

98-35-7392

MOTC-IOT-97-H1DB010

山區道路坡地災害防治技術 整合研究(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 98 年 4 月

98-35-7392

MOTC-IOT-97-H1DB010

山區道路坡地災害防治技術 整合研究(2/4)

著 者：張道光、蘇吉立、廖洪鈞、李維峰
卿建業、魏佳韻

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

山區道路坡地災害防治技術整合研究．(2/4) /

張道光等著． -- 初版． -- 臺北市：交通部
運研所，民 98. 04

面：公分

參考書目：面

ISBN 978-986-01-8213-2(平裝)

1. 防災工程 2. 坡地開發

445. 5

98006615

山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

著者：張道光、蘇吉立、廖洪鈞、李維峰、卿建業、魏佳韻

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 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 98 年 4 月

印刷者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009800898

ISBN：978-986-01-8213-2 (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分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

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：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-8213-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1009800898	運輸研究所出版品編號 98-35-7392	計畫編號 97-H1DB010
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：張道光 研究人員：蘇吉立 聯絡電話：04-26587119 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立臺灣科技大學 計畫主持人：廖洪鈞 研究人員：李維峰、卿建業、魏佳韻 地址：臺北市大安區基隆路4段43號 聯絡電話：02-27376996		研究期間 自 97 年 03 月 至 97 年 12 月
關鍵詞：防治技術、預警系統、降雨量 摘要： 延續第一年研究成果，本年度研究主要針對山區道路邊坡災害防治三項主要課題進行深入探討。於研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統課題，研究團隊將比較人工監測與自動化監測系統之差異，並彙整分析各種系統之適用性與使用限制，提出邊坡崩塌監測預警之最適方案之評估與規劃準則。於持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析工作，研究團隊計畫對省道臺 18、臺 21、臺 8 等山區道路進行資料彙整，並持續擴充系統分析功能與強化已蒐集之資料分析與應用，提供道路邊坡崩塌判定和預警基準值研擬之使用。而相關資料的彙整，也將結合雨量觀測資料，進行道路邊坡致災因子（雨量）空間分析，期能提升以雨量監測研判道路崩塌潛勢之效能。 本期研究成果與效益有：1.整合研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統，提升預警效率。2.充實道路邊坡管理系統之資料並改寫系統使適用於網路作業，藉以提高系統之實用性。3.持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析。而本研究研發建立之管理系統可提供給公路局及相關單位在山區道路坡地災害防治之參考與應用，提昇臺灣山區道路之維護管理效能與防災技術，同時本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
98 年 4 月	256	200	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。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Integrated Study on Remedial Measures for Slopes along Mountain Roads (2/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-01-8213-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009800898	IOT SERIAL NUMBER 98-35-7392	PROJECT NUMBER 97-H1DB010
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Tao-kuang PROJECT STAFF: Su Ch-li PHONE: (04) 26587119 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM March 2008 TO December 2008
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liao, Hung-jiun PROJECT STAFF: W. F. Lee, J. Y. Ching, C. Y. Wei ADDRESS: No.43, Keelung Road, Section 4, Taipei, Taiwan, R. O. C. PHONE: (02) 27376996			
KEY WORDS: Remedial Measures, Pre-warning System, Rainfall			
ABSTRACT: To continue the first year research project, three major topics are proposed: First, the research team switch manual monitoring and warning systems into automatic operation. The optimal solution is proposed to the development and design of an automatic highway slope warning system based on practicability and restriction. Second, continuing efforts (collect data of provincial highway No.18, 21 and 8, etc. mountain roads) are made to further expand the slope management system both in data amount and functions of analysis tools. Last, a spatial model of rainfall is hopefully proposed to help predict highway slope failures. This research is hoped to improve the hazard management of highway slopes. The results and benefits are expected to: 1. Integrate the development of early-warning system automation to monitor local area roadside slope collapses, and promote its efficiency. 2. Enrich the data of a roadside slope management system and reprogram the system to be applicable to the Internet to raise the functions of the system. 3. Keep on a roadside slope collapses data collection, establishment and analysis. And the management system can provide references and applications of the disaster prevention of the roadside slope collapses for the Highway Bureau and the parties, which may be concerned with promoting disaster prevention technique for the maintenance management of mountain area road in Taiwan. In the meantime, this studies and results can be used for follow-up related research.			
DATE OF PUBLICATION April 2009	NUMBER OF PAGES 256	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
圖目錄	VI
表目錄	XIII
第一章 前言	1-1
第二章 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統	2-1
2.1 人工與自動化於長期監測工作執行之比較分析	2-1
2.2 國內外道路邊坡崩塌預警監測自動化系統相關研究成果整合	2-8
2.2.1 手動監測系統	2-10
2.2.2 自動監測系統	2-14
2.2.3 監測系統觀測結果彙整	2-17
2.3 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌預警監測自動化系統	2-28
2.3.1 聲波式預力監測系統	2-30
2.3.2 陣列式位移計	2-43
2.3.3 無線感測網路系統	2-50
2.4 示範路段現地實設測試	2-55
2.4.1 地理位置	2-56
2.4.2 氣候概況	2-57
2.4.3 沿線地形	2-58
2.4.4 沿線地質構造及地層特性	2-58

第三章 持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析.....	3-1
3.1 選定歷史崩塌路段調查作業	3-1
3.1.1 地理位置	3-2
3.1.2 氣候概況	3-4
3.1.3 地形概述	3-4
3.1.4 地層構造	3-5
3.2 歷史崩塌事件致災因子資料調查收集	3-7
3.2.1 潛在因子	3-8
3.2.2 誘發因子	3-16
3.3 歷史崩塌事件及災害資料彙整、分類	3-16
3.3.1 研究範圍	3-17
3.3.2 致災事件	3-19
3.3.3 資料蒐集	3-19
3.3.4 現地調查作業	3-21
3.4 崩塌量、崩塌型態與災害發生之關係探討	3-22
3.4.1 分析方法討論	3-22
3.4.2 分析方法步驟說明	3-23
3.4.3 養護資料實際分析	3-25
3.5 道路邊坡管理系統改版與資料建置	3-30
3.5.1 災前預防階段	3-31
3.5.2 災中搶修階段	3-49
3.5.3 災後復建階段	3-52
3.5.4 邊坡 GIS 資料庫	3-60

第四章 持續道路邊坡致災因子（雨量）空間分析	4-1
4.1 現地簡易型土壤含水量計之補充設置	4-2
4.2 現地簡易型雨量計設置與降雨資料觀測蒐集	4-8
4.2.1 雨量計原理介紹	4-8
4.2.2 雨量計裝設環境影響	4-9
4.2.3 雨量計安裝成果	4-11
4.2.4 即時雨量資料展示方式	4-18
4.3 不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析模式開發	4-21
第五章 結論與建議	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 後續建議	5-2
參考文獻	參-1
附錄 1 期中審查會議紀錄回覆辦理	附錄 1-1
附錄 2 期末審查會議紀錄回覆辦理	附錄 2-1
附錄 3 期末報告簡報資料	附錄 3-1
附錄 4 臺 21 線案例量化資料	附錄 4-1
附錄 5 臺 8 線案例量化資料	附錄 5-1
附錄 6 臺 18 線案例量化資料	附錄 6-1
附錄 7 臺 18 線雨量量測資料彙整	附錄 7-1

圖 目 錄

圖 1.1	計畫全期（96~99 年度）規劃流程圖	1-5
圖 1.2	本年度預定進度甘特圖	1-6
圖 2.1	交通部設置於五彎仔之相關監測儀器配置圖	2-8
圖 2.2	五彎仔手動監測儀器平面位置圖	2-14
圖 2-3	五彎仔自動監測儀器平面位置圖	2-17
圖 2.4	R-2 雨量計監測成果（民國 97 年）	2-18
圖 2.5	B-2 水位觀測井監測成果圖（民國 97 年）	2-19
圖 2.6	B-7 水位觀測井監測成果圖（民國 97 年）	2-19
圖 2.7	B-9 水位觀測井監測成果圖（民國 97 年）	2-20
圖 2.8	04-2B 豎管式水壓計（25m~30m）監測成果圖	2-21
圖 2.9	04-5 水位觀測井監測成果圖	2-22
圖 2.10	C-10 傾斜觀測管之管口位移歷時曲線圖	2-23
圖 2.11	B-5 傾斜觀測管之管口位移歷時曲線圖	2-24
圖 2.12	04-4 傾斜觀測管之管口位移歷時曲線圖	2-24
圖 2.13	TI-5 結構物傾度盤監測成果	2-25
圖 2.14	TI-14 結構物傾度盤監測成果	2-26
圖 2.15	TI-16 結構物傾度盤監測成果	2-26
圖 2.16	EI-1 電子式傾斜儀監測成果圖	2-27
圖 2.17	EI-2 電子式傾斜儀監測成果圖	2-27
圖 2.18	EI-3 電子式傾斜儀監測成果圖	2-28
圖 2.19	聲波量測的基本原理	2-31
圖 2.20	事件發生位置的判斷	2-31

圖 2.21	系統運作模式.....	2-32
圖 2.22	資料擷取系統.....	2-32
圖 2.23	聲波感應器.....	2-33
圖 2.24	地錨試驗場地全視圖	2-34
圖 2.25	聲波感應器分佈示意圖	2-34
圖 2.26	既有地錨揚起試驗荷重與時間關係圖	2-36
圖 2.27	既有地錨施加荷重及聲波能量之關係圖	2-37
圖 2.28	既有地錨聲波能量釋放與鋼鍵破壞數量圖	2-37
圖 2.29	聲波感應器所收集到之破壞震波.....	2-38
圖 2.30	各感應器所接收到之聲波.....	2-38
圖 2.31	經由判定後在既有地錨實驗中破壞之位址	2-39
圖 2.32	新設地錨揚起試驗荷重與位移關係圖	2-39
圖 2.33	新地錨實驗能量釋放與鋼鍵破壞數量圖	2-40
圖 2-34	收集到的淺層鋼鍵斷裂之震波	2-41
圖 2.35	各感應器所接收到之聲波.....	2-41
圖 2.36	新舊地錨試驗結果	2-42
圖 2.37	陣列式位移計應用於工程領域.....	2-44
圖 2.38	陣列式位移計應用於路堤工程之分析結果展示	2-44
圖 2.39	陣列式位移計設計原理	2-45
圖 2.40	陣列式位移計 3D 變位監測結果展示.....	2-46
圖 2.41	陣列式位移計裝置示意圖	2-46
圖 2.42	自動化數位訊號傳輸示意圖.....	2-47
圖 2.43	現場安裝與佈設.....	2-47

圖 2.44	電源供應器與無線傳輸	2-48
圖 2.45	陣列式位移計監測配置規劃示意圖.....	2-48
圖 2.46	初期監測結果顯示	2-49
圖 2.47	現地量測一年後之監測結果.....	2-49
圖 2.48	無線傳輸模組.....	2-51
圖 2.49	無線感測網路系統傳輸架構.....	2-52
圖 2.50	資料分析與呈現.....	2-53
圖 2.51	佈點位置示意圖.....	2-54
圖 2.52	感應器現地裝置實況	2-54
圖 2.53	監控數據分析結果	2-55
圖 2.54	阿里山公路位置圖	2-56
圖 2.55	阿里山雨量站之歷年雨量趨勢圖（修改自中央氣象局）	2-57
圖 2.56	阿里山雨量站各月之平均年雨量趨勢圖（修改自中央氣象局）	2-58
圖 3.1	臺 21 線新中橫公路位置圖（摘自 EbioTW-新中橫）	3-2
圖 3.2	阿里山公路位置圖	3-3
圖 3.3	臺 8 線、臺 21 線及臺 18 線環境位置圖	3-3
圖 3.4	坡度量化示意圖.....	3-9
圖 3.5	坡高量化示意圖.....	3-10
圖 3.6	岩層位態量化示意圖	3-12
圖 3.7	風化及破碎程度量化示意圖.....	3-13
圖 3.8	GIS 建置之集水區面積圖.....	3-14
圖 3.9	921 集集地震之最大水平地表加速度分佈圖	3-15
圖 3.10	坡地開發量化示意圖	3-16

圖 3.11	臺 8 線山區道路研究範圍及案例分佈圖	3-17
圖 3.12	臺 21 線山區道路研究範圍及案例分佈圖	3-18
圖 3.13	臺 18 線山區道路研究範圍及案例分佈圖	3-18
圖 3.14	臺 21 線及臺 8 線崩塌案例佔各次颱風比例統計	3-21
圖 3.15	養護次數統計	3-24
圖 3.16	臺 4 線 20~25k 養護次數紀錄	3-28
圖 3.17	道路邊坡管理系統之三模組架構	3-30
圖 3.18	GIS 系統資料管理界面	3-31
圖 3.19	災前預防階段之系統界面	3-32
圖 3.20	道路基本資料管理界面	3-32
圖 3.21	巡檢資料庫之搜尋功能界面	3-33
圖 3.22	邊坡巡檢表單之基本資料界面	3-34
圖 3.23	巡檢表單之匯入自然環境資料功能界面	3-35
圖 3.24	邊坡巡檢表單之擋土設施檢查界面	3-36
圖 3.25	邊坡巡檢表單之護坡設施檢查界面	3-36
圖 3.26	邊坡巡檢表單之排水設施檢查界面	3-37
圖 3.27	邊坡巡檢表單之巡檢種類與載入巡檢照片界面	3-38
圖 3.28	邊坡監測儀器資料之搜尋功能界面	3-39
圖 3.29	邊坡監測儀器資料之新增功能界面	3-39
圖 3.30	監測儀器分類與定義之系統界面	3-40
圖 3.31	監測儀器資料之即時監測資料瀏覽界面	3-40
圖 3.32	邊坡基本資料之搜尋功能界面	3-41
圖 3.33	邊坡自然環境之基本資料填報界面	3-42

圖 3.34	邊坡自然環境資料之填報界面	3-43
圖 3.35	自然環境資料之崩塌型態填報界面.....	3-44
圖 3.36	自然環境之圖說影像資訊填報界面.....	3-44
圖 3.37	邊坡巡檢維護報表輸出管理界面	3-45
圖 3.38	匯出之結構物功能檢查表單	3-46
圖 3.39	匯出泰利颱風之災損工程經費明細表	3-46
圖 3.40	匯出臺 18 線五彎仔崩塌地治理之工程經費明細表.....	3-47
圖 3.41	邊坡統計分析管理界面	3-48
圖 3.42	地下水滲流之統計分析圖表	3-48
圖 3.43	基本資料調查欄位	3-49
圖 3.44	災害狀況調查欄位	3-50
圖 3.45	地形與地質及植被與土地利用狀況調查欄位	3-50
圖 3.46	保全對象調查欄位	3-51
圖 3.47	災害簡述及建議欄位	3-51
圖 3.48	照片及說明欄位.....	3-52
圖 3.49	災後復建階段之系統界面	3-53
圖 3.50	邊坡整治工法資料庫之搜尋功能界面	3-54
圖 3.51	邊坡整治工法資料庫之維護工程填報界面	3-54
圖 3.52	邊坡整治工程資料之工法選定界面.....	3-55
圖 3.53	工法資料庫結合交通部公路總局標準參考圖說界面.....	3-56
圖 3.54	工程資料中之工程明細資料填報界面	3-57
圖 3.55	災損資料庫之搜尋功能界面	3-58
圖 3.56	邊坡災損資料庫之災損通報紀錄界面	3-59

圖 3.57	邊坡災損資料庫之搶修工程紀錄界面	3-60
圖 3.58	邊坡 GIS 資料庫管理界面.....	3-61
圖 3.59	災損統計功能之管理界面	3-62
圖 3.60	省道臺 21 線桃芝颱風之災損統計搜尋結果	3-62
圖 3.61	省道臺 18 線災變修復之工程統計搜尋結果	3-63
圖 3.62	縣市屬性查詢界面	3-64
圖 3.63	縣市屬性查詢之工程資料結果展示.....	3-64
圖 3.64	資料屬性查詢界面	3-65
圖 3.65	資料屬性查詢之點位查詢結果展示.....	3-66
圖 3.66	編碼屬性查詢界面	3-67
圖 3-67	編碼屬性查詢之搜尋結果展示界面	3-67
圖 4.1	土壤含水量計之電池與資料接收箱.....	4-5
圖 4.2	土壤含水量計之感應器與溫度計.....	4-5
圖 4.3	將感應器放入洞的底部（深度約為 30cm）	4-6
圖 4.4	將電纜線連接資料接收箱與電池.....	4-6
圖 4.5	進行設定與連線狀況檢查作業.....	4-7
圖 4.6	臺 18 線雨量監測格網架構.....	4-8
圖 4.7	倒置型雨量計構造圖	4-9
圖 4.8	落葉落於受水孔內之情形.....	4-10
圖 4.9	樹木高度對於雨量計記讀之影響示意圖	4-10
圖 4.10	雨量計設置周圍障礙物之影響示意圖	4-11
圖 4.11	R-T18-35k+300 雨量站安裝情形.....	4-13
圖 4.12	R-T18-39k+300 雨量站安裝情形.....	4-13

圖 4.13	R-T18-41k+700 雨量站安裝情形.....	4-14
圖 4.14	R-T18-43k+100 雨量站安裝情形.....	4-14
圖 4.15	R-T18-46k+010 雨量站安裝情形.....	4-14
圖 4.16	R-T18-50k+400 雨量站安裝情形.....	4-15
圖 4.17	R-T18-54k+100 雨量站安裝情形.....	4-15
圖 4.18	R-T18-69k+900 雨量站安裝情形.....	4-15
圖 4.19	R-T18-78k+600 雨量站安裝情形.....	4-16
圖 4.20	R-T18-82k+300 雨量站安裝情形.....	4-16
圖 4.21	R-T18-83k+400 雨量站安裝情形.....	4-16
圖 4.22	R-T18-90k+200 雨量站安裝情形.....	4-17
圖 4.23	R-T18-91k+300 雨量站安裝情形.....	4-17
圖 4.24	R-T18-95k+900 雨量站安裝情形.....	4-17
圖 4.25	NTUST-E2 雨量站安裝情形.....	4-18
圖 4.26	以 VB60 程式撰寫之伺服器雨量資料收集情形	4-19
圖 4.27	以 VB60 程式撰寫之伺服器雨量資料（一週內每小時雨量）	4-19
圖 4.28	以 JAVA 程式撰寫之伺服器雨量資料收集情形.....	4-20
圖 4.29	臺 18 線 64k+800 於 7 月 19 日之降雨量（雨量記錄器）	4-20
圖 4.30	臺 18 線 64k+800 於 7 月 19 日降雨量（GPRS 無線回傳） .	4-21
圖 4.31	現有、新設儀器配置及等雨量線示意圖	4-22
圖 4-32	建立降雨量、含水量與邊坡崩塌機率之關係.....	4-23

表 目 錄

表 2-1	坡地監測儀器規格建議表（手動量測部分）	2-2
表 2-2	坡地監測儀器規格建議表（自動化量測部分）	2-3
表 2-3	坡地工程自動化監測項目及應用情況.....	2-6
表 2-4	地滑監測原理和監測自動化相關之問題點	2-6
表 2-5	地滑監測原理和監測自動化相關之問題點（續）	2-7
表 2-6	五彎仔監測儀器配置與相關整合單位.....	2-9
表 2-7	五彎仔手動監測儀器彙整總表	2-11
表 2-8	五彎仔手動監測儀器彙整總表（續）	2-12
表 2-9	五彎仔手動監測儀器彙整總表（續）	2-13
表 2-10	自動化監測儀器總表	2-15
表 2-11	自動化監測儀器總表（續）	2-16
表 2-12	傾斜觀測管基本資料一覽表.....	2-22
表 2-13	結構物傾度盤成果表	2-25
表 2-14	既有及新設地錨設計條件	2-35
表 3-1	同富一塔塔加段地層岩石組成表（王豐仁，1994）	3-6
表 3-2	影響因子量化範圍.....	3-8
表 3-3	調查路段地層種類及量化方式.....	3-11
表 3-4	致災颱風統計表.....	3-19
表 3-5	臺 4 線 1995~2000 年 0~26k 養護結算資料統計	3-26
表 3-6	臺 4 線 1995~2000 年 0~26k 養護結算資料統計（續）	3-27
表 3-7	臺 4 線民國 84~89 年 20~25k 養護結算資料統計.....	3-28
表 3-8	各養護次數機率與平均成本	3-29
表 4-1	土壤含水量計彙整表.....	4-3

表 4-2	土壤基質吸力儀器彙整表	4-4
表 4-3	雨量計裝設與維護作業基本資料.....	4-12

第一章 前言

道路建設佔我國交通工程建設之大宗，亦為國家重要施政項目，其所提供的服務品質對促進整體經濟成長、保障社會安全、提昇文化發展，甚至確保國防安全均有關鍵性的影響。然國內道路建設在過去多因考量地形之故，為維護人車安全而大量運用邊坡穩定工法，惟仍常因遭逢天然或人為災害導致崩塌，造成情節不等之災害、交通服務水準降低，甚至道路癱瘓的情形發生，因此有必要針對道路邊坡崩塌發生機制、防治效益評估方法與應用之研究課題投入心力，藉以提昇防、救災作業效能，並延展公路營運之服務年限，進而達成公路建設「永續經營」之政策。有鑑於此，交通部在配合國家型防救災研究執行之同時，於民國 89 年起即有系統的規劃一系列「交通土木建設安全科技」相關領域之研究至今，期間除進行地質調查與自動化監測規劃工作、佈設先進光電式邊坡監測儀器進行本土式驗證、設置緊急即時衛星網路防災監視系統等相關之豐碩研究成果外，交通部運輸研究所亦於民國 94 年起逐步針對相關研究資源進行整合，目前已完成之初步成果包括：道路邊坡管理系統之建置、道路邊坡崩塌潛勢之分析與預測、道路邊坡崩塌之防治對策與操作手冊等，並將整合研究成果逐步落實並移轉至工程基層單位，期望經由成果之落實應用，提昇臺灣山區道路之維護管理效能與防災技術。

目前中央氣象局業已完成臺灣地區四座氣象雷達的佈設，再配合分佈於全臺的四百餘座氣象站，雨量預報準確度已大為提高。本計畫於過去研究中，認為要建立適合區域性之正確崩塌因應對策與系統，與更進一步妥善掌握道路邊坡之狀況，應進一步將預測道路沿線邊坡崩塌機率之機制、氣象局之雨量預報，以及現地之雨量計資料進行結合，如此將可於颱風豪雨期間提供動態之區域性道路邊坡崩塌機率，提高道路養護單位防救災效率和維修資訊。

本研究案件之主要目的，除了研發道路邊坡崩塌監測預警自動化系統、不斷提昇邊坡整治技術能力、研提適合區域性之邊坡崩塌預測

方式與可行之因應對策外，並將持續落實應用相關研究成果至工程基層單位。期望可以充分利用國內防救災方面現有之有限資源，搭配最適切之因應對策與有效之執行技術，確實將山區道路邊坡之災害減少至最低外，若確實將此計畫之研究成果落實應用，將可提昇山區道路管理效能，延展道路之服務年限，並達到維護國土保安與水土資源永續利用之目標。

本計畫整體研究共為期四年，第一年（96 年度）的研究理念主要為透過資料蒐集與現地調查作業，研提適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警基準之標準，並依據蒐集彙整來之道路邊坡相關資料，擴建改版既有之道路邊坡管理系統。第一年度業已完成之工作項目如下所述：

1. 研提適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警基準之標準。
2. 道路邊坡現地崩塌事件及相關資料之蒐集彙整、建置與分析。
3. 道路邊坡致災因子（雨量、地下水）空間分析。

今年度為本研究計畫執行之第二年度，預估未來二年，除延續前一年之研究成果，並期擬透過氣象局之雨量資料和現地之監測作業，整合研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統，且選定一區域性道路為示範路段，規劃設計如何針對研發之道路邊坡崩塌預警監測自動化系統於現地進行實設測試。今、明兩年度預期完成之工作項目規劃如下所述：

1. 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統。
2. 持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析。
3. 持續道路邊坡致災因子（雨量）空間分析。

綜合前述各年期之計畫成果，除透過示範路段進行相關成果之驗證與編修作業外，並期擬將相關研究成果落實應用至工程基層單位，最後期擬在本四年期計畫執行結束後，完成之研究成果重點如下：

1. 編定道路邊坡安全監測與預警作業手冊；

2. 編定崩塌災害處理作業手冊；
3. 編定道路邊坡崩塌潛勢制定流程；
4. 建置全國道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫；
5. 辦理山區道路邊坡崩塌防治及監測預警研討會。

然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狀況下，實在無法建置一套全國山區道路邊坡通用之道路邊坡崩塌監測預警自動化系統，以及適合各地區應用之邊坡崩塌預測方式與可行之因應對策。

有鑑於此，研究團隊擬將整合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、臺灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構功能評估、臺灣區救災公路資訊整合系統建立之研究、坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究等歷年交通部相關部會委託辦理之山區道路坡地災害防治技術相關研究成果，重新檢討其合理性與適用性，並以臺灣省道主線中之臺 8 線、臺 18 線以及臺 21 線為主之山區道路，進行探討與分析。

交通部過去相關道路邊坡相關之研究案件，曾以省道臺 18 線（阿里山公路）為案例對象，於此路段進行相關之研究成果與監測資源整合，並將此路段設立為臺灣山區之示範監測試驗道路。本研究團隊除此路段為研究對象外，亦規劃於執行期間將相關成果延伸至九二一集集大地震後，每每颱風豪雨侵襲即會引發重大坡地災害之省道臺 21 線（新中橫公路）為示範路段，進行相關研究成果之驗證作業。綜合上述，研究團隊將秉持此項研究精神與過去執行相關案件之經驗，在本研究案四年期之執行期間，規劃陸續將相關研究成果落實應用之對象為：第一年已完成配合其他相關研究案件，以資料已經相當完備之省道臺 18 線為對象；第二年（今年度）規劃之研究對象除持續針對臺 18 線進行調查分析作業外，亦擬將部分成果應用至省道臺 21 線（新中

橫公路)與臺8線(中橫公路);至於第三、四年度,則規劃研究對象為臺9線(北宜公路、蘇花公路)等,期擬確實將本研究成果落實至工程基層單位,並達到國土保安與水土資源永續利用之目標。

至於針對臺灣山區道路坡地災害防治進行技術整合研究,並編定「道路邊坡安全監測與預警作業手冊」、「崩塌災害處理作業手冊」與「道路邊坡崩塌潛勢制定流程」等相關研究成果,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,針對本研究計畫之執行內容與步驟均應深入思考,並做整體性之規劃考量。

圖 1.1所示為本研究團隊針對前述各年度之工作項目所進行規劃全期四年(96~99年度)之研究作業流程,第一年主要是先透過相關資料之蒐集彙整與現地調查作業,將相關資料予以建檔,並持續擴充至既有之道路邊坡管理系統中,並利用已建檔之相關資料,協助提擬適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警參考基準值,而目前業已完成此階段之相關作業。於計畫執行之第二、三年間,除持續擴建道路邊坡管理系統相關資料與功能開發外,亦擬透過第一年期蒐集彙整之相關文獻與現地調查資料,結合現地降雨量、土壤含水量等監測工作執行,研發適合區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統;除此之外,亦將持續統計分析崩塌事件與降雨量特性之關係式,以及崩塌機率與現地降雨之關係式,並藉以開發不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析模式。最後,期擬透過選定之研究對象進行相關成果之驗證作業,並依據驗證結果予以修正。在計畫執行之最後一年度,期擬透過「山區道路邊坡崩塌防治及監測預警研討會」之辦理,確實推廣本案編定之道路邊坡安全監測與預警作業手冊、崩塌災害處理作業手冊、道路邊坡崩塌潛勢制定流程,以及開發建置全國道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫系統等相關研究成果。

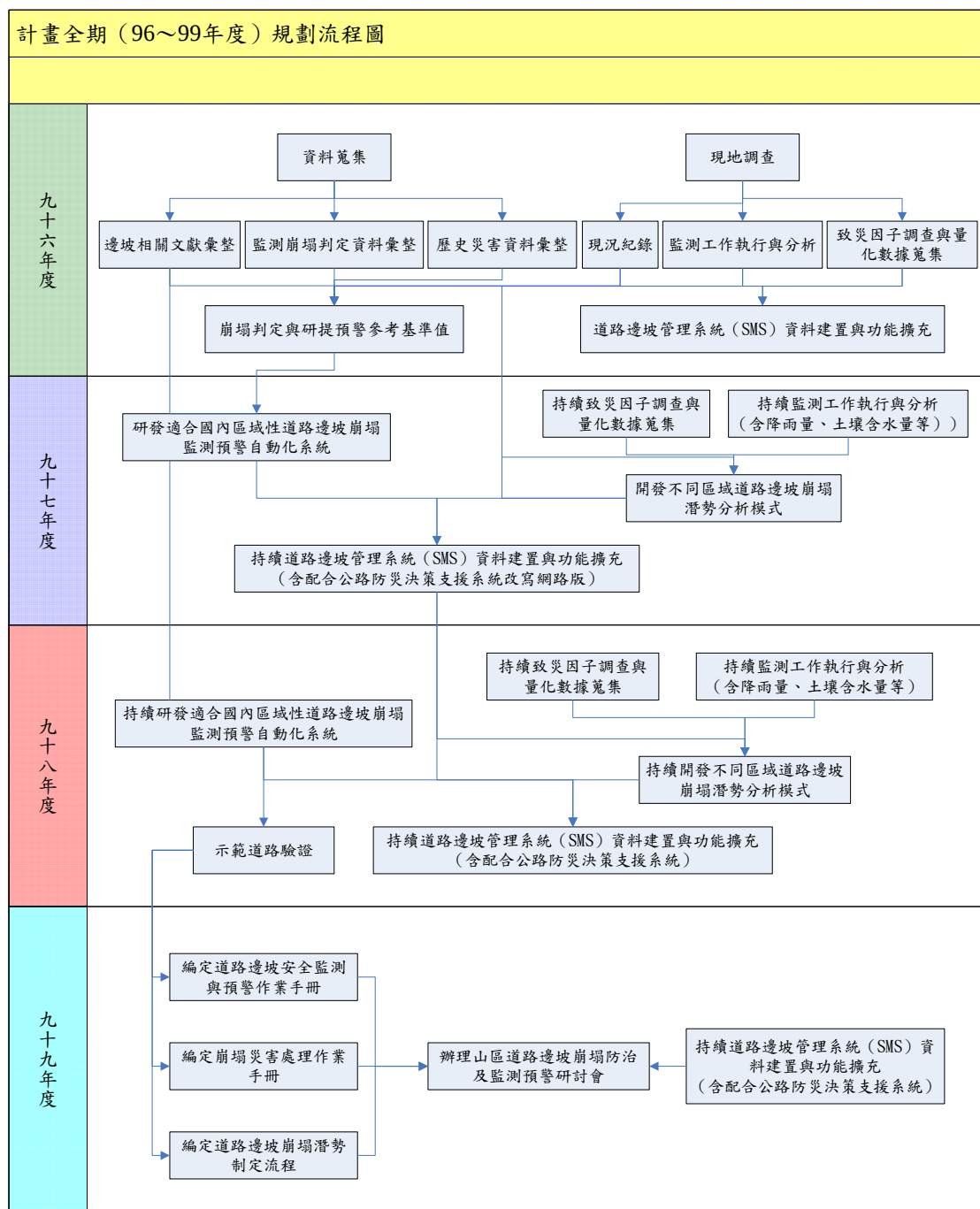


圖 1.1 計畫全期（96~99 年度）規劃流程圖

本計畫 97 年執行期限自 3 月 1 日起至 10 月 31 日止計 8 個月期間，本年度相關執行進度規劃則如圖 1.2 所示。

工作項目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	備註
1.研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統									
1.1 人工與自動化於長期監測工作執行之比較分析。									
1.2 整合國內外之相關研究成果，研發適合國內區域性道路邊坡崩塌預警監測自動化系統。									
1.3 選定示範路段，並規劃設計如何將擬研發知道路邊坡崩塌預警監測自動化系統於現地實設測試。									
2.持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析									
2.1 持續選定歷史崩塌路段進行現地調查作業，並持續將相關資料建置於道路邊坡管理系統中。									
2.2 持續蒐集彙整、分類與建置歷史崩塌事件與災害資料，並持續將相關資料建置於道路邊坡管理系統。									
2.3 探討建立崩塌量、崩塌型態與災害發生間之關係。									
2.4 配合擴建中之公路防災決策支援系統，將既有道路邊坡管理系統之單機版改寫為網路版，並將所有資料轉置於改寫後之道路邊坡管理系統。									
3.持續道路邊坡致災因子（雨量）空間分析									
3.1 現地簡易型雨量計與水位觀測井或含水量計之補充設置。									
3.2 持續進行現地降雨量資料觀測與蒐集。									
3.3 持續統計分析崩塌事件與雨量特性之關係式以及崩塌機率與現地降雨之關係式，藉以修正或開發不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析既有模式或新模式。									
期中報告				※					
期末報告								※	
工作進度估計百分比(累積數)	15	25	40	55	65	80	90	100	
預定查核點	第1季：無								
	第2季：期中報告（6/27）								
	第3季：期末報告（10/25）								
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 本年度預定進度甘特圖

第二章 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警 自動化系統

道路建設為國家重要之基礎建設，經過多年之努力，臺灣交通網已逐漸成形，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，儼然成為極為重要之課題。源於臺灣多山地，公路建設不可避免的常需穿越山坡地，部分道路邊坡遇大雨侵襲即產生坍方之問題，對於用路人行車安全構成極大之威脅，合宜地應用崩塌監測預警自動化系統，為道路邊坡安全管理之重要依據，然因邊坡崩塌機制與危害地各有不同，故監測預警自動化系統規劃亦應有不同之考量。為充分獲得監測預警規劃時所需之相關資料進行分析作業，唯有透過現地長期監測作業之累積，以及整合國內道路邊坡歷年研究成果與國外相關監測預警之崩塌判定標準等相關資料，方得以進行國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統研發作業。有鑑於此，本項工作內容除將針對臺灣目前監測資源最豐富之省道臺 18 線五彎仔（28.9k~31.5k）路段，進行人工與自動化之監測分析作業外，亦擬蒐集彙整近幾年國內外於道路邊坡崩塌預警自動化系統之先進監測技術，期擬透過國內既有資源之整合彙整，結合國外先進監測技術，確實提昇國內邊坡崩塌預警機制，研發一套適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統，最後並選定一適切之示範路段進行現地實地測試作業，以確實落實本案之研究成果。

2.1 人工與自動化於長期監測工作執行之比較分析

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

系統能發揮應有之功能，應避免採用不適用之儀器，故將常用監測系統之基本規格建議如表 2-1 及表 2-2 所示，然此彙整表係為原則性之要求，於監測系統之規劃時則應視個案情況，再酌予檢討調整。

表 2-1 坡地監測儀器規格建議表（手動量測部分）(廖洪鈞等，1999)

監測項目	監測儀器	基本規格	量測範圍	精度	耐用性	備註
地層移動	插入型傾斜觀測管	1.ABS 材質 2. 外徑 69~90 mm 3.四個互成 90° 正交之溝槽，3m 直線之旋轉角小於 1°	±30 度	±5 mm /25m	◎	
	地滑計	以鋼弦連接兩個定點	≥ 5 cm	±0.2 mm	◎	
	地表沈陷點	鋼釘或水泥樁	無限制	±2 mm~5 mm (視轉點次數而定)	◎	以水準儀量測
地下水位或水壓	水位觀測井	外徑大於 38 mm 之 PVC 管，開口率大於 3 %，外覆砂網或不織布。	視井深而定	±1 cm	◎	
	開口式水壓計	外徑大於 19 mm 之 PVC 管，透水佳之水壓計本體。	視水壓計深度而定	±1 cm	◎	
結構物傾斜	結構物傾度盤	銅盤或瓷盤	±30 度	±20 秒	◎	
擋土壁應力	鋼筋計	振弦式或電阻式	±4,200 kg/cm ²	±1.0%		
裂縫寬度	裂縫計	以測微表或游標卡尺量測	±5 cm	±0.1 mm		
地錨荷重	地錨荷重計	振弦式或電阻式	1.5 倍~2 倍設計拉力	±1%		
雨量	雨量計	量筒式雨量計		0.5 mm 或 1.0 mm		
排水系統流量	三角堰或矩形堰	鋼製	2 倍設計流量	±10%		以游標尺人工記讀
說明：◎耐用性佳 ○耐用性可 △耐用性尚可						

表 2-2 坡地監測儀器規格建議表（自動化量測部分）(廖洪鈞等，1999)

監測項目	監測儀器	基本規格	量測範圍	精度	耐用性	備註
地層移動	定置型傾斜觀測管	1.ABS 材質 2. 外徑 69~90 mm 3. 四個互成 90° 正交之溝槽，3m 直線之旋轉角小於 1°	±30 度	該點±0.2 mm	○	費用甚高
	地滑計	環狀式 LVDT	> 5 cm	±0.2 mm	◎	
	管式應變計	外徑 25 mm PVC 管，外貼應變計	±10,000 μ	±0.5%	△	耐久性較差
地下水位或水壓	水位觀測井	外徑大於 38 mm 之 PVC 管，開口率大於 3%，外覆砂網或不織布。	視井深而定	±10 cm	○	利用電子式水壓計量測
	電子式水壓計		視水壓計深度而定	±10 cm	○	
結構物傾斜	電子式結構物傾斜儀	電阻式或伺服加速器式	±40 分~±5 度	±8	◎	
擋土壁應力	鋼筋計	振弦式或電阻式	±4,200 kg/cm ²	±1.0%	○	
裂縫寬度	電子式裂縫計	LVDT	±5 cm	±0.1 mm	○	以 LVDT 測量
地錨荷重	地錨荷重計	振弦式或電阻式	1.5 倍~2 倍設計拉力	±1%	○	
雨量	雨量計	倒置式雨量計		±3%	◎	
排水系統流量	自記式水位計	鋼製	2 倍設計流量	±10%	◎	
說明：耐用年限受防護條件與現場狀況之影響甚大。◎耐用性佳 ○耐用性可 △耐用性尚可						

綜合上述，監測系統可分為人工手動測讀、半自動化測讀及自動化測讀三種方式，以深開挖工程而言，Y. Inone 等(1977)指出在一個大型工地其感應器超過 200 點時，應採用自動化系統，而坡地工程之自動化需求則與量測感應器數目並無一定關係，考量採用自動化監測系統之原則彙整如下：

1. 其危險性高，足以構成生命之損失。
2. 量測地點不易通達。
3. 研究用途。
4. 需密集量測以捕捉如水壓之最高/最低值之波動情況。
5. 採自動化量測反為較經濟時。

當監測系統要發揮最大之效能，或在最危急時於短時間內進行重點密集量測，自動化監測係唯一途徑。自動化監測之優點如下：

1. 量測速度快速。
2. 人為誤差減少，提高量測精度。
3. 量測不受天候影響。
4. 不需依賴龐大人力。
5. 可直接發佈警報。
6. 資料處理迅速。
7. 符合科技自動化之趨勢。
8. 可量測不易到達位置之測點。
9. 可立刻傳送資料。
10. 可採較密集之量測以精確量取具波動性監測項目最大及最小之讀值。
11. 存檔格式系統化，利用資料處理。

12. 可作多種頻率組合之量測方式。

其缺點則為下列：

1. 投資較龐大。
2. 維護費用高。
3. 部分項目自動化成本高。
4. 較不適合小型工程之監測。
5. 自動化之判讀無法取代工程師之判斷 (Judgement)，並仍需要工程師目視及踏勘。
6. 系統較複雜，需專業人員維護及測試。
7. 需要穩定之電源。
8. 設備易受天候及施工因素損害。

關於坡地工程可採用自動化監測系統之項目及其應用情況彙整如表 2-3 所示，然採規劃用自動化監測系統則需考量以下項目：(另日本地執行盤工學會對於坡地自動化監測執行上之困難有其說明如表 2-4~表 2-6 所示供參考。)

1. 各類型感應器與量測系統間之相容性。
2. 各類型感應器與量測系統間之可轉換性。
3. 最高之量測頻率。
4. 感應器之反應時間。
5. 連接電纜之長度限制及受損時之可重接性。
6. 電源及後備電源配合。
7. 可回收性。
8. 電訊電纜之安排應不受施工及天候之影響。
9. 感應器及相關儀器之使用年限。

表 2-3 坡地工程自動化監測項目及應用情況(廖洪鈞等，1999)

量測項目	量測儀器	自動化困難度	自動化相對成本	使用情形
水位	電子式水壓計	容易	適中	經常
水壓力	電子式水壓計	容易	適中	經常
地錨荷重	電子式地錨荷重計	容易	適中	經常
傾斜量	電子式結構物傾斜儀	容易	高	偶爾
鋼筋應力	鋼筋計	容易	適中	偶爾
地層移動	定置型傾斜觀測管	困難	很高	少
沈陷量	沈陷計	尚可	高	偶爾
裂縫增量	電子式裂縫計	容易	適中	偶爾
雨量	雨量計	容易	適中	經常

表 2-4 地滑監測原理和監測自動化相關之問題點 (摘自地盤工學會，1998)

監測儀器	監測原理及其問題點	自動化相關之問題點
傾度盤、傾斜儀	● 利用地表傾斜情形之量測，研判地滑之方向。 ● 滑動面形狀之不同，和監測地點之差異會造成管理基準值設定困難。 ● 傾度盤、傾斜儀易受基座之穩定性或外在環境所生之雜訊所影響。	● 用來觀測地滑之傾斜感應器，必須具有 1 秒之精度，其造價高，構造複雜。 ● 感應器量測之溫度補償問題尚未解決。
定置型傾斜觀測管	● 利用地層中傾斜位移的量測，研判地滑之方向。 ● 對移動土壤而言，因地滑面形狀之不同以及其與感應器之距離不同，其觀測值會有所差異，造成管理基準值設定困難。 ● 傾斜管埋設不良時，會有雜訊出現。 ● 傾斜管需與裂縫處附近之地層完全密合。	● 用來觀測地滑之傾斜感應器，必須具有 1 秒之精度，其造價高，構造複雜。 ● 要查出滑動面位置時，必須要多組感應器密集地設置。 ● 若地層之移動量太大時，則感應器恐將無法回收。

表 2-5 地滑監測原理和監測自動化相關之問題點（續）（摘自地盤工學會，1998）

監測儀器	監測原理及其問題點	自動化相關之問題點
插入型傾斜觀測管	● 利用對傾斜管傾度連續連續地量測，和傾斜管變位之歷時變化，來研判滑動面位置和地滑速度。 ● 只能量測幾公分範圍內之地滑位移量。 ● 傾斜管埋設不良時，會有雜訊出現。	● 懸吊傾斜儀的支架需有可自行升降傾斜儀的功能。除了機械構造的複雜和高價位外，在野外操作時如何確保支架的穩定性，也是相當困難的。
管式應變計	● 地滑會使得埋置地中的測定管彎曲變形，其變形量可由貼在管壁的應變計量測出來。 ● 若應變計的間距太大，將無法量出滑動面。 ● 應變計的讀數隨著與滑動面距離之不同而改變，造成管理基準值設定的困難。 ● 位移量量測範圍只有 2~3 公分。 ● 需以灌漿材料將測定管與周圍地盤牢固地結合。 ● 耐用年限只有 1~3 年。	● 因使用多組應變計，故在量測時需利用多頻道的記錄器。 ● 需使用專用的數據擷取器和電流整流器。
地滑計	● 利用二點間之鋼線，一端裝置感應器，由鋼線被拉出或捲入量，可以測得二點間之位移量。 ● 若對鋼線捲動裝置加以改進，可取得更大的測定範圍。 ● 鋼線之佈線也可用來觀測地滑頂部之沈陷。 ● 無法量測垂直於鋼線走向之位移。	● 藉由選取適當之感應器和捲動裝置，可提供更便宜且高感應度之監測。
地層中伸縮儀	● 將量測線之一端固定於鑽孔中，另一端拉到地表接上感應器，藉由量測線之伸縮，可測得滑動面之變位量。 ● 若對測線捲動裝置加以改進，可取得更大的測定範圍。 ● 量測初期會因儀器設置之間隙影響，而有量不到位移的問題。 ● 使用多條量測線時，可藉由孔內固定點深度的改變，來研判滑動面的可能位置。 ● 地表處之沈陷變位會抵銷量測線伸縮量之測定。	● 藉由選取適當之感應器和捲動裝置，可提供更便宜且高感應度之監測。 ● 需選擇比較不受地表沈陷影響的位置，以免影響量測值。如不設在急陡坡面或層狀傾斜面。

2.2 國內外道路邊坡崩塌預警監測自動化系統相關研究成果整合

在國內外道路邊坡崩塌交通部科技顧問室在執行一系列道路邊坡防災研究計畫時，恰逢民國 92 年 6 月梅雨造成省道臺 18 線 28.9k~31.5k 路段路基嚴重流失，此次災害為臺 18 線通車二十多年來，前所未見之大型崩塌。另一方面，由於臺 18 線通過之地形地質複雜、沿線涵蓋臺灣本島山區道路之典型崩塌類型與防治工程，且又通過一大型古老崩塌地—五彎仔，故交通部科技顧問室藉此機會將執行之坡地相關防災研究予以整合、應用，落實投入臺 18 線（阿里山公路）山區道路及五彎仔崩塌區之研究，並於現地埋設有傾斜管、地滑計、電子式水壓計、雨量計、溫濕度計、地錨荷中計等相關之監測儀器。

綜合上述，此坡地防災研究資源整合了財團法人臺灣營建研究院、國立交通大學、國立臺灣科技大學及逢甲大學等研究團隊，共同裝設傾斜觀測管、水位量測計、光纖、錯動變形感測纜線、地滑計、地錨荷重計、影像監視器、自動化監測系統整合小屋等十多項監測儀器，此區域之相關防災資源予以整合彙整，彙整詳見圖 2.1 與表 2-6 所示。



圖 2.1 交通部設置於五彎仔之相關監測儀器配置圖

表 2-6 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 兩臺、衛星通訊設備，網路設備、抽風機等。

除此之外，為徹底解決此一路段之崩塌問題，交通部公路總局第五區養護工程處於民國 93 年 5 月即開始委託青山工程顧問有限公司辦理進行該地滑區域之各項調查及監測規劃作業。

綜合上述，五彎仔地區共有裝設有傾斜觀測管、水壓計、雨量計、地錨荷中計、孔內伸縮計、地表伸縮計、水位觀測井及結構物傾度盤等監測儀器，其裝設之目的雖各有不同，但其監測成果資訊亦可作為進一步掌握地滑區狀況之參考。然監測儀器設置目的之首重於能掌握地滑區之滑動範圍、滑動速率、滑動深度等變形行為，以及降雨量、地下水位等水文狀況，並選擇其中較能敏感反應地滑行為者進行自動化監測。有鑑於此，本章節將先針對上述相關監測儀器進行整合彙整，並將整合之監測系統分為手動監測及自動監測系統二大部分進行概述。

2.2.1 手動監測系統

手動監測系統以人工量測方式進行各項儀器之觀測作業，監測頻率為每個月二次，採此方式量測之儀器如表 2-7~表 2-9 所示，各項儀器之平面位置如圖 2.2 所示，包括：

1. 傾斜觀測管

總計納入監測計畫者共有 16 孔，由於部分儀器之設置深度已不符合現階段調查所需，且部分觀測管因地滑作用產生之地層變形過劇而損壞，故僅餘 8 孔可繼續觀測。

2. 豎管式水壓計

總計納入監測計畫者共有 12 支豎管式水壓計（6 孔），其中 4 支放置電子式水壓計進行自動化監測，其中 04-2B 及 B-10 孔因管身變形過大，以無法繼續監測，故僅餘 8 支豎管式水壓計可繼續觀測。

3. 水位觀測井

總計納入監測計畫者共有 12 孔，選擇其中 5 孔放置電子式水壓計進行自動化監測，其中 B-6 孔因裸坡坍塌造成儀器及傳輸電纜皆損壞，已無法繼續進行監測作業，故僅剩 11 孔可供繼續觀測。

4. 結構物傾度盤

共計 20 組。

表 2-7 五彎仔手動監測儀器彙整總表(青山工程顧問有限公司，2006)

儀器名稱	儀器編號	深度	委託單位	裝設單位	備註
傾斜觀測管	C-1	34m	公路總局第五區 養護工程處	工研院	因孔深不符調查需求，於民國 93 年 9 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	C-3	30m	公路總局第五區 養護工程處	工研院	因孔深不符調查需求，於民國 93 年 9 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	C-7A	60m	公路總局第五區 養護工程處	大吉勝	因地層變位過劇，於深度 52.5 公尺處產生大角度彎曲變形或甚至折斷，於民國 93 年 7 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	C-10	79m	公路總局第五區 養護工程處	大吉勝	因地層變位過劇，管身產生大角度彎曲變形或甚至折斷，於民國 94 年 3 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	C-11	40m	交通部科技顧問 室	營建研究院	因孔深不符調查需求，於民國 93 年 9 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	C-12A	40m	交通部科技顧問 室	營建研究院	因孔深不符調查需求，於民國 93 年 9 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	04-1	100m	交通部科技顧問 室	營建研究院	
傾斜觀測管	04-2A	100m	交通部科技顧問 室	營建研究院	因地層變位過劇，於深度 28.5 公尺處產生大角度彎曲變形或甚至折斷，於民國 93 年 7 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	04-4	100m	公路總局第五區 養護工程處	青山顧問	非本案裝設。 因地層變位過劇，於深度 41.5 公尺處產生大角度彎曲變形或甚至折斷，於民國 94 年 12 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	B-1	100m	公路總局第五區 養護工程處	青山顧問	

表 2-8 五彎仔手動監測儀器彙整總表（續）（青山工程顧問有限公司，2006）

儀器名稱	儀器編號	深度	委託單位	裝設單位	備註
傾斜觀測管	B-3	100m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
傾斜觀測管	B-5	100m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	因地層變位過劇，於深度 10 公尺處產生大角度彎曲變形或甚至折斷，於民國 94 年 4 月後暫停監測工作。
傾斜觀測管	B-8	200m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	量測深度為 120 公尺。
傾斜觀測管	B-12	80m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
傾斜觀測管	05-3	80m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
傾斜觀測管	05-5	80m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
傾斜觀測管	05-7	50m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
豎管式水壓計	04-2B	100m	交通部科技顧問室	營建研究院	2 支。 深度分別為 25m~30m 及 40m~50m。 內置 2 支電子式水壓計。但因管身變位過大，已無法繼續量測。
豎管式水壓計	B-4	100m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	2 支。 深度分別為 49m~52m 及 79m~92m。
豎管式水壓計	B-9	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	2 支。 深度分別為 28m~32m 及 52m~60m。 內置 1 支電子式水壓計。
豎管式水壓計	B-10	65m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	2 支。 深度分別為 20m~28m 及 60m~65m。 但於深度約 6.5 公尺處因管身變位過大，無法繼續量測。

表 2-9 五彎仔手動監測儀器彙整總表（續）（青山工程顧問有限公司，2006）

儀器名稱	儀器編號	深度	委託單位	裝設單位	備註
豎管式水壓計	B-11	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	2 支。 深度分別為 33.5m~37.5m 及 52m~60m。 內置 1 支電子式水壓計。
豎管式水壓計	B-13	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	2 支。 深度分別為 13.5m~17.5m 及 52m~60m。
水位觀測井	04-5	50m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
水位觀測井	B-2	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
水位觀測井	B-6	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	內置 1 支電子式水壓計。因裸坡坍塌造成損壞，已無法繼續監測。
水位觀測井	B-7	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
水位觀測井	B-14	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
水位觀測井	B-15	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	內置 1 支電子式水壓計。
水位觀測井	05-1	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
水位觀測井	05-2	80m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	內置 1 支電子式水壓計。
水位觀測井	05-4	80m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	內置 1 支電子式水壓計。
水位觀測井	05-6	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
水位觀測井	05-8	40m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
水位觀測井	05-9	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	內置 1 支電子式水壓計。
傾度盤	TI-1~TI-20		公路總局第五區養護工程處	青山顧問	共 20 組。

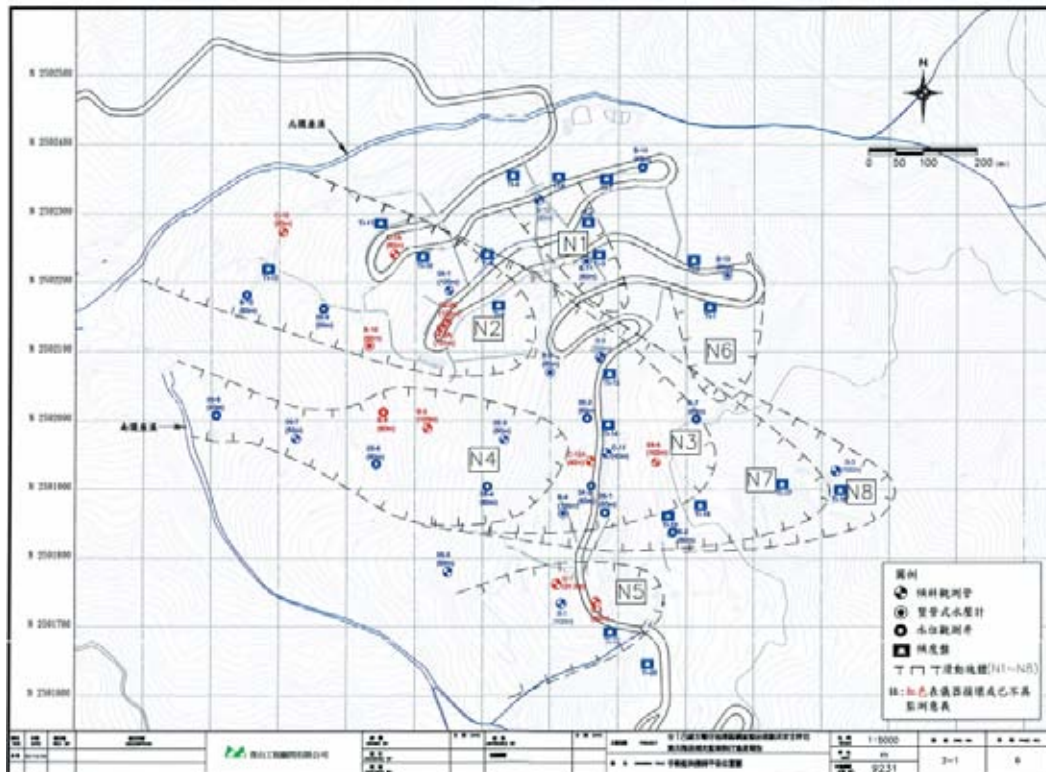


圖 2.2 五彎仔手動監測儀器平面位置圖(青山工程顧問有限公司，2006)

2.2.2 自動監測系統

自動化監測系統係為自量測、記錄、傳輸、資料庫建檔、繪圖全程自動化運作之系統，目前所有儀器經裝測於四彎下邊坡及便道附近之資料記錄擷取器，以 GSM 無線傳輸方式傳送至伺服器，再進行後端之資料庫建檔整理、管理值研判、警戒發佈及繪圖等工作。目前納入自動化監測系統之儀器彙整如表 2-10~表 2-11 示，其平面位置如圖 2.3 所示，包括有：

1. 雨量計

本監測計畫共有 2 組，分別裝設於三彎及新闢便道附近。

2. 電子式水壓計：

總計納入監測計畫者共有 10 組，其中 1 組為自計式水壓計（裝設於 B-11 孔），由於 04-2 及 B-6 孔均因坍塌或地滑作用造成儀器及電纜損壞，現階段僅餘 7 組電子式水壓計可供正常監測。

3. 電子式傾斜計：共 3 組。
4. 孔內伸縮計：1 組。
5. 地錨荷重計：4 組。
6. 地表伸縮計：2 組。

表 2-10 自動化監測儀器總表(青山工程顧問有限公司，2006)

儀器名稱	儀器編號	裝設深度	委託單位	裝設單位	備註
雨量計	R-1	—	—	雲林科技大學	
雨量計	R-2	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
電子式水壓計	04-2B(S)	25m~30m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	裝設於豎管式水壓計內，但因管身變位過大，已無法繼續量測。
電子式水壓計	04-2B(D)	40m~50m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	裝設於豎管式水壓計內，但因管身變位過大，已無法繼續量測。
電子式水壓計	04-5	50m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
電子式水壓計	B-6	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	因裸坡坍塌造成損壞，已無法繼續監測。
電子式水壓計	B-9	52m~60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	裝設於豎管式水壓計內。
自計式 電子式水壓計	B-11	33.5m~37.5m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	裝設於豎管式水壓計內。
電子式水壓計	B-15	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
電子式水壓計	05-2	80m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
電子式水壓計	05-4	80m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	

表 2-11 自動化監測儀器總表（續）（青山工程顧問有限公司，2006）

儀器名稱	儀器編號	裝設深度	委託單位	裝設單位	備註
電子式水壓計	05-9	60m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
電子式傾斜計	EI-1	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
電子式傾斜計	EI-2	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
電子式傾斜計	EI-3	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
孔內伸縮計	EO-1	65m	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
地錨荷重計	LC-1	—	交通部科技顧問室	營建研究院	因地錨鋼鍵斷裂，已無法進行監測。
地錨荷重計	LC-2	—	交通部科技顧問室	營建研究院	因地錨鋼鍵斷裂，已無法進行監測。
地錨荷重計	LC-3	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	因地錨鋼鍵斷裂，已無殘餘預力可進行監測。
地錨荷重計	LC-4	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
地表伸縮計	ET-1	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	
地表伸縮計	ET-2	—	公路總局第五區養護工程處	青山顧問	

