

內政部建築研究所



研究計畫成果報告

**山坡地社區邊坡穩定設施補強
及評估彙編**

計畫主持人：林美聆 教授

共同主持人：林四川 所長

共同主持人：廖瑞堂 總經理

研究單位：內政部建築研究所

委託單位：中華民國大地工程學會

計畫編號：MOIS 891011-2

執行期程：八十八年十月至八十九年十月

中華民國八十九年十月二十七日

內政部建築研究所研究計畫成果報告

山坡地社區邊坡穩定設施補強 及評估彙編

計畫主持人：林美聆 教授
共同主持人：林四川 所長
共同主持人：廖瑞堂 總經理
研究人員：林錦宏 經理
 林志誠 經理
 邱建銘
 謝旻諺
 童啟哲

研究單位：內政部建築研究所

委託單位：中華民國大地工程學會

計畫編號：MOIS 891011-2

執行期程：八十八年十月至八十九年十月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH

INSTITUTE

MINISTRY OF INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

**Summary of the Remedial Measures and Its
Evaluation for Slope Stability of
Community on Slope Lands**

BY

LIN MEEI LING

LIN SZU CHUAN

LIAO JUI TANG

October 27, 2000

山坡地社區邊坡穩定設施補強及評估彙編

內政部建築研究所

山坡地社區邊坡穩定設施補強及評估彙編

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://www.abri.gov.tw>

出版年月：民國八十九年十月

版次：初版

GPN：002244891137

GPN : 002244891137

摘 要

關鍵詞：邊坡穩定設施、擋土牆、補強工法、成效評估

台灣地區由於山地所佔面積廣大而平地稀少，所以在山坡地開發社區之情形相當廣泛，但部分山坡地社區中，每於豪雨後發現部分坡地之擋土設施有不穩定之現象。由政府相關單位對多處大型坡地社區進行邊坡穩定安全檢查，發現有為數頗眾之山坡地社區係屬於邊坡有不穩定之虞或需持續追蹤者。而對於此類潛在危險山坡地社區，亟需進行邊坡穩定設施之補強工作，以確保山坡地社區住戶之身家安全。

本研究主要蒐集國內外相關文獻研究後，歸納出邊坡穩定設施之破壞模式，探討其引致破壞原因，針對其原因提出適宜之改善對策及補強工法，再對目前常用之補強工法特性做一簡略介紹，並對其補強效果以施工性、改善成效與經濟性等三項做簡略之評估。然後再將實際補強案例置入本研究之分析模式之中，檢視其採用工法並對其補強成效加以評估，並針對實際補強工法提出課題討論。

ABSTRACT

Keywords : Community on slope land, Facility for slope stability, Remedial measures, Evaluation of effectiveness

According to the safety inspection report by the government agency, it is found that the slope stability condition of a number of communities on slope lands required urgent improvement. Strategy of remedial measures for slope stability facility of such communities should take into account types of slope problem and properties of the facilities used, subsequently, the remedial measures need to be properly evaluated to ensure its effectiveness and safety of the slope.

In this research the principals for determination of the strategy of remedial measures and its evaluation were drafted to provide as a reference for such communities. Case study was conducted based on the safety inspection and remedial measure report to identify the relative factors and different properties of facilities. Finally, the key issues for consideration of the slope stability facility and its remedial measure was proposed.

誌 謝

本研究計畫之進行，承蒙內政部建築研究所之協助，暨四川大地技師事務所及青山顧問股份有限公司，提供相關山坡地社區補強案例資料，以及各類補強工法之相關資料與意見；並感謝中華民國大地工程學會大力協助本研究補強成效評估調查問卷之發送，以及中華顧問工程司大地工程部、昭宏工程顧問公司、泰興工程顧問公司、台翔大地土木技師事務所周功台先生、長碩工程顧問公司楊賢德先生、耀宏大地技師事務所朱耀光先生及林同棧工程顧問公司黃祥德先生等人，對於本問卷調查進行之幫助；另有蔡瑞河先生、陳斗生博士、潘國樑博士、洪如江教授、邱昌平教授、葉祥海先生、陳宗禮先生、李德河教授、廖洪鈞教授、林青先生、陳建忠先生、陳盛強先生、俞清瀚先生、黃成正先生、張義宏先生、梁漢溪先生、丁育群先生等多位學者專家提供寶貴意見，特此誌謝。

目 次

第一章	前言	1
第二章	國內邊坡工法現況與課題	3
2.1	邊坡穩定工法概述	3
2.2	國內坡地社區邊坡穩定工法與現況	18
2.3	坡地常見災害類型及補強課題	21
第三章	邊坡穩定設施監測系統	25
3.1	邊坡穩定設施監測系統設置的目的	25
3.2	邊坡穩定設施監測儀器的設置原則	27
3.3	監測儀器之選擇	28
3.4	邊坡工程常用的監測儀器及其可靠性	30
3.5	監測結果對邊坡穩定度之評估	31
第四章	邊坡穩定設施之破壞問題暨改善對策	35
4.1	邊坡擋土設施之破壞模式暨引致原因	36
4.2	針對邊坡穩定設施破壞的改善對策與適用工法	47
4.3	邊坡擋土設施之結構問題	55
4.4	邊坡擋土設施結構問題之改善對策與工法	62
4.5	裸露邊坡之整治與改善對策	71
第五章	常見邊坡穩定設施補強工法特性與成效評估	79
5.1	常見補強工法詳述	79
5.2	補強工法成效總體評估	106
5.3	補強工法之選擇原則	131

第六章	邊坡穩定擋土設施補強案例研究	133
6.1	既有邊坡補強案例資料	133
6.2	案例資料整理	180
6.3	擋土設施補強案例分析	196
6.4	補強案例之課題討論	201
6.5	擋土設施補強案例之監測系統	204
第七章	結論與建議	207
參考文獻	210
附錄一	期初審查會議記錄及意見辦理說明	215
附錄二	期中審查諮詢會議記錄及意見辦理說明	219
附錄三	邊坡穩定設施補強成效評估問卷調查	225
附錄四	期末審查會議記錄及意見辦理說明	233

表 目 錄

表 2.1	大台北地區附近山坡地社區調查報告不穩定邊坡之案例狀況歸納表		0
		2	
表 3.1	邊坡工程監測儀器適用工程種類及可靠性		32
表 3.2	邊坡工程監測系統及儀器建議表		32
表 3.3	位移速率與邊坡穩定性判斷建議表		34
表 4.1	擋土設施破壞問題與補強方法		53
表 4.2	不同裂縫種類之補強需求比較整理		62
表 4.3	裂縫修補工法整理		66
表 4.4	英國 (British Standard Institute) 及其他設計規範之裂縫寬度限制		67
表 4.5	日本對海洋混凝土裂縫寬度之限制		67
表 4.6	各國規範之最大裂縫寬度限值		67
表 4.7	CEB-FIP 國際指針對裂縫寬度之建議值		68
表 4.8	世界各國有關 RC 裂縫寬度容許建議值		68
表 4.9	美國混凝土協會 (ACI Committee 244) 對破裂寬度限制之建議值		68
表 5.1	土釘極限拉出阻抗		87
表 5.2	牆後排水層之佈設方式與比較		98
表 5.3	環氧樹脂封塞劑規格		
		1	3
表 5.4	環氧樹脂灌注劑規格		
		1	3
表 5.5	邊坡穩定設施補強成效評估之意見調查表		
		1	0

表 5.6	邊坡穩定設施補強成效評估意見調查之統計結果		
	1	1	2
表 5.7	降低側向壓力之補強成效評估		
	1	1	4
表 5.8	增加側向抵抗之補強成效評估		
	1	1	7
表 5.9	改善牆背土壤之補強成效評估		
	1	1	9
表 5.10	改善牆基土壤之補強成效評估		120
表 5.11	避免沿潛在弱面整體滑動之補強成效評估		122
表 5.12	改善排水措施之補強成效評估		125
表 5.13	結構性補強之補強成效評估		127
表 5.14	擋土設施補強工法成效整體評估整理		128
表 6.1	案例 A-1 社區原打設預力地錨原始資料狀況		134
表 6.2	案例 A-1 社區基地地層概況		134
表 6.3	案例 A-2 社區擋土設施補強及邊坡改善工法		148
表 6.4	案例 A-3 社區坡度分析表		152
表 6.5	案例 A-3 社區各地層之土層參數		153
表 6.6	案例 B-1 社區地層厚度岩性		156
表 6.7	案例 B-1 社區擋土設施補強及邊坡改善工法		160
表 6.8	案例 B-1 社區監測頻率		163
表 6.9	案例 B-2 社區擋土設施補強方案及改善處理工法		169
表 6.10	案例 B-3 社區擋土設施補強方案及改善處理工法		174
表 6.11	案例歸納整理		181
表 6.12	A-1 案例之整理表		185
表 6.13	A-2(S-1)案例之整理表		186
表 6.14	A-2(S-7)案例之整理表		187

表 6.15	A-3	案例之整理表	188
表 6.16	B-1	第二區案例之整理表	189
表 6.17	B-1	第十三區案例之整理表	190
表 6.18	B-2	編號(2)案例之整理表	191
表 6.19	B-2	編號(11)案例之整理表	192
表 6.20	B-2	編號(19)案例之整理表	193
表 6.21	B-3	案例之整理表	194
表 6.22		案例邊坡擋土設施破壞原因整理	195
表 6.23		擋土設施案例監測系統情形整理表	204
表 6.24		案例監測儀器使用種類整理表	205

圖 目 錄

圖 2.1	各形式擋土牆（一）	9
圖 2.2	各形式擋土牆（二）	13
圖 3.1	監測計劃建議擬訂流程	28
圖 3.2	邊坡工程常用監測系統配置方式	33
圖 4.1	土工結構物之維護管理流程	36
圖 4.2	由牆背後大量填土所引致之擋土牆沉陷	39
圖 4.3	因差異沉陷而引起擋土牆之前傾	39
圖 4.4	整體邊坡沿擋土牆下方更深處之滑動面破壞	40
圖 4.5	典型之擋土牆背排水設施	42
圖 4.6	擋土牆身未打設排水孔，以致聚集大量之水壓力	43
圖 4.7	由地表加載所導致之側向壓力	41
圖 4.8	擋土牆之設計性裂縫	59
圖 4.9	表面修補工法示意圖	64
圖 4.10	充填工法示意圖	65
圖 4.11	邊坡之破壞類型	74
圖 4.12	邊坡穩定工法之分類	77
圖 4.13	邊坡穩定工法選擇流程圖	78
圖 5.1	地錨構造示意圖	80
圖 5.2	地錨施工流程圖	82
圖 5.3	抗滑樁示意圖	83
圖 5.4	牆後透水料排水層之佈設方式	98
圖 5.5	邊坡內部排水工法示意圖	
1	0	1
圖 5.6	以環氧樹脂填補裂縫示意圖	
1	0	4

圖 5.7	以碳纖維貼布防止隧道內襯砌混凝土塊掉落兼補強之施工 案例	105
圖 6.1	案例 A1 社區之監測系統平面配置圖	136
圖 6.2	案例 A-1 社區補強後擋土牆牆面	138
圖 6.3	案例 A-1 社區補充打設洩水孔	139
圖 6.4	案例 A-1 社區埋設的傾斜觀測管	139
圖 6.5	案例 A-1 社區道路填土區發生空洞下陷區域改善整治後 情形	140
圖 6.6	案例 A-1 社區牆面裂縫修補	140
圖 6.7	案例 A2 社區之邊坡擋土設施改善位置圖	144
圖 6.8	案例 A2 社區之排水改善方式及其位置圖	145
圖 6.9	案例 A-2 位置 S-1，部分錨頭有長期出水情形	149
圖 6.10	案例 A-2 位置 S-2，現有噴漿面坡頂覆蓋層局部坍塌	149
圖 6.11	案例 A-2 社區聯外道路邊坡蛇籠護坡	150
圖 6.12	案例 A-2 社區聯外道路邊坡落石欄工程	150
圖 6.13	案例 A-2 社區聯外道路邊坡攔石牆工程	151
圖 6.14	案例 A-2 社區聯外道路邊坡整治工程	151
圖 6.15	案例 B-1 社區建築物房前地坪下陷破裂情形	164
圖 6.16	案例 B-1 社區漿砌擋土牆開裂	164
圖 6.17	案例 B-1 社區道路下陷情形	165
圖 6.18	案例 B-1 社區地坪下陷龜裂與房屋分離情形	165
圖 6.19	案例 B-2 社區之邊坡穩定改善措施位置圖	168
圖 6.20	案例 B-2 社區擋土牆未打設排水孔	171
圖 6.21	案例 B-2 社區對外聯絡橋樑翼牆現況	172
圖 6.22	案例 B-2 社區建物一樓房舍外牆龜裂情形	172
圖 6.23	案例 B-3 社區之邊坡穩定改善措施位置圖	175
圖 6.24	案例 B-3 地滑區的頂部格框植生護坡整治並新設排水溝	177

圖 6.25	案例 B-3 地滑區補打設預力地錨	178
圖 6.26	案例 B-3 地滑區整修及新設排水溝	178
圖 6.27	案例 B-3 地滑區整治完成後之情形	179
圖 6.28	案例 B-3 地滑區中段採用 PVC 管地下排水工程	179

第一章 前言

台灣地區地狹人稠而區內多山地，平地僅佔全地區總面積約 26%，山坡地約佔 74%，在平地建築用地價格高昂且不易取得之情形下，在山坡地開發大型社區遂開始盛行。而自民國 60 年代以來，山坡地社區之開發有越來越多之趨勢，然而每在颱風豪雨後，時有坡地災害之發生，其中尤以民國 86 年林肯大郡災變，造成重大之人命傷亡及財物損失。故山坡地在開發時，於社區內之邊坡穩定工程所設置之各項擋土設施，其有效性及可靠性影響居民之生命財產甚鉅。

在林肯大郡災變之後，政府相關單位針對多處大型坡地社區進行邊坡穩定安全檢查，發現有為數頗眾之山坡地社區係屬邊坡有不穩定之虞或需持續追蹤者。針對這些邊坡穩定性急需改善之坡地社區，其補強改善之技術，宜視各坡地不同類型之穩定問題及所使用之工法技術，提出原則性之對策與建議，以使將來各坡地社區進行邊坡穩定設施補強與改善時，能有所依循。並宜建立評估準則，以在邊坡穩定設施完成補強與改善後，能對其補強工法之適用性與改善情形加以評定，以確保改善後之邊坡設施能符合穩定及安全之需求。

目前在國內尚未有類似邊坡穩定設施補強與後續評估之準則建議。在國外方面，以日本及香港之情形，與我國較相近。其中香港於 1970 年代以前，坡地社區發生災害之情形，多有所聞。其後香港乃設置土木工程署大地工程處，對於各山坡地社區之邊坡安定情形加以管理，並研提多項工法及法規措施加以改善，具有良好之成效。其中對於邊坡安全性評估與技術工法方面有多種手冊與出版品，可提供為本研究之重要參考。

本研究目的為藉由案例及相關文獻研究，提出邊坡穩定設施之補強對策。首先針對國內山坡地社區問題，依不同邊坡穩定技術工法及潛在坡地穩定問題加以分類，並配合各項案例相關之地質、地形、土壤等基

本資料，進行分析與討論，由其中歸納出適宜補強工法之評估與建議，以提供社區坡地進行補強與改善工法選擇之參考依據。

本研究流程乃蒐集國內外相關之安檢及補強技術工法文獻及坡地規範，加以整理歸納，以了解最新發展現況，並做為補強對策研擬之參考根據，並擬定危險山坡地社區邊坡穩定設施之補強對策，以為各坡地社區進行邊坡穩定設施補強之依循。根據所收集之各案例資料內容，針對各項案例之邊坡穩定設施之破壞問題及補強工法，依前項補強對策之原則進行潛在危險因素及工法之分析評估，以驗證本研究之評估原則。

第二章 國內邊坡工法現況與課題

國內現有坡地社區所採用之各項邊坡穩定工法，在不同地質環境下之適用情形，及其有效性及長期可靠性影響坡地社區之安全甚鉅，而邊坡穩定之各項擋土設施於設置後，亦可能受到後續建築開發之影響，導致其有效性降低。本章對於目前國內一般所使用之各類邊坡穩定工法進行文獻回顧，並簡介國內山坡地社區邊坡穩定工法現況。以期在進行國內山坡地社區邊坡發生問題後採取補強及改善措施進行討論前，先能對邊坡穩定所使用之各類工法，其適用範圍及各項優劣情形有所瞭解。

2.1 邊坡穩定工法概述

邊坡穩定工法的處理原則不外乎：減少邊坡之下滑力及增加邊坡抵抗滑動的剪應力，工法主要包括有：排水、挖方、填方、護坡及擋土等五種工法型態，此亦為處理邊坡穩定問題最常用之手段。穩定工法之選用，需依現地條件及用地規劃之需求，針對邊坡穩定狀況之不足處，適切地進行改善或補強。以下分別將這五種工法及邊坡穩定工法選擇的主要考量因素做一概略性之介紹。

2.1.1 挖方穩定工程

挖方工程係根據整地規劃及可能之滑動規模及滑動面位置，配合穩定分析之結果求取挖方量，利用挖方工程可用以降低邊坡的坡度或將長坡分階來增加邊坡的穩定度。在挖方作業中之每一階段，邊坡均應維持於某一程度之穩定，並儘量減少

對岩石及土體之擾動。對於岩石邊坡，可利用剝除法除去坡面上有掉落之虞的岩塊，並可去除坡面風化層或表淺之崩積層，以便於其它工法之實施，及避免因人工引發規模較小之落石，造成大規模不可控制之落石事件發生。

2.1.2 填方穩定工程

填方工程係根據整地規劃及配合邊坡穩定措施進行，可配合降低邊坡坡度或將長坡分階以增加其穩定度。於進行填方工程時，填土處之原地表面應將植被表土及雜物清除，並儘可能將填方嵌入原有坡內，同時填方應分層確實夯實。

2.1.3 邊坡排水工程

由於水對於邊坡之穩定可產生孔隙水壓升高、剪力強度降低及含水量增加等不利影響，故設置排水系統之目的為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。由於水對於邊坡之不良影響相當顯著，故排水工法在一般邊坡穩定工程中均宜配合其他邊坡穩定措施，一併加以設置。

1. 地表排水工程

一般山坡地社區之開發，由於地形地貌之改變，使得原有之地表水排除路徑遭到嚴重破壞或改變，如無設計規畫完善的地表水排水系統，地表逕流必定會到處漫流亂竄，造成或大或小的沖蝕溝，甚至於造成大規模的邊坡滑動，且地表水在暴雨時若無法有效快速宣洩，將極易引起邊坡滑動。一般所採用之地表水排除工法主要如以下幾點所示：

(1) 採用明溝與截水溝的明渠排水工法

適用於各類型邊坡不穩定滑動之改善，若有岩屑阻塞明溝之可能時，應考慮於溝底埋設水管成為暗溝以保證水流通暢。

(2) 滲透防止工法

使地表逕流宣洩較快並防止水分滲入土中，引起邊坡滑動，用在多裂隙及窪地等區域。

2. 地下水排除工程

地下水之排除，可以降低邊坡潛在滑動體之含水量及孔隙水壓，降低土體滑動之潛能。所採用之工法包括：

(1) 暗渠

採用暗渠來排水最為簡便，其主要用於排除淺層之地下水。

(2) 橫向排水孔

以鑽孔方式鑽設水平孔或斜孔，孔內再插設有孔之金屬管或 PVC 管，使水源在進入潛在滑動體前即予以排除或降低潛在滑動體內之地下水位，用於排除深度大於 2 公尺之地下水。

(3) 集水井

適用於雨水易滲透成地下水之區域，當僅以橫向排水孔仍無法有效發揮排水功效時，即可考慮規劃集水井。

(4) 排水廊道

在地下水豐沛之處，以其他方法仍無法迅速地將地下水排除時，則設置排水隧道（或坑道），通常配合橫向排水孔將地下水導入，再排至他處。惟此法費用昂貴，故一般不會輕易選用。屬於較深層的排水工法，適用於較大規模的崩塌或崩塌危害生命財產較為重大時，或大規模的地滑以橫向排水孔及集水井均無法奏效時，可施以排水廊道。

(5) 立體排水工程

地滑區內之地下水若具多層產狀時，需以立體系統方式加以排除。

(6) 地下水截斷工程

地下水截斷工程用於攔截地滑區外圍的淺層地下水之流入。

(7) 電氣滲透法（electro-osmosis）

電氣滲透法僅適用於粘性土層之排水，在粘土邊坡插入電極棒，於陰極以泵浦抽水，可排粘土層的吸附水。惟此法在邊坡工程甚少使用。

(8) 礫石樁法

適用於砂層之排水。

2.1.4 擋土穩定工程

擋土護坡工程係直接提供邊坡土體之下滑抵抗力，維持兩高低不同的地面，防止高處土壤之崩落、穩定邊坡及抵抗土壓。依擋土系統抵抗土壓力之不同機制，大致可以將擋土結構分為重力式、懸臂式及加勁式三種類型。

1. 重力式擋土牆

特性 - 以自重或填入物之重量來抵抗牆後土壤之傾倒與滑動。

比其他型式穩健，但牆高超過 3 公尺以上則不經濟。背填土應能完全排水，以避免產生作用於牆後的水壓。

優點 - 牆高低於 3 公尺時相當經濟，且建造不需專門勞工或裝備即可建造。

缺點 - 如果在工址附近無法找到背填土來源，擋土牆的建造費用將會顯著地增加，如需開挖來建造擋土牆，則也許並不經濟，因為需有臨時挖掘支撐以提供構築擋土牆之足夠基地寬度，將會增加建造的費用。

2. 懸臂式擋土牆

特性 - 利用牆底板上方之土體自重、牆前土壤的被動土壓力及牆體本身的抗彎矩強度來抵抗牆後土壤的側向土壓力造成的滑動與傾倒，可減少牆身斷面，增加鋼筋量的配置，以達到結構穩定。牆身高度較高時較重力式經濟，可配合錨碇使用。

錨碇 - 錨碇是用來將拉力傳遞到可能滑動面後方之土壤的結構系統。錨碇擋土牆是利用一層或多層地錨（有或無施拉

預力)來增加側向支撐，任何類型之懸臂式擋土牆都可與錨碇配合使用。錨碇牆一般使用牆高更高，且偏斜量比沒有錨碇的要少。

3. 加勁式擋土牆

特性 - 加勁土壤，又稱補強土或強化土，在目前來講是相當新的一種擋土結構物方式。加勁土壤係用金屬、纖維、木材等與土壤不同的材料埋置於回填的土中，並與牆面相連，靠金屬條等與土壤間的摩擦力來維持土體的穩定，若其加勁材料係使用鋼條者，則稱為鋼條土。鋼條土是在砂質土壤中，按照規定間隔配置片狀的鋼條作為補強材料，再將砂質土壤回填、壓實，利用土壤與鋼條之間所產生之摩擦力，使擋土構造呈平衡狀態。

一般常見擋土牆，若依擋土牆的種類來區分大致有下列幾種型式，而在圖 2.1、圖 2.2 中為一些常見擋土牆之圖示：

1. 三明治式擋土牆

造價低廉與工期短是此種擋土牆的優點。一般使用在產業道路之山坡地工程無載重擋土牆設施，但高度最好不超過 5 公尺。

2. 砌石擋土牆

屬於重力式擋土牆，此種擋土牆上方有載重，可作為攔砂填體，利用牆背凹凸不平，有消能作用，增加結構穩定。

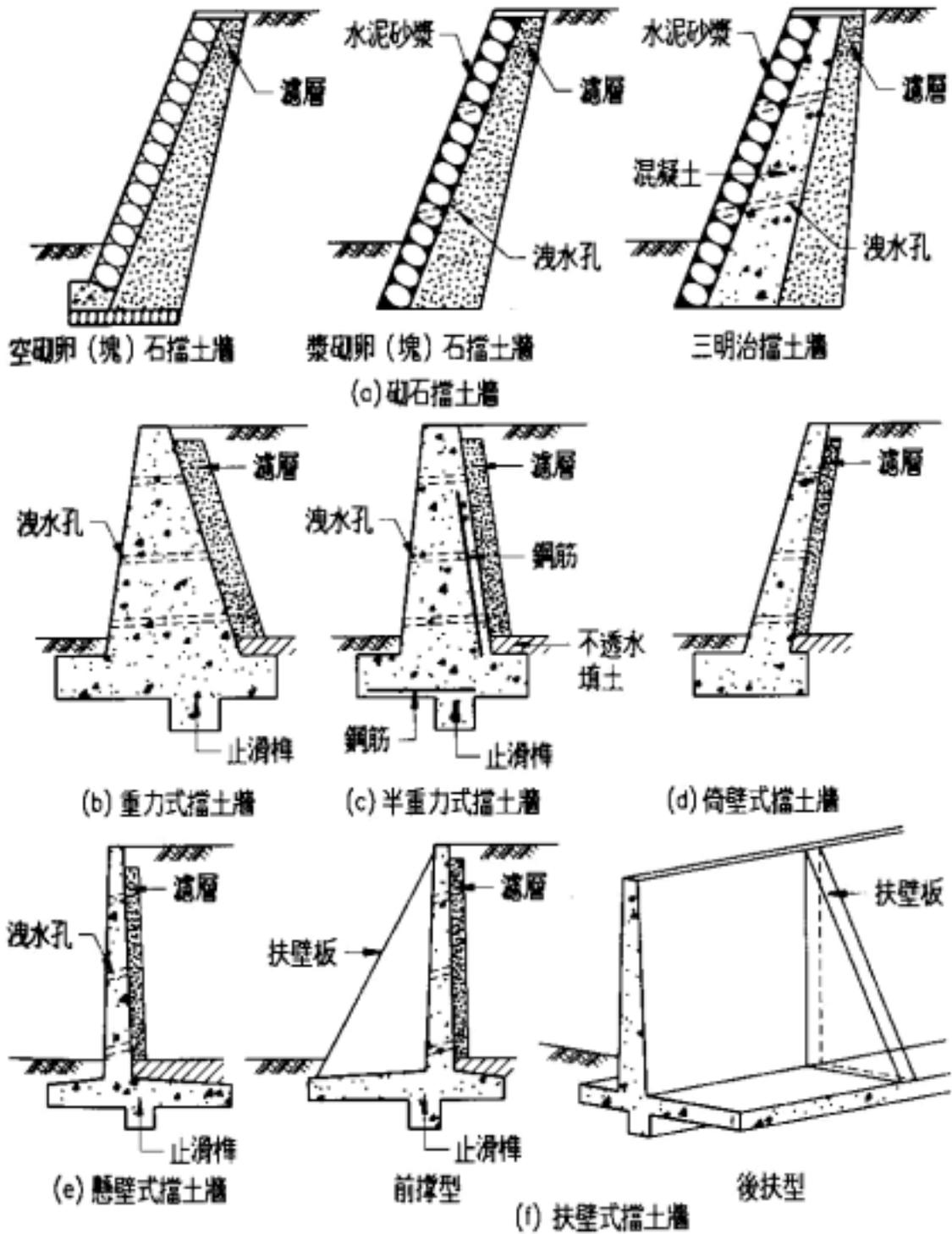


圖 2.1 各形式擋土牆(一) [17]

3. 卵石混凝土擋土牆

施工快以及經濟是此工法的優點。適用在災害搶修工程，牆身高度過高時則有不穩定現象。

4. 場鑄混凝土重力式擋土牆

此種型式擋土牆的優點是在於混凝土在許多環境下都非常耐久，並且可以被造型、組織或著色，以符合美觀上的要求，對牆高低於 3 公尺時是經濟的。

5. 鋼筋混凝土懸臂（版）式擋土牆

在牆高超過 2.5 公尺時比上列四種擋土牆方式較為美觀、經濟。在基礎施工時，易因開挖發生坍方，但施工單純。

6. 鋼筋混凝土扶壁式擋土牆

在超過 6 公尺以上的擋土牆大都使用此種方式，較為穩定、安全以及經濟。

7. 鋼筋混凝土框式擋土牆

其特性為不必開挖很深之基礎，施工容易、工期短以及排水性良好，適用在地下水位高、滲水量大之情況。

8. 預鑄扶壁式擋土牆

為扶壁式之預鑄單元，以逐層疊砌完成牆身工法。其優點為穩定性佳、排水性佳、可縮小施工範圍、簡化現場作業及管理、節省大量挖填方、施工效率高、可縮短工期、牆片可設計整齊美觀以及預鑄材料可重複使用。適用在搶修工程、一般道路之路堤、路塹坡面保護以及大型溝渠兩岸擋土，並可作為緊急災難搶修工程。

9. 加勁土壤式擋土牆

利用填埋在回填料中之條片，與回填料所產生之摩擦力，來平衡土壤側壓力而達到對土壤邊坡穩定的功用。加勁擋土牆包括四個基本組件：回填料、加勁材、牆面構件、加勁材與牆面之接合。加勁土壤結構可承受極大水平或垂直變形，因而解決不少軟弱基礎土壤上建築擋土牆之難題，施工簡易、造價便宜、牆底之基礎僅需稍加處理即可，且容許較大之不均勻沉陷，結構可建造成特殊的形狀，以適應地形地勢所需，材料取得較其他結構材料容易。

10. 錨碇式擋土牆

可分為兩種錨碇系統，一種是埋設鋼腱或錨桿，加以灌漿固定；另一種為設置錨座。在開挖面積大、開挖平面之形狀不整齊以及傾斜地開挖且土壓為單側壓時皆適用，對地盤條件限制少，支撐架構狀態簡單，易掌握應力狀態。

11. 沉箱式擋土牆

當修坡的範圍受到限制或採用一般擋土牆在施工時，因基

礎開挖而可能引起坍方時,可採用此結構來處理,此方式並可配合岩錨以增加穩定效果。可穩定較深之滑動面,施工所需空間甚小,不需大型施工機械,可於陡峭邊坡施工,施工時開挖回填少,可避免施工時邊坡不穩定,對垂直開挖的邊坡尤具成效。工程費用較一般擋土牆為高,但在其他方法無法使用時,卻不失為可行方法之一。唯設計時,土壓力的分佈、岩錨拉力的選擇、貫入深度的決定,仍有待進一步研究。

12. 格梁式擋土牆

框條包含了縱橫交互排列的水平梁,每一組框條裡填滿了夯壓土壤。建造迅速且不需專門勞工或裝備,擋土牆元件在規模上相對很小,建造時不需重裝備。

13. 錨碇—格梁式擋土牆

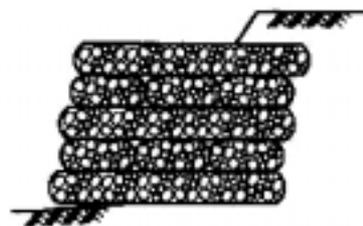
以預力地錨將格梁錨碇在良好的地層上之擋土牆,在框條交叉處設置地錨,為錨碇式擋土牆及格梁式擋土牆的搭配使用,適用在土壓力及水壓力過大以及需較高之擋土牆者。

14. 排樁式擋土牆

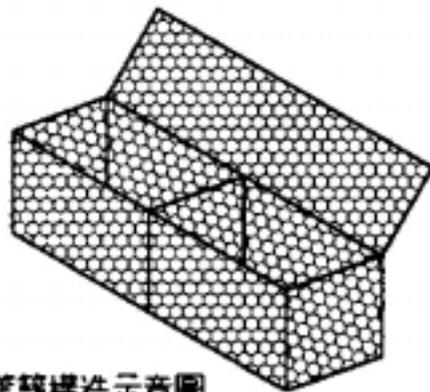
為成排之基樁設置而成的擋土牆,在不穩定之地層且坡趾不適合開挖者皆適合使用此種擋土牆型式。



(a) 堆石擋土牆

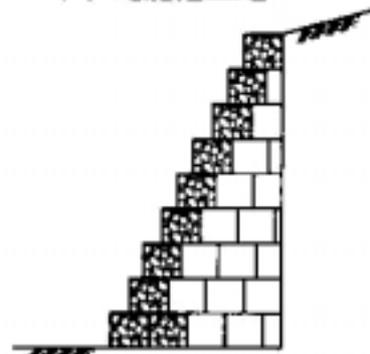


(b) 蛇籠擋土牆

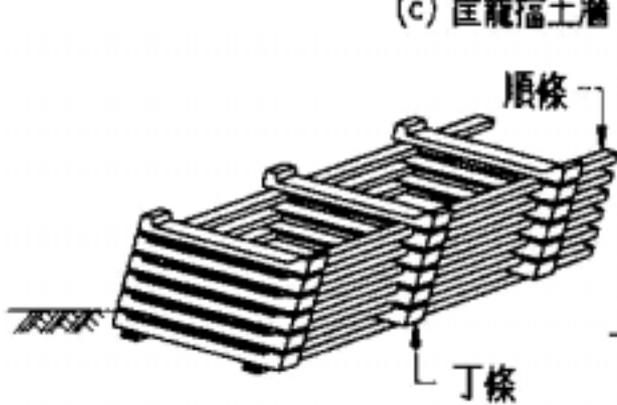


筐籠構造示意圖

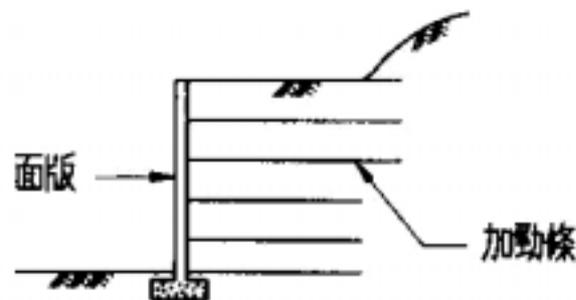
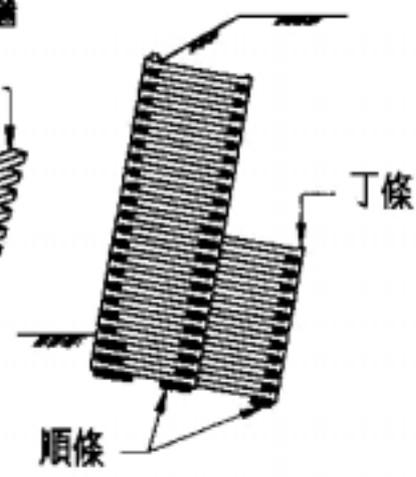
(c) 筐籠擋土牆



階梯式筐籠擋土牆



(d) 框條式擋土牆



(e) 加勁擋土牆

圖 2.2 各形式擋土牆(三) [17]

2.1.5 護坡穩定工程

護坡工程與擋土工程相較其厚度較薄，其構造目的不在於承受土壓力，而是用以防止雨水沖刷、侵蝕坍塌及自行崩陷的坡面保護工程。以下介紹各種類之護坡工程。

1. 石砌護坡

一般用於挖方的上邊坡，防止邊坡受侵蝕、風化，施工容易迅速，分別有卵石以及塊石護坡兩種。

(1) 卵石護坡

價格便宜、施工方便，兩石之間空隙可由混凝土澆置，強度較佳，可細分為漿砌卵石護坡與乾砌卵石護坡兩種。

(2) 塊石護坡

價格貴、外觀較佳，多用在工地已有石材挖鬆後，利用人工鑿打成塊，可用乾砌或是 1：3 的水泥漿砌，亦可分為漿砌塊石護坡、乾砌塊石護坡兩種。

2. 堡嵌磚護坡

為廣泛被使用，工廠預鑄之混凝土成品，種類繁多、搬運方便且造價低廉，可配合各種地形與地質作適當的選擇使用。堡嵌磚以長方形較佳，為增強抗剪作用，以斜砌法施工方式更佳。而一般砌法分為以下四種：

(1) 乾 砌 法—牆後全部襯填卵石，作為一般護坡之用。

- (2) 半漿砌法—牆後襯填以卵石及混凝土，作為護坡用。
- (3) 全漿砌法—牆後全填混凝土，用作擋土牆。
- (4) 補強砌法—牆後填襯以混凝土與排列鋼筋，用作擋土牆。

3. 混凝土格床護坡

適用在坡面容易被沖刷、滲水、湧水、面積較大以及不適植草皮的坡面。使用混凝土構造方格，格內填以卵石或碎石，部分亦有填充植生包者。

4. 噴凝土護坡

為防止開挖坡面遭受雨水沖刷及風化侵蝕，或者是無法植生之岩石以及礫石層面，一般常使用此方法。原理是藉由壓縮空氣之力將混凝土噴佈於原地層表面，因混凝土本身之特種性能以及高壓噴射之作用，故其黏著力強、密度高、強度大及防水性強，不易龜裂，可補強防水及防風化，並可填補裂縫等。

5. 噴漿護坡

用在道路邊坡防水，堤岸、圳渠坡面以及底面的噴漿襯砌之底層，岩盤面噴漿前鬆軟凹陷部分之填補等。噴漿護坡施工法有以下兩種：

(1) 塑性乳劑瀝青砂漿噴佈工法（P.L.M.工法）

可不經搗實與滾壓即可均勻形成均質及密緻的覆面，達到防塌及防水的目的。

(2) 塑性土壤泥漿噴佈工法（P.S.C.工法）

與砂土密結性好、具有塑性不易龜裂、可加入良質土壤減少水泥成本，其工作度高施工方便。

6. 綠化工法

使用普通植草法、挖穴施肥鋪網噴植法、預鑄格子框植生工法、自由型格子框植生工法以及塑膠袋育苗移植配合種子播法植生護坡等等。

7. 蛇籠工程

籠身以鉛網組成，具有撓曲性，適合各種地形；內填卵石，透水性佳，作為護坡可減低坡內靜水壓力，不需透水孔設施。成本低廉、景觀佳、施工迅速，同時亦適用在搶險工程。

8. 岩釘與岩筍(dowel)

常用於表層破碎岩塊之固定及支撐小至大型岩塊，主要功能防止岩塊掉落，或節理及裂縫之張開及延伸。

9. 岩栓

其功能除可增加節理面或滑動面上之抗剪力，防止岩塊或岩層沿節理或潛在滑動面破壞或繼續滑動，因岩栓本身施有預力，會對岩層產生一正向壓力，可增加岩體之強度。主要用於巨大不穩定岩塊、表層及表層附近不穩定岩盤、底部有差異侵蝕之岩塊、軟弱岩盤之補強、束制解壓節理之繼續張裂、開裂岩塊原位固定及補強等。如配合鏈式網使用，一方面可提供深

層之穩定力量，亦可同時穩定表層剝落岩塊。

2.1.6 邊坡穩定工法之選擇

穩定工法之選用，需依照現地條件及用地規劃之需求，針對邊坡穩定狀況之不足處，適切地進行改善或補強，其選擇之主要考量因素包括了以下三項：

1. 安全性

安全性的考量為邊坡穩定工法選擇時，所應當最先考量的因素，不論是在常時、地震、暴雨時，安全係數都必須大於設計標準。而根據國內的邊坡穩定設計標準而言，平常時，安全係數必須大於 1.5；地震時，安全係數需大於 1.2；暴雨時，安全係數必須要大於 1.1。

2. 施工性

由於在山坡地邊坡上施工的邊坡穩定工程，其困難度比起平地施工的困難度來的高，所以在邊坡穩定工程選擇時必須將穩定工法之施工性列入考量。尤其在地勢特別陡峭或坡高特別高之邊坡，施工性往往會變成主要的決定因素。

3. 經濟性

一般在山坡地社區的邊坡穩定工程，就投資者的觀點而言，擋土工法的選擇最優先的考量往往是經濟性或美觀性等非技術性因素。而站在工程設計者的角度，決定的因素往往是安

全性及施工性，因此設計者必須要能就風險及整體長期穩定性考量，在此兩者之間找到一平衡點，提出一合理的設計。

2.2 國內坡地社區邊坡穩定工法與現況

為了能夠對國內山坡地邊坡社區的邊坡穩定設施，在受到破壞或產生穩定性不足的情形時，能夠提出有效的補強方案及改善對策，所以瞭解國內常用的邊坡穩定工法與現況，便顯得非常重要。

2.2.1 國內常用的邊坡穩定工法

國內在較早期的山坡地邊坡社區，由於受到地工技術的限制，設計及施工的方法都較為保守，在基地選址方面，大致選擇較為平緩的山坡地，所使用的邊坡穩定工法大致有砌石護坡工法、混凝土格床護坡工法、噴混凝土護坡工法、噴漿護坡工法等方式，而這些工法主要用在防止雨水沖刷、侵蝕坍塌、避免自行崩陷，而不是用來承受土壓力。

隨著地工技術的不斷演進提昇，使得可以選擇的基地型式增多，在近期一些坡地社區可以看出，所使用的工法不只是消極地使用護坡工程，更積極的利用擋土工程，來增加基地面積、提高坡地的使用率。目前國內常使用的擋土工程方式有：卵石混凝土擋土牆、漿砌卵石（塊石）擋土牆、鋼筋混凝土框式擋土牆、扶壁式擋土牆、懸臂式擋土牆、錨碇式（加格梁）擋土牆、擋土柱式擋土牆等。其中以懸臂式擋土牆、錨碇式（加格梁）擋土牆、排樁式擋土牆三者較常使用。

2.2.2 國內坡地社區邊坡穩定現況

根據大台北地區附近的山坡地社區調查報告[13]，所使用的穩定工法，大致上可以得知國內穩定工法使用的現況趨勢。由調查報告顯示(如表 2.1 所示)，大台北地區幾乎每一個坡地社區在邊坡穩定工法上，都有施作排水工程以及擋土工程，並依照地形，進行挖方工程或者填方工程，至於護坡工程的設置，大規模的社區，在坡地較緩的地方，大都會使用護坡工程，並搭配美化工程。至於監測系統使用情形較不普遍，大致以新建社區較為常見，早期坡地社區則較為少見。

而在有邊坡穩定之虞的案例中，造成坡地破壞的工程因素，發生機率最高者為排水工程，其包括：排水設施設計以及施作不當、洩水孔功能未發揮、排水孔阻塞以及地表水無法經由完善排水設施排除，以致沖刷土壤表面及掏空擋土基礎等等問題。由於水對於邊坡及擋土設施之穩定，有非常不良之影響，故如何維持有效而長期之邊坡及擋土牆排水，實為一值得重視之課題。

至於擋土工程所產生的坡地穩定問題，主要為擋土牆施工品質以及長期維護方面，其問題包括：擋土結構出現裂縫、牆版接縫處滲水以及並無鋼筋連接、擋土牆移位及傾倒、因地層的差異沈陷導致擋土牆龜裂、下層基座施作引起上層擋土設施崩坍等，地錨施工品質不良、錨頭掉落、滲水、老化嚴重以及鏽蝕，擋土牆與房屋結構距離過近，以至於無法對擋土設施做維護工程等。此外，以上這些問題，在坡面排水不良的擋土牆所發生的狀況，相較一般排水良好之擋土牆更為頻繁、嚴重。

表 2.1 大台北地區附近山坡地社區調查報告

不穩定邊坡之案例狀況歸納表 [13]

調查案例	邊坡穩定工法使用狀況						坡地破壞因素						備註		
	排水工程	挖方工程	填方工程	護坡工程	擋土工程	監測系統	排水工程	挖方工程	填方工程	護坡工程	擋土工程	地質因素	其他	穩定工法	排水工程
A	√	√	√	√	√		√		√					錨碇、格床護坡	不明
B	√				√							√	√	懸臂式	不明
C	√		√		√	√		√		√				錨碇、岩錨幕牆	坡面排水孔、坡趾集水
D	√				√		√			√	√			錨碇	不明
E	√				√	×	√			√	√			重力式	不明
F	√	√	√		√		√		√	√				重力式、懸臂式、排樁	地下排水系統
G	√			√	√	×	√			√	√			懸臂式、錨碇、蛇籠、格床植生	排水箱涵、沈砂池、滯洪設施
H	√	√			√	×	√			√	√	√		懸臂式、錨碇、格樑	坡頂截水
I	√	√			√		√				√	√	√	懸臂式	縱向排水孔及涵管接至地面排水溝
J	√				√		√							懸臂式	明溝方式
K	√	√		√	√				√	√	√			錨碇、框架式格樑護坡	坡面排水孔

L	▽	▽	▽		▽	▽	▽		▽			懸臂式、錨碇、石籠	尚未建立
M		▽	▽		▽	▽		▽	▽			錨碇、排樁	

註：林美聆、秦中天，“山坡地社區開發邊坡穩定工法技術現況調查與分析”
內政部建築研究所專題研究計畫成果報告。

在填方工程方面，坡地建築在填方處遭受破壞者也佔不少，包括：結構物因填方施工不良而引起差異沈陷、路面產生裂縫以及填土材料遭受地表水掏空、堵塞排水孔而排水不良等等問題也是需要重視的。在地質方面，有問題的案例，大致社區本身就處於順向坡滑動面，易引起擋土結構整體滑動，或者處於廢煤渣堆積以及風化岩層，其潛在坡地問題在於本身承載力不足，以及穩定性不夠而引起擋土牆沈陷等。另外人為在上邊坡的不當開墾導致坡面破壞、落石者也有發生之案例。

2.3 坡地常見災害類型及補強課題

山坡地工程較一般平地工程更容易發生災變，且在坡地施工完成後，往往仍存在一危險性，常見的坡地災害，就發生的原因來分類，大致上可以區分為六大類。而在這些災害發生的原因中，以地表及地下排水不良所造成的坡地災害佔最多數，由於其發生的原因不同，所需的防範之道及可能的處理對策也大不相同，以下就各類型災害發生的不同原因、破壞情形及處理對策，茲分列於下（廖洪鈞、廖瑞堂，“坡地社區開發安全監測手冊”[40]）：

1. 地表排水或地下排水不良所引起的坡地災害

坡地社區的開發，在設計階段沒有妥善規劃地表及地下排水措施，或是根本沒有將排水部份列入規劃及設計中詳加考量，而直接在河谷或原來的排水路上進行大規模的之整地計畫，並在回填的谷地上蓋起一棟棟的建築物。由於如此，肇因於地表及地下排水不良所引起的坡地災害，往往是佔最多數。其破壞情形及處理對策分為以下兩點：

(1) 地表排水措施不良

破壞情形—造成規模大小不等之沖蝕溝或崩塌。

處理對策—增設各種地表排水渠道，如截流溝、陡槽等。

(2) 地下排水措施不良

破壞情形—擋土牆破壞或掏空。

處理對策—以盲溝、集水井、水平集水管或排水廊道宣洩地下水。

2. 以建築結構物作為擋土構造所造成的災害

由於地形的關係，山坡地之建築物在靠山之一側，常需以擋土護坡加以擋土，若山坡地社區開發的投資者為了省錢或創造出更大的使用空間，便會直接利用建築結構物本體來當作擋土設施。

