

# 坡地災害防治技術研究

子計畫一：既有山坡地社區應用生態  
防災工法及效益評估之研究

內政部建築研究所委託研究報告

093301070000G1020  
P G 9 3 0 2 - 0 8 7 1

## 坡地災害防治技術研究

### 子計畫一：既有山坡地社區應用生態 防災工法及效益評估之研究

受委託者：淡江大學

研究主持人：洪勇善

協同主持人：陳榮河

研究員：吳朝賢

研究助理：何嘉浚 沈哲緯 邱佑銘

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國九十三年十二月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH  
INSTITUTE MINISTRY OF THE INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT

**Feasibility Assessment of Ecological  
Engineering Technique in Improving Slope  
Stability of Aged Communities**

BY

YUNG-SHAN HONG

RONG-HER CHEN

CHO-SEN WU

GAN-CHING HO

CHE-WEI SHEN

YOU-MIN CHIU

December 20, 2004

## 目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	VIII
摘要.....	X
英文摘要.....	XII
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究動機及目的.....	1
第二節 設計原則 .....	2
第三節 坡地社區應用生態防災工法重要性 .....	3
第四節 研究計畫內容 .....	6
第二章 坡面沖蝕評估方法與排水設施配合使用情況.....	8
第一節 概述 .....	8
第二節 台灣地區坡面沖蝕評估方式.....	10
第三節 坡地社區排水工法適用性探討 .....	13
第三章 坡面保護工應用於坡地社區之適用性.....	25
第一節 土壤生物工程技術與生物地工技術.....	25
第二節 地工合成材配合植生抗沖蝕方法 .....	34
第四章 檔土工應用於坡地社區之適用性.....	43
第一節 檔土工之分類及適用性.....	43
第二節 既有混凝土結構覆土植生 .....	45
第五章 坡地社區生態防災工法之穩定分析 .....	55

第一節 植物根系固土能力穩定分析 .....	55
第二節 檔土工之穩定分析.....	72
第六章 生態擋土工法於山坡地社區防災之效益評估.....	80
第一節 效益成本分析.....	81
第二節 效益評估模式之建立.....	84
第三節 工料單價分析.....	92
第四節 案例分析.....	99
第七章 坡地社區生態防災工法施工規範大綱.....	118
第八章 結論與建議.....	129
第一節 結論.....	129
第二節 建議.....	130
參考文獻 .....	133
附錄一 台灣坡地土壤流失量估算方法.....	137
附錄二 排水系統設計原則.....	153
附錄三 跌水定義及相關規定 .....	157
附錄四 涵管定義及相關規定 .....	160
附錄五 台灣赤楊與羅滋草根系固土分析結果.....	163
附錄六 生態防災工法施工規範大綱-植生篇 .....	172
附錄七 第一次專家座談會專家意見.....	182
附錄八 期中審查專家意見.....	187
附錄九 第二次專家座談會專家意見.....	194
附錄十 聯合研討會專家意見.....	201

## 表次

表 2-1 沖蝕型態與介質 .....	9
表 2-2 可容許土壤流失量 T 之各項因子分級結果.....	11
表 2-3 草溝說明表.....	15
表 2-4 砌石溝與堆石溝說明表.....	16
表 2-5 植生客土溝說明表.....	17
表 2-6 拋碎石溝說明表.....	18
表 2-7 各種襯砌材料排水溝最大容許流速概估表.....	19
表 2-8 截水溝說明表.....	20
表 2-9 暗渠（盲溝）說明表.....	22
表 2-10 水平排水管說明表.....	23
表 2-11 排水工適用範圍總表.....	24
表 3-1 植生樁配合抗沖蝕網方法說明表.....	28
表 3-2 切枝壓條法說明表.....	29
表 3-3 打樁編柵方法說明表.....	30
表 3-4 萌芽枝條捆說明表.....	31
表 3-5 常見植生方法及適用範圍.....	32
表 3-6 型框噴植法說明表.....	33
表 3-7 抗沖蝕地工合成材料種類表.....	38
表 3-8 蜂巢格網抗沖蝕應用說明表.....	39
表 3-9 加勁椰纖毯抗沖蝕應用說明表.....	40
表 3-10 生態性地工材料抗沖蝕應用說明表.....	41

表 3-11 坡面保護工適用範圍總表.....	42
表 4-1 砌石工法說明表.....	46
表 4-2 格框工法說明表.....	47
表 4-3 箱籠工法說明表.....	48
表 4-4 加勁工法說明表.....	49
表 4-5 加勁擋土牆回填料級配規格.....	50
表 4-6 加勁擋土牆內部穩定分析.....	51
表 4-7 加勁擋土牆外部穩定分析.....	51
表 4-8 土釘混合噴植法說明表.....	52
表 4-9 擋土工適用範圍總表.....	53
表 4-10 既有混凝土結構覆土植生說明表.....	54
表 5-1 常見用於邊坡穩定植物之特性.....	56
表 5-2 山坡地土壤之 $c$ 、 $\phi$ 值及土壤單位重.....	63
表 5-3 坡高為 3m、6m、10m 邊坡之安全係數.....	63
表 5-4 植生後土壤剪力強度提升百分比.....	64
表 5-5 根系土壤剪力強度參數(一).....	64
表 5-6 臺灣赤楊、羅滋草植生之根系土壤剪力強度增量.....	65
表 5-7 根系土壤剪力強度參數(二).....	65
表 5-8 經五節芒植生後邊坡安全係數平均提升倍數.....	68
表 5-9 經白茅植生後安全係數平均提升倍數.....	68
表 5-10 經百喜草植生後安全係數平均提升倍數.....	68
表 5-11 經百慕達草植生後安全係數平均提升倍數.....	69

表 5-12 經臺灣赤楊植生後安全係數平均提升倍數.....	69
表 5-13 經羅滋草植生後安全係數平均提升倍數.....	69
表 5-14 設計邊坡所選用之 c、 $\phi$ 值.....	73
表 5-15 工法模式輸入參數.....	73
表 5-16 分析模型示意表.....	74
表 5-17 坡高 3m 邊坡之安全係數值.....	75
表 5-18 基礎水平佈置砌石牆之穩定分析結果.....	76
表 5-19 基礎傾斜佈置砌石牆之穩定分析結果.....	76
表 5-20 基礎水平佈置箱籠牆之穩定分析結果.....	77
表 5-21 基礎傾斜佈置箱籠牆之穩定分析結果.....	77
表 5-22 基礎水平佈置木格框牆之穩定分析結果.....	78
表 5-23 基礎傾斜佈置木格框牆之穩定分析結果.....	78
表 6-1 整治工法效益及整治工程成本之評估內容.....	85
表 6-2 可計效益分析內容.....	87
表 6-3 不可計效益分析內容.....	88
表 6-4 檔土工法之不可計效益評估因子評分表.....	91
表 6-5 30cm 厚乾砌塊石牆單價分析表.....	94
表 6-6 加勁擋土牆單價分析表.....	94
表 6-7 混凝土格框牆單價分析表.....	95
表 6-8 箱籠牆單價分析表.....	96
表 6-9 土釘混合噴植法單價分析表.....	97
表 6-10 象神颱風基本資料表.....	102

表 6-11 加勁牆穩定分析.....	105
表 6-12 土釘牆穩定分析.....	106
表 6-13 箱籠牆穩定分析.....	107
表 6-14 混凝土格框牆穩定分析.....	108
表 6-15 加勁牆工程成本分析表.....	110
表 6-16 土釘搭配砌石牆工程成本分析表.....	111
表 6-17 箱籠牆工程成本分析表.....	112
表 6-18 混凝土格框牆工程成本分析表.....	113
表 6-19 可計效益分析表.....	114
表 6-20 不可計效益分析表.....	115
表 7-1 砌石牆施工規範大綱參考表.....	120
表 7-2 混凝土格框擋土牆施工規範大綱參考表.....	122
表 7-3 木格框擋土牆施工規範大綱參考表.....	123
表 7-4 箱籠牆施工規範大綱參考表.....	124
表 7-5 加勁擋土牆施工規範大綱參考表.....	126
表 7-6 土釘混合噴植法施工規範大綱參考表.....	128
表 8-1 生態防災工法基本圖彙編.....	132
附表 1 土壤結構參數表.....	141
附表 2 土壤滲透性參數表.....	141
附表 3 台灣各地之土壤沖蝕指數.....	143
附表 4 S 值修正表( $C_u:C_d$ ) .....	147

附表 5 植生覆蓋因子 (C) 表.....	150
附表 6 冠層遮蔽次因子(CC 值) .....	151
附表 7 殘株數蓋次因子(CS 值) .....	152
附表 8 高填土坡之 P 值表.....	152
附表 9 曼寧粗糙係數表.....	155
附表 10 最大容許(安全)流速.....	156
附表 11 台灣赤楊(一)坡面植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數.....	164
附表 12 台灣赤楊(一)坡面植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數.....	164
附表 13 台灣赤楊(一)坡面植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數.....	165
附表 14 台灣赤楊(二)坡面、坡頂植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數.....	165
附表 15 台灣赤楊(二)坡面、坡頂植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數.....	166
附表 16 台灣赤楊(二)坡面、坡頂植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數.....	167
附表 17 羅滋草(一)坡面植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數.....	167
附表 18 羅滋草(一)坡面植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數.....	168
附表 19 羅滋草(一)坡面植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數.....	169
附表 20 羅滋草(二)坡面、坡頂植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數.....	169
附表 21 羅滋草(二)坡面、坡頂植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數.....	170
附表 22 羅滋草(二)坡面、坡頂植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數.....	171
附表 23 地工織物品質要求.....	175

## 圖次

圖 1-1 計劃進行流程圖.....	7
圖 2-1 土壤沖蝕程度分級流程圖.....	12
圖 3-1 坡地社區常用植生方法示意圖.....	32
圖 4-1 加勁擋土牆設計流程.....	50
圖 5-1 邊坡之基本幾何形狀.....	57
圖 5-2 根系補強後土壤剪力強度之變化.....	58
圖 5-3 加勁材以不同加勁方向在乾砂中的補強效果.....	59
圖 5-4 垂直加勁材與隨機加勁材剪力強度之比較.....	59
圖 5-5 垂直於水平剪力帶之彈性根模式.....	60
圖 5-6 坡面植生模擬之情況.....	66
圖 5-7 坡面、坡頂植生模擬之情況.....	66
圖 5-8 五節芒坡面植生於坡高 6m 根入深度與安全係數提升比之關係.....	67
圖 5-9 五節芒坡面、坡頂植生於坡高 6m 根入深度與安全係數提升比關係.....	67
圖 6-1 案例之位址及其邊坡經象神颱風崩塌後之修復情形.....	100
圖 6-2 案例區域之五萬分之一地質圖.....	101
圖 6-3 案例之邊坡滑動破壞、基腳裸露之情形.....	103
圖 6-4 加勁擋土牆施作完成後復育情形.....	103
圖 6-5 整治工法效益比較圖.....	117
附圖 1 台灣等降雨沖蝕指數圖.....	140
附圖 2 通用土壤流失公式 K 值圖.....	142

附圖3 地形縱斷面圖.....	148
附圖4 砌石與砌磚跌水（E型跌水）示意圖.....	159
附圖5 淡水樹興里之土袋木樑跌水工.....	159
附圖6 涵管側面圖.....	162

## 摘要

關鍵詞：坡地社區、邊坡穩定、生態防災工法、適用性、效益評估

### 一、研究緣起

台灣位於板塊運動劇烈之處，山高水急且地質破碎，再加上地震、豪雨頻繁，邊坡穩定與保護設施向受重視。早期山坡地社區開發時，由於法令規章之不足、設計考量不夠周延，使得坡地社區之邊坡穩定與保護措施稍嫌不夠完備，導致每逢颱風豪雨即常有災情產生。因此，提升安全，避免災變發生為當前坡地社區防護之重點；故既有坡地社區之邊坡防災工法，便顯得格外重要。再加上近年來民眾對於生態、環保意識的覺醒，以往以混凝土構築為主之邊坡整治工法因僅強調結構之安全性及耐久性，較少考量施工及使用期間對當地環境之衝擊，以致於常無形中破壞了自然環境景觀，此類工法已漸不符大眾對環境生態之要求。因此，多方考量結構安全、經濟成本與環境生態之生態防災工法，乃逐漸成為防災整治方式之共識。

### 二、研究方法及過程

本計劃蒐集國內外相關文獻，歸納可應用於既有坡地社區整治之生態防災工法，提供工法選擇時之參考依據，期使生命財產能獲得保障，山坡地自然資源亦可以永續發展。

本報告研究內容主要分為三部分：1. 針對適用於既有坡地社區之生態防災工法，包括排水工法、坡面保護工法及擋土工法等，整理各工法之設計原則及適用性，並研擬各類工法之設計參考圖說與施工規範大綱，以提供各界參考。2. 討論植物根系在邊坡穩定所扮演的角色與發揮之效益，以及台灣土壤沖蝕量之評估方法。3. 依據安全、生態、減廢與節能等觀點，初步建立生態防災工法在既有坡地社區防災之效益評估模

式，並以一實際工程案例說明如何使用本計畫所建立的評估模式進行分析，以利工程人員作為方案評選時之參考。

### 三、重要發現

本研究由根系力學模式配合邊坡穩定分析，獲知植生根系對邊坡深層穩定的功效相當有限，係以淺層防沖蝕為主要功能。為避免坡地社區土壤流失，及維持良好的生態環境，適當的排水系統扮演著重要的角色；研究中依據坡地地形、逕流流速與保全對象等因素，分別建議草溝、拋碎石溝、植生客土溝與砌石溝等適用情形。另以參考圖說之方式提出目前可應用於坡地社區生態防災之各類型擋土工法，及其設計原則與適用範圍，內容包含砌石工法、箱籠工法、格框工法、加勁工法以及土釘混合噴植法等。對生態防災工法整治之效益，分為可計效益及不可計效益。可計效益評估主因子為保全對象，評估次因子包括潛在保全房屋數及潛在保護人口數；而不可計效益，評估主因子為生態環境與環境衝擊，前者次因子包含植被復育、生物棲息及視覺景觀，後者則為施工公害及減廢節能，其評估項目則採用評分之方式進行衡量。

### 四、主要建議事項

#### 短期立即可執行之建議

1. 建立生態工法之生態正面指標，以及減少施工所產生的生態環境破壞，藉以更具體評估各生態防災工法之適用性。
2. 建立生態防災工法基本圖說，使工程設計人員有所依循。

#### 長期研究方向

1. 本計畫所建立之工法效益評估模式主要是針對工程施工時之效益，對於整治工程施工前之生態調查與施工後之生態復育評估，建議可再進行深入之研究。

## ABSTRACT

**Keywords:** hillside residential communities, slope stability, ecological engineering methods, feasibility assessment, performance exploration

Due to insufficiencies in development regulation and design code in the 80 eras, many slopes located in old hillside communities need to be renovated to increase their stability. Besides, improvements of living standard in Taiwan nowadays call forth people's attention to the preservation of ecological system during and after construction of renovating works. The purpose of this research is to explore the feasibility of slope stabilizing techniques that have less impact to the ecological and environmental systems in renovating existed slopes under the prerequisite of ecological and environmental protections.

The primary objectives of this research work include the following aspects:

- (1) Exploring the scopes and limitations of the ecological engineering techniques in renovating the stability facility for slopes especially for those located in old hillside communities. The design sketches and the outlines of regulations are also provided.
- (2) Assessing the feasibility and effectiveness of the vegetation as well as new materials in renovating the stability of slopes.
- (3) Under the prerequisites of safety, ecological preservation, waste diminution and energy conservation, providing a preliminary model for performance evaluation. In addition, illustrating the assessment model through a case study for engineers to refer.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究動機及目的

台灣地區近二十年來因人口增加，居住、交通及休閒旅遊等需求迫切，又因平地發展飽和，導致山坡地開發建築行為日漸增多。然而，原本本地質就相當軟弱而不利於邊坡穩定，又因不當的建築開發行為破壞大自然平衡，導致颱風豪雨來襲而經常發生邊坡崩塌事件。其中民國 86 年溫妮颱風襲台，造成台灣北部重大傷亡，如台北縣汐止林肯大郡擋土牆崩坍，造成五百多戶屋損，更造成數十人傷殘與死亡，充分揭露山坡地社區開發所潛藏的問題，終於喚醒國人對山坡地社區防災觀念之警覺心。而以往坡地社區之整治常以安全性及經濟性為主要考量，無形中破壞了自然生態與景觀。隨著國民生活品質的提升，及生態環境保育意識抬頭，於是，「生態工法」(ecological engineering methods)乃漸成為共識。因此，既有坡地社區整治與維護如何達到平衡點，除了應深切體認「生態、安全、經濟」三項重點考量外，更應該落實生態防災工法之精神方可有效抑止災害威脅擴大。

生態工法基本上是遵循自然法則，在工程中考量自然與人類的共存共榮。台灣生態工法之觀念與技術的發展過程，也與國外相同，仍偏向溪流治理方面的應用，而較缺乏坡地社區整治之相關生態防災工法的依據。由於生態保育觀念逐漸受到重視，工程整治時各單位也極力朝兼顧環境保育之方向努力；然相關的設計與技術手冊缺乏。因此，提出適合於既有坡地社區整治之各類生態防災工法及設計考量原則乃是刻不容緩的工作。

於群聚密度較高之社區（例如老丙建等）進行工程整治時，更應謹慎分析，以界定各種可能採用工法之適用條件與範圍，並釐清工程人員對生態工法應用於坡地整治之安全的疑慮。有鑑於此，本計畫將通盤檢討各種工法應用於既有山坡地社區防災之適用性與環境影響效益

評估；並建立適用工法之參考圖說與施工規範大綱及注意事項。冀望透過此研究計畫能使生態工法更廣泛且成功地應用於社區坡地之穩定，以期減少坡地社區災害的發生，並朝向落實生態保育與安全並重方向邁進。

## 第二節 設計原則

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。

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，尚須由生態工程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法的成功及維護的便利。

### 第三節 坡地社區應用生態防災工法重要性

台灣四面環海，面積約三萬六千平方公里，其中山坡地面積約佔百分之七十，平地約佔百分之三十。且隨著經濟之發展，人文社經活動必然會從飽和的都市社區，逐漸往鄰近的山坡地遷移。因此適度的開發利用山坡地，應為未來都市發展趨勢；唯開發過程中，必須兼顧生態環境，降低與自然界衝突，才能在和諧的自然環境中提昇生活品質。

因連年風災侵襲，充分揭露山坡地社區開發所潛藏的問題。終於喚醒國人對於山坡地災害之警覺心，有鑑於此，本研究中將建議適用於坡地社區之生態防災工法，主要由工程觀點，依據地質、地形狀況，檢討符合生態精神之邊坡穩定工法，提出相關參考圖說與施工規範大綱，提供日後建置坡地社區防災工法系統配置之參考。

#### 一、生態防災工法定義與特性

依據91年8月14日行政院公共工程委員會生態工法諮詢小組會議決議，生態工法之定義為：「基於對生態系統之深切認知及永續發展觀念，而採用以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害」。

然而位居建築密集之坡地社區，保護對象較一般護岸與道路邊坡為多，此時更應以安全為首要，生態為導向方為上策，故本研究中將生態

防災工法定義為：「以安全為基礎、生態為導向，藉以減少周遭生態環境之衝擊，而達到生態與防災目的之工程方法稱之」。

由上述定義可知，生態防災工法將以往傳統防災工法僅注重安全防災理念中加入生態環境思維；於規劃設計時，除考量生態基礎外，也應妥善檢討工法之安全性與工程設施之經濟性，並訂定生態防災工法應用範圍及目的，並於生態、安全與經濟之間取得最佳平衡點。以下即對生態、安全與經濟三項考量要素進行說明。

### 1. 生態考量

若施工地區為保全對象較多之社區時，應考量工程構造物之負面效應。設計規劃時，盡量在安全考量前提無虞之下，將社區周遭生態環境之調和，評估納入工程設計考量之一。此時如何善用當地上砂、植生等材料，以及如何降低施工過程及工程結構對當地生態之影響，進而達到當地環境、生態復舊及再生，將是首要課題。

### 2. 安全考量

若施工地區有特定之保護對象、重要之維生體系，或特殊地點時，安全將會是優先考量。尤其像台灣地形陡峻、人口稠密，便不能不提升安全性的考量。此時，生態防災的理念就有需要稍加退讓。設計規劃時須依穩定性評估、安全係數設定、力學檢算及坡面穩定分析為依據，土、砂、水泥、鋼筋等工程材料為主要使用材料。然若能善加利用施工現場或附近現存的塊石、木材等天然資材，配合植生並輔以有利生物棲息生長之人造資材等多樣性之材料，則可降低工程結構物之視覺衝擊性。

### 3. 經濟考量

除生態及安全之考量外，設計時亦應注意工程設施之經濟性，以避免資源過度浪費。然而推廣到山坡地土地開發規劃及評估時，即應就土地開發之必要性與程度，環境保育及所需建構之防災設施進行整體評估，及投資效益之分析。

## 二、坡地災害類型

台灣地區近年來因平地發展飽和，導致山坡地開發建築行為日漸興盛，然而坡地地質脆弱常因不當之建築開發行為而導致災害發生。規模較大者如民國78年及83之淡水米蘭山莊二次崩塌、民國84年之三峽白雞山莊住宅滑動、民國85年賀伯颱風所造成的土石流事件，以及民國86年溫妮颱風過境時發生的林肯大郡災變等，均讓人記憶猶新。

依據文獻及災害案例資料整理，屬脆弱地質所產生之坡地災害類型，大致可分為以下七類災害案例，：（中央地質調查所，2001）

- 1.順向坡地：如汐止林肯大郡、台北虎山；
- 2.崩積土坡：如外雙溪之中央社區；
- 3.紅土坡地：如林口台地之嘉寶村；
- 4.泥岩坡地：西南部泥岩地區；
- 5.填方坡地：如米蘭山莊、頂好花園城、白雞山莊；
- 6.陡坡或懸崖下方：為數眾多之落石災地與陡坡風化土、岩發達之地區；
- 7.谷口沖積扇(土石流區)：如花蓮銅門社區、信義鄉郡坑口。

## 三、生態防災工法重要性

近年來，人們對於生活水準的需求，逐漸要求質的提升。亦即不僅要求安全、安心、安穩的生活品質，對於自然環境的關心程度亦與日俱增。因此，自然環境的開發利用與維護如何達到平衡點，除了應深切體認「生態、安全、經濟」三項重點考量外，更該落實生態防災工法之精神。

本研究中將生態防災工法區分為三類，即坡面保護工、擋土工與排水工。其中坡面保護工係避免因降雨逕流沖刷導致土壤嚴重流失，而輔以生態整治工法，如植生方法可以根系穩固表土避免沖刷，其根系亦有

土壤加勁之效，具有邊坡穩定功能。此外，坡地社區破壞案例中往往會因為排水系統不良，導致邊坡破壞，故於既有坡地社區整治時，也應配合排水工法；排水系統之目的主要在攔截地表水或地下水，並加以誘導排除，避免邊坡因水的影響而破壞。此外，在安全考量方面，應該輔以具擋土功能之生物地工技術，並融入生態環境因子考量。本研究目的在搭配各類型生態防災工法，使其整合為一體，共創一個舒適、便利、安寧而又景觀優美的生活環境。

#### 第四節 研究計畫內容

台灣位於板塊運動劇烈之處，山高水急且地質破碎，再加上地震頻繁，故提昇坡地社區安全，避免災變發生，為坡地社區安全防護之重點。以往邊坡整治工法多強調結構之安全性及耐久性，較少考量對當地環境生態之衝擊，以致工程常被批評對生態造成不利影響。但若僅以生態為主要考量，雖是較符合永續發展的方法。但自然復育通常需時甚久，恐無立竿見影的功效。且其間可能因為自然及人為因素破壞復育效果，而延長其復原時程。因此，在考量安全性及時效性上，須輔以工程來治理；而如何使人造工程在合乎安全需求外，亦能保持當地之自然生態環境，將是未來邊坡整治的重點之一。

穩定邊坡的工程方法繁多，諸如：坡面保護工、擋土工與排水工。這些方法亦常相互搭配使用。其中部份工法對生態環境的衝擊較小，亦較易於植生復育。故本計畫現階段由工程觀點，除探討生態工法於既有坡地社區之適用性外，也將進一步分析植生對邊坡所扮演的角色與穩定效益。

本計畫研究內容主要如下（如圖 1-1 流程圖所示）：

1. 檢討各種工法於坡地社區防災之適用範圍與限制，及排水設施配合使用情形。

2. 植生對邊坡穩定效益與抗沖蝕之評估。
3. 擬定各類型生態工法應用於坡地社區之參考圖說與施工規範大綱。
4. 評估生態工法應用於坡地社區防災之效益。

而對於施工前之生態調查與施工後之生態復育評估，因時間與經費限制，不在本計畫範圍。

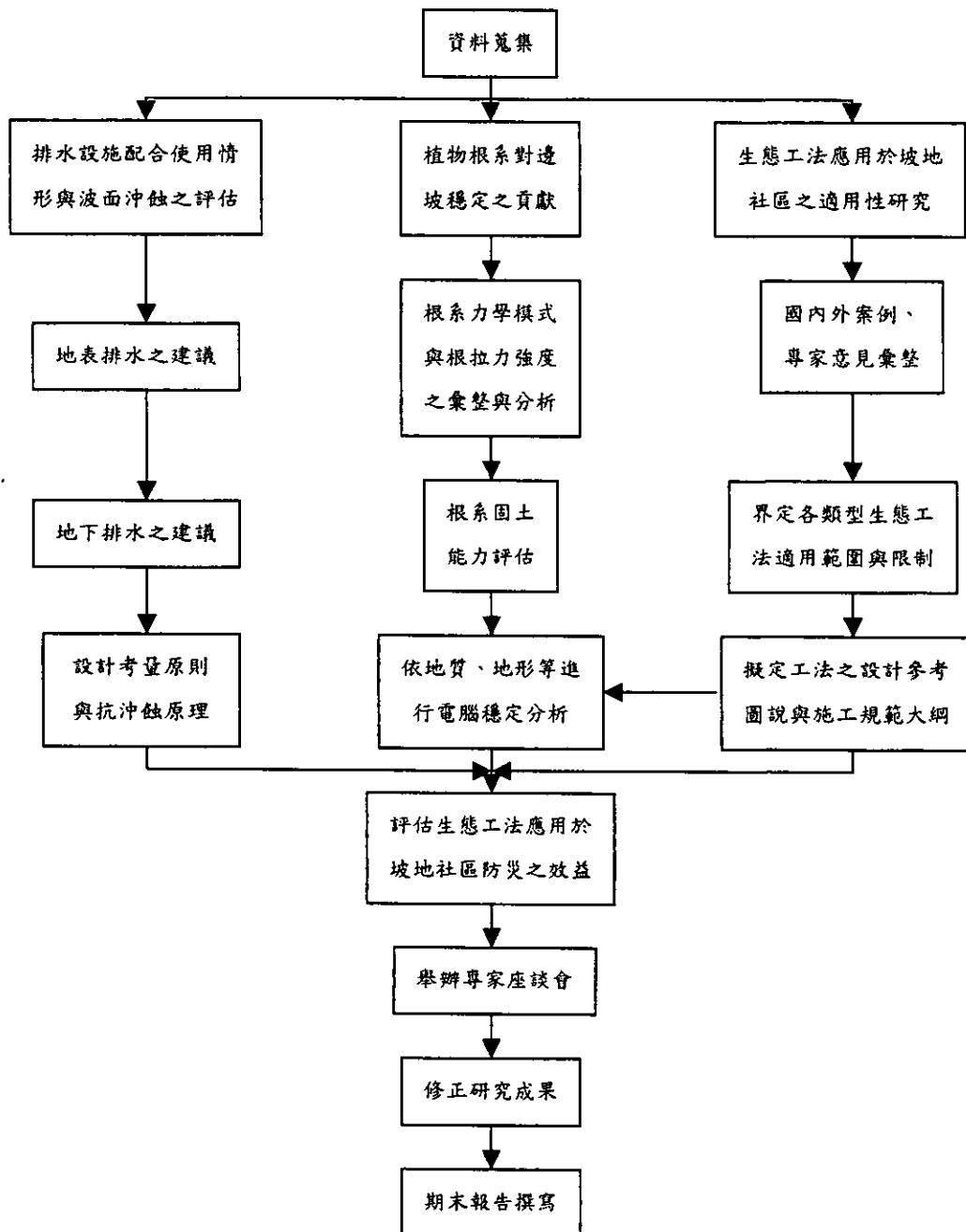


圖 1-1 計劃進行流程圖

## 第二章 坡面沖蝕評估方法與排水設施配合使用情況

影響山坡地穩定的因素很多，例如地形、地質、地下水位的高低、外加載重（如地震）、植生覆蓋的程度...等等。在此諸多因素中，土壤沖蝕扮演了改變邊坡地勢很重要的角色。此外沖蝕不僅造成下游泥沙的淤積，水品質的降低，也會造成邊坡不穩定，及生態環境破壞。

有鑑於此，山坡地社區整治邊坡沖蝕問題時，須同時配合排水工法與土壤生物工程技術 (soil bioengineering)。排水工法之目的主要在攔截地表水或地下水，並加以誘導排除，以避免邊坡因水壓過大而破壞，亦可減少坡面沖蝕達到坡面穩定之功效；而土壤生物工程技術方法主要是以生物性資材來達成坡面抗沖蝕之方法。本章首先將蒐集之資料綜合整理出適合坡地土壤沖蝕之預測公式，此外，也將建議坡面沖蝕控制方法，冀望能對生態防災工法應用於既有坡地社區防災之適用性評估能有所助益。

### 第一節 概述

土壤受外力(主要如雨水、逕流、風力)的剝蝕作用，及地震、重力等衝擊後，自固結之土體分離、搬移與沉積的現象，稱之為土壤沖蝕。其中最常見且危害最大者為水蝕與風蝕。水蝕乃是水滴打擊地面之動能與地面逕流剪切力之作用而發生。風蝕是風之動能引起土粒移動。兩者又以水蝕較為嚴重。水蝕型態依程度可分為雨滴沖蝕(raindrop splash)、層狀沖蝕(sheet erosion)、指狀沖蝕(rill erosion)、溝狀沖蝕(gully erosion)、河道沖蝕(stream channel erosion)及地下水沖蝕 (groundwater erosion)；風蝕僅是程度的不同而已；除了水蝕與風蝦之外尚有因地質作用所引起之沖蝕稱為地質沖蝕，可分為潛變 (creep)、土石流動 (earth flow)、雪崩 (avalanche) 及土石滑動 (debris slide)，詳見表 2-1 分類所示。

土壤沖蝕對生態環境之破壞有重大的影響，例如水的沖蝕造成河水品質降低、邊坡呈現不穩等。風蝕會造成空氣污染和塵土堆積，沖蝕程度越大則所引起的環境衝擊與地質災害越劇烈。

由上述可知生態防災工法應用於坡地社區時，其土壤沖蝕評估與控制為相當重要的課題，故於坡地社區之坡面抗沖蝕及坡面穩定技術方法，應輔以符合生態防災工法基本精神之土壤生物技術，以達到穩定坡面及降低對生態環境傷害之雙贏目標。

表 2-1 沖蝕型態與介質 (Gray 與 Sotir, 1996)

沖蝕介質	沖蝕型態分類
水	雨滴沖蝕 (raindrop splash)
	層狀沖蝕 (sheet erosion)
	指狀沖蝕 (rill erosion)
	溝狀沖蝕 (gully erosion)
	河道沖蝕 (stream channel erosion)
	波浪作用 (wave action)
	地下水沖蝕之 管湧和穴蝕作用 (piping & sapping)
風	僅程度大小之分
重力 (地質沖蝕)	潛變 (creep)
	土石流動 (earth flow)
	雪崩 (avalanche)
	土石滑動 (debris slide)

## 第二節 台灣地區坡面沖蝕評估方式

### 一、一般性描述

本節僅討論水的沖蝕（或簡稱沖蝕）。而利用經驗公式或基本力學原理來預估土壤沖蝕量稱為土壤沖蝕預測。

### 二、土壤流失預測公式簡介

土壤流失預測公式繁多，以下將台灣最常使用之土壤流失預測與評估預測公式簡述如下：

目前，在台灣最常使用即是通用土壤流失方程式(USLE)。（水保手冊，1992）

$$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P \quad (2-1)$$

其中

$A_m$ ：土壤流失量( $\text{ton}/\text{ha}/\text{year}$ )；換算成體積時以 $1.4\text{ton}/\text{m}^3$ 計之。

$R_m$ ：降雨沖蝕指數( $10^7 \text{J} \times \text{mm}/\text{ha} \times \text{hour} \times \text{year}$ )。

$K_m$ ：土壤沖蝕指數( $\text{ton} \times \text{ha} \times \text{year}/\text{ha} \times 10^7 \text{J} \times \text{mm}$ )。

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。

其中本省坡地土壤流失量估算方法，請參閱附錄一。

對於單一地區只用土壤流失作為單一指標不具有客觀性，採用單一土壤流失指標則會將較厚土層之地區視為嚴重土壤流失，故在此需採用「土壤流失量 $A_m$ 」與「可容許土壤流失量 $T$ 」(台灣營建研究院，2004)兩個值相減即可反應出該地區之土壤沖蝕等級。

$$T = \frac{DP \times RA}{6PM + 4DR} \quad (2-2)$$

T：可容許土壤流失量(ton/ha/year)

DP：土壤有效深度

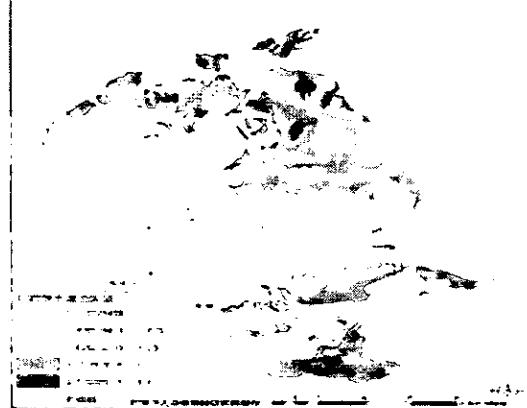
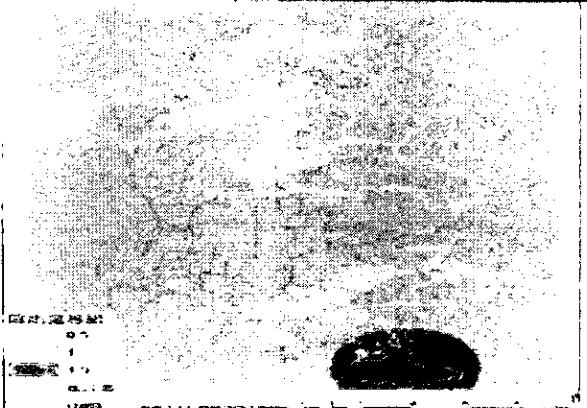
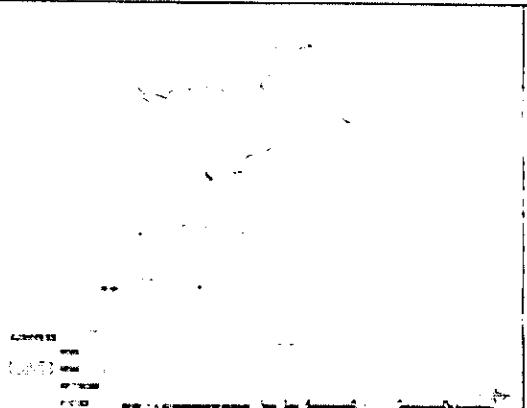
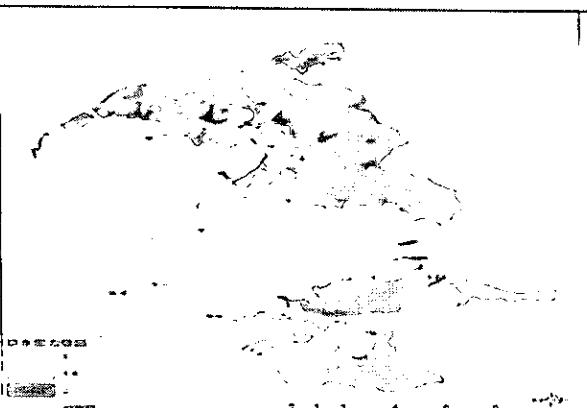
RA：年降雨量等級

PM：母岩性質等級

DR：排水能力等級

可容許土壤流失量T之各項因子於台北縣市分級結果如下表2-2所示，並可依循圖2-1進行土壤沖蝕程度分級，主要精神以模式評估之沖蝕程度與現地勘查沖蝕程度相互比對，較能準確評估土壤沖蝕級別與土壤流失量：

表 2-2 可容許土壤流失量 T 之各項因子分級結果（台灣營建研究院，2004）

T 可容許土壤流失量	RA 年降雨量等級
	
PM 母岩性質等級	DR 排水能力等級
	

## 既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究

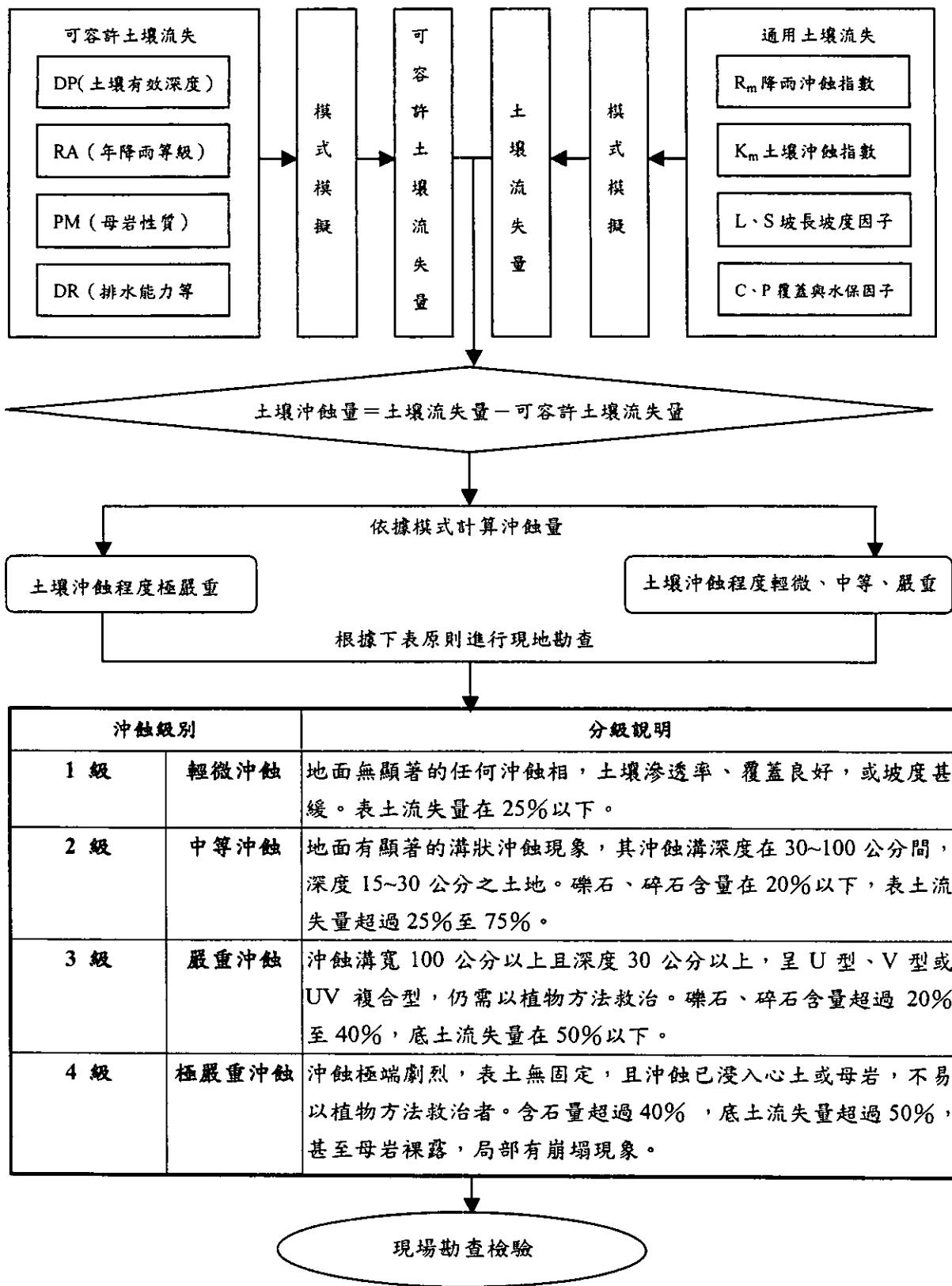


圖 2-1 土壤沖蝕程度分級流程圖（台灣營建研究院，2004）

### 第三節 坡地社區排水工法適用性探討

坡地排水即利用植生、工程或其他方法將逕流或地下水有效地引導、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。其目的在於收集及排除地表水及地下水，避免因水的影響導致邊坡破壞。可能影響坡地排水設施之因子有：地形、地勢、土壤、地質、植生覆蓋、坡度、降雨量、集水區面積大小與形狀等。排水系統規劃時應先蒐集上列基本資料，經分析與比較，慎重選擇其代表性及適當精度之資料，估計逕流量，決定排水斷面並控制流速，使溝坑不發生沖刷或淤積現象，才能獲得成功之安全排水系統。

排水系統設計原則請參照附錄二。

#### 一、地表排水系統

將逕流有效引導、分流或排除至下游安全地區的排水方式稱為地表排水，坡地常見的地表排水系統設施有縱向排水溝（如草溝、砌石溝、植生客土溝等）、截水溝、跌水、涵管等，以往大多以鋼筋混凝土構造施作，除視覺上單一化不美觀外，也常常造成週遭動植物棲息地的破壞，本研究中將建議一些適合運用在坡地排水且較具生態意念的排水設施構造，以下將逐一說明其設計原則與應注意事宜。

##### 1. 排水溝定義

指為安全宣洩逕流，在坡面上逕流匯集之地點，用塊石、草類等襯砌溝面，以保護溝身及兩側土地安全，引導逕流至安全地點排放之縱向水溝。

##### 2. 排水溝相關規定

(1) 排水溝選用之構築材料以安全、經濟及生態意念為原則。常用者有砌石溝、草溝、拋碎石溝、植生客土溝及砌石植生溝等，通常多石地點可就地取材用砌石溝；流量大坡度陡急處宜採用砌石溝或砌石植生

溝，為爭取時效或砌石溝施工困難地區，可採用草溝或植生客土溝等較柔性的排水溝渠。

- (2)排水溝之斷面型式：有梯形或拋物線形溝型式可供選擇；且最好避免直線排水造成溝面沖蝕，儘量安排成蜿蜒排水溝渠，不但可避免溝面淘刷沖蝕亦可在視覺上較符合自然水流的流動型式。
- (3)排水溝斷面大小之決定，先行測定排水溝坡度，依據逕流量大小及襯砌材料種類，決定其斷面，使足以排除估計之最大逕流量。又若溝內有經常流水，其流速應在各種襯砌材料之最大容許流速範圍以內。
- (4)排水溝每隔適當長度及最下游，應視需要設置跌水等消能設施；陡坡危險地區，加設截水牆保護。

### 3.以襯砌材料區分之排水溝

- (1)草溝：指種植草類於土質溝面內以防止沖蝕者，適用於坡地社區源頭排水之用，具有良好生態意念者，詳表 2-3。
- (2)砌石溝：係指以塊石或以卵石襯砌溝面，以些微水泥砂漿將石材孔隙填充固結，以保護溝身安全者稱之為砌石溝；若僅以石材堆疊，靠石材自身角隅結合者，稱之為堆石溝，詳表 2-4 所述。
- (3)植生客土溝：以植生土包堆砌成溝渠，鋪設地工織物於溝底且在其織物下灑上草種提供抗沖蝕及綠化排水溝稱之，屬於地工合成材應用之排水溝，詳表 2-5。
- (4)拋碎石溝：係指以卵石堆砌成溝渠，且將碎石鋪襯於溝面上者稱之，詳表 2-6。

以上所述各種排水溝，皆兼具生態與防災功能，能確實排除地表逕流。由於其構造多具有孔隙，透水性佳，可達到安全排水之工程目的與入滲補助地下水之生態功能目的。表 2-7 列舉出建議之排水溝最大容許流速範圍，以供相關施工單位作為水理計算之參考。