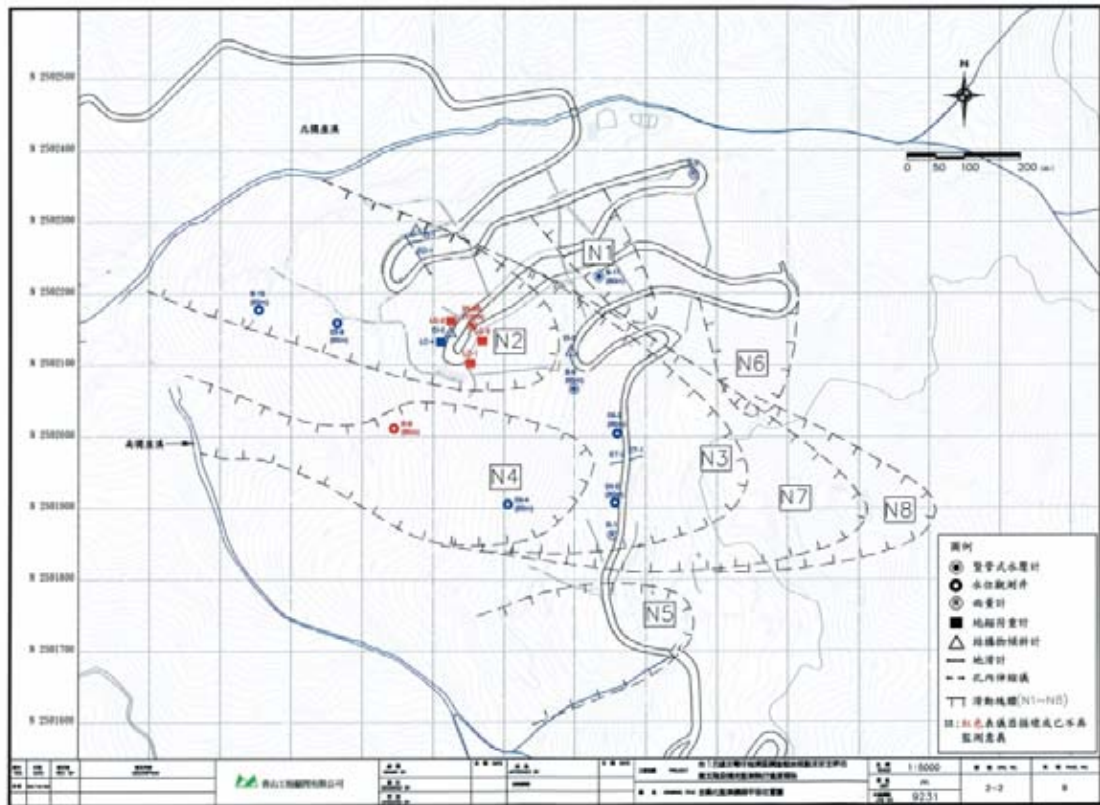


圖 2.3 五灣仔自動監測儀器平面位置圖(青山工程顧問有限公司，2006)

自動化監測之量測頻率為每分鐘一次，所擷取之監測資料傳輸頻率則視現場狀況，以每 1~12 小時傳輸一次為原則。

2.2.3 監測系統觀測結果彙整

1. 降雨量

五灣仔路段共計二組雨量計，其分別裝設於新闢便道 (R-1) 及三灣附近(R-2)，以 R-2 為例，今年監測之監測數據結果如圖 2.4 所示。然由近幾年之監測結果得知，五灣仔地區之降雨豐沛，以 94 年 R-2 為例，年雨量則高達 4,803 mm，主要降雨多係颱風挾帶所致，降雨集中在颱風季節之 5 月 1 日~9 月 30 日，該段時間之降雨約佔全年降雨 85% 以上，而單次颱風所帶來之降雨亦甚為可觀，93 年之敏督利颱風及 94 年之海棠颱風均帶來超過 900 mm 之雨量。

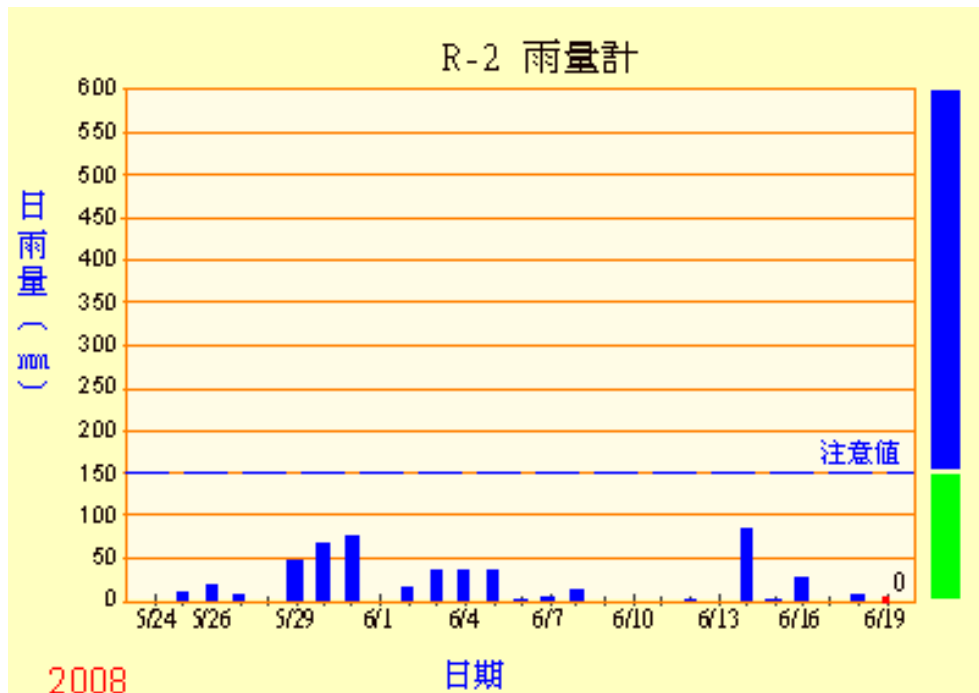


圖 2.4 R-2 雨量計監測成果 (青山工程顧問有限公司，2006)

2. 地下水位

五彎仔路段除設置水位觀測井及開口式水壓計外，亦將沿線所裝設之傾斜觀測管予以開孔處理，以兼做水位觀測井使用，惟該量測方式之量測結果所受之影響因素較多，故其量測成果僅供參考，並不建議作為相關分析或研判之參考。

地下水位之量測方式主要採以人工手動觀測，部分較重要位置之孔位則改採以全自動或半自動方式進行監測，部分孔位之地下水位觀測成果如圖 2.5~圖 2.7 所示。

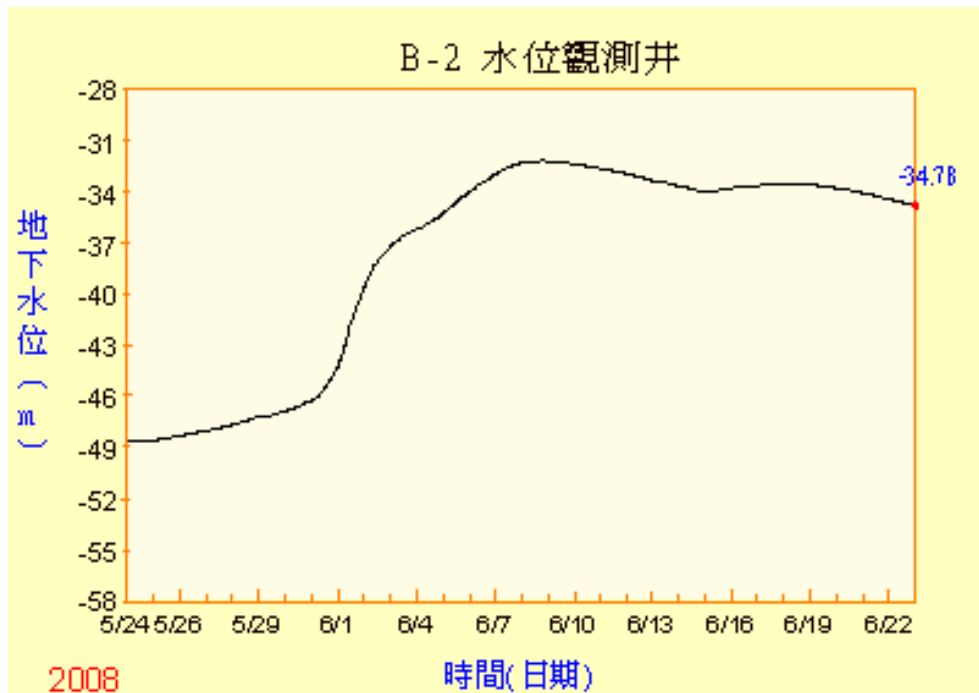


圖 2.5 B-2 水位觀測井監測成果圖(青山工程顧問有限公司，2006)

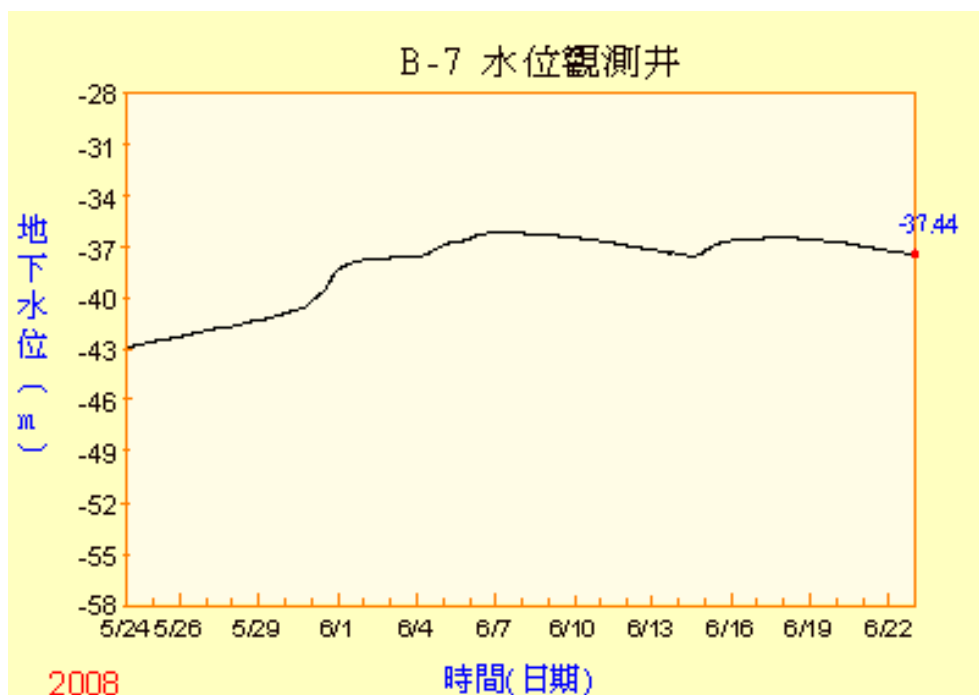


圖 2.6 B-7 水位觀測井監測成果圖(青山工程顧問有限公司，2006)

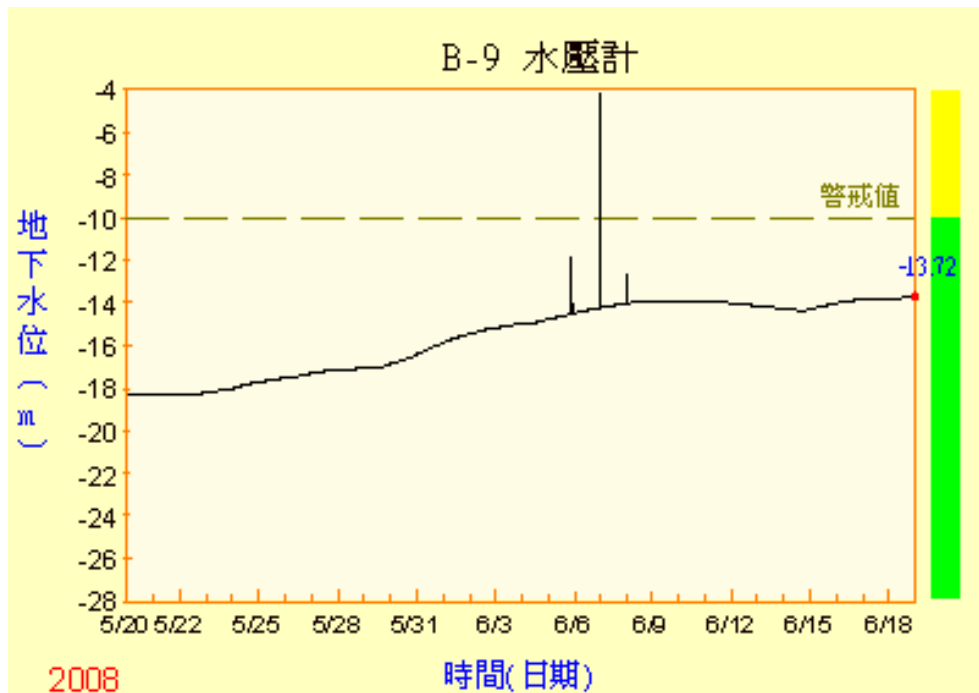


圖 2.7 B-9 水位觀測井監測成果圖(青山工程顧問有限公司，2006)

由觀測結果顯示，五彎仔部分「四彎至五彎附近」及「崩塌裸坡至新闢便道上邊坡附近」之地下水位受降雨影響甚大，其他區域之地下水位則較無明顯升降變化。

「四彎至五彎附近」共計裝設有 04-2B、B-11、B-13 三孔水位觀測井，每孔裝設兩支豎管式水壓計。由觀測結果顯示，04-2B（25m~30m）、B-11（52m~60m）、B-13（52m~60m）於雨季期間之地下水位明顯升高，與非雨季期間相較，其昇幅達 9 公尺以上。而由於 04-2B 係採用自動化方式量測地下水位，於民國 93 年敏督利颱風期間之水位上昇幅度最大，約有 13 公尺，觀測期間最高地下水位約在地表下 15 公尺，詳圖 2.8 所示。

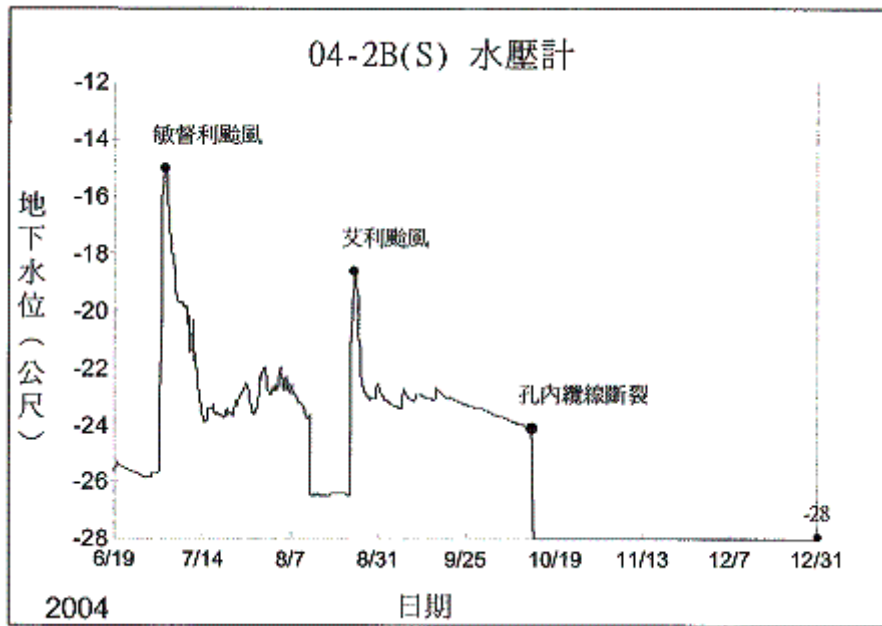


圖 2.8 04-2B 豎管式水壓計（25m~30m）監測成果圖

「崩塌裸坡至新闢便道上邊坡附近」裝設有 B2、B7、04-5 水位觀測井及 B4 豎管式水壓計，觀測結果顯示於雨季期間之地下水位均明顯升高，其中又以 B-2 及 04-5 二孔最為顯著。與非雨季期間相較，B-2 孔之水位上昇幅度約達 23 公尺，最高水位約在地表下 30 公尺；04-5 水位觀測井由於採以自動化方式量測，更能準確反應地下水位之升降情形，該孔於非雨季期間之最低水位約在地表下 47 公尺左右，最高水位則為 94 年 7 月海棠颱風期間，約在地表下 19.5 公尺，相差約 27.5 公尺；而在 93 年 7 月敏督利颱風期間之單場暴雨，其地下水位昇幅約高達 21 公尺（如圖 2.9）。

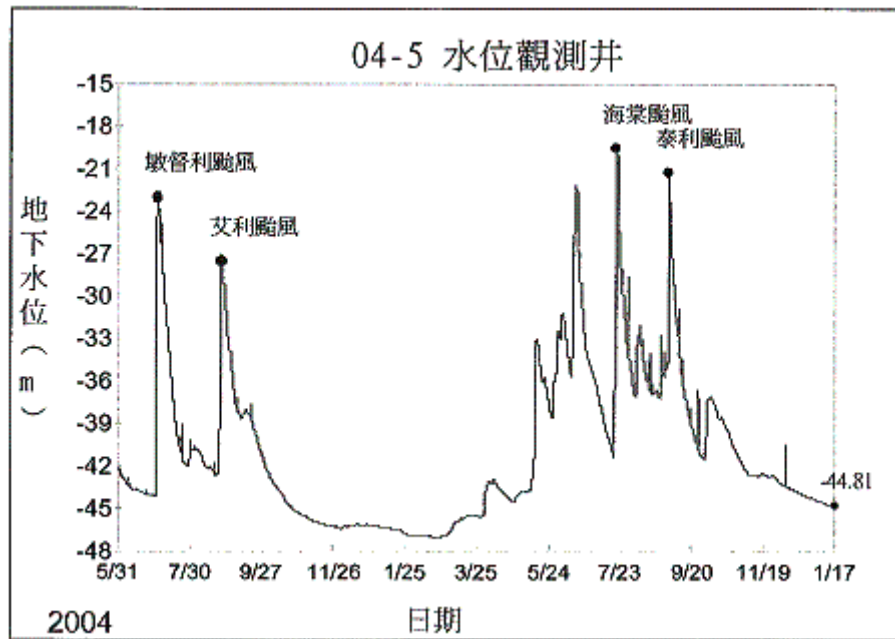


圖 2.9 04-5 水位觀測井監測成果圖

3. 傾斜觀測管觀測成果

納入計畫觀測之傾斜觀測管共有 16 孔，以手動方式每半個月監測一次，各傾斜觀測管設置相關資料彙整如表 2-12 所示。

表 2-12 傾斜觀測管基本資料一覽表(青山工程顧問有限公司，2006)

儀器編號	儀器位置			A+方位角	埋設深度(m)
	X 座標	Y 座標	高程(m)		
C-1	213315	2591759	734.0	278°	34.5
C-3	213366	2591738	746.5	262°	40.0
C-7A	213067	2592242	622.3	232°	60.0
C-10	212912	2592281	566.5	358°	80.0
C-12A	213366	2591941	757.3	274°	40.0
04-1	213150	2592189	663.6	292°	100.0
04-2A	213137	2592136	667.1	290°	100.0
04-4	213455	2591939	789.4	276°	100.0
B-1	213316	2591734	886.1	273°	100.0
B-3	213721	2591928	886.2	286°	100.0
B-5	213123	2591988	639.1	283°	100.0
B-8	213374	2592092	746.9	298°	200.0
B-12	213282	2592321	636.7	352°	80.0

其中 C-1、C-3、C-12A 等 3 孔傾斜管，因裝設深度較淺，並無法提供所需之監測成果，故目前已暫停其量測作業。C-7、C-10、04-2A、04-4 及 B-5 孔則因地層變位過劇，於量測時發現傾斜管之管身已產生大角度彎曲變形或甚至折斷，已無法再進行後續之觀測作業。

由傾斜觀測管之管口位移歷時曲線得知（詳圖 2.10），以位於二彎（C-10）、四彎（04-1）、六彎（B-8）附近之傾斜管為例，其均有顯著之位移變化，由監測結果研判，以 5 月~10 月期間之變位速率較大，約 2 cm/月，其他時間之變位速率雖有減緩現象，但仍處於持續位移狀態，變位速率為 1.5~2.5 mm/月。

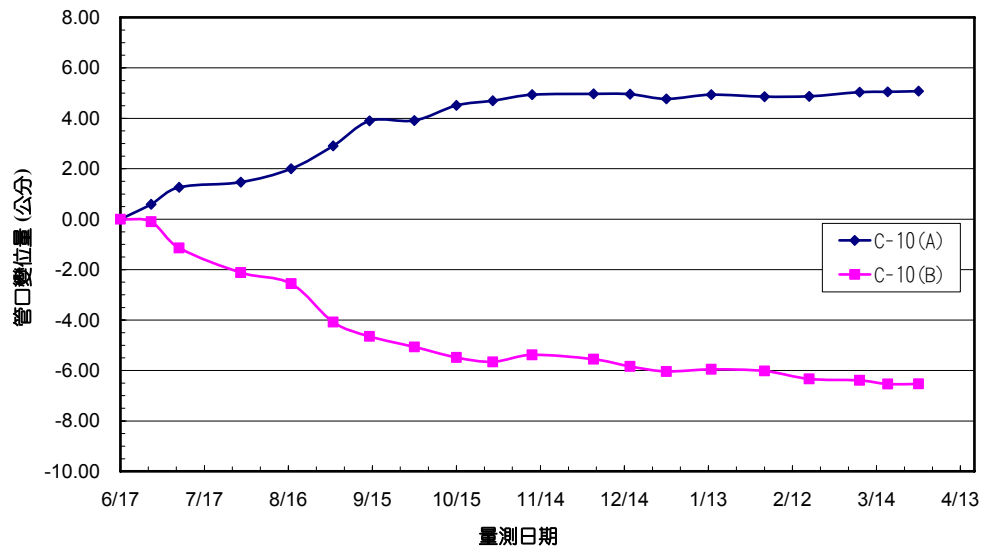


圖 2.10 C-10 傾斜觀測管之管口位移歷時曲線圖

裝設於裸坡及其上邊坡（新闢便道附近）計有 04-4、B-5、05-3、05-7 等孔，由觀測結果顯示（如圖 2.11~圖 2.12），裝設於裸坡之 B-5 孔於非雨季期間仍有高達 2 cm/月之變位速率，故裝設不久後即因管身變形過大而損壞；04-4 孔於雨季期間（5 月~10 月）有較大之位移趨勢，月變位量約 1.2 cm，其他時間之變位速率則有明顯減緩現象月變位量約 1~1.5 mm，但仍處於持續潛移滑動狀態。

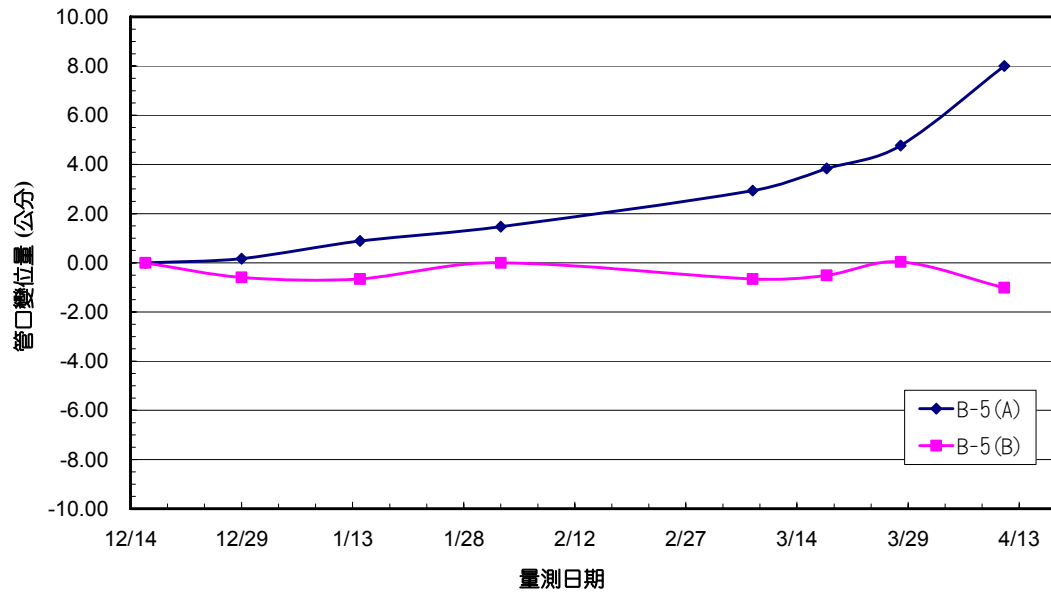


圖 2.11 B-5 傾斜觀測管之管口位移歷時曲線圖

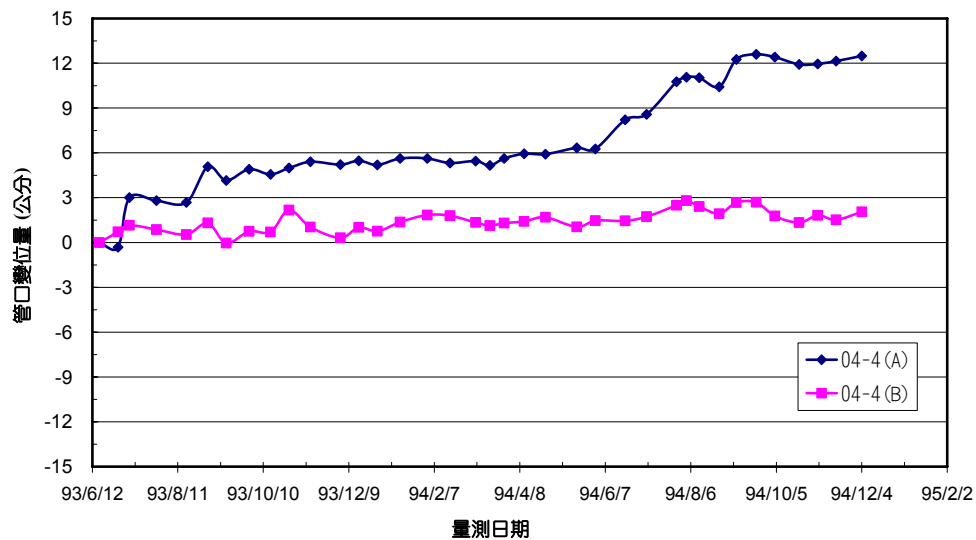


圖 2.12 04-4 傾斜觀測管之管口位移歷時曲線圖

4. 結構物傾度盤及電子式傾斜觀測結果

一般而言，如無外力不當干擾之情形下，結構物傾度盤之傾斜變化若超過 1 分（60 秒），應可判斷邊坡已有滑動或不穩定之徵兆。五彎仔地滑區共裝設 20 組手動監測之傾度盤，以及 3 組自動

化監測之電子式傾斜計，其目的主要用以瞭解五彎仔地滑區之不穩定區域分佈狀況。

手動監測之傾度盤 1 方向之方位角彙整如表 2-13 所示，依據監測結果顯示，裝設於「二彎、四彎」附近及「新關便道上邊坡」附近之傾度盤均有持續朝同一方向傾斜現象，以裝設於四彎之 TI-5 為例（圖 2.13），其傾斜量已達近 800 秒，而裝設於新關便道上方小徑之 TI-14 及 TI-16，其傾斜量更高達 1,000 秒以上，詳見圖 2.13~圖 2.15 所示。

表 2-13 結構物傾度盤成果表(青山工程顧問有限公司，2006)

傾度盤編號	1 方向方位角	傾度盤編號	1 方向方位角
TI-1	N26E	TI-11	N25E
TI-2	N78E	TI-12	N70W
TI-3	N14E	TI-13	N64W
TI-4	N8E	TI-14	S84W
TI-5	N22W	TI-15	S46W
TI-6	N50W	TI-16	N70W
TI-7	N10W	TI-17	N66W
TI-8	N40W	TI-18	S90W
TI-9	N20W	TI-19	N80W
TI-10	N64W	TI-20	N44W

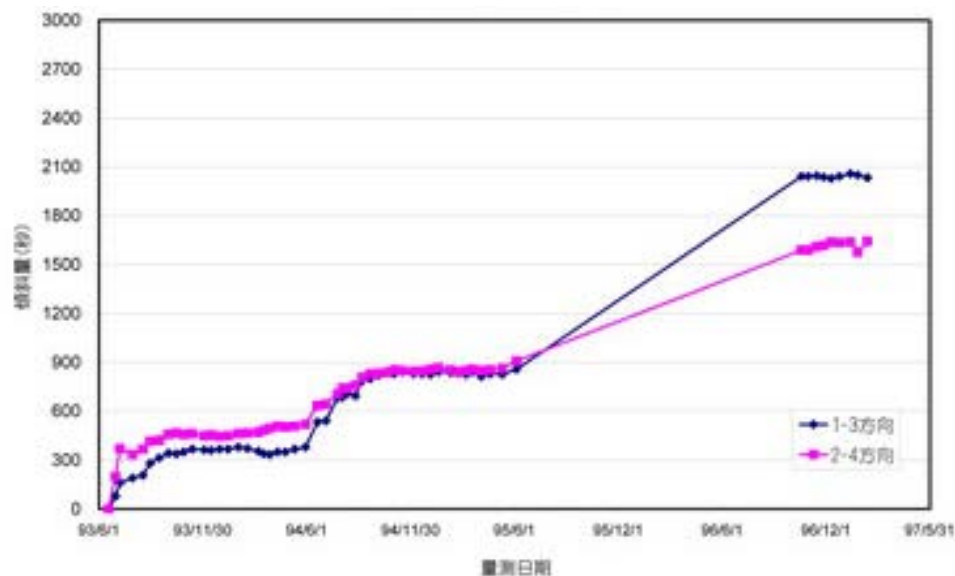


圖 2.13 TI-5 結構物傾度盤監測成果(青山工程顧問有限公司，2006)

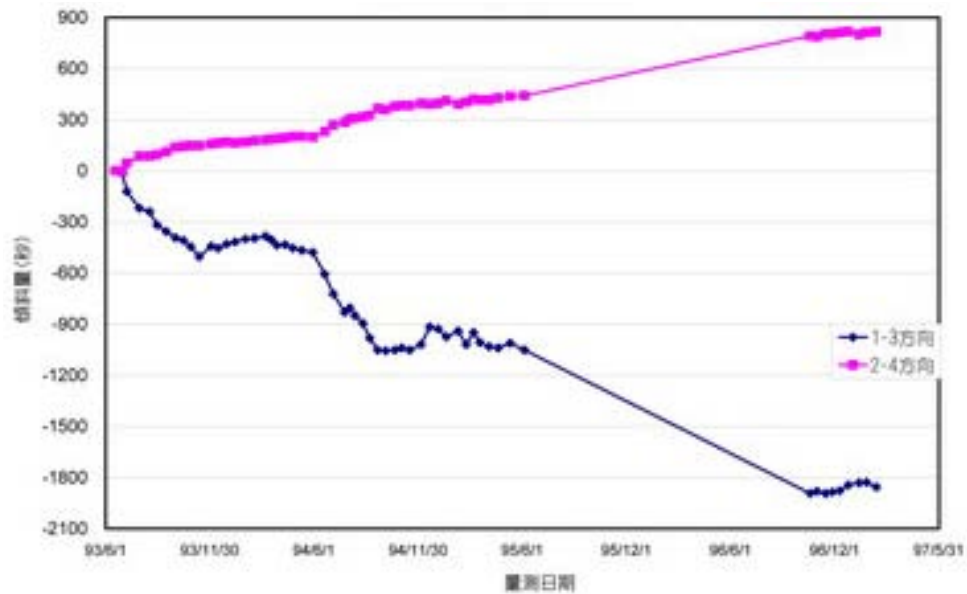


圖 2.14 TI-14 結構物傾度盤監測成果(青山工程顧問有限公司，2006)

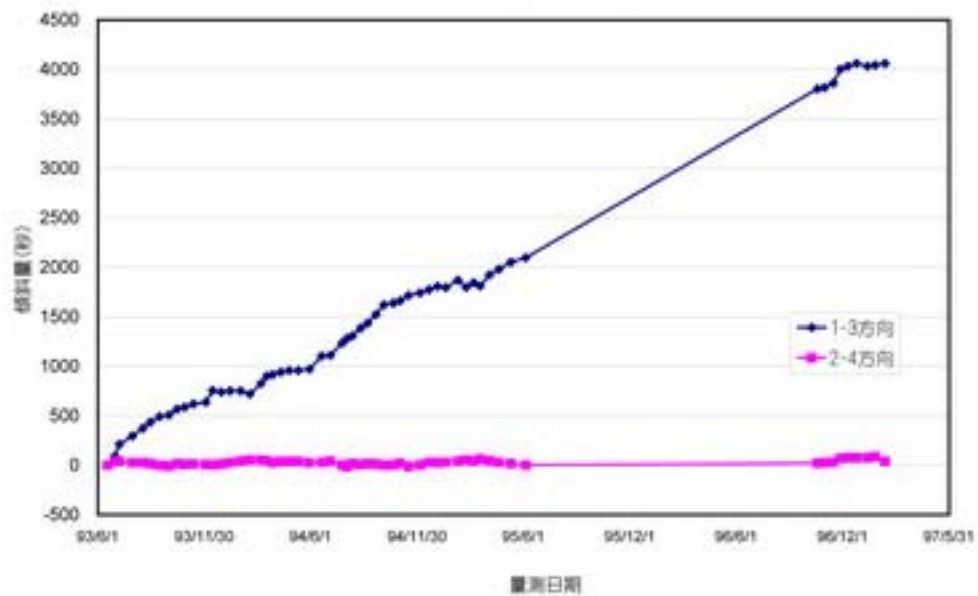


圖 2.15 TI-16 結構物傾度盤監測成果(青山工程顧問有限公司，2006)

至於自動化監測電子式傾斜計部分，則分別設置於二彎、四彎及六彎附近，其監測結果如圖 2.16~圖 2.18 所示，其中裝設於四彎及六彎擋土牆之 EI-2 及 EI-3 皆有向下邊坡方向持續傾斜之情形，EI-2 累積傾斜量約有 300 餘秒，EI-3 之傾斜量則已達 800 餘秒。

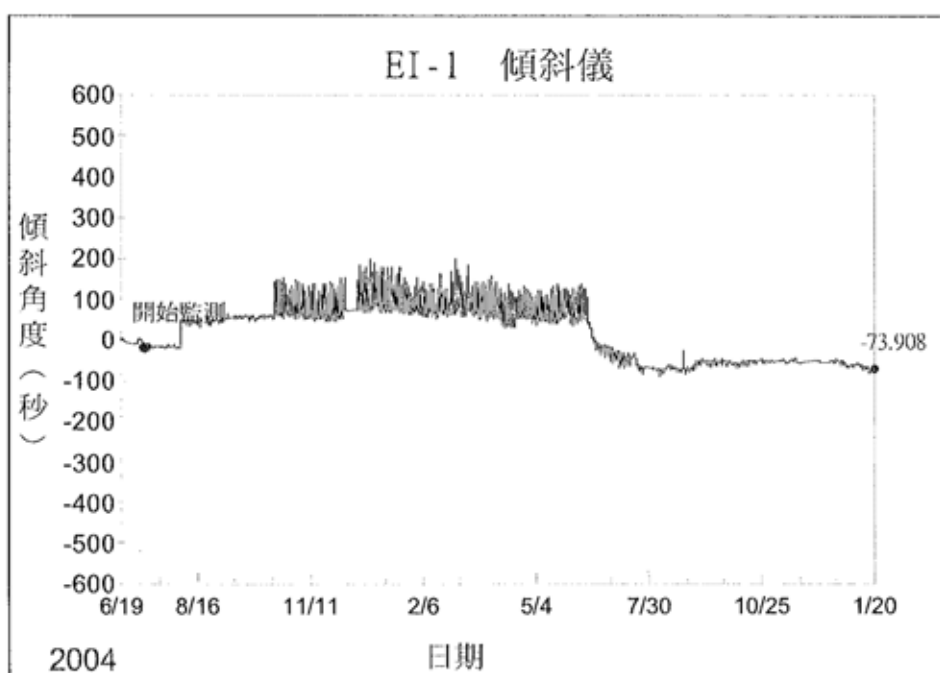


圖 2.16 EI-1 電子式傾斜儀監測成果圖(青山工程顧問有限公司，2006)

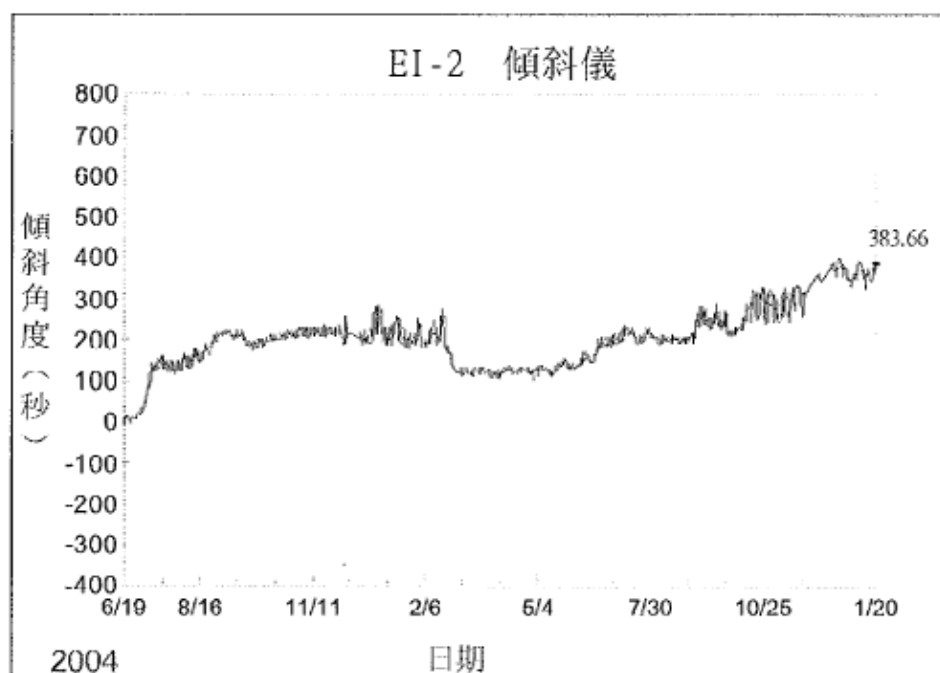


圖 2.17 EI-2 電子式傾斜儀監測成果圖(青山工程顧問有限公司，2006)

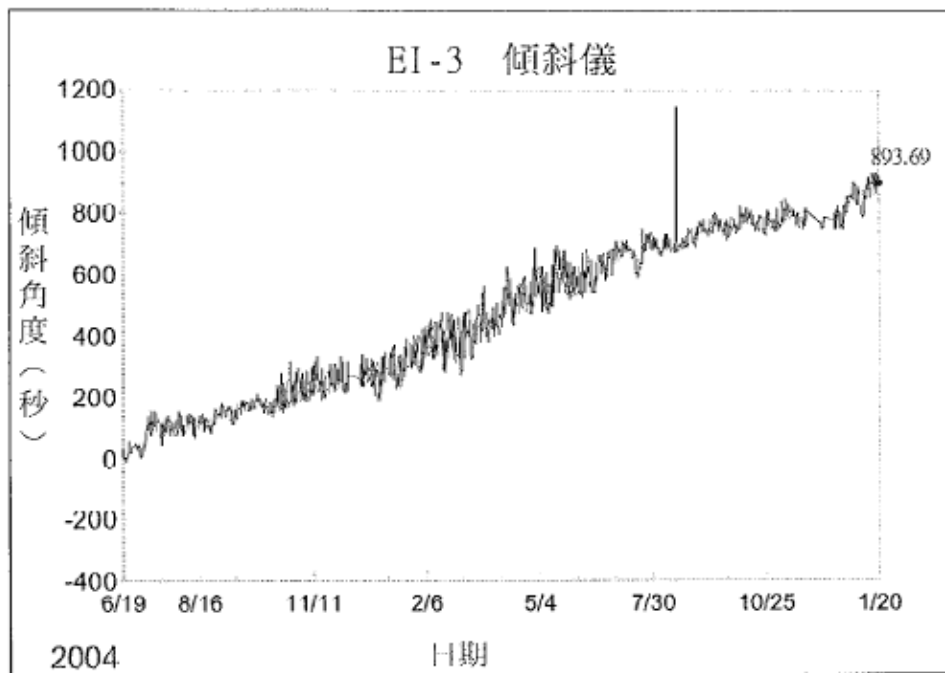


圖 2.18 EI-3 電子式傾斜儀監測成果圖(青山工程顧問有限公司，2006)

2.3 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌預警監測自動化系統

在道路邊坡崩塌預警方面，除可依據平日觀察、檢視地表徵兆、增加巡視重點與頻率外，亦可透過裝置在現地監測儀器所量測之數據進行判讀作業。至於預警自動化監測系統則係指，監測系統本身具有自動量測、記錄、傳輸、建檔等功能。而自動化之主要目的，除針對偏遠或無法到達之區域進行監測作業外，亦可對於較為危急之區域或特殊設施，達到全時之監測作業，以確實掌控現地實際狀況。

依據研究團隊歷年針對臺灣山區道路進行現地調查作業之經驗結果可發現，臺灣公路邊坡於整治時，使用大量使用地錨、土釘等整治工法來輔助邊坡之穩定，然針對上述之邊坡穩定設施，目前國內僅有載重試驗可以量測其殘餘應力，並無相關之技術，可以進行其安全之監測作業，然針對預力之損毀可能造成之瞬時崩壞，相關人員卻無法有效地掌控其之時間點，進而降低災害發生規模。有鑑於此，實有必要與需求針對國內道路邊坡監測方面，開發一套專屬之地錨安全觀測

系統。

用於輔助於邊坡穩定之地錨工法，因埋置於無法完全掌握之地盤中，故於地錨施工錨碇後或完工之服務階段，均有可能由於地錨之設計或施工未盡周延、地層潛變、鋼鍵腐蝕等因素，導致地錨抗拉力未達設計要求或產生預力損失而降低其原設計之性能，甚至發生災害。因此，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，若能做好地錨之安全管理與觀測，建立完善之坡地管理制度，將可大大降低坡地災害之發生。

臺灣道路邊坡常見於觀測地層穩定之監測儀器莫過於傾斜觀測管，但依據 2.2 節內容所述，傾斜觀測管裝置於現地時，常因地層變位過劇，往往裝設不久後即因管身變形過大無法量測，不但觀測使用壽命短，無法長時間提供變位數據，供作坡面穩定判讀之用，反而常常因此而將用來量測數據之監測儀器掩埋於管身中，造成研究資源之浪費。除此之外，國內現有之傾斜觀測管皆為 2D 雙向量測，主要係透過向量計算求得現地之位移量，然歐美國家現今於現地監測作業時，亦已開始採用陣列式位移計，針對 3D 土壤變位進行自動化監測作業，此監測技術除可透過自動化之及時傳輸功能，得到現地 3D 變位資料外，此監測儀器亦可容許較大之環境變形，確實解決國內傾斜觀測管於監測作業之缺點。

綜合上述，倘若國內區域性道路專屬之邊坡崩塌監測預警自動化系統，能考量地錨之安全管理，並隨時掌控傾斜觀測管之讀數資料，建立完善之坡地管理制度，再結合傳輸效能、功率高且訊號穩定之無線傳輸通報系統，則將可大大降低臺灣坡地災害之發生。有鑑於此，本章節以下內容將針對國內外運用於地錨工程、傾斜觀測管，以及無線傳輸系統之先進技術進行說明，在未來的研究中，亦擬將參考相關技術，研發適合國內區域性道路邊坡崩塌預警監測自動化系統。

2.3.1 聲波式預力監測系統

錨拉式擋土牆或護坡在某些特殊之工程問題（如高挖方、具深層破壞潛能之邊坡等），確實為一有效且經濟之工法，亦曾廣為工程界所使用。惟許多案例顯示，地錨工法在設計與施工品質未能有效確實管控下，一旦發生災害，所導致的傷亡或損失，相對於其他擋土或邊坡穩定工法都顯得特別的嚴重，其中以民國 86 年汐止林肯大郡之順向坡坍塌及地錨嚴重破壞最為人所知，且其所導致之人命傷亡及損失亦最為嚴重。

由於地錨係埋設於無法完全掌握之地盤中，其完工後之服務階段，可能因設計或施工未盡周延、地層潛變、鋼鍵腐蝕等因素，造成地錨之預力損失而降低其性能，甚而發生災害。因此永久性地錨於完工階段後之性能檢測或監測，實為坡地安全管理上之重要課題。

目前對於現有地錨之檢視，較常使用的為目視檢視及揚起試驗等方法，可檢測出地錨之防蝕及抗拉功能，然而，這些檢測方式僅為對特定之地錨進行檢驗，無法達到全面性及連續性之效果，因此節將介紹應用聲波式預力監測系統於地錨工程之試驗案例，並探討其效益及成果。

1. 系統之原理與組成設備

當混凝土開裂或高拉應力鋼元件（如鋼鍵、鋼纜、鋼棒）損壞時，會突然釋放出能量，這能量在通過結構物時會以聲波反應的形式發散出來，而這種能量可由安裝在結構體表面的感應器偵查到，如圖 2.19 所示。藉由聲波能量釋放之形式以及聲波傳到達每個感應器所需的時間來判定信號的種類，並藉以推估來源的位置，如圖 2.20 所示。感應器亦會偵查到其他聲音，如交通噪音和各種的碰撞聲，該系統會進行過濾，留下僅符合預設振幅和頻率特徵之信號。在系統過濾淘汰非破裂事件後，資料經由網際網路被傳輸至資料處理中心的電腦，以分析每個事件的位置、原因和時間等項目，系統

之作業程序如圖 2.21 所示，並可依據業主之意願，設定何種損壞程度需立即告知業主或管理者。而業主一旦經過認證後，則可使用個人電腦經由網際網路連上系統的網站，輸入委託人的名稱及密碼，即可得到結構物最新的監測資料。此系統之組成設備包含資料擷取系統與聲波感應器，如圖 2.22 與圖 2.23 所示。

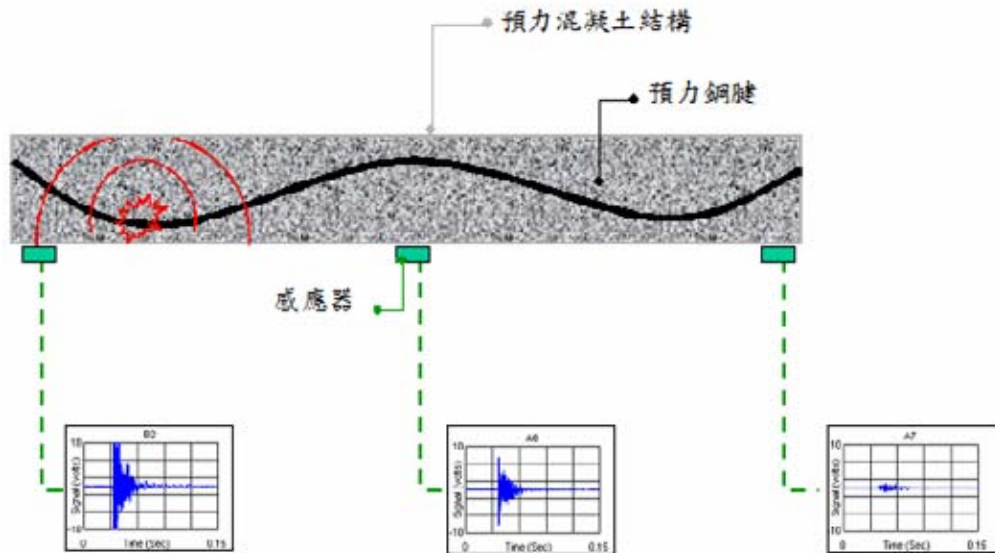


圖 2.19 聲波量測的基本原理

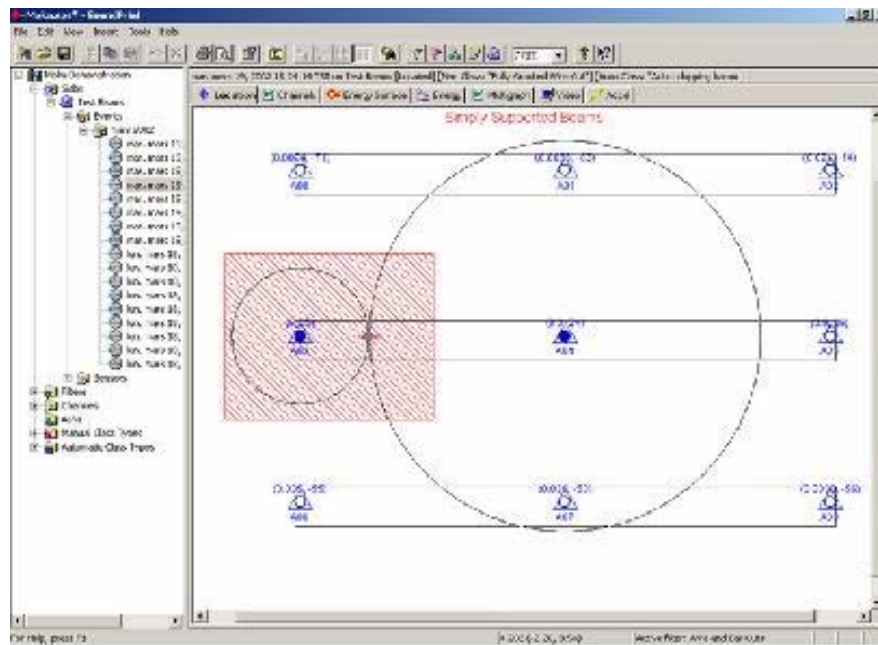


圖 2.20 事件發生位置的判斷

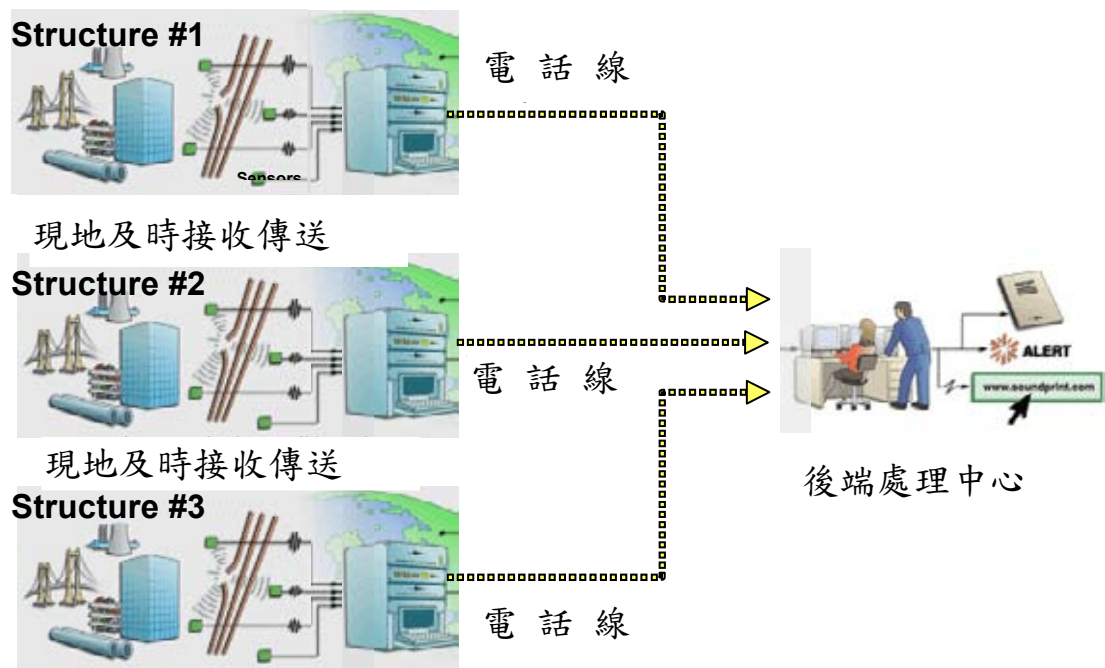


圖 2.21 系統運作模式



圖 2.22 資料擷取系統



圖 2.23 聲波感應器

2. 國內試作驗證案例

聲波式預力監測系統在歐美及日本已有相當多的應用實例，也確實發揮監測預力系統安全的成效，但仍未在預力地錨使用過，本試驗之目的即為驗證該系統在預力地錨之可行性，因此財團法人臺灣營建研究院、國立臺灣科技大學曾與派爾國際工程公司合作，將對此套技術在臺灣進行全世界第一次的地錨工程試驗，以期了解其相關特性。

(1) 試驗內容與原理

此試驗主要分為兩個部分，一為測試老舊的地錨（1994 年），一為新設的地錨（2003 年）。此試驗所欲選擇之工址為滑動中的地層，希望藉由地層之自然滑動現象來真實反應出預力鋼鍵的破壞情形；但限於時間的因素，此試驗亦將同時進行揚起試驗，希望能利用聲波式預力監測系統在短時間內收集到較多之預力鋼鍵破壞的聲波資料，試驗項目包含應力應變之歷時量測、地錨斷裂或拉脫之聲波量測、鋼鍵斷裂位置量測。

此試驗場地位於臺灣科技大學基隆校地，其平面圖如圖 2.24 所示，由於考量邊坡在試驗過程之安全問題，因此將試作的地錨選擇在擋土邊坡之最邊緣，又為了避免舊地錨在進行揚起試驗時影響到新設地錨，所以將新地錨設在距舊地錨一個格梁外，新設地錨係在現場作業完成並養護約 35 天後始進行。



圖 2.24 地錨試驗場地全視圖

(2) 試驗過程說明

a. 聲波式預力監測系統安裝

此試驗共安裝了 13 個聲波感應器，其位置如圖 2.25 所示，並將聲波感應器連接上資料擷取統；並利用反彈錘進行測試，以確定是否每個感應器皆有作用；然後與揚起試驗之資料擷取系統對時，開始進行聲波資料的收集。

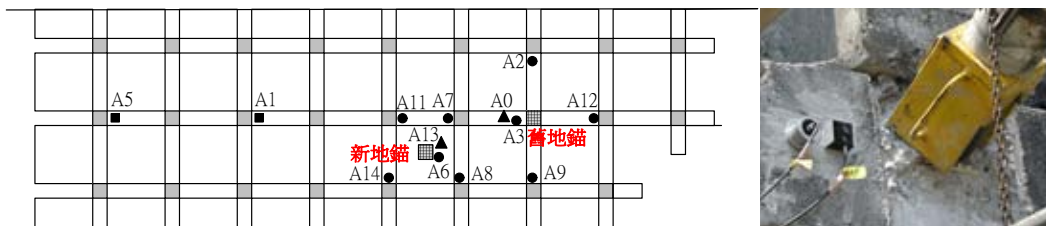


圖 2.25 聲波感應器分佈示意圖

b. 揚起試驗（拉拔試驗）

由於既有地錨及新設地錨之試驗方式略有不同，茲分述其試驗步驟如下：

既有地錨（試驗編號為 #1）先以人工方式敲除試驗用地錨的錨頭，並將錨頭多餘鋼腱切除及清除錨頭之污銹物，而

後以夾具夾住錨座，並裝上支撐座、拉棒、千斤頂、荷重計及變位計等試驗設備。

新設地錨（試驗編號為#2）為採次試驗所打設，埋設長度 20 公尺，養護完成後約 35 天進行試驗；因有足夠的鋼鍵長度，可直接安裝夾片、千斤頂、荷重計及變位計等試驗設備。

揚起試驗分階進行施拉及解拉程序，最後階段為施拉至鋼鍵拉斷或拉脫，各階段荷重之錨頭變位量，以初始荷重之量測值為基準值；當施拉至各階段荷重時，均維持一段時間，俟變位穩定，並定時進行量測工作。而各階段施拉時量測之項目包含荷重、變位量、時間。

(3)試驗結果與討論

a. 既有地錨試驗成果（試驗地錨編號#1）

揚起試驗成果整理如表 2-14 所示。既有地錨揚起試驗施拉至第 7 階段（44 噸）後，錨頭之變位量有逐漸加大情形，判斷該地錨之既存殘餘荷重約為 48 噸，而施拉至 62 噸後，錨頭變位持續大量增加，研判應已達其極限荷重，至此地錨之錨碇段與地層間已產生拉脫現象。

表 2-14 既有及新設地錨設計條件

試驗地錨 編號	設計預力 (噸)	設計長度(m)	地錨俯角 (度)	鋼鍵規格 12.7 mm	最大 荷重 (噸)	試驗成果	
						殘餘荷重 (噸)	破壞型式
#1	60	21	25	6 條 7 股	62.0	48.0	錨碇段拉脫
#2	未施預力	20 (錨碇端 10m)	25	3 條 7 股	40.7	—	鋼鍵斷裂

既有地錨揚起試驗之荷重施拉過程如圖 2.26 所示，初期的施加荷重每次增加 8 噸，當到達地錨之設計荷重時在改為 4 噸。聲波式預力監測系統收集到之聲波資料如圖 2.27 及圖 2.28

所示，由圖中可看出初期之施拉過程並沒有破壞產生，當荷重增加至 27 噸時，錨定端開始發生混凝土開裂，顯示能量開始損失，而錨頭之變位量有逐漸加大情形。當荷重增加至 44 噸時混凝土開裂量徒然增加，相對的能量大量釋放。此時之荷重接近設計荷重，即 40 噸。當施拉至 62 噸後，錨頭變位持續大量增加，研判應已達其極限荷重，至此地錨之錨碇段與地層間已產生拉脫現象。