破壞情形—建築物破壞。

處理對策—盡量避免以建築物兼做擋土構造。

3. 滑動規模或破壞模式判斷不當

一般來言，傳統重力式或半重力式擋土牆僅能適用於淺層滑動或無明顯滑動之邊坡滑動保護，當地質有明顯弱面存在時，傳統之擋土護坡即不大適用。由於滑動規模或滑動深度判斷不當，而一直無法有效處理的邊坡十分的多，而欲瞭解破壞規模及滑動深度，借助於更精確的觀測系統及地質調查是十分重要的。

破壞情形—邊坡整體破壞。

處理對策—以觀測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制，並適度調整擋土設施。

4. 軟弱地盤高填方區構築擋土牆

在軟弱地盤上之高填方擋土牆常發生破壞，其可分為兩部份，一部份是由於高填方區下方承載地層之承載力不足或沈陷量過大所導致的破壞，必須以各種地盤改良方式加以改良，以提高下方土層之承載力及減少其沈陷量，方可解決。一部份是由於擋土護坡本身設計斷面或強度不足所產生，此種情形需檢討擋土護坡之細部設計標準，並加以改善。

破壞情形—填方區擋土牆龜裂破壞。

處理對策—以改良方式提高地盤之承載力及減少沈陷量或擋土牆基採用樁基礎。

5. 地錨施工品質不良或錨碇力不足

地錨擋土護坡，由於地錨可提供甚大之抗拉力，故可使用於有深層滑動可能或邊坡甚高之擋土結構，但由於地錨要求之

施工品質較高，故若無良好的施工品質及經過一定的地錨試驗程序，失敗的可能性便非常大。除了施工品質不良導致破壞外，原因尚有滑動規模判斷不當或設計時假設之地下水位或滑動面參數不當所致。

破壞情形—邊坡整體崩壞。

處理對策—進行各種地錨品質試驗，更換或補施作地錨，並加強地錨的防蝕措施。

6. 地錨施工程序不當

在施作錨拉式擋土護坡時，必須先施作擋土護版，接著再進行地錨之施鑽、灌漿及施預力等工作。在擋土護版完成而地錨尚未施加預力前，是最危險之階段。在此階段極可能因為擋土護版已承受若干之土壓力，再加上擋土版下方之地層受地下滲流或雨水掏空之影響，使得在地錨尚未施拉預力前，便產生護版下滑破壞。

破壞情形—擋土結構破壞。

處理對策—由上而下施工，必要時採跳島方式施工。

第三章 邊坡穩定設施監測系統

大地工程由於涉及地層之多變性、複雜性及外來諸多未確定因素的存在，使得大地工程如深開挖、隧道、邊坡工程之災害頻傳，故為了確保工程設計及施工之安全，監測系統之運用也日益普遍。近年來許多重大工程的興建，大多已將監測系統列入施工中重要項目之一，且對監測系統的認識也日漸普遍，而如何有效運用監測系統於邊坡擋土結構物，來監測邊坡擋土結構物的穩定性，並在破壞發生時對於達到需補強程度的認定，便是一件非常重要的課題。

監測系統的運用就大方向而言，必須充份瞭解設置監測系統的目的，並適時適地的規劃各種監測儀器，進而在觀測中獲得各項現地狀況，並校核設計資料的正確性，如有超出原設計預估之異常行為時，則需進一步分析及評估是否需做設計調整，或者補強措施。監測系統的規劃，原則上應就其監測目的未確定性因素之掌握程度及可能造成風險損失等因素加以考慮，而做適當的設置。

3.1 邊坡穩定設施監測系統設置的目的

一般監測系統設置的目的包括以下四項：

1. 設計條件之調查及確認
2. 施工安全之掌握
3. 長期行為之驗證
4. 回饋分析設計

而在穩定設施補強的方面，監測系統設置的目的則加入了設施破壞是否達到需補強程度的認定，以及補強工法的改善成效監測。

不論在邊坡穩定工程或是設施補強工程之中，監測之目的大多著重於設計條件之調查及確認長期行為之驗證兩大項，由於山坡地之地層變化較平地更為複雜，許多潛在可能滑動面在地質調查時不易發覺，地下水狀況不易掌握，為彌補地質調查之不足，並校核原設計之假設，監測系統的設置，對於已有滑動徵兆的邊坡或重要性較高的邊坡都是十分必要的。故邊坡穩定工程監測系統的主要觀測項目包括以下四項：

1. 觀測滑動面位置，確認破壞規模及破壞原因。
2. 觀測位移速率及滑動方向，瞭解邊坡穩定情形。
3. 觀測地下水壓，校核水壓力是否超出原設計之假設條件。
4. 觀測結構物或地錨等擋土措施之應力，避免發生擋土結構物破壞。

當地層之穩定情況、擋土結構物之應力情況及地下水位變化狀況能充分掌握時，就可以確保邊坡工程的安全性及穩定性。

目前國內之山坡地社區大多未設置監測系統，僅有少數較具規模或較具防災意識之坡地社區方有裝設，而裝設監測系統的優點有：

1. 可充分反應地層或擋土結構物之穩定情況。
2. 如有異常情況發生，而必須進一步補強處理時，便可以對症下藥。
3. 任何坡地崩塌或擋土結構破壞前，都會有警訊，只是破壞前的變位量可能略小，不易以肉眼觀察得知，但若能藉由靈敏的觀測儀器，在事前大多可測得並做必要之處理補強。
4. 由許多的實際案例均證明監測系統確實可以充分反應實際地層之穩定情況，對於邊坡的安全性確保有相當正面的價值。

3.2 邊坡穩定設施監測儀器的設置原則

依據廖洪鈞、廖瑞堂[40]，邊坡穩定設施監測儀器的設置原則有以下幾點：

1. 監測儀器儘可能安裝在最危險或未確定性因素較多的位置或剖面上。
2. 傾斜觀測管在每個觀測剖面至少有兩處，安裝深度應貫入不動層三公尺以上。
3. 水壓計或水位觀測井安裝深度，應視鑽探調查結果加以調整，山坡地由於地下水狀況較為複雜，為瞭解每一地層之水壓分佈，原則上每一地下含水層至少安裝一支水壓計。
4. 在水壓異常之受壓水層，需安裝水壓計觀測。
5. 選擇於適當之時機裝設，以得最有效之觀測結果，裝設時機依下列原則擬定及執行：
 - (1) 基地初始條件、狀況調查及鑑定用途之儀器於施工（包含補強施工）前安裝完成。
 - (2) 地下水位、水壓及土層變位等隨施工狀況改變者於施工前安裝完成。
 - (3) 配合施工設置之儀器（如鋼筋計、地錨荷重計）於該儀器之施工部份配合施工。

一個邊坡穩定設施監測系統設置計畫之擬訂，不單只是在選擇監測的設施種類，而是於計畫研擬之初始就很明確瞭解設置的目的，以使最終能很有效率的運用所得到的數據。圖 3.1 為監測計畫建議之擬訂流程。

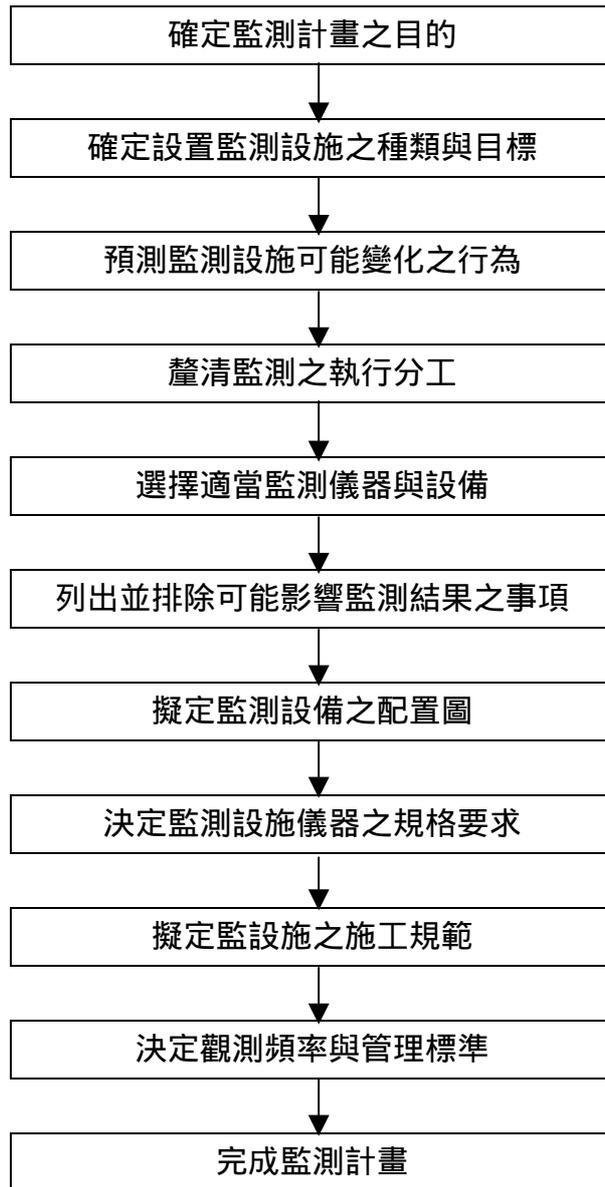


圖 3.1 監測計畫建議擬訂流程 [40]

3.3 監測儀器之選擇

不同的監測項目，須選用不同的感應器來觀測，如觀測地層中地下

水之水壓所用之水壓計，由於觀測原理不同，又可分為電子式水壓計、開口式水壓計或壓氣式水壓計等三種型式，如何針對工地特性，選擇適用之監測儀器，是安裝監測系統時首先面臨的問題。

一般而言，儀器的選擇所需考慮因素可分為主要及次要因素等兩部分：

1. 主要因素

(1) 量測範圍

一般設計者係依現場可能測得最大變化量，決定需要量測範圍。

(2) 正確性

正確性表示測讀之結果與絕對值之吻合程度，大部份儀器要求大都在其測讀值之正負 1% 以內。

(3) 精度或重複性

精度表示每次讀值與平均值之差異，精度高表示每次測讀結果都十分相近，亦即重複性很高。大部份儀器之精度要求至少為正負 1% 以內。

(4) 耐久性

坡地之監測儀器大都屬於管理維護階段長期性之監測工作，其耐久性甚為重要，故選擇儀器時應考慮其耐久性。

2. 次要因素

(1) 儀器之成本與精度、正確性間之考量

一般而言，精度越高、正確性愈佳或耐久性越好的儀器，往往亦較昂貴；但昂貴，並不一定代表精度高及正確性佳，採購時應針對不同工地及監測項目之實際需要，決定其所需量測精度及儀器種類。

(2) 施工性

一般選擇安裝及施工較容易的監測儀器，且在安裝過程中不得造成監測儀器功能的損傷。

(3) 自動化的需求

大部份監測系統係以手動量測為主，如監測系統欲採用自動化量測時，則在儀器選擇時，應將自動化之需求列入考慮。以水壓計為例，手動量測時大多採開口式之水壓計，但開口式水壓計無法輸出數位式訊號，故自動化甚為困難，如欲自動化，則必須採用電阻式或振弦式水壓計，以利後續自動化之配合。

3.4 邊坡工程常用的監測儀器及其可靠性

一般邊坡工程設計常用的監測儀器包括：

1. 水位觀測井
2. 水壓計
3. 傾斜觀測管(Inclinometer)
4. 地表沈陷點
5. 地表伸縮計
6. 鋼筋計
7. 結構物傾度盤
8. 地錨荷重計

其中相關於觀測影響邊坡穩定性之主要相關徵象的儀器，如水位觀測井、水壓計及傾斜觀測管使用最為普遍，至於其他的觀測儀器，則視擋土構造物型式之不同依實際需要分別考慮，但使用上較不普遍。

有效利用監測儀器之量測結果，使之能充分反應實際土層或擋土結構物行為，是安裝監測儀器的主要目的，但往往由於對安裝儀器之認識不足或安裝過程過於草率，使得觀測結果並無法充份代表地層或擋土結構之行為，此時監測就失去其意義。觀測儀器能否有效反應實際監測行為主要有以下幾點關鍵：

1. 觀測儀器本身的可靠性
2. 觀測儀器的安裝過程
3. 觀測儀器初始值的確認

各式監測儀器所適用之邊坡工程種類及其可靠性，詳如表 3.1。

綜合以上所言，針對不同之監測目的，並配合實際需要及儀器特性，應選擇不同種類之監測系統及儀器，並採取適當之配置方式，以取得最有效之監測資料。表 3.2 為針對不同之施工階段所建議之監測系統及儀器，圖 3.2 為一般邊坡工程常用之監測系統配置方式。

3.5 監測結果對邊坡穩定度之評估

邊坡穩定與否的研判以及是否達到需補強的認定，並無一固定的標準，常引起相當多的爭議，有人習慣以傾斜觀測管測得的最大位移量作為研判依據，但實際上位移量的大小不是研判的主要依據，而位移速率及位移趨勢才是反應邊坡穩定與否的主要指標。

根據日本地滑對策技術協會之建議，對於邊坡穩定性之研判，可採用位移速率加以判斷，如表 3.3 所示，其建議之判斷標準，可做為國內相關邊坡穩定性判定時重要之借鏡及參考。

表 3.1 邊坡工程監測儀器適用工程種類及可靠性 [40]

觀測方式	量測項目	典型適用工程種類	使用頻率	可靠性
水位觀測井	地下水位	挖方邊坡	經常	很好
水壓計	粘土層孔隙水壓	填方邊坡	經常	很好
	結構體邊界之孔隙水壓	擋土牆	經常	很好
土壓計	土壤中之土壓力	填方邊坡	很少	不佳
	結構體邊界之土壓力	擋土牆	很少	好
鋼筋計	鋼筋應力	擋土結構	時常	很好
結構傾度盤	結構物的傾斜變化	結構物	時常	好
傾斜觀測管	土層或結構體水平位移	邊坡工程	經常	很好

表 3.2 邊坡工程監測系統及儀器建議表 [40]

工程進度	主要監測項目	必要監測設施	可考慮之監測設施
調查設計階段	地下水位調查 地層穩定性評估	水位觀測井 水壓計	傾斜觀測管 結構物傾度盤
施工階段	地下水位水壓變化 地層穩定性變化 擋土結構穩定性 鄰房或鄰地穩定性	水位觀測井 水壓計 傾斜觀測管 鋼筋計 地錨荷重計 結構物傾度盤	沉陷觀測點 地滑計 雨量計 裂縫計
完工使用階段	地下水位監測 地層穩定性監測 擋土設施安全監測	水位觀測井 水壓計 傾斜觀測管	沉陷觀測點 地滑計 雨量計

	結構物安全監測	結構物傾度盤	鋼筋計 地錨荷重計
--	---------	--------	--------------

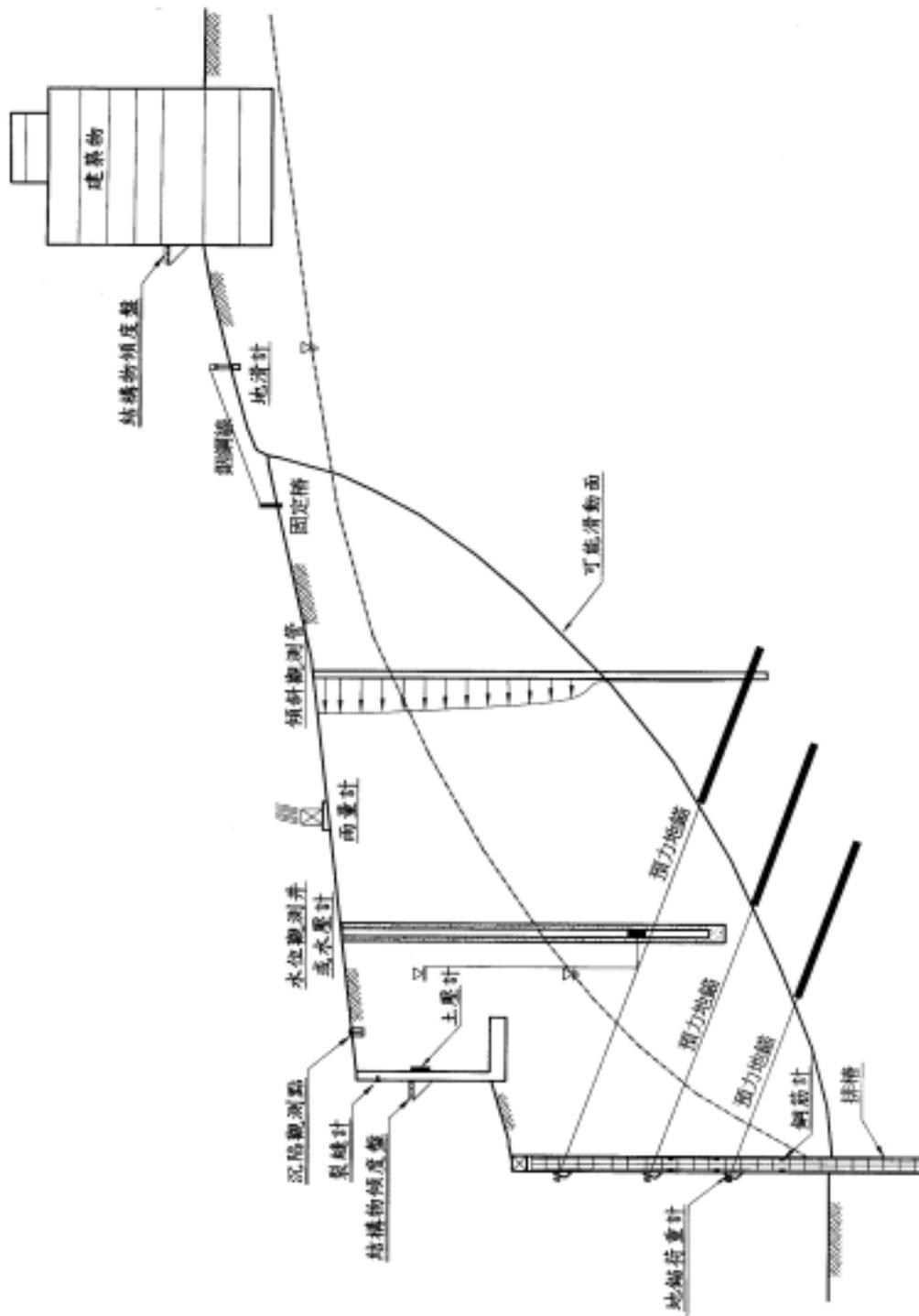


圖 3.2 邊坡工程常用監測系統配置方式 [40]

表 3.3 位移速率與邊坡穩定性判斷建議表 [40]

(日本地滑對策技術協會，1978)

變動種類	日變位量 (mm)	月變位量 (mm)	一定方向的 累積傾向	活動性判斷	破壞類型
緊急變動	20 以上	500 以上	非常顯著	急速崩壞	崩壞型 泥流型
確定變動	1 以上	10 以上	顯著	活潑運動中	崩積層滑動 深層滑動
準確定變動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動中	粘土滑動 回填土滑動
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	有待繼續觀測	粘土滑動 崖錐滑動

第四章 邊坡穩定設施之破壞問題暨改善對策

土木結構物皆有一定之使用年限，在營運使用期間常因外力的作用、材質老化或漏水問題等因素的影響下，使土木結構物原有的功能喪失。舉凡所有的物品在使用過程中一定會產生損壞或故障，大村平（1988）由故障率之觀點進行工程可靠度分析時，將結構物之生命週期大致分為三階段：第一階段為 0~20 年、第二階段為 20~50 年、第三階段為 50 年以上；其中損壞機率較高者為第一與第三階段。第一階段為結構物營運後之初期異狀發生期，主要肇因於設計與施工上之缺陷；第三階段之異狀則主要肇因於結構物材質之老化。所以隨著使用時間之增加，邊坡穩定設施需作定期的安全評估檢測，並對已發生毀損之部分進行維修補強工作，而典型的地工結構物之維護管理流程可見圖 4.1 所示。

由前面章節介紹可知，目前用於邊坡穩定之擋土工法眾多，且各式擋土設施形式不一，在國內所常見者包括重力式鋼筋混凝土擋土牆、預力地錨鋼筋混凝土擋土牆、漿砌卵石擋土牆、加勁式擋土牆等。而擋土牆係屬於長期置於戶外的結構物，長年累月經風雨侵襲，必難免有破裂、毀損之虞，故對擋土結構物的補強措施，是常會遭遇到亟須探討的課題。

本研究主要係對危險山坡地社區中既有之邊坡穩定設施補強方法作整理與探討，而本章即針對既有邊坡穩定擋土設施之穩定問題及結構安全問題，分析探討其引致破壞原因，再針對其破壞原因尋求其解決改善方法，並提出其適用之工法，最後再對一般自然裸露邊坡常用之坡面保護方法作一簡單敘述。

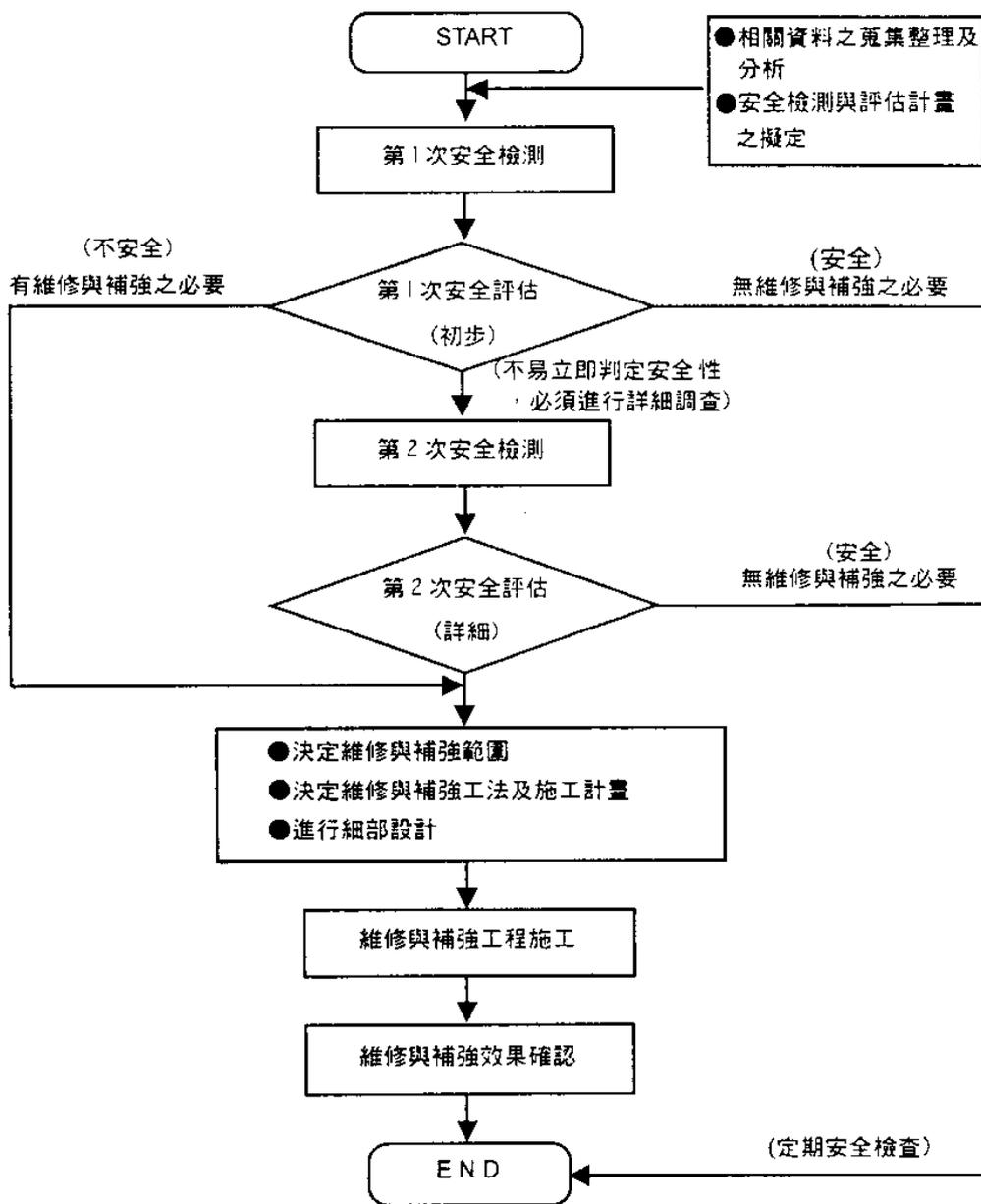


圖 4.1 土工結構物之維護管理流程 [6]

4.1 邊坡擋土設施之破壞模式暨引致原因

擋土牆為攔阻天然或填築之土石、砂礫及類似的粒狀物質所構築之

構造物。其作用為維持兩高低不同地面的安定、防止填土或開挖坡面之崩塌、穩定邊坡，與減少挖填土石方等。擋土牆之設計，首先須了解作用在牆上之各項外力，包括土壓力、水壓力及地震力等，並據以校核擋土牆牆體之穩定性，此項包括擋土牆的抗滑動、抗傾倒、抗沉陷破壞等之穩定性分析。本節即細究造成邊坡穩定擋土設施之可能破壞模式，可概分為擋土牆的滑動破壞、傾倒破壞、承載力不足、沉陷量過大以及整體滑動破壞等五類破壞模式，而以下即針對引致擋土設施破壞之原因、改善對策及其適用工法做詳細之敘述。

4.1.1 邊坡擋土設施之破壞模式

邊坡擋土設施之破壞模式，大致可分為滑動破壞、傾倒破壞、承載力不足、沉陷量過大、及整體滑動破壞等五類，以下將針對此五類破壞模式及造成原因加以介紹：

1. 滑動破壞

擋土設施基底之水平抵抗力，不足以抵抗牆背土體之水平側向壓力時，將可能造成擋土牆被向外推出破壞，以致失去其擋土功能。造成原因有：

- (1) 擋土牆背後之側向壓力過大
- (2) 擋土牆之側向抵抗力不足

由於牆背後土體、水及地表加載所造成水平側向分力，有將擋土牆沿基底向前推動之趨勢，此一滑動作用係由牆基底與土壤間之水平抗剪力及牆基前方覆土之被動土壓力提供阻抗，而牆基底處之水平抗剪力來源主要可分為基底與土壤間之摩擦力與凝聚力。擋土牆之抗滑動安全係數即為其水平抵抗力對水平作用力之比，一般採用 1.2 ~ 1.5，視該擋土

牆之重要性而定。

2. 傾倒破壞

擋土牆抗傾倒之穩定力矩不足以抵抗驅使傾倒的力矩時，將造成擋土牆對牆趾產生傾倒破壞之現象。造成原因有：

- (1) 擋土牆背後側向壓力過大
- (2) 擋土牆之抵抗傾倒力矩不足
- (3) 基礎土壤之差異沉陷
- (4) 擋土牆身高度過高

由於牆背之土體、地下水及加載所造成之側向力，產生使擋土牆有被推翻趨勢之傾倒力矩；而擋土牆重及牆基上之土重則可使其趨向穩定。擋土牆傾倒之穩定檢核，係以牆趾為支點，對該點取傾倒力矩及抵抗傾倒之穩定力矩。擋土牆之穩定力矩對傾倒力矩的比值即為抗傾倒安全係數。一般抗傾倒之安全係數採用 1.5 2.0。

3. 承載力不足

當擋土牆基底下方土壤過於疏鬆、軟弱時，則可能發生基礎土壤之承載力不足現象，而產生承載力破壞。造成原因有：

- (1) 基礎土壤承載力不足
- (2) 基礎土壤承載過重

擋土牆基底下方土壤必須有承載上方擋土牆體與土體之重量，若基礎土壤過於軟弱、剪力強度過低，則極可能發生承載力不足破壞，造成擋土牆之大量沉陷、滑動、傾倒等破壞現象。對於擋土設施基礎承載能力之安全係數通常採 3.0 設計，而短期性載重之安全係數亦須在 2.0 之上，與一般結構物基礎要求無異。

4. 沉陷量過大

擋土牆因基底下方土壤沉陷量過大，而造成擋土牆大量下陷之現象，並有可能引致擋土牆之傾倒。造成原因有：

- (1) 基礎土壤壓縮性過大
- (2) 基礎土壤沉陷不均勻引致之差異沉陷
- (3) 基礎土壤承載過重

擋土牆底部之土壤受擋土牆自重及牆背土體作用時，若其下方土壤過於疏鬆軟弱，以致產生大量的沉陷或是發生不均勻的差異沉陷，同時若擋土牆基礎發生承載力不足時，亦可能引發大量之沉陷，而沉陷量過大將會造成擋土牆的毀損、過量沉陷與傾倒（見圖 4.2 與圖 4.3 所示）。

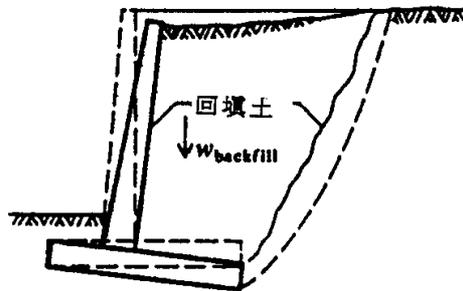


圖 4.2 由牆背後大量填土所引致之擋土牆沉陷 [32]

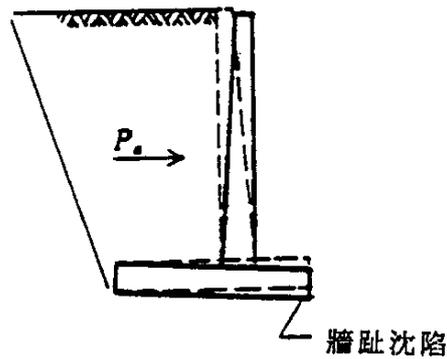


圖 4.3 因差異沉陷而引起擋土牆之前傾 [32]

5. 整體滑動破壞

擋土設施所在之邊坡土體若產生一整體性之滑動破壞，此稱為整體滑動破壞。造成原因有：

- (1) 擋土牆基底土壤或背填土過於軟弱
- (2) 邊坡深處有潛在滑動面

擋土設施之效用即在穩定邊坡土體，避免邊坡土體滑動破壞。當擋土牆之背填土及牆基土壤較為軟弱時，擋土牆可能產生一整體滑動而導致破壞，其情形與一般邊坡之滑動破壞類似，如圖 4.4 所示。若擋土牆下方有一較軟弱之土層或弱面，則滑動面有可能在此土層或弱面內發生。若在設計分析時錯估邊坡的滑動位置、滑動規模，如擋土牆後方土體的整體滑動面在更深層處，既有的擋土結構位於地表淺層，則將無法有效阻擋土體的整體滑動破壞，既有擋土設施則無法發揮其穩定效果。

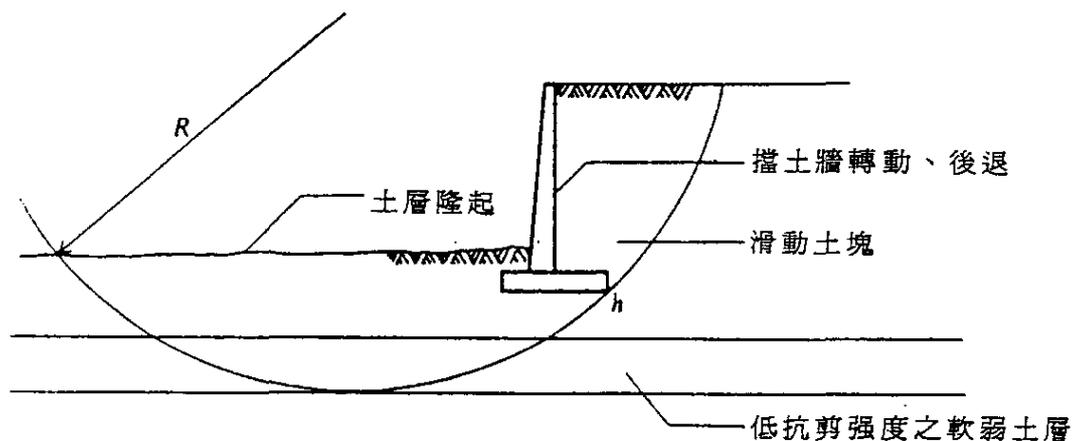


圖 4.4 整體邊坡沿擋土牆下方更深處之滑動面破壞 [32]

4.1.2 造成邊坡擋土設施破壞之原因

造成各類擋土設施破壞之原因有許多種，其中同一種原因也可能因為其他外在條件之不同，而引致不同之破壞模式，亦有可能引致不同之破壞模式同時發生，故本節針對各項可能引發擋土牆破壞之因素，做綜合性之說明。造成擋土牆破壞之原因，大抵可分為擋土牆所受側向壓力過大、擋土牆之抵抗側向力不足、土壤工程性質不良與其他因素等四大項，其中又可列出數小項以做更詳細之敘述。

1. 擋土牆背後之側向壓力過大

擋土牆背後靜態之水平側向壓力的來源主要包括側向土壓力、水壓力及由牆後地表加載所造成之側向壓力三類，另外若受地震或動態載重作用時，擋土牆將會承受動態之土壓力、水壓力作用，而此處僅討論靜

態側向壓力對擋土牆之影響。

(1) 側向土壓力

側向土壓力的大小與牆後背填土的種類及緊密程度有關。由於一般土壤之單位重變化不大，所以牆後背填土的緊密程度為主要影響者，若背填土越疏鬆則擋土牆所承受之側向土壓力越大。

一般擋土牆施作會先將邊坡超挖，以開闢出一施工空間，而牆背後之空間須回填排水性良好之砂土，並施作牆身的排水措施。而擋土牆背後之回填砂土必須做好分層滾壓工作，牆後背填土夯實緊密將可增加牆背土體之剪力強度，並降低擋土牆背後之側向土壓力。然而許多擋土牆在施作時，並未使用適當之回填土，而夯實作業未確實進行，造成牆後土壓可能超過設計預期，形成過大之土壓力，且排水設施也無法順利運作。

(2) 水壓力

擋土牆背後水壓力來源為雨水或地表逕流入滲及地下水滲流造成。擋土牆背所受之水壓力亦為主要之側向壓力之一，對擋土設施之穩定性有重大之影響，地表水及地下水常為促使邊坡滑動的主要禍源。豪雨或持續下雨期間山區常發生坡地坍方造成道路中斷即為最佳之證明。排水良好與否，對邊坡、擋土設施的穩定性有極大的影響。

一般在設計擋土設施時，為避免牆身受到水壓而引起較大之側向壓力，通常在牆背均設計有排水措施，可將擋土牆後之入滲水排除，以降低牆背後之水壓力，典型之排水措施如圖 4.5。因此一般擋土牆均設有洩水孔，且牆背回填土均以透水性良好之砂、礫石為主，以減少擋土牆受水壓力之可能性。

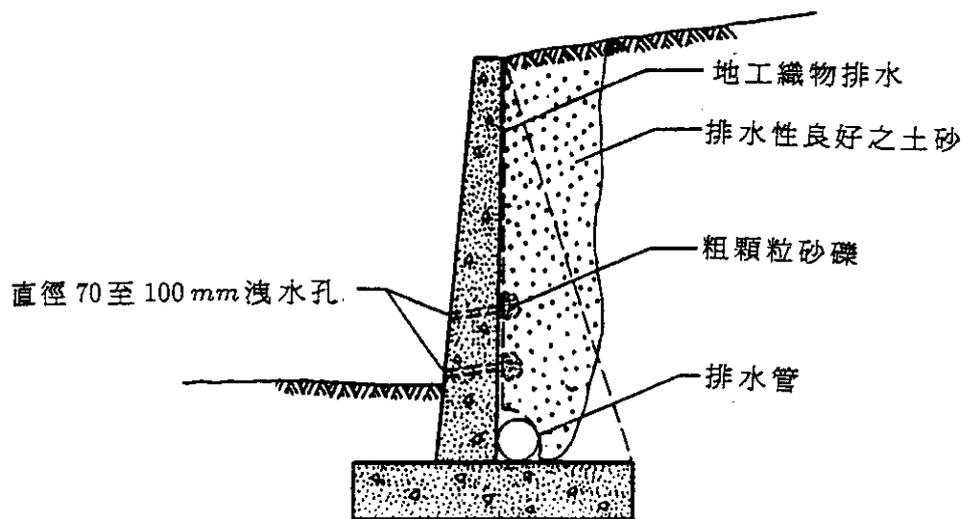


圖 4.5 典型之擋土牆背排水設施 [32]

然而在滲透水豐富或地下水位高之地區，因牆身排水孔的堵塞、擋土牆身未設計排水孔（見圖 4.6 之例）或施工不當，常造成擋土牆之排水設施無法正常運作，以致牆後入滲水無法順利排除，蓄積而成一過大之水壓力，水壓之作用係依其水位高度呈靜水壓力狀態分佈。



圖 4.6 擋土牆身未打設排水孔，以致聚集大量之水壓力

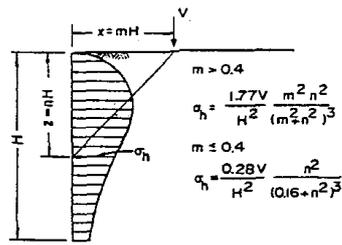
此外，牆背土壤在長期浸水狀況下，可能導致軟化而降低其剪力強度，在分析時亦應加以考慮。一般而言，地下水位高時，擋土牆所受到額外之側向壓力增加，且由於土壤強度降低致使土壓力可能再增加，造成雙重不利之影響，故擋土牆背之排水常列為修復補強之優先措施。

(3) 地表加載所造成之側向壓力

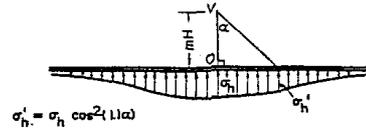
擋土牆背後附近建築物之基腳、交通、施工機械等之荷重也會施加載重在牆背土體地表上，而這些加載將使擋土設施所受之側向壓力增加。地表加載大致可分為點荷重、線荷重、條狀荷重及均勻荷重，其對擋土設施造成之側向壓力之作用影響如圖 4.7 所示。

2. 擋土牆之側向抵抗力不足

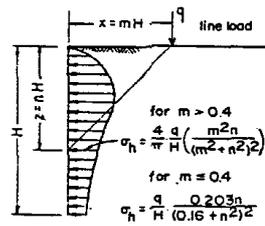
擋土牆的側向抵抗力來源有牆身自重（主要針對重力式擋土牆而言）、底版上之土體重，以及由其他穩定構件，如地錨、抗滑樁等所發揮之側向力。若側向抵抗力不足，無法抵抗擋土牆背後之側向力，則擋土牆可能產生滑動破壞；若由側向抵抗力及自重所形成之抗傾倒力矩不足，則有傾倒破壞之危險。



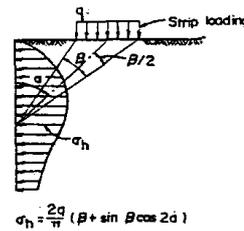
(a) 點荷重所導致之側壓力隨深度分佈之關係



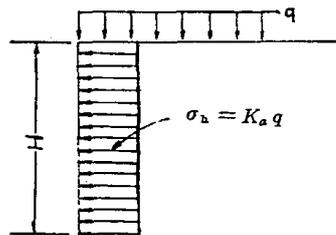
(b) 點荷重所導致之側壓力隨擋土設施沿線分佈之關係



(c) 線荷重所導致之側壓力分佈



(d) 條狀荷重所導致之側壓力分佈



(e) 均勻荷重所導致之側壓力

圖 4.7 由地表加載所導致之側向壓力 [32]

(1) 牆身自重或牆底版寬度不足

擋土牆本身之自重及底版上方之土體重，是用以抵抗滑動破壞與傾倒破壞的主要阻抗能力之一。重力式擋土牆依賴自身的重量，以產生足夠之摩擦力來抵抗牆後土體的滑動力，當重力式擋土牆本身自重不足時，即可能產生擋土牆的滑動破壞。

若擋土牆厚度或底版寬度較小，以致因擋土牆自重或底版上方之土

體重對牆趾所產生之力矩不足以抵抗側向壓力所產生之傾覆力矩時，即可能產生擋土牆的傾倒破壞。

(2) 牆前覆土深度不足

牆前之覆土亦為擋土牆的主要側向阻抗來源，另外深基礎也可提供側向阻抗。由於一般擋土牆基礎都不深，以致無法有效發揮牆前之被動土壓力，抵抗致使擋土牆滑動之側向力。

(3) 基礎底面土壤抗剪強度不足

基礎底面和基底土壤間之摩擦抵抗是提供擋土設施抵抗滑動破壞之主要因素，若因土壤軟弱而抗剪強度不足時，擋土牆極易受側向力作用而產生滑動。

3. 土壤工程性質不良

土壤的強度與變形性為土壤最重要的工程性質。若土壤過於軟弱、疏鬆，則會造成土壤之剪力強度及承載力過低，而且土壤的壓縮變形量過大等問題。基礎土壤的強度低，則容易發生剪力破壞問題，驟時喪失其承載能力與產生大量沉陷。基礎土壤沉陷過大不僅會降低結構物的使用性，同時可能讓結構物承受額外作用力，也降低了結構物的安全性。基礎土壤過大的沉陷量，可能會使擋土牆喪失部分擋土功能，甚至引起擋土牆的傾倒破壞問題。

(1) 基礎土壤壓縮性過大

基礎土壤下方為軟弱疏鬆土層，壓縮性過大，會產生大量的壓縮變

形；或若基礎下方有一深厚黏土層，長時間在擋土結構重量的作用下，而產生大量的壓密沉陷，以上原因均會使基礎土壤產生大量沉陷之問題，造成擋土牆的破壞。

(2) 差異沉陷

由於土壤為非均質體，故在發生沉陷問題時，所產生沉陷量也可能並不一致，就會造成基礎下方的差異沉陷問題，而會對上方結構體內部產生一額外應力。若上方擋土結構屬較剛性，則可能無法容許過大的差異沉陷，將對擋土牆產生損壞。

(3) 土壤之剪力強度與承載力不足

擋土牆牆基底部土壤過於軟弱、疏鬆，以致基礎土壤之剪力強度與承載力不足，而無法承受擋土牆自重及牆背後土體重量，發生基礎土壤的剪力破壞現象。當基礎土壤發生剪力破壞時，其承載能力喪失且會伴隨著大量的沉陷發生。

(4) 基礎土壤承載荷重過重

基礎土壤所承載之重量來源，包括有擋土牆自重與牆後土體重量。若擋土牆本身重量或牆後土體太重，會增加下方土壤的壓縮沉陷量，及發生土壤的剪力破壞、承載力破壞可能，使擋土牆產生沉陷破壞之問題。

4. 其他原因

(1) 擋土牆高度過高

由於擋土牆身過高，造成牆身背後所承受之側向壓力會很大，且牆

背側向作用合力位置高，故所引致之傾覆力矩將會很大，大大增加了擋土牆傾倒破壞的機會。

(2) 邊坡有潛在滑動面

進行擋土設施穩定分析時，應先行了解邊坡的潛在破壞面位置，如大規模之順向滑動面、軟弱的泥岩、頁岩層等，而其所依靠的就是事前的地質調查報告資料。若擋土牆施作前之地質鑽探調查不足，將可能會造成錯估潛在破壞面位置的情形發生，則所設置之擋土牆將無法有效發揮擋土作用。

4.2 針對邊坡穩定設施破壞的改善對策與適用工法

對於上節所述邊坡穩定擋土設施之破壞模式與造成破壞之原因，需對各類不同破壞原因提出有效之改善對策加以改善。故於本節中對應各項造成破壞之原因，提出提高擋土設施安全性之改善對策與相應之適用工法，分別說明如下。

1. 降低側向壓力

降低側向壓力，即降低牆背後之側向土壓、水壓力及由邊坡地表加載所引致之側向壓力，也就是減低造成擋土牆破壞之驅動力，以提高擋土牆抵抗破壞之安全性。此對策對減少擋土牆滑動破壞及傾倒破壞都很有幫助。

(1) 降低土壓力

可將擋土牆牆背後的土壤進行土壤改良、置換、夯實緊密；或將擋土牆上方之邊坡進行整坡工程：削坡減重、降低邊坡高度，以提高邊坡之安全性；或將擋土牆後背填土以輕質回填土或改以 EPS（發泡聚苯乙

烯)工法，可有效降低牆後土壓力。

(2) 降低水壓力

降低擋土設施所承受之水壓力，及加強或改善邊坡擋土設施之排水措施。排水措施不外乎防止地表水滲入土中，或是讓已存在邊坡土體之中的水儘速排出，可以減輕水壓力。

加強擋土牆的排水措施，如疏通擋土牆上之洩水孔，或另行鑽孔增設洩水孔、水平排水管，改善牆背透水材料可加速排除擋土牆背後的入滲水，以降低牆背後的地下水位，減少水壓力。

防止坡頂的水入滲，如在擋土牆頂增設截水溝或跌水溝截流、將坡面整平及裂縫填補、保護坡面與植生，可避免雨水與地表水入滲，減少牆背水壓力的產生。

(3) 減少邊坡上之加載

由圖 4.7 已知，邊坡上之地表加載會引致擋土牆上之側向壓力，所以設法移除邊坡上之地表載重對減輕側向壓力有助益，如避免在擋土牆上面設置房屋、結構物、交通動線或堆置土石等重物。在用地許可之情形下，可採用修坡等方式降低上方土坡之加載。

2. 增加側向抵抗力

增加擋土設施之側向抵抗能力，以抗衡擋土牆背後之過大側向壓力，增加擋土設施抗滑動、抗傾倒破壞或邊坡整體穩定性之安全性。

(1) 增加擋土牆的厚度、重量

改變斷面性質對已施作完成之擋土設施而言，在進行補強作業施作

時較有疑慮，此法應在分析設計作業時，就先列入設計考量之中，以避免日後的擋土設施破壞問題。而要增加擋土設施之厚度與重量，一般可直接增加擋土牆之斷面，而臨時性之處置可在既有擋土牆前，堆置重石、蛇籠等亦等於增加擋土牆的厚度與自重，及擋土牆之側向抵抗力，降低擋土牆滑動與傾倒破壞之可能。但是此類方法往往需佔用擋土牆前方之空間，故在一般擋土設施補強工程上較少使用，但在發生危險之邊坡或擋土設施的緊急處置上常被採用。