表 2-3 草溝說明表

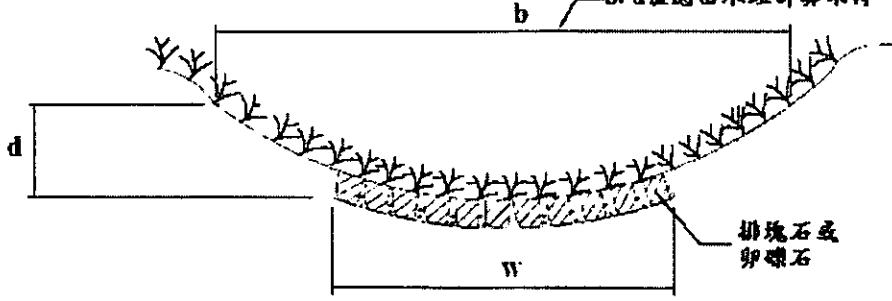
構造單元	地表排水系統
排水溝 (襯砌材料)	草溝 (草類以原生匍匐性草類尤佳)
參考圖示	
說明	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 草溝屬於柔性排水溝，較具柔性易施工。</li> <li>(2) 兼具排水及美觀的雙重功能，且植物根系亦具有安定土壤之貢獻。</li> <li>(3) 水溝兩側溝壁植草，而溝底鋪設卵石，施工簡單、成本低，水草有過濾及沉降之功效，溝底卵石可供水生動植物棲息。</li> <li>(4) 草類應以原生匍匐性草類為主，如假儉草等。</li> <li>(5) 草溝植草初期，應防止人畜踐踏破壞。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 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。</li> <li>(2) 草溝坡度不宜太大，避免草類不利生長，一般坡面坡度 30% 以內 (<math>17^\circ</math> 以內) 之排水系統適用。</li> <li>(3) 日照不足供草類正常生育或砂礫地及含石量較多之地區，不適用。</li> <li>(4) 草生稀疏流速小於 <math>1.5\text{m/sec.}</math>，全面密草生流速小於 <math>2.5\text{m/sec.}</math>，溝長 <math>30\text{m}</math> 以內適用。</li> <li>(5) 小集水面積或於源頭排水處理時適用。</li> </ul>
照片	

表 2-4 砌石溝與堆石溝說明表

構造單元	地表排水系統
排水溝 (襯砌材料)	砌石溝、堆石溝 (卵、礫、塊石)
參考圖示	
說明	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 抵抗排水沖蝕能力較高，適合流速大的排水環境。</li> <li>(2) 塊石能有效提供較大之沖蝕阻抗力。</li> <li>(3) 適合於溝面種植挺水植物減緩流速，與自然環境相當融合之景觀排水溝。</li> <li>(4) 盡量以當地石材為主，較能夠充分營造生物棲息環境，也符合生態工法精神。</li> <li>(5) 水溝溝壁較陡峭時，可採用卵石堆砌，並於背部鋪設不織布，以防止溝壁土壤流入排水溝。</li> <li>(6) 避免將砌石溝設置於填土區上，否則將造成溝渠因土質鬆軟經水流沖刷而毀損。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 流速小於 4m/sec. 及土壤易沖蝕之處。</li> <li>(2) 適用於當地石材料源充足之處。</li> </ul>
照片	

表 2-5 植生客土溝說明表

構造單元	地表排水系統
排水溝 (襯砌材料)	植生客土溝 (植生土袋與草種)
參考圖示	
說明	<p>(1) 植生客土溝屬於柔性排水溝，較具柔性和易施工，屬於地工合成材應用之排水溝。</p> <p>(2) 美觀、具生命性之排水溝，相當具有生態意念。</p> <p>(3) 水溝兩側溝壁於植生袋中灑上草種，而溝底鋪設不織布，施工簡單、成本低，且不織布有過濾及沉降之功效。</p> <p>(4) 草類應以原生匍匐性草類為主，如假儉草等。</p> <p>(5) 此外亦有將植生樁打入土包中固定，避免水流沖刷而毀損。</p> <p>(6) 可配合打樁編柵一起施作，能形成排水、護坡整體植生系統。</p> <p>(7) 草類與植生袋體提供良好抗沖蝕及綠化效果，為目前應用中最具安全與生態環境諧和之排水溝。</p> <p>(8) 可隨地勢而施作，與傳統排水溝渠直線構造大不相同，具蜿蜒性，相當美觀。</p>
適用範圍	<p>(1) 流速小於 2.4m/sec.的排水系統。</p> <p>(2) 植生客土溝坡度不宜太大，避免草類不利生長，一般於坡面坡度 30 % 以內 (<math>17^\circ</math> 以內) 之排水系統適用。</p>
照片	

表 2-6 拋碎石溝說明表

構造單元	地表排水系統
(排水溝 (襯砌材料)	拋碎石溝 (礫石或小尺寸破碎岩塊)
參考圖示	
說明	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 水溝兩側溝壁上可種植喬木與固土草類，可有美觀與穩固排水溝壁之效。</li> <li>(2) 溝底可鋪設不織布，施工簡單、成本低。</li> <li>(3) 可隨地勢而施作，具蜿蜒性，相當美觀。</li> <li>(4) 宜選擇地基穩固之地。</li> <li>(5) 宜搭配原生植物或複層喬灌木。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 適合小碎石易取得之地點。</li> <li>(2) 適合流速小於 1.5 m/sec.，較適合應用在地表水導流。</li> <li>(3) 以碎石鋪設施工方便、抵抗水流沖蝕能力較草溝高，但不適用於坡度太大的邊坡施設，建議於坡面坡度 25% 以內 (14° 以內) 之排水系統適用。</li> <li>(4) 能與自然邊坡融合成一體，使人為構築之坡地社區具視覺柔軟化之生態工法要求。</li> </ul>
照片	

表 2-7 各種襯砌材料排水溝最大容許流速概估表

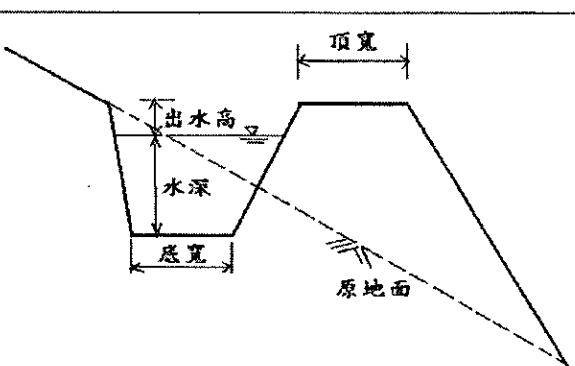
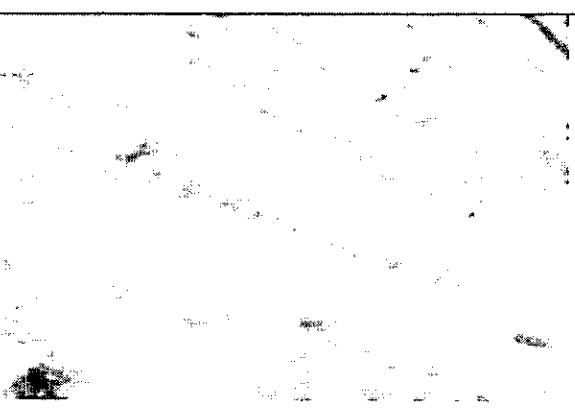
種類	襯砌面材料	平均 n 值	最大容許流速 (m/sec.)
草溝	全面密草生	0.045	2.5
	草生稀疏	0.050	約 1.5
砌石溝	塊石或卵石漿砌	0.025	約 4.0
植生客土溝	植生土包及地工織物	0.034	2.4
拋碎石溝	細礫石或破碎礫岩(小碎石)	0.022	1.5

註：平均 n 值引用水保手冊中建議的平均粗糙係數（水保手冊，1992）

#### 4. 截水溝定義及相關規定

截水溝係指為保護土地或有關施設，防止上游逕流沖刷為害，在其上方坡面，沿近似等高方向構築排水溝渠，以攔截逕流，並將之導至安全地點排除，襯砌材料可參照排水溝溝面襯砌材質所述施做。有關規定如表 2-8 說明。

表 2-8 截水溝說明表

地表排水系統構造單元-截水溝	
參考圖示	暨南大學坡面中央處截水溝照片
 <p>(水保手冊, 1992)</p>	
適用範圍	
<p>(1) 凡需要攔截上方逕流，以免發生沖蝕或災害時均適用。 (2) 須將過多之地表逕流導流至縱向排水溝時構築，往往會與縱向排水溝一起施作。</p>	
說明	
<p>(1) 勘選適合構築地點，決定構築材料種類及型式。 (2) 必要時可以分向取不同位置構築，截水溝水流應經由排水溝引導到安全地方排除。 (3) 截水溝斷面型式、降坡及容許安全流速等按集水面積計算逕流量，並依地形情況及取用材料等決定其斷面大小及型式。 (4) 於坡地社區等有較多保護對象之地區，應採用混凝土或砌石等剛性截水溝，以安全為首要；若保護對象較少且該地區雨量較小，可考慮採用較具柔性之生態性材料來構築截水溝，如草溝、植生客土溝等。其中跌水與涵管定義及相關規定，請參閱附錄三及附錄四。</p>	

## 二、地下排水系統

在坡地常見的地下排水系統設施有暗渠、水平排水管，以下將逐一說明其設計原則與應注意事宜。

### 1. 暗渠（盲溝）定義及相關規定

埋設於地下之排水管路，主要功能乃在收集地表滲入土中之滲透水或土層中之滲流水，使之沿管路得以迅速排出，避免土壤含水太高或地下水位迅速升高，詳表 2-9。

### 2. 水平（橫向）排水管定義及相關規定

水平排水孔係以鑽孔機從坡面以大約大於  $5^{\circ}$  之仰角鑽入土體之孔洞，其鑽孔以能貫穿地下水之含水層，使地下水能沿鑽孔排除，詳表 2-10。

最後經歸納整理各排水工之適用範圍，並列表於後以供查詢之用，如表 2-11 所示。

表 2-9 暗渠（盲溝）說明表

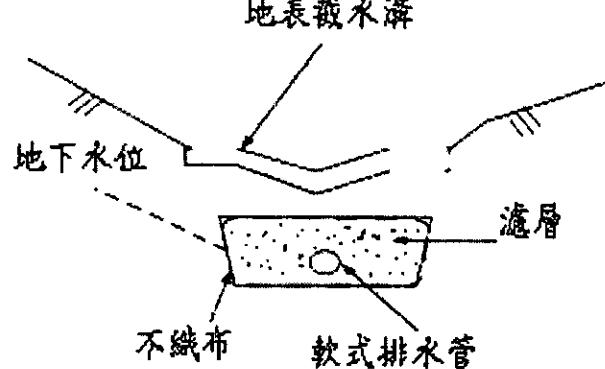
構造單元	地下排水系統
排水設施 (材料種類)	暗渠（盲溝） (塑膠管大多為 PVC 材質)
參考圖示	
說明	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 為使土壤中水分得以進入暗渠中，因此暗渠設計通常必須選擇透水性較佳材料，以使土壤中水分能快速滲入暗渠中。</li> <li>(2) 暗渠施設通常依現地條件挖掘至一定深度之深溝，再以透水性佳之覆料如礫石等覆蓋其上，最上面再回填覆土。</li> <li>(3) 為避免暗渠所收集之滲流水再向下層土體滲入，因此應將暗渠底下之土體予以夯實，而以塑膠管所鋪設之暗渠則宜避免在下半圓管壁鑽孔。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 暗渠施設除運用在地滑地或崩塌地以外，垃圾掩埋場之地下排水或低窪地之填方亦經常以暗渠來排除地面滲入土中之水量。</li> <li>(2) 暗渠若覆土太深，則恐收集不到地下滲流水，因此僅適用於較淺層之地下水排除。</li> </ul>
照片	 <p>(廖瑞堂, 2001)</p>

表 2-10 水平排水管說明表

構造單元	地下排水系統
排水設施 (材料種類)	水平排水管 (塑膠管大多為 PVC 材質)
參考圖示	
說明	<p>(1) 由於鑽孔可能在鑽孔機抽出後孔壁塌陷，因此須套入預先在管壁鑽孔之塑膠管，以確保該鑽孔之排水功能。</p> <p>(2) 施工上水平排水孔係以鑽孔方式而暗渠係以挖溝構築，兩者最大差別在水平排水孔可依坡面地形鑽入土層較深位置，以排除較深之地下水，而暗渠若覆土太深，則恐收集不到地下滲流水。</p>
適用範圍	<p>(1) 適用於較深層地下滲流水排除，為最常採用地下排水工之一，優點為施工快速、費用低廉。</p> <p>(2) 高地下水位區域經常以暗渠來排除地面滲入土中之水量，亦常配合擋土牆一同施設排除地下水，其效益相當良好。</p>
照片	<p>(廖瑞堂, 2001)</p>

表 2-11 排水工適用範圍總表

排水工	
單元項目	適用範圍
地表排水系統	草溝 (1) 一般坡面坡度 30% 以內 ( $17^{\circ}$ 以內) 之排水系統適用。 (2) 日照不足供草類正常生育或砂礫地及含石量較多之地區不適用。 (3) 草生稀疏流速小於 $1.5\text{m/sec.}$ ，全面密草生流速小於 $2.5\text{m/sec.}$ ，溝長 30m 以內適用。 (4) 小集水面積或於源頭排水處理時適用。
	砌石溝、堆石溝 (1) 流速小於 $4\text{m/sec.}$ 及土壤易沖蝕之處。 (2) 適用於當地石材料源充足之處。
	植生客土溝 (1) 流速小於 $2.4\text{m/sec.}$ 的排水系統。 (2) 一般於坡面坡度 30% 以內 ( $17^{\circ}$ 以內) 之排水系統適用。
	拋碎石溝 (1) 適合小碎石易取得之地點。 (2) 適合流速小於 $1.5\text{ m/sec.}$ ，較適合應用在地表水導流。 (3) 建議於坡面坡度 25% 以內 ( $14^{\circ}$ 以內) 之排水系統適用。
	截水溝 (1) 需要攔截上方逕流，以免發生沖蝕或災害時均適用。 (2) 須將過多之地表逕流導流至縱向排水溝時構築。
	暗渠（盲溝） (1) 僅適用於較淺層之地下水排除。
	水平排水管 (1) 適用於較深層地下滲流水排除。 (2) 亦常配合擋土牆一同施設排除地下水，其效益相當良好。

## 第三章 坡面保護工應用於坡地社區之適用性

### 第一節 土壤生物工程技術與生物地工技術

保護山坡地淺層邊坡破壞之方法，分成具有生命力的(living)和無生命力的(nonliving)兩種，此兩種方法也經常結合成為一個系統，使效果更具成效。

有生命的方法又可以分成兩類：

#### 一、土壤生物工程技術 (soil bioengineering)

土壤生物工程技術係指利用植物之加勁功能達到防止地表沖蝕之目的，故單純利用植物與土壤之防蝕技術方法，即為土壤生物工程技術。以下包含植生樁配合抗沖蝕網、切枝壓條、打樁編柵、萌芽枝條捆、植生方法等，以下逐一說明各方法適用性與設計原則。

##### 1.植生樁配合抗沖蝕網

植生樁配合抗沖蝕網係指將萌芽截枝插入土中，並於坡面鋪設抗沖蝕網。若能正確的準備植生樁及構築，植生樁會發根及生長根系並與抗沖蝕網緊密接合。對於經常處於溼潤狀態邊坡之小規模地滑和崩坍而言，植生樁為一種相當合適的生物修復技術。如表 3-1 所述。

##### 2.切枝壓條

於足夠空間之條件下，先將過陡之邊坡整緩，並沿著等高線挖掘槽溝，於適當季節時切下可萌芽枝條，交錯埋置於槽溝中，待發芽後即能遍佈邊坡，此方法可降低坡面逕流速度、攔截泥砂，亦可將長坡變成一系列短坡，減少土壤流失量。而土壤層間交錯堆疊之植物枝條亦提供加勁的功能，增加坡面穩定性。此外，水份可沿枝條鋪設層向坡面外排除，降低坡體內水壓力，如表 3-2 所述。

### 3.打椿編柵

使用萌芽、不萌芽之木椿或其他材料製造之椿，依適當距離打入土中，並以竹片、地工合成材、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。於木椿之間編織成柵，用以降低沖蝕能量。待枝條發芽後，其莖、葉除具美觀效果外，也可提供額外之抗沖蝕力。而枝條宜選定當地氣候、環境適宜之植物種類。亦可在欲保護之邊坡上鋪設稻草蓆等材料增加抗沖蝕能力，如表 3-3 所述。

### 4.萌芽枝條捆

萌芽枝條捆(live fascine)係指將具有發芽能力之植物枝條包捆成束，並以木椿或活木椿固定於土溝中，其上再覆蓋土壤保護枝條。施做時應由坡底開始進行，沿著等高線挖掘的淺溝置放活枝條捆，每隔 60 ~90cm 打入木椿或活木椿固定後鋪上潮濕土壤以利於生長，待生長完成即具有固定不安定之土石、降低逕流速度等機能。沖蝕量較大處可先行於坡面上鋪設麻或椰纖等製成之抗沖蝕毯，與活枝條捆一同施做即可。如表 3-4 所述。

### 5.植生方法（蔡光榮，1999）

- (1)直接播種法：將種子直接播種於坡面上，以達到坡面植生綠化之效果。
- (2)植生帶法：使用纖維、稻草等材料編織，製成之附著種子之植生帶，然後鋪植於坡面上，藉著植生帶發芽、生長，可迅速達成植生綠美化、保護邊坡、防止地表沖蝕之方法。
- (3)土壤袋植生法：先施做固定框於坡面上，而後再以事先培養之土壤袋客土，其內裝填有機物質固定於坡面上之栽種植生方法。
- (4)噴植法：將種子、肥料、粘著劑與適量之水分攪拌後，利用強力壓縮機噴植於坡面之方法。

(5)鋪植法：於邊坡表面上客土後將草皮直接鋪植於預先植生之處即可。

其他詳細分類與適用範圍如表 3-5 所述。

## 二、生物地工技術 (biotechnical engineering)

生物地工技術係指利用植物配合工程結構（如與箱籠工法、格框工法相互配合），與結構形成一擋土與抗沖蝕單元，此具有雙重功效之工程方法即為生物地工技術，此方法即為有生命力與無生命力系統之結合。過內目前經常使用的型框噴植法，即屬於此種技術單元構造之一種。

### 1.型框噴植

當前述之土壤生物工程技術皆無法有效時，建議可採用型框噴植法，藉以工程與植生混合方式達到抗沖蝕目的。型框可以場鑄式鋼筋混凝土或噴凝土及錨筋施做成桁樑框架，再於框架空間內放置植生袋或噴植草種，加速坡面之穩定及綠美化。格框本身具有支撐其內之植生袋或土石材料功能，避免土壤流失，進而可促成其上植生多樣性及繁茂生長。此種工法施工快速，綠化及坡面透水效果明顯較傳統之噴漿護坡佳，坡面起伏較大且不規則之邊坡，一般適合坡度在  $45^\circ \sim 65^\circ$  之間，或保全對象較多之坡地社區適用，如表 3-6 所示。

以上建議所有抗沖蝕方法，長期皆建議以喬灌木種子進行植生，因經由種子生長之根系系統較為完整，對於土壤之握裹、加勁能力較佳，抗沖蝕能力亦會大幅提升。

表 3-1 植生樁配合抗沖蝕網方法說明表

構造單元	護坡工（土壤生物工程技術）
抗沖蝕方法 (材料種類)	植生樁配合抗沖蝕網 (萌芽樁、抗沖蝕網)
參考圖示	
說明 (含設計原則)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 以垂直坡面方向將植生樁插入邊坡中，且應使其芽苞向上。</li> <li>(2) 植生樁打設間距約為 0.6~0.9m。施設密度約為 2~4 枝/m<sup>2</sup>。</li> <li>(3) 將植生樁 2/3 長度置入土中，於施作完成後將樁週邊土壤確實壓實。</li> <li>(4) 當施設時若有裂開之植生樁，嚴重者應將其移除及置換；小部份裂開者，應鋸掉裂開部分避免腐爛。宜搭配原生植物或複層喬灌木，以達植生目的。</li> <li>(5) 對於堅硬土層，可以用鐵棍先行敲出一孔，以便於植生樁貫入。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 當施工時間和成本皆有限，且邊坡狀況不複雜的時候可採用。</li> <li>(2) 可遏阻地表沖蝕，且具有活樁可供施作之地區適用。</li> <li>(3) 增強抵抗周遭植物的向內擴展，可避免優勢物種入侵，具有良好防蝕效果，相當適合用於邊坡易沖蝕之地區。</li> <li>(4) 可以用在與其他土壤生物工程技術(如:萌芽枝條捆等)相鄰之中間地帶，使其坡面穩定。</li> </ul>
照片	<p>(Gray 與 Sotir, 1996)</p>

表 3-2 切枝壓條法說明表

構造單元	護坡工（土壤生物工程技術）
抗沖蝕方法 (材料種類)	切枝壓條法 (切割枝條)
參考圖示	
說明 (含設計原則)	<p>(1) 每一層的間距大約是 1.5~3m，邊坡底部由於遭受之侵蝕潛能較大，所以間距可以更小。</p> <p>(2) 因所選用之植栽大多屬木本植物，故須較厚之表土層方能提供其合適之生長環境，同時，於植物根系尚未生長之前，應有適當的保護措施，以避免植栽尚未發揮功效便遭受破壞。</p> <p>(3) 枝條全長需有 3/4 埋置於土壤中，故在枝條佈置好後即覆蓋土壤。</p>
適用範圍	<p>(1) 於建築物密度較低之坡地社區邊坡適用。於建築物密度較高之老丙建等沖蝕嚴重地區並不適用。</p> <p>(2) 短坡與輕度沖蝕地區。</p>
照片	<p>(Gray 與 Sotir, 1996)</p>

表 3-3 打椿編柵方法說明表

構造單元	護坡工（土壤生物工程技術）
抗沖蝕方法 (材料種類)	打椿編柵方法 (萌芽椿、竹片、地工合成材、不織布等)
參考圖示	<p>(水保手冊, 1992)</p>
說明 (含設計原則)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 一般每排椿之距離以 1-3m，椿距以 30-50cm 為原則。</li> <li>(2) 木椿採用萌芽力強之九芎、黃槿、榕樹、雀榕等萌芽木椿為主。</li> <li>(3) 施工前需略為整平坡面及消除蝕溝，清除危石及植物殘株，並依坡地形狀及地質狀況於坡頂及坡面構築截水溝。</li> <li>(4) 固定不安定之土石，造成有利植物生長之環境。</li> <li>(5) 木椿應保持新鮮，打椿時須保護椿頭，不使打裂，裂開部分需鋸掉，以免影響其萌芽能力。</li> <li>(6) 如萌芽椿不足時，可以其他雜木椿混合使用。編製柵網時，最上端需用鐵絲扭緊，以防脫落。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 坡度 35° 以下之填方坡面或一般土壤挖方坡面。</li> <li>(2) 崩積土或淺層崩塌坡面；為目前生態工法中最常使用之一種坡面保護工。</li> </ul>
照片	

表 3-4 萌芽枝條捆說明表

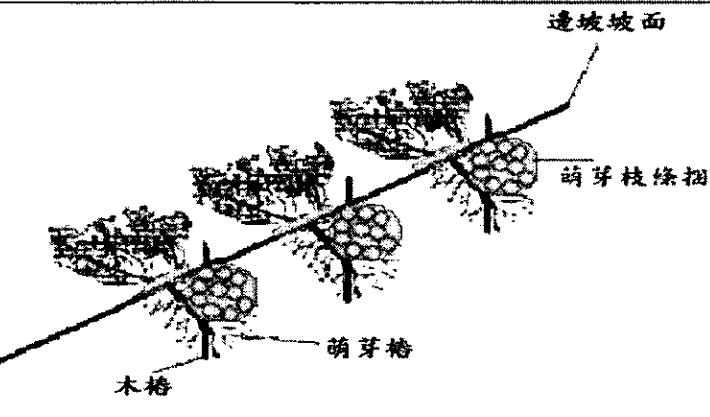
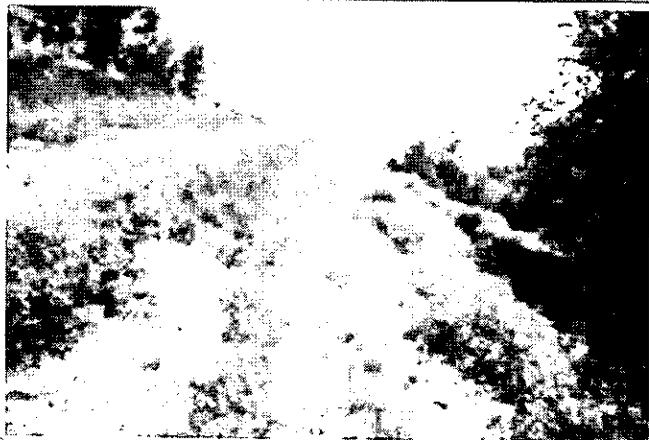
構造單元	護坡工（土壤生物工程技術）
抗沖蝕方法 (材料種類)	萌芽枝條捆 (萌芽枝條)
參考圖示	
說明 (含設計原則)	<p>(1) 萌芽枝條捆和植生樁準備完成後，應立即施設。</p> <p>(2) 從邊坡之坡底開始，沿著等高線挖掘，溝的寬度約 30~45cm，視邊坡處理之角度而定。溝之深度則約為 15~20cm。</p> <p>(3) 將可利用木板對角線切成兩枝木樁直接穿透萌芽枝條捆貫入，其間距為每隔 60~100cm 打設，在萌芽枝條捆銜接處或重疊處應額外打設木樁。並使這些樁之頂端和已施設完成之萌芽枝條等高。</p> <p>(5) 萌芽樁，要使其緊靠活枝條細的下方，且貫入之位置是在不萌芽木樁施設位置之間。</p>
適用範圍	<p>(1) 陡坡或地表沖蝕區域可採用此法，快速抑止沖蝕問題。</p> <p>(3) 崩積土或淺層崩塌坡面。</p> <p>(4) 當地具有足夠植材提供植生枝條之區域。</p>
照片	 <p>(NRCS, 1992)</p>

表 3-5 常見植生方法及適用範圍（蔡光榮，1999）

工法	種類	適用範圍
播種	直播(含點播、條播、與撒播)	自然崩塌地、黏質壤土及壤土等挖填方緩坡坡地。
噴植	薄層噴植法	噴植厚度 0.1~3cm，適用於土壤硬度小之硬質土坡面。
	中層噴植法	噴植於鋪設鐵絲網坡面，噴植厚度 3~6cm，適用於軟岩坡面。
	厚層噴植法	噴植於鋪設鐵絲網坡面，噴植厚度 6cm 以上，適用於硬岩坡面，並併隨黏著劑使用。
植生帶	植生帶(含纖維及稻草)	坡度 45°以下之一般土壤邊坡。
土壤袋/包	植生土壤袋與土壤包	框內植生、全面鋪植、擋土設施綠化與草溝排水等或於硬質土穴植育苗用。
鋪植	草皮鋪植	地形坡度在 45°以下之黏土質挖方坡面，或須快速覆蓋之填方坡面，以及草溝與路面植草區。

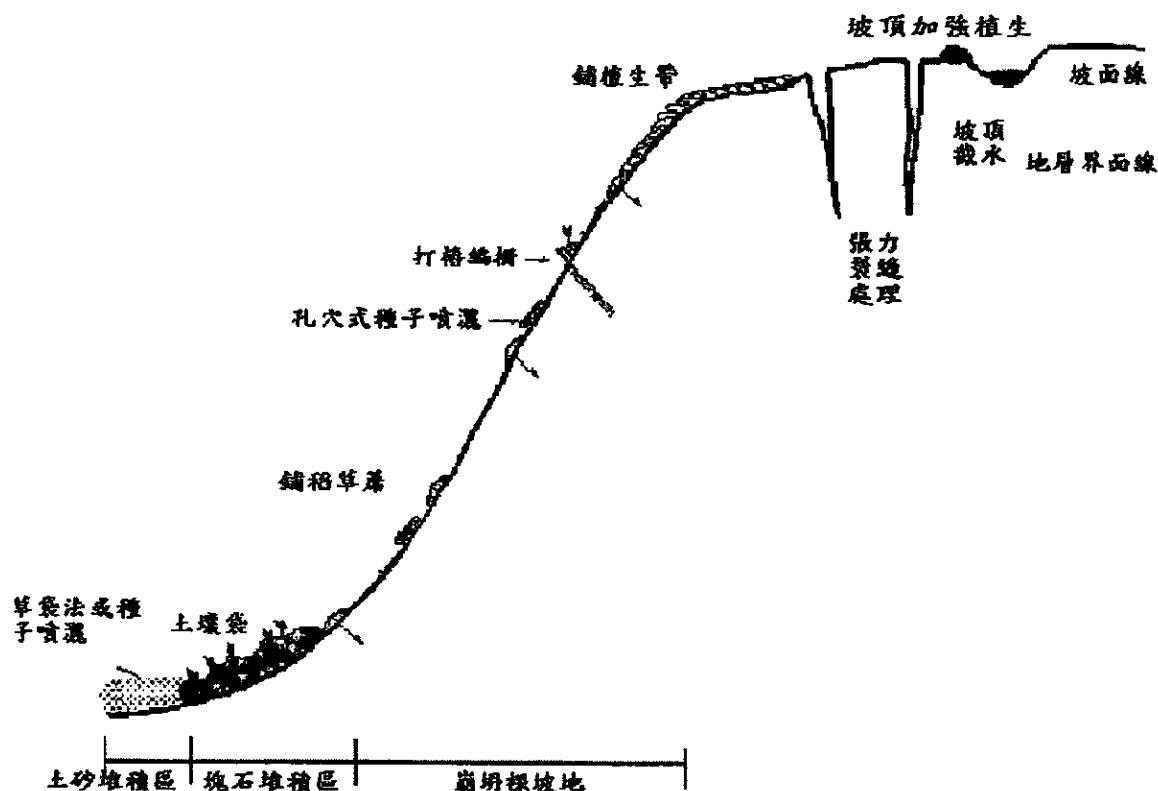
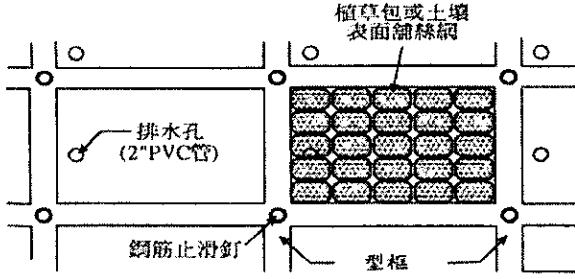


圖 3-1 坡地社區常用植生方法示意圖

表 3-6 型框噴植法說明表

構造單元	護坡工（生物地工技術抗沖蝕方法）
抗沖蝕方法 (材料種類)	型框噴植法 (植生包、水泥砂漿、立體鋼絲網)
參考圖示	
說明 (含設計原則)	<p>(1) 採用立體鋼絲網，結合型框鋼筋與水泥砂漿，並於型框內噴植草種或植生基材，形成連貫性坡面。</p> <p>(2) 型框可配合土釘等穩定邊坡，框內可植草或砌卵石保護坡面。本工法兼具穩定保護及綠化作用。</p> <p>(3) 混凝土型框採用噴凝土方式構築，可隨著邊坡地勢噴灑成框，框內噴植草種或植生基材，抗沖蝕效果良好，於坡地社區沖蝕嚴重處適用，故又稱為自由型格框。</p> <p>(4) 而型框係於現場澆置鋼筋混凝土樑，隨坡面起伏凹凸構築於坡面，並每隔適當間距(1~2m)設置錨釘，錨碇深度至少1m，並可依坡面狀況及實際需要調整之。</p> <p>(5) 混凝土型框可採用預鑄混凝土(預鑄型框)及現場澆置混凝土，預鑄格樑之材質有RC預鑄框、PE預鑄框及鋼製預鑄框。</p>
適用範圍	<p>(1) 坡面起伏較大且不規則之邊坡，且表層有滑落現象者。</p> <p>(2) 開挖面屬薄層砂頁岩互層或其它岩層者、逆向坡，或層面傾角較小者。</p> <p>(3) 坡面岩質風化較緩而有地下水位者。</p> <p>(4) 保全對象較多之坡地社區適用。一般坡度適合在45° ~ 65°間。</p>
照片	

## 第二節 地工合成材配合植生抗沖蝕方法

### 一、說明

為彌補純粹使用植生，短期內可能無法立即抑制坡地之沖蝕狀況，故可配合使用地工合成材，再於其上加以植生，則可立即發揮邊坡抗沖蝕功用，亦可促進景觀之美化。目前抗沖蝕常用之地工合成材包括抗沖蝕網、蜂巢格網(geocell)與地工格網等。

### 二、抗沖蝕地工合成材料種類

地工合成材在降低雨水沖蝕的功能上基本可分為兩類 (Jone, 1987)：

#### 1.地表鋪設的地工合成材

此地工合成材提供暫時的地表保護，如植物葉片般降低雨水的衝擊力；兩種主要子類為：(1)以聚合物紗編織的紙帶，及(2)間夾木削片(woodwool)的兩層聚合物網，(圖示詳見表 3-7)。

兩種地工合成物皆是可於短時間分解的材質，以利草種發芽後穿出。間夾木削片的聚合物網除了降低雨水的衝擊力外，也有如厚毯般效應進而降低逕流速度、減少土中水分蒸發、及保護發芽中的草籽。草籽噴灑後再鋪設，兩種地工合成物也都有防風蝕的功能。

#### 2.地表加勁的地工合成材

此類防蝕地工合成材的功能如同植物根系對地表的固結作用，四種主要子類如下所述，(圖示詳見表 3-7)：

##### (1)厚蓆(Thick three-dimensional mats)

厚蓆類地工合成材，在植物根系發揮抗沖蝕功能前，糾結的三維結構幫助表土的黏結，鋪設後再噴灑草種。

##### (2)多孔的地工合成材(Cellular geotextiles)

多孔的合成材有加勁及束制邊坡表土的功能，但不建議用在坡度超過 40° 的邊坡。

(3) 粗紗編織成蓬鬆的合成材(Geotextile woven from thick, widely spaced yarns)

(4) 大剖面地工合成網(High profile geotextile nets)

剖面大的地工合成網有加勁及束制邊坡表土的功能；麻纖維織物(woven jute geotextile)為一極佳的抗蝕材料，其特徵如下所述：

- 約有 60% 的開孔，因此約 40% 面積的表土免於雨水的直接沖擊。
- 織物的厚度提供一個阻擋水流及表土流失的小水堤(miniature dam)。
- 麻纖維可吸收大約 5 倍重的水，減低逕流量並提供穩定潮濕環境，有利種子發芽。
- 麻纖維短時間內即會分解，分解後的纖維有利土壤的保濕及滲透性。

### 三、設計原則

設計抗沖蝕網，可依邊坡坡度及降雨水流情況不同加以考量。於緩坡可採用抗沖蝕網。於中陡坡則可選用具加勁效果之蜂巢格網。

以地工合成材作為護坡結構或保護邊坡防止暴雨沖刷時，保護土壤避免被水流直接沖刷，同時降低水流之沖擊能量，防止土粒被水流帶走淘空，造成土壤流失。

### 四、地工合成材於坡面防蝕應用

地工合成材作為坡面抗沖蝕之用，材料本身除須具備良好抗沖蝕能力外，尚須具有時效性，以下將逐一針對不同材質地工合成材加以說明。

### 1.蜂巢格網

護坡蜂巢格網，係以高密度聚乙烯(H.D.P.E.)板片材料，經加工程序製成之立體蜂巢網格結構。依工程設計之要求，選擇適當網格厚度與尺寸，鋪設時須完全拉撐，經鋪設、錨定、填土、循序組立完成，再進行植生工程，詳表 3-8 所示。

### 2.加勁椰纖毯

加勁椰纖毯乃以 100% 椰纖為基材，上下層為經抗紫外線處理之聚丙烯分流網及表土加勁網，中層為經抗紫外線處理之波浪型緩流網結合波浪形椰纖基材之複合層。具有高孔隙率，彈性佳，可提高沖刷面植物生長率。加勁椰纖毯固定於噴覆草種之土壤表面經草種之生長，形成草根、加勁椰纖毯、土壤三者結合的連續面，達到防止土壤被沖蝕，減緩水流速度，保護植生之目的，詳細說明參見表 3-9。

## 五、生物性地工材料於坡面抗沖蝕應用

於沖蝕程度輕微之地區，可使用較符合生態精神之生物性材料。一般生物性材料多由植物纖維製成，短期防沖蝕由植物纖維本身提供，而植物纖維經過一段時間會腐化，強度也會隨著時間而逐漸遞減，但其分解之有機物質有助於植物生長。以下分別就可能採用之生物性材料，如綠蓆毯與椰纖毯說明其抗沖蝕原理及生物分解與時間關係。

### 1.抗沖蝕原理

#### (1)綠蓆毯

綠蓆材質為植物纖維及可溶解之化學纖維組成，作為抵抗邊坡水流沖蝕及加強穩定邊坡之目的，經整坡、施肥、鋪設綠蓆毯、錨定，循序施工完成後，可避免降雨逕流沖蝕，以獲致穩定邊坡及植生綠化之效果，詳表 3-10 所述。

#### (2)椰纖毯

椰纖毯的椰纖材料來自椰子纖維。此材料含有豐富的椰纖基質，十分適合植物的培植和生長。椰纖網固定鋪於坡面，植生後整體土壤結構更趨穩定，其吸水、儲水、保濕之功能，為底層種子建立一個理想的微型氣候，提供良好生長環境，促進草種快速萌芽，詳表 3-10 所述。關於椰纖毯之力學性質研究，Kremer 等人(1983)及 Rawes(1997)曾針對東南亞地區所生產之椰纖毯進行抗張強度試驗，得知當應變達 10%時所對應之抗張強度約為 0.5~1 kN/m；Rathmayer 與 Komulanein(1992)亦曾以試驗的方式求得椰纖毯於乾燥時之單位面積重量約為 66.4~67.8g/m<sup>2</sup>，於 20kPa 正向應力作用下之厚度為 4.63~4.86mm，斷裂時之應變為 24.6%~28.7%，斷裂之應變所對應之抗張強度為 1.74kN/m~1.89kN/m。

## 2. 生物分解與時間關係

椰纖毯與綠蓆均屬天然之材質，埋置於土壤中一段時間後，會因生物分解而腐化，並轉為有機物質使土壤肥沃，不僅不會對現地生態環境造成衝擊，更有助於植生之成長，因此為一良好之生態工法材料，然其腐化時間不宜過早，否則植物根系尚不足以發揮穩定功效。Venkatappa Rao G.等人,(2000)，曾針對椰纖維(coir)及麻纖維(jute)進行強度耐久性試驗，得知麻纖維約在 100 天~150 天強度便會完全喪失，即可視為完全腐化；至於椰纖維生物分解所需時間至少 4~10 年，因此，麻纖維較適用於配合快速生長之植生草種，且邊坡較穩定之處；椰纖維則可配合用於須較長時間方能達到穩定效果之植生物種，諸如木本植物，相較之下，椰纖毯可提供較長期之穩定性。

最後經歸納整理各坡面保護工之適用範圍，並列表於後以供查詢之用，如表 3-11 所示。

表 3-7 抗沖蝕地工合成材料種類表 (Jone, 1987)

聚合物編織的紙帶	厚蓆類地工織物
多孔的地工合成材(如蜂巢格網)	
大剖面地工合成網	麻纖維織物

表 3-8 蜂巢格網抗沖蝕應用說明表

構造單元	護坡工（地工合成材抗沖蝕方法）
材料種類	蜂巢格網（geocell）
材料圖片 (近照)	
說明 (含設計原則)	<p>(1) 平貼坡面鋪設，須完全拉撐，不得有摺曲產生。</p> <p>(2) 並以 <math>\phi 13\text{mm}</math> 竹節鋼筋，折彎成ㄇ型插入錨定，錨定之間距依現地地質狀況及工程師認可，每平方公尺錨定至少2處以上，錨定入土深度須為25cm以上。</p> <p>(3) 因每一單元組側向(短向)具有同材質之卡榫槽構造，單元組與相鄰元組之結合，須以 <math>\phi 13\text{mm}</math> 竹節鋼筋直接插入卡榫槽內錨定，錨定入土深度須為25cm以上。</p> <p>(4) 填土時須自下坡面往上回填，填土高度須約高於蜂巢格室1~2cm，蜂巢格網經鋪設、結合、錨釘、填方、鋪灑混合草仔、表面覆蓋植生棉毯、灑水養生、循序完成。</p> <p>(5) 依施工規範之規定，常鋪灑百慕達、百喜草、黑麥草之混合草種，並於表面覆蓋植生棉毯。植生坡面於施工期間，每天至少灑水二次，連續養護二個月，以達到確實之綠化效果及良好抗沖蝕之效。</p>
適用範圍	<p>(1) 適用在中等陡坡或岩坡上，於排水良好地區或降雨量少之地區，作為抗沖蝕之用。</p> <p>(2) 崩積土或淺層崩塌坡面適用，具良好土壤固束作用。</p>
照片	

表 3-9 加勁椰纖維抗沖蝕應用說明表

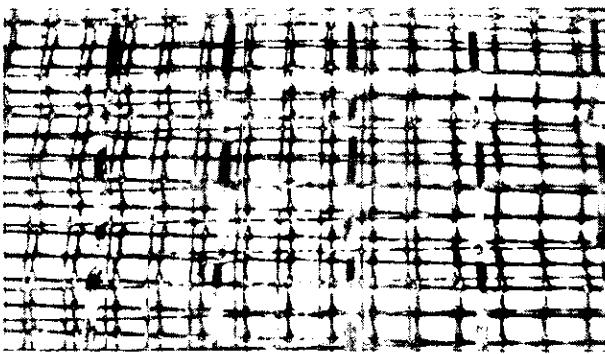
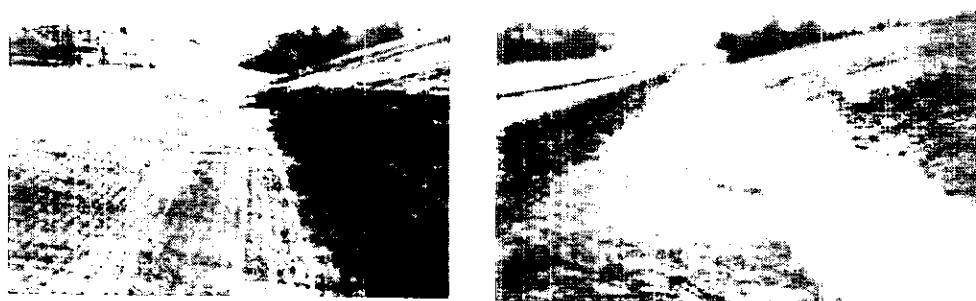
構造單元	護坡工（地工合成材抗沖蝕方法）
材料種類	加勁椰纖維
材料圖片 (近照)	
說明 (含設計原則)	<p>(1) 整理鋪設面，使之平整，且加以壓實。去除樹根、石塊等雜物，並填平原地面之縫隙及凹洞部份。在坡頂平台上及坡趾附近，挖掘 20cm 以上深度之溝道，用以固定網毯。若鋪設面表土質不佳，可採覆土加以改良。</p> <p>(2) 自坡頂溝道起撒佈草種後，鋪設網毯，溝道內之網毯以錨定鋼筋每隔 1m 加以固定後，並回填土方。</p> <p>(3) 網毯鋪設至坡趾處之溝道內後，將網毯截斷，固定坡趾溝道內之網毯。固定後，回填土方。</p> <p>(4) 網毯與網毯間之搭接長度至少需為 10cm，上邊坡方向之網毯應覆蓋於下邊坡方向之網毯上，搭接部份應以錨定鋼筋間隔 1m 固定。</p> <p>(5) 鋪設面之網毯應在適當間距，錨定鋼筋以使網毯能與鋪設面完全密接。</p> <p>(6) 植生養護，直至全區覆草率達 70% 以上。</p>
適用範圍	<p>(1) 適用中等陡坡抗沖蝕之用。</p> <p>(2) 加勁椰纖維具柔性，可鋪設於不平整坡面防蝕使用。</p>
照片	 <p data-bbox="349 1808 1377 1894">加勁椰纖維鋪設完成 (輔彬有限公司提供)</p> <p data-bbox="349 1808 1377 1894">植生狀況良好</p>