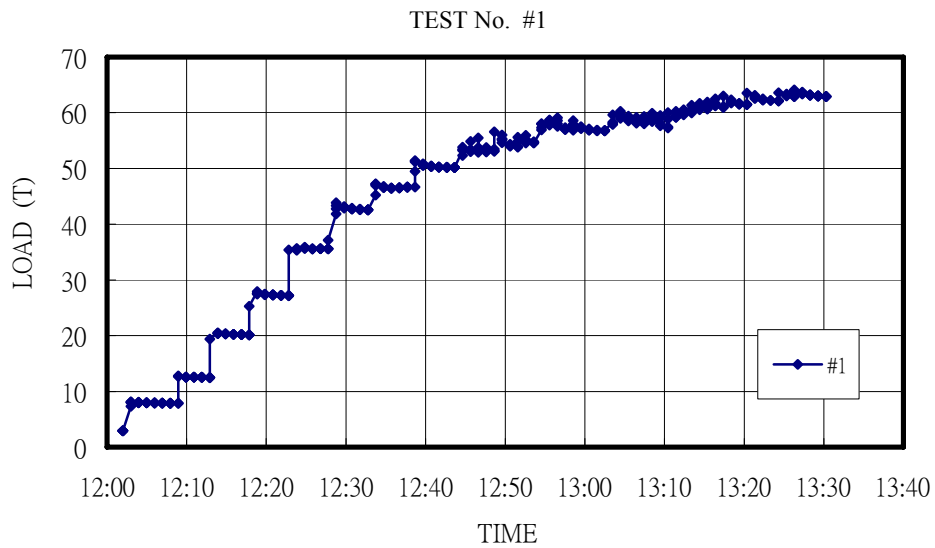


圖 2.26 既有地錨揚起試驗荷重與時間關係圖

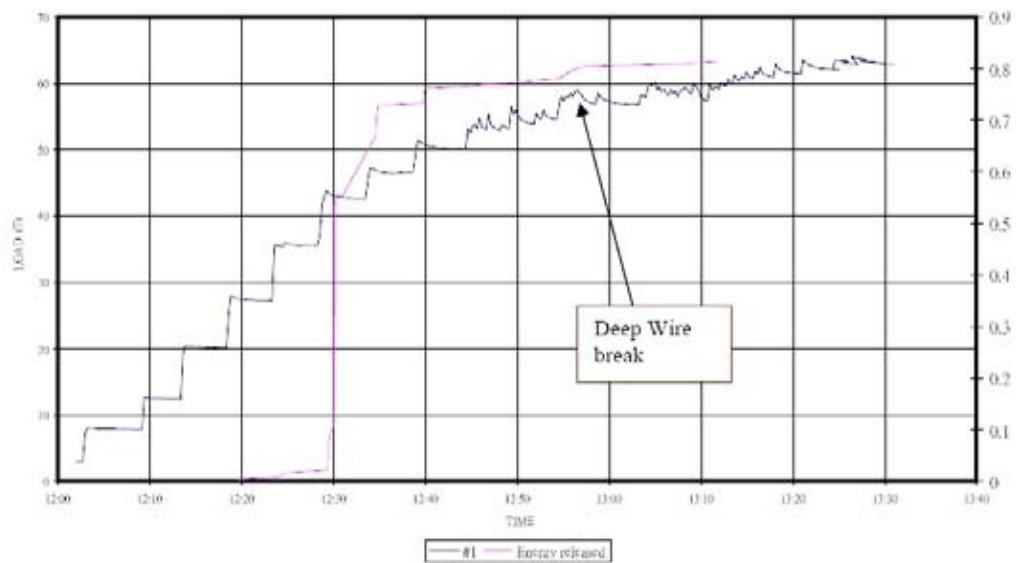


圖 2.27 既有地錨施加荷重及聲波能量之關係圖

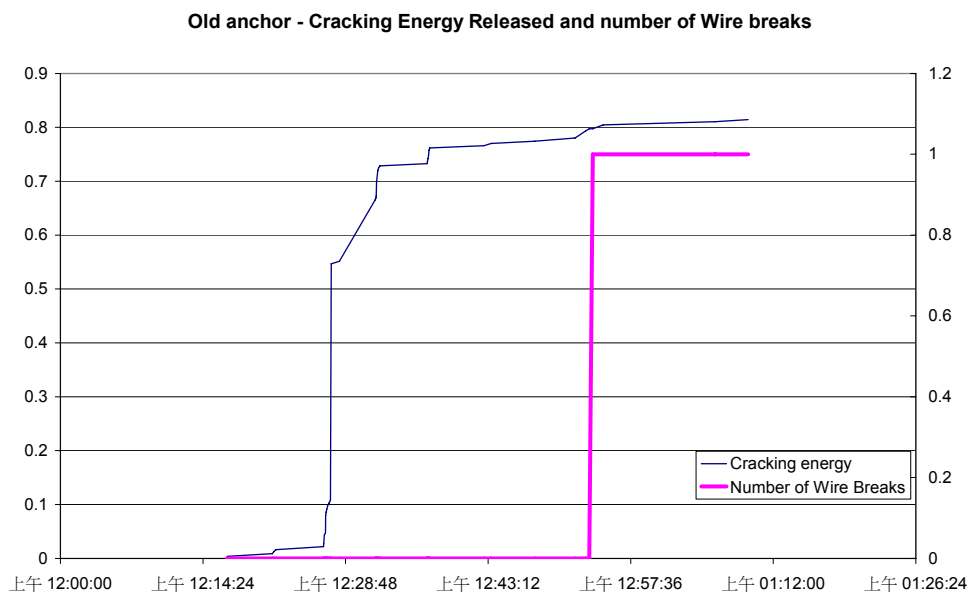


圖 2.28 既有地錨聲波能量釋放與鋼鍵破壞數量圖

在既有地錨試驗過程中，聲波式預力監測系統收集到的聲波主要分為兩種，一為混凝土開裂，另一為深層鋼鍵之斷裂，兩者之震波型式如圖 2.29 所示，由圖中可很明顯看出兩者頻譜圖之不同。

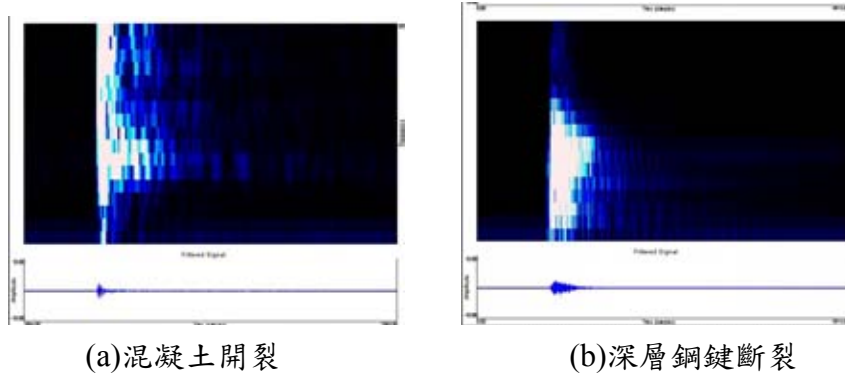


圖 2.29 聲波感應器所收集到之破壞震波

在所有的混凝土開裂或鋼鍵斷裂發生時，各個聲波感應器將接收到由開裂或斷裂處所傳至各接收器之震波。由不同之感應器所得之振幅如圖 2.30 所示，利用各感應器所接收到的能量大小及時間差，可分析出混凝土開裂或鋼鍵斷裂所在之位址。圖 2.31 左顯示經由此程序所判定混凝土開裂之所在地，判別過程是先由個別接收器之初達波以決定開裂距離，如圖中圓圈所代表之位置，再由數個接收器所訂出之圓圈以決定確實之位址，相同之程序亦可用於判定鋼鍵斷裂所在之位址，如圖 2.31 右所示。

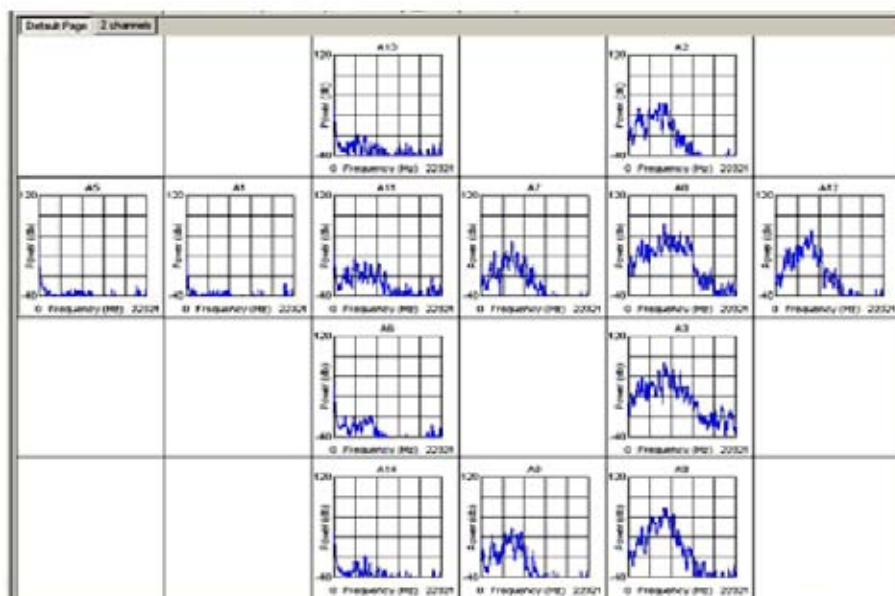


圖 2.30 各感應器所接收到之聲波

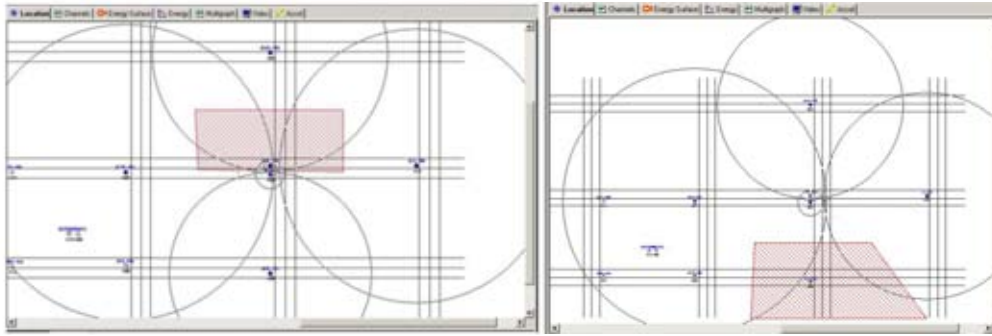


圖 2.31 經由判定後在既有地錨實驗中破壞之位址

b. 新設地錨試驗成果（試驗地錨編號 #2）

新設地錨揚起試驗成果整理如表 2-14 所示。圖 2.32 顯示在新設地錨實驗中所施加荷重與能量之關係圖，新設地錨揚起試驗施拉至 32 噸後，進行第一階段卸載，於施拉接近 40 噸之後，部分鋼鍵開始有遭拉斷情形。

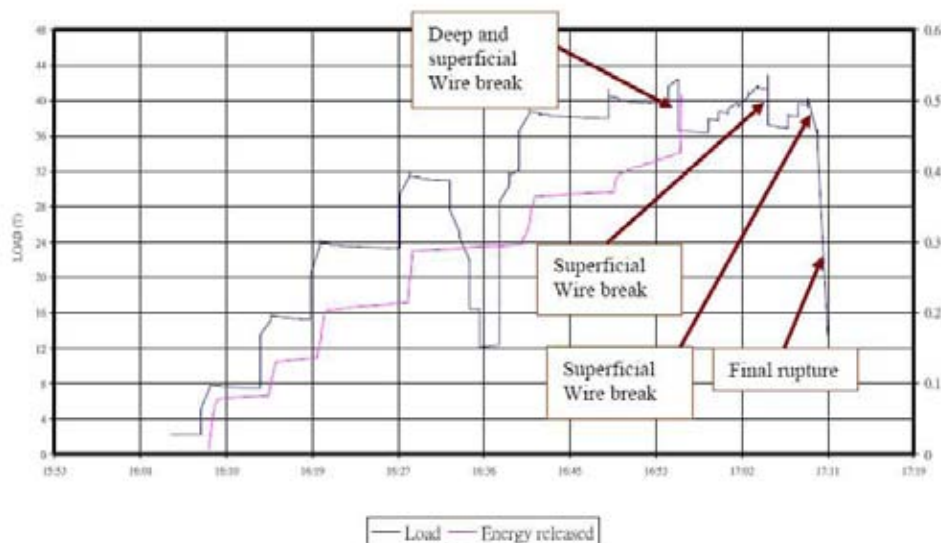


圖 2.32 新設地錨揚起試驗荷重與位移關係圖

新設地錨揚起試驗聲波式預力監測系統收集到之聲波能量釋放與鋼鍵破壞數量資料如圖 2.33 所示，由圖中可看出不同於既有地錨試驗，每次荷重之增加都會發生混凝土開裂。當施拉荷重接近 40 噸之後，此系統發現部分鋼鍵開始有遭拉

斷情形，之後在荷重增加的過程中此系統共監測到 7 次的鋼鍵斷裂，直到錨定端與鋼鍵完全被拉拔脫落。當觀察試驗完成後之鋼鍵情形，試驗鋼鍵共計有 3 股，一條斷裂於距離錨頭約 1m 處，一條則斷裂於距離錨頭約 1.5m 處，其餘為深層斷裂情形，由此顯示所監測到之狀況與事實吻合。

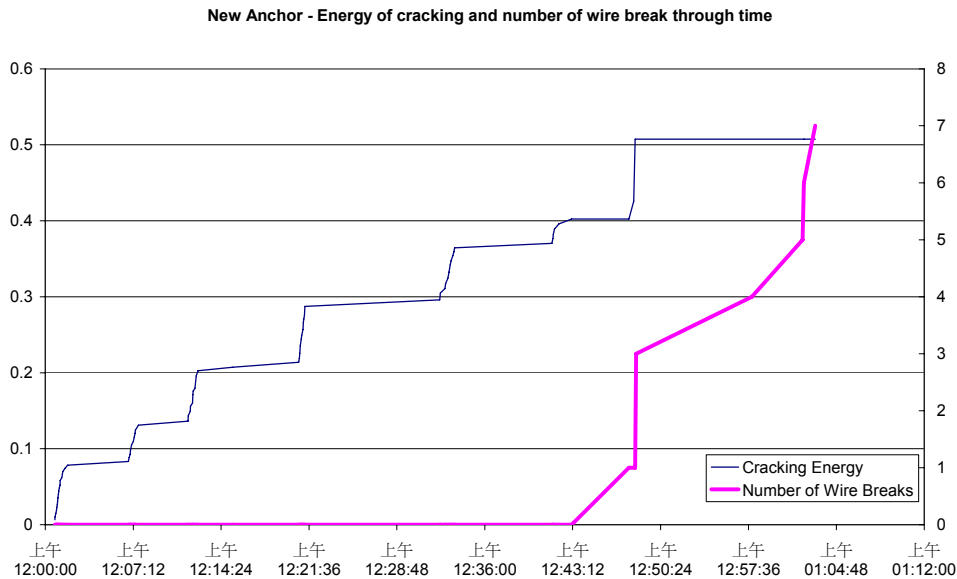


圖 2.33 新地錨實驗能量釋放與鋼鍵破壞數量圖

在新設地錨試驗過程中，聲波式預力監測系統收集到的聲波主要為較淺層鋼鍵之斷裂，其震波型式如圖 2.34 所示，可很明顯看出與圖 2.29 之不同，另各感應器收到之聲波能量如圖 2.35 所示。

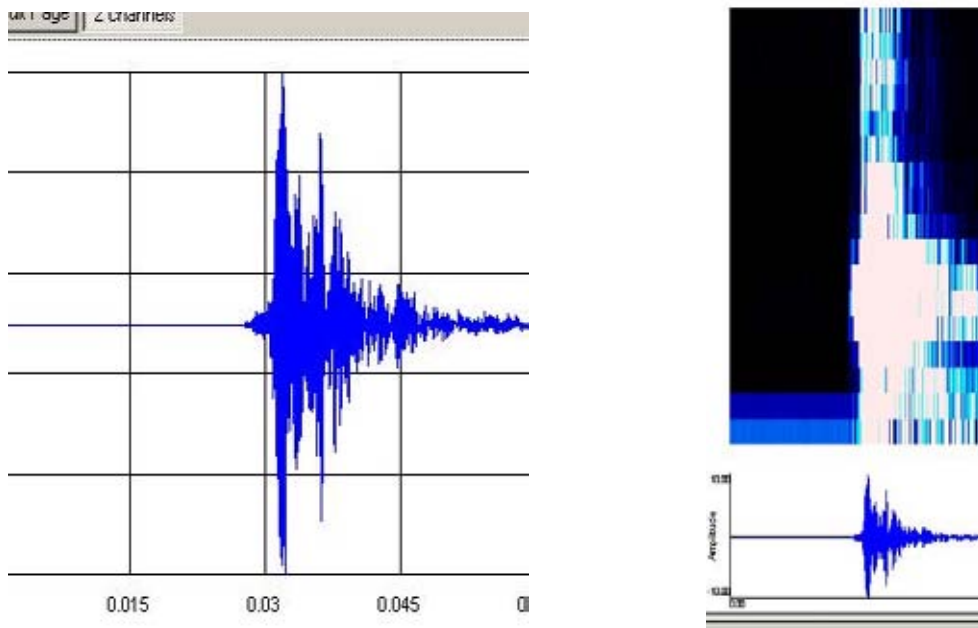


圖 2.34 收集到的淺層鋼鍵斷裂之震波

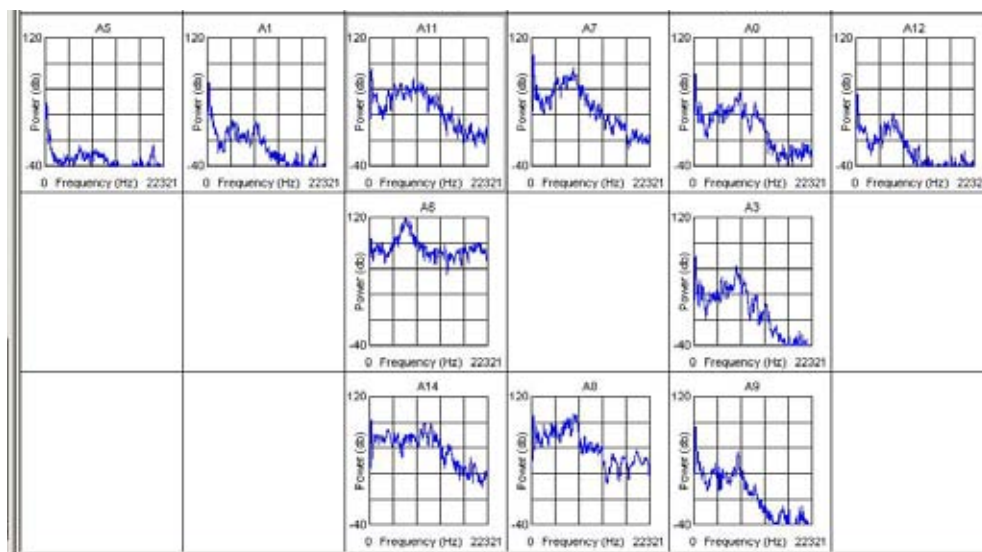


圖 2.35 各感應器所接收到之聲波

3. 研究成果與效益

在此次結合聲波式預力監測系統與揚起試驗的過程中，可很明顯看出來兩種不同型式地錨所表示出不同之破壞模式（試驗結果詳見圖 2.36 所示）。在既有地錨試驗中，其鋼鍵抗拉強度大於握裹

強度，因此隨著荷重的增加，混凝土逐漸開裂，直到鋼鍵之握裹力失敗，而使鋼鍵脫落，因此在當鋼鍵抗拉強度足夠時的破壞模式為深層握裹破壞與混凝土開裂。

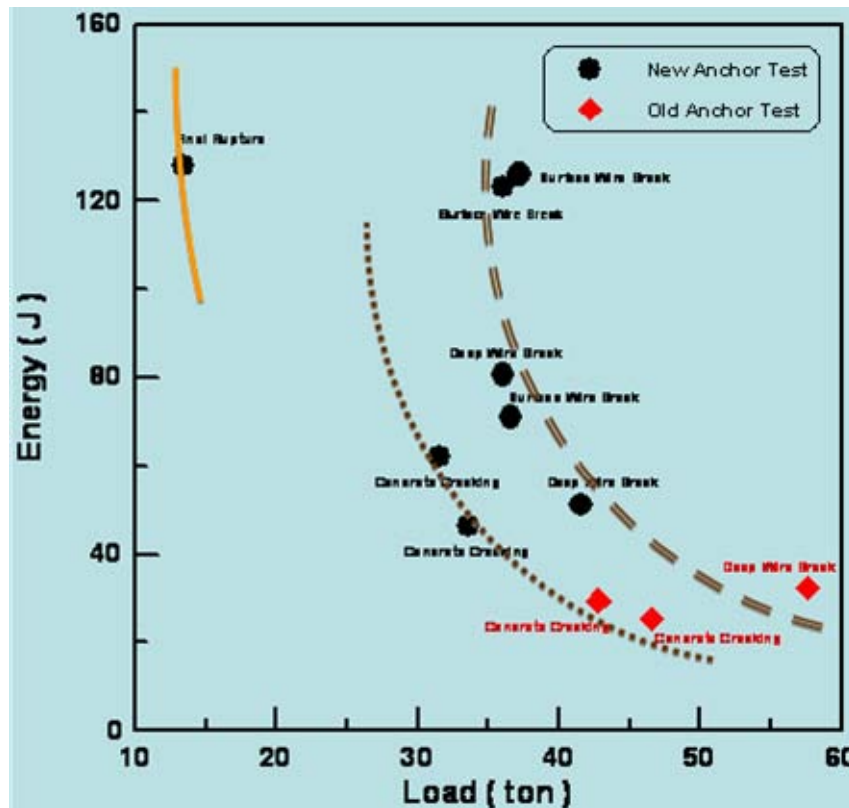


圖 2.36 新舊地錨試驗結果

而在新設地錨之試驗中，埋設之鋼鍵數量較少，故其鋼鍵抗拉強度小於握裹強度，除了發生混凝土開裂，監測系統亦觀測到數次之鋼鍵斷裂，試驗後之檢測亦觀察到在近牆面處之鋼鍵有斷裂之情況。

在實際工程中，地錨之失敗可小至輕微之混凝土開裂，而因此衍生至局部或大區域鋼鍵脫落或斷裂，由以上之兩組試驗可驗證，聲波式預力監測系統可有效而準確的察覺地錨所可能發生之各種破壞狀況；對於使用者而言，由監測系統所觀測到之破壞狀況可作為預警系統之重要資訊，例如，地錨系統之初期損毀可由混凝土開裂狀況斷定；更進一步，當混凝土開裂範圍增加、鋼鍵之握裹力失

敗或鋼鍵斷裂開始發生，使用者可判斷地錨系統可能已遭破壞，由此可知，此監測技術提供一有效之預警系統，始能提早發現地錨發生失敗之徵兆。

本試驗成功地驗證了聲波式預力監測系統於地錨工程的適用性，歸納以上之試驗成果，可知使用此套系統可得以下之效益：

- (1)聲波式預力監測系統可準確地分辨出預力地錨之破壞模式，如鋼鍵握裹失敗、混凝土開裂、鋼鍵斷裂等情形。
- (2)聲波式預力監測系統可利用不同之感應器所接收到的聲波而決定發生破壞之位址，達到定址之效果。
- (3)地錨之安全監測系統一旦完成，可提供山坡地社區民眾與往來用路人生命財產與重要道路之安全保障，不但可作為預警系統，亦可作為將來維修補強的參考，僅需針對破壞之地錨進行單一之替換，節省全面性維修之費用。

由此可見，此系統可有效的偵測到現場地錨所發生損毀之時機及種類，並可作為一有效之預警系統，在地錨系統發生嚴重災害前，由監測系統瞭解破壞之位址、時機及嚴重性，而能即時施以應變措施。

2.3.2 陣列式位移計

本研究團隊為解決國內傾斜觀測管於現地量測位移量時，常因地層變位過劇，於傾斜管裝設不久後即因管身變形過大而無法繼續量測之困難，針對此點問題，研究團隊將於本小節針對歐美國家常用之陣列式位移計進行介紹（本研究僅針對儀器之原理、特點與應用進行資料蒐集，不涉及產品本身之專利問題）。

陣列式位移計為一新進監測儀器，其主要是將 3D 電腦動畫之科技運用於工程領域。陣列式位移計採用微機電感應方式及陣列式計算原理，可即時獲得連續變形曲線，不僅可用於傳統連續壁、邊坡之側向位移自動監測，亦可廣設於橋梁、路堤、隧道和油槽等結構體進行

即時監測（詳圖 2.37、圖 2.38）。

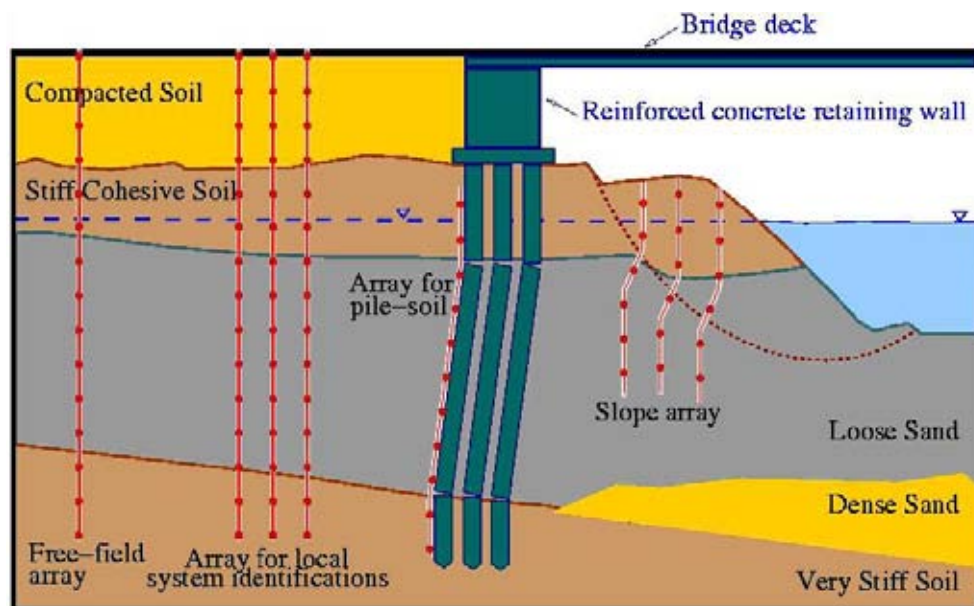


圖 2.37 陣列式位移計應用於工程領域

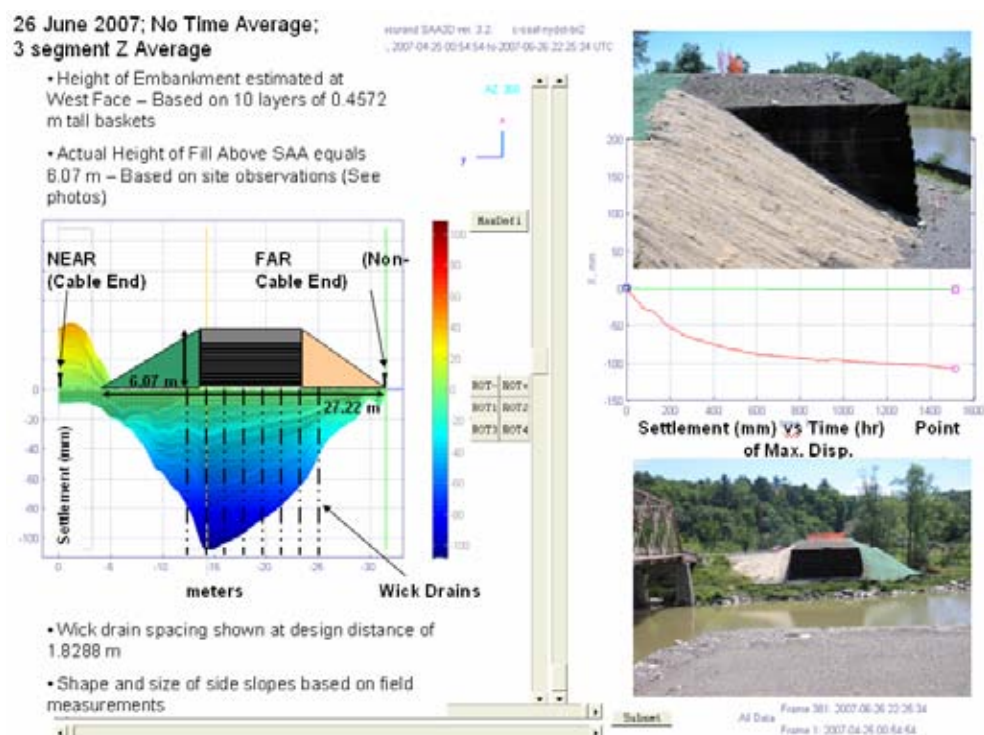


圖 2.38 陣列式位移計應用於路堤工程之分析結果展示

陣列式位移計之儀器本身，因其可選定 X、Y、Z 三軸之量測方向，故可運用於 3D 變位監測（詳圖 2.39、圖 2.40），除此之外，陣列式位移計可定期自動掃瞄記錄資料，亦可進行選定位置之動態資料擷取與頻譜分析，可減少監測數據資料之彙整分析作業。另外，儀器本身為客製化一體成形，50 公分內之自動量測間隔（如圖 2.41），可獲得更連續與精確之變形曲線，又加上儀器本身安裝簡易，不需傳統之傾度管，可減少現地安裝與回填之風險。至於資料傳送部分，其採用數位訊號傳輸（如圖 2.42），傳遞距離較傳統技術更遠，同時亦可避免傳送中之雜訊干擾。國外應用於邊坡之實際案例資料則詳見圖 2.43~圖 2.47 所示，其中，圖 2.43 為陣列式位移計與套管於現場安裝之狀況，圖 2.44 則為此套系統之電源供應器與無線傳輸設備，至於配合數值模擬結果之監測儀器配置圖則詳見圖 2.45 所示（量測初期之數據結果詳圖 2.46，一年後之量測結果則見圖 2.47）。

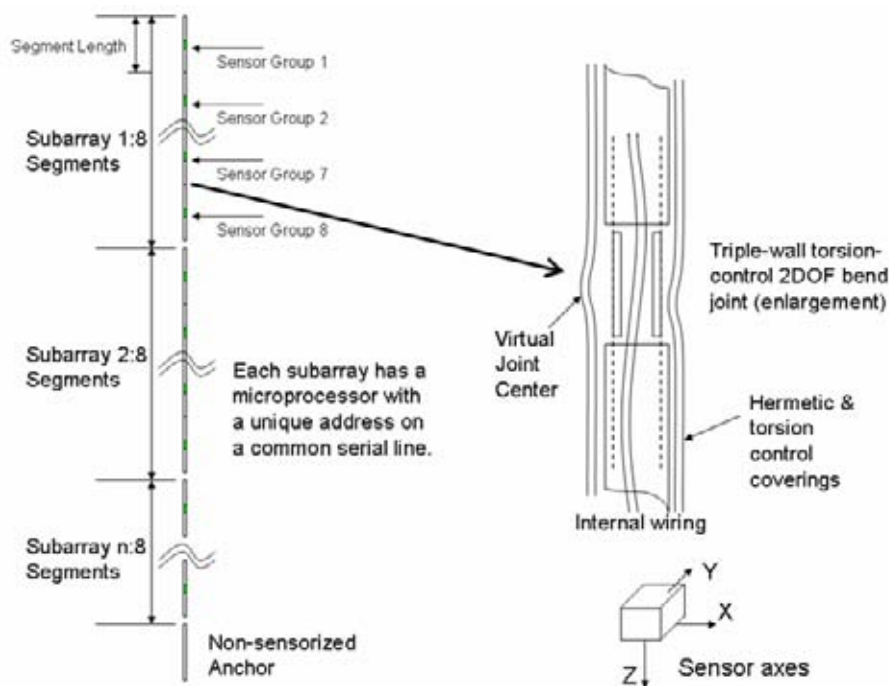


圖 2.39 陣列式位移計設計原理

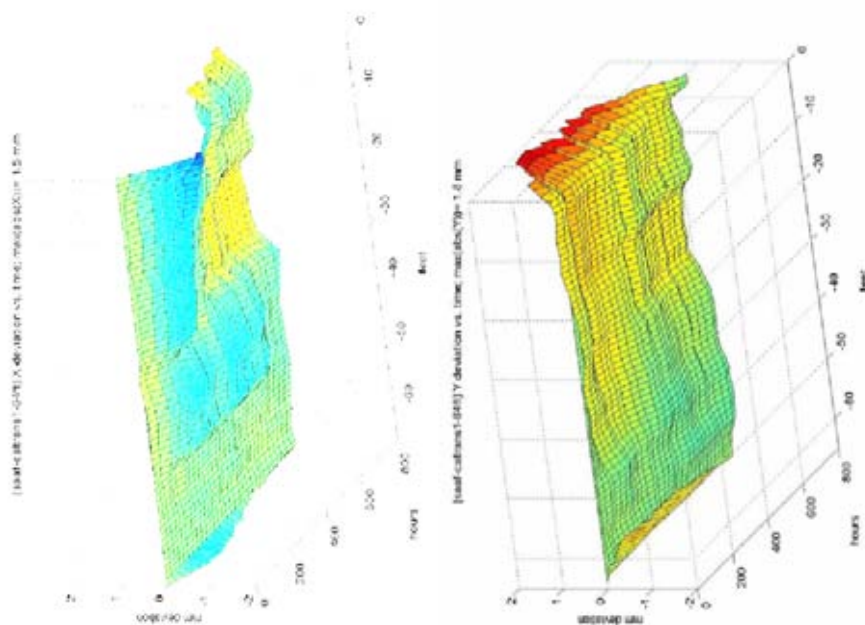


圖 2.40 陣列式位移計 3D 變位監測結果展示

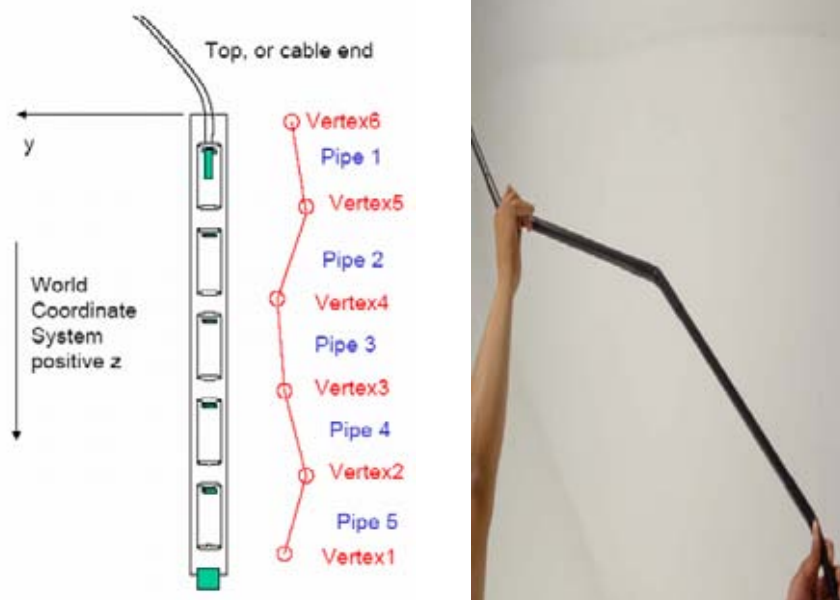


圖 2.41 陣列式位移計裝置示意圖



圖 2.42 自動化數位訊號傳輸示意圖



圖 2.43 現場安裝與佈設



圖 2.44 電源供應器與無線傳輸

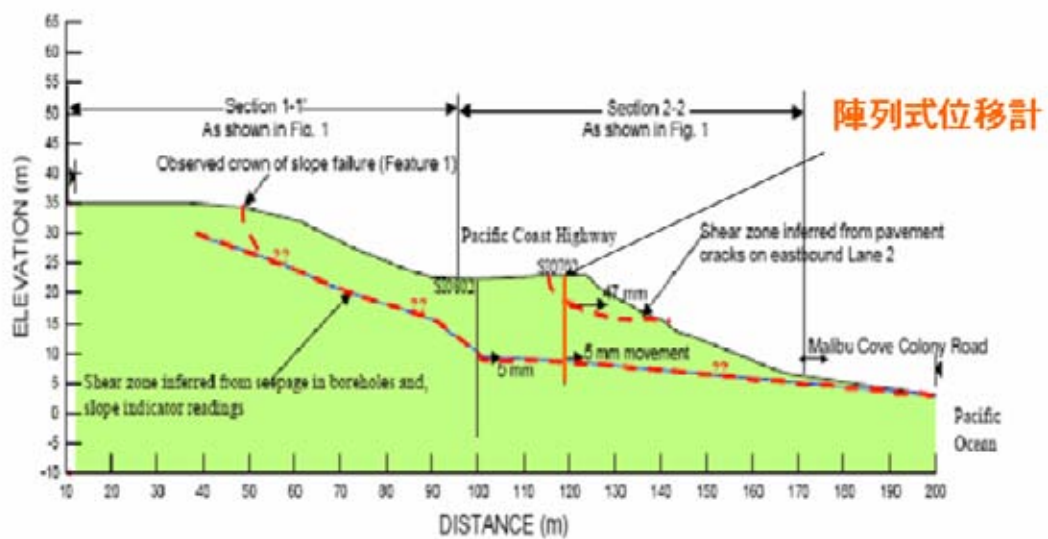


圖 2.45 陣列式位移計監測配置規劃示意圖

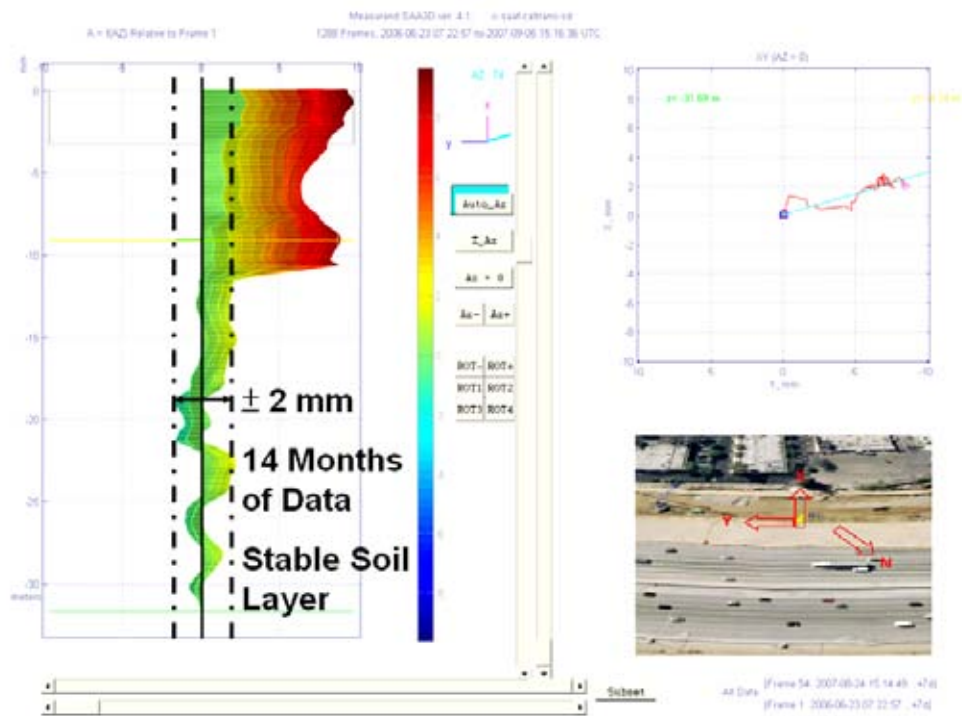


圖 2.46 初期監測結果顯示

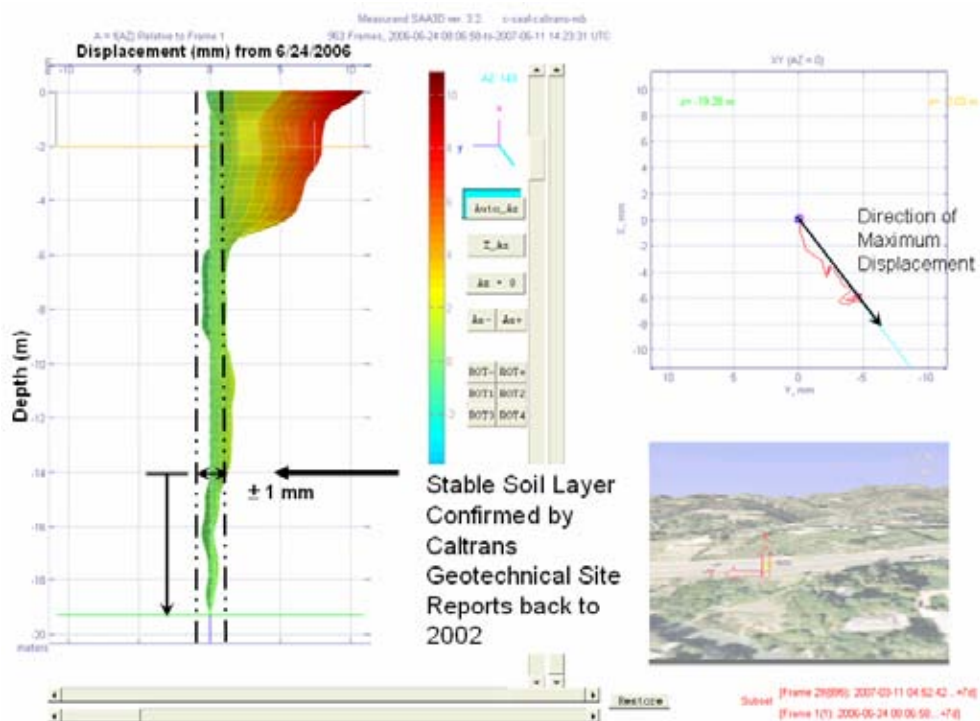


圖 2.47 現地量測一年後之監測結果

2.3.3 無線感測網路系統

監測自動化之目的在於針對偏遠或無法到達之區域進行監測作業，同時，對於較危急之區域或特殊設施，可以達到全時之監測作業。然一套完善之邊坡崩塌監測預警自動化系統，除需要有配置完善之監測儀器外，亦需搭配良好之無線傳輸系統，才可在任何環境狀態下，確實掌控現地實際狀況。有鑑於此，本小節將針對目前國內可以串聯時間、空間、資訊等之先進傳輸技術－無線感測網路系統進行概述。

在各項可用於建構無所不在網路環境的技術中，「無線感測網路（Wireless Sensor Network, WSN）」技術已因近年來短距無線技術的突破，而在各種環境感知應用上備受重視。傳統感測網路的發展與應用由來已久，主要功能在於將遠端感測器收集的資料，透過網路傳回伺服器，達到監控、警示或資料收集等目的。在無線技術尚未成熟時，要建構一個感測網路必需透過布線，因而有成本高昂及線路維護的問題，此外，能使用的感測器數量也相當有限。

近幾年來各種無線傳輸技術紛紛出現後，陸續被使用於感測網路，希望以無線方式來解決困擾已久的布線問題。其中包括 WiFi、藍芽，以及多種 RF 技術都曾被嘗試用以建構無線感測網路，但成果不彰。近二年來，由於無線感測網路系統的發展，提供了一項易於使用、低耗電、低成本的無線技術，使得無線感測網路的發展開始邁開大步。

通常一個無線感測器網路包含以下之元素：

1. 感測器（Sensor）：

感測器為探測環境中各種變化因子的儀器，如溫度、濕度、照度、壓力、流速等。在實務應用上，感測器除了可直接整合於無線傳輸模組上，也可運用任何市面上已開發之感測儀器，將其整合於無限感測器網路中，只要這些儀器能有輸出介面提供電子訊號供無線傳輸模組使用即可。

2. 無線傳輸模組 (Mote)

無線傳輸模組為一整合平台，其功能在於將感測器傳來之訊號，進行處理、儲存、或是透過 IEEE 802.15.4 標準來進行無線傳輸。通常一個無線傳輸模組（詳圖 2.48）會具備感測器聯結介面、中央運算元（CPU）、記憶體、電源介面與無線傳輸單元等元件。

3. 通訊閘 (Gateway)

通訊閘的作用在於當作遠端感測器與中央伺服器間溝通的轉接站。遠端各個感測器所感應到之訊號在透過其整合的 Mote 以無線訊號傳出後，會匯整到通訊閘，然後再由通訊閘以 GPRS、WiMax、或是寬頻網路等方式，傳回監控中心之中央伺服器。反之，監控中心的控制訊號，也可透過通訊閘，傳送到對應的感測器做出及時反應。

4. 中央伺服器 (Server)

中央伺服器為一電腦主機用於儲存、處理、與分析由通訊閘彙整傳回之感測器訊號。通常會與資料庫系統、監控管理程式配合，對訊號進行即時處理與反應。



圖 2.48 無線傳輸模組

無線感測網路系統的理想運用情境在於將價格便宜、大量、且體積微小的無線感測器，肆意的分灑於監控的環境中，而這些感測器會彼此溝通，透過通訊協定自然而然的形成一個網路系統，每個感測

器之間可相互聯絡、接力傳遞訊號、彼此互相合作，共同面對必須要解決的問題。圖 2.49 為無線感測網路應用模式之示意圖，在遠端監控的環境中，感測器將各類訊息透過無線傳輸模組以直接或跳接方式回傳至通訊閘，再由通訊閘回傳至監控中心之中央伺服器，伺服器上之控制程式可根據回傳之即時資訊做出判斷與反應，例如將警告訊息以簡訊或 Email 方式立即通知相關人員處理，甚至可傳送控制訊號至遠端無線傳輸模組，透過無線傳輸模組對其所連結的儀器或設備進行即時的控制。

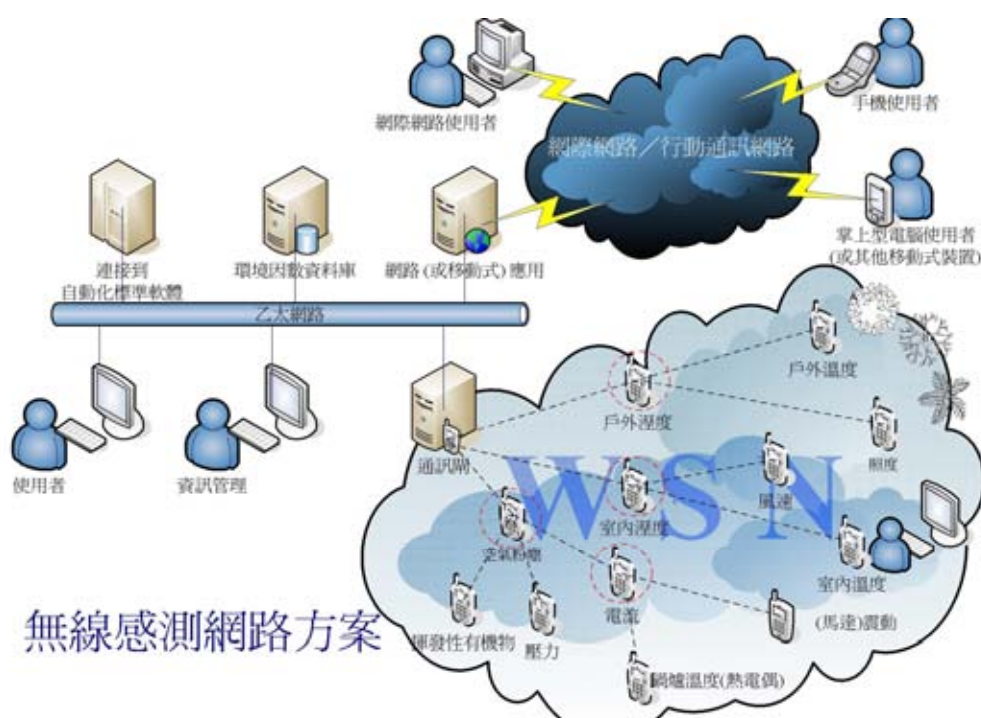


圖 2.49 無線感測網路系統傳輸架構

相較於傳統的監控系統，無線感測器網路的優勢如下：

1. 相對較低的價格，可進行大量的佈建。
2. 無線傳輸訊號，免除佈線之困擾，許多以往無法進行監控之環境，可以此方式進行即時監控。
3. 無線傳輸模組具溝通、儲存、與計算處理能力，可在現地進行簡易資料處理再回傳至中央伺服器。

自動化監測系統所需監控與處理之資料單元包羅萬象，例如：傾斜、位移、水位、水壓、雨量、加速度、粉塵微粒、溫度、濕度、光照等，然不同監測儀器其訊號皆不盡相同，除需透過系統予以整合外，在數據資料傳輸過程中，亦常因受限於氣候環境影響，容易造成數據資料遺失或不完全等問題。對此，無線感測網路系統除克服上述問題外，同時可以達到成本低廉與資料傳輸高穩定性之特點，其主要原因在於其採以篩選適用感測器、無線感測傳輸模組、韌體與軟體程式等。此系統早期曾運用於異常震動（如地震）、有毒氣體（如瓦斯）、火災等預警通報作業，其可因應各項領域對資料分析之需求而修改資料分析之呈現方式（如圖 2.50），此系統近期內亦已漸漸運用至邊坡滑動監測方面。

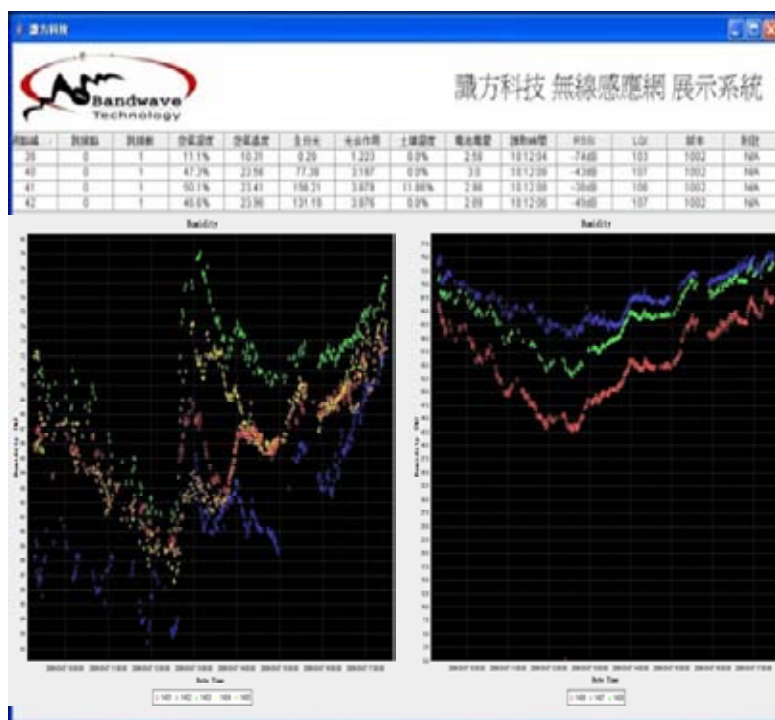


圖 2.50 資料分析與呈現

在邊坡滑動監控方面，以國內一發電廠邊坡監控為例，此案例規劃使用之感應器包括：三軸加速規、應力計、電阻尺、壓力計（用以量測地下水水位）與傾斜儀，後端再利用專家系統對所蒐集之量測資料加以分析運算（其現地佈點位置如圖 2.51 所示，感應器裝設現地實

況則如圖 2.52，監控結果則參考圖 2.53)。



圖 2.51 佈點位置示意圖



圖 2.52 感應器現地裝置實況

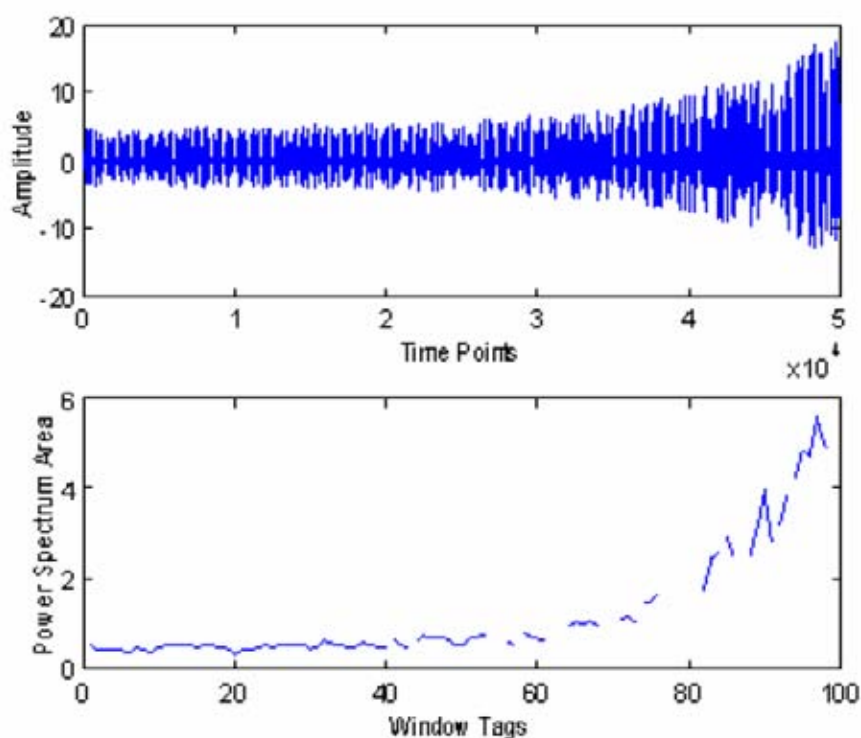


圖 2.53 監控數據分析結果

2.4 示範路段現地實設測試

省道臺 18 線阿里山公路為交通部歷年相關研究資源整合之示範道路，其研究資料已屬完備，但缺乏整合，因此，為使本路段成為臺灣山區道路邊坡災害防治之示範道路，本研究計畫今年度仍配合其他相關案件之執行，針對選定一示範路段進行現地實設測試作業，為求使有限研究人力與經費資源發揮最大之貢獻，本計畫後續研究中亦擬選定以省道臺 18 線五彎仔路段為測試對象，進行邊坡崩塌監測預警監測自動化系統之現地實設作業以期達到有效預測此區域道路邊坡崩塌災害之發生。本章節以下各小節將針對此路段之地理位置、氣候概況、沿線地形、沿線地質構造及地層特性作一概述。

2.4.1 地理位置

阿里山公路為臺 18 號公路之俗稱，位於臺灣新中橫公路西段，由嘉義市循東北方向蜿蜒而上至南投縣信義鄉之塔塔加鞍部為止，全長共約 95 公里。由觸口（臺 18 線 20.4K）開始進入山區，沿途經瀨頭（36.5K）、石桌（49.05K）、十字路（63.7K），阿里山（75.0K），往東至嘉義市與南投縣界的自忠（83.2K），橫跨嘉南與中部兩大地理區域。公路沿線地形起伏變化頗大，觸口至公田間公路沿八掌溪逆流而上。公田至瀨頭間，改沿稜線向東爬升後南行，經過瀨頭，再行北折沿稜線直至石桌。自石桌以東又降至曾文溪支流溪谷、切溪谷向南迴繞，繞過關刀山砂岩造成的陡峻山稜，而後則沿東西向分水嶺南側向東前進。在經過阿里山後沿日據時代運木鐵道遺跡而築，最後行至稜線處之塔塔加鞍部為止（其後接臺 21 線公路至水里）。總共經過嘉義縣中埔鄉、番路鄉、竹崎鄉、阿里山鄉及南投縣信義鄉等行政區。阿里山公路於民國 72 年初完工通車，迄今不過二十餘年，其間坍方落石災害頻傳，其相關位置與周邊公路網如圖 2.54 所示。



圖 2.54 阿里山公路位置圖

2.4.2 氣候概況

根據中央氣象局阿里山氣象站之民國 73 至 93 年降雨量統計資料得知，其年平均降雨量達 3,559 mm（如圖 2.55 所示），較臺灣地區之年平均降雨量 2,515 mm（經濟部水利處，2001）高出甚多，此結果顯示阿里山地區之降雨量相當豐沛。而在月平均降雨量方面，以 8 月份的 745.3 mm 為最高，最低值則為 11 月份的 35.84 mm，圖 2.56 為一整年之月平均降雨量分布情形，其可看出雨量分布有明顯的季節性，降雨主要集中在每年的 4 月到 9 月之間，乾季則從每年的 10 月起至隔年的 3 月左右。

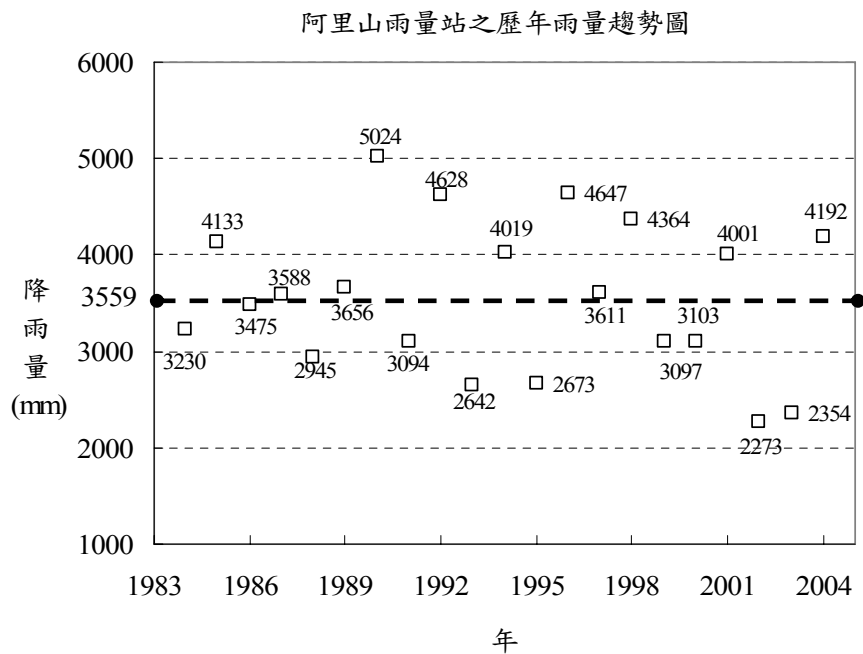


圖 2.55 阿里山雨量站之歷年雨量趨勢圖（修改自中央氣象局）

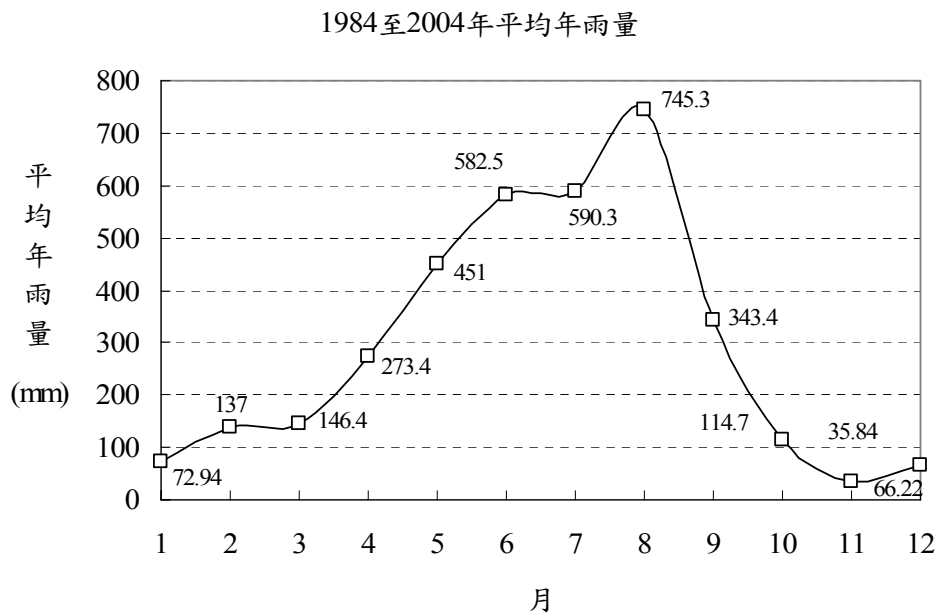


圖 2.56 阿里山雨量站各月之平均年雨量趨勢圖（修改自中央氣象局）

2.4.3 沿線地形

根據王鑫等(1989)對阿里山公路沿線地形進行之研究資料顯示，由觸口到公田間之路段，公路沿八掌溪支流而行，路線大致與山稜之走向平行，因此大型蝕谷較多。而公田到瀨頭間路段，公路沿稜線西坡爬升南行，沿途有小型蝕谷。公路經瀨頭後，北折沿稜線附近彎曲前進至石桌。本段路線方向與地層構造線之走向近似平行，因此地質上之變化也較單純。石桌以東，公路降到曾文溪支流溪谷，過溪谷後經過關刀山砂岩之山脊，當達十字村後，公路呈之字形盤旋上山，而後沿平緩之稜線直達阿里山。阿里山東西向稜線之北部屬八掌溪流域，稜線以南則屬曾文溪流域，此外，在阿里山東北部另有陳有蘭溪及其支流通過。