(2) 擋土牆基底設置止滑樁或樁：

在擋土牆基底增設止滑樁、樁，可增加擋土牆的側向滑動阻抗，增加被動土壓力抵抗，降低滑動破壞的可能。然而當擋土牆已施作好，若要在其基底下增設止滑樁勢必不可行，故增設止滑樁無法列入補強工法之列，可改以施作抗滑樁代替其功能。

(3) 打設地錨：

預力地錨工法可施加拉力，可增加擋土牆的側向抵抗力，抑止擋土牆之滑動破壞；若在擋土牆高處施打地錨，可大大增加擋土牆抵抗傾覆之抗傾倒力矩；同時若將地錨打設至邊坡深處之穩定地盤之內，即可降低邊坡之整體滑動破壞之可能性。所以地錨工法適用之破壞模式很多，而且使用上不會佔用到牆面前方的空間，對牆前空間的利用較為節省，所以預力地錨工法已成為國內最常見的工法之一。

(4) 打設抗滑樁：

在擋土牆後方土體內打設抗滑樁，抗滑樁與一般基樁工法相同，但屬於側向承重樁，可增加抵抗土體滑動之側向抵抗力，降低擋土設施滑

動與傾倒破壞之可能，同時若將抗滑樁深入打設至邊坡整體之潛在滑動面下，可抑止邊坡之整體滑動破壞現象。所以抗滑樁工法之適用性也很高，亦不會佔用到牆前空間，故也是現在所經常使用到之補強工法之一。

(5) 打設土釘：

土釘工法屬加勁工法之一種。可將擋土牆背後的土體加勁成一穩定之重力結構，其作用亦等於增加了擋土牆的厚度與重量，且在土體發生滑動時，可被動發揮其拉力，增加抵抗土體滑動之抵抗力，抑止滑動破壞與傾倒破壞，若土釘長度可深及邊坡潛在滑動面，則也可發揮部分抵抗邊坡整體滑動之效果。土釘工法是近幾年新興發展之邊坡擋土穩定工法之一。

3. 改善土壤工程性質

對於改善邊坡穩定設施之土壤工程性質，主要可分為幾部分：一為擋土牆基礎土壤之改良，另一為擋土牆背後土壤之改良，此兩部分之改善目的與方法稍有不同；還有邊坡排水措施之改善，亦屬於改善土壤工程性質方法之一。若如上述方法無法有效改善土壤性質，則可以依靠外加構件，如加設樁基礎或使用其他邊坡穩定設施之方式，以達成減少破壞之目的。

(1) 對基礎土壤進行改良

針對擋土牆基礎土壤的改善方面，主要在減少土壤的沉陷量與提高土壤的承載力，以避免擋土設施之沉陷量過大與承載力不足。

土壤改良所用的工法種類眾多，大致可分為置換工法、土壤夯實、粘性土壤壓密排水、混合固結工法、土壤加勁工法、熱處理工法等。在擋土牆興建之初即應先將其基礎土壤夯實緊密，過於軟弱的土壤予以改

良或挖除置換，深厚的軟弱黏土層施以預壓加速其壓密沉陷之完成。若擋土牆基礎已發生大量沉陷、差異沉陷或地基土壤流失者，則需立刻予以填土、灌漿補實，以避免沉陷問題對擋土牆造成破壞。

(2) 對擋土牆背後土壤進行改良

針對擋土牆背後土壤的改善方面，主要在提高土壤強度與降低側向土壓力，以避免破壞面之產生與擋土牆滑動、傾倒等問題。邊坡擋土設施施作時，必須進行擋土牆背後回填土之夯實。回填土的夯實可降低側向土壓力，減低擋土牆滑動破壞與傾倒破壞之危險。而在進行牆背土體強度改良上，因考慮施作空間與經濟性等因素，故一般較難進行作業，也較少進行此方面之施作。

(3) 加強邊坡排水措施

水是影響邊坡穩定性最重要的因素。水壓力的蓄積不僅會增加擋土設施所承受之側向壓力，引發擋土牆滑動與傾倒的危險，而邊坡土體長期浸泡在水中，也可導致土壤的軟化而降低其剪力強度，尤其對於邊坡土體內有潛在滑動面時，土體內水造成之影響尤為嚴重。地下水會更加地弱化潛在弱面之剪力強度，且水壓力會產生推力與上舉力，增加整體滑動破壞之可能，所以對於邊坡內地下水之影響不得不做防範，故加強排水措施亦為改善土壤工程性質的重要方法之一。

(4) 打設樁基礎

若現有土壤改良工法，仍無法有效改善基礎的土壤之沉陷量與剪力強度時，可在擋土牆下方打設樁基礎，由樁基礎之支撐以減少擋土牆之沉陷。補強工程可採以深開挖工程中常用來保護鄰房安全之微型樁工法

施作。

(5) 改用其他柔性擋土設施

在抵抗沉陷破壞上，剛性擋土牆的表現不佳，常易造成本身結構的破裂損毀。若在位於經常性產生沉陷之剛性擋土設施，可改用較柔性的擋土設施將可承受較大之差異沉陷，解決因差異沉陷而造成擋土結構毀損之問題。

(6) 減輕擋土牆背土體重量

要減輕已興建好之擋土牆重較不可行，故僅能針對擋土牆背後土體進行減重，可對擋土牆上方邊坡進行削坡減重、移除額外載重、降低坡高，或背填土部分改用輕質回填土置換或以發泡聚苯乙烯 (EPS) 填充，以達到減輕基礎土壤承載，降低基礎沉陷，避免擋土牆之沉陷破壞危險。

4. 針對其他原因

(1) 降低擋土牆高度：

降低擋土牆高即減少過大側向壓力的作用力臂，可有效減少擋土牆之傾覆力矩。但對既有已施作完成之擋土設施而言，此法用於補強並不可行。

(2) 興建新的擋土設施

舊有之擋土設施無法有效發揮邊坡穩定功用時，如邊坡深處有潛在之弱面存在，則依此潛在滑動面位置、規模，興建新的有效擋土設施，以抑止整體邊坡土體之滑動。

針對本節以上所述各項擋土設施之破壞原因及改善對策與工法予

以歸納整理後，列於表 4.1。

表 4.1 擋土設施破壞問題與補強方法

破壞模式	造成破壞原因		改善對策		適用補強工法
滑動破壞	側向壓力 過大	側向土壓力過大	降低側向 壓力	降低側向土壓力	削坡工法 土壤改良工法
		水壓力過大		降低水壓力	排水工法
		坡頂載重		坡頂減載	移除坡頂載重
	側向抵抗力 不足	基礎底面摩擦阻抗 不足	增加側向 抵抗力	增設其他穩定構 件	地錨工法 抗滑樁工法 土釘工法
		擋土牆自重不足		增加擋土牆厚度 與自重	增加斷面、拋 石、蛇籠
		基礎埋置深度不足		增加基礎深度	設置止滑樁
傾倒破壞	傾倒力矩 過大	側向土壓力過大	降低傾 倒力矩	降低側向土壓力	削坡工法 土壤改良工法
		水壓力過大		降低水壓力	排水工法
		坡頂載重		坡頂減載	移除坡頂載重
		擋土牆高過高		降低擋土牆高度	改用其他擋土 設施
	抵抗傾倒 力矩不足	牆前覆土被動抵抗 力不足	增加抵抗 傾倒力矩	增設其他穩定構 件	地錨工法 土釘工法
		擋土牆厚度與 自重不足		增加擋土牆 厚度與自重	增加斷面、拋 石、蛇籠
	土壤工程 性質不良	差異沉陷	改良土壤 工程性質	減少差異沉陷量	土壤改良工法 打設樁基礎

表 4.1 (續) 擋土設施破壞問題與補強方法

破壞模式	造成破壞原因		改善對策		適用補強工法
承載力不足	土壤工程性質不佳	承載力不足	改善土壤工程性質	增加剪力強度	土壤改良工法 打設樁基礎
		承載過重	減輕擋土牆身自重		改用其他較輕之擋土設施
			減輕牆背土重		削坡工法 輕質回填土工法
沉陷量過大	土壤工程性質不佳	壓縮性過大	改善土壤工程性質	減少沉陷量	土壤改良工法 打設樁基礎
		差異沉陷	減少差異沉陷		打設樁基礎
			增加擋土設施承受差異沉陷能力		改用柔性擋土設施
		承載過重	減輕擋土牆身自重		改用其他較輕之擋土設施
減輕牆背土重及坡頂載重			削坡工法 輕質回填土工法		
整體滑動破壞	土壤工程性質不佳	基礎土壤軟弱	改善土壤工程性質	增加土壤剪力強度	土壤改良工法
		邊坡土壤軟弱			
		邊坡深處有潛在滑動面	增設其他穩定構件		地錨工法 抗滑樁工法 土釘工法
			加強邊坡排水措施		排水工法
加設新的擋土設施		邊坡擋土穩定工法			

4.3 邊坡擋土設施之結構問題

若擋土設施發生毀損、裂縫，則屬於擋土設施本體結構之破壞。當擋土牆身發生嚴重之破損、斷裂，危及本身結構物之安全時，擋土結構物即失去其擋土功能，即已涉及到整體穩定性的問題，應儘速商請有關單位或專業技師進行評估鑑定，必要時需拆除原有之擋土結構物，並委以立刻重新分析設計合適的擋土設施以求邊坡之穩定。此破壞方式是屬於嚴重性的結構性破壞，一般若經過詳細分析設計及精確施工管理，此破壞方式應不致發生。

擋土牆面發生龜裂、裂縫屬於輕微性的結構性破壞方式，為平時最常見者，也是一般結構性補強所最常遇到者。目前有許多邊坡擋土結構物皆為鋼筋混凝土結構，如重力式鋼筋混凝土擋土牆、預力地錨鋼筋混凝土擋土牆等；或以水泥漿砌成之漿砌卵石擋土牆、噴漿護坡等，凡以鋼筋混凝土、水泥砂漿構成之結構物，裂縫的產生是不可避免的。有些裂縫對結構物的承載力及耐久性的影響，微不足道；而有些裂縫則嚴重地影響了結構物的正常使用性及耐久性。因此，正確地評估鋼筋混凝土結構中之裂縫，對鋼筋混凝土構成之擋土牆穩定性的評估、鑑定和維護管理有非常重要的工程意義。

4.3.1 擋土設施結構補強之重要性

對於擋土牆結構補強的重要性，可分為強度、水密性、耐久性及美觀等方面作探討。

1. 強度：

混凝土材料若發生開裂，則將降低其大部分之承受荷重能力。若能將裂縫中填充具有彈性、延展能力之填充料，則可能使混凝土重拾部分抗拉能力，對於承受較高之彎矩作用能力較佳。

若擋土牆本身之強度或勁度不足，對於擋土設施之穩定性有很大之影響。不僅會使牆身容易開裂，而且可能引發擋土設施更嚴重之結構破壞，使擋土牆喪失其功能，故對於擋土設施補強工程而言，增加擋土牆本身之強度，為邊坡擋土設施結構性補強之首要要求。

2. 水密性：

擋土牆身發生裂縫則將破壞牆身材料之水密性，使空氣和水可能侵入牆身材料中，若為鋼筋混凝土材料則將造成鋼筋之鏽蝕，混凝土保護層龜裂剝離，更加快對牆身材料的侵蝕速度；而對其他材料而言，增加與空氣、水的接觸機會，即加快風化作用之進行。另外，若發生擋土牆身沿裂縫滲水之情形，則在擋土牆上會增加滲流水壓之作用力，不利於擋土結構之穩定性。所以裂縫的填補，可增加擋土牆身之水密性，避免牆身材料遭侵蝕、風化，而使擋土牆發生結構安全問題。

3. 耐久性：

擋土牆身材料受侵蝕、風化，不僅降低材料之強度，也對擋土結構之耐久性有嚴重之影響。受風化侵蝕越快，則擋土結構物之使用年限益形縮短，故對裂縫或破損處進行修補工作，可防止裂縫之惡化，減緩牆身材料之侵蝕風化速率，增加擋土結構物之耐久性。

4. 美觀：

擋土設施之美觀也是近來開始被重視的問題。若擋土牆面上有明顯

之裂縫，不僅破壞擋土設施的美觀，也會造成民眾對擋土牆安全性之疑慮，因此在維修上必須加以考慮。

4.3.2 擋土牆身裂縫之種類與發生原因

鋼筋混凝土擋土牆身裂縫（或龜裂）依其發生原因可分為：設計性裂縫、施工造成之裂縫、混凝土材料與周遭環境作用造成之裂縫及擋土設施穩定性問題所引致之裂縫等。

1. 設計性裂縫：

擋土牆在設計施工時，需設置有施工縫、收縮縫及伸縮縫等三種接縫型式，可詳見圖 4.8，說明如下：

(1) 施工縫：

由於擋土牆澆置混凝土時常無法一次完成，而造成在新舊混凝土交界面之垂直與水平接縫。為增加抗剪強度以承受側向土壓力，通常在接縫處設置榫頭或打毛製造粗糙面。

(2) 收縮縫：

由於混凝土澆置後乾縮而產生裂縫，為了限制混凝土乾縮裂縫之位置，使混凝土收縮時不致產生顯著的損害，通常每隔 10 m 以下即設置一收縮縫。收縮縫為自基礎頂面至牆頂之溝槽，溝寬約 6 ~ 8 mm，溝深約 12 ~ 16 mm，其位置常兼做施工縫。在收縮縫處橫向鋼筋不必切斷。

(3) 伸縮縫或隔離縫：

擋土牆在使用中受氣候變化的影響，造成混凝土熱脹冷縮或因基礎的沉陷量不一，為避免產生額外的應力或裂縫，因此通常每隔 30 m 以下即設置一伸縮縫。因伸縮縫（或稱隔離縫）可容許兩側的擋土牆相對位移，故應從基底至牆頂完全隔開，並以柔性材料（如保麗龍）或可撓性之填縫料填充，且橫向鋼筋應切斷。

設計性裂縫即在設計施工時已考量到其之存在，故一般對擋土牆結構物本身之安全性並無影響，在擋土牆之結構維修補強作業上，一般不須對此類裂縫作大幅之修補。不過在擋土結構物設計性裂縫的施工維修上仍有幾點需注意：

- (1) 施工縫在混凝土澆置時，要確實做好新舊界面間之打毛或榫頭設置，否則此處施工縫將成為未來擋土牆之弱點所在。
- (2) 伸縮縫一般皆會以柔性、可撓性材料填充，隨使用時間增長，填縫材料將可能污損、劣化及脫落，則在補強維修作業時須注意到此點。一般必須將伸縮縫（或隔離縫）周圍清理乾淨，改以新的填充物及彈性填縫膠填補，避免擋土結構物沿伸縮縫周圍發生侵蝕破壞。

2. 施工不當造成之裂縫：

鋼筋混凝土擋土牆施工時，若施工控制不當則有可能造成一些裂縫之產生，此類裂縫主要由於施工時之大意或在設計時的不當考量所造成，如下列所敘述：

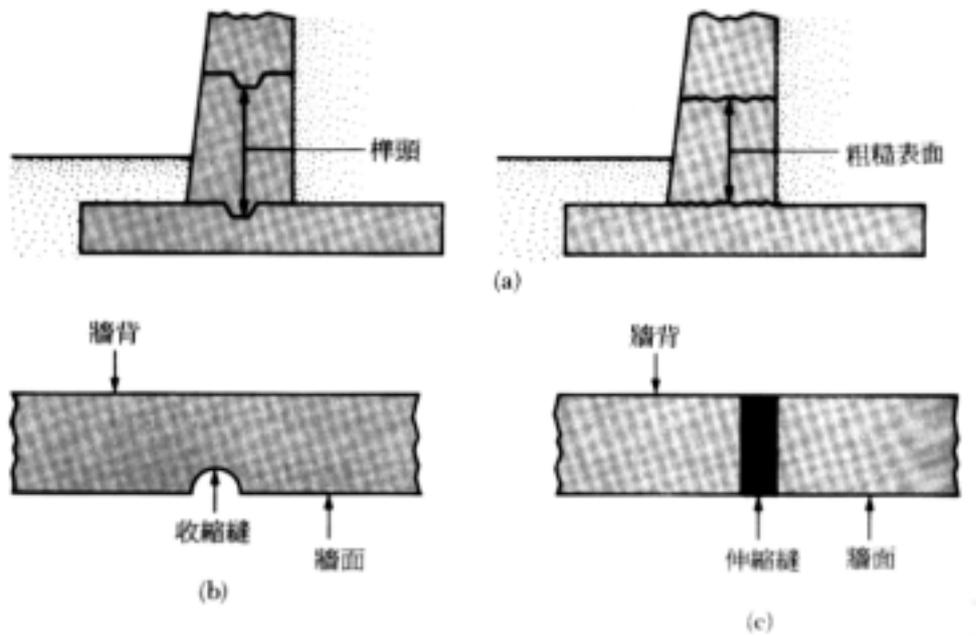


圖 4.8 擋土牆之設計性裂縫 (a)施工縫；(b)收縮縫；(c)伸縮縫 [46]

(1) 混凝土之保護層不足：

施工時或設計時排筋不當，以致鋼筋離牆面過近，混凝土之保護層不足，造成受應力作用或外在環境影響下，擋土牆面容易在此處產生裂縫或龜裂問題。

(2) 混凝土澆置發生問題：

鋼筋混凝土構造處理不當，如部分地方配筋過密，造成混凝土灌注時粗粒料無法順利通過，以致混凝土材料析離，則可能在部分構造處產生蜂窩現象，容易發生龜裂裂縫問題。

(3) 冷縫：

冷縫並非是裂縫，主要是由於混凝土在灌置時，時間間隔的控制不當，以致先澆置之混凝土已發生凝固現象，因而在新舊混凝土之界面上，出現一不連續的弱點，此稱為冷縫。

施工過程中所造成之裂縫均為當初設計之時所未顧慮到的，故裂縫之產生對擋土結構物的安全有一定之影響，因此此類裂縫之補強必須在短期之內進行，以補強擋土結構之強度。

3. 混凝土材料與周遭環境作用造成之裂縫：

由於混凝土材料本身特性，與周遭的各類環境因素作用下，隨時間慢慢都會發生牆面龜裂裂縫之問題，而此類裂縫之成因非常複雜，往往是由幾項因素交織在一起，很難分辨出主要造成之原因，以下為可能由周遭環境作用下造成之裂縫原因：

- (1) 混凝土乾縮導致的裂縫。
- (2) 由於骨材的鹼反應（AAR：Alkalinity-Aggregate Reaction）引起之裂縫。
- (3) 由於外界溫度變化所引起之裂縫。
- (4) 由於鋼筋鏽蝕引起的裂縫。
- (5) 太陽輻射所引起之裂縫。
- (6) 混凝土材料劣化、老化所引起的裂縫。
- (7) 混凝土發生潛變及疲勞作用引起之裂縫。

以上數種裂縫造成原因，係由於混凝土材料本身之特性，且由於擋土結構物本身就大多立處於露天環境當中，與環境因素作用頻繁，所以在擋土牆面上出現這些裂縫是難以避免。由於此類裂縫多為地工材料與

周遭環境因子長期作用而生成，故短期之內此類因素並不會立即造成擋土牆之結構性破壞問題，除非裂縫已深及鋼筋混凝土內部之鋼筋，否則此類裂縫對擋土結構並不會造成立即損害。

4. 由擋土設施破壞所引致之裂縫：

除以上各類引發擋土牆面裂縫之因素外，由 4.1 節中所述各項擋土牆的破壞問題，亦有可能引致擋土牆身的裂縫產生，而此類因素所引致之裂縫，對整體擋土結構物之穩定性、結構性安全，可能有極重要的影響。由擋土設施破壞問題誘發裂縫之原因大抵如下：

(1) 由擋土牆背後過大之側向壓力引致：

擋土牆背後側向壓力之來源，主要可分側向土壓力及水壓力。由過大之側向壓力造成對牆身過大彎矩或剪力作用，則可能造成部分牆面鋼筋混凝土承受較大之拉應力或剪應力，而造成混凝土材料之開裂，產生牆身之裂縫。

(2) 由擋土牆沉陷所引致：

擋土牆的沉陷而引致牆身發生裂縫是一般邊坡擋土設施中所常見者。由於擋土牆的差異沉陷將造成擋土牆身產生多餘之應力作用，將嚴重影響到擋土牆之結構安全與使用性。

由擋土設施破壞問題所引起之裂縫，對擋土結構之安全最是立即造成影響。然而由於穩定性問題因素不一定會造成擋土牆身結構性裂縫之產生，但往往會誘發由其他因素所產生之裂縫的擴大，如擋土牆上伸縮縫的張開及錯位現象即為明顯由擋土牆破壞所引發之問題。此類結構性

破壞問題除必須立刻進行裂縫修補外，並應針對引發擋土牆破壞之原因，移除裂縫引發誘因，才能有效抑止裂縫之產生。

由前面介紹可知，擋土牆破壞所引致之裂縫對整體擋土結構物之安全性影響最劇，是最急需進行補強之裂縫；而施工造成之裂縫也會影響到結構之安全，也當進行補強修補計畫；由混凝土材料與周遭環境作用造成之裂縫，在短期間對擋土結構物之安全性影響不大，但仍影響擋土牆之耐久性及美觀，故在長期檢修上必須注意；設計性裂縫在設計之初即列入考量，因此對於結構之安全性無大影響，但仍須注意到長期之維護及管理。對於不同裂縫種類的補強需求之比較整理可見表 4.2。

表 4.2 不同裂縫種類之補強需求比較整理

裂縫種類	對結構安全性之影響	修補期間	裂縫修補之需求
由擋土設施破壞所引致之裂縫	影響最大	立即	移除誘發原因 補強結構強度
施工不當造成之裂縫	有影響	短期	補強結構強度
混凝土材料與周遭環境作用造成之裂縫	長期有影響	長期	補強結構強度 改善美觀性
設計性裂縫	影響甚小	長期	填縫材料清理更新

4.4 邊坡擋土設施結構問題之改善對策與工法

在邊坡擋土牆面發生之微小裂縫或龜裂，一般對擋土結構體並無立即的危害，如為非預留之裂縫，則須儘速對裂縫做填補的處理，避免裂隙繼續擴大延伸，而危害主體結構的安全。另外由於設計時之考量不

周，以致使擋土設施本身之勁度不足，造成擋土結構之破壞；或由於擋土牆之設計厚度不足，而造成擋土牆之傾倒或滑動破壞，此類破壞問題皆需靠加強擋土牆本身斷面強度與厚度而達成補強效果，所以如何增加擋土牆身之斷面強度與厚度為邊坡擋土設施結構性補強之另一重要課題。

4.4.1 裂縫修補工法

前面已介紹了擋土牆面可能發生之裂縫種類及造成原因，故在進行擋土結構物的裂縫補強之時，必須先研判裂縫之種類以及造成裂縫發生之原因，並針對引致擋土結構發生裂縫之原因，移除不利於擋土結構安全之有害因素，方能控制結構性裂縫之繼續發展，如由穩定性問題誘發之擋土結構裂縫，必須先設法解決穩定性破壞問題，才能控制裂縫之發生。在移除了結構性裂縫的誘發因素之後，最後再對於已發生之裂縫進行維修補強之工作，抑止既有裂縫之擴大、繼續侵蝕，以達裂縫補強的完美成效。

擋土牆龜裂裂縫的修補乃為防止裂縫造成之劣化影響，避免結構物發生危險，同時回復裂縫損壞前之原有狀況，提升擋土結構物之強度與正常機能。擋土結構修補工法、填補材料之採用主要依據裂縫之寬度或規模而定，可分為下列工法分別作敘述：

1. 表面修補工法：

表面修補工法係於擋土牆表面發生裂縫處利用「保護膜」加以披覆之方法，可見圖 4.9。本法適用於一般牆面發生細微裂縫且裂縫寬度較小（通常在 0.2 mm 以下者）。其目的在於回復受損部分之耐久性、水密性與美觀為主。採用本法時可依裂縫發生數量之多寡而決定採用局部修復或整體全面修復。一般較常用者如下述三種：

(1) 塗刷工法：

擋土牆面發生輕微龜裂時，利用水泥砂漿、塗料或化學藥劑塗佈於龜裂表面，以防止裂縫繼續惡化之工法。

(2) 襯面工法 (Lining)：

襯面工法係將牆面材料與外界有害因素隔絕，抑制風化、混凝土劣化及鋼筋腐蝕之進行，回復並維持擋土結構物之耐久性與美觀為主要目的。其原理與塗刷法相似，一般常用於混凝土表面已呈劣化或裂縫深度較深者之修補。

本法作業前應將已劣化之混凝土表面(如中性化、脆弱層、附著物)剷除，清掃乾淨後塗佈打底層(如 Primer)，以利襯面材料之黏著。一般常用之襯面材料為聚合系水泥、樹脂砂漿、FRC、FRP 等。

(3) 噴塗工法：

利用壓縮空氣將噴塗材料，如水泥砂漿、聚合水泥等，噴塗龜裂表面上以修復之。本法適用於裂縫深度較淺面積較大，或大面積厚度小之龜裂修補。此法在土木工程之修復施工中很常見，但噴塗時極易造成環境污染。

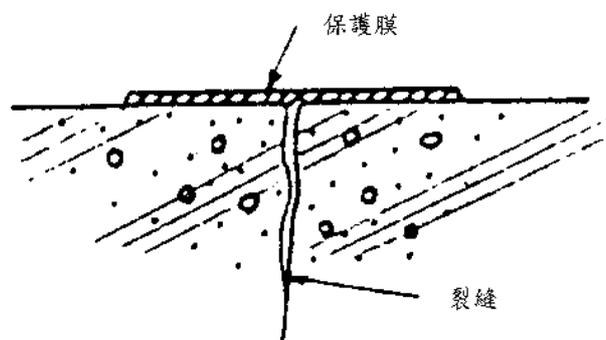


圖 4.9 表面修補工法示意圖 [9]

2. 填注修補工法：

填注修補工法係於龜裂處使用注入劑等填充裂縫，阻絕大氣中有害因子之侵入，以防止侵蝕及劣化之持續進行，避免裂縫擴大，並使裂縫黏著成一整體，填注修補工法可分為下列二種：

(1) 注入工法：

注入工法為現行裂縫修補的主要方法之一。利用注入器或注入管等將注入材料（一般採高分子環氧樹脂為主）注入裂縫。注入裂縫寬度在 0.2 mm ~ 5 mm 間皆可使用。依注入壓力而定，可分為高壓注入工法與低壓注入工法兩種，若依施工程序分類，則可分為切槽式（cut）及非切槽式兩種（裂縫寬度 0.2 ~ 0.5 mm 時不必切槽，大於 0.5 mm 者應予以切槽處理）。

(2) 充填工法：

充填工法主要用於裂縫寬度 5 mm 以上者，或因鋼筋混凝土呈浮起脹裂之修補。裂縫寬度超過 5 mm 以上者，封緘劑無法確實封閉裂縫且注入工法施行困難，而改採充填工法，可見圖 4.10。本法係沿裂縫切鑿成 U 形或 V 形槽，清除乾淨後塗佈底層，再將填充料如樹脂砂漿、無收縮砂漿、或具可撓性之環氧樹脂等材料填充修飾，完成裂縫之修補。

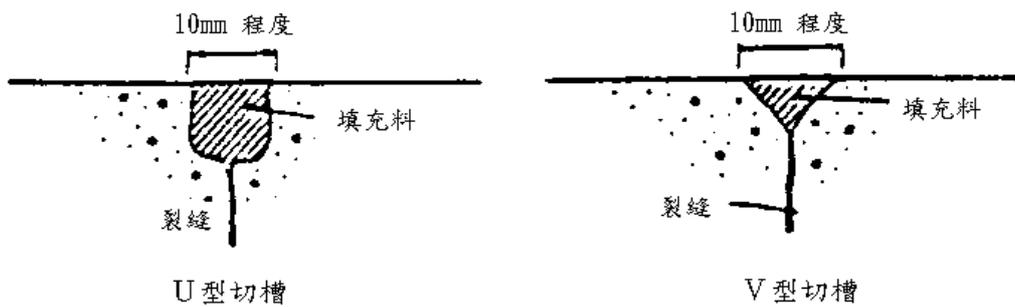


圖 4.10 充填工法示意圖 [9]

茲將前述之裂縫填補工法依其不同特性整理於表 4.3 中。

表 4.3 裂縫修補工法整理

修補工法	適用裂縫規模	修補材料種類
表面修補	塗刷工法 表面輕微龜裂 裂縫寬度小於 0.2 mm	水泥砂漿 塗料 化學藥劑
	襯面工法 表面發生劣化 裂縫深度較深者	聚合系水泥 樹脂砂漿 FRP
	噴塗工法 裂縫深度淺面積較大 大面積厚度小之龜裂	水泥砂漿 噴凝土 聚合水泥
填注修補	注入工法 裂縫寬度 0.2 ~ 5 mm 間	高分子環氧樹脂
	充填工法 裂縫寬度 5 mm 以上 鋼筋混凝土浮起脹裂	樹脂砂漿 無收縮砂漿 可撓性環氧樹脂

4.4.2 國內外結構物裂縫之相關規定

現行國內外對擋土結構物裂縫容許尺度尚無一致之規範，一般交由

檢核之工程師或技師依現場情形之狀況判定其危險程度，或依一般鋼筋混凝土建築結構物之容許裂縫規定，作為結構安全鑑定之標準。然而此類規定在不同國家、不同功能性之構造物皆有不同之要求，以下茲列舉表 4.4 表 4.9 之資料供參考。歸納上述各表所列之裂縫限制寬度對於一般建築結構物之適用狀況，應為 0.2 至 0.3 mm 之間，而對於室外地工擋土結構物之裂縫容許寬度應可再稍加放寬，一般可以 0.5 mm 為限，但仍應由現場實際狀況及裂縫發生種類，進行合理判斷及安全考量。

表 4.4 英國 (British Standard Institute) 及其他設計規範之裂縫寬度限制 [26]

設計規範	結構體荷重及周圍環境	結構體之型式	最大容許裂縫寬度 (mm)
BSI. CP110	一般結構及荷重	RC	0.3 mm
		PC	0.1 mm
	腐蝕性之環境	RC	0.004 L
		PC	0.1 mm
BSI. DD55	結構體在正常操作下之荷重	RC	0.3 mm
		RC	0.004 L
		PC	0.1 mm
FIP	海洋結構	RC	0.3 mm
		PC	0.004 L

註：L 為保護層厚度

表 4.5 日本對海洋混凝土裂縫寬度之限制 [26]

設計規範	結構體暴露周圍環境	最大容許裂縫寬度
海洋混凝土構造物 施工指南 (1977)	大氣中、潑濺帶	0.15 mm
	海水中	0.2 mm

港灣設施之 技術基準及 解說 (1979)	海水直接接觸部位， 潮汐帶、飛沫帶	0.15 mm
	上述以外部位	0.2 mm

表 4.6 各國規範之最大裂縫寬度限值 [26]

數據來源	容許裂縫寬度	數據來源	容許裂縫寬度
SDJ 20-73	0.30 mm	BS 5400 (78)	0.20 mm
TJ 10-74	0.20 mm	BS 5400 (84)	0.25 mm
GBJ 10-89	0.20 mm	CEB-FIP (1970)	0.30 mm
鐵規 (74)	0.20 mm	CP 100 (1972)	0.30 mm
TBJ 2-85	0.20 mm	DIN 1045	0.30 mm
ACI 31871	0.33 mm	Chu (84)	0.40 mm
ACI 318-83	0.33 mm	ACI 244 委員會	0.30 mm

表 4.7 CEB-FIP 國際指針對裂縫寬度之建議值 [9]

構材條件	最大容許裂縫寬度 (mm)	
	永久載重與長期 變動載重作用時	永久載重與變動 載重最不利組合
暴露在有害條件下之構材	0.1	0.2
無保護之構材	0.2	0.3
有保護之構材	0.3	美觀上的檢討

表 4.8 世界各國有關 RC 裂縫寬度容許建議值 [9]

國家	提案者等	容許裂縫寬度 (mm)
日本	運輸省	港灣構造物 0.2
	日本工業規格 (JIS)	離心力鋼筋混凝土樁 設計載重考慮彎矩作用 0.25
		設計載重未考慮彎矩作用 0.05
法國	Brocard	0.4
瑞典		道路橋樑僅考慮靜載重 0.3

		靜載重 + 1/2 活載重	0.4
美國	ACI 建築基準	室外構材	0.25
		室內構材	0.38
蘇俄	鋼筋混凝土規範		0.2
歐洲	歐洲混凝土委員會	遭受相當侵蝕作用之構造物構材	0.1
		無防護措施之普通構造物構材	0.2
		有防護措施之普通構造物構材	0.3

表 4.9 美國混凝土協會 (ACI Committee 244) 對裂縫寬度限制之建議值 [26]

結構物暴露周圍環境	最大容許裂縫寬度
乾燥空氣或有薄膜保護層	0.40 mm
潮濕或含水分之土壤	0.30 mm
除冰用之鹽或化學藥品	0.175 mm
浸濕於海水中或海水澆濺	0.15 mm
儲水結構體	0.10 mm

4.4.3 邊坡擋土設施之斷面補強

邊坡擋土設施在結構設計時，可能因力學分析錯失或構件斷面及配筋設計錯誤，或施工時未遵行施工說明書及設計、施工圖，導致完工後擋土牆之結構強度無法發揮預期的擋土穩定功能，此時擋土設施經評斷出此類結構問題，則必須進行擋土設施之斷面補強工程。

斷面補強工法主要目的為增強構材的斷面勁度，增加抵抗強度防止過大變形發生。可利用鋼板、混凝土或其他材料增加斷面，並使其與原斷面結合，以提升其力學效應。本法經精密調查及結構計算分析後，可選擇適當材料應用於擋土結構物之補強工程上。目前國內常見之斷面補強工法主要有下列幾大類：

(1) 混凝土斷面補強工法：

擋土設施經詳細結構分析設計後，對斷面不足之部分重新設計，經由模版組立、配筋及澆置混凝土程序，完成斷面補強之效果。澆置材料除一般混凝土外，無收縮混凝土、樹脂砂漿等亦常有所見。必要時亦可採用預壘混凝土補強。

本法施作時，應特別注意新舊混凝土之接著性，配筋之應力傳遞，及各種構材之接頭處理，期能確保其補強效果。

(2) 鋼板斷面補強工法：

鋼板斷面補強工法係國內目前應用最廣、施工最為便捷之結構物補強方法。本法係利用結構用鋼板配合高分子環氧樹脂進行斷面補強，為求鋼板與混凝土之複合材料一體化，混凝土上之既存裂縫先以注入工法填補，再將已劣化部分鑿除，才能達到最佳補強效果。

鋼板斷面補強依環氧樹脂配合施工方式之不同，可分為注入法與壓著工法兩種，一般係視原斷面表面之平整度與樹脂注入效果而定，國內現採用鋼板樹脂注入法居多。此法係將廠製完成之鋼板，利用錨釘固定於斷面上，以墊片使鋼板與混凝土面保持約 4 mm 左右之間隙，由預留在鋼板之注入孔注入環氧樹脂，使增設之鋼板與原有結構斷面結為一體，以達到斷面補強效果。

(3) 纖維強化高分子複合材料（FRP）補強工法：

纖維強化高分子複合材料是近來發展迅速之補強工法，此法在歐美日被廣泛使用，其修補橋樑、建築物之案例漸多。而纖維種類主要有碳纖維（Carbon Fiber）、玻璃纖維（Glass Fiber）及克維拉纖維（Kevlar）三種，目前國內以碳纖維為主流。纖維補強材料施工上必須使用之材料主

要有纖維、環氧樹脂、底漆、補土砂漿等。

纖維補強材料適用於大範圍內有大量細微裂縫、或襯砌材料有老化、掉落之虞時，以纖維複合材料貼附在修補表面進行補強。在施工前，須視情況先將較大裂縫利用環氧樹脂或水泥砂漿材料進行裂縫修補，且將漏水處進行止漏處理後，始可進行施工。施工時利用接著劑將纖維材料黏接在結構物應力過大區域，藉以增加結構物之抗張強度，以防止裂縫持續擴大。

上述工法中，鋼板斷面補強工法被廣泛用於重要結構物（如橋樑）的補強工程上，而纖維強化高分子複合材料補強工法則主要被應用在建築物及重要結構物的斷面補強工程上。此兩種工法應用在擋土設施斷面不足之補強上仍很少實例，基於擋土結構補強的經濟性與重要性之考量，目前仍多採用傳統的混凝土斷面補強工法進行。

4.5 裸露邊坡之整治與改善對策

邊坡穩定之補強考量，除前面所述之提高或回復擋土設施安全性及修補擋土結構物上微小裂縫外，另外所經常遇到的問題就是對於裸露邊坡的崩塌處理。裸露邊坡之破壞，不僅妨礙邊坡之美觀，而且可能會危及山坡地社區之安全，對交通動線也有絕大之影響，故對山坡地裸露邊坡之整治，亦為邊坡穩定補強重點之一。而一般所遇到之裸露邊坡整治問題，多為坡面之表層防護工作，至於大規模深層之邊坡滑動，必須做較詳細之工程分析，運用較多較大型之防護工程，如建構擋土牆、打設地錨、止滑樁等工法，而此類邊坡破壞改善並不在此節範圍之內，可見前面章節介紹，故此節範圍將以表層的裸露邊坡坡面之破壞問題與整治工作為主體。

4.5.1 邊坡破壞之類型與原因

邊坡不論係自然邊坡，或經過整地開發之開挖式邊坡及填築式邊坡，依所可能發生之破壞現象，按其破壞過程中邊坡土石之運動方式，大致可分為下列數種破壞類型（可見圖 4.11）：

1. 崩落 (Falls)：

土壤或岩石從一陡坡沿著表面分離，其間少許或沒有剪力位移發生，這些土石材料（物質）大部分隨即掉落、風化或滾下坡。通常在懸崖或陡坡上之裂縫逐漸擴大或裂縫被水填充，而增加側向推力，使土石驟然墜落。另外，陡坡之坡趾開挖或河岸邊受河流侵蝕淘空亦常發生土壤崩落現象。

2. 滑動 (Slide):

邊坡土體或岩體向下移動之現象，主要發生在破裂表面或有強度軟弱之土層中，依滑動方式又可分為平面滑動與圓弧形滑動兩類。當邊坡土石沿與坡面近似平行之層面、斷層、裂縫產生時，則發生平面滑動破壞；若邊坡土體為均質軟弱土壤時，則滑動破壞面大略為一圓弧狀，稱為圓弧形滑動，通常此類破壞，在坡頂處的滑動面較陡，在坡趾處之滑動面較緩。

3. 流動 (Flow):

此類土石之運動方式類似黏性流體，可分為土流 (Earth Flow) 泥流 (Mud Flow) 及碎屑流或稱土石流 (Debris Flow) 等數種，通常在大雨中或大雨後發生，其破壞係由於孔隙水壓逐漸上升，土壤強度減少所致。土石流動之速度從慢至快不等，取決於邊坡傾斜度及土壤含水量等因素。

4. 複合型 (Complex):

即同時或先後發生兩種類型以上之邊坡破壞類型者，稱為複合型破壞。

造成各種類型邊坡破壞之原因，主要可分為自然環境因子與人為活動影響兩類，而自然環境因子又可分既有潛因與外來誘因兩種，在以下分列敘述：

1. 自然環境因子

(1) 既有潛因

包括有地形與地勢、邊坡傾斜度、地質構造性質、大地應力狀況、坡面被覆狀況、地下水壓、崩積土等因素。

(2) 外來誘因

包括有：颱風豪雨、地震、地表逕流、地表水入滲、河岸淘刷、河谷解壓、風化侵蝕等因素。

2. 人為活動影響

包括有大量挖填土石方、順向坡不當築路而挖除坡趾、濫墾、濫伐、破壞表土、破碎帶、脆弱地質區興建大型構造物、不當之農耕方式及不合理的土地利用等。

在邊坡破壞問題中，數種因素之組合，會造成相當之差異性，故即使是同一類型之破壞，其所引致之原因也不盡相同。所以在本節雖將邊坡破壞類型予以分類，但仍無法依其所破壞之類型，即判定造成邊坡破壞之原因，故在邊坡穩定工程設計之時，仍須謹慎進行調查，詳究其發生原因，方可針對引致破壞之原因進行治理，以獲致理想的穩定整治成效。

4.5.2 裸露邊坡之穩定工法

基於影響邊坡穩定之因素既多且複雜，加以多項因素條件不斷地隨時間變化，以致邊坡可能發生之行為，甚難確實掌握。因此邊坡穩定工法應符合現場條件、經濟性、安全性、耐久性、施工可行性及景觀維護性等要求，而國內外所發展出之方法不計其數，故本節僅針對目前常被採用之工法做說明介紹。

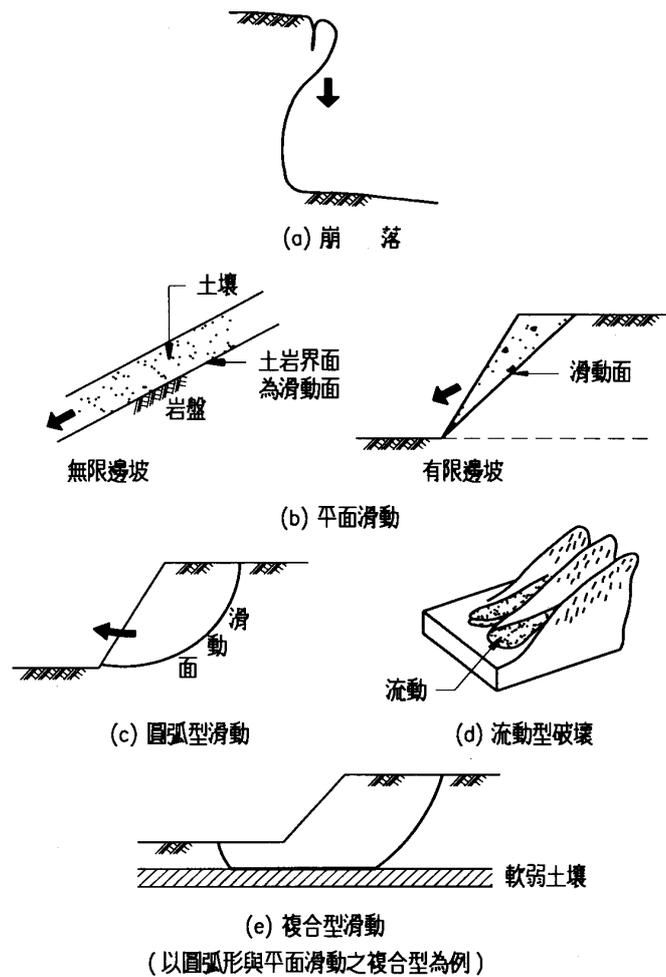


圖 4.11 邊坡之破壞類型 [17]

根據周功台[11]依據邊坡穩定工法之整治方向與穩定功能之不同劃分，可分為三類：1.邊坡表面之表層防護；2.邊坡內部之強化改善；3.邊坡擋土設施。進行裸露邊坡整治時，須針對不同種類之改善方向，選擇其中之適當工法施作，方能有效解決裸露邊坡之穩定問題。圖 4.12 及圖 4.13 分別為前人研究所建議之邊坡穩定分類示意圖及穩定工法選擇之流程。

1. 邊坡表面之表層防護：

裸露邊坡表層的防護整治工作係以防止坡面侵蝕、風化及局部穩定作用為主，改善針對方向又可分為植生、被覆、噴漿、砌壓、格子樑及落石防護等工法進行施作。

(1) 植生工法：

利用植生根系深入坡面之土體與岩體，形成一防護層，包括下列五種方法：a.種子散佈法；b.客土噴設法；c.植生穴法；d.格子樑加客土；及e.其他植生綠化法。

(2) 被覆工法

採用抗拉強度佳且耐久性較理想之材料，覆蓋坡面以達到防護目的。一般採用之材料包括：a.瀝青；b.塑膠、合成纖維（織布、不織布）之網或蓆；c.合成樹脂等。

(3) 噴漿工法

以水泥砂漿或混凝土噴設於坡面上，必要時於其間鋪設金屬網增強其抗張強度，或以錨釘固定之，增加其防護效果。

(4) 砌壓工法：

本工法係採用石塊或預鑄混凝土塊疊砌而成。壓貼於坡面上，以增加坡面之穩定性。

(5) 格子樑工法：

以預鑄混凝土、現場澆鑄之混凝土或噴混凝土，於坡面構築成格子

狀之樑，並配合錨釘錨固於坡面上。

(6) 落石防護工法：

利用防護網或防護柵欄，以防止坡面鬆落之石塊或岩塊，崩落坡底。

2. 邊坡內部之強化改善

本類邊坡穩定工法，係增加邊坡內部土（岩）體剪力強度，主要可依三個方向進行改良，分別為(1)排水；(2)固結；(3)補強等土壤改良方法。另可採用排水工法排除地表水與地下滲透水，降低地下水壓、減輕土體單位重量及避免土壤剪力強度之劣化降低等改善效果。而前述土壤改良工法大致可分為置換工法、土壤夯實、粘性土壤壓密排水、混合固結工法、土壤加勁工法、熱處理工法等。

3. 邊坡擋土設施

邊坡擋土設施主要係提供邊坡所需之安全抵抗力，依其抵抗力來源之不同及其結構性質之差異，可概分為幾種結構設施：(1)坡趾填土壓重；(2)抗滑樁；(3)預力地錨；(4)擋土牆；(5)加勁擋土牆等。各類裸露邊坡之穩定工法非常眾多，並無法一一詳細敘述，如有需要可參考前面章節之介紹。

而上述各項工法中，由於坡地裸露將遭受到沖刷，增加邊坡破壞崩塌的危險，所以近來對於邊坡之穩定植生綠化開始受到重視。植物形成群落被覆於地面即稱為植被。根據潘國樑[48]指出，植被不僅對視覺上有美化之效果，植被對水土還會產生一種保持作用，間接保護邊坡的穩定性，其功能至少包含六種：(1) 對降水產生截留作用；(2) 降低逕流速

度及沖刷能力；(3) 產生蒸散作用，並降低地下水位；(4) 因根系抓緊作用而增加土壤強度；(5) 對土壤產生隔熱作用，以避免發生凍脹效應；(6) 對土層產生壓實作用。據研究植被對邊坡穩定性的效應最多可以使土壤的剪力強度增加 60% 以降低沖刷，所以現今在邊坡穩定整治工程上加以植被保護，也就越來越受到重視。

