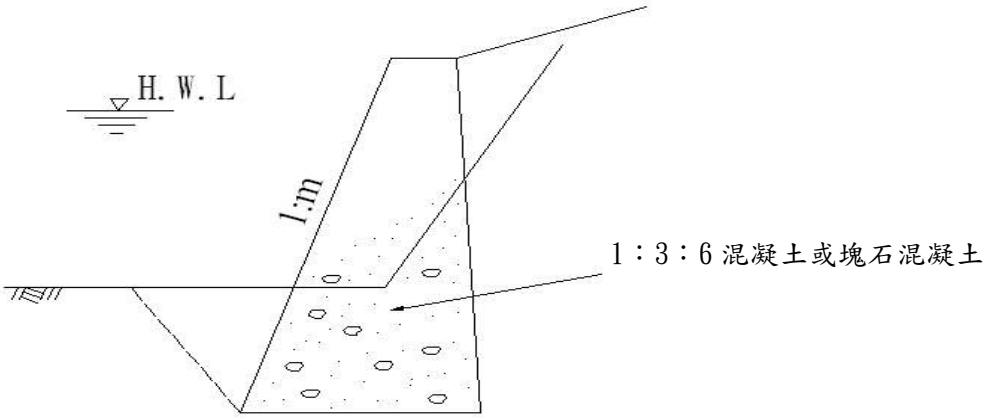


圖 工-2-18 混凝土護岸示意圖

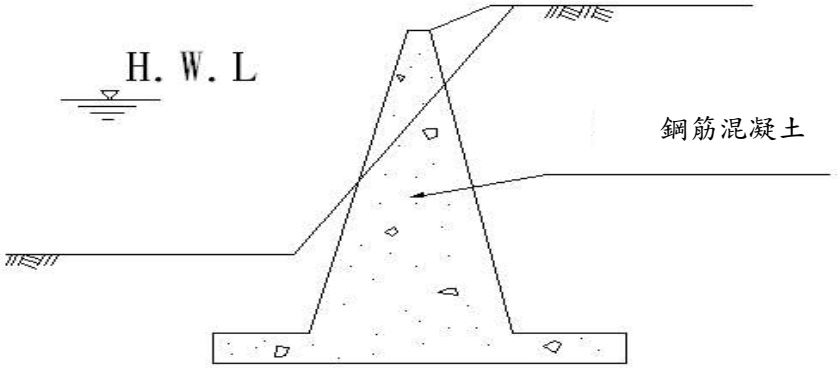


圖 工-2-19 鋼筋混凝土護岸示意圖

2.6.5 設計原則

1. 高度：一般採用計畫洪水位加出水高 0.8～1.0 公尺，惟可視實際需要與地面同高。
2. 坡度：砌石一般採用 1：0.3～1：1。
3. 超高：凹岸處超高如下：(詳 2.7 整流工程)

$$\Delta h = 2.3\frac{V^2}{g}\lambda og(\frac{R_2}{R_1})$$

式中

△h：超高（以河床中心線設計高為準）

V：流速（m / sec）

g：重力加速度（m / sec^2）

R_1：凸岸之曲率半徑（m）

R_2：凹岸之曲率半徑（m）

4. 基礎深度：以計畫河床高度或現況河床高度中較低者為準，其伸入河床深度一般為 1～2 公尺。
5. 岸線：起點應有穩固之地形或插入適當之岸內，終點應引導水流順岸流下或導離河岸；凹岸處應延長至曲線終點以下。
6. 安定檢討除考慮水壓力外，餘與擋土牆相同。

2.6.6 施工注意事項

1. 河槽易刷深處，尤其是在凹岸，基腳應加設保護工程如混凝土塊、蛇籠或潛壩。
2. 採用混凝土塊、蛇籠等保護基腳時，不得與護岸坡腳固結。
3. 岸頂背後填土應充分夯實並略高出岸頂，以免積水而增加背後壓力。
4. 洩水孔之設置，詳擋土牆篇。

2.7 整流工程

2.7.1 定義

在野溪、溪流泥沙堆積、沖蝕區及亂流地區，為防止縱向及橫向侵蝕所構築之護岸、堤防與固床工、跌水工、丁壩、溪床保護工等組合而成之工程。

2.7.2 目的

1. 防止溪流縱向及橫向侵蝕以穩定溪床。
2. 調整並控制水流，保護兩岸土地房舍及公共設施。
3. 保護特殊地質地區(如泥岩、火山灰地區)溪岸坡腳，防止崩塌。

2.7.3 種類及適用範圍

溪床坡度超過 1/100、泥沙大量生產或堆積，導致災害河段河道縱橫向侵蝕嚴重、河川蛇行、亂流有引起氾濫可能之河段或溪流兩旁有需保護之對象地區，得施以整流工程，其種類及適用範圍如下：

1. 護床型

   以堤防或護岸保護溪岸，配合潛壩、固床工等以保護溪床之方式。原河床坡度 1/30 以上者適用。

2. 消能型

   以系列固床工、潛壩等消除水流能量，以穩定溪床之方式，適用於地下水多且溪床坡度較緩的地區。

3. 丁壩型

   利用丁壩控制水流穩定流向之方式，於溪幅寬廣、亂流地區採用。

2.7.4 設計原則

整流工程之設計應對其功效及目的詳加檢討考慮，並對其安全性及經濟性加以評估，使水流能安全通過且不影響鄰近地區之水資源利用、逕流入滲、自然環境以及工程之維護管理。

整流工程之設計流程如下：

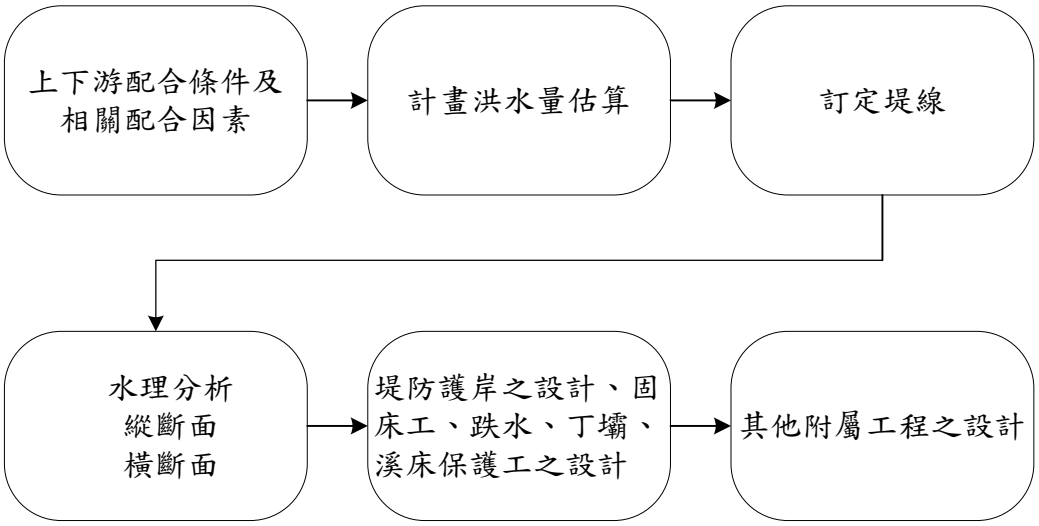


圖 工-2-1 整流工程設計流程圖

1. 計畫洪水量估算

(1)採 25～50 年發生一次之降雨強度，集水面積較小者可利用合理化公式推估流量 Q_o（詳附錄：逕流量之估計）。

(2)水流中泥沙混合率 α 一般採用水流量之 5% ～10% ，最大值為 50% 。

(3)計畫洪水量 Q_p 可依下式計算：

$$Q_p = Q_o \times (1+\alpha)$$

(4)計畫水流流速（混合泥沙）V_p 可依下式計算：

$$V_p = \frac{\gamma_w}{\gamma_w + \alpha(\gamma_d - \gamma_w)} V_w$$

式中

V_w：清水流速（曼寧式計算之值）

γ_w：水之單位重量(一般為 1.0t/m^3)

γ_d：泥沙單位重量(一般為 2.3～2.6 t/m^3）

α：泥沙混合率(一般為 5% ～10% ）

2. 堤線訂定

(1)已定有水道治理計畫線之溪流，依該線訂定。

(2)未定水道治理計畫之溪流，計畫洪水流量(Q_p)、地形、土地利用、土地權屬及相關條件，參考下式計算河寬：

$$B = \beta Q_p^{1/2}$$

式中

B：寬度

Q_p：計畫洪水量(cms)

β：係數，可由表 工-2-7 選定之

上式估算值供為設計之參考，實際設計斷面之寬度，應再參照工程地點、土地利用、工程用地等因素加以修正。

表 工-2-7 河幅係數參考表

集水區面積 A (km^2)	β 值
A≦1	2~3
1<A≦10	2~4
10<A≦100	3~5
A>100	3~6

3. 排洪斷面設計

$Q_p = A \cdot Vp > Q_0$

$A = Q_p / V_p$

$h = A / B$

式中

A：斷面積（m^2）

h：水深（m)

斷面之排洪量與計畫洪水量之差以大於 5% 以內為宜。〔($A \propto Bh$)；B、h 各為整流工程寬度及高度〕

4. 防護岸之設計

(1)整流工程堤防護岸之主要設計請參考護岸章。

(2)其出水高一般採用值如表 工-2-8，出水高(ΔH)與溪床坡度(S)及計畫水位高(H)之關係如表 工-2-9。

表 工-2-8 出水高參考值

計畫洪水量 Q_p (cms)	出水高 ΔH(m)
Q_p≦200	0.6 以上
200<Q_p≦500	0.8 以上
Q_p>500	1.0 以上

表 工-2-9 河床坡度與計畫水位高、出水高之比值

坡度	10%以上	10%~3.3%	3.3%~2%	2%~1.4%	1.4%~1%	1%~0.5%
ΔH/H 值	0.5	0.4	0.3	0.25	0.2	0.1

5. 彎曲河道凹岸增高幅度之計算

$$\Delta h = \frac{V^2}{g}[2.303(\log R_2 - \log R_1) + \frac{0.0042}{h}\sqrt{\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}}]$$

Δh：水路外側壁高出靜水面之高度(m)

B：水路寬度(m)

V：彎道河段水流平均速度(m/s)

R：彎曲河段河道中心線之曲率半徑 (m)

R_1，R_2：彎曲河段凸岸及凹岸之曲率半徑(m)

g：重力加速度(m/sec^2)

h：水深(m)

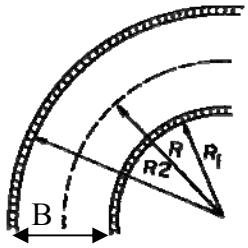


圖 工-2-21 彎曲河道凹岸增高幅度示意圖

彎曲河道凹岸河床加高漸變段長度之計算

$$\tan\theta = \frac{V^2}{Rg}$$

$$\tan\theta = \frac{\Delta h}{L}$$

$$L = \frac{\Delta h}{\tan\theta} = \frac{\Delta h}{\frac{V^2}{Rg}} = \frac{\Delta h \cdot R \cdot g}{V^2}$$

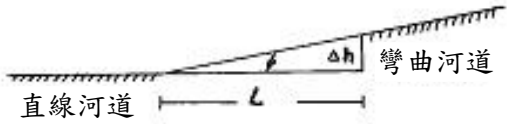


圖 工-2-22 彎曲河道河床加高漸變段長度示意圖

註：急速轉彎而呈 S 型河道不適用上述公式，需先調整堤線減緩彎曲度。

〔計算例〕

設彎曲河道寬(B)為 10 公尺，河道中心線之曲率半徑(R)60 公尺，彎道中水流平均流速 4.9 公尺/秒，水深 1.5m。

加高Δh 為：

$$\Delta h = \frac{V^2}{g}[2.303(\lambda ogR_2 - \lambda ogR_1) + \frac{0.0042}{t}\sqrt{\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}}]$$

$$= \frac{4.9^2}{9.8}[2.303(1.813 - 1.740) + \frac{0.0042}{1.5} \times 0.288] = 0.412$$

漸變段長度 L 為：

$$L = \frac{\Delta h \cdot R \cdot g}{V^2} = \frac{0.412 \times 60 \times 9.8}{4.9^2} = 10.09m \cong 10m$$

彎曲河道處地形如容許時，可放寬河幅 10% ～20% 。又河道彎曲夾角 θ = 60°以上時，曲率半徑與設計河幅之比宜為 10～20 倍。

(1)主支流合流點下游斷面：

主支流合流點下游溪幅寬度，應考慮主支流之情況決定之。

(2)一般可採用下列原則設計：

①主支流泥沙量少，且二者之河床坡度、計畫水位高相近時(即主支流之曳引力相同)，合流點下游之水路寬度為主流及支流水路寬度之和（圖 工-2-23）。

②支流之曳引力大於主流時，為避免合流口淤積，合流口下游之水路寬度宜不大於主、支流水路寬度之和（圖 工-2-23）。

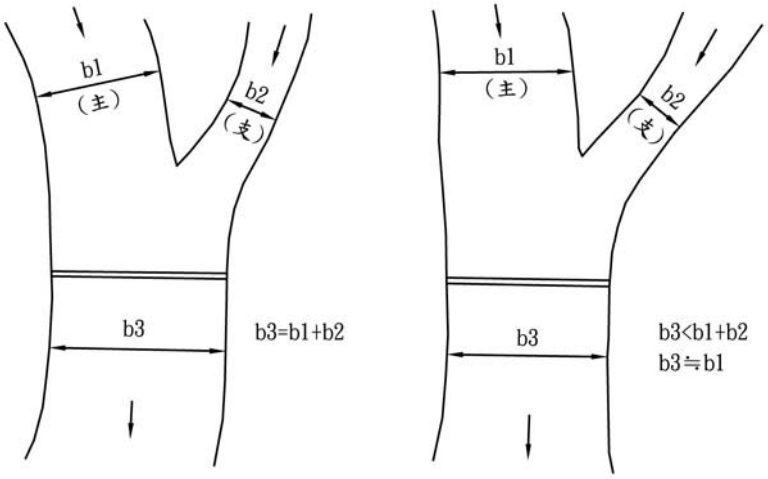


圖 工-2-23 主支流合流點下游斷面示意圖

6. 溪床保護工

(1)混凝土溝底：厚度 0.2～0.5 公尺，一般為 0.3 公尺，大量泥砂經由地區應予加厚。惟仍以儘量避免使用混凝土襯底方法為宜。

(2)蛇籠：採用甲、乙種蛇籠鋪設溪床，有滲透水之河段可適用。

(3)混凝土塊：使用各種混凝土塊鋪設於河床之方法，混凝土塊頂面應與計畫河床面齊高。

(4)鋪砌或拋石。

7. 固床工間距及坡度：

(1)潛壩、固床工間距用下列公式計算

$$L=\frac{100}{n-m}h$$

式中

L：間距(m)

h：固床工高度(溢洪口至尾檻間之高差)

n：原河床坡度（% ）

m：計畫河床坡度（% ）

(2)潛壩、固床工間中斷之坡降一般採用原溪床坡度與其二分之一坡降間之坡度。例如原河床坡度為 0.05，則整流工程之縱斷面坡降為 0.05～0.025 之間。溪床坡度大於 13°，溪幅較狹地區，水流超過安全流速時，溪底需保護或內襯。

2.7.5 施工注意事項

1. 整流工程施設地點之上流應有適當之防砂工程處理。
2. 整流工程下游地區須要有適當之保護或安全設施。
3. 潛壩或固床工以低壩多座為原則。
4. 採用複式斷面時，其低流量斷面之設計應以 5～10 年以上發生一次之降雨強度估算。
5. 整流工程之兩岸以構築護岸為原則， 儘量避免縮小原溪流之斷面築堤，以免一旦破壞後導致大災害。
6. 整流工程之固床工、潛壩兩翼以深入安定之河岸或良好之岩盤為原則。
7. 潛壩壩翼與護岸應平整不宜突出。
8. 整流工程起迄點須在良好岩盤或安定之溪段。
9. 固床工方向應與下游水流之流心線成直角。
10. 調查規劃時應注意工程附近之排水等公共設施， 工程施工中或完工後應不妨礙公共設施之原有功能。
11. 混凝土襯底應加設透水孔。
12. 堤岸背側填土應高於堤岸頂。
13. 凹岸之基礎應加深或設置保護工。

2.8 土壩

2.8.1 定義

於溪流中選擇適當地點填土成壩，攔蓄地表逕流及溪床泥砂之構造物。

2.8.2 目的

1. 蓄水。
2. 防砂。

2.8.3 適用範圍

溪床質粒徑細小，壩基及附近溪床具有不透水性，取土容易之地區。壩高不超高 15 公尺。

2.8.4 圖說

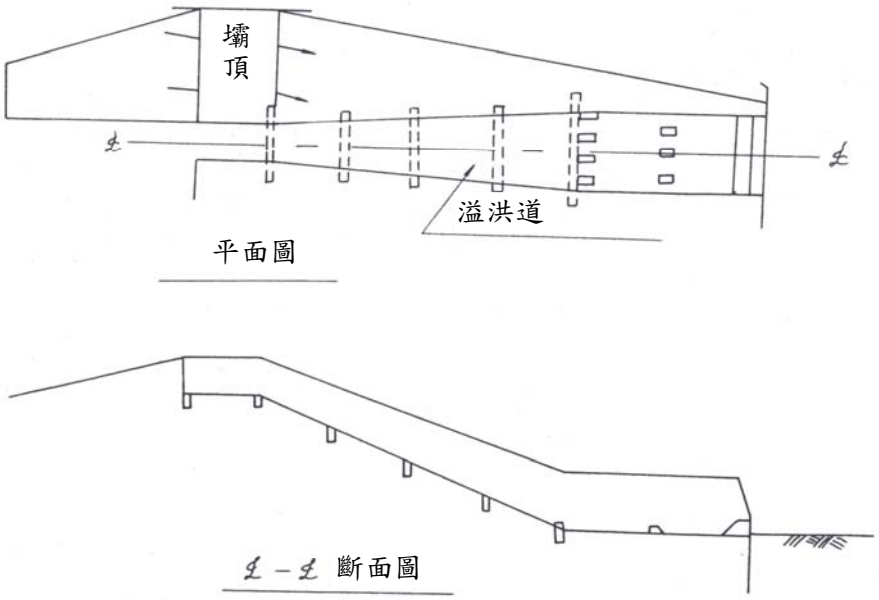


圖 工-2-24 土壩之設計-明渠式溢洪道示意圖

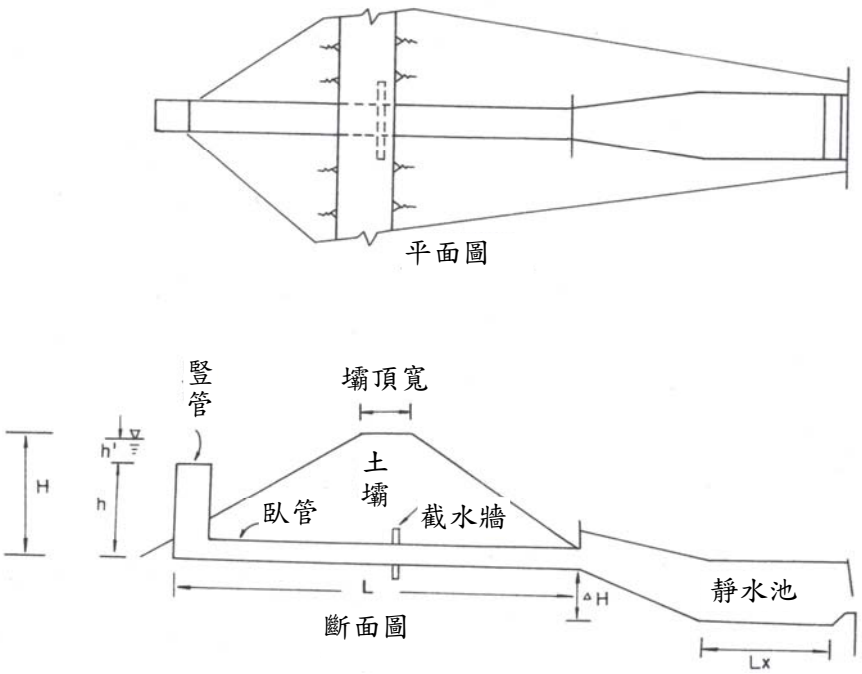


圖 工-2-25 土壩之設計-垂流涵洞式溢洪道示意圖

2.8.5 設計原則

1. 溢洪道分主溢道及緊急溢洪道兩種。主溢洪道分明渠式及垂流涵洞式。採用垂流涵洞式溢洪道者，應設置緊急溢洪道。溢洪道不得設置在鬆軟基礎上。主溢洪道以鋼筋混凝土或混凝土為主要材料。
2. 主溢洪道採用 50 年一次頻率。緊急溢洪道採用 10 年一次頻率。(詳見附錄：逕流量之估計)

(1)明渠式：

採用矩形斷面為原則。

水理計算：

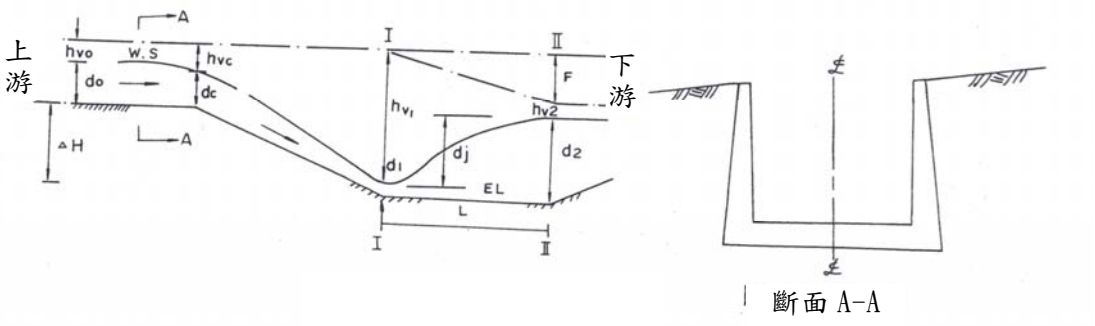


圖 工-2-26 渠道水躍示意圖

①進水段

a.依寬頂堰堰流公式求得溢流水深（即上游水深）d_0

$$d_0 = (\frac{Q}{1.84b})^{2/3}$$

式中

Q：計畫洪水量(m^3/sec)

b：進水段底寬(m)

b.上游能量高度 E_0

$$E_0 = d_0 + \frac{V_0^2}{2g}$$

$$(h_{v0} = \frac{V_0^2}{2g})$$

式中

V_0：進水段之平均流速(m/sec)

h_{v0}：進水段之流速水頭(m)

c.依曼寧公式求得進水段之坡降

$$S_0 = (\frac{V_0 n}{R^{2/3}})^2$$

式中

R：進水段之水力半徑(m)

n：粗糙係數

②下游段：計算其能量高度 E_2

$$E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + d_2 \ (h_{v2} = \frac{V_2^2}{2g})$$

式中

V_2：下游段之平均流速(m/sec)

d_2：下游段之水深(m)

h_{v2}：下游段之流速水頭(m)

③計算上下游能量高差△E

$$\Delta E = \Delta H + E_0 - E_2$$

式中

△H＝上下游之高差

④計算臨界水深 d_c

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$ （矩形斷面）

⑤控制斷面之決定

直線漸變段決定控制斷面之高低，應使在臨界水深時，正常流量之能量高度比漸變段起點同樣流量之能量高度低于兩點(控制點及漸變段起點)流速水頭差額之 20% 。即：

$$d_0 + h_{v0} = d_c + h_{vc} + 0.2(h_{vc} - h_{v0})$$

式中，$h_{vc} = \frac{V_c^2}{2g}$

a.用△E/dc 值求出 $d_2/d_1=k$ 及 d_1/d_c 值。

b.用 d_1/d_c 值求得 d_1。

c.用 d_2/d_1 值求得 d_2。

⑥靜水池

a.靜水池為水平護坦時，其所發生之水躍有四種型式（圖 工-2-27），依福祿數之大小而定，水躍長度可由圖 工-2-28 查得。

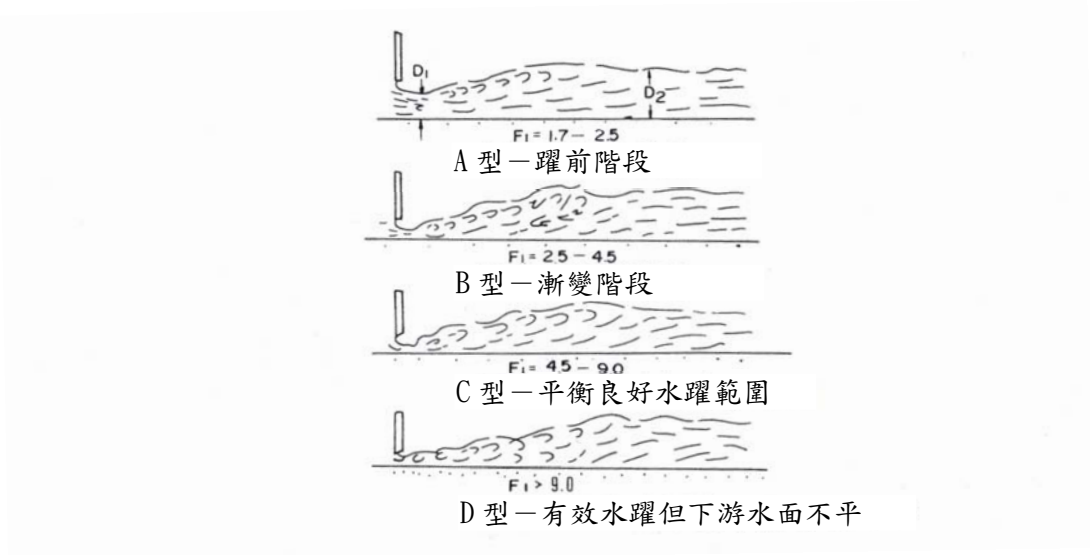


圖 工-2-27 水躍特性形狀與福祿指數之關係圖

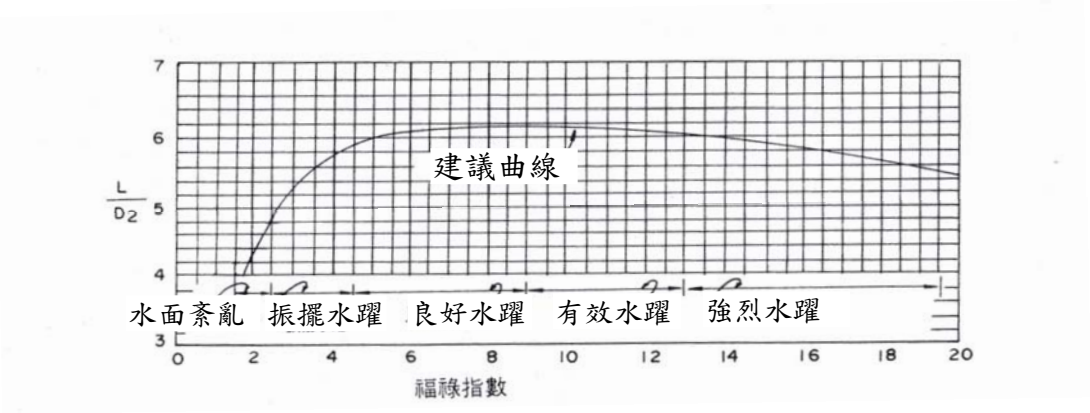


圖 工-2-28 水躍長度與 D_2 曲線(靜水池工)

b.計算福祿數

c.第一種靜水池

前期水躍型（F=1.7～2.5）其水躍特性如圖 工-2-29。靜水池長度可由圖 工-2-30 查得。

Q=全流量

w=水槽寬度

q=單位寬度流量

V_1、D_1、E_1=流速、水深、能量高（斷面Ⅰ）

V_2、D_2、E_2=流速、水深、能量高（斷面 2）

F=福祿數

D_2=水躍高度（D_2-D_1）

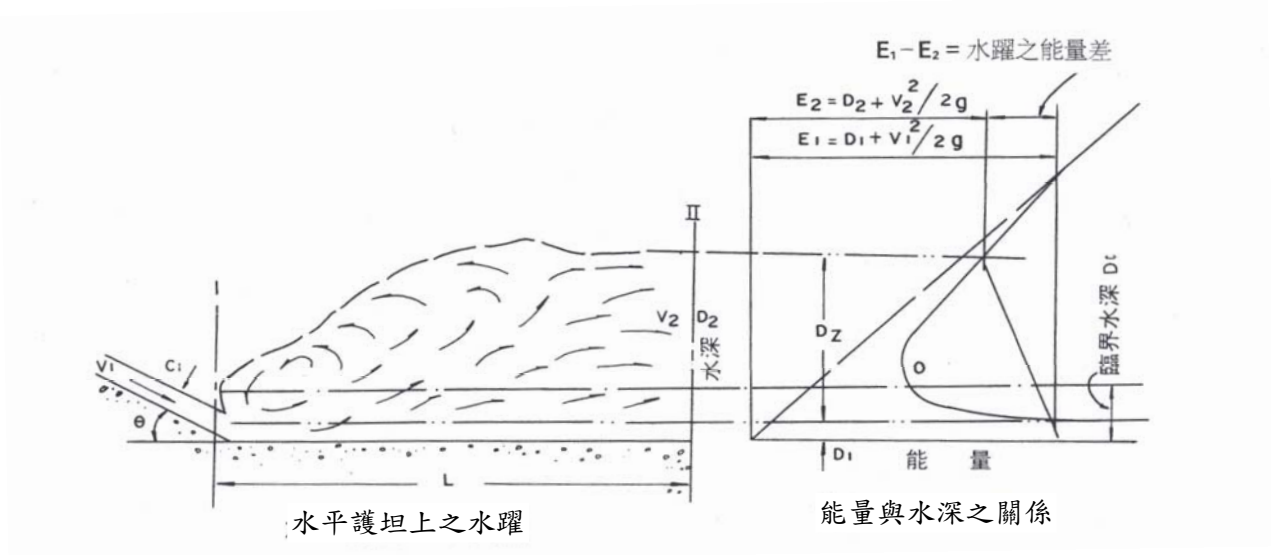


圖 工-2-29 水躍的特性(第一靜水池)

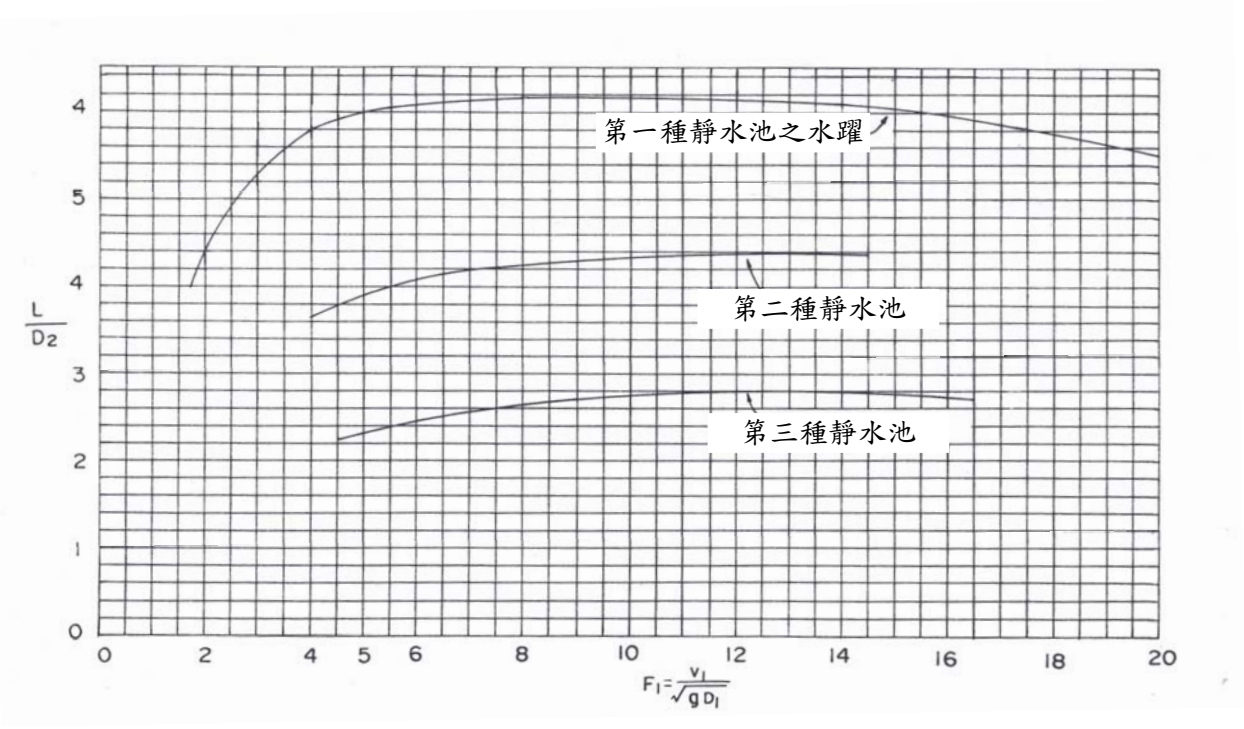
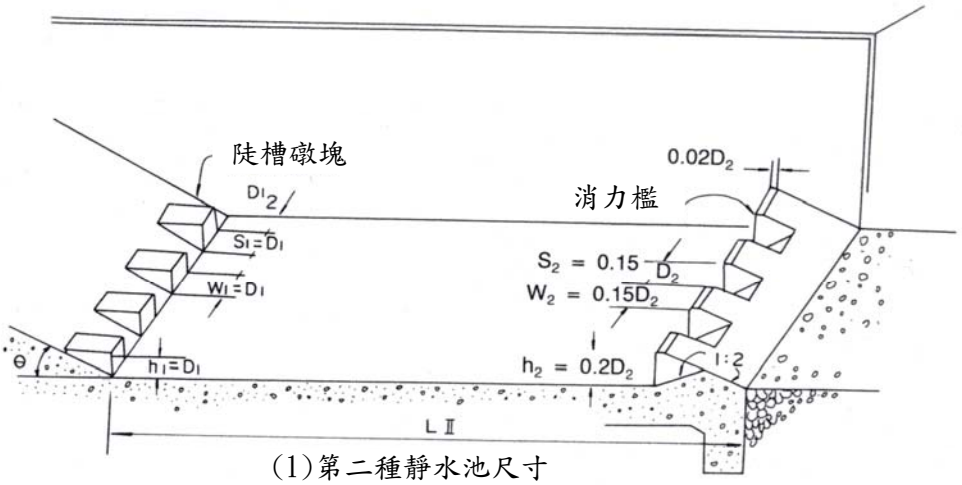


圖 工-2-30 水平護坦尚水躍長度(靜水池一,二,三)

d.第二種靜水池

漸變型水躍（F≧4.5）見圖 工-2-31。不經模型試驗時採用。



(1)第二種靜水池尺寸

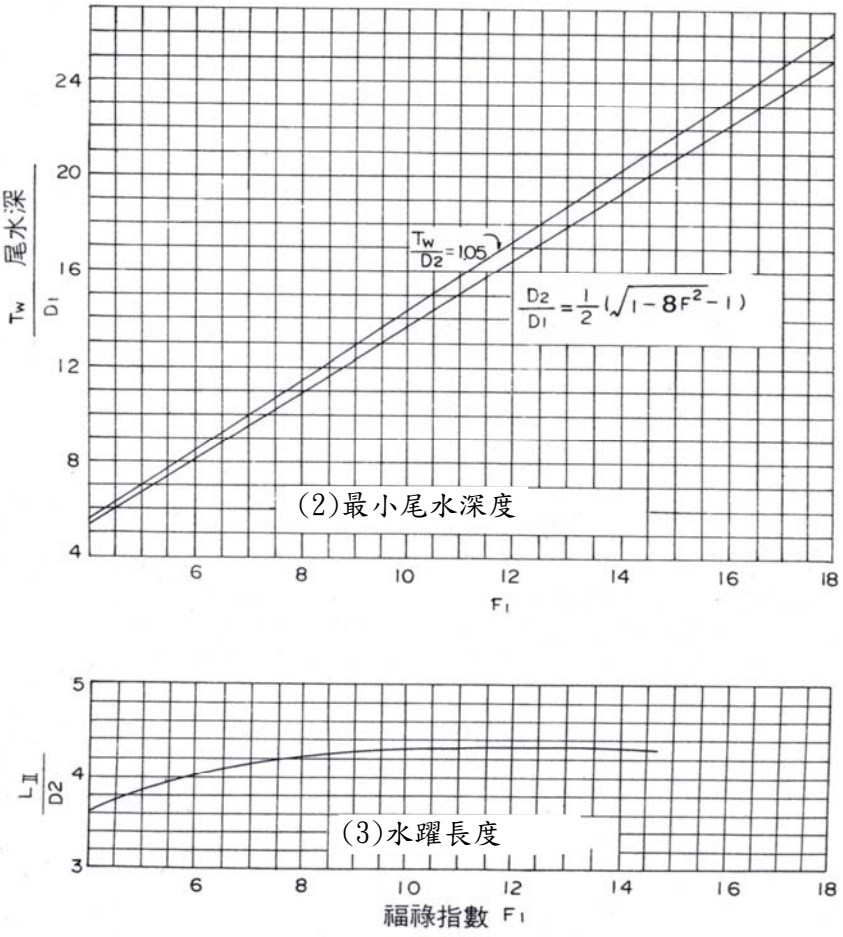
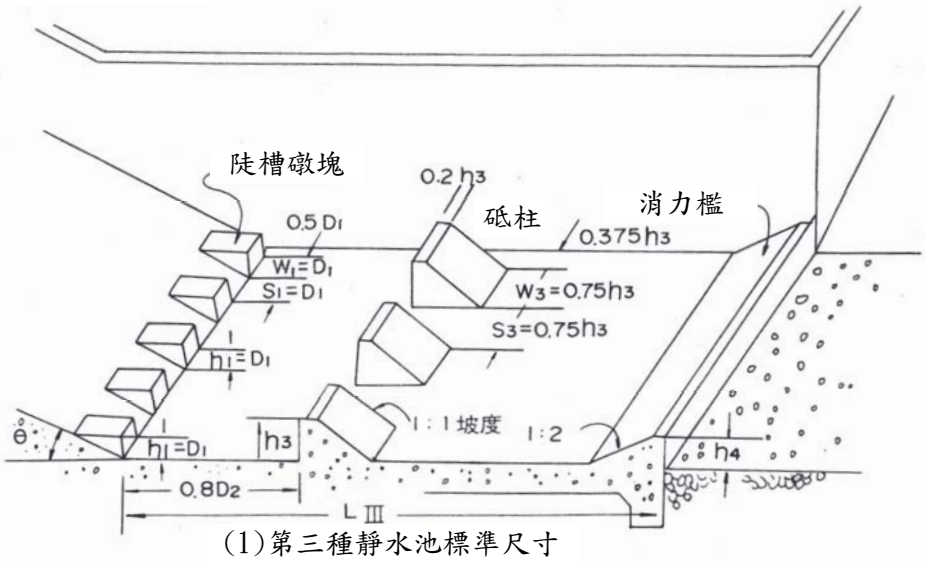


圖 工-2-31 福祿數 F1≧4.5

e.第三種靜水池

良好水躍（F=4.5～9.0）見圖 工-2-32、



(1)第三種靜水池標準尺寸

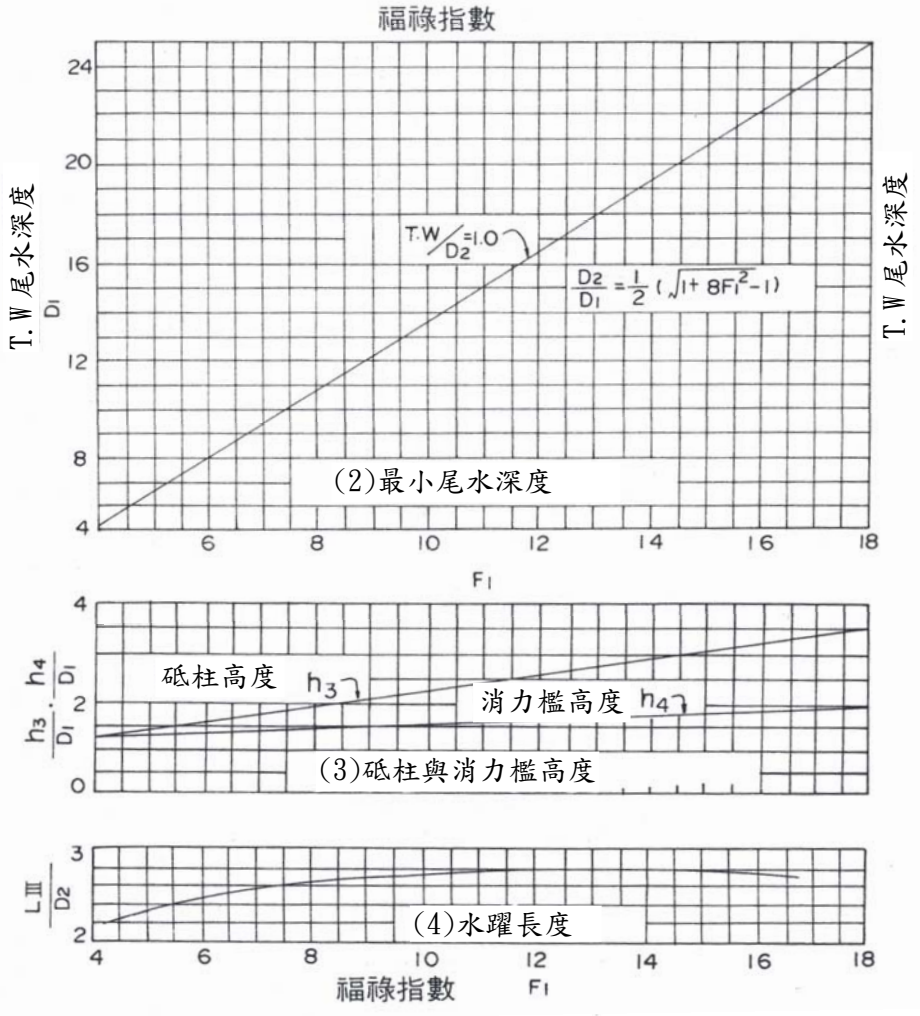
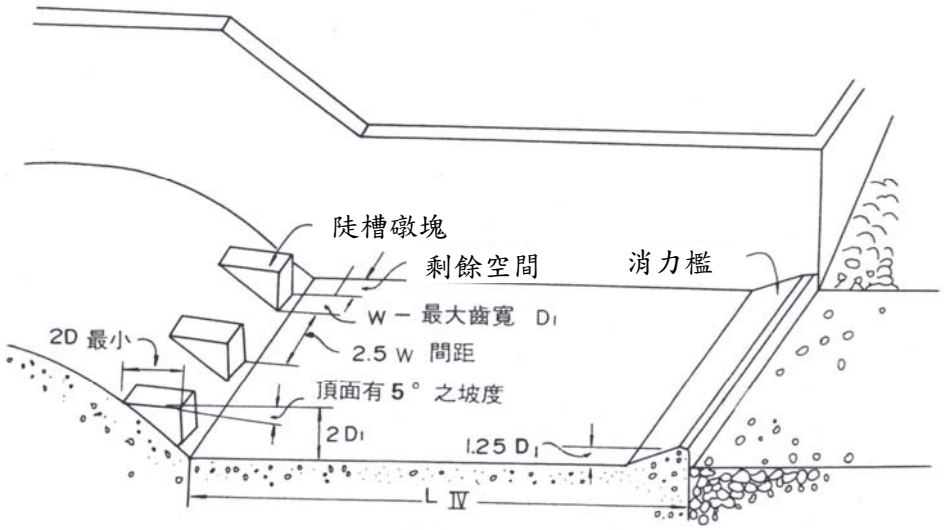


圖 工-2-32 福祿數 F1>4.5

f.第四種靜水池

良好水躍（F=2.5～4.5）係用以減少不完全水躍之波浪作用，靜水池長度可由圖 工-2-33 之自然水躍（即第一種靜水池）查得。



(1)第四種靜水池尺寸

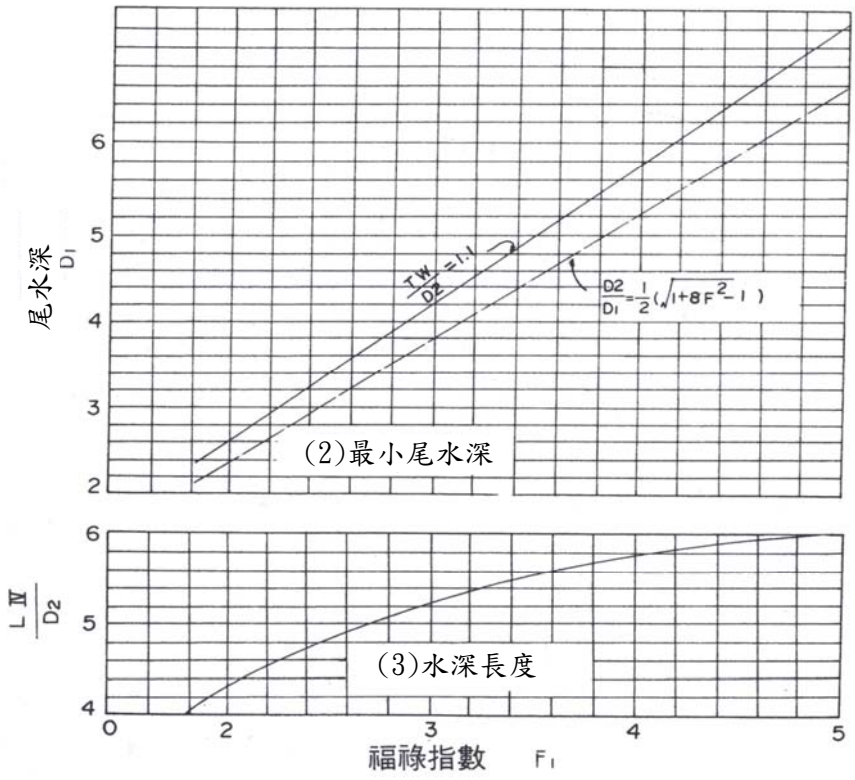
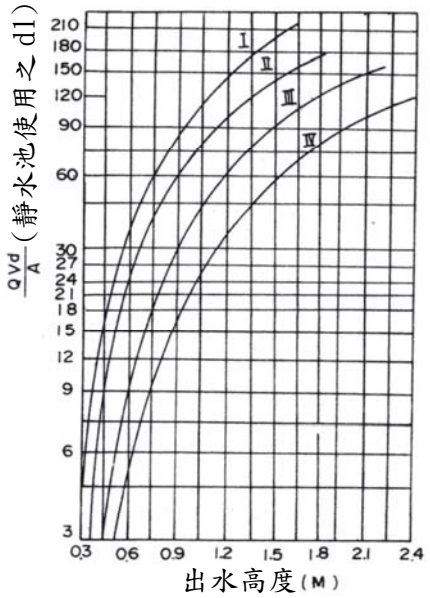


圖 工-2-33 福祿數 F1=2.5~4.5 靜水池特徵

g.出水高度

(a)入口漸變段；0.6 公尺。

(b)靜水池：利用 QV_d/A 值，由圖 工-2-34 查得。



Ⅰ：矩形急流工
Ⅱ：梯形急流工側坡 1：1.25
Ⅲ：矩形跌水工靜水池
Ⅳ：梯形跌水工淨水池側坡 1：1.25

圖 工-2-34 急流槽及靜水池出水高

h.靜水池牆高 H

$$H = d_2 + h_{v2} + \Delta H$$

式中

△H：出水高

(2)垂流涵洞式

水理計算：

①豎管：

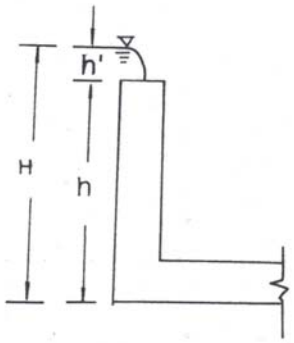


圖 工-2-35 豎管示意圖

a.形狀：

分正方形、矩形、圓形、喇叭形等。

b.高度：

不超過 8 公尺為原則。

c.管徑：

入口流量依堰流公式計算

$$Q = C\lambda h'^{3/2}$$

式中

Q：入口流量（計畫洪水量）

λ：有效溢流周長

h'：溢流水深（0.6～2.0 公尺）

C：流量係數（圓形 C 參考圖 工-2-36，方形請參考壩工設計手冊）

採用喇叭型豎管者，參照壩工設計手冊（Design of Small Dams）

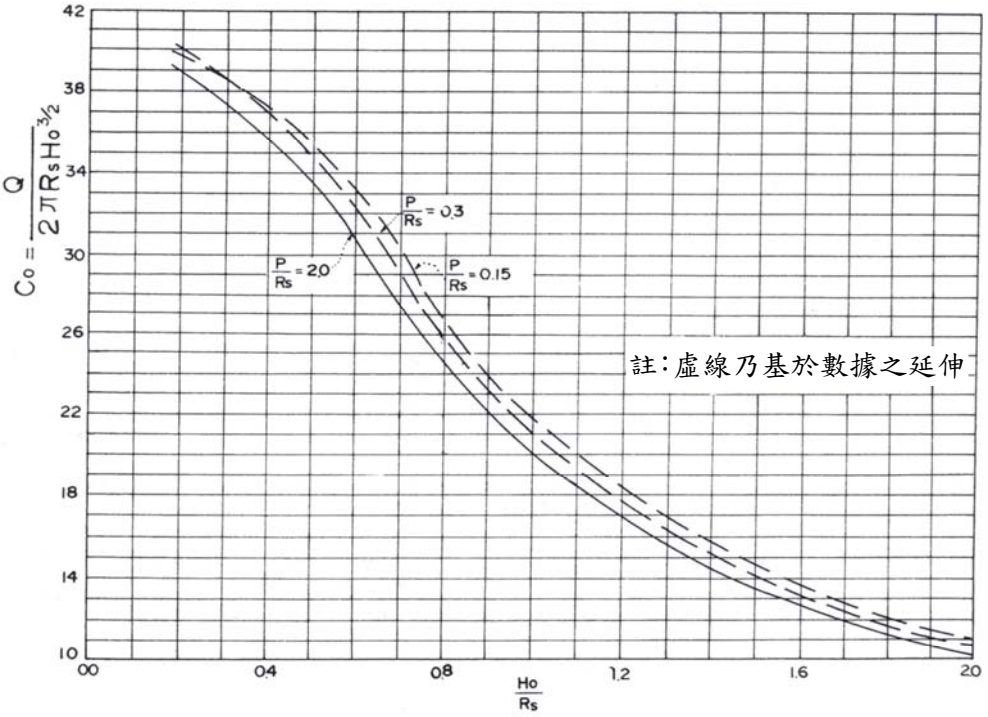


圖 工-2-36 不同接近水深時，圓形溢頂之係數 C 與 H_0/R_S 之關係豎管示意圖

②臥管：

a.形狀

分正方形、矩形、圓形、馬蹄形等，配合豎管形狀選定。

b.長度

依壩高及現場需要決定。

c.管之斷面

$$A = \frac{Q}{C\sqrt{2gH}}$$

A：管之斷面積(m)

H：全水頭（豎管高－溢流水深）(m)

C：涵管係數

臥管之斷面以 75% 之流水斷面及 1～5%

之坡度設計。

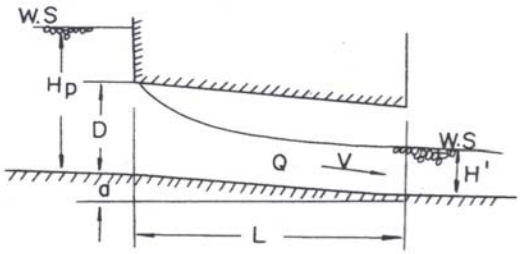


圖 工-2-37 臥管示意圖

d.出口流速

$$H_p = (1 + K_0 + f\frac{L}{4R})\frac{V^2}{2g}$$

式中

H_p：臥管採用水頭

V：出口流速(m/sec)

K_0：入口損頭(m)

f：摩擦損頭(m)

L：管長(m)

R：水力半徑

P：潤周(m)

e.截水牆

為減緩滲流之速度，臥管每隔 8～10 公尺設置截水牆一處見圖 工-2-38。

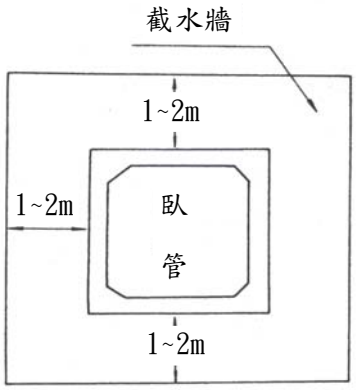


圖 工-2-38 臥管截水牆示意圖

f.靜水池

如明渠式。

應力計算：

①豎管：設豎管高度 h，溢頂高 h'

$$P = \gamma_w (h + h') = \frac{\gamma_w H^2}{2}$$

$$q = \frac{P}{\lambda} - \frac{\gamma_w H}{2 \cdot \lambda}$$

式中

γ_w：水的單位重量(t/m^3)

q：單位長度之水壓 P

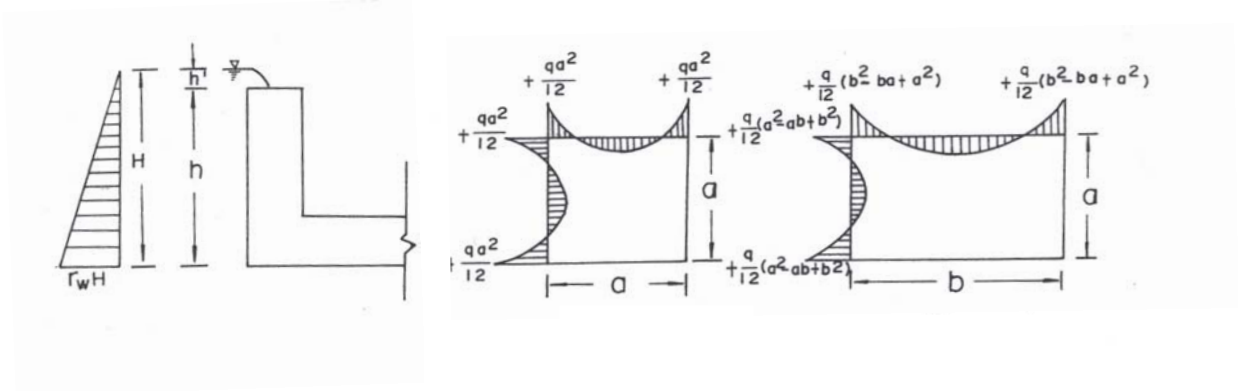


圖 工-2-39 豎管應力計算圖

a.正方形：

(a)端點力矩：$M_{max} = \frac{q}{12} a^2$

(b)中點剪力：$V_{max} = \frac{q}{2} a$

b.矩形：

(a)端點力矩：$M_{max} = \frac{q}{12}\left(a^2 - ab + b^2\right)$

(b)中點剪力：

短邊 $V_{max} = \frac{q}{2} a$

長邊 $V_{max} = \frac{q}{2} b$

c.圓形：管應力 $f = \frac{PR_e}{e}$

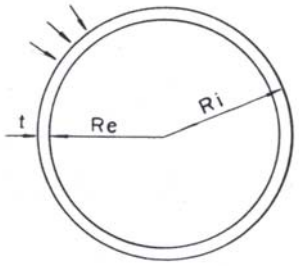


圖 工-2-40 圓形管應力計算圖

式中

R_e：管內徑(cm)

R_i：管外徑(cm)

t：管壁厚度(cm)

②臥管：一般型式之設計採用公路局箱涵標準圖。特別型式之設計應加應力計算。

3. 壩體：

(1)壩頂寬：壩頂寬需 2 公尺以上，若以機械施工持至少 2.5 公尺，壩頂如兼作道路時，其寬度應視需要酌增。

(2)壩面：

①坡度：上游壩面應緩於 1：3（垂直高：水平距），泥岩地區可用 1：2；下游壩面應緩於 1：2。

②保護：除壩頂兼供道路使用外，壩頂須以植生保護。下游壩面須全面植生，上游壩面則自最高洪水位以上植生。最高水位以下得以拋石、砌石混凝土或生石灰混合土壤確實鋪面保護之（厚度 30 公分以上）。

(3)出水高：1～2 公尺。

4. 填土施工應分層填壓，每層厚度 30～50 公分，壓密度 90～95% 。

(1)沉陷量為填土高度之 10% 列計。

(2)截水壕之應嵌入不透水層 30 公分以上。

(3)填土水份以各種土壤之最佳含水量為準。

2.8.6 施工注意事項

1. 詳細調查築壩附近重要公共設施及淹沒區。
2. 取土場應有足夠築壩材料、交通方便，並應作好水土保持及注意公共安全。
3. 壩基及兩岸腐殖土、樹根、雜草、風化表土等雜物應清除。
4. 壩基及兩岸須挖掘至堅硬土層或岩層。岩層有裂隙時用灌漿等方法封塞之。
5. 挖基時，若遇地下水，須設法排除，並以灌漿等方法封塞。

2.9 擋土牆

2.9.1 定義

為攔阻天然或填築之土石、 砂礫及類似的粒狀物質所構築之構造物。

2.9.2 目的

1. 維持兩高低不同地面的安定。
2. 防止填土或開挖坡面之崩塌。
3. 穩定邊坡，減少挖填土石方。

2.9.3 種類及適用範圍

1. 三明治式擋土牆牆面為混凝土砌塊石，再背填混凝土及卵石。適用於開挖坡面在 4 公尺以下，填方坡面高 2 公尺以下為原則。
2. 重力式擋土牆：其高度在 4 公尺以下為原則。

   (1)卵石混凝土擋土牆

   以卵石混凝土灌成。適用於挖填坡面，其高度在 6 公尺以下較經濟。

   (2)混凝土擋土牆

   以混凝土灌成，適用於挖填坡面，其高度在 6 公尺以下較經濟。
3. 半重力式擋土牆混凝土擋土牆內發生張應力部分以鋼筋加強者，適用於挖填坡面，其高度在 4 公尺以下為宜。
4. 懸臂式擋土牆以鋼筋混凝土灌成，適用於填方坡面，其高度在 8 公尺以下為宜。
5. 扶壁式擋土牆

   (1)前撐

   以鋼筋混凝土鑄造，扶壁支撐在牆前，適用於挖填坡面，其高度在 5～10 公尺為宜，其牆前需有足夠空間。

   (2)後撐

   鋼筋混凝土鑄造，扶壁支撐在牆背，適用於填方坡面，其高度在 5～10 公尺為宜。
6. 疊式擋土牆

   (1)蛇籠擋土牆

以鉛絲編成蛇籠，裝填卵塊石疊築而成。適用於多滲透水坡面或基礎軟弱較不穩定地區之設施，其高度在 4 公尺以下為宜。

(2)箱籠擋土牆

以鉛絲編成箱籠，裝填塊石疊築而成。適用於多滲透水坡面，其高度在 4 公尺以下為宜。

(3)格籠擋土牆

由鋼筋混凝土桁條或木材組合成，框箱內疊砌卵塊石而成。適用於多滲透水坡面，其每層高度 3 公尺以下，以鋼筋混凝土為土桁條材料者其，總高度以不得超過 6 公尺為宜，以木材為衍條為材料者，以不超過 3 公尺為宜。

(4)加勁土壤構造物

於填方坡面土壤中逐層或適當間距鋪放加勁材料以形成擋土構造。其高度以在八公尺以下為宜。

7. 板樁式擋土牆

(1)懸臂板樁擋土牆

以木質、鋼質或混凝土等材料之板樁打入地下而成。適用於 5 公尺以下之挖土坡面施工護牆。

(2)錨繫板樁擋土牆

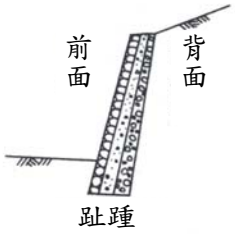
板樁上緣以繫條連結錨座而成，適用於 5～10 公尺深之挖土施工護牆。

8. 錨定擋土牆

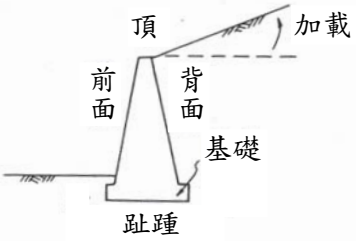
鋼筋混凝土柱或板，每隔適當間距，以鋼索連結錨座，並施預力而成。適用於岩層破碎帶，節理發達之岩層或地滑地區。

2.9.4 圖說

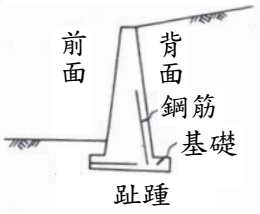
1. 三明治擋土牆



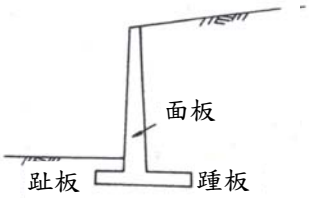
2. 重力式擋土牆



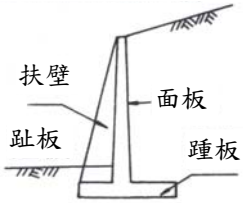
3. 半重力式擋土牆



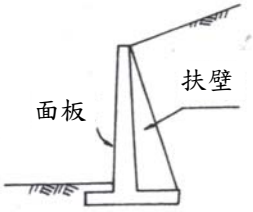
4. 懸臂式擋土牆



5. 扶壁式擋土牆

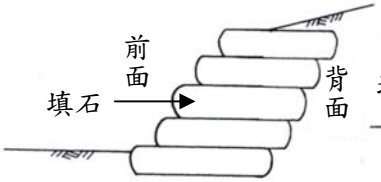


(1)前撐

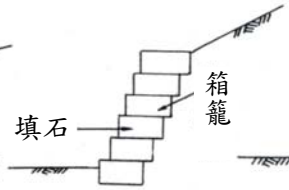


(2)後撐

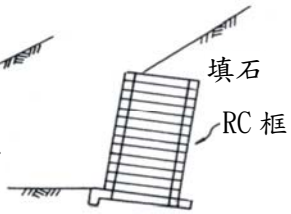
6. 疊式擋土牆



（1）蛇籠擋土牆

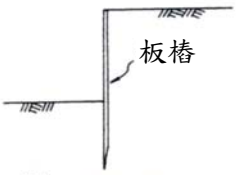


（2）箱籠擋土牆

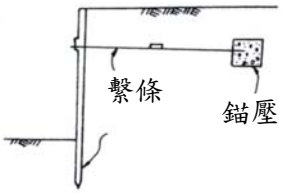


（3）格籠擋土牆

7. 板樁式擋土牆



(1)懸壁板樁擋土牆



（2）錨繫板樁擋土牆

8. 錨定擋土牆

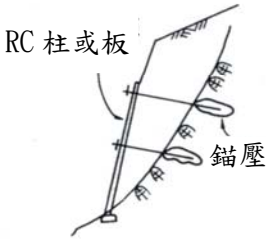


圖 工-2-41 各式擋土牆示意圖

2.9.5 設計原則

1. 擋土牆設計應依照下列準則設計。

(1)滑動

安全係數一般要求大於 1.0，至於安全係數取多大才合理，須考慮長期、暴雨、地震等情況，採用 1.1~1.5。(參考表工-2-10)。混凝土與基礎土壤之摩擦係數如表工-2-11。

表 工-2-10 建議之安全係數表

項目	對應情況	最小安全係數
永久擋土牆	常時	FS≧1.5
	地震時	FS≧1.1
	高水位時	FS≧1.2
臨時擋土牆(施工中)	常時	FS≧1.2
	地震時	FS≧1.0

表 工-2-11 混凝土與土壤之摩擦係數

物料	混凝土在土壤上之摩擦係數
堅固岩盤	0.70
卵石及粗砂	0.55 至 0.60
乾砂	0.45 至 0.55
被圍濕細砂	0.30 至 0.40
砂與粘土混合物	0.40 至 0.50
粘土	0.30

(2)傾倒

安全係數採用 1.1~1.5，須考慮長期、暴雨、地震等情況(參考表工-2-9)。合力作用點須合於下列第(3)項之規定。

(3)基礎壓力合力的偏心矩(e)，必須在下列限度內：

①岩盤基礎：合力作用點必須在基礎底寬的 1/2 中段內。即 e ≦1/4d（d 為基礎底寬）。

②堅實土層基礎：合力作用點必須在基礎底寬的 1/3 中段內。即 e≦1/6d。

③容易壓縮的土層基礎：合力作用點必須在基礎底寬的中點或中點與牆踵之間。

(4)基礎承載力

基礎趾端的土壤壓力 P_t 及踵端應力 P_h 必須在容許限度以內；基礎承載力之安全係數應採用 2~3，各種土壤容許承載力可參考表 2-11。牆身所受各種應力，必須在各種材料容許應力範圍內(依據ＡＣＩ規範)。

基礎容許承載力亦可依據地質調查結果，以下式計算計算：

$$q_a = \frac{q_{ult}}{F_s}$$

式中

F_s：容許承載力安全係數

q_{ult}：土壤極限承載力

q_a：土壤容許承載力

極限承載力可利用 Terzaghi 基礎承載力公式，或其它淺基礎承載力理論計算之。以 Terzaghi 基礎極限承載力公式為例：

$$q_{ult} = c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma_1 \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \gamma_2 \cdot N_r$$

式中

c：土壤凝聚力

D_f：基礎埋入深度

B：基礎寬度

γ_1：覆土之單位重

γ_2：基礎面土壤單位重

N_c，N_q，N_r：承載力係數，對應於不同摩擦角 ϕ。

極限承載力計算時因應不同基礎形狀與深度，有各種形狀之基礎承載，作適當之形狀係數與深度係數之修正。

表 工-2-12 土壤容許承載力 q_a

材料	容許承載力 t/m^2
軟 粘 土	10
普通粘土	20
硬 粘 土	40
鬆 細 砂	10

材料	容許承載力 t/m^2
壓實細砂	30
鬆 粗 砂	30
鬆砂石混合物或卵石	40
壓實砂石混合物或卵石	50
硬岩	100
強固頁岩	100

(摘自美國土木工程手冊「擋土牆」篇)

2. 擋土牆所受各作用力

(1)牆身自重

以構築材料作用於斷面的重心上之單位重乘以斷面積而得。

(2)土壓力的計算

土壓力的計算有庫倫（Coulomb）及郎金（Rankine）兩派學說，就這兩種土壓理論言：

①若牆背不為垂直或不為平滑面(即土壤與牆背間，具有模擦力)，例如重力式及半重力式擋土牆，以庫倫（Coulomb)理論較適合。

②若牆背為垂直的平滑面，例如懸臂式或扶臂式擋土牆則以郎金(Rankine)理論較適合。

這些理論的根據，都假定土壤不是粘性，故擋土牆回填土以砂、礫石為佳。土壓有主動土壓，靜止土壓及被動土壓之別。

(3)主動土壓力

擋土牆向外略略移動，接觸面附近土壤即膨脹，其水平壓力則將減少，此水平壓力減少到最小時稱為主動土壓力，亦即向擋土牆方向作用之土壓力。

①庫倫（Coulomb）土壓公式

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_s \cdot H^2$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\delta + \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi)\sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2}$$

式中

K_a：庫倫主動土壓係數

P_a：主動土壓力(t/m^2)

γ_s：土之單位重量(t/m^3)

H：擋土牆之高度

ϕ：土壤內摩擦角

δ：擋土牆背面與土之摩擦角

α：上邊坡與水平面之夾角

θ：擋土牆之背面與垂線之夾角。背面垂直者 θ= 0°(如圖 工-2-42a)、牆背外斜者 θ 為"－"(如圖 工-2-42b)、牆背內斜者 θ 為"＋"(如圖 工-2-42c)

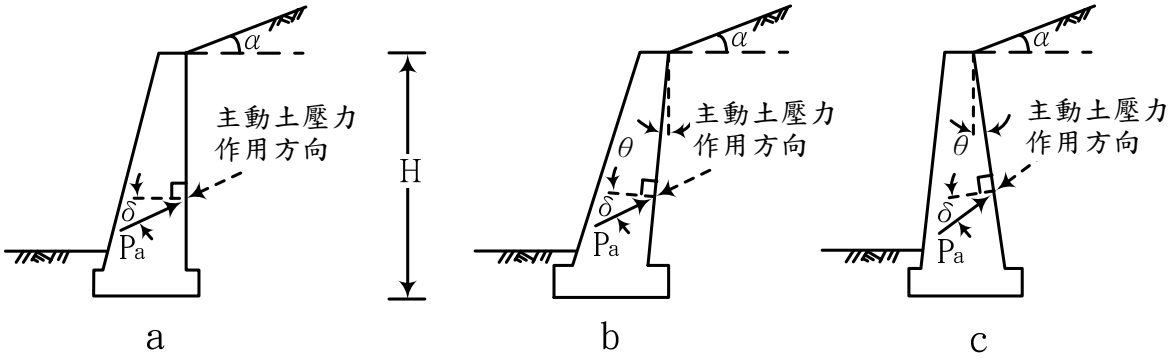


圖 工-2-1 擋土牆背夾角θ示意圖

②郎金(Rankine)

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_s \cdot H^2$$

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

擋土牆背不垂直，牆與土壤間之摩擦角δ不為零時適用本式。

(4)被動土壓力

擋土牆向內移動，以致牆背土壤發生剪力破壞，則該牆所受到的水平土壓力即稱被動土壓力。

①庫倫（Coulomb）土壓公式

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \, \gamma_s \, H^2$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi+\theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta-\theta)\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\phi-\delta)\sin(\phi+\alpha)}{\cos(\delta-\theta)\cos(\alpha-\theta)}}\right]^2}$$

式中

K_p：庫倫被動土壓係數。

P_p：被動土壓力(t/m^2)。

γ_s：土之單位重量(t/m^2)。

H：擋土牆之高度。

ϕ：土壤內摩擦角。

δ：擋土牆背面與土之摩擦角。

θ：擋土牆之背面與垂線之夾角。

②郎金(Rankine)

$$P_p = \frac{1}{2}K_p\,\gamma_s\,H^2$$

式中，K_p：被動土壓係數

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \tan^2(45^\circ+\frac{\phi}{2})$$

(5)靜止土壓力K_0

加在靜止狀態擋土牆上之土壓力，砂性土壤一般可概估為$K_0 = 1-\sin\phi$。

(6)地震力

在有地震力之情況下擋土牆所受之主動力，可由物部與岡部公式求得：

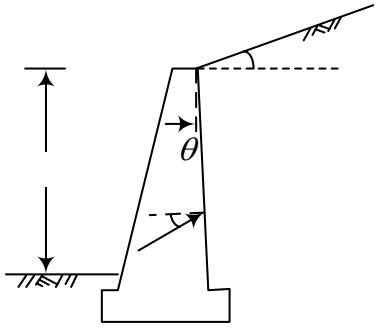


圖 工-2-43 牆與砂土間之摩擦角示意圖

$$P_{ae}=\frac{1}{2}\gamma_s H^2\left(1-k_v\right)K_a'$$

$$K_a'=\frac{\cos^2\left(\phi-\theta-\bar{\beta}\right)}{\cos^2\theta\cos\bar{\beta}\cos\left(\delta+\theta+\bar{\beta}\right)\left\{1+\left[\frac{\sin\left(\delta+\phi\right)\sin\left(\phi-\alpha-\bar{\beta}\right)}{\cos\left(\delta+\theta+\bar{\beta}\right)\cos\left(\theta-\alpha\right)}\right]^{1/2}\right\}^2}$$

$$\bar{\beta}=\tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$$

式中

P_{ae}：每單位牆厚所受之主動力。

γ_s：顆粒土壤之單位重。

ϕ：顆粒土壤之摩擦角。

θ：擋土牆背面與土之摩擦角。

H：擋土牆高度。

k_h：橫向貫性力。

k_v：縱向貫性力。

註：在設計時， K_V 可為 0，$K_h=K_E$ =0.115~0.165，擋土牆背面與土之摩擦角 δ 可為 0 度，$\frac{1}{2}\phi,\frac{2}{3}\phi$。

3. 加載荷重

作用於擋土牆背面之加載荷重，主要有建築物荷重及汽車荷重兩種情況。做壓力分佈圖時，加載荷重必須轉換為具有與該回填物料相同之比重，而高度為 h 的追加回填，如圖 工-2-53 a。此時之土壓力計分為三角形（圖 工-2-53 b）與加載荷 H 土壓分佈之矩形（圖 工-2-53 c）等合計為梯形(圖 工-2-53 a)，其上寬為 P_1 (相當於深度 h 的等土壤比重壓力)，下寬為 P_2 (相當於在深度 H+h 處的土壤比重壓力)。

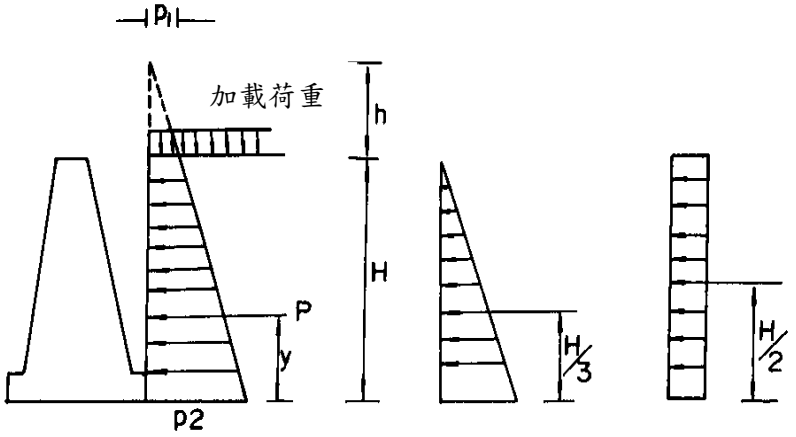


圖 a　　圖 b　　圖 c

圖 工-2-44 加載荷重土壓分佈圖

總壓力 P

$$P=(P_1+P_2)H/2$$

即 $P=\frac{1}{2}K_a\gamma_s H(H+2h)$

其作用點高度 $y=\frac{H}{3}\cdot\frac{H+3h}{H+2h}$

一般回填土上之建築物等加載以每平方公尺面積上承載之荷重W，換算為回填土同比重之荷重高度而 得，即 $h=\frac{W(t/m^2)}{\gamma_s(t/m^3)}$ 。

然而，汽車荷重則考慮以平均荷重作用於擋土牆背面，其荷重分佈如圖 工-2-45。

由圖 工-2-45 H-20 汽車設計載重 W=20 公頓，作用面積 A=7.00x2.75 米平方，則單位面積之重量(即壓力大小)：

$P=\frac{W}{A}=\frac{20}{(7\times 2.75)}=1.04t/m^2$ ，

將此換算為土之高度：

$h=\frac{P}{\gamma_s}=\frac{1.04}{1.8}=0.578\text{m}\approx 0.6\text{m}$

（假設土之單位重 γ_s=1.8 t/m^3）

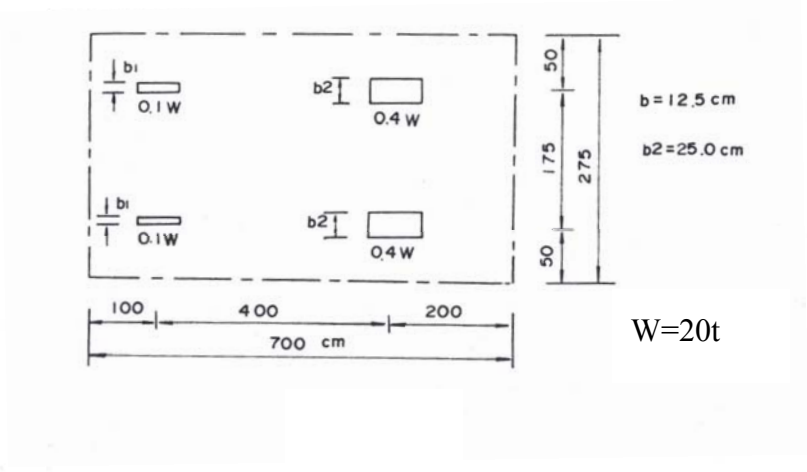


圖 工-2-45 H-20 汽車荷重土壓分佈計算例

4. 水壓

一般擋土牆均設有洩水孔，且牆背回填土均以透水性良好之砂、礫石為主。惟在滲透水充足或地下水位高的地區，牆背除土壓外，尚有水壓，必要時增加面版高度 1/3 的水壓，一併考慮計算。

5. 牆基礎的垂直壓力

牆底所生的承載壓力，皆假定為直線變化，其形狀為矩形、三角形或梯形，以此壓力的合力 ΣV，如圖 工-2-46，e 為作用點偏心距離。

(1)合力 ΣV 作用於牆底為等分佈應力，其大小為 σ1=σ2=ΣV/B(圖 工-2-46 a)

(2)合力 ΣV 作用於 O 點之左右方時，應力之分佈則不等，其強度大小可以下式求之：

$$\sigma_1 = \frac{\sum V}{B}(1+\frac{6e}{B})$$

$$\sigma_2 = \frac{\sum V}{B}(1-\frac{6e}{B})$$

①合力 ΣV 作用點在中心點 O 點三分點 E 間之壓力分佈如圖 工-2-46 b，此時 σ1 及 σ2 皆為正值即壓應力。

②ΣV 在三 z 分點 E 點時之應力分佈如圖 工-2-46 c，此時 σ1＝2ΣV/B，σ2＝0。

③ΣV在三分點E外面時之應力分佈如圖 工-2-46 d，此時σ1最大，但σ2為負值，即產生張應力。

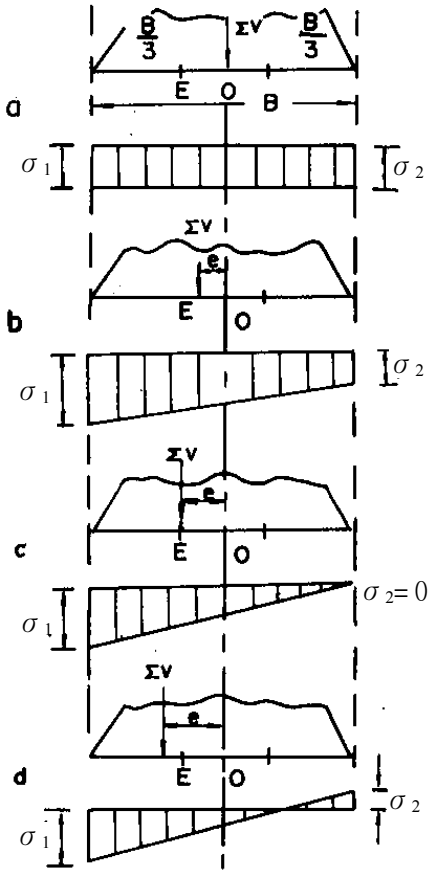


圖 工-2-46 牆基礎的垂直壓力計算例

6. 牆基礎的水平壓力

基礎水平壓力值，係以垂直壓力乘以土與混凝土的摩擦係數而得。牆基礎受水平壓力合力作用滑動之安全係數計算式為：

$$F_s = \frac{\sum V \tan\delta + P_P}{\sum P_H}$$

式中

Fs：滑動安全係數

δ：土與混凝土之摩擦角

P_P：被動土壓力

P_H：水平壓力之合力

2.9.6 施工注意事項

1. 擋土牆除透水性較佳之疊式擋土牆外，均應設直徑§5cm 以上之排水孔，每 2 m^2 至少一處，排水孔應外斜，並應考慮濾水設施，而最下層排水孔應盡量接近地面。在滲透水量多或地下水位高之地區，則應在牆後置特別排水設施。
2. 基礎壓力超過土壤容許承載力時，應加大基礎面積、打樁或其他方法補強之。
3. 施工發現基礎土壤承載力低於預估容許承載力時，應立即變更設計。
4. 牆後回填材料應以砂、礫石為準。其高度應高於牆頂 20 公分以上。
5. 牆後回填土下陷或低於牆頂時，應立即回填。
6. 牆面裂損應即調查原因，隨時補強。
7. 隨時注意排水孔排水效用。
8. 每 20～40m 應加設伸縮縫一處。
9. 重力式擋土牆之混凝土施工冷縫面應予粗糙化處理，並以冷縫鋼筋補強之，以防擋土牆由冷縫處鬆脫滑落。

2.10 土石堆置場

2.10.1 定義

「供土石方資源暫屯、堆置、破碎、碎解、洗選、篩選、分類、拌合、加工、煅燒、回收、處理、再生利用功能及機具設備之場所，稱為土石堆置處理場。」

2.10.2 目的

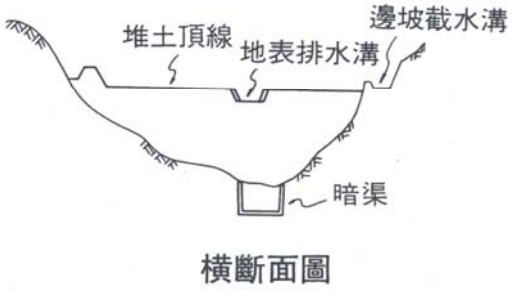
基本上，設置土石方資源堆置場的積極主要功能如下：

1. 暫囤堆置：可容納廢棄土石、礦碴及建築剩餘土石方暫時堆置，以防止土石方任意棄置。且良質土可直接成為回填材料，暫時堆置於土資場，等待再利用。
2. 加工改良：不良之土方需先經土質改良，如加入石灰、混泥土等扮合後改善土質，或大塊碎解、選別、分類、煅燒之加工改良方式等，以便回收再利用。
3. 回收利用：如填海造地，或置於河川浮覆地以開發之，但需同時做好環境保育及水土保持；如此不但可以增加土地面積，亦可提高經濟效益。
4. 防止土石災害：依規定堆置於土資場內之土石，可維持土石之穩定，防止沖蝕及下游之災害，保護生命財產及公共設施之安全。
5. 維護環境及景觀：將廢棄或待處理之土石方集中於土資場，降低土砂飛揚所造成之空氣污染，並減輕土石任意堆置之景觀衝擊。

2.10.3 種類及適用範圍

1. 山谷土石堆置場：利用低窪之山谷，在其較平坦之處設置擋土、排水、護坡、植生等設施，以供堆積廢棄土石。其上游集水區面積以不超過 20 公頃為原則，超過時排水設施應加強。箱涵排水應設計進水口，以免堵塞。
2. 河岸土石堆置場：利用溪岸在局部寬闊地區，設置順堤、護岸等設施，以供堆置廢棄土石。設置地點以不影響排洪及防洪及防洪工程之安全為準。
3. 山腹土石堆置場：利用山腹平坦地設置排水及邊坡穩定等設施，以供堆置廢棄土石。其下方影響範圍內有崩塌之虞及房舍、重要公共設施者，不得使用為棄土場。
4. 平坦地土石堆置場：利用平坦地堆置廢棄土石方，應有妥善之保護措施，不得妨礙交通及排水。

2.10.4 圖說



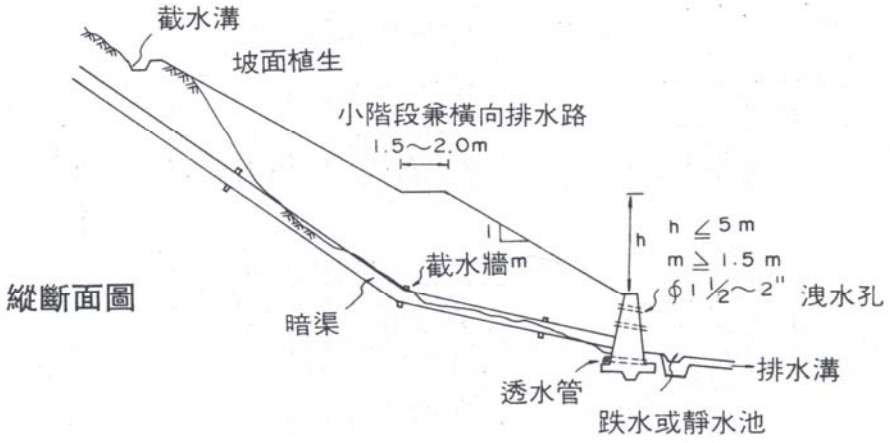


圖 工-2-47 山谷土石堆置場示意圖

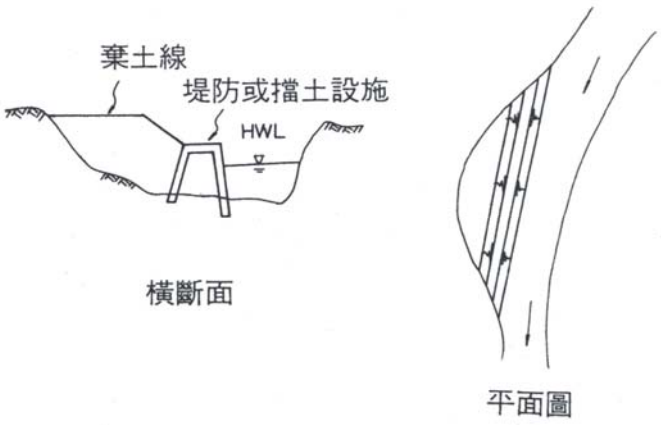
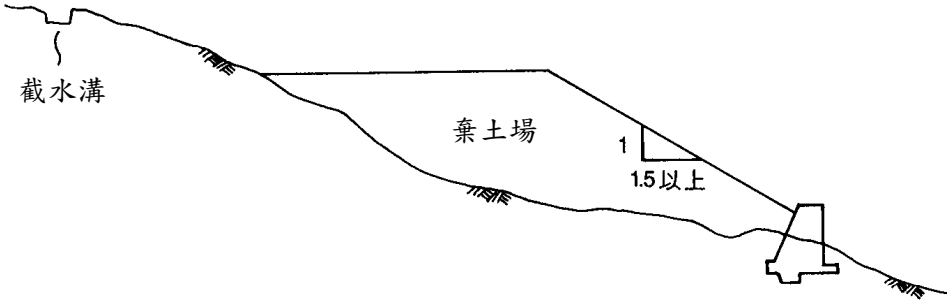
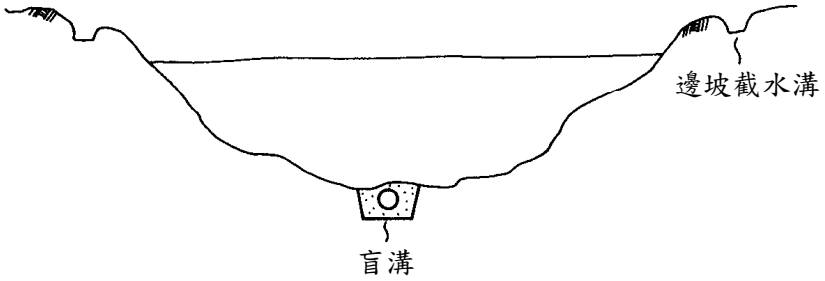


圖 工-2-48 河岸土石堆置場示意圖



斷面圖



縱斷面圖

圖 工-2-49 山腹土石堆置場示意圖

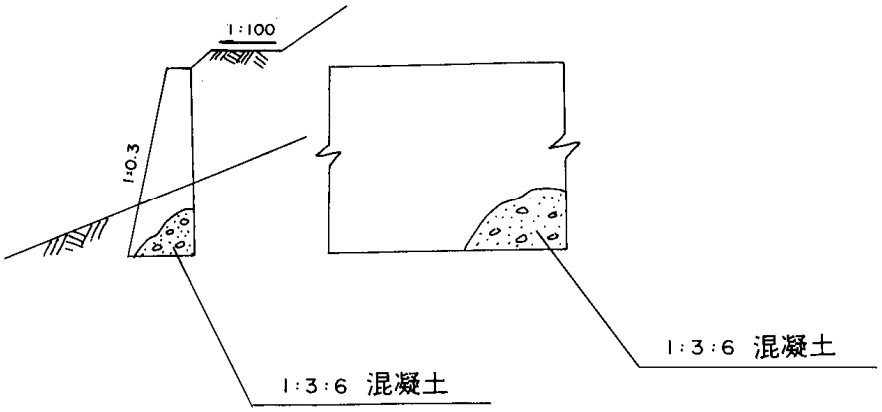


圖 工-2-50 平坦地土石堆置場示意圖

2.10.5 設計原則

1. 土資場之主要構造物

種類	主要構造物			
山谷土石堆置場	擋土牆	防砂壩	排水系統	植生
河岸土石堆置場	堤防	護岸	排水系統	植生
山腹土石堆置場	擋土牆	排水系統	植生	
平坦地土石堆置場	擋土牆	植生		