2.4.4 沿線地質構造及地層特性

畢慶昌(1969)研究阿里山公路沿線地質構造，指出本路段公田斷層以東到樟山斷層間，構造以褶皺為主，大多為不對稱褶皺，其軸

面向東或向西傾斜，褶皺軸之走向亦不甚規則，除了芙蓉山向斜軸部出露之地層為關刀山砂岩外，其他各背斜或向斜軸部所出露的岩層皆為南莊層，而觸口斷層與樟山斷層為區內較重要之逆衝斷層。瀨頭斷層呈北北西走向，通過本路段西緣瀨頭附近，鹿窟斷層位於觸口斷層東方，呈北東走向，畢慶昌（1969）認為此斷層為阿里山岩幕之西界。在地層特性方面，依據劉桓吉等（1998）的調查顯示，調查區附近之地層主要是為第三紀與第四紀地層。岩性則是以砂岩、頁岩與泥質砂岩為主。本區出露的地層由老至新依序為南莊層（厚層砂岩為主，夾薄頁岩互層）、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層（粉砂岩為主，間有砂頁岩互層）與頭嵙山層，其中，頭嵙山層又分為火炎山相（礫石層）和香山相（砂岩）。

第三章 持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析

進行道路邊坡現地崩塌事件相關資料彙整、建置與分析之研究，其目的是為擴充道路邊坡管理系統資料庫與正確量化致災因子，以利進行崩塌潛勢分析之研究，因此本研究於今、明兩年度之計畫執行期間，擬針對歷史崩塌路段進行調查與資料蒐集作業，並將資料彙整、分類建置於既有之道路邊坡管理系統中，最後，依據累積建置之現地自然環境、工程整治、崩塌災損等相關資料，研擬探討崩塌量、崩塌類型與災害發生之相互關係。另外，本研究主要以邊坡淺層滑動破壞之崩塌型態為主要研究對象，而此種破壞型態也為臺灣常見之崩塌型態，因此在歷史崩塌事件之資料蒐集也以此破壞型態為主；以下就針對所選定歷史崩塌路段、歷史崩塌事件及災害資料、道路邊坡管理系統改版與資料建置，以及馬可夫鏈（Markov Chain）生命週期分析方法等內容作一介紹說明。

3.1 選定歷史崩塌路段調查作業

省道臺 18 線阿里山公路為交通部歷年相關研究資源整合之示範道路，其研究資料已屬完備，但缺乏整合，因此為使本路段成為臺灣山區道路邊坡災害防治之示範道路，本研究計畫今年度仍配合其他相關案件之執行，選定此路段為研究對象，進行資源整合與研究。除此之外，本研究亦擬將每每颱風豪雨侵襲即會引發重大坡地災害之中橫公路（省道臺 8 線）與新中橫公路（省道臺 21 線）部分山區路段進行調查，以期達到有效預測此區域道路邊坡崩塌災害之發生，以下各小節將針對上述路段之地理位置、氣候、地形與地層構造作一概述。

3.1.1 地理位置

中部橫貫公路主線由臺中縣東勢鎮向東一路經過谷關、德基、梨山大禹嶺，再經天祥、太魯閣，連接到花蓮，編號為 8 號省道。宜蘭支線連接宜蘭、武陵到梨山，此為臺 7 甲線；而霧社支線則由霧社經清境連接至大禹嶺，為臺 14 甲線。全區海拔高度從 10 公尺至 3,000 公尺，具有亞熱帶、冷溫帶、溫帶、亞寒帶氣候。

新中橫公路位於南投縣水里鄉及信義鄉境內，北起水里鄉，經新山、郡坑、信義、豐丘、筆石、望美、同富和神木等村落，南至玉山主峰西側的塔塔加鞍部，編號為 21 號省道，如圖 3.1 所示。而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。座落於玉山山脈與阿里山山脈之間，為南投縣水里鄉通往塔塔加鞍部的要道。



圖 3.1 臺 21 線新中橫公路位置圖（摘自 EbioTW-新中橫）

阿里山公路為臺 18 線公路之俗稱，位於臺灣新中橫公路西段，由嘉義市循東北方向蜿蜒而上至南投縣信義鄉之塔塔加鞍部，全長共約 95 公里（詳圖 3.2）。由觸口（臺 18 線 20.4k）開始進入山區，沿途經瀨頭（36.5k）、石桌（49.05k）、十字路（63.7k），阿里山（75.0k），往東至嘉義市與南投縣界的自忠（83.2k），橫跨嘉南與中部兩大地理區域，共經過嘉義縣中埔鄉、番路鄉、竹崎鄉、阿里山鄉及南投縣信義鄉等（臺 8 線、臺 21 線及臺 18 線之地理環境相關位置如圖 3.3 所示）。



圖 3.2 阿里山公路位置圖



圖 3.3 臺 8 線、臺 21 線及臺 18 線環境位置圖

3.1.2 氣候概況

臺 8 線附近區域年平均氣溫 15.2°C ，早晚溫差大，年平均降雨量 2,242 mm，年平均降雨為 176 日，降雨多集中於 5~9 月，佔全年雨量的 55.5%，每年 5、6 月之月平均降雨量達 514 mm，自 11 月至翌年 2 月為乾季，總雨量僅及年雨量之 20.2%，本區降雨主要受臺灣地區梅雨季節及地形所影響，使得本地區春夏季之雨量豐沛，秋冬季則雨量甚少，但於 6 月至 9 月期間易多次發生暴雨情形，其降雨量則可超過 100 mm/day，頻率約為一年 7、8 次左右。

臺 21 線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）由中央氣象局於 1933 至 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 ，和社站為 20°C ；月均溫阿里山站為 $5\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，和社站為 $14\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。研究區域的年雨量平均為 1,681 mm（和社站）~4,129 mm（阿里山站）之間，且各月雨量皆在 30 mm 以上，其最高者可達 800 mm 以上。降雨量多集中在 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，累積雨量仍相當可觀；7~9 月則為颱風時期，可帶來高強度、高降雨量的豐沛雨水。

依據臺 18 線附近之阿里山氣象站於 1984 至 2004 年的降雨量統計資料，其年平均降雨量高達 3,559 mm，較臺灣地區之年平均降雨量 2,515 mm（經濟部水利處，2001）高出甚多，此結果顯示阿里山地區之降雨情形相當豐沛；而在月平均降雨量方面，以 8 月份的 745.3 mm 為最高，最低值則為 11 月份的 35.84 mm。雨量分佈有明顯的季節性，降雨主要集中在每年的 4 月到 9 月之間，乾季則從每年的 10 月起到隔年的 3 月左右。

3.1.3 地形概述

臺 8 線沿線地形，主要地勢由南向北遞降，最終沒入德基水庫。沿大甲溪兩岸常有呈東北—西南走向，坡度約為 15° 至 30° 之山脊相互

交錯排列。依河流切割型態，近大甲溪處應屬幼年期之河谷地形，下切作用較為顯著，河谷兩岸偶有岩盤裸露且坡度較陡，山腰佈著指狀的大小丘陵地。在河谷上部接近山脊處，偶顯現前期老年期地形特徵，留有侵蝕或沉積的遺跡。

至於臺 21 線沿線地形，東有郡大山山脈、西有阿里山山脈、南有玉山山脈，而全區則以同富山山脈為主體，同富山山脈屬玉山山脈北延的支脈，南起於塔塔加鞍部西方的東埔山莊，北止於陳有蘭溪與和社溪的合流口，長約 15 公里，此路段約有 5/6 之路段在同富山山脈稜線的東西兩側蜿蜒盤升，其餘 1/6 路段則在阿里山山脈東側山麓。而其路線有平行稜線者，有沿山頭迂迴盤繞者，也有傍溪而行者，因此沿線地形甚為複雜。

臺 18 線由觸口到公田間，公路沿八掌溪支流而行，路線大致與山稜之走向平行，因此大型蝕谷較多。公田到瀨頭間，公路沿稜線西坡爬升南行，沿途有小型蝕谷。公路經瀨頭後，北折沿稜線附近彎曲前進至石桌。本段路線方向與地層構造線之走向近似平行，因此地質上之變化也較單純。石桌以東，公路降到曾文溪支流溪谷，過溪谷後經過關刀山砂岩之山脊，當達十字村後，公路呈「之」字形盤旋上山，而後沿平緩之稜線直達阿里山。阿里山東西向稜線之北部屬八掌溪流域，稜線以南則屬曾文溪流域，此外，在阿里山東北部另有陳有蘭溪及其支流通過。

3.1.4 地層構造

臺 8 線位於天冷至谷關沿線出露之地質，除少數屬於階地堆積層及沖積層外，大部分皆為白冷層東卯段 (Plt) 及白冷層裡冷段 (PlI)。橫流溪斷層位於南勢村附近之橫流溪東側。斷層呈北北東向，全長至少十公里以上。鞍馬山背斜自谷關北方進入，以東北—西南走向沿東卯溪溪谷延伸，到白冷東側轉向南延伸至白毛山林道。此一背斜兩側雖陡，但褶皺的包絡面和緩，褶皺軸向南緩傾。

臺 8 線位於德基至梨山沿線出露之地質，由西至東分別為白冷層裡冷段 (PlI)、佳陽層 (Cy)、眉溪砂岩 (Ms) 及廬山層 (Ls)。武陵斷層在桃山溪上游和司界蘭溪上游可見此斷層出露，為一高角度斷層。

臺 21 線位於同富至塔塔加沿線出露之地層，除少部分為沖積層外，皆為第三紀沈積岩，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，屬南莊層，沿線地質如表 3-1 所示。

表 3-1 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，大部分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。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 0.1 mm 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。本路段出露之南港層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，且大部分沿陳有蘭溪溪流之西側發育。

臺 18 線附近之公田斷層以東到樟山斷層間，構造以褶皺為主，大多為不對稱褶皺，其軸面或向東或向西傾斜，褶皺軸之走向亦不甚規則，除了扶蓉山向斜軸部出露之地層為關刀山砂岩外，其它各背斜或向斜軸部所出露的岩層皆為南莊層，而觸口斷層與樟山斷層為區內較重要之逆衝斷層。瀨頭斷層呈北北西走向通過本路段西緣瀨頭附近，鹿窟斷層位於觸口斷層東方，呈北東走向。

在地層特性方面，依據劉桓吉等（1998）的調查顯示，調查區附近之地層主要是為第三紀與第四紀地層。岩性則是以砂岩、頁岩與泥質砂岩為主。本區出露的地層由老至新依序為南莊層（厚層砂岩為主，夾薄頁岩互層）、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層（粉砂岩為主，間有砂頁岩互層）與頭嵙山層，其中，頭嵙山層又分為火炎山相（礫石層）和香山相（砂岩）。

3.2 歷史崩塌事件致災因子資料調查收集

歷史崩塌事件資料調查除用於擴充道路邊坡管理系統資料庫外，將其量化後，另可提供道路邊坡崩塌機率、崩塌規模等研究使用，因

此規劃選定之致災因子種類便極為重要。然因子之量化方法依各因子之特性而有所不同，除可利用地理資訊系統及數值圖籍等資料外，現地勘查作業更是避免不了，然將本研究各分析所需調查之崩塌事件影響因子量化範圍列於表 3-2，並將其定義與量化方法說明如下。

表 3-2 影響因子量化範圍

類別			影響因子	單位	範圍
潛在因子	自然因子	地形	坡向	°	0~360
			坡度	°	0~90
			坡高	m	≥0
			坡形	°	-360~+360
		地質	地層種類	-	1~5
		岩層位態	坡向與傾向夾角	°	0~180
			坡度與傾角夾角	°	-90~+90
		風化及破碎程度	岩塊規模	m	≥0
			岩塊體積百分比	%	0~100
		植被	植被覆蓋面積百分比	%	0~100
			植被覆蓋厚度	m	≥0
		水系	集水區面積	m2	≥0
		921 地震力	最大水平地表加速度	gal	≥0
	人為因子	道路開闢	坡趾開挖高度	m	≥0
			坡度改變量	°	0~90
誘發因子		降雨	颱風累積降雨量	mm	≥0

3.2.1 潛在因子

地形是地質表現於外的形狀，然地形本身會影響地表水的流向，因而影響坡地的侵蝕與沈積。潛在因子主要調查的項目為坡向、坡度、坡高及坡形（曲率），分述如下：

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，因此為可間接反應降雨及地震影響之因子，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° ，順時針旋轉遞增，範圍介於 $0\sim 360^{\circ}$ 。

(2)坡度

坡度為邊坡坡面與道路銜接處之角度，如圖 3.4 所示，此因子會影響到地區的穩定度及水流速度，坡度愈陡，造成下滑之趨勢動力愈大，發生崩塌的機率也愈高。一般常用的表示方法有百分比法、度數法、密位法和分數法等，本研究則是藉由地質羅盤於現場量得，範圍為 $0\sim 90^{\circ}$ 。

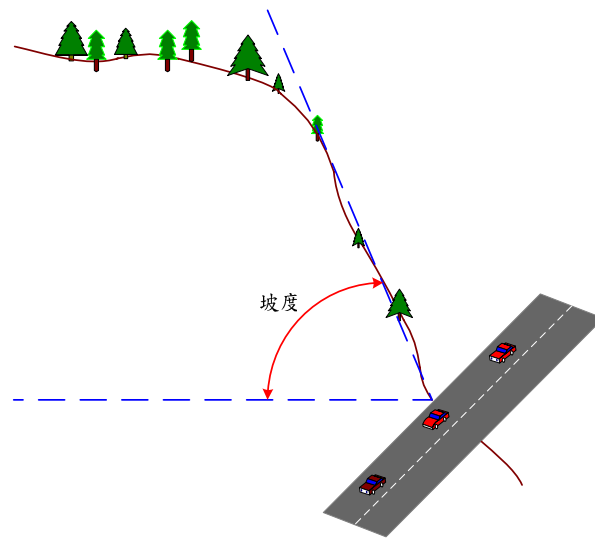


圖 3.4 坡度量化示意圖

(3)坡高

指該邊坡最高點與最低點（道路銜接處）之高差，由路面為基準起算之高度，單位為 m，如圖 3.5 所示，係由現場目測估計得到。依據日本國內邊坡調查（1985），坡高只要高於 20 公尺以上，如果有 50mm 的連續降雨，即會造成約 26% 的災害率，故理論上坡高愈高，則愈易造成崩塌。

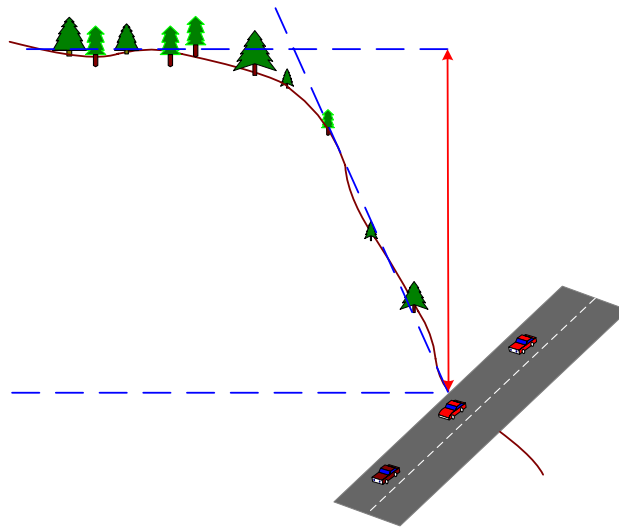


圖 3.5 坡高量化示意圖

(4)坡形

為邊坡的外觀形狀（曲率），一般分為凸坡、平坡及凹坡等三種坡形。主要受板塊推擠及河流切蝕等內外營力作用下而形成，故可間接反應地質構造，以及降雨時地表水及地下水之流動情形。李德河等（2004）曾發現在 921 地震發生時及發生後一年內，以凸型邊坡發生崩塌之比例最高。

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因子，而其量化作法為：先藉由 ArcView（GIS）軟體中之繪圖工具畫出正圓，再移動圓並調整其大小，以疊合調查點前後約 50m 之路線線形，求出圓之直徑作為記錄值（凸坡為正，凹坡為負），取其值之半即為道路曲率半徑 R ，接著再利用曲度 $\Delta = (\text{弧長 } L / \text{曲率半徑 } R) \times (180^\circ / \pi)$ 計算曲度，期中弧長 L 取整弧 20m。例如：量得一凹坡調查點之疊合圓直徑 400m（凸坡為正），則其曲率半徑 $R=200\text{m}$ ，即可計算其曲度 $\Delta = (20/200) \times (180^\circ / \pi) = 5.73^\circ$ 。

2. 地質（地層種類）

以劉桓吉等人(1989)所製作之阿里山公路沿線地質圖作為地層分類之依據，本研究路線所經過之地層種類整理如表 3-3 所示。由於該地層之岩性差異不大，主要為砂岩、頁岩及其互層，故量化方法為依其地層形成之先後給予不同的分數，一般而言，年代較久遠的地層其岩質較堅硬，岩體強度也較高，故給予較高之分數，因此沿線之地層種類依其形成年代由近至遠可給予 1~5 的量化分數。

表 3-3 調查路段地層種類及量化方式

地層年代		地層		岩性特徵	量化分數
紀	世	種類	代碼		
第三紀	上新世	卓蘭層	Cl	粉砂質砂岩為主，間有砂頁岩互層	1
		錦水頁岩	Cs	青灰色頁岩為主，間夾砂岩	2
		大窩砂岩	Kct	細粒至粉砂質砂岩	3
	中新世	關刀山砂岩	Kck	厚層泥質砂岩為主，夾薄層砂質頁岩之薄互層	4
		南莊層	Nc	青灰色砂岩及砂岩與薄頁岩互層為主	5

3. 岩層位態

一般在進行山區道路選線時，除風化嚴重之土層邊坡或高度破碎之岩層邊坡外，皆需考慮岩層與道路邊坡之斜交情況，考慮是否會構成順向坡滑動及逆向坡傾覆之條件，其判別要件為岩層位態（岩層傾向及傾角，如圖 3.6 所示），與道路邊坡之坡向及坡度。量化方式說明如下：



圖 3.6 岩層位態量化示意圖

(1) 坡向與傾向交角

此因子之量化值 = $|\text{坡向} - \text{傾向}|$ (岩層傾向係由現場觀察露頭再以地質羅盤量得)，一般順向坡之值 $< 20^\circ$ ，逆向坡則 $> 160^\circ$ (Hoek and Bray, 1977)，故此因子可反映邊坡是否為順向或逆向坡，而一般土層或破碎岩層邊坡則以 90° (直交坡) 為其量化值。

(2) 坡度與傾角交角

當坡面之坡度 $>$ 岩層之傾角時，層面即會在坡面出露，若邊坡為順向坡時，則構成順向坡滑動之條件。此因子之量化方法為：坡度 $-$ 傾角。一般土層及破碎岩層邊坡以水平岩層 (傾角為 0°) 視之，其值等同於坡度。

4. 風化及破碎程度

破碎與風化使岩石或土壤的孔隙率及透水率增加，不但強度降低、含水量增加，亦同時降低了邊坡的穩定性。輕度節理之岩體由於受表面風化的作用，一般較常發生墜落型崩塌；而具一定厚度之嚴重風化土層及高度破碎岩層，則易產生圓弧形滑動，為描述此一岩層之風化及破碎程度，選擇以岩塊規模及岩塊體積百分比兩項因子來表示 (圖 3.7)，其說明如下。



圖 3.7 風化及破碎程度量化示意圖

(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岩塊的平均直徑作為此因子之量化值。

(2) 岩塊體積百分比

以岩塊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。

5. 植被

植生的陰影會使基地的氣溫降低、阻擋吹風，而且因蒸散作用而改變溫度與溼度。山區道路邊坡常因豪大雨而造成崩塌，而邊坡表面之植被可減緩降雨對坡面之直接襲擊，並可減少逕流量，對於深根植物而言，還可提高地層之穩定性，故植被較完整之邊坡，理論上應具較低之崩塌潛能及機率。故本研究選取下列二因子用以描述邊坡表面植被之情況：

(1)植被覆蓋面積百分比

以樹蔭可有效覆蓋坡面之面積佔整體坡面面積之百分比(%)作為其量化值，用以表示植被覆蓋程度，相反地，亦反應坡面之裸露程度。

(2)植被覆蓋厚度

係指植被可有效覆蓋之厚度，單位為 m。植生覆蓋對侵蝕的控制扮演著重要的角色。枝葉及落葉不但可以抵擋雨點對土壤的沖擊，而且還會減少土壤的滲透性。以檳榔樹為例，雖其普遍具有 5~6m 以上之高度，但其樹冠之厚度僅 0.5m 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 0.5m。

6. 水系（集水區面積）

本研究主要探討之邊坡崩塌問題皆是由降雨所引致，故水為主要之影響因素，為反應降雨時實際匯流於邊坡上方之水量，集水區面積乃是一較佳的表達因子。其量化方式為將欲量化區域之 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邊坡之集水區範圍，如圖 3-8 所示。

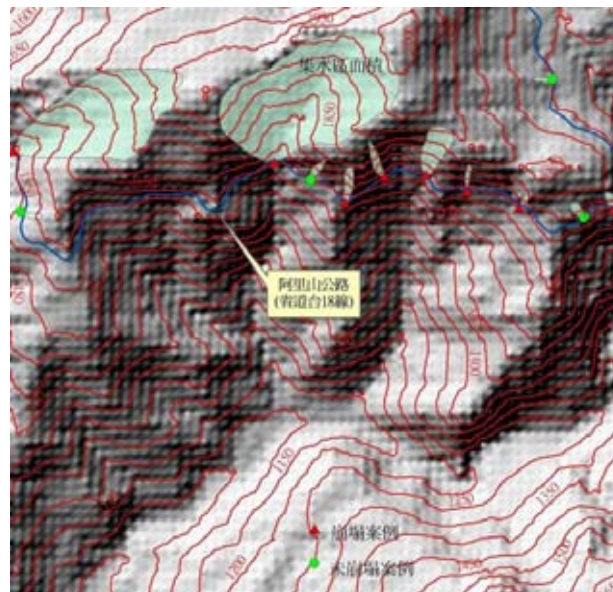


圖 3-8 GIS 建置之集水區面積圖

7. 地震力（最大水平地表加速度）

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，主要以中央氣象局在沿線附近的 21 個測站所量測到之地表加速度，使用 ArcView (GIS) 軟體之空間分析模組，將空間分佈之各點地表加速度值進行內插，即可得阿里山公路沿線之最大水平地表加速度分佈圖（如圖 3.9 所示）。

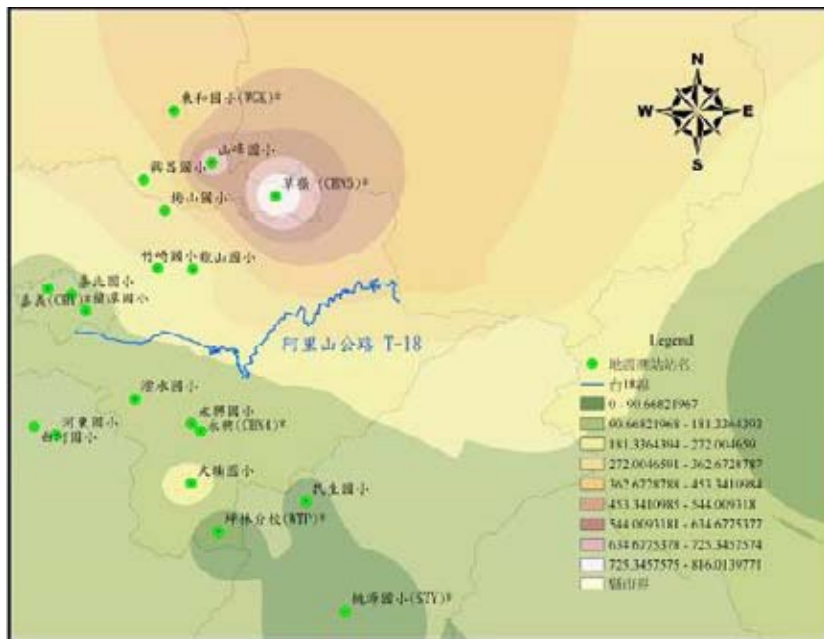


圖 3.9 921 集集地震之最大水平地表加速度分佈圖

8. 坡地開發

山區道路之開闢將影響其原有邊坡之穩定性，因此道路開闢為影響邊坡崩塌之主要人為影響因子。本研究選取以坡趾開挖高度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（如圖 3.10 所示）。

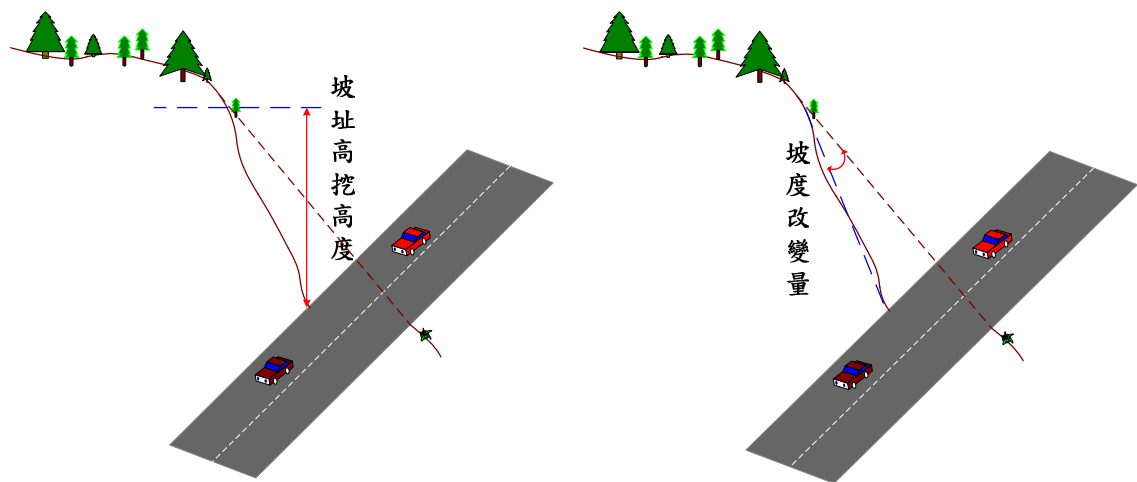


圖 3.10 坡地開發量化示意圖

(1) 坡趾开挖高度

坡趾开挖高度之定義係指坡趾开挖之垂直高度，由道路面為基準，起算至开挖面最頂端之高度，單位為 m。其量化方法由現場測高杆量取，超過測高杆部份則依比例估算。一般來說，若道路開闢未切割原有邊坡而興築，其坡趾开挖高度應維持 0。

(2) 坡度改變量

坡度改變量 $\Delta\theta$ = 开挖後坡度 - 原有邊坡坡度，若道路開闢未切割原有邊坡而改變其邊坡坡度，其坡度改變量亦應維持為 0。

3.2.2 誘發因子

誘發因子為誘使邊坡發生崩塌之影響因子，若排除人為造成崩塌之因素，一般所探討之誘發因子為降雨，且本研究所蒐集之崩塌案例皆為颱風時期所造成之邊坡崩塌，故選用颱風時之累積降雨量作為誘發邊坡崩塌之誘發因子。

3.3 歷史崩塌事件及災害資料彙整、分類

歷史崩塌事件及災害資料彙整、分類作業，除可用於擴充道路邊坡管理系統資料庫外，將其彙整、統計分析後，另可提供探討道路邊坡崩塌量、崩塌型態與災害發生之關係，進而作為後續編定崩塌災害處理作業手冊之參考依據。有鑑於此，本節將針對歷史崩塌事件之研究範圍、致災事件、資料蒐集與現地調查等內容進行概述。

3.3.1 研究範圍

臺 8 線於九二一集集大地震之後，道路毀損相當嚴重，特別是谷關到德基水庫這一段，至今尚未暢通，故針對此路段所選定之研究範圍分兩部分，一為天冷至谷關段，另一則為德基至梨山（詳圖 3.11）。至於臺 21 線之研究範圍則選定由同富開始，沿線經過神木至塔塔加，自海拔 770 公尺爬升到 2,610 公尺左右（詳圖 3.12）。而臺 18 線之研究範圍則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 3.13）。



圖 3.11 臺 8 線山區道路研究範圍及案例分佈圖



圖 3.12 臺 21 線山區道路研究範圍及案例分佈圖



圖 3.13 臺 18 線山區道路研究範圍及案例分佈圖

3.3.2 致災事件

在致災事件方面，本研究選擇在民國 93~94 年間，對臺 8 線造成嚴重災情之敏督利、艾利、海棠、馬莎、泰利與龍王颱風，以及對臺 21 線造成災害的敏督利、艾利、海棠、馬莎、珊瑚與泰利等各 6 個颱風作為研究之致災事件；至於臺 18 線，因其地理位置異於前述二者，則選擇在民國 85~93 年間，對研究區域造成重創的賀伯、桃芝、納莉及敏督利等 4 個颱風，進行道路邊坡在各颱風侵襲時所造成之崩塌研究調查，表 3-4 為本研究所採用之颱風彙整資料。

表 3-4 致災颱風統計表

致災颱風		警報期間	強度	颱風路徑 (九類)	近中心 最大風速 (m/s)	警報發布 次數
賀伯	HERB	1996/07/29~08/01	強烈	1	53	29
桃芝	TORAJI	2001/07/28~07/31	中度	—	38	28
納莉	NARI	2001/09/08~09/10 2001/09/13~09/19	中度	—	40	64
敏督利	MINDULLE	2004/06/28~07/03	中度	4	45	39
艾利	AERE	2004/08/23~08/26	中度	1	38	28
海棠	HAITANG	2005/07/16~07/20	強度	1	55	29
馬莎	MATSA	2005/08/03~08/06	中度	1	40	25
珊瑚	SANVU	2005/08/11~08/13	輕度	—	25	19
泰利	TALIM	2005/08/30~09/01	強度	2	53	22
龍王	LONGWANG	2005/09/30~10/01	強度	2	51	21

3.3.3 資料蒐集

1. 邊坡崩塌案例資料

依據交通部公路總局各養護工程處歷年對其轄屬區域於颱風侵襲之後所作之災害搶修與災後復建資料，蒐集彙整省道臺 21

線、臺 8 線，以及臺 18 線沿線之邊坡崩塌案例資料。其資料內容主要包括災害地點（鄉鎮、村里、道路名稱、里程）、衛星定位點（X 座標、Y 座標）、致災颱風、災害類別、災害照片等。

2. 數位圖籍資料

由於部分致災影響因子之量化值無法由現地調查取得，必須藉助航照圖之判讀，針對此部分之資料取得，本研究擬透過地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）之空間分析功能，同時配合 AutoCAD 2006 繪圖軟體的圖層套疊功能進行分析。以下為本研究採用之數位圖籍資料：

(1) 航照地形圖

由農林航空測量所製作，為臺灣地區之相片基本圖，內容包括地形等高線、道路、水系及鄉鎮界等。以臺 8 線為例，此路段沿線所經過之圖幅名稱及編號：五千分之一航照地形圖為大坪角（9521-Ⅱ-025）、打鐵坑（9521-Ⅱ-026）、天冷（9521-Ⅱ-035）、白毛臺（9521-Ⅱ-036）；一萬分之一航照地形圖為稍來山（9521-Ⅱ-05）、白冷（9521-Ⅱ-09）、松鶴（9521-Ⅱ-10）、谷關（9621-Ⅲ-01）、青山（9621-Ⅲ-02）、小澤臺（9621-Ⅲ-03）、東高山（9621-Ⅲ-04）、福壽山農場（9621-Ⅲ-05）、唐呂山（9621-Ⅳ-23）、德基水庫（9621-Ⅳ-24）、梨山（9621-Ⅳ-25）。

(2) 地質圖

由經濟部中央地質調查所製作，以農林航空測量所出版之臺灣地區五萬分之一航照地形圖數值圖檔為基礎，為有系統調查臺灣地區之地質說明圖，內容包括地層、地質等分佈資料。以臺 8 線之天冷—谷關段為例，其所經過之圖幅名稱及編號分別為：國姓（25）及霧社（26）。但目前臺 21 線及臺 8 線德基至梨山段所在區域之五萬分之一地質圖尚未建置完成，故其將分別以「嘉義圖幅」（中國石油公司臺探總處，1986）及「臺灣雪山山脈中部地區地質圖」（劉桓吉，1991）作為地質分類之依據。

3.3.4 現地調查作業

1. 崩塌點位

道路邊坡崩塌案例之相關資料，主要參考交通部公路總局各養護工程處歷年對颱風來襲後所彙整之災害搶修與復建資料，由資料中選取與調查路線範圍內相符之崩塌位置，再經由現場比對及篩選後，本研究共選取臺 21 線 29 處，以及臺 8 線 47 處崩塌點位作為本研究之崩塌案例對象（崩塌位置調查之量化資料請參閱附錄 4~5）。其中，敏督利颱風之崩塌案例佔 46 筆、艾利颱風佔 14 筆、海棠颱風佔 30 筆、馬莎颱風佔 18 筆、珊珊颱風佔 1 筆、泰利颱風佔 17 筆、龍王颱風佔 14 筆，共計 140 筆崩塌案例，各次颱風所佔比例如圖 3.14 所示。至於臺 18 線歷年颱風造成之道路邊坡崩塌資料，則參照去年度之研究成果，共選擇 55 處崩塌點作為本研究之崩塌案例（崩塌點調查之量化資料請參閱附錄 6）。其 55 筆崩塌案例中，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。

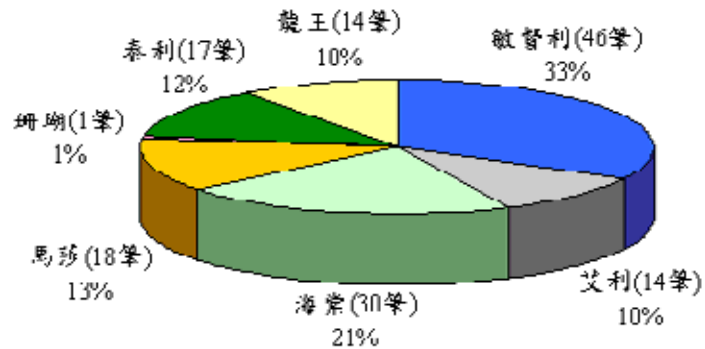


圖 3.14 臺 21 線及臺 8 線崩塌案例佔各次颱風比例統計

2. 未崩塌點位

未崩塌點位之選擇，係以沿線平均分佈為原則。首先排除既有崩塌案例之地點，爾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，以每 500 公尺或選擇崩塌點前後各 50 公尺一處之原則，進行未崩塌資料之調查作業，臺 21 線共

選取 35 筆未崩塌點位，而臺 8 線則選定 46 筆點位，共計選定 81 個未崩塌點位進行調查。至於臺 18 線，則參照去年之研究成果，選擇 54 處未崩塌點進行分析探討。

3.4 崩塌量、崩塌型態與災害發生之關係探討

針對崩塌量、崩塌類型與災害發生之關係探討部分，研究團隊擬配合過去之累積建置之工程整治與崩塌災損資料數據，以及至災因子選定之相關研究成果，試以馬可夫鏈 (Markov Chain) 作為分析工具。此分析方式之概念為藉由一系統的狀態，可對某些參數而改變。例如，時間或空間，由一狀態轉換到另一狀態的參數函數，或其相對應的轉換或然率 (Transition Probability)，往往決定於先前狀態，但轉換或然率僅決定於最近狀態，則改變程序則可用馬可夫過程 (Markov Process)。例如在地震過後，結構物可能遭受各種不同的損害程度，若未經修補所發生的損害，則在下次地震時會變得更嚴重。很明顯地，若結構物在前次地震中曾受過損害，則在下次地震會遭遇更嚴重的破壞。因此，破壞可分為若干級破壞狀態 (Damage State)。結構在每次地震後會保持原先狀態或轉變為其他狀態，故這些或然率，可決定結構物在承受幾次地震或未來某時間可能產生特殊破壞的可能性。

本研究後續研究中，則擬依據此理論，藉由過去研究成果中所累積建置之自然環境、養護工程、崩塌災損等資料，推求其工程養護、崩塌量、崩塌型態等機率之轉換或然率矩陣。本節以下內容即摘錄張嘉峰等人(2005)以此分析方法，針對省道臺 4 線路面養護實例之分析方法與結果進行介紹。

3.4.1 分析方法討論

在國外的研究中，運用馬可夫鏈作為分析預測之工具是常見的方法，其使用之優缺點，如下所示：

1. 優點

(1) 模式簡單，方便為工程師所理解

相較於以往複雜的公式求解，藉由資料統計建立矩陣的方法，在計算上較為簡易，且模式簡單易懂，工程師的接受度相對會較高。

(2) 未來資料回饋修正方便

相較於馬可夫鏈對後續資料的收集，以往預測模式較難達到即時更新函式的目的，此為矩陣計算的優點，藉由資料更新變換轉至或然率矩陣。

2. 缺點

(1) 養護資料本身的準確性

目前之假設為養護資料不受人為操控，即無因消化預算或政治考量等因素之干擾。另外，亦假設其養護資料是連續性的，即無資料遺漏之問題。

(2) 養護成本計算的合理性尚待討論

目前計算方式是藉由計算各次次數的養護平均成本而來，未來應可結合可靠度等方式進行計算。

3.4.2 分析方法步驟說明

1. 養護資料整理

首先將取得之養護資料進行彙整，如下圖 3.15 所示，圖中為某一設施在十年間的養護次數統計縱軸為養護次數，橫軸為時間。

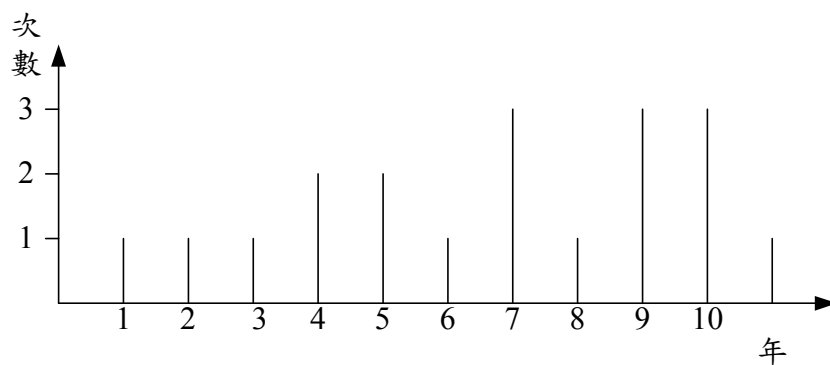


圖 3.15 養護次數統計

2. 養護轉換或然率矩陣建立

將上述的資料轉換為矩陣型式，如下所示，式中 a_{11} 表示本年度有養護一次，而下一年度養護一次的比率； a_{12} 為本年度有養護一次，而下一年度養護二次的比率； a_{13} 為本年度有養護一次，而下一年度養護三次的比率。若以上述之例子來說明，經過觀察 10 年間養護一次的次數共有 5 次，而在此 5 次內，下一年度也是養護一次的為 2 次，養兩次的為 1 次，養護三次的為 2 次，故此 1×3 的矩陣為 $[a_{11} \ a_{12} \ a_{13}] = [2/5 \ 1/5 \ 2/5]$ 。其餘如此所示，故最後之結果如下。

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \end{bmatrix}$$

3. 養護轉換或然率矩陣預測未來養護次數機率

藉由養護矩陣 $[A]$ 來進行預測，並以第 11 年作為起始值，若要預測第 14 年的養護機率，即如下所示，故由此既可算出第 14 年的養護機率：

$$P(3)=P(0)\times P^3$$

$$[0.497 \quad 0.196 \quad 0.308]=[1 \quad 0 \quad 0]\times\begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \end{bmatrix}^3$$

4. 養護成本計算

藉由上述推算出來的各養護次數機率進行計算，即 $P(3)\times$ 成本，計算如下所示，在此進行假設養護一次之成本為 100,000 元（註：養護成本可由養護資料來進行統計該算求得）：

$$\text{養護成本}=100,000\times 0.497+100,000\times 2\times 0.196+100,000\times 3\times 0.308$$

$$\text{養護成本}=181,300 \text{ 元}$$

3.4.3 養護資料實際分析

本節乃依據交通部公路總局第一區養護工程處在民國 84~89 年間於臺 4 線養護之結算資料所做之彙整，其資料如下表 3-5~表 3-6 所示：

表 3-5 臺 4 線 1995~2000 年 0~26k 養護結算資料統計

維修 時間	設施種 類	里程數(起 始)	里程數(結 束)	維修類型	金額 (元)	註解
1995/04	路面	—	—	其他	73,000	安全設施
1995/08	路面	0.00	16.15	其他	930,000	路容整修工程
1995/08	路面	16.15	26.79	其他	240,000	路容整修工程
1995/09	路面	26.40	26.76	服務	918,000	挖掘路面養護
1995/10	路面	23.37	23.72	服務	401,900	挖掘路面養護
1995/10	路面	—	—	其他	752,000	標字補繪
1996/01	路面	16.16	19.60	服務	129,000	挖掘路面養護
1996/01	路面	18.43	19.13	服務	853,000	挖掘路面養護
1996/01	路面	18.26	19.60	服務	129,000	挖掘路面養護
1996/02	路面	19.99	20.65	服務	735,000	挖掘路面養護
1996/02	路面	10.41	14.13	服務	94,598	路面零星修補工程
1996/02	路面	10.68	12.80	結構	44,000	邊溝結構修復
1996/03	路面	24.70	24.70	服務	57,000	交通改善
1996/03	路面	0.52	15.55	服務	468,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	0.00	2.20	服務	4,169,900	挖掘路面養護
1996/03	路面	13.10	14.30	服務	2,782,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	18.23	19.13	服務	1,981,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	19.13	19.33	服務	814,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	19.30	19.50	服務	968,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	19.54	19.90	服務	1,691,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	9.90	10.76	服務	1,772,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	2.50	25.50	服務	3,013,389	路面零星修補工程
1996/03	路面	25.90	26.50	服務	78,611	路面零星修補工程
1996/03	路面	23.20	23.70	其他	2,142,000	路容整修工程
1996/04	路面	16.70	23.70	服務	299,562	路面零星修補工程
1996/05	路面	13.35	13.35	其他	678,000	交通改善工程
1996/05	路面	0.26	2.21	服務	564,000	挖掘路面養護
1996/05	路面	14.30	16.10	服務	737,800	挖掘路面養護
1996/05	路面	16.40	17.50	服務	192,000	挖掘路面養護
1996/05	路面	23.05	23.69	服務	884,000	挖掘路面養護
1996/05	路面	25.00	26.50	服務	192,000	挖掘路面養護
1996/05	路面	6.80	7.15	服務	615,000	挖掘路面養護
1996/05	路面	0.64	16.15	其他	\$46,000	紐澤西護欄改善

表 3-6 臺 4 線 1995~2000 年 0~26k 養護結算資料統計（續）

維修 時間	設施種 類	里程數（起 始）	里程數（結 束）	維修類型	金額 （元）	註解
1996/05	路面	1.40	12.00	服務	191,505	路面零星修補工程
1996/05	路面	10.76	13.50	其他	99,000	標線補繪
1996/06	路面	27.00	37.00	服務	878,000	挖掘路面養護
1996/06	路面	9.35	10.90	服務	340,000	挖掘路面養護
1996/06	路面	7.20	9.50	服務	116,094	路面零星修補工程
1996/07	路面	22.18	24.61	服務	70,223	路面零星修補工程
1996/09	路面	17.54	24.91	服務	218,000	路面零星修補工程
1996/09	路面	7.35	7.76	服務	920,700	路面零星修補工程
1996/12	路面	17.54	21.13	服務	277,000	挖掘路面養護
1997/01	路面	9.96	10.62	服務	382,000	挖掘路面養護
1997/01	路面	9.99	10.34	服務	406,000	挖掘路面養護
1997/01	路面	—	—	服務	193,000	路面零星修補工程
1998/08	路面	0.00	14.30	其他	774,000	路容整修工程
1998/08	路面	15.77	26.79	服務	221,800	路容整修工程
1998/09	路面	1.20	1.23	服務	4,000	挖掘路面養護
1998/09	路面	25.35	25.70	服務	268,000	挖掘路面養護
1998/09	路面	3.91	4.03	服務	16,000	挖掘路面養護
1998/10	路面	17.44	19.50	服務	565,000	挖掘路面養護
1998/11	路面	5.26	5.35	服務	293,000	挖掘路面養護
1999/01	路面	7.90	8.25	服務	473,000	挖掘路面養護
1999/02	路面	0.30	1.99	服務	6,365,000	挖掘路面養護
1999/03	路面	15.78	16.15	服務	797,000	挖掘路面養護
1999/03	路面	17.90	18.25	服務	754,000	挖掘路面養護
1999/03	路面	8.00	9.30	服務	1,666,000	挖掘路面養護
1999/04	路面	8.00	8.00	服務	445,000	交通改善
1999/09	路面	0.00	26.79	其他	907,000	路容整修工程
1999/10	路面	11.50	11.50	其他	151,000	H.P 管理設
2000/01	路面	2.00	2.00	服務	251,000	路面零星修補工程
2000/03	路面	16.15	17.00	服務	1,919,000	挖掘路面養護
2000/03	路面	23.00	25.50	其他	4,800,000	路面修繕
2000/03	路面	16.94	19.96	結構	111,000	邊溝改建
2000/08	路面	23.20	23.50	其他	751,000	紐澤西護欄改善
2000/08	路面	6.00	6.00	服務	325,000	路面零星修補工程

為了分析之便利性，本研究再以 5 公里（km）為單位進行分割，並取 20~25 km 為分析範例，選取後之資料如下表 3-7 所示：

表 3-7 臺 4 線民國 84~89 年 20~25k 養護結算資料統計

維修時間	設施種類	里程數 (起始)	里程數 (結束)	維修類型	金額 (元)	註解
1995/08	路面	16.15	26.79	其他	240,000	路容整修工程
1995/10	路面	23.37	23.72	服務	401,900	挖掘路面養護
1996/02	路面	19.99	20.65	服務	735,000	挖掘路面養護
1996/03	路面	23.20	23.70	其他	2,142,000	路容整修工程
1996/03	路面	24.70	24.70	服務	57,000	交通改善
1996/03	路面	2.50	25.50	服務	3,013,389	路面零星修補工程
1996/04	路面	16.70	23.70	服務	299,562	路面零星修補工程
1996/05	路面	23.05	23.69	服務	884,000	挖掘路面養護
1996/07	路面	22.18	24.61	服務	70,223	路面零星修補工程
1996/09	路面	17.54	24.91	服務	218,000	路面零星修補工程
1996/12	路面	17.54	21.13	服務	277,000	挖掘路面養護
1998/08	路面	15.77	26.79	服務	221,800	路容整修工程
1999/06	路面	20.38	26.79	服務	7,481,000	中央分隔島新建
1999/09	路面	0.00	26.79	其他	907,000	路容整修工程
2000/03	路面	23.00	25.50	其他	4,800,000	路面修繕
2000/08	路面	23.20	23.50	其他	751,000	紐澤西護欄改善

藉由表 3-7 之資料，即可進行未來養護成本之機率，步驟如下：

1. 養護資料整理

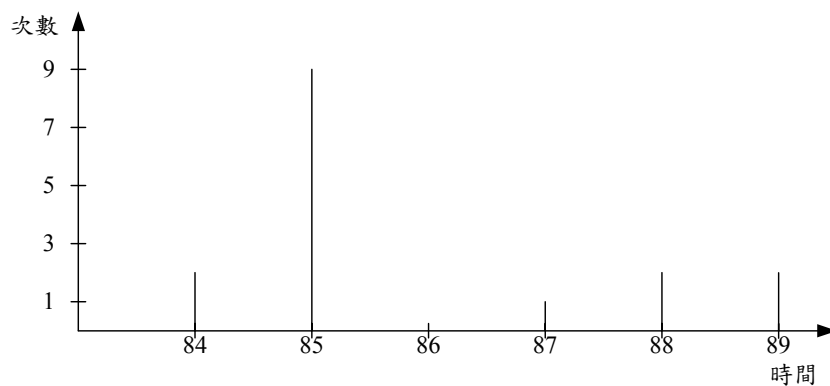


圖 3.16 臺 4 線 20~25k 養護次數紀錄

2. 養護轉換或然率矩陣建立（統計 84~88 年）

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. 養護轉換或然率矩陣預測未來養護次數機率

本範例欲預測第三年(民國 92 年)之養護成本，故計算方式如下：

$$\begin{aligned} P(3) &= P(0) \times P^3 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \times P^3 \\ &= [0.25 \ 0.5 \ 0.125 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.125] \end{aligned}$$

4. 養護成本計算

藉由各養護次數與成本之平均值計算第三年之養護成本（表 3-8），各次數之機率與平均成本如所示：

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^9 i \times P_i \times \text{Cost}_i &= 0.25 \times 0 + 0.5 \times 221,800 + \dots + 0.125 \times 3,125,487 \\ &= 1,264,206。 \end{aligned}$$

表 3-8 各養護次數機率與平均成本

次數	機率	成本平均	次數	機率	成本平均
0	0.25	0	5	0	0
1	0.5	221,800	6	0	0
2	0.125	3,050,483	7	0	0
3	0	0	8	0	0
4	0	0	9	0.125	347,276

3.5 道路邊坡管理系統改版與資料建置

配合交通部運輸研究所之公路防救災系統整合計畫，本研究計畫預計於計畫執行期間，將民國 94 年開始建置至今之單機版道路邊坡管理系統，規劃改版為網路版，並於改版期間持續擴充系統中之相關資料與欄位需求。而配合改版之際，新系統之架構亦同時進行調整，主要係依據 95 年「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一案之研究成果，將系統規劃分為災前預防、災中搶修與災後復建三階段（如圖 3.17 所示）。另外，亦將原系統結合網路地理資訊系統之查詢功能，並配合橋樑資料系統，統一建置於 GIS 資料管理界面中，如圖 3.18 所示，以下本節內容將針對系統改版後之功能界面進行說明。



圖 3.17 道路邊坡管理系統之三模組架構



圖 3.18 GIS 系統資料管理界面

3.5.1 災前預防階段

道路邊坡崩塌災害發生前，可透過基層人員平日之道路養護巡查作業，以及基本環境、巡查記錄、歷年災害等相關資料之累積作業，針對未來可能發生之災損狀況進行預測，如此一來，除用以瞭解後續災害防治之重點外，並可回饋防救災工作規劃調整，達到災害預防之效能，因此本系統規劃在此階段應包含之填報查詢界面有：道路邊坡基本資料、邊坡巡檢表單、邊坡監測儀器、自然環境資料、報表輸出與邊坡統計分析等功能（詳圖 3.19）。



圖 3.19 災前預防階段之系統界面

1. 道路邊坡資料管理

於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、起訖里程、里程樁間隔距離、道路所座落之縣市鄉鎮，以及資料邊修日期等資料（詳見圖 3.20）。而本研究規劃道路基本資料管理功能之目的，除提供前導關係資料之搜尋外，亦便於各公路養護單位進行道路資料之確認與控管作業。



圖 3.20 道路基本資料管理界面

2. 邊坡巡檢表單

公路養護單位平時須定期進行道路巡檢作業，以便隨時瞭解道路狀況，並填具巡檢報告表，倘若遇有重大特殊狀況，則應即時進行緊急處理，以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。有鑑於此，本研究團隊將基層工程師需針對轄屬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邊坡巡檢表單，以方便工程師定期針對所管轄範圍內之邊坡進行檢視作業。

在巡檢資料庫之起始界面，目前規劃可利用管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、填報日期、巡檢人員、巡檢種類，以及結構物種類等相關欄位資料進行搜索，再針對擬查詢之巡檢紀錄資料進行編修作業，然或者規劃可透過「新增巡檢資料」按鈕，來進行新增紀錄資料（詳圖 3.21）。

公路防救災決策支援系統

邊坡巡檢表單

管理單位: 交通部 | 填報日期: [選擇日期] [選擇日期]

填表人: | 巡檢人員: |

公路名稱: 台66線0.0KM至0.0KM | 巡檢種類: 日間經常巡查

里程起訖: 自 [] K 至 [] K | 結構物種類: 地表排水工

查詢 新增巡檢資料 刪除 修改 取消

選擇	道路名稱	填表人	填表日期	起點里程	訖點里程	巡檢種類	現狀描述	後續處理情形
☐	台66線	admin	2008-05-31 12:38:34.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	台66線	adm	2008-05-21 09:54:43.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	台66線	admin	2007-11-02 16:32:21.0	10.95	11.8	日間經常巡查		
☐	台66線	admin	2007-10-17 20:19:06.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	省道台11內線	admin	2007-10-15 08:28:23.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	國道3甲	魏佳麗	2006-10-06 02:50:00.0	12.011	12.033	夜間經常巡查		
☐	省道台8線	魏佳麗	2006-10-06 02:24:00.0	12.222	12.333	特別巡查	有崩塌之虞	編列經費進行修護
☐	省道台8線	魏佳麗	2006-10-06 02:17:00.0	12.033	12.555	特別巡查	雨真的很大	
☐	省道台2乙線	莊姿君	2005-12-07 02:41:00.0	155.5	158.3	特別巡查	路堤毀壞	經費不足無法處理

圖 3.21 巡檢資料庫之搜尋功能界面

關於巡檢資料庫之填報界面，目前系統規劃包括基本資料、自然環境資料、結構物檢查表與巡檢種類與照片等夾頁資料。其中基

本資料之夾頁內容，主要記錄所屬單位、填表人、填表日期（系統自動帶入）、公路名稱與里程起迄等資料（如圖 3.22 所示）。

圖 3.22 邊坡巡檢表單之基本資料界面

至於自然環境資料部分，研究團對考量同一里程路段之邊坡，若未遭遇崩塌破壞，其自然環境資料於短時間內變動應不大，故為減少基層工程人員之填報作業，特於此界面開發「匯入自然環境資料」此項功能，工程人員於填報作業時，可以透過此按鈕，選取里程相同之路段，由系統自動匯入已經建置完成之自然環境資料，工程人員則僅需針對匯入之資料進行修改作業，無須每一項目資料都重新鍵入（詳圖 3.23）。至於自然環境資料之夾頁內容，本報告將於後述內容進行詳細之敘述。

選擇	道路名稱	起點里程	終點里程
☐	省道台18線	12.033	12.555
☐	省道台18線	20.7	20.7
☐	省道台18線	24.7	24.9
☐	省道台18線	24.8	24.9
☐	省道台18線	28.1	28.2
☐	省道台18線	28.25	28.755
☐	省道台18線	28.9	31.5
☐	省道台18線	29.0	29.0

圖 3.23 巡檢表單之匯入自然環境資料功能界面

至於結構物檢查表又分為擋土、護坡與排水等三類，其建置規劃是參考交通部研究成果所研擬之「道路邊坡擋土結構物功能檢查表」相關內容予以數位化，如圖 3.24、圖 3.25 與圖 3.26 所示，規劃上先將結構物檢查分為擋土、護坡與排水三大設施種類，再依據各項工程設施給予巡檢之細項：以擋土設施為例，於巡查作業時，應先選定巡查之擋土種類，再針對擬訂之檢查項目逐條審視、勾選。因此，此項功能之規劃，將可協助工程師有效且迅速地評估現地結構物災損狀況，必要時可提出預警作用，達到降低用路風險之功效。

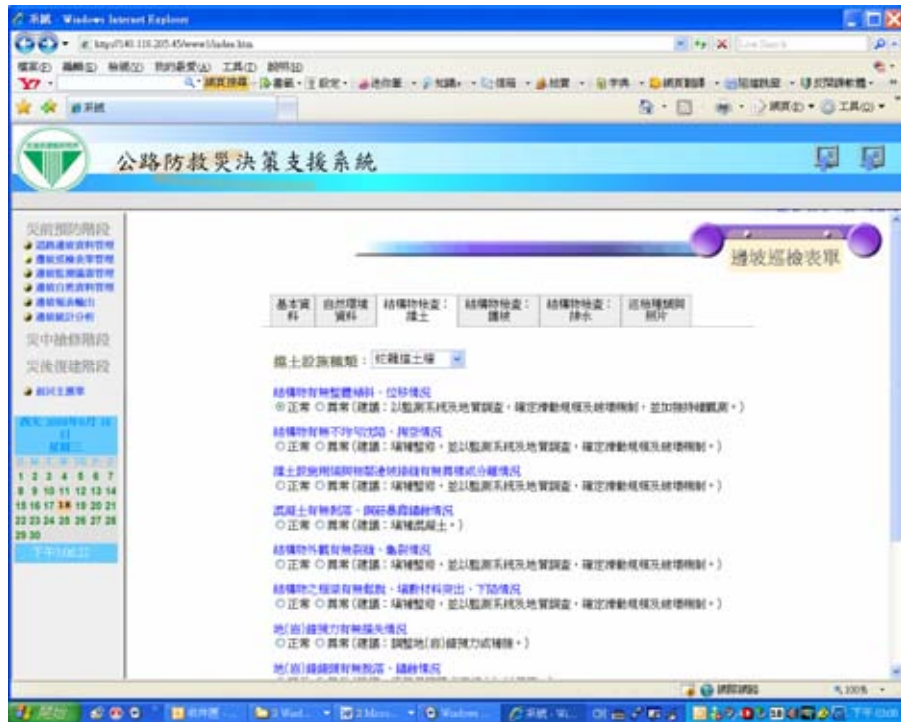


圖 3.24 邊坡巡檢表單之擋土設施檢查界面



圖 3.25 邊坡巡檢表單之護坡設施檢查界面



圖 3.26 邊坡巡檢表單之排水設施檢查界面

至於巡檢種類與照片之夾頁界面部分，目前規劃可建置巡檢種類、事件類型、現況描述，以及後續處理情形等。除上述相關資料欄位外，亦可載入前期或當下巡檢所拍攝下之現況照片，並可在載入之照片上，利用圈選的方式標註裂縫、滲水、崩落、毀壞或其他等現地狀況，再由資料庫系統針對圈選出之區塊範圍依據填報日期給予自動編碼（詳見圖 3.27），以提供後續進行維修、修復與定期巡查作業之參考依據。



圖 3.27 邊坡巡檢表單之巡檢種類與載入巡檢照片界面

3. 邊坡監測儀器

邊坡監測儀器資料庫目前規劃可透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、安裝日期、儀器種類與安裝單位等欄位資料進行交叉搜索作業（詳見圖 3.28），除此之外，亦可透過畫面上「新增監測儀器資料」按鈕，進行資料新增與填報作業。至於監測儀器資料填報界面，為了考量確實建置完整之邊坡資料，於此資料庫系統下開發建置基本資料、自然環境資料與監測儀器資料等三大類（詳圖 3.29），而自然環境資料夾頁內規劃之相關欄位，則同於上述之邊坡自然資料庫。

