

95-23-7170

MOTC-IOT-94-H1DB004

坡地災害緊急搶修與復建整合 技術研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 95 年 3 月

95-23-7170

MOTC-IOT-94-H1DB004

坡地災害緊急搶修與復建整合 技術研究(1/2)

著者：李豐博、蘇吉立、廖洪鈞、李維峰
董家鈞、卿建業、魏佳韻、趙衛君

交通部運輸研究所

中華民國 95 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究. (1/2)

/ 李豐博等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民95

面：公分

參考書目：面

ISBN 986-00-4734-0(平裝)

1. 防災工程 - 管理 - 自動化

441.029

95005451

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究 (1/2)

著者：李豐博、蘇吉立、廖洪鈞、李維峰、董家鈞、卿建業、魏佳韻
趙衛君

出版機關：交通部運輸研究所

地址：臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 95 年 3 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：400 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1009500625

ISBN：986-00-4734-0 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

95

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究
(1/2)

交通部運輸研究所

GPN : 1009500625

定價 400 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究（1/2）			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 986-00-4734-0（平裝）	政府出版品統一編號 1009500625	運輸研究所出版品編號 95-23-7170	計畫編號 94-H1DB004
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：李豐博 研究人員：蘇吉立 聯絡電話：04-26587102 04-26587114 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立台灣科技大學生態與防災 工程研究中心 計畫主持人：廖洪鈞 研究人員：李維峰、董家鈞、卿建業、 魏佳韻、趙衛君 地址：臺北市基隆路四段 43 號 聯絡電話：02-2727-6583	研究期間 自 94 年 2 月 至 94 年 11 月	
關鍵詞：坡地災害、緊急搶修、復建工程			
摘要： 臺灣地區道路邊坡崩塌災害處置可分為緊急應變與復建兩階段，傳統上道路崩塌的防治，在緊急應變時考量重點多以維護交通暢通為主，而復建工程則多以經濟成本為考慮。但因社會意識與環境生態觀念逐漸受重視下，系統化的邊坡崩塌緊急搶修與災害復建技術發展，以及整體防治設計觀念，是必要的工具。 基於上述觀念，本計畫擬整合研發道路邊坡崩塌之緊急搶修、復建與防治等技術，進一步實施適當之處置以便於後續完善整治設施之實施，使有效降低崩塌或施工不當對環境之衝擊，減低崩塌造成之社會、經濟與生態之損失。 因此，本計畫著重於建立崩塌潛勢分級觀念，並利用道路邊坡崩塌基本資料庫之建置，協助道路管理單位掌握各路段邊坡之崩塌特性，進而提供作為道路邊坡崩塌緊急搶修方案研究之基本資料。同時調查現有部分災損之擋土結構物案例，研擬災損擋土結構物功能評估準則與量化指標，以應即時搶修方案擬訂參考。此外，亦研發緊急搶修設計執行準則，將搶修方案延伸至復建階段方案，兼以考量交通、經濟、社會與生態因素，成為整體設計之崩塌防治對策。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
95 年 3 月	326	400	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

TITLE: Integrated Short-term Repairing and Long-Term Rehabilitation Measures for Road Slopes (1/2)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 986-00-4734-0 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009500625	IOT SERIAL NUMBER 95-23-7170	PROJ ECT NUMBER 94-H1DB004
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu, Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Le, Feng-Bor PROJ ECT STAFF: Su, Ch-Li PHONE: (04) 26587114 FAX: (04) 26564418			PROJ ECT PERIOD FROM February 2005 TO November 2005
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liao, Hung-J iun PROJ ECT STAFF: Lee, W. F, Dong, J . Ching, J . Y, Wei, C. Y, Zhao, W. J . ADDRESS: 43, Keelung Road, Section 4, Taipei, Taiwan, R.O.C. PHONE: (02) 27376583			
KEY WORDS: Road slope failure, Emergency repairing, Rehabilitation engineering			
ABSTRACT: Typically, the remedial measures taken to deal with the road slope failures in Taiwan can be grouped into two categories: the short-term measures and the long-term measures. The former are used for emergency purpose and are aimed at reopening the road for traffic in short time. The latter are to regain the long-term stability of the failed slopes with cost and effectiveness consideration. Quite often, both measures are not in line with each other. Consequently, one slope failure may be repeatedly treated for more than one time. Money is unnecessarily wasted. So it is necessary to integrate the slope stabilization measures taken to secure short-term and long-term stability for a particular slope failure to meet the economical and ecological concerns. To do so this research has proposed some integrated slope stabilization measures for both the short-term and long-term purposes based on the status of measures actually taken to stabilize the road slopes. With such integration, the reoccurrence of slope failure can be minimized and the impacts to the environment and ecology due to the construction of slope stabilization measures can also be reduced. The scopes of this research include the following: 1. Establish a system for grading the potentials of road slope failure; 2. Use the slope database to assist highway management agencies to evaluate the stability status of slopes at different road sections and to generate possible measures for short-term slope stability; 3. Establish a system for evaluating the performance functions of existing slope stabilization structures and prepare a priority list for maintenance or repairing; 4. set up the guidelines for emergency repairing and the subsequent rehabilitation of failed road slopes with the considerations of traffic, economic, social, and ecological factors.			
DATE OF PUBLICATION March 2006	NUMBER OF PAGES 326	PRICE 400	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	
表目錄	
圖目錄	
第一章 緒論	1-1
第二章 工作內容與執行方式	2-1
第三章 道路邊坡維護管理系統建置	3-1
3.1 道路邊坡維護管理系統架構	3-2
3.1.1 使用者資料	3-4
3.1.2 邊坡基本資料	3-6
3.2 道路邊坡維護管理系統輸出功能成果展示	3-17
3.2.1 統計報表輸出	3-17
3.2.2 地圖查詢瀏覽	3-22
第四章 道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害類型	4-1
4.1 檢討既有道路邊坡崩塌潛勢分析方法	4-2
4.1.1 高斯過程分析與其他方法之比較	4-2
4.1.2 高斯過程分析之細節	4-2
4.2 檢討崩塌因子量化與選定	4-6
4.2.1 基本因子	4-8
4.2.2 變動因子	4-13
4.2.3 誘發因子	4-14
4.3 研擬道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害類型	4-17
4.3.1 道路邊坡崩塌潛勢分析方法	4-17
4.3.2 道路邊坡崩塌二次災害類型	4-18

第五章	道路邊坡崩塌災害預警及通報系統.....	5-1
5.1	監測規劃與預警相關研究成果彙整.....	5-1
5.1.1	監測設備與原理介紹.....	5-1
5.1.2	監測規劃與預警.....	5-26
5.1.3	資訊接收、儲存、通訊傳輸	5-43
5.1.4	監測實例.....	5-52
5.2	監測與緊急搶修及復建決策流程.....	5-72
5.2.1	監測規劃考量因素與步驟	5-74
5.2.2	緊急搶修及復建監測資料之應用	5-78
5.3	事發型邊坡崩塌監測預警之通報與處理流程規劃	5-79
第六章	道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估方法.....	6-1
6.1	擋土結構物功能評估因子與分級評估模式	6-1
6.1.1	擋土結構物功能評估因子	6-1
6.1.2	擋土結構功能分級評估模式	6-5
6.2	功能評估方法.....	6-6
6.2.1	目視檢查法.....	6-6
6.2.2	調查分析法.....	6-7
6.2.3	儀器監測法.....	6-7
6.3	定量化道路邊坡災損擋土結構物功能評估方法	6-8
6.3.1	噴漿護坡工法.....	6-8
6.3.2	砌石、重力式、懸臂式等擋土工法	6-9
6.3.3	加勁擋土工法.....	6-10
6.3.4	地錨擋土工法.....	6-11
6.4	災損擋土結構物處理對策研擬.....	6-17
6.4.1	處理對策研擬前之調查分析	6-17
6.4.2	災害處理對策研擬.....	6-20
第七章	示範路段研究成果驗證.....	7-1
7.1	示範路段概述.....	7-1
7.1.1	氣候.....	7-2
7.1.2	地形與水文.....	7-2

7.1.3 地質.....	7-3
7.2 崩塌潛勢與二次災害類型分析模式驗證.....	7-7
7.2.1 台 18 線訓練資料庫.....	7-7
7.2.2 台 21 線測試資料庫.....	7-16
7.2.3 崩塌機率預測 - 加入雨量因子	7-19
7.2.4 示範路段之二次災害類型	7-22
7.3 監測與預警規劃建議.....	7-27
7.3.1 巡檢重點.....	7-27
7.3.2 監測基準.....	7-47
7.3.3 落石預警基準.....	7-50
7.3.4 土石流預警基準.....	7-52
7.4 災損擋土結構物功能評估分析結果驗證.....	7-53
7.4.1 功能尚可.....	7-54
7.4.2 局部損壞.....	7-56
7.4.3 功能喪失.....	7-58
第八章 結論與建議	8-1
8.1 結論.....	8-1
8.2 後續計畫執行重點.....	8-3
參考文獻	9-1
期中審查委員意見暨辦理概況.....	附錄 A
專家座談會意見.....	附錄 B
期末審查委員意見暨辦理概況.....	附錄 C
台 21 線擋土結構物現地調查彙整表.....	附錄 D
期末報告簡報台 21 線擋土結構物現地調查彙整表.....	附錄 E

表目錄

表 4.1	影響因子及量化範圍	4-17
表 5.1	不同原理各類型感測器特性比較表	5-10
表 5.2	各類監測儀器之優缺點（修改自 USBR, 1987）	5-11
表 5.3	崩塌模式編碼原則表	5-28
表 5.4	防治工法編碼原則表	5-29
表 5.5	道路邊坡監測分類以及崩塌徵兆物理量、感測器選擇與預警方 法建議	5-30
表 5.6	各種通訊方式比較表	5-50
表 5.7	研究路段土石流危險溪流相關特性及潛勢等級	5-53
表 5.8	台 18 線研究區範圍高危害度落石路段相關資料表	5-54
表 5.9	台 18 線研究區範圍具有邊坡不穩定情況之路段相關資料表	5-55
表 5.10	維護階段預警基準值（整理自中華水土保持學會，1999）	5-56
表 5.11	台 18 線研究區範圍人工保護邊坡之路段相關資料表	5-57
表 5.12	五彎仔監測儀器配置與相關整合單位	5-60
表 5.13	31k+600 附近鑽孔之地層分佈狀況	5-62
表 5.14	雨量計規格	5-63
表 5.15	IPI 規格	5-64
表 5.16	水壓計規格	5-64
表 6.1	國內常見護坡擋土結構物之主要功能評估因子	6-5
表 6.2	不同功能評估方法之優缺點比較（廖瑞堂，2001）	6-8
表 6.3	噴漿護坡工法功能評估與分級評分模式	6-9
表 6.4	砌石、重力式、懸臂式等擋土結構功能評估與分級評分模式	6-10

表 6.5	加勁擋土結構功能評估與分級評分模式.....	6-11
表 6.6	地錨擋土結構功能評估與分級評分模式.....	6-12
表 6.7	道路邊坡擋土結構物功能檢查表.....	6-13
表 6.8	道路邊坡擋土結構物功能檢查表（續）.....	6-14
表 6.9	災損處理對策建議表.....	6-15
表 6.10	災損處理對策建議表（續）.....	6-16
表 6.11	土壤邊坡穩定分析方法.....	6-18
表 6.12	岩石邊坡穩定分析方法.....	6-19
表 6.13	擋土壁穩定分析之安全係數建議表.....	6-19
表 6.14	常見的坡地災害與因應之處理對策.....	6-22
表 7.1	同富-塔塔加段地層岩石組成表（王豐仁，1994）.....	7-3
表 7.2	致災事件統計.....	7-8
表 7.3	崩塌類型模式分析結果之比較.....	7-11
表 7.4	崩塌類型模式之因子檢定結果.....	7-12
表 7.5	各崩塌類型崩塌潛勢模式分析結果之比較.....	7-13
表 7.6	崩落潛勢預測模式之因子檢定結果.....	7-15
表 7.7	坍滑潛勢預測模式之因子檢定結果.....	7-15
表 7.8	沖蝕潛勢預測模式之因子檢定結果.....	7-16
表 7.9	崩塌類型模式分析結果之比較.....	7-18
表 7.10	高斯過程分析之崩塌機率.....	7-19
表 7.11	台 18 線 82k+855 及 82k+935 二處案例之分析結果.....	7-21
表 7.12	台 21 線二次災害統計表.....	7-23
表 7.13	台 18 線二次災害統計表.....	7-24
表 7.14	台 21 山區道路邊坡擋土結構功能評估分級統計表.....	7-54

圖目錄

圖 1.1	研究流程圖	1-4
圖 1.2	九十四年工作進度甘特圖	1-5
圖 2.1	本研究執行規劃示意圖	2-2
圖 3.1	道路邊坡維護管理系統畫面	3-3
圖 3.2	道路邊坡管理系統資料庫架構圖	3-4
圖 3.3	個人資料維護界面	3-5
圖 3.4	使用者權限管理界面	3-5
圖 3.5	道路基本資料管理界面	3-6
圖 3.6	邊坡資料管理架構圖	3-7
圖 3.7	邊坡資料管理界面	3-7
圖 3.8	自然環境資料填報界面	3-8
圖 3.9	圖說影像資訊界面	3-9
圖 3.10	邊坡崩塌型態五大分類之系統界面	3-10
圖 3.11	岩石邊坡傾倒型態典型示意照片	3-10
圖 3.12	岩石邊坡撓曲相關示意圖及類型描述界面	3-11
圖 3.13	工程資料填報界面	3-12
圖 3.14	整治工法五大分類之系統界面	3-12
圖 3.15	整治工法典型示意照片、定義及標準圖說界面	3-13
圖 3.16	工程資料庫中之工程明細資料界面	3-14
圖 3.17	工程資料庫中之施工照片填報界面	3-14
圖 3.18	災損資料庫填報界面	3-15
圖 3.19	巡檢資料庫現況照片載入界面	3-16
圖 3.20	道路邊坡排水結構物功能檢查界面	3-17
圖 3.21	統計報表輸出主選單界面	3-18
圖 3.22	工程項目明細表輸出畫面	3-19

圖 3.23	資料庫系統中之坡向統計圖.....	3-20
圖 3.24	災損經費累積統計分佈圖.....	3-20
圖 3.25	整治工程資料利用時間序列方式展示於地理資訊系統	3-21
圖 3.26	道路邊坡擋土結構物功能檢查輸出報表.....	3-21
圖 3.27	縣市屬性查圖搜尋界面.....	3-22
圖 3.28	特定點位道路工程資料查詢界面.....	3-23
圖 3.29	資料屬性查圖搜尋成果界面.....	3-24
圖 3.30	編碼屬性查詢界面.....	3-25
圖 3.31	特定防治工法搜尋成果界面.....	3-25
圖 4.1	基本因子示意圖.....	4-8
圖 4.2	坡度因子示意圖.....	4-9
圖 4.3	台 18 線沿線地質圖.....	4-10
圖 4.4	台 21 線沿線地質圖（改編自中央地調所）	4-10
圖 4.5	地質構造示意圖.....	4-11
圖 4.6	風化及破碎程度示意圖.....	4-12
圖 4.7	GIS 建置之集水區面積圖	4-13
圖 4.8	道路開闢因子示意圖.....	4-14
圖 4.9	GIS 建置之 PGA 分佈圖	4-15
圖 4.10	GIS 建置之區域雨量分佈圖	4-16
圖 4.11	道路邊坡崩塌潛勢分析流程.....	4-18
圖 4.12	台 18 線 65k+000 處上邊坡照片	4-19
圖 4.13	台 18 線 65k+000 處上邊坡坡趾照片	4-20
圖 4.14	高邊坡向上擴張破壞機制示意圖.....	4-20
圖 4.15	台 18 線 28k+100 處上邊坡遠照	4-21
圖 4.16	台 18 線 28k+100 處上邊坡近照	4-21
圖 4.17	台 18 線 58k+100 處上邊坡照片	4-22
圖 4.18	台 18 線 58k+100 處下邊坡照片	4-23

圖 4.19	台 21 線 111k+500 處上邊坡照片	4-24
圖 4.20	台 21 線 111k+500 處邊坡照片	4-24
圖 4.21	台 21 線 111k~112k 處河床照片	4-25
圖 5.1	水位觀測井安裝示意圖以及利用水位指示器進行水位觀測井 中水位量測	5-12
圖 5.2	水壓計安裝示意圖、安裝完成情形以及電子式水壓計	5-12
圖 5.3	利用堰尺計讀水深，並由水深與流量間關係計算流量之量水堰 示意圖	5-13
圖 5.4	各種型式量水堰	5-13
圖 5.5	90°V 型水堰裝設完成照片	5-14
圖 5.6	雨量計（可自動記讀）	5-14
圖 5.7	插入型傾斜觀測管示意圖	5-15
圖 5.8	傾斜觀測管安裝完成	5-15
圖 5.9	傾斜觀測管、插入型傾斜觀測儀（計讀不同深度之地中傾斜並 藉以推算水平位移量）以及資料擷取系統	5-16
圖 5.10	定置型傾斜觀測管裝設示意圖以及可自動計讀之傾斜量測感 測器	5-16
圖 5.11	管式應變計裝設示意圖，地盤位移由應變計自動量測應變後 推估而得	5-17
圖 5.12	地滑計（地表伸縮儀）裝設示意圖以及可自動計讀之位移感 測器	5-17
圖 5.13	地滑計（地表伸縮儀）裝設完成照片	5-18
圖 5.14	孔內伸縮儀示意圖以及孔內伸縮計安裝完成情形，地盤變形 可利用多種位移量測之感測器自動量測	5-18
圖 5.15	地表沈陷觀測點裝設示意圖，沉陷量可利用測量儀器如水準 儀或經緯儀加以量測	5-19
圖 5.16	地表沈陷觀測點完成照片	5-19

圖 5.17	利用連通管原理之電子沉陷板示意圖（可利用量測水壓之感測器自動記讀）	5-19
圖 5.18	磁感式連續沉陷計裝設示意圖以及量測沉陷使用之磁感器	5-20
圖 5.19	多點式沉陷計安裝示意圖，沉陷量測可利用多種位移感測器加以量測	5-20
圖 5.20	全測站經緯儀自動監測系統示意圖	5-21
圖 5.21	全球定位系統 GPS 示意圖	5-21
圖 5.22	土壓計示意圖以及壓力感測器	5-22
圖 5.23	土壓計於擋土牆背安裝完成之照片	5-22
圖 5.24	鋼筋計以及鋼筋計安裝示意圖	5-23
圖 5.25	鋼筋計安裝完成照片	5-23
圖 5.26	地錨荷重計示意圖以及荷重感應器	5-23
圖 5.27	地錨荷重計安裝完成照片	5-24
圖 5.28	人工計讀與自動計讀之裂縫計示意圖	5-24
圖 5.29	排樁內傾斜觀測管安裝示意圖	5-25
圖 5.30	結構物傾度盤安裝照片	5-25
圖 5.31	結構物傾度盤安裝示意圖，利用測傾儀（量測旋轉之感測器）可量測得傾度盤之相對傾斜量，藉以推測擋土結構物相對傾斜量	5-26
圖 5.32	錨長期耐蝕性之監測，為達成地錨長期功能之確保，除以地錨荷重計觀測其預力變化情形外，目前亦已發展出以電阻式檢測法檢測地錨之耐蝕性。	5-26
圖 5.33	監測規劃流程圖	5-27
圖 5.34	落石邊坡崩塌監測規劃示意圖	5-33
圖 5.35	土石流監測規劃示意圖	5-37
圖 5.36	地滑邊坡監測規劃示意圖	5-40

圖 5.37	道路邊坡崩塌監測管理值制定建議程序.....	5-42
圖 5.38	系統規劃層級圖.....	5-44
圖 5.39	資料接收層示意圖.....	5-45
圖 5.40	資料整合層.....	5-45
圖 5.41	以 web GIS 為基礎之緊急通報系統範例	5-46
圖 5.42	監測系統新增設用電流程圖.....	5-51
圖 5.43	台 18 線五彎仔路斷崩塌實景.....	5-59
圖 5.44	五彎仔相關監測儀器配置圖.....	5-61
圖 5.45	31k+600 附近鑽孔之地質剖面圖與鑽孔柱狀圖.....	5-62
圖 5.46	雨量計.....	5-63
圖 5.47	孔內傾斜儀（單支）.....	5-64
圖 5.48	振弦式水壓計.....	5-64
圖 5.49	傾斜觀測管（C-11、C-12A）之觀測資料.....	5-65
圖 5.50	C-12B 水位觀測井之觀測資料.....	5-66
圖 5.51	04-2B 地下水位觀測讀數.....	5-66
圖 5.52	下邊坡傾斜觀測管（04-1）之觀測讀數	5-67
圖 5.53	坡傾斜觀測管（04-2A）之觀測讀數	5-68
圖 5.54	上邊坡地錨荷重計（LC-1）之預力關係圖.....	5-69
圖 5.55	下邊坡地錨荷重計（LC-2）之預力關係圖.....	5-69
圖 5.56	降雨量與地下水位關係圖.....	5-70
圖 5.57	上邊坡地錨荷重計（LC-1）預力與降雨量關係圖.....	5-70
圖 5.58	降雨量與下邊坡傾斜觀測管（04-1）之關係圖	5-71
圖 5.59	降雨量與上邊坡傾斜觀測管（04-2A）之關係圖	5-71
圖 5.60	道路邊坡崩塌監測規劃、預警、通報與緊急搶修與復建決策 流程圖（1/2）.....	5-73
圖 5.61	道路邊坡崩塌監測規劃、預警、通報與緊急搶修與復建決策 流程圖（2/2）.....	5-74

圖 5.62	事發型監測預警之通報與處理流程圖.....	5-80
圖 5.63	道路邊坡崩塌事發後檢知、警示、遮斷、以及檢出假警報之配置規劃.....	5-81
圖 6.1	擋土結構物功能性評估分級與災害處理對策流程圖	6-21
圖 6.2	道路位於斷層破碎帶而產生邊坡不穩定情形.....	6-23
圖 6.3	野溪爆發土石流而造成道路中斷.....	6-26
圖 6.4	道路改線採架橋方式通過野溪.....	6-27
圖 7.1	台 21 線沿線歷次颱風災情統計圖.....	7-2
圖 7.2	示範區域地質圖.....	7-5
圖 7.3	示範區域地形圖以及重要路段里程位置.....	7-6
圖 7.4	台 18 線示意圖 (GIS 圖資)	7-7
圖 7.5	崩落示意圖 (台 18 線 77K+900 賀伯颱風災害照片)	7-10
圖 7.6	坍滑示意圖 (台 18 線 75K+320 賀伯颱風災害照片)	7-10
圖 7.7	沖蝕示意圖 (台 18 線 26K+700 桃芝颱風災害照片)	7-11
圖 7.8	台 21 路線圖.....	7-17
圖 7.9	東埔溫泉附近地質圖.....	7-17
圖 7.10	台 18 線 82k+855 處艾利颱風崩塌照片	7-20
圖 7.11	台 18 線 82k+935 處艾利颱風崩塌照片	7-20
圖 7.12	艾利颱風二處崩塌案例之崩塌機率與颱風累積降雨量關係圖.....	7-22
圖 7.13	台 21 線 113k+500 處邊坡裂縫照片.....	7-25
圖 7.14	台 21 線 113k+500 處邊坡裸露照片.....	7-25
圖 7.15	台 21 線 111k+500 處邊坡照片.....	7-26
圖 7.16	台 21 線 106k+600 900 路段災損狀況	7-27
圖 7.17	台 21 線 106k+600 900 路段路面下陷等災況	7-28
圖 7.18	台 21 線 107k+100 250 災害路段全貌	7-29
圖 7.19	台 21 線 107k+100 250 上邊坡崩落路段	7-30

圖 7.20	台 21 線 107k+100 250 地形狀況	7-30
圖 7.21	台 21 線 107k+100 250 部分路基流失路段	7-31
圖 7.22	台 21 線 107k+900 路段坡面噴漿與自由格梁坡面保護現況	7-32
圖 7.23	台 21 線 107k+900 路段防落石柵現況	7-32
圖 7.24	台 21 線 107k+900 路段坡面植生現況	7-33
圖 7.25	民和橋旁小溪溝	7-34
圖 7.26	台 21 線 109k+500 900 路段節理面位態	7-34
圖 7.27	台 21 線 109k+500 900 路段坡面保護現況	7-35
圖 7.28	玉泉橋上游崩塌地遠照	7-36
圖 7.29	台 21 線 111k+00 112k+200 路段邊坡崩塌情形	7-37
圖 7.30	台 21 線 111k+000 112k+200 路段凹坡遠照	7-37
圖 7.31	台 21 線 111k+00 112k+200 路段邊坡傾角走向	7-38
圖 7.32	崩塌區坡腳出露之崖錐堆積材料	7-38
圖 7.33	神木明隧道上方崩塌土體荷重對明隧道結構體之影響	7-39
圖 7.34	113k+500 處之大型浮石與裂縫	7-40
圖 7.35	邊坡出露之岩盤與斷層面	7-40
圖 7.36	浮石之兩側層面	7-41
圖 7.37	此路段於敏督利颱風來襲期間路基流失災害	7-42
圖 7.38	敏督利颱風發生路基缺口以及土石崩落災情之復建工程	7-42
圖 7.39	溪溝上游堆積土石下移且受阻於擋土牆上方鋼軌樁	7-43
圖 7.40	溪溝堆積材料受溪谷向源侵蝕影響目前有部分岩盤出露	7-44
圖 7.41	頭坑橋橫上游溪床土石堆積情況	7-45
圖 7.42	118k+500 900 為向源侵蝕造成路基流失	7-46
圖 7.43	126k+500~127k+440 為發生多次發生地基流失	7-47
圖 7.44	玉泉橋鋼索檢知器建議位置	7-49
圖 7.45	落石發生時累積雨量、當日降雨量與 Rmin 關係圖	7-50

圖 7.46	不同危險評估總分 R，降雨情況落石預測.....	7-51
圖 7.47	降雨情況下，落石發生危險距離.....	7-52
圖 7.48	新興橋土石流各階段預警基準（國立台灣大學，2001）.	7-53
圖 7.49	台 21 山區道路邊坡擋土結構物功能評估分級統計圖	7-54
圖 7.50	擋土牆面具細微裂縫（台 21 線 106k+650 838）	7-55
圖 7.51	錨頭處混凝土有細微裂縫（台 21 線 108k+370 605）	7-55
圖 7.52	牆面鋼網輕微銹蝕（台 21 線 115k+840 850）	7-56
圖 7.53	擋土牆牆面混凝土輕微剝落台 21 線 129k+990 130k+040）	7-56
圖 7.54	牆面有明顯裂縫（台 21 線 106k+850 942）	7-57
圖 7.55	牆面有排水設施部份堵塞（台 21 線 107k+650 810）	7-57
圖 7.56	牆面龜裂嚴重並有位移的情形(台 21 線 108k+780 109k+100)	7-58
圖 7.57	牆面龜裂嚴重及排水設施堵塞（台 21 線 107k+000 035）	7-58
圖 7.58	牆面龜裂嚴重並有位移的情形(台 21 線 126k+7 757).....	7-59

第一章 緒論

台灣地區位於板塊活動劇烈之環西太平洋地震帶上，活躍的造山運動，造成台灣有將近四分之三的土地為山地區域，因此，除山高水深且地質脆弱外，於颱風、豪雨與地震之侵襲下，道路邊坡崩塌之狀況頻繁。然而，由於經濟發展與人口成長，造成對於土地資源之需求日益迫切，因此，都會區發展亦逐漸朝向山地區域，道路也因此扮演重要維生系統之角色。道路邊坡之崩塌除造成交通阻斷與經濟損失外，如若不妥善處置，極易引發社會問題與破壞環境生態，無形中導致國家及社會成本之浪費。

目前台灣對於道路之崩塌災害處置可分為緊急應變與復建兩個階段，傳統上，道路邊坡崩塌的防治考量，在緊急應變時之重點多以維持交通順暢為主，而復建工程則多以經濟成本為考慮因素。但因近年來社會意識與環境生態觀念逐漸受重視之情形下，對於提升用路人安全、增加環境景觀、減少交通阻斷時間，以及維護自然生態等考量，已有凌駕經濟因素之趨勢。然為確實減少上述負面的效應，建立系統化的邊坡崩塌緊急搶修與災害復建技術發展，以及整體防治設計觀念等是必要的。

另一方面，台灣道路邊坡崩塌區域災害之復發性極高，若能對於現有山區道路邊坡崩塌狀況與其防治工法進行調查與整合，並詳細建置崩塌災害之基本資料、災害原因與災害規模等背景資料，即能於災害發生前掌握崩塌狀況，並於災前先期警戒保護用路人，災時先行掌握災害規模及型態、評估擋土結構物尚存功能，以及控制最小交通流量與對生態環境之衝擊等，亦能於短時間內即擬訂較為完善之搶修方案，遏阻崩塌災害蔓延，同時於無形中降低復建之社會與經濟成本，此一崩塌防治觀念可稱為系統化之邊坡崩塌防治技術觀念。

基於上述之觀念，本研究計畫擬整合既有之研究成果，並研發道路邊坡崩塌之緊急搶修、復建與防治等技術，其目的在於加強現場人

員災變緊急處理能力、遏阻崩塌後之二次災害損失，以及維護用路人及現場工程師之安全，並進一步實施適當之工程處置，以有效降低崩塌或施工不當對環境之衝擊，以及社會、經濟與生態之損失。

因此，依據本研究計畫之目標階段不同分為數方面，其中包括：整合建置基本資料庫、災害預警及通報、災損擋土結構物功能評估、緊急搶修技術選用、崩塌綠防治設計等。計畫著重於建立道路邊坡之崩塌潛勢分級觀念，並利用道路邊坡崩塌基本資料庫之建置，協助道路管理單位確實掌握各路段邊坡之崩塌特性，進而提供作為道路邊坡崩塌緊急搶修方案研究之基本資料。同時，利用現有調查部分災損之擋土結構物案例，研擬災損擋土結構物功能評估準則與量化指標，以提供即時搶修方案擬訂參考。此外，本研究計畫亦將研發緊急搶修設計執行準則，將搶修方案延伸至復建階段方案，兼以考量交通、經濟、社會與生態因素，成為整體設計之崩塌防治對策。

本計畫整體研究為期兩年，第一年的研究理念以現有道路崩塌災害基本資料建置與其災害潛勢之分析為主，預期完成之工作項目如下所述：

- 1.研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置；
- 2.研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態；
- 3.研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統；
- 4.研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法；

第二年研究為整合前一年研究成果，進一步研訂兼以考量交通、經濟、社會與生態因素，成為整體設計之崩塌防治對策。第二年預期完成之項目為：

- 1.道路邊坡崩塌及土石流緊急搶修與復建技術之研究；
- 2.道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研究；
- 3.崩塌搶修至復建階段一體考量之系統化綠防治對策之擬訂。

針對台灣坡地災害之緊急搶修與復建工程進行技術整合，並擬訂系統化之防治對策操作手冊等研究成果，對於我國交通土木工程建設安全科技之提昇與強化具前導作用，面對意涵如此重要之研究課題，為期能有效達成計畫目標，以期有益於我國於二十一世紀初期於交通土木工程建設科技研發推動工作，本研究計畫之執行內容與步驟均應深入思考，並做整體性之規劃。

圖 1.1 所示為本研究計畫兩年之規劃流程，係針對上述工作項目規劃，執行步驟為先針對國內現有山區道路邊坡之基本環境與坡地災害等相關資料進行蒐集彙整，並將相關資料彙整至邊坡管理系統中，再依據崩塌潛勢影響評估因子進行分析，建立山區道路邊坡崩塌潛勢分級制度，並進行坡地災害預警與通報系統之規劃，以及坡地整體設計安全評估模式之研擬。最後，透過選定之研究對象進行成果驗證，並依據第一年之研究成果，進行緊急搶修與復建技術之研究，進而建立防治程序操作手冊，並加入綠美化之觀念，擬訂系統化之綠防治對策，期本研究之相關成果提供各級公路單位作為擋土工法選定之參考依據。

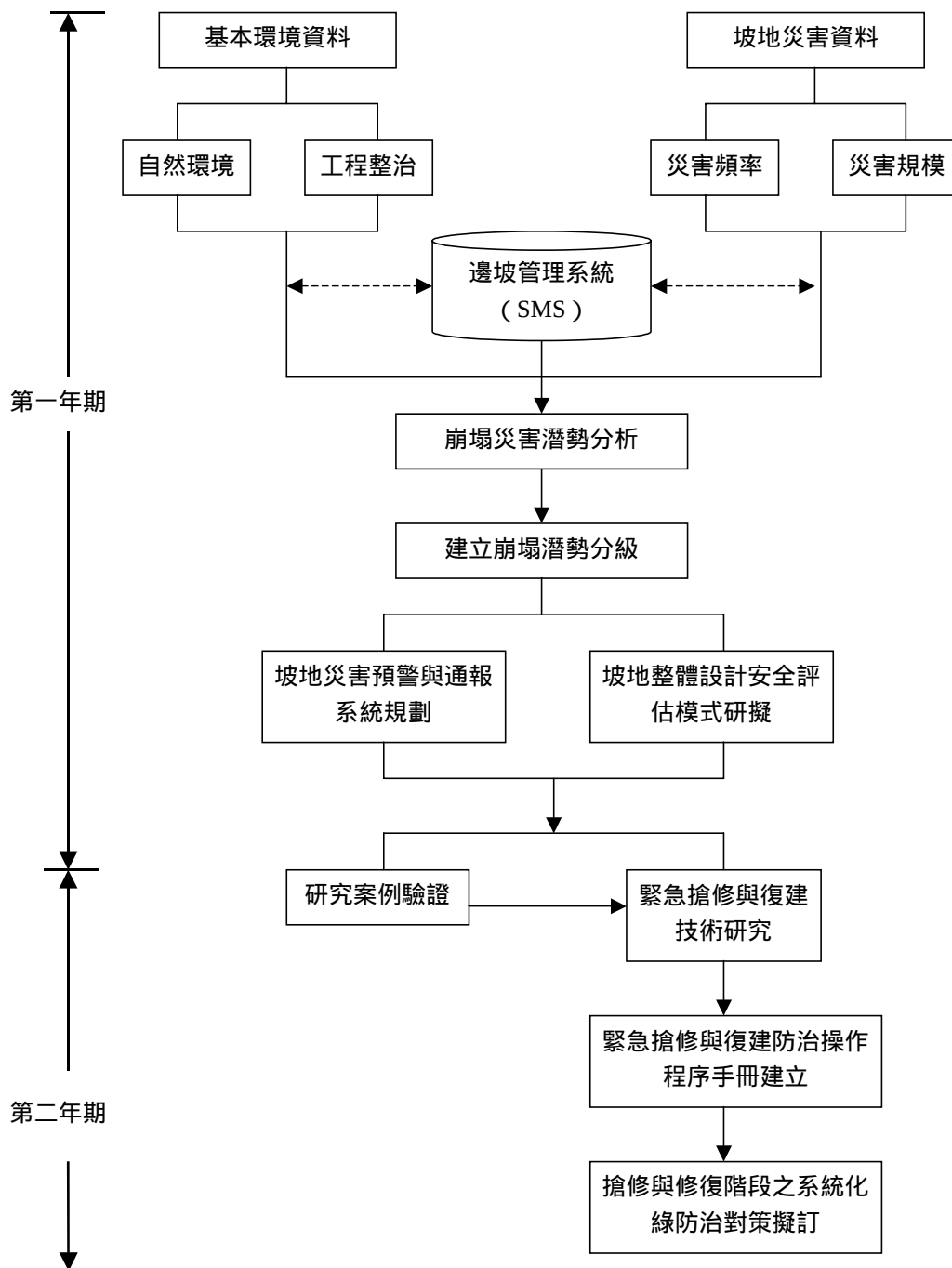


圖 1.1 研究流程圖

本研究計畫執行應於九十四及九十五年期間，逐年完成上述九項工作重點，然本期（九十四年）計畫執行期限自二月三日起至十月三十一日止共計九個月期間，相關執行進度規劃如圖 1.2 所示。本計畫執行迄今，已依據合約要求，完成研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置；研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害類型；研究

規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統；研擬道路邊坡安全及災損擋土結構功能評估之方法等內容，並選定台灣山區道路邊坡崩塌災害頻傳的省道台 21 線進行研究成果之驗證，最後，期擬本期之研究成果可以提供明年度計畫成果中之緊急搶修與復建操作手冊建立，以及系統化綠防治對策研擬之參考依據。

九十四年 月 工作項目	第一 月	第二 月	第三 月	第四 月	第五 月	第六 月	第七 月	第八 月	第九 月	第十 月	第十一 月	第十二 月	備 註
1.研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置													
2.研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害類型													
3.研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統													
4.研擬道路邊坡安全及災損擋土結構功能評估之方法													
工作進度估計百分比(累積數)	5	10	15	25	40	55	60	75	85	95	100		
預定查核點	第一季：無												
	第二季：期中報告												
	第三季：無												
	第四季：期末報告												
說明:(1)工作項目請視計畫性質及需要或依研究計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。													
(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。													
(3)每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明 號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。													

圖 1.2 九十四年工作進度甘特圖

第二章 工作內容與執行方式

本計畫整體研究為期兩年，第一年的研究理念以現有道路崩塌災害基本資料建置與其災害潛勢之分析為主，主要完成之工作項目如下所述：

1. 研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置 - 重新檢討整合交通部既有相關邊坡基本資料庫之研究成果，包括 GIS 應用系統查詢面、系統架構、資料格式與系統之實用性等，並持續蒐集調查補建資料。
2. 研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態 - 重新檢討整合交通部既有相關道路邊坡崩塌潛勢分析之研究成果，進一步研究二次災害型態，與建立道路邊坡崩塌潛勢分級觀念。
3. 研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統 - 重新檢討規劃整合交通部既有相關道路邊坡崩塌災害預警及通報系統之研究成果，並著重於實用性與可行性。
4. 研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法 - 重新檢討整合交通部既有相關道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估法之研究成果，並著重於簡易性、實用性與可行性。

第二年研究為整合前一年研究成果，進一步研訂兼以考量交通、經濟、社會與生態因素，成為整體設計之崩塌防治對策。第二年預期完成之項目為：

1. 道路邊坡崩塌及土石流緊急搶修與復建技術之研究。
2. 道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研究。
3. 崩塌搶修至復建階段一體考量之系統化綠防治對策之擬訂。

綜合上述之工作項目，研究團隊考量全國各山區道路皆有其特殊

之自然環境、地質條件、水文特性、交通運輸、人文特性等條件因素，且其各特性因素對山區道路邊坡之穩定狀況皆有其影響之情況下，實在無法建置一套全國道路邊坡通用之坡地崩塌災害緊急搶修與修建之整體設計防治對策。故研究團隊規劃於執行時程內，選定以目前自然、工程、災害與監測等資料較為齊全之省道台 21 線為研究成果驗證對象，並依據圖 2.1 之規劃，進行坡地災害緊急搶修與復建整合技術之研擬工作。

本研究之主要工作重點可以分為道路邊坡維護管理系統、坡地巡檢機制、預警與通報系統，以及災害潛勢預測等四大項（詳圖 2.1），其中，本研究規劃利用「坡地巡檢機制」、「預警與通報系統」以及「災害潛勢預測」彼此間之研究成果關連性提擬「災害處理對策」、「災害類型潛勢分級」與「崩塌災害型態監測規劃」等，最後除預期將相關成果予以結合，進行「災害緊急搶修與復建技術」之研擬工作外，亦期擬上述相關之研究成果皆能彙整於資料庫中，確實落實應用本研究成果，建置一套適合台灣山區道路邊坡維護管理使用之資料庫系統。

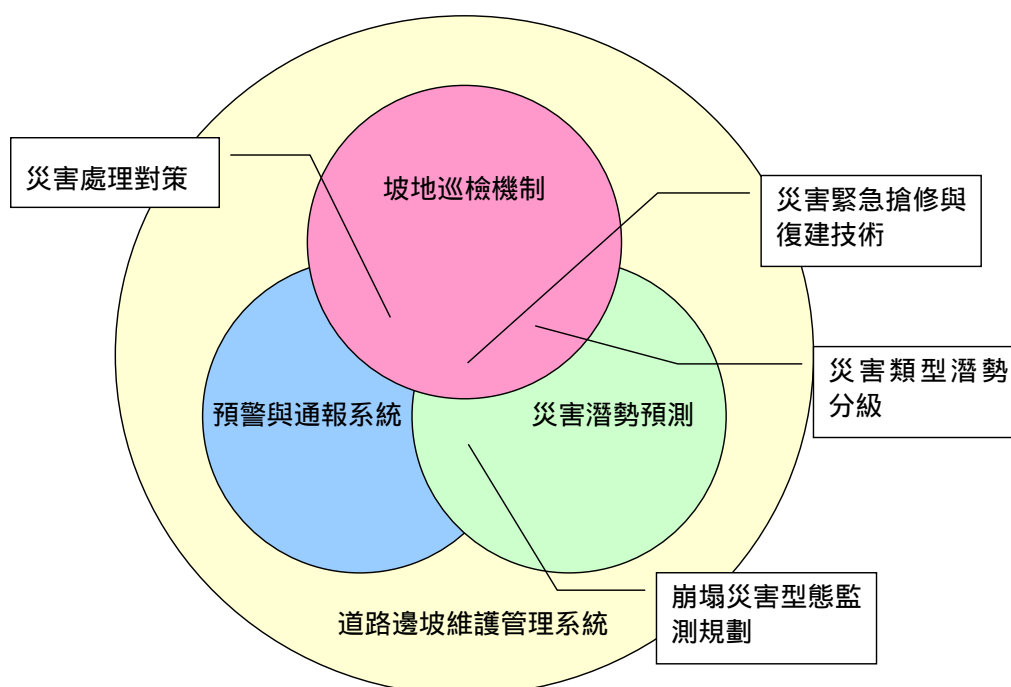


圖 2.1 本研究執行規劃示意圖

第三章 道路邊坡維護管理系統建置

台灣地區多山、多雨、多地震，又加上開路因素，造成每年山區道路崩塌災害頻傳，政府每年編列為數可觀的預算進行山坡地災害之預防及整治工作，但由於山坡地範圍廣大，地質條件、水文條件及環境狀況十分複雜，坡地防災及永續發展的目標仍有待進一步努力，且需要更專業、更適當的坡地防災技術或工法，以保障人民的生命財產安全。

近年來，國內外有關山坡地之技術，已有相當多的研究與實務經驗，包括調查技術、規劃分析、施工技術及管理維護均可見明顯的進步，國內尤其經歷民國八十八年之 921 震災後，坡地安全成為大家共同重視的課題及努力的目標，惟相關的經驗及研究雖然甚多，但較乏縱向之成效追蹤調查及橫向之技術整合，加上山區地質、地下水及其他影響因子的不同，各種崩塌整治工法常有其適用性及限制，使得國內之邊坡崩塌整治技術顯得片斷不夠周延，相關經驗無法更快速的累積並有效的推廣，殊為可惜。本計畫擬透過道路邊坡基本與災害資料庫之建置作業，便於日後進行崩塌潛勢與二次災害類型分析等之基準；並計畫重新檢討既有道路邊坡崩塌預警、通報系統，以及擋土結構物功能評估法等之相關研究成果，最後提擬出較適合國內坡地災害適用之緊急搶修與復建整合技術之建議。

然由於道路邊坡崩塌狀況與其防治工法進行調查與整合需要詳細建置道路邊坡自然環境、工程整治現況，以及崩塌災害之基本資料、成因與規模等相關背景資料，然為了彙整現地調查與蒐集所得龐雜的邊坡自然環境、道路整治工程、崩塌災害歷史等相關資料，研究團隊過去在承接交通部委託辦理之道路邊坡相關研究案時，曾特別針對了邊坡資料點位之空間分布特性與資料內容的複雜性，使用微軟 Access 資料庫系統與地理資訊系統之 ArcGIS 程式相互連結，初步開發建置了一套台灣本土山區道路專屬之邊坡管理系統（Slope Management System, SMS）。此套系統在規劃時，雖然在資料欄位架構部分，主要

規劃基本資料、工程、災損及巡檢等四大項資料系統，但由於系統建置時，未充分考量資料欄位之屬性與配置，致使此系統之欄位分佈缺乏整體性，有鑑於此，研究團隊在本期計畫執行期間，已重新規劃與配置現有之資料欄位，確實建置一套有系統且易於操作之道路邊坡維護管理系統。

本章節以下內容，即針對本年度重新規劃開發完成之道路邊坡維護管理系統之架構與功能進行敘述與介紹。

3.1 道路邊坡維護管理系統架構

為了彙整現場調查與蒐集所得龐雜的邊坡自然環境、道路整治工程、災害歷史等相關資料，研究團隊延續既有邊坡管理系統中之資料點位空間分布特性與資料內容的複雜性，使用微軟 Access 與 ArcGIS 程式相互連結，重新規劃開發建置台灣本土山區道路專屬之道路邊坡維護管理系統。此套系統保有既有系統中之編碼分類功能，將現場調查成果格式化與數位化，以方便工程人員進行填報作業外；另一方面，此套系統亦將各種填報、建置之資料予以數位化，如此一來，更可提供使用單位進行查詢與相關之統計分析功能。

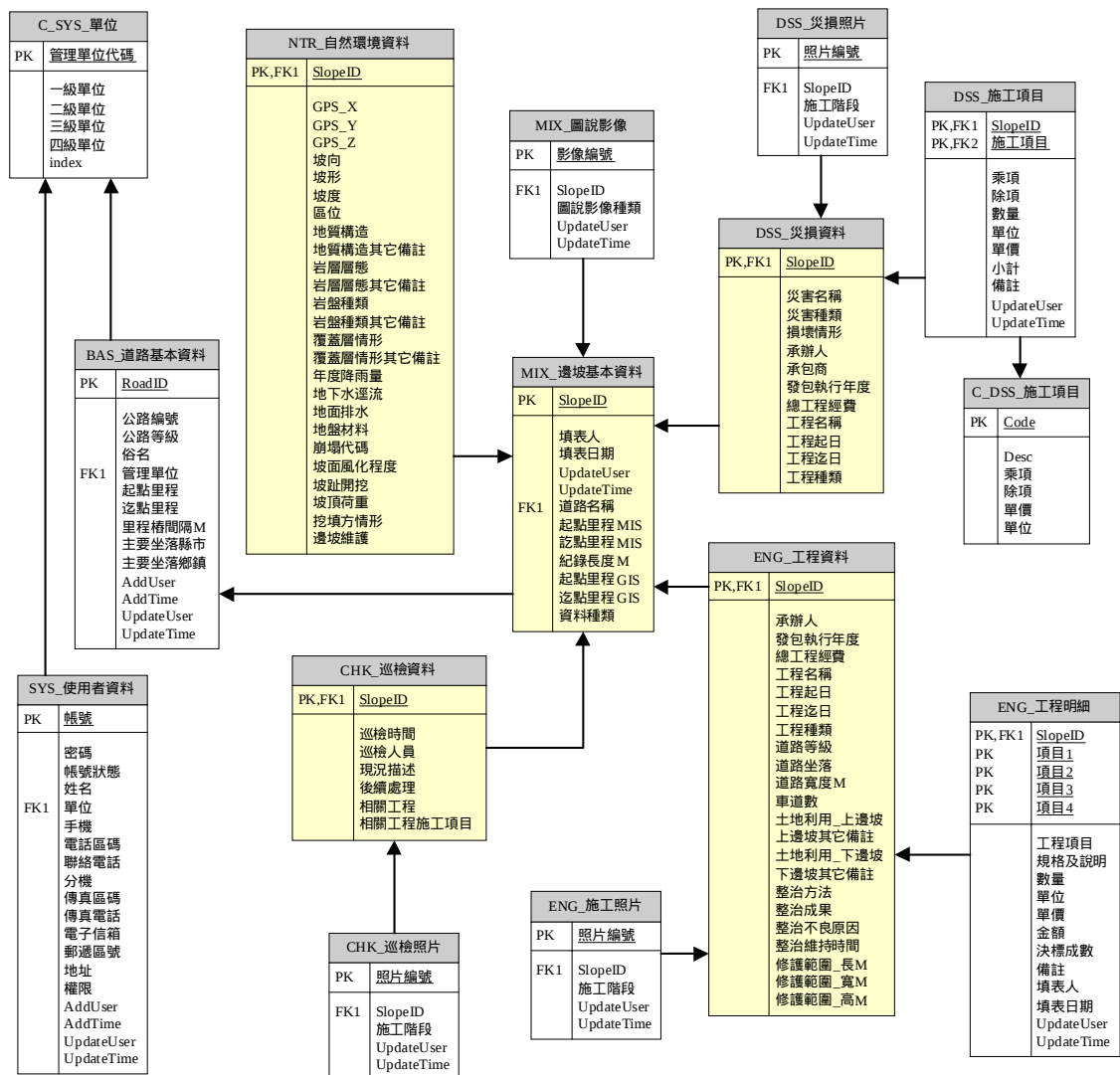
除了上述介紹之系統既有功能之外，研究團隊在今年的執行期間，亦特別針對既有系統之各子系統資料庫間缺乏整體架構性、系統操作流程欠缺邏輯性，以及資料格式僅考量易讀性而欠缺完整編碼之觀念等問題進行檢討與改善，重新開發建置一套較為完善且適用之邊坡管理系統。

本年度重新檢討整合建置完成之道路邊坡維護管理系統包括無需由 ArcGis 系統進入之邊坡管理系統（系統主面畫面如圖 3.1 之 1、2 畫面）與需由 ArcGis 系統進入之邊坡管理系統（系統主面畫面如圖 3.1 之 3、4 畫面），其系統資料庫架構圖如圖 3.2 所示。依據各類資料屬性可以將系統架構分為使用者資料、邊坡基本資料，以及輸出功能等三

大部分，然各系統之相關欄位與界面則分述如後續各小節。針對此資料庫系統，後續計畫執行中將依據彙整之欄位與計畫中之相關研究成果進行系統架構之調整與擴建，並期擬此系統之建置可協助道路管理單位掌握山區道路邊坡之崩塌特性，進而提供作為道路邊坡崩塌緊急搶修方案研究之基本參考資料。



圖 3.1 道路邊坡維護管理系統畫面



註：PK (Primary Key, 主鍵) FK (Foreign Key, 參照鍵) 均為資料庫描述「索引鍵」之專有名詞。

圖 3.2 道路邊坡維護管理系統資料庫架構圖

3.1.1 使用者資料

邊坡管理系統依據資料屬性，建置於使用者資料下之內容主要包括個人資料維護與使用者權限管理兩大類。其中個人資料維護部分，主要建置之欄位涵蓋了填報工程師之姓名、系統帳號、密碼、所屬單位資料、聯絡方式（如電話、傳真號碼、手機、E-mail）權限等。其中與既有系統差異較大之處為在此部分增設使用者權限之欄位，系統管理者本身將依據使用者填報完成之個人資料給予使用權限之限制，以確實掌控系統資料之完整與機密性（詳見圖 3.3）。至於使用者

權限管理部分，除可以瀏覽到系統現已建置完成之各使用單位之工程人員資料外，亦可透過搜尋功能，進行人員資料之查詢（詳圖 3.4）。

道路邊坡維護管理系統

帳號： ag 密碼： *****

登入 取消

個人資料維護

個人資料維護

姓名： 莊阿君

帳號： ag 密碼： *****

單位： 公路總局 養護工程單位

第五區養護工程處 斗南工務段

電話： 06 89195072 #5072

傳真： 06 29121322

手機：

E-mail： agp008@tcu.org.tw

地址： 新北市 郵政區號 231

台北縣新店市中華路二段190號11樓

權限： 系統管理員

儲存 取消

圖 3.3 個人資料維護界面

使用者權限管理

搜尋項目： 帳號 搜尋條件： 姓名 搜尋 全部

帳號	密碼	姓名	單位代碼	電話區碼	電話號碼	手機	電子郵件
ag	*	莊阿君	1	06	89195072		agp008@tcu.org.tw
ag008	3000	陳建雄	1	06	89195000		tcu008@tcu.org.tw

修改用戶資料

姓名： 莊阿君

帳號： ag (*4-8個英文字母)

密碼： * (*4-8個英文字母)

單位： 公路總局 養護工程單位

第五區養護工程處 斗南工務段

電話： 06 89195072 #5072

傳真： 06 29121322

手機：

E-mail： agp008@tcu.org.tw

地址： 新北市 郵政區號 231

台北縣新店市中華路二段190號11樓

權限： 系統管理員 ☒ 使用GIS地圖功能

儲存 取消

圖 3.4 使用者權限管理界面

3.1.2 邊坡基本資料

依據建置之資料欄位屬性，可以將邊坡基本資料分為道路基本資料管理與邊坡資料管理兩部分。在道路基本資料管理部分，主要為建立道路本身之相關資料，例如，公路編號、公路等級、公路別名、管理單位、起迄里程，以及道路經過之所屬縣市等資料（詳見圖 3.5）。然擴增建置之道路基本資料管理功能，除提供前導關係資料之搜尋外，亦便於公路養護單位進行道路資料之確認與控管。

The screenshot displays a software interface for managing road basic information. On the left, there is a table with columns for road ID, road number, road grade, road name, management unit, and other details. A red arrow points from a row in this table to a form window on the right. The form window, titled '道路基本資料管理', contains several input fields and dropdown menus for editing a road record. The fields include: '公路編號' (Road Number) set to '21', '公路等級' (Road Grade) set to '省道' (Provincial Road), '公路別名' (Road Alias) set to '台21線', '管理單位' (Management Unit) set to '公路總局' (Highway Bureau), '養護工程單位' (Maintenance Engineering Unit) set to '第五區養護工程處' (5th District Maintenance Engineering Office), '阿里山工務段' (Ali Shan Engineering Section), '里程起點' (Mileage Start) set to '0 K', '里程終點' (Mileage End) set to '145 K', '主要坐落' (Main Location) set to '嘉義縣' (Chiayi County), and '鄉鎮別' (Township) set to '番路鄉' (Fanlu Township). The form also has buttons for '新增' (Add), '修改' (Modify), and '刪除' (Delete).

圖 3.5 道路基本資料管理界面

至於邊坡資料管理部分，系統建置則延續既有之邊坡管理系統之觀念，依據道路里程之樁號，除統一建置邊坡基本資料外，將資料庫架構分為自然環境資料、工程資料、災損資料，以及巡檢資料等四項（詳見圖 3.6）。其中，邊坡基本資料之填報界面（詳圖 3.7），除主要記錄公路名稱、填表人、邊坡起迄里程等資料外，亦增設各資料庫間之橫向搜尋功能，此功能之建置，主要目的則在於提供各系統資料庫間之查詢平台，便於系統資料進行橫向交流。

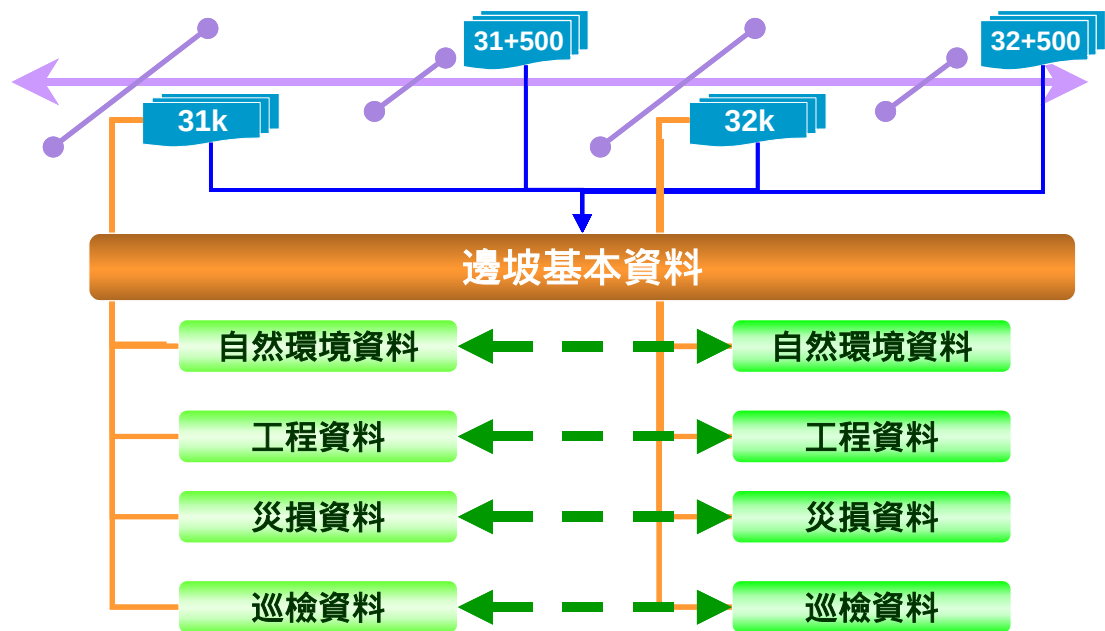


圖 3.6 邊坡資料管理架構圖

編號	名稱	地點	長度	寬度	面積	日期
0000001	新阿基	33 西二線180+200地下邊坡緊急修復工程	12500.00	31.35	39.225	ng
0000002	新阿基	34 西二線200+500-310+500五輪子斷崖地治理工程	25000.00	28.35	28.755	ng
0000003	新阿基	31 西二線西中里防衝平邊坡緊急修復工程	4500.57	17.3	17.4	ng
0000004	新阿基	37 西二線180+150北土邊坡緊急修復工程	3500.000	18.15	18.0	ng
0000005	新阿基	30 西二線北土線370+400邊坡緊急修復工程	0	27.5	27.8	ng
0000006	新阿基	30 西二線北土線400+500邊坡緊急修復工程	5500.000	38.3	38.35	ng
0000008	新阿基	30 西二線120+300地下邊坡緊急修復工程	3451.507	105.5	355.3	ng
0000009	新阿基	31 西二線350+700地下邊坡緊急修復工程	29300.000	85.6	355.9	ng
0000010	新阿基	31 西二線 區防範北土邊坡緊急修復工程	1800.000	102.1	355.2	ng
0000011	新阿基	0	0	102.0	355.2	ng
0000012	新阿基	0	0	96.4	355.445	ng
0000013	新阿基	31 gpl	0	24.7	24.8	ng
0000014	新阿基	31 西二線220+400-320+100等二邊坡緊急修復工程	5000.000	24.0	24.8	ng
0000016	新阿基	30 西二線200+400-310+500五輪子斷崖地治理工程	1803.168	30.1	36.3	ng
0000019	新阿基	31 五輪子	0	29.5	31.3	ng

圖 3.7 邊坡資料管理界面

本節以下內容，則分別針對自然環境、工程、災損與巡檢四項資料庫，進行相關欄位資料與界面之介紹。

1. 自然環境資料庫

自然環境資料庫之界面，主要彙整記錄了岩盤層態、岩層種類、覆蓋層情形、地質構造等地質資料；坡向、坡度、區為、坡形等地形資料；挖填方情形、坡面風化程度、坡趾開挖、邊坡維護、坡頂荷重等邊坡現況；年度降雨量、地面排水、地下水滲流等水文資料，以及 GPS 座標、圖說影像資訊等（詳圖 3.8）。至於圖說影像資訊部分，主要則是利用夾檔方式彙整入等高線圖、航照圖、地質圖等（詳圖 3.9）。利用圖說影像資訊所彙整之相關圖層，除可確實完整記錄邊坡各時期之自然環境相關資訊外，更可以透過各時期建立之圖層套疊作用，進行加權、評估分析，以作為提供建立邊坡專屬之維護、災害搶修與復建決策系統之參考依據。

圖 3.8 自然環境資料填報界面



圖 3.9 圖說影像資訊界面

另外，自然環境資料庫中亦確實記錄了邊坡崩塌型態，崩塌型態部分，系統保留既有交通部道路邊坡相關研究成果之結合欄位，採用自動編碼方式，統一將崩塌型態分為墜落、傾倒、滑動、側移及流動等五大類（詳圖 3.10），並於資料庫中將台灣本土化較為典型之示範案例照片（詳圖 3.11）相關定義敘述及統一手法繪製之示意圖建置完成（詳圖 3.12），以便於工程人員填報正確之資料。綜上所述，系統所需填報之資料龐大，故系統大多規劃採用可勾選之下拉式選單方式進行填報，除減少填報所需之時間，選單內之選項亦為後續研究分析之加權考量因子。



圖 3.10 邊坡崩塌型態五大分類之系統界面



圖 3.11 岩石邊坡傾倒型態典型示意照片



圖 3.12 岩石邊坡撓曲相關示意圖及類型描述界面

2.工程資料庫

工程資料庫中，除了依據工程名稱、工程起迄、發包執行年度、總工程經費外，此資料庫還記錄了邊坡整治資料、工程明細資料、施工照片等。其中邊坡整治資料之相關欄位包括有工程種類（如：新建工程、災變緊急搶修與修復工程、經常性維護工程、永久性維護工程及道路拓建維護工程等）、道路等級、上下邊坡之土地利用情形、整治工法及其成果與整治工程之修復範圍等（詳圖 3.13）。資料欄位中之整治工法部分，目前仍保留交通部相關研究成果中之工法分類系統，採用統一編碼方式，將工法分為外穩定、內穩定、排水、避險與植生五大類（詳圖 3.14），同時並於資料庫系統中建置較為典型之示範案例照片、相關定義敘述及標準圖說之示意圖（詳圖 3.15），如此一來，除可便於現地使用之工程人員進行判釋與填報外，亦可透過統一編碼的功能，檢討各項工法之整治成效，提供後續進行緊急搶修與復建技術整合之決策參考依據。

工程名稱: 台16線31+500附近路基改善便道涵管工程

工程起點: 自 00037/14 至 00039/16 完成

承辦人: 廖國勇 查驗執行年度: 94 年 總工程經費: 23500000 元

邊坡整治資料

工程種類: 新建工程

道路等級: 一級 A.平原區

道路寬度: 8 公尺

車道數: 2

土地利用: 上邊坡: 未開發 下邊坡: 未開發

整治方法: B03B030 外穩定-噴射土網格-乾草護土牆

整治成果: 整治成效大略良好

整治維持時間:

整治不具原因:

坡面長度: 800 公尺

寬度: 50 公尺

高度: 15 公尺

工程明細資料 施工照片 竣工圖

儲存 取消

圖 3.13 工程資料填報界面

邊坡工法代碼

外穩定

- ☐ 噴射土網格
- ☐ 乾草護土牆
- ☐ 重力式擋土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆

內穩定

- ☐ 重力式擋土牆(乾草護)
- ☐ 重力式護土牆(乾草護)
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆

排水

- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆

避險

- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆

植生

- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆
- ☐ 重力式護土牆

工法選擇完成

圖 3.14 整治工法五大分類之系統界面

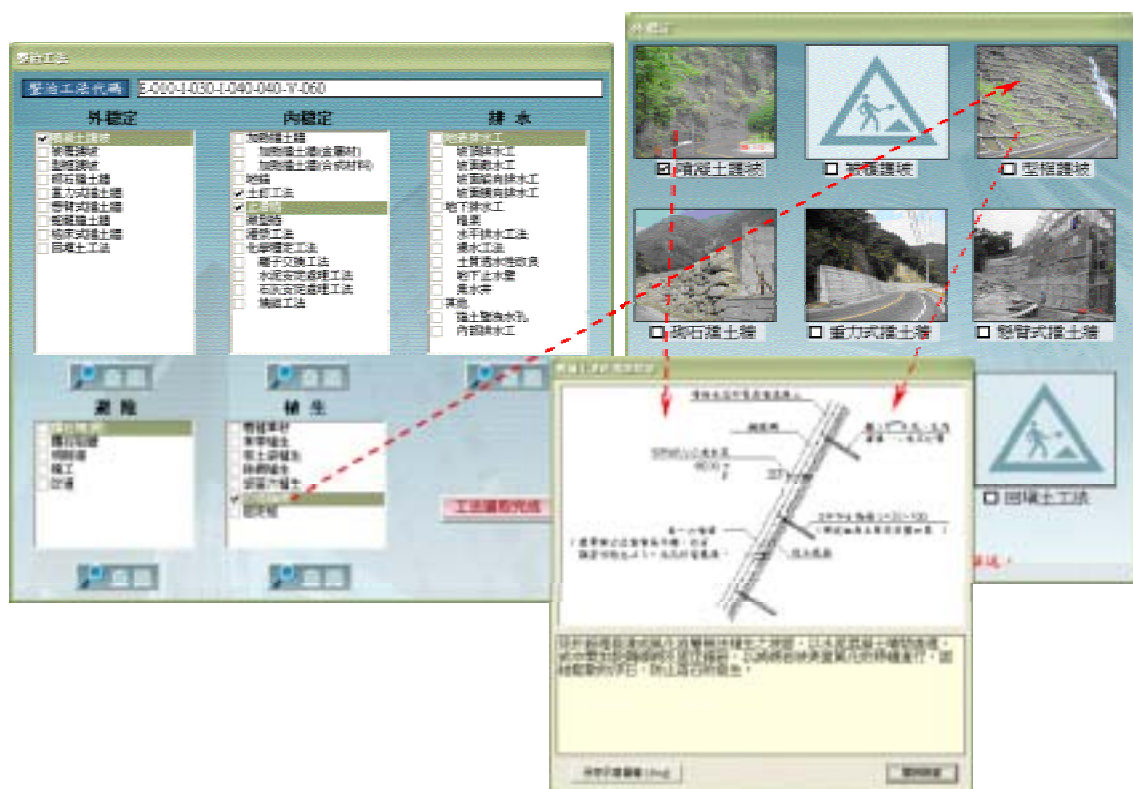


圖 3.15 整治工法典型示意照片、定義及標準圖說界面

關於工程明細資料部分，則主要依據公路養護單位規劃之報表與預算內容進行設計，目前除已彙整記錄了工程項目、規格及說明、數量，以及金額外（詳圖 3.16），資料庫系統亦已完成相關報表輸出功能，此功能之開發將可減少現地工程人員平日報表與相關預算作業之時間花費。另外，施工照片主要是採用夾檔方式彙整工程整治前之現地照片，施工過程之記錄照片及完工後之驗收成果照片（詳圖 3.17）。目前資料庫設計每一個施工時期共可容量二十張照片，屆時可依需求再加以擴充；再者，彙編進來之照片，資料庫系統也會依據整治點位所屬之道路工程基本碼進行編碼動作，統一彙整相關整治照片。

項目編號				
工程項目名稱			聯絡站點	
數量		單位		金額
附註				
新增 刪除				

SeqID	Site	項目1	項目2	項目3	項目4	工程項目	規格及說明	數量	單位	單價	金額	材料說明	備註
20000000	2	1	1	0	0	1 綠化樹皮石		1	貳		1038781	1	
20000000	3	1	2	0	0	1 綠化樹皮石		1427	m		847074	1	
20000000	4	1	3	0	0	1 樹皮 1~100mm		54	處		38280	1	綠化樹皮
20000000	5	1	4	0	0	1 樹皮 1~150mm		360	處		220536	1	
20000000	6	1	5	0	0	1 綠化樹皮石		1181	m³		397075	1	
20000000	7	1	6	0	0	1 碎石 5mm		105	m		37560	1	
20000000	8	1	7	0	0	1 碎石 5mm		76	m		37560	1	
20000000	9	1	8	0	0	1 碎石 5mm		81	m		51070	1	
20000000	10	1	9	0	0	1 碎石 5mm		630	m		115500	1	
20000000	11	1	10	0	0	1 碎石 5mm		1	貳		88120	1	
20000000	12	1	11	0	0	1 碎石 5mm		1	貳		32054	1	
20000000	13	1	12	0	0	1 碎石 5mm		1	貳		32054	1	
20000000	14	1	13	0	0	1 碎石 5mm		1	貳		308172	1	
20000000	999	1	0	0	0	1 工作說明					9470780		

圖 3.16 工程資料庫中之工程明細資料界面

Figure 1 shows the 'Construction Photo' (施工照片) software interface. It features a table with three columns: 'Before Construction' (施工前), 'During Construction' (施工中), and 'After Construction' (施工後). The 'Before Construction' column lists image files (01.jpg to 05.jpg). The 'During Construction' column lists image files (DSCR0002.JPG to DSCR0048.JPG). A red dashed arrow points from the 'During Construction' column to a larger window displaying a photograph of a construction site, showing a blue truck and a yellow excavator working on a dirt road.

