

101-138-7648

MOTC-IOT-99-H1DA005

坡地道路防救災系統建立之研究 (4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 11 月

101-138-7648

MOTC-IOT-99-H1DA005

坡地道路防救災系統建立之研究 (4/4)

著者：邱永芳、謝明志、張道光、黃安斌
洪本善、陳景文、周瑞生、蘇人輝

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 11 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

坡地道路防救災系統建立之研究(4/4)/邱永芳等著.

--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，民 101.11
面； 公分

ISBN 978-986-03-4259-8 (平裝)

1. 公路管理 2. 決策支援系統

557

101022024

坡地道路防救災系統建立之研究(4/4)

著者：邱永芳、謝明志、張道光、黃安斌
洪本善、陳景文、周瑞生、蘇人輝

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 101 年 11 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：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：1010102460

ISBN：978-986-03-4259-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：坡地道路防救災系統建立之研究（4/4）			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-03-4259-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1010102460	運輸研究所出版品編號 101-138-7648	計畫編號 99-H1DA005
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：謝明志 研究人員：張道光 參與人員：李春榮、陳毓清、 林隆貞、黃如蜜 聯絡電話：04-26587174 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：臺灣科技大學、交通大學、逢甲大學、 成功大學 計畫主持人：周瑞生、黃安斌、洪本善、陳景文 蘇人輝 研究人員：李瑞庭、李維峰、李秉乾、連惠邦 林秉賢、鄭明淵		研究期間 自 99 年 01 月 至 99 年 12 月
關鍵詞：多天線全球衛星定位系統、山區道路、土石流、光纖光柵、防災預警			
摘要： <p style="margin: 0;">山區道路往往是區域唯一聯外通道，而道路邊坡穩定性攸關居民之生命財產安全，因此如何在這些重要卻具有高邊坡災害潛勢區域導入各項先進科技之自動化監測系統、緊急通報系統及防災應變系統，將傳統的防災作業進化成災害管理，已成為近年來各界對於邊坡災害防治的重要發展方向。為此，本研究針對以上之坡地道路之重要性，建立 5 個研究子題；1. 全光纖式邊坡穩定監測系統整合與現地應用測試，2. 全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用，3. 交通道路及橋墩遭受土石流衝擊之對策研究，4. 山區道路坡地災害防治技術整合研究，5. 公路防救災決策支援系統建立之研究，藉由各項的研究內容，提出在邊坡安全監測，崩塌預警、土石流橋梁安全及資訊傳輸等成果，建立公路防救災決策支援系統並整合邊坡防災系統，確實將臺灣山區道路邊坡之崩塌災害減少之最低外，更可提升山區道路之管理效能，延展道路之服務年限，達到維護國土保安與水土資源永續利用之目標，</p> <p style="margin: 0;">本研究之成果與效益包括：1. 本研究研發建立之決策支援系統可提供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。2. 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。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
101 年 11 月	212	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： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附錄抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 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: Establishment of disaster prevention and rescue system on Slopes along Mountain Roads (4/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-4259-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010102460	IOT SERIAL NUMBER 101-138-7648	PROJECT NUMBER 99-H1DA005
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsieh Ming-Jyh PROJECT STAFF: Chang Tao-Kuang PROJECT TECHNICIAN: Lee Chun-June, Chen Yu-Chin, Lin Long-Jan, Huang Ju-Min PHONE: (04) 26587174 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM : January 2010 TO : December 2010
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chou Jui-Sheng, Huang An-Bin, Hung Pen-Shan, Chen Jing-Wen, Su Jen-Hui PROJECT STAFF: Lee Jui-Ting, Lee Wei-Feng, Lee Bing-Jean, Lian Hui-bang, Lin Bing-Shyan, Cheng Min-Yuan			
KEY WORDS: : Multi-antenna GPS, Mountain road, Debris flow, Fiber Bragg grating, Disaster prevention, Maintenance Management, Decision Making Model			
ABSTRACT: <p>Due to the location and environment of Taiwan, the frequency of nature disaster is high and damage to the human life, properties and highways is serious. The decision making is significant for the highway disaster prevention and rescuing in Taiwan. Considering the highway disaster prevention and rescuing decision support mechanism, a survey of the bridge and slope disaster prevention/rescuing systems is fulfilled in this project.</p> <p>The results and benefits are expected to:1. The management pattern's establishment can effectively understand the risk sections of the potential disasters and offer the highway management agencies for their reference. 2. This research results will improve national bridge inspection level so that the bridge management organization could master the bridge condition exactly for maintenance and life extension purposes. 3. This studies and results can be used for follow-up related research.</p>			
DATE OF PUBLICATION November 2012	NUMBER OF PAGES 212	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

坡地道路防救災系統建立之研究(4/4)

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XV
第一章 前言.....	1-1
1.1 研究緣起.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-1
1.3 研究範圍.....	1-2
1.4 研究內容與流程.....	1-3
第二章 全光纖式邊坡穩定監測系統整合與現地應用測試.....	2-1
2.1 全光纖式邊坡穩定監測系統內容.....	2-1
2.2 光纖監測系統之孔位位置配置與選定要素說明.....	2-3
2.3 現場應用與實績量測結果說明.....	2-4
2.3.1 現場監測儀器配置與光纖自動化設備說明.....	2-4
2.3.2 辛樂克與莫拉克颱風監測成果.....	2-7
2.4 現場地下水流模擬與邊坡穩定分析.....	2-10
2.4.1 現場地下水流模擬.....	2-10
2.4.2 B-B 剖面地下水流模擬結果說明.....	2-14
2.4.2.1 辛樂克颱風現場地下水流模擬測試結果.....	2-15
2.4.2.2 莫拉克颱風現場地下水流模擬測試結果.....	2-18

2.4.3	現場邊坡初始應力狀態之建立	2-21
2.4.4	邊坡破壞潛勢定義說明	2-26
2.4.5	阿里山公路五彎仔路段邊坡破壞分析	2-29
2.4.6	光纖式與電子式感測器成本與效益分析	2-33
2.4.6.1	光纖式與電子式感測器成本比較	2-33
2.4.6.2	光纖式與電子式感測器效益分析	2-33
第三章	全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用	3-1
3.1	全球衛星定位與自動化監測系統研究內容	3-1
3.1.1	研究背景	3-1
3.1.2	研究環境地理位置與範圍	3-1
3.1.3	全球衛星定位模組自動化監測系統	3-3
3.2	全球衛星定位監測系統測試	3-4
3.2.1	實驗場地	3-4
3.2.2	靜態初始值量測	3-5
3.2.3	雷射經緯儀測量	3-7
3.2.4	移動多天線 GPS 位置量測	3-8
3.3	全球衛星定位監測系統實地測試	3-11
3.4	緊急通報系統與防災應變系統開發成果	3-19
3.4.1	系統首頁	3-19
3.4.2	GPS 即時資料展示	3-19
3.4.3	靜態測量資訊展示	3-20
3.4.4	雨量資料展示	3-21
3.5	監測系統架構提升	3-23

3.5.1 未來研究方向	3-23
3.5.2 儀器規劃	3-24
第四章 交通道路及橋墩遭受土石流衝擊之對策研究.....	4-1
4.1 研擬山區跨河道路橋梁結構之加勁強化改善對策.....	4-1
4.1.1 橋梁及橋墩之檢核分析說明	4-1
4.1.2 橋梁及橋墩破壞案例說明	4-6
4.1.3 橋梁及橋墩之對策說明	4-16
4.2 山區跨河道路遭受土石流衝擊之處理對策.....	4-19
4.2.1 山區道路邊坡之處理對策彙整	4-20
4.3 山區跨河橋梁遭受土石流衝擊之處理對策.....	4-28
4.3.1 山區跨河橋梁遭受土石流衝擊損壞型態	4-28
4.3.2 橋梁致災原因分析	4-28
4.3.3 山區跨河橋梁遭受土石流衝擊之處理對策彙整	4-29
4.4 山區道路及橋梁破壞之臨時性搶修處理對策.....	4-37
4.4.1 緊急搶通使用之臨時設施說明 -管制工程.....	4-38
4.4.2 道路緊急搶通使用之臨時設施說明	4-38
4.4.3 橋梁緊急搶通使用之臨時設施說明	4-42
第五章 山區道路坡地災害防治技術整合研究.....	5-1
5.1 山區道路坡地災害種類及歷史災害彙整	5-1
5.2 省道台 18 線山區道路邊坡安全預警分析	5-17
5.2.1 評估參數	5-19
5.2.2 研究方法	5-21
5.3 建置道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫	5-30

第六章 公路防救災決策支援系統建立之研究.....	6-1
6.1 研究內容	6-1
6.2 資料交換平臺及 GIS 及時災害資訊整合頁面.....	6-1
6.2.1 現有系統之缺點	6-2
6.2.2 資料交換平臺	6-2
6.2.2.1 制定邊坡防災資料交換格式	6-2
6.2.2.2 建構多代理人模式	6-3
6.2.2.3 提供 Web Service	6-4
6.2.2.4 建構 GIS 即時災害資訊整合頁面.....	6-7
6.3 救災資源指派模組	6-10
6.3.1 救災資源指派流程	6-10
6.3.2 通報及回覆機制	6-11
6.3.3 指派機制	6-12
6.4 行車替代道路規劃模組	6-13
6.4.1 路網建置	6-14
6.4.2 路網分析模組開發	6-14
6.5 模擬成果展現	6-15
第七章 結論與建議.....	7-1
參考文獻.....	參-1

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	1-4
圖 2.1 全光纖式監測儀器配置圖	2-4
圖 2.2 現場光纖式感測監測孔位與監測小屋配置圖	2-5
圖 2.3 現場光纖監測儀器擷取系統圖	2-6
圖 2.4 網路即時監測畫面圖	2-6
圖 2.5 辛樂克與莫拉克颱風期間累積降雨量	2-8
圖 2.6 NCTU-03 3D 水壓歷時變化於辛樂克颱風	2-9
圖 2.7 NCTU-03 3D 水壓歷時變化於莫拉克颱風	2-9
圖 2.8 辛樂克颱風前期現場地下水位高程變化圖	2-12
圖 2.9 辛樂克颱風後期現場地下水位高程變化圖	2-12
圖 2.10 莫拉克颱風前期現場地下水位高程變化圖	2-13
圖 2.11 莫拉克颱風後期現場地下水位高程變化圖	2-13
圖 2.12 現場地下水流模型圖	2-14
圖 2.13 辛樂克颱風現場降雨量	2-16
圖 2.14 低水位穩態狀態於辛樂克颱風之模擬值與實際監測值比較圖	2-17
圖 2.15 高水位穩態狀態於辛樂克颱風之模擬值與實際監測值比較圖	2-17
圖 2.16 暫態狀態下於辛樂克颱風之模擬值與實際監測值比較圖 ...	2-18
圖 2.17 莫拉克颱風現場降雨量	2-19
圖 2.18 低水位穩態狀態於莫拉克颱風之模擬值與實際監測值比較圖	2-20

圖 2.19 高水位穩態狀態於莫拉克颱風之模擬值與實際監測值比較圖	2-20
圖 2.20 暫態狀態下於莫拉克颱風之模擬值與實際監測值比較現場邊坡初始應力狀態之建立.....	2-21
圖 2.21 現場邊坡模型網格示意圖.....	2-22
圖 2.22 模擬邊坡各元素 σ_{xx} 應力大小示意圖	2-23
圖 2.23 模擬邊坡各元素 σ_{yy} 應力大小示意圖	2-23
圖 2.24 模擬邊坡各元素 σ_{zz} 應力大小示意圖	2-24
圖 2.25 模擬邊坡各元素 σ_{xy} 應力大小示意圖	2-24
圖 2.26 模擬邊坡各元素 p 應力大小示意圖	2-25
圖 2.27 模擬邊坡各元素 q 應力大小示意圖.....	2-25
圖 2.28 不同摩擦角所對應 p-q 圖之斜率說明	2-27
圖 2.29 邊坡安全預警機制流程圖.....	2-28
圖 2.30 低水位時期 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風).....	2-29
圖 2.31 T=14.4hr 時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風).....	2-30
圖 2.32 T=28.8hr 時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風).....	2-30
圖 2.33 T=43.2hr 時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風).....	2-31
圖 2.34 高水位時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風).....	2-31
圖 2.35 SLOPE/W 模擬 B-B 剖面邊坡圖.....	2-32
圖 2.36 NCTU-03 孔位於莫拉克颱風時各深度安全係數變化軌跡圖.....	2-32
圖 3.1 阿里山公路五彎仔段.....	3-2
圖 3.2 原第 4 彎現地 GPS 天線儀器配置圖	3-3

圖 3.3 第 6 彎現地 GPS 天線儀器配置圖	3-4
圖 3.4 多天線 GPS 試驗設備	3-5
圖 3.5 多天線 GPS 試驗配置圖	3-5
圖 3.6 靜態多天線 GPS 初始值量測結果	3-6
圖 3.7 雷射經緯儀量測與多天線 GPS 初始值量測結果比較	3-8
圖 3.8 修改後多天線 GPS 位置配置圖	3-9
圖 3.9 多天線 GPS 移動測試點	3-9
圖 3.10 八個多天線 GPS 測試位置圖	3-10
圖 3.11 現地多天線儀器配置示意圖	3-12
圖 3.12 道路邊坡自動化監測系統 (第三號天線 2007/10/19~2008/ 1/25)	3-14
圖 3.13 道路邊坡自動化監測系統(第四號天線 2007/10/19~2008/ 1/25)	3-14
圖 3.14 GPS 滑動位移方向與相對位移量示意圖	3-15
圖 3.15 GPS 天線位置與移動塊體圖	3-15
圖 3.16 天線三之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/ /2/14)	3-17
圖 3.17 天線四之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/ 2/14)	3-18
圖 3.18 天線三之 E 坐標滑動速度擬合	3-18
圖 3.19 天線四之 E 坐標滑動速度擬合	3-18
圖 3.20 系統主畫面開發成果	3-19
圖 3.21 GPS 展示開發成果	3-20
圖 3.22 靜態測量展示開發成果	3-21

圖 3.23 鄰近氣象局雨量站雨量資訊展示.....	3-22
圖 3.24 雨量組體圖展示畫面.....	3-22
圖 3.25 儀器配置圖.....	3-24
圖 3.26 CCD 攝影機.....	3-25
圖 3.27 加裝保護罩之遙控攝影機.....	3-25
圖 3.28 地表位移計.....	3-26
圖 4.1 橋基受沖刷或撞擊之穩定性分析程序.....	4-2
圖 4.2 台 28 線 30K+500 旗尾橋橋墩傾倒破壞.....	4-7
圖 4.3 台 21 線 236K+650 四德橋橋面落台.....	4-7
圖 4.4 台 20 線 103K+360 復興橋橋台後方遭淘刷破壞.....	4-8
圖 4.5 台 21 線 235K+585 楠梓仙溪橋左側橋台後方河道漫流.....	4-9
圖 4.6 台 21 線 235K+585 楠梓仙溪橋左側橋台後方河道漫流.....	4-9
圖 4.7 橋墩受土石流巨礫撞擊破壞之實景.....	4-10
圖 4.8 台 27 線 3K+480 新發大橋土石淤滿擠壓主河道.....	4-11
圖 4.9 台 27 線 3K+480 新發大橋右側橋台翻覆.....	4-11
圖 4.10 台 20 線 95k+700 東莊橋位址.....	4-12
圖 4.11 主、支流匯流處產生漩渦侵蝕周遭邊坡.....	4-13
圖 4.12 台 21 線 98K+070 十八重溪橋土石堆積推擠橋面版.....	4-13
圖 4.13 台 20 線 58K+100 甲仙大橋橋墩傾斜破壞.....	4-14
圖 4.14 台 13 線 065 K+629 后豐大橋橋墩傾斜破壞.....	4-15
圖 4.15 台 20 線 87K+300 塔拉拉魯芙溪橋左側橋台損毀.....	4-15
圖 4.16 台 20 線 87K+300 塔拉拉魯芙溪橋左側橋台損毀.....	4-16
圖 4.17 橋柱和橋面版接合處增設卡榫示意圖.....	4-18

圖 4.18 橋台往河道兩岸延伸示意圖.....	4-18
圖 4.19 道路邊坡及道路路基各工法之對策選擇.....	4-21
圖 4.20 橋梁結構各項工法之對策選擇.....	4-30
圖 5.1 臺 14 各里程近十二年累計崩塌次數分布圖.....	5-10
圖 5.2 臺 14 各里程近十二年累計崩塌總量分布圖.....	5-10
圖 5.3 臺 14 各里程近十二年崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布 圖	5-11
圖 5.4 臺 14 各里程近十二年下邊坡崩塌數量分布圖.....	5-11
圖 5.5 臺 14 各里程近十二年下邊坡崩塌總長度分布圖.....	5-11
圖 5.6 臺 14 各里程近十二年下邊坡崩塌區位最大 24hr 累計降雨 量分布圖.....	5-12
圖 5.7 臺 14 地層分布圖.....	5-12
圖 5.8 臺 18 各里程近十二年累計崩塌次數分布圖.....	5-13
圖 5.9 臺 18 各里程近十二年累計崩塌總量分布圖.....	5-13
圖 5.10 臺 18 各里程近十二年崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分 布圖.....	5-13
圖 5.11 臺 18 各里程近十二年下邊坡崩塌數量分布圖.....	5-14
圖 5.12 臺 18 各里程近十二年下邊坡崩塌總長度分布圖.....	5-14
圖 5.13 臺 18 各里程近十二年下邊坡崩塌區位最大 24hr 累計降 雨量分布圖	5-14
圖 5.14 臺 18 地層分布圖.....	5-15
圖 5.15 臺 21 各里程近十二年累計崩塌次數分布圖.....	5-15
圖 5.16 臺 21 各里程近十二年累計崩塌總量分布圖.....	5-15

圖 5.17 臺 21 各里程近十二年崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖	5-16
圖 5.18 臺 21 各里程近十二年下邊坡崩塌數量分布圖	5-16
圖 5.19 臺 21 各里程近十二年下邊坡崩塌總長度分布圖	5-16
圖 5.20 臺 21 各里程近十二年下邊坡崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖	5-17
圖 5.21 臺 21 地層分布圖	5-17
圖 5.22 崩塌潛勢評估參數	5-18
圖 5.23 模式分析流程	5-18
圖 5.24 SPSS 之「邏輯斯迴歸」分析功能	5-26
圖 5.25 SPSS 邏輯斯迴歸示意圖	5-27
圖 5.26 臺 18 示範段累計降雨量崩塌潛勢(300mm)	5-28
圖 5.27 臺 18 示範段累計降雨量崩塌潛勢(450mm)	5-29
圖 5.28 臺 18 示範段累計降雨量崩塌潛勢(600mm)建置道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫	5-29
圖 5.29 道路邊坡管理系統組成圖	5-30
圖 5.30 道路邊坡系統中道路基本資料組成圖	5-31
圖 5.31 道路邊坡系統中道路災損資料組成圖	5-32
圖 5.32 道路邊坡系統中道路維護管理資料組成圖	5-32
圖 5.33 道路邊坡維護管理系統畫面	5-33
圖 5.34 交通部運研所公路防救災資訊系統畫面	5-33
圖 6.1 道路邊坡維護管理系統代理人運作模式圖	6-5
圖 6.2 Web Service 架構	6-5
圖 6.3 道路邊坡維護管理 Web Service 圖	6-7

圖 6.4 資料交換平臺架構圖.....	6-7
圖 6.5 「臺十八線阿里山公路監測」之監測資料頁面.....	6-9
圖 6.6 「臺十八線阿里山公路監測」之崩塌潛勢頁面.....	6-9
圖 6.7 颱洪、土石流災害系統支援指派流程圖.....	6-11
圖 6.8 簡訊雙向傳輸架構圖.....	6-12
圖 6.9 指派機制.....	6-13
圖 6.10 行車替代道路規劃模組.....	6-15
圖 6.11 邊坡災害應變小組名單建立.....	6-16
圖 6.12 邊坡狀態已達紅色警戒.....	6-17
圖 6.13 危險邊坡清單.....	6-17
圖 6.14 指派巡檢人員.....	6-18
圖 6.15 測試人員以段長權限登入系統.....	6-19
圖 6.16 段長查看調查結果.....	6-19
圖 6.17 封路決策執行.....	6-20
圖 6.18 測試人員收到封路通報.....	6-21
圖 6.19 邊坡替代道路規劃.....	6-21

表目錄

表 2-1 光纖感測孔位配置監測儀說明表	2-5
表 2-2 Modflow 程式參數設定說明	2-10
表 2-3 現場觀測井於辛樂克颱風期間地下水位變化表	2-11
表 2-4 現場觀測井於莫拉克颱風期間地下水位變化表	2-11
表 2-5 地下水流模型參數說明表	2-15
表 2-6 現場邊坡模型參數設定說明	2-22
表 2-7 邊坡破壞潛勢範圍大小	2-26
表 2-8 光纖感測器與傳統電子感應器成本差異比較	2-33
表 2-9 光纖感測器與傳統電子感應器效益比較表	2-34
表 3-1 靜態多天線 GPS 初始值坐標	3-6
表 3-2 雷射經緯儀量測坐標與多天線 GPS 結果比較	3-7
表 3-3 GPS 與經緯儀比對測試成果表	3-11
表 3-4 GPS 靜態坐標	3-13
表 3-5 多天線 GPS 動態坐標	3-13
表 3-6 每月取七天的坐標平均值	3-16
表 3-7 2007~2008 年颱風於阿里山地區帶來之降雨量統計表	3-17
表 3-8 觀測儀器數量及說明	3-24
表 4-1 橋基保護或補強設計之基本資料來源和調查方式	4-4
表 4-2 道路路基及道路邊坡受土石流衝擊破壞之因應對策說明	4-23
表 4-3 橋梁受土石流衝擊破壞之因應對策說明	4-32
表 4-4 道路邊坡及道路路基破壞之臨時性搶修工法說明	4-40

表 4-5 橋梁基礎破壞之臨時性搶修工法說明	4-43
表 5-1 公路總局轄區易落石及坍方危險路段彙總表	5-2
表 5-2 民國 97 年間省道土砂災害統計	5-3
表 5-3 民國 85-97 年間省道臺 14 線災害類別統計	5-5
表 5-4 民國 85-97 年間省道臺 18 線災害類別統計	5-5
表 5-5 民國 85-97 年間省道臺 21 線災害類別統計	5-6
表 5-6 交通部公路總局第三區養護工程處甲仙工務段轄區省道 91~97 易落石路段及坍方路段相關資料	5-6
表 5-7 交通部公路總局第三區養護工程處臺東工務段轄區省道 91~97 年易落石及坍方路段相關資料	5-7
表 5-8 崩塌地現地調查表	5-9
表 5-9 計畫區現場調查統計	5-10
表 5-9 崩塌因子等級與實際發生率統計表	5-22

第一章 前言

1.1 研究緣起

臺灣地區位於板塊擠壓處，地震頻繁，地質破碎，山地形勢陡峭，河流既短且陡急且降雨時空分配不均，若遭逢梅雨、颱風季節所帶來之集中性豪雨，常引發大規模之落石、土石流或地滑等邊坡崩坍災害，嚴重危害地區交通運輸及產業經濟之發展。山區道路往往是區域唯一聯外通道，而道路邊坡穩定性攸關居民之生命財產安全，因此如何在這些重要卻具有高邊坡災害潛勢區域導入各項先進科技之自動化監測系統、緊急通報系統及防災應變系統，將傳統的防災作業進化成災害管理，已成為近年來各界對於邊坡災害防治的重要發展方向。

基於上述之原由，本研究計畫分五個方向來探討；1.全光纖式邊坡穩定監測系統整合與現地應用測試，2.全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用，3.交通道路及橋墩遭受土石流衝擊之對策研究，4.山區道路坡地災害防治技術整合研究，5.公路防救災決策支援系統建立之研究，藉由各項的研究內容，提出在邊坡安全監測，崩塌預警、土石流橋梁安全及資訊傳輸等成果，並做為日後公路防災管理之參考。

1.2 研究目的

本研究目的可摘列整理如下：

1. 改良光纖地層位移與水壓監測技術之穩定性與經濟性、將光纖感應水壓計與地層移動監測系統加以整合。
2. 整合地表全球衛星定位與地下自動化監測系統在坡地防災之應用上深入探討。
3. 研擬山區跨河道路橋梁遭受土石流衝擊之處理對策。

4. 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。
5. 建立『公路防救災決策支援系統』，以整合各交通相關系統，提供公
路防救災決策人員最佳化之決策，提升公路災害搶救人員緊急應變
能力，將災害損失降至最低。

1.3 研究範圍

本研究之全光纖式邊坡穩定監測系統整合以臺 18 線公路五彎仔路段作為試驗之場址，使用光纖感測地層移動監測系統與分佈式光纖水壓計來監測該地區之地層滑動及水壓變化，並配合地下水文數值模型分析。

而於全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用，以阿里山公路五彎仔段第四彎改道，及結合地下井光纖監測系統，研究區域選定為阿里山公路五彎仔段（TWD67 橫坐標約為 212,507，縱坐標約為 2,592,115）地下井光纖監測區。

山區道路坡地災害防治技術整合研究部分，主要彙整歷年成果，將邊坡崩塌機制、監測資料(水位、降雨量)、監測方法、易崩區位環境資料以及歷年災損與工程復建資料進行蒐集(含省道臺 8、臺 14、臺 16、臺 18、臺 20、臺 21 等路線)，並透過統計迴歸的方式，將重要路段建立完整的降雨與崩塌潛勢預警模式，並開發完成其管理系統與資料庫。

在交通道路及橋墩遭受土石流衝擊之對策研究，乃針對十八重溪流域，以改變巨礫中心與地面線之高程差、改變沉箱基礎與地面線垂直之長度、改變沉箱基礎其直徑大小為變因進行探討，期望得到一在不同破壞模式下與安全係數之關係圖。

公路防救災決策支援系統以整合本研究範圍，應用以軟體代理人 (Software Agents) 為核心所發展之資料交換平台關鍵技術，交換蒐集各

單位網站所發佈之相關災害資訊與相關公路設施資料庫資料，建立『公路防救災決策支援系統』，並整合橋梁及邊坡防災系統，建立完整橋梁及坡地災害緊急應變流程與通報機制。

1.4 研究內容與流程

本研究之主要工作項目如下所示，其工作流程如圖 1.1 所示。

1. 全光纖式邊坡穩定監測系統整合與現地應用測試
2. 全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用
3. 交通道路及橋墩遭受土石流衝擊之對策研究
4. 山區道路坡地災害防治技術整合研究
5. 公路防救災決策支援系統建立之研究
6. 結論與建議

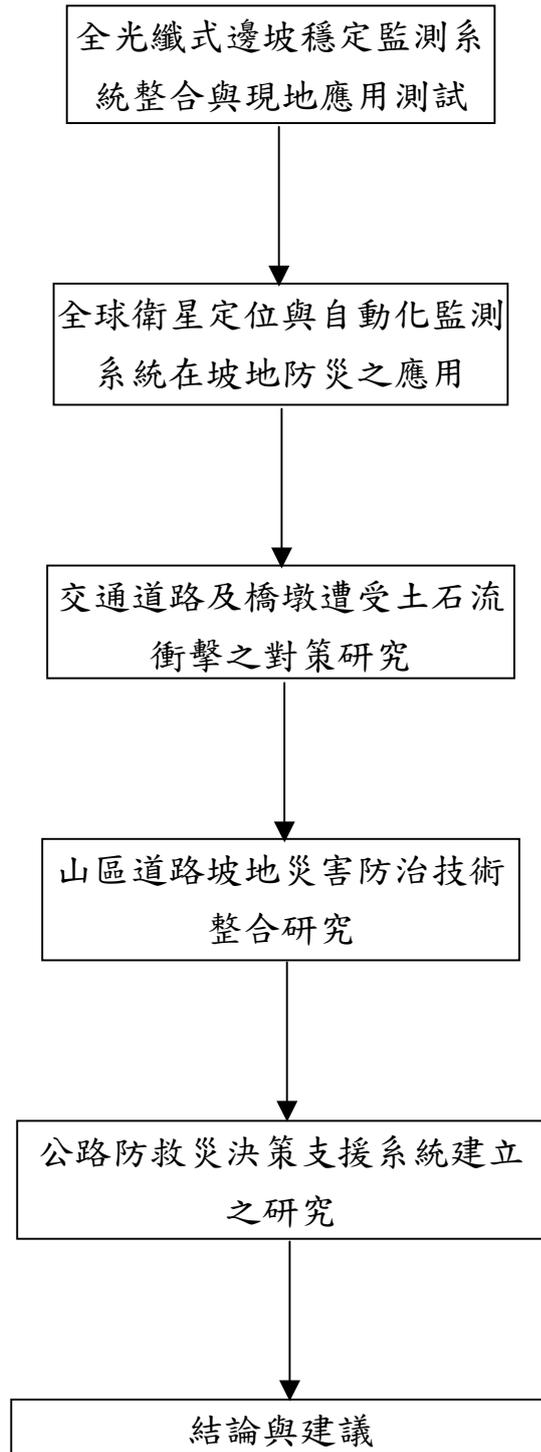


圖 1.1 研究流程圖

第二章 全光纖式邊坡穩定監測系統整合與現地應用測試

2.1 全光纖式邊坡穩定監測系統內容

針對潛在或持續滑動之邊坡的監測，國內外大多採用傳統傾斜管配合手動式傾斜儀 (Inclinometer probe, IP)，視情況之需要配合開口式水位管(Open ended piezometer)做地下水位之監測。IP 是以手動的方法放入傾斜管中紀錄讀數，開口式水位管則是以皮尺放入管中決定水位之深度。國內有許多公路或鐵路（包括高速鐵路）邊坡，由於其位置偏遠或不易到達，難以使用傳統傾斜管與手動式傾斜儀做邊坡穩定監測，此類監測系統自動化與遠距離訊號傳輸確實有其必要性。傾斜管之監測可以用管內傾斜儀 (in place inclinometer, IPI) 以長期置入的方法做自動化監測。開口式水位管內可置入電子式水壓計以水壓感測水位。配合自動資料擷取系統，可自動紀錄 IPI 與電子式水壓計讀數。但電子式自動化監測系統具有價格昂貴、易受電磁波干擾、雷擊破壞、且儀器設備若長期處於潮濕環境容易短路故障等缺點。同時傳統開口式水位管受其尺寸限制，在同一鑽孔內通常最多安裝兩管，對於地下水位/水壓之判讀多所限制。

光纖感測技術具有許多傳統電子感應技術沒有的優點，包括(1)體積小—光纖直徑一般為 $250\ \mu\text{m}$ 左右體積甚小；(2)耐久性高—光纖之主要成份是矽(Silica)為非金屬，可以長期埋在地下而不易腐蝕或改變其性質；(3)光纖訊號可長（數十公里）距離傳輸而不受電磁波干擾；(4)可以在同一光纖上做多點分佈式的監測。

近來國內已研發成功光纖光柵 (Fiber Bragg grating, FBG) 節理式偏斜儀 (FBG segmented deflectometer, FBG-SD)，其設計是與傳統傾斜管匹配，將 FBG-SD 插入固定於地層內之傾斜管，以 FBG-SD 節理間偏斜角度之改變來估算傾斜管之變形分佈。FBG-SD 已成功的應用於公路邊坡或地層開挖支撐變形之監測，唯 FBG-SD 感應範圍有限，一般 FBG-SD 感測範圍為正負 2 度角，光纖光柵拉伸應變量約為正負

3,000 至 4,000 $\mu \varepsilon$ (但可視感測器靈敏度做調整)，若每一感測器間距為 1 公尺長，則單一 FBG-SD 最大可感應位移量為正負 3.14 公分(總位移量為 6.28 公分)，當邊坡滑動量大於 FBG-SD 允許感測範圍量時，將使得部分 FBG-SD 可能無法繼續發揮功能(其餘未超過允許量測範圍時，可繼續感測傾斜觀測管變形量之改變)，此時，若能在傾斜觀測管外側增加一額外 (Redundancy)，如光纖拉伸計，一般單模光纖可承受之應變量為 15,000 至 20,000 $\mu \varepsilon$ ，相對於 FBG-SD 其感測靈敏度較低，感測靈敏度約 30 $\mu \varepsilon$ ，對於低靈敏度之光纖光柵拉伸計較能承受大變形且低成本之配置則更能增加此變形監測系統之有效性與可靠性。也就是說小變形範圍內由 FBG-SD 所控制；大變形範圍則由光纖拉伸計所控制，而邊坡破壞經常也涉及地下水壓變化，因此若能同時監測水壓則更能有效反應地層之破壞潛能。

使用光纖感應系統做邊坡穩定監測需要實用而能夠維持長期穩定之訊號解讀裝置。市場上現有光纖訊號解讀系統並不一定能夠滿足現場監測在經濟與穩定性之需求，而必須在軟硬體方面做必要之檢測與改良。國內外 FBG 水壓感測技術方面也有初步之發展，但其實用性仍然有限。

數值分析顯示，原深層地下水位之邊坡在不同降雨程度下其地下水位會會有不同程度之上升，受地下水位上方土層為非飽和及滲流的影響，降雨前後地層內水壓分佈常是非線性的。如果使用傳統在鑽孔內只量測一至兩個深度然後以線性內差的方法來估算水壓分佈的方法會有明顯的誤差。此一現象也顯示做地層內分佈式水壓監測之重要性。

本計畫之目的是進一步改良光纖地層位移與水壓監測技術之穩定性與經濟性、將光纖感應水壓計與地層移動監測系統加以整合，如此可以更充分的發揮邊坡穩定監測之功能。另一方面，本計畫將光纖感應器之解讀系統、光纖轉換器以及數值訊號傳輸系統做一整合，如此可以全時間以自動化之方式將數據傳輸至管理單位並與預警機制配合使用。

2.2 光纖監測系統之孔位位置配置與選定要素說明

自 95 年 5 月 5 日本研究於至臺 18 線阿里山公路五彎仔路段現地勘查，依據現有監測資料(青山工程顧問報告)，現地傾斜觀測管編號 C-11 仍持續量測中，以及水位觀測井 B2，據監測資料結果可知在暴雨期間，現地水位及水壓監測管內水位或水壓變化遽增，約可達數十公尺。由於 B2 與 C-11 兩鑽孔都位於 N3 滑動區之上緣(青山工程顧問報告)，此處對於現地地下水流數值分析為重要之邊界條件。而基於數值模擬分析考量選擇於傾斜觀測管 C-11 附近新增一傾斜觀測管，深度為 40m 並裝設研發之 FBG-SD 偏斜儀監測管內變形。而現地水壓觀測部分，為了考量現有封層技術，將原先規劃設置在 B-2 旁 100 公尺水壓觀測井分成兩部分，首先在 C-11 旁設置深度 40 公尺的水壓觀測井，並以間隔 5 公尺之距離，安裝 5 組光纖光柵水壓計，其目的可先測試現場封層技術是否可到達預期目標，另一方面日後可與 NCTU-01 傾斜觀測管中裝設之 20 組 FBG-SD 所量測的資料及以傳統 IP 量測 C-11 傾斜觀測管變形資料相互比較。而在 B-2 孔位設置深度為 60 公尺水位觀測井，孔位編號為 NCTU-03，該孔位同樣以間隔 5 公尺的距離，裝設 10 組光纖光柵水壓計，以監測 NCTU-02 與 NCTU-03 兩水壓觀測管中之水壓隨深度的變化，另外，為了增加地下水流模擬準確性，於 98 年 10 月安裝一孔 50m 水壓測井 NCTU-04。

IHMT-01 200 公尺傾斜觀測管之配置為考量上述之光纖監測孔位大多分布於 B-B 剖面上(見圖 2.1)，加上預定裝設位置距離邊坡坡面僅有 1~2 公尺，較容易監測傾斜管之變形量。

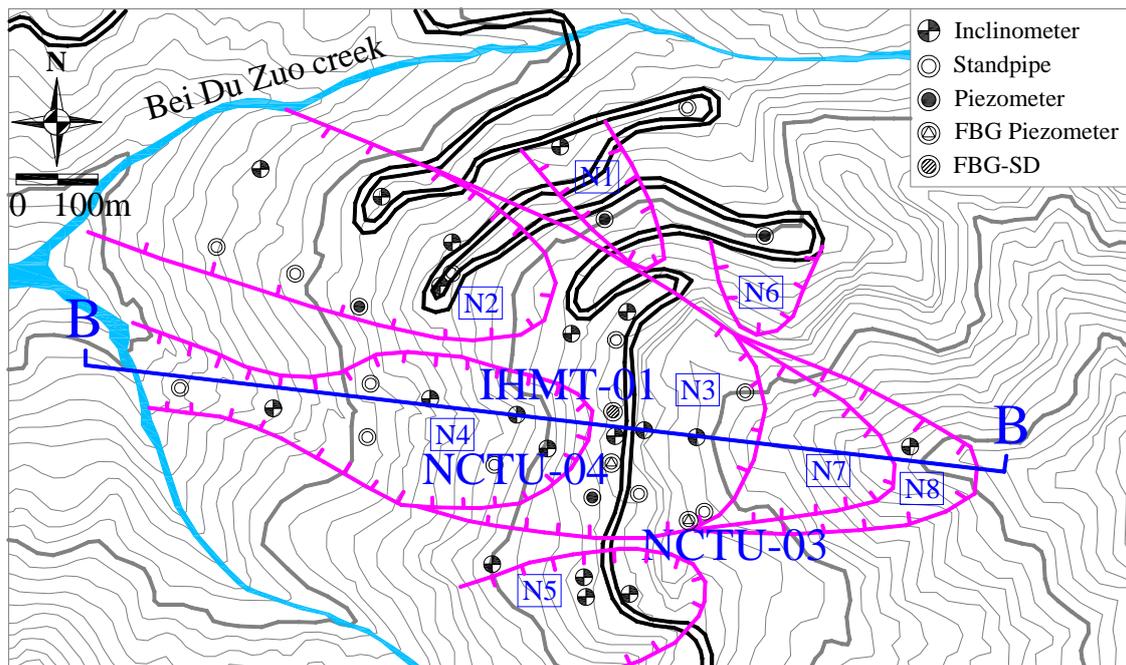


圖 2.1 全光纖式監測儀器配置圖（改繪青山工程顧問公司, 2007）

2.3 現場應用與實績量測結果說明

2.3.1 現場監測儀器配置與光纖自動化設備說明

圖 2.2 為現場光纖感測監測孔位與監測小屋位置說明圖，表 2-1 為說明各監測孔所安裝之儀器及感應範圍，而各光纖感測監測孔之感測器訊號為透過光纜傳輸至監測小屋內之光纖自動化擷取系統，圖 2.3 為光纖感測器自動化擷取設備與所配置之高容量不斷電系統，而各光纖感測孔位監測數據可由遠端方式連線至光纖自動化擷取系統觀看各監測孔位變化，監測數據則利用 3.5G 網路傳輸方式，傳送於遠端伺服器之網路監控畫面(如圖 2.4 所示)，可即時上網觀看現場監測數據變化，且結合簡訊發送平台，若現場監測孔位監測數據超過所設定之警戒值，則會發送簡訊至各公路單位及相關負責人員。

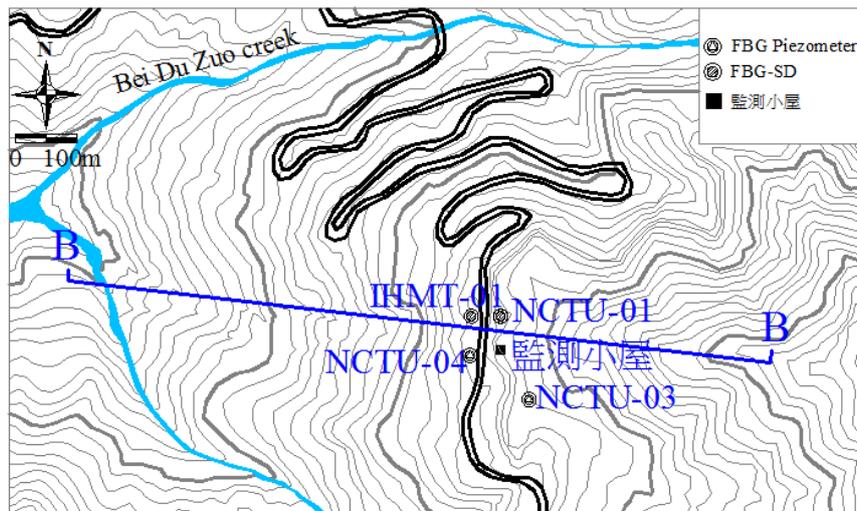


圖 2.2 現場光纖式感測監測孔位與監測小屋配置圖

(改繪青山工程顧問公司, 2007)

表 2-1 光纖感測孔位配置監測儀說明表

孔位編號	感應器種類	感測器數量	量測範圍
IHMT-01	光纖節理式偏斜儀	30	-37m~-67m
NCTU-01	光纖節理式偏斜儀	20	0~-20m
NCTU-03	光纖光柵水壓計	10	-14m~-54m
NCTU-04	光纖光柵水壓計	10	-5m~-50m



圖 2.3 現場光纖監測儀器擷取系統圖

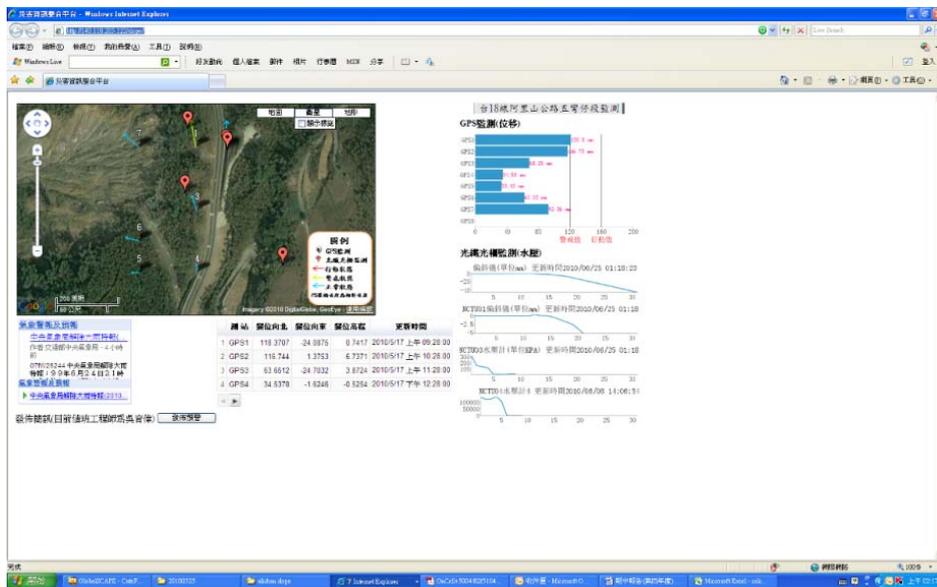


圖 2.4 網路即時監測畫面圖

2.3.2 辛樂克與莫拉克颱風監測成果

圖 2.5 為現場研究區域於辛樂克與莫拉克颱風期間之累積降雨量，在辛樂克颱風期間該區域累積降雨量達到 915mm；莫拉克颱風期間其累積降雨量達到 2150mm，圖 2.6 及圖 2.7 為 NCTU-03 分佈式水壓監測井於辛樂克與莫拉克期間水壓變化趨勢圖，其縱軸表示水壓增加量為相對於颱風發生前之水壓，橫軸部分則分別代表每一水壓計所埋置深度與時間變化軸，從圖 2.6 與圖 2.7 中，可看出初期於地表處水壓上升較快，其原因可能受地表入滲所造成，隨著降雨量增加與地層側向水流影響，使得深層部分水壓急速升高，其最大水壓變化量可達到 287kPa，約 30 公尺之水位高。另外，位於地表下 50 公尺處，其水壓最大增加量約為 60kPa，研判該處可能為透水性較高地層。因此，藉由 NCTU-03 分佈式水壓監測井，可判別地層透水性之變化，以作為後續現場排水廊道之設置深度依據。

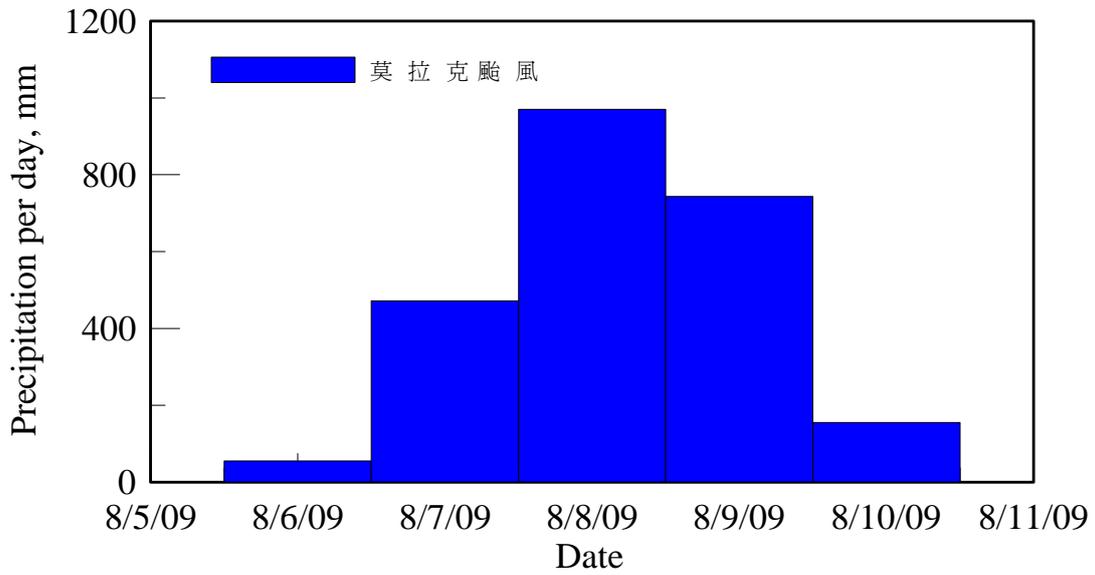
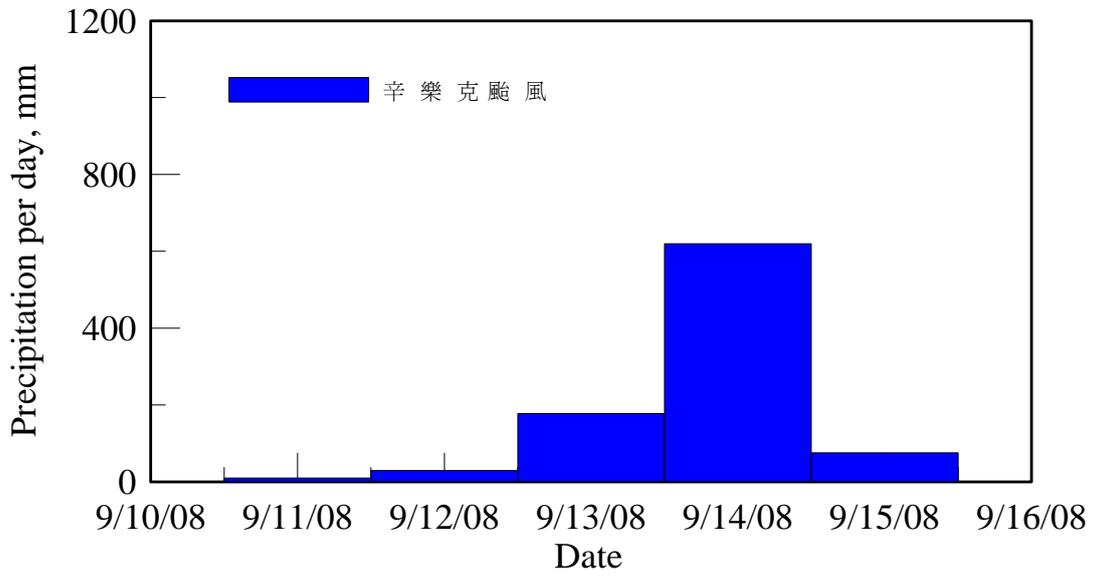