(1)一般土資場之位置，應按堆積物種類、集水區之地質、環境、出水情形、經費等諸因子選定之。

(2)為避免土資場內之土石造成下游地區之災害，堆置場內需設置滯洪及沉砂設施，並以臨時滯洪池及臨時沉砂池之設計容量為標準，並須考量攔污柵等設計。土資場出口處需設置洗車台，避免造成場外道路污染。

(3)各主構造物之設計除參照各有關章節外，其他各項標準如下：

①盲管排水：為排除土資場之滲透水，應設盲管。一般盲管可採用ϕ15～30cm 之透水管，外緣以卵礫石堆砌其厚度 30～50cm。

②暗渠排水：為渲洩上游集水區逕流，山谷及山腹土資場應設暗渠，其斷面應足以安全排除逕流、浮游物及泥沙。暗渠頂部應設有洩水孔，以利排除滲透水。

2. 山谷或山腹土資場最高填土面兩側之山坡應設置截洩溝。
3. 土資場之坡面每隔 50 公尺應設縱向排水溝。
4. 為排除滲透水及湧水，應沿牆線於牆趾下方設置排水溝。
5. 各種土資場之堆土高度，以不超過鄰近地況高度為原則。每填土高 5 公尺應設 1.5～2 公尺之階段，填土坡度不得大於 33% (1:1.5)。
6. 土資場之表面，除流水之接觸面者另設保護工程外，應全面施以植生綠化。綠化用之植物以採用鄉土植物為原則。
7. 土資場週邊應設置緩衝帶，以降低對鄰地之影響。

2.10.6 施工注意事項

1. 土資場供為大塊岩石堆積時，為避免由高處傾倒衝擊壩體，壩體背面應預先填築小土堤或在堆土底部開挖壕溝阻擋。

2. 不得將都市垃圾有機物質捨棄於場內。

3. 土資場內之原地面植被應予清除，以防滑動及過分沉陷。

4. 管理及維護

(1)山谷土資場之進水口、沉砂池應隨時注意清除，避免阻塞影響排洪。

(2)土資場之周邊設備、截洩溝、排水溝及擋土牆之洩水孔應保持暢通。

(3)應隨時注意坡面植生之維護。

2.11 排水設施

2.11.1 定義

將地面逕流導至安全地點而施設之構造物。

2.11.2 目的

1. 截洩上方逕流，以免損壞農地、房舍及公共設施。
2. 利於宣洩逕流，防止沖蝕。

2.11.3 種類及適用範圍

1. 排水溝

(1)以作用分

①截洩溝

沿近似等高方向，橫跨於地面或保護對象之上方，以攔截逕流導至安全地點者。凡需要攔截上方逕流，以免發生沖蝕或災害時適用。

②縱向溝

順地面坡度構築以安全渲洩逕流者。一般於坡度大、流速快而在襯砌材料允許流速範圍內均適用。

(2)以襯砌溝面材料分

①草溝

種植草類於土築溝面，以防止沖蝕者。一般農地排水系統時間短暫，坡度在 30% 以內，流速不超過 1.5m/sec，溝長 30m 以內適用。(詳坡地保育篇草溝)

②砌石溝

用塊石襯砌溝面，以保護溝身安全者。農地排水系統、農塘溢洪道、道路邊溝、坡地社區排水等速度較大、土壤易沖蝕之處適用。

③砌磚溝

用紅磚襯砌溝面，以保護溝身安全者。農地排水系統地形複雜、溝底坡度變化較大及缺少塊石地區適用。(詳坡地保育篇砌磚溝)

④混凝土溝

用混凝土或鋼筋混凝土襯砌溝面，以保護溝身安全者。農塘溢洪道、道路邊溝、坡地社區排水等速度大、土壤易蝕之處適用。(詳坡地保育篇排水溝)

⑤預鑄溝

按既定之規格，預先鑄造之混凝土製品，搬運至現場襯砌溝面，以保護溝身安全者。農地排水系統、施工缺水、運搬不便、工作困難之處適用。

⑥土質溝

原地面開挖整修成溝。土質佳之緩坡適用。

2. 跌水

(1)A 型跌水 (直線形入口，護坦式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(2)B 型跌水（直線形入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(3)C 型跌水（箱形入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(4)D 型跌水（弧形入口，靜水池式)：砌磚或鋼筋混凝土造。

(5)E 型跌水（直線形入口，靜水池式)：混凝土砌塊石造。

3. 涵管

(1)普通混凝土管

一般規格為長 60cm，管徑 20～120cm，以鋼筋混凝土鑄成。適用於農地排水系統，道路最大負荷重限制為H-10。

(2)離心式混凝土管

鋼筋混凝土製品，以離心力法製造。適用於各種排水系統，道路最大荷重H-20，一般規格管徑 20～120cm 者，有效管長為 2.5m，管徑 135～300cm 者，有效管長為 2.43m。外壓強度則由小管徑之 780kg/ m^2 至大管徑之 11,730kg/ m^2。

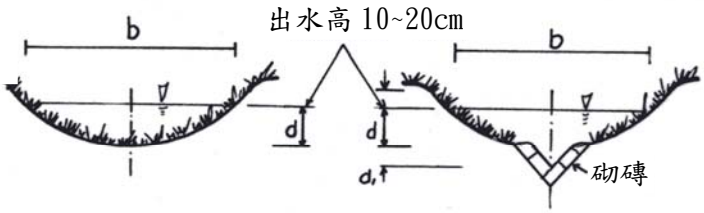
(3)箱涵

鋼筋混凝土構造，依據公路標準圖為正方形或長方形，大小為 1m×1m～3m×3m，每 50cm 為一級，適用於各種排水系統，道路最大荷重HS-20。

2.11.4 圖說

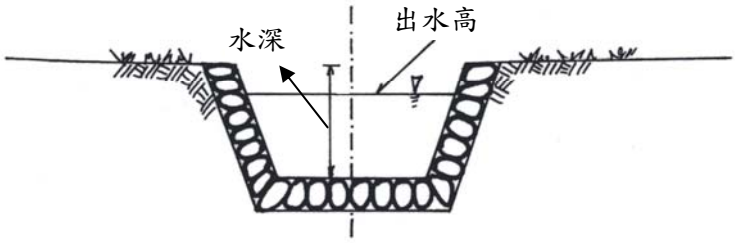
1. 排水溝

(1)草溝

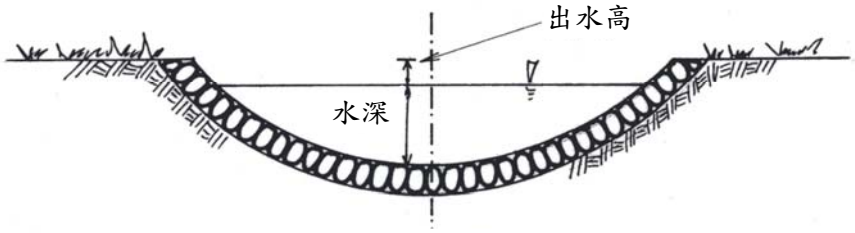


拋物線型斷面　　複式斷面

(2)砌石溝

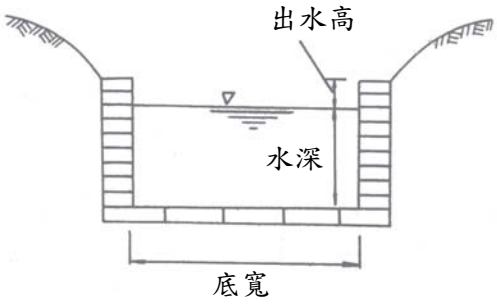


梯形斷面



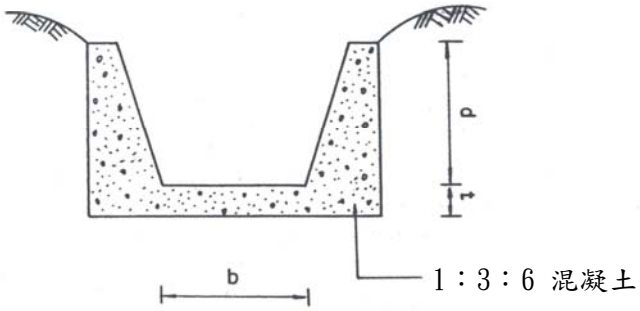
拋物線型斷面

(3)砌磚溝

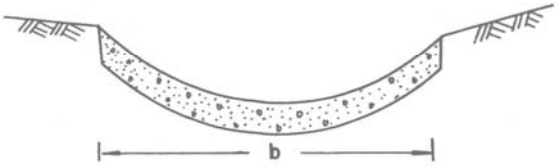


(4)混凝土溝

①梯形

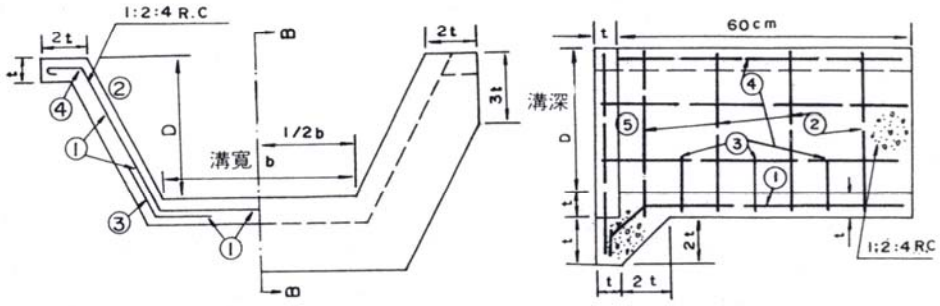


②拋物線形

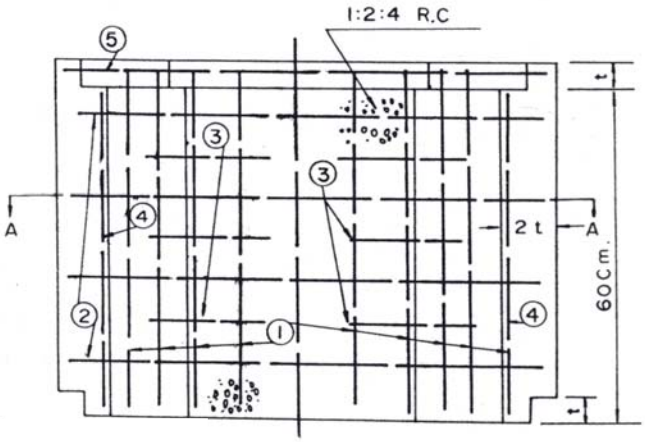


(5)預鑄溝

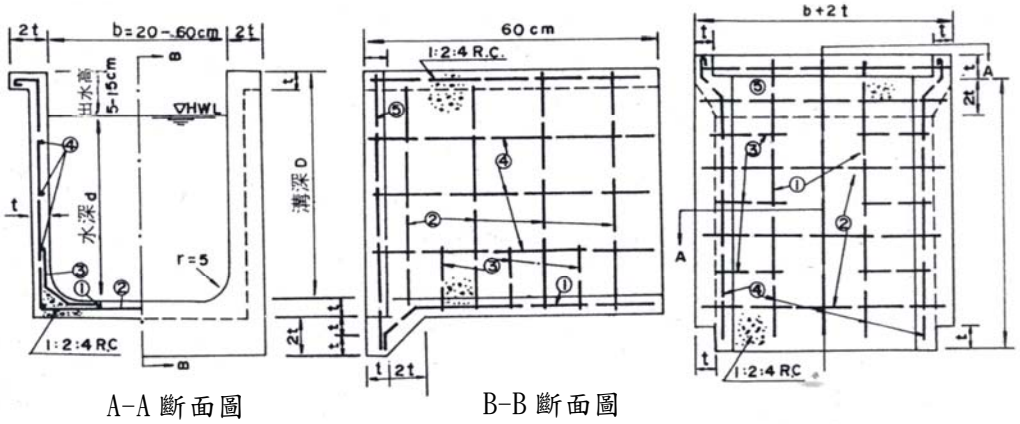
①梯形



A-A 斷面圖　　B-B 斷面圖

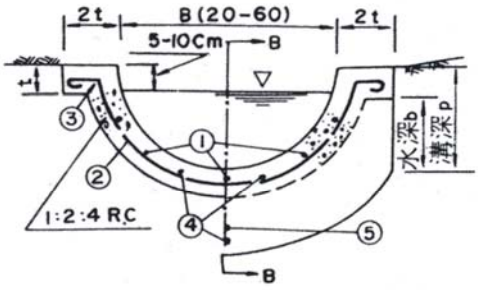


②U 形

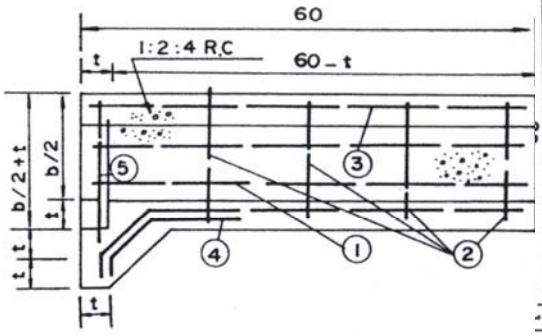


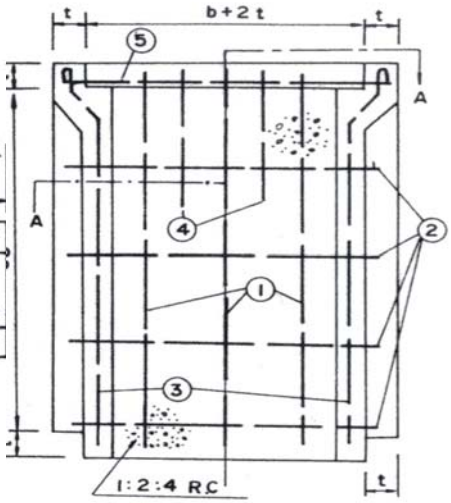
A-A 斷面圖　　B-B 斷面圖

③半圓形



A－A 斷面圖

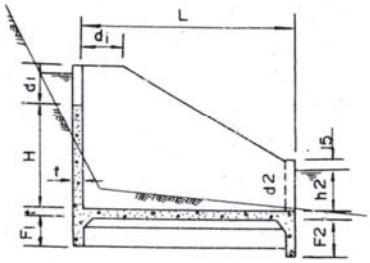




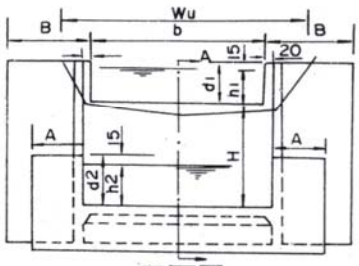
B－B 斷面圖

2. 跌水

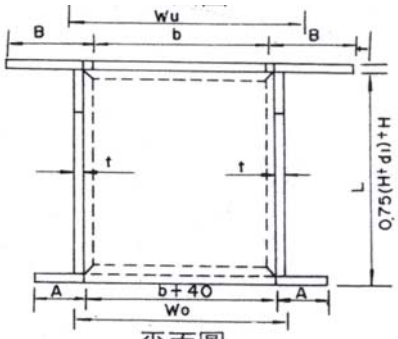
(1)A 形跌水



A－A 斷面圖



正面圖

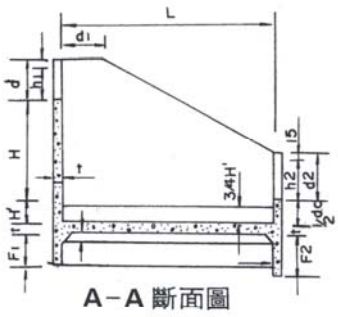


平面圖

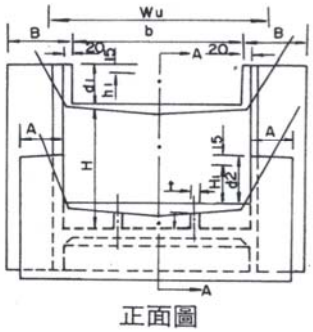
註：1.A.B.視上下游溝寬按實際情形增減，以能插入兩岸至少一公尺爲原則。

2.F_1F_2視溝底土質決定$F_1 \geqslant 80cm$，$F_2 \geqslant 100cm$。

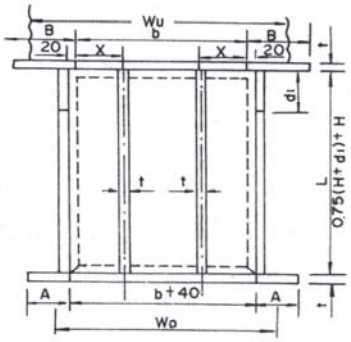
(2)B 形跌水



A－A 斷面圖



正面圖

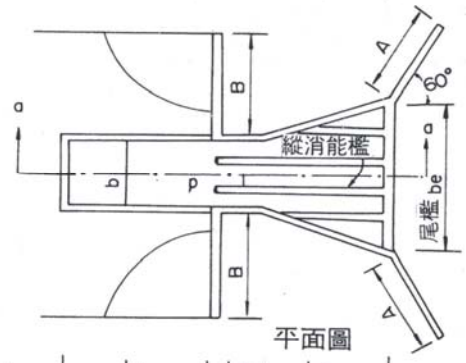


平面圖

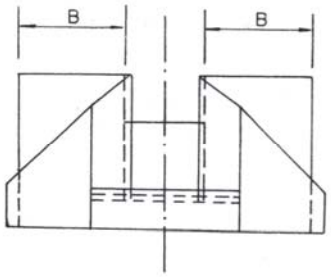
註：1.A.B.尺寸視溝寬而決定，以插入兩端至少一公尺爲原則。

2.F_1F_2視溝底土質決定$F_1 \geqslant 80cm$，$F_2 \geqslant 100cm$。

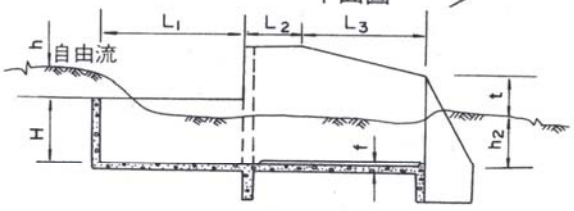
(3)C 形跌水



平面圖

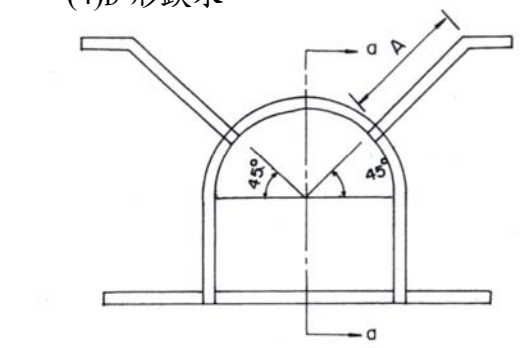


正面圖

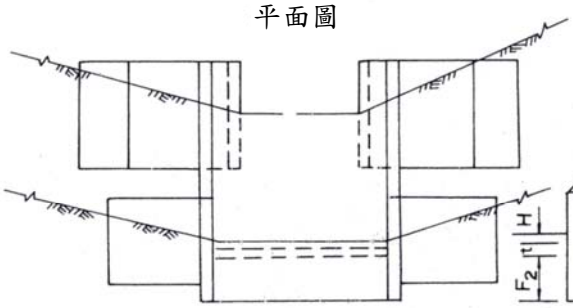


a－a 斷面圖

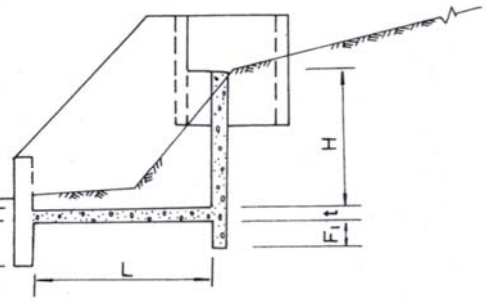
(4)D 形跌水



平面圖

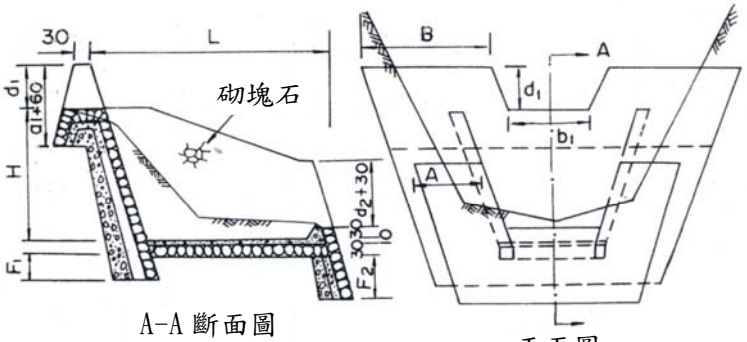


正面圖



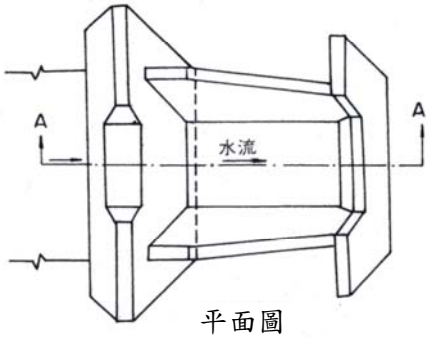
A-A 斷面圖

(5)E 形跌水



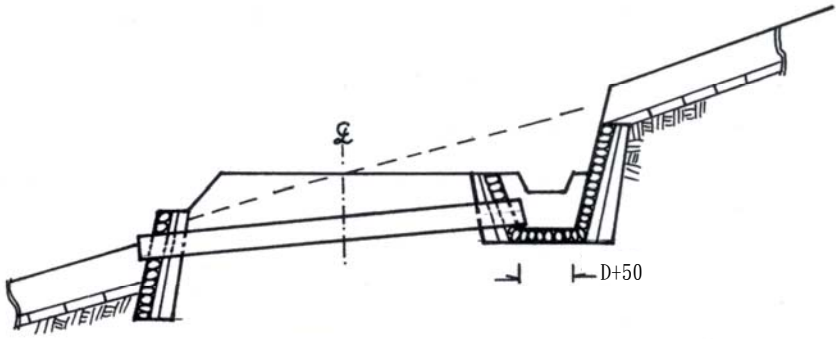
A-A 斷面圖

正面圖

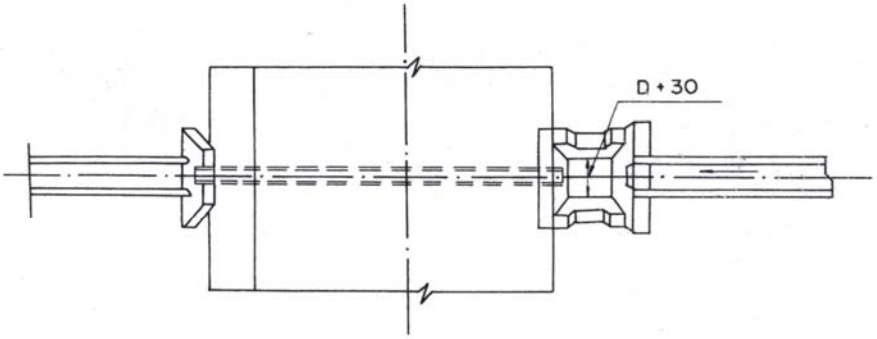


平面圖

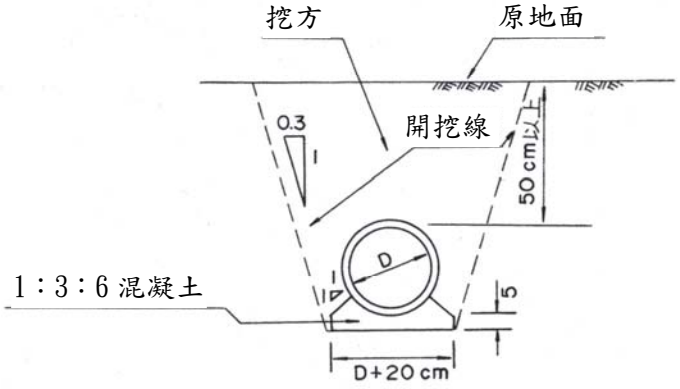
3. 涵管



側面圖



平面圖



斷面圖

圖 工-2-51 各式排水溝示意圖

2.11.5 設計原則

1. 排水溝

(1)逕流量Q_i

按排水溝所在地區雨量強度及計畫之重要程度採用。

(2)坡降 S

採用同斷面區段中最小坡度為設計坡度。

(3)形式

常用排水溝斷面形式有矩形、梯形、U形、半圓形、拋物線形等，按附近材料及對農機具適用情形選定。

(4)斷面大小

根據逕流量、坡降、襯砌材料、粗糙程度等設定斷面大小 (即溝寬及水深)。

(5)粗糙係數 n

其大小因溝內物質之光滑程度而異，按溝內物質及其狀態列如表工-2-13。

表 工-2-13 曼寧粗糙係數 n 值

溝內物質		n 值範圍	平均值	溝內物質		n 值範圍	平均值
無內面工	粘土質	0.016-0.022	0.020	有內面工	漿砌磚	0.012-0.017	0.014
	溝身整齊者砂壤、粘壤土	—	0.020		漿砌石	0.017-0.030	0.020
	溝身整齊者稀疏草生	0.035-0.045	0.040		乾砌石	0.025-0.035	0.030
	全面密草生	0.040-0.060	0.050		有規則土底兩岸砌石	—	0.025
	雜有直徑 1.3 公分小石	—	0.022		不規則土底兩岸砌石	0.023-0.035	0.030
	雜有直徑 2.6 公分小石	—	0.025		純水泥漿平滑者	0.010-0.014	0.012
	平滑均勻岩質	0.030-0.035	0.033		礫石底兩岸混凝土	0.015-0.025	0.020
	不平滑岩質	0.035-0.045	0.040				

❶水力半徑R

$$R = A/P$$

式中

A：通水斷面積(m^2)

P：潤周長，即與水接觸斷面之長度(m)

❷平均流速

平均流速採用曼寧公式計算

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

式中

V：平均流速(m/sec)

n：曼寧粗糙係數

R：A/P水力半徑(m)

S：能量坡度，可用溝底坡度代之

求得之平均流速V，宜小於不致引起沖蝕作用之最大安全流速，最大安全流速如表 工-2-14。

表 工-2-14 最大安全流速(m/s)

土質	最大安全流速	土質	最大安全流速
純細砂	0.23-0.30	礫土	1.23-1.52
不密緻之細砂	0.30-0.46	全面密草生	1.50-2.50
粗石及細砂石	0.46-0.61	粗礫、石礫及砂礫	1.52-1.83
砂土	0.61-0.76	礫岩、硬土層、軟質水成岩	1.83-2.44
砂質壤土	0.76-0.84	硬岩	3.05-4.57
壤土及粘質壤土	0.91-1.14	混凝土	<2.1 (140kg/cm^2) <8.5 (175kg/cm^2) <12 (210kg/cm^2)

❸排洪量

依據設定排水溝斷面所得A及V求得排洪量，公式如下：

$$Q_o = A \cdot V$$

式中

Q_o：排洪水量(m^3/sec)

A：斷面積(m^2)

V：平均流速（m/sec）

(6)比較選定

依設計斷面計算所得之Q_o與逕流量Q_i比較，一般為 $1.05Q_i > Q_o > Q_i$，有特殊情況者酌予加寬。若有土砂、或樹枝淤塞者為 $1.3Q_i > Q_o > Q_i$。

(7)出水高

選定設計斷面後應加水深 25% 為出水高但至少為 0.2m。

2. 跌水

(1)估計逕流量Qi

請參閱附錄 3.1 逕流量估計。

(2)決定跌水型式

按溝寬、溝渠縱坡、落差、逕流量及工程材料決定。

(3)計算跌水入口尺寸

按下列公式以試算法決定 h1 及 b 或 bo。

3. 涵管

(1)最大設計荷重限制

普通混凝土管為H－10，離心式混凝土管為H－20，箱涵為H－20。

(2)涵管斷面以不設計滿流為原則，最佳水深為 0.8D 或 0.8H，以避免泥砂或樹枝淤塞。

(3)涵管坡度應大於 3% ，小於 26% 為原則，大於 26% 者宜設止滑筍或截水牆等防止下滑。

(4)埋設深度

普通混凝土管至少 50cm 以上，離心式壓力混凝土管為 20cm 以上，且以不大於 6 公尺為原則，箱涵為 0～7m。

(5)涵管入口之靜水池底長以不小於 50cm，底寬為D＋0.3m，涵管底高於靜水池底至少 0.2m 為宜。

(6)涵管出口之底部，應與其下游排水溝水面相等或高於水面。

2.11.6 施工注意事項

1. 排水溝

(1)配合農地水土保持處理而設置之排水溝，應依據該設施之排水方向及間距選擇適當地點設置，並儘可能選在區內低窪處。

(2)排水溝儘可能依直線設置，避免急轉彎；或於彎曲部外側加強保護並加高。

(3)排水溝斷面由上游至下游宜分段隨流量增加而加大。溝頂應低於兩岸原地面，以利兩岸之排水。

(4)排水溝縱坡應力求平順，避免變化過大。坡度在 10%以上者，每隔 10~40 公尺應設截牆一處，以減緩流速，另於溝底應設置止滑桿，以防止排水溝滑動。

(5)排水溝每隔適當長度及最下游，視需要設置靜水池或跌水。淺寬斷面砌磚溝可兼步道，在較陡處可增踏階。

(6)草溝應用在水流連續不斷地區時，可用複式斷面。其溝底部份若配合襯砌，效果尤佳。但日照不足以供草類正常生育，或砂礫地及含石量較多之地區不適用草溝。草溝經植草後，應防牲畜踐踏，缺雨時應予澆水。

(7)與田區道路交接之砌石溝，以淺寬之拋物線形斷面，可適應農機具通行。

(8)預鑄溝務須以直線方式修築，因地形限制必須轉彎時，以跌水聯絡之。裝接時務使接口凹槽向上游，由下而上施工，接頭應密合。若用於路邊溝時，應考慮其側壓力。

(9)土質溝填土部份應增加高度（沉陷率以 10% 計算）其表面應植草，以茲安定。

2. 跌水

(1)構造物施設地點應詳加勘查，注意跌水關係位置，急彎處跌水入口及出口方向，應與上下游流向一致。並注意放樣，使護坦或靜水池稍低於下游地盤線。

(2)挖出之土方不可置於渠道中，應堆置兩邊。回填土應充分壓實，高度應超過跌水翼牆至少 20cm，並向跌水呈內斜狀。施工中如發現原設計深度之基礎土質過鬆，應即追加深度。

(3)凡溝渠縱坡度垂直落差大，可能繼續擴大沖蝕處適用跌水。但高度以 3m 為限，超過者應另行設計。

(4)高差及流量稍大時，A 型跌水不適用。A 型跌水視需要得連續構築。

(5)磚砌跌水高度不得超過 2m，牆高 1m 以上者用 B 型。

(6)流量較大、必須流經狹窄構造物，而在低水頭時採用 C 或 D 型跌水較佳。

(7)受地形限制，靜水池無法依規定長度構築時，可稍縮短，但不得少於計算長度之 80%。

(8)跌水胸牆及兩邊翼牆均須設洩水孔，大小以 3～5cmφ，每㎡ 設一孔為原則。

(9)鋼筋混凝土造之跌水，高度在 2m 以下者，厚度採用 12cm，鋼筋用 3/8″φ，間距 25cm 以內；高度在 2m 以上者，厚度採用 15cm，鋼筋用 3/8″φ，間距 20cm 以內。

3. 涵管

(1)涵管底座應確實整平並儘量避免埋設於填土區上；如位於填土區上，應注意基礎土壤夯實，並加強涵管銜接部分，以防止涵管脫落。若土質較差地區使用混凝土管時，應鋪設 140kg/cm^2 混凝土加強，接頭應以 1：3 水泥砂漿填縫，周圍回填土應選用不含大塊石之顆粒性材料分層夯實。

(2)涵管底座可分為：

①砂基座：適用於地質良好地盤，底座厚度一般為涵管外徑之 0.4～0.5 倍，回填砂高度可達半管或全管。

②碎石基座：適用於鬆軟地盤，地下水位較高處，回填厚度為 20～30 公分。

③混凝土基座：除適用於軟弱地盤外，尚具有保護涵管之功用。

(3)涵管入口宜設攔污柵，出口應設消能設施或銜接排水溝。

(4)涵管之排水容量，除應足以渲洩設計洪水量外，尚應參酌泥砂含量及漂流物而加大斷面。

(5)涵管橫越道路等主要設施時，儘量與其成正交。

(6)涵管埋於山坡地或倒虹吸構造時，其長度達 10 公尺以上者，須設置混凝土加強座（或稱項圈）以防止滑動變形及滲流。

(7)為處理地滑地區地下滲透水，應先觀察、測定地下水來源、流動方向，並研判滑動面後，在其上方靠近源頭處設置暗渠排水、集水井等設施。

(8)當涵管流況為進口控制時，涵管通水能力受頭水位、涵管進口幾何形狀及斷面大小之影響，因此在進口視水理需要設置端牆、翼牆、導流牆，

材料一般用混凝土砌卵石、混凝土或鋼筋混凝土，其厚度為 20 至 30 公分。涵管進口前溝渠如流速太快，須設置落水井或其他消能設施以消減過高能量。

(9)離心式混凝土管接頭可按需要選擇膠圈接頭，平口接頭及大頭型承插式膠圈接頭三種。

2.12 沉砂池

2.12.1 定義

為攔截或沉積土石之構造物

2.12.2 目的

減少土石下移、保護下游土地房舍及公共設施。

2.12.3 種類及適用範圍

沉砂池之形狀及大小係依據流量、推移質砂礫數量、形狀、入口處之河床坡度、淤砂度及地形而定。一般常見者有角型、鳥囊型、胃袋型、盾型、六角型及長橢圓型等，其周圍護岸之材料有混凝土、漿砌石及土堤等。

2.12.4 圖說

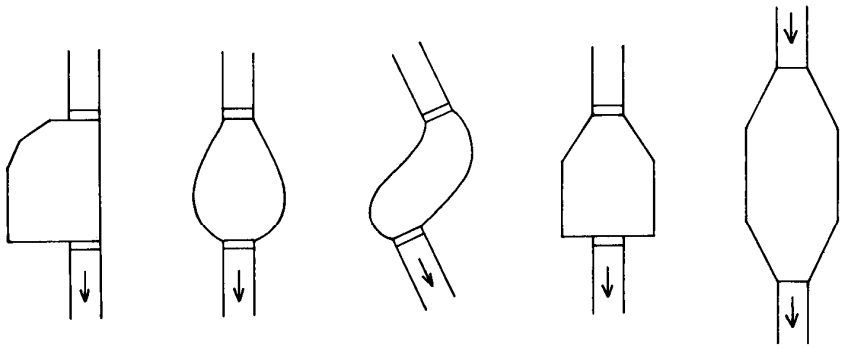


圖 工-2-52 沉砂池示意圖

2.12.5 設計準則

1. 容量之決定：沉砂池之容量應為預估土壤沖蝕量之 1.5 倍以上。

(1)土壤流失量估算：上游集水區土壤流失量應依其降雨、地形、面積、地質、開發程度、覆蓋情形，予以估算。

(2)臨時性沉砂池：開挖整地工程之土壤流失量以挖填面積不得小於每公頃每年 500m^3 估算。

(3)永久性沉砂池：以下列公式估算，採取較大值，且不得小於每公頃 30m^3。

①通用土壤流失公式估算

$$A_m = R_m \cdot K_m \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

其中

A_m：每公頃之年平均土壤流失量(公噸/公頃-年)

R_m：年平均降雨沖蝕指數(10^6 焦耳-毫米/公頃-小時-年)

K_m：土壤沖蝕性指數(公噸-公頃-小時-年/10^6 焦耳-毫米-公頃-年)

L：坡長因子

S：坡度因子

C：覆蓋與管理因子

P：水土保持處理因子

(4)砂石清除之次數：一般採一年 1～2 次清除，則 $V_a=V/2$

V_a：沉砂池容量(m^3)

V：沖蝕量(m^3/yr)

臨時性沉砂池須於每次豪雨後清除，永久性沉砂池則每年至少清除一次。

2. 構造物

(1)沉砂池寬度應為入流水寬 3 倍以上。

(2)沉砂池長度應大於寬度。

(3)沉砂池深度應為入流溝渠水深 2 倍以上。

(4)以開挖方式施設，其深度視容量而定，至少在 1.5 公尺以上，其縱坡度 0.5% 以上。

(5)入口處放入之角度視溪流狀況，施工位置而異，一般θ=30°～60°。

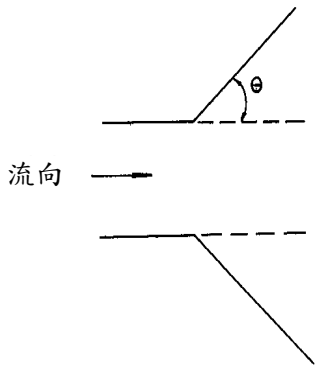


圖 工-2-53 沉砂池水流流向示意圖

(6)設計清除淤積土石之道路時，應考慮以機械直接清除及搬運，並應防止洪水經由道路溢流。

2.12.6 施工注意事項

1. 出口之固床工應設置排水管，將池中之水儘速排除，以防孳生蚊蟲破壞環境。
2. 沉砂池周圍應設置防護措施，以策人畜安全。
3. 整流工程之沉砂池，可依地形及土砂量於中游或下游設置多處。
4. 入口應防止堵塞而產生漫流。
5. 於溪流設置沉砂池時，其入口及出口處均應設置固床工，兩岸以護岸保護。
6. 沉砂池之最低處應請設法加設排水設施，以便放乾，而利清淤。

2.13 滯洪池

2.13.1 定義

在河床或基地水路構築橫向構造物，或以挖填土方產生窪地，藉由所製造之空間暫時儲蓄暴雨逕流以調整洪水流量之池堰構造物。

2.13.2 目的

降低因開發山坡地而增加下游地區洪峰流量之衝擊，藉由滯洪池之蓄水體積及限制出流量而達到降低洪峰流量、遲滯洪峰到達時間或增加入滲等目的。若其出口高於池底，則滯洪池亦能達到污染及泥砂控制之目的。而透過適當的設計及位置選擇，滯洪池尚具有減輕下游之河道沖蝕之功能。

2.13.3 種類及適用範圍

根據構造材料、出口高度、設置位置及出口設計等分類標準，滯洪池可分為不同種類，而其適用範圍亦不相同。

1. 依構造材料區分

(1)種類：分為土壩、混凝土或鋼筋混凝土壩體或池堰。

(2)適用範圍

①土壩：適用於逕流量較小，壩址地質條件較差之處。

②混凝土壩或池堰：適用於野溪中下游，規模較大之地段。

③鋼筋混凝土壩或池堰：適用於逕流量較大，在野溪中下游，規模較大且具永久性治理效能之構造物。

2. 依出口高度區分

(1)種類：分為乾式滯洪池(Dry pond)及濕式滯洪池(Wet pond)兩類。前者之出口設施位於池底最深處而暴雨結束後並無儲蓄水體，後者因最低之出口高度仍高於池底高程而在暴雨結束後可保有水體。

(2)適用範圍及設置限制維修路徑或出入口

①乾式滯洪池：適用於將沉砂池與滯洪池分別設置之開發區。

a.為確保兩場暴雨之間，乾式滯洪池內並無積蓄水體、底表下排水或適當池底斜率。

b.透水性之池底設計不適於高地下水或母岩深度太淺之地區。

c.除非通過土力檢算，否則填土區或斜坡區。

d.不宜設於下游地區屬於水溫敏感區域之開發基地，因為滯洪池無足夠時間降低來自不透水區之水溫。

②濕式滯洪池：適用於土地面積有限，必須將沉砂池與滯洪池合併設置之開發區。

a.除非通過土力檢算，否則填土區或斜坡區。

b.若欲保持永久水體且無地下水自然補助，則需要輔助供水系統或不透水池底設計。

c.所需面積較大，較不適於非常高使用密度之都市區域。

d.因為池面之加溫作用，固不適於下游地區具水溫敏感區域之開發基地。

e.依據其平常深度，安全設計應予以考量。

3. 依設置位置區分

(1)種類：分為在槽(in-stream)滯洪池及離槽(off-stream)滯洪池。

(2)適用範圍

①在槽滯洪池:適用於開發範圍內之河道或水路具有適當區位足以設置橫向構造物並提供所需體積之處。其位置以在河床及兩岸均為岩盤之處，且其上游有相當腹地儲蓄洪水者為佳。若無岩盤時，則應加強兩岸及下游河床之保護。

②離槽滯洪池：若開發範圍內並無明顯之河道或水路，或無合適位置可供設置橫向構造物，則利用挖填土方產生窪地以製造蓄水體積，再以排水溝渠或管涵連接至河道或水路。

4. 依出口設計區分：主要由頂端之溢洪口和底部不同形狀之排洪口，或自溢洪口處加一矩形開口所組成。

2.13.4 圖說

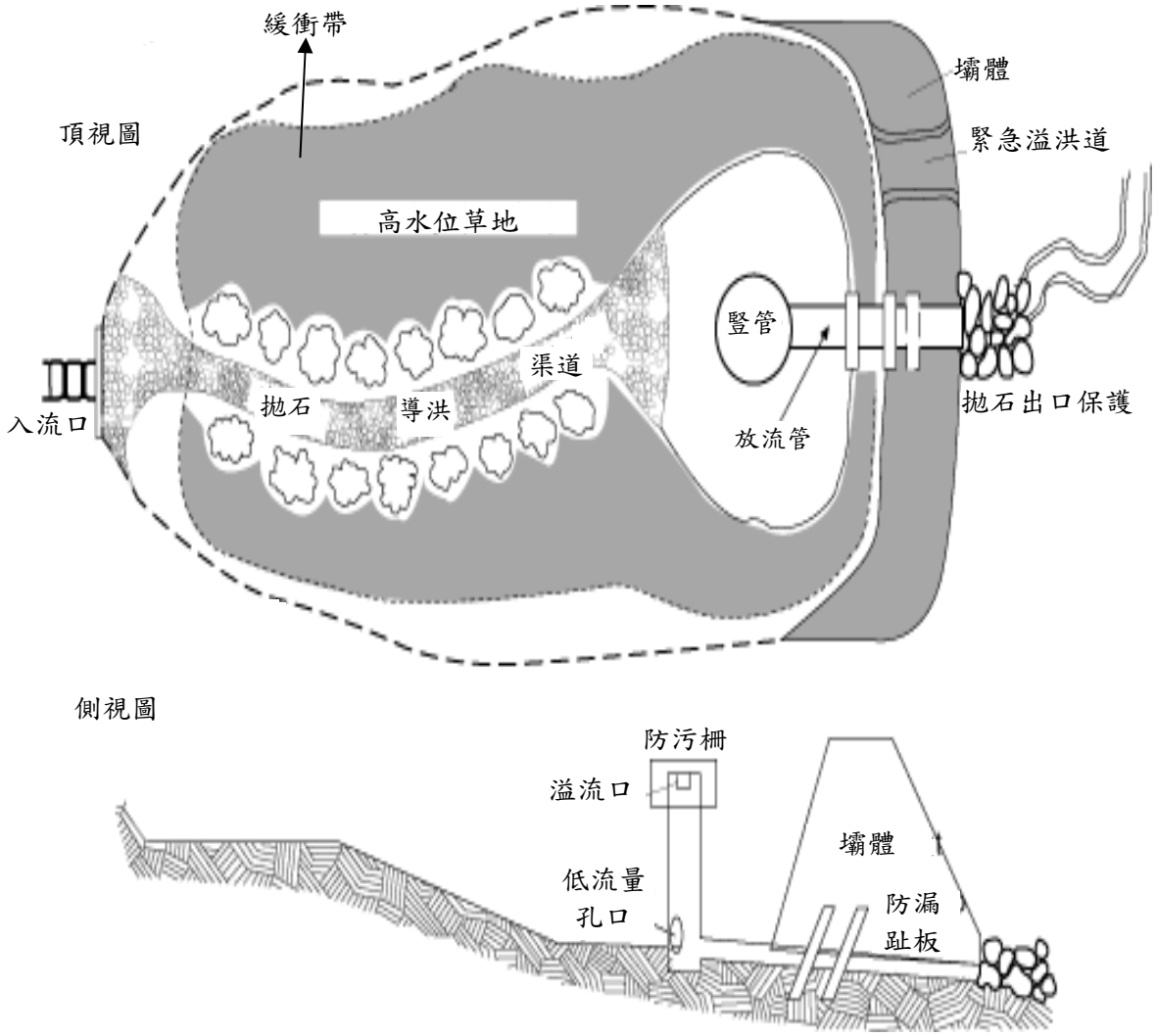


圖 工-2-54 乾式滯洪池（濕式滯洪池則無低流量孔口）

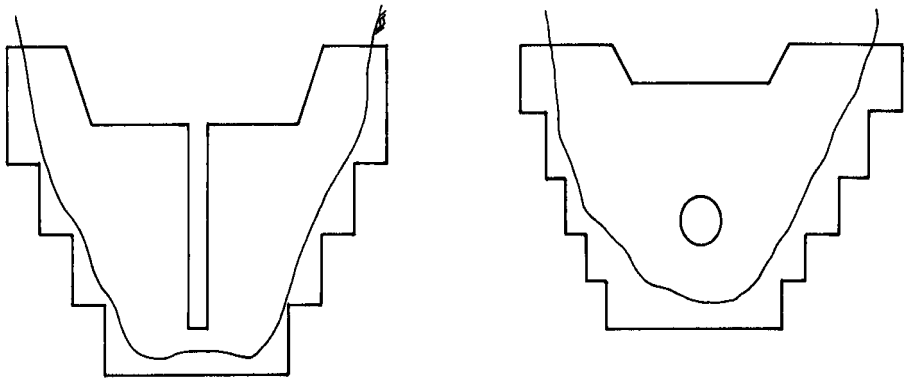


圖 工-2-55 滯洪壩正面示意圖-出口形式（矩形及圓形）

2.13.5 設計原則

因山坡地開發而設置之滯洪池，以下各準則亦應一併考量：

1. 滯洪池之類型與其位置應依實際調查資料之結果，並配合當地地質、地形條件，針對開發區域內之河道或水路狀況、土地使用分配及其他功能要求（如沉砂、景觀）等因素綜合考量。其位置之選定、方向、斷面、水墊等參考防砂壩及土壩章。
2. 為避免泥砂沉積而減少滯洪池調洪容量，可在滯洪池前設置沉砂池。如果沉砂池與滯洪池設計在同一地點時，則滯洪池底部開口下端以下之池堰容量需大於或等於沉砂池之設計容量，而滯洪池之形狀與尺寸則應配合沉砂需求而調整。
3. 滯洪池各單元之設計要點
   (1)最大洪峰流量：滯洪池之最大洪峰流量，可依合理化公式估算之。其入流歷線至少採五十年以上之洪水頻率，出流歷線則為二十五年以下之洪水頻率，並應以五十年洪水頻率之計算標準提供滯洪設施。滯洪池對外排放之洪峰流量，不得超過開發前之洪峰流量，並使排出之洪水量能容納於原排水系統中。
   (2)池堰邊坡：若滯洪池之構造主體為土壩，則滯洪池邊坡應保持在坡度應緩於一比三(垂直高比水平距)並配合邊坡植生。若沉砂池與滯洪池設計在同一地點時，土質池堰邊坡為防止波浪侵蝕，應以拋石等加以保護。
   (3)排水口：滯洪池之排水口型式，可依當地環境條件，設計為矩型開口型式或圓形開口型式等，所需尺寸可利用實驗或理論公式藉由最大洪峰流量推算。為抵抗水流衝力及砂石碰撞所產生之撞擊力，出口處之斷面應加強其結構設計。為防止雜物阻塞而影響排水能力，排水口應有防汙柵等設計。排水口以溝渠或管涵連接至開發區外現有河道或水路處，應設置保護或消能設施。
   (4)安全措施：若滯洪池深度超過 1.5 公尺以上，應於滯洪池頂加設安全護欄。平常保有水體之滯洪池（如濕式滯洪池或沉砂滯洪池）得豎立警告標誌，必要時滯洪池可採用安全階台（safety ledge）之設計。
4. 設計流程

滯洪池之設置主要在於減緩暴雨逕流之衝擊，因此其設計重點在於尋求足以容納因開發行為而在基地內額外產生之暴雨體積，並依規定將之排放至開發區外之現有水路或排水系統。滯洪池之設計流程（見圖 工-2-56），應包含以下主要步驟：

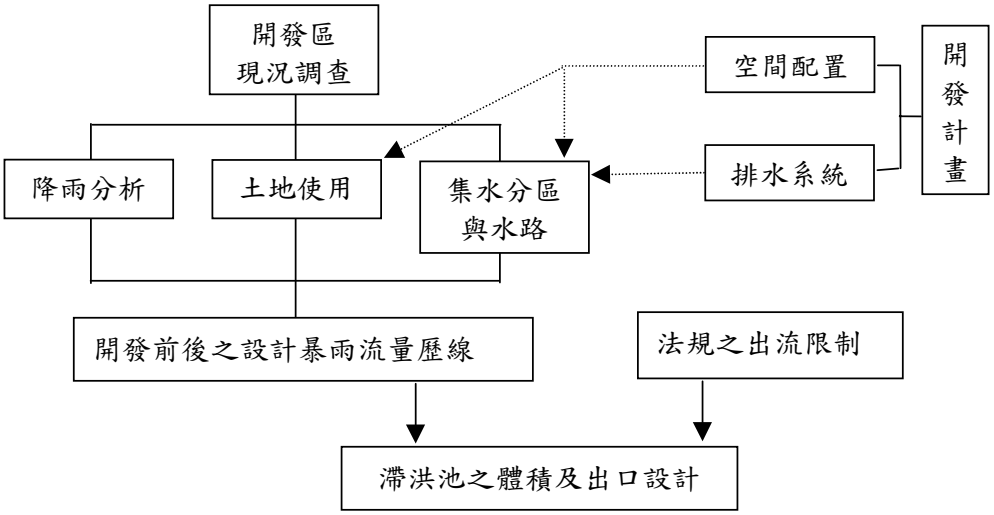


圖 工-2-56 滯洪池設計流程

(1)開發區現況調查：針對開發區之降雨特性、土地使用之類別及面積、現有水路及對應集水分區進行調查，利用合理化公式分別推算。

(2)開發後之流量歷線估算：根據開發計畫，以其空間配置對開發區之未來土地使用類別及面積進行估算，並利用其排水系統設計以對集水分區集水路進行修正，最後以合理化公式計算開發後之集水分區以及全區流量歷線。

(3)滯洪池體積估算：利用前兩個步驟之流量歷線。

①利用開發前、中、後之洪峰流量繪製成三角單位歷線圖，以三角形同底不等高，依下列公式求出滯洪量：

$$V_{s1} = \frac{t_b^{'}(Q_2 - Q_1)}{2} \times 3600$$

$$V_{s2} = \frac{t_b^{'}(Q_3 - Q_1)}{2} \times 3600$$

V_{s1}：臨時滯洪量（m^3）

V_{s2}：永久滯洪量（m^3）

Q_1：開發前之洪峰流量（m^3）

Q_2：開發中之洪峰流量（m^3）

Q_3：開發後之洪峰流量（m^3）

t_b'：基期（小時），基於安全考量，設計基期至少應採依小時以上之設計。

②滯洪池之設計蓄洪量 V_{sd}(立方公尺)其規定如下：

a.永久性滯洪設施：$V_{sd}=1.1V_{s2}$

b.臨時性滯洪設施：$V_{sd}=1.2V_{s1}$

③滯洪池出口設計:滯洪池之出口設計必須同時滿足小於開發前洪峰流量及開發區外原排水系統洪水容量。

2.13.6 施工注意事項

滯洪池之管理依滯洪池類型對以下幾項考量進行維護管理工作：

1. 一般維護管理：為避免雜物流入並堆積於池內而減少滯洪體積，滯洪池除定期清理外，暴雨過後亦應視需要立即清理。
2. 植草區域：滯洪土壩之邊坡植草區域應定期修剪，並檢查是否有沖蝕或沖刷情況。植草區域至少維持 85%之邊坡面積，若超過 50%之植生區域受損則應立即重新植草。若需使用農藥及肥料，應考量對下游水質之影響。
3. 構造單元:所有滯洪池之構造單元至少每年一次檢查是否有龜裂或沖蝕之情況。
4. 其它維護準則：若與沉砂池設計在同一地點時，淤砂應定期清除，池底應能放乾，以利清淤並注意沉砂池水體可能引發蚊蟲孳生問題。

水土保持手冊

工程方法篇

目錄

三. 附錄.....1
3.1 逕流量估計.....1
3.2 水理演算.....17
3.3 土石流演算.....24
3.4 懸臂式梳子壩設計例.....28

表 工-3-1 逕流係數 C 值之選擇參考表 工-3-2
表 工-3-2 離島各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數表 工-3-3
表 工-3-3 北部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表 工-3-4
表 工-3-4 中部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表 工-3-5
表 工-3-5 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表 工-3-6
表 工-3-6 東部地區各雨量站無因次降雨強度公式Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｇ、Ｈ係數和年平均雨量表 工-3-7
表 工-3-7 北部地區各雨量站之年平均雨量表 工-3-8
表 工-3-8 中部地區各雨量站之年平均雨量表(1) 工-3-9
表 工-3-9 中部地區各雨量站之年平均雨量表(2) 工-3-10
表 工-3-10 南部地區各雨量站之年平均雨量表(1) 工-3-11
表 工-3-11 南部地區各雨量站之年平均雨量表(2) 工-3-12
表 工-3-12 東部地區各雨量站之年平均雨量表 工-3-13
表 工-3-13 渠道及天然河流的曼寧粗糙係數 n 值 工-3-19
表 工-3-14 使用代號說明 工-3-29

圖 工-3-1 台灣等雨量線圖 工-3-14
圖 工-3-2 由空壩到土石流推擊 工-3-33
圖 工-3-3 淤滿後靜土石堆積狀態圖 工-3-37
圖 工-3-4 土石流淤滿後土石流溢流 工-3-41
圖 工-3-5 土石流接近淤滿時巨礫撞擊 工-3-45

三. 附錄

3.1 逕流量估計

3.1.1 前言

降雨發生之後，經由地表或地下匯集之水，概稱為逕流，暴雨時所產生的逕流乃以地表逕流為主，當流量較大時，亦可稱之為洪水。逕流量與集水區面積、溪流長度、坡度及水系分佈等皆有關係，因此於推估逕流量之前，必須先對前述之地文因子進行量測或調查。

逕流量分析，常應用於集水區經營、山坡地土地利用管理和河川整治等項目中之水土保持構造物設計，其數值之大小常會影響設計之規模和費用之多寡。因此，山坡地集水區之洪峰流量估算，若有實測資料時，其逕流量得採用單位歷線分析；但一般水土保持工程構造物之施設地點，大部分在河川的中、上游地區，因位置偏遠，常無實測資料或欠缺長年的水位、流量觀測資料。在推估逕流量時，常採用合理化公式法 (Rational Formula)求得。然而在重要工程設計規劃時，則必需另以較精確的方法計算逕流量。

3.1.2 合理化公式

一般水土保持工程皆施設於集水區面積較小之野溪、坑溝或坡地上，如野溪治理、防砂壩工程、產業道路橋涵工程、農地排水系統等，這些地區也常無水位流量站的設置，因此，合理化公式的使用便較為常見。逕流量估算係根據集水區之集流時間、平均降雨強度、集水區面積及與集水區內土壤、覆蓋、地形、地勢等因子有關之逕流係數相乘而得。集水區面積 1000 公頃以內，合理化公式適合性佳，但面積在 1000 公頃($10km^2$)以上則較可能偏大，為較保守之估計值。合理化公式如下：

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA$$

式中：

Q_p ：洪峰流量(立方公尺/秒)

C ：逕流係數(無單位)

I ：降雨強度(公釐/小時)

A ：集水區面積 (公頃)

3.1.3 逕流係數

逕流係數為逕流量與降雨量的比值。視地形、地勢、土壤、地質、集水區面積、土地利用及覆蓋情形、降雨總量、強度及延時等因子而異，一般可分為下列三種。

1. 洪峰逕流係數

   為洪峰流量對集流時間內之平均降雨量的比值。

2. 一場暴雨逕流係數

   為一場暴雨內之總逕流量與總降雨量的比值。

3. 長時間逕流係數

   係指長期(如年、季節、月等)逕流係數，為長期內之總逕流量與總降雨量的比值。

一般水土保持工程構造物設計時，皆採用洪峰逕流係數計算逕流量，以提高構造物的安全，。其中，逕流係數 C 值之決定分為無開發計畫區及有開發計畫區兩大類；有開發計畫區又分為開發前及開發中兩種情形。各項 C 值應依下表選擇之；開發前採用無開發地區之 C 值，開發中之 C 值為安全計採用 1。但有實測資料者不在此限。

表 工-3-1 逕流係數 C 值之選擇參考表

集水區 狀況	陡峻山地	山嶺區	丘陵地或 森林地	平坦耕地	非農業使用
無開發計畫區之逕流係數	0.75~.090	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
有開發計畫區之逕流係數					
(1)開發中	1.00	0.95	0.95	0.90	1.00
(2)開發後	0.95	0.90	0.90	0.85	0.95

3.1.4 降雨強度

降雨強度之推估，得參照無因次降雨強度公式推估，其公式如下：

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (G + H\log T)\frac{A}{(t+B)^C}$$

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

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

$$B = 55$$

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

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

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

式中，T：重現期距 (年)

t：降雨延時 (分)

I_t^T ：重現期距 T 年，降雨延時 t 分鐘之降雨強度 (公釐/小時)

I_{60}^{25} ：重現期距 25 年，降雨延時 60 分鐘之降雨強度 (公釐/小時)

P：年平均降雨量 (公釐)

A、B、C、G、H：係數。

(1)當計畫區位於表列氣象站附近時，前項之年平均降雨量與 A、B、C、G、H 等係數，可參考下表。

(2)當計畫區附近之氣象站只有年平均降雨量且無 A、B、C、G、H 等係數時，可依前述之計算式分別計算各參數值。

(3)當計畫區附近無任何氣象站時，則從年等雨量線圖查出計畫區之年平均降雨量值，再依計算式分別計算各參數值。

表 工-3-2 離島各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數表

測站	站號	A	B	C	G	H
澎佳嶼	--	41.24459	55	0.76884	0.45652	0.37764
澎湖	--	67.43539	55	0.87459	0.43048	0.39567
蘭嶼	--	23.88976	55	0.65632	0.54268	0.31782
東吉島	--	46.77038	55	0.82291	0.45675	0.37746

表 工-3-3 北部地區各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
基隆	012001	22.32395	55	0.65509	0.55394	0.30996	3301.3
鞍部	030005	9.85432	55	0.50718	0.55906	0.30647	4459.3
福山(2)	030037	13.88876	55	0.53952	0.52893	0.32755	2976.9
孝義(1)	030038	17.95987	55	0.59706	0.63588	0.25322	3558.8
龜山	030042	29.73367	55	0.70359	0.66837	0.23070	3234.9
乾溝(1)	030050	21.54449	55	0.63497	0.60264	0.27630	2841.6
粗坑	030055	45.61652	55	0.81544	0.59061	0.28463	2757.6
台北	030065	36.86933	55	0.75934	0.53313	0.32442	2126.2
火燒寮	030069	18.66015	55	0.59330	0.58439	0.28887	5547.5
竹子湖	030080	10.17801	55	0.49434	0.54251	0.31795	4761.3
淡水	030083	24.62938	55	0.68187	0.53402	0.32378	2011.6
桶後	030121	19.02911	55	0.59839	0.62949	0.25762	3845.8
南山	100002	13.45068	55	0.55261	0.49857	0.34850	2195.4
梵梵(2)	100012	10.79076	55	0.48751	0.48099	0.36078	3016.5
圓山進水口	100013	12.88224	55	0.54525	0.54395	0.31716	3297.0
天埤	100018	10.03551	55	0.47346	0.54376	0.31728	3362.3
宜蘭	100026	18.93080	55	0.61162	0.50141	0.34648	2729.0
新寮	120003	11.19436	55	0.49043	0.49507	0.35098	4192.2
冬山	120004	17.08174	55	0.58006	0.50703	0.34265	3594.2
新竹	130012	28.51528	55	0.69696	0.52670	0.32891	1763.5
大元山	180001	12.59072	55	0.52193	0.48741	0.35694	4968.0
山腳	180002	7.61074	55	0.41063	0.59074	0.28460	5552.0
新北城	--	23.15892	55	0.66036	0.52986	0.32677	＊＊＊

表 工-3-4 中部地區各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(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

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
阿里山	290055	13.21153	55	0.50597	0.56849	0.29988	4106.4
平岩山	290060	11.52628	55	0.49536	0.49837	0.34881	2101.3
龍神橋	290075	26.36823	55	0.68796	0.62293	0.26216	1957.0
西螺(2)	290080	63.94031	55	0.85671	0.60374	0.27543	1356.7
立鷹	290082	29.57058	55	0.65106	0.53562	0.32280	2633.2
高峰	290084	26.09516	55	0.63310	0.53546	0.32298	1953.1
望鄉	290087	14.05812	55	0.54659	0.53095	0.32608	2427.0
西巒	290088	16.01029	55	0.57247	0.52234	0.33205	2359.6
褒忠(2)	313048	34.03808	55	0.74349	0.52951	0.32707	1096.0
林內	330001	34.31148	55	0.75384	0.63367	0.25470	2039.2
北港(2)	330055	42.69279	55	0.78103	0.57643	0.29443	1328.4
大埔	330061	35.34334	55	0.73459	0.60982	0.27126	2391.7
溪口(3)	330063	43.54566	55	0.78545	0.53373	0.32412	1392.2
中坑(3)	330068	30.48668	55	0.72606	0.60916	0.27171	1947.7

表 工-3-5 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
樟腦寮(2)	350042	16.49158	55	0.59612	0.59594	0.28094	3021.5
大湖山	370002	27.00170	55	0.67889	0.57420	0.29601	3290.2
關子嶺	390043	30.16885	55	0.70997	0.62637	0.25975	2776.0
六溪	390047	41.56008	55	0.77689	0.55038	0.31256	2172.0
達邦	410001	13.29157	55	0.52735	0.54883	0.31359	2711.6
照興(2)	410007	20.68110	55	0.61739	0.60212	0.27605	2625.5
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

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
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	＊＊＊

表 工-3-6 東部地區各雨量站無因次降雨強度公式A、B、C、G、H係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
達美多	220005	9.15884	55	0.45203	0.43058	0.39072	2128.2
洛韶	220011	11.86888	55	0.49852	0.44946	0.39863	1997.0
合歡啞口	220012	14.58524	55	0.55850	0.53196	0.32537	2397.6
花蓮	246002	18.96718	55	0.62415	0.59511	0.28134	2044.0
溪口	300015	21.38800	55	0.65809	0.56047	0.30563	2300.6
水簾	300029	10.35542	55	0.47781	0.45257	0.38066	2276.3
清水第一	300031	16.81229	55	0.56955	0.43254	0.39454	1981.0
奇萊(1)	300034	10.47991	55	0.47412	0.48055	0.36120	2644.3
立山	340024	9.87356	55	0.48335	0.54795	0.31421	2031.6
台東	400021	16.89673	55	0.60746	0.57554	0.29495	1822.0
紅葉	400023	12.55664	55	0.52886	0.60210	0.27659	2010.0
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

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
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	＊＊＊

表 工-3-7 北部地區各雨量站之年平均雨量表

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

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
竹圍	050006	1810.8	蘇澳(1)	160001	3989.4
大園	057002	1781.4	大濁水	200003	2403.4

表 工-3-8 中部地區各雨量站之年平均雨量表(1)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
南庄(1)	170003	2362.4	山子腳	270054	1465.0
大南埔	170004	1868.5	大肚(1)	270057	1288.2
峨眉	170005	1928.5	永安(1)	279001	1148.3
珊珠湖	170006	1745.8	大城(1)	279003	1193.0
竹南(2)	170008	1525.4	竹塘(2)	279009	1219.6
橫龍山	190002	2483.9	二林(4)	279012	1136.4
大湖(1)	190003	2081.9	后寮	279014	1069.0
苗栗(2)	190005	1581.7	路上(2)	279015	1076.5
新店	190006	2204.1	溪洲(2)	279017	1411.2
後龍	190008	1475.9	溪洲(1)	279018	1387.8
三義(2)	210002	2038.9	原斗	279021	1201.8
苑裡(1)	213001	1244.0	萬興	279026	1140.6
象鼻(1)	230005	2423.4	溪湖(1)	279028	1280.8
卓蘭(1)	230009	2004.8	田中(1)	279031	1535.4
泰安	230010	1740.6	永靖	279034	1374.0
日南	230013	1472.9	員林(1)	279035	1461.4
磁嘴	235002	1402.5	埔鹽	279037	1215.4
大甲	235003	1427.0	打鐵厝	279038	1169.1
白冷(1)	250018	2446.2	安東	279040	1165.0
東勢(1)	250021	2196.4	彰化(1)	279042	1400.5
社寮(1)	250023	1874.6	東埔	290030	2389.9
七星	250024	1535.4	和社	290033	1607.7
月眉(2)	250028	1616.0	蓮華池	290041	2389.9

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
出雲山	250038	3024.5	集集(1)	290045	2366.0
清水(2)	257003	1256.6	清水溝	290047	2624.8
惠蓀	270003	2640.0	溪頭	290048	2645.1
埔里(1)	270012	2160.0	二水	290065	2031.5
埔里(2)	270013	2449.5	下水埔	290067	1515.9
同源	270029	1966.5	鹿場	290071	1348.4
草屯(1)	270035	1641.4	西螺(1)	290072	1366.9
萬斗六	270037	1642.1	大義	290073	1293.1
霧峰(1)	270038	1621.0	桶頭(2)	290079	2782.6
草湖	270041	1612.8	湳子	291001	1283.1
台中(2)	270043	1721.0	阿勸(1)	291002	1100.9
聚興	270047	1771.4	大有(1)	291005	1142.3
豐原(1)	270048	1840.8	豐榮(1)	291006	1218.9
林厝	270052	1493.6	過溪	310004	1447.9
水崛頭	270053	1508.0	廉使	310005	1371.3

表 工-3-9 中部地區各雨量站之年平均雨量表(2)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
麥寮(1)	310010	1192.9	同安	313044	1138.2
水林(1)	313001	1381.3	新光	313045	1193.1
水井	313006	1353.6	海豐	313051	1206.5
宜梧(2)	313007	1252.8	梅林	330004	2194.3
頂彎	313011	1249.3	竹圍子(1)	330008	1659.9
口湖(1)	313013	1289.4	斗六(2)	330012	1614.8
土庫(2)	313016	1455.1	惠來	330013	1503.6
埤腳	313018	1357.3	大崙	330014	1921.2
元長(1)	313020	1311.9	古坑(1)	330021	2187.5
五塊	313021	1240.4	斗南(1)	330027	1502.3

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
飛沙	313026	1247.2	大埔美(2)	330031	1817.7
三合	313029	1395.3	大埤(1)	330035	1460.5
虎尾	313030	1260.4	大林(1)	330037	1551.7
東屯	313033	1423.3	鹿寮	330043	1389.5
馬光	313034	1346.6	客厝	330044	1394.4
埔姜	313035	1270.6	內寮	330045	1337.2
褒忠(1)	313036	1094.1	民雄(1)	330048	1579.2
東勢(1)	313037	1269.4	北港(5)	330053	1324.9
台西(1)	313041	1225.6	鳥松(1)	330058	1362.8
昌南	313043	1095.3			

表 工-3-10 南部地區各雨量站之年平均雨量表(1)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
興中	335004	1491.6	菁寮(1)	370022	1630.8
月眉	335006	1522.8	仕安	370027	1580.7
新港(1)	335008	1495.8	義竹(2)	370028	1453.2
大客	335009	1484.9	義竹(1)	370029	1506.0
六腳	335013	1409.0	白河(2)	390002	1346.7
溪下子(2)	335017	1370.4	白河(5)	390005	1994.7
鰲股(1)	335018	1244.4	安溪	390009	1730.7
下揖(2)	335019	1362.1	西口	390011	2355.5
竹崎(1)	350003	2478.8	重溪	390016	1790.9
嘉義(1)	350007	2048.0	柳營(1)	390022	1577.0
過溝	350011	1502.1	歡雅	390033	1487.5
中島	350014	1433.2	鹽水(2)	390037	1542.5
太保(2)	350017	1256.6	尖山埤	390040	1720.5
蒜頭(1)	350019	1412.3	分歧	391001	1827.9
蒜頭(2)	350020	1224.8	隆田(1)	391003	1745.9

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
後潭	350021	1554.7	中營	391008	1602.6
梅埔	350022	1526.8	大屯	391011	1580.0
東勢寮	350025	1213.3	麻豆(總爺)	391013	1746.0
朴子(1)	350026	1373.2	後營	391017	1684.1
永和	350029	1355.6	子龍	391021	1620.6
鹿草(1)	350030	1448.3	佳里(2)	391022	1549.9
馬稠後	350032	1336.7	樹子腳	391029	1636.4
松梅	350033	1475.0	七股	391031	1550.1
竹村	350034	1167.1	將軍(1)	391035	1525.9
下潭(2)	350036	1360.6	舊田	391039	1538.3
竹崎(2)	350040	2967.9	東口	410006	2685.4
岸內場	357002	1451.4	楠西	410010	2479.0
光榮	357006	1433.6	玉井(2)	410012	2454.8
樹林	357007	1421.5	北寮	410014	2480.3
前東港	357010	1323.2	二溪	410017	2055.5
新厝	357011	1335.6	茄拔(2)	410026	1794.7
中安	357019	1386.1	烏山頭	410028	1991.5
奮起湖	370001	3763.1	麻豆	410030	1677.3
頂六(1)	370006	2097.1	後大埔	410037	2643.5
中埔(1)	370008	2978.6	善化	413002	1737.9
中埔(2)	370009	2391.2	豐華	413004	1701.7
嘉義(1)	370013	1984.1	安南	413013	1611.3
南靖	370017	1716.6	安定(1)	413014	1637.5

表 工-3-11 南部地區各雨量站之年平均雨量表(2)

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
善化(2)	413026	1619.9	中壇	510042	2655.2
新市(1)	430003	1781.3	手巾寮	510044	2524.8

測站	站號	年平均雨量(mm)	測站	站號	年平均雨量(mm)
新化(2)	430009	1841.0	菜子坑	510045	2337.7
仁德	450015	1782.7	旗尾(3)	510047	2440.3
岡山	470003	1865.7	旗山(1)	510048	2423.9
楠梓	479002	1903.3	彌力肚	510050	2371.3
鳥松	490001	1865.9	里港(1)	510055	2305.1
舊城	490003	1745.6	屏東(1)	510062	2369.7
澄清湖	490007	1189.4	屏東(2)	510065	2307.7
高樹(1)	510020	2912.1	東港(1)	530030	1825.3
月眉(1)	510038	2711.0	牡丹	630001	3245.9
月眉(2)	510039	2694.3			

表 工-3-12 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)
溪畔(1)	220003	2014.7	玉里(3)	340012	2187.9
北埔	246001	2036.7	富源(1)	340018	2565.6
田埔(1)	280003	1839.9	瑞德穗	340025	1858.9
大富(1)	300001	2582.8	新港	368001	2283.3
大農	300002	2771.2	霧鹿	400002	1770.4
萬里	300009	2281.2	關山(2)	400006	1981.4
鳳林(1)	300011	2324.6	瑞豐	400009	2006.6
平和	300017	1979.1	鹿野	400011	1870.5
豐田(2)	300019	2213.2	岩灣	400018	1659.9
吳全城(2)	300022	2009.7	利嘉	420002	1812.2
銅門	300032	2015.6	大南(2)	440002	2417.8
池上(1)	340002	1916.6	知本(2)	460003	1718.7
池上(2)	340003	1857.5	太麻里	480004	2194.0
富里(1)	340004	2014.0			

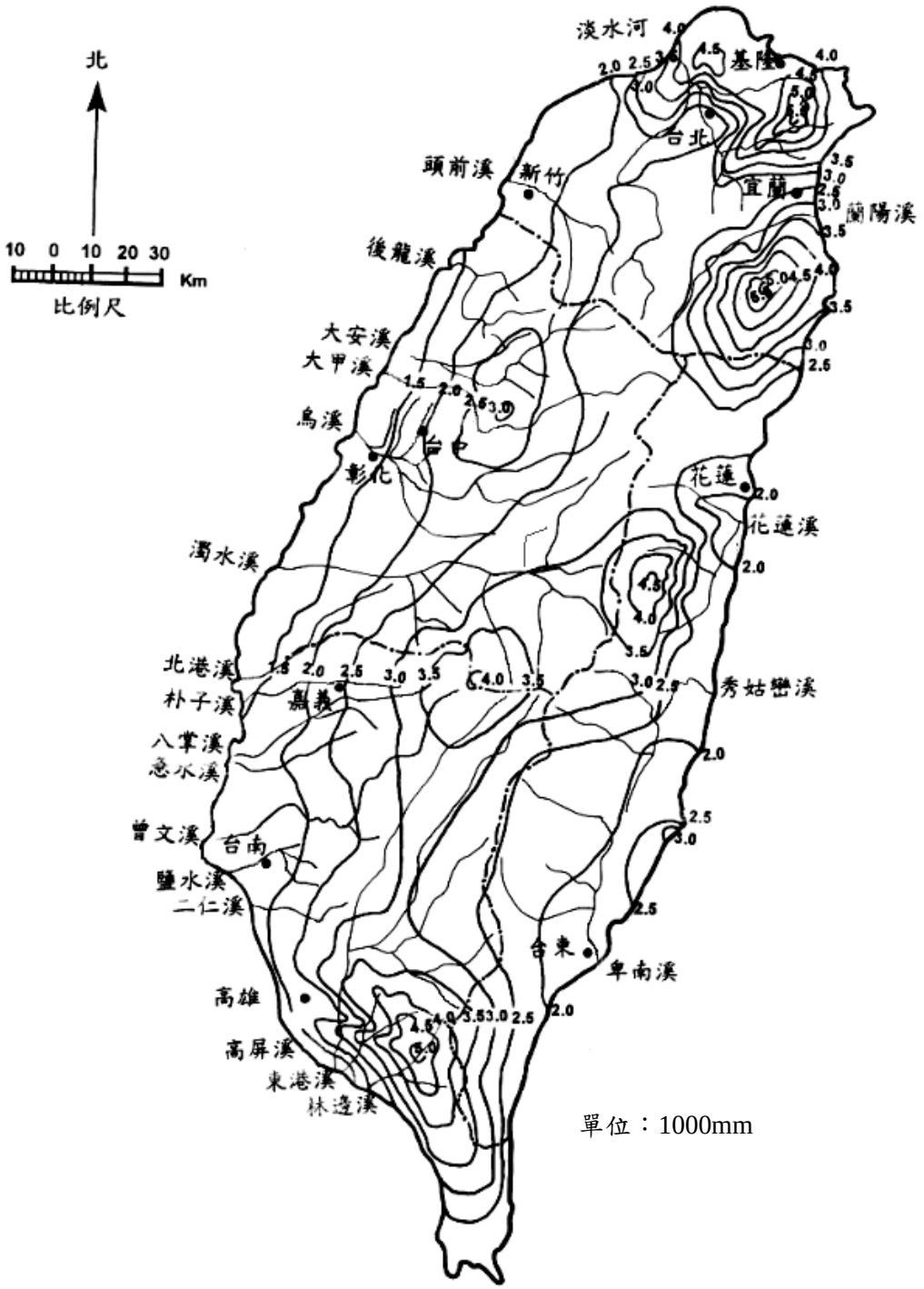


圖 工-3-1 台灣等雨量線圖

3.1.5 集流時間

集流時間係指逕流自集水區最遠一點到達工程地點出水口所需時間，一般採用分段估算法計算之，也就是集流時間是流入時間（雨水經地表面由集水區邊界流至河道所需時間）與流下時間（雨水流經河道時點由上游至下游設計位置所需

時間）的和。集流時間與集水區形狀大小，坡度、坡長、坡面植生狀態和河道的水理特性有關，牽涉之因子相當複雜，非常不容易估計，所以流入時間經常以流入速度之經驗數值（0.3~0.6 m/sec）代表；而流下速度則應根據各溪段斷面、坡度、糙率、洪峰流量之大小，依曼寧公式計算。如無上述資料時，一般採用 Rziha 經驗公式估算，或參酌 Kraven 公式或美國加州公路涵洞公式選用。

集流時間之計算式如下：

$$t = t_0 + t'$$

式中

t：集流時間（hr）

t_0：雨水經地表面由集水區邊界流至河道所需時間(流入時間= λ/v)

t'：雨水流經河道由上游至下游所需時間(流下時間=L/W)

λ：坡面長度(不大於 100 公尺為原則)

v：漫地流流速(一般為 0.3~0.6 m/sec)

L：溪流長度（km）

W：流下速度（m/sec）

流下時間之經驗公式如下：

1. Rziha 公式

$$t' = \text{L/W}$$

其中

$$W = 20(\frac{H}{L})^{0.6}\left(m/\sec\right)$$

$$W = 72(\frac{H}{L})^{0.6}\left(km/hr\right)$$

式中

H=溪流縱斷平均高度（m）

L=溪流長度（km）

2. Kraven 公式

當 S >1/100 時

W = 3.5 m/sec

當 S =1/100~1/200 時

W = 3.0 m/sec

當 S < 1/200 時

W = 2.1 m/sec

3. 加州公式

$$t' = \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385}$$

式中

t'：流下時間(hr)

L：溪流長度(km)

H：兩點高差(m)

平地河川由 Rziha 公式計算所得集流時間常過長，應採用 Kraven 公式為宜。中上游小集水區內用 Rziha 公式計算所得之集流時間常嫌短。

3.2 水理演算

3.2.1 前言

當地表逕流匯入野溪、坑溝或坡地排水系統之後，受到兩側界之範束，使水流被控制在一定的範圍內流動。由於野溪、坑溝或坡地排水系統之地床坡度相當陡峭，使得沿著水流方向的速度分量遠大於垂向與橫向分量，加上坡地排水系統常屬定型渠道(prismatic channel)，而野溪底床沿程粒徑分布及兩側邊界地質條件變化很大，水流流況是相當複雜而不規律的。因此，為簡化問題起見，一般在分析野溪或坡地排水系統之水理問題時，可以近似地視為均勻流，以便應用較簡單的均勻流公式(uniform flow equation)，來求解其水力計算問題的近似解。

均勻流(uniform flow)係指當明渠流沿著流動方向各個斷面上的水深、平均流速及其流速分布都不變。但是，自然界的河溪水流是很難形成均勻流的，即便是定型渠道亦不易形成，例如當河道有水流沿程流入或流出時，因河道中流量沿程變化，不可能形成均勻流；再如河道中糙糙程度沿程改變時，因粗糙程度越大的地方阻力增大，水流流速減小，而粗糙程度越小的地方阻力減小，水流流速則會增大，從而形成非均勻流(non-uniform flow)。此外，河道中的障礙物，例如閘門、防砂壩及橋墩等河工構造物也會導致非均勻流的產生。換言之，採用均勻流公式求解野溪、坑溝或坡地排水系統之水力問題是一種近似解，它與實際狀況還是存在一定的差異。

3.2.2 曼寧公式

目前在工程界比較廣泛被採用的均勻流公式，係以曼寧公式(Manning's formula)為最，它普遍運用於水土保持坡地排水和河溪整治工程中，可表為

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

式中

V ：平均流速(公尺/秒)

A ：通水斷面積(平方公尺)

R ：水力半徑(=A/P ；公尺)

P ：潤周長(公尺)

S ：底床坡度(無單位)

n：曼寧粗糙係數(公尺$^{1/6}$)

因此，根據定量流連續方程式

$$Q = AV$$

可得水流流量為

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

3.2.3 曼寧粗糙係數

應用明渠均勻流基本公式進行水力計算時，需根據實際情況來確定合理的曼寧粗糙係數n。根據曼寧公式得知，曼寧粗糙係數n是反映與河道周邊有關影響流速的一個綜合性阻力係數，其大小取決於明渠表面的粗糙程度。嚴格地說，曼寧粗糙係數不僅與人工排水系統河道表面材料粗糙突起的高度、形狀及分布的不規則性有關，同時受流量的大小和含沙量多寡影響。對於天然河溪，由於河床的不規則性，實際情況就更為複雜。因此，選擇曼寧粗糙係數應結合實際情況全面加以考慮，而(表工-3-12~表 工-3-15)可供選擇時之參考。

除了按(表工-3-12~表 工-3-15)選擇適當的曼寧粗糙係數外，也有一些經驗公式可供推算天然河道床面之曼寧粗糙係數，通常這類公式都以河床質粒徑作為主要參數。例如：

1. Strickler 公式

$$n = 0.0474\, d_{50}^{1/6}$$

2. Meyer et al 公式

$$n = 0.0385\, d_{90}^{1/6}$$

3. Einstein 公式

$$n = 0.0132\, d_{65}^{1/6}$$

4. Lane-carlson 公式

$$n = 0.0156\, d_{75}^{1/6}$$

5. San Line River 公式

$$n = 0.0142\, d_{75}^{1/6}$$

式中，d_r為代表粒徑，以公尺(m)計，係指泥沙粒徑組成中 r (%)較之為小之粒徑。通常河床質代表粒徑是根據採樣孔粒徑分析後所得。

表 工-3-13 渠道及天然河流的曼寧粗糙係數 n 值

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
一、渠道			
(一)敷面或襯砌渠道，其材料為：			
1.金屬			
(1)光滑鋼表面			
a.不油漆的	0.011	0.012	0.014
b.油漆的	0.012	0.013	0.017
(2)皺紋的	0.021	0.025	0.030
2.非金屬			
(1)水泥			
a.表面光滑、清潔	0.010	0.011	0.013
b.灰漿	0.011	0.013	0.015
(2)木材			
a.未處理木材，表面刨光	0.010	0.012	0.014
b.處理木料，表面刨光	0.011	0.012	0.015
c.表面未刨光	0.011	0.013	0.015
d.用狹木條拼成的木板	0.012	0.015	0.018
e.以油毛氈襯裡	0.010	0.014	0.017
(3)混凝土			
a.抹光	0.011	0.013	0.015
b.用板刮平	0.013	0.015	0.016
c.磨光，底部有卵石	0.015	0.017	0.020
d.噴漿，表面良好	0.016	0.019	0.023
e.噴漿，表面波狀	0.018	0.022	0.025
f.在開鑿良好的岩石上襯工	0.017	0.020	
g.在開鑿不好的岩石上襯工	0.022	0.027	
(4)用板刮平的混凝土底，邊壁為：			
a.灰漿中嵌有排列整齊的石塊	0.015	0.017	0.020
b.灰漿中嵌有排列不規則的石塊	0.017	0.020	0.024
c.粉飾的水泥塊石圬工	0.016	0.020	0.024

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
d.水泥塊石圬工	0.020	0.025	0.030
e.乾砌塊石	0.020	0.030	0.035
(5)卵石底，邊壁為：			
a.用木板澆注的混凝土	0.017	0.020	0.025
b.灰漿中嵌亂石塊	0.020	0.023	0.026
c.乾砌塊石	0.023	0.033	0.036
(6)磚			
a.加釉的	0.011	0.013	0.015
b.在水泥灰漿中	0.012	0.015	0.018
(7)圬工			
a.漿砌塊石	0.017	0.025	0.030
b.乾砌塊石	0.023	0.032	0.035
(8)修整的方石	0.013	0.015	0.017
(9)瀝青			
a.光滑	0.013	0.013	
b.粗糙	0.016	0.016	
(10)槽內有植物生長	0.030		0.050
(二)開鑿或挖掘而不敷面的渠道			
(1)渠線順直，斷面均勻的土渠			
a.清潔，最近完成	0.016	0.018	0.020
b.清潔，經過風雨傾蝕	0.018	0.022	0.025
c.清潔，底部有卵石	0.022	0.025	0.030
d.有牧草和雜草	0.022	0.027	0.033
(2)渠線彎曲，斷面變化的土渠			
a.沒有種植	0.023	0.025	0.030
b.有牧草和一些雜草	0.025	0.030	0.033
c.有密茂的雜草或在深槽中有水生植物	0.030	0.035	0.040
d.土底，碎石邊壁	0.028	0.030	0.035
e.塊石底，邊壁為雜草	0.025	0.030	0.040
f.圓石底，邊壁清潔	0.030	0.040	0.050

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
(3)用挖土機開鑿或挖掘的渠道			
a.沒有植物	0.025	0.028	0.030
b.渠岸有稀疏的小樹	0.035	0.050	0.060
(4)石渠			
a.光滑而均勻	0.025	0.035	0.040
b.參差不齊而不規則	0.035	0.040	0.050
(5)沒有加以維護的渠道，雜草和小樹未清除			
a.有與水深相等高度的濃密雜草	0.050	0.080	0.120
b.底部清潔，兩側壁有小樹	0.040	0.050	0.080
c.在最高水位時，情況同上	0.045	0.070	0.110
d.高水位時，有稠密的小樹	0.080	0.100	0.140
二、天然河道			
(一)小河流(洪水位時水面寬小於 30 公尺)			
(1)平原河流			
a.清潔，順直，無淺灘和深潭	0.025	0.030	0.033
b.同上，多石及雜草	0.030	0.035	0.040
c.清潔，彎曲，有深潭和淺灘	0.033	0.040	0.045
d.同上，但有些雜草和石塊	0.035	0.045	0.050
e.同上，水深較淺，河底坡度多變，平面上回流區較多	0.040	0.048	0.055
f.與 d.相同，但有較多石塊	0.045	0.050	0.060
g.流動很慢的河段，多草，有深潭	0.050	0.070	0.080
h.多雜草的河段，河多深潭，及有林木、灌木叢	0.075	0.100	0.150
(2)山區河流(河槽無草樹，河岸較陡，岸坡樹叢過洪時淹沒)			
a.河底：礫石、卵石間有孤石	0.030	0.040	0.050
b.河底：卵石和大孤石	0.040	0.050	0.070
(二)大河流(洪水位時水面寬大於 30 公尺)相應於上述小河流的各種情況，惟因河岸阻力較小，n 值略小			
(1)斷面比較規整，無孤石或叢木	0.025		0.060
(2)斷面不規整，床面粗糙	0.035		0.100

渠槽類型及情況	最小值	一般值	最大值
(三)洪水時期灘地漫流			
(1)草地，無叢木			
a.短草	0.025	0.030	0.035
b.長草	0.030	0.035	0.050
(2)耕種面積			
a.未熟禾稼	0.020	0.030	0.040
b.已熟成行禾稼	0.025	0.035	0.045
c.已熟密植禾稼	0.030	0.040	0.050
(3)矮叢木			
a.稀疏，多雜草	0.035	0.050	0.070
b.不密，夏季情況	0.040	0.060	0.080
c.茂密，夏季情況	0.070	0.100	0.160
(4)樹木			
a.平整田地，幹樹無枝	0.030	0.040	0.050
b.同上，幹樹多新枝	0.050	0.060	0.080
c.密林，樹下小植物，洪水位在枝下	0.080	0.100	0.120
d.同上，洪水位淹及樹枝	0.100	0.120	0.160

摘譯自 Ven Te Chow:“Open Channel Hydraulics”, 1959.

