

坡地社區生態防災工法參考 技術手冊集排水設施篇

研究主持人：陳建忠

協同主持人：陳主惠

研究員：周世璋、游新旺、呂孟儒

研究助理：陳致向 黃鈺涵

內政部建築研究所研究報告

中華民國九十五年十二月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH

INSTITUTE MINISTRY OF THE INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

**Specifications and illustrations of
ecological engineering methods for
drainage facilities in hillside communities**

BY

JIANG -CHUNG CHEN

CHU-HUI CHEN

SHIN-WAN YO

MENG -JU LU

SE -CHANG CHOU

December 25, 2006

章節目次

章節目次	I
表次	III
圖次	IV
摘要	VI
英文摘要	VIII
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起與目的	1
1.2 坡地社區集排水設施的規劃與設計	4
1.3 坡地社區集排水設施生態防災工法設計流程	9
1.4 研究內容與過程	12
第二章 坡地社區集排水設施現況調查與工法的選用	15
2.1 坡地社區集排水設施現況調查	15
2.2 坡地社區集排水設施生態防災工法的選用	21
第三章 集排水設施之解說與設計	24
3.1 總則	24
3.2 透水性鋪面	26
3.3 乾式草溝	36
3.4 濕式草溝	48
3.5 砌石溝	61
3.6 入滲溝	71
3.7 囚砂設施	80

	3.8 濕式滯洪池·····	90
第四章	參考圖說彙編·····	106
第五章	結論與建議·····	114
附錄一	期初審查專家意見·····	117
附錄二	第一次專家座談會專家意見·····	122
附錄三	期中審查專家意見·····	129
附錄四	第二次專家座談會專家意見·····	135
附錄五	期末審查專家意見·····	139
附錄六	第三次專家座談會專家意見·····	145
附錄七	山坡地住宅社區開發型態與集排水設施現況調查表·····	150
參考文獻	·····	151

表次

表 1.2.1 不同開發時期山坡地社區開發強度限制與管制特點·····	5
表 2.1.1 社區調查名冊 ·····	15
表 3.1.1 各類設施使用總說明·····	25
表 3.2.1 土壤 20%粒徑與飽和滲透係數關係·····	32
表 3.2.2 均勻粒徑土壤之飽和滲透係數 ·····	32
表 3.3.1 逕流係數表（依據透水與否） ·····	39
表 3.3.2 土壤滲透性質表 ·····	40
表 3.4.1 高寬比與切線夾角 θ ·····	52
表 3.4.2 流水之最大容許流速之設計·····	52
表 3.4.3 梯型斷面草溝之水力半徑、流速與流量表 ·····	52
表 3.4.4 拋物線型簡易斷面草溝之水力半徑·····	56
表 3.4.5 拋物線型複合斷面草溝在不同坡度下之流速與流量表···	59
表 3.5.1 曼寧粗糙係數表·····	65
表 3.5.2 側邊砌石粒徑與流速關係·····	66
表 3.5.3 梯型斷面砌石溝之水力半徑、流速與流量表 ·····	68
表 3.6.1 各種土壤之滲透係數與透水性比較 ·····	77
表 3.7.1 護坦材料與厚度表 ·····	84
表 3.8.1 逕流係數表 ·····	99
表 3.8.2 台灣各氣象站月平均降雨量統計表 ·····	105

圖次

圖 1.3.1 排水設計步驟流程圖（行政院公共工程委員會）	11
圖 1.4.1 研究作業流程圖	13
圖 2.1.1 社區配置模式	16
圖 2.1.2 青山鎮 滯洪池	19
圖 2.1.3 青山鎮 RC 排水幹渠	19
圖 2.1.4 青山鎮 RC 梯形明溝+壘石	19
圖 2.1.5 青山鎮 非系統內生態池	19
圖 2.1.6 達觀鎮 中庭廣場鋪面	19
圖 2.1.7 達觀鎮 人造地盤	19
圖 2.1.8 黎明清境 不透水鋪面	20
圖 2.1.9 觀天下 人行不透水鋪面	20
圖 2.1.10 歌德花園城 高密度社區	20
圖 2.1.11 歌德花園城 不見景觀與植栽	20
圖 3.2.1 透水性鋪面之剖面圖	29
圖 3.3.1 乾式草溝示意圖	39
圖 3.3.2 矮壩設計圖	45
圖 3.3.3 草溝底部集排水設計圖	46
圖 3.4.1 排水系統設計圖	51
圖 3.4.2 梯形草溝橫斷面圖	54
圖 3.4.3 拋物線形草溝橫斷面圖	56
圖 3.4.4 複式草溝橫斷面圖	58
圖 3.5.1 乾砌石溝斷面圖	64
圖 3.5.2 梯形斷面砌石溝	67
圖 3.6.1 停車場之入滲溝規劃圖	75

圖 3.7.1 沉砂設施(一)	82
圖 3.7.2 沉砂設施(二)	83
圖 3.8.1 濕式滯洪池	97

摘要

關鍵詞： 坡地社區、生態防災工法、排水設施

一、 研究緣起

本研究旨在透過文獻彙整、坡地社區案例調查分析分析、排水設施設計準則分類、基本圖說彙編及專家座談等方式，建置一套完整且適用於台灣山坡地住宅社區之生態防災工法-排水工程技術手冊。

二、 研究方法與過程

1、既有相關文獻、法令、技術手冊、規範相關內容資料建置

(1). 排水相關文獻、法令蒐集及分析

- a. 排水管理辦法
- b. 水利建造物檢查及安全評估辦法

(2). 排水相關技術手冊、規範蒐集及分析

- a. 行政院公共工程委員會，生態工程基本圖
- b. 經濟部水利署，生態工法河川整治案例
- c. 行政院農委會水土保持局，水土保持技術規範
- d. 最佳管理作業排水設施技術手冊

2、國內坡地住宅社區生態排水設施案例調查分析

三、 重要發現

位居人口密集的坡地社區生態工法思維與目前公部門推動的生態工法不同，需以安全為首要。本研究選取工法安全強度要求不高，生態設計較為可行的七項設施進行手冊編製。內容包含總則、透水性鋪面、乾式草溝、濕式草溝、砌石溝、入滲溝、囚砂設施、濕式滯洪池。分項說明設計目的、材料、位置、應用須知、限制範圍、設計方法與維護管理。並將上述內容彙整成參考圖說，說明各項設施構造物基本尺寸與設計方法。

四、 主要建議事項

由本計畫研究成果得知，坡地社區集排水設施生態設計除需考量現有的地形與地質條件外，台灣坡地社區特殊的高密度發展與數量甚多的邊坡，將使保水設計生態工法這部分受到極大的限制。在本研究之外，尚有坡地安全、多孔隙排水設施管理維護，非點源污染防治等議題值得探討，茲建議後續研究如下：

1. 集排水設施入滲行為對邊坡穩定之影響。
2. 植物與土石對多孔隙排水設施滲透性及排水能力之影響。
3. 坡地社區生態工法與非點源污染防治關係研究。

ABSTRACT

Keyword: Hillside community , Ecological engineering method ,
Drainage facilities

This research has tent to establish the ecological engineering methods manual for drainage facilities in hillside community through the examples analysis and expert discussion. The main research contents are as follows:

- 1, Construction of the relevant document 、 manual and laws of drainage
 - (1). Regulations of drainage facilities
 - a. Regulation of drainage management
 - b. Regulation of inspection and safety evaluation for drainage facilities
 - (2)The analysis of technical manual and standards for drainage facilities
 - a. Public Construction Commission, Executive Yuan- ecological engineering methods base map
 - b. Water Resources Agency ,Ministry of Economic Affairs- ecological engineering methods for river renovation
 - c. Soil and Water Conservation Bureau - soil and water conservation technology standards
 - d. Best Management Practice, BMP technology handbook
- 2, The Case Study of the exist hillsides community at Taiwan
- 3, Drainage facilities design criteria classification of hillside community in Taiwan
 - (1). Surface drainage design criteria
 - (2). Underground drainage design criteria

(3) Drainage of prevention design criteria

4, The construction of Drainage facilities design profiles and reference maps of drainage facilities on ecological engineering methods including:

(1) Pervious Pave

(2) Dry Swales

(3) Wet Swales

(4)Heapstone Trenches

(5) Infiltration Trenches

(6) Sediment Traps (Fore bays)

(7) Wet Ponds (Retention Ponds)

第一章 緒論

1.1 研究緣起與目的

台灣地區全島總面積約為 360 萬公頃，山坡地約占 75%，以剩餘有限之土地資源來供給經濟發展似有不足，為有效舒解平原、台地人口成長壓力，山坡地住宅社區之開發應運而生。80 年代為本島山坡地住宅社區開發高峰期，但因缺乏相關法令配套與技術奧援，致使坡地住宅社區災害頻傳，自民國五十八年至八十九年間，大小坡地災害共計一百零九件。為此，政府特於八十六年林肯大郡災變發生後，制定多項限制山坡地住宅社區開發之相關規定，雖使近年坡地社區新開發案件銳減，但就既存坡地住宅社區而言，受長期環境異常變遷與水土保持邊坡擋土工程措施老化等因素影響，仍有災害發生之潛在危險。

早期坡地社區進行坡地開發時水土保持設施設計、或災害發生後修復設計，大多僅以安全為考量，鮮有考慮對於生態衝擊及源頭治理之重要性，常因過度使用鋼筋混凝土結構物對於自然生態及景觀造成戕害。近年來，公共工程委員會大力倡導生態工程，其緣起便為對於此一現象之省思，而其最終目的為建立人類與自然共存之永續家園。然台灣生態工法之觀念與技術的發展過程與國外相同，仍偏向溪流治理方面之研究應用，較缺乏坡地社區整治應用之探討。

本所為建立坡地社區生態防災工法技術手冊，朝向以安全為本、生態為用、永續發展為目標之理念，已陸續辦理相關之系列研究，依序為「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」、「既有山坡地社區邊坡穩定補強工法之研究—土釘」、「坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編（含參考基本圖彙

編)」，本年度為庚續前期研究，針對坡地社區另一重大影響因子—排水工法進行生態防災工法技術手冊之彙編，期能對台灣地區眾多之坡地社區生態防災工法提供更完整之技術手冊。

國內既有排水工程相關法規、規範及近年來推動之生態工法對於山坡地住宅社區生態防災工法並未有類似之手冊，而台灣生態工法推動之時日甚短，但已於許多工程領域中獲得初步成效，基本上仍以近自然工法之運用於河川治理工程為主，而在其他領域仍有相當之待努力之空間。而台灣推動生態工法主客觀環境與其他推動生態工法已有所成之國家相比，有許多條件並不相同，以台灣特殊環境而論尚有下列課題需面對解決：

1. 水文條件

台灣地區平均年雨量高達 2500 公厘以上，且雨量分佈極不均勻，近年幾次颱風豪雨所帶來之雨量有單一災害高達近 2000 公厘者，與歐美大陸型國家年雨量 1000—1500 公厘，200 公厘之雨量即可視為豪兩者，二者之間存有極大差異。而短期間大量集中之降雨，帶給坡地嚴重土壤沖蝕，釀成極為嚴重之坡地災害(落石、坍方、土石流等)，此皆一般大陸型國家罕見之災害，但台灣近年來已成為常態。

2. 地文條件

歐美大陸國家均屬古老板塊所構成，而台灣卻是屬於極為年輕之板塊，且構成台灣島之蓬萊造山運動，自 200 萬年前開始作用迄今仍在活動之中。因此台灣山地地區地質狀態年輕複雜且破碎，許多區域之地質構造即為不穩定狀態，許多坡地災害主要因素即

第二章 坡地社區集排水設施現況調查與工法的選用

2.1 坡地社區集排水設施現況調查

2.1.1 坡地社區調查計畫

國內坡地社區的使用安全性，自從林肯大郡災變後才受到各界的重視，政府相關部門也因而建立了完整的坡地社區安全檢查制度，這些年來也累積了相當多的成果與紀錄。本研究限於經費與時間因素僅選取台北縣 94 年坡地安全檢查中的十個戶數 100 戶以上不同類型的現有社區，針對社區自然環境條件、人為開發型態與生態排水設施種類作初步的訪查。社區調查名冊如表 2.1.1，社區配置模式詳圖 2.1.1，社區開發型態與集排水設施現況調查表詳附錄七。

表 2.1.1 社區調查名冊

編號	社區名稱	核准文號	戶數
1	歌德花園城	79 使 0037	628
2	馥記大名人	86 使 0482	800
3	長青山莊	74 使 0954	323
4	伯爵山莊	86 使 0269	255
5	淺水灣山莊	81 使 1144	520
6	海誓山盟	82 使 0127	101
7	大台北華城	71 使 1154	412
8	青山鎮	88 使	311
9	達觀鎮	85 使 0937	547
10	觀天下	80 使 1473	376

圖 2.1.1 社區配置模式

編號	社區名稱	社區配置模式
1	歌德花園城	
2	馥記大名人	
3	長青山莊	

4	伯爵山莊	
5	淺水灣山莊	
6	海誓山盟	
7	大台北華城	

8	青山鎮	
9	達觀鎮	
10	觀天下	

上述社區施以附錄七社區開發型態與集排水設施現況調查，可發現下列現象：1.生態觀念以大型化新建坡地社區為佳；如大台北華城、大陸工程青山鎮，在排水渠道有部分軟性鋪面及多孔性材料採用。2.早期興建的社區受限於當時的法令與經費，未能興設排水系統應有的沉砂池及滯洪池，且較高的開發率亦造成生態綠地不足。3.開發型態高層化社區空地率高，不易發生水患，也較有機會施行生態工法。

2.1.2 調查課題分析

(一) 國內生態工法相關案例之適用範圍與本研究不同

自從倡導生態工法改善環境景觀以來，國內生態工法之施作，大多位屬人口分佈較稀少之地區，如河溪生態工法、道路及邊坡生態工法等公部門環境工法。至於屬民眾私有的居住環境，較少見生態工法施作，即便為北部較高品質的新建坡地社區青山鎮亦少見排水工法生態工法，探究其原因除經費短缺外，工程安全性要求較高，亦為主要原因。



圖 2.1.2 青山鎮 滯洪池



圖 2.1.3 青山鎮 RC 排水幹渠



圖 2.1.4 青山鎮 RC 梯形明溝+壘石



圖 2.1.5 青山鎮 非系統內生態池

(二) 既成社區防洪設施缺乏、生態工法考量不足

經過初步調查分析，在民國 83 年 6 月水土保持法發佈實施前，申請雜項工程整地的坡地社區甚少設置滯洪池，在台

北縣也成為坡地社區安全檢查中主要的缺失。另外在調查中也發現大部分人造鋪面透水性有嚴重不足的現象。



圖 2.1.6 達觀鎮 中庭廣場鋪面



圖 2.1.7 達觀鎮 人造地盤



圖 2.1.8 黎明清境 不透水鋪面



圖 2.1.9 觀天下 人行不透水鋪面

(三) 老舊社區開發密度較高、生態觀念價值缺乏



圖 2.1.10 歌德花園城 高密度社區



圖 2.1.11 歌德花園城 不見景觀與植栽

2.2 坡地社區集排水設施生態防災工法的選用

基於坡地社區初步訪查後的主要課題及高度開發事實與建築物、邊坡之安全考量，相較之下生態防災工法將有別於一般的生態工法。對於工程安全度要求較高的設施如管涵、箱涵、齒坡、跌水工、衝擊式消能池、豎井等仍需維持剛性的設計。除去上述設施外，本研究選取工程安全度要求不高的設施如透水性鋪面、乾式草溝、濕式草溝、砌石溝、入滲溝、囚砂設施與濕式滯洪池，作為生態防災工法之擬議。並參考行政院公共工程委員會生態工程及最佳管理作業 (Maryland, BMP)，提出下列功能性設計要項：

1. 安全性

- (1) 為有效舒緩開挖整地引致之裸露地表沖蝕、滑移，發揮穩定工區逕流，減少泥沙及洪氾災害，施工中或臨時性排水設施尤應尊重現地排水模式，以避免明顯的水路變更造成新的沖蝕。
- (2) 施工中或臨時性排水設施，以快速達成排水目的為考量，可採取較簡略工法或採用生命週期較短之材料取代。
- (3) 永久性排水設施應可藉由工法與材料之運用，促進表土自然入滲以及減緩流速之功能，以取用現地資材為原則，並快速融入現地環境；設施中選用植生方法時，應配合植栽所需生境，提供必要的保護措施，給予植栽成長茁壯機會，以發揮預期效果。

2. 區位環境特性

- (1) 以尊重現有排水模式配置排水設施，並在安全原則下儘可能減少人為排水設施量。
- (2) 依據基地土壤及植被調查結果，分析基地排水特性；有關土壤之粒徑、組成，流路之坡度、粗糙度以及其抗蝕能力，植被種類、型態及生長狀況等，均為影響排水設施

之重要依據，應儘可能納入考量。

3. 保護程度

- (1) 依據保全對象所需保護程度設定工法標準，儘可能減少人為設施量，或局部以較自然之生態方法取代。
- (2) 依據保全對象重要性或設施使用頻率以及漫溢可能引致之災害程度，設定工程標準，在可容許範圍內可接受局部或暫時超過設施容許量，以減少人為設施之規模。
- (3) 依據排水設施之重要性設定構造物之生命週期，確保於生命週期內有效發揮工程機能，

4. 滯洪方式

- (1) 排水設施以能降低流速、延長集流時間為原則，可藉由減緩坡度、延長坡長、增加設施粗糙度達成。
- (2) 排水溝渠可藉轉彎處斷面局部加大調整水流，不僅可於暴雨期間暫時存蓄逕流，延長逕流自然滲漏時間，並可暫時藉排水溝出水高以增加滯洪能量。
- (3) 可同時利用集水分區上中下游之所有設施達成滯洪效果，避免集中宣洩逕流於下游地區，造成滯洪設施增加之困擾。

5. 生物棲地營造與環境保護

- (1) 排水工程設施應考慮生物棲息空間，提供水生及水岸植物生長所需之著生、成長條件，同時考慮水流之流速、掃流力等流況對植物可能之影響，以提高環境連續性；並增加對非點源污染的防治，減少社區開發生活污水對下游水資源的破壞。
- (2) 排水設施應考慮水生動物之保存及復育，依據水生動物棲息生境，留設可供棲息、避難之孔隙。
- (3) 底棲生物所需生長空間應考慮固著方式，避免高流速造成棲息空間之損壞或消失。

6. 工程取材

- (1) 選用現地材料前應考量其工程性質是否符合設計圖說之規範要求，如土壤之組成、透水性、膨脹性、強度等；以及石材粒徑、材質、取用方式等限制。
- (2) 依據設定之工程目標、時效性、保護對象及程度等條件，決定工程材料之內容及組成；非永久性材料之有效性應能涵蓋設施之生命週期，以期發揮應有效果。
- (3) 臨時性或短期之排水設施可考慮於一定期限內發揮工程效果，而容許材料於生命週期終了後逐步腐朽回歸自然。

7. 植生利用

- (1) 植生為減少逕流之有效方法，應充分利用現地植被良好區域，作為分散、降低逕流，並去除生活污水的污染
- (2) 原有地表裸露或施工後裸露區域應儘速植生，以恢復原有地表涵養水源、減低逕流與防止沖蝕之效果。
- (3) 植生初期應依據植栽生長條件，妥為改善生育立地條件，以促進植物生長；如地面稻草席之鋪設、幼株枝架、防風設施等均為必要設施。

8. 減少逕流

- (1) 依據現地地形儘可能以小區域分區排水為原則。
- (2) 排水設施應具備自然滲水功能，以減少設施之負荷，並增加涵養水源之效果。

為地質因素所造成。

3. 人為山坡地開發利用不當

(1) 施工中嚴重的土壤沖蝕及流失引起災害—施工中由於原有植被破壞，坡面裸露，土壤結構大幅度改變，遇豪雨常造成嚴重之土壤沖蝕及流失，阻塞下游排水路基或埋沒農地、房舍及公共設施災害。

(2) 逕流集中，加大洪峰流量引起下游災害—開發過程中坡面裸露，開發完成後地表鋪面增加。能滲水之面積減少，透水性變差，逕流係數加大，造成下游排水系統洪峰增加，因難予負荷而引起災害。

(3) 開挖邊坡，導致邊坡不穩引起崩塌及沖蝕。

(4) 剩餘土石方處理不當，引起二次災害。

(5) 地表鋪面增加，滲透水減少，影響水源涵養。

本研究計畫係針對上述三個主要課題之內容以「坡地社區生態防災工法參考技術手冊排水設施編」為主題進行研究，透過文獻彙整、坡地社區案例調查分析、專業技師、專家座談等方式建置一套初步適用於台灣山坡地住宅社區之生態防災工法-排水工程技術手冊。研究成果將回饋作為台灣山坡地住宅社區規劃設計之參考與相關排水工程規劃設計之參考。

1.2 坡地社區集排水設施的規劃與設計

1.2.1 坡地社區之定義、本研究之範疇界定

從實務面觀察，自民國六十八年以來，各縣市山坡地建築用地開發面積（包括已完成、施工中、已停工或已廢置者）共達 4,027 公頃，其中約有 11%為都市土地，41%為非都市土地，其餘為非都市土地未完成使用編定的區域（內政部營建署，2002）。從學理面觀察，目前有關坡地社區的文獻，有災害發生原因、水保設施監測、防災管理與建管制度等，由上述文獻分析可知，山坡地社區開發多位於都市計劃範圍外，因其區位偏遠的特性、地形的敏感特徵、開發經費與工程風險較高，均不同於一般平地社區。另外參照表 1.2.1，依不同法規時期所興建的坡地社區，對開發限制、開發利用率及水土保持設施之要求差異甚大，因此基於上述「坡地社區」與「開發演變」的特殊性，定義本研究坡地社區之範疇為：

1. 坡地社區區位：位於都市土地與非都市土地區域內。
2. 坡地社區規模：為 100 戶或 500 人以上的山坡地社區。
3. 包含既成社區與新建社區，另依各工程之限制性及適用性，分別應用於既成社區與新建社區。
4. 本研究定位於排水工程之設計參考技術手冊，至於社區開發區位選定、適宜性及規劃原則，不在本研究範圍內。

表 1.2.1. 不同開發時期山坡地社區開發強度限制與管制特點

時期	時間	法令依據	管制規定
1 自由放任時期	1973.12.24 之前	建築法 (1938.12.26公布) 建築技術規則 (1945.02.26公布)	尚未立專法管制，並無相關管制規定。
2 局部地區管制時期	1973.12.24~ 1977.04.29	實施都市計畫以外地區建築物管理辦法(1973.12.24公布)	坡度小於30%地區，得併於建造執照內檢具水土保持計畫，向主管建築機關申請建築。
3 山坡地保育時期	1977.04.29~ 1981.04.22	山坡地保育利用條例(1977.04.29公布)以及施行細則(1977.09.09公布)	檢具水土保持計畫書，向水土保持機關申請許可，取得水土保持查驗合格證明後，方得向建管單位申請建造執照。
4 計畫建築管制時期	1981.04.22~ 1982.07.06	非都市土地使用管制規則(1981.04.22修訂)	增列山坡地保育區應變更編定為丙種建築用地之規定。須取得水土保持完工證明；變更編定為丙種建築用地後，方得申請建造執照。
5 山坡地開發許可時期	1983.07.07~ 1988.06.27	山坡地開發建築管理辦法(72.07.07公布)	全面管制山坡地開發建築，規定開發規模不得小於十公頃。其開發程序為1.申請開發許可；2.申請雜項執照；3.申請建造執照。
6 區域計畫審議時期	1988.6.27~ 1994.5.27	區域計畫法施行細則(1988.06.27修正)	十公頃以上之山坡地開發必須經過區委會審議，自七十九年起陸續有大型山坡地住宅社區土地變更開發案送審
		山坡地開發建築管理辦法(1990.02.14修正)	提昇開發案審查層次至區域計畫委員會。並增定第25條，經依水保條例第12條規定未取得水保核可證明之案件，應於一年內申領雜項執照。
		非都市土地山坡地住宅社區開發審議規範(79.10.30公布)	規範區位限制條件及技師簽證項目。

資料來源：李咸亨(1998)

表 1.2.1.(續)不同開發時期山坡地社區開發強度限制與管制特點

7	水土保持時期	1994.5.27~ 1994.12.30	水土保持法 (1994.05.27 公佈實施)	規定之水土保持技術規範及期限，實施水土保持處理與維護。
8	環境保護時期	1994.12.30~ 1995.3.27	環境影響評估法 (1994.12.30 公布)	促自然與交通環境等加以嚴格審查，土地開發的難度加大。
9	開發許可管制時期	1997.03.27~ 1997.06.30	山坡地開發建築管理辦法 (1997.03.27 修正)	刪除第 25 條規定，簡化審查程序
			非都市土地開發審議規範 (1997.05.09 修正)	可開發建築坡度自 55%降低為 40%;容積率自 160%降低為 120%
10	從嚴管制時期	1997.07.01 以後	加強山坡地雜項執照審查及施工查驗工作要點 (86.11.07)	加強各項審查作業，明訂審查組成人員，加強監測項目審核。
			建築技術規則建築施工篇第十三章山坡地建築專章 (87.07.01 增訂)	明訂坡地建築設計原則。
			非都市土地開發審議規範 (87.09.25 修正)	調降開發許可平均坡度，坵塊平均在 30%以上未逾 40%地區，不得建築使用。

資料來源：李咸亨 (1998)

1.2.2 坡地社區集排水設施種類及一般設計原則

綜合國內坡地開發有關排水設施文獻，坡地社區集排水設施種類及一般設計原則可分為五大類：A、排水溝 B、跌水 C、涵管 D、沉砂池 E、滯洪池（滯留池）各大類設計原則分述如下：

A、排水溝

1. 以作用分：

- (1) 截水溝：沿近似等高方向，橫跨於土地或保護物之上方，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宣洩逕流者。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，溝常 30m 以內適用。
- (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。
- (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。

(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、搬運不便、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。

B、跌水:

1. A 型跌水(直線形入口，坦護式):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。

C、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/m² 至大管徑之 11,730kg/m²。
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。箱涵頂填土高自 0~7m。

D、沉砂池

為攔截或沈積土石之構造物減少土石下移、保護下游土地房舍及公共設施。沈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。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。沈砂池周圍應設置防護措施，以策人畜安全。整流工程之沈砂池，可依地形及土砂量於中游或下游設置多處。入口應防止堵塞而產生漫流。

E、滯洪池（滯留池）

傳統上滯留池(Retention Pond)為防洪設施之一，但近年來滯留池之設計，通常亦加上去除污染的考慮。所謂「雙目標」或多目標滯留池之設計，即以同時降低洪峰，減少雨水逕流污染目的，甚至將景觀、垂釣和休閒等功能考慮進去而成為多目標滯留池。

滯留池的種類有：

1. 乾性滯留池：平常不蓄水，只有在暴雨情況下才滯留雨水逕流。
2. 改良式乾性滯留池：將乾性滯留池之出水結構加以修改，水管改小或將出水口之高度提高，如此可以增加雨水逕流在池內逗留之時間因而增加去除效率。
3. 濕式滯留池：常年保持一固定容積之水在池內，如同一池塘或小湖泊。

1.3 坡地社區集排水設施生態防災工法設計流程

1.3.1 生態防災工法

生態工法在國內尚屬於新的專業領域，相關的設計規範及準則尚待建立，許多工法雖還在研發階段，但基本的設計原則在學術界與工程界則已漸有共識，茲分別說明如下（行政院公共工程委員會，2002）。

1. 生態工法設計時應同時兼顧工程建設的需求及環境生態的維護，亦即在工程建設方面須符合其建設功能、安全需求、景觀造型及經濟效益，在環境生態方面則須滿足其生態功能、環境需求、景觀融合及材料供需。
2. 建設功能及工程安全分析應依照現有的法令、制度、規範及慣例辦理，生態功能及環境需求分析則除上述之考量外，尚須由生態工法專業人員提供專業實務之經驗，以納入設計的理念及目標。
3. 生態工法設計時必須先行確認其需求性，然後基於對環境生態深切的認知下(資料蒐集及環境調查)再分析確認其預期的生態目標，以作為生態工法的設計基準。
4. 生態工法預期的生態目標可以是一種或多種的目標物種(動物、植物)，也可以是自然環境的營造(如綠地、濕地等)，其選擇分析應建立在充份的環境生態資料基礎之上。
5. 生態工法的設計必須是環境生態的整體考量，同時也必須針對區域環境進行生態工法的整體規劃，即使是河岸的一小段也應考量到全流域及上、中、下游的環境背景及相互關係。
6. 生態工法必須因地制宜，在規劃設計時須先瞭解確認區域的環