圖 2.5 辛樂克與莫拉克颱風期間累積降雨量

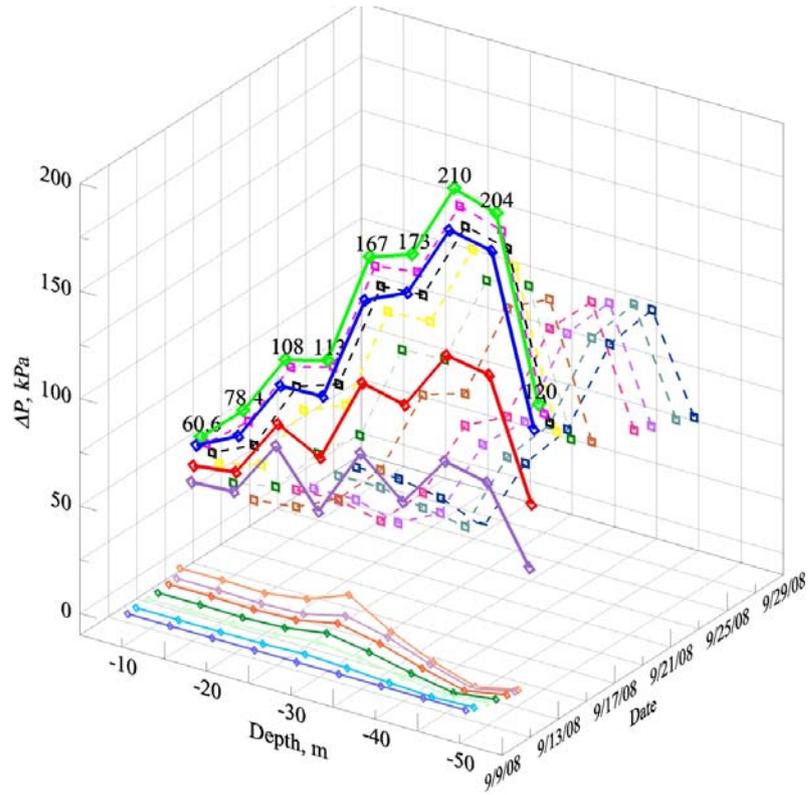


圖 2.6 NCTU-03 3D 水壓歷時變化於辛樂克颱風

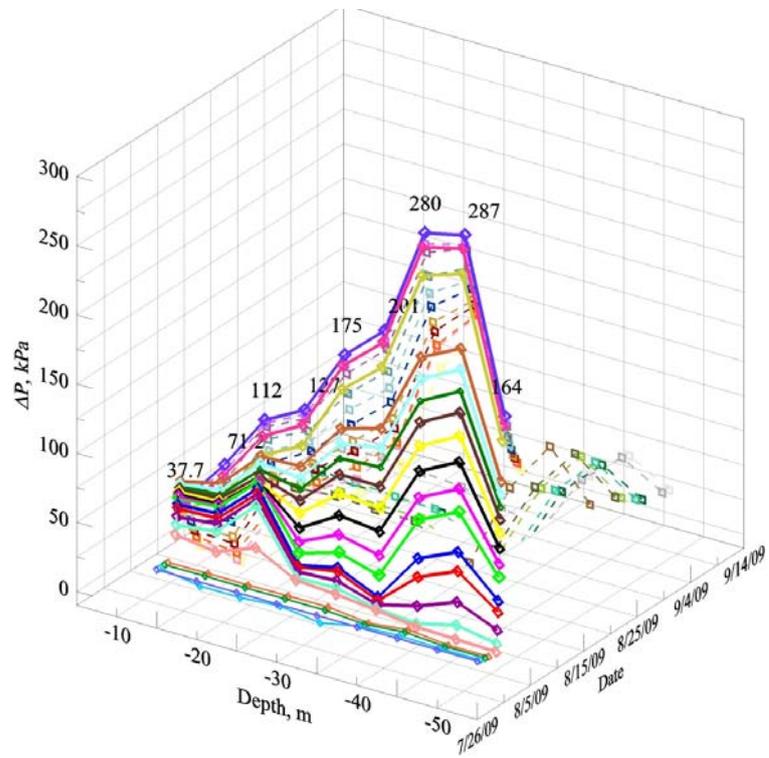


圖 2.7 NCTU-03 3D 水壓歷時變化於莫拉克颱風

2.4 現場地下水流模擬與邊坡穩定分析

2.4.1 現場地下水流模擬

本研究在現場地下水流分析中，主要分為兩大部分，先期利用 MODFLOW 程式並配合現場既有觀測井以模擬研究區域地下水位高程變化，表 2-2 為 MODFLOW 程式參數設說明，表 2-3 及表 2-4 為現場既有現場觀測井地下水位變化於辛樂克與莫拉克颱風期間，因此利用 MODFLOW 程式模擬莫拉克及辛樂克颱風初期現場地下水位變化，其模擬方式為輸入現場水位高程，及假設初期每一網格滲透係數為 1×10^{-4} ，河流水位高程為地表高程，河流面與河床高度相差 2 公尺，利用 Ucode 反推現場滲透係數，以模擬現場初期地下水位高程，圖 2.8 及圖 2.10 分別為辛樂克與莫拉克颱風前期現場地下水位高程變化圖；而辛樂克與莫拉克颱風後期地下水位高程為多考慮地表入滲之影響，其假設初期地表入滲率為 1×10^{-3} ，並再次利用 Ucode 反推現場滲透係數及地表入滲率，圖 2.9 及圖 2.11 分別為辛樂克與莫拉克颱風後期現場地下水位高程變化圖。因此，藉由 MODFLOW 程式模擬莫拉克颱風前、後期現場地下水高程變化，以作為後續利用 SEEP/W 模擬 B-B 剖面(圖 2.12)之地下水位邊界條件設定依據。

表 2-2 Modflow 程式參數設定說明

參數說明	參數設定值
地層條件	單一層非侷限含水層
模擬網格數	140*80
網格大小	100 m
網格初始水位高程	800 m

表 2-3 現場觀測井於辛樂克颱風期間地下水位變化表
(青山顧問報告, 2009)

觀測井編號	辛樂克颱風		
	高水位	低水位	上升量
04-5	***	704.9	***
B-2	761.6	734	27.6
B-7	785.5	755.9	29.6
T-1	814.6	776.8	37.8
T-2	768.7	725.5	43.2
T-5	787.2	755.3	31.9

表 2-4 現場觀測井於莫拉克颱風期間地下水位變化表
(青山顧問報告, 2009)

觀測井編號	莫拉克颱風		
	高水位	低水位	上升量
04-5	736.4	704.9	31.5
B-2	772.2	734	38.2
B-7	786.6	755.9	30.7
T-1	815.1	776.8	38.3
T-2	768.6	725.5	43.1
T-5	798.3	755.3	43

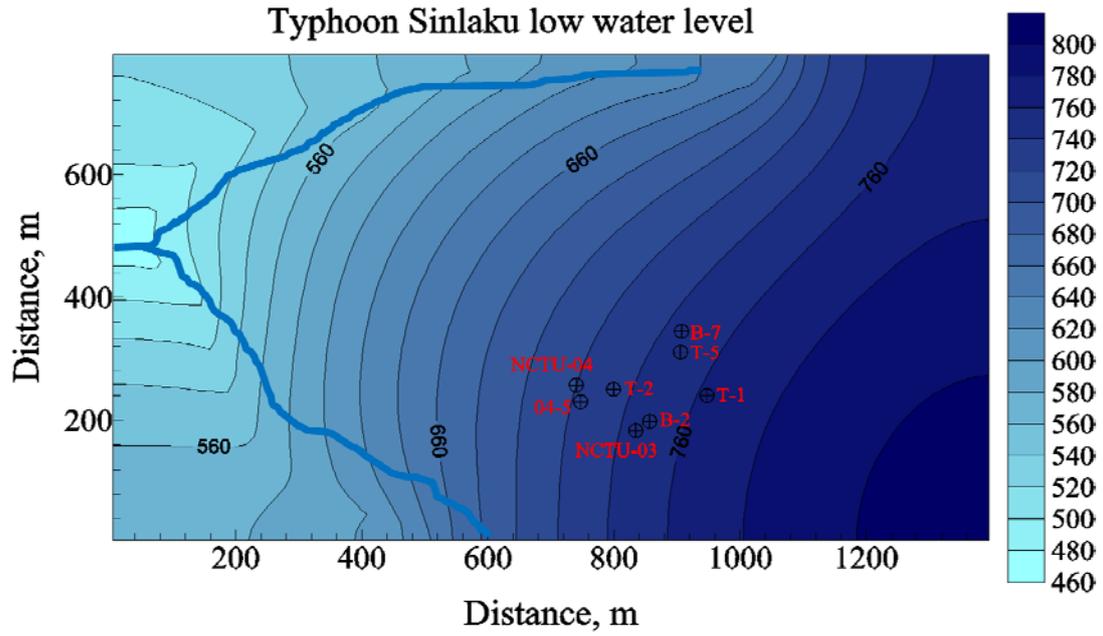


圖 2.8 辛樂克颱風前期現場地下水位高程變化圖

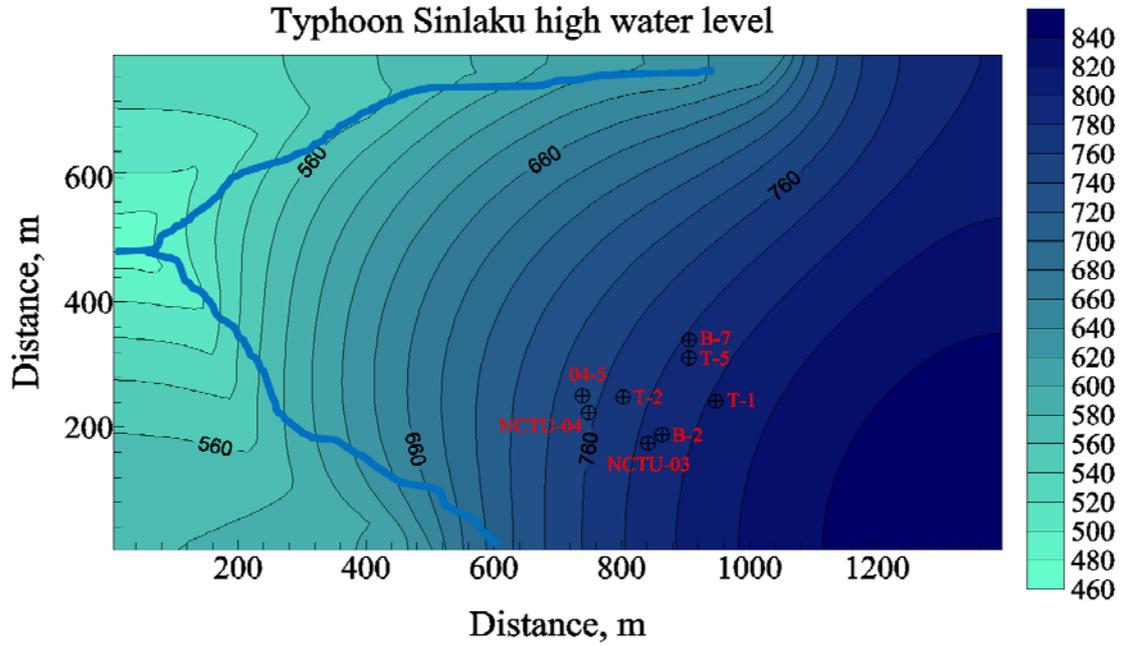


圖 2.9 辛樂克颱風後期現場地下水位高程變化圖

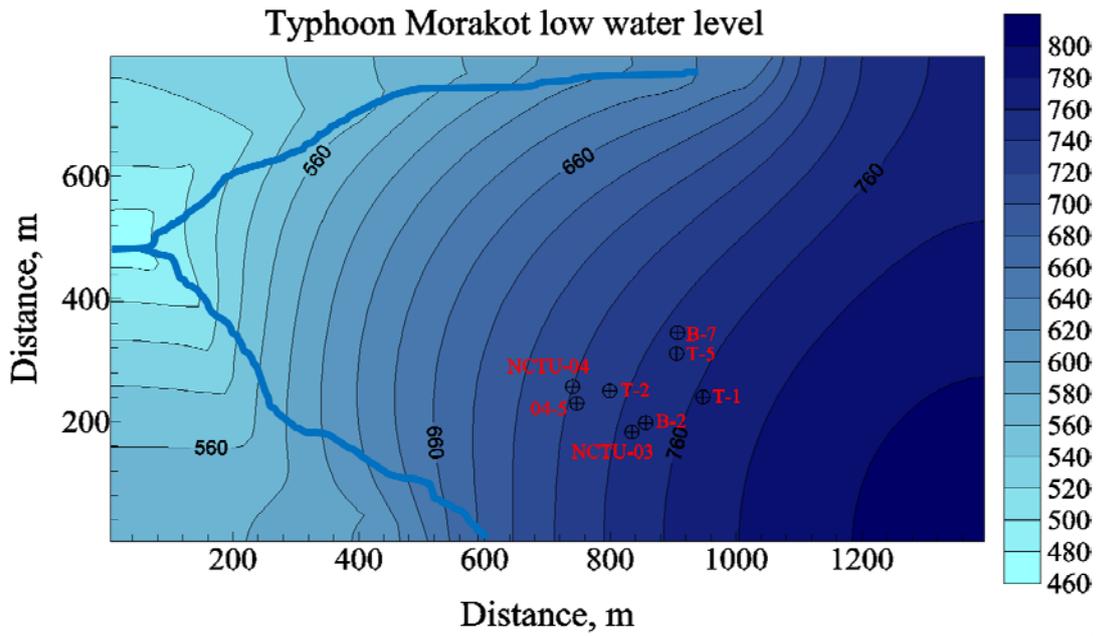


圖 2.10 莫拉克颱風前期現場地下水位高程變化圖

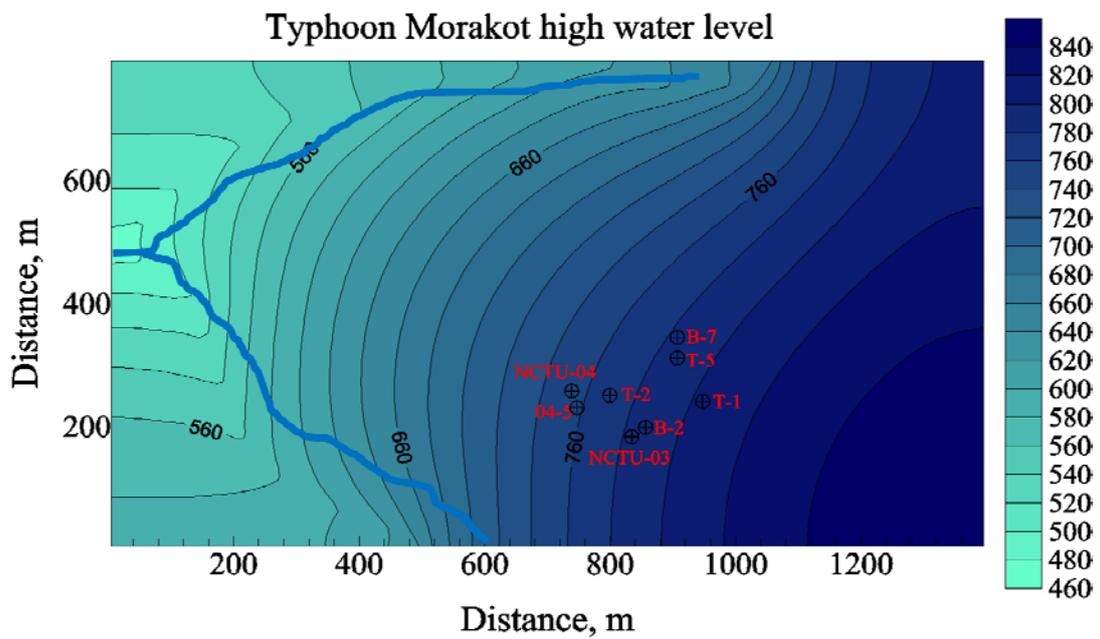


圖 2.11 莫拉克颱風後期現場地下水位高程變化圖

2.4.2 B-B 剖面地下水流模擬結果說明

本研究針對臺 18 線阿里山五彎仔邊坡進行地下水模擬，而模擬斷面為在所安裝之分佈式水壓觀測井 NCTU-03 與 NCTU-04 之斷面，其目的可依據 NCTU-03 與 NCTU-04 所測得之各深度水壓變化值作為該模擬區域參數值之率定，以提供後續五彎仔邊坡區域之地下水流模型之參數。圖 2.12 為現場地下水流模型圖，在地下水流模型之兩側為水位控制邊界，以控制常期地下水位與暴雨(颱風)時期現場地下水位之變化，而地表面則會依據暴雨期間現場雨量計所測得之降雨量，將降雨量累積後乘上一係數，以作為降雨入滲於土壤之入滲量，該係數則會依據現場 NCTU-03 與 NCTU-04 分佈式水壓觀測井監測資料來作為調整依據，底層則假設為一不透水邊界。

表 2-5 為現場地下水流模型參數說明表，該表內之水力傳導係數為依據現場 NCTU-03 與 NCTU-04 所測得各深度水壓變化資料，利用試誤法調整得出，該地下水流模型中，斜線部分為高透水係數之材料，如圖 2.12 中之編號 8，而地層中水力傳導係數區分界線為圖 2.12 虛線表示。

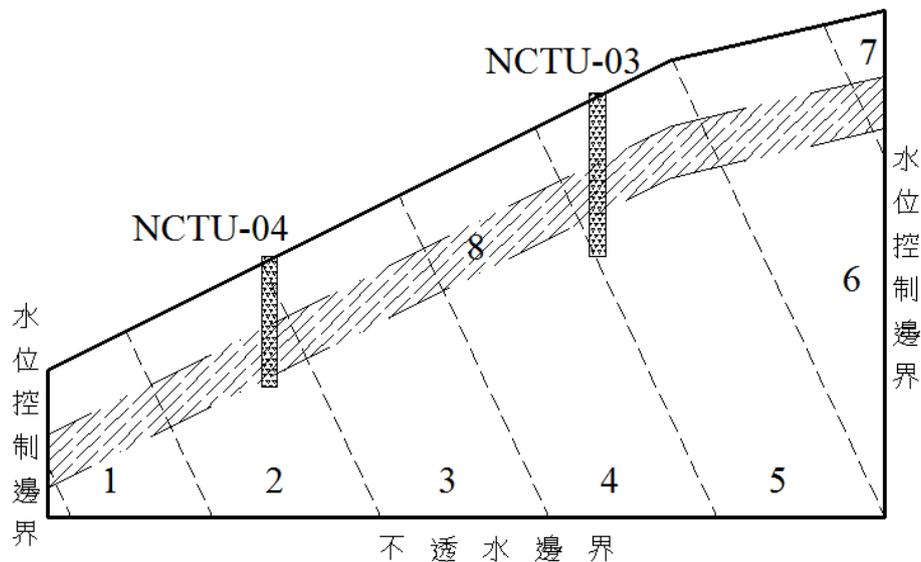


圖 2.12 現場地下水流模型圖

表 2-5 地下水流模型參數說明表

分區區域	水力傳導係數 k (m/sec)
1	1×10^{-5}
2	3×10^{-5}
3	1×10^{-5}
4	5×10^{-5}
5	3×10^{-4}
6	2×10^{-3}
7	2×10^{-5}
8	9×10^{-3}

因此，將現場地下水流模型參數率定完成後，分別以主要事件辛樂克與莫拉克颱風作為地下水流模擬驗證結果說明。而地下水流模擬結果，作為後續該現場邊坡分析之參數。

2.4.2.1 辛樂克颱風現場地下水流模擬測試結果

圖 2.13 為現場模擬區域於辛樂克颱風期間之降雨量，由監測資料顯測現場累積降雨量約達 900 mm，而由 NCTU-03 水壓觀測井所監測到最大水壓力變化為 210 kPa，約 7 層樓高水位變化量，圖 2.6 為 NCTU-03 水壓觀測井於辛樂克颱風期間內，地層中各深度水壓隨時間變化之 3D 圖形。

而於現場地下水流模擬部分，初期先以穩定狀態(steady-state)模擬，利用 NCTU-03 水壓觀測井監測資料作為地下水流模擬程式參數調整依據，以模擬辛樂克颱風前期階段之地下水位變化及後期階段之地

下水位變化，圖 2.14 及圖 2.15 為利用 SEEP/W 模擬辛樂克颱風前期階段與後期階段於 NCTU-03 各深度水壓變化值，並與現場實際監測資料互相比對。

圖 2.14 中模擬結果顯示，實際監測數據與模擬結果有些差異，尤其在-14m 至-30m 間，因受到土壤基質吸力影響，故模擬結果呈現負水壓狀況。

對於現場地下水流模擬之入滲量輸入的大小，則先將水位控制邊界由低水位調整至高水位，將穩態模擬結果與實際 NCTU-03 水壓監測結果比較，固定模擬程式中之地表入滲邊界線，如圖 5.8。再利用試誤法調整地表入滲量之大小，則地表入滲量為 8×10^{-7} m/sec。

將穩態調整後之輸入參數，進行暫態(transient)模擬，以模擬在不同時間點位下，現場地層中各深度之水壓隨時間變化，其模擬結果並與現場 NCTU-03 水壓觀測井所量測結果互相比較，圖 2.16 所示。

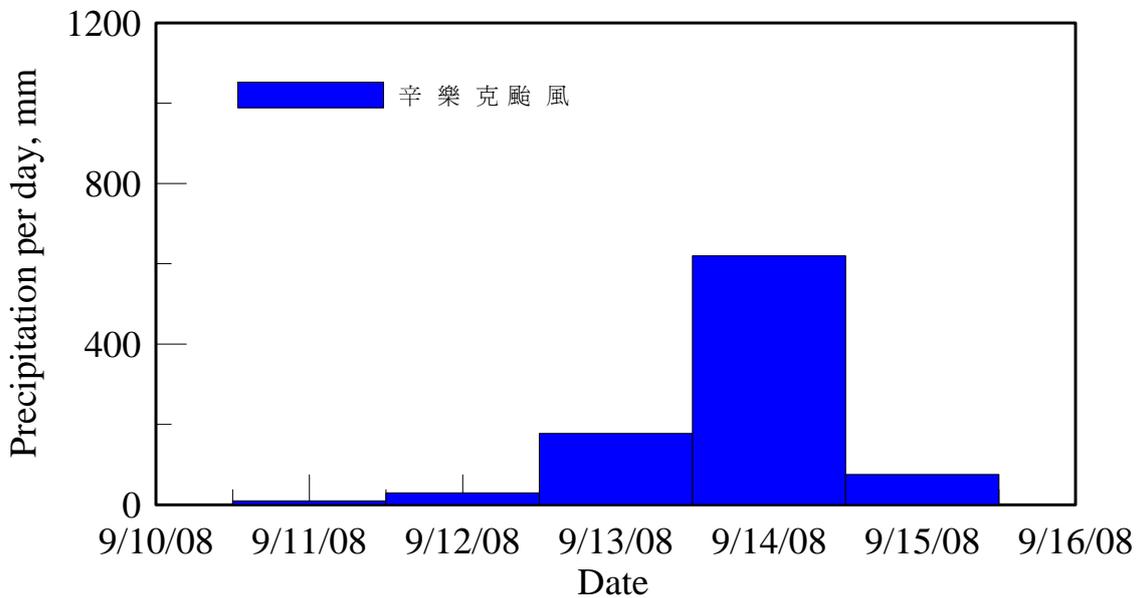


圖 2.13 辛樂克颱風現場降雨量

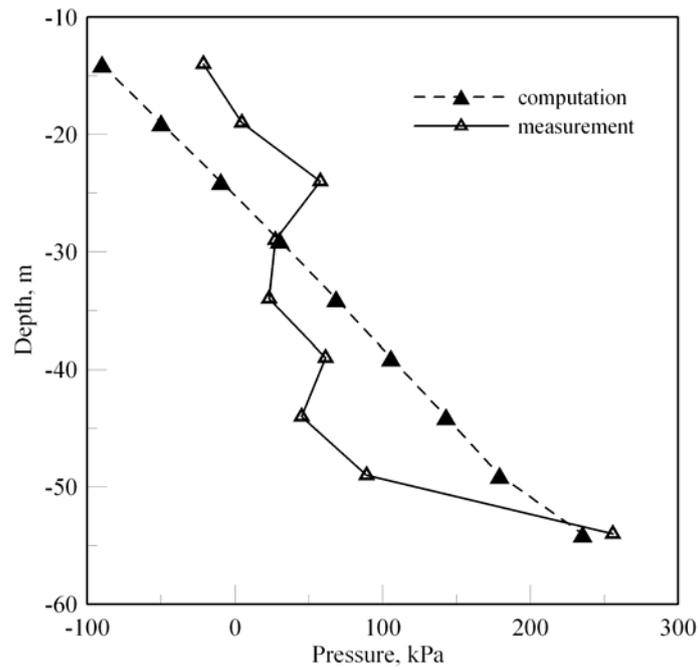


圖 2.14 低水位穩態狀態於辛樂克颱風之模擬值與實際監測值比較圖

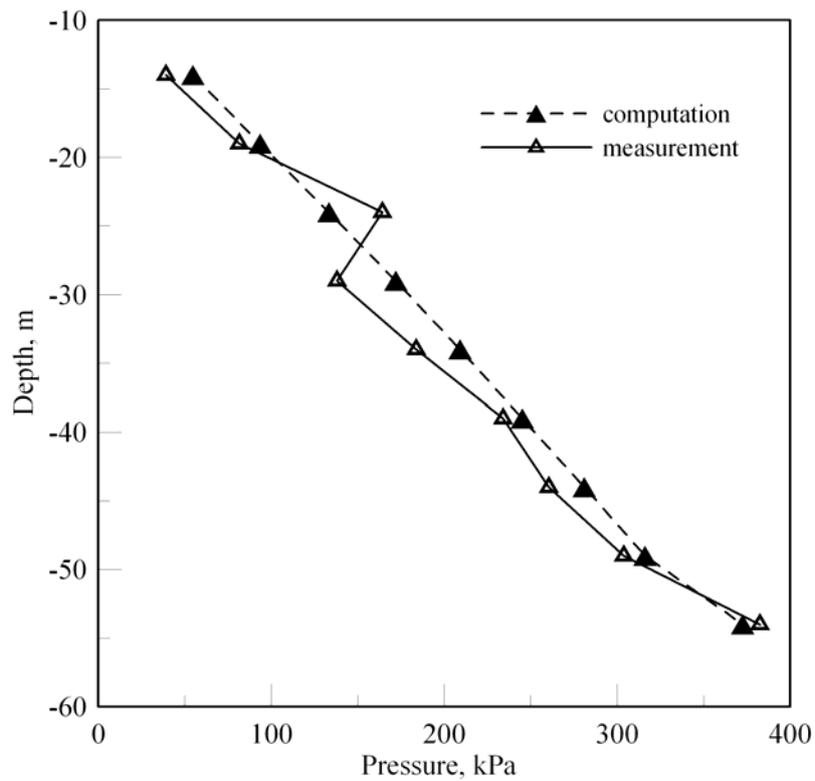


圖 2.15 高水位穩態狀態於辛樂克颱風之模擬值與實際監測值比較圖

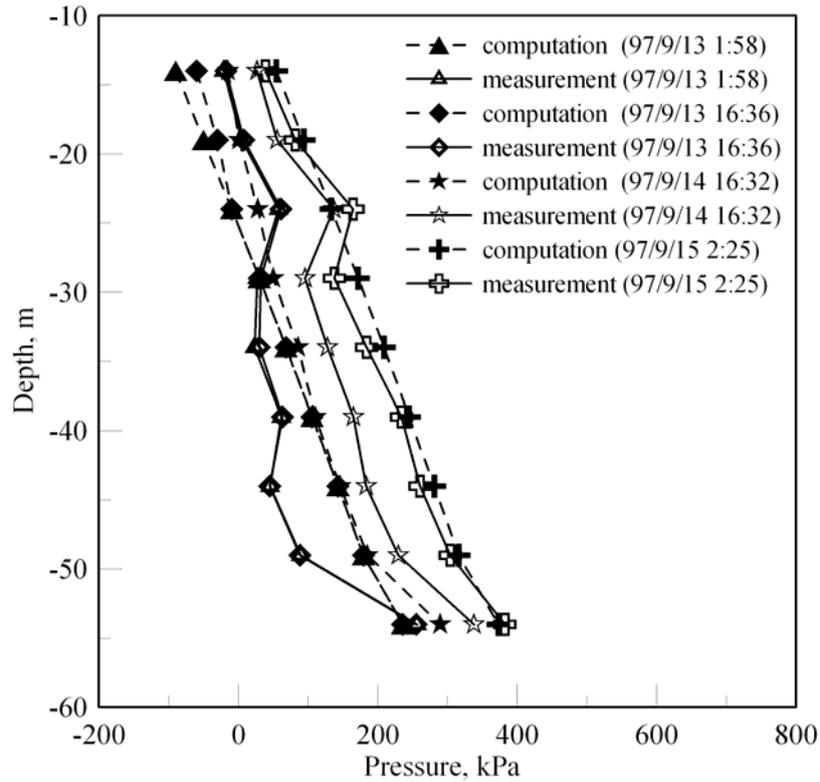


圖 2.16 暫態狀態下於辛樂克颱風之模擬值與實際監測值比較圖

2.4.2.2 莫拉克颱風現場地下水流模擬測試結果

圖 2.17 為現場模擬區域於莫拉克颱風期間之降雨量，由監測資料顯測現場累積降雨量約達 2100 mm，而由 NCTU-03 水壓觀測井所監測到最大水壓力變化為 287 kPa，約 10 層樓高水位變化量，與辛樂克颱風其水壓監測值約增加 80 kPa，而累積降雨量部分則高出 1200 mm。

而於現場地下水流模擬部分，初期先以穩定狀態(steady-state)模擬，利用 NCTU-03 水壓觀測井監測資料作為地下水流模擬程式參數調整依據，以模擬莫拉克颱風前期階段之地下水位變化及後期階段之地下水位變化，圖 2.18 及圖 2.19 為利用 SEEP/W 模擬莫拉克颱風前期階段與後期階段於 NCTU-03 各深度水壓變化值，並與現場實際監測資料互相比對。

圖 2.18 中模擬結果顯示，實際監測數據與模擬結果在低水位時期有些差異，尤其在-14m 至-30m 間，因受到土壤基質吸力影響，故模擬

結果呈現負水壓狀況。

對於現場地下水流模擬之入滲量輸入的大小，則先將水位控制邊界由低水位調整至高水位，將穩態模擬結果與實際 NCTU-03 水壓監測結果比較，固定模擬程式中之地表入滲邊界線。再利用試誤法調整地表入滲量之大小，則地表入滲量為 1×10^{-6} m/sec。

將穩態調整後之輸入參數，進行暫態(transient)模擬，以模擬在不同時間點位下，現場地層中各深度之水壓隨時間變化，其模擬結果並與現場 NCTU-03 水壓觀測井所量測結果互相比較，圖 2.20 所示。

因此，藉由辛樂克與莫拉克颱風之現場地層水壓監測資料，可對現場地下水流模型進行驗證與測試，進而推估地表入滲量、地下水位變化對於現場地層內部水壓變化影響，以間接方式推求降雨量與現場地表入滲量及地下水位變化之關係，並可作為後續評估現場邊坡穩定性，利用土壤有效應力之觀念及配合現場地下水流模型得出之地層水壓分佈，可推求不同時間點，地層中各點有效應力變化值，進而建立邊坡安全係數，提供與預測邊坡破壞可能性。

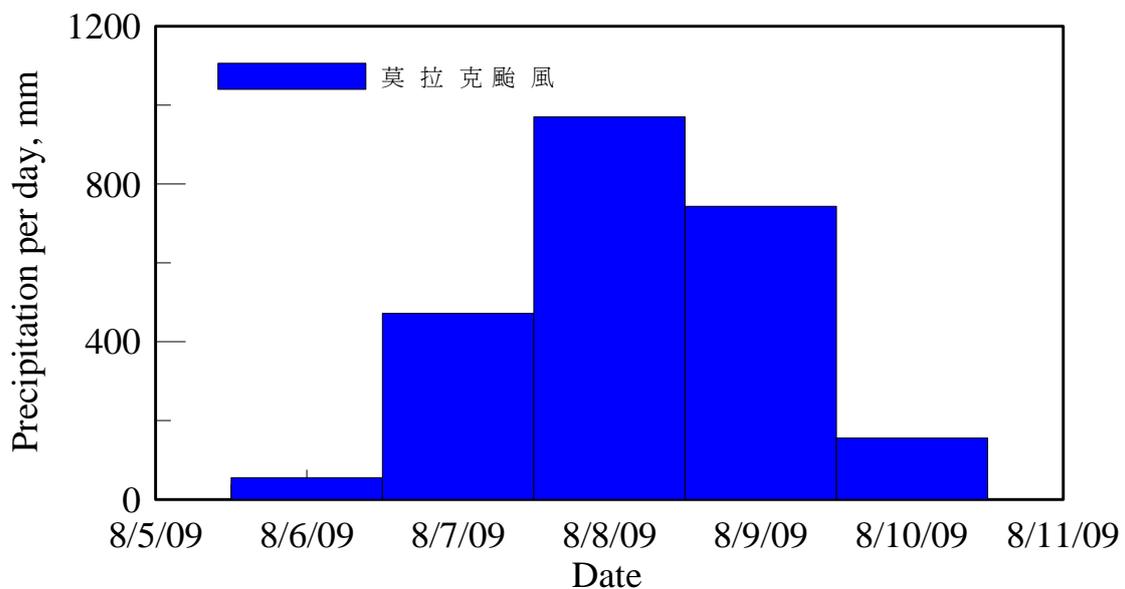


圖 2.17 莫拉克颱風現場降雨量

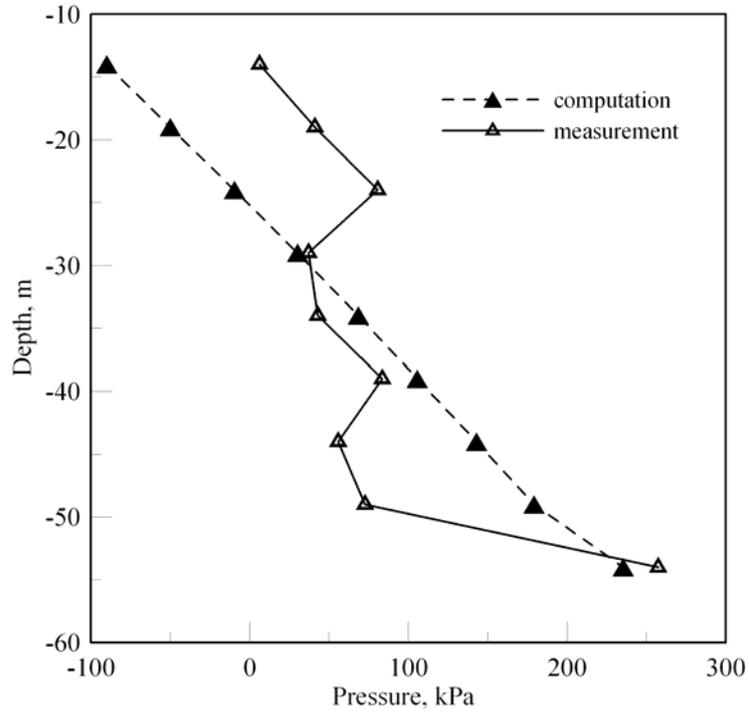


圖 2.18 低水位穩態狀態於莫拉克颱風之模擬值與實際監測值比較圖

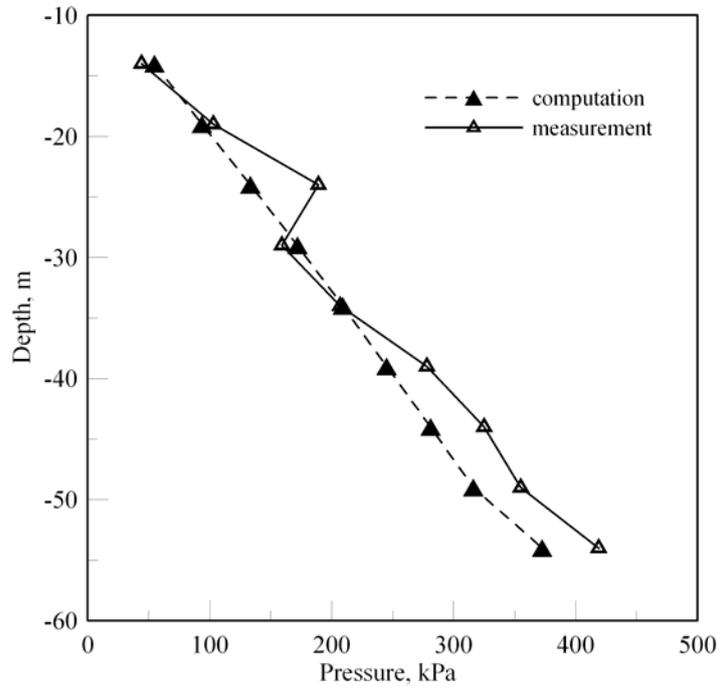


圖 2.19 高水位穩態狀態於莫拉克颱風之模擬值與實際監測值比較圖

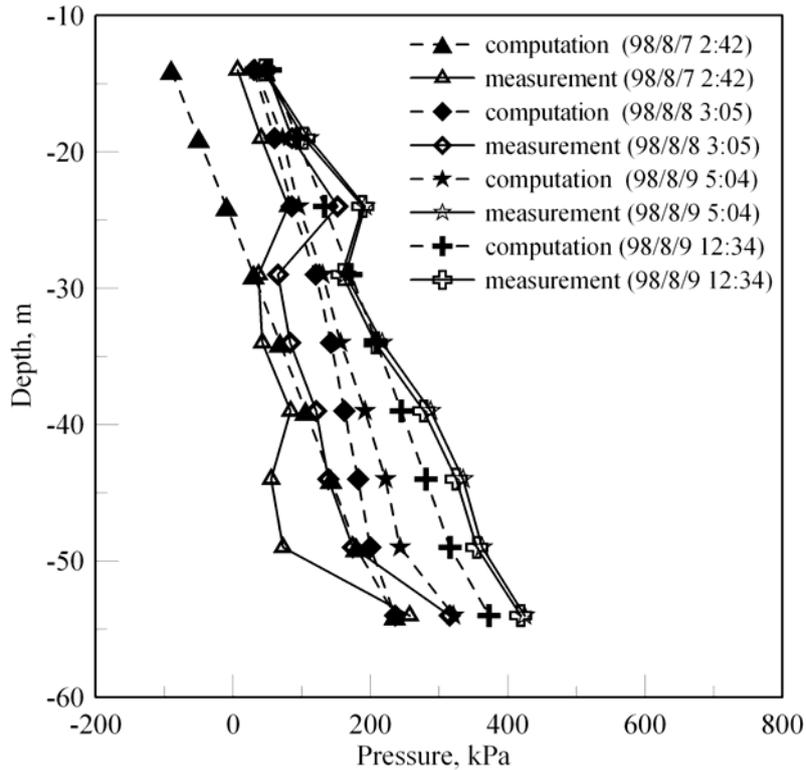


圖 2.20 暫態狀態下於莫拉克颱風之模擬值與實際監測值比較現場邊坡初始應力狀態之建立

2.4.3 現場邊坡初始應力狀態之建立

本研究為利用加拿大Geo-Slope公司所發展之軟體中之SIGMA/W有限元素分法，求解現場邊坡各元素之初始應力狀態，圖2.21為現場邊坡模型示意圖，而在邊坡模型邊界設定條件上，為假設邊坡模型左右邊界為滾接狀態，使得邊坡變形時，水平方向不能移動，垂直方向可移動，邊坡模型底部則假設為絞接支承，即水平及垂直方向不能移動，並利用線彈性模式求解及考慮初始地下水位狀況，而邊坡模型參數設定方面，如表2-6。其假設土體為均質狀態下，其土壤飽和單位重為 20 kN/m^3 、楊氏係數為 $4 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ 、波松比為0.3，進行邊坡數值模擬。圖2.22至圖2.27為邊坡各元素之各方向應力結果圖。其中 σ_{yy} 代表垂直應力， σ_{xx} 代表水平側向應力， σ_{zz} 代表垂直該平面之應力， σ_{xy} 代表剪力應力， p 代表平均主應力值， q 代表軸差應力值。

表 2-6 現場邊坡模型參數設定說明

參數說明	參數設定值
模擬組構條件	線彈性行為
土壤單位重	20 kN/m^3
楊氏(彈性)模數	40000 kN/m^2
波松比	0.3
網格數目	9847
網格點位間距	6.25 m

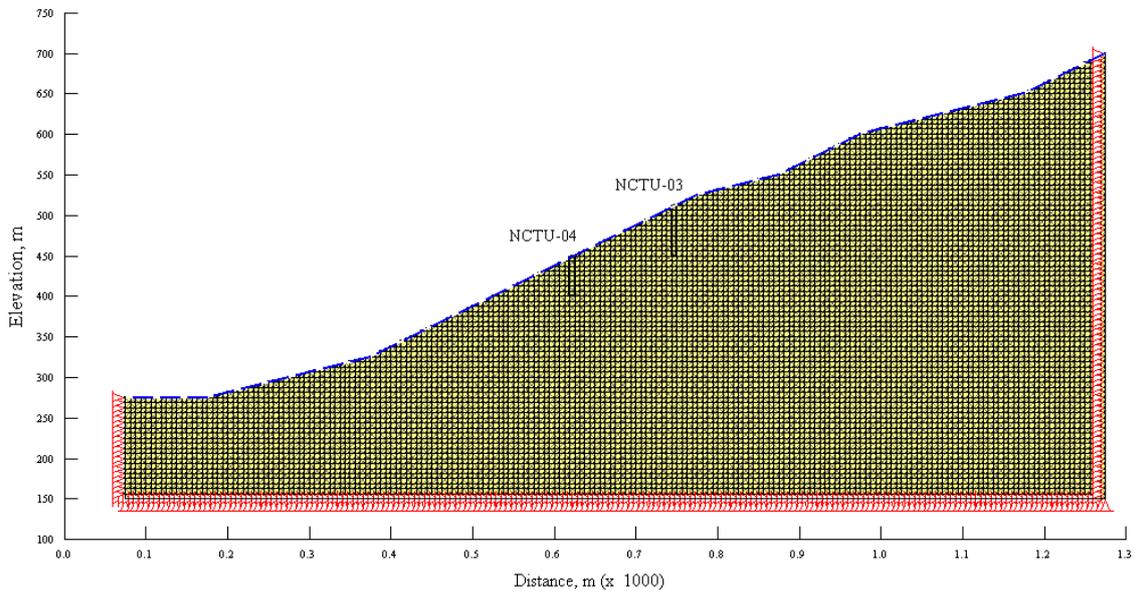


圖 2.21 現場邊坡模型網格示意圖

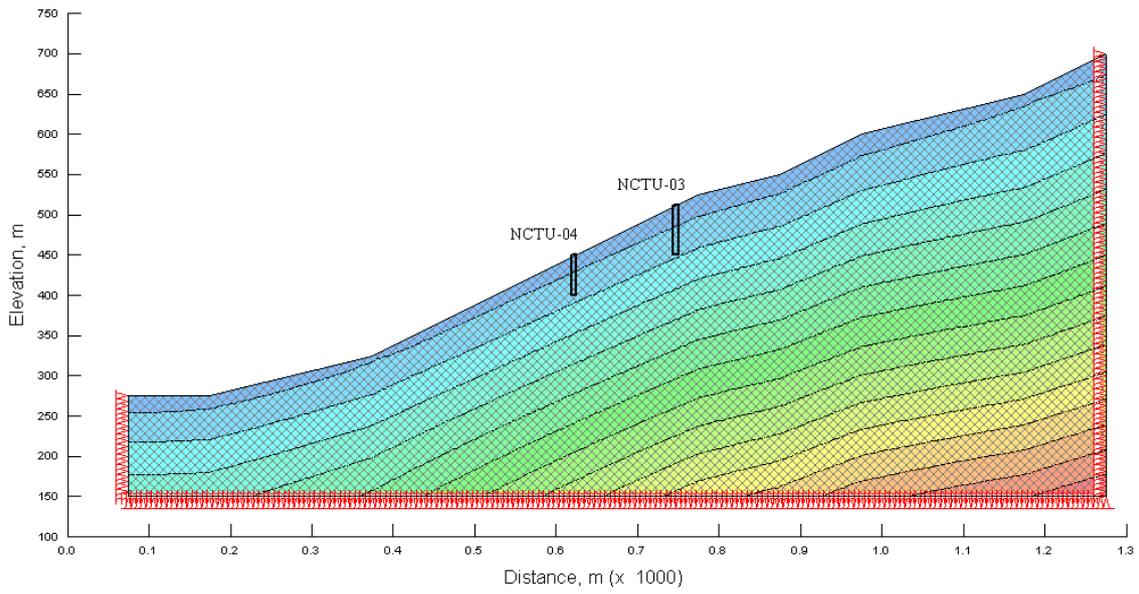


圖 2.22 模擬邊坡各元素 σ_{xx} 應力大小示意圖

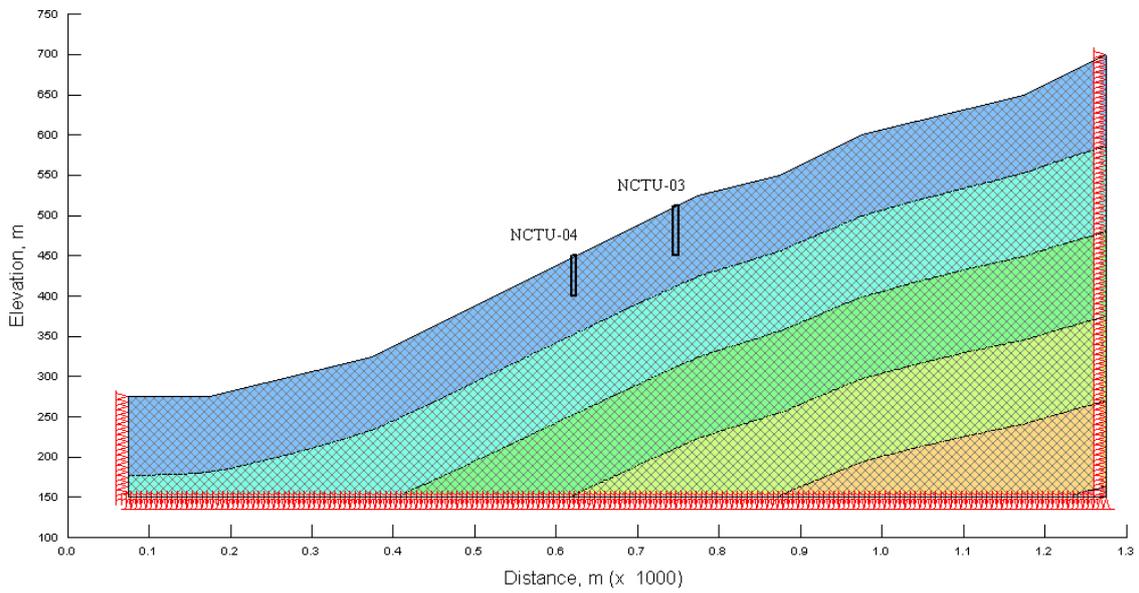


圖 2.23 模擬邊坡各元素 σ_{yy} 應力大小示意圖

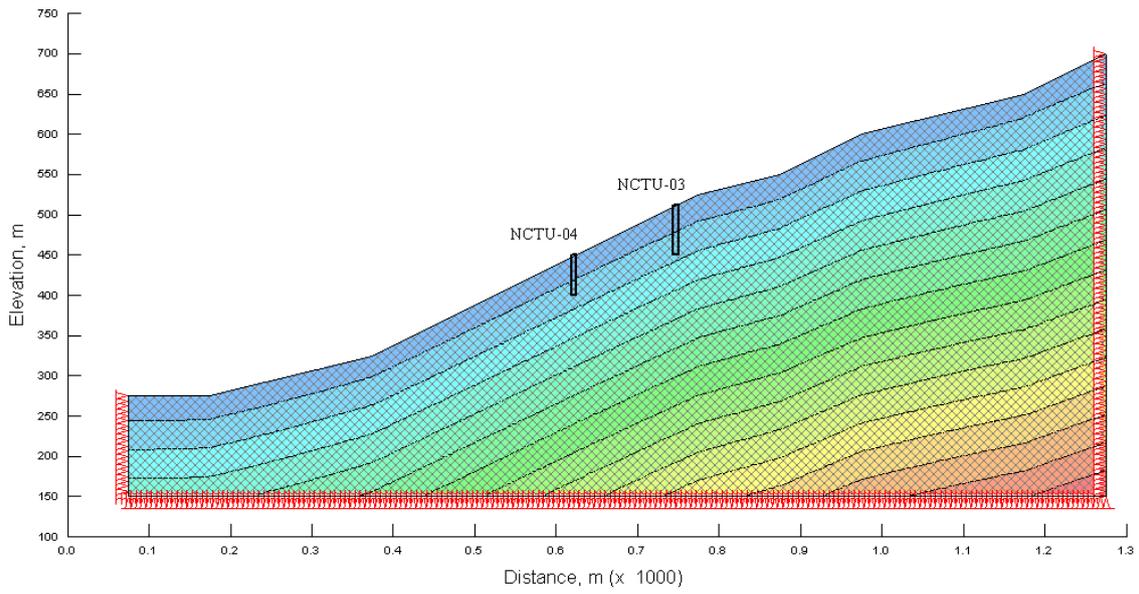


圖 2.24 模擬邊坡各元素 σ_{zz} 應力大小示意圖

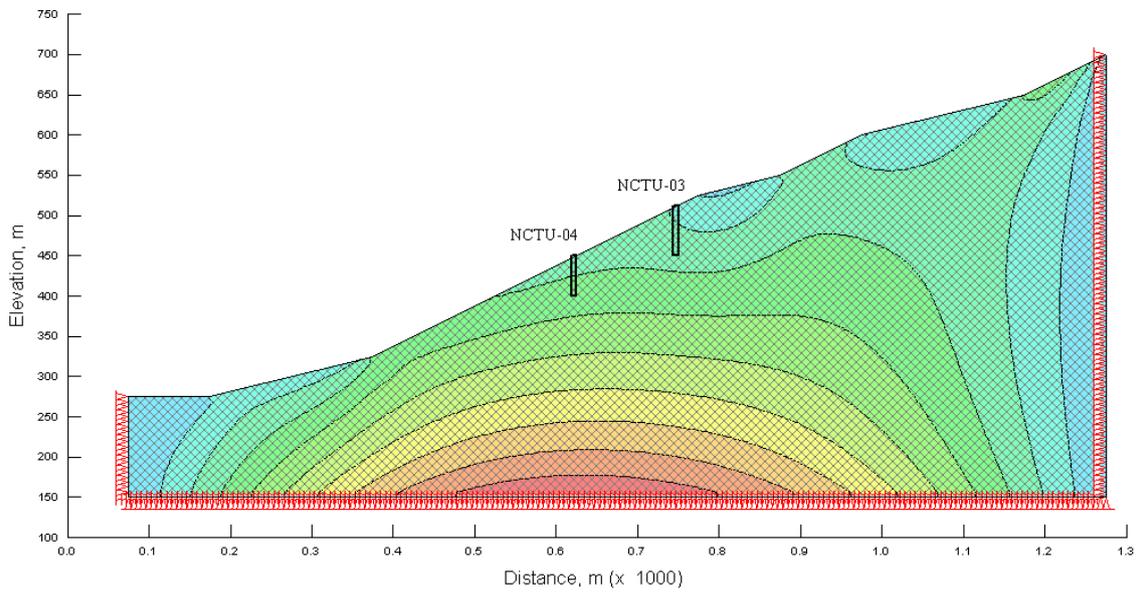


圖 2.25 模擬邊坡各元素 σ_{xy} 應力大小示意圖

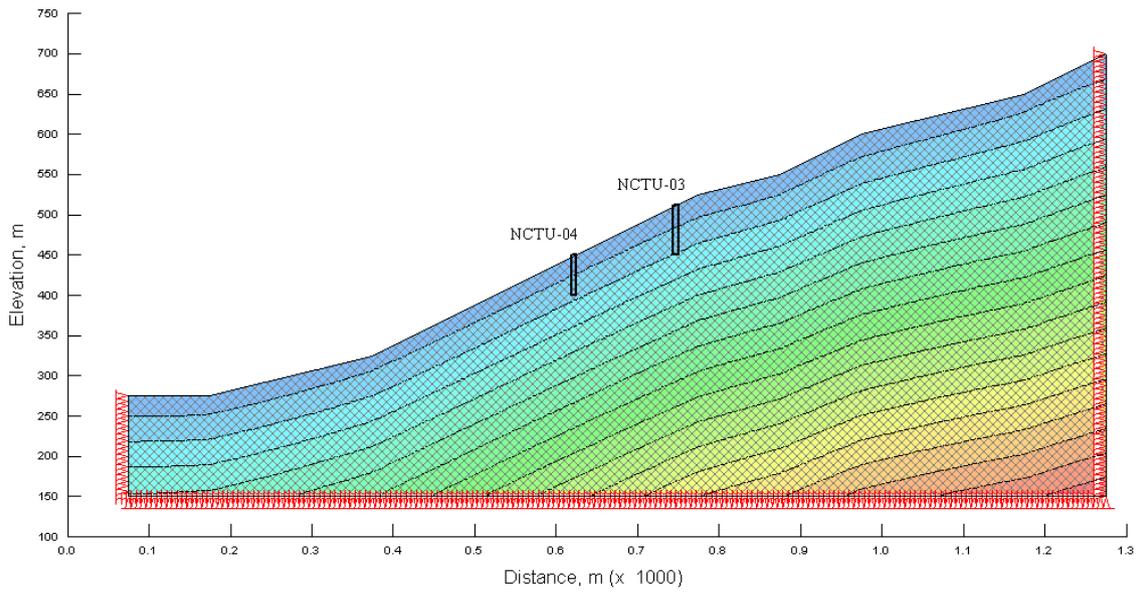


圖 2.26 模擬邊坡各元素 p 應力大小示意圖

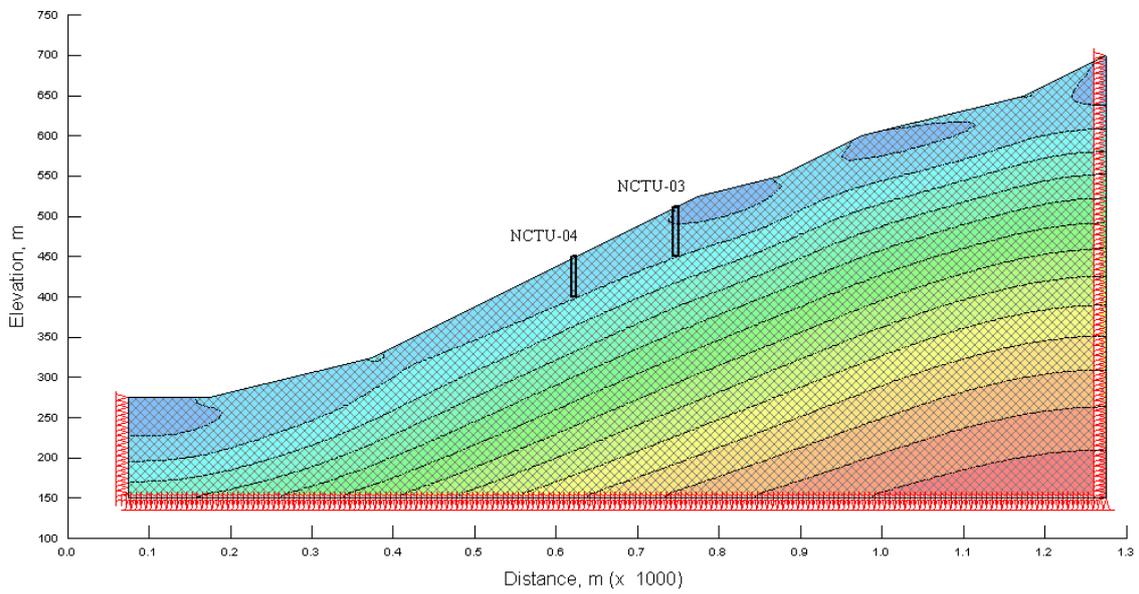


圖 2.27 模擬邊坡各元素 q 應力大小示意圖

2.4.4 邊坡破壞潛勢定義說明

根據土壤破壞準則，利用SIGMA/W有限元素法先求解出現場邊坡各網格元素初始應力大小，透過公式(2-1)及(2-4)，以p'-q圖表示得到每一網格初始應力狀態，而公式(2-1)與(2-2)為表示有效應力摩擦角與p'-q圖斜率關係，因此，可求得土壤在極限狀態下之 ψ ，而表2-7為利用土壤破壞時之摩擦角來定義土壤在不同極限狀態下值，可定義出紅色潛勢、黃色潛勢及綠色潛勢之邊坡破壞預警。

$$p' = \frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) \dots\dots\dots (2-1)$$

$$q = \left[\frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2}{2} + 3(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2) \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$M = \frac{q}{p} = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\sin \phi' = \frac{3M}{6 + M} \dots\dots\dots (2-4)$$