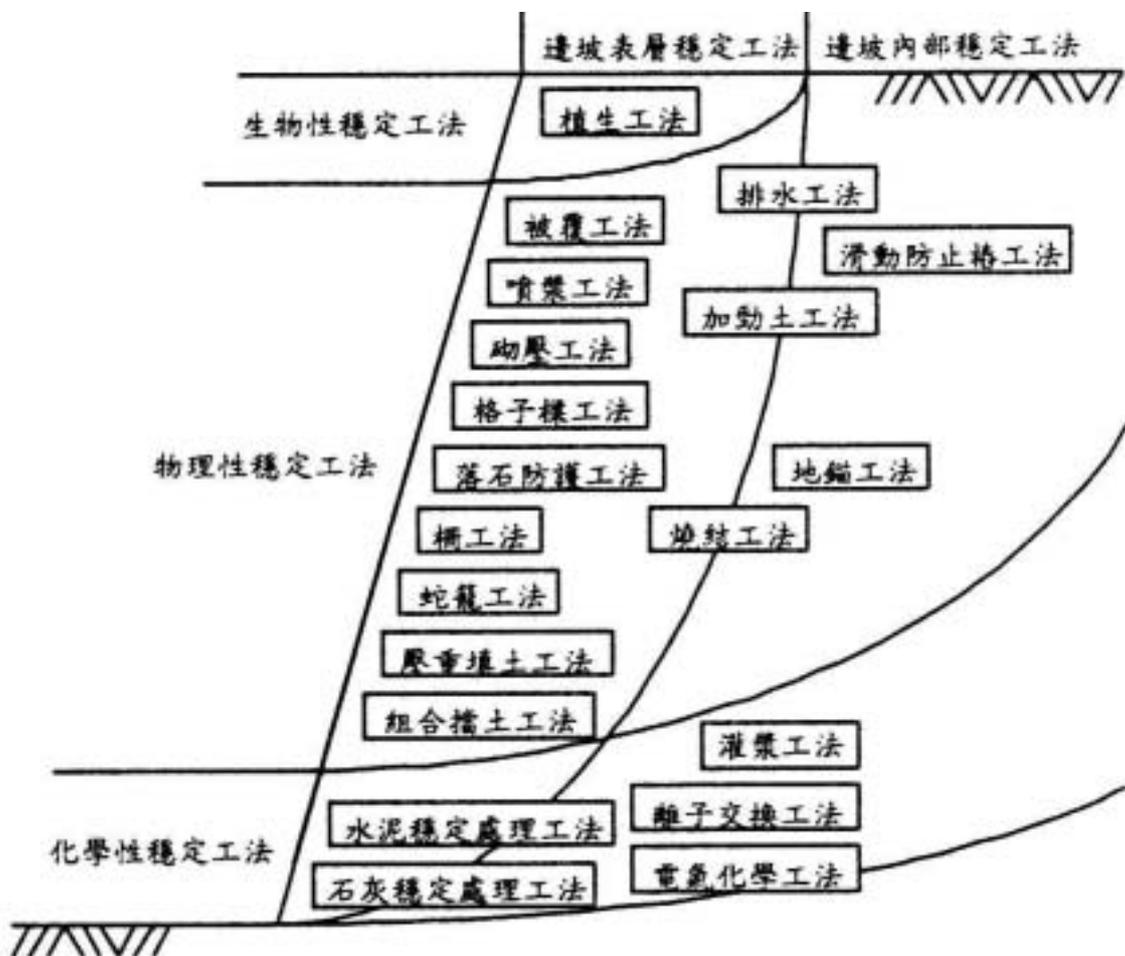


圖 4.12 邊坡穩定工法之分類 [20]

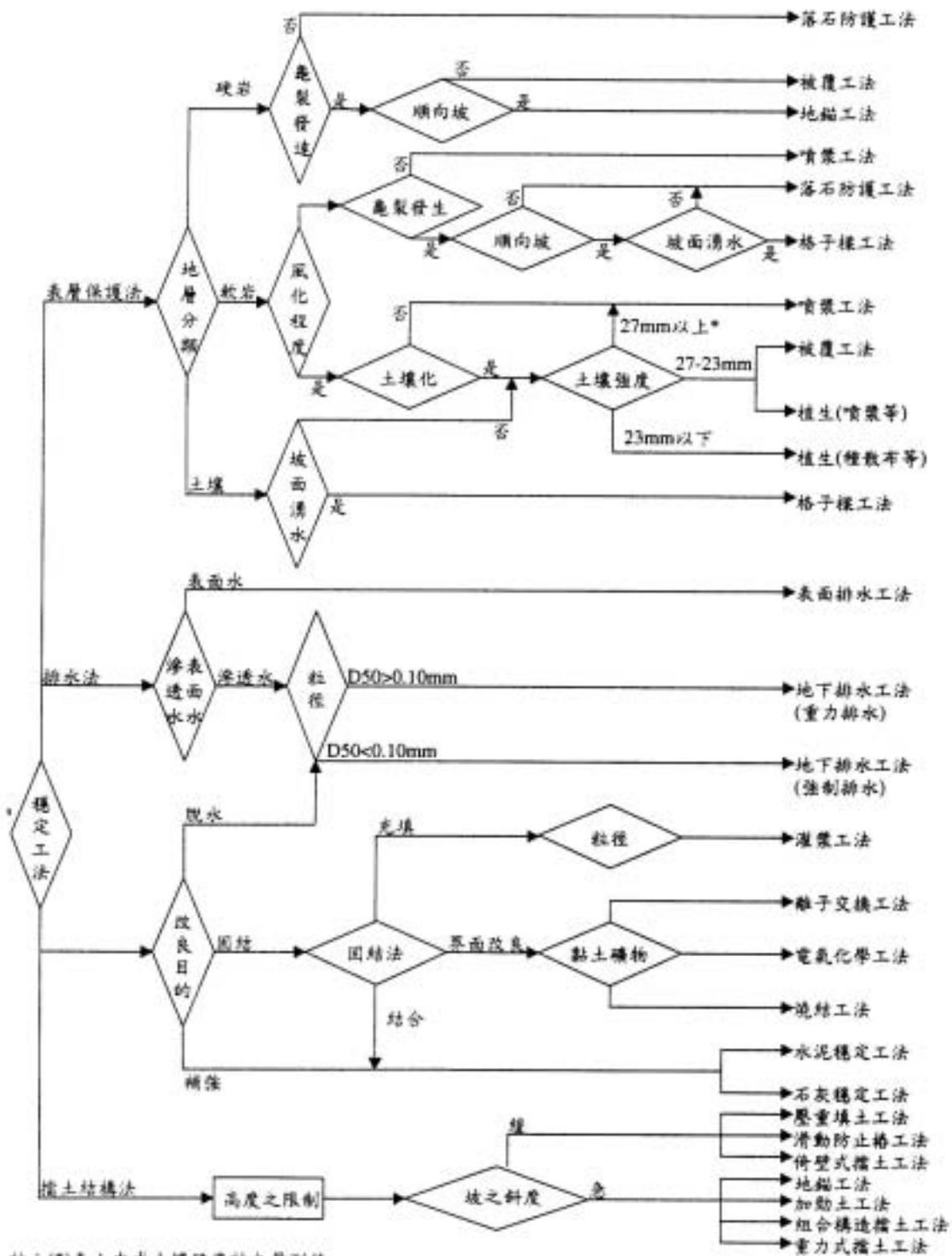


圖 4.13 邊坡穩定工法選擇流程圖 [20]

第五章 常見邊坡穩定設施補強工法特性與成效評估

前章中已提出邊坡穩定設施之破壞問題，及其引致之原因與改善對策，故本章將針對各類不同擋土設施之補強工法，做一較概括性之介紹，敘述其補強適用對象，及運用在不同補強對策上之施行方式與其補強成效，然後再針對於運用在相同破壞原因之各種補強工法，依其施工可行性、經濟性、及改善成效，做通盤之考量比較，最後再對進行補強工程中，對補強工法之選擇原則詳述。

依前章所述邊坡穩定設施之破壞問題，主要可分為邊坡擋土設施之穩定性問題與結構性問題，以及裸露邊坡的整治問題等三個方向。本研究主要目的在於探討危險山坡地社區邊坡穩定設施之補強與成效，故進行方向以既有邊坡擋土設施之穩定性與結構性問題為主，至於裸露邊坡的整治方面，所涉及範圍與使用工法種類眾多，而無法詳細做介紹探討，所以對於裸露邊坡整治工程與成效，並不列入本章探討，如有遭遇到裸露邊坡整治問題，可參考「國內邊坡穩定工法現況與課題」一章或其他關於邊坡穩定之資料。

5.1 常見補強工法詳述

目前國內常用於邊坡穩定補強工法，主要有打設預力地錨、抗滑樁、土釘等增加擋土設施之側向抵抗能力，及排水工法以排除邊坡內之地下水與入滲水，利用各類土壤改良工法改善邊坡土體之工程性質（剪力強度與壓縮性等），與一般擋土設施結構性破壞之補強方式等，各類常見補強工法之特性與適用對象將於本節中做一簡要敘述。

5.1.1 地錨工法

地錨工法使用於邊坡穩定上，係以高張力鋼材穿過可能產生滑動之土體或岩體，將其錨碇於穩定之地盤內，並對鋼材施加預力，使其能牢繫可能滑動之土體或岩體。地錨之錨頭端一般配合面版承載於坡面並分散其荷載，或配合格樑系統以承載於坡面並使荷載均勻分佈。

一般地錨之構造如圖 5.1 所示，大致可分為：

1. 鋼腱：

為傳遞拉力之元件，係以數根鋼線，鋼棒或鋼絞線所組成。

2. 固定端或稱錨碇端：

以水泥漿或樹脂將插入孔底的鋼腱膠結固定，並與孔底周圍之地層緊密結合在一起，發揮錨碇的作用。此段灌漿稱為主要灌漿。

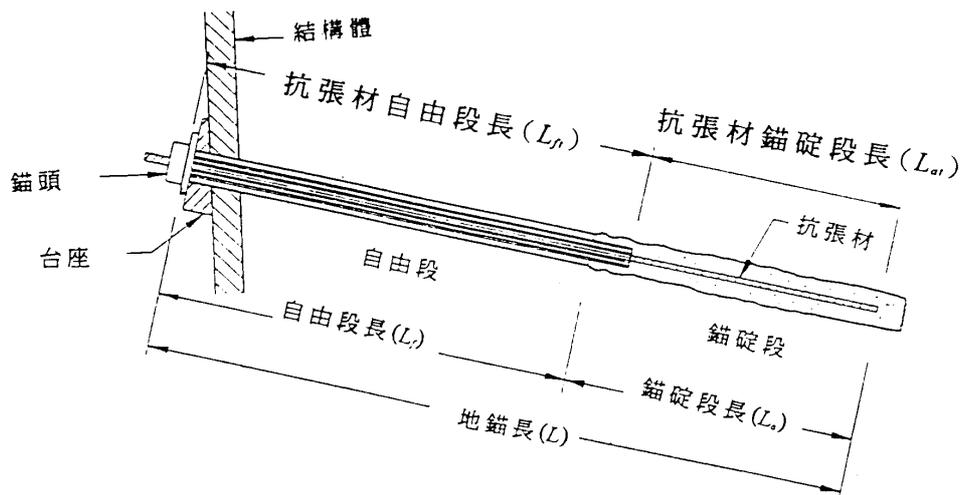


圖 5.1 地錨構造示意圖 [13]

3. 自由端：

在鑽孔的前端以保護鞘將鋼腱與地盤隔離，使鋼腱受力後能自由伸長。為保護地錨不致受腐蝕及鬆動，通常以次要灌漿封孔。有些自由端是以抗蝕的塑膠套管隔離地盤，套管內填充抗蝕材料，以確保自由端能自由伸長及抗侵蝕。

4. 錨頭及錨座：

錨頭為施加預力之處，並固定於承壓板及錨座上。

地錨工法為國內邊坡穩定工程最常使用之工法，也是擋土設施補強工程所最常使用者。地錨工法在施作時，由於施工機具大，所需求之施工空間也必須夠大，且打設地錨之經費也較高，但在邊坡穩定設施的補強上，有其不可取代之特性。

地錨工法可施拉龐大預力，對擋土設施提供大量之側向抵抗力，且地錨打設深度較不受限，可以穿越邊坡內部深處之潛在滑動面，錨碇至穩定岩盤之內，以維持邊坡之穩定性，對於抵抗擋土牆之滑動破壞、傾倒破壞、整體滑動破壞等穩定問題都有良好補強之效果。在抵抗滑動破壞方面，可打設在擋土牆近基礎處，抑止擋土牆之滑動；在抵抗傾倒破壞方面，可打設在擋土牆近頂處，則大大提高擋土設施的抗傾倒力矩；在抵抗整體滑動破壞方面，可將地錨打設入穩定地層中錨碇，增加邊坡整體滑動之阻抗能力。

然而預力地錨系統複雜，施工時品質控制較困難，如於施工中未能妥善加以處理則可能產生：地錨與地層間之膠結減弱、抗張材銹蝕強度降低、預力損失、地盤承载力降低、錨頭銹蝕等不良後果，嚴重影響錨碇系統之長、短期強度及穩定性，所以在設計施工時必須多加謹慎小心。雖然國內目前地錨工法被廣泛地使用，像林肯大郡等因地錨設計施作不良所引起的災變，使得對於地錨工法的運用及施工應更為慎重。

地錨施工之流程其步驟如圖 5.2 所示。

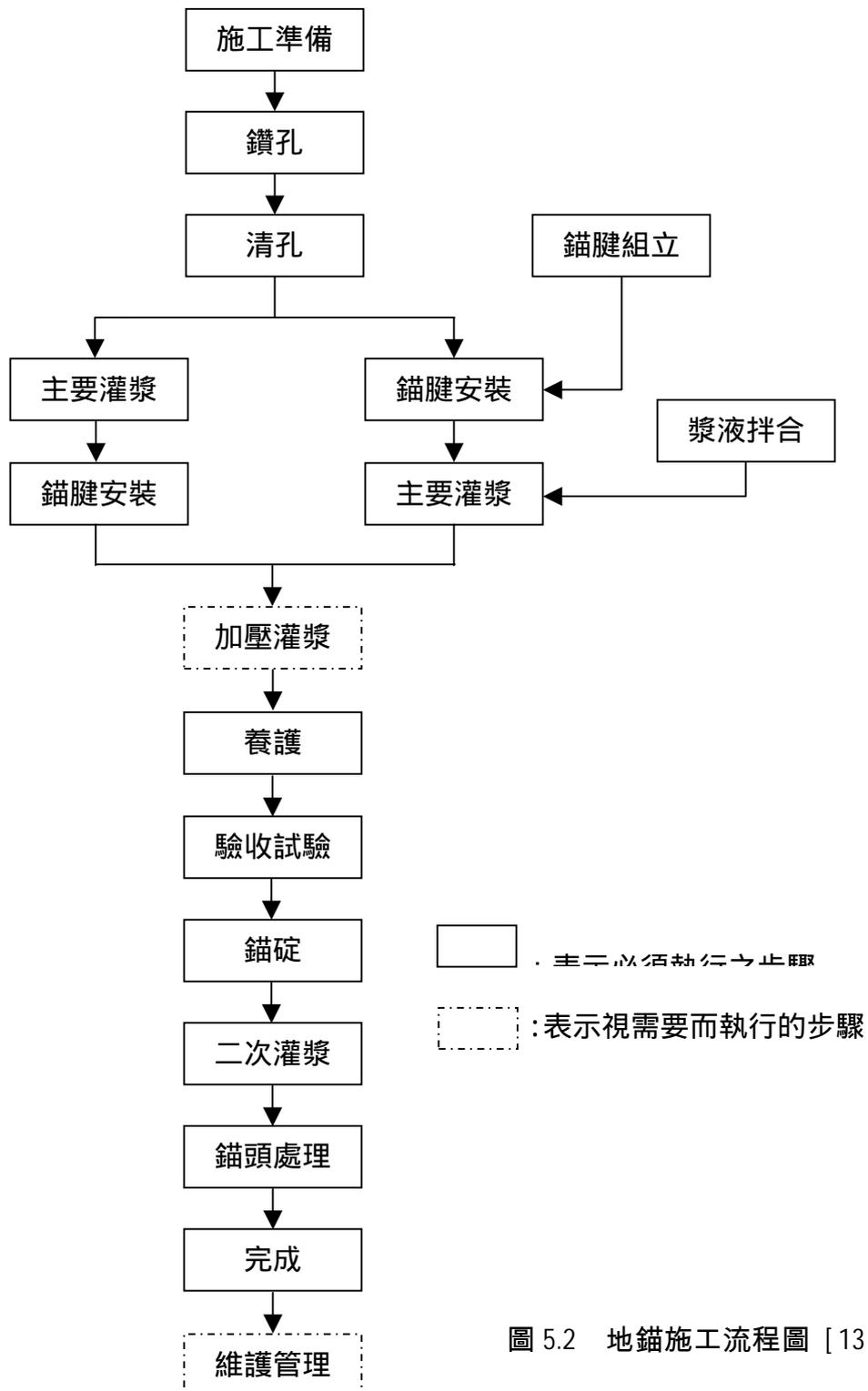


圖 5.2 地錨施工流程圖 [13]

5.1.2 抗滑樁工法與樁基礎工法

抗滑樁與樁基礎工法皆為基樁工法，施作方式相同但抵抗之對象不同，樁基礎主要屬垂直承重基樁，而抗滑樁則屬於側向承重基樁，用於邊坡擋土設施穩定之基樁也可兩者兼具。

抗滑樁工法係在擋土牆背後土體中，打設垂直或傾斜的混凝土樁或型鋼，使其能穿過牆背土體之潛在滑動面，並發揮抵抗部分側向土壓力的功能，而抑止整體土體的滑動，對於抗滑樁的示意圖可詳圖 5.3。國內所常使用的抗滑樁工法有打設鋼軌樁、微型樁及預壘樁等。樁基礎工法則主要打設在擋土牆下方，用以提供基礎之承載能力，減少擋土設施之沉陷量，主要也以微型樁、預壘樁為主。以下即對各種基樁工法的施作做詳細的說明。

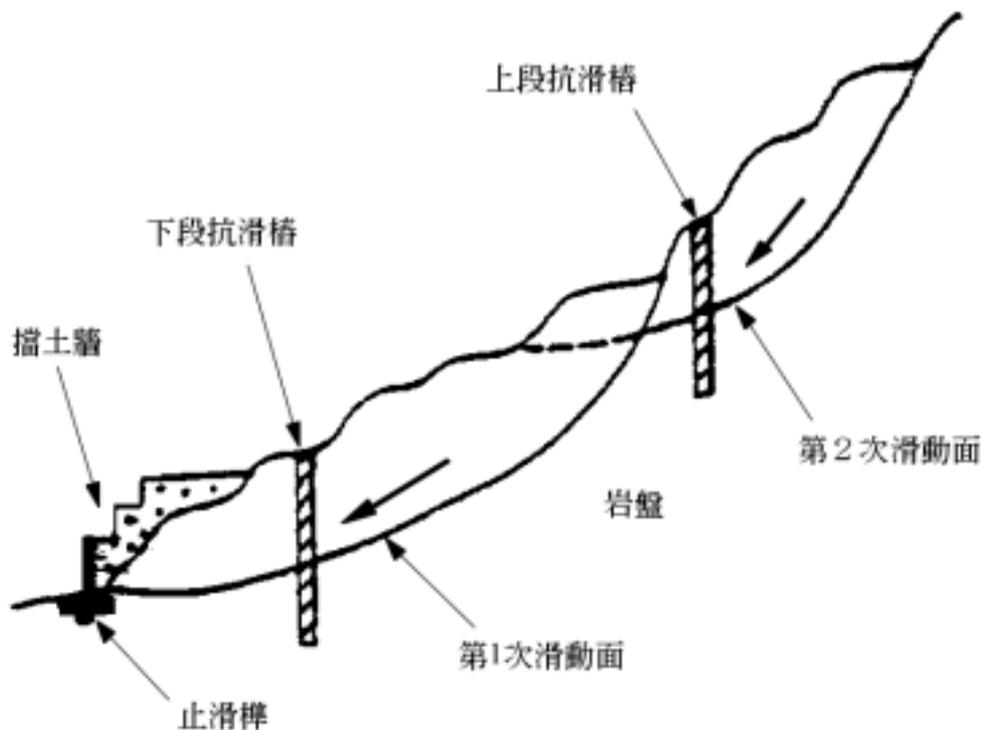


圖 5.3 抗滑樁示意圖

1. 鋼軌樁：

施作鋼軌樁通常是用機具直接地敲擊錘打，使鋼軌直接貫入到擋土牆背後的土體中，而所使用的鋼軌樁亦可以 I 型鋼或 H 型鋼等來替代。其施工方式為：

- (1) 鋼軌樁施打前，應事前了解地下埋設物、障礙物之位置。施打時應將地中埋設物清除或迴避之。
- (2) 按照圖說所示之位置放樣及佈設導軌。導軌中心線須與鋼軌樁設計之中心線相吻合。
- (3) 鋼軌樁之打入長度及間距應依施工圖說之規定或依據施工地質調查結果變更之。
- (4) 施打鋼軌樁之方法有：全長錘打、上半鑽孔後錘打、全長鑽孔後插入。應考慮現地環境及地質條件選擇施打工法。

2. 預壘樁：

預壘樁大多採用螺旋鑽掘樁孔，而藉壓力將已拌妥之水泥砂漿經鑽桿空心軸注入樁孔中，而形成樁體。其施工方式為：

- (1) 在現地放樣，標定施工樁位，及安裝螺旋鑽機。
- (2) 將螺旋鑽軸心與樁心對齊，連續垂直鑽挖至設計深度。
- (3) 鑽挖至設計深度後，由鑽軸前端將砂漿壓入樁孔中，同時緩慢抽取螺旋鑽桿，一直到鑽桿離開地表面為止。抽桿速度應配合注漿量，使不致在抽桿中孔壁懸空坍塌，且注漿量確實將樁孔填滿。
- (4) 注漿完成後立即將已組成之鋼筋籠或型鋼插入樁孔內，至設計深度。
- (5) 最後再做樁頭的處理以及繫樑的製作。

3. 微型樁：

微型樁一般口徑約在 10 30 cm 左右，當鑽掘到預定深度時以壓力灌漿方式注入水泥砂漿，再將數支鋼筋或鋼筋籠置入穩固後將套管取出即可，故依其施工及構造而言，該工法係介於高壓噴射灌漿與基樁之間。其施工步驟為：

- (1) 整地：標出正確鑽孔位置，以確保安裝鑽孔機之精度及增加施工之作業性。
- (2) 放樣：施工區域整平後，再依施工計畫之鑽孔位置進行樁位放樣。
- (3) 鑽掘：鑽掘機進場定位後，採全套管鑽掘，套管底部（外鑽管）之口徑（外徑）應控制在樁徑之 ± 1.5 cm 範圍之內。
- (4) 洗孔：鑽孔完成後可以噴氣或清水將孔底及套管內之土渣清洗乾淨。
- (5) 灌漿及置入鋼筋：進行第一次灌漿至漿液溢出孔口為止，而後置入鋼筋或鋼筋籠。
- (6) 拔除套管及補灌漿：拔除套管並進行第二次補灌，第二次補灌係以低壓方式灌注，俟第二次灌漿全部完成後需重新檢視，如灌漿面有下降情形，則繼續進行第三次補灌作業。
- (7) 施作帽樑：俟微型樁灌漿完後，施作帽樑將微型樁連結在一起。

基樁工法之種類也非常眾多，基樁之勁度、口徑、長度變化範圍非常廣，所以所使用之施工機具與施工空間要求也不同，施作經費也從中至高不一。然而一般用於邊坡穩定之基樁工程，因考量到施工空間之不便，大多都是施作較小型之基樁，如微型樁與預壘樁為最常使用者。但往往小型基樁之施工品質與所提供之阻抗能力較差，對於抵抗擋土設施之滑動、傾倒、承载力不足、沉陷量過大與整體滑動等之破壞方式可能成效會很有限，必須增加施作之數目與配合其他工法進行。如果面對大

規模之邊坡滑動與較深層之潛在滑動面時，則必須採用大口徑、樁身長度長之大型基樁施作，則相對於施工機具、施工空間與所需花費均會大幅度增加。

5.1.3 土釘工法

土釘工法屬加勁工法之一種。土釘工法經常應用於開挖面或較陡之邊坡，將擋土牆背後的土體加勁成一穩定之重力結構，其作用亦等於增加了擋土牆的牆背土體強度與重量，且在土體發生滑動時，可被動發揮其拉力，增加抵抗土體滑動之抵抗力，抑止滑動破壞與傾倒破壞。其施工方式係將加勁材以水平或略微向下之傾角置入土中，並配合掛鋼絲網及噴漿於牆面。其提供土壤約束力量，主要利用加勁材的張力作用，以改善土壤之剪力阻抗。土釘工法是近幾年新興發展之邊坡擋土穩定工法之一。

使用土釘工法有幾項優點：1.與其他工法相比，施作經費較低；2.施工空間與機具較小；3.施工速度快等優點，但在用於擋土設施的補強上仍有些疑慮。土釘所能提供之側向抵抗力有限，且土釘長度通常遠短於地錨長度，對於邊坡深層之滑動破壞，將無法有效抵抗其破壞，所以可能必須搭配其他穩定工法，如打設地錨、抗滑樁等，增加邊坡大規模與深層破壞之抵抗能力。

另外土釘工法之適用條件上也有些限制，土釘工法不適合使用在軟弱之黏土層中，因軟弱黏土屬低摩擦阻抗，如果要採用土釘加勁，則在長度及密度方面均需提高，故較不經濟可靠；而且土釘施作前必須去除地下水，所以施工時必須搭配其他的排水工法進行。

土釘之極限拉出阻抗如表 5.1 所示。

表 5.1 土釘極限拉出阻抗 (Elias 與 Juran , 1991) [33]

岩層之極限拉出阻抗		
施工方式	岩石種類	max (psf)
Rotary Drilled	Marl / Limestone	6,000 8,000
	Phillite	2,000 6,000
	Chalk	10,000 12,000
	Soft Dolomite	8,000 12,000
	Fissured Dolomite	12,000 20,000
	Weathered Sandstone	4,000 6,000
	Weathered Shale	2,000 3,000
	Weathered Shist	2,000 3,500
	Basalt	10,000 12,000

非凝聚性土壤之極限拉出阻抗		
施工方式	土壤種類	max (psf)
Rotary Drilled	Silty Sand	2,000 4,000
	Silt	1,200 1,600
	Piedmont Residual	1,500 2,500
	Fine Colluvium	1,500 3,000
	Coarse Colluvium	2,000
Rotary Drilled(wet)	Sand / Gravel	6,000 9,000
Driven Casing	Sand	6,000
	Sand/Gravel(low overb.)	4,000 5,000
	Sand/Gravel(high overb.)	6,000 9,000
	Dense Moraine	8,000 12,000
	Colluvium	2,000 4,000
Jet Grouted	Sand	8,000
	Sand / Gravel	20,000
Augered	Silty Sand Fill	400 600
	Silty Fine Sand	1,700 2,200
	Silty Clayey Sand	2,500 5,000

表 5.1 (續) 土釘極限拉出阻抗 [33]

凝聚性土壤之極限拉出阻抗		
施工方式	土壤種類	max (psf)
Augered	Loess	500 1,500
	Soft Clay	400 600
	Stiff Clay	800 1,200
	Clayey Silt	800 2,000
	Calcareous Sandy Clay	4,000 6,000
Driven Casing	Silty Clay	3,600
	Clayey Silt	1,800 3,000
Rotary Drilled	Silty Clay	700 950

5.1.4 土壤改良工法

所謂土壤改良 (Soil Improvement) 係利用夯實、壓密、排 (脫) 水、混合固結、熱處理或置換等物理、化學方法，以改善軟弱土壤的工程性質，增加地盤之穩定性。用於改善邊坡穩定問題之目的有：

- (1) 降低擋土結構的沉陷量 (壓縮性減少)。
- (2) 改良土壤的剪力強度因而增加基礎的承載能力。
- (3) 提昇可能邊坡破壞之安全係數。
- (4) 降低土壤膨脹收縮的特性。
- (5) 降低土壤的滲透性 (防滲處理)。
- (6) 防止土壤液化及減少振動 (動態性質的穩定)。

土壤改良的工法種類非常繁多，以下依序以置換工法、土壤夯實、

粘性土壤壓密排水、混合固結工法、土壤加勁工法等分別敘述之。

1. 置換工法

置換工法是指將軟弱的土層全部或是局部挖除，並置換較優良的土質，再經嚴謹地夯實，使其承載力提高而壓縮性降低，而達到改良的目的。

置換工法依土層與上部擋土結構的不同可分為：

- (1) 在上部的軟弱土層較薄時，此時可將基礎內的軟弱土層全面挖除，改換以砂墊 (Sand Pad)，能在短期之內達到夯實的效果，且上部擋土結構可有較大的接觸壓力。
- (2) 若地表下的軟弱土層為極厚的一層，則可將地表面附近作局部性置換，並允許某種程度地盤的下陷與變形，上部的結構則必須較輕者。

置換工法通常用於擋土牆基礎與牆背回填土之改良上。擋土牆施作後，應將超挖部分以剪力强度高、排水速率快之粗粒料土壤回填，設置好牆身排水系統，並對回填土夯實緊密，這是一般擋土牆施作時須注意到的。若擋土牆基礎土壤過於軟弱，也可挖除後置換強度較高、壓縮性較小之土壤替代，以提高基礎之承載能力與降低沉陷量。至於對於邊坡內部軟弱土壤之改善上，使用置換工法則顯得規模過大與不經濟。

而置換工法用於擋土設施之補強上，因為既有擋土結構已經存在，使置換工法增加施作之困難，一般少用置換工法於補強工程中，而對於整治裸露邊坡之新建擋土設施工程中，則可考慮使用。

2. 土壤夯實工法

土壤夯實 (Compaction) 即是指在不挖除或置換土壤情況下對原土壤以人工或機械方式施以能量，排除孔隙內之空氣，以增加土壤密度、提高強度，減少壓縮性。土壤夯實工法又可為表層土壤夯實與深層土壤夯實兩部分。

(1) 表層土壤夯實

一般表層土的夯實可分為人工夯實與大型機械夯實兩類，由於邊坡穩定設施之施工空間有限，故一般皆採人工使用小型機械進行。而大型之機械夯實主要是由壓路機來完成，最常用的大型夯實機械型式包括：光輪滾壓機、氣壓膠輪壓路機、羊腳輥、震實輥等。

一般在表層土的夯實效果是跟幾項因素有關的，如夯實機機型、土壤類型、含水量、填土厚度、夯實機的拖曳速度和夯實機輥壓次數，故在進行表層土夯實時需根據現場各項考慮因素，定出現地夯實的標準及程序。

(2) 深層土之夯實

深層土夯實工法主要針對深層的鬆砂，利用夯實的作用，使砂土達到緊密的狀態。對於不飽和砂性土壤因震動或撞擊破壞原有的土壤結構，顆粒位移達到緊密排列狀態。

對於飽和砂性土壤，由於土粒及水幾乎不可壓縮，必須將顆粒間的孔隙水排出才有位移空間，因此利用震動或撞擊，產生動態剪應力，在瞬間來不及排水的條件下，就會激發超額孔隙水壓，直到水壓升高到使土壤液化，破壞原有顆粒的骨架，俟超額孔隙水壓消散後，顆粒排列會更緊密，同時造成地表沉陷。深層夯實工法之種類及原理如下敘述：

a. 夯實砂樁工法 (Compaction Sand Pile)：

係以震動機及高壓空氣將中空鋼管（一般為 40 公分直徑，管底附有自動錐形靴）貫入土中，再利用震動及擠壓作用，使鋼管周圍土壤位移，達到緊密排列，在拔出鋼管時，以高壓空氣將回填（砂）料壓入鋼管底端，到達孔底，再使鋼管上下來回震動，壓實土壤，達到改良效果。

b. 震動揚實工法（Vibroflotation）：

本工法最主要的設備為振動錘（Vibroflot），其內部為偏心設計，利用離心力可產生橫向振動，使砂土受到振動而密實。

c. 動力夯實工法（Dynamic Compaction Method）：

本工法係以吊車或吊架將一重錘吊至預定高度，再讓重錘自由落下，如此吊高、落下反覆數次，錘擊欲改善之粒狀土壤表面，使顆粒受撞擊而重新排列，趨於緊密狀態，工程性質因此獲得改善。

動力壓密工法對於不飽和土壤而言，其改良原理與室內夯實試驗一樣，土壤受到撞擊後，主要因氣體壓縮及排除，少數為孔隙水壓消散，使得孔隙減小，密度增加。對於飽和土壤而言，由於土粒及水幾乎不可被壓縮，當土壤受到高能量撞擊時，蓄積能量漸增，超額孔隙水壓續增，直到與土壤總應力相等時，即有效應力及剪力強度為零，顆粒懸浮在水中，猶如水一般，已達到所謂的液化狀態，但隨超額孔隙水壓逐漸消散，孔隙體積漸減，密度增大，達成改良目的。因本工法係採動力施加能量於粒狀土壤中，激發及消散超額孔隙水壓，猶如黏土之壓密，因此命名為動力壓密工法。

d. 爆炸夯實工法：

爆炸夯實工法的改良原理與振動揚實工法相同，只是震源的方式不

同。本工法藉由爆炸產生震動與震波，破壞原始顆粒排列，使顆粒位移達到緊密狀態。本法較適合深層砂土的改良。

土壤夯實工法運用於邊坡之補強工程上，有其施作上之困難與不適用性，且在進行夯實施作時，即可能危害到既有擋土結構本身之安全，故應用於新建之擋土設施工程改善中。

3. 粘性土壤壓密及排水工法

在邊坡地表下較深層的粘性土壤以深層夯實工法改良，效果並不理想，而軟弱黏土層之所以強度低，主要是因為軟弱黏土的吸附的水層較厚，而水無剪力強度可言，若吸附水層越厚，強度越低，因此粘性土壤的改良工法，其原理是藉由排除黏土層內的吸附水，減少孔隙，達到堅實的改良效果。

由於粘性土壤的滲透性低，無法以一般的點井或深井方式排水，需以下列一種或一種以上的方法去除吸附水：

(1) 預壓密工法 (Preconsolidation Method) :

在欲改良土層的地表上，堆置土方或混凝土塊等重物，使下方的軟弱黏土層，受到預加載重而激發超額孔隙水壓，此水壓隨著時間增長而消散，土粒間的孔隙減小而壓密，爾後去除預加載重，再構築結構物的方法稱為預壓密工法。惟因黏土層滲透性低，排水速率相當慢，常需配合其他工法加速排水，以縮短工期。

(2) 砂樁排水工法(Sand Drain Method) :

上述預壓密工法雖可改良粘性土壤，但所需工期甚長，不符合時間效益。若欲加速壓密沉陷，以較短的時間改良土壤，則需再打設砂樁，

或以排水帶、砂袋樁或其他材料取代砂樁，其原理均是縮短排水路徑，加速土壤壓密沉陷，因此統稱為垂直排水工法。

(3) 電誘滲透 (Electro-Osmosis) 排水工法：

將兩根電極插入土中，通電後，在陰極抽水，可去除粘性土層之吸附水層，達到改良的效果。由於黏土表面帶負電，需吸附陽離子以平衡電荷，而雙極體的水分子又常吸附在陽離子上，因此當電極棒通電後，陽離子會往陰極移動，連帶將黏土表面的吸附水牽引至陰極，此時在陰極抽水，即可去除部份吸附水，此種藉由通電牽引吸附水至陰極而排水者，稱為電誘滲透或電氣滲透排水工法。此法不需在地表預壓即可執行排水之工作。

(4) 真空預壓 (Preloading by vacuum) 排水工法：

在欲改良的軟弱黏土層上鋪設約 30 公分之粗砂以為濾層，再將不透氣且不透水的塑膠布覆蓋於濾層上方，爾後以泵浦將濾層中的空氣抽出使之真空，則外在大氣壓力作用於周圍的土壤上方可達預壓效果，水分可由真空泵浦處抽出。若軟弱黏土層較厚，則需配合垂直排水工法實施。

對於粘性土壤壓密及排水工法之補強應用上，一樣僅能用於新建之擋土設施工程改善中，對於既有擋土設施並無幫助。

4. 混合固結工法

混合固結工法之改良原理，是將膠結材料與土壤混合後產生化學變化，提高土壤強度、降低壓縮性及滲透性，達到改善土壤之工程性質，適合各種土壤。一般可分為表層混合及深層混合兩種，膠結材料雖然很

多種，但國內仍以水泥及石灰為主，主要因為此種材料取得容易，成本較低及累積經驗較豐富。

(1) 表層混合固結工法

直接將膠結材料（如水泥或生石灰）與表層軟弱土壤拌合，產生水化作用（如生石灰變成熟石灰），除可吸收土壤中的水分外，還可放出大量熱能將水分蒸發，又水化後具有膠結作用，可使土壤強度大大地提高，攪拌改良後的土壤回填至原處並滾壓夯實。

(2) 深層混合固結工法

a. 灌漿（Grouting）工法：

將灌漿材料（水泥粘土系列、水玻璃系列或高分子系列）以低壓或高壓注入土層中，使土壤膠結，達到改良強度、止水性及耐久性之要求。

b. 深層攪拌工法：

利用附有噴嘴之攪拌翼旋轉、鑽孔至預定深度，將膠結材料（如生石灰、水泥漿或水泥砂漿）與深層軟弱土壤混合及旋轉攪拌，以改善土壤的強度與壓縮性。

混合固結工法是屬於土壤改良中，較適用於邊坡擋土設施之補強工程之一工法，尤其灌漿工法最為常用。對於牆基或邊坡內部之軟弱土壤，皆可使用高壓或低壓灌漿方式進行軟弱土壤的工程性質之改善，然而對於大範圍之邊坡土體改善，施以灌漿固結可能較不經濟，需設置其他之穩定構件以加強邊坡破壞之抵抗能力。

5. 加勁工法

加勁工法是在土壤的表面或內部設置加勁材料，如土工織物、金屬條、金屬網、鋼筋、混凝土 等等，使土壤強度提高以增加邊坡土體之穩定性。以下列舉幾項做說明：

(1) 土工格網：

土工格網目前廣泛用來作土壤加勁物。土工格網是有開孔薄版形的二維結構物，是由石油產生如聚丙烯和聚乙烯經由推擠和縱向拉伸過程製成。土工格網的開孔要有足夠的尺寸以與周遭的土壤或岩石達成互制的效果，以達成加勁或隔離的功能。一般而言，土工格網可分為雙軸土工格網及單軸土工格網。

(2) 加勁鋼材：

利用加勁鋼材貫入土壤之中，因加勁鋼材表面與土壤間之摩擦作用，且加勁材也可提供被動阻抗，可增加土體之抗張能力，促使土壤結合成一連貫之結構塊體。依其使用之目的與施作方式，可分為土釘、土樁及微型樁等三類。

土壤加勁工法為近年來邊坡穩定工程與補強工程中備受重視之方法，不僅施工起來非常便利，而且較其他擋土工程也較經濟，如前面所介紹之土釘工法與微型樁工法皆算是加勁補強工法。

綜合以上各類土壤改良工法，其中適於運用在邊坡擋土設施補強工程則屬灌漿工法與加勁工法兩類，而其他改良工法因使用時機、施工空間與經濟性問題，在補強工程上較少使用或不適用。

5.1.5 排水工法

擋土牆背所受之水壓力亦為主要之側向壓力之一，故對擋土設施之穩定性有重大之影響，地表水及地下水常為促使邊坡滑動的主要禍源。豪雨或持續下雨期間山區常發生坡地坍塌造成道路中斷即為最佳之證明。因排水良好與否，對邊坡的穩定性有極大的影響，故在探討邊坡擋土設施的整體穩定性補強方法時，排水設施的改善也是一個重要課題。而邊坡排水不外乎防止地表水滲入土中，或是讓已存在邊坡土體之中的水儘速排出，既可減輕含水的濕土重，也可減輕水壓力。所以邊坡排水設施包括邊坡坡面排水、擋土牆身排水及邊坡內部排水三類。

1. 邊坡坡面排水工法

可防止地表水滲入土中，亦可避免表土流失，其方法有下列幾種：

(1) 截水溝及跌水溝

在坡頂及各階坡趾處設置明溝或暗溝（溝底埋透水管者）以截除高處流下之表面水，減少坡面的沖刷力及避免積水軟化土壤；同時在垂直邊坡方向設置跌水溝，以匯集地表水至下邊坡大排水溝。

(2) 坡面整平及裂縫填塞

坡面有低窪積水處應整平，裂縫處則以粘土、瀝青或水泥漿填塞，藉以改善地表逕流及減少地表水滲入土中。若用灌漿方式填縫，則灌漿會增加側向推力，且在漿液凝固前，漿液強度較原地層低，更易使邊坡滑動，故需謹慎控制灌漿壓力、灌漿配置及施工程序。

(3) 坡面保護與植生

坡面噴撒草種或鋪草植生可美化環境、加速排除地表水，尚可防止表土沖蝕。採用噴漿或噴凝土護坡可降低風化速度及防止小塊岩石崩落，又可防止地表面水滲入土中。在坡頂鋪設瀝青柏油亦有同等的效果。邊坡開挖期間若逢下雨，應即時以帆布或不透水材料覆蓋於新開挖面上，防止沖刷及雨水下滲。

2. 擋土牆身排水工法

擋土牆本身之排水設施，主要有洩水管、牆背透水料排水層及擋土牆頂之截水溝。其目的為盡量防止雨水滲入牆背及迅速排除聚集於牆背之滲水。

(1) 洩水管

在剛性擋土牆或預力地錨擋土牆上，常見牆身預埋間距 1 ~ 3 公尺之洩水管。除牆身洩水管外，牆身洩水孔排水系統還包含牆背後之排水器或排水袋（排水濾網），通常在排水瓶周圍需回填約 30cm 厚之碎石級配料保護層，其作用可使回填土在夯實過程中免於損及排水瓶，且另一效用可過濾細小砂石或黏土質，避免阻塞洩水管。

(2) 透水料排水層

牆後背填透水料排水層，其佈設方式有全填式、貼牆式、煙囪式及水平式排水層如圖 5.4 所示，其優缺點整理於表 5.2。若以點狀分佈之洩水孔配合牆後排水層可使排水效果更佳。

表 5.2 牆後排水層之佈設方式與比較 (張森源 , 1987) [17]

佈設方式	優點	缺點
全填式排水層	排水效果最佳	除非工址附近有大量價廉的透水料，否則費用高不經濟
貼牆式排水層	使所有洩水孔與牆後排水層銜接一起，在豪雨時上層洩水孔也能發揮功能	地下水位需至牆背排水層才驟降，土水壓力仍大
煙囪式排水層	地下水在開挖面附近即已降低，側向壓力較小	排水層之透水料鋪設較麻煩
水平式排水層	排水層之鋪設施工上較為便利	牆後需有較寬的平地，否則排水效果不佳

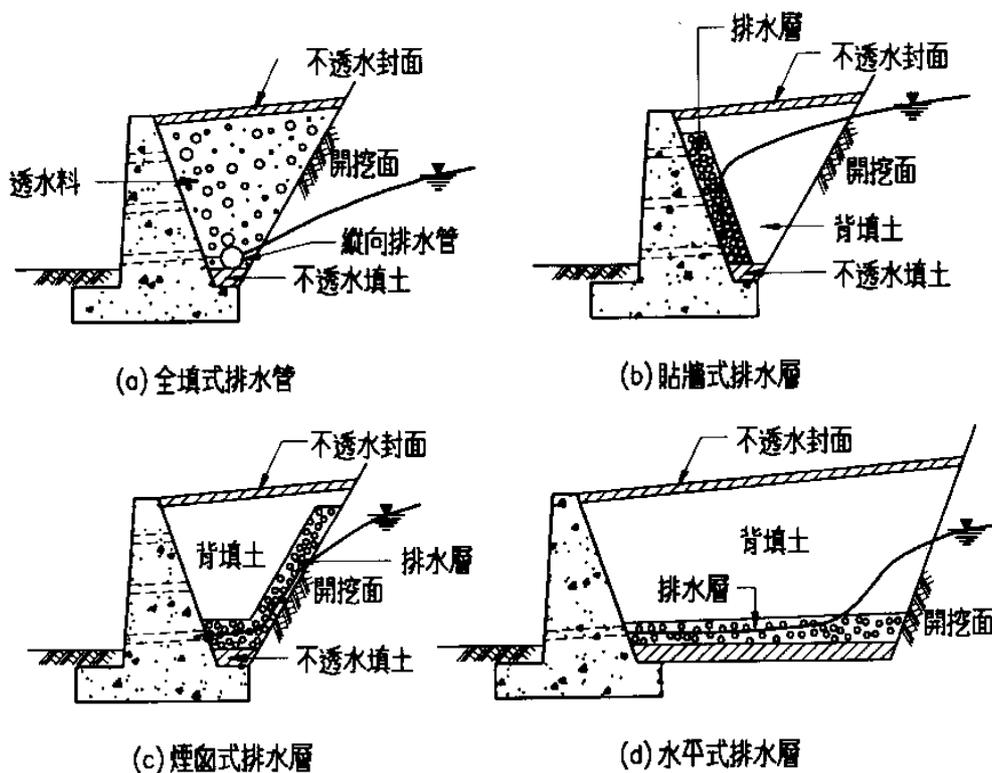


圖 5.4 牆後透水料排水層之佈設方式 [17]

在改善擋土牆的排水設施上，補打牆身排水管是最常見的排水補強措施，也證明了許多擋土牆排水設施的施作成效不佳，許多排水系統的施作未達要求，這是值得重視的問題。或許排水的不便是傳統 RC 擋土牆的缺點，故現在許多的擋土設施皆傾向重視植生與排水功能的格樑預力地錨擋土牆、框架式擋土牆或加勁擋土牆等。此類擋土牆不僅排水方便而且又可在其上廣種植生，是現今擋土設施的主流。

3. 邊坡內部排水工法

對於邊坡內部之排水方法包括下列幾種，其中排水盲溝及橫向排水管用以排除淺層地下水，而集水井及排水廊道用以排除較深層之地下水。坡內排水工法之示意可見圖 5.5。

(1) 排水盲溝：

若邊坡內地下水位較高，可設置排水盲溝排水。溝深一般小於 5 公尺，溝底鋪設濾料再外包濾布，或濾料中埋設透水排水管，其上以低透水性土壤回填。由盲溝將地下水集中後予以抽除或加以導流。

(2) 橫向排水管：

以水平或傾斜方式鑽孔，再插入有孔洞之塑膠管，管外可以不織布包裹或填充級配料，以防止細顆粒土壤流失和阻塞，並將邊坡土體內之地下水導出。

(3) 集水井：

以垂直方式挖井，另由井內施打水平排水管至邊坡土體內以收集地下水，再以重力或泵浦抽出，並排放至崩塌地以外之安全區域。集水井之直徑有時可大到 2 公尺以上，深度更可達到 50 公尺深。