3.2.4 曼寧公式之應用

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

1. 排水系統

   在排水系統人工溝渠可以直接採用曼寧公式進行溝身斷面之設計。通常設計時係在已知的溝渠流量及底床坡度條件下，求解其斷面寬度及水深。

2. 天然河溪

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

(1)配合河床質採樣孔粒徑分析之規定，約每 500 公尺應選取一斷面進行檢算。

(2)遇有斷面突變或流路彎曲時，或兩側具有較低矮之堤岸時，應增設檢算斷面。

(3)遇有橋樑或上游已淤滿之防砂壩(或潛壩)時，必須檢算其過流能力。

(4)本節計算均為針對清水流，一般高含沙水流之流量宜加大 10%以上。

(5)遇有橋樑時，橋樑之通水斷面計算之 n 值應依上下游之河床計算之。

3.3 土石流演算

3.3.1 前言

土石流(debris flow)是一種高濃度的水砂混合兩相流(two-phase flow)，具有明顯的流路或凹槽，常有巨礫集中且呈隆起狀之先端部(forefront)，由於暴發突然，沖蝕力強，遇有阻礙不繞流而直接衝擊，同時土砂流出規模特大，是一種致災能力很強的高含砂急流(high-concentration flow)，其流動行為和力學特性異於一般挾砂水流(sediment-laden flow)，使得於土石流潛勢溪流進行治理工程設計時，必須特別從土石流觀點加以考量其特殊的流動性狀，以避免偏估而造成災害，因此，有必要針對其相關參數進行演算，惟目前在學理上尚未成熟，各種演算公式並不明確，故以下所提出之各種演算方法僅供參考。

3.3.2 平衡泥砂體積濃度公式

由於土石流和一般挾砂水流間最顯著的不同點，乃在於固體泥砂含量差異頗大，故從流體泥砂體積濃度之大小來界定土石流是最直接的方法。有關泥砂體積濃度之設計值，除少數採用現地觀測值外，大部分是以高橋理論公式為圭臬進行估算，而高橋以 Bagnold 之膨脹流體觀念，建立流動中土石流泥砂體積濃度可以下式計算，即

$$C_D = \frac{\gamma_w \tan\theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\phi - \tan\theta)}$$

上式適用於土石流先端部(forefront)之飽和(平衡)泥砂體砂濃度之估算。式中，ϕ=泥砂內摩擦角，與泥砂特性及其緊密程度相關，其值介於 $26^o \sim 48^o$ 之間；θ=壩體上游溪床淤砂坡度；γ_S=土粒單位重量；γ_W=清水單位重量。應用上式計算土石流泥砂體積濃度度時，必須注意以下兩點，即

1. 上式適用於溪床坡度介於 $10^o \sim 20^o$ 之間，而土石流泥砂體積濃度之合理範圍為 0.3～0.9。
2. 由於一般山地河溪沿程溪床坡度變化急驟，使在應用上式時，如溪流長度太短，土石流泥砂體積濃度會隨著溪床坡度作激烈變動。但是，上式係基於平衡條件下的土石流流況所建構，而平衡態土石流流況的存在條件是河溪長度必須大於其發展長度，在驟變的溪床坡度下是很難出現的。為此，

建議應用上式時之最小溪流長度宜大於約 5 至 10 倍的河寬，且選取其對應之溪床坡度平均值進行計算。

3.3.3 土石流流量公式

土石流流量可由清水流流量及泥砂體積濃度推估，即

$$Q_D = \frac{C_*}{C_* - C_D} Q_p$$

式中，Q_D=土石流流量(cms)；C_*=溪床面堆積土體之泥砂體積濃度；Q_P=清水流量(cms)。

3.3.4 土石流平均流速

土石流平均流速可依曼寧公式計算，即

$$U_D = \frac{1}{n_D} h_D^{2/3} S^{1/2}$$

式中，S=溪床平均坡度；n_D=曼寧粗糙係數，一般土石流先端部 $n_D = 0.1 \sim 0.006$，後續流 $n_D = 0.06 \sim 0.03$，具有襯砌流路工 $n_D = 0.03$；h_D=土石流深度或設計粒徑(D_E)。

3.3.5 土石流設計粒徑

各式防砂壩壩體應力分析時，必須按土石流可能攜出之最大粒徑($D_{\max}$)進行撞擊力計算。惟因土石流可能攜出之最大粒徑，可能是來自溪床表面堆積物(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，即使決定了土石流最大粒徑，亦無法事前加以驗證。目前比較常用的方法，有以溪床表面粒徑調查法。此外，土石流治理經常採用透過性防砂壩作為攔阻其攜出土砂量，故為達到最大的治理效率，透過性防砂壩在尋常時期應保持空庫狀態，以蓄積土石流所攜出的大量土砂礫石；換言之，壩體開口寬度不能阻礙一般山地洪流泥砂顆粒的正常輸移。從輸砂力學得知，山地洪流泥砂輸移有懸移質及推移質之分，前者是懸浮在水中且與水流同速運動的較細小泥砂顆粒，後者則是沿著河溪底床行進的較大泥砂顆粒，而在山區陡峻的河溪，推移質粒徑達數十公分以上者經常可見，惟它仍遠小於土石流所攜出之最大粒徑。

由泥砂起動觀念，山地洪流最大粒徑等同於一定水流條件下之泥砂起動粒徑，它可由謝爾得公式(Shield's formula)求得，即

$$D_S = \frac{\gamma\, h_w \sin\theta}{(\gamma_s - \gamma)\eta}$$

$$D_S \le D_E$$

式中，h_W=山地洪流水深；η=係數(≈0.05)。

3.3.6 土石流土砂流出量估算

在進行土石流治理規劃時，對於土石流可能發生之規模或可能攜出總土砂量，因與工程治理規模直接相關，必須加以分析估算。土石流可能發生規模的估算，可依據地形圖、現場調查及過去土石流記錄等資料予以決定。惟因土石流具有很大的變異性，即使在相同的降雨、地形及土砂供給條件下，其發生規模亦難以掌握。目前有幾種推估的方法，茲分述如下：

1. 推估計畫規模之土石流能夠搬運的土砂量與集水區內可能移動的土砂量作比較，取其較小值。

(1)集水區內可能移動土砂量(不安定土砂量)可依下列方法推算：

①依計畫規模之降雨量，集水區內可能移動土砂量為溪床堆積土砂量及可能崩塌土砂量之和，即

$$V_T = V_b + V_a$$

式中，V_T：可能移動土砂量(m^3)。

V_a：溪流邊坡之可能崩塌土砂量(m^3)。

V_b：溪床堆積土砂量(m^3)($= A_{be} \times L_b$)。

A_{be}：溪床堆積土砂之平均斷面積(m^2)($= B \times D_b$)。

B：發生土石流時會被侵蝕之平均溪床寬度(m)。

D_b：溪床堆積土砂之平均堆積深度(m)。

L_b：溪床堆積土砂長度(m)。

②若推算正確之可能崩塌土砂量有困難時，可以採用下式推算土石流可能移動土砂量，即

$$V_T = A_T \times L_T$$

式中，A_T：溪床堆積土砂之平均斷面積($= B_{bed} \times D_b$)。

B_{bed}：溪床平均寬度。

L_T：自谷出口至集水區最遠處沿流路所量測之距離，有支流時亦應加上其長度(m)。

(2)計畫規模的土石流能夠搬運之土砂量，可依下式推算：

$$V_{TC} = f_r \frac{10^3 \times R_t \times A}{1 - P_r}[\frac{C_D}{1 - C_D}]$$

式中，V_{CT}：土石流能夠搬運之土砂量(m^3)。

C_D：平衡泥砂體積濃度。

R_t：t小時之降雨量，mm。

A：集水區面積(km^2)。

P_r：溪床堆積土砂之孔隙率。

f_r：修正係數，介於 0.5 至 0.1 之間。

3.4 懸臂式梳子壩設計例

3.4.1 參數設計

1. 參數設定：

(1) $d_{\max}$（巨礫撞擊採用礫徑）：$d_{\max}=1.6(m)$。

(2) γ_{sat}（飽和土石流單位重）：$\gamma_{sat}=2.15(t/m^3)$。

(3) γ_s（土石單位重）：$\gamma_s=1.85(t/m^3)$。

(4) γ'（堆積土石浸水單位重）：$\gamma'=1.15(t/m)$。

(5) γ_w（水單位重）：$\gamma_w=1.0(t/m^3)$。

(6) γ_c（混凝土單位重）：$\gamma_c=2.4(t/m^3)$。

(7) ω（背填土坡度）：$\omega=4.3^o$（現場坡度 11.3%，淤砂坡度取 2/3）。

(8) v_{df}（設計土石流流速）：$v_{df}=5(m/s)$（依據民國八十六年九月之陳有蘭溪治山防災整體治理規畫報告第九章，由坡度 10%～15%，可得流速約 3m/s～5m/s，故流速採保守估計為 5m/s）。

(9) ϕ（土壤內摩擦角）：$\phi=33^o$

(10) δ（牆與土壤之摩擦角）：$\delta=\frac{2}{3}\phi=22^o$。

(11) β（壩體背面與垂線之夾角）：$\beta=0^o$。

(12) k_h（水平地震係數）：$k_h=\frac{1}{2}(0.33)=0.165$。

(13) k_v（垂直地震係數）：$k_v=0.11$（採用水平地震係數之 2/3）。

(14) θ（地震角）：$\theta=\tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)=10.503^o$。

(15) C'（浮力係數）：$C'=0.6$（參考水土保持手冊－工程篇，P.2-48 中說明，壩體基礎之浮力係數-鬆細砂 $C'=0.6$，C' 值取較大；其上揚力較大，對壩體設計較趨為保守）。

(16) B（河床砂石承載力）：$B=40(t/m^2)$。

(17) h_5（設計土石流溢流深度）：$h_5=2.5(m)$。

(18) h_d（設計土石流流深）：$h_d=4.5(m)$。

(19) D（設計梳子壩柱寬）：$D=2.0(m)$。

(20) D'（設計梳子壩間距）：$D' = 2.0(m)$。

表 工-3-14 使用代號說明

	說明	備註
H	壩高（面版長）(柱高）m	
h_1	踵版最小厚度 m	
h_2	壩上游堆積三角形最大厚度 m	$h_2 = (L_2 - L_3) \cdot \tan\omega$
h_3	趾版覆土厚度 m	保守見先以 0 m 計
h_4	趾版最小厚度 m	
h_5	土石流溢流厚度 m	
h_6	踵版最大厚度 m	
h_7	趾版最大厚度 m	
L	（趾版總長＋踵版總長）m	$L = L_1 + L_2$
L_1	趾版總長 m	
L_2	踵版總長 m	
L_3	壩頂厚 m	
L_4	壩趾端距 Key 之距離 m	$L_4 = L_1 + L_3 - 0.4$
L_5	Key 最小厚度 m	
L_6	有效踵版長 m	
L_7	有效趾版長 m	
L_8	壩底厚 m	
Z	Key 長 m	

2. 計算主動土壓力係數（採用 Coulomb）：K_a

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta\cos(\beta + \delta)[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \omega)}{\cos(\beta + \delta)\cos(\beta - \omega)}}]^2} = 0.2779$$

3. 計算被動土壓力係數（採用 Rankine 公式）：K_P

$$K_p = \tan^2(45° + \frac{\phi}{2}) = 3.3921$$

4. 計算地震時主動土壓力係數（採用 Mononobe Okabe 公式）：K_{ae}

$$K_{ae}=\frac{\cos^2(\phi-\beta-\theta)}{\cos\theta\cos^2\beta\cos(\beta+\delta+\theta)[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\omega-\theta)}{\cos(\beta+\delta+\theta)\cos(\beta-\omega)}}]^2}=0.4276$$

5. 地震時被動土壓力計算：由於 Mononobe Okabe 公式計算之值較 Rankine 為高；因此，為保守起見，本設計皆用 Rankine 公式計算被動土壓係數，取代 Mononobe Okabe 公式計算之被動土壓力係數。

3.4.2 壩體安定分析

Case1、由空壩到土石流推擊（圖工-3-2）

1. 整體安定分析時，梳子壩與傳統懸臂式壩受力完全一樣，因而以懸臂式壩來作分析。
2. 單寬土石流流體撞擊力：採用經驗公式

即 $P_f=\alpha\cdot\frac{\gamma_{sat}}{g}\cdot h_d\cdot v_{df}{}^2(t/m)$；式中 $\alpha\approx1.0$ 。(採用連惠邦等，2002，行政院農業委員會水土保持局，土石流防治工法之研究評估(二)，P.65，3.70 式)。

3. 若 $h_d\geq H$ ，則單寬土石流流體撞擊力中之 h_d 需用 H 取代。

(1)梳子壩設計之尺寸

柱高 H (m)	踵版長 L_2 (m)	趾版長 L_1 (m)	壩頂厚 L_3 (m)	Key 長 Z (m)
4.5				

(2)作用力檢算（以每一進行米（每公尺寬）做檢算）

①各作用力之計算式表：

單寬土石流流體撞擊力 P_f	方向	對 A 點之力臂
$P_f=\alpha\cdot\frac{\gamma_{sat}}{g}\cdot h_d\cdot v_{df}{}^2$	←	$h_1+\frac{1}{2}H$
飽和土石流重量	方向	對 A 點之力臂
$W_1=\gamma_{sat}\cdot(h_1+H)\cdot L_6$ 註：踵版混凝土單位重視同飽和土石流單位重。	↓	$L_1+L_3+\frac{1}{2}\cdot L_6$
$W_2=\frac{1}{2}\cdot\gamma_{sat}\cdot L_6\cdot h_2$	↓	$L_1+L_3+\frac{2}{3}\cdot L_6$

壩體重量	方向	對 A 點之力臂
$W_3=\gamma_c\cdot L_3\cdot(h_1+H)\cdot\dfrac{D}{D+D'}$ 註：為平均梳子壩之間距，故多乘係數(D/D+D')。	↓	$L_1+\dfrac{1}{2}\cdot L_3$

②各作用力之大小及力矩計算結果表（向下及向右方向為正）：

作用力及方向	作用力值(ton)	對 A 點力臂(m)	Moment(t-m)
$P_f\leftarrow$			
$W_1\downarrow$			
$W_2\downarrow$			
$W_3\downarrow$			
		$\sum M$	

(3)傾倒檢算

①水平合力：$R_h=P_f$

②垂直合力：$R_v=W_1+W_2+W_3$

③合力作用點至 A 點距離：$y=\dfrac{\sum M}{R_v}$

④垂直合力偏心距：$e=\dfrac{1}{2}-y$；（式中 $L=L_1+L_2$）

⑤傾倒安全係數：$F.S.=\dfrac{|M(+)|}{|M(-)|}$

⑥傾倒檢算表：

R_v	
$\sum M$	
y	
e	
$L/6$	
$F.S.$	
$e<L/6$	

(4)承載力檢算

①上游之承載力：$B_{pu}=\dfrac{R_v}{L}\cdot\left(1-6\cdot\dfrac{e}{L}\right)$

②下游之承載力：$B_{pd}=\frac{R_v}{L}\cdot\left(1+6\cdot\frac{e}{L}\right)$

③承載力檢算表：

$B_{pu}\left(ton/m^2\right)$	
$B_{pd}\left(ton/m^2\right)$	
$B_{pu}\ \&\ B_{pd}<40$	

(4)滑動檢算

①各作用力之計算式表：

1.	水平合力：R_h	$R_h=P_f$
2.	垂直合力：R_v	$R_v=W_1+W_2+W_3$
3.	土壤與土壤間之摩擦係數：μ_1	$\mu_1=\tan\phi$
4.	土壤與牆面間之摩擦係數：μ_2	$\mu_2=\tan\delta$
5.	趾版最上緣處被動土壓力：P_{zt}	$P_{zt}=h_3\cdot\gamma_s\cdot K_p$
6.	Key 最下緣處被動土壓力：P_{zs}	$P_{zs}=\left(h_3+h_4+Z\right)\cdot\gamma_s\cdot K_p$
7.	被動土壓力之合力：P_{zp}	$P_p=\frac{1}{2}\left(P_{zt}+P_{zs}\right)\cdot\left(h_4+Z\right)$
8.	Key 下游之反作用力：R_1	$R_1=\frac{1}{2}\{B_{pd}+[B_{pu}+\frac{\left(B_{pd}-B_{pu}\right)}{L}\cdot\left(L-L_4\right)]\}\cdot L_4$
9.	Key 上游之反作用力：R_2	$R_2=\frac{1}{2}\left(B_{pd}+B_{pu}\right)\cdot L-R_1$
10.	抗滑力：F_k	$F_k=\left(\mu_1\cdot R_1+\mu_2+R_2\right)+P_p$ =摩擦力+被動土壓力之合力
11.	滑動安全係數：$F.S.$	$F.S.=\left\|\frac{F_k}{R_h}\right\|$

②滑動之檢算表：

R_h		P_p	
R_v		R_1	
μ_1		R_2	
μ_2		F_k	
是否加 Key		$F.S.$	

$Z \le$ 最大 key 長		$F.S. \ge 1.15$	

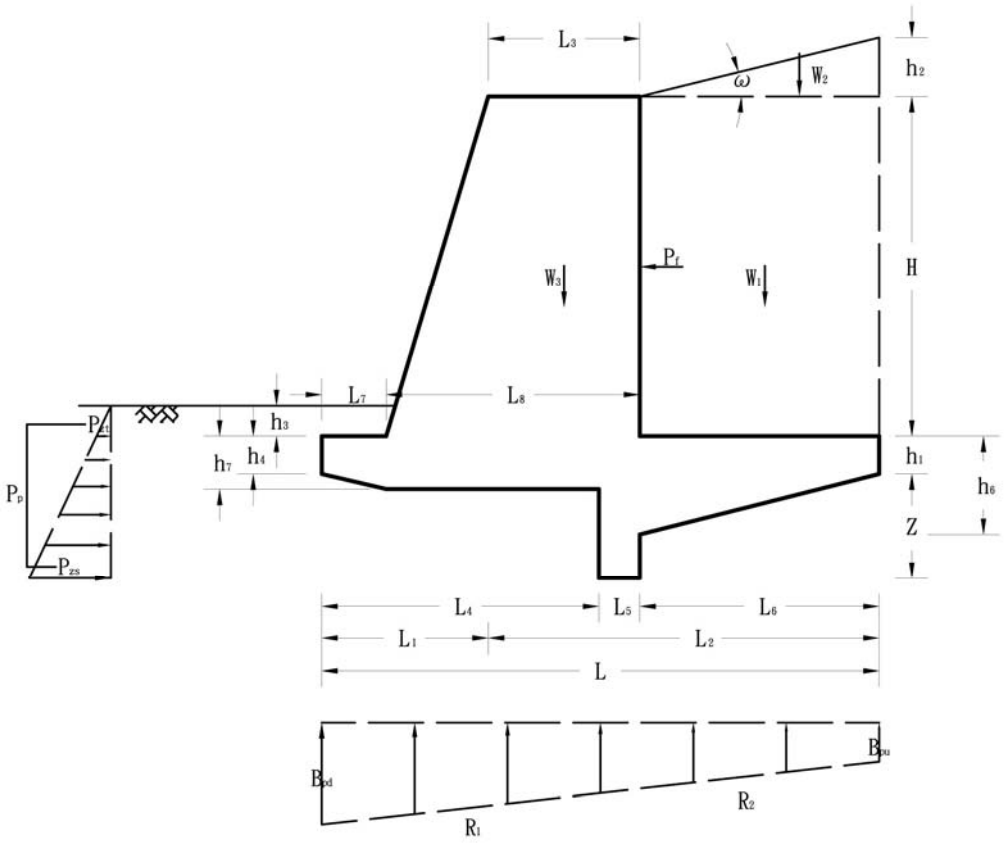


圖 工-3-2 由空壩到土石流推擊

Case 2 淤滿後靜土石堆積狀態（加最大地震）（圖 工-3-3 淤滿後靜土石堆積狀態）

1. 整體安定分析時，梳子壩與傳統懸臂式壩受力完全一樣，因而以懸臂式壩來作分析。

   (1)梳子壩設計之尺寸

柱高 H (m)	踵版長 L_2 (m)	趾版長 L_1 (m)	壩頂厚 L_3 (m)	Key 長 Z (m)
4.5				

2. 作用力檢算（以每一進行米（每公尺寬）做檢算）

   (1)各作用力之計算式表：

土石流重量	方向	對 A 點之力臂
$W_1 = \gamma_s \cdot (h_1 + H) \cdot L_6$ 註：踵版混凝土單位重視同土石流單位重。	↓	$L_1 + L_3 + \frac{1}{2} \cdot L_6$

$W_2=\frac{1}{2}\cdot\gamma_s\cdot L_6\cdot h_2$	↓	$L_1+L_3+\frac{2}{3}\cdot L_6$
壩體重量	方向	對 A 點之力臂
$W_3=\gamma_c\cdot L_3\cdot(h_1+H)\cdot\frac{D}{D+D'}$ 註：為平均梳子壩之間距，故多乘係數(D/D+D')。	↓	$L_1+\frac{1}{2}\cdot L_3$
主動土壓力	方向	對 A 點之力臂
總力：$P_a=\frac{1}{2}\cdot\gamma_s\cdot(h_1+H+h_2)^2\cdot K_a$		
主動土壓力之水平分力： $P_{ah}=P_a\cdot\cos(\beta+\delta)$	←	$\frac{1}{3}(h_1+H+h_2)$
主動土壓力之垂直分力： $P_{av}=P_a\cdot\sin(\beta+\delta)$	↓	$L=L_1+L_2$
地震時的主動土壓力	方向	對 A 點之力臂
總力：$P_{ae}=(1-K_v)\cdot\frac{1}{2}\cdot\gamma_s\cdot(h_1+H+h_2)^2\cdot K_{ae}$		
地震時增加的主動土壓力	方向	對 A 點之力臂
$\Delta P_{ae}=P_{ae}-P_a$		
地震時增加的主動土壓力之水平分力： $\Delta P_{aeh}=\Delta P_{ae}\cdot\cos(\beta+\delta)$	←	$0.6(h_1+H+h_2)$
地震時增加的主動土壓力之垂直分力： $\Delta P_{aev}=\Delta P_{ae}\cdot\sin(\beta+\delta)$	↓	$L=L_1+L_2$
後方之水壓力	方向	對 A 點之力臂
$P_w=\frac{1}{2}\cdot\gamma_w\cdot(h_1+H)^2$ 註：假設水深至壩頂。	←	$\frac{1}{3}(h_1+H)$
上揚力	方向	對 A 點之力臂
$U=C'\cdot\gamma_w\cdot(h_1+H)\cdot\frac{(L_1+L_2)}{2}$	↑	$\frac{2}{3}\cdot L$

(2)各作用力之大小及力矩計算結果表（向下及向右方向為正）：

作用力及方向	作用力值(ton)	對 A 點力臂(m)	Moment(t-m)
$W_1\downarrow$			
$W_2\downarrow$			
$W_3\downarrow$			
$P_{ah}\leftarrow$			
$P_{av}\downarrow$			

$\Delta P_{aeh} \leftarrow$			
$\Delta P_{aev} \downarrow$			
$P_w \leftarrow$			
$U \uparrow$			
		$\sum M$	

3. 傾倒檢算

(1)水平合力：$R_h = P_{ah} + \Delta P_{aeh} + P_w$

(2)垂直合力：$R_v = W_1 + W_2 + W_3 + P_{av} + \Delta P_{aev} + U$

(3)合力作用點至 A 點距離：$y = \dfrac{\sum M}{R_v}$

(4)垂直合力偏心距：$e = \dfrac{1}{2} - y$；（式中 $L = L_1 + L_2$）

(5)傾倒安全係數：$F.S. = \dfrac{|M(+)|}{|M(-)|}$

(6)傾倒檢算表：

R_v	
$\sum M$	
y	
e	
$L/6$	
$F.S.$	
$e < L/6$	

4. 承載力檢算

(1)上游之承載力：$B_{pu} = \dfrac{R_v}{L} \cdot \left(1 - 6 \cdot \dfrac{e}{L}\right)$

(2)下游之承載力：$B_{pd} = \dfrac{R_v}{L} \cdot \left(1 + 6 \cdot \dfrac{e}{L}\right)$

(3)承載力檢算表：

$B_{pu}\left(ton/m^2\right)$	
$B_{pd}\left(ton/m^2\right)$	
B_{pu} & $B_{pd} < 40$	

5. 滑動檢算

(1)各作用力之計算式表：

1.	水平合力：R_h	$R_h = P_{ah} + \Delta P_{aeh} + P_w$
2.	垂直合力：R_v	$R_v = W_1 + W_2 + W_3 + P_{av} + \Delta P_{aev} + U$
3.	土壤與土壤間之摩擦係數：μ_1	$\mu_1 = \tan\phi$
4.	土壤與牆面間之摩擦係數：μ_2	$\mu_2 = \tan\delta$
5.	趾版最上緣處被動土壓力：P_{zt}	$P_{zt} = h_3 \cdot \gamma_s \cdot K_p$
6.	Key 最下緣處被動土壓力：P_{zs}	$P_{zs} = (h_3 + h_4 + Z) \cdot \gamma_s \cdot K_p$
7.	被動土壓力之合力：P_p	$P_p = \frac{1}{2}(P_{zt} + P_{zs}) \cdot (h_4 + Z)$
8.	Key 下游之反作用力：R_1	$R_1 = \frac{1}{2}\{B_{pd} + [B_{pu} + \frac{(B_{pd} - B_{pu})}{L} \cdot (L - L_4)]\} \cdot L_4$
9.	Key 上游之反作用力：R_2	$R_2 = \frac{1}{2}(B_{pd} + B_{pu}) \cdot L - R_1$
10.	抗滑力：F_k	$F_k = (\mu_1 \cdot R_1 + \mu_2 + R_2) + P_p$ =摩擦力+被動土壓力之合力
11.	滑動安全係數：$F.S.$	$F.S. = \left\|\frac{F_k}{R_h}\right\|$

(2)滑動之檢算表：

R_h		P_p	
R_v		R_1	
μ_1		R_2	
μ_2		F_k	
是否加 Key		$F.S.$	
$Z \le$ 最大 key 長		$F.S. \ge 1.15$	

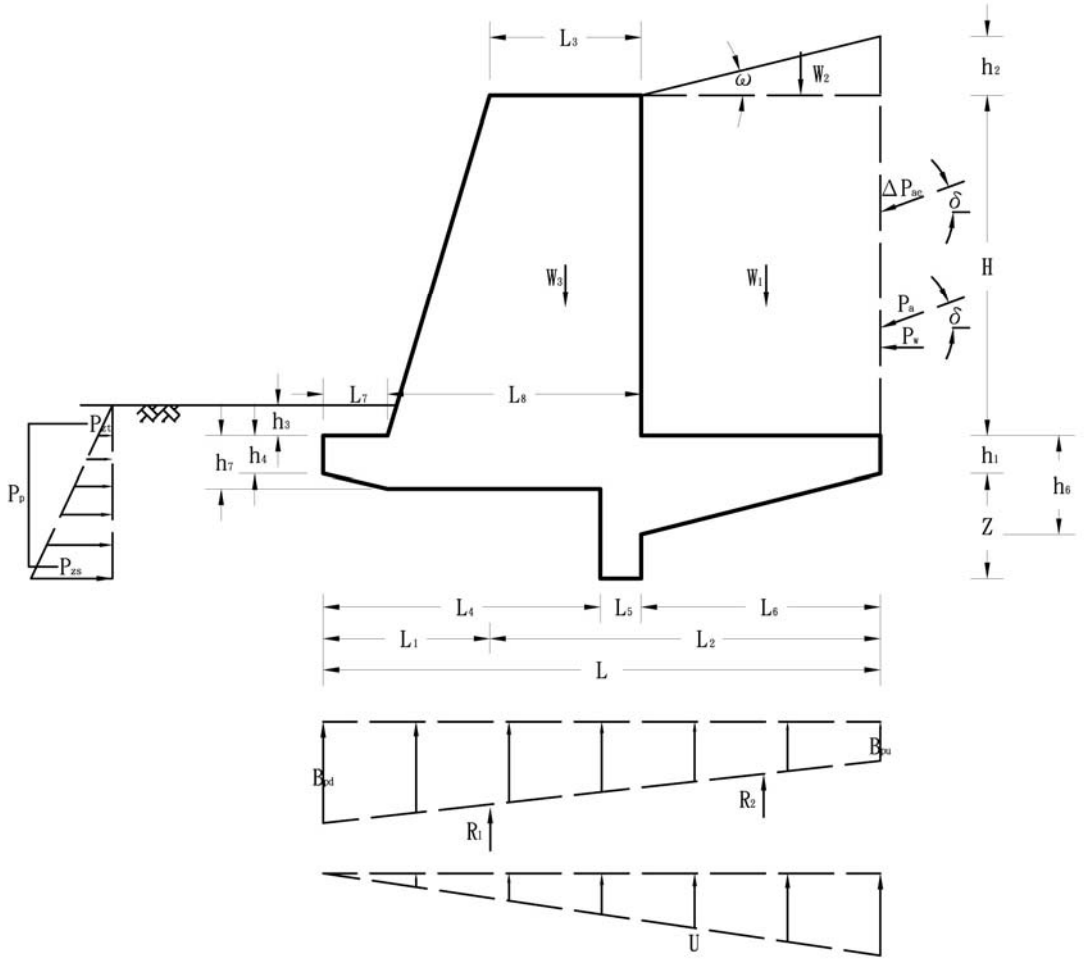


圖 工-3-3 淤滿後靜土石堆積狀態圖

Case 3 壩體上游土石流淤滿後土石流溢流(圖 工-3-4 土石流淤滿後土石流溢流)

1. 整體安定分析時，梳子壩與傳統懸臂式壩受力完全一樣，因而以懸臂式壩來作分析。
2. 土石溢流情況之考慮：
   (1)土石流溢流厚度（h_5）：根據水土保持技術規範第 73 條，最大土石流之流量為當地清水流量之 10 倍；本案例以 4 倍計。淤滿後，溢流以渠道流計算。
   (2)每 m^2 之土石流溢流重量 $(q)=\gamma_{sat}\times h_5$。
   (3)本案例採用 $h_5=2.5(m)$。
3. 梳子壩設計之尺寸

柱高 H (m)	踵版長 L_2 (m)	趾版長 L_1 (m)	壩頂厚 L_3 (m)	Key 長 Z (m)

4. 作用力檢算（以每一進行米（每公尺寬）做檢算）

(1)各作用力之計算式表：

溢流口上方土石流重量	方向	對 A 點之力臂
$W_4 = \gamma_{sat} \cdot h_5 \cdot L_6$	↓	$L_1 + L_3 + \frac{1}{2} \cdot L_6$
堆積土石之重量	方向	對 A 點之力臂
$W_1 = \gamma_{sat} \cdot (h_1 + H) \cdot L_6$ 註：踵版混凝土單位重視同飽和土石流單位重。	↓	$L_1 + L_3 + \frac{1}{2} \cdot L_6$
$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{sat} \cdot h_2 \cdot L_6$	↓	$L_1 + L_3 + \frac{2}{3} \cdot L_6$
壩體重量	方向	對 A 點之力臂
$W_3 = \gamma_c \cdot L_3 \cdot (h_1 + H) \cdot \frac{D}{D + D'}$ 註：為平均梳子壩之間距，故多乘係數 (D/D+D')。	↓	$L_1 + \frac{1}{2} \cdot L_3$
溢流口上方因土石流流動， 對懸臂式壩面版增加之主動土壓力	方向	對 A 點之力臂
總力：$P_{a1} = \gamma_{sat} \cdot h_5 \cdot K_a \cdot (h_1 + H + h_2) = q \cdot K_a \cdot (h_1 + H + h_2)$		
溢流口上方增加主動土壓力之水平分力： $P_{a1h} = P_{a1} \cdot \cos(\beta + \delta)$	←	$\frac{1}{2}(h_1 + H + h_2)$
溢流口上方增加主動土壓力之垂直分力： $P_{a1v} = P_{a1} \cdot \sin(\beta + \delta)$	↓	$L = L_1 + L_2$
未溢流時的主動土壓力	方向	對 A 點之力臂
總力：$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot (h_1 + H + h_2)^2 \cdot K_a$		
未溢流時的主動土壓力之水平分力： $P_{ah} = P_a \cdot \cos(\beta + \delta)$	←	$\frac{1}{3}(h_1 + H + h_2)$
未溢流時的主動土壓力之垂直分力： $P_{av} = P_a \cdot \sin(\beta + \delta)$	↓	$L = L_1 + L_2$
水壓力	方向	對 A 點之力臂
$P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot (h_1 + H + h_2)^2$ 註：假設水深至未溢流時坡面。	←	$\frac{1}{3}(h_1 + H + h_2)$
上揚力	方向	對 A 點之力臂
$U = C' \cdot \gamma_w \cdot (h_1 + H + h_2) \cdot \frac{(L_1 + L_2)}{2}$	↑	$\frac{2}{3} \cdot L$

(2)各作用力之大小及力矩計算結果表（向下及向右方向為正）：

作用力及方向	作用力值(ton)	對 A 點力臂(m)	Moment(t-m)
$W_4 \downarrow$			
$W_1 \downarrow$			
$W_2 \downarrow$			
$W_3 \downarrow$			
$P_{a1h} \leftarrow$			
$P_{a1v} \downarrow$			
$P_{ah} \leftarrow$			
$P_{av} \downarrow$			
$P_w \leftarrow$			
$U \uparrow$			
		$\sum M$	

5. 傾倒檢算

(1)水平合力：$R_h = P_{a1h} + P_{ah} + P_w$

(2)垂直合力：$R_v = W_4 + W_1 + W_2 + W_2 + P_{a1v} + P_{av} + U$

(3)合力作用點至 A 點距離：$y = \dfrac{\sum M}{R_v}$

(4)垂直合力偏心距：$e = \dfrac{1}{2} - y$；（式中 $L = L_1 + L_2$）

(5)傾倒安全係數：$F.S. = \dfrac{|M(+)|}{|M(-)|}$

(6)傾倒檢算表：

R_v	
$\sum M$	
y	
e	
$L/6$	
$F.S.$	
$e < L/6$	

6. 承載力檢算

(1)上游之承載力：$B_{pu} = \dfrac{R_v}{L} \cdot \left(1 - 6 \cdot \dfrac{e}{L}\right)$

(2)下游之承載力：$B_{pd} = \dfrac{R_v}{L} \cdot \left(1 + 6 \cdot \dfrac{e}{L}\right)$

(3)承載力檢算表：

$B_{pu}\left(ton/m^2\right)$	
$B_{pd}\left(ton/m^2\right)$	
B_{pu} & $B_{pd} < 40$	

7. 滑動檢算

(1)各作用力之計算式表：

1.	水平合力：R_h	$R_h = P_{a1h} + P_{ah} + P_w$
2.	垂直合力：R_v	$R_v = W_4 + W_1 + W_2 + W_3 + P_{a1v} + P_{av} + U$
3.	土壤與土壤間之摩擦係數：μ_1	$\mu_1 = \tan\phi$
4.	土壤與牆面間之摩擦係數：μ_2	$\mu_2 = \tan\delta$
5.	趾版最上緣處被動土壓力：P_{zt}	$P_{zt} = h_3 \cdot \gamma_s \cdot K_p$
6.	Key 最下緣處被動土壓力：P_{zs}	$P_{zs} = \left(h_3 + h_4 + Z\right) \cdot \gamma_s \cdot K_p$
7.	被動土壓力之合力：P_p	$P_p = \frac{1}{2}\left(P_{zt} + P_{zs}\right) \cdot \left(h_4 + Z\right)$
8.	Key 下游之反作用力：R_1	$R_1 = \frac{1}{2}\{B_{pd} + [B_{pu} + \frac{\left(B_{pd} - B_{pu}\right)}{L} \cdot \left(L - L_4\right)]\} \cdot L_4$
9.	Key 上游之反作用力：R_2	$R_2 = \frac{1}{2}\left(B_{pd} + B_{pu}\right) \cdot L - R_1$
10.	抗滑力：F_k	$F_k = \left(\mu_1 \cdot R_1 + \mu_2 + R_2\right) + P_p$ =摩擦力+被動土壓力之合力
11.	滑動安全係數：$F.S.$	$F.S. = \left\|\frac{F_k}{R_h}\right\|$

(2)滑動之檢算表：

R_h		P_p	
R_v		R_1	
μ_1		R_2	
μ_2		F_k	
是否加 Key		$F.S.$	
$Z \le$ 最大 Key 長		$F.S. \ge 1.15$	

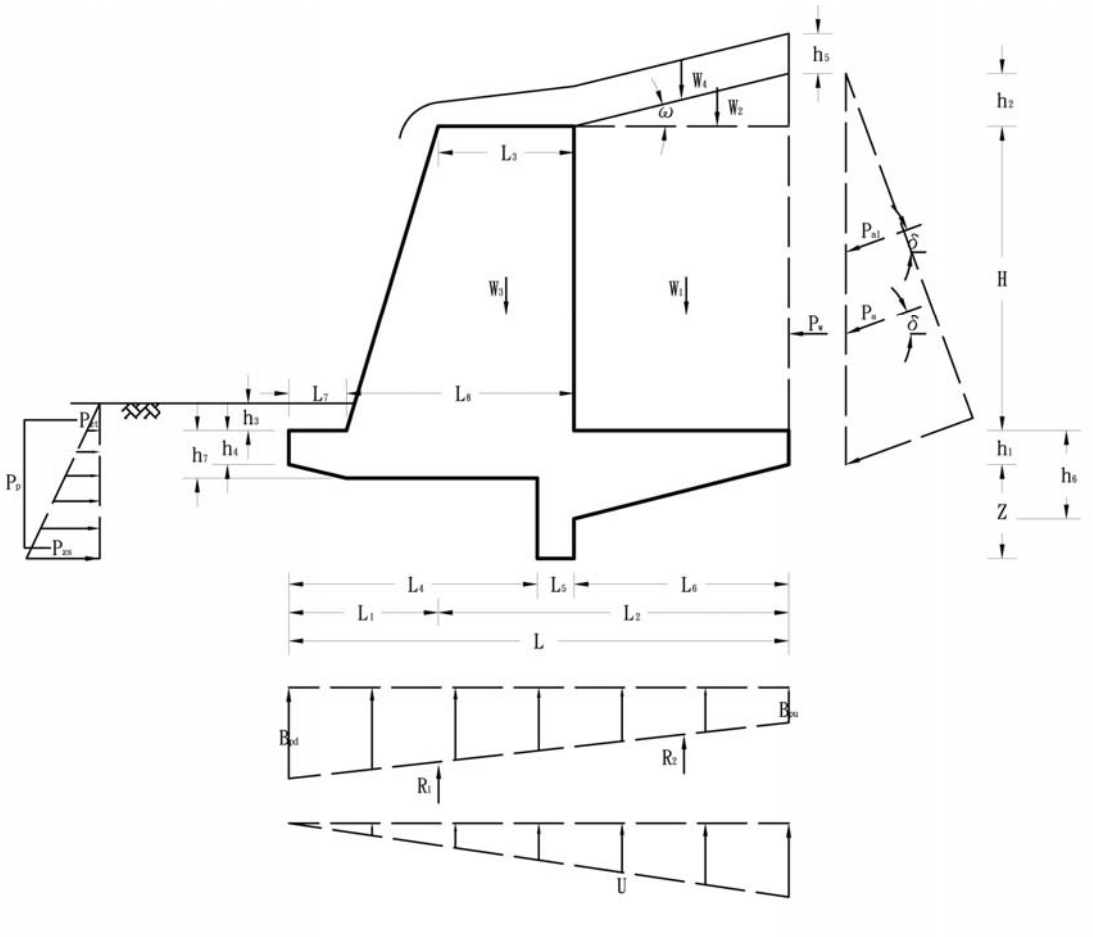


圖 工-3-4 土石流淤滿後土石流溢流

Case 4 壩體上游土石流接近淤滿時巨礫撞擊（圖 工-3-5 土石流接近淤滿時巨礫撞擊）

1. 整體安定分析時，梳子壩與傳統懸臂式壩受力完全一樣，因而以懸臂式壩來作分析。
2. 假設巨礫恰巧撞擊柱子頂，此為極端情況，出現機率很低。故：
   (1)相鄰之梳子(柱)於同一瞬間被撞擊之機率可視為零；除面板為梳子(柱)外，趾版、踵版、止滑榫均為連續構造，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，本例採用：受力斷面寬度（B_1）＝13 (m)。
   (2)因梳子前加回填砂石之廢輪胎緩衝材料，巨礫瞬間最大撞擊力可大大的降低約為原來的C_1倍，今設計用$C_1 = 0.3$。
3. 巨礫撞擊力之考慮：

(1)巨礫撞擊力：採用經驗公式即 $P_d = 50$（巨礫礫徑）$^2 \cdot$（土石流流速）$^{1.2}$（採用游繁結，1993，水土保持學報，25 卷第一期 p.24）。

(2)本案例採用： $P_d = 50(d_{\max})^2 \cdot (v_{df})^{1.2} = 50 \times 1.6^2 \times 5^{1.2} = 883.03(ton)$

4. 梳子壩設計之尺寸

柱高 H (m)	踵版長 L_2 (m)	趾版長 L_1 (m)	壩頂厚 L_3 (m)	Key 長 Z (m)

5. 作用力檢算（以每一進行米（每公尺寬）做檢算）

(1)各作用力之計算式表：

巨礫撞擊力	方向	對 A 點之力臂
巨礫水平方向撞擊力： $P_{dh} = \left(\frac{C_1 \cdot P}{B_1}\right) \cdot \cos(\beta + \delta)$	←	$H + h_1$
巨礫垂直方向撞擊力： $P_{dv} = \left(\frac{C_1 \cdot P}{B_1}\right) \cdot \sin(\beta + \delta)$	↓	$L_1 + L_3$
土石流重量	方向	對 A 點之力臂
$W_1 = \gamma_{sat} \cdot \left(h_1 + H + \frac{1}{2} \cdot d_{\max}\right) \cdot L_6$ 註：踵版混凝土單位重視同飽和土石流單位重。	↓	$L_1 + L_3 + \frac{1}{2} \cdot L_6$
$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{sat} \cdot L_6 \cdot h_2$	↓	$L_1 + L_3 + \frac{2}{3} \cdot L_6$
壩體重量	方向	對 A 點之力臂
$W_3 = \gamma_c \cdot L_3 \cdot (h_1 + H) \cdot \frac{D}{D + D'}$ 註：為平均梳子壩之間距，故多乘係數 (D/D+D')。	↓	$L_1 + \frac{1}{2} \cdot L_3$
主動土壓力	方向	對 A 點之力臂
總力： $P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot \left(h_1 + H + \frac{1}{2} \cdot d_{\max} + h_2\right)^2 \cdot K_a = 5.8592$		
主動土壓力之水平分力： $P_{ah} = P_a \cdot \cos(\beta + \delta)$	←	$\frac{1}{3}(h_1 + H + \frac{1}{2} \cdot d_{\max} + h_2)$
主動土壓力之垂直分力： $P_{av} = P_a \cdot \sin(\beta + \delta)$	↓	$L = L_1 + L_2$

後方之水壓力	方向	對 A 點之力臂
$P_w = \frac{1}{2}\cdot\gamma_w\cdot(h_1+H+\frac{1}{2}\cdot d_{\max}+h_2)^2$ 註：假設水深至坡面。	←	$\frac{1}{3}(h_1+H+\frac{1}{2}\cdot d_{\max}+h_2)$
上揚力	方向	對 A 點之力臂
$U = C'\cdot\gamma_w\cdot(h_1+H+\frac{1}{2}\cdot d_{\max}+h_2)\cdot\frac{(L_1+L_2)}{2}$	↑	$\frac{2}{3}L$

(2)各作用力之大小及力矩計算結果表（向下及向右方向為正）：

作用力及方向	作用力值(ton)	對 A 點力臂(m)	Moment(t-m)
$P_{dh}\leftarrow$			
$P_{dv}\downarrow$			
$W_1\downarrow$			
$W_2\downarrow$			
$W_3\downarrow$			
$P_{ah}\leftarrow$			
$P_{av}\downarrow$			
$P_w\leftarrow$			
$U\uparrow$			
		$\sum M$	

6. 傾倒檢算

(1)水平合力：$R_h = P_{dh}+P_{ah}+P_w$

(2)垂直合力：$R_h = W_1+W_2+W_3+P_{dv}+P_{av}+U$

(3)合力作用點至 A 點距離：$y = \frac{\sum M}{R_v}$

(4)垂直合力偏心距：$e = \frac{1}{2}-y$；（式中 $L = L_1+L_2$）

(5)傾倒安全係數：$F.S. = \frac{|M(+)|}{|M(-)|}$

(6)傾倒檢算表：

R_v	
$\sum M$	
y	
e	
$L/6$	
$F.S.$	
$e < L/6$	

7. 承載力檢算

(1)上游之承載力：$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e}{L}\right)$

(2)下游之承載力：$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e}{L}\right)$

(3)承載力檢算表：

$B_{pu}\left(ton/m^2\right)$	
$B_{pd}\left(ton/m^2\right)$	
B_{pu} & $B_{pd} < 40$	

8. 滑動檢算

(1)各作用力之計算式表：

1.	水平合力：R_h	$R_h = P_{dh} + P_{ah} + P_w$
2.	垂直合力：R_v	$R_v = W_1 + W_2 + W_3 + P_{dv} + P_{av} + U$
3.	土壤與土壤間之摩擦係數：μ_1	$\mu_1 = \tan\phi$
4.	土壤與牆面間之摩擦係數：μ_2	$\mu_2 = \tan\delta$
5.	趾版最上緣處被動土壓力：P_{zt}	$P_{zt} = h_3 \cdot \gamma_s \cdot K_p$
6.	Key 最下緣處被動土壓力：P_{zs}	$P_{zs} = \left(h_3 + h_4 + Z\right) \cdot \gamma_s \cdot K_p$
7.	被動土壓力之合力：P_p	$P_p = \frac{1}{2}\left(P_{zt} + P_{zs}\right) \cdot \left(h_4 + Z\right)$
8.	Key 下游之反作用力：R_1	$R_1 = \frac{1}{2}\{B_{pd} + [B_{pu} + \frac{\left(B_{pd} - B_{pu}\right)}{L} \cdot \left(L - L_4\right)]\} \cdot L_4$
9.	Key 上游之反作用力：R_2	$R_2 = \frac{1}{2}\left(B_{pd} + B_{pu}\right) \cdot L - R_1$

10.	抗滑力：F_k	$F_k=(\mu_1\cdot R_1+\mu_2+R_2)+P_p$ =摩擦力+被動土壓力之合力
11.	滑動安全係數：$F.S.$	$F.S.=\left\|\frac{F_k}{R_h}\right\|$

(2)滑動之檢算表：

R_h		P_p	
R_v		R_1	
μ_1		R_2	
μ_2		F_k	
是否加 Key		$F.S.$	
$Z\le$最大 Key 長		$F.S.\ge 1.15$	

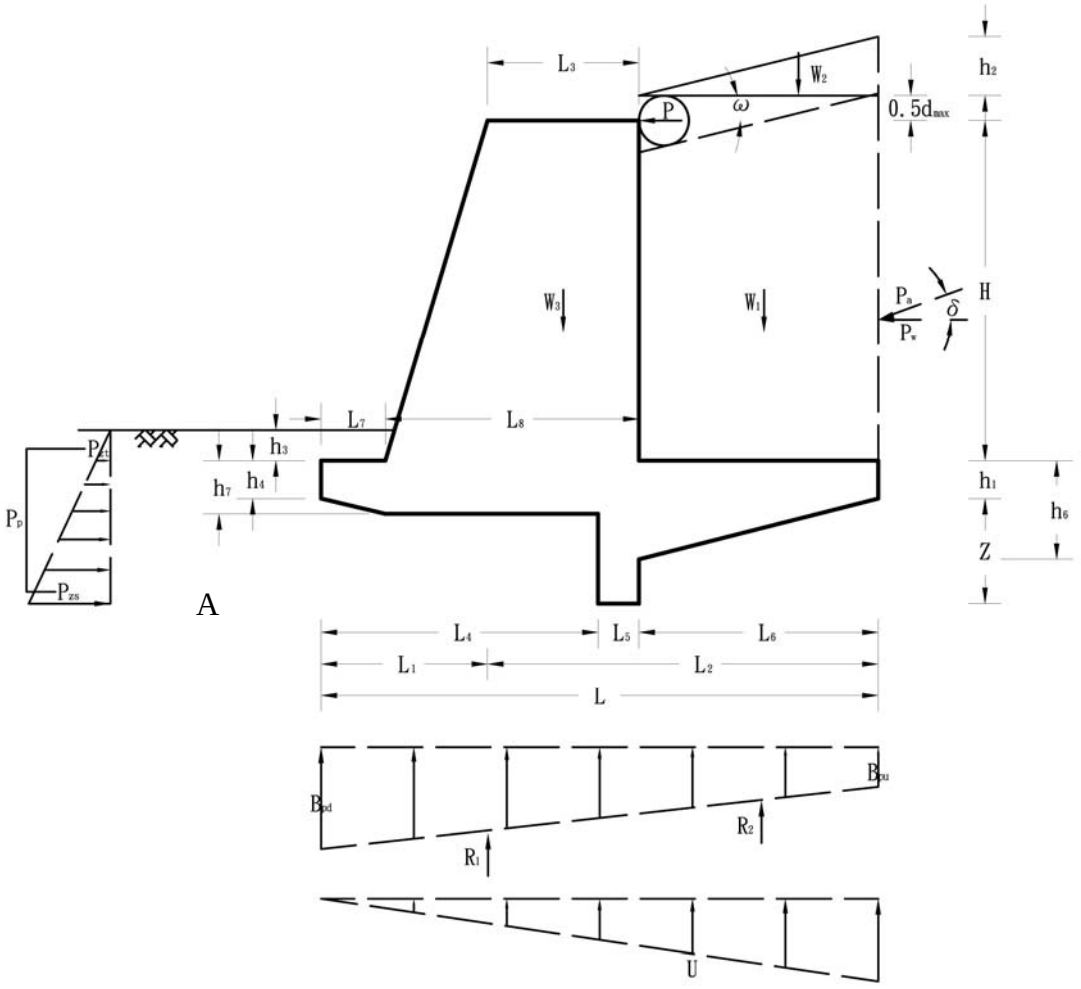


圖 工-3-5 土石流接近淤滿時巨礫撞擊

3.4.3 鋼筋混凝土設計

1. 原則：

(1)採用『工作應力法（WSD）』，計算上較為保守。

(2)分別考慮柱子、踵版、趾版及 Key 各部分所承受之力來加以考慮。

2. 計算步驟：

(1)彎矩計算：

①先計算出各部分之總力矩：M。

②混凝土強度：f_c'=210 kg/cm^2 ； 設計上用 f_c=0.45×f_c'=94.5 kg/cm^2。

③鋼筋強度：#6 及以上用 f_y=4200 kg/cm^2；較小者用 f_y=2800 kg/cm^2 本案例設計用 f_s=0.4×f_y=1680 kg/cm^2。

④寬度：b ；有效深度：d ；

$$k=\frac{f_c}{f_c+\frac{f_c}{n}}=\frac{94.5}{94.5+\frac{1680}{9}}=0.336 \quad ; \quad j=1-\frac{k}{3}=1-\frac{0.336}{3}=0.888 \quad ;$$

$$R=\frac{1}{2}\times f_c\times j\times k=\frac{1}{2}\times 94.5\times 0.888\times 0.336=14.1 \quad 。$$

⑤$bd^2=\frac{M}{R}$ ； 計算可得一 d 值。

(2)剪力計算：

所受剪力：V_u

再由 $d'=\frac{V_u\times 1000}{0.29\times\sqrt{f_c'}\times b}$ ； 推得 d'值

(3)設計選用原則：

原則上設計之有效深度（d"）至少需大於或等於 d，彎矩檢算才會 O.K.。若以 d">d 及 d'設計，則彎矩及剪力檢算皆 O.K.。所需鋼筋之斷面積為：

$$A_s=\frac{M}{f_s\times j\times d''}$$

若以 d<d"<d'設計，則所需鋼筋之斷面積為：$A_s = \frac{M}{f_s \times j \times d''}$；但混凝土抗剪力 $V_c = \frac{0.29 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d''}{1000}$ 不足，需加『箍筋』，箍筋所需承受之剪力為 $V_s = V_u - V_c$，則可計算出箍筋層與層間之間距 $S = \frac{A_v \cdot f_s \cdot d}{V_s}$（其中 A_v 為每層箍筋之總截面積，如：用#4 箍筋且每層一圈，則 A_v=2×1.29（cm^2））。

3.4.4 鋼筋混凝土計算

1. 柱子（面版）部分：

(1)參數設定：

一根柱子受力面積為柱子高乘本身面寬加兩側開口寬各一半。本案例以中間最危險柱子計：即 1m 面寬，計算承受 4m 面寬之力。

因柱前加廢輪胎緩衝材料，則：

$P_h = C_1 \cdot P \cdot \cos\delta$；（其中 C_1=0.3；$\delta = 22^0$）

$f_y = 4200 kg/cm^2 \Rightarrow f_s = 1680 kg/cm^2$

$f_c' = 210 kg/cm^2 \Rightarrow f_c = 94.5 kg/cm^2$

$k = 0.336;\ j = 0.888;\ R = 14.1$

本案例 b 採中間柱寬，即：b=100 cm

(2)彎矩計算：

力	力臂	彎矩
$P_h = C_1 \cdot P \cdot \cos\delta$ $= 0.3 \times 883.03 \times \cos 22^o$ $= 245.62(ton)$	$H = 4.5(m)$	1105.29 (t-m)
$P_{ah} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot H^2 \cdot \cos\delta \cdot K_a \cdot 4$ $= \frac{1}{2} \times 1.15 \times 4.5^2 \times \cos 22^o \times 0.2779 \times 4$ $= 12(ton)$	$\frac{1}{3}H = 1.5(m)$	18 (t-m)

力	力臂	彎矩
$P_w=\frac{1}{2}\cdot\gamma_w\cdot H^2\cdot 4$ $=\frac{1}{2}\times 1\times 4.5^2\times 4$ $=40.5(ton)$	$\frac{1}{3}H=1.5(m)$	60.75 (t-m)
$V_u=298.12(ton)$		M=1184.04(t-m)

由 $bd^2=\frac{M}{R}\Rightarrow d^2=\frac{1184.04\times 10^5}{14.1\times 100}=83974.47\Rightarrow d=289.78(cm)$

本案例設計柱子底厚為：335 cm=3.35 m，則有效深度 d"=335-25=310

所需鋼筋截面積：

$$A_s=\frac{M}{f_s\times j\times d''}=\frac{1184.04\times 10^5}{1680\times 0.888\times(335-25)}=256.03(cm^2)$$

使用 #10 鋼筋（A_s=8.19cm^2），所需鋼筋支數：31.26 支。

→設計上柱子(面版)部分之鋼筋：4 層，每層 8 支，共 32 支。

①柱子配筋設計：(考慮其越往上其彎矩越小)

柱子底至 2.5m 柱高 (0m~2.5m)	4 排(每排 8 支，共 32 支)
2.5m 柱高至 3.5m 柱高 (2.5m~3.5m)	3 排(每排 8 支，共 24 支)
3.5m 以上柱高	2 排(每排 8 支，共 16 支)

(3)剪力計算：

①柱子(面版)頂端部分：

$$d'=\frac{V_u\cdot 10^3}{0.29\cdot\sqrt{f_c'}\cdot b}=\frac{245.62\times 1000}{0.29\times\sqrt{210}\times 100}=583.61(cm)$$

設計頂厚採 200 cm=2.0 m，則有效深度 d"=200-25=175

柱子頂端：因 d"<d'，混凝土抗剪力不足，需加箍筋(採用#4 箍筋)，

②箍筋需承受之剪力：

$$\begin{aligned}V_s&=V_u-V_c\\&=245.62-\frac{0.29\times\sqrt{f_c'}\times b\times d}{1000}\\&=245.62-\frac{0.29\times\sqrt{210}\times 100\times(200-25)}{1000}\\&=172.08(ton)\end{aligned}$$

③箍筋層與層間間距：$S=\frac{A_v\cdot f_s\cdot d}{V_s}=\frac{2\times1.29\times1680\times(200-75)}{172.08\times10^3}=4.41(cm)$

以每層 4 組(8 個截面)，每層間距=17.64 cm^2，用每層間距 15 cm 設計。

(4)柱子(面版)底端部分：

$$d'=\frac{V_u\cdot10^3}{0.29\cdot\sqrt{f_c'}\cdot b}=\frac{298.12\times1000}{0.29\times\sqrt{210}\times100}=709.39(cm)$$

設計底厚採 335 cm=3.35 m，則有效深度 d"=335-25=310

使下游面坡度為 1：0.3，

柱子底端：因 d"<d'，混凝土抗剪力不足，需加箍筋(採用#4 箍筋)，

①箍筋需承受之剪力：

$$\begin{aligned}V_s&=V_u-V_c\\&=298.12-\frac{0.29\times\sqrt{f_c'}\times b\times d}{1000}\\&=298.12-\frac{0.29\times\sqrt{210}\times100\times(335-25)}{1000}\\&=167.84(ton)\end{aligned}$$

②箍筋層與層間間距：$S=\frac{A_v\cdot f_s\cdot d}{V_s}=\frac{2\times1.29\times1680\times(335-75)}{167.84\times10^3}=8.01(cm)$

以每層 4 組(8 個截面)，每層間距=32.04 cm^2，用每層間距 20 cm 設計。

(5)柱子箍筋設計(#4 箍筋)：(箍筋最大間距不得大於 12 in)

柱子底至 2.5 m 柱高 (0 m~2.5 m)	每層 4 圈（20 cm 一層）
2.5 m 柱高至柱頂	每層 4 圈（15 cm 一層）

2. 踵版部分：

(1)參數設定：

踵版為連續構造，但為配合柱子設計：以 1 m 面寬，計算承受 2 m 面寬之力。

$f_y=4200kg/cm^2\Rightarrow f_s=1680kg/cm^2$

$f_c'=210kg/cm^2\Rightarrow f_c=94.5kg/cm^2$

$k=0.336;\ j=0.888;\ R=14.1$

本案例 b 採單位寬，即：b=100 cm

(2)彎矩計算：

力	力臂	彎矩
$W_1=\gamma_{sat}\cdot(h_1+H+\frac{1}{2}\cdot d_{\max})\cdot(L_2-L_3)\cdot 2$ $=2.15\times(0.5+4.5+0.8)\times(5.4-2)\times 2$ $=84.8(ton)$	$\frac{1}{2}\cdot(L_2-L_3)$ $=\frac{1}{2}\times(5.4-2.0)$ $=1.7(m)$	144.16 (t-m)
$W_2=\frac{1}{2}\cdot\gamma_{sat}\cdot(L_2-L_3)\cdot h_2\cdot 2$ $=\frac{1}{2}\times 2.15\times(5.4-2)\times 0.2556\times 2$ $=1.87(ton)$	$\frac{2}{3}\cdot(L_2-L_3)$ $=\frac{2}{3}\times(5.4-2.0)$ $=2.27(m)$	4.24 (t-m)
$P_{av}=\frac{1}{2}\cdot\gamma'(h_1+H+\frac{1}{2}\cdot d_{\max}+h_2)^2\cdot K_a\cdot\sin\delta\cdot 2$ $=\frac{1}{2}\times 1.15\times(0.5+4.5+0.8+0.2556)\times 0.2779\times\sin 22^o\times 2$ $=4.39(ton)$	(L_2-L_3) $=3.4(m)$	14.93 (t-m)
$V_u=91.06(ton)$		M=163.33 (t-m)

由 $bd^2=\frac{M}{R}\Rightarrow d^2=\frac{163.33\times10^5}{14.1\times100}=11583.69\Rightarrow d=107.63(cm)$

本案例設計踵版最大厚度為：130 cm=1.3 m

所需鋼筋截面積：

$$A_s=\frac{M}{f_s\times j\times d''}=\frac{163.33\times10^5}{1680\times0.888\times(130-15)}=95.2(cm^2)$$

使用 #9 鋼筋（A_s=6.54cm^2），所需鋼筋支數：14.55 支。

→設計上踵版部分之鋼筋：2 層，每層 8 支，共 16 支。

(3)剪力計算：

$$d'=\frac{V_u\cdot10^3}{0.29\cdot\sqrt{f_c'}\cdot b}=\frac{91.06\times1000}{0.29\times\sqrt{210}\times100}=216.68(cm)$$

本案例設計踵版最大厚度為 130cm=1.3 m，則有效深度 $d''=130-15=115$

踵版最大厚度處：因 d"<d'，混凝土抗剪力不足，需加箍筋(採用#4 箍筋)，

①箍筋需承受之剪力：

$$V_s = V_u - V_c$$
$$= 91.06 - \frac{0.29 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d}{1000}$$
$$= 91.06 - \frac{0.29 \times \sqrt{210} \times 100 \times (130-15)}{1000}$$
$$= 42.73(ton)$$

②箍筋層與層間間距：

$$S = \frac{A_v \cdot f_s \cdot d}{V_s} = \frac{2 \times 1.29 \times 1680 \times (130-15)}{172.08 \times 10^3} = 11.67(cm)$$

踵板箍筋設計(#4 箍筋)：以每層 2 組(4 個截面)，每層間距=23.34 cm^2，用每層間距 20 cm 設計 (箍筋最大間距不得大於 12 in)。

3. 趾版部分：

(1)參數設定：

趾版為連續構造，但為配合柱子設計：以 1 m 面寬，計算承受 2 m 面寬之力。

$f_y = 4200 kg/cm^2 \Rightarrow f_s = 1680 kg/cm^2$

$f_c' = 210 kg/cm^2 \Rightarrow f_c = 94.5 kg/cm^2$

$k = 0.336;\ j = 0.888;\ R = 14.1$

本案例 b 採單位寬，即：b=100 cm

作用力計算：

$$B_{pm} = B_{pu} + [\frac{(B_{pd} - B_{pu})}{(L_1 + L_2)} \cdot (L_1 + L_2 - L_7)]$$
$$= 0.09 + [\frac{13.43 - 0.09}{2.2 + 5.4} \times (2.2 + 5.4 - 0.85)]$$
$$= 0.09 + 1.76 \times 6.75 = 11.97(ton)$$

(2)彎矩計算：

力	力臂	彎矩
$0.5 \cdot B_{pm} \cdot L_7 \cdot 2$ $= 0.5 \times 11.97 \times 0.85 \times 2$ $= 10.17$	$\frac{1}{3} L_7 = \frac{1}{3} \times 0.85 = 0.28(m)$	2.85 (t-m)
$0.5 \cdot B_{pd} \cdot L_7 \cdot 2$ $= 0.5 \times 13.43 \times 0.85 \times 2$ $= 11.42$	$\frac{2}{3} L_7 = \frac{2}{3} \times 0.85 = 0.57(m)$	6.51 (t-m)
$V_u = 21.59(ton)$		M=9.36 (t-m)

由 $bd^2 = \frac{M}{R} \Rightarrow d^2 = \frac{9.36\times10^5}{14.1\times100} = 663.83 \Rightarrow d = 25.76(cm)$

本案例設計趾版最大厚度為：70 cm=0.7 m

所需鋼筋截面積：

$$A_s = \frac{M}{f_s \times j \times d''} = \frac{9.36\times10^5}{1680\times0.888\times(70-12)} = 10.82(cm^2)$$

使用 #6 鋼筋（A_s=2.84cm^2），所需鋼筋支數：3.81 支。

→設計上趾版部分之鋼筋：1 層，每層 5 支，共 5 支。

(3)剪力計算：

$$d' = \frac{V_u \cdot 10^3}{0.29\cdot\sqrt{f_c'}\cdot b} = \frac{21.59\times1000}{0.29\times\sqrt{210}\times100} = 51.37(cm)$$

本案例設計趾版最大厚度為 70 cm=0.7 m，則有效深度 d"=70-12=58

趾版最大厚度處：因 d"＞d'，混凝土抗剪力足夠，不需加箍筋。

4. 止滑榫(Key)部分：

(1)參數設定：

Key 為連續構造，但為配合柱子設計：以 1 m 面寬，計算承受 2 m 面寬之力。

$f_y = 4200\,kg/cm^2 \Rightarrow f_s = 1680\,kg/cm^2$

$f_c' = 210\,kg/cm^2 \Rightarrow f_c = 94.5\,kg/cm^2$

$k = 0.336;\ j = 0.888;\ R = 14.1$

本案例 b 採單位寬，即：b=100 cm

作用力計算：

$$P_{zm} = \frac{1}{2}\cdot K_p \cdot \gamma_s \cdot (h_3 + h_5) = 0.5\times3.3921\times1.85\times(0+1.3) = 4.08(ton)$$

(2)彎矩計算：

力	力臂	彎矩
$0.5\cdot P_{zm}\cdot(h_1+Z-h_3)\cdot2$ $=0.5\times4.08\times(0.5+2-1.3)\times2$ $=4.9$	$\frac{1}{3}\cdot(h_1+Z-h_3)$ $=0.4$	1.96 (t-m)

力	力臂	彎矩
$0.5 \cdot P_{zs} \cdot (h_1 + Z - h_3) \cdot 2$ $= 0.5 \times 15.69 \times (0.5 + 2 - 1.3) \times 2$ $= 18.83$	$\frac{2}{3} \cdot (h_1 + Z - h_3)$ $= 0.8$	15.06 (t-m)
$V_u = 23.73(ton)$		M=17.02 (t-m)

由 $bd^2 = \frac{M}{R} \Rightarrow d^2 = \frac{17.02 \times 10^5}{14.1 \times 100} = 1207.09 \Rightarrow d = 34.75(cm)$

本案例設計 Key 厚度為：70 cm=0.7 m

所需鋼筋截面積：

$$A_s = \frac{M}{f_s \times j \times d''} = \frac{17.02 \times 10^5}{1680 \times 0.888 \times (70 - 12)} = 19.67(cm^2)$$

→設計上由面版延伸一排#10 鋼筋：1 層，每層 8 支。

(3)剪力計算：

$$d' = \frac{V_u \cdot 10^3}{0.29 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b} = \frac{23.73 \times 1000}{0.29 \times \sqrt{210} \times 100} = 56.47(cm)$$

本案例設計 Key 厚度為 70 cm=0.7 m，則有效深度 d''=70-12=58

趾版最大厚度處：因 $d'' > d'$，混凝土抗剪力足夠，不需加箍筋。

植生方法篇

目錄

一. 通論(Concepts and Principles)..... 植-1-1

1.1 適用範圍與內涵(Application scope and subject) 植-1-1

1.2 植物與環境(Plants and the environment)..... 植-1-3

1.3 環境條件與植物生長(Environmental condition and plant growth)..... 植-1-10

1.4 植生作業規劃設計原則(Vegetation layout and design principal) 植-1-14

二. 植生前期作業(Vegetation former stage placement)..... 植-2-1

2.1 植生前期作業之定義與目的(The definition and purpose for vegetation former stage placement)..... 植-2-1

2.2 植生前期作業之工作項目(The placement items for vegetation former stage) 植-2-2

2.3 配合處理之工程(Engineering placement in coordination) 植-2-6

三. 植生方法(Vegetation methods)..... 植-3-1

3.1 植生導入作業(Cultivation placement for vegetation materials) 植-3-1

3.2 直播(Direct seeding)..... 植-3-8

3.3 噴植(Spray seeding) 植-3-9

3.4 植生帶鋪植(Vegetation belt placement) 植-3-12

3.5 土壤袋植生(Soil bag vegetation)..... 植-3-15

3.6 草苗栽植(Grass seedling vegetation)..... 植-3-17

3.7 草皮鋪植(Lawn vegetation)..... 植-3-19

3.8 容器苗穴植(Container nursery-grown cave vegetation) .. 植-3-21

3.9 木本植物栽植及移植(Plants vegetation/transplant) 植-3-22

四. 植生維護與管理(Vegetation maintenance and management)... 植-4-1

4.1 施肥(Fertilizer application) 植-4-1

4.2 灌溉(Irrigation and watering) 植-4-5
4.3 病蟲害防治(Disease prevention) 植-4-6
4.4 植生之診斷(Vegetation diagnosis) 植-4-10
4.5 植生之養護(Vegetation maintenance) 植-4-11
4.6 植生調查與分析(Vegetation investigation and analysis) 植-4-14
五. 特殊地植生(Vegetation in specific area) 植-5-1
5.1 崩塌地(Landslide area) 植-5-1
5.2 泥岩地區(Mudstone area) 植-5-4
5.3 紅土地區(Red soil area) 植-5-8
5.4 工址周邊(Engineering surrounding area) 植-5-10
5.5 緩衝綠帶(Vegetation buffer strips) 植-5-18
5.6 防風定砂(Windbreaks and sand fixation) 植-5-20
5.7 礦區(Mining area) 植-5-27
5.8 廢棄物處理場(Waste management area) 植-5-31
5.9 坡地綠美化(Slopeland vegetation) 植-5-33
六. 附錄(Appendix) 植-6-1
6.1 水土保持常用植物材料之種類與特性(Species and characteristics of vegetation materials for commonly used on soil and water conservation) 植-6-1

表目錄

表 植-1-1 一般邊坡調查項目.....植-1-14
表 植-1-2 四種植生綠化基本類型之比較.....植-1-16
表 植-2-1 問題土壤之改良方法.....植-2-4
表 植-2-2 不同坡度時植生所需之配合處理工程.....植-2-6
表 植-2-3 不同土壤硬度植物生長情形及其所需之配合處理方法
.....植-2-6
表 植-2-4 栽植槽客土厚度與栽植植物生育之關係表 植-2-10
表 植-3-1 不同植物之覆土厚度修正值.....植-3-3
表 植-3-2 不同施工時期之修正值.....植-3-3
表 植-3-3 坡面噴植工法最適施工時期表.....植-3-4
表 植-3-4 各類植物之種植穴規格.....植-3-25
表 植-4-1 常用化學肥料之要素含量.....植-4-1
表 植-4-2 常用有機質肥料之要素含量.....植-4-2
表 植-4-3 植生問題診斷與對策表.....植-4-10
表 植-4-4 植栽維護管理時間表(以三年為例).....植-4-12
表 植-5-1 泥岩地區主要坡面保育工法.....植-5-5
表 植-5-2 沿海地區環境逆境之因應措施.....植-5-25
表 植-5-3 石灰石礦區捨石場及採掘跡適用植生工法 植-5-29

圖目錄

圖 植-1-1 植生基礎工與植生導入作業方法流程圖 植-1-15
圖 植-2-1 打樁編柵施工法示意圖.....植-2-8
圖 植-2-2 各型栽植槽示意圖.....植-2-9
圖 植-3-1 挖穴鋪網客土噴植法施工圖.....植-3-10
圖 植-3-2 植生帶鋪植示意圖(以不織布植生帶為例).....植-3-13
圖 植-3-3 肥束帶(或類似產品)施工示意圖.....植-3-14
圖 植-3-4 土壤袋植生施工圖(以固定框內土壤袋植草為例)....植-3-16
圖 植-3-5 草苗栽植示意圖.....植-3-18
圖 植-3-6 木本植栽固定示意圖.....植-3-27
圖 植-4-1 植樹基肥施用法.....植-4-4
圖 植-5-1 崩塌地植生工程計畫與作業流程圖.....植-5-1
圖 植-5-2 河川護岸植栽示意圖.....植-5-13
圖 植-5-3 河川護岸植栽示意圖—原生景觀植物.....植-5-14
圖 植-5-4 巨石護岸及植栽示意圖.....植-5-15
圖 植-5-5 格框植生護岸及其配合植栽示意圖.....植-5-15
圖 植-5-6 河川護岸植栽示意圖—親水護岸及休閒遊憩區 植-5-16
圖 植-5-7 苗木栽植法.....植-5-21
圖 植-5-8 築堤植生法.....植-5-22
圖 植-5-9 築溝植生法.....植-5-22
圖 植-5-10 甜根子草草苗栽植.....植-5-25
圖 植-5-11 運用優型樹單植.....植-5-40
圖 植-5-12 雙植.....植-5-40
圖 植-5-13 三植之形式圖.....植-5-41
圖 植-5-14 喬木、灌木及草花所組成的生態優勢，即為群植
.....植-5-41
圖 植-5-15 列植.....植-5-42

植生方法篇

目錄

一. 通論.....1
1.1 適用範圍與內涵.....1
1.2 植物與環境.....3
1.3 環境條件與植物生長.....10
1.4 植生作業規劃設計原則.....14

表 植-1-1 一般邊坡調查項目 植-1-14
表 植-1-2 四種植生綠化基本類型之比較 植-1-16

圖 植-1-1 植生基礎工與植生導入作業流程圖 植-1-15

一. 通論

1.1 適用範圍與內涵

1.1.1 前言

台灣之水土保持植生工作始於民國五十年代初期，以農地水土保持植生之直播、植生帶鋪植、土壤袋植生等方法為推動重點；至民國六十年代興建中山高速公路才大量推行邊坡穩定植生工程。另於民國七十三年綠化年推動環境綠化，七十二年以後針對紅土、泥岩地區及石灰石礦之植生綠化技術進行系列探討。九二一大地震後，崩塌地治理工作因生態保育意識高漲，遂確立生態工法之發展應用。近年來更因生物多樣性之需求及生態工程之蓬勃發展，植生工作更朝向生態綠化之理念。植生方法篇內容係以從事水土保持相關植生工作之規劃設計人員為編撰考量，旨為使其具有完善之規劃設計理念，因地制宜選擇適當之植物種類與方法並配合後續之維護管理，達穩定坡面減少土壤流失，或施作綠化工作同時兼具生態復育之設計，則可藉植物達環境保育之效。

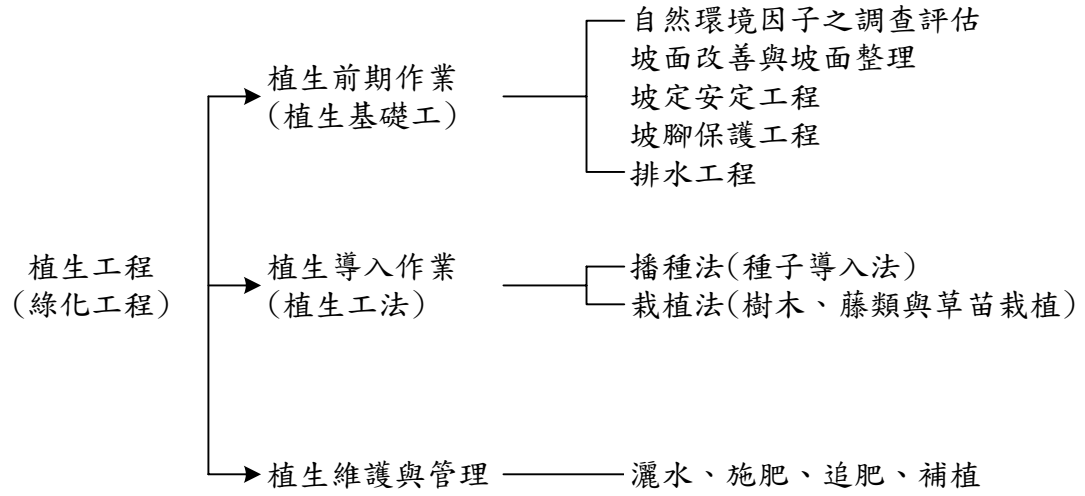
1.1.2 植生與植生工程之內涵

「植生」(vegetation)又稱「植被」，係某一地區生長之所有植物的總和，特別是指地表面所生長之草類、蕨類、灌木及喬木等高等植物。「植生工程」(vegetation engineering)，又稱「綠化工程」係針對植生施工之對象，選取適宜生長之植生材料，配合基礎與保護工程之構築及植生導入作業，俾達到植生設計目的之相關技術。植生工程包括植生前期作業(或稱植生基礎工)、植生導入作業(或稱植生工法)及植生維護與管理等項目。植生前期作業是為坡面播種或栽植植物前所做之基礎或坡面安定工程及相關(整坡)作業。其內容包括施工地點自然環境因子之調查與生態評估、坡面改善、坡腳安定工程及坡面排水工程等。

植生導入作業之意義為應用木本與草本植物，使坡地、荒廢地長成各類植物，達成綠化，防止土壤沖蝕、土地崩坍等災害之發生，並使荒廢地恢復土地生產力之一種工法。換言之，植生工法亦為藉著植樹與種草，以期迅速且確實地達到平面及立體的綠化，進而保育環境中之土地及景觀之工法。

植生導入作業可概分為播種法(種子導入法)與栽植法。播種法如撒播、噴植、植生袋、植生帶鋪植等；栽植法如樹木栽植、藤類栽植、草苗栽植、草皮鋪植、扦插、土袋植生等。

植生維護與管理是為確保植生工作之落實與成效，於栽植作業過程中，配合適當之養護與管理，如施用肥料、改良土質、補植、灑水及追肥等植生維護工作，以達到土壤保育及生態環境維護。



1.2 植物與環境

1.2.1 植生在調節微氣候環境上之功能

1. 調節微氣候

植物具有調節氣溫之功用，植被之覆蓋會直接影響地面受熱的情形。林木樹冠可反射及吸收部分太陽輻射，也會透過蒸散作用而帶走熱能以調節周遭的氣溫。一般而言，白天森林內溫度較森林外低 3～5℃，但在夜晚則反而稍高 2～4℃，因而可緩和該地之溫差。而森林內外的溫度變化更可促進空氣流動，經常涼風清拂，讓人感到舒適。夏季，林木蒸散之水分可增高相對濕度，在落葉樹林約 2～3%，在針葉樹林則達 5～10%，尤以黃昏時溫度明顯下降，故相對濕度亦增加最多。

應用植生工程或栽植樹木的方式，可以遮擋或柔化太陽直射光及反射光，減小風速，達到調節微氣候之效果。此外，道路中之綠帶，亦可提高空氣中的相對濕度，提供駕駛人及行人一個舒適的交通環境。

2. 淨化空氣

有關植物存在對空氣淨化或對空氣品質改善之功能，其作用機制歸納如下：

(1)補氧作用

一般而言，每個人每天吸收 O_2 之量約等於 $30m^2$ 綠帶每天所釋放出之 O_2 量。

(2)過濾作用

由於綠帶之存在，可使其冠層周邊濕度增加，而葉片本身及其表皮毛狀物等，亦可達到減低風速之功能，因而可阻截空氣中砂粒、煙塵、花粉、孢子等，達到過濾之效果。

(3)吸收與吸附作用

植物氣孔之開啟可吸收氣態之污染物，如 CO_2、NO_2、HF、Cl_2、NH_3 等。而固態之污染物，如石棉、氯化物、微量金屬等可被植物吸附於葉片表面或枝幹表面等。

(4)芳香作用

桂花、玉蘭花、含笑花、梔子花、蒜香藤、香水樹、檸檬桉等具有芳香氣味的樹種，可種植為綠帶，掩飾難聞之氣味。

3. 噪音之控制

植物對噪音具有吸收、反射、折射及偏向等作用，可有效地減除環境中之噪音污染，尤其是道路邊坡植栽。

1.2.2 植生對水文循環之影響

植物對水文循環影響，包括水自大氣經由降雨轉移到土壤、地下水及地表水等不同路徑之流量及流速，能減緩沖蝕及調節土壤水分移動，增加土壤剪力強度。

1. 雨水截留

樹冠截留減少了降雨到達地表面的體積與比率，在小雨時植物截留比率可達 100%，在降雨強度較大時，其截留率僅為 25%或小於 25%；但在植被覆蓋良好之地區，一年的降雨量中能夠產生 30%的截留效果。

2. 入滲

植生增加土壤表層滲透性與入滲的因素，分述如下：

(1)根系與地上部之存在，增加地表粗糙度。

(2)由根系腐朽所形成之管狀孔隙或孔洞。

(3)表土形成較低的密度和較好的團粒結構。

3. 地表下淺層排水

地表下淺層排水發生在含有緻密根系的土層內、無根域之土層或坡面上端枯枝落葉層中，上層為良好植被的土壤通常水平滲透性大於垂直滲透性。

1.2.3 植生之地面保護功能

1. 雨滴的衝擊

植生可以有效的阻止雨滴衝擊地表而產生的土壤團粒破裂和分離，地面表層藉由植生的保護，防止表面硬化，增加土壤入滲率。

地表上的植物或樹冠高度較低的植物，能減低雨滴衝擊的速度與能量。而較高的樹冠高度，使雨滴到地面之速度與能量較大。一般而言，植物覆蓋比率抵抗降雨衝擊的程度，在地表的植生覆蓋達 70%或以上時，能產生最大的保護。

2. 植生覆蓋與土壤沖蝕

天然植生覆蓋地區，地面上的植物可限制雨滴沖蝕力，減少土壤沖蝕量，而多年生植生覆蓋亦能發展出抗蝕性的土壤團粒構造，因此土壤地力能長

期維持。但人為開發或破壞的裸露地區，土壤沖蝕量會大量增加。在不同土地利用方式下，產生的土壤沖蝕量有很大的差別。

坡面上土壤流失量的多寡受到氣候、土壤、植物及地勢等因子共同影響。唯植物因素變化快速，且受人為影響與人類活動息息相關。土壤沖蝕相關論述及土壤流失量之估算，可參考坡地保育篇。

1.2.4 植生與空氣流動

1. 風所產生之荷重

風產生之荷重通常只在風的強度超過 11 公尺/秒(蒲福六級風)時才會對坡面穩定產生顯著之影響。風對植物之作用力會造成較上層的土壤被擾動，而直接造成崩塌現象，尤其在連續降雨土壤水分達到飽和之紅土礫石層或泥岩地區裸露坡面上，其影響最為顯著。

2. 風速對植物之影響

風對土壤團粒分離與移動沈積之能力分別與風速的平方及立方成比例。風速減低可以減輕風蝕的程度，而風經過植被上部之路徑所造成的拖曳作用可以減低風速。拖曳作用由兩個因子共同作用，一是表面摩擦，由空氣通過植被頂端產生；一是如同流體遇到鈍面物體一般，氣流通過植株個體時會被分散開來。

1.2.5 植生與邊坡穩定

1. 植生抑制邊坡崩塌之機制

(1)水文機制方面

①植物冠層可截留降水，減少表面逕流。

②根系與樹幹增加地表粗糙度，使得入滲能增大，減少土壤沖蝕。

(2)物理機制方面

①根系的補強作用，增加土壤凝聚力，使土壤抗剪力增加。

②根系之錨定、扶壁、網結、固土作用而產生根系的機械支持力。

③因地上部之垂直荷重而增加了土壤的正向力。

④植生在坡面上對風具有阻抗力。

2. 植物根系之功能

(1)根系與樹幹增加地表粗糙度，使得入滲能力增大。

(2)涵養水源、疏導水分與促進蒸散等，降低地下水水位使得孔隙水壓力減少。

(3)根系的補強作用，增加土壤凝聚力，使土壤抗剪力增加。

(4)根系之錨定、扶壁、網結、固土作用而產生根系的機械支持力。

(5)植生在坡面上對風具有阻抗力。

3. 木本植物與草本植物根系之功能差異

在坡面上，草本植物與木本植物根系形態有顯著之不同。一般草本植物根系不照重力方向往下面生長而向山谷側生長，這種現象不管坡面之土壤鬆軟與否，根系生長的方向皆相同。即草方向往下面生長而向山本植物之根系形態，在坡度愈陡之坡面愈從立體的結構變成平面的結構。另其根系侵入風化土層者不多，亦造成單純的草本植物群落，致使草本植物對坡面之防災效果較木本差。

草本植物根系之抗拔強度較木本植物弱。純草生植物群落，因鬚根淺、根系深度一度，易造成滑動破壞面，土壤含水量過高時引起淺層崩塌。此與草本植物根系短，根系極少伸入岩盤，與風化土層之盤結力量太差有密切之關係。

土壤中含水分過多時，因草本植物根系欠缺剛性，土壤粒子與草本根系間之摩擦力顯著減少，故極速的降低草本植物之抗拔強度，而木本植物之根系，在土中水分呈飽和狀態下仍有相當高的抗拔力，此與根系之剛性、粗大、長及其入侵性強有關。

4. 植栽木與播種木根系機能之差異：

(1)播種木根系較植栽木發達。

(2)播種木根系之抗拔強度較植栽木大。

(3)播種木抗天然災害力強。

5. 根系對土壤補強效應：

(1)根張力強度

根系對土壤坡面所增加的土壤剪力強度，包括根株本身的機制補強力(根段張力)以及根與土壤緊縛之摩擦力，總稱為根系補強(root reinforcement)，又簡稱為根力(root strength)。國內目前已建立之根段拉力強度與根徑之推估式，其植物有刺竹、檳榔、山水柳、山鹽菁、台灣

赤楊、台灣杉、山黃麻、木麻黃、黃槿、草海桐、銀合歡、林投、海埔姜、馬纓丹、冬青菊、苦藍盤等，可藉此評估其根抗張力，作為坡面防崩(土壤剪力)之指標。

(2)植物根系與土壤凝聚力

植物根部之存在，會導致土壤團塊強度之增加。此增加是來自根系之聚集及土壤水份因蒸發散之消耗對土壤之補強結果。

由修正之莫耳-庫倫方程式，可知當土壤水份消耗導致孔隙水壓(u)降低及土壤張力增強時，根部補強作用將提升土壤凝聚力。而植生對土壤補強效益之大小，受下列根系特性所影響：密度、張力強度、張力係數、根長度直徑比、表面粗糙率、根之排列性、根受力後之形變方向。

①對單一之根而言，喬木與灌木均有很高之根力強度，如一些赤楊屬之植物高達 74MN/m^2。

②若以單一樹種而論，其強度之大小變化甚大；如赤楊屬植物因大小、樹齡、根之情況以及季節不同，其測值介於 4～74MN/m^2。

③喬木樹根系厚度及強度對不均勻荷重的反應，就如其在坡面上之情形一樣，甚為不規則。

④草本植物通常有較大之剪力強度與張力變化範圍，尤其是四季皆可生長之植物根系。

土壤凝聚力之增量，隨土壤中根系密度大小而變化，其大小通常以單位土壤體積之根量表示。通常計算所使用之根直徑範圍以小於 17mm 為主，而田間試驗之結果顯示，超過此範圍區間之根徑對土壤剪力強度之增量，應無明顯的貢獻。對於粗大之主根而言，應視其為單一之錨樁較佳，而另一個常用來測定根密度之方法為根面積比(root area ratio)RAR。

6. 錨定與拱壁作用

樹種之主根穿透進入土壤深層產生錨定作用以避免下坡面之運移。而主根之此種機制亦如打樁的功效，可抑制下坡面土層之崩壞。

拱壁作用大小受下列三點所影響：

(1)樹木之直徑、間隔距離以及根系向下伸展情形。

(2)坡面破碎層傾角與土層深度。

(3)土壤之剪力強度。

7. 超載荷重

超載荷重乃由坡面之植生所造成，通常此效應僅視為由樹木所促成，因為草類之重量與樹木之重量相較甚小，可忽略不予考慮。上坡面超載荷重之水平分力較大時會減少土體的穩定性，而下坡面之超載荷重之垂直分力較大時，則有助於土體之安定性。

考量臨界破壞面時，樹木的重力中心對坡面會產生一個恢復力矩。當絕大多數之樹木生長於下坡面時，此現象最為顯著。超載荷重之垂直分量會增加摩擦阻抗，有助於抑制滑動面的破壞。對一有限坡面而言，當土壤凝聚力小、地下水位高、內摩擦角大及坡度小時，其超載荷重對邊坡的穩定性是有助益的。

8. 植株拉拔抗力

藉由植株之拉拔抗力(P)可評估該地面之壤剪力強度增量(ΔS)，評估式為：

$$\Delta S = (P/2)(\cos\beta \cdot \tan\phi + \sin\beta) + E$$

ΔS：由根及其纖維材料所造成之剪力強度增量 KN/m^2

β：因剪斷變形而造成之旋轉角

ϕ：內摩擦角

E：為該植物之特徵參數

拉拔抗力(P)可由立地植株之基徑、土壤硬度及含水量來評估，國內已建立之拉拔力評估植物有山鹽青、台灣赤楊、台灣杉、山黃麻、冬青菊及苦藍盤等植物。

1.2.6 植生與防災綠帶

1. 防災綠帶之定義與目的

防災綠帶係為由喬木、灌木或草本植物所組成之植群，依其營造目的可分為緩衝綠帶、防風綠帶、防火綠帶：

(1)緩衝綠帶

緩衝綠帶有穩定邊坡，防止沖蝕、崩塌，攔阻土石，過濾污染物等功能。在水庫周邊，設置緩衝綠帶，一般為於滿水位線起算，至水平距離三十五至五十公尺範圍內;於溪流沿岸則為兩側水平距離至少五公尺範圍內。