公路防救災決策支援系統

邊坡監測儀器

管理單位: [交通區] [] []
 儀器種類: [選擇監測儀器]
 填表人: []
 安裝日期: [] 至 [] (選取日期)
 公路名稱: [台66線10.0KM至10.0KM]
 安裝單位: []
 里程起訖: 自 [] 至 [] (至 [] 至 [])
 [查詢] [新增監測儀器資料] [刪除] [修改] [取消]

選擇	道路名稱	填表人	填表日期	起點里程	迄點里程	儀器	安裝單位	安裝日期
☐	省道台18線	莊雲君	2006-06-10 06:32:00.0	30.305	30.305	沉陷板:V形板:電阻式土壓計	ABC	2006/07/11

圖 3.28 邊坡監測儀器資料之搜尋功能界面

公路防救災決策支援系統

邊坡監測儀器

基本資料 | 自然環境資料 | 監測儀器資料

安裝單位: [財團法人臺灣省建設研究社]
 安裝日期: 2005-06-06 [選取日期]
 安裝經費: []
 量測單位: [青山工程顧問有限公司]
 起始量測日期: 2005-06-30 [選取日期]
 監測儀器種類: [選擇監測儀器]
 [即時監測資料]
 [儲存] [取消]

圖 3.29 邊坡監測儀器資料之新增功能界面

監測儀器資料夾頁之相關欄位，則規劃含括安裝單位、安裝日期、安裝經費、量測單位、起始量測日期，以及監測儀器種類與即時監測資料等（詳圖 3.29）。其中監測儀器種類之欄位架構，主要參考單機版的成果架構，規劃採以統一編碼方式，依據監測儀器量測對象之不同，將監測儀器分為「應變、傾斜或位移監測」、「雨量、水位與水壓監測」，以及「應力監測」三大類，並規劃於資料庫中建置安裝照片、示意圖，以及載錄相關之定義敘述等資料（詳

見圖 3.30)；如此一來，除可方便現地使用之工程人員進行判釋與填報作業外，統一編碼之功能，亦可提供作為檢核各項監測儀器功能成效之參考依據。至於即時監測資料部分之資料來源，目前由於考量使用權限問題，預計採以網路連線方式進行瀏覽(詳圖 3.31)，本研究團隊後續將透過與交通部公路總局之協調作業，期擬將相關監測數據資料予以直接擷取載入於本系統中。

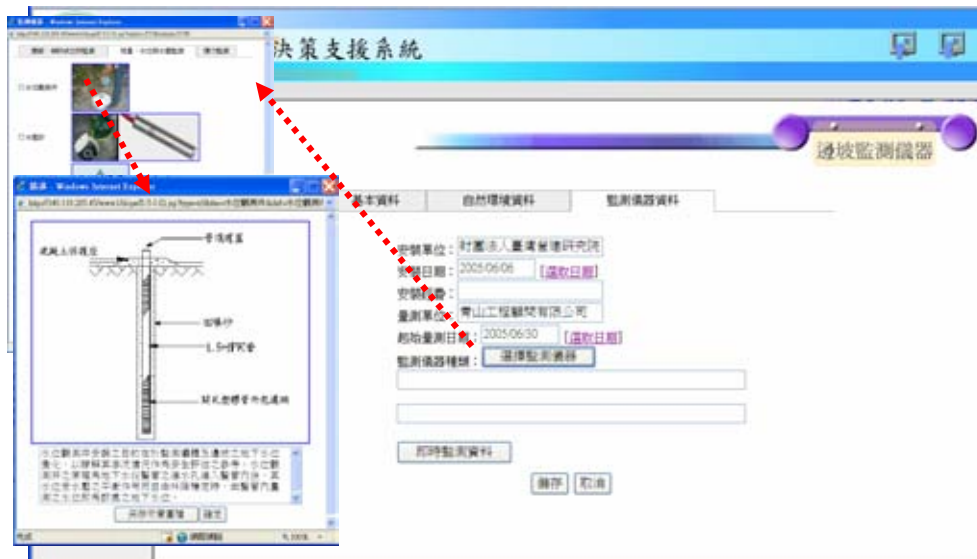


圖 3.30 監測儀器分類與定義之系統界面



圖 3.31 監測儀器資料之即時監測資料瀏覽界面

4. 邊坡自然環境資料

邊坡基本資料庫可透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、填報日期、地盤材料、崩塌情形、資料種類與岩盤種類等欄位資料，進行資料之交叉搜索作業（詳見圖 3.32），其中，資料種類則包含了：邊坡基本資料、邊坡巡檢資料、邊坡工程資料、監測儀器資料、自然環境資料、邊坡災損資料等六大類，此項功能在便於針對擬查詢之邊坡基本資料進行編修作業，除了進行編修作業外，亦可透過「新增自然環境資料」按鈕，進行新增填報作業。

公路防救災決策支援系統

邊坡基本資料

管理單位: 交通部
填表人:
公路名稱: 台66線10.0KM(至10.0KM)
里程起訖: 自 至 M至 至 M
填報日期: 至 (選取日期) 至 (選取日期)

地盤材料: @岩石(R) @土壤(S)
崩塌情形:
資料種類: 邊坡工程資料
岩盤種類: 火成岩

查詢 新增自然環境資料 刪除 修改 取消

選擇	道路名稱	填表人	填表日期	起點里程	訖點里程	崩塌代碼	資料種類	資料碼
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:36:22.0	83.0	95.0	null	邊坡災損資料	DSS
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:36:22.0	84.75	84.75	null	邊坡災損資料	DSS
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:15:29.0	84.47	84.47	null	邊坡災損資料	DSS
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:15:29.0	85.45	85.45	null	邊坡災損資料	DSS
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:15:29.0	85.47	85.47	null	邊坡災損資料	DSS

圖 3.32 邊坡基本資料之搜尋功能界面

關於此資料庫之填報界面部分，為考量確實建置完整之邊坡資料，故於系統開發時，即規劃進行自然環境資料填報作業時，皆須同時填報其道路之基本資料，因此，當進行自然環境資料新增填報作業時，即會出現基本資料與自然環境資料二大資料夾（如圖 3.33 所示）。以基本資料而言，主要規劃之欄位與「邊坡巡檢表單」中所述之欄位相同，包括了所屬單位、填表人、填報日期、公路名稱、里程起訖等，其中，所屬單位、填表人以及填報日期等三項資料欄位系統將規劃採以自動載入功能，使用者在填報作業時，無需自行進行填報輸入作業。然此填報界面與「邊坡巡檢表單」差異處，在

於此填報界面並無「匯入自然環境資料」之功能按鈕，其原因在於巡檢、災損、工程等資料庫所匯入之自然環境資料皆源自於此界面，故自然環境資料庫中之各資料欄位皆需工程人員逐項填報。

圖 3.33 邊坡自然環境之基本資料填報界面

至於自然環境資料這部分，主要可以分為地質、地形、座標、邊坡現況、水文、崩塌型態，以及圖說影像資訊等七項，其中，地質部分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；地形則記錄有主要坡向、上邊坡坡度、區位與坡形等；座標欄位則是採用 TM67 二度座標，記錄現地之 X、Y，以及高程 Z 之座標值；至於邊坡現況部分，則分別記錄了挖填方情形、坡面風化程度、坡趾開挖、邊坡維護、坡頂荷重等現況資料；水文部分則規劃有年度降雨量、地面排水與地下水滲流等相關資料欄位（如圖 3.34）。

公路防救災決策支援系統

邊坡基本資料

基本資料 自然環境資料

地質

岩盤層名: 田向坡正東坡
 岩層種類: 火成岩
 覆蓋層種類: 砂礫石
 地質構造: 向斜構造

地形

主要走向: 東
 上坡坡度: < 25度
 區位: 崩塌地
 坡形: ☒ 凸坡型 ☐ 直坡型 ☐ 凹坡型

座標

GPS_X: (*TM二座選擇)

圖 3.34 邊坡自然環境資料之填報界面

於自然環境資料中記錄之邊坡崩塌型態部分，系統主要是結合交通部道路邊坡相關之研究成果，先將地盤材料分為岩石（編碼—R）與土壤（編碼—S），再採用自動編碼方式，統一將崩塌型態分為墜落（編碼—FA）、傾倒（編碼—TO）、滑動（編碼—SL）、側移（編碼—SP）及流動（編碼—FL）等五大類，並於資料庫中將臺灣本土化較為典型之示意照片、相關定義敘述及統一手法繪製之示意圖建置完成（詳圖 3.35），以提供使用之工程人員於資料填報時之參考，用以提高填報資料之正確性。綜合上述相關之欄位資料，由於系統所需填報之資料龐大，故系統開發大多規劃採以可勾選之下拉式選單方式進行填報作業，除可減少填報所需之時間外，選單內之選項亦可作為後續研究分析之加權考量因子。

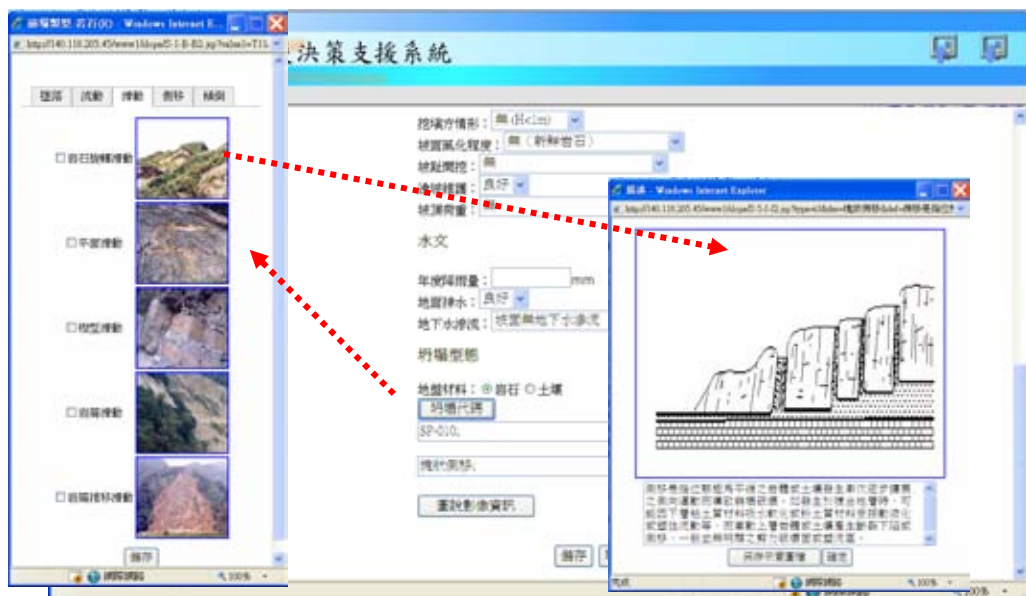


圖 3.35 自然環境資料之崩塌型態填報界面

至於圖說影像資訊部分，主要利用夾檔方式彙整入等高線圖、航照圖、地質圖、監視影像攝影等圖資（詳圖 3.36），而目前監視影像攝影部分之資料來源，由於考量使用權限問題，故目前則暫採以網路連線方式進行瀏覽。綜上所述，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，提供後續進行加權、評估分析作業，以作為提供建立道路邊坡專屬之維護、災害搶修與復建決策系統之參考依據。

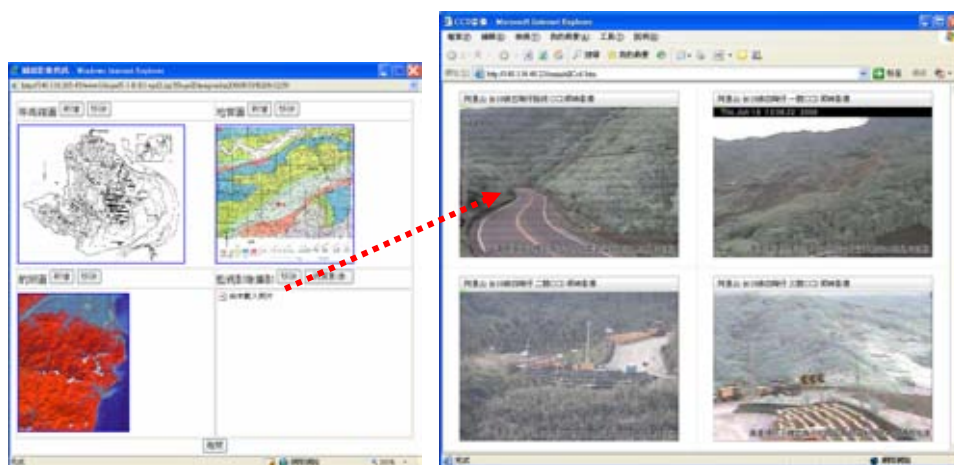


圖 3.36 自然環境之圖說影像資訊填報界面

5. 邊坡報表輸出

道路邊坡管理系統中，開發建置之邊坡報表輸出功能，其主要係參照巡檢維護、災損、工程等資料庫欄位，針對工程人員例行性公事所需之表單所予以設計，目前已開發完成之報表包括：結構物功能檢查表、災損工程經費明細表，以及工程經費明細表等，除此之外，利用此界面下之表單項目交叉查詢功能，即可快速查詢欲輸出之表單資料（詳見圖 3.37~圖 3.40）。將此功能規劃於此災前預防階段，其目的是希望提供平日巡檢之基層工程師能輕鬆獲得欲巡檢路段之相關歷史資料，使工程人員於現場能快速判斷相較於歷史資料有無異常之情形，以確實達到災前預防之目的。

選擇	道路名稱	填表人	填表日期	起點里程	迄點里程	巡檢種類	現狀描述	後續處理情形
☐	台66線	admin	2008-05-31 12:38:34.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	台66線	adm	2008-05-21 09:54:43.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	台66線	admin	2007-11-02 16:32:21.0	10.95	11.8	日間經常巡查		
☐	台66線	admin	2007-10-17 20:19:06.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	省道台11丙線	admin	2007-10-15 08:28:23.0	0.0	0.0	日間經常巡查		
☐	國道3甲	魏佳麗	2006-10-06 02:50:00.0	12.011	12.033	夜間經常巡查		
☐	台66線	admin	2006-10-06 02:50:00.0	12.011	12.033	夜間經常巡查		

圖 3.37 邊坡巡檢維護報表輸出管理界面

A1 道路邊坡擋土結構物功能檢查表 (1/2)							
	A	B	C	D	E	F	G
1	道路邊坡擋土結構物功能檢查表 (1/2)						
2	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	巡檢種類與描述	
4	擋土設施	砌石擋土牆 (E-040)	結構物有無整體傾斜、位移情況	異常	以監測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制，並加強持續觀察。	巡檢種類	
5		重力式擋土牆 (E-050)	結構物有無不均勻沉降、掏空情況	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。		
6		懸臂式擋土牆 (E-060)	擋土設施兩側與相鄰邊坡接觸有無異樣或分離情況	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。	現況描述：	
7		蛇籠擋土牆 (E-070)	混凝土有無剝落、鋼筋暴露鏽蝕情況	異常	填補混凝土。		
8		格床式擋土牆 (E-080)	結構物外觀有無裂縫、龜裂情況	正常	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。		
9		回填土工法 (E-090)	結構物之側面有無鬆脫、填敷材料突出、下陷情況		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。		
10		加勁擋土牆 (E-010)	地(岩)錨預力有無損失情況		調整地(岩)錨預力或補強。	後續處理情形：	
11		鏈拉式擋土牆 (E-030)	地(岩)錨鏈索有無脫落、鏽蝕情況		採用保護蓋或混凝土加以保護。		
12		土釘工法 (E-030) 以上	地(岩)錨有無明顯斷裂情況		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。		
13		抗滑槽 (E-040)	牆背堆積土有無超載情況		開挖移除。		
14		其他	牆背回填材料有無流失情況		填補回填材料並覆以保護材料。		
15							

圖 3.38 匯出之結構物功能檢查表單

C1							
	A	B	C	D	E	F	G
1	災害名稱：	泰利颱風			填表人：	jobby	
2	工程種類：	災害緊急搶修			填表日期：	2006-09-23 15:35:00.0	
3							
4	路線	里程起訖	原因	工程項目	規格及說明	數量	單位
5	省道台18線	20.7-20.7	泰利颱風豪雨致上邊坡坍方	清除落石坍方	長40*寬1*高2	107	M3
6				機械清除坍土石方		86	M3
7				機械清除0.8m3以上大礫石		21	M3
8				機械調度費1式			
9				剝離土石方處理			
10				剝離土石方入場費			
11				剝離土石方運費			
12	災害名稱：	泰利颱風			填表人：	jobby	
13	工程種類：	災害緊急搶修			填表日期：	2006-09-23 15:35:00.0	
14							
15	路線	里程起訖	原因	工程項目	規格及說明	數量	單位
16	省道台18線	20.742-20.742	泰利颱風豪雨致上邊坡坍方	清除落石坍方	長17*高3	166	M3
17				機械清除坍土石方		135	M3
18				機械清除0.8m3以上大礫石		50	M3
19				整石打除	長3	11	M3
20				剝離土石方處理			
21				剝離土石方入場費			
22				剝離土石方運費			
23				邊溝坍土清除		20	M
24	災害名稱：	泰利颱風			填表人：	jobby	
25	工程種類：	災害緊急搶修					

圖 3.39 匯出泰利颱風之災損工程經費明細表

Microsoft Excel - 2008619_30000018										
檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 工具(T) 資料(Q) 視窗(W) 說明(H) Adobe PDF(S)										
輸入需要解答的問題										
新細明體										
100%										
M11										
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	道路:	省道台18線						工程期間:	1999/4/21~2000/3/30	
3	里程:	28.1~28.2						工程種類:	災變修復	
4	工程名稱:	台18線28k+900~31k+500五彎仔崩場地治理工程(第一期)						填表人:	魏佳顯	
5	承辦人:	蔡榮勇						填表日期:	2006-06-01 23:23:00.0	
6										
7	項目1	項目2	項目3	項目4	工程項目	數量	單位	單價	金額	決標成數
8	1	35	0	0	8支架式警告燈	50	盞	null	16500	1
9	1	36	0	0	9黃色警示帶	2	卷	null	924	1
10	1	37	0	0	10固定式圍籬	100	m	null	145100	1
11	1	38	0	0	11鐵絲門	1	座	null	26331	1
12	1	39	0	0	12其他交通設施及管理維護費	1	式	null	7414	1
13	1	40	0	0	1安全衛生告示牌	1	面	null	2638	1
14	1	41	0	0	2人員物品防護網	300	m2	null	15900	1
15	1	42	0	0	3其他安全設施及管理維護費	1	式	null	2781	1
16	1	43	0	0	1工地灑水費	1	式	null	59355	1
17	1	44	0	0	2工地清潔費	1	式	null	98925	1
18	1	45	0	0	3其他環保設施及管理維護費	1	式	null	23742	1
19	1	46	0	0	營造綜合保險費(約1%)	1	式	null	109603	1
20	1	47	0	0	包攬利潤稅項及管理費(15%)	1	式	null	1706349	1
21	1	48	0	0	1試驗費	1	式	null	55000	1
22	1	49	0	0	2用地費	1	式	null	280000	1
23	1	50	0	0	3委託測量費	1	式	null	3800000	1
24	1	51	0	0	4工程監理費	1	式	null	564581	1
25	1	52	0	0	5空氣污染控制費	1	式	null	36657	1
26	1	53	0	0	A1鋼網架集水井	29.5	m	null	3429965	1

圖 3.40 匯出臺 18 線五彎仔崩塌地治理之工程經費明細表

6. 邊坡統計分析

至於邊坡統計分析功能，目前開發係將所填報自然環境資料中之水文、地形、地質與現況等分析因子（如圖 3.41 所示），與崩塌情形、資料種類、岩盤種類等因子，進行數據統計並繪製統計圖表（詳圖 3.42），本系統功能後續開發則將視系統使用者之需求，再增置其他資料庫欄位之統計分析功能。

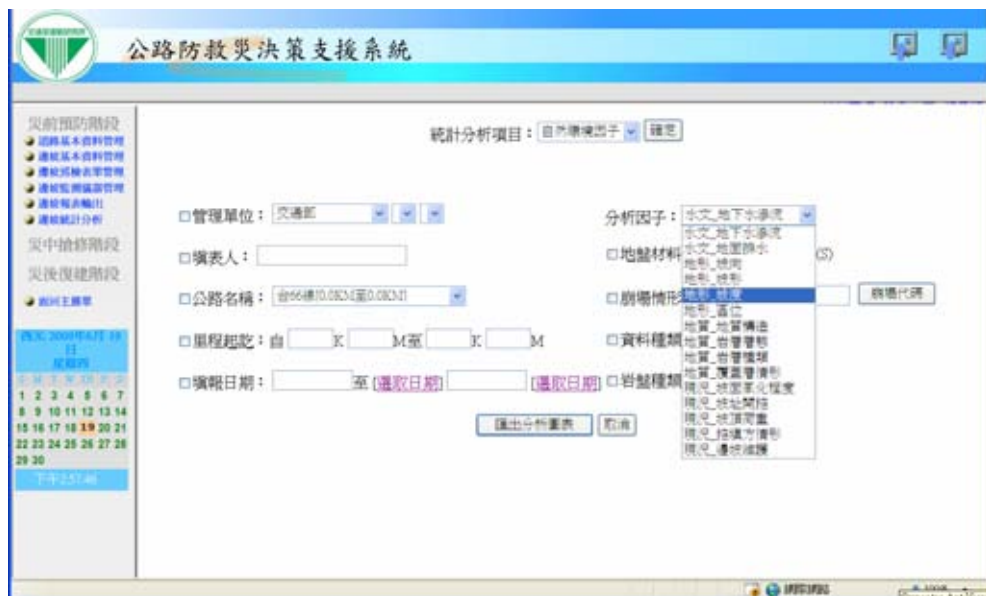


圖 3.41 邊坡統計分析管理界面

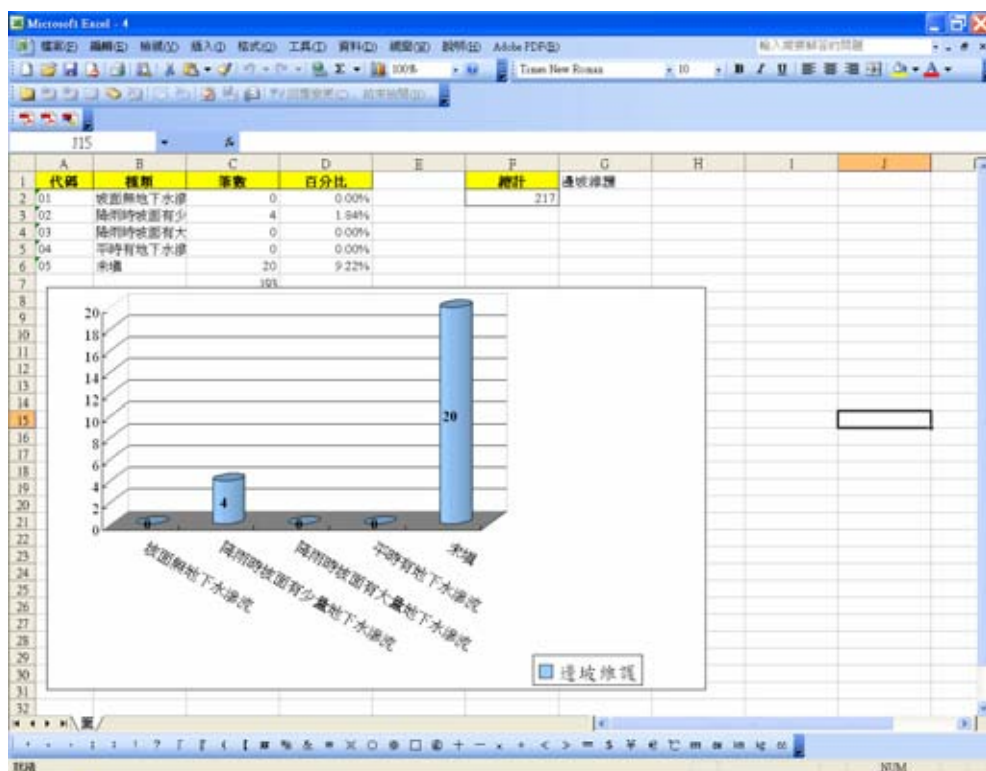


圖 3.42 地下水滲流之統計分析圖表

3.5.2 災中搶修階段

目前臺灣道路管理單位對道路崩塌之緊急搶修階段，其整治重點在於減少交通阻斷時間、維持交通順暢。然災害發生過程中，若能確實掌控災情，進行合宜之搶救災工作，則可降低災害之擴大，發揮搶修工程之效能。因此，考量災中搶修階段時間之緊迫性與工程人員之實際需求性，研究團隊於此階段僅規劃將 95 年度研究成果「道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊」中簡易之目視調查表單予以數位化，並在開發過程中建置適合之相關欄位，以提供現地工程人員於第一時間前往現場勘災時，可以確實記錄災況現場之相關資料(圖 3.43~圖 3.48 為系統中開發建置之簡易目視檢查表單)。

The screenshot displays a web-based survey form titled '公路防救災決策支援系統' (Highway Disaster Prevention and Relief Decision Support System). The form is divided into several sections:

- Left Sidebar:** Contains navigation links for '災前預防階段' (Pre-disaster Prevention Stage), '災中搶修階段' (Disaster Response Stage), '災後復建階段' (Post-disaster Reconstruction Stage), and '簡易目視調查表' (Simple Visual Survey Form). A calendar widget shows the date '2008年6月19日' (June 19, 2008) and a list of numbers from 1 to 28.
- Form Header:** Includes tabs for '基本資料' (Basic Information), '災害狀況' (Disaster Status), '地形與地質及崩塌與土地利用狀況' (Topography, Geology, and Landslide/Land Use Status), '保全對象' (Protection Object), '災害簡述及建議' (Brief Description and Recommendation), and '照片及說明' (Photos and Description).
- Form Fields:**
 - 所屬單位:** A dropdown menu with '公路總局' (Highway Bureau) selected, and sub-selects for '第三區養護工程處' (Third District Maintenance Engineering Office) and '阿里山工務段' (Ali Mountain Maintenance Section).
 - 填寫人:** A text field with 'adm' entered.
 - 填報日期:** A date field with '2008-6-19 16:59:2' entered.
 - 天氣:** A dropdown menu with '晴' (Clear) selected.
 - 行政區域:** Two dropdown menus with '嘉義縣' (Chiayi County) and '竹崎鄉' (Zhuqi Township) selected.
 - 公路名稱:** A dropdown menu with '台66線0.0831至0.0837' selected.
 - 里程起點:** Two text fields for 'K' and 'M' values, both set to '0'.
 - 地標:** A text field.
 - GPS紀錄代號:** A text field.
 - GPS_X:** A text field with '000000.000' entered.
 - GPS_Y:** A text field with '000000.000' entered.
 - 與其他測點關係描述:** A text field.
 - 區位:** A dropdown menu with '崩塌地' (Landslide Area) selected.
 - 地形位置:** A dropdown menu with '山脊' (Ridge) selected.
- Buttons:** '儲存' (Save) and '取消' (Cancel) buttons at the bottom right.

圖 3.43 基本資料調查欄位

公路防救災決策支援系統

災前預防階段
災中搶修階段
災後復建階段

簡易目視調查表

基本資料 災害狀況 地形與地質及植被與土地利用狀況 保全對象 災害簡述及建議 照片及說明

發生時間: 2008/06/29 [選取日期]
 崩塌類型: 地盤材料: ☒ 岩石 ☐ 土壤

 FA-010
 岩石描述:
 上邊坡_寬: 0 公尺 最大岩塊直徑: 0 公尺
 上邊坡_高: 0 公尺 堆積厚度: 0 公尺
 下邊坡_寬: 0 公尺
 下邊坡_高: 0 公尺 崩塌物質描述:

西元: 2008年6月 19 日
 星期: 四
 1 2 3 4 5 6 7
 8 9 10 11 12 13 14
 15 16 17 18 19 20 21
 22 23 24 25 26 27 28
 29 30
 下午5:04:41

網頁發生錯誤。

圖 3.44 災害狀況調查欄位

公路防救災決策支援系統

災前預防階段
災中搶修階段
災後復建階段

簡易目視調查表

基本資料 災害狀況 地形與地質及植被與土地利用狀況 保全對象 災害簡述及建議 照片及說明

主要流向: 東
 坡度(上緣): <30度
 動能作用: 平坡
 坡址距河(海)岸水平距離: 0 公尺
 地形: 凸嘴型
 地質地層:
 地質岩性:
 地質位態:
 風化程度描述:
 弱面性質:
 弱面位態:
 弱面填充物:
 邊坡類型: 非礫狀坡
 覆土層: 礫土層

西元: 2008年6月 19 日
 星期: 四
 1 2 3 4 5 6 7
 8 9 10 11 12 13 14
 15 16 17 18 19 20 21
 22 23 24 25 26 27 28
 29 30
 下午5:04:52

網頁發生錯誤。

圖 3.45 地形與地質及植被與土地利用狀況調查欄位



圖 3.48 照片及說明欄位

3.5.3 災後復建階段

傳統上，道路邊坡崩塌防治之考量，在復建工程方面，大多以經濟成本為主要考量因素，但近幾年來社會意識與環境生態觀念逐受重視的情況下，不但對於提昇用路人安全、增加環境景觀、減少交通阻斷時間，以及國土永續利用等考量，已有凌駕經濟因素之趨勢。有鑑於此，95 年度「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一案之研究成果中提及，災後復建工作應包含：系統化勘災、既存抗災能力評估、復建工作規劃執行，以及研擬監測預警規劃等。而為配合此研究成果，系統規劃在此階段之資料庫系統包含有：邊坡整治工法與邊坡災損資料兩大資料庫（如圖 3.49）。期擬此階段之功能規劃，能提供作為基層工程師與決策管理者於災後復建工作規劃執行時，有系統且完整之邊坡參考資料。



圖 3.49 災後復建階段之系統界面

1. 邊坡整治工法資料庫

在邊坡整治工法資料庫中，規劃可以先透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、承辦人、發包執行年度、工程名稱、整治工法，以及工程起訖等欄位資料進行交叉搜索作業（詳見圖 3.50），用以針對擬查詢之維護工程資料進行編修作業，倘若無任何一筆資料符合搜尋之條件，亦可透過「新增工程資料」按鈕，進行新增填報作業。



圖 3.50 邊坡整治工法資料庫之搜尋功能界面

關於邊坡整治工程資料庫之填報界面，考量系統資料之完整性與連貫性，於整治工法資料庫系統下規劃開發基本資料、自然環境資料，以及維護工程紀錄等三大類資料。其中，關於基本資料與自然環境資料夾頁內規劃之相關欄位，則相同於「邊坡監測儀器」所述。至於維護工程紀錄之相關欄位資料，規劃除了工程名稱、工程起訖、承辦人、發包執行年度、總工程經費等邊坡整治基本資料外，此資料庫亦記錄邊坡整治工程資料、工程明細資料、施工照片、竣工圖等。其中邊坡整治工程資料之相關欄位，包括：工程種類（分為：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、道路寬度、車道數、上下邊坡之土地利用情形、整治工法及其整治成果、整治維持時間、整治不良原因，以及整治工程之修復範圍（長、寬、高）等（如圖 3.51 所示）。



圖 3.51 邊坡整治工法資料庫之維護工程填報界面

關於資料欄位中之整治工法部分，參考過去相關研究成果，目前規劃分為邊坡與土石流整治工法兩大類，其中以邊坡整治工法為例，其主要是結合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，將邊坡工法分為外穩定（編碼—E）、內穩定（編碼

—I）、排水（編碼—D）、避險（編碼—A）與植生（編碼—V）五大類，同時並於資料庫系統中建置各工法較為典型之示範案例照片、相關定義敘述，以及結合「交通部公路總局標準參考圖說」內容建置於系統中（如圖 3.52、圖 3.53 所示）。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。



圖 3.52 邊坡整治工程資料之工法選定界面

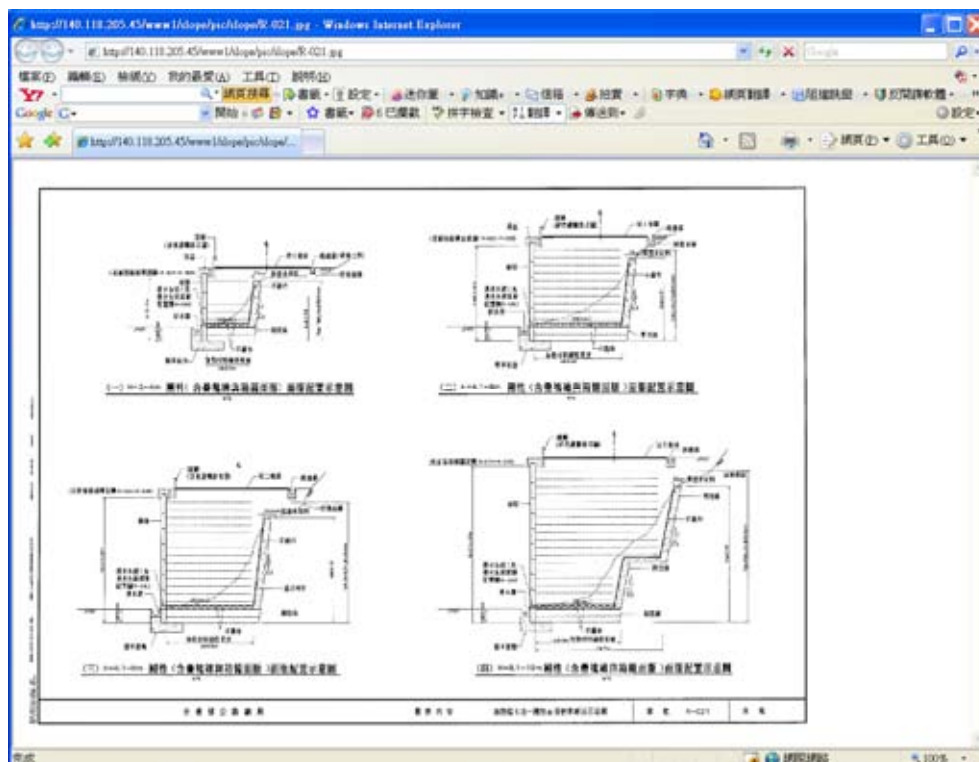


圖 3.53 工法資料庫結合交通部公路總局標準參考圖說界面

另外，有關工程明細資料部分，主要則依據公路養護單位規劃之報表與預算內容進行設計，目前除彙整記錄了項目根標號、工程項目名稱、規格及說明、數量、單價、單位、金額，以及附註外（如圖 3.54），資料庫亦已完成相關報表輸出功能，此功能之開發將可減少基層人員平日報表建置與相關預算作業之時間花費。

工程資料 - Windows Internet Explorer

http://143.118.205.45/www/14slope/S-2-G-G1.jsp?SlopeID=200000133&get=1&D4=50000001&T3=31&T4=5&T5=31&T6=5&datebox=2003/7/14&date=

項目編號:

工程項目名稱: 規格及說明:

數量: 單價: 單位: 金額: 決標成數:

附註:

新增

項目編號	項目名稱	項目代碼	項目說明	規格及說明	數量	單位	單價	金額	決標成數	備註	填表人	填表日期	工程基本碼	刪除
1	1	0	0	工作費用	null	null	null	44624000	null	null	null	null	2-18-31-500-31-500-92714-92916	刪除
2	1	1	0	機械挖土方	null	48051	M3	null	1873989	1	null	null	2-18-31-500-31-500-92714-92916	刪除

15.19.31

100%

圖 3.54 工程資料中之工程明細資料填報界面

而施工照片部分則是規劃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，並將彙編進來之各階段照片，依據整治點位所屬之道路工程基本碼進行分類與儲存。除此之外，為考量基層人員彙集相關之工程整治資料，本系統亦提供竣工圖之彙編作業功能，此功能界面除可提供基層工程人員完整保留相關之整治工程資料外，亦可提供其他路段使用者後續之參考與下載作業。

2. 邊坡災損資料庫

邊坡災損資料庫可透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、承辦人、發包執行年度、工程名稱、工程起訖、災害名稱、災害種類，以及承包商等欄位資料進行交叉搜索作業，再針對擬查詢之災損資料進行編修作業，除此之外，亦可透過界面下方「新增災損資料」按鈕，進行新增作業（詳見圖 3.55）。

公路防救災決策支援系統

邊坡災損資料

☐ 管理單位: 交通部
☐ 填表人:
☐ 公路名稱: 省道台18線
☐ 里程起訖: 自 0 起至 0 止
☐ 承辦人:
☐ 發包執行年度: 93

☐ 工程名稱:
☐ 工程起訖: 至 (選取日期) (選取日期)
☐ 災害名稱:
☐ 災害種類: 颱風
☐ 承包費:

查詢 新增災損資料 刪除 修改 取消

選擇	道路名稱	填表人	填表日期	起點里程	訖點里程	災害名稱	災害種類	工程種類	災害時間
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:36:22.0	83.0	95.0	碧利斯颱風	颱風	災變修復	91
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:36:22.0	84.75	84.75	碧利斯颱風	颱風	災變修復	91
☐	省道台18線	admin	2007-11-02 16:15:29.0	85.45	85.45	0609豪雨	豪雨	災變修復	95

圖 3.55 災損資料庫之搜尋功能界面

關於災損資料庫所建置之填報界面，考量各系統間資料之完整，於災損資料庫系統下共開發了基本資料、自然環境資料、通報紀錄，以及搶修工程紀錄等四大類。其中，基本資料與自然環境資料內規劃之相關欄位，詳見前述相關章節。而通報紀錄規劃開發之相關欄位，考量災害發生除需確實記錄災害造成之工程損壞與相關配套之搶修作業外，亦應將災害造成之災情現況予以記載，故預計建置欄位有：通報人、通報時間、災害發生時間、損害程度、交通阻斷情形、傷亡與失蹤人數、發送簡訊通知、現場狀況描述，以及其他之備註說明等資料欄位（詳見圖 3.56），其中發送簡訊通知功能為針對網路版系統所增設之功能，可提供填報人員於災害發生之第一時間內，快速且及時將現地災害狀況通報給相關人員，如此一來，將透過後續相關命令發佈與配套措施之進行，確實降低現地災情之擴大。

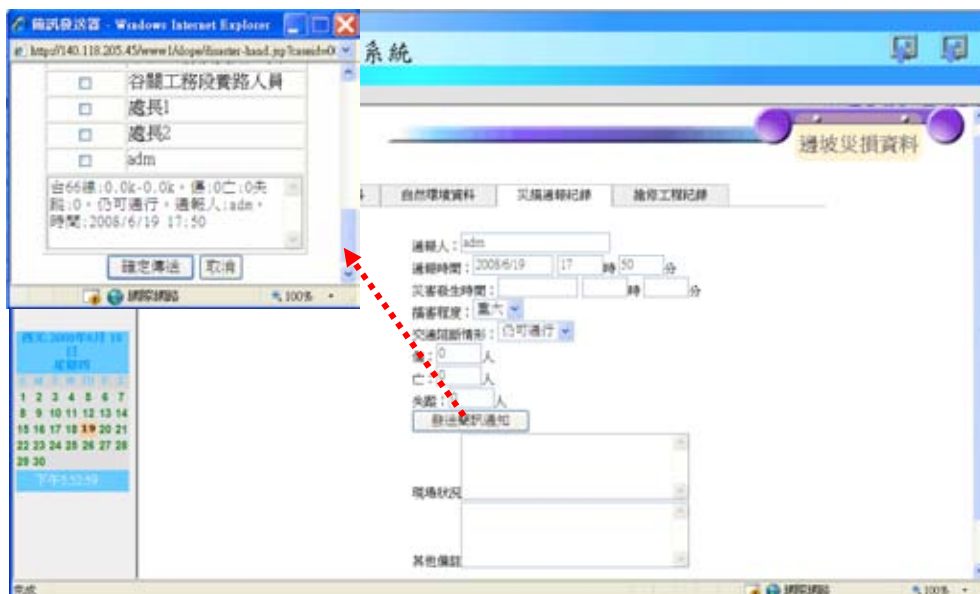


圖 3.56 邊坡災損資料庫之災損通報紀錄界面

搶修工程紀錄之架構，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、工程起訖、總工程經費、承辦人、發包執行年度與承包商資料外，亦記錄了災害名稱、災害年份、災害種類（含颱風、豪雨、地震、颱風+豪雨、其他等）、災損地點補述、損壞情形、災損原因、工程種類，搶修工程項目，以及相關之災損照片（詳圖 3.57），其中工程資料之填報則將再細分為工程項目、數量、單位、單價、折減、複價等項目。然目前規劃之搶修工程資料，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。

公路防救災決策支援系統

災前預防階段
災中搶修階段
災後復建階段

● 搶修工程項目管理
● 搶修災情資料管理
● 搶修工程項目

基本資料 | 自然環境資料 | 通報紀錄 | 搶修工程紀錄

工程名稱: _____
 工程起點: 自 1900-01-01 00:00 [選取日期] 至 1900-01-01 00:00 [選取日期] 完成
 總工程經費: _____
 承辦人: _____
 發包執行年度: _____ 年
 承辦商: _____
 災害名稱: 勝利新橋基
 災害年份: 91
 災害種類: 地震
 災損地點描述: 台南縣南化鄉
 損壞情形: 落石坍方
 災損原因: 地震震害造成失穩
 工程種類: 災害修復 * 災害緊急

搶修工程項目

上傳照片

儲存 取消

小視窗: 搶修工程項目

序	工程項目	單價	量	總價	計價	百分比	數量	總價	備註
1	搶修工程項目	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	搶修工程項目	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	合計	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

圖 3.57 邊坡災損資料庫之搶修工程紀錄界面

3.5.4 邊坡 GIS 資料庫

系統改版規劃主要延續原系統結合地理資訊系統之構想，提供填報資料查詢功能，並以空間化方式進行展示，然為使 GIS 資料庫之查詢功能提供使用者更簡便且正確的操作界面，系統改版規劃於此資料庫提供之功能包含：災損統計、工程統計、縣市屬性查詢、資料屬性查詢、編碼屬性查詢與點位查詢等（如圖 3.58 所示），以下茲就上述功能之規劃作一說明。



圖 3.58 邊坡 GIS 資料庫管理界面

1. 災損統計

災損統計功能方面，可利用目前規劃如圖 3.59 所示之搜尋條件(道路名稱、災害名稱、災害種類、工程種類與發包執行年度等)，將歷年災害來襲造成道路損壞之災害點位資料進行搜尋與統計，並利用圖資方式予以展示。以圖 3.60 為例，由搜尋結果可知，93 年度臺 21 線 19k~19.5k 路段，因遭逢桃芝颱風之侵襲，此路段共花費新臺幣 120,000 元進行搶救災作業。除此之外，更規劃在圖面上，可將統計分析結果以紅、黃、綠三種色塊進行展示，以明確地顯示各地因災害而投入之實際搶救資源。



圖 3.59 災損統計功能之管理界面

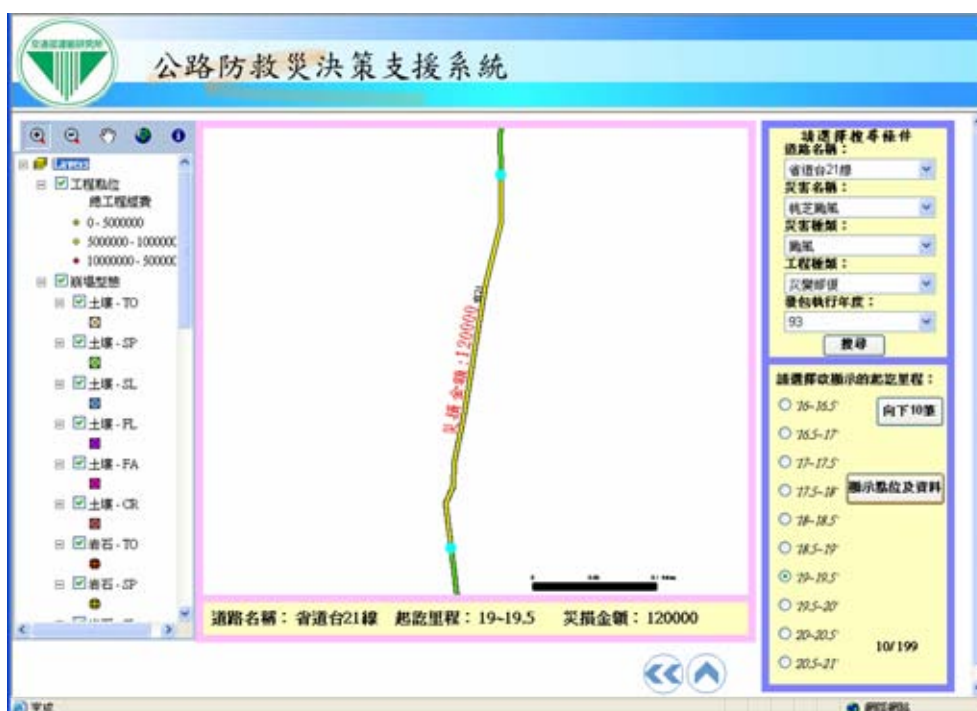


圖 3.60 省道臺 21 線桃芝颱風之災損統計搜尋結果

2. 工程統計

關於工程統計方面，可利用目前規劃之搜尋條件，包含了道路名稱、起訖里程、工程種類、工程經費與發包執行年度等，本功能可快速針對工程資料符合搜尋條件之整治路段，利用圖資方式予以展示。以臺 18 線 86~94 年度間災變修復之工程資料為例，由搜尋結果可知，有 24.8k~24.9k、65k、69.9~70k 三路段之修復經費介於新臺幣 5,500,000 元~12,500,300 元之間，其中，有兩次花費皆位處於 65k 附近路段（詳圖 3.61）。綜合上述。透過此功能展示，可以明確地針對過去投入支各項工程整治資源進行統計，並快速調閱擬搜尋路段之相關資料。



圖 3.61 省道臺 18 線災變修復之工程統計搜尋結果

3. 縣市屬性查詢

縣市屬性查詢功能主要在於可以搜尋已填報過位於全省各縣市、鄉鎮歷年整治之道路基本資料、工程資料及自然環境資料等，並可在圖層資料中顯示所查詢之點位位置。圖 3.62 所示為目前規劃縣市屬性查詢功能界面，可利用選取之年度、縣市與鄉鎮搜尋其

轄屬之道路，透過路段與工程基本碼勾選後，即可利用下方之屬性按鈕進行相關資料之查詢作業，工程資料搜尋結果詳見圖 3.63。

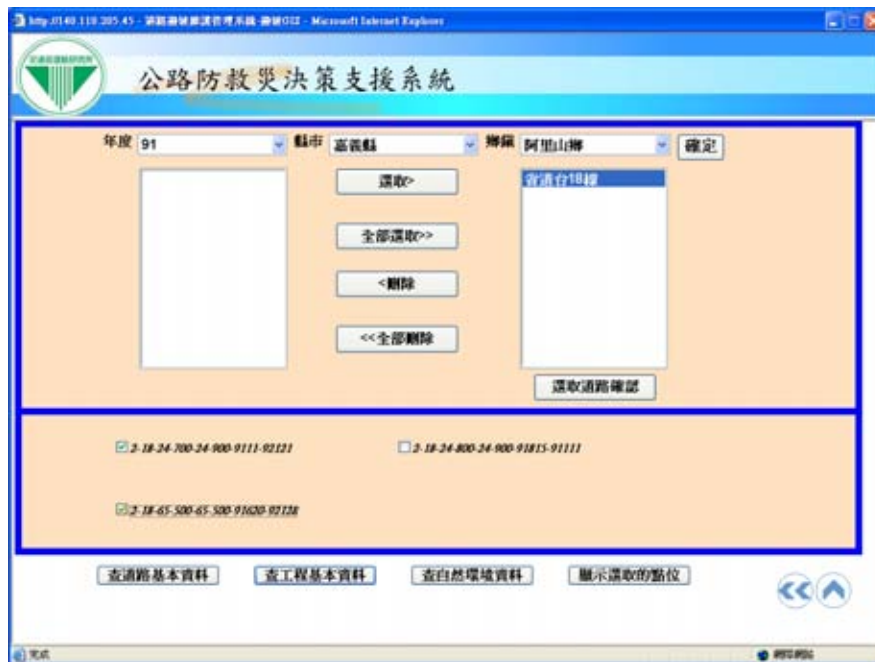


圖 3.62 縣市屬性查詢界面



圖 3.63 縣市屬性查詢之工程資料結果展示

4. 資料屬性查詢

「資料屬性查詢」功能之規劃方向，主要依據道路基本資料、工程基本資料及自然環境資料等三大分類，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，進行語法測試後，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，也可以利用資料庫查詢點位功能，於圖層中明顯找出搜尋點位之所在位置，然資料屬性查詢界面如圖 3.64，相關資料之點位查詢結果則如圖 3.65 所示。。

圖 3.64 資料屬性查詢界面



圖 3.65 資料屬性查詢之點位查詢結果展示

5. 編碼屬性查詢

編碼屬性查詢之規劃目的，主要是欲結合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，目前規劃於此功能之界面如圖 3.66 所示。

第四章 持續道路邊坡致災因子（雨量）空間分析

從外在環境因素來看，造成臺灣山區道路邊坡破壞的主要因素有：地震和降雨。相較於致災地震發生的頻率來看，降雨所造成邊坡破壞頻率遠較地震所造成的災害為高。這可以從每每只要有突然的豪大雨發生，山區道路邊坡破壞的災害便是時有所聞，尤其是在颱風豪雨季節中。然除了常見之土石流之外，大多數邊坡破壞均屬於淺層破壞，破壞深度通常亦只有數公尺深，破壞的範圍相對於土石流的破壞規模也是相當小的，但其所帶來的生命財產損失卻不容小覷，由於它可能啟動的時機及發生的地點都相當難以預測，所以成為道路邊坡防災工作上一個相當難以掌控的因素。

降雨是邊坡崩塌的驅動因子（Triggering factor），因此雨量因子掌握的正確與否，對邊坡破壞之研判會有很大的影響。一般而言，計算邊坡崩塌機率所需之影響因子中，地質、地形等因子，屬於靜態性的因子，在短期內不會有明顯的變化；至於雨量因子以及和其相關之地下水文因子等，則屬於動態性的因子，在短時間內可能會產生明顯的變化，因此如何正確量化雨量因子，在預測崩塌機率之正確性上，則有著關鍵性之影響。

雨量因子之量化，因山區雨量變化大，隨著地形、坡向、高程等的改變，山區道路在短距離內可能就有顯著之降雨變化，因此不易以內差方式，藉由現有氣象局雨量測站測得之雨量資料，來準確地預測某山區道路之降雨量。有鑑於此，將利用本研究蒐集近年來颱風豪雨期間雨量站之雨量資料，分析颱風造成山區道路邊坡的降雨空間分佈，用以估算降雨空間中未知點之颱風降雨量。同時，為能更密集地蒐集某一區域山區路段之雨量資料，本研究團隊亦將配合於省道臺 18 線部分路段裝設簡易型雨量計，並運用格網技術回傳雨量資料，再利用此資料驗證量化因子常用方法之正確性，以期提供雨量致災因子量化時之參考依據。

而關於地下水文因子之量化，本研究之研究對象以淺層滑動邊坡

為主，而引起淺層滑動破壞之主因，多為降雨入滲所致，因此對於地下水文因子之量化，將以降雨所引起之地下滲流水為主，建立地下滲流水與邊坡滑動之關係，探討地下滲流水對邊坡淺層滑動之影響。同時為蒐集地下滲流水之相關資料，本研究亦配合前往臺 18 線裝設土壤含水量計，相關土壤含水量計之敘述詳見於 4.1 節，降雨資料之觀測與蒐集則詳見 4.2 節。

4.1 現地簡易型土壤含水量計之補充設置

本報告之研究對象以淺層滑動邊坡為主，然而引起此破壞型態之主因，則多為降雨入滲所致，因此，對於地下水文之調查分析作業，研究團隊將以降雨所引起之地下滲流水為主，建立降雨量引致地下水滲流與邊坡滑動之關係，探討其對邊坡淺層滑動之影響。因此，本研究團隊配合現地雨量計之裝設與雨量資料之擷取作業，特前往臺 18 線裝設土壤含水量計，期擬透過土壤含水量計之設置與數據擷取，獲取更多地下水文資料相關資料。

目前國內常見之土壤含水量儀器主要分為以下三種類型（詳表 4-1），土壤基質吸力儀器則分為以下二類（詳表 4-2），本研究考量現地之需求與經費預算，選擇以第二類之土壤基質吸力儀器，進行本研究之現地土壤含水量量測作業。由於今年襲臺颱風數量眾多，造成臺灣山區道路災害頻傳，考量儀器裝設位置之穩定性與安全性，因此，研究團隊今年僅於省道臺 18 線 43k+100 的位置，配合現地雨量計之量測作業，埋設一支簡易型土壤含水量計，現地儀器安裝相關照片詳見圖 4.1~圖 4.5 所示，後續期擬此里程之土壤含水量計與雨量計之讀數資料，可供道路崩塌潛勢分析模式開發之參考依據。

表 4-1 土壤含水量計彙整表

I.ThetaProbe			
型號	量測精度		圖例
ML2x	0~40℃(1%) 40~70℃(2%)	After calibration to a specific soil type	
L2X/d	0~70℃(5%)	Generalised calibrations soil	
II.ProfileProbe			
型號	量測精度		圖例
PR1/4 (4 個 sensor)	5℃~40℃(3%) 40℃~60℃(3.5%)	After calibration to a specific soil type	
PR1/4d-02			
PR1/6 (6 個 sensor)	5~40%(5%)	Generalised calibrations soil	
可造(OMEGA,USA) (含 5 個 sensor)	3%	數據擷取系統+軟體及輸出介面	
III.WET Sensor			
型號	量測精度		圖例
WET-1 (可量土壤含水量、導電度及溫度)	3%	After calibration to a specific soil type	

表 4-2 土壤基質吸力儀器彙整表

I. Water-filled tensiometers.(Refilling required after dry periods)				
型號	量測範圍	精度	圖例	
SWT3	+10~75kPA	±0.2kPA		
WT4	+100~85kPA	±0.2kPA		
SWT5	+100~85kPA	±0.2kPA		
II. Porous matrix tensiometers.				
型號		量測範圍	精度	備註
Δ T: EQ2		+0~100kPA	±10kPA	± 20kPA(Hysteresis effects)
		+100~1000kPA	10%(非線性)	
Watermark Sensor:  WNSM		+0~200kPA	Trend only	
Gypsum Block:  GYP1		-50~1500kPA	Trend only	10%



圖 4.1 土壤含水量計之電池與資料接收箱



圖 4.2 土壤含水量計之感應器與溫度計



圖 4.3 將感應器放入洞的底部（深度約為 30cm）



圖 4.4 將電纜線連接資料接收箱與電池



圖 4.5 進行設定與連線狀況檢查作業

4.2 現地簡易型雨量計設置與降雨資料觀測蒐集

本研究為能更密集的蒐集雨量資料，以供後續雨量空間分析與崩塌潛勢分析有更準確之雨量量化數據參考，於是在省道臺 18 線阿里山公路沿線邊坡佈設雨量站，並利用格網技術，以 GPRS 方法將雨量資料即時回傳至伺服器，其整體架構規劃如圖 4.6 所示。

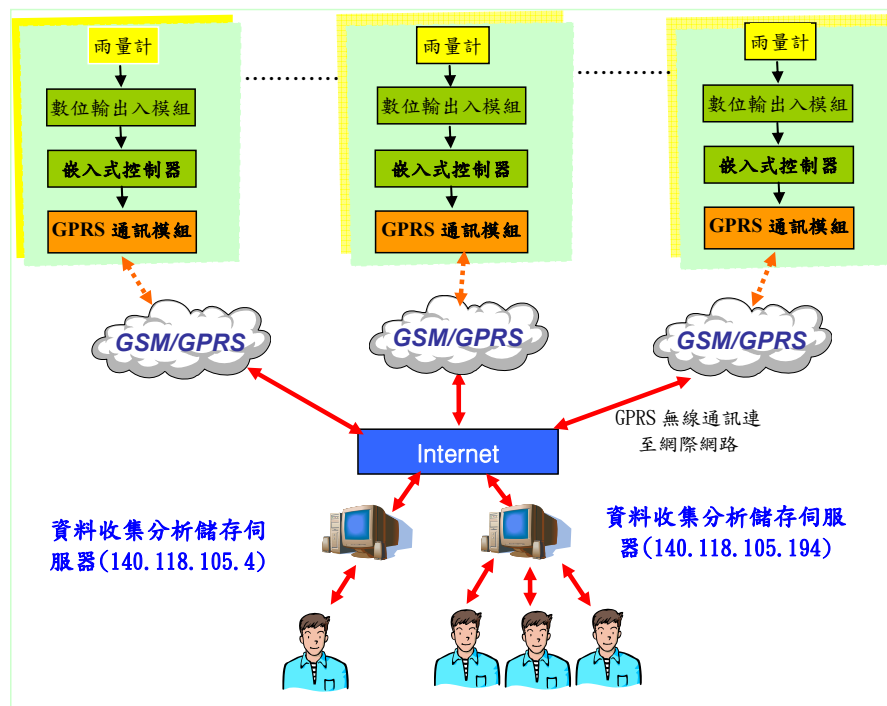


圖 4.6 臺 18 線雨量監測格網架構

4.2.1 雨量計原理介紹

雨量計原理如圖 4.7 所示，進入接水容器之雨水流入以軸為中心且可左右倒置之容器，容器中之雨水到達滿水位時，水平軸承就會倒置，因為軸承產生倒置的動作，裝在容器下方之水銀開關（或磁簧開關），在倒置動作時即會形成通路，進而產生一個脈波（信號），記錄倒置次數，此項數據資料即可估算出實際接收之降雨量。