(4) 排水廊道（或排水隧道）：

在地下水豐沛之處，以其他方法仍無法迅速地將地下水排除時，則設置排水廊道，通常配合橫向排水管將地下水導入，再排至他處。排水廊道之施工方式與隧道施工相同，所需成本昂貴，除非必要，一般邊坡排水工程不會輕易使用。

(5) 電氣滲透工法：

在土體中兩端插入電極棒，施以一電壓差，而產生電位梯度，使土體中之水產生流動並加以排除，且使土壤產生壓密，增加剪力強度。但

由於此法之成本高，在國內較少被採用。

以上幾種邊坡內部之排水工法，除電氣滲透工法外，皆常被用於邊坡排水措施的改善工程上，對於邊坡內部土體之地下水排除很有幫助。而以上幾類工法施作時，皆牽涉到必須將邊坡土體挖除與足夠之施工空間等問題，施工時技術性較高，同時所花費之金額也高。

5.1.6 結構補強工法

由前章所敘述，關於擋土設施結構破壞之補強問題，主要可分為龜裂縫之填補與擋土牆身斷面之補強兩方面。

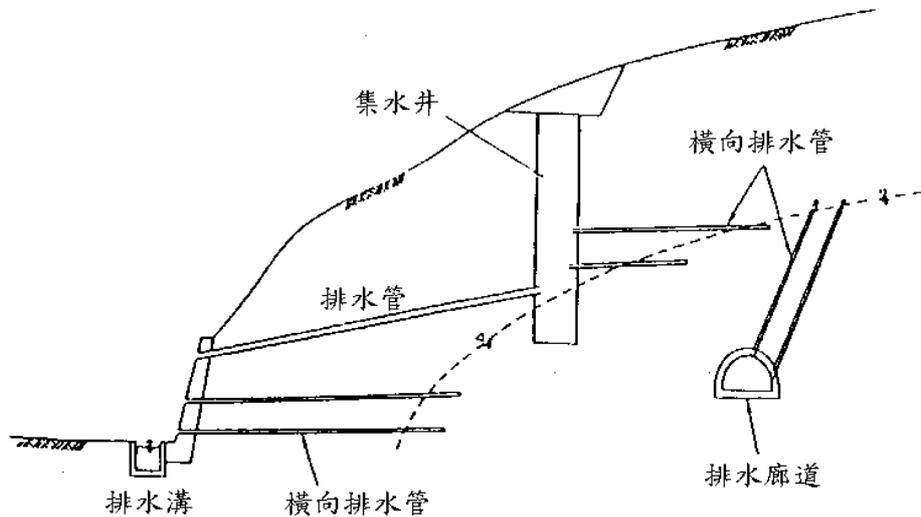


圖 5.5 邊坡內部排水工法示意圖 [11]

1. 裂縫修補工法

根據前面章節之整理，依造不同之裂縫修補方式與目的，一般建築結構物之裂縫修補工法可分為：(1)表面修補工法，包括有：塗刷工法、襯面工法、噴塗工法等；(2)填注修補工法，包括有：注入工法及充填工法等。然而其中用於裂縫修補之填充物，大抵都是水泥、水泥砂漿或環氧樹脂等材料。

一般常用於擋土結構物之裂縫修補即灌注水泥砂漿及環氧樹脂等填充物，以避免裂縫擴大進而影響整個擋土結構物之安全。以下介紹國內目前常使用的裂縫修補材料：

(1) 水泥砂漿 (Mortar)：

水泥砂漿為水泥、細骨材與水之混合物，為最常用於土木施工之修補材料。為因應維修與補強之用，用來填充裂縫之砂漿必須具有高流動性及無收縮之特性，以滿足結構破損後之複雜形狀，故經常使用者為凝固後收縮性低之無收縮砂漿。

(2) 環氧樹脂 (Epoxy)：

環氧樹脂為合成之塑性材料，由主劑及硬化劑兩種成分組成。主劑是液性環氧樹脂，硬化劑是液性硬化劑催化劑，二劑混合後，通常在 20 分鐘 2 小時之間硬化。環氧樹脂由於材料分子較砂漿細密，易於填塞入細微裂縫之中，黏著效果較好，故多用於一般建築物裂縫之維修工程上，可見圖 5.6 所示意。

對於擋土牆裂縫填補之一般程序，以下則以建築修補用環氧樹脂來說明修補裂縫的施工方法，至於其品質、規格必須符合表 5.3、表 5.4。

(1) 裂縫表面處理：以鋼刷或砂輪機，將裂縫部分之表面磨除，並以空

壓將粉塵及鬆動物質清除乾淨。

- (2) 安置灌注頭基座：於灌注頭基座以膏狀之環氧樹脂補土(Epoxy Putty)塗抹底部，以每隔 20 30 cm 之距離黏貼於縫隙上。
- (3) 封塞灌注頭基座及裂縫：以膏狀之封塞劑塞灌注頭基座四周使之固定，並沿裂縫表面披抹封塞劑，以防止灌漿時漏漿。
- (4) 安裝持續加壓式灌注頭：將持續加壓式灌注頭安裝於基座上。
- (5) 灌注修補材料：
 - a. 將混和好之修補材料灌注入縫隙。
 - b. 灌注時應以由下往上順序為原則。
 - c. 檢視灌注過之注射桶內殘餘之修補材料劑量，若殘餘劑量所剩無幾，表示裂縫內部尚未灌滿，應即刻補灌，直到不再吃漿為止。
- (6) 敲除灌注頭及其基座：待裂縫內部之修補材料完全硬化後，即可敲除灌注頭及基座。
- (7) 表面復原處理：用砂輪機或鑿子將表面突出部分去除至與原壁面平齊。

表 5.3 環氧樹脂封塞劑規格 [22]

試驗項目	單位	試驗方法	試驗值要求
硬化時間	Min	ASTM D2471	30 (min)
黏度	cps	ASTM D2393	No flow
抗壓強度	psi	ASTM D695	6,000 (min)
抗彎強度	psi	ASTM D638	4,000 (min)
抗張強度	psi	ASTM D638	2,500 (min)

接著強度	psi	ASTM D882	1,500 (min)
硬化收縮	%	ASTM D638	3 (max)

表 5.4 環氧樹脂灌注劑規格 [22]

試驗項目	單位	試驗方法	試驗值要求
黏滯度	cps	ASTM D2393	100 (max)
膠凝時間	min	ASTM D2471	30 (min)
黏著力，斜面剪力，兩天濕治	psi	ASTM C882	600
黏著力，斜面剪力，十四天濕治	psi	ASTM C882	900
變形溫度		ASTM D648	40 (min)
養治之乾縮係數	-	ASTM D2566	0.01 (max)
壓力屈服強度	psi	ASTM D695	7,000 (min)
壓縮模數	psi	ASTM D695	150,000 (min)
強拉強度	psi	ASTM D638	4,000 (min)
斷裂時張力延長度	%	ASTM D638	0.8 (min)



圖 5.6 以環氧樹脂填補裂縫示意圖 [6]

水泥漿與水泥砂漿是屬於缺少粗骨材粒料的混凝土材料，粒料細而工作性高，適合於稍大裂隙的填補進行。水泥漿與水泥砂漿之取得極易，而其特性同混凝土，延展性與可塑性不高，且本身強度不及於含粗粒料的混凝土，若再遭逢大變形可能極易由填補處破裂，故在做完裂縫填補工作後，仍須定期檢視，以避免裂縫之繼續產生而危害擋土結構物的安全。而環氧樹脂在與硬化劑作用前流動性較佳，且聚合分子非常細緻，極適合微小裂隙的填補工作。環氧樹脂材料本身較砂漿有較好的塑性，對於遇到較大之變形時依然能發揮其效用而不致立即脆裂破壞，然不似水泥砂漿之取得容易與經濟性，故一般多用於室內建築物的補強工程上。

2. 斷面補強工法

用於擋土牆斷面強度不足之補強工法可分為：

(1) 混凝土斷面補強工法

進行混凝土斷面補強後，不僅加強擋土設施之結構強度，也可增加擋土結構之厚度與自重，提高擋土設施之穩定性。故混凝土斷面補強仍是目前最常為地工結構物補強所採用之工法。

(2) 鋼板斷面補強工法

鋼板斷面補強施作起來非常迅速，且鋼材價格便宜，故近年來鋼板斷面補強工法被廣泛用於重要結構物（如橋樑）的補強工程上。然而對於擋土設施之補強工程上，仍鮮有應用成功個案，且鋼板補強雖可增加擋土結構之斷面強度，但對於斷面厚度之增加很有限，無法大幅提高擋土設施之穩定性。

(3) 纖維強化高分子複合材料 (FRP) 補強工法

纖維強化高分子複合材料補強工法則主要被應用在建築物及重要結構物的斷面補強工程上，可見圖 5.7 示意。此種工法應用在擋土設施斷面不足之補強上仍很少實例，且補強成效仍有待商榷。

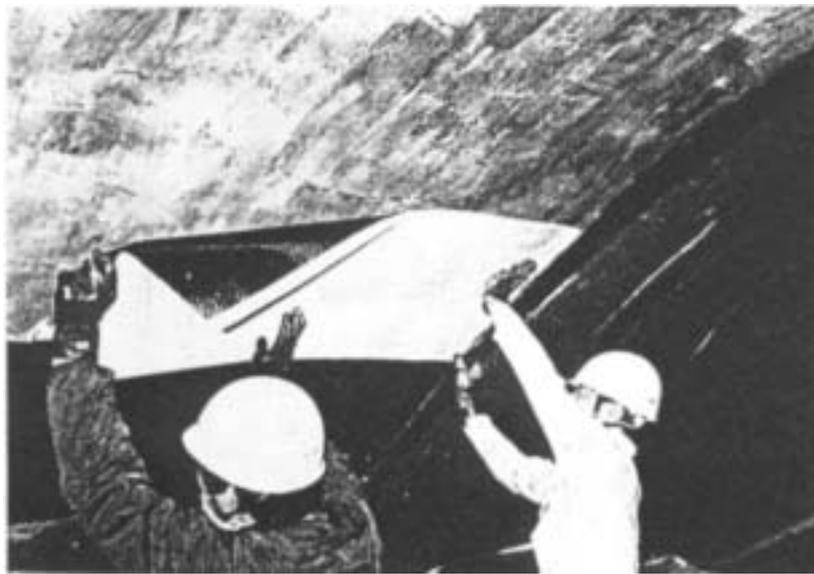


圖 5.7 以碳纖維貼布防止隧道內襯砌混凝土塊掉落兼補強之施工案例 [6]

5.2 補強工法成效總體評估

補強工法之採用，須針對各種不同的破壞因素加以考慮，但是對於同一種破壞因素，也有多種不同的補強工法可供選擇。不同的工法均有其特性，如何針對基地性質及現場破壞狀況，評估各種不同工法的成效以選擇最適用的補強工法，便成為設計者最重要的課題。在針對破壞因素選擇不同補強工法時，可依其施工可行性、改善成效及工程經費三項目加以考慮，並分別評估各個工法相對於個案工程之適用性。在評估過程中，茲就以上三點之評估項目及評估原則說明如下：

1. 施工可行性：

包括施工機具與基地空間之配合、機具進場難易度及施工工期是否符合搶救時效等，所以施工可行性評估可分為施工空間、機具可行性及工期可行性等三部分。施工空間部分之評估原則應考慮不同工法對於用地之需求，一般可分為牆前及牆後兩種狀況討論。牆前用地取得多於評估坡趾置重等改變牆前基地狀況之工法時較為重要；而牆後用地取得則對削坡工法等影響牆後基地狀況之工法較為重要。施工機具部分之評估原則應依現場基地狀況制宜，判斷施工空間、基地規劃、材料堆放等各種因素，再分別評以優、可、劣之等級。工期部分之評估原則應以現場危險度與施工工期加以判斷。唯評估時需注意天候狀況及施工進場時間。進場時間的早晚往往影響邊坡穩定設施破壞的程度，延遲進場常造成破壞程度已超過原本預計補強之範圍。

2. 改善成效：

通常分為短期立即穩定性之改善成效及長期之穩定性改善成效兩

方面比較。由以往施工案例之經驗，配合施工後之監測資料來加以評估。此項評估原則應視現地破壞類型，整理以往類似破壞模式之補強後監測資料，再依資料加以評估。短期改善成效之有效評估監測資料時間應以補強工法開始施工為起始，到完工後三個月為止。長期改善成效之有效評估監測資料時間則延長至完工後三年。

3. 工程經費：

以不同補強工法施用於相同規模之坡地破壞補強時，所需使用的經費加以比較。因為不同之施工方式所使用之計價方式及單位均不盡相同，故此項之評估應採用統一之評估原則。因將針對不同之破壞因素而發展出之補強工法成本放在一起比較，似乎並不合理，故在本研究中僅針對相同破壞因素之補強工法加以比較。所採用之評估標準為在相同破壞狀況下，使用不同之工法，經設計分析後達到相同之改善效果後之單位面積成本。

就以上三點分別評估後，如何整合各項評估結果，以選擇出最後之補強工法，其關鍵在於以上之評估項目中，是否出現具有「唯一強制性」之條件。舉例來說，原本對預力地錨工法及土釘工法進行評估，兩者互有優劣，但因施工基地過於狹小，致使預力地錨之施工機具無法進入，則此時唯一強制性條件出現，應採用土釘工法為補強工法。若無所謂「唯一強制性」之條件，則此時應就以上三點之評估結果，取得一最佳之平衡點，作為選擇補強工法之依據。

針對各種破壞因素而發展出之補強工法均相當重要，且各有其目的及特色，故在本研究中依照各補強工法所針對之破壞因素加以分類，並整理以往資料對各種工法之改善成效及工法適用性作出原則性之評估，以作為參考。其中比較的部份因各基地狀況不同，故均採相對性做

比較，而不列舉實際工程數據。

而根據對於第四章所分析之邊坡擋土設施破壞模式整理後，造成擋土設施破壞原因，概略可粗分為以下幾類：

1. 側向壓力過大
2. 側向抵抗不足
3. 牆背土壤工程性質不佳
4. 牆基土壤工程性質不佳
5. 邊坡深層潛在弱面或滑動面
6. 地下水問題
7. 擋土設施結構破壞問題

其中邊坡之地下水不僅會造成擋土牆背後水壓力之蓄積，而且亦會弱化邊坡土體強度，故對於解決邊坡內之地下水蓄積問題應特別提出探討；另外邊坡土壤之工程性質不良問題，依造成破壞模式與針對補強目標之不同，又可分為擋土牆背後與牆基下方兩類分開作敘述，故針對以上幾項造成擋土設施破壞之原因，即有以下幾類補強改善對策：

1. 降低側向壓力
2. 增加側向抵抗
3. 改善牆背土壤
4. 改善牆基土壤
5. 避免沿潛在弱面整體滑動破壞
6. 改善排水措施
7. 擋土設施結構性補強

另本研究為匯集工程界對於各類邊坡擋土設施補強效果之相關意見，特地製作調查問卷發予各工程顧問公司及專業技師事務所，以對於各種不同之看法及意見能作較詳盡之蒐羅與彙整。本研究所擬定之邊坡穩定設施補強成效評估之意見調查表，如表 5.5 所示。本調查問卷共計發出 80 份，實際回收共 17 份，統計結果列於表 5.6 中。而以下即配合本次問卷調查之結果加以檢討調整，分別針對各類補強改善對策，敘述其適用之工法，及各類工法之特性與運用於補強改善之成效評估。

5.2.1 降低側向壓力之補強成效評估

側向壓力過大會引致擋土設施之滑動破壞及傾倒破壞，所以降低擋土牆背後之側向壓力，能有效提高擋土設施之穩定性，也減低了擋土設施結構破壞之可能性。降低側向壓力主要可分為降低土壓力、水壓力及減少坡頂載重等三部分，其中降低水壓力部分將在改善排水措施部分討論，故本處僅對如何降低側向土壓力及坡頂載重做探討。降低土壓力一般常使用削坡工法及土壤改善工法，其中土壤改良一般常用者為夯實、置換及灌漿固結等；而減少坡頂載重即設法移除擋土牆上方之地表載重，其中削坡也視為一法。以上所述之工法分別評述如下：

1. 削坡工法：

削坡工法之施工方式容易，所需機具機動性強，工期亦短，但須考慮用地問題；施工單價低，若挖方量不大時，所需費用較低；因削坡可直接減少牆背荷重，改善成效良好。

表 5.5 邊坡穩定設施補強成效評估之意見調查表

改善項目	改善對策	採用工法	施工可行性			改善成效			工程經費		備註				
			空間配合	工期配合	短期	長期	高	中	低	高		中	低		
			高	中	低	高	中	低	高	中		低			
降低側向壓力	減低土壓力	削坡 夯實 置換 灌漿固結	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	
			低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	
改善排水措施	坡面排水	截水溝 植生	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	
	牆身排水	洩水管 透水路排水層	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	
	坡內排水	排水盲溝 橫向排水管 集水井 排水麻道 電氣滲透	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加斷面 拋石壓重 堆置蛇籠 地錨 抗滑樁 土釘 地錨 抗滑樁 土釘	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	
			低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	
增加側向抵抗	增加穩定構件	針對滑動 針對傾倒	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	
			低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	

表 5.5 (續) 邊坡穩定設施補強成效評估之意見調查表

改善項目	改善對策	採用工法	施工可行性		改善成效			工程經費		備註		
			空間配合	工期配合	短期	長期		高	中		低	
						高	中					低
改善牆背土壤	增加剪力強度	夯實 置換 灌漿固結 土釘	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			<input type="checkbox"/>									
			<input type="checkbox"/>									
			<input type="checkbox"/>									
改善牆基土壤	增加剪力強度 減少沉陷量	灌漿固結 微型樁	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			<input type="checkbox"/>									
			<input type="checkbox"/>									
減低潛在弱面 整體滑動問題	增加穩定構件	樁基礎	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			<input type="checkbox"/>									
			<input type="checkbox"/>									
			<input type="checkbox"/>									
結構性補強	裂縫填補	水泥砂漿 環氧樹脂	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			<input type="checkbox"/>									
	斷面補強	混凝土斷面 鋼板斷面 纖維合成斷面	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
			<input type="checkbox"/>									

其它意見：

感謝您對本研究之協助。問卷填寫完畢後，請將本問卷部分寄回即可，謝謝。

表 5.6 邊坡穩定設施補強成效評估意見調查之統計結果

改善項目	改善對策	採用工法	施工可行性			改善成效			工程經費								
			空間配合			工期配合				短期			長期				
			高	中	低	高	中	低		高	中	低	高	中	低		
降低側向壓力	減低土壓力	削坡	2	7	8	10	6	1	14	3		11	6		2	4	11
		夯實	1	9	7	4	9	4	3	9	5	2	11	4	1	10	6
		置換		8	9	1	7	8	5	10	2	9	7	1	8	9	
		灌漿固結	12	3	2	7	6	3	9	6	1	6	7	3	14	3	
改善排水措施	坡面排水	截水溝	10	7		12	5		11	3	3	7	10		1	7	9
		植生	12	3	2	7	7	3	1	2	14	5	9	3	1	9	7
	牆身排水	洩水管	14	3		16	1		8	8		2	9	6		3	13
		透水料排水層	3	9	6	3	12	2	10	6		10	7		4	11	1
	坡內排水	排水盲溝	7	7	3	3	13	1	10	6	1	5	12		1	13	3
		橫向排水管	9	6	2	7	9	1	11	6		3	14		2	12	3
		集水井	2	8	7	2	7	8	12	5		12	5		11	4	2
		排水廊道	1	7	9		4	13	13	4		13	4		14	3	
		電氣滲透	5	5	6	2	8	6	6	9	1		11	5	14	1	1
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土斷面	6	8	2	3	9	4	7	8	1	8	6	1	11	5	
		拋石壓重	1	7	8	12	4		10	5	1	5	7	3	2	6	8
		堆置蛇籠	1	9	6	9	6	1	8	7		3	10	1	2	10	3
	增加滑動穩定構件	地錨	4	8	5	1	14	2	13	4		4	11	2	13	4	
		抗滑樁	3	9	5	1	11	5	13	4		17			15	2	
		土釘	8	9		11	6		6	10	1	3	10	4	2	10	5
	增加傾倒穩定構件	地錨	3	9	5	1	14	2	15	2		5	10	2	11	5	1
		抗滑樁	4	8	4	1	11	4	9	6		13	3		13	3	
		土釘	9	8		10	5		4	10	3	4	8	5	2	8	7
	改善牆背土壤	增加剪力強度	夯實	1	9	7	4	9	4	5	11	1	5	11	1	2	8
置換				7	10	3	7	7	7	10		9	7		7	9	1
灌漿固結			8	7	2	7	8	2	9	7	1	5	10	2	14	3	
土釘			7	8	2	6	10	1	7	9	1	5	11	1	5	10	2
改善牆基土壤	增加剪力強度	灌漿固結	10	7		10	5	2	13	3	1	6	8	3	11	5	1
	減少沉陷量	微型樁	8	9		1	15	1	8	8	1	7	9	1	7	9	1

	增加穩定構件	樁基礎	10 7	8 9	12 5	16 1	16 1
--	--------	-----	------	-----	------	------	------

表 5.6 (續) 邊坡穩定設施補強成效評估意見調查之統計結果

改善項目	改善對策	採用工法	施工可行性			改善成效			工程經費								
			空間配合			工期配合				短期			長期				
			高	中	低	高	中	低		高	中	低	高	中	低		
減低潛在弱面 整體滑動問題	增加穩定構件	地錨	3	10	4	2	13	2	11	6		4	12	2	8	9	
		抗滑樁	3	7	7	2	10	5	11	6		15	2		16	1	
結構性補強	裂縫填補	水泥砂漿	15	2		10	7		6	10	1	2	11	4	10	7	
		環氧樹脂	16	1		13	4		13	4		9	6	2	8	8	1
	斷面補強	混凝土斷面	4	11	2	2	10	5	5	10	2	7	8	2	3	11	3
		鋼板斷面	9	7	1	7	8	2	12	5		11	6		10	7	
		纖維合成斷面	10	6	1	8	6	3	10	6	1	9	5	3	11	5	1

2. 夯實工法：

對既有擋土設施之牆背土體進行夯實，必須將牆背土體挖開，施作較不易，且夯實施作時必須考慮到既有擋土牆體之安全性；夯實工法施作經費大致上較低廉，用於降低牆背之土壓力時，改善成效尚可。

3. 置換工法：

對既有擋土設施之牆背土壤進行置換，也必須將牆背土體挖開，施作較不易，且需考慮到回填土石料之來源與供應問題；施工經費則依置換土石料之要求與來源而定，一般較直接夯實經費較高；而用於降低牆背之土壓力時，改善成效尚可。

4. 灌漿固結：

使用灌漿工法較不受施工基地之限制，施工性佳，工期亦較短，但施工單價較高，而改善效果理想，長期改善效果尤佳。但使用灌漿工法須注意灌漿壓力，以避免損害牆體，另外對邊坡本身之排水能力也有一定之影響。

茲將以上工法補強成效評估整理成表 5.7。

表 5.7 降低側向壓力之補強成效評估

改善工法	施工可行性						改善成效						工程經費	備註		
	空間配合			工期配合			短期			長期						
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低			高	中
削坡		▽		▽			▽			▽					▽	須有用地
夯實			▽		▽			▽				▽			▽	須挖開牆背
置換			▽		▽			▽				▽			▽	須挖開牆背 須有置換土石來源
灌漿固結	▽			▽			▽			▽			▽			須注意灌漿壓力 可能影響牆背排水

5.2.2 增加側向抵抗之補強成效評估

增加側向抵抗常是補強工作之重點，尤其在無法有效減少側向壓力產生時，唯有設法增加擋土設施之側向抵抗能力。增加側向抵抗有增加

斷面抵抗與增加穩定構件兩類方式，其中增加斷面抵抗可以增加擋土設施斷面、在擋土牆前拋石及堆置蛇籠等；而增加穩定構件則可打設地錨、抗滑樁及土釘來增加抵抗能力，又針對擋土設施滑動破壞與傾倒破壞之不同補強目標，上述工法在施作方式、位置會有所不同，故此項又分別針對兩種破壞模式作討論。

1. 增加擋土設施斷面：

增加擋土設施斷面雖屬結構性補強部分，但亦可增加擋土設施之穩定性，擋土結構物大都以增加混凝土斷面方式補強。此工法可藉由擋土結構物斷面的改變，以改變其重心位置，及增加傾倒抵抗力矩；另由於牆基與地層接觸面積增加及牆重的增加，亦可增加擋土牆的滑動抵抗。增加擋土設施斷面通常施工所需空間不大，施工經費略高，而改善成效，短期、長期皆尚可。

2. 拋石壓重：

在擋土設施前面拋置重石，施作容易、速度快且便宜，但要考量牆前空間問題，而短期改善成效不錯，長期則尚可。一般而言，拋石置重適宜應用在災變之緊急搶救上，對於擋土設施長期之穩定效果應採以其他工法替代。此法對擋土設施滑動抵抗能力的提昇較有幫助。

3. 堆置蛇籠：

在既有擋土設施前堆置蛇籠，即如同拋置重石般，施作容易且快速，然而施作經費略高，改善成效普通，但較拋石壓趾具美觀性及長期實用性。堆置蛇籠施作時，仍要考慮到牆前是否有足夠使用空間之問題。此法亦主要增加擋土設施之滑動抵抗。

4. 打設地錨：

打設預力地錨，因施工機具體積較大，故需較大之施工空間，必要時需將機具予以分解至現場再組合，且施工之單價較高。因地錨長度較不受限，設計時可固定至較深之地層，且可施加預力，直接平衡側向壓力，故改善成效相當理想，但長期須注意到地錨是否有鏽蝕、錨頭滲水及預力消失等問題，造成地錨之安全性大幅下降情形。打設預力地錨，針對擋土設施之滑動破壞，應打設在近牆基處，若針對傾倒破壞，則應打設在近牆頂處。

5. 打設土釘：

打設土釘，所需之作業空間較小，且施工機具較具機動性，所需工期亦較施作地錨為短。施工單價屬中等，而改善成效因土釘長度受限制，且土釘通常不施以預力，故改善成效較地錨為差。打設土釘，針對擋土設施之滑動破壞，應打設在近牆基處，若針對傾倒破壞，則應打設在近牆頂處。

6. 施作抗滑樁：

抗滑樁種類繁多，且長度口徑不一，但通常施工機具較大，需稍大之作業空間，工期亦稍長，且施工單價較高。抗滑樁針對較大規模之擋土設施滑動破壞情況時，則需採用口徑較大且勁度較高之樁體，且其不似地錨有長期強度減弱之情況發生，改善成效良好。而若受到施工空間限制，亦可以小型鑽機施作小口徑的樁體（如微型樁）作為抗滑樁。本工法針對擋土設施之滑動抵抗的改善時，可施作於牆前或牆背；若針對傾倒抵抗時，則可施作於牆背。

茲將以上工法補強成效評估整理成表 5.8。

表 5.8 增加側向抵抗之補強成效評估

改善工法	施工可行性						改善成效						工程經費	備註		
	空間配合			工期配合			短期			長期						
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低			高	中
增加擋土設施斷面	▽				▽			▽					▽			
拋石壓重		▽		▽			▽								▽	牆前要有足夠空間
堆置蛇籠		▽		▽			▽							▽		
地錨	針對滑動	▽			▽		▽						▽			
抗滑樁		▽			▽		▽			▽			▽			可施作牆前或牆背
土釘		▽			▽			▽			▽			▽		宜施打近牆基處
地錨	針對傾倒		▽			▽		▽					▽			宜施打近牆頂處
抗滑樁			▽			▽		▽					▽			宜施作於牆背
土釘		▽			▽			▽			▽			▽		宜施打近牆頂處

5.2.3 改善牆背土壤之補強成效評估

改善牆背土壤工程性質之目的主要為增加牆背邊坡土體之剪力強度，降低擋土設施與邊坡整體滑動破壞之可能性，同時也可減低牆背之土壓力。通常改善之方式，即對牆背土體進行土壤改良，一般常用者為

夯實、置換、灌漿固結或施打土釘予以加勁等。以上所述之工法分別評述如下：

1. 夯實工法：

對既有擋土設施之牆背土體進行夯實，必須將牆背土體挖開，施作不易，且夯實施作時必須考慮到既有擋土牆體之安全性；但夯實工法施作經費低廉，用於改良牆背土壤之剪力強度時，改善成效尚可。

2. 置換工法：

對既有擋土設施之牆背土體進行置換，也必須將牆背土體挖開，施作較不易，且需考慮到回填土石料之來源與供應問題；施工經費則依置換土石料之要求與來源而定，一般較直接夯實經費較高；而用於提高牆背土體剪力強度時，改善成效尚可。

3. 灌漿固結：

使用灌漿工法較不受施工基地之限制，施工性佳，工期亦較短，但施工單價較高，而對提高土體剪力強度之改善效果理想，長期改善效果也不錯。但使用灌漿工法須注意灌漿壓力，以避免損害牆體，另外對邊坡本身之排水能力也有一定之影響。

4. 打設土釘：

打設土釘，所需之作業空間較小，且施工機具較具機動性，所需工期較短。打設土釘施工單價屬中等，而對於牆背土壤之加勁之改善成效尚可。

茲將以上工法補強成效評估整理成表 5.9。

表 5.9 改善牆背土壤之補強成效評估

改善工法	施工可行性						改善成效						工程經費	備註		
	空間配合			工期配合			短期			長期						
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低			高	中
夯實			▼		▼			▼			▼				▼	須挖開牆背
置換			▼		▼			▼			▼				▼	須挖開牆背 須有置換土石來源
灌漿固結	▼			▼			▼			▼			▼			須注意灌漿壓力 可能影響牆背排水
土釘	▼				▼			▼			▼				▼	需鑽孔施作

5.2.4 改善牆基土壤之補強成效評估

改善牆基土壤工程性質之目的主要為增加基礎土體之承載力、剪力強度及降低基礎土壤之壓縮量，不僅可避免擋土設施因沉陷量過大及承載力不足所造成之破壞，也可降低邊坡整體滑動破壞之可能性。通常改善之方式，可對牆基土體進行灌漿固結或用微型樁加勁之土壤改良工法，以及打設較大型之樁基礎來承載上部擋土結構。以上所述之工法分別評述如下：

1. 灌漿固結：

使用灌漿工法較不受施工基地之限制，施工性佳，工期亦較短，但施工單價較高，而對提高牆基土體剪力強度之改善效果理想，長期改善效果尤佳。當既有擋土設施已發生過大之沉陷時，亦可用壓力灌漿方式，將已大量沉陷之擋土結構回復原先狀況。

2. 打設微型樁：

施作微型樁所需作業空間較小，工期亦較短，施工單價中等。就改善成效而言，勁度較一般樁基礎為低，但漿液有固結土壤之效果，故改善成效亦不錯。

3. 施作樁基礎：

施作樁基礎之配合施工機具，需較大作業空間，工期亦較長，且施工單價高。對已完工之擋土結構施作樁基礎，施工相當不易，但可直接以樁基承載上部結構荷重，且基樁之勁度高，改善成效也最為良好。

茲將以上工法補強成效評估整理成表 5.10。

表 5.10 改善牆基土壤之補強成效評估

改善工法	施工可行性						改善成效						工程經費	備註		
	空間配合			工期配合			短期			長期						
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高		中	低

灌漿固結	▼			▼			▼			▼			▼			
微型樁	▼			▼			▼			▼			▼			
樁基礎			▼			▼				▼			▼			須挖開牆基

5.2.5 避免沿潛在弱面整體滑動之補強成效評估

在邊坡深層處有潛在弱面常為造成邊坡連同擋土設施整體滑動之主要原因，如汐止林肯大郡之順向坡滑動即為最著名之例子。如前章所述，潛在弱面包括有順向滑動面、不連續之岩石節理面及岩石與土壤之界面、以及軟弱之泥岩、頁岩層等。要抑止類似之邊坡大規模整體滑動破壞，除盡量避免在有此潛在危機處進行山坡地之開發利用，還有就是要針對可能產生大規模整體滑動之土體，增設其他邊坡穩定設施，如打設地錨、抗滑樁及興建新的擋土設施等。

1. 打設地錨：

需適當之作業空間，以配合施工機具之運作，工期長且施工經費較高。因地錨之打設深度能貫穿潛在弱面或滑動面之下，故間接具有止滑效果，改善成效尚可。使用地錨長期須注意是否有鏽蝕、錨頭滲水及預力消失等問題，而造成地錨之安全性大幅下降情形。

2. 施作抗滑樁：

抗滑樁種類繁多，且長度、口徑不一，但通常施工機具較大，需較大之作業空間，工期亦較長，且施工單價較高。抗滑樁針對較大規模之

邊坡整體滑動破壞補強時，則需採用口徑較大且勁度較高之樁體，以貫穿弱面或滑動面而達穩定邊坡的效果，且其不似地錨有長期強度減弱之情況發生，改善成效良好。

茲將以上工法補強成效評估整理成表 5.11。

表 5.11 避免沿潛在弱面整體滑動之補強成效評估

改善工法	施工可行性						改善成效						工程經費	備註		
	空間配合			工期配合			短期			長期						
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高		中	低
地錨		▼			▼		▼				▼			▼		長度及預力需足夠
抗滑樁			▼		▼		▼				▼		▼			樁體之深度、口徑、勁度需足夠抵抗邊坡滑動

5.2.6 改善排水措施之補強成效評估

邊坡之地下水不僅會造成擋土牆背後水壓力之蓄積，而且亦會弱化邊坡土體強度，故改善邊坡之排水措施常為邊坡穩定設施補強工程之首要項目。通常在擋土牆的設計上均會設置排水設施，以減低強大的牆背水壓力，但常因缺乏定期檢查、清理，進而導致如洩水管阻塞等情況。一般而言，不論選擇何種補強工法，均會配合排水措施之補強。常用的排水措施依改善項目可分為以下三類：

1. 坡面排水：坡頂截水溝及坡面植生等。

2. 牆身排水：牆身洩水管及牆背之透水料排水層。
3. 坡內排水：排水盲溝、橫向排水管、集水井、排水廊道及電氣滲透等方式。

以上所述之工法分別評述如下：

1. 截水溝：

坡頂截水溝之施作簡易，工期短且施工經費低。因可減少地表逕流而降低地表水之入滲量，故短期改善成效佳、長期成效尚可。惟須避免後續邊坡滑動造成截水溝斷裂的情形發生，如此截水溝所收集之大量排水將直接灌入邊坡內，造成更大的危害。

2. 植生：

在邊坡坡面植生，施工容易，但待植生生長完成需較長之時間，施工經費則較低。坡面植生可減少地表逕流及地表水之入滲量、降低地表水之入滲速度，且能提高邊坡土體之穩定性，故對防止坡面沖刷及穩定邊坡之改善成效良好。

3. 洩水管：

打設牆身洩水管施作容易且迅速，單價低廉，可降低牆背水壓之蓄積，改善成效尚可，但洩水管極易阻塞，必須經常維護管理方能使其功能有效發揮。

4. 透水料排水層：

施作時須將牆背土體挖開，且施工具技術性，品質要求高，工期較

長且工程經費稍高。透水料排水層可有效排除牆背後之地下水，降低水壓力，改善成效良好。

5. 排水盲溝：

施作排水盲溝因須將牆背挖開，故較受基地狀況限制，且工期較長，施工單價中等。排水盲溝如能配合牆背濾層有效排水，則改善成效佳。

6. 橫向排水管：

橫向排水管之施工較具技術性，要求品質較高，工期亦較長，施工單價高。橫向排水管可改善距牆背較遠處之地下水位，以避免邊坡土體內因地下水長期蓄積而產生之強度弱化情形，且可因坡內地下水位的降低而增加其有效應力，而增加剪力強度，改善成效佳。

7. 集水井：

在邊坡表面上挖掘集水井，所需之施工機具較大，且工期長、經費高。集水井通常配合施作橫向排水管，以將邊坡內部土體之地下水收集於集水井內再利用抽水泵浦抽出或往下邊坡排放，改善成效良好。本法較適用大型崩塌地之穩定改善。

8. 排水廊道：

須在邊坡內部挖掘隧道，施工機具較大，且工期長、價格高，所以甚少使用，但對改善邊坡內部之排水成效良好。本法亦適用大型崩塌地或地下水量極大之邊坡之改善。

9. 電氣滲透：

此法施工技術性高且工程經費高、所需施工空間較大，亦甚少使用。若邊坡內有大量不易排水之黏性土壤時，利用電氣滲透則為一良好改善成效之排水工法。

茲將以上工法補強成效評估整理成表 5.12。

表 5.12 改善排水措施之補強成效評估

改善工法	施工可行性						改善成效						工程經費	備註		
	空間配合			工期配合			短期			長期						
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低			高	中
截水溝	▽			▽			▽				▽				▽	須避免截水溝斷裂
植生	▽				▽				▽		▽				▽	
洩水管	▽			▽				▽				▽			▽	須於牆體鑽孔
透水料排水層			▽		▽		▽					▽			▽	須挖開牆背
排水盲溝			▽		▽		▽					▽			▽	須挖開牆背
橫向排水管	▽				▽		▽					▽			▽	須於牆體或邊坡施作較長之水平斜孔
集水井			▽			▽	▽					▽			▽	須施作大口徑深井
排水廊道			▽			▽	▽					▽			▽	須在邊坡內築隧道
電氣滲透		▽			▽		▽					▽			▽	

5.2.7 結構性補強之補強成效評估

擋土設施之結構性補強主要分為裂縫填補與斷面補強兩部分。一般地工結構物之裂縫填補材料多為水泥砂漿與環氧樹脂兩類，而擋土結構斷面補強目前則有混凝土斷面、鋼板斷面及纖維強化合成材料等三類斷面補強方法。以上所述之工法分別評述如下：

1. 水泥砂漿填補裂縫

水泥砂漿適用於牆身裂縫較大狀況，裂縫較小易造成砂漿無法通過；施工之單價低；水泥砂漿因僅具修補功用，防止鋼筋鏽蝕，改善成效短期尚可，長期較差。

2. 環氧樹脂填補裂縫

環氧樹脂適用於牆身裂縫較小狀況，施工經費較水泥砂漿稍高。使用環氧樹脂填補裂縫，也僅具修補功用，防止鋼筋鏽蝕等功能，改善成效較水泥砂漿為佳。

3. 混凝土斷面補強

施工空間不需很大，但將長期佔用部分牆前空間，施作完成需進行養護，工期稍長，但工程經費低。改善成效尚可，但長期仍有可能發生混凝土材料劣化情形，需經常進行維護工作。

4. 鋼板斷面補強

施工空間要求不大，因鋼板大多採預鑄，組裝容易施工迅速且經費低。由於運用在擋土結構物上之案例甚少，但用於一般建築結構物之補強成效佳。惟鋼板之防鏽處理必須加以考量。

5. 纖維強化合成材料斷面補強

施工空間要求不大，施工技術性高，且經費也較高。使用纖維強化合成材料斷面補強，運用在一般建築結構物之補強上成效不錯，但運用在擋土結構物上之案例甚少，實際成效也有待評估。

茲將以上工法補強成效評估整理成表 5.13。

表 5.13 結構性補強之補強成效評估

改善工法		施工可行性						改善成效						工程經費			備註
		空間配合			工期配合			短期			長期			工程經費			
		高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
裂縫填補	水泥砂漿	▼			▼			▼				▼			▼		
	環氧樹脂	▼			▼			▼				▼			▼		
斷面補強	混凝土斷面		▼			▼			▼				▼				
	鋼板斷面		▼			▼			▼				▼				須配合防鏽處理
	纖維強化合成斷面	▼				▼			▼				▼				成效尚待評估

綜合以上各節之敘述，茲將各類補強對策與補強工法成效之評估，

整理列於表 5.14 中供參考。

表 5.14 擋土設施補強工法成效整體評估整理

改善對策		施工可行性						改善成效						工程經費			備註
改善項目	可採用工法	空間配合			工期配合			短期			長期			高	中	低	
		高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低				
降低側向壓力	減低土壓力	削坡		▼		▼			▼			▼				▼	須有用地
		夯實			▼		▼			▼			▼			▼	須挖開牆背
		置換			▼		▼			▼			▼			▼	須挖開牆背 須有置換土石來源
		灌漿固結	▼			▼			▼			▼			▼		須注意灌漿壓力 可能影響牆背排水
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面	▼				▼			▼			▼				
		拋石壓重		▼		▼			▼			▼				▼	牆前要有足夠空間 適合緊急搶救
		堆置蛇籠		▼		▼				▼			▼		▼		
	增加穩定構件 針對滑動	地錨		▼			▼		▼			▼		▼		宜施打近牆基處	

		針對 傾倒	抗滑樁	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	可施作牆前或牆背
			土釘	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	宜施打近牆基處
			地錨	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	宜施打近牆頂處
			抗滑樁	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	宜施作於牆背
			土釘	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	宜施打近牆頂處

表 5.14 (續) 擋土設施補強工法成效整體評估整理

改善對策		施工可行性						改善成效						工程經費			備註
改善項目	可採用工法	空間配合			工期配合			短期			長期			工程經費			
		高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	
改善牆背土壤	增加剪力強度	夯實			▽		▽			▽			▽			▽	須挖開牆背
	置換			▽		▽			▽			▽			▽	須挖開牆背 須有置換土石來源	

		灌漿固結	▼		▼		▼		▼		▼		須注意灌漿壓力 可能影響牆背排水
		土釘	▼		▼		▼		▼		▼		需鑽孔施作
改善牆 基土壤	增加剪力強度 減少沉陷量	灌漿固結	▼		▼		▼		▼		▼		
		微型樁	▼		▼		▼		▼		▼		
	增加穩定構件	樁基礎		▼		▼		▼		▼			須挖開牆基
避免潛 在弱面 整體滑 動破壞	增加穩定構件	地錨		▼		▼		▼		▼			長度及預力需足夠
		抗滑樁		▼		▼		▼		▼			樁體之深度、口徑、 勁度需足夠抵抗邊坡 滑動

表 5.14 (續) 擋土設施補強工法成效整體評估整理

改善對策		施工可行性		改善成效		工程經費	備註
改善項目	可採用工法	空間配合	工期配合	短期	長期		

			高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低			
改善排水措施	坡面排水	截水溝	▼			▼			▼				▼					▼	須避免截水溝斷裂	
		植生	▼				▼				▼			▼					▼	
	牆身排水	洩水管	▼			▼				▼					▼				▼	須於牆體鑽孔
		透水料排水層				▼		▼		▼				▼				▼		須挖開牆背
	坡內排水	排水盲溝				▼		▼		▼				▼				▼		須挖開牆背
		橫向排水管	▼				▼			▼				▼				▼		須於牆體或邊坡施作較長之水平斜孔
		集水井				▼		▼		▼				▼				▼		須施作大口徑深井
		排水廊道				▼		▼		▼				▼				▼		須在邊坡內築隧道
		電氣滲透	▼				▼			▼				▼				▼		
	結構性補強	裂縫填補	水泥砂漿	▼			▼				▼				▼				▼	
環氧樹脂			▼			▼			▼					▼				▼		

	斷面補強	混凝土斷面	▼	▼	▼	▼	▼	
鋼板斷面		▼	▼	▼	▼	▼	須配合防鏽處理	
纖維強化 合成斷面		▼	▼	▼	▼	▼	實際應用案例甚少 成效尚待評估	

5.3 補強工法之選擇原則

在「5.2 補強工法成效總體評估」一節中，概略將目前一般所使用的補強工法，依照所針對的破壞原因加以分類，並以「施工可行性」、「改善成效」及「經濟性」等三項工法特性分別評估。而在本節中，則將討論如何應用評估結果於工法選擇上及補強工法之選擇原則。

邊坡穩定設施之補強工程，需經由通過檢定之專業技師依照作業流程加以設計。一般作業流程包括含現地調查之前置作業、原始資料檢討、監測、工法選擇、設計及安全評估等。其中工法的選擇，往往是最具關鍵性的一步，前節之評估結果，則可提供為專業技師於進行工法選擇時之初步參考依據。

不同施工基地的特性，往往是選擇補強工法的重要因素。故必需針對不同基地的特性，慎選適合的補強工法。一般而言，在進行選擇補強工法時，可依照以下幾個步驟：

1. 判斷造成破壞的潛在因素，並針對破壞因素列出可使用的補強工法。若造成破壞的因素超過一個以上，則分別針對各種破壞因素列出補強工法。
2. 在列出所有可行工法後，參考「5.2 補強工法成效總體評估」一節，依照現場基地狀況，對各種工法分別以「施工可行性」、「改善成效」及「經濟性」等三項評估其適用性。
3. 在就以上三點完成評估後，再進一步分析其是否有出現具有「唯一強制性」的條件。所謂「唯一強制性」的條件，指的是現場基地的

某些特性，足以限制工法的使用。換言之，唯有符合此一特性的工法，方能使用於此一基地。舉例來說，原本在預力地錨工法及土釘工法進行評估，兩者互有優劣，但因施工基地過於狹小，致使預力地錨之施工機具無法進入，則此時唯一強制性條件出現，應採用土釘工法為補強工法。一般常發生的「唯一強制性」列舉如下：

- (1) 基地空間不足供施工機具施工。
 - (2) 基地進出通路不足供施工機具進入。
 - (3) 基地空間不足供補強工法加設所需設施。
 - (4) 工期長的工法不適用於緊急搶救性質的基地。
 - (5) 若基地與鄰近建物過近或已危及鄰近建物，則以改善成效為優先考慮。
 - (6) 土地使用權有糾紛之狀況下不適宜使用削坡工法及伸入他人用地範圍內之工法。
4. 若無所謂「唯一強制性」之條件，則此時應就以上三點之評估結果，取得一最佳之平衡點，作為選擇補強工法之依據。

本文所提出之補強工法評估及工法選擇之原則，均為提供專業技師進行邊坡穩定設施補強設計時之建議，坡地社區在遭遇類似問題時，應交由專業技師依作業流程進行調查檢討，並參考本文建議，配合現地實際狀況善加設計，並嚴加管制施工品質及完工後進行監測，方能達到良好的補強效果，避免再度發生災害。

第六章 邊坡穩定擋土設施補強案例研究

為對於國內目前坡地社區所採用之邊坡穩定擋土設施補強工法有所瞭解，並進一步研究補強工法之適用性及驗證成效評估，乃收集工程顧問公司所提供之坡地社區擋土設施破壞補強之案例資料進行分析檢討。根據各個案例的破壞情形及補強改善工法加以歸納整理，並與前章所列之工法評估作一比較。