圖 3.17 工程資料庫中之施工照片填報界面

3.災損資料庫

災害資料庫之架構，目前系統規劃建置欄位，除涵蓋了配合災害發生所進行之工程名稱、工程起迄、承辦人與承包商資料、工程經費外，亦記錄了災害名稱、災害種類、損害情形與搶修工程之施工項目、數量、單價等，以及相關之災損照片（詳圖 3.18）。目前建置之災損資料庫資料，除可以依據災害類型與災害發生之時間，確實記錄道路邊坡災情外，相關資料之完整填報亦可提供進行相關路段歷次災損情形與經費使用狀況之統計分析（參閱 3.2 節）。

工程項目	長	寬	高	折減	%	數量	計算數量
20000/500	1	10	10	5	5	255 M3	4000
20000/500	2	10	10	5	5	45 M3	5000
20000/500	3	10	10	5	5	300 M3	6000

圖 3.18 災損資料庫填報界面

4.巡檢資料庫

為確保道路各項設施之完善、行車駕駛舒暢安全及維持道路基本功能，公路養護單位必須定期進行道路巡檢工作，以便隨時瞭解道路狀況，並填具巡檢報告表，然若遇有重大特殊情況，則應即時進行緊急處理，以確保行車安全。

綜上所述，研究團隊將基層工程師需針對道路邊坡狀況進行

定期巡檢作業之程序納入資料庫系統中，建立符合現地實際狀況需求之巡檢資料庫。故巡檢資料庫之建立，主要是方便工程師定期針對管轄範圍內之邊坡進行檢視作用。目前研究團隊建立之巡檢資料庫，除可以載入前期或當下現勘所拍攝下之現況照片，利用圈選的方式標註需要進行維修、修復等區塊（詳圖 3.19）外，資料庫亦針對圈選出之範圍依據填報日期給予自動編碼，以方便進行後續維護與追蹤作業。除此之外，研究團隊亦將第六章所研擬之「道路邊坡擋土結構物功能檢查表」相關內容予以數位化（詳圖 3.20），期擬協助工程師有效且迅速地評估擋土結構物災損狀況，必要時可以提出預警作用，達到降低用路風險之功效。



圖 3.19 巡檢資料庫現況照片載入界面

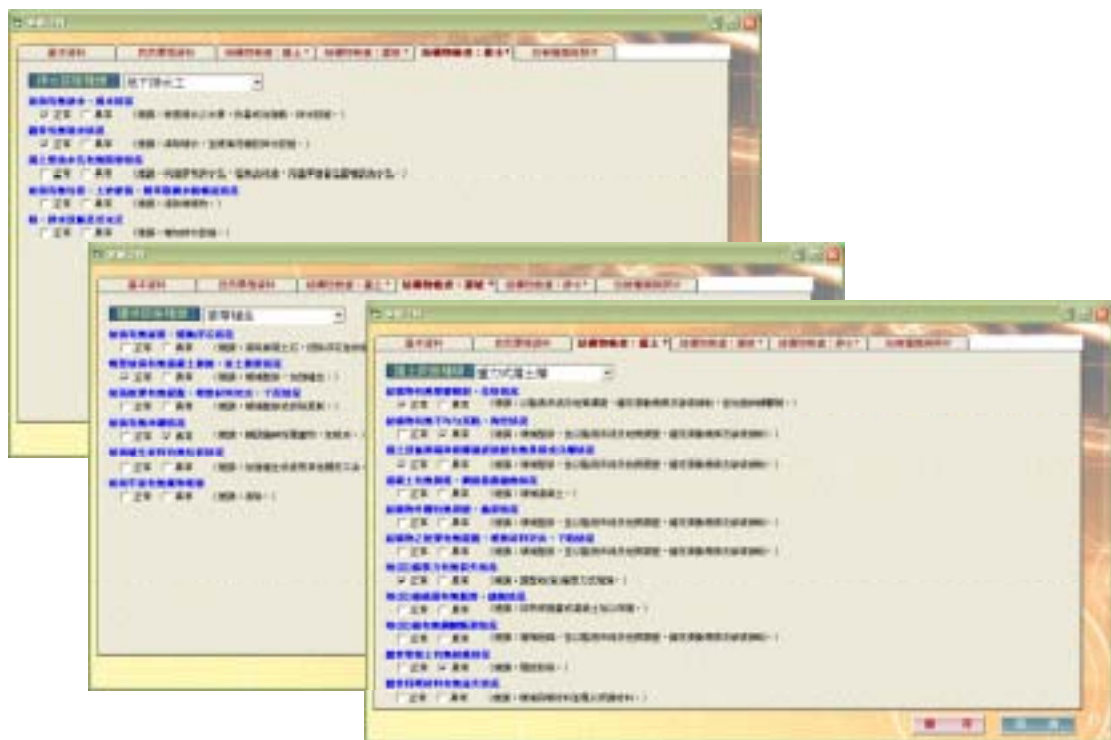


圖 3.20 道路邊坡排水結構物功能檢查界面

3.2 道路邊坡維護管理系統輸出功能成果展示

由於道路邊坡維護管理系統係依據邊坡各項資料統屬性，於資訊開放平台上建置各項資料填報界面，然各項填報界面除力求使用者便利化(User Friendly)外，各類填報資料也可以於開放平台中進行連結，使邊坡管理系統可以進行跨資料庫之查詢。

道路邊坡維護管理系統在輸出功能方面，除已初步開發資料統計分析與報表輸出功能外，在跨資料庫之橫向地圖綜合查詢方面，目前主要亦具有「縣市屬性查圖」、「資料屬性查圖」與「編碼屬性查詢」三大搜尋功能，本節將統計報表輸出與地圖查詢瀏覽等二大功能進行詳加敘述。

3.2.1 統計報表輸出

道路邊坡維護管理系統中，現已初步建置完成之統計報表輸出功

能（主選單界面詳見圖 3.21），主要可以針對填報之各項資料欄位進行數據統計並繪製關係圖，除此之外，亦已將各式報表功能開發完成（以工程項目明細表為例，詳見圖 3.22），如此一來，除便於基層工程師進行相關數據資料彙整外，亦可減少平日處理各式報表之行政作業時間。

項目編號	項目名稱	承辦人	總工程經費	經費執行率	工程類別	工程活動	種類	地點	地點里程(KM)
20000001	崙山橋101k+300地下邊坡緊急修護工程	奇得者	1200000	81	2004/6/23	2004/12/25	新建工程	崙山橋	31.35
20000002	崙山橋20k+900~30k+300左側半幅邊坡治理工程	聯益昌	2000000	94	2005/5/5	2005/9/11	改善地輪護	崙山橋	26.21
20000003	國三線西分豐武橋下邊坡緊急工程	弘本田	4000157	81	2002/9/20	2003/5/10	改善修護	國道3號	37.7
20000004	國道三號10k+150左下邊坡緊急修護工程	弘本田	35000000	87	1998/1/20	2003/2/20	改善修護	國道3號	18.15
20000005	國三線北上30k+000邊坡緊急修護工程	弘本田	0	90	2001/8/9	2001/12/8	改善修護	國道3號	27.5
20000006	國三線北上30k+300邊坡緊急修護工程	弘本田	5000000	89	2000/7/10	2001/3/20	改善修護	國道3號	28.3
20000008	國三線113k+200地下邊坡緊急修護工程	聯益昌	3451567	90	2003/1/5	2003/1/1	改善修護	國道3號	185.2
20000009	國三線55k+700地下邊坡緊急修護工程	聯益昌	20000000	81	2003/1/27	2003/7/7	改善修護	國道3號	85.6
20000010	國道3號 國道3號三叉水邊坡修護工程	聯益昌	1816563	91	2003/4/23	2003/7/15	改善修護	國道3號	162.1
20000011		弘益昌	0	0			改善修護	國道3號	162.6
20000012		弘益昌	0	0			改善修護	國道3號	96.4
20000014	崙山橋20k+900~30k+100第三邊坡工程	聯益昌	3892006	81	2002/8/15	2003/1/1	改善修護	崙山橋	24.6
20000018	崙山橋20k+900~30k+500左側半幅邊坡治理工程	聯益昌	1803118	88	1999/4/25	2000/3/30	改善修護	崙山橋	28.1
20000021	崙山橋30k+500左側半幅邊坡緊急修護工程	聯益昌	17000000	82	2003/7/14	2003/6/6	改善修護	崙山橋	31.5
20000026	崙山橋30k+300左側半幅邊坡緊急修護工程	聯益昌	11970000	89	2000/5/20	2002/4/12	新建工程	崙山橋	37.3
20000039	崙山橋	聯益昌	100	93	2004/3/13	2004/10/2	改善修護	崙山橋	38.5
20000043	崙山橋30k+000左側半幅邊坡工程	聯益昌	3663000	86	1997/3/19	1997/5/1	改善修護	崙山橋	56.27
20000103	崙山橋30k+600左側半幅邊坡工程	聯益昌	3256000	86	1997/3/19	1997/5/1	改善修護	崙山橋	63.6

圖 3.21 統計報表輸出主選單界面

通 線：台38線				工程期間：2000/10/20 - 2002/4/12						
寬 度：570C 300M6 ~ 570C 300M (0公尺)				工程種類：新建工程 (NTD\$ 31,870,000元)						
工程名稱：台38線570+300m往明延通新建工程				製表人：地						
承辦人：廣德興				製表日期：2003/10/01 下午 12:35:00						
項目1	項目2	項目3	項目4	項目說明	數量	單位	單價	金額	品質或數	備 註
1	1	0	0	路基挖方	400	M3		14,600	1	
1	2	0	0	填補挖挖石	154	M3		62,204	1	
1	3	0	0	填補打挖挖石	48.5	M3		68,890	1	
1	4	0	0	打挖挖石及挖石	154	M3		5,236	1	
1	5	0	0	挖填填土及石	3785	M3		208,115	1	
1	6	0	0	挖方運土	845	M3		46,473	1	
1	7	0	0	挖填填土及石及挖石	391	T		372,623	1	
1	8	0	0	挖填填土及石及挖石	834	M3		453,356	1	
1	9	0	0	挖填填土	1217	M3		18,853	1	
1	10	0	0	挖填填土	2253	M3		15,771	1	
1	11	0	0	挖填填土及石及挖石	309	M3		388,250	1	
1	12	0	0	挖填填土及石及挖石	5123	M3		7,889,420	1	
1	13	0	0	挖填填土及石及挖石	896	T		11,115,896	1	
1	14	0	0	挖填填土及石及挖石	5169	M3		956,365	1	
1	15	0	0	挖填填土及石及挖石	2473	M3		1,828,808	1	
1	16	0	0	挖填填土及石及挖石	94	M3		139,826	1	
1	17	0	0	挖填填土及石及挖石	11	M3		71,393	1	
1	18	0	0	挖填填土及石及挖石	84	M3		82,824	1	
1	19	0	0	挖填填土及石及挖石	160	M3		171,440	1	
1	20	0	0	挖填填土及石及挖石	46	M3		15,640	1	
1	21	0	0	挖填填土及石及挖石	143	M3		227,227	1	
1	22	0	0	挖填填土及石及挖石	148	M3		985,236	1	
承辦人：廣德興				會計：張長	製表：張長		第1頁，共1頁			

圖 3.22 工程項目明細表輸出畫面

在統計分析方面，以自然環境資料庫中之岩盤種類資料而言，系統除可以彙整出各資料點位之關係圖表（詳圖 3.23 所示）外，系統亦可將統計之結果與地理資訊系統進行結合，利用空間化之方式展示統計結果（詳圖 3.24 所示），除此之外，資料庫中填報之相關資料，亦可以透過時間序列之方式，將各時間點之整治資料展示於在地理資訊系統上（詳圖 3.25）。另外，為協助工程師進行例行性之道路巡檢作業，以及迅速地瞭解擋土結構物災損狀況與提擬相對應之緊急處理措施建議，本研究團隊特地將巡檢資料庫所填報之相關資料欄位開發其專屬之報表輸出功能（詳圖 3.26），以便於工程人員隨時掌控轄屬範圍之邊坡穩定情形與相關之後續維護處理作業。

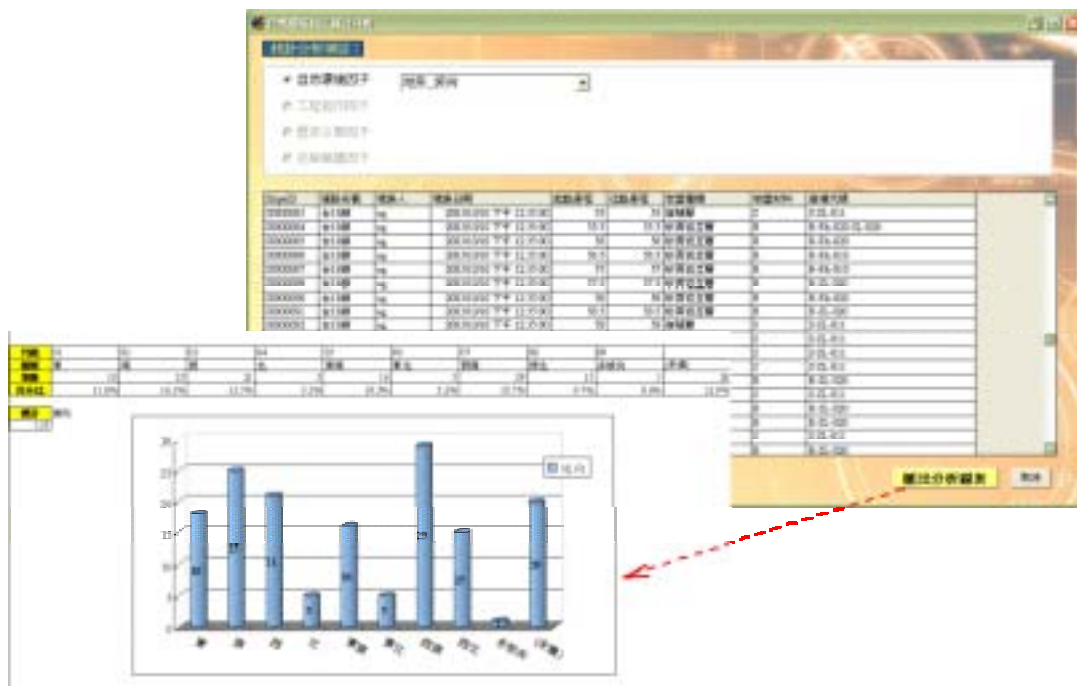


圖 3.23 資料庫系統中之坡向統計圖

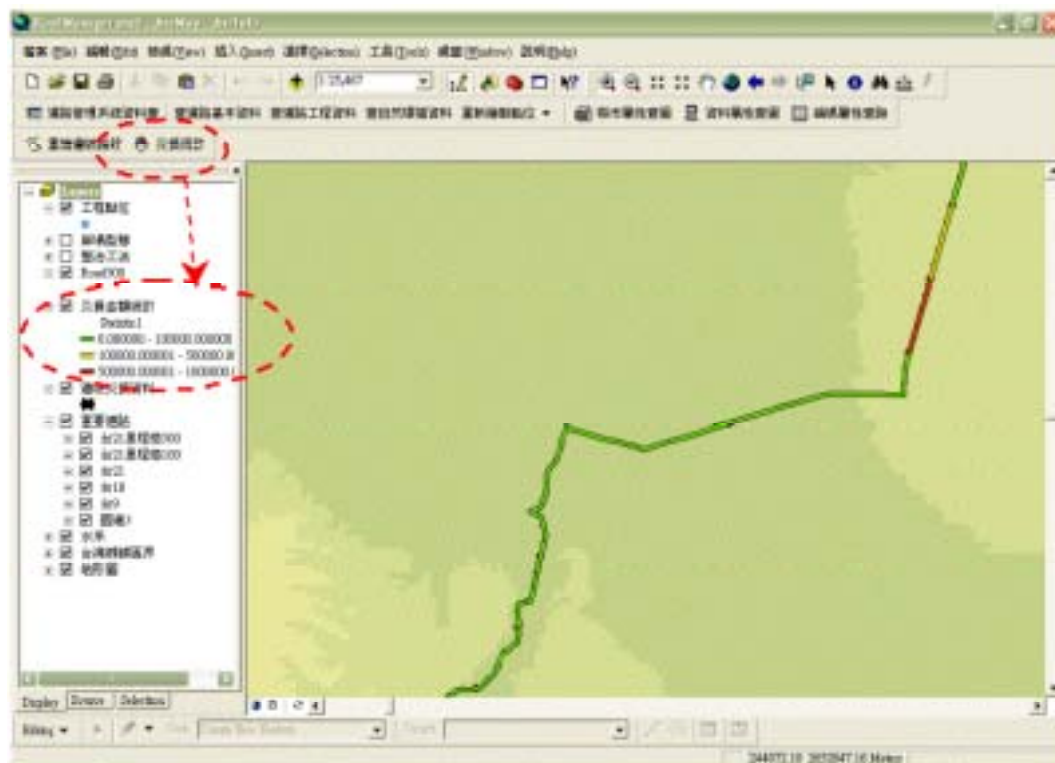


圖 3.24 災損經費累積統計分佈圖

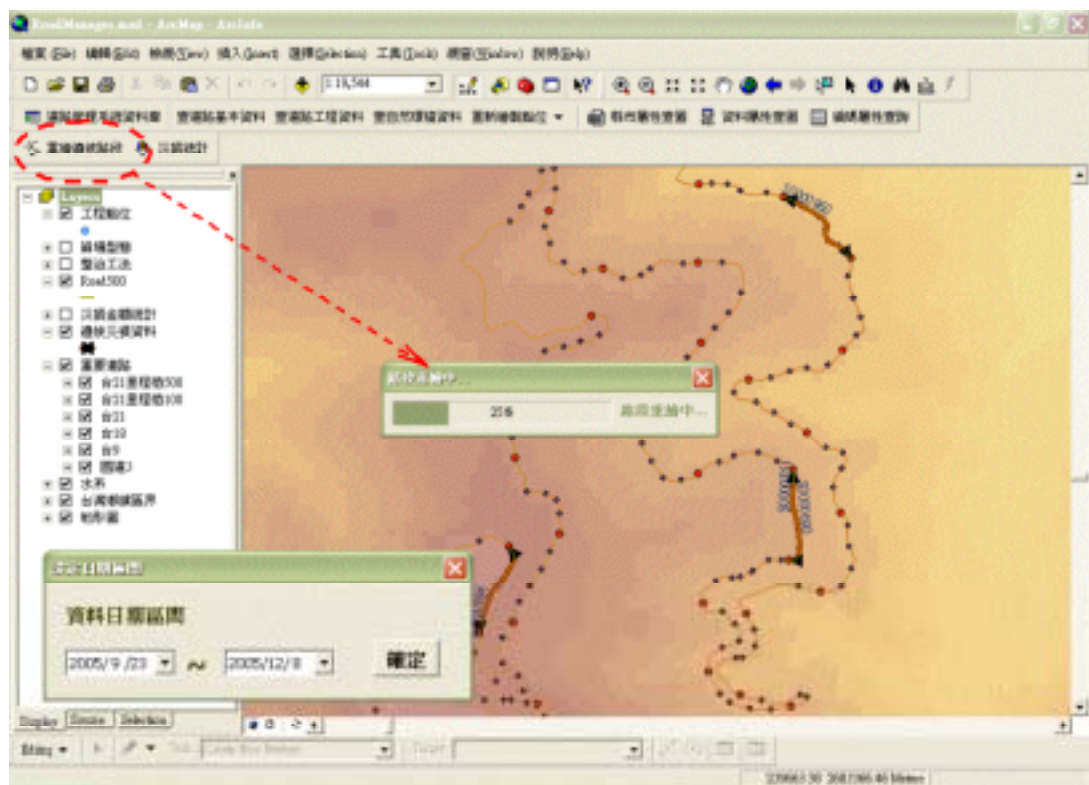


圖 3.25 整治工程資料利用時間序列方式展示於地理資訊系統

道路邊坡擋土結構物功能檢查表表 (1/3)

防治工程	種類	檢查項目	檢查結果	若異常，建議緊急處理措施	現地照片
擋土結構	砌石擋土牆 (E-040)	結構物有無整體傾斜、位移情況	正常	以監測系統及地質調查，確定滑動範圍及破壞機制，並加強修補監測。	
	重力式擋土牆 (E-050)	結構物有無不均勻沉降、穩定情況	正常	結構整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動範圍及破壞機制。	
	懸臂式擋土牆 (E-060)	牆上設施兩端與相鄰邊坡間有無異常	異常	結構整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動範圍及破壞機制。	
	蛇籠式擋土牆 (E-070)	蛇籠上有無剝落、鋼筋暴露腐蝕情況	異常	結構監測上。	
	格柵式擋土牆 (E-080)	結構物外觀有無裂縫、變形情況	異常	結構整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動範圍及破壞機制。	
	凹填土工法 (E-090)	結構物之側面有無傾斜、填土材料穩定	—	結構整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動範圍及破壞機制。	
	加筋擋土牆 (E-100)	地(岩)層預力有無損失情況	—	調整地(岩)層預力或補強。	
	鋼筋式擋土牆 (E-120)	地(岩)層預力有無脫落、變形情況	—	採用鋼筋或混凝土加以保護。	
	土釘工法 (E-130)	地(岩)層有無鋼筋斷裂情況	—	增補地錨，並以監測系統及地質調查，確定滑動範圍及破壞機制。	
護坡	抗滑牆 (E-140)	牆面有無位移、變形情況	正常	開挖移除。	現況描述： 牆土面有裂縫、滲水，以及部分損壞情形。 後續處理情形： 進行部分補強工程。
	其它	牆面材料有無脫落、變形情況	—	填補材料或填土以保護材料。	

圖 3.26 道路邊坡擋土結構物功能檢查輸出報表

3.2.2 地圖查詢瀏覽

1.縣市屬性查圖

縣市屬性查圖之主要功能在於可以搜尋已填報過位於全省各縣市、鄉鎮之國道或省道之歷年整治之道路基本資料、工程資料及自然環境資料等，除此之外，資料庫會自動將搜尋之案例位置反白，故可以於圖層中明顯找出搜尋點位之所在位置，最後並可以利用匯出方式製作報表，以節省工程人員撰寫報表之時間。

以搜尋省道台 18 線於民國八十八年整治資料為例，此路段於當年度共填報了 2 筆資料，選取之案例亦以反白方式顯示於圖層中（圖 3.27），於顯示之工程基本碼中勾選欲查詢之工程案例，再點選下方各相關資料按鈕，則可搜尋出所屬之相關資料（圖 3.28）。

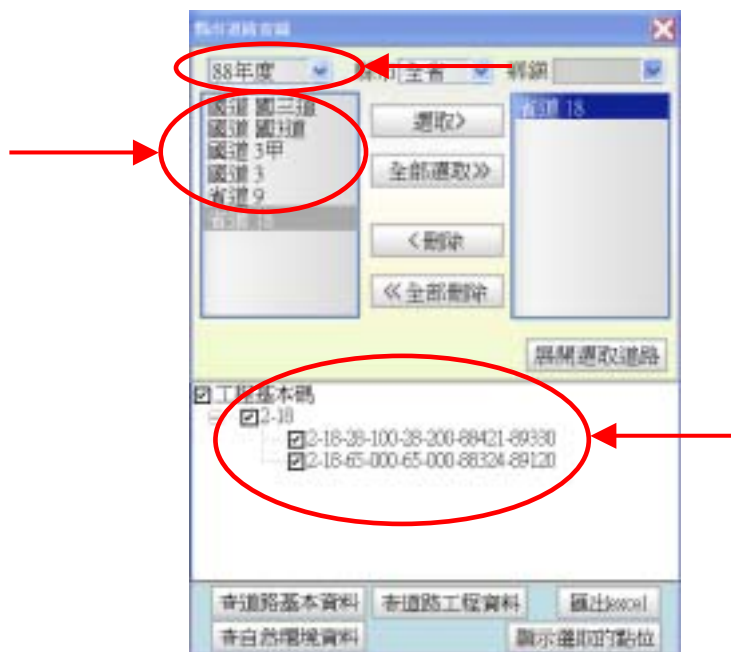


圖 3.27 縣市屬性查圖搜尋界面



圖 3.28 特定點位道路工程資料查詢界面

2. 資料屬性查圖

在「資料屬性查圖」搜尋界面下，可以依據道路基本資料、工程基本資料及自然環境資料三大項分類，輸入欲搜尋之條件因子，資料庫會自動將符合條件之所有相關案例編碼顯示出來，點選任一編碼，再利用下方之屬性按鈕，則可方便搜尋出欲得知之相關整治資料。同理，可以利用資料庫查詢點位之反白功能，於圖層中明顯找出搜尋點位之所在位置。

以搜尋道路基本資料中公路等級大於「1」，並且公路編號等於「18」的道路基本資料為例，於邏輯欄位中填入要進行搜尋的條件式，即可從圖層中搜尋出所屬資料之相關點位，再利用點選下方各相關資料按鈕，則可搜尋出所有欲搜尋之相關資料（詳圖 3.29）。

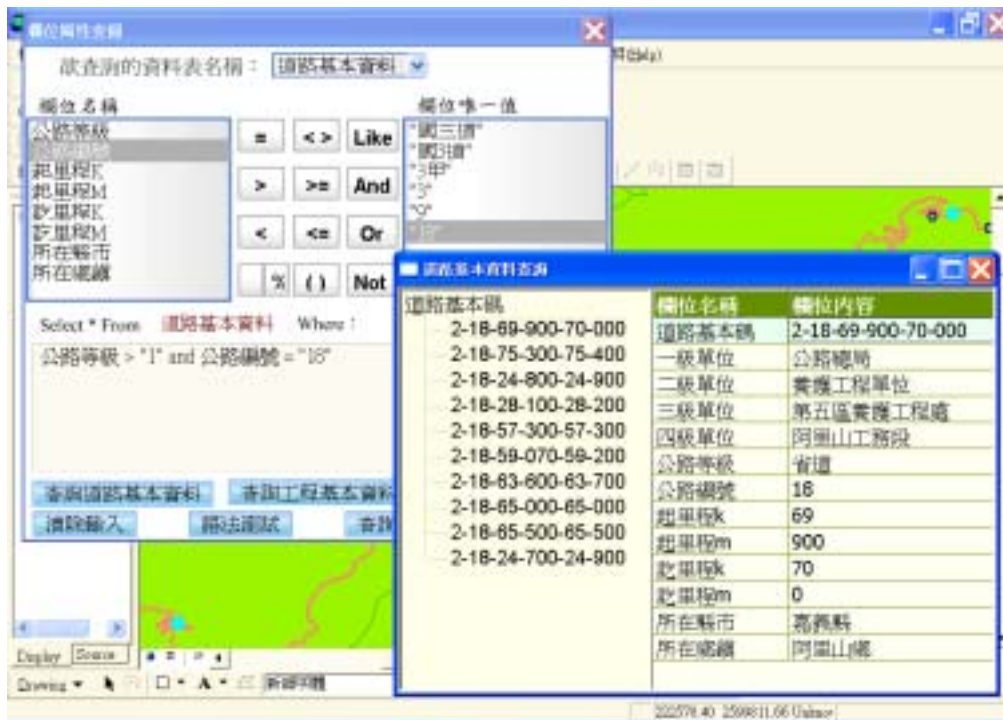


圖 3.29 資料屬性查詢搜尋成果界面

3.編碼屬性查詢

編碼屬性查詢主要是結合前述之邊坡崩塌型態及防治工法編碼分類系統建置之查詢界面，於此項搜尋功能界面下，利用點選方式可以進行相關之崩塌類型或防治工法之工程資料搜尋。

以搜尋防治工法使用重力式擋土牆及地錨工法之工程案件為例（詳圖 3.30），勾選欲查詢之工法項目，直接點選下方查詢按鈕即可得知資料庫中同時採用此兩工法進行整治之工程僅有省道台 18 線 69K+400 70K+000 及國道三號 81K+400 468（詳圖 3.31）

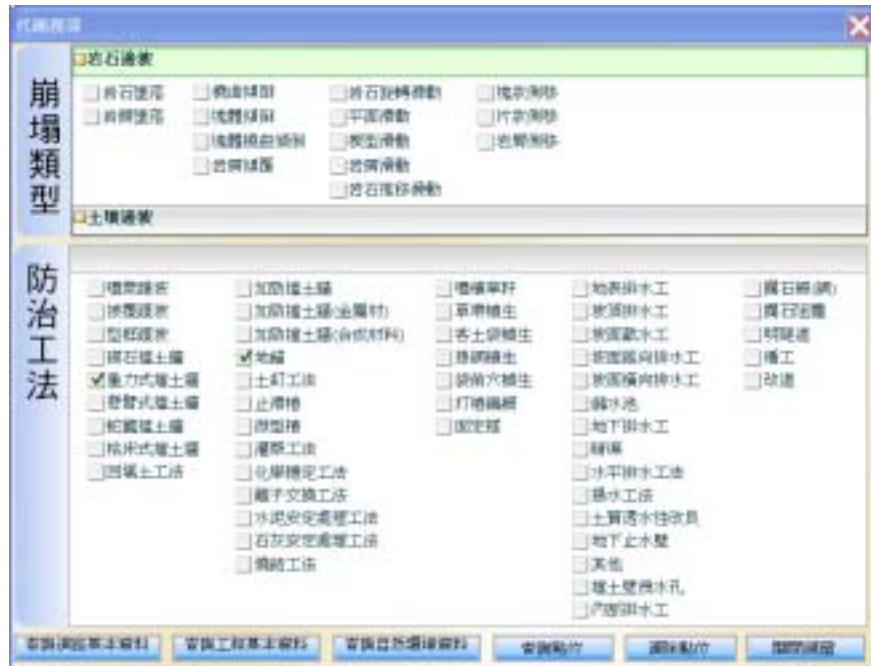


圖 3.30 編碼屬性查詢界面

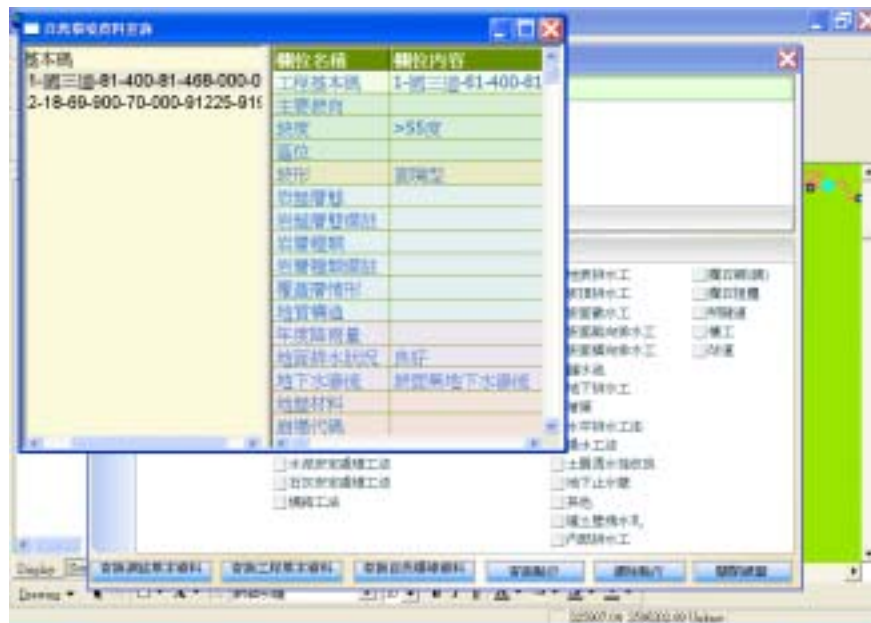


圖 3.31 特定防治工法搜尋成果界面

第四章 道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害類型

國內道路主管單位歷年來對道路邊坡之崩塌防治工作業已投入大量人力、物力，雖然相關單位對於邊坡崩塌防治已累積多年經驗，且道路邊坡設計品質亦不較國外遜色（林美聆等人，2003 和廖瑞堂，2001）。但由於崩塌因子判定不易及防治工法設計之選擇複雜，近年來，歐、美、日等先進國家開始引入機率之觀念進行崩塌潛勢分析，以協助崩塌因子之判定，換言之，使用「是與否」的道路邊坡崩塌之預測方式，將已不再適用，取而代之的是以機率的觀念來做邊坡崩塌的預測（廖洪鈞等人，2001 & 2002），就好比目前降雨的氣象預報，也是採用機率的方式一樣。如此一來，預測者可不作「是與否」的預報，而是要求道路養護單位，依各路段邊坡崩塌潛勢之高低，來採取合適的因應對策。這種做法比較符合一般工程作業的方式，因此較具可行性。

在本研究中，我們採用高斯過程模型（MacKay 1998; William and Rasmussen 1996; Neal 1997; Gibbs 1997）來預測邊坡的崩塌潛能及機率。在本研究中，高斯過程分析被用來處理分類問題：在崩塌潛勢與機率問題中（4.3.1 節中之第二及第三階段），所有邊坡都被分成二類，會崩塌的與不會崩塌的。而高斯過程之主要目的在於根據邊坡之特性（邊坡因子）來估算崩塌機率。在崩塌類型問題中（4.3.1 節中之第一階段），所有邊坡都被分成三類，崩落、坍滑與沖蝕。而高斯過程之主要目的在於根據邊坡之特性來判斷崩塌類型。以下就崩塌潛勢與機率問題進行說明，崩塌類型問題可以用類似方式處理。

首先我們必須先搜集邊坡之資料，這些資料包含數個邊坡之因子資料，以及這些邊坡「崩」或「未崩」之資料。最後之結果則是一個崩塌機率與邊坡因子之函數關係（稱為目標函數），此函數通常為高度非線性。高斯過程分析同時會產生一個副產品，其分析結果可以用來判斷各邊坡因子之重要性，高斯過程分析亦可用於回歸分析。

4.1 檢討既有道路邊坡崩塌潛勢分析方法

4.1.1 高斯過程分析與其他方法之比較

基本上，分類（classification）分析模型大致可分為二類：參數模型（parametric model）及非參數模型（nonparametric model）。參數模型假設目標函數為一固定形式（如：具有未定係數之線性或二次式），其未定係數可藉由量測的資料反算求得；而非參數模型則不假設目標函數為一固定形式。當資料點分布可以視覺化時，我們通常可以用目視判斷目標函數之形式，在此情形下，參數模型是較佳的選擇，因參數模型之分析結果通常較非參數模型穩定。然而當資料點是高維度時（即影響因子甚多時），資料便無法視覺化，若強行假設目標函數之形式，則可能帶來明顯的偏差，因此在影響因子甚多之情形下，非參數模型是較佳的選擇。

在先前研究中，鑑別分析（discriminant analysis）及類神經網路（neural network）常被用來估算邊坡之崩塌潛勢及機率，本研究選擇以高斯過程進行分析。高斯過程是近年來由統計及人工智慧學者所發展的非參數模型，其目的在於處理非參數迴歸及分類問題。而鑑別分析則屬於參數模型，由於本研究之資料維度相當高，無法視覺化，因此高斯過程是較佳之選擇。另外一方面，類神經網路也是非參數模型，但因類神經網路常有無數個局部最佳解，因此計算相當的繁複。Neal(Neal 1996)曾證明高斯過程等同於無線多節點之隨機類神經網路，然而高斯過程之計算卻遠較類神經網路簡單，甚至有統計學者(MacKay 1997)討論是否可以考慮從此用高斯過程分析取代類神經網路，可以確定的是高斯過程分析可以處理類神經所處理之問題，且計算簡單許多，因此相較於類神經網路，高斯過程可能是較佳之選擇。

4.1.2 高斯過程分析之細節

以邊坡破壞潛勢為例：邊坡之破壞機率（ P ）應與邊坡本身之各項影響因子有關，因此可以下式表示：

$$P(t=1|x) = g(x) \dots\dots\dots[4-1]$$

其中 x 為邊坡之影響因子（即報告中的崩塌因子），若邊坡破壞，則 $t=1$ ，否則 $t=0$ ； $P(.|.)$ 為條件機率。本研究假設：

$$g(x) = \frac{1}{1+e^{-Y(x)}} \equiv \text{sig}(Y(x)) \dots\dots\dots[4-2]$$

其中 $\text{sig}(\cdot)$ 是 sigmoid 函數。基本上，若 $Y(x)$ 函數之數學式為已知，則可以計算任一邊坡之破壞機率。然而，實際上 $Y(x)$ 卻是一未知函數，因此高斯過程分析假設 $Y(x)$ 是一個不確定函數，且其不確定性可以高斯隨機過程表示。高斯隨機過程之嚴謹定義如下：若一隨機函數上任意數點之值的集合為聯合高斯分佈（jointly Gaussian），則此函數即為一個高斯隨機過程。利用觀測到 p 個邊坡之資料 $D = \{(x_i, t_i): i = 1, \dots, p\}$ 及高斯過程模型，可以更新 $Y(x)$ 之機率分布，此程序即稱為高斯過程分析。一旦對 $Y(x)$ 函數有更進一步之了解後，便可據以估算任一邊坡之破壞機率。

若我們允許 $Y(x)$ 可以是任意函數，很明顯的，以有限之資料 D 我們無法估算 $Y(x)$ 。然而若我們假設 $Y(x)$ 必須是一個平滑的函數，以有限之資料 D 則有可能可以估算 $Y(x)$ 。在高斯過程分析之架構下，此「平滑」之前提可以用以下式子來達成：

$$\text{Cov}[Y(x_i), Y(x_j)|H] = \theta_1 \cdot e^{\frac{-1}{2} \sum_{k=1}^n \frac{(x_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2}{r_k^2}} + \theta_2 \equiv C(x_i, x_j) \dots\dots\dots[4-3]$$

上式規範 $Y(x)$ 函數在相鄰兩個位置 x_i 與 x_j 之關連性，其中 $\text{Cov}(\cdot, \cdot)$ 是兩個不確定值之共變異數（covariance）； $x_i^{(k)}$ 是第 i 個邊坡的第 k 個因子（共有 n 個因子）； $\{\theta_1, \theta_2, r_1, r_2, \dots, r_n\} \equiv H$ 是高斯過程模型之參數，稱為超參數； $Y(x)$ 具有不確定平移量，其變異數（variance）為 θ_2 、 θ_1 是除去不確定平移量後之變異數； r_k 越大表示第 k 個因子越不重要。注意

在此模型之下， $Y(x_i)$ 與 $Y(x_j)$ 之相依性隨著 x_i 與 x_j 之距離增加而下降，因此，在此模型下，平滑的函數比不平滑之函數之可能性大。

若我們有直接量測 $Y(x)$ 函數之資料， $\{(x_i, Y(x_i)): i = 1, \dots, p\}$ ，且若超參數 H 已知， $Y(x)$ 函數之估算相當的容易；根據高斯推斷理論 (Gaussian inference theorem)，在 $a_{1:p}$ 及 H 已知之前提下 (為了方便，我們定義 a_i 為 $Y(x_i)$ 之量測值，且定義 $a_{1:p}$ 為 $[a_1 \ a_2 \ \dots \ a_p]^T$ 向量， $Y_{1:p}$ 為 $[Y(x_1) \ Y(x_2) \ \dots \ Y(x_p)]^T$ 向量， $t_{1:p}$ 為 $[t_1 \ t_2 \ \dots \ t_p]^T$ 向量)， $Y(x)$ 之機率密度函數 (probability density function, PDF) 仍為高斯分佈，其期望值及變異數分別為：

$$\begin{aligned} E[Y(x) | H, a_{1:p}] &\equiv \mu(H, a_{1:p}) = \text{Cov}(Y(x), Y_{1:p} | H) \text{Var}(Y_{1:p} | H)^{-1} a_{1:p} \\ \text{Var}[Y(x) | H, a_{1:p}] &\equiv \tau(H, a_{1:p}) \\ &= \text{Var}[Y(x) | H] - \text{Cov}(Y(x), Y_{1:p} | H) \text{Var}(Y_{1:p} | H)^{-1} \text{Cov}(Y(x), Y_{1:p} | H)^T \\ &\dots\dots\dots[4-4] \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} \text{Var}[Y(x) | H] &= C(x, x) = \theta_1 + \theta_2 \\ \text{Cov}(Y(x), Y_{1:p} | H) &= [C(x, x_1) \ \dots \ C(x, x_p)] \\ \text{Var}(Y_{1:p} | H) &= \begin{bmatrix} \theta_1 + \theta_2 & C(x_1, x_2) & \dots & C(x_1, x_p) \\ & \theta_1 + \theta_2 & & \vdots \\ & & \ddots & C(x_{p-1}, x_p) \\ \text{symmetry} & & & \theta_1 + \theta_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots[4-5] \end{aligned}$$

然而事實上，我們並未直接量測 $Y(x)$ 函數，我們只有崩塌與否 $\{t_i: i = 1, \dots, p\}$ 之資料。更甚者，超參數 H 事實上是未知的。高斯過程分析之目標是要利用 p 個邊坡之資料 $D = \{(x_i, t_i): i = 1, \dots, p\}$ ，估算任意目標邊坡之崩塌機率。根據全機率理論 (Theorem of Total Probability)，我們知道

$$\begin{aligned}
& P(t_t = 1 | x_t, D) \\
& = \int P(t_t = 1 | x_t, H, D, a_{1:p}, Y(x_t)) f(Y(x_t) | H, D, a_{1:p}) f(a_{1:p}, H | D) dY(x_t) da_{1:p} dH \\
& \dots\dots\dots [4-6]
\end{aligned}$$

其中 $f(\cdot|\cdot)$ 是條件機率密度函數 (conditional PDF)； x_t 及 t_t 分別是目標邊坡的因子 (已知) 及崩塌與否之指標 (未知)。因為

$$\begin{aligned}
P(t_t = 1 | x_t, H, D, a_{1:p}, Y(x_t)) &= P(t_t = 1 | H, Y(x_t)) = \text{sig}(Y(x_t)) \\
f(Y(x_t) | H, D, a_{1:p}) &= f(Y(x_t) | H, a_{1:p}) \dots\dots\dots [4-7]
\end{aligned}$$

式[4-6]可以寫成

$$\begin{aligned}
P(t_t = 1 | x_t, D) &= \int \text{sig}(Y(x_t)) f(Y(x_t) | H, a_{1:p}) f(a_{1:p}, H | D) dY(x_t) da_{1:p} dH \\
&\dots\dots\dots [4-8]
\end{aligned}$$

請注意 $f(Y(x_t) | H, a_{1:p})$ 是一個高斯 PDF，且其期望值與變異數如式[4-4]。根據 MacKay(1992)之結果，sigmoid 函數與高斯函數相乘之積分大約等於

$$\begin{aligned}
\int \text{sig}(Y(x_t)) f(Y(x_t) | H, a_{1:p}) dY(x_t) &\approx \text{sig}\left(-\mu(H, a_{1:p}) / \sqrt{1 + \pi \cdot \tau(H, a_{1:p}) / 8}\right) \\
&\dots\dots\dots [4-9]
\end{aligned}$$

因此式[4-8]變成

$$\begin{aligned}
P(t_t = 1 | x_t, D) &\approx \int \text{sig}\left(-\mu(H, a_{1:p}) / \sqrt{1 + \pi \cdot \tau(H, a_{1:p}) / 8}\right) \cdot f(H, a_{1:p} | D) da_{1:p} dH \\
&\dots\dots\dots [4-10]
\end{aligned}$$

即使經過簡化，式[4-10]顯示 $P(t_t = 1 | x_t, D)$ 的估算仍牽涉高維度之積分，是一件極為困難的計算。

在本研究中，我們利用大數法則(Law of Large Number)來估算此積分：

$$P(t_i = 1 | x_i, D) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{sig} \left(-\mu(\hat{H}^{(i)}, \hat{a}_{1:p}^{(i)}) / \sqrt{1 + \pi \cdot \tau(\hat{H}^{(i)}, \hat{a}_{1:p}^{(i)}) / 8} \right) \dots\dots\dots [4-11]$$

其中 $\hat{a}_{1:p}^{(i)}$ 及 $\hat{H}^{(i)}$ 是第 i 個從 PDF $f(a_{1:p}, H | D)$ 取出之樣本對。請注意 $f(a_{1:p}, H | D)$ 可以表示如下：

$$f(a_{1:p}, H | D) = \frac{f(D | a_{1:p}, H) f(a_{1:p} | H) f(H)}{f(D)}$$

$$\propto \left[\prod_{i=1}^p \left(\frac{1}{1 + e^{-a_i}} \right)^{t_i} \left(\frac{e^{-a_i}}{1 + e^{-a_i}} \right)^{1-t_i} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{\det(\text{Var}(Y_{1:p} | H))}} \cdot e^{-\frac{1}{2} a_{1:p}^T \text{Var}(Y_{1:p} | H)^{-1} a_{1:p}} \cdot f(H)$$

\dots\dots\dots [4-12]

從 $f(a_{1:p}, H | D)$ 取樣並非一件容易的工作，這是因為 $f(a_{1:p}, H | D)$ 並非標準 PDF 且其維度極高。在本研究中，我們採用 Gibbs sampler 配合 Hybrid Monte Carlo 的技術來有效的從 $f(a_{1:p}, H | D)$ 取樣。

4.2 檢討崩塌因子量化與選定

早期之研究主要是由野外的現地調查，選定幾項因子作為評估參數，將各參數予以分級，並賦以數值，最後將這些因子組合而得到山崩潛感分析或環境敏感度分析準則。在這過程中不論因子之選定或分級評分皆以個人專業素養及主觀看法決定的，此類方法即稱為定性的專家評分法，由於此法需依賴經驗，且過於主觀，分析的結果易因人而異，因此，近年來所採用之分析方法已轉變為定量的統計分析法，利用統計方式歸納各因子間之關係及對邊坡穩定之重要程度，再給予權重。

在前人之研究中，賴季鋒(1999)之分析結果顯示各因子依其影響程度大小順序為岩性、集水區面積、道路長度、雨量。周晏勤、藍世欽、陳時祖(2001)依現場調查所得到之最重要因子是坡高、岩石破碎程度、排水狀況，而由遙感探測方法得到的結果是坡度及地層種類等因子最

重要。王智仁(2001)之研究成果以坡度及排水狀況兩因子為影響本研究區岩坡不穩定性的最主要因子。張舜孔(2003)之研究結果顯示前七天累積降雨量、當天降雨量和地層等是阿里山公路邊坡安全性的最大影響因子，而在地震後權重排序提升的因子有地層和坡形。陳崇華(2004)之研究結果顯示各因子相對重要性依序為：坡度、地層、坡度組合、坡向、構造、工程設施種類、坡趾開挖。

本計畫共計選取 16 項崩塌影響因子，其主要係配合本研究團隊過去所建置之邊坡管理系統中既有之基本資料項目（因子），並考慮前人研究成果中較具影響力之因子而進行選取，其中尚未建置於邊坡管理系統中之因子，將視其特性（是否具變動性）及重要性於未來加入至資料庫中，具變動性之因子將建置於自然環境資料庫中，作為經常性檢查時可更新的資料，以提高分析的準確度。依據上述各因子之特性可將所有因子分成基本因子、變動因子及誘發因子等三類，分別歸屬於自然環境資料庫及災損資料庫等二個資料庫。各因子的量化不同於過去常用的定性評分法，而是採用直接可量化之輸入值。

在高斯過程分析中，因子間若物理上有高度相依性，是不會有影響的。高斯過程之中心思想在於估算 $Y(x)$ 函數，因此儘管其中有部分因子有高度關聯性，也不會影響高斯過程之分析結果。例如，現在我們擁有某組資料，可利用一個因子 (x) 去估算產生此組資料的目標函數 $Y(x)$ 。如果我們令 $x_1=x$ ， $x_2=2x$ ，再使用此兩個因子 (x_1, x_2) 去估算 $Y(x)$ ，即使 x_1 與 x_2 彼此具有高度相依性，估算出來的 $Y(x)$ 仍然是一樣的。

4.2.1 基本因子



圖 4.1 基本因子示意圖

1.地形

(1)坡向

坡面的朝向，關係著迎風面的位置及地震力的作用方向，因此為可間接反映降雨及地震影響之因子之一，此值主要經由地質羅盤現場量得，記錄方法同方位角，以北方為 0 度，順時針旋轉遞增，範圍介於 0~360 度。

(2)坡度

係指自然邊坡的角度，一般坡度越陡，造成下滑之趨動力越大，然此值須視坡度改變量（坡度改變量定義將於變動因子中說明）而定，若坡度改變量為 0，則坡度為 α 角；否則為 β 角，如圖 4.2 所示。坡度亦經由地質羅盤於現場量得，範圍為 0~90 度。

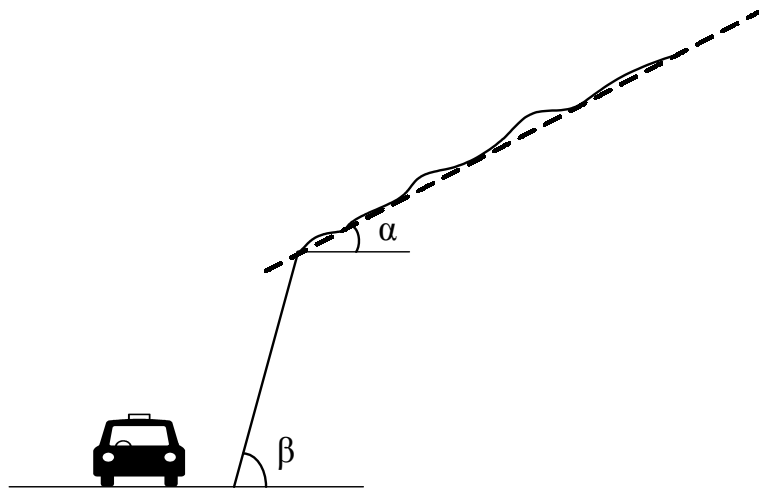


圖 4.2 坡度因子示意圖

(3)坡高

係指與道路銜接之邊坡，由路面為基準起算之高度，單位為公尺，係由現場目測得到。

(4)坡形

一般山區道路係沿山壁開鑿，故為表達邊坡屬凸坡或凹坡，可以道路之曲度來表達此值，先藉由 GIS 以繪圖套疊的方式量得道路曲率半徑，再以曲度來表示（曲度＝弧長/曲率半徑，取弧長為整弧 20 公尺），凸坡曲度為正，反之凹坡為負。

2.地質

目前研究區域（台 18 線、台 21 線）之 1/5,000 數值地質圖仍未建置完成，故台 18 線以劉桓吉等人(1989)所製作之阿里山公路沿線地質圖為依據，將沿線地質，依其地質年代之遠近，給予 5 個等級，分別為：1.卓蘭層、2.錦水頁岩、3.大窩砂岩或石灰岩、4.關刀山砂岩、5.南莊層（詳圖 4.3）；台 21 線則以中央地質調查所製作五十萬分之一台灣向量地質圖（2000 年版）為依據（詳圖 4.4）。



圖 4.3 台 18 線沿線地質圖

(摘自李德河等，2005；修改自劉桓吉等，1989)

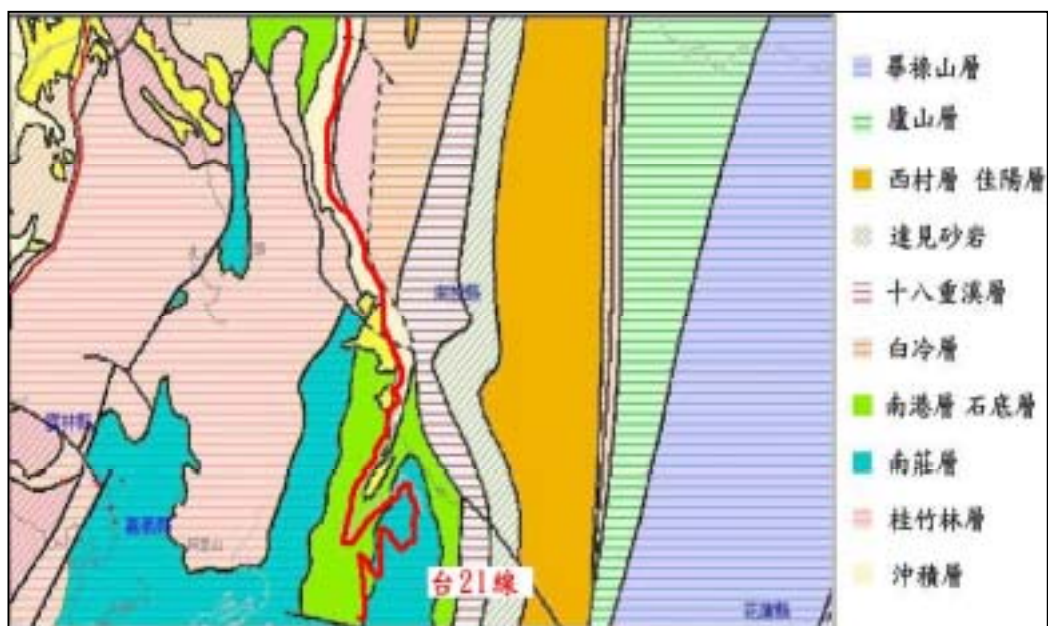


圖 4.4 台 21 線沿線地質圖 (改編自中央地調所)

3.地質構造

(1)坡向與傾向

量化值為 $|\text{坡向} - \text{傾向}|$ （岩層傾向係由現場觀測露頭得到），一般順向坡 <22.5 度，逆向坡 >157.5 度。故此值可反映邊坡之順、逆向坡狀況。而一般土層或破碎岩層邊坡以直交坡（90度）為輸入值。

(2)坡度與傾角

當坡面之坡度 $>$ 岩層之傾角時，層面會在坡面出露，此時若為順向坡，則構成順向坡滑動之條件。量化方法為坡角 $-$ 傾角，一般土層及破碎岩層邊坡以水平岩層（傾角為0）視之，則此項因子之值等於坡度。



圖 4.5 地質構造示意圖

4.風化及破碎程度

(1)岩塊規模

主要用以描述岩層之破碎及節理程度。以地層中大多數尺寸相近的岩塊之平均直徑為此因子之量化值。

(2)岩塊體積百分比

以岩塊部份在整體邊坡中所佔之體積百分比(%)為其量化值，用以表達邊坡地層之風化程度。



圖 4.6 風化及破碎程度示意圖

5.水系

(1)集水區面積

本研究主要探討降雨所造成之邊坡崩塌。故水為主要之影響因素，而此因子即可反映滙流之水量，單位為平方公尺，此面積為垂直之投影面積，由該區域之 DTM 資料 (X,Y,Z) 透過 GIS 之空間分析模組產生之暈渲效果及等高線來判別集水區面積（詳圖 4.7）。

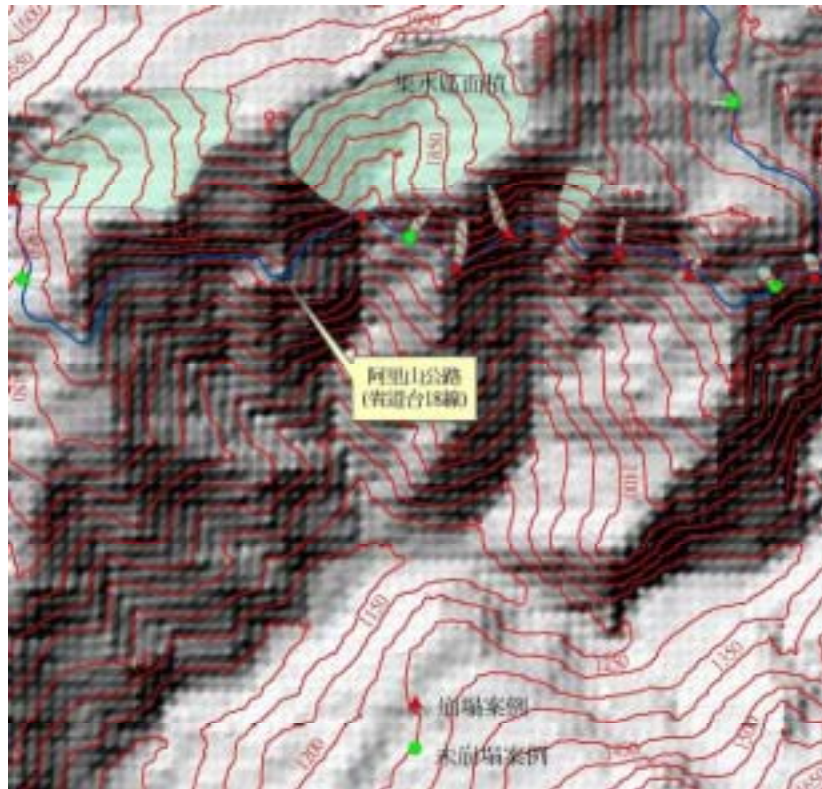


圖 4.7 GIS 建置之集水區面積圖

4.2.2 變動因子

1. 植被

(1) 植坡覆蓋面積百分比

以樹蔭可涵蓋之有效面積來計算，用以表示植被覆蓋程度，亦反映坡面之裸露程度。

(2) 植被覆蓋厚度：

係指有效覆蓋厚度，單位為公尺。以檳榔樹為例，雖其普遍具 5~6 公尺以上之高度，但其樹冠之厚度僅 0.5 公尺左右，故不能有效抵抗雨水直接襲擊坡面，故檳榔樹之有效覆蓋厚度僅 0.5 公尺。

2.道路開闢

道路開闢為山區道路邊坡之主要人為影響因子，本研究選取坡址開挖及坡度改變量作為評估道路開闢對原有邊坡影響程度之兩項因子：

(1)坡趾開挖

即指坡趾開挖之高度，如圖 4.8 中之 h ，以公尺為單位。

(2)坡度改變量

$\Delta\theta$ = 開挖後坡度 - 開挖前坡度。若崩塌範圍在開挖處上方，則此值為 0，如圖 4.8 所示。

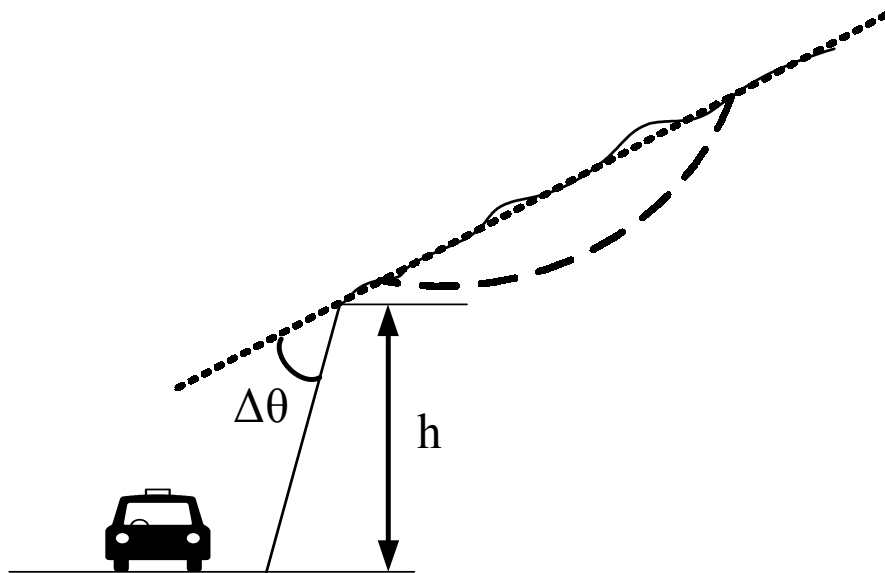


圖 4.8 道路開闢因子示意圖

4.2.3 誘發因子

1.地震力－最大地表水平加速度

地震力一般皆被歸類為誘發因子，但本計畫主要探討的是降雨引致之邊坡崩塌，故地震力在本計畫中具有基本因子之特性。為能量化及表達 921 地震對阿里山沿線地表地質之影響，本研究

選擇以較具代表性之水平地表加速度作為此因子之量化值，以中央氣象局在沿線附近的 21 個測站使用 GIS 之空間分析模組進行內插而得到（詳圖 4.9）。

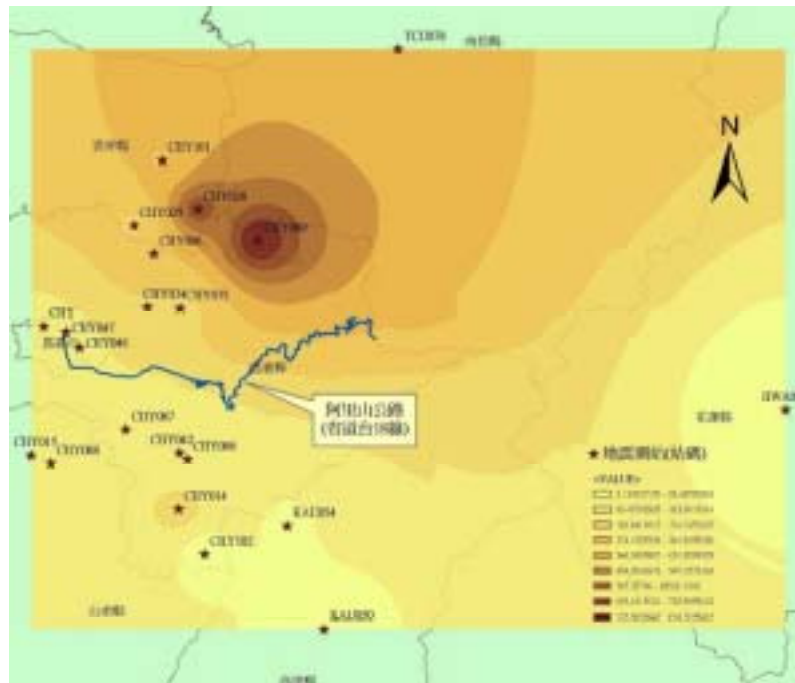


圖 4.9 GIS 建置之 PGA 分佈圖

2. 降雨—颱風累積降雨量

本研究所蒐集之崩塌案例皆為颱風時期所造成之崩塌，故選用颱風時之累積降雨量作為誘發邊坡崩塌之主要影響因子。此值之取得方式與最大地表加速度類似，係以阿里山公路沿線附近之 39 個雨量站（中央氣象局）量得之雨量進行 GIS 空間分析模組之內插功能，而得到空間分佈之區域雨量圖（詳圖 4.10）。需注意的是，由於降雨屬誘發因子，故在進行邊坡崩塌潛勢分析時並未考慮此因子。換句話說，在本計畫中邊坡崩塌潛勢僅與邊坡之基本因子及變動因子有關，而邊坡崩塌機率才與降雨量有關。

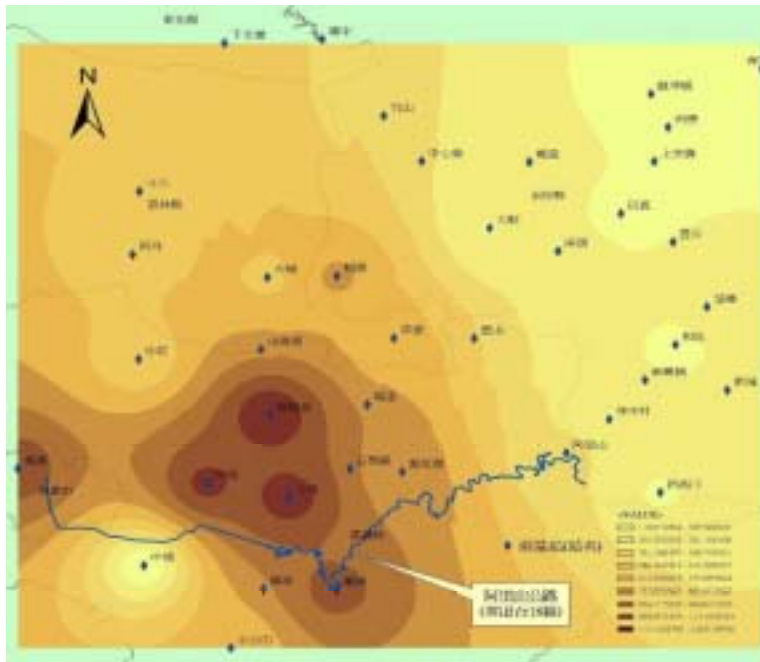


圖 4.10 GIS 建置之區域雨量分佈圖

綜合前述本計畫所選取之 10 個基本因子、4 個變動因子及 2 個誘發因子，可整理如表 4.1。由高斯過程分析結果我們可以得到既有崩塌影響因子之相對重要性，詳述如下：在超參數 H 中， r_j 控制第 j 個解釋變數 $x_{(j)}$ 的重要性：若 r_j 大，表示 $x_{(j)}$ 是一個不重要之解釋變數，反之亦然。因此，若 r_j 估算值很大時意義如下：根據觀測到之資料 D ，第 j 個崩塌影響因子 $x_{(j)}$ 不重要，反之亦然。此結論將有助於辨別較具有影響力之崩塌影響因子。

表 4.1 影響因子及量化範圍

	資料庫	類別	影響因子	單位	範圍	來源	建置
基本因子	自然	地形	坡向	°	0~360	現勘	是
			坡度	°	0~90	現勘	是
			坡高	m	□0	現勘	否
			坡形	°	-∞~+∞	圖資	是
		地質	地層種類	-	1~5	圖資	是
		地質構造	坡向與傾向	°	0~180	現勘	是
			坡度與傾角	°	-90~90	現勘	是
		風化及破碎程度	岩塊規模	m	□0	現勘	是
			岩塊體積百分比	%	0~100	現勘	是
		水系	集水區面積	m ²	□0	圖資	否
變動因子	自然	植被	植被覆蓋面積百分比	%	0~100	現勘	否
			植被覆蓋厚度	m	□0	現勘	否
		道路開闢	坡趾開挖高度	m	□0	現勘	是
			坡度改變量	°	0~90	現勘	否
誘發因子	災損	地震力	最大地表水平加速度	gal	□0	圖資	是
		降雨	颱風累積降雨量	mm	□0	圖資	是

4.3 研擬道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害類型

4.3.1 道路邊坡崩塌潛勢分析方法

本計畫欲建立之分階式山區道路邊坡崩塌預測模式之分析架構如圖 4.11 所示，各階段說明如下：

第一階段—先作邊坡潛在崩塌類型之研判，崩塌類型可分為崩落、坍滑及沖蝕等三類，有關各崩塌類型之定義如後所述。

第二階段—依潛在崩塌類型之判別結果選擇不同崩塌類型之崩塌潛能進行崩塌潛能評估，故具有崩落、坍滑及沖蝕等三個崩塌潛能預測模式，而以機率來表示崩塌之潛勢。

第三階段—針對具有高崩塌潛勢之邊坡，可在加入降雨量後，作第三階段之崩塌機率（probability）預測，同一邊坡在不同降雨量時可得到不同之崩塌機率，此階段亦有崩落、坍滑及沖蝕三種崩塌機率預

測模式。

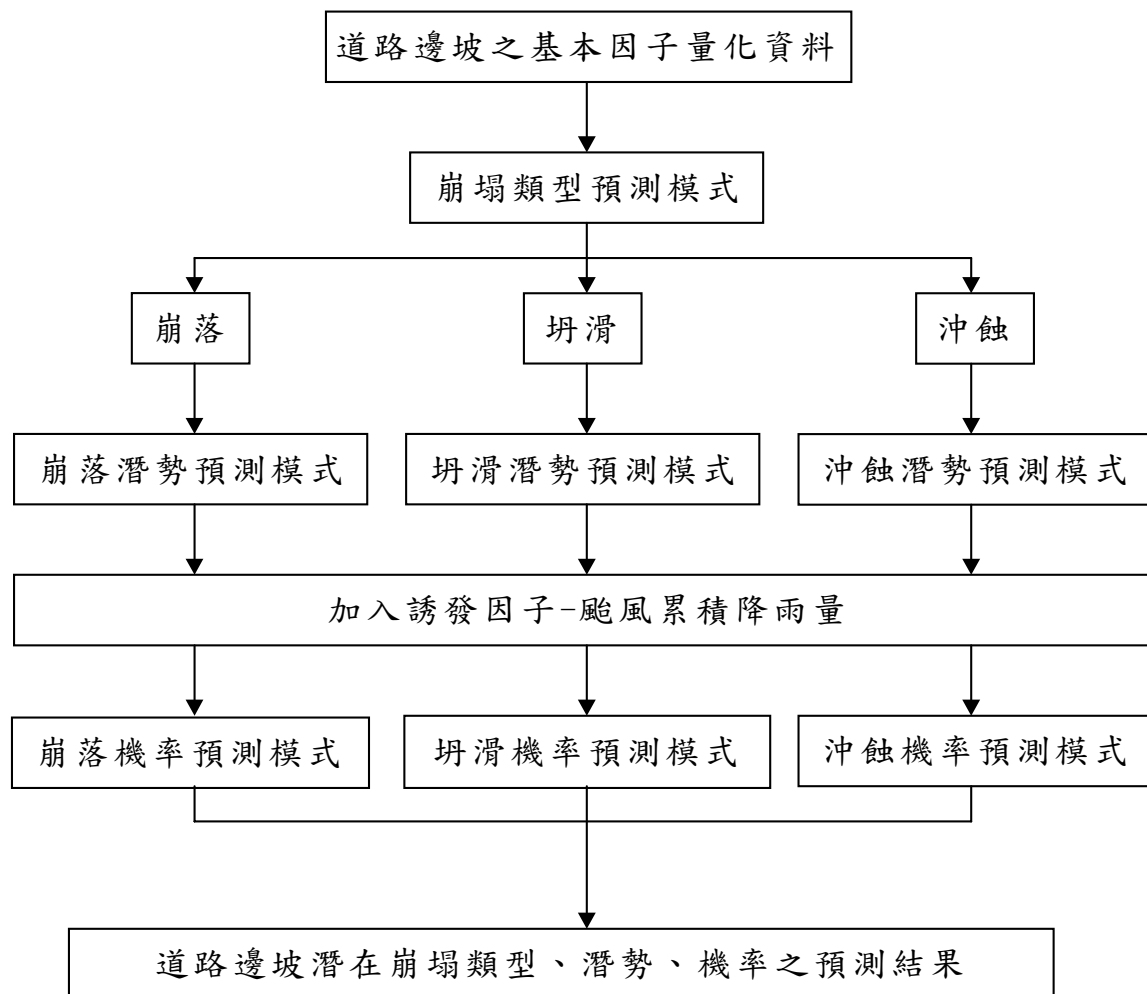


圖 4.11 道路邊坡崩塌潛勢分析流程

4.3.2 道路邊坡崩塌二次災害類型

山區道路邊坡發生嚴重的崩塌破壞後，即使有施作擋土工法或護坡工法，還是很容易發生二次災害，甚或有災害現象更加擴大的情形，以下歸納出四種常見的二次災害類型如下：

1. 噴凝土護坡邊界之破壞擴張

山區道路常有高度達百公尺之上邊坡，若噴漿坡面施作不完整或格樑工法的自由樑間沒有連續性，甚至礙於經費或現場施工

的緣故，只在坍滑邊坡之範圍內施做護坡工法，則極有可能在不完整處或噴漿面與裸坡交界處發生二次災害。如圖 4.12 所示，為了保護道路，在坡面施作土釘格樑工法；後來又發生大規模的崩塌（圖 4.13 之坡趾），於是在道路下邊坡施打地錨外加排水箱涵；而在上邊坡坡頂處可見新施作的噴漿坡面，顯示該處曾發生二次崩塌。



圖 4.12 台 18 線 65k+000 處上邊坡照片



圖 4.13 台 18 線 65k+000 處上邊坡坡趾照片

2. 高邊坡滑坡之向上破壞擴張

高邊坡由於坡度較陡，再加上時間或天災的影響，坡面容易發生滑動破壞，更上方的坡面由於下方出現凹陷，等同於挖除坡腳而更容易下滑；如圖 4.14 所示順序，這種破壞機制會一再重複發生，而使得坍滑破壞不斷向上擴張。圖 4.15、圖 4.16 之現勘照片可發現，其邊坡型態即為典型的向上擴張破壞，由剛鋪放的植生護坡可隱約看出多次坍滑的角度。

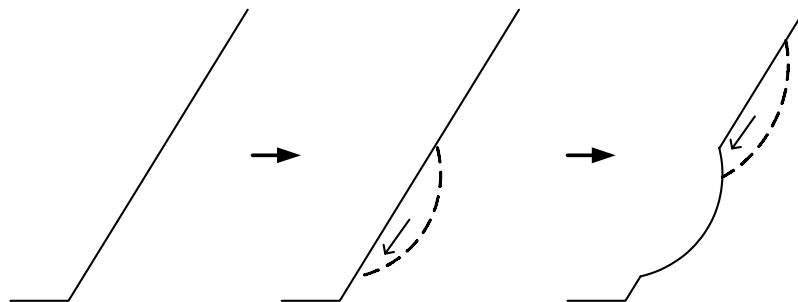


圖 4.14 高邊坡向上擴張破壞機制示意圖



圖 4.15 台 18 線 28k+100 處上邊坡遠照



圖 4.16 台 18 線 28k+100 處上邊坡近照

3.河流之坡腳侵蝕

由於長期水流的沖刷，造成下邊坡發生類似河流之向源侵蝕的情況，路堤坡腳土石流失、基礎掏空後造成破壞，並逐漸向上游擴大。如圖 4.17 所示，上邊坡有明顯的兩條水路痕跡，可見豪雨時之水量豐沛；下邊坡（圖 4.18）可見排水箱涵出口處路基損壞的情形，並伴隨著大量的崩塌土石。



圖 4.17 台 18 線 58k+100 處上邊坡照片



圖 4.18 台 18 線 58k+100 處下邊坡照片

4.明隧道兩端上邊坡之破壞擴張

在經常發生大規模崩滑的邊坡，會設置明隧道防止土石崩坍，避免土石沖毀路面；但發生崩塌的原因通常源於岩層破碎或地質條件差，儘管已設置明隧道，但邊坡之地質條件並未改善，仍然會從兩端或上方一再發生崩塌破壞；而施工單位通常的處置是一繼續加長明隧道，此舉並無益於防止邊坡繼續崩塌。如圖 4.19、圖 4.20 所示，此處大崩塌地從 921 集集大地震迄今都尚未有完整的改善防治，圖中之明隧道已再次擴建過，但仍然被土石淹沒而無法行車，必須從河床改道通車（圖 4.21）。



圖 4.19 台 21 線 111k+500 處上邊坡照片



圖 4.20 台 21 線 111k+500 處邊坡照片



圖 4.21 台 21 線 111k~112k 處河床照片

第五章 道路邊坡崩塌災害預警及通報系統

道路建設為國家重要之基礎建設，經多年之努力台灣交通路網已逐漸成型，然而於路工建設技術水準已有長足進步之際，道路安全管理繼公路建設後，成為極為重要之課題。源於台灣多山地，公路建設不可避免的常須穿越山坡地，部分道路邊坡遇大雨即坍方之問題對於行車安全構成極大之威脅，合宜地應用大地監測系統，對於道路邊坡安全管理以及邊坡災損預警、通報、緊急處理與長期復建策略研擬相當重要。本章以下分三節，5.1 節為過去交通部相關計畫執行成果彙整，5.2 節說明監測與緊急搶修及復建技術之相關性，5.3 節則提出事發型監測預警之通報與處理流程規劃。

5.1 監測規劃與預警相關研究成果彙整

交通部自民國九十一年度起，分別委託交通大學、逢甲大學、台灣科技大學以及台灣營建研究院，進行先進邊坡監測系統研發、自動化傳輸系統之開發、邊坡崩塌防治最佳化以及檔土構造物災損評估，並已完成道路邊坡崩塌監測手冊之撰寫。除此之外，交通部整合台灣營建研究院、台灣科技大學、交通大學以及逢甲大學之研究資源，共同於台 18 線阿里山公路沿線以及五灣仔路段，進行邊坡之規劃以及自動化監測、傳輸與預警[8]，上述研究成果對於道路安全管理具有極為正面之意義。以下將交通部委託計畫中與監測相關之研究成果，分別針對：(1)監測設備原理；(2)監測規劃與預警；(3)資訊接收、儲存、通訊傳輸；(4)道路邊坡監測實例；以及(5)道路邊坡監測手冊等五項之研究成果彙整如後。

5.1.1 監測設備與原理介紹

監測系統組成包括：(1)感測單元；(2)資料擷取單元；(3)資料傳輸單元；(4)資料儲存、展現或分析單元；以及(5)電源供應等五個單元。

其中感測單元感測現地物理量（如位移）或環境條件（如雨量）之變化，由資料擷取系統收集、記錄、篩選、判讀並經由資料傳輸單元送達遠端之資料儲存單元儲存、展現或分析資料，若有必要可發送警報。而電源供應單元負責供應現地或遠端設備所需之穩定電流。

1.邊坡崩塌監測物理量與常用監測儀器

(1)應變、傾斜或位移監測

邊坡滑動必然有移動之發生，移動之總量、速率以及分佈通常是所需要量測之物理量中最重要的。邊坡崩塌現象可分為地表與地層中之移動與旋轉，地表之垂直、水平位移、裂縫之擴張、以及坡址之隆起都可作為監測之對象，雖然我們可以從邊坡表面之特性來判斷地層移動之嚴重性，但是最能夠顯示邊坡滑動即將發生之重要指標通常還是來自於土壤或岩層內部微量之移動。只靠坡面之觀察來決定邊坡之穩定是不夠的，而必須要與邊坡內部行為之監測相互配合。地層滑動的方向通常可以由裂縫之型態尤其是裂縫邊緣幾何形狀之匹配來推敲。

常用之監測方法或儀器包括：管式應變計（Pipe Strain Gage）；孔內傾斜計（Inclinometer；包括：(1)插入型傾斜觀測管，(2)定置型傾斜觀測管）；地層（或構造物）滑動面之深度、位移量及位移速率等之監測；傾度盤（Tilt meter）；地表、結構物或擋土護坡構造物傾斜變位之監測；地滑計（Surface Extensometer，地表伸縮儀）；地表變位之監測；沉陷計（Extensometer；包括：沉陷板、磁感式連續沉陷計或多點式伸縮儀）；地層垂直變位之監測；裂縫計（Crack Gauge）；地表或構造物裂縫寬度變化之監測；應變計（Strain Gauge）；構造物受力變形產生應變之監測；沉陷觀測點（Settlement Mark）；地表或構造物沉陷量之監測；電子經緯儀加全功能測站（The Electronic Theodolites And Total Stations）；全球定位系統 GPS（Global Positioning System）。

(2)雨量、水位與水壓監測

降雨為邊坡崩塌重要之誘因，另一方面，在許多邊坡滑動之問題中滑動體內之孔隙水壓也是重要之參數，因此雨量、水位與水壓監測相當重要。常用之監測方法或儀器包括：水位觀測井（Observation Well）；水壓計（Piezometer）：有開口式水壓計（Open standpipe Piezometer）、壓氣式水壓計（Pneumatic Piezometer）、電子式水壓計（Electrical Piezometer）；雨量計；流量計；溢流堰。