表 3-10 生態性地工材料抗沖蝕應用說明表

構造單元	護坡工（生態性地工材料抗沖蝕方法）	
材料種類	綠蓆毯	椰纖毯
材料圖片 (近照)		
說明 (含設計原則)	<p>(1) 綠蓆與椰纖毯於鋪設時須平貼坡面鋪設，不得有摺曲產生，並以 #10 號（直徑 = 3.2cm）高鍍鋅鐵線折彎成 U 型插入錨定。</p> <p>(2) 錨定之間距依現地地質狀況及工程師認可，每平方公尺錨定 1 處以上，錨定入土深度須為 25cm 以上。</p> <p>(3) 鋪設綠蓆或椰纖毯，植生坡面於施工期間每天至少灑水二次，養生二個月，以達到確實之綠化及抗沖蝕之效。</p> <p>(4) 常鋪灑百慕達草、百喜草、黑麥草之混合草種，可提高其抗沖蝕效果。</p>	
適用範圍	<p>(1) 適用於裸露邊坡防蝕之用，可快速使草種發芽，達到抗沖蝕效益。</p> <p>(2) 綠蓆及椰纖毯具柔軟性可鋪設於不平整坡面使用。</p>	
照片		
	綠蓆毯護坡	椰纖毯護坡

表 3-11 坡面保護工適用範圍總表

坡面保護工	
單元項目	適用範圍
土壤生物工程技術	<p>植生樁配合抗沖蝕網</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 當施工時間和成本皆有限，且邊坡狀況不複雜的時候可採用。</li> <li>(2) 具有活樁可供施作之地區適用。</li> <li>(3) 適合用於邊坡易沖蝕之地區。</li> <li>(4) 可以用在與其他土壤生物工程技術(如:萌芽枝條捆等)相鄰之中間地帶，使其坡面穩定。</li> </ul>
	<p>切枝壓條法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 於建築物密度較低之坡地社區邊坡適用。</li> <li>(2) 短坡與輕度沖蝕地區。</li> </ul>
	<p>打樁編柵方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 坡度 35° 以下之填方坡面或一般土壤挖方坡面。</li> <li>(2) 崩積土或淺層崩塌坡面。</li> </ul>
	<p>萌芽枝條捆</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 陡坡或地表沖蝕區域可採用此法，快速抑止沖蝕問題。</li> <li>(2) 崩積土或淺層崩塌坡面。</li> <li>(3) 當地具有足夠植材提供植生枝條之區域。</li> </ul>
生物地工技術	<p>型框噴植法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 坡面起伏較大且不規則之邊坡。</li> <li>(2) 坡面岩質風化較緩而有地下水位者。</li> <li>(3) 保全對象較多之坡地社區適用。一般坡度適合在 45°~65° 間。</li> </ul>
地工合成材	<p>蜂巢格網</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 適用在中等陡坡或岩坡上，於排水良好地區或降雨量少之地區適用。</li> <li>(2) 崩積土或淺層崩塌坡面適用。</li> </ul>
	<p>加勁椰纖毯</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 適用中等陡坡抗沖蝕之用。</li> <li>(2) 可鋪設於不平整坡面防蝕使用。</li> </ul>

## 第四章 檔土工應用於坡地社區之適用性

### 第一節 檔土工之分類及適用性

坡地社區之邊坡坡度較大時，應施築擋土措施；而為顧及生態景觀等之考量，應多使用具孔隙之重力式擋土結構。重力式擋土結構可避免大量使用鋼筋混凝土，而又可利用土石或天然材料，對整體環境衝擊較小。此式結構可作成具孔隙或開口之面板，因此可發根之植物或枝條能夠於土體之內成長，且此種孔隙亦可作為生物棲息之場所，以達到保護生態環境，綠美化景觀之目的。以下針對適用於坡地社區之擋土工法作一介紹。

#### 一、砌石工法

砌石擋土牆為利用石塊逐層堆疊，藉由石塊間之摩擦力及砌石牆本身之自重，阻抗背填土之土壓力作用，以達到保護坡趾、穩定邊坡之目的（如表 4-1 之圖示）。構築砌石牆時，石塊應置於下面石塊間之凹陷處，且至少需有三點之接觸。一般而言，牆高與牆寬比應小於 3。構築砌石牆之石塊最好是角狀石塊，角狀突起能夠相嵌，以提供抗移動之阻抗；而圓形之石塊則易沿某一點而轉動。砌石工法提供多孔縫隙為生物所喜愛並可於塊石空隙間填入土壤，並輔助插播活樹枝、花或草種，讓其自然生長，增進景觀之美化。

#### 二、格框工法

格框擋土牆指由橫樑組合而成之格子狀結構，內部填充土壤或石塊，以構成重力式擋土結構（如表 4-2 之圖示）。依其材質可分為木格框及混凝土格框，木格框由於較為柔性，對差異沉陷及單一格樑之破壞較不敏感，且木格框具自然的感覺，較易與環境配合；而混凝土格框則具有較高之剛性、力學性質及耐久性。另外，亦可採預鑄格框設計，由模組化之節塊堆疊而成，內部充填土壤或石塊。格框工法具有易施工、透

水性佳，適用於排水性要求高之處等優點，施工完成後可達到綠美化景觀兼具有生態環境之成效。

構築格框工法時，較建議以混凝土格框工法配合植生為之。

### 三、箱籠工法

箱籠擋土牆是以鋼絲表層鍍鋅或鍍鋅加 PVC 編成之長方形盒，填入 10~30cm 大小之卵塊石之堆疊式擋土牆(如表 4-3 之圖示)。具柔性結構之土石箱籠，對於不均勻沉陷具有平衡穩定之功效。一般而言，高度超過 2m 之箱籠即必須加以設計。愈高的牆需要愈大之基礎寬度，而為使箱籠不易互相分離，於適當間隔須以鐵絲將箱籠連續結實，且箱籠端部等重要部份亦應以鐵絲加強結牢。箱籠內的塊石可提供生物多孔隙環境，如填以土壤並插入活樹枝或埋設植草包等，可加速植物進入生長。

### 四、加勁工法

加勁擋土牆是利用加勁材料如鋼片、鋼筋網、地工織物、地工格網等地工合成材，埋置於土壤內，形成加勁之擋土結構以抵抗土壓力之作用(如表 4-4 之圖示)。加勁擋土牆其應用性廣、功能性佳、施工性及抗震性較傳統鋼筋混凝土牆優良。加勁擋土牆為常應用於坡地社區之擋土結構物，但在設計時須確實考慮加勁擋土牆之內部與外部穩定性分析，以維護坡地社區之安全。加勁擋土結構之外觀變化多，可使用各種預鑄之面板，或於其表面加以植生，與周遭環境較為融合，於景觀及生態保育具有相當不錯的效果。

### 五、土釘混合噴植法

土釘工法為現地坡面加勁技術，係利用鋼棒貫入土壤或先行鑽孔後放入鋼棒，再以水泥砂漿填充於孔中，與地層結合成一體之結構(如表 4-8 之圖示)。而土釘混合噴植法，可於土釘間埋設植草包或鋪設植草毯，以達到景觀綠美化之效果。土釘混合噴植法一般不適合於軟弱粘土層之加勁，因軟弱粘土層之摩擦阻抗低，土釘長度及密度均需大幅提

高，較不經濟可靠。土釘混合噴植法具有施工快速、施工設備輕巧及機動性高、較不受地形限制、施工費用較傳統錨碇結構（如地錨）節省 10%～30% 等優點。

上述各種工法皆有其適用性與限制條件，因此設計者在選用工法時，即應針對不同的工程目的，仔細評估各工法適用性之後，再選取最合適之整治工法。本節將坡地社區常見之擋土工法整理如表 4-1 至表 4-8，以供參考。

最後經歸納整理各擋土工之適用範圍，並列表於後以供查詢之用，如表 4-9 所示。

## 第二節 既有混凝土結構覆土植生

對於坡地社區原有邊坡改善方法繁多，如何選擇合適的工法須視現場實際情況而定，對於原有護坡的材質、高度、坡度、寬度、地下水位高度、氣候條件、週邊環境及景觀、生物種類及其棲息地特性，及當地居民生活習慣和配合程度等，均須作通盤考量，並進行詳細現場調查評估後，再選擇最合宜之整修方法。本文提出可行方法，如表 4-10 所示。

表 4-1 砌石工法說明表

構造單元	擋土工
工法種類	砌石工法
參考圖示	
設計原則	<p>(1) 砌石牆以重力式擋土牆方式進行穩定性分析，且為避免結構不穩定，牆身下方必須設置於一堅硬基礎上。</p> <p>(2) 砌石牆斷面尺寸中，擋土牆頂寬至少 30cm、牆趾處土深最少 30cm、基腳石塊最小高度須大於 40cm。</p> <p>(3) 傾倒穩定分析常時載重要求 <math>FS=2.0</math>，地震時要求 <math>FS=1.5</math>。</p> <p>(4) 滑動穩定分析常時載重要求 <math>FS=1.5</math>，地震時要求 <math>FS=1.2</math>。</p> <p>(5) 承載力穩定分析，基礎支承於長期載重之安全係數須大於 3，考慮短期性載重如地震，容許支承力得予提高 50%。</p> <p>(6) 整體穩定考量，通過擋土牆底部土層之滑動破壞面，其安全係數於長期載重狀況時應大於 2.0，於地震時須大於 1.5，考慮最高水位狀況之安全係數應大於 1.2。惟考慮最高水位狀況時，可不同時考慮地震狀況。</p>
適用範圍	<p>(1) 工址附近具有便宜之大塊石材或有充裕石材可供疊砌時適用。</p> <p>(2) 適用於保護坡趾沖刷。</p>
照片	

表 4-2 格框工法說明表

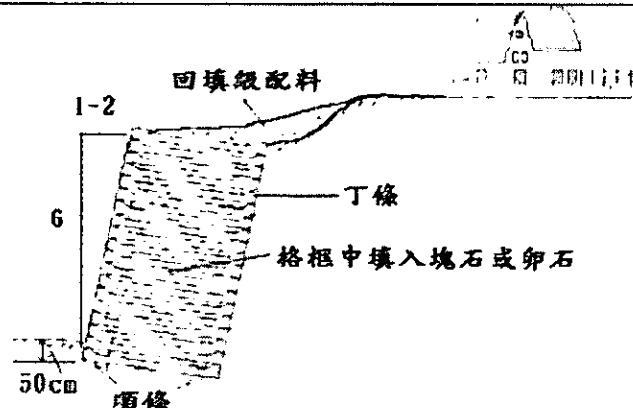
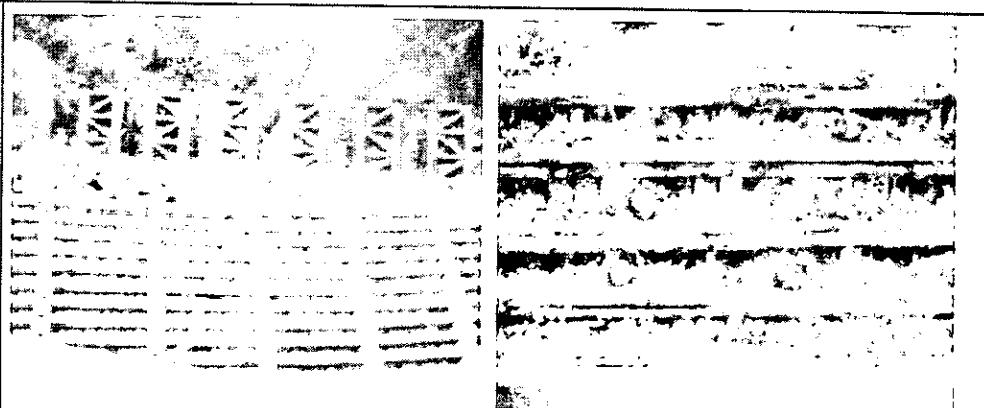
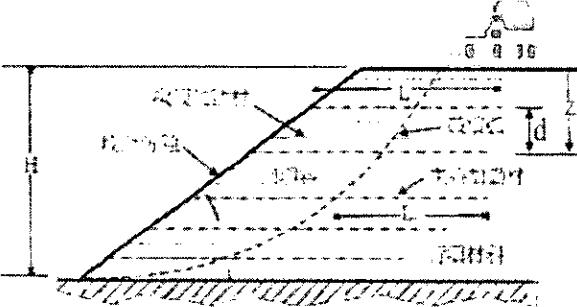
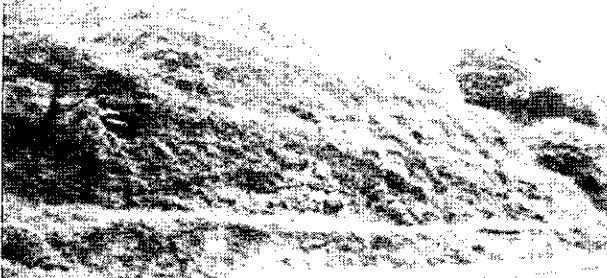
構造單元	擋土工
工法種類	格框工法
參考圖示	
設計原則	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 格框擋土牆設計分析時視為重力式擋土結構分析，安全係數規定參考砌石工法表 4-1 中所述。</li> <li>(2) 於格框中填入石塊或土壤，牆背回填料宜採用排水性能良好之材料。</li> <li>(3) 構造上要求牆面斜率至少 <math>1/6(H:V)</math>，底面向內略傾斜可降低作用於牆背之土壓力，牆底寬度約為 <math>1\sim 1/2</math> 坡高。</li> <li>(4) 格框擋土牆堆疊是藉由接頭防止滑動，故在接頭處需做適當之保護以防止擋土牆破壞。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 邊坡坡度過大時或當地具有充裕石材且較注重安全性時適用，比砌石工法具穩定成效。</li> <li>(2) 以木格框而言，對於生態景觀具有較佳效益，但強度較混凝土格框低，於坡地社區較不建議採用。</li> <li>(3) 保護坡址。</li> </ul>
照片	 <p data-bbox="467 1867 625 1900">混凝土格框</p> <p data-bbox="1032 1867 1137 1900">木格框</p>

表 4-3 箱籠工法說明表

構造單元	擋土工
工法種類	箱籠工法
參考圖示	
設計原則	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 一般設計時，常使用箱籠製造商所提供之設計規範。</li> <li>(2) 箱籠擋土牆是由重力式擋土牆改良而得，故設計分析時視為重力式擋土結構分析，安全係數規定參考砌石工法表 4-1 中所述。</li> <li>(3) 箱籠牆可設置之牆高度較砌石牆為高，箱籠單元為 1m 高，每層箱籠堆疊時須些許向後退縮（約退縮 0.5m），並略向內傾斜，此行可降低作用於牆背上之土壓力。</li> <li>(4) 為使箱籠不易互相分離，須以鐵絲連結。</li> <li>(5) 由於箱籠牆為具有孔隙之結構物，因此可種植發根植物於其內，用以美化景觀。</li> </ul>
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 社區邊坡坡度過大。</li> <li>(2) 只有小尺寸石材時，無法施做砌石牆時，箱籠牆可為替代方法。</li> <li>(3) 排水為首要之土質邊坡地址處。</li> </ul>
照片	

NTU

表 4-4 加勁工法說明表

構造單元	擋土工
工法種類	加勁工法
參考圖示	
設計原則	<p>(1) 設計加勁擋土牆時，需分別考慮其內部穩定性及外部穩定性，設計流程詳見圖 4-1。</p> <p>(2) 一般加勁體之回填土以顆粒性土壤為佳，詳見表 4-5 加勁擋土牆回填料級配規格，若採用黏土則需特別注意排水設施。</p> <p>(3) 加勁擋土牆之內部穩定分析包括加勁材之張力破壞及加勁材之拉出破壞。請參見表 4-6 加勁材內部穩定分析表。</p> <p>(4) 加勁擋土牆之外部穩定分析包括水平滑動破壞、傾倒破壞、承載力破壞及整體圓弧滑動破壞。請參見表 4-7 加勁材外部穩定分析表。</p> <p>(5) 加勁擋土牆於坡地社區構築時應於擋土牆下方設置一混凝土基礎或卵石基礎，較符合安全需求。</p> <p>(6) 地工合成材須注意抗紫外線之加強或保護，而金屬材須注意腐蝕問題。</p>
適用範圍	<p>(1) 坡度較陡之邊坡處。</p> <p>(2) 施工工趾小或擋土牆構築高度較高之處。</p> <p>(3) 加勁擋土牆屬於柔性牆，因此可應用於較軟弱之基礎或差異沉陷較大之處。</p>
照片	

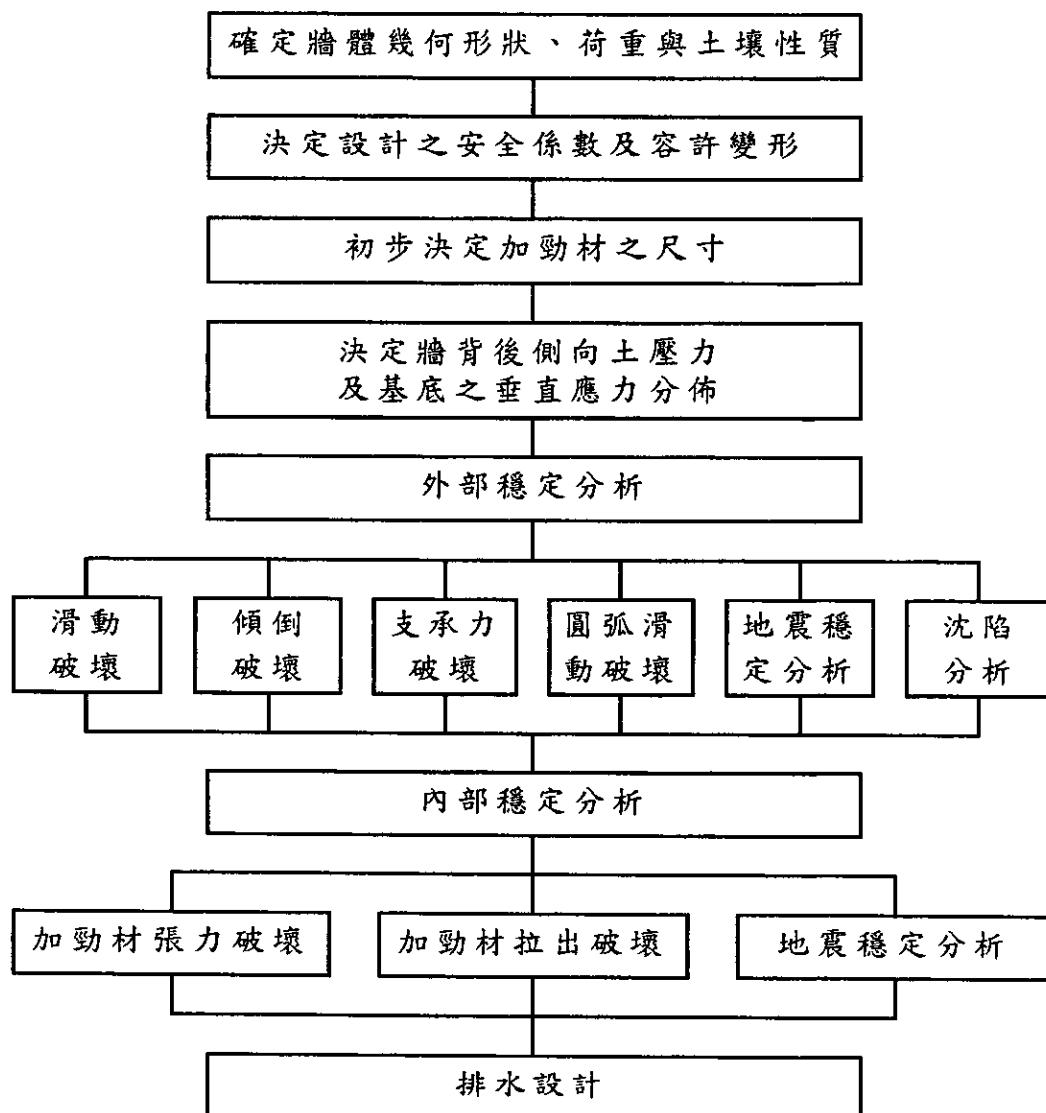


圖 4-1 加勁擋土牆設計流程(FHWA, 1996)

表 4-5 加勁擋土牆回填料級配規格(FHWA, 1996)

回填料級配規格		通過百分比
PI	<6	
篩孔徑	125mm	100
	4.75mm(4 號篩)	0-60
	0.075mm(200 號篩)	0-15

表 4-6 加勁擋土牆內部穩定分析(FHWA, 1996)

考量項目	分析原則
加勁材承受之張力	加勁材承受之張力來自回填土層之側向土壓力。側向土壓力係數之假設，依使用加勁材材料及分析理論而不同。且加勁材之抗張強度必須大於所承受之張力，確保不致產生拉斷破壞，進行檢核 $FS > 1.5$ 。
加勁材之摩擦抵抗力	加勁土體中之加勁材與土壤間應該提供足夠的摩擦力，以避免發生拉出破壞，進行檢核 $FS > 1.5$ 。兩者間之摩擦阻力可依下式計算： $P_i = 2 (\mu L_E (\gamma h_i + q) + \alpha c L)$ <p>其中，<math>P_i</math>：第 i 層加勁材料之摩擦抵抗力  <math>\mu</math>：回填土與加勁材間之摩擦係數  <math>L_E</math>：加勁材之有效錨碇長度  <math>\gamma</math>：回填土單位重  <math>h_i</math>：第 i 層加勁材覆土深度  <math>\alpha</math>：土壤與加勁材之視凝聚力係數  <math>q</math>：加勁土體頂端之超載  <math>c</math>：土壤凝聚力</p>
局部穩定檢核	應針對加勁土體中之每一層加勁材，實行拉斷及拉出破壞檢核，亦即每一加勁材之容許設計張力強度應大於所承受之張力，且每一加勁材之摩擦阻力應大於其所承受之張力。

表 4-7 加勁擋土牆外部穩定分析(FHWA, 1996)

考量項目	分析原則
水平滑動	需先估算作用於加勁擋土牆之水平推力（側向土壓力、水壓力、地震之慣性力、上部超載等）與抵抗力（加勁土體底部之摩擦力、凝聚力，且不考慮牆趾前之覆土被動土壓力），進行檢核 $FS > 1.5$ 。
傾倒	將作用於加勁土體之各方向作用力，以牆趾前端為旋轉點，計算傾倒力距與抵抗力距，進行檢核 $FS > 2.0$ 。
支承力	下部土壤對加勁擋土結構的支承力要求與一般擋土牆相同，可視加勁擋土牆加勁區之寬度為基礎寬度來計算支承力。一般要求牆底部之正向應力不能出現張應力，且同時最大應力不能超過土壤之容許支承力，進行檢核 $FS > 2.0$ 。
整體滑動	可採用一般加勁邊坡穩定分析法，破壞面可能自加勁區外側通過，亦可能全部或部分穿過加勁土體。因此，各種可能的破壞情況皆須分別計算與考量，進行檢核 $FS > 1.5$ 。

表 4-8 土釘混合噴植法說明表

構造單元	擋土工（護坡與加勁）																								
工法種類	土釘混合噴植法																								
參考圖示																									
設計原則	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 土釘設計時應計算所需整體加勁力量，以符合規定的安全係數。</li> <li>(2) 設定土釘適當間距，使土釘形成連貫性結構，抵抗後方未加勁區之土壓力，土釘不致產生斷裂或錨頭破壞。</li> <li>(3) 決定土釘之長度，防止土釘錨碇力不足而產生拉出破壞。</li> <li>(4) 土釘之初步設計參數值可參考下表(Bruce and Jewell, 1987)：</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">土釘類型</th> <th rowspan="2">地質材料</th> <th colspan="3">設計參數</th> </tr> <tr> <th>L/H</th> <th>D/L/S</th> <th><math>d^2/S (10^{-3})</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">重力式灌漿</td> <td>砂質土層</td> <td>0.5~0.8</td> <td>0.3~0.6</td> <td>0.4~0.8</td> </tr> <tr> <td>堅硬黏土層</td> <td>0.5~1.0</td> <td>0.15~0.20</td> <td>0.10~0.25</td> </tr> <tr> <td>灌入式</td> <td>砂質土層</td> <td>0.5~0.6</td> <td>0.6~1.1</td> <td>1.3~1.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>(註)L：土釘長度；H：牆高；D：鑽孔直徑；d：土釘鋼棒直徑；S：每根土釘平均支撐面積(=水平間距 <math>S_h \times</math> 垂直間距 <math>S_v</math>)</p>			土釘類型	地質材料	設計參數			L/H	D/L/S	$d^2/S (10^{-3})$	重力式灌漿	砂質土層	0.5~0.8	0.3~0.6	0.4~0.8	堅硬黏土層	0.5~1.0	0.15~0.20	0.10~0.25	灌入式	砂質土層	0.5~0.6	0.6~1.1	1.3~1.9
土釘類型	地質材料	設計參數																							
		L/H	D/L/S	$d^2/S (10^{-3})$																					
重力式灌漿	砂質土層	0.5~0.8	0.3~0.6	0.4~0.8																					
	堅硬黏土層	0.5~1.0	0.15~0.20	0.10~0.25																					
灌入式	砂質土層	0.5~0.6	0.6~1.1	1.3~1.9																					
適用範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 崎嶇不平之邊坡或工作地點狹小之處適用。</li> <li>(2) 地質材料強度較弱，坡度 30° 以上之邊坡。</li> </ul>																								
照片																									

表 4-9 檔土工適用範圍總表

擋土工	
單元項目	適用範圍
砌石工法	(1) 當地大塊石材充裕時。 (2) 保護坡趾沖刷。
格框工法	(1) 邊坡坡度過大時或當地具有充裕石材時適用，比砌石工法具穩定成效。 (2) 以木格框而言，對於生態景觀具有較佳效益，但強度較混凝土格框低，於坡地社區較不建議採用。 (3) 保護坡址。
箱籠工法	(1) 社區邊坡坡度過大。 (2) 只有小尺寸石材時，箱籠牆可為砌石牆之替代方法。 (3) 排水為首要之土質邊坡坡址處。
加勁工法	(1) 坡度較陡之邊坡。 (2) 施工工趾小或擋土牆構築高度較高之處。 (3) 可應用於較軟弱之基礎或差異沉陷較大之處。
土釘混合噴植法	(1) 崎嶇不平之邊坡或工作地點狹小之處。 (2) 地質材料強度較弱，坡度 30° 以上之邊坡。

表 4-10 既有混凝土結構覆土植生說明表

工法	說明	圖示
地工合 成材圍 柵植生	在原有混凝土噴漿護坡之上，將錨定樁打入結構並深入土中，於錨定樁上鋪設地工織物且覆土植生，將原單一呆版之混凝土結構物綠美化。適用於各式原混凝土邊坡進行綠美化工作，優點為施工方便、迅速、經濟。	
混凝土 格框內 填塊石	在原有混凝土格框內填入塊石，以多孔隙材質進行覆土植生，較易達到綠化之效果，視覺上亦較賞心悅目。適合用於緩坡綠化。於高陡坡因為塊石重量會加大邊坡滑動之驅動力較不適用。	
箱籠牆 配合覆 土植生	在原混凝土結構物上以堆疊箱籠牆並以錨定樁固定，利用箱籠結構之多孔性進行覆土植生，適用於當地塊石來源充足之處，以便於裝填箱籠施作。	

## 第五章 坡地社區生態防災工法之穩定分析

### 第一節 植物根系固土能力穩定分析

自然邊坡通常具備良好之植物生長，除可提供水文及物理機制以穩定坡面效果外，也提供生物適當之棲息環境。植物覆蓋於地表可以避免雨滴打擊地面，防止土壤流失；枝葉掉落所形成的腐植層可改善土壤的理化性質，促進土壤團粒穩定，增加土壤滲透性並減少逕流，有效抑制土壤沖刷；又植物根系的網結及錨錠作用，可有效控制淺層崩坍的危險。因此，植生為生態工法中不可或缺之重要部分。但由於植生所需復育時間長，且較缺乏相關邊坡穩定效益的研究，使得植生對邊坡穩定之應用無量化之依據。

有鑑於此，本節之目的即以根系力學理論模式，評估植生根系對邊坡穩定之效用，但根系對土壤之導水、蒸發所引致之孔隙水壓變化則暫不考慮。首先，將蒐集植物根系現地直剪試驗結果與常見植物根之拉力強度迴歸式，以評估根系力學模式之適用性；並提供植物根系加勁之推算，進而探討植物根系對邊坡穩定之貢獻。

#### 一、植物根系固土分析模式

本研究中討論對象為台灣常見用於邊坡穩定工程之植物，包括：五節芒、白茅、百喜草、百慕達草、臺灣赤楊、羅滋草等六種植物，特性如表 5-1。本章將評估穩定性不佳之邊坡，並進行植生整治後，以植物根系對邊坡穩定之效益評估。上述雖有多種植物為外來種，但此處僅探討其根系對於邊坡穩定之提升倍率，不考量外來種植物對於生態之影響。適用植物範疇並不在此計畫範圍中，建議未來可針對生態防災之適用植物做一詳盡研究，必定對於坡地之生態防災工法的建立有所助益。

表 5-1 常見用於邊坡穩定植物之特性

種類	特性	近照圖片	遠照圖片
五節芒 ( <i>Miscanthus floridulus</i> ) 禾本科；別名：寒芒、菅草、菅芒、芒草。	其株高可達 3m，植物適應力強，地下莖相當發達，且葉緣銳利，易割傷皮膚，常大群叢生。		
白茅 ( <i>Imperata cylindrica</i> ) 禾本科；別名：白芒、茅草、茅仔草	其株高約 30~80cm，能在沙地生存，且繁殖力強，莖桿有 2~5 個節，上有毛茸，種子易隨風飄落。		
百喜草 ( <i>Paspalum notatum</i> ) 禾本科	原產於熱帶美洲，質地較粗，其根系強健，根數量多且適應力佳，根長可達 60cm。		
百慕達草 ( <i>Cynodon L.C. Rich</i> ) 禾本科；別名：狗牙根、鐵線草	多年生禾草，株高約 2~15cm，性喜高溫，其耐鹽性、抗風、耐旱性、耐寒性佳。為優良牧草，常見應用於水土保持工程。		
台灣赤楊 ( <i>Ailanthus formosana Makino</i> ) 撣木科；別名：水柯仔	樹高可達 20m，其樹皮灰褐色，老時常片狀剝落，有固土及涵養水份的功能，為常見的水土保持使用之樹種。但其具有生長於高海拔地區、向陽性、及未能馴化等性質。		
羅滋草 ( <i>Chloris gayana Kunth</i> ) 科別：禾草	多年生草種，株高 100~145 cm，葉片細長平滑，且不耐寒、耐旱、耐踐踏，適合含鹽分土壤，常用於濱海地區。		

本節針對台灣常見之土壤參數與坡高組合，尋找穩定性不佳之邊坡（安全係數介於 1.0~1.5），模擬坡面或坡面及坡頂植生後對邊坡穩定性之影響。首先，依據蔡光榮(1994)所研究之四種植物（五節芒、白茅、百喜草、百慕達草）於現地直剪試驗之結果，推算不同土壤植生後之剪力強度；另選擇兩種植物（臺灣赤楊、羅滋草），利用根系力學原理，由根拉力強度推算土壤剪力強度增量，作為邊坡土壤植生後之參數，以進行邊坡穩定分析。分析流程如下：

模擬五節芒、白茅、百喜草、百慕達草、臺灣赤楊、羅滋草等六種植物於邊坡植生，分別計算不同坡高、坡度及根入深度之邊坡安全係數，針對分析之坡度、坡高，評估植生對邊坡穩定之效益。

邊坡案例之幾何形狀如圖 5-1 所示，圖中  $H$  為坡高， $\beta$  為坡度。依生態工法精神，構造物之設計原則應使結構物低矮化和平緩化，坡高應盡量不超過 5m，若超過則建議採分階處理。但在既有山坡地社區，建築物之上邊坡或下邊坡有時高度差異極大；因此，考量現地狀況坡高分別選取 3m、6m 及 10m 等三種，並假設坡頂為水平且建築物遠離坡面，亦即坡頂無荷載情形。坡度介於  $20^\circ \sim 80^\circ$  間，每間隔  $10^\circ$  作為一假想邊坡，共計七種坡度。

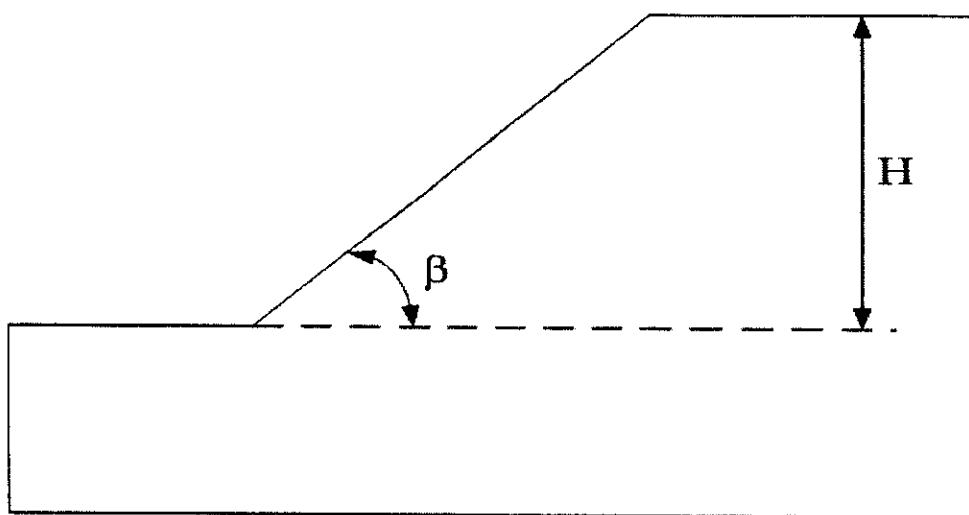


圖 5-1 邊坡之基本幾何形狀

根系於坡面穩定之主要作用，源於根系抗張特性而增加土壤剪力強度。植生後不同根入深度受到下列因素之影響：(1)土壤有效水份含量，(2)土壤之肥沃狀況，(3)暴露於風中程度，(4)土壤種類，(5)地下水狀態，(6)土壤空氣含量，(7)土壤氧化還原性質。一般而言，草本植物根系通常生長在表土層 30~40cm 之內，而木本植物之根系，約可達表土層下 1m。

Gray(1974)及 Abe 與 Iwamoto(1985, 1986)認為根系所產生之剪力強度增量主要為提升土壤之視凝聚力(apparent cohesion)，而對內摩擦角影響甚微，如圖 5-2 所示。林信輝(2001)認為植物根部之存在，會導致土壤團粒強度增加，此增加是來自根系之聚集及土壤水份因蒸發而對土壤之補強結果。

Gray 與 Ohashi (1983)利用直剪試驗，研究以不同加勁材在乾砂中的補強效果，顯示剪力強度增量與加勁材的面積成正比，最大補強效果為加勁材與剪力面夾 60°左右(圖 5-3)，而垂直加勁材之剪力強度增量與隨機加勁材幾近相同(圖 5-4)。

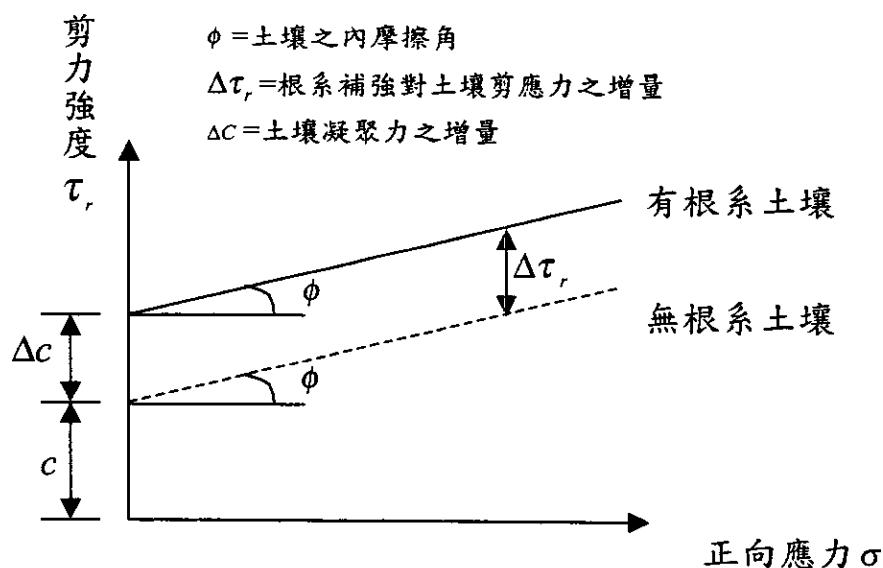


圖 5-2 根系補強後土壤剪力強度之變化

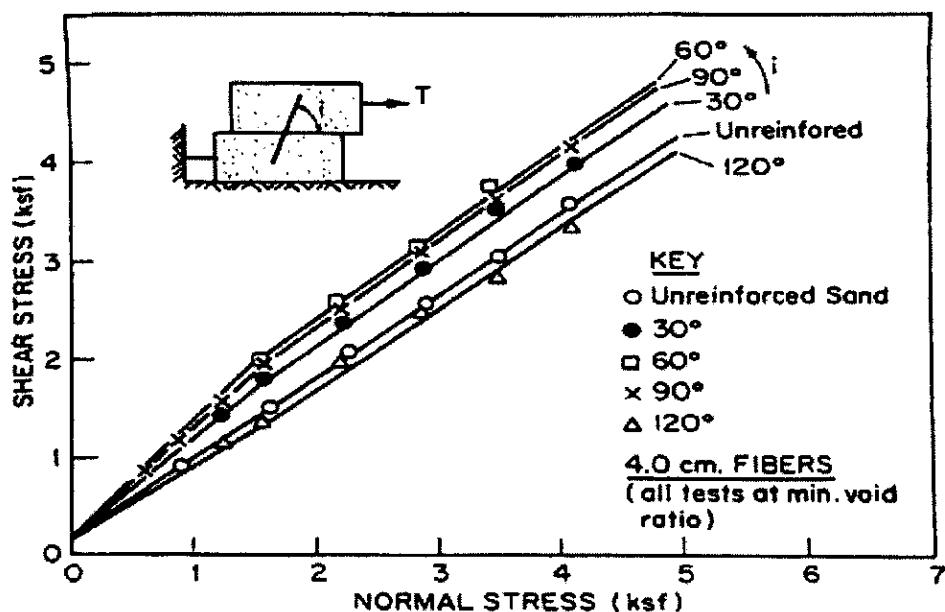


圖 5-3 加勁材以不同加勁方向在乾砂中的補強效果 (Gray 與 Ohashi,1983)

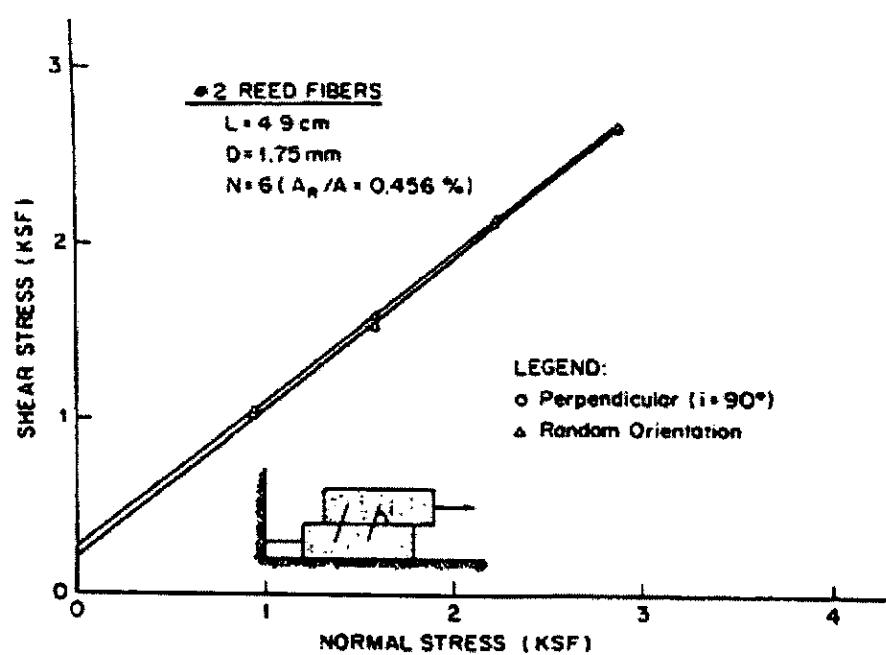


圖 5-4 垂直加勁材與隨機加勁材剪力強度之比較 (Gray 與 Ohashi,1983)

基於上述相關研究，且根據 Mohr-Coulomb 破壞準則，若土壤內含有根系，且假設根系不影響土壤內摩擦角，則根系所提供的土壤剪力強度增量  $\Delta\tau_r$ ，可完全視為對土壤凝聚力的貢獻，則含根系土壤剪力強度  $\tau_r$  為：

$$\tau_r = c + \Delta\tau_r + \sigma \tan \phi \quad \text{---(5-1)}$$

式中  $\tau_r$  = 土壤剪力強度

$c$  = 土壤凝聚力

$\sigma$  = 土壤正向應力

$\phi$  = 土壤內摩擦角

假設一實根垂直於剪力面上，穿越且錨定於剪力帶另一端土壤中，所有根株之拉力強度可完全傳遞，且根受拉力時僅能拉斷而不被拉出，如圖 5-5。當上部土壤經一位移  $x$ ，則根與剪力帶縱軸夾  $\beta_r$  角。植物根株由變形發展的拉力強度  $T_r$  可分解為切力  $F_t$  及垂直力  $F_n$ ，以提供土壤剪力阻抗及增加剪力面的正向應力。

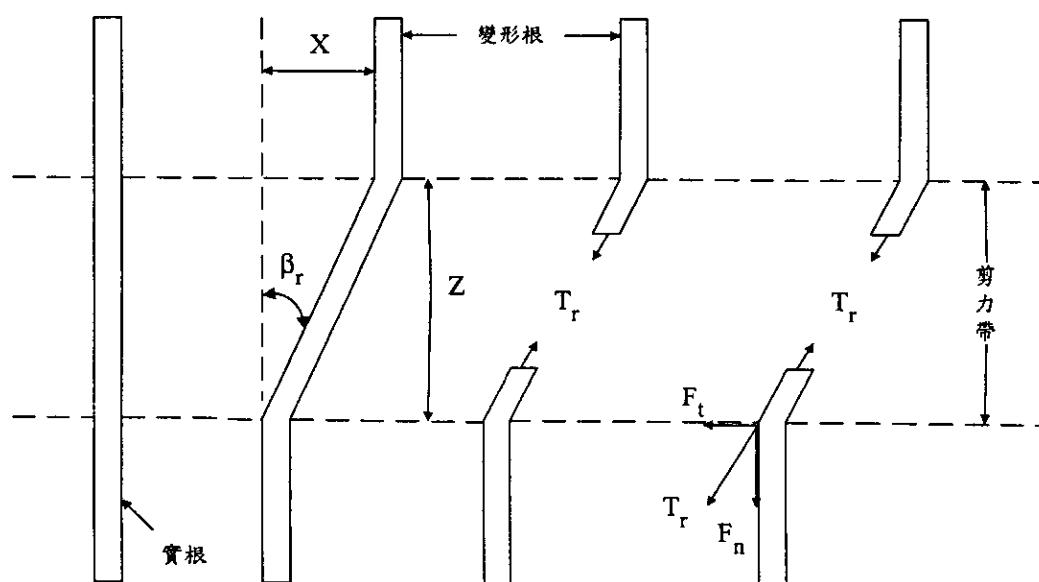


圖 5-5 垂直於水平剪力帶之彈性根模式

含根系之土壤剪力強度為：

$$\tau_r = c + \frac{A_r}{A_s} T_r (\sin \beta_r + \cos \beta_r \tan \phi) + \sigma \tan \phi \quad (5-2)$$

式中  $A_r$ =土壤單位面積內所含根之斷面積

$A_s$ =單位土壤面積

$T_r$ =根之張力強度

其中，土壤之剪力強度增量  $\Delta\tau_r$  如下：

$$\Delta\tau_r = \frac{A_r}{A_s} T_r (\sin \beta_r + \cos \beta_r \tan \phi) \quad (5-3)$$

此外， $A_r$  亦指各不同直徑之根數  $n_i$  與斷面積  $a_i$  乘積之和，即

$$T_r A_r = \sum T_{ri} (a_i n_i) \quad (5-4)$$

故土壤剪力強度增量又可表示為：

$$\Delta\tau_r = \sum T_{ri} n_i \frac{a_i}{A_s} (\sin \beta_{ri} + \cos \beta_{ri} \tan \phi) \quad (5-5)$$