6.1 既有邊坡補強案例資料

本節中將既有的案例資料加以整理，並將案例資料整理分類為：基地概述、原有擋土形式及破壞狀況、擋土設施補強之工法、及監測系統設置情形。收集到的社區邊坡補強案例資料有六個，共計四十九處邊坡及擋土構造，資料來源為顧問工程公司所提供，這些資料基地範圍大致分佈在大台北地區，以案例 A-1、A-2、A-3、B-1、B-2、B-3 命名之且依序將其整理詳述於下：

案例 A-1

一、案例 A-1 社區基地概況

本案例為社區道路之下邊坡上、下兩座擋土牆（靠近道路者稱為上座擋土牆，遠離道路者稱為下座擋土牆），上座長約 220 m，下座長約 260 m，整個工程所涵蓋面積約為 1.7 公頃。

原使用之擋土型式，上下兩座均為扶壁式 RC 擋土牆，其原設計資料為牆厚 35 cm 80 cm，扶壁壁厚 40 cm，中心距為 3.5 m，牆高分別為 12 m 與 9 m。基礎為直徑 60 cm 的基樁，樁底擴座 80 cm，樁長分別為 21

m (上座擋土牆) 及 14 m (下座擋土牆) 入岩至少 1 m。根據原地錨施工廠商所提供之擋土牆面原打設之預力地錨原始資料如表 6.1 所示。

表 6.1 案例 A-1 社區原打設預力地錨原始資料

擋土牆	地錨	鋼鍵	鎖定拉力	自由段長	固定段長	打設俯角
上座	第一階	5 12.7 mm ϕ	40 T	40 m	10 m	20°
	第二階	5 12.7 mm ϕ	40 T	40 m	10 m	20°
下座	第一階	5 12.7 mm ϕ	40 T	48 m	12 m	25°
	第二階	5 12.7 mm ϕ	40 T	48 m	12 m	25°

由鑽探調查結果發現，基地地層概況由上而下概分兩個層次，分別為回填覆土層及岩層，如表 6.2 所示。

表 6.2 案例 A-1 社區基地地層概況

地層	主要組成	備註	地層性質參數	
			參數名稱	參數範圍
回填覆土層	砂土夾岩塊、礫石及磚塊等回填覆土	靠近擋土牆附近厚度達 17.3 ~ 30.0 m 以上	N 值	介於 3 ~ 55
			當地密度	2.20 t/m ³
			自然含水量	介於 9 % ~ 28 %
			孔隙比	介於 0.23 ~ 0.74 , 平均為 0.41
岩層	黃棕色或灰色砂岩偶夾頁岩	鑽孔內本層風化程度高	岩心 R.Q.D	介於 0 ~ 55 之間
			岩石材料單軸壓力強度	介於 41 ~ 78 kg/cm ²

於補充鑽探調查期間，某鑽孔（水位觀測井埋設深度為 20 m）地下水水位觀測結果發現，其地下水水位約位於地表下 14 m ~ 16 m 左右，而依現場勘察擋土牆排水孔出水痕跡頗高。

二、案例 A-1 社區邊坡穩定設施潛在破壞情形

本案例社區曾為瞭解社區道路下邊坡兩座擋土牆之穩定情形，委託技師事務所進行補充地質鑽探、地形測量以及擋土邊坡穩定分析，並依社區所提供擋土牆有關設計及施工資料，對該擋土牆（上座長約 220 m，下座長約 260 m）及邊坡進行安全評估，評估後提出包含打設地錨、水平排水管、洩水孔與牆面整修等補強改善設計方案及安全監測系統規劃建議，而社區亦隨即進行相關擋土牆打設水平排水管、洩水孔與牆面整修等第一階段穩定改善工作，以及安全監測系統安裝及觀測，其配置圖如圖 6.1 所示。

後來於雨季間，社區道路局部路段填土區發生有空洞下陷及少數原有地錨錨頭損壞情形，社區乃即時進行填充灌漿工作，並為求慎重起見委託技師事務所至現場勘察，由技師事務所根據勘察的結果與新近獲得之資料，重新檢討擋土牆穩定性，並依分析結果重新進行補強改善設計。除此之外上、下兩座扶壁式擋土牆並無傾倒、滑移或承载力不足之問題。

依補充地質鑽探結果瞭解，本工程回填覆土層厚度達 17.3 m ~ 30.0 m 以上，經評估可能滑動深度內之地層均為回填土層，因此研判擋土牆可能之滑動模式為圓弧滑動破壞。

三、案例 A-1 社區擋土設施針對潛在破壞情形所採用之補強工法

依社區提供之上、下兩座擋土牆之原設計及施工資料瞭解，擋土牆

之形式為扶壁式 RC 擋土牆，基礎為 60 cm ϕ 基樁，擋土牆面現有 2 3 排預力地錨。經分析評估結果，上、下兩座扶壁式擋土牆無傾倒、滑移

或承載力不足之問題，邊坡之穩定性主要係由整體邊坡滑動所控制。而擋土邊坡抗滑動機制，係由地層潛在滑動面之抗滑力、擋土牆基樁之抗滑，及預力地錨之錨碇力所組成抵抗邊坡之滑動力。

本案例針對潛在破壞情形所選擇之補強方法分類詳述如下：

1. 補打設預力地錨

在本案例中，依擋土牆邊坡現況穩定分析結果，邊坡剖面安全係數未達長期穩定之標準，所以採用預力地錨加以補強，提高擋土牆邊坡之安全係數至長期穩定之設計標準。由於擋土牆所在基地回填覆土層厚度達 17.3 m 30.0 m 以上，為使地錨發揮應有之設計拉力，預力地錨錨碇段應使之座落於錨碇力較佳之岩層。

2. 補充打設洩水孔及水平排水管

在本案例中經勘察發現，擋土牆牆面之水痕頗高，故研判可能有部份之洩水孔及排水管喪失功能，故需加以疏通並增加洩水孔及排水管之設置數量，以降低地下水壓增加其穩定性。減少作用於擋土牆之水壓，對增加擋土牆及邊坡之穩定性而言乃一經濟而有效之方法，惟需注意打設之洩水孔及水平排水管需與地錨錨座位置交錯配置，以避免水流入錨座，造成錨頭腐蝕。

3. 社區道路路邊排水設施之清理及檢修

在本案例中由於擋土牆背主要為回填土層，排水設施座落於厚層回填土上，容易因填土沈陷或差異沈陷而導致排水設施之斷裂損壞，而使水下滲，造成地層滑動。故必須定期（每季一次）及不定期（雨季及颱風前後）清理並檢修排水溝，以維護其正常排水情形。

4. 擋土牆施工縫開裂處加以修繕（牆面整修）

上座擋土牆牆面發現有兩處垂直施工縫開裂(寬度約 1 至數公分),需將其清理乾淨後,填補填縫膠,以避免產生牆背土水流失所產生的負面影響。

四、案例 A-1 監測系統

在本案例中由於所在地層主要均為穩定性較差之回填土層,且部份早期施作之預力地錨品質部份資料並不確定是否精確,且擋土牆隔 10 m 外即為鄰房,因此確保及維護擋土邊坡之穩定性,格外的重要。

為提供後續擋土邊坡穩定維護及評估之參考,本案例於鄰房及擋土牆適當位置安裝傾度盤,並於上、下兩座擋土牆牆頂附近,鑽孔安裝埋設傾斜觀測管,定期實施監測。監測頻率為常時每月一次,遇暴雨或地震,即行監測,如傾斜量或位移量有異常現象發生,應加強監測,必要時應立即委請專業技師加以檢討改善。



圖 6.2 案例 A-1 社區補強後擋土牆牆面



圖 6.3 案例 A-1 社區補充打設洩水孔



圖 6.4 案例 A-1 社區埋設的傾斜觀測管



圖 6.5 案例 A-1 社區道路填土區發生空洞下陷區域改善整治後情形

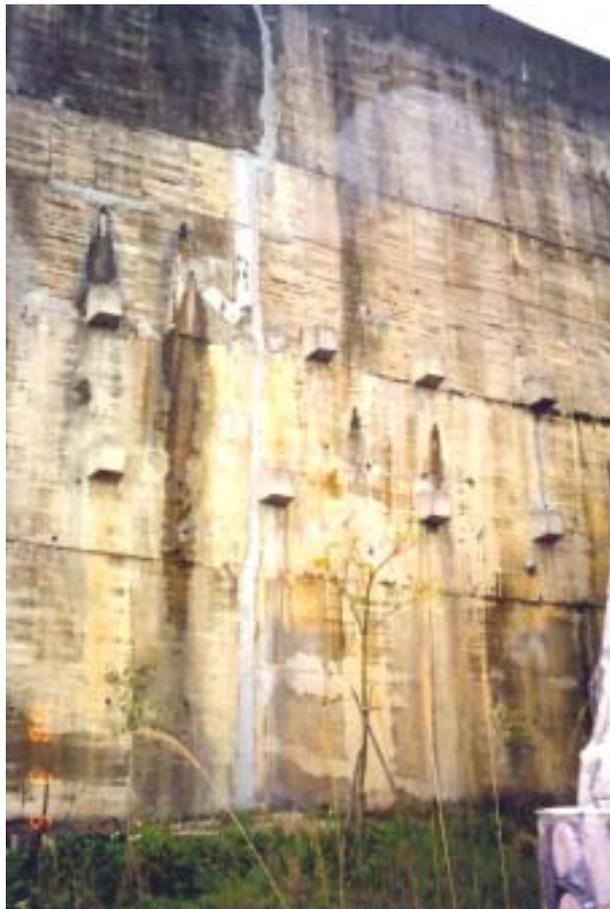


圖 6.6 案例 A-1 社區牆面裂縫修補

案例 A-2

一、案例 A-2 社區基地概述

本案例社區，基地面積約十餘公頃。基地地形大致可分為整地區域及未整地區域。整地區域地形因應建築配置而成階梯型之平台地形，係沿社區道路兩旁或深入之巷道立地而生，但各階平台地形高差並不大；社區道路成帶狀貫穿整個社區，且為單向升降坡性質，整個社區首尾之建築平台有將近 100 公尺之高差。而未整地地區係圍繞於社區住宅之外圍，屬陡峭之山坡地，地表植生狀況良好，排水主以山溝導流，流量甚大。本社區階梯性平台平緩，社區總高差大及道路縱坡度甚陡為本基地地形之主要特徵。

本社區地層係屬於漸新世五指山層，主要由塊狀厚層白色細至粗粒砂岩及深灰色頁岩所組成。地層層面走向大致為東北—西南走向，向東南傾斜約 38° ，依本社區地形坡向，幾乎全屬於順向坡範圍。此外，於本社區外東北及東南方各有一處小型崩塌地，另於社區南側標示有一處小區域之填土區，本社區應無大規模挖填土之情形。附近之重大地質構造為距離本社區西北方達 2 公里左右的崁腳斷層，研判不致對本社區造成安全上之影響。

據曾參與社區開發之現住戶表示，本社區相關之地層鑽探資料均已散失無從取得。依本社區區域地形特徵，社區道路坡度與建築配置狀況，以及現場勘察部份道路挖方邊坡岩盤出露之情形加以研判，本社區應無大規模挖填之情形，覆蓋層厚度應不致太厚，而部份出露之岩層岩性，多為棕黃色風化至輕度風化之砂岩為主地層。而局部區域如社區中部東側道路邊緣及南側谷地附近，研判則為厚度不一之回填土區。

從非下雨天之擋土牆出水孔時常有水狀態及室內牆壁潮濕，道路邊溝於非下雨天時常有流水等狀況研判，本基地地下水量應屬充沛，研判

地下水位頗高，尤以谷地區之道路路面滲出水為最。

本社區面積廣達十餘公頃，而開發密度不高，因而未開發區域多形成邊坡。由於本社區開發型態多順應地形加以整地，應無大規模挖填之情形。自然邊坡部分地表植生尚稱良好，且未發現有樹木傾斜生長之現象；人工邊坡部分，坡腳處或設有擋土牆、駁坎，牆高多在 3 公尺以下，有少部分邊坡開挖面岩盤已出露，岩性多以砂岩為主。

二、案例 A-2 社區邊坡原有擋土形式及潛在破壞情形

本社區之擋土設施多為 RC 擋土牆，部份牆高較高者並打設預力岩錨。整體而言，依牆面洩水孔之出水情形研判，現有擋土牆牆面排水功能尚佳。並未發現現有擋土牆體有明顯損壞、龜裂或牆體傾斜之情形。惟現勘發現有一處位於社區中部東側之擋土邊坡，坡高約 20 餘公尺，坡面坡度約 30° 35° 左右。坡腳處設有一座高約 6 7 公尺之岩錨（二階）擋土牆。牆前距離約 1 3 公尺處有一棟 6 層樓 RC 建築物，因此擋土牆牆頂並加高作為攔石牆。上邊坡坡頂設有漿砌卵石駁坎及 RC 擋土牆，牆頂平台即為社區道路。政府單位曾於數月前，於坡頂原有擋土設施外側打設簡易 H 型鋼 RC 擋土牆加強穩固。坡頂社區道路 AC 路面有數道張力裂縫，雖經以水泥漿修補，但部份裂縫似有繼續發展之現象；而位於該邊坡坡腳高約 6 7 公尺之岩錨擋土牆，牆背排水狀況尚稱良好，但少數地錨錨頭亦有長期出水情形，對地錨錨頭及鋼腱之防蝕有不利之影響。

根據區域及環境地質圖上標示之地層層面位態（約東北—西南走向，向東南傾斜約 38°）與該邊坡之坡向研判，該邊坡應無順向滑動之問題，惟依現勘結果，該邊坡坡頂及部份道路用地局部可能為填方區域，有必要加強該擋土設施之穩定性。

三、案例 A-2 社區邊坡擋土設施針對潛在破壞情形所採用之補強工法

本社區地層層面走向大致為東北-西南走向，向東南傾斜約 38°。依社區地形坡向，本社區幾乎全屬順向坡範圍。惟經研判本社區應無大規模整地挖填之情形，且現場勘察結果，亦未發現社區內邊坡有順向滑動之可疑跡象。在擋土設施方面，本社區除於基地東北側與東側附近有較大規模之擋土設施及預力地錨外，其他區域之擋土牆多在 3 公尺以下，尚無發現有明顯損壞或擋土牆牆面傾斜之情形。

經綜合評估結果，本社區邊坡及擋土設施雖應無大規模順向滑動之顧慮，惟於本社區內有一處擋土邊坡及社區外聯外道路之七處邊坡，仍有必要進一步加以補強改善或整治，詳細改善地點、現場狀況、改善處理方案詳述於後，並將其整理如表 6.3 所示，其位置則如圖 6.7 及圖 6.8 所示。

編號 S-1 區（社區中部東側邊坡，道路下邊坡）

在本區中道路路面有數道張力裂縫，已以水泥砂漿修補，惟部分裂縫仍有繼續發展之趨勢，為改善此種情形，於現有 RC 擋土牆施作一道臥樑，並補強打設預力地錨，錨碇於岩層中。為了避免裸露坡面受雨水沖刷崩落，於現有擋土牆牆腳裸露坡面植生，坡頂路邊磚砌花台整修。

在邊坡的坡腳處，設有岩錨擋土牆，與建築物距離約僅 1-3 公尺，擋土牆排水狀況尚稱良好，惟部分錨頭有長期出水情形，為改善此狀況，於擋土牆上補打洩水孔及增設水平排水管。

編號 S-2 區（社區入口西方約 360 公尺處，道路上邊坡）

現有的噴漿面坡頂覆蓋層發生局部坍方，遇豪雨可能會向上繼續坍方而影響社區聯外交通。針對此問題之改善方案為以掛鋼絲網噴凝土加錨筋方式穩定坍滑坡面。



圖 6.7 案例 A-2 社區之邊坡檔土設施改善位置圖

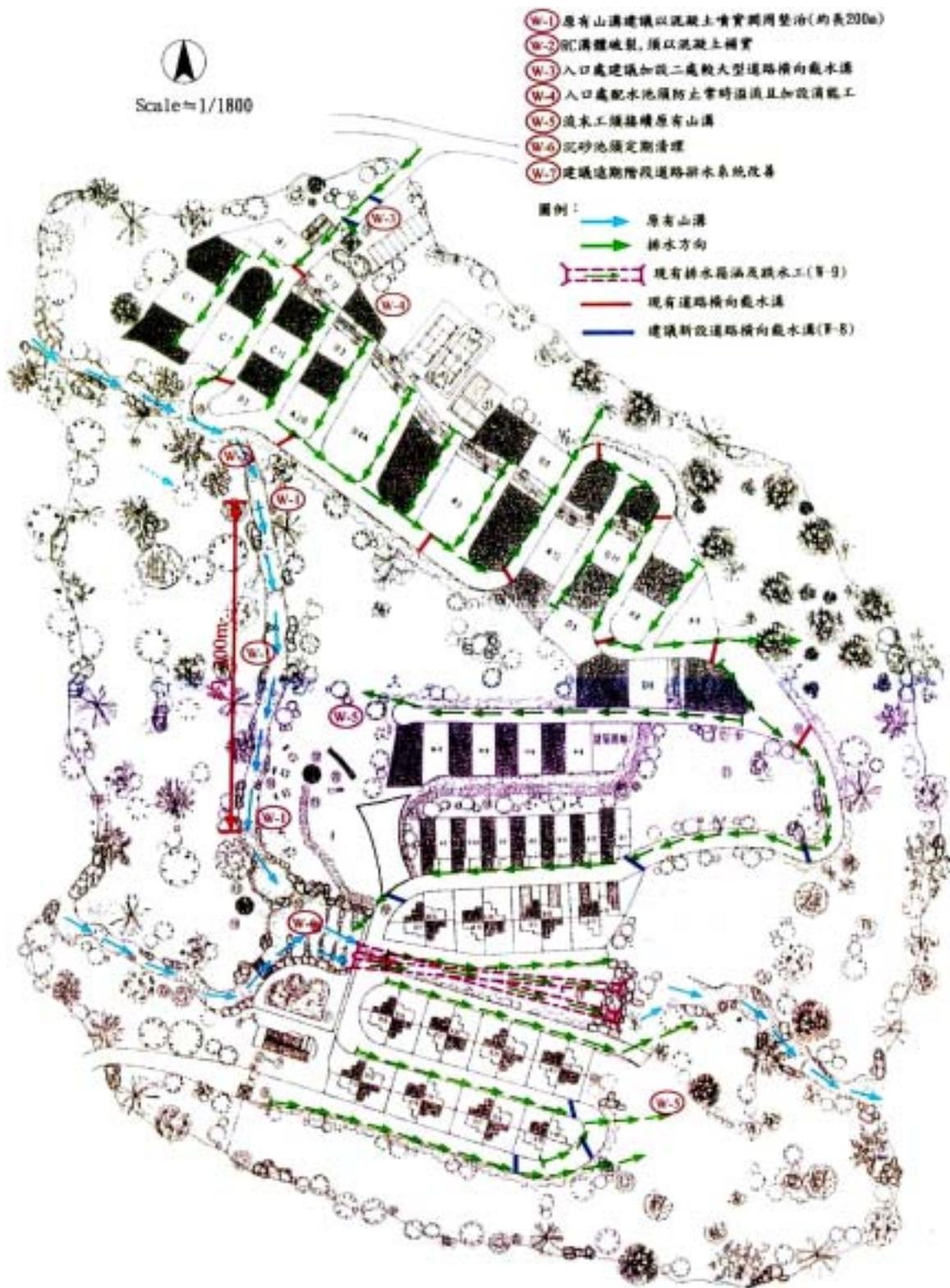


圖 6.8 案例 A-2 社區之排水改善方式及其位置圖

編號 S-3 區（社區入口西方約 340 公尺處，道路上邊坡）

道路上邊坡局部坍塌、坡面裸露，坡腳有落石堆積；遇豪雨有沖刷坡面、危害邊坡之顧慮；AC 路面局部破損。以掛鋼絲網噴凝土加錨筋方式穩定坍塌坡面的方式來改善。

編號 S-4 區（社區入口西方約 300 公尺處，道路上邊坡）

RC 駁坎上方邊坡局部坍塌，坡面裸露、陡峭，不排除有繼續坍塌或落石之顧慮。針對此問題之改善方案為以噴凝土格子框（2 m × 2 m）加錨筋（25 mm ϕ ，L=5 m）護坡，框間植生。

編號 S-5 區（社區入口西北方約 100 公尺處，道路上邊坡）

為舊有崩塌區，坡面裸露，局部區域有出水現象，不排除有落石之虞；坡腳處局部有新設 RC 駁坎，排水狀況不佳。處理的方式為以噴凝土格子框（2 m × 2 m）加錨筋（25 mm ϕ ，L=5 m）護坡，框間植生。

編號 S-6 區（社區入口北方約 200 公尺處，道路上邊坡）

開挖邊坡岩盤出露，有巨石或岩塊凸出坡面，由於岩層節理發達，不排除有落石而危害用路人車安全之顧慮。處理的對策是敲除有落石顧慮之岩塊，或以混凝土穩固浮石根部，並以岩栓錨碇岩塊（約每 4 m²錨碇 1 支岩栓）。

編號 S-7 區（社區南側出口西方約 300 公尺處，道路上邊坡）

屬於舊有小型坍塌邊坡，以新建擋土牆護坡，惟牆頂及兩側坡面裸露，長期而言，易受沖刷，對該擋土邊坡之安全有不利之影響。所以在

裸露坡面加強植生護坡以改善。

編號 S-8 區（社區南側出口西方約 300 公尺處，道路下邊坡）

此道路下邊坡為新近坍塌之邊坡，坡面裸露，遇豪雨有再次崩塌之顧慮。以噴凝土格子框（2 m × 2 m）加錨筋（25 mm ϕ ，L= 5 m）護坡，框間植生來改善處理。

四、案例 A-2 監測系統設置及成果

選定本社區內 3 處邊坡及擋土牆，安裝編號 A-1 A-4 等共 4 孔之傾斜觀測管，透過滑動監測結果，除對該邊坡及擋土牆之穩定狀況有所掌握外，並可藉以評估後續整治改善工程之成效；此外，另選定 5 處地點，安裝編號 B-1 B-5 等共 5 孔之地下水位觀測井，藉由定期水位監測結果，瞭解地下水位的分佈與變動情形，提供後續分析研判之參考。

監測之頻率建議採每二個月定期監測一次；遇豪大雨或地震（當地震度超過 4 級以上）時，加測一次。監測結果如有異常，除提高監測頻率外，並應及時委託專業技師勘察評估，採取必要之應變措施。

表 6.3 案例 A-2 社區擋土設施補強及邊坡改善工法

編號	現況說明	改善處理方案
S-1	坡頂路面有數道張力裂縫，已以水泥漿修補，惟部分裂縫仍有繼續發展之趨勢。	於現有 RC 擋土牆施作一道臥樑，並補強打設預力地錨，錨碇於岩層中；現有擋土牆腳裸露坡面植生，坡頂路邊磚砌花台整修。
S-1	部分錨頭有長期出水情形。	坡腳岩錨擋土牆補打洩水孔至 2 m ² 一處，水平排水管 (L=8m) 3 m× 3m 一處。
S-2	現有噴漿面坡頂覆蓋層局部坍塌，如遇豪雨，不排除有向上繼續坍塌而影響社區聯外交通。	以掛鋼絲網噴凝土加錨筋方式穩定坍塌坡面。
S-3	道路上邊坡局部坍塌、坡面裸露，坡腳有落石堆積；遇豪雨有沖刷坡面、危害邊坡之顧慮；AC 路面局部破損。	以噴凝土格子框(2 m × 2 m)加錨筋(25 mmφ , L= 5 m)護坡，框間植生；AC 路面修補。
S-4	RC 駁坎上方邊坡局部坍塌，坡面裸露、陡峭，不排除有繼續坍塌或落石之顧慮。	以噴凝土格子框(2 m × 2 m)加錨筋(25 mmφ , L= 5 m)護坡，框間植生。
S-5	舊有崩塌區，坡面裸露，局部區域有出水現象，不排除有落石之虞；坡腳處局部有新設 RC 駁坎，排水狀況不佳。	以噴凝土格子框(2 m × 2 m)加錨筋(25 mmφ , L= 5 m)護坡，框間植生。
S-6	開挖邊坡岩盤出露，有巨石或岩塊凸出坡面，由於岩層節理發達，不排除有落石而危害用路人車安全之顧慮。	敲除有落石顧慮之岩塊，或以混凝土穩固浮石根部，並以岩栓錨碇岩塊(約每 4 m ² 錨碇 1 支岩栓)。
S-7	舊有小型坍塌邊坡，以新建擋土牆護坡，惟牆頂及兩側坡面裸露，長期而言，易受沖刷，對該擋土邊坡之安全有不利之影響。	裸露坡面加強植生護坡。
S-8	新近坍塌之邊坡，坡面裸露，遇豪雨有再次崩塌之顧慮。	以噴凝土格子框(2 m × 2 m)加錨筋(25 mmφ , L= 5 m)護坡，框間植生。



圖 6.9 案例 A-2 位置 S-1，部分錨頭有長期出水情形
改善處理方案：補打洩水孔及水平排水管



圖 6.10 案例 A-2 位置 S-2，現有噴漿面坡頂覆蓋層局部坍方，如遇豪雨極易坍方，影響社區聯外道路。

改善處理方案：以掛鋼絲網噴凝土加錨筋方式穩定坡面。



圖 6.11 案例 A-2 社區聯外道路邊坡蛇籠護坡



圖 6.12 案例 A-2 社區聯外道路邊坡落石欄工程



圖 6.13 案例 A-2 社區聯外道路邊坡攔石牆工程



圖 6.14 案例 A-2 社區聯外道路邊坡整治工程

案例 A-3

一、案例 A-3 社區基地概述

本基地位於一北向南降低之坡地，坡向為南向。坡度分析採方格法計算，平均坡度為 26.37 %，依據「水土保持技術規範」將山坡地依照百分坡度區分為一至七級，本基地坡度屬三級坡，如表 6.4 所示。

表 6.4 案例 A-3 社區坡度分析表

坡度分級	計算格數	面積（平方公尺）	面積百分比（%）
一級（0% 5%）	1	395.6	16.84
二級（5% 15%）	1	496.7	21.15
三級（15% 30%）	2	224.8	9.57
四級（30% 40%）	1	518.1	22.05
五級（40% 50%）	3	713.8	30.39
六級（55% 100%）	0	0	0
七級（100%以上）	0	0	0
合計	8	2349.0	100

本基地地層大致可分為二個主層次，由上而下依次為：

1. 第一層：回填覆蓋土層

本層厚度約為 4.10 7.30 公尺，而現場標準貫入試驗之 N 值介於 2 至 18，N 值差異頗大，可能係回填沉泥質粘土夾有細砂、岩塊或部份區域回填較為疏鬆所致，土壤平均單位重為 2.05 t/m³，塑性指數介於 28.7 14.1%之間，自然含水量約 17.7%，液性限度約 32.2%，平均孔隙比 0.55，土壤無圍壓縮強度介於 0.28 0.77 kg/cm²。

2. 第二層：灰色或青灰色泥質砂岩與砂岩互層

本層除上部厚約 0.85 ~ 5.2 公尺，風化嚴重呈棕黃色外，土層大致呈灰色或青灰色，砂岩材料強度極軟，大拇指可輕易壓碎，泥質砂岩強度甚軟，大拇指可壓出凹痕，遇水即軟化，顯示岩層膠結不佳，壓密及成岩作用均不完全。各土層之物理性質及力學特性簡化後整理成表 6.5 所示。

表 6.5 案例 A-3 社區各地層之土層參數

地層層次	厚度分佈(m)	地層說明	單位重 (t/m ³)	C (t/m ²)	φ (度)
1	4.19 m ~ 5.9 m	回填覆蓋土層	2.05	0.0	22
2	20.9 m 以上	灰色或青灰色泥質砂岩 與砂岩互層	2.20	3.0	29

並由鑽探資料中得知，由於岩層膠結不佳，故地層層面不明顯且附近均無露頭可供量測位態。但由地質圖，基地附近地層與基地擋土牆呈斜交，故本基地北側之擋土牆應無順向坡滑動之虞。本基地內之建物為地上七層、地下一層之集合住宅。基地北側施作十二米預壘樁及地錨背拉擋土牆。

二、案例 A-3 社區邊坡穩定設施潛在破壞情形

於建築過程中發現基地北側於雨季時，地下水位較為豐富，為確保邊坡穩定安全無虞，於施工時變更施作擋土設施，並進行若干補強及改善措施，以使基地北側擋土牆符合安全需求。

三、案例 A-3 社區擋土設施針對潛在破壞情形所採用之補強工法

於基地北側現有擋土邊坡進行補強改善設施及建築物四周進行排水、沉砂、滯洪等設施施工。

1. 邊坡改善工程

本工程為使基地北側擋土牆安全係數符合最小安全係數之要求(內政部營建署基礎構造設計規範 77 年版：抗滑安全係數平常時為 1.5，地震時為 1.2，最高水位時為 1.1)，需對擋土邊坡進行補強及改善現有擋土措施。本工程除考量基地內二階擋土牆之穩定外，並將鄰地道路旁擋土牆一併考量其邊坡穩定情形。本工程對已施作完成之擋土牆進行下列補強及改善措施：

施作 20m 的水平集水管。

施作 45T 預力地錨、RC 橫樑。

2. 排水改善工程

排水設施最主要目的將地表逕流水或地下滲透水有效引導、分流或排除至安全地區，避免因逕流集中，造成坡面沖蝕、減低孔隙水壓力，以避免坡地災害發生。本案例在基地內補設置之排水設施如下：

排水溝及集水井工程。

沉砂池及滯洪池。

四、案例 A-3 監測系統監測狀況

本案例計鑽孔埋設傾斜觀測管 3 支、水壓計 2 支，並於基地北側擋土牆裝設 6 處傾度盤，擋土牆尚未補強時之觀測結果(補強改善處理後

的各項觀測結果尚缺)如下：

1. 傾斜管量測結果：缺。
2. 水壓計觀測結果：由量測結果加以比較後得知，本區地層地下水壓有持續升高之趨勢。
3. 傾度盤之觀測結果：有不穩定之現象。

案例 B-1

一、案例 B-1 基地概況

本社區地形高度約在海拔 100 350 公尺間，坡度約為 15° 30°，地形上可分為兩個地形區，一為呈南北走向之緩坡山脊，一呈東西向之高峻山脊。高峻山脊之北邊坡之主要建物為編號第 63 106 棟房屋，這部份坡度較陡峻，為台灣北部極重要之地質構造線-崁腳斷層通過之地區，因而該區之地層位態不規則，岩性破碎，尤以主道路之部分邊坡為甚。平緩山脊部份之主要建物為編號第 1 62 棟房屋，地質狀況較為單純，岩層位態近乎水平，且底部為較佳之厚層砂岩，上部則為岩性較弱之頁岩與砂頁岩的薄互層，局部位置有陡峭岩壁位於馬路旁，常有浮石附於岩壁坡面上，且有掉落之虞。

本社區面積約 80 公頃，地表露出之地層為大寮層及五指山層，地質構造上，東南方有崁腳斷層，北方有一向斜軸。地層層序厚度，及一般岩性如表 6.6 所示。

表 6.6 案例 B-1 社區地層厚度岩性

地層	深度 (m)	岩性
大寮層	350 450	上、中部以砂岩為主，下部為砂頁岩互層，部份含凝灰岩體。
木山層	450 750	白色砂岩、黑色頁岩及砂、頁岩薄互層，含煤層。
五指山層	750 以上	上部黑色頁岩，中、下部白色粗粒砂岩或礫岩。

多棟建物均有房前地坪下陷破裂情形，另較嚴重者有基礎和上部結構分離情形。本社區之擋土措施主要以漿砌卵石擋土牆為主，其次為 RC 擋土牆，局部位置則有施作抗滑排樁的情形。

二、案例 B-1 社區邊坡穩定設施潛在破壞情形

由於本社區經過二十餘年陸續的整治，部分曾經發生坍塌的邊坡經施作護坡後現已趨於穩定。經踏勘調查瞭解，本社區除局部坡面因表土層較厚，受雨水沖刷而產生坍塌外，並無大規模邊坡滑動情形，邊坡滑動仍是以填方沉陷為主。擋土措施之損壞情形以漿砌卵石擋土牆較為嚴重，各處之漿砌卵石擋土牆或多或少有些裂縫。造成擋土牆產生裂縫之原因，初步研判主要為邊坡滑移沉陷、牆體強度不足與牆身排水不良所致，因此於施作邊坡穩定措施之後，對牆身有強度不足之顧慮的擋土牆，須再進行補強措施。

三、案例 B-1 社區擋土設施針對潛在破壞情形所採用之補強工法

本社區邊坡之主要損害模式可概分為五大類型，在不同的位置針對不同的潛在破壞情形有不同的改善處理方案，詳述於下：

1. 回填土下陷滑移

本種破壞模式主要係因回填土夯實不足，或回填土強度不足所致，常導致地坪破裂下陷及擋土牆破裂，其整治措施應以坡內強化改善及坡前擋土結構設施方式處理。發生的區域有：第一區、第五區、第六區、第八區、第九區、第十區、第十一區及第十三區等。採取的整治方案如下所示：

20 cm ϕ 微型排樁

20 cm ϕ 微型排樁施拉地錨

現在擋土牆以 RC 橫樑或噴凝土格子框施拉預力地錨補強
以 8 cm ϕ 滲流水集水管加速排除地下水。

2. 舊有崩坍地或崩積土滑移

本種破壞模式主要是因建築結構體位於舊有坍滑地或崩積土層上，由於坍滑地或崩積層尚未穩定，因此建築結構體易受地層滑動影響而產生破壞。此種地層滑移所須之整治措施亦是以坡內強化改善及坡前擋土結構設施方式處理。惟因此滑動模式之滑動面較深，滑動塊體較大，所須之抗滑設施尺寸及強度亦較高。發生的區域有：第二區、第三區、第八區、第十區及第十二區。採取的整治方案如以下所示：

20 cm ϕ 微型排樁施拉地錨

預力地錨格子框護坡

80 cm ϕ 抗滑 RC 排樁施拉預力地錨

現有擋土牆以 RC 橫樑及預力地錨補強

8 cm ϕ 滲流水集水管

3. 坡面沖刷崩坍

此種破壞型式主要是因為坡面覆土較厚，於受暴雨沖刷後，表土產生侵蝕滑移，所採取之整治措施應能防止坡面沖刷及穩固坡面，故採坡面表層防護及坡前擋土結構設施方式處理。發生的區域有：第三區、第四區、第七區、第十四區及第十五區。採取的整治方案如以下所示：

預力地錨格子框護坡

掛鋼線網格子框護坡

8 cm ϕ 滲流水集水管

4. 落石

本邊坡破壞模式係因坡面之浮動岩塊，於受到雨水沖刷等外力作用下而掉落坡腳，此種邊坡破壞模式應以坡面表層防護之工法予以整治。發生的區域有第四區及第十五區。採取的整治方案如以下所示：

掛鋼絲網噴凝土格子框護坡

落石防護(如根固工法)

5. 建物位於斷層帶上

建物若發生於斷層帶上，基本上並無有效之整治措施，然為於災害發生前，事先獲知結構體之變動情況，裝設監測儀器是必要的措施，於整治工程規劃設計時，將配置適當之監測儀器，以為社區日後安全維護管理之用。發生的區別有第九區、第十二區、第十三區及第十四區，採取之措施為：

裝設監測儀器

以上所述為本社區邊坡經調查發現所發生之潛在不穩定問題，以及所發生之區位，與本整治工程所擬採取之因應整治措施，將其整理如表 6.7 所示。

表 6.7 案例 B-1 社區擋土設施補強及邊坡改善工法

區別	破壞狀況	整治補強工法
第一區	坡頂回填土下陷滑移，基礎柱斷裂。	微型排樁。
第二區	因位於舊有坍塌地上，建物地坪下陷，擋土牆輕微滑移。	微型排樁施拉地錨。 現有擋土牆地錨補強。
第三區	受舊有坍塌地影響，擋土牆產生裂縫，坡面滑移。	漿砌卵石擋土牆以噴凝土格子框補強。 預力地錨格子框護坡。
第四區	坡面破損，有滑移崩落情形。	鋼線網噴凝土格子框護坡。
第五區	回填土下陷滑移。	微型排樁拉地錨。
第六區	回填土下陷滑移。	微型排樁拉地錨。
第七區	邊坡表土崩積層沖刷滑移。	預力地錨噴凝土格子框護坡。 抗滑微型樁。
第八區	崩積土及回填土滑移。	擋土牆補強。 抗滑排樁。
第九區	回填土沉陷滑移。 受斷層影響。	擋土牆以預力地錨補強。
第十區	回填土及崩積土沉陷滑移。	抗滑 RC 排樁施拉地錨。 微型排樁。
第十一區	建物地坪破裂下陷，回填土沉陷滑移。	擋土牆預力地錨補強。
第十二區	崩積土沉陷滑移。 受斷層影響。	抗滑 RC 排樁施拉地錨。 微型排樁。 擋土牆預力地錨補強。
第十三區	受斷層影響。 回填土沉陷滑移。	漿砌卵石擋土牆補強。 抗滑微型排樁拉地錨。 加強排水措施。
第十四區	坡面表土沖刷坍塌。 受斷層影響。	預力岩錨噴凝土格子框護坡。
第十五區	坡面崩塌及岩塊掉落。	掛鋼線網噴凝土格子框護坡。 落石防護。

四、案例 B-1 監測系統

本社區整治工程由於涉及地層之多變性、複雜性及外來諸多未確定性因素的存在，故為確保社區居民的安全及確認整治工程設計的條件，監測系統的佈設有其必要性。監測系統的運用就大方向而言，必須充份瞭解設置監測系統的目的，並適時適地的規劃各種監測儀器，進而在觀測中獲得各項現地狀況，並校核設計資料的正確性，如有超出原設計預估之異常行為時，則需進一步分析及評估是否需做設計調整。監測系統的規劃，原則上應就其監測目的未確定性因素之掌握程度，及可能造成風險損失等因素加以考慮，而做適當的設置。

在考量本案例之地質及地層狀況、結構體與邊坡之安全性及長期穩定以及獲得設計所需之相關資料等因素，本工程監測系統預計使用的監測儀器包括：1.傾斜觀測管、2.水位觀測井、3.水壓計、4.傾度盤、5.裂縫計、6.地表沉陷點等。

有關各項監測儀器之裝設目的、設置位置及數量詳以下所述：

1. 傾斜變位儀

為瞭解邊坡之穩定情況，以及地層滑動方向與滑動速率，並藉以研判滑動面位置，在社區內有潛在滑動危險之位置設置 16 支傾斜變位觀測管。

2. 水位觀測井

地下水是直接影響到邊坡穩定之重要因素，因此地下水位之量測為瞭解邊坡穩定性不可或缺之項目。由於案例社區內以往並無地下水位之資料，所以共補設 15 支水位觀測井，力求均佈於社區內，以瞭解社區內地下水位之分佈情形。

3. 水壓計

社區內以往並無地下水壓資料，所以在有壓力水層存在可能之位置設置水壓計，共計設置 6 支水壓計。

4. 建物傾度盤

為瞭解社區建築構造物傾斜發展的情況，故針對社區中有傾斜與安全顧慮之建築構造物於柱位裝設傾度盤，共計設置 12 個建物傾度盤。

5. 裂縫計

在社區中已產生明顯裂縫，且裂縫有再擴大顧慮之建物或構造物上共設置 20 片裂縫計。經由測量，可明確獲知建物或構造物之穩定性。

6. 沉陷點

為瞭解填土區地表沉陷量與下陷之範圍，於社區內已有下陷情形之位置佈設沉陷觀測點，共計 100 點。藉由水準測量，可明確獲得沉陷觀測點之高程變化，以瞭解地表沉陷的範圍及提供下陷原因之研判。

據各監測項目之特性並考量本工程之需求，有關監測系統之監測頻率擬定如表 6.8 所示。

表 6.8 案例 B-1 社區監測頻率

監測項目	數量	監測頻率	
		定期觀測	不定期觀測
傾斜變位觀測管	16	每月二次	如位移異常發展時，則提高監測頻率；暴雨及地震後加測一次。
水位觀測井	15	每月二次	暴雨後加測一次。
水壓計	6	每月二次	暴雨後加測一次。
建物傾度盤	12	每月二次	如位移異常發展時，則提高監測頻率；暴雨及地震後加測一次。
裂縫計	20	每月二次	如位移異常發展時，則提高監測頻率；暴雨及地震後加測一次。
沉陷點	100	每月一次	如位移異常發展時，則提高監測頻率；暴雨及地震後加測一次。

由於目前監測資料筆數仍不足，無法正確分析監測成果，待日後有較多資料再予分析。截至目前為止之監測資料顯示，建物 40 棟及 90 棟之傾度盤觀測值變化較大，裂縫計量測值以 45 棟及 90 棟變化較大。因此以目前資料顯示 90 棟之變動情形較明顯。

90 棟附近，整治的主要原因是此區的崩積土沉陷滑移及受斷層之影響，採取的整治措施是 (1)抗滑 RC 排樁施拉地錨 (2)微型排樁拉地錨 (3)擋土牆預力地錨補強。90 棟附近之變動情形較明顯，主要因建物座落於斷層帶上，基本上並無有效之整治措施，裝設監測儀器是必要的措施，於整治工程時配置適當之監測儀器，以為社區日後安全維護管理之用，而發現變動明顯以地錨等擋土設施加以補強。

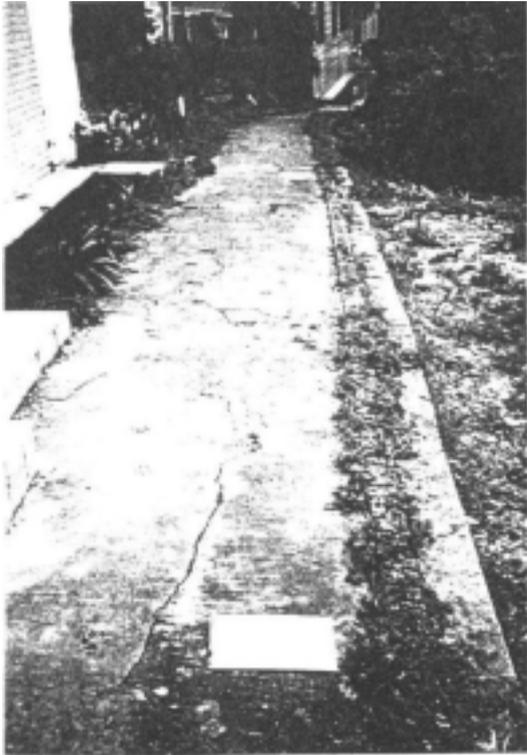


圖 6.15 案例 B-1 社區建築物房前地坪下陷
破裂情形。

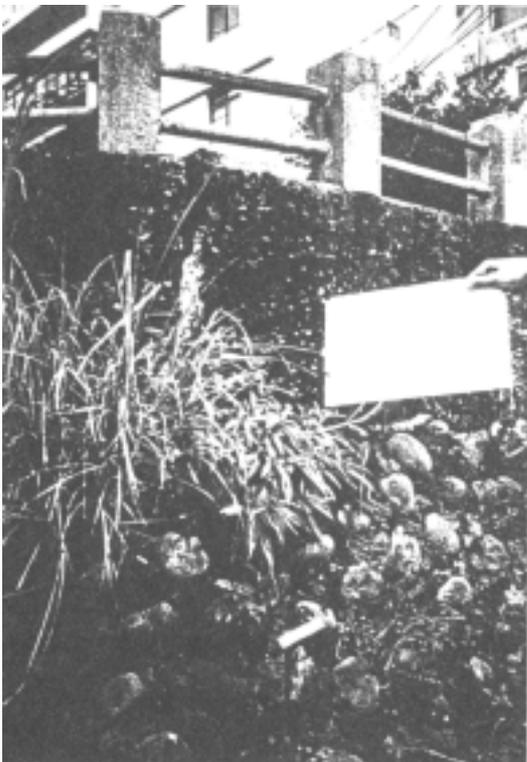


圖 6.16 案例 B-1 社區漿砌擋土牆開裂



圖 6.17 案例 B-1 社區道路下陷情形

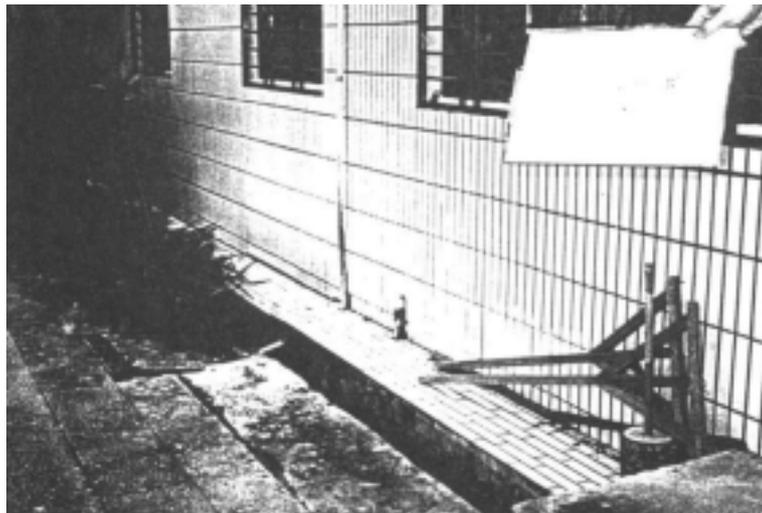


圖 6.18 案例 B-1 地坪下陷龜裂與房屋分離情形

案例 B-2

一、案例 B-2 社區基地概況

本案例社區，位於台北盆地東南側之丘陵地。本社區地層係屬於第三紀中新世沈積岩層，且附近地區並未發現有地質不良結構、地層碎破帶及活動斷層。本社區內出露之岩盤屬中新世石底層，石底層為一含煤層，大略可分成上下兩段。上段主要由砂頁岩互層組成，並含有多層煤層；下層則主要為厚層砂岩。新鮮的厚層砂岩為塊狀，質地非常堅硬且呈白色至灰白色，風化後常變得非常疏鬆且呈淡黃色或黃褐色。

依據現場鑽探及實驗室試驗結果獲悉，社區建築物下方有一良好之砂岩承載層，而據原設計建築師描述建築物基礎或採筏基或採樁基均座落於該承載層，且由結構物現況調查結果得知，建築物結構系統並無任何損害情形及基礎沉陷等問題發生，多方面加以檢核評估，本社區基礎應無承載力不足或過度沉陷之顧慮。