表 2-7 邊坡破壞潛勢範圍大小

	紅色潛勢	黃色潛勢	綠色潛勢
ϕ'	$\geq 35^\circ$	$20^\circ \sim 35^\circ$	$\leq 20^\circ$
M (q/p')	≥ 1.42	0.77~1.42	≤ 0.77

當土壤中孔隙水壓上升時，則土壤有效應力會降低，若以p-q圖表示地層中某一點應力變化，則水壓上升時，該點主應力p值會變小而往左邊移動，當接近土壤破壞包絡線時，則發生破壞，如圖2.28中藍色圓點變化。而破壞準則訂立為求得土壤破壞時摩擦角所對應之p-q圖中斜率，若土壤破壞時的摩擦角為30度，則對應p-q圖中之 $\tan \psi = 1.2$ ，因此藉由數值模擬方式可求解出B-B剖面各點之初始應力及孔隙水壓力大

小，故可利用土壤摩擦角對應 $\tan\psi$ 值與某一網格點之 $\tan\psi$ 值的比值建立安全係數，當安全係數大於1時，則該點為安全狀態，反之，若小於1時，則該點產生破壞，因此藉由有效應力之觀念，可反映現場邊坡每一網格點之安全值大小，並以等高線之方式表示現場邊坡之安全係數變化。

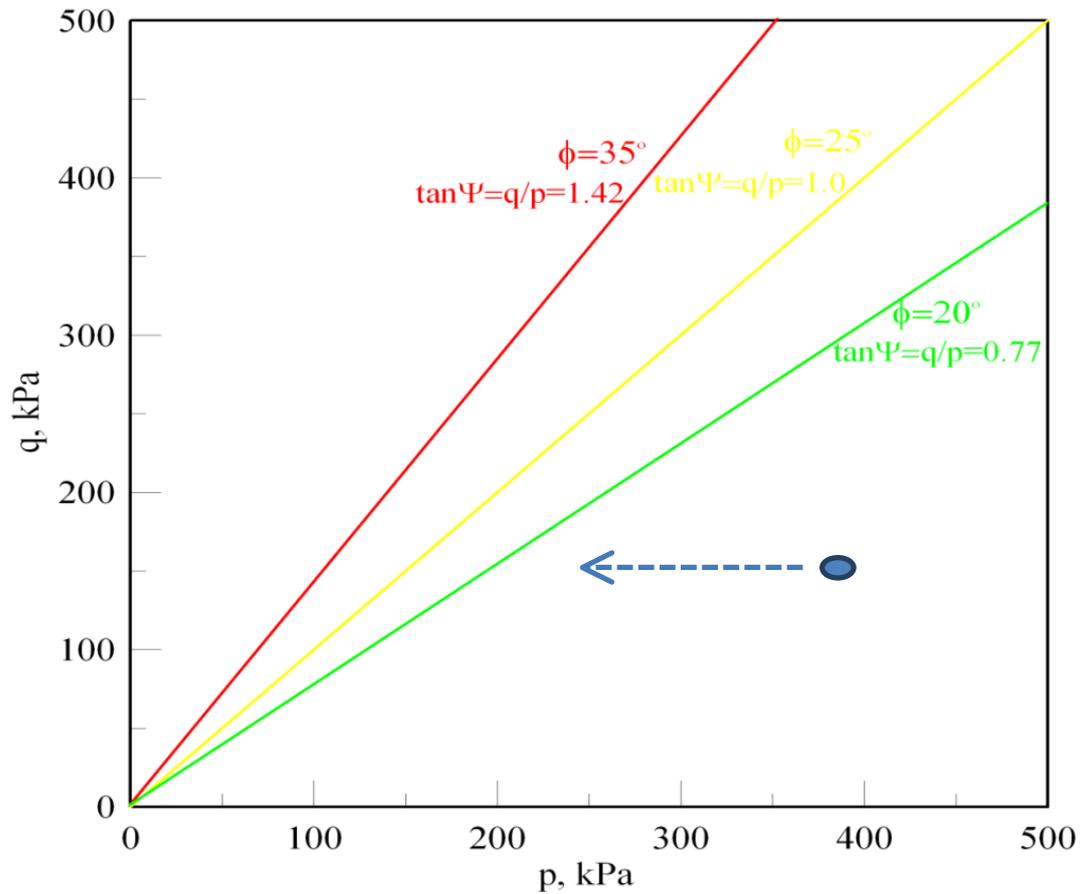


圖 2.28 不同摩擦角所對應 p-q 圖之斜率說明

圖2.29為邊坡安全預警機制流程圖，藉由邊坡所安裝分佈式水壓觀測井，可量得地層內部孔隙水壓變化，並透過數值模擬方式可預先建立現場邊坡初始應力狀態，應用有效應力觀念，將即時量測現場孔隙水壓，利用有效應力法則，可即時計算不同時間狀態下之有效應力值，根據安全係數之定義(如圖2.29中)，即可求得不同時間點下之安全係數，當安全係數大於等於2時，顯示綠燈狀態，表示現場邊坡目前處於安全狀態；安全係數介於1與2之間時，則為警戒狀態，顯示黃燈，表示公路單位目前值班人員須密切注意現場監測數據；當安全係數小於等於1時，顯示紅燈，表示現場邊坡可能處於不安全情況，則系統將發送簡訊至各單位，值班人員須至現場觀察目前邊坡狀態，以提供相關可靠資訊，作為後續決策之依據。

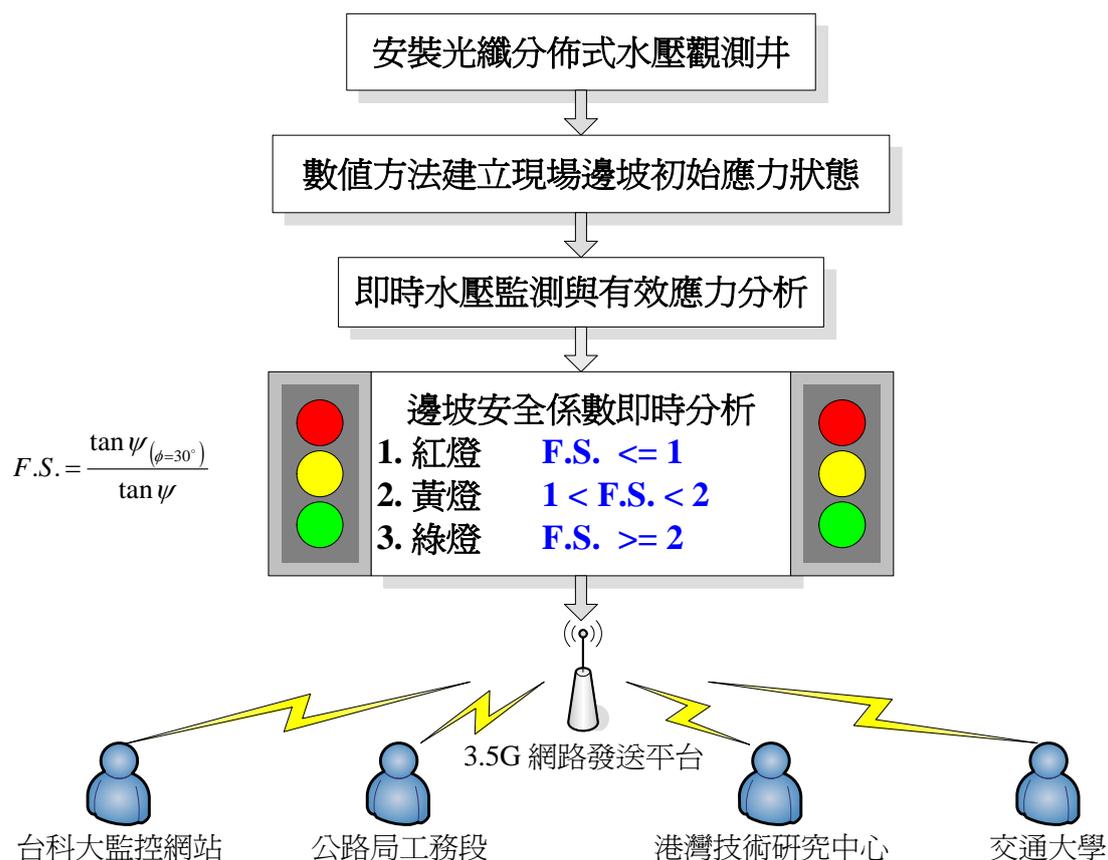


圖 2.29 邊坡安全預警機制流程圖

2.4.5 阿里山公路五彎仔路段邊坡破壞分析

圖2.30為顯示B-B剖面於莫拉克颱風前期低水位狀況之邊坡安全係數等高線趨勢圖，此節安全係數定義為 $\tan \psi / \tan \psi_{(\phi=30^\circ)}$ ，當 $\tan \psi / \tan \psi_{(\phi=30^\circ)}$ 大於等於1時為破壞，反之小於1時則代表安全狀況，隨著降雨量增加，以及地表水入滲與側向水流補注，使得土壤中孔隙水壓力增加，造成有效應力降低，圖2.31至圖2.33為表示不同時間情況下，現場邊坡安全係數等高線變化趨勢，可看出隨著孔隙水壓力增加於B-B剖面邊坡淺層及深層有破壞之趨勢，圖2.34為於莫拉克颱風高水位時期之邊坡安全係數變化圖，其邊坡淺層有明顯破壞面產生，將此破壞面作為SLOPE/W邊坡穩定之驅動面，其假設之摩擦角為30度且土壤無凝聚力，可得出該驅動面之安全係數為1.545(如圖2.35)，而現場傾斜觀測數據及勘察該監測區域並無過大變形量產生及災變發生。

圖2.36為NCTU-03孔位各深度之 $\tan \psi / \tan \psi_{(\phi=30^\circ)}$ 於莫拉克颱風時期變化趨勢圖，可看出各深度點位距破壞面還有一些差距。

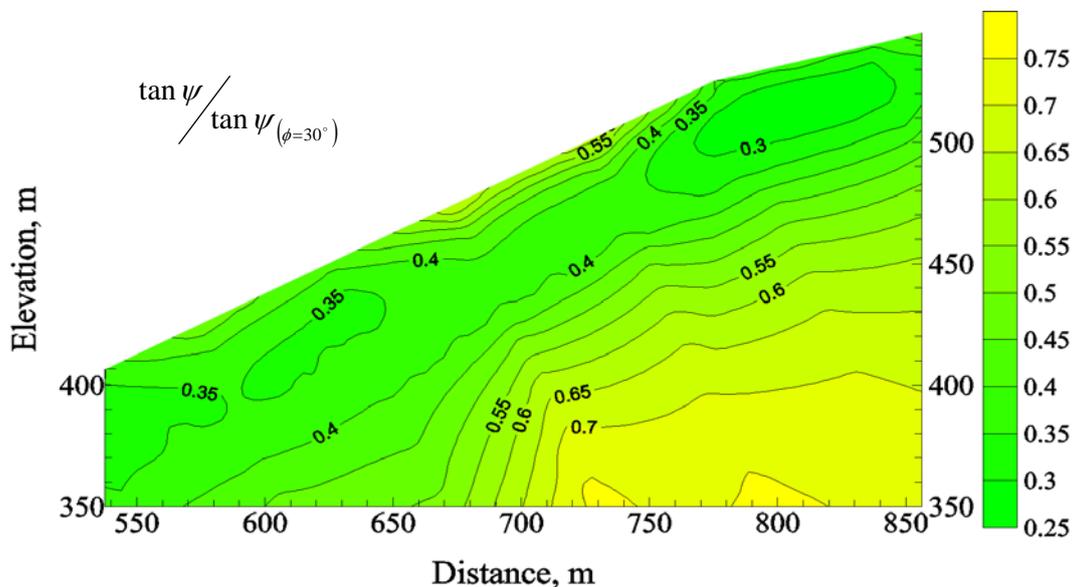


圖 2.30 低水位時期 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風)

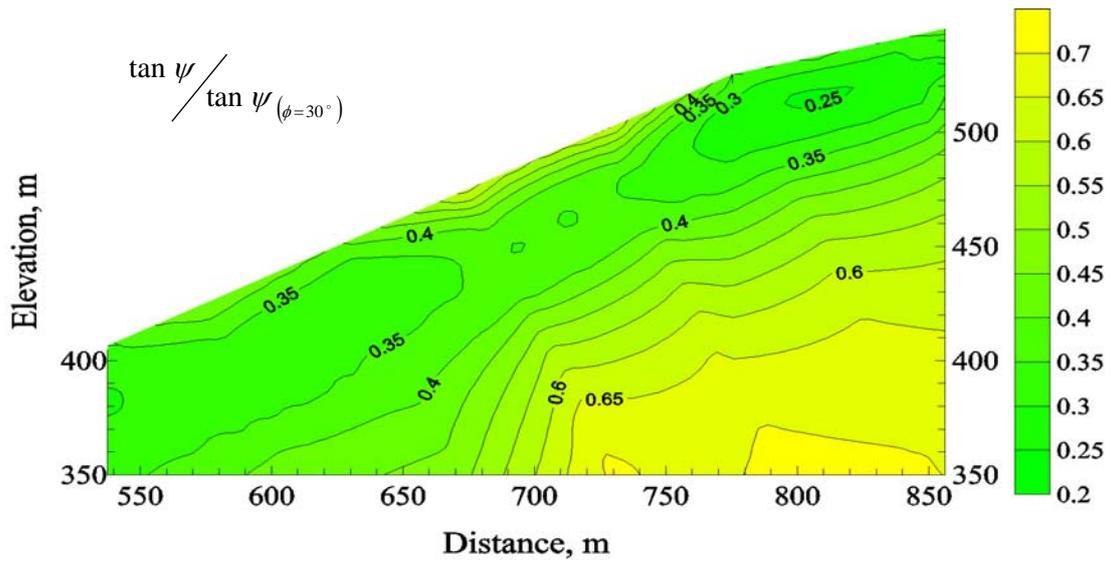


圖 2.31 $T=14.4\text{hr}$ 時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風)

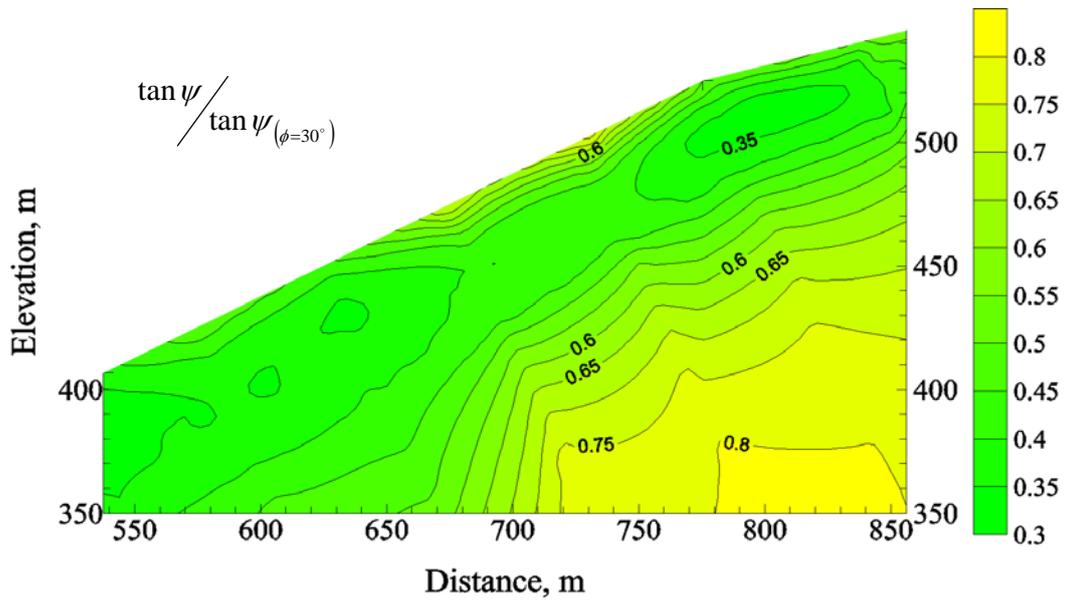


圖 2.32 $T=28.8\text{hr}$ 時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風)

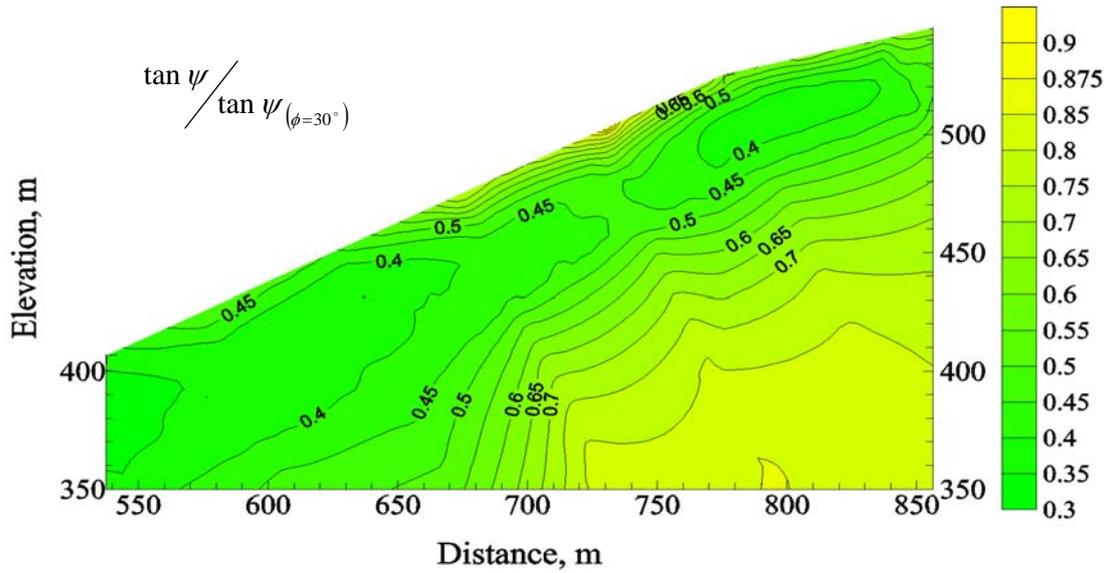


圖 2.33 T=43.2hr 時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風)

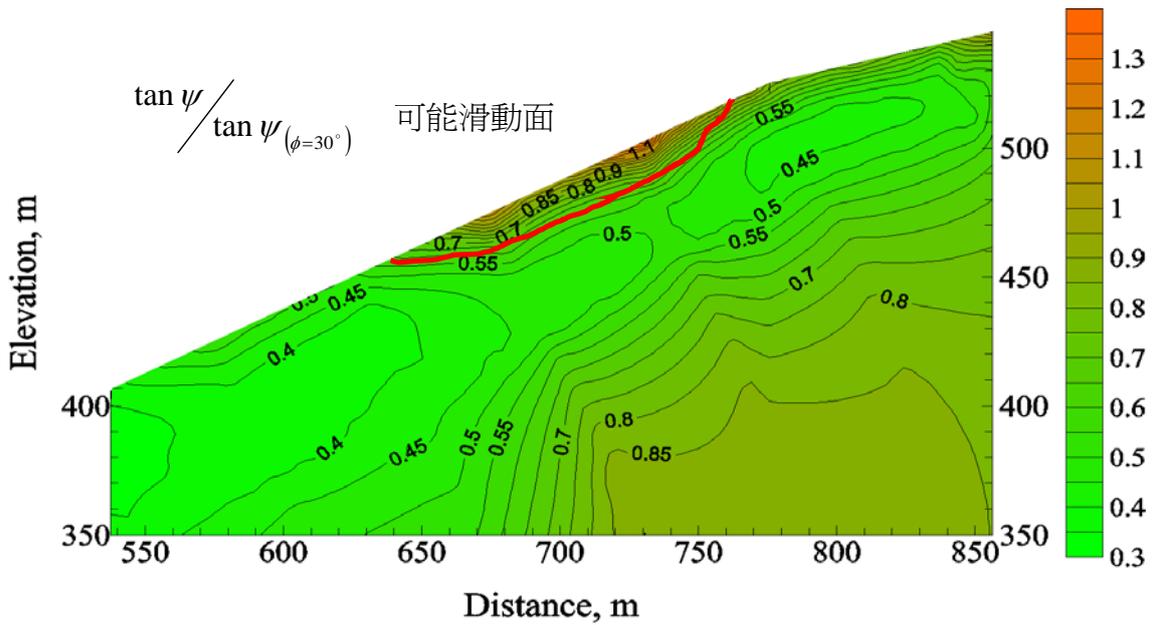


圖 2.34 高水位時 B-B 剖面安全係數等高線(莫拉克颱風)

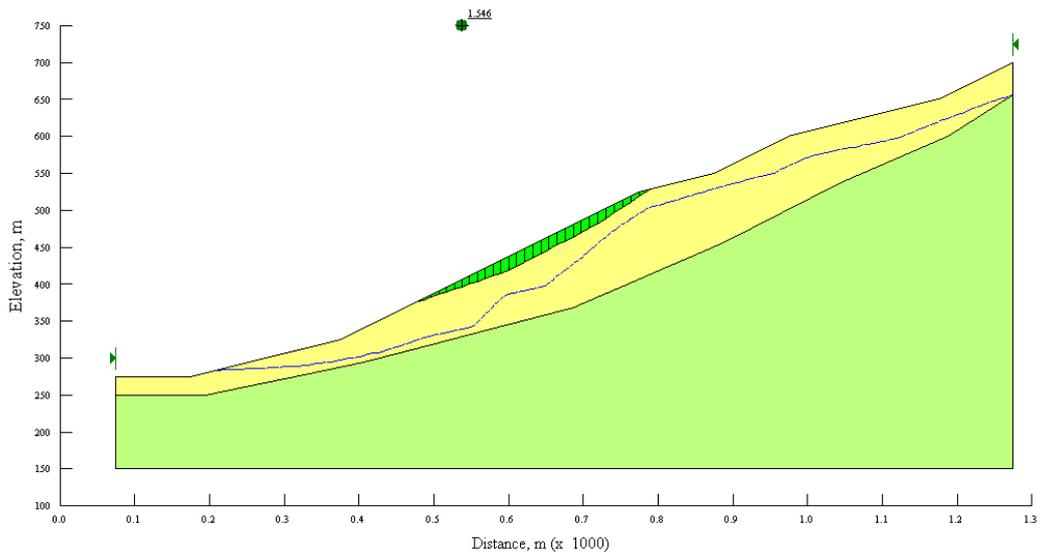


圖 2.35 SLOPE/W 模擬 B-B 剖面邊坡圖

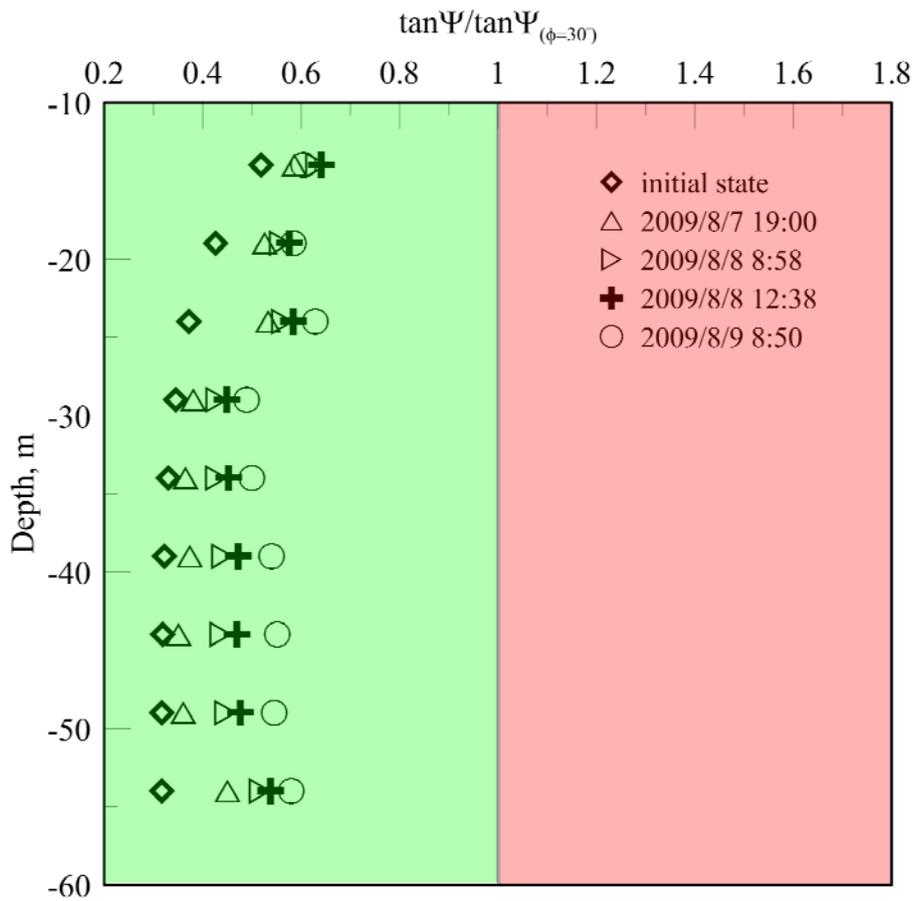


圖 2.36 NCTU-03 孔位於莫拉克颱風時各深度安全係數變化軌跡圖

2.4.6 光纖式與電子式感測器成本與效益分析

2.4.6.1 光纖式與電子式感測器成本比較

表2-8為光纖感測器與傳統電子感應器成本差異比較，依據不同感測精度及量測範圍其光纖光柵水壓計及偏斜儀與傳統式電子感測器其成本差異約為±30%，由於光纖光柵解讀儀設備受限於部分光學零組件之價格，相較於傳統電子感測器擷取設備高於2倍以上，但對於大範圍監測區域，若大量使用光纖感測器時，一台光纖光柵解讀儀器可同時擷取各光纖感測器訊號，因此，光纖光柵解讀設備費用可大幅降低。

表 2-8 光纖感測器與傳統電子感應器成本差異比較

感測器種類	成本差異百分比
光纖光柵水壓計	± 30%
偏斜儀	± 30%
解讀設備	+ 200%

2.4.6.2 光纖式與電子式感測器效益分析

表2-9為光纖式與電子式感測器效益分析比較表，由於光纖感測器訊號不受電磁波影響，訊號傳輸距離遠，相較於電子式感測器訊號穩定性高，歷經四年計畫期間，現場光纖感測器持續發揮其功能，故在耐久性方面可超過3年以上，而光纖感測器相對於電子式感測器，有較多複雜性，故在使用及安裝方面須具有相關光電背景專業訓練。

表 2-9 光纖感測器與傳統電子感應器效益比較表

感測器種類	光纖式傳感器	電子式傳感器
耐久性	3年以上	1年以上
訊號品質	清晰不受電磁波影響	易受電磁波影響
專業人員	需要	較不需要
技術性	高	低

第三章 全球衛星定位與自動化監測系統在坡地 防災之應用

3.1 全球衛星定位與自動化監測系統研究內容

3.1.1 研究背景

全球衛星定位系統 (GPS) 係以衛星為基礎的無線電定位系統，藉由地球軌道上之定位衛星，可無限制地提供全球具接收裝備之使用者極精確之三維定位、速度及時間資料。該系統不受天氣影響，並可提供全球統一之經緯度參考資料，且應用層面非常廣泛，已屬成熟技術。GPS 監測系統除為累積足夠監測歷史資料提供後續各項學理研究發展外，亦希望可即時掌握邊坡災害發生前兆和發生時之動態反應，增加地區居民之應變時間，提供防災應變決策之參採，大幅降低災害所造成之傷害，因此即時有效之通訊傳輸將是整體監測系統重要環節之一。

本計畫整合地表全球衛星定位與地下自動化監測系統在坡地防災之應用上深入探討，將可在有限建構成本下，因時因地制宜增加邊坡觀測之廣度，以期在最短時間內收集最多邊坡災害發生之相關資訊，提供學術機構未來坡地防災相關課題研究參酌之用。同時，觀測及研究資訊可作為政府相關單位進行邊坡整治、道路維安以及災時警戒之重要參考依據。期能減少邊坡災害對民眾生命財產之危害，進一步達到國土保安之目的。

3.1.2 研究環境地理位置與範圍

臺 18 線 42K+500m~44K+100m 五彎仔路段 (TWD67 橫坐標約為 212,312 公尺，縱坐標約為 2592307 公尺)。經過面積約 50 公頃之古老崩塌地，自民國 71 年通車以來，每遇颱風豪雨侵襲，地層滑動，路面下陷亦有發生，雖屢次進行修復與加固，惟未能有效改善。民國 92 年 6 月 26 日 43K+500m 處長約 150 公尺路段下滑，使通往阿里山之交

通中斷，引起各界關切，尤以觀光旅遊業受影響最鉅。目前雖以臨時便道繞道崩塌區頭部上方維持道路通行，然而本路段仍在持續滑動中，尤其豪雨期間滑動情形更加明顯，何時道路會再滑失中斷，備受關注。而避免此一情形再現，更是需要努力的目標。2006年12月3日發生了公路史上最嚴重的梅嶺大車禍，隨之危險道路受到國人關注，而阿里山公路五彎仔段是全台危險公路之首，除道路本身又陡又彎外，還會發生邊坡地滑。但是五彎仔每年的地表位移量，並未被精確的量測出來，因此本研究選定五彎仔地區之第四彎為實驗地區。

本計畫因應阿里山公路五彎仔段第四彎改道，及結合地下井光纖監測系統，研究區域選定為阿里山公路五彎仔段（TWD67 橫坐標約為 212,507，縱坐標約為 2,592,115）地下井光纖監測區，詳細位置如圖 3.1 所示。

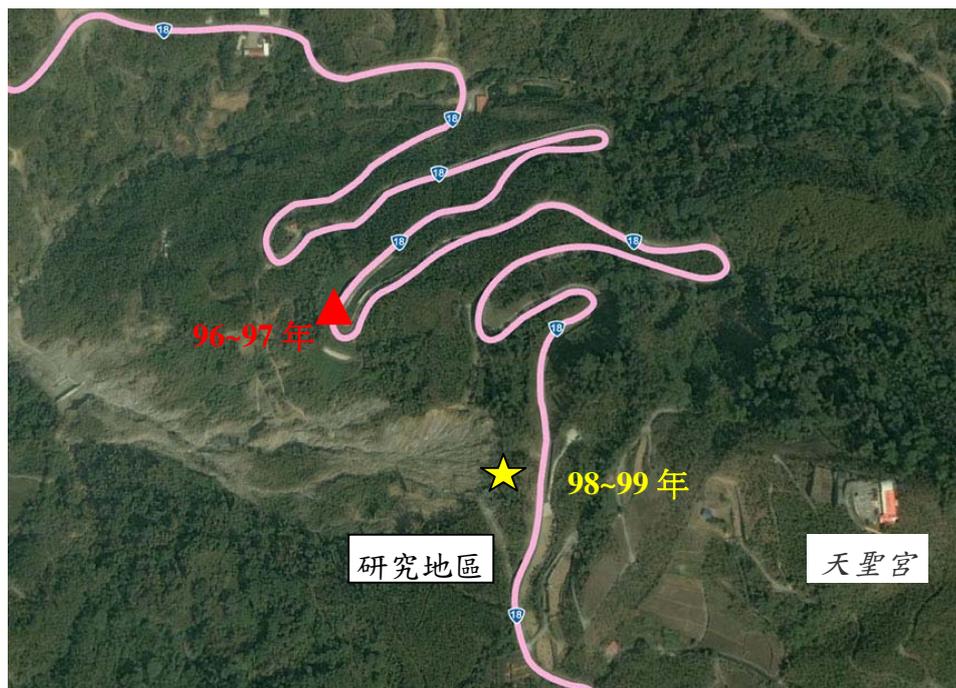


圖 3.1 阿里山公路五彎仔段

96年至97年度研究區域為第四彎(如上圖△形區域)，後因車道受損及道路改變，故98年及99年遷移至另一處(上圖☆形區域)，繼續進行自動化監測研究。

3.1.3 全球衛星定位模組自動化監測系統

為將全球衛星定位模組 (GPS) 與無線電傳輸模組能實際應用於道路坡面滑動的監測，2007 年開始於嘉義縣阿里山鄉臺 18 線第四彎地區上進行 4 組 GPS 定位與無線電傳輸模組實際運作，其 4 組 GPS 天線訊號經由接收主機進行解算，其訊息經由第 4 彎無線網路傳回至資料接收中心的 IPC 主機上。

為擴大道路坡面滑動的監測範圍，2008 年擴新增另外四組 GPS 天線，合計共八組天線(GPS1~GPS8)，儀器位置配置如圖 3.2 所示，並將所有之 GPS 訊號線整合至儀器保護箱，經現場資料接收伺服器儲存、加值後，將即時監測資料經過中華電信之衛星服務傳送至網際網路。

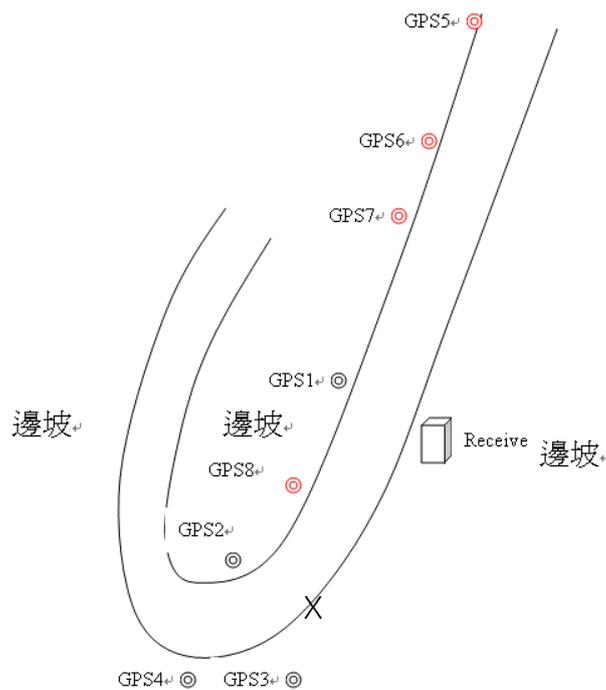


圖 3.2 原第 4 彎現地 GPS 天線儀器配置圖

2009 年計畫因應第四彎截彎取直工程，同時配合本所光纖計畫進行設置，將原第四彎之儀器設備遷移至光纖計畫監測區，以建立地表位移與地下滑動位移間之關係，並加以運算分析研判，構成完整之監測網絡，儀器相關位置如圖 3.3 所示。



圖 3.3 第 6 彎現地 GPS 天線儀器配置圖

3.2 全球衛星定位監測系統測試

在確保全球衛星定位監測系統的精度與穩定性前，必須先進行實驗室測試完成後才能移至現地量測，故選擇逢甲大學商學館 13F 天台上進行測試。

3.2.1 實驗場地

為了尋求試驗便利與對空通視的地方，故利用商學館頂樓進行測試。以現有的儲藏室做為儀器控制室，其中包含一台多天線 GPS 切換器 (Switch)、兩台 GPS 接收器 (Receiver) 和一台電腦主機，如圖 3.4 所示。並以現有的內政部 GPS 固定站作為此多天線 GPS 量測基站，整個多天線 GPS 佈設位置如圖 3.5 所示，其中包含一個基站和七個移動站。



圖 3.4 多天線 GPS 試驗設備



圖 3.5 多天線 GPS 試驗配置圖

3.2.2 靜態初始值量測

選擇七個移動站位置，均勻分布於頂樓空曠的地方。在進行多天線 GPS 動態位移量測時，必須先紀錄一段長時間（約 2~3 天）的靜態 GPS 初始值位置量測。其 GPS 資料擷取方式為每 5 秒接收一筆資料，

連續記錄 30 分鐘後切換至另一個 channel，且每小時解算位置一次，將初始值位置量測結果整理如表 3-1 所示。其中 GPS0 代表內政部固定基站，且移動站 GPS1 至 GPS7 的坐標是相對於 GPS0 的坐標，將相對位置與基站之距離繪製如圖 3.6 所示。由於基站的高程較移動站為高，故垂直方向的高程坐標均為負值。

表 3-1 靜態多天線 GPS 初始值坐標

測站編號	N (cm)	E (cm)	Z (cm)
GPS0	0	0	0
GPS1	545.23	27.05	-514.92
GPS2	531.67	-327.14	-404.19
GPS3	1,020.38	139.09	-507.18
GPS4	1,146.76	-133.93	-491.37
GPS5	906.27	445.34	-479.36
GPS6	727.94	636.10	-475.67
GPS7	979.30	-336.95	-390.93

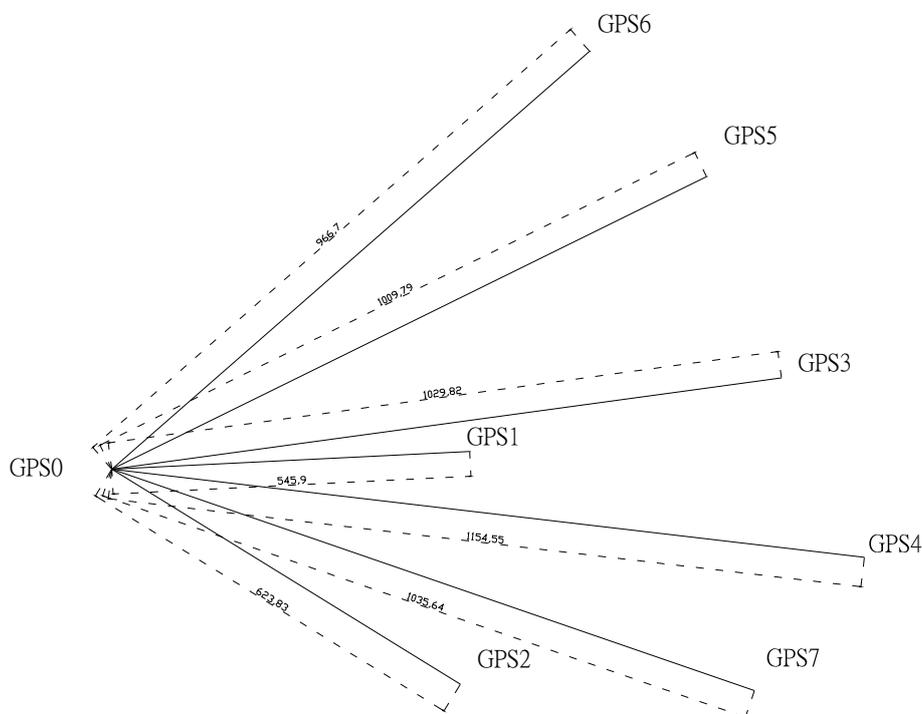


圖 3.6 靜態多天線 GPS 初始值量測結果

3.2.3 雷射經緯儀測量

為了確認全球定位系統量測的準確性，故另外利用雷射經緯儀針對 GPS0 至 GPS7 之固定站和移動站位置，進行水準與高程測量。由於水準測量必須以某依方向當作固定方向，其他待測點則是相對於此方向，故將 GPS0 和 GPS1 連線方向做為固定方向，並將所得結果與多天線 GPS 量測結果相互比較，整理坐標如表 3-2 所示。由表中可以發現在垂直方向的差異較大，此結果與 GPS 量測文獻相同，且在 GPS6 的水平方向出現誤差較大的結果。將相對位置與 GPS 天線之距離繪製如圖 3.7 所示。

討論結果發現多天線 GPS 準確性較差的原因，主要是在於 GPS 的天線距離地面太低，訊號有反射的現象，一般建議要距離地面約 50~100cm 以上，才不會有訊號干擾的現象。再加上因為頂樓屋凸（儀器屋）的位置剛好遮蔽大約一半的對空通視，產生多路徑的效應。另一方面在進行水準與高程測量時，因為不確定天線內部接收晶片的真實位置，故以天線頂部為量測目標，所以才造成以下的結果。

表 3-2 雷射經緯儀量測坐標與多天線 GPS 結果比較

測站編號	N (cm)	E (cm)	Z (cm)	N (cm)	E (cm)	Z (cm)
GPS0	0	0	0	多天線 GPS 比較差異		
GPS1	544.98	27.04	-490.20	0.25	0.01	-24.72
GPS2	527.82	-328.62	-383.10	3.85	1.48	-21.09
GPS3	1,018.63	125.49	-492.80	1.75	13.6	-14.38
GPS4	1,142.66	-144.14	-491.00	4.1	10.21	-0.37
GPS5	913.28	460.69	-491.10	-7.01	-15.35	11.74
GPS6	694.56	637.05	-488.00	33.38	-0.95	12.33
GPS7	975.83	-339.66	-383.50	3.47	2.71	-7.43

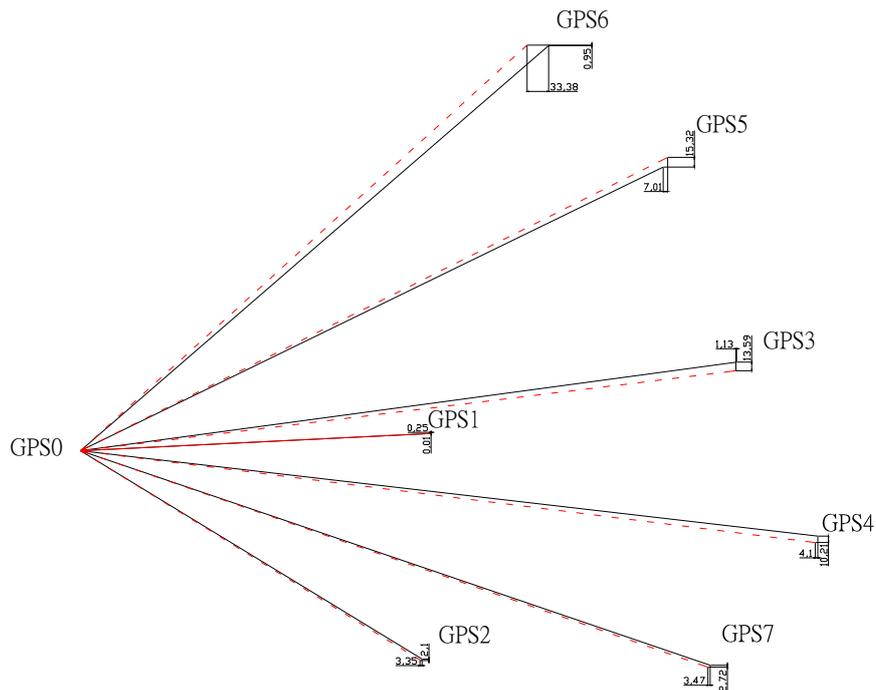


圖 3.7 雷射經緯儀量測與多天線 GPS 初始值量測結果比較

3.2.4 移動多天線 GPS 位置量測

因為先前多天線 GPS 的位置距離地面太近，故重新選擇多天線 GPS 的位置，再加上為了測試動態移動的精度，特別將其中一個天線換成放置在角架上，方便移動已知固定位移，現場配置如圖 3.8 所示。並在角架下方固定四個已知位移量的點，如圖 3.9 所示，每個移動量大約 1.5~2.0cm 左右。

實驗步驟同前兩項，由於改變了多天線 GPS 的位置，故還是必須要重新進行靜態長時間量測以確定初始值坐標，再利用雷射經緯儀確認出 GPS 天線的位置，此次量測已注意到天線內部接收晶片的相關位置。接下來進行動態量測試驗，其 GPS 資料擷取方式為每 5 秒接收一筆資料，連續記錄 2 分鐘後切換至另一個 channel，且每小時解算位置一次。