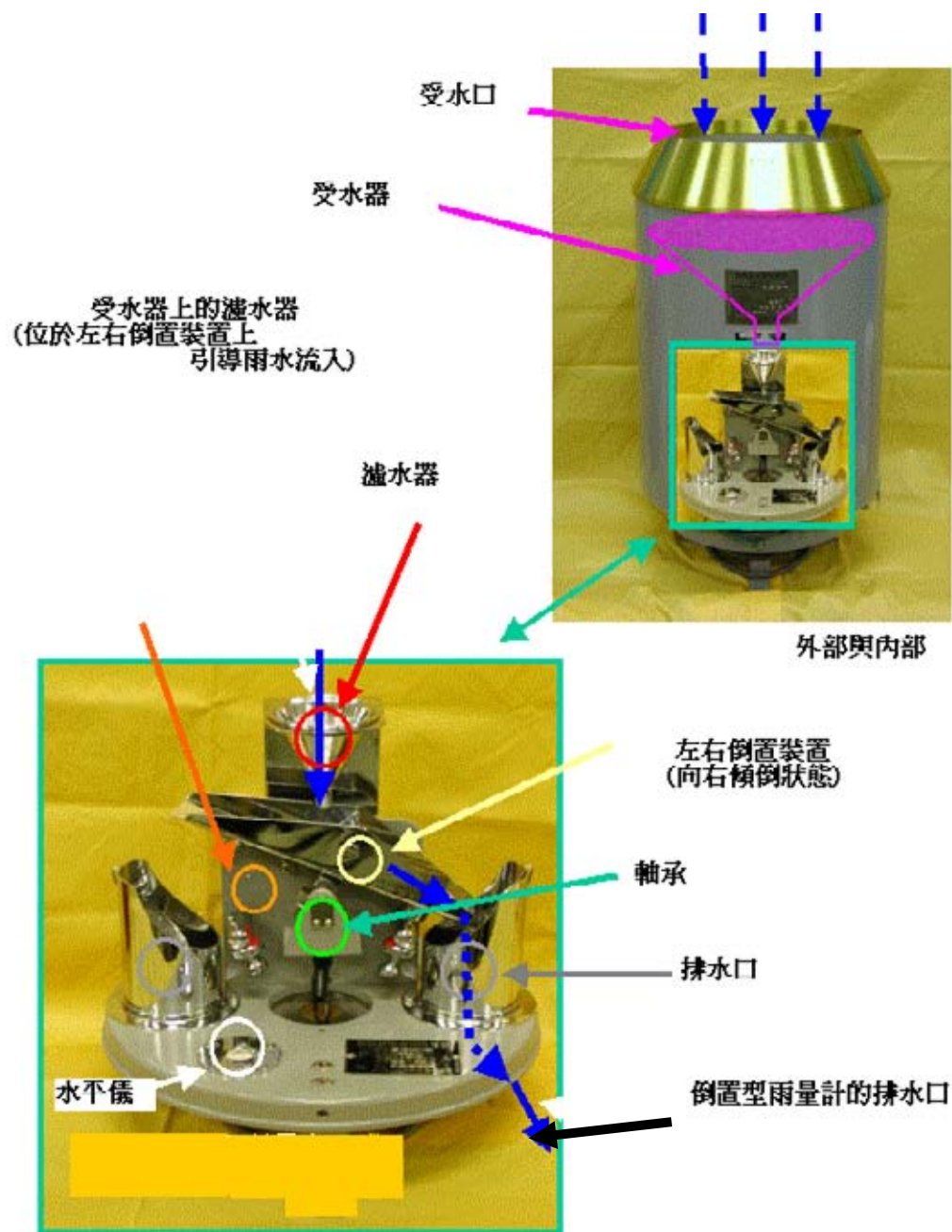


圖 4.7 倒置型雨量計構造圖

4.2.2 雨量計裝設環境影響

雨量計佈設地點之考量因素列述如下：

1. 鄰近崩塌地，但盡量遠離高樹及灌木

當裝設位置附近有高樹和灌木時，易受到風吹的影響，以致於得到的降雨量不是在測量要求的情形下發生。另外，當樹葉、枯枝掉落時，極有可能造成受水口的堵塞（如圖 4.8），故儀器設置時應距離大樹或灌木之 2~4 倍高度以外或更遠（如圖 4.9）。



圖 4.8 落葉落於受水孔內之情形

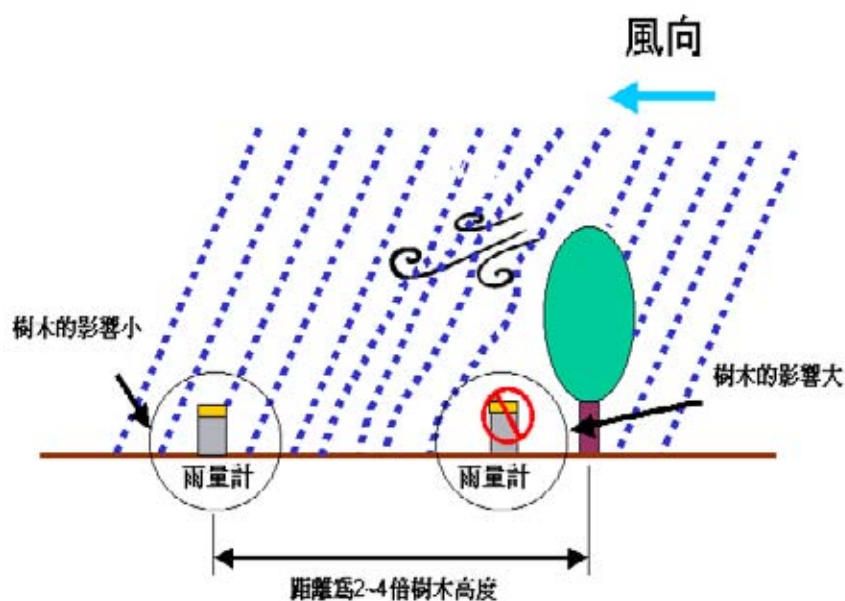


圖 4.9 樹木高度對雨量計記讀之影響示意圖

2. 安裝時周邊注意事項

當安裝時，要確認左右倒置裝置是否有水平放置，然在土地上面安裝會有雨水彈跳進入雨量計內造成誤差之慮，故應設置在草坪（或人為草坪）或在設置範圍 1m 內鋪設石渣（詳見圖 4.10）。除此之外，雨量計設置於圍牆或紐澤西護欄時，雨量計開口應高出圍牆或紐澤西護欄，同時，設置地點宜避開持續崩塌地或易遭崩落物掩埋處。另外，附近應有適當之掩避地點，以使研究設備便於藏匿，然雨量計裝設考量現地之隱蔽性，本研究依據現場環境，將部分雨量計裝設於圍牆之後，使其略低於圍牆，以避免遭受破壞與偷取。

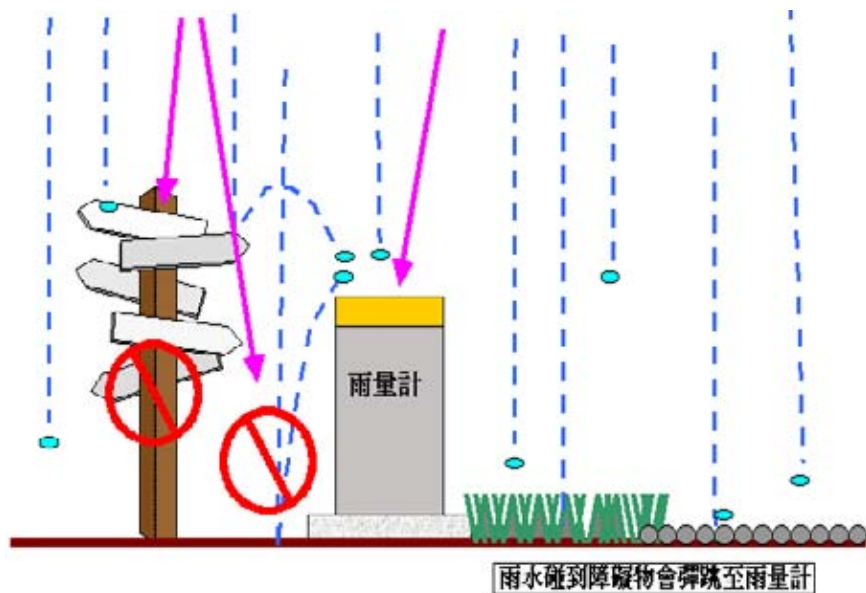


圖 4.10 雨量計設置周圍障礙物之影響示意圖

4.2.3 雨量計安裝成果

雨量計安裝部分，臺 18 線沿線除了原本中央氣象局所設之雨量站（分別為：阿里山、新高口、瀨頭、頭凍、小公田）外，本研究團隊於民國 94 年開始便陸續於臺 18 線進行雨量計設置，截至去年度為止，已設置共九個雨量計，分別埋設於 39k+300、41k+700、54k+100、69k+900、78k+600、82k+300、90k+200、91k+300、95k+900 等處，而另外於國立臺灣科技大學工程 II 館屋頂（NTUST-E2）設置一雨量計，

以供雨量資料傳輸驗證用。

除此之外，研究團隊今年度亦配合案件執行之需求，已於 5 月 9~10 日前往現地進行雨量資料擷取與儀器維護作業，同時，亦於 83k+400 處增設一個雨量計，於 8 月 10 日在 35k+300、43k+100、46k+010、50k+400 等處再新增設四個雨量計，目前於省道臺 18 線道路沿線共計有十四支雨量計，關於雨量計裝設位置、時間等相關資料彙整詳列於表 4-3，現場裝設照片則如圖 4.11~圖 4.25 所示（各雨量計之相關降雨資料詳見附錄 7 所示）。

表 4-3 雨量計裝設與維護作業基本資料

站名		高程(m)	二度分帶座標		設站日期
原里程	新里程		X(m)	Y(m)	
	35k+300	283	209290	2593077	2008/8/10 新設
25k+100	39k+300	466	209746	2592843	2006/6/17 無線傳輸
27k+200	41k+700	534	211548	2592561	2005/3/31 Datalogger
					2006/5/06 無線傳輸
	43k+100	629	212191	2592415	2008/8/10 新設
	46k+010	784	212718	2591617	2008/8/10 新設
	50k+400	1074	213699	2589447	2008/8/10 新設
40k+500	54k+100	1232	214457	2591343	2006/6/17 無線傳輸
56k+200	69k+900	1455	221501	2596053	2005/3/31 Datalogger
					2006/6/17 無線傳輸
64k+800	78k+600	1617	225331	2598781	2005/3/31 Datalogger
					2006/6/17 無線傳輸
68k+500	82k+300	1858	227035	2599508	2007/4/27 Datalogger
	83k+400	1628	225318	2598763	2008/5/09 Datalogger
76k+300	90k+200	2278	229116	2599954	2007/4/27 Datalogger
78k+020	91k+300	2171	230281	2600208	2007/4/28 Datalogger
82k+500	95k+900	2275	231351	2598271	2007/4/28 Datalogger



圖 4.11 R-T18-35k+300 雨量站安裝情形



圖 4.12 R-T18-39k+300 雨量站安裝情形



圖 4.13 R-T18-41k+700 雨量站安裝情形



圖 4.14 R-T18-43k+100 雨量站安裝情形



圖 4.15 R-T18-46k+010 雨量站安裝情形



圖 4.16 R-T18-50k+400 雨量站安裝情形



圖 4.17 R-T18-54k+100 雨量站安裝情形



圖 4.18 R-T18-69k+900 雨量站安裝情形



圖 4.19 R-T18-78k+600 雨量站安裝情形



圖 4.20 R-T18-82k+300 雨量站安裝情形

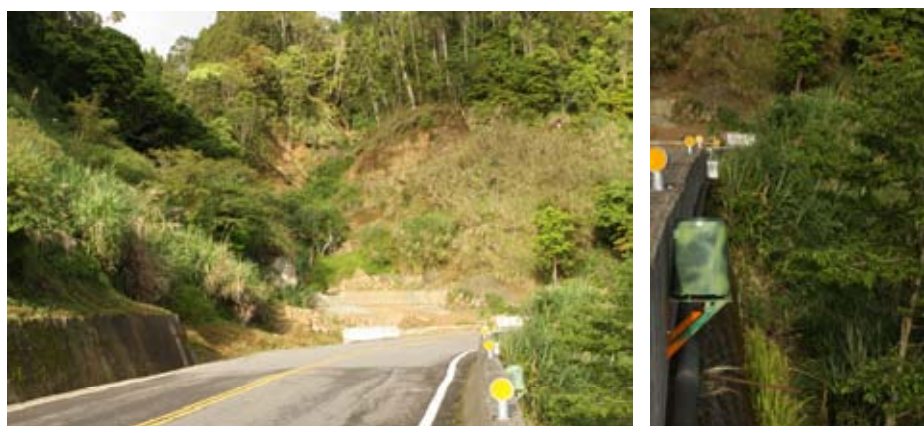


圖 4.21 R-T18-83k+400 雨量站安裝情形



圖 4.22 R-T18-90k+200 雨量站安裝情形



圖 4.23 R-T18-91k+300 雨量站安裝情形



圖 4.24 R-T18-95k+900 雨量站安裝情形



圖 4.25 NTUST-E2 雨量站安裝情形

4.2.4 即時雨量資料展示方式

本研究即時雨量資料主要收集於兩個伺服器上，並分別利用 VB6.0 程式語言及 JAVA 語言撰寫收集雨量資料及展示程式，展示結果如圖 4.26、圖 4.27 與圖 4.28 所示。而利用前述國立臺灣科技大學工程 II 館屋頂裝設之雨量計（NTUST-E2）驗證資料傳輸之正確性，並以人工方式引起雨量計發生轉倒，記錄其發生次數，以及採用人工觀測降雨時，雨量資料能否正常回傳，依據其結果顯示，功能無誤並能即時回傳雨量資料。而在現場端，以臺 18 線 64k+800 於 95 年 7 月 19 日之雨量記錄器所紀錄之雨量（圖 4.29），與 GPRS 無線即時回傳伺服器之雨量（圖 4.30）相互比較，發現兩者並無不同，顯示以 GPRS 進行雨量資料收集之構架實為可行。

DATA Server

Now: 2006/7/17 21:31:32

Weather stations: R-T18-27K+200

Time: 2006/07/17 21:30:00

15 Min. Intensity of Rainfall: IIIIIII

1 Hours Intensity of Rainfall: 000.0

識別碼	欄位1	欄位2	欄位3	欄位4
11896	NTUST-E2	2006/7/15 上午 01:00:00	0	0.4
11897	R-T18-64K+800	2006/7/15 上午 01:00:00	7	21.5
11898	R-T18-25K+100	2006/7/15 上午 01:00:00	0.6	11.6
11899	R-T18-27K+200	2006/7/15 上午 01:00:00	0.5	19.5
11900	R-T18-56K+200	2006/7/15 上午 01:00:00	11	24
11901	NTUST-E2	2006/7/15 上午 01:15:00	0	0.2
11902	R-T18-64K+800	2006/7/15 上午 01:15:00	10	26

圖 4.26 以 VB6.0 程式撰寫之伺服器雨量資料收集情形

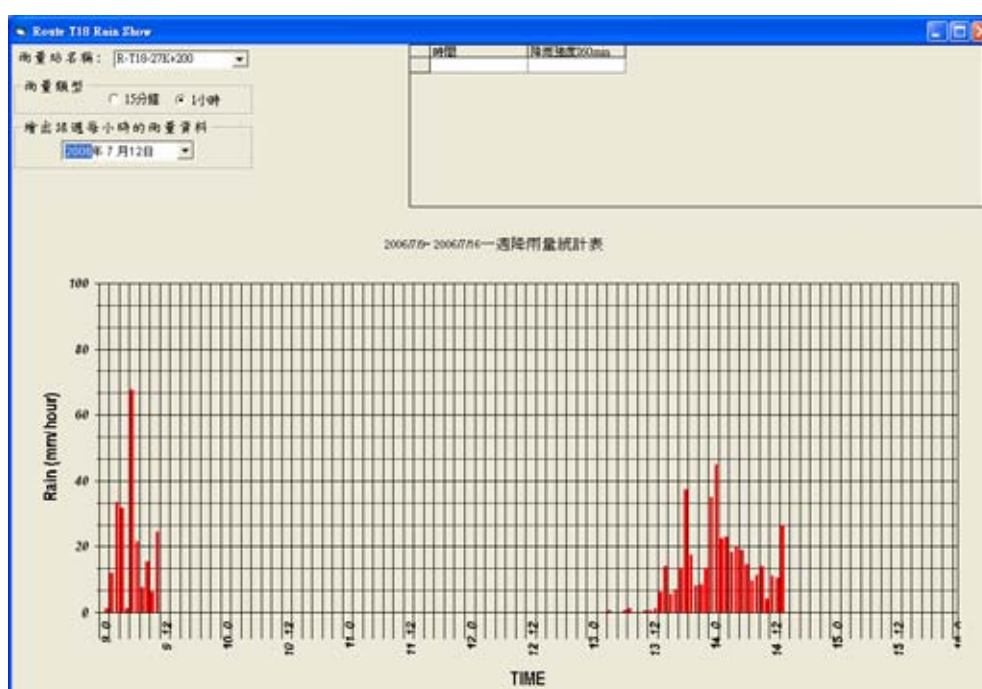


圖 4.27 以 VB6.0 程式撰寫之伺服器雨量資料（一週內每小時雨量）

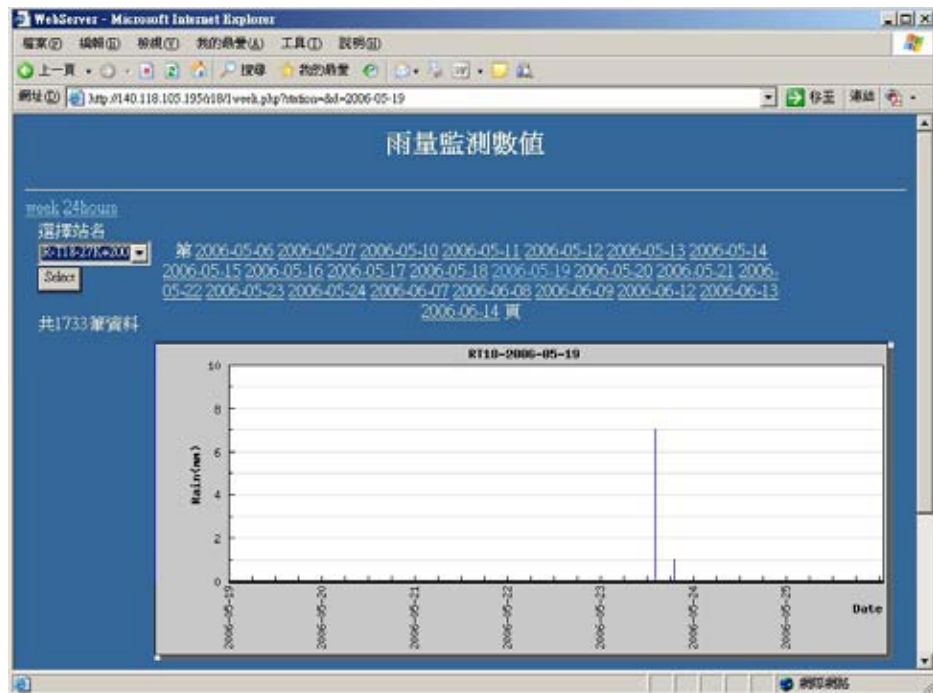


圖 4.28 以 JAVA 程式撰寫之伺服器雨量資料收集情形

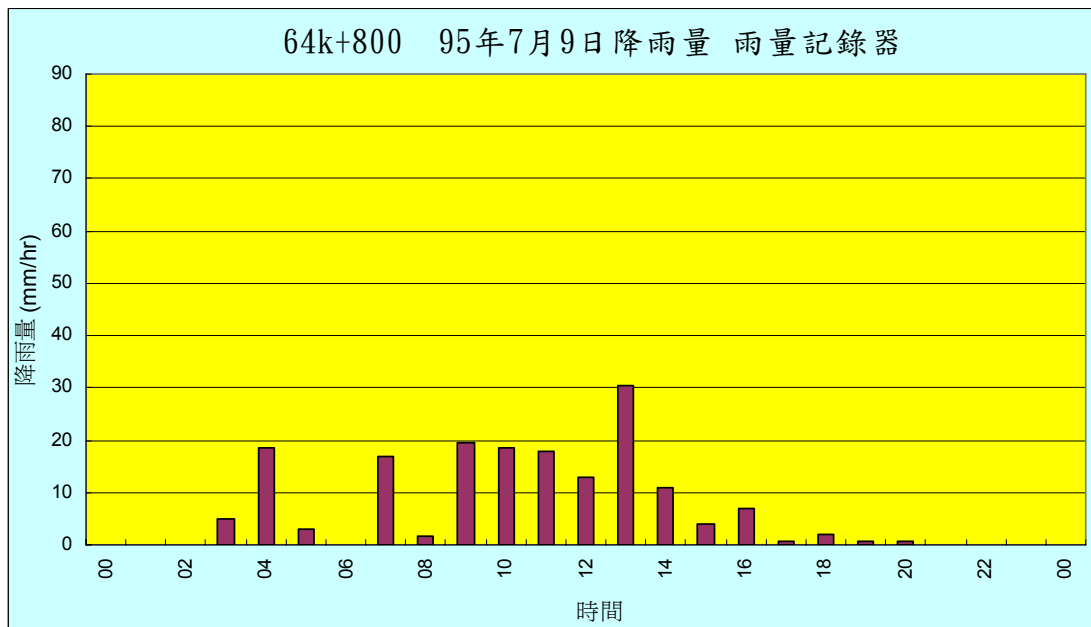


圖 4.29 臺 18 線 64k+800 於 7 月 19 日之降雨量（雨量記錄器）

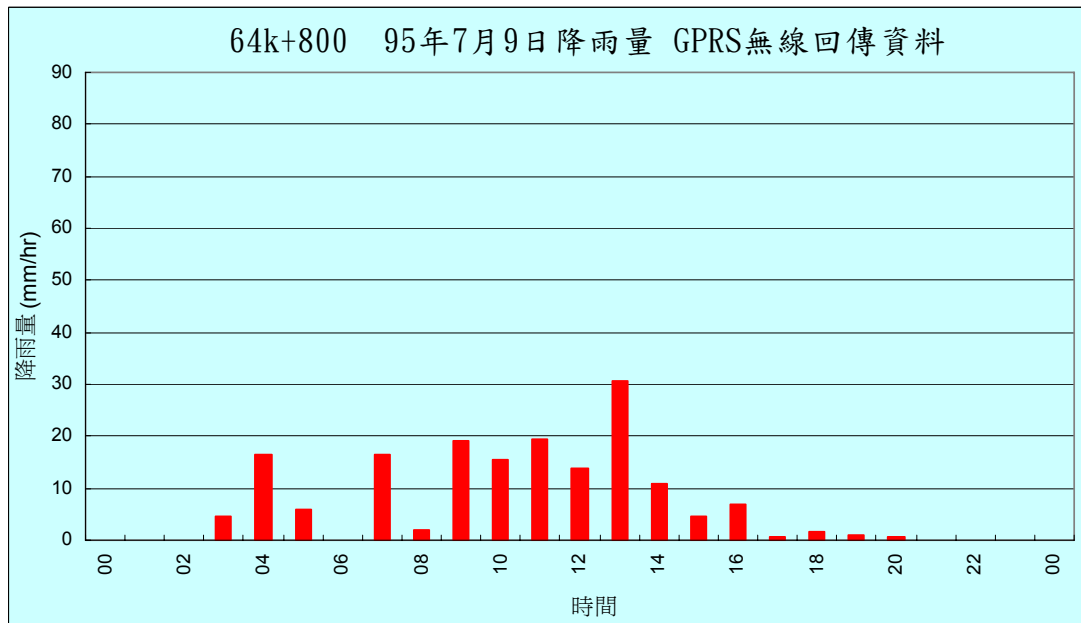


圖 4.30 臺 18 線 64k+800 於 7 月 19 日 降雨量 (GPRS 無線回傳)

4.3 不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析模式開發

綜合前述，本研究團隊主要將利用在山區道路特定位置裝設的雨量計，來量測當地降雨量與土壤含水量變化之關係，以便掌握邊坡破壞啟動之時機，以作為坡地防災及安全管理之依據。

在降雨量方面，由於降雨量分佈與季節性氣候有關，例如颱風的行進路徑影響降雨分佈甚鉅，在同一時刻，臺灣各地的雨量分佈便有相當大的差異，有的地方降雨量相當少，有的則在數小時內累積超過數百公厘的雨量，如果僅以少數氣象用雨量計之觀測結果作為坡地災害管理之用，實不足以直接反應局部區域之性質。因此，本研究團隊於今年計畫執行期間，於省道臺 18 線沿線上增設簡易型雨量計，用來收集當地的雨量分佈狀況（詳圖 4.31），同時配合現有氣象雨量計資料，來更合理地掌握山區道路沿線雨量分佈。

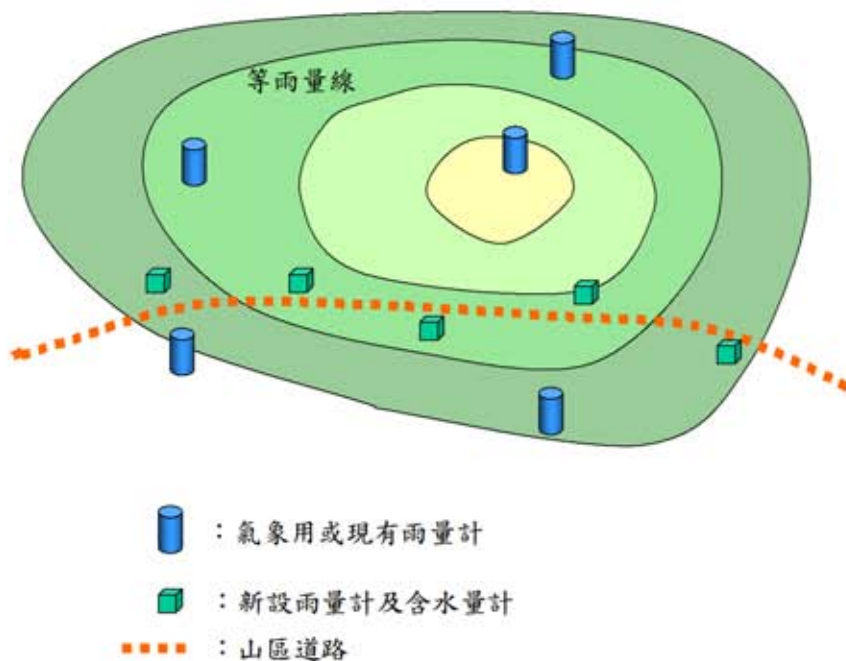


圖 4.31 現有、新設儀器配置及等雨量線示意圖

同時，為了解在降雨期間土壤表層之含水量變化，規劃透過在現地裝設土壤含水量計，用意在於建立降雨與土壤含水量之關係。再經由選擇恰當的邊坡破壞模式，結合數值地形所計算得到之坡度成果，來合理地推斷邊坡破壞的可能性（見圖 4.32）。後續研究中，期擬相關監測儀器之配置與分析結果，結合前述第三章崩塌量、崩塌型態與災害發生之關係探討結果，得以提供進行崩塌事件與雨量特性關係式，和崩塌機率與現地降雨、地下水關係式之統計分析作業，並藉以提供修正或開發臺灣不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析模式之參考。最後，更期擬本項研究成果可以提供道路維修單位，編列坡地維修管理優先順序，讓坡地災害管理系統發揮防患於未然之效果。

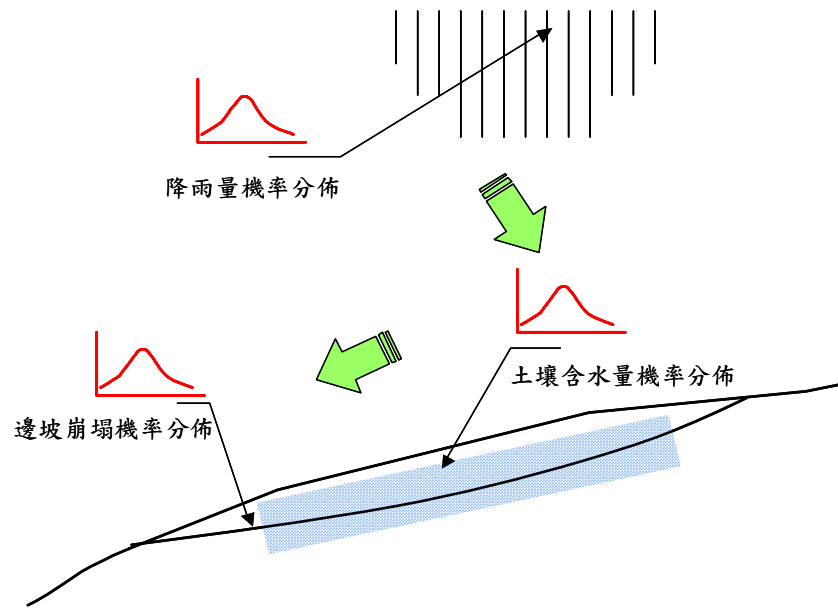


圖 4.32 建立降雨量、含水量與邊坡崩塌機率之關係

第五章 結論與建議

本研究計畫結合國內產、官、學各領域擁有道路、邊坡、大地、土木等專長之專家學者共同投入執行，以促使整體研發成果朝向落實應用之目標邁進。本研究案件之主要目的，除了研發道路邊坡崩塌監測預警自動化系統、不斷提升邊坡整治技術能力、研提適合區域性之邊坡崩塌預測方式與可行之因應對策外，並將持續落實應用相關研究成果至工程基層單位。期望可以充分利用國內防救災方面現有之有限資源，搭配最適切之因應對策與有效之執行技術，確實將山區道路邊坡之災害減少之最低外，若確實將此計畫之研究成果落實應用，將可提升山區道路管理效能，延展道路之服務年限，並期能達到維護國土保安與水土資源永續利用之目標。

本年度已完成之工作項目內容與後續執行建議，概述如下。

5.1 結論

1. 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統

目前已初步完成近幾年國內外於道路邊坡崩塌預警自動化系統之先進監測技術（聲波式預力監測系統、陣列式位移計、無線感測網路系統）之蒐集彙整作業，並規劃於後續計畫執行期間，選定以省道臺 18 線五彎仔路段為示範路段，進行現地實設測試作業。

2. 持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析

目前已初步完成道路邊坡管理系統改版作業，以及針對省道臺 8、臺 18 以及臺 21 線進行現地調查、崩塌事件及災損資料彙整分類作業，除此之外，亦確實建立民國 95 年以前各山區道路之颱風豪雨災損資料。然考量後續擬建立崩塌量、崩塌型態與災害發生間之關係，本研究亦針對馬可夫鏈之分析方法進行相關文獻與研究經驗之蒐集彙。

3. 持續道路邊坡致災因子（雨量空間分析）

為更密集的蒐集現地雨量資料，除了過去裝設於臺 18 線沿線之 9 個雨量計外，亦已於今年擴增至 14 個雨量計，且完成 43k+100 處之土壤含水量計安裝作業。

5.2 後續建議

1. 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統

後續除擬持續彙整國內外先進道路邊坡崩塌監測預警自動化技術，進而評估國內現有道路邊坡崩塌自動化監測預警成效外，亦擬規劃依據歷年研究成果，彙編道路邊坡崩塌預警監測技術手冊，以提供交通部各相關道路養護單位之參考，並確實達到降低臺灣道路邊坡崩塌災害發生之風險。

2. 持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析

道路邊坡管理系統資料庫已初步改版完成，但後續仍須不斷擴充（如：納入現地雨量及其他監測儀器數據資料、潛勢圖展示等），以增加系統之完整性，使系統能具備更多之功能。除此之外，研究團隊亦將持續選定歷史崩塌路段進行現地調查作業，以及蒐集彙整、分類與建置歷史崩塌事件與災害資料，並探討建立崩塌量、崩塌型態與災害發生間之關係。

3. 持續道路邊坡致災因子（雨量空間分析）

針對示範路段沿線裝設之雨量計與土壤含水量計，後續除將持續進行維護與資料彙整作業外，亦將應用道路邊坡管理系統內資料開發道路邊坡崩塌簡易危害度分析模式，研擬道路邊坡崩塌安全管控程序，以及開發邊坡管理系統內安全管理模組。

本期研究成果與效益有：(1)整合研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統，提升預警效率。(2)充實道路邊坡管理系統之資料並改寫系統使適用於網路作業，藉以提高系統之實用性。(3)持續

道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析。而本研究研發建立之管理系統可提供給公路局及相關單位在山區道路坡地災害防治之參考與應用，提昇臺灣山區道路之維護管理效能與防災技術，同時本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。

參考文獻

1. Arya L M, Paris J F (1981) A physical-empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle size distribution and bulk density data. Soil Science Society of American Journal 45: 1023-1030.
2. Chen C-Y, Chen T-C, Yu F-C, Yu W-H, Tseng C-C (2005a) Rainfall duration and debris flow initiated studied for real-time monitoring. Environmental Geology 47: 715-724.
3. Chen C-Y, Chen T-C, Yu W-H, Lin S-C (2005b) Analysis of time-varying rainfall infiltration induced landslide. Environmental Geology 48: 466-479.
4. Chen L, Young M H (2006) Green-Ampt infiltration model for sloping surface. Water Resources Research, Vol. 42: 1-9 (doi 10.1029/2005WR104468)
5. Chow V-T, Maidment D R, Mays L W (1988) Applied hydrology. Mc. Graw-Hill New York, Ch. 4:110-116.
6. Barber, D. and Williams, C. (1997). Gaussian processes for Bayesian classification via hybrid Monte Carlo. NIPS 9.
7. Jaynes, E.T. (1957). "Information theory and statistical mechanics." Physical Review, 106, 620-630.
8. 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>.
9. MacKay, D.J. (1992). A practical Bayesian framework for back-propagation networks. Neural Computation, 4, 448-472.
10. Morgan, G.C., Rawlings, G.E. and Sobkowicz, J.C. 1992 "Evaluating total risk to communities from large debris flows", In Geotechnique and natural hazards, pp.225-236.

11. 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.
12. Williams, C.K.I. and Barber, D., (1998). Bayesian Classification with Gaussian Processes, IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20, 1342-1351.
13. 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.
14. 日本高速道路調査會(1986), 『危險地動態觀測施工相關研究(3)報告書』, 日本道路公團。
15. 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。
16. 李維峰、張睦雄、董家鈞、劉桓吉、顏召宜(2004), 『山區道路邊坡崩塌防治最佳化研究(二)』, 交通部科技顧問室研究計畫成果報告。
17. 李秉乾、許盈松、許懷後、李維聰、連惠邦、周天穎(2004), 『山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發(二)』, 交通部科技顧問室研究計畫成果報告。
18. 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。
19. 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), 『臺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。
20. 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。

21. 青山工程顧問有限公司(2007)，『臺18線28.9K~31.5K（五彎仔）地滑區調查、整治規劃及安全評估地滑地區補充監測執行總報告』，交通部公路總局第五區養護工程處。
22. 青山工程顧問有限公司(2007)，『臺18線28.9K~31.5K（五彎仔）地滑區調查、整治規劃及安全評估地三次總結報告』，交通部公路總局第五區養護工程處。
23. 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。
24. 姚華生、鄧漢中(1985)，『工程或然率第二冊』，科技圖書股份有限公司，P140。
25. 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。
26. 張嘉峰、李維峰等(2005)，『交通設施生命週期整合與應用』，交通部運輸研究所，私立淡江大學土木工程研究所。
27. 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。
28. 陳崇華(2004)，『臺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。
29. 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。
30. 黃安斌、林志平(2003)，『道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定（二）』，交通部科技顧問室研究計畫成果報告。
31. 廖洪鈞、梁樾、林三賢、李維峰、廖瑞堂(2003)，『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（二）』，交通部科技顧問室研究計畫成果報告。

- 32.廖洪鈞、廖瑞堂、董家鈞、李維峰(2004)，『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』，交通部科技顧問室研究計畫成果報告。
- 33.廖洪鈞、蘇吉立、李維峰、陳天健、何應璋、董家鈞、魏佳韻(2006)，『坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究（2/2）』，交通部運輸研究所研究計畫成果報告。
- 34.廖洪鈞、廖瑞堂(1999)，『坡地社區開發安全監測手冊』，內政部營建署營建自動化專案計畫報告。
- 35.廖瑞堂(2001)，『山坡地護坡工程設計』，科技圖書。
- 36.廖志中(1999)，『山區道路災害危險度分級及預報系統建立工作』，臺灣省政府交通處。
- 37.董家鈞(2003)，『臺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，臺北、國立臺灣科技大學。
- 38.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~以臺十一線及二十一線為例』，臺灣省交通處公路局。
- 39.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，臺北。
- 40.劉桓吉、方中權、莊德永(1989)，『臺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。
- 41.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 1

期中審查會議紀錄回覆辦理

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：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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
國立交通大學防災工程研究中心 黃教授 安斌：(共 3 項) 1. 關於臺 18 線相關之監測儀器與數據，各團隊間需要增加橫向互動。 2. 光纖、TDR、Vector array 等方法之應用比較，建議首先在試驗室內做比較。 3. 臺 18 線地層內多為深層破碎岩石，土層不厚，可考慮水壓監測與地表土層含水量量測同時進行。	遵照辦理。 參酌辦理，研究團隊將於期末報告中參酌納入相關設施於實驗室試驗之結果資料。 參酌辦理，本研究主要以淺層破壞為主，故擬採以土壤含水量計量測表層土壤含水狀況，而非讀取深層之水壓資料。
交通部科技顧問室 許技正 書王：(共 6 項) 1. 監測系統大部份已有現貨，安裝、傳輸不是問題，問題可能與資料解讀及下決策的專業有關，研究單位在邊坡防治浸淫多年，請說明本研究案是否可達成預期目標。 2. 1-1 頁最後一段提到：--本研究有研發邊坡監測預警自動化的工作--。請問預警機制建立的規劃為何，不同監測因子有不同之警戒標準-----。 3. 依據報告說明，之前埋設之監測儀器大部份已經損壞，依前次經驗此次埋設做了哪些改進措施，	本研究以現地監測之雨量資料為主，依據崩塌型態、整治狀況、道路重要性等，擬定道路邊坡崩塌監測及預警系統需求分析方法與規劃原則，進而研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統。 本研究主要以雨量、地下水位、不穩定材料源等間接物理量為監測目標，檢討現有整治案例成效，進而擬訂道路邊坡崩塌監測及預警系統需求分析方法與規劃原則。 參酌辦理，本研究後續將以五彎仔路段之人工與自動化監測資料，檢討現有整治案例成效，進行分類基

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：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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
哪些已經損壞，對於監測儀器之 耐久性有何對策？對於長期監測 的改善作為？	準、監測目標，以及監測需求之 比較分析，僅將於期末報告中，增述 相關之分析結果。
4. 致災因子及其排序是否適用於所 有地區，未來應用單位如何採用 請研究單位斟酌規劃說明。	遵照辦理，研究團隊將於期末報告 中增述致災因子選定及其排序之 相關研究過程。
5. P1-2 倒數第 4 行提到：---建置全 國道路邊坡---資料庫---。請問 是否所有道路邊坡均適用，又主 要山區道路之定義為何請研究單 位說明。	本研究建置之資料庫系統，其所屬 之資料欄位可提供全國各區域道 路進行填報作業；另外，關於山區 道路之定義，研究團隊將於期末報 告中補述。
6. 本研究為利爾後應用，若有涉及 現行規範須配合修正者，請研究 單位適時提出建議，以利成果推 動。	遵照辦理，研究團隊將適時提出建 議，以利成果推動。
公路總局第二區養護工程處 高處長 邦基：(共 4 項)	
1. 期中報告內容完整，研究團隊努 力成果應與肯定。	
2. 監測地點可考量配合臺 8 線上谷 關至德基段便道、便橋、搶通工 程計畫。	參酌辦理，臺 8 線已為本案之研究 對象，目前已蒐集彙整相關之崩塌 災損資料，研究團隊將視研究進度 與相關資料之齊全性，適時以臺 8 線為成果驗證對象。
3. 自動化監測使用方法、設備及材 料有無涉專利、採購規格限制？ 請補充說明。	本研究僅針對工法之原理、特點與 應用進行敘述，不涉及工法本身之 專利問題。

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：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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. 臺 18 線五彎仔監測成果驗證情形，請補充說明。	參酌辦理，本研究僅以五彎仔路段之人工與自動化監測資料，進行分類基準、監測目標，以及監測需求之比較分析，僅將於期末報告中，增述相關之分析結果，不涉及監測成果驗證部分。
公路總局西濱公路中區工程處 黃處長 三哲：(請假)	
本所港研中心 朱科長 金元：(共 3 項)	
1. 本計畫已進行多年（不管計畫名稱為何），各年度新增之資料庫內容或新增模組，希望能列表說明。	參酌辦理，目前系統已依據 95 年之研究成果，將系統中各資料庫依其屬性，分置於災前預防、災中搶修與災後復建三大類，本研究團隊將於期末報告中，列表說明目前系統之架構與其相關之所屬欄位。
2. p2.1 人工與自動化於長期監測工作執行之比較分析，似乎只有敘述而未見比較分析之結果。	參酌辦理，本研究於期中報告階段，僅先針對五彎仔路段蒐集相關之人工與自動化監測資料，本研究最終之研究目的則是在於究分類基準、監測目標，以及監測需求之比較，故於期末報告中，將增述相關之分析結果。
3. 期中簡報資料未說明期中報告第四章「持續道路邊坡致災因子空間分析」之成果，希望期末報告時能就報告各章節之成果加以說明。	遵照辦理，將於期末報告中修正。

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：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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 柯副研究員 正龍：(共 3 項) 1. 本研究以降雨量特性作為分析崩塌事件及潛勢分析之主要因子，其中雲林科技大學設置之 R-1 雨量計，表 2-5 中並無備註，結果彙整亦無討論其觀測結果或相關參考文獻，可否說明。 2. 本研究手動監測系統中，傾斜觀測管為最主要項目之一，但 2.1.3.3 節中成果僅說明 C-10B-504-4 三處之管口位移歷史曲線，其它並無較詳細說明，可否補充。 3. 部份圖說圖例或座標不夠清晰(ex：--圖 2-13—圖 2-15---等)，不同監測成果圖座標標稱有出入(ex：--圖 2-4 至圖 2-18---等)，建議加強圖之清晰度，並將同性質監測成果圖統之座標標稱予以統一(如時間或日期或量測時間)。	參酌辦理，由於 R-1 雨量計為雲科大張睦雄老師利用個人研究經費所裝置的，研究團隊將視本研究之需求，斟酌是否納入此雨量計之數據資料。 參酌辦理，本研究於期中報告階段，僅先針對五彎仔路段蒐集相關之人工與自動化監測資料，本研究最終之研究目的則是在於究分類基準、監測目標，以及監測需求之比較，故於期末報告中，將增述相關之分析結果。 遵照辦理，將於期末報告中統一修改。
本所港研中心 張副研究員 道光：(共 5 項) 1. 基本上整體報告內容符合約工作項目，並值得肯定。	

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：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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. P. 1-5 頁之圖 1-1 請參考去年報告更正之(97 與 98 之工作應分開敘述)。	遵照辦理，已於期中簡報中修正，並將更新於期末報告中。
3. 請補述聲波式預力監測系統之淵源、如何過濾無效之聲波以及其過濾能力與準確性為何。	參酌辦理，將於期末報告中補充，部份牽涉廠商商業機密之關鍵技術，不便於報告中公開。
4 報告內容中，有關臺灣的台請修正為臺。	遵照辦理，將於期末報告中修正。
5. P. 2-8 儀器項目之編排有誤，請修正。	遵照辦理，將於期末報告中修正。

附錄 2

期末審查會議紀錄回覆辦理

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-97-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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
交通大學土木工程系 黃安斌 教授 (共 2 項) 1. 未來可考慮將監測資料 整合於 SMS 系統。	遵照辦理，已將相關意見 納入未來建議事項 中。	同意處理情形
2. 無線感測系統建議研發 本土技術發展 MEMS 陣列 式位移計。	參酌辦理，本期研究僅 就工程技術面進行資 料蒐集，未來將視研究 案經費，考量是否進行 屬於本土化之儀器研 發。	同意處理情形
交通部科技顧問室 許書王 技正 (共 7 項) 1. 期中審查個人所提意見 4 ，有關致災因子及其排序 是否適用於所有地區，請 研究單位說明，若否？應 如何因應。	本研究案中探討之致 災因子及其排序僅適 用於特定之區域性道 路，並非適用於所有區 域，已於成果報告中補 上致災因子選定與排 序之相關研究內容。	同意處理情形
2. 同上意見 5，主要山區道 路之定義為何，請說明。	本研究案探討之山區 道路主要係針對臺灣 省道主線中之臺 8 線 、臺 18 線以及臺 21	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-97-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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
	線為主。	
3. 國內多山丘，故道路與山坡地常鄰近，但是道路與山坡地主管機關常有不同，未來監測之範圍有效性應如何因應，如行政對策及技術對策。	本研究未來將透過專家座談會之舉辦，廣邀水保局、林務局等相關單位出席，共同協商行政面之問題，同時，亦擬將透過此會議之舉辦，傳達相關研究技術之成果。	同意處理情形
4. 生命週期模式是否包含生命週期成本之評估，此部份是否與不同環境地質而有不同，建議建置生命週期模式供作應用。	遵照辦理，後續研究中擬將納入生命週期之觀念，進行不同層面之探討分析。	同意處理情形
5. 量測器材自動化經多年研究與科技應用，目前應較無問題，重點在於預警自動化，如水位、雨量…，對於預警值是否已經確定或尚未或何時能確定，如此自動化預警較有意義。	參酌辦理，針對監測儀器之預警值與行動值制訂係需因地制宜，本研究未來將視監測研究成果，針對特定區域路段配置之監測儀器，研擬其預警值。	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-97-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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
6. 開發不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析模式之工作項目中，就本研究而言已開發多少不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析請說明。	針對崩塌潛勢分析研究，本研究已採用高斯過程針對省道臺 18 線與臺 21 線進行相關分析，後續擬採用馬可夫鍊進行驗證，並將研究對象擴增臺 8 線、臺 9 線等。	同意處理情形
7. 路權單位之於現地所發生之問題或困難，未來請研究單位提出對策。	參酌辦理，本研究未來將透過專家座談會之舉辦，廣邀各單位出席會議，共同協商路權之相關問題。	同意處理情形
交通部公路總局新工組 高邦基 組長 (共 4 項)		
1. 地錨、土釘定位為非永久性設施，是否適當，請再檢視。	遵照辦理，已於成果報告中修正相關文字、敘述。	同意處理情形
2. 沿道路布設雨量計與中央氣象局雨量站測值比對及相關性，如有可能，建議增加分析樣本。	參酌辦理，本研究主要透過裝設之雨量計與氣象局之雨量資料，推估各路段之實際降雨情形，未來將視研究經費多寡再規劃進行臺 21 線或其他路段之雨量計裝設作業。	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-97-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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. 邊坡災害自動監測工程宜考量工程採購法令之順利執行（監測設備、方法不得限制廠商競爭）。	本研究僅針對工法之原理、特點與應用進行敘述，不涉及工法本身之專利問題。	同意處理情形
4. 聲波量測地錨鋼（絞）線斷裂之靈敏度如何，是否易受環境影響。	此為法國已經成熟且廣泛應用之技術，其濾波技術可完全過濾所有環境影響所造成之波動。	同意處理情形
本所港研中心 朱金元 科長 (共 6 項) 1. 2. 2. 3 節監測結果應與崩塌調查結果作關聯分析。	參酌辦理，本研究進行之崩塌調查是針對省道臺 18 線沿線路段，然 2. 2. 3 節內容則係僅針對五彎仔路段既有之監測系統觀測結果進行彙整，故較難進行關聯分析作業。	同意處理情形
2. 請詳細說明無線感測網路系統架構之運作而非只是圖示。圖 2-21 與圖 2-50 英文部份請轉用中文說明。	遵照辦理，已於成果報告中補上相關敘述。	同意處理情形
3. 無線感測網路系統能否克服斷電之傳輸困擾？其與既有網路之關係如何？	無線感測網路系統本身有自備電源，故無斷電傳輸之困擾，且此系統雖為網路傳輸之一	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-97-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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
	種，但異於既有之網路系統，其現地之單元本身即可先進行數據處理分析作業。	
4. 部份簡報內容報告內並沒有，請加以補充並說明，如簡報 P. 24。	遵照辦理，已於成果報告中補充相關敘述。	同意處理情形
5. 參考文獻編排與文中所述之表示方式與本所出版品規定不符，請修改。	遵照辦理，已於成果報告修改。	同意處理情形
6. 經由第二章之研發成果到底那些系統是適合國內區域性道路邊坡塌陷監測預警自動化系統，請詳細說明。	本期研究主要針對相關技術進行蒐集彙整作業，後續擬將依據本年度之研究成果於示範路段進行實地測試作業，研提適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統。	同意處理情形
本所港研中心 柯正龍研究員 (共 7 項)		
1. 中文摘要出版品名稱誤值為其他計畫 (P. I)，請更正。	遵照辦理，已於成果報告中更正。	同意處理情形
2. 圖 2-54(P. 2-54)標題與縱座標標題似乎有誤，請修正。	遵照辦理，已於成果報告中更正。	同意處理情形
3. 由 3.3 崩塌量、崩塌型態與災害發生之關係探討中，以馬可夫鏈分析所得結果為各養護次數機率	本年度研究內容主要針對馬可夫鏈之分析進行案例資料蒐集與介紹，未來研究中則將	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-97-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(2/4)

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
與平均成本，似無直接關係，引用臺4線養護資料設施種類均為路面，維修內容多無（表3-3），並未強調與崩塌災害對應關係，建議可補充說明。	依據此分析架構進行崩塌量、崩塌型態與災害發生之關係進行探討。	
4. 本研究採用之颱風資料僅至2005年10月(表3-2)，鑑於近幾年因全球氣候劇烈變遷，每年臺灣均會出現超豪大雨機率，針對日後研究，建議致災颱風資料蒐集應儘量延伸至最近。	參酌辦理，因為災損資料龐雜且蒐集彙整不易，故後續研究中將盡量補齊颱風災損資料，以供作分析參考使用。	同意處理情形
5. 附錄2~附錄5建議加列分頁紙或於表單上詳註案例發生地點等。	遵照辦理，已於成果報告中補正。	同意處理情形
6. 表2-5中監測儀器中列有地滑計，但表2-3中有關應用情況並無此項目，建議可否考慮加入。	參酌辦理，表2-3與表2-5皆摘錄自為文獻回顧，故將於成果報告中補上出處。	同意處理情形
7. 表2-3中列有沉陷計項目，但表2-2中監測儀器查無此項，建議考慮加列其規格建議於表2-2中。	參酌辦理，表2-3與表2-5皆摘錄自為文獻回顧，故將於成果報告中補上出處。	同意處理情形

附錄 3

期末報告簡報資料



交通部運輸研究所臺灣研究中心

山區道路坡地災害防治技術 整合研究（2/4）

期末簡報

計畫主持人：廖洪鈞 教授

協同主持人：李維峰 副教授

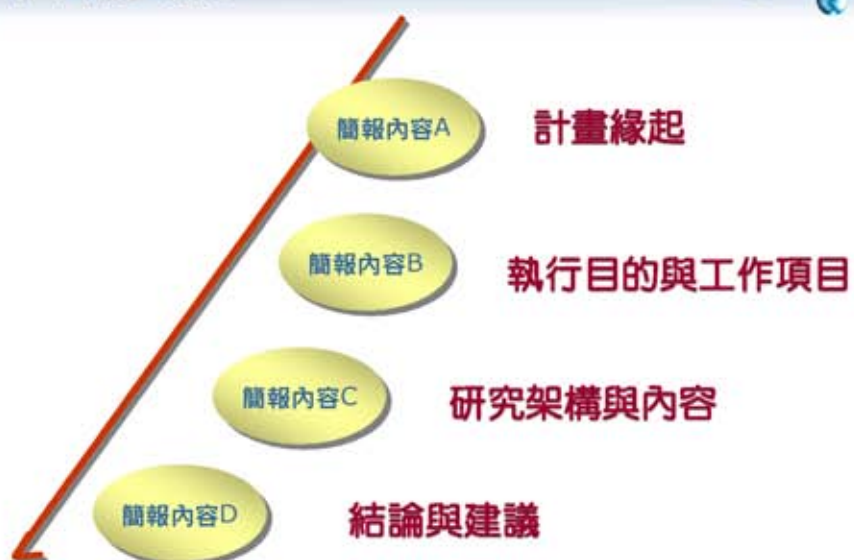
卿建業 副教授

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

1

簡報大綱



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

2



計畫緣起



計畫背景分析



4

- 延續「交通土木建設安全科技」相關研究
 - ◎ 交通部（民國89年）
 - 地質調查與自動化監測規劃工作
 - 佈設先進光電式邊坡監測儀器進行本土式驗證
 - 設置緊急即時衛星網路防災監視系統
 - ◎ 交通部運輸研究所（民國94年）
 - 道路邊坡管理系統之建置
 - 道路邊坡崩塌潛勢之分析與預測
 - 道路邊坡崩塌防治對策與操作手冊
- 發展「區域性之道路邊坡崩塌潛勢分析模式」
 - ◎ 「面」與「線」之結合考量
 - 道路沿線邊坡崩塌機率之預測結果
 - 氣象局雨量預報資料
 - 現地雨量、地下水位資料

山區道路邊坡問題與對策



5

➡ 山區道路邊坡特性

- ⊙ 無法避免穿越地質弱帶
- ⊙ 災害之復發性與二次受災特性
- ⊙ 線狀分佈特性－地質構造、植被、地表逕流

➡ 山區道路邊坡維護管理對策

- ⊙ 基本環境資料建置管理
- ⊙ 災害、修復歷史資料留存
- ⊙ 即時有效之監測預警系統設置
- ⊙ 簡單有效之災害潛勢預測模式開發
- ⊙ 生命週期維護管理觀念導入
 - 維護頻率預測
 - 維護經費預估

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學



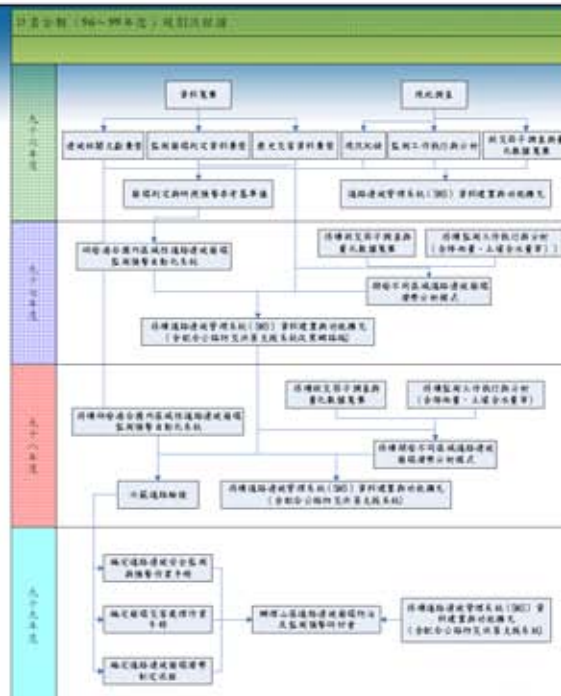
執行目的與工作內容



計畫目的

- 計畫目標－達到維護國土保安與水土資源永續利用
 - ◎ 提升山區道路管理效能
 - ◎ 延展道路之服務年限
 - ◎ 整合國內防救災方面現有資源，研提適切之因應對策與技術
- 提升邊坡整治技術能力
 - ◎ 研發道路邊坡崩塌監測預警自動化系統
 - ◎ 加強現有山區道路邊坡防災管理系統功能
 - ◎ 持續落實應用相關研究成果至工程基層單位
- 研提適合區域性之邊坡崩塌預測方式
 - ◎ 利用雨量與道路邊坡基本資料研發有效之區域性邊坡崩塌預測模式
 - ◎ 進行開發模式之驗證與研擬使用程序

計畫全程（96、99年度）規劃流程圖



研究架構

11



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

增設地下水位觀測點位 (土壤含水量計)

12

I. Water-filled tensiometers. (Refilling required after dry periods)

型號	量測範圍	精度	圖例
SWT3	+10~-75kPA	±0.2kPA	
WT4	+100~-85kPA	±0.2kPA	
SWT5	+100~-85kPA	±0.2kPA	

II. Porous matrix tensiometers.

型號	量測範圍	精度	
ΔT:	+0~-100kPA	±10kP	
EQ2	+100~-1000kPA	10%(非線性)	
Watermark Sensor: WNSM	+0~-200kPA	Trend only	
Gypsum Block: GYP1	-50~-1500kPA	Trend only	

臺18線43k+100

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

增設雨量觀測點位 (雨量計-共計14支)

13

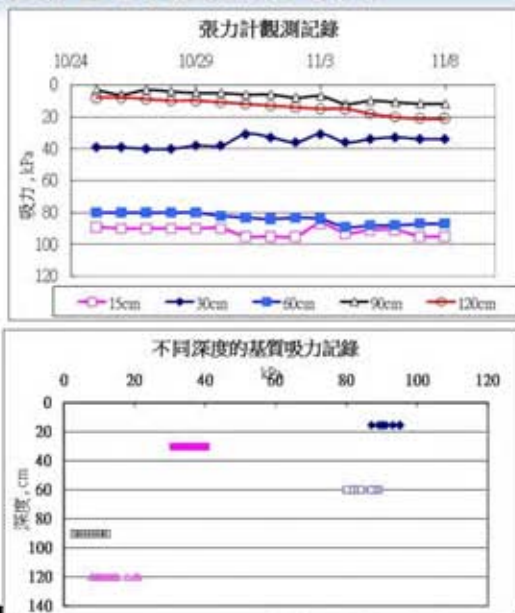
站名		高程(m)	二度分帶座標		設站日期
原里程	新里程		X(m)	Y(m)	
	35k+300	283	209290	2593077	新設
25k+100	39k+300	466	209746	2592843	無線傳輸
27k+200	41k+700	534	211548	2592561	Datalogger
	43k+100	629	212191	2592415	新設
	46k+010	784	212718	2591617	新設
	50k+400	1074	213699	2589447	新設
40k+500	54k+100	1232	214457	2591343	無線傳輸
56k+200	69k+900	1455	221501	2596053	Datalogger
					無線傳輸
64k+800	78k+600	1617	225331	2598781	Datalogger
					無線傳輸
68k+500	82k+300	1858	227035	2599508	Datalogger
	83k+400	1628	225318	2598763	Datalogger
76k+300	90k+200	2278	229116	2599954	Datalogger
78k+020	91k+300	2171	230281	2600208	Datalogger
82k+500	95k+900	2275	231351	2598271	Datalogger

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

張力計讀數資料

14



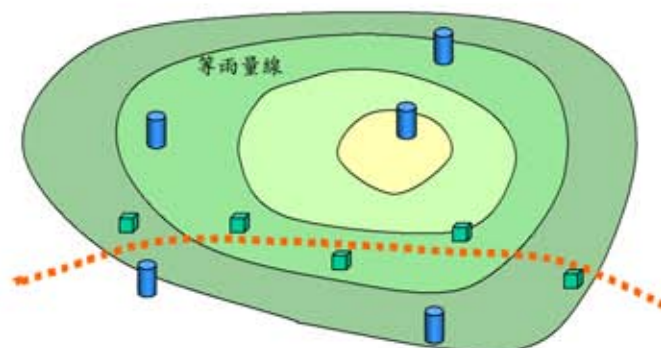
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

增設雨量與地下水位觀測點位 與蒐集監測資料



15



-  : 氣象用或現有雨量計
-  : 新設雨量計及含水量計
-  : 山區道路

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

道路邊坡致災因子(雨量)空間分析 —運用格網技術補充觀測降雨資料



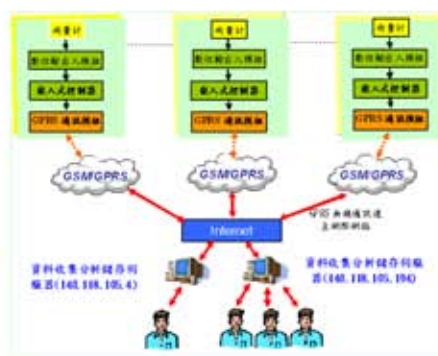
16

更密集的搜集雨量資料

-  GSM/GPS技術應用
-  雨量空間分析
-  崩塌潛勢分析

配合地形地貌之 (point to area) 雨量資料 分布預測模式

- ◎ 提供更準確之雨量量
化數據



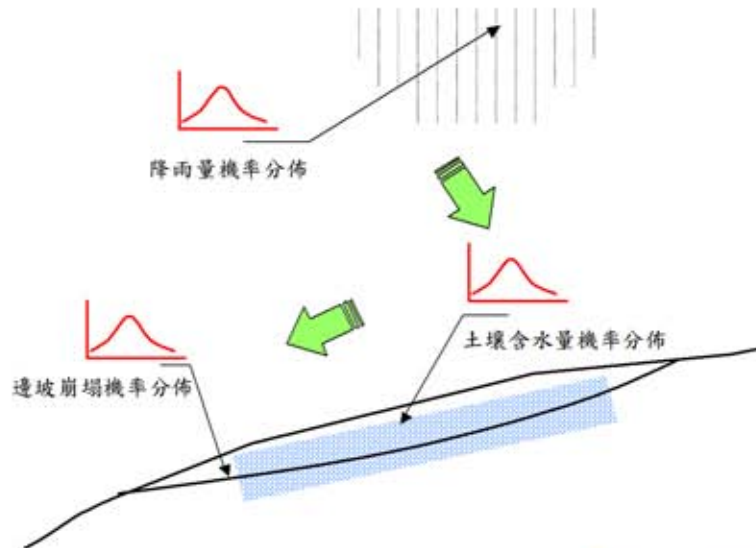
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

開發環境基本因子與致災因子 交叉分析方法



17



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

現有邊坡安全監測需求



18

邊坡穩定

- ◎ 大量採用非永久性設施
 - 地錨、土釘
- ◎ 無相關技術進行監測作業
 - 僅有載重試驗量測殘餘應力

地層穩定監測—傾斜管

- ◎ 管身變形過大
 - 無法量測
 - 研究資源浪費
- ◎ 2D雙向量測
 - 向量→位移量

邊坡監測自動化系統

- ◎ 自動化之目的
 - 偏遠或無法到達區域
 - 較為危急之區域或特殊設施
- ◎ 資料傳輸
 - 不同監測儀器其訊號皆不盡相同
 - 資料傳輸受氣候環境影響

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

道路邊坡崩塌監測預警自動化



19

道路邊坡安全問題

- ◎ 道路邊坡位移—滑動量監測
- ◎ 設施功能喪失—地錨預力檢測

邊坡滑動量

- ◎ 手動—傾斜管
- ◎ 自動—陣列式位移計

地錨預力檢測

- ◎ 手動—揚起試驗
- ◎ 自動—電磁通環
- ◎ 目測—簡易預力變化量測裝置



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

邊坡預力地錨工程



20



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

地錨破壞機制

淺層破壞

- ◎ 錨頭脫落
- ◎ 表面鋼鍵斷裂

深層破壞

- ◎ 握裹端鋼鍵脫落
- ◎ 深層鋼鍵斷裂

混凝土護坡破壞

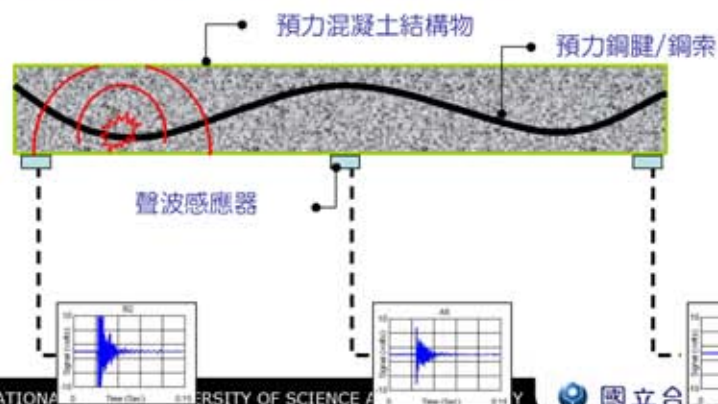


NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

聲波式預力監測系統之原理

- 聲波感應器分佈結構體上可監測任何損壞事件
- 先進的濾波能力可自其他無效雜訊(交通、機械, ...)分辨損壞事件
- 遙控連續式監測, 無需現場管理
- 自動化網站即時回報系統
- 應用於結構物: 橋樑、地錨、核能圍阻體、預力管...