根據 Waldron(1977) 直剪試驗結果，顯示根變形  $\beta_r$  約在  $40^\circ \sim 50^\circ$  間，而 Wu(1976) 經現場觀察崩塌地之根變形  $\beta_r$  約  $45^\circ \sim 70^\circ$  之間；綜合上述可歸納根變形  $\beta_r$  約  $40^\circ \sim 70^\circ$  之間，且若土壤之內摩擦角  $\phi$  在  $20^\circ \sim 40^\circ$  間，則式 (5-5) 中之  $(\sin \beta_r + \cos \beta_r \tan \phi)$  約為  $0.92 \sim 1.31$ ，平均值 1.12。所以式 (5-5) 又可簡化為：

$$\Delta\tau_r = 1.12 \sum T_{ri} n_i \frac{a_i}{A_s} \quad (5-6)$$

## 二、穩定分析參數

邊坡之土壤基本參數選用陳榮河等人 (1999)，所歸納之台灣全區山坡地常見之凝聚性土壤參數，如表 5-2；並假設土壤單位重  $19.6\text{kN/m}^3$ 。

依據表 5-2 之土壤參數組合，配合簡易邊坡幾何形狀，邊坡坡度以  $20^\circ \sim 80^\circ$ ，坡高  $3\text{m} \sim 10\text{m}$  為考量，進行穩定分析，選擇安全係數大於 1.0 且小於 1.5，做為植生整治之標的。

假設邊坡為均質且等向性土壤，以 Bishop 圓弧形滑動面進行邊坡穩定性分析，取分析後安全係數介於 1.0~1.5 間之邊坡為需植生之標的，其中 3m 坡高有 4 組，6m 坡高有 11 組，10m 坡高有 10 組，共計 25 組邊坡案例，如表 5-3。

植生種類包括：五節芒、白茅、百喜草、百慕達草、臺灣赤楊、羅滋草等六種。前四種由蔡光榮（1988）現地根系直接剪力試驗結果，整理植生後土壤剪力強度提升百分比，如表 5-4 所示，並配合  $S_1 \sim S_5$  土壤計算出土壤剪力強度參數（如表 5-5）。

後兩種植物（臺灣赤楊、羅滋草），則運用根系力學將植物之根拉力換算為土壤剪力強度增量，再轉換為根系土壤之凝聚力。其中台灣赤楊根拉力回歸方程式，根據張俊斌與林信輝（1995）之建議：

$$T = 1.615e^{0.517D} \quad \text{---(5-7)}$$

式中 D=根之直徑(mm)

T=拉斷強度(kg)

依據可能根徑範圍 0.8mm~8.7mm，求出平均拉力強度為  $288.63\text{kg/cm}^2$ 。

而羅滋草根拉力推估方程式依據陳慶雄等人（1993）之建議：

$$T = 614.6048D^{2.3028} \quad \text{---(5-8)}$$

根徑範圍在 0.2mm~0.35mm，經過整理後平均拉力強度為  $261.46\text{kg/cm}^2$ 。

表 5-2 山坡地土壤之  $c$ 、 $\phi$  值及土壤單位重（陳榮河等人，1999）

土壤性質編號	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
c (kPa)	25	20	15	10	5
$\phi$ (°)	20	25	30	35	40
土壤單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6

表 5-3 坡高為 3m、6m、10m 邊坡之安全係數

		土壤種類					
土壤單位重		19.6kN/m <sup>3</sup>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
土壤參數		c (kPa)	25	20	15	10	5
		$\phi$ (°)	20	25	30	35	40
坡高 3m	坡度 (°)	20	4.54	4.39	4.20	3.96	3.61
		30	3.92	3.68	3.38	3.05	2.66
		40	3.50	3.19	2.88	2.51	2.13
		50	3.09	2.80	2.54	2.14	1.69
		60	2.83	2.46	2.14	1.84	1.43*
		70	2.48	2.10	1.82	1.57	1.19*
		80	2.22	1.97	1.70	1.41*	1.07*
坡高 6m	坡度 (°)	20	3.11	3.13	3.16	3.17	3.14
		30	2.53	2.49	2.44	2.37	2.25
		40	2.16	2.08	1.99	1.84	1.71
		50	1.88	1.81	1.70	1.53	1.34*
		60	1.66	1.54	1.42*	1.28*	1.09*
		70	1.44*	1.32*	1.21*	1.09*	0.92
		80	1.28*	1.14*	1.03*	0.95	0.79
坡高 10m	坡度 (°)	20	2.40	2.54	2.67	2.79	2.87
		30	1.90	1.96	2.01	2.02	2.09
		40	1.62	1.65	1.66	1.69	1.63
		50	1.36*	1.35*	1.30*	1.25*	1.16*
		60	1.18*	1.15*	1.10*	1.03*	0.94
		70	1.02*	0.99	0.94	0.86	0.73
		80	0.86	0.82	0.76	0.69	0.57

註：\*安全係數介於 1.0~1.5

表 5-4 植生後土壤剪力強度提升百分比

植物種類	凝聚力 $c$ 提升百分比 (%)	內摩擦角 $\phi$ 提升百分比 (%)
五節芒	40	22
白茅	88	32
百喜草	80	26
百慕達草	21	26

表 5-5 根系土壤剪力強度參數(一)

植物種類	$S_1$ 土壤參數		$S_2$ 土壤參數		$S_3$ 土壤參數		$S_4$ 土壤參數		$S_5$ 土壤參數	
	$c=25(\text{kPa})$	$\phi=20(^{\circ})$	$c=20(\text{kPa})$	$\phi=25(^{\circ})$	$c=15(\text{kPa})$	$\phi=30(^{\circ})$	$c=10(\text{kPa})$	$\phi=35(^{\circ})$	$c=5(\text{kPa})$	$\phi=40(^{\circ})$
	提升後 $c$	提升後 $\phi$	提升後 $c$	提升後 $\phi$						
五節芒	35.1	24.4	28.1	30.5	21.1	36.5	14.1	42.6	7.0	48.7
白茅	47.0	26.3	37.6	32.9	28.2	39.5	18.8	46.0	9.4	52.6
百喜草	44.9	25.2	35.9	31.5	26.9	37.8	18.0	44.1	9.0	50.4
百慕達草	30.2	25.1	24.1	31.4	18.1	37.7	12.1	44.0	6.0	50.3

另依據吳正雄(1990)根面積比 ( $A_r/A_s$ ) 平均約為  $5 \times 10^{-4}$ 。代入公式(5-5)換算出含根系之土壤剪力增量，如表 5-6；再取平均值轉換為根系土壤之凝聚力，如表 5-7。此處提及之根面積比 (Root Area Ratio, RAR) 係指根系於取樣土層中所涵蓋面積 ( $A_r$ ) 與取樣土層總面積 ( $A_s$ ) 之比值，如 (5-9) 所示。

$$RAR = \frac{A_r}{A_s} \quad \text{---(5-9)}$$

表 5-6 臺灣赤楊、羅滋草植生之根系土壤剪力強度增量

		土壤編號									
土壤單位重	19.6 kN/m <sup>3</sup>	S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>		S <sub>5</sub>	
土壤性質	c (kPa)	25		20		15		10		5	
性質	$\phi$ (°)	20		25		30		35		40	
$\beta_r$ (°)	T <sub>r</sub> (kpa)	$A_r/A_s$	$\Delta\tau$ (kPa)	$A_r/A_s$	$\Delta\tau$ (kPa)	$A_r/A_s$	$\Delta\tau$ (kPa)	$A_r/A_s$	$\Delta\tau$ (kPa)	$A_r/A_s$	$\Delta\tau$ (kPa)
臺灣赤楊	40	28315	$5 \cdot 10^{-4}$	13.05	$5 \cdot 10^{-4}$	14.16	$5 \cdot 10^{-4}$	15.36	$5 \cdot 10^{-4}$	16.69	$5 \cdot 10^{-4}$
	55	38315	$5 \cdot 10^{-4}$	14.55	$5 \cdot 10^{-4}$	15.38	$5 \cdot 10^{-4}$	16.29	$5 \cdot 10^{-4}$	17.28	$5 \cdot 10^{-4}$
	70	28315	$5 \cdot 10^{-4}$	15.07	$5 \cdot 10^{-4}$	15.56	$5 \cdot 10^{-4}$	16.10	$5 \cdot 10^{-4}$	16.69	$5 \cdot 10^{-4}$
羅滋草	40	25649	$5 \cdot 10^{-4}$	11.82	$5 \cdot 10^{-4}$	12.83	$5 \cdot 10^{-4}$	13.91	$5 \cdot 10^{-4}$	15.12	$5 \cdot 10^{-4}$
	55	25649	$5 \cdot 10^{-4}$	13.18	$5 \cdot 10^{-4}$	13.93	$5 \cdot 10^{-4}$	14.76	$5 \cdot 10^{-4}$	15.65	$5 \cdot 10^{-4}$
	70	25649	$5 \cdot 10^{-4}$	13.65	$5 \cdot 10^{-4}$	14.09	$5 \cdot 10^{-4}$	14.58	$5 \cdot 10^{-4}$	15.12	$5 \cdot 10^{-4}$

註： $\beta_r$ =因受剪力變形而造成之旋轉角度( $40^\circ \sim 70^\circ$ )

表 5-7 根系土壤剪力強度參數(二)

植物種類	S <sub>1</sub> 土壤參數		S <sub>2</sub> 土壤參數		S <sub>3</sub> 土壤參數		S <sub>4</sub> 土壤參數		S <sub>5</sub> 土壤參數	
	c=25(kPa)	$\phi = 20^\circ$	c=20(kPa)	$\phi = 25^\circ$	c=15(kPa)	$\phi = 30^\circ$	c=10(kPa)	$\phi = 35^\circ$	c=5(kPa)	$\phi = 40^\circ$
	提升後 c	提升後 $\phi$								
臺灣赤楊	39.22	20.0	35.03	25.0	30.92	30.0	26.89	35.0	22.99	40.0
羅滋草	37.88	20.0	38.10	25.0	29.42	30.0	25.30	35.0	21.30	40.0

### 三、分析結果

針對工程常用五節芒、白茅、百喜草、百慕達草、台灣赤楊、羅滋草六種植物作分析，植生模擬之基本幾何形狀如圖 5-6、5-7。分析時以極限平衡觀念配合 Bishop 分析法求取邊坡最小安全係數，且暫不考慮地下水位之影響。圖 5-6 與圖 5-7 分別顯示植生前後邊坡之潛在破壞面，且植生後因根系加勁作用，破壞面已明顯往後移動。分析結果顯示邊坡安全係數提升比率與坡度及土壤性質無明顯關係，如圖 5-8、5-9 所示。而與坡高及根入深度有關；歸納如表 5-8~5-14。表中安全係數提升倍數為於相同邊坡植生後與植生前安全係數之比值。

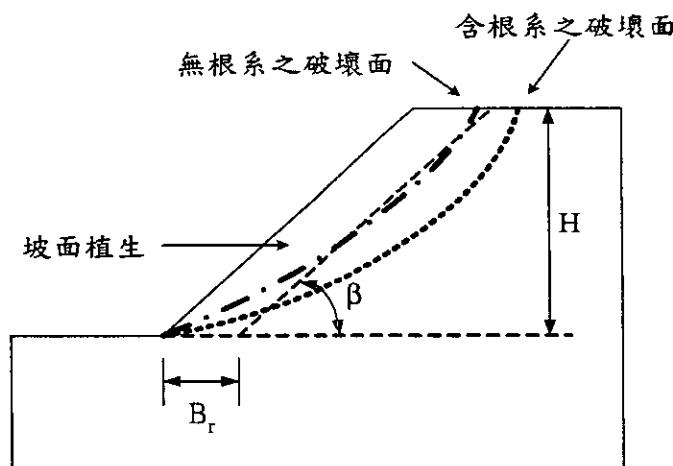


圖 5-6 坡面植生模擬之情況

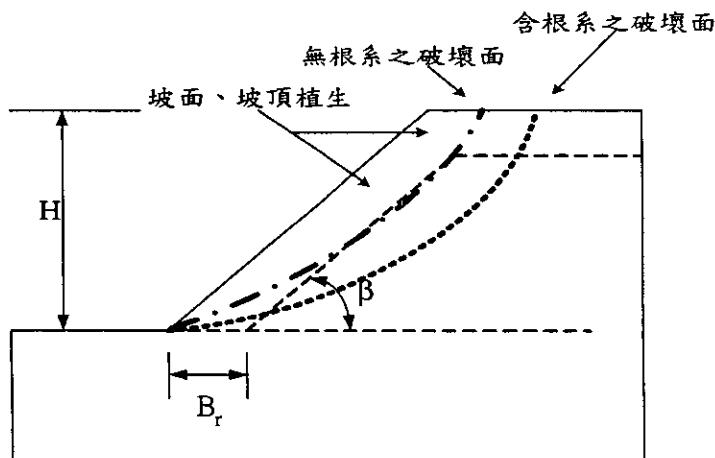


圖 5-7 坡面、坡頂植生模擬之情況

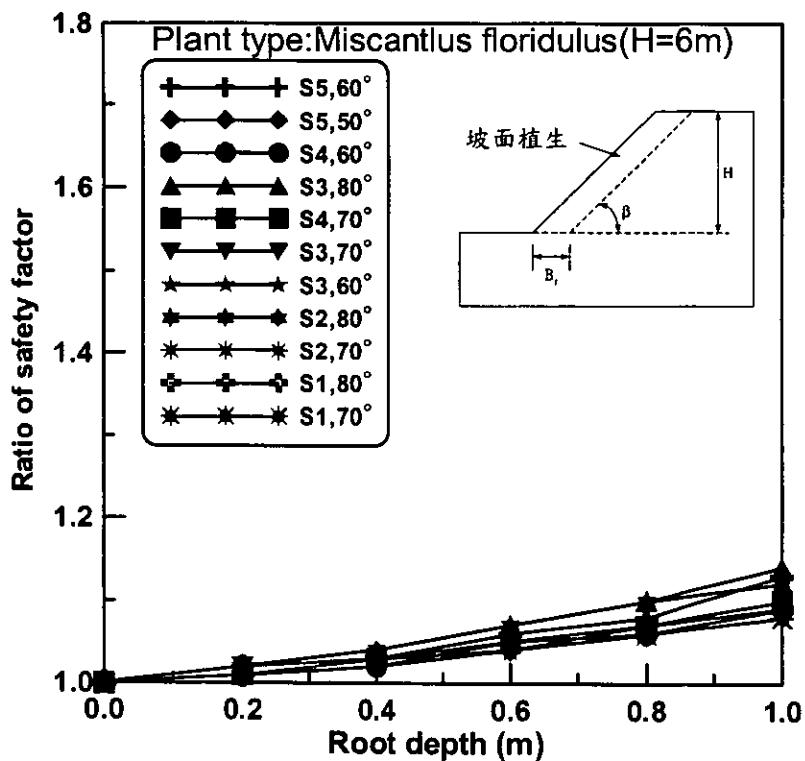


圖 5-8 五節芒坡面植生於坡高 6m 根入深度與安全係數提升比之關係

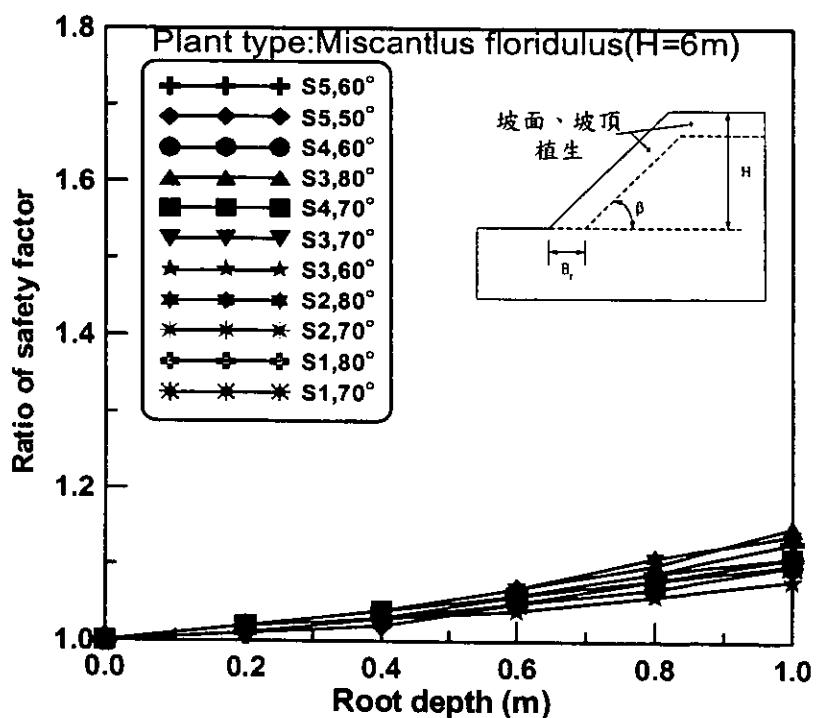


圖 5-9 五節芒坡面、坡頂植生於坡高 6m 根入深度與安全係數提升比關係

表 5-8 經五節芒植生後邊坡安全係數平均提升倍數

坡度高	植生方式	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m
3m	僅坡面植生	1.03	1.08	1.15	1.21	1.28
	坡面及坡頂植生	1.04	1.09	1.17	1.25	1.33
6m	僅坡面植生	1.01	1.03	1.05	1.07	1.10
	坡面及坡頂植生	1.01	1.03	1.05	1.08	1.11
10m	僅坡面植生	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04
	坡面及坡頂植生	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04

表 5-9 經白茅植生後邊坡安全係數平均提升倍數

坡度高	植生方式	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m
3m	僅坡面植生	1.06	1.14	1.24	1.35	1.46
	坡面及坡頂植生	1.06	1.17	1.28	1.41	1.55
6m	僅坡面植生	1.03	1.06	1.09	1.13	1.17
	坡面及坡頂植生	1.03	1.06	1.10	1.15	1.19
10m	僅坡面植生	1.01	1.02	1.04	1.05	1.07
	坡面及坡頂植生	1.01	1.03	1.04	1.06	1.08

表 5-10 經百喜草植生後邊坡安全係數平均提升倍數

坡度高	植生方式	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m
3m	僅坡面植生	1.05	1.13	1.21	1.31	1.40
	坡面及坡頂植生	1.06	1.15	1.25	1.37	1.49
6m	僅坡面植生	1.03	1.05	1.08	1.12	1.16
	坡面及坡頂植生	1.03	1.06	1.09	1.13	1.18
10m	僅坡面植生	1.01	1.02	1.03	1.05	1.06
	坡面及坡頂植生	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07

註：根入深度為植物根系垂直坡面之深度。

表 5-11 經百慕達草植生後邊坡安全係數平均提升倍數

坡度高	植生方式	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m
3m	僅坡面植生	1.02	1.07	1.13	1.20	1.27
	坡面及坡頂植生	1.03	1.07	1.14	1.22	1.29
6m	僅坡面植生	1.01	1.02	1.04	1.05	1.08
	坡面及坡頂植生	1.01	1.02	1.04	1.06	1.08
10m	僅坡面植生	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03
	坡面及坡頂植生	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03

表 5-12 經臺灣赤楊植生後邊坡安全係數平均提升倍數

坡度高	植生方式	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m
3m	僅坡面植生	1.16	1.29	1.40	1.53	1.62
	坡面及坡頂植生	1.22	1.37	1.52	1.68	1.84
6m	僅坡面植生	1.04	1.08	1.11	1.15	1.19
	坡面及坡頂植生	1.05	1.09	1.13	1.17	1.22
10m	僅坡面植生	1.02	1.03	1.05	1.06	1.08
	坡面及坡頂植生	1.02	1.04	1.06	1.07	1.09

表 5-13 經羅滋草植生後邊坡安全係數平均提升倍數

坡度高	植生方式	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m
3m	僅坡面植生	1.15	1.28	1.38	1.48	1.58
	坡面及坡頂植生	1.20	1.35	1.49	1.64	1.79
6m	僅坡面植生	1.04	1.07	1.11	1.14	1.17
	坡面及坡頂植生	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20
10m	僅坡面植生	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07
	坡面及坡頂植生	1.02	1.04	1.05	1.07	1.09

註：根入深度為植物根系垂直坡面之深度。

由上述分析結果顯示，五節芒植生之穩定性經評估後效果不彰，除在坡高 3m 根入深度 1m、坡面及坡頂都植生的情況下，安全係數才可提升 1.33 倍。而依據林信輝(2001)建議草本植物大部分根系通常生長在 30cm~40cm 之表土層中；所以五節芒植生根入深度若以 0.4m 評估，坡高 3m 之安全係數最多也僅提升 1.09 倍。

白茅植生之邊坡穩定性經評估後效果較五節芒佳，但白茅植生根入深度若為 0.4m，以坡高 3m 為例安全係數最多也僅提升 1.17 倍。但坡高 6m 及 10m 則安全係數提升很有限。

百喜草植生對邊坡穩定之貢獻介於白茅與五節芒之間，對邊坡穩定之貢獻亦相當有限。而百慕達草植生對邊坡穩定之效果最差，若坡高 3m 且根入深度 0.4m，則安全係數僅提升 1.07 倍。

台灣赤楊為木本植物，經穩定分析後植生效果較草木植物佳。在坡高 10m 時儘管是木本植物，根系對邊坡穩定的貢獻就非常微小。

此外，羅滋草植生之邊坡穩定於 3m 坡高時效果良好，但同樣於 6m 及 10m 坡高時，植生之根系就無法有效提升邊坡安全係數，其分析結果請參照附錄五。

#### 四、綜合討論

經上述討論，依據草本植物根入深度 0.4m，木本植物根入深度 0.8m，植生後穩定分析之比較依坡高區分排列如下：

(1)3m 坡高時可提升邊坡安全係數之排序為：臺灣赤楊(1.68 倍)、羅滋草(1.35 倍)、白茅(1.17 倍)、百喜草(1.15 倍)、五節芒(1.09 倍)、百慕達草(1.07 倍)。

(2)6m 坡高時可提升邊坡安全係數之排序為：臺灣赤楊(1.17 倍)、羅滋草(1.08 倍)、白茅(1.06 倍)、百喜草(1.06 倍)、五節芒(1.03 倍)、百慕達草(1.02 倍)。

(3)10m 坡高時可提升邊坡安全係數之排序為：臺灣赤楊(1.07 倍)、羅滋草(1.04 倍)、白茅(1.03 倍)、百喜草(1.03 倍)、五節芒(1.01 倍)、百慕達草(1.01 倍)。

很明顯可知草本植物對邊坡安全係數提升是很有限的，而坡高 6m 時也僅有臺灣赤楊之木本植物可達未植生邊坡安全係數約 1.2 倍；至於 10m 坡高時植生對邊坡穩定效益極低。

綜合上述歸納結論如下：

- (1)邊坡植生後，木本植物根系深度約在 0.8m，在坡高 3m 時可提升 1.5 倍以上，坡高 6m 時安全係數提升約為 1.2 倍，坡高 10m 時平均安全係數提升小於 1.1 倍；草本植物根系深度約不超過 0.4m，於坡高 3m 時對邊坡穩定性約可提升 10%~20%，坡高 6m 和 10m 時對邊坡穩定性的貢獻很低。以邊坡植生而言，木本植物植生的效益比草本植物為優，而草本植物邊坡植生的功能主要為固土防止坡面沖蝕，避免土壤流失為主。
- (2)自然邊坡安全係數常界於 1.0~1.2 之間，若安全係數提升可達 1.2 倍時，就可將安全係數提升到 1.2~1.44 邊坡穩定才略顯成效。研究顯示坡高 3m 時採用草本植物，對邊坡穩定略有功效，但應用於 6m 以上之邊坡則功能以防沖蝕為主，長期考量下，以木本植物為主，坡高若達 6m，則根系深度需超過 0.8m，才利於邊坡穩定之效益，但植生成效尚需一段時間；因此，一般既有山坡地社區整治時除運用植生工法外，為考量安全性也必須配合適當的工程方法，才可有效達到坡地防災之目的。

## 第二節 檔土工之穩定分析

坡地社區一般所使用之生態防災工法種類繁多，對環境景觀之綠美化亦能達到不錯之成效，因此本節就針對常應用於邊坡穩定之擋土工法，例如砌石工法、箱籠工法及格框工法，搭配台灣常見之土壤參數組合，進行擋土工法安全係數之模擬分析，以評估生態防災工法在穩定邊坡之成效。

### 一、擋土工法分析模式

邊坡穩定分析之流程如下：

- 1.針對3m高，坡度介於 $20^\circ \sim 80^\circ$ 間之邊坡，並選取台灣常見之土壤參數組合，配合簡易邊坡幾何形狀，進行穩定性分析。分析後，安全係數小於1.5但大於1.0者，定義為穩定性不佳之邊坡，做為各工法整治之目標。
- 2.模擬砌石工法、箱籠工法及格框工法（針對木格框），分別以基礎為水平佈置與傾斜佈置之方式，作為穩定性不佳邊坡之整治工法，並分析其所能提供的穩定效益。
- 3.各工法對於目標邊坡之整治，應能將邊坡安全係數有效提升至1.5以上，若該工法基本形式無法使邊坡安全係數達到1.5，則須考慮搭配其他符合生態考量之工法進行整治。

### 二、穩定分析參數

邊坡土壤基本參數採用「山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之一般應用研究（七）」（陳榮河等人，1999）研究中，依照粗、細土壤分類法及統一土壤分類標準，對台灣全區山坡地土壤力學性質進行整理及研究後，所歸納出之台灣全區最常見之土壤參數組合，做為邊坡土壤之基本參數，並將土壤c、 $\phi$ 值組合加以編號，依序為 $S_1 \sim S_8$ ，共計8組土壤組，其值詳見表5-14。

砌石牆之材料性質參數，為求合理保守估計，故使用礫石殘餘強度之平均值，取砌石牆凝聚力  $c_R=12\text{kPa}$ 、摩擦角  $\phi_R=31^\circ$ ，單位重  $\gamma_R=25\text{kN/m}^3$ 。箱籠牆之材料性質參數，假設凝聚力  $c_g=20\text{kPa}$ 、摩擦角  $\phi_g=32^\circ$ ，單位重  $\gamma_g=20\text{kN/m}^3$ 。格框牆之材料以內填石料為主，選用  $c_c=20\text{kPa}$ 、 $\phi_c=35^\circ$ 。格框單位重則考慮木格框之影響，採用加權平均法進行單位重之選取（林又青，2003），取格框單位重  $\gamma_c=16\text{kN/m}^3$ 。

整治工法之相關參數請參考表5-15所示之數值，邊坡穩定性分析模型則以表5-16所示。表中箱籠牆之  $\beta_g$ （箱籠結構表面之連線坡度）假設與邊坡平行，但坡度小於  $45^\circ$ 時，因箱籠間退縮距離不可超過1m，此時  $\beta_g$  固定為  $45^\circ$ 。

表 5-14 設計邊坡所選用之  $c$ 、 $\phi$  值（陳榮河等人，1999）

土壤性質編號	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$
$c$ (kPa)	25	20	15	10	5	0	0	0
$\phi$ ( $^\circ$ )	20	25	30	35	40	28	33	38

表 5-15 工法模式輸入參數（林又青，2003）

砌石牆工法	材質參數	$c_R=12\text{kPa}$ 、 $\phi_R=31^\circ$ 、 $\gamma_R=25\text{kN/m}^3$	
	坡高，H (m)	砌石高， $H_R$ (m)	砌石寬， $B_R$ (m)
箱籠牆工法	3.0	3.0	1.0
	材質參數	$c_g=20\text{kPa}$ 、 $\phi_g=32^\circ$ 、 $\gamma_g=20\text{kN/m}^3$	
木格框牆工法	坡高，H (m)	箱籠高， $H_g$ (m)	箱籠寬， $B_g$ (m)
	3.0	3.0	1.0
木格框牆工法	材質參數	$c_c=20\text{kPa}$ 、 $\phi_c=35^\circ$ 、 $\gamma_c=16\text{kN/m}^3$	
	坡高，H (m)	格框高， $H_c$ (m)	格框寬， $B_c$ (m)
	3.0	3.0	2.0

表5-16 分析模型示意表（林又青，2003）

種類	分析模型示意圖	
邊坡基本模型		
佈置方式	基礎水平佈置	基礎傾斜佈置
砌石牆		
箱籠牆		
格框牆		

### 三、分析結果

經由邊坡基本模型之穩定性分析發現，隨著坡度的增加土壤需提供更大之滑動阻抗力，才可使邊坡處於穩定狀態。土壤之凝聚力c與摩擦角 $\phi$ 為邊坡滑動阻抗之主要來源，亦為滑動型態主要控制因素，而由分析結果可發現，穩定性不佳之邊坡組合中多為土壤性質編號 $S_5 \sim S_8$ 者，即為 $\phi$ 值高、c值低之組合，此類型土壤邊坡之臨界滑動面多為通過坡趾處之淺層破壞。因此即必須針對穩定性不佳之邊坡情況，進行砌石牆、箱籠牆及格框牆三種生態工法之整治分析，評估其成效。

依據分析結果，利用砌石牆、箱籠牆及格框牆等三種工法進行邊坡整治，確實能增加邊坡之穩定性（如表5-18~5-23）。但在應用各種工法時，仍應針對不同之邊坡情況，選擇最適合之整治工法，以獲得最佳之整治成效（林又青，2003）。

表5-17 坡高3m邊坡之安全係數值

坡高3m		土壤性質編號							
		$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$
土壤 性質	c(kPa)	25	20	15	10	5	0	0	0
	$\phi$ (°)	20	25	30	35	40	28	33	38
邊坡安全係數									
坡度 $\beta$ (°)	20	4.5	4.4	4.2	4.0	3.6	1.5	1.8	2.2
	30	3.9	3.7	3.4	3.1	2.7	1.0*	1.1*	1.4*
	40	3.5	3.2	2.9	2.5	2.1	—	—	—
	50	3.1	2.8	2.5	2.1	1.7	—	—	—
	60	2.8	2.5	2.1	1.8	1.4*	—	—	—
	70	2.5	2.1	1.8	1.6	1.2*	—	—	—
	80	2.2	2.0	1.7	1.4*	1.1*	—	—	—

註： \*為安全係數小於1.5但大於1.0之邊坡組合，針對此等穩定性不佳之邊坡情況，進行生態工法之整治分析。

表5-18 基礎水平佈置砌石牆之穩定分析結果

土壤 編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安 全係數	工法建議斷面		整治後 坡趾安 全係數	安全係 數值提 升倍數
			坡度 (°)		砌石高 $H_R$ (m)	砌石寬 $B_R$ (m)		
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.4	3.0	1.0	1.5	1.07
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.4	3.0	1.0	1.5	1.07
			70	1.2	3.0	2.1	1.5	1.25
			80	1.1	3.0	2.1	1.2*	1.09
S <sub>6</sub>	0	28	30	1.0	3.0	2.1	1.4*	1.40
S <sub>7</sub>	0	33	30	1.1	3.0	1.0	1.5	1.36
S <sub>8</sub>	0	38	30	1.4	3.0	1.0	1.8	1.29

註： \*為穩定性不佳邊坡，經砌石牆工法整治後，坡趾安全係數大於1.0而小於1.5者。

表5-19 基礎傾斜佈置砌石牆之穩定分析結果

土壤 編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安 全係數	工法建議斷面		整治後 坡趾安 全係數	安全係 數值提 升倍數
			坡度 (°)		砌石高 $H_R$ (m)	砌石寬 $B_R$ (m)		
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.4	3.0	2.1	1.5	1.07
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.4	3.0	1.0	1.5	1.07
			70	1.2	3.0	2.1	1.4*	1.17
			80	1.1	3.0	2.1	1.2*	1.09
S <sub>6</sub>	0	28	30	1.0	3.0	1.5	1.6	1.60
S <sub>7</sub>	0	33	30	1.1	3.0	1.0	1.7	1.55
S <sub>8</sub>	0	38	30	1.4	3.0	1.0	2.1	1.50

註： \*為穩定性不佳邊坡，經砌石牆工法整治後，坡趾安全係數大於1.0而小於1.5者。

表5-20 基礎水平佈置箱籠牆之穩定分析結果

土壤 編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安 全係數	工法建議斷面		整治後 坡趾安 全係數	安全係 數值提 升倍數
			坡度 (°)		箱籠高 $H_g$ (m)	箱籠寬 $B_g$ (m)		
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.4	3.0	1.0	1.7	1.21
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.4	3.0	1.0	1.8	1.29
			70	1.2	3.0	1.0	1.7	1.42
			80	1.1	3.0	1.0	1.5	1.36
S <sub>6</sub>	0	28	30	1.0	3.0	1.0	1.5	1.50
S <sub>7</sub>	0	33	30	1.1	3.0	1.0	1.6	1.45
S <sub>8</sub>	0	38	30	1.4	3.0	1.0	1.8	1.29

表5-21 基礎傾斜佈置箱籠牆之穩定分析結果

土壤 編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安 全係數	工法建議斷面		整治後 坡趾安 全係數	安全係 數值提 升倍數
			坡度 (°)		箱籠高 $H_g$ (m)	箱籠寬 $B_g$ (m)		
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.4	3.0	1.0	1.7	1.21
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.4	3.0	1.0	2.0	1.43
			70	1.2	3.0	1.0	1.8	1.50
			80	1.1	3.0	1.0	1.6	1.45
S <sub>6</sub>	0	28	30	1.0	3.0	1.0	1.7	1.70
S <sub>7</sub>	0	33	30	1.1	3.0	1.0	1.9	1.73
S <sub>8</sub>	0	38	30	1.4	3.0	1.0	2.1	1.50

表5-22 基礎水平佈置木格框牆之穩定分析結果

土壤 編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安 全係數	工法建議斷面		整治後 坡趾安 全係數	安全係 數值提 升倍數
			坡度 (°)		格框高 $H_c$ (m)	格框寬 $B_c$ (m)		
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.4	3.0	2.0	2.1	1.50
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.4	3.0	2.0	2.0	1.43
			70	1.2	3.0	2.0	2.0	1.67
			80	1.1	3.0	2.0	2.0	1.82
S <sub>6</sub>	0	28	30	1.0	3.0	2.0	1.8	1.80
S <sub>7</sub>	0	33	30	1.1	3.0	2.0	1.8	1.64
S <sub>8</sub>	0	38	30	1.4	3.0	2.0	1.9	1.36

表5-23 基礎傾斜佈置木格框牆之穩定分析結果

土壤 編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安 全係數	工法建議斷面		整治後 坡趾安 全係數	安全係 數值提 升倍數
			坡度 (°)		格框高 $H_c$ (m)	格框寬 $B_c$ (m)		
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.4	3.0	2.0	2.4	1.71
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.4	3.0	2.0	2.3	1.64
			70	1.2	3.0	2.0	2.2	1.83
			80	1.1	3.0	2.0	2.3	2.09
S <sub>6</sub>	0	28	30	1.0	3.0	2.0	1.9	1.90
S <sub>7</sub>	0	33	30	1.1	3.0	2.0	2.0	1.82
S <sub>8</sub>	0	38	30	1.4	3.0	2.0	2.1	1.50

#### 四、綜合討論

歸納上述分析結果其結論如下：

- (1)基礎水平佈置砌石牆之安全係數值提升倍數介於1.07~1.40之間，而基礎傾斜佈置砌石牆之安全係數值提升倍數介於1.07~1.60之間。基礎傾斜佈置的穩定效果略大於水平佈置之砌石牆。但若要求坡趾整體安全係數達1.5以上，在同強度性質砌石材料條件下建議增加砌石牆寬度，可有效提升砌石牆於坡趾穩定之成效；或可改用箱籠牆與格框牆。
- (2)基礎水平佈置箱籠牆之安全係數值提升倍數介於1.21~1.50之間，而基礎傾斜佈置箱籠牆之安全係數值提升倍數介於1.21~1.73之間。箱籠牆之坡趾穩定效用大於砌石牆，且於坡高3m之分析中，皆可使坡趾安全係數提升至1.5以上，而基礎傾斜佈置之箱籠牆之穩定效果又更佳。
- (3)基礎水平佈置格框牆之安全係數值提升倍數介於1.36~1.82之間，而基礎傾斜佈置格框牆之安全係數值提升倍數介於1.50~2.09之間；為三種工法中穩定效果最大，但牆之寬度不同亦會造成成本上的不同。在相同格框斷面下，傾斜佈置之格框牆有較高之穩定性，因此若工程現場施工性佳，則建議採用傾斜格框牆。

## 第六章 生態擋土工法於山坡地社區防災之效益評估

台灣地區總面積360萬公頃，平地約佔26%、山坡地及高山地區約佔74%，適合提供發展之土地資源十分有限。而台灣本島狹小之平原地區大都屬高度開發、人口集中之都會城市，近二十年來由於經濟與人口的快速成長，土地需求不斷提高，建築用地漸向郊區及山坡地發展，致使山坡地有過度開發利用之趨勢。然而，山坡地是土地資源中較具環境敏感性、生態敏感性的地區，不但是水資源蘊藏的場所，也是土砂產生的源頭。在地質體受自然力和人為力的作用下，災害時而顯現。

山坡地因土地利用的形式不同，所受的擾動程度相異，在農業、林業及牧業的生產、利用時，主要的整地在土壤層中；而社區開發使用如採平地化方式大挖大填，常挖至岩盤面之下，因而地形地貌大幅變更，山坡地開發建築之風險即相對提高。再加上近十年來山坡地社區開發有規模大型化、機能複雜化等現象，一旦發生崩坍災害等危險，所影響之範圍更為擴大，所產生之傷亡與損失亦更加慘重。

山坡地住宅社區災害頻頻發生，山坡地安全問題遂成為政府與社會大眾所共同關注的課題，而既有山坡地社區於災前或災後所採用的整治工程，亦是不可輕忽的重要環節，以避免坡地社區之安全再次遭受到威脅。然而近年來民眾對生態、環保意識的覺醒，以往僅強調安全性及耐久性之混凝土結構，常於無形中破壞了自然環境景觀，此類傳統工法已不敷大眾對生態之要求。因此，多方考量結構安全性、成本經濟性與減少生態衝擊性之生態防災工法，便進而被廣泛提倡及應用。故本章節冀望藉由分析生態防災工法效益評估之方式，提供社會大眾對於坡地社區生態整治工法選擇時之參考依據。

## 第一節 效益成本分析

效益成本分析是指政府部門評估各種公共計畫的可行性時，利用數量分析方法，將有關的成本效益用適當貼現率折算成現值，再依淨效益現值、益本比大小或資金報酬率高低，排列各項計畫的優先次序，以確定各項計畫的適宜性，使稀少的公共資源能得到最適當的分配；此方式亦可作為民間坡地社區採各類型生態工法整治之評估依據。以下將成本及效益之定義與衡量的方法做一說明。（李維峰等人，2002）

### 一、成本之定義

各項治理工程於計畫施行時，所投入各項土地、勞力、機具、材料及技術等財貨及勞務，以及可能因計畫引致有害之影響或損失均稱之為「計畫成本」。一般計畫成本及其項目的認定，可分為「直接成本」、「間接成本」及「關聯成本」三者：

1. 直接成本：又稱為「主要成本」，係指建造成本、營運維護成本及換新成本。
2. 間接成本：又稱為「次要成本」，係指計畫產品經運銷與製作過程中，所增加的成本支出。
3. 關聯成本：係指為使計畫產品能夠使用或出售等所需輔助設施之成本。

以上各類成本的估計可依據組成數量與施工方法分析之單價加以計算。但有時同一類工程之施工單價，亦常隨其工程數量大小、施工環境及物價工資水準高低而異。在本計畫的生態工法效益評估中，由於案例工程成本資料蒐集不易並為簡化評估模式，因此僅採用直接成本作為效益評估之考量指標。

### 二、效益之認定

效益係由於治理工程投入建造及營運維護等直接成本所產生之財貨與勞務之價值增加，或因直接成本之使用，使得災害得以減少的價值。其衡量效益的基本原則可假設在其他情況不變下，分析有治理與無治理工程兩情況下效益的差異；或自產品價值及有關活動之淨利做一比較，使可代表此治理工程之效益。

由上述說明得以瞭解，當該治理工程完成後所產生正的「貢獻」或「影響」即為該計畫之效益。此外，目前學者對效益之分類及計算並無較一致的看法與統一的觀念，以下兩大類別較廣為運用：

1. 依是否可利用貨幣衡量：依其治理工程的效益能否用貨幣加以衡量而區分為「可計值效益」及「不可計值效益」兩者，前者屬可以錢幣計值之產品，其價值可由產品數量及其市場價格計算；後者指效益僅有產品數量而無產品市場價格做為計算依據，可引用機會成本觀念或替代計畫成本予以估計效益。
2. 依受益性質區分：依治理工程受益性質可區分為「主效益」及「次生效益」兩者，前者又可分為「直接主效益」及「間接主效益」；後者則又可分為「誘導的次生效益」及「衍生的次生效益」。

在本計畫中，擬採用前者的效益分類觀點，其個別之評估方式將於第二節中詳細說明。

### 三、本益分析方式

本益比較方式，係依據前述治理工程之估計成本與效益，並比較兩者結果以表示資源使用的經濟效率，且據此效率值為主要條件，選擇合宜的計畫進行。目前對效益與成本之比較衡量，常採用下列三種方式：

#### 1. 益本比（Benefit-Cost ratio，B/C）

表示單位成本投入所得之產出效益，其比值大於一為合格，其

最佳選擇是以益本比值最大者為標準。益本比分析可用於整體計畫之衡量，亦可用於組成計畫的任何可分別估算的單位，而在計算益本比值時，可依年計效益與年計成本之平均值，或按其效益與成本之現值總額表示。

益本比定義：

$$B/C_j(i) = \frac{\sum_{t=1}^n B_{jt}(1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_{jt}(1+i)^{-t}} \quad (6-1)$$

其中，

$B_{jt}$  = j 方案在年限 t 年內之產出利益；

$C_{jt}$  = j 方案在年限 t 年內所需投資成本；

i = 合適年利率

如需比較多個方案時可由各項本益比值逐一比較各方案，評估其效能

$$\Delta B/C_{2-1}(i) = \frac{\Delta B_{2-1}(i)}{\Delta C_{2-1}(i)} = \frac{\sum_{t=1}^n (B_{2t} - B_{1t})(1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (C_{2t} - C_{1t})(1+i)^{-t}} \quad (6-2)$$

## 2. 淨效益現值 (Present value of net benefit, B-C)

係表示計畫產出之效益現值減去投入成本現值之差額，即表示此計畫所能增加社會財富之淨值，其淨值大於零才值得投資，且以淨值最大者為最佳選擇。

## 3. 投資報酬率 (The rate of return)

表示此計畫投資所賺取的報酬比率如下式表示：

$$r = (B - OMR)/P \quad (6-3)$$

其中B表示年效益，OMR為運轉維護換新費用，P為完工成本。若上述益本比為1，則可求自此計畫可允許的最高利率，此時投資報酬率亦稱為內生報酬率。

在本計畫中，對效益與成本之比較衡量，擬採用較簡易且廣為大眾所接受與使用的「益本比」效益評估方法。而針對整治工法之可計效益與不可計效益，則分別以「可計效益比」及「不可計效益指標」加以衡量，以評估整治工法之適用性，詳細內容將於第二節中說明。

## 第二節 效益評估模式之建立

規劃山坡地社區整治工程時，社區安全維護必定是首要之考量重點，以避免不適當之整治工程反而造成山坡地社區更大的危害。所以本計劃之效益評估為秉持著此種觀點，所選取之整治工法必須確保整治對象能達到一定之安全標準，即是在安全無虞之前提下，再去評估整治工法效益之優劣，以針對不同的現場環境選擇出最適當的整治工程。

本研究針對既有山坡地社區在相同之安全條件下，採用「益本比」法之評估模式進行整治工法效益分析。整治工法之效益則分別就可計效益及不可計效益兩方面進行評估。針對可計效益，其評估主因子為保全對象，評估次因子則包括潛在保全房屋數及潛在保護人口數，並將其評估項目以金錢量化之方式進行分析。針對不可計效益，其評估主因子為生態環境與環境衝擊，次因子前者包含植被復育、生物棲息及視覺景觀，後者則為施工公害及減廢節能，因其評估項目較難以金錢量化，故採以評分之方式進行評估。整治工程成本則包括整治工程之建造經費與維護修繕費用兩者共同計算，亦

是將其換算為幣值以利效益之評估。整治工法效益及成本之評估內容，請參考表6-1。以下即針對整治工法效益及成本之評估模式與分析步驟進行介紹。

表6-1 整治工法效益及整治工程成本之評估內容

效益評估分類	效益評估主因子	效益評估次因子	備註
可計效益	保全對象	潛在保全房屋數	換算為幣值
		潛在保護人口數	
不可計效益	生態環境	植被復育	以評分方式評估
		生物棲息	
		視覺景觀	
	環境衝擊	施工公害	
		減廢節能	
整治工程成本	整治工程建造經費		換算為幣值
	維護修繕費用		