境條件及工程材料。在進行生態工法設計時，自然材料的取得必須優先考量到現地環境生態的維護。

7. 生態工法設計時須同時考量施工方式及完工後的維護管理，其中施工計畫應特別注重環境保護及生態維護，維護管理計畫則應注重工程的成功及維護的便利。

就本研究坡地社區生態工法之定義，可分述如下：

1. 廣義來說是「對環境保存維護，永續性利用、復舊及改良所施做的工事，包括生物與非生物材料的應用」，基於環境中各種自然生態及生物棲息地之尊重，所做最適當的處理方式，以達到環境和諧。
2. 狹義來說是「採用天然資材為主要材料，以融合週邊地形自然景觀，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程」，又統稱自然生態工法或近自然生態工法。
3. 就坡地社區生態防災工法集排水設施來說，坡地的開發已經屬於環境的高度利用，並且造成原始生態的破壞事實，且幾乎為不可逆的，故本研究的設計原則為「對社區安全的保持維護為主要目標下，盡量採用天然資材為主要材料，以融合週邊地形自然景觀，減少造成生態環境之衝擊為理念設計，創造兼具防災及生態復育功能之工法」。

1.3.2 生態防災工法設計流程

依據行政院公共工程委員會制定排水工程設計步驟包括資料蒐集、現場踏勘及調查測量、水文及水理分析、排水設施佈置、構造物設計、工程圖繪製、施工說明書及設備規範準備、工程數量計算與估價、編製施工預算書及發包文件等工作，設計步驟流程如圖 1.3.1。

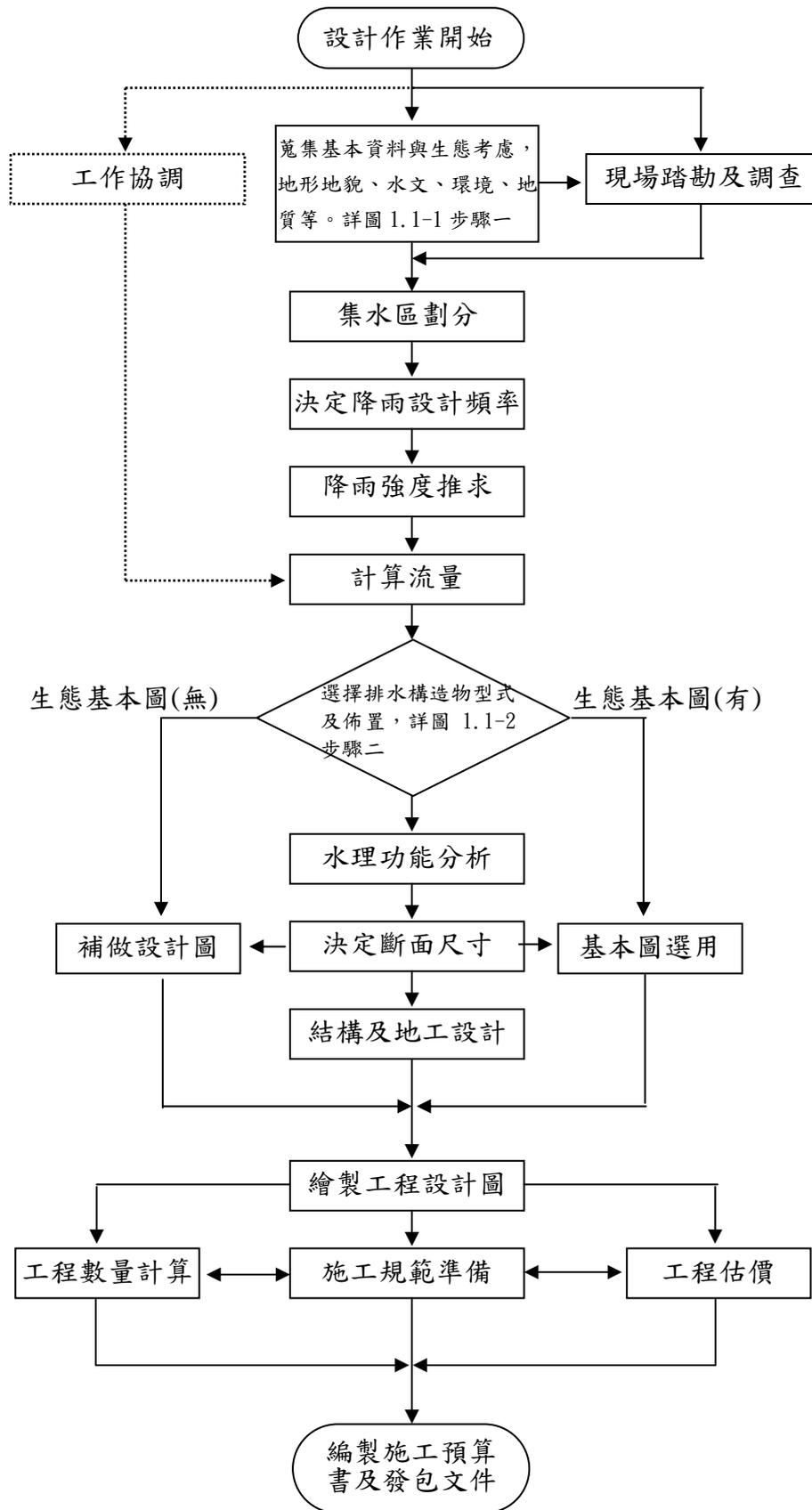


圖 1.3.1 排水設計步驟流程圖（行政院公共工程委員會）

1.4 研究內容與過程

本研究從安全為本、生態為用、永續發展為目標之理念以源頭治理與最佳管理開發觀點之相關文獻，分析目前坡地社區集排水設施設計不良所產生之安全問題，並依「安全、生態、經濟」三原則，並以台北近郊坡地社區之案例為探討對象，在集排水設施上提出改善工法，同時評估集排水設施材料與施工方式之適用範圍，提出未來集排水設施規劃設計之參考技術手冊，以供日後排水路施工時之參考。

本研究內容共分為五章，第一章為研究緣起與集排水設施設計原則，說明集排水設施的規劃與設計與生態防災工法運用原則。第二章為坡地社區集排水設施現況調查與工法的選用，說明現有社區集排水設施面臨的主要問題。並強調位居人口密集的坡地社區生態工法思維與目前公部門推動的生態工法不同，需以安全為首要。第三章為集排水設施之解說與設計，本研究選取工程安全強度要求不高，生態設計較為可行的七項設施進行手冊編製。內容包含總則、透水性鋪面、乾式草溝、濕式草溝、砌石溝、入滲溝、囚砂設施、濕式滯洪池。分項說明設計目的、材料、位置、應用須知、限制範圍、設計方法與維護管理。第四章為參考圖說彙編，本章以第三章為基礎，說明各項設施構造物基本尺寸與設計方法。第五章將研究的成果彙整為結論。主要研究流程如圖 1.4.1

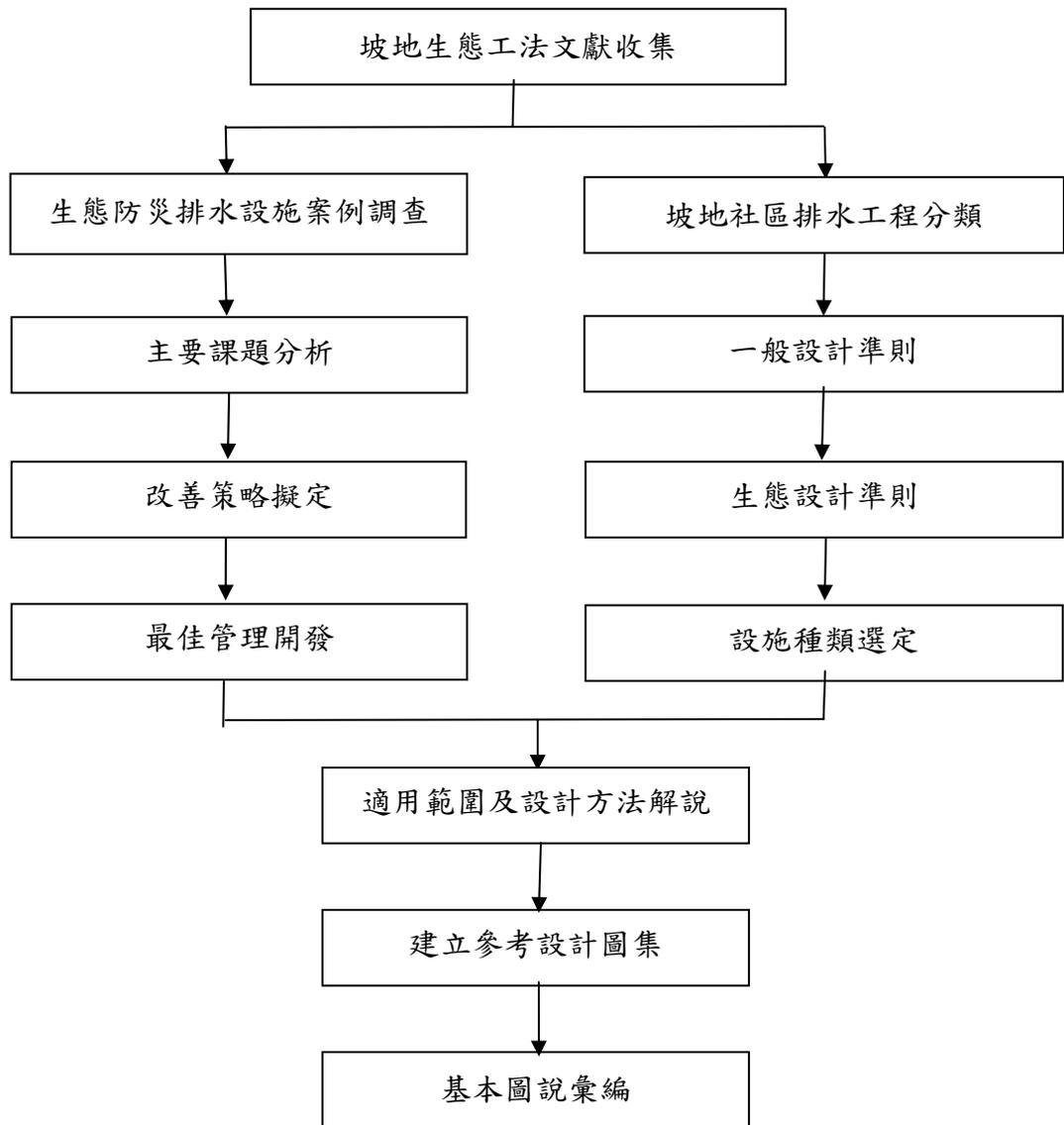


圖 1.4.1 研究作業流程圖

第三章 集排水設施之解說與設計

3.1 總則

坡地排水工程種類甚多，其大分類如前 1.2 坡地社區集排水設施的規劃與設計共分為五大類：A、排水溝 B、跌水 C、涵管 D、沉砂池 E、滯洪池（滯留池）。由於排水設施主要目的，在快速排除社區開發後地表增加的逕流，避免水壓增加導致邊坡的破壞。本研究選取工程安全強度要求不高，生態設計較為可行的七項設施進行手冊編製。內容包含透水性鋪面、乾式草溝、濕式草溝、砌石溝、入滲溝、沉砂設施、濕式滯洪池。分項說明設計目的、材料、位置、應用須知、限制範圍、設計方法與維護管理。並將上述內容彙整成參考圖說，說明各項設施構造物基本尺寸與設計方法。

本生態排水設施在不影響安全顧慮原則下，可完成入滲、多孔隙、降低逕流與去除水質污染等生態機能。並依各類型社區，視地區地形、水文等環境條件，選擇表 3.1.1 設施使用總說明中適當的種類施作。

表 3.1.1 各類設施使用總說明

集排水設施種類	主要生態功能				適用範圍	老社區	新社區
	入滲	多孔隙	除污	降低逕流			
透水性鋪面 Pervious Pave	●	◎	X	◎	系統上游	適用	適用
乾式草溝 Dry Swales	●	◎	◎	◎	系統上游	適用	適用
濕式草溝 Wet Swales	●	◎	◎	◎	系統上游	適用	適用
砌石溝	●	●	X	◎	系統上、 中游	適用	適用
入滲溝 Infiltration Trenches	●	◎	◎	◎	系統上、 中游	適用	適用
沉砂設施 Sediment Traps (Fore bays)	◎	X	●	X	系統下游	不適用	適用
濕式滯洪池 Wet Ponds (Retention Ponds)	◎	X	●	●	系統下游	不適用	適用

● 表示主要功能

◎ 表示次要功能

X 表示無此功能

3.2 透水性鋪面

3.2.1 目的：

透水性鋪面為多孔隙之瀝青、混凝土，鋪面之組合。鋪面共同特點是每個單元留有開孔，鋪設後開孔可長出青草，增加鋪面之綠意。濾層可過濾及移除逕流中的可溶性沉質。蓄水(卵石)層，具有大地保水能力，降低雨水逕流及控制洪峰流量等功能。入滲之雨水並可補注地下水源，使河川維持在平時的水流量。

3.2.2 材料：

透水鋪面面層材料目前以多孔隙瀝青混凝土、透水混凝土及高壓混凝土透水磚為主；濾層分別位於蓄水層上面和下面，主要成份為砂及碎石，接近基層(原有土壤)則鋪設不織布；蓄水層則由鵝卵石組成。

3.2.3 位置：

透水性鋪面若設備於集水區內應避免設於滲透係數較低之土層、裸露地有大量鬆散砂土區、地下水位較高和地表逕流受污染嚴重地區。由於當鋪面下之基層須水平方能發揮儲水功能，故應避免設置於坡度 20% 以上之地點，以免入滲之雨水由下坡處滲出斜坡地區。透水性鋪面因強度較低只適用於公園、停車場、行人步道、輕交通量車道及護坡等。

3.2.4 應用：

1. 鋪面層

- (1) 多孔性瀝青混凝土鋪面：主要的原理乃利用級配調整使粗細骨材間的孔隙率提高至 20% 左右，以

使落於鋪面上的水可經由大量的孔隙迅速滲透。為提高瀝青之韌性、強度及增加瀝青薄膜的厚度，瀝青混凝土須添加聚合物改質劑、纖維或石灰，以確保瀝青混凝土的耐久性，多孔性及其它使用功能。

- (2) 無細粒料混凝土鋪面：一般被定義為由均勻級配之粗骨材、微量或無細骨材、且無足量水泥漿之混凝土材料。藉由配比設計等方式使其達合適強度、高透水性及無析離等工程需求，抗壓強度約在 $100 \text{ kg}_f / \text{cm}^2$ 。
- (3) 組合鋪面(塊狀或鏤空連鎖磚)：塊狀鋪面係以非連續性拼接塊狀鋪面，鋪面與鋪面間有較大之間隙可填入砂土；鏤空連鎖磚鋪面具足夠之空隙可直接提供植被生長之環境，如植草磚等。

2. 濾層

- (1) 路基挖好後應立即鋪設濾層，以避免雨水進入蓄水層。
- (2) 鋪面與蓄水層間應設計濾層以達到緩衝效果，濾層之碎石粒徑約 1.25cm，厚度約 5cm，必要時可在濾層與蓄水層間鋪蓋不織布，以避免細粒材料漏出。濾層滾壓完成之後應噴灑乳化瀝青，以膠結穩定，上面再鋪設透水性表層。

3. 蓄水層

- (1) 蓄水層應使用形狀稍為扁平之天然卵石(粒徑約

2.5~5.0cm)，以形成交錯性結構且較易於滾壓緊密，盡量避免使用圓形卵石或粒徑均勻之碎石。

(2) 鋪面與蓄水層材料應清洗乾淨，防止砂土造成土壤孔隙阻塞。

(3) 蓄水層提供之最大深度=地下水位深度-基層下最低之水位深-鋪面深度-上部濾層深度-下部濾層深度。

4. 基層

為考量透水成效，避免孔隙阻塞，基層應避免壓密，以維護土壤之透水性。

5. 其他

(1) 透水瀝青鋪面層為多孔隙結構，應充份滾壓緊密，以防使用後產生沈陷，影響使用壽命。每次滾壓厚度不應大於十公分，若各層厚度大於十公分時應分層鋪設並滾壓；鋪設完成後兩天內，瀝青混凝土未膠結完成之前應避免重車行走。

(2) 考量透水成效及避免孔隙阻塞，透水性鋪面應避免設於滲透係數低之土層(如黏土層)及裸露地有大量鬆散砂土等地區。

(3) 當雨量強度或累積雨量太大時，為使雨水從鋪面溢流而下，應配合其他排水設施，進行較完整之設計。

(4) 透水性鋪面周圍應種植草皮，過濾水中的沉質，若接近地區之排水設施時，則應視需要加裝前處理設施，以去除漂浮物延長鋪面使用壽命。

(5) 對較不易滲透路基可使用垂直排水孔，內填砂以助滲透，必要時可設計地下排水管以收集滲透水，並將其導至其他排水設施。

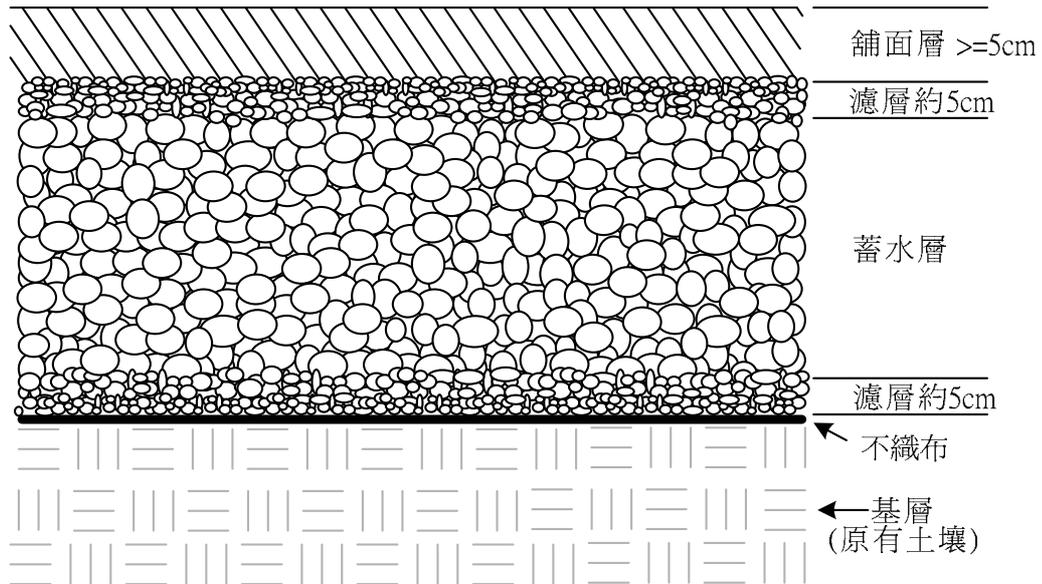


圖 3.2.1 透水性鋪面之剖面圖

3.2.5 缺點：

1. 一般透水性鋪面強度較傳統瀝青或水泥鋪面為低，因此適用於輕交通量且低承載之鋪面，如人行道、停車場、廣場等。有些加纖維的瀝青混凝土在滾壓時有回彈現象不容易施工。
2. 透水性瀝青混合料容易粘於輪胎上，於二次滾壓時，混合料中的瀝青砂漿會堵塞面層的孔隙，致使透水性不良，因此在工作進行中需採取預防措施，如事前噴灑少量的水或輕油等方法，且適宜使用裝有寬輪胎的輪胎滾壓機。
3. 需要較大的透水面積，對雨水逕流量的調節及蓄留能力

較其他排水設施低。

4. 服務年期短、維護成本高。

3.2.6 設計：

1. 透水性鋪面之規劃設計原則

- (1) 為從事地表保育處理，得使用透水性鋪面，其設計原則在於減少逕流量或增加滲流量以補注地下水(水土保持技術規範 130 條)。
- (2) 透水性鋪面蓄水層積水而於 72 小時內滲完上層積水，若設施表面植草，則此一時間應降至 24 至 36 小時，以避免植物無法忍受長時間浸水。
- (3) 入滲率低於 0.43cm/hr，或黏土含量高於 30% 的土壤，不適合設置入滲之相關設施，應考慮其他排水設施。
- (4) 高水位季節，其地下水位應距鋪面下之基層至少 0.8 公尺，地層之岩基應距透水性鋪面設施底部 1.5 公尺以上。
- (5) 透水性鋪面蓄水石層必須儘量保持水平。
- (6) 鋪面表層為多孔瀝清之級配時，其含油量、纖維、聚合物改質劑、石灰或防剝劑等，均需達相關規範規定之要求。
- (7) 蓄水層與天然土壤之間應鋪設砂層或使用不織布，以濾除細顆粒物質，防止土壤因孔隙阻塞而失去透水性。
- (8) 透水性鋪面應安裝豎水管以觀察蓄水層水位之入滲效率，豎水管並需設置管蓋以防異物阻塞。

- (9) 土壤之透水性可以使用現場透水試驗或土質分析結果來估計，由於土壤各層之透水性可能存在相當差異，因此現場透水試驗或土質分析土樣之採取，都應在入滲設施底部之預定深度進行。
- (10) 土壤入滲率為透水性鋪面設計之重要參數，入滲率之測定方法有：
- (a) 實物試驗：使用與設施形狀相似，但規模較小的實體進行透水係數測定，此方法最接近實際入滲狀況，但測定之工作量較大。
 - (b) 現場入滲測定：於地面挖掘深度 60-100cm 之倒錐體並置入直徑 30cm 之圓筒，圓筒底部外圍以濕黏土壓密防止滲水，上面回填壓實並澆水使土壤飽和。圓筒底部鋪設 10cm 以上厚度礫石，內部注入水並維持固定水位，待入滲速率穩定之後測定單位時間之入滲體積。
 - (c) 實驗室之入滲率測定：使用室內定水頭或變水頭透水試驗。
 - (d) 現場土壤粒徑分析結果來估計：預定設置深度之土壤進行粒徑分析，並根據土樣 20% 之粒徑 (D₂₀) 查表 3.2.1 得到估計之土壤滲透係數，如土壤層次分明，且各層面之土壤粒徑均勻時，則由表 3.2.2 得到各層土壤之飽和滲透係數 $k_{v1}, k_{v2}, \dots, k_{vm}$ ，再經由下式得到飽和土壤之平均滲透係數。

$$k_v = \frac{H}{\frac{H_1}{k_{v1}} + \frac{H_2}{k_{v2}} + \dots + \frac{H_n}{k_{vn}}}$$

式中， H_1, H_2, \dots, H_n 為各層土壤之深度。

- (11) 土壤入滲率使用一種以上方法測定時，應採用較保守的估計值，且設計之取用數值應以測定數值除以安全係數 2.0，以確保截流之逕流可完全下滲而不致於排放至下游。

表 3.2.1 土壤 20%粒徑與飽和滲透係數關係

D ₂₀ (mm)	K(cm/s)	土質分類	D ₂₀ (mm)	K(cm/s)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗黏土	0.18	6.85×10^{-3}	粗細砂
0.01	1.05×10^{-5}	細粉土	0.20	8.90×10^{-3}	
0.02	4.00×10^{-5}	粗粉土	0.25	1.40×10^{-2}	
0.03	8.50×10^{-5}		0.30	2.20×10^{-2}	中砂
0.04	1.75×10^{-4}		0.35	3.20×10^{-2}	
0.05	2.80×10^{-4}		0.40	4.50×10^{-2}	
0.06	4.60×10^{-4}		極細砂	0.45	5.80×10^{-2}
0.07	6.50×10^{-4}	0.50		7.50×10^{-2}	
0.08	9.00×10^{-4}	0.60		1.10×10^{-1}	
0.09	1.40×10^{-3}	0.70		1.60×10^{-1}	
0.10	1.75×10^{-3}	0.80		2.15×10^{-1}	
0.12	2.60×10^{-3}	中細砂	0.90	2.80×10^{-1}	細礫石
0.14	3.80×10^{-3}		1.00	3.60×10^{-1}	
0.16	5.10×10^{-3}		2.00	1.80	

摘自國工局[遊憩活動非點源污染最佳管理作業規範]

表 3.2.2 均勻粒徑土壤之飽和滲透係數

	黏土	粉土	極細砂	細砂	中砂	粗砂	細礫石
粒徑(mm)	0-0.01	0.01-0.05	0.05-0.10	0.10-0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-5.00
k(cm/s)	3.00×10^{-6}	4.50×10^{-4}	3.50×10^{-3}	0.015	0.085	0.350	3.000

摘自國工局[遊憩活動非點源污染最佳管理作業規範]

2 透水性鋪面之設計依據

(1) 透水性鋪面的面積計算公式

Georgia Stormwater Management Manual(2003)

$$A_{PAV} = \frac{V_{WQ}}{n_S h_S + kT' + n_L h_L}$$

CASQA (2003)

$$A_{PAV} = \frac{V_{WQ} + R_{FVS} + R_{FVL}}{h_S + h_L}$$

$$R_{FVS} = (1 - n_S) \times h_S \times A_{PAV}$$

$$R_{FVL} = (1 - n_L) \times h_L \times A_{PAV}$$

其中， A_{PAV} ：透水鋪面面積， m^2 。

n_S ：填充礫石之孔隙率 ($n_S = 0.3 \sim 0.35$)。

h_S ：填充礫石深度。

k ：土壤滲透係數， m/hr 。

T' ：降雨填滿設施所需時間(實用上取 $T' = 2hr$)。

n_L ：透水鋪面層之孔隙率 ($n = 0.15 \sim 0.2$)。

h_L ：鋪面層深度，($0.05 \sim 0.1m$)。

R_{FVS} ：蓄水層之填充礫石體積， m^3 。

R_{FVL} ：鋪面層之骨材體積， m^3 。

(2) 水質體積(Water Quality Volume)

(a) 一般算法：即排水設施淨化污染物所需之體積需達

到年平均逕流雨量深度 90%之雨量，水質體積

V_{WQ} 計算如下式。

$$V_{WQ} = P_{Dep} \times R_V \times A_i$$

$$R_V = 0.05 + 0.9 \times \frac{A_{Im}}{A_i} ; \frac{A_{Im}}{A_i} \geq 0.15$$

式中，

P_{Dep} 為平均逕流雨量深度，水質體積一般定義

$$P_{Dep} = 25mm (0.025 \text{ 公尺})。$$

A_{Im} 為不透水面積(平方公尺)

A_i 為集水區面積(平方公尺)。

(b) 簡易算法：

$$V_{wQ} = 12.5mm \times A_i$$

每公頃之集水面積所需水質體積 $V_{wQ} = 125m^3$ 。

(3) 實例說明

停車場面積 0.5 公頃，不透水面積 0.2 公頃，雨季之最高地下水位位於地表面下 1.5m，基層土壤設計取用之滲透係數 $2cm/hr$ ，填充礫石之孔隙率 $n_s = 0.32$ ，透水鋪面層之孔隙率 $n_L = 0.18$ ，鋪面層深度 $h_L = 8cm$ ，上、下濾層深度，試設計一可處理該停車場逕流雨量深度 2.5cm 之透水鋪面。該停車場可設計之最大蓄水層深度 $h_{S,Max}$

$$\begin{aligned} h_{S,Max} &= \text{地下水位深度} - \text{基層下最低之水位深} - \text{鋪面} \\ &\quad \text{深度} - \text{上部濾層深度} - \text{下部濾層深度} \\ &= 1.5 - 0.8 - 0.08 - 0.05 \times 2 \\ &= 0.52m \quad \text{取蓄水層深度 } h_s = 0.4m \end{aligned}$$

$$\text{滲完積水所需時間 } T = \frac{n \times h_s}{k} = \frac{0.35 \times 0.4}{0.02} = 7 < 24 \text{ hr} \quad \text{ok!}$$

$$\begin{aligned} R_v &= 0.05 + 0.9 \times \frac{A_{Im}}{A_i} ; \frac{A_{Im}}{A_i} \geq 0.15 \\ &= 0.05 + 0.9 \times \frac{0.2}{0.5} = 0.41 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{WQ} &= P_{Dep} \times R_V \times A_i \\
&= 0.025 \times 0.41 \times 5000 \\
&= 51.25 m^3
\end{aligned}$$

Georgia Stormwater Management Manual(2003)

$$\begin{aligned}
A_{PAV} &= \frac{V_{WQ}}{n_s h_s + kT' + n_L h_L} \\
&= \frac{51.25}{0.32 \times 0.4 + 0.02 \times 2 + 0.18 \times 0.08} \\
&= 281 m^2
\end{aligned}$$