圖 3.8 修改後多天線 GPS 位置配置圖

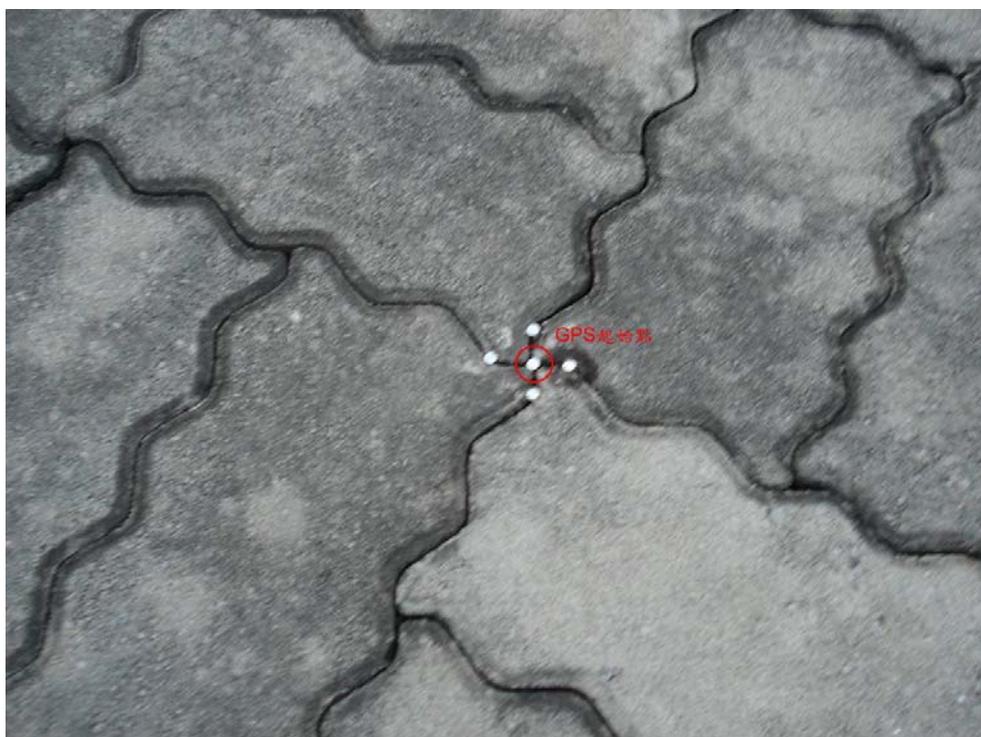


圖 3.9 多天線 GPS 移動測試點

接下來將進行 8 個多天線 GPS 測試與新式的 switch 接收器測試(圖 3.10)。多天線位置佈置後，同樣與雷射經緯儀作比對測試。發現除了第八個天線外，其他的精度都在容許範圍內(如表 3-3)。之後進一步確認後發現是因為 switch 的內部線路問題，修改後已恢復正常，並確認多天線 GPS 之穩定性與準確性。

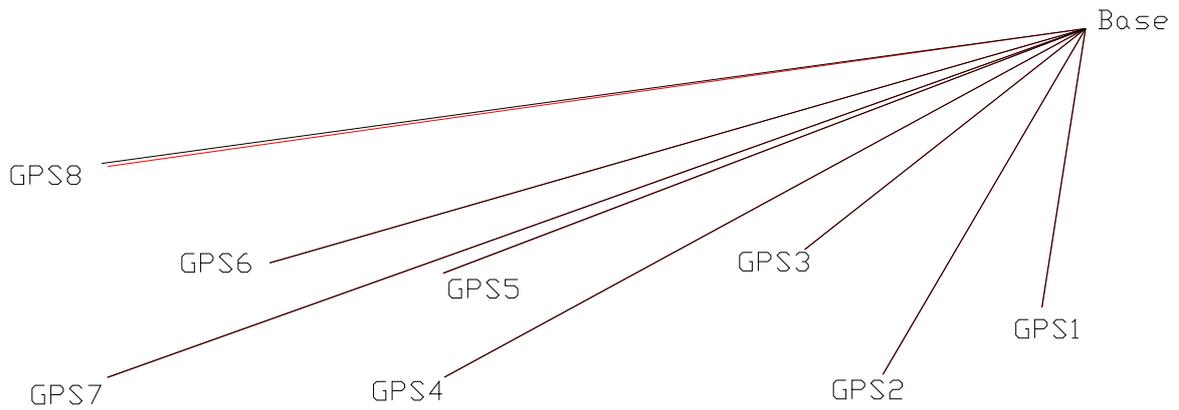


圖 3.10 八個多天線 GPS 測試位置圖

表 3-3 GPS 與經緯儀比對測試成果表

測站編號 (單位)		E	N	H
2 (cm)	經緯儀	109.3634	97.7714	11.6688
	GPS	109.37	97.772	11.664
	cm	-0.66	-0.06	0.48
3 (cm)	經緯儀	106.0288	103.147	11.3648
	GPS	106.025	103.147	11.351
	cm	0.38	0	1.38
4 (cm)	經緯儀	90.6461	97.655	11.5724
	GPS	90.66	97.652	11.391
	cm	-1.39	0.3	18.14
5 (cm)	經緯儀	90.5877	102.1316	11.3974
	GPS	90.612	102.126	11.386
	cm	-2.43	0.56	1.14
6 (cm)	經緯儀	83.1861	102.5695	11.3486
	GPS	83.208	102.57	11.336
	cm	-2.19	-0.05	1.26
7 (cm)	經緯儀	76.2541	97.6472	11.4703
	GPS	76.277	97.636	11.458
	cm	-2.29	1.12	1.23
8 (cm)	經緯儀	76.0137	106.8461	11.5876
	GPS	76.262	106.721	11.63
	cm	-24.83	12.51	-4.24

3.3 全球衛星定位監測系統實地測試

實地架設多天線 GPS 系統，於 2007 年 10 月初完成所以儀器現地架設工作，其中 GPS 基站一組、移動監控 GPS 天線四組，如圖 3.11 所示：

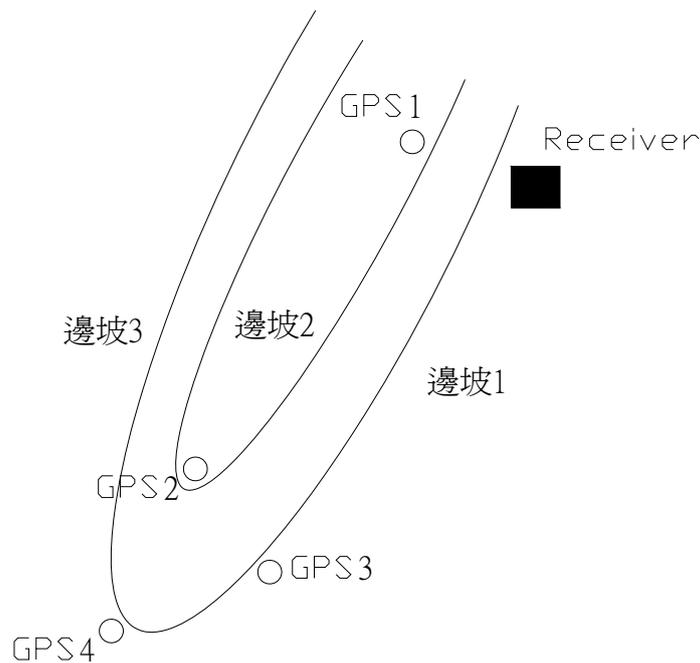


圖 3.11 現地多天線儀器配置示意圖

從 2007/10/17 收集兩整天的靜態測量接收資料，解算出靜態坐標，如表 3-4 所示。後並於 2007/10/19 開始進行動態即時監測。並將 2007/10/19~2007/10/21 三天的動態即時監測結果如表 3-5 所示。其中除了 GMS3 和 GMS4 的 Y 方向有持續的位移量（約 2.4cm）外，其餘皆來回震盪，並呈穩定狀態。再持續針對 2007/10/19~2007/11/12 二十天的動態即時監測結果進行比對，其中除了 GMS3 和 GMS4 的 Y 方向有持續的位移量（約 9.76cm）外，其餘皆來回震盪，並呈穩定狀態。並於 2007/10/25 赴現場確認並非為儀器異常或 GPS 固定桿晃動所造成的，故研判為邊坡地滑的位移量。最後持續針對 2007/10/19~2008/1/25 一百天的動態即時監測結果進行比對，其中除了 GMS1 到 GMS4 的 Y 方向有持續的位移量（約 17.19cm）。並於 2008 年 3 月赴現場確認為邊坡地滑的位移量。本系統可以將連續時間的動態坐標繪製成圖，其中 GPS3 與 GPS4 位移變化如圖 3.12 與圖 3.13 所示，由圖中可以明顯看出位移方向與位移量，圖中(X,Y,H)對應到表中的(N,E, H)。

表 3-4 GPS 靜態坐標

靜態坐標 (m) 2007,10,17~18			
測站	N	E	H
GPS1	334.7169	-173.6945	-66.1253
GPS2	285.491	-218.9558	-75.3336
GPS3	269.0273	-207.2832	-77.9727
GPS4	270.1067	-232.2456	-82.5404

表 3-5 多天線 GPS 動態坐標

3 天動態坐標 (m) 2007/10/19~21			3 天位移量 (cm)		
N	E	H	dN	dE	dH
334.7145	-173.7077	-66.1578	-0.24	-1.32	-3.25
285.4819	-218.9744	-74.8855	-0.91	-1.86	-2.76
269.0205	-207.3074	-77.9852	-0.68	-2.42	-1.25
270.1033	-232.2671	-82.5615	-0.34	-2.15	-2.11
20 天動態坐標 (m) 2007/10/19~11/12			20 天位移量 (cm)		
N	E	H	dN	dE	dH
334.7129	-173.7236	-66.191	-0.4	-2.91	-6.57
285.4887	-218.0387	-74.9328	-0.23	-8.29	-7.49
269.0205	-207.3808	-77.0147	-0.68	-9.76	-4.2
270.0954	-232.3301	-82.605	-1.13	-8.45	-6.46
100 天動態坐標 (m) 2007/10/19~2008/1/25			100 天位移量 (cm)		
N	E	H	dN	dE	dH
334.709	-173.7408	-66.2009	-0.79	-4.63	-7.56
285.4801	-219.1143	-74.9693	-1.09	-15.85	-11.14
269.0101	-207.4551	-78.0555	-1.72	-17.19	-8.28
270.0846	-232.4142	-82.6526	-2.21	-16.86	-11.22

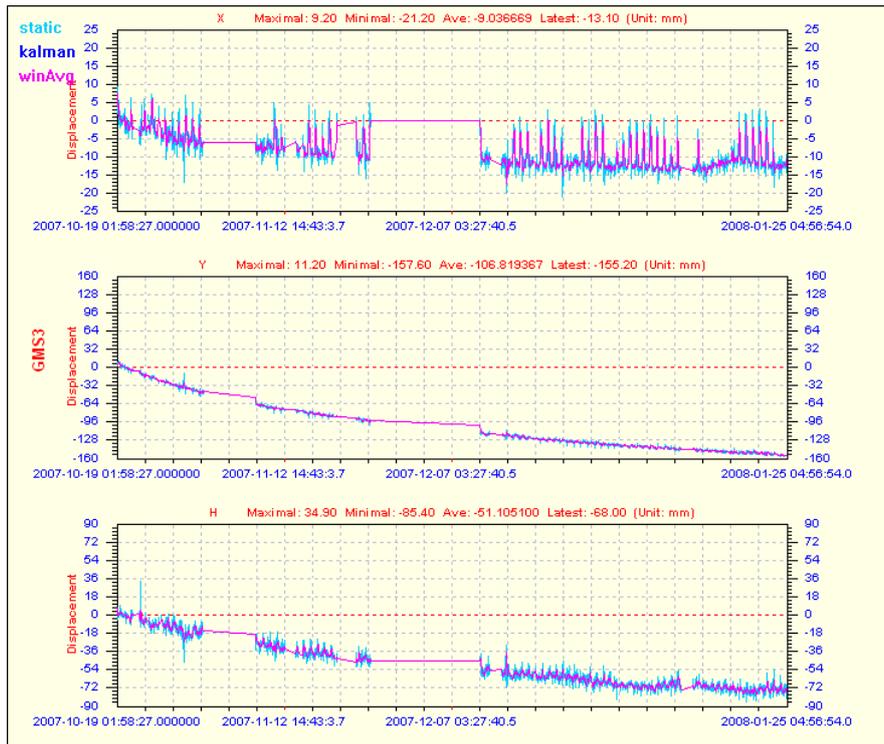


圖 3.12 道路邊坡自動化監測系統 (第三號天線 2007/10/19~2008/1/25)

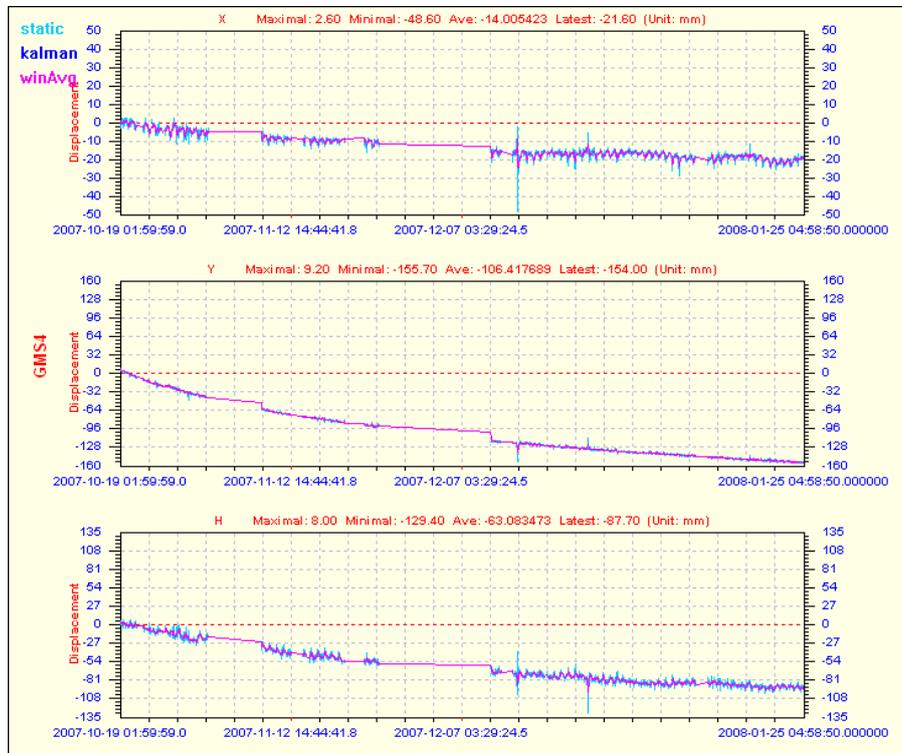


圖 3.13 道路邊坡自動化監測系統 (第四號天線 2007/10/19~2008/1/25)

為了確認 GPS 固定站是否有移動，將 2007 年 10 月至 2008 年 2 月，每月 GPS 基站天線所接收的全球定位系統資料，各取七天觀測資料，分別以內政部地政司國土測繪中心之嘉義縣竹崎 e-GPS 固定站為基準進行基線運算（本站約距離實驗區 13.4 公里）。由上述五個月數據發現基站水平坐標差約 1 公分，因此視為誤差範圍內，求其平均值作為基站之坐標如表 3-6 所示。

表 3-6 每月取七天的坐標平均值

日期	N 座標 (m)	E 座標 (m)	H 高程 (m)
2007/10	2591861.401	213379.664	775.014
2007/11	2591861.407	213379.658	775.014
2007/12	2591861.408	213379.668	775.023
2008/01	2591861.434	213379.645	775.018
2008/02	2591861.428	213379.65	775.027
平均值	2591861.416	213379.657	775.019
標準差	0.013	0.009	0.005

由於邊坡地滑常發生在暴雨過後，故邊坡地滑與降雨有某種型式的關聯。但除了暴雨之外，引發邊坡破壞還需要某些臨前水文條件。前期降雨能讓邊坡表層充滿水分，使得水能在邊坡中更容易流動。亦即，土壤表層需要先飽和使得隨後的暴雨能啟動邊坡破壞的機制。故蒐集 2007 年至 2008 年颱風期間阿里山降雨情況，如表 3-7 所示。圖 3.14 所示為時間 2007 年 10 月至 2008 年 2 月的地滑速度與雨量的關係，其滑動速度之值是以 6 天的資料擬合得來，為能更加表示地滑之顯著性，以每 6 天的位移量為單位（cm/6 天）。GPS1、GPS2、GPS3、GPS4 是以東西方向的滑動較為嚴重，後三者的最大之向西地滑速度約每月 10 cm，其中南北向和高程之變化量不大，因此僅選擇東西方向進行分析與探討。

表 3-7 2007~2008 年颱風於阿里山地區帶來之降雨量統計表

颱風名稱	侵襲時間	累積雨量(mm)	強度
帕布	2007/8/6~8/8	31	輕
梧提	2007/8/8~8/9	21	輕
聖帕	2007/8/16~8/19	654.7	強
韋帕	2007/9/17~9/19	302	中
柯羅莎	2007/10/4~10/7	1093	強

圖 3.16 與圖 3.17 為其滑動速度以 cm/6 天為單位，亦加入 6 天累積的雨量一併呈現比較，2007 年 10 月 4 日至 7 日秋颱柯羅莎所帶來的累積雨量為 1,093mm，其他平時於年底前僅四次些許降雨量，相對比較影響不顯著。其滑動速度若為”負值”，表示向西滑動，若為”正值”，則反之，由圖中可得知，於颱風侵襲其降雨量暴增的同時，滑動速度明顯地最快，當雨量停歇，滑動速度漸漸緩和下來。此外由圖 3.16 和圖 3.17 所示，其滑動速度呈現一拋物線的趨勢，將其各點進行二元一次方程式之擬合，結果如圖 3.18 和圖 3.19 所示。如圖天線三及天線四擬合趨勢線之 R 平方值皆高達 0.9，表示此段期間的滑動速度有此趨勢---豪大降雨量後，此區域之地滑速度呈現以時間為變數之一元二次方程式的緩降數學關係，天線三、及天線四之擬合方程式相似度非常高，表示他們滑動的速度及走向是相同的。柯羅莎颱風降雨結束後天線三與天線四最大移動速度為 2.4 公分/6 天與 2.5 公分/6 天，且降雨過後 74 天，GPS3 與 GPS4 位移速度同時趨於緩和。

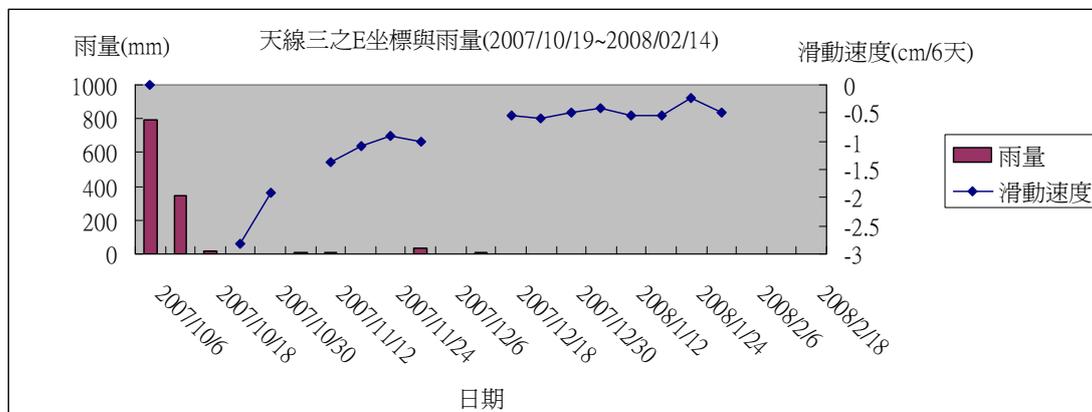


圖 3.16 天線三之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)

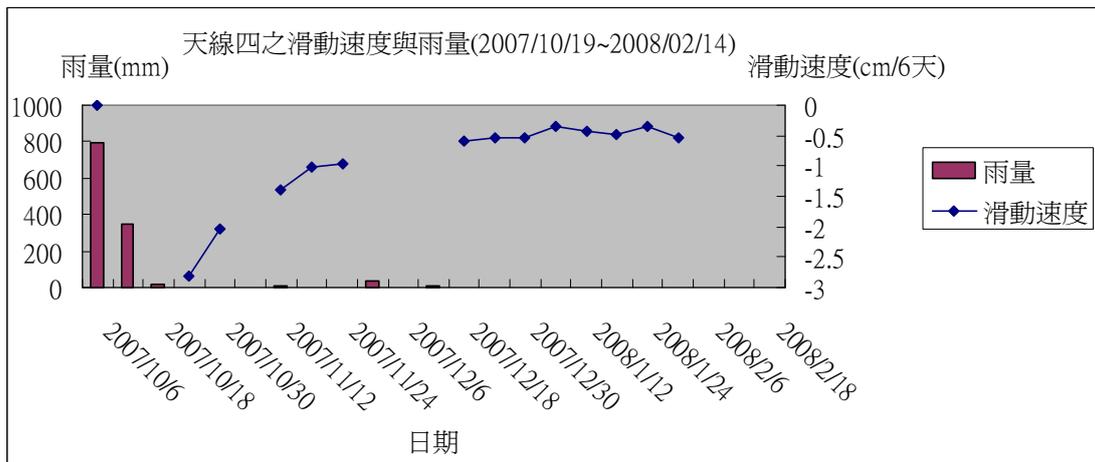


圖 3.17 天線四之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)

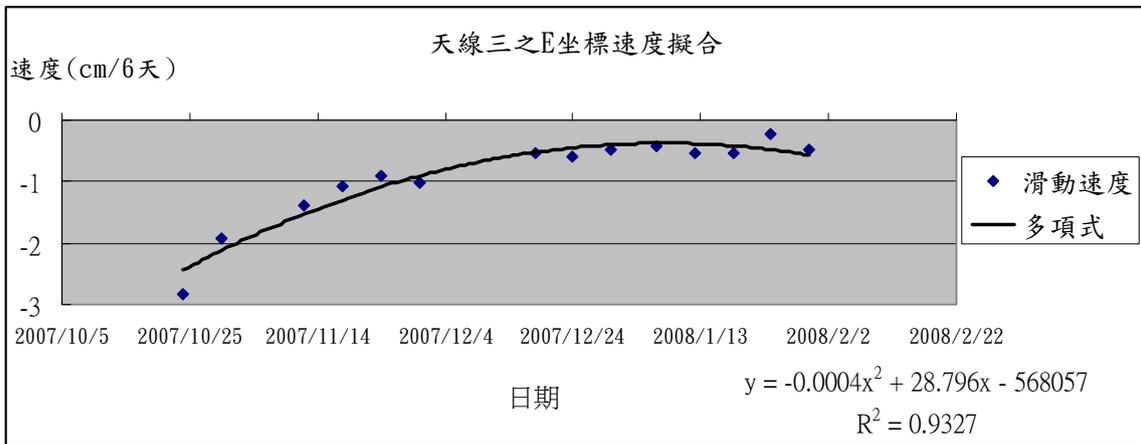


圖 3.18 天線三之 E 坐標滑動速度擬合

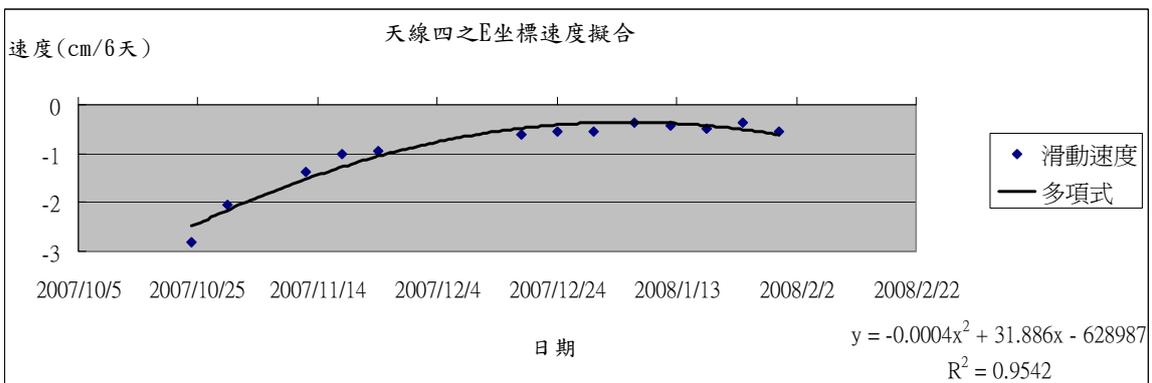


圖 3.19 天線四之 E 坐標滑動速度擬合

3.4 緊急通報系統與防災應變系統開發成果

3.4.1 系統首頁

前期計畫導入 Google Earth 3D 展示平台，系統主畫面以 3D 立體衛星影像圖做為底圖，讓使用者能清楚的了解目前阿里山公路五彎仔段的儀器及其配置，Google Earth 3D 展示平台提供全方位 Web-GIS 展示介面，使用者可調整圖台之各種視角及方位角，取得最佳之展示畫面。

系統主畫面的左方為各項系統展示功能操作介面，使用者點選展示功能按鈕，便可以開啟 GPS 清單或其他展示資訊，使用者亦可直接點選天線或儀器之圖示，可直接開啟天線或儀器之量測資訊，系統主畫面規劃如圖 3.20 所示，各項 GPS 量測資訊之展示功能說明如後：



圖 3.20 系統主畫面開發成果

3.4.2 GPS 即時資料展示

前期計畫架設之 GPS 天線共有 8 組，系統主畫面以顯眼圖示呈現各 GPS 天線監測點位之分佈，點選展示平台左方「GPS」功能可展開

各天線編號清單，點選天線名稱或展示平台之 GPS 天線圖示，系統會以該天線為中心顯示地圖，同時可得到該 GPS 的 E 方向、N 方向、及高程等三軸位移滑動的分量資訊，如圖 3.21 所示。

另一方面，系統依現地資料接收的頻率定時自動更新畫面所呈現之資料。

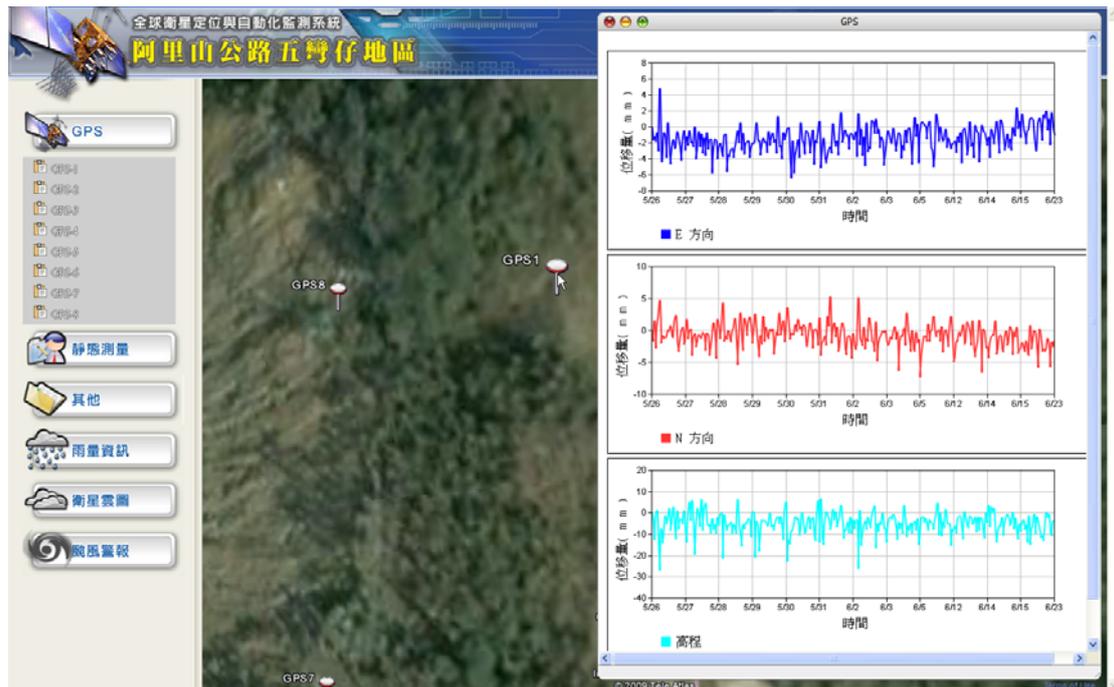


圖 3.21 GPS 展示開發成果

3.4.3 靜態測量資訊展示

前期計畫進行四次現地靜態測量作業，歷次靜態測量成果皆呈現於展示平台上。前期計畫靜態測量共有 9 個點位，分布於第二彎（點號 S2-1~S2-3）、第四彎（點號 S4-1~S4-3）及第六彎（點號 S6-1~S6-3），其中 S4-1、S4-3、S6-1、S6-2 四個監測點與 2008 年計畫靜態測量點位相同，前期量測成果可與本計畫量測成果進行分析比較。

系統主畫面以顯眼圖示呈現各 GPS 靜態測量監測點位之分佈，點選展示平台左方「靜態測量」功能可展開各靜態測量編號清單，點選

靜態測量編號或展示平台之靜態測量天線圖示，系統會以該靜態測量點位為中心顯示地圖，同時可得到該點位的 X 坐標、Y 坐標、及高程等量測成果，如該點位有前期量測成果，則除顯示量測資訊外，並以點位分布圖方式顯示不同時期之量測成果，如圖 3.22 所示。

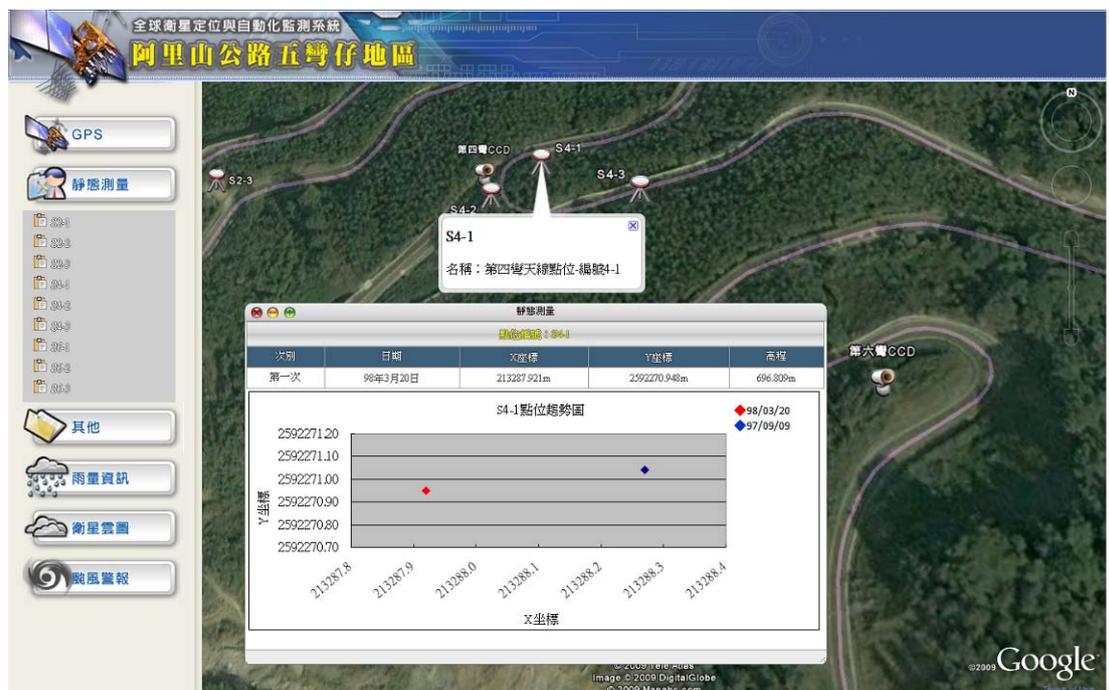


圖 3.22 靜態測量展示開發成果

3.4.4 雨量資料展示

1. 鄰近中央氣象局雨量站

本計畫透過 Web Services 取得中央氣象局提供之雨量站即時雨量資訊，篩選距計畫區最近之三個雨量站，分別為嘉義縣阿里山鄉瀨頭站、嘉義縣番路鄉大湖站及龍美站，點選展示平台左方「雨量資訊」，「鄰近氣象局雨量站」功能可開啟鄰近雨量站雨量資訊視窗（圖 3.23），顯示內容包含站名、時雨量、日雨量及更新時間等資訊。



圖 3.23 鄰近氣象局雨量站雨量資訊展示

2. 現地雨量資訊

前期計畫於資料接收中心前架設一自計式雨量計，記錄即時之雨量資訊，本系統將加值處理後的雨量資料展示於網頁上，點選展示平台左方「雨量資訊」「雨量組體圖」功能或點選展示平台之雨量計圖示，系統會以該雨量計點位為中心顯示地圖，並開啟雨量組體圖視窗顯示時雨量及有效累積雨量的最新數據，可得到二十四小時的降雨組體圖資訊，如圖 3.24 所示。

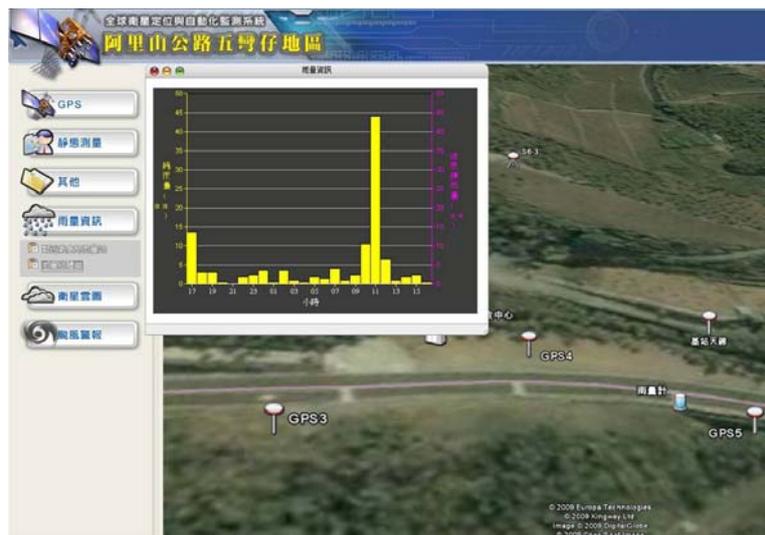


圖 3.24 雨量組體圖展示畫面

3.5 監測系統架構提升

3.5.1 未來研究方向

未來可行之研究方向主要分以下四部分：

1. GPS 長期監測地滑系統若要達到即時監測，可將移動的時間縮短，並利用取移動平均及依照管理基準值發撰寫佈警報程式，可即時得知現地滑動的情形。
2. 可由 GPS 後續監測地滑資料，將本研究所訂定的 GPS 長期監測地滑管理基準值修正，且可將影響地滑的因素，如：地下水與降雨量等，與 GPS 監測地滑資料一併考慮，完善的擬定出地滑警報系統。
3. 將現地所架設的 GPS 監測儀器所接收的衛星資料定期與距離最近之衛星追縱站解算，求得實際的坐標，可作為現地進行大範圍快速靜態測量的參考點，使得欲求點與參考點距離接近，增加快速靜態測量的準確性。
4. 於滑動區域內可多架設幾台 GPS 監測儀器，更可準確的掌握出大範圍滑動區內地滑的情形及趨勢。

一機多天線由於先天上的限制，無法每分鐘即時解算移動站的位移量，未來建議改用多機多天線 GPS，針對該地區進行崩塌地變化監測，建置邊坡崩塌監測系統，以利防汛期間即時掌握崩塌地活動狀況。可以規劃建置相關監測設備，包含攝影機及地表變形觀測相關儀器設備，並包含上述設備之監測資料記錄、儲存、傳輸與展示系統。依據前期研究成果，在新的第四彎與第六彎滑動面上埋設 GPS 與地表位移計，並在有明顯裂縫且可能持續位移地表位移計，詳細監測儀器數量如表 3-8 所示，儀器配置圖如圖 3.25 所示。其中全球衛星定位坡地變形監測系統 1 組。包含全球衛星定位系統接收基站 1 台，全球衛星定位系統移動接收站 6 台。即時解算坐標精度可達 3 公分以內，解算速度每 3 秒 1 筆（含）以上。

表 3-8 觀測儀器數量及說明

儀器名稱	數量	儀器功效
CCD 攝影機	2 組	觀測當地坡面狀況，並即時回傳當地影像
高壓探照燈	2 組	輔助 CCD 攝影機夜間觀測
遙控攝影機	1 組	可於前進指揮所中進行遙控，以利瞭解現場狀況
地表位移計	1 組	監測地表裂隙變化，提供緊急疏散參考
全球衛星定位坡地變形監測系統	1 組 (6 個)	透過全球衛星定位系統監測坡面空間 3 維變異情形，提供緊急疏散參考



圖 3.25 儀器配置圖

3.5.2 儀器規劃

1. CCD 攝影機(圖 3.26)

- (1) CCD 鏡頭，具光學變焦功能達 22x (含) 以上。
- (2) 可搭配室外型專用防護罩。
- (3) 使用標準 BNC-BNC 同軸訊號線。
- (4) 具夜視功能。
- (5) 適用於現場惡劣環境。
- (6) 最低照度 1.5 Lux (含) 以下。



圖 3.26 CCD 攝影機

2. 遙控攝影機：1 台(圖 3.27)

- (1) CCD 鏡頭，具光學變焦功能達 18x (含) 以上。
- (2) 可搭配室外型專用防護罩與戶外使用。
- (3) 解析度 704×480 畫素時，每秒可傳送 30 幅影像 (NTSC)。
- (4) 水平旋轉範圍 320 度，垂直旋轉範圍 90 度。
- (5) 支援全雙工模式。
- (6) 最低照度 1.5 Lux (含) 以下。
- (7) 具備 PTZ 排隊功能控制。



圖 3.27 加裝保護罩之遙控攝影機

3. 伸縮計：10 組(圖 3.28)

- (1)磁桿式量測範圍：0~750mm。
- (2)精度：1mm。
- (3)拉線式量測範圍：0~6,000mm。
- (4)精度：1mm。



圖 3.28 地表位移計

4. 多機多天線全球衛星定位坡地變形監測系統

- (1)全球衛星定位系統接收基站：1 台。
- (2)全球衛星定位系統移動接收站：6 台。
- (3)即時解算坐標精度可達 3 公分以內。
- (4)解算速度：每 3 秒 1 筆 (含) 以上。

第四章 交通道路及橋墩遭受土石流衝擊之對策研究

過去相關研究對於跨越土石流溪流之跨河橋梁，僅提出相關因應土石流災害之橋梁設計準則及設計案例，並建議在河川上游處，設立相關土石流防治工法作為屏障。但對於如何強化結構設計及選用加勁材料等橋梁主體改善對策則並未深入探討。

鑒於此，本計畫透過數值模擬分析工具，深入瞭解道路及橋梁橋墩受土石流衝擊破壞成因及規模程度，進而提出未來強化結構設計及加勁材料選用等改善對策。整體工作執行內容係由近年重大土石流災害紀錄收集分析出發，選定道路及橋墩迭遭土石流沖毀及洪水沖刷之研究示範區，進行水文、地文及設施結構物資料收集分析。其次進行跨河構造物對土石流流動過程之影響模擬分析，以及道路及橋墩受土石流衝擊力影響之形變模擬分析，深入探討土石流與洪水流動過程與道路及橋墩結構之互制現象。最後研擬道路及橋墩結構之加勁強化改善對策及緊急處理對策，據以作為未來相關單位設計山區跨河道路及橋梁時之參考。

4.1 研擬山區跨河道路橋梁結構之加勁強化改善對策

4.1.1 橋梁及橋墩之檢核分析說明

從前三年進行之橋梁檢核分析中可得知，國內目前公路橋梁之設計準則主要以「公路橋梁設計規範」(2009)進行設計，但經本計畫於分析中加入土石流對橋梁產生之衝擊力作用，其分析結果之安全性明顯不足。因此，建議未來於山區公路橋梁之設計除應將土石產生之衝擊力納入規劃設計中，其衝擊力之估算亦需符合現地之實際情況，才能真正考慮到土石流作用對橋墩基礎之影響。將前三年計畫之整體分析流程規劃如圖 4.1 所示，以提供橋梁設計工程師參考。

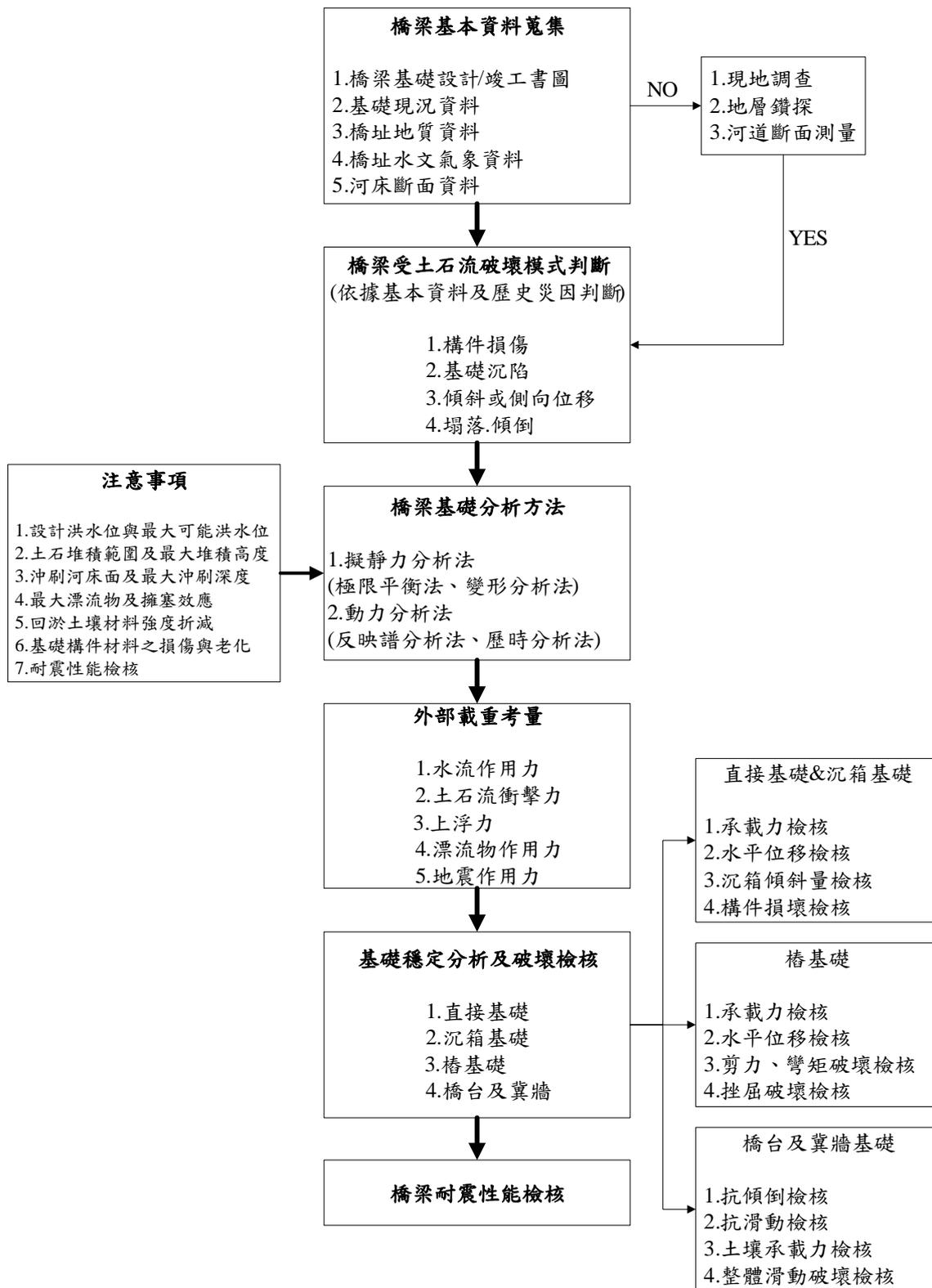


圖 4.1 橋基受沖刷或撞擊之穩定性分析程序

1. 資料蒐集與調查

資料蒐集與調查目的，旨在取得跨河橋基保護和結構補強設計前之基本初始資料，以作為工程師決策判斷和設計參考之用。其中，資料蒐集項目應包含橋梁原始設計、歷史災害、河川治理等基本背景資料；調查項目則應包含橋梁現況、橋址流域河床地質、橋址流域河床斷面、橋梁相關連結構物等。

(1) 基本資料蒐集

橋梁工程師於設計時，通常具有時效性，大都需於洪汛期來臨前即完成橋基保護和結構補強工程，因此為能節省設計人員之工作時程和有效掌握洪汛前之橋基保護或補強時機，將應蒐集之資料來源和可行調查方式說明如表 4-1 以供參考。

(2) 橋基沖刷現況調查與檢測

橋基現況調查與檢測成果(所得之刷蝕情況)為橋基保護及結構補強評估和設計決策之重要參考指標。颱風、豪大雨或土石流災後，應辦理橋梁安全性調查和檢測工作。檢測作業方式應經橋梁主管機關認可方能進行，但涉及專業技術時，則須由橋梁主管單位授權委託有經驗之專業廠商執行之。其作業方式大致可區分為：1.基樁長度檢測 2.基樁完整性檢測 3.沖刷檢測和 4.非破壞性檢測等。至於，檢測後之橋基現況，則應依相關規範或作業要點完成橋梁耐洪能力、耐震能力和承載能力等項目的評估。

表 4-1 橋基保護或補強設計之基本資料來源和調查方式

資料型態	項目	來源
橋梁原始資料	1. 橋梁設計規劃資料	原橋梁設計單位或橋梁主管機關
	2. 橋梁設計(竣工)圖說	原橋梁設計單位或橋梁主管機關
	3. 地質鑽探(河床質)資料	原橋梁設計單位或橋梁主管機關
歷史災害資料	1. 橋址災害雨量資訊 (1)洪汛時間 (2)洪峰流量 (3)洪流歷線 (4)日雨量、時雨量等	1. 原橋梁設計單位或橋梁主管機關 2. 有水位流量者可向水利主管機關或氣象主管機關
	2. 受損災況和人員傷亡	1. 原橋梁設計單位或橋梁主管機關 2. 國家災害防救科技中心 3. 各地區之消防局 4. 各地區之鄉鎮公所
	3. 破壞態樣和致災原因	1. 原橋梁設計單位或橋梁主管機關 2. 國家災害防救科技中心
河川治理資料	1. 流域基本資料	水利主管機關
	2. 流域特性	水利主管機關
	3. 水文資料(雨量、水位、含砂量、地下水、河系上游氣象雨量等)	水利主管機關
	4. 流量推估	水利主管機關
	5. 橋址關聯結構	1. 原橋梁設計單位或橋梁主管機關 2. 水利主管機關
調查型態	項目	方法
基本資料 (不足或不可靠時)	1. 地質(河床質)調查	委由專業團隊調查
	2. 地形	委由專業團隊調查
	3. 河床斷面	委由專業團隊調查
	4. 橋址災害雨量資訊	委由專業團隊調查
沖刷現況	1. 檢測作業	委由專業團隊調查
	2. 沖刷初步評估	委由專業團隊調查
橋址關聯結構 (無資料時)	1. 種類、型式、尺寸...等 2. 高程、斷面等測量	委由專業團隊調查

(3)現地調查

當基本資料不足或不完整時，應依表 4-1 方式辦理下列調查工作，茲說明如下：

- a. 地質(河床質)調查：橋梁穩定性與橋址地質(河床質)條件具有密切關係，於基礎保護與結構補強設計前，必須先瞭解其地質狀況。若無充足可靠之地質資料時，應先辦理工程地質調查、地質鑽探及試驗，確認地質特性及基礎承載能力。同時，如附近既有設施有具體地質資料，得參照該資料辦理設計。
- b. 地形調查：橋基保護及結構補強設計，須針對修復橋址地形有充分的瞭解，當相關單位無考據資料時，應辦理下列地形調查：流域地文、地形地勢、河床斷面、沖積材料特性等。
- c. 橋梁關連結構物調查：橋梁關連構造物包括防洪構造物、灌溉排水構造物及跨/攔河構造物等。橋基保護及補強設計前，應辦理修復橋址之關連構造物調查，其內容包括構造物種類、構造物平面位置、構造物斷面型式及大小尺寸、構造物縱斷高程、長度及河川構造物上、下游之河道斷面等。

2. 河川特性及沖刷機制評估

橋梁基礎保護和結構補強設計時，必須充分瞭解橋址河川特性及破壞機制以利水文水理演算，其橋梁結構破壞模式評估分析，進而針對橋基破壞機制提出綜合性評估和提供最安全且經濟之設計。此外，有鑑於橋梁工程師大都對欲保護或補強橋基之河川特性和橋基破壞機制評估未有深入瞭解，故為使設計程序有效進行，設計程序中涉及水文水理演算部分，仍建議以水利署或水利相關單位之歷史資料為參考依據，但當資料不足或分析條件不足時仍建議委由專業機關進行評估。

3. 橋基受沖刷之穩定分析

橋梁基礎因受沖刷作用而裸露或土石流衝擊作用時，可能發生橋梁傾倒或崩塌災害。因此，橋基穩定分析時應著重於其承載能力、耐震能力和其他相關項目的評估，以作為基礎保護工或結構補強之參考依據。然由於橋基之穩定性分析細節眾多，橋基之耐震性能、檢核評估項目亦須參考現行「公路橋梁設計規範」(2009)、「修訂公路橋梁耐震設計規範」(2009)、「建築物基礎構造設計規範」(2001)規定辦理之。

4.1.2 橋梁及橋墩破壞案例說明

本章節主要介紹橋梁及橋墩的各種之災害破壞型態。

1. 因漂流木攻擊，使橋墩、橋面版損毀：

邊坡滑動造成漂流木乘洪流或土石流而下，由於浮力的作用會使漂流木位於流體的最上層，隨著流體高度不同而攻擊橋墩甚至橋面版，然而伴隨流動速度所產生的能量將會破壞橋梁既有結構，若漂流木筆直撞向橋梁，由於受力面積最小，將產生強大的撞擊力；若漂流木橫向卡在橋墩，將使橋梁的受力面積增大而加速橋梁破壞。

圖 4.2 為台 28 線 30K+500 旗尾橋遭受漂流木攻擊，造成橋墩及橋面版損毀，橋基則未受洪水淘刷產生破壞。圖 4.3 為台 21 線 236K+650 四德橋部分橋柱及橋面版遭受漂流木攻擊而損毀，橋梁周圍可見淤砂及漂流木。



圖 4.2 台 28 線 30K+500 旗尾橋橋墩傾倒破壞



圖 4.3 台 21 線 236K+650 四德橋橋面落台

2. 因洪水沿山壁攻擊或河道漫流侵蝕，使橋台後方路基淘刷：

若橋台座落在水流的攻擊側，水流將會沿著山壁沖蝕橋台路基，導致其後方填方物淘空，造成落台而使道路中斷；若橋梁橫越寬廣的河谷，暴雨所帶來的龐大水流將會向橋台兩側的河階地漫流，沖蝕橋台路基而發生落台。