### 一、效益評估模式分析步驟說明

效益評估方式乃在相同安全條件前提下，評估其運用不同整治工法時所可能產生之不同整治效益，以評判工法對於此研究案例之適當性。效益評估模式之分析步驟概述如下：

1. 整治工程成本分析。
2. 可計效益分析。
3. 不可計效益分析。
4. 整治工法於坡地社區之整體效益分析。

以下即針對各分析步驟進行說明。

#### 1. 整治工程成本分析

整治工法之成本可包括整治工程之建造經費與維護修繕費用兩個項目共同計算。工程建造經費為依據工程之設計圖說，估算整治工程所需之工料項目及施作數量，並將各項目之經費累計後，以計算出整治工程之整體建造經費。

維護修繕費用方面，則依據各工法之耐久性，評估在一定的結構物使用年限內（以50年為基準），整治工程所需要維修之次數，並假定整治工程一次修繕之費用約為建造經費之30%，藉以概估出整治工程所需額外增加的修繕成本。例如箱籠工法具有25年之耐久性，若以50年之結構物使用年限為基準，則箱籠工法在50年之維修次數則需為1次，故其維護修繕費用即為1倍之一次修繕費用。將整治工程建造經費與維護修繕費用加總後即可求得整治工法之整治工程總成本。

本章所討論之整治工法，為針對能提供整體結構穩定性者而言，對於僅能發揮邊坡保護與抗沖蝕效果之工法則暫不列入本研究範圍。因此，即依據第四章所介紹之坡地社區擋土工法，包括砌石工法、格框工法（針對混凝土格框）、箱籠工法、加勁工法與土釘混合噴植法等，進行其應用於坡地社區整治工程時之效益評估分析。而此五種工法之單價分析表，請參考第三節之說明。

## 2. 可計效益分析

可計效益為指能以金錢量化方式評估之效益項目而言，針對既有山坡地社區之效益評估，其可計效益評估之主因子為保全對象，評估次因子則包括潛在保全房屋數及潛在保護人口數。對於可計效益分析，本計畫以計算「可計效益比」之方式，即為將可計之整治效益除以整治工程成本所得之比值定為可計效益比，其中可計整治效益及整治工程成本皆換算為幣值，以此來評估整治工法可計效益之優劣。可計效益比大者，效益佳；反之，效益差。

對於已發生災害或即將發生災害之坡地社區而言，若不依據災害發生因素及災害影響範圍做出適當的整治工作，則此失穩之邊坡可能再次發生崩坍之危機，而造成更嚴重的人員與財產之損失。但若在災害發生後或即將發生前立即做出適切的保護及整治工作，則可避免後續潛在的危險與損失。因此，即可以此觀點評估出坡地社區進行整治後所能保全的對象，並將保全對象以金錢量化之方式，如計算保全房屋之現值與可避免之傷亡人口賠償金額等，概估出此坡地社區經整治後，所可能保全之潛在損失金額，此即為可計之整治效益。整治工程之成本，則為依據不同的整治工法，評估其建造經費與維護修繕費用後，所計算出來之成本。利用可計整治效益與整治工程成本相除所得到的可計效益比，即可評估出整治工法對此坡地社區之適用性。可計效益之分析內容，整理如表6-2所示。

表6-2 可計效益分析內容

效益評估分類	整治效益	整治工程成本	效益評估方法
可計效益	坡地社區經整治後，所可能保全之潛在損失金額	整治工程建造經費及維護修繕費用	可計效益比

### 3. 不可計效益分析

不可計效益指難以採用金錢衡量之方式而改以評分量化方法所評估之效益項目而言，針對既有山坡地社區之生態防災工法效益評估，其不可計效益評估之主因子為生態環境與環境衝擊，評估次因子前者包含植被復育、生物棲息及視覺景觀，後者則為施工公害及減廢節能。對於不可計效益分析，本計畫以計算「不可計效益指標」之方式，即為將不可計之整治效益除以整治工程成本所得之比值定為不可計效益指標，其中不可計整治效益採以評分值量化，而整治工程成本則換算為幣值，以此方式來評估整治工法不可計效益之優劣。不可計效益指標大者，效益佳；反之，效益差。不可計效益之分析內容，整理如表6-3所示。

表6-3 不可計效益分析內容

效益評估分類	整治效益	整治工程成本	效益評估方法
不可計效益	不可計效益評估因子之量化評分值	整治工程建造經費及維護修繕費用	不可計效益指標

不可計效益評估因子之選擇，為依據整治工法對坡地社區當地生態環境之影響（包括植被復育、生物棲息與視覺景觀等因素），以及整治工法施作時對現場環境之衝擊（包含施工公害與減廢節能因素），以此評估要項分析整治工法之不可計效益。各評估因子之評分準則分述如下：

- (1) 植被復育：針對坡地社區所採用整治工法植生效果之難易程度，進行評分。植生效果佳之整治工法，其植被復

育因子評分高；反之，評分低。

- (2) 生物棲息：整治工程完成後，結構物孔隙的大小以及植被復育之成效，皆會影響生物之棲息狀況。孔隙大且植生效果好之整治工法，其生物棲息情形較佳，評分亦較高；反之，生物棲息因子之評分則較低。
- (3) 視覺景觀：整治工程完成後所帶給人們視覺上的觀感，以及與當地整體環境之配合度，皆會影響視覺景觀因子之評分標準。但此為較主觀之評分項目，會因個人審美觀的不同而有所差異。
- (4) 施工公害：針對整治工程施工時，所可能產生之施工公害（包括施工噪音、空氣污染、水源污染等），評估其對當地環境影響之嚴重程度進行評分。施工時所造成之施工公害較輕微者，其施工公害因子之評分較高；反之，評分則較低。
- (5) 減廢節能：評估整治工法所能減少工程廢棄物與節省自然資源消耗的程度進行評分。整治工法施作時應盡量利用現有材料資源，避免產生過多的工程廢棄物，以契合生態工法之理念。

依據不可計效益評估因子之評分準則，即可對整治工法之不可計效益以評分之方式來量化。將各評估因子之評分值加總後，即可得到此整治工法在生態環境與環境衝擊等不可計效益評估因子之總評分值，此評分值即為不可計之整治效益。利用不可計整治效益與整治工程成本相除後所得之不可計效益指標，可對所採用之整治工法於坡地社區應用時之不可計效益進行分析。不可計效益評估因子之評分請參考表6-4。此評分表為本研究團隊詢問多位專家學者之意見後所得到的結論，但僅為較初步概略的評估，評分仍有修改

的空間，應可根據現場環境與個人主觀意見之不同，而適當更改各工法之評分比例。

由表6-4之評分結果可發現，砌石牆及加勁擋土牆之不可計效益評分值最高，箱籠牆次之，再者為混凝土格框擋土牆，不可計效益評分值最低的則為土釘混合噴植法。但砌石牆、加勁擋土牆、混凝土格框擋土牆及箱籠牆之不可計效益評分值差異不大，應可認定為具有相當之不可計效益。表6-4之評分值僅為針對本計劃所提出之不可計效益評估因子而言，若再加以考量工法之安全可靠度及耐久性，土釘混合噴植法則應具有較佳之評價。

#### 4. 整治工法於坡地社區之整體效益分析

針對整治工法於坡地社區之整體效益評估，則是將上述之可計效益比及不可計效益指標共同搭配分析，再根據業者對於整治工程施工的目的與考量，選擇出最適於當地之整治工法。假設某一整治工法之可計效益比及不可計效益指標皆為最大，則此工法具有最佳之整治效益；反之，若整治工法之可計效益比及不可計效益指標皆為最小，則此工法並不適於坡地社區之整治工作。但若兩個整治工法比較，其一之可計效益比大、不可計效益指標小，其二之可計效益比小、不可計效益指標大，則此情形就必須依據業者之考量重點，是整治工程成本為主要考量，亦或是當地生態環境之維護為重點要求，以評估選擇出最符合施工目的之整治工法。若以整治工程成本為主要考量，可選擇可計效益比大者；若以當地生態環境之維護為重點要求者，則可選擇不可計效益指標大者。

表6-4 擋土工法之不可計效益評估因子評分表

評估 主因 子	評估次因子	擋 土 工 法				
		砌石牆	混凝土格 框擋土牆	箱籠牆	加勁擋土 牆	土釘混合 噴植法
生態環境	植被復育	優 (5分)				
		良 (4分)			v	
		中 (3分)	v	v	v	v
		差 (2分)				
		劣 (1分)				
	生物棲息	優 (5分)				
		良 (4分)		v	v	v
		中 (3分)	v			v
		差 (2分)				
		劣 (1分)				
環境衝擊	視覺景觀	優 (5分)				
		良 (4分)	v			v
		中 (3分)		v	v	v
		差 (2分)				
		劣 (1分)				
	施工公害	優 (5分)				
		良 (4分)	v	v	v	
		中 (3分)				v
		差 (2分)				v
		劣 (1分)				
減廢節能	優 (5分)					
	良 (4分)	v				
	中 (3分)			v	v	
	差 (2分)		v			v
	劣 (1分)					
總評分 (分)		18	16	17	18	13

### 第三節 工料單價分析

編製工程預算或估價，首先要掌握工料單價分析，此部分若能確實而周延建置完成，再依據完成之工程數量，則推算工程費用更能吻合實際狀況，不至於高估或低算，形成浪費或發包困難等現象。

工料單價分析係將每一工程計價付款之項目，依照施工規範之要求，合理考量施工效率、機具使用時間及材料使用數量等，將參考單價併入估算以分別求出每一單項之單價，即形成工料單價分析。因此，一般工程之單價主要是由材料單價、人工工資單價以及機具分攤單價這三大部分所構成，而這三大部分的組成則各有其要素，分述如下(林鎮洋等人，2001)：

#### 一、材料單價

由材料價格、材料使用效率與運費等三項要素所組成。

1. 材料價格：材料的價格會受到材料本身品質的優劣及工程材料的需求量所影響，另外地區性的因素如短期性及地區性供需波動、時間性的因素如分類物價指數的變動亦會影響材料的價格。
2. 材料使用效率：地形與地質條件（如山區與平地）會影響到工作效率，間接影響了材料使用的效率。
3. 運費：運輸基本費率以及運輸效率（如運輸距離、地形、交通可及性）是影響運費的兩大項目。

#### 二、人工工資單價

工資率、施工效率及工程進度急迫性（如趕工、夜間加班）等，皆會影響工資單價。

1. 工資率：時間性的工資率變動以及地區性技術工的供需量，形成工資率的不同。
2. 施工效率：即為工期的長短。主要受到交通因素（工地交通之可及性）、可用工時（如高山地區濃霧之影響）、氣候因素等影響。
3. 工程進度的急迫性：趕工的成本必然會影響到人工工資單價。

### 三、機具分攤單價

此部分由機具完稅價格、機具施工效率、機具折舊方法、殘值以及利息、保險、保養、修理與油料所構成。

1. 機具完稅價格：匯率及稅率的變動會影響完稅價格。
2. 機具施工效率：地形與地質條件會影響到工作效率，影響了機具施工的效率。
3. 機具折舊方法：折舊的方式影響到折舊率及所分攤的價格。
4. 殘值：折舊後所殘餘的價值。
5. 利息、保險、保養、修理及油料。

依據第四章所介紹之坡地社區擋土工法，包括砌石工法、加勁工法、格框工法（針對混凝土格框）、箱籠工法與土釘混合噴植法等五種工法之參考單價分析表，整理如表6-5至表6-9。

表 6-5 30cm 厚乾砌塊石牆單價分析表

工程名稱：30cm 厚乾砌塊石牆面					
工程費用：新台幣元 861.9 / m <sup>2</sup>					
工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)	附註
30cm 厚塊石	m <sup>3</sup>	0.30	1600.0	480.0	此單價可考慮運距及石塊尺寸，再加以調整
技工	工	0.07	2000.0	140.0	
小工	工	0.15	1500.0	225.0	砌石高度在 4m 以上時，小工工率增加 50%
工具搬運及損耗	式	1.00	16.9	16.9	
合計				861.9	
說明：(1) 工程費用指直視的單位施工面積 (m <sup>2</sup> ) 下所需之成本。 (2) 技工指堆疊、乾砌石塊等工作人員。 (3) 小工為其他雜項工作之人員。					

表 6-6 加勁擋土牆單價分析表

工程名稱：加勁擋土牆 (h=0.5m)					
工程費用：新台幣 3939.0 元 / m					
工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)	附註
加勁格網鋪設 (層距 h=0.5m, 深度 3m)	m <sup>2</sup>	5.80	250.0	1450.0	
植生客土包	包	16.00	133.0	2128.0	
加勁格網上下層結合與鋪設	m	1.00	269.0	269.0	
就近利用填方	m <sup>3</sup>	1.50	35.7	53.5	
零星工料	式	1.00	38.5	38.5	
合計				3939.0	
說明：(1) 工程費用指單位寬度下加勁工法所需之成本。					

表6-7 混凝土格框牆單價分析表

工程名稱：混凝土格框牆					
工程費用：新台幣元 $2886.7 / m^2$					
工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)	附註
210kg/cm <sup>2</sup> 混凝土	m <sup>3</sup>	0.40	1800.0	720.0	
鋼筋	t	0.04	22000.0	880.0	
模板	m <sup>2</sup>	0.90	400.0	360.0	
卵石	m <sup>3</sup>	0.60	570.0	342.0	
技工	工	0.15	2000.0	300.0	
小工	工	0.15	1500.0	225.0	
工具搬運及損耗	式	1.00	59.7	59.7	
合計				2886.7	

說明：(1) 工程費用指直視的單位施工面積 ( $m^2$ ) 下所需之成本。  
 (2) 此單價為以  $0.2m \times 0.2m \times 1m$  之丁條及順條尺寸，計算而得。  
 (3) 混凝土抗壓強度  $210kg/cm^2$  為目前較常使用於混凝土格框牆之強度。  
 (4) 木格框牆因為較容易腐蝕，且其耐久性較混凝土格框牆差，故若使用於  
 坡地社區之擋土工程，應將木材經過適當之防蝕處理後再行運用。  
 (5) 技工指模板之釘設與鋼筋之綁紮等工作人員。  
 (6) 小工為其他雜項工作之人員。

表6-8 箱籠牆單價分析表

工程名稱：箱籠工法					
工程費用：新台幣 2726.0 元 / m					
工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)	附註
箱型石籠內填卵石	m <sup>3</sup>	1.00			
卵石	m <sup>3</sup>	1.00	570.0	570.0	
大工	工	0.10	1700.0	170.0	
小工	工	0.10	1500.0	150.0	
機具費	時	0.10	770.0	77.0	
零星工料	式	1.00	29.0	29.0	
小計(1)				996.0	
箱型石籠安裝	m	1.00			
箱型石籠 Xx 1mx 1m	m	1.00	1440.0	1440.0	
特種技工	工	0.05	1900.0	95.0	
大工	工	0.05	1700.0	85.0	
小工	工	0.04	1500.0	60.0	
零星工料	式	1.00	50.0	50.0	
小計(2)				1730.0	
合計(1~2項)				2726.0	

說明：(1) 工程費用指單位寬度下箱籠工法所需之成本。  
 (2) 單個箱籠之常見尺寸為 1mx 1mx 1m 之正立方體。  
 (3) 特種技工指鍍鋅鋼網的編網及裁切等工作人員。  
 (4) 大工指卵石之填放與石籠之排設等工作人員。  
 (5) 小工為其他雜項工作之人員。

表6-9 土釘混合噴植法單價分析表

工程名稱：土釘					
工程費用：新台幣 5160.3 元 / 支 (L=6m 長)					
工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)	附註
鑽孔費，4"	m	6.00	350.0	2100.0	
承鉗	塊	1.00	250.0	250.0	
錨桿,L=6m	支	1.00	1400.0	1400.0	
六角螺帽	個	1.00	50.0	50.0	
固定器	個	3.00	30.0	90.0	
移孔及搭拆架	孔	1.00	300.0	300.0	
技工	工	0.50	720.0	360.0	
小工	工	0.50	520.0	260.0	
水泥砂漿	式	1.00	150.0	150.0	
灌漿設備	式	1.00	50.0	50.0	
工具損耗	式	1.00	150.3	150.3	
合計				5160.3	

說明：(1) 此處之工程費用為指每支長 6m 的土釘，施工所需之成本。

(2) 土釘之單價已包含防蝕處理之費用。

(3) 技工指鑽孔、埋設錨桿等工作人員。

(4) 小工為其他雜項工作之人員。

工程名稱：型框植生護坡（植生基材厚度 5cm）					
工程費用：新台幣 2225.0 元 / m <sup>2</sup>					
工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)	附註
人工吊掛整坡	m <sup>2</sup>	1.00			
吊掛整坡工	工	0.05	1700.0	85.0	
危石人工剷除	工	0.025	1700.0	42.5	
整坡殘餘土石清運	式	1.00	12.5	12.5	
小計 (1)				140.0	
鋪設立體網及鋼筋	m <sup>2</sup>	1.00			
鋪網技工	工	0.05	1700.0	85.0	
搬運工	工	0.04	1500.0	60.0	
鑿穴技工	工	0.04	1700.0	68.0	

立體網	$m^2$	1.20	100.0	120.0	
空壓機 ( $10.6m^3/min$ )	日	0.02	2000.0	40.0	
鋼筋彎繫及組立	kg	2.29	13.4	30.6	
主錨筋 ( $\phi 16mm, L=100cm$ )	支	0.72	50.0	36.0	
輔助錨筋 ( $\phi 10mm, L=20cm$ )	支	1.50	10.0	15.0	
鑿穴機 (15 kg 級)	日	0.04	1200.0	48.0	
機具損耗	式	1.00	4.4	4.4	
小計 (2)				507.0	
鋪設塑膠布	$m^2$	1.00			
鋪設工	工	0.02	1500.0	30.0	
塑膠布	$m^2$	0.55	15.0	8.3	
雜費	式	1.00	0.7	0.7	
小計 (3)				39.0	
噴付 1:3 水泥砂漿型框	$m^2$	1.00			
操作技工	工	0.06	1700.0	102.0	
噴付技工	工	0.06	1700.0	102.0	
搬運工	工	0.06	1500.0	90.0	
小工	工	0.06	1500.0	90.0	
水泥	包	0.75	133.0	99.8	
砂	$m^3$	0.105	570.0	59.8	
分散劑	kg	0.5	50.0	25.0	
空壓機 ( $10.6m^3/min$ )	日	0.03	2000.0	60.0	
噴漿機 ( $0.8\sim1.2m^3/h$ )	日	0.03	3000.0	90.0	
發電機 (10KVA)	日	0.03	1600.0	48.0	
輸送機 ( $7mx 2$ 部)	日	0.06	800.0	48.0	
計量計 (30 kg 級)	日	0.03	400.0	12.0	
抽水機 ( $\phi 5cm$ )	日	0.03	200.0	6.0	
損耗	式	1.00	7.4	7.4	
小計 (4)				840.0	
植生基材 (厚度 5cm)	$m^2$	1.00			
樹脂覆蓋肥料	kg	0.04	100.0	4.0	
化學肥料 N:P:K=4:17:4	kg	0.10	10.0	1.0	
吸水性強樹脂	kg	0.04	80.0	3.2	
含放線菌土壤改良劑	kg	0.10	240.0	24.0	
真珠母岩粉 (保水基材)	kg	0.60	80.0	48.0	

泥炭苔（保水基材）	1	10.00	4.0	40.0	
樹皮堆肥（乾燥）	kg	20.00	8.0	160.0	
基盤流失防止劑	kg	0.40	120.0	48.0	
促生劑	kg	0.12	240.0	28.8	
草種	kg	0.21	400.0	84.0	
損耗	式	1.00	4.0	4.0	
小計 (5)				445.0	
噴付植生基材（噴付厚度 5cm）	m <sup>2</sup>	1.00			
機械操作技工	工	0.02	1700.0	34.0	
噴付技工	工	0.02	1700.0	34.0	
搬運工	工	0.02	1500.0	30.0	
小工	工	0.02	1500.0	30.0	
空壓機 (10.6m <sup>3</sup> /min)	日	0.01	2000.0	20.0	
噴付機 (0.8~1.2m <sup>3</sup> /h)	日	0.01	3000.0	30.0	
抽水機 (φ 5cm)	日	0.01	200.0	2.0	
發電機 (10KVA)	日	0.01	1600.0	16.0	
輸送機 (7mx 2 部)	日	0.02	800.0	16.0	
什費	式	1.00	2.0	2.0	
小計 (6)				214.0	
澆水養護	m <sup>3</sup>	1.00			
抽水設施費	式	1.00	5.0	5.0	
送水車設施費	式	1.00	5.0	5.0	
澆水養護費	日	0.02	1500.0	30.0	
小計 (7)				40.0	
合計 (1~7 項)				2186.0	

說明：(1) 工程費用指直視的單位施工面積 (m<sup>2</sup>) 下所需之成本。

## 第四節 案例分析

### 一、案例介紹

本節將以案例分析之方式，評估生態防災工法運用於既有山坡地社區之效益評估，使評估模式能較具體的展現。本計劃選用三芝淺水灣山莊內，一處曾因象神颱風肆虐而造成基礎邊坡損壞之私人

別墅作為評估之案例，其基本資料敘述如後。

### 1. 案例位址

淺水灣山莊位於台北縣三芝鄉，社區之聯外道路為淡金公路，此社區除了東南方部份以大樓集合住宅為主外，其餘主要為四層樓以下之透天住宅。本研究案例位於社區西南側邊坡上之私人別墅，案例位址請參考圖6-1之說明。

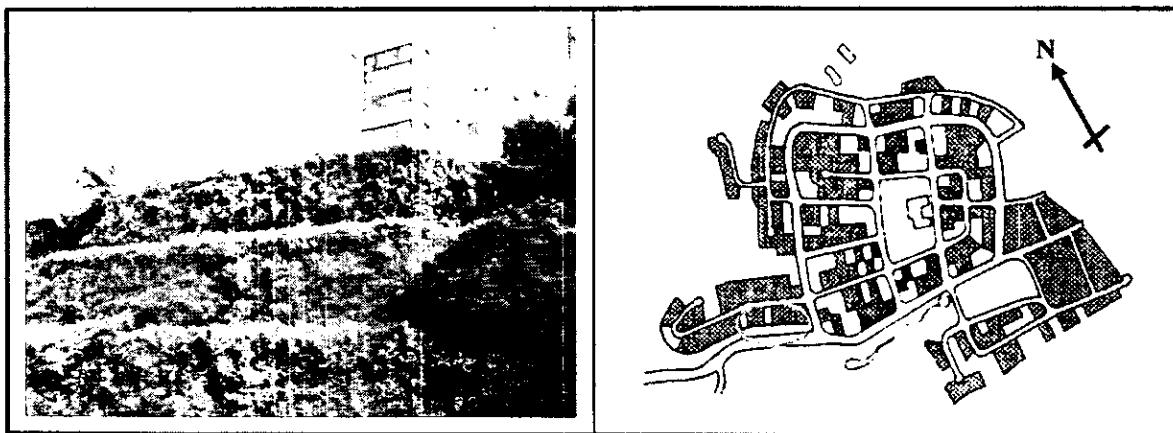


圖6-1 案例之位址及其邊坡經象神颱風崩塌後之修復情形

### 2. 地形、地質狀況

本社區的地形分區係屬於台北盆地北側之大屯火山群，由噴發之火山角礫岩及熔岩流所組成，大屯火山群共有火山構成之山峰或山丘二十餘座，火山大都成圓錐形，部分頂部留有火山口之遺跡。本社區位於大屯火山群之下邊坡，台北縣三芝鄉土地公坑附近。本地區附近出露的地層主要為火山凝灰角礫岩。凝灰角礫岩分佈於火山周緣，或覆蓋於火山岩流之上部或夾於其中。礫岩為火山碎屑之堆積，由略帶稜角，大小不一之安山岩碎塊，以及顆粒較細之凝灰岩、泥砂等夾雜混合構成，一般膠結良好。本地區出露之凝灰角礫岩係分別夾於不同岩流之中，因此角礫岩成分亦隨各層或不同火山而異。本基地區域並無任何斷層、褶皺等地質構造分佈，區域地質圖請參考圖6-2所示。

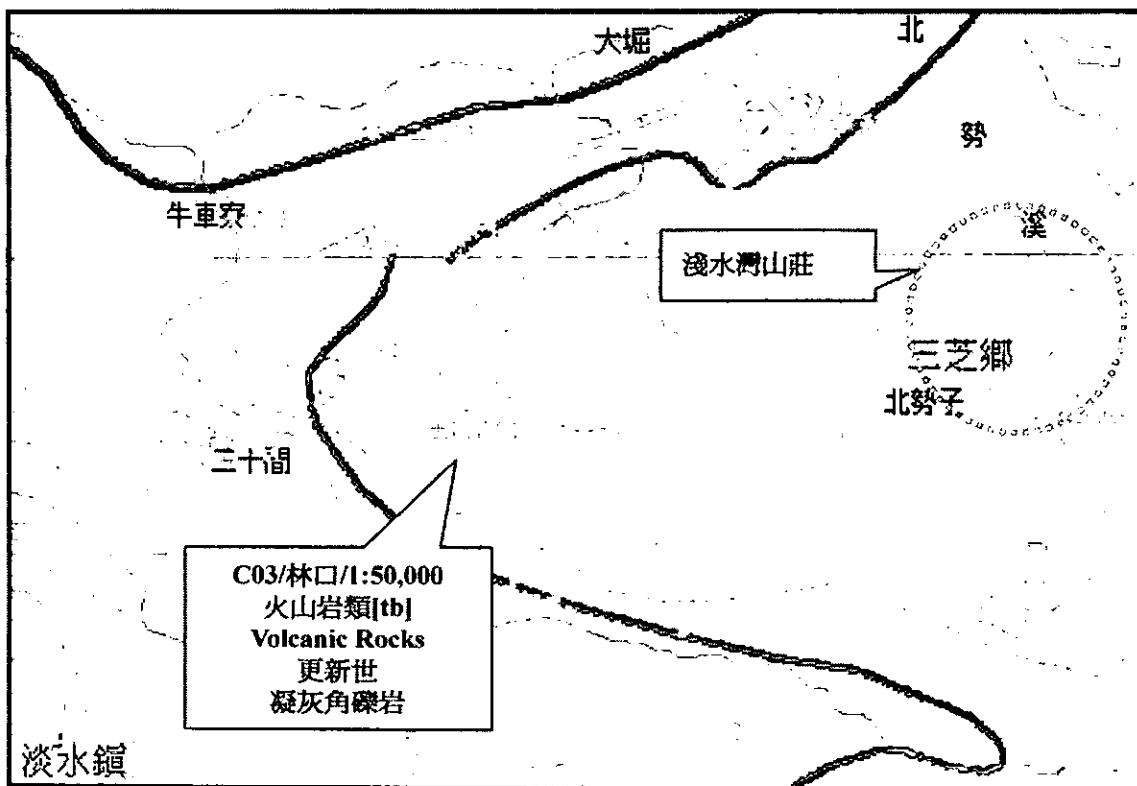
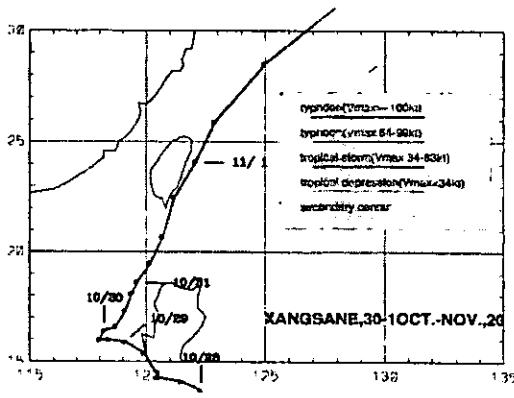


圖6-2 案例區域之五萬分之一地質圖（資料來源：中央地質調查所）

### 3. 案例災害歷史描述

民國89年11月1日侵台的象神颱風，為在菲律賓東南方海面上形成並往西北西移動，通過菲律賓後緩慢向東北東前進，伴隨的螺旋雲系重新組織，強度也增強為中度颱風，俟其進入巴士海峽後再沿台灣東部近海繼續向東北東移動，其螺旋雲帶碰觸台灣地區隨即迅速減弱，雲帶範圍縮小，進入東海後逐漸消失。此次象神颱風的肆虐，為台灣各地帶來全面性的豪大雨，除造成北台灣的基隆和汐止發生嚴重水患外，各地山區亦有多起土石流災害產生，而農林漁牧業的損失金額更是龐大，初步估計約高達新臺幣36億元。象神颱風對台灣的災情，共造成有64人死亡、25人失蹤、65人受傷的慘劇；此外，全球飛安紀錄最佳的新加坡航空公司亦不幸因象神颱風之影響而發生嚴重空難。象神颱風之基本資料，請參考表6-10之說明。

表6-10 象神颱風基本資料表（資料來源：中央氣象局）

名稱	象神颱風 (XANGSANE)
生成地點	菲律賓東南方海面
侵(近)台日期	民國89年11月1日
發布時間	海上：民國89年10月30日20時15分； 陸上：民國89年10月31日2時45分
解除時間	海上：民國89年11月1日20時5分； 陸上：民國89年11月1日17時45分
最大強度	中度
近中心最大風速(公尺/秒)	38 (13級)
登陸地段	未登陸
動態	形成後向西北西移動，通過菲律賓後緩慢向東北東移動，俟其進入巴士海峽後加速移動，沿台灣東部近海繼續向東北東移動，進入東海並減弱消失。
災害	因颱風外圍環流及鋒面雙重影響，台灣北部、東半部、恆春半島及中南部山區降下豪雨，造成台北縣汐止、台北市、基隆及宜蘭部分地區積水嚴重。全省道路多處坍方，電力、電信系統嚴重受損，近26萬戶停水。農業損失約36億。全省計64人死亡，以基隆市「建益護理之家」14人溺斃及「天道研究學院」15人溺斃最為嚴重。
象神颱風路徑圖	

本計劃所討論之三芝淺水灣私人別墅案例，亦是因象神颱風期間所帶來之豪大雨造成邊坡土壤軟化，且由於此別墅緊鄰邊坡，而當時建商施工時對邊坡的保護措施又不儘完善，因而造成邊坡滑動破壞，使得別墅基礎嚴重裸露，危及結構體之安全性。災害發生後，由於建商拒不負起維修責任，別墅屋主只好自我救濟，個人出資修復損壞之邊坡，避免發生房屋倒塌等更嚴重之損失。為顧及邊坡之穩定性與別墅之安全性，又為兼顧生態與景觀之考量，便捨棄了傳統之混凝土擋土結構，選擇使用加勁擋土牆配合牆面植生之整治工法，以達到安全與生態並重之目標。別墅基礎邊坡破壞情形及維修過程，請參考圖6-3及圖6-4。

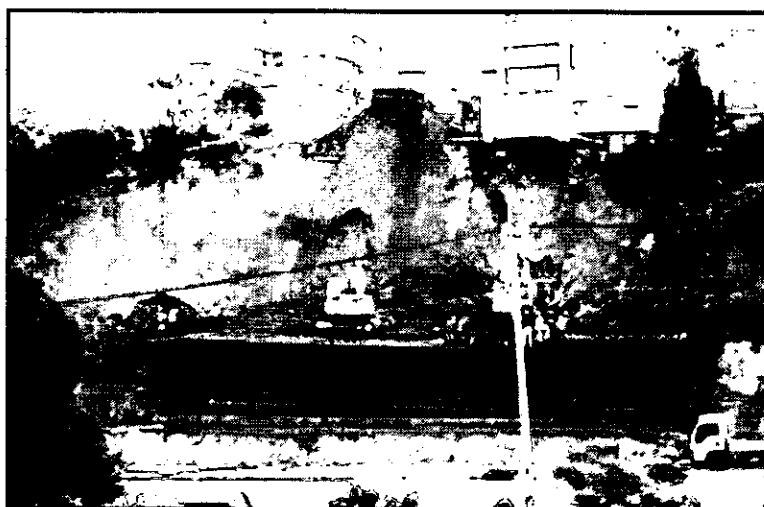


圖6-3 案例之邊坡滑動破壞、基腳裸露之情形

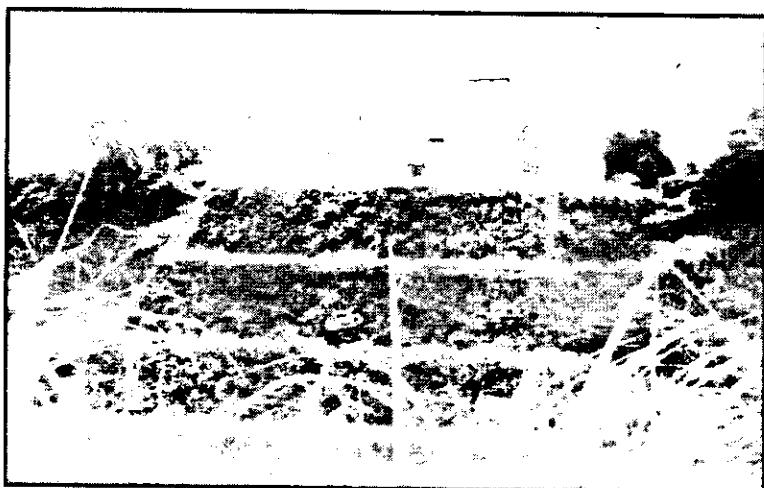


圖6-4 加勁擋土牆施作完成後復育情形

## 二、整治工法效益評估

本計劃以三芝淺水灣山莊之私人別墅為研究對象，探討其應用不同生態工法整治時所產生之整治效益，進而評估工法於此案例之適用性。

### 1. 整治工法安全性分析

進行工法效益評估前，必須先確保所採用之整治工法能使保全對象達到一定之安全標準，即是在安全無虞之前提下，再去評估比較整治工法效益之優劣。針對研究案例，本計畫以原採用之地工合成物加勁工法，以及土釘搭配砌石工法、箱籠工法與混凝土格框工法等四種整治方法，評估此案例之整治效益。在穩定性分析方面，由於案例之土壤為紅土層，分析參數依據謝豪榮及吳建興（1985）之研究，取其單位重為 $14.7\text{kN/m}^3$ 、土壤凝聚力為 $19.6\text{kN/m}^2$ 、土壤摩擦角為 $30^\circ$ 。考量坡地社區之整治，須有較高、較保守之安全性，以免造成更嚴重之損失，所以整體安全係數即以2.0為最低標準。整治工法之設計簡圖及分析結果，請參考表6-11至表6-14之說明。

由表6-11至表6-14之分析結果可以發現，四種整治工法所設計之配置方式，皆可使研究案例維持在穩定且安全無虞之狀態，因此即可依據整治工法設計簡圖，估算整治工程所需之成本，並進而評估各整治工法之可計效益及不可計效益，以評判工法對研究案例之適當性。

表 6-11 加勁牆穩定分析

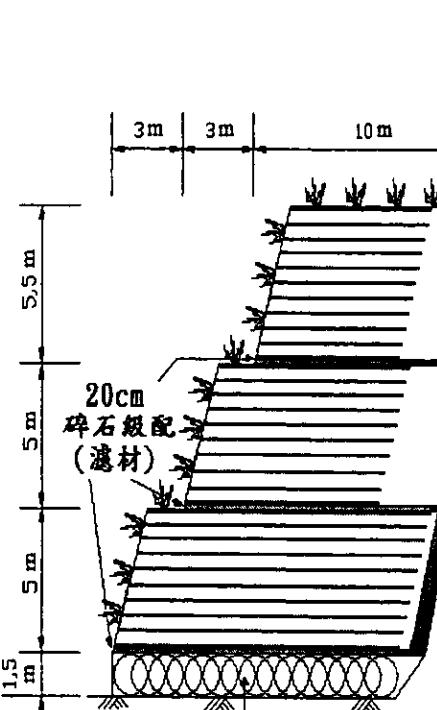
整治工法 類別	整治工法設計簡圖	穩定性分析 結果
加勁工法	 <p data-bbox="866 698 1137 741"><math>L=6m \quad T_a=98.1 \text{ kN/m}</math></p> <p data-bbox="866 741 1137 784"><math>H=5.5m \quad h=0.5 \times 11</math></p> <p data-bbox="866 849 1137 892"><math>L=8m \quad T_a=98.1 \text{ kN/m}</math></p> <p data-bbox="866 892 1137 935"><math>H=5m \quad h=0.5 \times 10</math></p> <p data-bbox="866 999 1137 1042"><math>L=12m \quad T_a=147.15 \text{ kN/m}</math></p> <p data-bbox="866 1042 1137 1085"><math>H=5m \quad h=0.5 \times 10</math></p>	<p data-bbox="1182 817 1409 860">(1) 整體穩定</p> <p data-bbox="1182 892 1409 935"><math>FS=2.25 &gt; 2.0</math></p> <p data-bbox="1243 967 1333 1010">O.K.</p> <p data-bbox="1182 1107 1409 1150">(2) 抗斷裂</p> <p data-bbox="1182 1182 1409 1225"><math>FS=3.04 &gt; 1.5</math></p> <p data-bbox="1243 1257 1333 1300">O.K.</p> <p data-bbox="1182 1386 1409 1429">(3) 抗拉出</p> <p data-bbox="1182 1462 1409 1505"><math>FS=1.93 &gt; 1.5</math></p> <p data-bbox="1243 1537 1333 1580">O.K.</p>
說明	<p>(1) 加勁擋土牆之基礎部分填充塊石及水泥固化土壤，以增加基礎之承載力。</p> <p>(2) 加勁擋土牆面以植生包堆疊，內撒草種，以達到植生美化景觀之效果。</p> <p>(3) 每隔 5m 牆高鋪設一層 20cm 厚之碎石級配，以利排水。</p> <p>(4) 考量坡地社區須有較高之安全性，故整體穩定性安全係數以 2.0 為最低標準。</p> <p>(5) 依據 FHWA (1996) 之建議：</p> <p style="padding-left: 2em;">加勁材抗斷裂 <math>FS &gt; 1.5</math>；</p> <p style="padding-left: 2em;">加勁材抗拉出 <math>FS &gt; 1.5</math>。</p>	

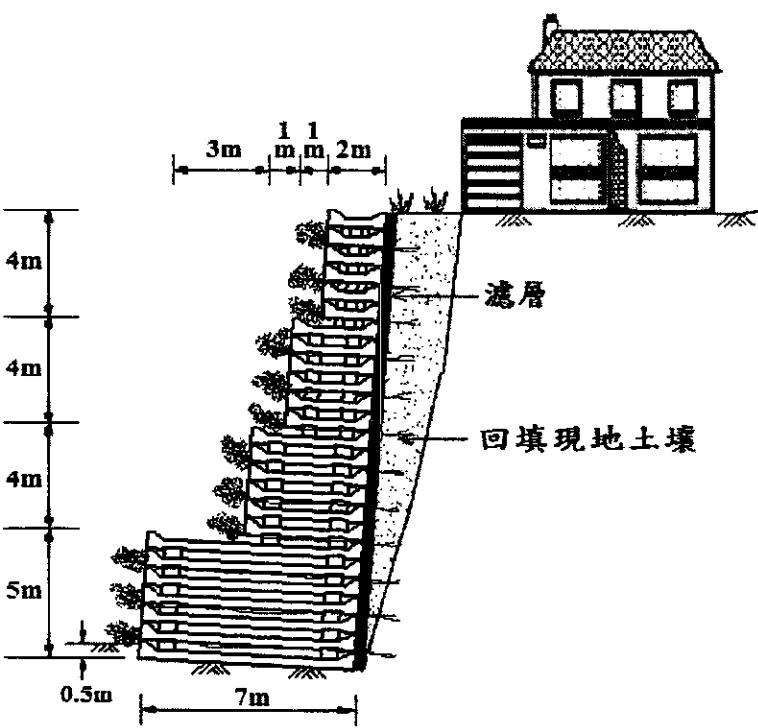
表 6-12 土釘牆穩定分析

整治工法 類別	整治工法設計簡圖	穩定性分析 結果											
土釘搭配 砌石工法		整體穩定性  $FS = 2.13 > 2.0$ O.K.											
說明	<p>(1) 土釘加勁參數如下所示：</p> <table border="1" data-bbox="500 1204 1090 1526"> <tbody> <tr> <td>土釘種類</td> <td>Φ 25mm 竹節鋼</td> </tr> <tr> <td>鑽孔直徑</td> <td>10cm</td> </tr> <tr> <td>土釘張力強度</td> <td>210kN</td> </tr> <tr> <td>極限拉出阻抗</td> <td>125kPa</td> </tr> <tr> <td>水平間距</td> <td>1m</td> </tr> <tr> <td>垂直間距</td> <td>1m</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 穩定性分析時，僅考慮土釘之強度貢獻。砌石牆面為裝飾之用，以及增加整治工程之生態性與美化景觀，並不列入穩定性分析之考量。</p> <p>(3) 整體穩定性安全係數為參考子計畫二之建議，主要由土釘之拉出破壞控制。</p>	土釘種類	Φ 25mm 竹節鋼	鑽孔直徑	10cm	土釘張力強度	210kN	極限拉出阻抗	125kPa	水平間距	1m	垂直間距	1m
土釘種類	Φ 25mm 竹節鋼												
鑽孔直徑	10cm												
土釘張力強度	210kN												
極限拉出阻抗	125kPa												
水平間距	1m												
垂直間距	1m												

表6-13 箱籠牆穩定分析

整治工法 類別	整治工法設計簡圖	穩定性分析 結果
箱籠工法		(1)抗滑動 $FS=1.84>1.5$ O.K.  (2)抗傾倒 
說明	<p>(1)箱籠擋土牆採用重力式擋土牆之分析模式評估穩定性，假設單位重為<math>20kN/m^3</math>，再分別計算箱籠擋土牆抗滑動、抗傾倒及承載力之安全係數。</p> <p>(2)每個箱籠尺寸為<math>1mx 1mx 1m</math>，內填卵石。</p> <p>(3)箱籠工法可利用切枝壓條法，並將萌芽枝條插入背填土層之方式植生。</p> <p>(4)依據民國90年建築技術規則之規定：</p> <p>抗滑動安全係數 <math>FS&gt;1.5</math>；</p> <p>抗傾倒安全係數 <math>FS&gt;2.0</math>；</p> <p>承載力安全係數 <math>FS&gt;3.0</math>。</p>	(3)承載力 $FS=2.12>2.0$ O.K.  (3)承載力 $FS=3.05>3.0$ O.K.