(2)防風綠帶

防風綠帶之規劃及設計原則如下：

①沿海地區遭強風吹襲之地點與範圍，建造防風綠帶，可減輕風害、砂害及鹽害，並改善沿海地區之環境。防風綠帶寬度至少應在三十公尺以上。

②防風綠帶宜選用適合當地環境生長之植物種類；如木麻黃、南洋杉、黃槿、台灣海桐、台灣樹蘭、水黃皮、白水草、草海桐、沙朴、海檬果、瓊崖海棠、林投等；木麻黃之純林易衰退且易罹病蟲害，宜建造混交林。

(3)防火綠帶

防火綠帶之規劃及設計原則如下：

①在易燃之坡地與範圍，營造防火綠帶，可隔阻野火。

②所稱之易燃坡地，包括松樹林地、芒草地、玉山箭竹或五節芒、天竺草草生地及墓地四周之山坡地。

③防火綠帶之適用植物為常綠之木荷、大頭茶、草海桐、青剛櫟、福木、瓊崖海棠及鵝掌藤等。

2. 植生保護帶對水庫或對河岸之保護功能

良好河岸或水庫植生保護帶，可發揮下列之功用：

(1)防止河岸地表沖蝕。

(2)防止河岸土層之流失。

(3)延緩洪峰，減弱洪害。

(4)涵養水源，淨化空氣。

(5)減除污染，改善水質。

(6)提供野生動物之食源與棲所。

(7)改善微氣候，美化景觀。

1.3 環境條件與植物生長

影響植物生發育之環境可分為氣候因子(如溫度、濕度、光照、風等)、生物因子(如競爭、毒他作用、共生、寄生等)、區位因子(如地文因子、方位、海拔高、坡度等)、土壤因子(如土壤酸鹼度、養分、質地、含水量等)等。

1.3.1 溫度與植物

溫度為環境中具有週期性之因子，植物之發育，均顯著受溫度之日週期之影響，晝間及夜間溫度之週期變化對植物生長之影響。大多植物均以晝間溫度稍高於夜間溫度生長最為有利。

1.3.2 光與植物

植物生長之最適光度係指在生長環境的各項影響因素組合狀況下，短時期內光照情形對光合作用之進行與其他情形比較較為有利，即在一般情形下大部份的植物所接受的光照不是太強就是太弱，所以都無法有最大的光合成速率，但在最適光度下光合作用的進行速率較其他光度為快，對多數植物而言，光照時期之長短對植物之發育更為重要。植物對光照長短之反應稱之為光期作用，光期之長短對植物之開花，節間之伸長等均具有甚大之影響力。

1.3.3 風與植物

風對植物之作用包括乾燥作用、機械作用、鹽霧作用及風蝕作用等。

1. 乾燥作用

   由於風將鄰近於植物葉部表面之一層濕潤空氣吹走，故有促進蒸散作用之效果。風亦可使植物之葉片造成彎曲，使葉片內細胞間隙發生擴張及收縮，使其中已為水氣飽和的空氣逐出，並使外界乾燥的空氣滲入。

2. 機械作用

   植物因強風吹襲而發生機械傷害的嚴重程度和其剖面結構有關。木質部質脆且鬆之植物，易因風力而生機械傷害，造成植物葉片破裂，枝條折斷及造成畸形木生長之情形。

3. 鹽霧作用

   源自海中之鹽粒隨風飄運至海岸地區，這類鹽粒對耐鹽性低的敏感性植物可造成嚴重之傷害。鹽風發生後短期內若無降雨，鹽分對植物之傷害最為

嚴重。鹽分滴在葉片上，氣孔馬上關閉，不能生長，且鹽分在受損枝條上，會產生壞疽現象。

4. 風蝕作用

沿海砂丘地區，土壤保水率低，砂粒易受風之吹襲而移動，謂之風蝕作用。因風蝕作用而移動之砂粒會在另一處堆積，而造成該地區植物之危害，風蝕即從這一點起漸次擴大其範圍，使植物因根群裸露而死亡。而砂土堆積會使植物根域的通氣性降低，植物莖部受砂埋之部位溫度增高，會導致植物之病害而死亡。在堆積過程中，可於其莖幹基部發展出不定根之植物，對風蝕及堆積作用之耐度較高。

1.3.4 土壤含水量與植物生長

最適宜植物生長之土壤水分範圍，因土壤性質及植物種類而異。對大部分之植物而言，最適宜植物生長之土壤水分介於土壤最大容水量之 60％至 80％之間，或略少於田間容水量之土壤水分狀況。土壤水分供應植物的吸收，植物得以維持細胞膨壓，藉水分運送而吸收土壤養分，完成細胞分裂、伸展、分化及其他之代謝現象。植物每增加單位乾重所需要吸收或蒸散的水量稱為需水量。需水量因植物種類而異，一般植物之需水量為 250～400(g H_2O/g dry wt.)。植物之需水量愈少，其耐旱性愈高，反之，耐旱性愈低。

1.3.5 土壤鹽分與植物生長

多數植物於高鹽分環境下種子之發芽會受到抑制，種子的存活更為困難。但某些耐鹽性植物卻不然，這類植物由於生理上之適應，少量鹽分之存在對種子之萌發和種苗之生長更為有利。唯對大多數耐鹽性植物言，土壤之鹽度對其生長分佈仍為一重要限制因素，這類植物種子之萌發恆限於雨季土壤中之鹽分經稀釋後。植物對高土壤鹽分之適應性(抗拒方法)：

1. 鹽分排除(salt exclusion)

特殊細胞之鹽分分泌功能，如鹽腺(salt gland)、落葉、樹皮剝落。這類植物有海芙蓉、濱馬齒莧、濱水菜等。

2. 鹽分忍受(salt tolerance)

植物體能大量累積鹽分以增加滲透壓。此種植物的特性有：

(1)選擇性離子吸收，Cl^-、Na^+增大而 K^+減少。

(2)鈉吸收比(sodium absorption ratio，SAR)增大。

$$SAR = \frac{[Na]}{[(Mg + Ca)/2]^{\frac{1}{2}}}$$

(3)離子濃度多寡依次為：葉、細根、莖、粗根、果實種子。在含有某定量 Ca 溶液中，增加 Na 含量可使作物增加存活、生長。

3. 鹽分規避(salt avoidance)

受特殊季節高鹽分之限制，植物的種子發芽、生長、繁殖，僅在某一季節中進行，以減低鹽份之危害。海邊宿根性草類或沙漠中之一年生草類具有此特性。

1.3.6 土壤養分與植物生長

植物生長所需之養分以十六種元素為主，稱為必要元素或營養元素，此十六種元素中又因植物所需量的多寡而區分為巨量元素及微量元素。

巨量元素：碳(C)、氫(H)、氧(O)、氮(N)、鉀(K)、磷(P)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、硫(S)。

微量元素：鐵(Fe)、錳(Mn)、銅(Cu)、鋅(Zn)、硼(B)、鉬(Mo)、氯(Cl)。

在土壤中，氮、磷、鉀三元素之離子存在量常較維持植物正常生長的需要量為低，因此必須藉施肥來加以補充。若土壤養分不足會影響植物生長，其可能產生之病徵分述如下：

1. 氮：植物在缺氮的時候，葉細小，莖薄弱而直立，旁枝少而呈現一種稀疏的現象。生長初期葉部常呈現一種淡黃綠色，乃因葉綠素產生受限制的關係，當繼續生長到後期，葉部可能產生黃紅色或紫色，乃因花色青素之關係。病症在老葉上特別明顯。缺氮病症之發生乃由於植物體內各部位互爭氮素的結果，而病症顯現強度的差異常在同一植物中表現於不同的葉片上，乃因各部位葉對氮素之爭奪裡有差異的緣故。氮素化合物之分解與合成在植物體內繼續不斷的轉換，而在內部競爭下分解產物可能從一處移至另一處，所以葉片在某一時期呈現正常的綠色可能後來因氮素的轉移而變黃色。一般而言，新葉競爭較老葉厲害，果實為強烈之競爭者。
2. 磷：磷為核酸蛋白之構成元素，且其在能源轉換過程中扮演重要角色。故缺磷時細胞分裂衰退，植物發育不良，葉片成狹窄狀，老葉出現紅色。一

般而言，植物缺磷病症不是特明顯的，因此，磷之欠缺很難從植物視覺的檢查上診斷出來。植物的化學檢定或磷肥施用試驗可能是必要的。雖然極端缺磷時可能顯現葉部變黃，更普通的現象為出現暗綠色或藍綠色。缺磷所產生之某些影響與缺氮所產生者相似。

3. 鉀：鉀之欠缺呈現出兩種最普通的病症為莖變短，產生一種矮胖的叢生密枝的形象或密集成球的短莖形象；另一為葉部組織呈現棕色或死亡，常發生在葉部邊緣或尖端，但有些植物葉部則呈現斑點於葉脈之間，葉形可能變窄及皺縮，邊緣有曲捲之趨勢。鉀常因淋洗或沖蝕而有不足，其為約 50 種酵素反應之必需活性劑，且影響蛋白質的合成。缺乏時植株矮小，葉尖端呈褐色，嚴重時有壞疽產生。
4. 鎂：鎂為葉綠素之主要元素，且為光合作用之活性劑。缺乏時植物體葉片除葉脈外，其他部份均出現黃化現象。
5. 微量元素：微量元素在植物體中含量極微，但其量不足往往使植物迅速發生異常症狀而枯死，其在植物體內的角色及缺乏症狀包括：

   (1)促進酵素之生物化學作用。

   (2)氯、錳共同參與光合作用。

   (3)植物體內之氧化還原作用。

   (4)調節植物體之生理機能。

   (5)缺乏不同元素時有不同之症狀出現。

   (6)缺鐵時植物之幼葉有黃萎病，因鐵對葉綠體形成影響很大。

   (7)缺鋅時幼葉生長受到抑制而出現叢生的現象。

   (8)缺銅時會不易形成種子。

1.4 植生作業規劃設計原則

1.4.1 植生作業規劃之考量

植生作業規劃前需進行施工地點之調查、並依其條件檢討植生工程之對策，一般邊坡調查分析項目如下。

表 植-1-1 一般邊坡調查項目

項目	調查重點	植生工程對策之檢討
邊坡上方	地形變化、裂縫之有無，集水區地表水之流路	坡緣處理、外緣排水、整坡及風搖木伐除範圍等之綜合判斷
周邊地形	地形、地質之異同及裸露地規模	依地形之傾向、預測施工性、周圍環境與邊坡之調和
林層、樹種	草或灌喬木何種較多 先驅植物或極相植物	土壤厚度、硬度、水分、氣候、植生材料之選擇
邊坡型態	正面係凸形或凹形 坡度、坡長	凹形坡面之集水程度與排水方法，階段處理及植生導入之困難度
地層、地質	凹部土層係崖錐或堆積土 是否為順向坡	植物根系之生長評估、滑動面之判定與處理
湧水地區	晴天與雨後之湧水量、顏色及是否含土砂	崩塌或沖蝕程度、排水(暗管)系統及植栽之選擇
顏色	顏色改變地區之形狀及範圍	滲透水或溶解物之化學成份，對植物之毒害
其他	附近施工案例資料收集	災害實例及施工方法之調查檢討

1.4.2 植生作業之設計要領

1. 植生作業計畫之擬定

植生作業計畫應包括下列：

(1)生育地之調查及分析資料(含地形、坡度、地質、土壤及既有之植物相等資料)。

(2)生育地之改善措施。

(3)植生工程種類。

(4)植生方法及植生材料。

(5)設計圖及設計原則。

(6)配置圖(含數量及範圍)。

(7)維護管理計畫。

當擬定植生工程計畫時，應就植生基礎工、植生工程及維護管理一併加以考慮，依規劃構想及現地施工之技術面建立具體而明確的植生工作目標，

自擬定坡地整地工程計畫階段就應把這些問題反應出來。俟基礎工計畫擬定之後才決定植生基礎工與植生導入作業方法，整地計畫與植生工計畫間之關係，及其各個作業流程如下圖植-1-1。

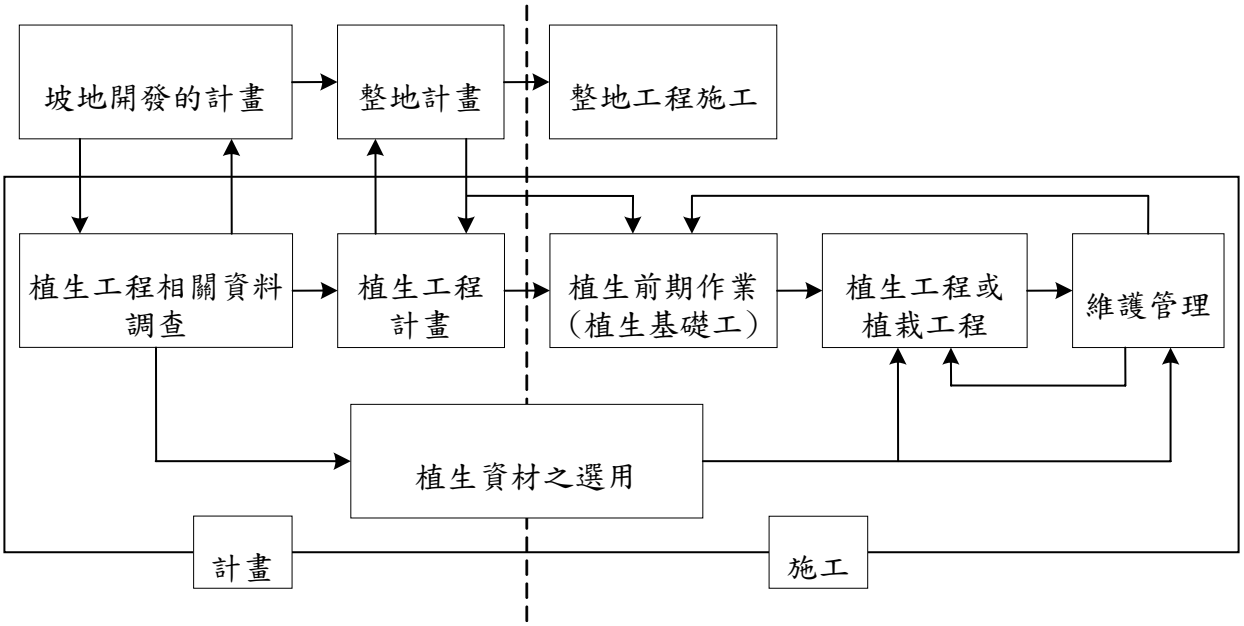


圖 植-1-1 植生基礎工與植生導入作業流程圖

另外，如要達成植生綠化設計目的，基本上需應用植生技術以建立植物群落之改善環境能力。擬定計畫時，尚需考量以下因素：

(1)增加自然植生復原能力。

(2)導入群落植物基本材料。

(3)考慮植生演替之機制與功能。

2. 植生工程之設計

植生工程需因地制宜考量當地特性予以配置、設計，可由施工地點之調查了解施工區位之地形、坡度、土壤硬度、地層、地質、地形，進而選擇適宜之植生方法及基腳處理工程等。由施工區域之周邊植物調查，選擇植生工程之導入材料，以考慮植生演替之機制與功能。

選定植生方法後，其施工方法則需依兩方面加以考量，一為坡面之穩定性如何，以及如何先以坡面穩定工程或坡腳基礎工程，先期達到坡面穩定之效果；另一為如何就坡面開挖後自然坡面之情況，或就先期坡面工程處理後之立地特性，配合植生導入作業。淺層崩塌地區(深度小於 2m)，可利用

植生基礎工法及植生覆蓋之效果，以達坡面穩定，而深層崩塌則需先以工程構造物穩定之，植生工程補強之。

(1)綠化理念：

①在時間上由非耐蔭樹種演替至耐蔭樹種。

②在空間上由單層林轉變為多層次林。

③在結構上由多種植物及樹木組成，岐異度高。

④在功能上由於植物群落分層的結果創造了多樣性的植物生存環境，各樹種競爭小而互利情形多，自成安定生態系。

⑤在地域生態體系上，生態綠化的樹種以當地潛在植被演替過程中優勢種類為主要培育對象，使生態綠化後的植物群落易於融入地域性生態體系。

(2)設計目標

植生工程規畫設計前，需先確立植生之目標。依其基本設計類型可概分為下列四種，參見表植-1-2。

①自然保育型。

②林業經營型。

③園景綠地型。

④水土保持型。

表 植-1-2 四種植生綠化基本類型之比較

	自然保育型	林業經營型	園景綠地型	水土保持型
各型間之差異	1.極相森林 2.植物天然生長 3.各生物共存 4.行為限制 5.長期森林化 6.自然美 7.植物天然競爭	1.森林植物 2.苗木栽植 3.限制為害生物(控制) 4.行為部分限制 5.短期森林化 6.自然人工美 7.植物競爭受調節	1.造園用植物 2.苗植、成木移植 3.限制為害生物 4.行為引導 5.植物集團化 6.人工美 7.植物競爭抑制	1.水土保持快速植生覆蓋植物 2.播種、苗植、速生 3.行為部分限制 4.早期單純化 5.人工景緻 6.少量調節
適用地點	1.自然公園 2.原始森林 3.高寒地域 4.保育地區	1.林班地 2.海岸林 3.防災林 4.緩衝林帶	1.公園 2.庭園 3.一般綠地 4.道路坡面	1.裸露地 2.災害地 3.特殊地(宜保育地)

	自然保育型	林業經營型	園景綠地型	水土保持型
導入方式	1.原生植物 2.自然競爭 3.人為限制	1.森林植物 2.苗木 3.人為撫育	1.綠美化植物 2.集團化 3.綠化資材應用	1.播種、苗植或移植等人為撫育 2.栽植方法多樣化
目的與效用	1.棲地改善 2.水土資源保育 3.野生物保護 4.大氣淨化 5.噪音防止 6.生態研究	1.水源涵養 2.土壤保育 3.木材生產 4.森林遊憩 5.野生物庇護 6.大氣淨化	1.造景 2.綠美化 3.保健修養 4.大氣淨化 5.噪音防止	1.坡面綠化 2.促進周邊土地利用 3.減少土壤沖蝕 4.植被覆蓋 5.防沖防災

如以水土保持為設計目標之植生工程而言，需考慮與自然調和之植生設計，造成富於多元性且不易受災害，具有較優良的改善周邊環境之能力或保育力之植生群落。

(3)植物材料之應用原則

①符合綠化設計之目的。

②生態環境適應性強之考量。

③形態特性與生育特性佳之要求。

④施工與管理之便利性。

⑤材料供應取得之充裕。

⑥生物多樣性之提供。

⑦植栽構成樹種及來源之保持。

⑧植物種子導入或苗木栽植之選擇。

植物材料依其來源可分為本地植物(native plant)與外來植物(exotic plant)。以本地植物或外來植物為綠化材料各有其優劣。

本地植物之優點包括：

①能適應當地環境。

②能保持安定植生狀態。

③與附近之自然景觀調和。

④群落的維持與管理經營較容易。

⑤植生演替能順利進行。

應用本地植物之缺點為：

①初期發芽與生長慢，發芽不整齊。

②有些植物種子不容易獲得。

③初期對地表之被覆能力較弱。

④有關之植物生理生態習性瞭解較少。

⑤播種適期短。

⑥春播、夏播之種類多，秋播者少。

⑦種子價格較高。

外來植物之優點包括：

①初期生長快，易蔓延，因之防沖效果早而大。

②多種多年生草類，適於冬季之防沖用。

③易多量獲得純良而價廉之種子，在綠化計畫與推行上無困難。

④種子之性狀清楚，可安心使用。

⑤供春播、秋播用之種子種類多，施工期間之幅度大。

外來植物之缺點包括：

①雖一時能生長於導入地區，但容易衰退，若忽略植生遷移，易招致失敗而徒勞無功。

②在自然環境保護區、特別鳥獸保護區，有時因導入之外來植物永續生存，反而擾亂生態系。

植生方法篇

目錄

二. 植生前期作業.....1
2.1 植生前期作業之定義與目的.....1
2.2 植生前期作業之工作項目.....2
2.3 配合處理之工程.....6

表 植-2-1 問題土壤之改良方法 植-2-4
表 植-2-2 不同坡度時植生所需之配合處理工程 植-2-6
表 植-2-3 不同土壤硬度植物生長情形及其所需之配合處理方法 植-2-6
表 植-2-4 栽植槽客土厚度與栽植植物生育之關係表 植-2-10

圖 植-2-1 打樁編柵施工法示意圖 植-2-8
圖 植-2-2 各型栽植槽示意圖 植-2-9

二. 植生前期作業

2.1 植生前期作業之定義與目的

植生前期作業係指邊坡播種或栽植植物前，所做之坡面基礎安定設施及其相關作業，俾造成適合植物生長、繁殖與演替之立地環境。其目的為：

1. 利用簡易設施排除易引發坡面崩塌之誘因或潛因，穩定坡面、安定風化土層、減低沖蝕。
2. 改善硬質土或無土壤岩石地等不良生育基盤，或排除不利植物生育之土層，造成有利植物生長之坡面。
3. 緩和及防止風害、土壤凍結等影響植物生長之環境應力。

2.2 植生前期作業之工作項目

2.2.1 坡面改善與處理

由於植生施工之方法不同，坡度整理時之凹凸程度，影響植物生長亦異。如用敷蓋稻草蓆或不織布等施工時，坡面整成平滑較適當。採用種子撒播法施工時，有某種程度之凹凸坡面較利於綠化資材之密接與植生之固定及著生。在岩盤坡面上施工時，較大之凹凸坡面有利於造成植生容易成功之生育基盤。而在坡面土方開挖與處理方面則需注意下列二點：

1. 坡面整理

   處理含有豐富有機質表土之邊坡時，應於開挖前調查表土之厚度，採取地表 30cm 內之表層土堆積於平坦地。堆積之表土在未使用前可先播草本植物種子，並保持土壤含有適量水份，或蓋上塑膠布以防止土壤流失，供為播種或栽植時營造生育基盤之用，或可藉由潛在表土植物加速植生覆蓋效果。採取表層土時，同時採取可能利用之樹木(灌木、小苗等)，假植於肥沃地或苗圃，用為植生復舊用苗木材料。

2. 餘土處理

   邊坡開挖剩餘土石方需妥善處理，棄土之堆積，若坡面長度小於 5m 可採用單一坡面，但須以均勻等坡堆積；若坡長大於 5m 者，應分層階段堆積。

2.2.2 生育地之改善

1. 表土與棄土之處理

   邊坡處理時，對於含有豐富有機質之表土，於開挖時集中堆積於平坦地，並撒播豆科等草本植物，或蓋上塑膠布以防止土壤流失。邊坡開挖之棄土須慎重處理，以免造成災害。

2. 坡面之整理

   裸露坡面應適當整坡，坡度在 40°～50°以上時，單靠植物根系之抗剪力難以保持坡面的安定，為免土層滑落，坡面應有配合處理。

3. 階段之設置

   坡長過長(大於 5m 以上)時，需在坡面上設置階段，並在階段上栽植草木，以安定坡面。

   (1)階段設置的目的

①把過長之坡面改短，防止逕流集中。

②作為各種作業之基礎。

③作為管理、保護坡面時之作業道。

④提供植物生育之基盤，尤其在陡坡地，設置階段頗為有效。

(2)階段設計與施工上應注意事項

設置階段常引起下列不良影響，宜先設法防止或先行處理：

①用地受限制的坡面，常因設置階段而使坡面變陡。

②階段間隔一般為 5～7m。

③階段寬度以 1m 為原則，栽植喬木時則以 1.5m 為宜。

④階段採內斜式，斜率為 5～10% ，降坡 1～2% 。

⑤階段上栽植植物時，常誘發坡面崩塌，宜慎重為之。

⑥階段上不栽植植物時，宜設置不透水層排水溝。

⑦階段上敷設U型預鑄水泥溝時，需注意埋設深度與接頭處之施工。

2.2.3 現有樹木的處理

坡地開發時，現有樹木經現地調查後，應區分為保留、移植或伐採，分別進行不同之處理，應保留之部分，其處理辦法如下：

1. 填土區：現存樹木於根際處填土會嚴重危害樹木的發育。為防止因填土而引起生長障礙，大多在其周圍堆積石頭。樹冠幅 1/2 範圍內應避免填土，並需有排水設施。
2. 挖土區：保存樹冠投影範圍之原有生長基地，挖土應在其周線範圍以外。

道路坍方或崩塌地植生工程施工前，如其崩塌外緣有危木或風搖木之情形，需視坡度、坡向延伸或視崩塌造成張力裂縫之情形，伐除其邊緣木，伐除範圍通常自坡緣算起 5~10m 左右。伐除方法原則上以保留地上部 1～1.5m 植株根部，任其再自然萌芽。

2.2.4 客土與土壤改良

坡面土壤改良，一般可分為客土及添加土壤改良劑兩種處理。土層淺薄、石礫地或嚴重污染地，可用客土處理。土層深厚之酸性或鹼性土壤，可添加土壤改良劑以中和土壤 pH 值及改良土壤物化特性。不同問題土壤之客土與土壤改良方法列如下表植-2-1，供為參考。

表 植-2-1 問題土壤之改良方法

土壤問題	改善方法	目標
強酸性土壤	施用石灰粉、爐渣、白雲石粉或蚵殼等鹼性資材。以逐年(2～3 年)分施及配合有機質肥料，以保護土壤。	提高 pH 值至 5.5～6.0
強鹼性土壤	施用酸性資材如硫磺粉、泥炭土等，並配合有機質肥料為佳。	調整 pH 值至 7.9 以下
低有機質土壤	施用有機質肥料或種植綠肥，注意保水及土壤構造及改良，施用不易分解之泥炭類及樹皮堆肥。	改善土壤理化性質及微生物相
淺層土及礫石地	客土、放淤、去粗礫、施加有機質肥料。	使有效土層大於 10cm

1. 酸性土壤

施用鹼性資材如石灰類、爐渣、白雲石、蚵殼粉等，其施用量依土壤不同而異。一般酸性愈強(pH 值愈低)，需要鹼性中和的資材愈多，可依該土壤測定之石灰需要量之 1/2 至 1/4 施用，如全量施用時需要配合有機質肥料，以免引起其他土壤問題。在應用上，如石灰需要量達 3 ton/ha 以上，宜分批施用逐年改善。石灰材料愈細粒，則改良效果快且佳。土壤質地愈細或愈黏者，則須施用較多之石灰資材。

施用方法可將鹼性資材撒施於土壤表面，或與基肥同時翻入土中。改善酸性土壤之酸鹼度(pH)以至 5.5～6.0 為宜。尤其土壤有機質含量低的土壤需配合有機質肥料應用。

2. 鹼性土壤

可施用之酸性資材有硫磺粉、強酸性泥炭土及有機質肥料等。施用量依土壤不同而異。一般鹼性愈強(pH 愈高)，需要酸性中和的資材愈多。可依該土壤測定之硫磺粉需要量之 1/2 至 1/4 施用，如全量施用時需要配合有機質肥料，以免引起其他土壤問題。施用方法可將酸性資材撒施於土壤表面，或與基肥同時翻入土中。

3. 有機質肥料之應用要領

施用有機質肥料之資材包括來自動物、植物及微生物殘體，一般愈腐熟者，效果愈佳。有機質肥料在土壤中分解速度依資材及腐熟度不同而有差異，可區分為較易分解型及較不易分解型。較易分解型之有機質肥料如糞便類、種子粕類、米糠、魚粉、植體堆肥等，施用主要目的為供應營養。較

不易分解型之有機質肥料如樹皮堆肥、泥炭、腐植酸類、硬殼類等，以改良土壤理化及微生物性為主，維持時間較長。

有機質肥料施用量依不同土壤而有差異，一般施用不易分解型有機質肥料，如樹皮堆肥、泥炭類(泥炭土及泥炭苔)等堆肥類為 1～4kg/m^2，易分解型有機質肥料為 1～1.5kg/m^2。有機質肥料腐熟度愈高者，愈不易引起植物與微生物之營養競爭。未腐熟之資材可提早施用。

2.2.5 坡腳穩定處理

坡腳穩定處理之需要，常在天然崩塌或人為開發加速之侵蝕力，導致下邊坡處失去支撐力，進而呈現不穩定狀況，甚至進一步促發整體性的坡面災害，此時坡腳(坡址)穩定設施可扮演協助穩定功能之角色。在人為土地利用方面，坡地開發工程在安全性而言，最好能維持原有之地形與地貌，但為配合實質土地利用，如道路、排水、等之公共設施，免不了需做挖、填方之工作，此將引發坡地穩定之潛在危機。為確保安全，針對坡腳處理可以利用蛇籠、擋土牆等穩定方法並配合排水設施，以促進坡腳變動後的自然平衡。

2.3 配合處理之工程

2.3.1 邊坡坡度與配合處理工程

裸露坡面之坡度在 30°以下時，植物較易入侵與繁殖，但坡度超過 35°以上時，植物自然入侵繁殖較為緩慢。又坡度在 45°～60°以上時，僅藉植物根系之抗剪力以保持坡面安定則較為困難，為了防止根系生長之土層滑落，必須在坡面上以工程處理，穩定基礎後栽植植物。不同坡度植生時所需之配合工程處理，說明如表植-2-2。

表 植-2-2 不同坡度時植生所需之配合處理工程

坡度	植物生育情形	配合工程處理
30°以下	1.植物生育良好 2.植物自然入侵 3.可能復原為喬木為主之植物社會。	除排水及坡面整理措施外，可不需其他之基礎工程。可應用草皮鋪植、鋪植生帶、噴植等植生處理
30°～45°	1.草生覆蓋地沖蝕少 2.簡易之基礎工程處理後植生 3.以灌木與草本之植物群落為多 4.栽植高木具危險性且易招致生育基盤之不安定	打樁編柵、鋪網噴植、挖植溝、擋土牆、固定框、蛇籠護坡等
45°～60°	1.喬木不易成林 2.以灌木與草本之植物群落為多 3.喬木稀疏	鋪網噴植、固定框及擋土牆
60°以上	植物不易栽植或自然繁殖	擋土牆、落石防止措施或緩衝帶

2.3.2 土壤硬度與配合處理工程

植物根系正常伸入土壤中之範圍，依據山中氏硬度計之測值標準為 25mm，測值大於 25mm 則需改良土壤之物理性質以利植物生長。岩石邊坡或無土壤成分之岩石碎屑地，植物無法生長，必須行坡面客土及預做防止客土層滑落之處理。有關土壤硬度與植物生育情形及所需之配合處理方法，說明如表植-2-3。

表 植-2-3 不同土壤硬度植物生長情形及其所需之配合處理方法

土壤硬度*	植物生育情形	配合處理方法
<10mm	1.因乾燥而植物生育不良 2.坡面未整理或大於安息角時，易生崩落	1.以覆蓋稻草蓆等防止乾燥措施 2.固定框客土植生 3.種子噴播後覆稻草蓆
10～25mm	1.根系伸展良好 2.種子發芽及生育良好	可栽植木本植物，植生方法可用種子噴植法、植生帶、土壤袋、鋪網客土噴植等方法
25～30mm	1.根系生長受阻	1.以鑽孔或挖植溝等改善土壤硬度

土壤硬度*	植物生育情形	配合處理方法
	2.植物生育不良。	2.避免採用栽植、種子撒播及埋幹等植生方法 3.宜用鑽孔後種子噴播或厚層客土後鋪植生帶、鋪網客土噴植、固定框客土植生等
>30mm	植物生育困難	植生處理可使用鑽孔後客土噴植,蛇籠配合客土與固定框客土植生

*山中式硬度計測值

2.3.3 岩層特性與配合處理工程

植生施工地點因其裸露岩層之特性差異,影響坡面之穩定性及未來植生之成敗。岩層結構不穩定地區需先進行坡面安定處理。

2.3.4 打樁編柵

1. 定義與適用範圍

使用萌芽、不萌芽之竹木樁或其他材料作成之樁，依適當距離打入土中，並以竹片、PE 網、鐵絲網等材料編織成柵之方法。其目的為固定不安定之土石，改善坡度，防止沖刷，造成有利植物生長之環境。適用於坡度 45°以下之一般土壤填方坡面、崩積土或淺層崩塌坡面。

2. 設計與施工方法

(1)施工前需略為整平坡面及消除蝕溝，清除危石及植物殘株，並依邊坡形狀及地質狀況於坡頂及坡面構築截洩溝。

(2)打樁間距視坡度與地質條件而異，一般每排樁之距離以 1～3m，樁距以 50～100cm 為原則。

(3)使用之竹木樁末端直徑 3～10cm，長度 0.8～1.0m，木樁打入土中之角度，以鉛直線與坡面垂直線交角之 1/2 為原則，打入土中 2/3 以上，出土 15～30cm，樁間以竹片、PE 網或其他材料編柵之。

(4)木樁以採用萌芽力強之九芎、黃槿、榕樹、雀榕等萌芽木樁為主。

(5)萌芽樁應保持新鮮，打樁時須保護樁頭，不使打裂，裂開部分需鋸掉，以免影響其萌芽能力。如萌芽樁不足時，可以其他雜木樁混合使用。

(6)在較為安定坡面，為防止表層土移動，以採用埋設方式之編柵為宜。其方法係樁先打入地下並挖溝編柵後，回填表土至原坡面。

(7)如以塑膠網或鐵絲網為編柵材料時，中間夾不織布，並以#10〝∩〞型鐵釘固定於木樁上。最上端需用鐵絲扭緊，以防脫落。使用人工材料之編柵，如 PE 網、鐵絲網等，須注意材料之顏色，使其與景觀調和。

(8)打樁編柵後需削土及回填，使每段邊坡略呈平臺狀。或在平台上客土，高度約 10cm。每 m^2 均勻施以 1kg 之堆肥混合。樁行間亦可配合種子撒播或噴播方法。

(9)如使用打木樁編 PE 網柵之施工，在棄土場土石量較大或下方有溪流沖蝕之慮時，通常需配合於坡腳設置擋土牆。

3. 圖說

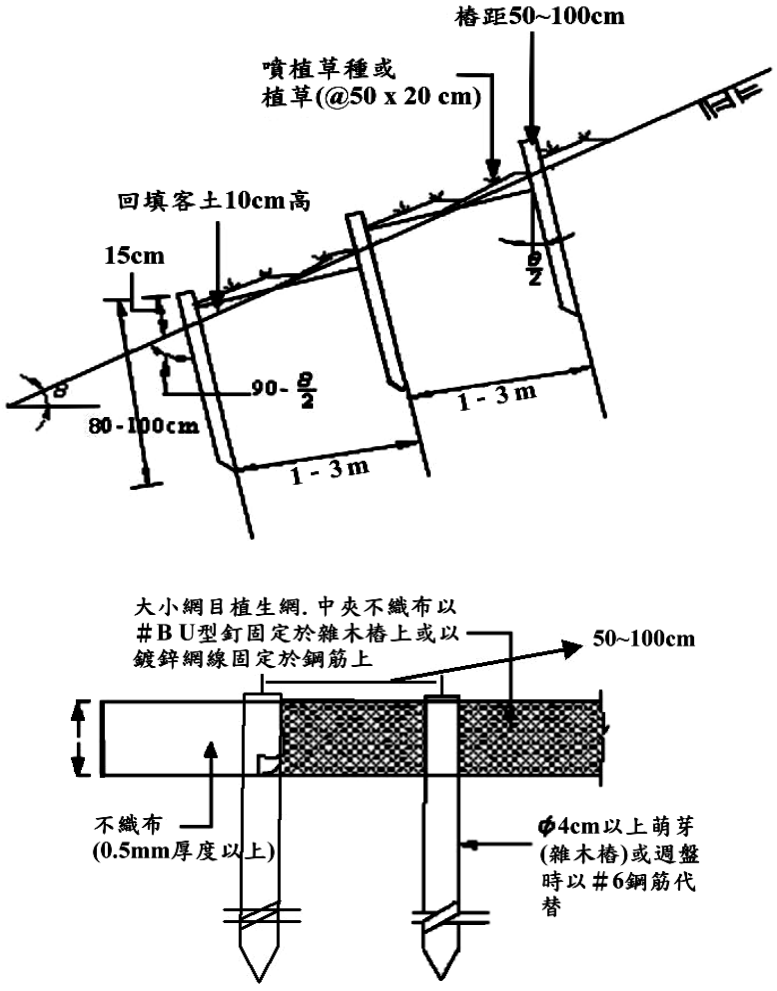


圖 植-2-1 打樁編柵施工法示意圖

2.3.5 栽植槽

1. 定義與適用範圍

在坡面適當位置，構築一溝狀之凹槽，並鋪設植生基材，以利客土及植生綠化之目的者。適用於：

(1)破碎岩層且無土壤之挖方坡面。

(2)礫石含量甚多之一般挖方坡面。

(3)既有水泥噴漿坡面植生綠化。

2. 設計與施工方法

(1)先將坡面上之危石或雜物清除，其坡面並略加整平。

(2)以沿基腳做寬高約 60cm 之栽植槽為宜。

(3)栽植槽內客土，1 立方公尺土壤內含 100 kg 堆肥及遲效性肥料約 120g 與肥沃之土壤混合。

(4)若坡面較安定處，可沿邊坡基腳構築 L 型栽植槽，內側與原坡面土層接觸，以保蓄坡面上之流水，增加植生之效果。

(5)栽植槽內栽植藤類植物時，於坡面上得鋪設網或鐵絲網，以協助藤類初期生長。

3. 圖說

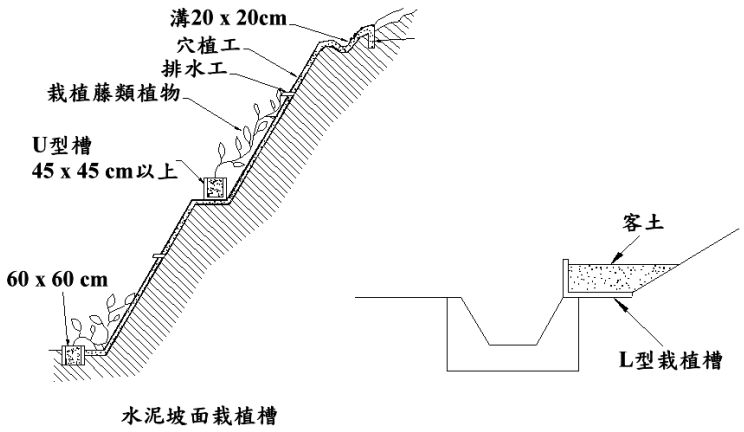


圖 植-2-2 各型栽植槽示意圖

4. 補充說明

坡面栽植槽植生後常有植物生長不良或雜草化之情形，期望植物生長良好，除應規範客土品質與客土數量外，應特別注意客土是否與原坡面接觸，及儘量用連續性栽植槽。

以連續性栽植槽為例，其客土厚度與栽植植物生長之可能情形如表植-2-4。

表 植-2-4 栽植槽客土厚度與栽植植物生育之關係表

客土厚度	＜15cm	30cm	45cm	60cm	90cm	150cm
排水層厚度	—	10cm	15cm	20cm	50cm	30cm
草皮	A	C	C	C	C	C
小灌木	—	A	C	C	C	C
大灌木、小喬木	—	A	B	C	C	C
淺根性喬木	—	—	A	B	C	C
深根性喬木	—	—	—	A	B	C

A：有灌溉設施可生長良好。

B：小苗開始栽植可生育良好。

C：可自然生育良好。

2.3.6 溫度與植物其他注意事項

其他配合處理之工程常因地形、地貌、地質等現地條件，而有不同考慮之注意事項，例如規劃排水設施時，所必須考慮的設計原則包括：暴雨頻率、排水區位、排水方向、設施材料、斷面型式、消能設備、排水縱坡等，以確保坡面安定及整體植生作業成功率，至於排水及其他應注意事項之詳細規劃流程，可進一步參考本手冊坡地保育篇。

植生方法篇

目錄

三. 植生方法.....1
3.1 植生導入作業.....1
3.2 直播.....8
3.3 噴植.....9
3.4 植生帶鋪植.....12
3.5 土壤袋植生.....15
3.6 草苗栽植.....17
3.7 草皮鋪植.....19
3.8 容器苗穴植.....21
3.9 木本植物栽植及移植.....22

表 植-3-1 不同植物之覆土厚度修正值 植-3-3
表 植-3-2 不同施工時期之修正值 植-3-3
表 植-3-3 坡面噴植工法最適施工時期表 植-3-4
表 植-3-4 各類植物之種植穴規格 植-3-25

圖 植-3-1 挖穴鋪網客土噴植法施工圖 植-3-10
圖 植-3-2 植生帶鋪植示意圖(以不織布植生帶為例) 植-3-13
圖 植-3-3 肥束帶(或類似產品)施工示意圖 植-3-14
圖 植-3-4 土壤袋植生施工圖(以固定框內土壤袋植草為例) 植-3-16
圖 植-3-5 草苗栽植示意圖 植-3-18
圖 植-3-6 木本植栽固定示意圖 植-3-27

三. 植生方法

3.1 植生導入作業

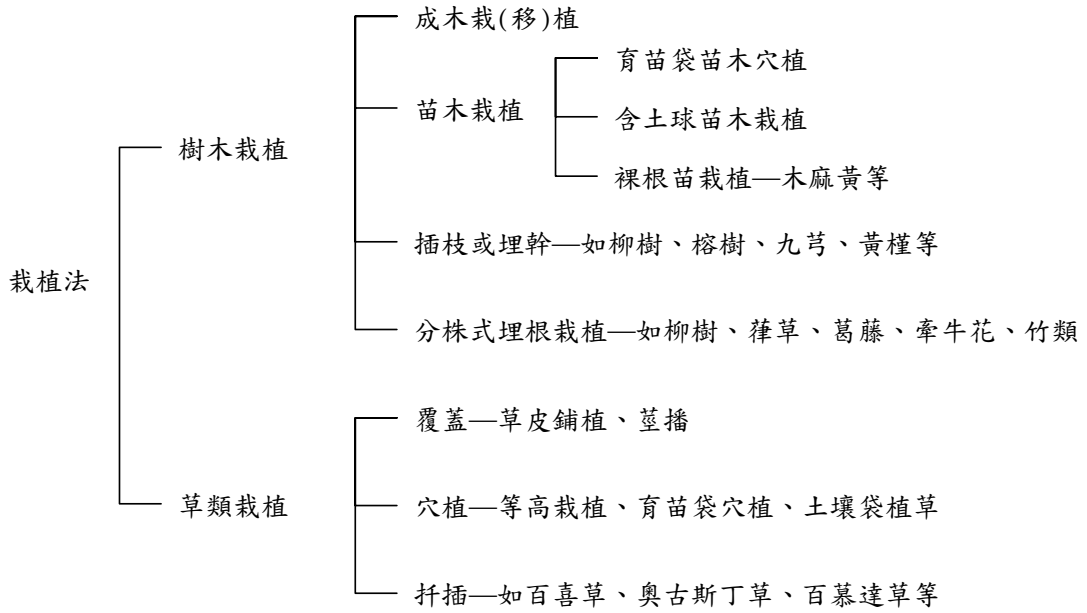
植生材料導入作業，或一般稱之為植生工法，基本上可分為播種法與栽植法兩種。

3.1.1 播種法之分類

臺灣地區常用之播種法約有 8 種。即行列播法、種子撒播法、單行植生帶、帶狀稻草、挖條溝播種、表層客土噴植、土壤袋法、挖溝客土條播。

3.1.2 栽植法之分類

栽植法係利用分株或苗木導入之植生方法，分為樹木栽植與草類栽植，其種類如下：



3.1.3 種子播種量之計算

1. 導入植生種子之種類與計量

以種子為植生材料，因其取得、儲藏與搬運容易，施工經費便宜，適於廣大面積，對表層土壤之保育及促進植生演替極有效，尤其期望形成自然或多樣之植生群落，種子之使用更為適宜。使用草種時，期待發芽株總數約為 1,000 株/m^2 以上，如使用木本植物時，期待發芽株數約為 100 株/m^2。實際上，種子在坡面上之發芽數，大約只有播種量之 50%，經過一年約只剩

下 200 株/m^2，木本類植物在播種一年後大約在 1～50 株/m^2 的範圍內，經過數年後，有時會只剩 0～1 株/m^2。

2. 種子選擇之原則

(1)草本與木本植物種子混播。

(2)草本科與豆科種子混播。

(3)原生植物與鄉土植物混播。

(4)快速生長之植物種子(通常為草類)與生長較慢但可長期生長之植物種子混播。

(5)一般植物與肥料木種子混播。

採用多種種子混合使用之客土噴播法時，草種之常用播種量約 2,000～5,000 粒/m^2，木本類植物共約為 300～600 粒/m^2。如以臺灣地區之引進草種混播而言；常用之比率（重量比）為百慕達草 15%、百喜草 30%、類地毯草 30%及高狐草 K31F 25%。

3. 播種量計算

$$W = \frac{A}{B \times C \times D \times E \times F}$$

式中

W：導入植物別的播種量(g/m^2)

A：期待發芽生長株數(株/m^2)

B：不同植物之覆土修正值

C：立地條件之修正值

D：施工時期之修正值

E：種子之發芽率

F：種子之單位粒數(粒/g)

(1)期待發芽株數 A：期待發芽生長的株數，係指播種後預期發芽生長的總數，含生長過程中被壓、枯損或因乾旱、沖蝕而死亡之株數等。

(2)不同植物之覆土修正植 B：植物之發芽、生長因覆土厚度不同而有差異。覆土厚度對本土植物種子發芽影響之有關資料仍不足，尚須進一步之研究。如依日本有關綠化施工實例及資料記錄，一般噴植常用禾草如百喜草、百慕達草、果園草、高狐草（K31F）、戀風草、肯特基藍草等，覆

土小於 3 cm 時，覆土修正值 B 可設定為 1 。而鐵掃帚、山胡枝子、赤楊類、松樹類等植物則以噴植厚度 1 cm 時之覆土修正值設定為 0.25～0.5，而噴植厚度增加至 3 cm 之範圍時，則依噴植厚度之比率修正之，如表植-3-1。

表 植-3-1 不同植物之覆土厚度修正值

植物種類	修正值			植物種類	修正值		
	1 cm	2 cm	3 cm		1 cm	2 cm	3 cm
高狐草(K31F)	1.0	1.0	1.0	艾草	2.0	1.0	0.66
果園草	1.0	1.0	1.0	五節芒	0.25	0.13	0.08
肯特基藍草	1.0	1.0	1.0	鐵掃帚	0.5	0.25	0.16
戀風草	1.0	1.0	1.0	山胡枝子	0.5	0.25	0.16
百慕達草	1.0	1.0	1.0	赤楊	0.25	0.13	0.08
百喜草	1.0	1.0	1.0	松樹	0.25	0.13	0.08

噴植厚度 3 cm或以上時，通常分二次進行，只有最後一次噴植層 1 cm部分始混合種子噴植。

(3)對立地條件之修正值 C：由於坡面之土質、坡度、方位等之差異，植物種子發芽及初期成長受到影響，有加以修正之必要。一般認為在泥岩地區之種子使用量應增加 50%，陡坡地區亦應視需要而調整之。

(4)施工時期之修正值 D：適時施工不加以修正，不適期或困難期施工者需加以修正。其標準大致如下，但若設計綠化目標為木本群落時混播草本植物之修正，需以個案研議。

表 植-3-2 不同施工時期之修正值

施工時期	草本植物	木本植物
3～6 月份	1.0	1.0
7～8 月份	0.8	0.7
9～10 月份	0.7	0.7
11～12 月份	0.7	0.5
1～2 月份	0.7	0.4

(5)種子之發芽率 E：求得實際使用種子之發芽率，採用其值。如發芽率 90% 即採 0.9。

(6)單位粒數（粒/g）F：種子之單位粒數受種子之不同而異，一般可以產品聲稱種子之純潔度修正之，如不考慮種子純潔度，設定純潔度為 100%。

以上有關導入植物種子，在覆土厚度 2 ㎝，最佳施工期及種子屬標準發芽率情況之播種量試算。

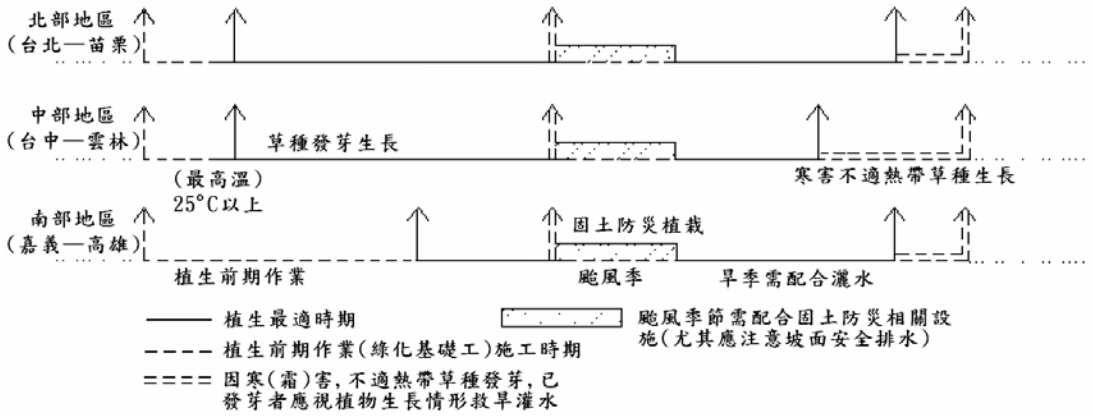
以促進植生演替為目標時，混播種子應儘可能採集本地種或常綠數種等之種子。若生育基盤成多孔狀，雖相當厚的覆土仍然能發芽。草本植物播種量若超越定量，即草本植物密生，木本植物將受壓迫而難於成活，應加以留意。

3.1.4 施工季節

植物之發育，在生理反應與物種作用上的反應受環境及氣候之影響甚鉅，為使植生效果發揮至最大，噴播植生之時期及各階段養護方法皆須依季節之變化予以不同程度的方法處理，今以坡面噴植工法為例，其最適施工時期之平均氣溫與降雨量可參照表植-3-3。

表 植-3-3 坡面噴植工法最適施工時期表

地區	月 類別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	平均	統計期間
北	平均氣溫(℃)	15.8	16.0	18.0	21.8	24.7	27.4	29.3	28.9	27.1	24.4	20.9	17.5	22.7	1971-2000
	降雨量(mm)	86.5	165.7	180.0	183.1	258.9	319.4	247.9	305.3	274.6	138.8	86.2	78.8	193	
中	平均氣溫(℃)	16.2	16.8	19.4	23.0	25.7	27.5	28.5	28.0	27.2	24.9	21.4	17.8	23.0	1971-2000
	降雨量(mm)	36.3	87.8	94.0	134.5	225.3	342.7	245.8	317.1	98.1	16.2	18.6	25.7	136	
南	平均氣溫(℃)	18.8	19.7	22.3	25.2	27.2	28.4	28.9	28.3	27.9	26.4	23.4	20.2	24.7	1971-2000
	降雨量(mm)	20.0	23.6	39.2	72.8	177.3	397.9	370.6	426.3	186.6	45.7	13.4	11.5	148	



3.1.5 植栽苗木

1. 驗苗

苗木品質直接影響植生綠化效果的速度及成效，目前坊間苗木的取得，多以標購的方式包含於植生工程或景觀工程中，經常為了遷就苗木市場現況或施工期限無法取得理想質優的樹種苗木。因此苗木的檢驗工作成為決定植生效果優劣的重要關卡。關於苗木的檢驗過程，將之分為標準苗木檢驗與進場檢驗兩部分，試分述於下：

(1)標準苗木檢驗：主要目的在決定苗木之樣品，以確定苗木之品質，並在承包商未投入大量成本前，甲、乙雙方先將合約規範解讀的落差，於檢驗過程中溝通，使之達到一致。其目的在於改良以往無法落實的驗苗制度，也是將具生命的苗木加以樣品化，使履約的雙方有明確之標準。此標準將作為整個景觀工程中植栽工程執行的依據。亦為抑制市場不良苗木入侵公共工程之因應對策。

(2)苗圃檢驗：為確保植栽工程能如期完工，需儘可能於工程執行中，將苗木設定為容器苗(袋植苗)。如為考量台灣現有苗木市場之供應大多屬裸根苗木(根系未帶土)，故可建議承包商自行加以植袋培育，培育期為三個月。利用整地或土木雜項工程進行時，同步準備苗木，或可酌以增加工期。苗圃檢驗之步驟，除可確定工程所需苗木數量準備完成，同時可用來評估承包商履約之能力。

(3)進場檢驗：為種植前最後之檢查，其標準即以之前所訂之標準苗木為樣本，以確定搬運過程中未受損傷，或其他不合理之人為傷害。進場檢驗通常於苗木進場當日或隔日依合約規格及標準苗木規範逐株(喬木)檢驗或逐批(灌木、地被)抽驗。合格之苗木則需於三日內栽植完畢，不合格之苗木應立即運離工區。進場檢驗之重點為：①主幹、枝條有無損傷；②缽土是否潰散、乾燥及③有無嚴重之病蟲害。

2. 優良苗木之選擇

苗木決定植栽綠化的速度及成效，這是不爭之事實，但是由苗木外觀選擇生長強健的優良苗木並非易事。優良苗木的標準訂定若要從審美觀點著眼，問題較為複雜。若由形態的觀點著手，可將苗木種類依生長特性分為幾大類分述：

(1)喬木

喬木具自然樹形且有明顯單一主幹部分，植株高度 4～5 公尺以上者。其優良苗木之要件如下：

①全株不可有嚴重受損之傷口痕跡。

②全株樹皮或枝葉無寄生蟲體、蟲孔、病徵或病斑。

③樹冠下方具明顯單一主幹，且主幹先端無膨大現象且直立，不可有彎曲。

④具可建構完整樹冠之分枝架構，主分枝數至少 3 枝以上，以主幹為中心，均勻分散伸展於 360°空間。除了特有之自然特徵外，各分枝應適當交錯著生於主幹上，而非多數集生於同一支點上。

⑤無樹冠空隙，保持樹種固有之樹形。

⑥樹苗種植前修剪，至多僅能剪除第三或第二分枝（亞枝），需保留構成樹冠之雛形。

⑦根系擴張及細根發育良好，無腐根、受傷、二段根、偏側根，且根際和土壤充分密接者。

由主幹的形態及分枝形式，可以推測樹苗成長過程的維護狀況或受損傷情形。例如樹種屬喬木，卻於樹冠下無單一明顯主幹（非屬特殊栽培者），而形成二枝以上的粗大分枝，即表示樹苗在幼苗期中，曾受自然災害、蟲害或人為破壞，而使樹苗的自然特徵遭破壞，而無法養成單一主幹。又如主幹明顯彎曲，則可能於養成期間受風害或其他因素而倒伏後，未獲得生產者妥善管理，儘速將倒伏的樹苗扶正，而導致主幹呈不正當彎曲狀態。

(2)灌木

灌木係指枝幹成熟後會呈木質纖維化（木材），自然樹形不易有明顯單一主幹，多數分枝自基部產生，植株高度 3～4 公尺以下者。其選擇苗木的要件如下：

①全株不可有嚴重受損之傷口痕跡。

②全株樹皮或枝葉無寄生蟲體、蟲孔、病徵或病斑。

③分枝點低，裸露基幹不宜過高。

④分枝茂密，使樹冠形成緊密圓形或橢圓形。

⑤節間長度適當，無細弱徒長現象。

⑥盆栽苗木之根群已長至盆緣或排水孔處，根尖呈健康透明狀白色。

(3)地被植物

地被植物係指植株高度在 20～25 公分以下，易產生多數分蘗（基部不定芽）；地下莖柔軟，常呈匍匐生長。其選擇苗木的要件如下：

①多汁的枝葉飽滿、挺立，無軟弱下垂現象。

②植株無寄生蟲體、蟲孔、病斑或葉片枯黃現象。

③枝葉茂密，枝冠叢緊密，無稀疏，開張現象。

④節間長度適當，無細弱突長現象。

⑤盆栽苗木之根群已長至盆緣或排水孔處，根尖呈健康透明狀白色。

3.2 直播

3.2.1 定義與適用範圍

將種子做必要之預先處理後，直接播植於坡面上，以達到坡面植生綠化之效果。適用於：

1. 坡度緩於土壤安息角之填方坡面。
2. 經加鋪客土，坡度緩於 35°之挖方坡面。
3. 配合栽植法之種子撒播。
4. 生育地條件較佳之一般坡面。

3.2.2 設計與施工方法

1. 除去地面雜物、危石、殘株及整平坡面。
2. 一般土壤每 m^2 施堆肥 1～1.5kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05kg。但得視其土壤肥力狀況增減 20%。
3. 每 m^2 均勻撒播 3～10g 種子於坡面。
4. 取鬆軟之表層土，微量敷蓋於撒播種子後之坡面，以防止陽光曝晒及增加種子固著。
5. 撒播後視需要敷蓋稻草蓆，以防止種子飛散並保持土壤水分。稻草蓆需重疊約 5cm，並以長 25～30cm 之#10 鐵絲做成"∩"形鐵絲或竹籤固定之。
6. 稻草蓆其單位重量一般為 150～300g/m^2。

3.3 噴植

3.3.1 直接噴植

1. 定義與適用範圍

直接將種子、肥料、黏著劑與適當之水分充分攪拌後，利用強力壓縮機噴植於坡面之植生，其適用範圍為：

(1)坡度緩於 50°之一般土壤挖方、填方坡面。

(2)噴植厚度小於 1cm。

2. 設計與施工方法

(1)整地後沿著等高線間隔 40～60cm，做一寬 10～15cm 的植溝後施予堆肥，施用量為每平方公尺約 1～1.5kg。

(2)將草種子、肥料、黏著劑加水充分攪拌後，以噴植機噴植，其拌合比例應視所用草種而定，一般為每平方公尺約 2～4 種草種。

(3)目前使用之黏著劑種類繁多，其使用量因黏著劑種類及立地條件而異，使用之用量為柏油乳劑 0.25kg/m^2，石化系列白色乳劑 0.06～0.12kg/m^2 及天然樹脂 1kg/m^2 等。如與有機質土或堆肥混合噴植，黏著劑與水之使用量應於施工現場試驗並調整之。

(4)在填方坡面噴植材料固著良好或礫石層地質地區，可不需開植溝。

(5)噴植後日照強之地區、噴植材料保水能力差之坡面，須加蓋稻草蓆，或其他材料敷蓋，以免流失。

(6)如坡面過分乾燥，需先充分灑水後再噴植，噴嘴原則上應與坡面保持直角，其前端保持與噴植面 0.8～1.0m 之距離。噴灑 4 個月內坡面應禁止人為破壞與干擾。

(7)播植材料中可酌加固氮菌與緩衝劑後一次噴植。

3.3.2 鋪網客土噴植

1. 定義與適用範圍

於坡面上先鋪上一層鐵絲網或網，增加坡面穩定性後，再噴客土、粘著劑、種子之方法。適用於坡度 60°以下之挖方或自然坡面，噴植厚度大於 3cm 者。

2. 設計與施工方法

(1)整坡後，將菱形鐵絲網(#14，網目 50mm)拉緊，平鋪於坡面，然後每 m^2 以一支鐵栓(ψ13～16mm，L 30～60cm)固定之。

(2)客土材料依立地條件不同而異可依每 m^3 砂質壤土加 30～100kg 堆肥、台肥 43 號複合肥料（或相等肥料）4～10kg 與適量的水均勻混合材料，以噴植機噴灑形成 3cm 以上之客土層。再將每 m^2 黏著劑 0.2～0.5kg，2～4 種種子 0.01kg 及適量的水混合後，噴植於客土上。

(3)於軟岩地區，坡面整坡後沿等高線每隔 30～50cm，用鑽孔機或挖穴機鑽孔或挖穴，每孔(或穴)直徑 6～10cm，深 10～15cm，間距 20～25cm，施放遲效性肥料 0.05 kg/m^2。然後鋪網噴植，可增加植物根系之固著能力及達到綠化效果。

(4)如為施工方便，可於鋪植後將有機質土、肥料、黏著劑、種子及水一次噴植於坡面上 3～5cm，但依此法則下層之植物種子無法發芽成活，故需增加種子數量至原設計量之 1.5~2 倍。

(5)土壤硬度大於 25mm(山中式硬度計測值) 以上之一般硬質土層坡面地區，可配合用挖溝機械，於坡面上每隔 50cm 挖掘寬 10～15cm，深 10～20cm 之小溝，以供客土及利於植物根系之伸展及防止客土層滑落。如使用鑽孔機鑽孔，可酌量減小孔徑，增加孔之密度，以確保植物成活生長。

3. 圖說

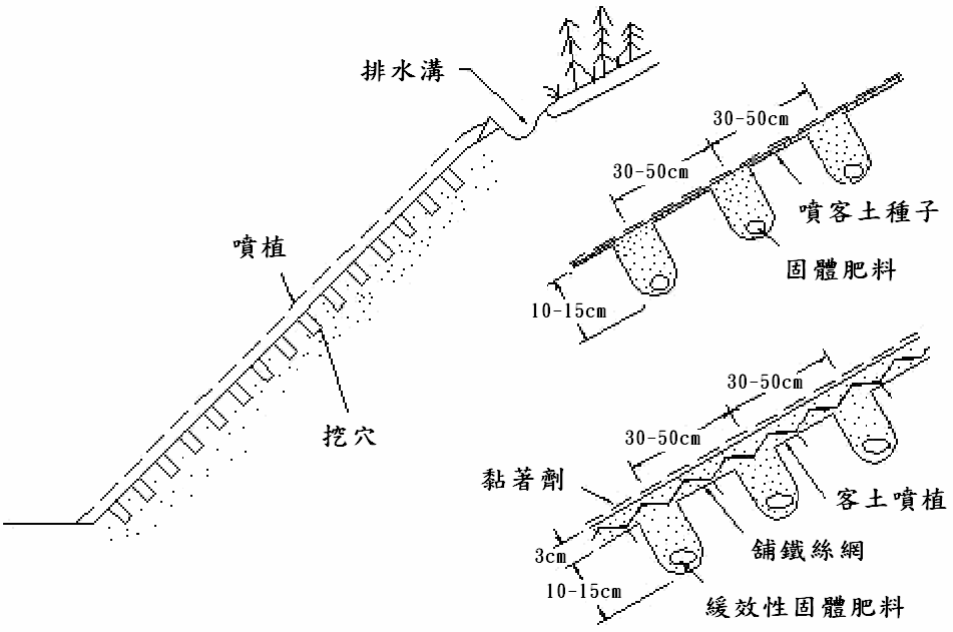


圖 植-3-1 挖穴鋪網客土噴植法施工圖

4. 補充說明：

(1)如考慮生態綠化草花之美化效果，可酌量增加植物種子之種類與數量。

(2)噴植機壓力不足或坡面太高時，得增加一組空氣壓縮機輔助之，噴植後全面覆蓋稻草蓆或其他材料。

(3)噴植材料如以有機質材料，如樹皮纖維、香菇堆肥等，配合黏著劑等添加物一次噴植時，應特別注意噴植材料之孔度、吸水性及 pH 值等，以確保植物生長。

3.4 植生帶鋪植

以纖維、稻蒿、棉織等材料製成附著植物種子之帶狀構造物，鋪植於坡面上，藉植生帶之保溫、保濕及防熱效果，提高種子發芽率及成活數，迅速達成植生綠化、保護邊坡、防止地表沖蝕之方法，稱為植生帶(束)鋪植。依應用材料之種類與規格，可區分為如下：

3.4.1 不織布植生帶

1. 定義與適用範圍

   以未經過編織過程之棉紗及化學纖維(約各 50%)製成之植生帶，中間夾有種子。

   (1)適用於坡度緩於 45°、土壤硬度小於 25mm (山中式硬度計測值)之一般土壤邊坡均適用。

   (2)一般使用草類種子。

2. 設計與施工方法

   (1)整坡鋤鬆表土除去石塊，在填方邊坡每 m^2 施放堆肥 1～3 kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05 kg，與土壤混合後整平。挖方邊坡之施肥量應為填方之兩倍。

   (2)植生帶一般幅寬 1m，鋪設時，應有 5cm 左右之重疊。

   (3)鋪設後在每 m^2 以一支"∩"型鐵絲或竹片固定之。

   (4)在坡長較短、坡度較緩且平整之處，植生帶可上下鋪設，因其鋪設效率較高。但應由上往下以鐵絲或竹片固定之，使其與土壤充分接合，防止植生帶懸空而致減低種子之發芽率及成活率。坡長大於 3m 時，以橫鋪為宜。

   (5)不織布植生帶鋪後，應覆上稻草蓆，並微量覆土以利植物生長。稻蒿植生帶亦需微量覆土。

   (6)植生帶應全面鋪設。

   (7)不織布植生帶之貼地性及防沖效果優於稻蒿植生帶，但對大粒種子之發芽則有妨礙。稻蒿植生帶利於大粒種子之發芽，但防沖效果較差。

   (8)在坡度 35°～45°之陡坡地或沖蝕較嚴重之地區，植生帶鋪植後，可被覆鐵絲網固定之，以防施工坡面之崩落。

3. 圖說

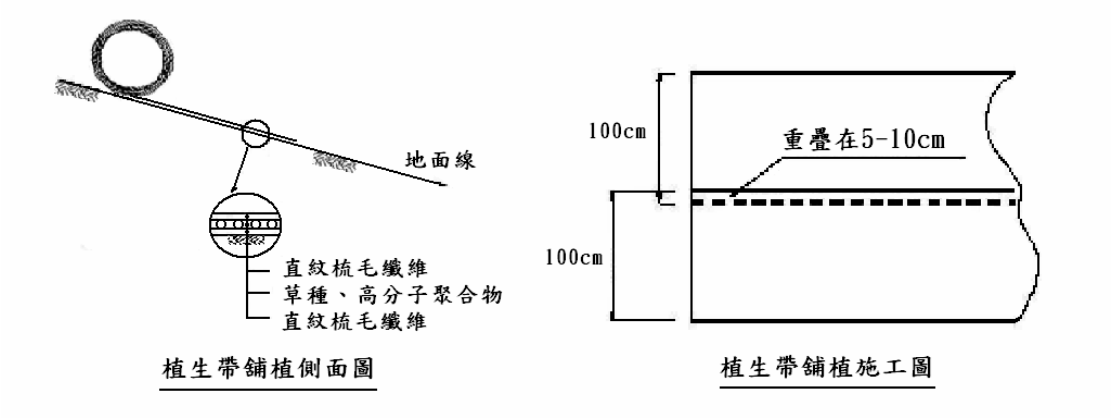


圖 植-3-2 植生帶鋪植示意圖(以不織布植生帶為例)

3.4.2 肥束帶或其他類似產品鋪設

1. 定義與適用範圍

係由纖維棉布、稻草、細尼龍及塑膠網或其他有機、無機之纖維質材料混合捲紮成束，纖維束中間包夾緩效性肥料、保水劑等，鋪設於坡面之方法。其產品依材料種類與設計施工目的而有不同規格名稱。適用於一般道路邊坡裸露地或崩塌地。

2. 設計與施工方法

(1)坡面需經整地，清除其上鬆動石塊。

(2)材料規格長 1m，直徑可依設計需要而彈性配合。依設計需要於坡面沿等高線，以每隔 50cm 或 1m 行距，鋪釘肥束帶。鋪釘前必須先微鏟挖出一淺溝，使肥束帶能更為緊密貼地，每行束與束間必須緊密相連。

(3)每束需釘 3～4 支長 15cm 之錨釘，套襯墊片後固定之。

(4)依設計需要可配合草種噴植、厚層客土噴植及鋪蓋稻草席。

(5)如於泥岩或砂岩坡面施工時，可設計沿坡面等高線設計以行距 50cm 或 1m 鋪釘一束之肥束帶配合掛網鋪植後，配合施行厚層客土噴植。

3. 圖說

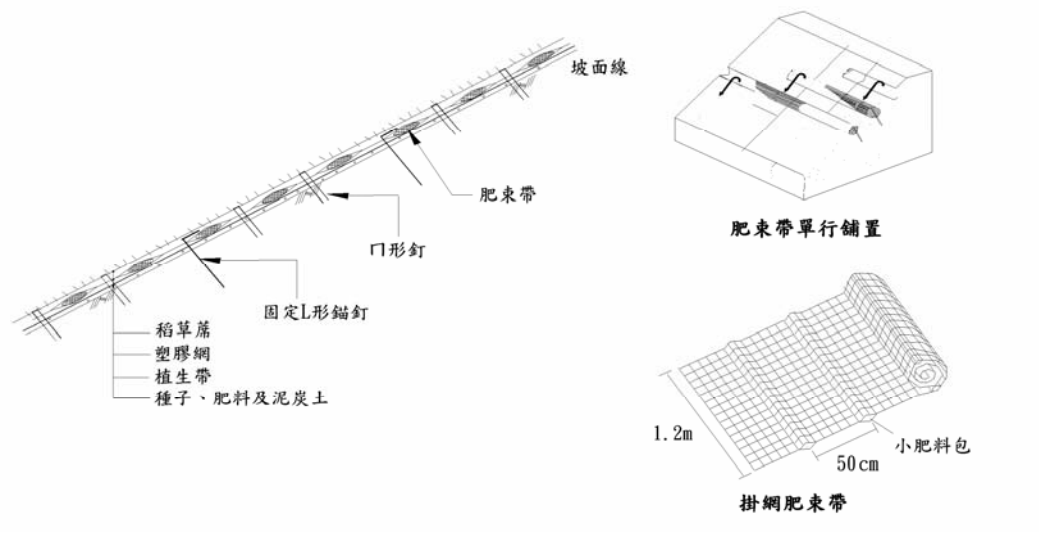


圖 植-3-3 肥束帶(或類似產品)施工示意圖

3.5 土壤袋植生

3.5.1 定義與適用範圍

於硬質土、強酸性土、強鹼性土、礫石層構築固定框基礎工程之坡面上，以土壤袋客土並藉以改善生育地條件後栽植植物之方法。其適用範圍如下：

1. 土壤袋內裝填有機質、土壤後，固定於坡面上。
2. 配合坡面保護工程之植生需要。
3. 礫石填土邊坡或含強酸或強鹼性之土壤者。

3.5.2 設計與施工方法

1. 裝填式土壤袋可分為大型土壤袋與小型土壤袋兩種。大型土壤袋係利用遮光率約 70% 之麻布袋或 PE 塑膠縫製而成。其大小為 60cm×40cm。填有機質土後之大小為 30cm×10cm×50cm。
2. 小型土壤袋係利用不織布或棉紙縫製而成，其大小為 8cm×20cm，裝填有機質土後之大小為 4cm×6cm～8cm×18cm。
3. 大型土壤袋內客土可取 2/3 之表層壤土、 1/3 樹皮堆肥與少量台肥 43 號複合肥料，或以 1m^3：50kg：5kg 比例之土壤、堆肥、化學肥料充分攪拌後，裝入土壤袋內封口，以防土壤之漏出。小型土壤袋可以 2/3 蛭石、 1/3 樹皮堆肥、少量台肥 43 號複合肥料與目的種子充分攪拌及裝袋封口。
4. 於設置固定框之岩質坡面上，放入土壤袋，以鐵絲網固定。礫石填土邊坡，用打樁編柵安定坡面，全面鋪設土壤袋。陡坡地加鋪鐵絲網，緩坡可不加鐵絲網。岩質邊坡土壤袋客土後，用長鐵釘固定之。
5. 坡面上之土壤袋宜以鐵線繫之由下往上施工，以防掉落。
6. 土壤袋可依袋體材料特性配合撒播或噴植。較緩的坡面採用隔區鋪設土袋方式施工，可節省植生費用。
7. 大面積施工時，可採用注入客土法。即將上述之含種子之客土用噴植機壓送入邊坡上之空袋內。
8. 如於水庫、湖岸高低水位間，可使用特殊連續性土壤袋(或稱連續性護網袋)，貼緊坡面，以壓力注入植生基材與植物種子，以達到坡面保護及綠化效果。

3.5.3 圖說

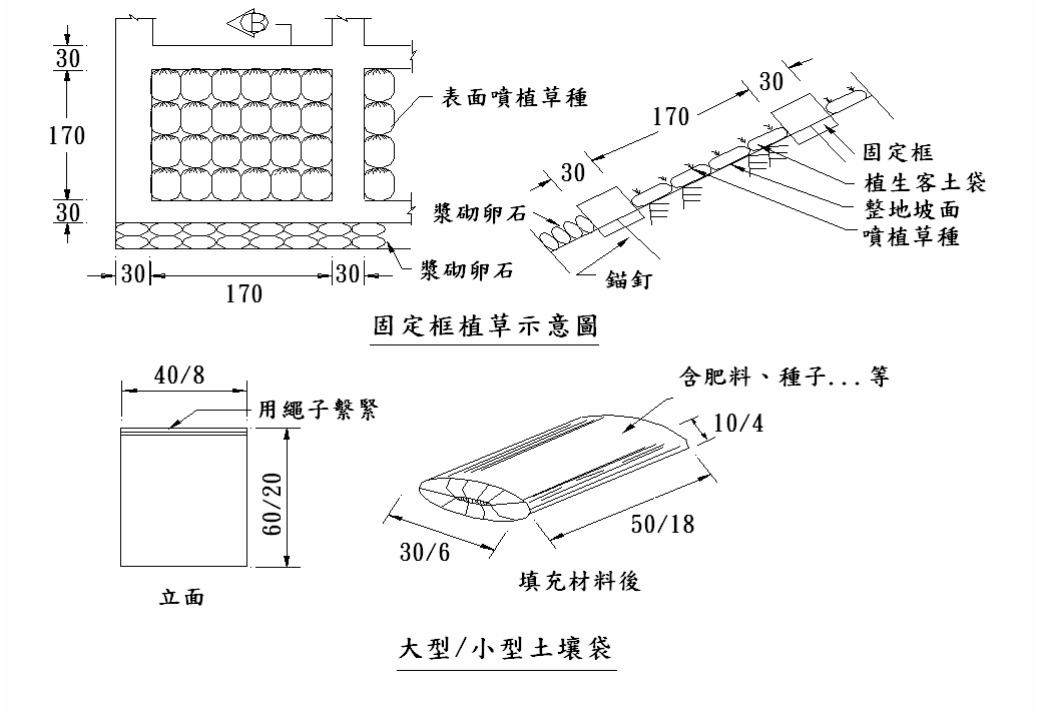


圖 植-3-4 土壤袋植生施工圖(以固定框內土壤袋植草為例)

3.6 草苗栽植

3.6.1 等高栽植法

1. 定義與適用範圍

在坡面上沿著等高線，每隔適當距離種植草苗，以覆蓋坡面、防止沖蝕之植生方法。其適用範圍如下：

(1)一般填方或挖方土壤，其坡度緩於 45°者。

(2)土層深厚，施工容易之小面積坡面植生。

2. 設計與施工方法：(以百喜草及百慕達草為例)

(1)坡面整平後，沿等高線每隔 40～50cm 挖掘深寬各約 10～15cm 之植溝，植溝之溝底應稍內斜，以截蓄水分。

(2)於溝內施放基肥，並與原土壤拌合，基肥施用量可以每 m^2 施放堆肥 1～1.5 kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05 kg，或添加緩效性肥料。

(3)植溝內每隔約 15cm 左右種植草苗一束，不同草種隔行間植。苗高約 10～15cm，充分壓實並澆水，至少二節埋入土中。如以直接挖穴植草苗，則每 m^2 應多於 15 穴。

(4)中、低海拔地區，邊坡基礎工程構造物周邊之裸露坡面，種植百喜草之覆蓋，具加固補強效果。百喜草種植時，要將其枯葉去除，以利根芽生長。

(5)此法栽植宜儘量利用陰天或雨後土壤潮溼時種植，所採之草苗應放置陰涼處，但百喜草可加以澆水或適當浸水，並儘速種植。

(6)百喜草與百慕達草隔行栽植或混合栽植時，由於百慕達草生長快速，可達到初期覆蓋效果，但後期則百喜草生育良好。

3. 圖說

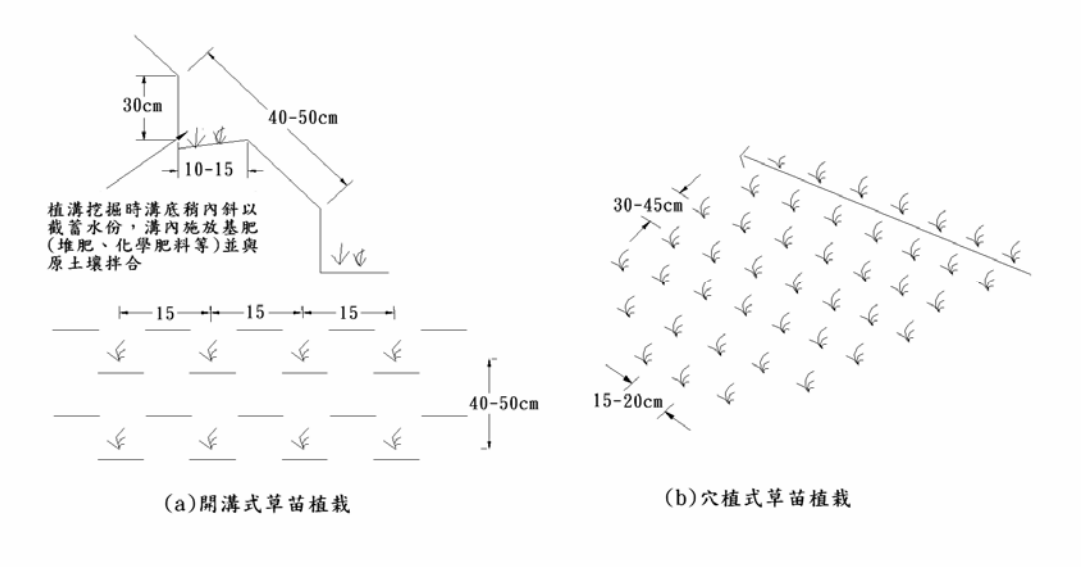


圖 植-3-5 草苗栽植示意圖

3.7 草皮鋪植

3.7.1 草皮鋪植

1. 定義與適用範圍

將草皮掘取並移植於所需鋪設之處，或將選定之草類種子放置於適當大小之土盤或苗床栽植後，連根帶莖及部份土壤一併移植到邊坡上。如此可藉草類茂密植株及根系之保護地表盤結土壤，減低植生初期之土壤沖蝕，達到快速覆蓋之效果。其適用範圍如下：

(1)坡度緩於 30°之挖方坡面。

(2)擬快速覆蓋之一般填方坡面。

(3)草溝設置。

2. 設計與施工方法

(1)先將坡面深 15～20cm 處之石礫除去，耕鋤鬆軟及耙平，並注意排水。排水不良處宜設明渠或暗溝排水。

(2)草皮之材料如為直接現場掘取之優良草皮，可將其切成 10～20cm 之塊狀草皮作為草皮材料。如為人工培育之草皮，亦可仿照植生盤之大小，先做好長 25cm、寬 20cm、厚 3cm 之土盤，土盤內盛有機質土、複合肥料及具常綠匍匐性之草類種子，栽培 1～2 個月後移至坡面使用。或於平坦地面上，下鋪不透水布，上覆過篩土壤、甘蔗渣及有機肥料等混合物約 3cm 厚後，撒播種子並栽培 1～2 個月。

(3)鋪植時，可先將過篩之細土，適量的均勻撒於坡面上，使鋪植之草皮根部與表土緊密接觸。

(4)鋪植後需充分灌水，並以"∩"形 #10 鐵絲或竹片固定之，其數量依草皮不致滑落之需要決定之。

(5)草皮鋪植之季節以梅雨來臨前進行為佳，如坡面乾燥，需先澆灑適量的水。草皮採取後儘快鋪植，未鋪前宜先放置於陰濕處並加以敷蓋，以減少蒸發，提高草苗成活率。

(6)擬達到快速綠化覆蓋之坡面或草溝溝面，可使用全面鋪植。

3.7.2 草莖鋪植

1. 定義與適用範圍

將易萌芽之草莖撒於整坡後之坡面上，再利用機器輾壓、灑水及覆砂之步驟，4 個月至半年可達全面覆蓋。適用於：

(1)大面積之造園綠地廣場。

(2)高爾夫球場草皮。

(3)特殊用途之運動場。

2. 設計與施工方法

(1)將草類根莖切成 3～5cm，均勻撒布於經整地後之地表面。

(2)撒布草莖之數量，即撒布後播莖之覆蓋面積比約 1/5～1/20 左右。其中百慕達草品系(Tifton)因生長快速，為 1/15～1/20。芝草屬之草類生長較慢，其撒布後之覆蓋面積約為 1/5～1/10。

(3)淺層鋪砂或覆砂或覆土後，以滾筒式碾壓機碾壓之。

(4)配合噴撒灌溉或水車灑水，以確保初期之發芽生長。

3.8 容器苗穴植

3.8.1 定義與適用範圍

在特殊地區，無法挖溝植草時，先將植物材料於容器苗袋內培育後再穴植於坡面上之植生方法。適用於：

1. 土層薄、礫石含量多，沖蝕嚴重、植物生長不易之坡面。
2. 礦區棄土石地，含石率較高之地區。
3. 需迅速綠化或補植之地區。

3.8.2 設計與施工方法

1. 將表土堆肥及台肥 43 號複合肥料等均勻混合，其比率以 $1m^3$ 土壤：100kg 堆肥：10kg 複合肥料為原則，填裝於容器育苗容器內，供為栽培植物之用。
2. 若採用容器育苗者時，容器應大於 20cm×20cm。容器底部應打孔 5～10 個，以供排水、透氣及根部生長。
3. 將坡面危石清除並將沖蝕溝整平後，沿等高線挖植穴，其直徑深度需略大於育苗容器之大小，植穴配置法為等邊三角形。穴與穴之中心間距，視植物種類及立地條件而定。穴內酌量施放緩效性肥料。
4. 將已培育完成之育苗袋，置於穴內，如使用容器育苗者並應割開或除去塑膠袋，周圍之空隙並須填實壓密。
5. 育苗袋內可以草類或藤類等不同植物材料栽植，栽植後坡面再行點播或撒播草類種子，以加速覆蓋效果。

3.8.3 補充說明

1. 育苗用植物材料，草本植物可使用百喜草、百慕達草、蟛蜞菊等，藤本植物可使用地錦、槭葉牽牛等，木本植物可使用相思樹、黃槿或台灣赤楊等。
2. 坡面挖穴前，可先於坡頂及坡面構築簡易式Ｖ型或Ｕ型溝。
3. 栽植時，育苗袋之草苗長度需 10cm 以上，藤苗需 25cm 以上。
4. 部分植生不易地區，可使用土壤客土包，內附植物種子後穴植，或裸根苗植物穴植，栽植方法與容器育苗穴植相同。

3.9 木本植物栽植及移植

確保林木的生長及提高栽植後之存活率，有關成樹材料的選擇、移植前的處理、栽植準備及栽植後的維護管理等，需進行集約的管理與撫育。

3.9.1 移植前處理

苗木移植前為維持移植木的生機，提高移植後之存活率及便利植株的掘取與搬運，因此在移植前適當時期，應預先施行修枝及斷根。

1. 斷根處理

成木移植時因樹苗經多年生長，根系甚為發達，在移植掘苗時，根系容易受到傷害而影響到移植後的正常生長，因此在移植前應先進行斷根處理，使苗木能逐漸適應並促進新根之生長。如果移植木過大時亦可分數次來施行斷根處理。斷根處理後，在移植前應隨時注意澆水，且不可將主根弄斷，必要時應設立支柱，以防止伏倒。通常樹高 1.5～2 公尺左右之林木，大約可於移植前 3-6 個月施行斷根，利用圓鍬沿根的基部周圍施行，範圍大概以移植木基徑 4～5 倍為標準，深度約為基徑的 3～4 倍，即土球之大小。至於處理樹高 2 公尺以上的大樹時，大約於移植前半年或一年間分數次進行斷根處理。先將根球周圍分成二至三次處理，沿根球周圍（範圍大概為移植木基徑 4～5 倍）開挖 20 公分以上的挖掘溝，深度約為基徑的 3～4 倍，並在 4 個方向各保留一處較粗側根為支撐，並將保留得側根施行剝皮處理，長度約 20cm，所有處理完成後將挖出的土壤回填，以促進新根生長。

2. 修剪或截枝

種植前應進行苗木根系修剪，宜將劈裂根、病蟲根、過長根剪除，並對樹冠進行修剪，以縮短掘苗至栽植之時間，並防止因蒸散作用引起之樹勢衰退，以利移植木之生長及搬運。截斷口為防烈日曬乾或蟲菌入侵為害，應做防曬、防病蟲害處理或塗抹防菌劑。

(1)喬木類修剪應符合下列規定：

①具有明顯主幹的高大落葉喬木應保持原有樹形，適當疏枝，對保留的主側枝應在健壯芽上短截，可剪去枝條 1/5～1/3。

②無明顯主幹、枝條茂密的落葉喬木，對幹徑 10cm 以上樹木，可疏枝保持原樹形；對幹徑為 5～10cm 的苗木，可選留主幹上的幾個側枝，保持原有樹形進行短截。

③枝條茂密具圓頭型樹冠的常綠喬木可適量疏枝。枝葉集生樹幹頂部的苗木可不修剪。具輪生側枝的常綠喬木用作行道樹時，可剪除基部 2～3 層輪生側枝。

④常綠針葉樹，不宜修剪，只剪除病蟲枝、枯死枝、生長衰弱枝、過密的輪生枝和下垂枝。

⑤用作行道樹的喬木，定幹高度宜大於 3cm，第一分枝點以下枝條應全部剪除，分枝點以上枝條酌情疏剪或短截，並應保持樹冠原型。

⑥珍貴樹種的樹冠宜作少量疏剪。

(2)灌木及藤蔓類修剪應符合下列規定：

①帶土球或濕潤地區帶宿土裸根苗木及上年花芽分化的開花灌木不宜作修剪，當有枯枝、病蟲枝時應予剪除。

②枝條茂密的大灌木，可適量疏枝。

③對嫁接灌木，應將接口以下砧木萌生枝條剪除。

④分枝明顯、新枝著生花的小灌木，應順其樹勢適當強剪，促生新枝，更新老枝。

⑤用作綠籬的喬灌木，可在種植後按設計要求整形修剪。苗圃培育成型的綠籬，種植後應加以整修。

⑥攀緣類和蔓性苗木可剪除過長部分。攀緣上架苗木可剪除交錯枝、橫向生長枝。

(3)苗木修剪質量應符合下列規定：

①剪口應平滑，不得劈裂。

②枝條短截時應留外芽，剪口應距留芽位置以 1cm 以上。

③修剪直徑 2cm 以上大枝及粗根時，截口必須削平並塗防腐劑。

3.9.2 移植作業

1. 成木移植之適當時期

針葉樹：最適期為 3 月中旬～4 月中旬，其次為 9 月下旬～10 月下旬。

常綠闊葉樹：最適期為 3～4 月，其次為 6 月下旬～7 月下旬梅雨期。

落葉闊葉樹：最適期為 1～2 月，其次為 9 月下旬～10 月下旬。

2. 掘苗與根部包紮

在移植的適當時期，且細根已長成後，應即進行移植作業，先將 4 個方向側根切除並沿移植木周圍（範圍約基徑 8 倍以上）向內掘取，所取出土球之大小約為基徑 4～5 倍，土球周圍挖掘好後，主根暫不切斷，先施行根部包紮。土球以草繩捆紮包裝，並由上而下依次相互緊貼拉實，包紮後再將繩索在樹幹基部打結。然後再切斷主根，橫倒後將底根修剪妥當後扶正。苗木處理後應置於通風陰涼處，如土球過大為避免土球鬆散破裂於裝卸時可配合起重機來作業，運送過程應覆蓋透氣尼龍黑網，以免損及林木生機。運搬時不可堆積過厚，避免造成互相擠壓摩擦等機械性傷害。

3. 運搬

所有苗木移植時，對根群、枝葉及樹皮均應妥善保護，避免遭受損害及陽光直接曝曬。苗木自掘起至種植完畢，以不超過二日為原則。為縮短運搬時間，儘量在栽植地附近或同一地區供苗。對於大苗的移植，應考慮採用運到栽植地點後，隨即移植。如一時無法栽植，或因數量較大需分批進行，則必須予以假植。