(3)應力監測

應力包括地層之現地應力與擋土構造物所受之應力，應力之監測常可供檢討構造物之設計條件。常用之監測儀器包括：土壓計（Earth Pressure Cell）；鋼筋計（Rebar Stress Meter）；荷重計（Load Cell）。

2.常用監測感測器構造與原理

以下簡述數類常用監測設備感測器之構造及原理：

(1)水壓計

設置孔隙水壓計之目的係為測定大壩施工期間及蓄水初期壩基或壩體內土壤間之孔隙水壓力。填築時期，當孔隙水壓力過大超過設計值時，可據測得之孔隙水壓判斷而控制填方速度，必要時甚至可暫停填築，以免壩體因有效應力減少而發生滑動，亦可評估隔幕灌漿之阻水功能。大壩完工蓄水後，孔隙水壓可瞭解壩體滲流之變化情況，以作為評估壩體安全之參考。依壓力量測方法之不同，一般水壓計之型式可概分為氣壓式、水壓式、電阻式、振弦式及開口直管式等數種，茲將其構造及原理說明如后。

(a)氣壓式水壓計

氣壓式水壓計係一個裝設並密封於鑽孔內或插入在軟土中之透水頭，經由兩條塑膠氣導管連接至測讀器。水壓計頭部之感應器基本上由一個被柔性隔膜分成兩區（感應區及量測區）之剛性框架所構成。在感應區，水壓計外部之孔隙水壓透過濾石並作用至隔膜上。隔膜另一側緊貼在含有兩個小孔（進氣及回氣孔）之平坦防水壁上以構成儀器之氣壓區（量測區），並以兩氣導管分別連接進氣孔及回氣孔至測讀器。氣壓式水壓計之測讀係採用氣壓式測讀器。測讀時，高壓氣體經由進氣管送至儀器之量測室並作用於隔膜上，當供氣壓力足夠平衡作用在隔膜上之液壓時，隔膜即產生彎曲變形使進氣管與回氣管形成通路，使多餘之氣體經由回氣管排至測讀器上之回氣偵測器，此平衡壓力即可由測讀器上之壓力錶或數位顯示器測得。

(b)水壓式水壓計

水壓式水壓計之構造及原理與氣壓式水壓計類似，僅氣壓式水壓計量測時採用高壓氣體而水壓式水壓計採用高壓水。

(c)電阻式水壓計

電阻式及振弦式水壓計一般可統稱為電子式水壓計，電阻式水壓計之原理係當感應器內部電阻受到外力而展開或收縮時，藉以偵測其電阻變化量，經轉換計算土層之孔隙水壓力。

(d)振弦式水壓計

振弦式水壓計頭部為一剛性框架，內部以柔性薄膜分隔成感應區及量測區。其中感應區為感應外水壓力之單元，主要由透水性濾石所構成，外部水壓即透過濾石傳遞至薄膜

上；薄膜之另一側為量測區，主要由一連接至薄膜上之鋼弦及磁性線圈所構成，並以電纜線連接至測讀箱。當薄膜受水壓作用產生變形時，將改變鋼弦之張力，因而導致鋼弦振動頻率改變，量測鋼弦振動頻率之變化情形，再依據出廠時率定之振動頻率與壓力之關係，即可推算出外部水壓力之大小。

(e)開口式水壓計

開口式水壓計之構造及原理與水位觀測井相同，係利用探測器以人工於孔口放入管中量測壩體之地下水位，或於管中埋設 1 組至多組電子式水壓計利用電子量測器自動量取地下水位。

(2)水位觀測井

水位觀測井安裝之目的在於監測壩體及邊坡之地下水位變化，以瞭解其滲流情況作為安全評估之參考。水位觀測井之原理為地下水從豎管之進水孔進入豎管內後，其水位受水壓之平衡作用而自由升降穩定時，由豎管內量測之水位即為該處之地下水位。水位觀測井水位之量測之型式可分為機械式及電子式兩種，機械式為開口式觀測井，由不織布濾材（或外覆數層尼龍網）包住切槽型管（或鑽洞型管）以為地下水路徑，由量測管口至自由水面之距高變化計算水位昇降，一般利用簡單附尺式電子感應器或利用導線連接電流計或伏特計來測定井內水之深。而電子式水位觀測井基本上係按裝（埋設）1 組至多組電子式水壓計至不同深度，利用電子量測器讀取地下水位。

(3)土壓計

土壓計又稱為總壓力計，係設計用來量測地盤內部總壓力分佈，或土體與混凝土或其他剛性結構物接觸壓力大小之儀器。一般可將數個總壓力計於水平方向排成一行，以測定地盤內部拱效應之大小，或將數個總壓力計不同角度埋設在同一

處，以測定該處之應力狀態。依壓力量測方法之不同，一般土壓計之型式可概分為氣壓式、油壓式、電阻式及振弦式等數種，其量測原理與水壓計類似，係由受壓面板、管線、接頭所組成，受壓面板一般皆填充比重較大之液體如水銀。茲就台灣地區應用較為廣泛之氣壓式及振弦式土壓計構造及原理說明如后。

(a)氣壓式土壓計

氣壓式土壓計係由兩片圓形之薄鋼板所組成，其圓周以氬電弧焊接，並以鋼管與氣壓式感應器連接。壓力計本體內部以液壓油充填，氣壓式感應器則經由一條採聚乙烯被覆之尼龍二氣導管連接至測讀器。氣壓式感應器採低體積變化設計，由橡皮隔膜及閥門所組成。氣壓式土壓計之操作原理為利用外加氣壓來平衡壓力計內部之液壓。

(b)振弦式土壓計

振弦式土壓計本體係由兩片不同厚度之圓形鋼板以氬電弧焊接而成之承壓鈹，並於圓周設置一道凹槽以減少土壓計本體之慣量，承壓鈹內則以液壓油充填，並以管連接至振弦式感應器，感應器為一剛性框架，與振弦式水壓計相同，內部以柔性薄膜分隔成感應區及量測區，土體壓力即透過充填之液壓油傳遞至薄膜上；薄膜之另一側為量測區，主要由一連接至薄膜上之鋼弦及磁性線圈所構成，並以電纜線連接至測讀箱。當薄膜受壓產生變形時將改變鋼弦之張力，因而導致鋼弦振動頻率改變，量測鋼弦振動頻率之變化情形，再依據出廠時率定之振動頻率與壓力之關係，即可推算出外部壓力之大小。

(4)變位計

變位計係用以量測兩點間相對變位之儀器，可單獨裝設或數組串連裝設以量測地盤內部之應變分佈。依變位量測方法之

不同，變位計一般常使用之型式為電阻式及電位計式兩種，茲將其構造及原理說明如后。

(a)電阻式水平變位計

電阻式水平變位計主要係由一組安裝於填滿油之密封體內電阻式電位計所組成。此電阻式電位計與一支衝程之操作桿(活塞)連結。操作桿(活塞)之位置可藉由測定過之攜帶型數位式測讀器直接量測其位移量。

(b)電位計式水平變位計

電位計式水平變位計之本體主要係由一組線性可變測微變壓器所組成，再藉由鋼製延伸桿組成所需之量測長度，延伸桿外部以 PVC 套管保護，以消除延伸桿與周圍材料間之摩擦力，變位計之兩端則分別固定於錨定鈑上，再藉由錨定鈑嵌入並固定於周圍之土體內。電位計式水平變位計之原理為當感應偵測器內部電位計由於受外力而滑動時，會產生一個電位變位，而此一電位變化經轉換為壩體之水平變位量。

(5)傾斜儀

傾斜儀係設計用以量測埋管傾斜角度之儀器，可用於量測堆填壩壩體或邊坡等之水平變位，以瞭解地體內部或不同性質地層間之相對位移。傾斜儀安裝之目的在於量測壩體內部之側向變位情形，以評估有無潛在滑動面發生。依量測原理之不同，一般傾斜儀之型式可概分為振弦式、擺垂式（電阻式）及伺服加速計等數種，其中振弦式及擺垂式（電阻式）傾斜儀之原理與前述各類振弦式及電阻式監測儀器類似。伺服加速計傾斜儀則由檢測器內部裝有兩組正交之伺服加速計，可同時量兩個垂直向上兩個測點間之傾斜角度或相對變位，檢測器本體由不鏽鋼且防蝕之材料所構成，內設重力偵測感應器固定量測方向，檢測器裝有兩組導輪，導輪固定於張力彈簧上，使導輪於量測

時能緊貼導槽並沿固定方向前進，以確保量測之精度。無論為何種型式之傾斜儀，基本上由雙向固定軌道觀測管、觀測管接頭及保護蓋所組成。觀測管壁內含兩組正交軌道凹槽之鋁管或塑膠管或 ABS 管；觀測管接頭為銜接兩支固定軌道觀測管之用，有固定式接頭及活動式接頭兩種類型，前者僅作銜接之用，後者除具有銜接功能外尚有伸縮功能，可兼測土層壓縮量；保護蓋則用以封閉觀測管底部及蓋位觀測管頂部。

(6)層別沉陷計

層別沉陷計係藉由量測一系列套裝於導管或測傾管之測沉鈹高程變位，以瞭解地盤內部垂直變位量之大小及分佈。層別沉陷計之型式為電磁感應式，其量測原理係利用一支連接在特製測尺上之探測器放入導管（或測傾管內）感應測沉鈹位置，當探測器移動至測沉鈹所在位置時即受磁環磁場感應，此信號將傳回測尺軸內部之簧片開關而發出信號，此時即可由測尺直接量得測沉鈹至管口之距離。利用各測沉鈹至管口之距離可算出相鄰兩片測沉鈹間之相對距離，比較各次之量測結果即可瞭解兩片測沉鈹間土體之相對位移量（或沉陷量），及各測沉鈹相對於最深一片測沉鈹之累積沉陷量。

(7)量水堰

滲流量測係用以量測地盤地下水之滲漏情形。滲漏水經匯集後，藉集水設施輸送至量水堰排除，記錄量水堰之水位高度便可換算該區之滲流量大小。同時於監測時需查看滲漏水色是否有混濁現象。量水堰依其開口可分為矩形堰及 V 型堰兩種，可採人工或自動方式量測，人工量測係利用不銹鋼尺直接測讀量水堰開口上方之水位高度，以堰流公式計算其滲流量，而自動量測則利用安裝於量水堰中之精密型電子式水壓計，依水深自動換算滲流量，惟自動量測時人員必須至量水堰測站查看滲漏水色。

(8)地震儀

地震儀之設置目的在於記錄地震來臨時邊坡受震之反應，以瞭解地震引起邊坡震動之行為，如加速度、速度及振幅，並可透過地震強度之設定驅動自動化量測設備。一般地震儀主要由感應器(受波器)及記錄系統兩個部份所組成，其中感應器係感應地震之大小及變化，而記錄系統則記錄受波器感應之地震動大小及變化。地震儀設計之基本原理為慣性定律，如早期之水平向鐘擺式地震儀即利用鐘擺之慣性作用，直接於滾筒上記錄地震過程。新式之電磁式地震儀除利用慣性定律外，並配合電磁感應原理，利用掛於彈簧及阻尼器上之磁鐵作為慣性擺，配合線圈之設置，當地震作用時，因磁鐵與線圈之相互作用將產生感應電壓，記錄此感應電壓之大小及變化，即可換算地震大小及歷程。

3.不同原理各類型感測器特性以及各類監測儀器之適用性與優缺點

一般而言，上述感測器，可裝設在擋土護坡之結構物上，或埋設於其周圍或其下的地層中，用以觀測該擋土護坡結構或地盤與其周圍環境的相互作用，以及其變化。不同之感測器，將量測得不同物理量，而不同塊體移動型態、規模等，其物理量之變化即有其極大之不同，因此監測感測器之選擇以及位置之布設，絕對需對於感測器原理有深入瞭解方得合宜。不正確之監測系統規劃將降低邊坡崩塌預警與安全管理功能。

表 5.1 不同原理各類型感測器特性比較表

儀器型式 功 能	氣壓式	水壓式	振弦式	電阻式	電位計式
精度(靈敏度)	尚可	尚可	佳	佳	佳
氣候因素 (溫/濕度)	無	冰點以下無法 量測	溫度因素影響 最大	受溫/濕度影響	尚可
傳輸距離	尚可	尚可	佳	長距離可加裝 放大器	長距離可加裝 放大器
反應速率	尚可	尚可	佳	最佳	最佳
自動化	可	可	可	可	可
雷擊影響	無	無	有影響	有影響	有影響
其他說明	氣壓式管線易 因撓曲及濕氣 進入阻塞而故 障，施工過程 管線容易被損 壞，無法量測 負壓力	管線有冰點問 題，且易生青 苔阻塞故障， 故須定期排氣 及去苔作業， 操作費時且無 法量測負壓力	穩定性高適合 自動化，溫度 影響可設參數 消除誤差，惟 對於雷擊保護 尤須注意	反應速率及靈 敏度特佳，惟 對於管線阻值 過大（如接線 優劣、距離長 等）尤須注 意，對於雷擊 防護也應特別 注意	反應速率及精 度佳，惟對於 纜線傳訊距離 如過長，則須 加裝放大器， 另外對於雷擊 及接地問題也 應特別注意

表 5.2 各類監測儀器之優缺點（修改自 USBR, 1987）

種類	量測參數	優點	缺點
豎管式水壓計	孔隙水壓	簡單、可靠、使用歷史長久、不須精細的控制面板、便宜	偶而壓力反應時間慢、豎管必須近乎垂直，容易遭施工機械破壞
密閉液壓系統	孔隙水壓或總壓力	使用歷史長久、壓力反應時間很快、觀測管可水平裝設而延伸至中央監控中心，不易被施工機械破壞	須設置觀測站、有銹蝕的問題、須要定期排氣、有維護問題、使用期間故障率高、排氣飽和程序複雜
氣壓式系統	孔隙水壓或總壓力	觀測站高程和壓力計的高程無關、壓力反應時間很快	防止濕氣進入壓力管、使用歷史短於密閉液壓系統、複雜測讀程序、施工過程壓力管容易被損壞、不易修復
振弦式系統	孔隙水壓或總壓力	容易測讀及維護、壓力反應時間很快、潛在高靈敏度、適合自動測讀及資料擷取、頻率訊號傳輸可以很遠、可以測讀負值孔隙水壓、較不易遭受施工的損壞	對於溫度敏感、有無法穩定歸零的可能、對大氣壓力的變化敏感、容易因閃電而損壞
電阻式應變計系統	孔隙水壓或總壓力	觀測站高程與壓力計高程無關、壓力反應時間很快、潛在高靈敏度、適合自動測讀、可以測讀負值孔隙水壓	有無法穩定歸零的可能、可能對溫度、濕度、電線接續、電纜線長度及接頭的變化等因素敏感，因為這些因素會改變電路的電阻、一般不宜長時間使用
層別沉陷計	地中垂直位移	使用歷史久	可能有腐蝕的問題、裝設費用較貴
振弦式沉陷計	地中垂直位移	容易測讀、沒有垂直豎管干擾施工的問題	每台觀測站高程須已知、使用歷史有限、不宜量測小的位移量
移動式傾斜儀	地中側向位移	可靠而且精準、有相當的使用歷史	觀測人員須接受專業訓練
固定式傾斜儀	地中側向位移	可以裝設在難以接近的地點、可自動測讀、容易測讀	在鑽孔內僅可選擇數點測讀、購置費及裝設費用很昂貴
伸縮儀	二點間位移	非常精確而精準、高靈敏度、量測參考點不可得可採遠距電子測讀法	參考點設定應考慮量測裝置之衝程
傾斜計	地盤或岩盤旋轉量	重量輕、體積小、可為移動式或固定式	平行位移無法量測
沉陷釘	地表面垂直及水平位移	裝設費不貴、裝置簡單可靠、在任何時間皆可裝設	測讀須要大量人力，長期連續觀測費用昂貴、量測設備費用昂貴
結構物量測點	結構體垂直及水平位移	不貴、簡單、可靠	測讀須要大量人力，長期的連續觀測費用很昂貴
裂縫計	裂紋兩側相對位移	有各種不同類型可選擇，皆具簡單、便宜及可靠性質、可遠距測讀	

4.道路邊坡崩塌常用監測設備示意圖與照片

以下利用圖片與照片介紹常用之道路邊坡崩塌監測儀器如圖

5.1 圖 5.32。



圖 5.1 水位觀測井安裝示意圖以及利用水位指示器進行
水位觀測井中水位量測

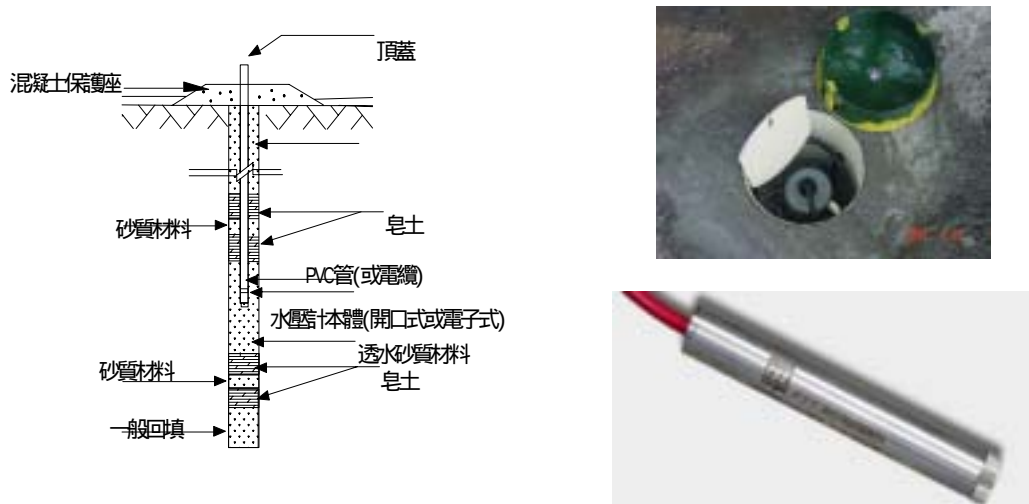


圖 5.2 水壓計安裝示意圖、安裝完成情形以及電子式水壓計

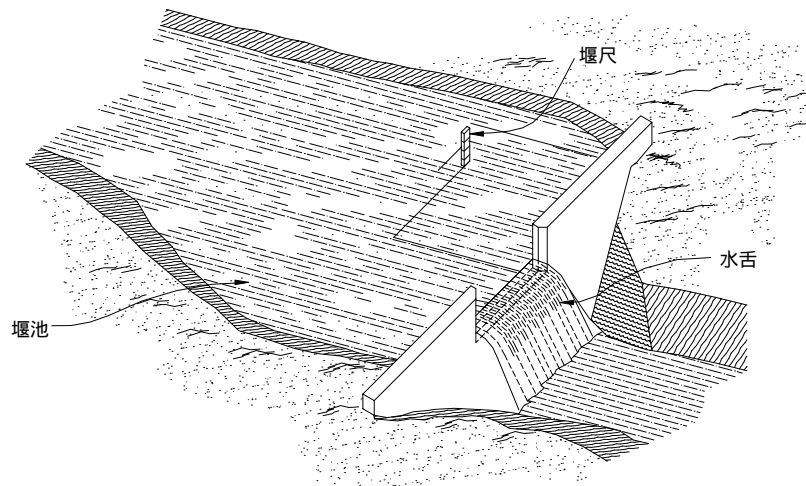


圖 5.3 利用堰尺計讀水深，並由水深與流量間關係計算流量之量水堰示意圖

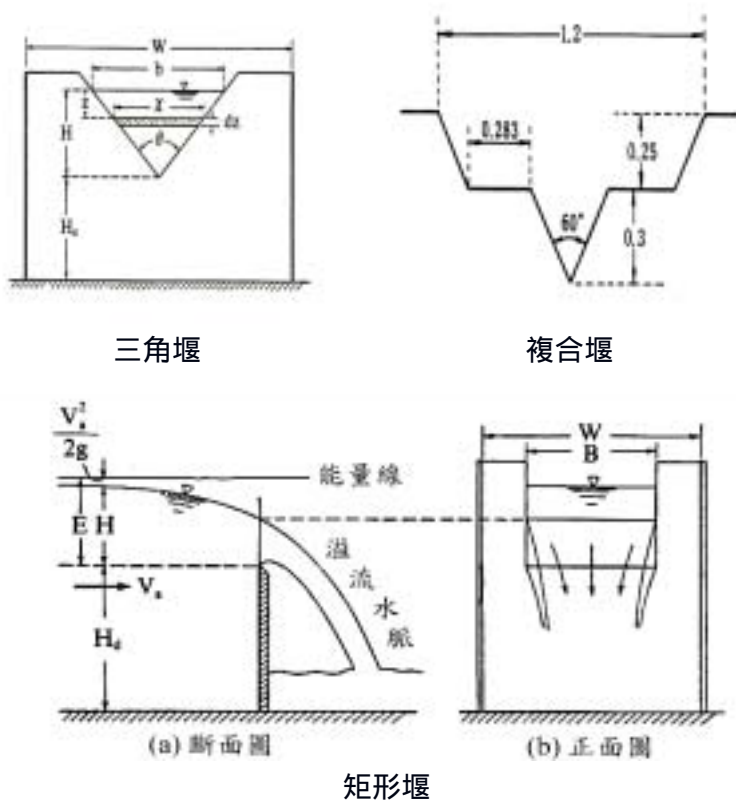


圖 5.4 各種型式量水堰



圖 5.5 90° V 型水堰裝設完成照片



圖 5.6 雨量計（可自動記讀）

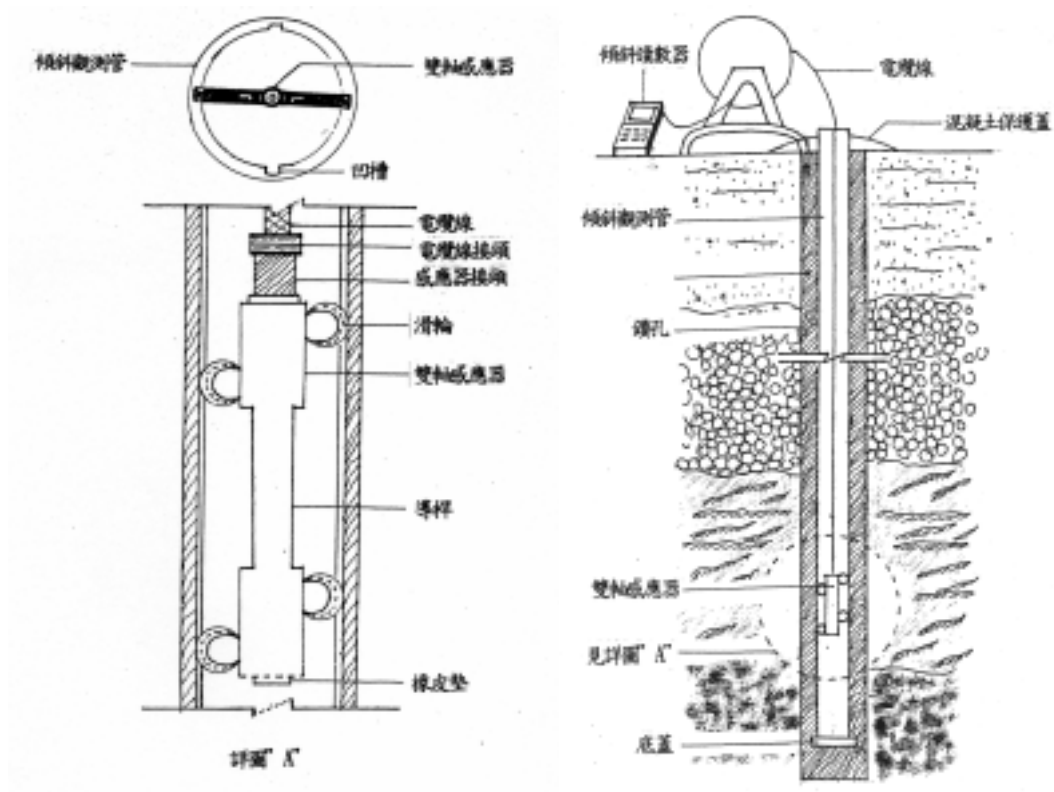


圖 5.7 插入型傾斜觀測管示意圖



圖 5.8 傾斜觀測管安裝完成



圖 5.9 傾斜觀測管、插入型傾斜觀測儀（計讀不同深度之地中傾斜並藉以推算水平位移量）以及資料擷取系統

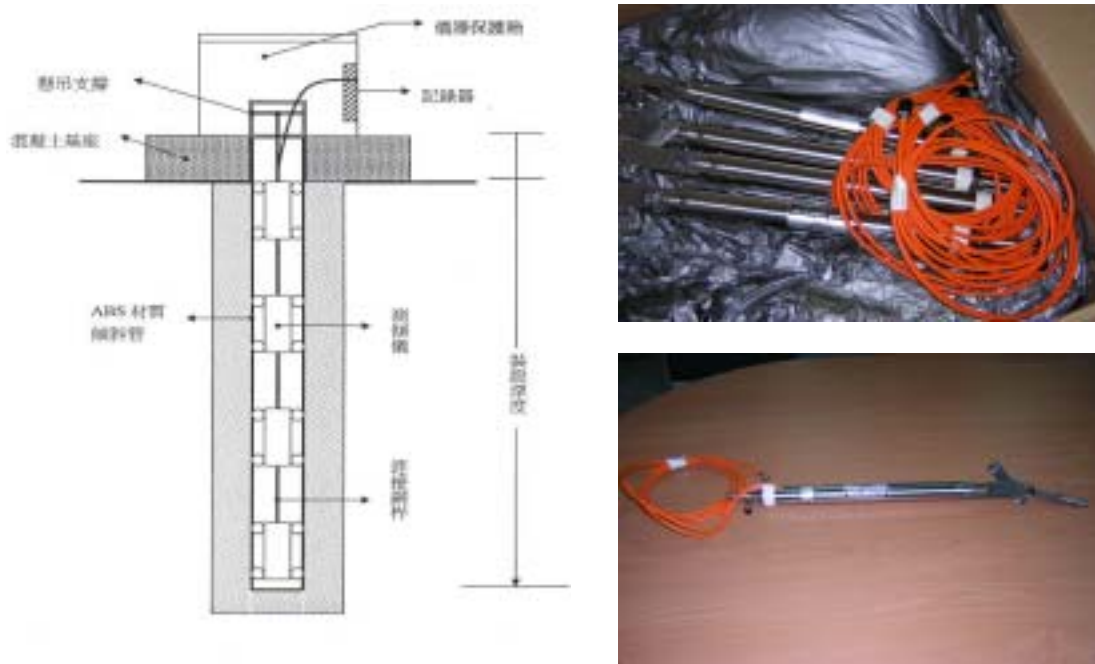


圖 5.10 定置型傾斜觀測管裝設示意圖以及可自動計讀之傾斜量測感測器

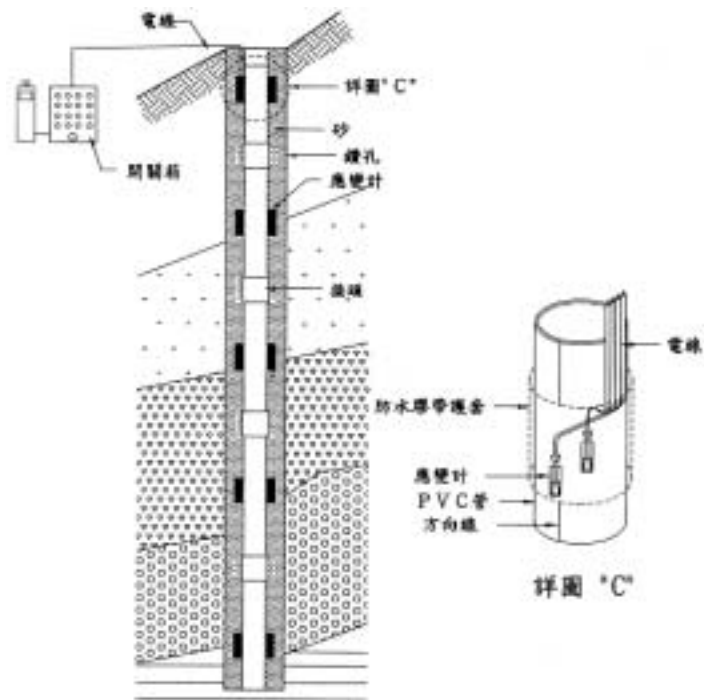


圖 5.11 管式應變計裝設示意圖，地盤位移由應變計自動量測應變後推估而得

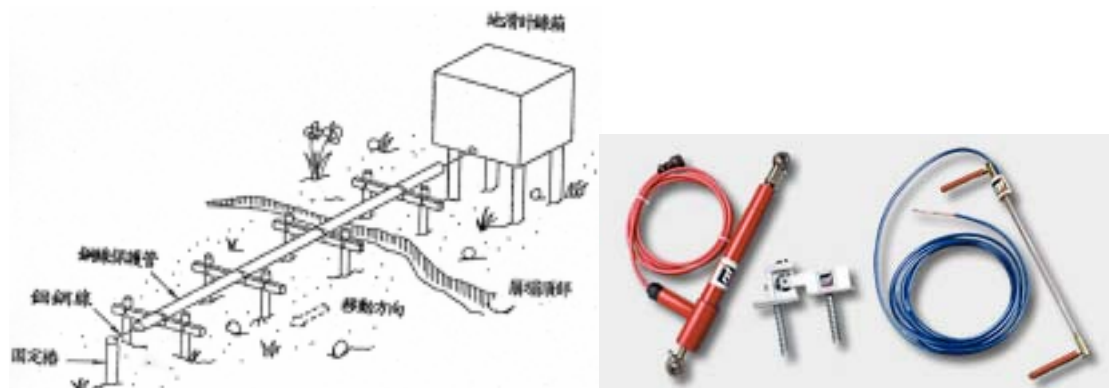


圖 5.12 地滑計（地表伸縮儀）裝設示意圖以及可自動計讀之位移感測器



圖 5.13 地滑計（地表伸縮儀）裝設完成照片

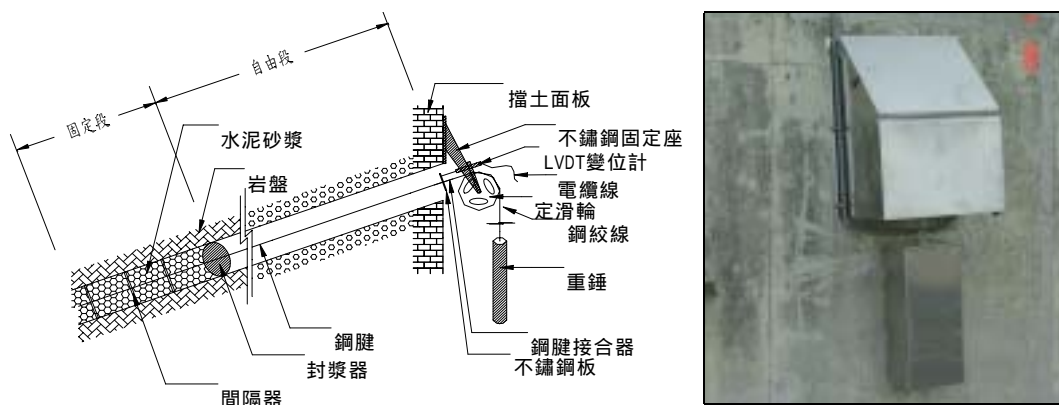


圖 5.14 孔內伸縮儀示意圖以及孔內伸縮計安裝完成情形，地盤變形可利用多種位移量測之感測器自動量測

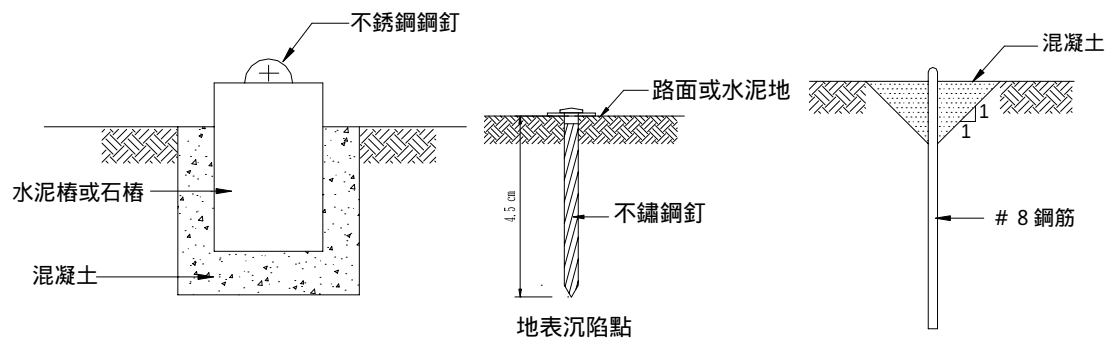


圖 5.15 地表沈陷觀測點裝設示意圖，沉陷量可利用測量儀器如水準儀或經緯儀加以量測



圖 5.16 地表沈陷觀測點完成照片

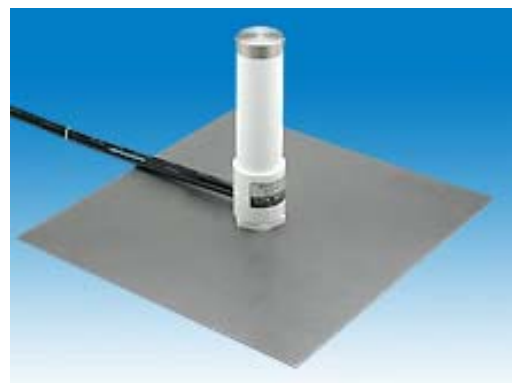
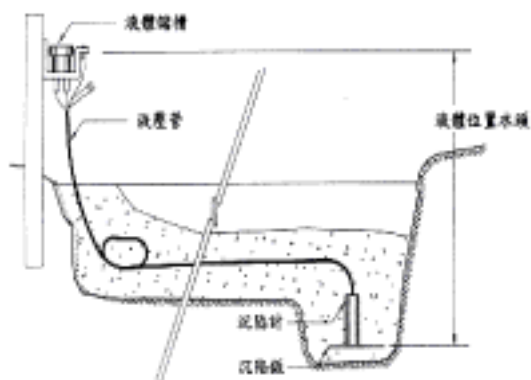


圖 5.17 利用連通管原理之電子沉陷板示意圖（可利用量測水壓之感測器自動記讀）



圖 5.18 磁感式連續沉陷計裝設示意圖以及量測沉陷使用之磁感器

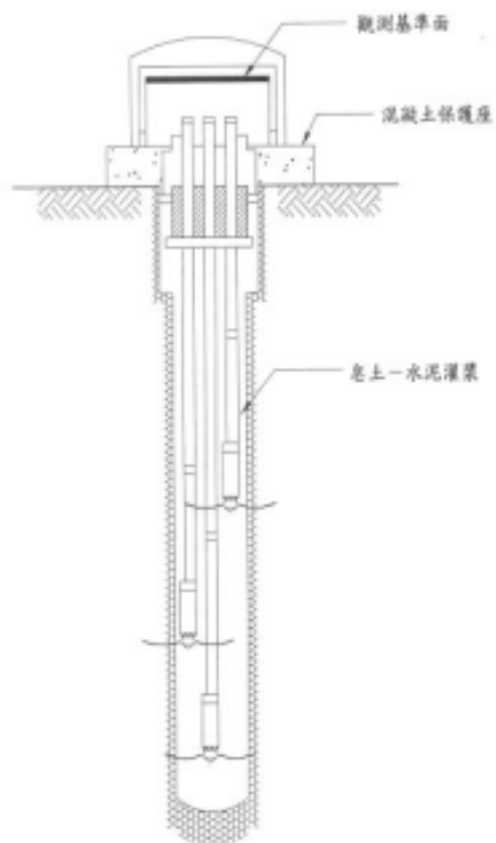


圖 5.19 多點式沉陷計安裝示意圖，沉陷量測可利用多種位移感測器加以量測

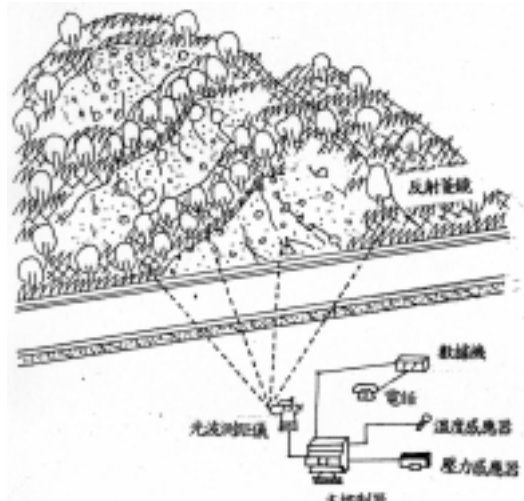


圖 5.20 全測站經緯儀自動監測系統示意圖

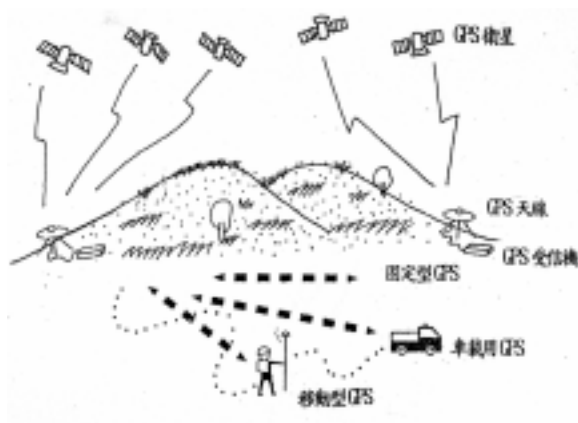


圖 5.21 全球定位系統 GPS 示意圖

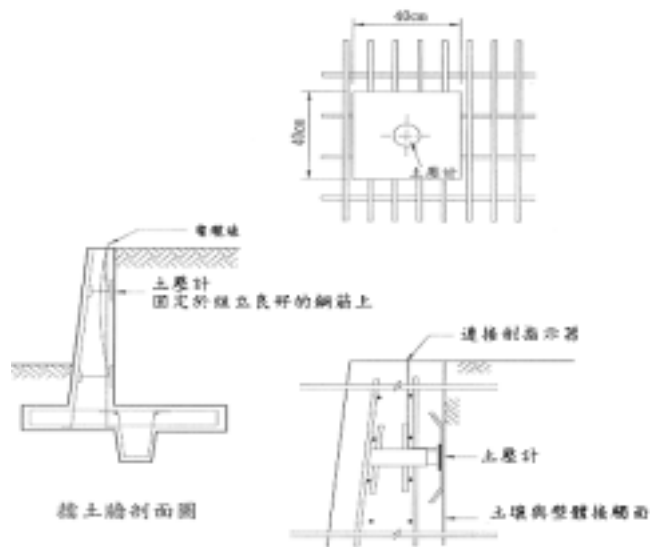


圖 5.22 土壓計示意圖以及壓力感測器

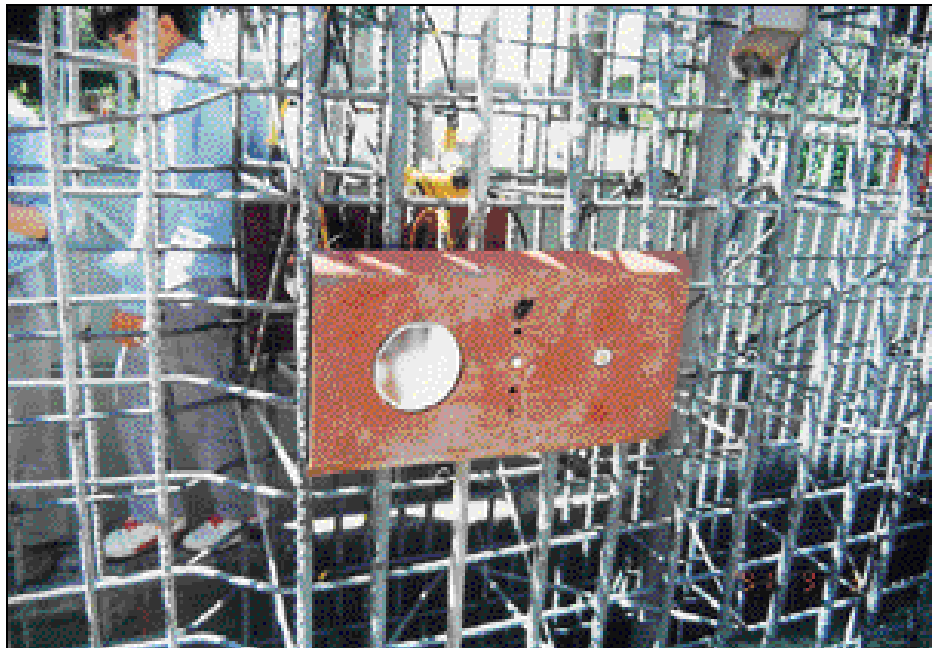


圖 5.23 土壓計於擋土牆背安裝完成之照片

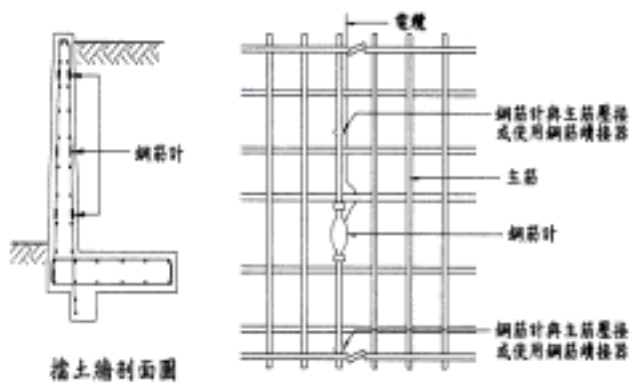


圖 5.24 鋼筋計以及鋼筋計安裝示意圖



圖 5.25 鋼筋計安裝完成照片

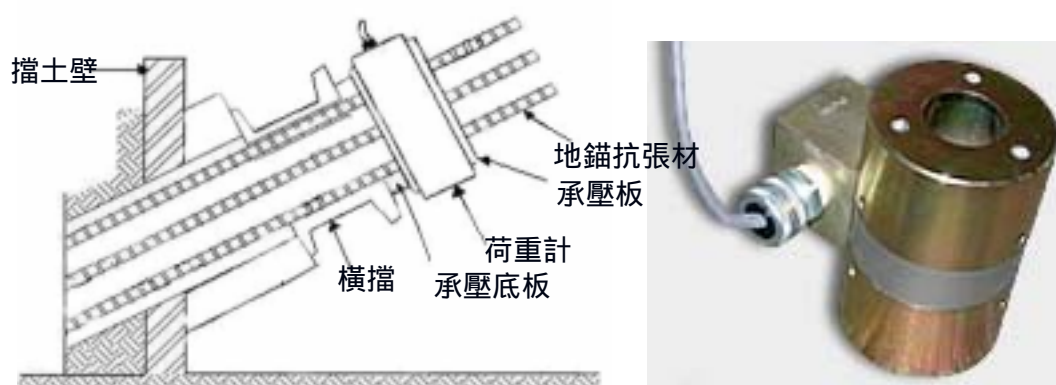


圖 5.26 地錨荷重計示意圖以及荷重感應器



圖 5.27 地錨荷重計安裝完成照片

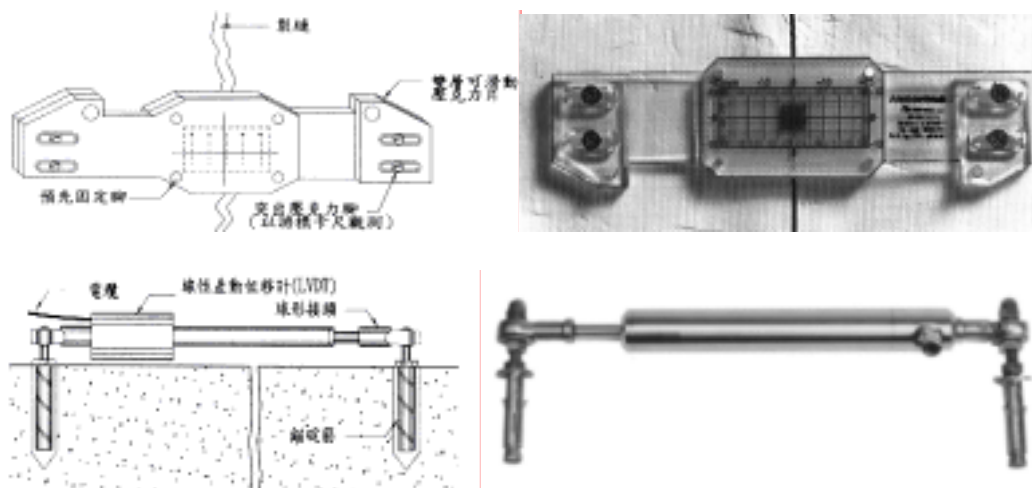


圖 5.28 人工計讀與自動計讀之裂縫計示意圖

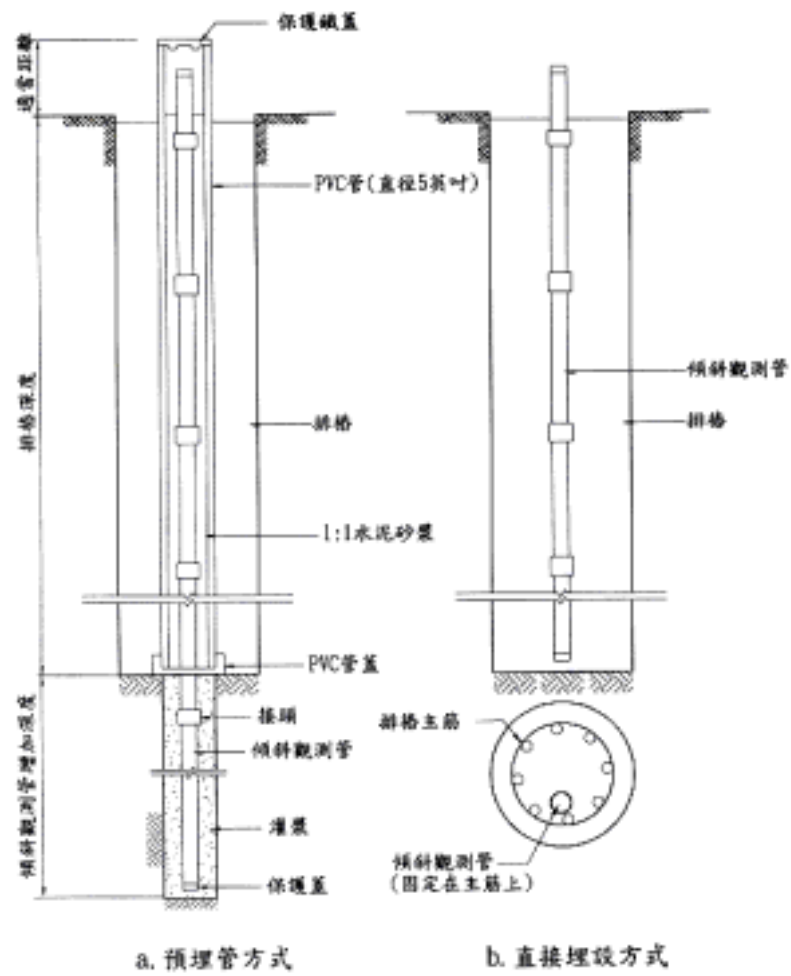


圖 5.29 排樁內傾斜觀測管安裝示意圖

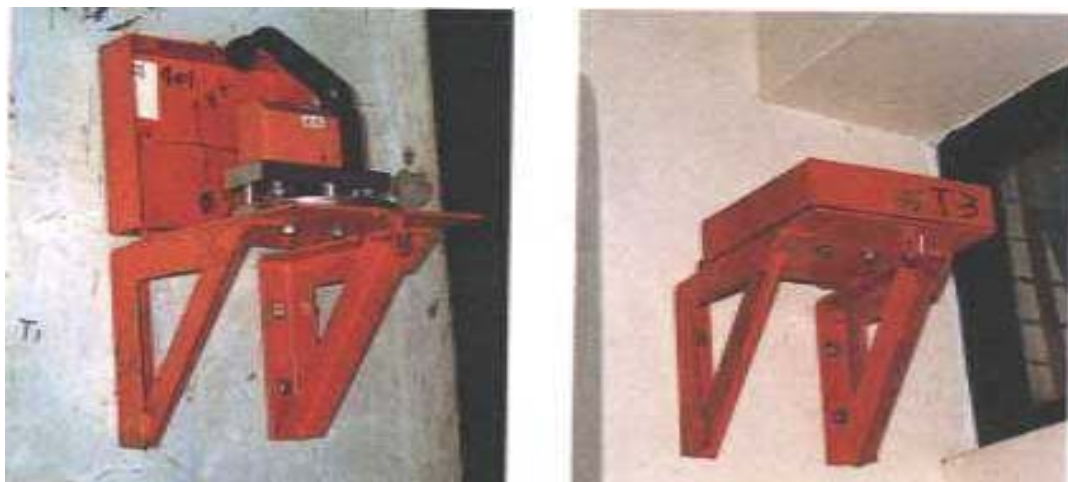


圖 5.30 結構物傾度盤安裝照片

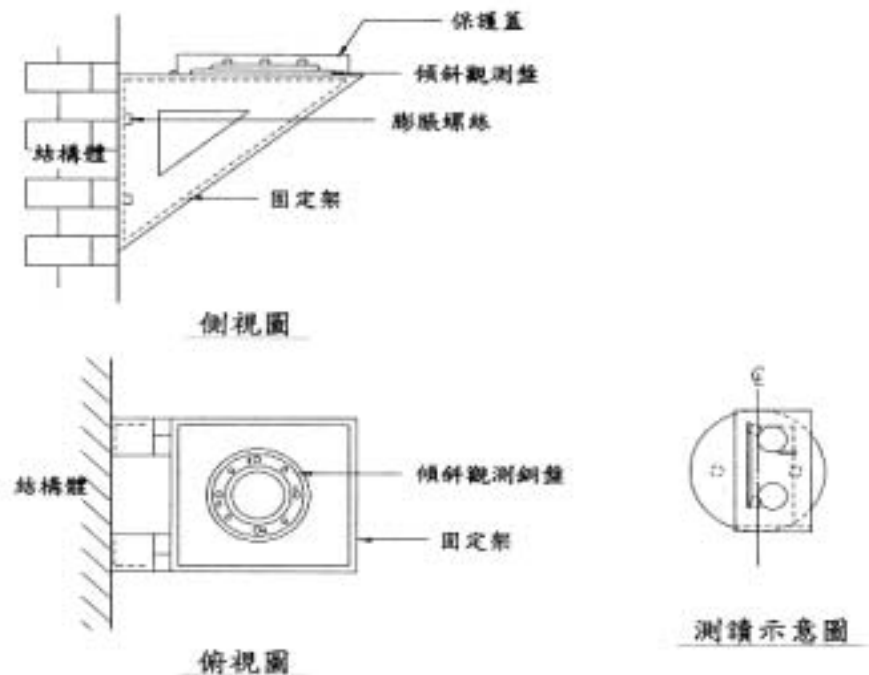


圖 5.31 結構物傾度盤安裝示意圖，利用測傾儀(量測旋轉之感測器)可量測得傾度盤之相對傾斜量，藉以推測擋土結構物相對傾斜量

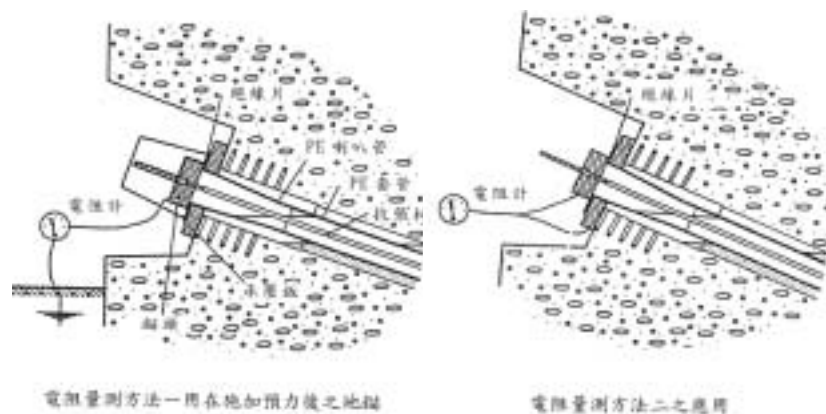


圖 5.32 錨長期耐蝕性之監測，為達成地錨長期功能之確保，除以地錨荷重計觀測其預力變化情形外，目前亦已發展出以電阻式檢測法檢測地錨之耐蝕性。

5.1.2 監測規劃與預警

監測規劃涵蓋不同專業領域之整合，專業人士之意見實屬重要，

工程人員必須依照其規劃之特性與內容，諮詢專業顧問機構或學術機關之建議，以發揮預期之成效。監測系統規劃程序包括先期規劃與監測規劃：經由專業顧問機構或學術機關針對特定路段實施整體性之調查與評估，提出監測先期規劃報告，工程人員可參考其建議，進行後續之監測規劃。工程人員可依照其對象與特性，參考下列要項之部分或全部程序進行規劃，然而對於委外事項，仍須具備相關程序之基本概念。監測規劃之流程詳見圖 5.33。

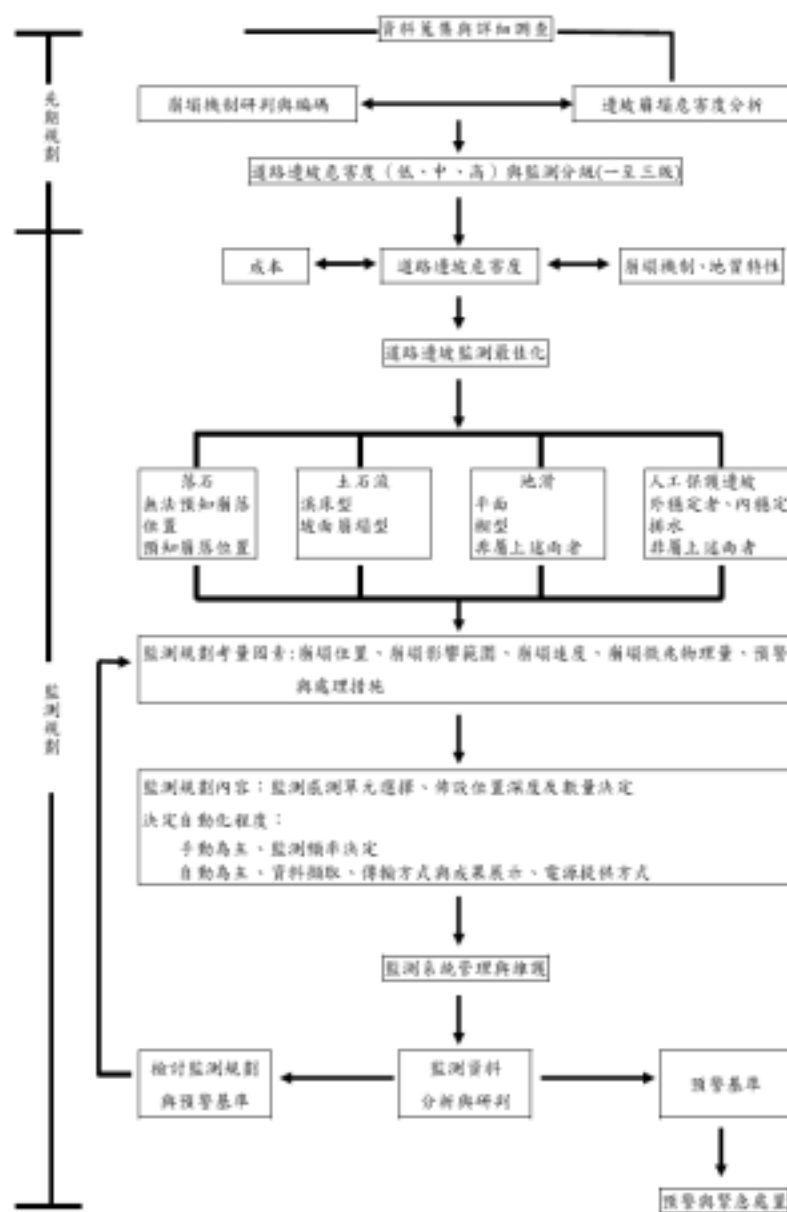


圖 5.33 監測規劃流程圖

不同崩塌機制監測物理量即有所不同，道路邊坡崩塌以及整治工法編碼如表 5.3 以及表 5.4。根據主要監測物理量之不同，道路邊坡監測物理量規劃分類如表 5.5 所示，並彙整說明如後。

表 5.3 崩塌模式編碼原則表

地盤主要材料	編碼	崩塌破壞模式	編碼	崩塌破壞型式	編碼
岩石邊坡	R	墜落	FA	岩石墜落	10
				岩屑墜落	20
		傾倒	TO	撓曲傾倒	10
				塊體傾倒	20
				塊體撓曲傾倒	30
				岩屑傾覆	40
		滑動	SL	岩石旋轉滑動	10
				平面滑動	20
				楔型滑動	30
				岩屑滑動	40
				岩屑推移滑動	50
		側移	SP	塊狀側移	10
				片狀側移	20
				岩屑側移	30
		流動	FL	岩石流動	10
				土石流（岩屑流）	20
		複合	*	複合兩種或以上之運動方式	
土壤邊坡	S	墜落	FA	土壤墜落	10
		傾倒	TO	土壤傾覆	10
		滑動	SL	土壤旋轉滑動（圓弧）	10
				土壤旋轉滑動（淺層）	11
				土壤旋轉滑動（不規則）	12
				土壤推移滑動	20
		潛移	CR	塊狀潛移	10
				層狀潛移	20
		側移	SP	土壤側移	10
		流動	FL	土石流（泥流）	10
		複合	*	複合兩種或以上之運動方式	

註：複合模式引用雙碼並列表示

表 5.4 防治工法編碼原則表

穩定機制 (編碼)	整治工法	編碼	穩定機制 (編碼)	整治工法	編碼
外穩定 (E)	噴凝土護坡	010	排水 (D)	地表排水工	010
	被覆護坡	020		坡頂排水工	011
	型框護坡	030		坡面截水工	012
	砌石擋土牆	040		坡面縱向排水工	013
	重力式擋土牆	050		坡面橫向排水工	014
	懸臂式擋土牆	060		地下排水工	020
	蛇籠擋土牆	070		暗渠	021
	格床式擋土牆	080		水平排水工法	022
	回填土工法	090		揚水工法	023
內穩定 (I)	加勁擋土牆	010		土質透水性改良	024
	加勁擋土牆(金屬材)	011		地下止水壁	025
	加勁擋土牆(合成材)	012		集水井	026
	地錨	020		其他	030
	土釘工法	030		擋土壁洩水孔	031
	止滑樁	040		內部排水工	032
	微型樁	050	避險 (A)	攔石柵(網)	010
	灌漿工法	060		攔石阻體	020
	化學穩定工法	070		明隧道	030
	離子交換工法	071		橋工	040
	水泥安定處理工法	072		改道	050
	石灰安定處理工法	073			
	燒結工法	074			
植生 (V)	噴植草籽	010			
	草帶植生	020			
	客土袋植生	030			
	掛網植生	040			
	袋苗穴植生	050			
	打樁編柵	060			
	固定框	070			

**表 5.5 道路邊坡監測分類以及崩塌徵兆物理量、感測器選擇與
預警方法建議**

項次	崩塌模式	編碼分類	材料破壞機制	監測徵兆物理量	感測器選擇	主要預警方法
I	落石	RFA RTO SFA STO	張力破壞為主，剪力破壞為次	岩塊墜落(位移、旋轉)、張力裂縫產生之聲射、降雨特性	<u>位置確定危險浮石</u> ：傾斜計、伸張計、裂縫計、聲射感知器、位移影像放大盒、鋼索感知器、全測站經緯儀、攝影儀 <u>位置不明確之落石</u> ：雨量計、攝影儀	位移與聲射變化率預警、臨界雨量線預警模式、事發後預警
II	土石流	RFL SFL	流動至摩擦類型之剪力破壞為主	土石流運動(位移、流速)、土石堆積物孔隙水壓、運動時之聲射、降雨特性	<u>事發前</u> ：雨量計、水壓計、聲射感知器 <u>事發後</u> ：光遮斷感知器、鋼索感知器、旋轉感知器、加速度感知器、磁簧感知器 <u>觀測</u> ：流速計、水位計、攝影儀	臨界雨量線預警模式、事發後預警
III	地滑	RSL RSP SSL SCR SSP	摩擦類型之剪力破壞為主，張力破壞為次	地滑運動(地表與地下位移與旋轉)、地下水位或水壓、降雨特性	<u>地表位移</u> ：裂縫計(可用LVDT)、地滑計、地表傾斜計(僅適用於旋滑)、全測站經緯儀與反射菱鏡、3-D 紅外線掃描儀、DGPS、攝影儀 <u>地下位移</u> ：伸張計、傾斜觀測管、管式應變計 <u>地下水及雨量</u> ：水壓計、觀測井與雨量計	位移速率、降雨特性與地下水相互搭配解釋之綜合性預警模式、根據監測資料配合潛變模式進行即時崩塌時間預測與即時預警、事發後預警
IV	人工保護邊坡	E I 010 ~I 050	視構造物受力變形條件而定	構造物之位移與應力	位移計、應變計、荷重計	工程設計條件
		D	-	地下水位或水壓	水壓計與觀測井	工程設計條件
		I 060 ~I 074, V,A	-	與自然邊坡考慮相同	與自然邊坡考慮相同	與自然邊坡考慮相同

監測之規劃與預警應考慮邊坡之危害度，建議根據邊坡危害度之低、中、高，將監測規劃劃分為三個等級：

1.第一等級規劃（低危害度邊坡）

此一等級監測以巡查為主，觀察邊坡之變化，必要時，可設置簡易之監測設施，並加強注意其各項徵兆，環境因素徵兆物理量常為此一階段監測之預警基準。

2.第二等級規劃（中危害度邊坡）

此一等級監測以設置手動或半自動監測系統為主，必要時方設置全自動化監測系統。

3.第三等級規劃（高危害度邊坡）

此一等級監測以自動化監測系統為主，預警基準之發布通常需要更有把握，因此，反應時間通常較短，故自動化監測、傳輸與監測資料即時分析與即時預警之先期規劃相當重要。

若監測結果發現徵兆往有利方向發展且對於道路危害程度較預期為低時，應考慮降低監測等級，反之，則應提昇監測等級。

1.落石之監測規劃與預警（圖 5.34）

(1)無法預知崩落位置之落石邊坡

落石邊坡崩塌速度一般較快，且大多數發生時間與地點具有較高之不可預測性，應以廣域路段為目標，透過降雨特性作為徵兆物理量以及預警之基準。此類落石邊坡三個等級監測之規劃建議如下：

(a)監測第一等級

以定期巡視為主，除非有明顯之崩塌徵兆，不特別針對此類邊坡進行預警。

(b) 監測第二等級

- 應於各該路段設置固定式落石警告標誌。
- 監測物理量以最近或最具代表性之雨量站降雨特性為主。
- 建議以臨界降雨線做為預警基準，預警之對象以廣域路段為主，且以長期、非即時預報為主。然因各道路地形地質水文條件各有不同，因此做為預警參考之臨界雨量線，應事前根據各路段之崩塌以及降雨特性間相關性，進行統計分析後訂定之。

(c) 監測第三等級

- 應於各該路段設置固定式落石警告標誌，並另行於適當位置設置自動化警告系統。
- 監測物理量建議以降雨特性以及監控崩塌是否已發生為主。(1)關於降雨特性監測部分，若現有雨量站之雨量資料不足以反應該路段之降雨特性時，建議考慮設置自動化雨量計，並以臨界降雨線做為預警基準，預警將以固定路段為對象。(2)關於崩塌是否已發生之監測部分，建議設置鋼索感知器或其他類似原理之自動化感測單元，以偵測某一可能危及行車安全之坍方量，並適時警告通行車輛停止。
- 監測第三等級之落石邊坡，預警可包括三階段：(1)根據雨量預測進行長期預報。(2)根據自動化雨量監測結果，進行短期預報，並即時啟動該路段之自動警告系統之預警功能，警告來往車輛。(3)根據事發結果，即時啟動該路段之自動警告系統之遮斷功能，並禁止車輛通行。然而，考量台灣山區降雨具有明顯地形效應之關係，對於第三階段之預警臨界雨量線，建議先以既有雨量站資料分析結果訂定之臨界降雨線為預警基準，於該路段設置自動化雨量

站後，應根據該路段崩塌情況以及自動化雨量計監測成果，進行該路段之統計分析，並逐步修正該路段做為預警基準值之臨界降雨線。

(2)預知崩落位置之落石邊坡

針對巨大孤石，應考量是否可以直接移除，若無法移除但為了避免因為墜落而造成災損，可以運用定點監測與崩落預測之技術。伸張儀、裂縫計、測傾儀、聲射感知器、CCD 影像擷取等，對於偵測孤石之墜落應屬有效。孤石之監測可由低至高不同之危害度，分為經常性檢視、以影像分析為主以及完整佈設位移監測設施。

此類邊坡之預警，可分為三階段：(1)路段設置固定警告標誌。(2)根據位移與聲射資料，進行即時分析與短期預報，並即時啟動該路段之自動警告系統之預警功能，警告來往車輛，或禁止車輛通行。(3)根據事發結果，即時啟動該路段之自動警告系統之遮斷功能，並禁止車輛通行。

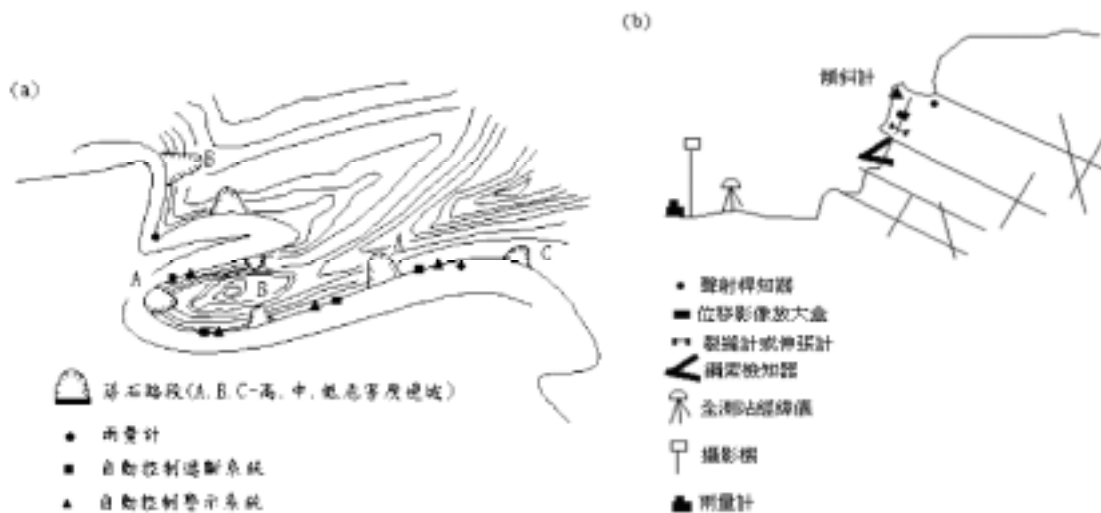


圖 5.34 落石邊坡崩塌監測規劃示意圖

2.土石流之監測規劃與預警（圖 5.35）

(1)溪床型土石流

土石流監測可分為長、中、短期之監測與預警。不同潛勢之土石流危險溪流之監測與預警，應有不同之考量。

(a)監測第一等級（低潛勢土石流危險溪流）

以加強巡視為主，巡視重點為危險溪流集水區上游堆積區土砂材料堆積情況。除非有明顯之徵兆或跡象，不特別針對此類道路路段進行預警。

(b)監測第二等級（中潛勢土石流危險溪流）

- 應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，必要時可於臨道路側設置簡易雨量監測設備或其他簡易偵測土石流流動之設施。
- 以最近或最具代表性之雨量站降雨特性為預警基準，預警以長期、非即時預報為主。
- 長期監測與預警多以降雨特性代表土石流發生誘因作為預警方法，定值式與機率式之預警模式均已於特定路段（如新中橫公路，范正成，2002）完成建立，未制定之路段皆可仿照相同方式進行監測規劃與預警。
- 因各道路地形地質水文條件各有不同，因此做為預警參考之臨界雨量線，應事前根據各路段之崩塌以及降雨特性間相關性，進行統計分析後訂定之。

(c)監測第三等級（高潛勢土石流危險溪流）

- 應全面設置土石流監測與監視系統，並視需要規劃自動化監測與監視系統。
- 高潛勢土石流危險溪流之監測與預警，應含括長、中、短

期三大類。

- 長期監測與預警：(a).以降雨特性代表土石流發生誘因作為預警，預警方法如「監測第二等級」所述。(b).應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，並於適當位置設置自動化警告系統。(c).若現有雨量站之雨量資料不足以反應該路段之降雨特性時，建議考慮設置自動化雨量計。(d).長期預報初期將以根據雨量站雨量資料分析所得臨界雨量線為預警基準，然而隨著自計式雨量站監測資料之累積，應逐步修正預警基準值。
- 中期監測與預警：(a).因溪床型土石流發生之條件與堆積區土石材料流動化逐漸發展較為相關，故以土石流發生流動前之徵兆做為主要對象，如堆積區之孔隙水壓激增或聲射特徵均可成為徵兆物理量。(b).可於堆積區設置水壓計或於其附近設置聲射感知器，另外可偵測堆積區土砂材料移動徵兆之感測器均可選用。(c).應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，並於適當位置設置自動化警告系統。
- 短期監測與預警：(a).以土石流發生之實際物理現象作為監測對象。如鋼索檢知器、光遮斷感知器、立桿式旋轉感知器、加速度感知器以及磁簧式感知器均可佈設於適當位置以偵測土石流之移動。(b).應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，且於適當位置設置自動化警告系統，並於適當時機啟動該路段之遮斷功能，禁止車輛通行。

(2)坡面崩塌型土石流

對於崩塌型土石流而言，因為：(1)觸發機制與溪床型土石流極為不同，因此利用降雨特性以及臨界雨量線做為監測對象

與預警基準有其適用性上之困難。(2)觸發地點難以掌握，故以土石流發生流動前之徵兆做為監測對象之中期監測亦有困難。因此，對於坡面崩塌型土石流，監測與預警均以短期土石流發生之實際物理現象作為監測對象。由於坡面崩塌型土石流觸發地點難以掌握，類似無法預知崩落位置之落石邊坡，其監測規劃亦可參考前述「無法預知崩落位置之落石邊坡」之規劃建議。不同監測等級之監測規劃建議如下：

(a)監測第一等級（低潛勢土石流危險溪流）

以加強巡視為主，巡視重點為土石流危險溪流集水區之坡面是否有崩塌跡象。除非有明顯之徵兆或跡象，不特別針對此類道路路段進行預警。

(b)監測第二等級（中潛勢土石流危險溪流）

- 仍可納入以降雨特性作為長期監測與預警之重要參考，惟制定預警基準時，應特別注意不可使用溪床型土石流為資料基礎，以求得臨界降雨線。
- 簡易且易於維護之土石流發生感知器可考慮酌予佈設於溪床附近，以彌補坡面崩塌型土石流對於以雨量特性做為預警相關知識之不足。
- 應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，預警以長期配合短期偵測土石移動之預報為主。

(c)監測第三等級（高潛勢土石流危險溪流）

- 應全面設置土石流監測與監視系統，並視需要規劃自動化監測與監視系統。
- 以短期偵測土石流之移動做為監測規劃與預警之重要基礎，此一部份之說明參閱溪床型土石流之短期監測部分。

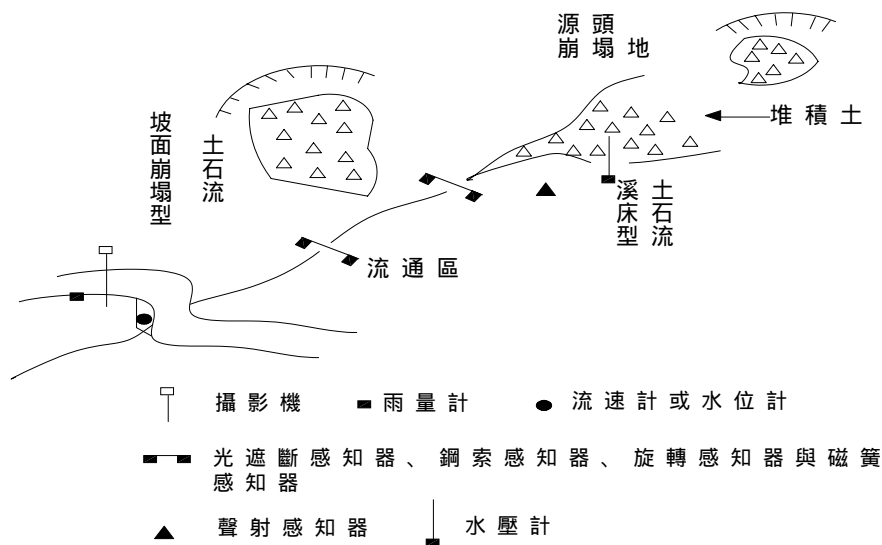


圖 5.35 土石流監測規劃示意圖

3.地滑之監測規劃與預警 (圖 5.36)