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

- | 項次 | 工址 | 數量 | 年份 | 試驗內容 |
|----|------|----|------|----------------|
| 1 | 老舊地錨 | 一支 | 1994 | 揚起試驗
(拉至破壞) |
| 2 | 新設地錨 | 一支 | 2003 | 揚起試驗
(拉至破壞) |



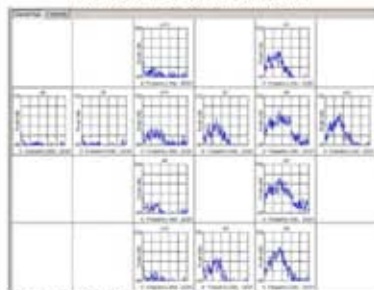
利用反彈錘測試感應器



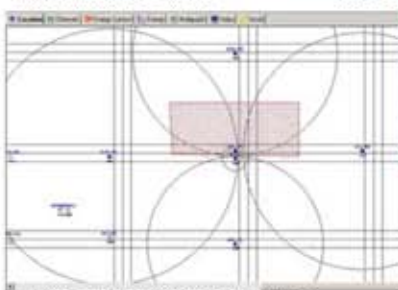
揚起試驗拉至破壞



現地資料頡取系統



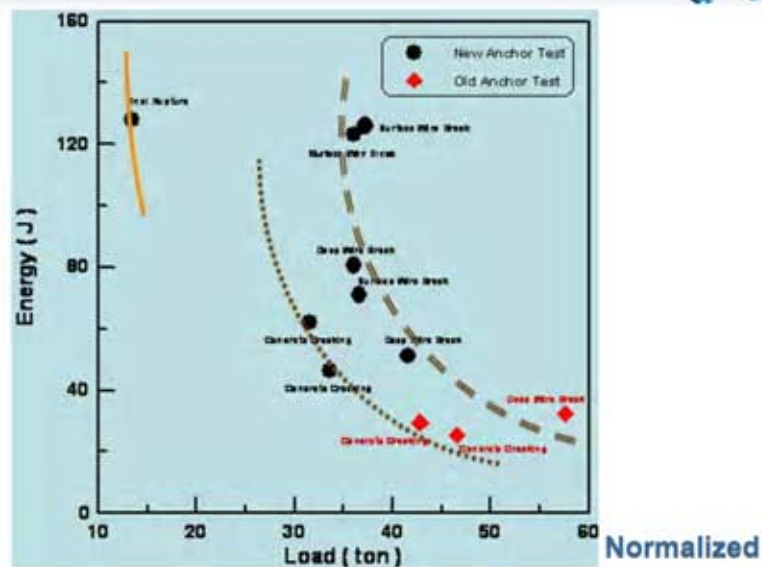
各感應器接收之能量訊號



由能量強弱判斷破壞之位置



試驗結果



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

電磁式預力監測系統

➡ 以電磁量測預力鋼纜中之即時應力

➡ 傳統載重試驗

Ⓢ 每次裝設皆須將錨頭敲除

- 工作時間長
- 易造成損壞

➡ 電磁式預力監測系統

Ⓢ 僅需一次裝設（免破壞）

- 可隨時量測
- 無破壞之慮



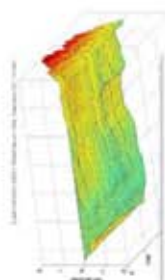
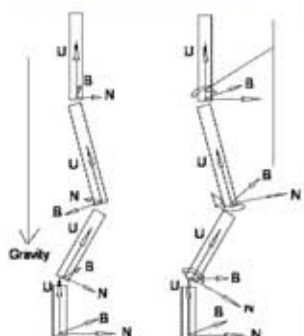
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

陣列式位移計

SAA (Shape-Acceleration Array)

- ➔ 可選定 X、Y、Z 三軸之量測方向，故可運用於 3D 變位監測。
- ➔ 客製化一體成形，50 公分內之自動量測間隔，可獲得更連續與精確之變形曲線。



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

無線感測網路系統

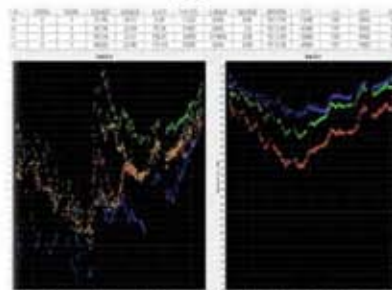
系統特色

◎ 真正的無線

- 無電源線—低耗電，可採電池電源
- 無訊號線—可移動，容？佈建
- 動態網？撲結構，高資？錯誤容忍？

◎ 低成本

- 可任意增減及移動感測點
- 容？維護
- 計算能？足以替代部份現有的儀器



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

持續崩塌資料蒐集彙整、建置與分析

29

→ 持續崩塌資料蒐集

- ◎ 台18線－55處
- ◎ 台21線－29處
- ◎ 台8線－47處

→ 改進道路邊坡管理系統資料格式內容與擴充分析展示功能

◎ 目的

- 配合交通部運輸研究所之公路防救災系統整合計畫
- 單機版→網路版

◎ 規劃架構

- 依據「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一案之研究成果
 - 災前預防階段
 - 災中搶修階段
 - 災後復建階段
 - GIS資料管理界面

SMS 之成長與茁壯

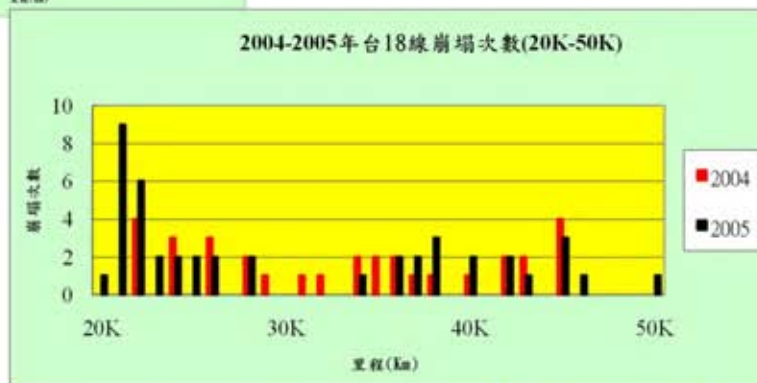
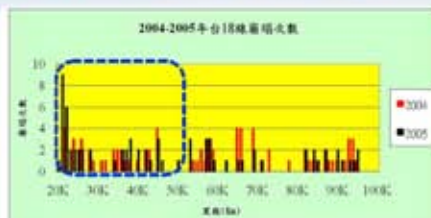


NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

崩塌災損資料統計分析－臺18線崩塌次數

30



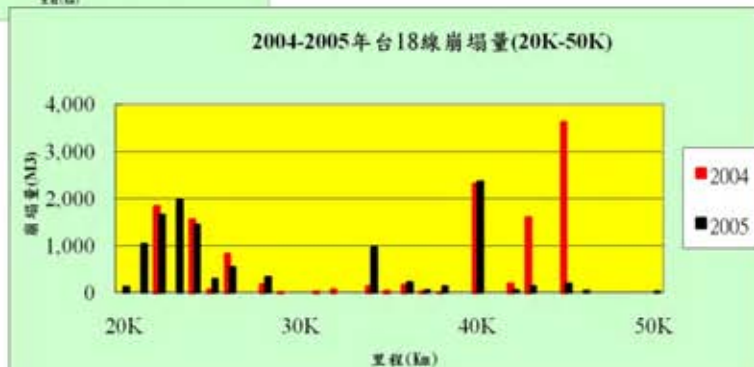
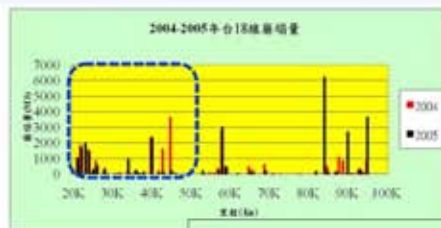
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

崩塌災損資料統計分析－臺18線崩塌量



31



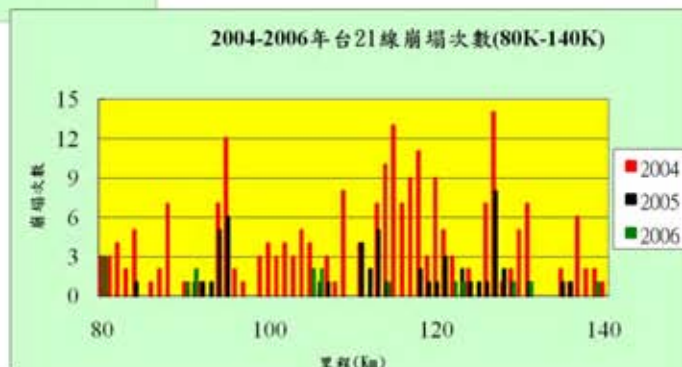
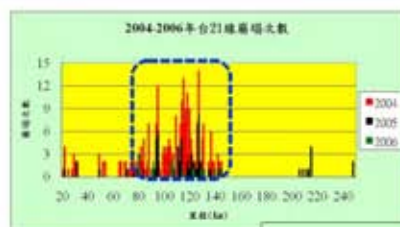
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

崩塌災損資料統計分析－臺21線崩塌次數



32

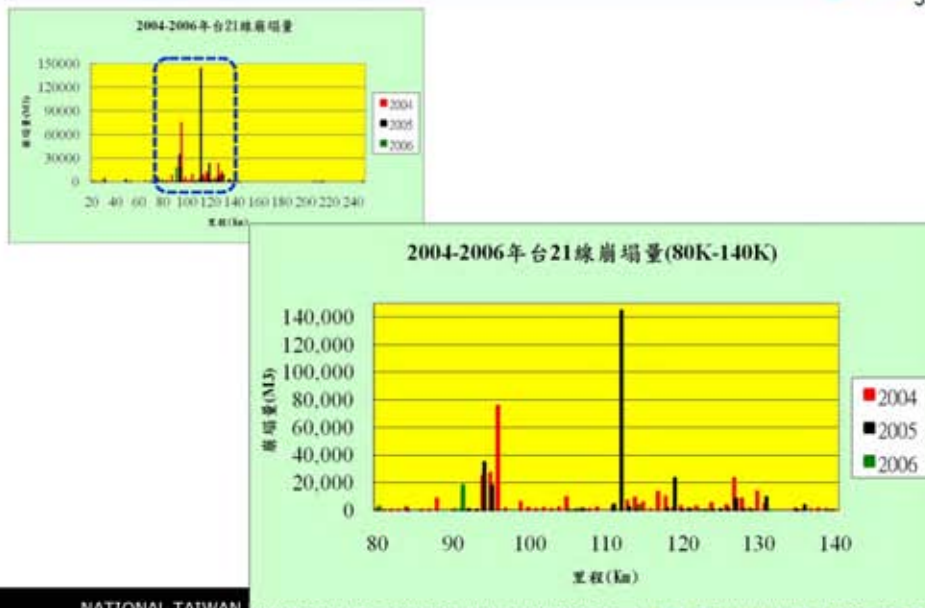


NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

崩塌災損資料統計分析－臺21線崩塌量

33



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

崩塌量、崩塌型態與災害發生之關係探討－生命週期模式

34



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

道路工程生命週期預測

35



1. 養護資料統計



4. 預測未來養護次數機率

$$P(3)=P(0)*P^3$$

$$[0.497 \ 0.196 \ 0.308] = [1 \ 0 \ 0] \times \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \end{bmatrix}$$

1次 2次 3次

2. 轉換或然率矩陣建立

$$P = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \end{bmatrix}$$

3. 欲知年輸入

N=3
(未來第三年)

5. 養護成本計算

將各養護次數機率
與各次數養護成本
平均相乘累加求得

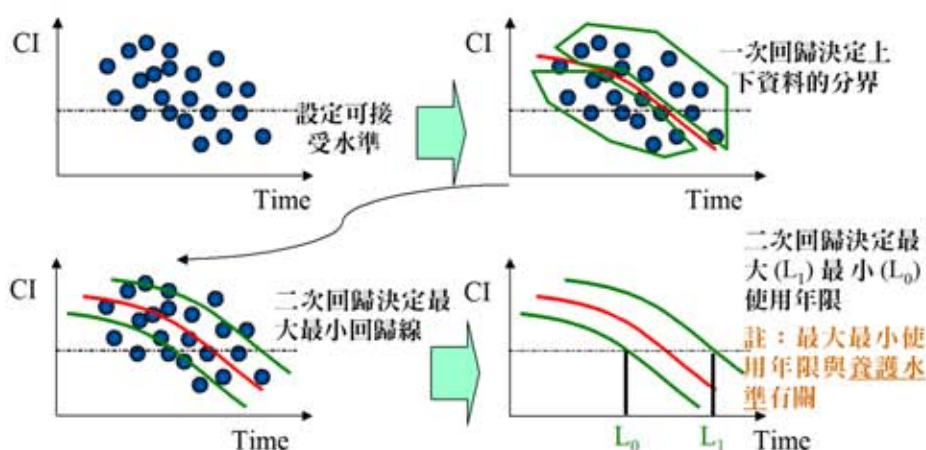
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

使用年限－計算方式

36

擷取資料之回歸分析



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學



結論與建議

結論



38

- ➡ 已完成聲波式預力監測系統、陣列式位移計、無線感測網路系統等之蒐集彙整作業，並規劃於後續計畫執行期間，選定以省道臺18線五彎仔路段為示範路段，進行現地實設測試作業。
- ➡ 目前已初步完成道路邊坡管理系統改版作業，以及針對省道臺8、臺18以及臺21線進行現地調查、崩塌事件及災損資料彙整分類作業，除此之外，亦確實建立民國95年以前各山區道路之颱風豪雨災損資料。
- ➡ 除了過去裝設於臺18線沿線之9個雨量計外，亦已於今年擴增至14個雨量計，且完成43k+100處之土壤含水量計安裝作業。

建議 (1/2)



39

- ➡ 持續彙整國內外先進道路邊坡崩塌監測預警自動化技術，進而評估國內現有道路邊坡崩塌自動化監測預警成效外，亦擬規劃依據歷年研究成果，彙編道路邊坡崩塌預警監測技術手冊。
- ➡ 道路邊坡管理系統資料庫已初步改版完成，但後續建議納入現地雨量監測數據資料、潛勢圖展示等，以增加系統之完整性。

建議 (2/2)



40

- ➡ 建議持續選定歷史崩塌路段進行現地調查作業，以及蒐集彙整、分類與建置歷史崩塌事件與災害資料，並探討建立崩塌量、崩塌型態與災害發生間之關係。
- ➡ 針對示範路段沿線裝設之雨量計與土壤含水量計，後續建議持續進行維護與資料彙整作業，亦將應用道路邊坡管理系統內資料開發道路邊坡崩塌簡易危害度分析模式，研擬道路邊坡崩塌安全管控程序，以及開發邊坡管理系統內安全管理模組。

明年度建議工作項目



41

- ➔ 持續研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統
 - ◎ 彙整國內外先進道路邊坡崩塌監測預警自動化技術。
 - ◎ 評估國內現有道路邊坡崩塌自動化監測預警成效。
 - ◎ 依歷年研究成果彙編道路邊坡崩塌預警監測技術手冊。
- ➔ 持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析
 - ◎ 持續選定歷史崩塌路段進行現地調查作業。
 - ◎ 持續蒐集彙整、分類與建置歷史崩塌事件與災害資料。
 - ◎ 持續探討建立崩塌量、崩塌型態與災害發生間之關係。
 - ◎ 持續將適當資料建置於既有之道路邊坡管理系統，並增加歷年建置之雨量監測資料。
- ➔ 持續道路邊坡致災因子雨量空間分析
 - ◎ 應用道路邊坡管理系統內資料開發道路邊坡崩塌簡易危害度分析模式。
 - ◎ 研擬道路邊坡崩塌安全管控程序。
 - ◎ 開發邊坡管理系統內安全管理模組。

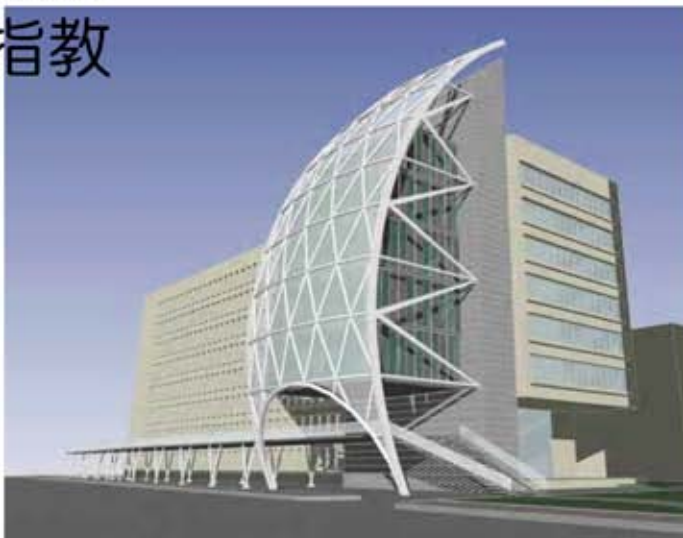
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

簡報結束
敬請指教



42



NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

國立台灣科技大學

附錄 4

臺 21 線案例量化資料

臺21線已崩塌案例量化資料(29筆)

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
1	107+000	237314	2609153	140	38	10	0.003879976	6	90	38	0.1	40	20	1	36044.651	4	25	294.94	1
2	107+300	237212	2609068	140	45	20	0.004220584	6	90	45	0.1	75	5	0.1	46230.9	8	35	293.59	1
3	109+300	235909	2607391	140	60	10	-0.00665231	6	90	60	0.2	20	10	1	50092	2.5	20	250.14	1
4	111+500	235365	2604971	155	50	45	0.015147851	6	90	50	1	75	5	0.1	5588.35	8	35	226.76	1
5	113+000	235575	2605094	340	75	20	0.004282181	6	90	75	0.3	60	5	1	24792	7	35	228.66	1
6	113+500	235523	2605293	55	54	25	0.004626749	6	90	54	0.25	60	5	0.5	10668.7	2	0	232.8	1
7	114+000	235654	2605563	300	70	12	0.003852938	6	90	70	0.35	65	10	1	21845.4	5	45	235.36	1
8	116+800	237324	2606415	245	65	15	0.004231711	6	40	27	0.15	75	40	0.3	11786.3	2	0	250.56	1
9	118+500	238016	2607059	0	70	10	0.003423508	5	25	40	0.25	60	45	0.4	21947	1	0	258.57	1
10	118+580	238196	2607041	0	70	70	-0.02303736	5	25	40	0.5	55	10	0.5	888751	10	25	259.4	1
11	119+800	238339	2607751	10	70	15	0.004794624	5	90	70	0.15	60	15	0.3	1524.1	1.5	10	264.91	1
12	124+750	240230	2605243	155	70	18	0.004756295	6	90	70	0.2	90	5	0.5	13716.9	4	10	260.25	1
13	126+700	239600	2604239	160	60	16	0.004581438	6	125	14	0.15	75	5	0.3	21439	1.5	30	252.13	1
14	126+950	239507	2604124	130	60	100	-0.02078495	5	155	14	0.75	80	10	0.3	251476	5	15	251.1	1
15	127+200	239803	2604048	40	75	15	0.015797044	5	90	75	0.25	80	5	0.1	6807.63	3	10	252.53	1
16	127+500	239862	2604012	20	65	20	-0.01105793	5	90	65	0.15	30	20	0.5	37696	1.5	0	252.72	1

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾向 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被 蓋面積 百分比 <%>	植被 覆蓋 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾 開挖 高度 <m>	坡度改 變量 <°>	最大水 平地表面 加速度 <gal>	崩塌 與否
17	127+900	240263	2603791	20	55	30	0.00742143	5	90	55	0.1	70	15	0.2	7112.45	2	0	254.17	1
18	129+000	239954	2603120	180	50	40	0.008776136	5	75	-15	0.4	80	45	0.4	41455.4	2	30	249.97	1
19	131+650	239751	2601626	75	65	30	0.009959862	5	90	65	0.3	75	55	0.5	16433.9	2.5	0	243.4	1
20	131+680	239769	2601599	75	70	30	0.00532531	5	90	70	0.3	90	50	0.5	20570.12	2.5	0	243.44	1
21	135+590	239447	2603173	140	50	18	-0.02217983	5	90	50	0.25	90	20	0.3	11415.1	4	30	245.88	1
22	137+140	238969	2603665	50	20	15	-0.01329513	5	70	-10	0.1	40	15	0.15	24306.4	3	0	245.99	1
23	137+450	238861	2603863	45	30	15	-0.01992945	5	90	30	0.15	40	60	0.3	36213.6	2.5	0	246.12	1
24	137+950	238924	2604356	110	85	10	0.007121949	5	15	40	0.3	95	20	0.1	11907.2	4	25	248.62	1
25	138+000	238930	2604410	90	85	18	0.009992356	5	35	40	1.5	90	25	0.3	7872.51	1	10	248.89	1
26	143+400	238605	2601629	110	75	20	0.023335045	5	90	75	0.4	50	5	0.05	11710.4	1.5	10	236.52	1
27	145+750	238011	2601359	290	80	25	0.012955633	5	90	80	0.5	60	5	0.05	11612	4	10	220.8	1
28	146+000	238070	2601096	255	50	50	0.015336997	5	90	50	1	70	30	0.3	7380.48	1	10	220.75	1
29	148+200	238229	2599234	300	70	15	0.012075253	5	90	70	0.25	60	10	0.1	4089.45	3.5	35	218.14	1

圖錄 4-2

臺21線末崩塌案例量化資料(35筆)

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
1	106+000	237895	2609809	90	35	6	0.002833337	6	90	35	0.6	30	98	2	23519.1	1.5	0	304.08	0
2	110+500	235565	2606318	130	25	10	0.024307088	6	90	25	0.2	50	90	1.5	23674.3	1	0	240.21	0
3	116+000	236753	2606392	50	65	8	0.032923309	5	10	27	0.4	75	85	0.5	3657.83	1.25	5	247.23	0
4	117+500	237219	2606823	15	10	7	0.014360949	6	90	10	0.15	85	98	2.5	6298.01	2	0	252.73	0
5	118+000	237664	2607052	315	45	10	-0.02392841	6	90	45	0.6	55	95	2	5117.13	2	0	256.67	0
6	119+000	238060	2607280	240	60	10	0.0088111	5	125	30	0.5	85	85	1.5	16257	1	0	260.28	0
7	119+500	238186	2607587	290	35	25	0.009229651	5	90	35	0.4	80	90	0.3	40032.9	1	15	263.02	0
8	120+000	238416	2607751	270	75	12	-0.02872193	5	90	75	1	90	30	0.2	14834.5	1	0	265.29	0
9	121+000	239092	2607682	55	50	17	0.013909347	5	180	10	1	85	85	0.5	914.458	2	40	268.17	0
10	121+500	239360	2607306	70	70	20	0.009101178	5	90	30	0.7	80	65	0.3	29770.7	1	0	267.1	0
11	122+000	239700	2606947	65	40	10	0.014176835	5	40	-3	0.5	70	90	0.5	5689.96	1	20	266.63	0
12	122+500	239639	2606474	70	50	10	-0.02484928	5	35	7	0.5	75	90	0.75	35765.5	1	0	263.55	0
13	123+500	240279	2606024	90	35	12	0.023242346	6	160	5	0.5	60	80	2	7010.84	1.5	0	264.45	0
14	124+000	240307	2605678	85	60	14	-0.04	6	90	60	0.8	80	80	0.3	71124.5	1	0	262.81	0
15	125+500	240510	2604705	90	70	20	0.012244539	6	90	70	0.7	90	80	0.5	20321.3	1.5	10	259.31	0
16	126+000	240148	2604640	170	65	20	0.008345608	5	125	15	0.6	60	75	0.3	13310.4	1	0	257.02	0

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾向 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被 蓋面積 百分比 <%>	植被 覆蓋 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾 開挖 高度 <m>	坡度改 變量 <°>	最大水 平地表面 加速度 <gal>	崩塌 與否
17	126+500	239784	2604459	110	45	6	0.0329	5	10	-1	0.3	40	80	1.5	1673	1.5	0	254.15	0
18	128+000	240360	2603740	65	65	10	0.01769269	5	90	65	0.6	50	80	0.5	3251.4	2	0	254.53	0
19	131+000	239868	2602055	170	70	10	0.008	5	90	70	0.6	75	55	1.5	10161	2	15	245.08	0
20	134+500	239899	2602758	15	50	7	0.012423518	5	90	50	0.6	60	90	1.5	7010.84	1.5	10	247.2	0
21	136+000	239774	2603451	130	50	10	0.0067	5	170	20	1	90	60	0.3	4822	3	25	250.06	0
22	139+000	238584	2603845	150	65	6	-0.0169	5	90	65	1.2	65	75	0.5	9742	2	10	244.33	0
23	140+000	238929	2603357	355	70	8	0.009625704	5	55	40	0.6	50	80	1	1968.13	1.5	15	243.42	0
24	140+500	238977	2603266	200	60	15	0.008	5	100	30	0.5	80	35	0.3	1771	1	5	243.39	0
25	141+000	238718	2602901	120	60	8	0.0094	5	90	60	0.7	70	80	1.5	1575	1.5	15	240.58	0
26	141+500	238905	2602540	45	55	6	0.0199	5	90	55	0.8	65	85	1	984	2	0	240.63	0
27	142+000	238780	2602076	135	50	8	0.0097	5	160	0	0.4	70	70	0.5	5609	2	0	238.62	0
28	143+000	238834	2601470	145	60	8	0.032850432	5	90	60	0.3	70	60	1	590.438	2	0	237.61	0
29	143+500	238582	2601699	35	70	8	0.013750902	5	90	70	0.7	50	80	0.5	2361.75	2	0	236.53	0
30	144+000	238626	2602115	115	70	7	0.006664845	5	90	70	0.6	95	70	1	1377.69	1.5	0	237.76	0
31	145+000	238338	2601854	280	80	15	-0.02017756	5	90	80	0.3	90	50	0.1	2755.38	1.5	0	235.34	0
32	145+500	237989	2601578	250	75	10	0.03564427	5	90	75	0.8	80	60	0.3	1476.1	1.5	0	220.99	0
33	146+500	238192	2600615	280	85	10	-0.028243	5	90	85	0.8	90	35	0.3	7675.7	1.5	0	220.84	0

圖錄 4-4

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
34	147+500	238172	2599890	245	60	12	-0.0181	5	90	60	1	85	90	1.5	27554	1.5	15	220.35	0
35	148+500	238175	2598957	325	60	8	0.010480642	5	90	60	0.7	80	65	1	5033.17	1.5	15	217.91	0

附錄 5

臺 8 線案例量化資料

臺 8 線已崩塌案例量化資料 (47 筆)

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
1	21+100	240361	2675816	95	70	13.47	-0.00708	10	111	2	0.2	65	60	2	4193.0161	3	5	446	1
2	24+500	242722	2674452	10	68	12.32	-0.00175	10	80	68	0.18	70	65	3	3820.1995	3	7	455	1
3	27+700	245267	2674164	300	75	16.02	-0.00683	9	137	15	0.3	70	40	1.8	6377.5649	0	0	440	1
4	30+200	247298	2675420	320	70	54.26	-0.00019	9	90	70	0.22	60	30	1.65	4520.4703	3.5	5	426	1
5	34+600	250321	2677642	150	40	17.83	-0.00261	11	71	20	0.2	50	80	2.5	3327.0811	0	0	406	1
6	35+000	250586	2677799	130	68	32.93	-0.00921	11	40	68	0.2	60	40	2	6236.7628	0	0	405	1
7	35+300	250539	2678072	65	38	19.45	-0.01392	11	90	32	0.3	50	90	3.2	5220.242	0	0	405	1
8	62+200	265792	2682851	325	75	61.14	-0.03212	9	230	30	0.22	40	18	2	152879.5927	0	0	345	1
9	63+000	266321	2683094	15	60	49.68	0.003371	11	90	15	0.1	50	50	1.8	10275.5184	5	15	341	1
10	63+200	266497	2683070	310	70	66.72	-0.01059	11	182	47	0.18	48	45	1.72	60204.6938	3	5	341	1
11	63+300	266603	2683150	317	68	81.56	0.008053	11	189	45	0.2	40	55	1.8	2600.2057	5	7	340	1
12	63+350	266622	2683204	278	65	50.42	0.00398	11	150	42	0.18	60	55	1.8	3482.6737	5	10	340	1
13	63+500	266716	2683285	140	70	70.66	0.010519	11	12	47	0.18	55	60	2	3436.872	3	5	340	1
14	66+500	268349	2684101	10	55	36.67	-0.00399	11	119	29	0.1	12	75	2.5	10314.3582	3.5	20	330	1
15	67+500	269099	2683894	60	65	34.83	-0.00189	11	90	17	0.09	18	30	1.5	6145.0177	2.7	10	327	1
16	67+550	269134	2683852	15	52	23.40	-0.01396	11	322	30	0.22	45	70	2.8	13002.0896	3.5	23	326	1

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
17	67+700	269305	2683963	0	63	31.12	0.001773	11	337	19	0.2	70	60	1.7	1766.8471	2.5	12	326	1
18	67+850	269387	2683999	35	58	6.20	0.022052	11	302	24	0.18	50	80	3	1224.8142	3	17	325	1
19	68+100	269535	2683826	60	75	34.56	-0.00297	11	88	3	0.15	40	52	1.7	4647.9825	10.5	10	325	1
20	68+300	269707	2683830	30	65	8.97	0.012127	11	118	13	0.1	45	28	2	1187.5054	3.5	10	323	1
21	68+500	269868	2683760	310	68	55.27	0.007563	11	172	4	0.9	70	35	1.7	11831.053	3	7	323	1
22	69+450	270428	2683570	120	80	14.71	-0.00683	11	18	16	0.18	82	50	1.2	1885.146	0	0	320	1
23	71+100	270694	2682939	45	70	76.41	0.002202	11	77	8	0.18	85	60	1.85	5272.6692	9	25	320	1
24	71+200	270739	2682872	35	60	26.64	-0.00688	11	87	2	0.12	30	65	2	3376.0404	3	15	320	1
25	72+500	270821	2683396	15	50	17.69	0.015842	11	107	12	0.08	8	10	0.75	1949.2272	3	25	319	1
26	72+720	270965	2683356	0	62	45.45	-0.01625	11	122	0	0.06	15	28	1.3	1904.2241	3.5	13	318	1
27	72+900	271166	2683307	29	65	87.43	-0.02436	11	92	11	0.1	16	26	1.6	7294.166	2.5	10	317	1
28	73+050	271120	2683454	210	80	68.74	0.023868	11	89	4	0.14	75	40	1.2	2565.2749	8.5	20	316	1
29	73+400	270999	2683831	290	75	10.48	0.021214	11	159	25	0.05	38	80	2	2269.6704	0	0	316	1
30	73+550	271063	2683918	300	65	15.05	0.007658	11	169	15	0.08	58	60	0.75	2026.7226	3.2	10	316	1
31	73+800	271170	2683934	355	63	48.94	-0.00481	11	224	13	0.06	30	28	1.6	9033.4951	3.5	12	315	1
32	74+500	271643	2683768	25	65	72.49	-0.00919	11	106	15	0.2	8	10	0.5	2706.8458	3	10	313	1
33	74+800	271733	2683471	140	70	63.26	0.013612	11	19	6	0.02	5	8	1.4	2318.5968	0	0	313	1

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾角 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被 覆蓋 百分比 <%>	植被 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾 開挖 高度 <m>	坡度 改變 量 <°>	最大水 平地表 加速度 <gal>	崩塌 與否
34	74+920	271629	2683428	130	68	61.27	-0.03248	11	9	8	0.06	10	20	3.2	9502.6574	0	0	314	1
35	75+000	271663	2683367	55	62	27.12	-0.01018	11	66	14	0.03	18	55	5.8	5401.6119	2.5	13	314	1
36	75+300	271730	2683139	75	65	96.59	-0.03069	11	15	65	0.16	60	25	3.6	3142.487	2.5	10	314	1
37	75+500	271816	2683010	80	85	21.01	-0.01063	11	10	85	0.13	90	58	1.7	2518.7916	0	0	314	1
38	76+380	271808	2682357	50	68	13.74	-0.00053	11	40	68	0.22	25	15	1.65	3065.4551	3.2	7	315	1
39	76+420	271860	2682322	330	70	73.07	-0.04504	11	240	70	0.19	25	70	2	2953.6074	3.5	5	315	1
40	76+750	272088	2682553	345	65	26.45	-0.036	8	255	65	0.2	20	28	2.6	6488.7883	3.5	10	314	1
41	77+500	272450	2682393	105	68	16.58	-0.00767	7	15	68	0.2	35	25	1.8	1142.0332	2.8	7	312	1
42	77+950	272424	2681935	90	75	24.94	-0.01034	7	52	27	0.09	85	40	1.7	14027.3246	0	0	313	1
43	78+100	272452	2681778	80	70	28.81	-0.01294	7	62	22	0.18	80	25	2.5	5220.2559	0	0	313	1
44	79+300	273091	2682585	310	80	73.65	-0.00577	7	220	80	0.16	85	15	0.6	15932.4586	9	20	307	1
45	79+450	273120	2682661	255	70	32.18	-0.01204	7	165	70	0.18	70	10	0.8	10696.1184	0	0	307	1
46	81+550	273657	2683733	345	60	45.36	-0.00298	7	255	60	0.1	10	5	0.8	2054.2204	0	0	302	1
47	82+000	274086	2683749	350	85	26.20	0.015977	7	260	85	0.1	95	35	1.75	596.031	0	0	300	1

臺 8 線未崩塌案例量化資料 (46 筆)

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾向 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被覆 蓋面積 百分比 <%>	植被 覆蓋 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾 開挖 高度 <m>	坡度改 變量 <°>	最大水 平地表 加速度 <gal>	崩塌 與否
1	18+500	239100	2673767	190	45	18.11	0.001151873	9	2	33	0.4	55	90	2.5	1752.349	1.5	30	426	0
2	19+500	239841	2674301	290	45	15.49	0.002516701	9	88	5	0.18	70	90	2.8	7529.4641	2.5	30	439	0
3	21+350	240527	2675965	330	60	12.83	-0.00249975	10	124	8	1.5	85	80	2.5	7964.4533	0	0	448	0
4	21+500	240665	2675995	185	62	14.81	-0.00278913	10	21	3	0.65	80	90	3.2	8819.2541	3	13	451	0
5	22+000	241018	2675923	20	90	11.92	-0.00125079	10	186	25	0.25	100	65	2	1193.2208	0	0	453	0
6	26+950	244605	2673968	0	45	11.41	-0.00999365	9	201	0	0.72	75	90	3	2280.9694	0	0	443	0
7	29+500	246809	2674840	320	55	28.35	-0.00108556	9	86	15	0.22	90	90	3.2	5537.2592	3.5	20	430	0
8	30+500	247494	2675595	310	75	12.86	0.000162077	9	220	75	0.26	100	45	2	2014.4224	0	0	426	0
9	33+000	249075	2677120	345	90	22.13	0.00532136	9	128	30	0.3	100	35	2	2422.1057	0	0	413	0
10	36+000	250793	2678414	255	43	17.75	0.009006486	11	111	7	0.5	40	90	3	1551.9488	3	32	403	0
11	37+000	251611	2678588	170	70	25.31	0.013444764	11	24	15	0.25	80	70	2.5	253.158	6.5	20	400	0
12	64+000	267082	2683479	0	55	39.77	0.001858335	11	103	25	0.05	10	100	3.2	4196.4479	4	20	337	0
13	64+500	267573	2683461	40	55	48.43	0.009301036	11	278	7	1.7	70	90	2.5	2336.646	4.5	20	335	0
14	65+500	267589	2683949	318	60	38.89	-0.00184208	11	0	2	0.18	5	100	3.5	3332.4042	3	15	334	0
15	66+000	267880	2684279	350	60	26.26	0.006719735	11	194	16	1.8	35	90	3.5	1762.3501	3	25	331	0
16	67+000	268734	2684061	40	60	12.85	0.005067214	11	89	24	0.02	5	85	2.2	8444.6038	3.5	25	327	0

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾向 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被覆 蓋面積 百分比 <%>	植被 覆蓋 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾 開挖 高度 <m>	坡度改 變量 <°>	最大水 平地表 加速度 <gal>	崩塌 與否
17	69+000	270188	2683872	340	55	6.22	0.003712323	11	202	9	0.18	60	95	2.2	1385.5409	2.5	20	321	0
18	70+500	270265	2682836	310	65	32.78	-0.00267808	11	180	3	0.12	35	90	4	2469.7764	3.5	10	323	0
19	71+000	270630	2683022	44	70	19.18	0.004307064	11	274	10	0.4	85	80	3.2	1407.7614	3.5	5	321	0
20	73+000	271158	2683427	210	65	13.97	-0.013273	11	89	11	0.18	90	80	2.2	6051.0774	5	10	316	0
21	73+500	271035	2683890	305	52	33.99	0.002412687	11	174	2	0.05	75	85	3.2	2465.8381	2.5	13	316	0
22	74+700	271782	2683525	170	55	57.35	-0.01603142	11	49	21	0.16	60	90	4	1699.3627	4	15	313	0
23	75+400	271801	2683081	75	70	34.09	0.009547724	11	15	70	0.2	90	90	3.5	2979.1665	6	5	314	0
24	75+750	271923	2682890	112	55	72.49	-0.00106059	11	22	55	0.2	85	90	5.2	2047.3846	5	25	314	0
25	76+000	271807	2682665	75	85	13.82	-1.1369E-05	11	15	85	0.09	95	80	4.2	4042.7482	0	0	315	0
26	76+100	271795	2682575	110	70	12.27	-0.00485327	11	20	70	0.17	95	90	2.6	17642.3357	0	0	315	0
27	76+500	271907	2682402	310	55	17.03	0.001647329	8	220	55	0.12	75	95	4.2	2869.6857	3	20	315	0
28	76+550	271943	2682447	310	48	37.00	-0.00649952	8	220	48	0.2	30	95	6.2	2963.8704	3	27	314	0
29	76+870	272178	2682608	355	50	23.26	-0.01073462	8	265	50	0.26	6	95	4.2	2695.5803	3.5	25	312	0
30	77+350	272510	2682523	140	65	8.13	0.001691153	7	50	65	0.2	80	85	2.2	1675.1352	5	10	311	0
31	77+400	272490	2682496	120	60	33.06	-0.0012589	7	30	60	0.2	55	90	2.5	1295.0698	4	15	312	0
32	77+680	272444	2682206	80	50	34.56	0.002202791	7	10	50	0.15	15	90	2	3127.2417	6	25	312	0
33	78+000	272435	2681899	65	45	19.84	-0.00332841	7	77	3	0.12	22	95	2	9794.997	2.2	10	313	0

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾角 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被 覆蓋 百分比 <%>	植被 覆蓋 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾 開挖 高度 <m>	坡度 改變 量 <°>	最大水 平地表 加速度 <gal>	崩塌 與否
34	78+350	272557	2681835	280	65	15.27	-0.00569275	7	138	17	0.1	85	75	1.75	2008.7044	0	0	313	0
35	78+920	272870	2682243	340	50	9.46	-0.00720426	7	198	2	0.16	20	90	3.2	5476.9964	2.5	25	310	0
36	79+200	273021	2682405	290	55	18.65	0.005969087	7	200	55	0.12	55	95	4.5	1951.8306	2	20	308	0
37	80+000	272939	2683129	245	60	7.23	0.010443592	7	155	60	0.15	45	90	1.8	1409.9993	0	0	308	0
38	80+350	273031	2683388	0	52	22.20	0.010014561	7	90	52	0.22	45	95	4	1065.5222	2	23	305	0
39	80+850	273398	2683472	255	48	29.38	-0.00743545	7	165	48	0.1	35	90	4.5	646.8797	3	12	304	0
40	80+900	273381	2683521	285	56	5.84	0.041707505	7	195	56	0.08	20	88	6	405.034	0	0	304	0
41	81+000	273457	2683552	280	55	18.67	-0.00743411	7	190	55	0.16	25	95	5.8	3745.6403	3	20	303	0
42	81+100	273466	2683662	270	52	11.14	0.003260647	7	180	52	0.07	6	90	4.8	5329.5804	1.8	23	302	0
43	81+400	273502	2683746	320	50	9.79	0.020273859	7	230	50	0.17	45	88	1.8	1787.7663	2	10	302	0
44	82+080	274122	2683681	100	60	20.36	0.000912973	7	10	60	0.22	80	98	2.3	1107.77	3	15	298	0
45	82+660	274478	2683446	320	50	55.27	-0.01732853	7	230	50	0.16	60	90	5.5	5193.2529	1.5	25	298	0
46	82+720	274497	2683487	300	70	23.74	0.010264928	7	210	70	0.17	60	90	4.5	2323.5201	0	0	298	0

附錄 6

臺 18 線案例量化資料

臺18線已崩塌案例量化資料(55筆)

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾開 挖高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
1	20+750	208953	2592930	330	70	30	-0.04835	3	90	70	0.3	65	90	2.5	27332	2	0	201.3	1
2	21+100	209166	2593090	30	80	30	-0.00838	3	90	70	0.2	75	50	1.5	2845	12	20	204.8	1
3	21+400	209322	2592928	100	40	25	-0.00654	3	50	0	0.3	70	80	3.5	15343	2	0	202.2	1
4	21+500	209376	2592848	40	60	30	-0.00576	3	90	60	0.3	60	80	2	3353	5	10	202.2	1
5	21+555	209427	2592827	30	60	20	-0.00419	3	90	60	0.3	65	80	2	2134	5	10	202.2	1
6	21+650	209449	2592715	120	60	20	0.001309	3	0	10	0.3	65	80	2	12396	5	0	0	1
7	21+900	209449	2592532	40	50	20	-0.00855	3	90	50	0.35	65	80	2	20118	4	0	0	1
8	22+050	209572	2592435	35	65	25	-0.00454	3	90	65	0.2	55	75	1.5	3150	15	15	0	1
9	22+250	209603	2592307	110	60	25	-0.0075	3	10	10	0.5	90	80	2.5	9754	3	0	0	1
10	22+350	209515	2592219	175	60	25	-0.02566	3	50	10	0.25	50	80	2	11380	7	0	196.1	1
11	22+350	209515	2592219	175	60	25	-0.02566	3	50	10	0.25	50	30	2	11380	7	0	196.1	1
12	22+850	209852	2592323	0	60	25	0.002007	2	90	60	0.15	50	85	3.5	7925	8	0	194.8	1
13	22+850	209852	2592323	0	60	25	0.002007	2	90	60	0.2	50	20	3.5	7925	8	0	194.8	1
14	22+950	209952	2592343	340	50	20	-0.00166	2	90	50	0.15	50	85	3.5	48873	8	0	194.8	1
15	24+700	209995	2592559	145	60	40	-0.01789	2	35	0	0.2	40	80	3.5	4369	2	0	197.4	1
16	24+750	209917	2592528	175	75	15	0.011694	2	90	75	0.15	25	60	3	406	8	15	197.4	1

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾向 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被覆 蓋面積 百分比 <%>	植被 覆蓋 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾開 挖高度 <m>	坡度改 變量 <°>	最大水 平地表 加速度 <gal>	崩塌 與否
17	24+860	209802	2592649	170	80	25	-0.02409	3	90	60	0.25	50	75	1.5	1118	12	10	200.9	1
18	24+900	209763	2592636	165	70	20	0.014224	3	60	20	0.3	70	25	1.5	406	12	10	197.4	1
19	24+900	209763	2592636	165	70	20	0.014224	3	60	20	0.25	40	75	1.50	406	12.00	10	0	1
20	26+100	210384	2592738	130	50	15	-0.0082	1	90	50	0.20	20	50	2.50	19102	5.00	0	202.6	1
21	26+800	210930	2592949	215	45	30	-0.02269	3	90	45	0.20	75	40	1.50	80574	6.00	0	225.5	1
22	26+800	210930	2592949	215	45	30	-0.02269	3	90	45.0	0.20	20	20	1.50	80574	6.00	0	225.5	1
23	26+800	210930	2592949	215	45	30	-0.02269	3	90	45.0	0.15	60	15	1.00	80574	6.00	0	225.5	1
24	28+100	211955	2592761	150	50	40	-0.01614	5	90	50	0.15	65	85	4.50	47552	3.00	0	203.4	1
25	28+100	211955	2592761	150	50	40	-0.01614	5	90	50	0.15	40	20	2.00	47552	3.00	0	203.4	1
26	31+200	212533	2592177	265	60	18	0.003578	5	170	55	0.40	80	75	0.50	11685	8.00	20	198.2	1
27	31+700	212623	2591862	275	40	20	-0.01152	5	90	40	0.60	75	80	3.00	132901	4.00	0	195.8	1
28	40+400	214341	2591188	155	60	35	-0.00419	5	45	10.0	0.30	55	75	1.50	1422	5.00	0	191.4	1
29	42+700	214752	2592668	90	75	25	0.002269	5	130	60	0.10	70	60	2.00	3556	6.00	0	233.6	1
30	43+150	214927	2593040	130	55	50	0.002793	5	0	10	0.2	70	70	2	15343	3	0	237.5	1
31	45+180	216149	2594231	95	65	40	-0.00218	5	90	15	0.25	75	70	1.5	12599	5	0	269.1	1
32	45+200	216129	2594254	95	70	45	-0.0055	5	170	60	0.25	65	60	1	12599	8	5	0	1
33	45+200	216129	2594254	95	70	45	-0.0055	5	170	60	0.25	75	40	1	12599	8	5	269.1	1

附錄 6-2

編號	里程 <km>	橫座標 <m>	縱座標 <m>	坡向 <°>	坡度 <°>	坡高 <m>	坡形 <無因次>	地層種類 <無因次>	坡向 與 傾向 交角 <°>	坡度 與 傾向 交角 <°>	岩塊 規模 <m>	岩塊 體積 百分比 <%>	植被覆 蓋面積 百分比 <%>	植被 覆蓋 厚度 <m>	集水區面積 <m ² >	坡趾開 挖高度 <m>	坡度改 變量 <°>	最大水 平地表 加速度 <gal>	崩塌 與否
34	45+950	216483	2594801	135	65	20	0.002007	5	80	45	0.4	90	80	2	5182	12	20	278.5	1
35	53+250	220410	2596706	245	55	60	-0.00716	5	80	45	0.9	75	60	3	16765	6	0	327.6	1
36	56+450	221603	2596185	120	60	20	0.010996	4	100	25	0.45	80	70	1	3963	7	10	321.5	1
37	57+050	221664	2596905	140	75	40	-0.03176	4	135	70	0.25	70	70	2	183534	7	0	330.8	1
38	58+000	221951	2597180	140	65	100	-0.01693	5	95	15	0.2	75	15	0.5	43966	15	10	336.2	1
39	58+400	222113	2597485	95	75	60	-0.03918	5	120	55	0.25	60	30	1	55695	13	0	0	1
40	58+400	222113	2597485	95	75	60	-0.03918	5	120	55	0.25	60	20	1	55695	13	0	341.1	1
41	58+500	222218	2597528	135	75	25	0.020595	5	95	35	0.5	75	70	1	1422	10	25	341.6	1
42	58+950	222161	2597874	160	50	50	-0.01152	5	90	50	0.2	50	80	3.5	74797	5	0	0	1
43	59+500	222674	2598017	155	60	30	-0.01667	5	90	60	0.25	50	75	2	30380	8	15	351.9	1
44	63+400	224464	2598986	240	60	25	-0.03848	5	90	45	0.25	50	50	1	166635	6	10	380.3	1
45	65+000	225522	2598938	170	70	55	-0.01501	5	100	50	0.25	75	10	0.5	255743	50	10	374.2	1
46	65+750	226137	2598888	235	70	50	-0.03229	5	90	70	0.4	40	10	0.5	16460	35	10	373.2	1
47	66+000	226305	2598822	190	70	50	-0.00262	5	90	65	0.3	75	60	1	1626	30	10	0	1
48	66+200	226515	2598754	215	85	25	0.006632	5	90	85	0.35	75	60	1	1016	23	20	372	1
49	66+700	226896	2598750	185	80	23	0.01693	5	100	70	0.3	70	50	1	2134	16	20	371.4	1
50	69+300	227486	2599582	200	65	20	-0.00384	5	90	65	0.9	50	75	2	29118	8	20	382.1	1

圖錄 6-3

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾向 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾開 挖高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
51	69+400	227895	2599545	240	40	25	-0.0192	5	90	40	0.6	50	90	4	97373	4	0	0	1
52	69+600	227985	2599422	265	50	20	-0.0247	5	120	35	0.8	70	90	4	31904	4	0	376.4	1
53	73+400	228059	2600173	210	60	15	0.003316	5	90	50	0.25	60	80	3	4674	6	20	388	1
54	74+800	228882	2600704	0	70	25	-0.02321	5	90	70	0.7	60	80	3	112682	9	30	0	1
55	77+050	229502	2600252	185	80	23	0.01309	5	180	55	0.65	80	5	0.5	3048	14	20	0	1

臺 18 線未崩塌案例量化資料 (54 筆)

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
1	21+300	209338	2593057	55	65	10	0.029409	3	20	0	0.6	80	70	1	1422	6	15	205.6	0
2	25+550	209927	2592993	25	65	12	0.008203	2	90	65	0.7	70	85	3	1829	8	15	210	0
3	26+300	210545	2592770	190	50	15	-0.00349	1	90	50	0.25	50	80	1	2134	2	0	202.6	0
4	30+750	212648	2592404	20	70	12	-0.00244	5	90	70	0.8	75	85	1	5182	3	0	202.6	0
5	32+250	212740	2591752	300	55	12	-0.00628	5	90	55	0.6	80	80	3.5	5690	3	0	192.5	0
6	32+550	212689	2591481	265	60	15	0.002094	5	90	60	0.9	75	90	4	1422	3	0	189.2	0
7	33+300	212771	2591045	315	55	12	0.002356	5	90	55	0.7	75	85	2	1290	3	0	186	0
8	33+700	212623	2590880	30	65	10	0.006283	5	90	65	0.7	70	90	3	1475	3	0	181.8	0
9	33+850	212731	2590781	55	60	15	0.008203	5	90	60	0.8	75	95	3	2120	3	0	182.9	0
10	34+300	212947	2590831	260	70	13	-0.00611	5	90	70	0.6	75	80	2.5	16036	3	0	184	0
11	35+100	213015	2590164	310	65	8	0.011345	5	90	65	0.5	70	85	3	737	4	25	178	0
12	36+300	213313	2589531	310	50	12	0.008465	5	90	50	0.5	75	95	3	1659	2	0	173.5	0
13	38+400	214029	2589889	60	90	12	0.002007	5	90	60	1.2	95	75	1.5	922	4	30	178.7	0
14	38+450	214077	2589906	25	70	12	0.041626	5	180	40	1.1	95	80	1	1106	4	20	179.9	0
15	40+650	214440	2591256	100	60	11	0.024696	5	90	60	0.5	70	75	2.5	1016	3	0	195.6	0
16	40+800	214329	2591333	335	65	15	0.007243	5	90	35	1.2	90	80	1	2032	4	15	194.5	0

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
17	42+500	214812	2592491	45	70	15	-0.00358	5	90	20	1.1	90	75	2	2337	5	0	209.4	0
18	42+600	214738	2592588	85	60	17	-0.00707	5	90	60	0.6	70	80	2.5	5284	3	0	209.4	0
19	43+500	215193	2593226	345	70	11	0.007156	5	100	40	0.8	85	80	0.5	2032	7	15	238.8	0
20	45+050	216196	2594103	90	85	11	-0.00576	5	100	65	0.9	90	60	1.5	5995	5	20	269.1	0
21	47+100	217082	2595562	0	70	15	0.006981	5	90	70	0.7	75	80	3	1626	4	0	293.9	0
22	47+300	217313	2595590	310	50	23	-0.01614	5	90	50	0.75	75	80	4	3455	2	0	295.4	0
23	47+400	217342	2595660	290	65	18	0.009948	5	90	65	0.9	75	85	4	1524	4	0	295.4	0
24	49+000	218089	2596632	70	65	25	-0.00489	5	150	35	0.7	80	95	4	813	4	0	311.7	0
25	51+000	219551	2596723	105	65	25	-0.00323	5	140	20	0.5	75	70	1.5	3861	4	0	324.4	0
26	51+150	219627	2596840	80	60	12	0.01789	5	90	60	0.7	80	85	1.5	813	3	0	324.4	0
27	52+850	220465	2597072	295	70	15	0.007854	5	150	40	0.75	80	80	1.5	2337	4	10	332.4	0
28	53+050	220408	2596895	280	60	17	-0.00838	5	90	60	0.75	80	80	2	4369	4	0	327.6	0
29	53+850	220332	2596181	280	85	15	0.010908	5	170	70	0.9	90	75	1	4267	9	15	317.2	0
30	54+150	220410	2595848	250	70	20	0.013614	4	100	55	0.8	85	85	1	2337	9	15	313.6	0
31	59+750	222802	2597907	245	30	18	0.004014	5	90	30	0.3	50	70	2.5	2032	3	0	352.2	0
32	59+950	222959	2597775	230	30	17	-0.0062	5	90	30	0.3	50	70	2.5	2845	3	0	347.2	0
33	60+900	223242	2598139	50	50	15	0.008552	5	90	50	0.2	50	90	3	3861	4	0	357.4	0