CASQA (2003)

$$\begin{aligned}
A_{PAV} &= \frac{V_{WQ} + R_{FVS} + R_{FVL}}{h_s + h_L} \\
&= \frac{51.25 + ((1-0.32) \times 0.4 + (1-0.18) \times 0.08) \times A_{PAV}}{0.4 + 0.08}
\end{aligned}$$

$$A_{PAV} = 360 m^2$$

3.2.7 設施之管理：

1. 透水性鋪面之強度較弱，應避免不當的使用造成破壞。
2. 入滲設施最常見之問題為泥砂之堵塞，故需定期檢定其蓄水及排水之功能，每年雨季來臨之前或合適之時間量測豎水管水位，通常每年至少兩次，在逕流含砂量高之地區則檢定次數應相對增多。當透水性降低至一定程度時，應立即進行清洗。
3. 鋪面清理的時候最好使用吸塵和高壓灑水兩道程序。
4. 在堵塞情況嚴重時，透水性鋪面之鋪面層、濾層等可能必需換新，蓄水石層則需沖洗或更換。
5. 定期修剪組合鋪面開孔的草高。

3.3 乾式草溝

3.3.1 目的：

乾式草溝設計目標為藉由攔阻、過濾與提升入滲率、減低逕流速度來控制洪峰流量及補注地下水。欲將水質體積量在草溝底部能夠完全過濾及入滲，通常需依現地或以人工方式將目前現地的土壤改善或使用客土以達到此目標。

3.3.2 材料：

植生材料盡量使用當地既有之植物，涵蓋植生種子、噴植材料、草苗、草皮等。草溝底部之上層一般為砂土及壤土組成，中間緩衝層為砂質壤土與礫石混合，最下層為礫石層及縱向多孔的透水管路。

3.3.3 位置：

當設計一乾式草溝時，主要考量為土質、容量、抗沖蝕能力以及植生草溝容量應該依據每年洪峰成長週期能減少最大流速為考量。設置地點之集水區面積一般不超過 2 公頃，季節性高水位以不達到地面下 0.6m，草溝的縱向坡應該儘可能接近零，並不超過 5%。

另外需要注意的地方包括在規劃水質草溝時應該注意土地取得、維護需求與土壤特徵等方面。現地地形應該允許草溝設計有足夠的坡度與橫斷面積以維持不造成沖蝕的流速，並能截留住定量逕流體積。土壤應該要依水質草溝種類而定。某些情況下，現地土壤必須重新配置以符合乾式草溝與植草生物濾層草溝。

3.3.4 應用：

現地地形與土質狀況會決定施用草溝的形式，在地形上應該設計有較緩的坡度與足夠橫斷面積以免水流過快導致沖蝕。多孔隙土壤可用來施作乾式草溝以及植草式生物濾層，而排水力較差的土壤則可來施用濕式草溝。水質草溝的目的在於節留洪水並淨化水質，但亦具有傳輸洪水至下游的附加功能。乾式草溝主要乃依現地或後來置入土壤的入滲機制。溼式草溝藉由沉澱物累積與移除機制移除污染物，若有橫向入流，則可利用緩坡或碎石胎（小卵石）隔板，每個排水口應該施行出口保護，以避免侵蝕。

3.3.5 缺點：

佔地面積之比例大、維護不易且成本高，路旁草溝易受停車破壞。

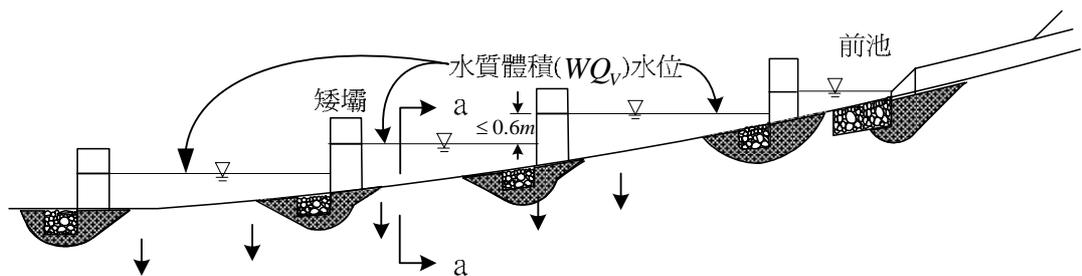
3.3.6 設計：

1. 乾式草溝之規劃設計原則

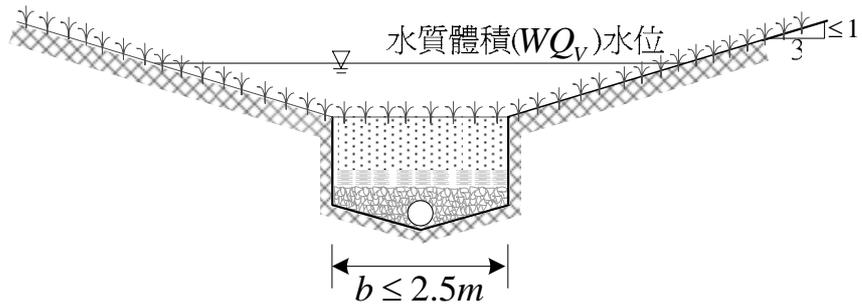
- (1) 水文逕流量估計應該具有容納 25 年洪水的能力，且能承受 2 年暴雨事件的沖蝕。
- (2) 逕流之水質體積量 WQ_v 需在 24 小時之滯留時間內經由草溝部完全過濾及入滲 [Colorado Department of Transportation, 1992][Georgia Stormwater Management Manual, 2003]。
- (3) 入流管道的沉澱前池處理，沉澱前池體積需能容納不透水面積 0.25cm 降雨深度之逕留雨量 [Georgia Stormwater Management Manual, 2003] [2000 Maryland Stormwater Design Manual, Maryland Department of the Environment]，可以維護草溝的過濾與入滲

功能，若有橫向入流，則可利用緩坡或碎石胎（小卵石）隔板。

- (4) 在水流流過草溝時，利用逐步入滲而控制逕流體積
- (5) 乾式草溝下部應該有 75 公分厚，包含入滲、緩衝及礫石層，其中緩衝層及礫石層厚度各約 15 公分厚。
- (6) 入滲層組成為砂土及壤土約各佔一半。
- (7) 乾式草溝橫斷面上部為拋物線或梯形形狀，其斷面兩邊之邊坡比要小於 3:1(橫向:縱向)，且底部寬度不超過 2.5 公尺 [2000 Maryland Stormwater Design Manual, Maryland Department of the Environment]。
- (8) 小型矮壩設計目的在於攔砂、提高水位及提供水質體積滯留時間等，但相鄰之小型矮壩間水位高程差最好不要超過 0.6m 或水質體積水位面下降至地表時間以不超過 24 小時為原則。
- (9) 多孔集排水管之設計尺寸需具有 6 小時內排除水質體積量 (WQ_v) 之集排水能力 [Georgia Stormwater Management Manual, 2003]。
- (10) 矮壩本體及壩址結構設計，需滿足建築規範要求，壩址需預防滲流作用導致壩體結構破壞。



(a) 縱斷面



(b) 橫斷面 a-a

圖 3.3.1 乾式草溝示意圖

2. 乾式草溝之設計依據

(1) 逕流係數 R_v

(a) 內政部營建署「市區道路工程規劃及設計規範之研究」：

表 3.3.1 逕流係數表（依據透水與否）

暴雨持續時間（分）	逕流係數 C 值	
	不透水地面	透水地面
5	0.50	0.10
10	0.60	0.20
20	0.80	0.34
30	0.85	0.40
45	0.90	0.45
60	0.94	0.50

註：1. 瀝青路面逕流係數採用固定值 0.85

2. 摘自內政部營建署「市區道路工程規劃及設計規範之研究」

(b) Georgia Stormwater Management Manual

$$R_v = 0.05 + 0.9 \times \frac{A_{lm}}{A_i} ; \frac{A_{lm}}{A_i} \geq 0.15$$

式中，

A_{lm} 為不透水面積（平方公尺）

A_i 為集水區面積(平方公尺)

(2) 水質體積(Water Quality Volume)

(a) 一般算法：即排水設施淨化污染物所需之體積需達到年平均逕流雨量深度 90%之雨量，水質體積 V_{WQ} 計算如下式。

$$V_{WQ} = P_{Dep} \times R_V \times A_i$$

式中，

P_{Dep} 為平均逕流雨量深度，水質體積一般定義

$$P_{Dep} = 25mm (0.025 \text{ 公尺})。$$

(b) 簡易算法：

$$V_{WQ} = 12.5mm \times A_i$$

每公頃之集水面積所需水質體積 $V_{WQ} = 125m^3$ 。

(3) 地下水補助體積 Re_V

$$Re_V = S \times R_V \times A_i$$

式中，

S 為地下水之補助因子，依土壤滲透性等質地之不同分為 A, B, C, D 四類。

表 3.3.2 土壤滲透性質表

土壤水文	質地成份	滲透性	補注因子 (cm)
A	砂、砂質壤土	高滲透性且不易產生逕流	1.00
B	粉質壤土、壤土	滲透性良好	0.66
C	砂質粘壤土	低滲透性	0.33
D	黏壤土、粉質黏壤土、砂質黏土、黏土	非常低滲透性輕易產生逕流	0.18

- (4) 小型矮壩(Check Dam)：目的在於攔砂、提高水位及增加水質體積量之滯留時間等，相鄰矮壩之水位高程差 Δh 以不超過 0.6m 或液面水位下降至地表面時間以不得超過 24 小時為原則。

矮壩與矮壩間距離

$$L_{ch} = \Delta h / S$$

液面水位下降高度

$$\Delta h' \leq k \times T_s$$

式中，

k 為土壤滲透係數 (cm/hr)。

T_s 為滯留時間 (hr)。

S 為縱向斜坡坡度。

- (5) 溢流堰(Overflow Weir)：矮壩壩頂溢流出口必須提供重現期距 25 年暴雨強度之降雨量，設溢流出口處水深為 h_2 ，則

矩形斷面：

$$\begin{aligned} q_{weir} &= 1.767 B h_2 \sqrt{h_2} \quad [\text{水土保持手冊-工程篇, 2006}] \\ &= 0.4 B h_2 \sqrt{g h_2} \quad [\text{Georgia Stormwater Management Manual, EPA}] \end{aligned}$$

式中，

B ：矩形溢流口寬度。

q_{weir} ：溢流出口排洪量 (m^3/sec)。

g ：重力加速度 $9.8 m/sec^2$ 。

梯形斷面 [水土保持手冊-工程篇, 2006]：

$$q_{weir} = \frac{2}{15} C_{weir} (2B_u + 3B_0) h_2 \sqrt{2gh_2}$$

式中，

B_u ：梯形上邊長(m)。

B_0 ：梯形下邊長(m)。

C_{weir} ：梯形斷面堰流係數，取 0.6。

- (6) 多孔集排水管(Orifice Pipe)：多孔集排水管位於乾式草溝滲透性土壤底部，其設計目標需具有 6 小時(draw-down time)內排除水質體積量(WQ_v)之排水能力 [Georgia Stormwater Management Manual, Appendix D-5, 2003]。

$$q_{ori} = CA_{ori} \sqrt{2g\Delta h} = \frac{V_{wQ}}{T}$$

式中，

C：集排水管流量係數。

A_{ori} ：集排水管截面積(= $\frac{\pi}{4} d_{ori}^2$)。

d_{ori} ：集排水管內徑。

T：排水時間。

- (7) 前池體積(Pretreatment)：草溝前池體積(V_{pre})必須能容納不透水面積 2.5 mm 之逕流雨量深度。

3. 實例說明

某娛樂中心集水區面積為 1.5 公頃，開發後不透水面積為 0.6 公頃，集水區縱向與橫向比值約等於 3，年平均降雨量 2126.2mm，縱向斜坡坡度 0.01，集流時間 $t=5\text{min}$ ，草溝底部砂質壤土入滲率 $k=3.0\text{cm/hr}$ 。

設縱向長度為 L ，則橫向長度 $B = L/3$

$$L \times B = 15000m^2$$

$$L = 212m$$

若草溝設計於縱向，長度 L 假設為 $212m$

(若集水區有分流，則依各分流區域之入流量，據以設計各區域之草溝長度及斷面)

降雨強度：

取 $t = 5 \text{ min}$ ，求 25 年一次無因次降雨強度為

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{2126.2}{25.29 + 0.094 \times 2126.2} \right)^2 = 89.18$$

$$A = \left(\frac{2126.2}{-189.98 + 0.31 \times 2126.2} \right)^2 = 20.538$$

$$B = 55$$

$$C = \left(\frac{2126.2}{-381.71 + 1.45 \times 2126.2} \right)^2 = 0.620$$

$$G = \left(\frac{2126.2}{42.89 + 1.33 \times 2126.2} \right)^2 = 0.549$$

$$H = \left(\frac{2126.2}{-65.33 + 1.836 \times 2126.2} \right)^2 = 0.307$$

重現期距：

$$T = 25 \text{ 年}$$

$$\begin{aligned} I_7^{25} &= 89.18 \times (0.549 + 0.307 \times \log 25) \times 20.538 / (5 + 55)^{0.620} \\ &= 141.7 \end{aligned}$$

開發後逕流係數：

依據內政部營建署「市區道路工程規劃及設計規範之研究」

$$\begin{aligned} C &= (0.94 \times 0.6 + 0.5 \times (1.5 - 0.6)) / 1.5 \\ &= 0.676 \quad (\text{control}) \end{aligned}$$

依據 Georgia Stormwater Management Manual(2003)

$$C(=R_v) = 0.05 + 0.9 \times \frac{A_{lm}}{A_i}$$

$$= 0.05 + 0.9 \times \frac{0.6}{1.5} = 0.40$$

尖峰入流量：

取 $C = 0.676$ 計算開發後 25 年發生一次之尖峰入流量：

$$Q_{inp} = \frac{1}{360} \times 0.676 \times 141.7 \times 1.5 = 0.40 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

水質體積 (Water Quality Volume)：

$$\begin{aligned} V_{WQ} &= P_{Dep} \times R_v \times A_i \\ &= 0.025 \times 0.676 \times 15000 \\ &= 254 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

補助地下水體積：

$$\begin{aligned} Re_v &= S \times R_v \times A_i \\ &= 0.66 \times 10^{-2} \times 0.676 \times 15000 \\ &= 66.9 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

乾式草溝需儲存水體積 $V = \max(V_{WQ}, Re_v) = 254 \text{ m}^3$

矮壩設計：

相鄰矮壩之水位高程差假設 $\Delta h = 0.5 \text{ m}$ ，區段左右水深分別為 0.6 m 及 0.1 m ，則草溝水質水位之平均深度 $\bar{h} = 0.35 \text{ m}$ 。

矮壩與矮壩間之區段距離計算如下

$$L_{ch} = h_1 / S = 0.5 / 0.01 = 50 \text{ m}$$

矮壩總數目 $N_{ch} = [L / L_{ch}] = [212 / 50] = 4$ 個

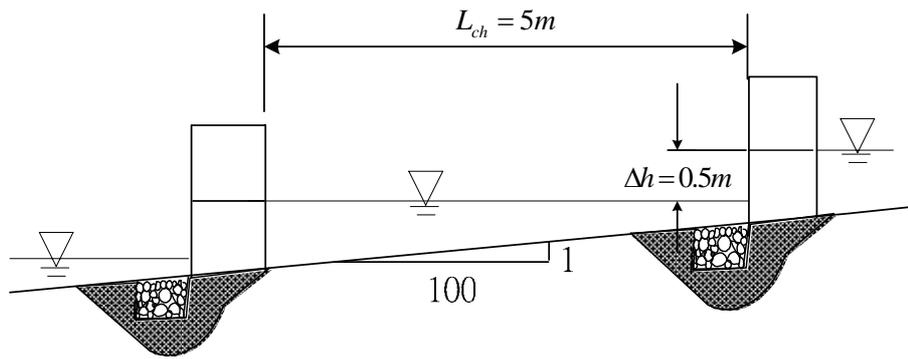


圖 3.3.2 矮壩設計圖

乾式草溝斷面設計：

草溝側邊邊坡斜率假設為 4：1（水平：垂直）則水質
水位平均面積

$$A_{wQV} = V_{wQ} / L = 254 / 212 = 1.2 \text{ m}^2$$

$$\bar{b} = A_{wQV} / \bar{h} = 1.2 / 0.35 = 3.43 \text{ m}$$

$$(b + (b + 2 \times 4.0 \times \bar{h})) / 2 = 3.43$$

底部滲透土壤或客土寬度

$$b = 2.0 \text{ m} < 2.5 \text{ m} \quad \text{ok!}$$

水質水位之平均水面寬度（矮壩與矮壩中間位置）

$$\bar{b} = b + 2 \times 4.0 \times \bar{h} = 2.0 + 2 \times 4.0 \times 0.35 = 4.8 \text{ m}$$

矮壩（溢流堰出口）處之水面寬度

$$b' = b + 2 \times 4.0 \times h_1 = 2.0 + 2 \times 4.0 \times 0.6 = 6.8 \text{ m}$$

檢核草溝於 24 小時內水面下降之最大深度

$$\Delta h' = k \times T_s = 3.0 \times 24 \times \frac{2}{3.43} = 42 \text{ cm} > \bar{h} \quad \text{ok!}$$

溢流堰設計：

溢流堰必須讓重現期距 25 年暴雨強度之降雨量安全

溢過壩頂

$$Q = 0.4 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

設溢流堰出口寬度 $B=1.6\text{ m}$ ，水面高度為 $h_2=0.35\text{ m}$ ，
則

$$q_{weir} = 1.767 B h_2^{3/2}$$

$$q_{weir} = 1.767 \times 1.6 \times 0.35^{3/2}$$

$$= 0.59\text{ m}^3/\text{sec} > Q = 0.4\text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{ok!}$$

草溝底部集排水管設計：

確保草溝於 24 小時內將水質體積液面之水位下降至
地表面水面，草溝底部可加開孔之集排水管，此集排
水管應具有 6 小時內排除水質體積量之排水能力。

$$q_{ori} = \frac{V_{WQ}}{T} = \frac{245}{6 \times 3600} = 0.01134\text{ m}^2/\text{sec}$$

集排水管流量係數

$C = 0.6$ [Georgia Stormwater Management Manual, Appendix
D-5, 2003]

$$0.6 \frac{\pi d_{ori}^2}{4} \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.5} = 0.01134$$

$d_{ori} = 0.088\text{ m}$ 使用內徑 9 cm 之集排水管

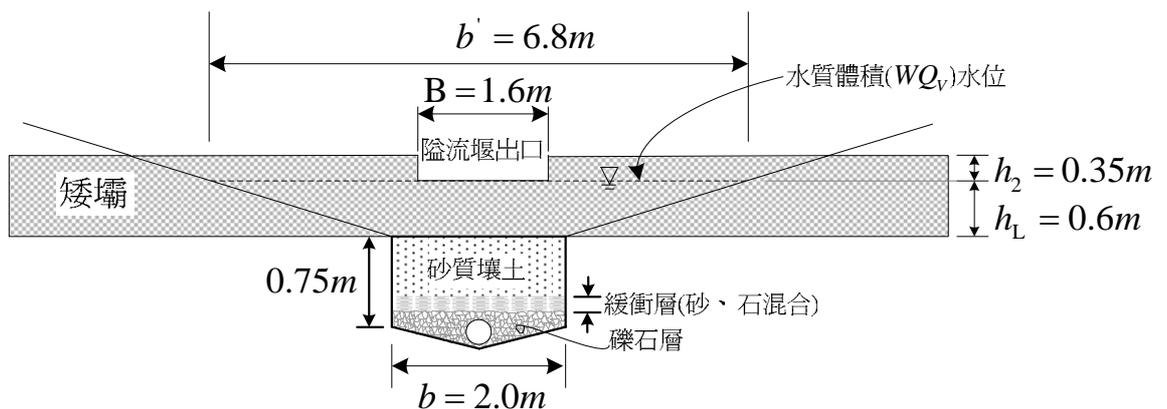


圖 3.3.3 草溝底部集排水設計圖

前池體積計算：

$$V_{PRE} = 2.5 \times 10^{-3} \times 6000 = 15\text{ m}^3$$

若有 3 個橫向入口且各入口之集水面積假設相等，則每個入口之前池(pretreatment)體積為 $15/3=5\text{ m}^3$ 。

3.3.7 設施之管理：

1. 草溝需定期檢定其蓄水及排水之功能，當透水性降低至一定程度時，應立即進行清洗。
2. 水質草溝應該檢視其坡面的完整度、土壤水分、植生狀況、土壤穩定、土壤壓縮、土壤沖蝕、積水與沉澱的情況。在堵塞情況嚴重時，草溝濾層、透水管等可能必需換新，礫石層則需沖洗或更換。
3. 草溝的每個排水口應該施行出口保護，以避免侵蝕。
4. 建構第一年的前幾個月應該多做幾次檢視以確保植物生長。

3.4 濕式草溝

3.4.1 目的：

水質草溝設置目的在於截留洪水並以天然的植物作為淨化水質、阻絕及吸收污染物與控制水量的生態工法理念，主要目的則在將其水流速度減緩至不損壞渠道或造成邊坡沖蝕的速度、控制逕流量、截排分流與滯留洪峰流量等。依草溝組合方式之不同可分為簡易草溝與複式草溝，當逕流量低時可採用簡易草溝，但對於鬆軟土質或逕流量大且溝斷面無法加大時可採用複式草溝。

水質草溝另因需求不同可分為溼式草溝與乾式草溝。溼式草溝藉由沉澱物累積與移除機制來移除污染物，亦可藉由溼地植物的攔阻及攝入作用達到此效果，溼式草溝尺寸應該能截留全部的逕流量。

3.4.2 材料：

植生材料盡量使用當地既有之植物，涵蓋植生種子、噴植材料、草苗、草皮等，複式草溝溝底之鋪設材料以現地出產之天然石材為原則，須質地堅硬、無明顯風化、裂縫或其他結構上之缺點者。

草種應該選擇能夠生長均勻、茂密的種類，使能儲留水份。排水不良的土壤則需要選擇能適應濕地環境的種類。

主要石材之粒徑應不小於 7.5cm。填縫所使用之石子粒徑應不小於 0.5cm，且不得大於 3cm，若現地材料不足時，可用其他硬式材料(如植草磚)代替，但不得含污染物。

3.4.3 位置：

草溝之位置應視現場之地形地貌決定，宜儘可能選擇天然排水溝或較低窪之位置，或應順著坡降適度修順，避免大幅開挖整地為原則。

草溝適用範圍：

1. 坡度在 30%以內之排水系統，且不得超過水理分析之最大容許流速。
2. 草溝可適用於果園、農場、高爾夫球場等地，日照不足以供草類正常生育或砂礫地含石量較多之土地，均不適用。

3.4.4 應用：

1. 水質草溝最適於施用於水流較緩的居住與公共地區，水質草溝可應用於停車廠以取代不透水鋪面。施用時應該注意在住宅區不適宜設計溼式草溝，例如房屋前空地，因為會有積水發臭的問題。
2. 水質草溝尺寸應該能截流全部的逕流量，前處理通常在攔砂壩後設置一具有進口管道的沉澱前池，草溝的每個排水口應該施行出口保護，以避免侵蝕。
3. 當挖掘渠道時，草溝底部的土壤應該隨時保持飽和狀態。對於橫向入流，可施用緩坡或小卵石隔板。
4. 草溝的斷面應寬平，以形成薄層水流。

3.4.5 缺點：

水質草溝比起一般混凝土、緣石等排水道，需要較高的維護成本。

3.4.6 設計：

設計規劃及施工原則係以安全防災為主，生態理念為輔，因此施作過程中，須能按下列三項原則進行。(一) 針對為開發地區需保留原有水路與滯洪區，施工過程中應儘可能避免大規模整地開挖，以降低對周遭生態環境之破壞或影響。(二) 施工材料應以就地取材為原則，且宜選用天然材料，種植之草類須以當地原生植物為優先考量。(三) 開發後增加之逕流量盡量以社區保水設施滿足。

1. 排水系統之規劃原則如下：

- (1) 水流連續不斷或流速超過 1.5m/sec 或鬆軟土質時，宜採用複式草溝或乾式草溝。
- (2) 排水、截水溝渠之斷面，應足敷排洪需要，並採重現期距二十五年以上之降雨強度設計之。
- (3) 坡地內排水系統之設計洪水量，得以重現期距十年之降雨強度計算。
- (4) 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三十公分[水土保持技術規範第 78 條]。
- (5) 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[水土保持技術規範第 78 條]。
- (6) 排水設施之斷面應參酌泥砂含量加大斷面，開發區或構造物有被其上游逕流沖刷之虞者，宜在其上游處設置截水溝。
- (7) 排水設施避免設置在填土區上，否則應加強基礎之

處理，排水設施縱坡度較大而有滑動之虞者，應設置止滑樺或截水牆。

(8) 前處理可以維護草溝的過濾與入滲功能，如攔砂壩具有入流管道的沉澱前池。

2. 排水系統之設計原則如下：

(1) 草溝的幾何形狀應該要有避免尖銳的角落。

(2) 梯形橫斷面草溝兩邊坡度儘可能緩於 3：1(橫向：縱向)或與水平面夾角 θ 需小於植生邊坡之穩定角，草溝橫斷面底部寬最好介於 0.6~2.5 公尺。

(3) 拋物線形狀的橫斷面，高水位邊坡之切線與水平面夾角 θ 需小於植生邊坡之穩定角。

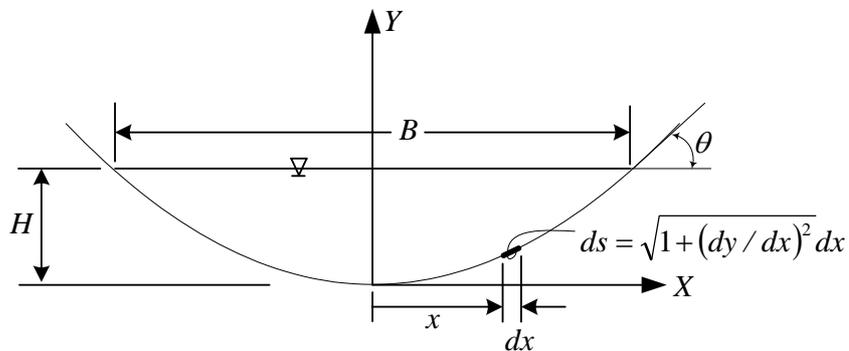


圖 3.4.1 排水系統設計圖

拋物線方程式：

$$y = \frac{4H}{B^2} x^2$$

水位高寬比 (H/B) 與水位面之切線夾角 θ 間關係推導：

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{8H}{B^2} x$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{8H}{B^2} x \Big|_{x=\frac{B}{2}}$$

$$= \tan^{-1} \frac{4H}{B}$$

水位高寬比 (H/B) 與水位面之切線夾角 θ 間關係如下表 3.4.1 所示：

表 3.4.1 高寬比與切線夾角 θ

H/B	0.09	0.14	0.21	0.25	0.3	0.43
$\theta(^{\circ})$	20	30	40	45	50	60

(4) 植草草溝尺寸應該能截流全部的逕流量。

(5) 坡地排水之平均流速，應小於最大容許流速。草溝流水流速超過其最大容許流速者，需加大斷面寬度或減小深度，如因此無法截流全部的逕流量，則須採用基地保水策略減少流量或於適當位置，設置消能設施。

常流水之最大容許流速依下表選定之 [水土保持技術規範第 85 條]：

表 3.4.2 流水之最大容許流速之設計

土 質	最大安全流速 (公尺/秒)	土 質	最大安全流速 (公尺/秒)
純細砂	0.23~0.30	平常礫土	1.23~1.52
不緻密之細砂	0.30~0.46	全面密草生	1.50~2.50
粗石及細砂土	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	0.96~1.14	混凝土	4.57~6.10

無常流水之最大容許流速可提高如下：

混凝土或混凝土砌塊石：最大容許流速為每秒六·一公尺。

鋼筋混凝土：採最大容許流速為每秒十二公尺。可依混凝土抗壓強度比例調整最大容許流速。

(6) 縱向坡坡度應該儘可能接近 0 且不超過 5%，但如經由水理分析流速仍在容許流速範圍內者，縱向坡坡度得不受此限。

(7) 坡地排水渠流之平均流速得採用曼寧公式計算，其公式如下：

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

式中， V ：平均流速（公尺／秒）

n ：曼寧粗糙係數

$R=(A/P)$ ：水力半徑（公尺）

A ：通水斷面積（平方公尺）

P ：潤周長，即與水接觸週邊之長度（公尺）

S ：水力坡降，可用溝底縱向坡度代之。

(8) 排水溝出水高之設計原則需依設計水深之百分之二十五計算之且不得小於二十公分。

(9) 曼寧粗糙係數 n ：百喜草 0.067、假儉草 0.055、類地毯草 0.05。

3. 草溝設計

(1) 簡易草溝：採取採用簡易斷面草溝，藉其有較大之曼寧粗糙係數來達到減小流速、防止土壤沖蝕之目的，並有沉降及過濾污染物的作用。若逕流量大小或流速超過容許範圍，則需考慮加大斷面寬度、採用複式草溝斷面或使用迂迴流道等。草溝之流量計