圖 4.4 為台 20 線 103K+360~103K+460 復興橋右岸橋台後方路基遭洪水淘空，造成右側橋台損壞一部分，橋面版流失交通因而中斷。圖 4.5 及圖 4.6 為台 21 線 235K+585 楠梓仙溪橋橋台因旗山溪河道漫流侵蝕兩岸河階地，造成左側橋台路基流失，以土石修築臨時土堤恢復交通。



圖 4.4 台 20 線 103K+360 復興橋橋台後方遭淘刷破壞



圖 4.5 台 21 線 235K+585 楠梓仙溪橋左側橋台後方河道漫流



圖 4.6 台 21 線 235K+585 楠梓仙溪橋左側橋台後方河道漫流

3. 土石流撞擊，土石淘刷破壞橋梁基礎：

若橋梁位於土石流流動區，土石流所產生強大的衝擊力將直接攻擊橋面版及橋墩，甚至刷深使基礎裸露，導致傾倒、滑動、損毀等破壞。圖 4.7 為橋墩受土石流巨礫撞擊破壞之實景。



圖 4.7 橋墩受土石流巨礫撞擊破壞之實景

4. 土石淤滿推移橋墩、橋面版：

若橋梁位於土石流堆積區，土石流所夾帶的驚人土石量將會使地面線提升數公尺甚至數十公尺，使橋梁淨高不足甚至跨越橋面版，龐大的土石量將推移橋墩及橋面版。

圖 4.8 及圖 4.9 為台 27 線 3K+480 新發大橋因左側土石流沖積扇，使土石淤滿擠壓主河道，使洪水攻擊右側橋台造成橋台損壞，使橋面版翻覆。



圖 4.8 台 27 線 3K+480 新發大橋土石淤滿擠壓主河道



圖 4.9 台 27 線 3K+480 新發大橋右側橋台翻覆

5. 主、支流匯流處產生漩渦和土石堆積：

暴雨使主流無法容納支流所帶來的龐大水量，如此水流被迫在匯流處打轉，形成漩渦，侵蝕周遭邊坡及山壁，支流所夾帶的土石也將堆積於此處。

圖 4.10 及圖 4.11 為台 20 線 95k+700 東莊橋因位於主、支流匯流處，暴雨造成溪水無法宣洩而在溪口產生漩渦，侵蝕周遭邊坡，橋梁沖毀。

桃芝颱風期間，台 21 線 98K+070 十八重溪橋因橋址右側支流所帶來之土石流，其產生的大型沖積扇造成土石堆積進而推擠橋面版，如圖 4.12 所示。



圖 4.10 台 20 線 95k+700 東莊橋位址



圖 4.11 主、支流匯流處產生漩渦侵蝕周遭邊坡



圖 4.12 台 21 線 98K+070 十八重溪橋土石堆積推擠橋面版

6. 洪水直接淘刷破壞基礎：

暴雨時所產生的驚人流量及流速將淘刷橋梁基礎的周圍土層，束縛力不足造成橋梁傾倒、滑動、承载力不足等破壞。

圖 4.13 為台 20 線 58K+100 甲仙大橋因洪水淘刷造成橋墩傾斜、橋面版呈 V 字型破壞。圖 4.14 為台 13 線 065 K+629 后豐大橋因洪水淘刷造成橋墩傾斜、橋面版落入溪中。



資料來源：公路總局二工處提供

圖 4.13 台 20 線 58K+100 甲仙大橋橋墩傾斜破壞



資料來源：網路搜尋

圖 4.14 台 13 線 065 K+629 后豐大橋橋墩傾斜破壞

7. 兩岸山壁土石滑動造成橋台損毀：

橋梁兩岸山壁因邊坡滑動而造成橋台滑動並有土石砸壞橋台及橋面版，使交通因而中斷。

圖 4.15 及圖 4.16 為台 20 線 87K+300 塔拉拉魯芙溪橋因山壁土石滑動造成橋台損毀。



圖 4.15 台 20 線 87K+300 塔拉拉魯芙溪橋左側橋台損毀



圖 4.16 台 20 線 87K+300 塔拉拉魯芙溪橋左側橋台損毀

4.1.3 橋梁及橋墩之對策說明

由上述個案例及配合本研究計畫分析結果可得知，以下幾點結果：

1. 土石流衝擊力作用下橋面版受一水平推力且使橋柱頂與上部結構產生一額外彎矩，配合實際災害情況得知橋面版錯位破壞，忽略衝擊力效應所致，因此在梁底淨空時需加以評估土石流運動行為。
2. 橋柱底處所受最大彎曲力矩遠大於混凝土之開裂彎矩，混凝土有開裂破碎之可能，為避免鋼筋外露，宜加強鋼筋混凝土及鋼版圍繞工法補強。
3. 沉箱基礎在考慮土石流衝擊力作用下，底部土層垂直承載力仍為穩定狀態，但由於深基礎計算承載力時，覆土重量因素影響極大，所得之承載力亦頗大，橋梁設計時，不得過分相信所得之承載力，以免高估。
4. 沉箱基礎前承載力檢核結果為不穩定狀態，可能由於沉箱基礎受土石流衝擊力作用產生向後傾倒趨勢，旋轉中心下方土壤受擾，承載力下降。

由以上結果，可建議未來於土石流潛勢溪流區域改建或新建之跨河橋梁，除應進行水理分析外，皆需進行土石流撞擊之穩定性分析，以確保土石流作用力對橋梁結構本身影響最小。

然而，針對橋梁結構本身無論是補強、改建及新建，本研究依據分析結果提出加勁強化改善對策，說明如下。

1. 淨高加高：適用於改建或新建工程；其將橋梁淨高提高，使洪流及土石流無法推移或破壞橋面版。
2. 墩徑加寬：適用於補強、改建或新建工程；其將橋梁墩徑加寬，使橋梁自重增加，提升穩定性。
3. 跨距加大：適用於改建或新建工程；其將橋梁跨距加大，使座落於溪谷之落墩數減少，減少洪流及土石流對橋梁基礎的淘刷及衝擊。
4. 基礎加深：適用於改建或新建工程；其於興建橋梁以群樁基礎或大型沉箱基礎，增加橋梁抗淘刷之能力。
5. 鋼版保護：適用於補強工程；以鋼版保護橋墩及橋柱，降低土石所帶來之衝擊。
6. 於橋柱和橋面版接合處增設卡樁：莫拉克風災將山區大量漂流木帶往下游，因漂流木浮於水面以至於卡在橋面版，其推力使得橋面版錯位或掉落而造成道路中斷，若能增加橋面版承受側向力的能力，將有效提高其安全性，如圖 4.17 所示。

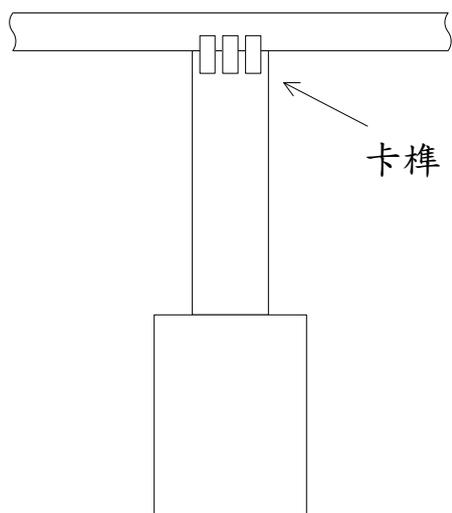


圖 4.17 橋柱和橋面版接合處增設卡榫示意圖

7. 橋台往河道兩岸延伸興建：將橋台往兩側方向延伸興建，拉長橋台與河岸之距離，如此就算遭受洪水侵蝕，仍有周遭土壤可以阻擋，不至於直接受到攻擊橋基而產生落台，示意圖如圖 4.18 所示。

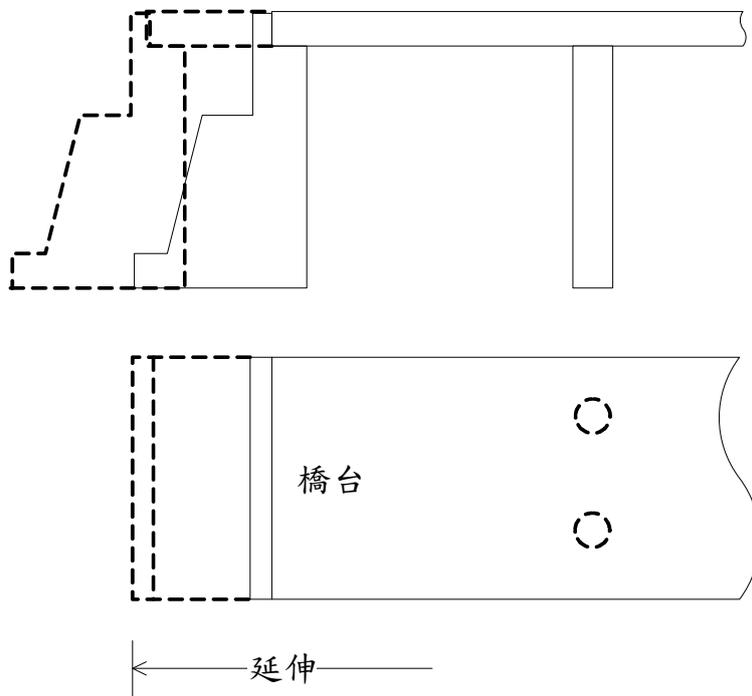


圖 4.18 橋台往河道兩岸延伸示意圖

8. 假橋墩保護工法：在降低致災因子後，如果橋趾結構還有破壞疑慮，或是橋址有遭受土石流災害侵襲撞擊，甚至基礎已經損壞需要補強時，則須以結構保護與補強工法對橋梁基礎或墩柱結構本身進行保護或增加穩定性、與承載能力。於原橋墩上游側加設一防沖刷橋墩塊，用以保護原有橋墩並且鞏固橋墩下方土壤。本研究原預計以此工法進行數值模擬分析，但由於主結構體與假橋墩之間距，目前尚未有學者提出相關之研究成果，然而若要以此工法進行數值模擬分析，其結果未必與實際情況吻合，其必須額外進行大型的室內水工模型試驗，以作為模擬分析之驗證。因此，此部分可提供未來進行各種相關試驗及研究之參考。

4.2 山區跨河道路遭受土石流衝擊之處理對策

臺灣山區佔地遼闊，國家民生經濟發展與山坡地之開發息息相關，因此山區道路為提昇國家總體競爭力之必要建設。然而山區道路之興建對其沿線之環境生態平衡極具負面影響，由於臺灣環境因素複雜，地質地形條件惡劣，極易導致水土流失災害之發生，而隨著山區道路建設完成後之大量區域開發，對於道路沿線之水土失衡更屬雪上加霜。近年來受全球氣候變遷之影響豪大雨頻頻發生，而 921 地震亦使原本破碎的山區地質更加脆弱，使得山區道路幾近逢雨成災，坍方落石不斷，且災情愈益擴大，不僅造成國家嚴重經濟損失，對於當地民生之安定與交通之安全亦產生極為不良之影響。(吳淵珣等，2006)

山區公路及林道的開發，除可提供觀光遊憩亦可作為災害搶救之路線，因此公路及林道的設計，應避開地質敏感區域，並考量施工造成生態的衝擊，以降低人類活動對自然造成之傷害。不良選線會造成當地珍貴自然資源受人類活動而損害，通過地質環境較差的山區，更因工程的開發行為，導致原本穩定性較差的邊坡，產生破壞狀況。

4.2.1 山區道路邊坡之處理對策彙整

本研究依國內過去道路路基及道路邊坡致災原因研判，歸納跨河道路處理對策之選擇可分為 a.減少土砂災害 b.保護 c.迴避(如圖 4.19 所示)；其他各工法說明及注意事項則說明如下。

於山區公路災受土石流破壞之機制，可大致分為土石流潛勢溪流與公路「直交」及「平行」兩種不同模式，若土石流潛勢溪流與公路為直交銜接，其破壞模式為土石流直接撞擊道路路面、道路路基及間接使道路邊坡產生滑動破壞，因此，對於直交銜接的處理對策主要以「攔阻工法」為主，包括攔砂壩、潛壩等。若土石流潛勢溪流與公路為平行，其破壞模式為土石流流動過程對道路路基及護坡工程進行撞擊、磨損及淘刷行為，因此而造成路基淘空現象而破壞，因此，對於平行的處理對策主要以「迴避工法」為主，包括溪底隧道、橋梁工程等。

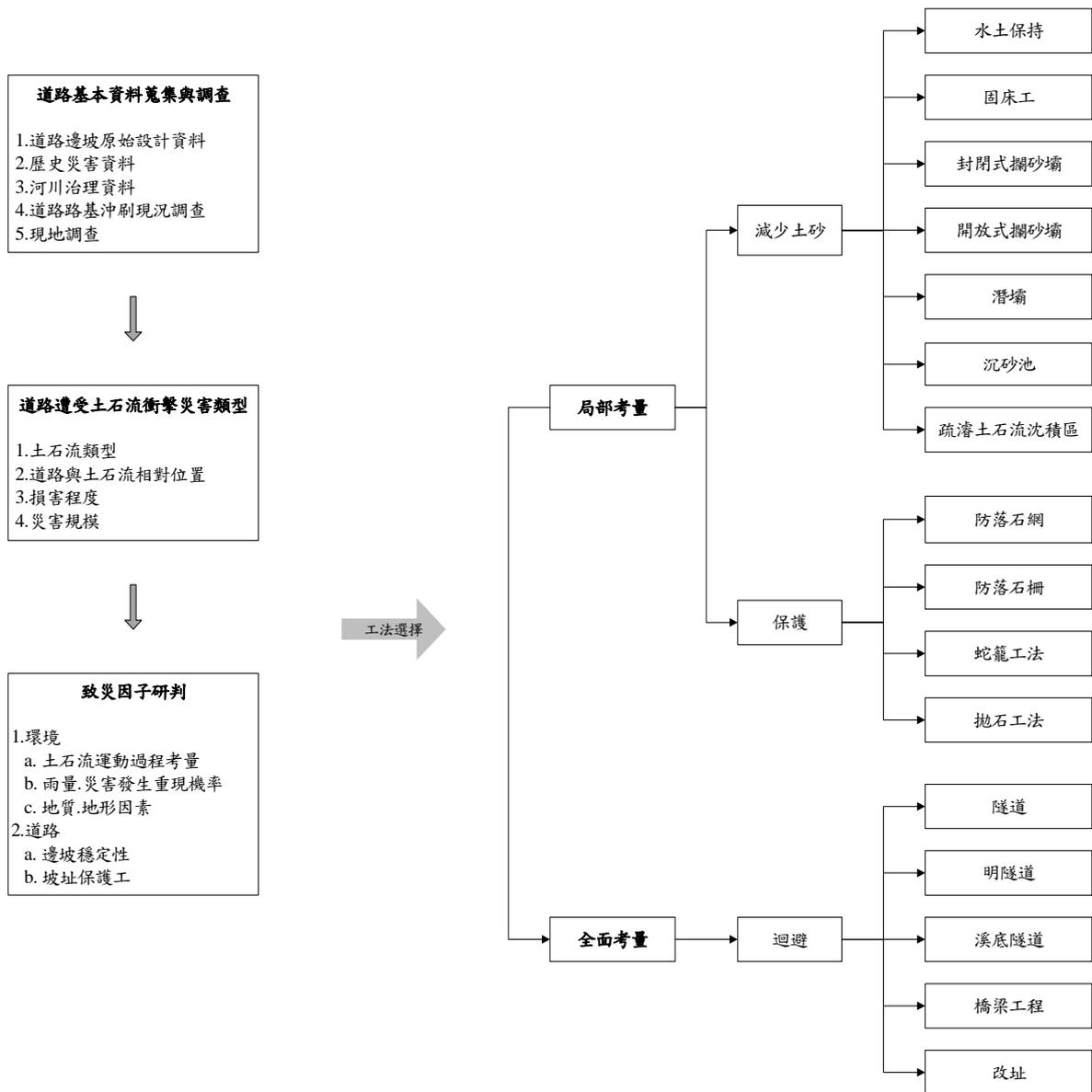


圖 4.19 道路邊坡及道路路基各工法之對策選擇

山區道路路基及道路邊坡災害發生後常因各項主、客觀因素之影響無法迅速加以完善處理。然而山區道路交通為當地民眾生活之所繫亦悠關使用民眾之安全，因此，當道路邊坡災害發生後，在確定整治方案之前，應執行緊急搶修或長期整治以維持當地基本交通與安全需

求，各相關工法詳細說明如下。並將道路路基及道路邊坡受土石流衝擊破壞之各相關工法說明、適用範圍、注意事項等彙整於表 4-2。

1. 防落石網/防落石柵：於隧道之前後經常有小規模之落石，亦可於邊坡設置平面或立式防落石網或，可將落石擋住或使其沿防落網掉至坡底，以保護用路人之安全。若於逆向陡坡處因常有落石掉落之現象，可設置如漁網狀之防落石網，使其落石不會掉落至公路上。
2. 蛇籠/石籠工法：蛇籠工法一般已普遍使用於橋基保護、堤防護坡與公路邊坡穩定，因此工法易與其它橋基保護工法搭配且穩定性佳，惟亦遭流動之卵礫石撞擊磨損，故適用於砂質河川。
3. 隧道工程：於台 8 線 36 公里處之谷關隧道即為最好之案例，當道路經過一順向坡崩塌地時，亦可以隧道工程之方式避開潛在的危險區域，並可於隧道上方以噴凝土之方式穩定其邊坡。
4. 明隧道：於台 8 線之明隧道即為最好之案例，當道路須經過於大型崩塌地之危險區域，以明隧道之方式除可方便道路直接穿越危險區域，亦可避免因崩塌而造成往後道路中斷之問題。
5. 溪底隧道：於苗栗縣 140 之火炎山隧道即為最好之案例，當公路需經過大規模之土石流沖積扇時，以可採用此工法，讓土石經由隧道上方通過，以達到人車之安全。
6. 鋼便橋：當橋梁受洪水淘刷破壞時，若斷面過大或是水流量過多，可採用鋼便橋進行道路搶通，跨距可達 20m，且可承受 20~25 噸之載重，通水斷面大，施工速度快，可重複使用。
7. 鋼托架橋：下邊坡大範圍坍塌導致路基嚴重流失，若要修復路基勢必自河床向上修築路基或直接開挖山壁，花費甚大且耗時。此時可採用鋼托架橋工法，其將岩錨每隔一定的距離打入山壁做為支撐，以此作為路基進行道路的鋪設，可有效解決填築路基的缺點，避免大量的挖填土方，施工速度快、安全、且節省經費。

表 4-2 道路路基及道路邊坡受土石流衝擊破壞之因應對策說明

對策分類	工法名稱	適用範圍	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
減少土砂	水土保持	1.軟弱土層造成圓弧破壞處。 2.順向坡整面滑落處。 3.道路之上、下邊坡易產生崩塌者。	1.針對上游集水區進行水土復育，使土石不輕易受水流沖蝕而破壞。	1.環境復育過程耗時，短期未能發揮顯著效果。 2.局部區域開發程度受限，降低土地使用率。	1.各植生護坡工程 2.坡頂各式排水工
減少土砂	固床工	1.小峽谷或溝渠之中。 2.河岸崩塌地區。 3.縱向沖蝕河段。 4.土石流地區。	1.降低水流速度，減少河床及河岸受侵蝕的程度，穩固河岸。	1.造成太高或過強之水流，造成生物無法順利於上、下游間移動	1.封閉式攔砂壩 2.開放式攔砂壩
減少土砂	封閉式攔砂壩	1.溪谷中上游。 2.河岸崩塌地區。 3.淤砂嚴重河段。 4.縱向沖蝕河段。 5.土石流地區。	1.攔阻或調節河床砂石，穩定河床防止縱向侵蝕，保護側岸。 2.轉化土砂搬運形式，抑止土石流，減少災害；且當壩體上游淤滿之後，淤砂坡度較原溪床坡度為緩和，可有效地減緩土石流之流速，降低其撞擊之力量。	1.水頭落差甚大，使得溪流環境丕變，嚴重衝擊水生生物族群的生存。 2.容易淤滿，無法在容納後續湧入之大量土石而造成溢流。	1.固床工 2.開放式攔砂壩
減少土砂	開放式攔砂壩	1.溪谷中上游。 2.河岸崩塌地區。 3.淤砂嚴重河段。 4.縱向沖蝕河段。 5.土石流地區。	1.可蓄積土石流所挾帶大量砂石，降低土石流總流出量。 2.轉化土砂搬運形式，使泥砂顆粒以個別搬運方式帶往下游，減少對壩址下游河床局	1.所蓄積土石不易清除。	1.固床工 2.封閉式攔砂壩

對策分類	工法名稱	適用範圍	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
			部之沖刷。 3.壩體受力面積較非透過性防砂壩小，所受土石流之衝擊力量亦小。		
減少土砂	潛壩	1.沖蝕地區如屬主支流合流處，應選定在合流點之下游處。 2.以保護構造物之基礎為目的者，應選定在構造物之下游處。 3.河床堆積嚴重地區之下游。 4.河岸崩塌地區 5.亂流河段 6.淤砂嚴重河段 7.縱向沖蝕河段	1.安定河道防止縱橫向侵蝕。 2.保護護岸等構造物之基礎。 3.通常考慮降低階段落差，以多段式跌水代替單一高落差，可降低土石流流動過程之速度與能量。	1.對環境之衝擊較大，需特別著重生態考量，通常需考慮魚道之保存及設置、設置魚類回游水道。	1.固床工 2.沉砂池
減少土砂	沉砂池	1.河川中下游。	1.減少土石下移、保護下游土地房舍及公共設施，攔截或沈積土石。 2.減少河川中下游之土砂災害，有助於收集非點的污染源及減少沉澱物質的散落，可改善河川。	1.入口處易堵塞而產生漫流。 2.池中水分若無及時排除，易孳生蚊蟲而破壞環境，日後之維護管理不易。	1.固床工 2.開放式攔砂壩
減少土砂	疏濬土石流	1.土石流淤積之範圍。	1.當路線須經過土石流淤積段時，應清理累積之土石，保	1.需週期性清理累積之土石。	--

對策分類	工法名稱	適用範圍	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
	沈積區		持水路之暢通，避免土石流沖壞路面。		
保護	防落石網	1.上邊坡土石崩落易造成用路人行車安全。	1.於土石易崩落之坡面設置防落石網，當石塊掉落時不易產生彈跳，不直接破壞道路路面，提升用路之安全性及使用年限。	1.需週期性清理累積之土石。	1.防落石柵
保護	防落石柵	1.上邊坡土石崩落易造成用路人行車安全。	1.於土石易崩落處上邊坡擋土牆上方設置防落石柵，使土石不至於直接崩落路面，提升用路之安全性與暢通性。	1.需週期性清理累積之土石。	1.防落石網
保護	蛇籠工法	1.道路坡趾保護。 2.卵礫石河床或砂質河床。	1.材料選擇可就地取材，利用工址附近既有之石料及植物等，若現地石材無法滿足穩定需求，則再考量外地輸入或以其他工法替代。 2.富於撓曲性，可憑藉其自重量而自動變位下沉。	1.蛇籠工易遭流動之卵礫石撞擊磨損。 2.側向侵蝕、跌水或水躍沖刷易導致蛇籠網的拉扯破壞及河床質的流失。	1.拋石工法
保護	拋石工法	1.道路坡趾保護。 2.沖蝕河床、或已受沖蝕之坡趾周邊範圍。	1.拋石工法易隨周邊外在條件而變位調整，可抑制河床下降。	1.局部施作雖可防止坡趾周邊沖刷，未施做區域反而易遭沖	1.蛇籠工法

對策分類	工法名稱	適用範圍	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
			2.石料間隙可供植物生長，增加石塊穩定性與環境相容性。	<p>蝕淘刷，進而擴及橋基處之拋石層，導致拋石崩塌流失與河床下降。</p> <p>2.不適用於河床窄深、坡陡流急之河川。</p>	
迴避	隧道	<p>1.軟弱土層造成圓弧破壞</p> <p>2.順向坡整面滑落</p> <p>3.邊坡易產生落石崩落處</p> <p>4.土石流通過之路段</p>	<p>1.當道路經過順向坡等經常產生邊坡災害處時，可興建隧道通過，避開可能崩坍之危險區域。</p> <p>2.縮短路線距離，降低工程經費。</p> <p>3.避免山坡開挖，降低環境破壞。</p>	<p>1.隧道施工工法之選擇影響工程經費。</p> <p>2.施工過程較複雜。</p> <p>3.施工工期較長。</p>	<p>1.防落石網</p> <p>2.防落石柵</p>
迴避	明隧道	1.道路上邊坡易產生落石崩落處。	1.易有土石崩落之路段，可興建明隧道通過，讓土石由隧道上方通過，提升行車安全性。	<p>1.明隧道需超過崩塌區域，避免崩塌之土石堆積於明隧道進出口，造成道路中斷。</p> <p>2.崩塌範圍影響工程經費。</p>	<p>1.防落石網</p> <p>2.防落石柵</p>
	溪底隧道	1.土石流通過及堆積之路段。	當路線須經過大規模土石流	1.溪底隧道需超過土	--

對策分類	工法名稱	適用範圍	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
迴避			沖積扇時，可興建溪底隧道，讓土石由隧道上方通過，提升安全性。	<p>石流堆積區域，避免土石堆積於溪底隧道進出口，造成道路中斷。</p> <p>2. 土石流堆積範圍影響工程經費。</p>	
迴避	橋梁工程	1. 土石流通過之轉彎路段。	1. 當路線須經過土石流流經之坑溝凹谷側時，可興建橋梁直接跨越，避開可能發生土石流之危險區域。	<p>1. 所需經費較高。</p> <p>2. 施工期較長。</p>	--
迴避	改址	<p>1. 河岸遭受洪水淘刷造成道路崩落。</p> <p>2. 軟弱土層造成圓弧破壞(大範圍)。</p> <p>3. 順向坡滑落。</p> <p>4. 土石流通過之路段。</p>	<p>1. 將行進路線改至對向河岸，避開原本易滑動之路段。</p> <p>2. 將行進路線往河谷上游處遷移，避開土石流流動段。</p> <p>3. 將動線改建至河道淤積側，避開原址之水流攻擊岸。</p>	<p>1. 整建工程費用較高，需進行中長期規劃與評估。</p> <p>2. 可能影響附近環境生態及民眾權益等問題，需審慎評估。</p> <p>3. 改線後之成效評估與經濟效益，皆需納入考量。</p>	<p>1. 隧道</p> <p>2. 明隧道</p> <p>3. 溪底隧道</p> <p>4. 橋梁工程</p>

4.3 山區跨河橋梁遭受土石流衝擊之處理對策

4.3.1 山區跨河橋梁遭受土石流衝擊損壞型態

土石災害是臺灣橋梁經常遭遇的災害型態，其因土石流產生之土石撞擊橋梁下部結構(含基礎)所造成結構損傷、變形或位移，尤其於河川上游土石流災害耗發區域，土石流攜帶的大量土石與砂礫，對橋梁基礎、橋墩、與橋台等橋址結構，除了直接撞擊產生之結構破壞外，土石材料阻塞河道造成水流或泥流漫流，也會間接造成橋梁上部結構受損與橋台鄰近邊坡崩塌或護岸潰堤等災害。

4.3.2 橋梁致災原因分析

綜合上述橋梁破壞形態和受土石災害情況，本研究依公路總局於莫拉克颱風後，針對其轄管 52 座破壞橋梁(李維峰等人，2009)所進行之致災原因研判，歸納跨河橋梁破壞之主要原因以洪氾沖刷和土石流撞擊為主，而其他破壞型態和致災原因則說明如下：

1. 邊坡崩塌：鄰近橋址邊坡因雨崩塌，橋墩、橋台等橋體結構因受崩壞土體撞擊，造成橋梁引道或橋台擋土設施傾覆、滑移甚至基礎流失而發生破壞。
2. 土石流撞擊、溢流：橋址上游集水區，因豪大雨引致嚴重邊坡崩塌，衍生土石流，土石推擠堆積造成橋梁通水斷面不足，致使巨石、土砂材料或漂流木等撞擊橋梁上、下部結構，甚至淤滿河道，產生溢流橋面板，導致橋梁結構損壞。
3. 過大洪峰流量：由於降雨量過大，造成超大洪峰流量，在洪峰流量通過橋梁時，因超高洪水位超過原來的橋梁通洪設計標準，造成過高水位不斷推擠橋面板，在水力持續作用下造成橋面板的傾斜，甚至發生橋梁破壞及跌落。
4. 橋址位於水路攻擊處：橋址位於河道彎曲處或攻擊角，導致橋梁基

礎、橋台、或引道因受水流攻擊而淘刷、流失損毀，該破壞類型亦常發生於主河道因洪氾或土石流阻塞而偏移，攻擊橋梁結構。

5. 洪氾破壞橋梁相關構造物：由於大雨造成超大洪峰流量，洪氾直接侵蝕河岸，沖刷臨近橋台邊坡或堤防坡腳；或因洪水夾帶大量土石於高灘地淤積，護岸或橋台受土石撞擊或溢流淹沒，導致潰堤與橋台擋土設施傾倒破壞、背填土流失。
6. 基礎掏刷：洪水沖刷河床，導致橋梁基礎裸露，衍生沈箱基礎傾覆或基樁承载力不足而導致橋梁傾倒破壞。

4.3.3 山區跨河橋梁遭受土石流衝擊之處理對策彙整

綜合上述說明之山區道路邊坡災害情況，本研究依國內過去跨河橋梁致災原因研判，歸納跨河橋梁處理對策之選擇可分為 a.減少土砂災害 b.保護 c.迴避/改建/新建(如圖 4.20 所示)，而其他各工法說明及注意事項則說明如下。

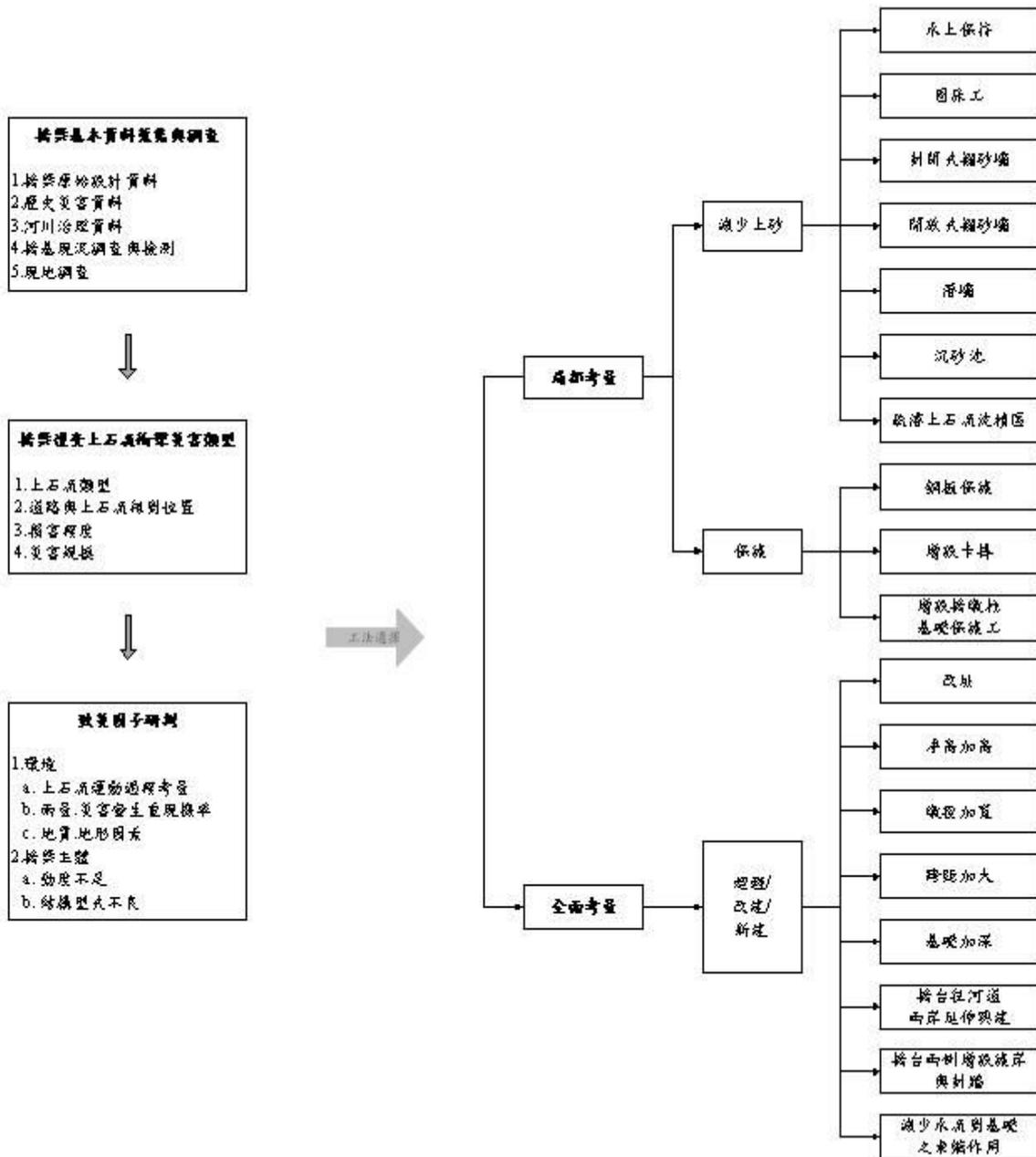


圖 4.20 橋梁結構各項工法之對策選擇

本研究團隊於莫拉克颱風後深入災區，從現地調查的過程中瞭解多數災害皆為複合式災害，以高雄甲仙鄉小林村為例，當颱風挾帶豐沛雨量使旗山溪溪水暴漲導致河道兩岸嚴重淘刷，再因獻渡山產生邊坡滑動，而大量的土石方堆積於旗山溪河道上，阻斷溪水的通路，進而形成堰塞湖，當堰塞湖潰壩後，將大量堆積的土石及溪水一同帶往下游，形成大型的土石流災害；因此當山區跨河橋梁災害發生後，在確定整治方案之前，應執行緊急搶修或長期整治以維持當地基本交通與安全需求。然而將山區跨河橋梁受土石流衝擊破壞之各工法說明、適用範圍、注意事項等彙整於表 4-3。

1. 鋼板保護：

以鋼板保護橋墩及橋柱，降低土石所帶來之衝擊。

2. 於橋柱和橋面版接合處增設卡榫：

莫拉克風災將山區大量漂流木帶往下游，因漂流木浮於水面以至於卡在橋面版，其推力使得橋面版錯位或掉落而造成道路中斷，若能增加橋面版承受側向力的能力，將有效提高其安全性。

3. 改線：

將行進路線遠離主、之流匯流處，避免土石淤積；遠離土石流易發生段，減少土石之衝擊。

4. 橋台往河道兩岸延伸興建：

將橋台往兩側方向延伸興建，拉長橋台與河岸之距離，如此就算遭受洪水侵蝕，仍有周遭土壤可以阻擋，不至於直接受到攻擊橋基而產生落台。

5. 減少水流對基礎之束縮作用：

一般跨河橋梁規劃設計係以最短距離為考量，但卻容易產生河道束縮沖刷，因此改以傾斜不與水流方向正交方式興建，如此可減少同一河斷面積之落墩數，緩和水流淘刷。

表 4-3 橋梁受土石流衝擊破壞之因應對策說明

對策分類	名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
減少土砂	水土保持	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軟弱土層造成圓弧破壞處。 2. 順向坡整面滑落處。 3. 道路之上、下邊坡易產生崩塌者。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對上游集水區進行水土復育，使土石不輕易受水流沖蝕而破壞。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 環境復育過程耗時，短期未能發揮顯著效果。 2. 局部區域開發程度受限，降低土地使用率。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各植生護坡工程 2. 坡頂各式排水工
減少土砂	固床工	<ol style="list-style-type: none"> 1. 小峽谷或溝渠之中。 2. 河岸崩塌地區。 3. 縱向沖蝕河段。 4. 土石流地區。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 降低水流速度，減少河床及河岸受侵蝕的程度，穩固河岸。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 造成太高或過強之水流，造成生物無法順利於上、下游間移動 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 封閉式攔砂壩 2. 開放式攔砂壩
減少土砂	封閉式攔砂壩	<ol style="list-style-type: none"> 1. 溪谷中上游。 2. 河岸崩塌地區。 3. 淤砂嚴重河段。 4. 縱向沖蝕河段。 5. 土石流地區。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 攔阻或調節河床砂石，穩定河床防止縱向侵蝕，保護側岸。 2. 轉化土砂搬運形式，抑止土石流，減少災害；且當壩體上游淤滿之後，淤砂坡度較原溪床坡度為緩和，可有效地減緩土石流之流速，降低其撞擊之力量。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水頭落差甚大，使得溪流環境丕變，嚴重衝擊水生生物族群的生存。 2. 容易淤滿，無法在容納後續湧入之大量土石而造成溢流。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 固床工 2. 開放式攔砂壩
減少土砂	開放式攔砂壩	<ol style="list-style-type: none"> 1. 溪谷中上游。 2. 河岸崩塌地區。 3. 淤砂嚴重河段。 4. 縱向沖蝕河段。 5. 土石流地區。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可蓄積土石流所挾帶大量砂石，降低土石流總流出量。 2. 轉化土砂搬運形式，使泥砂顆粒以個別搬運方式帶往下游，減少對壩址下游河床局部之沖 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 所蓄積土石不易清除。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 固床工 2. 封閉式攔砂壩

對策分類	名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
			<p>刷。</p> <p>3.壩體受力面積較非透過性防砂壩小，所受土石流之衝擊力量亦小。</p>		
減少土砂	潛壩	<p>1.沖蝕地區如屬主支流合流處，應選定在合流點之下游處。</p> <p>2.以保護構造物之基礎為目的者，應選定在構造物之下游處。</p> <p>3.河床堆積嚴重地區之下游。</p> <p>4.河岸崩塌地區</p> <p>5.亂流河段</p> <p>6.淤砂嚴重河段</p> <p>7.縱向沖蝕河段</p>	<p>1.安定河道防止縱橫向侵蝕。</p> <p>2.保護護岸等構造物之基礎。</p> <p>3.通常考慮降低階段落差，以多段式跌水代替單一高落差，可降低土石流流動過程之速度與能量。</p>	<p>1.對環境之衝擊較大，需特別著重生態考量，通常需考慮魚道之保存及設置、設置魚類回游水道。</p>	<p>1.固床工</p> <p>2.沉砂池</p>
減少土砂	沉砂池	<p>1.河川中下游。</p>	<p>1.減少土石下移、保護下游土地房舍及公共設施，攔截或沈積土石。</p> <p>2.減少河川中下游之土砂災害，有助於收集非點的污染源及減少沉澱物質的散落，可改善河川。</p>	<p>1.入口處易堵塞而產生漫流。</p> <p>2.池中水分若無及時排除，易孳生蚊蟲而破壞環境，日後之維護管理不易。</p>	<p>1.固床工</p> <p>2.開放式攔砂壩</p>
減少土砂	疏濬土石流沈積區	<p>1.土石流淤積之範圍。</p>	<p>1.當路線須經過土石流淤積段時，應清理累積之土石，保持水路之暢通，避免土石流沖壞路面。</p>	<p>1.需週期性清理累積之土石。</p>	--

對策分類	名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
保護	鋼板保護	1.橋墩易受漂流木及土石衝擊。 2.既有橋梁可增加橋梁本身勁度。	1.降低漂流木及土石所帶來之衝擊作用 2.減少混凝土遭磨蝕後鋼筋外露鏽蝕。	1.維護保養不易，無法檢測鋼板包覆內之破壞情形。	1.墩徑加寬 2.增設橋墩柱基礎保護工
保護	增設卡樺	1.橋梁易受漂流木及土石衝擊。	1.增加橋面版承受側向力的能力。	1.若衝擊力過大將使基礎遭受牽連，需適時考量重建所需之經費。	--
保護	增設橋墩柱基礎保護工	1.側向攻擊力過大時使用(如漂流木、土石撞擊)。 2.洪水及土石流直接淘刷破壞基礎。	1.減少土石流對橋梁基礎的淘刷作用及衝擊作用。	1.增加工程經費。 2.完工後之成效評估與經濟效益，皆需納入考量。	1.鋼板保護
迴避	改址	1.因洪水或土石流沿山壁攻擊或河道漫流侵蝕，使橋台後方路基淘刷。 2.土石堆積區與公路橋梁交集處。 3.主、支流匯流易產生漩渦處。 4.土石流潛勢溪流流域範圍。	1.將公路路線遠離主、支流匯流處，避免土石淤積及淘刷。 2.遠離土石流易發生段，減少土石之衝擊。	1.整建工程費用較高，需進行中長期規劃與評估。 2.可能影響附近當地交通、特定限制區域及民眾權益等問題，需審慎評估。 3.改址後之成效評估與經濟效益，皆需納入考量。	1.淨高加高 2.墩徑加寬 3.跨距加大 4.基礎加深 5.橋台往河道兩岸延伸興建 6.橋台兩側增設護岸與封牆 7.減少水流對基礎之束縮作用

對策分類	名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
迴避/ 改建/ 新建	淨高加高	1.適用於新建橋梁之規劃設計。 2.豪大雨後溪床常有漂流木堆積處。 3.土石堆積區與公路橋梁交集處。 4.主、支流匯流易產生漩渦處。	1.使洪流及土石流無法推移或破壞橋面版。	1.所需經費較高。 2.施工較複雜。 3.橋墩高度與墩徑大小，影響勁度需審慎計算與分析。	1.墩徑加寬 2.跨距加大 3.基礎加深
迴避/ 改建/ 新建	墩徑加寬	1.側向衝擊力過大時使用(如漂流木、土石撞擊)。 2.既有橋梁可增加橋梁本身勁度。	1.使橋梁自重及勁度增加，提升穩定性。	1.所需經費高。 2.斷面接合處受施工品質影響。 3.使通水斷面積減少。	1.淨高加高 2.跨距加大 3.基礎加深
迴避/ 改建/ 新建	跨距加大	1.適用於新建橋梁之規劃設計。 2.橋梁易遭受漂流木撞擊及土石流潛勢溪流之流域範圍。 3.土石堆積區與公路橋梁交集處。 4.主、支流匯流易產生漩渦處。	1.使落墩數減少，減少河道束縮之影響。 2.降低洪流及土石流對橋梁基礎的淘刷作用及衝擊作用。若條件許可，可考量設置吊橋。	1.目前常以鋼結構設計增加橋梁之跨距，因此所需經費較高。 2.每跨長度應有所限制。	1.淨高加高 2.墩徑加寬 3.基礎加深
迴避/ 改建/ 新建	基礎加深	1.適用於新建橋梁之規劃設計。 2.橋梁基礎遭受洪水或土石流而產生淘刷現象。 3.橋梁基礎檢測時已產生破壞(如挫曲)。	1.增加橋梁基礎抗淘刷及承載之能力。	1.所需經費較高。 2.施工較複雜。 3.品質不易控制。	1.淨高加高 2.墩徑加寬 3.跨距加大

對策分類	名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
				限制條件	搭配工法
迴避/ 改建/ 新建	橋台往河道 兩岸延伸興建	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用於新建橋梁之規劃設計。 2.因洪水或土石流沿山壁攻擊或河道漫流沖蝕，使橋台後方路基淘空。 3.主、支流匯流易產生漩渦處。 4.橋台座落在水流的攻擊側。 	1.使橋基不至於直接受到洪水或土石流沖蝕而產生落台。	<ol style="list-style-type: none"> 1.往兩岸延伸之距離，影響工程經費。 2.施工較複雜。 	1.橋台兩側增設護岸與封牆
迴避/ 改建/ 新建	橋台兩側增設 護岸與封牆	<ol style="list-style-type: none"> 1.因洪水或土石流沿山壁攻擊或河道漫流沖蝕，使橋台後方路基淘刷。 2.橋台易受漂流木及土石衝擊處。 3.主、支流匯流易產生漩渦處。 4.橋台座落在水流的攻擊側。 	1.經由橋台兩側延伸之護岸與封牆保護，避免水流沿著山壁沖蝕或遭洪水漫流淘空橋台後方。	<ol style="list-style-type: none"> 1.增加工程經費。 2.橋台兩側現地地形與河道特性，為設置護岸與封牆之限制與考量。 	1.橋台往河道兩岸延伸興建
迴避/ 改建/ 新建	減少水流對基礎之束縮作用	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用於新建橋梁之規劃設計。 2.易受漂流木及土石衝擊處。 3.河道束縮段或轉彎段。 4.主、支流匯流易產生漩渦處。 5.洪水或土石流直接淘刷破壞基礎。 	1.選擇河道中通水斷面積較大處（落差較高處或河面較寬處）及避開水流不穩定處設置橋梁，減少同一河斷面積之落墩數，以緩和水流淘刷。	<ol style="list-style-type: none"> 1.所需經費較高。 2.受現地地形與兩岸道路銜接之限制。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.淨高加高 2.墩徑加寬 3.跨距加大 4.基礎加深 5.橋台往河道兩岸延伸興建 6.橋台兩側增設護岸與封牆

4.4 山區道路及橋梁破壞之臨時性搶修處理對策

本研究團隊於莫拉克颱風後深入災區，其中包含災情嚴重的高雄那瑪夏鄉(台 21 線)及南部橫貫公路(台 20 線)，發現災後公部門再緊急搶通各交通道路時，使用各種不同的臨時便道及橋梁，其緊急搶通的臨時設施並未有相關規範來檢核其安全性，然而，本研究團隊於 6 月 2 日至交通部第二養護工程處進行訪談後，瞭解其災後搶通的過程及各項工程，因此，於本節將針對緊急搶通使用之臨時設施進行說明與探討。

平時各工務段按規定辦理養護作業，如遭遇重大災害時，事先若無周詳緊急應變作為處理藍本，則搶通作業將雜亂無章，導致搶通時間延遲，甚至危害用路人之生命安全。然而，各轄區皆有不同的地質、水文及環境，再因天然災害或其他重大災害而造成道路阻斷時，為求能在短時間內有系統的動員，達到快速搶通目的，維持交通順暢，各轄區單位得研擬決策支援，將防災應變流程化，做有效之動員處理任何突發狀況。

對於現場工程師而言，災後最重要的工作為『搶通>搶修>加固>復建』，搶通主要原因係因為要先讓搶救災機具能夠更快速進入災區，以減少災區的人員傷亡。然而，在搶通過程中對於臨時建物的安全值並無法明確計算安全性及穩定性，但在時間的壓力下，必須在最短時間將道路搶通，以提供救災人員或救援物資進入災區，因此，在如此險惡的環境下，「測量」就是對安全性評估最重要的指標，在搶通的過程中，只要邊坡不再滑動或產生落石即可；而臨時便橋能抵抗水流力，僅考慮能暫時通行即可。

搶通過程中大多數皆為臨時設施，因此，需限制通過時的車速、載重，並適當進行管制，於必要時進行封路作業禁止人車通行；豪雨期間會有因應的通行時間，對於重點監測橋梁，當現場人員接獲指令後進行封橋，在危險路段之間需進行相關的管制工程。詳細說明如下。

4.4.1 緊急搶通使用之臨時設施說明 -管制工程

1. 資訊可變標誌(CMS)

交通管制方式及資訊可變標誌(CMS)播放訊息可依雨量及道路狀況劃分為三種等級，針對不同的情境提出適宜的處置：

- (1) 第三級管制：氣象局發布劇烈天氣特報，降雨量達到足以影響行駛安全時，可介定為此等級。CMS 即時資訊：提供「山區大雨小心駕駛」、「颱風期間備妥存糧」、「颱風期間慎防豪雨」、「颱風期間減少外出」資訊於可變標誌牌面上。
- (2) 第二級管制：視各路段不同情形，當降雨量累積每小時降雨量達 20~50mm，以及 24 小時累積雨量達 50~400mm 以上，可劃分為此類等級。即時資訊：達此等級，於可變標誌牌面上發布「山區豪雨土石鬆軟注意落石」、「颱風期間提高警戒」。
- (3) 第一級管制：視各路段不同情形。即時資訊：達此等級，於可變標誌牌面上發布「前方路段禁止進入」、「前方路段管制改行人倫便道」、「XX 至 XX 段進出管制通行」。於遠端 CMS 發布封閉路段資訊。

2. 鐵扇門：主要提供緊急管制時使用。

3. 警告標誌：

主要提供車輛駕駛人及行人了解道路上之特殊狀況，提高警覺，並準備防範應變措施。

4. 夜間警示燈：

主要提供車輛駕駛人及行人在夜間瞭解道路上之特殊狀況，提高警覺。

4.4.2 道路緊急搶通使用之臨時設施說明

臨時設施主要分為道路部分及橋梁部分。道路部分簡單而言就是

考量坍方的地方該如何通行，而各緊急搶通工法皆可與橋梁緊急搶通設施相互搭配。詳細說明如下，並將各緊急搶通工法彙整於表 4-4。

1. 臨時擋土排樁：下邊坡路基流失或因擋土牆損毀所造成之路基陷落，均可以打設臨時擋土排樁之方式予以搶修；排樁之種類一般多使用鋼軌樁、H 型鋼樁或鋼板樁。於道路外側界線打設排樁，打設貫入深度應至少為設計擋土深度之 1.3~1.5 倍或入岩至少 3m。若為鋼軌樁或 H 型鋼樁，則其樁間距一般約為 0.25~0.50m。樁與樁之間可鋪設鋼板或木板以增加圍束土壤之功能。使用排樁除具有側向保護作用外，亦可避免路基於暴雨或洪水再次侵襲時流失。
2. 土堤便道：利用現地土石堆疊，使其形成臨時道路之路基。
3. 舊路搶通：當原道路僅部分路面遭淘刷或崩塌而造成道路中斷，利用怪手將其道路往山壁內開挖後整平，以作為臨時通車之用。
4. 溪底便道：此為山區公路於風災後，因道路路基因淘刷或崩塌造成道路中斷時，道路需緊急搶通將其改道，經由溪底以土石臨時堆疊而成的臨時便道，此種便道為臨時設施使得路面較為顛簸，且位於溪流河岸，因此需限制通過時的車速、載重，並設置管制通行時間，以確保人車安全。
5. 石籠(蛇籠)路基基礎：豪雨引致之流動型破壞，其坍落土石含水量極高，亦不利直接清除，增加道路修復之困難度與危險性。此種狀況之搶修應以先撐後移之方式進行，視道路工作範圍之大小，將現場坍落土石石籠，於坡趾處構築臨時簡易重力式垛牆，此時路面之土石即可安全且迅速的加以清除，在安全之前提下，恢復部份交通功能。
6. 簡易式貨櫃基礎路基：貨櫃路基之施工原理與蛇籠路基相同，由於排水不易，因此需注意其牆背排水情形。台 21 線 122K+600 明隧道旁之大型邊坡滑動後，利用貨櫃堆疊成路基，但其兩邊皆有利用絞索對拉，再利用地形產生拱效應增加穩定性，除此之外貨櫃之間也有連結。