(1)平面型或楔型岩層滑動

其中 RSL20 以及 RSL30 屬平面型運動之順向岩層邊坡崩塌以及楔型破壞，相較於其他旋滑型之地層滑動，速度明顯較快。此類邊坡破壞主要控制條件為地質構造，尤其是不連續面，因此不連續面之詳細調查最為重要。

(a)監測第一等級

- 以持續觀察並檢視地表徵兆為主。
- 巡視重點為邊坡坡趾之地質作用營力（如河岸或向源侵蝕）或人為開發，是否有逐漸造成弱面或弱面交線「見光」（daylight）之情況。
- 此類道路邊坡原則上不進行預警，然若有明顯之徵兆或跡象時，應立即提昇監測等級。

(b)監測第二等級

- 以半自動化搭配自動化監測設備為主。

- 監測目標與預警若欲依據位移作為徵兆物理量，應選擇自動化監測設備。
- 若監測目標擬利用崩塌誘因（如雨量）作為搭配之預警基準，將可有效增加預警反應時間。
- 監測過程中若發現邊坡活動性不高，應考慮逐漸降低監測需求，若發現活動性偏高，則應考慮提昇監測等級，甚至應考慮進行邊坡整治。

(c)監測第三等級之地滑邊坡

- 以自動化監測設備為主。
- 監測可依據位移或利用崩塌誘因（如雨量）作為搭配之預警基準徵兆物理量。
- 監測過程中若發現活動性偏高，則應考慮進行邊坡整治，此類邊坡縱使經過整治，仍建議繼續監測。

(2)非屬上述型態之地層滑動

RSL,RSP,SSL,SCR,SSP 中編碼不屬於 RSL20 以及 RSL30 者，均為此類型之地層滑動，其中尤以崩積層與填土構成之邊坡，為本類典型之破壞運動型態。因其多屬旋滑型，一般移動速度較為緩慢。因徵兆明顯，此類地滑之監測多屬定點監測，監測物理量應以地表位移、地下位移與地下水位、水壓監測為主，雨量監測為輔。此類邊坡，尤其是崩積層與填土邊坡，不同材料介面深度為調查重點。

(a)監測第一等級

- 以加強巡視為主要方法。
- 因此類邊坡之滑動，常伴隨明顯之地表現象，需特別注意之地表現象包括：滑動體頭部出現裂隙或下陷、電桿、圍

牆等發生變形、邊坡出現湧水、擋土構造物產生裂縫、邊坡上緣之張力裂隙互相連通，且裂隙寬度與錯動不斷增大、滑動體趾部出現隆起、放射狀壓力裂隙等，以及趾部突然出現湧泉，或是已有之泉水變濁或乾涸等、擋土構造物牆面裂縫穩定發展等。

(b) 監測第二等級

- 一旦地表有滑動之徵兆，應儘量利用各類調查方法決定地滑範圍與深度。
- 監測可以地表位移或旋轉監測為主，若有必要可搭配少數之地下位移監測。
- 地下水條件嚴重影響此類地滑之發生，手動紀錄之水位觀測井或立管式水壓計，為適當之監測設備選擇。
- 預警應以位移為主。

(c) 監測第三等級

- 應完整包括地表與地下位移監測、地下水位與水壓監測以及雨量監測。
- 地表位移監測可利用伸張計、地滑計、地表傾斜計、全站站經緯儀等進行自動化監測。
- 地下位移則可利用應變管或傾斜觀測管配合自記式傾斜計（IPI）進行自動化監測，惟應變管應注意其耐久性與穩定性。
- 地下水位或水壓則可利用電子或機械式水壓計進行自動化監測，惟應注意電子式水壓計之耐久性。
- 雨量計則應以自計式為主。
- 此類邊坡崩塌與地下水位或水壓相關性甚高，因此建立地

下水位或水壓與安全之相關性作為監測目標與預警亦為有效。

- 若能長期監測建立位移監測資料,利用以日本為主之位移速度預警經驗值作為預警基準具有可行性。根據潛變模式進行破壞時間預測,對於重要路段之預警亦屬可行(惟需依賴自動化監測資料方屬可行)。
- 對於不確定崩塌位置之大規模崩積層,廣域路段利用降雨特性預警較為可行,適當之模式選擇應以誘發崩積層位移之間接物理量為主,如降雨特性,臨界降雨線之模式經實例驗證具可行性,唯適量之位移監測(地表或地下位移)與地下水位或水壓監測對於現象之詮釋仍屬必要。

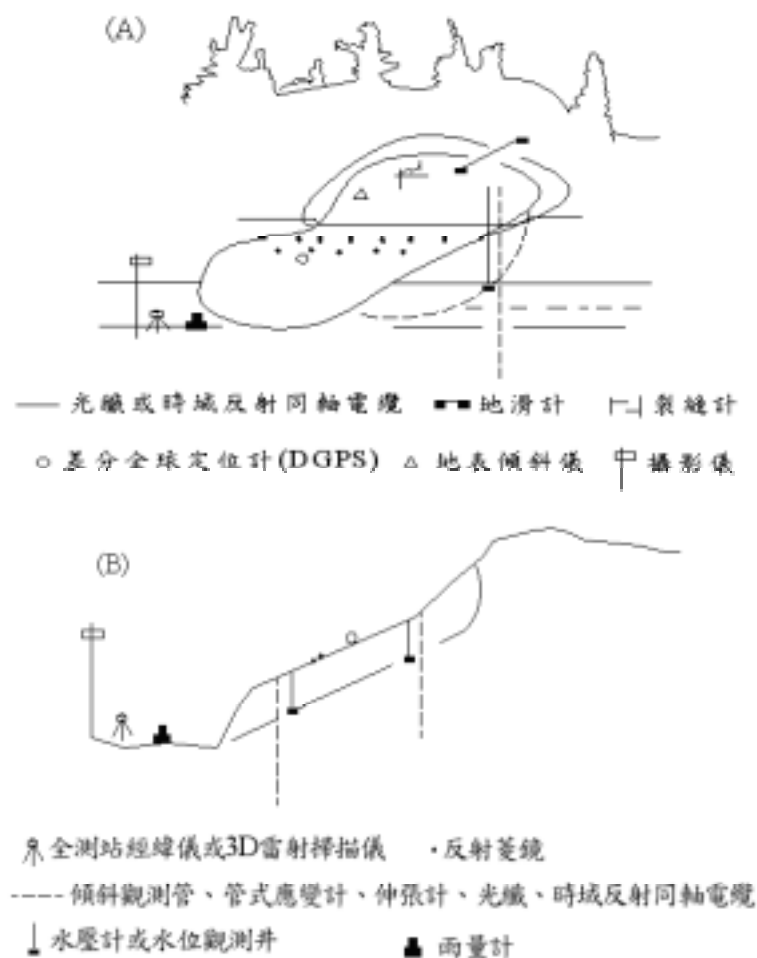


圖 5.36 地滑邊坡監測規劃示意圖

4.人工保護邊坡監測與預警

(1)外穩定者 (E), 或屬於內穩定者以構造物進行保護者 (I 010 I 050)

- (a) 邊坡監測預警應以工程設計條件為主，並綜合構造物之位移與應力作為預警之徵兆物理量。
- (b) 屬坡面保護措施者，以其坡面保護功能性（防沖蝕或降低入滲量）檢測為主，尤其是目視檢視更形重要。
- (c) 剛性擋土措施者，如重力式或懸臂式擋土牆，則可考慮邊坡之重要性規劃設置傾度盤，並定時以傾斜計量測或自動紀錄構造物傾斜量。
- (d) 屬半剛性或柔性擋土牆、或構造物深埋地下者（如擋土排樁與土釘），地盤位移速率（或地盤與地下構造物複合體）仍為主要監測對象，並作為主要預警基準。
- (e) 內穩定之保護措施中，地錨為相當特殊之結構原件，其監測重點為地錨之預力損失情況，故地錨荷重計為必要之監測設施，而預警則應以地錨設計條件為主。
- (f) 因人工構造物可能造成邊坡崩塌之發生加速、加劇，因此地盤位移速度或旋轉之預警標準應適度考慮此一效應。
- (g) 設計條件中凡包括假設地下水位或水壓者，亦可考慮監測地下水位，做為預警之輔助徵兆物理量。

(2)屬排水者 (D)

地下水位監測為重要監測方法，且監測結果除做為預警目的外，並應列為排水成效評估之重要依據。

(3)其他編碼屬 I 060 I 074,V,A 者

監測仍應以邊坡崩塌分類為重要考量。

5.道路邊坡監測預警管理值制定

因不同道路、不同路段、不同位置與不同影響程度，均將影響道路管理單位對於該邊坡崩塌風險之忍受程度，加上不同邊坡對於風險承受能力不同，因此監測管理值訂定之保守程度即應有所不同。道路邊坡崩塌監測管理值制定程序之建議如圖 5.37 所示。

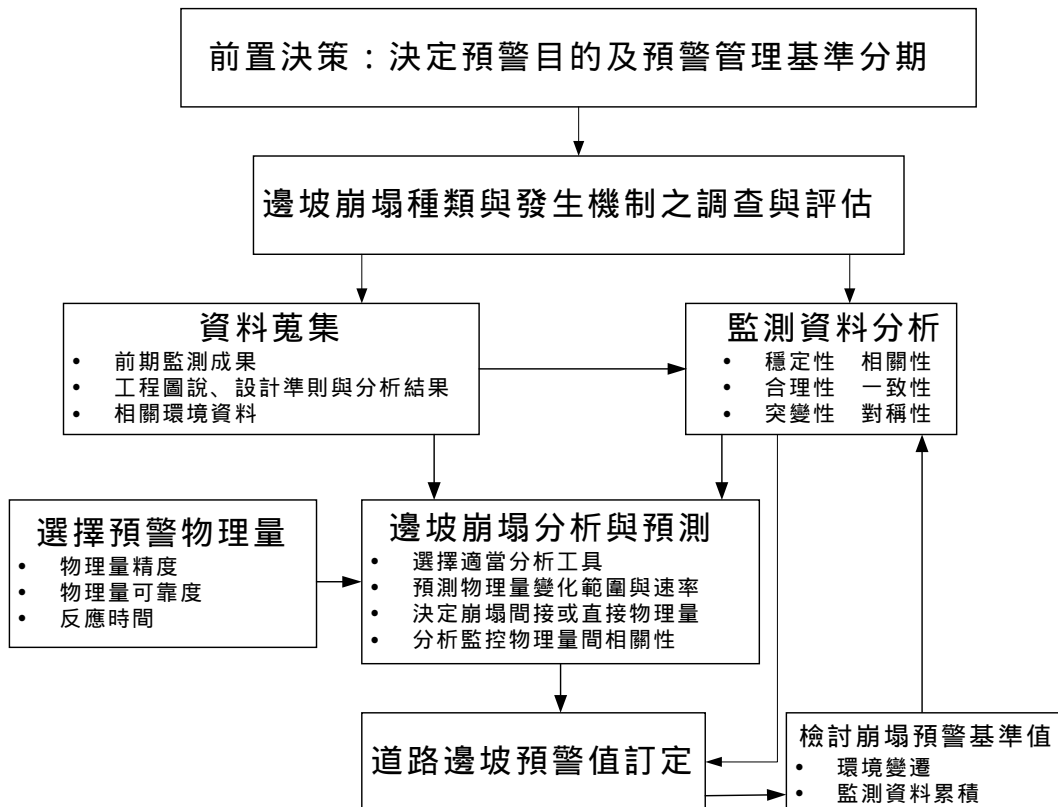


圖 5.37 道路邊坡崩塌監測管理值制定建議程序

根據圖 5.37，欲進行道路邊坡崩塌監測管理值之訂定，應循序進行以下步驟：(1)前置決策；(2)邊坡調查與評估；(3)資料蒐集；(4)監測資料分析與評估；(5)監測管理基準值訂定；(6)監測管理基準值之調整。至於監測管理基準值之訂定，一般可採用決定模式分析法、統計模式分析法、混合模式分析法或包絡線圖示法等方法，分述如下：

(1)決定模式分析法

依據影響監測量之各項外界因素，以理論分析法如有限元素法等分析所得之關係式，以推估該監測量之預期值，一般此法較適用於危險值之推估。

(2)統計模式分析法

以監測儀器長期之觀測值，利用迴歸分析方式，建立監測量與影響該量之外在因素間之關係式，一般此法較適用於警戒值之推估。

(3)混合模式分析法

以混合決定模式法與統計模式法來推估監測量之預期值或警戒值。其方法乃將決定模式分析法中較不易精確分析之分量，如溫度與時效影響等之分量，利用統計模式分析法計算，而可較精確分析之分量如水位仍利用決定模式分析法。

(4)包絡線圖示法

將各儀器歷年之監測值經校核篩選後，分別點繪於橫軸表示其他影響行為之主要外在因素，縱軸表示儀器監測值之方格紙上，並將其上下之最大及最小值連接成包絡線，此包絡線即為對應各該外在因素之警戒範圍。

5.1.3 資訊接收、儲存、通訊傳輸

1.資料接收與儲存

山區道路邊坡監測系統攸關用路人使用道路時安全性，同時亦牽涉整體防災決策制定涵蓋層面甚廣。因此，為了能夠使整體系統穩定性提昇，系統規劃上可分為四個部份，分別為資料接收層、整合層、展示層及資料儲存層（圖 5.38），以下針對各層級進行規劃說明：

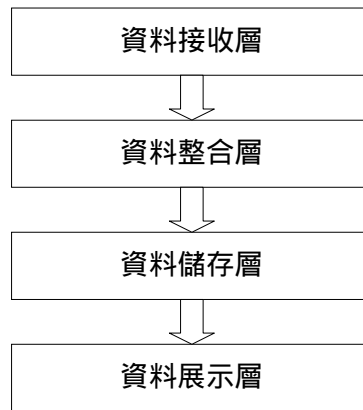


圖 5.38 系統規劃層級圖

(1)資料接收層

資料接收層主要負責接收各種邊坡監測儀器訊號，譬如雨量計、地表傾斜儀、管內傾斜儀、地表伸縮計及地下水位計等儀器設備。規劃建置上，資料接收層將由具備高穩度性的工業級電腦群所構成之資料接收中心負責接收所有監測儀器訊號，並透過即時資料傳輸模組將監測資料即時傳送回監控中心。資料接收層建置規劃上將包括資料擷取模組及資料傳輸兩個模組：

(a)資料擷取模組

資料擷取模組負責接收各種邊坡監測儀器所傳回的訊號，並經過資料擷取模組將儀器訊號轉換為電腦資料格式。

(b)資料傳輸模組

資料傳輸模組負責將資料擷取模組所處理完成資料，透過傳輸設備傳送回監控中心（圖 5.39）。

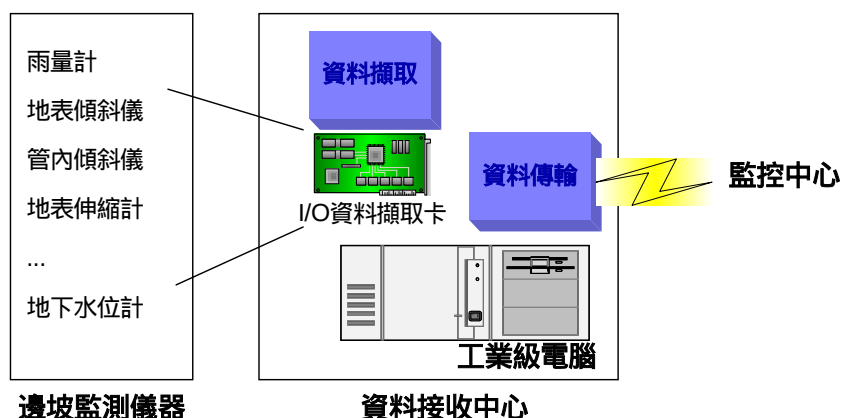


圖 5.39 資料接收層示意圖

(2)資料整合層

資料整合層主要負責將邊坡監測站所接收的各種資料處理成有用的資訊，並配合邊坡監測危險評估模式，評估道路邊坡危險等級提供資料展示層使用。因此規劃上在資料整合層包含資料接收及資料處理兩個模組，資料接收模組負責接收來自資料接收中心所傳回之即時資料，而資料處理模組則負責將所接收資料經由處理後變成有用的資訊並儲存至資料庫(圖 5.40)。

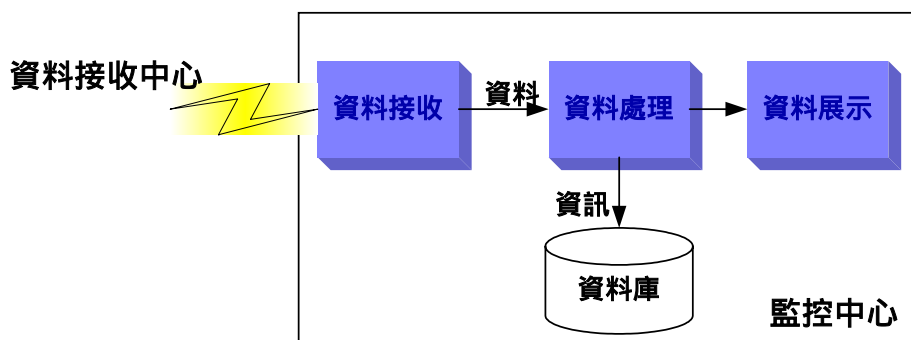


圖 5.40 資料整合層

(3)資料儲存層

資料儲存層主要將邊坡監測站所接收到的各種監測儀器資料經系統歸類儲存以累積各監測站之歷史資料，提供未來學界進行邊坡研究之重要資料來源。資料儲存層規劃上將使用大型

資料庫軟體（如 MS SQL Server 或 Oracle）儲存大量監測資料，一方面可藉由資料庫軟體高效率存取能力提供資料使用性，另一方面可藉由資料庫軟體完善的資料管理能力提高資料安全性。

(4)資料展示層

資料展示層主要負責將資料整合層所加值處理後得到資訊，顯示於監控中心監控畫面，監控中心人員可經由資料展示層掌握即時道路邊坡狀態，並將監控結果立即通報相關單位，以避免人員傷害。

(a)網頁展示模式

網路地理資訊系統架構（Web Based GIS）系統是目前監測及災害防救系統的趨勢，其最大的優勢是客端電腦不需要安裝額外 GIS 軟體，直接利用系統內建瀏覽器即可連結到系統直接讀取各項空間資料，因此，這也意謂著監測結果亦可提供更多防災單位做為防災應變重要的空間資訊來源（圖 5.41）。

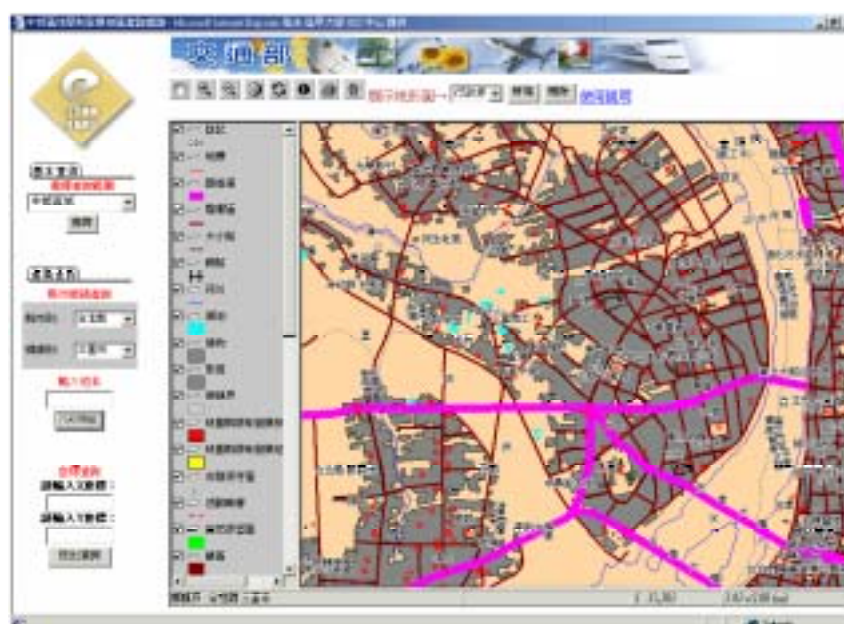


圖 5.41 以 web GIS 為基礎之緊急通報系統範例

(b)無線通報模式

資料整合層經過邊坡監測危險評估模式分析後，如經評估模式分析後達警戒狀態時，可由系統以行動電話簡訊或其他無線通報立即通知相關人員，相關人員立即以人員方式進行狀態確認，如確認達警戒狀態時即可立即進行緊急通報。

2.資料傳輸方式

道路邊坡監測除為累積相當之監測歷史資料作為後續研究外，亦希冀於災害發生之當時能立即提供即時資訊，作為決策參考，亦可以同時將現場即時資料及觀測分析結果，透過網路方式提供中央及或各地災害應變中心即時資訊，因此通訊傳輸將是整體道路邊坡監測系統重要環節之一。以下就目前主流通訊傳輸方式做簡易評估。

(1) ISDN

為「整體服務數位網路（Integrated Services Digital Network）」，主要是從既有之電話網路演變而來之端點對端點全數位化電路交換網路，線路裡不僅能夠提供電話語音服務而且還能提供數據、影像甚至多媒體傳輸服務。ISDN 整合語音、數據、影像與多媒體服務在同一個實體線路上，理論上其數據最高傳輸率為 128Kbps，因此不適合傳送大型檔案。

(2) ADSL

為 Asymmetric Digital Subscriber Line，它是目前最受注目的 xDSL 技術之一，因為它可利用現有電話線路來傳送高傳輸率的資料而不需要再增加現有基礎架構設備的技術，由於 ADSL「非對稱的數位用戶線路」如同目前一般撥接用戶一樣是利用現有電話線路，再加上專用數據機（ATU-R）將數位資料傳輸速度提升到最快下傳速度為 9Mbps，上傳速度亦可達 64Kbps 到

640Kbps，雖然其間的差異牽涉到傳輸距離，然而在台灣本島電信機房的高密度使其成為目前最經濟實用的網路通訊方式。

(3)固接專線

固接專線（Lease Line）為用戶有數據傳輸之需求時向第一類電信公司(固網廠商)租用約定速率之電路，依距離之遠近可分為市內數據專線及長途數據專線。依連結對象之不同則可分為連結 ISP 上網之數據專線及點對點連結數據專線。目前常見數據專線速率有 64Kbps、128Kbps、256Kbps、512Kbps、768Kbps、1-544Mbps（T1）及 45Mbps（T3）等。目前連網方式以固接專線的連線品質最穩定，除了專線電路故障機率小，還可以同時使用 Load-Balance 技術或 xDSL、ISDN 等備援方法，惟其價位若經過長途數據專線恐無法達到經濟實惠之目的，目前於部分場合已逐漸遭 xDSL 取代，但其穩定性高，故是目前最為可靠的網路傳輸方式。

(4)撥接網路

撥接服務是最常使用的上網方式，主要是透過數據機（Modem）以現有之電話進行撥接來連接上遠端網路或網際網路 Internet，設備簡單且價格低廉，目前撥接速度下載可至 56K，但上傳僅能達 33-6K。

(5)衛星網路通訊

衛星通訊最大優點為可克服地形障礙，專用衛星通訊網路係利用衛星地面站，經由衛星網路提供公司所租用之衛星鏈路以單路載波之方式連接衛星作數據電報傳真語音或視訊會議通信，提供衛星網路做點對點或點對多點之通信，建立 VSAT 星狀或網狀網路 VSAT 為小型地面站之簡稱（Very Small Aperture Terminal），以中心站為核心（Hub Station）透過出路由（out route）及入路由（in route）並藉由衛星轉頻器與遠端站（Remote Station）

作數據通信，而 SCPC 為單頻道單載波（Single Channel Per Carrier）的衛星通信系統 MCPC 為多頻道單載波（Multi Channel Per Carrier）的衛星通信系統。以上兩種通信系統皆可作高速數據雙向通信並可作為電視語音等傳送。衛星波束具有廣大之涵蓋面，在涵蓋範圍下之各地點均可相互通訊，不受地理環境之限制，除了點對點通訊，其在單點對多點的廣播應用、多點對單點的資料蒐集傳送均頗具效益優勢。而高頻寬之衛星信號更能攜帶大量數據資料，為其他通訊媒介所不能及。近年來 VSAT 衛星小型地面站系統在降低成本、擴大服務範圍與各種使用者設備或地面網站連接以及開發更為方便、靈活的網路系統等方面已有重大發展與突破，因此能提供天線直徑小、設備價格低、系統功能強、架設靈活之設備，開展雙向互動式語音、數據、影像多媒體等各種服務，故隨著電子商務之盛行，VSAT 將以其本身優勢跨入該領域提供服務。

(6)無線微波傳輸

無線電微波的頻率範圍在 2GHz ~ 40GHz 間，微波傳輸屬於有向性，即傳送與接收端間不能存有障礙物體阻擋，才能收到良好的聲音與影像。通常微波用於寬頻帶及雷達系統，微波系統所使用訊號的波性是一種直線波，也就是微波並不沿著地球曲面傳送，以直線方式直接由傳送端送達接收端。因此兩端的距離與彼此天線高度間有重要的關係，即使距離過長亦可加裝中繼強波器來增加傳輸距離或排除障礙物阻絕。

(7) GPRS

號稱 2-5 代的 GPRS 系統為整合封包無線電服務（General Packet Radio Service）的縮寫，是跨入第三代行動通訊的重要技術標準。它彌補了 GSM 在數據傳輸能力上的缺點，以「封包交換」取代「電路交換」，大幅提昇傳輸速率，達到更有效的頻譜資源分配。因此「快速傳輸」、「瞬間上線」、「持續連網」、

「按量計價」可謂 GPRS 的四大特性。透過 GPRS 技術，現行 GSM 的每秒傳輸位元數可從 9-6K 提昇到 120K 左右，但目前的技術實際可達 40K，大幅的改善 GSM 手機上網速度。此外由於它是以封包（packet）的方式來傳輸數據，計費方式是以資料傳輸量、傳輸時段為基準，理論而言，使用者所須負擔的費用較為便宜。GSM 或 GPRS 在部分情況下可扮演備援線路之角色。表 5.為各種通訊方式比較，由表 5.6 可知，有線通訊方式雖然有成本低，通訊品質不受天候干擾，且頻寬較大等優點，但對於在山區道路邊坡監測之適用性而言，則需多做考量，如中華電信的基礎設施配合度，以及邊坡運動是否容易導致有線設施損毀導致通訊中斷等；而無線通訊方式雖可以全天候的傳輸，設備對於惡劣氣候耐受性較佳，但其昂貴的通訊費用則是在成本考量下難以抉擇。

表 5.6 各種通訊方式比較表

通訊方式 比較項目	ISDN	ADSL	固接專線	撥接網路	衛星網路	微波	GPRS
頻寬	128K	512K~9M	64~45M	56K	128K~6M	11M	115K
一般狀況通訊 穩定性	中	高	高	低	高	高	高
設備惡劣氣候 耐受性	低	低	低	低	高	高	高
初期架設成本	低	低	中	最低	高	最高(視 地點而定)	很低
通訊費	低	中	高	最低	最高	無	低
通訊品質受天 候干擾程度	不受干擾	不受干擾	不受干擾	不受干擾	較不受 干擾	易干擾	不易干擾
地點適宜性	電話線 能到達者	需在中華 電信機房 3-5KM 服務範圍 內	特殊地點 需另外評 估	電話能 到達者	絕大部分 地點均可 設置	絕大部分 地點均可 設置	市區(依 據系統業 者而有不 同)
合法性	無	無	無	無	無	有爭議	無

3.電源供應

(1)用電申請

電力的持續供應能力絕對是監測系統是否能在緊急時發揮功能的關鍵。本計畫之運作，規劃以一般家用電力為主，不斷電系統配合大容量電池組及發電機為輔，作為平時及緊急時的供電來源，家用電力需依照經濟部或商檢局等相關法規辦理，由經濟部登記有案且領有開業執照及依法參加電機技師工會之電匠技師負責辦理各項電力設備設計及施工時之監督，並於完工後會同承攬內線工程之電器承裝業申報內線竣工。電力取得可向最近民宅租用電源，以減少新設電源申請程序的時間，或者可依循圖 5.42 申請用電。

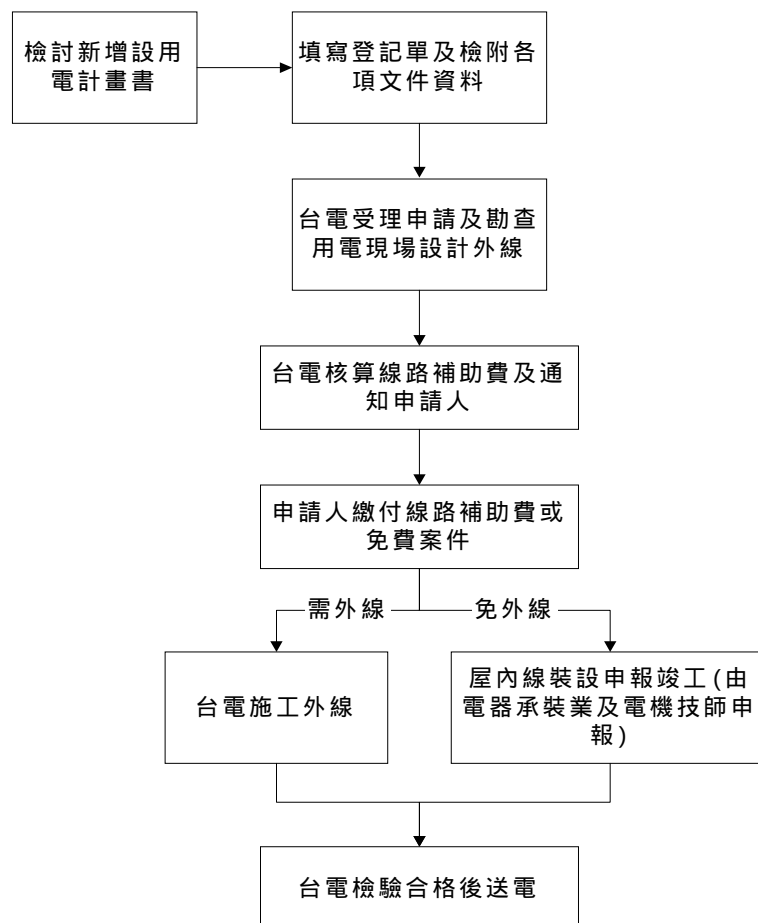


圖 5.42 監測系統新增設用電流程圖

(2)備援電力

豪大雨、颱風時期或其他天災發生時，家用電力供應可能處於停電狀態，資料接收中心必須依賴上線式不斷電系統（OnLine UPS）、發電機（發電功率視用電量需求）及 ATS（電源自動切換開關）等三項設備，以提供斷電時資料接收中心相關設備仍能持續運作而不受影響。一般備援電力運作模式為：斷電時不斷電系統（UPS）先提供約 1 至 8 小時時間之電量（視 UPS 之附掛電池組容量），之後由 UPS 發送低電壓信號啟動發電機，在發電機供電穩定後，透過 ATS（電源自動切換開關）切換供電線路，由發電機持續供給電源，並對 UPS 做快速充電，此時 UPS 負責穩定電壓並供給資料接收中心內部設備使用，發電機可依容量及 UPS 之電池組數量，設定發電機啟動之時間（建議為 3-6 小時），只要維持對發電機供油穩定（柴油油箱），並注意發電機之冷卻循環，即可確保資料接收中心供電無虞。依容量計算及經驗法則，配備 3KVA 之 UPS，及 5KVA 之柴油發電機組，並加掛 100 公升油箱情形下，可持續運作 72 小時以上。

5.1.4 監測實例

實例分兩部分說明，第一部分主要針對台 18 線全線，說明全線道路邊坡監測規劃之過程與方法，根據阿里山公路台 18 線 20k 75k 間之各類邊坡崩塌型態依據監測特性加以分類，同時根據不同危害度，將邊坡崩塌監測規劃考慮之危害度等級加以區分後，進行全線道路邊坡崩塌監測與預警之規劃說明。第二部分主要針對台 18 線五彎仔路段進行說明。

1.台 18 線 20k 75k 間監測規劃說明

台 18 線 20k 75k 路段邊坡監測之規劃，首先應將邊坡崩塌類型加以區分為四大類：土石流、落石、地滑以及人工保護邊坡，其次分別依據其所屬類型進行危害度分級，共計分高、中、低三

級，分級完成後，即可進行感測器之選擇以及預警方法之決定，以下分別說明之。

(1)土石流路段監測與預警規劃

台 18 線研究路段共計有 5 土石流危險溪流。其中土石流危險溪流計包括嘉義 A014，嘉義 010，嘉義 011，嘉義 A027 以及嘉義 A005 等五條，其里程、通過之橋樑、發生型態以及潛勢等級分別列於表 5.7。表 5.7 中嘉義 A005 之監測考慮以加強巡視為主，並經常觀察其上下游集水區之特徵變化，以做為是否進行必要之監測規劃重要參考。其他四條土石流危險溪流潛勢均為中，建議除加強巡視外，應設置警告標誌，並以臨界降雨線做為預警基準，並設置警示標誌以提醒用路人注意行車安全，至於巡視重點，坡面型之嘉義 010 與 011 應以崩塌坡面觀察為主，溪床型之嘉義 A014 與 A027 則應以土砂堆積區之變化為觀察巡視之重點。若經巡查發現有不穩定跡象，建議可視情況考慮設置事發型感測單元如鋼索感知器，並設置自動化警示與遮斷系統，以即時預警並採取適當之對策，同時設置攝影儀，以確認警報之正確性。關於土石流之臨界降雨線之預警基準值，建議以土石流危險溪流主管機關公佈資訊為主。

表 5.7 研究路段土石流危險溪流相關特性及潛勢等級

溪流標號	里程	通過之橋樑	發生型態	集水面積	平均坡度	潛勢	崩塌情況
嘉義 A014	20 ^k	黎明橋	溪流型	40.0 ha	13 度	中	
嘉義 010	28 ^k +800	和平橋	坡面型	24.0 ha	16 度	中	1 處，1.056ha，崩塌比 4.4%
嘉義 011	28 ^k +900	下寮橋	坡面型	184.0 ha	20 度	中	5 處，11.014ha，崩塌比 6.0%
嘉義 A027	32 ^k		溪流型	27.8 ha	18.8 度	中	
嘉義 A005	48 ^k ~49 ^k		溪流型	333.0 ha	13 度	低	1 處，0.337ha，崩塌比 0.1%

(2)落石路段監測與預警規劃

阿里山公路全線劃分之路段經危險度評估之後，在 199 個路段中，屬於低危害度等級邊坡監測有 155 個路段、屬於中危害度等級邊坡監測有 38 個路段、屬於高危害度等級邊坡監測有

7 個路段 7 個路段在近五年內各有 1~8 次不等之落石坍方事件發生，7 個路段標號 A~G 相關資料如里程、坡度坡高、邊坡地質特性、崩塌可能型態、邊坡保護措施、崩塌規模列於表 5.8。

表 5.8 台 18 線研究區範圍高危害度落石路段相關資料表

編號	里程	坡度 (度)	坡高 (m)	邊坡組成材料	層面位態	節理面位態	崩塌型態	邊坡防護措施	落石歷史
A	20.50~20.70	70	60	砂頁岩互層	N20E30S	N40E64NW;N60W84NE	沿節理面或交線之平面或楔型破壞，落石	明隧道	五年>三次，平均規模>1000m ³
B	22.05~22.35	60	150	砂頁岩互層	N44E68S		順向坡平面型破壞，落石	無	五年內三次，平均規模>1000m ³
C	45.35~45.50	>70	>35	不利				無	五年內>三次，平均規模>1000m ³
D	58.10~58.24	60~70	25~35	不利				無	五年內>三次，平均規模>1000m ³
E	64.83~64.91	>70	>35	不利				無	五年內一次，平均規模>1000m ³
F	64.91~65.12	70	35	不利				無	五年內二次，平均規模>1000m ³
G	66.35~66.62	70	35	不利				無	五年內二次，平均規模>1000m ³

155 個低危害路段應以定期巡視為主，至於中危害等級 38 個路段之監測規劃，建議設置警告標誌，若有特殊需求，可規劃如雨量計或裂縫計等簡易之監測設備。然而，表 5.8 中 7 個路段之監測規劃，除應考慮設置警告標誌以外，尚需考慮設置自動化監測與預警設備，感測單元部分可考慮選擇包括自計式雨量計、事發偵測鋼索感知器以及事發確認之攝影儀，至於預警部分包括兩部分，事發前建議以降雨特性為預警基準，當自計式雨量計紀錄達預警值，即啟動自動化警告系統。事發觸動感知器，則自動啟動警告系統、緊急遮斷系統、攝影儀並即時通知緊急應變主管單位，透過攝影儀確認警報之正確性，若為誤觸，則能透過遠端控制取消警告以及遮斷系統之重新開啟。關於研究區廣域之落石事前預警基準建議可參考高申錡(1994)與鄭序華(1994)蒐集資料統計結果，阿里山研究區域內的崩塌累積

雨量底限值為 150 公釐，當累積雨量達相當高之值後，只需較小降雨強度就可發生崩塌，且降雨量愈大則發生崩塌機率也愈大，臨界降雨曲線為 $I_r=10.94D^{0.47}$ ，其中 I_r 為降雨強度 (mm/hr)， D 為降雨延時 (hr)。

除上述之廣域型落石邊坡，研究區 66k 附近有一塊突懸之巨石，若經詳細調查發現有明顯之張力裂縫，則可考慮於裂縫附近靠巨石側設置傾斜計，靠岩盤處設置聲射感知器，橫跨裂縫設置位移影像放大盒、伸張計、裂縫計，突懸巨石下方設置鋼索感知器。若巨石之危害程度極高，亦可考慮於道路對向設置全測站經緯儀，並透過反射菱鏡佈設以全自動偵測巨石位移或旋轉。攝影儀配合鋼索感知器設置則為做為事發感測自動警示、遮斷與檢核使用（同前所述）。至於事前預警部分，建議以聲射數 (AE accounts) 之增加速度，或以巨石旋轉或位移量之變化率做為預警基準。

(3)地滑路段監測與預警規劃

阿里山公路 51 75k 邊坡不穩定之路段中，屬於崩積層滑動 (slump) 之路段共計有 6 處，詳見表 5.9。

表 5.9 台 18 線研究區範圍具有邊坡不穩定情況之路段相關資料表

里程	邊坡組成材料	坡高(m)	坡面位態	崩塌形式	邊坡保護措施
70~75	Talus	10~29	N60E60S	Slump	
69~70	Talus	50~	N50W45S	Slump	擋土牆
65~67	Talus	30~49	E-W60S	Slump	
59.2	Talus	10~29	E-W40S	Slump	擋土牆
58	Talus	0~9	N60E40S	Slump	
53	Talus	0~9	N45E40E	Slump	擋土牆

註：里程為概估值

上述 6 處地滑型邊坡崩塌因規模較小，可屬於中等危害度地滑邊坡，建議此 6 處地滑邊坡應以加強巡視為主，並配合簡易之地表位移監測設備，諸如由人工紀錄之裂縫計，橫跨張力裂縫設置，並長期觀測其位移速度，一旦其位移速度達活動性邊坡之標準，則可考慮進一步設置自動化監測設備。以 59.2k

之邊坡旋滑為例，若經巡察發現此一邊坡崩移冠部有持續固定之位移趨勢時，可考慮橫跨冠部崩崖設置裂縫計或地滑計，另外地下監測應設置於冠部以下之滑動體內。

至於預警基準部分，根據吳昭宏(1995)與李德河等(1996)以阿里山公路 28k 之地滑型邊坡觀測結果，地下水上升之曲線與地表地滑量間之延遲時間較短，而累積雨量曲線與地表地滑量間的延遲時間較長。根據其研究可訂出阿里山低海拔山區的地滑崩塌雨量底限值為 100mm，即當累積雨量達 100mm 以上時，位於低海拔的公路邊坡便可能發生地滑，依觀測期間雨量資料迴歸分析，獲得之崩塌預警曲線迴歸式為 $I_r = 10D^{0.4}$ ，其中 I_r 為降雨強度 (mm/hr)， D 為降雨延時 (hr)。此一臨界降雨線可做為根據雨量之預警基準值。至於邊坡移動之預警基準則建議參考中華水土保持學會所整理之結果如表 5.10。

表 5.10 維護階段預警基準值（整理自中華水土保持學會，1999）

監測方法	管理區分		
	注意	警戒	疏散
地表伸縮計之地表變位速度	0.5-25mm/日	5-100mm/日	50-500mm/日
地盤傾斜計之地表面傾斜速度	5-10 秒/日	---	10-50 秒/日
管內傾斜計之管內變位速度	0.5-1mm/日	2-5mm/日	>10mm/日
地中伸縮計之地盤變位速度	1~10mm/日	10-100mm/日	>100mm/日
降雨之強度；累積雨量	---	10-20mm/h；10-50mm	20mm/h；100mm

至於邊坡崩塌運動型態屬平滑者，以 43.2k 為典型，因平面型破壞發生速度較為快速，故建議監測規劃應以自動化監測為主，感測單元可選擇傾斜觀測管，並放置自計式傾斜計 (IPI)，深度以放置於推估之滑動層面上下至少各 3 公尺，若以 1.0m 間距佈設 IPI，則共可放置 6 支，地下水壓監測亦相當重要，尤其是滑動面附近之水壓值，同時，若能設置自計式雨量計，並透過長期觀測雨量與滑動面水壓間之關係，則對於利用水壓或降雨做為預警基準值訂定相當有幫助。然而，此一邊坡之事發型監測設備與自動化警示與遮斷設施，亦可視實際監測情況配合增設。

本研究區域最典型之高危害度地滑區即為五彎仔路段，此一區域長時間處於不穩定之狀態下，退後型圓弧滑動於此一路段相當常見，此一路段之監測規劃與預警詳見第二部分之說明。

(4)人工保護邊坡監測與預警規劃

根據李維峰等人(2004)之調查，統計並表列 16 處人工保護邊坡如表 5.11，表 5.11 亦列出此 16 處邊坡之保護措施以及部分邊坡特性。

表 5.11 台 18 線研究區範圍人工保護邊坡之路段相關資料表

編號	里程	邊坡保護	坡面位態	邊坡組成材料	備註
a	24.8	重力式擋土牆	N40E80W	砂頁岩互層	坡趾落石，下邊坡嚴重坍方，擋土牆上方未整治
b	25.6	砌石擋土牆 噴漿	N40W55E	砂頁岩互層	
c	26.7	三層箱籠護坡 重力式擋土牆	N40W75W~E-W55S	崩積層	上方坡面未整治，坡面逕流多
d	27.4	蛇籠護坡 重力式擋土牆 格柵	N40W50S~N70W50S	崩塌地崩積層	
e	28.2	6 層蛇籠護坡 重力式擋土牆	N70E50S	崩塌地崩積層	
f	43.2		N45E30E		順向坡平面型滑動
g	57.3	明隧道	N40E75E		
h	59.2	型框	N60E50E		岩屑旋滑
i	63.6	大集水井 箱籠	N30E80W	凝灰質砂岩	
j	65	明隧道 噴漿 擋土牆+地錨	N80W55S	崩塌地崩積層	
k	65.5	自由樑+岩栓 噴凝土	N70E75S		
l	66	明隧道	N55E75W		
m	66.1	型框 噴漿	N25W60W	厚層砂岩夾薄層頁岩，逆向	舊有噴漿損壞
n	69	重力式擋土牆+地錨 格柵+地錨	N40W50W	崩積層岩塊堆積	下邊坡些微陷落
o	70	重力式擋土牆 排水井 排水溝	N75W40S~N10E60W	崖錐堆積	沖蝕溝
p	75.3	地錨 型框 自由格樑	N70E70N~N80W70N	崩塌地	坡面仍有巨石

16 處邊坡保護成效，大致上均為良好，因此，可由目視經常性檢查其功能性，並作為是否進一步進行監測之依據，然而，其中三處邊坡建議考慮進行監測規劃。

第一處為 26.7k，此處因保護工上邊坡崩塌，因而於豪雨時有造成土石橫流之情況，此處之監測規劃可考慮於石籠上方設置攔截網，並設置鋼索感知器，若土石扯斷攔截網，則將觸動自動警示系統與遮斷系統，並經由攝影儀確認是否為假警報並遠距採取適當處理措施。

第二處為 28.2k，此處原即一屬崩積層旋滑之地滑地，因已施作石籠護坡工程，然應仍有較為深層之滑動潛勢，若經觀察發現有地滑之地表跡象，則可考慮佈設表面監測設施，如地表傾斜計或地滑計，並以人工方式計讀，若監測成果發現有持續固定之位移現象，則應考慮設置地下位移監測如傾斜觀測管，以確定滑動面位置，並作為進一步整治之參考。若位移現象有加速之趨勢，且未考慮進行補強，則可考慮設置自動化監測感測單元，並利用位移趨勢進行預警。

第三處則為 65k，此處之保護措施為明隧道，然因原屬崩積層旋滑之地滑地，且規模較大，故雖已施作擋土牆地錨系統以穩固明隧道之基礎，但仍可考慮進行此一路段擋土護坡措施之監測，監測對象可以地錨荷重為主，並以地錨設計條件如預力作為邊坡需要維修與否之預警標準之一。然除地錨荷重計以外，應仍設置位移監測之感測單元，甚至若有需要，可考慮設置地下位移監測，如傾斜觀測管，以持續監測構造物之穩定性。惟應特別注意者，當以位移作為預警參考時，表 5.10 之建議值將不夠保守，因構造物之剛性並未納入考量，因此位移預警基準應經過較長期之監測與分析後，再行訂定。

2.台 18 線五彎仔路段監測規劃說明

五彎仔崩塌地地勢東高西低，平均坡度約為 25° ，海拔高度

由 800 公尺下降至 575 公尺。崩塌地下游之獨座溪係屬八掌溪上游的支流，於五彎仔崩塌地西側端點匯集南北兩支流，並於觸口附近注入八掌溪主流。獨座溪上游南支流本身向源侵蝕作用相當旺盛，致使崩塌區西南側坡面有多處的溝谷、蝕溝與崩塌等，對於崩塌區的邊坡穩定有不良的影響。又加上五彎仔地區附近之岩層呈南北或東北走向，向東或西傾斜 $10 \sim 60^\circ$ ，因而有一背斜及向斜，由東北向西南穿越此區，另有一獺頭斷層，由西北向東南切過此區的西南邊緣，因受此三條構造線擾動，造成此區岩層破碎。民國 85 年賀伯颱風來襲，誘發地層滑動，造成五彎仔路段多處道路下陷、擋土設施變形、龜裂等災害，尤以第二、第四回頭彎路段最為嚴重，阻斷交通。災害發生後於該兩路段上下邊坡施設地錨擋土牆。民國 90 年納莉颱風來襲，持續豪雨加速地層滑動，造成五彎仔路段第五回頭彎後直線段及 31k+150 +500 路段路面變形、龜裂，尤其以 31k+400 附近路段最為嚴重，路面高低差多達 60 公分。隔年，31k+150 +500 路段之路面仍持續滑動中。民國 92 年 6 月 25 日因連日豪雨，在不斷的冲刷下，阿里山公路 31k+400 段急速滑移坍方，一百二十公尺的路面滑落溪谷（詳圖 5.43）。



圖 5.43 台 18 線五彎仔路斷崩塌實景

交通部科技顧問室將執行之四項坡地防災研究（臺灣地區道路邊坡崩塌發生機制及防治效益評估方法研究與應用、道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制訂、山區道路邊坡崩塌防

治工法最佳化研究、山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發) 予以整合、應用，將台 18 線五彎仔路段設立為示範之監測試驗站。現地埋設有傾斜管、地滑計、電子式水壓計、雨量計及溫濕度計等相關之監測儀器。為更確實掌控五彎仔沿線道路邊坡之穩定情形，亦配合公路總局第五區養護工程處於第四彎(30.3k) 附近進行之鑽探工程時，加裝兩孔 100 公尺之傾斜管測管與一孔 100 公尺之水壓計。除此之外，國立臺灣科技大學生態與防災工程研究中心執行交通部科技顧問室委託之「臺灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構功能評估 - 現有破壞案例統計、分析」一案，亦配合交通部相關資源整合與落實，於 30.3k 路段附近之上、下邊坡各設置一支地錨荷重計與一組自動擷取系統，以隨時擷取記錄此區域地錨預力之功能性。此區域之相關防災資源彙整詳見表 5.12、圖 5.44、所示(其中國立交通大學裝設之光纖、錯動變形感測纜線等監測儀器，未納入彙整資料中)。

表 5.12 五彎仔監測儀器配置與相關整合單位

儀器編號	裝置位置	整合單位	備註
下邊坡 100 公尺[C-04-1]	30K+295	營建研究院	裝設傾斜觀測管
下邊坡[LC-2]	30K+300	臺灣科技大學	地錨荷重計
上邊坡 100 公尺[C-04-2A]	30K+305	營建研究院	裝設傾斜觀測管
上邊坡 100 公尺[C-04-2B]	30K+305	營建研究院	裝設水壓計
上邊坡[LC-1]	30K+305	臺灣科技大學	地錨荷重計
影像監視器 CCD	31K+460	逢甲大學	1. 使用 DC12V，附紅外線投射燈使用 AC110V，另需一條六心線做為控制訊號傳送用，及一條 7C2V 訊號線做為影像傳輸之用。 2. 安裝地點需加設電桿以安裝 CCD 及投射燈，電桿上需附配線箱。
下邊坡 40 公尺[C-12C]	31K+550	逢甲大學	IPI (5 支，間隔 1 2 公尺)
上邊坡 40 公尺[C-11]	31K+590	營建研究院	裝設傾斜觀測管 40 公尺 (全程取樣)
下邊坡 40 公尺[C-12A]	31K+595	營建研究院	裝設傾斜觀測管 40 公尺 (全程取樣)
下邊坡 40 公尺[C-12B]	31K+595	營建研究院	裝設水位觀測井
自動化監測系統整合小屋	31K+660	逢甲大學	1. 於小屋屋頂設置自動化雨量站。 2. 彙集所有自動化監測項目訊號。 3. IPC 兩台、衛星通訊設備，網路設備、抽風機等。



圖 5.44 五彎仔相關監測儀器配置圖

(1)鑽孔地層資料

表 5.13 為鄰近 IPI 裝置位置於 31k+600 附近鑽孔之地層分佈狀況，圖 5.45 顯示該三個鑽孔之地質剖面圖與鑽孔柱狀圖。

表 5.13 31k+600 附近鑽孔之地層分佈狀況

孔號	地層深度 (m)		
	崩積土層	岩層	孔深
C-11	11.50	28.50	40.00
C-12A	2.20	37.80	40.00
C-12B	2.70	37.30	40.00
總計	16.40	103.60	120.00

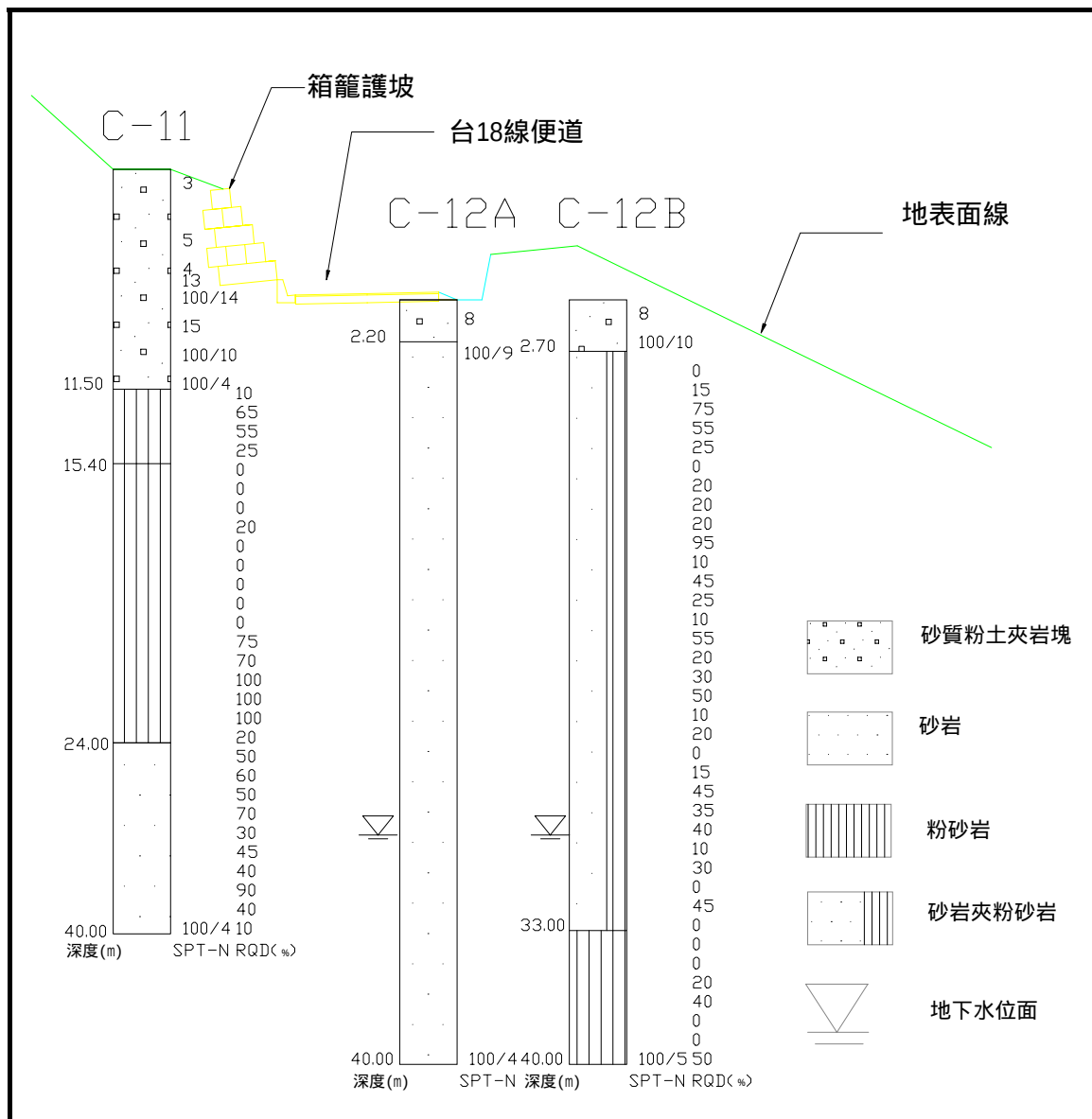


圖 5.45 31k+600 附近鑽孔之地質剖面圖與鑽孔柱狀圖

(2)監測儀器規格

監測儀器之量測資料由預先撰寫之自動化控制系統，自動下載並處理，再透過通訊設備傳輸至遠端伺服器。各項監測儀器規格介紹於后。

(a)雨量計

採用傾斗式雨量計如圖 5.46，其規格如表 5.14 所示。



圖 5.46 雨量計

表 5.14 雨量計規格

型式	傾斗型、單磁簧開關 (Tipping bucket/magnetic reed switch)
承雨口徑	200mm
傾斗雨量	0.5 mm
精度	20mm 以下 ± 0.5 mm , 20 mm 以上 $\pm 0.3\%$
材質	不銹鋼
接點時間	0.1 秒以上
接點訊號	一組

(b)孔內傾斜儀

孔內傾斜儀 (IPI) 係採用 SLOPE INDICATOR 製造的 EL IPI 共五支 (圖 5.47)，串接總長度 10 公尺，其規格如表 5.15 所示。



圖 5.47 孔內傾斜儀（單支）

表 5.15 IPI 規格

監測	雙軸監測
監測範圍	$\pm 10^\circ$
精確度	$\pm 0.1\text{mm/m}$
輸入電壓	5.5 至 15 伏特
輸出電壓	-2.5 至 +2.5 伏特
讀取頻率	每 10 分鐘讀取訊號一次

(c) 電子式水壓計

SLOPE INDICATOR 製造 VW PIEZOMETER(圖 5.48) , 其規格如表 5.16 所示。



圖 5.48 振弦式水壓計

表 5.16 水壓計規格

型式	振弦式電子水壓計
量測範圍	7 bar
解析度	0.025%FS
精度	$\pm 0.01\%$
溫度電阻	RTD 式 $-45^\circ \sim +100^\circ$
讀取頻率	每 10 分鐘讀取訊號一次

(3)監測數據分析

由 92 年 9 月 12 月傾斜觀測管(編號 C-11, 位於上邊坡; 編號 C-12A, 位於下邊坡)與水位觀測井(編號 C-12B, 位於下邊坡)量測之數據資料(詳圖 5.49、圖 5.50)可知, 上邊坡傾斜管於地表下 12 公尺與 19 公尺左右有明顯之位移量, 至於下邊坡則無明顯之不穩定現象, 判釋造成位移之原因在於上方裸坡僅進行坡面植生復育工作, 並未做妥善之坡面穩定工作, 故在相關監測資料彙整完成後, 除將相關資料提送養護單位參考外, 並建議於此路段之崩塌坡面儘速進行相關坡面穩定工程, 以加強此路段上邊坡之穩定性。

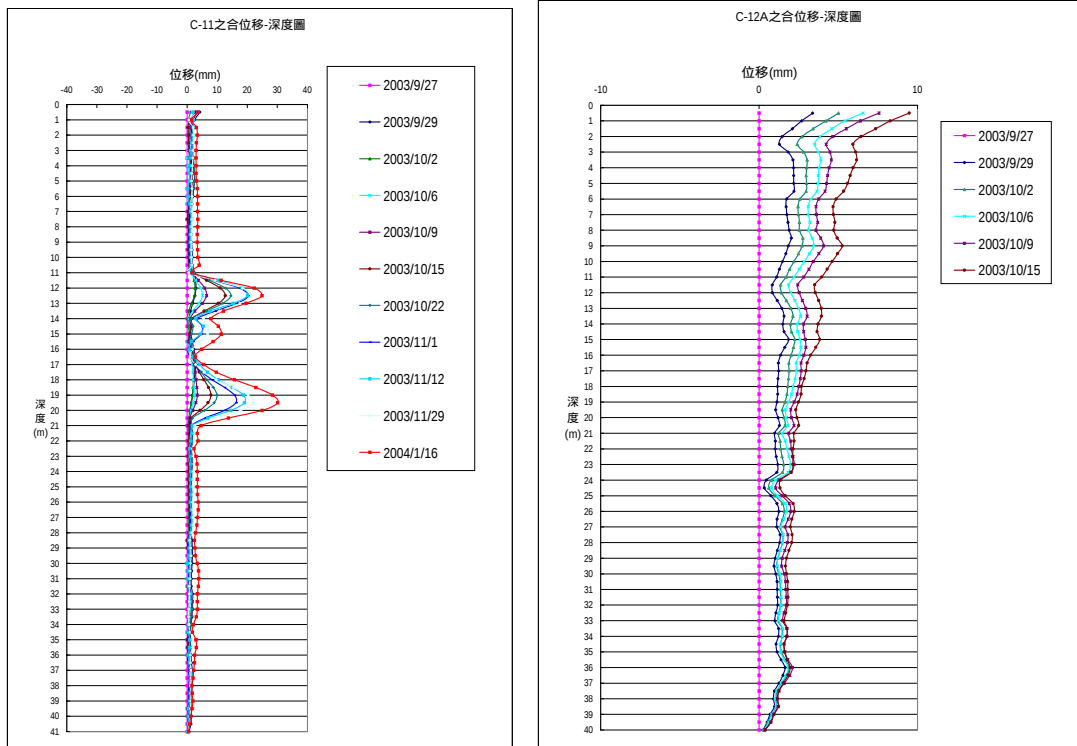


圖 5.49 傾斜觀測管 (C-11、C-12A) 之觀測資料

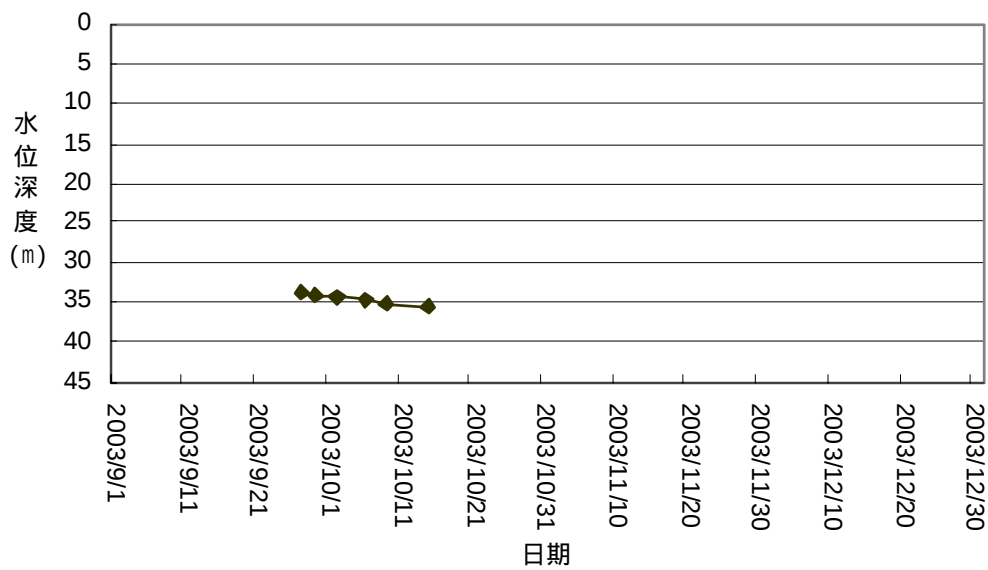


圖 5.50 C-12B 水位觀測井之觀測資料

另外，由於五彎仔路段之第四彎路面已有部分滑移現象，故配合公路總局第五區養護工程處於第四彎進行之整治工作時，配置傾斜觀測管、地下水位量測計等監測儀器，相關之監測情形詳圖 5.51、圖 5.52、圖 5.53 所示。

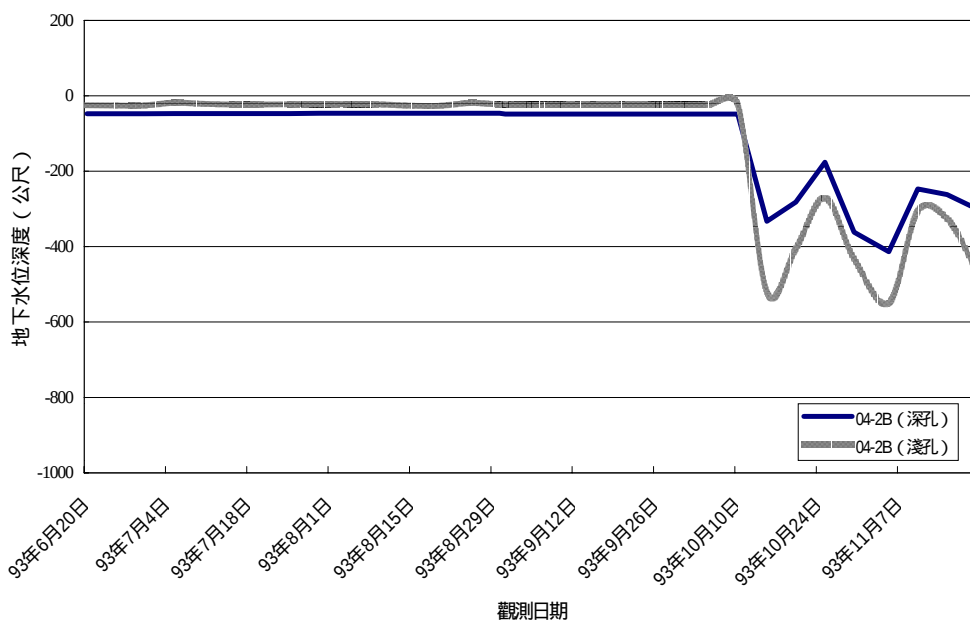
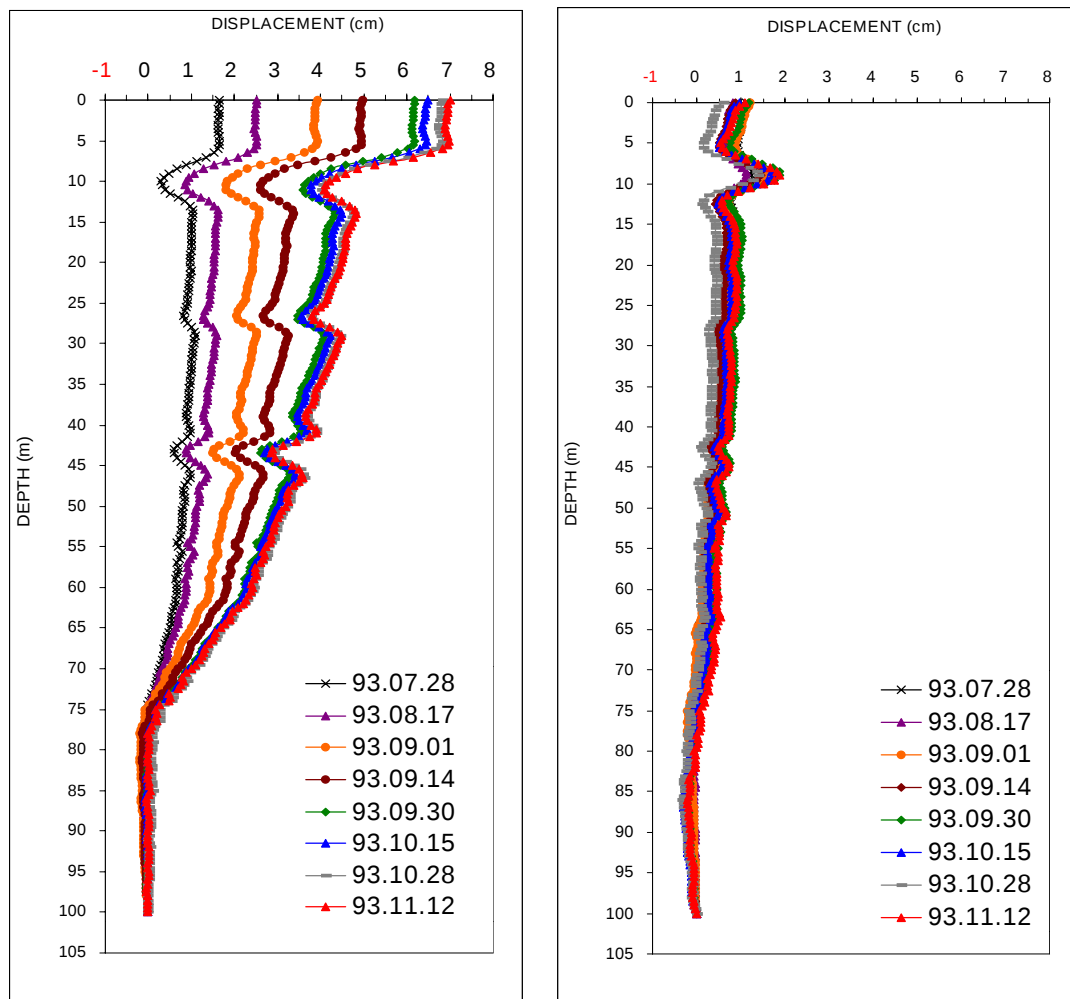


圖 5.51 04-2B 地下水位觀測讀數



(A 向)

(B 向)

圖 5.52 下邊坡傾斜觀測管 (04-1) 之觀測讀數

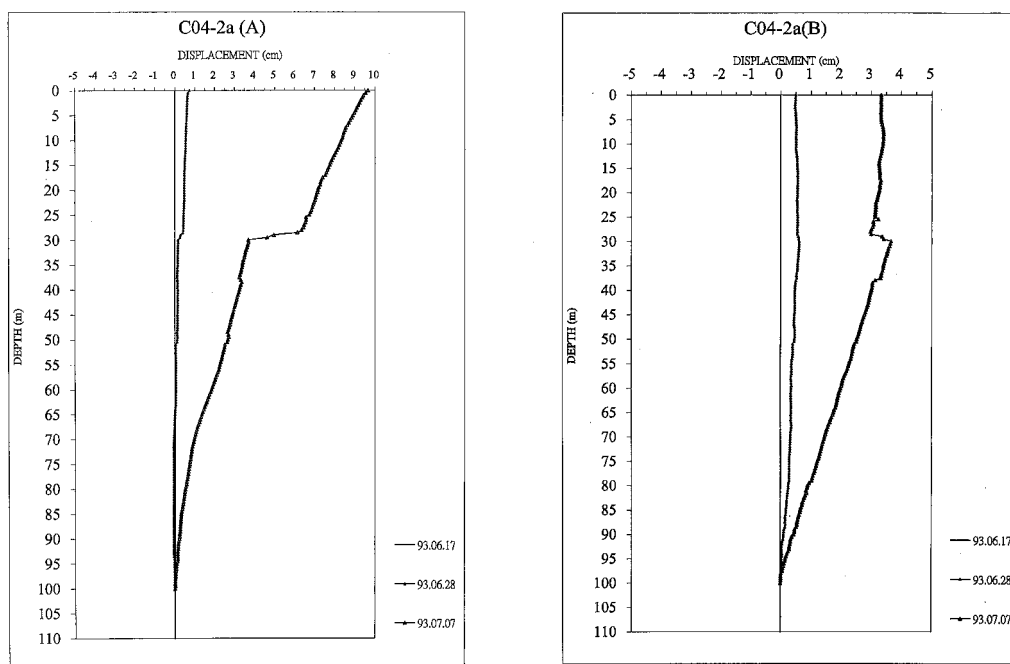


圖 5.53 坡傾斜觀測管 (04-2A) 之觀測讀數

由圖 5.以及圖 5.5 之監測讀數資料可知，第四彎下邊坡傾斜管於地表下 10 公尺與 45 公尺左右有些許之位移量產生，由於此位移量仍未超出警戒值範圍，故建議持續針對此孔位進行監測工作；至於上邊坡編號 04-2A 之傾斜觀測管，在敏督利颱風襲台後前往現地進行量測工作（7 月 7 日），從監測資料即可判讀出在深度 30 公尺左右已有明顯之錯動現象產生，由此可知，此邊坡已有明顯之不穩定徵兆發生，然由於此孔位之錯動變形量過大，致使後續相關傾斜量測工作無法持續進行。

民國九十三敏督利颱風、艾利颱風，甚至海馬颱風紛紛襲台，颱風引進之西南氣流所挾帶之豐沛水氣與大量降雨，為臺灣山區道路造成不少災情。由於台 18 線五彎仔路段相關監測儀器皆於敏督利颱風來前裝設完畢，故由各監測儀器之讀數資料，可探討敏督利颱風過境前後此路段邊坡穩定情形。風災造成監測讀數變化最多之路段在第四彎（30k+300）附近，依據第四彎上、下邊坡之傾斜觀測管（詳圖 5.以及圖 5.5）、國立臺灣

科技大學提供之地錨荷重計讀數資料（詳圖 5.54、圖 5.55）可以發現，此路段之邊坡已有明顯之不穩定徵兆發生。

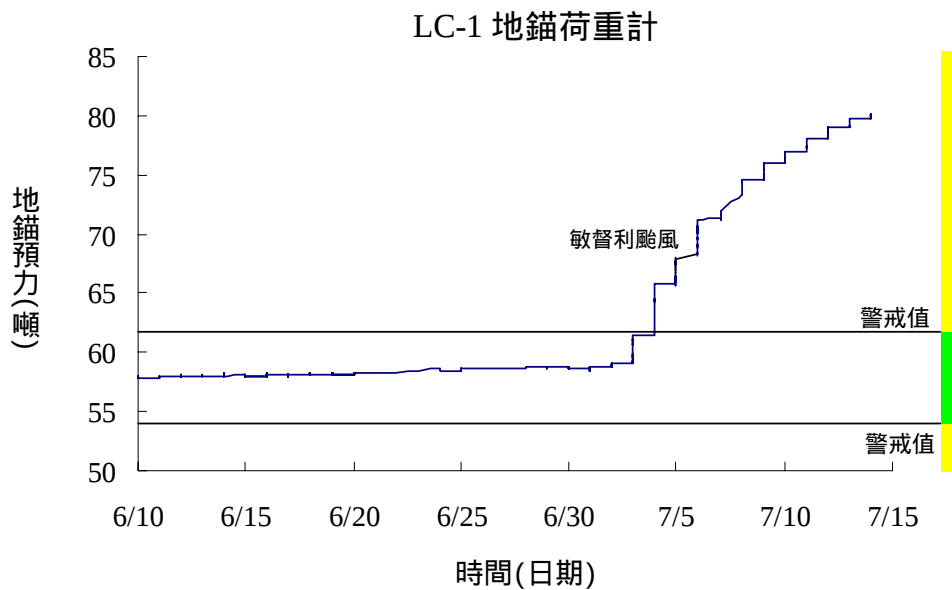


圖 5.54 上邊坡地錨荷重計（LC-1）之預力關係圖

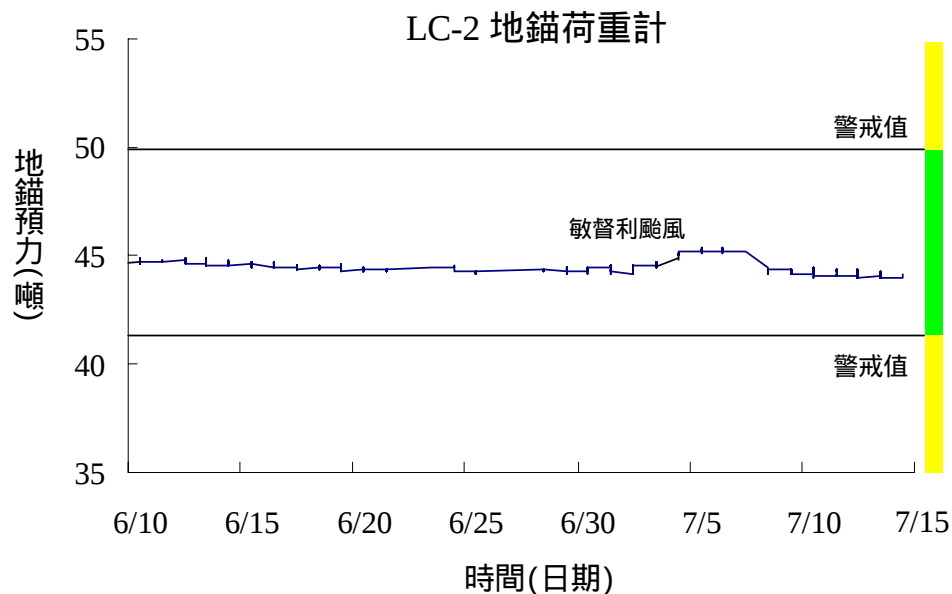


圖 5.55 下邊坡地錨荷重計（LC-2）之預力關係圖

綜合上述之監測數據，再根據此路段之水壓計、雨量計等讀數資料進行綜合分析（詳圖 5.56 圖 5.59），發現督利颱風

期間（7月1日～7月5日），地下水位曾一時上升至警戒值範圍，再者，測得阿里山五彎仔地區之累計降雨量亦已超過 1,000 公釐。故初步研判造成道路邊坡不穩定之因可歸為暴雨期間，因排水狀況不良造成地表逕流與地下水壓上升，導致邊坡土壤孔隙水壓力遽增，土壤之單位重提高，進而導致邊坡之不穩定情形。颱風過後，由於降雨趨於緩和與排水狀況改善，各相關之監測讀數資料亦已漸趨於平緩，但監測仍持續進行，並定期將彙整之相關資料提送之相關工程單位供之參考。