算比照一般水理分析。草溝斷面大小之決定應依水文估算之逕流量大小及溝底坡度決定。草溝設計流速以不超過 1.5 m/sec，最大容許流速則以不超過 2.5m/sec 為宜。

a. 梯形斷面草溝

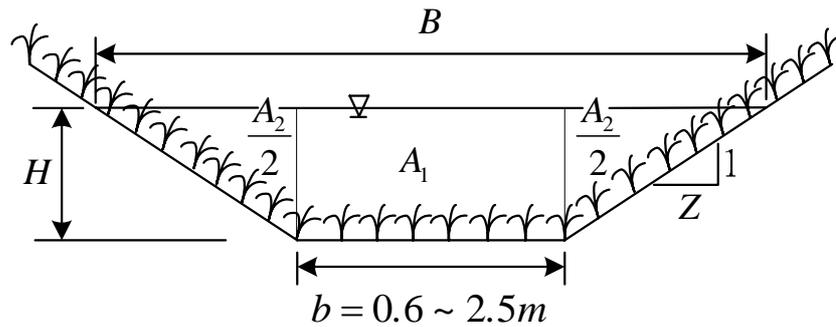


圖 3.4.2 梯形草溝橫斷面圖

當水位達設計水位 H 時，其通水斷面積 A 及潤周長 P 表示如下

$$\text{斷面積 } A = A_1 + A_2$$

$$= bH + ZH^2$$

$$\text{潤周長 } P = 2\sqrt{1+Z^2}H + b$$

$$\text{水力半徑 } R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{bH + ZH^2}{2\sqrt{1+Z^2}H + b}$$

表 3.4.3 梯型斷面草溝之水力半徑、流速與流量表

S_0 %	R(m)	V(m/s)	Q(cms)	R(m)	V(m/s)	Q(cms)
	n=0.065			b=1m		
	H=0.3m			H=0.5m		
0.005	0.205	0.378	0.182	0.309	0.497	0.497
0.006	0.205	0.414	0.199	0.309	0.545	0.545
0.007	0.205	0.447	0.215	0.309	0.588	0.588
0.008	0.205	0.478	0.230	0.309	0.629	0.629
0.009	0.205	0.507	0.244	0.309	0.667	0.667
0.010	0.205	0.535	0.257	0.309	0.703	0.703
0.015	0.205	0.655	0.314	0.309	0.861	0.861
0.020	0.205	0.756	0.363	0.309	0.994	0.994
0.025	0.205	0.846	0.406	0.309	1.112	1.112
0.030	0.205	0.926	0.445	0.309	1.218	1.218
0.035	0.205	1.001	0.480	0.309	1.316	1.316
0.040	0.205	1.070	0.513	0.309	1.406	1.406
0.045	0.205	1.135	0.545	0.309	1.492	1.492
0.050	0.205	1.196	0.574	0.309	1.572	1.572
0.060	0.205	1.310	0.629	0.309	1.722	1.722
0.070	0.205	1.415	0.679	0.309	1.860	1.860
0.080	0.205	1.513	0.726	0.309	1.989	1.989
0.090	0.205	1.605	0.770	0.309	2.110	2.110
0.100	0.205	1.691	0.812	0.309	2.224	2.224
0.150	0.205	2.071	0.994	0.309	2.723	2.723
0.200	0.205	2.392	1.148	0.309	3.145	3.145
0.250	0.205	2.674	1.284	0.309	3.516	3.516
0.300	0.205	2.930	1.406	0.309	3.852	3.852

草溝最大安全流速 1.5~2.5m/s

討論：

(a) 本研究例取草溝曼寧粗糙係數 $n = 0.065$ ，梯形斷面草溝底部寬取 $b = 1m$ ，橫斷面兩邊坡度之橫向與縱向比值 Z 等於 2。

(b) 經由實際水理分析，當水位高 $h = 0.3m$ 時，若縱向坡坡度 $S_0 = 8\%$ ，草溝流速將超過容許流速 $1.5m/sec$ ；當縱向坡坡度 $S_0 = 25\%$ ，則草溝流速

將達 $2.75m/sec$ ，超過最大容許流速 $2.5m/sec$ 。

(c) 當水位高達 $h=0.5m$ ，則縱向坡坡度 $S_0=4.5\%$ ，
草溝流速將超過容許流速 $1.5m/sec$ ；若縱向坡坡
度 $S_0=15\%$ ，則草溝流速將達 $2.83m/sec$ 。

b. 拋物線形斷面草溝

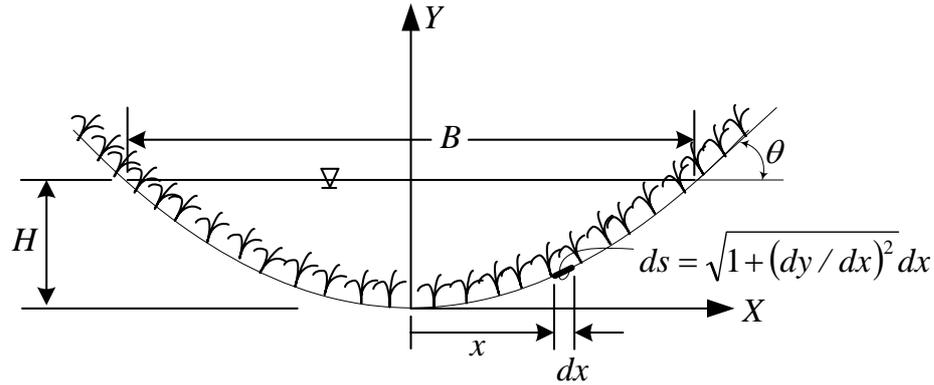


圖 3.4.3 拋物線形草溝橫斷面圖

當水位達設計水位 H 時，其通水斷面積 A 及潤周長
 P 表示如下

$$\text{斷面積 } A = \frac{2}{3}BH$$

$$P = 2 \int_0^{\frac{B}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$y = \frac{4H}{B^2}x^2$$

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{8H}{B^2}x$$

$$\text{取 } a = \frac{B^2}{8H} \quad \text{則潤周長 } P = \frac{2}{a} \int_0^{\frac{B}{2}} \sqrt{x^2 + a^2} dx$$

$$\text{式中：} \int \sqrt{x^2 + a^2} dx = \frac{x}{2} \sqrt{x^2 + a^2} + \frac{a^2}{2} \ln \left| x + \sqrt{x^2 + a^2} \right| + c$$

$$\text{水力半徑 } R = \frac{A}{P}$$

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

表 3.4.4 拋物線型簡易斷面草溝之水力半徑、流速與流量表

S ₀	R(m)	V(m/s)	Q(cms)	R(m)	V(m/s)	Q(cms)
	n=0.067			B=1.5m		
	H/B=0.15			H/B=0.25		
0.005	0.14	0.29	0.065	0.22	0.38	0.143
0.006	0.14	0.31	0.071	0.22	0.42	0.157
0.007	0.14	0.34	0.076	0.22	0.45	0.170
0.008	0.14	0.36	0.082	0.22	0.48	0.181
0.009	0.14	0.39	0.087	0.22	0.51	0.192
0.010	0.14	0.41	0.091	0.22	0.54	0.203
0.015	0.14	0.50	0.112	0.22	0.66	0.248
0.020	0.14	0.57	0.129	0.22	0.76	0.287
0.025	0.14	0.64	0.144	0.22	0.85	0.320
0.030	0.14	0.70	0.158	0.22	0.94	0.351
0.035	0.14	0.76	0.171	0.22	1.01	0.379
0.040	0.14	0.81	0.183	0.22	1.08	0.405
0.045	0.14	0.86	0.194	0.22	1.15	0.430
0.050	0.14	0.91	0.204	0.22	1.21	0.453
0.055	0.14	0.95	0.214	0.22	1.27	0.475
0.060	0.14	0.99	0.224	0.22	1.32	0.496
0.065	0.14	1.04	0.233	0.22	1.38	0.517
0.070	0.14	1.07	0.242	0.22	1.43	0.536
0.075	0.14	1.11	0.250	0.22	1.48	0.555
0.080	0.14	1.15	0.258	0.22	1.53	0.573
0.085	0.14	1.18	0.266	0.22	1.58	0.591
0.090	0.14	1.22	0.274	0.22	1.62	0.608
0.095	0.14	1.25	0.282	0.22	1.67	0.625
0.100	0.14	1.28	0.289	0.22	1.71	0.641
0.150	0.14	1.57	0.354	0.22	2.09	0.785
0.200	0.14	1.82	0.409	0.22	2.42	0.906
0.250	0.14	2.03	0.457	0.22	2.70 ⁺	1.013
0.300	0.14	2.22	0.500	0.22	2.96 ⁺	1.110

草溝最大安全流速 1.5~2.5m/s

(2) 複式斷面草溝：縱向斜率不大時使用複合斷面，可

使平時流水在溝底流動時，因有較低之曼寧粗糙係數，使排水順暢、宣洩逕流。洪水來臨時，則因斷面上部植草有較大之曼寧粗糙係數，而達到減小流速、防止土壤沖蝕之目的。

(a) 中間鋪設石材之寬度 B_1 約 60~100cm，厚度 t 約為 10~20cm。

(b) 複式草溝斷面大小之決定應依水文估算之逕流量大小及溝底坡度決定。

(c) 溝底之石材鋪設平整、緊密且溝底土壤無裸露情形，鋪設之石材以現地出產為佳。

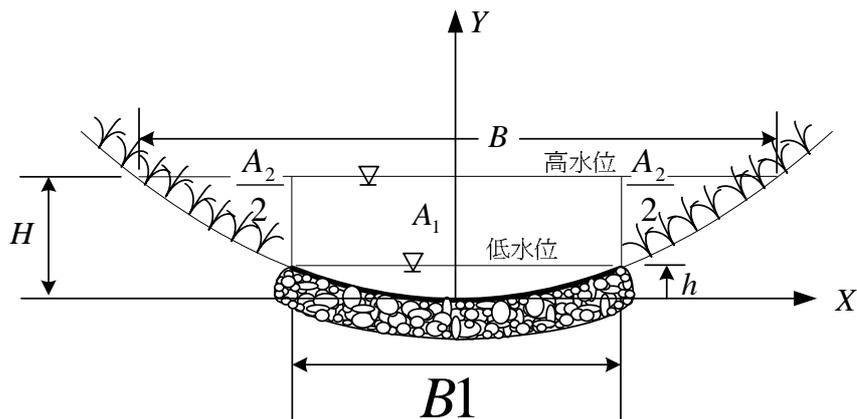


圖 3.4.4 複式草溝橫斷面圖

平時假設在低水位：

$$P_1 = 2 \int_0^{\frac{B_1}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1}$$

當水位達設計(高)水位 H 時，其通水斷面積 A 及潤周長 P 表示如下：

$$\text{斷面積 } A = \frac{2}{3}BH$$

$$y = \frac{4H}{B^2}x^2$$

$$P = 2 \int_0^{\frac{B}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$A_1 = B1 \times (H - h) + \frac{2}{3}B1 \times h$$

$$A_2 = A - A_1$$

$$P_2 = P - P_1$$

$$R_2 = \frac{A - A_1}{P_2}$$

$$V_1 = \frac{1}{n_1} R_1^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$V_2 = \frac{1}{n_2} R_2^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{總流量 } Q = A_1 V_1 + A_2 V_2$$

表 3.4.5 拋物線型複合斷面草溝在不同坡度下之流速與流量表

S ₀ %	A ₁ (m ²)	R ₁ (m)	V ₁ (m/s)	Q ₁ (cms)	A ₂ (m ²)	R ₂ (m)	V ₂ (m/s)	Q ₂ (cms)	Q(cms) =Q ₁ +Q ₂
	n ₁ =0.035		n ₂ =0.065		B=1.5m		H/B=0.15		
	草溝橫斷面中央部份				草溝橫斷面兩側部份				
	y/B=0.05								
0.005	0.17	0.196	0.68	0.118	0.05	0.074	0.19	0.010	0.128
0.006	0.17	0.196	0.75	0.129	0.05	0.074	0.21	0.011	0.140
0.007	0.17	0.196	0.81	0.140	0.05	0.074	0.23	0.012	0.151
0.008	0.17	0.196	0.86	0.149	0.05	0.074	0.24	0.013	0.162
0.009	0.17	0.196	0.92	0.158	0.05	0.074	0.26	0.013	0.172
0.010	0.17	0.196	0.96	0.167	0.05	0.074	0.27	0.014	0.181
0.015	0.17	0.196	1.18	0.205	0.05	0.074	0.33	0.017	0.222
0.020	0.17	0.196	1.36	0.236	0.05	0.074	0.38	0.020	0.256
0.025	0.17	0.196	1.53	0.264	0.05	0.074	0.43	0.022	0.286
0.030	0.17	0.196	1.67	0.289	0.05	0.074	0.47	0.024	0.314
0.035	0.17	0.196	1.80	0.313	0.05	0.074	0.51	0.026	0.339
0.040	0.17	0.196	1.93	0.334	0.05	0.074	0.54	0.028	0.362
0.045	0.17	0.196	2.05	0.354	0.05	0.074	0.57	0.030	0.384
0.050	0.17	0.196	2.16	0.374	0.05	0.074	0.60	0.031	0.405
0.055	0.17	0.196	2.26	0.392	0.05	0.074	0.63	0.033	0.425
0.060	0.17	0.196	2.36	0.409	0.05	0.074	0.66	0.034	0.444
0.065	0.17	0.196	2.46	0.426	0.05	0.074	0.69	0.036	0.462
0.070	0.17	0.196	2.55 [†]	0.442	0.05	0.074	0.72	0.037	0.479
0.075	0.17	0.196	2.64 [†]	0.458	0.05	0.074	0.74	0.038	0.496
0.080	0.17	0.196	2.73 [†]	0.473	0.05	0.074	0.77	0.040	0.512
0.085	0.17	0.196	2.81 [†]	0.487	0.05	0.074	0.79	0.041	0.528
0.090	0.17	0.196	2.89 [†]	0.501	0.05	0.074	0.81	0.042	0.543
0.095	0.17	0.196	2.97 [†]	0.515	0.05	0.074	0.83	0.043	0.558
0.100	0.17	0.196	3.05 [†]	0.528	0.05	0.074	0.86	0.044	0.573
0.150	0.17	0.196	3.74 [†]	0.647	0.05	0.074	1.05	0.054	0.701
0.200	0.17	0.196	4.31 [†]	0.747	0.05	0.074	1.21	0.063	0.810
0.250	0.17	0.196	4.82 [†]	0.835	0.05	0.074	1.35	0.070	0.905
0.300	0.17	0.196	5.28 [†]	0.915	0.05	0.074	1.48	0.077	0.992

草溝最大安全流速 1.5~2.5m/s

3.4.7 設施之管理：

1. 水質草溝應該檢視其坡面的完整度、土壤水分、植生狀況、土壤穩定、土壤壓縮、土壤沖蝕、積水與沉澱的情況。

2. 草溝的排水口應該施行出口保護，以避免侵蝕。
3. 建構第一年的前幾個月應該多做幾次檢視以確保植生生長，並需定期修剪草溝斷面兩邊之草高。

3.5 砌石溝

3.5.1 目的：

係指以塊石襯砌溝面，利用表面之粗糙度，達到消能及減少水流之沖刷。對於流速大及土壤易沖蝕之處使用塊石襯砌可降低河水流速，固定河道，防止河床被河水掏刷，穩定坑溝，以保護溝身安全。另可將水溝、山邊溝等橫向排水之水流匯集導引至安全地點以渲洩逕流。

3.5.2 材料：

以塊石或混凝土襯砌溝面的砌石溝，材料來源以就地取材。最常見的排水溝型式有乾砌石(不加水泥)和混凝土砌石方式。卵石表面應潔淨，質料應堅硬、無風化及裂紋等現象者。

3.5.3 位置：

適用於卵礫石地質，農地或坡地排水系統，坡面應平順且符合規定坡度。土質如有鬆軟、油污或其他不適用之材料均應清除乾淨，再以適當材料回填。

3.5.4 應用：

砌石溝之表面多孔隙且透水性佳，利於植物生長，完工後具有自然的生態景觀；由於表面有足夠的粗糙度，對於河水具有消能效果，可以保護下游面之結構物，並調整河道之坡降。

3.5.5 缺點：

植物的過度生長及足夠的粗糙度易造成土石堆積，需要考慮後續之維護管理。

3.5.6 設計：

1. 砌石溝之規劃原則如下：

- (1) 排水、截水溝渠之斷面，應足敷排洪需要，並採重現期距二十五年以上之降雨強度設計之。
- (2) 適用於卵礫層地質，能就地取才者為佳。
- (3) 砌石前，坡面和基礎土面應先徹底壓實。
- (4) 溝渠兩側之坡度不宜太陡。
- (5) 適用於農地排水系統，坡地社區排水等速度大，土壤易沖蝕之處。
- (6) 河溪水流流速將影響水中生物之繁衍與覓食，流速太高不利繁衍，流速太低則減少水中溶氧及具有集溫效果。
- (7) 若集水區之流量甚大或坡度陡急之處，宜採用混凝土砌石溝。

2. 砌石溝之設計原則如下：

- (1) 砌石護岸坡度一般介於 3：1(橫向：縱向)至 1：1 之間，但經由工程師判斷且經由邊坡穩定分析後，不受此限。
- (2) 混凝土墊層強度約為 $175 \text{ kg}_f / \text{cm}^2$ 級
- (3) 勾縫用之水泥砂漿比為 1：3，配合適當之水拌和而成。
- (4) 斷面形狀及大小可依現場地形坡度變化適當調整，斷面尺寸不必單一化。
- (5) 卵石應先洗滌清潔，充分濕潤使內達飽和而不再吸水。

- (6) 若使用乾砌石，應依流速大小選擇不同粒徑之卵、礫石，溝渠兩側粒徑一般 20cm 以上，石頭間之空隙栽種植生，溝底視當地河床條件決定是否用塊石鋪底。
- (7) 乾砌石溝若有細粒料，為防止細粒料被洗出，可鋪設不織布保護。
- (8) 卵石之砌築，於最下層之基腳或坡腳之地面上，先鋪一層混凝土，然後於混凝土上安砌卵石，較大之卵石砌築於底層，鋪底塊石粒徑約 50cm 以上。混凝土砌石溝其卵石與卵石間之接縫及卵石周圍之空隙須用混凝土填滿，不得以較小石料作填塞空隙。
- (9) 砌石應自基腳開始逐層砌築，基礎底部各層應選用較大石塊，以求基腳有充分強度。如需分段砌築時，分段不宜過短，每一小段長度至少 10 公尺以上。其因分段所留之縱接線，必須成階梯狀，俾易與次一分段接合。
- (10) 砌石時塊石之長徑應垂直於坡面，交錯銜接，並使其接觸面儘量平整，塊石間孔隙應成三角形，同時塊石大面不應砌在表面。
- (11) 常流水之容許流速，乾砌石溝為 1.5 m/sec ，混凝土砌石溝 4.5 m/sec 。無常流水之最大容許流速乾砌石溝可提高至 1.8 m/sec ，混凝土砌石溝則可提高至 6.1 m/sec [水土保持技術規範第 85 條]。
- (12) 排水溝出水高之設計原則需依設計水深之百分

之二十五計算之，且不得小於二十公分。

- (13) 砌石溝下游趾處需採適當固床工法，預防滲流造成溝趾破壞。

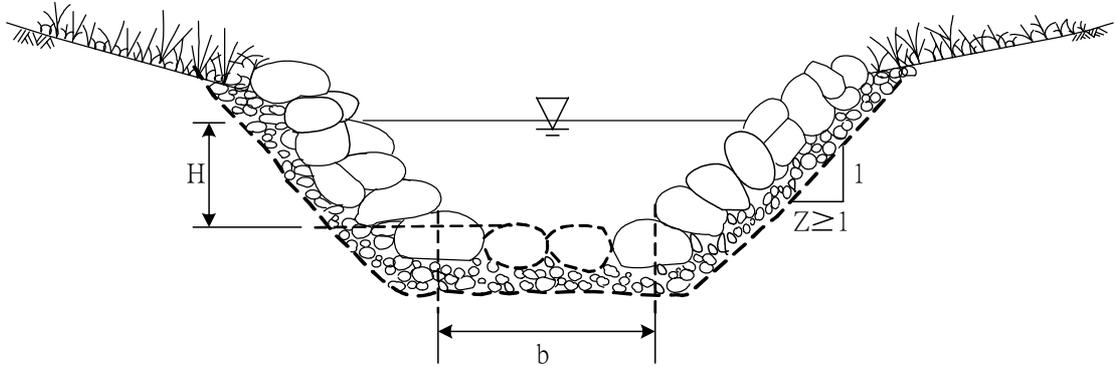


圖 3.5.1 乾砌石溝斷面圖

3. 固床工法：若欲減緩流速、穩定河岸、減少水流沖蝕，可使用石樑或河床拋石固床工法。石樑固床工法係利用現地石塊堆置成排橫越河道，可以減低流速並藉由水流的階梯落差形成淺灘、瀨、潭，可營造出不同流水型態，增加水中溶氧量。河床拋石工法則以不規則之拋石置於河道中心及兩岸之凹部河床上，營造蜿蜒水際線，創出淺灘、水瀑、急瀨與淵之水流變化。固床工法在低流量時可保有一定水位，在高流量時可形成保護魚類，提供魚、蝦之避難所，形成多層次、多樣性的良好生物棲地。
4. 砌石溝設計：

(1) 曼寧公式：

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

式中， V ：平均流速（公尺／秒）。

n ：曼寧粗糙係數。

$R = (A/P)$ ：水力半徑（公尺）。

A ：通水斷面積（平方公尺）。

P ：潤周長，即與水接觸週邊之長度（公尺）。

S ：水力坡降，可用溝底縱向坡度代之。

(2) 曼寧粗糙係數 [王如意，1992]

表 3.5.1 曼寧粗糙係數表

計算公式： $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$			
水道條件		數值	
水道材料	土質	n_0	0.020
	岩石		0.025
	細卵石		0.024
	粗卵石		0.028
不規則程度	平滑	n_1	0.00
	微		0.005
	普通		0.010
	極不規則		0.020
斷面變化	無	n_2	0.00
	偶有變化		0.005
	經常變化		0.010~0.015
障礙作用	可忽略	n_3	0.00
	微		0.010~0.015
	顯著		0.020~0.030
	極劇		0.040~0.060
植物	低短	n_4	0.005~0.010
	普通		0.010~0.025
	高大		0.025~0.050
	極高大		0.050~0.100
蜿蜒程度	微	m	1.00
	顯著		1.15
	極劇		1.30

(3) 水力半徑：當水位達設計水位 H 時，其通水斷面

積 A 及潤周長 P 表示如下

斷面積 $A = A_1 + A_2$

$$= bH + ZH^2$$

潤周長 $P = 2\sqrt{1+Z^2}H + b$

$$\begin{aligned} \text{水力半徑} \quad R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{bH + ZH^2}{2\sqrt{1 + Z^2 H + b}} \end{aligned}$$

(4) 河床拋石粒徑計算：依據日本國土開發技術研究中心(1999)建議，對於估計溪床或岸坡上之單粒塊石，欲抵抗流水拖曳力作用不發生移動之最小粒徑 D_{Min} 計算如下：

$$D_{Min} = \frac{V^2}{2 \times I_D^2 \times g \times \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right)}$$

V ：流速。

I_D ：亂流之影響係數，介於 1.2 與 0.86 之間，

亂流愈大所取係數 值愈小，一般取 $I_D=1.0$ 。

g ：重力加速度(=9.81 m/sec²)。

γ_s ：石材單位體積重(1.7~2.9 t/m³)。

γ_w ：水單位體積重。

若坡面之縱向傾斜角為 θ 時，塊石粒徑須修正如下式(經濟部水資源局、林鎮洋，2002)，(林德貴、賴原崇、劉文宗，2004)：

$$D = K D_{Min}$$

式中，

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \alpha}}}$$

α ：安息角，自然石塊取 38°，碎石取 41°。

(5) 乾砌石溝側邊砌石粒徑與流速關係：

表 3.5.2 側邊砌石粒徑與流速關係

水最高流速	側邊砌石粒徑
0.6~1.8 m/sec	10~30 cm
1.8~2.4 m/sec	15~45 cm
2.4~3.0 m/sec	30~60 cm
3.0~3.6 m/sec	45~75 cm

(Ohio Department of Transportation, Construction & Material Specification, 1997)

5. 實例說明：圖示梯形斷面砌石溝，溝斷面底部寬 $b=1m$ ，橫斷坡面水平與垂直坡度比為 1:1(即 $Z=1$)，溝斷面採單一斷面，溝底及兩側不規則程度輕微，縱向蜿蜒程度輕微，計算該砌石溝斷面在不同水深 0.3m 及 0.5m 之水力半徑，並列表說明該斷面再不同縱向坡度下之流速與流量值。

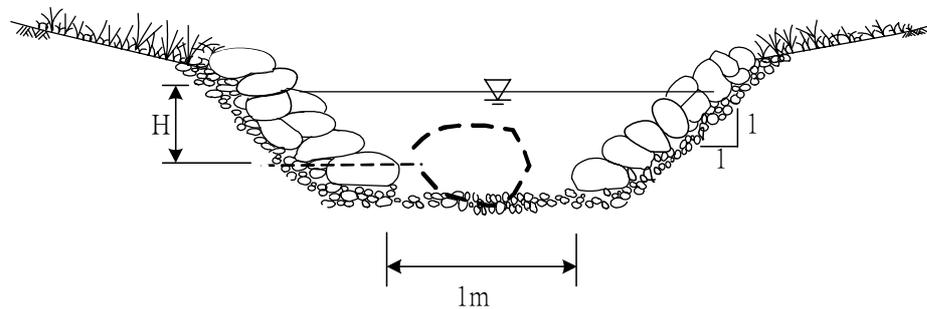


圖 3.5.2 梯形斷面砌石溝

曼寧粗糙係數決定：

$$n_0 = 0.028 \quad n_1 = 0.005 \quad n_2 = 0 \quad n_3 = 0 \quad n_4 = 0.005$$

$$m = 1.0$$

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m = 0.038$$

$H = 0.3m$ 時水力半徑

$$R_{H=0.3m} = \frac{1 \times 0.3 + 1 \times 0.3^2}{2\sqrt{1+1^2} \times 0.3 + 1} = 0.211 m$$

$H = 0.5m$ 時水力半徑

$$R_{H=0.5m} = \frac{1 \times 0.5 + 1 \times 0.5^2}{2\sqrt{1+1^2} \times 0.5 + 1} = 0.311 m$$

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

$$\text{流量 } Q = AV$$

表 3.5.3 梯型斷面砌石溝之水力半徑、流速與流量表

S ₀	R(m)	V(m/s)	Q(cms)	R(m)	V(m/s)	Q(cms)
	n=0.038			b=1m		
	H=0.3m			H=0.5m		
0.005	0.211	0.659	0.257	0.311	0.854	0.640
0.006	0.211	0.722	0.282	0.311	0.935	0.701
0.007	0.211	0.780	0.304	0.311	1.010	0.757
0.008	0.211	0.834	0.325	0.311	1.080	0.810
0.009	0.211	0.885	0.345	0.311	1.145	0.859
0.010	0.211	0.933	0.364	0.311	1.207	0.905
0.015	0.211	1.142	0.445	0.311	1.478	1.109
0.020	0.211	1.319	0.514	0.311	1.707	1.280
0.025	0.211	1.475	0.575	0.311	1.909	1.431
0.030	0.211	1.615	0.630	0.311	2.091	1.568
0.035	0.211	1.745	0.680	0.311	2.258	1.694
0.040	0.211	1.865	0.727	0.311	2.414	1.811
0.045	0.211	1.978	0.772	0.311	2.561	1.920
0.050	0.211	2.085	0.813	0.311	2.699	2.024
0.060	0.211	2.284	0.891	0.311	2.957	2.218
0.070	0.211	2.468	0.962	0.311	3.194	2.395
0.080	0.211	2.638	1.029	0.311	3.414	2.561
0.090	0.211	2.798	1.091	0.311	3.621	2.716
0.100	0.211	2.949	1.150	0.311	3.817	2.863
0.150	0.211	3.612	1.409	0.311	4.675	3.506
0.200	0.211	4.171	1.627	0.311	5.398	4.049
0.250	0.211	4.663	1.819	0.311	6.035	4.527
0.300	0.211	5.108	1.992	0.311	6.612	4.959