3.9.3 栽植作業

1. 種植穴

在預定種植的位置挖掘植穴，一般其大小以根球兩倍為宜，或者種植穴的直徑至少要比根球大 30cm 以上。種植穴的深度應為根球厚度加 15~20cm 為宜，各類植物之種植穴規格詳表植-3-4。種植穴的底部放入腐熟堆肥或其他肥料，以利栽桿根部生長發育。如果土壤條件太差，則需進行客土作業，例如礫石地、粘質土壤、低溼地等惡劣場所，需利用怪手、堆土機等機械將調製好的培養土來改良。為考慮成本，一般大樹客土的數量為其根球體積的三至五倍。

表 植-3-4 各類植物之種植穴規格

常綠喬木類種植穴規格(cm)			
樹高	土球直徑	種植穴深度	種植穴直徑
150	40～50	50～60	80～90
150～250	70～80	80～90	100～110
250～400	80～100	90～110	120～130
400 以上	140 以上	120 以上	180 以上

落葉喬木類種植穴規格(cm)					
胸徑	種植穴深度	種植穴直徑	胸徑	種植穴深度	種植穴直徑
2～3	30～40	40～60	5～6	60～70	80～90
3～4	40～50	60～70	6～8	70～80	90～100
4～5	50～60	70～80	8～10	80～90	100～110

花卉木類種植穴規格(cm)			竹類種植穴規格(cm)	
冠徑	種植穴深度	種植穴植徑	種植穴深度	種植穴直徑
200	70～90	90～110	盤根或土球深 20～40	比盤根或土球大 40～60
100	60～70	70～90		

綠籬類種植槽規格(cm)

種植方式 / 深×寬 / 苗高	單行	雙行
50～80	40×40	40×60
100～120	50×50	50×70
120～150	60×60	60×80

2. 捲幹

為抑制樹幹水份之蒸散，並預防樹幹受日曬或凍害之害，應實施捲幹。利用粗草蓆或稻草，將樹幹及主枝捲包，並以棕櫚繩或草繩固定。

3. 栽植

樹木垂直埋入土中栽植深度，應依原植深度為原則。唯恐栽植後之乾害而採用深植者為數不少，但深植會妨礙根系之呼吸活動，並會發生二段根，

使樹木衰弱，應絕對避免。栽植時土壤應分層埋入壓實，避免傷及根系及土球，且栽植妥後應作適當土圍，以利灌水。

4. 支柱

樹木栽植後成活與根系發達之前，常因風使土球動搖，致新根切斷而影響樹木成活或傾倒，設立支柱則可預防。一般栽植若無充分之土壤量，將影響根系之生長，難以支持樹木，又常處於衝風地帶，並以孤立木形態栽植，因此易倒伏。支柱的材料有竹材及杉木等，依樹木大小而作適當的選擇，惟應注意支柱與樹幹接觸部位要襯軟性材料，以防樹幹受損，杉木宜去皮並防腐。

一般常用的支柱，其形式有下列四種：

(1)單柱式：一般用於主幹較小之樹木。

(2)雙柱式：一般應用於中等幹莖的樹木。兩柱平行於樹幹兩側，柱頂間用橫桿相連以草繩縛住樹幹。

(3)三柱式：在雙柱式基礎上增加一根斜柱，以強化穩固程度。

(4)四柱式：一般應用於較大的樹木。在柱上相對綁扎兩個橫桿，然後在橫桿上再加紮兩個緊靠樹幹的橫桿。

支柱施工應考慮之事項：

(1)橫木與樹幹接觸位置可用杉木皮或椰子纖維皮等柔性材料包住作為墊片，避免因直接摩擦損及樹皮及樹幹，並用繩連結在一起，不可使用鐵絲或鐵線。

(2)支柱與橫木連結，使用鐵絲或鐵線固定，以加強支撐力量。

(3)支柱應定時檢修，並隨植栽樹幹之成長予以調整。

栽植並設立支柱後應施行修剪，除整理樹姿外，並能促進林木之成活，修剪之程度視根部受損情況而定，此外為求良好樹形，凡過密枝條、罹患病蟲害枝、折斷枝、徒長枝及衰弱下垂枝條均應施行修剪，當樹冠發展不平衡時，亦應施行適度修剪。一般以早春新芽生長前或晚秋時期，最適合進行樹冠修剪。

5. 灌溉

新栽樹木在生長期間，不可缺水。灌溉時的氣候狀況、水的溫度、水質的好壞、水的分量均需加以注意。

3.9.4 圖說

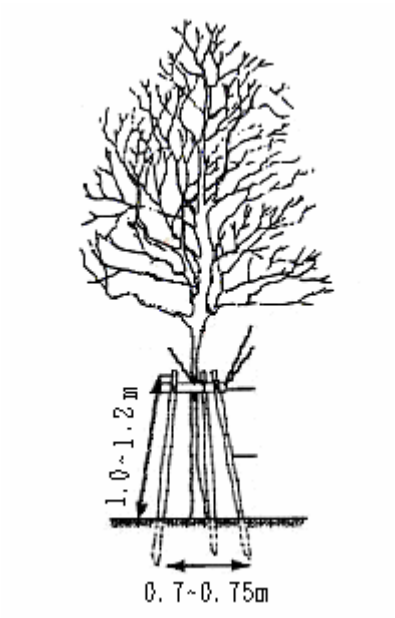


圖 植-3-6 木本植栽固定示意圖

植生方法篇

目錄

四. 植生維護與管理.....1
4.1 施肥.....1
4.2 灌溉.....5
4.3 病蟲害防治.....6
4.4 植生之診斷.....10
4.5 植生之養護.....11
4.6 植生調查與分析.....14

表 植-4-1 常用化學肥料之要素含量 植-4-1
表 植-4-2 常用有機質肥料之要素含量 植-4-2
表 植-4-3 植生問題診斷與對策表 植-4-10
表 植-4-4 植栽維護管理時間表(以三年為例) 植-4-12

圖 植-4-1 植樹基肥施用法 植-4-4

四. 植生維護與管理

4.1 施肥

4.1.1 肥料種類

1. 化學肥料

肥料三要素氮、磷、鉀肥中，氮、鉀較易流失，宜分期施用(追肥)，磷肥之移動性較慢，可全量當基肥施用。追肥次數因土壤質地而異，一般粘質地土壤之保肥力較強，一次可施用較多量之肥料，追肥次數可酌量減少。砂質土保肥力較差，每次宜少量施用，追肥次數應增加。複合肥料施用簡易，可免除單質肥料混合之麻煩。

施肥量若以氮(N)、磷酐(P_2O_5)及氧化鉀(K_2O)成分表示，使用時需依所採用肥料之各要素含量，換算施用量，即：

單質肥料施用量(kg)＝各要素用量(kg)x100/肥料要素含量(%)，例如：

某一坡面每公頃設計用量為氮素(N)80kg，磷酐(P_2O_5)40kg、氧化鉀(K_2O)60kg，則需使用之肥料分別為：

硫酸銨(含氮量 21%)＝80kg × 100 / 21 ＝381kg

過磷酸鈣(含磷 18%)＝40kg× 100 / 18 ＝222kg

氯化鉀(含鉀 60%)＝60kg × 100 / 60 ＝ 100kg

目前坡面植生所使用肥料之含量，一般每 m^2 使用台肥 43 號複合肥料 0.05kg，即每公頃需施 500kg，此肥料用量若換算為各單質肥料，則需施用：

硫酸銨：15% x 500 x 100 / 21 ＝357kg/ha

過磷酸鈣：15% x 500 x 100 / 18＝416.7kg/ha

氯化鉀：15% x 500 x 100 / 60 ＝125kg/ha

常用化學肥料之三要素含量，列如表植-4-1。

表 植-4-1 常用化學肥料之要素含量

肥料名稱	要素含量(%)			
	N	P_2O_5	K_2O	MgO
硫酸銨	21			
硝酸銨鈣	20			
尿素	46			

肥料名稱	要素含量(%)			
	N	P_2O_5	K_2O	MgO
過磷酸鈣		18		
硫酸鉀			50	
氯化鉀			60	
台肥 1 號複合肥料	20	5	10	
台肥 5 號複合肥料	16	8	12	
台肥 43 號複合肥料	15	15	15	4

2. 有機質肥料

有機質肥料包括不易分解者如泥炭苔(土)、樹皮堆肥等，及易分解者如糞便堆肥、垃圾堆肥等兩種類型。邊坡植生施工地大多土質不良，乾旱貧瘠，其生育基盤施用有機質肥料，可改善土壤理化性，及增加土壤保肥與保水力。常用之有機質肥料要素含量列如表植-4-2。

表 植-4-2 常用有機質肥料之要素含量

肥料名稱	要素含量(%)		
	N	P_2O_5	K_2O
台肥 1 號有機質肥料	1.5	4.0	3.0
樹皮堆肥	1.14	0.77	0.36
泥炭苔	0.5-1.0	0.1-0.3	0.4-1.0
泥炭土	0.8-1.8	0.1-0.5	0.6-1.5
草木灰	—	1-2	4-10
大豆粕	7.52	1.77	2.77
魚粉	7-10	7-10	—

4.1.2 施肥量及時期

肥料施用量及施用時期因基地土壤條件及栽植之植物種類而異：

1. 地被植物(包括植草)：基肥用量為有機質肥料 2kg/m^2 及台肥 43 號複合肥料 0.05kg/m^2。追肥應視需要施用，每 m^2 用量，約台肥 43 號 0.05kg，或相等用量之化學肥料。
2. 灌木：施用基肥每株使用堆肥 2kg。追肥應於栽植 60 天後視需要施用，每株施用量同上，約等於台肥 43 號 0.05kg。

3. 喬木：施用基肥每株使用堆肥 4kg。追肥應於栽植 60 天後視需要施用，每株施用量同上，約等於台肥 43 號 0.05kg。

4.1.3 施肥要領

1. 三要素的功效

(1)氮(葉片)：氮是製造葉綠素的主要成分，能促進枝葉濃綠，生長旺盛。缺乏時生長停頓，葉片黃化脫落。但施肥過量，容易徒長，妨礙花芽分化和開花。幼苗及觀葉植物需較多的氮肥。

(2)磷(根、花果)：磷是構成細胞核及原生質的主要成分，能助長根部發育，吸取養分，促進花芽分化、開花、結實。缺乏時根系功能轉弱，影響開花結實。觀花觀果植物及球根花卉需較多的磷肥。

(3)鉀(莖幹)：鉀能促進細胞新陳代謝正常化，強壯根莖、枝幹健全發展，增進葉簇花色美觀，抵抗病蟲害。缺乏時枝條軟弱，葉片提早老化，發育不良。一般中苗以上或成株需較多鉀肥。

2. 缺肥之徵兆

(1)葉色趨黃或逐漸呈淡綠色。(缺氮肥)。

(2)葉片及新芽較正常為小，發育不良。葉質薄，沒有正常的光澤。枝條纖細、枯枝多、側枝短小、生長停頓。(缺三要素)。

(3)花芽形成不良，花蕾掉落或花朵少，葉片邊緣褐化。(缺磷、鉀肥)。

(4)莖脆弱，葉片出現紫斑。(缺磷肥)。

(5)枝葉徒長，生長軟弱。(缺鉀肥)。

3. 施肥原則

(1)依原料分類：有機質肥料之肥料成分含有率低、施用量多，但有較多種類之肥料成分，較不會產生微量要素缺乏症，連年施用則土壤改良之效果佳；無機肥料包括化學肥料及石灰質，化學肥料之肥料成分含有率高，施用簡便且經濟。

(2)依主成分分類：單肥及複合肥料，樹木以使用含三要素之複合肥料為宜。

(3)施肥量：樹木對氮素特別敏感，其他養分元素之施用效果則不詳，但只施氮肥則會造成氮之過量為害或磷酸及鈣之缺乏症。因此，樹木之施肥

量，以不產生氮之過量為害為原則，決定氮之施肥量，同時施用其半或同量之磷酸及鈣。

(4)施肥位置：因植物之吸收根分佈於土壤表層(地面至約 30cm 深處)，又降雨使土壤水之移動自地表面向下方移，因此，施肥宜施於土壤表層。但栽植時之基肥，應施於栽植樹木土球之底下(根系有向肥性，可促使根系向地中深處發展，而且栽植後之追肥無法施於土壤之深層)，樹木之根與肥料之間應有約十公分之間土。

4. 施肥注意事項

(1)剛移植或換盆勿追肥。

(2)施肥按肥料用途使用。

(3)土壤太乾、大雨後勿施肥。

(4)施肥後不可立刻澆水。

(5)有機肥料要腐熟。

(6)量少次多為原則。

(7)肥料不可任意混合。

4.1.4 圖說



圖 植-4-1 植樹基肥施用法

4.2 灌溉

在植物種植的第一年內，因為根系的生長尚不完全，因此需要經常全面灌水以補充水分。第一年之後，草本植物因根系淺，仍需經常的灌水，木本植物則根系較發達，可深入土層，除非乾旱、炎熱風大的氣候及砂土等保水力差的土層、地下水位低的地區外，則不需經常的灌水。灌溉的方法一般有地面灌溉、地下灌溉及葉面噴灑三種，得視實際情況而運用之。

灌水的時間以清早或傍晚太陽輻射較弱時為佳。灌水的水溫應較土壤溫度稍高為宜。灌水時需使土壤全部潤濕，在生長期需水較多，休眠期較少。噴灑灌溉系統，定時定量噴水以節省人力。

新植樹木、鋪植草皮或植物種子導入坡面後，於植物生長初期，應適量灌溉。灌溉時需注意氣候狀況、水溫、水質及水量，灌溉用水之水源不得使用工業廢水或含有毒之污水。一般而言，當植物根域(root zone)土壤的田間容水量少於 50%時，便需灌溉。

如以地面灑水灌溉為例，原則上每次澆水量依植物植栽密度及大小而定。澆水時可配合追肥(尿素或複合肥料)、植物生長激素之使用。然在水源困難之處，植生工程需配合雨季進行，並儘量採用高耐旱植物或特殊材料施工法，並可以植物殘株直接置於植栽植物之周邊，以減少水分之蒸發，確保植生綠化效果。

4.3 病蟲害防治

4.3.1 植物病蟲害發生之防止原則

1. 採用適合當地環境的植物材料。
2. 採用不同種之植物，進行混播。
3. 選擇健康的種苗。
4. 提供適當的生育基地，如良好的排水、通風及適時的施肥。植物發生病蟲害時，為維護其成活及生長，須加以防治。

4.3.2 病蟲害特徵與防治方法

1. 苗立枯病
   (1)病徵：在高溫多濕的環境下，植物幼苗接近土面處，易腐爛萎縮倒折，並很快傳染給周圍幼苗。
   (2)防治方法：引起病害的土壤需要好速殺或土壤殺菌劑消毒，才能再播種栽培。幼苗可用立枯靈、億力、好速殺等殺菌劑防治。栽培環境力求通風良好，避免高溫多濕，土壤排水、通氣也要改善。
2. 根腐病
   (1)病徵：夏季高溫多雨或土壤中的病菌感染，靠近地面之莖葉、根部呈浸水狀腐爛，導致全株死亡。
   (2)防治方法：病株要掘棄、隔離，使用好速殺、大生 45 或億力殺菌。栽培環境保持通風良好、適當的溫度及濕度。
3. 黑斑病
   (1)病徵：高溫多濕時期，老熟葉片產生紫褐色小斑，逐漸擴大成圓形或不規則病斑，病斑周圍有黃色暈環，後期中央褪色為灰白色，導致黃化落葉。
   (2)防治方法：摘除病葉並避免淋濕葉片，使用大生 78、好速殺等防治。改善通風、光照，修剪枝葉。
4. 白粉病
   (1)病徵：晝夜溫差大時，莖、葉常附著白色粉末狀，蔓延病株，停止發育而逐漸萎縮死亡。

(2)防治方法：可用可利生、克靈粉、億力、回生丹等施用。花木不可密植、改善通風，設法降低周圍溫度。

5. 病黴病

(1)病徵：陰雨空氣濕度高，日照不足、通氣不良易發生，病株莖葉軟腐或出現灰色黴。

(2)防治方法：用大生、億力、好速殺等防治。梅雨季節避免過濕、密植，改善營養、通氣、透光狀況。

6. 煤病

(1)病徵：花木多在通風不良環境下，葉片常披被一層黑色煤煙狀膜，這是由介殼蟲、蚜蟲之分泌物滯留引起。

(2)防治方法：可用速滅精、速滅松、夏油等防治，並改善通風。

7. 銹病

(1)病徵：病株莖葉或花朵產生黃淡綠色條紋，嚴重時莖葉畸形萎縮。

(2)防治方法：可用大生或飛邦防治。改善通風狀況，保持葉片乾燥。

8. 萎縮病

(1)病徵：病株莖葉或花朵產生黃淡綠色條紋，嚴重時莖葉畸形萎縮。

(2)防治方法：病原菌由傷口侵入，播種的種子或扦插的插穗切口要消毒，摘心時先摘健壯株，再摘病株以防傳染。平時撲殺蚜蟲、介殼蟲媒介。若發現病株，應立即拔除。

4.3.3 常見水土保持植物蟲害防治

植物的害蟲為害情況極迅速，常有幾天內就把枝葉嚙食精光，若有發現，應立即防治；若用藥正確，幾分鐘內就能把害蟲殺死。蟲害的農藥甚烈，必須按說明書規定的倍數稀釋施用，不可擅自提高濃度，以免藥害。

1. 介殼蟲類

(1)危害情形：介殼蟲是花木普遍常見的害蟲，分為有殼或無殼粉介殼蟲，常爬附莖幹或葉面吸食養分，被害部位由綠轉黃，並分泌黏液蜜汁，招引螞蟻，引發煤病、枝葉衰弱或全株枯萎。

(2)防治方法：量少時用手或毛刷清除，量多時用滲透性較強的農藥如速滅精、速滅松、夏油、馬拉松等噴灑。有殼介殼蟲死亡後，蟲殼仍會附著

在植物上，可以用手揉揉，如果還有濕濕的體液，就表示尚未死亡，必須再噴藥。

2. 蚜蟲

(1)危害情形：蚜蟲是非常普遍的害蟲，常爬附於花木幼嫩新芽、葉背或花瓣吸食養分，導致新芽衰弱枯萎，新葉萎縮畸形，傳佈毒素病，分泌蜜汁引螞蟻出沒。尤其散佈毒素病之病源為害蟲之最，潛在性危害最大，一發現應立即撲滅。

(2)防治方法：為害初期量較少，可用手或毛刷捏除，用水沖洗。量多時用蚜克靈、速滅松、萬靈等噴灑。

3. 蛾蝶類

(1)危害情形：蛾、蝶類幼蟲是花木最常見普遍的病蟲，常爬附於各種花木嚙食幼嫩莖葉，甚至在枝葉間結繭。其食量甚驚人，甚至數天內能把莖葉啃食精光。

(2)防治方法：發現蟲時或莖葉被啃食，可用手補殺或用水沖除。量多時用速滅松、萬靈、速滅精噴灑即可殺死。防治可噴萬靈或在葉片撒佈殺蟲粉劑，如撲滅松粉劑。

4. 夜盜蟲、切根蟲

(1)危害情形：夜盜蟲種類很多，成蟲白天潛伏在陰暗處或地下棲息，夜晚才悄悄爬上地面嚙食幼苗或植物幼嫩莖葉。切根蟲潛在地下為害植物根部。

(2)防治方法：量少時趁夜晚用手補殺。量多時在傍晚施用萬靈、剋地蟲或抗蟲得農藥撲滅。地面撒好年冬可長期防治。

5. 紅蜘蛛(蟎類)

(1)危害情形：常見吸食葉汁，被害部位葉綠色漸失，變成灰白至乾枯脫落，或為害球根，致使根腐。

(2)防治方法：使用各種殺蟎劑噴灑，如總無蟎、錫克蟎、速滅蟎等。

6. 薊馬

(1)危害情形：會飛到花葉唼吸汁液，為害部位褪色萎縮或呈白色斑點、條紋。

(2)防治方法：量少時用香菸燻死或驅離、用手補殺、用水沖除。量多可用萬靈、古斯靈、大禧等防治。

7. 根瘤線蟲

(1)危害情形：寄生於植物根部，形成根瘤，使根部變小、腐蝕，生長衰弱，減少開花或全株枯黃死亡。

(2)防治方法：選擇抗線蟲品種，掘取病株殘根燒毀，使用好年冬、萬強、地蜜等殺蟲劑撒施土壤殺蟲。

8. 螞蟻

(1)危害情形：常在盆內作窩，為害根部，和蚜蟲、介殼蟲為伍共生，傳佈病蟲害，搬移種子、肥料。

(2)防治方法：用殺蟻劑如蟻酸、BHC 粉劑、第滅靈、速滅松等噴灑。寄居盆內，將盆浸入水中驅除或淹死。

4.4 植生之診斷

4.4.1 植生問題診斷與對策

植生工程施工地區常會發生植物生長不良、倒伏、死亡等情形，其發生原因各有不同，分別受植栽基地特性、環境物理逆境及生物間相互作用所共同影響，如表植-4-3。

表 植-4-3 植生問題診斷與對策表

症狀	原因	診斷	對策
草生地、生長不良或垂死	養分缺乏	萃取性養分含量、陽離子交換能力低	施肥，應用豆科植物加有機改良劑。
	強酸性土壤	pH＜4.0	加石灰並使用耐酸性植物。
	乾旱	土壤有效水分低，質地粗糙	加有機改良劑，增加灌溉設施。
	植物體含氮量低	C/N＞25	施用氮肥
喬木與灌木植栽失敗	苗木不健壯、栽植或處理不當	立地條件良好	補植
		立地條件惡劣	土壤改良
	土壤過度壓密	壓密度＞1.75	空壓打動
	排水不良	植穴不透水	補植
		地下水位高	排水
生長不良	養分缺乏	葉片或土壤分析	施肥
	強酸性土壤	土壤分析	加石灰
	乾旱	土壤水分測定	敷蓋、灌溉
	地被植物競爭	喬木周圍植被密度過高	有機質改良、敷蓋或除草
植物器官受損	病害	病毒、菌類或昆蟲危害症狀	病蟲害防治、修剪或砍除隔離感染樹木

4.5 植生之養護

4.5.1 植草

1. 種植完成後應即充分澆水，並繼續保持土壤表層到 5 公分深的濕潤狀態，至完全覆蓋後可視天候等實際狀況再適時澆水。設計澆水量為 20 公升/ m^2 (草類播種與栽植)。
2. 養護期間開始後之第 60 天及第 110 天應各施追肥一次，施用量每 m^2 施用複合肥料(如台肥 43 號)0.05 kg。
3. 如發現草苗不萌芽、枯萎、生長不良、草苗滑失、發生病蟲害等情事，需進行噴農藥或作補植等工作。

4.5.2 地被植物

1. 植株種植後應即澆水，養護期間亦應視天候澆水。
2. 養護期間開始後之第 60 天及第 110 天應各施追肥一次，每 m^2 基肥用量為有機質肥料 2kg 及台肥 43 號複合肥料 0.05kg。追肥應視需要施用，每次約使用台肥 43 號 0.05kg 或相等用量之化學肥料。
3. 肥料可溶入水中時，於澆水時一併施用，但應注意不得傷及植株之花、葉。
4. 地被植物或草花，若有缺株，應行補植，發現病蟲害應適時防治。

4.5.3 灌木及喬木

1. 養護期間經常澆水、清除雜草、防治病蟲害，並視需要適度修剪，維持樹勢的旺盛，保護植物免受行人侵害或風雨之傷害。
2. 追肥應於栽植後 60 天及 110 天左右，視需要每株施用約為台肥 43 號 0.05kg 或等量代用品，或依設計圖說所示施用之。
3. 符合規格之苗木栽植妥當後，為減少植物因蒸散作用而喪失水分，可酌予修剪枝葉，但養護期滿驗收時，植株不得小於規定之規格。
4. 養護期間應視天候情況澆水，每株每次澆水量視苗木及植穴而定，每株約可設計為 10 公升。
5. 養護期間應隨時注意植物生長發育狀況，保持樹勢的旺盛，如發現植物在苗圃培育及種植期間有潛伏之傷害，或種植時因操作不慎引起之損傷，或管理不佳導致之受傷，或發生嚴重之病蟲害，或已呈現枯萎、死亡者，均換植補種。

6. 養護期滿 60 天前，如發現植物不能成活時應進行補植。

表 植-4-4 植栽維護管理時間表(以三年為例)

位置	作業		作業時期及次數													摘要
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間作業次數	
環境綠帶	喬木	整枝(常綠)		—	—			—	—						適度	顧慮到坡面的透適度，僅對過密部分實施。
		整枝(落葉)				—	—			—	—	—	—		適度	
		補植(常綠)	—		—	—		—	—					—	適度	
		補植(落葉)	—									—	—	—	適度	
		澆水				—	—	—							適度	栽植初期二至三年之乾燥期
	灌木	修剪	—	—	—	—								—	一次	開花植物應在開花後馬上修剪
		補植	—		—	—		—	—					—	適度	
	草坪	剪草		—	—	—	—	—							4次左右	
		除草	—	—	—	—	—	—						—	2次左右	
		補植	—	—											適度	
	草花	除草		—	—		—	—							2次	
		補植	—	—	—	—	—	—	—	—				—	適度	
既存林	間伐												—	—	適度	由弱小者依序伐採，使將來能保持100 株/m^2 左右
	除蔓												—	—	5～10 年一次	
	補植		—									—	—	—	適度	

位置	作業		作業時期及次數												摘要
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間作業次數	
斜坡帶	除草(幼苗栽植地)														2次	植栽二至三年期間
	除草(樹木種子噴播)														適度	
	種子補播														適度	木本、草本種子噴播有不均勻情況時
其他栽植地	喬木	澆水													適度	栽植初期二至三年之乾燥期
	灌木	修剪													1次	花掉落後馬上修剪
	草坪	剪草													4次左右	
		除雜草													2次左右	

4.6 植生調查與分析

4.6.1 樣區取樣調查分析

依樣區調查之參數加以組合，或以不同方法計算群落指數，藉以探討植物社會之特性。

1. 植群之定量介質

可定量之介量較為常用的有以下數項：

(1)密度(density)：指單位面積內的個體數。

(2)頻度(frequency)：在所有調查的樣區中，某種植物出現樣區的百分率。

(3)覆蓋度(cover)或優勢度(dominance)：以某種植物冠層面積或樹幹胸高底面積佔地表面積的百分率表示之。

此外，尚有許多可使用的介量，如生物量，此乃經由收割獲得，常以每單位面積之乾物重量來表示。另葉面積指數(leaf area index，LAI)，係指植群總葉面積對地表面積的比值。

2. 密度測定

密度之計算通常以每 m^2 或公頃上之株數來表示。但在應用上常引起困難，原因如下：

(1)個體確認的困難：樹木及單幹的一年生植物較少問題，其他生活型(life form)的植物則技術上會發生困難，如叢生竹木、匍匐狀灌木或草皮等。

(2)樣區的邊界效應(marginal effect)：樣區的邊界可能跨過一個植物個體，對此一被穿過的個體是否該計算，或加以排除，便需做一決定。

3. 頻度測定

頻度乃為一植物在依序列重覆設置的樣區或樣點中出現的次數。通常以出現的樣區數，對總設置的樣區數之比值來加以表示。在頻度的調查中並不需要計算植物的個體數，而僅計算出現與否，因此頻度測量遠較密度容易。頻度雖然可用密度及覆蓋度等介量，提供一客觀的調查方法，但頻度並非一個絕對的測量，且受樣區的大小及形狀所影響。在植物種類豐富之地區，樣區的面積稍微增加一點，將會使頻度增加很多。Cain 與 Castro(1959)建議用以下大小的樣區：

蘚苔層	0.01～0.1 m^2
草本層	1～2 m^2
低灌木及高草本層	4 m^2
高灌木層	16 m^2
喬木層	100 m^2

4. 覆蓋度測定

前述的密度表示一族群的大小，頻度表示植物在該社會中的分佈情形，但植物對於生育地適應的情形則不易由前二者表達出來。植物在該社會中的適應度，通常用優勢度來表示，而以覆蓋度或生物量來計算。

5. 基本植生定量介量之組合

上述所介紹的三種植物社會調查之基本介量：密度、頻度及覆蓋度 (或優勢度)等，雖當其單獨使用時，亦能代表植物社會的某一特性，如優勢度可顯示一植物在該社會中所佔的重要性；密度可表示一族群的大小；頻度則可以表示植物在該社會中的分布情形。但因調查區中各植物生長分佈的差異相當大，若單獨使用某一種介量，常無法清楚的將植物社會中各種植物的適應情形以及該植物社會中資源被分配的情形。因此，一般甚少單獨使用一種介量來加以表示，而係以其中若干個介量加以組合。一般的組合法以下列二種最為常見：

(1)DFD 指數(Density-frequency-dominance Index)

DFD 指數由 Curtis(1947)年所創，乃為前述三種基本介量，即密度、頻度及覆蓋度之總和。

(2)重要值指數(Importance Value Index, IVI)

DFD 指數之三種基本介量，均有其不同之單位，故其指數之大小沒有一定範圍，且此三種介量為不同單位之數值，求其總和亦不合理，故有部分調查者，將之改良成為所謂的重要值指數。此指數亦採用上述三種基本介量，但係用其相對值，其計算方法如下：

重要值指數(IVI)=相對密度(relative density)+相對頻度(relative frequency)
+相對優勢度(relative dominance)

相對密度=某種植物之株數/所有植物之株數 × 100%

相對頻度=某種植物之頻度/所有植物之頻度 × 100%

相對優勢度=某種植物覆蓋面積/所有植物覆蓋面積 × 100%

6. 種歧異度測定

一個植物社會，若其組成分子越複雜，則其越能夠承受外力的干擾。反過來說，若這個植物社會的物種相當單純，一旦植物社會的優勢植物種類遭受干擾，則對於整個植物社會的影響，將極為嚴重。例如當一植物社會遭受病蟲害的干擾時，若此一植物社會之組成甚為單純，且此一病蟲嗜食其優勢種，由於食物供應極為充足，此一病蟲將大量的繁殖，終至釀成災禍。由此可見一個植物社會組成的複雜程度，常可代表其安定的程度。而植物社會的複雜程度係以種歧異度(Species Diversity Index)來表示。其表示方法有以下幾種：

(1)種豐富度(Species Richness，R)

$$R = \frac{S}{N}$$

S：在所調查的植物社會中，總共出現的種類。

N：在所調查的植物社會中，總共出現的個體數(株數)。

(2)Simpson 歧異度指數(Simpson Index of Diversity，Dsi)

$$Dsi = 1 - \sum\left(\frac{n_i}{N}\right) = 1 - \sum\left(P_i\right)^2$$

n_i：第 i 種植物個體數。

N：整個植物社會所有植物種類個體數之和。

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

(3)Shannon 歧異度指數(Shannon Index of Diversity，Dsh)

$$Dsh = -\sum\left(\frac{n_i}{N}\right) \times \log\left(\frac{n_i}{N}\right) = -\sum\left(P_i\right) \times \log P_i$$

4.6.2 植生圖之應用

將植生調查結果，依植生群落之分布標示於地形上，以為參據。

1. 植生圖之植物群落分布，可視植群均質程度，以優勢種植物為群叢(Association)之代表，或依其定性或形相性質標示之。

2. 在擬開發之土地內，自然度較高、對人為干擾具敏感反應之植生群落，已確定列為保護區之植生群落，需製作植生圖。
3. 特殊必要地區需製成潛在植生圖，說明其立地之潛在能力，供進行植生復育、綠地環境創造等之參考。
4. 植生調查之目的，在篩選適合植生施工地點之植物材料，以及評估人為栽植或噴植植生工程之效果，作為工程品質驗收之依據。

4.6.3 覆蓋率調查與檢定

覆蓋率或綠覆率應以自坡面垂直上方之植株投影面積比率為準。經人工整坡之土層坡面或均勻厚客土之坡面，一般施播草種並予妥善之維護四個月後，其覆蓋率應達 90% 。但自然開採或局部客土之坡面導入植物後，其平均覆蓋率應達 80% 。

4.6.4 發芽率(種子發芽數)調查與檢定

調查種子發芽數宜採用逢機樣區取樣調查法，樣區大小以 1m×1m 為原則，但單播草本植物時得以 20cm×20cm 樣區換算之。施工面積小於 1,000m^2 時，至少應有三個調查樣區。大於 1,000 m^2 時，每增加 1,000 m^2 應增加一個樣區。坡面全面撒播或噴播草類種子，期待發芽數應為 1,000 株／m^2 以上。混合木本植物種子播種或栽植，木本植物發芽數應為 3 株／m^2 以上。

4.6.5 生態效益指數之評估

生態指數為敘述生態系統、型態及趨勢最直接且有利之工具，其可以被用來與動物、植物等土地利用及人為分相互作用分析，以了解生態系統。例如美國 USDA(1995)所開發的 FRAGSTATS 系統，可計算景觀生態指標類別面積(CA)、總景觀面積(TLA)、嵌塊體數目(NUMP)、平均嵌塊體大小(MPS)、嵌塊體大小之變異係數(PSCV)、總邊緣(TE)、平均形狀指數(MSI)、平均碎形維度(MPFD)、多樣性指數(SHDI)、總核心面積指數(TCAI)、平均鄰近指數(MPI)，分述如下：

1. 類別面積(Class Area, CA)

此所計算為所有類型的嵌塊之面積和，公式如下：

$$CA = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}$$

a_{ij}：表示嵌塊體 ij 處之面積，以平方公尺表示。嵌塊體分類面積(平方公尺)，最小為 0，最大與景觀的總面積相等。

2. 總景觀面積(Total Landscape Area, TLA)

TLA 為景觀之總面積，其值大於 0 以公頃表示，不包括景觀內嵌塊體的面積，計算公式如下所示：

$$TLA = A\left(\frac{1}{10000}\right)$$

3. 嵌塊體數目(Number of Patches, NP)

嵌塊體數目的多寡，表示景觀上之地物類型的零散度、以下式表示於景觀內 i 類別的嵌塊體數目：

$NP = n_i$

4. 平均嵌塊體大小(Mean Patch Size, MPS)

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{n_i}\left(\frac{1}{10000}\right)$$

a_{ij}：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。

n_i：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

MPS 為平均嵌塊體的面積，以公頃表示。嵌塊體愈大，保育能力愈強。

5. 嵌塊體大小之變異數(Patch Size Coefficient of Variation, PSCV)

PSCV 表示嵌塊體大小之變異係數，單位為百分比，若此值愈大表示此景觀中嵌塊體的大小的差異愈大；反之此值愈小表示嵌塊體差異較小。

$$PSCV = \frac{PSSD}{MPS}(100)$$

其中 PSSD 表示嵌塊體大小的標準差，所代表的意義與上變異係數雷同，此值愈大，顯示在景觀中的嵌塊體大小離差愈較大，反之，則為較小之嵌塊體，計以公式如下所示。

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left[a_{ij} - \left(\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{n_i}\right)\right]}{n_i}}\left(\frac{1}{100000}\right)$$

6. 邊緣(Total Edge, TE)

TE 所表示者為嵌塊體的邊緣總長度，遊緣長度關係到嵌塊體與相鄰的景觀單元的能量、物質及物種的相互作用，且若能與嵌塊體的大小、形狀結合，較具生態上的意義。

$$TE = \sum_{k=1}^{m} e_{ik}$$

e_{ik}：為景觀中兩相鄰嵌塊體 i、k 邊界的長度以公尺表示。

m_i：為嵌塊體的類別數，亦包括景觀邊界。

7. 平均形狀指數(Mean Shape Index, MSI)

形狀指數表示嵌體形狀的變化，其值愈近於 1，其嵌塊體形狀愈接近圓形，其平均形狀指數(MSI)可由下式求得

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}\right)}{n_i}$$

a_{ij}：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。

n_i：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

p_{ij}：為屬於 i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣周長，此以平方公尺表示。

8. 平均碎形維度(Mean Patch Fractal Dimension, MPFD)

碎形維度為量度嵌塊體形狀特徵，MPFD 為平均嵌塊體碎形維度，其值測於 1～2 之間，若值愈大，則表示嵌塊體形狀愈複雜。

$$MPED = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{2\ln(0.25) p_{ij}}{\ln a_{ij}}\right)}{n_i}$$

a_{ij}：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。

n_i：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

p_{ij}：為屬於 i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣周長，以平方公尺表示。

9. 多樣性指數(Shannon's Diversity Index, SHDI)

Shannon 之多樣性指數(SHDI)，為量測一地區之景觀單元組成類型，其值愈高表示景觀單元的組成愈多樣，因此景觀之多樣性可由 Shannon-Weaner 方程式，即熵值(Entropy)求得如下。

$$SHDI = -\sum_{i=1}^{m}(P_i \ln P_i)$$

p_i：i 類嵌塊體在景觀中所佔之百分比。式中 m 為嵌塊體類型數目。

10. 總核心面積指數(Total Core Area Index, TCAI)

TCAI 所代表者為緩衝區 m 公尺之總嵌塊體面積，單位為百比。

$$TCAI = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{c}}{A}(100)$$

a_{ij}^{c}：表示在特定緩衝區 m 公尺下，以 i 類第 j 個嵌塊體的為主的核心面積。

A：景觀總面積。

11. 平均鄰近指數(Mean Proximity Index, MPI)

MPI 為兩嵌塊體之鄰近程度，其值愈大表示兩嵌塊體相鄰程度愈近，其值愈小表示兩嵌塊體的分離度高。

$$MPI = \frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{s=1}^{n}\frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^{2}}}{n_i}$$

a_{ijs}：為距 a_{ijs} 嵌塊體 m 公尺內所搜尋到之嵌塊體面積(平方公尺)。

h_{ijs}：表示兩嵌塊體邊緣之距離。

4.6.6 遙感探測之植生評估

遙感探測經由使用不同之感測器系統，通常為空載或太空承載系統來蒐集地球表面之資料和接近地表之環境資料，經過資料處理過程，這些資料便能被轉換成我們用於了解和管理自然環境之資訊。

遙感探測之感測器，一般可歸類為被動式感測器及主動式感測器兩種。被動式感測器係指感測器本身無法提供檢測地表物體所需之電磁波，必須經由接收地表物體反射或散射太陽輻射能之能量強度，以亮度值型式，記錄地表資訊，現階段大部分資源衛星所攜帶之感測器及航空攝影飛機所攜帶之多光譜影像感測器或高光譜影像感測器，均屬於此種被動式之感測器系統。至於主動式感測器係指由感測器本身放射檢測地表物體之電磁輻射能，而部分電磁輻射能之能量會被大氣散射，其餘之能量可穿透大氣，並於接觸地表物體時，被地表物體反射，感測器再藉由接收此反射之能量強度，以提供地表之環境資訊，目前雷達感測器即屬於此種類型之系統。此外，遙測影像若依感測器之載台則可分為空載之遙測影像與衛星影像兩類，二者飛行高度不同，故具有不同之地面解析力及涵蓋範圍。

在植物資源方面，因遙測資料具有空間、時間及光譜等三類特性，故在空間特性方面，其適用於大範圍之資源監測或植生調查；在時間特性方面，可以定期通過同一地區並記錄分析以作為變遷偵測；在光譜特性方面，光譜區域涵蓋了可見光與非可見光，故可計算植生指標。因此在不同時間、空間與頻譜條件下之遙測資料，其萃取之植生指標常被用於植群與變遷之相關分析。

綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光之特性，故應用多頻譜資訊於植物資源之探測，多使用可見光與近紅外光之比值或差值，即所謂之植生指標。植生指標依其計算方式，大略可分成三類，包括：

1. 多頻譜資訊之單波段(Individual MSS channel)，如使用 MSS 之 CH4(綠波段)、CH5(紅波段)。
2. 多頻譜資訊之各波譜比值(Band ratios)，如 R75＝CH7/CH5。
3. 多頻譜資訊之波譜直線式組合(Linear combination bands)，如常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。

常態化差異植生指標(NDVI)係為近紅外光波段與紅光波段之差與這兩波段之和的比值，可以用來判別植生反射量之多寡及監測植生變化。常態化差異植生指標之計算原理，係採用健康的綠色植生在近紅外光有強烈反射且因光合作用對紅光有強烈吸收的特性，其公式一般表為：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

式中 NIR：近紅外光反射值

R：紅光反射值

常態化差異植生指標值域介於–1～1 之間，NDVI 值小於零之像元，通常屬於非植生之雲層、水域、道路及建築物等，而指數越大，代表綠色生物量越多。NDVI 較一般植被比(Vegetation Index, VI＝NIR/R)來得嚴謹，VI 可測定某地區之相對綠度，但對地區間及季節間則會產生頗大之差異，而 NDVI 則改善了此種情形，此乃因該指標具有常態化效果，可減低地區間及季節間因光能量不同所造成之波譜反射差異，故為植物生長狀態及植被空間分佈密度之最佳指標之一，其已被廣泛應用於測定綠色植物之光合作用、植物之覆蓋率及生物量等。例如許多學者常以法國 SPOT 衛星影像分析，以推求葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)或評估其綠色植生量之變遷情形及植物含水量之變化。另台灣之華衛二號具有更高之遙測對地解析度：全色態(黑白)影像 2 公尺、多頻譜(彩色)影像 8 公尺，更可以定期針對地表植物生長狀況、健康情形與環境變遷提供最新資料，以供監測與評估分析之用。

植生方法篇

目錄

五. 特殊地植生.....1
5.1 崩塌地.....1
5.2 泥岩地區.....4
5.3 紅土地區.....8
5.4 工址周邊.....10
5.5 緩衝綠帶.....18
5.6 防風定砂.....20
5.7 礦區.....27
5.8 廢棄物處理場.....31
5.9 坡地綠美化.....33

表 植-5-1 泥岩地區主要坡面保育工法 植-5-5
表 植-5-2 沿海地區環境逆境之因應措施 植-5-25
表 植-5-3 石灰石礦區捨石場及採掘跡適用植生工法 植-5-29

圖 植-5-1 崩塌地植生工程計畫與作業流程圖 植-5-1
圖 植-5-2 河川護岸植栽示意圖 植-5-13
圖 植-5-3 河川護岸植栽示意圖—原生景觀植物 植-5-14
圖 植-5-4 巨石護岸及植栽示意圖 植-5-15
圖 植-5-5 格框植生護岸及其配合植栽示意圖 植-5-15
圖 植-5-6 河川護岸植栽示意圖—親水護岸及休閒遊憩區 植-5-16
圖 植-5-7 苗木栽植法 植-5-21
圖 植-5-8 築堤植生法 植-5-22
圖 植-5-9 築溝植生法 植-5-22
圖 植-5-10 甜根子草草苗栽植 植-5-25
圖 植-5-11 運用優型樹單植 植-5-40
圖 植-5-12 雙植 植-5-40
圖 植-5-13 三植之形式圖 植-5-41
圖 植-5-14 喬木、灌木及草花所組成的生態優勢，即為群植 植-5-41
圖 植-5-15 列植 植-5-42

五. 特殊地植生

5.1 崩塌地

崩塌地之植生方法與一般邊坡之植生方法不同，除需考慮崩塌地之規模及安定機制外，亦應就其周邊植生及環境條件，評估及確立植生施工之優先順序及植生綠化之目標。分別說明如下。

5.1.1 植生計畫流程

進行崩塌地植生工作時，必須分成擬定計劃與植生工程施工兩階段進行，並且配合現地環境特性及相關技術之應用，以期達到原計畫之植生成效。關於植生工程計畫之擬定與作業流程，如下圖植-5-1 所示。

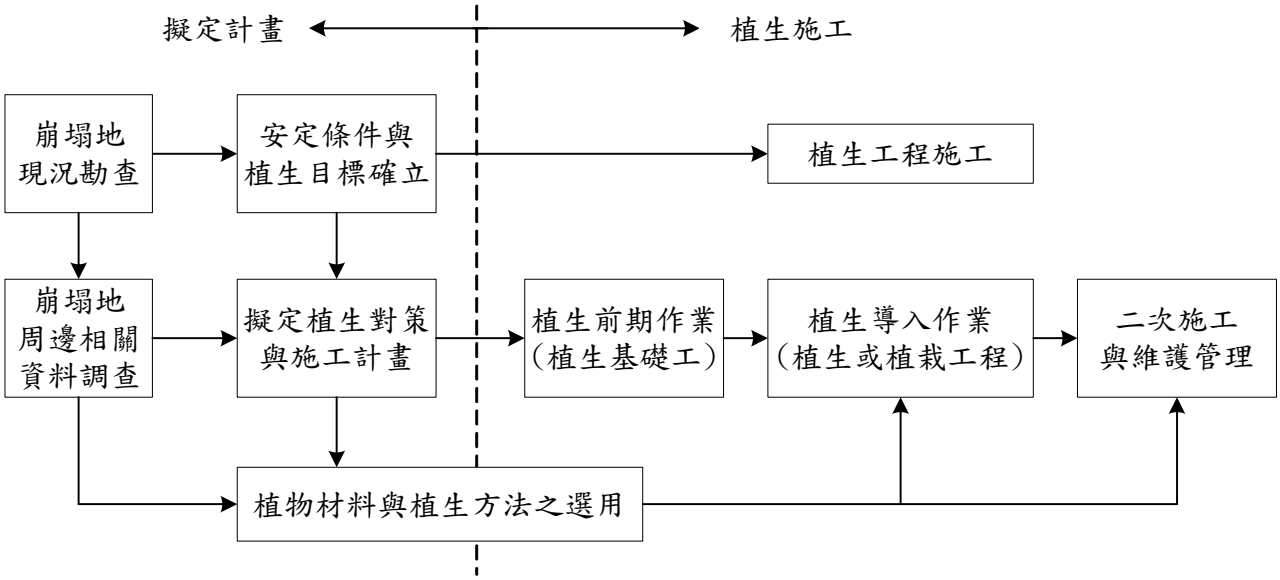


圖 植-5-1 崩塌地植生工程計畫與作業流程圖

5.1.2 植生導入作業

崩塌地植生方法為避免對生態系的造成影響，進行植生工程的施工時需注意各類樹種之生長特性與適應性，分別進行植生導入作業，所使用的種類，木本植物應以當地種為佳且選擇陽性樹種為宜，而一般草本植物因初期的根莖生長快速，但根系發展的深度則遠不如木本植物，因此為達最佳的效果，建議採草本植物與木本植物混合散播，或先期採用草本植物導入，之後再進行二次、三次木本植物導入，再配合後期養護管理作業，方能真正達到復育之目的。

若崩塌地可能引起下游地區的土砂災害，對人民的生命財產有直接的影響，或者其立地條件不佳，建議以原生種的草本植物作為初期導入之材料，配合上中、長期之木本植物的撒播與栽植，來促使裸露地之植被復育。因為草類生長期多為一至二年生，歷經一段時間後便會自然衰退，難以長期保護坡面，而中期導入木本植物可以減少在初期時與草本植物發生養分競爭之缺點，並且木本植物之根系可真正發揮錨定與水源涵養作用，在坡面已具初步穩定情況下，逐漸依照「裸露地→地被植物→一年生草類→多年生草類→陽性樹種群落→陰性樹種群落」之情況演替，最終可形成複層植被之完整體系。

崩塌地植生依坡度、土質、硬度及立地環境、周邊土地利用及植生綠化目的，採取適當工法，同時配合妥善排水與擋土措施，才能達到植生覆蓋效果。依九二一地震崩塌地植生綠化整治規劃所列，其中 13 種適於較為簡單易行之植生綠化方法，包括如下：

1.坡面處理
2.坡趾擋土牆
3.坡面排水
4.人工撒播
5.種子噴植
6.鋪網噴植
7.鋪肥束網帶配合噴植
8.打木樁編柵─植生樁
9.打鋼筋樁編柵鋪網噴植
10.坡趾植栽
11.袋苗穴植
12.草苗栽植(扦植)
13.植生帶鋪植

其中排水依位置不同可分為坡頂排水、坡面排水。一般排水工程所使用材料可依現場實際需要，採用適當材料施作，但應順應地形、減少地面擾動。

5.1.3 植物材料種類之選定

崩塌地於不同之環境條件下，各地點所應選用之植生方法與植物材料也不同，在立地條件較差的崩塌地，建議應多優先採用草本種子導入，因為草本植物初期生長較快，可有效快速地安定坡面，達到減少沖蝕、增加安定性的目的；而在立地條件中上的崩塌地區，可採用草木本植物混植的施工方式，以生長快速的草本種子，配合後期演替成林之木本植物，來構成崩塌地之複層植被，以回復重建原有之林相與生態體系。

崩塌地一般的立地條件較差，同時坡面與堆積區之土石材料尚未牢固且孔隙發達，自然復舊演替費時較長，易釀成嚴重的二次土砂災害。尤其在崩塌地面積

較大之地區，依崩塌地的立地條件，以經濟可行之人為植生植物之導入實屬必要，而崩塌地整治植生應用植物，則可以下列各因素考量而綜合判斷之，並選擇適用之植物(詳附錄 6.1)。

1. 崩塌地自然演替之優勢植物，易於採種，繁殖且生長快速者。
2. 荒廢地造林適宜樹種，有充裕苗木供應者。
3. 防災功能較強或水土保持推廣應用之木本植物種子、扦插木樁材料等，適於崩塌地植生施工或生長者。
4. 水土保持推廣應用草類或豆科草本植物，可大量獲得種子、快速植生覆蓋，且其長期推廣而未發現侵略性危害之植物。

5.2 泥岩地區

5.2.1 泥岩地區之區域特性

1. 範圍與分布

台灣泥岩主要分佈於西南部麓山帶、東部海岸山脈南端以及恆春半島等。海岸山脈之利吉層即屬國際聞名之混同層，是在泥岩中夾雜種類繁多且大小不一之外來岩塊，為板塊運動的一項明顯之證據。西南部麓山帶則是台灣泥岩覆蓋面積最廣之處，其範圍北起嘉義，南至高雄，西起台南縣六甲、官田、新化、關廟以至高雄岡山，東緣則自台南縣之關子嶺、北寮、玉井、南化以至高雄旗山，涵蓋面積超過一千平方公里。

2. 土壤沖蝕

泥岩因地質年輕，岩石膠結不良，遇水很快迅速崩解，又因受過度壓密作用，當壓力消除或受雨水淋洗時，由自身減壓所造成之裂隙，導致雨水向泥岩內部迅速滲入，使岩質軟化，易造成土壤侵蝕及流失。根據調查，裸露坡面之年沖蝕深度約六至八公分，最高甚至可達十公分以上，為台灣最易沖蝕之土壤，亦造成其地區河川之泥砂含量增高，其輸砂量遠高於世界主要河流。

3. 土地利用

泥岩區的土地使用型態除建築用地外，大致可分為保安林地、農地及裸露地。其中以林務局所屬之保安林地所佔面積最大，全區均以造林為主。農地以果園型態的農場經營為主，種植的作物主要有龍眼、芒果、荔枝、香蕉、棗子等果樹及短期作物樹薯、地瓜等。

由於泥岩地質遇水軟化，乾燥後能形成堅硬的不透水層，因此農民普遍設置農塘、土壩、土堤來蓄積雨水，以做為灌溉或養殖魚類、雞鴨鵝等家禽之水源。另就無經濟價值的裸露地而言，地上除了一些入侵植物，如銀合歡、艾納香、牧地狼尾草等優勢植物外，木本植物甚少，植物覆蓋度小，因此土地使用度甚低。

5.2.2 泥岩地區坡地保育方法

依現場調查及相關資料彙集所得，主要應用坡面保育工法如下表。

表 植-5-1 泥岩地區主要坡面保育工法

項目	坡面排水工程	基礎安定工程	坡面植生工程	農地水土保持(果園)
主要工法	噴漿溝＊	整坡 (坡度與坡面整理) 土堤 土壩 蛇籠與箱籠	植生帶鋪植 肥束網帶鋪植	農塘 (配合豎管排水)
其他工法	R.C.混凝土溝＊ 漿砌石溝 草溝 涵管排水	菱形鐵框(固定框) 混凝土型框 加勁擋土牆	鋪網噴植 廢輪胎護坡植草 土壤袋植生 草皮噴植 打樁編柵 草苗栽植 林木栽植	山邊溝 (配合安全排水) 果園覆蓋、敷蓋

＊需配合防滲處理(使用土袋包或柏油封底處理)

1. 挖方坡面

泥岩人工挖方邊坡之整地應注意事項如下：

(1)坡度應緩於 1：1.5。

(2)每 5m 高差應設置階段及內斜式截水溝。

(3)坡面階段平台之寬幅不宜小於 2m。

(4)階段平台須採內斜且斜度應在 5%左右。

(5)坡面等高方向約 30m 間距，應設置一縱向(混凝土)排水溝，並配合溝緣防沖蝕處理。

2. 坡腳穩定工程

泥岩地區坡腳穩定措施以混凝土擋土牆與石籠為主，其中又以混凝土擋土牆佔多數，每逢雨季混凝土擋土牆損毀率相當高，多數係肇因於基礎受水流淘空或軟化沉陷及土體水壓宣洩不良所致，損毀之擋土牆又以重力式雙面模製之牆體佔多數。由於泥岩坡腳穩定措施係坡面安定與道路暢通之所繫，因此對泥岩地區擋土牆之設置須依其立地特性，如地質結構、坡面水文條件等而採不同之設計對策。

3. 坡面排水

(1)坡頂截水溝

泥岩坡頂覆蓋層地質常為礫石、砂岩或砂壤及破碎頁岩，其透水性佳，故坡頂截水溝應以複式混凝土溝或噴漿水溝較為適宜。

(2)坡面階段截水溝

縱橫向排水溝槽的挖掘，常使該處成為坡面最脆弱之區域，其損壞率極高。因此工程處理措施上須特別留意如下：

①溝槽挖掘後應先充分灑水使溝底基礎完全密實後，再施行排筋或鋪網作業。

②混凝土鋪設以採高壓機具噴覆為佳。

③設計之溝體應採貼覆式且兩側應略低於原地表。

④兩側與原地表接合處應採防滲蝕設計，並密植蔓性且耐旱植物。

5.2.3 植生工法

人工整坡坡面之植生工法，應注意下列事項:

1. 施工過程中應儘量減少挖穴、開條溝等造成坡面攪動之措施。
2. 施工後應能立即產生防止表面雨水侵蝕之效能。
3. 施工後能改善該坡面立地條件，營造穩固之植物生長基盤，防止施工目的種子(或發芽後)受沖蝕流失滑落之現象。

5.2.4 植物材料

1. 泥岩坡腳淤泥緩衝帶植物：狼尾草、苦藍盤、田菁、夾竹桃、黃荊、冬青菊、竹類。
2. 泥岩填方坡腳植物：木麻黃、黃槿、小葉桑、無葉檉柳、水黃皮、鐵刀木、九芎、雀榕、苦藍盤、馬纓丹、相思樹、白水木、構樹、草海桐、竹類。
3. 坡腳箱籠綠化應用植物：垂榕、雀榕、黃槿、九芎、小葉桑、刺桐、石栗、竹類。
4. 造林樹種

(1)喬灌木：欒、赤桉、稜果榕、雀榕、構樹、相思樹、鐵刀木、水黃皮、草海桐、烏桕、九芎、番石榴等。

(2)地被植物：百慕達草、類地毯草、百喜草、羅滋草、蟛蜞菊、馬纓丹。

(3)土堤植物：百喜草、蟛蜞菊、奧古斯丁草、類地毯草、百慕達草、山芙蓉、馬纓丹、日本女貞、春不老、月橘。

(4)農塘周邊植物：蘆葦、水柳、冬青菊、黃槿、蟛蜞菊、長穗木、春不老、稜果榕、構樹、苦藍盤、雀榕。

5.3 紅土地區

5.3.1 分布及特性

紅土台地堆積層廣泛分布於本省西部丘陵、山地、海岸台地或河階台地。依據經濟部中央地質調查所調查報告，本省自北向南有：林口台地、楊梅台地、中壢台地，湖口台地、火炎山、鐵砧山、大肚山、八卦山、凍頂台地、嘉義觸口台地及高雄嶺口台地等。

紅土台地因地形較為平緩，同時又靠近都市，自然成為山坡地開發及發展的主要目標。坡地的開挖常破壞原有的植生覆蓋，造成坡面裸露，遇雨產生沖蝕有崩塌之危險。如何使開發過程中產生的裸露坡面能迅速恢復植生，達成穩定邊坡之功效，實為當務之急。

5.3.2 邊坡基礎處理

1. 坡面不安定土石應予以清除，並行整坡，坡面斜率一般以 1:1.5 為原則。
2. 一般從上坡至下坡沿等高方向每隔 40～50cm 開一淺溝，礫石層不需開溝。
3. 每平方公尺施用有機肥 4kg、矽酸爐渣(或苦土石灰等酸性土質改良劑)0.4kg、43 號複合肥料(或同級品)0.05kg。

5.3.3 植生導入工法

以經濟效益而言，紅土層植生工法以鋪植生帶法或噴植法為佳，礫石層植生工法以噴植法(不需開溝處理)為佳，茲分述如下：

1. 鋪植生帶法：
   (1)適於紅土層邊坡，本工法不適用於礫石層邊坡。
   (2)需完成植生前之土壤處理後，再進行植生帶鋪設，為密接土壤，一般從上坡沿等高線方向鋪設，重疊 5 公分並配合稻草蓆敷蓋，以冂型鐵絲固定於坡面上。
   (3)植生帶內草種子含量，每平方公尺含百喜草 5g、類地毯草 6g、百慕達草 4g 為原則。
2. 噴植法：
   (1)適於紅土層邊坡及礫石層邊坡。

(2)每平方公尺施用 15g 草種子(百喜草 5g、類地毯草 6g、百慕達草 4g)，與有機肥料及黏著劑充分混合，以噴植機噴佈，紅土層需再加鋪稻草蓆覆蓋，以保護坡面。

5.4 工址周邊

水土保持工程包括防砂壩、野溪治理、道路護坡、蝕溝控制、安全排水、堤防、護岸、崩塌地處理工程及環境保育等工程，其工程構造物仍以施工快速、強度高之混凝土工法居多，讓植物無適當的生長空間，致使當地景觀及棲地生態遭受破壞。若能於工程週邊導入適地適生之植物材料，除可恢復植被覆蓋，亦可達到美化景觀、改善微氣候及提供野生動物棲地之效果。

5.4.1 工址週邊植物材料選用

1. 植物材料選用原則

植物栽植時，除依據植物之生理生態習性及景觀工程配置設計而選用植物外，應考量其是否具備邊坡與土壤保育功能、調節微氣候的功能，及符合生態效益與植物材料之供應來源等。因近年來大量推廣自然生態工法，於工程週邊之植栽規劃設計應導入生態綠化之觀念，其植物材料選用原則如下：

(1)符合綠化設計目的

植生之目的在加強坡面保護與促進景觀綠美化，包括：遮蔽、防塵、防風、隔音、防潮、防火及水土保持等。因此綠化用植物選定應以選擇適合綠化目的之植物種類為第一要項。

(2)生態環境適應性

植物對生育環境之要求因種而異。選擇適合環境條件的植物為植生工作的基本事項。鄉土植物通常對環境適應性高，多半生育良好，對病蟲害的耐性亦強。另外需進行植生工程施工之地區，往往具有溫差或日照不均、乾燥、土壤不良等對植物生存障礙之因素，在栽植時應盡量去除，但不能迴避時，則需選定環境耐性強之植物。

(3)形態特性與生育特性

植物的生育習性，包括成長之好壞，發芽或萌芽力、繁殖力等。此等性質因植生目的之要求而異，以道路綠化或河岸保護帶等之環境保育為目的之植生工作、通常要求成長良好者，而根系深度對土層之需求與防止沖刷之功能亦有互為因果之關係。

(4)施工與管理

植物之栽植或移植之困難度不同，相同植物在不同成長階段之移植方法亦異。部分植物整年均可移植，亦有移植適期極短者。通常移植容易，成活率高者為施工性良好的植物。植物在栽植後也需要管理。管理包括定期性的施肥、灌水、防寒措施與不定期病蟲害防治等。管理之時間及耗費勞力少、修剪容易或不容易因枝條過長而樹型發生變化之植物即為管理性好者。

(5)供應性

生產量豐富，在市場上容易取得者，容易由產地搬出或運輸者為供應性高。如要栽植環境耐性強之特殊植物，或在廣大的空間做大量植栽等，需作供應性之調查。如選用種子材料，應考慮其是否可大量購得。

(6)生物多樣性

生物多樣性意指造成種歧異度較大之生物群落，在植生材料之選取方面，盡可能增加食餌與蜜源植物，供應生物能量循環動能及提供棲息生活空間等，吸引各種昆蟲並提供生物棲息場所。

2. 種子導入或苗木栽植之選擇

植生之導入方法，在大面積裸露地，為求快速植被覆蓋，通常以播種法為基本，配合栽植工程施工，才能有助於再造成近大自然或防災較強的群落。但景觀植栽設計時，則需考慮植栽之尺度對比、調和，則應以苗木栽植為主。

由於播種形成之群落，其根系之形態或地上部與地下部保持平衡狀態，幾近天然林。因此，其對崩塌、風倒、乾旱等防災機能較植栽形成之群落為高。但苗木植栽施工地區植物群落無法自然淘汰，須繼續較精緻之維護管理。

如以現地種子發芽生長之苗木(實生木)與育苗栽植之苗木比較，其所形成的群落機能有別，坡地要導入植物時，何者較適用，茲以其根系型態之特徵差異敘述如下：

(1)實生木根系較育苗栽植的苗木發達

實生木之根系數雖少，但長且粗，較地上部旺盛，主根發達且能伸長。育苗栽植的苗木根系多但細短，地下部與地上部重量之比值較小，且缺乏主根。在生育基盤較硬或立地條件差的地方尤其顯著。

(2)實生木根系之抗拔強度較育苗栽植的苗木大

實生木因鄰接木間根系之錯綜複雜結成網狀，抑制崩塌效果大。又根系深入裂隙，提高對崩塌的抑制力。植栽木因與鄰接木之絞結少，風化土層之剪力發生較弱的部分。同時，大多數成為單純林之集合體，不易成為有機結構的群落。

(3)實生木抗天然災害力強

實生木進行自然淘汰，會自然地行密度管理，林群整體的落防災力強。而植栽的樹木係單純構造的樹木集合體，很難形成樹木互相有機結合的群落。

5.4.2 植生規劃設計

1. 防砂工程週邊植栽應用

依其工程材料表面透水性之不同，可分為兩大類：

(1)表面具透水性之防砂工程構造物

具透水性之構造物包括：土壩、木壩、蛇籠壩、堆石壩、格籠壩等，這些構造物表面通常具有孔隙，可提供植物入侵空間，種植根系範圍小的草本及藤本植物。綠美化工作先期應以綠肥植物為主，例如黃野百合、田菁、賽芻豆等，待植物生長基質肥沃度達一定標準後，再導入其他需肥量較高之植物。如雲南黃馨、軟枝黃蟬等。

(2)表面不具透水性之防砂工程構造物

不具透水性之構造物包括：混凝土壩、鋼筋混凝土壩、卵石混凝土壩、梳子壩等，如欲導入植生，必須於工程施作之前，先預留栽植槽，同樣可導入根系範圍小之植物，或是利用多孔性的造型模板貼覆構造體表面，創造植物生長空間。

若防砂工程週邊腹地廣大欲設置休憩設施及植栽時，宜選用中、淺根性植物，避免破壞工程結構。建議利用植物種類包括：血桐、雀榕等。

2. 護岸之植栽設計

河溪護岸或保護帶的設置，可減緩河川兩岸土壤侵蝕，截蓄逕流並吸收農園所流失的肥料及農藥，以此過濾水質。而植生保護帶之合理寬度，取決於過濾後放流水之水質，影響放流水水質的變因甚多，如地形、土壤、土

地利用、水文特性與緩衝帶的植生種類及其覆蓋度之不同而有所差異。由於混凝土的結構物將有礙生態環境的自然演替，因此在不影響人民生命財產的情況下，應儘可能以自然河岸為主，及以合乎生態設計之手法保護河岸，復育河岸的自然植被以穩固河岸。

(1)生態上之考量

栽植具有誘鳥、誘蝶之原生樹種，吸引野生動物棲息。選用植物種類切勿使用具侵略性之外來種，如小花蔓澤蘭，破壞當地原有生態環境，導致該區原有棲息之物種消失。

植物種類可使用：山芙蓉、冇骨消、月橘、五節芒、白雞油、臺灣石楠、杜虹花、鵝掌藤、杜英、青剛櫟、百慕達草(狗牙根)、紅楠(豬腳楠)、山棕、小葉桑、野牡丹、朴樹、地錦、楝、烏桕、烏心石等。

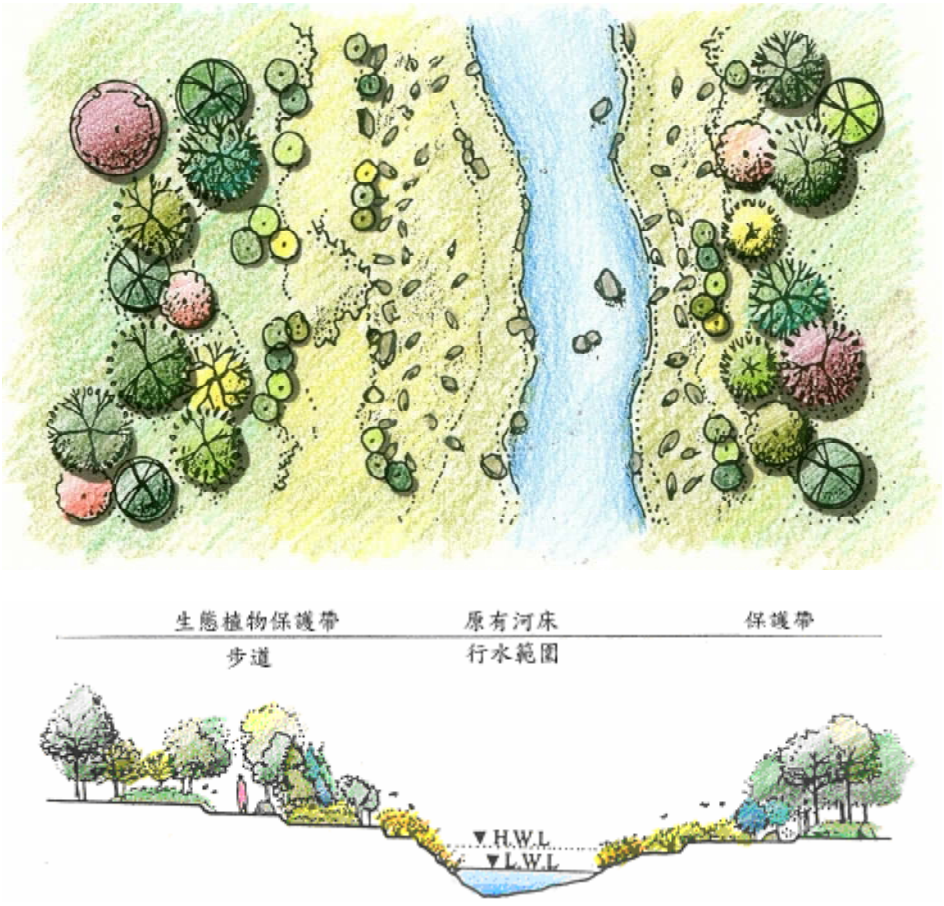


圖 植-5-2 河川護岸植栽示意圖

(2)景觀上之考量

可利用變葉、開花之原生樹種，增加河岸兩旁景觀之變化。植物種類可使用：楓香、欖仁、豬腳楠、臺灣欒樹、山櫻花、流蘇樹、山芙蓉、野牡丹、厚葉石斑木、無患子等。

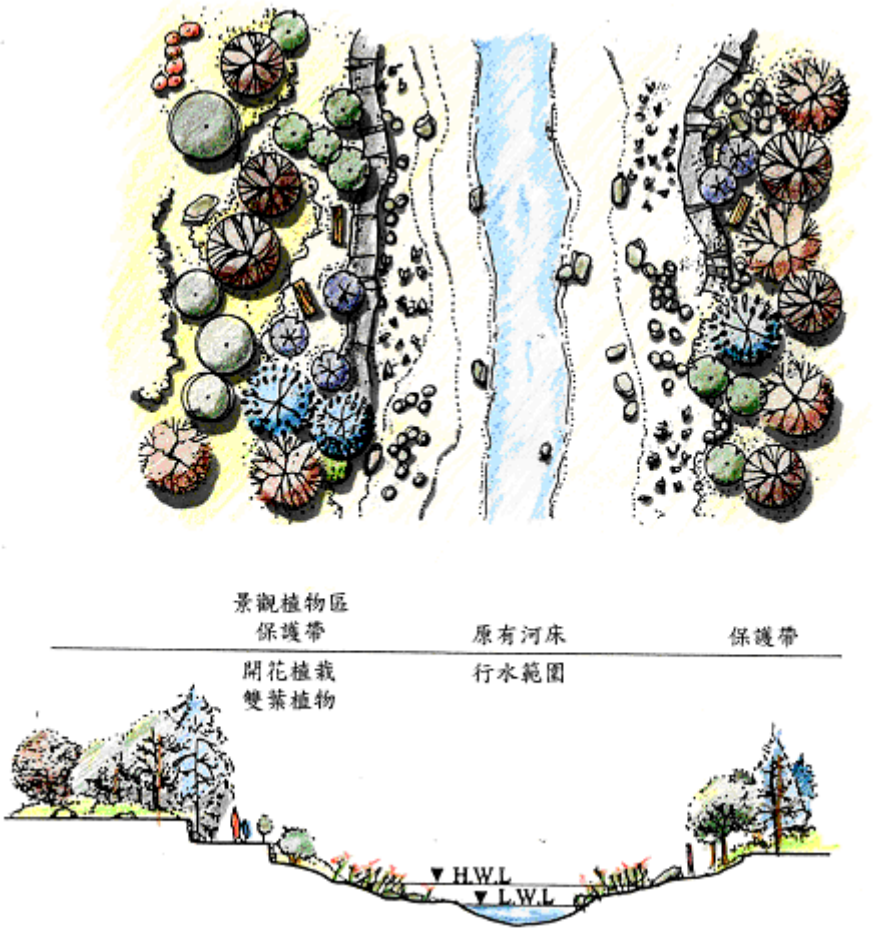


圖 植-5-3 河川護岸植栽示意圖—原生景觀植物

(3)安全上之考量

配合固床工，於兩岸邊坡利用現地之巨石與石礫，或是格框植生工法，上層填植生土袋，下層堆疊卵石的方式，保護河岸防止沖刷。於施作結構物的隙縫中，栽種固土性強的草花、蔓藤植物或高度較低之喬灌木。植物種類可使用：地錦、雲南黃馨、苦藍盤、構樹、稜果榕、蟛蜞菊、雞屎藤…等。

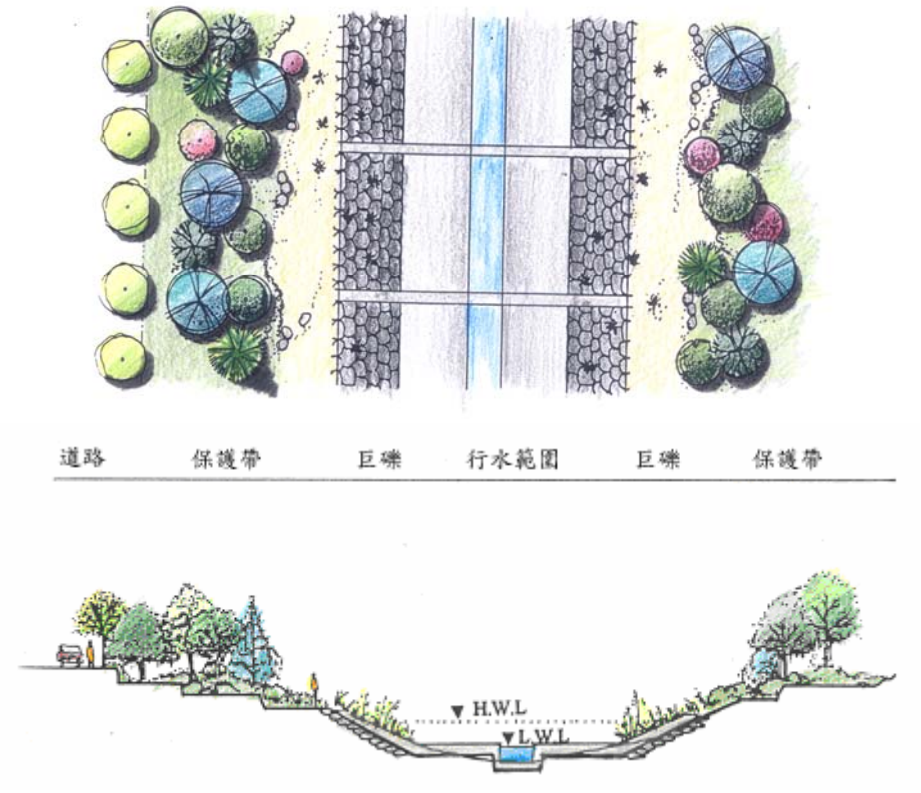


圖 植-5-4 巨石護岸及植栽示意圖

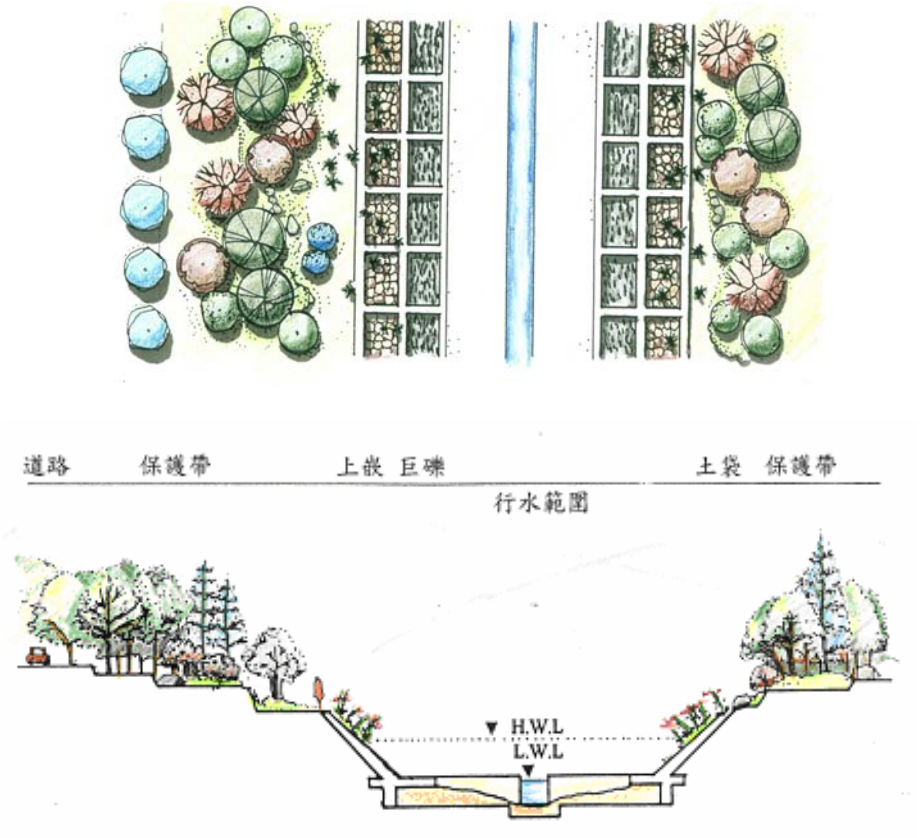


圖 植-5-5 格框植生護岸及其配合植栽示意圖

(4)遊憩之考量

腹地寬廣的河岸，若非生態敏感區，可視基地狀況導入親水遊憩活動，但需隨時注意該區之清潔與維護，以免破壞水質。可利用多層次的水生植物過濾淨化水質。

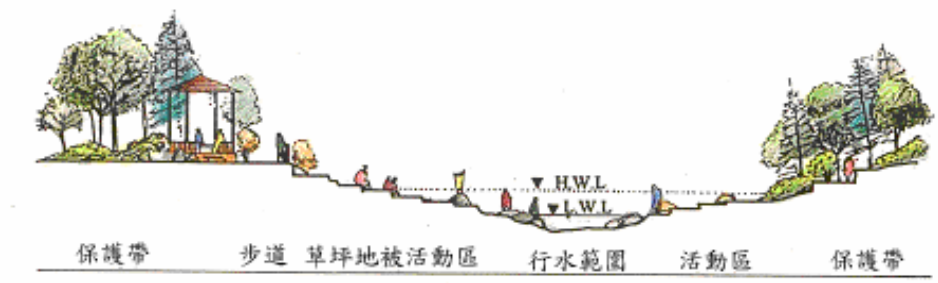


圖 植-5-6 河川護岸植栽示意圖—親水護岸及休閒遊憩區

3. 不同護岸之植生設計類型

河岸植生設計時，應重視自然環境保育及與週邊植生景觀之連貫性，植生目標之設定應以營造生物多樣性之自然河川型態，以植生之營造促進生態系之機能，包括營造昆蟲類及鳥類的良好棲息地在內。

依植生設計目標及依期望植生覆蓋及演替時程之不同，河溪護岸可區分為快速植被覆蓋型、促進演替植被型、特定河岸植被型以及長期演替植被型。

5.4.3 應用植物

1. 喬木層植物

相思樹、榕樹、茄苳、白鷄油、欖仁、雀榕、楓香、青楓、山黃麻、烏心石、樟樹、血桐、稜果榕、臺東漆樹、青剛櫟、黃槿、鵝掌柴、黃連木、刺桐、苦楝、臺灣欒樹、無患子、烏桕、賊仔樹、櫸、朴樹、流蘇、海檬果、豬腳楠、五掌楠、大頭茶、瓊崖海棠、白匏子、白柏、山櫻花、水黃皮、構樹、水柳、九芎、魯花樹、春不老、臺灣海棗、臺灣海桐、山柚、白樹仔、楊梅、牛奶榕、羊蹄甲、臺灣石楠、野鴉椿、烏皮九芎。

2. 灌木層植物

山黃梔、通脫木、月橘、厚葉石斑木、大葉樹蘭、朱槿、水麻、山芙蓉、小葉桑、火筒樹、金露花、桃金孃、野牡丹、鵝掌藤、臺灣山桂花、日本女貞、杜虹花、山棕、苦藍盤、長春花、草海桐、臺灣黃楊、烏桕仔、臺灣火刺木、胡枝子、海桐、絡石、雲南黃馨、滿福木、海埔姜、冇骨消、蘭嶼海桐、臺灣馬桑、蒜香藤。

3. 地被草本層植物

臭腥草、三白草、煉莢豆、穗花木藍、香葵、倒地蜈蚣、波斯菊、蟛蜞菊、臺灣百合、文珠蘭、輪傘莎草、類地毯草、地毯草、竹節草、狗牙根、假儉草、高狐草、五節芒、兩耳草、百喜草、甜根子草、奧古斯丁草、馬尼拉芝、高麗芝、姑婆芋、水燭、月桃、野薑花、美人蕉。

4. 藤本層植物

鵝鑾鼻蔓榕、薜荔、越橘葉蔓榕、洋落葵、營多藤、地錦、虎葛、山素英、雞屎藤、楓葉牽牛、馬鞍藤、軟枝黃蟬。

5.5 緩衝綠帶

5.5.1 相關名詞

1. 植生過濾帶（vegetated filter strips）

   沿著所有的河川設置綠帶，有過濾泥砂及營養鹽之功能。

2. 水庫保護帶

   位於由水庫滿水位線起算至水平距離 30～50m 之範圍（水土保持法之規定）。

3. 水岸保護帶

   在濱臨天然河道或溪溝地區，保留或營造 5～10m 寬之保護綠帶，以安定水岸、淤濾泥沙，並過濾污染物，減緩逕流為目的。

4. 道路保護帶

   於道路兩側營建 3～5m 寬之綠帶，以穩定坡面及美化環境。

5. 防火綠帶

   在易發生野火之公墓地或草生地之周邊，以防火植物營建防火綠帶，以阻絕野火之蔓延，保障鄰區之安全。

6. 河道保護帶

   為河道之安全、水鳥(waterfowl)之保護及集水區水源污染保護等目的而設置於河道兩岸之保護帶。

7. 沼澤保護帶

   沼澤地因其植物群落不同有下列二類生態系：

   (1)草澤(marsh)，如台灣北部關渡之草澤，主要草類有鹼草等。

   (2)沼澤林(swamp)，如台灣之紅樹林。

5.5.2 水庫保護帶之植生方法

1. 水庫沿岸裸露區植生方法

   滿水位至低水位間之裸露地區，依其土質條件不同，可採不同植生方法。

   (1)裸露崩積土

   水庫裸露邊坡崩積土，因含土量較多、土壤肥力較佳、坡度緩、土壤硬度適宜，可用打樁編柵、砌石牆、不織布植生帶配合鋪網，及種植耐水

性強之百慕達草、巴拉草、扁穗牛鞭草或兩耳草，木本植物可栽植水柳、樹杞、垂柳等。

(2)裸露礫石地

礫石地土壤含量少，缺水分及養分，植物不易入侵且生長不佳。植生方法需採用客土袋植生，並用鐵栓予以固定。或配合特殊護網袋、注入式客土袋或植生。

(3)裸露岩壁

岩壁之岩質硬度、坡度較陡，無水分及養分，不易栽植植物。在有崩壞之虞或下方淘刷時，需配合固定框等安定設施。

2. 水庫保護帶植生方法

水庫保護帶位於水庫滿水位上方水平距離 30~50m 之邊坡為界，此區域的植生旨在造成上下層林相繁茂的複層林，藉不同植物發揮不同功效，如喬木的穩定淺層土壤安定，灌木及草本植物對地表的覆蓋，以防止地表逕流沖蝕及雨滴沖蝕。

(1)植生基礎工

①固定框：儘量使用鐵框或柔性坡面防沖固定材料。需用水泥固定框時，框內不封底。

②排水：設坡頂排水溝、坡面排水溝或暗管以排除坡面水分。

(2)植生方法

①框內植生法。

②生態造林法：以本地植物之小苗密植之。

(3)保護帶植生植物

適合當地環境並具穩定邊坡效用之木本植物及草類。

①草類有百慕達草、百喜草、克育草、巴拉草、野薑花等。

②木本植物則有水柳及垂柳、樟樹、黃槿、九芎、白飯樹等。

5.6 防風定砂

台灣地區沿海砂丘地，尤其是指西部桃園、新竹、苗栗及中部彰化、雲林等縣沿海地區，因砂地土壤係單粒結構。且本身膠結力低、保水力弱，故容易被風所吹動。尤以每年冬季季風期間，飛砂與鹽風之作用致使農作物生長受損、死亡，並嚴重影響當地之生活環境品質。為有效防治此等災害，需配合地區之地形、氣候等條件，於沿海風衝地區，建造海岸防風林、耕地防風林或攔砂籬構造物等，以減少風砂及鹽霧，改善沿海地區作物生長環境及居民生活品質。設置防風定砂植生之目的包括：

1. 減低風速、改變風向及增加蔽風範圍。
2. 防止塵土飛揚及砂丘移動。
3. 保護作物生長及防止風力直接危害。
4. 減少道路、村舍及港埠設施之危害。

5.6.1 海岸防風林

1. 適用植物

   台灣地區海岸防風林主要為木麻黃純林，但因其純林甚易衰退，且易受星天牛、黑角舞蛾等為害。故以其他樹種或以混交造林方式代替木麻黃純林為目前防風林研究及經營之方向。

   目前台灣地區主要應用推廣之海岸防風林造林樹種有木麻黃、黃槿、草海桐、瓊崖海棠、海檬果、福木、檉柳及林投等。

2. 海岸防風林之設計規格

   (1)樹高

   理論上樹高越高越佳，但海岸地區由於氣候環境惡劣、林木生長不易，尤以海岸第一線必須藉防風籬之保護方能使林木成活，進而逐年成長。林木超過防風構造物之高度，則易受風害及鹽害。通常第一線林帶林木成長高度極限在 5～6m 左右。

   (2)林帶寬度

   海岸林帶寬度原則上越寬效果越佳，但由於土地取得不易，而且土地需經濟利用，故林帶不宜太寬。原則上林帶寬度以在 80～160m 為宜。若考慮林帶的更新問題，則林帶寬度可適度增加。

(3)一般苗木栽植模式(以木麻黃為例)

在海岸砂丘地區，每間隔 1m×1m 栽植苗木一株。但在地形崎嶇或岩石裸露之處可採用半規則或不規則之間距栽植。栽植時先挖植穴，深寬各 30cm，穴內先埋稻草後再置土壤改良材料 1kg 及客土 0.01m^3。栽植配合表土複合肥料施放及苗木上方插草定砂。插草使用之稻草長 80cm，插草後地上部高 30cm。苗木為含土球、根系之塑膠袋苗，袋苗之含土壤需直徑 9 公分以上，土壤深 10 公分以上。土壤依 1 立方公尺粘質壤土：100 公斤堆肥：10 公斤複合肥料混合使用。其栽植方式詳見圖植-5-7。

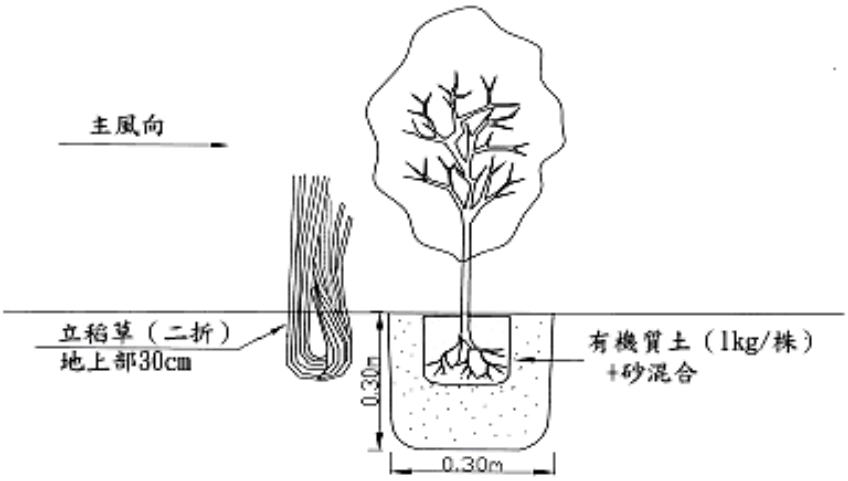


圖 植-5-7 苗木栽植法

(4)特殊地點栽植法

①築堤栽植法：海岸泥質灘地或土壤高鹽分危害地區，先以推土機構築高 1m 寬 1m 之堤後，讓雨水自然淋洗及減低土壤鹽度後，再於堤上栽植防風林植物並於植物風上側配置防風網之栽植方法。此方法在雲林、嘉義縣沿海海埔新生地、高鹽分地區適用，其施工方式詳見圖植-5-8。

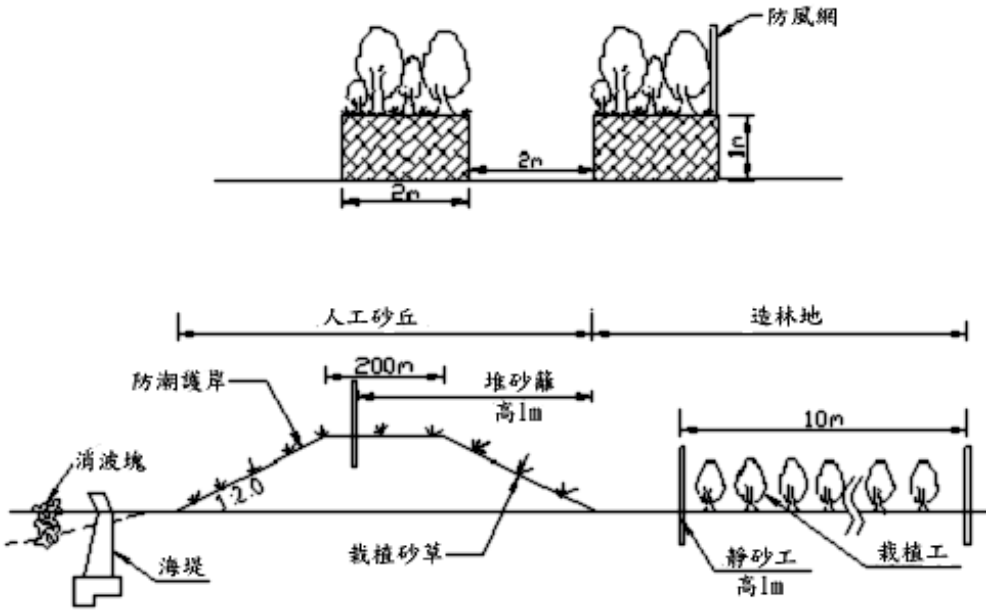


圖 植-5-8 築堤植生法

②築溝栽植法：在風害或鹽風危害地區，先將地面挖掘高 0.6-1.0m，寬 1-1.5m 之溝堤，溝內栽植木麻黃等防風植物，堤上栽植龍舌蘭、林投、草海桐、狼尾草等抗風、抗鹽分強之較低矮植物，藉以保護溝內防風林植物之初期生長。此方法適用於澎湖等砂源較少、土石堅硬、風力強之地區，其施工方式詳見圖植-5-9。