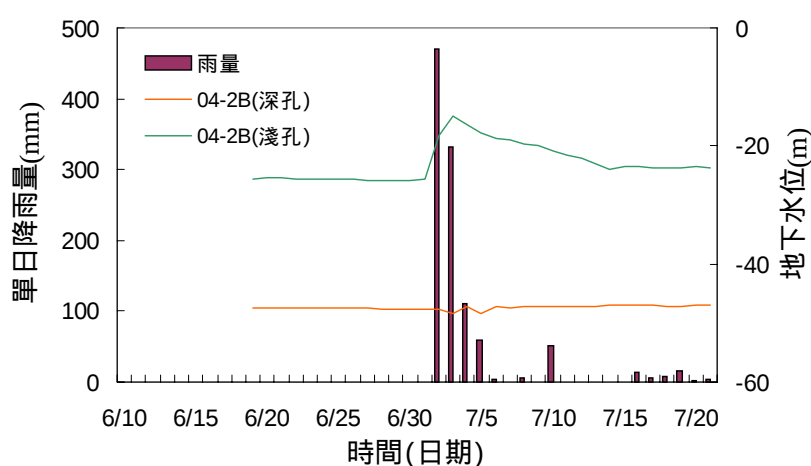


圖 5.56 降雨量與地下水位關係圖

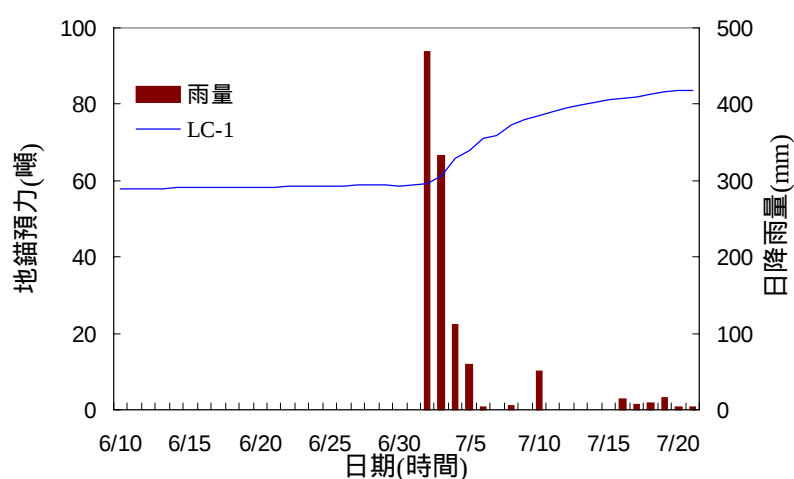


圖 5.57 上邊坡地錨荷重計（LC-1）預力與降雨量關係圖

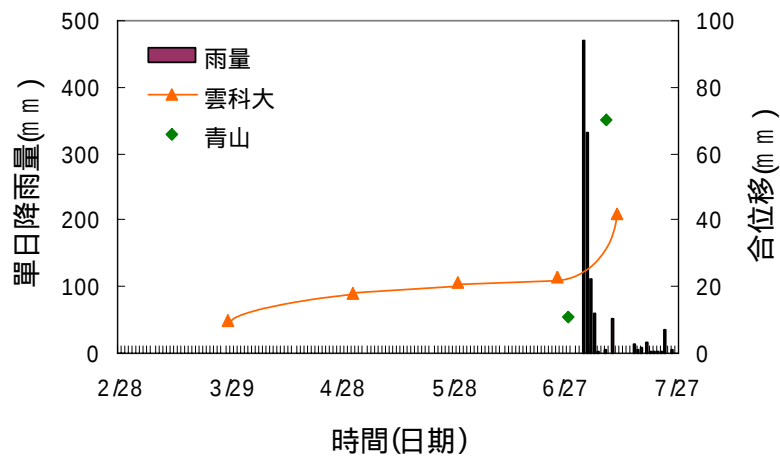


圖 5.58 降雨量與下邊坡傾斜觀測管（04-1）之關係圖

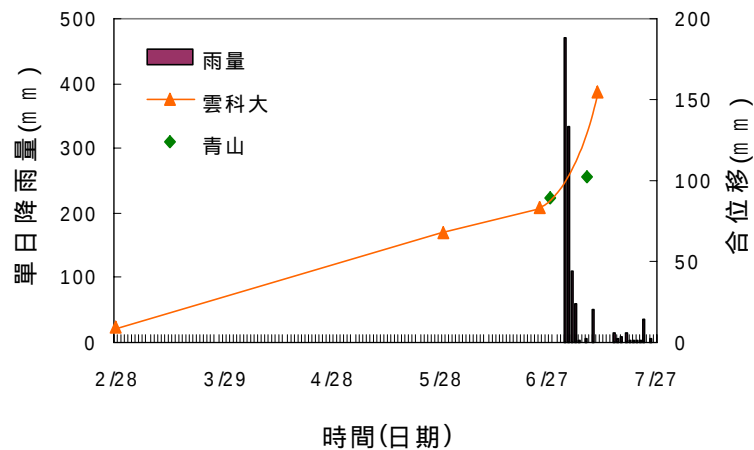


圖 5.59 降雨量與上邊坡傾斜觀測管（04-2A）之關係圖

交通部科技顧問室在進行坡地防災研究資源整合時，已於公路總局第五區養護工程處設置緊急及時衛星網路防災監視系統，由於初步之防救災系統已建置完備，故公路總局以第五區養護工程處轄屬範圍內之台 18 線為示範案例，持續進行後續之監測與數據分析工作。

5.2 監測與緊急搶修及復建決策流程

山區道路災損緊急搶修與復建工程決策，應考量各項影響緊急搶修與復建之因子，研擬效益及風險評估程序，建立一套準則，以供後續相關道路修建工程於決策流程中參考使用。其中，監測應視為山區道路邊坡工程設計之一環，緣於地質材料之高度異質性，山區道路邊坡設計與施工不可預期之情況發生之風險性原本即相當高。因地質條件之多變性，工址調查難以將地質或大地工程問題完全釐清，因此，設計者經常必須被迫採取許多假設以簡化複雜情況，故將引致不確定性。監測將提供道路邊坡工程設計與施工者相當豐富之現地觀察資訊，這些資訊將可適度驗證設計之假設，並降低工程之風險性。然而，監測必須有清楚的目標。Dunnicliff(1988)引述 Peck 教授的一段話“Every instrument on a project should be selected and placed to assist with answering a specific question; if there is no question, there should be no instrumentation. ”，監測無法確保設計的正確、施工順利與長期運轉之安全，除非正確選擇適當之儀器、放在適合的地方並適當的進行資料分析，不合適之監測規劃與所獲得之資訊將對潛在危機評估產生嚴重的誤導。

本研究基於過去研究成果，彙整以緊急搶修與復建為目的之邊坡監測流程圖如圖 5.60、圖 5.61。圖 5.60、圖 5.61 中相關說明詳列於後續各小節，關於事發型邊坡崩塌通報系統則詳見 5.3 節之說明。

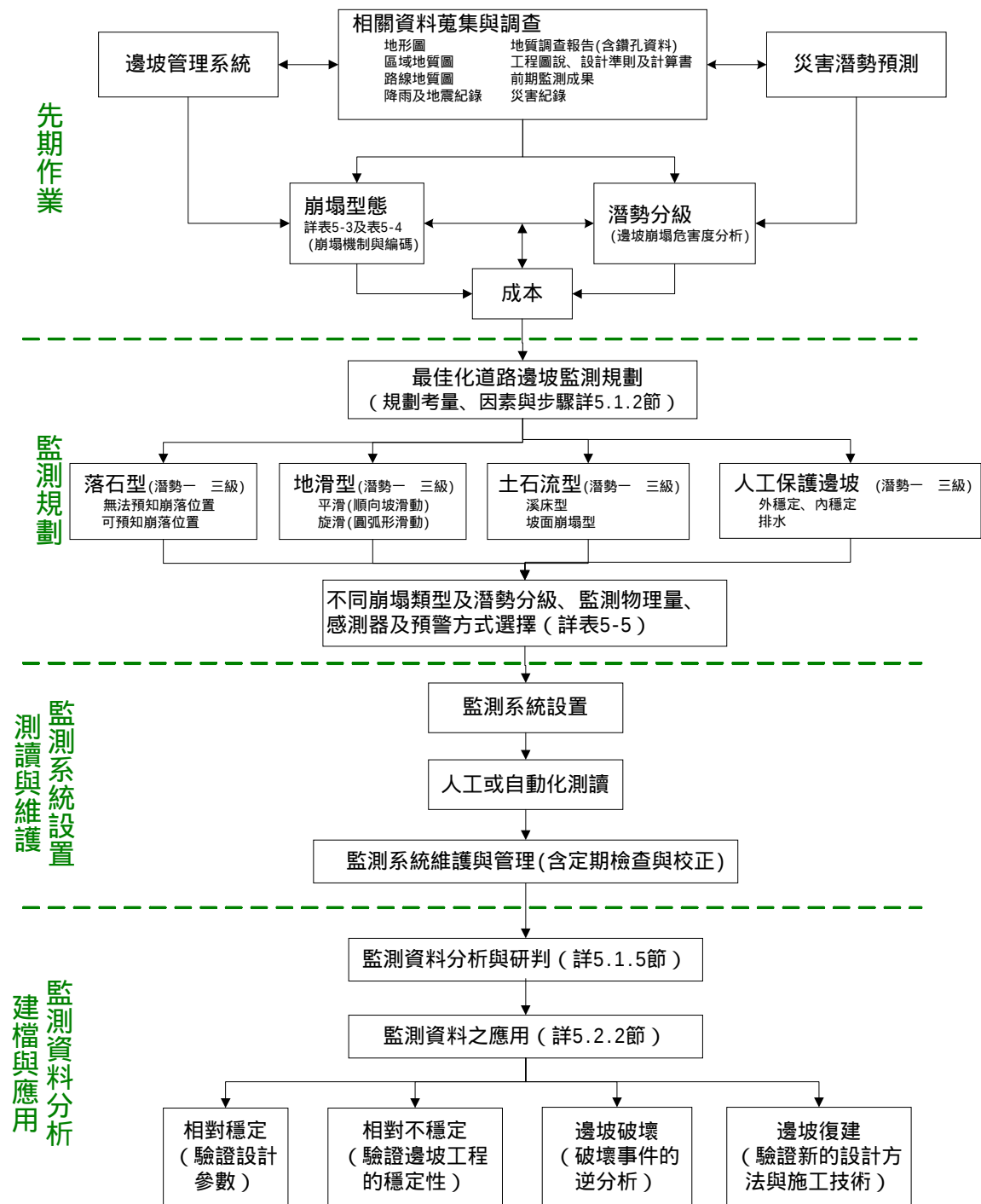


圖 5.60 道路邊坡崩塌監測規劃、預警、通報與緊急搶修與復建決策流程圖 (1/2)

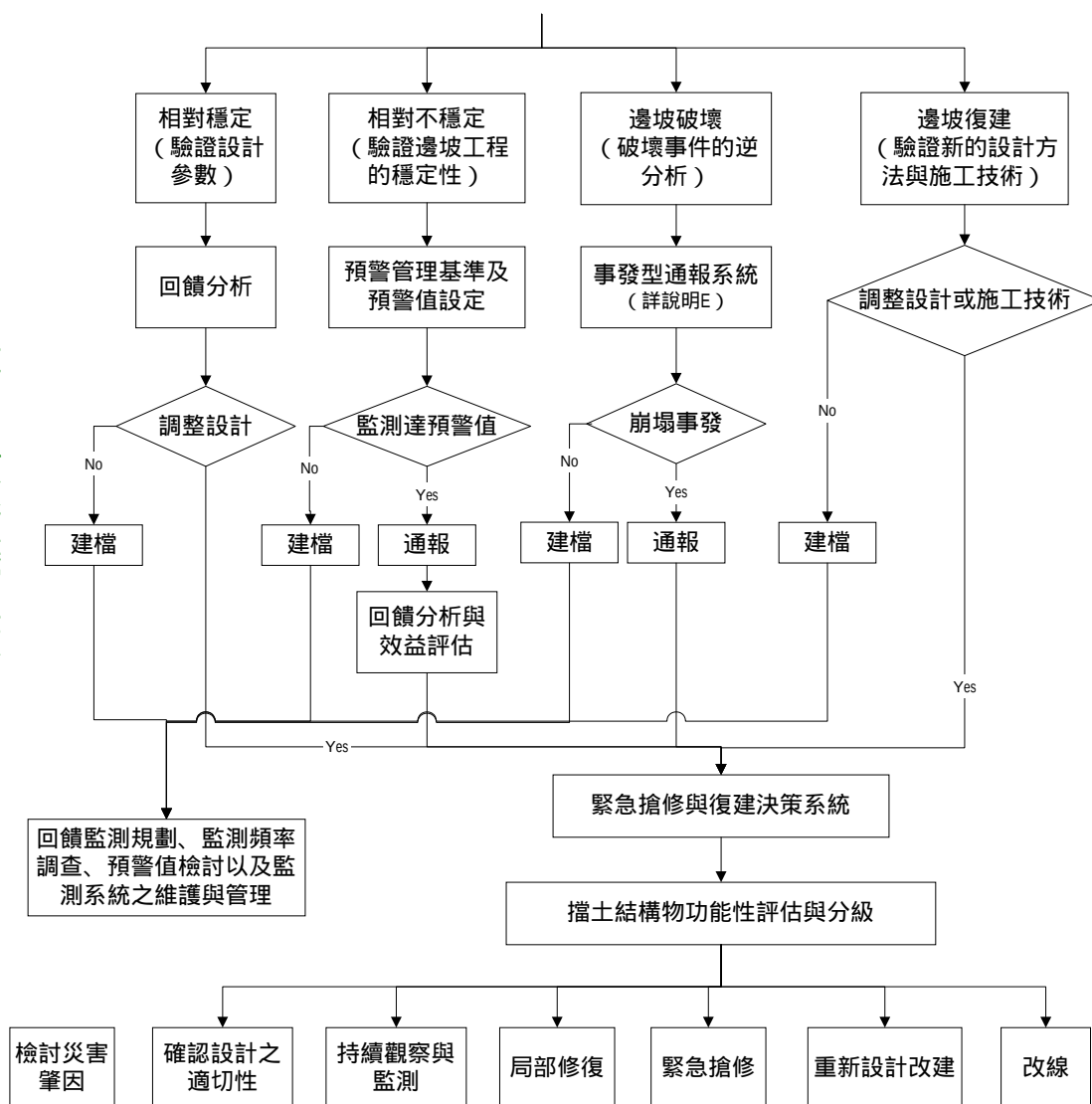


圖 5.61 道路邊坡崩塌監測規劃、預警、通報與緊急搶修與復建決策流程圖 (2/2)

5.2.1 監測規劃考量因素與步驟

監測規劃應遵循以下步驟進行 (Dunnicliff, 1988; 1990) :

1. 預測控制邊坡行為之關鍵機制

根據現地條件與工程設計，應先了解影響邊坡行為的關鍵機制，並建立假說模型。所有監測皆應基於此一假說模型進行適當之規劃。

2.定義監測目的

監測主要目的在於根據監測所獲致之現象，藉以與工程設計所預期之現象進行比較，以確定設計是否恰當。監測應基於每一特殊的邊坡工程與特殊工址條件所必須面對的獨特工程問題，進行完整配套的規劃。若該邊坡並無獨特必須面對之問題，則應檢討是否有監測之必要。

3.定義面臨之邊坡工程問題

每一個監測儀器的裝設，都是為了要解答某一個疑惑，因此，監測規劃前，應條列所有有關於道路邊坡工程設計、施工與長期運轉所將面對之問題。

4.選擇監測之關鍵物理量

邊坡工程問題典型的物理量包括水壓、變形、總應力、溫度、震動、滲流與降雨。監測規劃者應先界定其面臨之邊坡工程問題，上述物理量何者對於監測預計解釋之問題，是最顯著而應被監控。

5.關鍵物理量變化範圍預測

預測關鍵物理量之變化範圍，對於選擇監測儀器的工作範圍（ranges）、精度（accuracies）以及敏感度（sensitivities）相當重要。關鍵物理量可能發生的最大值估計，有助於選擇儀器之工作範圍；關鍵物理量最小值估計，有助於選擇儀器之精度與敏感度。對於作為預警功能之監測，事先估計預警標準也很重要，監測儀器所量測得之物理量是否代表異常現象，將影響施工是否需要停工或採取必要之緊急措施。

6.監測位置選擇

監測位置應與預計解釋之問題以及資料分析所需相結合（如邊坡分析斷面）。選擇監測位置之標準如下：(1)邊坡地質材料特別脆弱、高度最大或受力最強的位置；(2)具有代表性的位置；(3)邊

坡工程設施最易產生問題之處；(4)選擇部份次要位置布設少量儀器。儀器位置選擇亦應考慮設置之施工性，以及與邊坡工程施工互不干擾之處，以降低儀器受到施工破壞之風險。

7.儀器選擇

耐久性是儀器選擇最重要的因子，確保監測儀器於監測期間能持續提供穩定且可靠的資訊相當重要，若精度與耐久性無法同時兼顧時，通常犧牲的是精度。一般而言，愈簡單的儀器愈可靠。商品化的監測儀器應參考該型儀器過去於不同地區裝設與監測結果的表現。但是，簡單的儀器若無法達到監測目的時，也必須考慮採用較複雜或電子化的監測系統。舉例而言，開口式水壓計於無法進行垂直鑽孔處即無法使用。感應器的簡單性與耐久性順序如下：目視法（含測量）、機械式、水力式、氣壓式、電子式。儀器本身費用常僅佔整體監測費用的一小部份，因此，初始儀器購置價格並不代表此一儀器整體性設置所需之費用。監測規劃者應對儀器有基本的認識，除此之外，監測儀器選擇前應與儀器商或製造商深入討論預計選用之儀器各種優、缺點與限制。

8.決定是否自動化

自動化於即時（real time）獲取現地資料扮演不可獲缺之地位，特別是及時預警示有必要的情況下。然而自動化並不能取代所有簡單的儀器設備，自動化應視為監測整合系統之選項之一。

9.影響監測值之資料蒐集計畫

監測資料分析時，需要整合所有影響監測值之相關資訊，因此，監測規劃應涵蓋相關資料蒐集計畫。需要搜集之資料包括：地形變遷、地質資料（特別是為裝設儀器所設置之鑽孔資料）、邊坡設計圖、施工細節與施工過程、地表現象紀錄、降雨或地震紀錄等。

10.建立確保資料有效性的系統

監測儀器管理者，應負責儀器正常運作，並確認所測讀資料的有效性。儀器之正常運作以及資料之有效性通常需要經由儀器檢查或是經由輔助監測儀器加以確認。輔助監測儀器雖然精度可能較差，但是源於其穩定性較高，故可有效作為監測資料正常運作與否之重要指標。舉例而言，地表測量可確認傾斜觀測儀測讀資料之有效性、電子式或氣壓式水壓計可透過同時置入鑽孔中(雙管)之水力式水壓計加以驗證資料是否正常。監測儀器是否正常運作，有時可透過資料之一致性加以確認，如水壓是否隨降雨而增加或加載是否伴隨位移增加。資料的重現性有時亦將作為儀器是否正常運作的指標之一，為了確認測讀資料確實是有效的，有時會在一個很段時間內測讀多次。簡單的儀器量測與監測所得資料相互比較，常是確認監測資料有效性的不二法門。

11.計算監測費用

監測儀器價格評估應考慮：初始價格、裝設費用、校正費用、維護費用、資料測讀費用、分析費用以及儀器重置費用。

12.設置計畫

正確設置監測儀器是能獲致有效之監測資料之基本要項，因此，監測儀器裝設施工前，應擬定監測儀器設置計畫。此一設置計畫應基於該儀器製造商之儀器說明書以及監測規劃者對監測儀器設置地點之地形、地質特性之了解。設置計畫應包括設置過程中需要之材料、工具與施工步驟，設置儀器時應準備紀錄表，以記錄所有可能影響資料判讀所需之施工細節。

13.長期保護計畫

設置位置選擇時即應將此一要項納入考慮，因此，設置位置應避免遭施工車輛、人員或機器破壞。有時地面保護是必要的(如蓋板)，置於具保護效用之容器或埋深亦能有效保護設備，較偏僻

處又時需要儀器小屋保護相關設備。

14.定期校正與維護計畫

監測系統規劃應將定期校正與維護納入考量。校正與維護時機以及程序應加以建立。

15.資料擷取與管理計畫

監測規劃時應考慮資料擷取與管理方式，資料的取得、儲存、分析與管理所需之工作量相當巨大，包括處理所需費用以及處理所需時間均不應被忽視。大量監測資料累積未被適當整理、分析的情形相當常見。電腦化可大量減少人力的需求，然而，由有經驗的工程師進行監測資料分析與現象研判，卻是電腦難以取代的。

16.資源整合

監測規劃包括儀器校正、維護、設置、資料分析與管理，涉及問題相當龐雜。因此，使用監測資料者應即為監測計畫整體負責者。涉及監測計畫的人應具有基礎大地工程的背景，同時應可靠、有耐心、細心且負責任。

17.費用重估

一旦前述工作完成，監測整體費用應重新估算，特別是監測儀器的維護、資料擷取與分析的費用，應於監測設備運轉期間有充足的預算可支應。

5.2.2 緊急搶修及復建監測資料之應用

根據邊坡監測之目的，監測於道路邊坡緊急搶修及復建之應用可分為四個方面加以說明：

1.驗證設計參數

根據由監測儀器觀察邊坡之行為與反應，可作為邊坡設計分析參數之驗證，並提供設計者檢核設計之適當性，以及根據現地

情形修正設計。邊坡設計涉及邊坡破壞機制之假設、參數與環境條件之選擇以及滑動面位置與下滑力估計等等，也因此有許多條件為未知或具有變異性以及不確定性。合適之監測資訊將可適度檢討一些分析時過於保守或不適合之假設，並適時修正設計。

2.驗證邊坡工程的穩定性

對於特別需要關注之邊坡工程，確認完工後的工程能穩定存在，對於設計者或管理維護單位都相當關心，監測所獲致之資訊可作為邊坡工程是否穩定評估之依據，同時，有助於未來情況類似之邊坡設計。另外，穩定之監測成果亦將成為未來異常現象比較之基準，而可做為防災處置之依據。

3.破壞事件的逆分析

監測資料對於協助確認破壞發生原因與破壞機制，具有相當程度的重要性。另外，復建工程進行中，亦應設置監測儀器，以確認復建工程之有效性及適當性。

4.驗證新的設計方法與施工技術

一般而言，新的設計方法與施工技術，除非經過現地驗證邊坡之實際反應，否則難以獲得普遍的接受。監測儀器所獲致之資訊，將能有效提供作為新設計方法與新施工技術恰當性驗證之用。

5.3 事發型邊坡崩塌監測預警之通報與處理流程規劃

邊坡崩塌之預警，歷經多年之研究，國內外雖多有成功之實例，然而仍時有崩塌發生未預警或預警但未發生崩塌之狀況。主要原因在於邊坡崩塌問題極端複雜，每一個邊坡有其獨特性，故預測不易。雖然道路邊坡預警並不容易，但對於道路邊坡防災而言，自動化監測仍有相當之功能性，尤其是邊坡崩塌事發之自動偵測、警告與自動封閉道路。適當設置之邊坡崩塌自動化應變系統，可避免於視線不佳情況

下，車輛直接撞擊崩落土石或墜落流失路基之意外事故發生。董家鈞(2003)曾建議，為達防災目的，建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性，本研究將之稱為事發型監測預警之通報與處理流程，流程圖如圖 5.62。

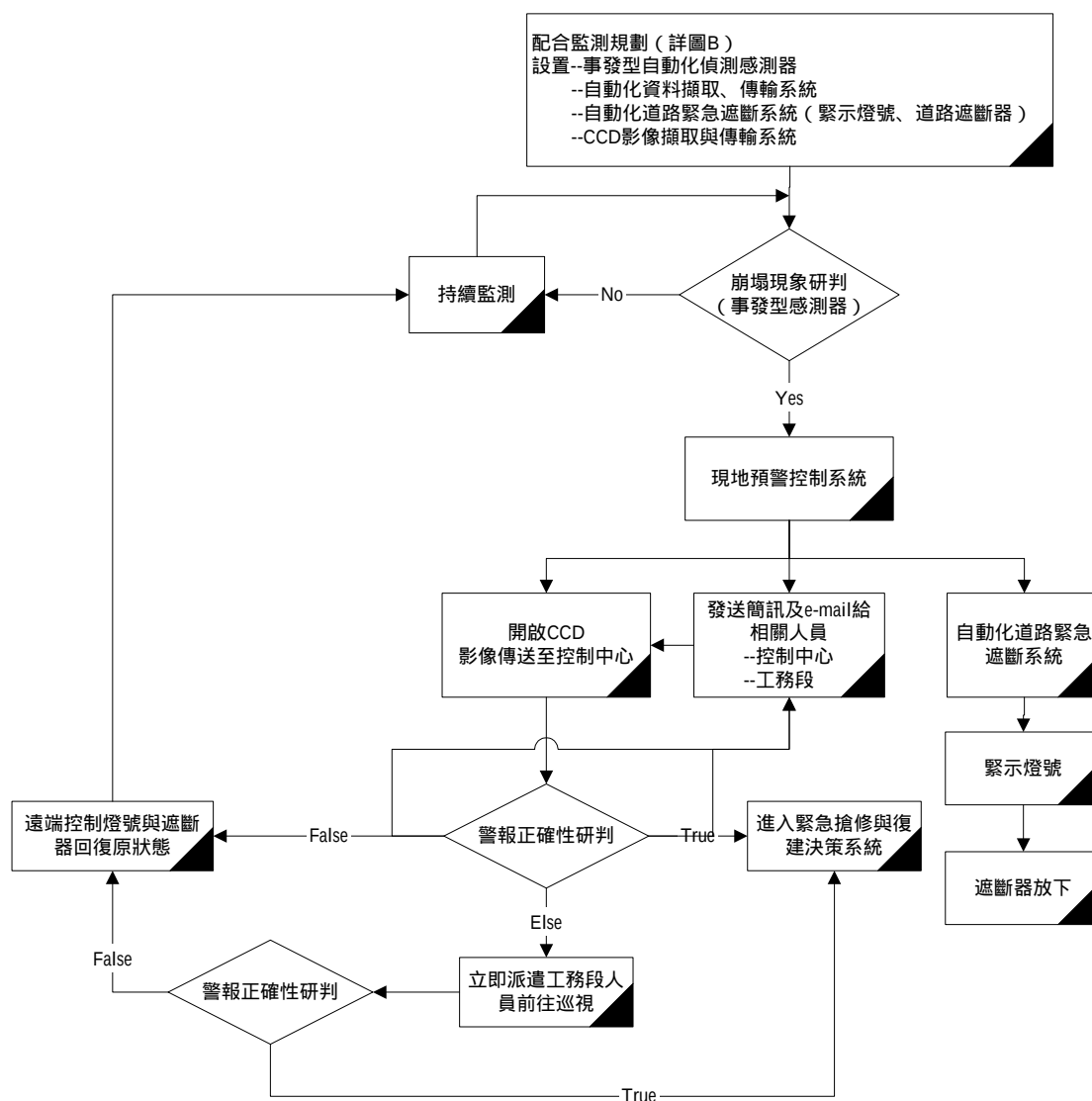


圖 5.62 事發型監測預警之通報與處理流程圖

相關流程說明如下：首先需設置事發型自動化感測單元，當落石墜落或土石流動時將立即擷取訊號並即時傳輸至控制系統，並啟動自動化警示系統，同時啟動自動化道路遮斷系統以及攝影儀。攝影儀之目的作為即時確認緊急處理之正確性，以立即對於假警報進行處理及

解除警示與遮斷。至於崩塌機制屬於地滑之邊坡，上述屬於事發型自動化感測單元之需要較低，但仍可視情況考慮設置可偵測道路中斷與否之自動化感測單元以及攝影儀，以即時監控地滑發展情況並適時啟動警示與道路遮斷，其中尤以發生較為突然之順向坡滑動潛勢邊坡特別需要。

至於道路遮斷位置之選擇，應先評估道路崩塌堆積以及路基流失可能範圍，並設置於此一範圍以外，至於警示系統與遮斷系統之距離，應以道路限速加以計算煞車距離作為重要考量，但此二系統於設置時應同時考慮駕駛之通視問題。有關於道路邊坡崩塌事發後檢知、啟動自動警示系統、啟動遮斷系統、啟動攝影系統以檢出假警報等之配置詳見圖 5.63。

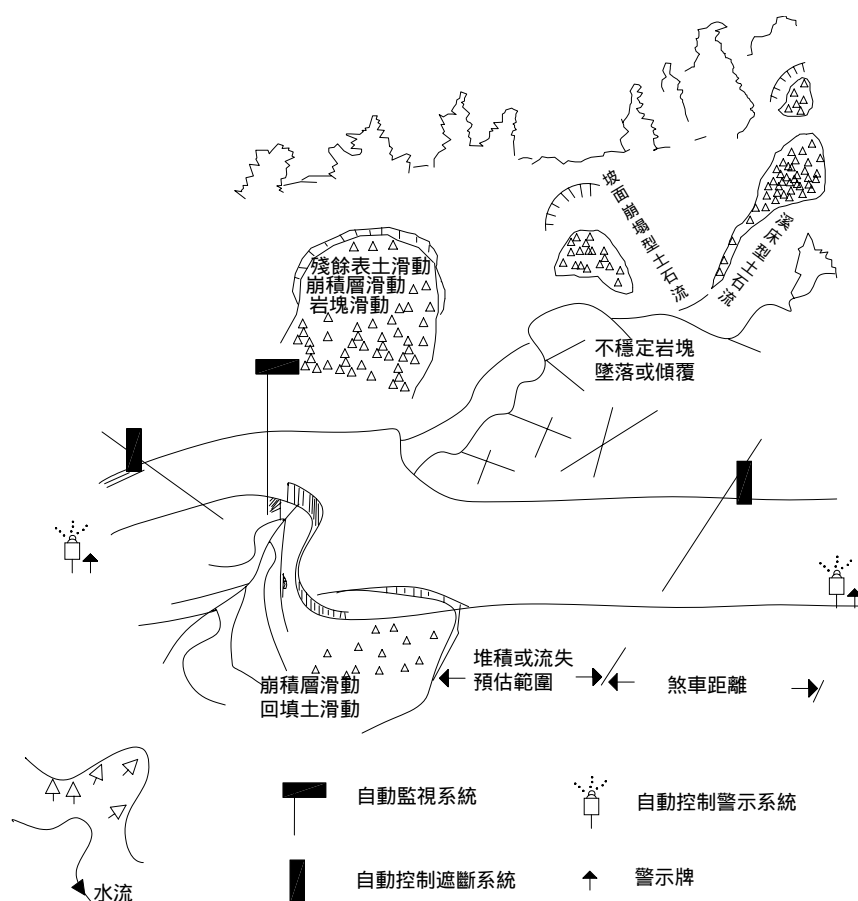


圖 5.63 道路邊坡崩塌事發後檢知、警示、遮斷、以及檢出假警報之配置規劃

第六章 道路邊安全及災損擋土結構物功能評估方法

台灣地區在賀伯颱風、921 地震、桃芝颱風，以及敏督利颱風等天然災害襲擊後，造成多數山區道路邊坡嚴重崩塌與擋土結構物損壞，然而由於損害數量極鉅，囿於養護修復之人力、物力有限，又加上現地自然環境變化難測，故至目前仍有部分路段尚未完全復原，同時，山區道路沿線多數擋土結構物亦遭程度不同之損壞，為瞭解相關災損邊坡擋土結構物之功能性，因此需針對災損擋土結構之功能性建立一評估方法，針對擬定之功能評估因子進行評估，再依據功能評估結果予以分級，而後依據功能等級之高低，便可施以重建或不同程度之處理對策。

6.1 擋土結構物功能評估因子與分級評估模式

6.1.1 擋土結構物功能評估因子

各類擋土結構物功能性評估可藉由現地勘查作業，以目視檢查法，針對道路邊坡擋土設施之現存功能作一概略性評估，並可利用儀器監測法由現地儀器之量測讀數，作為擋土結構物災損分級界定之依據。本研究篩選國內較常使用之典型道路邊坡擋土防治工法，如噴漿護坡、打樁編柵，以及重力式、懸臂式、加勁與地錨等擋土結構物，並依其結構物特性因子予以分類，進而選定功能評估因子進行分析。各類護坡擋土結構物之功能評估因子內容分別說明如下：

1. 噴漿護坡（編碼 E-010） 打樁編柵（編碼 V-060）工法

噴漿護坡及打樁編柵為常見之道路邊坡防治工法，主要以坡面侵蝕、風化及表層崩落之局部穩定作用為主。其主要功能評估因子包括：

(1)噴漿坡面龜裂、剝蝕

噴漿坡面若發生龜裂或剝蝕現象，其損壞原因可能為施工不當、噴漿厚度不足、邊坡內部排水不良、植物生長支撐或穿透水泥噴漿等。噴漿坡面損壞會導致雨水滲入裂縫致使坡面土層流失與沖刷，造成更大的剝蝕。

(2)坡面裸露、沖蝕

坡面若植生覆蓋效果不佳，岩、土層暴露於風化與侵蝕作用下，每當颱風豪雨來襲時，裸露之坡面易引發或大或小之沖蝕溝。

(3)邊坡滲水、湧水

坡面若有滲水或湧水情形，且流出之逕流水呈現混濁現象時，表示地表植被遭破壞或裸露，內部土壤顆粒隨逕流水流出，坡面容易被淘空而軟化或下陷。

2.砌石擋土牆（編碼 E-040）、重力式擋土牆（編碼 E-050）及懸臂式擋土牆（編碼 E-060）等工法

此類為傳統剛性擋土牆工法，係以牆體本身之重量或配合鋼筋混凝土強度，提供抗滑、抗剪及抗傾倒之功能。其主要功能評估因子包括：

(1)牆體傾斜、外凸變形、鋼筋外露

擋土牆若經由目視檢查發現外觀有明顯傾斜、位移、鋼筋外露等現象，其損壞原因可能為受地震外力作用後之地層滑動、施工設計不良、填土壓力、地下水侵蝕或雨水沖蝕等，造成擋土牆可以承受的壓力超過抵抗強度，而失去擋土功能。

(2)牆面裂縫、龜裂

此類擋土工法之耐震能力較差，易因受地震所引發之動態土壓力作用，而使牆體受力不均，造成牆體位移而產生張力裂縫。

(3)擋土牆排水孔阻塞、排水混濁

擋土牆排水孔若無法順利排水，易產生滲透水壓過大，土壤吸水膨脹而使得擋土牆出現外凸變形或龜裂現象。另外，排水孔若流出混濁泥水，則可能因牆背回填土發生流失或淘空，即有潛在危險現象。

3.加勁擋土牆工法（編碼 I-010）

加勁擋土工法係使用地工合成材料、鋼材或其他等加勁材料，與填築土壤結合成加勁土體，並利用土壤中埋設之加勁材料與土壤間所產生之摩擦力，彌補土壤中之剪力或張力強度不足，使得土體在受外力作用後不致產生側向位移，以保持土體結構之穩定。加勁擋土結構與傳統重力式擋土設施相較，其主要優勢為有耐震性佳、經濟性佳、較佳的因地制宜性，以及易於進行景觀綠美化等特點，故近年來已被大量被推行、採用，並取代部分之傳統剛性擋土牆。其主要功能評估因子包括：

(1)牆體沉陷、變形

加勁擋土牆一般係由面版、加勁材料及回填材料所組成。牆體外觀若有明顯沉陷、變形，其損壞原因可能為回填料之夯實不良或設計不當導致牆體承载力不足而發生沉陷與側向變形，若邊坡地質條件不良或侵蝕，更易造成擋土牆損毀。

(2)加勁材斷裂、拉出

一般加勁材料可分為金屬與非金屬兩大類：非金屬類主要以地工合成材料為主；金屬類則以鋼材較為普遍。與傳統剛性

擋土牆比較，加勁擋土牆的施工簡單且快速，但其施工品管格外重要。若外牆面版有明顯外露或加勁材明顯斷裂、拉出等現象，其損壞原因可能為施工品管不良或保護不佳，導致加勁材料抗拉強度不足而發生破壞。

(3)截排水設施損壞、坡趾滲水

截水牆若發生錯動或折斷而造成排水不良，易導致雨水滲入加勁回填區內致使回填材料流失，即可能發生邊坡潛移、地盤不穩定等癥兆。此外，坡趾有滲水現象，易造成沖蝕致使邊坡趨於不穩定狀態。

4.地錨擋土牆工法（編碼 I-020）

地錨擋土工法為近年來道路工程較為普遍使用之柔性擋土工法，此工法係藉由地錨本身提供之高抗滑力來穩定邊坡，常運用於滑動面較為深層或已發生破壞之坍滑邊坡。由於地錨擋土工法本身對於能否發揮預期成效有其決定性之影響，故於施工要求之品質及品管也較高。其主要功能評估因子包括：

(1)錨頭與面版龜裂、剝離

地錨與擋土牆面版外觀若有明顯龜裂、剝離或變形等損壞現象，其損壞原因可能為設計或施工品管不良、地震或地層滑動，易造成邊坡整體崩滑而失去錨定功能。

(2)錨頭、鋼腱銹蝕

地錨錨頭若開裂而外露，會因地下水滲入而使鋼腱產生銹蝕，即可能發生錨頭脫落或擋土牆面版開裂，降低抗拉強度而失去錨定功能。

(3)地錨預力損失、鋼腱斷裂

地錨錨定力會因時間增加而漸漸減少，可藉由地錨荷重計之裝設，隨時監測預力鋼腱之殘餘荷重，以便於掌控擋土邊坡

之穩定性。

綜合上述，各類護坡擋土結構物之主要功能評估因子彙整如表 6.1。

表 6.1 國內常見護坡擋土結構物之主要功能評估因子

護坡擋土結構物型式	功能性評估因子
E-010 噴漿護坡 V-060 打樁編柵	噴漿坡面龜裂、剝蝕 坡面裸露、沖蝕 邊坡滲水、湧水
E-040 砌石擋土牆 E-060 重力式擋土牆 E-060 懸臂式擋土牆	牆體傾斜、外凸變形、鋼筋外露 牆面裂縫、龜裂 擋土牆排水孔阻塞、排水混濁
I-010 加勁擋土牆	牆體沉陷、變形 加勁材斷裂、拉出 截排水設施損壞、坡趾滲水
I-020 地錨擋土結構物	錨頭與面版龜裂、剝離 錨頭、鋼腱銹蝕 地錨預力損失、鋼腱斷裂

6.1.2 擋土結構功能分級評估模式

本研究主要將護坡擋土結構物之功能現況分為功能尚可、局部損壞及功能喪失等三大等級，各分級原則茲分別說明如後。

1.功能尚可

護坡擋土結構物之外觀經由專家學者或工程實務人員進行現地勘查目視檢測後，若牆體本身沒有明顯傾斜、位移及變形，或僅有細微裂縫、小部分輕微之變形；另一方面，地表或地下排水設施充足且排水狀況良好，且附近坡面植生覆蓋情形完整等情況下，則可視擋土結構物之功能尚可，然由於此等級之工法仍可以發揮其穩定之功效。

2.局部損壞

若護坡擋土結構物牆體之外觀有局部龜裂破壞、略有傾斜現象，或是地錨之錨頭與擋土牆面版有分離或錨頭嚴重銹蝕之現

象；至於排水狀況方面，擋土牆面之排水孔部份遭土石或異物堵塞；或排水設施不足，進而造成排水功能部份喪失；抑或坡面已出現裸露、龜裂情形，但整體坡面保護功能仍存在等功能現況下，則可將此擋土結構物之功能分級界定為局部損壞，然由於此等級之工法安全性介於警戒值與觀察值之間。

3.功能喪失

護坡擋土結構物之外觀透過現地勘查目視檢測，若擋土牆體龜裂嚴重、完全崩壞，或者擋土牆可由肉眼看出明顯傾斜或位移時，則可將此狀況判定為擋土結構體功能喪失；然在地錨工法方面，地錨錨頭掉落或擋土牆面版嚴重開裂亦為功能喪失之明顯癥兆。在排水方面，坡面已產生大小不等之沖蝕溝、坡面流水混濁、現地排水設施不暢通，抑或地表逕流流速過快導致排水設施嚴重損壞，致使排水設施未能發揮排除逕流及消能之功效等現況下，皆屬於結構物功能喪失之分級，由於此等級之工法已喪失穩定邊坡之功能，屬於警戒值狀態。然為考量現地安全，並建議針對此等級之工法應即時採取相關之處理對策。

6.2 功能評估方法

道路邊坡擋土結構物之功能評估方法依其工程特性與規模可分為目視檢查法、調查分析法及儀器監測法，分別概述如下：

6.2.1 目視檢查法

目視檢查法為山坡地最基本且最常使用的工法，當道路邊坡擋土結構物已發生不安全狀況時，常會在地表或擋土設施發現若干癥兆，諸如地形或地貌的不協調、地面出現連續性之張力裂縫、坡趾附近之土石被擠壓且出現大量鼓脹裂縫、擋土牆外凸或龜裂、地錨開裂或銹蝕、路面及排水系統損壞等異常現象，如能有具經驗之工程師加以檢查，大部分都能提前預知防範。

由於目視檢查法簡單易行，故大都將目視檢查列為山坡地水土保持設施自行檢查的主要項目，如果經由目視檢查發現異常現象時，為充份瞭解其真正的原因及行為，則有必要進一步調查或監測。

6.2.2 調查分析法

由於目視檢查法僅能就其外觀初步檢查判斷，但無法瞭解邊坡潛在之危險因子或區域，故需調查山坡地之地質及地下水狀況，就不同基地之地質狀況及地下水條件，繪製地質剖面圖，並參考室內試驗求得之地層強度參數 C 、 ϕ 值，進行邊坡穩定分析，以求得安全係數。設計者必須針對地質條件、地下水條件、滑動面、地層強度參等基本調查有充份的瞭解與掌握，並考量邊坡造成破壞時，可能造成生命財產損失之嚴重性，決定一合理的安全係數，以作為後續分析及設計之依據。

6.2.3 儀器監測法

由於目視檢查法僅藉由表面癥兆判斷其安全性，故有其侷限性及不足之處，在已出現危險癥兆或風險性較高之道路邊坡與擋土結構物，必須藉由精密儀器對地層穩定性、擋土設施、地下水進行監測，以充份掌握邊坡地層之穩定狀況，並由專業人員設定管理標準，在有安全疑慮時即適時發出預警訊息，以提供管理單位採取應變措施。

上述三種功能評估方法之優缺點比較，詳表 6.2。一般而言，在工程經濟、安全及時效之考量下，三種方法常混合或同時使用。若風險程度較高或已有不穩定癥兆發生之邊坡，則多同時採用此三種方法進行安全檢查。以山區道路邊坡而言，由於涵蓋的面積及範圍廣大，大都以目視檢查為主，然視其災害嚴重性之局部區域，再輔以調查分析或儀器監測等方法。

表 6.2 不同功能評估方法之優缺點比較（廖瑞堂，2001）

方法	目視檢查法	調查分析法	儀器監測法
工作方法	以目視檢查現場勘查記錄並加以研判。	1. 藉由地質調查及基本資料蒐集，決定參數及地層狀況。 2. 以水理分析及邊坡穩定分析加以評估分析。	採用精密儀器對邊坡穩定直接監測。
適用時機	1. 基地面積甚廣。 2. 初步現勘調查。	輔助目視檢查法及儀器監測法之不足。	1. 設置於高危險性或風險性高的邊坡。 2. 安全要求標準較高的坡地。
優點	1. 快速、經濟。 2. 可隨時檢視並加以保養維護。	1. 可深入瞭解不同個案潛在的危險因子。 2. 可充分瞭解邊坡安全性。 3. 提供監測儀器佈設之依據。	可掌握地層或擋土設施實際之穩定狀況。
缺點	1. 從坡地外觀無法掌握危險地區之危險因子。 2. 無法瞭解其安全性。	1. 與時間有關之特性，如地下水流向之改變無法充份掌握。 2. 費用較昂貴。	無法瞭解邊坡之安全性。

6.3 定量化道路邊坡災損擋土結構物功能評估方法

綜合前述各類護坡擋土結構物之功能評估因子與分級模式，將國內道路邊坡常使用之護坡擋土結構物分為噴漿護坡、打樁編柵；砌石、重力式、懸臂式等擋土結構；加勁擋土結構；以及地錨等四類，依據其功能特性之不同，研擬各類擋土結構物之功能性評估與分級評分模式，如下述各節所述。

6.3.1 噴漿護坡工法

噴漿護坡主要之功能評估因子在於噴漿坡面龜裂、剝蝕；坡面裸露、沖蝕；以及邊坡滲水情形。若噴漿坡面外觀僅有細微裂縫；坡面

植生覆蓋情形大致良好且無小沖蝕溝跡象；排水設施充足且排水狀況良好時，則建議界定為功能尚可。

若噴漿坡面有局部龜裂；坡面裸露面積介於 20% 60%或有小型蝕溝正在發育中，但坡面整體保護功能仍存在；排水設施不足或有局部損壞等情形，則可界定評估等級為局部損壞。

倘若噴漿坡面外觀嚴重剝蝕；坡面裸露面積超過 60%或坡面已產生或大或小之沖蝕溝；坡面有嚴重滲水且流水出現混濁現象時，則界定此工法之功能等級為功能喪失（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳見表 6.3）。

表 6.3 噴漿護坡工法功能評估與分級評分模式

檢視項目 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1. 噴漿坡面有輕微裂縫。 2. 植生覆蓋效果大致良好。 3. 排水設施充足且排水狀況良好。	1. 裸露面積在 20% 以下。 2. 坡面無小沖蝕溝跡象。	1. 定期目視檢查。 2. 加強管理維護。
局部損壞	1. 噴漿坡面有局部龜裂。 2. 坡面已有明顯裸露，但整體坡面保護功能仍存在。 3. 排水設施不足或局部損壞。	1. 裸露面積介於 20% 60%。 2. 坡面有蝕溝系統正在發育中。	1. 採用表面修補或加強植生。 2. 局部增加萌芽樁或其他穩定工法。 3. 增設排水設施。
功能喪失	1. 噴漿坡面嚴重剝蝕。 2. 大部份坡面沖蝕或裸露。 3. 邊坡嚴重滲水。	1. 裸露面積超過 60%。 2. 坡面已產生或大或小之沖蝕溝。	1. 檢討工法之適用性。 2. 工法如不適用，則改變工法。 3. 如滑動範圍甚大，增設監測系統。

6.3.2 砌石、重力式、懸臂式等擋土工法

此類擋土結構物主要之功能評估因子在於牆體外觀之傾斜、位移

與裂縫情形，以及結構體細部之平移量。擋土牆外觀無明顯傾斜及位移，或僅有細微裂縫；現地量測擋土牆頂部或任一點所得之平移量小於 5 公分，或擋土牆傾斜增量 $< 1/100$ ；排水設施充足及排水狀況良好時，則建議界定為功能尚可。

若擋土牆外觀有局部龜裂或牆體略有傾斜；現地量測擋土牆頂部或任一點所得之平移量介於 5 ~ 20 公分，或擋土牆傾斜增量介於 $1/100$ ~ $1/10$ ；擋土牆部份排水孔遭異物或土石堵塞，或排水設施不足時，則可界定評估等級為局部損壞。

倘若牆體外觀嚴重龜裂或崩塌；現地量測擋土牆頂部或任一點所得之平移量超過 20 公分以上，或擋土牆傾斜增量界於 $> 1/10$ ；排水設施不暢通時，則界定此工法之功能等級為功能喪失（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳見表 6.4）。

表 6.4 砌石、重力式、懸臂式等擋土結構功能評估與分級評分模式

檢視項目 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1. 沒有明顯傾斜或位移。 2. 細微裂縫。 3. 排水設施充足且排水狀況良好。	1. 擋土牆頂部或任一點之平移量小於 5 公分。 2. 擋土牆傾斜增量 $< 1/100$ 。	1. 定期目視檢視。 2. 表面局部修補。 3. 加強管理維護。
局部損壞	1. 局部龜裂。 2. 略有傾斜，但肉眼不易感覺。 3. 牆面排水孔部份堵塞，或排水設施不足。	1. 擋土牆頂部或任一點之平移量小於 20 公分，但大於 5 公分。 2. $1/10 < \text{擋土牆傾斜增量} < 1/100$ 。	1. 局部敲除重作。 2. 加強監測。 3. 定期清理排水孔。
功能喪失	1. 龜裂嚴重或完整崩壞。 2. 排水設施不暢通。	1. 擋土牆頂部或任一點之平移量超過 20 公分以上。 2. 擋土牆傾斜增量 $> 1/10$ 。	1. 檢討工法之適用性。 2. 採行適用工法。

6.3.3 加勁擋土工法

加勁擋土工法屬一柔性工法，故可容許之變形較大，其主要之功

能評估因子在於外觀之變形、位移、傾倒與地表沉陷量。加勁擋土牆外觀若有無明顯變形或僅有細微變形，或者加勁材大致良好，僅小部份受損；現地量測所得之地表沉陷量小於 5%坡高；排水設施充足且排水狀況良好時，則建議界定為功能尚可。

若外牆面版外露或加勁材明顯外凸或斷裂、加勁材局部性瑕疵或破壞；現地量測所得之地表沉陷量大於 5%坡高；排水設施不足或局部損壞時，則可界定評估等級為局部損壞。

擋土牆若有產生明顯傾倒或位移；加勁材產生整體性的破壞，且現地量測所得之垂直或水平位移超過 1 公尺；或坡趾嚴重滲水時，則界定此工法之功能等級為功能喪失（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳見表 6.5）。

表 6.5 加勁擋土結構功能評估與分級評分模式

檢視項目 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1. 外觀無明顯變形。 2. 小部份輕微變形。 3. 排水設施及排水狀況良好。	1. 大部份加勁材良好，僅有小部份受損。 2. 地表沉陷量小於 5%坡高。	1. 定期目視檢測。 2. 加強管理維護。
局部損壞	1. 外牆面版或外露加勁材明顯外凸或破裂。 2. 排水設施不足或局部損壞。	1. 加勁材局部性瑕疵或破壞。 2. 地表地沉陷大於 5%坡高。	1. 損壞部份之面版或地工織物拆除修復。 2. 增設排水設施。 3. 設置監測系統加強監測。
功能喪失	1. 加勁擋土牆產生明顯傾倒或位移。 2. 坡趾嚴重滲水。	1. 整體性的破壞。 2. 加勁擋土牆垂直或水平位移超過 1 公尺。	加勁擋土牆拆除重作或採其他擋土工法。

6.3.4 地錨擋土工法

地錨擋土工法主要之評估因子在於地錨擋土牆面版、錨頭與預力損失情形。地錨擋土牆面版有輕微龜裂現象或局部有銹水滲出、地錨本身功能大致正常，僅擋土牆面版或錨頭受損；或現地量測所得之預

力損失或超過設計在 20%以內，則界定之分級為功能尚可。在細部構造方面，為考量目前國內山區道路之施工條件，建議以 20%作為功能評估分級依據。

地錨錨頭與擋土牆面版若已分離或銹水滲出嚴重、地錨功能已有明顯受損；或者，現地量測所得之預力損失或超過設計大於 20%以上，但未達鋼腱降伏強度，且鋼腱已銹蝕嚴重，則建議界定為局部損壞。

倘若錨頭已經掉落或擋土牆面版嚴重開裂，抑或現地量測所得之預力完全損失或鋼腱斷裂，則此工法之穩定功能已經屬於完全喪失之等級（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳見表 6.6）。

表 6.6 地錨擋土結構功能評估與分級評分模式

檢視項目 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1. 地錨擋土牆面版有輕微龜裂現象或局部有銹水滲出。 2. 地錨功能大致正常，僅擋土牆面版或錨頭受損。	預力損失或超過設計拉力 20%以內。	1. 採用表面修補或錨頭防水措施。 2. 加強管理維護。 3. 配合其他儀器觀測變位。
局部損壞	1. 錨頭與面版分離或銹水滲出嚴重。 2. 地錨功能已有明顯受損。	1. 預力損失或超過設計拉力 20%以上，但未達鋼腱降伏強度。 2. 鋼腱銹蝕嚴重。	檢測地錨功能及銹蝕狀況，並做必要之補強。
功能喪失	地錨錨頭掉落或擋土面版嚴重開裂。	預力完全損失或鋼腱斷裂。	重新施作地錨或其他擋土工法。

綜合上述各類護坡擋土結構物之功能評估與分級評分模式，將於研究中研擬「道路邊坡擋土結構物檢查表」和「災損處理對策建議表」（詳表 6.7 表 6.10），期能提供專家學者或工程實務人員進行現地勘查目視檢測後，能立即評估護坡擋土結構物之功能現況，進而提供後續處理建議與改善處理對策，以使山區道路維持良好之服務水準。

表 6.7 道路邊坡擋土結構物功能檢查表

防治工程	種類	檢查項目	檢查結果	若檢查結果異常者，建議緊急處理情形	現地照片編號
擋土設施	☐ 砌石擋土牆(E-040)	☐ 結構物有無整體傾斜、位移情況	☐ 正常 ☐ 異常	以監測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制，並加強持續觀測。	
	☐ 重力式擋土牆(E-050)	☐ 結構物有無不均勻沉陷、洶空情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制。	
	☐ 懸臂式擋土牆(E-060)	☐ 擋土設施兩端與相鄰邊坡接縫有無異樣或分離情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制。	
	☐ 蛇籠擋土牆(E-070)	☐ 混凝土有無剝落、鋼筋暴露銹蝕情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補混凝土。	
	☐ 格床式擋土牆(E-080)	☐ 結構物外觀有無裂縫、龜裂情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制。	
	☐ 回填土工法(E-090)	☐ 結構物之框梁有無鬆脫、填敷材料突出、下沉情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補整修，並以監測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制。	
	☐ 加勁擋土牆(I-010)	☐ 地(岩)錨預力有無損失情況	☐ 正常 ☐ 異常	調整地(岩)錨預力或補強。	
	☐ 錨拉式擋土牆(I-020)	☐ 地(岩)錨錨頭有無脫落、銹蝕情況	☐ 正常 ☐ 異常	採用保護蓋或混凝土加以保護。	
	☐ 土釘工法(I-030)	☐ 地(岩)錨有無鋼腱斷裂情況	☐ 正常 ☐ 異常	增補地錨，並以監測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制。	
	☐ 抗滑格(I-040)	☐ 牆背堆積土有無超載情況	☐ 正常 ☐ 異常	開挖移除。	
	☐ 其他:	☐ 牆背回填材料有無流失情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補回填材料並覆以保護材料。	

表 6.8 道路邊坡擋土結構物功能檢查表（續）

防治工程	種類	檢查項目	檢查結果	若檢查結果異常者，建議緊急處理情形	現地照片編號
護坡設施	☐ 噴凝土護坡(E-010)	☐ 坡面有無崩落、鬆動浮石情況	☐ 正常 ☐ 異常	清除崩塌土石，挖除浮石並依邊坡現況設置落石防護設施。	
	☐ 被覆護坡(E-020)	☐ 噴漿坡面有無混凝土剝蝕、表土剝落情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補整修，加強植生。	
	☐ 型框護坡(E-030)	☐ 坡面框梁有無鬆脫、填敷材料突出、下沉情況	☐ 正常 ☐ 異常	填補整修或拆除更新。	
	☐ 草帶植生(V-020)				
	☐ 打格編網(V-060)	☐ 坡面有無沖刷情況	☐ 正常 ☐ 異常	鋪設臨時性覆蓋物，如帆布。	
	☐ 其他: _____	☐ 坡面植生材料有無枯損情況	☐ 正常 ☐ 異常	加強植生或使用其他穩定工法。	
		☐ 坡面平臺有無雜物堆積	☐ 正常 ☐ 異常	清除。	
排水設施	☐ 地表排水工(D-010)	☐ 坡面有無滲水、湧水情況	☐ 正常 ☐ 異常	檢查湧水之水質，改善或加設截、排水設施。	
	☐ 地下排水工(D-020)	☐ 牆背有無積水情況	☐ 正常 ☐ 異常	清除積水，並視現況增設排水設施。	
	☐ 擋土壁洩水孔(D-031)	☐ 擋土壁洩水孔有無阻塞情況	☐ 正常 ☐ 異常	疏通原有排水孔，若無法疏通，另選擇適當位置增設洩水孔。	
	☐ 其他: _____	☐ 坡面有無垃圾、土砂淤積、雜草阻礙水路暢流情況	☐ 正常 ☐ 異常	清除堆積物。	
		☐ 截、排水設施是否充足	☐ 正常 ☐ 異常	增加排水設施。	

表 6.9 災損處理對策建議表

防治工程	種類	災損狀況			後續處理建議			改善處理對策
擋土設施	☐ 砌石擋土牆(E-040)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 檢討災害肇因
	☐ 重力式擋土牆(E-050)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 確認設計之適切性
	☐ 懸臂式擋土牆(E-060)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 持續觀察
	☐ 蛇籠擋土牆(E-070)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 增設監測儀器
	☐ 格床式擋土牆(E-080)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 長期監測
	☐ 回填土工法(E-090)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 局部修復
	☐ 加勁擋土牆(I-010)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 原設計重建
	☐ 錨拉式擋土牆(I-020)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 重新設計改建
	☐ 土釘工法(I-030)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 緊急搶修
	☐ 抗滑樁(I-040)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 改線
	☐ 其他: _____	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 其他: _____

表 6.10 災損處理對策建議表（續）

防治工程	種類	災損狀況			後續處理建議			長期處理對策
護坡設施	☐ 噴凝土護坡(E-010)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 檢討災害肇因
	☐ 被覆護坡(E-020)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 確認設計之適切性
	☐ 型框護坡(E-030)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 持續觀察
	☐ 草帶植生(V-020)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 增設監測儀器
	☐ 打格編網(V-060)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 長期監測
	☐ 其他: _____	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 局部修復
排水設施	☐ 地表排水工(D-010)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 原設計重建
	☐ 地下排水工(D-020)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 重新設計改建
	☐ 擋土壁洩水孔(D-031)	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 緊急搶修
	☐ 其他: _____	☐ 功能尚可	☐ 局部損壞	☐ 功能喪失	☐ 定期維護	☐ 進行監測	☐ 立即改善	☐ 改線
								☐ 其他: _____

6.4 災損擋土結構物處理對策研擬

災害處理對策之研擬主要係先針對道路邊坡災損擋土結構物進行完整之調查，並彙整各種不同致災因子進行評估分析後，再依據擋土結構物之功能性評估與分級，配合防治工法效益評估，研提所需處理之應變對策。故處理對策之研擬前，應先針對環境相關之資料進行調查分析，以供作為災損處理對策研擬之重要依據。

6.4.1 處理對策研擬前之調查分析

在研擬災害處理對策前之調查工作，主要為蒐集水系、地形、坡度、坡向、高程、地質、土石流危險溪流、邊坡崩塌地位置與道路等相關圖資，以進行圖層套疊分析工作。其中，高程、坡度與坡向等地形資料為道路邊坡穩定分析時之重要資料，故進行圖層套疊析時，建議應有適當精度之實測地形圖，以提高評估分析結果之精確性。除蒐集相關現地地形資料外，乃應對道路災害歷史資料、附近有無舊崩塌地或大規模崩塌區、地質鑽探調查報告、土地利用情形等人文資料進行彙集與分析，以作為災損處理對策研擬之重要依據。

至於分析方面，並先應確定邊坡破壞機制，其次即可依序進行邊坡穩定分析、水理分析、監測資料分析，以及反推分析，相關內容分述如後述章節。

1. 邊坡穩定分析

邊坡擋土防治工程之穩定分析可分為邊坡整體穩定分析及牆體穩定分析。邊坡整體穩定分析主要探討破壞機制及穩定性為主，不同的邊坡破壞機制，選擇的分析模式亦不相同。當邊坡地層為崖錐堆積、崩積層或回填土時，較常見之破壞模式為圓弧型破壞，檢核弧型破壞可利用切片法進行極限平衡分析，但若有滲流問題時，即應於分析時特別加以考量，相關土壤邊坡適用之穩定分析方法詳表 6.11。

表 6.11 土壤邊坡穩定分析方法

分析方法	破壞面	基本假設	使用限制	作者	適用範圍及建議
無限邊坡	直線	每一垂直剖面均可代表整個邊坡 安全係數和坡高無關	滑動邊坡之長度及深度比例甚大時方能使用。	Lambe & Whitman (1969)	適用於長邊坡，或砂性土壤邊坡。
滑動塊體	二個或二個以上直線所組成	1. 滑動塊體能被分割成多個滑動體 2. 考慮力平衡	滑動塊體之水平夾角影響安全係數甚大	Lambe & Whitman (1969)	適用於軟弱地層座落於一堅硬地層上
Bishop	圓弧	1. $X_L = X_R = 0$ 2. 每一切片考慮彎矩及力之平衡	對於某些破壞面並非圓弧破壞時不太適用。	Bishop (1955)	當破壞面接近圓弧時。
Janbu	任意形狀	1. 切片考慮彎矩及力之平衡。 2. 假設推力線位置已知及不計切片剪力。	對均質材料較適用 當材料超過二種以上，會產生較大誤差。	Janbu (1972)	適用於一般邊坡分析用。
Morgenstern & Price	任意形狀	$X/E = \lambda f(x)$ $(F.S)_f = (F.S)_m$	必須使用電腦重複計算	Morgenstern & Price (1965)	適用於一般邊坡，尤其對反推分析更適用
Spencer	任意形狀	$X/E = \tan \theta$ X_L/X_R $(F.S)_f = (F.S)_m$	必須使用電腦重複計算	Spencer (1967)	適用於一般邊坡，較Janbu方法更精確。

至於岩石邊坡，其破壞模式大都屬平面破壞、楔形破壞或傾倒破壞，適用之岩坡穩定分析方法詳表 6.12。一般邊坡崩塌破壞案例多為岩坡，分析時可利用地質調查，以及現地不連續面位態調查進行岩楔破壞分析，並配合坡向與坡度調查所得之資料，再利用立體投影圖或邊坡穩定套裝程式，評估道路邊坡岩楔之穩定性。

表 6.12 岩石邊坡穩定分析方法

分析方法	破壞面	基本假設	使用限制	適用範圍及建議
平面破壞	單一平面有張力裂縫	1. 滑動時兩側無側向阻抗。 2. 張力裂縫和滑動面之走向均平行坡面走向。	1. 彎矩未考慮。 2. 太陡邊坡會高估其安全係數。	1. 層狀節理或不連續面出露時。 2. 不連續面之抗剪阻力較小，含泥縫等物質。
楔形破壞	兩組不連續面形成三向度之楔形塊	1. 滑動時兩組節理交線之傾角較坡面傾角為平。 2. 滑動時楔形仍然和兩組節理面維持接觸。	彎矩未考慮。	可用立體投影圖做初步判斷。
傾倒破壞	垂直節理	1. 考慮有些滑動，有些傾倒。 2. 孔隙水壓未考慮。	僅適合用於些案例。	整體分析模式尚未建立。
圓弧破壞	破壞面接近圓弧形	以極限平衡分析考慮力平衡及彎矩平衡。	堅硬岩石或有明顯弱面存在時，不宜使用	岩石極為破碎或風化，性質近似土壤時。

上述邊坡整體穩定分析之安全係數必須大於最小安全係數要求外，不同擋土結構物仍須校核其牆體穩定性。牆體穩定分析主要為考慮擋土牆受側向土壓力或地層承载力不足之影響，造成擋土護坡產生牆體滑動傾覆以及承载力不足等三種破壞模式，並依所考慮之破壞模式、地下水狀況及地震情況，選擇適當的安全係數。邊坡擋土穩定之安全係數建議值，詳表 6.13。

表 6.13 擋土壁穩定分析之安全係數建議表

項目	破壞型態	最小安全係數需求
牆體穩定	滑動	長期載重：1.5 地震時：1.2
	傾覆	長期載重：2.0 地震時：1.5
	容許承载力	永久牆：3 臨時牆：2
整體穩定 (深層滑動)	邊坡滑動	平常時：1.5 (即長期載重下) 地震時：1.2 最高水位時 (無地震)：1.1

2.水理分析

水理分析部分主要包括邊坡崩場地所屬之集水區劃分、集水面積與集流時間計算、降雨強度分析以及設計逕流量分析等，分析結果可作為邊坡地表排水系統改善之參考依據。

3.監測資料分析

邊坡安全監測可作為災損邊坡調查之重要參考工具，其對於滑動面深度、滑動位移速率、滑動範圍，以及滑動範圍地下水壓之評估相當重要，同時監測結果亦可作為災損擋土達坡工程處理對策研擬之重要指標。監測結果愈穩定，處理之優先吹序即愈低；監測結果愈不穩定，處理之優先次序即愈高。再者，監測所測得災害影響範圍愈小，則以局部處理考量為主即可，但若影響範圍愈大、整治成本愈高，則愈應考慮予以改線。

4.反推分析

邊坡破壞為一大型試驗，因此，應進行逆分析，以獲取相關地層參數及地下水條件，並作為災損處理對策研擬之重要依據。反推分析係假設災損邊坡破壞當時之安全係數略小於 1.0，然後進行逆分析，以推估滑動面之強度參數 C 、 ϕ 的值或地下水條件。設計者可依不同滑動面性質，並參考試驗結果及相關經驗，以決定最適當之 C 、 ϕ 的值與地下水條件。

6.4.2 災害處理對策研擬

本節擬彙整前述各節所述之現地環境因子、致災因子、擋土結構物特性因子及現有防治工程概況，藉由相關資料綜合分析，並依據擋土結構物之功能性評估與分級，透過功能性及經濟效益評估後，可研擬出不同等級所因應之改善處理對策（如圖 6.1）。本研究將擋土結構物功能分為(1)功能尚可，但有災損紀錄；(2)局部損壞；(3)功能喪失三級。擋土結構物功能尚可，表示尚現況屬完善，但可能曾有災損紀錄，應檢討其災害肇因、確認設計之適切性及決定監測與否；至於屬於局

部損壞者，則應增列修復對策；若屬於功能喪失者，除上述相關之建議處理對策外，另建議增列緊急搶修與否及長期修復之策略建議。本章節以下茲針對研擬之各處理對策內容，予以分別敘述。

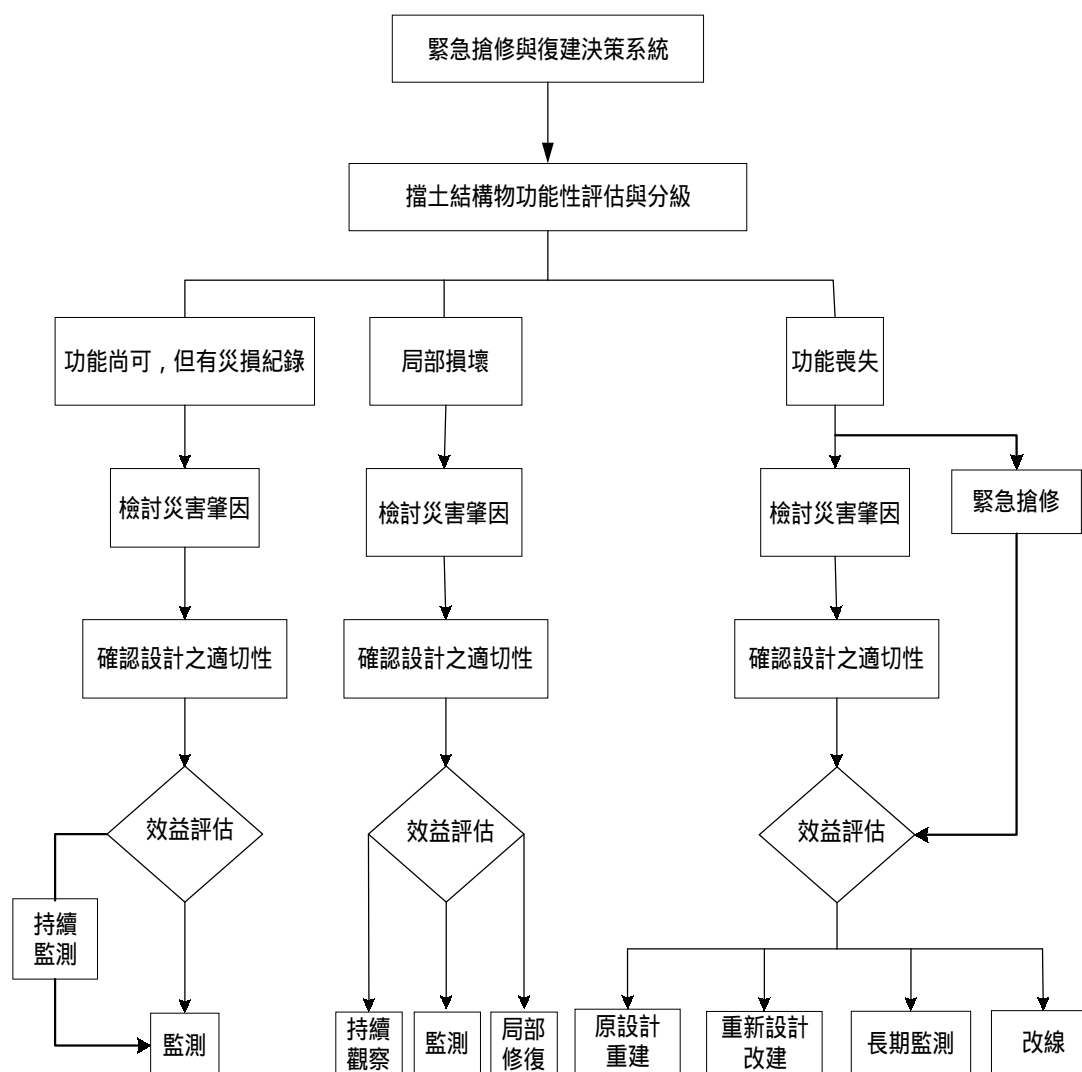


圖 6.1 擋土結構物功能性評估分級與災害處理對策流程圖

（資料來源：台灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構評-現有破壞案例統計分析）

1.檢討災害肇因

檢討邊坡擋土結構物之災害肇因前，應先瞭解各項致災因子，然不同複合致災因子會造成不同類型之災害。坡地災害常見

的破壞原因主要可分為六大類（廖瑞堂，2001），分別為：(1)地表及地下排水設施不良，造成規模大小不等之沖蝕溝或崩塌、擋土牆破壞或淘空、土石流等災害；(2)軟弱地盤區構築高填方擋土牆，造成填土區擋土牆龜裂破壞；(3)以建築物作為擋土構造，造成建築物破壞；(4)滑動機制及破壞規模判斷不當，造成邊坡整體崩塌破壞；(5)地錨施工品質不良或地錨錨錠力不足，造成邊坡整體破壞；(6)地錨施工程序不當，造成擋土結構物破壞。其中，就邊坡擋土災損案例而言，又以地表及地下水排水不良，以及滑動破壞機制與規模判斷不當之肇因最為常見。綜合上述，針對不同的災害肇因，應確認工程設計之適切性，給予必要之配套處理措施，詳表 6.14。