砌石溝最大安全流速：乾砌石 1.8m/s 混凝土砌石 6.1m/s

討論：

經由實際水理分析，針對不同假設討論於下：

(1) 當設計水位高 $H = 0.3m$ 時，若縱向坡坡度 $S_0 = 4\%$ ，溝

流速將超過乾砌石溝容許流速 $1.8m/sec$ ，此時若無法加大斷面則必須採用混凝土砌石或在溝底置入大塊石增加水道之不規則程度及障礙以增加曼寧粗糙係數減低流速。

- (2) 若設計水位高 $H = 0.5m$ ，縱向坡坡度 $S_0 = 0.1$ 時，溝流速為 $3.817 m/sec$ ，已超過乾砌石溝之容許流速 $1.8m/sec$ ，必需使用混凝土砌石溝，又河床中央若要加拋石以減低流速，則拋石粒徑 D 計算如下：

$$D_{Min} = \frac{V^2}{2 \times I_D^2 \times g \times \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right)}$$

$$= \frac{3.817^2}{2 \times 1^2 \times 9.8 \times \frac{2.2 - 1}{1}} = 0.787m$$

$$\text{縱向坡角角度 } \theta = \tan^{-1}(0.1) = 5.71^\circ$$

$$K = \frac{1}{\cos 5.71^\circ \sqrt{1 - \frac{\tan^2 5.71^\circ}{\tan^2 38^\circ}}} = 1.01$$

$$D = KD_{Min} = 0.795m$$

- (3) 若經由水文分析，集水區之排水流量 $Q = 1.0m^3/sec$ ，溝之縱向坡度 $S_0 = 2\%$ ，由表 3.5.3 觀察可選用乾砌石溝，設計水位高 $H = 0.5m$ 。

3.5.7 設施之管理：

1. 砌石溝應該檢視其坡面的完整度、植生狀況、土壤穩定、積水與沉澱的情況。
2. 砌石溝的排水口應該施行出口保護，以避免侵蝕。
3. 建構第一年的前幾個月應該多做幾次檢視，並需定期

修剪斷面兩邊之雜草及清理河床雜物。

4. 不定時舉辦淨川活動，並鼓勵居民積極參與。

3.6 入滲溝

3.6.1 目的：

入滲溝是一佈滿碎石以增加地下水庫容納洪水量，為設於地面的溝渠，藉由入滲減少雨量之逕流體積與洪峰流量。入滲之雨水並可補助地下水源，使河川維持在平時的水流量，過濾水中沉質，移除逕流中的可溶性沉渣等功能，逕流從入滲溝底部入滲後會逐層向下流動終至地下水面。

3.6.2 材料：

內部填充礫石，底部為天然土壤，周邊配合植草植被，以建構一生態入滲區域可增加污染物之去除，位於入滲溝上方之散流裝置，得採用石塊、木樁等材料。入滲設施的所在地的土壤必須具有良好的透水性。

在開挖入滲溝時可應用輕型推土設備。使用重型機械會壓密土壤而減低入滲溝蓄容力。當開挖深度超過 1.5 公尺且有崩塌之虞時應選用適當擋土支撐，如鋼板或木材製成之擋土板，擋土裝置應架設於管溝兩側，擋土裝置之組裝方式可於作業區內以人工組裝或在工廠組裝完成後直接以吊車吊放至作業區，擋土設施可重複組裝、拆卸或移動。

3.6.3 位置：

1. 對於一般住宅區選擇利用入滲溝可達到創造景觀之多樣性。
2. 施工完成並且現地已完全穩定之地區，規劃入滲溝前，土壤、岩床深度、地下水位深度必須經過調查。
3. 入滲溝場址必須事先經過審慎評估，土壤應該具有至

少 1.25cm/hr 的滲透係數(滲透率)，最高不應超過 6cm/hr 。

4. 入滲池的底部與地下水位的距離至少需超過 0.8 公尺，與岩盤距離至少需超過 1.5 公尺以上。
5. 距離任何化糞系統最少為 30 公尺，距離私人井最少為 30 公尺，距離任何建築基地最少為 5 公尺。
6. 避開坡度 $S \geq 25\%$ 以上的地區，以免入滲造成土石崩塌；山坡地之入滲溝深度不移太深且入滲設施應避免設於填土區，以免入滲造成土壤飽和而致邊坡不穩。
7. 補助流域邊坡之坡度 S ，一般不超過 5% 為宜。

3.6.4 應用：

1. 適合緩坡、土壤具可滲透性和集水面積較小的地區。
2. 入滲溝亦可施用於停車場、屋頂區域與小型居住地區之逕流，而其通常假設水質未受污染
3. 入滲溝一旦阻塞後即難修復，入滲溝在建置前應該要有前處理(指水質入口、集水深坑、草溝或沉殿前池等)。
4. 在考慮入滲時應該避免水源具有污染潛質的地方，若地下水資源仍然提供飲用水區域，則入滲溝應該只能接受未受污染的屋頂逕流。
5. 溝之周圍種植草皮，可防止土壤沖刷進入溝內；設置前處理設施可延長入滲溝的使用壽命。
6. 欲具備有效率的入滲與減少污染物負載的方法可將污染與未受污染的逕流分離。未受污染的逕流可以直接入滲，受到污染的逕流區域(如道路、停車場等)，則

需經由前處理後，再流入入滲溝。

7. 入滲溝在上游能夠減少逕流量，在下游則能改善水質，因此能減少下游施作最佳管理設施的空間與成本。

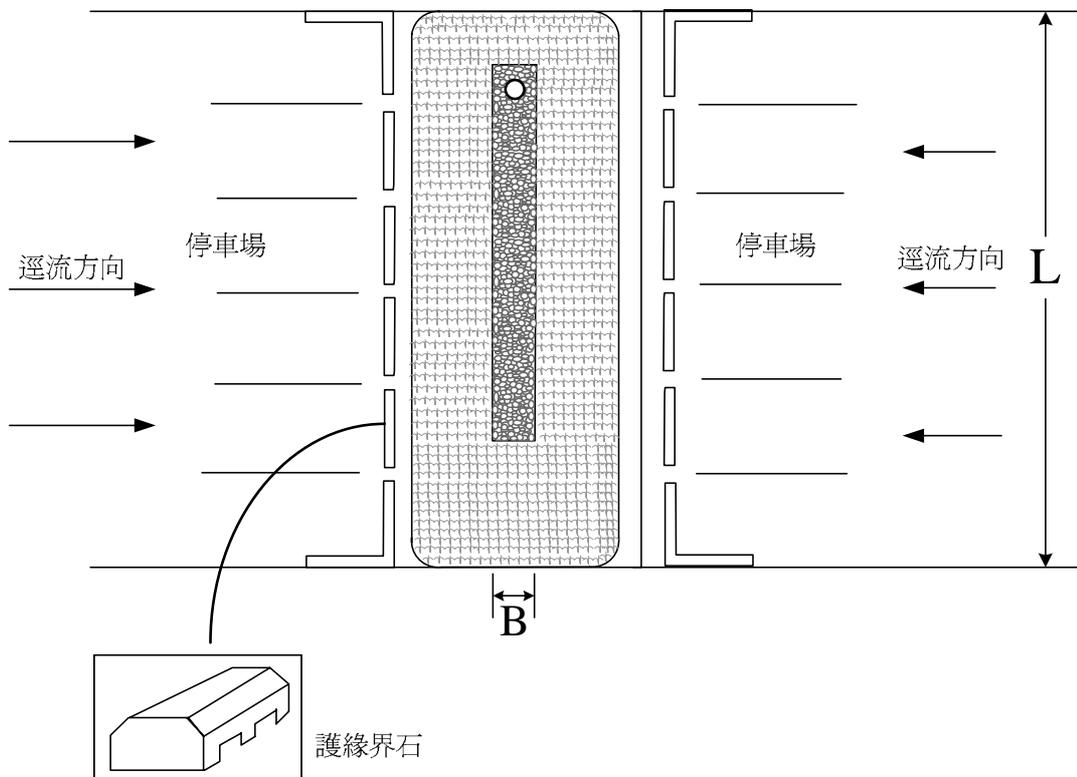
3.6.5 缺點：

1. 容易因為場址設置、設計、建造與維護不當而損壞。
2. 依據土壤特性與含水層的敏感度不同，會有汙染地下水之虞。
3. 入滲溝並不能用來移除粗顆粒沉滓，容易因為沉澱而減低功能。
4. 入滲溝一旦阻塞後即難修復，故前處理是入滲排水設施必須具備的條件。
5. 需要經常維護。

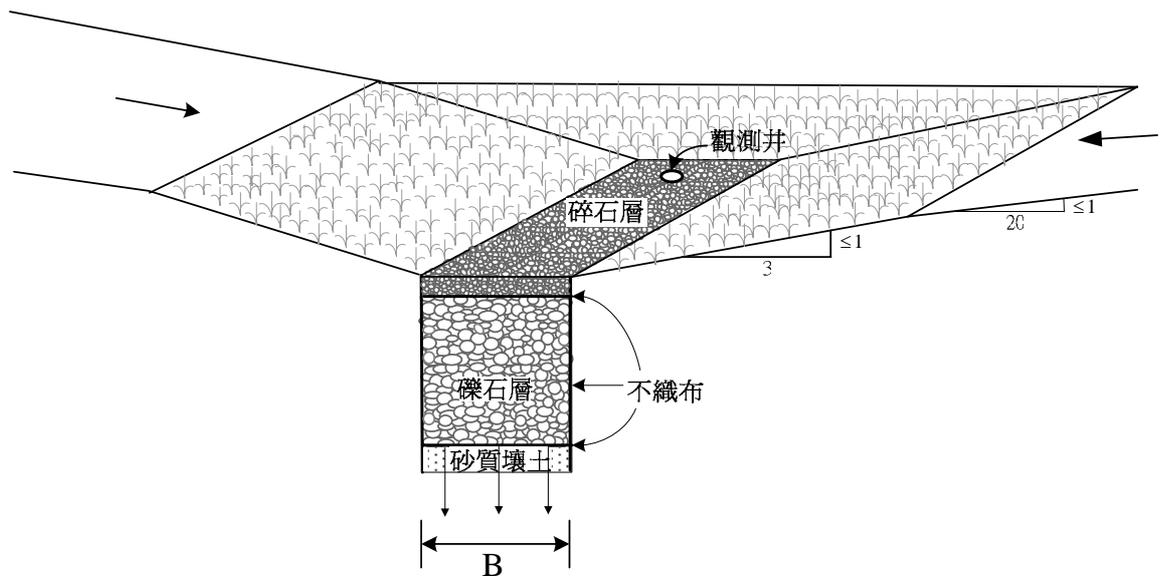
3.6.6 設計：

1. 入滲溝之規劃設計原則：
 - (1) 入滲溝集水區面積以不超過 2 公頃為原則。
 - (2) 入滲溝應設置觀測井或設置 10 到 15cm 直徑的豎管（觀測井），以便量測儲水及排水狀況，以了解入滲效率及觀察是否符合設計之要求，豎管頂部需加蓋以防止雜物進入管內。
 - (3) 入滲溝之深度通常為 1 至 3 公尺，寬度以不超過 7.5 公尺為宜。
 - (4) 入滲溝的旁側應該排設不織布，其材質應該選擇與周圍土質相襯的材料。

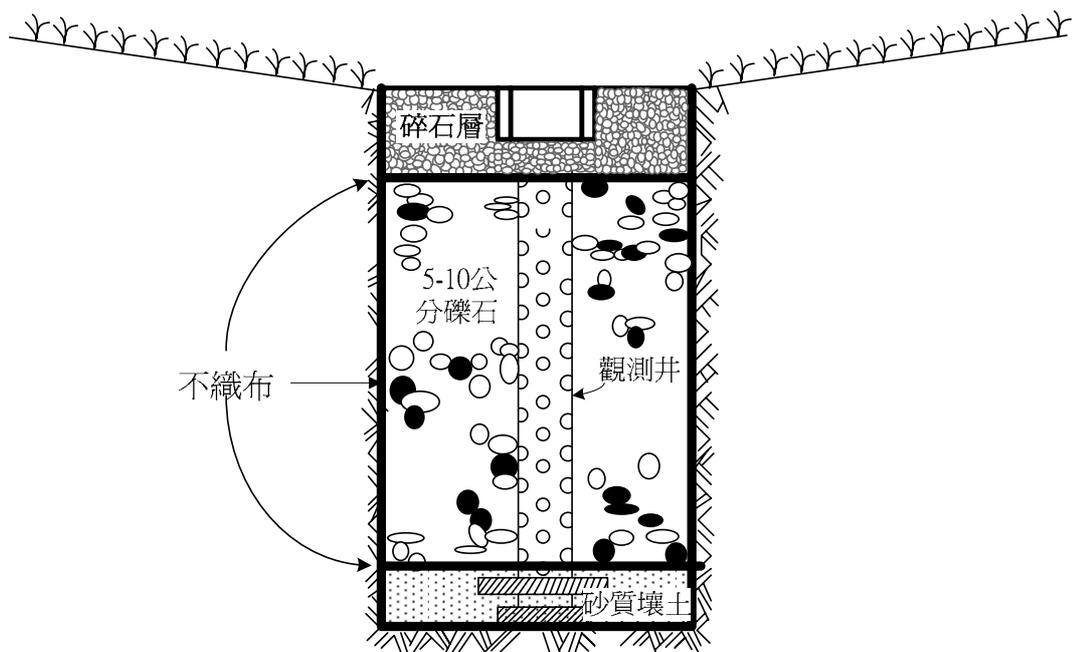
- (5) 入滲溝距表面 30cm 處鋪設一層不織布，其上鋪設碎石，中間為礫石層，底部應使用 15~30cm 厚的乾淨砂土覆蓋。
- (6) 入滲溝的深度應該設計總逕流體積在 72 小時能夠完全排除，並至少有 24 小時的滯留時間。
- (7) 入滲溝應該以清洗過的石頭填充，其直徑大約 3.8~7.5cm，並應該稍微壓實。
- (8) 入滲溝在其周圍應設置植草濾帶，植草濾帶寬度至少 6m。
- (9) 土壤入滲率為入滲設施最重要之設計參數，因此現場入滲率應做保守估計，加入安全係數，以確保截流之逕流可完全下滲，不致於排放至下游。



平面圖



透視圖



斷面圖

圖 3.6.1 停車場之入滲溝規劃圖

2. 入滲溝容量之設計依據：

(1) 入滲溝的體積與儲水體積關係

$$V_{IT} = V / n$$

其中， V_{IT} ：入滲溝體積， m^3 。

V ：貯水體積， m^3 （可取 $V=WQ_v$ ）。

n ：填充礫石之孔隙率（ $n=0.3\sim 0.35$ ）。

(2) 入滲溝的面積計算公式

入滲溝最大設計深度 [Standards and Specification for Infiltration Practices 1984]

$$h_{max} = kT/n$$

式中，

k ：土壤滲透係數， m/hr 。

T ：入滲之滯留時間（ $T=24\sim 48hr$ ）。

Georgia Stormwater Management (2003)

$$A_{IT} = \frac{V_{WQ}}{nh + kT'}$$

CASQA (2003)

$$A_{IT} = \frac{V_{WQ} + R_{FV}}{h}$$

$$R_{FV} = (1-n) \times A_{IT} \times h$$

式中，

A_{IT} ：入滲溝底部之面積， m^2 。

k ：土壤滲透係數， m/hr 。

h ：入滲溝深度， m 。

T' ：降雨填滿設施所需時間（實用上取 $T'=2hr$ ）。

R_{FV} ：填充礫石體積， m^3 。

(3) 水質體積(Water Quality Volume)

(a) 一般算法：即滯留池淨化污染物所需之體積需達到年平均逕流雨量深度 90%之雨量，水質體積 WQ_V 計算如下式。

$$V_{WQ} = P_{Dep} \times R_V \times A_i$$

$$R_V = 0.05 + 0.9 \times \frac{A_{Im}}{A_i} ; \frac{A_{Im}}{A_i} \geq 0.15$$

式中，

P_{Dep} 為逕流雨量深度，定義 $P_{Dep} = 25mm$ (0.025 公尺)。

A_{Im} 為不透水面積(平方公尺)

A_i 為集水區面積(平方公尺)。

(b) 簡易算法

$$V_{WQ} = 12.5mm \times A_i$$

每公頃之集水面積所需水質體積 $V_{WQ} = 125m^3$ 。

表 3.6.1 各種土壤之滲透係數與透水性比較

試體種類	滲透係數 $k(cm/sec)$	透水性
砂土層	$10^{-1} \sim 10^{-4}$	佳
粉土層	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	中等
黏土層	10^{-6} 以下	差
步道用磚鋪面且基層鋪砂、級配等 (下方土壤為粉土層)	1.6×10^{-4}	佳
混凝土打底之各類鋪面(下方土壤為粉土層)	10^{-12} 以下	差

資料來源：內政部建築研究所。

3. 實例說明：集水區面積 1.6 公頃，設計取用之入滲溝

底部土壤平均滲透係數 $2cm/hr$ ，填充礫石之孔隙率

$n = 0.35$ ，逕流量之滯留時間設計 $T = 40hr$ ，入滲溝寬度

$B = 7.5m$ ，試設計此入滲溝。

未提供不透水面積，採用簡易算法求水質體積

$$V_{wQ} = 12.5 \times 10^{-3} \times 1.6 \times 10^4 = 200 \text{ m}^3$$

土壤滲透係數 $k = 2cm/hr = 0.02m/hr$

入滲溝容許最大深度

$$h_{max} = 0.02 \times 40 / 0.35 = 2.28m$$

取 $h = 2 \text{ m} < h_{max}$

填充礫石體積 $R_{FV} = (1-n) \times A_{IT} \times h$

Georgia Storm Water Management (2003)

$$A_{IT} = \frac{V_{wQ}}{nh + kT}$$
$$= \frac{200}{0.35 \times 2 + 0.02 \times 2} = 270.3 \text{ m}^2$$

入滲溝寬度 $B = 7.5m$ ；入滲溝長度 $L = 270.3 / 7.5 = 36 \text{ m}$

CASQA (2003)

$$A_{IT} = \frac{V_{wQ} + R_{FV}}{h}$$
$$= \frac{200 + (1-0.35) \times A_{IT} \times 2}{2}$$

$$A_{IT} = 285.7 \text{ m}^2$$

入滲溝寬度 $B = 7.5m$ ；入滲溝長度 $L = 285.7 / 7.5 = 38.3 \text{ m}$

3.6.7 設施之管理：

1. 欲使入滲溝發揮正常功能，維護作業必需依項目逐一劃分使用者、維護者與檢查者，並訂定維護計畫。
2. 入滲溝容易因為阻塞而損壞，因此至少要一年檢查兩次並定時記錄觀測井的水位已確認入滲溝的排水功能。
3. 前處理 BMP 應該每半年檢視一次，入出口處水質管理應該在每次定期檢視時移除殘枝落葉以及累積沉澱物，在情況允許下可以增加其檢視頻率。
4. 當積水發生在入滲溝上部時，表土、表層土壤與濾布應該移除並重新置換。
5. 經由觀測井觀察，若入滲溝積水超過 24 小時或數日後，代表入滲溝底部已受阻塞。
6. 入滲溝底部發生積水現象時，石頭需重新清洗，所有的濾布或其他介質應該移除，沉積沉澱物應該從入滲溝底部移除。重新排列前，入滲溝底部應該割劃或翻鋤以利入滲。

3.7 沉砂設施

3.7.1 目的：

為攔截移除因暴雨所挾帶下來的土石流、泥砂及污染物，減少土石下移、保護下游土地房舍及公共設施，應設置沉砂池等沉砂設施。

3.7.2 材料：

臨時性沉砂池以就地取材(施作簡易、方便清除)，永久性沉砂池之池壁以穩定之材料構築。

3.7.3 位置：

場址準則

1. 需配合適當的設計特徵使其容易維護。
2. 需能提供適合頻繁的清潔和檢查之地點。
3. 入水口選擇擾動較小區域，必要時使用水管、水溝、臨時渠道引導擾動區雨水至沉沙池。
4. 沉砂設施的規劃須能將被囚住沈積物和碳氫化合物完全從沉砂設施中清除和處理。

3.7.4 應用：

前置沉砂池(sediments forebay)主要運用溼式滯流池的概念進行初步除污，沉砂設施並可與滯留池、沙濾池、人造(洪水)濕地等其他最佳管理作業(BMP)配合及銜接應用，以達到較好的污染去除效果。

3.7.5 缺點：

1. 對於含油汙的淤砂不易移除及可溶解的污染物無法移除。

2. 比一般的水質控制入口或聚水坑需求更大的空間。
3. 需要頻繁的維護工作。

3.7.6 設計：

1. 沉砂設施之規劃設計原則如下：

- (1) 沉砂池深度以 1.5 公尺至 3.5 公尺為宜[水土保持技術規範第 93 條]，臨時沉砂池深度以 1.0 公尺至 1.8 公尺為宜，沉泥淤砂儲存深度約 0.3 公尺。
- (2) 工作安全上的考量，沉砂設施頂部邊坡約 1：2(水平：垂直)，底部潮溼帶邊坡及四周植生帶以不超過 3：1(水平：垂直)為宜。
- (3) 排水設施之出口有落差或沖蝕之虞者，應設置消能設施[水土保持技術規範第 162 條]。
- (4) 入、出水口使用碎石堆等護坦。
- (5) 沉砂設施須配合適當的設計特徵使其容易維護，若有機械設備用來移除淤砂，要適當規劃設計使其容易進出。
- (6) 渠道斷面之形狀規劃及沉砂設施出口的流速控制須防止至少兩年的尖峰流量的沖蝕。
- (7) 考慮由於在較長的風暴事件期間，突然增加的沈積物負載所造成的在懸浮泥砂。

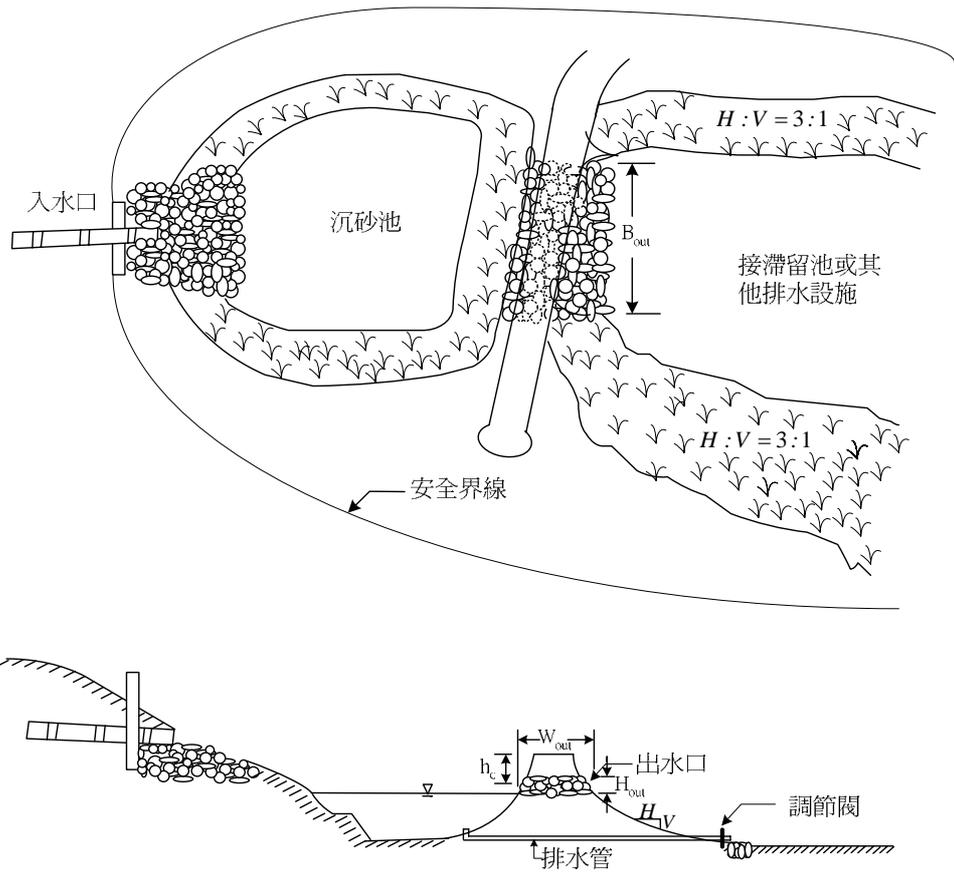


圖 3.7.1 沉砂設施(一)

(8) 沉砂設施(一)出水口之礫石堆厚度 W_{out} 必需能承受水位達到堤防頂部之水壓力且礫石粒徑 D_{min} 需滿足乾砌石或拋石之粒徑要求。

出水口之礫石堆厚度 W_{out} :

$$W_{out} \geq \frac{\gamma_w h_c}{\mu \gamma_s}$$

抵抗流水拖曳力作用不產生移動之最小粒徑 D_{Min} :

水位達到堤防頂部時出水口之水流速

$$V = \sqrt{2gh_c}$$

出水口之礫石粒徑要求，依保守設計將其視為單粒塊石不受水流拖曳力作用而發生移動之最小粒徑

D_{Min} 為：

$$D_{Min} = \frac{V^2}{2 \times I_D^2 \times g \times \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right)}$$

μ : 摩擦係數，取 $\mu = \tan(30^\circ)$ 。

V : 流速。

I_D : 亂流之影響係數，介於 1.2 與 0.86 之間，亂流愈大所取係數 I_D 值愈小，一般取 $I_D = 1.0$ 。

g : 重力加速度 ($=9.81 \text{ m/sec}^2$)。

γ_s : 石材單位體積重 ($1.7 \sim 2.9 \text{ t/m}^3$)。

γ_w : 水單位體積重 (1.0 t/m^3)。

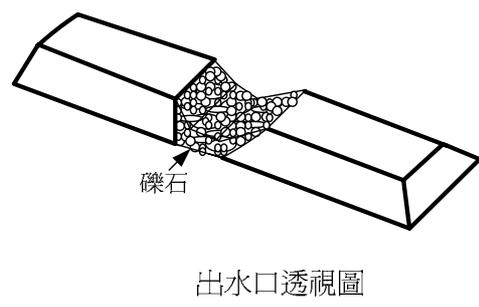
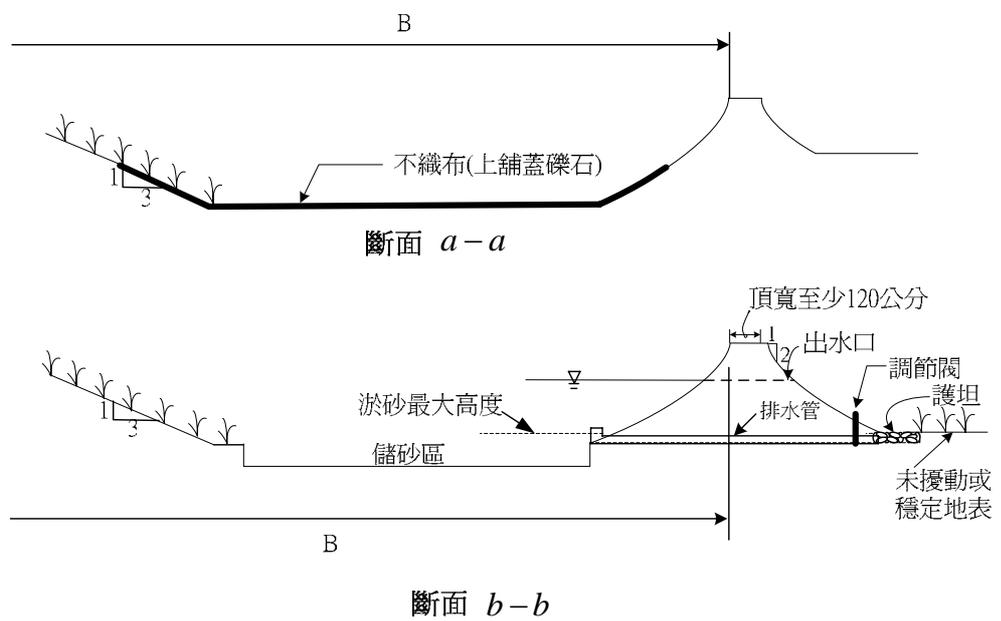
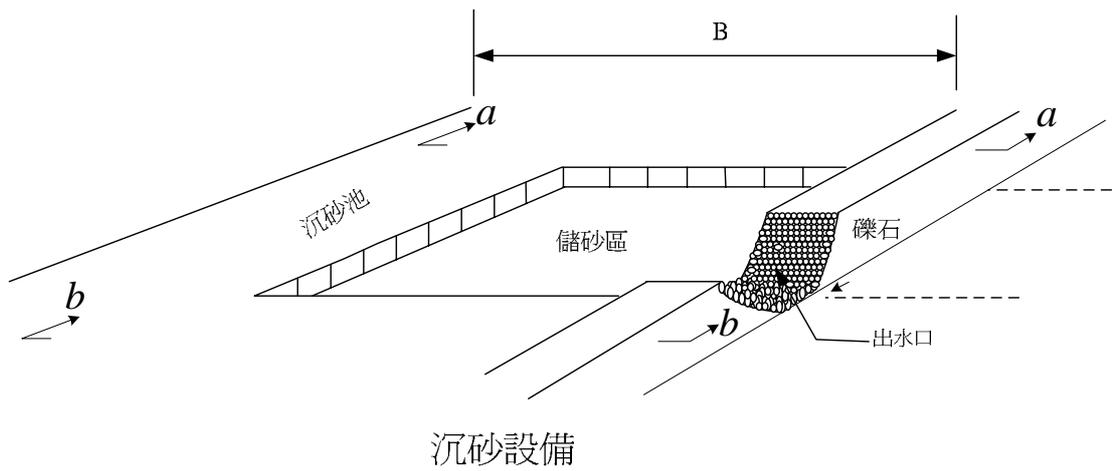