圖錄 6-6

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被覆 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
34	61+250	223238	2598456	130	50	12	0.007854	5	0	-10	0.7	80	70	0.5	1931	5	0	362.5	0
35	61+500	223403	2598576	130	60	15	-0.00375	5	90	60	0.5	75	80	1	12802	5	0	362.5	0
36	61+950	223650	2598328	260	55	7	0.015184	5	90	55	0.5	70	85	2.5	813	4	15	357.5	0
37	62+400	223849	2598563	125	50	17	-0.00576	5	90	50	0.3	70	85	3	3658	4	0	371.2	0
38	63+600	224491	2598739	290	65	6	0.003927	5	90	65	0.3	60	80	2.5	1422	4	20	375.4	0
39	65+200	225669	2598868	200	90	20	0.001833	5	125	80	2.3	97	60	1	2337	10	15	373.7	0
40	66+550	226779	2598716	125	70	13	0.0048	5	110	55	0.7	75	80	1	2134	8	15	371.4	0
41	67+400	226649	2599279	80	70	10	0.013875	5	90	70	0.50	70	70	3.00	1626	2.00	35	380.5	0
42	70+300	227984	2598978	290	50	13	0.007941	5	90	50	0.4	70	80	1	1219	5	15	372.6	0
43	71+400	228217	2599807	245	70	7	-0.00428	5	90	70	0.5	75	65	1	1727	6	30	379.3	0
44	71+600	228136	2599909	190	55	15	-0.00733	5	90	55	0.60	75	65	1.00	2134	10.00	20	384.1	0
45	71+700	228170	2599906	225	60	6	0.011257	5	90	60	0.7	75	60	1	2743	5	20	383.1	0
46	73+300	228158	2600107	200	60	12	0.012043	5	90	60	0.7	75	30	0.5	1727	7	20	383.1	0
47	73+700	228073	2600509	325	60	6	0.007941	5	120	10	1.2	85	70	3.5	1931	4	35	391.9	0
48	75+000	228559	2600616	335	60	5	0.006981	5	90	60	0.6	75	90	4	3455	3	30	389.5	0
49	76+000	228855	2599806	215	60	9	0.01693	5	90	60	0.60	75	65	3.00	914	8.00	25	377.4	0
50	78+950	230612	2600646	215	90	7	-0.00846	5	90	60	2.50	100	55	1.50	711	5.00	30	381.2	0

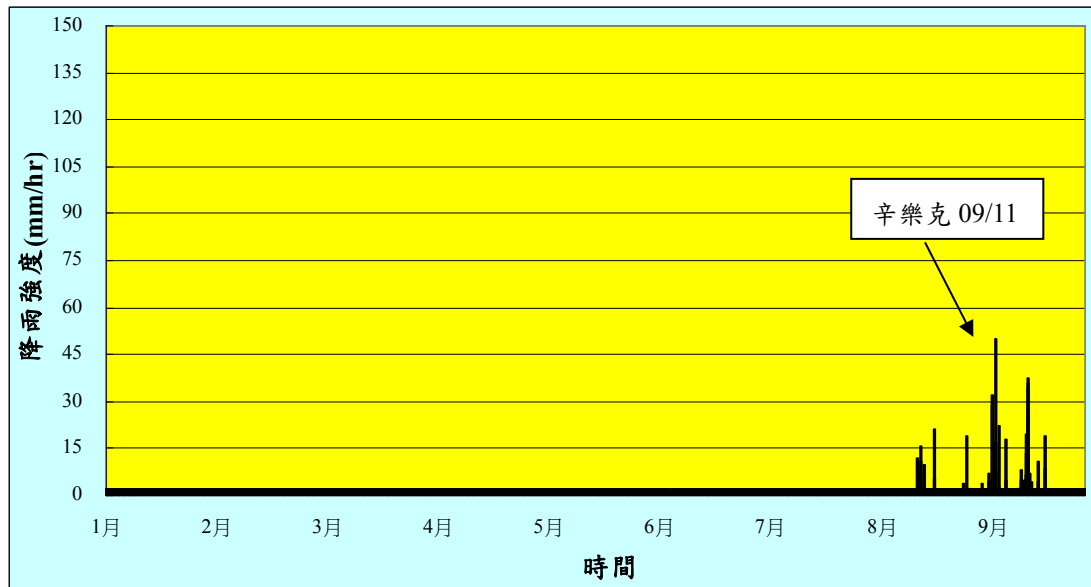
附錄 6-7

編號	里程 〈km〉	橫座標 〈m〉	縱座標 〈m〉	坡向 〈°〉	坡度 〈°〉	坡高 〈m〉	坡形 〈無因次〉	地層種類 〈無因次〉	坡向 與 傾向 交角 〈°〉	坡度 與 傾角 交角 〈°〉	岩塊 規模 〈m〉	岩塊 體積 百分比 〈%〉	植被 蓋面積 百分比 〈%〉	植被 覆蓋 厚度 〈m〉	集水區面積 〈m ² 〉	坡趾 開挖 高度 〈m〉	坡度改 變量 〈°〉	最大水 平地表 加速度 〈gal〉	崩塌 與否
51	79+050	230665	2600556	225	60	6	0.015184	5	90	60	0.70	75	70	3.00	2642	4.00	25	381.2	0
52	79+650	230990	2600179	255	60	5	-0.01457	5	90	60	0.50	70	80	3.00	38204	4.00	25	376.9	0
53	80+600	230611	2599662	265	45	5	0.025307	5	90	45	0.80	75	55	3.00	914	4.00	25	371.6	0
54	81+700	230732	2599030	270	45	10	-0.0192	5	90	45	0.50	70	80	3.00	24081	7.00	15	365.3	0

附錄 7

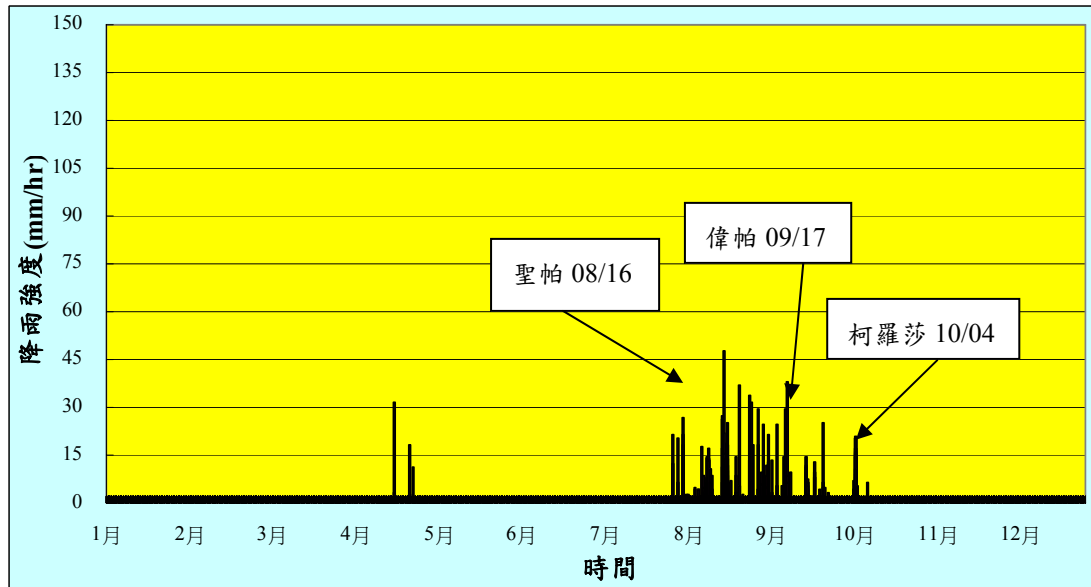
臺 18 線雨量計資料

R-T18-35k+300

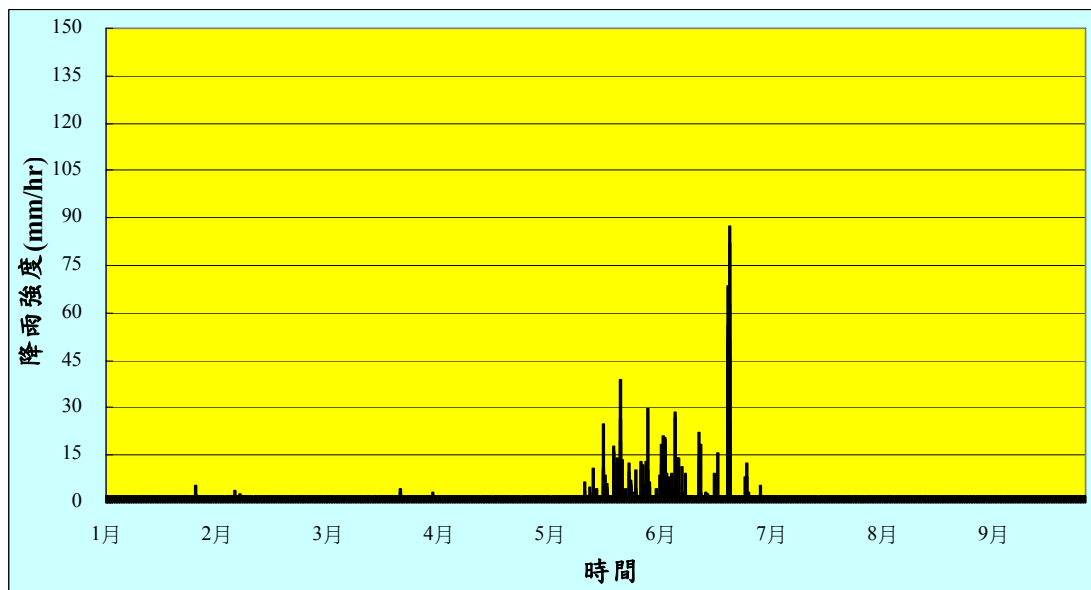


97 年降雨強度

R-T18-39K+300

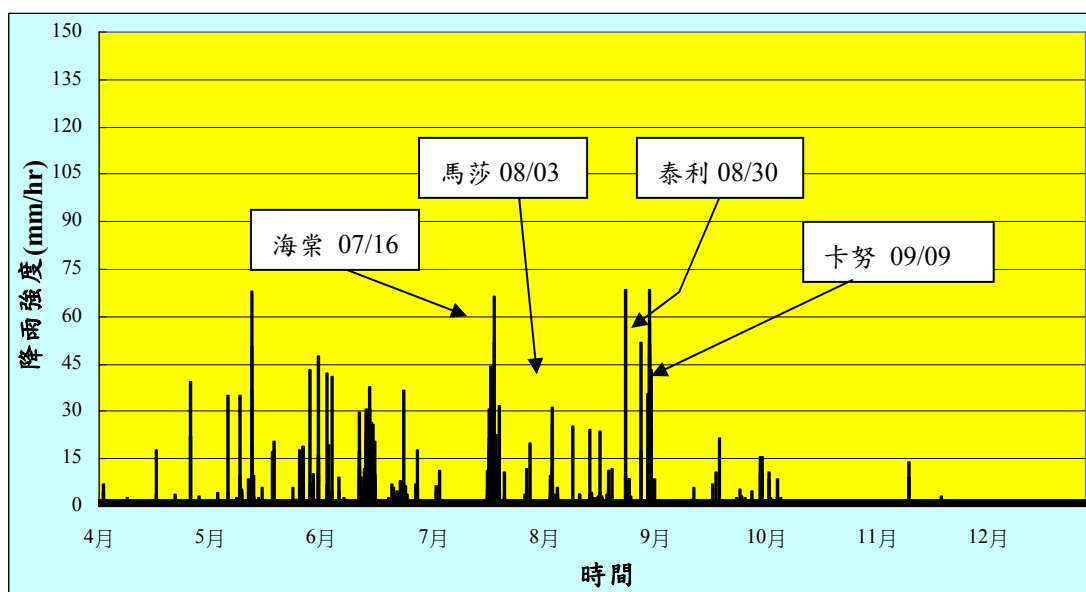


96 年降雨強度

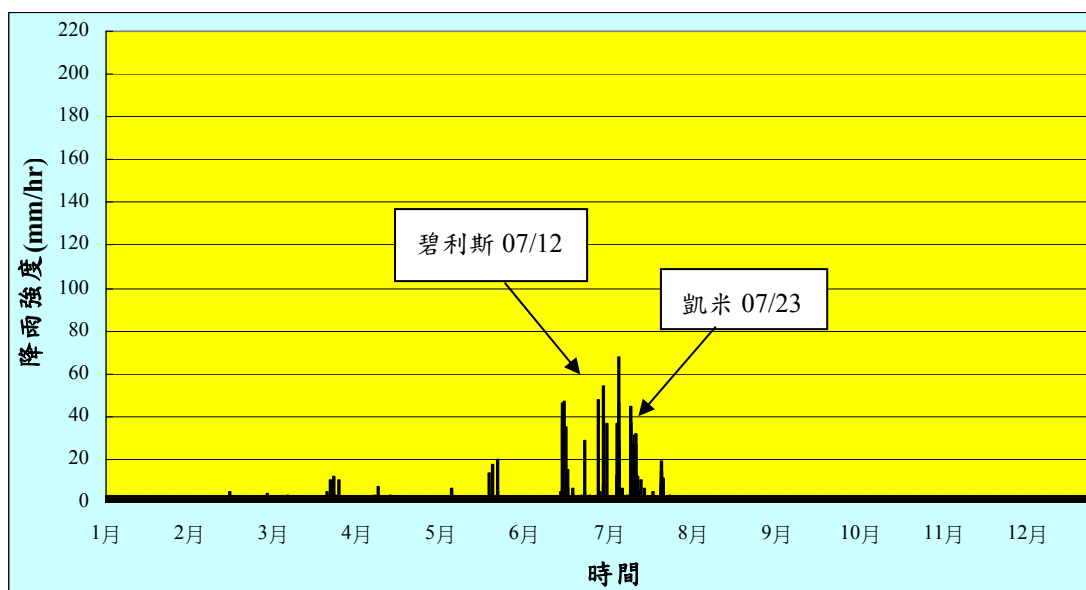


97 年降雨強度

R-T18-41K+700

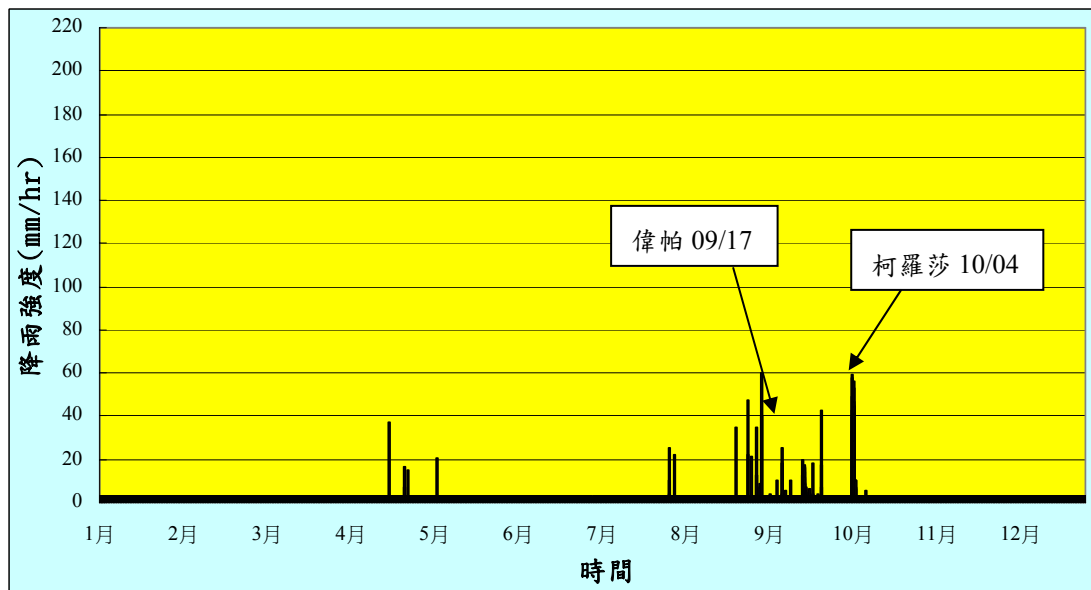


94 年降雨強度

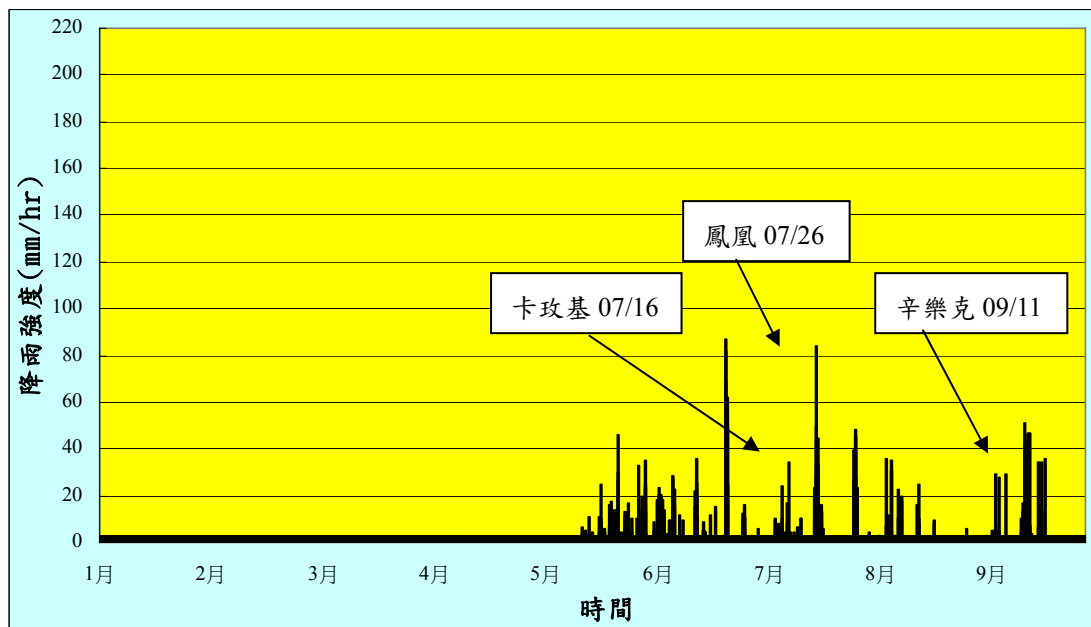


95 年降雨強度

R-T18-41K+700(續)

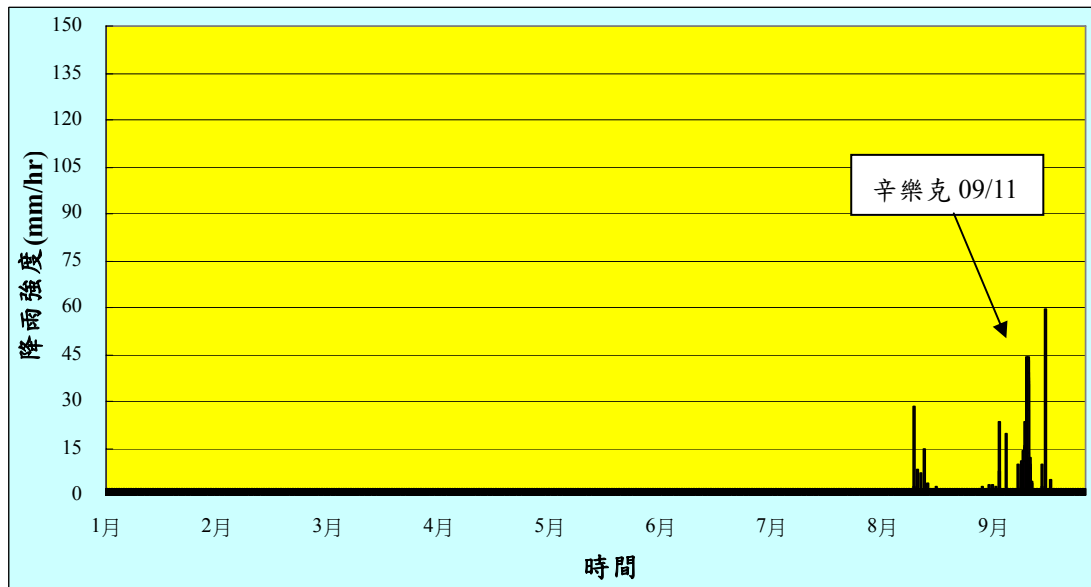


96 年降雨強度



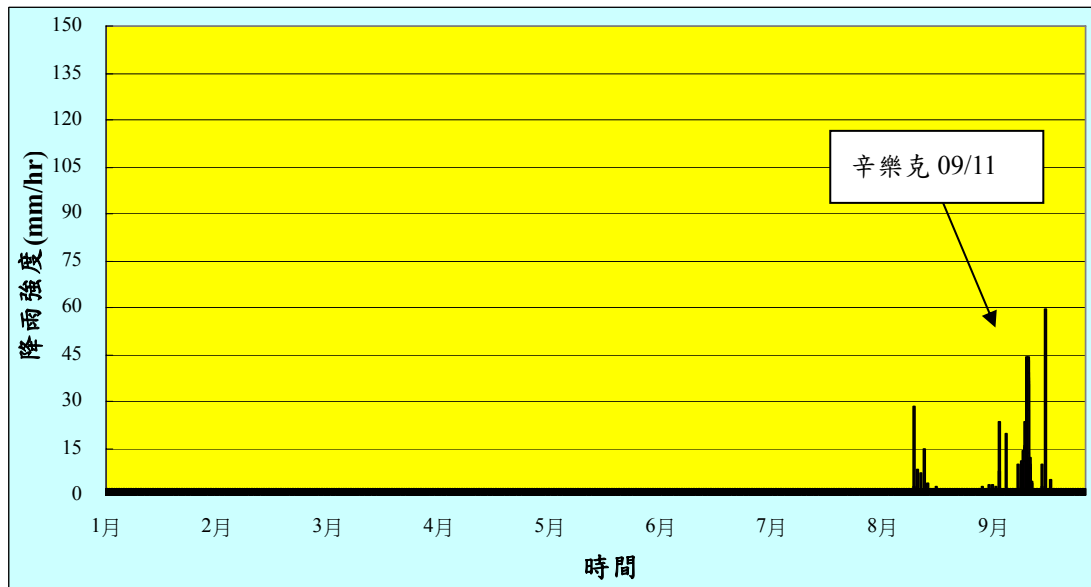
97 年降雨強度

R-T18-46K+010



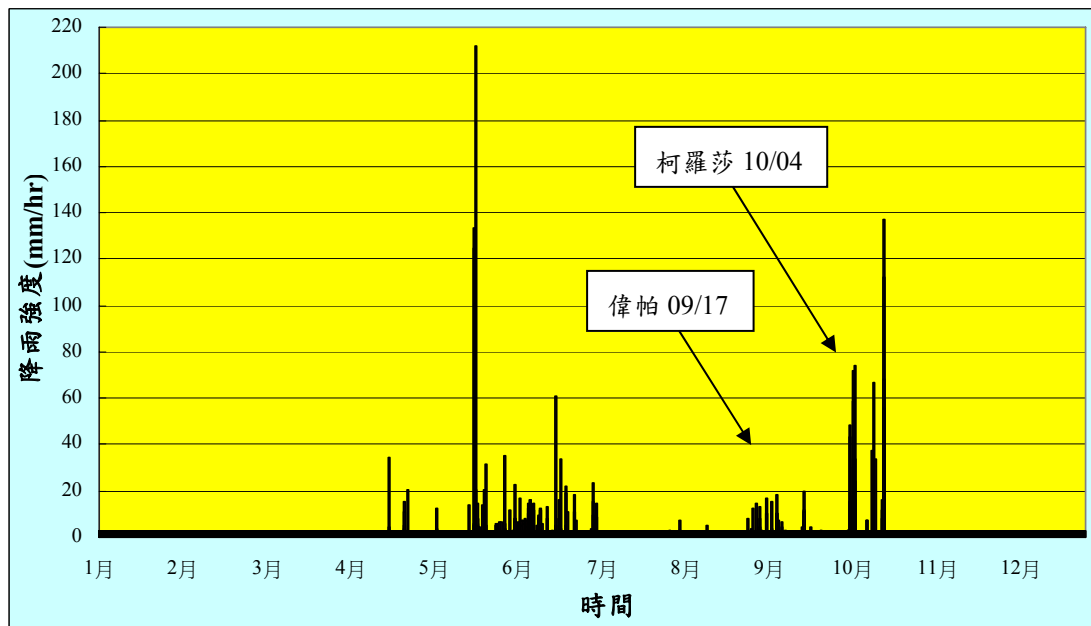
97 年降雨強度

R-T18-50K+400

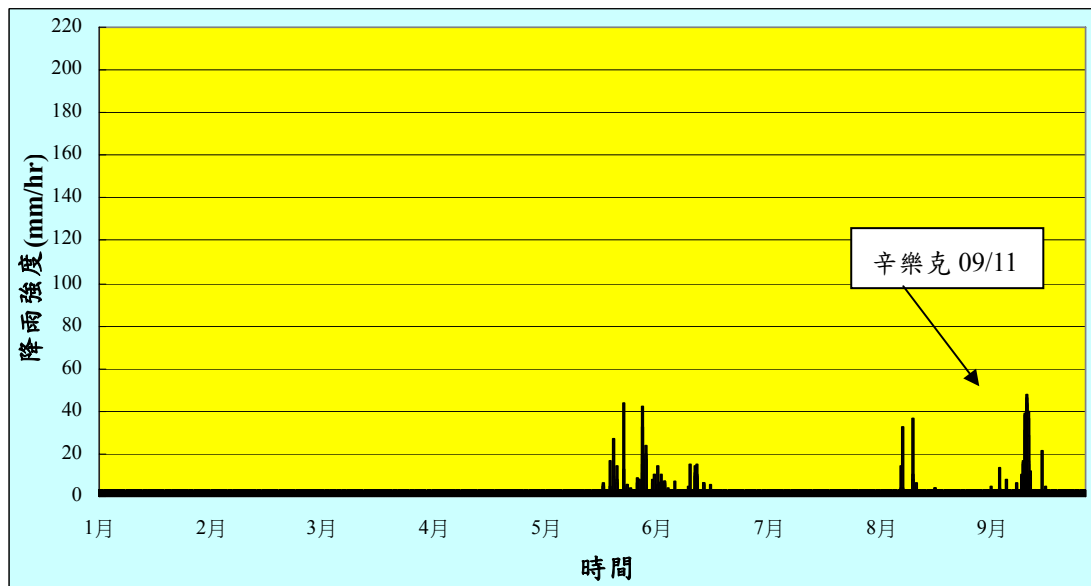


97 年降雨強度

R-T18-54K+100

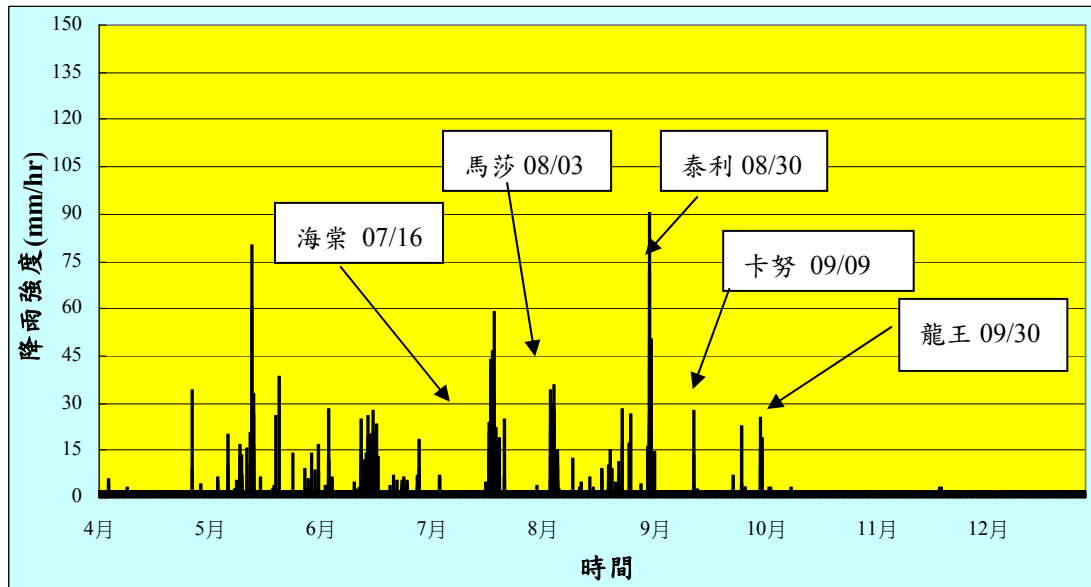


96 年降雨強度

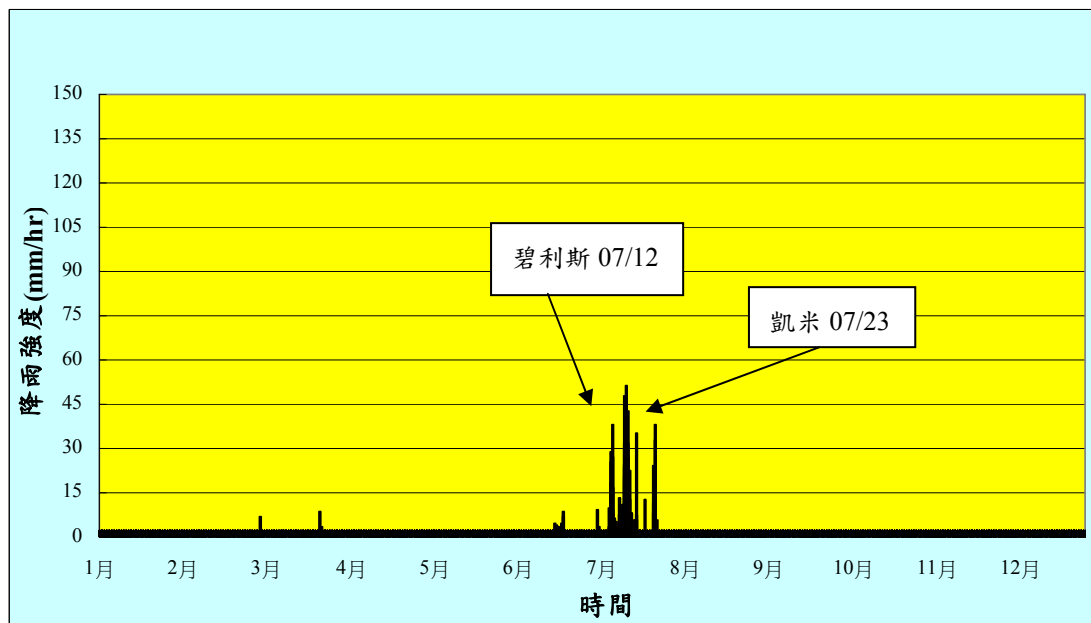


97 年降雨強度

R-T18-69K+900

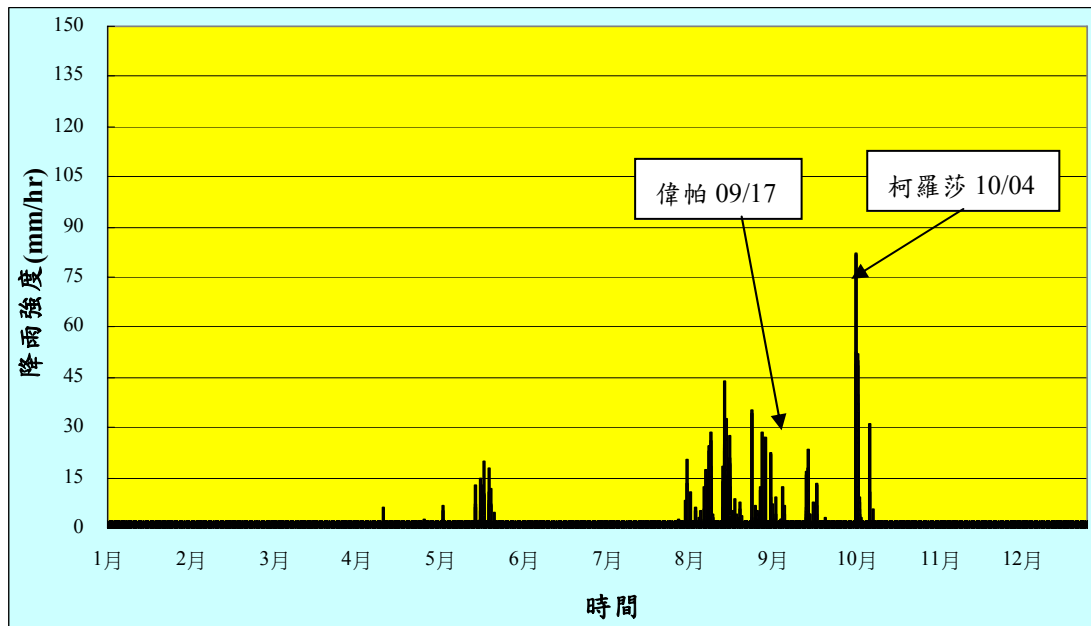


94 年降雨強度

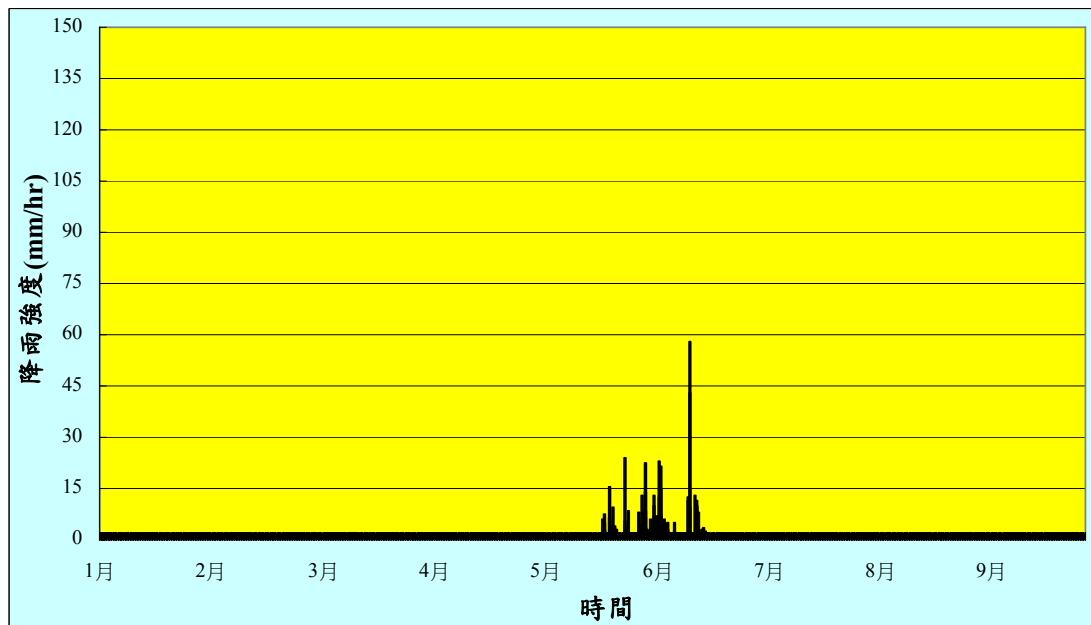


95 年降雨強度

R-T18-69K+900(續)

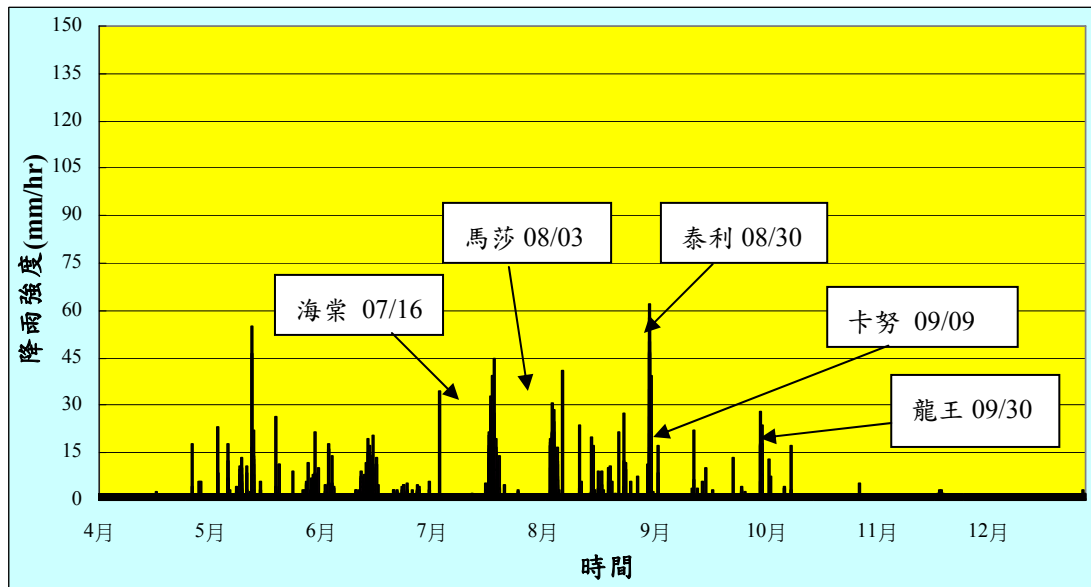


96 年降雨強度

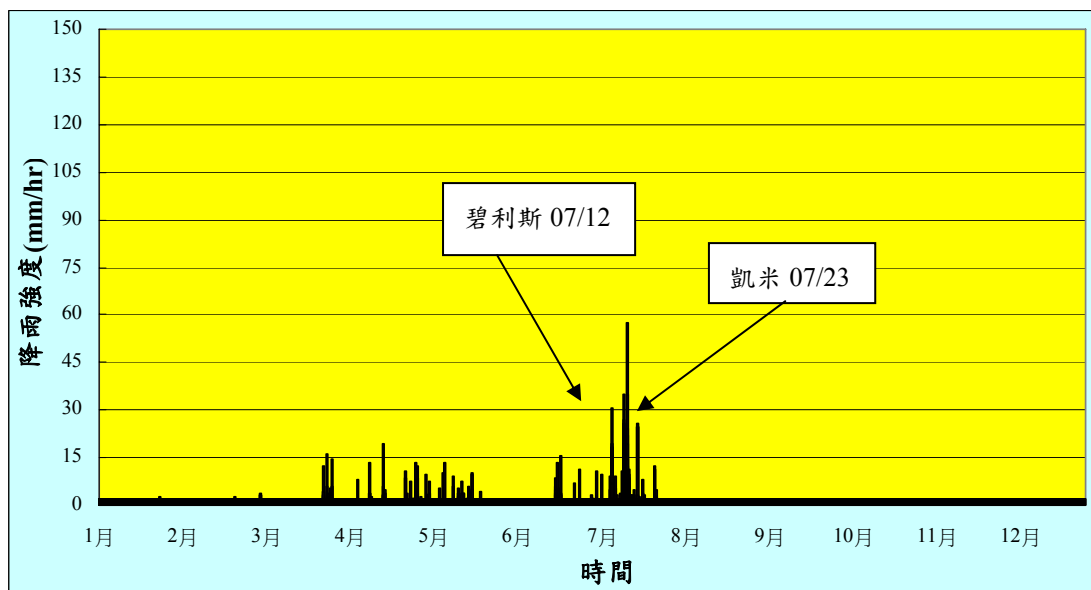


97 年降雨強度

R-T18-78K+600

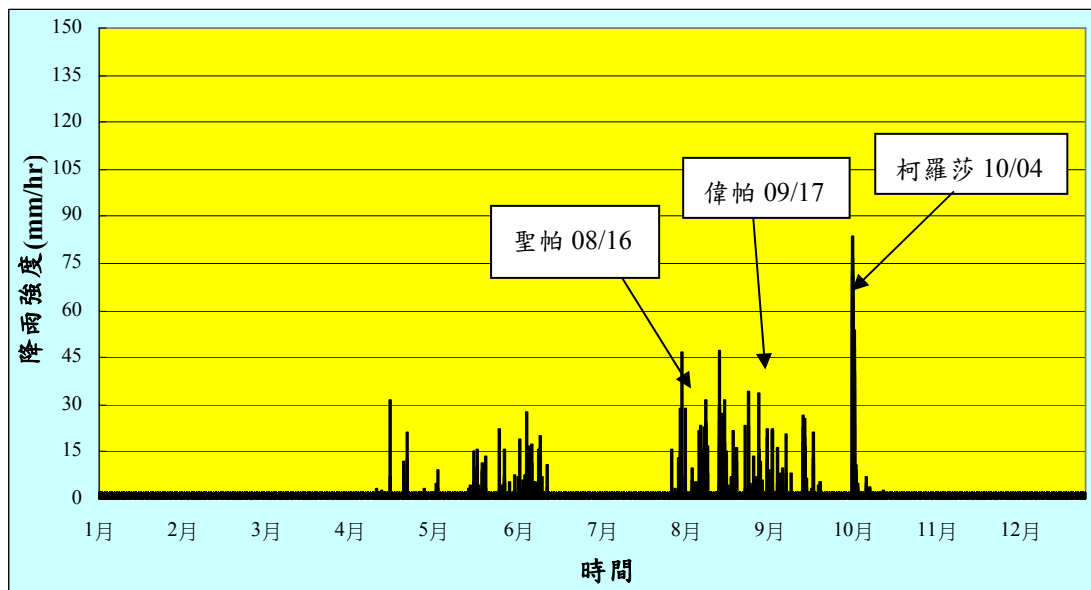


94 年降雨強度

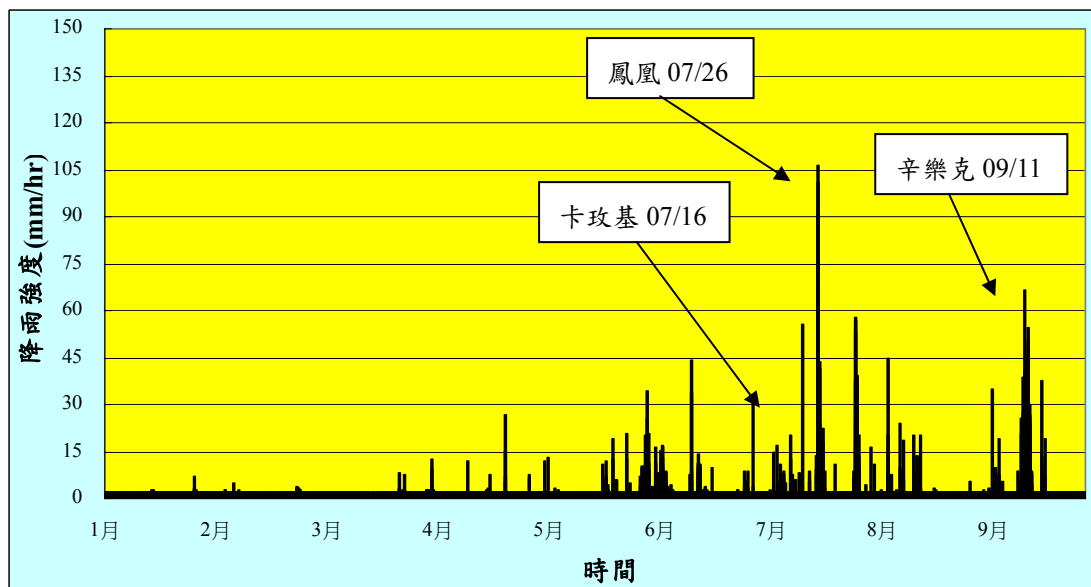


95 年降雨強度

R-T18-78K+600(續)

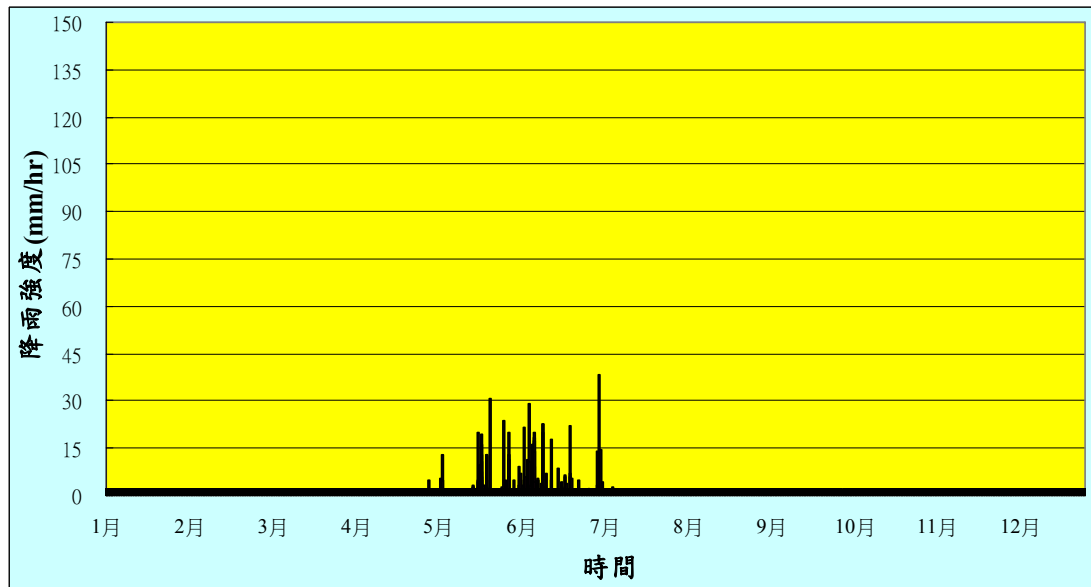


96 年降雨強度



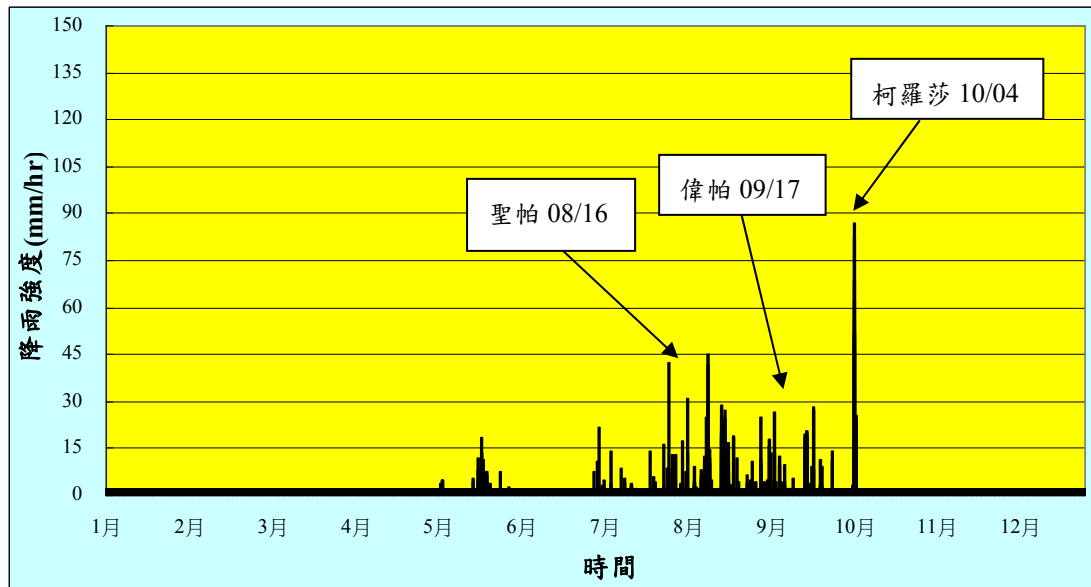
97 年降雨強度

R-T18-82K+300

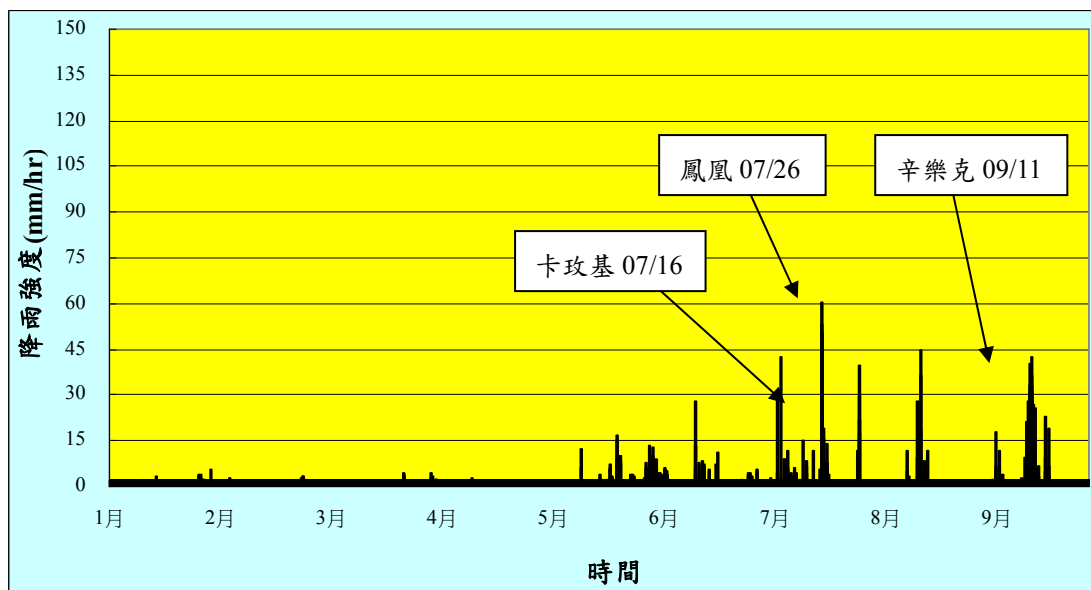


96 年降雨強度

R-T18-82K+500

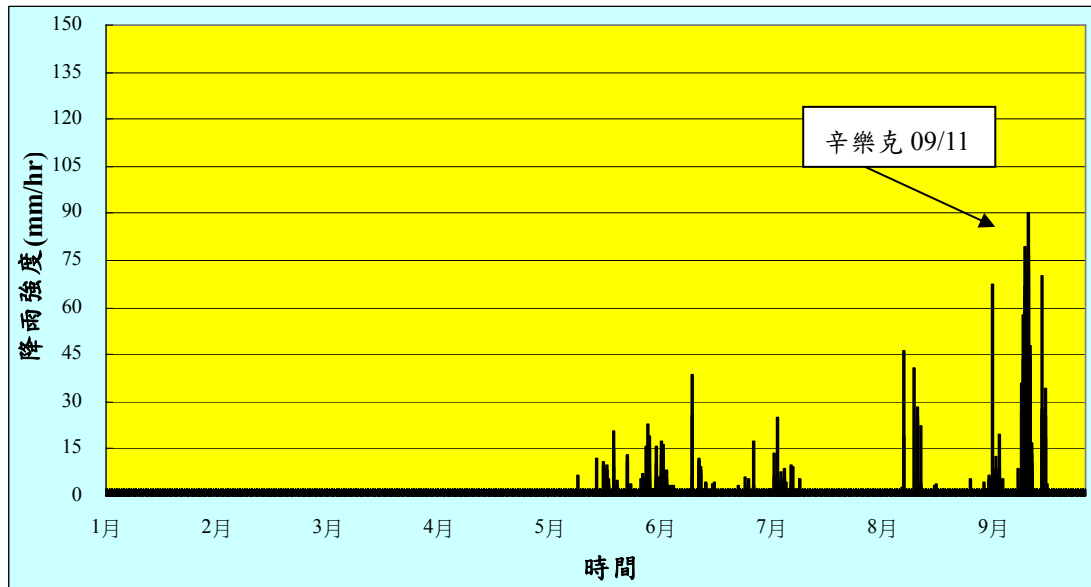


96 年降雨強度



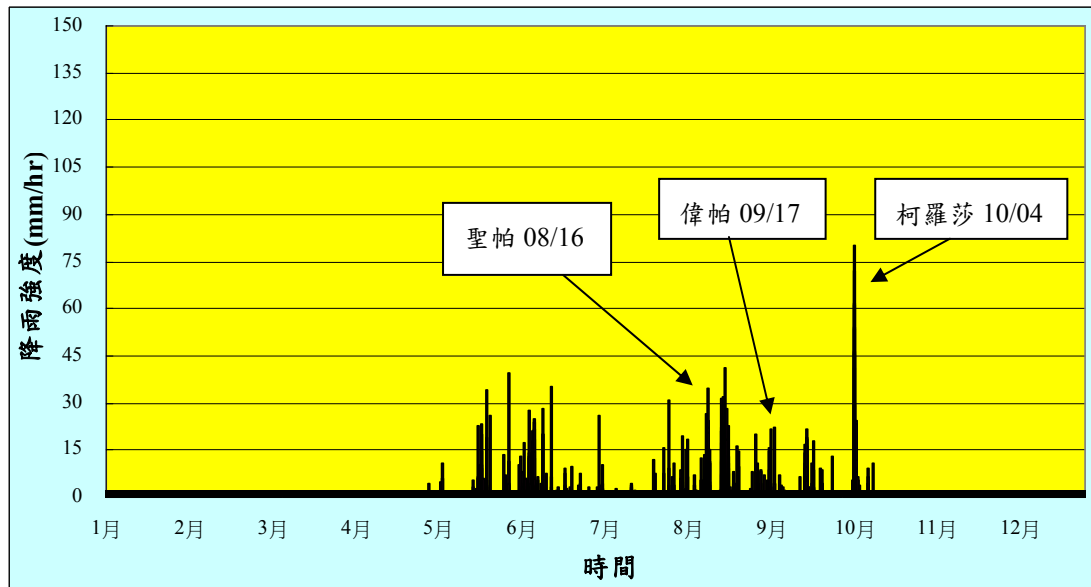
97 年降雨強度

R-T18-83K+400

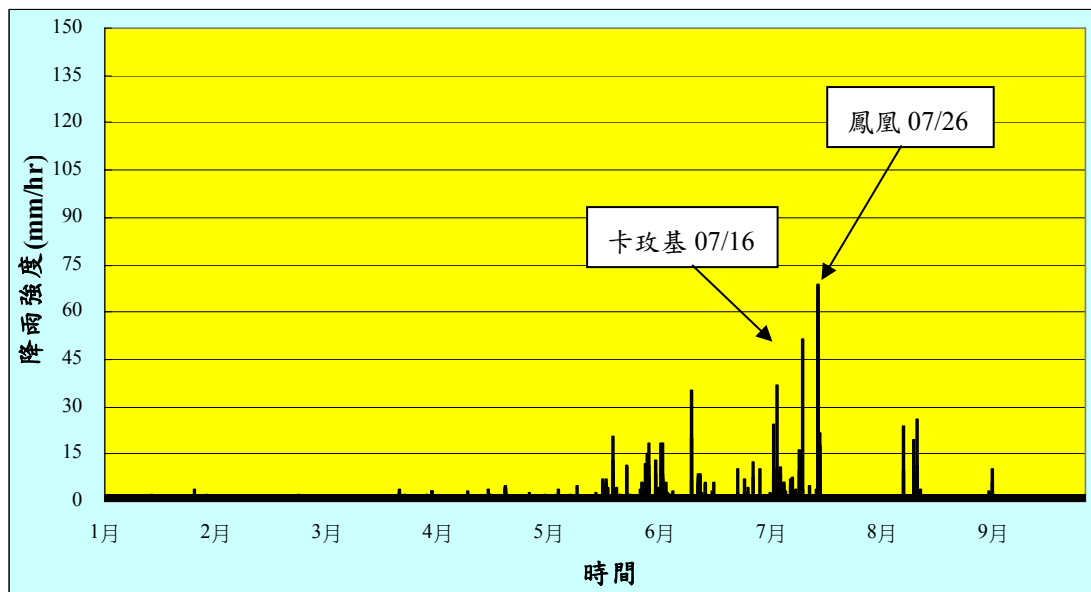


97 年降雨強度

R-T18-90K+200

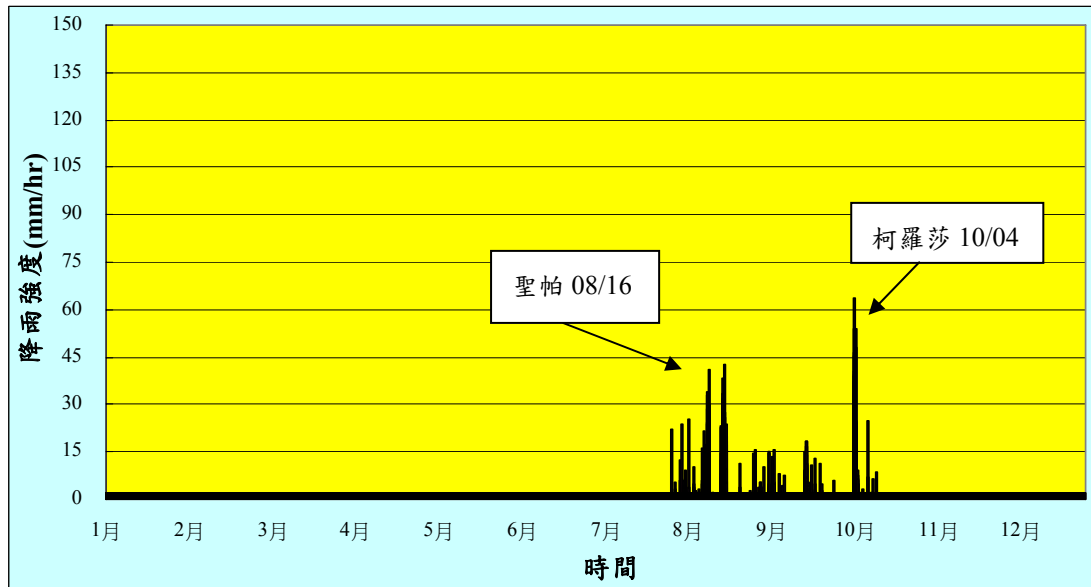


96 年降雨強度

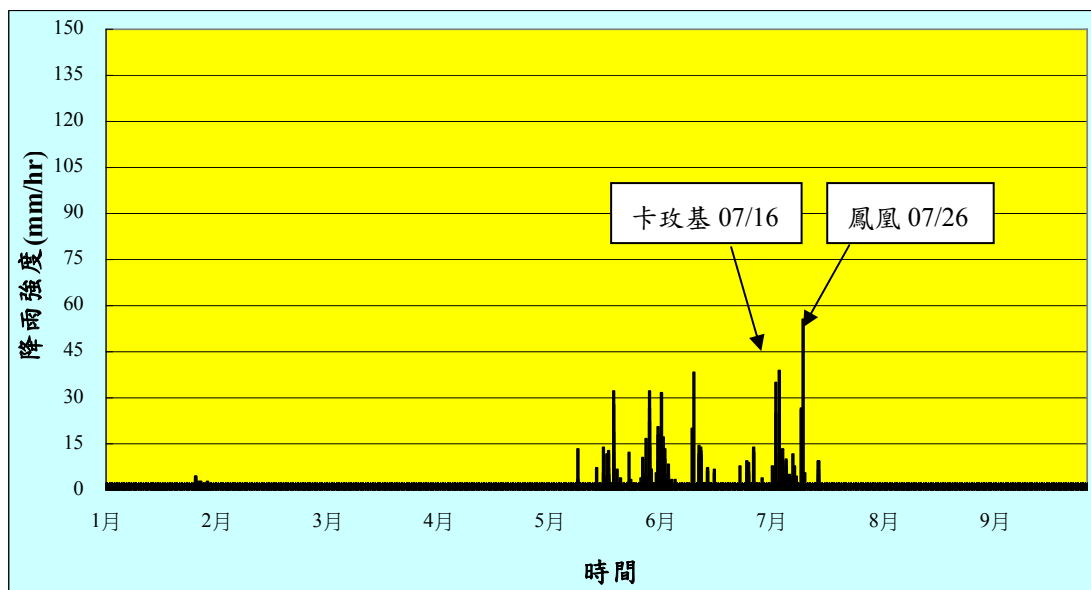


96 年降雨強度

R-T18-91K+300



96 年降雨強度



97 年降雨強度