表 4-4 道路邊坡及道路路基破壞之臨時性搶修工法說明

名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
			限制條件	搭配工法
鋼軌樁	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用較堅硬之土質。 2.使用材料簡單且施工迅速。 	係將鋼軌打入地層至預定深度後，邊開挖邊將木板襯入鋼軌中，而達成擋土之功效	<ol style="list-style-type: none"> 1.擋土強度差。 2.鋼軌若未貫入一定深度，易再次產生滑動。 3.貫入地層時會產生振動。 4.不適合軟弱層 	1.土堤便道
鋼版樁	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用軟弱層 2.擋土強度較鋼軌樁高。 3.止水性佳 	利用條狀鋼版一片接一片打入地層之預計埋設深度後，再利用鋼版連接形成擋土牆，完成臨時擋土設施。	<ol style="list-style-type: none"> 1.鋼版樁應緊密接合，避免脫軌。 2.應垂直貫入地層，避免傾斜偏離。 3.貫入地層時會產生振動。 4.不適合用在岩礫層。 	1.土堤便道
土堤便道	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用各緊急搶修工程 2.土石材料取得容易。 3.施工迅速。 	利用現地土石堆疊，使其形成臨時道路之路基。	<ol style="list-style-type: none"> 1.透水性差。 2.於不穩定之邊坡上堆疊土石，增加載重使其安全性降低。 3.需經常性灑水，以免土塵影響行車視線。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.鋼軌樁 2.鋼版樁 3.石籠路基 4.RC 涵管 5.鋼涵管
舊路搶通	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用既有道路搶通之用 2.施工迅速 3.兩側道路之高低差落差不大 4.後續之修復工程可依此道路進行規劃。 	於崩塌處若以無道路路基，以利用重機具往山壁內側開挖，連通崩塌兩側之道路。	<ol style="list-style-type: none"> 1.因座落於崩塌範圍內，可能有落石及持續崩塌之疑慮。 2.臨時道路不平整，若持續下雨可能造成輪胎打滑。 3.車道變窄，用路人需互相禮讓。 4.重機具開挖時，需注意安全。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.土堤便道 2.石籠路基 3.簡易式貨櫃基礎路基

名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
			限制條件	搭配工法
溪底便道	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用道路緊急搶修工程 2.土石材料取得容易。 3.避開危險路段，迅速搶通。 4.因周遭環境不同，便道位置可隨之選擇。 	因道路路基因淘刷或崩塌造成道路中斷時，且範圍過大或位於溪流峽谷處，道路需緊急搶通將其改道，經由溪底以土石臨時堆疊而成的臨時便道。	<ol style="list-style-type: none"> 1.透水性差。 2.需經常性灑水，以免土塵影響行車視線。 3.需視溪水水位進行封路作業。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.RC 涵管 2.鋼涵管
石籠路基	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用道路路基與道路邊坡緊急搶修工程 2.土石材料取得容易。 3.施工迅速。 4.可隨地形變化而施築。 5.此工法亦可應用於邊坡保護之用。 	當道路路基嚴重流失後，無法重新再開挖或以溪底便道等方式搶通道路時，於坡腳處重新建築新的道路路基	<ol style="list-style-type: none"> 1.需由施工人員進行編綁石籠，以利將土石固定於鋼絲網中。 2.無法承受過大之側向拉力。 3.變型後使柏油路面易產生龜裂。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.簡易式貨櫃基礎路基
簡易式貨櫃基礎路基	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用道路路基緊急搶修工程 2.無需以人工方式綁定模板後再進行灌漿作業。 3.可依需求進行堆疊。 4.可搭配絞索或地錨增加穩定性。 5.施工時可同時多跨施作節省工期。 	利用貨櫃作為模板，將現地土石填入後灌漿，亦可於貨櫃內置入鋼筋增加勁度及續接功能，使其形成臨時便道。	<ol style="list-style-type: none"> 1.需施作排水設施，降低牆背之水壓力。 2.貨櫃成本較高，且運輸不易。 3.貨櫃本身勁度不足，灌漿後常有爆模情形，必要時可考慮增加其勁度。 4.貨櫃尺寸固定，需以其大小進行規劃設置地點與埋設深度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.鋼版樁 2.石籠路基

4.4.3 橋梁緊急搶通使用之臨時設施說明

臨時設施主要分為道路部分及橋梁部分。橋梁部分簡單而言就是遇到河川通過的地方如何跨越過去讓人車通行，而各工法皆可與道路緊急搶通設施相互搭配。詳細說明如下，並將各緊急搶通工法彙整於表 4-5。

1. 混凝土(RC)涵管緊急便道：此為搶通工程中最常見的過水設施，其直徑約 2~2.5m，RC 涵管土石便道適用於短距離且中等深度的河谷，其優點為取材方便且施工迅速，但大量的土石堆積，不利於河道的排水，容易遭受洪水沖毀。
2. 鋼涵管緊急便道：鋼涵管土石便道之優缺點與 RC 涵管土石便道相同，由於排水不易，因此適用於距離且水量較小之河谷。鋼涵管口徑約 3~3.5m，價格較貴但可重複使用。
3. 簡易式貨櫃基礎便橋：以貨櫃當做擋土牆之便道，適用於短距離但是深度較大之河谷，或者局部受損之橋梁，其優點為，可以用較小之空間與較少之土石堆積到所需之高度，但是由於貨櫃無法排水，因此必須搭配涵管使用。全臺灣第一個簡易式貨櫃基礎便橋是應用在 88 年的名竹大橋，位於台三線南投的名間到竹山之間；主要係將貨櫃當成模板使用，不同於傳統模板需要組裝及拆卸，且耗費時間；相對於貨櫃雖然其單價較高，但考慮社會成本後相對便宜很多，而早期貨櫃工法主要還是當作臨時便道，僅只是將其開口後將現地礫石填入或是灌漿，再放上鋼板使車輛通行；但近幾年已發展到將其放入鋼筋再進行灌漿，其安全性更是大為提升。
4. 鋼便橋：鋼便橋適用於中長距離且中等深度之河谷，其優點為佔據空間小，利於河道排水，但造價昂貴，河谷太寬或者深度太深時必須考慮其經濟性。鋼便橋從九二一的時候開始使用，因當時重型機具無法進入災區，造成嚴重的災情，目前常用的跨距為 20m，可承受 20~25 噸的載重，為目前載重較大的便橋，因此對於重型機具而言其安全性係是足夠的。

表 4-5 橋梁基礎破壞之臨時性搶修工法說明

名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
			限制條件	搭配工法
RC 涵管 便道	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用於短距離且中等深度的河谷。 2.水泥涵管口徑約 2.0 m~2.5m，方便運輸。 3.取材容易且施工迅速。 4.費用較鋼涵管便道、鋼便橋等為低。 	<p>此為搶通工程中最常見的過水設施，其利用水泥涵管配合土石堆疊，形成簡單之橋梁。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.通水量較小，遇大雨時可能無法及時宣洩水流。 2.尺寸固定，需以其大小進行埋設。 3.通水口易為溪流中之石塊、漂流木等阻塞，維修養護不易。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.土堤路基 2.溪底便道
鋼涵管 便道	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用於短距離且中等深度的河谷。 2.鋼涵管口徑約 3~3.5m。 	<p>利用鋼涵管配合土石堆疊及鋼軌固定後，形成簡單之臨時便橋，且可重複使用。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.鋼涵管費用較高。 2.通水量較小，遇大雨時可能無法及時宣洩水流。 3.尺寸固定，需以其大小進行埋設。 4.通水口易為溪流中之石塊、漂流木等阻塞，維修養護不易。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.土堤路基 2.溪底便道
簡易式 貨櫃基 礎便橋	<ol style="list-style-type: none"> 1.適用於長距離且中等深度的河谷。 2.通水量較涵管便道大。 3.無需以人工方式綁定模板後才進行灌漿作業。 4.可依需求進行堆疊。 5.可搭配絞索或地錨增加穩定性。 6.施工時可同時多跨施作節省工期。 	<p>利用貨櫃作為模板，將現地土石填入後灌漿，亦可於貨櫃內置入鋼筋增加勁度及續接功能，搭配型鋼及覆工版，使其形成臨時便橋。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.需施作排水設施，降低牆背之水壓力。 2.貨櫃、型鋼、鋼板成本較高，且運輸不易。 3.貨櫃本身勁度不足，灌漿後常有爆模情形，必要時可考慮增加其勁度。 4.貨櫃尺寸固定，需以其大小進行規劃設置地點與埋設深度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.土堤路基 2.石籠路基

名稱	適用範圍/使用時機	工法說明	注意事項	
			限制條件	搭配工法
鋼便橋	1.鋼便橋適用於中長距離且中等深度之河谷。 2.通水量較涵管便道大。 3.安全性及穩定性較高。 4.可承受之載重較大，約可承受 20~25 噸的載重。 5.橋梁跨距較大，常用的跨距為 20m。	利用型鋼可快速組裝及焊接之優點，搭建所需之跨徑較大之臨時便橋。簡易鋼便橋為以鋼梁架設於現有或臨時之橋台、橋墩上(一般以貨櫃填充卵塊石或混凝土作為臨時橋台、橋墩)，並於其上鋪設鋼板之簡易通行橋梁。	1.臨時橋墩可能阻礙水流通過或遭受沖刷。 2.型鋼、鋼板成本高造價昂貴。	1.簡易式貨櫃基礎便橋

第五章 山區道路坡地災害防治技術整合研究

5.1 山區道路坡地災害種類及歷史災害彙整

自 1996 年賀伯颱風侵襲臺灣後，隨之而來的 1999 年 921 大震、2001 年桃芝納莉颱風的侵襲，到 2004 年 72 水災，2005 年的海棠颱風，2007 年 0609 水災，到去年 2008 年七八月間近乎每週一個侵臺的強烈颱風(卡玫基、鳳凰、辛樂克、薔蜜)所挾帶的豪雨所山生的崩塌、地滑與土石流已成為臺灣山區環境坡地災害難以的重要代名詞。2009 年莫拉克颱風對南部臺 20、臺 21、臺 24、台 27 及臺 28 省道早成嚴重的崩塌災害，更影響到山區居民避難與後續救助的問題。及然而颱風豪雨所帶來的影響，不僅對住戶生命財產安全構成嚴重威脅，亦對居住山區居民賴以維生的聯外道路影響甚大。

根據公路總局統計，臺灣山區易致災路段從北而南分布甚多，以臺 7、臺 8、臺 9、臺 11、臺 14、臺 16、臺 18、臺 20、臺 21、臺 23 及臺 26 每逢豪雨最容易致災的區位，彙總如表 5-1。

表 5-2 為民國 97-98 年間全臺省道因道路邊坡崩塌受阻中斷統計，其中，以臺 7 甲宜蘭段、臺 14 甲霧社合歡山路段、臺 14 仁愛南豐及廬山段、臺 16、臺 18、臺 20 甲仙桃源段以及臺 21 陳有蘭溪沿線災情較為嚴重，發生多次的土砂災害，使得本區道路常常受阻。

由統計資料不難看出，這與表 5-1 中所提到崩塌路段極為相近，表示這些道路只要每逢颱風豪雨，這些道路便具有崩塌潛勢的危險，此外，由表 5-2 顯示，臺 3 線、臺 7 線、臺 8 線、臺 14 線、臺 18 線、臺 20 線及臺 21 線崩塌次數佔全國的 5% 以上，尤其以臺 20 在今年度莫拉克災害所造成的崩塌最多，高達 73 處之多，值得相關管理單位的注意，且該路線為南部重要的橫貫公路，需儘速處理，以免影響運輸與相關救援復建工作之執行。

表 5-1 公路總局轄區易落石及坍方危險路段彙總表

縣市	路名	起迄樁號	起迄地點	易發生危險災害情形
臺北縣	臺 2 線	77K+000~114K+011	瑞芳~北宜縣界	部份路段遇豪大雨後會有零星落石及坍土
桃園縣	臺 7 線	22K+850~61K+719	羅浮~西村(縣界)	因所屬地段地質不穩定，遇大雨易發生邊坡落石，部份路段路基下陷、土石流
臺中縣	臺 8 線	37K+500~62K+889	馬崙~德基	121 震災引起大規模崩塌，地質脆弱不穩定，遇大雨易邊坡落石、路基下陷及土石流，目前交通阻斷封閉
臺中縣	臺 8 甲線	0K+000~16K+866	壩新~德基	121 震災引起大規模崩塌，地質脆弱不穩定，遇大雨易邊坡落石、路基下陷及土石流，目前交通阻斷封閉
南投縣	臺 14 線	60K+150~74K+400	埔里~霧社(蜈蚣里~人止關)	邊坡地質不穩定，遇大雨易發生坍方、土石流及零星落石；另河床淤積沖刷掏空路基之虞
南投縣	臺 16 線	35K+000~41K+253	地利~孫海橋	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方及零星落石
南投縣	臺 21 線	19K+000~145K+032	神木村~合社	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方、零星落石及土石流
宜蘭縣	臺 9 線	11K+650~123K+900 40K+350~142K+280 48K+450~154K+500	蘇澳鎮~東澳村 東澳村~南澳鄉 南澳鄉~和平村	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
花蓮縣	臺 9 線	64K+050~190K+900	和仁村~三棧村	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
花蓮縣	臺 8 線	59K+100~188K+240	大禹嶺~太魯閣	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
花蓮縣	臺 14 甲線	33K+100~41K+330	合歡山莊~大禹嶺	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
嘉義縣	臺 18 線	42K+800~45K+000	番路鄉龍頭附近	部份路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
嘉義縣	臺 18 線	59K+000~78K+450	阿里山鄉十字路附近	部份路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
高雄縣	臺 20 線	67k+200-146k+550	甲仙鄉-桃源鄉	邊坡地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷、土石流
高雄縣	臺 21 線	214k+920-233k+500	那瑪夏鄉民族村-甲仙鄉關山村	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易造成邊坡坍方、落石
屏東縣	臺 1 線	447k+900-459k+800	南勢湖-楓港	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
屏東縣	臺 9 線	455k+000-472k+000	壽卡-新路	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
屏東縣	臺 26 線	3k+500-7k+450	楓港-海口	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石

縣市	路名	起迄樁號	起迄地點	易發生危險災害情形
臺東縣	臺 9 線	357k+000-439k+100	鹿鳴橋附近-南興	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
臺東縣	臺 11 線	135k+850-153k+500	金樽-杉源	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
臺東縣	臺 23 線	20k+000-22k+400	東源鄉北源村	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
臺東縣	臺 20 線	147k+150-184k+200	啞口-霧鹿	因所屬地段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷、土石流

表 5-2 民國 97 年間省道上砂災害統計

省道	災害數量	百分比	省道	災害數量	百分比	省道	災害數量	百分比
臺 1 線	15	2.81	臺 11 線	1	0.19	臺 20 乙線	3	0.56
臺 1 丁線	1	0.19	臺 11 乙線	5	0.94	臺 21 線	73	13.67
臺 2 線	2	0.37	臺 13 線	2	0.37	臺 22 線	2	0.37
臺 3 線	35	6.55	臺 14 線	28	5.24	臺 24 線	14	2.62
臺 3 丙線	2	0.37	臺 14 甲線	5	0.94	臺 27 線	16	3.00
臺 4 線	1	0.19	臺 14 乙線	1	0.19	臺 27 甲線	3	0.56
臺 6 線	5	0.94	臺 16 線	11	2.06	臺 28 線	4	0.75
臺 7 線	27	5.06	臺 17 線	13	2.43	臺 61 線	1	0.19
臺 7 甲線	25	4.68	臺 18 線	35	6.55	臺 82 線	2	0.37
臺 7 丙線	3	0.56	臺 19 線	2	0.37	臺 84 線	1	0.19
臺 8 線	57	10.67	臺 19 甲線	1	0.19	臺 88 線	1	0.19
臺 9 線	4	0.75	臺 20 線	93	17.42			
臺 9 甲線	39	7.30	臺 20 甲線	1	0.19			

由上述災害統計，不難發現在多數山區省道中，以臺 14、18、20、21 災害特別多，由於這四條道路本身為中部地區聯絡山區重要景點，其中臺 14 及臺 20 亦為東西部重要橫貫公路，因此成為運輸上扮演相當重要角色。

根據交通部公路局第二區養護工程處、第三區養護工程處以及第五區養護工程處養護課內統計彙整各轄區工務段之公路災害搶修及修

復經費請求允撥或補助總表中統計各路段受到上下道路邊坡崩壞損害資料，統計省道臺 14、臺 18 及臺 21 線 1996 年-2008 年間道路災害資料(如表 5-3、表 5-4 及表 5-5 所示)，主要針對其土石坍方、路基下陷、路基缺口、路基流失以及路面皸裂受損等資料，進行統計，統計特性分析說明如下：

1. 臺 14 線受到民國 93 年及 97 年間颱風豪雨影響，土石坍方甚多，造成區域道路受阻多次影響，甚至有些路段重複發生崩塌，其中 93 年路基下陷及產生缺口數量較其他年份來得多，表示道路下邊坡在該年較不穩定。但是根據長久觀察，本區因為測邊野溪支流產生大量
2. 臺 18 線阿里山公路由於多數沿著坡面所開設，因此坡面崩塌在民國 90 及 93 年間造成多處土石坍方，路基流失數量亦較臺 14 線來得多，受到支流野溪沖刷影響甚具。
3. 臺 21 線由於沿著陳有蘭溪開設，沿線橫越眾多土石流潛勢溪流，於民國 85 年賀伯颱風與 90 年桃芝颱風造成多處災害，72 水災以及龍王海堂颱風造成本區多處坍方，亦是本路段重要災害發生時間，民國 97 年四場颱風在本區上游亦是造成本區多處道路中斷的重要災害發生時間點。

根據公路局第三區工程處對於臺 20 及臺 21 線沿線阻斷易崩區位資料統計(如表 5-6 及表 5-7 所示)，受到崩塌或路基缺口早成之全線阻斷次數自 91 年來共計 109 次，堆於小規模災害所成之阻擋約有 56 次之多，較臺東端所成之阻斷來得頻繁與阻斷的天數來得多，可見臺 20 線在西部地區受到崩塌的影響甚具。

表 5-3 民國 85-97 年間省道臺 14 線災害類別統計

省道臺 14 線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失	路面皸裂
民國 85 年(1996)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 86 年(1997)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 87 年(1998)	16	2	1	0
民國 88 年(1999)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 89 年(2000)	13	2	0	1
民國 90 年(2001)	13	3	0	0
民國 91 年(2002)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 92 年(2003)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 93 年(2004)	207	22	3	8
民國 94 年(2005)	28	9	0	0
民國 95 年(2006)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 96 年(2007)	1	0	0	0
民國 97 年(2008)	158	2	0	0

(資料來源：交通部公路局二區工程處及本研究整理)

表 5-4 民國 85-97 年間省道臺 18 線災害類別統計

省道臺 18 線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失	路面皸裂
民國 85 年(1996)	99	38	2	1
民國 86 年(1997)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 87 年(1998)	2	0	0	0
民國 88 年(1999)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 89 年(2000)	40	2	0	0
民國 90 年(2001)	157	12	11	0
民國 91 年(2002)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 92 年(2003)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 93 年(2004)	39	25	0	0
民國 94 年(2005)	123	2	6	2
民國 95 年(2006)	37	7	5	1
民國 96 年(2007)	6	0	0	0
民國 97 年(2008)	26	0	0	0

(資料來源：交通部公路局二區工程處及本研究整理)

表 5-5 民國 85-97 年間省道臺 21 線災害類別統計

省道臺 21 線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失	路面皸裂
民國 85 年(1996)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 86 年(1997)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 87 年(1998)	6	2	1	0
民國 88 年(1999)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 89 年(2000)	99	3	4	0
民國 90 年(2001)	53	10	2	0
民國 91 年(2002)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 92 年(2003)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 93 年(2004)	368	47	4	2
民國 94 年(2005)	127	18	13	2
民國 95 年(2006)	無資料	無資料	無資料	無資料
民國 96 年(2007)	57	1	1	0
民國 97 年(2008)	194	11	19	0

(資料來源：交通部公路局二區工程處及本研究整理)

表 5-6 交通部公路總局第三區養護工程處甲仙工務段轄區省道 91~97 易落石路段及坍方路段相關資料

所屬縣境 (站別)	路線名稱	起迄地 點	單線通 阻(次)	全線阻斷 (次)	單線通 行(天 數)	道路 封閉 (天數)	死亡人 數	受傷 人數
天池站	(臺 20 線)	甲仙鄉~ 桃源鄉	17	35	12	24	0	2
桃源站	(臺 20 線)		13	27	19	20	0	0
寶來站	(臺 20 線)		11	19	19	14	0	0
小林站	(臺 20 線)		15	28	42	19	0	0
小計			56	109	92	77	0	2
高雄縣 (臺 21 線)	(臺 21 線)	那瑪夏 鄉民族 村~甲仙 鄉關山 村	31	22	34	19	0	0
合計			87	131	126	96	0	2

表 5-7 交通部公路總局第三區養護工程處臺東工務段轄區省道 91~97 年易落石及坍方路段相關資料

所屬縣境	路線名稱	起迄地點	單線阻斷(次)	全線阻斷(次)	單線通行(天數)	道路封閉(天數)	死亡人數	受傷人數
臺東縣及高雄縣	臺 20 線	關山~初來						
		91 年度	0	1	0	6	0	0
		92 年度	0	1	0	4	0	0
		93 年度	0	3	0	18	0	0
		94 年度	0	4	0	7	0	0
		95 年度	0	1	0	4	0	0
		96 年度	0	9	0	13	0	0
		97 年度	0	2	0	4	1	3
		小計	0	21	0	56	1	3

過去幾年省道臺 18 線阿里山公路與臺 21 為歷年研究資源整合之山區道路，其研究資料已屬完備，但缺乏整合，而臺 14 線及臺 20 線則受到地質破碎影響，加上近年來多次颱風降雨中心集中在這條道路的山區，造成道路上邊坡植被遭破壞影響土壤穩定性誘發崩塌與土石流，而野溪水流沖刷造成道路下邊坡的基腳造成路基塌陷與坡面崩落的現象甚多，因此本研究配合過去歷史崩塌點位統計資料，並利用表 5-8 之現場調查表，進行四條省道(省道臺 14、臺 18、臺 20 及臺 21 線)現況道路及坡面調查。根據上述幾項調查表內容進行省道臺 14、臺 18、臺 20 臺 21 的現場初步勘查，統計計畫區崩塌坡面數及工程點位數如表 5-9 所示，可以歸納以下幾點說明：

1. 從現況崩塌數來說，受到民國 97 年間四場颱風豪雨沖刷的影響，臺 14、20 及 21 線沿線新增的崩塌坡面數量遠較省道臺 18 線來得多，表示這三條道路沿線邊坡破壞嚴重，對於用路人來說相當危險。
2. 檢視計畫區既有工程構造物，除了上邊坡保護工程外，對於保護路基以及路堤的工程措施，亦為本次調查對象，由數量統計，本計畫區以臺 20 的南部橫貫公路以及臺 21 新中部橫貫公路擁有坡面工程數最多，但是綜合觀察，這兩區崩塌數量並未因為設施的設置而有災害減少的趨勢，值得相關養護管理單位注意。

除了上述說明有關各項道路坡地災害歷史資料進行資料蒐集外，配合今年度四處示範區道路沿線理使崩塌的狀況進行資料收集，由於今年度公路局第三區工程處資料取得有一些問題，因此針對所收集的公路局第二區工程處資料以及公路局第五區工程處歷史道路災害搶修與復建內容進行分析，將省道臺 14、臺 18 以及臺 21 線針對其上下邊坡崩塌土體清除量體進行統計，各里程樁區間歷年發生總崩塌次數總計、各里程樁區間總崩塌量體之關係以及他所處區域歷年最大 24 小時降雨量，並透過整理表，統計各里程所處地質環境與崩塌關係，可得一下幾點結論：

1. 如圖 5.1~圖 5.7 所示，臺 14 線的主要崩塌區位座落在 30-40K 以及 60-80K、85-90 與 95-98K 之間，其中崩落次數最多為 65-70K 之間，再其次為 37K 及 73K 附近，但以 65-70K 的總崩落量最多。觀察本區降雨特性，亦以 65-70K 區間最大，高達 600mm 以上。就下邊坡崩塌影響，多為緊鄰河道之區域，如 62K 及 80K 附近崩落長度最大，崩塌區域所處地質條件，多為地質條件差之乾溝層與廬山層為主。
2. 如圖 5.8~圖 5.14 為臺 18 崩塌統計，經瞭解，本區崩塌次數較多之區塊以 35-40K、57-60K、67-73K、78-85K 與 97-108K 區間，崩落量體則以 38-40K、72-73K、80-85K 崩落量體較多。雖然 80-95K 區域降雨量較大，但是主要決定在本區坡面地質條件，而本區山區道路主要為砂頁岩互層之桂竹林層，本質甚差，加上本區降雨量大，因此致災性高。
3. 如圖 5.15~圖 5.21 為臺 21 線崩塌分布統計，除了埔里北端的區域在 5-15K 間有集中崩塌外，70-90K 以及 110-130K 皆為本道路重要影響區位，由統計來看，機戶所有位置都曾發生過崩塌，表示本區坡面穩定杜以直以來問題甚多，需要注意。降雨量以 100-130K 區間最大，但相較其他道路來說，本區總崩塌量分布不多，唯有 95K 以及 107K 附近甚大，需要注意，下邊坡崩塌發生次數也很多，多數路面緊鄰河道，影響安全。本區地質總費分布甚廣，亦多為破碎之脆弱地質，因此產砂量較大。

表 5-8 崩塌地現地調查表

路線	台____線	里程	_____K+_____ m	座標 TM267	X		Y		日期	99年__月__日	
調查方向	<input type="checkbox"/> 東 <input type="checkbox"/> 南 <input type="checkbox"/> 西 <input type="checkbox"/> 北		道路寬度	_____ m <input type="checkbox"/> 雙線道 <input type="checkbox"/> 單線道 <input type="checkbox"/> 無畫線			照片編號				
路面調查	<p>※路面部分：路況：<input type="checkbox"/>良好；<input type="checkbox"/>普通；<input type="checkbox"/>不佳， 型態：<input type="checkbox"/>柏油；<input type="checkbox"/>水泥；<input type="checkbox"/>碎石；<input type="checkbox"/>泥土；<input type="checkbox"/>其他 損壞類型：<input type="checkbox"/>顛頗不平<input type="checkbox"/>路面破損<input type="checkbox"/>部分陷落，逕流集中<input type="checkbox"/>部分路基流失<input type="checkbox"/>裂縫 <input type="checkbox"/>其他 損壞程度：<input type="checkbox"/>嚴重(可能危及正常通行者)<input type="checkbox"/>普通(不影響通行惟應儘速修復者)</p> <p>※路基部分：狀況：<input type="checkbox"/>良好；<input type="checkbox"/>普通；<input type="checkbox"/>不佳 損壞類型：<input type="checkbox"/>駁坎<input type="checkbox"/>蝕溝<input type="checkbox"/>崩塌裸露<input type="checkbox"/>河岸淘刷。 損壞程度：<input type="checkbox"/>嚴重(可能危及正常通行者)<input type="checkbox"/>普通(不影響通行惟應儘速修復者)</p>										
環境資料	<p><input type="checkbox"/>邊坡：<input type="checkbox"/>上邊坡：<input type="checkbox"/>林地 <input type="checkbox"/>草地 <input type="checkbox"/>雜生地 <input type="checkbox"/>崩塌地(寬：_____m,高：_____m) <input type="checkbox"/>裸露岩盤 <input type="checkbox"/>保護工法 <input type="checkbox"/>下邊坡：<input type="checkbox"/>林地 <input type="checkbox"/>草地 <input type="checkbox"/>雜生地 <input type="checkbox"/>崩塌地(寬：_____m,高：_____m) <input type="checkbox"/>裸露岩盤 <input type="checkbox"/>保護工法</p> <p><input type="checkbox"/>河道：<input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>有 目視河寬：<input type="checkbox"/>小坑溝<3m <input type="checkbox"/>小野溪 3-10m <input type="checkbox"/>中型野溪 10-20m <input type="checkbox"/>大型野溪 20-35m <input type="checkbox"/>大河道 35m 以上</p> <p><input type="checkbox"/>平地：<input type="checkbox"/>林地 <input type="checkbox"/>草地 <input type="checkbox"/>雜生地 <input type="checkbox"/>作物 <input type="checkbox"/>左邊坡<input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>有：<input type="checkbox"/>果園 <input type="checkbox"/>檳榔 <input type="checkbox"/>香菇寮 <input type="checkbox"/>花卉 <input type="checkbox"/>其他：_____</p> <p><input type="checkbox"/>右邊坡<input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>有：<input type="checkbox"/>果園 <input type="checkbox"/>檳榔 <input type="checkbox"/>香菇寮 <input type="checkbox"/>花卉 <input type="checkbox"/>其他：_____</p> <p><input type="checkbox"/>橋梁：橋名：_____</p> <p><input type="checkbox"/>房舍：<input type="checkbox"/>住戶(<input type="checkbox"/><5戶,<input type="checkbox"/>5-15戶<input type="checkbox"/>>15戶)<input type="checkbox"/>商店 <input type="checkbox"/>工廠<input type="checkbox"/>公共設施：_____ <input type="checkbox"/>其他：_____</p> <p><input type="checkbox"/>隧道或明隧道：隧道名：_____ 隧道長：_____</p>										
工程資料	<p><input type="checkbox"/>邊坡工程：<input type="checkbox"/>掛網植生 <input type="checkbox"/>打樁編柵 <input type="checkbox"/>蛇籠或鉛絲網籠 <input type="checkbox"/>擋土牆 保護面積：<input type="checkbox"/><30%<input type="checkbox"/>30-50% <input type="checkbox"/>50-75% <input type="checkbox"/>>75%</p> <p><input type="checkbox"/>河道工程：<input type="checkbox"/>RC護岸工程 <input type="checkbox"/>固床工 <input type="checkbox"/>防砂壩 <input type="checkbox"/>箱涵</p>										

5-9

表 5-9 計畫區現場調查統計

省道 (調查範圍)	路線起迄 (全區域)	調查範圍內所需 經過重要地名	里程 (公里)	現況崩塌 案件數	道路邊坡工程 案件數
臺 14 (西部地區)	彰化—仁壽	快官、芬園、草屯、 國姓、埔里、仁愛、 霧社、廬山	187.520	18	16
臺 18 (全線)	太保—塔塔加	嘉義、中埔、番路、 阿里山	109.985	9	14
臺 20 (西部地區)	臺南—德高	永康、新化、左鎮、 玉井、南化、甲仙、 六龜、桃源	202.696	22	30
臺 21 彰化臺中南投	天冷—汕尾	新社、國姓、埔里、 魚池、日月潭、水 里、信義	307.612	20	36