圖 3.7.2 沉砂設施(二)

(9) 護坦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[水土保持施工規範

第 121 條]：

表 3.7.1 護坦材料與厚度表

壩高(公尺)	護坦材料	護坦厚度(公尺)
< 2	混凝土	0.2
2~3	混凝土	0.2~0.3
3~5	混凝土	0.3~0.5
< 2	拋石或排塊石 (ϕ 30 cm)	>0.3

出水(溢流)口水流如具有斜坡，則可經由曼寧公式計算流速 V 再經由以下公式求等值壩高，決定護坦厚度。

$$h_e = \frac{V^2}{2g}$$

- (10) 滯洪沉砂池底部考慮環保要求應有入滲或緩慢排放積水功能，以免孳生蚊蟲，招致登革熱。

2. 沉砂池容量之設計依據：

- (1) 沉砂池設計容量需符合下列規定[水土保持技術規範第 92 條]：

(a) 臨時性沉砂設施之泥砂生產量估算，依通用土壤流失公式估算值之二分之一。但開挖整地部分，每公頃不得小於二百五十立方公尺；未開挖整地或完成水土保持處理部分，每公頃不得小於十五立方公尺。

(b) 永久性沉砂設施之泥砂生產量估算，完成水土保持處理或未開挖整地部分，每公頃不得小於三十立方公尺。

- (2) 通用土壤流失公式估算：

- (a) 沉砂池容量以泥砂生產量 1.5 倍計算。
- (b) 泥砂生產量之估算，採用通用土壤流失公式 (Universal Soil Loss Equation USLE) 估算之。

一、萬用土壤流失公式如下 [水土保持技術規範 第 35 條]。

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

式中, A_m : 土壤流失量(公噸/公頃/年); 換算成體積以每立方公尺 1.4 公噸計之,
 R_m : 降雨沖蝕指數(百萬焦耳·公釐/公頃·小時·年),
 K_m : 土壤沖蝕指數(公噸·公頃·年/公頃·百萬焦耳·公釐),
 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。

估算台灣山坡地年土壤流失量之各項參數，應使用台灣各地區之參數值。

二、開挖整地土壤流失量推估，其覆蓋與管理因子不得小於 0.05，水土保持處理因子不得小於 0.5。

(3) 沉砂池容量：

- (a) 臨時性沉砂池容量：由於臨時性沉砂設施之泥砂生產量估算，依通用土壤流失公式估算值之二分之一，另沉砂池容量以泥砂生產量 1.5 倍計算，若流失土壤平均密度為 1.4 噸/立方公尺，則沉砂池之設計容量：

$$V_{Sand} = 1.5 \times 0.5 \times W_{Soil} / 1.4 \quad (\text{立方公尺/公頃})$$

(b) 永久性沉砂池容量：

- (a) 沉砂設施設計，不透水範圍須滿足 0.1~0.25 英吋/英畝的逕流面積，相當於每公

頃之不透水面積需有 25~62.5 立方公尺之沉砂設施體積對應 [Storm Water Management, DCR minimum standard 3.04]。

(b) 假設淨化污染物所需水質體積 WQ_v 需達到年平均逕流雨量深度 90% 之雨量，則沉砂設施所需最小體積為 $0.1WQ_v$ [2004 Connecticut Stormwater Quality Manual]。

其中水質體積 WQ_v 計算如下：

$$V_{WQ} = P_{Dep} \times R_v \times A_i$$

$$R_v = 0.05 + 0.9 \times \frac{A_{im}}{A_i} ; \frac{A_{im}}{A_i} \geq 0.15$$

式中，

P_{Dep} 為平均逕流雨量深度，定義 $P_{Dep} = 25mm$ 。

A_{im} 為不透水面積(平方公尺)。

A_i 為集水區面積(平方公尺)。

3. 實例說明：某山坡地集水區面積為 5.0 公頃，開發後不透水面積為 3.0 公頃，試設計永久性沉砂池所需體積。

(1) 水土保持技術規範：永久性沉砂設施之泥砂生產量估算，對於完成水土保持處理或未開挖整地部分，每公頃不得小於三十立方公尺，且沉砂池容量以泥砂生產量 1.5 倍計算。

$$V_{Sand} = 1.5 \times 5 \times 30 = 225 \text{ 立方公尺} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(2) [Storm Water Management, DCR minimum standard 3.04]：每公頃之不透水面積所對應之沉砂設施體積最小為 25 立方公尺，則該集水區所需沉砂池最小體積。

$$V_{Sand} = 3 \times 25 = 75 \text{ 立方公尺} \dots\dots\dots (2)$$

(3) 2004 Connecticut Stormwater Quality Manual 水質體積 V_{wQ} 計算如下：

$$\frac{A_m}{A_i} = \frac{3}{5} = 0.6 \geq 0.15 \quad \text{ok!}$$

$$R_v = 0.05 + 0.9 \times 0.6 = 0.59$$

$$V_{wQ} = 0.025 \times 0.59 \times 50000$$

$$= 737.5$$

沉砂池所需最小體積為

$$V_{Sand} = 0.1 V_{wQ} = 73.8 \text{ 立方公尺} \dots\dots\dots (3)$$

3.7.7 設施之管理：

1. 沉砂池宜規劃清淤道路，以利機械直接清除及搬運作業。
2. 永久性沉砂池至少每年清除一次，臨時性沉砂池應於每次暴雨後立即清除[水土保持技術規範第 165 條]。
3. 沉砂設施應適當維修使其運作正常，維修計畫須標明所有人、維修權責單位和檢查維修時程表等項目。

3.8 濕式滯洪池

3.8.1 目的：

濕式滯洪池為一常年保持固定容積之水在池內，且具有蓄洪機制的水池。當將雨水引至水池，在停留時能夠使固體沉滓物產生沉澱，部分污染物被分解，而產生淨化作用，同時降低洪峰，減少雨水逕流污染目的，甚至將景觀、垂釣和休閒等功能考慮進去而成為多目標滯洪池。對於不適合使用常年積水之濕式滯洪池或人工濕地時，宜採用乾式滯洪池。

功用：

1. 減緩洪峰之最大流量及下游之侵蝕沖刷。
2. 移除逕流中的懸浮污染物。
3. 濕式滯洪池可提供野生動物生長、棲息及繁衍場所。

3.8.2 材料：

滯洪池應盡量利用當地天然材質做為滯洪池鋪設材料，如紅土表層、黏土、卵石塊等。濕式滯洪必要時可於池底鋪設皂土板防水層或塑膠襯墊等，來減緩池水下降的速度。

基地範圍內於整地及開挖完成後，須於整地完成即進行噴植草種，道路兩側及中央分隔島、公園及邊界綠地則配合開發進度種植灌喬木。植栽計畫儘量使用台灣的原生鄉土植物，除了可以確保植栽植物順利生長外，同時可以強調當地農業人文特色。

3.8.3 位置：

場址準則

1. 每個滯洪池至少需要 4 公頃的流域補助面積，但不超

過 259 公頃，若有充足的地下水源補充則亦具有發展條件。

2. 土壤條件、岩床深度與地下水面深度都必須事先調查，排水良好的土壤在建構滯洪池時必須有襯裡的設計。
3. 具備一深度夠深且恆水位的水池，淺區沼澤以及沉降前池亦可列入設計考量。
4. 依照滯留流域的大小，滯洪池可以利用建築堤壩或是挖掘小窪池的方式設置。
5. 乾季時基流與流域補助容易，可以與景觀設計做綜合規劃之地點。
6. 設置濕式滯洪池時，必需與化糞池最少保持 7.5 公尺、與化糞池過濾系統最少保持 15 公尺及距離所有權界線最少保持 3 公尺等。但對於不同土質、坡度或特殊狀況，以上參考數據得作適度修正。
7. 濕式滯洪池的出口不應該直接排入濕地資源區域以免造成其沖蝕。

3.8.4 應用：

濕式滯洪池能應用在居住地、商業與工業廠址。濕式滯洪池本身具備分解、移除可溶性污染物，因此適用於可能產生高營養負載的地方。

設計濕式滯洪池時必須事先調查土壤、岩床深度，與水位高度等。在岩床不深的地帶，挖掘太深的滯洪池勢必是不可行的方案，如果設置場地的土壤排水性太強，則不適用於建造一個具有常水位的濕式滯洪池。如果土壤具有可滲透性，

在旱季時可能會造成池水水位嚴重下降。在這樣的情形下可利用在池底鋪上襯裡（liner）或壓實滯洪池的土壤來減緩池水下降的速度。其中對於鋪設襯裡的方法有：

1. 增加約 15 公分厚的黏土。
2. 鋪設皂土板防水層
3. 於池底鋪上塑膠襯墊。

3.8.5 缺點：

1. 佔用基地面積，不適用於高度都市化地區。
2. 不可設置於坡地、填土區或地層不穩場所。
3. 濕式有蚊蟲孳生、池水厭氧及優養化問題之顧慮。
4. 不適合使用常年積水之濕式滯洪池或人工濕地時，宜採用乾式滯洪池。
5. 需考慮安全以及周圍環境清潔維護問題。

3.8.6 設計：

1. 滯洪設施之規劃設計原則如下：

- (1) 基地開發後之出流洪峰流量應小於入流洪峰流量百分之八十，並不得大於開發前之洪峰流量。且不應超過下游排水系統之容許排洪量。
- (2) 滯洪設施之最大洪峰流量之水理計算，得使用合理化公式估算之。其入流歷線至少採重現期距五十年以上之洪水，出流歷線則為重現期距二十五年以下之洪水。滯洪設施對外排放之洪峰流量，不得超過

開發前之洪峰流量[水土保持技術規範第 95 條]。

- (3) 懸浮性沉澱對於水深小於 0.8 公尺的滯洪池會有懸浮的問題；對水深大於 2.5 公尺則會造成水體缺氧的現象。另由沉澱物之沉降速率的研究與模擬顯示，較淺的滯留池具有較大的固體移除率，故滯留池的設計深度以 0.9~2.4 公尺為宜。
- (4) 滯留池水深的深淺變化與池畔水位震盪對於植生的生長與生存是必要的要件。植生應位於池水的正常高度之上，濕潤帶應最少為 3 公尺寬並維持 30~50 公分的正常水深以提供水生植物的生長條件。
- (5) 滯洪池的池面表面積最小應為 1000 平方公尺，相對於加深滯洪池深度，濕式滯洪池的效益會隨著表面積增加而加強，然而亦會導致水溫上升並增加蒸發散的逸失量。
- (6) 沉澱作用是一般滯留池去除污染物最主要之因素，對滯留區域而言，設計沉澱前池的功用在於逕流進入主池前，將沉澱擱置。固定時間移除沉澱前池的沉澱比起清除主池要來的簡便並且便宜。沉澱前池亦應考慮維護

上的方便性，如設計上允許機械操作會增加清除沉滓的方便性。

- (7) 增加滯留時間可以加強污染物之移除能力，故入流口與出流口在設計時應距離愈遠愈好，故建議滯留池的長度與寬度比例為 3：1。
- (8) 當注入管高於水面時，會沖蝕壩體與邊坡，故進水口應該儘量設置在恆水面下，且應該設計有緩坡、小卵石隔板或亂石堆之類以減緩水流流速的緩衝構造。
- (9) 緩坡能在暴雨發生時避免邊坡沖蝕，並有助於例行維護作業（比如割草），在工作安全上的考量滯洪池坡度以低於 1：2（水平：垂直）之緩坡為宜；此外，基於斜坡應該維持穩定，在潮濕帶到池底部分坡度應該小於 3：1（水平：垂直）。
- (10) 回流管應該設計在排水處且位於恆久正常水位下方 0.5 公尺處。
- (11) 滯洪池底部設置之出水管與出水管出口處都應設置可調節閘，這些調節閘在必要時可以調節滯留時間。
- (12) 堤壩與溢洪道的設計應該符合壩體安全標準，所有濕式滯洪池皆須設置緊急溢洪道，以在大暴雨發

生時提供分流管道，避免破壞蓄水結構。

- (13) 臨時性滯洪及沉砂設施。由於開發期間部份地表裸露，施工期間暴雨量和土壤沖蝕量勢必較開發前和開發後為大，故施工期間對滯洪池和沉砂池之需求量體亦較永久性。設施所需之容積為大。

2. 滯洪設施之水理計算如下：

- (1) 滯洪量：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[水土保持技術規範第 96 條]：

$$V_{s1} = \frac{T_b}{2}(Q_{2,inp} - Q_{1,out})$$

$$V_{s2} = \frac{T_b}{2}(Q_{3,inp} - Q_{1,out})$$

式中， V_{s1} = 臨時性滯洪池容積(立方公尺)。

V_{s2} = 永久性滯洪池容積(立方公尺)。

$Q_{1,out}$ = 為開發前 25 年發生一次之尖峰出流量(立方公尺/秒)。

$Q_{2,inp}$ = 為開發中 50 年發生一次之尖峰入流量(立方公尺/秒)。

$Q_{3,inp}$ = 為開發後 50 年發生一次之尖峰入流量(立方公尺/秒)。

T_b = 入流量歷線之延時(秒)，基於安全考量，設計基期 T_b 取兩倍集流時間，至少應採 1 小時以上之設計(不足 1 小時者以 1 小時計算)。

(2) 滯洪設施之設計蓄洪量：設計蓄洪量 V_{sd} (立方公尺)

其規定如下 [水土保持技術規範第 96 條]：

永久性滯洪設施： $V_{sd} = 1.1V_{s2}$

臨時性滯洪設施： $V_{sd} = 1.2V_{s1}$

V_{sd} = 滯洪池設計容積 (立方公尺)。

(3) 淨化污染物所需之體積：每次降雨初期沖刷流出必須處理之雨水逕流量稱為水質體積 (Water Quality Volume, V_{wQ})，其設計方式有二：

(a) 一般法：即滯洪池淨化污染物所需之體積需達到年平均逕流雨量深度 90% 之水質體積 WQ_V 計算如下式。

$$V_{wQ} = P_{Dep} \times R_V \times A_i$$

$$R_V = 0.05 + 0.9 \times \frac{A_{im}}{A_i} ; \frac{A_{im}}{A_i} \geq 0.15$$

式中，

P_{Dep} 為逕流雨量深度，一般定義 $P_{Dep} = 25mm$ (0.025 公尺)。

R_V 為逕流係數。

A_{im} 為不透水面積 (平方公尺)。

A_i 為集水區面積 (平方公尺)。

(b) 簡易算法

$$V_{wQ} = 12.5mm \times A_i$$

每公頃之集水面積所需水質體積 $V_{wQ} = 125m^3$ 。

設計之水質體積 V_{wQ} ：

Urbanas(1992) $V_{wQ} = 0.75 V_{wQ}$

CASQA(2003) $V_{wQ} = 2V_{wQ}$

假設濕式滯洪池淨化污染物所需呆水位之體積為 V_{wQ} ，則濕式滯洪池之設計總體積

$$V_{sd,Wet} = 1.1V_{s2} + V_{wQ}$$

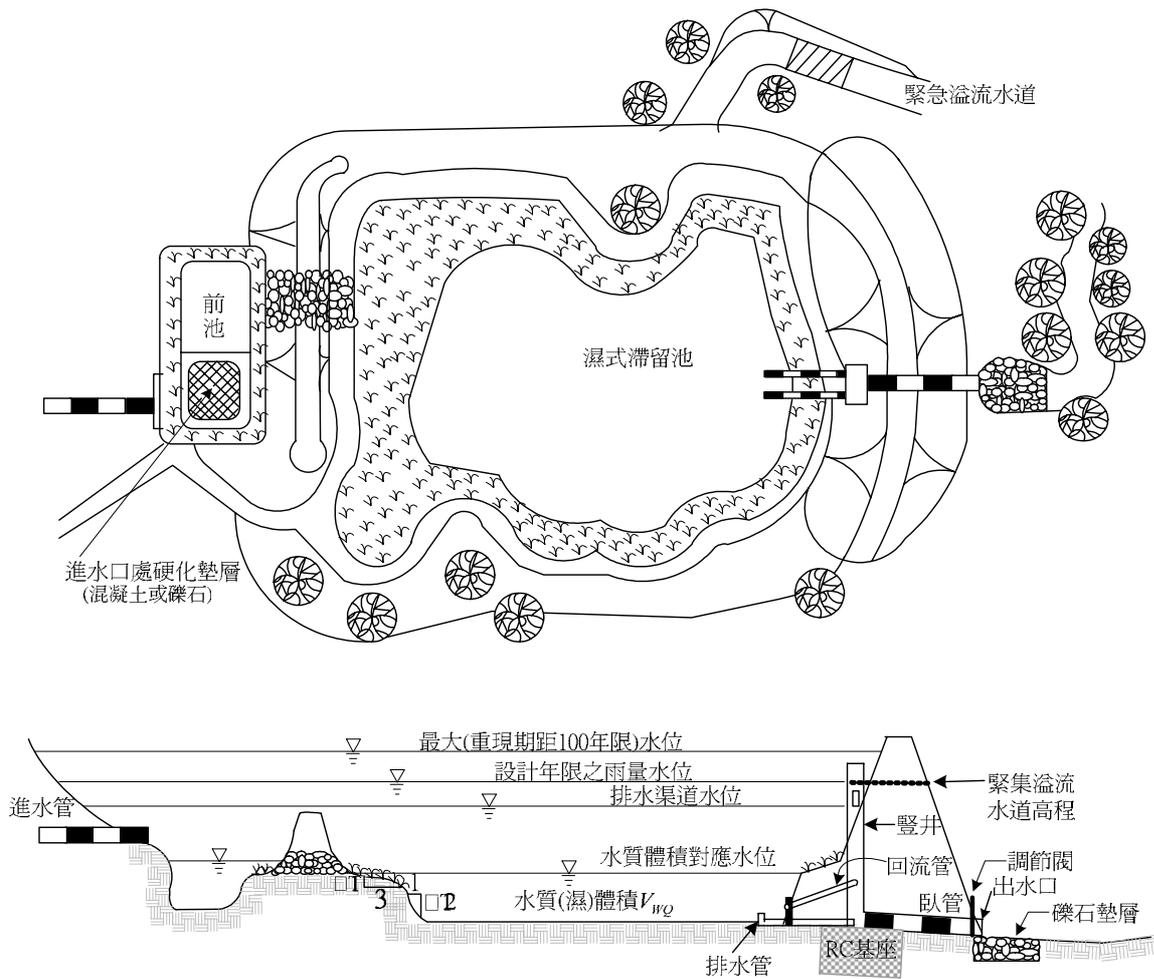


圖 3.8.1 濕式滯洪池

3. 滯洪設施之水文分析如下：

(1) 降雨強度推估 [水土保持技術規範第 16 條]：

降雨強度之推估值，不得小於下列無因次降雨強度公式之推估值：

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^C}$$

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

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

$$B = 55$$

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

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

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

式中，

T：：重現期距(年)

t：：降雨延時或集流 間(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(釐)。

A、B、C、G、H 係數。

前項之年平均降雨量，應採計畫區就近之氣象站資料。當計畫區附近無任何氣象站時，應從台灣等雨量線圖查出計畫區之年平均降雨量值。A、B、C、G、H等係數，依前述計算式分別計算之。

(2) 合理化公式：洪峰流量之估算，有實測資料時，得採用單位歷線分析；面積在一千公頃以內者，無實測資料時，得採用合理化公式(Rational Formula)

計算。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) 逕流係數：逕流係數 C 值得參考下表，但開發中之 C 值以 1.0 計算[水土保持技術規範第 18 條]

表 3.8.1 逕流係數表

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
無開發整地區之逕流係數	0.75~0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
開發整地區整地後之逕流係數	0.95	0.90	0.90	0.85	0.95~1.00

(4) 集流時間[水土保持技術規範第 19 條]：集流時間(t_c)係指逕流自集水區最遠一點到達一定地點所需時間，一般為流入時間與流下時間之和。其計算公式如下：

$$t_c = t_1 + t_2$$

$$t_1 = l/V_1$$

式中，

t_c : 集流時間

t_1 : 流入時間即雨水經地表 面由集水區邊界流至河 道所需時間

t_2 : 流下時間即雨水流經河 道由上游 水道至下游 滯留池設計地點 所需時間

l : 漫地流流動長度。

(在開發坡面不得大於一百公尺，在集水區不得大於三百公尺)

V_1 : 漫地流流速(一般採用 0.3 ~ 0.6公尺/秒)。

流下速度之估算，於人工整治後之規則河段，應根據各河斷

面、坡度、粗糙係數、洪峰流量之大小，依曼寧公式計算；

天然河段得採用下列芮哈(Rziha)經驗公式估算[水土保持

技術規範第 96 條]：

芮哈(Rziha)公式：

$$t_2 = L/V_2$$
$$V_2 = 20(H/L)^{0.6}$$

式中，

t_2 ：流下時間(秒)。

V_2 ：流下速度(公尺/秒)。

H ：溪流縱斷面高程差(公尺)。

L ：溪流長度(公尺)。

4. 實例說明：某山坡地集水區面積為 5.0 公頃，開發前非農業使用，開發後興建社區，每 100 公尺有橫向集水溝，縱向排水溝高程差為 30 公尺，集水區域縱向與橫向比值約等於 3，年平均降雨量 2126.2mm，漫地流速使用 0.5m/sec。

(1) 試設計一般濕式滯洪池之蓄洪量。

(2) 試設計一兼具防洪及淨化污染物之濕式滯洪池蓄洪量。

解：設縱向長度為 L ，則橫向長度 $B = L/3$

$$L \times B = 50000m^2$$

$$L = 387.3m$$

因每 100 公尺有橫向集水溝且有斜坡，故漫地流流動

長度 $l = 100m$

(若橫向集水溝與橫向集水溝間沒有高程差，則取漫地流流動長度 $l = 100/2 = 50m$)

集流時間：

$$t_1 = l/V_1 = 100/0.5 = 200\text{sec} = 3.33\text{min}$$

$$V_2 = 20 \times (H/L)^{0.6} = 20 \times (30/387.3)^{0.6} = 4.31\text{m/sec}$$

$$t_2 = L/V_2 = 387.3/4.31 = 89.86\text{sec} = 1.5\text{min}$$

$$t = t_1 + t_2 = 3.33 + 1.5 = 4.83\text{min}$$

保守計，取 $t = 4\text{min}$ ，求 25 年及 50 年一次無因次降雨強度為

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{2126.2}{25.29 + 0.094 \times 2126.2} \right)^2 = 89.18$$

$$A = \left(\frac{2126.2}{-189.98 + 0.31 \times 2126.2} \right)^2 = 20.538$$

$$B = 55$$

$$C = \left(\frac{2126.2}{-381.71 + 1.45 \times 2126.2} \right)^2 = 0.620$$

$$G = \left(\frac{2126.2}{42.89 + 1.33 \times 2126.2} \right)^2 = 0.549$$

$$H = \left(\frac{2126.2}{-65.33 + 1.836 \times 2126.2} \right) = 0.307$$

重現期距 $T = 25$ 年

$$I_4^{25} = 89.18 \times (0.549 + 0.307 \times \log 25) \times 20.538 / (4 + 55)^{0.620}$$

$$= 143.2$$

重現期距 $T = 50$ 年

$$I_4^{50} = 89.174 \times (0.549 + 0.307 \times \log 50) \times 20.538 / (4 + 55)^{0.620}$$

$$= 156.7$$

本例取開發前逕流係數 $C = 0.75$ ；取開發中逕流係數

$C = 1.0$ 及開發後逕流係數 $C = 0.9$

開發前 25 年發生一次之尖峰出流量：

$$Q_{1,out} = \frac{1}{360} \times 0.75 \times 143.2 \times 5.0 = 1.492 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

開發中 50 年發生一次之尖峰入流量：

$$Q_{2,inp} = \frac{1}{360} \times 1.0 \times 156.7 \times 5.0 = 2.176 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

開發後 50 年發生一次之尖峰入流量：

$$Q_{3,inp} = \frac{1}{360} \times 0.90 \times 156.7 \times 5.0 = 1.959 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

檢核基地開發後之出流洪峰流量是否小於入流洪峰流

量百分之八十。

$$0.8 Q_{3,inp} = 0.8 \times 1.959 = 1.567 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$Q_{1,out} < 0.8Q_{3,inp}$$

OK

$$\text{基期 } T_b = 2t_c = 2 \times 4.83 = 9.66 \text{ min} < 1 \text{ hr} \quad \text{取 } T_b = 1 \text{ hr} = 3600 \text{ sec}$$

(1) 求一般滯洪池之滯洪量體積：

$$V_{s1} = \frac{T_b}{2} (Q_{2,inp} - Q_{1,out}) = \frac{3600}{2} \times (2.176 - 1.492) = 1231.9 \text{ m}^3$$

$$V_{s2} = \frac{T_b}{2} (Q_{3,inp} - Q_{1,out}) = \frac{3600}{2} \times (1.959 - 1.492) = 840.6 \text{ m}^3$$