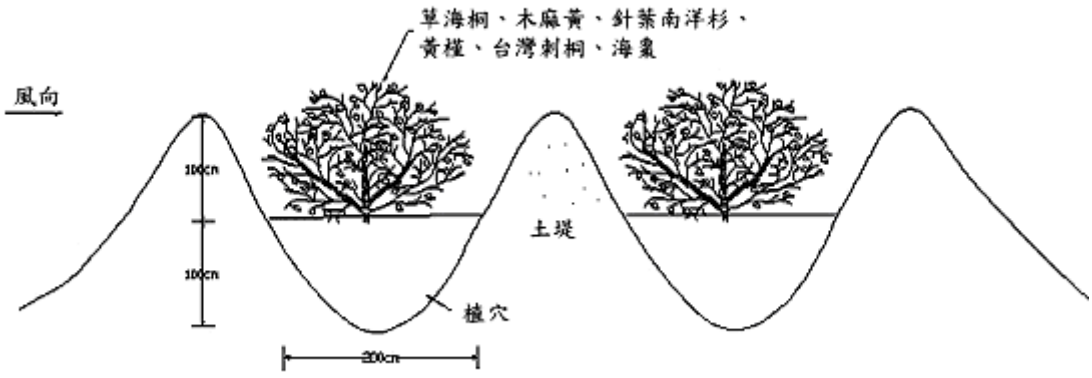


圖 植-5-9 築溝植生法

5.6.2 耕地防風林

1. 適用植物

一般耕地防風林之樹種，以枝條堅韌、富有彈性、萌芽力強、適於當地之土壤、抗風力強之植物為宜。目前台灣地區現存耕地防風林之樹種主要為

有木麻黃、長枝竹、朱槿、觀音竹、無葉檉柳、黃槿、夾竹桃、甜根子草等，通常以單行純林或混交林之形式，垂直於主風向之方向栽植於田埂上，以減低風速、防止風害。其中採用之樹種以木麻黃最多。

2. 耕地防風林之設計規格

(1)高度

防風林高度越高則其背後之保護距離越大。

(2)密度

一行排列之耕地防風林密度越大，則其背風狹小範圍之風速減低效果越佳，但防風之有效距離將減小。一般而言，以木麻黃防風林為例，其密度以 60～80% 最佳。

(3)方向

耕地防風林帶之方向，一般是與主風向垂直，因其最具防風效果。但在風速甚大、風力極強之地，則迎風面所受風之壓力過大，可能危害防風林本身之安全，故防風林之方向，宜依其風速之大小而做適量之改變。大概在最大風速 15m/s 以下者，可與風向成垂直。超過 15m 以上者，可酌量改變方向，使成 65°～75°之夾角。

(4)防風林之完整性

單一防風林帶之外側區域，農路或水溝穿越林帶而形成之缺口。或林木因風害、病蟲害等而枯死所形成之風口，常因風速增強而造成嚴重之危害。因此防風林帶之完整與統一規劃甚為重要。如欲於林帶間距之中間加植另一防風林帶時，應避免於耕地上造成長短不一之林帶端，而使兩端之作物遭受危害。已經產生長短不一之林帶端，應設法即速補植延長，使其完整，或試於林帶末端加植與主林帶成垂直或成適當角度之翼林帶，亦可減少風速消弭旋流。無法避免之農路與水路穿越防風林帶時，應盡量使風口保持最窄寬度。

5.6.3 定砂措施

1. 攔砂籬之種類

海岸飛砂地設置攔砂籬以攔截砂石，再種植甜根子草、濱刺麥、林投等定砂植物，以穩定砂丘，是最常用且最有效之方法。依其材料、構築方法之

不同略可分為柴枝攔砂籬、蘆葦攔砂籬、竹條攔砂籬、木皮攔砂籬及竹梢攔砂籬等。

台灣目前所常見之攔砂籬以竹片或竹梢攔砂籬為主。因台灣盛產竹子，價格便宜，能大量生產與採收，用以建造攔砂籬頗符合就地取材、物盡其用之原則。建造方法是以每隔 4m 釘一竹樁，打入地下約 50cm，露出地面 1m，以桂竹細枝橫向連結，並用竹梢編成。

2. 砂籬之設計規格

(1)攔砂籬角度：以與風成 60°～90°最佳，因其沉砂量最多。

(2)主籬長度：攔砂籬有長至數百公尺者，亦有僅數公尺者，端視砂源之多寡及其欲保護之面積而定，無一定之規格與標準。

(3)翼籬長度：一般之攔砂籬都無翼之構造，若欲增加沉砂量而設置翼，其長度應達籬高之 6 倍左右(籬高通常為 1m)，與主籬成 15°～30°夾角安置，才能達到增加攔砂量之效果。

(4)攔砂籬間距：地質脆弱、疏鬆之地，攔砂籬之間距不應太大。通常以間距 12H 之沉砂效果最好。但間距亦不宜太小，否則風下之攔砂籬無法發揮作用，無法達到最佳之經濟效益。

(5)攔砂籬密度：除非質地堅硬，否則攔砂籬之密度不宜太高，以免發生籬前與籬後之嚴重淘刷現象。一般而言，以密度 25%最佳。

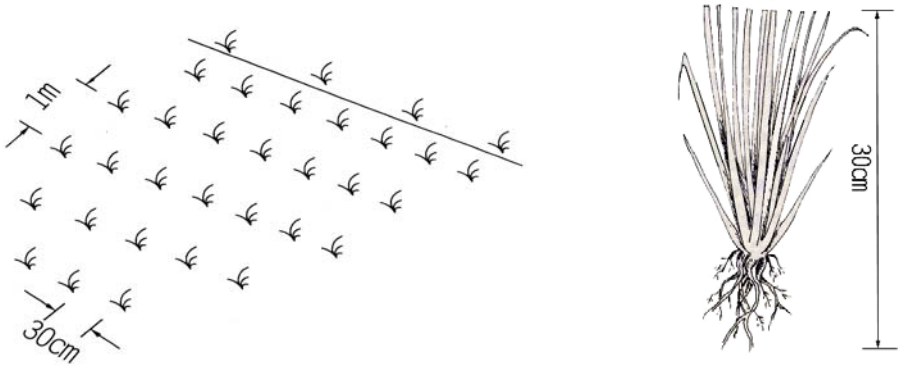
(6)攔砂籬高度：通常以 1m 左右為原則。理論上，攔砂籬愈高，沉砂量愈大，但須考慮材料耐久年限、成本、受風面積及施工方法等。以砂粒之運動型態而言，有跳躍(saltation)、滾動(surface creeping)及飛揚(suspension)三種。其中除飛揚外，其餘兩種運動高度都在 1m 以下，且攔砂籬被沉砂埋沒後可再加高，故高度以 1m 左右為宜。

3. 定砂灌溉

砂丘地部分種植花生、西瓜、香瓜等作物，其土壤含細坋粒較多，灌溉後較不易受風吹動。因其較近內陸，及耕地防風林、防風帶之配合種植，飛砂之現象不如海岸附近之砂地嚴重。如砂地從事灌溉生產，其水分之增加可抑止飛砂之產生。根據崎頂砂丘地噴灌定砂之經驗，風速在 3.0m/s(測高 1.5m)以上時應考慮定砂灌溉。一次定砂灌溉用水量 5～8mm，定砂有效時間為 1～2 天。

4. 插草定砂

砂丘地採用插草來達到防風定砂的目的，為農民所最普遍應用，此法簡單而所費材料及人工不多，尤其春初或秋初應用此法防風效果良好。如落花生播種後每間隔 3～5m 插一行稻草(胡蘿蔔、蘿蔔亦然)。以甜根子草定砂為例，將甜根子草連根拔取後，栽取 30 公分長含根系之草苗材料。栽植時，依等高線挖條溝 15 公分深，施放客土每株 0.3 公斤，客土為粘土 1 立方公尺混合堆肥 100 公斤使用之，成長後有不錯的定砂效果(圖植-5-10)。



(a)穴植式草苗栽植　　(b)甜根子草草苗

圖 植-5-10 甜根子草草苗栽植

5.6.4 沿海地區植生逆境之因應措施

沿海地區植生成功與否，必須克服各種不利草木生長的環境，或減輕其害。所謂逆境之克服，不僅只有一種方法，而是針對當地環境條件，綜合各種對應方法予以實施(表植-5-2)。

表 植-5-2 沿海地區環境逆境之因應措施

逆境環境	植栽選擇	綠化工法
飛沙	定砂植物 深根性 根系強健 耐覆蓋、耐乾旱	竹籬、防風網、定砂籬之建立 種植定砂之地被植物 運用定砂植物
風害	抗風性強植物 深根性 根系強健 枝幹強勁	利用竹籬、防風網降低風速 利用支柱固定植栽 適當密度之配置植栽 選用抗風性強之植物
潮害	抗潮植物 葉片厚實 革質葉片 較厚之角質層	噴水沖洗植物枝葉之鹽沫結晶 設置竹籬、防風網或築堤 考慮植栽位置 選用抗潮植栽

逆境環境	植栽選擇	綠化工法
土壤鹽害	耐鹽性植物 革質葉片 較厚之角質層	客土 整地與設置排水溝渠 選用耐鹽樹種
肥力弱	耐貧瘠植物 具有根瘤 具有菌根	客沃土或添加肥料 先行種植肥料木 選用耐貧瘠之樹種
高溫乾燥	耐旱、耐高溫植物 葉片厚實 革質葉片 較厚之角質層	設置噴灌系統 土壤的改善以增加保水力 地表覆蓋稻草 種植耐旱植物

5.7 礦區

礦區經開採後，留下大面積的採掘殘壁，台面及捨石場等裸露跡地，將破壞自然生態環境及景觀，並引起嚴重的水土保持問題。礦場採掘跡地之道路邊坡穩定、礦區排水設施等需配合必要之工程措施外，並配合植生綠化處理等工作，以確保礦區之安全且減低對自然環境之衝擊。

5.7.1 礦區之立地特性

台灣主要礦產為石灰石礦，粘土礦(陶瓷土礦)及煤礦。石灰石礦與粘土礦同為石礦，其植生方法類似。陶瓷土礦主要分佈於宜蘭縣、台北縣、新竹縣及南投縣等地區，由於礦區分佈面積小，瓷土產量及棄土石不如石灰石礦多。煤礦分佈於北部地區之松山、南港一帶及北投地區，因本省煤礦以進口為主，自產量逐漸減少中，因此瓷土礦與煤礦採掘地，對四週環境之危害，水土保持之問題，不如石灰石礦之深遠。

1. 捨石場之土石性質

捨石場係指礦區開採並取其所需之礦產後，存留於礦區附近或搬離堆積場之廢棄土石堆而言。其成分因礦產種類、開採方法、開採地點而異。石灰石礦區之棄土石，因其岩石層次不同，其成分差異極大，難將其精細分類，茲就其影響植生工作進行之幾種棄石地之性質說明如下：

(1)坡度

坡度係影響棄石地植生工程及未來土地再利用之重要因素。坡度太大之地區，需配合工程護坡與階段之設置，以維護其安全防止土石沖蝕。

目前礦區自然堆積之棄石地邊坡，通常介於 30°～39°之間，堆積之土石遇雨後常有崩塌或沖蝕現象。植生的工作如需在繼續沖蝕的地區進行，將甚難產生植生覆蓋之效果，必須配合有關之輔助措施，如打樁、編柵、覆蓋、護坡工程等，以減緩沖蝕及穩定邊坡。

(2)含石量及粒徑大小

含石量之多寡，受礦業類別、開採方法與岩層結構不同而異。一般而言，含石量多者不僅影響植物本身之生長，亦影響整地、鬆土、播種等工作之進行。

以美國農部棄石地分類標準，粒徑 10″ 以上之含石量大於 1%時，就會影響耕作機器之操作，含石量大於 15%以上者，則不宜以機械方式植生，必須配合人工植生方法進行。若含石量大於 50%以上者，則不適於植生綠化工作。台灣地區石灰石礦區分析結果，粒徑 10″ 以上者約有 15%左右，其影響植生工作之進行甚大。往往造成植物之根系穿透不易，造成水分及養分輸送不易，影響植物之生長。

(3)酸鹼值（pH 值）

捨石場土質之酸鹼度因礦產之類別而異，但大部分在 7.5 至 8.3 之間，可謂差異不大。然部分特殊及問題土壤地區，捨石場土質之 pH 值亦有屬強酸性土壤者，如新竹縣關西鎮玉山石礦，嘉義欣欣水泥採石礦廠等，其部分棄石場土壤 pH 值為 3.5 及 3.7。此類酸性土壤之捨石場相關植生對策，除了慎選耐酸性土質之植生材料外，亦可以石灰之施用而改良之。試驗指出，石灰質鹼性土之改良，施加酸性物質如硫磺粉等，其對植物生長之增進效果不佳。但如施用酸性有機肥或 pH 值約在 3.5～4.0 之間之泥炭土，除可用來降低土壤 pH 值外，另可供給植物生長所需養分，其土質改良效果亦較佳。

(4)植生介質的含肥量

礦區捨石場之有機質含量高低不一。以蘇澳臺灣水泥公司白米礦場之棄石地為例，其含有機質 0.44%，有效磷 8.75ppm，交換性鉀 0.77ppm，均有偏低之現象。因此除選取適宜之植生種類外，適當之施肥亦為植生進行前之重要工作項目。有關肥料之施用，如使用化學肥料時，初期使用氮肥較容易被流失。若使用有機肥料，如堆肥、廄肥或糖業公司之濾泥、下水道之淤泥等當屬更佳。因其不僅可增加肥力，亦可改良土石之物理性質。

2. 採掘跡之立地特性

採掘跡又稱採掘殘壁，因其坡面坡度通常為 70º 至 75º、地質堅硬乾燥，故植物生長不良，常呈大面積之裸露，其自然植生演替亦受阻而無法進行。植生導入作業以穴植法或噴植法為宜。因人工提供之植生基材有限，植物長期生育會受影響，故植物材料以草類、豆類與小灌木類之混合為宜。而

其階段台面上，以土石回填坡腳或台面土堤配合改良土質之客土處理後，則可應用一般之植生方法處理。

5.7.2 植生方法及植物材料之選擇

石灰石礦區捨石場及採掘跡適用工法如表植-5-3。

表 植-5-3 石灰石礦區捨石場及採掘跡適用植生工法

地點	植生前期作業（基礎工）	植生工法
捨石場	1.表土與棄土之處理 2.坡度與坡面整理 3.簡易擋土牆 4.打樁編柵	1.撒播 2.噴植 3.植生帶（束）鋪植 4.草苗栽植 5.容器育苗穴植 6.土壤袋植生
採掘跡	1.鋪網 2.開溝與鑽穴 3.栽植槽	1.岩面噴植 2.回填坡腳直播 3.階段面客土植生

而其適用植生綠化之植物種類，依植物材料性狀區分如下：

1. 植生木樁材料

宜選取礦區附近之竹樁或木樁材料，以即採即用為原則，在礦區棄石地已不再堆積，含石量較少，需急速綠化覆蓋及邊坡穩定之地區進行打樁工作。唯植生木樁打樁後需配合編柵（wattling）或埋枝以增加成活率及綠化覆蓋效果。

2. 種子材料

礦區棄石地之土石性質差異甚大，選用何種植物種子需因時因地而異。一般而言，發芽率高之多年生禾草、豆科及本地之灌木、林木種子為主要之材料來源。

3. 藤類植物

藤類植物具有吸附性及攀繞性，在大面積之棄石地上，栽植苗木可藉其匍匐莖而達到全面之覆蓋，唯以大部分之藤類均非先驅植物，可供推廣使用之藤類材料較少。

4. 其他苗植材料

有些適生於礦區棄石地之植物，其種子量太少，不易採集，或種子有不孕性、發芽率甚低者，則無法以種子材料達到植生綠化之目的。甚或種子發

芽或成木之速度甚慢者，可由人工栽培或野外採集的苗木，以苗植法進行植生綠化工作。如菅草、五節芒、百喜草、狼尾草、蟛蜞菊或其他鄉土草類、灌木及其他造林樹種等。

若依植生區域之不同，其應用之植物種類列述如下：

1. 回填坡腳

   木本植物：血桐、構樹、山鹽菁、相思樹、山水柳。

   草本植物：狼尾草、營多藤、賽葛豆、田菁。

   藤本植物：巴拉草、葎草、槭葉牽牛。

2. 坡面噴植

   百慕達草、百喜草、高狐草（K31F）等。

3. 階段面苗木栽植

   木本植物：馬纓丹、山芙蓉、黃槿、水黃皮、榕樹、鳥榕及其他綠化樹種之苗木栽植。

4. 植生木樁

   黃槿、鳥榕、水柳、九芎或竹類等木本植物。

5.8 廢棄物處理場

近年來台灣地區工業化及都市化，產生了更多廢棄物，其所引起之空氣、水源、噪音污染，造成居住品質日益惡化，市民怨聲載道，竟而群起陳請、抗議及圍堵等行動，造成社會成本之嚴重負擔。如何規劃建造一衛生安全的廢棄物處理場，應用植物發揮環境維護改善之公益效能，提供遊憩、綠美化等目的，謀求都市健全發展，提昇生活品質已刻不容緩。

5.8.1 綠化設計之一般原則

廢棄物處理場之立地特殊、環境應力甚大，適生植物種類之選擇極為重要。而廢棄物處理場之不良景觀，可利用常綠植物配植成列，形成視覺屏障並加以阻隔，植物材料可依質地、大小及顏色之變化加以選擇，以避免視覺單調感。為了掩蓋廢棄物的異味，可在其周圍配植一些香花植物，讓花香淡化垃圾場中不佳的氣味。

5.8.2 應用植物之基本考量

1. 使用具有較發達之水平根系或側根系，且較抗污染力之木本植物，此類植物較不易受土壤底層廢氣之影響，但此類植物需較多的灌溉水量，且易受風作用而傾倒。
2. 使用廣適性之低矮灌木或綠籬，可適應淺薄土壤的立地環境，部分風衝地區應群團栽植，較具有減低風速及抗風能力。
3. 使用具固氮能力之地被植物，可改善垃圾場不佳之土壤條件。
4. 需考慮樹種之耐久性、抗菌力及抗病力，避免栽植植物死亡。

5.8.3 綠化用植物之選定條件

用於廢棄物處理場的植物，其選定條件因目的或對象空間之特性而異，但一般而言，必須檢討下列事項：

1. 符合垃圾掩埋場之特性

   廢棄物處理場之環境特性差異甚大，如垃圾場之封閉時間、垃圾之種類、垃圾堆積過程之焚燒情形、上覆土壤之厚度與質地、是否臨海及受鹽霧之危害與否等，均需於綠化之前進行調查評估。
2. 植物之生態環境適應性

植物對生育環境之要求因種而異，選擇適合廢棄物處理場的植物種類為綠化的基本事項。栽植區域內之自然原生植被或次生植被之構成種，為較具適合土地自然環境之樹種。原生植物可說是環境適應性高的植物種類，多半生育良好，對病蟲害的耐性亦強。

3. 植物對環境應力之耐性

廢棄物處理場存在著土壤乾燥、土質不良等植物生存障礙之因素。此等因素，在栽植時應盡量去除，但不能迴避時，則須選定環境耐性強之植物。植物對環境應力之耐性包括：耐瘠性、耐旱性、耐濕地性、耐潮性、耐空氣污染性、抗風性等。

4. 生育習性

植物的生育習性，包括生活型、週期性變化、群居性以及生長繁殖之速度、能力等。此等性質之應用因綠化之設計目的而異。掩埋場之綠化，通常要求發芽率高、再生能力高，萌芽力良好者，而部分生態綠化之地區，則須選用能與其他植物群團生長者。

5.8.4 廢棄物處理場之栽植與管理

廢棄物處理場的植生工程進度應與廢棄物處理場工程相配合。每當掩埋場層累積至 8～10m 高，其外緣坡面即可開始進行綠化。為建立符合本地次生演替生態原則，可分為以下兩種綠化方式：

1. 自然演替綠化工程

依據次生演替系列而設計之植生輔助性施業，目的在於達成符合自然生態原則之綠化。應用植物可包括先驅性草類，如五節芒、狗牙根、白茅、槭葉牽牛或綠肥用豆科植物等。先驅性之灌喬木，如山黃麻、構樹、相思樹、草海桐、血桐、白匏子等。

2. 人工植栽工程

指依賴人工種植及維護管理的植生施工，目的在求取景觀美化或依特定土地使用方式而設計之植生。事實上對廢棄物處理場而言，如無特定空氣污染源，過高地溫或強風、鹽霧等強大之環境壓力，則以人為客土，栽植及適度之養護，植物應可正常存活生長。因此人工植栽如草坪、球場、綠籬、蓄水池旁、涼亭、棚架、行道樹等，均可依目前市面上一般方式施業。

5.9 坡地綠美化

5.9.1 規劃設計考慮因素

山坡地常為市民們假日踏青之重要去處，而山坡地開發為遊憩區或住宅社區者也愈來愈多，故除了水土保持的要求外，更進一步要求坡地綠美化的工作，以提昇環境景觀之品質。由於各基地情況不同，故應經過觀察分析與可行性評估的過程，方能因地制宜，擇定最理想的方式，來達成美化的目的。

1. 瞭解視覺衝擊程度，以決定綠美化之方向

   山坡地對使用者之視覺衝擊程度，可作為綠美化採用手法的一個指標；如位於風景遊樂區、重要幹道旁或鄰近都市區之山坡地，其視覺程度高，可朝花費較高、但較精緻之設計方向進行；若是位於山區小路或人煙罕至的山坡地，視覺衝擊程度低，則可採用較粗放之設計。

2. 先經視覺景觀分析，以達到景觀協調性

   由於設計之基地常是受過破壞的局部山坡地，此時與原有景觀之協調性即非常地重要；如在自然程度高的地方，應以符合生態要求的方式求美化，方能與周遭景觀配合，若是都市化程度較高之處，則可以用較人工的方式來處理。如一處林木繁茂之山坡地受到局部破壞，則應採用與原植被近似之植栽種植，擋土牆等設施亦應盡量採用自然之材質；若基地位於山坡住宅之間，可配合整體住宅風格作設計。

3. 分析微氣候的影響，以達最佳環境適應性

   由於山坡地受坡向的影響，日照情況皆有不同，除應依其作陽性或陰性植物的選擇外，也應對觀賞者向光或背光因素考慮進來。若向光時應考慮以深色植栽栽植或增加壁面凹凸程度以減少反光程度；而若太過陰暗的壁面，則應種植較明亮之植物或採用顏色較淺的壁面材料以增加其活潑感。另降雨量、風向與土壤狀況等皆會對選種、植栽槽的設計以及維護管理密切相關，亦必需慎重考慮。

4. 評估維護管理能力，以確保綠美化之品質

   人力與經費是維護管理不可或缺的兩大因素，應盡量足額編列，以維持綠美化的成果；但若經評估，發覺兩者皆有限時，在設計則必定要採用低維

護管理需求之設計方式，否則可能導致反效果；若僅是人力不足時，則可考慮自動噴灌設施，或以較不需人力支援的壁面美化等手法來設計。

5.9.2 綠美化植物應用原則

植物為自然界中之重要元素，除提供物種食物棲地及改善微氣候，以及作為建材及燃料等功能，植物更美化了自然環境。近年來人們對景觀開發興趣提高，在住宅四周、工作場所及停車場等種樹，不僅意識到保護現存植栽的重要，並且極力使新的植栽也能與現存植群相互調和。以下說明植栽配置原則，提供正確的配置設計原則，避免在不適當的地方，配置或使用錯誤的植物。

1. 植栽設計基本型態

(1)植物類型

植物個體類型為最重要的視覺特色之一，可影響空間尺度、組合趣味和整體的設計架構，故在選擇植栽前應先研究之。依植物類型可將植物分成 4 種：

①喬木類

樹體高大，具有明顯主幹者，依成木樹高分為下列類型。

a.大喬木：12 公尺以上屬大喬木，包含樟樹、烏心石、楓香等植物。

b.中喬木：9~12 公尺屬中喬木，包含羅氏鹽膚木、九芎、白雞油等植物。

c.小喬木：通常高度為 4.5~6 公尺，包含白樹仔、血桐、野鴨椿、通脫木等植物。

②灌木類

無明顯主幹或主幹過短，樹的高度在 0.3 到 4.5 公尺，包含月橘、台灣山桂花、杜鵑、山薔薇、野牡丹、冬葵子等植物。

③蔓藤植物

須靠吸盤、卷鬚、吸附根或莖本身等攀附他物才能向上生長之植物，如地錦、軟枝黃蟬、珊瑚藤等植物。

④地被植物

覆蓋於地面，高度為 15~30 公分的植物，包含假儉草、狗牙根、南美蟛蜞菊、竹節草、地毯草等植物。

(2)植物造型

植物除了本身的形狀之外，我們也可以透過修剪的技巧，以及日照的方向來改變植物的外貌，一般而言植物造型可分為以下七類。

①紡錘型(fastigiated)

a.為狹長聳直，逐漸向上尖細之形狀。可引導人們的視線垂直向上。樹木本身及其周圍的空間給人一種垂直高聳的感覺。

b.與較低矮、較圓或延伸、平展的造型比較，此型的植栽可當作一焦點。在應用上宜少量種植，以免造成太多的視覺焦點，而使得設計過份緊湊。此類的植栽如福木、金冠柏等。



紡錘型植物造型

②圓柱型(columnar)

與紡錘型類似，唯圓柱型之頂點為圓形而非尖型，與紡錘型有相似的設計考量。此類的植栽如白千層、印度塔樹等。



圓柱型植物造型

③散型/水平型(spreading/horizontal)

植物的寬度和高度相近，呈現水平生長的特性，給人一種寬闊伸展的感覺。此類的植栽如水黃皮、茄苳等。



散型植物造型

④圓形或球形(round/globular)：

a.外表為圓球形，是最常被使用的造型之一，重覆使用會產生統一感。

b.外型上給人柔和感，因此可應用於調和其他外型較強烈之樹木。本類植栽如正榕、黃金榕、樟樹等。



圓形植物造型

⑤金字塔型/圓錐形(pyramidal /conical)

a.外觀為圓錐形狀，自底部向上漸尖形成一個尖頂，因此外型明顯，若與其它造型對比，可形成視覺焦點。

b.金字塔造型的植物可以與直立高聳的建築物和陡峭的地表相互呼應。本類的植栽如象牙樹、圓柏、龍柏等。

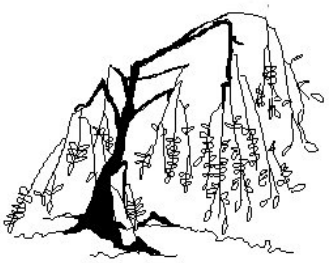


金字塔型植物造型

⑥垂枝型(weeping)

a.外觀具有明顯的下垂或下彎枝條，引導視線向下，可用於引導視線向下延伸的水岸邊緣。

b.常用於彎曲水體的周圍凸顯水的流動質感。本類植栽如垂柳。



垂枝型植物造型

⑦別緻型(picturesque)

a.具有獨特的外貌，最好設置在設計中明顯的主要位置。

b.需要注意的是，儘量避免在同一個地方種植二株以上，以避免失去主景的情況產生。本類植栽如蘇鐵、蒲葵等。



別緻型植物造型

(3)植物顏色

顏色不同的植物會使觀賞者有不同的感受，隨著季節的變遷而產生不同的變化，最明顯的變化就是植物葉、花、果、樹幹、樹皮顏色的改變。植物顏色的差異在應用上有幾項原則需要注意：

①有關植物葉、花、果等部位隨時間變化的情形在設計時需要加以考量。

②植物的顏色直接影響到人們對戶外空間的感覺及情緒，如明亮的顏色使人有振奮、快樂之感，而陰暗的顏色則給人感傷的感覺。

③暗綠色給人穩重的感覺，同時使空間變得安靜、祥和，需要注意的是，如果過度使用會使人產生陰鬱之感。

④屬於深色調的植物具有向觀賞者移動的效果，相反的，淺色調則有遠離延伸觀賞者視線的效果。

⑤在配置上，將深色調的植物置於底層可以使植栽組合產生穩定感，而淺色調的植物置於上層則產生輕快感。

⑥屬於深色調的植物可作為其它淺色調或鮮豔色澤材料的背景。

⑦如果想要種植色彩鮮明的植物，最好大面積的種植在開闊且日照充足的區域，如果種植在陰暗的區域，就無法彰顯其鮮明的色彩。

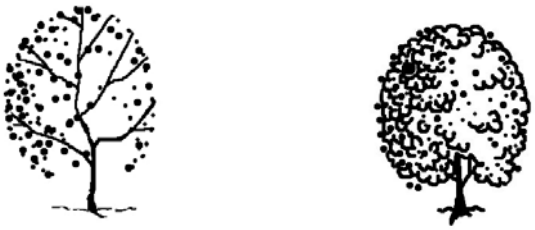
(4)植物質地

植物的質地受樹葉的大小、枝條的粗細、樹枝的外貌、以及整株的生長習性所影響，呈現給觀賞者視覺上的變化。當近距離觀賞時，枝葉大小、形狀、表面、樹枝的分佈是影響質感的顯著因素；遠觀整體時，影響質感的因素則是枝條的密度及一般的生長習性。

一般而言，質地可分成粗、中、細三種：

①粗質地(coarse texture)

粗質地具有向觀賞者移動的效果，最能引人注意，因此可以當作焦點。其特性為枝粗葉大，缺乏細小的嫩枝，枝葉生長的習性較為寬鬆。但是在使用上應有限制，以免呈現過於強勢的空間感而影響整個植物組合。如果基地空間過小，粗質地的植物數量不宜過多，才不至於造成太過於緊密的感覺。



粗質地植栽

②中質地(medium texture)

大多數植物的質地屬於中質地，在植物組合當中，中質地的植物所佔比例最多。此類植物枝條大小適中，枝葉生長的習性介於細質地與粗質地之間。與粗質地相比，中質地在輪廓上較為稀疏淡薄。



中質地植栽

③細質地(fine texture)

由於植物本身葉片小而細密，枝條細薄，因此呈現出濃密的外觀，種植於戶外空間時，細質地的植物會使空間顯得較寬大。在景觀視覺上，由於外表柔軟細緻，最容易被忽略，因此時常作為粗、中質地植物的背景。



細質地植栽

(5)觀賞價值

設計者可利用植物器官，如葉、果實、種子、花朵或外觀的美感運用至設計中，提供觀賞者不同的視覺享受，其分類如下：

①觀葉

主要以葉形特殊或顏色奇特為欣賞訴求。如：稜果榕、山柚、無患子、山欖、大頭茶、糙葉樹、樟樹、鵝鑾鼻蔓榕、血桐、西施花、杜英、台灣杪欏、石板菜、楓香、青楓、台灣長春藤、江某、恆春石斑木。



觀葉植物

②觀果

植栽的果實顏色、造型吸引觀賞者視線，且吸引野生動物食用，如雀榕、台灣欒樹、海檬果、珊瑚樹、淡綠葉衛矛、魯花樹、毛苦參、七里香、恆春石斑木、小葉桑、山桐子、止宮樹。



觀果植物

③觀花

植物開出色彩鮮豔的花朵，或是散發出獨特的香氣吸引觀賞者，如台灣欒樹、長穗木、台灣山桂花、紅花杜鵑、石板菜、流蘇、鐵冬青、紫花鳳仙花、台灣石楠。



觀花植物

④觀姿

植物整株具有獨特的造型，如松樹、刺桐、榕樹、茄苳、台灣朴樹、櫸樹、烏心石、台灣海棗、楓香、水黃皮。



觀姿植物

2. 植栽配置原則

(1)一般原則

①有關行間距和生長空間的大小，應在種植植物前，瞭解樹苗和成樹之間的特性，以避免種植空間過小。

②單植除了要選擇一棵獨特的植物外，也可以將此植物種植在較稀疏的植物叢中，以突顯其特色。

③三植的種植方式為選擇相同或相似的植物，以不等邊三角形的配置型式種植，其中，最高的樹種應置於中央，避免呈現階梯狀的組合。

④原則上，植物群植的數目以奇數為宜。群植可以產生強烈的整體感，若太過分散，會產生散漫雜亂的感覺。

⑤利用群植的方式種植植物時，記得在種植時要預留適當的成長空間，不然植物會因沒有適宜的空間而導致生長發育不良。



群植聚集效果

⑥如果種植之初對於植物生長空間的大小沒有良好掌握的話，就只好在植物生長的過程中，進行適當的移除動作，如此才能使植物有合適的空間生長。

⑦植物的組織與配置，除了要與組成中的植物相調和外，也應與其他設施元素和造型相調和。

(2)植物材料的組合手法

①單植

單植主要是將一株型態優美的植物(多運用喬木，亦可使用灌木)種植在主要入口、交會點，其主要目的為視覺吸引。這種方式可以表現樹木本身的美感，因此又稱為優型樹的種植方式。

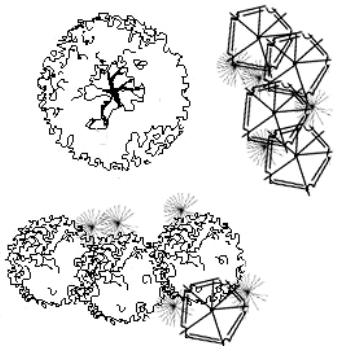


圖 植-5-11 運用優型樹單植

②雙植

雙植亦稱對植，即在軸的左右兩側各種一株同型同種的樹木，若是想種植不同的樹種，則要考慮不同樹種的比例。因為左右對稱，可顯示出整齊有秩序的感覺。

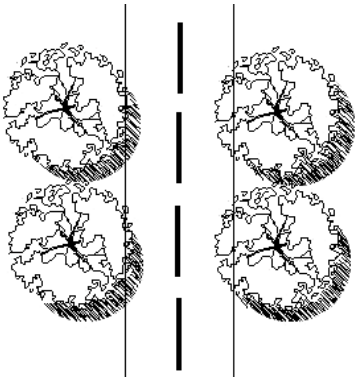


圖 植-5-12 雙植

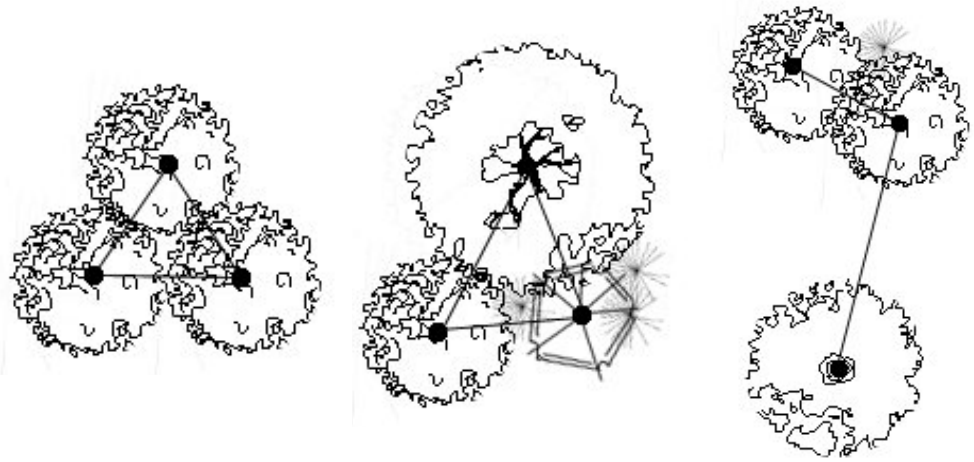
③三植

三植就是將三株樹木種植在一起，是最基本的組合方法，所有複雜的植栽組合，都是從三植方式發展而成。三植的組合方式又可分為三種：

a.正三角形：為一般的組合方法。

b.不等邊三角形：較正三角形自然。

c.二、一分配：可以延伸效果及視覺的好奇感，但不宜分開太遠，以免破壞整體感。



(正三角形)　　(不等邊三角形)　　(二、一分配)

圖 植-5-13 三植之形式圖

④群植

群植就是以 1~2 種喬木為主體，跟其它喬木及灌木搭配，形成較大面積的樹木群體。群植最能表現出植物天然的生長狀況，大多以樹叢為背景，或是在一大片綠地的邊緣種植。

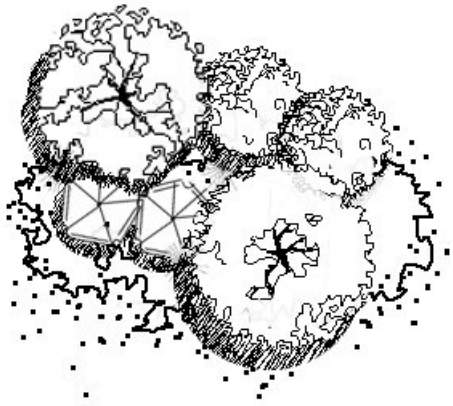


圖 植-5-14 喬木、灌木及草花所組成的生態優勢，即為群植

⑤列植

沿著線形的空間以行列方式種植的植物就稱為「列植」，列植大多沿著直線或曲線以等距離的間距方式栽植。



圖 植-5-15 列植

植生方法篇

目錄

六. 附錄..... 植-6-1

6.1 水土保持常用植物材料之種類與特性.....植-6-**錯誤! 尚未定義書籤。**

6.1 水土保持常用植物材料之種類與特性

附表6.1.1 臺灣地區水土保持植生工程主要應用草本及藤類植物

項次	中　名	英名及學名	生長海拔高	性狀、生存年限	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途	備註(民俗用途)
1	臺灣蘆竹	*Arundo formosana*	中、低海拔	0.5-0.7m高	分株、播種		岩坡、陡坡植生 荒地植生	
2	類地毯草	*Carpet grass* *Axonopus affinis Chase*	中、高海拔 (2000m以下)	0.05-0.35m高 匍匐莖、多年	扦插、播種	2500	坡面穩定 果園覆蓋	
3	地毯草	*Tropical carpet grass* *Axonopus compressus*	低海拔 (200m以下)	0.1-0.3m高 走莖、多年	扦插	3000	林下或 果園覆蓋	
4	刺竹	*Thorny bamboo* *Bambusa stenostachya*	中、低海拔 (1900m以下)	5-10m高 木質化禾本科	扦插、分蘗	—	防災植生 荒地植生	占卜、建材、器具
5	竹節草	*Lovegrass* *Chrysopogon aciculatus*	低海拔 (700m以下)	0.05-0.1m高 匍匐莖、多年	分株、扦插	12030	路面植草 天然草原	
6	黃野百合	*Yellow Crotalaria* *Crotalaria pallida*	低海拔	0.5-0.7m高	播種	191	綠美化 綠肥	
7	百慕達草	*Bermuda grass* *Cynodon dactylon*	低海拔 (600m以下)	0.05-0.4m高 走莖、宿根、多年	扦插、播種	3800	路面植草 水庫保護 邊坡植生	
8	果園草	*Orchard grass*	高海拔 (1500-2500m)	0.4-0.8m高 叢生、短期	分株、播種	820	果園覆蓋	

項次	中　名	英名及學名	生長海拔高	性狀、生存年限	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途	備註(民俗用途)
9	假儉草	*Centipede grass* *Eremochloa opiuroides*	中、低海拔 (1800m以下)	0.05-0.15m高 匍匐莖、多年	扦插、播種	1600	路面植生 邊坡植生	
10	高狐草 (K31F或綠柏草品系)	*Festuca arundinacea* *(Kentucky 31 Fescue,Rebel)*	中、高海拔 (3000m以下)	0.5-0.8m高 深根叢生、多年	播種	400	邊坡植生	
11	多年生黑麥草	*Perennial ryegrass* *Lolium perenne*	高海拔 (1500-2500m)	0.2-0.4m高 叢生、短期	播種	460	邊坡植生 果園覆蓋	
12	五節芒	*Japanese silver grass* *Miscanthus floridulus*	中、低海拔 (2500m以下)	2-4m高 叢生、多年	播種、分株	1250	荒坡植生 邊坡植生	食用、藥用、屋頂
13	兩耳草	*Sour grass* *Paspalum conjugatum*	中、低海拔 (2000m以下)	0.05-0.3m高 走莖、多年	扦插	4600	果園天然覆蓋	
14	百喜草 A33(小葉品系)	*Bahia grass* *Paspalum notatum Flugge*	中、低海拔 (1500m以下)	0.1-0.5 m高 匍匐莖、多年	扦插、播種	350	草帶、草溝 台壁植草 邊坡植生	
	百喜草 A44(大葉品系)	*Bahia grass* *Paspalum notatum Flugge*	中、高海拔 (800m以下)	0.3-0.5m高 匍匐莖、多年	扦插、播種	350	草帶、草溝 台壁植草 果園覆蓋	
15	大理草	*Dallis grass* *Paspalum dilatatum*	中海拔 (2000m以下)	0.5-1.0m高 叢生、多年	分株、播種	460	邊坡植生 果園覆蓋	

項次	中　名	英名及學名	生長海拔高	性狀、生存年限	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途	備註(民俗用途)
16	克育草	*Kikuyu grass* *Pennisetum clandestinum*	中海拔 (500-2000m)	0.5-0.7m高 分蘗、多年	扦插	429	邊坡植生 高山草原	
17	桂竹	*Phyllostachys makinoi*	中、低海拔 (1900m以下)	5-10m高 木質化禾本科	扦插、分蘗	—	防災植生 荒地植生	
18	甜根子草	*Wild sugarcane* *Saccharum spontaneum*	沿海地區	1-3m高 叢生直立、多年	分株、扦插	—	防風定砂	
19	濱刺麥	*Littoral spinegrass* *Spinifex littoreus*	沿海地區	0.3-1.0m高 宿根、匍匐莖、多年	分株、扦插	—	防風定砂	
20	奧古斯丁草	*St. Augustine grass* *Stenotaphrum secundatum*	低海拔	0.1-0.3m高 匍匐莖、多年	扦插	—	海岸、泥岩及邊坡植生	
21	白花三葉草	*White clover* *Trifolium repens*	中、高海拔 (3000m以下)	0.1-0.5m高 匍匐莖、多年	播種	1200	果園覆蓋 邊坡植生	
22	營多藤	*Intortum clover* *Desmodium inortum*	低海拔 (1000m以下)	0.2-0.3m高 蔓莖、多年	播種	700	邊坡、礦區植生 綠肥	
23	馬鞍藤	*Railroad-vine* *Ipomoea pescaprae (L.)* *Sweet. Subsp. Brasiliensis*	沿海地區	匍匐藤本、多年	播種、扦插	15	防風定砂 海岸覆蓋	

附表6.1.2 臺灣地區水土保持植生工程主要應用木本植物

項次	中　名	英名及學名	生長海拔	性狀、習性	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途	備註(民俗用途)
1	相思樹	*Taiwan acacia* *Acacia confusa*	中、低海拔 (1600m以下)	8 m高 常綠喬木	播種	42	邊坡植生 荒地植生	建材、薪材、器具
2	臺灣赤楊	*Formosan alder* *Alnus formosana*	中、低海拔 (3000m以下)	10 m高 常綠喬木	播種	1250	邊坡植生 崩塌地植生	
3	茄苳	*Bischofia javanica*	低海拔	樹高可達20公尺 常綠半落葉大喬木	播種	—	邊坡植生 綠美化	食用、藥用
4	山水柳	*Boehmeria densiflora*	中、低海拔 (1300m以下)	2 m高 常綠灌木	播種	11000	邊坡植生	
5	構樹	*Broussonetia papyrifera*	低海拔	落葉或 半落葉中喬木	播種	—	邊坡穩定 荒山復舊	食用、藥用、飼料、造紙
6	樟樹	*Cinnamomum camphora*	中、低海拔	常綠喬木	播種	—	邊坡穩定 荒山復舊	藥用、家具、器具、香料、驅蟲
7	青剛櫟	*Cyclobalanopsis glauca*	中、低海拔	常綠喬木	播種	一	邊坡穩定 荒山復舊	農具
8	鳥榕	*Ficus wightiana*	低海拔	落葉大喬木	播種、扦插	一	邊坡植生 植生木樁	

項次	中　名	英名及學名	生長海拔	性狀、習性	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途	備註(民俗用途)
9	臺灣白臘樹	*Fraxinus formosana*	低海拔	半落葉性喬木	播種	—	邊坡植生 造林樹種	
10	細葉饅頭果	*Glochidion rubrum*	中、低海拔	灌木與小喬木	播種	—	邊坡穩定 荒山復舊	
11	大頭茶	*Gordonia axillaris*	中、低海拔	常綠中喬木	—	—	邊坡植生 荒山復舊	
12	山芙蓉	*Hibiscus taiwanensis*	低海拔	落葉灌木	播種、扦插	—	邊坡植生 綠美化	
13	黃槿	*Linden hibiscus* *Hibiscus tiliaceus*	沿海至低海拔	5 m高 常綠喬木	扦插	76	植生木樁	粿葉、薪材
14	胡枝子	*Lespedeza bicolor*	中、高海拔	灌木	播種	160	邊坡穩定 荒山復舊	
15	鐵掃帚	*Chinese Lespedeza* *Lespedeza cuneata*	低海拔	0.6~1.0 m高 多年、草木直立	播種	720	荒地植生 土質改良	
16	楓香	*Liquidambar formosana*	中、低海拔	落葉大喬木	播種	191	邊坡植生 荒地復舊	
17	九芎	*Logerstroemia subcostata*	中、低海拔	8 m高 落葉喬木	扦插	550-700	邊坡植生 植生木樁	薪材

項次	中　名	英名及學名	生長海拔	性狀、習性	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途	備註(民俗用途)
18	臺灣櫟樹	*Koelreuteria formosana*	低海拔	落葉喬木	播種	—	邊坡植生 荒山復舊	
19	香楠	*Machlius zuihoensis*	中、低海拔	落葉大喬木	播種	720	邊坡植生 荒地復舊	香料
20	野桐	*Mallotus japonicus*	中、低海拔	半落葉性小喬木	播種	80	邊坡植生 荒地植生	薪材
21	白匏仔	*Mallotus paniculatus*	低海拔	半落葉性中喬木	播種	—	邊坡植生 荒地植生	
22	烏心石	*Michelia compressa*	200-2200 m	常綠喬木	播種	—	邊坡植生 造林樹種	家具、建材、雕刻
23	臺灣二葉松	*Pinus taiwanensis*	中、高海拔	常綠喬木	播種	—	邊坡穩定 荒山復舊	
24	水黃皮	*Pongamia pinnata*	海岸、低海拔	半落葉性喬木	扦插、播種	—	邊坡植生 荒山復舊	
25	蕃石榴	*Psidium guajava*	中、低海拔	2-3 m高 小喬木	播種	3800	邊坡植生 荒地植生	
26	山鹽青	*Rhus semialata var. roxburghiana*	中、低海拔 (1900 m以下)	4 m高 半落葉喬木	播種	100-150	邊坡植生 荒地植生	

項次	中　名	英名及學名	生長海拔	性狀、習性	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途	備註(民俗用途)
27	無患子	*Sapindus mukorossi*	中、低海拔	落葉喬木	種子	73	邊坡植生 荒山復舊	肥皂
28	木荷	*Schima superba*	2300 m以下	常綠喬木	播種	一	邊坡植生 造林樹種	
29	大葉桃花心木	*Swietenia macrophylla*	中、低海拔 (1900 m以下)	常綠喬木	播種	一	邊坡植生 造林樹種	
30	臺灣赤楠	*Syzygium formosana*	中、低海拔	常綠喬木	播種、扦插	1200	邊坡植生 荒地植生	
31	山黃麻	*Trema orientalis*	低海拔	常綠喬木	播種	95	邊坡植生 荒山復舊	飼料、紙漿、木屐、農具
32	櫸	*Zelkova serrata*	中、低海拔 (300-1400 m)	落葉喬木	播種	45-50	邊坡植生 造林樹種	家具、建材

水土保持手冊

生態工法篇

目錄

一. 通論.....1

1.1 前言.....1

1.2 生態工法應用原則.....4

1.3 生態環境調查、監測與應用.....6

1.4 生態工法規劃原則.....31

1.5 生態指標之應用.....49

表 生-1-1 棲地底質分類系統表 12
表 生-1-2 各種物理棲地環境指標之定義 13
表 生-1-3 植物種類與樣區大小之關係 22
表 生-1-4 各類型棲地之說明 35
表 生-1-5 河川棲地區域改善與復育之規劃要點表 38
表 生-1-6 護岸坡度設計表 46
表 生-1-7 生物整合指數(IBI)評分等級表 50
表 生-1-8 IBI 評值分級 51
表 生-1-9 生物指標與科級生物指標之水質等級 54
表 生-1-10 溪流狀況指數構成因子表 55
表 生-1-11 溪流狀況指數分級表 56

圖 生-1-1 河川級序之示意圖 8
圖 生-1-2 集水區經營目標、內容與可用工法之關聯圖 31
圖 生-1-3 集水區生態工規劃設計流程 34
(實線部份為階段型資訊之流通路徑；虛線部份為累積型資訊之流通路徑) 34
圖 生-1-4 常見魚道入口設計 44
圖 生-1-5 生物整合指數計算流程圖 51
圖 生-1-6 水生昆蟲與魚類的關係 53
圖 生-1-7 溪流狀況指數與次指數之相互關係 55
圖 生-1-8 水文次指數之評估狀況流程圖 57
圖 生-1-9 物理型態次指數之評估狀況流程圖 58
圖 生-1-10 濱河區域次指數之評估流程 59
圖 生-1-11 水質指數之評估作業流程 60
圖 生-1-12 水生物次指標之評估流程圖 60

一. 通論

1.1 前言

1.1.1 生態工法相關名詞解釋與說明

生態工法(Ecotechnology)就廣義而言，為「對於環境中各種自然生態及生物棲息地的尊重，所做的環境保存、維護、永續利用、復舊及改良工程，包括以生物與非生物材料之最適當應用，而達到環境之和諧性」。而就狹義而言，則指「採用天然資材為主要材料，以融合周邊地形自然景觀，減少造成生態環境之衝擊為理念設計，構築可供動植物棲息，營造生物多樣性生存空間，創造兼具防災及生態復育功能之工法」。行政院公共工程委員會生態工法諮詢小組會議決議，生態工法係指「基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，採取以生態為基礎、安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程」。

生態工法強調從整體性的角度來思考問題，如河川的整治應將集水區，河川上、中、下游整體納入評估，才能有效整治；若從生態系統的觀點來看，人類經濟活動所採取的工程施作，應儘量降低對自然造成的衝擊，為提升工程專業人員對自然生態的瞭解，在工程規劃設計及施作過程中，須借重生態領域專家提供環境諮詢。因此，生態工法的工作團隊中，熟悉當地環境的生態專家，扮演非常重要的角色。

1.1.2 生態工法之沿革

生態工法源自於歐洲德國及瑞士，近年來正逐步推展至世界各國。台灣近期各項建設工程，偏重於設計安全、材料堅固、經濟實惠、施工管理便利的工程設施，缺少配合生態環境及配合環境調和設計、自然材料的選擇及綠美化的運用，雖達到保護目的，但也可能對環境、生態造成傷害。

1938 年 Seifer 首先提出「近自然河溪整治」的概念，特別指出能夠在完成傳統河流治理任務的基礎上，可以達到接近自然、廉價並保持景觀美的一種治理方法，使人類從物質文明到文化文明、從工程技術到工程藝術、從實用價值到自然景觀之維護及棲地、生物之多樣性，同時特別強調河溪治理工程中美學的展現。至 50 年代德國正式創立了「近自然河道治理工程」，提出河道的整治要符合自然景觀化和生命化。

1962 年 Odum 首次提出生態工程(ecological engineering)，將生態學概念運用於工程中。隨著生態學理論的發展，人們對溪流治理有了新的認識，對於生態治理的目標，除了要滿足人類對河溪利用的要求，同時要維護或創造河溪的生態多樣性。治理時考慮溪流的水理特性和地形特點，並將溪流的自然狀況或原始狀態，作治理時之依據。

1971 年 Schlueter 認為近自然治理（near nature control）的目標，首先要滿足人類對河溪利用的要求，同時要維護或創造河溪的生態多樣性。1983 年 Bidner 提出河道整治首要考慮河道的水利學特性、地貌學特點與河溪的自然狀況，作為衡量河道整治與人為活動干預程度的標準。1985 年 Holzmann 認為生態治理是通過生態治理創造出一個具有各式各樣水流斷面、不同水深及不同流路的溪流，把河岸植被看待為具有多種小生態環境的多層結構，強調生物多樣性在生態治理的重要性，注重工程治理與自然景觀的和諧性。到了 1989 年 Pabst 則把生態治理看為一種工程治理方式，溪畔僅用帶石塊的原有土壤或純石塊覆蓋，河岸植被則應該是由自然演替形成的，其他一切刻意促進植被恢復和改良土壤的措施如撒種、栽植、灑水、施肥等均應禁止，溪流的自然特性依靠自然力去恢復。1992 年 Hohmann 從維護河溪生態系平衡的觀點出發，認為近自然河溪治理是減輕人為活動對河溪的壓力，維持河溪環境多樣性、物種多樣性及其河溪生態系統平衡，並逐漸恢復自然狀況的可行性工程措施。近自然治理的實質就是景觀生態學與野溪治理學的完美結合，亦就是既有防護作用又能維護野溪自然景觀的管理工程。到了 1993 年 5 月由美國(National Academy of Sciences)所主辦的生態工法研討會中定義：「The design of sustainable ecosystems that integrate human society with its natural environment for the benefit of both」(Mitsch，1996)。因此生態工法治理之精神可歸納如下：

1. 尊重自然環境原有之多樣性。
2. 依照現存之自然條件，建設一個良好水循環及安全的溪流環境。
3. 不只是消極的保護，更應積極的使自然環境再生創造出水與綠之生態網。

1.1.3 生態工法與治山防災之發展

水土保持的觀念大致上於 1930 年開始在美國推動，即包括了土壤保育、野生動物棲息與保護以及坡地遊憩等內容。台灣地區開始從事山坡地之水土保持

與坡地防災工作，大約是在 1950 年左右，當時以坡地農業開發地區土壤保育為主要的研究與推廣之工作重點。爾後 1959 年的八七水災，由於造成台灣地區嚴重的災情，政府隨即進行籌劃山地農牧資源開發及其他保育專責單位。至 1961 年，則開始有職掌有關國土規劃管理、水土保持及農業畜牧等問題的機關成立。到了 1967 年，已成立專門培育相關人才的科系。

然而，自 1980 年開始，由於經濟起飛，高度工業化及坡地開發利用結果，破壞與干擾自然環境與生態體系，在使用的其他工程構造物設計施工方面，也逐漸趨向以快速、方便為主要考量，較少考慮到自然、生態方面的問題。

近幾年，政府各相關單位有鑒於過多之人工構造物容易破壞台灣地區原有的生態系統及環境，進而積極推動生態工法，增加柔性資材之使用，減少工程施作對環境之衝擊；進行坡地生態環境調查、生態資料庫建置以及研發適合台灣地區生態工法之參考圖冊、調查等，期望能讓國內外與生態工法相關之理念與技術，真正落實到設計及施工人員的層級。

1.2 生態工法應用原則

生態工法之應用，因地區生態系結構與功能性之差異、開發程度及考量尺度之不同，以及研究規劃人員之學經歷背景，工作屬性之差異，對於生態工法之解讀會有所不同。目前何種工法屬於生態工法，又何種工法不屬於生態工法，雖仍有爭議，但以水土保持處理或治山防災工程為目的之生態工法設計，應分別就安全、經濟、生態及景觀等方面依序考量。

1.2.1 安全之考量

當施工地區有特定保全對象(如村落、民宅)、重要維生體系(如水庫、農業生態系)或特殊災害地點(生態系無法自然復原)時，安全因素將優先考慮，設計規劃時需依安定評估、安全係數設定、應力檢算及坡面穩定分析為依據。

又如土石流、崩塌地等大規模災害地區，舊有環境破壞殆盡，原先之主體生態結構無法自然復原時，為盡可能達到原生態系或景觀之再生，依新地形或周邊環境狀況，考量周邊環境、上下游區域生態及景觀之連續性，所設計之適合創造生態系或景觀之治山防災構造物。

而如防砂壩與梳子壩等混凝土構造物，目的是希望當土石流來臨時可以攔阻大量的土砂，防止土砂下移造成下游居民的危害，而若因大量土石毀壞道路與橋樑造成交通要道的中斷，則會影響交通運輸與人類活動。

1.2.2 生態之考量

當施工地區為生態保護區、特有或保育生物之復育區、或自然復育演替可能性高之地區時，應注意工程構造物之負面效應，設計規劃時最好能改變工程施工之位置；若工址無法改變時，也應盡量減少外物之導入及人為干擾，依據生物或環境棲地條件及自然演替系列之推測、評估為規劃設計之依據。

而需進行溪流整治之地區，依其施工前地區特性之變化及演替情形，以及依生態系與景觀之實況，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，設計有助於自然復育能力之治山防災構造物。其設計重點應注意濱水區生態區域之完整性，以及形成適合生物棲息之多孔性護岸。相同的，因為施工或工程構造物會對環境因子造成的改變也須列入考慮，包括溫度、溼度地形、地貌等。

施工時可依災害規模、災害嚴重性及保全對象等，考慮快速且符合經濟效益的工程方法，唯安全及生態之考量仍有時序上的變化、開發尺度之影響，以及生態棲地干擾、復原間之區域相互作用，宜因地制宜、靈活運用。

1.2.3 經濟與景觀之考量

除安全及生態考量外，設計規劃時，應注意工程設施之景觀性及經濟性，在已治理地區就開發、保育對策及整體評估，並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。

工程治理乃以人本考量，在已治理地區經由景觀設計後可營造出綠美化環境，利用植生工程技術可栽植多種類的植物，達到環境綠美化的功能；也可以考慮興建親水與遊憩設施如：親水護岸、涼亭或是休閒步道，讓民眾可以到此地從事休閒與嬉戲等活動，使工程本身不但兼顧到防災也營造出遊憩的場所；若能再設立教育解說牌，更具有傳達知識的用途，使人們了解工程不僅僅是用在防災上，也可以用來親近自然。唯過多之親水及遊憩設施雖然可以做為人類休閒娛樂之場所，但對生態環境卻也會某種程度上的衝擊，故找到人類活動與生態之間的平衡，仍然是很重要的。

1.3 生態環境調查、監測與應用

1.3.1 集水區環境因子

水土保持工程不但需要考慮單一河段之治理，更需融入集水區及生態系之觀念，茲將集水區生態系之觀念介紹如下。

1. 集水區生態系之意義

集水區生態系的意義比單純的生態系多加入分水嶺的概念，以對棲地生態的環境做規劃與設計。而又不同生物常有不同尺度的活動領域：例如水生昆蟲其棲地可能僅只有某河段中的局部位置；而魚類活動的領域則可擴大至中上游，或是及於下游地區；鳥類則因為具有飛翔能力，而可跨越多個集水區，甚至多個洲。

2. 集水區生態系之分類

集水區生態系依其結構與功能屬性可大略區分為水域生態系、濱水生態系以及陸域生態系等三大類。

(1)水域生態系

廣義的溪流生態系就是一般河道內之水域環境暨與其相毗鄰之陸域環境所構成的生態體系。而狹義的溪流生態系則指一般河道水域環境之相關因子所構成的生態體系。

(2)濱水生態系

濱水生態系是位於陸域與水域間的生態過渡地帶，亦是易受干擾的敏感地帶。

(3)陸域生態系

陸域生態系泛指森林、草原、沙漠等範圍的生態系。

3. 集水區基礎環境因子

(1)地文：包括地理位置及地勢地形、地質土壤、河川情形、流域指數、高程、坡度及坡向、河床底質、上層覆蓋、下切河岸、棲地比例。

(2)氣候、水文：包括水位、流量、水流型態及溫度、雨量、濕度、蒸發散量等。

(3)水質：包括溶氧量、電導度、酸鹼值(pH 值)、水溫、化學需氧量(COD)、濁度及營養鹽。

(4)人文及其他：包括人口、農產經濟及土地利用、歷史文化等。

4. 陸域生物資源

包括哺乳類、兩棲及爬蟲類、鳥類、昆蟲、植物等。

5. 水域生物資源

包括魚類、蝦蟹類、水棲昆蟲類、底棲無脊椎動物等。

1.3.2 基礎環境調查概述

為了解治理對象及設計治理方法，須做季節性之基礎境調查。由於本節的調查項目範圍較廣，真正規劃調查工作時，須考慮治理工程之性質、該區災害之等級以及實際之需要做調整。

1. 調查區概況

執行生態調查時，應先從大尺度之調查概況著手。而所謂「大尺度」是指設計施工基地所在之集水區範圍；而當該集水區之情形較為複雜或容易受鄰近集水區影響時，鄰近集水區之調查亦是必須的。一般來說，大尺度之調查應包括下列幾項：

(1)利用地形圖及航照圖辨識基地之地理位置、地形、土地利用狀況等。

(2)主要可能之生態壓力及敏感區之界定。

(3)植物分佈情形、主要植群或現地瀕臨絕種及入侵之植物。

(4)動物之分佈概況及瀕臨絕種之動物。

2. 樣區之選擇與劃定

一般來說，樣區之位置會依調查項目的不同而改變；但無論如何，樣區位置都須具備代表該區特性之功能。至於樣區之大小、形狀、數量及分佈地點則取決於調查項目及取樣之目的。

3. 調查頻度

大致來說，生態調查每季至少應進行一次；但若需考慮生態敏感季、枯水期或豐水期時，調查之頻度則須另行設計。

4. 細部調查方法

大致可分為基礎環境、陸域生物資源、水域生物資源三大項目，並將其細部之調查項目及調查方法詳述於 1.3.3~1.3.5。

1.3.3 基礎環境調查項目及方法

1. 地文調查

(1)地理區位及地勢：主要為利用地形圖及航照圖，對研究區做大略地調查。

(2)地質土壤：地質與土壤會影響地表沖刷程度，進而影響動植物之生長及須導入之動植物類別等。

(3)河川特性

①河溪級序

目前常為溪流生態使用的溪流序列系是將無支流之小河川仍給予 1 號序列，2 號溪流由二個 1 號溪流依流後生成，3 號溪流則由二個 2 號溪流併流，餘類推。若二條不同序號之溪流合併，則以下溪段以較高序號之支流序列稱之(詳圖 生-1-1)。

溪流序列系統經常使用和棲地與魚種之岐異度作比較，但其準確度受到地圖之詳細精度影響甚大，另在石灰岩地形及多伏流地區並不適用。

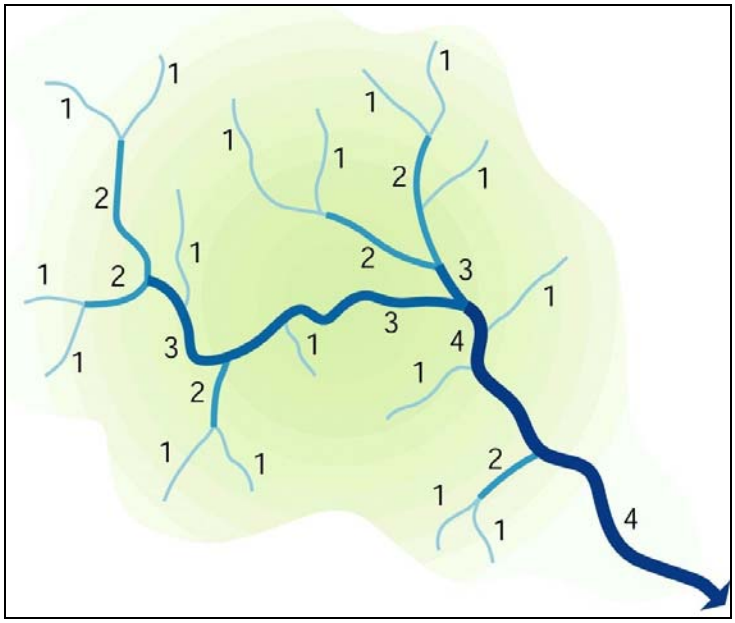


圖 生-1-1 河川級序之示意圖

②主要河川長度(length of main stream)，L_0

為流域最大最長河川之長度，單位為公里(km)。

③流域平均寬度(mean width)，W(km)

為流域平均之寬度，單位為公里(km)，$W=A/L_0$。

④河道蜿蜒度(channel sinuosity)

用以表示溪流曲折之程度，可由下列公式計算。其中河谷長度之計算，可將河道依其轉折分成數個河段，測量其直線距離後予以累加。

Sinuosity Index (SI)=河道長度(channel distance)÷河谷長度(downvalley distance)

(4)流域指數

①流域之形狀因子(form factor)，F

為 1932 年荷頓氏(Horton)提出，故又稱為荷頓氏形狀因子或流域形狀(basin shape)。

$$F = W/L_0 = A/L_0^2$$

②流域之周長(perimeter)，P

可在地形圖上沿分水嶺量測求取，單位為公里(km)。

③流域之圓比值(circularity ratio)，M

圓比值=流域面積 A 與該流域周界等長 P 相等之圓面積。

$$M = \frac{A}{\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2 \pi} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

④流域之密集度(compactness)，C

密集度=同一面積 A 所對應圓之周長/流域之周長 P。

$$C = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}\pi} / P = \frac{3.54\sqrt{A}}{P}$$

⑤流域之細長比(elongation)，E

細長比＝與流域相等面積 A 之圓之直徑／流域之最大長度 L_0。

$$E = \frac{\sqrt{A/\pi}}{L_0}$$

⑥河川密度(river density)

河川密度為流域中全部河川，包括主流長度 L_0，支流長度 L_1，分流長度 L_2 及小流長度 L_3 等之總長度除以流域面積即得。

$$D = \frac{L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + ...}{A} = \frac{L}{A}$$ 。

L 為流域中河川之全部長度。

⑦排水密度(drainage density)，D_d

排水密度之倒數稱為河道維護常數，此值表示單位河道長度所需維護地面之面積；又漫地流之平均長度如下。

$$\bar{L}_0 = \frac{1}{2D_d}$$

(5)高程(elevation)

又分為中值高程(median elevation)H 及平均高程(mean elevation)H_0。中值高程為一流域中某一高程，此高程以上及以下面積相等，通常以圖解法求之；而量測平均高程方法則有以下幾項下：

①等高線面積法(contour-area method)

$$H_0 = \frac{1}{A}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} * Ai\right)$$

其中 h_i，h_{i+1} 為兩相鄰等高線之高程。

Ai 為 h_i，h_{i+1} 為兩相鄰等高線間之帶狀面積(km^2)。

A 為流域總面積(km^2)。

②等高線長度法(contour-length method)

用測線計(odmeter)量測地形圖上等高線 h 之長度 l。

$$H_0 = \sum_i (hl) / \sum l$$

③格線法(Grids method)或交點法(intersection method)

於流域地形圖上分成若干方格，計算所有流域內縱橫交點處高程之總和，再以交點數除之即得。

(6)坡度、坡向

集水區之坡向依北(337.5°－22.5°)、東北(22.5°－67.5°)、東(67.5°－112.5°)、東南(112.5°－157.5°)、南(157.5°－202.5°)、西南(202.5°－247.5°)、西(247.5°－292.5°)、西北(292.5°－337.5°)等八個方位進行分類。而坡度係指一坵塊土地之平均傾斜比，或以坡面上垂直於等高線方向之上、下兩點間之垂直高差除以其水平距離乘以一百，以百分比表示。有關平均坡度(mean slope)，S 的計算方法有二：

①坵塊法

於地形圖上每 10m 或 25m 畫一方格丘塊。

計算方格各邊與等高線交點之點數。

$$S = \frac{n\pi\Delta h}{8L} \times 100$$

其中 S：坡度(%)。

Δh ：等高線間距(m)。

L：坵塊邊長(m)。

n：方格各邊與等高線交點之點數。

②等高線長度法

$$S = D\sum l / A$$

其中 D 為兩相鄰等高線之高程差(contour interval) (m)。

③等高線面積法

$$S = {}^{1}\!/_{A}\sum\left(A_i \frac{D}{d}\right)$$

其中 d 為兩等高線間之平均水平距離，單位為(m)。

(7)河床底質調查

底質和魚類生殖需要和食物來源如無脊椎生產量有密切關係,河床底質之調查有以下方法：

①目測法

即將底質分成易區分之幾個項目，如巨石、卵石、礫石、砂和泥等，再取數條穿越線，每一穿越線上再取數個觀察點，分別記錄再計不同底質所佔之百分率，但目測法最好由同一觀察者執行，以避免不同觀察人員之主觀判定所造成的誤差。

②穿越線法

穿越線法記錄採樣河床斷面，並採用 Platts 等人(1983)的表面目視法(Surface-visual-method)來輔助測量。二人分別站立於溪岸，沿穿越線持卷尺，第三人則順著穿越線由左岸至右岸每隔 5 公尺之區間，利用竹尺俯視，並記錄其投射下方所涵蓋之底質石粒大小，若河溪的寬度不足 5

公尺時，則由調查者按當時的狀況，自行定之。底質分析一般係根據汪靜明(1990)所建議採用之底質系統來加以分類，詳如表 生-1-1。

表 生-1-1 棲地底質分類系統表

底質	底質粒徑範圍(cm)
沉積砂土黏土、有機物碎屑	＜0.2
礫石	0.2~1.6
卵石	1.7~6.4
圓石	6.5~25.6
小漂石	25.7~51.2
大漂石	＞51.2

(8)上層覆蓋(overhead cover)

上層覆蓋一般即指溪畔林木對溪流之遮蔽度，可用遮蔽針(densitometer)來測量，遮蔽針是一片已劃定方格的內凹鏡片鑲於一木塊而成。測量方法則記錄在不同位置時鏡片上受到上層覆蓋所遮蔽之方格數目，再予以平均便可計算河段受到遮蔽之百分比。

2. 水文、氣候調查

(1)水位

一般來說量測水位之基準面通常以海平面作為基準，量測水位之目的除了了解該地之水流情況之外，尚可利用建立水位－流量率定曲線，來推估該地之流量；除此之外，水位之高低尚可提供河川中工程構造物之設計、水資源規劃等功用。一般來說水位之量測儀器常裝設於量側井內，故量測井位置之穩定性及安全性實屬重要；而常用的水位之量測儀器有標尺、浮桶式水位計、壓力式水位計、氣泡式水位計、超音波水位計及雷射水位計等，使用時可因不同測站之特性及水位計之優缺點予以選擇。

(2)流量

因河川流量會影響魚類棲息環境與生存空間，且由於工程構造物之建置，導致生態基流量之明顯不足，因而常導致河川生物多樣性的喪失，因此流量調查極具重要性，且流量之調查區分季節施作。而流量測定方

法可依河川斷面積及斷面平均流速之乘積($Q=VA$)，求出通過斷面之流量。調查方法如下：

①河川斷面積測定

在河川測定斷面兩岸，以繩索或鋼索與水流方向呈垂直且以水平固定。並在該直線以等間隔寬度選定數個測定點，而所選定之採樣斷面水深不及腰時，以涉水方式採用尺或有刻度之測竿或測錘測各定點之水深；若當水流較湍急或因天候條件惡劣，無法於水面進行量測作業時，於橋上游面進行水深測定，以減低因橋墩阻擋所造成之水流擾動影響；而當附近無橋樑或無法涉水時，以皮筏或小艇進行水深量測作業。

②流速測定

每季在各測站選擇 1~3 條穿越線以塑膠皮尺測量河寬，並沿穿越線每隔 1 公尺以攜帶式流速計測量水深、流速，並以下列公式計算流量。

$$流量=\sum_{i=1}^{n} D_i \times V_i$$

(3)水流型態

水流型態大致可分為深潭(pools)、緩流(slow run)、淺瀨(riffles)、急流(rapids)、岸邊緩流(slack)、迴流(backwater)等六種流況；且於寬淺型河道中可利用福祿數(Froude number) $F_r = V/\sqrt{gh}$ 來作為流況之表示方式(如下表 生-1-2)。

表 生-1-2 各種物理棲地環境指標之定義

型態	福祿數(Fr)	寬深比
Riffles 淺瀨	0.255<Fr<1	但b/h>15
Slow run 緩流	0.095<Fr<0.255	15<b/h<30
Pools 深潭	Fr<0.095	水面坡度≒0 b/h<15
Rapids 急流	Fr>1	不受限制

b/h：指河溪之寬深比

3. 水質調查

(1)調查項目

水質之調查項目應包含可在現地量測之溶氧含量(DO)、電導度、酸鹼值(pH 值)、水溫及須在實驗室進行之化學需氧量(COD)、濁度及營養鹽(nutrient)等。

(2)調查目的

①溶氧含量(DO)

溶氧為判別河川污染程度最重要的指標,溶氧可維持水中的魚類和水微生物的生長和水質淨化的有利環境，若水中溶氧低於 3.0mg/l，會對大部分的魚類有害，所以溶氧一般最好能維持 5.0mg/l 以上，以利魚類生長。

②導電度(EC)

導電度常做為水中鹽類濃度之指標。依照灌溉水的標準，導電度大於 750μs/cm 之水質，長期施灌於土質粘重、排水不良之土壤，農田便有發生鹽化之可能，將會妨礙作物之正常生長，故不利於淡水生物之生存環境。

③酸鹼值(pH 值)

pH 值一般用來表示水體之酸鹼度。在水產養殖方面，pH 值維持於 6.7～8.6 之間有利於大部分魚類生存。灌溉用途方面，以 6.5～8.0 為最佳，惟土壤對灌溉水之 pH，具有較大之緩衝能力，對土壤之理化性及作物較不致發生不良影響。

④水溫

溫度的變化對於複雜的水生環境有相當大的影響,溫度的變化也就是隨著季節的轉變而變化，或是地域環境的不同而有所差異。

⑤化學需氧量(COD)

水中化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)指水中有機物氧化成 CO_2 及 H_2O 時所需的總需氧量。COD 試驗被廣泛地用於工業廢水分析，尤其在調查測定及控制廢水流入到下水道系統上更具價值。

⑥濁度

濁度(Turbidity)的成因，依據水的混亂程度的不同，而由不同的懸浮物質所引起。

⑦營養鹽(Nutrient)

水中營養鹽主要是指氮與磷，兩者均與水中藻類和植物有關；而工廠或家庭排放廢水時，水中營養鹽的量會突然升高，常會造成優養化之現象。

(3)採樣程序

水質調查現場採樣程序分為以下幾個步驟：

①到達現場後，先確定採樣地點。

②拍照存檔並準備該點之樣品容器。

③以 300cc 燒杯或塑膠杯盛水(盛水前，先潤洗數次)，量測水溫、溶氧、導電度、pH 值等項目並記錄之。

④以 20 公升桶盛裝水樣(先潤洗數次)。

⑤分裝各個已貼樣品標籤之樣品容器。

⑥清點檢查樣品，記錄採樣結果。

⑦於離開採樣現場前，必須完成所有現場採樣記錄表格填寫。

(4)採樣原則

採水前，採樣瓶及盛水桶要用所要採樣之水洗滌二至三次。且沿採樣斷面處應以下述方式採水。

①在河斷面之左、中、右採樣點採集。

②採樣點水淺時(＜1.5m)取水面下 0.6 倍水深之水。

③採樣點水深介於 1.5~3m 間時，取水面下 0.2、0.8 倍水深之兩層水樣以等體積比例混合成單一水樣。

④採樣點水深≧3.0m 時，取水面下 0.2 倍、0.6 倍及 0.8 倍水深之三層水樣以等體積比例混合成單一水樣。

⑤取樣時，避免有較大固體物(直徑大於 0.6cm 之顆粒)進入水樣中，以減低檢驗誤差。

⑥取水時儘量選取水樣混合均勻處。

⑦取水時水樣應直接緩慢均勻放入水桶中，至足夠的量為止。

⑧當發生特殊情況時，應儘可能拍照存證，如上游河水暴漲、水庫放水、大雨、水流湍急及大風等。

(5)調查設備

水質調查設備以輕便、能攜帶至郊外現地實測為宜，包括攜帶型溶氧度計可量測溶氧含量(DO)、攜帶型鹼度/電導度計可量測電導度、酸鹼值、

水溫等變化。COD 與濁度則採集水樣帶回實驗室，利用化學需氧量(COD)測定儀及攜帶型濁度計測定之。

集水區進行化學調查時，人員所需的裝備，包括 GPS 定位器、水質調查裝備、水杯(或燒杯)、背包、圖板、筆、紙等，人員則應穿著雨鞋或防滑鞋及做好防曬措施。一般進行集水區水質調查時，通常與水文調查一起合併實施，以節省人力與時間。

4. 人文及其他調查

(1)人口：至鄉鎮市戶政機關申請，瞭解整體人口數及分佈狀態，並請當地鄰里長提供必要之協助。藉由調查資料評估人口總數、各鄰人口分佈情況、年齡性別比例。

(2)產業經濟及土地利用：至當地鄉鎮市公所農業課等相關機構蒐集資料，並至當地進行實地的訪查，瞭解當地的產業特色，再商請當地村里長或社區協會代表提供必要之協助。藉由調查資料評估作物種類、作物耕作面積、各農產品採收時期，未來可以推出一系列有關當地農產之行銷，吸引觀光人潮。

(3)歷史文化：至當地鄉鎮市公所相關機構蒐集資料，並至當地進行實地的訪查，由地方耆老口述當地發展歷史，再商請當地鄰里長、社區協會代表提供必要之協助，瞭解當地聚落發展及名勝古蹟與紀念性之建築與記載。藉由調查資料判讀地方文物誌及特殊事物之記錄，同時藉由教育解說牌之設立，以推廣當地歷史文化、以提高人文素養。

(4)水際域或洪氾區區位調查：針對區域淹水及造成土砂災害情形調查，並透過各鄉鎮公所或其他政府機關歷年整治規劃報告觀察施設地點區域環境工程概況，供日後施設生態工法之安全考量依據。

(5)集水區災害調查：利用不同時期之空照圖比較並計算濱溪崩坍地、地滑地等地質敏感區位置及其所佔面積有無增減，同時將區位與面積作比較，以作為泥砂治理、河道浚渫及沉砂池等防砂工程設計之參考。當崩坍地面積超過該區域整體面積之 5%以上時，需針對源頭治理與坡面改善之處理。計算溪流沿線通水斷面積，若不足則應予以浚挖改善，並注意橋墩間通水斷面積，將阻水結構做適當改善，使最高水位與兩岸邊坡或土地保持適當之溢流水位空間。

(6)集水區歷年整治概況：由當地鄉鎮市公所、水土保持局轄區工程所、林務局或水利署等河道治理之相關工程單位蒐集資料，並至當地進行實地的調查工作，必要時商請當地鄰里長、社區協會代表提供協助。統計工程構造物之數量、河工構造物週遭流路變化與沖淤狀態研判其安全性及工法治理成效，並提出改善對策，供後續工程設計參考。同時針對未慮及生態之工程構造物，提出未來其改善因應之方法。

(7)道路交通系統調查作業：針對集水區現地道路調查：①省道、縣道、鄉鎮道路；②農路、產業道路；③各景點之所在位置與其連貫性；④考量道路寬度與停車空間。並藉由調查資料評估周圍其他風景區離施設地點之路程、聯外道路車道數及停車空間、施設地點之參觀路線出入口與通路，以確定其方便性及附近周圍之景觀動線。

(8)應用資材調查：調查現地各種石材數量與其豐富度，同時針對石材強度、硬度、均勻性及豐富度加以研判分析是否足供運用。石材採取時可由目視初步判別其材質強度大小，應調查其質地粗細、顆粒大小、色澤、紋路及裂紋等。現地採樣規範級配以洛杉磯試驗機進行抗磨損率測試與抗壓試驗。應採取質地細緻、顆粒細密均勻、顏色灰白為主，同時應檢視其表面紋路及裂紋，應越少越佳。

1.3.4 陸域生物資源調查

1. 哺乳類資源

台灣地區野生之哺乳類動物已知有 8 目 20 科約 70 種，小型(體重 250kg 以下)的有食蟲目、齧齒目、翼手目，約有 50 種，佔 70%以上。中、大型(體重 300kg 以上)約 20 種，含兔形目、鱗甲目、靈長目、食肉目、以及偶蹄目。其調查方法主要有目視觀察法、跡相搜尋法、陷阱捕捉法、紅外線自動照相法及氣味站法等，由於野生哺乳類一般不易被發現，因此集水區哺乳類之調查常以居民訪談及紀錄資料為主。

2. 兩棲及爬蟲類調查

台灣地區的爬蟲動物與兩棲動物均屬於外溫動物，在生理上無法維持恆定的體溫，常須藉外界的溫度調節之，故其活動情形與天候情況有很大的關

係。在棲地的選擇及利用上，不同種類的兩棲及爬蟲類動物各有其偏好的棲地型態，部分適應力強的物種則可利用較多不同的棲地。

(1)調查方法

①徹底資源清查

此法可用在小區域的調查，如一條溪流、一個水池等，或在大區域中採系統取樣進行調查，在一定的時、空之下，於白天和夜晚，到所有可能的微棲地中，以儘量不破壞棲地的調查方式，如翻動石頭、木頭或是拆除附生植物等，搜尋及採集兩棲類。

②目視遇測法

調查人員在一定的時間內，有系統的走過一特定段落的棲地，將所看到的兩棲類動物種類及數目記錄下來。為了便於比較調查結果，用單位時間、單位人員捕獲(計數)量表示。目視遇測法適用於資源的清查及監測，可用來研究一個地區內兩棲類的豐度(群聚中種類的多少)比較在群聚內種間的相對數量。

此法較不適用於估算族群密度，因為它在調查過程中，無法計數到調查區中所有的個體。目視遇測法可以在樣區設穿越線，沿著一特定方向，取固定的長度來進行調查。

③穿越帶鳴叫計數法

在無尾兩棲類中，大部分青蛙都有獨特求偶叫聲，而穿越帶鳴叫計數法就是利用此特點來進行調查。凡在穿越帶兩側聽到，可鑑定音源個體的數量都要計算，至於兩側聽到的範圍要定多大，就須視種類及調查環境而定。鳴叫聲的記錄資料，可以用來估算或決定鳴叫雄蛙的相對數量、成體的相對數量、種類組成、微棲地利用及物種繁殖之特性等。

④穿越線取樣法

在自然環境中，各種因子的顯現，往往呈現梯度變化。而此法可用在比較種類或種間的關係變化，是否與環境因子梯度的變化有密切的關係。例如要檢視海拔高度變化，或濕度變化是否與兩棲類的分布有關，可用此調查法。此法經常與目視遇測法共同使用。

⑤繁殖地調查法

許多兩棲類，在繁殖時會大量聚集在水域附近。因此，在該地進行調查，效果將非常的好。而在繁殖場所附近一般是用目視遇測法來計數成體。此法所得的資料可以提供群聚中種類組成，每種的鳴叫雄蛙數量或相對數量。另外，在進行大區域的調查時，可以提供哪一區域是最適合的繁殖區，及污染或水域酸化對於成蛙及蝌蚪可能的影響。另外，此法所得的資料，亦可用來進行長期監測的比對。

⑥兩棲類幼體取樣法

雖然大部份的兩棲類生物大多在夜間出現，但由於白天操作、記錄方便以及可工作時間較長，可於白天進行卵及幼蟲的記錄，了解兩棲類對棲地利用的選擇及繁殖季節的長短。然由於卵及蝌蚪的辨識較為不易，應於夜間再度前往棲地印證，藉由水域中不同變態階段的蝌蚪，以及形態得到確認。至於兩棲類幼體取樣計數的方法有很多，大都是採用移除計數。移除的方法包括有：利用施網圍捕、撈網撈取、陷阱捕捉、及圍網圍捕等。上述的這些方法，可以在最短的時間，最少的人力情況下來進行。對蝌蚪的定性定量的分析，可知水域中蝌蚪群聚的種類組成及族群的大小。這些方法的好處是不易傷害到蝌蚪，對於瀕危及稀有種類的監測相當有利。

(2)兩棲類與爬蟲類調查時之注意事項

①調查時須依據不同動物的特殊生活習性選擇可能出現的棲地環境或時段進行搜察。

②依據其物種習性之不同，調查方法包括徹底資源清查法、目視遇測法、掩蓋物翻尋法、陷阱捕捉法、道路調查法、穿越帶鳴叫法、穿越線取樣法、繁殖地調查法等；而另針對兩棲類動物之變態性質，兩棲幼體是較易蒐集資料的來源，故又有兩棲幼體取樣法。進行兩棲及爬蟲類生物資源調查時，調查的時間與空間是二項必需考慮的前提。

③調查時間方面，可於固定樣區內，日落後以背負式探照燈沿河岸觀察。由於大部分兩棲及爬蟲類的活動時間在晚間，且從入夜到隔天清晨會出現不同的活動模式，所以應依調查目的選擇調查的時段或固定調查的時間；此外，為了調查及操作上的方便，於白天從事兩棲蝌蚪類的辨識，也就是兩棲幼體取樣法，是一項很好的調查方法。

④調查空間範圍，因兩棲類為保皮膚濕潤，通常會選擇較為隱蔽的棲息場所躲藏，尤其秋、冬季，部分兩棲及爬蟲類因環境缺水或冬眠常躲藏於石頭底、竹筒、樹頂、姑婆芋柄基部等棲所，甚至土中也有躲藏的可能，故也可利用掩蓋物翻尋法，以及穿越帶鳴叫法相互配合調查。調查人員應客觀地普查所有可能的棲地，這同時也有助於了解兩棲及爬蟲類在生態上的需求。

3. 鳥類調查

目前全世界的鳥類約有 9,100 種，台灣已列入正式記錄的鳥類約有 450 種。由於種類數量多，而不同物種間的棲息環境及生活方式也都有所差異，例如有些鳥類屬於區域性的留鳥，一年四季都可能在該區域發現；有些鳥類屬於季節性的侯鳥，只能在一年中的特定季節發現;有些鳥類會成群聚集；有些鳥類則頃向單獨活動;有些鳥類極易發出特殊的鳴叫聲而被發現辨識；有些鳥類則鮮少鳴叫。

(1)調查方法

穿越線法是在調查範圍內選定一條固定方向的穿越線,調查時以穩定的速度沿著穿越線前進，紀錄沿途兩邊所發現的鳥種及數量。一般而言，棲地開闊而面積大的樣區比較適合採用穿越線法來進行鳥類資源調查。調查時以雙筒望遠鏡(10×25)進行觀察為主，記錄鳴叫聲為輔，將鳥種、數量及其出現之棲地加以記錄，並就不同鳥種拍照存證。比較各樣區之數量及種類組成，並分析不同區域鳥類族群之變化情形。進行鳥類調查時，最好避免穿著鮮艷的服飾，同時也要避免穿戴會發出聲響或味道的裝飾。

(2)鳥類調查應注意事項

①穿越線的長度及調查人數最好固定，而且必需有清楚的地點標示，以便後續調查能在同一路線上進行。

②若在一範圍內設置多條穿越線，則彼此間的距離不可太近。一般在開闊棲地中，兩條穿越線應距離 250m 至 500m。而在較掩蔽的棲地環境中也要有 150m 至 250m 的間距。

③穿越線的長度，因研究目的而異，但為有準確的族群估計，每一種鳥類最好有 40 筆以上的記錄。

④較長的穿越線，應儘可能分段來進行記錄。在鳥種及數量都極豐富的情況下，可以 100m 作為一個分段，若鳥種及數量較少則延長分段的距離。另外這類的分段也需要儘可能的與棲地環境相配合。