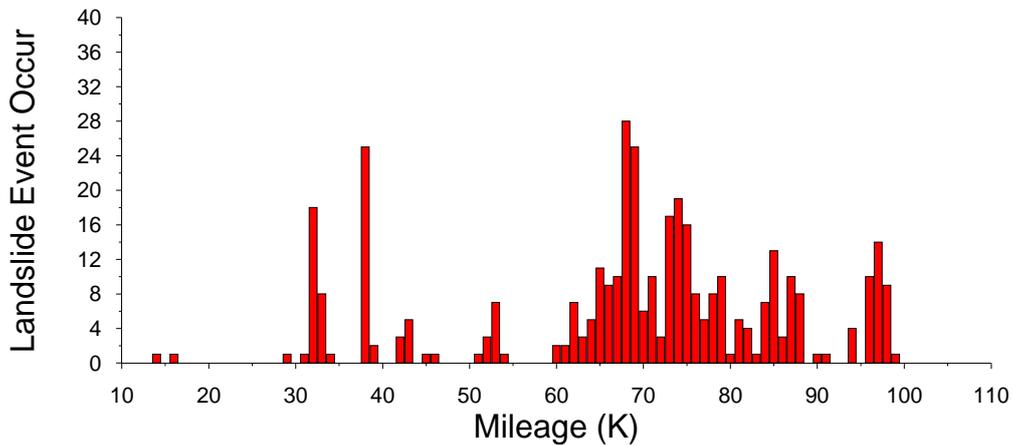


圖 5.1 臺 14 各里程近十二年累計崩塌次數分布圖

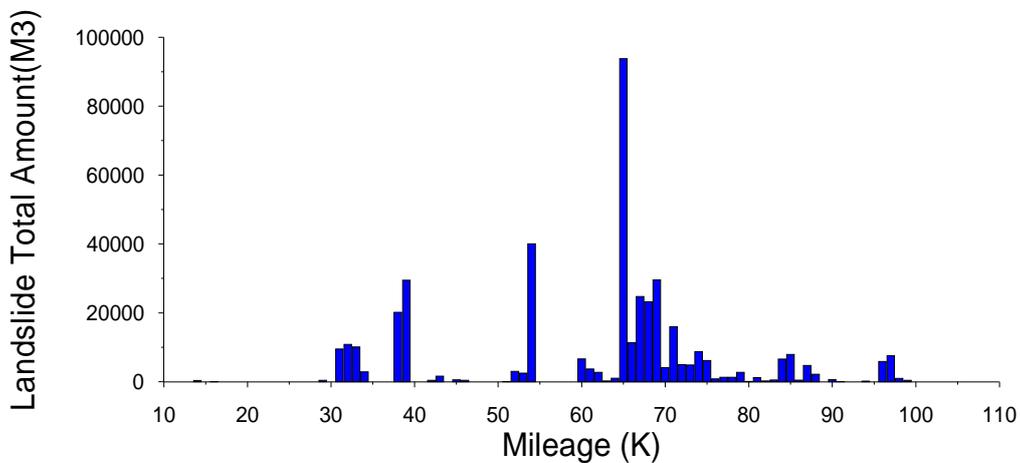


圖 5.2 臺 14 各里程近十二年累計崩塌總量分布圖

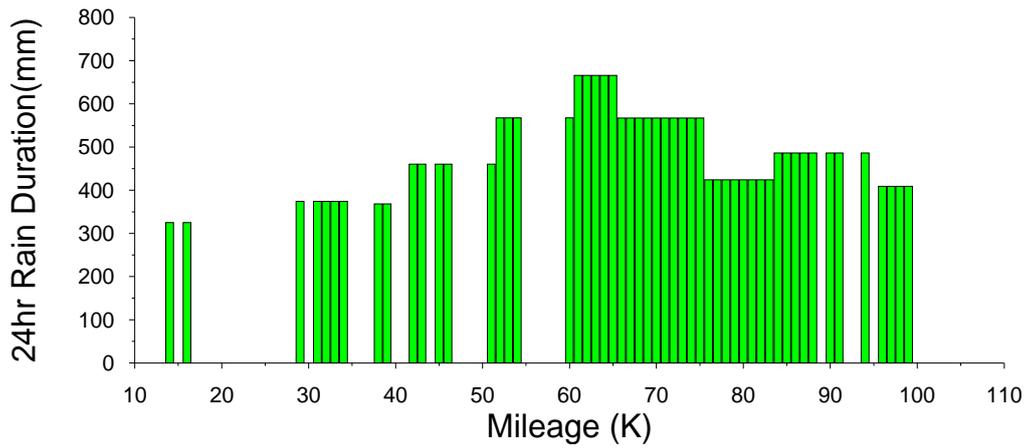


圖 5.3 臺 14 各里程近十二年崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖

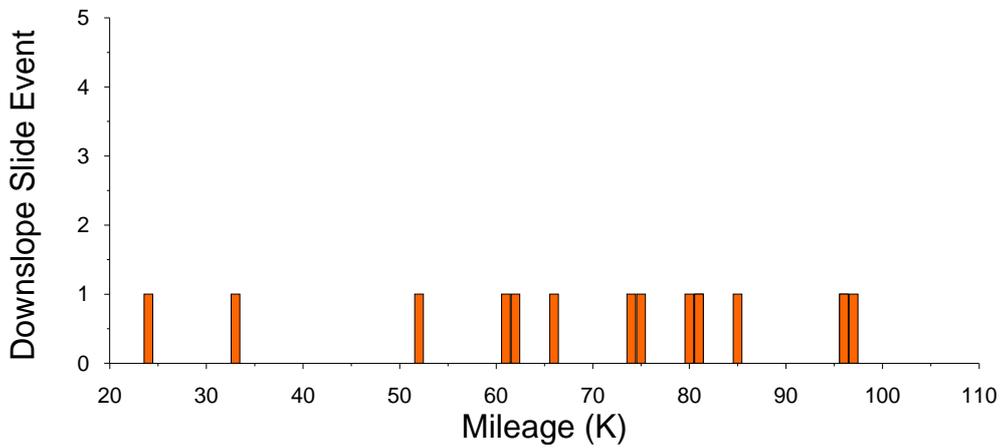


圖 5.4 臺 14 各里程近十二年下邊坡崩塌數量分布圖

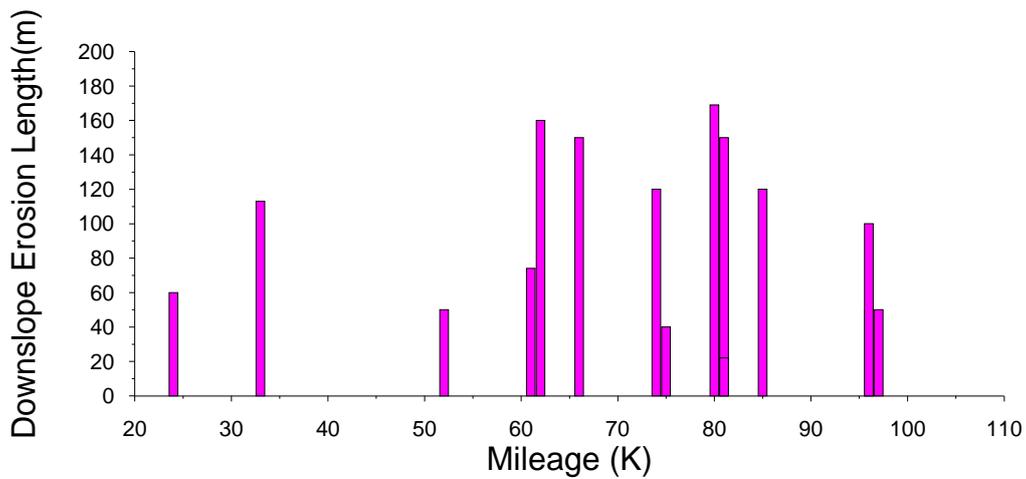


圖 5.5 臺 14 各里程近十二年下邊坡崩塌總長度分布圖

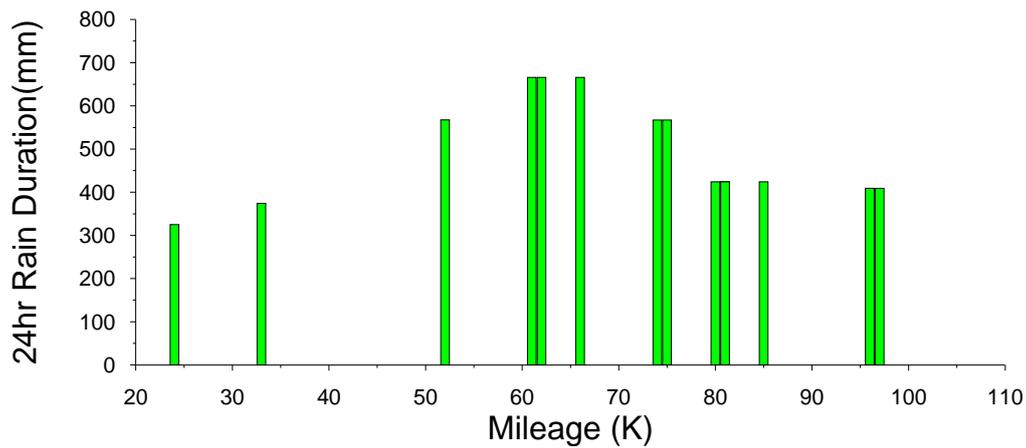


圖 5.6 臺 14 各里程近十二年下邊坡崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖

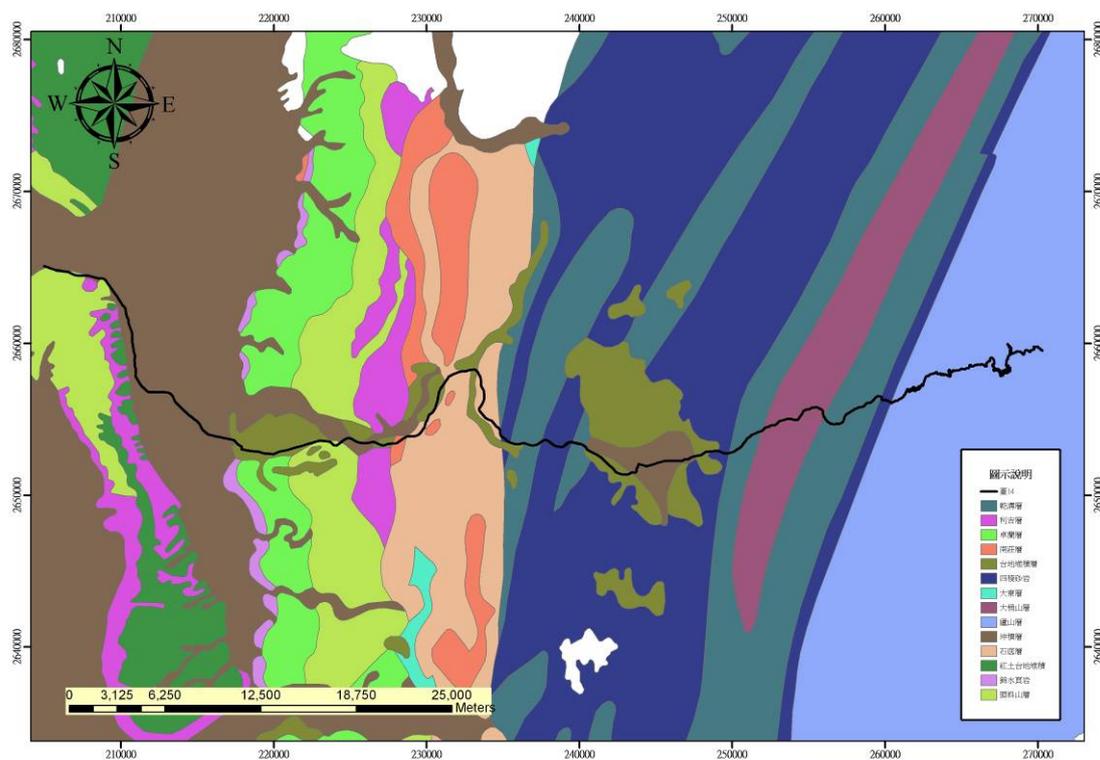


圖 5.7 臺 14 地層分布圖

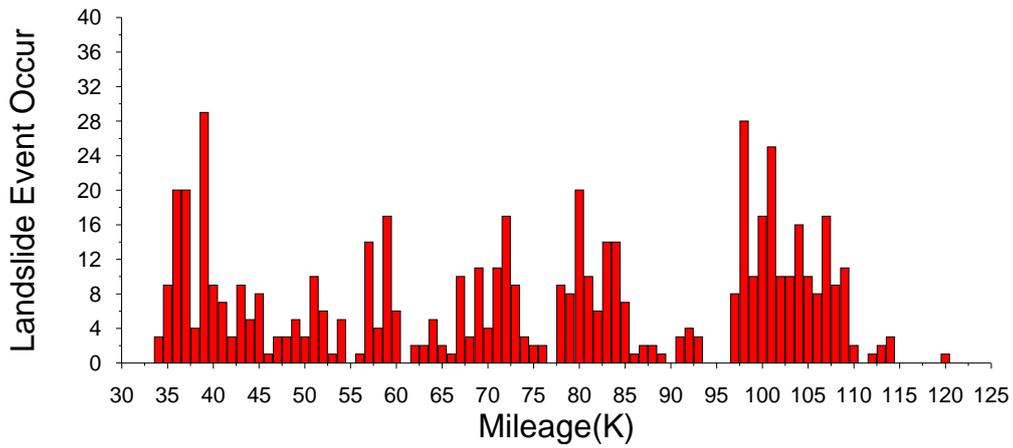


圖 5.8 臺 18 各里程近十二年累計崩塌次數分布圖

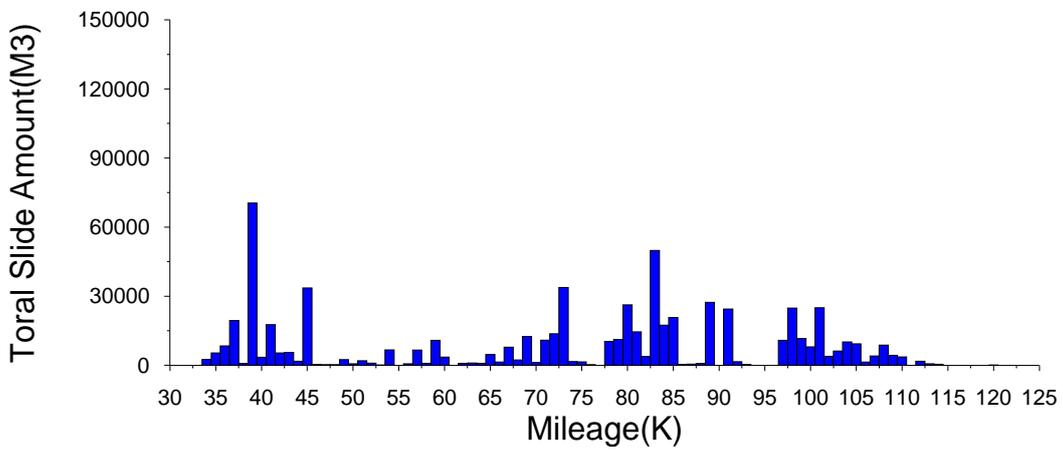


圖 5.9 臺 18 各里程近十二年累計崩塌總量分布圖

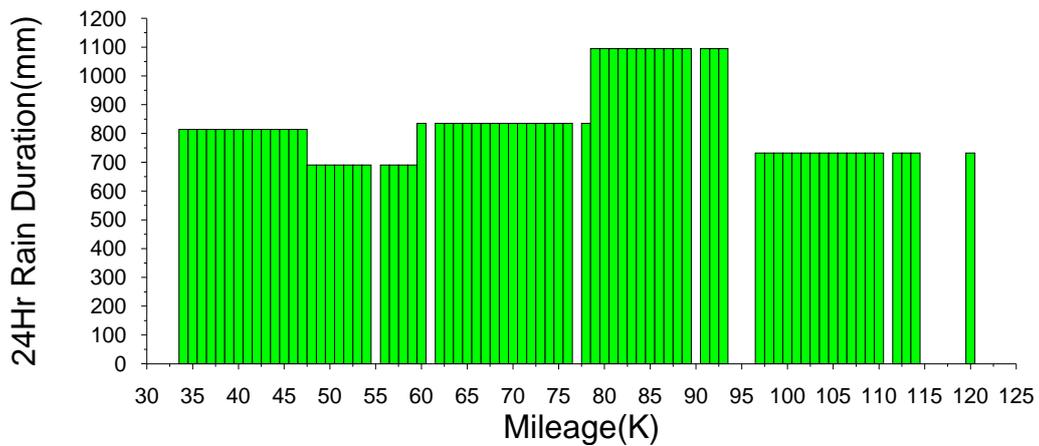


圖 5.10 臺 18 各里程近十二年崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖

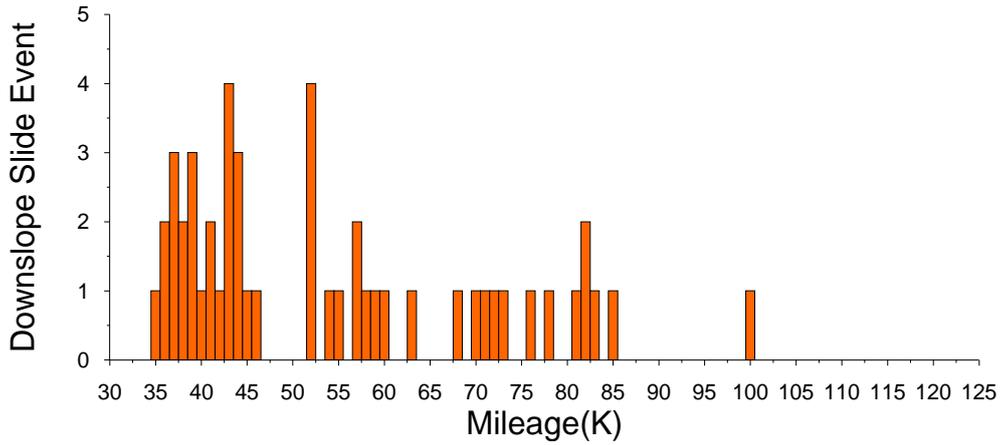


圖 5.11 臺 18 各里程近十二年下邊坡崩塌數量分布圖

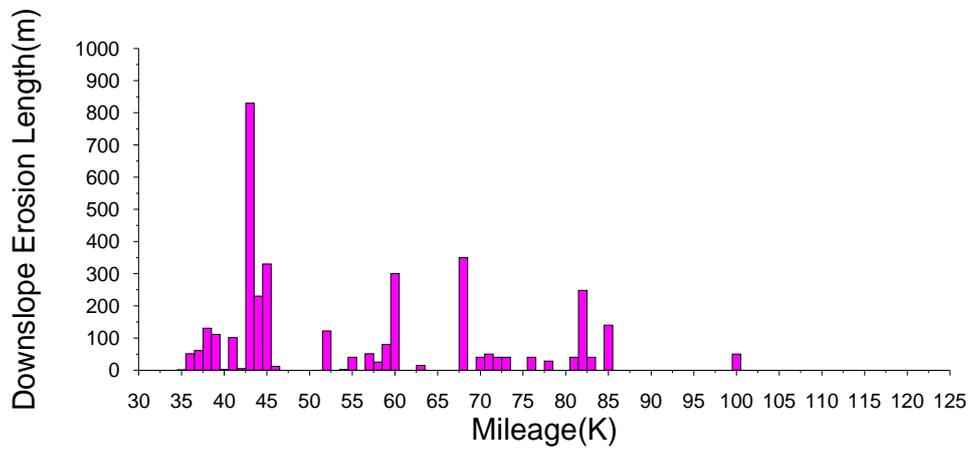


圖 5.12 臺 18 各里程近十二年下邊坡崩塌總長度分布圖

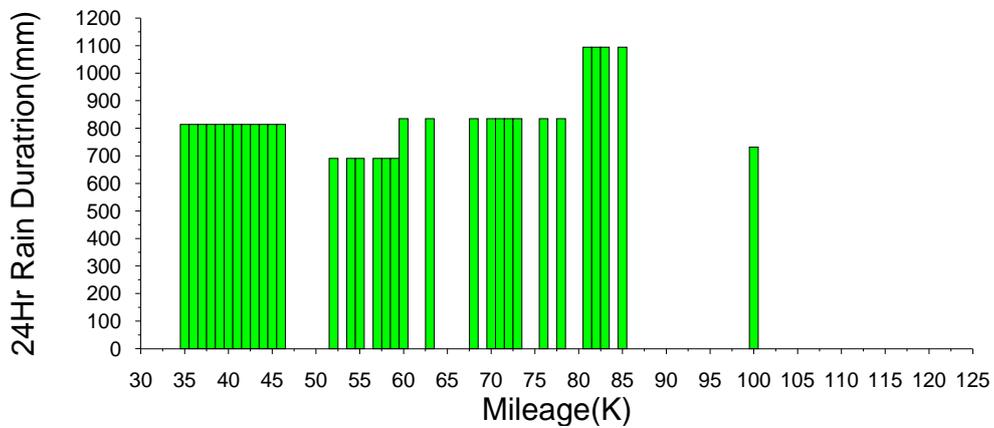


圖 5.13 臺 18 各里程近十二年下邊坡崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖

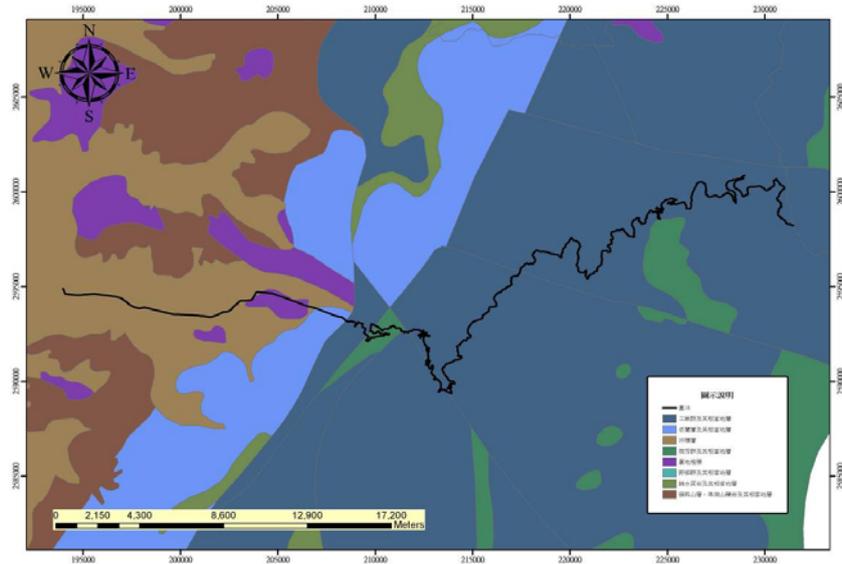


圖 5.14 臺 18 地層分布圖

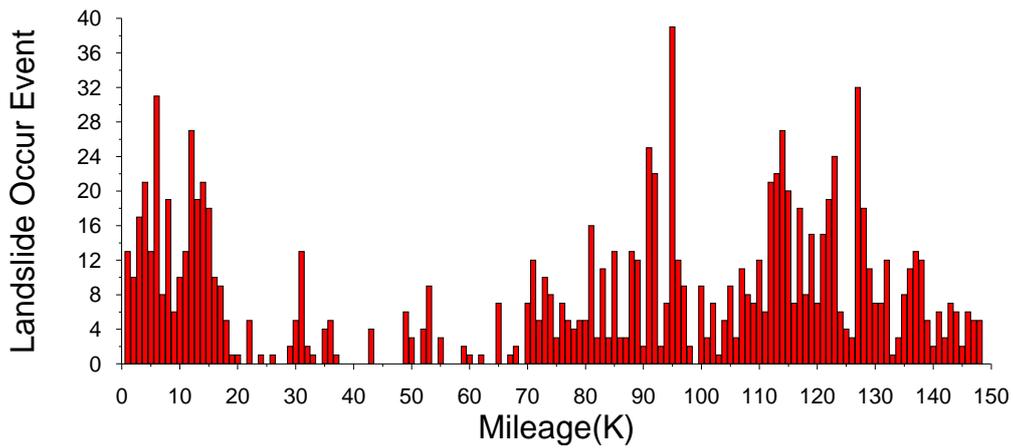


圖 5.15 臺 21 各里程近十二年累計崩塌次數分布圖

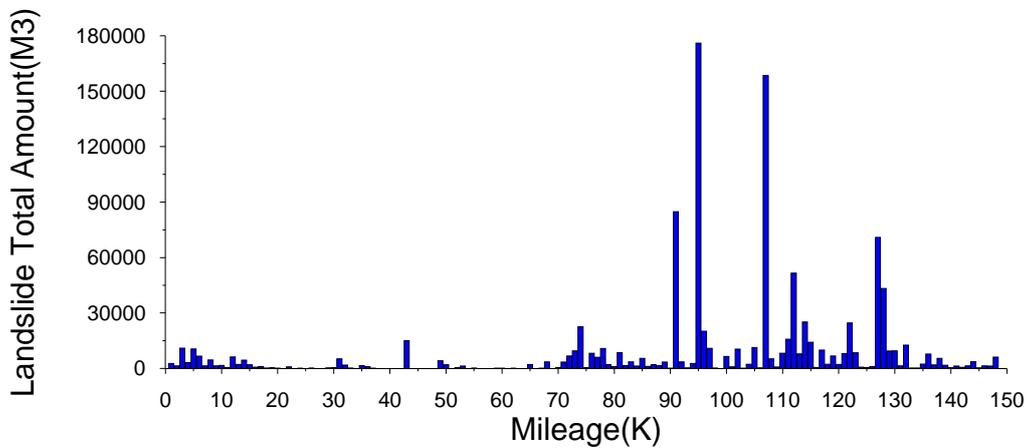


圖 5.16 臺 21 各里程近十二年累計崩塌總量分布圖

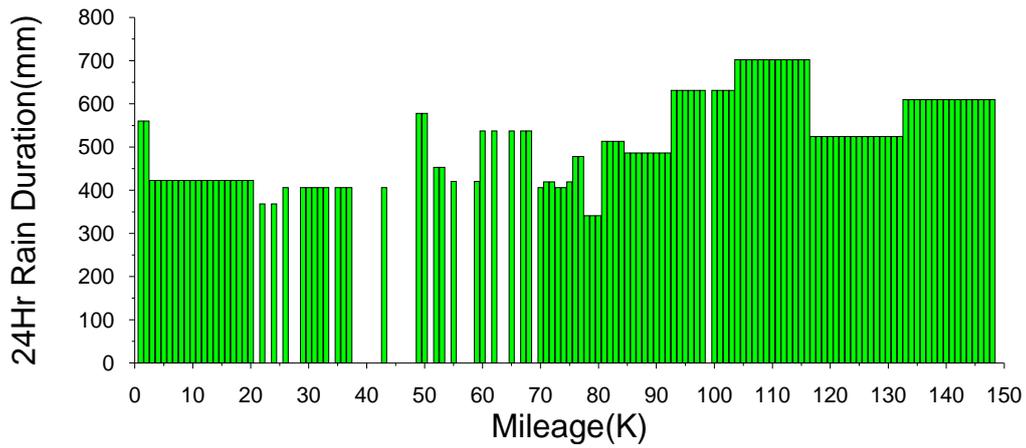


圖 5.17 臺 21 各里程近十二年崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖

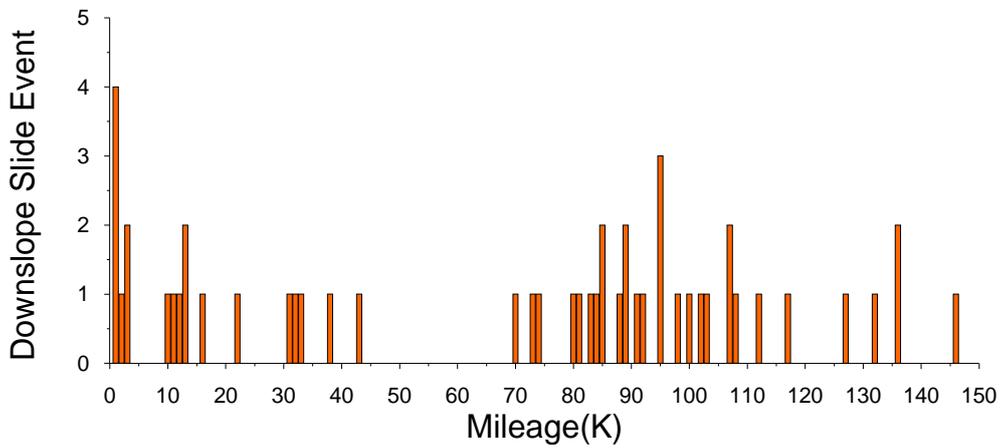


圖 5.18 臺 21 各里程近十二年下邊坡崩塌數量分布圖

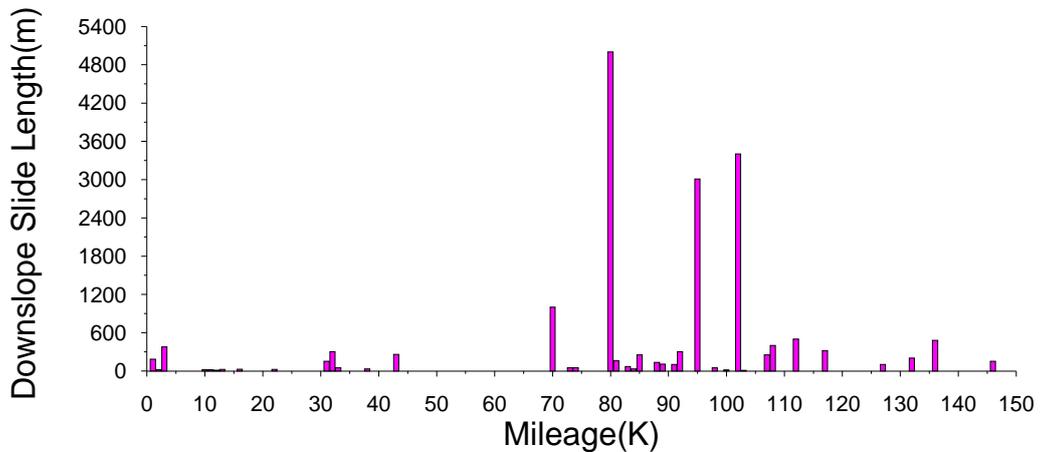


圖 5.19 臺 21 各里程近十二年下邊坡崩塌總長度分布圖

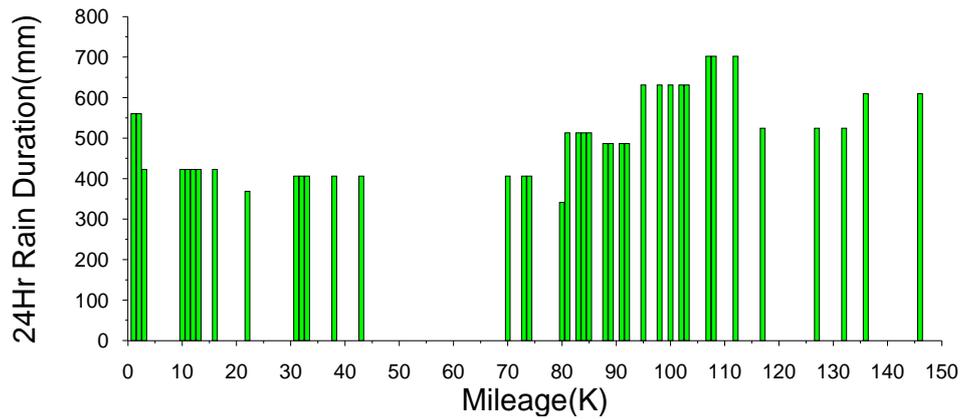


圖 5.20 臺 21 各里程近十二年下邊坡崩塌區位最大 24hr 累計降雨量分布圖

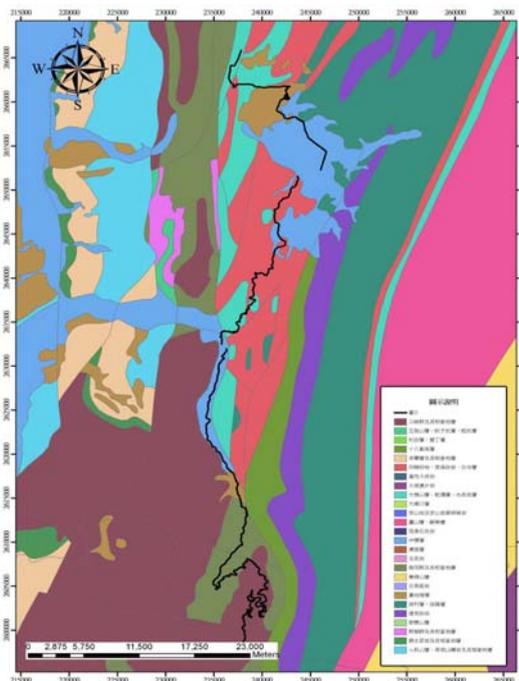


圖 5.21 臺 21 地層分布圖

5.2 省道台 18 線山區道路邊坡安全預警分析

本研究利用圖5.22之各項評估參數，透過前述公路局歷年搶修與復建工程記錄的登錄，配合自然環境資料與相關統計，整個評估模式利用邏輯斯迴歸之方法，將各項所需應用到的分析模式進行理論分析，並針對各項分析理論之流程進行說明，以確立各項分析理論之完整性及有效性。其分析流程如圖5.23所示。

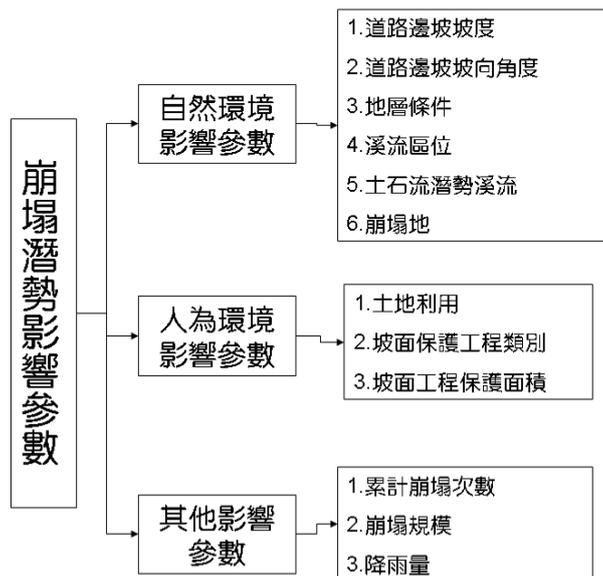


圖5.22 崩塌潛勢評估參數

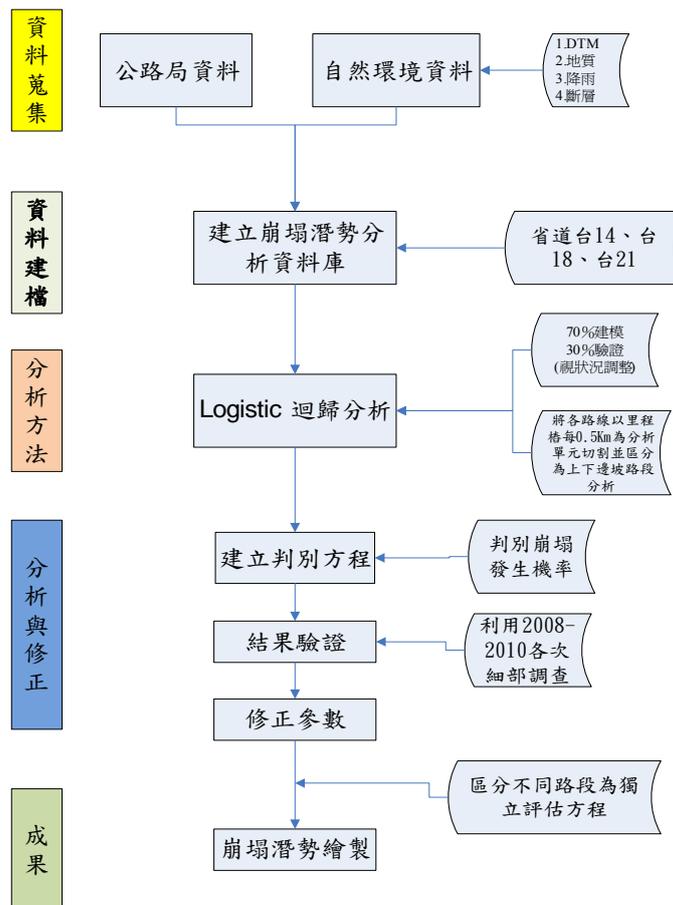


圖5.23 模式分析流程

根據上述流程，針對不同路段製作不同分析模式，由於今年度所蒐集的資料僅以臺 14 線、臺 18 線以及臺 21 線區為主，因此就這些資料(包含崩塌清除量體、崩塌地點、一日最大降雨量)以及所處環境之基本資料(坡度、坡向、地質、與河道位置、植生狀況)以及相關人為因子(工程設施、設施狀況)進行統計迴歸，並利用 SPSS 進行邏輯斯迴歸分析。

5.2.1 評估參數

1. 自然環境參數

(1)坡度(X1)

針對道路上下邊坡 25m 的坡度進行統計，並將邊坡區分左右區段，並將研究區每 500m 為平均分析單元予以統計，針對不同區間之最低門檻值以下所佔整個分析區的百分比作為該區間之權重評分。

(2)坡向(X2)

主要將研究區塊之平均坡向區分為八個方位，其中受太陽日照較多的東北方與北方坡面風化程度較大、其次為東南跟西北方，在其次為東西向，最後為西南跟南向，並按照所在位置之平均坡向，按照區位所佔比例給分。

(3)地質(X3)

其分級方式是以統計研究調查區內各類地質予以區分，如臺地堆積層、礫石層、南莊層、石底層等地層條件，依照分析單元找出各區段代表地層。

(4)河溪位置(X4)

本向主要針對河道位置與道路邊坡關係，針對河道專灣攻擊腳與緊鄰道路(水平距離<25m者)以及垂直貫穿與無河道者予以區分。

(5)土石流潛勢溪流(X5)

依據農委會水土保持局公告之 1552 條土石流潛勢溪流及其影響範圍與各路段分析單元關係，觀察是否有通過。

(6)崩塌地(X6)

本處是以現地調查時是否有產生崩塌為判釋依據。

2. 人為影響參數

(1)土地利用(X7)

本處以公路山區道路 500m 為分析單元，瞭解各單元之平均土地利用類型，作為判別影響或促發崩塌的誘因分析。

(2)工程設施類別(X8)

針對現場調查成果，找出坡面保護工程的類別，如擋土牆、型框、拍漿、植生保護工、打樁編柵或其他生態工法，甚至無保護工程等。

(3)保護面積(X9)

針對現場調查成果，在有工程保護的條件下，其保護的百分比，以每 25% 為單元進行分析。

3. 其他參數

(1)崩塌次數(X10)

主要針對歷史災害(1996-2009 年)的總數量在個別單元內發生的總次數進行統計。

(2)崩塌總量體(X11)

由年歷次崩塌總規模統計，以瞭解雨前像工作的關係。

(3)事件累計降雨量(X12)

由於降雨量在不同區域有其大小的分布，且每次災害發生的

降雨量皆有所不同，針對分析區域，將發生災害的該場事件進行 24 小時、48 小時與 72 小時累計降雨量進行統計。

5.2.2 研究方法

本研究內容將針對山區道路資料庫建立與邏輯斯迴歸之方法，將各項所需應用到的分析模式進行理論分析，並將各項分析理論之流程進行說明，以確立各項分析理論之完整性及有效性。

1. 資料蒐集

本研究蒐集所需之相關資料，山區道路之崩塌潛勢評估參數邊坡坡度、道路邊坡坡向角度、地質條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、崩塌地、坡面保護工程類別、坡面工程保護面積、累積崩塌次數、累計崩塌規模及降雨量等資料，經過資料整理，利用邏輯斯迴歸方法計算出各因子分數。

2. 觀測站雨量警戒值與參考雨量站

3. 資料匯整評分

蒐集完崩塌評估資料，首先針對戶外調查內各因子之狀況評斷給予評分。在評估參數「邊坡坡度」、「邊坡坡向角度」、「地層條件」、「溪流區位」、「土地利用」、「土石潛勢溪流」、「保護工程」、「保護工程面積」等因子評分方式以各因子內各因子等級與各公路實際發生崩塌來做比較，統計結果如表 5-9 所示，依其發生比率畫分四個等級，分別為 $0\% < \text{發生比率} \leq 10\%$ 、 $10\% < \text{發生比率} \leq 30\%$ 、 $30\% < \text{發生比率} \leq 45\%$ 及 $\text{發生比率} > 45\%$ 。其他評估參數「崩塌規模」、「崩塌次數」依影響崩塌大小由小至大給 0.03、0.09、0.27、0.81。「降雨量」則由參考的一日累積雨量再除以連續 24 小時最大降雨量，「崩塌地」則依據實地調查結果來標註，有崩塌處標註為 1，無崩塌地區則標註為 0。

表 5-9 崩塌因子等級與實際發生率統計表

省道路線		臺 14 縣				臺 18 縣				臺 21 縣			
因子項目	因子等級	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率
平均坡度	≤30 度	0.09	353	67	0.190	0.09	269	74	0.275	0.27	438	168	0.384
	30~50 度間	0.81	43	21	0.488	0.81	119	59	0.496	0.81	149	84	0.564
	x ≥ 50 度	0	0	0	0.000	0.03	0	0	0.000	0.81	1	1	1.000
邊坡坡向 角度	北	0	0	0	0.000	0.03	0	0	0.000	0.03	0	0	0.000
	西北	0.81	8	4	0.500	0.03	0	0	0.000	0.03	2	0	0.000
	西	0.27	32	10	0.313	0.81	12	6	0.500	0.81	35	15	0.429
	西南	0.09	74	22	0.297	0.27	79	33	0.418	0.81	158	76	0.481
	南	0.09	153	23	0.150	0.27	215	66	0.307	0.81	229	94	0.410
	東南	0.09	103	20	0.194	0.27	72	25	0.347	0.81	125	56	0.448
	東	0.09	21	6	0.286	0.09	10	3	0.300	0.27	39	12	0.308
	東北	0.81	5	3	0.600	0.03	0	0	0.000	0.03	0	0	0.000
地質條件	大桶山	0.81	20	10	0.500	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	臺地	0.03	61	6	0.098	0.03	4	0	0.000	0.27	58	17	0.293
	四陵	0.09	22	5	0.227	0	0	0	0.000	0.27	183	71	0.388
	石底	0.09	36	10	0.278	0	0	0	0.000	0.81	118	70	0.593
	沖積	0.03	92	1	0.011	0.03	75	0	0.000	0.09	44	11	0.250
	南莊	0.09	4	1	0.250	0.27	54	20	0.370	0.81	104	56	0.538

省道路線		臺 14 縣				臺 18 縣				臺 21 縣			
因子項目	因子等級	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率
	乾溝	0.27	40	14	0.350	0	0	0	0.000	0.27	81	28	0.346
	廬山	0.27	106	41	0.387	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	頭嵙山層	0.03	15	0	0.000	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	桂竹林	0	0	0	0.000	0.27	255	113	0.443	0	0	0	0.000
溪流區位	cross	0.09	99	18	0.182	0.03	46	1	0.022	0.81	26	15	0.577
	side	0.27	32	10	0.313	0.03	9	0	0.000	0.81	14	7	0.500
	無	0.09	265	60	0.226	0.27	333	130	0.390	0.27	548	231	0.422
土地利用	建築地	0.09	41	6	0.146	0.09	29	4	0.138	0	0	0	0.000
	闊葉林	0.27	109	46	0.422	0.27	72	25	0.347	0.81	237	105	0.443
	針葉林	0.81	2	2	1.000	0.81	108	56	0.519	0.81	22	14	0.636
	灌木區	0.27	3	1	0.333	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	林業	0.81	1	1	1.000	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	建築區	0.03	59	5	0.085	0.03	24	1	0.042	0.27	94	34	0.362
	草生地	0.09	12	2	0.167	0.81	8	4	0.500	0.81	12	6	0.500
	草生林	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000	0.81	7	6	0.857
	水田	0.03	28	0	0.000	0.03	2	0	0.000	0	0	0	0.000
	伐木地	0.81	1	1	1.000	0.03	2	0	0.000	0	0	0	0.000
	景觀區	0.03	2	0	0.000	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	雞豬舍	0.03	4	0	0.000	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000

省道路線		臺 14 縣				臺 18 縣				臺 21 縣			
因子項目	因子等級	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率
	荒地	0.09	47	7	0.149	0.09	9	1	0.111	0.27	47	13	0.277
	沼澤	0.03	2	0	0.000	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	旱田	0.03	35	3	0.086	0.03	10	1	0.100	0.81	16	10	0.625
	香蕉園	0.27	3	1	0.333	0	0	0	0.000	0	0	0	0.000
	檳榔(園)	0.09	21	5	0.238	0	47	10	0.213	0.27	72	24	0.333
	茶園	0.09	9	2	0.222	0.81	21	10	0.476	0.81	19	10	0.526
	竹林	0.81	1	1	1.000	0.81	42	20	0.476	0.81	4	2	0.500
	果園	0.09	15	4	0.267	0.03	13	0	0.000	0.27	46	21	0.457
	開闢地	0	0	0	0.000	0.81	1	1	1.000	0	0	0	0.000
	崩塌地	0.81	1	1	1.000	0	0	0	0.000	0.81	12	8	0.667
土石潛勢 溪流	有	0.27	43	17	0.395	0.03	12	0	0.000	0.81	65	35	0.538
	無	0.09	353	71	0.201	0.27	376	133	0.354	0.27	523	218	0.417
保護工程	有	0.27	142	55	0.387	0.81	54	31	0.574	0.81	348	161	0.463
	無	0.09	254	33	0.130	0.27	334	102	0.305	0.27	240	92	0.383
工程面積 (%)	無	0.09	270	38	0.141	0.27	335	102	0.304	0.81	252	98	0.389
	<30	0.27	26	8	0.308	0	0	0	0.000	0.81	112	46	0.411
	30~50	0.27	32	10	0.313	0.81	2	2	1.000	0.81	108	45	0.417
	50~70	0.27	38	13	0.342	0.81	29	16	0.552	0.81	76	41	0.539
	>75	0.81	30	19	0.633	0.81	23	13	0.565	0.81	40	23	0.575

省道路線		臺 14 縣				臺 18 縣				臺 21 縣												
因子項目	因子等級	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率	評分	統計數量	災害次數	發生比率									
崩塌量 (m ³)	≤ 50	0.03	/			0.03	/			0.03	/											
	50 < x ≤ 500	0.09				0.09				0.09												
	500 < x ≤ 5000	0.27				0.27				0.27												
	x ≥ 5000	0.81				0.81				0.81												
崩塌累積 次數	無發生崩塌者	0.03				/									0.03	/			0.03	/		
	低頻度(1-3次)	0.09													0.09				0.09			
	中頻度(4-6)	0.27													0.27				0.27			
	高頻度(≥ 7)	0.81													0.81				0.81			

4. 操作步驟

本計畫中邏輯斯迴歸分析是使用統計軟體 SPSS 來操作，將所蒐集須的各類因子匯整出一張 EXCEL 試算表，將 EXCEL 試算表之資料匯入 SPSS，進而操作計算出邏輯斯迴歸方程式。在使用 SPSS 分析前須將資料數據做標準化動作，將各因子之數值除以各因子內數值的最大值，因參數數據可能具有極大差異，經標準化後可將原數值作等比縮小參數，並無改變其性質。

在標準化動作後，開啟 SPSS 統計分析程式在軟體操作頁面點選上方功能列中的「分析」功能，再選擇「迴歸方法」中的「二元 Logistic」，即可叫出邏輯斯迴歸功能之視窗，如下圖 5.24 所示。視窗如圖 5.25 所示，在依變數及共變數欄位分別輸入實際崩塌及其餘崩塌潛勢影響因子，確定後即可得邏輯斯迴歸後結果。其結果為一邏輯斯迴歸判別式，輸入某一組因子數值可透過此判別式之函數轉換及可求得組因子下之潛勢機率。

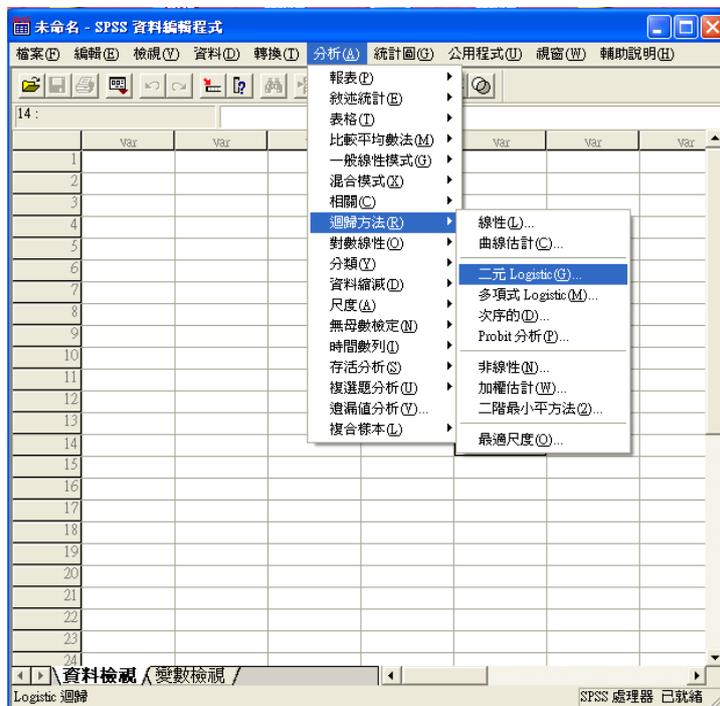


圖 5.24 SPSS 之「邏輯斯迴歸」分析功能

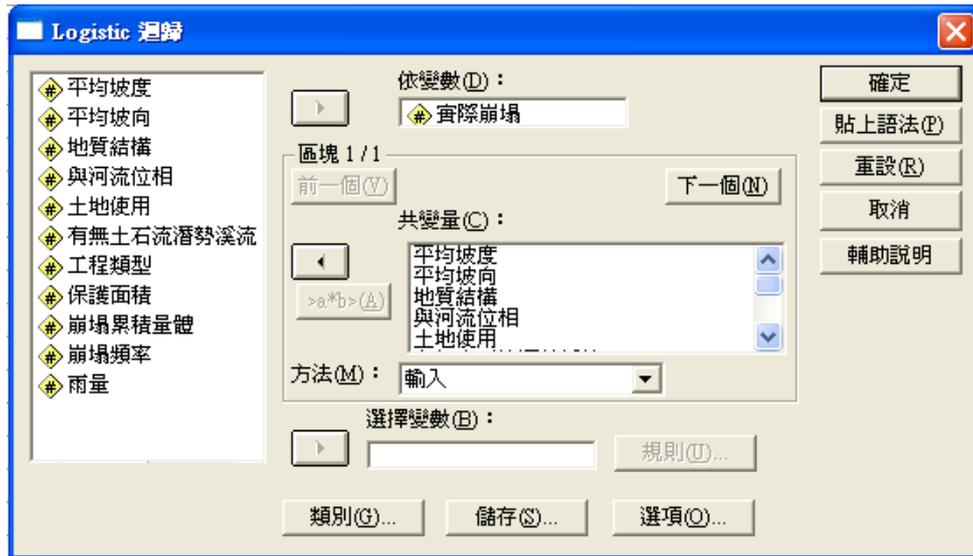


圖 5.25 SPSS 邏輯斯迴歸示意圖

$$Y_{14} = -14.32 + 1.25 * X_1 + 1.69 * X_2 + 2.28 * X_3 + 1.07 * X_4 + 1.26 * X_5 + 3.71 * X_6 + 0.44 * X_7 + 2.18 * X_8 + 288.14 * X_9 + 29.44 * X_{10} + 1.38 * X_{11}$$

$$Y_{18} = -23.43 + 0.9 * X_1 + 1.54 * X_2 + 75.87 * X_3 + 70.7 * X_4 + 0.18 * X_5 + 4.7 * X_6 - 33.88 * X_7 - 1.33 * X_9 - 299.71 * X_{10} - 4.82 * X_{11}$$

$$Y_{21} = -0.05 + 0.22 * X_1 + 0.72 * X_2 + 1.19 * X_3 - 1.51 * X_4 + 0.38 * X_5 + 1.08 * X_6 - 0.01 * X_7 - 0.54 * X_8 - 1.44 * X_9 + 1.12 * X_{10} - 0.56 * X_{11}$$

X_1 :平均坡度 ; X_2 :平均坡向 ; X_3 :地質結構
 X_4 :與河流位相 ; X_5 :土地使用 ; X_6 :有無土石流潛勢溪流
 X_7 :工程類型 ; X_8 :保護面積 ; X_9 :崩塌累積量體
 X_{10} :崩塌頻率 ; X_{11} :雨量 ; Y :崩塌潛感值

5. 模試驗證

使用邏輯斯迴歸分析結果，利用各變數之對應係數可組成邏輯斯迴歸模式(如上式)。求得 Y 值可轉換 Logistic 迴歸模型即為此成功率：

$$\pi = \frac{\exp^{(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}}{1 + \exp^{\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k}}$$

其中 α 為常數項， β 為相關係數， X 為各種變數，其發生崩塌災害之機率高於 50%，而判讀為預測會出現崩塌，假設應變數 Y(值為 0 或 1)，則 Y 表示為 1；相反地，Y 值小於零則顯示 0。此結果與最初崩塌評估資料項目中的崩塌地情況來做對比，即可驗正準確性。

臺 14、臺 18 及臺 21 根據上試判別方法，將崩塌潛勢在不同降雨條件下計算，以臺 18 線示範段作為示意(如圖 5.26-5.28 所示)，分別就累計降雨量達 300mm、450mm 及 600mm 之坡面崩塌潛勢進行展示。

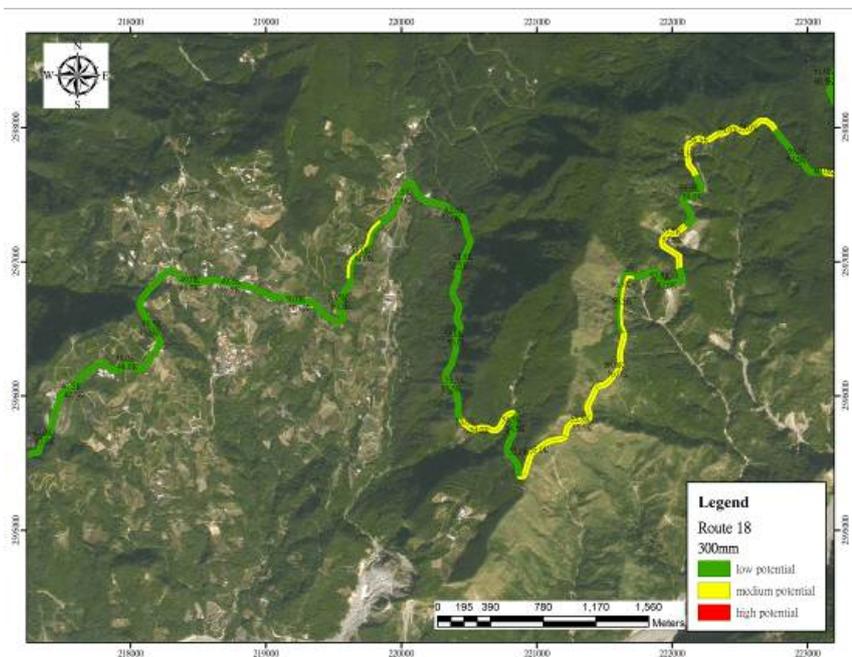


圖 5.26 臺 18 示範段累計降雨量崩塌潛勢(300mm)

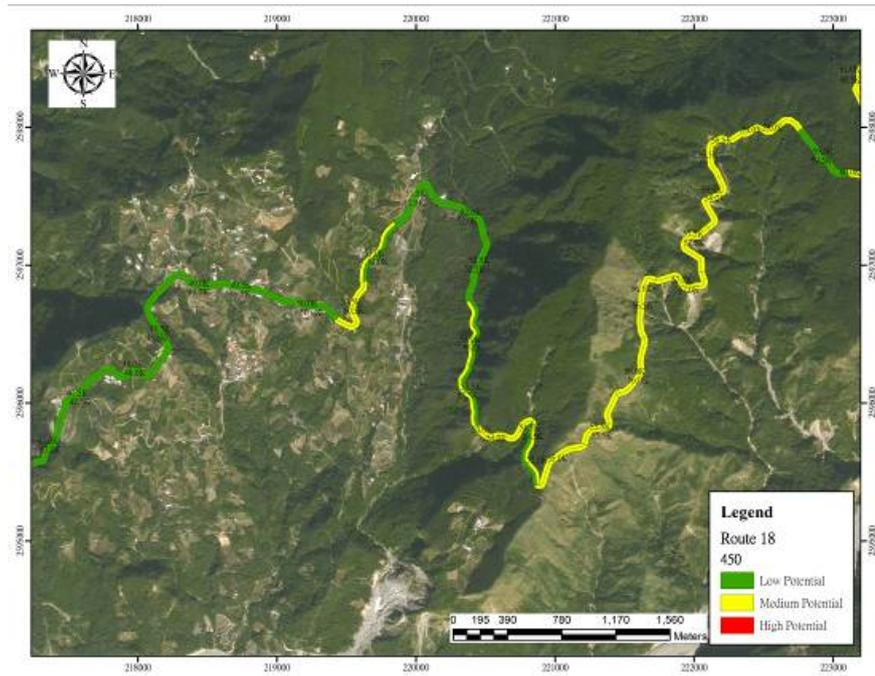


圖 5.27 臺 18 示範段累計降雨量崩塌潛勢(450mm)

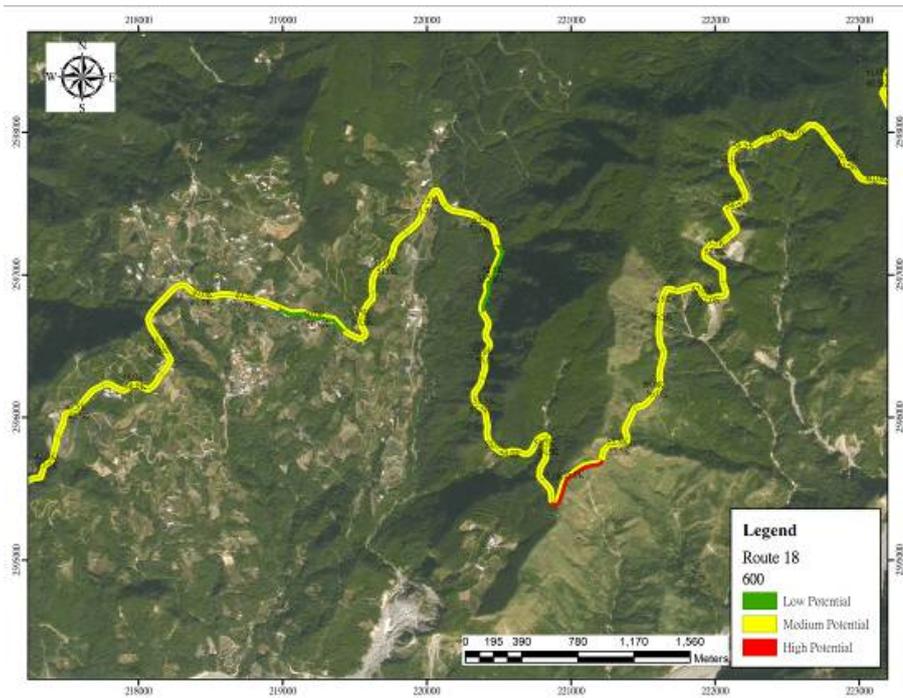


圖 5.28 臺 18 示範段累計降雨量崩塌潛勢(600mm)

5.3 建置道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫

本計畫為延續前面兩年研究成果，並且延續既有公路邊坡管理系統予以重新規劃，結合民國 96 年及 97 年前兩期成果，將道路邊坡管理系統區分為三大基本資料，包含道路基本資料、道路災損資料以及道路維護管理資料進行各種道路資料之蒐集與彙整、並且透過歷年公路單位相關之搶修與復建工程資料配合系統進行歷史資料之建置，各項系統內容之組成如圖 5.29~圖 5.32 所示。

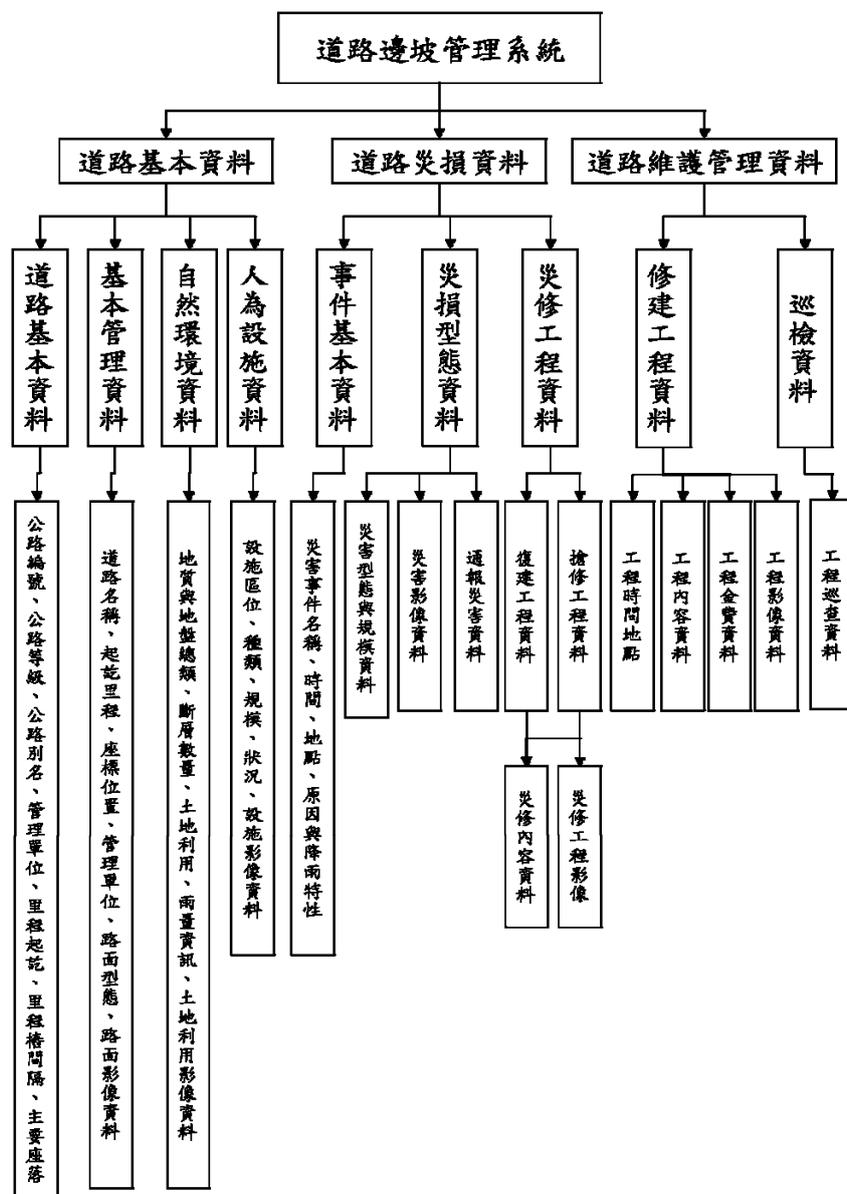


圖 5.29 道路邊坡管理系統組成圖



圖 5.30 道路邊坡系統中道路基本資料組成圖

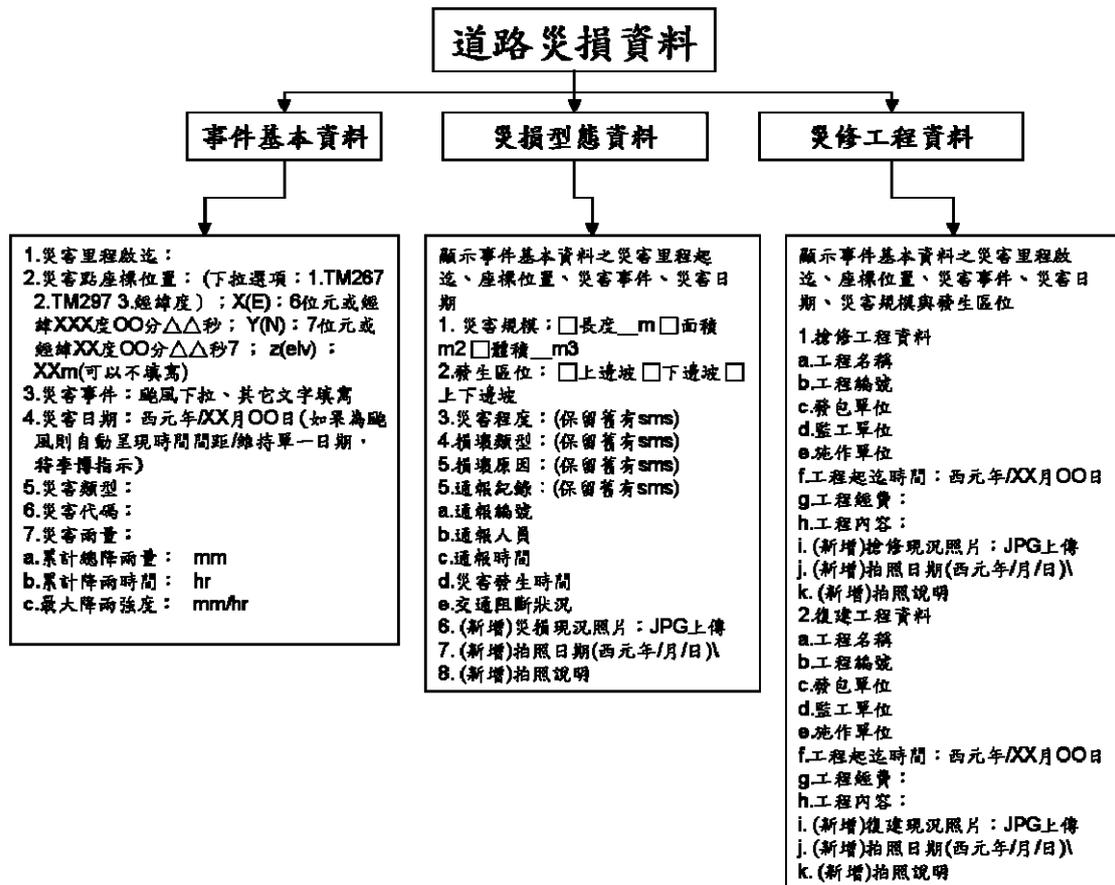


圖 5.31 道路邊坡系統中道路災損資料組成圖

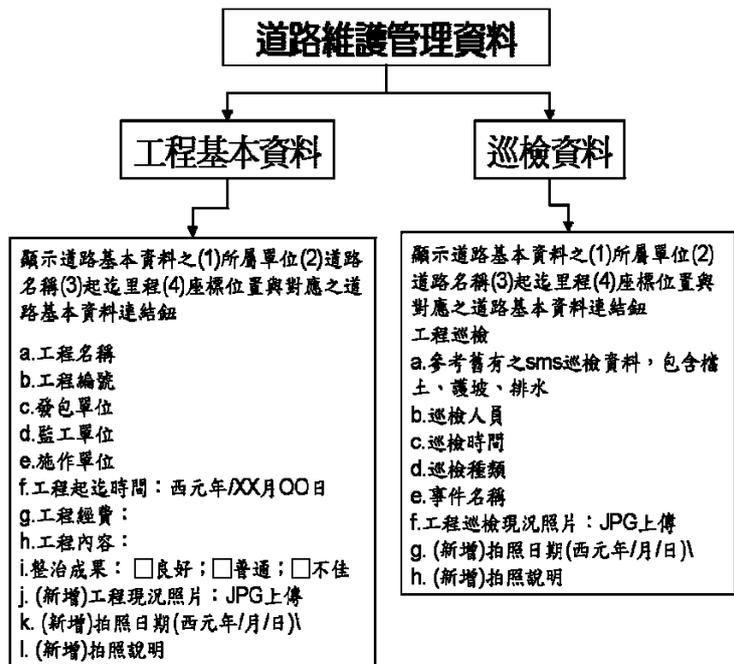


圖 5.32 道路邊坡系統中道路維護管理資料組成圖

修正原本既有之單機版道路邊坡維護管理系統(Slope Management System, SMS，如圖5.33)以及交通部運研所公路防救災資訊系統(如圖5.34)之內容，進行整合，並將上述內容開發新的網路介面，如下所示。