滯洪設施之設計蓄洪量：

$$\text{永久性滯洪設施： } V_{sd} = 1.1V_{s2} = 924.66 \text{ m}^3$$

$$\text{臨時性滯洪設施： } V_{sd} = 1.2V_{s1} = 1478.3 \text{ m}^3$$

(2) 淨化污染物所需滯洪池之體積：

未提供不透水面積，使用簡易算法

$$V_{sd,Wei} = 1.1V_{s2} + 0.75V_{wQ} \quad [\text{Urbonas, 1992}]$$

$$= 924.66 + 0.75 \times (0.0125 \times 50000)$$

$$= 1393.4$$

$$V_{sd,Wei} = 1.1V_{s2} + 2V_{wQ} \quad [\text{CASQA, 2003}]$$

$$= 924.66 + 2 \times (0.0125 \times 50000)$$

$$= 2174.7 \text{ m}^3$$

3.8.7 設施之管理：

1. 臨時性滯洪設施之管理：

(1) 施工中不可設置閘門控制水位，平時亦不得蓄水。

(2) 應隨時清除雜物，以維持入水口與出水口之通水面，並維護其安定性。

(3) 其階段性功能完成後，始可填平廢除。

2. 永久性滯洪設施之管理：

(1) 入水口與出水口之攔污柵應隨時檢修，清除雜物。

(2) 有安全之虞者，周圍應設置圍籬、警告標語及安全爬梯等防護設施。

(3) 滯留洪水部分，如設有閘門控制水位，其蓄水量不得列入滯洪體積。

表 3.8.2 台灣各氣象站月平均降雨量統計表

台灣各氣象站月平均降雨量統計表 單位:毫米

地名	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合計	統計期間
淡水	120.5	173.5	192.2	178.3	219.5	230.6	147.6	215.1	223.5	185.5	131.7	101.6	2119.6	1971-2000
鞍部	319.3	315.2	288.2	242.5	319.7	322.6	261.5	435	617.3	823.4	578.5	369.2	4892.4	1971-2000
台北	86.5	165.7	180	183.1	258.9	319.4	247.9	305.3	274.6	138.8	86.2	78.8	2325.2	1971-2000
竹子湖	269.3	277.3	240.3	207.8	275.3	294.7	248.3	446	588.1	837.3	521.9	320.1	4526.4	1971-2000
基隆	335.8	399	332.3	240.9	296.1	286.7	150.4	212.8	360.8	413.4	394.7	332.1	3755	1971-2000
彭佳嶼	134	168.6	179.9	166.6	203.1	200.5	106.2	188.1	186.7	131.9	144	114.8	1924.4	1971-2000
花蓮	71.9	99.9	86.6	96.1	195	219.6	177.3	260.6	344.3	367.4	170.6	67.7	2157	1971-2000
蘇澳	371.6	351.5	224.6	207.9	264.1	252.3	169.3	285.7	520.6	757.1	747.2	457.6	4609.5	1971-2000
宜蘭	155.3	175.2	132.2	134.2	222.7	186.7	145.5	243.8	441.2	442.3	360.2	188.4	2827.7	1971-2000
東吉島	19.2	31.9	41.3	67.2	136.7	202	158.7	177.7	77.7	28.4	21	13.1	974.9	1971-2000
澎湖	21.9	50.2	52.9	92.4	123.2	164.1	131.6	170.8	74.2	26.1	20.1	23.5	951	1971-2000
台南	19.9	28.8	35.4	84.9	175.5	370.6	345.9	417.4	138.4	29.6	14.7	11.3	1672.4	1971-2000
高雄	20	23.6	39.2	72.8	177.3	397.9	370.6	426.3	186.6	45.7	13.4	11.5	1784.9	1971-2000
嘉義	27.6	57.7	62.2	107.6	189.2	350.7	304.3	422.1	148.9	22.7	12.2	20.9	1726.1	1971-2000
台中	36.3	87.8	94	134.5	225.3	342.7	245.8	317.1	98.1	16.2	18.6	25.7	1642.1	1971-2000
阿里山	87.8	144	161.4	256.8	530.9	711.1	590.7	838.9	344.7	136.1	46.6	61.1	3910.1	1971-2000
大武	54.9	54	48.9	82.3	198.2	367.4	366.5	428.3	338.1	223.7	80.8	46.1	2289.2	1971-2000
玉山	116	148.9	138.9	248.9	454.2	513.3	361.5	499.4	257.2	152.7	77.8	85.6	3054.4	1971-2000
新竹	74.8	152.5	196.5	191.3	282.4	279.2	140	206.8	114.9	44.5	44.8	55	1782.7	1991-2000
恆春	25.7	27.7	19.9	43.5	163.9	371.3	396.3	475.2	288.3	141.9	43.2	20.6	2017.5	1971-2000
成功	77.2	73.4	75.3	96.4	189.8	204.7	251.1	325.9	351.6	336.8	136.6	79.6	2198.4	1971-2000
蘭嶼	273.9	219.8	163	164.8	263	262.9	225	275	394.2	331	273.7	235	3081.3	1971-2000
日月潭	52.4	103.3	119.3	192.1	354.3	483.8	349.6	431.8	199.9	54.9	25	38.2	2404.6	1971-2000
台東	43.2	47.5	43.1	73.8	156.9	247.8	280.5	308.2	299.4	236	78	41.7	1856.1	1971-2000
梧棲	28.5	84.5	106.1	131	222.5	217.7	165.9	213.2	68.7	9.9	14.9	20.1	1283	1971-2000

第四章 參考圖說彙編

由於目前相關政府機構所提供的排水生態基本圖，大多適用於河溪護岸工程、水資源保育工程與環境保護等公共工程，對私部門的開發建設較少著墨，相關的參考技術手冊也相對的較為少見。本研究嘗試提出七項坡地社區生態防災工法包括透水性鋪面、乾式草溝、濕式草溝、砌石溝、入滲溝、囚砂設施、濕式滯洪池，其中囚砂設施與滯洪池經常為統合設計。上述參考圖說並非提供給使用者直接套用，因為直接套用參考圖說不但未必能解決工程與生態方面的問題，若其與環境條件不相符時，甚至可能造成負面的影響。生態工法的主要精神因地制宜對於工程的選擇、材料的選用與施工的規範都隨著不同的生態環境條件而改變。各坡地社區於規劃設計時，仍需委由各專業工程技師，視基地環境狀況等條件妥為調整。相關生態排水設施(Ecological Drainage Facility)圖說排序如下：

EDF-01 透水性鋪面

EDF-02 乾式草溝

EDF-03 濕式草溝

EDF-04 砌石溝

EDF-05 入滲溝

EDF-06 囚砂設施

EDF-07 濕式滯洪池

第五章 結論與建議

依據前述章節之說明，本研究「坡地社區生態防災工法參考技術手冊集排水設施篇」可歸納出下列主要結論與建議，

一、透水性鋪面之設計與解說

透水性鋪面為多孔隙之瀝青、混凝土，鋪面之組合。鋪面共同特點是每個單元留有開孔，鋪設後開孔可長出青草，增加鋪面之綠意。濾層可過濾及移除逕流中的可溶性沉質。蓄水(卵石)層，具有大地保水能力，降低雨水逕流及控制洪峰流量等功能。入滲之雨水並可補注地下水源，使河川維持在平時的水流量。

二、乾式草溝之設計與解說

乾式草溝設計目標為藉由攔阻、過濾與提升入滲率、減低逕流速度來控制洪峰流量及補注地下水。欲將水質體積量在草溝底部能夠完全過濾及入滲，通常需依現地或以人工方式將目前現地的土壤改善或使用客土以達到此目標。

三、溼式草溝之設計與解說

水質草溝設置目的在於截留洪水並以天然的植物作為淨化水質、阻絕及吸收污染物與控制水量的生態工法理念，主要目的則在將其水流速度減緩至不損壞渠道或造成邊坡沖蝕的速度、控制逕流量、截排分流與滯留洪峰流量等。依草溝組合方式之不同可分為簡易草溝與複式草溝，當逕流量低

時可採用簡易草溝，但對於鬆軟土質或逕流量大且溝斷面無法加大時可採用複式草溝。

水質草溝另因需求不同可分為溼式草溝與乾式草溝。溼式草溝藉由沉澱物累積與移除機制來移除污染物，亦可藉由溼地植物的攔阻及攝入作用達到此效果，溼式草溝尺寸應該能截留全部的逕流量。乾式草溝主要依現地或置入客土，藉由攔阻、過濾與提升入滲率、減低逕流速度來控制洪峰流量。

四、砌石溝之設計與解說

係指以塊石襯砌溝面，利用表面之粗糙度，達到消能及減少水流之沖刷。對於流速大及土壤易沖蝕之處使用塊石襯砌可降低河水流速，固定河道，防止河床被河水掏刷，穩定坑溝，以保護溝身安全。另可將水溝、山邊溝等橫向排水之水流匯集導引至安全地點以渲洩逕流。

五、入滲溝之設計與解說

入滲溝是一佈滿碎石以增加地下水庫容納洪水量，為設於地面的溝渠，藉由入滲減少雨量之逕流體積與洪峰流量。入滲之雨水並可補助地下水源，使河川維持在平時的水流量，過濾水中沉質，移除逕流中的可溶性沉渣等功能，逕流從入滲溝底部入滲後會逐層向下流動終至地下水面。

六、囚砂設施之設計與解說

為攔截移除因暴雨所挾帶下來的土石流、泥砂及污染物，減少土石下移、保護下游土地房舍及公共設施，應設置

沉砂池等囚砂設施。

七、濕式滯洪池之設計與解說

濕式滯洪池為一常年保持固定容積之水在池內，且具有蓄洪機制的水池。當將雨水引至水池，在停留時能夠使固體沉滓物產生沉澱，部分污染物被分解，而產生淨化作用，同時降低洪峰，減少雨水逕流污染目的，甚至將景觀、垂釣和休閒等功能考慮進去而成為多目標滯洪池。對於不適合使用常年積水之濕式滯洪池或人工濕地時，宜採用乾式滯洪池。

八、後續研究議題

由本計畫研究成果得知，坡地社區集排水設施生態設計除需考量現有的地形與地質條件外，台灣坡地社區特殊的高密度發展與數量甚多的邊坡，將使保水設計生態工法這部分受到極大的限制。在本研究之外，尚有坡地安全、多孔隙排水設施管理維護，非點源污染防治等議題值得探討，茲建議後續研究如下：

1. 集排水設施入滲行為對邊坡穩定之影響。
2. 植物與土石對多孔隙排水設施滲透性及排水能力之影響。
3. 坡地社區生態工法與非點源污染防治關係研究。

附錄一 期初簡報專家意見

期初簡報專家意見

- 一、 主題：「坡地社區生態防災工法參考技術手冊集排水設施編之研究」
- 二、 時間：九十五年三月二十七日(星期一)上午九時至上午十二時
- 三、 地點：內政部建築研究所簡報室
- 四、 主持人：何副所長明錦
- 五、 紀錄：王暉堯
- 六、 出席專家學者：邱顧問昌平、陳教授亮全、廖教授洪鈞、游教授繁結、錢教授學陶、林教授美聆、張教授石角、洪教授鴻智、洪教授勇善、廖總經理瑞堂、柳局長宏典、行政院災害防救委員會、行政院公共工程委員會、行政院農業委員會、內政部營建署(建築管理組)、內政部營建署(綜合計畫組)、國家災害防救科技中心、臺北市政府工務局、臺北縣政府、南投縣政府、台北市土木技師公會、台灣省土木技師公會、台北市大地技師公會、台灣省大地技師公會、中興工程顧問社、蔡教授光榮、陳教授主惠、彭教授光輝、何副所長明錦、葉主任秘書世文、毛組長榮、葉組長祥海、陳組長瑞鈴、陳組長建忠、李研究員怡先、吳助理研究員維庭、張助理研究員尚文、王國防訓儲研究員暉堯
- 七、 研究團隊：中國科技大學土木學系陳主惠教授、中國科技大學土木學系遊新旺副教授、中國科技大學建築學系周世璋副教授、中國科技大學建築學系呂孟儒講師、中國科技大學土木學系陳致向研究助理、中國科技大學土木學系黃鈺涵研究助理

八、 專家意見與回覆：

委員	意見內容	辦理情形
營建署戴先生	本研究案，涉及生物滯洪池部份，可利用微生物處理社區家庭污水，建議增加集排水設施篇污染防制效率（BOD、SS、重金屬等污染物去除率），以加強本研究環保實用性。	已考慮增加研究項目有關濕式滯洪池，增加其水生植物（沉水、浮水、挺水）的除污效果。
台北市大地技師公會及台灣省大地技師公會	1、工法應用應依各案工程特性設計合適生態工法，故研究成果建議以參考資料及技術推廣為主，現階段尚不宜遽列入相關規範中硬性規定。 2、本案要旨為坡地社區，簡報中尚有道路設計選線等，請說明。山坡地之定義為高程100公尺、平均坡度大於5%且坡度在30%以下，其設計屬於小區域排水，與現有設計手冊不同，請參考。	本手冊之訂定依照參考資料，供給專業人員參考使用。
國家災害防究科技中心張志新博士	本計畫進行相關案例蒐集分析時，可否就成功或失敗案例進行個別探討。	已增加幾個坡地社區成功例子及失敗例子列為探討。
洪教授鴻智（書面意見）：	1、本研究對於協助政府或相關單位建置坡地社區生態工法的設計準則、程序與案例蒐集，甚至實務上的推動具有重要意義，值得推動。 2、計畫書中對於計畫進程序、步驟方法說明較少，而較難了解如何推動，建議此方面的說明可再強化。	本手冊之訂定主要也是推廣坡地社區之生態排水更具有規劃性與適用性。

	3、建議能多考慮使用者的需求，作為擬定使用手冊之依據，以助於使用手冊推廣與應用。	
台北市土木技師公會代表	請於報告中明確說明相關生態防災工程之限制條件、適用範圍。	已在手冊資料中述說。
台灣省土木技師公會代表	1、坡地社區定義請明確說明社區規模大小。 2、生態目標請依地質、地形、環境等因素定義不同標準以利規劃。	已在手冊中明確說明坡地社區之定義。
邱顧問昌平	1、本研究所提之研究方法與進行步驟以及預期成果應屬合宜及可行。 2、坡地社區分為既有社區與新開發社區，兩者之災害潛勢、防災工程以及可提供土地相當不同，故所需採取之防災措施亦有相當差異，宜考慮之。原始或既有排水設施老化劣化之再評估，而予改善，增設之作法也需是生態防災工法。 3、預期成果中除計畫書中4項外，宜增加各種不同坡地社區集排水設計獲改善流程圖說明，若能納入雨水污水分流系統之考慮則更佳。 4、社區道路空地如何決定最佳寬度或面積，亦請考慮之。 5、坡地上滯洪池或滯洪湖之設計與管理，應如何避免潰壞造成下方社區之危害，宜慎重考慮之。	已在坡地社區中增加了8項各種不同集排水設計及流程圖。 有關坡地滯洪池之設計與管理在手冊第三章以詳細說明。
廖總經理	1、目前坡地防災之所包括集排水設施為何？有必要加以澄清。	有關坡地滯洪池之設計與管理在手冊第三

	<p>2、本研究案可從總量管制及綜合治水概念加以強化具體。</p> <p>3、山坡地社區滯洪池問題較大、爭議甚多，建議納入研究範圍時應多加討論。</p> <p>4、新店大千豪景社區係既有坡地社區集排水設施發生問題之典型代表，建議可納入案例參考。</p> <p>5、新開發社區，例如陽明山保變住聯外排水問題甚為嚴重，值得作為研究參考。</p>	<p>章以詳細說明。</p> <p>列入參考各種不同坡地社區大小之排水設施。</p>
縣政府代表	既有坡地社區的改善方法有哪些？	針對既有排水設施以管理方式來維護排水功能。
陳組長建忠	<p>1、坡地社區請特別注意既有社區所需工法。</p> <p>2、報告格式及研究項目請參考以往報告。</p> <p>3、除主要系統設計外，單一集排水設施是否能單獨使用。</p> <p>4、既有坡地社區，安全防災要優於生態。</p> <p>5、請由坡地社區環境來看，需要何種集排水設施。</p>	遵照辦理。
業務單位	<p>1、本手冊之目的為建立坡地社區生態防災工法集排水設施之技術手冊，故有關生態工法課題部分可直接引用，但不宜多加探討。</p> <p>2、研究成果應朝向建立各項工法之規範、適用範圍、參考圖說，而參考圖說最好能達到標準圖水準，以利工程界使用。</p>	本手冊之使用將更詳細介紹供給專業人員參考。

附錄二 第一次專家座談會專家意見

第一次專家座談會專家意見

- 一、 主題：「坡地社區生態防災工法參考技術手冊及排水設施編之研究」
- 二、 時間：九十五年五月十一日(星期四)上午十時至上午十二時
- 三、 地點：中國科技大學土木系光復樓 401 教室
- 四、 主持人：陳主惠教授
- 五、 紀錄：中國科技大學土木學系陳致向研究助理
- 六、 出席專家學者：內政部建築研究所李怡先研究員、台灣大學生物環境系統工程學系水工試驗所所長譚義績教授、台灣大學土木工程系劉格非教授、中央大學土木工程系主任吳瑞賢教授、中央大學土木工程系周憲德教授、台北科技大學土木工程系土木與防災組鄭光炎教授、合巨工程顧問有限公司周瑞南技師、台北市土木技師公會拱祥生技師、土木技師事務所高文宗技師
- 七、 研究團隊：中國科技大學土木學系陳主惠教授、中國科技大學土木學系遊新旺副教授、中國科技大學建築學系周世璋副教授、中國科技大學建築學系呂孟儒講師、中國科技大學土木學系陳致向研究助理、中國科技大學土木學系黃鈺涵研究助理

八、 專家意見與回覆：

委員	意見內容	辦理情形
中央大學土木工程系主任吳瑞賢教授	<p>一、坡地社區滯洪池之設置如何結合生態觀點，如與運動場所共構，及因應地形設置時所面臨之法規(水保法)檢討。</p> <p>二、滯洪池與生態池之區分仍請在本報告中加以說明。</p> <p>三、生態滯留池之沉砂效應及水質之考量，建議提供設計及維護之參據。</p>	<p>本研究將列入於在大型坡地社區之運動場結合生態觀念進行探討。</p> <p>有關滯洪池與生態池之區分乃在於使用目的、及設計理念、大小皆不相同。</p>
合巨工程顧問有限公司周瑞南技師	<p>一、地界截水溝之規範及維護。</p> <p>二、沉砂池之規範是否要加考慮。</p> <p>三、有野溪之坡地社區，用石籠做護岸時如何加強石籠之安全，也請予以考慮。</p> <p>四、施工中之防災是否應加入。</p>	<p>手冊中第三章已列入截水溝之規範以及維護的詳細說明。</p>
中央大學土木工程系周憲德教授	<p>一、請界定 LID 之適用範圍。</p> <p>二、請考慮草溝適用之草種類，目前選擇之 H/B 在 0.14~0.2。斷面密度可能超過實際可行範圍。不同草之 N 值，耐沖刷速度之關係如能建</p>	<p>本手冊在第三章滯留池部分以加詳細說明之使用定義，及其使用管理之辦法。</p>

	<p>立，在對工法應用有參考價值。</p> <p>三、須與水土保持技術規範之要求相符合。</p> <p>四、滯留池之抑減洪峰效果及所需體積及地表面積為何?請補充說明。</p>	
<p>台灣大學生物環境系統工程學系 水工試驗所所長 譚義績教授</p>	<p>一、濕式滯留池之必要條件為地下水位較高之區域，由於地下水位較高，可以利用其地下水做綠化灌溉澆水之用，但必須注意其水源因滯留，必須避免滋生蚊蠅而容易發生登革熱等疾病。</p> <p>二、濕式滯留池因體積相對減少，一但洪水發生其滯洪空間相對較小，但必須注意進水口及出水口流量分析。</p> <p>三、滯留池大小設計必須先做水文分析，目前游教授所用公式中雨量較為合理，其中一筆氣象局資料分析不合理，必須分析原因再決定是否刪除。</p> <p>四、簡報所列坡地社區達觀鎮、觀天下、黎明清境，均太偏重新店地區，其他地區如汐</p>	<p>在濕式滯留池之使用的條件及管理維護的方法上以加說明。且設計之原則利用水文公式進行數值分析。</p>

	<p>止、林口建議可參考，尤其林口地區有滯洪池設計建議加入。</p>	
<p>台灣大學土木工程系劉格非教授</p>	<p>一、生態工法之第一要點就是對自然不要干擾，因此坡地社區之開發本來就與生態衝突，因此本報告應先分兩部份分成現有坡地社區篇與未來開發篇，二者考量不同。</p> <p>二、針對未開發地區第一需注意的是保留原有流路與滯洪區，開發後增加之逕流須以社區保水設施來滿足，同時遵循生態工法。</p> <p>三、針對已開發社區，因為已經有高度開發，因此重點是如何不讓再開發並保護自然生態，並盡量以總量管制來限制開發。</p> <p>四、道路設計之規範應用於社區需要非常小心，社區開發應多延用水土保持之集水區開發，原函為基本要求，在加上生態上之要求。</p> <p>五、草溝應不要太大，生態素</p>	<p>本研究團體將列入既有社區之集排水和新建社區之排水設計規範與管理方式加以討論。</p> <p>對於草溝之設計將依照當地適用性及其平均降雨量來做設計。</p>

	<p>量上設有直線草溝，因此安全分析適用性非常可議，而水文分析之部分與一般之應用方式不同請自檢查。</p> <p>六、資料收集到的工法多為野溝治理，社區多為舊社區，不是為生態工法應用之代表，需將目標定的很清楚。</p>	
台北科技大學土木工程系土木與防災組鄭光炎教授	<p>一、建議本集水設施編之應用範圍及限制。</p> <p>二、應用 LID 為可參考之方向，但注意對邊坡穩定是否因該措施受影響如透水性鋪面濕地，等入滲引起孔隙水壓升高問題。</p> <p>三、參考資料應用以符合坡地社區之集排水為宜。</p> <p>四、手冊未來以圖表為宜，以方便未來工程界應用，相關公式之導演放於附表。</p>	本手冊將列為供工程界、及專業人員參考使用。
土木技師事務所 高文宗技師	<p>一、請參考公共工程委員會公共工程基本圖彙編相關資料。</p> <p>二、請補列參考保水設計規範。</p> <p>三、請建議生態維護標準以利設計。</p>	<p>已參考工程基本圖編相關資料。</p> <p>保水設計規範將依照不同設計排水設施列入探討。</p>

	<p>四、新舊社區開發標準不一致，請分別敘述。</p>	
<p>台北市土木技師公會拱祥生技師</p>	<p>一、針對新舊開發社區之集排水設施的設置理念及設施先述明於研究目的或前言中。</p> <p>二、文獻、案例及基本圖之收集建議聚焦在集排水設施而不需對河岸、野溪及坡地設施著重過多。</p> <p>三、各類排水設計準則應以水土保持技術規範為主要依據，在整理各個規範之限制條件與異同。</p> <p>四、草溝之應用限制應於圖書中加強，例如草溝之維護保養很重要。</p> <p>五、LID之理念可適度放入附錄中。</p>	<p>本手冊將更詳細訂出新舊社區之集排水設置理念在研究中進一步說明。</p> <p>在第三章已針對草溝之使用範圍及設計原理、和維護管理之方式說明。</p>

附錄三 期中審查會專家意見

期中審查會專家意見

- 一、 主題：「坡地社區生態防災工法參考技術手冊及排水設施編之研究」
- 二、 時間：九十五年五月十一日(星期四)上午十時至上午十二時
- 三、 地點：內政部建築研究所第一會議室
- 四、 主持人：
- 五、 紀錄：中國科技大學土木學系陳致向研究助理
- 六、 出席專家學者：內政部建築研究所李怡先研究員、台灣大學生物環境系統工程學系水工試驗所所長譚義績教授、台灣大學土木工程系劉格非教授、中央大學土木工程系主任吳瑞賢教授、中央大學土木工程系周憲德教授、台北科技大學土木工程系土木與防災組鄭光炎教授、合巨工程顧問有限公司周瑞南技師、台北市土木技師公會拱祥生技師、土木技師事務所高文宗技師
- 七、 研究團隊：中國科技大學土木學系陳主惠教授、中國科技大學土木學系遊新旺副教授、中國科技大學建築學系周世璋副教授、中國科技大學建築學系呂孟儒講師、中國科技大學土木學系陳致向研究助理、中國科技大學土木學系黃鈺涵研究助理

八、 專家意見與回覆：

委員	意見內容	辦理情形
廖博士瑞堂	<ol style="list-style-type: none"> 1、坡地排水應將地下排水部分納入考量，由於地下排水嚴重影響邊坡安全。 2、滯洪池的設置並不能完全解決衍生的下游排水問題，建議適度檢討，可以從綜合治水觀念加以著墨，達成逕流零增量之目標。 3、坡地社區排水系統應盡量使用明渠，避免使用管渠，應充分說明(以新店大千豪景社區可為代表)。 	<p>將於期末報告中補充說明適合與不適合保水設施之施作項目。</p> <p>本研究已經加入減量之觀念</p> <p>將增加社區案例調查</p>
洪教授鴻智	<ol style="list-style-type: none"> 1、請強化說明計畫緣起與目的，特別補充說明「生態防災工法」與一般「生態工法」有何差異。 2、建議進行案例蒐集時，能強化蒐集國內外引用「生態防災工法」，而能成功防範坡地災害或颱風災害的案例，作為本研究的參考。 3、建議能更清楚指出本研究成果(手冊)的使用者，及深層考慮他們的實際需求。 4、建議研究成果能提出一些目前相關法令(如山坡地住宅社區開發審議規範、水土保持技術規範等)隱含的問題及修改建議。 	<p>坡地社區強調安全經濟與生態</p> <p>目前僅有較新且經濟規模較大之社區如大陸工程的青山鎮、具綠建築標章之坡地社區</p> <p>將於使用手冊中從使用者觀點考量</p> <p>目前水保技術規範正修訂中，將參採最新版本</p>
國家災害防究科技中心張志新博士	<ol style="list-style-type: none"> 1、本案為坡地社區防災之重要工作，尤其如何能再防災與生態之間取得平衡，亦為後續推動之重點，責任重大。 2、山坡地社區的開發將大面積地表水泥化，為求社區本 	<p>本意見即為技術手冊研訂之目的</p> <p>本研究排水設施項目，希望在保水與安全間取得平衡</p>

	<p>身之安全，因此提高截水、集水、排水之功能，會造成下游堤防加高，否則易淹水。建議藉由本案推動「雨水入滲回地下水之功能」及「雨水再利用」之思考，期同時兼顧坡地防災及下游都會地區防淹水之全面減災目的。</p> <p>3、本案以工法技術為主，未來應有計畫推動本案技術之落實，建立獎勵措施及相關必要罰責。</p>	<p>建議將獎勵措施及相關必要罰責，列入水保技術規範正修訂之參考</p>
<p>台北市及台灣省大地技師公會代表</p>	<p>1、目錄及內頁編排是否需與其他研究報告相同，請參考辦理。</p> <p>2、封面標題是否需同簡報資料加原文標題，請確認。</p> <p>3、P3 第三行……..三原則，並以……建議並取消，各行文字排版請對齊。</p> <p>4、P4(二)進度說明，應為(三)，以後定稿應取消。</p> <p>5、本文格式請檢核修正，Ex. P7 A 為中標題，1 為次標題，但 P14. A 為中標題，一. 為次標題。</p> <p>6、P26~27 第一行排版請統一。</p> <p>7、草溝請考量山坡地污物清除等因素影響及清理。</p> <p>8、P30 水理公式請依最新版水土保持規範訂定之。</p>	<p>格式編排將統一格式</p> <p>排水設施主要考量為安全與防災，在此一目標下，部分設施將增加除污及易於清理之機制</p> <p>遵照辦理</p> <p>已經修正詳 86 頁</p>
<p>中興工程顧問</p>	<p>1、邊坡水分入滲會影響</p>	<p>在擋土設施等覆蓋</p>

社高憲章副理	<p>邊坡穩定，對於安全會有所影響，故應是否將水分導入地下，應再加考慮。</p> <p>2、研究成果對象應以專業人員為主，爾後研究成果若能先由專業團體試操作，對於研究成果之應用推廣，將更有幫助。</p>	<p>物入滲行為對設施安全性已有初步成果</p> <p>實證操作基於研究時程較短，將列入下年度研究之建議</p>
梁教授漢溪	<p>1、案例調查 40%，但未於書面報告中呈現，此為能充分反應後續研究之進行。</p> <p>2、研究流程中案例調查之水文條件、地質條件及最佳管理開發均位於報告中闡述。</p> <p>3、初步建議中技術手冊設施項目尚未與先前研究流程呼應，建議未來更有系統研擬坡地社區所需之技術手冊。</p> <p>4、建議生態防災之理念應多加以探討。</p>	<p>將於期末報告詳列調查成果</p> <p>水文與地文條件之說明，將於期末報告另章補充</p> <p>遵照辦理</p>
周志龍教授	<p>1、本案結合安全生態經濟作為排水設施施作重點但是哪類設施最符合生態應強調出來並加強安全與經濟面向之說明</p> <p>2、另可考慮加入美學原則</p> <p>3、經濟之考量恐為目前施工設計的主要原則，研究上似可適當導引至其他二面向</p>	<p>本研究排水設施之排序為安全→生態→經濟</p> <p>排水設施如能符合安全與生態原則，其實即符合經濟原則</p>
業務單位	<p>本案目的為研擬技術手冊，故各項圖說應具有標準圖之水準，方可便於使用者參考。</p>	<p>目前圖面為初稿，期末圖面將比照前期研究報告之格式。</p>
陳組長建忠	<p>1、生態工法於公共工程會已改為生態工程。</p> <p>2、所列排水設施項目請著重</p>	<p>遵照辦理</p>

	<p>在生態工程。</p> <p>3、生態防災工法之思維，應是生態工法中有防災者加以整理研究。</p> <p>4、技術手冊格式請參考前期研究報告。</p>	
--	---	--