⑤在穿越線上的行進速度最好穩定，在開闊地可以每小時 2km 的速度前進，在掩蔽的棲地則可以每小時 1km 的速度前進。

⑥除了分段記錄之外，亦可將穿越線旁劃分成不同的區帶來進行記錄。一般可將穿越線兩旁劃分成 2 至 5 個不等的區帶（例如：小於 10m、介於 10m 至 25m、大於 25m）。而兩個區帶是較常採用的一種設計，至於內區帶的寬度，則可以利用所有記錄距離的二分之一作為設定的參考。

⑦距離是以發現個體與穿越線的垂直距離來作為記錄，而不是與觀察者的距離，如果發現所在的個體是在空中，則以投影的方式來訂定其位置。

⑧在每個穿越線的調查段落中，可以記錄觀察鳥種的所有數量、平均或是單次最高觀察數量。採各次觀察數量的平均對於遷徙的鳥種較無意義，而單次最高數量的記錄則可避免個體的重覆計數。最好能使用記錄表格。在具有特殊研究目的的情況下，可就不同的行為或性別分開記錄，但此類狀況經常會採用定點計數法來進行調查。

4. 昆蟲調查

台灣的昆蟲相十分豐富，約有 45,000 到 200,000 種，已登錄並經命名者約 18,000 種。昆蟲的調查方法甚多，茲舉陸域昆蟲的調查方法如下：

(1)掃網調查法：各河段兩旁河岸之地或河床邊或河岸上(砌石縫)植群上掃網，每段 20 網，鑑定及計算昆蟲科數。

(2)目視調查法：另飛行中之中大型昆蟲如蜻蛉目、鱗翅目、鞘翅目、膜翅目及停棲植物上之中小型昆蟲如鞘翅目、直翅目、膜翅目、雙翅目等，均以目視法記錄調查當時 30 分鐘內出現在該河段的昆蟲種類及數量。

5. 植物調查

一般植物相調查常用的植物相調查有穿越線法、沿線調查法、目視記錄法及標本採集法等四種；而關於植物群的調查，理論上應包括定性的(Qualitative)及定量的(Quantitative)兩方面。定性應鑑定植物之種類，通常

以種(Species)為基礎，測計樣區內每一植物之種類；定量則為調查每一植物之數量，如株數、優勢度等植物社會介量及代表植物組成複雜程度之種歧異度。

(1)調查方法

①樣區取樣調查方法

依調查地區之環境條件，植物之生活型、冠層結構分佈及調查目的等，選取適宜之樣區，進行植物種類數量及生長情形之調查，並依調查所得之相關參數加以組合分析，作為計算植物群落特性之方法。

a.樣區形狀：可分為長方形、正方形、圓形、帶截樣區及線截樣區。

b.樣區之分布：可採逢機取樣、系統取樣或選擇性取樣方法。

c.樣區大小則如表 生-1-3 所示。

d.樣區之數量：樣區之數目會影響調查之精度，而在決定適當之樣區數時大多採用「種數-樣區數曲線」法。

表 生-1-3 植物種類與樣區大小之關係

蘚苔層	0.01~0.1m^2
草本層	1~2m^2
低灌木及高草本層	4 m^2
高灌木層	16 m^2
喬木層	100 m^2

②穿越線法

所謂穿越線法(Line transect, Strip)即針對所調查之區域內先進行勘查，選設若干穿越線，穿越線數可依所調查面積之大小、植物社會之多樣性、環境變化的幅度或人力資源的充足與否等條件來增減。穿越線之長度可為 100m、500m 或 1,000m 不等；可依現有之步道、等高線或沿稜線、溪谷等設置；設置後由調查者沿所設置之穿越線將兩旁 5m 內可見到之植物一一記錄，無法判釋但可取得標本者，攜回鑑定。所記錄之物種，儘量採一份引證標本，而此引證標本最好是具繁殖器官(花、果實或種子)者。同一路線需每季進行一次調查，以記錄不同季節出現之物種。

③沿線調查法

所謂沿線調查法(Road Sampling，Bookhout, 1996)即於各調查區內沿著現有的公路、林道、產業道路、登山步道、獵徑等，設置若干調查路線，此路線長度可為 1km、2 km 或 3 km 等或某兩處明顯地標物之間現有的路徑，設置後由調查者沿所設置之樣線將兩旁可見到之植物一一記錄，沿途所記錄之物種，儘量採一份引證標本，而此引證標本最好是具繁殖器官(花、果實或種子)者，同一路線亦需每季進行一次調查。

④目視記錄法

所謂目視記錄法即凡出現在調查區內之植物經調查者判釋之物種皆一一記錄，調查者依經驗直接記錄所見之物種，不需採標本，但需注意哪些是優勢種、哪些是稀有種、哪些是較特殊的物種等。

(2)調查項目與分析：

①植物相調查

了解該地區植物種類，製作植物清單，尤其須評估及建立稀有植物資料，供工程規劃、施工地點、施工方法及施工中植物社會維護與施工後復舊之參考。

②植群調查

在均質環境的自然植群設置樣區，調查樣區內植物種類、構造、樹高、胸高直徑等資料，供植群型式分析、植被圖及植被剖面圖之製作參考。

③植被圖

供調查地區植被分布概況之了解參考。

④植被剖面圖

了解植群中各種組成植物之分布層次及優勢度，可供潛在植被選擇及植生復舊時之參考。

⑤植物社會介量分析

在研究植物社會之特徵時，需對植物加以定量，其目的是要尋求各種植物在社會中之重要性，或數量之百分比，以確定在某種環境下之優勢度，找出優勢種。因此，通常採用植物社會介量(Phytosociological parameters)，來加以指示出控制植物社會環境的優勢種。計算方式如下：

a.密度(Density)

指單位面積內的個體數，或稱豐多度(Abundance)，其表示方式以相對密度表示之(Relative density，RD)

$$\text{相對密度(RD)} = \frac{\text{某植物之株數}}{\text{全部植物之株數}} \times 100\%$$

b.頻度(Frequency)

為某一種植物在樣區中出現的次數，其表示方式以相對頻度表示之(Relative frequency，RF)。

$$\text{相對頻度(RF)} = \frac{\text{某植物之頻度}}{\text{全部植物之頻度}} \times 100\%$$

c.覆蓋度(Cover rate)

為某一種植物之植株面積對地表面積之比值以百分率表示，然後將之改算成相對覆蓋度。

$$\text{相對覆蓋度(RC)} = \frac{\text{某植物覆蓋度之和}}{\text{全部植物覆蓋度之和}} \times 100\%$$

d.重要值指數(Important value index，IVI)

植生調查中，常用之介量有密度、頻度及覆蓋度三種；而各植物重要值為相對密度、相對頻度及相對覆蓋度之總合。因每介量之最大值為 100，故所有植物種類之重要值指數恆為 300；但以線截法調查溪流濱水帶護岸之植群社會時，因草類植物或匍匐性灌木在密度之調查上，有其實質計數上之困難，且調查所得之株數雖多，但卻無法顯示出該草類植物或匍匐性灌木佔有較佳之覆蓋面積。故亦有重要植指數採用相對頻度與相對覆蓋度之加總來計算(總合為 200)。

⑥植物社會之種歧異度

植物社會組成之複雜程度可代表其安定程度，常以種歧異度指數(Species diversity index)表示，歧異度指數越高通常代表該植物社會的多樣性也越高，同時也較為安定，常用來表示植物社會種歧異度的方法有以下數種(劉棠瑞、蘇鴻傑，1983)：

a.種豐富度(Species richness)：

依種類與個體數或面積之不同，常採用下列公式。

以 $R=\frac{S}{N}$ 或 $\frac{S-1}{\log N}$ 或 $\frac{S}{\sqrt{N}}$ 表示

式中 S：所調查植物社會中，總共出現之種數。

N：所調查植物社會中，總共出現之株數。

b.辛浦森氏歧異度指數(Simpson index of diversity)：

$$D_{Si}=1-C=1-\sum\left(n_i/N\right)^2=1-\sum\left(P_I\right)^2$$

式中 n_i：第 i 種植物個體數。

N：整個植物社會所有植物種類個體數總合。

$Pi=n_i/N$。

c.夏農氏歧異度指數(Shannon index of diversity)：

$$D_{Sh}=-\sum\left(n_i/N\right)*\log\left(n_i/N\right)=-\sum\left(P_I\right)\ *\log P_i$$ 。

d.均勻度指數(Evenness index)：

$$E=\frac{D_{sh}}{\log S}$$

此公式以 Shannon 氏歧異度指數為基礎，並將之除以其可能之最大值(logS)，使其變化範圍限定於 0~1 之間。

⑦矩陣群團分析

植生調查資料可用來做 Motyka 氏群團分析並求出相似性指數，並繪出樹狀圖，而樹狀圖完成後，可以主觀取出之相似性臨界值，並用來作為植物植群分析之依據。

1.3.5 水域生物資源調查

1. 魚類調查

蒐集當地魚類生態及當地生態保育團體或個人調查之相關資料，如魚類分佈、繁殖狀況、產卵地點、放流地點、漁獲實態等，可獲得野溪魚類或其相關資訊之生態最基礎的資料。調查方式有直接觀察法、捕捉法、電魚法。其中電魚法較適合中、上游的野溪魚類資源調查研究。而一般來說，背負式電魚器會是較合適的電魚器具。

(1)調查方法

①採樣區規劃

根據蒐集的相關資料，與可應用之人力、物力與時間，可以先行在地圖上標示預設之採樣點，務必使調查的採樣站具有代表性，方能收全面性之魚類資源現況調查之結果。採樣站設定方式如下：

a.以溪流長度為單位，如每隔數公里選擇一採樣站，進行調查。

b.以各別地區環境特性為依據，如農業密集開發的環境與低密度開發環境的比較；又如水壩上下游的比較等。

c.在選定採樣站之後，可以考慮以各別的棲地型態(如：水潭、急瀨與平瀨等)為單位，進行魚相調查，然後再予以整合，並可與其他採樣點比較。

d.採樣站分布：不論何種設定方式，如採樣站數量越多，則所能獲得的資訊越詳盡，也就越有代表性；在主流與支流調查時，都需要考慮溪段位置之上、中、下游皆有採樣站；另外，也需要考慮溪序(Stream Order)大小，溪序代表溪流大小差異，在此，大多利用荷頓之河溪級序定律(Horton stream order law)作為計算的方法。

②採樣站之探勘與確定

在圖上規劃好採樣站後，即需要先行探勘其可其性與代表性，不僅是能以人力可及，也要考慮豪雨、颱風之後，是否仍然可以到達該地並順利進行調查工作；到達採樣站後則需要判斷該溪區的溪流特性，是否能代表附近河段，並且具有足夠的穩定特性，能抗拒一般性天然災害與人為干擾的破壞。

③調查頻度

在河段之調查樣點每季調查一次。調查時，選 50m 長河段，以 12V 蓄電池電魚器採集為主，深水域(水深超過 80cm) 則以手拋網、潛水及釣魚法補充採集。由於電器捕魚的方法屬於管制項目，必須特別向主管機關申請，同時每次採集時也需要向各地警察單位報備，更因為電魚屬於危險工作，必須請當地有經驗的人協助辦理以策安全。

a.在較小區域與採樣站較少者，常常是以每月或是每兩月進行一次調查。

b.考量調查目的與所能投入的人力與物力，以及調查範圍大小等因素後，可以每季為單元，對每一採樣站進行一次調查，能獲得相當充份的資訊。

c.一般來說，調查頻度以每季依次為宜。

④調查方法：

現今魚類調查大多採用電魚法(Electrofishing Method)，目前國內溪流魚類研究集中於中、上游，背負式電魚器(Backpack shocker)是較合適的電魚器具，基於操作人員安全考量，溪面寬度、深度與水流強度，都是使用背負式電魚器；若在河幅過寬與深度太深之處，魚類於電流迴路即感受輕微電流而逃避，故效率較差；而在水流湍急的溪段，調查者背負電魚器進行時，除需留意電昏魚隻的流向之外，也需要注意重心與腳步的穩定。一般而言，為求安全與效率並重，背負式電魚器的應用溪段，以1m~1.2m 深度內的河段較適合，如瀨區等。深潭或是急的水流，則較不適用。另外，緩流與平流區等有點深度而水流緩慢的區域，其捕獲效率隨河寬增加度遞減，為避免此法過於霸道，可以調整其電流強度或是使用乾式蓄電池，以較弱電流強度減少魚類的死亡率與受傷程度，卻又不致於降低捕獲效率。如於溪流下游之寬深的溪流與水庫，則可應用船載式電魚器進行調查。

又電魚最合適方式及時間，是在調查溪段上下游先以攔網圍住，避免調查溪段內的魚隻的逃逸；進行時，一人操作電魚器，兩至三人手執撈網跟隨在操作電魚者之後方或旁邊，撈取電昏之魚隻，另一人手持水袋與打氣幫浦隨時將捕獲魚隻置入水袋中，以減少魚隻死亡率。一般多在進行取樣前，須先設定取樣面積(範圍)或是取樣時間(如 100m 長或是 30 分鐘)。藉著固定時間或固定範圍的捕獲魚隻，計算及比較不同區域或不同時間的相對數量。

(2)魚類調查時注意事項

各種魚種必須確實鑑定到種；且採集之魚種，均需量測體長及濕重。在記錄表格方面，紀錄表格之內容可以分為採樣相關資料記錄、環境因子測量與生物數量等三類。

①採樣相關資料包括了採樣的人員、調查天候、調查時間、採樣站名稱、鄉鎮別、土地利用、海拔高度、坡度與現場備註等。

②環境因子則包括了採樣站的水溫、溶氧量、酸鹼度、導電度、濁度、河寬、水深、流速、底質組成、樹林鬱閉度、溪岸植被與邊坡類型、水潭與急流比率、水中藻類種類與覆蓋程度與硝酸鹽、磷酸鹽等營養鹽濃度等。

③調查者可以衡量時間與調查目的,在這些測量因子選擇必要的因子測量，或簡化部份因子的測量方式。

2. 蝦蟹類調查

蝦蟹類之調查大多使用蝦籠，而使用蝦籠之方法及注意事項如下：

(1)適合之溪段與操作

藉著擺設於魚類移動時必經途徑上，或因其密閉性而造成遮蔽(Cover)效果，或是籠內置餌料而吸引魚類及蝦蟹類進入取食，使魚類及蝦蟹類自動地游入籠內，無法逃出。因此，依魚類及蝦蟹類之習性如移動、棲性或體型較小魚類來做設計。惟因小型魚類之體積較小，所能捕獲的魚隻數量有限，而須大量擺設於各類的水體環境，方得以捕獲足夠的數量。蝦籠多半是以塑膠製成，質料較輕；因此，須加沉子(Lead)，使其能沉底；並須置石塊於其上方，以免其被水流衝激而浮起。另外，魚籠的開口較大，通常須以擺放石頭橫堵溪流以改變水流方向，令魚類往上游活動時，因朝水流勢游動，而陷入魚籠之中，其需耗費相當人力，擺置石頭，其開口設計多為捕捉大型魚隻，故無法捕獲小型魚隻，不常用於溪流調查之中。蝦籠開口較小，通常不朝向水流擺置，捕獲的魚隻及蝦蟹類以小型魚類為主。網具的材質、擺置時刻、時間、位置都與效率有關。此法往往只用於魚類及蝦蟹類的取樣，捕獲的種類以福馬林固定，攜回實驗室內進行生物學分析。魚籠與蝦籠除可作為輔助之採樣漁法外；在一些小型溝渠與溪流下游或岸邊多灌叢的環境中，可以置放誘餌之蝦籠進行魚類及蝦蟹類的捕捉，可用以捕捉一些夜行性魚類；其捕捉效果乃因累加數個蝦籠且又置放一晚，甚或比電魚法來得好。

(2)蝦籠擺放時間

如有置放餌料以引誘魚類及蝦蟹類進入取食，則約需時一晚，若是不置放餌料於蝦籠內，單純擺置在魚類活動途徑，自然的捕獲魚隻及蝦蟹類，擺放於溪流中約需 3~5 日，才較有效果；但需注意的是，此兩者所捕獲的種類，會有所不同。如以蝦籠為調查工具時，每一調查站約需 30~50 個蝦籠擺置於不同棲息地；以一個調查站而言，約需耗時 2~3 小時。

(3)其他注意事項

蝦籠與魚籠的體積較小，故所能容納的魚類及蝦蟹類有限，故需較多數量的蝦籠或魚籠擺設於適當位置。與刺網相同，具有魚隻體型上的選擇性，體形較小的魚隻可以自由進出蝦籠，故通常捕獲率較低。

3. 水棲昆蟲類調查

水生昆蟲的採樣方法，依環保署環境檢驗所網頁上公告的「河川底棲水生昆蟲採樣方法」(82 環署檢字第 02198 號)為基準。該方法適用於非感潮河段，或水中鹽度在 1.5 以下之河川底棲水生昆蟲採樣。

(1)調查方法

水生昆蟲採樣方法係以蘇伯氏定面積採集網(Surber net sampler)採取河川底棲性且肉眼可見的水生昆蟲，其大小能以 30 號標準篩(網孔大小為 0.595mm)篩獲者。採集網可使用蘇伯氏採集網，此網之大小為長寬高各 50cm，網框以不銹鋼片製成，網袋近框處以帆布製成，網袋部分為 24 目(mesh，每公分 9 條網線，網孔大小為 0.595mm 之尼龍網製成)。其他裝備則有尖嘴鑷子、標本瓶(50ml)、白色或淡色塑膠盤以及長統雨鞋(長度至大腿)等。

採樣地點最好選擇河床底質為卵石、礫石之處，且水深不宜超過 50cm 左右。其次，在採樣站 50m 範圍內選擇岸邊及接近河中央各一點進行採集，兩人一組，一人固定網框，另一人將網框內之河床底質攪動，使其間之底棲昆蟲隨水流入網中。若有附著在石塊者，則用鑷子夾入標本瓶中或用刷子刷入網袋。將水生昆蟲網提起至岸邊挑蟲，挑蟲時以鑷子將網上之昆蟲放入標本瓶內，或將網中網獲之物倒入白色或淡色之塑膠盤中，再仔細挑出其中之水生昆蟲放入標本瓶中。

將採獲之水生昆蟲放入事先配好之 70%酒精標本瓶中，標本瓶上記錄採樣時間、地點及採集者名字，帶回實驗室作進一步種類鑑定及數量計算。

河岸的昆蟲調查以蝴蝶和蜻蛉目為對象，不做夜間集網採集，調查基準範圍以鳥類穿越線為基準。

(2)水棲昆蟲調查應注意事項

①採集時，將水生昆蟲網面對水流，此時採樣人員絕對勿在網框之前走動。

②採集點之選擇應具代表性，經過酒精保存的樣品必須在一個月內完成鑑定及計數。

1.4 生態工法規劃原則

1.4.1 集水區整體規劃

1. 集水區現況與整體環境特性考量

進行集水區整體規劃前，應先調查集水區面臨之問題及確定治理方向，並對集水區之自然資源、農業、經濟、社會及文化等層面進行考量(包括地形、土壤、地質、氣候、自然水體、地下水、野生動物、植生、人類土地利用、有關之社經因子、法令政策以及工程建設等)，最後以其間之關聯，決定解決問題之優先順序。

透過適當之集水區生態工法規劃設計，可達成自然資源保育之目標，以傳統工程方法所操作之經營內容也可配合生態工法來設計施作(圖 生-1-2)。而此規劃設計模式所應有之考量因子，除包含一般集水區經營所具備之環境特性因子外，也應涵括集水區域內適當之陸域集水與生態因子，如此才能夠透過有效之規劃設計流程將考量因子所提供之訊息加以結合，進而產生一個達成集水區經營目標之整體生態工法規劃。

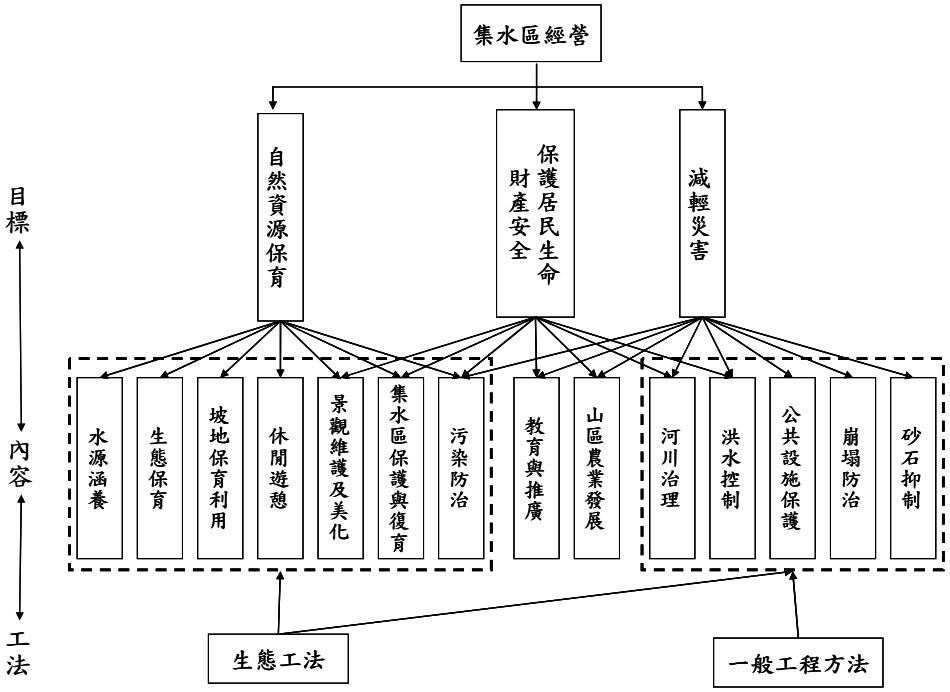


圖 生-1-2 集水區經營目標、內容與可用工法之關聯圖

2. 集水區陸域生態因子之考量

陸域與水域之相關性是靠著物質與能量緊密的聯繫著，因此考慮陸域生態因子對水域之影響，首先必須從物質與能量的動態這方面著手。由於陸域動物之遷徙特性，可使動物在環境改變時，另行選擇合適棲息環境。再者，陸域動物之主要食物來源及食物鏈多關聯至陸域植物，即整體食物鏈之生產者，因此，對於集水區而言，陸域之植被將是在規劃集水區生態工法中首先必須優先考慮的因子，尤其河溪兩岸之濱溪植物之有無與濱溪植物之種類須優先考慮。其次是集水區內土地利用情形，如都市與農業土地利用的面積，與其佔整個集水區面積之百分比。最後是集水區內的地質與地形，由於不同之地質條件會影響因地下水及風化過程中從土壤釋放流入水體的各類物質總量，而地形則為直接影響風化及沖蝕過程的主要因素之一。

3. 集水區水域生態因子之考量

有關應考量之集水區生態因子，主要可分為水體的物理化學特性、河道型式、水棲生物群聚結構與功能組成等四類。而對應之各類因子，分列如下：

(1)水體之物理特性：水溫、濁度、流速、流量等。

(2)水體之化學特性：pH 值、電導度、硬度、鹼度、無機營養鹽(氮、磷等)濃度、重金屬濃度等。

(3)河道型式：如洪水平原的有無、U 或 V 型河道、河道坡度、河岸結構、河床底質石結構等。

(4)水棲生物群聚結構與功能組成：藻類、無脊椎動物、與魚類之群聚結構與功能組成。其中以無脊椎動物最常作為河溪生物指標。

4. 集水區生態工法規劃設計流程

集水區生態工法規劃設計之考量因子，可分為自然環境、生態與社經管理等三類。自然環境考量因子是泛指構成集水區基質之無機物理單元或過程，生態考量因子主要著眼於集水區範圍內生存活動之生物群落及其所處棲地環境，而社經管理考量因子則是指由人類社群活動而產生足以影響集水區狀態的各種可能衝擊。

一般而言，集水區經營策略基本上是透過問題導向規劃 (problem-oriented planning)之操作而產生，其特徵是對目標集水區進行問題確認，其次在許多方案中尋求最適方案後，最後藉由執行方案成果進行方案修正之遞迴流

程。但是面對生態工法規劃設計時，施設位置之物理、生態環境之現況與特性差異常會顯著地影響工程方法之選擇。因此，無論是集水區或河川生態工法規劃設計，其規劃流程與一般集水區經營之計畫規劃最大差異在於事先對規劃範圍之空間特性分類，也就是分區(zoning)的操作。綜合上述幾種規劃概念，集水區生態工法之規劃設計流程應保留三項規劃原則：

(1)集水區必須先依照其整體經營目標及生態環境特性進行規劃。

(2)各規劃分區中之工程方法選擇必須基於達成集水區經營目標為主要依據。

(3)在可達成目標的各種工程方案中，以同時融合生態的方案為優先選擇。

據此，如圖 生-1-3 所示集水區生態工法規劃設計流程可分為集水區經營目標確定、特性調查、規劃單元劃分與工法分析、工法配置與設計、生態監測與教育推廣等五個階段。此規劃設計流程在每一階段中皆增加生態考量之操作步驟，各階段之工作項目分述如下：

(1)集水區經營目標確定：為使經營措施能夠符合整體集水區經營目標，集水區主管單位及當地居民之參與及意見溝通為各階段之重要工作。當確定經營目標後，後續之規劃步驟則應該遵守前述所提之三項原則。

(2)集水區特性調查：調查工作項目除一般規劃流程所含之自然環境、土地利用、社經管理、河道地形外，生態及棲地調查為此規劃設計流程之生態考量基礎。而所得調查資料則透過地理資訊系統加以紀錄，以利顯示及分析集水區之空間特性。

(3)規劃單元劃分與工法分析：在此階段中，集水區首先將依其水文、地質、地形等條件而劃分為具有相同性質之分析單元(次集水區)。各分析單元之基本經營策略則透過土地適宜性分析加以確認，以保育為主要策略之分區盡量保持原狀避免開發外，對於需要治理之區域則考量一般及生態工法之型式、材料、水理及水質等特性而進行工法成效分析，藉此釐清各次集水區可採用之工程方法。

(4)工法配置與設計：經由前一階段之分析成果，集水區生態工法之空間配置及其細部工程設計則為此階段之工作重點，而來自集水區管理單位及當地居民之意見回饋，則是各工法之配置及設計工作之修正依據。

(5)生態監測與教育推廣：集水區經營所需之各種工程施工完畢後，持續進行生態監測調查及解說教育則為最後階段之工作內容。前者除能夠累積生態資料用以呈現生態工法在達成集水區經營目標之現況及成效比較外，生態調查與監測結果亦可做為解說設施及文宣資料之來源。

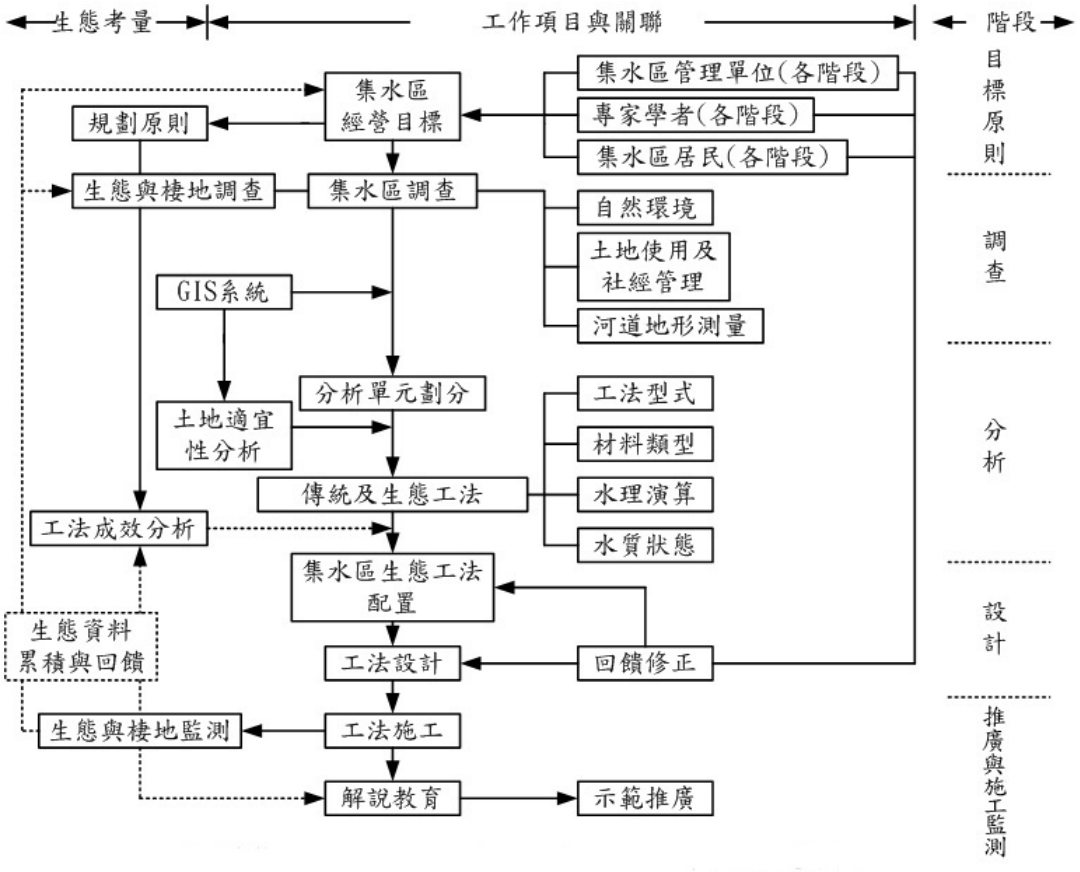


圖 生-1-3 集水區生態工規劃設計流程

(實線部份為階段型資訊之流通路徑；虛線部份為累積型資訊之流通路徑)

1.4.2 河溪棲地改善規劃

河川生態系是一個動態且多樣化的生態體系，因各河段之生態特性、河道空間不同，其間之異質性與生物多樣性亦有所不同。影響河川生態系生物棲息環境最大者為河川治理與周邊土地使用行為，包括都市城鎮之開發、道路開闢或修復、堤防或護岸工程、疏濬或河道整理之採砂行為等。

在維護河川生態系之保育與永續經營上，最需考慮人類活動(包括河川治理在內)對河川生態系自然演替(Succession)、生物多樣化(Biodiversity)及其穩定性(Stability)之影響或衝擊。

表 生-1-4 各類型棲地之說明

棲地型態	流況	底質	河床坡度平均值
深潭	水勢緩和、水面平靜無擾動，流況呈緩流(tranquil flow)	幾乎無石塊突出水面	0.5%
淺瀨	水面有波紋、局部水流遇阻會有水躍，流況屬緩流(tranquil flow)	局部有石塊突出水面	1%
急流	石塊或石肋(rib)阻水，形成跌水或水躍	多處石塊突出水面，石塊能集結成不規則石(rib)，石肋方向約略垂直河向	2.5%
緩流	水流較慢，形成緩慢的流況	底質分配較均勻	

1. 棲地改善與復育應採取之實施步驟

(1)基礎生態資料與環境變遷資料之取得

河川生態基礎資料除蒐集過往該河川既有之調查或監測資料外，最好能在規劃時進行必要之現地調查工作，期能完全掌握當時的生態資源狀況。河川環境變遷資料則可透過既有之航照圖、衛星影像圖以及過去之歷史資料加以蒐集，累積更多影響環境變遷之因子，以了解環境變遷之情形，做為河川生態基礎環境之背景資料。

(2)實施地區之演替階段與狀況之瞭解

由於河川物理化學及生物之變遷與時間、空間會交互影響特定區域之棲地改善或復育，並非只是單純引入生態工法即可。故在實務及操作上規劃者應設法扮演誘導與促成的角色，亦即透過棲地空間之規劃，試圖提供該棲地或生態棲位(Niche)可行之發展機會。前述空間絕非制式的、唯一的或完整的，它必須將演替過程的變化、植物群落生長變化以及河川水流穩定性納入考量，並給予彈性變化之空間，因此可復元機制之提供就是棲地改善與復育之重要原則。

(3)先選擇敏感度低之區域進行示範操作

欲進行棲地改善及復育時，可選擇敏感度較低及較小型之區域先進行先驅示範，如選取河砂採掘區，依其河床之坑洞選擇再造魚類或其他生物可能的棲息環境，並依當地環境特性及生物需求，而後栽植適宜之植物群落，並經實驗觀察以做為大區域棲地改善或復育推動之準據。

2. 棲地改善與復育之規劃原則

(1)避免單一化棲地

河川截彎取直或渠道化會造成生物棲地的惡化、物種的遷移或滅絕、河床底質多樣性的降低等問題，其解決方法為創造河川中自然棲地的環境如深潭、淺瀨、急流及緩流等。

(2)創造多樣性生態單元

河川型態(包括河道蜿蜒、河道坡度、流水型態及河床底質等)若缺乏變化，水邊環境則趨於單調，其所形成之生態體系因生物相貧乏而產生不穩定。反之若能創造豐富多樣性之河川環境，使其具有自然河川之多樣化，則能促進形成穩定之生態體系。

(3)創造多孔性棲息環境

護岸或堤防構造物之材料應考慮具有多孔性且表面較為粗糙者，以利野生動物之躲藏、攀爬及遷移，亦有空間以供各類植物種之生長及攀附，促進生態系之保全。

(4)植被緩衝帶及生態廊道之建立

因有植被緩衝帶之存在可緩和人類活動對河川生態系之干擾與破壞，若於岸邊設置多樣性且多層次之複層林保護河川、於水邊創造多變化濕地類型之棲地，形成陸域與水域之間的過渡帶或生態推移(Ecotone)帶，增加河川生態廊道之連續性，使生物棲地不至於碎裂化，則有利於棲地間生物遷移覓食、繁衍等生存空間。

(5)適應自然之動態變化

自然河川環境條件應具有承受大自然動態變化之能力，其承受自然侵蝕堆積等變化之彈性愈高，則造就新的適地性物種之可能性就愈高。

(6)避免生態系之零碎程度

自然環境原本即存在生態上的連貫性及延續性，因此規劃設計時需考慮維持生態系之完整性、結合現地情形等要項。

3. 河溪棲地改善要項

基於前述，想要恢復或創造一個適合生物棲息的多樣性河川，宜在規劃上從河川之平面、縱斷面、橫斷面形式配置，加以考量：

(1)平面規劃

①保存原有河川之深潭、淺灘、河畔林等自然型態。

②直線型之河床改為曲線、於適當地點加大河川寬度。

③取得原有溪流兩岸空地(浮覆地等)做為溪流生態綠化之用。

④溪流蜿蜒度高則流長加大，做為魚類棲息地點相對增加。

⑤藉由植物軟化河工構造物硬質、單調景觀，恢復溪流原有生態環境。

(2)縱斷面規劃

①除保存原有深潭、淺灘外，儘可能增加其他深潭、淺灘。

②檢討跌水設施，不要使河溪有阻礙通路之高落差跌水。

③確保支流安全且緩和匯入本流。

④減少直線型式之縱斷面設計。

(3)橫斷面規劃

①維持水域至陸域之連續性。

②堤岸坡面雖以安全性為重點，但仍須考慮製造多樣性的環境。

③減少直線型式之橫斷面設計。

④從水邊至高灘地植生做為鳥類休憩地。

(4)河川區域棲地改善施工期間應注意事項：

①施工期間應避開魚類迴游期及產卵期，次為鳥類昆蟲之繁殖期，並配合植物萌芽生長季節。

②施工的挖填土方愈少愈好，避免過度干擾當地生態環境。

③施工道路上原有之植生狀況應加以保護，道路寬度愈小愈好。

④儘可能使用震動噪音較低之機械，將對魚類、鳥類的干擾減到最低。

⑤為避免原有生態環境遭受過大干擾，應將挖方集中堆置，以做為未來之回填表土。

⑥規劃臨時生態避難區以保護河川生物。

⑦規劃設置臨時水道，以供河川生物得以遷移通行，不宜完全截流阻礙橫向廊道。

⑧施工污水應於沉砂池或汙水沉澱池沉澱後，再行排放至河川，以免污染水源影響水中生物之存活。

⑨應考慮土砂污染對於環境之影響，考慮項目包括：

a.須避開梅雨颱風季節。

b.施工時應注意道路灑水及設置沉砂池。

c.設置汙水擴散防止措施。

d.於下游設置攔污網。

⑩機器材料放置地點應避免於搬運時或施工時觸碰到樹木枝幹及阻斷生物移動之路線，必要時須對樹木枝幹做適當之包裹。

(5)就河溪之部位，規劃要點整理如下：

表 生-1-5 河川棲地區域改善與復育之規劃要點表

位置	規劃要點
河道	(1)儘可能保存現有溪流面貌，採用或維持蜿蜒型態之河道治理計劃線 (2)堤岸緩坡化
高灘地	(1)儘可能維持自然草本、木本植物之植生種類生長情形 (2)應依計畫洪水位之設計，進行必要之保護措施
低水路	(1)採用彎曲且於適當地點擴大河幅之溪流型態 (2)加強低水路基礎，保護深潭之存在 (3)在不影響水理特性及河川法規需求下，於河道內堆疊大石 (4)佈設深潭及淺灘
護岸	(1)運用巨石堆砌，製造多樣性之空隙構造 (2)以基礎保護工兼作丁壩群使用
臨界陸域	利用溪流兩岸空地作為生物蔽護及綠化之用

1.4.3 生態廊道之規劃

1. 水域廊道

(1)水域廊道之目的與功能

水域通道設置之目的，為讓魚蝦、貝類能上溯河川之一種輔助設施，因此應考慮魚蝦貝類之種類、生態環境、迴游習性、河川水理特性及立地條件等，故其類型設計則甚為重要。而水域廊道之功能如下：

①廊道縫隙的效應：廊道縫隙對物種移動的影響，取決於縫隙的長度相對於物種移動的尺度，且廊道和縫隙是對比的。

②結構相對於植被相似處：廊道和大嵌塊體間植被結構愈相似，愈可提高物種遷移上的適應性。

③踏石：橫列的踏石(小嵌塊體)可以提供物種在區塊間的移動；對於高視覺導向的物種，嵌塊體踏石間移動的有效距離可取決於踏石間的連續性。

④踏石的喪失：小嵌塊體的喪失，在其他嵌塊體之間所起的踏石作用，通常會阻止其移動並增加嵌塊體的孤立。

⑤邊緣棲地與物種：當一個嵌塊體分割成兩塊時，會創造出附加的邊緣棲地，導致邊緣物種中族群較先前為大且數量上些微大於先前之物種邊緣，此種情形經常普遍存在於景觀中。

⑥群組的嵌塊體：群組的嵌塊體如同棲地，在缺乏大嵌塊體時，物種能夠在更小的嵌塊體附近生存，雖然個別不合適，但群組時卻是適合的。

⑦大嵌塊體的數目：一個大嵌塊體幾乎含有所有物種所需之嵌塊體類型景觀；兩個大嵌塊體可被考慮為保持物種豐富性的最小量；而三個以上之大嵌塊體是被需要的，其中每一個嵌塊體內均可分別包含有限制之物種。

⑧邊界：筆直的邊界物種易於沿著移動；曲狀邊界物種較可能具有超越邊界的移動；而弓形和不規則型邊緣能產生更大的棲地多樣性。

⑨小嵌塊體：小嵌塊體可做為物種移動的踏石，通常亦可容納消失於大嵌塊體的罕見物種，所以小嵌塊體較大嵌塊體提供不同和輔助的生態優勢。

⑩生態嵌塊體最佳形狀：最佳的生態嵌塊體形狀，通常是「太空船型」其以圓狀為核心保護資源部分，結合曲狀和少數指狀邊界。

(2)水域廊道設計規劃流程

水陸域交流通道之規劃流程及設計之基本原則如下，且規劃流程圖如圖生-1-4：

①認識河川整體情況：包括了解河川整體之生態環境，必須於不同狀況及不同季節進行實地調查；尋找河川環境問題；並訂出治理河川之先後順序、確定計畫。

②執行與施工。

③盡量以符合生態工法之原則整治之。

④盡量減少對河岸地區之整地範圍。

⑤避免改變集水區內之自然水文循環路徑。

⑥確實執行水土保持計畫，減少對下游地區之不良影響。

⑦維持天然河道之蜿蜒度，以避免對下游之衝擊。

⑧保護河道兩岸之原生植物與植被型態。

⑨於河道兩岸設置緩衝綠帶，可攔截地表逕流、提供生物之棲息場所，以及有綠美化之功效。

⑩減少對河岸邊溼地之破壞，減少人類行為對溼地生物之干擾及破壞。

(3)生態廊道應用工法類型

①河道內棲地保育措施構造物

a.卵石組串堆：卵石群鋪置於河道底床，提供覆蓋、並創造不同流況之多樣性棲地。

b.壩堤或橫向固床工法：於河道橫向鋪置具孔性混凝土、原木、卵石或是採石場石材，並將其固定於河岸或河床上，以創造淵瀨棲地，控制河床沖蝕或堆積，並蓄留砂礫性河床質。

c.魚道：任意一種可用之河道措施，可提高目標魚種自由移動至上游區域產卵之機會，同時可有效運用該區域之棲息地及其他生物所需之棲地機能。

d.防遷移障礙物：在策略性地點設置障礙物以防止下游或其他物種接近上游區域，此方法目前台灣地區之河道較少考慮及應用。

e.河道坡降控制措施：採用岩塊、木材、多孔性材料等，構成單一或連續橫跨河岸之構造物(目前常用連續性固床工、潛壩)，以抵抗河床之沖蝕力並減少上游之能量坡降以防止河床沖刷。

②陸域水域交流通道

a.河岸修整及植生：修整河岸成穩定岸坡，鋪置表土及植生所需材料，並選擇最適合之樹種進行植生。

b.箱籠護岸與植栽：機編之金屬格網矩形箱籠，內部填充小至中等之石材及土袋包，多組箱籠捆結形成岸趾部防護結構或擋土側壁。以新鮮枝條鋪置於箱籠堆疊層次之間，使其生根貫入岸坡，進而可將箱籠整體固定於河岸上。

c.多孔性資材植生：於坡面上之岩塊、堆石或多孔性混凝土構造物之縫隙中栽植適生植栽材料，栽植方法視孔隙率及孔隙厚度而定。

d.多孔性混凝土通常較目前常用之混凝土材料強度低，因此，急流河中、河川凹岸或受水衝擊部位等受強大外力作用之地點施設多孔性護岸時，須參考以往災情，充分瞭解河道特性及視護岸結構及位置，設計上須與原來混凝土護岸之強度相同，並以被覆良好之植生環境為預期目標，必要時先行試驗以證其安全性。

e.丁壩、導流工：由河岸向外突出之橫向構造物，但構造物非橫跨兩岸。用以將水流導離河岸，並藉由河道之緊縮使水流加速而形成沖刷型淵潭。

f.植生木樁：活的樹枝經切割後，打入土壤中使其生根、成長，並於河岸坡面創造一片完整根域，以加強土壤穩定及固結土壤顆粒，及涵蓄土壤中之水分。

③坡面保育構造物

a.岸趾堆石防護：為了提高河岸之長期耐久性，以適當大小石塊所組成之敷墊，由邊坡坡趾鋪設到所需要之高程。

b.拋石：以採石場大塊石或河岸上之大卵石，在河岸坡趾構築一條脊狀帶構造物，以便造成水流於此岸轉向、穩定邊坡及促進沈積物沈澱。

④棲地保育與廊道建構

a.河岸林緩衝帶：河岸植生可降低水溫，提供岩石及樹林碎屑之料源以改善棲息地，並可減少沈澱物、有機材料、營養物、殺蟲劑及其他污染物移入溪流。

b.污染物隔離及管理：隔離水源及庇護區、採管理放牧或控制點源污染，以保護、維持或改善河岸之動物相、植物相及水質。

c.棲息地復原水淹法：由上游之水庫，於短時間內釋放蓄水，用以沖刷河床之細粒沈澱物，並於河道內修整恢復合適之棲地。

⑤集水區及土地利用管理措施

a.農業地區：採用個別或系統方法，目標在減輕農業地非點源污染。管理實務包括：等高耕作、水土保持保育耕作(農地植草、草生栽培等)、台地化、緩衝區域植生、營養物管理、過濾帶、廢棄物儲存管理，以及蟲害整合管理。

b.林地：採用個別或系統方法，目標在減輕林地非點源污染。管理實務包括：濱水帶管理措施、林道構築與管理、森林造林與撫育、火災控制與管理，崩塌地或擾動區再植生、森林化學物質管理以及森林保育地區管理。

c.都會區：採用所設計之個別或系統方法，減少或防護都市發展及都市活動對溪流廊道造成之衝擊。管理實務包括：乾燥盆地、水池、濕地、油-水隔離措施、植生沼澤地、過濾帶，入滲盆地、溝渠、多孔鋪面，以及都會區森林地。

(4)魚道之考量及注意事項

魚道設計者，應先進行河川環境及魚類棲地之研究調查與生態評估，把握河川生態保育與魚類棲地改善之原理，規劃合適可行的魚道。魚道工程之設置，依河川地形及魚類生態等特性不同，而有各種因地制宜的魚道設計原理與管理，以確保魚類在河道中正常游動，維護河川生態的自然平衡。一般而言，魚道系統需考慮的不應只是該段之河道情形，而是其包含河川上下游邊界、壩體、避難設施等，將其視為一個系統來看待，因為單注重魚道本體的設計是很難使其發揮應有的功能。

①魚道設置之原則

a.魚道設置河川，應具水文穩定及永續的生態基流量。

b.魚道設置河段，需有溯游習性及溯游能力之原生種魚類。

c.魚道設置河段，其地質環境要確保穩定，不發生河道變遷。

d.魚道設計要有河川生態、魚類保育、水利工程等學域的人力與技術。

e.魚道設計的位置、方向、寬度、坡度、長度與通水量等，要能誘導魚類通行。

f.魚道的永續經營，要有妥善的工程保全及保育教育。

g.追蹤調查：為了檢核魚道效果，應落實追蹤調查。

②魚道設計考量

a.設法讓魚類易於集中且易於進入魚道

(a)魚道的設置位置需考慮生息的魚種及河床特性。

(b)毗鄰河岸之魚道設置考量事項。

(c)魚道入口不應設置於突出的攔河堰本體下游端。

(d)魚道的下游端入口需預估沖刷情況以確保入口基礎。

(e)注意魚道下游周邊之障礙。

b.使魚類易於上溯(攔河構造物本體)

(a)攔河堰本體在設置魚道時，其橫斷面之形狀需配合流況，以形成魚類移動所需的水深及流速。

(b)為避免水躍而設置消波塊時，應避免發生伏流現象。

(c)攔河構造物的溢流部分，需注意避免產生水深不足及流速過大。

(d)依河道環境情況，亦可將全斷面式魚道列為選擇項目加以探討。

(e)攔河構造物不使用透水性材料之情況。

(f)規劃設置橡膠布材質之起伏堰(橡皮壩)時，需充分考量魚道之功能設計。

c.使魚類易於上溯(魚道技術)

(a)魚道之平面線行應儘可能平緩。

(b)魚道彎曲時，需在彎曲部設置適當游水池。

(c)階梯式魚道兩側高壁應避免產生橫越流。

(d)設置於魚道下游端的副壩，需避免魚類上溯。

(e)不銜接不同型式之魚道。

(f)扇型魚道不可規劃成上溯時流速會增大的構造。

(g)甲殼類上溯而設置之繩索需避免在水中震動。

(h)魚道上游端儘可能與取水口分離。

d.規劃成魚類易於下降的環境

(a)避免下降魚種受到落下衝擊的構造。

(b)鋪設粗石魚道需使用圓石而非尖石。

e.集魚場所與魚道入口

(a)沿著緩流的邊緣地區移動以避免過強水流造成上溯之障礙。

(b)平穩的朝緩流中流速較強的方向行動。

(c)在周圍複雜亂流中選擇較平緩的寬流幅方向行動。

(d)滯留在較強流水產生的循環流中游泳。

f.魚道出口

(a)避免上溯之魚類游入取水口。

(b)避免流入土砂。

(c)避免因堆砂而閉塞。

(d)流量調節裝置、計數設備等位置要適當。

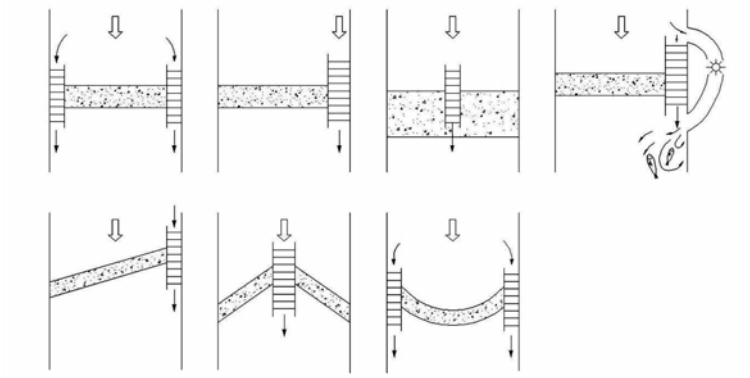


圖 生-1-4 常見魚道入口設計

2. 陸域廊道

(1)陸域廊道之目的與功能

廊道一般是指狹長、線型的棲地，且其性質較不同於相鄰兩邊之棲地；通常是用來建立或維持兩個或多個相鄰的棲地區塊。例如政府於民國90 年規劃的「中央山脈保育廊道」計畫，即是藉連接中央山脈地區的高山林地、自然保留區、野生動物保護區、自然保護區及國家公園等地區，以使其成為連綿不絕之陸域廊道的一個計畫。

近年來，因為人類活動造成之干擾的範圍與強度日益擴大，許多物種原有之棲地面臨零碎化的問題，且由於生物移動及遷徙之範圍極廣，通常需要許多保護區才能完全涵蓋，並非單一保護區就可以包含在其中；廊道的概念是希望維持或重建物種在棲地間繁殖、覓食、遷移或播遷之行為；並藉由恢復或建立相互隔離區塊中族群的交流，以減輕物種滅絕的風險。

(2)陸域廊道設計規劃流程

①棲地之連續性：觀測棲地之連續性時，在操作上可根據圖片，航照圖或各類地圖來確認;功能上的連結則是以所研究的生態學對象或過程的特徵來確定的景觀連續性。

②注意事項

a.設計前應做適當的生態調查。

b.減少對生態環境與系統之干擾，並設計動物廊道，供其通過道路，以確實維護保護區域完整。

c.設計選線時，宜選定適當路線，以減少對生物棲息環境不當的分割，並避開不穩定地質區。

d.道路施工時，儘量避免以高路堤興建道路。環境敏感地區，適當的減少車道數量及寬度。

e.建立監測系統。

③廊道類型

a.地下穿越道：設計時需一併設置誘導網和阻絕設施，誘引動物穿越地下廊道。

b.架設天橋：設計較簡單易行，對跨越能力較大之生物有利。

c.隧道。

d.樹籬或綠帶。

e.跨國或跨越不同保護區的連接配置。

1.4.4 護岸類型與安定分析

1. 護岸類型之坡度設計

由於護岸之坡度設計需考量保育生物之種類與其活動力(爬坡力)之差異，惟目前坊間及相關之試驗研究報告，並未有關於不同生物對象之最佳護岸坡度設計資料，此方面尚需進一步之調查研究。

依據現場勘查、調查及相關彙整資料所得，彙整其生態考量(非特定生物群落)之建議坡度，如表 生-1-6 所示。

表 生-1-6 護岸坡度設計表

護岸類型	目前常用坡度	生態考量建議坡度
砌石護岸	1:0.3~1:1	緩於 1:0.5
混凝土砌石護岸	陡於 1:0.5	緩於 1:0.5
混凝土蓆墊砌石護岸	1:1~1:2	1:1~1:2
景觀石梯護岸	1:1~1:2	1:1~1:2
箱籠護岸	1:0.5	1:1
箱籠堆疊護岸	1:0.5~1:1	1:1
箱籠蓆護岸	緩於 1:1.5	緩於 1:1.5
木樁捲包護岸	1:1.5~1:2	1:1.5~1:2
捲包橫向堆疊護岸	緩於 1:1	緩於 1:1
蜂巢圍束網格堆疊護岸	1:0.5	1:0.5
蜂巢圍束網格單階緩坡護岸	緩於 1:1	緩於 1:1
木排樁護岸	緩於 1:1	緩於 1:1
拋石護岸	緩於 1:1.5	緩於 1:1.5
混凝土格籠護岸	1:1/6	1:1/6
混凝土型框填石植生護岸	1:1~1:1.5	1:1~1:1.5
布袋模蓆墊護岸	緩於 1:1.5	緩於 1:1.5
打樁編柵護岸	緩於 1:1	緩於 1:1
鋪網植生護岸	緩於 1:1.5	緩於 1:1.5

2. 安全穩定分析方法

由於生態工法施作完工後之河岸坡面穩定對工程構造物整體穩定有重大影響。因此，穩定分析中應同時納入工程構造物與河岸坡面。穩定分析可同時採用傳統方法及數值方法，並介紹如下：

(1)傳統方法：包含一般常進行的抗傾倒、抗滑移、基礎承載力及整體穩定檢核。其中，工程構造物整體穩定性檢核，除了可採用一般邊坡穩定分析方法外，亦可採用數值方法進行，其方法乃是將河岸土層以及構造物基礎下方之河床質之抗剪強度依固定百分比逐漸折減，使河岸坡面以及構造物之基礎處於臨界穩定狀態，並求得維持此臨界穩定狀態所需之最小河床質強度。最後定義各種工法之整體穩定安全係數。

(2)數值方法：適合用來檢算工程構造物之應力與變形；而各工法於施工階段及完工後之應力及變形分佈亦可於分析中進行檢算。於分析過程中，材料破壞或結構體因不良幾何配置所導致之不穩定將會使分析計算中止。分析前處理(pre-process)包括網格及邊界條件之形成、材料性質之設定、及施工過程之模擬。分析後處理(post-process)則包括各區域之材料應力、變形、及結構元件之內力分佈圖(若分析中含有結構元件則有彎矩、軸力及剪力之輸出)。

另外，河溪工程構造物下方河床質之承載力可由標準貫入試驗 N 值(或 *SPT-N* 值)來判斷。凝聚性細粒河床質(如粘土質或沉泥質)之 $N<4$ 或無凝聚性粗粒河床質(如礫石土質或砂土質)之 $N<10$ 時，可歸類為軟弱基礎土層，其承載力通常不佳並可能導致結構體發生大量沉陷，工程構造物施工前，應進行地盤改良或採用特殊基礎（例如樁基礎）處理之。

1.4.5 常見之生態水池應用動植物

1. 常見之生態水池植物

(1)沉水植物：包括聚藻、石龍尾、馬藻、水王孫、小茨藻、水蘊草、苦草等。

(2)浮水植物：包括台灣萍蓬草、小杏菜、印度杏菜、青萍、水禾、紫萍、滿江紅等。

(3)挺水植物：南國田字草、水蕨、鐵毛蕨、水紅骨蛇、紅辣蓼、小花蓼、三白草、水馬齒、長梗滿天星、石龍芮、圓葉節節菜、白花水龍、黃花

水龍、白花紫蘇草、細葉水丁香、水丁香、水芹菜、泥花草、半邊蓮、野慈姑、小穀精草、水竹葉、鴨舌草、多花鴨舌草、石菖蒲、長苞香蒲、香蒲、異花莎草、畦畔莎草、碎米莎草、牛毛氈、荸薺(水燈心草)、水毛花、水禾、開卡蘆。

(4)水岸植物：水丁香、李氏禾、三白草、木賊、大安水蓑衣、水竹葉、毛茛、過溝菜蕨、黃花水龍、菁芳草、水柳、穗花棋盤腳、稜果榕、水同木、雀榕、茄苳、九芎、筆筒樹、山黃麻、血桐。

(5)岸邊石縫植物：紫萁、木賊、過溝菜蕨、腎蕨、石松、生根卷柏、車前草、石菖蒲、鐵線蕨、海金沙、越橘葉蔓榕。

2. 適宜生長之水生動物：

(1)蜻蜓類：紫紅蜻蜓、猩紅蜻蜓、粗鉤春蜓、黃紉蜻蜓、杜松蜻蜓、霜白蜻蜓、善變蜻蜓、鼎脈蜻蜓、呂宋蜻蜓、侏儒蜻蜓、薄翅蜻蜓、紅腹幽蟌、弓背細蟌、脛蹼琵蟌、青紋細蟌。

(2)蛙類：澤蛙、貢德氏蛙、金線蛙、拉都希氏蛙、梭德氏蛙、腹斑蛙、虎皮蛙、白頷樹蛙、莫氏樹蛙、褐樹蛙、小雨蛙、盤古蟾蜍、黑框蟾蜍。

(3)魚類：台灣石魚賓、台灣馬口魚、高體鱊鮈、鯽魚、羅漢魚、粗首鱲、泥鰍、大鱗泥鰍、青將魚、極樂吻蝦虎、蓋斑鬥魚。

1.5 生態指標之應用

1.5.1 生態指標之應用

1. 生物整合指標

(1)IBI 評估內涵

生物整合指數主要包括 12 項分數，利用收集的資料與參考值之間的差異性，分別對每項給予－5、3、1 分，最後加總所有分數，總和愈高代表溪流環境品質愈高。生物整合指數包括三大類，第一類為魚種豐度及組成(species richness and composition)，包含 1~6 項，第一項為原生魚種(native fish species)數，第二項為底棲性魚種(darter species, benthic species)數，第三項為棲息水層中魚種(sunfish species, water column species)數，第四項為長生命週期的魚種(sucker species, long-lived species)數，第五項為低容忍性魚種(intolerant species)數，第六項為高容忍性魚種(tolerant species)個體百分比；第二類為魚類營養階層組成(trophic composition)，包含其中 7~9 項，第七項為雜食性魚種(omnivores)個體百分比，第八項為食蟲性小魚(insectivorous cyprinids)個體百分比，第九項為食魚性魚種(piscivores)個體百比分、最高階肉食性魚種(top carnivores)；第三類為魚類數量及狀況(fish abundance and condition individuals)，包含其中 10~12 項，第十項為魚類取樣個體數(number of individuals)，第十一項為雜交魚或外來引進魚種之個體百分比(hybrids or exotics)，第十二項為生病的魚或不正常魚之個體百分比(disease or deformities) (David， 1995、Smith and Hellmund，1993)。IBI 指標各項內容雖然由於魚種分布範圍差異或缺乏某些項目資料，而可能會在一些項目做適度的修正，但一般來說，1、 7、 8、 10 四項內容通常是不會做改變的。生物整合指數(IBI)之評分等級表，詳見如表 生-1-7。

表 生-1-7 生物整合指數(IBI)評分等級表

評估項目(metric)		評分等級		
		5	3	1
種類豐多度與組成				
1	原生魚類種數	評值由 1-5，隨溪流尺度與地區而評估之。		
2	底棲性魚類種數			
3	棲息水層中魚種數			
4	長生命週期魚種數			
5	低容忍性魚種數			
6	高容忍性魚類個體的百分比	＜5	5-20	＞20
魚類營養階層				
7	雜食性魚種個體的百分比	＜20	20-45	＞45
8	食蟲性小魚個體的百分比	＞45	45-20	＜20
9	食魚性魚種(最高階肉食性魚種)個體的百分比	＞5	5-1	＜1
樣本中魚類個體的數量與狀態				
10	魚類取樣個體數	依溪流尺度與位置評之。		
11	外來種或雜交種個體的百分比	0	0-1	＞1
12	生病或畸形個體的百分比	0-2	2-5	＞5

(2)IBI 計算流程

生物整合指數(IBI)，依三大項目，將魚類群聚分成十二項屬性。每項屬性的溪流分成 5、3、1 三級，其中 5 為最佳溪流，而 1 為最差溪流，由研究者給予各類型分數。

①種類豐多度與組成：包括魚的隻數、類別及其承受性(tolerance)。其中，物種之數量與種類(Ss)－較多本土物種一般表示較高環境品質，而對環境敏感的物種存在表示環境品質高。

②魚類營養階層：即組成群聚的魚類之食性。而某物種之食性(Sf)－高比例的蟲食與肉食生物表示高環境品質，而較高比例的雜食生物表示低環境品質

③樣本中魚類個體的數量與狀態：魚豐量(Sa)－魚豐量越高表示環境品質越高；魚健康情形(Sh)－較高比例的罹病與長瘤的魚類及有解剖結構異常的生物均表示低環境品質

最後，將所有群聚的屬性分數加起來，即得到生物整合指數(IBI)：IBI=Ss+Sf+Sa+Sh，較高 IBI 分數表示較高環境品質。又為了消除因為評估只取自一或數個屬性所不經意造成的偏差，IBI 指數設置了一個防護措施，即研判魚群聚的數個屬性，以增加 IBI 評值的客觀性。

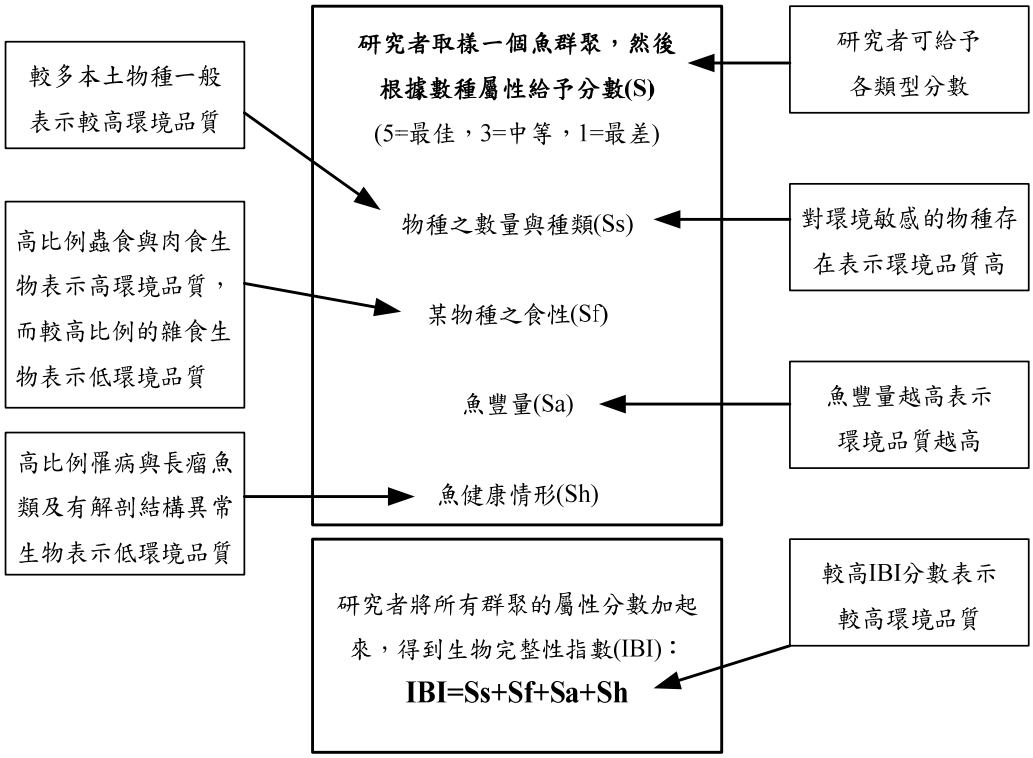


圖 生-1-5 生物整合指數計算流程圖

(3)IBI 評值分級

IBI 最後的評值，屬性的總分數以 12 分為最低，60 分最高；12 分為不良生物完整性，60 分為最優異生物完整性。IBI 評值最後依據評分的高低，區分成 9 個等級，整理如表 生-1-8：

表 生-1-8 IBI 評值分級

評值	等級
57-60	Excellent(E)
53-56	E~G
48-52	Good(G)

45-47	G~F
39-44	Fair(F)
36-38	F~P
28-35	Poor(P)
24-27	P~VP
＜24	Very Poor(VP)
	no fish

(4)應用生物整合指標應注意事項

IBI 可以因時因地制宜、修改，且雖然 IBI 的不同特性彼此間並不獨立，但它也具有下列優點：比其它指標具更多之訊息；其結果具生物意義；IBI 具彈性，故易被推廣利用至其他生態區；指標特性對不同類型之污染源均敏感，如家庭或工業廢水、礦區污染、沈積物沖積、農藥等；指標值之再現性高(reproducible)等。

至於使用 IBI 之缺點則包括：需要小心完整地取樣使每一種魚均為等比例採獲；調查之群聚需至少有相當之種數，至少 5 種以上；另外，在某一地區要利用 IBI 時，需先了解當地不同河川中魚類的背景資料；且設定群聚特性之標準相當主觀；必須隨不同生態區域做修改；IBI 只考慮魚之豐度及比例，但未考慮生物量；及其統計性質尚不明瞭等。

2. 水生昆蟲指標

利用水生昆蟲作為指標生物進行水質監測，在北美已有 30 餘年的歷史，80 年代西方國家成功的利用蜉蝣目，毛翅目等水生昆蟲群落特徵及各種類對於水質敏感度的不同，對於水質進行快速的評估，並形成了規範(Plafkin, et al., 1989, Morse, et al., 1994)。國內學者在近年來也有許多相關研究(例如徐崇斌、楊平世，1997、趙仁方、林斯正、陳錦生，1998、黃國靖、楊平世，1992 等)。

(1)水生昆蟲的角色

昆蟲綱中全目是水生的，包括浮蝣目、蜻蛉目、襀翅目、廣翅目和毛翅目；而亞目為水棲的，有半翅目中的隱角椿亞目、雙翅目中的長角亞目、鱗翅目中水棲食蟲亞目；一般這些被稱為初級侵入者。少數水生者，如在水面上活動的水蠅科、絲蠅科、澗蠅科和蠅椿科等，則稱為次級侵入

者。水生昆蟲乃溪流生態系中之主要成員，在河域食物網中一直扮演著重要之角色。

水生昆蟲的食性主要有食藻性(例如長鬚石蠶科、縞石蠶科、扁泥蟲科、蚋蠅科、搖蚊科、蜉蝣目、短尾漬翅科、白腹無尾漬翅科等)與食蟲性(例如流石蠶科、網目漬翅科、漬翅科、水蟲科、蜻蛉目、蛇蜻蛉科)兩種，這些水生昆蟲又可提供雜食性魚類、食蟲性魚類與食蟲食魚性魚類食用，因而構成河川水域的生態系統(圖 生-1-8)。

河川之底棲生物中以水生昆蟲種類和數量最多，由於水生昆蟲之存在係受長期水質之作用，故某一類群水生昆蟲之能出現在特定水質環境乃長期演化的結果。

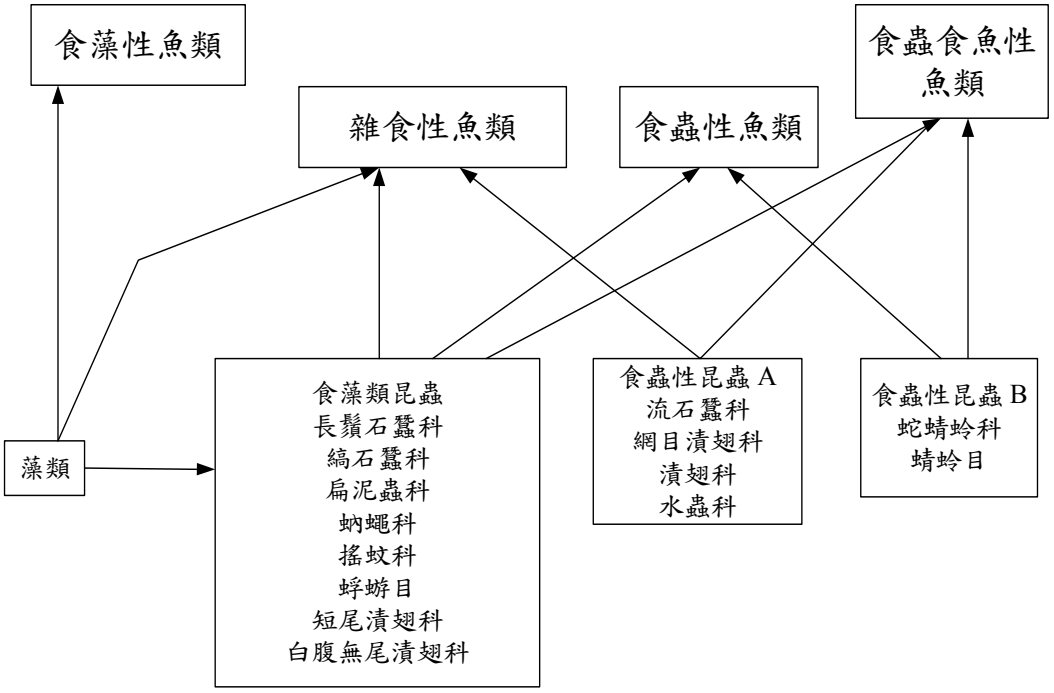


圖 生-1-6 水生昆蟲與魚類的關係

(2)常用水生昆蟲指標

由於水生昆蟲個體較大，種類多，數量大，易於鑑定，耐受範圍廣，相對於魚類其活動範圍較小，對污染的逃避能力弱，加之對環境變化比較敏感等特點，其群落結構可對污染做出敏感的反應。水質的生物監測方法很多，目前國際上常用水生昆蟲群落變化、種的類型、個體數量、動態特徵、受害程度、體內累積毒素的程度做為監測手段。北美應用較為廣泛的方法有下列四種。

①Shannon Weiner 多樣性指數

其值(D)越高代表水質越好，當 D=0 為嚴重污染、D＜1 為重污染、D=1~3 為中度污染、D＞3 為清潔。

②EPT 種類豐富度

即以浮蝣目(Ephemeroptera)、襀翅目(Plecoptera)和毛翅目(Trichoptera)三種水生昆蟲種類的豐富度(簡稱 EPT)來表示水體污染程度，其評估標準則依地區而異。

③Biotic Index 生物指數

簡稱 BI，公式為 $BI=\Sigma n_i t_i/N$，其中 n_i 代表第 i 種或屬的個體數，t_i 為第 i 種或屬的耐受值，N 為樣本種種或屬的總個體數(Beck，1955)。BI 值越小，水質越好(表 生-1-9)。

④Family-level biotic index 科級生物指數

為利於野外快速偵測，並減少分類上的困擾，Hilsenhoff (1988)研發出科級生物指數(Family Biotic Index, 簡稱 FBI)，將美國底棲水生昆蟲 8 目 70 餘科歸納出各科的耐污值。$FBI=\Sigma n_i t_i/N$ 計算出科級水平生物性指數，其中 n_i 代表一個科的個體數，N 代表各科個體總數，t_i 代表各科耐污值。FBI 值越低表示水體越清淨，FBI 值越高則表示水體越污染(表 生-1-9)。

表 生-1-9 生物指標與科級生物指標之水質等級

水質(Water Quality)	Biotic Index Range	Family-level BI Range
極清潔(excellent)	0.00-3.50	0.00-3.75
非常清潔(very good)	3.51-4.50	3.76-4.25
清潔(good)	4.51-5.50	4.26-5.00
一般(fair)	5.51-6.50	5.01-5.75
輕微污染(fairly poor)	6.51-7.50	5.76-6.50
污染(poor)	7.51-8.50	6.51-7.25
嚴重污染(very poor)	8.51-10.00	7.26-10.00

3. 溪流狀況指數

(1)溪流狀況指數之組成

溪流狀況指數(Index of Stream Condition, ISC)由水文(Hydrology)、物理型態(Physical Form)、濱溪區域(Streamside Zone)、水質(Water Quality)、

水生物(Aquatic Life)等 5 種次指數組合而成，而各次指數更由量測基礎環境參數或一系列分級指標組成，其中溪流狀況指數=水文次指數+物理型態次指數+濱河區域次指數+水質次指數+水生物次指數，且相互關係如圖 生-1-9，

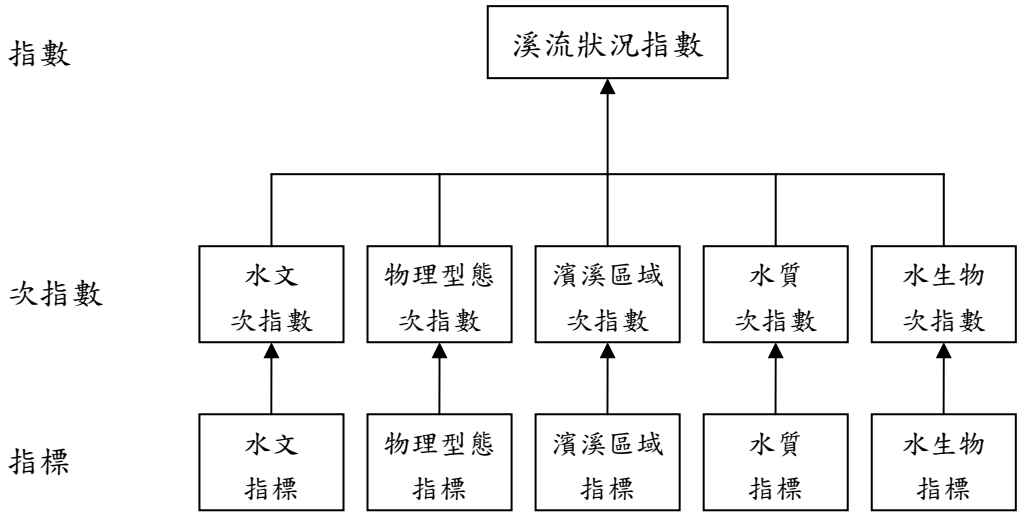


圖 生-1-7 溪流狀況指數與次指數之相互關係

(2)各次指數內容

溪流狀況指數是由水文、物理型態、濱河區域、水質及水生物等五種次指數(Sub-index)組合而成，而各指數更由量測基礎環境參數或一系列分級指標所組成。對於各次指數的內容是由各指標(indicator)評估而得。此溪流狀況指數每個次指數滿分為十分，總分為五十分，在分數上代表之意義如表 生-1-10 所示。

表 生-1-10 溪流狀況指數構成因子表

次指數	考慮內容	指標
水文	實際流量與月流量之比較	1.水文變異：比較月流量 2.河川流域滲透因素影響流量 3.有無水力發電場之影響
物理型態	河川穩定度與物理性棲地品質	1.河岸穩定度 2.河床現況 3.人工構造物之影響 4.河川物理性棲地狀況
濱河區域	濱河區域之植物生長品質與數量	1.植生寬度 2.植生連續性 3.植生結構完整性 4.本土種覆蓋百分比 5.本土種再生率

次指數	考慮內容	指標
		6.溼地地沼狀況
水質	關鍵性水質參數	1.總磷 2.濁度 3.導電度 4.PH值
水生物	指標物種	大型無脊椎動物出現頻度

表 生-1-11 溪流狀況指數分級表

溪流狀況指數總分	河川狀況
45~50	極佳
35~44	好
25~34	普通
15~24	不好
<14	極差

(3)各次指數與生態工程關係

①水文次指數

水利構造物常會對於流量的變動有影響、改變原有的水流型態、造成水生物棲地的切割並破壞生態系之結構及功能。而由於藉由水文次指數可以了解構造物與河川生態的一些關係，故在評估溪流現況時，需要考慮水文之情形。依據溪流狀況指數中所設定評估作業流程說明如下：

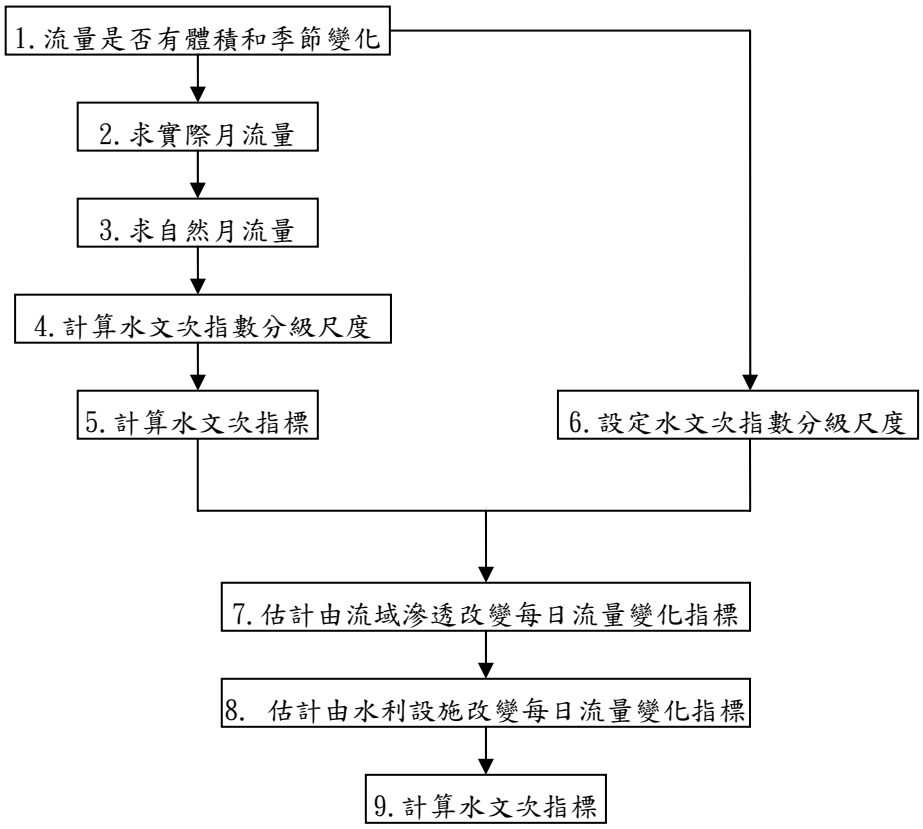


圖 生-1-8 水文次指數之評估狀況流程圖

②物理型態次指數

這裡的物理因子是考量安全性的學理分析及生物生態棲地的合理性。而河川基本物理型態的形容包括有河床、河岸、護岸、侵蝕與堆積等。依據溪流狀況指數中所設定評估作業流程說明如下：

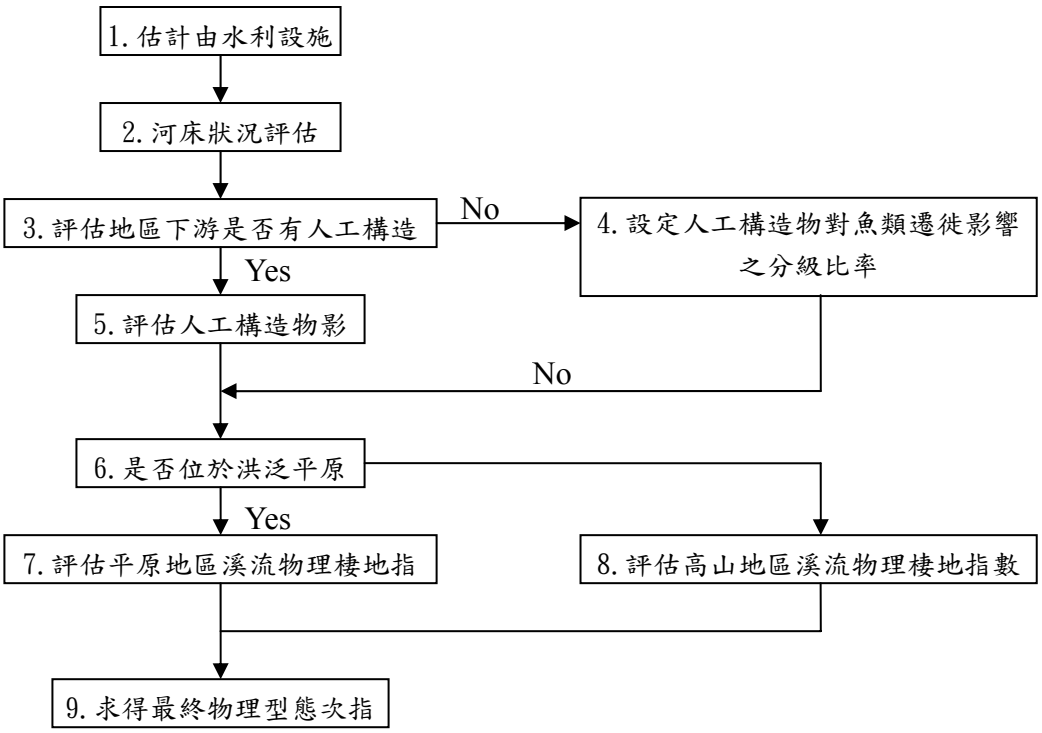


圖 生-1-9 物理型態次指數之評估狀況流程圖

③濱溪區域次指數

濱溪區域係指與河川相鄰接植被區域，或指連接河川與陸地的區域。對於河川而言，這區域大多是提供兩棲生動物的棲息地，亦稱為「Ecotone」。依據溪流狀況指數中所設定評估作業流程說明如下：

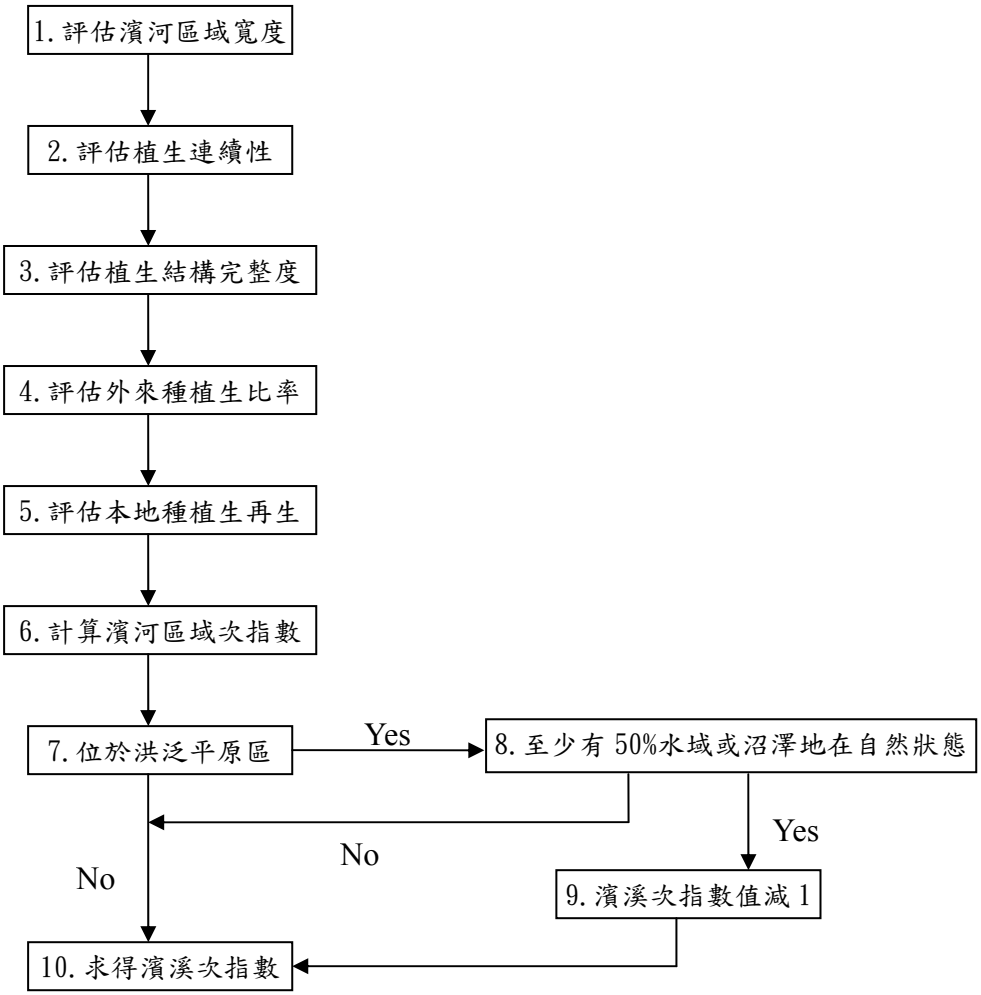


圖 生-1-10 濱河區域次指數之評估流程

④水質次指數

水質次指標在溪流狀況中是一個主要的環境因子，如過高的營養鹽會導致優氧化現象；水草繁殖會產生氰化物的毒性物質；水中的懸浮物質會改變光線的透射，影響到溪流中物種的存活與生長；流經農業地區時肥料與農藥會導致水中氨氮與總磷的增加，改變水中的營養度。而 pH 值亦是水中的一個重要的環境指標，其會影響生物的生長、物質的沈澱與溶解、水及廢水的處理等。另外，濁度不僅會影響外觀、亦會影響水生植物的光合作用、魚類的生長與繁殖，並且干擾消毒作用。而導電度是以針對水中鹽類的導電程度作為指標，雖然鹽類的種類在工程上是沒有

意義的，但是在生態上可估計水中溶解物質離子化的數量、水之總溶解固體量及水質礦化的程度。評估作業流程如下：

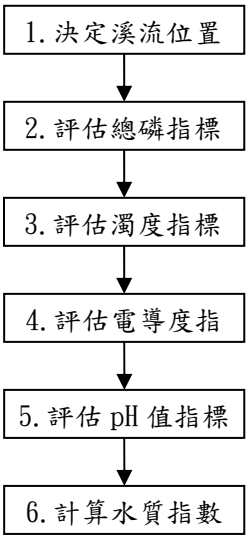


圖 生-1-11 水質指數之評估作業流程

⑤水生物次指數

水生物可表示出河川的營養與一些有毒物的狀況;而魚類可作為反應河川污染的生物指標。以魚類做指標物種時應注意魚種分佈與水質、水中的 pH 值、水溫、溶氧量、氨氮及懸浮物等的變化皆有關係。

在溪流狀況指數中以大型無脊椎動物的抵抗污染性強度作為分類依據，共分成十等級。而利用此一模式下進行本土化，是以行政院環境保護署環境檢驗所提出魚類作為標準。我們依據下表建立出水生物次指標。其指標轉換及評估作業流程如下：

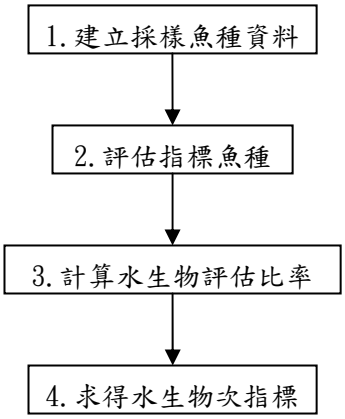


圖 生-1-12 水生物次指標之評估流程圖

水土保持手冊

生態工法篇

目錄

二. 處理單元.....1
2.1 護岸.....1
2.2 堤防.....14
2.3 固床工.....17
2.4 透過性防砂壩.....21
2.5 多孔性擋土牆.....24
2.6 植生護坡.....29
2.7 魚道.....35

表 生-2-1 各種護岸工法之適用流速參考表 8
表 生-2-2 (A) 砌石護岸設計表(FS=1.0) 9
表 生-2-2 (B) 砌石護岸設計表(FS=2.0) 10
表 生-2-3 水流流速(V)與最小粒徑關係表(B) 10
表 生-2-4 蜂巢圍束網格護岸蜂巢深度與最大粒徑關係表 12

圖 生-2-1 (A) 混凝土基礎單階砌石護岸示意圖 3
圖 生-2-1 (B) 單階砌石護岸示意圖 3
圖 生-2-1 (C) 基礎加固單階砌石護岸示意圖 3
圖 生-2-1 (D) 混凝土基礎多階砌石護岸示意圖 4
圖 生-2-2 (A) 混凝土砌石護岸示意圖 4
圖 生-2-2 (B) 混凝土蓆墊砌石護岸示意圖 5
圖 生-2-3 (A) 箱籠護岸示意圖(高水位情形) 5
圖 生-2-3 (B) 箱籠護岸示意圖(高水位情形) 6
圖 生-2-3 (C) 箱籠堆疊護岸示意圖 6
圖 生-2-4 (A) 堆疊式蜂巢圍束網格護岸示意圖 7
圖 生-2-4 (B) 展開式蜂巢圍束網格護岸示意圖 7
圖 生-2-5 木排樁護岸示意圖 7
圖 生-2-6 混凝土型框護岸示意圖 8
圖 生-2-7 木樁捲包護岸示意圖 8
圖 生-2-8 蛇籠堤防示意圖 14
圖 生-2-9 箱籠堤防示意圖 15
圖 生-2-10 混凝土砌塊石堤防示意圖 15
圖 生-2-11 斜坡式固床工 17
圖 生-2-12 階梯式固床工 18
圖 生-2-13 (A) 拱型排砌塊石固床工(平面圖) 18
圖 生-2-13 (B) 拱型排砌塊石固床工(斷面圖) 18
圖 生-2-13 (C) 拱型排砌塊石固床工(正面圖) 18
圖 生-2-13 (D) 拱型排砌塊石固床工(接合圖) 19