表6-14 混凝土格框牆穩定分析

整治工法 類別	整治工法設計簡圖	穩定性分析 結果
混凝土格 框工法	 <p>(1)抗滑動 <math>FS=1.98&gt;1.5</math> O.K.</p> <p>(2)抗傾倒 <math>FS=2.35&gt;2.0</math> O.K.</p> <p>(3)承載力 <math>FS=3.15&gt;3.0</math> O.K.</p>	
說明	<p>(1)混凝土格框擋土牆採用重力式擋土牆之分析模式評估穩定性，假設單位重為<math>23\text{kN/m}^3</math>，再分別計算混凝土格框擋土牆抗滑動、抗傾倒及承載力之安全係數。</p> <p>(2)混凝土格框擋土牆內填卵石。並可利用切枝壓條法，將萌芽枝條插入背填土層之方式植生。</p> <p>(3)依據民國90年建築技術規則之規定： 抗滑動安全係數 <math>FS&gt;1.5</math>； 抗傾倒安全係數 <math>FS&gt;2.0</math>； 承載力安全係數 <math>FS&gt;3.0</math>。</p>	

## 2. 整治工程成本分析

由前述分析結果可得知，四種整治工法皆可使研究案例維持在一定之安全標準，因此即可依據表6-11至表6-14之整治工法設計簡圖，估算各整治工程所需之成本。整治工程成本包括建造經費與維護修繕費用兩個項目。針對工程建造經費，利用第三節之工法單價分析表，估算整治工程所需之工料項目及數量，並將各項目之經費累計後，計算出各整治工法之整體建造經費。維護修繕費用方面，則為依據各工法之耐久性，評估在一定的結構物使用年限內整治工程所需要維修之次數，並假定整治工程一次之修繕費用約為建造經費之30%，以概估出整治工程所需額外增加的修繕成本。將整治工程建造經費與維護修繕費用加總後即可求得整治工法之整治工程總成本。

在整治工法之耐久性方面，加勁擋土牆依據AASHTO之規定，一般設計使用年限為75年。永久性土釘牆之設計使用年限亦為75年，且為增加土釘之抗鏽蝕性，可採用以加大鋼筋半徑2mm並配合鍍鋅厚度 $85\mu\text{m}$ ( $610\text{g/m}^2$ )處理，若以土釘最常使用之#8鋼筋為例，加大斷面半徑2mm後，即可採用#10鋼筋。箱籠擋土牆因目前查無相關之耐久性資料，因此暫定使用年限為25年。混凝土格框擋土牆則因以耐久性佳之混凝土為構築材料，故其使用年限一般超過50年。若以坡地社區住宅之使用年限50年為基準，則加勁擋土牆、土釘牆與混凝土格框擋土牆因其設計使用年限均超過50年，因此不需額外之維護修繕費用；而箱籠擋土牆在50年之住宅使用年限內，則須修護一次。

表6-15至表6-18分別為四種整治方式之成本分析，針對本研究案例而言，加勁工法所需之整治工程成本為1986892元，土釘搭配砌石工法之整治工程成本為2005815元，箱籠工法之整治工程成本為2657850元，混凝土格框工法之整治工程成本為2049557元。在相

同之安全性要求下，以箱籠工法所需之整治工程成本最昂貴，混凝土格框工法次之，再者為土釘搭配砌石工法，加勁工法則最價廉。

表6-15 加勁牆工程成本分析表

工程名稱：加勁工法					
整治工程成本：新台幣 1986892 元					
工法單價 分析	工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)
	加勁格網鋪設 (層距 0.5 m, 深度 9 m)	m <sup>2</sup>	17.40	250.0	4350.0
	植生客土包	包	16.00	133.0	2128.0
	加勁格網上下層結合與 鋪設	m	1.00	269.0	269.0
	就近利用填方	m <sup>3</sup>	4.50	35.7	160.6
	水泥砂漿	式	1.00	150.0	150.0
	零星工料	式	1.00	38.5	38.5
整治工程 建造經費	工法單價 (h=0.5 m)	m	1.00		7096.1
	總寬度	280 m			
維護修繕 費用	整治工程建造經費	1986892 元			
	每次維護修繕費用	596068 元/次			
	工程修護次數	0 次			
合計		1986892 元			

說明：(1) 加勁格網鋪設深度 9 m，為將 3 層加勁格網之深度取平均值而得，以便於計算工程成本。

(2) 每次維護修繕費用為取整治工程建造經費之 30%。

(3) 工法單價分析中之就近利用填方數量 4.50 m<sup>3</sup>，為以層距高度 0.5 m、深度 0.9 m、寬度 1 m 計算而得。 $(0.5 \text{ m} \times 0.9 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 4.50 \text{ m}^3)$

表 6-16 土釘搭配砌石牆工程成本分析表

工程名稱：土釘搭配砌石工法										
整治工程成本：新台幣 2005815 元										
工 法 單 價 分 析	土釘	工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)				
		鑽孔費，10cm	m	7.00	410.0	2870.0				
		承板	塊	1.00	250.0	250.0				
		錨桿,L=7m	支	1.00	1650.0	1650.0				
		六角螺帽	個	1.00	50.0	50.0				
		固定器	個	3.00	30.0	90.0				
		移孔及搭拆架	孔	1.00	300.0	300.0				
		技工	工	0.50	720.0	360.0				
		小工	工	0.50	520.0	260.0				
		水泥砂漿	式	1.00	150.0	150.0				
		灌漿設備	式	1.00	50.0	50.0				
		工具損耗	式	1.00	150.3	150.3				
乾砌 塊石 牆面	乾砌 塊石 牆面	工法單價 (L=7m)	支	1.00		6180.3				
		50cm 厚塊石	m <sup>3</sup>	0.50	1800.0	900.0				
		技工	工	0.07	2000.0	140.0				
		小工	工	0.15	2250.0	337.5				
		工具搬運及損耗	式	1.00	16.9	16.9				
整治工程 建造經費		工法單價	m <sup>2</sup>	1.00		1394.4				
		土釘	總支數	170 支						
			土釘費用	1050651 元						
		乾砌塊	總面積	685 m <sup>2</sup>						
		石牆面	砌石牆費用	955164 元						
		整治工程建造經費		2005815 元						
維護修繕 費用		每次維護修繕費用		601745 元/次						
		工程修護次數		0 次						
		維護修繕費用		0 元						
合計		2005815 元								
說明：(1) 每次維護修繕費用為取整治工程建造經費之 30%。 (2) 砌石牆為以大塊石材施作。										

表 6-17 箱籠牆工程成本分析表

工程名稱：箱籠工法											
整治工程成本：新台幣 2657850 元											
工 法 單 價 分 析	工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)						
	箱型石 籠內填 卵石	卵石	m <sup>3</sup>	1.00	570.0	70.0					
		大工	工	0.10	1700.0	170.0					
		小工	工	0.10	1500.0	150.0					
		機具費	時	0.10	770.0	77.0					
		零星工料	式	1.00	29.0	29.0					
		小計 (1)	m <sup>3</sup>	1.00		996.0					
	箱型石 籠安裝	箱型石籠 Xx 1mx 1m	m	1.00	1440.0	1440.0					
		特種技工	工	0.05	1900.0	95.0					
		大工	工	0.05	1700.0	85.0					
整治工程建 造經費		小工	工	0.04	1500.0	60.0					
		零星工料	式	1.00	50.0	50.0					
		小計 (2)	m	1.00		1730.0					
		工法單價	m	1.00		2726.0					
	總寬度	750 m									
	整治工程建造經費	2044500 元									
維護修繕費 用	每次維護修繕費用	613350 元/次									
	工程修護次數	1 次									
	維護修繕費用	613350 元									
合計	2657850 元										
說明：(1) 每次維護修繕費用為取整治工程建造經費之 30%。											

表6-18 混凝土格框牆工程成本分析表

工程名稱：混凝土格框工法									
整治工程成本：新台幣 2049557 元									
工法單價 分析	工料項目	單位	數量	參考單價 (元)	參考複價 (元)				
	210 kg/cm <sup>2</sup> 混凝土	m <sup>3</sup>	0.40	1800.0	720.0				
	鋼筋	t	0.04	22000.0	880.0				
	模板	m <sup>2</sup>	0.90	400.0	360.0				
	卵石	m <sup>3</sup>	0.60	570.0	342.0				
	技工	工	0.15	2000.0	300.0				
	小工	工	0.15	1500.0	225.0				
	工具搬運及損耗	式	1.00	59.7	59.7				
工法單價		m <sup>2</sup>	1.00		2886.7				
整治工程	總面積	710 m <sup>2</sup>							
建造經費	整治工程建造經費	2049557 元							
維護修繕 費用	每次維護修繕費用	614867 元/次							
	工程修護次數	0 次							
	維護修繕費用	0 元							
合計	2049557 元								
說明：(1) 每次維護修繕費用為取整治工程建造經費之 30%。									

### 3. 可計效益分析

可計效益為指能以金錢量化方式評估之效益項目而言，可計效益評估之主因子為保全對象，評估次因子則包括潛在保全房屋數及潛在保護人口數。針對淡水淺水灣私人別墅之研究案例，因其潛在保護人口之賠償金額較難以估計，故僅將潛在保全房屋數以金錢量化，作為整治工程之可計效益。案例當地受損之邊坡若不進行整治，則會影響邊坡正上方與鄰近共兩棟別墅之安全性，甚至可能發生房屋倒塌等更嚴重之財物損失。因此當邊坡進行整治工程後，其潛在保全房屋數即為兩棟，若以1500萬元作為每棟別墅之現值，則

可計之整治效益經金錢量化後即為3000萬元。整治工程之成本由表6-15至表6-18可知加勁牆為198.7萬元，土釘搭配砌石牆為200.6萬元，箱籠牆為265.8萬元，而混凝土格框牆則為205.0萬元。因此，即可將可計之整治效益除以各整治工法之整治工程成本，計算出各整治工法之可計效益比。

由表6-19之分析結果可看出，四種整治工法之可計效益比皆大於1，即四種整治工法皆有施作之價值。若再加以比較各整治工法之可計效益，則因加勁工法及土釘搭配砌石工法之可計效益比差異不大，故可視為具有相當之可計效益，混凝土格框工法之可計效益次之，而箱籠工法則較差。

表6-19 可計效益分析表

整治工法	加勁工法	土釘搭配 砌石工法	箱籠工法	混凝土格框 工法
可計整治效益 (萬元)		3000		
整治工程成本 (萬元)	198.7	200.6	265.8	205.0
可計效益比	15.10	14.96	11.29	14.63

#### 4. 不可計效益分析

本案例所評估之整治工法包括加勁工法、土釘搭配砌石工法、箱籠工法及混凝土格框工法，其中加勁工法、箱籠工法與混凝土格框工法依據表6-4之分析，其不可計效益評分值分別為18分、17分及16分；而土釘搭配砌石工法由於是兩種工法之結合運用，且土釘位於整體工程之內部，主要是作為邊坡穩定之用，而砌石牆則位於外部，主要為整體工程之裝飾及增加工程生態性與美化景觀，因此

在生態環境因子之評分值為採用砌石牆之10分，環境衝擊因子評分值則採土釘之4分，故土釘搭配砌石工法之總不可計效益評分值即定為14分。整治工程之成本已由表6-15至表6-18計算得知，因此，即可將不可計之整治效益除以各整治工法之整治工程成本，計算出各整治工法之不可計效益指標，用以評估各工法不可計效益之好壞。

由表6-20之分析結果可發現，加勁工法之不可計效益為最佳，混凝土格框工法次之，再者為土釘搭配砌石工法，箱籠工法之不可計效益則最差。

表6-20 不可計效益分析表

整治工法	加勁工法	土釘搭配 砌石工法	箱籠工法	混凝土格 框工法
不可計整治效益 (分)	18	14	17	16
整治工程成本 (萬元)	198.7	200.6	265.8	205.0
不可計效益指標 (分/萬元)	0.091	0.070	0.064	0.078

## 5. 整治工法於坡地社區之整體效益分析

整治工法於坡地社區之整體效益評估，則是將上述之可計效益比及不可計效益指標共同搭配分析，以評估出對本研究案例整治效益最佳之工法。由圖6-5之整治工法效益比較圖可看出，針對本案例之整體整治效益，可計效益比加勁工法與土釘搭配砌石工法相當，混凝土格框工法次之，但因加勁工法之不可計效益指標最高，故整體整治效益以加勁工法最佳；而箱籠工法因可計效益比與不可

計效益指標皆最低，故對本案例之整治效益為最差。因此，若以選擇整治工法之觀點而論，則以加勁工法最適於本案例之施作；箱籠工法因其整體整治效益較差，故對本整治工程案例較不適當。但整治工法之選擇，仍應對使用者之需求、整治工法與當地環境景觀配合度及施工之便利性，做通盤考量而定。

土釘搭配砌石工法由於是以土釘作為主要穩定邊坡之方法，砌石牆則是為改善本案例基礎裸露之問題，以作為基礎之支撐及表面裝飾、增加生態景觀性所設置，故整治工程總成本因砌石牆之施作而偏高。但若本案例無基礎裸露之危險，則可採用型框植生之方式來美化景觀與增加生態環境，其整治工程總成本並可大幅降低至142.9萬元，使可計效益及不可計效益亦大幅提高，更具有施作之價值。且本案例若是於災前進行整治，則土釘工法為最不需進行開挖，也是最可行之整治方法。

在整治工程對土地利用情形方面，各工法之工程面積分別為加勁工法 $183m^2$ 、土釘搭配砌石工法 $34m^2$ 、箱籠工法 $75m^2$ 、混凝土格框工法 $71m^2$ 。由於土釘搭配砌石工法為以土釘直接針對邊坡作加勁，以達到穩定邊坡之效果，並僅以砌石牆面作為房屋基礎支撐與提高生態景觀性，故其工程用地量為四種工法中最少的。其他三種工法為以由下而上之堆疊方式來抵抗背填土壓力，故其所佔之工程面積較廣，其中加勁工法因其工程面積最大，相對的工程用地量也就最多，而箱籠工法與混凝土格框工法之工程用地量則差異不大。但若以完工後之可利用土地面積而言，加勁工法、箱籠工法與混凝土格框工法為增加上邊坡之使用面積，土釘搭配砌石工法則為增加下邊坡之使用面積，故此考量因素即應視使用者之需求條件與現場土地利用限制等條件，以做適當之選擇。

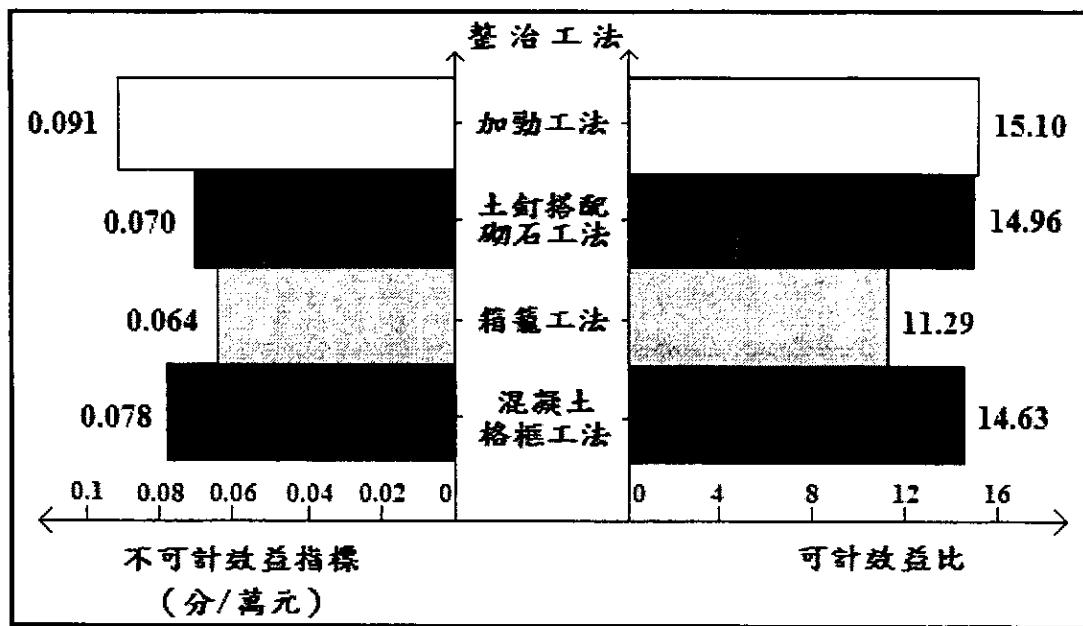


圖 6-5 整治工法效益比較圖

## 第七章 坡地社區生態防災工法施工規範大綱

本研究提出可應用於坡地社區之生態防災工法，有別於傳統之硬式整治工法。生態防災工法屬於柔性的整治方法，不但具有可容忍較大差異沉陷的優點之外，柔性結構尚有自行調節應力分佈的優勢，可避免許多因土壓過大導致牆體破壞或倒塌災害；且牆體常具有多孔性，於排水方面也較佳，故於坡地社區進行整治應是較佳的選擇方案。但生態工法應用於坡地社區的施工規範尚無明確規定，故本研究初步製定一施工規範大綱，冀望能對坡地社區等人口密集區域施工時有所依循。

此章將針對第四章所提出可應用於坡地社區之生態防災工法（含砌石工法、格框工法、箱籠工法、加勁工法與土釘混合噴植法等），初步研擬各工法須遵循的施工規範大綱，以利對於坡地社區相關研究案的推動與參考。以下部分參考行政院公共工程委員會出版之公共工程施工綱要規範 664 章 02 篇製定。

### 一、擋土工法施工說明

1.砌石工法：以石材堆疊構築成一擋土牆，而無使用其他黏結材料之砌石工法稱之為乾砌石。若石材間隙以水泥砂漿(或混凝土)填充，增加黏結強度之砌石工法，稱之混凝土砌石。以下將依砌石工法施作時應遵守的通則、材料、施工、計價計量各項分別說明，如表 7-1。

2.格框工法：格框擋土牆指由橫樑組合而成之格子狀結構，內部填充土壤或石塊，以構成重力式擋土結構。依其材質可分為木格框及混凝土格框，混凝土格框大多採預鑄格框設計，由模組化之節塊堆疊而成，內部充填土壤或石塊，力量則藉由接點上特殊設計之卡榫或螺栓傳遞。以下將依混凝土格框與木格框擋土牆施作時應遵守的通則、材料、施工、計價計量各項分別說明，如表 7-2 及 7-3。

3.箱籠工法：本文中箱籠工法係指廠製品箱籠，箱籠網係使用高鍍鋅鐵絲包覆 PVC 後，再以機械編織扭轉三圈成六角形之網目。箱籠體需以全張網折製成型，其兩端端網及中間網則以同材質之箱籠體作成，並以螺旋纏繞及固定於全張網上，除中間網外，籠體內側皆須內襯織布開口袋，如石籠牆方式。以下將依箱籠工法施作時應遵守的通則、材料、施工、計價計量各項分別說明，如表 7-4。

4.加勁工法：凡於土壤中埋設加勁材與土壤結合成型之構築方法稱之為加勁工法。加勁材種類有金屬板條或地工格網（含硬式與軟式地工格網），並藉由土壤與加勁材間所產生之摩擦力，確保土體構造之穩定，並且為了防止土體外圍表面之崩落，以混凝土樺塊（key stone）或回包後面版噴灑草種植生方式構成牆面之擋土構造物，稱為加勁擋土牆。以下將依加勁工法施作時應遵守的通則、材料、施工、計價計量各項分別說明，如表 7-5。

5.土釘混合噴植法：土釘工法(soil nailing)為現場土壤加勁技術，利用鋼棒貫入土壤，或先行鑽孔、放入鋼棒，再以水泥砂漿填充於孔中，與地層結合成一連貫之結構實體。一般先鋪上鐵絲網再打設土釘，另在欲植生之部分先以塑膠布遮蓋，其他部分以混凝土噴漿；於塑膠布去除後，即可配合植生。施作時應遵守的通則、材料、施工、計價計量各項分別說明。如表 7-6。

## 二、各擋土工法之施工規範大綱

表 7-1 砌石牆施工規範大綱參考表

項目	施工規範大綱															
1.通則	<p>1.1 概要：以石材築成一平面，而無使用其他材料之砌石工法稱之為乾砌石工法；以石材圍築平面時，石材間隙以混凝土填充，增加黏結強度之砌石工法稱之為混凝土砌石工法。並可於砌石縫間埋設草種覆土植生或插入萌芽枝條，可使視覺景觀柔軟化，且植物根系亦可增加砌石工法之穩定性。</p> <p>1.2 工作範圍：使用於擋土及圍牆等防止土方崩塌、沖刷，以石材所施設之保護設施。其石材供應、運送、保護工規格、施工及檢驗等相關規定。包含石材、卜特蘭水泥混凝土、乾砌石、混凝土砌石面修飾、混凝土養護、施工縫等。</p> <p>1.3 相關章節：資料送審(含品質管制計畫書、施工計畫書、廠商資料)、品質管制、構造物開挖、構造物回填、混凝土基本材料及施工方法、混凝土附屬品結構用混凝土、混凝土表面修飾、混凝土養護、水泥砂漿等。</p> <p>1.4 相關準則：依據中國國家標準（CNS）規定。</p> <p>(1)CNS 61 R2001 卜特蘭水泥            (2)CNS 3090 A2042 預拌混凝土            (3)CNS 6989 A2093 塊石            (4)CNS 12891 A1045 混凝土配比設計準則</p>															
2.材料	<p>2.1 石材：石材以人工或機械採取自河床為原則，表面應保持清潔，如含有粉塵時須予以清洗乾淨始得運入工地使用，石工所用之石材，以選用經自然琢磨形成、無裂痕而堅實者，其長徑應為橫徑之 1.2 至 1.8 倍，厚度應為橫徑之 1/2 以上，石材大小分類如下表：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>石 材</th> <th>長徑尺度</th> <th>用 途</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>卵 石</td> <td>15cm 以下</td> <td>基礎、坡面鋪石</td> </tr> <tr> <td>塊 石</td> <td><math>15\text{cm} \leq \phi \leq 40\text{cm}</math></td> <td>坡面乾砌石、混凝土砌石</td> </tr> <tr> <td>大塊石</td> <td><math>41\text{cm} \leq \phi \leq 80\text{cm}</math></td> <td>坡面鋪石、基礎填石</td> </tr> <tr> <td>巨 石</td> <td>80cm 以上</td> <td>坡面鋪石、基礎填石</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.2 卜特蘭水泥混凝土：(1)混凝土砌石之混凝土配合比，一般使用 0.708 水灰比，最大粒徑 1.9cm，坍度 6.35cm 者。(2)</p>	石 材	長徑尺度	用 途	卵 石	15cm 以下	基礎、坡面鋪石	塊 石	$15\text{cm} \leq \phi \leq 40\text{cm}$	坡面乾砌石、混凝土砌石	大塊石	$41\text{cm} \leq \phi \leq 80\text{cm}$	坡面鋪石、基礎填石	巨 石	80cm 以上	坡面鋪石、基礎填石
石 材	長徑尺度	用 途														
卵 石	15cm 以下	基礎、坡面鋪石														
塊 石	$15\text{cm} \leq \phi \leq 40\text{cm}$	坡面乾砌石、混凝土砌石														
大塊石	$41\text{cm} \leq \phi \leq 80\text{cm}$	坡面鋪石、基礎填石														
巨 石	80cm 以上	坡面鋪石、基礎填石														

	<p>混凝土砌石之混凝土，應符合「混凝土基本材料及施工方法」之相關規定。</p> <p>2.3 水泥砂漿：應符合 CNS 規定。</p> <p>2.4 植生資材：請參見附錄六說明。</p>
3.施工	<p>3.1 準備工作：</p> <p>3.1.1 土方整理</p> <p>3.1.2 塊石潤濕</p> <p>3.1.3 施作混凝土砌石工前，混凝土拌合、輸送之準備及檢驗。</p> <p>3.2 施工方法：</p> <p>3.2.1 砌石工作一般通則</p> <p>3.2.2 乾砌塊（卵）石通則</p> <p>3.2.3 舉塊（卵）石通則</p> <p>3.2.4 混凝土砌塊（卵）石</p> <p>3.2.5 混凝土排塊（卵）石</p> <p>3.2.6 混凝土襯排塊（卵）石</p> <p>3.2.7 混凝土砌面修飾</p> <p>3.2.8 施工縫</p> <p>3.2.9 排水器</p> <p>3.3 養護</p> <p>3.4 石縫中插入萌芽枝條或其他植生方式</p> <p>3.5 檢驗：</p> <p>3.5.1 厚度檢驗</p>
4.計量與計價	<p>4.1 計量：(1)乾砌塊（卵）石及鋪塊（卵）石之計量（註明），以設計厚度之平方公尺數計量。(2)混凝土砌塊（卵）石、混凝土排塊（卵）石及混凝土襯排塊（卵）石，以每平方公尺數計量。另混凝土襯排塊石裡層之鋪塊石，另外單獨計量。</p> <p>4.2 計價：(1)乾砌塊（卵）石及鋪塊（卵）石之單價，包括一切石材之購運及砌築等工料費用。(2)混凝土砌塊（卵）石、混凝土排塊（卵）石及混凝土襯排塊（卵）石之單價。</p>

表 7-2 混凝土格框擋土牆施工規範大綱參考表

項目	施工規範大綱
1.通則	<p>1.1 概要：預鑄鋼筋混凝土格框擋土牆，係指將設計圖所示型式及尺寸之預鑄鋼筋混凝土框條，在其中填充透水材料之擋土構造物。可於框條間隙中插入萌芽枝條植生，可增加結構物穩定性與環境美觀。</p> <p>1.2 工作範圍：預鑄鋼筋混凝土框條之製作、供應、安裝及裝填石料等工作。框條於澆鑄後，至少應經過 21 天後方可安裝。有凹陷、碎裂、修補或其他可能損及強度與耐久性之任何缺陷者，均不得使用。</p> <p>1.3 相關規章：包含資料送審與品質管制等。</p>
2.材料	<p>2.1 框條規定：搬運及安裝框條時應小心為之，以免因震動或碰撞而使框條受損。每根框條應按設計圖所示之方法或用合釘 (dowel) 繫緊。合釘應為直徑 <math>\phi</math> 25mm 以上之鍍鋅鋼，其套管應為直徑 32mm 以上之鍍鋅鋼管，合釘及套管之長度應符合設計圖之規定。</p> <p>2.2 透水材料之填充規定：框條安裝妥當後，其內部應即填充設計圖所規定之透水材料，每層所填厚度不得超過 30cm，並按工程師之指示充分予以夯實。填充工作應緊隨框條之安裝進行，直至擋土牆全部完成為止。為免所填材料漏失，靠牆面處應填較大石塊。框條之安裝高度不得大於填充部分 90cm，並應注意勿使框條受損或發生移動。</p> <p>2.3 植生資材：請參見附錄六說明。</p>
3.施工	<p>3.1 預鑄鋼筋混凝土框條之製作規定</p> <p>3.2 基礎開挖規定</p> <p>3.3 框條之安裝規定</p> <p>3.4 透水材料之填充規定</p> <p>3.5 框條間隙中插入萌芽枝條或其他植生方式</p>
4.計量計價	<p>4.1 計量：預鑄鋼筋混凝土格框擋土牆之計量，應分別依其規定之種類，在填滿石料後，量其中心長度，以公尺計量。</p> <p>4.2 計價：預鑄鋼筋混凝土格框擋土牆之給付，依照契約詳細價目表每公尺之單價給付。包括所有人工、材料、及機具之供應。</p>

表 7-3 木格框擋土牆施工規範大綱參考表

項目	施工規範大綱
1.通則	<p>1.1 概要：木格框擋土牆，係指將設計圖所示尺寸之製材或原木，按設計圖所示之位置、式樣、線向、高程及尺寸或依工程師之指示拼接，而在其中填充透水材料之擋土構造物。可於框條間隙中插入萌芽枝條植生。</p> <p>1.2 工作範圍：木格框之製作、供應、安裝及裝填石料，與木材斷面最小尺寸、面材之梢徑、木料防腐處理、鐵件選用等工作。</p> <p>1.3 相關規章：包含資料送審與品質管制等。</p>
2.材料	<p>2.1 木料規定：(1)如木框係以製材建造者，則製材斷面之最小尺寸不得小於 20cm，底層面材（牆面部分稱面材）之斷面最小尺寸不得小於 25cm。(2)如木框係以原木建造者，則面材之梢徑不得小於 25cm，丁條之梢徑不得小於 20cm，底層面材之梢徑不得小於 30cm。原木應儘可能選擇梢徑與根徑之別不大者。</p> <p>2.2 透水材料之填充規定：同預鑄混凝土格框擋土牆規定。填充時應加注意，不得使木框發生歪扭。</p> <p>2.3 鐵件：所有鐵件，如繫栓、鐵釘等，均應符合設計圖所示之型式、尺寸及品質。用於防腐木料之所有鐵件，均應鍍鋅，而用於非防腐木料之鐵件，均應塗敷防銹油漆保護。</p> <p>2.4 植生資材：請參見附錄六說明。</p>
3.施工	<p>3.1 木框條之製作規定</p> <p>3.2 基礎開挖規定</p> <p>3.3 木料防腐處理與框條之安裝規定</p> <p>3.4 基檻</p> <p>3.5 面材與丁條與順條長度及斷面規定</p> <p>3.6 木料之拼接</p> <p>3.7 透水材料之填充規定</p> <p>3.8 框條間隙中插入萌芽枝條或其他植生方式</p>
4.計量計價	<p>4.1 計量：木格框擋土牆之計量，應分別依其規定之種類，在填滿石料後，量其中心長度，以公尺計量。</p> <p>4.2 計價：木格框擋土牆之給付，應分別依照契約詳細價目表每公尺之單價給付。包括所有人工、材料、及機具之供應。</p>

表 7-4 箱籠牆施工規範大綱參考表

項目	施工規範大綱										
1.通則	<p>1.1 概要：係說明箱籠之材料、設備及施工等相關規定。可於箱籠層與層之間或內填料間隙中插入萌芽枝條植生。</p> <p>1.2 工作範圍：本項工作包括箱籠之製作、供應、安裝及裝填石料等工作。箱籠之製作，應依設計圖說所示式樣及尺度，除另有規定外，應以 PVC 被覆鐵線編織成網，圍成正方形或長方形，並在指定位置安放、裝填石料並錨接穩妥。</p> <p>1.3 相關規章：包含資料送審與品質管制等。</p> <p>1.4 相關準則：依據中國國家標準（CNS）規定。</p> <p>(1)CNS 1247 H2025 熱浸法鍍鋅檢驗法</p> <p>(2)CNS 1468 G3029 低碳鋼線</p> <p>(3)CNS 10146 A3183 建築物防水用織布及他物基層之合成高分子膠布檢驗法</p>										
2.材料	<p>2.1 鐵線之物理性功能：須符合 CNS 1468 G3029 之規定。鐵線之鍍鋅應為熱浸鍍鋅，鍍鋅量除另有規定外，不得少於 <math>245\text{g/m}^2</math>。PVC 保護層之厚度在 <math>0.66\text{mm}</math> 以上，比重至少 1.25，抗拉強度 <math>175\text{kg/cm}^2</math> 以上，延伸率 150%以上，延伸時劣化試驗須符合 CNS 10146 A3183 之規定檢驗。</p> <p>2.2 內填材料規定：所有卵礫石須質地堅硬，未經風化，表面潔淨，其級配須符合下列規定：直徑 <math>10\text{cm} \sim 15\text{cm}</math> 者約占 5%，<math>15\text{cm} \sim 22\text{cm}</math> 者約占 15%，<math>22\text{cm} \sim 35\text{cm}</math> 者約占 80%級配較佳。</p> <p>2.3 植生資材：請參見附錄六說明。</p>										
3.施工	<p>3.1 施工要求：箱籠之型式、大小及長度、裝填石料之大小尺度、以及安放之位置，均應符合設計圖之規定。安放前須先整地，安放時尤需錨接穩固，保持不變之位置。</p> <p>3.2 檢驗：依規定進行產品及施工檢驗，項目如下：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>名稱</th><th>檢驗項目</th><th>依據方法</th><th>規範要求</th><th>頻率</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>每批 1 次</td></tr> </tbody> </table> <p>3.3 箱籠間隙中插入萌芽枝條或其他植生方式</p>	名稱	檢驗項目	依據方法	規範要求	頻率					每批 1 次
名稱	檢驗項目	依據方法	規範要求	頻率							
				每批 1 次							

4. 計量計價	<p>4.1 計量：計量應分別依其規定之種類，在填滿石料後，量其中心長度，以公尺計量。</p> <p>4.2 計價：箱籠之給付，應分別依照契約詳細價目表每公尺之單價給付。此項給付，包括所有人工、材料、及機具之供應；並包括箱籠編製、運送、填裝石料、以及捆結、安放、整地、鋪接及坡面坡整理等為完成本工作之一切必要費用，其他需另外給付。</p>
---------	---

表 7-5 加勁擋土牆施工規範大綱參考表

項目	施工規範大綱								
1.通則	<p>1.1 概要：加勁擋土牆係利用聚合物原料製造成網狀的地工格網與選擇性之回填土料，於施工時隨著回填土的鋪填夯壓，地工格網分層回包鋪設，堆砌植生包，並利用地工格網回包及錨定的方式，循序施工，藉由地工格網與回填土料之間的互嵌力，以達到穩定邊坡的目的。可於擋土牆面噴灑草種植生，草種可選單一草種或混合種，牆面完成後須植生養護。</p> <p>1.2 工作範圍：本項工作包括地工格網之製作、供應、安裝及回填土壤等工作。</p> <p>1.3 相關規章：包含資料送審、品質管制、棄土、混凝土基本材料及施工方法等。</p>								
2.材料	<p>2.1 加勁材：加勁材料設計強度 <math>T_d</math> 係指材料鋪設於設計位置上，在設計壽命內，所可能受到最大荷重（已考慮各項不確定因素及安全係數）。承造廠商應選擇加勁材料之容許強度 <math>T_a \geq T_d</math> 之材料，即可滿足合約圖說的設計要求。加勁材料容許強度 <math>T_a</math> 係指材料在設計壽命內所能提供的最大抗拉強度（已考量各項不確定因素及折減係數）。</p> <p>2.2 填築土料：加勁土壤擋土結構的填築土料是滿足設計功能的主要元素之一。使用合適的材料及其正確的鋪填皆是非常重要的。加勁土壤擋土結構的填築土料通常會規定必須符合某種的粒徑分佈、塑性等要求。填築土料運至工地後，在鋪填於定位前，承造廠商應依合約圖說的規定，執行相關的檢驗項目，以確保土料規格符合要求。檢驗頻率建議每 <math>1500m^3</math> 應至少檢驗一次。使用於加勁擋土結構的填築土料，依不同的結構物型式而有不同的要求，一般加勁擋土牆規定如下 (AASHTO T-27, T-90, T-104)：</p> <p>(1) 粒徑分佈：(AASHTO T-27)</p> <table> <thead> <tr> <th>篩號尺寸</th> <th>過篩百分率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20mm</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>No.40(0.425mm)</td> <td>0 ~ 60</td> </tr> <tr> <td>No.200(0.075mm)</td> <td>0 ~ 15</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 塑性指數：<math>\leq 6</math>, (AASHTO T-90)</p> <p>(3) 健性：硫酸鎂健性損耗四循環 <math>\leq 30\%</math>, (AASHTO T-04) 或硫酸鈉健性損耗五循環 <math>\leq 15\%</math>。</p> <p>(4) 填築土料內不得含有有機質及其它有害物質。</p>	篩號尺寸	過篩百分率	20mm	100	No.40(0.425mm)	0 ~ 60	No.200(0.075mm)	0 ~ 15
篩號尺寸	過篩百分率								
20mm	100								
No.40(0.425mm)	0 ~ 60								
No.200(0.075mm)	0 ~ 15								

	2.3 植生資材：請參見附錄六說明。
3.施工	<p>3.1 準備工作：</p> <p>3.1.1 施工計畫：承包商應在施工前向業主提報施工計畫書，經工程師核定後施工。</p> <p>3.1.2 機具選擇：加勁擋土牆之填方與壓實作業，要比一般擋土牆之背後填方嚴格，因其作業須在受限制之工作面上有效率地進行，且不可使牆面承受異常之水平力，故施工機具之選擇及配置必須恰當。選用滾壓機具應配合填土料性質、工程規模及作業條件等，通常以震動式壓路機最為有效。若細粒料含量較多之砂土，則採用膠輪壓路機較佳。靠近牆面 1.5m 範圍之填方滾壓，應採用小規模滾壓作業用之輕型滾壓機具。</p> <p>3.2 施工方法：</p> <p>3.2.1 挖基與整地規定</p> <p>3.2.2 擋土牆基礎規定</p> <p>3.2.3 面板組立規定</p> <p>3.2.4 板條安裝規定</p> <p>3.2.5 背填土回填</p> <p>3.2.6 植生包堆疊</p> <p>3.3 牆面植生綠化(可採用直接噴植工法進行植生工作)</p>
4.計量計價	<p>4.1 計量：混凝土面板或植草面板以平方公尺為計量單位，金屬板條或地工合成材以公尺為計量單位，回填材料以立方公尺為計量單位。</p> <p>4.2 計價：加勁擋土牆各項目之計價，應按契約詳細價目表內各項目之單價給付，上述單價已包括一切人工、材料及設備之提供，設計圖註明之一切必要工作，以及所需之其他附屬工作之費用，另無其他給付。</p>

表 7-6 土釘混合噴植法施工規範大綱參考表

項目	施工規範大綱
1.通則	<p>1.1 概要：邊坡保護用土釘混合噴植法之施工相關規定。可於牆面噴灑草種植生，草種可選單一草種或混合草種。</p> <p>1.2 工作範圍：本項工作包括土釘之製作、供應、安裝、混凝土品質與植生綠化等工作。</p> <p>1.3 相關規章：包含資料送審、品質管制、混凝土基本材料等。</p>
2.材料	<p>2.1 土釘：土釘設計強度 <math>T_d</math> 為指土釘安裝於設計位置上，在設計壽命內所可能受到最大荷重（已考慮各項不確定因素及安全係數）。承造廠商應選擇土釘之容許強度 <math>T_a \geq T_d</math>，即可滿足合約圖說的設計要求。</p> <p>2.2 鋼筋：採用竹節鋼筋，直徑 16~32mm (#5~#10)，降伏強度 400~500MPa，材料須符合 CNS 560 A2006 鋼筋混凝土用鋼筋規定。</p> <p>2.3 防蝕：鋼筋表面鍍鋅以增加抗鏽能力，厚度 5m(610g/m<sup>2</sup>)，應於鋼筋出廠前完成。</p> <p>2.4 水泥砂漿：強度為 175kgf/cm<sup>2</sup>，灌漿式土釘所需水泥砂漿之配比為 1:1.2:0.4 (水泥:砂:水之重量比)，以拌合機拌勻，其拌合時間不得少於 5 分鐘，每盤拌合後應於 30 分鐘內用完。</p> <p>2.5 植生資材：請參見附錄六說明。</p>
3.施工	<p>3.1 施工要求</p> <p>3.2 鑽孔</p> <p>3.3 拌漿</p> <p>3.4 土釘安裝規定：</p> <p>3.4.1 土釘孔注入砂漿規定</p> <p>3.4.2 砂漿初凝前加以振動或敲擊規定</p> <p>3.5 噴灑複合草種（可採用直接噴植工法進行植生工作）</p>
4.計量計價	<p>4.1 計量：土釘依其直徑類別，按實際安裝入土深度計量，以公尺為單位計量。</p> <p>4.2 計價：土釘混合噴植法依契約詳細價目表土釘（註明直徑）項目計價。契約單價包括鑽孔、清孔、土釘之供給、灌漿、搭架、安裝等工作所需之人工、材料、機具，及其他費用。</p>

## 第八章 結論與建議

### 第一節 結論

1. 植物提供生物適當之棲息環境，因此為生態工法中不可或缺的重要部份。本研究由根系力學模式配合邊坡穩定分析，獲知植生根系對邊坡深層穩定的功效相當有限，係以淺層防沖蝕為主要功能。以草本植物應用於坡高3m為例，其約可提升邊坡10%~20%的穩定性，但隨著坡高增加，所提供的穩定效益則明顯降低；而木本植物則因根系可達深度較深，對於坡高6m以下邊坡的穩定，貢獻較為明顯。惟木本植物根系生長達到所需固土能力的時間較久，故一般既有坡地社區整治時，除應用植生工法外，也因配合適當的工程方法，方可達到有效且即時防災之目的。
2. 土壤沖蝕型態中以水蝕最為常見且危害最大，對生態環境之破壞亦有重大的影響。為避免坡地社區土壤流失，及維持良好的生態環境，適當的排水系統扮演著重要的角色。對於地表逕流之排除：坡度緩、流速小、保全對象少之邊坡，可採草溝、拋碎石溝或植生客土溝等方式排水；而對於坡度陡、流速大、土壤易沖蝕、保全對象較多之地區，則可以砌石溝、堆石溝或施作混凝土截水溝等方式排水。而對於地下水之排除，則依據淺層及深層地下滲流水，可分別採用水平排水管和暗渠排水。
3. 本研究建議對於坡地社區之坡面保護工形式，於邊坡易沖蝕且無急迫性之地區，可採用植生復育方式，例如植生樁配合抗沖蝕網或切枝壓條法；而崩積土或淺層崩塌之坡面，則可應用打樁編柵法或萌芽枝條捆；較陡且崎嶇不平之坡面則可使用型框噴植法。但若考量時效性，則可採用地工合成材如蜂巢格網或經地工合成材加勁之椰纖毯配合鋪灑草種，以儘速抑制坡面沖蝕。
4. 坡地社區之邊坡坡度過陡時，應構築具生態且能提供足夠邊坡穩定之擋土構造物。本研究以參考圖說之方式提出目前可應用

於坡地社區生態防災之各類型擋土工法，及其設計原則與適用範圍，內容包含砌石工法、箱籠工法、格框工法、加勁工法以及土釘混合噴植法等。

5. 本計畫對生態防災工法整治之效益，建立初步之評估模式，模式中將工程整治效益分為可計效益及不可計效益，各以「可計效益比」與「不可計效益指標」分別評估。針對可計效益，其評估主因子為保全對象，評估次因子包括潛在保全房屋數及潛在保護人口數，其評估項目以金錢量化之方式進行分析；針對不可計效益，評估主因子為生態環境與環境衝擊，前者次因子包含植被復育、生物棲息及視覺景觀，後者則為施工公害及減廢節能，其評估項目則採用評分之方式進行衡量。最後，並以一實際工程案例，說明如何使用本計畫所建立的評估模式進行分析，以利工程人員作為方案評估及選擇的參考。
6. 本計畫針對砌石工法、箱籠工法、格框工法、加勁工法以及土釘混合噴植法等，參酌公共工程委員會已訂定之施工綱要，就通則、材料、施工與計量計價，分別說明施工要求與注意事項。初步研擬施工規範大綱，以供日後建立坡地社區生態防災工法施工規範的參考。

## 第二節 建議

### 一、短期立即可執行之建議

1. 建議可研究建立生態工法之生態正面指標，以及減少施工所產生的生態環境破壞，藉以更具體評估各生態防災工法之適用性。
2. 建立生態防災工法基本圖說，使工程設計人員有所依循，可參考表8.1之建議內容，進行設計及繪製。

### 二、長期研究方向

1. 根系之固土能力隨時間而變化，因此，建議未來可藉由實驗及

數值分析等方式，建立出植物根系強度隨時間變化之關係圖表，以助於工程師掌控植物根系強度貢獻之時程。

2. 本計畫所建立之工法效益評估模式主要是針對工程施工時之效益而言，對於整治工程施工前之生態調查與施工後之生態復育評估則較少著墨，建議可朝此兩方向再進行深入之研究。

表 8.1 生態防災工法基本圖彙編

編號	工法名稱	圖樣內容	預估張數
1	砌石牆	砌石牆標準斷面圖、多階式砌石牆標準斷面圖、設計重點、設計條件、適用說明。	1
2	箱籠（石籠）擋土牆	箱籠擋土牆標準斷面圖、方型箱籠展開圖、細部詳圖、方型箱籠組合示意圖、箱籠線徑材質示意圖及規格表等。	1
3	框格式（格籠） 擋土牆	混凝土框格式擋土牆標準斷面圖（含不同高度之型式）、細部詳圖（含順條及丁條平面圖、斷面圖）、設計重點、設計條件、適用說明。	2
		木框格式擋土牆標準斷面圖（含不同高度之型式）、細部詳圖（含順條及丁條平面圖、斷面圖）、設計重點、設計條件、適用說明。	
4	加勁擋土牆	加勁擋土牆標準斷面圖、地工格網規格表、格網回包結合詳圖、格網搭接示意圖、格網橫向接合詳圖、透水管示意圖、設計重點、設計條件、適用說明。	2
		加勁擋土牆施工步驟示意圖。	
5	土釘混合噴植法	平面圖、剖面圖、土釘詳圖、土釘中心固定器示意圖、噴植法詳圖、設計重點、設計條件、適用說明。	1
6	坡面植生（含噴植、植生帶、植草苗、打椿編柵等）	各工法之平面示意圖、標準斷面圖、適用說明。	2

## 參考文獻

### 中文部分

- 1.水土保持局(1992),「水土保持手冊」,中華水土保持學會。
- 2.中央地質調查所、防災國家型科技計畫辦公室、台北縣政府、台北市政府建設局、工研院能資所、中國地質學會、大地工程學會、國家地震工程研究中心(2001),「台北都會區地質災害研討會論文集」,國際台灣大學應用力學研究所國際會議廳。
- 3.行政院公共工程委員會出版之公共工程施工綱要規範 664 章 02 篇,(<http://tech.pcc.gov.tw/csi/pcc-htm/03pageF.htm>)。
- 4.李維峰、陳榮河、陳景文、周南山、李三畏、劉欽泉、黃亦敏、魏佳韻(2002),「治山防災績效及風險評估(87~89 年度)」,財團法人台灣營建研究院,行政院農業委員會水土保持局委託。
- 5.吳正雄(1990),「植生根力與坡面穩定關係之研究」,博士論文,國立台灣大學森林學研究所,台北。
- 6.林信輝(2001),「水土保持植生工程」,高立圖書有限公司,民國九十年,台北。
- 7.林鎮洋、陳榮河、鄭光炎、蔡仁惠、郭城孟、余嘯雷、洪勇善、曹先紹(2001),「生態工法技術參考手冊(2000 年版)」,經濟部水資源局委託。
- 8.林又青(2003),「生態工法於坡址穩定之初步分析及應用」,國立台灣大學土木工程學系碩士論文。
- 9.財團法人台灣營建研究院(2004),「山坡地土地可利用限度查定作業-第二階段期中報告」,台北市政府建設局委託技術服務案。
- 10.陳慶雄、邱創益、謝杉舟(1993),「礦區裸露邊坡植生穩定之研究(一)-煤礦渣捨石場露邊坡植生穩定之研究」,行政院國家科學委員會防災科技研究報告 82-號,PP: NSC82-0414-020-003-B。

- 11.張俊斌、林信輝(1995),「中橫崩塌地優勢植物根力特性之研究」，  
中華水土保持學報 26(4)，第 235-243 頁，民國八十四年，台北。
- 12.陳榮河、林美玲、林國峰（1999）,「山坡地土壤力學性質在水土  
保持工程上之一般應用研究(七)」,八十七年度台灣東部及蘭陽地  
區治山防洪計畫，民國八十八年一月，台北。
- 13.蔡光榮(1988),「台灣西南部泥岩坡地根系力學特性之研究(二)」，  
行政院國科會防災科技研究報告，NSC77-0414-P020-01B。
- 14.蔡光榮（1994）,「台灣西部泥岩地區植生護坡之根系力學模式應  
用性探討」，地工技術雜誌，第四十八期，第 49-61 頁，民國八十  
三年十二月，台北。
- 15.蔡光榮，（1999），「水土保持工程科技在山坡地保育之應用」，  
地工技術第 73 期 pp.45-56。
- 16.廖瑞堂（2001），「山坡地護坡工程設計」，科技圖書股份有限公司  
出版，台北。
- 17.謝豪榮，吳建興（1985），「林口紅土台地邊坡穩定及其土壤特性  
之研究（1）」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告。

## 外文部分

- 18.Abe, K. and Iwamoto, M.(1985), “Effect of Tree Roots on Soil Shearing Strength”, International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Tsukuba, Japan, pp.341-345.
- 19.Abe, K. and Iwamoto, M.(1986), “An Evaluation of Tree-Roots Effect on Slope Stability by Tree-Roots Strength”, Journal of Forestry Society, Vol. 68, No. 12, pp.505-510.
- 20.Bruce, D. A. and Jewell, R.A.(1987) , “Soil nailing: application and practice-part2”， Ground Engineering, pp.21-38.
- 21.Gray, D. H. (1974), “Reinforcement and Stabilization of Soil by

- Vegetation” , Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 100, No. 6, pp.695-699.
- 22.Gray, D. H. and Ohashi, H.(1983), “Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 3, pp.335-353.
- 23.Gray, D. H and Sotir, R. B.(1996), “Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization”, John Wiley and Sons, New York.
- 24.Jone, N. W. M. (1987), “Geotextile” , Blackie and Ltd.
- 25.Kremer, R. H. J., Oostveen, J. P., Van Weele, A. F., de Jager, W. F. J., Meyvogel, I. J., (1983), “The quality of vertical drainage”, Proceedings of Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, Vol. 2, May, pp. 721-726.
- 26.Rathmayer, H. and Komulanein, H. (1992) , “Quality requirements of prefabricated strip drains”, Finn Road Administration Report, No.22/92, Quality Control and Test Methods, Helsinki, 62p.
- 27.Robbin B. Sotir and Donald H. Gray(1992),“Engineering Field Handbook- Chapter 18 Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction” , United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service.
- 28.Rawes, B. C.(1997), “Critical parameters for specification of prefabricated vertical drains”, Geosynthetics International vol.4, No.1, pp. 51-64.
- 29.Steven J. Goldman(1986),“Erosion and Sediment Control Handbook” , McGraw-Hill publishing Company.
- 30.U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration(1996), “Geosynthetic Design and Construction

Guidelines -Participant Notebook” , NHI Course NO.13213.