表 6.14 常見的坡地災害與因應之處理對策

災害原因	破壞情形	處理對策
地表排水措施不良	造成規模大小不等之沖蝕溝或崩坍	增設各種地表排水渠道，如截水溝、陡槽等。
地下排水措施不良	擋土牆破壞或淘空	以盲溝、集水井、永平集水或排水廊道宣洩地下水。
地下及地表排水措施不良	土石流	發生區加強地表及地下排水措施，中游以攔砂壩加以攔阻，下游則限制居住及活動。減少發生區鬆散之土石來源。
以建築物做為擋土牆構造	建築物破壞	儘量避免以建築物兼擋土構造。如無法避免結構物做擋土設施，則應審慎分析設計。
軟弱地盤區構築高填方擋土牆	填方區擋土牆龜裂破壞	以地盤改良提高承載力及減少沉陷量牆基用樁基礎。
滑動規或破壞模式判斷不當	邊坡整體崩塌	以觀測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制。
地錨施工品質不良或錨定力不足	邊坡整體崩塌	進行各種地錨品管試驗，並加強防蝕措施。
地錨施工程序不當	擋土結構破壞	由上而下施工，必要時採跳島式施工。

2. 確認工程設計之適切性

一般擋土護坡工程之細部穩定分析及設計，主要包括：排水設計、邊坡整體穩定分析、以及牆體穩定分析。以排水設計而言，一般坡地社區開發或山區道路之興建，由於會造成地形地貌

之大幅改變，原有之地下水及地表水路徑均會遭嚴重破壞或改變，故邊坡或擋土相關設施之破壞，與排水系統不良有絕對密切的關係。道路排水系統不良所造成之問題，包括：道路無設置排水溝或排水斷面不足、地表逕流嚴重破壞排水溝或路面、道路排水溝截流成效不彰、逕流未於適當地排放或放流口未能發揮消能功效等，以致造成下邊坡之沖蝕甚或崩塌。此類問題建議應採用集水分區之概念，計算道路排水集水面積，藉以設計安全之排洪斷面，若集水面積過大之處，則應有適當之截排水處理，經匯集後排放至坑溝、野溪或下邊坡；但若道路坡度過陡，則應設置適當之消能措施，或採用抗沖刷能力較佳之工程材料；再都排放口設計必須避免坡面沖蝕或蝕溝加深。

至於邊坡整體穩定分析，道路若所處邊坡之整體穩定性不足，將因整體滑移作用而造而成路基斷裂。最常見情形為路基位於崩場地斷層錯動區（圖 6.2）處理之對策則建議以避開為宜，尤其在大規模之崩場地或斷層破碎帶，反之，若工程方式進行對抗，則常將面臨失敗之命運。



圖 6.2 道路位於斷層破碎帶而產生邊坡不穩定情形

在牆體穩定分析方面，地震作用所引發之動態土壓力，常造成擋土結構物之滑動、傾倒或因牆趾支承力不足而導致沉陷破壞。牆體之穩定分析主要為檢核滑動、傾倒及容許承載力等三種破壞模式，並考慮地下水位及地震情況，選擇適當的安全係數以確保擋土結構物各項細部尺寸及強度能達到設計標準。

3.效益評估

不同功能評估等級之擋土結構物經由功能性及經濟效益評估後，可依效益評估模式給予之因應之建議處理對策。例如功能評估等級屬功能喪失者，可視其效益評估之分析，分別給予原設計重建、重新設計改建、長期監測以及改線等改善處理對策。

(1)持續觀察

護坡擋土結構物之功能評估屬於功能尚可者，針對噴漿坡面、砌石、重力式、懸臂式及加勁等類之擋土工法，建議定期派員持續觀察現況，並進行牆體表面修補及排水設施維護工作；若為地錨擋土工法，則建議需於地錨表面進行修補或於錨頭佈設相關之防蝕措施。

(2)監測

就擋土護坡工程而言，監測之目的主要在於(1)設計條件之調查及確認，包括地下水位及滑動面的調查；(2)長期行為之驗證，包括擋土牆及地層長期之穩定性研判。一般而言，擋土護坡工程監測系統之主要監測項目及採用之監測儀器可以概分為求、地盤穩定性與擋土結構物穩定性等三項，分別說明如下：

(a)水的監測

邊坡地下水之分佈、變化，以及地表水之流向及流量等對邊坡穩定性影響極大。因此，當邊坡地下水狀況不易掌控時，建議設置水壓計或水位井，以觀測地層中地下水分佈、

變化狀況及水壓力大小，以作為設計、後續施工管理及長期維護之重要依據。

(b)地盤穩定性監測

邊坡若有滑動之癥兆或呈現不穩定狀況時（如滑動塊體向坡趾之明顯水平位移），監測系統的設置，對於邊坡及擋土結構物之穩定有十足的必要性。故建議可採用傾斜觀測管量測地層或擋土結構物之水平方向移量進行監測。

(c)擋土結構物穩定性監測

當擋土結構物有功能逐漸損失之現象時，為確保各種擋土結構物（如懸臂式擋土牆、加勁擋土牆、地錨等）承受之應力或應變仍在設計容許範圍內，常利用設置不同型式之觀測儀器，以進行應力及應變之監測。

(3)局部修復

倘若護坡擋土結構物之功能評估屬於局部損壞者，對於噴漿坡面、砌石、重力式、懸臂式、加勁等之擋土結構物，建議針對牆體進行局部修復，並加強結構體監測作業或增設排水設施；若為地錨擋土工法，則建議需針對地錨功能及銹蝕狀況進行檢測，並搭配進行必要之補強措施。

(4)緊急搶修

當山區道路因逢災害導致交通中斷時，為維持交通運輸暢通、當地產業發展及居民之便利性等因素，各級道路管理、維護單位則需進行相關之修建工程，在考量保全對象、經費預算、施工期程、修建效益等因素之影響下，評估災損道路是否採行緊急搶修之對策。

(5)決定長期修復之策略

護坡擋土結構物之功能評估屬於功能喪失者，除應檢討災害肇因、確認設計之適切性、以及決定監測與否外，必須檢討工法設計之適用性，進而決定長期修復之策略，包括原設計重建、重新設計改建、長期監測以及改線等。

若道路橫跨土石流危險溪流，當野溪爆發土石流時，常因直接沖毀、淤埋道路路基或沖毀橋梁，造成道路中斷(圖 6.3)。面對此一問題，若無法採用主動保護邊坡的措施，最佳方法為適度之退讓，而非對抗，以避免災害一再重複發生，減少對居民生命及財產之危害。災害可能處理對策則包括道路改線(如改採架橋或隧道通過野溪，圖 6.4)；既有橋梁增加排洪斷面，以減少橋柱、增加跨距、增加淨高；明隧道架設頂棚遮蔽，或者透過土石流整治方法，以減少土石流對道路之危害程度。



圖 6.3 野溪爆發土石流而造成道路中斷



圖 6.4 道路改線採架橋方式通過野溪

第七章 示範路段研究成果驗證

全國各山區道路皆有其特殊之自然環境、地質條件、水文特性、交通運輸、人文特性等條件因素，而考量前述之特性因素對山區道路邊坡之穩定狀況皆有其影響之情況下，實在無法建置一套全國道路邊坡通用之坡地崩塌災害緊急搶修與復建之整體設計防治對策。有鑑於此，研究團隊將依循過去以省道台 18 線為研究資源整合案例之相關調查經驗，於本研究案件執行期間，選定自民國八十八年 921 集集大地震後，每每颱風豪雨侵襲即會引發重大坡地災害之省道台 21 線（新中橫公路）為示範路段，進行本研究相關研究成果之驗證工作。

7.1 示範路段概述

台 21 線（新中橫公路）位於南投縣信義鄉境內，西側為阿里山森林遊樂區，東側以沙里仙溪為界，南側為鹿林前山。研究團隊主要依據歷次颱風來襲造成此路段沿線邊坡崩塌災情較為嚴重之區段—106.6k 至 127.44k（全長約 20 公里）進行調查與驗證作業（相關災情統計詳見圖 7.1）。另外，此一路段受海棠颱風影響多處受損，且部分路段於敏督利颱風後重覆發生崩塌災害，本研究因此根據敏督利、艾利以及海棠颱風災害紀錄，挑選調查與評估地點，以進行受災原因探討，同時，本研究亦根據國立交通大學(2000)之研究，挑選高危險性邊坡處，檢核各高危險性邊坡現況，並進行評估，最後提出各地點之監測建議以及巡檢重點。

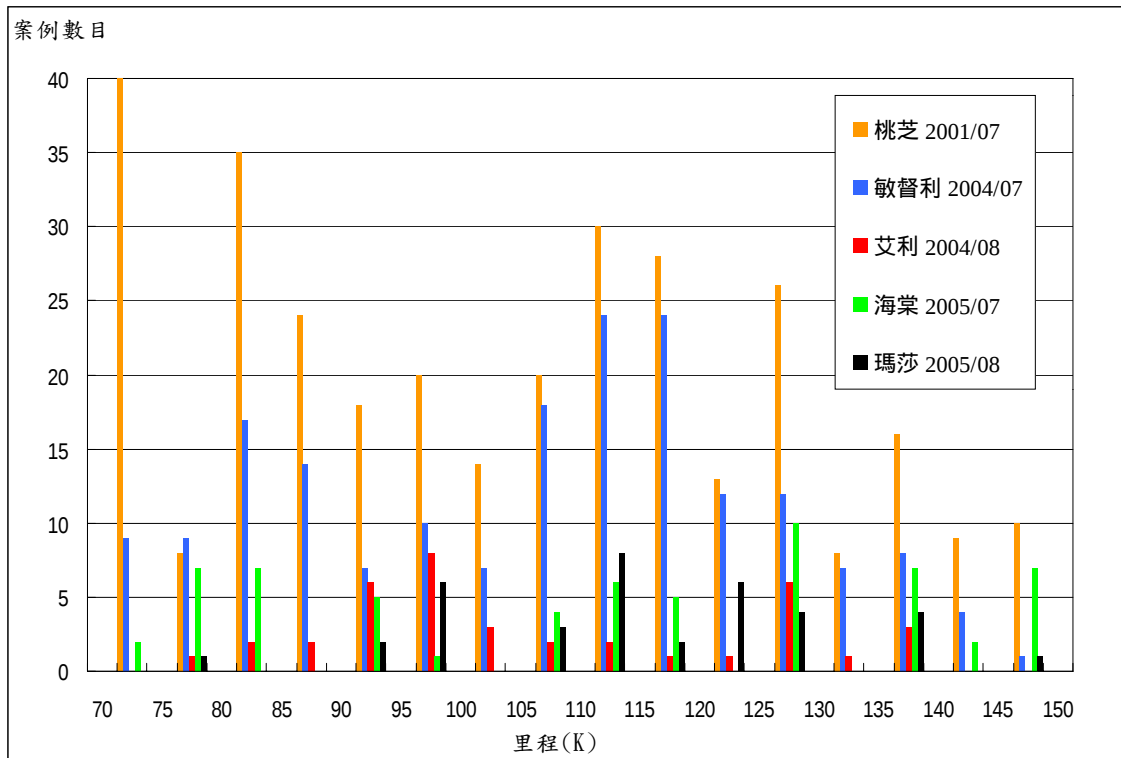


圖 7.1 台 21 線沿線歷次颱風災情統計圖

7.1.1 氣候

在研究區域附近的氣象站有阿里山氣候測站（海拔 2,406 公尺）與和社氣象站（海拔 981 公尺）兩個氣象站。根據王鑫(1991)由中央氣象局 1933-1985 年間此兩個氣象站所蒐集的資料分析顯示：年均溫在阿里山站為 10.6°C，在和社站為 20°C；月均溫在阿里山站為 5-15°C，在和社站為 14-25°C。研究區域的年雨量平均為 1681mm（和社站）-4129mm（阿里山站）之間，且各月雨量皆在 30mm 以上，最高者可達 800mm 以上。雨量多極中在 5-9 月，其中 5、6 月為梅雨期，降雨強度雖不大，但降雨時間較長，可以連綿數日不斷，累積雨量仍相當可觀；7-9 月則為颱風時期，可帶來高強度、高降雨量的雨水。

7.1.2 地形與水文

本路段沿線之水系主要為和社溪和沙里仙溪，均為陳有蘭溪之支

流，因地形陡峭，故河流多且急促，且由於坡降大，故仍處於侵蝕作用之幼年期河谷，河川向下切蝕之速率很快，由於下切劇烈，在中上游地段形成高深之縱谷地形，台 21 線即蜿蜒沿此河谷而闢築，河谷地形單調，其間散布許多大小不一之沖積層及高達數十公尺之沖積階地，由氣象測站的雨量資料可以看出年降雨量相當大，水量充沛，故沖刷能力相當強。

7.1.3 地質

本路段位於同富至塔塔加沿線出露之地層，除少部分沖積層外皆層第三紀沈積岩，這些岩層以砂頁岩為主，同富至神和橋間之岩性以頁岩為主，偶夾薄砂岩，屬於南港層。自神和橋後，砂岩含量漸高，直至塔塔加附近則以厚砂岩為主，則屬南莊層，沿線地質如表 7.1 所示。

表 7.1 同富-塔塔加段地層岩石組成表（王豐仁，1994）

南港層 (NK)	深灰色頁岩為主，夾有灰色薄層砂岩。	107k—117.1k 122k—127.2k 128k—133.8k 134.5k—135.7k
南莊層 (NC)	淡灰色厚砂岩，偶夾薄層頁岩呈砂頁岩薄互層。	117.1k—122k 127.2k—128k 133.8k—134.5k 135.7k—151k

本路段所屬區域最重要之地質構造為陳有蘭溪斷層，陳有蘭溪斷層從白溪起，沿陳有蘭溪經望鄉東南再轉為西北走向，再東南延伸經父子斷崖至樂樂溫泉附近止。本斷層亦為之新第三紀地層與古第三紀地層相接觸，斷層性質為由東向西之逆斷層構造，此斷層係造成本路段鄰近區域之地層較為破碎之主因。影響本路段邊坡問題之褶皺構造包括同富山向斜以及和社背斜，同富山向斜位於同富山之東北，向斜軸呈西北—東南走向，因地形影響，其向東南延伸情形則不詳。和社背斜位在和社村之西，背斜軸呈東北—西南走向，背斜軸之西側頻出現小規模緊密褶皺，相反的在東側此種現象則未見到。和社背斜分別為十八折坑斷層與神木斷層切截。神木斷層為斷面向南之正斷層，少量

之右移滑動，斷層走向呈東西方向，斷面傾角較陡。十八折坑斷層為具有走向滑移或斜滑移特性之高角度斷層。本路段於 109k、119k 和 124k 附近有神木斷層通過，另於 113k 附近有十八折坑斷層通過。沙里仙溪斷層由父子斷崖起，沿沙里仙溪之東側山腰間向南延伸，至塔塔加鞍部經過，本斷層亦為新第三紀地層與古第三紀地層相接觸。本斷層為由東向西之逆斷層構造，斷層傾角亦為高角度（約 80° ），斷層通過之處多形成瀑布或形成峽谷。

中新世的南莊層，主要分佈於和社背斜東翼至同富山向斜兩翼，主要岩性為淺灰色厚砂岩、砂岩和頁岩所組成的條狀薄紋層、和深灰色頁岩（張麗旭，1960）。其中砂岩主要為細粒砂岩，成分以石英顆粒為主，顆粒大小在 0.1mm 左右，而膠結物則以黏土礦物和碳酸鹽類為主，並有少數的長石與板岩碎屑（劉景仁，1993）。本路段出露之南港層的岩性則以深灰色頁岩為主，夾有灰色薄層砂岩。未固結地層包括階地堆積與沖積層。階地堆積分佈在陳有蘭溪主流與主支流交會處，且大部份沿陳有蘭溪溪流之西側發育。階地堆積物來源主要為兩側山區山崩碎屑，經合流堆積作用形成，碎屑物顆粒大小不等，磨蝕程度有圓形、次圓形、角粒狀等多種。沖積層則分布於溪流兩側。

本研究示範區附近之區域地質圖以及地形圖如圖 7.2 與圖 7.3 所示。

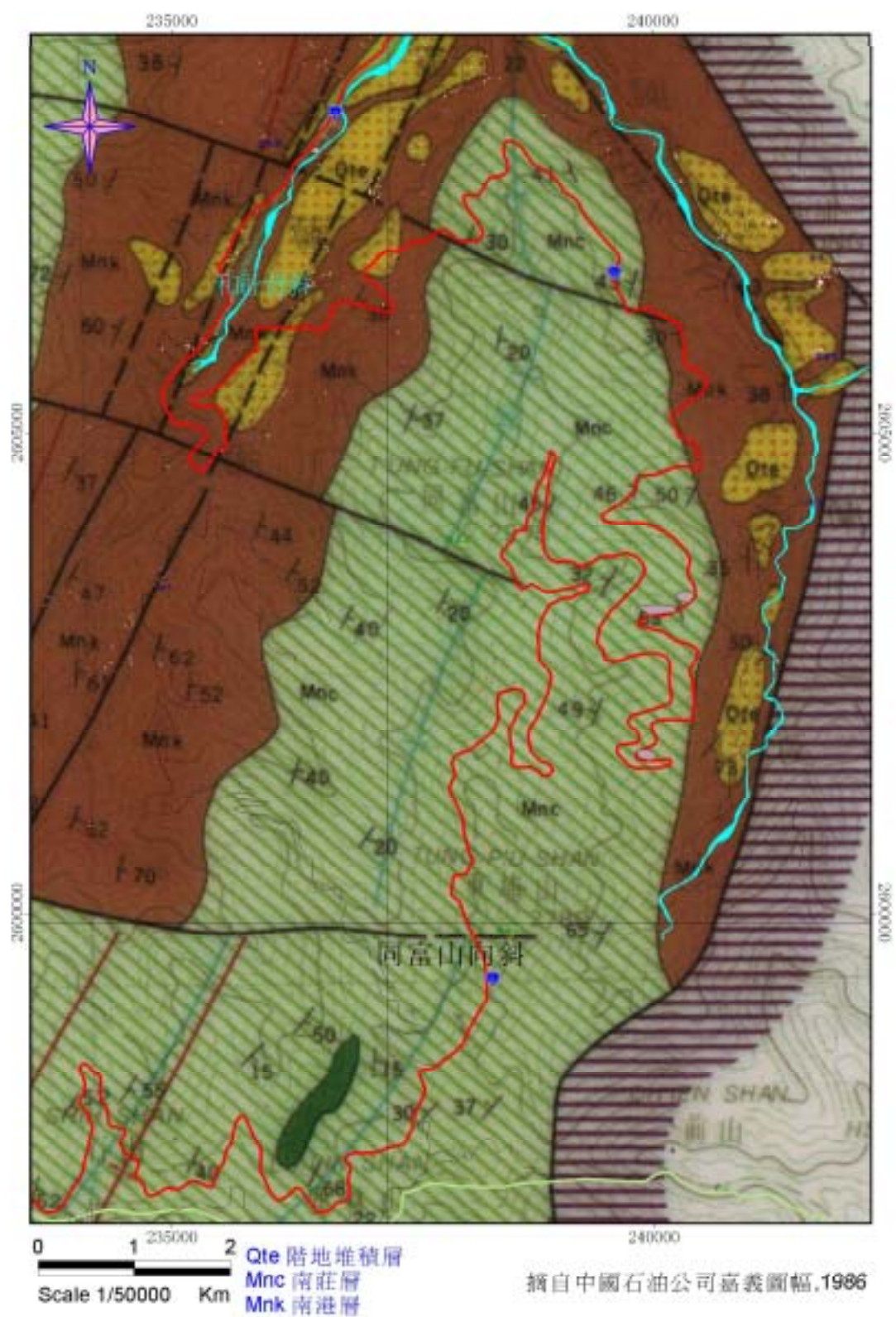


圖 7.2 示範區域地質圖

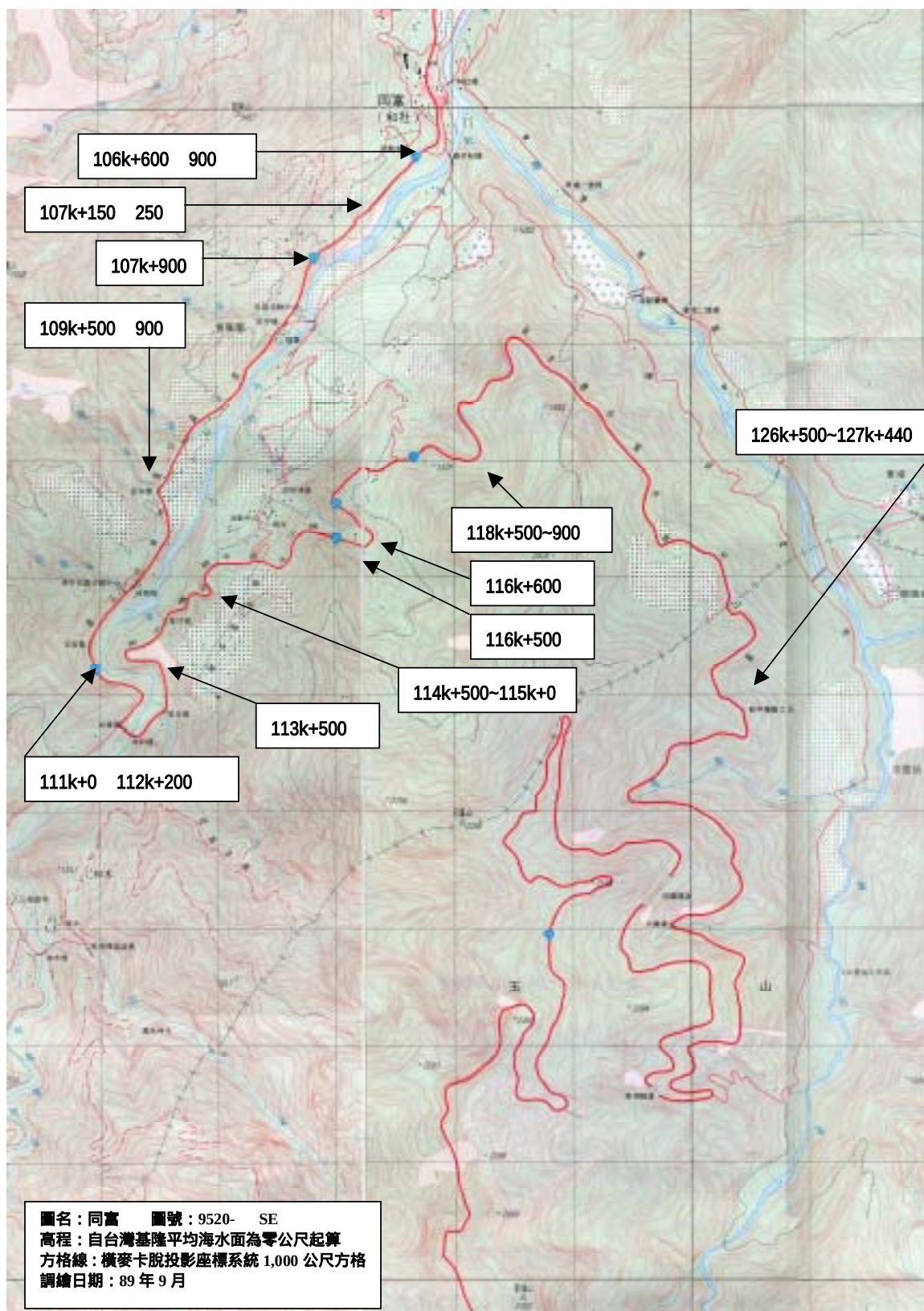


圖 7.3 示範區域地形圖以及重要路段里程位置

7.2 崩塌潛勢與二次災害類型分析模式驗證

本章節主要以省道台 18 線及台 21 線為研究對象，以台 18 線現勘資料做為訓練資料庫 (Training Data)，台 21 線現勘資料為測試資料庫 (Testing Data)，進分階模式分析，最後針對具有高崩塌潛勢之邊坡，加入降雨量作第三階段之崩塌機率 (Failure probability) 預測。最後，介紹台 18 線及台 21 線發生過的二次災害，並針對台 21 線之示範路段作二次災害的介紹。

7.2.1 台 18 線訓練資料庫

1. 研究區域概況

本研究子題以省道台 18 線 (阿里山公路) 為研究對象，研究範圍為 21k+500~83k+500，由嘉義觸口開始進入山區，沿線經過公田、瀨頭、石桌、十字路、阿里山及自忠，全長約 62 公里，海拔高度則由 250 公尺變化至 2,300 公尺左右 (詳圖 7.4)。

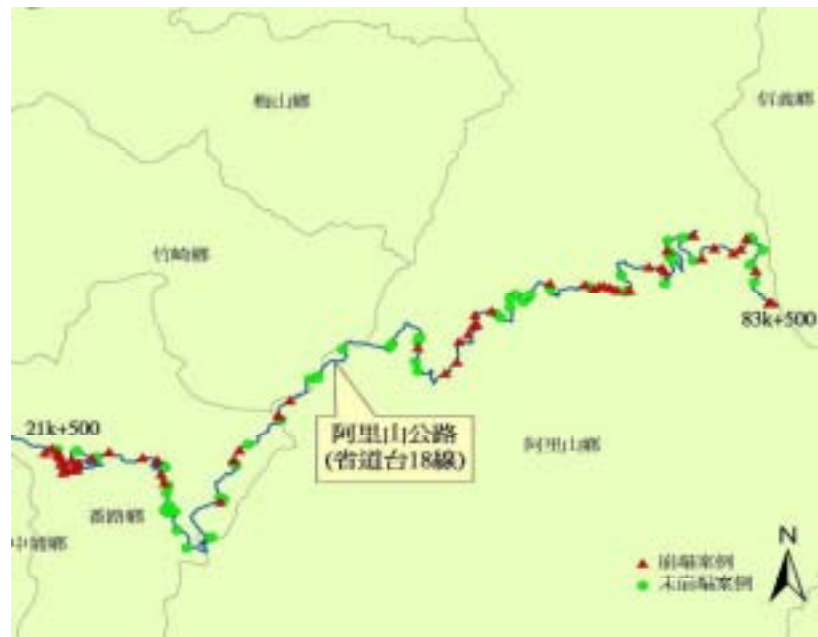


圖 7.4 台 18 線示意圖 (GIS 圖資)

在致災事件方面，本計畫選擇在民國八十六至九十三年間，對本研究區域造成重創的賀伯、桃芝、納莉及敏督利四個颱風作為研究之致災事件（表 7.2），針對各颱風侵台時所造成之邊坡崩塌進行研究。

表 7.2 致災事件統計

颱風事件	發生時間	阿里山氣象站 累積降雨量 (mm)	邊坡崩塌 案例數	總坍土石方量 (m ³)
寶莉颱風 (Polly)	1992.08.30	785.2 (82hrs)	44	43,825
賀伯颱風 (Herb)	1996.07.31	1986.5 (51hrs)	89	137,207
桃芝颱風 (Toraji)	2001.07.30	757 (21hrs)	56	39,433
納莉颱風 (Nari)	2001.09.10~ 2001.09.17	413.5 (64hrs)	31	33,963
敏督利颱風 (Mindulle)	2004.07.01~ 2004.07.02	1764 (119hrs)	37	11,715

崩塌點之調查主要依據阿里山工務段所提供之歷次颱風崩塌資料（包括里程及照片），在經由現場比對及篩選後，最後共選擇 55 處崩塌點作為崩塌資料。55 筆崩塌資料中，賀伯颱風之崩塌案例佔 12 筆、桃芝颱風佔 18 筆、納莉颱風佔 9 筆、敏督利颱風則有 16 筆。而未崩塌點之選擇，首先排除既有崩塌案例之位置，其後以現場邊坡之植生狀況及完整性作為研判過去有否崩塌之依據，在研究範圍內進行未崩塌點之調查，共計調查 54 個未崩塌點。

本研究所探討之邊坡穩定問題極為複雜，牽涉之影響參數也很多，不易找到可靠之物理模型來加以模擬，因此需改採非物理模型，即高斯過程模型。但是非物理模型之模擬是抽象的，並無法像物理模型一樣可用實驗資料來調整與驗證其物理參數，但可以採用以下程序來驗證高斯過程模型之適用性：首先將其中一筆資料抽出，再用剩餘之資料來訓練高斯過程模型，並預測該抽出資料點之狀態（即邊坡是否破壞），依循此一程序對每個資料點都做

一次抽出與預測之動作，經比對每次之預測值與實際狀態，最後可得整個過程之誤判率(稱為預測誤差，prediction error)，這就是本研究用來驗證高斯過程模型誤判率之方法。

為比較本研究課題在高斯過程模型與傳統統計分析之間之優劣，本計畫利用統計軟體 SPSS (Statistical Package for the Social Science) 進行費雪線性鑑別分析 (Fisher's Linear Discriminant Analysis; 或稱為典型鑑別分析，Canonical Discriminant Analysis)，將分析結果與高斯過程模型之預測結果相互比較，即可比較出線性分析與非線性分析間之差異。

比較之項目包括誤判率及 $E(\text{LOSS})$ ，其中誤判率=誤判數/測試案例數； $E(\text{LOSS})$ =各測試案例 LOSS 之期望值 ($\text{LOSS}=|\text{目標值}-\text{預測值}|$)。一般 $E(\text{LOSS})$ 用於判別機率模型之優劣。

(1) 崩塌類型預測模式

本計畫所定義之崩塌類型可分為崩落、坍滑及沖蝕三類，主要是以研判崩塌照片 (阿里山工務段提供) 的方式將所有崩塌案例分類，依據陳榮河(1984)之現地研判方法，本計畫所採用之分類原則大致如下：

崩落：包括一般所指之落石及傾覆型破壞，崩落物在坡趾處堆積如傘狀，如圖 7.5 所示。

坍滑：包括弧形滑動及平面滑動，由於大部份此類之崩塌以淺層滑動較多，主要以是否有弧形凹陷作為判斷依據，如圖 7.6 所示。

沖蝕：崩塌之形式類似小規模之土石流，其崩塌體呈現扇狀，並有較大量之地下水混合，如圖 7.7 所示。

依據上述之分類原則，本計畫中 55 個崩塌案例中，崩落型佔 18 個，坍滑型佔 17 個，而沖蝕型則佔 20 個。



圖 7.5 崩落示意圖（台 18 線 77K+900 賀伯颱風災害照片）



圖 7.6 坍滑示意圖（台 18 線 75K+320 賀伯颱風災害照片）



圖 7.7 沖蝕示意圖（台 18 線 26K+700 桃芝颱風災害照片）

(a)誤判率

表 7.3 為崩塌類型模式分別以高斯過程模型與鑑別分析之分析結果比較，由表中可發現高斯過程模型之結果略優於鑑別分析，高斯過程之誤判率為 25.45%，鑑別分析則為 29.09%。若以誤判案例觀之，則不難發現兩者在誤判案例上頗具雷同的狀況，共有 11 個誤判案例為相同之案例，。分別為第 7、9、10、11、16、17、25、30、32、45、44 個案例。

表 7.3 崩塌類型模式分析結果之比較

分析 項目	高斯過程		鑑別分析
測試因子	15 features	5 features	15 features
測試案例數	55	55	55
誤判案例數	14	20	16
誤判率	25.45%	36.36%	29.09%
誤判案例	7.8.9.10.11.16.17.19.2 5.30.32.33.35.44	6.9.10.11.14. 15.17.28.29.30.31.33.3 9.40.42.43.44.50.51.54	3.7.9.10.11.12.14.1 6.17.25.30.32.35.4 4.50.53

若因子檢定所判斷的前五名因子來做分析（表 7.4），則誤判率會提升至 36.36%，在誤判案例上同樣會產生雷同的狀況，三者同時誤判的案例有第 9、10、11、17、30、44 個案例。

表 7.4 崩塌類型模式之因子檢定結果

影響因子	分析方法		高斯過程模型		鑑別分析	
			r	排序	顯著性	排序
坡度改變量			2.2525	1	0.000002	1
岩塊體積百分比			2.6264	2	0.006560	6
坡度			3.1918	3	0.000084	3
坡形			4.0037	4	0.002069	5
坡向與傾向			4.0941	5	0.032333	7
坡趾開挖高度			4.7054	6	0.000041	2
坡高			5.4851	7	0.392285	-
岩塊規模			5.6643	8	0.282957	-
集水區面積			5.7397	9	0.201663	-
地表水平加速度			6.1330	10	0.229614	-
地層種類			6.7643	11	0.333720	-
植被覆蓋厚度			7.3454	12	0.000600	4
坡度與傾角			7.4206	13	0.399157	-
坡向			7.5156	14	0.438915	-
植被覆蓋面積百分比			7.5385	15	0.061372	-

註：1.鑑別分析僅以顯著性因子進行排序

2.顯著性<0.05（顯著水準）即為顯著性因子

由崩塌類型之分析結果，可得知在分類（三類以上）的問題上，非線性（高斯過程模型）及線性（鑑別分析）之分類方法，其準確性之間並無太大之差異。這也說明鑑別分析過去一直被許多研究運用於分類問題之原因，然造成差異性不大之結果亦有可能是案例數較少所導致。

(b)因子檢定

表 7.4 為崩塌類型模式分別以高斯過程模型及鑑別分析所得之因子檢定結果，由結果可得知，兩種分析方法用以判別崩塌類型的主要影響因子大致相同，僅有排序上的差異，分別為坡度改變量、岩塊體積百分比、坡度、坡形、坡向與

傾向、坡趾開挖高度等，此一結果顯示崩塌類型受道路開闢方式的影響較大，其他如地形、風化及破碎程度，以及地質構造之差異亦會影響邊坡之崩塌類型。

(2)崩塌潛勢分析

(a)誤判率

表 7.5 為各崩塌類型之崩塌潛勢預測模式分別以高斯過程模型與鑑別分析之分析結果比較，依據結果不難發現，不論何種崩塌類型，高斯過程模型之誤判率皆明顯低於鑑別分析。表中兩者測試案數略有不同係由於兩者對未崩塌案例所作之分類判別有所差異而造成。在 E(LOSS)之分析結果方面，由於鑑別分析得到之結果大多數趨近於 1 或 0，不具有機率之意義，故其 E(LOSS)值與誤判率非常接近，而高斯過程模式之分析結果則無此一現象。

表 7.5 各崩塌類型崩塌潛勢模式分析結果之比較

崩塌類型		高斯過程		鑑別分析
測試因子		15 f	5 f	15 f
崩落	測試案例數	42	42	43
	誤判案例數	3	0	9
	誤判率	7.14%	0%	20.93%
坍滑	測試案例數	26	26	25
	誤判案例數	6	1	6
	誤判率	23.08%	3.85%	24%
沖蝕	測試案例數	41	41	41
	誤判案例數	3	1	5
	誤判率	7.32%	2.38%	12.2%

註：測試案例數總和為已崩塌 55 筆+未崩塌 54 筆=109 筆

由崩塌潛勢之分析結果，可得知在處理二元問題時，高斯過程之準確性明顯優於鑑別分析，即使在未崩塌案例偏少時(坍滑)，亦較鑑別分析有較佳之結果。而分析之結果亦顯示鑑別分析不適於用來處理機率問題，而高斯過程由於基於貝氏理論的機率原則，乃為具機率意義之可行方法。

就預測模型而言，並非參數(或因子)越多的模型就是較好的模型，當參數過多時，預測模型可能反倒造成過度擬合(overfitting)的現象，此時訓練誤差(fitting error)雖然很小，但預測誤差卻可能較大。參數(因子)越多，其迴歸曲線越能隨著資料分佈起伏(訓練誤差小)，但卻非迴歸到真實曲線，由於與真實曲線有所差異，預測誤差會隨之增加。反之，若只有若干重要之參數(因子)，迴歸線較能接近真實分佈曲線，預測誤差反而較低。

因此，可了解為何在研究結果中，具 15 個因子之預測模型其誤判率(即預測誤差)會高於 5 個因子模型之誤判率。

(b)因子檢定

表 7.6～表 7.8 分別為各崩塌類型之崩塌潛勢預測模式分別以高斯過程模式及鑑別分析進行因子檢定之結果。由表 7.6 可發現在崩落類型之案例中，主要影響邊坡崩塌潛勢之重要性影響因子分別為坡高、岩塊規模、坡趾開挖高度、植被覆蓋面積百分比、岩塊體積百分比、地表水平加速度等。在坍滑類型之案例中，除坡高可明顯得知為主要影響邊坡崩塌潛勢之重要性影響因子外，岩塊體積百分比及坡向也頗具重要性，如表 7.7 所示，而造成兩著差異性大之原因可能為案例數較少所致。最後由表 7.8 可得知沖蝕類型之案例，主要影響其崩塌潛勢之重要性影響因子分別為集水區面積、坡高、岩塊規模、坡趾開挖高度、植被覆蓋面積百分比、坡形、地層種類等。

表 7.6 崩落潛勢預測模式之因子檢定結果

影響因子	分析方法	高斯過程模型		鑑別分析	
		r	排序	顯著性	排序
坡高		1.1740	1	0.000003	1
岩塊規模		1.4391	2	0.000223	3
集水區面積		2.1380	3	0.113406	-
坡趾開挖高度		4.3469	4	0.000057	2
地層種類		5.3236	5	0.117559	-
植被覆蓋面積百分比		5.3407	6	0.000932	4
岩塊體積百分比		5.4104	7	0.003489	6
地表水平加速度		5.5453	8	0.012800	7
植被覆蓋厚度		5.7186	9	0.075207	-
坡度		5.8584	10	0.319473	-
坡向		6.0465	11	0.055322	-
坡形		6.0675	12	0.016050	8
坡向與傾向		6.0879	13	0.947592	-
坡度改變量		6.1445	14	0.001486	5
坡度與傾角		6.3276	15	0.752801	-

註：1.鑑別分析僅以顯著性因子進行排序

2.顯著性<0.05（顯著水準）即為顯著性因子

表 7.7 坍滑潛勢預測模式之因子檢定結果

影響因子	分析方法	高斯過程模型		鑑別分析	
		r	排序	顯著性	排序
坡高		1.2080	1	0.000302	1
坡向與傾向		1.7071	2	0.608083	-
岩塊體積百分比		2.1606	3	0.067855	-
岩塊規模		2.2662	4	0.182865	-
植被覆蓋面積百分比		2.5526	5	0.738307	-
地層種類		2.8434	6	0.212073	-
坡向		2.8462	7	0.038210	3
集水區面積		3.0475	8	0.108900	-
坡度與傾角		3.1194	9	0.983099	-
地表水平加速度		3.1393	10	0.001533	2
坡度改變量		3.3199	11	0.285873	-
坡度		3.5784	12	0.056367	-
坡趾開挖高度		3.6987	13	0.262480	-
坡形		3.7266	14	0.070555	-
植被覆蓋厚度		4.1456	15	0.499939	-

註：1.鑑別分析僅以顯著性因子進行排序

2.顯著性<0.05（顯著水準）即為顯著性因子

表 7.8 沖蝕潛勢預測模式之因子檢定結果

影響因子	分析方法	高斯過程模型		鑑別分析	
		r	排序	顯著性	排序
集水區面積		0.8639	1	0.000254	7
坡度改變量		1.4802	2	0.167770	-
坡高		2.7635	3	0.000001	2
岩塊規模		2.8023	4	0.000000	1
坡趾開挖高度		3.0030	5	0.000339	8
植被覆蓋面積百分比		3.7520	6	0.000202	6
地表水平加速度		3.9414	7	0.237695	-
坡形		4.0761	8	0.000101	3
地層種類		4.2664	9	0.000164	4
岩層位態		4.6073	10	0.908561	-
坡向		5.1959	11	0.984102	-
植被覆蓋厚度		5.2054	12	0.267062	-
坡度		5.3425	13	0.519918	-
岩塊體積百分比		5.5157	14	0.000194	5
坡度與傾角		5.7223	15	0.067350	-

註：1.鑑別分析僅以顯著性因子進行排序

2.顯著性<0.05（顯著水準）即為顯著性因子

由因子重要性與顯著性分析之結果，可知在不同模式之分析中，具重要性或顯著性之因子皆不盡相同，此結果顯示本計畫所選取之崩塌影響因子及量化之方法，具一定的代表程度。而崩塌潛勢分析之結果亦具有實務上之意義，未來道路養護管理單位可針對不同潛在崩塌類型之邊坡，針對其重要性因子進行改善，如此將可達到降低邊坡崩塌潛勢之效果。

整體而言，高斯過程模型之分析結果皆較鑑別分析為優，因此針對邊坡崩塌潛勢分析之課題，高斯過程模型應是一個合適的分析方法。

7.2.2 台 21 線測試資料庫

1.研究區域概況

本計畫研究範圍為 106k+000～116k+000，如圖 7.8 所示，現勘範圍主要在南港層內，沿途經過和社背斜及十八折坑斷層等地質構造，如圖 7.9。現勘邊坡之調查共計 20 筆，從其中挑選 10 筆自然邊坡（無擋土結構物或護坡）來做測試資料庫，以現場邊坡

之植生狀況及完整性作為研判過去有否崩塌之依據，其中有 5 筆為崩塌點，其餘 5 筆為未崩塌點。



圖 7.8 台 21 路線圖

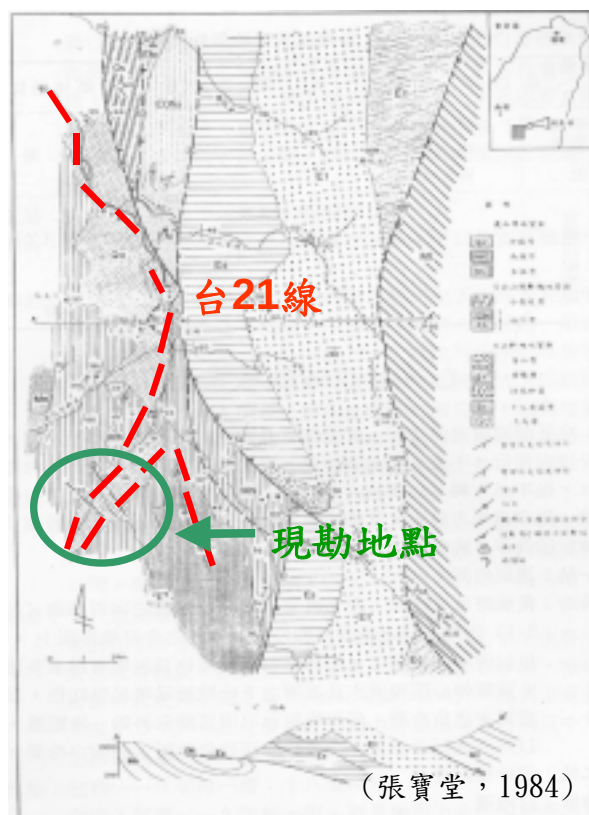


圖 7.9 東埔溫泉附近地質圖

2. 崩塌類型預測模式

比較之項目有誤判率及 $E(\text{LOSS})$ ，其中誤判率＝誤判數/測試案例數； $E(\text{LOSS})$ ＝各測試案例 LOSS 之期望值（ $\text{LOSS} = |\text{目標值} - \text{預測值}|$ ）。一般 $E(\text{LOSS})$ 用於判別機率模型之優劣。在訓練案例中一樣是以移除一筆測試一筆的方法來訓練資料庫，再將台 21 線之測試資料庫投入訓練資料庫來檢示誤判率。

在 7.2.1 節中，台 18 線訓練資料庫（109 筆）已訓練完畢，將台 21 線 10 筆自然邊坡資料進入模型測試，分類結果如下：崩落 5 筆，坍滑 1 筆，沖蝕 5 筆。

3. 崩塌潛勢分析

表 7.9 為各崩塌類型之崩塌潛勢預測模式以高斯過程分析結果，由表中可知，高斯過程之分析相當的準確。由於崩塌潛勢是以 1（崩塌）與 0（未崩塌）作為目標值，而分析出的崩塌機率只要 >0.5 就判定為崩塌， <0.5 就判定為未崩塌，因此表面上看來誤判率為 0，但其實每一筆測試案例的崩塌機率是不同的。

表 7.9 崩塌類型模式分析結果之比較

崩塌類型		案例數
崩落	台 18 訓練案例數	43
	台 21 測試案例數	5
	高斯過程誤判率	0%
坍滑	台 18 訓練案例數	22
	台 21 測試案例數	1
	高斯過程誤判率	0%
沖蝕	台 18 訓練案例數	44
	台 21 測試案例數	4
	高斯過程誤判率	0%

如表 7.10 所示，就實際崩塌的案例而言，其崩塌機率都是等於 100%，因此高斯過程分析結果事實上是低估了實際崩塌案例的崩塌機率。所以由表 7.10 之結果顯示，在實務操作上，只要是崩塌機率超過 60% 之邊坡案例，即可視為即將破壞之邊坡來處理。

表 7.10 高斯過程分析之崩塌機率

	案例	高斯過程	實際狀況
第一類崩塌類型 (崩落)	1	0.8	1
	2	0.42	0
	3	0.76	1
	4	0.64	1
	5	0.61	1
第二類崩塌類型 (坍滑)	1	0.76	1
第三類崩塌類型 (沖蝕)	1	0.36	0
	2	0.34	0
	3	0.29	0
	4	0.27	0

註：1.高斯過程的數字代表破壞機率：mean>0.5 為崩塌；mean<0.5 為未崩塌

2.實際狀況內：1 為崩塌，0 為未崩塌

為何經過台 18 線資料訓練之高斯過程模型在測試台 21 線之測試誤差如此的小(所有 10 個台 21 線之案例皆為正判)?事實上,這是小樣本數所造成之錯覺。由表 7.5 可知以 15 個因子做分析,對於崩落類型之正判率約為 93%, 坍滑為 77%, 沖蝕為 92.5%。至於在表 7.9 中, 台 21 線測試案例包括 5 個崩落邊坡, 1 個坍滑及 4 個沖蝕案例。就以上的樣本數條件下, 該 5 個崩落案例皆正判之機率為 $(93\%)^5=70\%$, 1 個坍滑案正判之機率為 $(77\%)^1=77\%$, 而 4 個沖蝕案例皆正判之機率為 $(92.5\%)^4=73\%$ 。所有 10 個案例皆正判之機率為 $70\%*77\%*73\%=40\%$ 。由以上的計算可以了解, 一旦台 21 線之邊坡案例數增加後, 正判率即會降低, 並逐漸回到其應有之正判率。

7.2.3 崩塌機率預測—加入雨量因子

1.研究區域概況

本計畫選擇以艾利颱風(2004.8.24~8.25)所造成之阿里山公路沿線二處邊坡崩塌案例進行測試。此二處崩塌案例分別位於台 18 線 82k+855 及 82k+935 處, 由其現場崩塌照片(圖 7.10、圖 7.11)研判, 其二者皆屬坍滑型崩塌。此二處崩塌案例係位於一道路彎角之兩側, 故其基本因子差異不大, 且兩者皆受到同一

降雨量 (647.2mm) 的影響。透過此二處案例之分析，可測試本模式中之崩塌機率預測模式在同一降雨條件下，不同地形、地質或其他條件之邊坡，是否會有不同的崩塌機率。



圖 7.10 台 18 線 82k+855 處艾利颱風崩塌照片



圖 7.11 台 18 線 82k+935 處艾利颱風崩塌照片

2.分析結果

將此二處案例分別以高斯過程及鑑別分析所建立之預測模式進行分析可得到表 7.11 所示之結果。由表中可發現兩者所建立之預測模式皆有其準確性，可準確預測該二案例之崩塌類型及崩塌潛能，其中以高斯過程所建立之模式較具機率意義。而降雨量與崩塌機率之關係可另以圖 7.12 表示，圖中顯示由於機率模型之差異，鑑別分析（DA）所呈現之機率曲線為 S 形，且其在降雨量小於 200mm 時崩塌機率趨近於 0，而在降雨量大於 400mm 時崩塌機率趨近於 1，僅在降雨量由 200 增加至 400 時崩塌機率會急劇變化，此一現象與崩塌潛能預測模式之分析結果類似，亦證明了鑑別分析僅適用於樣本分類，而不適於表達機率；而高斯過程（GP）之機率曲線雖亦具 S 形的趨勢，但其崩塌機率隨雨量增加之上升趨勢則相對緩和許多，此一機率分布形式應較接近邊坡實際受降雨影響之行為。此外，不同基本因子條件之邊坡在同一降雨量下會有不同之降雨機率，此結果亦證明了本研究之崩塌機率預測模式的可行性。最後一階段之崩塌規模預測結果顯示，該二處崩塌案例會產生將近 10,000 立方公尺的土石方量，此一結果雖無阿里山工務段之清除土石方量資料可比對，但由崩塌照片，可發現預測結果應明顯高估實際之崩塌量。此結果亦說明前述以現階段所選用之影響因子仍不易於進行崩塌規模之預測。

表 7.11 台 18 線 82k+855 及 82k+935 二處案例之分析結果

分析方法 預測模式			高斯過程		鑑別分析	
			82k+855	82k+935	82k+855	82k+935
崩塌類型			坍塌	坍塌	坍塌	坍塌
崩塌潛能			0.76	0.82	1.0	1.0
崩塌 機 率	累積 雨量 (mm)	0	9%	1%	0%	0%
		200	26%	16%	8%	3%
		300	39%	32%	70%	46%
		400	54%	52%	98%	96%
		647.2	85%	90%	100%	100%
崩塌規模 (m ³)			9,394	9,426	-	-

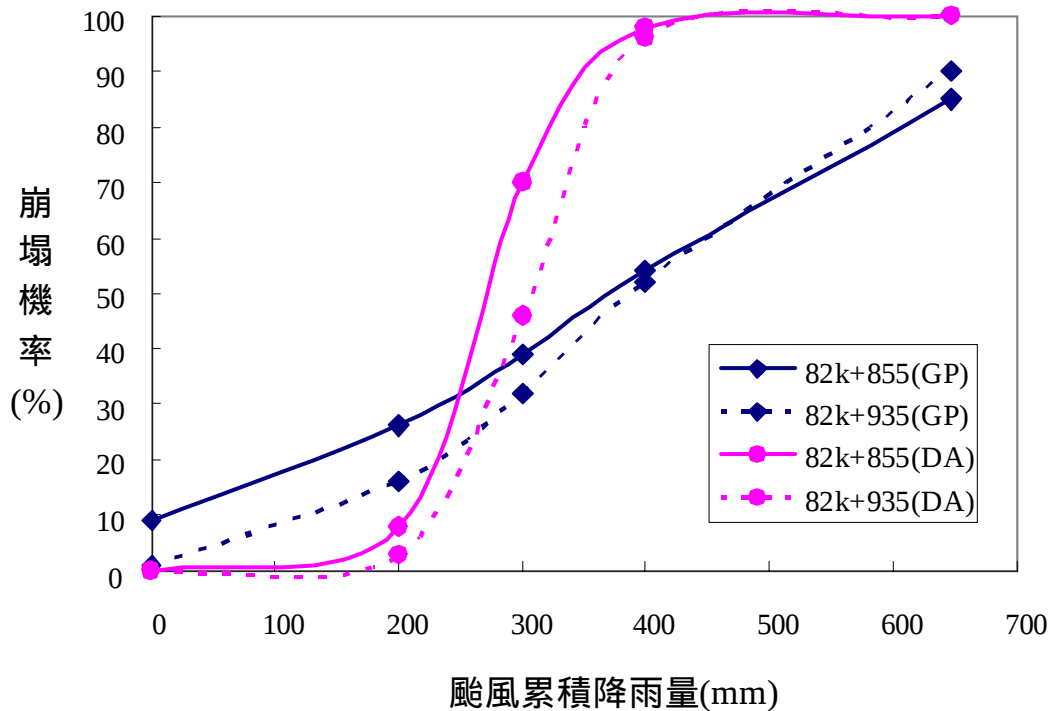


圖 7.12 艾利颱風二處崩塌案例之崩塌機率與颱風累積降雨量關係圖
(圖中 GP 為高斯過程；DA 為鑑別分析)

7.2.4 示範路段之二次災害類型

依據交通部公路總局第二區及第五區養工處提供之歷次颱風災損資料，可整理出台 18 線及台 21 線曾發生過二次災害之里程（詳見表 7.12、表 7.13）；這些里程至少發生過兩次甚或三次的崩塌，台 18 線共 15 處，台 21 線共 30 處。其中，台 18 線之二次災害都屬落石坍方，而台 21 線發生二次災害的種類則較具多樣性，包括落石坍方、上邊坡坍方、下邊坡坍方（路基缺口）等。基本上，除少數大型坍滑地外，經整治之邊坡在歷次之颱風侵襲期間均尚能維持穩定，災損資料所顯示之二次災害都是來自未經整治的邊坡範圍內，可歸因於自然的風化行為或是局部之邊坡不穩定，前者可以簡易的攔石網或是攔石柵處理之，後者則需在進行穩定措施設計施工階段，即應考慮崩塌範圍向上和向兩側擴張之可能，而採取必要之配套措施。

表 7.12 台 21 線二次災害統計表

路線樁號	災害情形	災害發生時間			
		桃芝颱風 2001.07	敏督利颱風 2004.07	艾利颱風 2004.08	馬莎颱風 2005.08
台 21 線 74K+0	落石坍方	v	v		
台 21 線 79K+650	上邊坡坍方		v	v	
台 21 線 81K+200	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 86K+300	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 94K+400	上邊坡坍方		v	v	
台 21 線 94K+460	落石坍方	v			
台 21 線 94K+500	落石坍方			v	v
台 21 線 94K+900	落石坍方		v		
台 21 線 94K+900	上邊坡坍方		v	v	
台 21 線 94K+900	路基缺口 (下邊坡坍方)	v	v		
台 21 線 95K+300	上邊坡坍方		v	v	
台 21 線 95K+500	落石坍方	v			v
台 21 線 96K+0	落石坍方	v		v	
台 21 線 105K+100	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 111K+900	落石坍方	v			v
台 21 線 115K+800	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 116K+700	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 117K+600	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 118K+600	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 120K+600	落石坍方			v	v
台 21 線 120K+800	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 121K+400	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 126K+800	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 127K+0	路基缺口 (下邊坡坍方)	v	v		
台 21 線 127K+200	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 127K+650	落石坍方	v			v
台 21 線 129K+100	落石坍方	v		v	
台 21 線 130K+300	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 131K+100	上邊坡坍方	v	v		
台 21 線 145K+100	上邊坡坍方	v	v		

表 7.13 台 18 線二次災害統計表

路線樁號	災害情形	災害發生時間				
		賀伯颱風	921 地震	桃芝颱風	納莉颱風	敏督利颱風
		1996.07	1999.09	2001.07	2004.07	2005.08
台 18 線 21K+400	落石坍方			v	v	
台 18 線 26K+300	落石坍方	v			v	
台 18 線 26K+700	落石坍方			v		v
台 18 線 30K+900	落石坍方	v			v	
台 18 線 36K+500	落石坍方			v	v	v
台 18 線 36K+900	落石坍方	v			v	
台 18 線 55K+0	落石坍方		v	v		
台 18 線 56K+200	落石坍方		v	v		
台 18 線 63K+600	落石坍方		v	v		
台 18 線 63K+800	落石坍方	v	v			
台 18 線 65K+600	落石坍方			v		v
台 18 線 66K+150	落石坍方	v	v			
台 18 線 69K+700	落石坍方			v		v
台 18 線 76K+500	落石坍方		v	v		
台 18 線 79K+400	落石坍方		v	v		

示範路段選取台 21 線兩處邊坡做為二次災害示範案例，此兩處案例分屬於第一類－噴凝土護坡邊界之破壞擴張及第二類－明隧道兩端上邊坡之破壞擴張，如下所述：

1.噴凝土護坡邊界之破壞擴張（里程：113k+500）

此里程由現勘可觀察到，靠近坡頂處已有岩塊墜落而留下空洞，下方之噴凝土之護坡已快要無法承受破碎岩塊的張力而產生裂縫，十分危險（圖 7.13）；在相隔數公尺處，為一坡高約 15 公尺之裸坡（圖 7.14），可知整塊岩坡為砂頁岩互層，坡腳並有少量的崖錐堆積，可知此處邊坡地質十分破碎，並不斷的發生小型崩塌。



圖 7.13 台 21 線 113k+500 處邊坡裂縫照片



圖 7.14 台 21 線 113k+500 處邊坡裸露照片

2.明隧道兩端上邊坡之破壞擴張（里程：111k+500）

此處大崩場地之形成是由於通過十八折坑斷層，地質屬於砂頁岩互層逆向坡加上平行坡面之節理，因此造成巨厚之崖錐堆積。此處崩場地從 921 集集大地震迄今，都尚未有完整的改善防治，圖 7.15 中之明隧道之兩端已再次擴建增長，但仍然被二次崩塌的土石淹沒而無法行車，自里程 111k+000 112k+200 都必須從河床改道通車。



圖 7.15 台 21 線 111k+500 處邊坡照片

7.3 監測與預警規劃建議

7.3.1 巡檢重點

1. 台 21 線 106k+600 900

此一路段海棠颱風來襲期間發生地錨擋土牆破壞、路基流失以及漿砌卵石擋土牆開裂，此一災害與和社溪河岸侵蝕、滔刷邊坡坡腳有關，破壞型態以岩屑至土壤之平滑至旋滑為主。緊急搶修以路基回填為主，預計進行之復建工程為坡腳護岸、地錨擋土牆、植生、水平透水管以及相關路面工程（圖 7.16）。



圖 7.16 台 21 線 106k+600 900 路段災損狀況

雖然此一路段目前以路基流失為主，然由路面下陷、靠山側之漿砌卵石擋土牆開裂情況研判，滑動面有可能延伸至道路之上邊坡（圖 7.17）。



圖 7.17 台 21 線 106k+600 900 路段路面下陷等災況

本路段附近（107k+100 500）於敏督利以及艾利颱風來襲期間，亦均曾發生路基流失現象，因此，屬於災害重覆發生之路段，災害重覆發生研判均與和社溪河岸侵蝕之地質營力有關，本路段邊坡主要由崩積層（或河階礫石）以及呈破碎狀之砂頁岩薄互層組成，亦為形成經常性崩塌之先天因素。

2. 台 21 線 107k+100 250

此一路段海棠颱風來襲期間發生上邊坡崩落以及路基流失，此一路基流失災害如同上一路段，皆與和社溪河岸侵蝕、滔刷邊坡坡腳有關，破壞型態以岩屑至土壤之平滑至旋滑為主。緊急搶修以路基回填為主，預計進行之復建工程以加勁擋土牆保護坡腳，配合地錨擋土牆與植生護坡提供坡面穩定保護，以及相關路面工程（圖 7.18）。至於上邊坡崩落，主要屬岩屑平滑，控制破壞發生之機制主要如下：此一地形上略為內凹的路段，研判為之前邊坡崩塌災害之崩崖頂，上邊坡裸坡岩盤已出露，主要是節理密集之砂頁岩薄互層，地層層面傾向為 $N10^{\circ}W/WS30^{\circ}$ ，因坡面位態約為 $N60^{\circ}E/ES60^{\circ}$ ，屬斜交至逆向坡，現地量測兩組節理面位態，

分別為約略平行坡面之節理 $N70^{\circ}E/ES76^{\circ}$ ，以及約略垂直坡面的 $N30^{\circ}W/EN60^{\circ}$ 。上述密集存在的不連續面將岩盤切割為破碎狀，使得岩石碎屑沿平行坡面之節理滑移、墜落。上邊坡崩落路段，雖砂頁岩薄互層之岩盤已出露，屬斜交至逆向，兩組分別平行與垂直坡向之節理，以及互層之層面將岩層切割呈破碎狀（圖 7.19），但只要能防止坡面之風化以及壁面沖蝕溝的發育，並能作好坡面保護，大規模坍塌之機會較低，然而路基材料以崩積層（或河階礫石）為主，甚易發生沿岩盤面與崩積層交界面或於極度風化岩盤內平面至圓弧型滑動。



圖 7.18 台 21 線 107k+100 250 災害路段全貌



圖 7.19 台 21 線 107k+100 250 上邊坡崩落路段

本路段於敏督利以及艾利颱風來襲期間，地形凹陷之處亦曾發生路基流失現象（敏督利 107k+100；艾利 107k+100 500，詳圖 7.20），因此，屬於災害重覆發生之路段，如同前一路段，災害重覆發生研判與和社溪河岸侵蝕之地質營力有關，本災害路段下邊坡主要由崩積層（或河階堆積物）組成，亦為形成經常性崩塌之先天因素。



圖 7.20 台 21 線 107k+100 250 地形狀況

本路段部份路基流失路段，正以砌大塊石方式回填路基，因下邊坡組成材料主要為土壤與岩屑，穩定性不佳，路基基礎之穩固相當關鍵（詳圖 7.21）。



圖 7.21 台 21 線 107k+100 250 部分路基流失路段

3.台 21 線 107k+900

此一路段原經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經坡面噴漿以及自由樑坡面保護（詳圖 7.22），目前穩定性尚可，惟巡檢時仍應將此一路段列為重點，注意噴漿坡面之完整性以及裂縫發生與裂縫發展趨勢，並列入巡檢紀錄以及邊坡管理系統。防落石柵後方岩塊應隨時清理，以維持防落石柵之功能（詳圖 7.23）。目前此一路段坡面植生狀況良好（詳圖 7.24），此一路段視巡檢情況可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意落石，若發現坡面保護工之功能漸趨喪失，則應進一步考慮設置事發型預警系統，如沿防落石柵設置鋼索檢知器，一旦發生鋼索檢知器斷裂，即可啟動事發型監測預警系統。



圖 7.22 台 21 線 107k+900 路段坡面噴漿與自由格梁坡面保護現況



圖 7.23 台 21 線 107k+900 路段防落石柵現況



圖 7.24 台 21 線 107k+900 路段坡面植生現況

4.台 21 線 109k+500 900

此一路段亦經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經坡面噴漿以及自由樑坡面保護，目前穩定性尚可，然而部分裸坡仍具落石潛勢。此一邊坡出露岩盤主要是砂頁岩薄至中層互層，地層層面傾向為 $N35^{\circ}E/WN35^{\circ}$ ，因坡面位態約為 $N35^{\circ}E/ES70^{\circ}$ ，屬斜交至逆向坡（詳圖 7.25）。現地量測兩組節理面位態，分別為約略平行坡面之節理 $N35^{\circ}E/ES60^{\circ}$ ，以及約略垂直坡面的 $N35^{\circ}W/EN85^{\circ}$ （詳圖 7.26）。因此處節理未如 106k 107k 之岩盤密集，故崩落岩塊之尺寸相對較大，此處落石之發生，主要將受平行坡面之節理所控制，以岩屑崩落或平面型滑移為主。此路段經坡面噴漿以及自由樑坡面保護（圖 7.27），目前穩定性尚可，然而部分裸坡仍具落石潛勢，巡檢時應將此一路段列為重點，注意噴漿坡面以及自由樑之完整性以及裂縫發生與裂縫發展趨勢，並列入巡檢紀錄以及邊坡管理系統。此處建議可設置欄落石柵，惟落石柵後方岩塊應隨時清理，以維持防落石柵之功能。此一路段視巡檢情況，可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意落石，若發現坡面保護工之功能漸趨喪失，則應進一步考慮

設置事發型預警系統，如沿防落石柵設置鋼索檢知器，一旦發生鋼索檢知器斷裂，即可啟動事發型監測預警系統。



圖 7.25 民和橋旁小溪溝



圖 7.26 台 21 線 109k+500 900 路段節理面位態



圖 7.27 台 21 線 109k+500 900 路段坡面保護現況

5.新興橋

新興橋位於陳有蘭溪主要支流和社溪的左岸，為台 21 線跨越和社溪支流 3 號溪的橋樑，公路附近河道坡度約 8 度，為土石流及崩落滑動共存區。賀伯颱風過境時，溪床嚴重淘刷，造成橋台崩落及部份橋面版流失。經災後搶救重建的新興橋總長 101 公尺，上部結構為鋼製箱型樑，中央跨徑為 60 公尺，兩側跨徑則為 20 公尺，其中靠近兩側橋台之橋孔已由護岸包住水流無法通行，因此實際淨跨距應為 61 公尺，橋底淨空為 7.5 公尺(謝正倫, 1998)。就淨空跨距而言，重建後的新興橋已具有較大的通水斷面，將有助於防止土石流於橋樑處淤積堵塞，賀伯風災後歷經多次土石流災害時，已能有效排除土石材料，但因地形因素及歷史資料顯示，土石流有攻擊南側橋台的趨勢，必須特別留意。

6.玉泉橋

玉泉橋橫跨一野溪，野溪上游有一大型崩塌地，然上游溪床堆積情況不明(圖 7.28)。首先，此一野溪上游堆積情形應加以調查，並透過巡檢持續觀察其移動情況，紀錄結果應納入邊坡管理系統。若堆積情況嚴重，應建議目的事業主管機關進行野溪整治。



圖 7.28 玉泉橋上游崩塌地遠照

7.台 21 線 111k+000 112k+200

此一路段共計有三處邊坡，曾為國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段。因路基流失，現況道路下切至河床通行。不計神木明隧道上方之崩塌，此一路段共計有三處大型崩塌地。海棠颱風來襲期間，造成此一路段之便道流失，經採砌大塊石後回填搶通。此一路段之三處大型崩塌（詳圖 7.29），主要發生在凹坡崩塌崖錐堆積材料中，部分區域因受和社溪河岸側蝕，已有岩盤出露（詳圖 7.30）。此路段坡向約略為南北向傾斜向東，層面走向為 $N35^{\circ}E/WN45^{\circ}$ ，屬逆向坡（詳圖 7.31）。現地量測得三個節理面位態，分別為 $N15^{\circ}W/EN50^{\circ}$ 、 $N30^{\circ}W/EN30^{\circ}$ 、 $N60^{\circ}W/EN60^{\circ}$ ，三組節理均約略平行坡面，容易形成差異傾蝕之砂頁岩互層逆向坡加上平行坡面之節理，為此處形成巨厚之崖錐堆積主因（詳圖 7.33），此一路段路基流失也就是因為此處主要為崖錐堆積，加上河岸側蝕之地質營力所造成。



圖 7.29 台 21 線 111k+00 112k+200 路段邊坡崩塌情形



圖 7.30 台 21 線 111k+000 112k+200 路段凹坡遠照



圖 7.31 台 21 線 111k+00 112k+200 路段邊坡傾角走向



圖 7.32 崩塌區坡腳出露之崖錐堆積材料

此一路段目前設置有溪水暴漲禁止通行之告示，同時亦設置有柵欄，神木隧道附近則設置有注意落石之告示。因此處為便道，長期監測可能以配合道路長期修復策略為宜，然目前仍應透過巡檢注意位於河床之便道其基礎沖刷情況，以及神木明隧道上方崩塌土體荷重對明隧道結構體之影響（圖 7.33），以及明隧道基礎岩盤破壞對明隧道結構體之影響。巡檢紀錄應納入邊坡管理系統。



圖 7.33 神木明隧道上方崩塌土體荷重對明隧道結構體之影響

8.台 21 線 112k+300 500

此一路段經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經護坡工程處理加上道路配合橋樑工程改線，因此以巡檢注意其坡面保護措施之有效性為主，巡檢應加以紀錄其變化並納入邊坡管理系統。

9.台 21 線 112k+950 113k

此一路段經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經護坡工程處理，現況尚稱穩定，因此以巡檢注意其坡面保護措施之有效性為主。另一方面，此一路段位於和社溪攻擊坡側，巡檢時亦應注意路基及溪床坡腳沖刷情況。巡檢應加以紀錄其變化並納入邊坡管理系統。

10.台 21 線 113k+500

此處有一大型浮石（孤石），噴漿坡面已產生裂縫，浮石上方已有一岩塊墜落，並留下一空洞（詳圖 7.34）。此處出露岩盤為砂頁岩薄互層夾厚層砂岩（詳圖 7.35），此一浮石其兩側為層面，推測此一浮石應為一砂岩塊，其墜落受平行坡面之節理以及張力破

壞持續進行所控制（圖 7.36）。巡檢時應將此一路段列為重點，注意噴漿坡面變化以及位移旋轉視覺放大器變形情形，並列入巡檢紀錄以及邊坡管理系統。



圖 7.34 113k+500 處之大型浮石與裂縫



圖 7.35 邊坡出露之岩盤與斷層面



圖 7.36 浮石之兩側層面

11.台 21 線 114k+500 115k+000

此一路段共計有四個坡面經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，於敏督利颱風來襲期間，發生兩處路基缺口（114k+550 及 114k+800）以及部分土石崩落之災情。此一路基流失災害與此一谷地為向源侵蝕旺盛之區域有關（詳圖 7.37）。緊急搶修與復建工程為清理土石、地錨擋土牆以及下邊坡坡面植生保護為主，現況尚稱穩定（詳圖 7.38）。



圖 7.37 此路段於敏督利颱風來襲期間路基流失災害



圖 7.38 敏督利颱風發生路基缺口以及土石崩落災情之復建工程

此一溪溝中堆積材料以老崩塌地之崩積層為主，破壞型態以岩屑至土壤之平滑至旋滑為主，受溪谷持續向源侵蝕作用劇烈之影響，目前已有部分岩盤出露。溪溝上游堆積土石大部分已下移，少部分仍為箱涵靠上邊坡處擋土牆上方鋼軌樁所攔阻（圖 7.39）。此路段已設置有警告標誌，目前建議加強巡檢，巡檢重點包括：下邊坡坡面保護之噴漿溝完整性、山溝箱涵靠山側之疊置擋土牆之接縫、擋土牆上方鋼軌樁岩塊堆積量、新設路基擋土牆基礎以及道路靠下邊坡處張力裂縫之發展。上述巡檢所得之資訊應加以紀錄，並列於邊坡管理系統中。另外，箱涵上方鋼軌樁攔阻土石應定期清運。



圖 7.39 溪溝上游堆積土石下移且受阻於擋土牆上方鋼軌樁



圖 7.40 溪溝堆積材料受溪谷向源侵蝕影響目前有部分岩盤出露

13.台 21 線 116k+500 600

此一路段目前設置有攔落石網，現況尚佳，惟仍應加強巡檢鋼網之功能，並注意攔阻落石對鋼網之影響，此類護坡工程若於巡檢後發現功能有疑慮，可考慮於鋼網上設置鋼筋計或鋼索檢知器。

14.頭坑橋

頭坑橋橫跨一野溪，上游溪床土石堆積情況不明（詳圖 7.41）。首先，此一野溪上游堆積情形應加以調查，並透過巡檢持續觀察其移動情況，紀錄結果應納入邊坡管理系統。若堆積情況嚴重，應建議目的事業主管機關進行野溪整治。



圖 7.41 頭坑橋橫上游溪床土石堆積情況

15.台 21 線 116k+700、117k+900 118k、118k+000 500

此三處邊坡曾為國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段。目前植生狀況尚佳，建議透過巡檢注意邊坡保護措施之功能性，並將巡檢紀錄納入邊坡管理系統。

16.台 21 線 118k+500 118k+900

此一路段於敏督利颱風來襲期間造成路基流失(圖 7.42)，另外，此一路段於敏督利、艾利以及海棠颱風來襲期間均造成上邊坡土石崩落災情。同時，此一路段亦為國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段。此一路段為向源侵蝕劇烈之區域，高聳之上邊坡為砂頁岩互層之逆向坡，容易形成差異傾蝕，並形成風化岩石碎屑與大岩塊之墜落，此一凹坡坡趾有大量之崖錐堆積材料，堆積材料大小不一。崖錐堆積加上向源侵蝕之地質營力造成此一路段經常性之災害。



圖 7.42 118k+500 900 為向源侵蝕造成路基流失

因崖錐堆積物中有大岩塊鑲嵌於基質土壤或碎屑中，故此一路上邊坡之崩塌對行車安全威脅仍大，因此，巡檢應特別注意此一路段鑲嵌於基質中大塊石之移動情形以及其下方土壤或碎屑沖刷之情況，巡檢紀錄應納入邊坡管理系統。此一路段未來道路改善可考慮設置擋土牆（基礎必須達堅實岩盤），並於其上方裝設防落石柵，欄落石柵上方則設置鋼索檢知器以及事發型預警系統。

17.台 21 線 126k+500~127k+440

本路段共計有五個邊坡為國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段。此路段為向源侵蝕劇烈之區域，地層受擠壓而發生褶皺，因此邊坡災害重複發生。艾利颱風造成 126k+600~700 路基流失(圖 7.43)，海棠颱風 126k+500~600 處路基流失，126k+600~700

上邊坡處擋土牆傾斜。海棠颱風造成 126k+500~600 路基流失擬以地錨擋土牆、三層石籠以及下邊坡植生加以整治。路基流失破壞機制為邊坡殘餘表土、崩積層以及風化破碎岩屑以平面至圓弧型滑移。石籠基礎仍受向源侵蝕作用影響，巡檢時應留意石籠下方基礎以及邊坡坡趾沖刷情況。



圖 7.43 126k+500~127k+440 為發生多次發生地基流失

7.3.2 監測基準

1. 台 21 線 106k+600 900

本路段之監測，根據監測目的可分為兩方面：(1)確認破壞機制，以驗證地錨擋土牆設計之有效性以及確認設計條件是否恰當（如地錨長度）；(2)施工以及長期管理維護階段之安全預警。巡檢時，重點在於此一路段之邊坡坡腳受河岸侵蝕影響情況，以及路面之張力裂縫發展情形，上述巡檢所得之資訊應加以紀錄，並列於邊坡管理系統中。配合 8 公尺高之地錨擋土牆，可考慮設置地錨荷重計，以了解固定端位於破碎岩盤中之預力損失情況；另外，路面可考慮設置傾斜觀測管，以了解可能滑動面深度、確認地錨長度足夠以及作為邊坡位移情況之監控。至於坡腳護岸工，若為剛性混凝土擋土牆，則可考慮設置傾斜盤。修復完成初期，可考慮以人工手動監測定期紀錄（約 1~3 個月紀錄一次，暴雨及地震

過後觀測加密)。此一路段可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意路基狀況，若監測結果發現有不穩定之現象與趨勢時，則應進一步考慮設置事發型預警系統。