附錄三 期中審查會專家意見

期中審查會專家意見

- 一、 主題：「坡地社區生態防災工法參考技術手冊及排水設施編之研究」
- 二、 時間：九十五年五月十一日(星期四)上午十時至上午十二時
- 三、 地點：內政部建築研究所第一會議室
- 四、 主持人：
- 五、 紀錄：中國科技大學土木學系陳致向研究助理
- 六、 出席專家學者：內政部建築研究所李怡先研究員、台灣大學生物環境系統工程學系水工試驗所所長譚義績教授、台灣大學土木工程系劉格非教授、中央大學土木工程系主任吳瑞賢教授、中央大學土木工程系周憲德教授、台北科技大學土木工程系土木與防災組鄭光炎教授、合巨工程顧問有限公司周瑞南技師、台北市土木技師公會拱祥生技師、土木技師事務所高文宗技師
- 七、 研究團隊：中國科技大學土木學系陳主惠教授、中國科技大學土木學系遊新旺副教授、中國科技大學建築學系周世璋副教授、中國科技大學建築學系呂孟儒講師、中國科技大學土木學系陳致向研究助理、中國科技大學土木學系黃鈺涵研究助理

八、 專家意見與回覆：

委員	意見內容	辦理情形
廖博士瑞堂	<ol style="list-style-type: none"> 1、坡地排水應將地下排水部分納入考量，由於地下排水嚴重影響邊坡安全。 2、滯洪池的設置並不能完全解決衍生的下游排水問題，建議適度檢討，可以從綜合治水觀念加以著墨，達成逕流零增量之目標。 3、坡地社區排水系統應盡量使用明渠，避免使用管渠，應充分說明(以新店大千豪景社區可為代表)。 	<p>將於期末報告中補充說明適合與不適合保水設施之施作項目。</p> <p>本研究已經加入減量之觀念</p> <p>將增加社區案例調查</p>
洪教授鴻智	<ol style="list-style-type: none"> 1、請強化說明計畫緣起與目的，特別補充說明「生態防災工法」與一般「生態工法」有何差異。 2、建議進行案例蒐集時，能強化蒐集國內外引用「生態防災工法」，而能成功防範坡地災害或颱風災害的案例，作為本研究的參考。 3、建議能更清楚指出本研究成果(手冊)的使用者，及深層考慮他們的實際需求。 4、建議研究成果能提出一些目前相關法令(如山坡地住宅社區開發審議規範、水土保持技術規範等)隱含的問題及修改建議。 	<p>坡地社區強調安全經濟與生態</p> <p>目前僅有較新且經濟規模較大之社區如大陸工程的青山鎮、具綠建築標章之坡地社區</p> <p>將於使用手冊中從使用者觀點考量</p> <p>目前水保技術規範正修訂中，將參採最新版本</p>
國家災害防究科技中心張志新博士	<ol style="list-style-type: none"> 1、本案為坡地社區防災之重要工作，尤其如何能再防災與生態之間取得平衡，亦為後續推動之重點，責任重大。 2、山坡地社區的開發將大面積地表水泥化，為求社區本 	<p>本意見即為技術手冊研訂之目的</p> <p>本研究排水設施項目，希望在保水與安全間取得平衡</p>

	<p>身之安全，因此提高截水、集水、排水之功能，會造成下游堤防加高，否則易淹水。建議藉由本案推動「雨水入滲回地下水之功能」及「雨水再利用」之思考，期同時兼顧坡地防災及下游都會地區防淹水之全面減災目的。</p> <p>3、本案以工法技術為主，未來應有計畫推動本案技術之落實，建立獎勵措施及相關必要罰責。</p>	<p>建議將獎勵措施及相關必要罰責，列入水保技術規範正修訂之參考</p>
<p>台北市及台灣省大地技師公會代表</p>	<p>1、目錄及內頁編排是否需與其他研究報告相同，請參考辦理。</p> <p>2、封面標題是否需同簡報資料加原文標題，請確認。</p> <p>3、P3 第三行……..三原則，並以……建議並取消，各行文字排版請對齊。</p> <p>4、P4(二)進度說明，應為(三)，以後定稿應取消。</p> <p>5、本文格式請檢核修正，Ex. P7 A 為中標題，1 為次標題，但 P14. A 為中標題，一. 為次標題。</p> <p>6、P26~27 第一行排版請統一。</p> <p>7、草溝請考量山坡地污物清除等因素影響及清理。</p> <p>8、P30 水理公式請依最新版水土保持規範訂定之。</p>	<p>格式編排將統一格式</p> <p>排水設施主要考量為安全與防災，在此一目標下，部分設施將增加除污及易於清理之機制</p> <p>遵照辦理</p> <p>已經修正詳 86 頁</p>
<p>中興工程顧問</p>	<p>1、邊坡水分入滲會影響</p>	<p>在擋土設施等覆蓋</p>

社高憲章副理	<p>邊坡穩定，對於安全會有所影響，故應是否將水分導入地下，應再加考慮。</p> <p>2、研究成果對象應以專業人員為主，爾後研究成果若能先由專業團體試操作，對於研究成果之應用推廣，將更有幫助。</p>	<p>物入滲行為對設施安全性已有初步成果</p> <p>實證操作基於研究時程較短，將列入下年度研究之建議</p>
梁教授漢溪	<p>1、案例調查 40%，但未於書面報告中呈現，此為能充分反應後續研究之進行。</p> <p>2、研究流程中案例調查之水文條件、地質條件及最佳管理開發均位於報告中闡述。</p> <p>3、初步建議中技術手冊設施項目尚未與先前研究流程呼應，建議未來更有系統研擬坡地社區所需之技術手冊。</p> <p>4、建議生態防災之理念應多加以探討。</p>	<p>將於期末報告詳列調查成果</p> <p>水文與地文條件之說明，將於期末報告另章補充</p> <p>遵照辦理</p>
周志龍教授	<p>1、本案結合安全生態經濟作為排水設施施作重點但是哪類設施最符合生態應強調出來並加強安全與經濟面向之說明</p> <p>2、另可考慮加入美學原則</p> <p>3、經濟之考量恐為目前施工設計的主要原則，研究上似可適當導引至其他二面向</p>	<p>本研究排水設施之排序為安全→生態→經濟</p> <p>排水設施如能符合安全與生態原則，其實即符合經濟原則</p>
業務單位	<p>本案目的為研擬技術手冊，故各項圖說應具有標準圖之水準，方可便於使用者參考。</p>	<p>目前圖面為初稿，期末圖面將比照前期研究報告之格式。</p>
陳組長建忠	<p>1、生態工法於公共工程會已改為生態工程。</p> <p>2、所列排水設施項目請著重</p>	<p>遵照辦理</p>

	<p>在生態工程。</p> <p>3、生態防災工法之思維，應是生態工法中有防災者加以整理研究。</p> <p>4、技術手冊格式請參考前期研究報告。</p>	
--	---	--

附錄四 第二次專家座談會專家意見

第二次專家座談會專家意見

- 九、 主題：「坡地社區生態防災工法參考技術手冊及排水設施編之研究」
- 十、 時間：九十五年十月十七日(星期二)上午十時至上午十二時
- 十一、 地點：中國科技大學土木系光復樓 401 教室
- 十二、 主持人：陳主惠教授
- 十三、 紀錄：中國科技大學土木學系陳致向研究助理
- 十四、 出席專家學者：中央大學土木工程系主任吳瑞賢教授、中央大學土木工程系周憲德教授、台灣大學生物環境系統工程學系童慶斌教授、台北科技大學土木工程系土木與防災組鄭光炎教授、台北科技大學土木工程系土木與防災組陳彥彰教授、土木技師事務所高文宗技師、楊松裕建築師、中國科技大學土木工程學系教授田耀遠教授
- 十五、 研究團隊：中國科技大學土木學系陳主惠教授、中國科技大學土木學系遊新旺副教授、中國科技大學建築學系周世璋副教授、中國科技大學建築學系呂孟儒講師、中國科技大學土木學系陳致向研究助理、中國科技大學土木學系黃鈺涵研究助理

十六、 專家意見與回覆：

委員	意見內容	辦理情形
台北科技大學 土木工程系土 木與防災組鄭 光炎教授	1、設施需系統考量，如前處理、中段處理、後處理(無屋漏情形) 2、P.19 總計表細分 3、設施詳細尺寸，須考慮變動。 4、設計原則，建議數字、或者簡化使用。 5、坡地生態工法、都市環境、參考書籍。 6、安全問題，邊坡與入滲溝	將再各種集排水設施中進一步的建立參考方法及設計原則。 在第三章有關入滲溝之使用規範已詳細說明。
中國科技大學 土木工程學系 田耀遠教授	1、技術手冊相當完整，惟部分數據應考慮日後推廣使用時的適用性，建設重新考量。 2、坡地防災是全面性，應有系統的設計的觀念，建議增加前處理和後端接續處理的簡要說明。 3、在可能範圍內，考量增加如何選用，或選用的條件。 4、簡易的排水設施建議考慮納入手冊。	將在各個排水設施之使用的目的及適用範圍和維護管理之方式詳細說明。
中央大學土木 工程系主任吳 瑞賢教授	1、參考技術手冊中若明確指出數字，建議提供其依據，如p.07 指出之滯洪池與化糞池之距離。 2、濕式滯洪池在法規上的適用性，請加以說明。 3、建議未來就其破壞模式可進行研究，以提供工程界參考。	濕式滯洪池之適用範圍在第三章已列入詳細的說明。 未來可以在針對破壞模式來進行探討。
土木技師事務 所高文宗技師	1、社區規模建議依用地類別及基地面積來區分較為合適。 2、參考技術手冊規範建議補充對既成社區如何改善及案例說明。	將列入討論並在手冊中說明。

	3、技術手冊如何與水保法競合(如設施種類、功能、量體技術依據)及適法性。	
台北科技大學 土木工程系土 木與防災組陳 彥彰教授	1、坡地集排水設施應以安全為優先，不能因生態工法而生態工法。 2、手冊中提出之工法應說明其使用之限制、使用之區域及極限。 3、建設未來可討論各項工法之維護問題。 4、各工法是否可加入實際案例。	本手冊之編寫理念秉著以工程安全為原則，再結合生態觀念設計。 在各種集排水設施之維護問題已詳細說明。
台灣大學生物 環境系統工程 學系童慶斌教 授	1、建設後續對新建與改善之差異進行探討。 2、建設後續對維護進一步討論。 3、生態工法對永續發展是否有助益，相關問題為何?可再進一步討論。 4、景觀生態不等同於生態工法，應予以釐清。	對於生態工法之永續發展的效益，本研究將在管理部份詳細說明以維護工程之品質及使用年限。

附錄五 期末審查會專家意見

期末審查會專家意見

- 九、 主題：「坡地社區生態防災工法參考技術手冊及排水設施編之研究」
- 十、 時間：九十五年十一月三十日(星期四)下午三時至下午五時
- 十一、 地點：內政部建築研究所第一會議室
- 十二、 主持人：
- 十三、 紀錄：中國科技大學土木學系陳致向研究助理
- 十四、 出席專家學者：內政部建築研究所李‘怡先研究員、台灣大學生物環境系統工程學系水工試驗所所長譚義績教授、台灣大學土木工程系劉格非教授、中央大學土木工程系主任吳瑞賢教授、中央大學土木工程系周憲德教授、台北科技大學土木工程系土木與防災組鄭光炎教授、合巨工程顧問有限公司周瑞南技師、台北市土木技師公會拱祥生技師、土木技師事務所高文宗技師
- 十五、 研究團隊：中國科技大學土木學系陳主惠教授、中國科技大學土木學系遊新旺副教授、中國科技大學建築學系周世璋副教授、中國科技大學建築學系呂孟儒講師、中國科技大學土木學系陳致向研究助理、中國科技大學土木學系黃鈺涵研究助理

十六、專家意見與回覆：

委員	意見內容	辦理情形
范教授正成	<ol style="list-style-type: none"> 1、建議手冊內應建立設計指標 (Indication for design)，以方便設計者使用。 2、建議能附設計分析之範例。 3、建議帶進緩衝帶 (Buffer zone) 及既有工程改進 (Retrofitting) 之觀念。 	<p>於第四章各工法技術手冊參考圖補充設計指標。</p> <p>詳第三章各工法最後一小節。</p> <p>本研究以工程應用為主，將列入建議事項。</p>
詹教授添全	<ol style="list-style-type: none"> 1、各社區調查以現況排水為主，建議列入圖 2.1.1 之中。 2、生態工法防災或生態防災工法建議依工程會訂定之準則為宜。 3、生態工法已統一訂定為生態工程，建議予以修正。 4、表 1.2.1 年代太久，建議補足溫妮颱風林肯大郡事件之影響，以及後續水土保持法施行細則與水土保持技術規範之影響。 5、引用圖表除標明出處單位，建議加入人員與時間。 6、表 3.1.1 未標明出處，請補全。 7、表 3.2.1 之細砂土，請更正為細粉土，表 3.2.2 亦同。 8、表 3.2.1 建議加列水土保持技術規範與生態工法設計準則之規定建議值。 9、標準圖內結構物之尺寸大小應加列限制範圍。 10、P.96 降雨強度建議列表各 	<p>遵照辦理。</p> <p>鑑於本研究計畫名稱奉核在前，目前更名確有困難，將於結論中，註明此點。</p> <p>同前遵照辦理。</p> <p>已修正。</p> <p>已修正。</p> <p>已修正。</p> <p>已修正。</p> <p>已補充設計指標。</p> <p>本工法的應用採因</p>

	地採用參數與計算公式，供設計參考。	地制宜原則，水理計算各技師當依水土保持技術規範內容為之。
高副理憲彰	<ol style="list-style-type: none"> 1、方法蒐集完整，成果值得肯定。 2、簡報中仍大多以公共工程之應用為主，未表列在報告中所提 100 人或 500 戶以上之社區應用，是否國內社區之應用案例較少？其原因為何？是否可於報告內略加說明目前之應用情形。 3、報告中是否增加應用案例之說明，以便於使用者參考應用。 	<p>依據第二章之調查結果目前坡地社區在生態排水之應用確實較少。主要原因為既成社區均為早期興建：在富錦自然公園，及雪霸國家公園均可見生態排水工法。</p> <p>於第三章各工法的最後小節均有計算案例。</p>
邱顧問昌平	<ol style="list-style-type: none"> 1、坡地社區生態防災工法之研究已有 10 個調查案例，惟未說明各社區大致狀況及其集排水系統之優缺點，過於簡要。 2、第三章詳細介紹 7 種集排水設施之功能、細部設計、應用及限制、設計計算方式、管理維護等要項，而於第四章則提出該 7 種設施參考圖說及設計要點註記。 3、本研究目的很好，但要兼顧生態及防災的工法（規劃、設計、施工、成本分析…等）應用不止上述 7 種設施而已。坡地之大學城（如交通大學、政治大學）也應是可訪談對象。 	<p>已於第二章第一小節將調查結果做統整並說明優缺點。</p> <p>謝謝寶貴意見，但受限於本所核定題目主要訪查對象應以坡地社區為主。</p>
國家災害防救科技中心代表	<ol style="list-style-type: none"> 1、本研究嘗試定義「生態防災工法」，以別於生態工法 	

張志新博士	<p>與防災工法，讓本研究案更能釐清本研究之目標。</p> <p>2、第二章 10 個坡地社區之現況分析，略顯不足，未能呈現其集排水設施，若能利用本研究案所提供支附錄五，詳細紀錄各社區之現況，應較能具體呈現調查分析結果。</p> <p>3、PP. 11-12 本研究案以公共工程委員會制定之排水工程設計流程，直接作為生態防災工法設計流程，未能充分表達或融入生態防災工法之定義與原則，應較能具體呈現調查分析結果。</p> <p>4、本研究案強調生態防災工法之設計理念，並於第一章中，清楚描述生態防災工法的定義與原則，若能在第三章中，將每一種集排水設計之「生態防災部分」清楚說明，更能凸顯本研究案之重要性。</p> <p>6、建議 貴所舉辦相關推廣活動，將此豐碩結果推廣於工程界使用參考。</p>	<p>已於第二章第一小節將調查結果做統整並說明優缺點。</p> <p>已於第三章、第四章各小節將設計原則與設計指標做統整並說明優缺點。</p>
台灣省土木技師公會代表	<p>1、山坡地開發涉及建管及水保二個主管單位，所應用之規範如何競合應予考量，避免設置不必要之排水設施。</p> <p>2、建議針對社區規模是否有圖例說明，易於界定。</p>	<p>本計劃提供技術參考手冊，實務工程仍應依相關法令及規範設計。</p> <p>已於圖 2.1.1 補充社區概述。</p>
台灣省、台北市大地技師公會代表	<p>1、前次審查意見請逐項說明，例如前次第 8 點是否修正，請說明。</p> <p>2、表 3.2.1 及 3.2.2 之砒土</p>	<p>已經修正新公式詳 86 頁</p>

	<p>乙詞與圖 EDF-01 等不符，請統一。</p> <p>3、表格換頁表頭請一致。</p> <p>4、圖 EDF-06 及 EDF-07 之護坦厚度，及堤壩材料本身存有堤壩本身邊坡穩定、滲流及上浮問題，請加強規範。</p> <p>5、請說明參考圖 EDF-05 之開挖方式。</p>	<p>已修正。</p> <p>遵照辦理詳 83 與 93 頁</p> <p>遵照辦理詳 72 頁</p>
陳組長建忠	<p>1、簡報資料中 P. 19 及 20 有關法令管制時間似乎與實際不符，請查證修正。</p> <p>2、本研究除選取「工程強度安全要求不高、生態設計較為可行之 7 項設施」外，其他對於工程強度要求較高或生態設計較不可行之情形當如何？是否可將各設施期有關安全防災與生態進行分級。</p> <p>3、所列之社區多未有生態工程，但像水土保持局曾於各縣市實施社區計畫亦有良好案例，如新埔九芎湖社區。</p>	<p>已修正完成，詳頁 5 及頁 6。</p> <p>鑒於第一章定義坡地社區排水以安全為首要，為了防災如沖蝕的發生，其他排水設施仍以硬鋪為宜。</p> <p>新埔九芎湖及照門社區為農委會富麗農村計畫重點輔導和人口密集的都市坡地社區目的不同</p>

附錄六 第三次專家座談會專家意見

第三次專家座談會專家意見

十七、 主題：「坡地社區生態防災工法參考技術手冊及排水設施編之研究」

十八、 時間：九十五年十二月六日(星期三)上午十時至上午十二時

十九、 地點：中國科技大學土木系光復樓 401 教室

二十、 主持人：陳主惠教授

二十一、 紀錄：中國科技大學土木學系陳致向研究助理

二十二、 出席專家學者：台灣大學生物環境系統工程學系譚義績教授、中央大學土木工程系周憲德教授、台北科技大學土木工程系土木與防災組陳彥彰教授、土木技師事務所高文宗技師、台北市土木技師公會拱祥生技師、大陸工程青山鎮主任李孟哲先生、楊松裕建築師、中國科技大學土木工程學系教授田耀遠教授

二十三、 研究團隊：中國科技大學土木學系陳主惠教授、中國科技大學土木學系遊新旺副教授、中國科技大學建築學系周世璋副教授、中國科技大學建築學系呂孟儒講師、中國科技大學土木學系陳致向研究助理、中國科技大學土木學系黃鈺涵研究助理

二十四、 專家意見與回覆：

委員	意見內容	辦理情形
<p>中央大學土木工程系周憲德教授</p>	<p>1、資料豐富內容詳盡極是設計參考價值。</p> <p>2、請於報告前文說明各排水設施之主要功能及適用範圍，及參考文獻以方便使用。</p> <p>3、透水性鋪面，不織布規格請說明，如何決定蓄水層厚度？適用之鋪面坡度有何限制？請補充。</p> <p>4、乾濕草溝之適用條件有何不同？不同草種類及生長條件對粗糙係數之影響如何評估請補充。</p> <p>5、囚砂設施之沉砂池應考慮顆粒沉降速度及沉砂池之平面配置以達到其停滯時間足以造成其沉降於池內，並應注意砌石堤下游趾處之滲流破壞。</p> <p>6、本報告所提及之水質體積為達到之淨化污染物，是否有附帶之排汙措施，否則污染物則是由地面轉至地下水，造成二次污染。</p>	<p>透水性鋪面蓄水層厚度說明於 3.2.4</p> <p>乾濕草溝之適用條件說明於 3.3.1 及 3.4.1。</p> <p>不同草種類對粗糙係數之影響說明於 3.4.6-2-(9)</p>
<p>台北市土木技師公會拱祥生技師</p>	<p>1、EDF-01 透水性鋪面之表 1 細粉土及粗粉土請修正為細粉土及粗粉土。</p> <p>2、EDF-01 透水性鋪面之計算式中 N_s 是否代表蓄水層，若是，濾層是否要考慮。</p> <p>3、EDF-01 濾層之設計原則為何請釐清。</p> <p>4、EDF-02 乾式草溝之目的，應與 EDF-03 濕式草溝中提及乾式草溝之目的之一致。並建議刪除 EDF-03 濕式草溝中乾式</p>	<p>已修正</p> <p>一般只考慮透水鋪面層及填充礫石有較大之蓄水能力 濾層設計於 3.2.4-2 說明，配合不織布補助濾層設計</p> <p>依建議刪除重複部份</p>

	<p>草溝之敘述。</p> <p>5、囚砂設施之堤防的壩體穩定及上浮力檢討請釐清。</p> <p>6、一般皆將囚砂與滯洪池合併放置，請問是否可對其略為評述。</p> <p>7、各設施之適用範圍可否再加強敘述，如適用集水區大小。</p>	<p>會議中已說明</p>
大陸工程青山鎮主任李孟哲先生	<p>1、EDF-01 透水性鋪面（建議可改為透水性鋪面）。</p> <p>2、EDF-02 乾式草溝示意圖、縱斷面與橫斷面，請略修正一致。</p>	<p>透水性鋪面可能較容易被當作只稱鋪面層</p>
土木技師事務所高文宗技師	<p>1、土壤入滲率現場入滲測定請附圖示以利閱讀。</p> <p>2、文中「億流」請修正為「溢流」。</p> <p>3、水質體積、前池體積請附名詞定義。</p> <p>4、永久性沉砂池容量說明與實例標註項次請修改為一致性。</p>	<p>將列入討論並在手冊中說明。</p> <p>已修正為「溢流」</p> <p>另內容WQ_v全部改為V_{wQ}與圖例一致</p> <p>前池體積加英文說明及依功能改稱沉澱前池。</p>
台北科技大學土木工程系土木與防災組陳彥彰教授	<p>1、透水性鋪面孔隙易受阻塞，通常需利用高壓水柱定期清洗。</p> <p>2、排水設施（各項）希望能有配置圖，再有各細項之示意圖。</p> <p>3、乾式或濕式草溝皆需要維護管理。</p> <p>4、草溝 N 值應儘可能提供。</p> <p>5、砌石溝邊坡基腳的保護應受重視。</p> <p>6、沉砂池之設計應可考慮泥砂之沉降速率而決定。</p>	<p>鋪面每年清理四次，使用吸塵及高壓水柱沖洗兩道程序。</p> <p>在各種集排水設施之維護問題已補充詳細說明。</p> <p>不同草種類對粗糙係數之影響說明於 3.4.6-2-(9)</p> <p>目前該計劃對汙泥尚只考慮初級處理</p>

<p>台灣大學生物 環境系統工程 學系譚義績教 授</p>	<p>1、6.2.3 地下水補助體積建議 改為地下水補注體積。 2、6.2.5 小型矮壩建議改為攔 砂壩。 3、設施之管理建構第一年前 幾個月多做幾次檢視，試問檢 試什麼？排洪能力？或水質 體積量。 4、6.2.8 文章敘述不能詳細表 達前池體積，建議修改是否為 沉砂池。</p>	<p>對於生態工法之永續 發展的效益，本研究 將在管理部份詳細說 明以維護工程之品質 及使用年限。 依功能改稱沉澱前池</p>
---	--	--

附錄七 山坡地住宅社區開發型態與集排水設施

現況調查表

1、基本資料

社區名稱：_____ 地址_____ 戶數_____ 整地開發時間_____

受訪人_____ 電話_____ 傳真_____ 人數_____

調查單位：_____ 填表人_____ 社區面積_____

聯絡人_____ 電話_____ 傳真_____

房屋形式：透天樓房公寓大樓(樓) 辦公大樓(樓) 平房其他_____

建築形式：RC加強磚造鋼骨其他_____

2、調查項目

行政區別：		集水區面積(ha)：					
坡向：		平均坡度：					
航測圖號：		填表者及日期：					
現場照片編號：		校核者及日期：					
說明表							
	項次						
開發型態描述	1 基地型態						
	2 空地比率						
	3 開發形式						
	4 道路型態						
	5 排水型態						
	6 整地形式						
	項次	項目	長	寬	高	相片	檢討
排水設施種類調查	7	矩形溝					
	8	U型溝					
	9	梯型溝					
	10	管涵					
	11	箱涵					
	12	草溝					
	13	齒坡					
	14	跌水工					
	15	衝擊式消能池					
	16	SAF 靜水池					
	17	豎井					
排水設施破壞調查	18	滯洪池					
	19	沉砂池					
	20						
水患紀錄	21						
	22						
生態設計手法：							
排水情況總評	說明						
不良							
尚可							
優良							

調查人：

參考文獻

1. Connecticut Storm water Quality Manual, 2004, Storm water Treatment Practice Design Guidance.
2. CASQA, 2003, Storm water Best Management Practice Handbook: New Development and Redevelopment.
3. US EPA, 2000, Guiding Principles for Constructed Wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat.
4. Maryland Department of the Environment, 2000, Maryland Storm water Design Manual Water Management Administration.
5. Virginia Storm water Management Handbook, Volumes 1 and 2, 1st Edition, 1999, DCR minimum standard 3.04, “Sediment Fore bay for further information”.
6. Water Environment Federation and ASCE. 1998. Urban Runoff Quality Management, WEF Manual of Practice No. 23 and ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 87.
7. Ohio Department of Transportation, 1997, Construction & Material Specification.
8. King County, 1996, Surface Water Design Manual, King County Surface Water Management Division, Washington.
9. US EPA, 1993, Natural Wetlands and Urban Storm water: Potential Impacts and Management
10. <http://www.epa.gov/owow/wetlands/stormwat.pdf>.
11. US EPA, 1993, Office of Water. Guidance to Specify Management Measures for Sources of Non point Pollution in Coastal Waters. EPA-840-B-92-002. Washington, DC
12. Urbonas, B.R., et al., 1992, Urban Storm Drainage Criteria Manual, Volume 3 – Best.
13. Colorado Department of Transportation, 1992, Erosion Control and Storm water Quality Guide.
14. Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SWRPC). 1991, Costs of Urban Non point Source Water Pollution Control Measures, Waukesha, WI.

15. Schueler, T. R., 1987, Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs, Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC.
16. Maryland Department of Natural Resources, 1984, Maryland Standards and Specifications for Storm water Management Infiltration Practices Standards and Specification for Infiltration Practices.
17. 行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會編印，2006，水土保持手冊—工程方法篇。
18. 台北市土木技師公會，2006，水土保持相關法令彙編，詹氏書局。
19. 林德貴、賴原崇、劉文宗，2004，「河溪整治自然生態工法之設計與分析」，土木科技新展望研討會。
20. 行政院農業委員會水土保持局編，2003，水土保持技術規範。
21. 內政部營建署，2002，「市區道路工程規劃及設計規範之研究」，台北，內政部營建署。
22. 林鎮洋，2002，「集水區親水及生態工法之建立」，台北，經濟部水資源局。
23. 日本國土開發技術研究中心，1999，護岸の力学設計法，山海堂出版。
24. 內政部營建署，1997，山坡地住宅安全居住手冊。
25. 台灣省土木技師公會，1998，山坡地和土石流對土建工程之影響。
26. 內政部建築研究所，1999，都市防災及山坡地災害防治研討會論文集。
27. 林美聆、秦中天，1999，山坡地社區開發邊坡穩定工法技術現況調查分析，內政部建築研究所。
28. 陳建忠、陳明竺，1999，山坡地建築規劃設計階段安全防災技術手冊之研究，內政部建築研究所。
29. 台灣省土木技師公會，2000，水土保持法及相關法規。
30. 陳建忠、吳銘志，2000，山坡地災害案例之調查建置，內政部建築研究所。

31. 中華民國土木技師公會全國聯合會，2002，山坡地開發之災害防治研討會資料。
32. 行政院農業委員會水土保持局，2002，土石流防災應變對策研討會論文集。
33. 林信輝，2003，臺灣地區自然生態工法個案圖說彙編。
34. 行政院公共工程委員會，2004，生態工法案例編選集。
35. 行政院公共工程委員會，2003，生態工法博覽會成果報告。
36. 行政院公共工程委員會，2004，生態工法博覽會成果報告。
37. 林鎮洋，2004，生態工法技術參考手冊 Ecological engineering methods manual。
38. 陳主惠等，2002，降雨對坡地多層含水層效應影響研究，台灣水利季刊 50 卷 3 期。
39. 陳主惠等，2003，入滲對非飽和邊坡淺層崩塌發生機制之研究，中華水土保持學報。