- 31.Venkatappa Rao G. and Sampath Kumar J. P. and Banerjee P. K. (2000), “Characterization of a Braided Strip Drain with Coir and Jute Yarns”, Geotextiles and Geomembranes , Vol.18, pp.367-384.
- 32.Wu, T. H. (1976) , “Investigation of Landslides on Prince of Wales Island Alaska”, Geotechnical Engineering Report No.5, Department of Civil Engineering, Ohio State Univ., Columbus, Ohio, pp.94.
- 33.Waldron, L. J. (1977) , “The Shear Resistance of Root-Permeated Homogeneous and Stratified Soil” , Soil Science Society of America Proceedings, Vol. 41, pp.843-849.

附錄一 台灣坡地土壤流失量估算方法

## 附錄一 台灣坡地土壤流失量估算方法

山坡地土壤流失量之估算方法如下（水保手冊，1992）：

### 一、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，則土壤流失量之估算得以例外情形辦理。

### 二、山坡地土壤流失量之估算

採用通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)，其公式如下：

$$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

式中， $A_m$ ：土壤流失量(公噸/公頃/年)；換算成體積以  $1.4\text{ton}/\text{m}^3$  計之。

$R_m$ ：降雨沖蝕指數( $J \times 10^7 \cdot \text{mm}/\text{ha} \cdot \text{hr} \cdot \text{year}$ )。

$K_m$ ：土壤沖蝕指數( $\text{ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{year}/\text{ha} \cdot J \times 10^7 \cdot \text{mm}$ )。

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。

### 三、通用土壤流失公式限制

1.本式為一經驗公式，故計算所得之土壤流失量誤差較大。

2.USLE 所評估為一公頃土地土壤流失年平均量。

3.無法預測溝狀沖蝕(gully erosion)之土壤流失量。

4.僅能預測土壤流失量而無法預測砂土儲存量。

### 四、估算台灣各地土壤流失量之步驟

1.決定年降雨沖蝕指數  $R_m$  值：根據臺灣各地區已建立之年降雨沖蝕指

數  $R_m$  值查出。

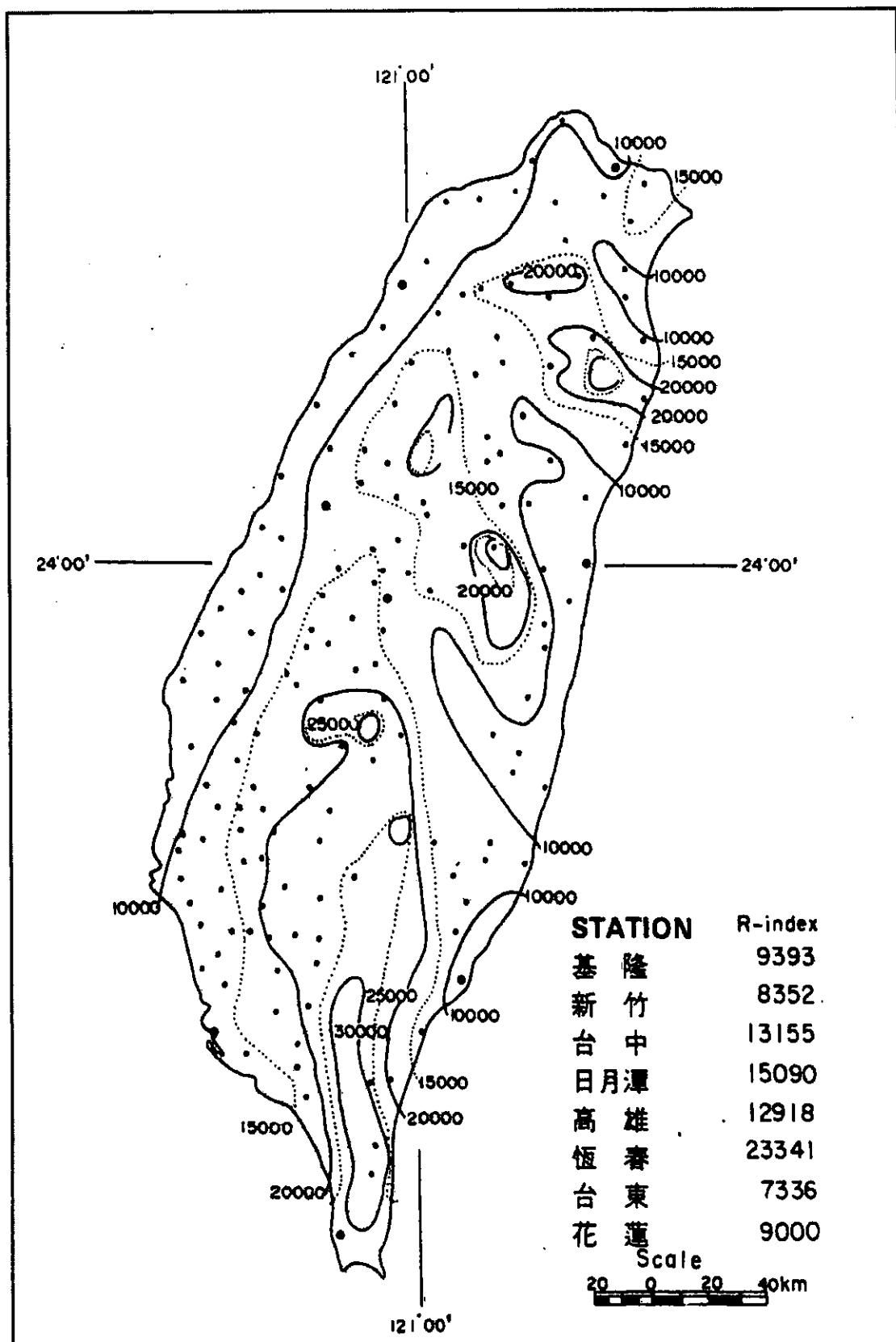
2.若估算地點之年降雨沖蝕指數  $R_m$  值無法由降雨沖蝕指數  $R_m$  值表中接查得時，得依據「台灣等降雨沖蝕指數圖」，採內插法由等降雨沖蝕指數線求得，或得由估算地點附近三個已知地點之  $R_m$  值，以下式估算之：

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{R_{mi}}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{L_i^2}} = \frac{\frac{R_{m1}}{L_1^2} + \frac{R_{m2}}{L_2^2} + \frac{R_{m3}}{L_3^2}}{\frac{1}{L_1^2} + \frac{1}{L_2^2} + \frac{1}{L_3^2}} \quad (2)$$

式中， $R_m$ ：估算地點之年降雨沖蝕指數。

$R_{mi}$ ：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。



附圖 1 台灣等降雨沖蝕指數圖(水保手冊，1992)

3. 決定土壤沖蝕指數  $K_m$  參數：根據臺灣各地區已建立之土壤沖蝕指數  $K_m$  值查出。

倘若估算地點的  $K_m$  值無法由  $K_m$  表中查得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

附表 1 土壤結構參數表

參數值	土壤結構	土粒大小
1	極細顆粒狀	小於 1mm
2	細顆粒狀	1~2mm
3	中或粗顆粒狀	大於 2~10mm
4	塊狀、片狀或整塊狀	大於 10mm

c：土壤滲透性參數之判別

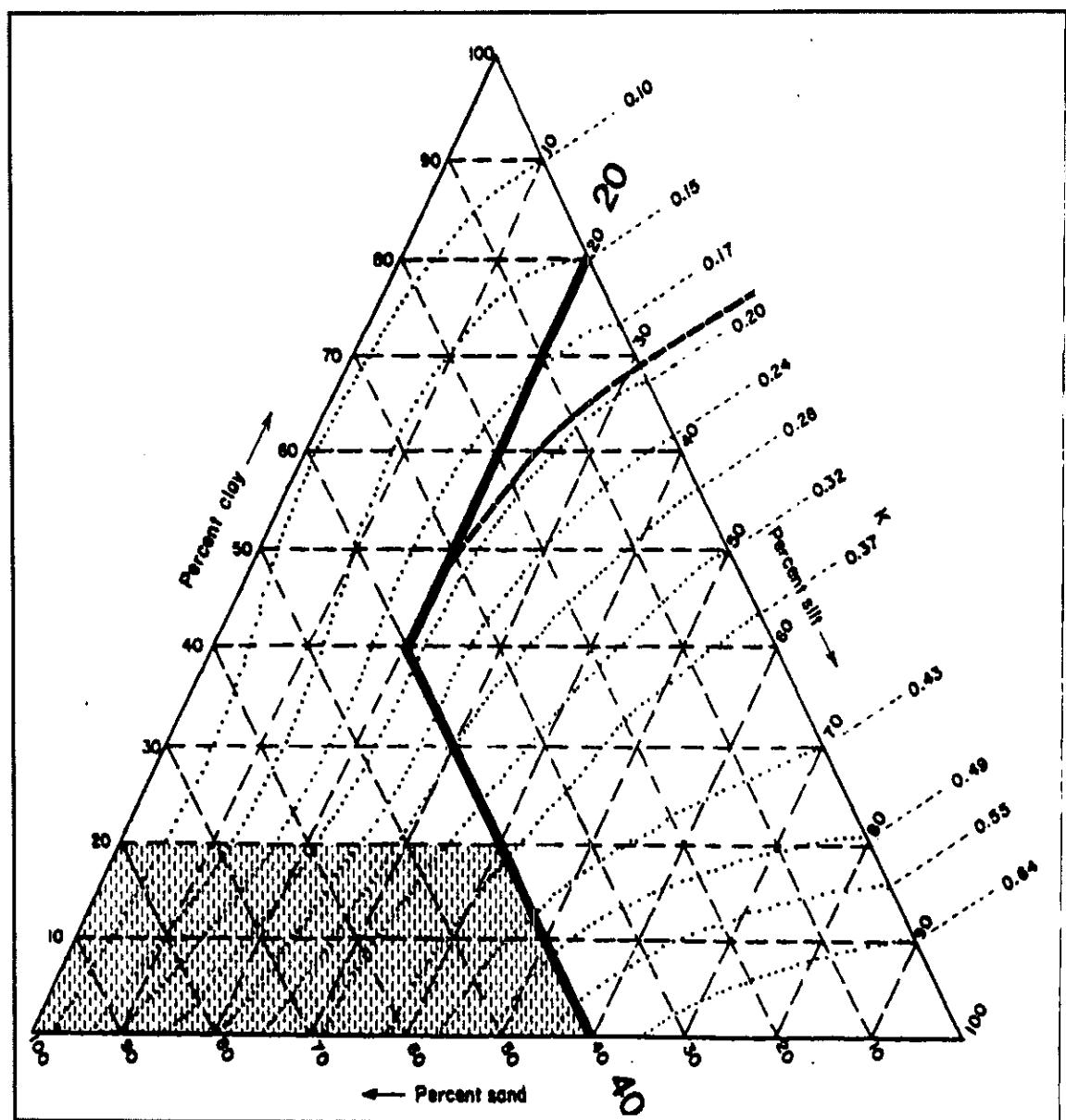
附表 2 土壤滲透性參數表

參數值	滲透速度	單位：mm/hr
1	極快	大於 125
2	快	大於 62.5~125
3	中等	大於 20.0~62.5
4	中等慢	大於 5.0~20.0
5	慢	大於 1.25~5.0
6	極慢	小於 1.25

d：土壤粉土與極細砂 (粒徑 0.002~0.1mm) 含量(%)

e : 土壤粗砂 (粒徑 0.1~2.0mm)含量(%)

經土壤調查與分析求得上列 a、b、c、d、e 等五參數值後，以 USLE 圖解法求得估算地點之 k 值 (Goldman, 1992)，如附圖 2 所示；或以台灣各地土壤沖蝕指數進行內插求得，如附表 3。



附圖 2 通用土壤流失公式 K 值圖 (Goldman, 1986)

附表 3 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	八里埠頭	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

地點	Km	地點	Km	地點	Km
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				
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	古坑旱寮	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		

地點	Km	地點	Km	地點	Km
嘉義縣市					
梅山安靖	0.0553	竹崎木履寮	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	楠栖烏山嶺	0.0290	楠栖曾文水庫	0.0408
楠栖	0.0421	楠栖龜甲溫泉	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		
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				
地點	Km	地點	Km	地點	Km
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： $(J \times 10^7 \cdot \text{mm}/\text{ha} \cdot \text{hr} \cdot \text{year})$

4. 決定坡長因子 L 值：應先行測出現場代表坡長之水平距離，再以式下  
式求之：

$$L \approx \left( \frac{1}{22.13} \right)^m \quad (3)$$

式中，l = 坡長之水平距離，

$m=0.2$ ，當坡度小於 1%

$m=0.3$ ，當坡度介於 1% 與 3%

$m=0.4$ ，當坡度介於 3% 與 5%

$m=0.5$ ，當坡度大於 5%

5. 決定坡度因子 S 值：若現場之原地形、或開發後地形之變化不大，則  
應先求得代表坡長之平均坡度後，再以下式求得 S 值。

$$S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065 \quad (4)$$

式中， $\theta$ ：坡度(degree)

倘若現場之原地形或開發中、後地形變化明顯，無法以單一平均坡度來表示時，依坡度分割成上坡面( $L_u$ )及下坡面( $L_d$ )（附圖 3）。再依據上、下坡面之平均坡度，以公式(4)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 ( $L_u:L_d$ )，自附表 4 中分別查出上、下坡面 S 值之修正比( $C_u:C_d$ )，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。

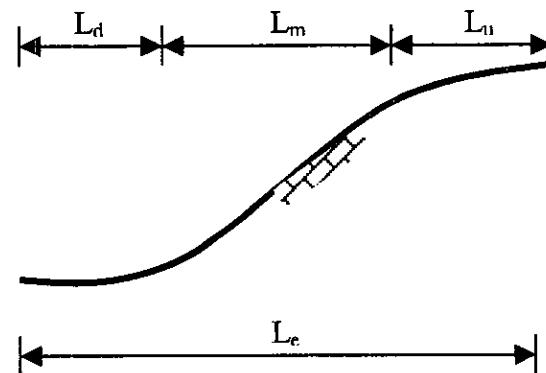
$$S = C_u S_u + C_d S_d \quad (5)$$

式中， $C_u$ ：上游坡面 S 值修正比。

$C_d$ ：下游坡面 S 值修正比。

附表 4 S 值修正表( $C_u:C_d$ )

上下游比例 ( $L_u:L_d$ )	S 值修正比	
	上游坡面 ( $C_u$ )	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	0.089	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



附圖 3 地形縱斷面圖

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( $L_d$ )。再依據上、中、下坡面之平均坡度，以公式(4)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( $L_u:L_m:L_d$ )作  $S$  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。

$$S = C_u S_u + C_m S_m + C_d S_d \quad (6)$$

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。

6. 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)與殘株數蓋次因子(CS 值)的乘積；亦即

$$C = CC \times CS \quad (7)$$

式中，CC：冠層遮蔽次因子(值)

CS：殘株數蓋次因子(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：
- (2)若現地之地表及植被狀況不在附表 5 時，則應依現地植物冠層遮蔽百分比、植株平均落高，由附表 6 求出 CC 值。
- (3)再依現地地表殘株數蓋百分比，由下表求出 CS 值。將 CC 值與 CS 值相乘，即為現地之 C 值。
- (4)如遇地表礫石數蓋明顯，應先估計地表礫石數蓋百分比，再利用附表 7 求出 CS 值，即為礫石數蓋之 CS 值。
- (5)如採用地工織物作為土壤沖蝕控制之資材時，應先估計其數蓋百分比，再利用附表 7 求出 CS 值，即為該地工織物之 C 值

附表 5 植生覆蓋因子 (C) 表

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

附表 6 冠層遮蔽次因子(CC 值)

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
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

附表 7 殘株數蓋次因子(CS 值)

數蓋百分比 (%)	→									
	+0	+1*	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
0	1.000	1.000	0.998	0.95	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	0.085	0.082	0.079	0.075	0.072
90	0.064	0.060	0.056	0.053	0.049	0.045	0.042	0.039	0.035	0.032
100	0.029									

註：\*代表數蓋百分比的個位數。因此，數蓋百分比 11% 的 CS 值即為 0.759

7. 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。高填土坡之 P 值如附表 8 所示。

附表 8 高填土坡之 P 值表

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

8. 求出全部之土壤流失量 Am：利用通用土壤流失公式，即  $Am = Rm \times Km \times L \times S \times C \times P$ ，即獲得每公頃之年土壤流失量。

## 附錄二 排水系統設計原則

## 附錄二 排水系統設計原則

### 一、坡地排水系統之設計排洪量原則如下（水保手冊，1992）

1. 遷流量之估算以合理化公式計算

$$Q_p = 1/360 \times CIA \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

式中， $Q_p$ ：洪峰流量 (cms)

C：遷流係數

I：降雨強度 (mm/hr)

A：面積 (ha)

2. 坡地社區及其他排水系統之設計排洪量，依二十五年一次頻率之降雨強度計算。

3. 設計排洪量除足以宣洩設計洪水量外，並應參酌泥砂含量酌量加大斷面，以達安全排水之目的。

4. 開發區或構造物有被其上游遷流沖刷之虞者，宜在其上游處設置截水溝。

5. 排水設施避免設置在填土區上，否則應加強基礎之處理。

6. 排水設施縱坡度在 10% 以上者，每隔 10~40m 應設置止滑桿或截水牆。

### 二、坡地排水之平均流速得採用曼寧公式計算

$$V = (1/n)R^{2/3}S^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

式中，V：平均流速(m/sec.)。

n：曼寧粗糙係數（無因次）。

R：水力半徑(m)(=面積/濕周)。

S：水力坡降，可用溝底降坡代之（無因次）。

曼寧公式中之曼寧粗糙係數(n)依附表 9 選定：

附表 9 曼寧粗糙係數表（水保手冊，1992）

	溝面物質	n 值範圍	平均值	溝面物質	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	0.025-0.0350	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				

坡地排水之平均流速，應小於不致引起沖蝕作用之最大容許流速。超過最大容許流速者，應於適當位置，設置消能設施（例如設置跌水等），以降低流速。常流水之最大容許流速依附表 10 選定之：

附表 10 最大容許（安全）流速（水保手冊，1992）

土質	最大容許流速 (m/sec.)
純細砂	0.23-0.30
不緻密之細砂	0.30-0.46
粗石及細砂土 一般砂土	0.46-0.61
	0.61-0.76
砂質壤土	0.76-0.84
堅實黏土及粘質壤土	0.91-1.14
一般礫土	1.23-1.52
全面密草生	1.50-2.50
粗礫、石礫及砂礫 礫岩、硬土層、軟質水成岩	1.52-1.83
	1.83-2.44
硬岩	3.05-4.57
混凝土	4-57-6.10

### 附錄三 跌水定義及相關規定

### 附錄三 跌水定義及相關規定

跌水係指溝渠坡度過陡，水流超過限制流速，則易侵蝕溝底，為減緩流速、消除能量，並約束流心，於適當地點建造控制落差之構造物。其有關規定如下：

#### 1. 跌水之適用範圍：

- (1) 凡溝渠垂直落差大，可能繼續擴大沖蝕處適用。
- (2) 跌水高度以 3m 為限，超過此限者應作必要之安全性檢討。磚砌  
    跌水高度不得超過 2m，牆高 1m 以上者用一塊砌磚。

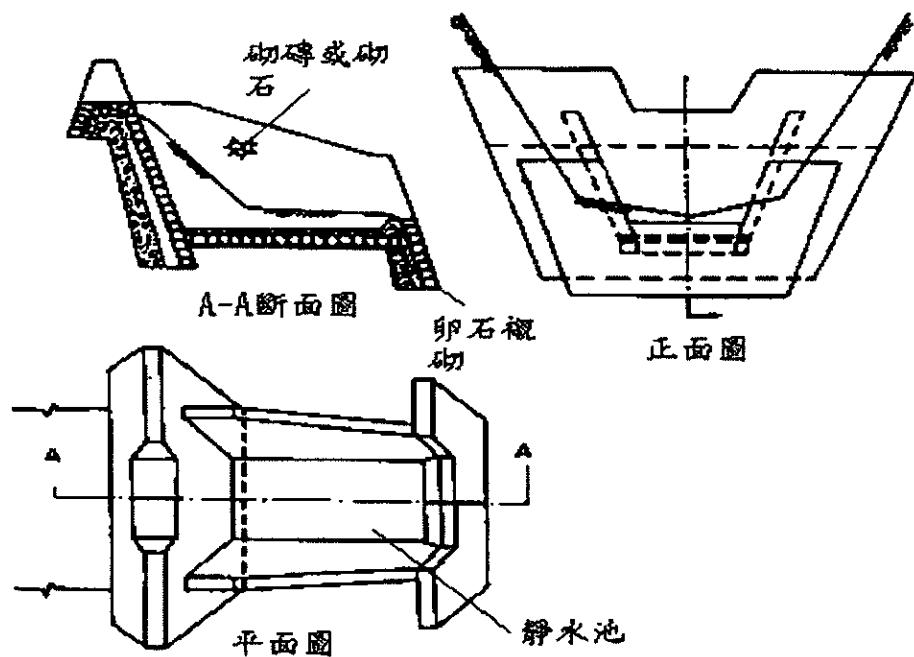
#### 2. 跌水之逕流量估計參照排水溝。

#### 3. 跌水採用之形式按溝寬、溝渠降坡、落差、逕流量及工程材料決定。

#### 4. 跌水設計應注意事項：

- (1) 凡溝渠縱坡度垂直落差大，可能造成繼續加大沖蝕處適用。
- (2) 跌水高度以 3m 為限，超過須另行設計。
- (3) 受地形限制，靜水池無法按照規定長度構築時，可稍縮短，但不  
    得小於計算長度之 80%。

#### 5. 跌水種類：鋼筋混凝土造對環境衝擊較大此處不建議採用，但是跌     水也不適合完全採用柔性構造，這樣不但無法達到消能效果，也會     有安全上的顧慮。此處較符合生態工法基本精神的跌水襯砌材質為     石材(塊石與卵石)、磚材料(附圖 4)與土袋木樑跌水工(附圖 5)，     本文建議以此兩種材質來施做跌水襯砌面較佳。其型式示意圖如     下：



附圖 4 砌石與砌磚跌水（E型跌水）示意圖（水保手冊，1992）



附圖 5 淡水樹興里之土袋木樑跌水工

#### 附錄四 涵管定義及相關規定

## 附錄四 涵管定義及相關規定

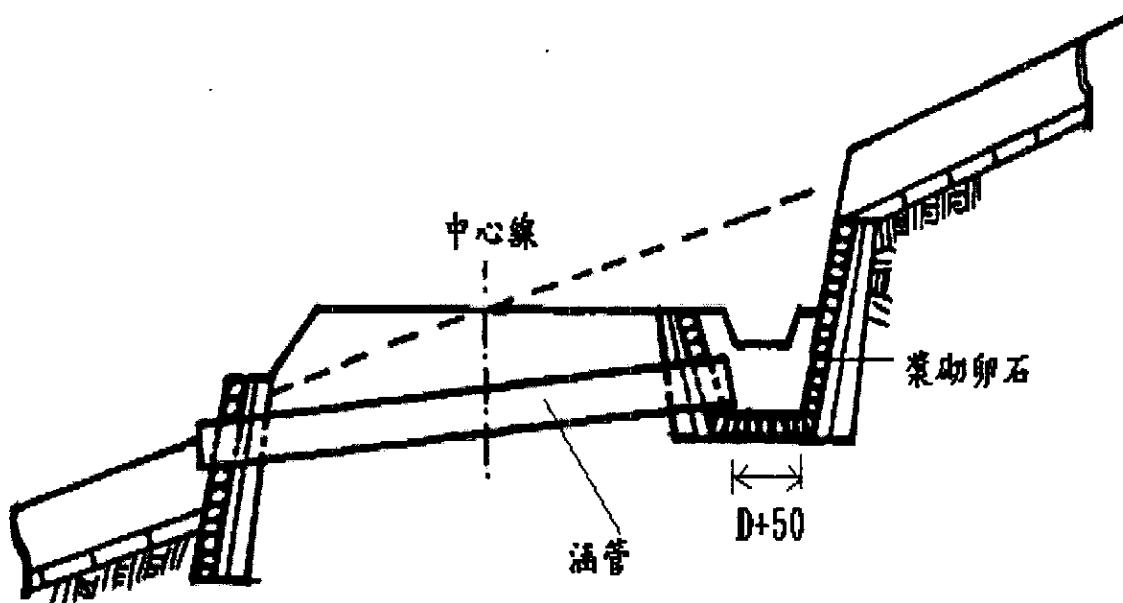
涵管係指埋設於地下之排水管路，其與暗渠或橫向排水孔最大不同乃在於涵管本身並無收集地下滲流水之功能，此等構造物主要係將地表排水系統或地下排水系統所排出之水量，為引導至主要排水溝渠或河川，引導過程中可能必須通過道路或其他設施，而無法由地面構築溝渠；或受地形限制必須使地表排水路轉入地下時，所構築之地下排水管路。

### 1.涵管設計原則如下所述：(水保手冊，1992)

- (1)最大設計荷重限制須符合現行水土保持手冊規範規定。
- (2)涵管斷面以不設計滿流為原則，最佳水深為 0.8 倍管徑，以避免泥砂或樹枝淤塞。
- (3)涵管坡度應大於 0.3%，小於 26%為原則，大於 26%者宜設止滑筋或截水牆等防止下滑。埋設深度以不大於 6m 為原則。
- (4)假定水流為穩定流，應用曼寧公式 (3-10) 計算管徑或水深。
- (5)涵管入口靜水池底長以不小於 50cm，底寬為  $D+0.3m$ ，涵管底距靜水池底至少 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.應注意事項：

- (1)涵管儘量避免埋設於填土上。
- (2)與道路溝邊連接之靜水池宜留適當之缺口。
- (3)涵管入口宜設攔污柵。
- (4)靜水池可以漿砌塊石施做。
- (5)涵管出口應設消能設施或銜接排水溝。



附圖 6 涵管側面圖（水保手冊，1992）

附錄五 台灣赤楊與羅滋草根系固土分析結果

## 附錄五 台灣赤楊與羅滋草根系固土分析結果

附表 11 台灣赤楊(一)坡面植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安		根入									
				全係數	安全	0.2m	0.4m	0.6m	0.8m	1m	0.2m	0.4m	0.6m	0.8m	1m
			坡角 (°)	全係數	安全	安全	安全	安全	安全	安全	全係數	全係數	全係數	全係數	全係數
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.41	1.53	1.66	1.77	1.88	2.00	1.09	1.18	1.26	1.33	1.42	1.42
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.43	1.67	1.86	2.01	2.24	2.34	1.17	1.30	1.41	1.57	1.64	1.64
			70	1.19	1.46	1.63	1.78	1.94	2.07	1.23	1.37	1.50	1.63	1.74	1.74
			80	1.07	1.26	1.42	1.56	1.68	1.80	1.18	1.33	1.46	1.57	1.68	1.68
安全係數平均提升值										1.16	1.29	1.40	1.53	1.62	1.62

附表 12 台灣赤楊(一)坡面植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 6m	原始安		根入									
				全係數	安全	0.2m	0.4m	0.6m	0.8m	1m	0.2m	0.4m	0.6m	0.8m	1m
			坡角 (°)	全係數	安全	安全	安全	安全	安全	全係數	全係數	全係數	全係數	全係數	全係數
S <sub>1</sub>	25	20	70	1.44	1.47	1.50	1.53	1.55	1.57	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09
			80	1.28	1.31	1.34	1.36	1.38	1.40	1.02	1.05	1.06	1.08	1.09	1.09
S <sub>2</sub>	20	25	70	1.32	1.35	1.39	1.42	1.46	1.56	1.02	1.05	1.08	1.11	1.18	1.18
			80	1.14	1.18	1.22	1.25	1.29	1.32	1.04	1.07	1.10	1.13	1.16	1.16
S <sub>3</sub>	15	30	60	1.42	1.46	1.50	1.54	1.57	1.62	1.03	1.06	1.08	1.11	1.14	1.14
			70	1.21	1.25	1.29	1.33	1.37	1.41	1.03	1.07	1.10	1.13	1.17	1.17
			80	1.03	1.07	1.12	1.16	1.19	1.23	1.04	1.09	1.13	1.16	1.19	1.19
S <sub>4</sub>	10	35	60	1.28	1.34	1.39	1.44	1.49	1.54	1.05	1.09	1.13	1.16	1.20	1.20
			70	1.09	1.15	1.20	1.24	1.33	1.34	1.06	1.10	1.14	1.22	1.23	1.23
S <sub>5</sub>	5	40	50	1.34	1.43	1.50	1.57	1.63	1.69	1.07	1.12	1.17	1.22	1.26	1.26
			60	1.09	1.19	1.26	1.33	1.39	1.45	1.09	1.16	1.22	1.28	1.33	1.33
安全係數平均提升值										1.04	1.08	1.11	1.15	1.19	1.19

附錄五 台灣赤楊與羅滋草根系固土分析結果

附表 13 臺灣赤楊(一)坡面植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 10m	原始安 全係數 值	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m	根入 0.2m 安	根入 0.4m 安	根入 0.6m 安	根入 0.8m 安	根入 1m 安
					坡角 (°)	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數
S <sub>1</sub>	25	20	50	1.36	1.37	1.38	1.38	1.38	1.38	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
			60	1.18	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03
			70	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07	1.08	1.01	1.03	1.04	1.05	1.06
S <sub>2</sub>	20	25	50	1.35	1.35	1.37	1.38	1.40	1.41	1.00	1.01	1.02	1.04	1.04
			60	1.15	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05
S <sub>3</sub>	15	30	50	1.30	1.32	1.34	1.36	1.38	1.39	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07
			60	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.02	1.04	1.05	1.07	1.09
S <sub>4</sub>	10	35	50	1.25	1.28	1.30	1.32	1.34	1.39	1.02	1.04	1.06	1.07	1.11
			60	1.03	1.06	1.08	1.11	1.14	1.16	1.03	1.05	1.08	1.11	1.13
S <sub>5</sub>	5	40	50	1.16	1.20	1.24	1.29	1.32	1.34	1.03	1.07	1.11	1.14	1.16
安全係數平均提升值										1.02	1.03	1.05	1.06	1.08

附表 14 臺灣赤楊(二)坡面、坡頂植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安 全係數 值	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m	根入 0.2m 安	根入 0.4m 安	根入 0.6m 安	根入 0.8m 安	根入 1m 安
					坡角 (°)	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.41	1.60	1.76	1.92	2.10	2.28	1.13	1.25	1.36	1.49	1.62
			60	1.43	1.72	1.92	2.12	2.35	2.57	1.20	1.34	1.48	1.64	1.80
			70	1.19	1.53	1.74	1.95	2.10	2.34	1.29	1.46	1.64	1.76	1.97
			80	1.07	1.33	1.53	1.72	1.93	2.13	1.24	1.43	1.61	1.80	1.99
安全係數平均提升值										1.22	1.37	1.52	1.68	1.84

附表 15 臺灣赤楊(二)坡面、坡頂植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 6m	原始安 全係數 值	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m	根入 全係數 提升倍 數	根入 0.2m 安 全係數 提升倍 數	根入 0.4m 安 全係數 提升倍 數	根入 0.6m 安 全係數 提升倍 數	根入 0.8m 安 全係數 提升倍 數	根入 1m 安 全係數 提升倍 數
					坡角 (°)	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數
S <sub>1</sub>	25	20	70	1.44	1.47	1.51	1.54	1.58	1.62	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	
			80	1.28	1.31	1.35	1.38	1.42	1.45	1.02	1.05	1.08	1.11	1.13	
S <sub>2</sub>	20	25	70	1.32	1.35	1.39	1.43	1.47	1.52	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	
			80	1.14	1.19	1.23	1.27	1.32	1.38	1.04	1.08	1.11	1.16	1.21	
S <sub>3</sub>	15	30	60	1.42	1.47	1.50	1.54	1.59	1.64	1.04	1.06	1.08	1.12	1.15	
			70	1.21	1.25	1.29	1.33	1.38	1.43	1.03	1.07	1.10	1.14	1.18	
			80	1.03	1.08	1.12	1.17	1.22	1.28	1.05	1.09	1.14	1.18	1.24	
S <sub>4</sub>	10	35	60	1.28	1.35	1.41	1.50	1.52	1.57	1.05	1.10	1.17	1.19	1.23	
			70	1.09	1.16	1.21	1.26	1.31	1.36	1.06	1.11	1.16	1.20	1.25	
S <sub>5</sub>	5	40	50	1.34	1.45	1.53	1.61	1.69	1.76	1.08	1.14	1.20	1.26	1.31	
			60	1.09	1.20	1.29	1.37	1.45	1.51	1.10	1.18	1.26	1.33	1.39	
安全係數平均提升值										1.05	1.09	1.13	1.17	1.22	

附錄五 台灣赤楊與羅滋草根系固土分析結果

附表 16 臺灣赤楊(二)坡面、坡頂植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 10m	原始安		根入											
				全係數	安全	0.2m	0.4m	0.6m	0.8m	1m	0.2m	安	0.4m	安	0.6m	安	0.8m
			坡角 值	係數	提升倍												
S <sub>1</sub>	25	20	50	1.36	1.37	1.38	1.39	1.39	1.40	1.40	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03
			60	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.24	1.24	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.05
			70	1.02	1.04	1.05	1.07	1.08	1.10	1.10	1.02	1.03	1.05	1.05	1.06	1.06	1.08
S <sub>2</sub>	20	25	50	1.35	1.36	1.38	1.40	1.41	1.43	1.43	1.01	1.02	1.04	1.04	1.04	1.04	1.06
			60	1.15	1.17	1.15	1.20	1.22	1.23	1.23	1.02	1.00	1.04	1.04	1.06	1.06	1.07
S <sub>3</sub>	15	30	50	1.30	1.33	1.36	1.38	1.40	1.42	1.42	1.02	1.05	1.06	1.08	1.08	1.09	
			60	1.10	1.12	1.18	1.17	1.20	1.22	1.22	1.02	1.07	1.06	1.09	1.09	1.11	
S <sub>4</sub>	10	35	50	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.39	1.39	1.02	1.05	1.07	1.10	1.10	1.11	
			60	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.18	1.18	1.03	1.05	1.07	1.10	1.10	1.15	
S <sub>5</sub>	5	40	50	1.16	1.21	1.26	1.31	1.34	1.37	1.37	1.04	1.09	1.13	1.16	1.16	1.18	
安全係數平均提升值											1.02	1.04	1.06	1.07	1.09		

附表 17 羅滋草(一)坡面植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	原始安		根入											
				全係數	安全	0.2m	0.4m	0.6m	0.8m	1m	0.2m	安	0.4m	安	0.6m	安	0.8m
			坡角 值	係數	提升倍												
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.41	1.52	1.69	1.75	1.85	1.96	1.96	1.08	1.20	1.24	1.31	1.31	1.39	
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.43	1.65	1.83	1.98	2.14	2.30	2.30	1.15	1.28	1.38	1.50	1.61		
			70	1.19	1.44	1.61	1.75	1.89	2.03	2.03	1.21	1.35	1.47	1.59	1.71		
			80	1.07	1.24	1.39	1.53	1.63	1.74	1.74	1.16	1.30	1.43	1.52	1.63		
			安全係數平均提升值									1.15	1.28	1.38	1.48	1.58	

附表 18 羅滋草(一)坡面植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 6m	原始安		根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m	根入 0.2m 安	根入 0.4m 安	根入 0.6m 安	根入 0.8m 安	根入 1m 安
				坡角 (°)	全係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數	全係數 提升倍 數
S <sub>1</sub>	25	20	70	1.44	1.47	1.50	1.53	1.55	1.57	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	
			80	1.28	1.32	1.33	1.36	1.38	1.40	1.03	1.04	1.06	1.08	1.09	
S <sub>2</sub>	20	25	70	1.32	1.35	1.38	1.41	1.45	1.48	1.02	1.05	1.07	1.10	1.12	
			80	1.14	1.18	1.22	1.25	1.28	1.31	1.04	1.07	1.10	1.12	1.15	
S <sub>3</sub>	15	30	60	1.42	1.46	1.50	1.53	1.56	1.60	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	
			70	1.21	1.25	1.28	1.32	1.35	1.39	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	
			80	1.03	1.07	1.11	1.15	1.18	1.21	1.04	1.08	1.12	1.15	1.17	
S <sub>4</sub>	10	35	60	1.28	1.34	1.38	1.43	1.47	1.51	1.05	1.08	1.12	1.15	1.18	
			70	1.09	1.14	1.19	1.23	1.27	1.31	1.05	1.09	1.13	1.17	1.20	
S <sub>5</sub>	5	40	50	1.34	1.42	1.49	1.55	1.61	1.67	1.06	1.11	1.16	1.20	1.25	
			60	1.09	1.18	1.25	1.31	1.37	1.43	1.08	1.15	1.20	1.26	1.31	
安全係數平均提升值										1.04	1.07	1.11	1.14	1.17	

附表 19 羅滋草(一)坡面植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 10m	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入
				原始安 全係數 值	0.2m 安全 係數 值	0.4m 安全 係數 值	0.6m 安全 係數 值	0.8m 安全 係數 值	1m 安全 係數 值	0.2m 安 全係數 提升倍 數	0.4m 安 全係數 提升倍 數	0.6m 安 全係數 提升倍 數	0.8m 安 全係數 提升倍 數	1m 安 全係數 提升倍 數
S <sub>1</sub>	25	20	50	1.36	1.37	1.38	1.38	1.38	1.38	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
			60	1.18	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03
			70	1.02	1.04	1.04	1.05	1.06	1.07	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05
S <sub>2</sub>	20	25	50	1.35	1.35	1.37	1.38	1.39	1.40	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
			60	1.15	1.16	1.17	1.19	1.20	1.21	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
S <sub>3</sub>	15	30	50	1.30	1.32	1.34	1.36	1.37	1.38	1.02	1.03	1.05	1.05	1.06
			60	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.19	1.02	1.04	1.05	1.07	1.08
S <sub>4</sub>	10	35	50	1.25	1.27	1.29	1.31	1.35	1.35	1.02	1.03	1.05	1.08	1.08
			60	1.03	1.06	1.07	1.10	1.14	1.15	1.03	1.04	1.07	1.11	1.12
S <sub>5</sub>	5	40	50	1.16	1.20	1.26	1.28	1.31	1.33	1.03	1.09	1.10	1.13	1.15
安全係數平均提升值										1.01	1.03	1.04	1.06	1.07

附表 20 羅滋草(二)坡面、坡頂植生坡高 3m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 3m	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入	根入
				原始安 全係數 值	0.2m 安全 係數 值	0.4m 安全 係數 值	0.6m 安全 係數 值	0.8m 安全 係數 值	1m 安全 係數 值	0.2m 安 全係數 提升倍 數	0.4m 安 全係數 提升倍 數	0.6m 安 全係數 提升倍 數	0.8m 安 全係數 提升倍 數	1m 安 全係數 提升倍 數
S <sub>4</sub>	10	35	80	1.41	1.58	1.74	1.89	2.05	2.23	1.12	1.23	1.34	1.45	1.58
S <sub>5</sub>	5	40	60	1.43	1.70	1.91	2.09	2.30	2.51	1.19	1.34	1.46	1.61	1.76
			70	1.19	1.51	1.72	1.91	2.08	2.25	1.27	1.45	1.61	1.75	1.89
			80	1.07	1.31	1.48	1.68	1.87	2.05	1.22	1.38	1.57	1.75	1.92
安全係數平均提升值										1.20	1.35	1.49	1.64	1.79

附表 21 羅滋草(二)坡面、坡頂植生坡高 6m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 6m 坡角 (°)	原始安 全係數	根入 0.2m 安全 係數	根入 0.4m 安全 係數	根入 0.6m 安全 係數	根入 0.8m 安全 係數	根入 1m 安全 係數	根入 0.2m 安 全係數	根入 0.4m 安 全係數	根入 0.6m 安 全係數	根入 0.8m 安 全係數	根入 1m 安 全係數
				值	值	值	值	值	值	提升倍 數	提升倍 數	提升倍 數	提升倍 數	提升倍 數
S <sub>1</sub>	25	20	70	1.44	1.47	1.50	1.53	1.57	1.61	1.02	1.04	1.06	1.09	1.12
			80	1.28	1.31	1.35	1.38	1.41	1.43	1.02	1.05	1.08	1.10	1.12
S <sub>2</sub>	20	25	70	1.32	1.35	1.39	1.42	1.46	1.50	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14
			80	1.14	1.18	1.22	1.26	1.30	1.36	1.04	1.07	1.11	1.14	1.19
S <sub>3</sub>	15	30	60	1.42	1.46	1.50	1.53	1.57	1.62	1.03	1.06	1.08	1.11	1.14
			70	1.21	1.25	1.29	1.32	1.37	1.41	1.03	1.07	1.09	1.13	1.17
			80	1.03	1.07	1.11	1.15	1.20	1.26	1.04	1.08	1.12	1.17	1.22
S <sub>4</sub>	10	35	60	1.28	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.05	1.09	1.13	1.17	1.21
			70	1.09	1.15	1.20	1.24	1.27	1.34	1.06	1.10	1.14	1.17	1.23
S <sub>5</sub>	5	40	50	1.34	1.44	1.50	1.59	1.66	1.73	1.07	1.12	1.19	1.24	1.29
			60	1.09	1.19	1.27	1.35	1.42	1.49	1.09	1.17	1.24	1.30	1.37
安全係數平均提升值									1.04	1.08	1.12	1.16	1.20	