2.台 21 線 107k+100 250

本路段之監測，根據監測目的可分為兩方面：(1)確認破壞機制，以驗證地錨擋土牆設計之有效性以及確認設計條件是否恰當（如地錨長度）；(2)施工以及長期管理維護階段之安全預警。巡檢時，重點在於此一路段之邊坡坡腳受河岸侵蝕影響情況，以及路面之張力裂縫發展情形，上述巡檢所得之資訊應加以紀錄，並列於邊坡管理系統中。配合 8 公尺高之地錨擋土牆，如同前一路段可考慮設置：(1)地錨荷重計，以了解固定端位於破碎岩盤中之預力損失情況；(2)坡趾加勁擋土牆後以及路基之傾斜觀測管，以了解可能滑動面深度、確認地錨長度是否足夠以及作為邊坡位移情況之監控。修復完成初期，可考慮以人工手動監測定期紀錄（約 1 3 個月紀錄一次，暴雨及地震過後觀測加密）。坡腳之傾斜觀測管管口需特別加以保護。此一路段可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意路基狀況，若監測結果發現有不穩定之現象與趨勢時，則應進一步考慮設置自動化監測系統。

3.新興橋

此處之監測可考慮於南側橋台設置自計式傾斜計，並考慮設置事發型預警系統。

4.玉泉橋

本路段之監測，可挑選適當之位置，設置鋼索檢知器或其他偵測土石移動現象之感測器，並考慮設置事發型預警系統。鋼索檢知器之位置選定，應距離橋面至少 100 公尺，以土石流流速 10m/sec 計，反應時間為 10sec，遮斷器位置距往同富側橋台 20 公尺，距往神木側橋台 10 公尺，至於煞車距離以 30 公尺計，警告

燈示應距遮斷器 30 公尺。至於鋼索檢知器之位置選定，應距離橋面至少 100 公尺，遮斷器位置距往同富側橋台 20 公尺，距往神木側橋台 10 公尺，警告燈示應距遮斷器 30 公尺（詳圖 7.43）。



圖 7.44 玉泉橋鋼索檢知器建議位置

5. 台 21 線 113k+500

適合監測浮石移動之感測器包括鋼索檢知器、傾斜計、伸張計、裂縫計、位移旋轉視覺放大器以及聲射感應器，此一浮石建議於裂縫處先裝設電子式裂縫計（自計式）以位移旋轉視覺放大器，若發現確有位移明顯趨勢，則應進一步考慮設置事發型預警系統，如鋼索檢知器，一旦發生鋼索檢知器斷裂，即可啟動事發型監測預警系統。

6. 頭坑橋

挑選適當之位置，設置鋼索檢知器或其他偵測土石移動現象之感測器，並考慮設置事發型預警系統。鋼索檢知器位置選定，應距離橋面至少 100 公尺，以土石流流速 10m/sec 計，反應時間為 10sec，遮斷器位置距橋台 20 公尺（此一距離應視土石流影響範圍酌與調整），至於煞車距離以 30 公尺計，警告燈示應距遮斷器 30 公尺。

7.台 21 線 126k+500~127k+440

考慮設置傾斜觀測管，注意擋土牆傾斜情況之發展，邊坡滑動速度快速，監測建議以自動記錄為主，感應器裝設位置於目前兩處殘坡見光線以 60 度往下延伸處。

7.3.3 落石預警基準

國立交通大學(2000)結合雨量因子（累積雨量、日降雨量）與邊坡危險度評分跟落石災害之間關係，利用 1987～1997 年間台 21 線 56 個造成落石災害之降雨事件作分析，針對研究區域內，將在某降雨情況下，發生落石的邊坡中，危險評估總分最小者 R_{min} ，對應不同的雨量因子做觀察。根據雙變數氣象因子與 R_{min} 迴歸分析，最後得到最佳組合關係（見圖 7.45）：

$$R_{min} = 159.41 - 9.23077 \times \ln(C_p) - 7.6923 \times \ln(I_r) \dots \dots \dots [7-1]$$

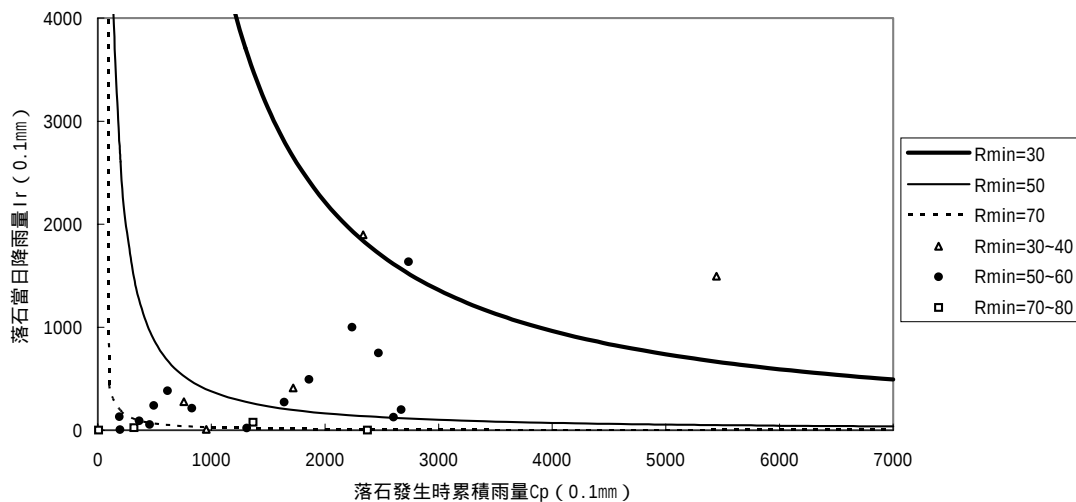


圖 7.45 落石發生時累積雨量、當日降雨量與 R_{min} 關係圖

根據圖 7.45，每個不同邊坡會對應不同的臨界破壞線（式 7-1），當邊坡危險評估總分越小時（即代表岩體品質越佳），其所能承受的雨量衝擊能力會更強。由圖 7.46 的關係，可預測不同降雨情況下，某一邊坡發生落石的可能性。當某降雨情況（ C_p^* ， I_r^* ）時，首先算出此情

況臨界最小危險評估總分 $R_{min} = 159.41 - 9.23077 \times \ln(C_p^*) - 7.6923 \times \ln(I_r^*)$ ，當所要預測的邊坡危險評估總分 $R \geq R_{min}$ 時，表示危險，代表該邊坡在此降雨情況下會產生破壞而發生落石；若當 $R < R_{min}$ 時，則為安全（見圖 7.46）。雖然 $R < R_{min}$ 時，落在安全區域，但也有可能發生落石，只是機率比較小而已，為了顯示此情況發生落石的可能性高低，國立交通大學(2000)定義一危險距離 S （見圖 7.47），當 S 越大時，表示越遠離臨界破壞線，則落石發生可能性越低。此處 S 為降雨情況點 (C_p^*, I_r^*) 到臨界破壞線 $R = R_{min} = 159.41 - 9.23077 \times \ln(C_p) - 7.6923 \times \ln(I_r)$ 的距離。根據降雨因子評分，可考慮暫以 $S > 30mm$ 為注意、 $S \leq 30mm$ 為警告、 $R \geq R_{min}$ 為危險。

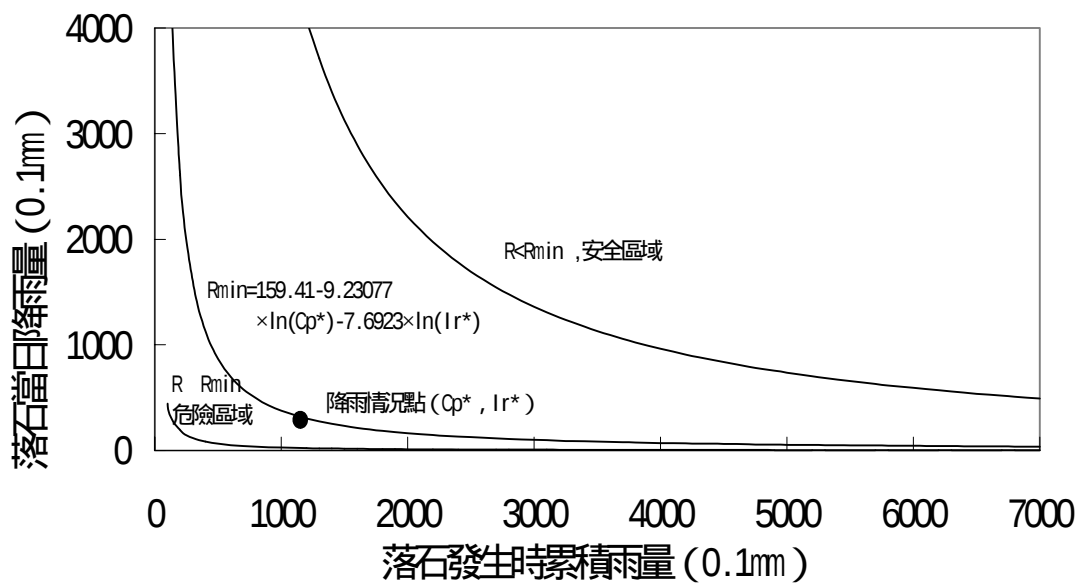


圖 7.46 不同危險評估總分 R ，降雨情況落石預測

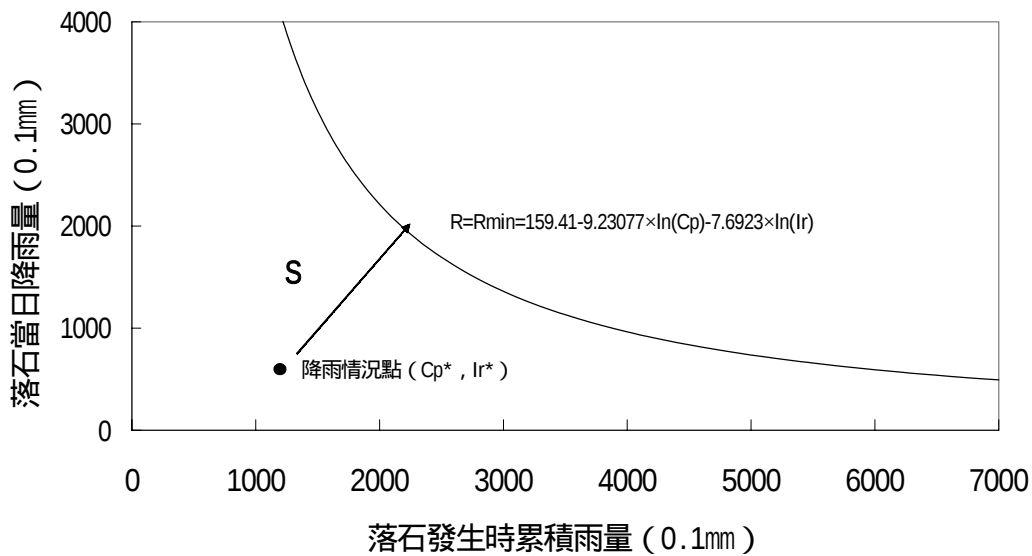


圖 7.47 降雨情況下，落石發生危險距離

7.3.4 土石流預警基準

土石流預警以新興橋為例，預警基準可分三階段。第一階段警示：一獨立雨場的定義為前 24 小時內累積降雨量達 10mm 之時間點，稱為一雨場之降雨開始時間，因此設定當降雨強度超過 10mm/24hr 時，由信號回傳機傳回一訊號做為第一階段之警示，表示研究區域正有一獨立雨場發生，讓土石流防災監測中心人員能有所警覺，並持續監控此雨場是否引發土石流。第二階段警示：以 25%之機率線作為第二階段之警示基準(如圖 7.48 以新興橋為例)，其意義為當第一階段之警示回傳後，若降雨量持續增加，達到第二階段之臨界基準時，即發出第二階段之警示，同時自動回傳系統可將警示資訊傳回，提供有關單位參考並因應，如隨即亮起黃色警告燈誌並告知來往車輛注意安全，並通知當地居民及相關之行政機關適時的進行交通管制措施。第三階段警示：以 50%機率線做為第三階段之警示門檻值(如圖 7.48 示)。若雨量持續累積，達到第三階段之預警值時，除傳回相關之訊號至監測中心外，權責機關亦可以紅色燈誌警示，警告車輛人員禁止通行、當地居民隨時警戒或進行避難。

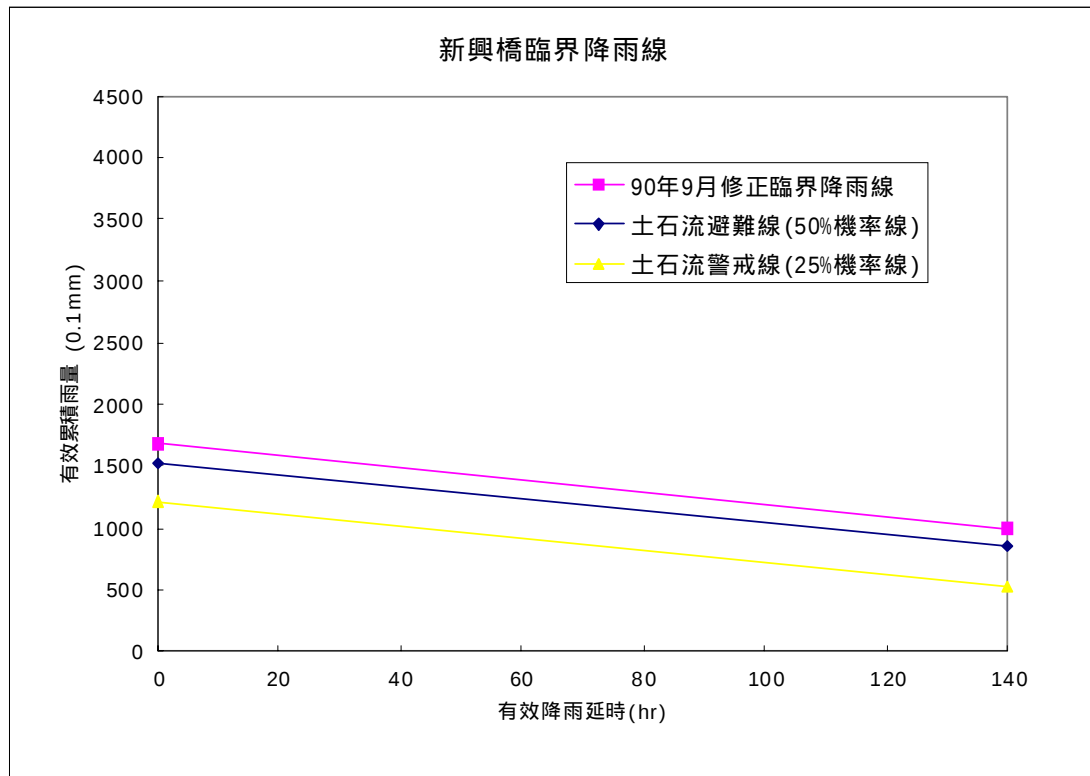


圖 7.48 新興橋土石流各階段預警基準（國立台灣大學，2001）

7.4 災損擋土結構物功能評估分析結果驗證

本研究針對省道台 21 線（106k 130k）沿線山區之擋土結構物進行現地勘查作業，記錄之點位案例資料共計 78 處，相關現地擋土結構物調查情形彙整如附錄三所示。由彙整結果可知，台 21 線山區道沿線整治之擋土防治工法大可分為重力式擋土牆、砌石擋土牆、錨拉式擋土牆、蛇籠擋土牆、噴漿護坡等五大類；再將本研究前述章節所提擬之評估表格用到此路段，針對記錄之 78 筆資料進行評估，可以發現其中功能評估等級屬功能尚可者 42 筆，局部損壞 31 筆，功能喪失 5 筆。

本研究除針對調查各類之擋土結構物功能評估分級結果予以彙整外（詳表 7.14、圖 7.49）本節後述內容後中，亦將針對功能尚可、局部損壞、功能喪失等三個點位彙整，並擬相關之建議處對策，期擬本研究成果可提供相關養護工程單位作為後續治之參考依據。

表 7.14 台 21 山區道路邊坡擋土結構功能評估分級統計表

結構物型式 案例數目	擋土結構物功能評估分級			
	功能尚可	局部損壞	功能喪失	合計
重力式擋土牆	33	26	2	61
砌石擋土牆	4	4	2	10
錨拉式擋土牆	3	1	1	5
蛇籠擋土牆	1	0	0	1
噴漿護坡	1	0	0	1
合計	42	31	5	78

台21道路邊坡結構物功能評估分級統計圖(106k~130k)

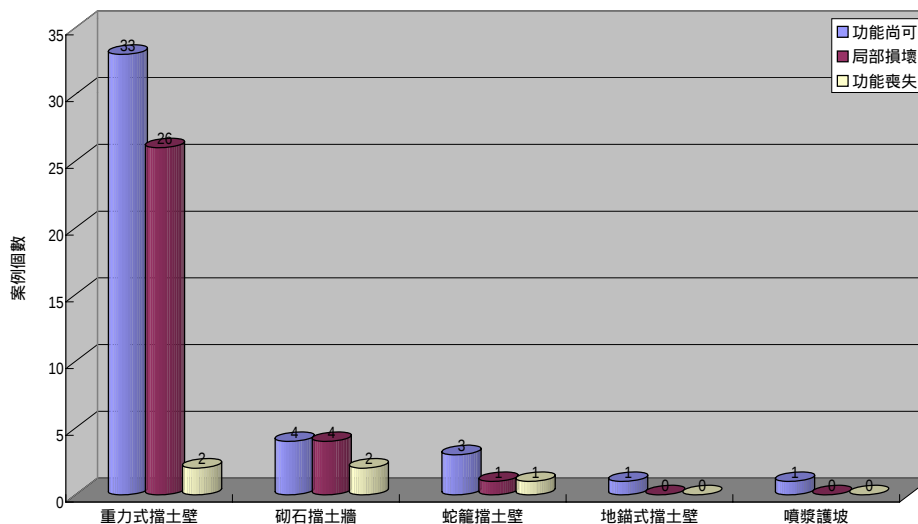


圖 7.49 台 21 山區道路邊坡擋土結構物功能評估分級統計圖

7.4.1 功能尚可

功能尚可等級之擋土結構，其結構物現況多僅為牆面細裂縫（圖 7.50、圖 7.51）變形、牆面鋼網輕微銹蝕（圖 7.52）或混凝土輕微剝落（圖 7.53）等情況，由於此類評估分級之擋土結構其本身穩定情形良好，且相關之排水設施充足、排水狀況大致良好、附近坡面植生覆蓋情形完整等，故本研究建議處理對策可採用表面修補及定期清理排水孔並加強後續之管理維護，以維持結構物之功能性。



圖 7.50 擋土牆面具細微裂縫 (台 21 線 106k+650 838)



圖 7.51 錨頭處混凝土有細微裂縫 (台 21 線 108k+370 605)



圖 7.52 牆面鋼網輕微銹蝕 (台 21 線 115k+840 850)



圖 7.53 擋土牆牆面混凝土輕微剝落 (台 21 線 129k+990 130k+040)

7.4.2 局部損壞

功能評估等級為局部損壞之擋土結構物，其功能現況多為牆面有明顯裂縫(圖 7.52)或牆面排水孔部份遭異物堵塞(圖 7.52、圖 7.53)，牆面局部有地下水滲出、擋土牆頂混凝土局部剝落、地錨錨頭與擋土

面版分離等情況，此類擋土結構物雖有局部損壞，但整體坡面保護功能仍存在，建議處理對策除可針對損壞之擋土設施局部拆除重作或進行修復外，在排水方面，由於排水狀況不良易直接影響牆體本身之穩固程度，以維持排水暢通。此外，針對地形或地質條件較差且潛在危險性之路段，則建議可考慮加強監測，以確實掌控邊坡之穩定情形。



圖 7.54 牆面有明顯裂縫（台 21 線 106k+850 942）



圖 7.55 牆面有排水設施部份堵塞（台 21 線 107k+650 810）

7.4.3 功能喪失

評估為功能喪失等級之擋土結構物，其坡面附近皆有或大或小之沖蝕溝形成，且坡面殘留大量風化侵蝕之崩積土，或結構物有龜裂嚴重或完整崩壞（圖 7.54、圖 7.55、圖 7.56），排水設施完全遭異物堵塞（圖 7.55），結構物本身已失去穩定。建議處理對策需先針對原有工法之適用性進行檢討，並評估整治修建之經濟效益，以決定原設計重建或採用其他穩定工法，若邊坡滑動範圍增大，則需設監測系統，隨時掌控邊坡穩定情形，以防二次災害發生。



圖 7.56 牆面龜裂嚴重並有位移的情形(台 21 線 108k+780 109k+100)



圖 7.57 牆面龜裂嚴重及排水設施堵塞（台 21 線 107k+000 035）



圖 7.58 牆面龜裂嚴重並有位移的情形（台 21 線 126k+700 757）

第八章 結論與建議

8.1 結論

本研究計畫主要結合國內交通、道路、邊坡、土木、大地等工程建設科技方面之產、官、學各類專家與學者共同投入執行，以促使整體研發成果朝向落實應用之目標邁進。本期計畫自九十四年二月三日簽約執行至今，共歷時九個月。總結今年（九十四年）研究工作重點，主要結論彙整如下：

1. 本研究團隊已重新檢討整合交通部既有相關邊坡基本資料庫之研究成果，於本年度計畫執行期間，開發建置一套結合自然環境、工程、巡檢、災損四大資料庫之道路邊坡維護管理系統。
2. 本年度建置完成之道路邊坡維護管理系統，依據資料屬性可以將系統分為使用者資料、邊坡基本資料，以及輸出功能三大部分。其中在輸出功能部分，本系統特地現有資料欄位開發統計分析功能，除此之外，並結合地理資訊系統，利用空間化之方式展示統計結果。另外，為協助工程師進行例行性之道路巡檢作業，本研究特地將巡檢所需填報之相關表格予以數位化，以便於工程人員隨時掌控轄屬範圍內之邊坡穩定情形與相關之後續維護處理作業。
3. 本年度開發建置完成之道路邊坡維護管理系統，除已將現有蒐集之台 18 線與台 21 線沿線相關之災損資料建置完成外，並已開發統計分析與相關報表輸出功能。
4. 本研究以高斯過程配合台 18 線邊坡案例所建置之道路邊坡預測模式，除可達 90% 以上之正判率外，將之應用於台 21 線 106k 116k 之道路邊坡案例也有極高之正判率，其中實際發生崩塌之案例，預測模式所得之崩塌機率均在 60% 以上。換言之，若由本研

究建置之預測模式所求得之崩塌機率達 60% 以上之邊坡，即有高崩塌可能性，需採取必要之因應措施。

5. 由各預測模式之重要性因子整理，可知在不同預測模式之分析中，具重要性之因子皆大不相同，此結果顯示本研究所選取之影響因子及量化方式，具一定的代表程度。而崩塌潛能之因子檢定結果亦具有實務上之意義，未來道路養護管理單位可針對不同潛在崩塌類型之邊坡，藉由改善其重要性因子，可達到降低崩塌潛能之效果。
6. 本研究所欲建立之山區道路邊坡崩塌分階預測模式，以高斯過程之分析結果觀之，除崩塌規模外，皆可得到不錯的預測結果，此論點可由實例分析之結果得到印證。然在實用上必須注意，本研究使用之雨量因子為颱風時之累積降雨量，故理論上，只能預測颱風降雨時之崩塌機率，因颱風的降雨型態量多且集中，與一般梅雨的降雨型態不同。
7. 台 18 線之二次災害都屬落石坍方，而台 21 線發生二次災害的種類則較具多樣性，包括落石坍方、上邊坡坍方、下邊坡坍方（路基缺口）等。基本上，除少數大型坍滑地外，經整治之邊坡在歷次之颱風侵襲期間均尚能維持穩定，災損資料所顯示之二次災害都是來自未經整治的邊坡範圍內，可歸因於自然的風化行為或是局部之邊坡不穩定，前者可以簡易的攔石網或是攔石柵處理之，後者則需在進行穩定措施設計施工階段，即應考慮崩塌範圍向上和向兩側擴張之可能，而採取必要之配套措施。
8. 本年度已完成監測相關研究成果之彙整，同時以災損及緊急搶修與復建為核心，提出由監測規劃至邊坡工程災損應用之完整流程。本研究利用台 21 線示範路段為例，檢討監測規劃之流程，並提出台 21 線監測規劃之初步建議。
9. 關於監測預警，以事發型監測預警為最簡易且可行之方式，本研究完成規劃事發型監測預警之概念與流程。惟事發型監測對於災

害機制之研判能力較差，宜搭配一般之監測系統進行關鍵物理量變化之監控，以進一步了解致災原因，並作為緊急搶修與復建決策之參考。

10. 巡檢為道路邊坡管理維護相當重要的一環，同時，也是重要的監測方法（目視檢查）之一。然而，各邊坡之巡檢重點應根據地形、地質條件、地表及地下水文以及邊坡現況進行事先之規劃，並詳實調查與紀錄，並將巡檢成果彙整至邊坡管理系統，若發現異狀，亦應立即處置。

8.2 後續計畫執行重點

依據本年度研究之執行過程與成果，彙整出明年度後續計畫之執行重點如下：

1. 針對現已建置完成之資料庫系統，建議後續研究可持續將相關欄位資料建置完整，並期擬後續可透過完整且龐大之資料內容，以及與本研究相關成果之結合，此套道路邊坡維護管理系統可達到協助道路管理單位掌控山區道路邊坡之崩塌特性，進而提供作為道路邊坡緊急搶修方案研究之參考依據。
2. 本研究共計調查 109 筆案例，其中崩塌案例佔 55 筆，未崩塌案例佔 54 筆。期擬未來可有更多的案例加入分析，以提高本模式之可信度。
3. 崩塌類型為影響崩塌規模之主要影響因子，故未來若有更多之分析案例加入，亦應將崩塌規模預測模式分為三個崩塌類型分別進行分析，如此應能提高崩塌規模預測之準確性。
4. 根據阿里山工務段所提供之資料，邊坡崩塌之調查及坍土石方之清除皆在豪雨過後，然而邊坡極可能在一場降雨中的某個時刻即發生崩塌，故實際引致崩塌之降雨量應較本研究所採用之颱風累積降雨量為少，故使用本研究之崩塌機率預測模式時，其預測結

果應偏向不保守。此一因素亦是目前仍無法有效預測邊坡何時會發生崩塌之主要原因。故未來若能準確掌握邊坡崩塌之時間點及降雨量，將可使崩塌機率（時間）的預測更為準確。此外，雨量因子中，亦可考慮加入前期降雨量及降雨強度，如此更能掌握降雨因素之不確定性。

5. 本研究所探討之「邊坡」皆指不具擋土保護措施之道路邊坡，未來若能加入擋土保護措施這項因子，則本研究所建立之分階預測模式將可廣泛應用於道路邊坡崩塌之預測，然如何找到一個合理的量化方法，仍待更進一步之研究。
6. 不論是邊坡崩塌之預測或崩塌潛勢之分析，其最終目的皆在進行邊坡之崩塌預警及管理，而根據本研究之分階預測模式，可得到崩塌類型、潛能、機率及規模的預測結果，未來應可用於建立邊坡崩塌預警系統，亦可建立道路邊坡分級管理之機制。
7. 本研究首度採用高斯過程作為邊坡崩塌潛勢分析之方法，由其分析結果觀之，高斯過程應為一值得推薦的分析方法，尤其在分析結果欲以機率方式表達時。而本研究中並未對高斯過程作深入之探討，僅期望能發揮拋磚引玉之效，供後續研究者作更進一步研究時之參考。
8. 台 21 線少部分路段，目前邊坡已有滑移之潛勢，建議應開始著手研擬加固措施或崩塌後復建對策，以避免災後規劃設計時程緊迫，無法將各項地形地質因素詳細考量於工程復建中。

參考文獻

1. Barber, D. and Williams, C. (1997). Gaussian processes for Bayesian classification via hybrid Monte Carlo. *NIPS* 9.
2. Jaynes, E.T. (1957). "Information theory and statistical mechanics." *Physical Review*, 106, 620-630.
3. Mackay, D. J. (1997). Gaussian processes - a replacement for supervised neural networks? *Lecture notes for a tutorial at NIPS 1997*. Available at <http://wol.ra.phy.cam.ac.uk/mackay>.
4. MacKay, D.J. (1992). A practical Bayesian framework for back-propagation networks. *Neural Computation*, 4, 448-472.
5. Neal, R. M. (1997). *Monte Carlo implementation of Gaussian process models for Bayesian regression and classification*. Technical Report CRG-TR-97-2, Dept. of Computer Science, University of Toronto.
6. Williams, C.K.I. and Barber, D., (1998). Bayesian Classification with Gaussian Processes, *IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20, 1342-1351.
7. Williams, C. K. I. and Rasmussen, C. E. (1996). Gaussian processes for regression. In *Advances in Neural Information Processing Systems 8th* ed. by D. S. Touretzky, M. C. Mozer, and M. E. Hasselmo.
8. 中國土木水利工程學會 (2004), 「七二水災災區調查與復建策略研擬」, 行政院經濟建設委員會。
9. 王智仁(2001), 「以現場調查方式分析影響公路岩石邊坡穩定性之工程地質因子--以南橫公路梅山至啞口段為例」, 碩士論文, 國立成功大學資源工程學系。
10. 行政院經濟建設委員會 (2004), 敏督利颱風災情統計報告。
11. 李維峰、張睦雄、劉桓吉、顏召宜, 山區道路邊坡崩塌防治最佳化

- 研究(I)，交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 92 年。
- 12.李維峰、張睦雄、董家鈞、劉桓吉、顏召宜，山區道路邊坡崩塌防治最佳化研究(II)，交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 93 年。
 - 13.李秉乾、許盈松、董家鈞、李維聰、連惠邦、周天穎，山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發(I)，交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 92 年。
 - 14.李秉乾、許盈松、許懷後、李維聰、連惠邦、周天穎，山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發(II)，交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 93 年。
 - 15.李德河、方世杰、林宏明(2004)，「颱風引致公路邊坡之破壞特性探討-以阿里山公路為例」，防災與國土永續發展研討會論文集，國科會工程處工程科技推展中心，第 115 136 頁。
 - 16.吳傳威、范正成、鄭大偉、吳銘塘、陳嘉明、王玉瑞、翁祖炘、歐辰雄(1999)，「台灣區道路落石坍方危險度資訊系統建構(二)」，交通部科技顧問室。
 - 17.林美聆等(2003)「坡地開發技術之研究」，財團法人臺灣營建研究院，政院院公共工程委員會。
 - 18.周晏勤、藍世欽、陳時祖(2001)，「工程地質特性對道路邊坡穩定性影響」，第九屆大地工程學術研討會論文集，桃園。
 - 19.張舜孔(2003)，「類神經網路應用在阿里山公路邊坡破壞因子之分析研究」，碩士論文，國立成功大學土木工程學系。
 - 20.莊光澤(1993)，「阿里山地區道路邊坡穩定性因子之探討」，國立成功大學資源工程研究所，碩士論文。
 - 21.陳崇華(2004)，「台十一線海岸公路邊坡崩塌災害分析」，碩士論文，國立東華大學自然資源管理研究所。

- 22.陳榮河(1984),「坍方類型之現地研判」,地工技術雜誌,第7期,第13-19頁。
- 23.黃安斌、廖志中、潘以文、林志平、董家鈞,道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定(I),交通部科技顧問室研究計畫成果報告,中華民國91年。
- 24.黃安斌、林志平,道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定(II),交通部科技顧問室研究計畫成果報告,中華民國92年。
- 25.廖洪鈞、游行健、郭瑞柏(2002)「邊坡擋土工法選定之研究」,地工技術雜誌,第94期,第81-92頁。
- 26.廖洪鈞、林郁欽(2001)「鑑別分析法應用於坡地社區邊坡崩塌機率之評估研究」,地工技術雜誌,第87期,第59-72頁。
- 27.廖洪鈞、廖瑞堂、董家鈞、李維峰,台灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構功能評估—現有破壞案例統計、分析,交通部科技顧問室研究計畫成果報告,中華民國93年。
- 28.廖瑞堂(2001),「山坡地護坡工程設計」,科技圖書。
- 29.廖志中(1999),「山區道路災害危險度分級及預報系統建立工作」,台灣省政府交通處。
- 30.董家鈞(2003),「台灣山區道路工程地質特性與邊坡監測規劃」,道路邊坡安全管理與監測研討會,台北、台灣科技大學。
- 31.國立成功大學防災研究中心(1998),「地質危險區公路及河川橋樑之維護管理與防救災對策之研擬~以台十一線及二十一線為例」,台灣省交通處公路局。
- 32.陳崇華(2004),「台十一線海岸公路邊坡崩塌災害分析」,碩士論文,國立東華大學自然資源管理研究所。
- 33.陳榮河(1984),「坍方類型之現地研判」,地工技術雜誌,第7期,

第 13-19 頁。

34. 葉昭雄、何鴻文(2002)，山區公路、橋樑遭受重大土石災害修復對策與實例，公共工程土石災害防治對策研討會，台北。
35. 劉桓吉、方中權、莊德永(1989)，「台灣新中橫公路嘉義觸口至塔塔加鞍部沿線地質」，經濟部中央地質調查所彙刊，第五號，第 19-29 頁。
36. 賴季鋒(1999)，「山坡地災害防治評估系統之研究」，碩士論文，國立成功大學都市計劃學系。

附錄 A

期中審查委員意見暨辦理概況

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
國立成功大學 陳教授 景文 1.請提供以 Gaussian process 進行邊坡崩塌相關之文獻。 2.崩塌模式除在「崩塌」「坍滑」及「沖蝕」模式中外請加入「其他」模式，將不屬或較難判之模式置入「其他」模式中，或可降低誤判率。 3.誤判是否包括會塌判為不會塌及不會塌判為會塌及崩塌模式之誤判。	目前尚無相關研究使用高斯過程。 參酌辦理，並列入後續研究參考。 有包括。
國立中興大學 褚教授 炳麟 1.本報告書欠缺摘要，請補正。 2.本報書 P2、P4、P29、P90、P93、P101 及 P105 有筆誤、遺漏、修辭及編排等缺失，請修正，其他部分亦請詳加檢查、校正。 3.P9 道路基本資料之建置，建議增加路面之型態(PC 或 AC)及路面之厚度。 4.P11, 圖 3.4 中所顯示的 GPS 資料，建議將道路之里程數一併顯示出來。	遵照辦理。 遵照辦理。 遵照辦理。 遵照辦理。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
5.P15, 整治工法目前只分五大類, 建議增列第六大類 “其他”, 可將其他的處理方式, 例如 “緩議” 或 “休養生息” 等納入。	防治工法分類目前已將植生工法納入考量, 針對委員提擬之此項建議主要為處理對策方面, 故擬將此建議納於研究成果中之處理對策建議部分。
6.P18, 圖 3.12 有兩個示意照片相同, 但標題不同。	部分典型照片尚未蒐集齊全, 故目前暫以示意圖片代替, 此部分將於期末報告中修訂。
7.P95, C 應改為小寫 c。	遵照辦理。
8.P21, 圖 3.17 災害原因位顯示內容為 “交通阻斷”, 是否妥當, 請再斟酌。	此項用辭將再與工程使用單位確認後於期末報告中修訂。
9.P66, 表 3.13 有關落石之材料破壞機制及監測徵兆物理量等內容是否妥當, 請再斟酌。	傾倒型之落石破壞以剪力破壞為主。故表 3.13 中關於落石之材料破壞機制修正為『張力破壞或剪力破壞』。監測徵兆物理量改為『岩塊墜落(位移、旋轉)或降雨特性; 若以張力破壞為主者可監測張力裂縫產生之聲射』。
10.P26, 有關邊坡之風化程度等級建議調整為無, 輕微、中等、嚴重、極嚴重等 5 級。	參酌辦理, 並列入後續研究參考。研究成果中, 亦考慮將「風化程度」改名為「破碎程度」。
國立海洋大學 簡教授 連貴 1.研究團隊於短促時間與有限之經費下, 期中報告有此成果值得肯定。	

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
2.用於崩塌潛勢分析案例之邊坡基本資料請建於系統內。	遵照辦理。
3.用於崩塌潛勢分析之案例與分析上之參數資料,建議應建表明列交代之。	遵照辦理。
4.崩塌潛勢分級以λ值分為五級,根據如何?請加強述明。	遵照辦理。
5.建議擋土結構物之功能評估,是否考慮應用監視、監測儀器與預警相結合?	遵照辦理,將於期末報告中增加相關研究成果之著墨。
6.P36~37.建議崩塌機率及崩塌規模預測模式之因子應考慮地震與降雨(包括雨量分佈)。	崩塌機率預測模式已考慮地震及降雨;至於崩塌規模部份研究團隊將參酌辦理。
7.建議崩塌規模預測可否加入道路崩塌面之大小? What kind? Where? When? 以利預警與復建之決策參考。	參酌辦理,並列入後續研究參考。
8.崩塌類型除了崩落、沖蝕、坍滑之外是否考慮其複合性,因其可能影響不同之緊急搶修與復建方法。	參酌辦理。
水土保持技師公會 陳理事 本康 1.有關後續執行重點之崩塌機率及崩塌規模預測模式,建議考慮崩塌之觸發因子(如降雨或地震)。	崩塌機率預測模式已考慮地震及降雨;至於崩塌規模部份研究團隊將參酌辦理。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
2.P94.功能評估方法是否應有表格或調查成果表(含方法及照片)，並與資料庫整合。	遵照辦理。
3.有關監測儀器描述甚多，但請針對道路上、下邊坡(尤其下邊坡河床淘刷)提出較具體之監測方法，以利實際執行。	本研究對於監測規劃建議以破壞機制為基礎，因此不論是上、下邊坡或是整體滑動之邊坡監測，均建議以回歸破壞機制研判為規劃考量重點。至於下邊坡河床淘刷，如向源侵蝕，均屬於邊坡破壞之重要地質營力，惟因涉及主管權範圍，道路主管機關常無權責處理。然而，此一部分確實相當重要，因此建議將此一部分加入道路巡檢之重點。
本所港研中心 朱科長 金元 1.在預定完成之工作項目上，每項都強調要檢討整合既有相關之系統，但報告內容無法明顯看出有相關之檢討與整合，請加強說明。 2.希望能將鄰近雨量站 累積雨量及地震強度相關資料納入系統。 3.維護管理與工法之歷史資料宜納入系統。	關於檢討與整合既有之研究成果相關內容，已分述於期中報告之各相關章節中，針對委員提擬之此項建議，將於期末報告中增加一章節進行相關敘述。 由於累積雨量之相關數據資料龐雜且不易依據系統建置之里程資料進行彙整，故研究團隊擬參酌辦理。 遵照辦理。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
4.不同工法是否與崩塌類型有關，請加以說明。	遵照辦理。
5.崩塌潛勢分析，應用統計機率分析來作，似乎某些因子並非具獨立性(如岩塊規模與岩塊體積百分比-----)，如果用力學分析(邊坡穩定分析)，是否能改善預測模式之結果？	高斯過程模型可自動考慮此相依性，利用力學分析模式有可能可以改進分析結果，但若所採用模式與實際狀況相差甚鉅，則有可能使分析結果更糟。
6.崩塌是地震造成？雨量？或地震後再加雨量？	可能為雨量或地震後再加雨量。
本所港研中心 謝研究員 明志 1.研究團隊在本期中報告裡，已把主要的系統架構、災害潛勢分析方法及未來規劃都已呈現出來，工作努力值得肯定。 2.本案 SMS 系統，資料庫採用 MS Access，GIS 採用 ESRI 的 ArcGis，而在報告中所建置的邊坡監測系統，資料庫用 MS SQL Server 或 Oracle，但展示層只提到 Web GIS，請建議或比較那一種 Web GIS 較適用，而從 Desktop GIS 轉成 Web GIS，資料及程式碼的處理，作業量較大，工作時程請妥善規劃。	報告中提出之邊坡監測系統相關敘述為目前蒐集來之文獻資料，故此系統採用之程式語法與本案之邊坡管理系統不盡相同，關於邊坡管理系統所採用之程式語法將於期末報告中增加敘述。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
3.表 3.13 及表 3.15 似乎相同，只有編號少了一個連字號，是否此 2 表可合為一表來用，在資料庫上會比較合適，或是此 2 表單各有用途？請說明。 4.在第三章執行成果內容只看到台 18 線的資料，而簡報後段有展示台 21 線之照片，請將台 21 線之新資料鍵入 SMS 系統。	遵照辦理，將於期末報告中進行修訂。 遵照辦理。
本所港研中心 賴研究員 聖耀 1.本報告之思路相當清楚，尤其是緒論部分，將本研究之重要性及研究理念，說明得非常清楚。 2.根據第二章工作內容之介紹，本計畫第一年主要是重新檢討及整合交通部既有相關研究成果。可否將既有之研究成果，分別分類的概述其重要結論，然後再進一步說明本研究計畫之新的成果。 3.本研究計畫較有理論之部分為，以鑑別分析及高斯過程統計分析災害案例，建立崩塌之預測模式，可否將所有案例之影響因子詳細列表於報告中。	關於檢討與整合既有之研究成果相關內容，已分述於期中報告之各相關章節中，針對委員提擬之此項建議，將於期末報告中增加一章節進行相關敘述。 遵照辦理。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
4.本報告提及崩塌之影響因子有 15-16 個之多，而且以此 15-16 個因子進行統計分析，如此處理，常使建立之崩塌模式，為一長串之式子，而無物理意義。以邊坡穩定來講，其最重要的影響因子，只有兩個，一個為滑動或崩塌之趨動力，另一個為抗滑動或抗崩塌力，當趨動力大於抗崩塌力時，即邊坡崩塌，亦即趨動力大於抗崩塌力之機率為崩塌機率。15-16 個因子，分別為影響趨動力及抗崩塌力。 5.由 36~37 頁表 3.7 之因子檢定結果，崩落及坍滑之最重要影響因子皆為坡高，而坡度為第 12 順位之影響因子。坡高為垂直高度，坡度為坡高與水平距離之比值。常理判斷坡度才是崩塌之重要影響因子，而坡高僅是影響坡度因子之一，不應成為崩塌之因子。統計上，這些被統計之因子，相互間應該為獨立關係，一般稱之為獨立變數，例如坡高(z)、坡度(z/x)、坡址、坡形(x,y,z)等皆為相性極高之因子，須綜合為一個因子。	參酌辦理，並列入後續研究參考。 高斯過程模型可自動考慮此相依性。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
本所港研中心計畫承辦人 蘇副研究員 吉立 1.P1 & P7 頁-有錯字--(程)果---請於 期末報時注意修正。 2.P4 頁 3~5 行中所述初步完成工作 之一：完成防治工法效益評量模式 建置之意是指模式研究或將模式 建於邊坡管理系統？如指模式研 究是錯的，如指建於邊坡管理系統 是對的，請釐清。 3.P6 頁 8~10 行中所述：以台 18 線 為研究成果驗證對象是否偏離合 約已述明以台 18 線之研究經驗來 驗證 21 線示範案例之既定工作承 諾？18 線可為新增補足資料，或為 新模式之分析比較，或為重複驗 證，請於日後注意 21 線之驗證工 作。 4.P8 頁 11~15 行中所述資料欄位與 系統之組成：欄位之定義是否適 當？請在檢討說明定義之，請加強 說明系統之組成架構與新舊系統 之區別(可用圖說或表列方式)。	遵照辦理。 遵照辦理，將於期末報告中修 訂。 遵照辦理。 遵照辦理。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
5.P25 頁 12~23 行與 P26 頁 11~19 行 中所述基本因子之地形與地質構 造：坡向、坡度、坡高、坡形、坡 向與傾向、坡度與傾角等請加入圖 示說明？統之區別。	遵照辦理。
6.P30 頁 2 行所述：本研究子題仍以 省道 18 線為研究對象，基本上無 誤，但請納入 21 線之驗證研究。	遵照辦理。
7.請再加強整合比較說明現有各潛 勢分析方法之優點與差異性，以及 相同案例之驗證結果(表列比較)。	遵照辦理。
8.建議各種分析模式應建置或連結 於 GIS 系統中，使應用者只需改 變不同參數即可獲得崩塌潛示之 級數(於模式中所採用之因子，於實 際應用中儘可能簡化與務實，如輸 入不同之持續累積雨量、瞬間雨 量、地震強度、植被狀況或排水能 力等，即能預知崩塌潛勢之變化)， 方請符合研究務實與實用之目的。	參酌辦理，其中分析模式與 GIS 系統之連結需視現有之 Arc View 軟體之功能而定。
9.於未來報告中請加強邊坡崩塌二 次災害之型態與如何防止之研究 探討。	遵照辦理。
10.用以分析之各案例狀況與現況應 詳列說明，並將現況或歷史資料建 於系統中。	遵照辦理。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期中報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
於系統中。	
11.有關工法效益評量模式之建置(如果是建置應於 GIS 系統中時),請說明有那些相關模式之研究? 如何驗證模式?	參酌辦理,工法效益評量模式建置部分,非本期合約規定之工作項目內容。
12.台 18 線及 21 線之現址調查資料,請加強說明新舊調查之路段數量與內容事項之差異性,並以表列明述。	遵照辦理。
13.是否考慮增建道路邊坡整治工法資料庫(含新工法與歷史工法之工法細節與單價)及道路邊坡監測系統資料庫(含系統組成細節、適用性與單價)?以利下年度之研究。	工法資料庫系統之相關欄位已初步建置之於邊坡管理系統中,但由於邊坡監測系統之相關資料欄位尚於評估當中,故針對此項建議,研究團隊將參酌辦理。

附錄 B

專家座談會意見

**交通部運輸研究所合作研究計畫
專家座談會意見**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

國立中興大學 褚教授 炳麟

- 1.研究成果豐富，詳實，具學術及工程實務參考價值。
- 2.坡地災害與地形、地質、水文及氣象因素息息相關。本計劃因限於經費，研究範圍僅侷限於台灣中、南部之道路坡地。建議增列經費及期程，將台灣北部之道路邊坡一併納入研究對象。
- 3.擋土結構中，排水管線因傳統施工不當所造成的阻塞，為道路邊坡破壞的主因，建請於緊急搶修與復建階段中，提出合宜的整治工或材料，以供委託單位參考。
- 4.建請增加其他地區道路邊坡災害案例資料之收集工作，已增益邊坡崩坍分析模式的可靠度。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
專家座談會意見**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

國立海洋大學 簡教授 連貴

- 1.坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究，對永續道路坡地安全非常重要，研究團隊已有初步成果，努力值得肯定。
- 2.災害資料庫，建議強化災損原因的分析評估及復建維護成本說明，同時區域與本研究相關之測站亦能納入，提供參考。
- 3.GIS 系統建置，如展示空間與時間序列資料，請說明。同時建議將航照及衛星影像納入，及作為道路坡地崩塌潛勢、緊急搶修與復建整合之參放。
- 4.如何利用高斯過程評估 16 種影響因子之排序，請補充。以利讀者參放。
- 5.除降雨強度外，建議能將本研究區域雨型，納入評估，改量降雨強度，雨型所產生累積雨量，入滲及對大地工程土壤參數等對道路坡地崩塌之影響。
- 6.本研究採用高斯過程機率模式，具前瞻性，若能朝不同降雨強度及雨型，評估坡地崩塌機率特性，可提供復建整合之決策分析之依據。
- 7.道路邊坡崩塌因特性不同，其災害預警有不同需求，如何規劃配置，尤其是預警指標，以期達到坡地災害之防治，請說明。另建議未來應規劃預警監測示範區，以落實計畫目標。
- 8.示範道路段，建議改崩塌與道路連結寬度與規模，以作為評估參放。另建議應利用所建之邊坡崩塌模式，評估示範道路段之穩定性，藉以評估模式應用合宜性。
- 9.資料庫與地理資訊系統建置，建議應與 Ending Users 多溝通協調。
- 10.本研究成果具實用性，建議可提供工務單位參放，適當與緊急搶修或復建整合結合應用。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
專家座談會意見**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

中華民國水土保持技師公會全國聯合會 陳常務理事 本康

- 1.有關通報系統，建議加入災情統計及狀況資料及預估復建經費，以利行政單位作業。
- 2.有關預警系統，建議說明重點區域，否則全段道路要預警並不容易。
- 3.有關道路橫交水路及河床側蝕之崩塌淺勢分析，是否納入請考量。
- 4.因石門水庫崩塌嚴重，建議後續工作，是否考慮工作項目及內容，調整、加入台 7 號公路為交通範圍，並考量預警系統之設置

**交通部運輸研究所合作研究計畫
專家座談會意見**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

公路總局養路組 吳組長鎮封

- 1.災害位置座標建置全省道路災害資料，目前已有新的表格，可洽本人提供。
- 2.操作手冊建議提供復建方法及搶修方法。
- 3.改綠化山區道路可行性已不建 議提供修復技術方面的方法。
- 4.今年全省省道災害資料(包括位置規模..)可提供參放。
- 5.研究成果實用問題。

公路總局第二區養護工程處 高處長 邦基

- 1.加勁擋土結構物使用於公路邊坡災損復建，其規格、材料、工法之適用性，建議納入研究內容。
- 2.台 8 現遭洪水影響邊坡穩定及大甲溪河床淤積對於路基邊坡災損亦可作為研究案例，其災害原因及形態可一併檢討。
- 3.95 年度中部地區公路可配合本案研究做預警監測之實地驗證，當於復建工程設計階段予以配合。
- 4.台 21 線後續災害資料庫建立所需資料蒐集，二工處當全力配合。

公路總局第二區養護工程處信義工務段新中橫監工站 曾站長偉林

- 1.台 21 線 106k 處和社溪內沖刷處施作丁壩來減緩侵蝕，是否於復建技術中加入相關溪床整治技術。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
專家座談會意見**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

港灣技術研究中心 賴研究員聖耀

- 1.建立台 18、台 21 線全線可能崩塌之臨界降雨量。
- 2.以建立之模式分析現有 GIS 資料庫之崩塌潛感。
- 3.若調查資料不齊全，如何分析其崩塌潛感。
- 4.模式建立要考慮物理意義。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
專家座談會意見**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

港灣技術研究中心 謝研究員明志

1. 資料庫已作大幅修改，其中邊坡資料庫仍分為四大類，以道路基本資料為前導關聯資料，可便利各資料庫之間的搜尋，為一極端的改善。
2. 建議：道路基本資料表單內的欄位，是否將起里程 k 起里程 k 等欄位，置放在迄里程之前，這樣排列對鍵入資料人或瀏覽使用人較為習慣。
3. 自然環境資料內有一項崩塌代碼，岩石邊坡破壞模式分 5 種，土壤邊坡破壞模式分 6 種，但此代碼無法辨識地盤材料為岩石或土壤，是否可在代碼前加 R 或 S 以利辨識邊坡材料及破壞模式。
4. 因未來計劃做搶救復健手冊，在防救災處置的手冊上，有一很重要的內容，i.e.處理程序，能否在工程資料裡的「整治工程代碼」欄內，將各種處置的工法，依處理先後順序來建置這個代碼欄，如某一種破壞的修復，先做回填土，再作植生打樁，則依序填此代碼為 E-090-v060，如此可供手冊編制之參考。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
專家座談會意見**

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

港灣技術研究中心 朱科長金元

- 1.巡查資料庫建置其時期為何？請提供完整之成果。
- 2.利用高斯過程分析崩塌式或否，與緊急搶修與復建整合之關係？
- 3.崩塌之類型分類與後續章節之災害類型分類名稱並不一致，是否說的是不同東西。
- 4.應先確認名稱崩塌案例之破壞機制，再來談崩塌潛感因子。
- 5.潛感因子中之岩塊體積百分比如何計算？與岩塊規模之關係？各類潛感因子是否據統計獨立？
- 6.研究專案題目為緊急搶修與復建整合，沿就之成果與此方向關聯。

港灣技術研究中心 蘇副研究員吉立

- 1.如前 E-mail 之工作報告重點亦為期末報告內容之重點。
- 2.崩塌分析可否加入類神經網路分析法之比較。
- 3.明年可否將三種分析法直接寫入資料庫。
- 4.巡檢預計如何結合資料庫（時程？方法？格式？）。

附錄 C

期末審查委員意見暨辦理概況

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
國立成功大學 陳教授 景文 (共 4 點) 1. 對舊有系統缺失之改善，應補充說明。	遵照辦理，詳見 3.1 節 (P.3-9)。	同意處理情形。 (3.1 節之 P.3-2 頁也有部份明述。)
2. 利用高斯過程與鑑別分析判定坡地災害之優劣應詳細說明。	遵照辦理，詳見 4.1.1 節。	同意處理情形。 (第 7 章驗證之結果表亦有說明。)
3. 各主要工作項目之成果間之關聯性，請補充說明。	遵照辦理，詳見第二章。	同意處理情形。
4. 報告中之「著者」請改為計劃主持人、協同主持人。	遵照辦理，詳見各章節內容。	同意處理情形。
公路總局養路組 吳組長 鎮封 (共 5 點) 1. 舊系統修訂後請對原建置之台 18 線資料庫一併修正或通知阿里山工務段修正。	遵照辦理，系統已將台 18 線相關災害資料彙入，研究報告完成後，亦將寄送一份至相關工務段。	同意處理情形。
2. 高斯過程 15 項因子分析結果與 5 項因子分析結果之差異問題未明確提出說明，可否採二分之一如 8 項因子也分析結果。	已於報告中增列補充說明(詳見 p.7-14)，8 項因子之分析預測誤差在 5 因子與 15 因子之間，選擇 5 個因子是因為其預測誤差最低。	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
3. 針對台 18 線、台 21 線所做的預測有無在颱風豪雨前告知兩個工務段？請工務段做監測紀錄的工作，建議期末報告能明確提出該兩條路線之預測（預警）提供工務段做實際之監視。另就各點或選幾點提出建議如雨量達 200、500、1,000 時做如何之防範，以資驗證。	參酌辦理，今年度先依據台 21 線過去之研究成果提出降雨量預警基準，詳見第 7.3.2 以及 7.3.3 節，本研究擬於下一年度利用高斯過程進行相關預警基準探討。	同意處理情形。
4. 通報流程未見針對案例之機關行政程序提出建議。	參酌辦理，本年度已針對通報流程提出流程圖，關於機關行政程序建議於下一年度編入手冊中，並召開會議邀請各機關承辦人員會同提供建議，以落實研究案之實用性。	同意處理情形。
5. 近年來發生路面張力裂縫經實地驗證多為下邊坡結構物基礎問題建議未來研究列入參考。	感謝委員建議，此一部分建議可納入下一年度之復建對策研擬相關研究中。	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
國立海洋大學 簡教授 連貴 (共 7 點) 1. 期中報告查意見大致已有適當回覆，工作項目與內容，大致符合要求，研究團隊努力值得肯定。	謝謝肯定。	同意處理情形。
2. 道路邊坡維護管理系統建置，應將未來 ending user 需求納入考同時考量，關於災損資料庫應強化道路邊坡災損產生原因與機制探討，更有參考價值。	參酌辦理，目前災損資料庫已依據颱風、地震或豪雨等誘因建置相關災損資料，針對災損發生機制部分，將提擬後續研究持續進行，以俾使本研究成果更具參考價值。	同意處理情形。
3. 地理資訊系統之 Arc GIS 如何處理展示時間序列資料，請說明。	遵照辦理，詳見 3.2.1 節中之圖 3.25。	同意處理情形。
4. 本研究如何評估邊坡危害度之低、中、高等三個等級，尤其不同型式道路邊坡崩(如落石、土石流、坡面崩塌、地滑等)，請補充說明；另崩塌道路邊坡崩塌災害預警及通報系統，建議應針對本研究不同型式道路邊坡崩塌特性，規劃適	感謝委員指教，本研究可輸出邊坡崩塌機率之高低(見表 7-10)，因此可將崩塌機率 < 20% 之邊坡劃分為低危險，20%~50%劃分為中危險，> 50%劃分為高危險。另外，邊坡崩塌機制，確實為監測與預警規劃之基礎，關於不同	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
當預警及通報系統，同時如何決定其預警指標？亦應適當補充說明供讀者參考。	崩塌機制之監測規劃與預警指標，詳見表 5.5 以及圖 5.34 圖 5.36。	
5. 擋土結構功能評估與分級評分模式，應盡可能量化說明，以其使用者能客觀方便評估使用。同時文中應說明功能分級與不同功能評估方法之關聯性，及如何分級與評分？另表 6.7 及表 6.8 功能檢查表與分級評估之關聯如何？應有適當說明，以利讀者能利用。	本研究提擬之擋土牆功能分級目前主要以應用在緊急搶修與復建之初步研判為考量，因此只提出定性之評估，如表 6.7 和表 6.8，尚未考慮其間之關聯性。事實上，每個邊坡案例之性質皆不相同，因此對於後續之永久性復建工程，需以個案方式進行定量評估。	同意處理情形。
6. 本研究示範區除目前模式驗證外，建議應將本研究所建立道路邊坡維護管理系統，及擋土結構功能評估與分級評分模式列入示範評估更有義意。	參酌辦理，目前系統已經將研究成果中之擋土結構功能評估模式建置至系統中，針對分級評估模式部分，則將提擬後續研究繼續進行，以俾使本研究成果更具參考價值。	同意處理情形。
7. 本人專家座談會意見，建議可適度納入現階段補充或未來探討評估之參考。	參酌辦理，各意見屬於本研究範圍內之工作項目，研究團隊將進行補充，其他相關意見則擬納為未來探討評估之參考。	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
	之參考。	
水土保持技師公會 陳理事 本康 (共 3 點) 1. 本報告內容詳實。	謝謝肯定。	同意處理情形。
2. 建議列表說明高斯過程中與其他方法針對邊坡崩塌潛勢分析之優缺點或限制，以供後續相關研究。	遵照辦理，詳見 4.1.1 節。	同意處理情形。
3. 建議初步概估，相關預警系統之費用，以利相關單位作業。	參酌辦理，相關監測預警系統之費用，將配合下依年度計畫推動，協助工程處進行實際監測之規劃，並協助工程處進行預算編列。	同意處理情形。
本所港研中心 邱主任 永芳 (共 4 點) 1. 邊坡破壞地如何監測？監測何種因子及推估方式應說明清楚。	邊坡監測與崩塌機制相關，因此監測之物理量應視邊坡崩塌特性而定，本研究將不同邊坡崩塌機制之監測物理量詳列於表 5.5 以及圖 5.34 圖 5.36。	同意處理情形。
2. 資料未來如何作業化應詳細說明。	遵照辦理。如何把現地資料數化為分析因子	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
	，在 4.2 節有詳盡說明。數化作業程序未來將朝向與資料庫結合。	
3. 預警系統如何與資料庫結合並通報應詳細說明。	參酌辦理，目前系統已初步開發建置通報系統之部分資料欄位，由於目前蒐集彙整之預警資料龐大，故擬將此點意見提擬至後續建議中，以供後續研究執行之參考依據。	同意處理情形。
4. 採用高斯程之原因及其驗證過程應說明。	遵照辦理，詳見第四章前言、4.1.1 節、p.7-8~p.7-9。	同意處理情形。
本所港研中心 朱科長 金元 (共 7 點) 1. 系統建置完成移交使用單位有那些？須否配合購買軟硬體？其費用又如何？	目前系統建置資料主要為公路總局阿里山與信義工務段兩單位，故後續移交部分除港研中心外，應僅為此兩單位。至於軟體部分，則主要以 Arc View 8.3 與微軟 Access 為主，據了解港研中心本身已經有此兩套系統，故無須配合採購相關軟體系統。	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
2. P.25 巡檢維護為何會分成日間、夜間巡查報告表？而沒有颱風後、地震後？或者平常、緊急巡查表？平常巡查與災後之巡查其巡檢項目有無不同？	遵照辦理，巡檢維護部分將修改為日間經常、夜間經常、定期巡查、特別巡查（颱風、豪雨、地震等）等四項。至於巡檢項目，由於公路養護手冊上面記錄之欄位較為簡略，故本計畫仍採用研究成果中之擋土、排水、護坡等之巡檢細項。建議後續相關計畫可以將巡查路段分為列管與非列管路段，並依據巡查之時間點，修訂其巡查對象與巡檢記錄要項。	同意處理情形。
3. P.44 崩塌類型分為崩落、坍滑、沖蝕三類，而 P.17 之圖 3-10 分為五大類，兩者並不相同，其原因為何？	本資料庫系統開發時主要是採用較細之崩塌型態分類，故將之分類為崩落、傾倒、滑動、側移與流動五類。然本研究分析過程中，由於考量調查案例數量與分析結果之準確性，故將傾倒與滑動歸納為坍滑，側移與流動歸納為沖蝕。	同意處理情形。
4. P.45，圖 4-11 所示之崩落、坍滑、沖蝕機率預測	如何把現地資料數化為分析因子進入高斯	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
模式，在系統中能否操作？能否由現場或防災相關人員操作？新的災害發生後，其現場狀況即發生改變。	過程分析，在 4.2 節有詳盡說明。數化作業程序未來擬朝向與資料庫結合，研發可由現場人員直接操作之模式。	
5. P10、P11 圖名是否應為道路邊坡維護管理系統。	遵照辦理，詳見圖 3.1 (P.3-3)及圖 3.2(P.3-4)所示。	同意處理情形。
6. 監測系統或監測資料能否與維護管理系統連結。	參酌辦理，目前台灣山區道路僅有台 18 線部分路段進行監測作業，故本系統將透過網路連結方式讀取相關資訊，後續相關案件執行時，期擬公路相關單位可將監測數據資料之讀取權分享給相關研究團隊，以俾使各相關資源可以做有效之利用與提升其參考價值。	同意處理情形。
7. 在台 18 線、台 21 線不同位置，能否建議監測使用之系統？評估後採取之監測系統規劃及優先順序？	參酌辦理，本研究於本年度提出台 21 線之監測規劃詳見 7.3.1 節，基於本年度研究成果，本研究預計於下一年度配合道路養護工程處進行實際監測系統之規劃與設置。	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
本所港研中心 謝研究員 明志 (共 2 點) 1. 研究團隊已應期中審查的要求,將分 21 線資料加入查詢系統,而且也將示範路段的調查研判做了相關的介紹及建議。另查詢系統在架構設計上也做了大幅的修改,各類資料間的相互查詢更為便利,這方面的努力值得肯定。	謝謝肯定。	同意處理情形。
2. 關於 P.11,圖 3.2 邊坡管理系統資料架構圖之建議如下：		
a. 請解釋 PK, FK2 等符號的意義。	遵照辦理,PK(Primary Key, 主鍵)、FK (Foreign Key, 參照鍵)為資料庫描述「索引鍵」之專有名詞,相關解釋亦會同時標註於報告中,詳見圖 3.2(P.3-4)。	同意處理情形。
b. 「使用權限」請再做劃分說明,如某一層級的使用者能取用或更新那些資料表單。特別是巡檢人員與工程人員相互之間不能更	本系統之填報,主要是採以個人帳號與密碼進入,故除非本身為填報者外,其填報之相關資料其他人是無法進行修改的;另外,關於	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
動到對方資料這一類 權限應區分清楚。	使用權限部分,系統開 發主要是依據單位層 級劃分。綜上所述,本 系統並無此點問題。	
c. 災損資料表內有工程 相欄位,此與工程資 料表的內容有何不同 ? 是否災損資料表內 存放災損調查資料, 修護資料全歸入工程 資料表單內,請斟酌 。	工程資料主要分緊急 搶修與復建兩階段,系 統在災損資料表內之 工程資料,主要是建立 災害發生時工程單位 配合發包之緊急搶救 工程,至於工程資料庫 中建立的,則以復建工 程為主,由於兩者間之 發包程序不同,故建置 之欄位資料也不盡相 同。	同意處理情形。
d. 圖說影像表單,是否 應歸居於自然環境資 料表單之下,如此, 邊坡基本資料之下的 四大類資料,各有影 資相依屬。	圖 3.2 為整體資料庫之 總架構圖,至於圖面上 之圖說影響表單,主要 建置有歸屬於自然環 境之等高線地形圖、 CCD 監視影像、航照 圖等,以及屬於工程資 料之竣工圖等,故其所 屬相對位置仍歸屬於 邊坡基本資料下,無須 調整期相對位置。	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
本所港研中心 賴研究員 聖耀 (共 5 點)		
1. 由期末簡報及上次之專家座談會簡報，可看出研究團隊對本計畫之用心及努力，並已有相當豐碩之成果，值得肯定。	謝謝肯定。	同意處理情形。
2. 但由期末報告書之內容看來，卻發現有許多我們所關心之資料及成果，並未具體呈現。例如 55 筆崩塌及 54 筆未崩塌之資料，並未詳實的將其有關 16 個因子列表出來，另外，有關建立完成之崩塌機率模式，亦未將其公式呈現出來，若能加以補充陳列於適當章節或附錄，將使本報告更為完整。	有關崩塌機率計算公式，由於目前訓練資料僅限於台 18 線之 109 筆資料以及台 21 線之 10 筆資料，期擬未來資料庫較完備時，將再考慮提供該計算公式。	同意處理情形。
3. 報告第 209~212 頁，有關落石之預警基準及土石流之預警基準分別採用交大及台大建立之模式（公式），為何未採用本研究建立之崩塌機率模式？請補充說明。	今年度先依據台 21 線過去之研究成果提出降雨量預警基準，詳見第 7.3.2 以及 7.3.3 節本研究擬於下一年度利用高斯過程進行相關預警基準探討。	同意處理情形。

**交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-94-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(1/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
4. P32, 4.1 節提及鑑別分析法之崩塌潛勢之等高線為直線，如此說法可能不太恰當，宜改為線性函數，因為影響因子可藉由函數轉換，如 Lin(x)或 logit(x)轉換，而使潛勢等高線為有物理意義之曲線。	遵照辦理，報告中已作修改，詳見 4.1.1 節。	同意處理情形。
5. 台 18, 台 21 全線分段之崩塌潛能及機率, 圖 7.12 僅是某處之崩塌機率。	此工作項目需要台 18 及台 21 全線之因子資料，目前資料庫尚未完備，將列為未來目標。	同意處理情形。

附錄 D

台 21 線擋土牆結構物現地調查彙整表

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
106k+050~106k+110	重力式擋土牆	長 60 公尺 寬 1.5 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面裂縫補強	功能尚可	加強管理維護
106k+300~106k+550	砌石擋土牆	長 250 公尺 寬 2 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	部份砌石損壞	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
106K+650~106K+838	重力式擋土牆	長 188 公尺 寬 0.5 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有裂縫 少數排水孔有木 頭阻塞	功能尚可	表面局部修補 定期管理維護
106k+850~106k+942	砌石擋土牆	長 92 公尺 寬 2 公尺 高 1.8~2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有裂縫 牆面排水孔遭異 物堵塞	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水 孔
107k+000~107k+35	砌石擋土牆	長 35 公尺 寬 1 公尺 高 1.5~2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有明顯裂 縫，牆面排水孔 遭異物堵塞	功能喪失	採用適當工法
107k+500~107k+60	砌石擋土牆	長 60 公尺 寬 2 公尺 高 1~2 公尺	坡趾排水溝	牆面有細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
107k+650~107k+810	砌石擋土牆	長 60 公尺 寬 1 公尺 高 1.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 已遭堵塞	局部損壞	定期清理排水 孔

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
107k+750~107k+950	砌石擋土牆	長 200 公尺 寬 1.5 公尺 高 1.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面排水孔已遭 堵塞，牆面有細 微裂縫	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水 孔
108k+370~108k+605	錨拉式擋土牆	長 235 公尺 寬 2.5 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	錨頭處混凝土有 微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
108k+610~108k+770	重力式擋土牆	長 160 公尺 寬 0.8 公尺 高 1.8 公尺	坡趾排水溝	牆面有裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
108k+780~109k+100	砌石擋土牆	長 320 公尺 寬 1 公尺 高 3~7 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	部份砌石擋土壁 產生嚴重的傾 斜，明顯的裂縫	功能喪失	採用適當工法
109k+190~109k+300	砌石擋土牆	長 110 公尺 寬 1 公尺 高 2.5~3.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆頂有水流流出	功能尚可	加強管理維護
109K+450~109K+760	重力式擋土牆	長 310 公尺 寬 1 公尺 高 1.8 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 已遭堵塞，牆面 有微裂縫	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水 孔
109k+760~109k+810	砌石擋土牆	長 50 公尺 寬 1 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 已遭堵塞	局部損壞	定期清理排水 孔

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
111k+200~111k+350	砌石擋土牆	長 150 公尺 寬 1 公尺 高 1.8 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	表面砌石損壞 坡趾排水溝堆積 許多枯木	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
112k+050~112k+150	噴漿護坡	長 100 公尺 寬 0.1~0.15 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	坡面排水良好	功能尚可	加強管理維護
113k+100~113k+220	重力式擋土牆	長 120 公尺 寬 1.5 公尺 高 4 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
113k+300~113k+500	重力式擋土牆	長 200 公尺 寬 1.5 公尺 高 4 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 已遭堵塞	局部損壞	定期清理排水 孔
113k+600~113k+750	重力式擋土牆	長 150 公尺 寬 1.8 公尺 高 4 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 已遭雜草堵塞	局部損壞	定期清理排水 孔
114k+020~114k+850	重力式擋土牆	長 830 公尺 寬 0.8 公尺 高 1.8~2.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 已遭雜草堵塞	局部損壞	定期清理排水 孔
114k+950~115k+100	重力式擋土牆	長 150 公尺 寬 0.8 公尺 高 2.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
115k+140~115k+400	重力式擋土牆	長 260 公尺 寬 1 公尺 高 2.3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 已遭雜草堵塞	局部損壞	定期清理排水孔
115K+580~115K+640	重力式擋土牆	長 60 公尺 寬 2.5 公尺 高 8 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
115k+780~115k+830	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 0.8 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
115k+840~111k+850	蛇籠擋土牆	長 10 公尺 寬 1.5 公尺 高 1.8 公尺	坡趾排水溝	牆面鋼網已銹蝕	功能尚可	加強管理維護
115K+900~115K+940	重力式擋土牆	長 40 公尺 寬 1 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水孔
116K+415~116K+454	重力式擋土牆	長 39 公尺 寬 1.5 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞	功能尚可	加強管理維護
116K+454~116K+493	重力式擋土牆	長 39 公尺 寬 1.5 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水孔

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
116k+500~116k+527	重力式擋土牆	長 27 公尺 寬 1.5 公尺 高 1.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水孔
116k+700~116k+725	重力式擋土牆	長 25 公尺 寬 1 公尺 高 3.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞，牆面有 細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
116K+750~116K+786	重力式擋土牆	長 36 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞，擋土牆 頂混凝土有損壞	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
116k+800~116k+855	重力式擋土牆	長 55 公尺 寬 2.5 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水孔
116k+990~117k+022	重力式擋土牆	長 32 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水孔
116k+022~117k+054	重力式擋土牆	長 32 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞，表面混 凝土輕微剝落	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
117k+054~117k+096	重力式擋土牆	長 32 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞	功能尚可	加強管理維護

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
117k+054~117k+118	重力式擋土牆	長 32 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞	功能尚可	加強管理維護
117K+088~117K+145	重力式擋土牆	長 57 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有裂縫	功能尚可	局部修補 加強管理維護
117K+145~117K+200	重力式擋土牆	長 55 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞，牆面有 裂縫	局部損壞	定期清理排水 孔
117K+200~117K+250	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞，牆面有 明顯裂縫	局部損壞	定期清理排水 孔
117K+250~117K+300	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水 孔
117K+300~117K+333	重力式擋土牆	長 33 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水 孔
117K+333~117K+366	重力式擋土牆	長 33 公尺 寬 3 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞	功能尚可	加強管理維護

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
117K+980~117K+987	重力式擋土牆	長 7 公尺 寬 3 公尺 高 1.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞	功能尚可	加強管理維護
117K+990~117K+993	重力式擋土牆	長 3 公尺 寬 3 公尺 高 1.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
118K+700~118K+750	蛇籠擋土牆	長 50 公尺 寬 1.5 公尺 高 3 公尺	坡趾排水溝	牆面鋼網斷裂	功能喪失	採用適當工法
118K+750~118K+800	蛇籠擋土牆	長 50 公尺 寬 1.5 公尺 高 3 公尺	坡趾排水溝	牆面鋼網嚴重銹蝕	局部損壞	定期清理排水孔
118K+800~118K+855	蛇籠擋土牆	長 55 公尺 寬 1.5 公尺 高 3 公尺	坡趾排水溝	牆面鋼網輕微銹蝕	功能尚可	加強管理維護
119K+300~119K+355	重力式擋土牆	長 55 公尺 寬 1.5 公尺 高 3.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞，表面混凝土輕微剝落	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水孔
120K+534.5~120K+544.5	重力式擋土牆	長 10 公尺 寬 3.2 公尺 高 2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞	功能尚可	加強管理維護

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
120K+544.5~120K+553	重力式擋土牆	長 8.5 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部分排水孔 遭堵塞	局部損壞	定期清理排水孔
122K+530~122K+546	重力式擋土牆	長 16 公尺 寬 2 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂縫	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
122k+800~122k+850	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 1.5 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	擋土牆上方邊坡 有滲水	功能尚可	加強管理維護
124k+320~124k+348	重力式擋土牆	長 28 公尺 寬 1 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面混凝土有輕 微剝落	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
124K+350~124K+382.5	重力式擋土牆	長 32.5 公尺 寬 1 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面混凝土有輕 微剝落	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
124K+382.5~124K+415	重力式擋土牆	長 32.5 公尺 寬 1 公尺 高 2.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有明顯裂縫	局部損壞	局部修補
124k+975~125+020	重力式擋土牆	長 45 公尺 寬 2.5 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 堵塞，牆面混凝土 輕微剝落	局部損壞	