圖 生-2-14 混凝土鋪石固床工.....19
圖 生-2-15 (A) 梳子壩正面示意圖.....22
圖 生-2-15 (B) 重力式梳子壩壩柱剖面示意圖.....22
圖 生-2-15 (C) R.C 梳子壩壩柱剖面示意圖.....22
圖 生-2-16 切口壩正面示意圖.....22
圖 生-2-17 混凝土柱透過性潛壩示意圖.....23
圖 生-2-18 箱籠擋土牆示意圖.....25
圖 生-2-19 砌塊石擋土牆示意圖.....25
圖 生-2-20 輪胎擋土牆示意圖.....26
圖 生-2-21 混凝土格框擋土牆示意圖.....26
圖 生-2-22 木製格框擋土牆示意圖.....26
圖 生-2-23 木樁擋土牆示意圖.....26
圖 生-2-24 木板擋土牆示意圖.....27
圖 生-2-25 (A) 打樁編柵正面示意圖.....30
圖 生-2-25 (B) 打樁編柵剖面示意圖.....31
圖 生-2-25 (C) 不織布柵.....31
圖 生-2-25 (D) 竹片柵.....31
圖 生-2-26 格框植生工示意圖.....31
圖 生-2-27 鋪網噴植示意圖.....32
圖 生-2-28 切枝壓條示意圖.....32
圖 生-2-29 圓木格框護坡示意圖.....32
圖 生-2-30 階段式魚道示意圖.....35
圖 生-2-31 潛孔式魚道示意圖.....36
圖 生-2-32 舟通式魚道示意圖.....36
圖 生-2-33 導流壁式魚道示意圖.....36
圖 生-2-34 階段式魚道中的越流流速(V_1)及落下流速(V_2).....38
圖 生-2-35 階段式魚道中的潛孔流速 V_3.....38
圖 生-2-36 落下流狀態(Plunging Flow).....39
圖 生-2-37 表面流狀態(Streaming Flow).....39

二. 處理單元

2.1 護岸

2.1.1 定義

為保護河岸而直接構築於岸坡之構造物。

2.1.2 種類及適用範圍

1. 乾砌石護岸

(1)乾砌石護岸之種類包括混凝土基礎單階砌石護岸、單階砌石護岸、基礎加固單階砌石護岸及混凝土基礎多階砌石護岸等。

(2)適用於可防止河岸坡面受滲流水侵入後產生管湧淘空破壞之地點。

(3)河床承載力足以支撐結構體並應防止大量沉陷。

(4)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。

(5)不適用於凹岸攻擊坡，大河床質之河段攻擊面。

(6)較不適用於土石流潛勢溪流。

2. 混凝土砌石護岸

(1)混凝土砌石護岸之種類包括混凝土砌石護岸、混凝土蓆墊砌石護岸等。

(2)適用於須防止滲流水滲入河岸坡面之地區；尤其可防止河岸坡面受滲流水侵入後產生管湧淘空破壞；但較不適用於流速大於 6m/sec 之河溪。

(3)洪水位高，岸背腹地大，岸高較大且有整體景觀或親水考量時可採用多階施作。

(4)河床承載力應足以支撐結構體並應防止大量沉陷。

(5)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。

(6)不適用於土石流潛勢溪流。

3. 箱籠護岸

(1)適用生態棲地考量及須建構多孔性構造物之地區；較不適用於土石流潛勢溪流及河床質粗之溪流。

(2)地下水高之河岸地區，亦可利用其結構之高滲透性以利排水。

(3)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變形。

(4)較適用河床質粒徑＜10cm 之地區。

4. 蜂巢圍束網格護岸

(1)蜂巢圍束網格護岸之種類包括堆疊式蜂巢圍束網格護岸及展開式蜂巢圍束網格護岸兩種。

(1)可使用於流速小於 6m/sec 及有沖蝕情形之溪流河岸。

(2)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。

(3)又由於此工法預組性及重覆性高，亦適用於河岸破壞之緊急修護。

(4)於緩坡度河岸，具有較寬廣之河岸腹地時具實用性。預組性及重覆性高，施工迅速簡易。

5. 木排樁護岸

(1)施工迅速、成本低且能配合蜿蜒地形。

(2)適用於須緊急處理或暫時性修補工程；但不適用於高流速，高沖蝕之河岸。

(3)適用於水位變化較小之河段。

(4)可維持原有生態環境及棲地情形，且具良好之生態性及親水性。

(5)植生容易且符合綠美化之需求。

6. 混凝土型框護岸

(1)適用於中高流速之河道。

(2)可用於河岸坡面呈規則、土砂災害整治地區、河岸坡面表層呈現風化現象或須綠美化之河岸周遭之地點。

7. 木樁捲包護岸

(1)適用於人工濕地、生態水池、水岸護坡或低流速河道。

(2)可用於須緊急處理之暫時性護岸，且其具有重覆性高及施工迅速等特性。

(3)不適用於流速高及河川凹岸等沖蝕嚴重之區域。

(4)可用於社區親水性高之河溪或景觀需求較高之地區。

(5)護岸具低矮化、透水化及自然化特性。

2.1.3 圖說

1. 乾砌石護岸

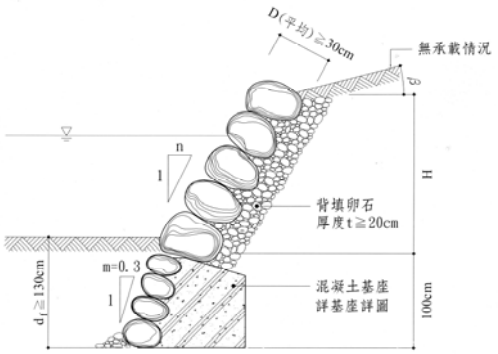


圖 生-2-1 (A) 混凝土基礎單階砌石護岸示意圖

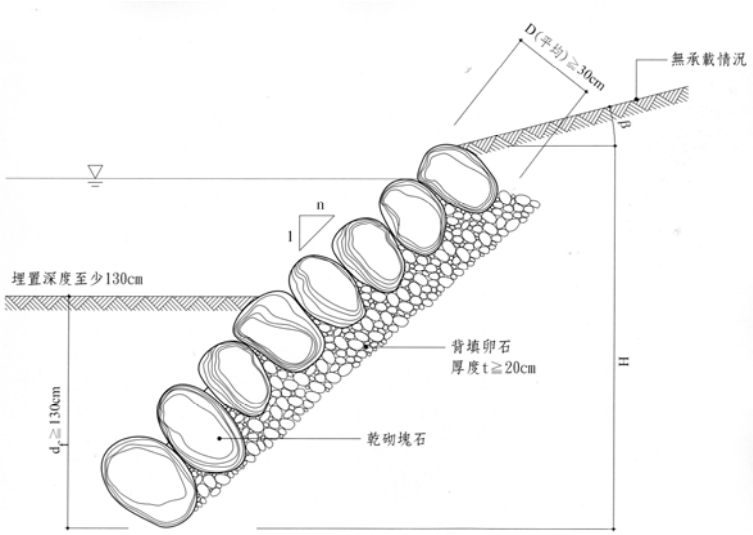


圖 生-2-1 (B) 單階砌石護岸示意圖

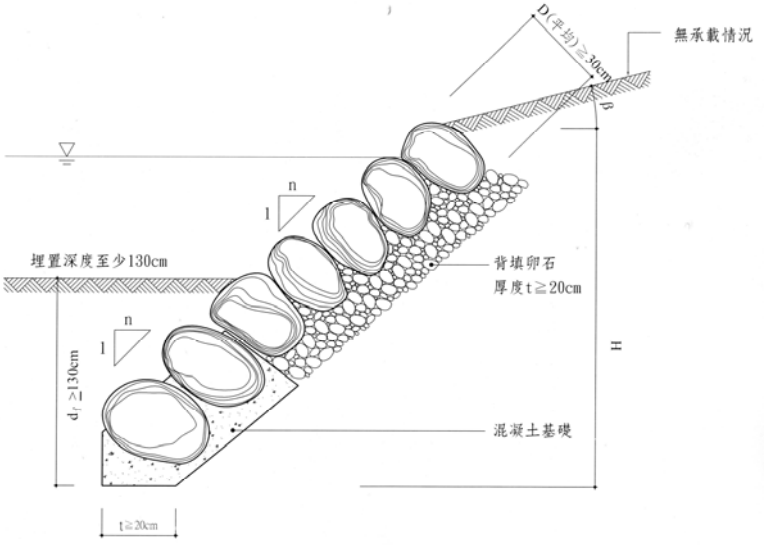


圖 生-2-1 (C) 基礎加固單階砌石護岸示意圖

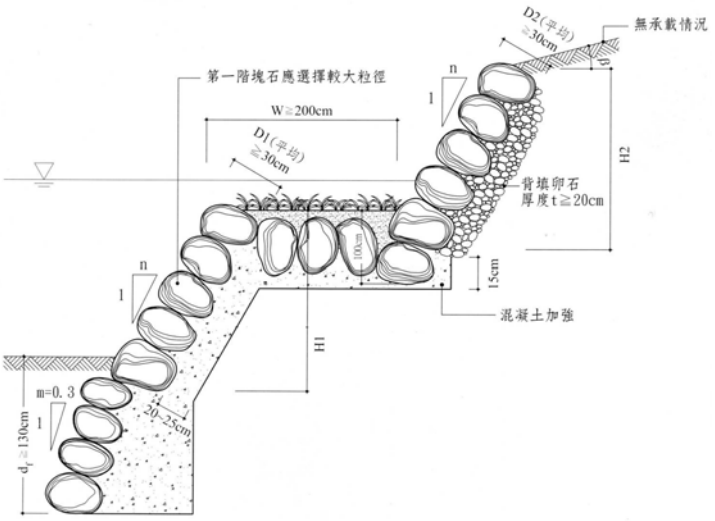


圖 生-2-1 (D) 混凝土基礎多階砌石護岸示意圖

2. 混凝土砌石護岸

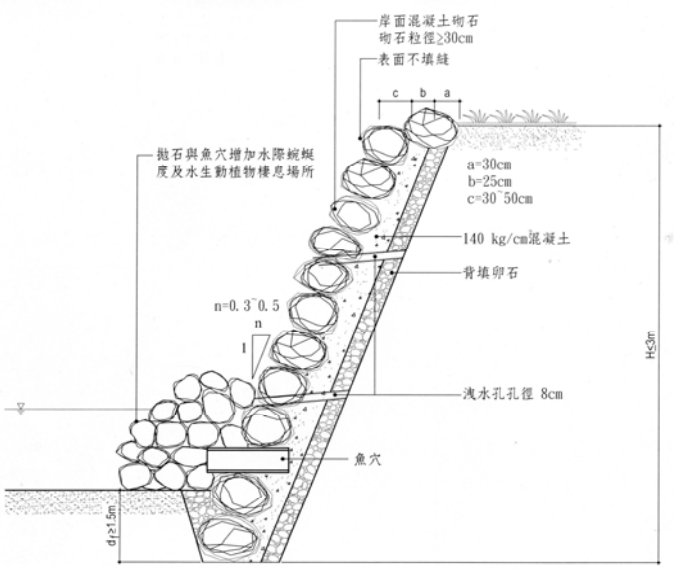


圖 生-2-2 (A) 混凝土砌石護岸示意圖

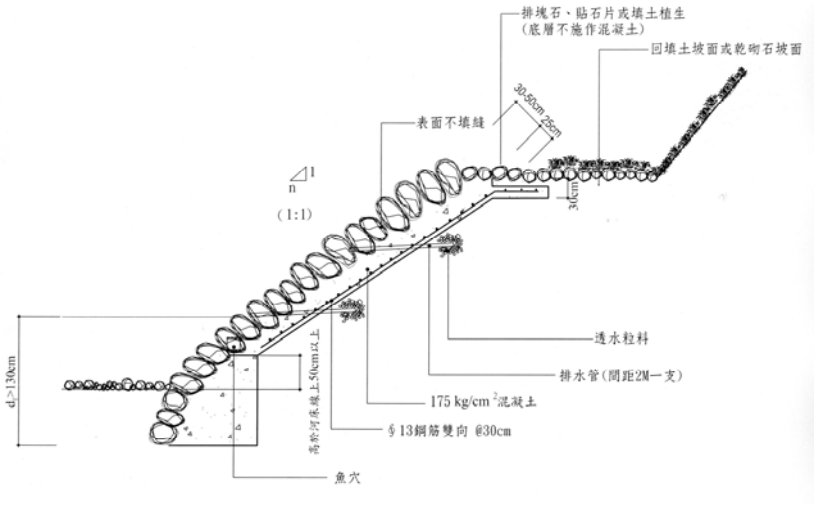


圖 生-2-2 (B) 混凝土蓆墊砌石護岸示意圖

3. 箱籠護岸

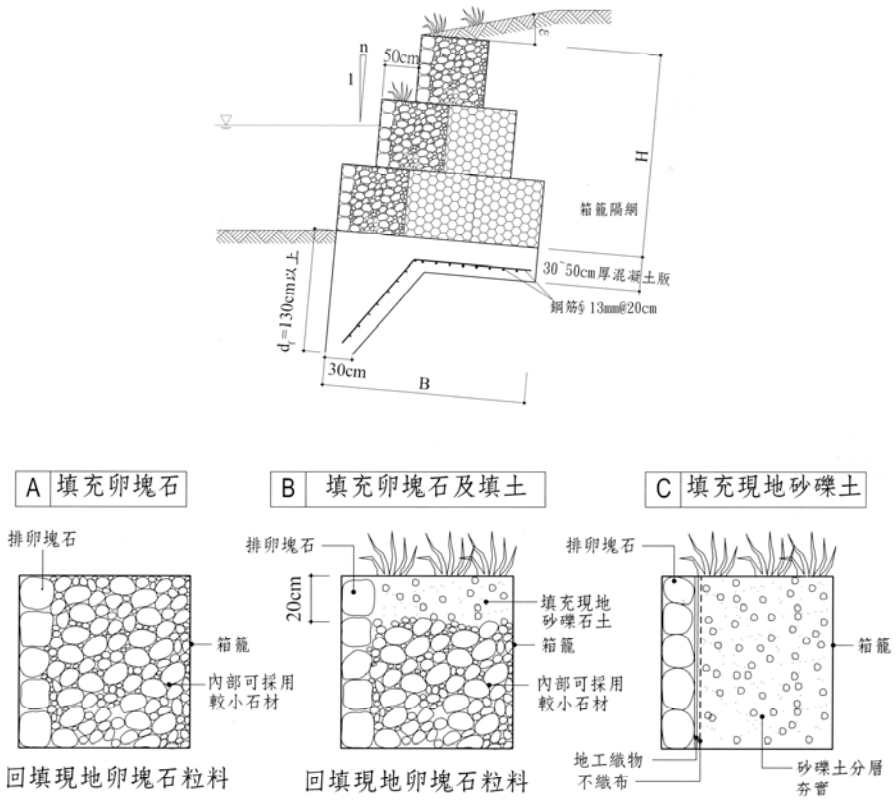


圖 生-2-3 (A) 箱籠護岸示意圖(高水位情形)

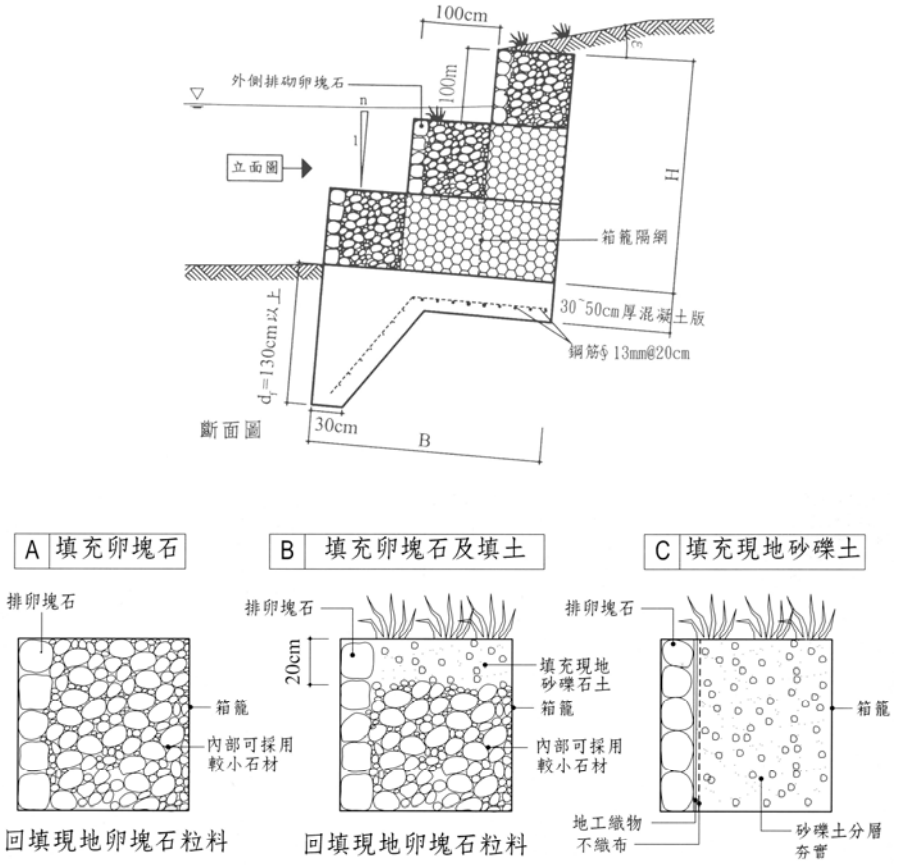


圖 生-2-3 (B) 箱籠護岸示意圖(高水位情形)

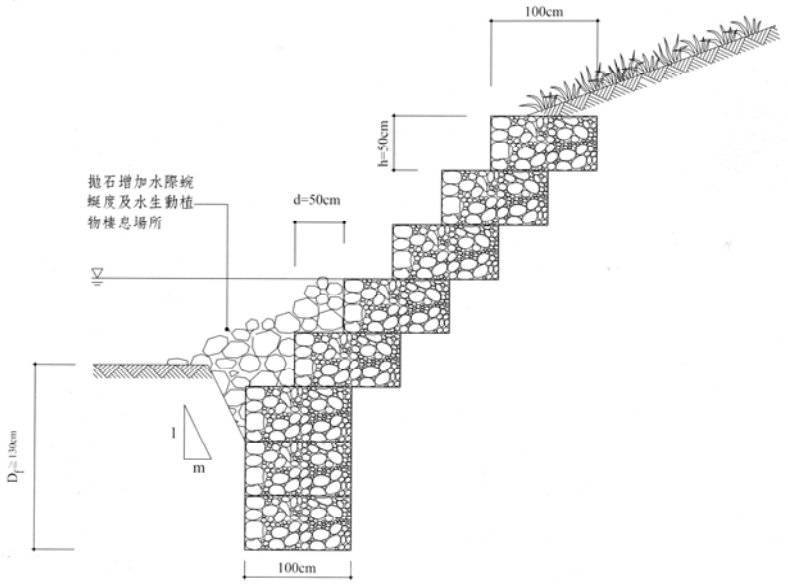


圖 生-2-3 (C) 箱籠堆疊護岸示意圖

4. 蜂巢圍束網格護岸

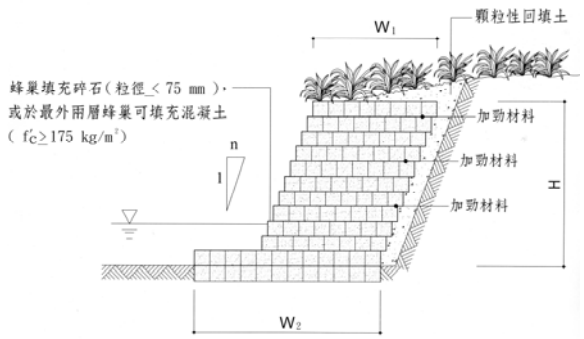


圖 生-2-4 (A) 堆疊式蜂巢圍束網格護岸示意圖

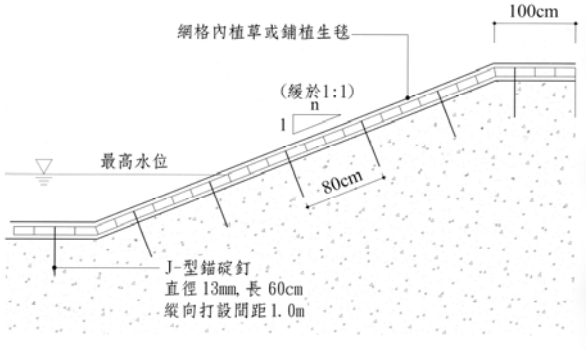


圖 生-2-4 (B) 展開式蜂巢圍束網格護岸示意圖

5. 木排樁護岸

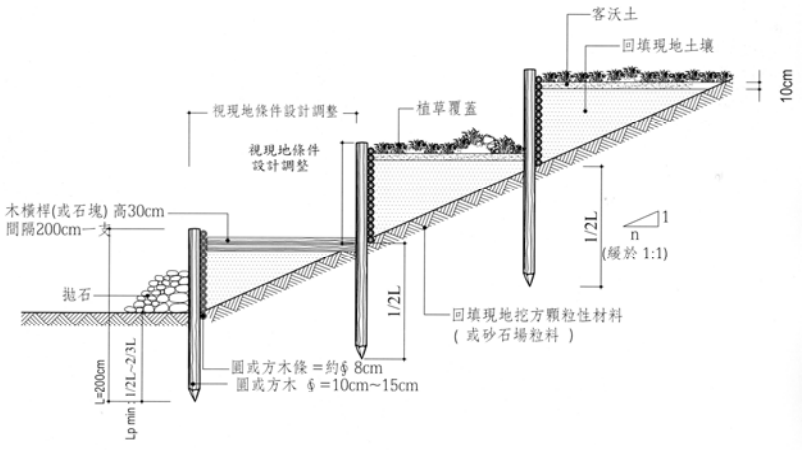


圖 生-2-5 木排樁護岸示意圖

6. 混凝土型框護岸

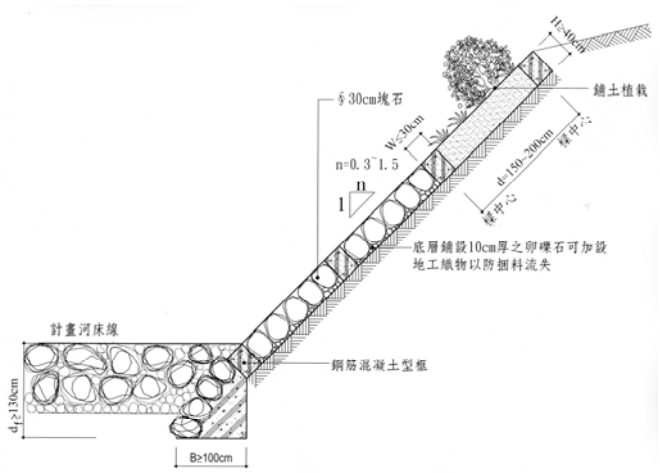


圖 生-2-6 混凝土型框護岸示意圖

7. 木樁捲包護岸

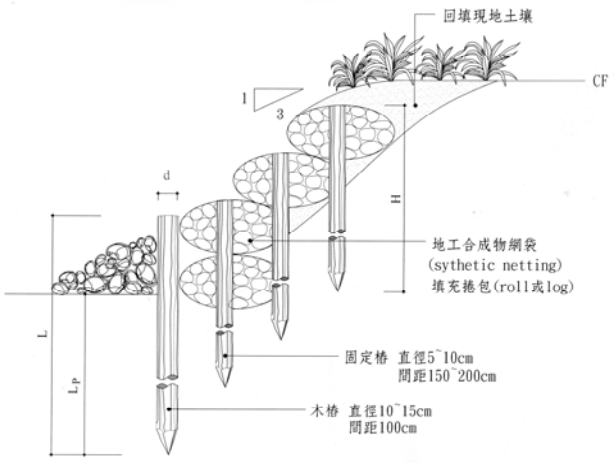


圖 生-2-7 木樁捲包護岸示意圖

2.1.4 設計原則

各種工法之適用流速可參考表 生-2-1：

表 生-2-1 各種護岸工法之適用流速參考表

護岸工法	適用流速範圍(sec/s)
乾砌石護岸	1.5~4
漿砌石護岸	4~6
箱籠護岸	1~5
蛇籠護岸	1~5
蜂巢圍束網格護岸	1~6
木排樁護岸	0.75~3
混凝土型框護岸	5~8

護岸工法	適用流速範圍(sec/s)
木樁捲包護岸	1~2

1. 乾砌石護岸

(1)一般來說，設計護岸高度 H<3m 為宜；單粒砌石徑 D>30cm，且長徑應為橫徑之 1.2 至 1.8 倍。

(2)乾砌塊石以五圍或六圍砌方式砌築，而石縫間得以ϕ=30cm 以下石塊填充。

(3)河床承載力應足以支撐結構體並應防止大量沉陷，而凹岸基礎須施作混凝土基礎台；最底層砌石應埋置於河床線下，埋置深度須大於預計沖刷深度(130cm 以上)或至少 3 倍 Dm 深度，以防止沖蝕造成基礎淘空。

(4)在不破壞河床穩定之原則下，石塊可取自河床中游之卵石；但基礎石及頂端石需挑選較大且形狀整齊整為佳。

(5)背填材料宜就地取材，但若現地土壤粒料含泥量過多、不利排水，則需向其他地區換料或借料。

(6)施工時可於岸址拋石，製造蜿蜒水域並增加生物棲息空間。

(7)依現地情形調整階數，若坡高不高，亦可以使用單階之設計方式。

(8)若基礎穩固，則不需下方之混凝土塊。

表 生-2-2 (A) 砌石護岸設計表(FS=1.0)

（H/D） (FS=1.0)					
α	β=20	β=15	β=10	β=5	β=0
1：0.58 (30°)	18.44	20.35	21.64	22.39	22.64
1：0.70 (35°)	15.63	17.21	18.27	18.89	19.09
1：0.84 (40°)	13.50	14.82	15.71	16.23	16.40
1：1.00 (45°)	11.82	12.93	13.68	14.12	14.26
1：1.19 (50°)	10.45	11.39	12.02	12.39	12.51
1：1.43 (55°)	9.30	10.10	10.63	10.94	11.04
1：1.73 (60°)	8.32	8.99	9.43	9.69	9.78
1：2.14 (65°)	7.45	8.01	8.38	8.60	8.67
1：2.75 (70°)	6.68	7.14	7.44	7.62	7.68
1：3.73 (75°)	5.98	6.35	6.59	6.73	6.78

其中 α 為護岸與鉛垂面之夾角、β 為背填土之角度。

H 為護岸高度、D 為石塊粒徑。

表 生-2-2 (B) 砌石護岸設計表(FS=2.0)

（H/D） (FS=2.0)					
α	β=20	β=15	β=10	β=5	β=0
1：0.58 (30°)	9.78	10.74	11.38	11.76	11.88
1：0.70 (35°)	8.47	9.26	9.80	10.11	10.21
1：0.84 (40°)	7.50	8.17	8.62	8.88	8.96
1：1.00 (45°)	6.75	7.32	7.70	7.92	7.99
1：1.19 (50°)	6.15	6.63	6.96	7.14	7.20
1：1.43 (55°)	5.65	6.06	6.34	6.50	6.55
1：1.73 (60°)	5.22	5.58	5.81	5.95	5.99
1：2.14 (65°)	4.85	5.15	5.35	5.46	5.50
1：2.75 (70°)	4.50	4.76	4.93	5.02	5.05
1：3.73 (75°)	4.18	4.39	4.54	4.62	4.64

其中 α 為護岸與鉛垂面之夾角、β 為背填土之角度

H 為護岸高度、D 為石塊粒徑

表 生-2-3 水流流速(V)與最小粒徑關係表(B)

V (m/s)	B (cm)
0.6	2.5
0.9	4.5
1.2	6.5
1.5	9.5
1.8	13.0
2.1	18.0
2.4	24.0
2.7	30.0
3.0	36.0
3.6	52.0
4.2	72.0

V (m/s)	B (cm)
4.8	96.0
5.4	120.0
6.0	145.0

2. 混凝土砌石護岸

(1)混凝土基座於凹岸處應酌量加深。

(2)設計高度 H＜3m，單粒砌石長徑 D＞30㎝。

(3)岸趾可拋石，製造蜿蜒水域，增加生物棲息空間。

(4)基座斜率以 0.3 為宜。

3. 箱籠護岸

(1)箱籠：

①箱籠外部之組成多以金屬網線機編成網籠。

②編製箱籠之金屬網線應在其外表鍍鋅後再包裹 PVC 套膜或 PE 套膜，以便達到高抗拉性、高抗蝕性、優良變形性及不易散開等要求；亦可使用鋅鋁合金等防腐金屬。

(2)石材：

①箱籠內之回填材應具不易破碎、不易溶蝕或風化等特性。

②對已知網目孔徑尺寸箱籠應儘量採用較小尺寸回填石料填充(石料之填充以不漏出鐵絲網為原則)，以獲得較經濟之設計及較均勻之總體單位重。

③填充石材時，應分三層填滿，每層塊石應在投料後，以人工確實填塞及整平。

④石材填充愈均勻，愈能保證結構體自重呈最佳分佈狀態且對變形有較佳之自我調整性。

(3)牆面設計

①箱籠結構體應後傾至少 10%以確保較高之抗傾倒安全係數。由於結構體較少發生傾倒因此破壞以抗滑動檢核為主。

②石材之平均粒徑 d≈1.5×D，D 為箱籠格網孔徑。

③若牆高超出 4m 時則建議採台階式之設計。

(4)基礎

①為提高抗滑力，建議基礎之埋置深度 d_f=130cm。

②基礎層承載力不佳時，可考慮採用混凝土版基礎以防止完工箱籠結構體外觀不平整之情況發生。

4. 蜂巢圍束網格護岸

(1)本工法使用蜂巢圍束網格展開式及堆疊方式進行施工；同時配合加勁材之使用，以降低岸背之土壓作用力。

(2)設計時應考慮加勁材之垂直配置間距及水平鋪設總長度。總長度由潛在滑動面外之長度及穿入潛在滑動面內之有效埋置長度所組成。

(3)蜂巢填充料可採用植生沃土、碎石粒料或混凝土。

(4)水流速度<6m/sec 之情況，岸面之蜂巢可填充植生沃土進行快速植生，草種應滾搗至沃土之中。

(5)於水流速度大，沖蝕嚴重之情況，岸面最外兩層蜂巢可填充混凝土(f 'c> 175 kg/cm^2)。最底層之蜂巢亦可澆置混凝土以提高承載力及抗沖蝕力。

(6)填充料採用碎石粒料時應考慮蜂巢深度並限制其最大粒徑，以保證良好之填充度如表 生-2-4。

(7)若河床之基礎土壤為軟弱土壤時，可打設木樁以增加承載力及降低沉陷量。

(8)背填土盡量採用現地非凝聚性或顆粒性材料。

表 生-2-4 蜂巢圍束網格護岸蜂巢深度與最大粒徑關係表

蜂巢深度	75mm	100mm	150mm	200mm
標準蜂巢 $(203mm \times 244mm)$ d_{max}	38mm	50mm	75mm	75mm
大蜂巢 $(406mm \times 488mm)$ d_{max}	75mm	100mm	150mm	150mm

5. 木排樁護岸

(1)設計時主要須考慮木樁之長度 H、貫入深度 D、木樁之寬度 d。木樁可採用圓或方木樁(10cm~20cm)及圓或方木條(10cm~15cm)，須做防腐處理。

(2)木樁長度視護岸高度及河床土層情況而定；木樁貫入深度 D 則建議至少應為木樁長度 H 之 0.5 倍(D≥0.5H)。

(3)每階岸高宜在 1m 之內；埋設深度至少大於木樁一半。階段間可種植複層灌喬木取代植生鋪草。

(4)單一木排樁如有毀壞時，應立即更換，以避免鄰樁之連瑣性破壞而造成整體護岸之不穩定。

(5)施工之木樁儘可能就地取材，但也可使用松木樁或廢棄之沉木樁等，唯施工之前須將木樁加工處理以達防腐之功效；而若現地木樁材料不足，則可以其他適宜材料代替。

(6)木樁及木條通常以疏伐材之原木樁或竹樁做為材料，可配合扦插萌芽生長之植生木樁或較細小之枝條，其根系之生長可提供錨釘加勁之效果。

6. 混凝土型框護岸

(1)底層混凝土型框厚度至少 1m，以增加基礎之承載力及抗沖蝕能力。

(2)最高水位下型框內部，可填充卵塊石材，以增加岸趾粗糙度及抗沖蝕能力。

(3)最高水位上之型框可回填植生沃土，並鋪草植栽，提供河岸遮蔭效果及調節水溫。

7. 木樁捲包護岸

(1)外覆之地工合成網袋係由高分子聚合物編織而成，網目大小可依填充料之種類做變化。且可採填充捲包做為背填材料。

(2)網袋內之填充物可為含草種之植生沃包或植物纖維製成之團粒，一般完成填充之捲包直徑可為 30cm 或 60cm，長度可為 1m 或 3m。

(3)可配合薄層覆土或種子撒播、扦插植生。

2.2 堤防

2.2.1 定義

順溪流方向構築，高於地面用以防禦及約束水流不使氾濫之構造物。

2.2.2 種類及適用範圍

1. 蛇籠堤防

(1)適用於沖蝕力大、流速快之溪流。

(2)在雨量豐沛或地下水較高之地區可利用其高透水性排水。

(3)不適用於河床質粒徑大於 10cm 之河川。

(4)石材間隙利於動物及植物之生長。

(5)若河岸土層有不均勻沉陷或大量沉陷時可利用其柔性結構抵抗變形。

2. 箱籠堤防

(1)適用於沖蝕力大，流速快之溪流。

(2)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。

(3)不適用於大粒徑河床之河段，以免造成土石衝擊，網目破壞、斷裂造成整體性破壞。

(4)適用河床質粒徑小於 10cm 之河道。

3. 混凝土砌塊石堤防

(1)抗沖蝕力佳。

(2)表面粗糙化，具自然景觀。

2.2.3 圖說

1. 蛇籠堤防

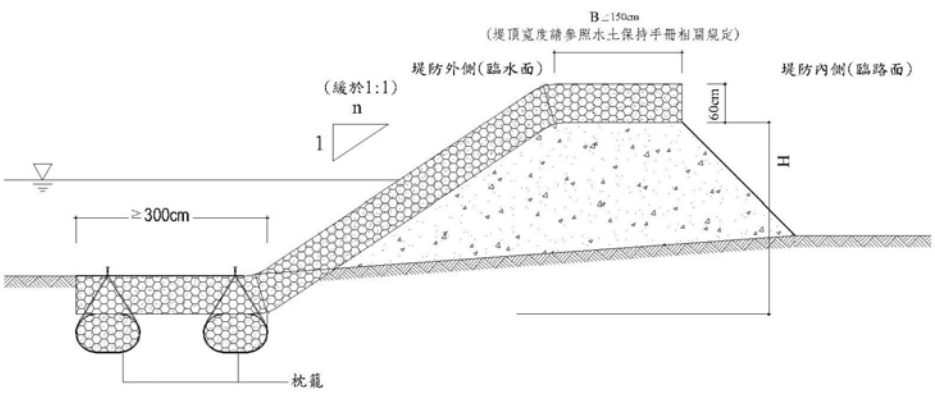


圖 生-2-8 蛇籠堤防示意圖

2. 箱籠堤防

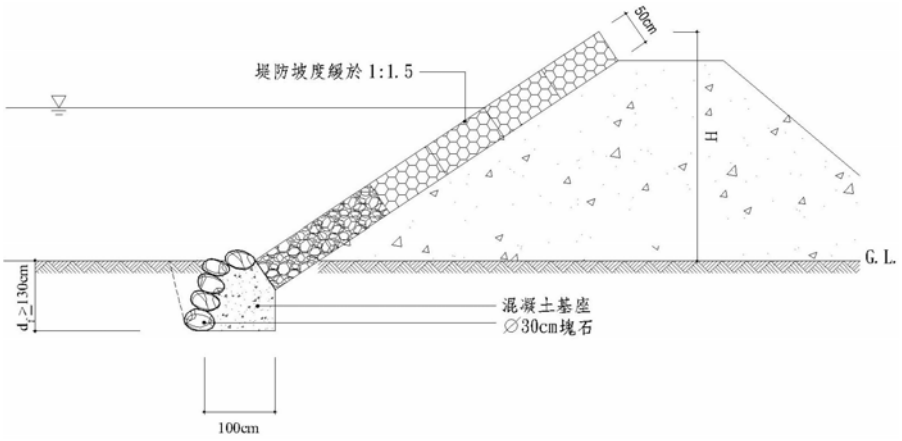


圖 生-2-9 箱籠堤防示意圖

3. 混凝土砌塊石堤防

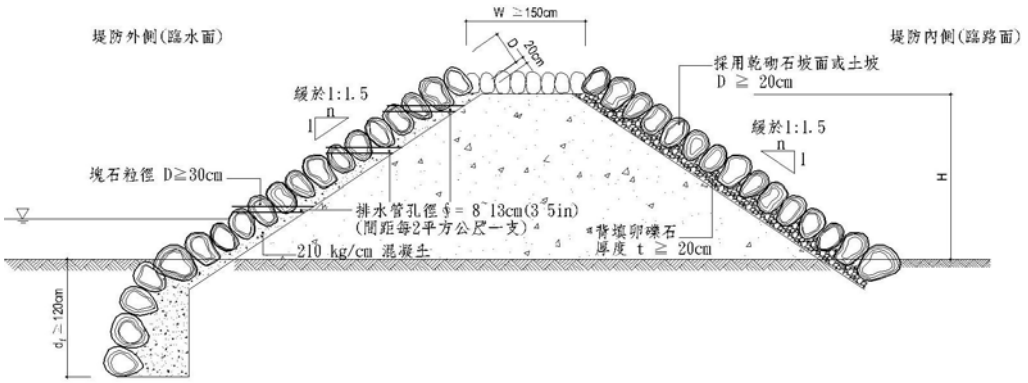


圖 生-2-10 混凝土砌塊石堤防示意圖

2.2.4 設計原則

1. 蛇籠堤防

(1)填充石材之粒徑可為蛇籠網目之 1.5 倍~2 倍為宜。

(2)過濾層於岸坡整平後，可依現地岸坡土質情況，其功能在排除孔隙水，繫留土層細料防止淘刷及增加承載力。

(3)蛇籠單元之尺寸及種類依護岸之高度(H)及斜度(1：n)來調配選用。

(4)岸面粗糙化及透水化，石材間之縫隙利於動物棲息及植物生長。

(5)設計得視堤防填充料，加設地工織物或濾層。

2. 箱籠堤防

(1)堤防坡度緩於 1：1.5 為宜。

(2)趾部採混凝土基座外表砌石，埋置深度 $d_f \geq 130cm$ 。

(3)箱籠蓆與岸坡土層間鋪設過濾層可排除孔隙水壓、防止土層中之細料沖刷流失及增加岸坡承載力。

(4)視現地地質條件決定是否鋪設過濾層(碎石級配、地工織物或是二者同時採用)。

3. 混凝土砌塊石堤防

(1)設計坡度應緩於 1：1.5 為宜，且堤頂寬應大於 1.5 公尺。

(2)砌石長徑以 30cm~50cm 為佳。

(3)於最高水位以上之間隙可填充混合草種植生。

(4)基礎深度得依河床地盤線沖刷變化予以加深。

(5)堤心填土層必須分層夯實。

(6)為防止基腳沖刷，一宜加設混凝土塊、蛇籠或丁壩等保護工；尤其在凹岸處，更應加深堤防基礎及加強保護。

(7)堤外基礎部份得視需要增加拋塊石。

2.3 固床工

2.3.1 定義

為固定河床，配合護岸或堤防所構築之橫向構造物。

2.3.2 種類及適用範圍

1. 斜坡式固床工

   係將固床工下游面作成較緩之斜坡，以利魚類上溯。適用於河床質顆粒較小、固床工斜面部易被磨損、有常流水及魚類上下通行之河段。

2. 階梯式固床工

   係將固床工下游做成階梯狀，以利魚類上溯。適用於河床質顆粒較小，固床工階梯不易被磨損，有常流水及魚類上下通行之河段。

3. 拱型排砌塊石固床工

   固床工係由塊石砌築而成，並作成拱型狀。適用於現場河床有大塊石之河段。可增加水中溶氧，達到流況化多樣與生物性多樣的溪流型態。

4. 混凝土鋪石固床工

   固床工係由混凝土砌塊石構築而成，適用於具常流水且配合水生動物棲地改善之溪流。可增加水中溶氧，並達到流況化多樣與生物性多樣的溪流型態。

2.3.3 圖說

1. 斜坡式固床工

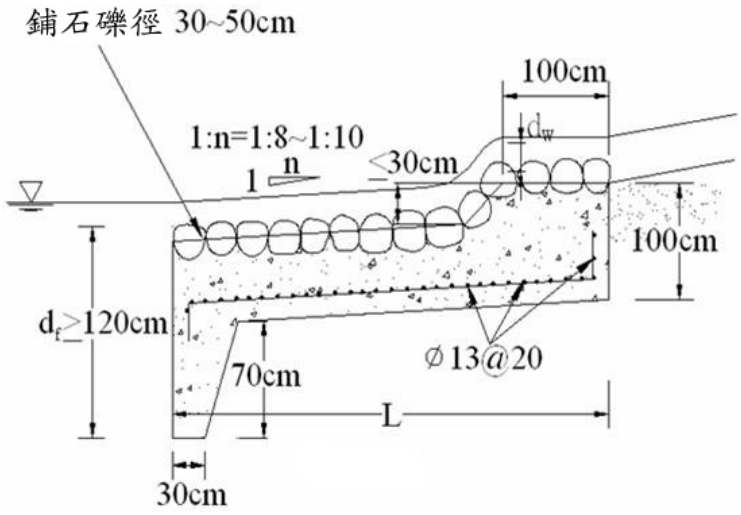


圖 生-2-11 斜坡式固床工

2. 階梯式固床工

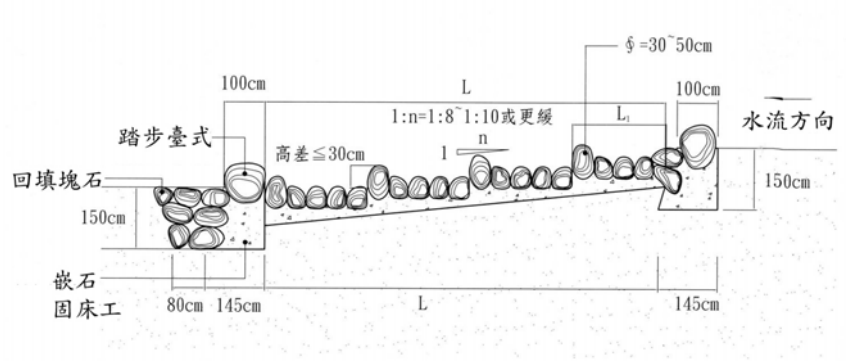


圖 生-2-12 階梯式固床工

3. 拱型排砌塊石固床工

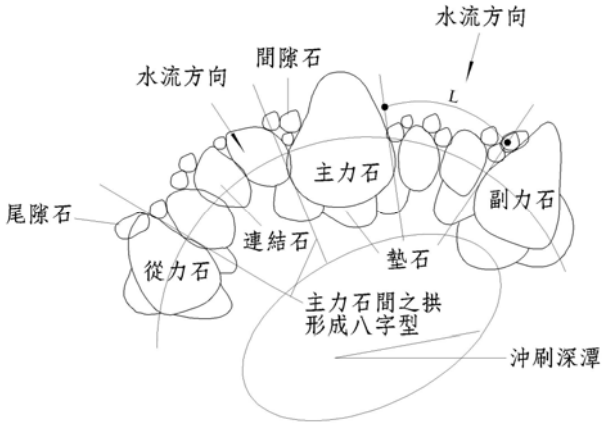


圖 生-2-13 (A) 拱型排砌塊石固床工(平面圖)

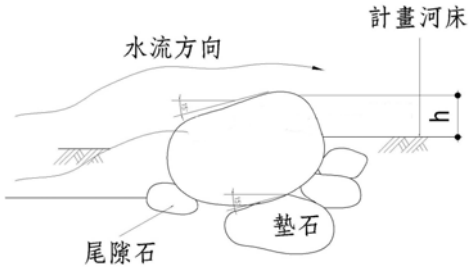


圖 生-2-13 (B) 拱型排砌塊石固床工(斷面圖)

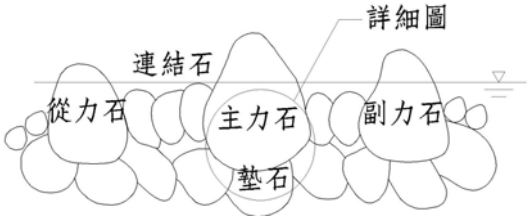


圖 生-2-13 (C) 拱型排砌塊石固床工(正面圖)

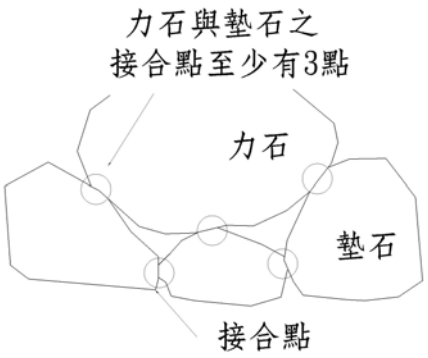


圖 生-2-13 (D) 拱型排砌塊石固床工(接合圖)

4. 混凝土鋪石固床工

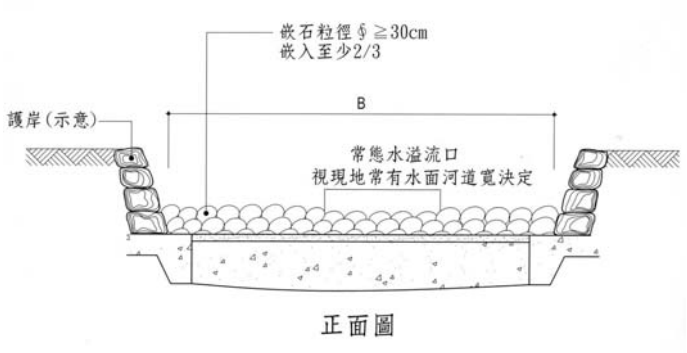


圖 生-2-14 混凝土鋪石固床工

2.3.4 設計原則

1. 整流工程規劃設計時，應先評估其河床有否被刷深之傾向。如有整段被刷深之可能時，則應施設固床工。如僅局部刷深，可加深堤岸之基礎，或拋大塊石等加以保護，而不必施設固床工，以避免過度影響河道原有之生態環境。
2. 固床工之基本設計及間距，依工程篇整流工程之規定辦理。系列固床工之配置，原則上以下游固床工之高度，足以保護上游固床工及護岸之基礎。
3. 一般基流量較小之野溪，枯水期間魚類依賴深潭存活，固床工之設置，應避免使深潭消失。一般凹岸常有深潭存在，故固床工以避免設於彎曲段為原則。惟為避免凹岸基礎被淘空，可將其加深，以策安全。
4. 為免防礙魚類通行，固床工之落差超過 30cm 時，其結構如屬混凝土，且河床質顆粒較小者，以採用斜坡式或階梯式為宜。

5. 斜坡式固床工下游面之斜度，以緩於 13%(約 1：8)為原則。其斜面嵌入石塊之粒徑，以 30~50cm 為原則。石塊嵌入混凝土之深度約為其長徑之二分之一至三分之二。嵌石時，可於其間保留彎曲之槽溝，以利魚類通行。
6. 階梯式固床工下游面之平均坡度以緩於 13%(約 1：8)為原則。階梯間之高差以不超過 30cm 為宜。階梯之外緣可嵌以較大之塊石，並應高於內側，使每階間有足夠之水深，以利魚類起跳。
7. 拱型排砌塊石固床工係利用拱作用之原理，平面配置採用拱形，以足以抵抗水流拖曳力之大石塊作為力石，與較小之連結石緊密連結成一體，以抵擋水流及土砂壓力。溪寬較大時，拱之作用較小，石塊之重量均應足以抵抗水流拖曳力。其基礎有被淘空之虞者，可加設混泥凝土基座。
8. 混凝土鋪石固床工係採用鋼筋混凝土蓆墊可抵抗高流速形成之沖蝕刷深，可降低河水流速防止河床淘刷及穩定流心，使河道保持穩定不致偏移。護岸結構之混凝土基座可考慮和固床工混凝土蓆墊相連接而成為本工法基礎之一部分；河寬較大時，得保留供常流水流動之深槽，而其設計坡度應視河床流速、坡度及目標魚種上溯能力調整。

2.4 透過性防砂壩

2.4.1 定義

為調節土砂輸送，以容許部份細粒通過，所構築之透過性壩。

2.4.2 種類及適用範圍

1. 梳子壩

(1)係於防砂壩溢洪口段之壩身，開設垂直之開口，形狀有如梳子，故稱之為梳子壩。

(2)可攔蓄河道大量流下之砂石，抑止土石流，減少土石災害。

(3)可調節泥砂輸送，平常水量不大時，容許對下游河道無害之細顆粒砂石透過壩身流出，以維持下游河道平衡。而於土石流發生時，將較大顆粒之石塊攔阻，以達到調節泥砂輸送之目的。

(4)可消減土石流之能量，減少土石流對下游河道之破壞力。

(5)具有良好之生態功能，魚類及兩棲動物可藉其開口於河道上下通行。

(6)適用於土石流潛勢溪流流動段庫容較大處及谷口。

2. 切口壩

(1)調節泥砂輸送，維持下河道平衡。

(2)調節土石流流出量，減少下游土石流災害。

(3)遲滯洪峰流量。

(4)具有良好之生態功能，魚類及兩棲動物可藉其開口於河道上下通行。

(5)適用於土石流潛勢溪谷口，以調節泥砂輸送。或一般溪流中上游庫容較大處，以遲滯洪峰流量。

3. 混凝土柱透過性潛壩

(1)柱狀透過性壩具有調節泥砂輸送、攔阻粗顆粒之石塊並維持通水之功能。

(2)具有良好之生態功能，魚類、蝦蟹類及兩棲動物可藉其開口於河道上下通行。

(3)適用於土石流潛勢溪流流動段庫容較大處及谷口。

2.4.3 圖說

1. 梳子壩

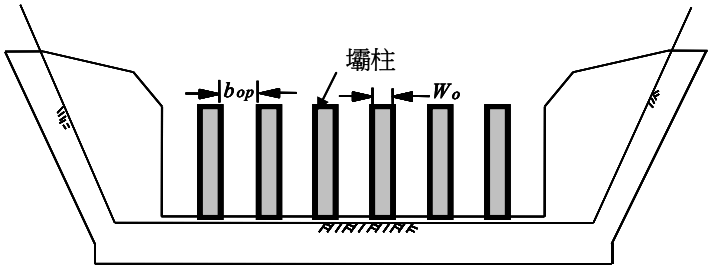


圖 生-2-15 (A) 梳子壩正面示意圖

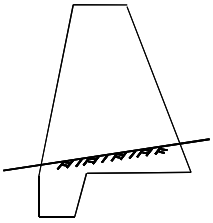


圖 生-2-15 (B) 重力式梳子壩壩柱剖面示意圖

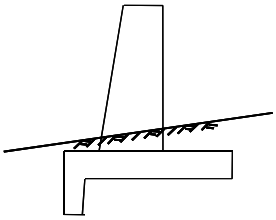


圖 生-2-15 (C) R.C 梳子壩壩柱剖面示意圖

2. 切口壩

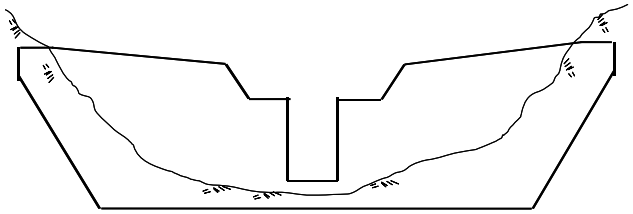


圖 生-2-16 切口壩正面示意圖

3. 混凝土柱透過性潛壩

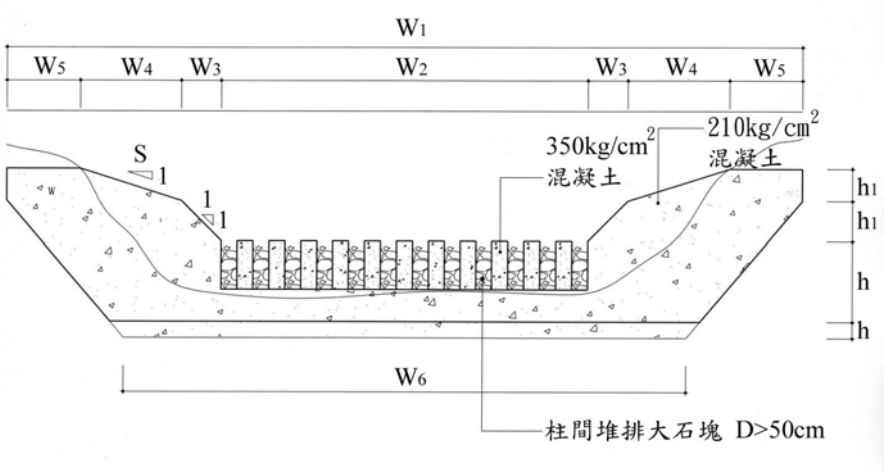


圖 生-2-17 混凝土柱透過性潛壩示意圖

2.4.4 設計原則

1. 梳子壩

(1)溢洪口斷面、壩體與壩翼、壩柱間開口寬度、壩柱寬度、壩柱之安定檢討及水理計算等均與工程篇同。

(2)為利魚類及兩棲動物上下通行，壩柱間開口底部以與河床同高為原則。

2. 切口壩

(1)溢洪口斷面、壩體與壩翼、開口寬度、及水理計算等均與工程篇同。

(2)為利魚類及兩棲動物上下通行，開口底部以與河床同高為原則。

3. 混凝土柱透過性潛壩

(1)溢洪口斷面、壩體與壩翼及水理計算等均與工程篇同。

(2)混凝土柱間距，依設計容許流出砂石顆粒之粒徑而定，一般以其粒徑之二倍為原則。

2.5 多孔性擋土牆

2.5.1 定義

為穩定邊坡所構築並易於動植物入侵、生長之多孔性構造物。

2.5.2 種類及適用範圍

1. 箱籠擋土牆

(1)大多以混凝土作為基礎台，並於台上設置箱籠，一方面作為擋土用、一方面可作為動植物棲息之場所。

(2)常作為緊急修復之用，且屬柔性結構，可抵抗較大之變形。

(3)又其多孔性有利於動植物之生長。

2. 砌塊石擋土牆

於混凝土擋土牆上砌上塊石，如此具多孔性之設計，能有效營造動物之棲息環境及有益於植物之入侵。

3. 輪胎擋土牆

(1)利用廢輪胎交叉堆疊而成擋土牆。

(2)具有良好的粗糙度、孔隙度及透水性，有利於動植物之生長。

(3)適用於含石礫質土、表層崩塌、無滑動情形或有大量地表水之地區。

(4)適用於現地可用資材匱乏，可以廢棄輪胎代替之地區。

4. 混凝土格框擋土牆

(1)以預鑄之混凝土堆疊成框並內填卵石設於混凝土基礎台上，以達穩定邊坡之用。

(2)適用於急需排水之地區(如崩積土之護坡)。

(3)於格框間可加入該地之適生植物，以加速綠美化。

(4)適用於需緊急搶修之邊坡。

5. 木製格框擋土牆

(1)以木材堆疊成框並內填卵石設，做成之擋土構造物。

(2)適用於產業道路、林道及農路之邊坡擋土牆。

(3)適用於森林遊樂區、風景區、公園及農場等。

6. 木樁擋土牆

(1)利用直徑大致相同之植生木樁或間伐材，規則排列成之擋土牆。

(2)可防止土壤之流失、且提高棲地之安定度。

(3)可促進木框內原生種之繁殖，並有利於現地之自然演替。

(4)其多孔之性質有利於排水之進行。

(5)木框之腐壞不會造成現地之環境汙染。

7. 木板擋土牆

(1)利用縱向之木板以及橫向之圓木，以接合方式製成之擋土構造物。

(2)可防止土壤流失，提高棲地之安定度。

(3)有讓當地先驅植物可附於安定坡面，以達初期演替之功效。

(4)使用木材、竹片薄木板之天然材料，於視覺及生態上較容易與自然環境融為一體，若有腐壞現象亦不致產生污染。

(5)適合用於森林遊樂園、公園、風景區及農場等需考慮景觀設計等地區。

2.5.3 圖說

1. 箱籠擋土牆

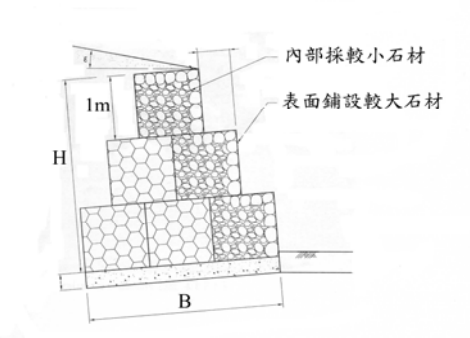


圖 生-2-18 箱籠擋土牆示意圖

2. 砌塊石擋土牆

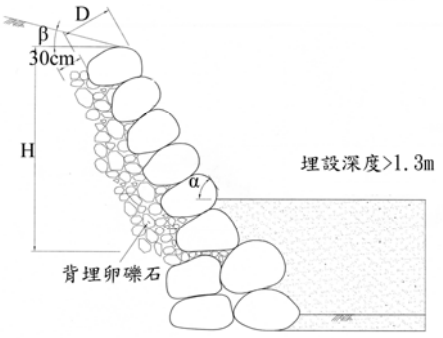


圖 生-2-19 砌塊石擋土牆示意圖

3. 輪胎擋土牆

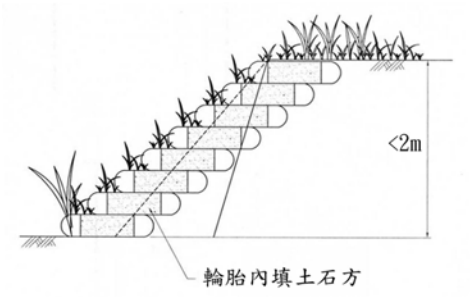


圖 生-2-20 輪胎擋土牆示意圖

4. 混凝土格框擋土牆

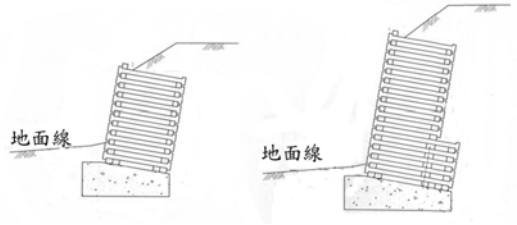


圖 生-2-21 混凝土格框擋土牆示意圖

5. 木製格框擋土牆

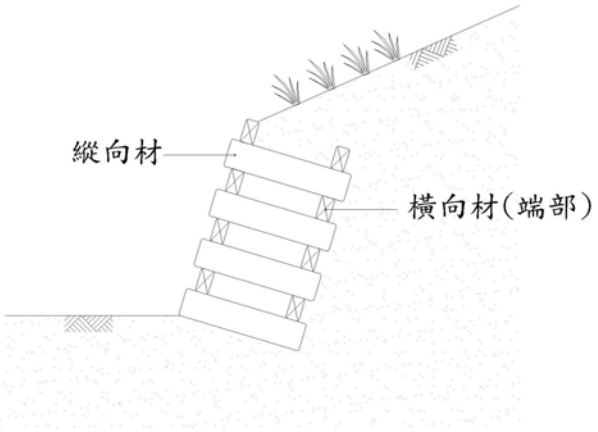


圖 生-2-22 木製格框擋土牆示意圖

6. 木樁擋土牆

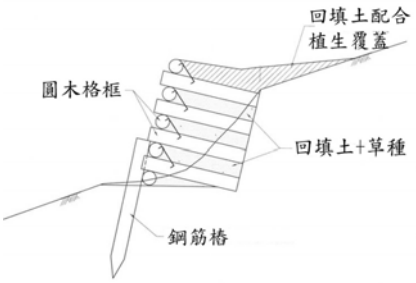


圖 生-2-23 木樁擋土牆示意圖

7. 木板擋土牆

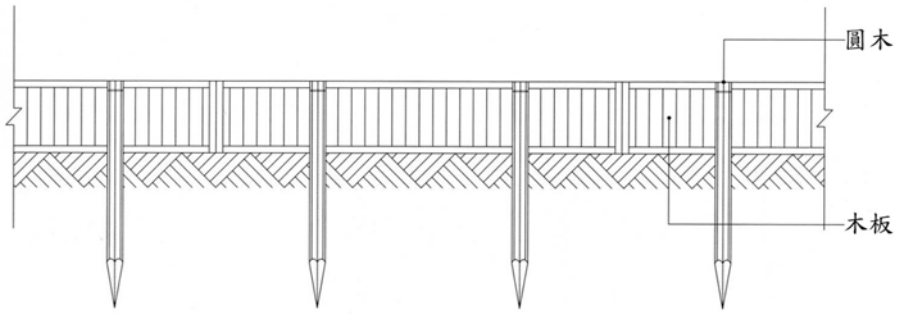


圖 生-2-24 木板擋土牆示意圖

2.5.4 設計原則

1. 箱籠擋土牆

(1)設計之總高度以<4m 為宜。

(2)鐵線須編結成六角形孔，孔長及孔寬應分別以 20cm 及 15cm 為宜，且每兩根鄰近鐵線之捲接處，應至少捲繞兩圈半以上。

(3)箱籠每 1m 須以鐵線間格之。

(4)箱籠之裝石粒徑以 22cm~35cm 為宜，且於空隙內可斟酌填以直徑 10cm~22cm 之卵石。

(5)箱籠安裝前地面需先整平，以利作業之進行。

(6)箱籠施工後之植生可以直接客土(土壤+種子+肥料)、插枝等方式施作。

2. 砌塊石擋土牆

(1)砌石時，其長徑應垂直於坡面；且砌石應分段自基腳砌起，平均由水平向上砌起，且底部應選較大之石塊。

(2)砌石之排列應交錯連鎖，若排列時遇大孔隙處，可用小塊石嵌塞穩固。

(3)設計護岸高度應<3m。

(4)底層砌石之埋設深度應>1.3m。

3. 輪胎擋土牆

(1)廢輪胎交叉堆疊時，斜率以 1：0.3，高度則以＜2m 為宜。

(2)輪胎堆疊後可內填土石方，以作為植物導入、或創造多層次、多樣性棲地之用。

(3)廢棄輪胎之利用尚可與護坡、護岸、蝕溝控制、固床工及梳子壩結合。

4. 混凝土格框擋土牆

(1)主要材料採預鑄形式，架構採堆疊方式施作。

(2)框條之分層架設需與框內材料之回填及壓實交互進行。

(3)設計施工時需經穩定分析。

5. 木製格框擋土牆

(1)安全設計高度為每階段<2m，總高度<4m。

(2)所採用圓木樁之直徑約 10cm~20cm。

(3)木樁盡可能使用當地材源或疏伐材。

(4)若需分層施工，每階段間應退縮 50cm 以上。

(5)牆頂可填土植草。

6. 木樁擋土牆

(1)安全設計高度約為每階段 2m。

(2)基礎承載力須大於 15ton/m，若基礎承載力不足時，應配合基座加以改良。

(3)木框之材料應選擇有較高防腐性質之木材，或施工前須進行防腐處理。

(4)框內可回填碎石，而回填料須避免由格框間隙漏失。

(5)木框內可滲入混合草種，以利植物生長。

7. 木板擋土牆

(1)木板之距離視地質條件而異，一般每排木板之距離約為 1~3m，樁距以 0.8~1m 為宜。

(2)木樁直徑約為 15~20cm，長度為 120~180cm。

(3)若於土質較鬆軟之地區，木樁應打入土中 2/3 以上；若於土質較堅硬之地區，則木樁應打入土中 1/2 以上；地表之預留木樁長度應為 40cm~60cm。

(4)樁間以圓木條、竹片、薄木片等材料，攔阻土石。

(5)打樁時宜由坡面下方向上方施作。

2.6 植生護坡

2.6.1 定義

植生護坡為利用適生植物之導入作業，以達坡面保護之目的者。

2.6.2 種類及適用範圍

1. 打樁編柵

(1)利用打樁及編柵之作，之以固定坡面不安定之土石，改善坡度，防止沖刷，造成有利植物生長之環境。

(2)使用萌芽、不萌芽之木樁，依適當距離打入土中，並以竹片、PE 網、鐵絲網等材料編織成柵之方法。

(3)坡度 45°以下之填方坡面。

(4)一般土壤挖方坡面。

(5)崩積土或淺層崩塌坡面。

(6)可視崩塌裸露地坡面狀況調整適用範圍。

(7)打樁編柵之層次感可營造動植物棲地空間，且其緩坡效果有利植物入侵。

2. 固定框植生工

利用預鑄或現場製作之格框，配合框內之植生處理，以達到穩定坡面、減少沖蝕之水土保持方法。

(1)格框之種類可分為以下幾類

①預鑄水泥框：適用於坡地社區或重要道路邊坡及地質條件較差等地區；亦可用於坡度緩於 45°之地區；或無土壤之挖方坡面。

②鐵製框：利用菱形鐵製框安裝於坡面已利客土植生。可用略有凹凸之坡面。

③自由樑框：適用於起伏較大且不規則、表面呈現風化及崩落現象之坡面。可用於坡度約 45°~60°之坡面。

④混凝土固定框：適用於坡面起伏較小、較規則坡面、坡面表層有風化及崩落之現象之地區。可用於坡度約 45°~65°之坡面。

(2)框內植生方法：框內之植生方式大致可分為框內鋪石、框內土壤袋、框內客土噴植及框內岩面噴植。

3. 鋪網噴植

(1)於坡面上先行鋪設鐵絲網，再噴植客土、黏著劑及種子之方法。

(2)適用於坡度 50°左右，及噴植厚度約 3cm 之挖方坡面。

4. 切枝壓條

(1)大多利用木本植物之栽植及較厚之表土，配合適當之生長之環境，以利安定土、防止土壤流失及固結土壤之方法。

(2)因其安定坡面之功效需待植物之根系深入地盤後方可顯現，故其不適用於有立即危險之坡面。

(3)適用於一般挖填方坡面或水面以上之河岸。

(4)因其坡面層次之特性，可提供動植物棲息之空間。

5. 圓木格框護坡

(1)以鐵絲將鋪設於坡面之等長圓木加以固定成方形，以達穩定坡面之效。

(2)適用於坡度＜45°之坡面。

(3)具植生綠化、穩定邊坡並促進植物自然演替之功效。

(4)由於木製格框之多孔性，較易為植物入侵及生長。

(5)適用於略有沉陷及略有凹凸之坡面。

2.6.3 圖說

1. 打樁編柵

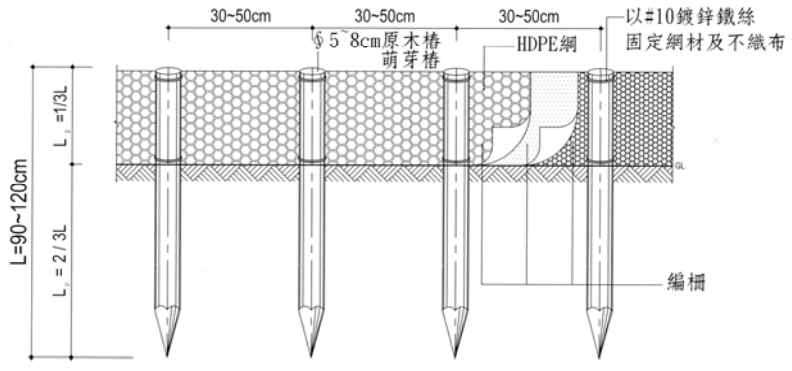


圖 生-2-25 (A) 打樁編柵正面示意圖

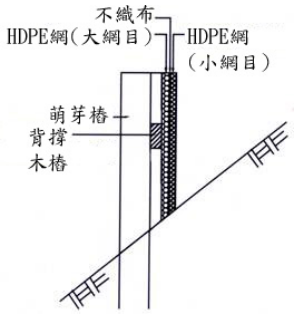


圖 生-2-25 (B) 打樁編柵剖面示意圖

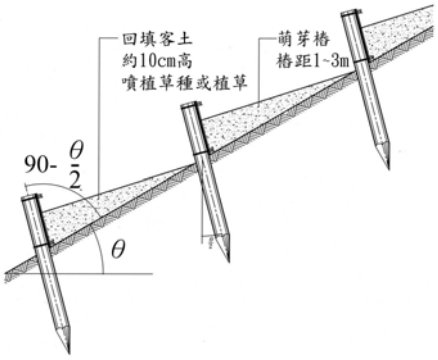


圖 生-2-25 (C) 不織布柵

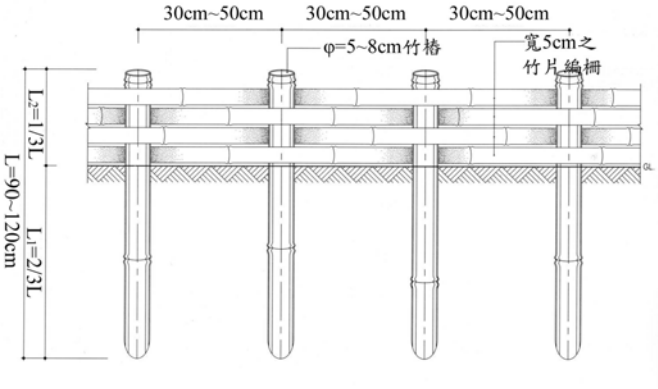


圖 生-2-25 (D) 竹片柵

4. 固定框植生工

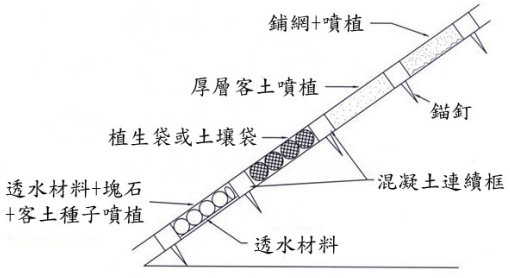


圖 生-2-26 格框植生工示意圖

5. 鋪網噴植

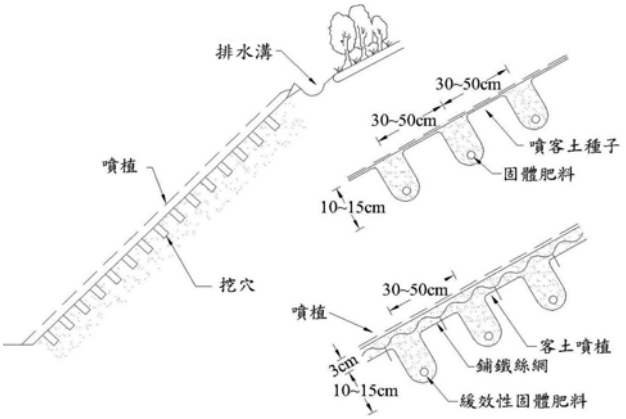


圖 生-2-27 鋪網噴植示意圖

6. 切枝壓條

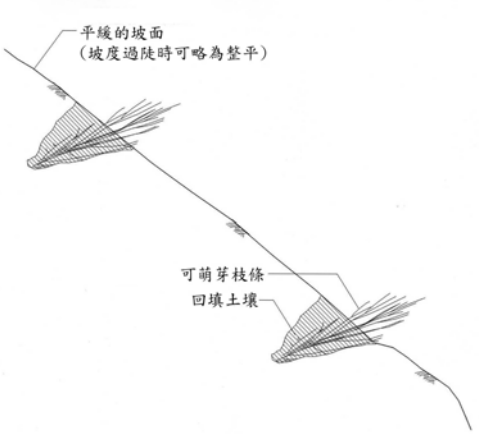


圖 生-2-28 切枝壓條示意圖

7. 圓木格框護坡

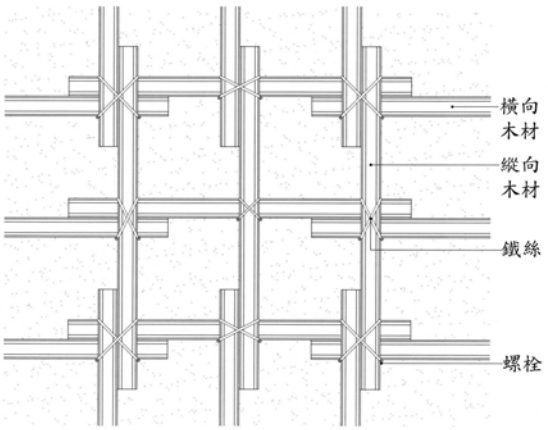


圖 生-2-29 圓木格框護坡示意圖

2.6.4 設計原則

1. 打樁編柵

(1)施工前需略為整平坡面及消除沖蝕溝，清除危石及植物殘株，並依邊坡形狀及地質狀況於坡頂及坡面構築截洩溝。

(2)打樁間距視坡度與地質條件而異，一般每排樁之行距以 1～3m、樁距以 30～100cm 為原則(樁距尚需依編柵材料而定)。

(3)使用之竹木樁末端直徑 3～10cm，長度 0.6～1.0cm。木樁打入土中之角度，以鉛垂線與坡面垂直線交角之 1/2 為原則，打入土中 2/3 以上，出土 15～30cm，樁間以竹片、PE 網或其他材料編柵之，且樁距以 50～100cm 為原則。

(4)木樁材料以萌芽力強之九芎、黃槿、榕樹、雀榕等為主。

(5)木樁應保持新鮮，打樁時須保護樁頭，不使打裂，裂開部分需鋸掉，以免影響其萌芽能力。如萌芽樁不足時，可以其他雜木或造林木樁混合使用。

(6)在較為安定之坡面，為防止表層土移動，以採用埋設方式之編柵為宜。其方法係將木樁先打入地中並挖溝編柵後，回填表土至與原坡面齊高。

(7)如以塑膠網或鐵絲網為編柵材料時，中間夾不織布，並以#10〝∩〞型鐵釘固定於木樁或鍍鋅鐵線固定於鋼筋上。最上端需用鐵絲綁緊，以防脫落。使用人工材料之編柵，如 PE 網、鐵絲網等，須注意材料之顏色，使其與基地景觀調和。

(8)打樁編柵後需削土及回填，使每段邊坡略呈平台狀。或在平台上客土，高度約 10cm。每平方公尺可均勻撒布 1kg 之堆肥且與土壤混合。樁行間可配合撒播或噴播方法播種種子。

(9)在棄土場土石量較大或下方有溪流沖蝕之慮時，如採用打木樁及編 PE 網柵之施工法，通常尚需於坡腳設置擋土牆。

2. 固定框植生工

(1)岩層地下水位高或有湧水之情形時，框內以鋪石為佳。

(2)直接客土時，其客土情形與填方坡面相同，僅能應用在緩坡（35°以下）之固定框內。

(3)大型植生袋或土壤袋使用時，為免袋體破壞後土壤溢出，其應用範圍之最大坡度為 45°。若在大於 45°之固定框內使用土壤袋，將會造成植生衰退及土壤崩落之現象。

(4)下層岩面具不透水性時，需於橫樑處配合排水孔之設計。

(5)自由樑框可應用至坡度 60°。但在坡度較陡處需施以噴植時，噴植厚度不宜大於 10cm。

3. 鋪網噴植

(1)整坡後，將菱形鐵絲網平鋪於坡面，然後每 m^2 以一支鐵栓固定之。

(2)客土材料依立地條件不同而異，可於土壤中加入堆肥、台肥 43 號、複合肥料與適量的水均勻混合材料，以噴植機噴佈形成客土層。再將黏著劑、種子及適量的水混合後，噴植於客土上。

(3)於軟岩地區，坡面整坡後沿等高線每隔 30～50cm，用鑽孔機或挖穴機鑽孔或挖穴，施放遲效性肥料。然後鋪網噴植，可增加植物根系之固著能力及達到綠化效果。

(4)如考慮生態綠化草花之美化效果，可酌量增加植物種子之種類與數量。

(5)其餘鋪網噴植細部之設計施工，可參考水土保持手冊植生篇。

4. 切枝壓條

(1)可於冬季時切下枝條，並以壓條之方式處理；待隔年春季植物萌芽時，佈滿坡面，始有土層保護之功效。

(2)若土壤若太過乾旱，在初期要澆水，以增加萌芽率；待根系深入土層並具保水性後，則可停止澆水。但應避免雨季前施工。

(3)每層的間距約為 1.5~3.0m，邊坡底部可再縮小間距，以加強其穩定功效。

(4)使用苗木以當地原生種為主，可考慮栽植具演替潛勢的種類。

5. 圓木格框護坡

(1)於接合處需配合錨定鋼筋及鐵絲做固定，其中錨定鋼筋長度需＞1m，打入地面時，鋼筋之最頂端需與最上層圓木齊高。

(2)可配合鋪網噴植等植生方法，以達穩定坡面之功效。

(3)由於木框為柔性構造物，故其對於沉陷較不敏感。

2.7 魚道

2.7.1 定義

於河溪內構築之魚類通道，以供魚類活動及迴游之工程構造物。

2.7.2 種類及適用範圍

1. 階段式魚道

   (1)利用階段式之設計，以達到魚類活動之效果。

   (2)其適用之魚類有台灣鏟頷魚、台灣石　、台灣馬口魚、粗首鱲等、台灣爬岩鰍及台灣纓口鰍等。

2. 潛孔口式魚道

   (1)係指將潛孔等類似的通道置於水中，以做為便利於魚類活動之構造物。

   (2)其流速受水位差與閘口形狀所控制。

3. 舟通式魚道

   適用於跳躍性、攀爬性、甚至鰻類之魚群。

4. 導流壁式魚道

   利用隔板將通直之通道隔成迂迴狀，以減低流速及坡度，供魚群通過。

2.7.3 圖說

1. 階段式魚道

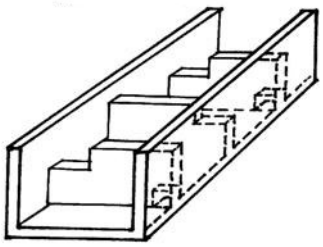


圖 生-2-30 階段式魚道示意圖

2. 潛孔口式魚道

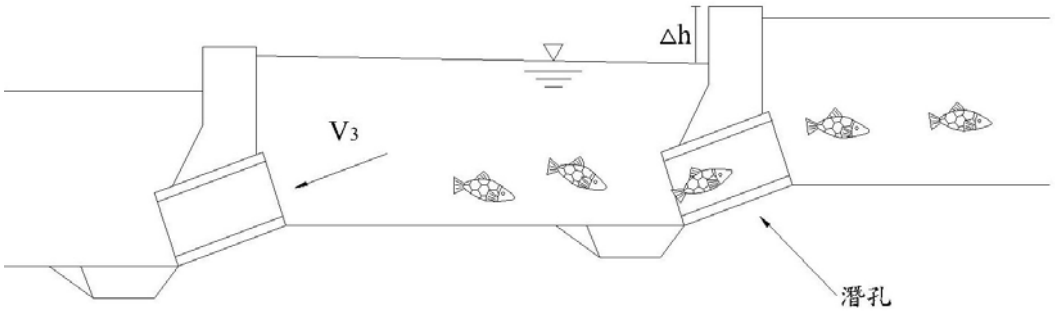


圖 生-2-31 潛孔式魚道示意圖

3. 舟通式魚道

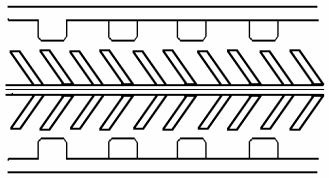


圖 生-2-32 舟通式魚道示意圖

4. 導流壁式魚道

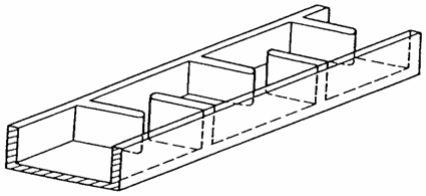


圖 生-2-33 導流壁式魚道示意圖

2.7.4 設計原則

1. 魚道之基本設計原則如下：

(1)可藉由提供超額流速及落水聲來產生集魚效果。

(2)需依現地魚群種類後，設計最大流速、最適坡度及魚道種類。

(3)由魚道游出之魚類必須被引導至正確之流場、且避免停滯於魚道之出口等。且魚道施作方向與河川流心線之交角以 30°~60°為宜。

(4)就國內實地調查而言，中上游河段之鯉科魚類跳躍高度可達 30cm 以上，故水位差之標準大約為 30cm。

(5)最大流速之設計須小於魚類之突進泳速；若無突進泳速之生態調查資料，其大小可以 10 倍之尾叉長來計算。而一般魚道之建議流速大約為 1.5m/s~1.7 m/s；但仍須依魚類特性加以改良。而魚道之設計尚須考慮最小流速，以避免魚類喪失上溯之意願，一般魚道之流速以不小於 0.4m/s 為宜。

(6)體型較大之魚類以 1.5 m ~2.5m 較佳、體型較小之魚類水深則約介於 0.3 m ~0.6m 為宜；而一般鮭魚及鱒魚之設計水深是少需介於 0.6 m ~1m。

(7)一般坡度以 1/8~1/10 為宜，但仍須配合現地環境之特性做修正；水池型魚道之坡度則以 1/10~1/20 為宜；丹尼爾型魚道在歐美國家之設計坡度較陡，其坡度可達 1/6；而在台灣實際應用上，改良型舟通式魚道針對台灣鏟頜魚、台灣石　之研究，則以 1/8 為最佳坡度。

(8)開孔寬度須大於魚類之最大體寬，大致上為 30cm。

(9)一般建議水池型魚道應每隔 10 塊隔板設置一休息區；且魚道彎曲處亦需設置休息區；而丹尼爾式魚道以高程差 1.5m 或平面距離 5m~10m 之距離設置休息池較佳。

(10)魚道入口處之布置及水理設計

①一般入口水深宜約為 1.0m~1.5m。

②魚道入口處較容易沖蝕，應特別降低於道入口處之設計高程。

③魚道出水處較容易淤積，故可設計多個不同水位之開口，以適應水位變化。

④出水處若有紊流之情形，應加裝擾流版。

2. 不同種類魚道之設計原則如下：

(1)階段式魚道

①設計時水位差應在 10～40cm 之間；若河口段之稚魚溯游能力較弱時水位差宜在 20cm 以下；若水位差大於 40cm 時，較不易造成不穩定流況。

②流速：階段式魚道中的隔板附近，魚類所對抗的流速有越流流速(overflow velocity)V_1、落下流速 V_2(fall velocity)與潛孔流速 V_3(orifice velocity)等三種(如圖 生-2-34、圖 生-2-35)；又其流速計算可依下列公式(中村，1992；廣瀨、中村，1991)：

a.越流流速(overflow velocity) $V_1 = \sqrt{gh_c}$

b.落下流速 $V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2g\Delta h}$

c.潛孔流速 $V_3 = C\sqrt{2g\Delta h}$

其中，$h1$ 為隔板頂端之越流水深；h_c 為臨界水深，可用以越流水深的 2/3 倍估算；V_1 為越流速度，通常等於臨界流速；g 為重力加速度 =9.81m/sec^2，C 為潛孔口流速係數，通常與潛孔口形狀及平滑與否有關，Δh 則為魚道隔板上下方之水位差，則由坡度與隔板間距共同決定，水位差可由下式計算而得： $\Delta h = S \times \Delta L$，式中 S 為魚道坡度(相當於 tanθ)、ΔL 為隔板間距。

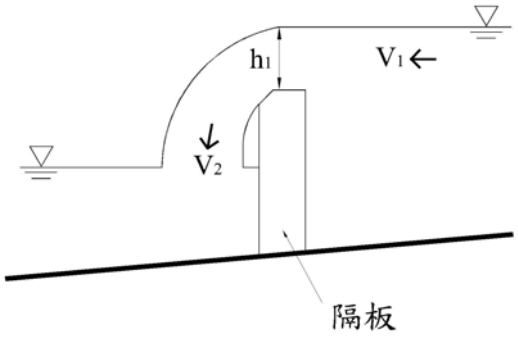


圖 生-2-34 階段式魚道中的越流流速(V_1)及落下流速(V_2)

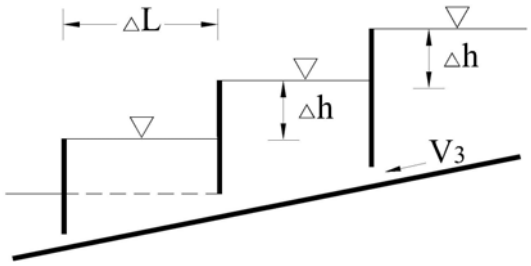


圖 生-2-35 階段式魚道中的潛孔流速(V_3)

③流況：魚道流速或流量速較小時，其流況會呈落下流狀態，此時的越流速度，相對較重要，其代表流速可用越流流速公式表示，而此流速值則與流量大小有絕對關係；又因其流量大，則相對的越流水深 h1 增大，使的越流速度變大，如圖 生-2-36。而流量大增或坡度較陡之魚道，較容易發生表面流狀態，其流速則受魚道坡度控制，如圖 生-2-37。

a.落下流狀態代表流速

$$V_v = \sqrt{2gh_1/3}$$

b.表面流狀態代表流速

$$V_s = 1.5\sqrt{gSL}$$

S 為魚道坡度，L 為隔板間距。

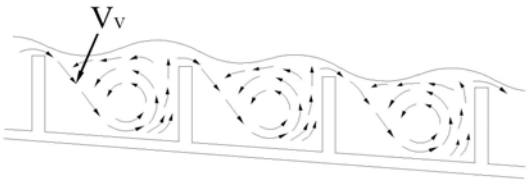


圖 生-2-36 落下流狀態(Plunging Flow)

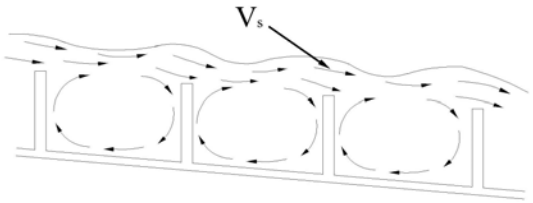


圖 生-2-37 表面流狀態(Streaming Flow)

④魚道隔板間距 ΔL 的限制：魚道隔板間距 ΔL，有一定的上下限，一方面要大於目的魚類的 3 倍體長；另一方面要控制其水位差小於規範的要求。

(2)潛孔口式魚道

流速 $V_3 = \sqrt{2g\Delta h}$

潛孔式魚道與水位差相關，與流量關係不大。

流量 $Q_{V3} = Cby\sqrt{2g\Delta h}$

其中 b 為潛孔寬度；y 為潛孔深度。

(3)舟通式魚道

①一般來說，舟通式魚道的入流堰頂水深多不超過 40 cm，水深太大容易因進流量大，造成流速過快；水深太小則會使入流量有限，易造成泥沙淤塞。

②舟通式魚道尚需特別注意開孔之寬度，開孔寬度須比魚類之最大體寬大，一般需>30cm。

(4)導流壁式魚道

①具有全垂直方向的缺口，能同時提供底棲性與跳躍性的魚種利用，在設計上必須特別注意控制魚道入口之尾水水位及各部位流速水深狀況，否則若魚道中水位遽降，會造成魚道失敗。

②此種魚道設計坡度不宜過陡，適用於水庫型魚道，通常長度會拉得很長，成本亦高，且其流速受坡度所控制。

③因導壁的形狀、 間隔和突出的角度均有許多不同的型式，會造成一些渦流或緩流區，可提供魚類短暫休息的場所。