根據本社區地質、地形坡度、地層分佈情形及依現場地質調查結果，本社區岩層走向約為 $N47^{\circ}E$ $N57^{\circ}E$ ，向東南傾斜為 15° 25° ，故除社區內原崩坍邊坡屬順向至斜交坡外，其餘建物上邊坡均屬斜交至逆向坡。由於原崩坍處目前已處於穩定狀態，故經審慎評估社區內岩坡應無順向坡滑動造成整體安全之顧慮。

整體而言，本社區目前邊坡植被狀況頗為良好，有利水土涵養及防止土壤沖刷流失。然本社區東側仍有局部區域之岩坡呈裸露狀，且坡面已高度風化成小石塊，坡頂亦有局部裂縫產生，原噴漿面亦有龜裂破洞等現象發生。而本社區西側邊坡，為一高填土邊坡，有邊坡不穩定之潛在疑慮。

二、案例 B-2 社區邊坡穩定設施潛在破壞情形

本社區內主要之擋土設施包括重力式漿砌塊石擋土牆及 RC 懸臂式擋土牆等，綜合檢視結果，本社區漿砌塊石擋土牆塊石與塊石間常有裂縫出現且有多處牆面塊石已遭移除，於移除位置有土壤流失現象及周圍出現牆面裂縫情形。而於 RC 懸臂式擋土牆部份，目前已發現兩處錨座有開裂現象，惟擋土牆則尚未發現牆面異常外凸開裂及牆身外傾等現象。此外，尚有多處擋土設施牆面未設置洩水孔或洩水孔不足、或已遭阻塞等狀況。

本社區排水系統規劃大致良好，主要之排水設施，多採單邊溝排水，邊溝排水狀況良好，未發現有阻塞狀況。惟本社區部份路段，橫向截水溝間距過大，數量稍嫌不足，大雨來臨時，即造成路面之縱向逕流。另於社區東側北隅上邊坡（原邊坡崩坍處）沿線下坡路段坡底未設置截水溝，致邊坡上之雨水沿著坡面流向路面形成橫向逕流。此外，社區道路邊溝底發現有局部陷落情形；本社區大門外側交叉路口則於大雨過後常有積水情形。

經現場勘察結果，社區內有潛在安全顧慮的邊坡主要為社區西側之高填土邊坡，其可能破壞型態主要為位於回填崩積土層之圓弧滑動破壞，而區內某處下邊坡因曾發生淺層滑動，亦需加以分析評估。

三、案例 B-2 社區擋土設施針對潛在破壞情形所採用之補強工法

本案例針對不同之潛在破壞情形，所採用的擋土設施補強方案及改善處理工法列於表 6.9，其位置如圖 6.19 所示。

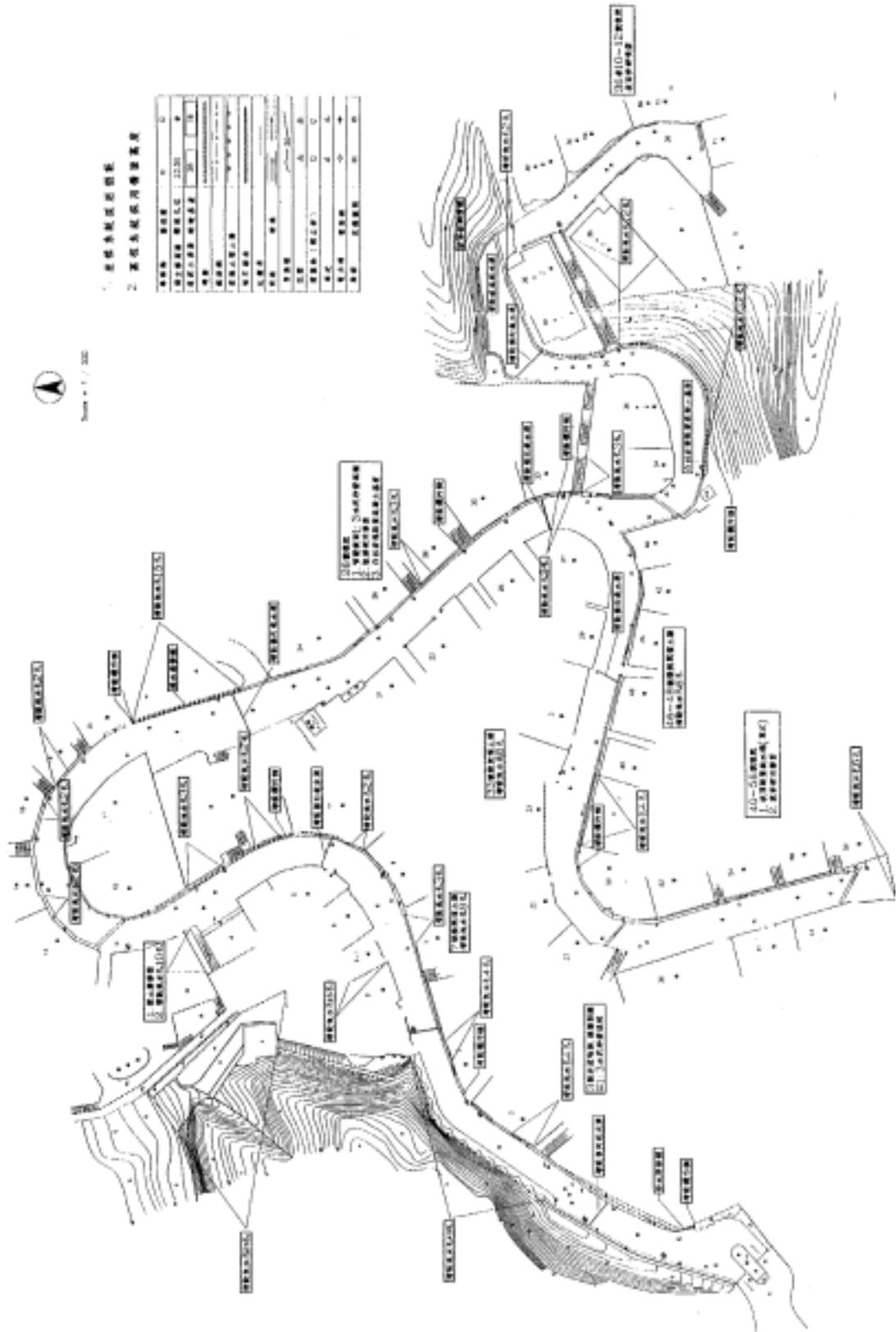


圖 4.10 案例 R.2 社區之邊坡穩定改善措施位置圖

表 6.9 案例 B-2 社區擋土設施補強方案及改善處理工法

編號	現況說明	改善處理方案
01	社區對外聯絡橋樑位於高填土邊坡，翼牆牆面有異常滲水現象，部分排水孔已失效且牆面有鋼筋外露情形。	橋台鋼筋外露部分係因保護層不足而局部剝落，將裸露鋼筋經防鏽處理後鋪設 EPOXY 補強；翼牆牆面每隔 2 ~ 4 m ² 增設 3" φ 排水孔。
02	外牆牆基與排水溝施工品質不良，外牆牆面施工縫龜裂。	牆面裂縫及鋼筋外露處以 EPOXY 補強，磚造牆基空洞及表面以水泥砂漿抹平補強；排水溝溝底以早強水泥修整補強，施作前可利用乾季晴天上游排水量較小時，以砂包堆置阻隔水流，再以抽水馬達將上游排水抽掉流出。
03	早期花台產生橫向龜裂，引起懸挑出來的花台外緣因差異沉陷之應力改變而開裂。	進行地層灌漿穩定處理，並於附近埋設傾斜觀測管，長期監測邊坡穩定情形；花台龜裂處以水泥砂漿補強。
04	擋土牆未設置洩水孔。	擋土牆每隔 2 ~ 4 m ² 增設 3"φ 洩水孔，排除牆背上邊坡地表水入滲蓄積或地下水對牆體所造成之壓力，以利擋土牆之長期穩定性。排水孔於牆背端須加包不織布或濾網以防止土石沖刷流失。
05	擋土牆未設置洩水孔。	擋土牆每隔 2 ~ 4 m ² 增設 3"φ 洩水孔，排除牆背上邊坡地表水入滲蓄積或地下水對牆體所造成之壓力，以利擋土牆之長期穩定性。
06	增建房舍基礎座落於回填土層，因回填土壓實不足造成局部不均勻沉陷，引起外牆龜裂；後院地表水掏刷花台底部，致土壤流失，造成花台基礎不均勻陷落而引起磚砌花台開裂。	房舍外牆裂縫以 EPOXY 灌注補強；花台裂縫及底部孔洞以水泥砂漿灌注補強。
07	牆背樹根蔓延，引起漿砌塊石擋土牆施工縫張力開裂。	牆背樹木移植，開裂處以水泥砂漿填縫補強。
08	早期回填土壓實不確實，致地表水入滲後，造成回填土層軟化而產生不均勻沉陷，導致牆面及階梯龜裂。	以水泥砂漿填補龜裂處，減少水入滲機會。

表 6.9 (續) 案例 B-2 社區擋土設施補強方案及改善處理工法

編號	現況說明	改善處理方案
09	後院懸臂花台滲水。	於滲水裂縫處填補水泥砂漿，花台底每隔 2 ~ 4 m ² 打設一支 3"φ 洩水孔，排除花台底部蓄積之上邊坡地表入滲水。
10	回填土因壓實不足且在長期壓實作用下，造成局部不均勻沉陷，而引起龜裂情形。	室內地坪以 EPOXY 補強，其餘室外部分則以水泥砂漿填補，避免雨水入滲。
11	上邊坡擋土牆牆面施工縫滲水。	牆面裂縫以水泥砂漿補強，並於牆面每 2 ~ 4 m ² 增設一支 3"φ 洩水孔加強牆背排水。
12	地錨錨頭施工處理不善，兩處混凝土錨座已有開裂現象，岩錨鋼腱預力恐已鬆弛損失。	目前僅發現兩處地錨錨座有鬆脫現象，然由於擋土牆牆身尚未發現有其他異狀，故現階段於牆面裝設傾斜計加強監測。同時，應每年委請專業技師進行安全評估，倘若傾斜計監測資料出現警訊或其他地錨錨座有異樣，則須儘速進行工程補強措施。
13	後院上邊坡局部裸露	住戶宜加強檢視。
14	岩坡噴漿面龜裂	龜裂處以水泥砂漿填補。
15	後院擋土牆龜裂。	擋土牆龜裂處以 EPOXY 灌注補強，牆面每 2 ~ 4 m ² 打設一支 3"φ 之洩水孔，排除牆背入滲蓄積之水壓。
16	岩坡坡面局部小崩陷。	裸露坡面以混凝土填補，坡頂設置簡易橫水溝(草溝)，避免坡頂逕流直接洩降至坡底。
17	外牆龜裂。	龜裂處以 EPOXY 灌注補強。
18	大雨時後院擋土牆角落底部有大量滲水流出；擋土牆部分塊石接縫有孔隙。	檢修上邊坡擋土牆牆背現有排水管溝及鋪面，避免雨水及其他排水直接滲入牆背；擋土牆面塊石接縫，若有土壤流失現象時，應儘速以水泥砂漿填實，另牆面每 2 ~ 4 m ² 增設一支 3"φ 洩水孔，降低牆背入滲蓄積之水壓力，以利擋土牆之長期穩定性。。
19	後院下邊坡發生局部崩陷情	擋土牆面塊石接縫，若有土壤流失現象

	形,另擋土牆塊石堆砌接縫有滲水現象。	時,應儘速以水泥砂漿填實,另牆面每 2 4 m ² 增設一支 3"φ 洩水孔,降低牆背入滲蓄積之水壓力。
--	--------------------	---

表 6.9 (續) 案例 B-2 社區擋土設施補強方案及改善處理工法

編號	現況說明	改善處理方案
20	擋土牆面塊石接縫滲水。	檢修上邊坡排水設施,擋土牆面塊石接縫若有土壤流失狀況時,應儘速以水泥砂漿填實,牆面每 2 4 m ² 增設一支 3" φ 洩水孔,減少牆背入滲之水壓力。
21	建物牆壁施工品質不良,因地震或其他外力(如外牆牆背土水壓力)作用而龜裂。	外牆裂縫以 EPOXY 灌注補強,內牆裂縫以補土及油漆修飾即可。
22	原噴漿面脫裂 岩坡裸露面呈高度風化及風化成表土且已有節理裂縫出現。	原坡面宜儘速增加噴漿護坡範圍,坡面裂隙及原護坡面脫裂處應加強噴漿處理。此外,噴漿完成後,亦可掛網植栽爬藤類植物或採其他方式進行景觀處理。
23	排水溝溝底龜裂陷落。	利用乾季晴天上游排水溝流量較小時,先進行簡單之引水改道措施(如局部堆置砂包),再以水泥砂漿填塞補強及防止漏水。

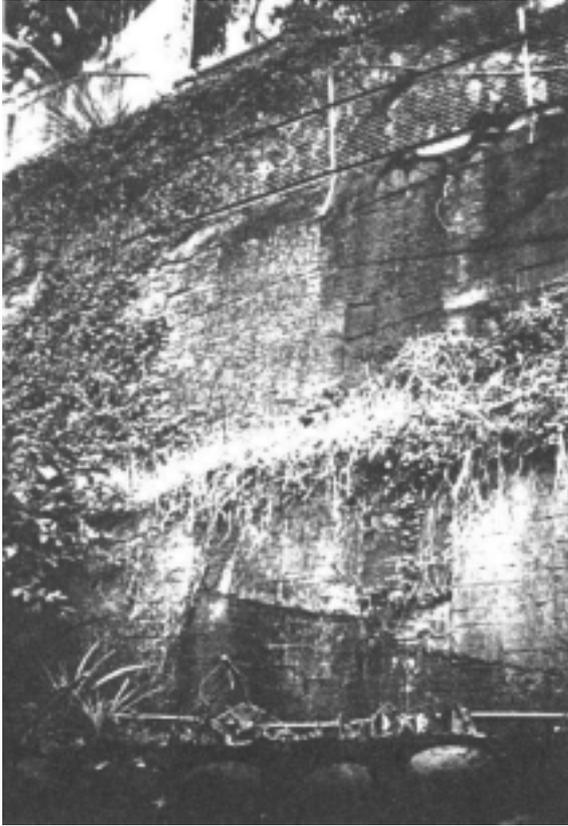


圖 6.20 案例 B-2 擋土牆未打設排水孔



圖 6.21 案例 B-2 社區對外聯絡橋樑翼牆現況



圖 6.22 案例 B-2 社區建物一樓房舍外牆龜裂情形

案例 B-3

一、案例 B-3 基地概況

本案例為一山坡地，其間有一巷道穿越，原地形坡度約 40% 左右。整個案例範圍之地形為一山谷，地勢向西北方向傾斜。根據地質調查所得資料顯示，本基地地層概分為兩層次，即崩積層及岩層，茲分述如下：

1. 崩積層

本地層大致於地表面至地表下 11 m 間，其組成由上而下概由黃棕色土壤夾礫石岩塊漸變至下層之岩塊夾砂土及粉土或粘土，其中破碎岩塊部份，主要為黃棕色至灰色砂岩及頁岩塊。

2. 岩層

本層在崩積層下方，其組成大致為灰黑色砂質頁岩，偶夾灰色細粒厚層砂岩，本層處於砂岩至頁岩之漸變層次，故砂頁岩及粉砂岩成分較多，而傾角較難辨識。本層岩層之單壓強度介於 13.6 ~ 96.5 kg/cm²。

本基地之地下水位分佈大致依地形而洩降，地下水位約位於地表下 4 m ~ 5 m 左右，崩塌地下緣局部區域崩積表土層呈含水濕潤狀態，顯示本區地下水極為豐沛。

二、案例 B-3 邊坡破壞情形

由於連日豪雨，使得此坡面發生大規模的地滑災害，坍塌面積約 1.3 公頃，坍塌範圍寬約 20 ~ 80 公尺，縱深約 250 公尺。其破壞模式屬於大規模的圓弧形滑動破壞。

三、案例 B-3 擋土設施針對破壞情形所採用之補強工法

本案例針對不同之狀況，所採用的擋土設施補強方案及改善處理工法列於表 6.10，其位置如圖 6.23 所示。

表 6.10 案例 B-3 社區擋土設施補強方案及改善處理工法

工法	內容
整修及新設排水溝	坡趾附近原有 RC 之溝渠及山溝，加以整修及新設排水溝，使其排水能延伸至下游的大排水溝。
格框植生護坡，並補充打設預力地錨及水平排水管	在地滑區的頂部，經邊坡穩定分析短期並無危險，但為了長期的穩定性，採用格框植生護坡，並補充打設預力地錨及水平排水管以穩定邊坡。
採用抗滑排樁及地表、地下排水工程	在地滑區的中段及坡趾，經分析評估結果採用抗滑排樁及地表、地下排水工程加以整治。
設置集水井	為加強降低地下水的功能，在地滑區的中段附近設置兩座 400 cm ϕ 的集水井。
設置滲流水蓄水池	為處理地滑地現有之地表出水及濕潤現象，設置 6 座滲流蓄水池，以利坡面出水之收集。
整地修坡	為利地滑區內局部邊坡之穩定，提高土地之利用性及配合抗滑排樁之施作，乃對於地滑區內局部區域進行小規模之整地修坡。
植生工程	本案於坍塌後，坡面多為裸露，故須種植迅速生長之深根性草類，以降低坡面沖蝕。

四、案例 B-3 監測系統

本案例之監測系統使用分為施工中之監測系統及整治後之長期自動化監測系統。

1. 施工中監測

為配合本地滑區整治之分期施作，計有兩期施工中之安全監測。

(1) 第一期工程之監測

第一期整治工程之主要內容為地滑地頂端附近以邊坡噴凝土格樑、預力地錨補強及格框護坡植生改善。而第一期工程之主要內容除沿用現有設置之傾斜觀測管與地下水位觀測井之持續觀測外，並增設 4 孔傾斜觀測管以加強掌握地滑地之穩定狀況。

(2) 第二期工程之監測

第二期整治工程主要為地滑地中、下段之擋土排樁、地表排水系統、地下排水系統、集水井工程與裸露坡地植生等。第二期監測工程之內容除對既有之監測設施持續觀測外，並於新設排樁樁身設置 3 孔樁身傾斜觀測管，以瞭解新設排樁及邊坡之穩定情形。

2. 整治後長期自動監測系統

本案例為提供整治成效之評估，對地滑地現場異常現象之掌握並提出預警，及減少人為因素影響，提高監測品質等目的，所以規劃於整治完成後設置長期自動監測系統。其自動化監測系統主要分為四個作業單元：

(1) 前端監測系統

包含 4 孔傾斜觀測管，5 孔地下水位觀測井、2 組地表伸縮計以及一組雨量計。

(2) 信號傳輸單元

包含有線傳輸及無線傳輸二套系統且須設防雷擊設備。

(3) 電源供應單元

以電力公司為主要供電來源，並須設置足供系統正常運作至少連續 8 小時之充電電池，以供停電時使監測系統能維持正常運作。

(4) 現地監測站

設備功能包括信號掃瞄接收器、資料處理器、資料傳輸 I/O 介面、工業級電腦、分析軟體、不斷電系統及足供容納硬體設備及人員操作之監測站及避雷設備。

3. 整治工程完工後之監測頻率

(1) 自動化監測系統

傾斜觀測管常時每日取 2 次，暴雨或地震震度超過三級時，三日內擷取頻率提高為每小時 1 次。地下水位觀測每日擷取 2 次，暴雨時每 2 小時擷取一次。地表伸縮計觀測頻率同傾斜觀測管之頻率。

(2) 人工監測系統

既有人工監測設備每二月監測 1 次，如監測記錄異常或自動化監測系統分析結果有明顯差異時，應視狀況提高監測頻率並加以檢修。



圖 6.24 案例 B-3 地滑區的頂部格框植生護坡整治並新設排水溝



圖 6.25 案例 B-3 地滑區補充打設預力地錨



圖 6.26 案例 B-3 地滑區整修及新設排水溝，使其排水能延伸至下游的大排水溝。



圖 6.27 案例 B-3 地滑區整治完成後之情形



圖 6.28 案例 B-3 地滑區中段採用 PVC 管地下排水工程

6.2 案例資料整理

針對前述所收集工程顧問公司提供之坡地社區邊坡穩定設施破壞補強工法案例資料加以整理如下：

1. 資料來源

經過資料統計，總計有 6 件坡地社區案例，均為工程公司所提供案例。由於實際補強案例資料乃屬各工程公司所有，是故較不容易收集，而由於擋土設施補強案例比較不容易由現地調查得知，所以收集到的案例資料件數並不多，案例資料皆位於大台北地區，所以後續案例分析均以大台北地區為主。

2. 資料整理

案例資料所提供的內容大多以敘述性文字，描述坡地現況概述（包括位置及地形、地質概況、邊坡概況、擋土構造物概況、邊坡與排水系統概況、建築物狀況等）、擋土構造物潛在破壞概況、建議之破壞補強工法概況及建議事項等，而以文字敘述較不利於進行統計及比較，故先將各案例文字資料加以整理，並將其中與邊坡及擋土結構破壞直接相關之部份彙整成表 6.11，共計有 49 處邊坡及擋土結構案例資料。依據本研究第四及第五章所整理之邊坡擋土構造物破壞模式及個別模式之補強工法及總體評估原則，擬定補強案例綜合整理表格，將這些資料轉填成各個不同補強案例整理表，如表 6.12 表 6.21 所示。

完成補強案例整理表後，為求清楚每一案例邊坡穩定設施潛在破壞原因，故就補強案例整理表內資料，在表格當中所列出項目，將造成邊坡不穩定或邊坡穩定設施破壞原因找出並加以整理，其破壞原因項目分

為：側向壓力過大、側向抵抗不足、牆背土壤工程性質不佳、牆基土壤工程性質不佳、邊坡深層有潛在弱面、地下水問題、擋土設施結構性破壞以及其他，在「其他」項目是指以上原因除外因素，例如人為不當開墾、種植行為所造成土石崩落，或者其他較不容易分類項目等等，該整理結果如表 6.22 所示。

表 6.11 案例歸納整理

案例	邊坡穩定設施破壞情形	補強方式
A-1	<ol style="list-style-type: none"> 1. 回填土區發生空洞下陷 2. 少數地錨錨頭損壞 3. 部份洩水孔及排水管喪失功能 4. 擋土牆牆面有兩處垂直施工縫開裂 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 即時進行填充灌漿工作 2. 補打設預力地錨 3. 補充打設洩水孔及水平排水管 4. 排水設施之清理及檢修 5. 施工縫開裂處加以修繕 6. 監測系統之設置
A-2 (S-1)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 坡頂路面已以水泥漿修補之數道張力裂縫有繼續發展之趨勢 2. 坡腳岩錨擋土牆部分錨頭有長期出水情形 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 於現有 RC 擋土牆施作一道臥樑 2. 補強打設預力地錨，錨碇於岩層中 3. 擋土牆牆腳裸露坡面植生 4. 坡頂路邊磚砌花台整修 5. 補打洩水孔及水平排水管
A-2 (S-2)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 噴漿面坡頂覆蓋層局部坍塌 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以掛鋼絲網噴凝土加錨筋方式穩定坍塌坡面
A-2 (S-3)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 道路上邊坡局部坍塌、坡面裸露，坡腳有落石堆積，遇豪雨有沖刷坡面、危害邊坡之疑慮 2. AC 路面局部破損 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以噴凝土格子框加錨筋護坡，框間植生 2. AC 路面修補
A-2 (S-4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. RC 駁坎上方邊坡局部坍塌、坡面裸露、陡峭，不排除有繼續坍塌或落石之顧慮 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以噴凝土格子框加錨筋護坡，框間植生
A-2 (S-5)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 舊有崩塌區，坡面裸露，局部區域有出水現象，不排除有落石之虞 2. 坡腳處局部有新設 RC 駁坎，排水狀況不佳 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以噴凝土格子框加錨筋護坡，框間植生
A-2 (S-6)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 開挖邊坡岩盤出露，有巨石或岩塊凸出坡面，由於岩層節理發達，有落石危害人車安全之顧慮 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 敲除有落石顧慮之岩塊 2. 以混凝土穩固浮石根部 3. 以岩栓錨碇岩塊
A-2 (S-7)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 舊有小型坍塌邊坡，以新建擋土牆護坡，惟牆頂及兩側坡面裸露，長期而言，易受沖刷，對該擋土邊坡之安全有不利之影響 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 裸露坡面加強植生護坡
A-2 (S-8)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新近坍滑之邊坡，坡面裸露，遇豪雨有再次崩塌之顧慮 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 以噴凝土格子框加錨筋護坡，框間植生

表 6.11 (續) 案例歸納整理

案例	邊坡穩定設施破壞情形	補強方式
A-3	1. 基地北側於雨季時，地下水較為豐富，為確保邊坡穩定安全無虞，於施工時變更施作擋土設施，並進行若干補強及改善措施，以使基地北側擋土牆符合安全需求	1. 施作水平集水管 2. 施作預力地錨及 RC 橫樑 3. 基地內補設置排水設施，包括排水溝、集水井工程、沉砂池及滯洪池 4. 監測系統之設置
B-1(第一區)	1. 坡頂回填土下陷滑移 2. 基礎柱斷裂	1. 施作微型排樁
B-1(第二區)	1. 因位於舊有坍塌地上，建物地坪下陷，擋土牆輕微滑移	1. 微型排樁施拉地錨 2. 現有擋土牆地錨補強
B-1(第三區)	1. 擋土牆產生裂縫 2. 坡面滑移	1. 漿砌卵石擋土牆以噴凝土格子框補強 2. 預力地錨格子框護坡
B-1(第四區)	1. 坡面破損，有滑移崩落情形	1. 鋼線網噴凝土格子框護坡
B-1(第五區)	1. 回填土下陷滑移	1. 微型排樁拉地錨
B-1(第六區)	1. 回填土下陷滑移	1. 微型排樁拉地錨
B-1(第七區)	1. 邊坡表土崩積層沖刷滑移	1. 預力地錨噴凝土格子框護坡 2. 抗滑微型樁
B-1(第八區)	1. 崩積土及回填滑移	1. 擋土牆補強 2. 抗滑排樁
B-1(第九區)	1. 崩積土及回填滑移 2. 受斷層影響	1. 擋土牆以預力地錨補強
B-1(第十區)	1. 崩積土及回填滑移	1. 抗滑 RC 排樁施拉地錨 2. 微型排樁
B-1(第十一區)	1. 建物地坪破裂下陷 2. 回填土沉陷滑移	1. 擋土牆預力地錨補強
B-1(第十二區)	1. 崩積土沉陷滑移	1. 抗滑 RC 排樁施拉地錨 2. 微型排樁 3. 擋土牆預力地錨補強
B-1(第十三區)	1. 回填土沉陷滑移	1. 漿砌卵石擋土牆補強 2. 抗滑微型排樁施拉地錨 3. 加強排水措施
B-1(第十四區)	1. 坡面表土沖刷坍塌	1. 預力岩錨打設 2. 噴凝土格子框護坡
B-1(第十五區)	1. 坡面崩塌 2. 岩塊掉落	1. 掛鋼線網噴凝土格子框護坡 2. 落石防護設施設置

B-2(1)	1. 社區對外聯絡橋樑位於高填土坡，翼牆牆面有異常滲水現象，部分排水孔已失效且牆面有鋼筋外露情形	1. 橋台鋼筋外露部分係因保護層不足而局部剝落，將裸露鋼筋經防鏽處理後鋪設 EPOXY 補強 2. 翼牆牆面增設排水孔
--------	--	--

表 6.11 (續) 案例歸納整理

案例	邊坡穩定設施破壞情形	補強方式
B-2(2)	1. 外牆牆基與排水溝施工品質不良，外牆牆面施工縫龜裂	1. 牆面裂縫及鋼筋外露處以 EPOXY 補強 2. 磚造牆基空洞及表面以水泥砂漿抹平補強 3. 排水溝溝底以早強水泥修整補強
B-2(3)	1. 早期花台產生橫向龜裂，引起懸挑出來之花台外緣，因差異沉陷所引致之應力改變而開裂	1. 進行地層灌漿穩定處理 2. 於附近埋設傾斜觀測管長期監測邊坡穩定情形 3. 花台龜裂處以水泥砂漿補強
B-2(4)	1. 擋土牆未設置洩水孔	1. 擋土牆增設洩水孔 2. 排水孔於牆背端加包不織布或濾網以防止土石沖刷流失
B-2(5)	1. 擋土牆未設置洩水孔	1. 擋土牆增設洩水孔
B-2(6)	1. 增建房舍基礎座落於回填土層，因回填土壓實不足造成局部不均勻沉陷，引起外牆龜裂 2. 後院地表水掏刷花台底部，致土壤流失，造成花台基礎不均勻陷落而引起磚砌花台開裂	1. 房舍外牆裂縫以 EPOXY 灌注補強 2. 花台裂縫及底部孔洞以水泥砂漿灌注補強
B-2(7)	1. 牆背樹根蔓延，引起漿砌塊石擋土牆施工縫張力開裂	1. 牆背樹木移植，開裂處以水泥砂漿填縫補強
B-2(8)	1. 早期回填土壓實不確實，致地表水入滲後，造成回填土層軟化而產生不均勻沉陷，導致牆面及階梯龜裂	1. 以水泥砂漿填補龜裂處，減少水入滲機會
B-2(9)	1. 後院懸臂花台滲水	1. 於滲水裂縫處填補水泥砂漿 2. 花台底打設洩水孔，排除花台底部蓄積之上邊坡地表入滲水
B-2(10)	1. 回填土因壓實不足且在長期壓實作用下，造成局部不均勻沉陷，而引起龜裂情形	1. 室內地坪以 EPOXY 補強 2. 其餘室外部分以水泥砂漿填補，避免雨水入滲
B-2(11)	1. 上邊坡擋土牆牆面施工縫滲水	1. 牆面裂縫以水泥砂漿補強 2. 牆面增設洩水孔加強牆背排水
B-2(12)	1. 混凝土錨座有開裂現象，岩錨鋼腱預力恐已鬆弛損失	1. 於牆面裝設傾斜計加強監測
B-2(13)	1. 後院上邊坡局部裸露	1. 加強檢視
B-2(14)	1. 岩坡噴漿面龜裂	1. 龜裂處以水泥砂漿填補

B-2(15)	1. 後院擋土牆龜裂	1. 擋土牆龜裂處以 EPOXY 灌注補強 2. 牆面打設洩水孔, 排除牆背入滲蓄積之水壓
B-2(16)	1. 岩坡坡面局部小崩陷	1. 裸露坡面以混凝土填補 2. 坡頂設置簡易橫水溝(草溝), 避免坡頂逕流直接洩降至坡底
B-2(17)	1. 外牆龜裂	1. 龜裂處以 EPOXY 灌注補強

表 6.11 (續) 案例歸納整理

案例	邊坡穩定設施破壞情形	補強方式
B-2(18)	1. 大雨時後院擋土牆角落底部有大量滲水流出 2. 擋土牆部分塊石接縫有孔隙	1. 檢修現有排水管溝及鋪面, 避免雨水及其他排水直接滲入牆背 2. 擋土牆面塊石接縫, 若有土壤流失現象時, 應儘速以水泥砂漿填實 3. 牆面增設洩水孔, 降低牆背入滲蓄積之水壓力, 以利擋土牆之長期穩定性
B-2(19)	1. 後院下邊坡發生局部崩陷情形 2. 擋土牆塊石堆砌接縫有滲水現象	1. 擋土牆面塊石接縫, 若有土壤流失現象時, 應儘速以水泥砂漿填實 2. 牆面增設洩水孔, 降低牆背入滲蓄積之水壓力
B-2(20)	1. 擋土牆面塊石接縫滲水	1. 檢修上邊坡排水設施 2. 擋土牆面塊石接縫若有土壤流失狀況時, 應儘速以水泥砂漿填實 3. 牆面增設洩水孔, 減少牆背入滲之水壓力
B-2(21)	1. 建物牆壁施工品質不良, 因地震或其他外力(如外牆牆背土水壓力)作用而龜裂	1. 外牆裂縫以 EPOXY 灌注補強 2. 內牆裂縫以補土及油漆修飾
B-2(22)	1. 原噴漿面脫裂 岩坡裸露面呈高度風化及風化成表土且已有節理裂縫出現	1. 原坡面宜儘速增加噴漿護坡範圍 2. 坡面裂隙及原護坡面脫裂處應加強噴漿處理 3. 噴漿完成後亦可掛網植栽爬藤類植物或採其他方式進行景觀處理
B-2(23)	1. 排水溝溝底龜裂陷落	1. 利用乾季晴天上游排水溝流量較小時, 先進行簡單之引水改道措施(如局部堆置砂包), 再以水泥砂漿填塞補強及防止漏水

B-3	<p>1. 由於連日豪雨，使得此坡面發生大規模的地滑災害，坍塌面積約 1.3 公頃，坍塌範圍寬約 20 80 公尺，縱深約 250 公尺</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 整修及新設排水溝 2. 格框植生護坡 3. 補充打設預力地錨 4. 補充打設水平排水管 5. 採用抗滑排樁 6. 施設地表、地下排水工程 7. 設置集水井 8. 設置滲流水蓄水池 9. 整地修坡 10. 植生工程
-----	--	--

表 6.12 A-1 案例之整理表

案例 A-1						: 採用之工法		: 未採用之工法	
破壞原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤 工程性質不佳	牆基土壤 工程性質不佳	邊坡深層 潛在弱面	地下水問題	擋土設施 結構性破壞	
		滑動破壞	傾倒破壞						
		∨		∨			∨		∨
改善項目			可採用工法				可行性	經濟性	改善成效
減低側向壓力	減低土壓力		削坡工法	夯實	置換	固結灌漿			
增加側向抵抗	增加斷面抵抗		增加擋土設施斷面		拋石壓趾	堆置蛇籠			
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘		可	可	優
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘				
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度		夯實	置換	固結灌漿	土釘			
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量		固結灌漿		微型樁				
	增加穩定構件		樁基礎						
減低潛在弱面 整體滑動破壞	增加新穩定設施		地錨	抗滑樁					
改善排水設施	坡面排水		截水溝	植生					
	牆身排水		洩水管	透水料排水層			優	優	優
	坡內排水		排水盲溝	橫向排水管	集水井	排水廊道	電氣滲透	優	優
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補		水泥砂漿填補	環氧樹脂填補			優	優	優
	擋土設施斷面補強		混凝土斷面	鋼板斷面	纖維合成材料斷面				
註 備	案例邊坡穩定 設施破壞情形	1.回填土區發生空洞下陷 2.少數地錨錨頭損壞 3.部份洩水孔及排水管喪失功能 4.擋土牆牆面有兩處垂直施工縫開裂							

案例實際 採用工法	1.即時進行填充灌漿工作 4.排水設施之清理及檢修	2.補打設預力地錨 5.施工縫開裂處加以修繕	3.補充打設洩水孔及水平排水管
--------------	------------------------------	---------------------------	-----------------

表 6.13 A-2(S-1)案例之整理表

案例 A-2 S-1 區		: 採用之工法				: 未採用之工法		
破壞原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤 工程性質不佳	牆基土壤 工程性質不佳	邊坡深層 潛在弱面	地下水問題	擋土設施 結構性破壞
		滑動破壞	傾倒破壞					
		▼					▼	▼
改善項目		可採用工法				可行性	經濟性	改善成效
減低側向壓力	減低土壓力	削坡工法	夯實	置換	固結灌漿			
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面		拋石壓趾	堆置蛇籠			
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘	可	可	優
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘			
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度	夯實	置換	固結灌漿	土釘			
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量	固結灌漿	微型樁					
	增加穩定構件	樁基礎						
減低潛在弱面 整體滑動破壞	增加新穩定設施	地錨	抗滑樁					
改善排水設施	坡面排水	截水溝	植生			優	優	佳
	牆身排水	洩水管	透水料排水層			優	優	優
	坡內排水	排水盲溝	橫向排水管	集水井	排水廊道	電氣滲透	優	優
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補	環氧樹脂填補			優	優	優
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面	鋼板斷面	纖維合成材料斷面				

備註	案例邊坡穩定設施破壞情形	1.坡頂路面已以水泥漿修補之數道張力裂縫有繼續發展之趨勢 2.坡腳岩錨擋土牆部分錨頭有長期出水情形
	案例實際採用工法	1.於現有 RC 擋土牆施作一道臥樑 2.補強打設預力地錨錨碇於岩層中 3.擋土牆牆腳裸露坡面植生 4.坡頂路邊磚砌花台整修 5.補打洩水孔及水平排水管

表 6.14 A-2(S-7)案例之整理表

案例 A-2 S-7 區		: 採用之工法				: 未採用之工法			
破壞原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤工程性質不佳	牆基土壤工程性質不佳	邊坡深層潛在弱面	地下水問題	擋土設施結構性破壞	
		滑動破壞	傾倒破壞						
		▽					▽		
改善項目			可採用工法			可行性	經濟性	改善成效	
減低側向壓力	減低土壓力		削坡工法	夯實	置換	固結灌漿			
增加側向抵抗	增加斷面抵抗		增加擋土設施斷面		拋石壓趾	堆置蛇籠			
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘		可	可	佳
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘				
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度		夯實	置換	固結灌漿	土釘			
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量		固結灌漿	微型樁					
	增加穩定構件		樁基礎						
減低潛在弱面整體滑動破壞	增加新穩定設施		地錨	抗滑樁					
改善排水設施	坡面排水		截水溝	植生			優	優	優
	牆身排水		洩水管	透水料排水層					
	坡內排水		排水盲溝	橫向排水管	集水井	排水廊道	電氣滲透		
擋土設施結構性補強	擋土設施裂縫填補		水泥砂漿填補	環氧樹脂填補					

		擋土設施斷面補強	混凝土斷面	鋼板斷面	纖維合成材料斷面			
備註	案例邊坡穩定設施破壞情形	1. 舊有小型坍塌邊坡以新建擋土牆護坡，惟牆頂及兩側坡面裸露，長期而言易受沖刷，對該擋土邊坡之安全有不利之影響。						
	案例實際採用工法	1. 裸露坡面加強植生護坡						

表 6.15 A-3 案例之整理表

案例 A-3		採用之工法				未採用之工法		
破壞原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤工程性質不佳	牆基土壤工程性質不佳	邊坡深層潛在弱面	地下水問題	擋土設施結構性破壞
		滑動破壞	傾倒破壞					
		▽	▽				▽	
改善項目		可採用工法				可行性	經濟性	改善成效
減低側向壓力	減低土壓力	削坡工法	夯實	置換	固結灌漿			
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面	拋石壓趾	堆置蛇籠				
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘	可	可	優
針對傾倒		地錨	抗滑樁	土釘	可	可	優	
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度	夯實	置換	固結灌漿	土釘			
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量	固結灌漿	微型樁					
	增加穩定構件	樁基礎						
減低潛在弱面整體滑動破壞	增加新穩定設施	地錨	抗滑樁					
改善排水設施	坡面排水	截水溝	植生			優	優	優
	牆身排水	洩水管	透水料排水層			優	優	優
	坡內排水	排水盲溝	橫向排水管	集水井	排水廊道	電氣滲透	優	優

擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補	環氧樹脂填補			
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面	鋼板斷面	纖維合成材料斷面		
備註	案例邊坡穩定設施破壞情形	1.基地北側地下水於雨季時，地下水位較為豐富，為確保邊坡穩定安全無虞，於施工時變更施作擋土設施，並進行若干補強及改善措施，以使基地北側擋土牆符合安全需求				
	案例實際採用工法	1.施作水平集水管 2.施作預力地錨及 RC 橫樑 3.基地內補設置排水設施，包括排水溝、集水井工程、沉砂池及滯洪池				

表 6.16 B-1 第二區案例之整理表

案例 B-1 第二區		：採用之工法				：未採用之工法		
破壞原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤工程性質不佳	牆基土壤工程性質不佳	邊坡深層潛在弱面	地下水問題	擋土設施結構性破壞
		滑動破壞	傾倒破壞					
	▼					▼		
改善項目		可採用工法				可行性	經濟性	改善成效
減低側向壓力	減低土壓力	削坡工法	夯實	置換	固結灌漿	可	佳	佳
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面		拋石壓趾	堆置蛇籠			
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘			
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘			
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度	夯實	置換	固結灌漿	土釘			
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量	固結灌漿		微型樁				
	增加穩定構件	樁基礎						
減低潛在弱面整體滑動破壞	增加新穩定設施	地錨	抗滑樁			可	可	優
改善排水設施	坡面排水	截水溝	植生					
	牆身排水	洩水管	透水料排水層					

	坡內排水	排水盲溝	橫向排水管	集水井	排水廊道	電氣滲透			
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補	環氧樹脂填補						
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面	鋼板斷面	纖維合成材料斷面					
備註	案例邊坡穩定設施破壞情形	1.因位於舊有坍塌地上，建物地坪下陷，擋土牆輕微滑移							
	案例實際採用工法	1.微型排樁施拉地錨 2.現有擋土牆地錨補強							

表 6.17 B-1 第十三區案例之整理表

案例 B-1 第十三區			：採用之工法				：未採用之工法		
破壞原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤 工程性質不佳	牆基土壤 工程性質不佳	邊坡深層 潛在弱面	地下水問題	擋土設施 結構性破壞	
		滑動破壞	傾倒破壞						
		▽		▽			▽		
改善項目			可採用工法				可行性	經濟性	改善成效
減低側向壓力	減低土壓力		削坡工法	夯實	置換	固結灌漿			
增加側向抵抗	增加斷面抵抗		增加擋土設施斷面		拋石壓趾	堆置蛇籠			
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘		可	可	優
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘				
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度		夯實	置換	固結灌漿	土釘	可	可	可
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量		固結灌漿		微型樁				
	增加穩定構件		樁基礎						
減低潛在弱面 整體滑動破壞	增加新穩定設施		地錨	抗滑樁					
改善排水設施	坡面排水		截水溝	植生			佳	優	優

	牆身排水	洩水管 透水料排水層	優	優	優
	坡內排水	排水盲溝 橫向排水管 集水井 排水廊道 電氣滲透	優	優	優
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補 環氧樹脂填補			
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面 鋼板斷面 纖維合成材料斷面			
備註	案例邊坡穩定 設施破壞情形	1.回填土沉陷滑移			
	案例實際 採用工法	1.漿砌卵石擋土牆補強 2.抗滑微型排樁拉地錨 3.加強排水措施			

表 6.18 B-2 編號(2)案例之整理表

案例 B-2 編號(2)		：採用之工法		：未採用之工法				
破壞原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤	牆基土壤	邊坡深層	地下水問題	擋土設施
		滑動破壞	傾倒破壞	工程性質不佳	工程性質不佳	潛在弱面		結構性破壞
							▽	▽
改善項目		可採用工法				可行性	經濟性	改善成效
減低側向壓力	減低土壓力	削坡工法	夯實	置換	固結灌漿			
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面	拋石壓趾	堆置蛇籠				
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘			
針對傾倒		地錨	抗滑樁	土釘				
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度	夯實	置換	固結灌漿	土釘			
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量	固結灌漿	微型樁					
	增加穩定構件	樁基礎						
減低潛在弱面 整體滑動破壞	增加新穩定設施	地錨	抗滑樁					

改善排水設施	坡面排水	截水溝 植生	佳	佳	佳
	牆身排水	洩水管 透水料排水層	優	優	優
	坡內排水	排水盲溝 橫向排水管 集水井 排水廊道 電氣滲透	優	優	優
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補 環氧樹脂填補	優	優	優
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面 鋼板斷面 纖維合成材料斷面			
備 註	案例邊坡穩定 設施破壞情形	1.外牆牆基與排水溝施工品質不良，外牆牆面施工縫龜裂			
	案例實際 採用工法	1.牆面裂縫及鋼筋外露處以 EPOXY 補強 2.磚造牆基空洞及表面以水泥砂漿抹平補強 3.排水溝溝底以早強水泥修整補強			

表 6.19 B-2 編號(11)案例之整理表

案例 B-2 編號(11)		: 採用之工法					: 未採用之工法		
破壞 原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤	牆基土壤	邊坡深層	地下水問題	擋土設施 結構性破壞	
		滑動破壞	傾倒破壞	工程性質不佳	工程性質不佳	潛在弱面			
							▼	▼	
改善項目		可採用工法					可行性	經濟性	改善成效
減低側向壓力	減低土壓力	削坡工法	夯實	置換	固結灌漿				
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面	拋石壓趾	堆置蛇籠					
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘				
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘				
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度	夯實	置換	固結灌漿	土釘				
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量	固結灌漿	微型樁						
	增加穩定構件	樁基礎							

減低潛在弱面 整體滑動破壞	增加新穩定設施	地錨	抗滑樁					
改善排水設施	坡面排水	截水溝	植生					
	牆身排水	洩水管	透水料排水層	優	優	優		
	坡內排水	排水盲溝	橫向排水管	集水井	排水廊道	電氣滲透	優	優
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補	環氧樹脂填補	優	優	優		
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面	鋼板斷面	纖維合成材料斷面				
備註	案例邊坡穩定 設施破壞情形	1.上邊坡擋土牆牆面施工縫滲水						
	案例實際 採用工法	1.牆面裂縫以水泥砂漿補強 2.牆面增設洩水孔加強牆背排水						

表 6.20 B-2 編號(19)案例之整理表

案例 B-2 編號(19)		側向抵抗不足		牆背土壤	牆基土壤	邊坡深層	地下水問題	擋土設施
破壞原因	側向壓力過大	滑動破壞	傾倒破壞	工程性質不佳	工程性質不佳	潛在弱面	↓	↓
		改善項目		可採用工法				可行性
減低側向壓力	減低土壓力	削坡工法	夯實	置換	固結灌漿			
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面	拋石壓趾	堆置蛇籠				
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘			
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘			
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度	夯實	置換	固結灌漿	土釘			
改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量	固結灌漿	微型樁					

	增加穩定構件	樁基礎			
減低潛在弱面 整體滑動破壞	增加新穩定設施	地錨 抗滑樁			
改善排水設施	坡面排水	截水溝 植生	優	優	優
	牆身排水	洩水管 透水料排水層	優	優	優
	坡內排水	排水盲溝 橫向排水管 集水井 排水廊道 電氣滲透	優	優	優
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補 環氧樹脂填補	優	優	優
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面 鋼板斷面 纖維合成材料斷面			
備 註	案例邊坡穩定 設施破壞情形	1.後院下邊坡發生局部崩陷情形 2.擋土牆塊石堆砌接縫有滲水現象			
	案例實際 採用工法	1.擋土牆面塊石接縫，有土壤流失現象時，儘速以水泥砂漿填實 2.牆面增設洩水孔，降低牆背入滲蓄積之水壓力			