附表 22 羅滋草(二)坡面、坡頂植生坡高 10m 之安全係數值及提升倍數

土壤編號	c (kPa)	$\phi$ (°)	坡高 10m	原始安 全係數 值	根入 0.2m	根入 0.4m	根入 0.6m	根入 0.8m	根入 1m	根入 0.2m 安 全係數 提升倍 數	根入 0.4m 安 全係數 提升倍 數	根入 0.6m 安 全係數 提升倍 數	根入 0.8m 安 全係數 提升倍 數	根入 1m 安 全係數 提升倍 數
					坡角 (°)	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	安全 係數 值	提升倍 數	提升倍 數	提升倍 數	提升倍 數	提升倍 數
$S_1$	25	20	50	1.36	1.37	1.38	1.39	1.39	1.40	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
			60	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04
			70	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.11	1.02	1.04	1.06	1.07	1.09
$S_2$	20	25	50	1.35	1.36	1.38	1.39	1.41	1.43	1.01	1.02	1.03	1.04	1.06
			60	1.15	1.16	1.18	1.20	1.21	1.23	1.01	1.03	1.04	1.05	1.07
$S_3$	15	30	50	1.30	1.33	1.35	1.37	1.39	1.41	1.02	1.04	1.05	1.07	1.08
			60	1.10	1.12	1.14	1.15	1.19	1.21	1.02	1.04	1.05	1.08	1.10
$S_4$	10	35	50	1.25	1.28	1.30	1.33	1.35	1.38	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10
			60	1.03	1.06	1.07	1.09	1.14	1.17	1.03	1.04	1.06	1.11	1.14
$S_5$	5	40	50	1.16	1.20	1.25	1.33	1.33	1.36	1.03	1.08	1.15	1.15	1.17
安全係數平均提升值										1.02	1.04	1.05	1.07	1.09

## 附錄六 生態防災工法施工規範大綱-植生篇

## 附錄六 生態防災工法施工規範大綱-植生篇

(摘自行政院公共工程委員會-公共工程施工綱要規範 664 章 02 篇)

### 一、通則

#### 1.本章概要

說明植草、噴植草工法之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

#### 2.工作範圍

(1)植草苗

(2)打椿編柵客土植生

(3)容器育苗穴植

(4)撒播植生

(5)固定框客土植生

(6)鋪植草皮

(7)植生帶植生

(8)噴植工法

(9)植草養護

#### 3.相關章節

(1)第 02300 章--土方工作

(2)第 02342 章--地工織物

#### 4.資料送審

(1)品質管制計畫書

(2)施工計畫

#### 5.維護及保養

植草應予維護及保養，其覆蓋率應達到 90%。

## 二、產品

### 1.材料

#### (1)草種及攀繞植物

承包商應依照契約圖示使用草種。如契約及圖說未規定使用草種種類，則用草種及攀繞植物，應為本地生長或適於區域內生長者為原則，可使用之草種如下：田邊草、果園草、蜈蚣草、克育草、星草、百喜草、百慕達草、蟛蜞菊、肯塔基草、賽芻豆、假儉草、黑麥草、地毯草、兩耳草等；攀繞植物如蓮草、牽牛花、台灣葛藤、木玫瑰、地錦、四季果等。

#### (2)肥料

- 所用肥料種類，應依圖說之規定辦理，若圖說未有註明，或有兩種以上同等品時，承包商應將選用之種類須得工程司同意後施用。
- 採用之有機肥料，應為完全腐熟之堆肥或經工程司鑑定含有有效肥分之有機物。
- 採用之“化學肥料”、“複合肥料”或“追肥”，應為政府核可之產品。
- 肥料之施用量及施用次數應依有關圖說之規定施用，若圖說未規定或承包商因故需要變更用量及次數時，應先徵得工程司之同意後施用。

#### (3)客土

噴植植生所需之客土，採用 pH 值 5~7 之砂質土壤，除工程司指定或提供料源採取地點外，承包商可自覓料源擇取適當之土壤，必要時並可摻加 pH 值為 5~7 之河砂拌合使用。土壤所含雜草、雜物及粒徑 2cm 以上之石子必須篩除。

#### (4)水

本工程所需用水，其水源、水質及澆水時間，由承包商自行決定，但用水應取自合法水源，不得採用工業廢水或含有毒物質之污水，若因澆水不當致植物產生不良影響時，承包商應負完全責任。

#### (5) 噴播草種用之植生層及基盤

植生素為包括肥料及化學乳劑之混合物，於加水及草種拌合後，噴播於坡面形成植生層。基盤係以含有植物纖維、人造纖維、保水劑、根瘤菌、肥料、壤土及黏著劑等材料之纖維土，噴播於岩盤坡面上，作為草種生長用之養份。

(6) 植生帶為雙層纖維（含天然纖維至少 50%以上），中間夾草種。

(7) 稻草蓆是以稻草均勻編織而成，每  $m^2$  重量約 350g。

(8) U型鐵絲是以#10 鐵絲彎曲製成，每支長度約 25cm。

#### (9) 地工織物

■ 非織物纖維之主要成分聚乙稀，材料寬度為 4.5m 以上，品質須符合附表 23 規定：

附表 23 地工織物品質要求

項 目	單 位	要 求	試驗方法
拉力強度	$kgf/cm^2$	80	CNS: 5610 L3080
破損前延伸率	%	40~100	同上
撕裂強度	$kgf$	40	同上
透水係數	$cm/sec$	$2 \times 10^{-2}$	同上
材質		PE	同上
單位重量	$g/m^2$	190 以上	同上
厚度	mm	0.8 以上	同上

■ 若非織物需辦理檢驗時，應依據 CNS 5610 L3080 非織物檢驗法及 CNS 2339 L3050 織維混用率試驗法辦理檢驗。

#### (10) 菱形鐵絲網

菱形鐵絲網一般使用之規格為#14（直徑 2.3mm）網，網目為 50mm 或 52mm，但在不穩定坡面，應改用規格為#12 及#10 等之鐵絲製品。鐵絲網鋪設後以錨釘固定之，錨釘密度為每平方公尺 1 支以上，每 100 平方公尺使用主錨釘（直徑 13mm，長度 450mm）30 支，及副錨釘（直徑 9mm，長度 350mm）70 支以上。

#### (11)其他

承包商為提高植草之成活率，自行決定採用植物生長素、土壤改良劑或其他措施，可於徵得工程司之同意後辦理，但不得要求增加費用。若因處置不當致植物有不良影響，承包商應負完全責任。

### 三、施工

#### 1.施工方法

##### (1)整地

- 植草區內應先用鋤頭挖鬆表土至少 15cm 深，並維持預定傾斜度，以利排水。
- 清除表土層內直徑大於 5cm 之礫石、混凝土塊、雜草根及其他有害草類生長之雜物。
- 土壤之 pH 值應保持近中性，必要時，於種植前應施撒農用石灰等土壤改良劑調整之。

##### (2)施基肥

在地表所填加之化學肥料均應與表土充分混合，其用量依契約圖說規定。

##### (3)植草苗

- 植生工法係用於填方坡面。施工時應先將坡面修整完成，再沿等高線每隔 40~50cm 挖掘深約 10~15cm 之植溝。
- 植溝內每平方公尺均勻施放有機肥料 2kg 及複合肥料(如台

肥 43 號) 0.05kg，並與原土壤拌合。

- 植溝內每隔 15cm 左右種植草苗 1 束，草苗長約 10~15cm，種植時以 2/3 埋入土中，種植後應壓實並澆水。

#### (4) 打椿編柵客土植生

- 本法適用於較長之填土邊坡或崩坍區邊坡之植生綠化。固定擋土柵之材料，原則上在土質邊坡採用萌芽椿及雜木椿；遇有岩盤時，則可改用直徑 13mm 鐳筋植入地表約 40~50cm。
- 於邊坡打椿或鑽設鰭筋前，應先將坡面浮石清除，並稍加修整。
- 萌芽椿之樹種應為易萌芽之榕樹、九芎、黃槿等，除契約另有規定外，所採木椿直徑應為 4cm 以上，長度為 75~95cm，椿材需整齊筆直，不得有明顯之彎曲情形。
- 每排椿的距離為 1-3m，其中木椿以 2-3m，鐵椿以 1m 為原則，椿距以 30-50cm 為原則。
- 萌芽椿之採伐與打椿間隔時間應儘量縮短，不可超過 4 天，木椿打設前應先將椿頭削尖，並放置於植物荷爾蒙溶液中浸 1 分鐘，以促進根原體之形成，提早發芽。
- 每 1 排椿打設完成後，再安裝不織布，並以#10 ㄇ型鐵絲固定於木椿上，再回填砂質土壤。
- 於打椿及編柵覆土後即可植生，草種依設計圖說所示撒播。植生後坡面應依設計圖說規定覆蓋，以防止表面沖刷流失。

#### (5) 容器育苗穴植

- 將表土、有機肥料及複合肥料(如台肥 43 號)等均勻拌合，其比例以 1m<sup>3</sup> 土壤：100kg 有機肥料：10kg 複合肥料為原則。混合物填裝於適當之育苗容器內，供栽培植物之用。
- 採用塑膠袋育苗者時，塑膠袋應大於 20×20cm。塑膠袋底部

應鑽孔 5~10 個，以利排水，透氣及根部生長。

- 將坡面沖蝕溝整平、危石清除後，沿等高線挖植穴，其直徑深度需略大於育苗容器之大小，行株距依設計圖說。
- 將已培育完成之育苗袋，置於植穴內，塑膠袋育苗者須先割開或除去塑膠袋，周圍之空隙需填實壓密。

#### (6)撒播植生

- 除去地面雜物、危石、殘株後應耙平坡面。
- 原則上每平方公尺施堆肥 2kg 及複合肥料 0.05kg。
- 將  $15\text{g}/\text{m}^2$  種子均勻撒播於坡面，實際種子用量依設計圖說所示。
- 取鬆軟之表層土，微量敷蓋於撒播種子之坡面，厚約 0.5cm 左右，以防止陽光曝曬及增加種子固著力。
- 播後依設計規定覆蓋稻草蓆，以防止種子飛散並保持土壤水分。稻草蓆並以#10 鐵絲所做成 U 形勾釘或竹籤固定之。

#### (7)型框客土植生

##### ■ 預鑄水泥框

框條長 100cm，寬高各 10cm，在框條接合處以預埋#12 鐵絲，互相連接固定後，再於接點處以錨釘固定，客土於水泥框內，厚度 10cm，壓實整平後植草，當坡度大於  $35^\circ$  時採用噴植法植生。

##### ■ 鐵製框

坡面整理後，以穿孔鋼板或鐵絲網製成約 1m 直徑之圓形框或菱形框，框高為 10cm，並以直徑 1.3cm，長為 50~70cm 之錨釘固定之，在邊坡小於  $45^\circ$  時，客土採用砂質土壤；大於  $45^\circ$  時宜用粘質土壤。

#### (8)噴植工法

本法適用於較不良植生之惡劣地質，如礫石層、軟岩、破碎岩及較陡之岩盤坡面。

### ■ 直接噴植

- 目前使用之粘著劑包括柏油乳劑、石化系列白色乳劑及天然樹脂等三種。
- 整地後，首先在坡面每平方公尺撒施有機肥料 2kg。再配合複合肥料(如台肥 43 號)0.05kg，2~4 種草類種子合計用量為 0.015kg，粘著劑 0.1~0.25kg 及水 0.5~2.0kg 充分拌合後噴植。
- 施工坡面如過於乾燥，噴植前應先行灑水，噴植後保水能力差之坡面，須加蓋稻草蓆或其他材料敷蓋，以免流失。

### ■ 鋪網噴植

- 整坡後，將菱形鐵絲網(#14，50mm 網目)拉緊，平鋪於地面後，每平方公尺以一支(鐵栓直徑 13.5mm，長為 35~45cm)固定之。
- 將每平方公尺以有機土 45kg、複合肥料(如台肥 43 號)50kg，粘著劑 330g~825g，2~4 種種子共計用量 25g 與適量的水均勻混合，以噴植機噴佈於坡面，厚度約 5cm 左右。依設計圖說規定材料覆蓋。

### ■ 施工步驟

- 先將坡面上之浮土、鬆石、雜草、雜木等予以清除，整理成一較穩定之坡面。
- 將事先製妥之階梯帶展開，使階梯帶之固定部朝上沿坡面水平方向鋪設，利用主錨釘與補助釘貼鋪於岩盤坡面上。
- 用泥漿混合料攪拌均勻後，以泥漿噴漿機噴佈於鋪設有階梯壘帶之岩盤面上，使泥漿全面包覆於整個岩盤面及壘帶外表面，形成無數小平台，而有利於植物生長之環境面積。

➤ 若因施工地區之天候炎熱，環境地質等條件較為惡劣，不利於植物生長，則可於階梯帶內加裝特製之軟性養護管，並於噴漿之前予以接通成網狀分佈。因養護管外壁設有平均分佈之細小滴水孔，孔徑在 0.5mm 以下，養護期間得以稍許之壓力輸送水分，使水分緩慢滴出而濕潤壘帶內之植物纖維，並使植生草種得以完全吸收水分與養分，而加速其發芽成長。

(11)植生網鋪設時，應以尼龍繩綁於預先埋設之#3 鋼筋掛鉤上，並使其與岩盤面或噴凝土面之距離約 5cm。鋼筋外露部分須以同色油漆塗刷 2 度，且植生網搭接長度應在 15cm 以上。

#### (12)鋪設稻草蓆

- 草種噴植或植生帶鋪植後，將稻草蓆覆蓋其上，每  $m^2$  並以 4 支  $\text{U}$  型鐵絲加以固定。
- 草蓆間應重疊 5cm。

### 2. 養護

(1)養護工作應於種植完成後即日開始，養護期為契約全部工程完成後，驗收合格之次日起算，為期 4 個月。待養護期滿後，承包商與工程司雙方須再次會同辦理查驗作業，經查驗合格後，始得解除承包商之養護責任。

(2)養護期間，承包商應隨時注意植物生長及天候情況，必要時加水濕潤及追加養分。

(3)養護期間開始後之第 60 天及第 110 天應各施追肥一次，施用量為每平方公尺施用複合肥料(如台肥 43 號) 0.05kg。

(3)如發現草苗不萌芽、枯萎、生長不良、發生病蟲害等情事，需隨時進行噴農藥或作補植等工作。

### 3. 驗收

- (1)草類以播種法種植者，每平方公尺發芽株數需達 1,000 株以上。
- (2)植草苗之成活率達 90% 以上時始得辦理驗收。
- (3)養護期滿驗收標準：其覆蓋率應達 75% 以上。
- (4)覆蓋率調查及取樣標準：

- 覆蓋率係指坡面垂直上方之植株投影面積比例。
- 覆蓋率調查採隨機樣區取樣法，樣區大小以  $1m \times 1m$  為原則，施工面積小於  $1,000m^2$  者，樣區數量最少為三個；面積大於  $1,000m^2$  者，每增加  $5,000m^2$ ，增加一個樣區。

#### 四、計量與計價

除另有規定外，所有草種養護期滿後，應辦理成活、覆蓋率驗收。

##### 1. 計量

各式植生方法分別按有關契約以單位面積平方公尺計量。

##### 2. 計價

各式植生方法分別按有關契約單價以單位面積平方公尺計價。單價已包括植生所需之相關草種、肥料、整坡、開挖、填土、格床、鍍鋅鋼線網、錨筋、鐵絲網、木樁、養護、檢驗及其他為完成工作所需之一切工料費用在內。

## 附錄七 第一次專家座談會專家意見

## 附錄七 第一次專家座談會專家意見

- 一、主題：子計畫一「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估」
- 二、時間：民國九十三年五月十五日(星期六)上午九時三十分整
- 三、地點：淡江大學工學大樓工學院會議室(E680)
- 四、主持人：洪勇善 教授
- 五、紀錄：沈哲緯、邱佑銘
- 六、出席學者專家：中興大學土木工程學系林炳森教授、台灣科技大學營建工程系廖洪鈞教授、淡江大學工學院祝錫智院長、淡江大學土木工程學系張德文主任、台北市大地技師工會楊賢德理事長、鴻宜工程顧問有限公司施國欽董事長、永基工程顧問有限公司方仲欣總經理、內政部建築研究所安全防災組李怡先博士
- 七、主辦單位：淡江大學
- 八、研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、淡江大學土木工程學系吳朝賢教授

九、專家意見與回覆：

專家學者意見	回覆
<p>中興大學土木工程學系/林炳森教授</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 野外案例須針對不同地質、地形、破壞條件、型態等列表說明及建議適用工法，並加以指出不適用範圍和限制。</li> <li>2. 以案例調查總表，表現出既有坡地社區應用生態工法之工法種類及百分比。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝建議，已於第二、三、四章分別列表說明排水工、坡面保護工、擋土工適用範圍與設計原則。</li> <li>2. 謝謝建議，但計畫中僅以淺水灣社區作為效益評估案例，請參見第六章第四節。</li> </ol>
<p>台灣科技大學營建工程系/廖洪鈞教授</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 社區需建立一套屬於坡地社區生態防災工法之安全標準。</li> <li>2. 土壤流失量 = <math>Am</math> (USLE) — 容許土壤沖蝕量，須加以更正。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝建議，建立安全標準並非計畫範疇中所能完成目標。</li> <li>2. 遵照辦理，已修正，請參見 P11。</li> </ol>
<p>淡江大學工學院/祝錫智院長</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可考量深根木本植物做安全係數之穩定度分析，可望能提供較佳之穩定效果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理，已於報告中加入羅滋草（草本）與台灣赤楊（木本），於邊坡植生固土安全係數提升百分比表格，請參見附錄五。</li> </ol>
<p>淡江大學土木工程學系/張德文主任</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 說明既有社區災害型態，及討論一些台灣著名坡地社區破壞案例，於第一章第二節加以補述。並將排水</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理，較具一前後呼應之全文效果，已於 P5 加入些許關於坡地破壞型態敘述，至於破壞案例之討</li> </ol>

<p>工及植物固土重要性於第一章說明，以利全文文章流暢性。</p> <p>2. 可否提出植物根系對土壤強所增加之c、<math>\phi</math> 值百分比。</p> <p>3. 說明各工法應用於台灣既有坡地社區何處？及評論整治效益如何？</p>	<p>論，於第六章效益評估中以淺水灣加勁擋土牆進行整治前後之效益評估作為研究案例。</p> <p>2. 遵照辦理，已經補充加入幾種常用於邊坡植生固土之剪力強度增加百分比，請參見表 5-4。</p> <p>3. 謝謝建議，效益評估加入文中第六章。工法應用所在並非計畫中範疇。</p>
<p>台北大地技師工會/楊賢德理事長</p> <p>1. 須加以界定出生態防災工法、定義其設計原則及適用範圍。</p> <p>2. 建議可將坡地社區分成填土邊坡及挖方邊坡加以建議生態防災工法種類、適用範圍與參考圖說。</p>	<p>1. 遵照辦理，研究團隊將嘗試界定出生態防災工法之適用範圍與設計原則，請參見第四章表 4-1~4-8。</p> <p>2. 謝謝建議。</p>
<p>鴻宜工程顧問有限公司/施國欽董事長</p> <p>1. 說明生態工法中各工法對環境之衝擊為何？</p> <p>2. 生態工法目前評估尚無法定量，可否於此計畫中提出些相關參考圖說及規範予以遵循。</p>	<p>1. 謝謝建議。</p> <p>2. 謝謝建議，將蒐集更多參考文獻支持相關參考圖說與定量化分析。於文中也初擬施工規範大綱作為參考，請參見第七章表 7-1~7-6。</p>
<p>永基工程顧問有限公司/方仲欣總經理</p> <p>1. 案例中之坡地災害類型須加以說明。</p> <p>2. 說明生態防災工法之定義及適用條件。</p>	<p>1. 遵照辦理，於第六章第四節淺水灣案例分析中已說明。</p> <p>2. 遵照辦理，已於第二、三、四章分別列表說明排水工、坡面保護工、</p>

<p>3. 可加入一些打樁編柵失敗案例，以免誤以為打樁編柵等於生態工法。</p> <p>4. 第二章中根面積比之定義須說明清楚。</p>	<p>擋土工適用範圍與定義。</p> <p>3. 謝謝建議，。</p> <p>4. 遵照辦理，已修正，請參見 P62(5-9) 式。</p>
<p>內政部建築研究所/李怡先博士</p> <p>1. 生態工法此名詞常被誤解及誤用，應明確定義出生態防災工法之內涵。</p> <p>2. 建研所所推動之生態防災工法是以安全為基礎、生態為考量之精神，希望於此計畫中，能針對坡地社區周遭擁有龐大保全對象之居民，建議幾種適用於坡地社區之生態工法或近自然工法，亦可提出對於環境衝擊較小的幾種防治深層滑動之新工法。</p>	<p>1. 遵照辦理，請參見 P4。</p> <p>2. 遵照辦理，已於第二、三、四章表格建議適用工法。</p>

**附錄八 期中審查專家意見**

## 附錄八 期中審查專家意見

一、主題：子計畫一「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」

二、時間：民國九十三年六月二十四日(星期四)上午九時三十分整

三、地點：內政部建築研究所

四、主持人：蕭江碧所長

五、紀錄：沈哲緯、邱佑銘

六、出席學者專家：內政部建築研究所蕭江碧所長、內政部建築研究所何明錦副所長、內政部建築研究所葉世文主任秘書、台灣大學生物環境系統工程學系范正成教授、台灣海洋大學河海工程系廖朝軒教授、台北科技大學土木工程系林鎮洋教授、台北科技大學土木工程系鄭光炎教授、台灣省土木技師公會高文宗先生、國家型防災科技中心陳天健博士、台北市大地技師公會傅文鵬先生、台北市土木技師公會拱祥生先生、台北市政府工務局詹德棟先生

七、主辦單位：內政部建築研究所

八、研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、淡江大學土木工程學系吳朝賢教授、何嘉浚助理、沈哲緯助理、邱佑銘助理

## 九、專家意見與回覆：

審查委員意見	回覆
<b>內政部建研所/蕭江碧所長</b> <p>1. 坡地社區之建築密集，而生態防災工法主要目的為確保居民於安全無虞下，考量環境生態之保護，故研究報告中建議將臨時性工法於文中刪除。</p>	<p>1. 謝謝建議，將仔細評估各工法於坡地社區之適用性，並積極收集相關文獻再行增減，適用範圍請參見表4-1~4-8。</p>
<b>台灣大學生工系/范正成教授</b> <p>1. 生態工法之規劃設計應考量工程之屬性及其限制。</p> <p>2. 第五十八頁植生種類可增加培地茅，並作分析</p> <p>3. 專有名詞應標註英文。</p>	<p>1. 謝謝建議，於研究報告中主要以工法安全及效益評估為架構主體，至於工程規劃階段屬性不在本研究計畫範圍之中。</p> <p>2. 目前本研究在根系力學分析中尚未蒐集到培地茅之根力強度資料，若日後收集到相關資料將再予以補充加入。</p> <p>3. 謝謝建議，有許多專有名詞國內外仍有歧見，故於文中未標明英文僅以中文詳細說明。</p>
<b>台北科技大學土木系/林鎮洋教授</b> <p>1. 期中報告編排上邏輯性相當清楚，並提出許多量化資訊（如：植物根系固土能力與擋土結構安全穩定分析提昇倍率等），相當用心，深感佩服。</p>	<p>1. 謝謝鼓勵。</p> <p>2. 謝謝建議，此一觀點為生態工法中相當重要之一環，但相關根系強度隨時間變化，須更進一步經由實驗研究才能得知。</p>

<p>2. 文中根系力學為長時間之 FS 提昇倍率，建議將來若能將根系強度隨時間之分佈（時間因素）經由實驗或數值分析得知，將有助於工程師掌控其根系拉力貢獻時程。</p> <p>3. 本研究針對山坡地社區深入探討，所提內容具實務應用價值。</p> <p>4. 研究團隊均能依照研究目的完成既定工作，預期可如期達成委託目標。</p>	<p>3. 謝謝建議，非常感謝再次提醒，以避免偏離坡地社區研究主題。</p> <p>4. 謝謝鼓勵。</p>
<p><b>台北科技大學土木系/鄭光炎教授</b></p> <p>1. 植物根系固土分析中部分資料引用蔡光榮教授於泥岩惡地之分析，是否適用？</p> <p>2. 加入坡度與安全係數影響之圖表並加以說明。</p> <p>3. 銀合歡排他性強，應於文中加以說明，避免誤用。</p>	<p>1. 報告中除了採蔡光榮教授之泥岩根系力學分析資料外，亦使用根系力學模式，配合台灣常見之土壤性質進行分析，獲得一致結果，請參見第五章第一節所示。</p> <p>2. 遵照辦理，已於文中 P64 圖 5-8~5-9 說明。</p> <p>3. 遵照辦理，已於文中 P67 第四段文字說明。</p>
<p><b>內政部建研所主任秘書/葉世文主秘</b></p> <p>1. 銀合歡屬外來種植物且排他性強，建議報告必須說明，雖其在穩定坡面具有良好的表現，但在生態系維持上並不建議採用。</p>	<p>1. 遵照辦理，已於文中 P67 第四段文字說明。</p>
<p><b>台灣海洋大學河工系/廖朝軒教授</b></p> <p>1. 坡地土壤沖蝕之公式與陳教授發展</p>	<p>1. 經考量採用國內較常使用之通用土</p>

<p>之公式差異甚大，故如何使用，且土壤沖蝕量在設計中如何引用請說明。</p> <p>2. 可廣泛蒐集日本、德國等國外文獻，參考國外生態工法經驗，避免重蹈覆轍。</p> <p>3. 工程圖說建議能增加成本分析一項。</p>	<p>壤流失公式並配合容許土壤沖蝕量觀念加以評估坡面沖蝕程度，請參見 P11 沖蝕模式。</p> <p>2. 謝謝建議。</p> <p>3. 遵照辦理，本研究團隊於效益評估中已增加成本效益分析，請參見第六章說明。</p>
<p>台北市大地技師公會/傅文鵬先生</p> <p>1. 第 68 頁表 5-15 中符號有誤須修正。</p> <p>2. 第 21 頁表 2-8 加入各襯砌材質粗糙係數 (n)</p> <p>3. 報告內容豐富，其中對含植物根系固土能力穩定性及穩定效益的量化分析，在實務上甚有助益，也證明在工程上運用有其安全性極限，因此在使用時應詳加考量。</p>	<p>1. 遵照辦理，已修正於 P71 之表 5-16。</p> <p>2. 遵照辦理，已修正於 P21 之表 2-7。</p> <p>3. 謝謝鼓勵與建議。</p>
<p>台北市土木技師公會/拱祥生先生</p> <p>1. 第二章第二節介紹的兩個土壤沖蝕公式之差異性及關聯性。</p> <p>2. 第十五頁文字建議修正為坡地常見之地表排水系統設施有縱向排水溝 (...)、截水溝 (...).</p> <p>3. 第四十四頁及第四十九頁述明土釘混合噴植法適用深層滑動潛能之邊坡，請釐清。</p>	<p>1. 經考量採用國內較常使用之通用土壤流失公式並配合容許土壤沖蝕量觀念加以評估坡面沖蝕程度，請參見 P11 沖蝕模式。</p> <p>2. 遵照辦理，已修正於 p15 第 14 行。</p> <p>3. 謝謝建議，土釘噴植法相較於護坡工而言，屬於較深層之工法，文中將修正釐清，請參見表 4-8。</p>

<p>4. 第六十七頁表 5-15 整治工法參數選定之依據，請說明。</p>	<p>4. 遵照辦理，已將參數選定依據補充加入文中 P70 第 9 行。</p>
<p>台灣省土木技師公會/高文宗先生</p> <p>1. 報告中應將所引用之文獻詳細列出。</p> <p>2. 報告中第 52 頁提及依生態工法精神，構造物之設計原則應使結構物低矮化和平緩化，坡高應儘量不超過 4m，應修正為 5m 較符合坡地社區之主題要求。</p>	<p>1. 遵照辦理，已將報告中未列出之文獻補齊。</p> <p>2. 遵照辦理，已修正於 P54 第 13 行。</p>
<p>國家型防災科技中心/陳天健博士</p> <p>1. 考量舊有工法與生態防災工法連結方式，可加以說明。</p> <p>2. 生態工法之發展較偏向溪流治理方面之應用，本案對既有社區之整治復育設計技術與研發，對既有坡地社區防災助益甚佳。</p>	<p>1. 遵照辦理，已於文中補充加入既有混凝土結構物覆土植生圖說，請參見第四章第三節。</p> <p>2. 謝謝支持本研究案進行。</p>
<p>建研所安全防災組/陳建忠組長</p> <p>1. 生態工法可否建議生態正面指標，以及減少生態破壞指標，來評估本研究適用工法。</p> <p>2. 生態工法於坡地社區構築時，建築物與駁坎之間距是否要加大。即原有社區建築已十分密集，對既有構造物如何生態化？或於社區或建築外空地施以生態防災工法已減少災</p>	<p>1. 謝謝建議，非本研究計畫範疇中，已列為短期立即可執行的建議，請參見 P127。</p> <p>2. 謝謝建議，文中已增列既有混凝土結構物覆土植生圖說與說明，請參見第四章第三節。其餘觀點將仔細評估是否加入。</p> <p>3. 謝謝建議，文中淺水灣社區案例分</p>

<p>害。</p> <p>3. 植物與土壤有密切關係，宜納入社區案例之土壤性質。</p> <p>4. 有些植物如百慕達草在綠建築指標中二氧化碳固化效能極低，相關分析宜清楚說明。此外對土壤抓地力強之植物很多，並非僅列文中五種植物，可考量予以增列，或說明文中選擇之五種植物之原因。</p>	<p>析已加入土壤性質，請參見 P98~99。</p> <p>4. 目前報告中所選擇之 5 種草本植物為工程上較常使用之物種，但對於二氧化碳之固化效能並未作為選擇考量之因素，而對於生態及環境之衝擊，日後可更進一步加以探討。</p>
--	---

## 附錄九 第二次專家座談會專家意見

## 附錄九 第二次專家座談會專家意見

- 一、主題：子計畫一「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」
- 二、時間：民國九十三年十月二日(星期六)上午九時三十分整
- 三、地點：淡江大學工學大樓工學院會議室(E680)
- 四、主持人：洪勇善 教授
- 五、紀錄：沈哲緯、邱佑銘
- 六、出席學者專家：中興大學土木工程學系林炳森教授、台灣科技大學營建工程系廖洪鈞教授、淡江大學土木工程學系楊長義教授、台北縣政府農業局吳建興副局長、台灣藥物品質協會陳建輝研究員、磐碩工程股份有限公司呂方熾協理、中興工程顧問股份有限公司大地工程部王建智經理、永基工程顧問有限公司方仲欣總經理、自然步道協會陳芳瑜理事、內政部建築研究所安全防災組李怡先博士
- 七、主辦單位：淡江大學
- 八、研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、淡江大學土木工程學系吳朝賢教授、何嘉浚助理、沈哲緯助理、邱佑銘助理

九、專家意見與回覆：

專家學者意見	回覆
<p>中興大學土木工程學系/林炳森教授</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 有生命的保護山坡地淺層邊坡破壞方法，包括土壤生物工程技術及生物地工技術兩類。而在第三章所提到的植生方法屬於哪一類，應清楚分類。</li><li>2. 地工合成材在選用時，應考慮其抗日照、耐久性等因素，建議可在文中加以描述。</li><li>3. 表 6-11 至表 6-13 之整治工法設計簡圖，應加繪排水設施。</li><li>4. 生態整治工法之安全性分析，建議可以實際案例來做分析，而不單僅以基本模型來評估。</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 植生方法屬於土壤生物工程技術方法，文中依分類重新調整，避免誤解。</li><li>2. 謝謝建議，部份說明將補述於文中。</li><li>3. 遵照辦理，已於整治工法設計簡圖加繪排水設施。</li><li>4. 謝謝建議，本報告已於第六章以淺水灣私人別墅之案例，分析生態整治工法之安全性。</li></ol>
<p>台灣科技大學營建工程系/廖洪鈞教授</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 報告中所引用他人之資料，應注意註明文獻的出處。</li><li>2. 木本植物可分為灌木及喬木兩類，於植物根系力學分析時，建議可再分別針對兩者進行分析，以比較其差異。</li><li>3. 植物根系力學分析之分析方法，應於文中再加以說明。</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 遵照辦理，已於參考文獻中註明。</li><li>2. 謝謝建議，但因本計畫範疇不包含各種植物根系力學比較，建議可於後續之計劃再加以討論。</li><li>3. 遵照辦理。</li></ol>
<p>磐碩工程股份有限公司/呂方熾協理 (含磐碩工程胡邵敏總經理書面意見)</p>	

<p>1. 植生根系對邊坡穩定功效除根部直接提供張力、保土等功能外，葉部防止雨滴直接衝擊地面降低其沖蝕能量，減少沖蝕溝之產生。</p> <p>2. 植被吸收坡地之水份，使水位以上之毛細水循環不息，毛細水張力對不飽和坡地產生粘結作用，增加其穩定性。（沒有植被之邊坡易被曬乾，土壤乾裂後遇水即成沖蝕溝）</p> <p>3. 生態工法之耐用年限常不易掌握，即使初期成本低，重複處理週期短，整治效益評估時，應要考慮在內。</p>	<p>1. 謝謝建議。</p> <p>2. 謝謝建議。</p> <p>3. 謝謝建議，整治工法之效益評估已考慮生態防災工法之耐久性。</p>
<p>台北縣政府農業局/吳建興副局長</p> <p>1. 肯定本研究計畫之工作內容，所整理之資料亦包含工程會積極推動者。</p> <p>2. 生態工法應用在排水設施建議避免束水設計，中低流量可依一般斷面，高流量（洪峰）建議加大斷面以減緩流速，降低對河岸之衝擊。（可用複式斷面）</p> <p>3. 社區之設施仍應以保全對象之安全為主，尤其高密度之集中住宅，更應強調安全性。生態環境可利用綠地營造棲地，並以綠帶串接成一體。</p> <p>4. 植生工程應用在邊坡穩定時，建議仍以防止沖蝕及淺層土體破壞為主。</p>	<p>1. 謝謝鼓勵。</p> <p>2. 謝謝建議，將於文中補充說明。</p> <p>3. 社區之設施確實應以保全對象之安全為主，本報告亦以此觀點研究。</p> <p>4. 完全贊同，即為本研究結論第一點。</p> <p>5. 謝謝建議，已修正表 2-3 之圖示，並取消常水位線，以免誤解。</p> <p>6. 謝謝建議，已將表 2-4 之圖示及砌石溝適用流速進行修正。</p> <p>7. 謝謝建議，建議可於後續之計劃再加以分析討論。</p> <p>8. 謝謝建議。</p>

<p>5. 草溝應為源頭或小面積、小流量之排水處理方法。且草溝一般為寬淺型，建議表 2-3 之圖示應再做修正。</p> <p>6. 表 2-4 之砌石溝圖示，其石塊應繪為互相交錯，建議圖示加以修正。又實際上砌石溝之適用流速一般約為 4m/sec，請研究團隊參考。</p> <p>7. 砌石牆構築時之砌石方法及砌石石塊間之力學互制行為，皆會影響砌石牆之穩定性，建議學術單位可再加以研究。</p> <p>8. 植物根系的多寡及根系生長之斜率，皆會影響根系對土壤之加勁效果，於植生根系分析時應加以考量。</p>	
<p>中興工程顧問公司/王建智經理</p> <p>1. 於報告文中應避免太強調排水，而應可說明生態防災工法在儲蓄地下水及遲滯洪峰之正面功能。</p> <p>2. 截水溝應為橫向排水溝，表 2-8 之照片方向應再加以修正，以避免誤解。又表 2-8 之說明(2)建議加入截水溝水流應「經由排水溝」引導到安全地方排除。</p> <p>3. 表 3-3 之適用範圍(1)應「小」於 <math>35^\circ</math>，請更正。</p> <p>4. 第三章之萌芽枝條捆與植生枝條兩</p>	<p>1. 謝謝建議，將於討論後，再於文中適當說明。</p> <p>2. 遵照辦理，已將表 2-8 之照片進行修正，並加入所建議之文句。</p> <p>3. 遵照辦理，已將表 3-3 之適用範圍修正。</p> <p>4. 遵照辦理，文中已統一使用萌芽枝條捆。</p> <p>5. 目前植物根系力學分析時暫不考慮地下水之影響。</p>

<p>名詞請統一。</p> <p>5. 植物根系力學分析時之地下水如何考量，請說明。</p> <p>6. P.168 之 pH「植」筆誤，應改為 pH「值」，又 P.170 遺漏天然樹「脂」一字，請更正。</p>	<p>6. 遵照辦理，已將錯誤更正。</p>
<p>淡江大學土木工程學系/楊長義教授</p> <p>1. 第七章施工規範大綱之表格，建議可搭配圖示，以增加其易讀性。</p> <p>2. 建議可建立施工之快速參考手冊，以便於工程師在工地現場之應用。</p> <p>3. 報告之資料充足，但建議文字敘述能盡量精簡，以將論述之重點突顯出來。</p>	<p>1. 謝謝建議。</p> <p>2. 謝謝建議，此項目亦為結論建議中之短期可執行目標。</p> <p>3. 謝謝建議，已對報告內容之文字敘述進行修改，以增加文字之流暢度。</p>
<p>永基工程顧問有限公司/方仲欣總經理</p> <p>1. 表 3-3 之適用範圍(1)應為「小」於 <math>35^\circ</math>，請更正。</p> <p>2. 箱籠牆之壽命一般較無明確之標準及定義，建議可加以說明。</p>	<p>1. 遵照辦理，已將表 3-3 之適用範圍修正。</p> <p>2. 謝謝建議，箱籠牆之壽命一般取決於鍍鋅鋼絲網之耐鏽蝕性及當地之氣候條件，本報告建議箱籠牆之使用年限為 25 年，但值得進一步研究。</p>
<p>自然步道協會/陳芳瑜理事</p> <p>1. 對於本土植物物種應善加開發，並加以研究應用於生態工程時之實際適用性。</p>	<p>1. 謝謝建議。</p> <p>2. 謝謝建議。</p>

2. 工程施作時，應對現場當地之原生物種進行調查，爾後也應盡量以當地物種作為植生之選擇考量。	
<p>台灣藥物品質協會/陳建輝研究員</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 植生時應考慮以演替方式植栽，以順應自然且植生效果較長遠。</li><li>2. 表 5-1 之台灣赤楊與羅滋草遠近圖片反置，請更正。</li><li>3. 表 4-9 之圖示應增加暗管排水設置。</li><li>4. P.55 之植物根入影響因素，建議增加(6)土壤孔隙及空氣含量與(7)土壤氧化還原程度。</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 謝謝建議。</li><li>2. 遵照辦理，已將表 5-1 之圖片進行修正。</li><li>3. 遵照辦理，已將表 4-9 之圖示增加暗管排水設置。</li><li>4. 謝謝建議，已於文中補入。</li></ol>
<p>內政部建築研究所/李怡先博士</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 生態工法之施作應考慮短、中、長期之影響，尤其在植物種下到植物長出期間之植生效果問題應如何控制。而季節與氣候等影響植物生長之因素，建議亦可加以討論。</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 謝謝建議，但因本計畫之時程緊迫，故對於施工前之生態調查與施工後之生態復育評估，較難以深究，建議可於後續之計劃再加以討論。</li></ol>

**附錄十 聯合研討會專家意見**

## 附錄十 聯合研討會專家意見

一、主題：子計畫一「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」

二、時間：民國九十三年十一月十五日(星期一)下午一時十分整

三、地點：台北科技大學建築系設計館八樓國際會議廳

四、主持人：葉世文主任秘書

五、紀錄：沈哲緯、邱佑銘

六、出席學者專家：內政部建築研究所葉世文主任秘書、台灣大學土木工程學系林美聆教授、中興大學水土保持系游繁結教授、台灣科技大學營建工程系廖洪鈞教授、內政部建築研究所安全防災組陳建忠組長、內政部建築研究所安全防災組李怡先博士

七、主辦單位：內政部建築研究所

八、研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、淡江大學土木工程學系吳朝賢教授、何嘉浚研究助理、沈哲緯研究助理、邱佑銘研究助理

## 九、專家意見與回覆：

專家學者意見	回覆
<p>內政部建研所/葉世文主任秘書</p> <p>1. 銀合歡之排他性太強，對本土原生物種造成莫大的生存威脅。因此並不建議植生復育時選用銀合歡植生。</p> <p>2. 台灣赤楊對邊坡穩定確實具有不錯之成效，但其具有生長於高海拔、向陽性，及還未能馴化等特性，應於文中再加以說明。</p>	<p>1. 謝謝建議。銀合歡對本土物種之威脅確實比較嚴重，因此本團隊已將銀合歡於報告中移除，且建議盡量避免選用銀合歡作為植生復育，以保護本土物種之生存性。</p> <p>2. 謝謝建議，將於報告內補充說明。</p>
<p>台灣大學土木工程學系/林美玲教授</p> <p>1. 工程所選用之植生，應做適用環境之考量，並採以複式植生之方式，以提高植生成效。</p> <p>2. 建議將報告中各工法之適用範圍以表列之方式統整，以利於工程人員的快速查詢。</p> <p>3. 整治工法用地量的多寡及現場之用地條件限制等因素，皆會影響整治工法之選定，因此建議於報告中說明各整治工法用地量之情形，以作為選擇工法時之參考。</p>	<p>1. 謝謝建議。將於報告中補充說明應採用複式植生之方式，以增加植生復育之成功性。</p> <p>2. 謝謝建議。針對本報告所列舉之排水工法、護坡工法及擋土工法，將以一簡單的表格，統整並精簡說明各工法之適用範圍。</p> <p>3. 謝謝建議。於報告中將補充說明各整治工法用地量之多寡，及其對工法選擇之影響。</p>
<p>中興大學水土保持系/游繁結教授</p> <p>1. 建議將生態工法之專有名詞及專業術語統一化，以建立未來研究討論時之共識。</p> <p>2. 生態工法之安全評估較困難，且現場施工規範之執行面較不足，因此應訂定出標準完整之施工規範流程，使工</p>	<p>1. 謝謝建議。目前國內對生態工法之專有名詞及專業術語尚未取得共識，本計劃將盡量把此些名詞統一。</p> <p>2. 施工規範之訂定並不屬於本計劃之內容，若有機會進行下一期計畫時，將針對標準施工規範流程之建立進行研</p>

程皆能具有一定之安全標準。	究。
<b>台灣科技大學營建工程系/廖洪鈞教授</b> 1. 山坡地社區首重的是社區安全性之維護，因此工程設計時之安全係數不可太低，而如何維護、維修、保養擋土工程，建議在報告中說明。 2. 案例分析之土釘砌石工法是否有符合最小退縮距離之規定，請再確認。 3. 生態擋土工法之箱籠工法如何植生，如何建立生態之條件。 4. 根系力學分析之滑動面位置應標示出來，以達到較完整清楚之說明。	1. 謝謝建議，將於報告中明列所選用之安全係數之依據。 2. 案例分析為依據現地破壞之情形設計整治工法，故並未考慮最小退縮距離之規定。 3. 箱籠工法可利用切枝壓條法，並將萌芽枝條插入背填土層之方式，以達到植生之目的。 4. 遵照辦理，請參考圖 5-6、圖 5-7 所示。
<b>建研所安全防災組/陳建忠組長</b> 1. 建議可將生態工程施作後對當地生態復育之 E 值，及工程抗災能力之 S 值，統整建立一圖表，以利工程人員對生態防災工法之選用。	1. 謝謝建議。因生態防災工法之 E 值與 S 值統整圖表需大量之現地資料，故在本計畫之時程內並不容易達成，建議可做為未來之研究方向。
<b>建研所安全防災組/李怡先博士</b> 1. 於生態工法之單價分析方面，應將工項之名詞統一，且工料單價應盡量避免與實際差異太大。 2. 根系力學分析之滑動面、程式分析之初始與結束區域，建議在報告中再加以說明。	1. 遵照辦理。工料之單價為蒐集多家顧問公司近年來之單價表，工項之名詞將確認後予以統一。 2. 謝謝建議，請參考圖 5-6、圖 5-7 所示。

**坡地災害防治技術研究**

子計畫一：既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02)27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://abri.gov.tw>

出版年月：93 年 12 月

版(刷)次：出版

工本費：新台幣 250 元

GPN：1009304628

ISBN：957-01-9466-9