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
125k+40~125k+100	蛇籠擋土牆	長 60 公尺 寬 1.5 公尺 高 1.5 公尺	坡趾排水溝	牆面鋼網輕微銹蝕	功能尚可	加強管理維護
125K+100~125K+135	重力式擋土牆	長 35 公尺 寬 1 公尺 高 3.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔遭堵塞	局部損壞	定期清理排水孔
125K+135~125K+170	重力式擋土牆	長 35 公尺 寬 1 公尺 高 3.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面排水孔少數遭堵塞	功能尚可	加強管理維護
125K+200~125K+255	重力式擋土牆	長 55 公尺 寬 2.5 公尺 高 3.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	混凝土輕微剝落，排水孔少數遭堵塞	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
125K+255~125K+310	重力式擋土牆	長 55 公尺 寬 2.5 公尺 高 3.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	混凝土輕微剝落，牆面有明顯裂縫	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水孔
125k+580~125k+602	重力式擋土牆	長 22 公尺 寬 2 公尺 高 3.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有明顯裂縫	局部損壞	局部修補
125k+900~125k+924	重力式擋土牆	長 24 公尺 寬 2 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	表面混凝土輕微剝落，牆面少數排水孔遭堵塞	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
126K+100~126K+131.25	重力式擋土牆	長 31.25 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	混凝土輕微剝落	功能尚可	加強管理維護 表面局部修補
126K+131.25~126K+162.5	重力式擋土牆	長 31.25 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	混凝土輕微剝落	功能尚可	加強管理維護 表面局部修補
126K+162.5~126K+193.75	重力式擋土牆	長 31.25 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 堵塞，牆面有明 顯裂縫	局部損壞	局部修補
126K+193.75~126K+225	重力式擋土牆	長 31.25 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	擋土壁一端已有 破壞過的情形	功能尚可	局部修補 加強管理維護
126k+500~126k+550	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 1 公尺 高 1.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有多處裂穿 的裂縫	功能喪失	採用適當工法
126k+600~126k+660	重力式擋土牆	長 60 公尺 寬 1 公尺 高 1.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	擋土壁一端已有 破壞過的情形	局部損壞	局部修補
126K+700~126K+757	重力式擋土牆	長 57 公尺 寬 1 公尺 高 1.5 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	擋土壁產生嚴重 的傾斜，牆面有 明顯的裂縫	功能喪失	採用適當工法

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
127K+335~127K+347.5	重力式擋土牆	長 12.5 公尺 寬 1.2 公尺 高 3.2 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面混凝土輕微剝落，牆面部分排水孔遭堵塞	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水孔
127k+350~127k+368	重力式擋土牆	長 18 公尺 寬 2.5~3 公尺 高 3.6 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂縫 擋土壁頂部部份 混凝土遭破壞	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
127k+750~127k+789.5	重力式擋土牆	長 39.5 公尺 寬 1 公尺 高 2.5~3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞，牆面混 凝土輕微剝落	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水孔
127K+789.5~127K +839.5	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 1 公尺 高 2.5~3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面部份排水孔 遭堵塞，牆面混 凝土輕微剝落	局部損壞	表面局部修補 定期清理排水孔
127k+839.5~127k +869.5	重力式擋土牆	長 30 公尺 寬 1 公尺 高 2.5~3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面少數排水孔 遭堵塞，牆面混 凝土輕微剝落	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
129k+940~129k+990	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面有細微裂 縫，牆面混凝土 輕微剝落	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護
129k+990~130k+040	重力式擋土牆	長 50 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面混凝土輕微 剝落，牆面少數 排水孔遭堵塞	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護

里程(樁號)	擋土防治工法	結構物尺寸	排水設施	現有防治工程概況	功能性評估與分級	建議處理對策
130k+040~130k+080	重力式擋土牆	長 40 公尺 寬 1 公尺 高 3 公尺	牆面排水孔 坡趾排水溝	牆面混凝土輕微 剝落，牆面少數 排水孔遭堵塞	功能尚可	表面局部修補 加強管理維護

附錄 E

期末報告簡報



交通部運輸研究所 (Institute of Transportation MOTC)

坡地災害緊急搶修與復建 整合技術研究 (1/2)

期末報告簡報

簡報者：廖洪鈞 教授

委託單位：交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

計畫主持人：李豐博
研究人員：蘇吉立

承辦單位：國立台灣科技大學
生態與防災工程研究中心

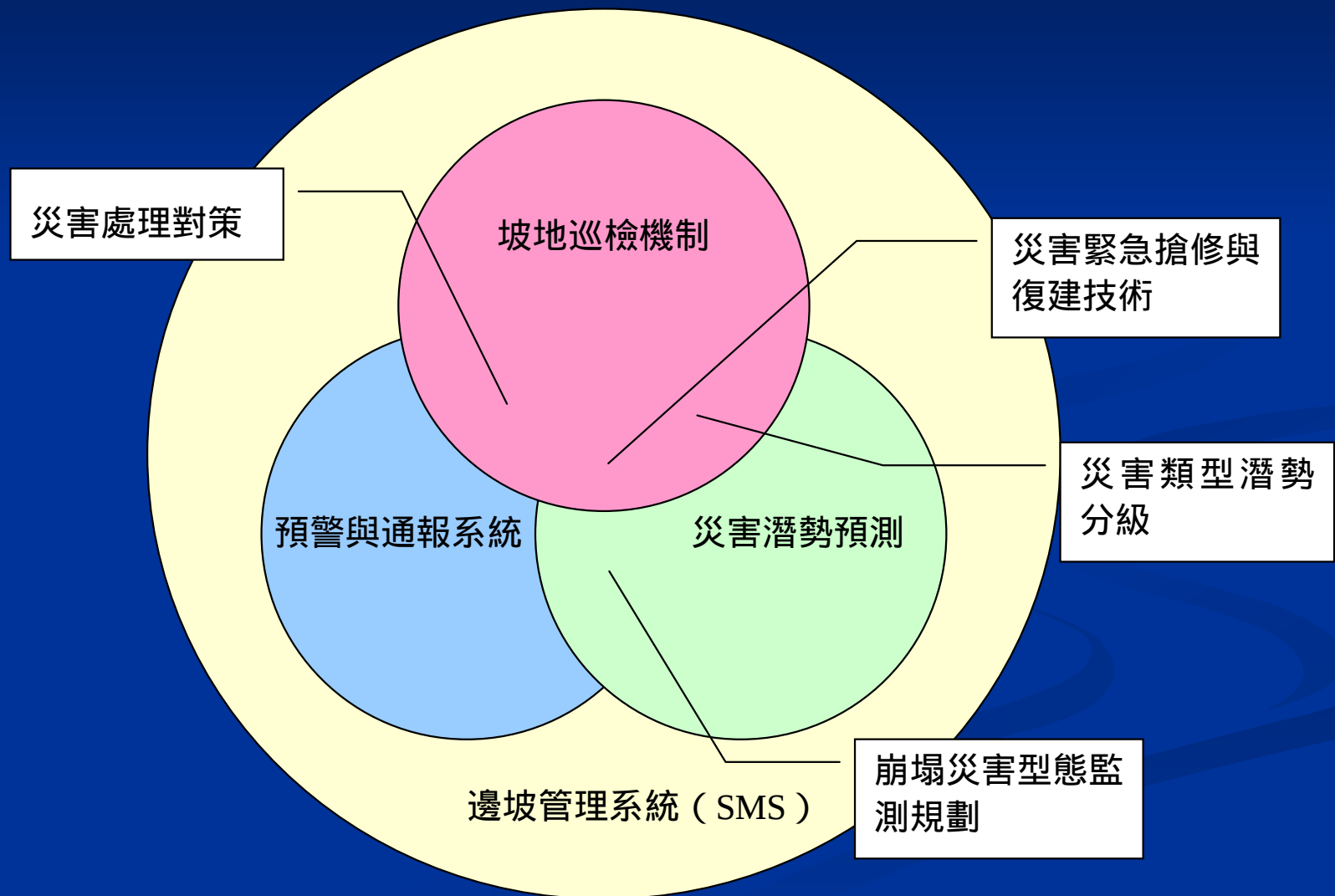
共同主持人：廖洪鈞
研究人員：李維峰、董家鈞
卿建業、魏佳韻
趙衛君



工作項目

- 研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置
- 研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態
- 研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統
- 研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法

執行規劃



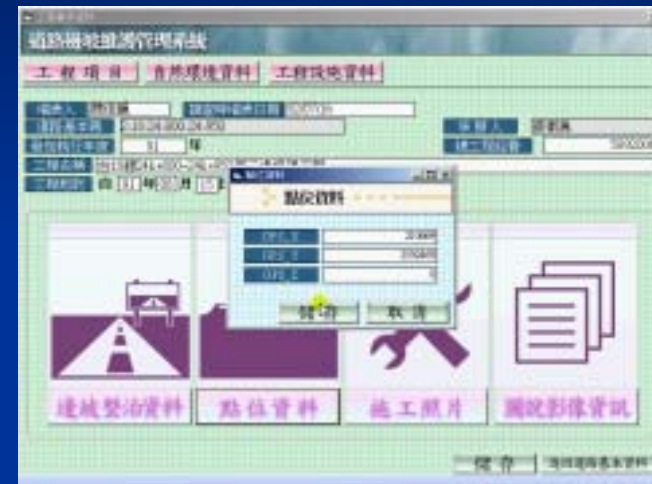
研究成果

工作項目

- 研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置
- 研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態
- 研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統
- 研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法

舊有系統缺失檢討

- 各系統資料庫間缺乏整體架構性
- 系統操作流程欠缺邏輯性
- 資料格式僅考量易讀性而欠缺完整編碼之觀念



道路邊坡維護管理系統建置

- 使用者資料
 - 使用者權限管理
 - 個人資料維護
- 邊坡基本資料
 - 道路基本資料管理
 - 邊坡資料管理
 - 自然環境、工程
 - 災損、巡檢
- 輸出功能
 - 統計報表輸出
 - 地圖查詢瀏覽



工作項目

- 研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置
- **研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態**
- 研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統
- 研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法

道路邊坡崩塌潛勢分析

■ 研究目的

- 利用台18線資料庫建立一可預測道路邊坡崩塌類型、潛能、機率及規模的分階式邊坡崩塌預測模式
- 以台21線之案例驗證

■ 分析方法

- 高斯過程

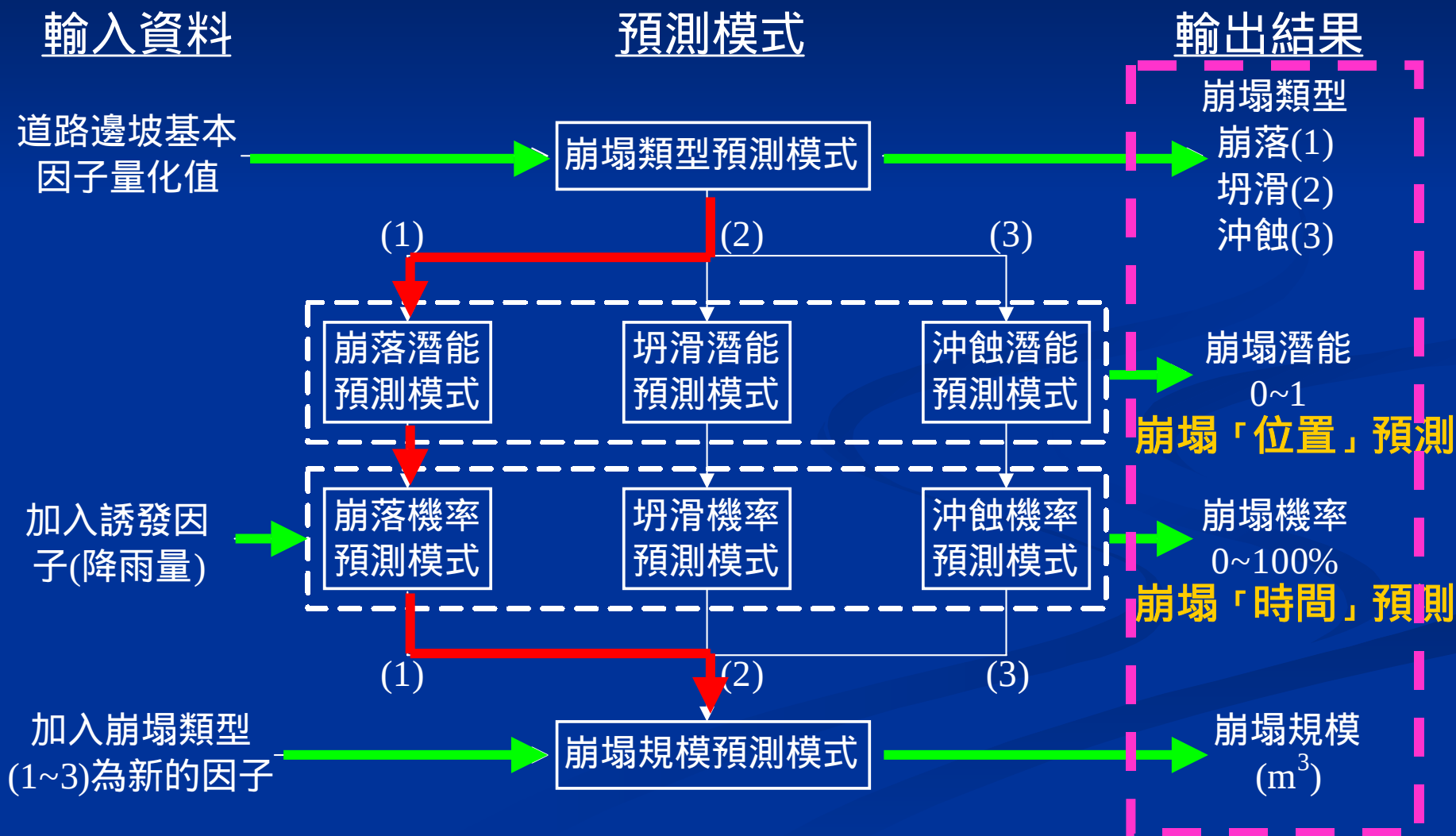
■ 研究對象

- 台18線109筆案例
 - 崩塌55筆、未崩塌54筆
- 台21線10筆案例
 - 崩塌5筆、未崩塌5筆

■ 影響因子（16項）

- 地形、地質、岩層位態
- 風化及破碎程度、植被
- 水系、地震力
- 道路開闢及降雨等

分階段式山區道路邊坡崩塌 預測模式



崩塌類型定義

坍滑



崩落

沖蝕



台18線崩塌類型預測模式

分析方法 項目	高斯過程		鑑別分析
測試因子	15 features	5 features	15 features
測試案例數	55	55	55
誤判案例數	16	20	16
誤判率	29.09%	36.36%	29.09%
誤判案例	6.7.8.9.10. 11.16.17.19.25.2 9.30.33.41.50.54	6.9.10.11.14. 15.17.28.29.30. 31.33.39.40.42. 43.44.50.51.54	3.7.9.10.11.12.14.16. 17.25.30.32.35.44. 50.53

6個相同案例，可能為人為主觀認定崩塌類型之影響

台18線崩塌潛能預測模式

崩塌類型		高斯過程		鑑別分析
測試因子		15 f	5 f	15 f
崩落	測試案例數	42	42	43
	誤判案例數	3	0	9
	誤判率	7.14%	0%	20.93%
坍滑	測試案例數	26	26	25
	誤判案例數	6	1	6
	誤判率	23.08%	3.85%	24%
沖蝕	測試案例數	41	41	41
	誤判案例數	3	1	5
	誤判率	7.32%	2.38%	12.2%

台18線實例驗證

■ 案例說明

- 致災事件：艾利颱風（2004.8.24~8.25）
- 位置：台18線82k+855及82 k+935處



台18線82k+855(坍滑)

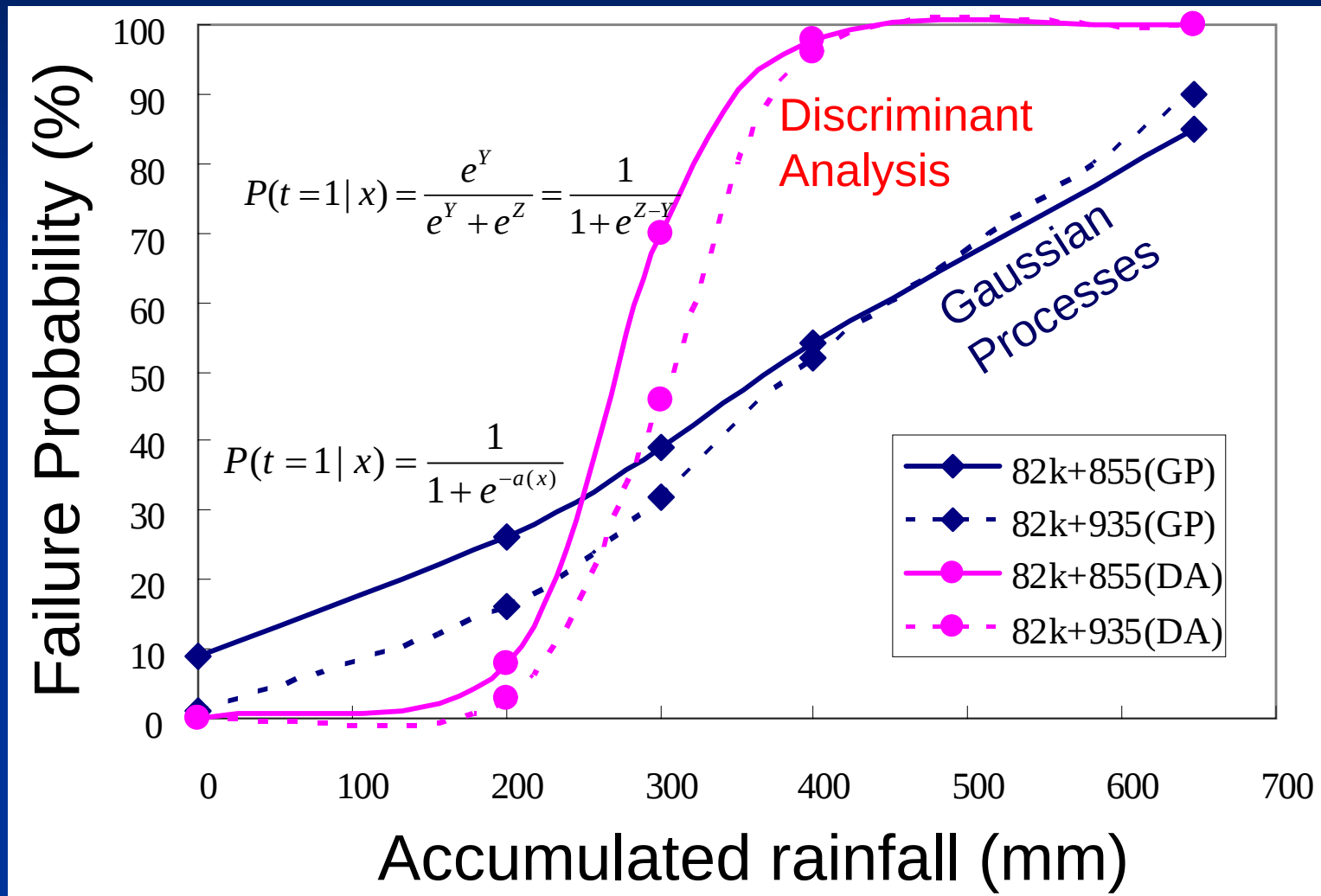


台18線82k+935(坍滑)

台18線實例分析結果

預測模式 案例			高斯過程模型	
			82k+855	82k+935
崩塌類型			坍滑	坍滑
崩塌潛能			0.76	0.82
崩塌 機率	累積 雨量 (mm)	0	9%	1%
		200	26%	16%
		300	39%	32%
		400	54%	52%
		647.2	85%	90%

崩塌機率之比較



台21線實例

■ 第一部份

- 用台18線已崩塌案例（55筆）來對台18線未崩塌案例（54筆）加上台21線自然邊坡（已崩塌加未崩塌共10筆）作為：崩落、坍滑、沖蝕類型的分類。

■ 第二部份

- 用第一部份得出的分類結果對台18線未崩塌案例和台21線邊坡案例分作三類（崩落、坍滑、沖蝕），正規化後放入高斯過程，可得出崩塌潛能再跟實際狀況做比較。

高斯過程--台21線測試結果

崩塌類型		案例數
崩落	台18訓練案例數	43
	台21測試案例數	5
	高斯過程誤判率	0%
坍滑	台18訓練案例數	22
	台21測試案例數	1
	高斯過程誤判率	0%
沖蝕	台18訓練案例數	44
	台21測試案例數	4
	高斯過程誤判率	0%

$$\text{誤判率} = \frac{\text{誤判案例數}}{\text{測試案例數}}$$

高斯過程-台21線測試結果

第一類崩塌類型(崩落)		
案例	高斯過程	實際狀況
1	0.8	1
2	0.42	0
3	0.76	1
4	0.64	1
5	0.61	1

第二類崩塌類型(坍滑)		
案例	高斯過程	實際狀況
1	0.76	1

第三類崩塌類型(沖蝕)		
案例	高斯過程	實際狀況
1	0.36	0
2	0.34	0
3	0.29	0
4	0.27	0

- 高斯過程表格內的數字代表破壞機率。
- 高斯過程所得出
 - $\text{mean} > 0.5$ 為崩塌
 - $\text{mean} < 0.5$ 為未崩塌
- 實際狀況表格裡的數字
 - 1為崩塌
 - 0為未崩塌

道路邊坡崩塌二次災害類型

- 噴凝土護坡邊界之破壞擴張
- 明隧道兩端上邊坡之破壞擴張
- 河流之坡腳侵蝕
- 高邊坡滑坡之向上破壞擴張

噴凝土護坡邊界之破壞擴張



明隧道兩端上邊坡之破壞擴張



高邊坡滑坡之向上破壞擴張



河流之坡腳侵蝕



台18線之二次災害里程統計（共15處）

路線樁號	災害情形	災害發生時間				
		賀伯颱風 1996.07	921地震 1999.09	桃芝颱風 2001.07	納莉颱風 2004.07	敏督利颱風 2005.08
台18線21K+400	落石坍方			√	√	
台18線26K+300	落石坍方	√			√	
台18線26K+700	落石坍方			√		√
台18線30K+900	落石坍方	√			√	
台18線36K+500	落石坍方			√	√	√
台18線36K+900	落石坍方	√			√	
台18線55K+0	落石坍方		√	√		
台18線56K+200	落石坍方		√	√		
台18線63K+600	落石坍方		√	√		
台18線63K+800	落石坍方	√	√			
台18線65K+600	落石坍方			√		√
台18線66K+150	落石坍方	√	√			
台18線69K+700	落石坍方			√		√
台18線76K+500	落石坍方		√	√		
台18線79K+400	落石坍方		√	√		

台21線之二次災害里程統計（共30處）

路線樁號	災害情形	災害發生時間			
		桃芝颱風	敏督利颱風	艾利颱風	馬莎颱風
		2001.07	2004.07	2004.08	2005.08
台21線74K+0	落石坍方	√	√		
台21線79K+650	上邊坡坍方		√	√	
台21線81K+200	上邊坡坍方	√	√		
台21線86K+300	上邊坡坍方	√	√		
台21線94K+400	上邊坡坍方		√	√	
台21線94K+460	落石坍方	√			
台21線94K+500	落石坍方			√	√
台21線94K+900	落石坍方		√		
台21線94K+900	上邊坡坍方		√	√	
台21線94K+900	路基缺口(下邊坡坍方)	√			
台21線95K+300	上邊坡坍方		√	√	
台21線95K+500	落石坍方	√			√
台21線96K+0	落石坍方	√		√	
台21線105K+100	上邊坡坍方	√	√		
台21線111K+900	落石坍方	√			√

工作項目

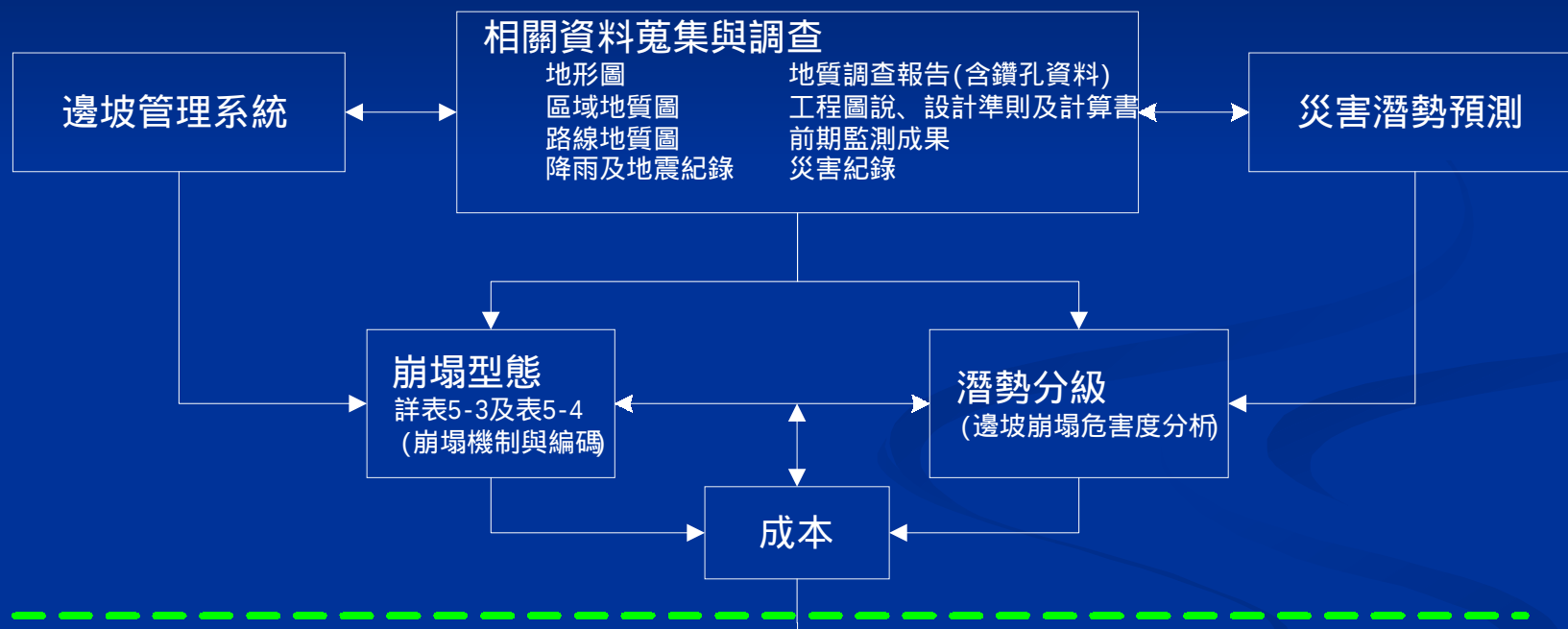
- 研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置
- 研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態
- **研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統**
- 研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法

道路邊坡崩塌災害預警 及通報系統

- 監測規劃與預警相關研究成果彙整
 - 道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定
 - 山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發
 - 山區道路邊坡崩塌防治最佳化研究
 - 台灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構物功能評估-現有破壞案例統計、分析
- 研擬出「道路邊坡崩塌災害預警及通報系統」流程
 - 監測與緊急搶修及復建技術之相關性
 - 事發型監測預警之通報與處理流程規劃
- 應用於示範路段並可延續至明年度之「防治對策操作手冊」擬訂

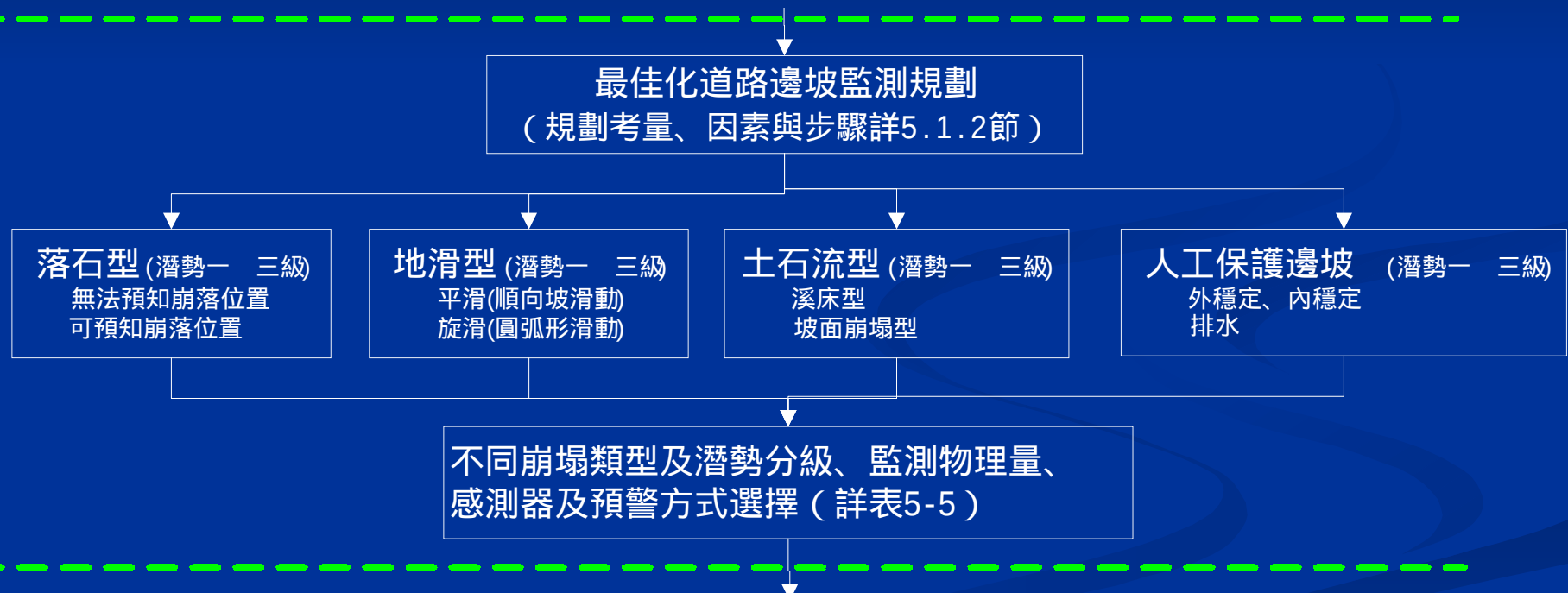
監測支援緊急搶修及復建決策流程圖 (1/5)

先期作業



監測支援緊急搶修及復建決策流程圖 (2/5)

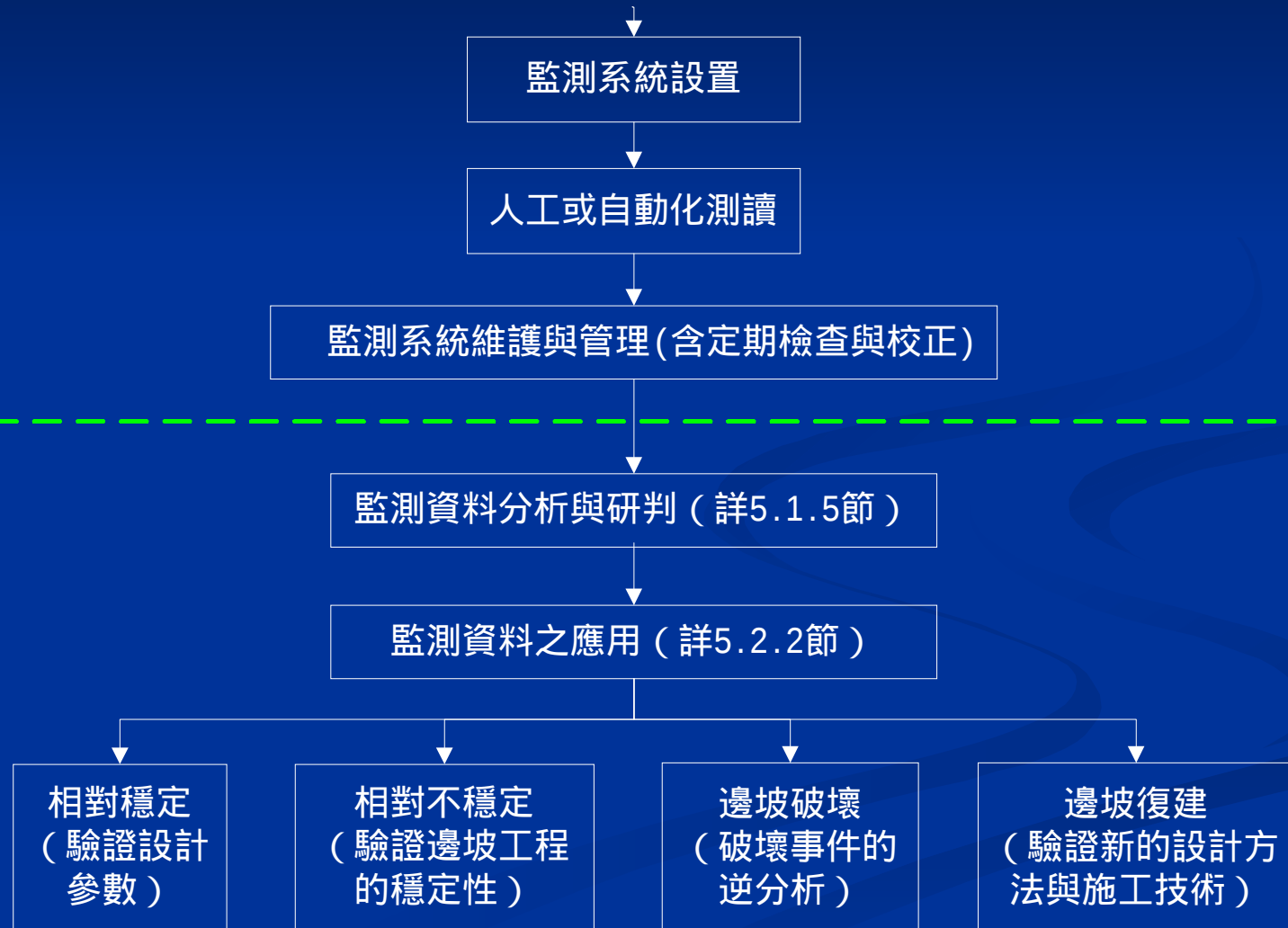
監測規劃



監測支援緊急搶修及復建決策流程圖 (3/5)

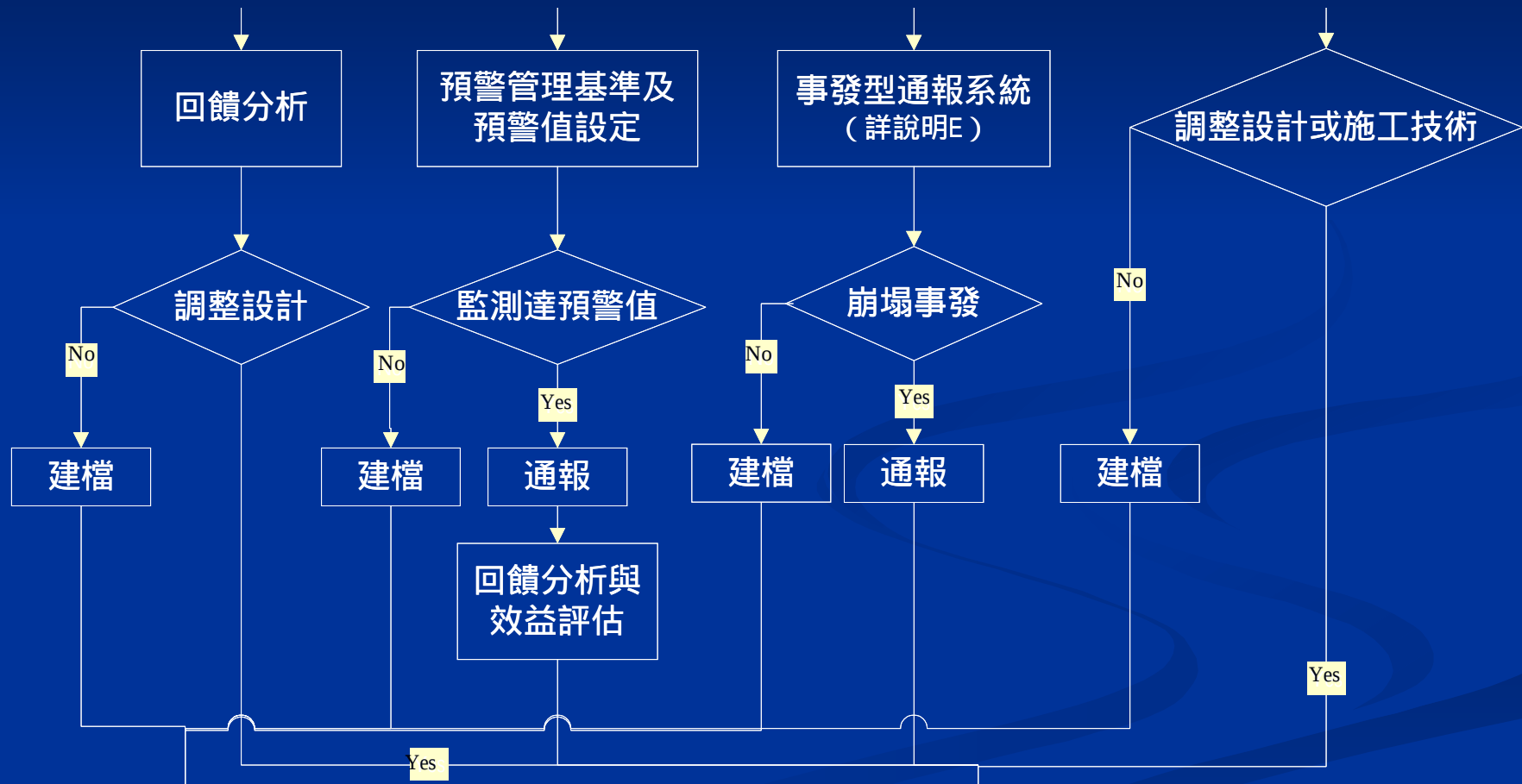
監測系統設置
測讀與維護

監測資料分析
建檔與應用

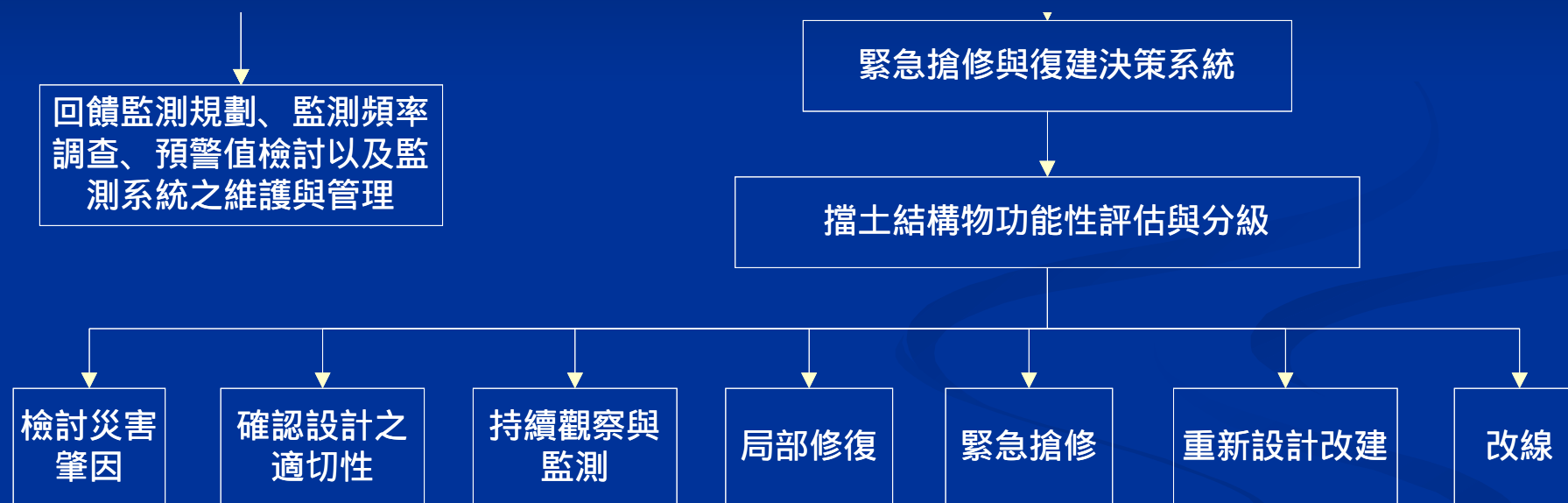


監測支援緊急搶修及復建決策流程圖 (4/5)

監測資料分析建檔與應用



監測支援緊急搶修及復建決策流程圖 (5/5)



工作項目

- 研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置
- 研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態
- 研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統
- 研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法

道路邊坡安全及災損擋土結構 物功能評估方法

方法	目視檢查法	調查分析法	儀器監測法
工作方法	■以目視檢查現場勘查記錄並加以研判。	■藉由地質調查及基本資料蒐集，決定參數及地層狀況。 ■以水理分析及邊坡穩定分析加以評估分析。	■採用精密儀器對邊坡穩定直接監測。
適用時機	■基地面積甚廣。 ■初步現勘調查。	■輔助目視檢查法及儀器監測法之不足。	■設置於高危險性或風險性高的邊坡。 ■安全要求標準較高的坡地。
優點	■快速、經濟。 ■可隨時檢視並加以保養維護。	■可深入瞭解不同個案潛在的危險因子。 ■可充分瞭解邊坡安全性。 ■提供監測儀器佈設之依據。	■可掌握地層或擋土設施實際之穩定狀況。
缺點	■從坡地外觀無法掌握危險地區之危險因子。 ■無法瞭解其安全性。	■與時間有關之特性，如地下水流向之改變無法充份掌握。 ■費用較昂貴。	■無法瞭解邊坡之安全性

研擬災損擋土結構物功能評估與分級模式

- 功能尚可 *損壞程度如何?*
 - 仍可發揮穩定功效
- 局部損壞
 - 工法安全性介於警戒值與觀察值之間
- 功能喪失
 - 工法本身已完全喪失穩定邊坡之功能
 - 處於警戒值狀態
 - 需即時採取相關之處理對策

研擬災損擋土結構物功能評估與分級模式

重力式擋土結構

檢視項目 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	■沒有明顯傾斜或位移 ■細微裂縫 ■排水情況良好	■擋土牆頂部或任一點之平移量$<5\text{cm}$ ■擋土牆傾斜增量$<1/100$	■定期目視檢視 ■表面局部修補 ■加強管理維護
局部損壞	■局部龜裂 ■略有傾斜，但肉眼不易察覺 ■排水孔部份阻塞	■$5\text{cm}<$擋土牆頂部或任一點之平移量$<20\text{cm}$ ■$1/10<$擋土牆傾斜增量$<1/100$	■局部敲除重作 ■加強監測 ■定期清理排水孔
功能喪失	■龜裂嚴重或完整崩壞 ■排水孔不暢通	■擋土牆頂部或任一點之平移量$>20\text{cm}$ ■擋土牆傾斜增量$>1/10$	■檢討工法之適用性 ■採行適用工法

註：亦適用於砌石、懸臂式等擋土結構物

功能尚可處理對策

- 定期目視檢視
- 表面局部修補
- 加強管理維護



局部損壞處理對策

- 局部敲除重作
- 加強監測
- 定期清理排水孔



功能喪失處理對策

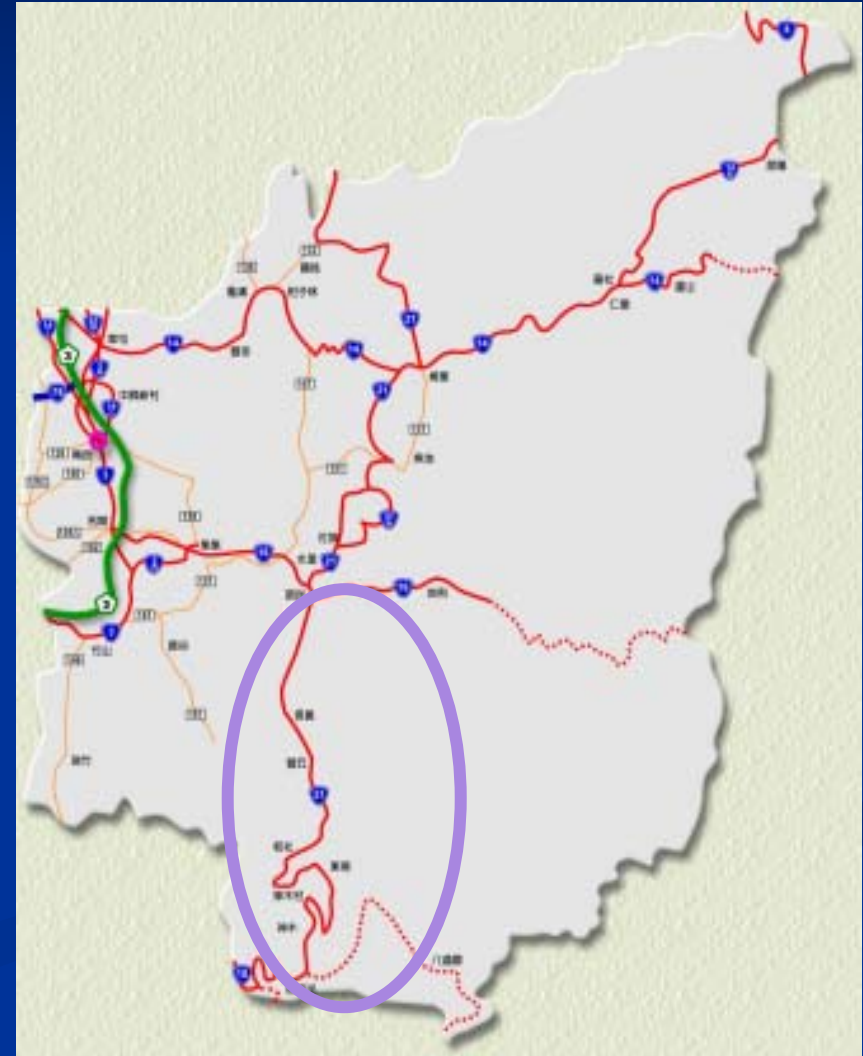
- 檢討工法之適用性
- 採行適用工法



示範路段研究成果驗證

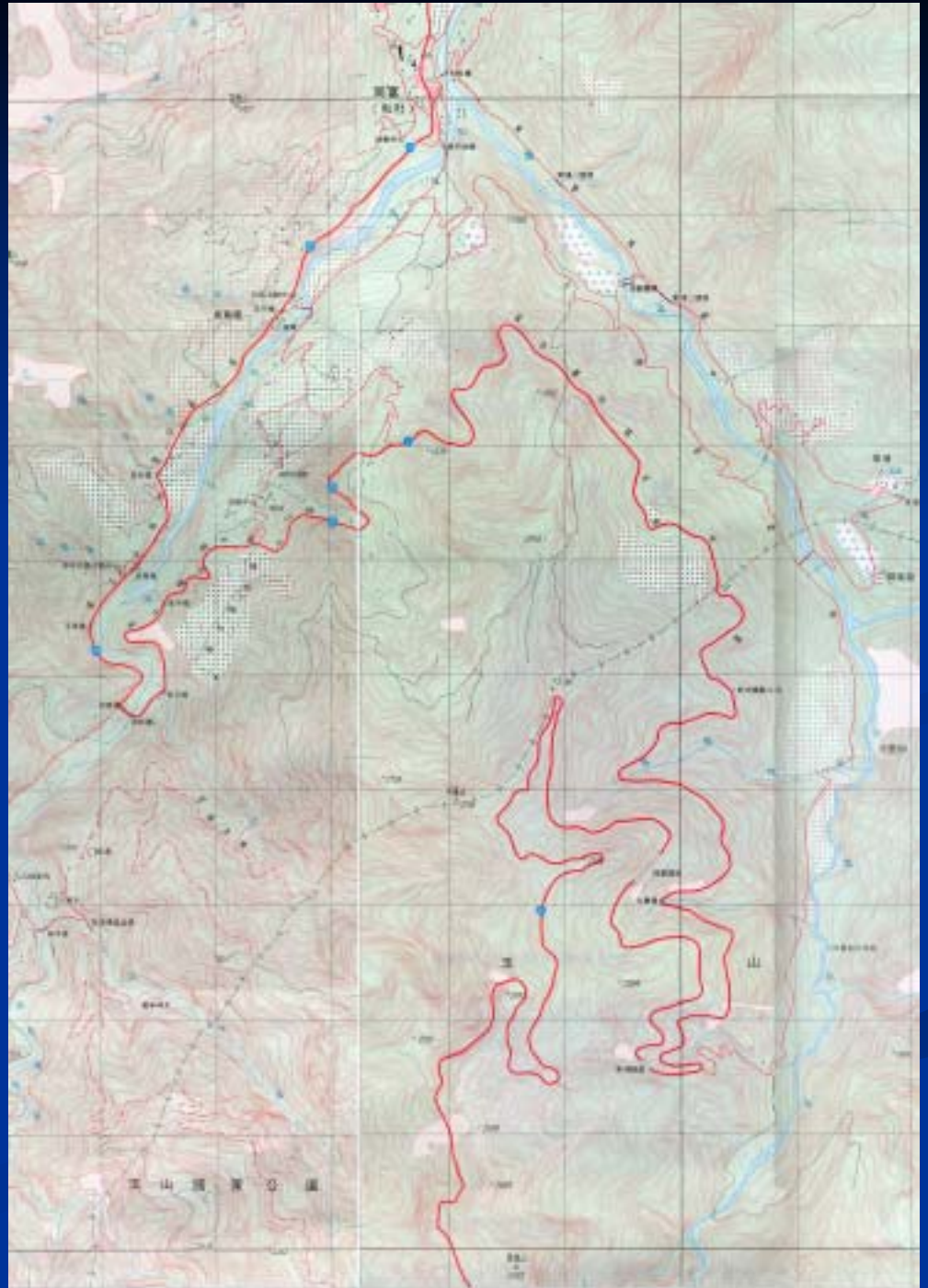
台21線（新中橫）基本資料

- 位於玉山山脈與阿里山山脈之間。
- 為南投縣水里鄉（台21線83k）至塔塔加鞍部（台21線151k）
- 位於神木村東方，塔塔加鞍部北方，沿東埔山關建。
- 路線所經地層為沉積岩區之南莊層及和社層，屬第三世紀中新世中新世末變質沉積岩，岩層破碎且節理發達，路段大部份為順向坡。



地形與水系

- 陳有蘭溪
- 和社溪
- 沙里仙溪
- 下切、側蝕向源侵蝕作用旺盛
- 河階地
- 陡坡



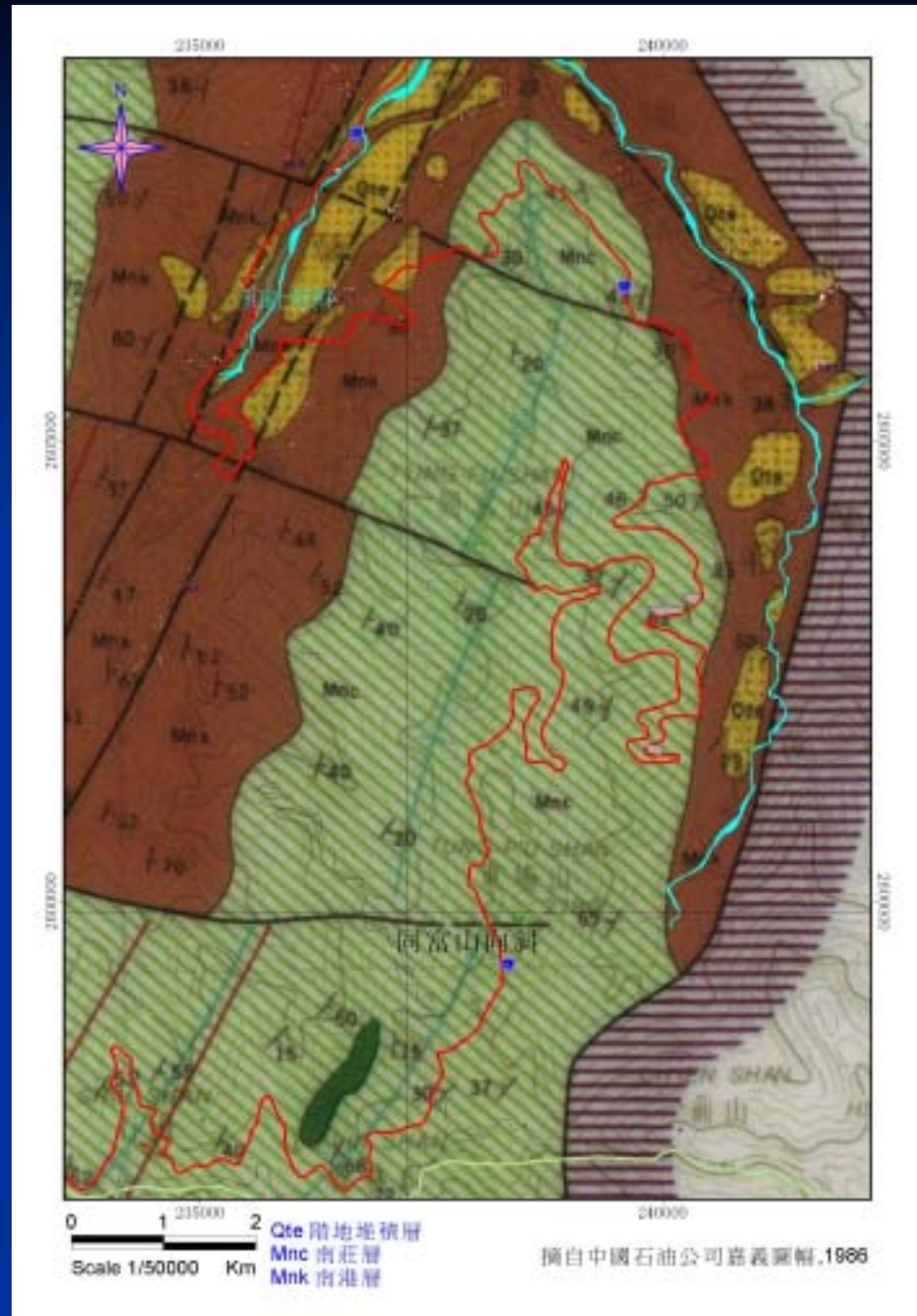
區域地質

■ 構造

- 陳有蘭溪斷層
- 沙里仙溪斷層
- 同富山向斜
- 神木斷層
- 十八折坑斷層
- 和社背斜

■ 地層

- 南莊層
- 南港層
- 階地堆積
- 崖錐堆積、崩積層



現址調查範圍選定

■ 災損資料統計

■ 資料來源：公路總局第二區養護工程處

■ 2001年

■ 桃芝颱風（7月）

■ 2004年

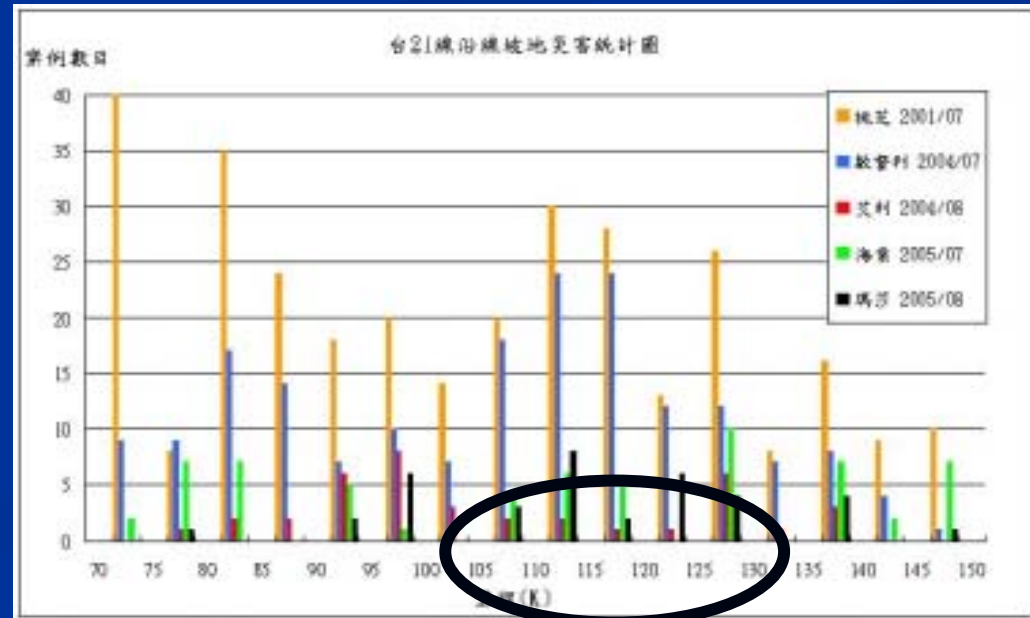
■ 敏督利颱風（7月）

■ 艾利颱風（8月）

■ 2005年

■ 海棠颱風（7月）

■ 瑪莎颱風（8月）

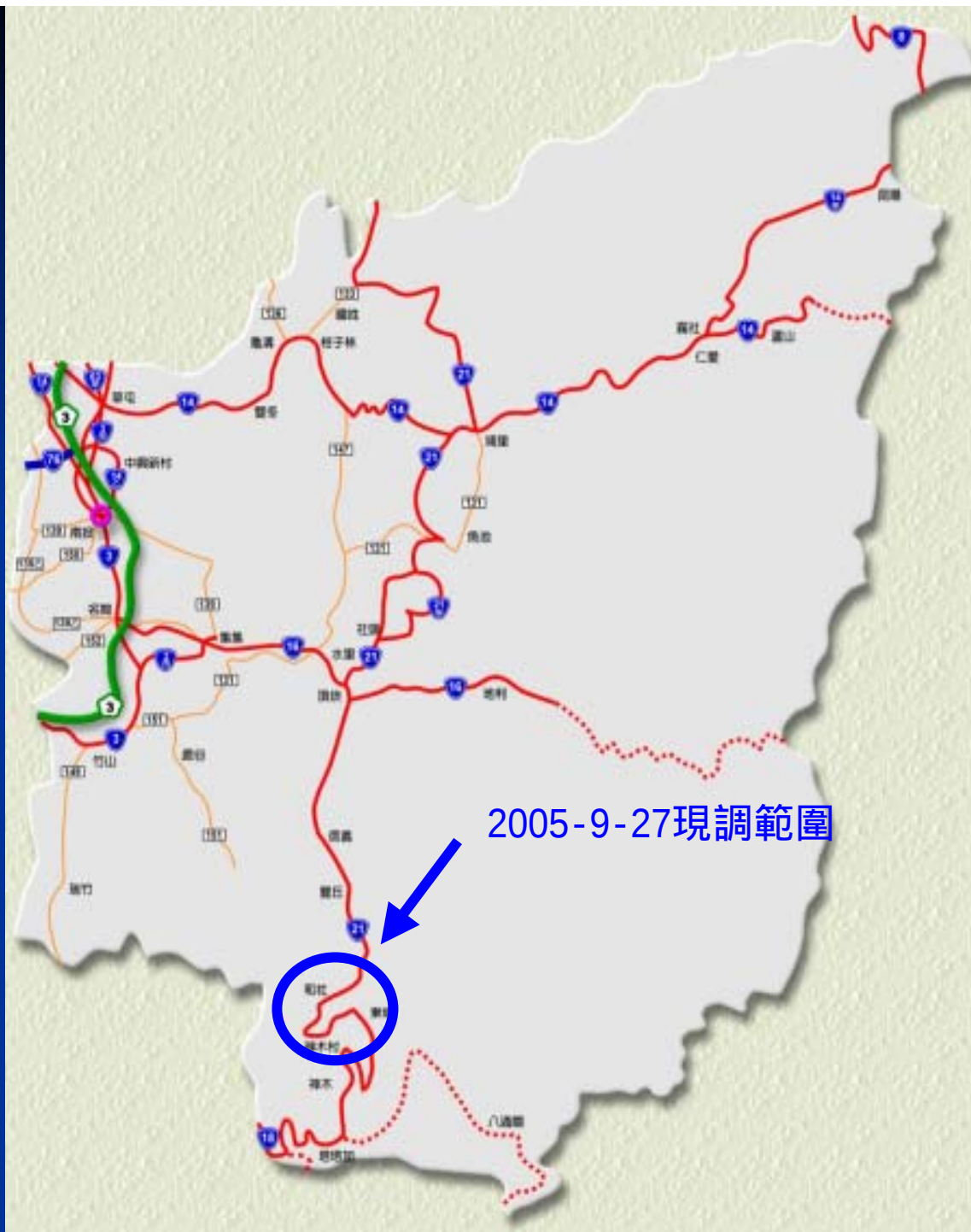


本次 勘範圍

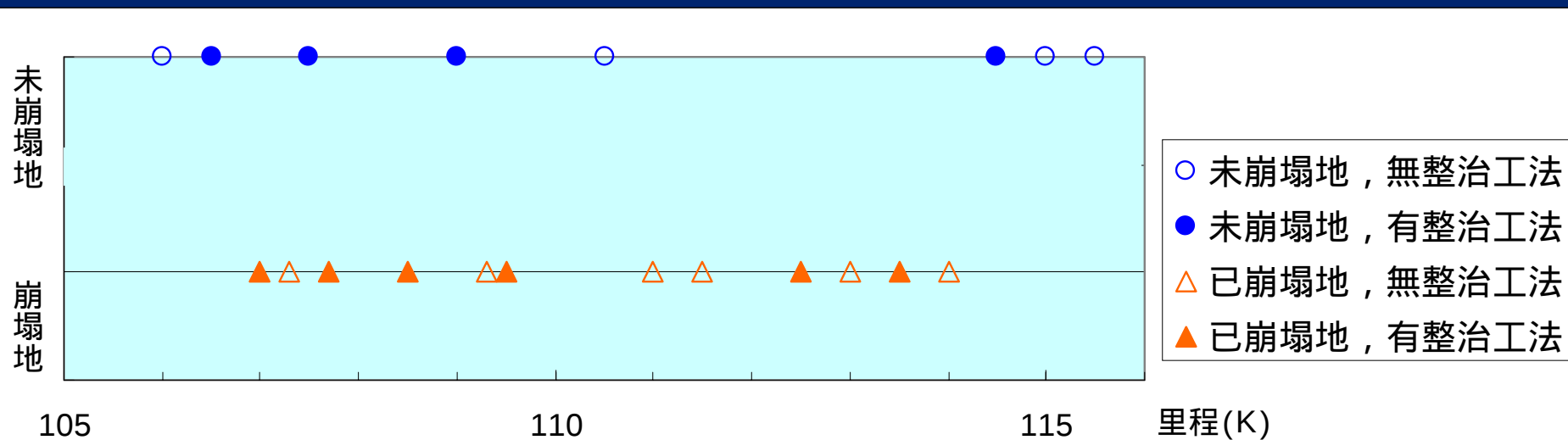
1 0 6 K

|

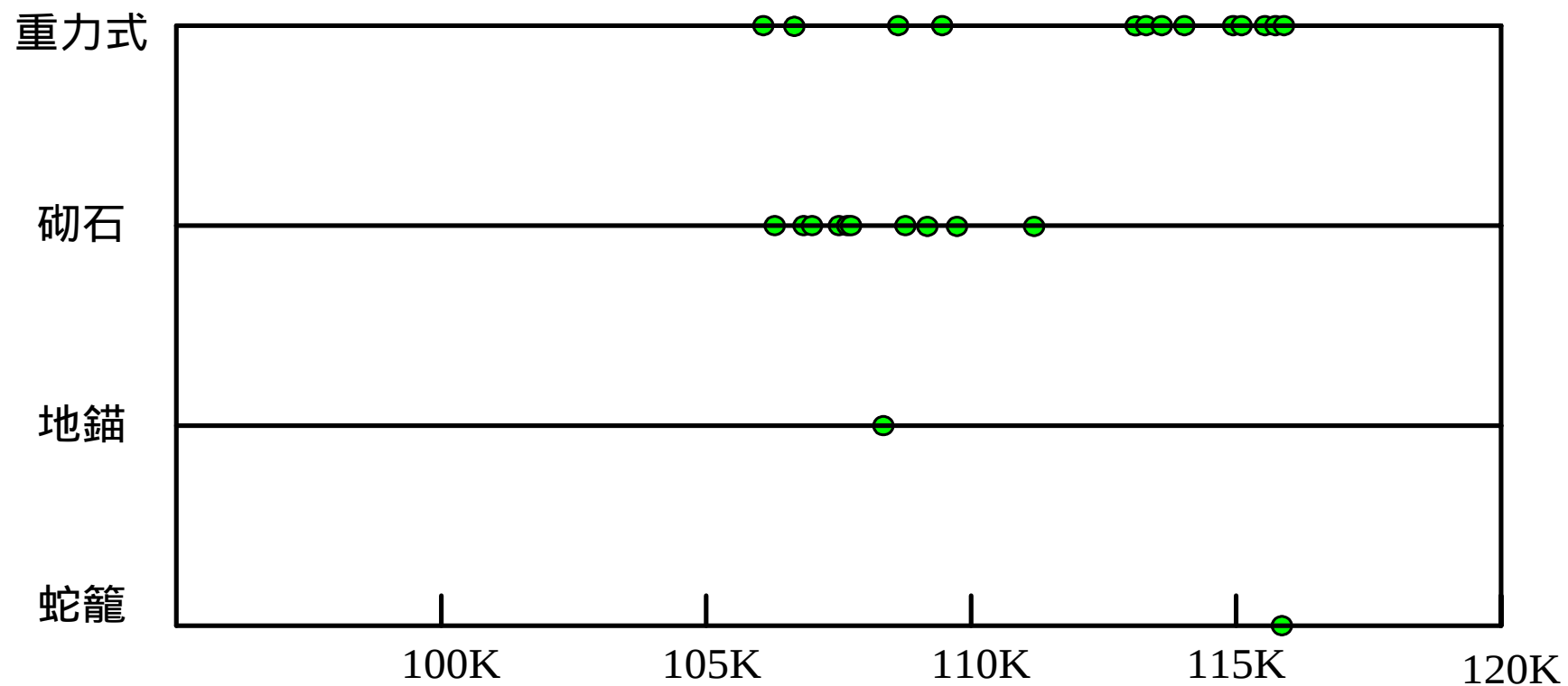
1 1 6 K



台21線現勘106K 116K自然邊坡位置

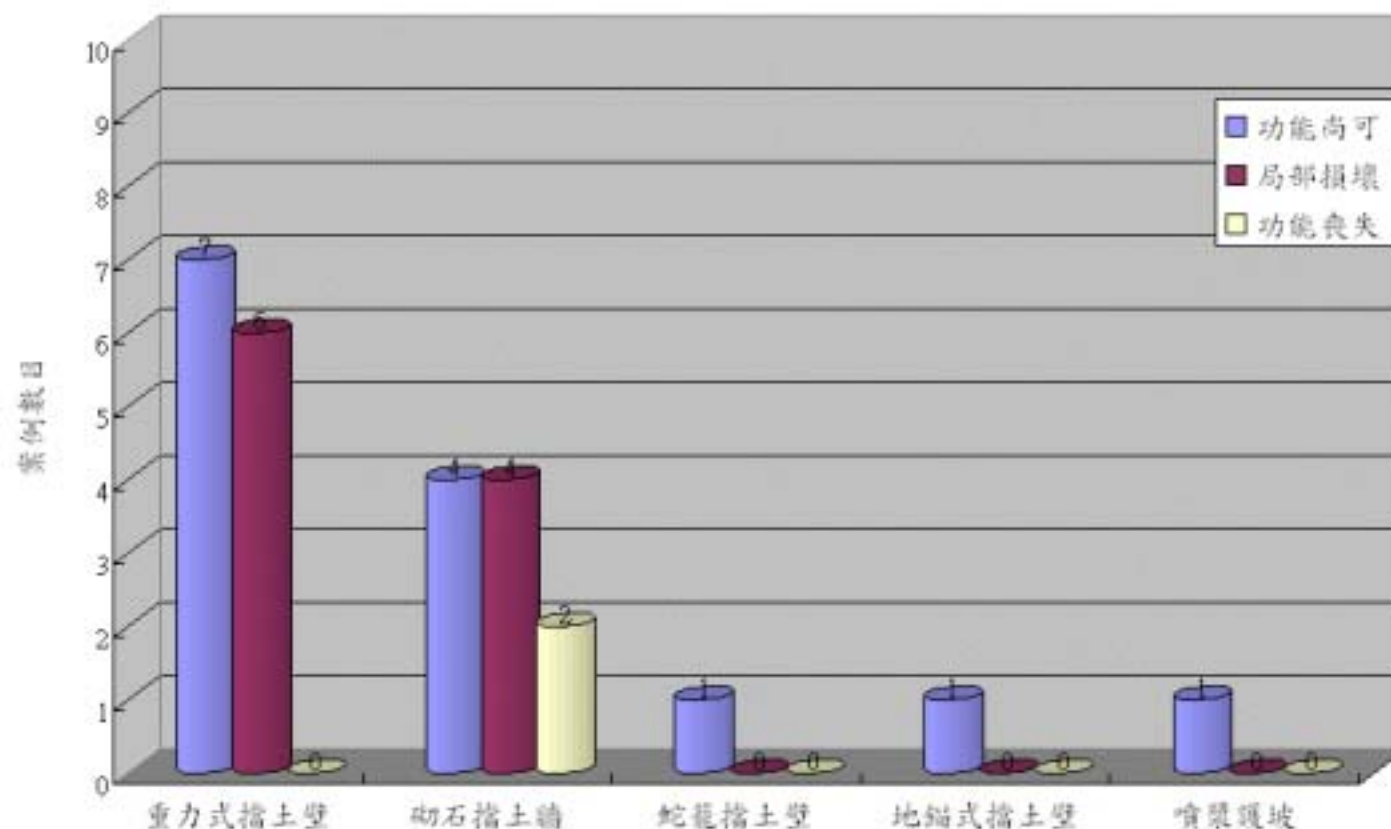


台21線現勘106K 116K擋土牆 位置



台21線現勘106K 116K擋土牆類型

台21道路邊坡結構物功能評估分級統計圖(106K~116K)



巡檢重點與 監測預警系統規劃

巡檢重點 (1/3)

- 106k+600~900
 - 邊坡坡腳受河岸侵蝕影響情況
 - 路面張力裂縫發展情形
- 109k+500~900
 - 注意噴漿坡面以及自由樑之完整性
 - 裂縫發生與發展趨勢



巡檢重點 (2/3)

- 113k+500
 - 噴漿坡面變化
 - 位移旋轉視覺放大器變形情形
- 114k+500~115k+000
 - 下邊坡坡面保護之噴漿溝完整性
 - 山溝箱涵靠山側之疊置擋土牆之接縫
 - 擋土牆上方鋼軌樁岩塊堆積量
 - 新設路基擋土牆基礎以及道路靠下邊坡處張力裂縫之發展。



巡檢重點 (3/3)

- 126k+500~127k+440
 - 路面之張力裂縫
 - 擋土牆傾斜情況
 - 邊坡岩塊鬆動情況
 - 山溝中堆積土石之穩定度
 - 下邊坡向源侵蝕發展情況



預警及通報系統（1/2）

- 109k+500~900
 - 可設置欄落石柵
- 玉泉橋
 - 設置鋼索檢知器或其他偵測土石移動現象之感測器
- 113k+500
 - 感測器
 - 監測浮石移動
 - 電子式裂縫計
 - 位移旋轉視覺放大器
 - 若發現確有位移明顯趨勢，則應進一步考慮設置**事發型預警系統**。



預警及通報系統（1/2）

- 126k+500~127k+440
 - 傾斜觀測管
 - 邊坡滑動速度快速，
監測建議以自動記錄為主。
 - 感應器
 - 裝設位置於目前兩處殘坡見光線以 60° 往下延伸處



後續計畫執行建議

後續計畫執行建議（1/3）

- 針對現已建置完成之資料庫系統，建議後續研究可持續將相關欄位資料建置完整，並期擬後續可透過完整且龐大之資料內容，以及與本研究相關成果之結合，此套道路邊坡維護管理系統可達到協助道路管理單位掌控山區道路邊坡之崩塌特性，進而提供作為道路邊坡緊急搶修方案研究之參考依據。
- 期擬未來可有更多的案例加入分析，以提高本模式之可信度。

後續計畫執行建議（2/3）

- 未來若能準確掌握邊坡崩塌之時間點及降雨量，將可使崩塌機率的預測更為準確。此外，雨量因子中，亦可考慮加入前期降雨量及降雨強度，如此更能掌握降雨因素之不確定性。
- 不論是邊坡崩塌之預測或崩塌潛勢之分析，其最終目的皆在進行邊坡之崩塌預警及管理，而根據本研究之分階預測模式，可得到崩塌類型、潛能、機率及規模的預測結果，未來應可用於建立邊坡崩塌預警系統，亦可建立道路邊坡分級管理之機制。

後續計畫執行建議（3/3）

- 台21線少部分路段，目前邊坡已有滑移之潛勢，建議應開始著手研擬加固措施或崩塌後復建對策，以避免災後規劃設計時程緊迫，無法將各項地形地質因素詳細考量於工程復建中。

簡報完畢

敬請指教