表 6.21 B-3 案例之整理表

案例 B-3				：採用之工法			：未採用之工法		
破壞 原因	側向壓力過大	側向抵抗不足		牆背土壤 工程性質不佳	牆基土壤 工程性質不佳	邊坡深層 潛在弱面	地下水問題	擋土設施 結構性破壞	
		滑動破壞	傾倒破壞						
	∨					∨	∨		
改善項目		可採用工法				可行性	經濟性	改善成效	
減低側向壓力	減低土壓力	削坡工法	夯實	置換	固結灌漿	佳	優	優	
增加側向抵抗	增加斷面抵抗	增加擋土設施斷面		拋石壓趾	堆置蛇籠				
	增加穩定構件	針對滑動	地錨	抗滑樁	土釘				
		針對傾倒	地錨	抗滑樁	土釘				
改善牆背土壤	減輕土壓力、增加剪力強度	夯實	置換	固結灌漿	土釘				

改善牆基土壤	增加剪力強度、減少沈陷量	固結灌漿	微型樁					
	增加穩定構件	樁基礎						
減低潛在弱面 整體滑動破壞	增加新穩定設施	地錨	抗滑樁	佳	可	優		
改善排水設施	坡面排水	截水溝	植生	優	優	優		
	牆身排水	洩水管	透水料排水層	優	優	優		
	坡內排水	排水盲溝	橫向排水管	集水井	排水廊道	電氣滲透	優	優
擋土設施 結構性補強	擋土設施裂縫填補	水泥砂漿填補	環氧樹脂填補					
	擋土設施斷面補強	混凝土斷面	鋼板斷面	纖維合成材料斷面				
備 註	案例邊坡穩定 設施破壞情形	1.由於連日豪雨，使得此坡面發生大規模的地滑災害，坍塌面積約 1.3 公頃，坍塌範圍寬約 20 80 公尺，縱深約 250 公尺						
	案例實際 採用工法	1.整修及新設排水溝 4.補充打設水平排水管 7.設置集水井	2.格框植生護坡 5.採用抗滑排樁 8.設置滲流水蓄水池	3.補充打設預力地錨 6.施設地表、地下排水工程 9.整地修坡	10.植生工程			

表 6.22 案例邊坡擋土設施破壞原因整理

案例編號	擋土設施破壞原因							
	側向壓力過大	側向抵抗不足	牆背土壤 工程性質不佳	牆基土壤 工程性質不佳	邊坡深層 潛在弱面	地下水問題	擋土設施 結構性破壞	其他
A-1		▼	▼			▼	▼	
A-2 (S-1)		▼				▼	▼	
A-2 (S-2)								▼
A-2 (S-3)								▼
A-2 (S-4)								▼
A-2 (S-5)								▼
A-2 (S-6)								▼
A-2 (S-7)		▼				▼		
A-2 (S-8)						▼		
A-3		▼				▼		
B-1 (一)		▼						
B-1 (二)		▼			▼			
B-1 (三)		▼			▼			
B-1 (四)		▼						
B-1 (五)		▼	▼					
B-1 (六)		▼	▼					
B-1 (七)		▼						
B-1 (八)		▼						
B-1 (九)		▼						
B-1 (十)		▼						
B-1 (十一)		▼	▼					
B-1 (十二)		▼	▼					
B-1 (十三)		▼	▼			▼		
B-1 (十四)		▼				▼		
B-1 (十五)								▼
B-2 (1)						▼	▼	
B-2 (2)						▼	▼	
B-2 (3)			▼				▼	
B-2 (4)						▼	▼	
B-2 (5)						▼	▼	
B-2 (6)			▼				▼	
B-2 (7)							▼	
B-2 (8)			▼			▼	▼	
B-2 (9)						▼	▼	
B-2 (10)			▼			▼	▼	
B-2 (11)						▼	▼	

B-2 (12)		▼						
B-2 (13)								▼
B-2 (14)							▼	
B-2 (15)						▼	▼	
B-2 (16)						▼		
B-2 (17)							▼	
B-2 (18)						▼	▼	
B-2 (19)						▼	▼	
B-2 (20)						▼	▼	
B-2 (21)						▼	▼	
B-2 (22)							▼	
B-2 (23)						▼		
B-3	▼				▼	▼		

6.3 擋土設施補強案例分析

由所收集案例資料之整理分析，大致上發現社區邊坡擋土設施之穩定有一些問題，而這些問題亦多是在採取補強改善對策時所需針對解決的破壞因素：

1. 在多處現地案例中，發現地錨之錨頭下方有明顯滲水跡象，代表地錨處之孔位已成為地下水滲出之途徑，此一情形常使錨頭部位易於鏽蝕，出現鏽痕，且造成錨頭混凝土塊快速老化，其老化情形有異於牆面版，案例中亦有地錨鏽蝕或損失預力者，嚴重影響邊坡之長期穩定性。因此地錨之防鏽蝕及預力損耗即成為補強改善對策中之重要之課題。
2. 由案例中發現擋土設施破壞所產生的坡地問題大多是：擋土結構出現裂縫、牆版接縫處滲水以及並無鋼筋連接、擋土牆移位及傾倒、因地層的差異沈陷導致擋土牆龜裂、下層基座施作引起上層擋土設施崩坍等，地錨施工品質不良、錨頭掉落、滲水、老化嚴重以及鏽蝕，擋土牆與房屋結構距離過近，以至於無法對擋土設施做維護工程等。因此在採取補強改善對策時這些便是特別需注意的地方。
3. 此外邊坡是否能充分排水影響邊坡之穩定至劇，在案例資料中，常發現有排水孔之設置數量不足、排水孔未能有效排水或長期後出現堵塞、地下水直接由牆面或地錨處滲出、牆底未設排水設施、排水不足產生沖蝕、淘刷等各種影響邊坡穩定之現象，排水工法所需之經費低，而於邊坡穩定之效果宏大，故對於目前邊坡排水工法之有效性應確實加以檢討。

4. 以上這些問題，在坡面排水不良的擋土牆所發生的狀況，相較一般排水良好之擋土牆更為頻繁、嚴重。坡地建築在填方處遭受破壞者也佔不少，包括：結構物因填方施工不良而引起差異沈陷、路面產生裂縫以及填土材料遭受地表水掏空、堵塞排水孔而排水不良等等問題也是需要重視的。地質方面，有問題的案例，大致社區本身就處於順向坡滑動面，易引起擋土結構整體滑動，或者處於堆積以及風化岩層，其潛在坡地問題在於本身承载力不足，以及穩定性不夠而引起擋土牆沈陷等。另外人為在上邊坡的不當開墾導致坡面破壞、落石者也有發生之案例。

由表 6.12 至表 6.21 及表 6.22 中各案例針對各項潛在破壞原因，所採用之補強工法討論如下：

1. 側向壓力過大

在本研究中的側向壓力過大主要是針對土壓力過大所引起之狀況而言，因為排水問題影響邊坡之穩定甚劇且大多數問題皆由此而起，因此另外以地下水問題專門討論。改善側向壓力過大的對策，主要是朝減低土壓力及移除坡頂載重這兩方法進行。減低土壓力的工法有削坡工法及屬於土壤改良的夯實、置換、固結灌漿工法等，而移除坡頂載重亦可以有效的減低過大的側向土壓力。在表 6.22 中可以發現案例 B-3 中有側向壓力過大之現象，而其針對此潛在破壞原因採用的工法為整地修坡，此補強工法施工易、單價低，可相當有效地減少過大的側向壓力。

2. 側向抵抗不足

由表 6.22 中可知案例 A-1、A-2(S-1)、A-2(S-7)、A-3、B-1(一)、B-1(二)、B-1(三)、B-1(四)、B-1(五)、B-1(六)、B-1(七)、B-1(八)、B-1(九)、B-1(十)、B-1(十一)、B-1(十二)、B-1(十三)、B-1(十四)、B-2(12)有側向抵抗力不足之

潛在破壞因素，在這些案例中針對此潛在破壞原因所採用之補強工法幾乎都是採用補打預力地錨工法來改善，除了補打地錨外，部份案例亦採用抗滑樁來改善補強。而由第四及第五章所討論之增加側向抵抗的工法中除了地錨、抗滑樁外尚有增加擋土設施斷面、拋石壓趾及堆置蛇籠等，而這些工法使用較不普遍的原因可能是，這些工法會大大地減少可利用的空間且成效有限，因此較不被採用。

3. 牆背土壤工程性質不佳

由表 6.22 知，案例 A-1、B-1(五)、B-1(六)、B-1(十一)、B-1(十二)、B-1(十三)、B-2(3)、B-2(6)、B-2(8)、B-2(10)有此項的潛在破壞因素，而這些案例中針對此潛在破壞因素所採用的改善對策是灌漿固結，此種工法相較於其他地盤改良的工法(夯實、置換、土釘)施工較不受限制，因為夯實、置換工法於結構物已完成後較不可行，而高壓灌漿的缺點即單價較高。

4. 牆基土壤工程性質不佳

沉陷破壞往往肇因於基礎土壤承載力的不足，其補強的對策主要為提昇基礎土壤之抗壓縮性或剪力強度，或藉由樁將土層上部所受之壓力傳遞至下部。常用的補強工法有以下三種：1.打設基樁、2.打設微型樁、3.地盤改良-灌漿固結。而由表 6.22 發現無此潛在破壞因素之案例。

5. 邊坡深層潛在弱面

由表 6.22 知，案例 B-1(二)、B-1(三)、B-3 有此潛在破壞因素，而案例中針對此潛在破壞因素所採用的改善補強工法，有打設地錨及抗滑樁，然而此兩種方法所需的施工空間皆較大，且單價亦較高，但成效性不錯。

6. 地下水問題

邊坡是否能充分排水影響邊坡之穩定至劇，在案例資料中，相當多的案例有排水孔之設置數量不足、排水孔未能有效排水或長期後出現堵塞、地下水直接由牆面或地錨處滲出、牆底未設排水設施、排水不足產生沖蝕、淘刷等各種邊坡破壞潛在問題，故邊坡排水工法應確實加以注意。由表 6.22 中可知案例 A-1、A-2(S-1)、A-2(S-7)、A-2(S-8)、A-3、B-1(十三)、B-1(十四)、B-2(1)、B-2(2)、B-2(4)、B-2(5)、B-2(8)、B-2(9)、B-2(10)、B-2(11)、B-2(15)、B-2(16)、B-2(18)、B-2(19)、B-2(20)、B-2(21)、B-2(23)、B-3 等有因地下水所引起之潛在破壞因素。這些案例中所採用的改善工法主要分為三類(1)針對坡面排水：截水溝、植生；(2)針對牆身排水：洩水管、透水料排水層；(3)針對坡內排水：排水盲溝、橫向排水管、集水井、排水廊道等。

7. 擋土設施結構性破壞

由表 6.22 中可知案例 A-1、A-2(S-1)、B-1(十四)、B-2(1)、B-2(2)、B-2(3)、B-2(4)、B-2(5)、B-2(6)、B-2(7)、B-2(8)、B-2(9)、B-2(10)、B-2(11)、B-2(14)、B-2(15)、B-2(17)、B-2(18)、B-2(19)、B-2(20)、B-2(21)、B-2(22)等，案例中的結構性問題都是出現裂縫，所採用的改善措施皆為使用水泥砂漿、及環氧樹脂填補裂縫。

在案例 B-1 的各分區中，對潛在邊坡滑動破壞所採用的改善對策中，許多分區皆採微型樁，少部份分區採用微型樁及地錨補強，研判是因為微型樁所需之作業空間較小，而案例中各分區之施工空間較受限制，無法採用施工作業空間需求較大的地錨，且微型樁之單價較地錨低亦為其優勢，惟微型樁之成效不若地錨，故若施工空間足夠，還是以地錨補強改善較佳。

總結表 6.22 所整理之案例潛在破壞原因，在 49 處案例中，最主要之潛在破壞原因仍以地下水過高佔最多，其次為側向抵抗力不足，顯示擋土結構物在設計之初，即有抵抗力考量不足之現象。此外，在牆背土壤工程性質不佳一項，亦有不少案例，其主要原因均是位於回填土，而回填土在填築之時未經良好夯實控制所致。至於擋土設施產生結構性破壞而需加以補強者亦佔相當多數，其中又有一大部份與地下水所引發問題之案例重疊，可能是擋土設施受到過大水壓而產生損毀，而在結構上亦需加以修復之故。

由前述之案例分析中，可發現各項建議補強工法，其總體評估之結果，大部份均為優，其次有一部份為佳及可。主要原因如前章所討論在工法選擇上受到用地、施工空間等之條件限制所引起。在地錨工法補強一項，因其費用高，故此項之評估均列為可，然而在考慮補強成效時，常加以選用，此時經濟性已不是最重要之考量。

6.4 補強案例之課題討論

經過前節中對既有的邊坡擋土設施補強改善案例進行整理及分析後，提出了三項擋土設施補強改善工法上之課題，在本節中，將對這些課題加以討論以做為將來坡地社區擋土設施進行補強及維持長期穩定性之參考，以下分別就各課題進行說明：

課題一：使用地錨補強之長期有效性

由案例整理所得的資料很容易可以發現，補打地錨工法幾乎使用在每一個案例之中，由此可見地錨使用之趨勢相當普遍。而國內之地錨經常使用在地下水充沛的地區，所以地錨構件常因銹蝕的問題而影響其耐久性。因此防蝕的問題必需於地錨耐久性設計中加以考量。地錨之防蝕保護應確保地錨在使用期間內功能不會喪失，故抗張材的防蝕一定要確實施工，尤其是地錨下方之拉力構件的防蝕應特別注意。在本次案例整理即可發現地錨的錨頭常有滲水與銹蝕等現象，因此錨頭的防蝕保護相當重要，而有關錨頭出水問題，建議可考慮在地錨周邊打設出水孔以攔截進入錨孔之地下水，也許較能改善此問題。地錨使用壽命在施工良好的情況下可以使用二、三十年。但事實上其有效期限仍較一般建築物之使用期間為短，故於建築物使用期間內，仍有更新之必要。而目前一般之設計及使用上均未考慮到此一問題。故更重要的是「地錨合理維護空間」的問題，常發現建築物離擋土牆只有一公尺半、兩公尺，難以進行維修或更新補強，此為非常嚴重之問題。而目前已老舊之地錨更新問題亦為一大隱憂。地錨長期有效性受質疑，然而在某些條件、某些工程環境下仍然是最好的選擇。由於地錨具有功能隨時間而衰減之特性，故需定期檢視維護以確保有效性。

課題二：補強工法施工性問題

由案例中可以發現在案例 B-1 的各分區中，對潛在邊坡滑動破壞所採用的改善對策中，許多分區皆採微型樁，是因為受限於作業空間較小之限制，較無法採用施工作業空間需求較大的其他工法。而在前項地錨之相關課題討論中，亦發現以地錨進行補強時，會受到施工空間之限制而不易進行，因此對於擋土牆與建築物間退縮距離之決定，除安全上之考慮外，亦應將各項長期維護及補強時所需之空間納入考慮。往後對於擋土設施與建築物之間之退縮距離宜考慮其安全性，並兼顧未來維護及補強所需空間，以避免補強改善之施工空間嚴重受限之問題。

課題三：邊坡排水改善及其有效性之考量

於前節所討論多處案例中，均發現部份擋土結構牆面上的排水孔外並無水痕，可能是排水孔早已阻塞，或其功能無法發揮，或者是牆後水量甚少；然而在牆面上常有滲水跡象，或於地錨之錨頭下方出現水痕，甚或水流正在流動，表示牆後水量頗豐，但排水孔早已阻塞或未發揮截水功能，便由牆面或錨頭處滲漏而出，同時滲水處及錨頭之混凝土出現老化現象，並有銹痕出現。而地錨中含有鋼腱，若成為水流管路，則鋼腱鏽蝕的情況可能會加劇，使地錨的有效性降低，使擋土結構的安全性發生問題。因此排水措施之改善增設對於擋土設施的補強改善極為重要，由案例中亦可發現幾乎所有擋土設施補強皆會使用排除地下水之各種工法。

由案例中排水孔之佈設及有效性檢討，發現擋土牆排水孔之數量應視現地狀況之需求決定，而不宜以數量加以規定，其牆背垂直排水層之佈設更是重要，佈設後較不容易再次發生排水之問題，效果非常好。同

時牆上方土體表面應以不透水面加以保護。在現場施工時，於出水處附近打設排水管，不見水由排水管滲出，該出水處卻依然不斷出水，這是因為地下水具有特定之水路與水脈，並不會均勻滲出，其改善方式應以「面的排水」觀念，取代點或線的排水。

上述三項課題，與本研究之前期研究所發現之課題相當一致，於前期研究中亦已針對各項課題提出相關之初步對策。而本期研究針對邊坡擋土設施補強工法進行檢討，益加確認這三項課題對於邊坡擋土設施長期穩定之重要性，故對於確保社區邊坡設施之安全與維護，應特別注意這三項課題。其中對於擋土設施需有定期維護及檢查之觀念，而牆前合理維修空間需求之考慮，可於未來相關坡地社區管理條例及建築規範相關法令中明確規定，方可確保邊坡擋土設施發揮適當之功能，以維護邊坡之安全。

6.5 擋土設施補強案例之監測系統

為瞭解案例中的監測系統使用情形，乃根據案例資料將各案例所採用的監測系統情形整理於表 6.23 中，並按照採用的儀器種類整理成表 6.24。由於受限於各案例目前實際監測資料不足無法分析，所以在本節中僅就使用監測儀器種類加以整理。

表 6.23 擋土設施案例監測系統情形整理表

案例	監測系統使用情形
A-1	在本案例中由於所在地層主要均為穩定性較差之回填土層，且部份早期施作之預力地錨品質部份資料並不確定是否精確，且擋土牆隔 10m 外即為鄰房，因此確保及維護擋土邊坡之穩定性，格外的重要。為提供後續擋土邊坡穩定維護及評估之參考，本案例於鄰房及擋土牆適當位置安裝傾度盤，並於上、下兩座擋土牆頂附近，鑽孔安裝埋設傾斜觀測管，定期實施監測。
A-2	選定本社區內 3 處邊坡及擋土牆，安裝編號 A-1 A-4 等共 4 孔之傾斜觀測管，透過滑動監測結果，除對該邊坡及擋土牆之穩定狀況有所掌握外，並可藉以評估後續整治改善工程之成效；此外，另選定 5 處地點，安裝編號 B-1 B-5 等共 5 孔之地下水位觀測井，藉由定期水位監測結果，瞭解地下水位的分佈與變動情形，提供後續分析研判之參考。
A-3	本案例計鑽孔埋設傾斜觀測管 3 支 水壓計 2 支，並於基地北側擋土牆裝設 6 處傾度盤，擋土牆尚未補強時之觀測結果（補強改善處理後的各項觀測結果尚缺）如下： 1. 傾斜管量測結果：缺。 2. 水壓計觀測結果：由量測結果加以比較後得知，本區地層下地下水壓有持續升高之趨勢。 3. 傾度盤之觀測結果：有不穩定之現象。
B-1	1. 為瞭解邊坡之穩定情況，以及地層滑動方向與滑動速率，並藉以研判滑動面位置，在社區內有潛在滑動危險之位置設置 16 支傾斜變位觀測管。 2. 於案例社區內以往並無地下水位之資料，所以共補設 15 支水位觀測井，力求均佈於社區內，以瞭解社區內地下水位之分佈情形。 3. 社區內以往並無地下水壓資料，所以在有壓力水層存在可能之位置設置水壓計，共計設置 6 支水壓計。 4. 為瞭解社區建築構造物傾斜發展的情況，故針對社區中有傾斜與安全顧慮之建築構造物於柱位裝設傾度盤，共計設置 12 個建物傾度盤。 5. 在社區中已產生明顯裂縫，且裂縫有再擴大顧慮之建物或構造物上共設置 20 片裂縫計。經由測量，可明確獲知建物或構造物之穩定性。 6. 為瞭解填土區地表沉陷量與下陷之範圍，於社區內已有下陷情形之位置佈設沉陷觀測點，共計 100 點。藉由水準測量，可明確獲得沉陷觀測點之高程變化，以瞭解地表沉陷的範圍及提供下陷原因之研判。

表 6.23 (續) 擋土設施案例監測系統情形整理表

案例	監測系統使用情形
B-2	<p>依社區全面勘察結果並經邊坡穩定分析結果瞭解，本基地整體邊坡之穩定性(包括常時、地震及暴雨時)，其邊坡安全係數均可達安全穩定之標準，應無邊坡滑動之顧慮，為求慎重起見，於現場鑽孔完成後，在各孔內埋設傾斜觀測管定期量測邊坡可能變位情形，並於近管底側打設透水小孔，外圍並包覆不織布，藉以兼作水位觀測井之用途，以了解本社區之地下水位狀況。</p> <p>RC 懸臂式擋土牆部份，經研判目前僅處於臨界穩定狀態，故建議現階段應於牆面裝設傾斜計加強監測，俾透過監測結果及早發現問題，適時採取因應措施，避免災害發生。</p>
B-3	<p>本案例之監測系統使用分為施工中之監測系統及整治後之長期自動化監測系統。</p> <p>1. 施工中監測</p> <p>為配合本地滑區整治之分期施作，計有兩期施工中之安全監測。第一期整治工程之主要內容為地滑地坍頂附近邊坡噴凝土格樑、預力地錨及格框護坡植生。而第一期工程之主要內容除沿用現有設置之傾斜觀測管與地下水位觀測井之持續觀測外，並增設 4 孔傾斜觀測管以加強掌握地滑地之穩定狀況。第二期整治工程主要為地滑地中、下段之擋土排樁、地表排水系統、地下排水系統、集水井工程與裸露坡地植生等。第二期監測工程之內容除對既有之監測設施持續觀測外，並於新設排樁樁身設置 3 孔樁身傾斜觀測管，以瞭解新設排樁及邊坡之穩定情形。</p> <p>2. 整治後長期自動監測系統</p> <p>本案例為提供本地滑整治成效之評估，對地滑地現場異常現象之掌握並提出預警，及減少人為因素影響，提高監測品質等目的，所以規劃於整治完成後設置長期自動監測系統。本地滑地之自動化監測系統主要分為四個作業單元：(1)前端監測系統、(2)信號傳輸單元、(3)電源供應單元、(4)現地監測站。包含 4 孔傾斜觀測管，5 孔地下水位觀測井、2 組地表伸縮計以及一組雨量計；有線傳輸及無線傳輸二套系統且須設防雷擊設備；足供系統正常運作至少連續 8 小時之充電電池，以供停電時使監測系統能維持正常運作；信號掃描接收器、資料處理器、資料傳輸 I/O 介面、工業級電腦、分析軟體、不斷電系統及足供容納硬體設備及人員操作之監測站及避雷設備。</p>

表 6.24 案例監測儀器使用種類整理表

監測儀器種類	案例 A-1	案例 A-2	案例 A-3	案例 B-1	案例 B-2	案例 B-3
水位觀測井		▼		▼	▼	▼
水壓計			▼	▼		
傾斜觀測管	▼	▼	▼	▼	▼	▼
地表沈陷點				▼		
地表伸縮計						▼

裂縫計				▼		
結構物傾度盤	▼		▼		▼	
雨量計						▼
地錨荷重計						

由表 6.24 中可以發現，案例中使用最普遍的監測儀器為傾斜觀測管、水位觀測井、傾度盤及水壓計。由於這些儀器的觀測項目可直接反應邊坡穩定之狀況，所以使用最普遍，至於其他的觀測儀器，則視擋土構造物形式之不同依實際需要分別考慮，故使用上較不普遍。

第七章 結論與建議

根據本研究對山坡地社區邊坡擋土設施補強之分析探討，可歸納出以下之結論與建議：

1. 本研究將邊坡擋土設施之破壞模式分為滑動、傾倒、沉陷量過大、承載力不足、整體滑動破壞與結構性破壞等六項，究其破壞原因，主要可分為側向壓力過大、側向抵抗不足、牆背或牆基土壤之工程性質不佳、邊坡深層潛在弱面、地下水問題與擋土設施結構破壞問題等項目。本研究即針對所分類出不同之破壞原因及破壞模式，提出適宜之補強對策與工法，以作為擋土設施之補強維修與改善成效評估之分類依據。而補強工法之應用與選擇，需由專業技師針對引致擋土設施破壞原因加以判定及解決，並考量補強工法施工性之要求等因素進行工法之選擇與設計。
2. 由國內邊坡設施補強案例中發現，邊坡擋土設施補強所最常遇到之問題大多是擋土牆身出現裂縫、擋土牆滑動破壞及傾倒破壞、因差異沈陷導致擋土牆龜裂、擋土設施上方之結構物發生位移或龜裂、地錨施工品質不良、錨頭掉落、滲水、老化嚴重以及鏽蝕，以及地下水無法有效宣洩等問題。所以工程設計之初與施工時，就必須對這些可能產生破壞之問題詳加考慮。
3. 綜合案例分析發現，目前國內進行擋土設施之補強維修工程，大抵以施打預力地錨、施作抗滑樁、改善擋土牆身排水措施及進行牆身裂縫填補為主。尤其以排水措施與補打預力地錨為現有擋土設施補

強工法中，最常被採用的，故可知此兩類工法之補強適用性為最高。

4. 地錨工法為邊坡擋土設施補強工程中最常用，在抑止擋土設施之破壞上，有其不可取代性。地錨雖能提供大量之拉力，但其在使用上有許多缺點，如施工品質控制要求高、使用年限較短、適用之地層有限制、鋼材易受鏽蝕及預力逐漸喪失等，故地錨之長期有效性常受到疑慮，而許多邊坡擋土設施之破壞案例，即因地錨之施工不良或年久失效所造成，故必須經常對地錨進行檢測、維修與更新，以確保地錨功能之正常發揮。
5. 目前於排水之相關規範係規定擋土設施排水孔之數量，與現地實際對於排水孔之需求及其有效性常不符合。排水措施之施作，應以「面的排水」觀念，取代點或線之排水方式。排水工法之工程經費較低但對於邊坡擋土設施穩定性之效果顯著，然其長期有效性須藉由定期檢查及維護加以確保。
6. 邊坡擋土設施有一定之使用年限，並非永久性之結構物，故對於邊坡擋土設施仍必須時常加以維護，定期對其進行檢視，尤其是排水措施更是重點之一，經常性對擋土設施進行維修補強工作，方能使邊坡擋土設施有效發揮功能，進而能維護山坡地社區居民生命財產之安全。對於此一定期維護之需求，可考慮未來於相關坡地社區管理規定中加以規範，則更能確保坡地社區之安全。
7. 由補強案例分析及補強工法之特性檢討，發現部分補強工法在施工可行性上，有一定之需求與限制。山坡地社區設計時對於擋土設施

與建築物間之退縮距離，應將設施維護與補強之需求納入考量，以兼顧未來擋土設施維修與補強所需之空間，並可考慮未來於相關規範中加以反應。

8. 監測系統亦為邊坡擋土設施安全判定及補強之重要依據。藉由邊坡監測系統之設置可對邊坡之安全性作有效之評判，對於擋土設施補強之成效也有一評比依據。根據實際擋土設施補強案例分析，使用最普遍的監測儀器為傾斜觀測管、水位觀測井、傾度盤及水壓計。由於這些儀器的觀測項目可直接反應邊坡穩定之狀況，所以使用最為普遍。
9. 土釘工法應用在國內邊坡擋土設施之補強案例甚少，主要是由於國內對於土釘之設計規範與其擋土成效尚有疑慮，待對土釘工法之研究較完備後，應可較廣泛應用在擋土設施之補強工程上。

參 考 文 獻

中文部分

1. 中華水土保持學會，民國七十八年，山坡地緊急防災計劃期中評估報告，台灣省山地農牧局。
2. 交通部台灣區國道新建工程局，民國八十五年，施工標準規範：施工技術規範，交通部台灣區國道新建工程局。
3. 交通部技術標準規範公路類公路工程部，民國七十六年，公路養護手冊，幼獅文化事業公司。
4. 朱國棟、李有豐、施邦築，民國八十八年十一月，"纖維強化高分子複合材料（FRP）應用於 RC 結構補強之介紹"，現代營建雜誌。
5. 朱耀光，民國八十八年五月，"安全觀測系統於山坡地工程之應用"，現代營建雜誌。
6. 何泰源，民國八十八年八月，"土工結構物之維修與補強新技術"，土木技術雜誌。
7. 何啟誠，民國八十九年六月，"淺談捷運新店線 CH223 標微型樁工法"，現代營建雜誌。
8. 吳文隆，民國八十七年，大地工程學（五版），九樺出版社。
9. 吳卓夫、陳冠霖，民國八十一年九月，"鋼筋混凝土龜裂調查、修護、補強模式"，空間雜誌特別增刊：建築技術。
10. 呂方熾、周安之、謝旭昇、林永光，民國八十二年六月，"土釘擋土結構之設計與應用—開挖擋土措施"，土工技術雜

誌。

11. 周功台，"邊坡保護工法設計之簡介"。
12. 周南山，民國八十七年八月，"邊坡保護工法與環境景觀之配合"，土木技術雜誌。
13. 林美聆、秦中天，民國八十八年，"山坡地社區開發邊坡穩定工法技術現況調查與分析"，內政部建築研究所研究報告。
14. 林瑞棋，民國八十九年五月，"921 地震後受損鋼筋混凝土建築物緊急修復及補強技術手冊之可行性探討（一）"，現代營建雜誌。
15. 侯威銘，民國八十四年，土木施工法精要，文笙書局。
16. 施邦築、李有豐、朱國棟，民國八十七年十月，"RC 結構補強之材料與工法"，工業材料。
17. 施國欽，民國八十五年，大地工程學（二）基礎工程篇。
18. 段錦浩、葉昭憲，民國八十一年八月，"中橫公路邊坡穩定處理之調查研究（四）"，行政院國家科學委員會防災科技研究報告。
19. 洪如江，民國八十八年，坡地災害防治，國立台灣大學防災國家型科技計劃辦公室。
20. 洪明瑞、張吉佐、黃俊鴻、張惠文，民國八十九年，"對台灣山坡地開發應有的認知(一)、(二)、(三)"，現代營建雜誌。
21. 財團法人台灣技術服務社，民國八十四年六月，工程施工規範彙編，台北市政府工務局。

22. 國立台北科技大學土木與防災研究所，民國八十七年，1998 建築物防災檢測與補強技術研討會論文集。
23. 張石角、胡俊雄、蕭文雄，民國八十三年五月，"山坡地不得開發建築認定標準之研訂計畫"，內政部建築研究所籌備處專題研究計畫成果報告。
24. 張吉佐、張森源，民國八十一年，"土方與擋土工程施工規範（含解說）成果報告"，內政部建築研究所研究報告。
25. 張俊哲、何幼榕、王世昌，民國八十八年，"坡地住宅社區安檢及監測管理制度之研究"，內政部建築研究所。
26. 梁明德、伍世恆、梁智信，民國八十九年五月，"裂縫對鋼筋混凝土橋樑耐久性影響的評估方法"，土木水利月刊。
27. 梁昇、黃天福，民國七十七年，地滑控制，大學圖書出版社。
28. 郭斯傑、邱必洙、蘇振綱，民國八十八年，"山坡地災害防救基金與保險制度之研究"，內政部建築研究所研究報告。
29. 陳正興、張森源、胡邵敏、周功台、鍾毓東，民國八十六年，"建築技術規則構造編基礎構造條文及相關規範之研修"，內政部建築研究所研究報告。
30. 陳修弓，民國八十九年二月，"工地常見之施工技術（挖土、埋土之鄰接施工）"，現代營建雜誌。
31. 陳惠慈、周健捷、洪思閩、鄧崇任，民國八十一年，"現有鋼筋混凝土建築物補強之初步研究"，內政部建築研究所成果報告。
32. 陳榮河、林美聆，民國八十二年十月，山坡地土壤力學性質在水土保持供呈上之應用——土壓力與擋土牆，台灣省

- 政府農林廳水土保持局八十二年西部地區治山防洪計畫。
33. 陳榮河、洪勇善，民國八十八年四月，"崩塌地整治工法之介紹"，土工技術雜誌。
 34. 陳禮仁，民國八十五年六月，台灣崩塌災害防治對策研究，國立台灣大學森林學研究所博士論文。
 35. 喜多惇、陳世昌，民國八十一年九月，"建築物之環氧樹脂補修實例"，空間雜誌特別增刊：建築技術。
 36. 黃定國、高擎天，民國八十四年，"坡地建築技術規則增修訂研究"，內政部建築研究所研究報告。
 37. 黃益昌，民國八十四年五月，"牡丹水庫右岸邊坡滑落及穩定工法之探討"，水利。
 38. 黃顯斌，民國八十九年，"建物之修補與修繕——結構體修補、修繕之現狀與原則"，現代營建雜誌。
 39. 葉文凱，民國八十八年，"土木施工與建築施工教材"，台灣大學土木系。
 40. 廖洪鈞、廖瑞堂，坡地社區開發安全監測手冊，內政部營建署。
 41. 廖瑞堂，民國八十七年，山坡地護坡工程設計，台灣省土木技師公會。
 42. 劉正達，民國八十六年六月，"本校擋土牆傾斜破壞案例與補強設計"，建國學報。
 43. 潘國樑，民國八十九年四月，"植被與邊坡穩定"，土工技術雜誌。
 44. 營建世界雜誌社，民國七十三年，山坡地開發專輯（二）

，茂榮圖書公司。

45. 營建世界雜誌社，民國八十六年，山坡地開發專輯（三），詹氏圖書有限公司。

外文部分

46. Das , 1993 , Principles of Foundation Engineering 2/e , International Thomson Publishing Asia.
47. Das , 1997 , Principles of Geotechnical Engineering 3/e , International Thomson Publishing Asia.
48. Geotechnical Engineering Office , 1984 , Geotechnical Manual for Slopes , Civil Engineering Department, Hong Kong.
49. Geotechnical Engineering Office , 1995 , Geoguide 5—Guide to Slope Maintenance , Civil Engineering Department, Hong Kong.
50. Siu, K.L. , 1991 , Hong Kong Rainfall and Landslides in 1989 GEO Report No.6 , Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong.

附 錄 一

期初審查會議記錄及意見辦理說明

「山坡地社區邊坡穩定設施補強及評估彙編」研究計畫 期初審查會議意見辦理說明

本研究已收集不同補強工法並依擋土設施破壞模式分別可採用工法，並參酌審查委員相關意見納入研究中。至於非屬本研究主題之意見，則加以列入參考。

附 錄 二

期中審查諮詢會議記錄及意見辦理說明

「山坡地社區邊坡穩定設施補強及評估彙編」研究計畫 期中諮詢審查會議意見辦理說明

本研究根據研究計畫內容，針對不同類型之破壞模式討論其適用之補強工法與特性，並依工法適用類型及特性加以評估，同時收集相關補強案例進行分析。審查委員之相關意見已予納入。自然邊坡非屬本研究之重點，但亦酌予納入。至於細設及制度、計價等非屬本研究主題之意見，則加以列入參考。

附 錄 三

邊坡穩定設施補強成效評估問卷調查

中華民國大地工程學會函文及問卷調查表

「山坡地社區邊坡穩定設施補強及評估彙編」

問 卷 調 查

本研究主要蒐集國內外相關文獻研究後，歸納出邊坡擋土穩定設施之破壞模式，探討其引致破壞原因，針對其原因提出適宜之改善對策及補強工法，並對其補強效果以施工性、改善成效與經濟性等三項做簡略之評估。

為匯集工程界對於各類邊坡擋土設施補強效果之相關意見，特地製作此問卷，以對於不同之看法意見能作詳盡之蒐羅與彙整。本問卷首先將對於本研究中所整理出之邊坡擋土設施之破壞模式與引致原因作一簡要介紹，再提出建議之改善對策與補強工法，並說明對於補強成效評估之項目與原則，請依據上述內容對補強成效總體評估表加以勾選，如有相關意見亦請予加註，謝謝。

一、邊坡擋土設施之破壞模式與引致原因

本研究彙整邊坡擋土設施之破壞模式分為滑動破壞、傾倒破壞、承載力不足、沉陷量過大、整體滑動破壞、以及結構性破壞等六類，以下對於此六類破壞模式及造成原因作簡要之介紹，以作為提出補強工法之依據。

1. 滑動破壞

擋土設施基底之水平抵抗力，不足以抵抗牆背土體之水平側向壓力時，將可能造成擋土牆被向外推出破壞，以致失去其擋土功能。造成原因有：

- (1) 擋土牆背後之側向壓力過大
- (2) 擋土牆之側向抵抗力不足

2. 傾倒破壞

擋土牆抗傾倒之穩定力矩不足以抵抗驅使傾倒的力矩時，將造成擋土牆對牆趾產生傾倒破壞之現象。造成原因有：

- (1) 擋土牆背後側向壓力過大
- (2) 擋土牆之抵抗傾倒力矩不足
- (3) 基礎土壤之差異沉陷
- (4) 擋土牆身高度過高

3. 承載力不足

當擋土牆基底下土壤過於疏鬆、軟弱時，則可能發生基礎土壤之承載力不足現象，而產生承載力破壞。造成原因有：

- (1) 基礎土壤承載力不足
- (2) 基礎土壤承載過重

4. 沉陷量過大

擋土牆因基底下土壤沉陷量過大，而造成擋土牆大量下陷之現象，並有可能引致擋土牆之傾倒。造成原因有：

- (1) 基礎土壤壓縮性過大
- (2) 基礎土壤沉陷不均勻引致之差異沉陷
- (3) 基礎土壤承載過重

5. 整體滑動破壞

擋土設施所在之邊坡土體若產生一整體性之滑動破壞，此稱為整體滑動破壞。造成原因有：

- (1) 擋土牆基底土壤或背填土過於軟弱
- (2) 邊坡深處有潛在滑動面

6. 結構性破壞

擋土設施發生毀損、裂縫，屬於擋土設施本體結構之破壞。擋土設施之結構破壞又可分為發生裂縫及斷面強度不足兩部分。而擋土牆身裂縫依其發生原因可分為：

- (1) 設計性裂縫
- (2) 施工造成之裂縫
- (3) 混凝土材料與周遭環境作用造成之裂縫
- (4) 擋土設施穩定性問題所引致之裂縫

二、邊坡擋土設施破壞之改善對策與適用工法

根據上述邊坡擋土設施破壞模式整理後，造成擋土設施破壞原因，依改善對象之不同，概略可粗分為以下幾類：

1. 側向壓力過大
2. 側向抵抗不足
3. 牆背土壤工程性質不佳
4. 牆基土壤工程性質不佳
5. 邊坡深層潛在弱面或滑動面
6. 地下水問題
7. 擋土設施結構破壞問題

其中邊坡之地下水不僅會造成擋土牆背後水壓力之蓄積，而且亦會弱化邊坡土體強度，故對於解決邊坡內之地下水蓄積問題應特別提出探討；另外邊坡土壤之工程性質不良問題，因造成破壞模式與針對補強目標之不同，又可分為擋土牆背後與牆基下方兩類分開作敘述。針對於以上幾項造成擋土設施破壞之原因，可採以下之改善對策及工法進行補強。

1. 降低側向壓力

側向壓力過大會引致擋土設施之滑動破壞及傾倒破壞。降低側向壓力可分為降低土壓力、水壓力及減少坡頂載重等。降低土壓力一般常使用之工法有：

(1) 削坡工法

(2) 土壤改良工法：一般常用有夯實、置換及灌漿固結等。

而減少坡頂載重即設法移除擋土牆上方之地表載重，其中削坡也視為一法。

2. 增加側向抵抗

增加側向抵抗常是補強工作之重點。增加側向抵抗有增加斷面抵抗與增加穩定構件兩類方式：

(1) 增加斷面抵抗：可增加擋土設施斷面、在擋土牆前拋石及堆置蛇籠等。

(2) 增加穩定構件：可打設地錨、抗滑樁及土釘等來增加抵抗能力。針對擋土設施滑動破壞與傾倒破壞兩種破壞模式，上述工法在施作方式、位置及補強成效會有所不同。

3. 改善牆背土壤

改善牆背土壤工程性質之目的主要為增加牆背邊坡土體之剪力強度，降低擋土設施與邊坡整體滑動破壞之可能性，同時也可減低牆背之土壓力。通常改善之方式，即對牆背土體進行土壤改良，一般常用者為夯實、置換、灌漿固結或施打土釘予以加勁等。

4. 改善牆基土壤

改善牆基土壤工程性質之目的主要為增加基礎土體之承載力、剪力強度及降低基礎土壤之壓縮量，不僅可避免擋土設施因沉陷量過大及承載力不足所造成之破壞，也可降低邊坡整體滑動破壞之可能性。通常改善之方式，可對牆基土體進行灌漿固結或用微型樁加勁之土壤改良工法，以及打設較大型之樁基礎來承載上部擋土結構。

5. 避免沿潛在弱面整體滑動破壞

在邊坡深層處有潛在弱面常為造成邊坡連同擋土設施整體滑動之主要原因。要抑止類似之邊坡大規模整體滑動破壞，除盡量避免在有此潛在危機處進行山坡地之開發利用，還有就是要針對可能產生大規模整體滑動之土體，增設的邊坡穩定設施，如打設地錨、抗滑樁及興建新的擋土設施等。

6. 改善排水措施

邊坡之地下水不僅會造成擋土牆背後水壓力之蓄積，而且亦會弱化邊坡土體強度，故改善邊坡之排水措施常為邊坡穩定設施補強工程之首要項目。常用的排水措施依改善項目可分為以下三類：

(1) 坡面排水：坡頂截水溝及坡面植生等。

(2) 牆身排水：牆身洩水管及牆背之透水料排水層。

(3) 坡內排水：排水盲溝、橫向排水管、集水井、排水廊道及電氣滲透等。

7. 擋土設施結構性補強

擋土設施結構性補強主要分為裂縫填補與斷面補強兩部分。補強之方式有：

(1) 裂縫填補：填補材料多為水泥砂漿與環氧樹脂兩類。

(2) 斷面補強：有混凝土斷面、鋼板斷面及纖維強化合成材料等三類。

三、補強成效評估之評估項目及評估原則

補強工法之採用，須針對各種不同的破壞因素加以考慮，但是對於同一種破壞因素，也有多種不同的補強工法可供選擇。不同的工法均有不同的特性，如何針對基地性質及現場破壞狀況，評估各種不同工法的成效以選擇最適用的補強工法，便成為設計者最重要的課題。在針對破壞因素選擇不同補強工法時，可依其施工可行性、改善成效及工程經費三項目加以考慮，並分別評估各個工法相對於個案工程之適用性。在評估過程中，茲就以上三點之評估項目及評估原則說明如下：

1. 施工可行性：

包括施工機具與基地空間之配合、機具進場難易度及施工工期是否符合搶救時效等，所以施工可行性評估可分為施工空間、機具可行性及工期可行性等三部分。施工空間部分之評估原則應考慮不同工法對於施工空間之需求，一般可分為牆前及牆後兩種狀況討論。施工機具部分之評估原則應依現場基地狀況制宜，判斷施工空間、基地規劃、材料堆放等各種因素，再分別評以優、可、劣之等級。施工工期部分之評估原則應以現場危險度與設計工期加以判斷。唯評估時需注意天候狀況及施工進場時間。進場時間的早晚往往影響邊坡穩定設施破壞的程度，延遲進場常造成破壞程度已超過原本預計補強之範圍。

2. 改善成效：

通常分為短期立即穩定性之改善成效及長期之穩定性改善成效兩方面比較。由以往施工案例之經驗，配合施工後之監測資料來加以評估。此項評估原則應視現地破壞類型，整理以往類似破壞模式之補強後監測資料，再依資料加以評估。短期改善成效之有效評估監測資料時間應以補強工法開始施工為起始，到完工後三個月為止。長期改善成效之有效評估監測資料時間則延長至完工後三年。

3. 工程經費：

以不同補強工法施用於相同規模之坡地破壞補強時，所需使用的經費加以比較。因為不同之施工方式所使用之計價方式及單位均不盡相同，故此項之評估應採用統一之評估原則。因將針對不同之破壞因素而發展出之補強工法成本放在一起比較，似乎並不公平，故在本研究中僅將針對相同破壞因素之補強工法加以比較。所採用之評估標準為在相同破壞狀況下，使用不同之工法，經設計分析後達到相同之改善效果後之單位面積成本。

針對各種破壞因素而發展出之補強工法均相當重要，且各有其目的及特色，將其放在一起比較似乎並不公平，故在本研究中依照各補強工法所針對之破壞因素加以分類，其中比較的部份因各基地狀況不同，故均採相對性對比較，而不列舉實際工程數據。下列評估表格之填寫，請以同一規模之邊坡擋土設施及相同之破壞原因，進行工法間之相對性比較與評估。

四、補強工法成效總體評估問卷

請下列改善項目加以勾選並提供意見，謝謝。

改善項目	改善對策	採用工法	施工可行性		改善成效			工程經費		備註			
			空間配合	工期配合	短期	長期	高	中	低				
											高	中	低
降低側向壓力	減低土壓力	削坡 夯實 置換 灌漿固結	高	中	低	高	中	低	高	中	低		
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
改善排水措施	坡面排水	截水溝 植生	<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
	牆身排水	洩水管 透水料排水層	<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
	坡內排水	排水盲溝 橫向排水管 集水井 排水廊道 電氣滲透	<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
增加斷面抵抗	增加斷面抵抗	增加斷面抵抗 拋石壓重 堆置蛇籠	<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
			<input type="checkbox"/>										
增加側向抵抗	增加穩定構件	針對 滑動	地錨	<input type="checkbox"/>									
			抗滑樁 土釘	<input type="checkbox"/>									
		針對 傾倒	地錨	<input type="checkbox"/>									
			抗滑樁 土釘	<input type="checkbox"/>									

附 錄 四

期末審查會議記錄及意見辦理說明

「山坡地社區邊坡穩定設施補強及評估彙編」研究計畫 期末審查會議意見辦理說明

本研究根據研究計畫內容，針對不同類型之破壞模式討論其適用之補強工法與特性，並依工法適用類型及特性加以評估，同時收集相關補強案例進行分析。審查委員之相關意見已予納入考量，對於裂縫寬度、案例示意圖、補強作業、專業技師職責等各項均加強補充說明，同時對於擋土設施與建物間之距離及擋土設施維護之需求，均在法規制度上提出建議。至於地震損毀、緊急處理等非屬本研究主題之意見，則加以列入參考。