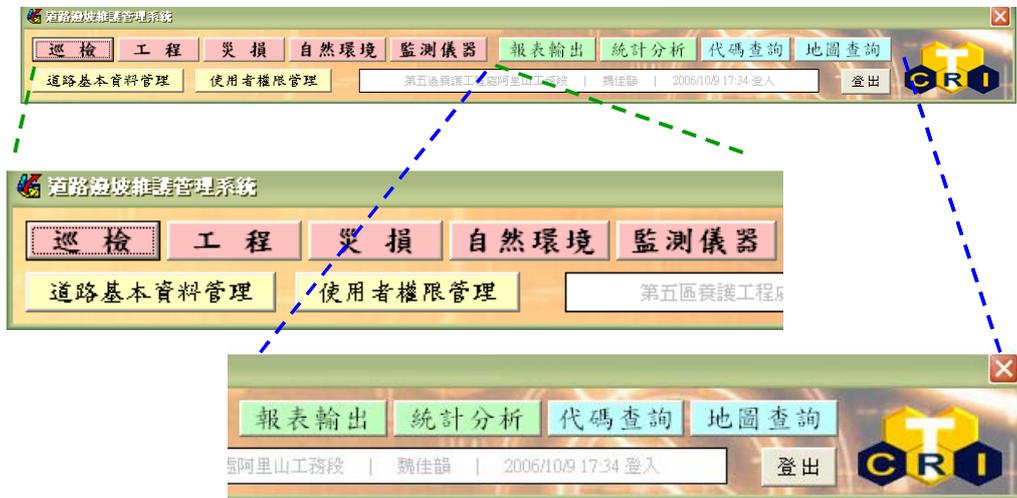


圖 5.33 道路邊坡維護管理系統畫面



圖 5.34 交通部運研所公路防救災資訊系統畫面

1. 系統畫面

(1) 主功能一般使用者



(2) 主功能-系統管理者



(3) 資料新增-雨量站資料(系統管理者)



(4) 資料新增-歷史雨量資料(系統管理者)



(5) 資料查詢—雨量資料查詢

2010 6 15 週二 目前位置:

維護管理 · 設施再造

邊坡設施維護管理資訊網
Slope maintenance management system

◎ 首頁 ◎ 地圖查詢 **發出**

資料新增維護

- ☐ 道路基本資料
 - 道路基本資料
 - 邊坡基本資料
- ☐ 道路災損資料
 - 事件基本資料
- ☐ 道路維護資料
 - 修建工程資料
 - 道路巡檢資料
- ☐ 雨量維護資料
 - 雨量站資料
 - 歷史雨量資料

資料查詢

- 道路里程查詢
- 道路基本資料
- 道路災損資料
- 修建工程資料
- 道路巡檢資料
- 雨量資料查詢**
- 潛勢評估
- 評分輸入
- 潛勢查詢

雨量資料查詢

雨量站名稱: 請選擇

站號: 請輸入文字

座標位置: TWD297 X(E): 229 Y(N): Z(elev):

管理單位: 中央氣象局

道路名稱: 省道台21線

里程起訖: 自 K M 至 K M

主要座落: 請選擇縣市 請選擇鄉鎮

查詢

	雨量站	站號	X	Y	道路名稱	主要座落		
<input type="checkbox"/>	阿里山	46753	229255	2601022	省道台21線	嘉義縣阿里山鄉	基本	歷史
<input type="checkbox"/>	卓蘭雨量	C1E60	229140	2688421	省道台21線	苗栗縣卓蘭鎮	基本	歷史

完成 近端內部網路 100%

a. 點按 **基本** 鈕

2010 6 15 週二 目前位置:

維護管理 · 設施再造

邊坡設施維護管理資訊網
Slope maintenance management system

◎ 首頁 ◎ 地圖查詢 **發出**

資料新增維護

- ☐ 道路基本資料
 - 道路基本資料
 - 邊坡基本資料
- ☐ 道路災損資料
 - 事件基本資料
- ☐ 道路維護資料
 - 修建工程資料
 - 道路巡檢資料
- ☐ 雨量維護資料
 - 雨量站資料
 - 歷史雨量資料

資料查詢

- 道路里程查詢
- 道路基本資料
- 道路災損資料
- 修建工程資料
- 道路巡檢資料
- 雨量資料查詢
- 潛勢評估
- 評分輸入
- 潛勢查詢

雨量站資料 編輯

系統代碼: R00000001

雨量站名稱: 阿里山 站號: 01N84 *

座標位置: TWD297 X(E): 229255 Y(N): 2601022 Z(elev): *

管理單位:

主要座落縣市: 鄉鎮:

儲存 **關閉** **刪除**

完成 近端內部網路 100%

b. 點按 **歷史** 鈕

註：因不確定歷史雨量的檔案是否有「降雨強度表」，提供二種畫面

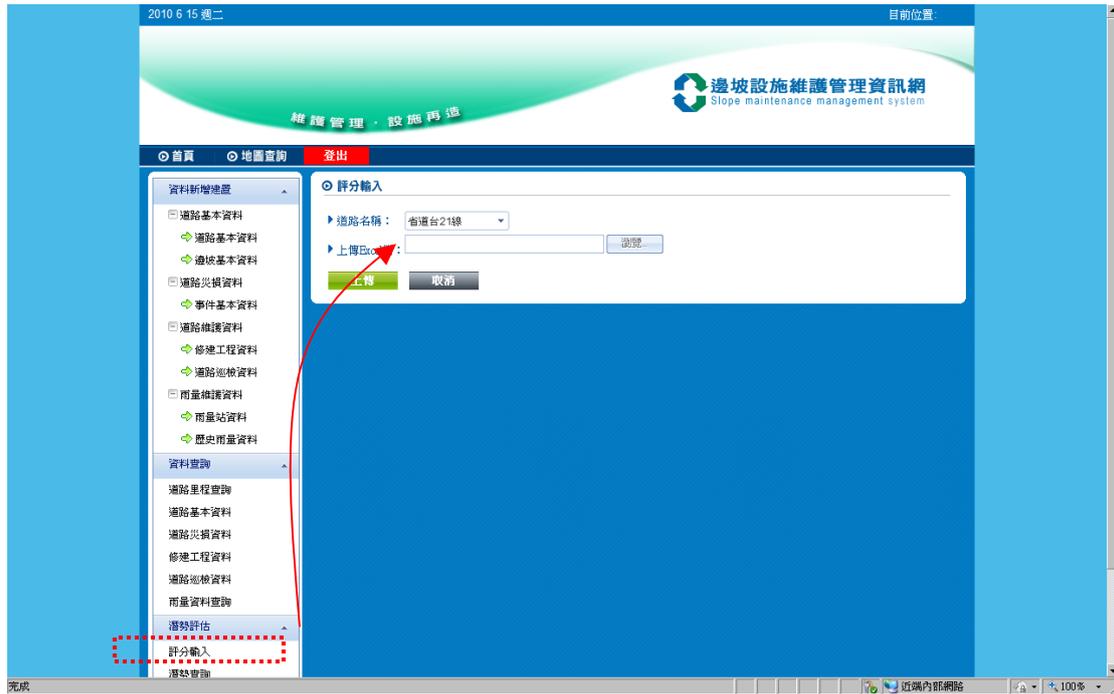
(a) 畫面1



(b) 畫面2



(6) 潛勢評估－評分輸入(系統管理者)

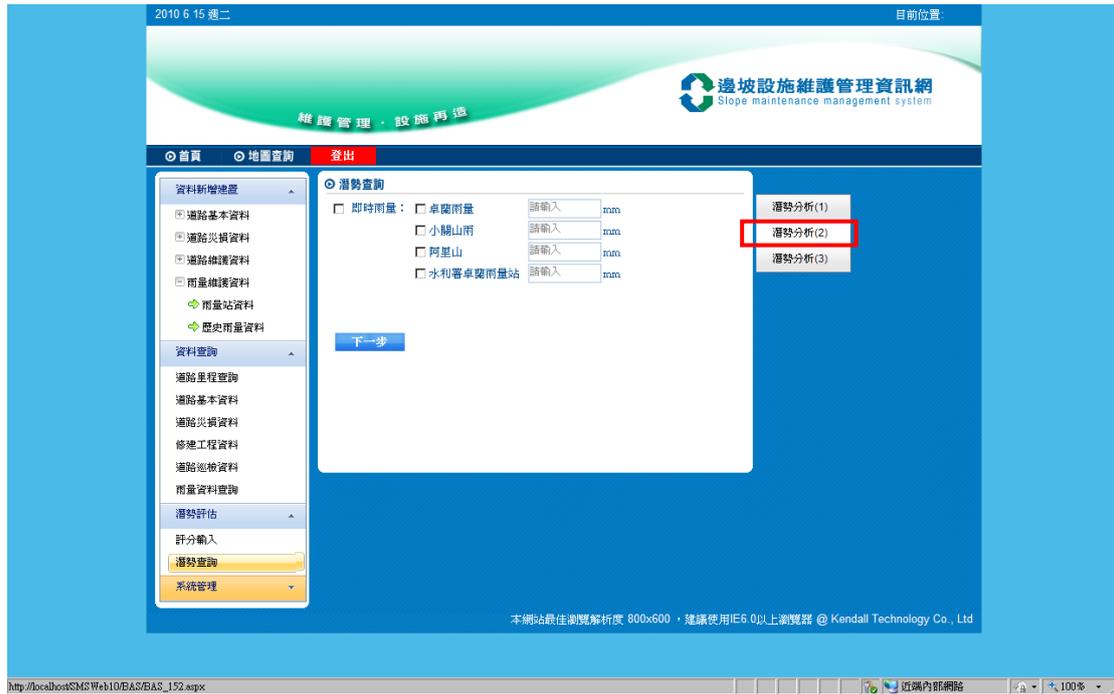


(7) 潛勢評估－潛勢查詢

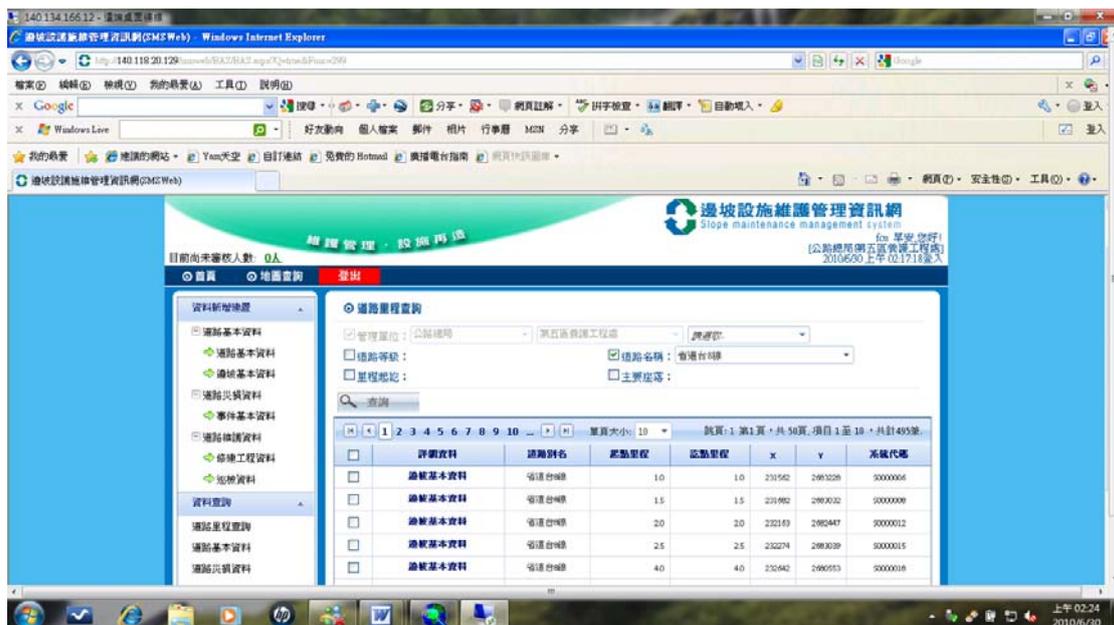
a. 潛勢分析(1)



b. 潛勢分析(2)



根據上述系統建置之內容說明後，透過歷史資料之蒐集，針對其致災點位與致災類型與發生時間及規模進行整理，針對計畫四年來所蒐集之臺8、臺14、臺16、臺18、臺20及臺21線內容進行完整建置。其建置數量如下：



臺 8-495 筆



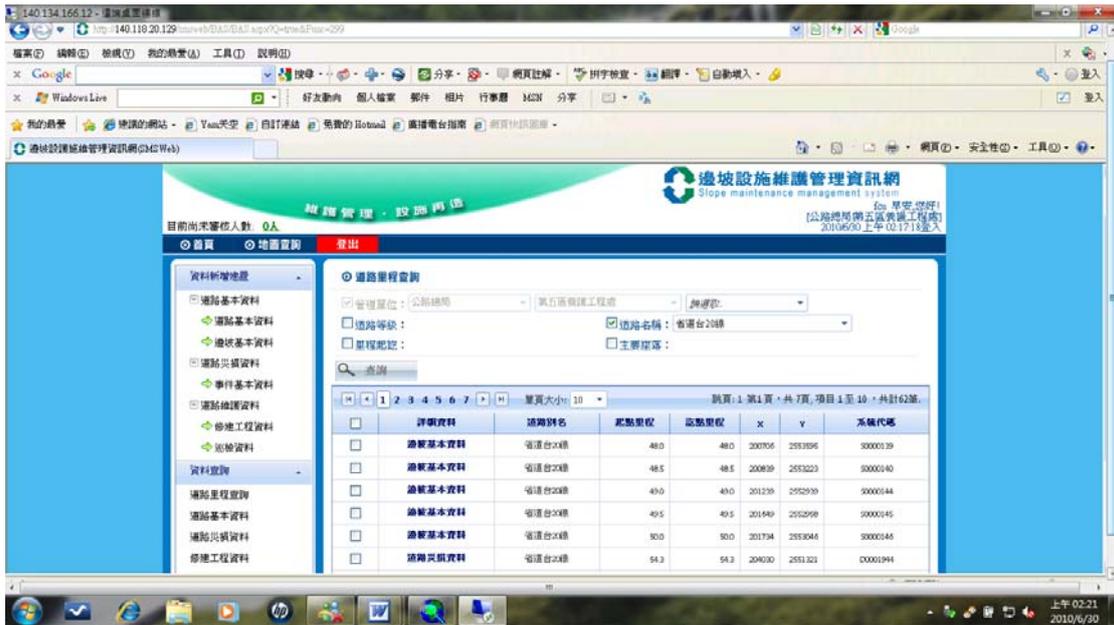
臺 14-243 筆



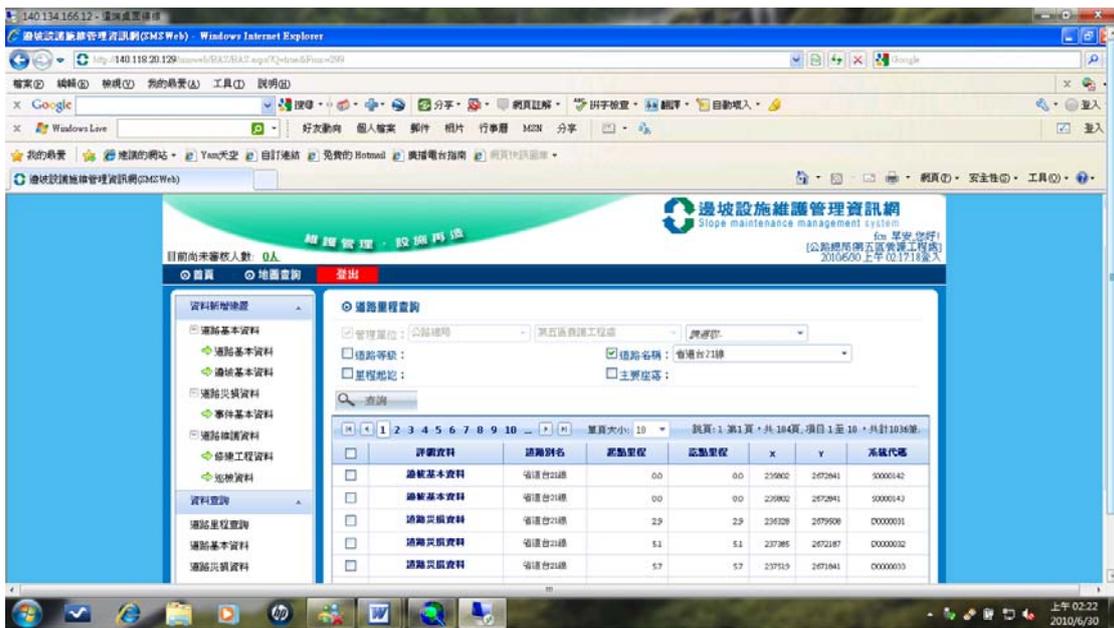
臺 16-247 筆



臺 18-544 筆



臺 20-62 筆



臺 21-1036 筆

第六章 公路防救災決策支援系統建立之研究

6.1 研究內容

由於臺灣自然環境特殊，地震、颱風及土石流等災害發生頻繁，災害常常造成各項交通設施及要道中斷，使得災區交通受阻、人員傷亡。因此綜整所有災害資訊並整合各災害資訊系統，在災害來臨時，提供公路設施管理人員進行緊急應變決策實屬刻不容緩。本研究應用資料交換平臺架構下，整合目前現行使用的公路設施管理、防災系統、災害資訊及監測資料等，將各類型資訊模組化管理。經災害資料分析後，自動提供公路巡檢人員預警通報。巡檢人員利用公路防救災決策支援系統 PDA 或單機版本填寫表單回傳，系統依災害評估機制確認災害狀態。當橋梁中斷時，本系統之軟體代理人將匯整道路通阻資訊，並利用 ArcGIS 的路網分析模組搜尋符合用路人之最適替代道路。目前可達成下列目標：(1)不同單位間可互相分享資料，避免資料重覆建置所造成之資源浪費及資料不一致性；(2)資料庫及功能模組的擴充功能模式，有效整合各類交通設施，強化防災能力；(3)公路設施之管理防災能力，可從單一設施的點範圍提昇至整體綜觀之線甚至面的範圍，落實及追縱各項防救災作為。當災害來臨，公路管理單位往往不只面對單一災害事件，同一時間可能有多處災害事件需要處理。故公路管理單位如何能夠在短時間內對災情資訊進行完整收集及研判，並於短時間內完成災害應變之處置措施為本研究之目標。

6.2 資料交換平臺及 GIS 及時災害資訊整合頁面

邊坡防救災業務需仰賴政府各相關部門發佈相關災害資訊及監測資料整合，以利公路管理單位進行災害研判及決策。故本系統建置以「資料交換平臺」為進行資料交換及整合，並將整合成果利用「GIS 即時災害資訊整合頁面」呈現提供公路管理單位救災參考。以下針對「資料交換平臺」及「GIS 及時災害資訊整合頁面」進行介紹。

6.2.1 現有系統之缺點

目前國內公路設施主管機關，對於所轄設施如橋梁、坡地、道路或隧道之管理及防災作為皆朝向電腦化之目標，且成效顯著。然目前各機關及各設施已發展採用之資訊系統多無法相互聯繫，且多為獨立開發，資料庫間整合實屬不易，倘若以人工方式進行系統間資料整合，將無法因應災時緊急應變之需，且所需人力十分龐大。而各系統獨立運作的結果，造成各系統在使用維護管理上，發生資料重覆建置無法分享共用之問題，使得在防災作為無法有效掌握整體災情及規劃救災資源。

6.2.2 資料交換平臺

為達到各系統間資料交換之目的，以智慧代理人為基礎，建立一資料交換平臺，資料交換平臺之建立，可減少資料重覆建置，增加資訊之使用率，達到資源共享之目標。在此架構下各系統將共享災情資訊，並可整合各項資源。建構資料交換平臺之流程可分為四步驟，分別為：(1)制訂邊坡防災資料交換格式，(2)建構多代理人模式，(3)提供 Web Service 及(4)建構 GIS 即時災害資訊整合頁面，以下將以邊坡維護管理系統為交換對象進行介紹。

6.2.2.1 制定邊坡防災資料交換格式

此一步驟主要為擬定交通工程各類資訊之資料交換標準格式，以 XML 方式表現，提供不同系統間，進行資料之交換。XML 為一九八六年國際標準組織公佈的一個名為「標準通用標示語言」(Standard Generalized Markup Language, SGML)的精簡版/子集合。XML 文件和訊息的主要特色在於它是以結構及資訊內容為導向的語言。利用此種方法將資訊內容、結構和格式等不相同的文件要素予以區分。

目前國內具備或應用 XML-based 標準的產業尚少，其它產業與體系則尚處在萌芽階段，本文將建立邊坡相關 XML 資料傳遞標準範例，以協助相關單位運用多代理人模式(Multi-Agent)進行線上協同作業。

為了提供後續流程中代理人所需之 XML Schema 資料庫，此階段將制定邊坡相關資訊之 XML 標準，以邊坡基本資料表為例，運用 XML Schema 方式說明，其中底層根元素為邊坡基本資料，其子元素包含填表日期、道路名稱、起點里程、迄點里程、紀錄長度、起點里程 GIS 座標、迄點里程 GIS 座標、資料種類、道路基本碼、更新人員及更新日期等項目。

6.2.2.2 建構多代理人模式

國內現有交通相關系統皆為獨立運作且資料互不相連，許多資料皆重複建置且格式不一，造成資源共享不易。為避免在系統整合時重複建置系統之問題，此階段將建構一多代理人模式。代理人技術已被應用在各種不同的領域，例如計畫排程、資訊檢索等，藉由此項技術的運用可以減少工作量以及資訊量，使用者可以指派代理人完成特定的任務或是與代理人相互合作，完成共同的目標。本文藉由智慧代理人間可相互溝通之特性，建立一多代理人之環境，協助完成整合交通工程相關資訊管理系統。所建置之六個智慧代理人分別是資料擷取代理人、資料過濾代理人、資料比對代理人、資料更新儲存代理人、Web Service 代理人及標籤註記代理人。前四項沿用交通工程防災預警系統之智慧代理人，後兩項為新開發之智慧代理人。功能簡述如下：

1. 標籤註記代理人主要功能是替原本無 XML 標準註記之系統網頁加入標籤，藉由標籤註記代理人由 XML Schema 資料庫中尋找合適之標籤加註於舊有系統產出文件中，本系統第一年以道路邊坡維護管理系統為測試案例進行此代理人測試。
2. Web Service 代理人則可將已加註標籤之網頁內容發佈為 Web Service，在註冊服務器中登錄此模組功能服務，之後就可提供資料擷取代理人擷取其網頁內容。
3. 智慧代理人將是各公路相關系統對外之窗口，各代理人之間會以前一階段中所確立之 XML 資料格式交換各資訊。此架構由多智慧

代理人構成一群組，代理人將自動溝通，運用 Web Service 取得所需之資料或提供資料。

6.2.2.3 提供 Web Service

舊有系統網頁通常是以 HTML 標準撰寫，標籤註記方式較為自由，輸出表單以使用者可簡單閱讀為目的。但在此架構下，輸出網頁無法讓一些自動化軟體(如智慧代理人)所判讀，因此為了讓道路邊坡維護管理系統提供 XML 格式文件，此階段(如圖 6.1)藉由標籤註記代理人先行對舊有系統網頁進行註記，再進行註記動作前須針對該領域知識建置 XML Schema 資料庫，標籤註記理人可輔助使用者由資料庫選取合適標籤對資料欄位進行註解，以<tag></tag>方式在欄位左右處進行標記，使得網頁可以 XML Schema 格式進行資料輸出。

Web Service 代理人再根據需求由網頁或是資料庫中擷取資料建置對外之 Web Service 功能，各項資訊與服務透過 Web Service 之方式開放給予其他 Agent 連結。Web Service 為近年來所推動之技術標準。其特色為採用 XML(eXtensible Markup Language)技術傳遞結構性資料，且因為 Web Service 包含一些開放標準技術，所以讓服務互通更為方便，這些技術主要為：1.SOAP：為通訊之協定、2.WSDL：描述所提供之 Web Service 的介面標準及 3.UDDI：將服務提供者的資料註冊供人查詢。三者之關係如圖 6.2 所示。

經由此架構，各服務使用者(相關公路系統)，將可經由資料交換平臺，找到可以交換之資料格式與來源位置，在設定智慧代理人之初始值後(資料之輸出、輸入及服務)，即可連結各系統，整合各項資訊。

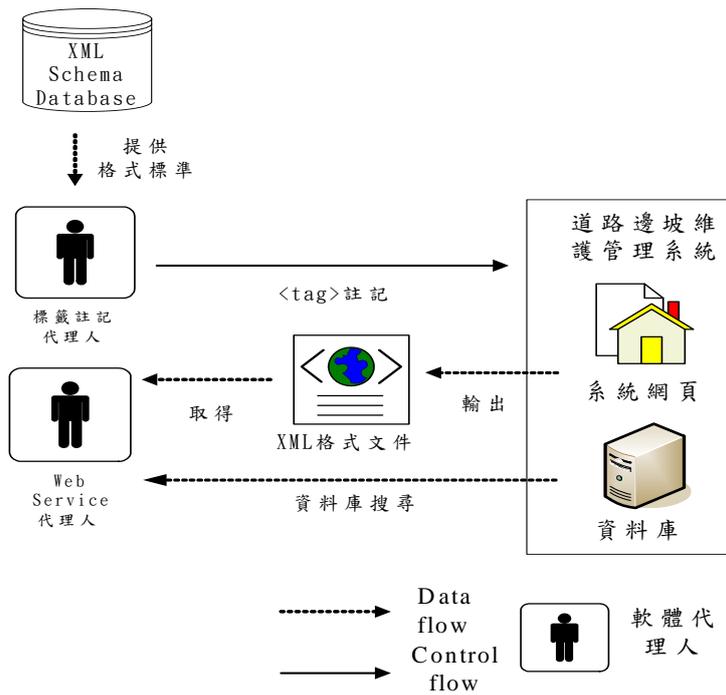


圖 6.1 道路邊坡維護管理系統代理人運作模式圖

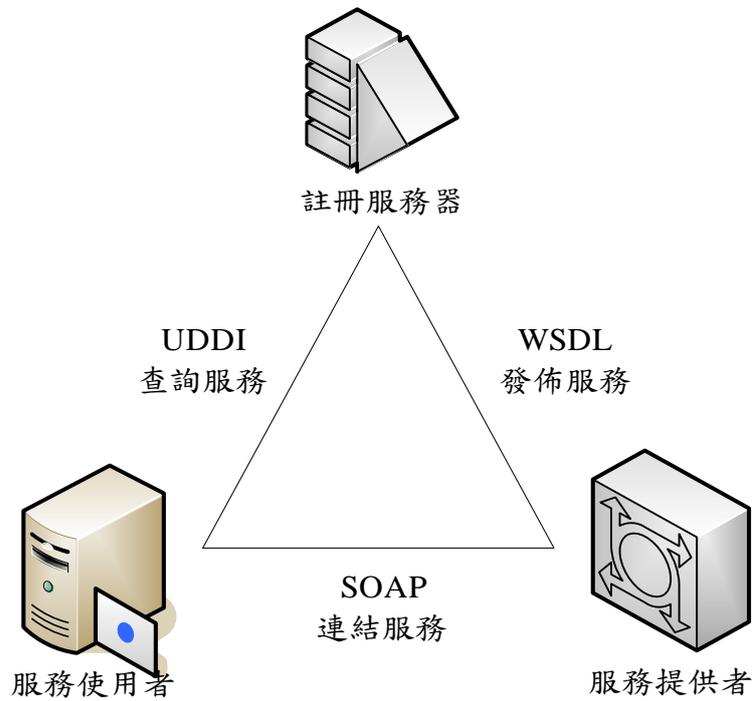


圖 6.2 Web Service 架構

並藉由 Web Service 代理人之協助建立各模組功能之 Web Service 功能。由此架構達到自動化資料交換，並可將功能模組整合。如圖 6.3，步驟說明如下：

1.Step1：標籤註記

標籤註記理人產生標籤對原有資料欄位進行註記。

2.Step2：更新最新災害資訊

資料更新儲存代理人將以資料交換表之項目在資料交換平臺索取最新災害資訊，並更新道路邊坡維護管理資料庫。

3.Step3：取得 XML 格式文件

Web Service 代理人以網頁擷取與資料庫搜尋方式取得符合 XML Schema 格式標準之文件。

4.Step 4：發佈 Web Service

Web Service 代理人在註冊服務器中註冊所提供之資訊與服務項目以供搜尋。

5.Step 5：查詢 Web Service

建置包含基本資料、工程、災損及巡檢等資料之檢索與維護等 Web Service 功能。

6.Step 6：連結 Web Service

資料擷取代理人由註冊服務器中獲得資料索取訊息，連結 Web Service 獲得服務，並將 Web Service 實做為公路防救災決策支援系統之功能模組。

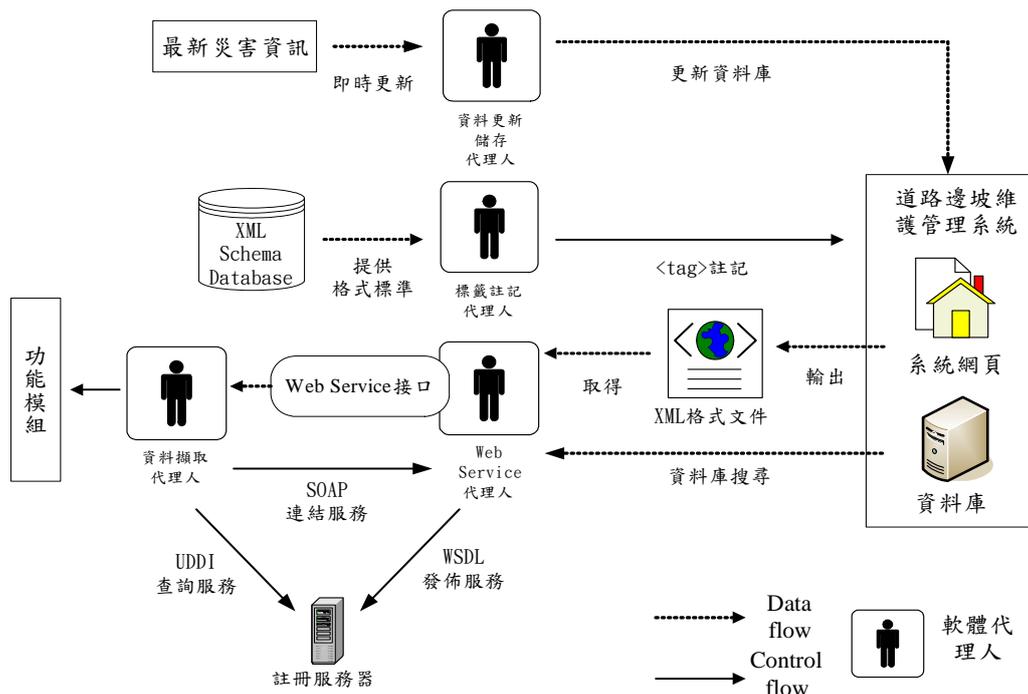


圖 6.3 道路邊坡維護管理 Web Service 圖

6.2.2.4 建構 GIS 即時災害資訊整合頁面

本階段所建置之資料交換平臺，係以所確立之各智慧代理人為核心，透過資料交換平臺統整各項災害資訊及各系統間共通之資料(如：邊坡基本資料)。架構圖如圖 6.4 所示。

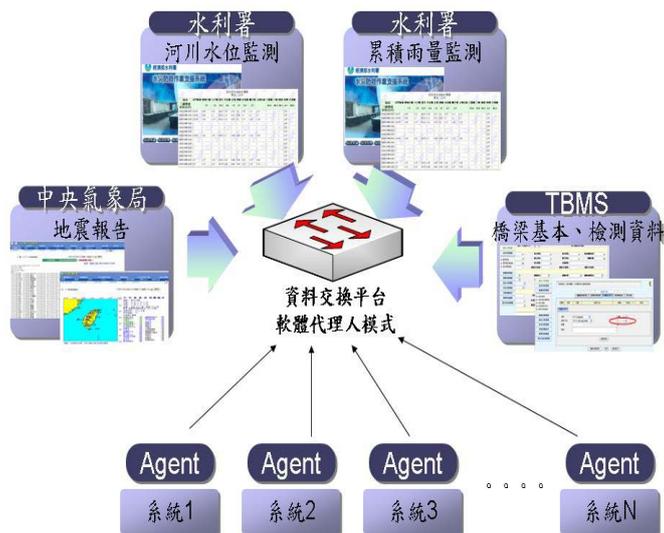


圖 6.4 資料交換平臺架構圖

根據上述資料交換平臺架構，建置 GIS 即時災害資訊整合頁面，其整合臺十八線阿里山公路的逢甲大學「全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用」的全球衛星定位測量表面位移，及交通大學「全光纖式邊坡穩定監測系統整合與現地應用測試」的光纖光柵測量地下之位移及水壓外。另外加入逢甲大學「山區道路坡地災害防治技術整合研究」之邊坡潛勢圖層。以下將就整合資料分為三個部分介紹：1.系統簡介、2.監測資料及 3.崩塌潛勢。

1.系統簡介

系統簡介以該頁面整合之計畫內容進行說明，得以讓使用者能夠概略了解各監測儀器之建置目的。

2.監測資料

監測資料頁面如圖 6.5 所示，整合逢甲大學團隊及交通大學團隊之監測儀器。監測資料警示以紅綠燈的圖示表示，以利使用者能夠快速辨識目前邊坡狀態，是屬於綠燈(正常)、黃燈(警戒)或紅燈(行動)。點選圖示後，小視窗會顯示目前邊坡狀態及處置情形，且能夠直接連結查看最新巡檢內容。當有災害發生時，則可以直接於該頁面啟動救災資源指派機制，並同時對該路段進行行車替代道路規劃。指派機制及行車替代道路規劃將於後面章節進行介紹。



圖 6.5 「臺十八線阿里山公路監測」之監測資料頁面

3.崩塌潛勢

本頁面整合逢甲大學「山區道路坡地災害防治技術整合研究」之邊坡潛勢圖層，如圖 6.6。目前本頁面提供公路總局臺 14 線、臺 18 線及臺 21 線之邊坡潛勢。依據過去歷史雨量紀錄，對不同邊坡進行潛勢分析。可提供公路管理單位在災害應變時參考。

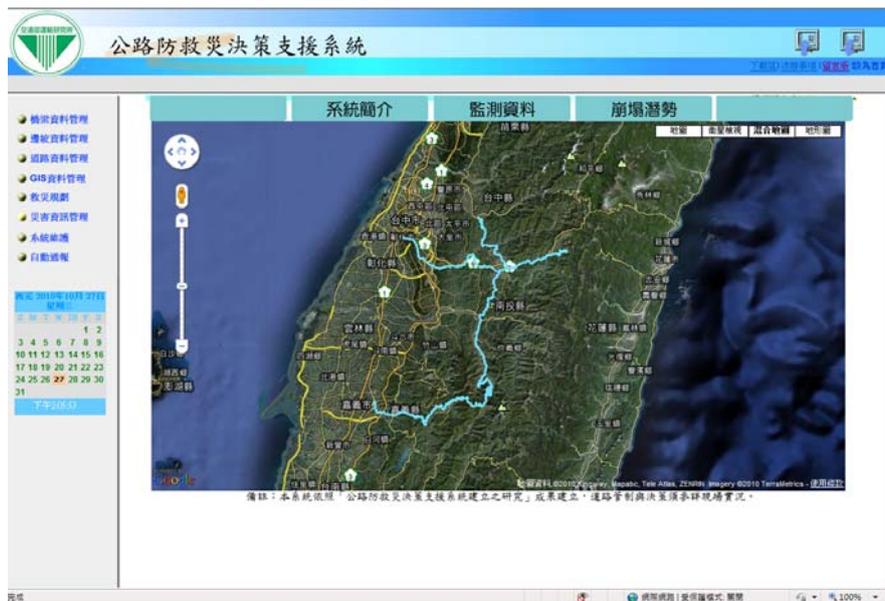


圖 6.6 「臺十八線阿里山公路監測」之崩塌潛勢頁面

6.3 救災資源指派模組

自然災害發生，狀況瞬息萬變，工務段如何在短時間指派合適人力，進行災害應變為重要課題。本階段結合「GIS 即時災害資訊平臺」所提供之資訊，作為資源指派之依據。並建定「救災資源指派流程」並介紹「通報及回覆機制」及「指派機制」，使得該流程能夠在透過這兩種機制下，於系統內運行，以達到資源指派之功能。

6.3.1 救災資源指派流程

救災資源指派乃訪談工務段在山區道路應變情形，經整理作為做為本系統救災資源指派依據。颱風災害受降雨之影響為持續性災害，故工務段需指派留守人員，隨時掌握道路狀況。當災情發生時，則指派備勤人員協助災害應變。本系統利用資料交換平臺對各監測系統進行災害資訊收集，提供留守人員監看。當有災情發生，則藉由簡訊通知相關人員進行災害應變。

在工務段接收颱風、豪大雨警報並成立災害應變小組後，啟動災害支援指派流程機制，如圖 6.7 所示。工務段主管透過系統設定留守人員及備勤人員名單。系統根據工務段內民眾通報或道路災害相關監測資訊等情報，經系統研判擬定巡檢優先順序，並藉由指派機制派遣人員進行巡檢。巡檢人員到達現場後，可利用 PDA 手機填寫「簡易目視檢查表」並回傳系統。段長依據巡檢人員所填表單結果，決定是否進行封路。系統會根據段長決策啟動指派機制進行交通管制。

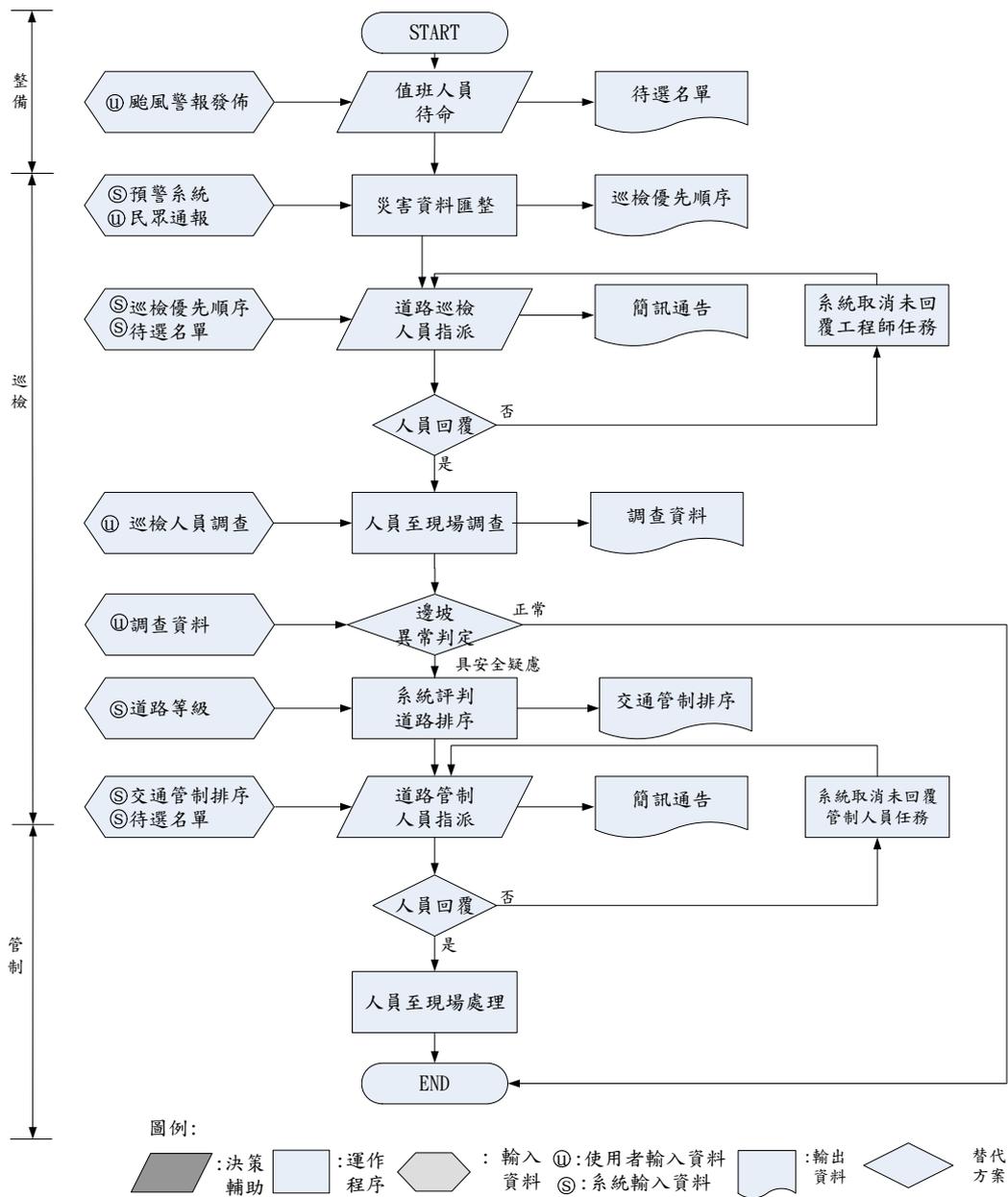


圖 6.7 颱洪、土石流災害系統支援指派流程圖

6.3.2 通報及回覆機制

「通報及回覆機制」乃根據「救災資源指派流程」原則，需隨時掌握救災人員狀態之需求所建立。當系統發出簡訊後，需由接受簡訊的救災人員進行簡訊回覆，以確認該訊息內容已傳達，避免因通訊問題而造成資訊傳遞之落差。

「通報及回覆機制」將強化過去本系統單方向自動通報系統機制，採用臺灣簡訊 (<http://www.twsms.com/>) 之 API 服務，建構出運用手機簡訊雙向通訊功能，提供工程師發送簡訊至系統完成通報或是回傳資料之功能。機制如圖 6.8 所示，系統以過手機簡訊或 E-mail 方式對救災人員發出通報。而救災人員在收到通知後，依照是否可接受任務等狀況，透過手機簡訊回覆給系統，或上網登入系統改變巡檢人員狀態，確認是否可執行任務。系統可根據救災人員回報狀態確認任務是否被執行或者需指派其他救災人員處理。根據上述機制系統可隨時掌握救災人員之狀態，並且依系統救災人員閒置狀態進行指派。

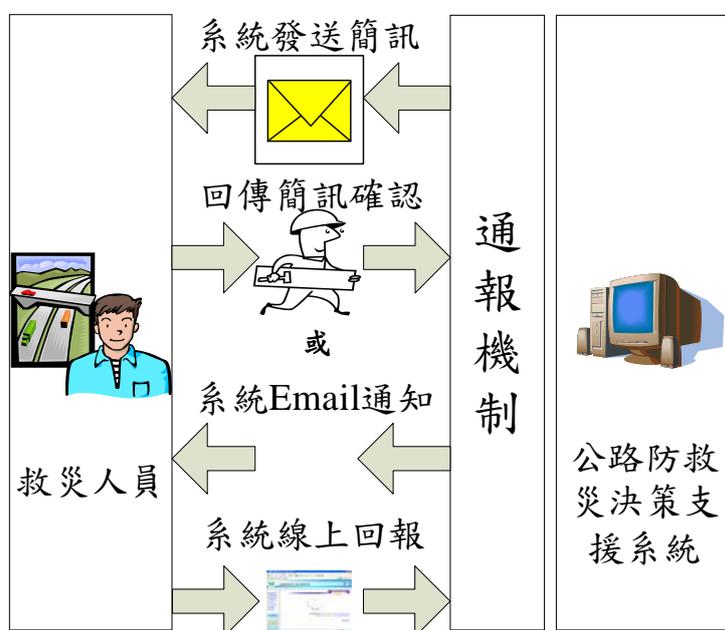


圖 6.8 簡訊雙向傳輸架構圖

6.3.3 指派機制

「指派機制」乃根據「救災資源指派流程」中各項任務需要同時由不同人員擔任之需求所建置，故該機制能夠視任務不同，讓不同之救災人員執行任務。並考量救災人員之狀態，將任務指派給閒置人員，平均分擔工作量，強化救災效率。指派機制如下：系統根據工務段不同狀況先建立留守人員及備勤人員名單。目前工務段在災時需要巡檢任務及交通管制任務，故留守人員及備勤人員名單中，將建立巡檢工

工程師及交通管制人員兩類待選名單，其中巡檢工程師包含：值班工程師、備勤工程師、非備勤工程師及鄰近工務段工程師；交通管制人員包含：值班工程師、備勤工程師、非備勤工程師、備勤人員、開口契約商、非備勤人員及鄰近工務段人員。當災害事件發生後，系統根據待選名單狀態進行指派，如圖 6.9 所示。因為待選名單中工程師 A 狀態列為出勤，故系統會向第二順位工程師 B 發出簡訊通報。如果工程師 B 無回覆確認任務，系統會自動發簡訊給工程師 C，同時傳簡訊給工程師 B 取消任務。工程師 C 經簡訊回覆，則系統會記錄工程師 C 已執行該任務。當巡檢任務結束資料回傳，則系統會將工程師 C 在待命名單狀態恢復為待命。

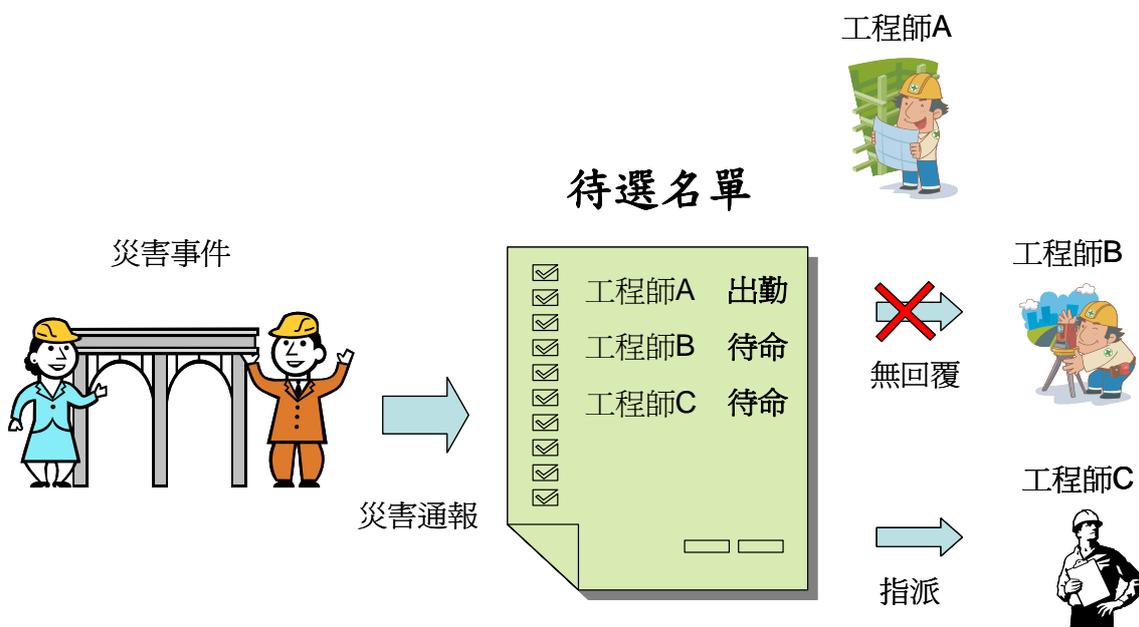


圖 6.9 指派機制

6.4 行車替代道路規劃模組

當公路管理單位主管根據「簡易目視檢查表」做出該道路需限制通行或禁止通行決策後，雖然可降低用路人行車意外，但限制該橋梁通行將直接影響周邊車流量並造成該橋梁周遭路況壅塞。因此本模組利用 GIS 的路網分析功能配合現行路況資訊，進而找出可紓解車流兼具安全性的行車替代路線。

目前市面上搜尋最適行車路線相關網頁或應用程式大部分僅能設立起訖點即進行路線搜尋，但無法掌握該道路目前狀況是否適合行車，尤其當災害發生後，許多公路設施將有安全疑慮。故本模組在透過資料交換平臺匯整目前路況(全國路況中心、公路防救災管理系統及公路防救災決策支援系統)，進行最適行車路線搜尋。此外為避免地理資料庫與現實狀況有差異，另外提供使用者可自行加入中斷點，避免所搜尋路段中在實際路況無法正常行車之問題。以下將針對模組發展及功能進行說明。

6.4.1 路網建置

要搜尋最適行車路線需要標準的路網才能進行，標準的路網是由路段與節點所組成。單一路段僅可對應兩個節點，但單一節點則可對應一個以上的路段。路段本身可代表某種物理量，如距離、失敗通行機率等。路徑搜索即依據節點找出相對應路段，選擇路段後再根據節點找出相對應路段，反覆進行到終點，即為一條行車路線。比較各行車路線距離最短者即為最適行車路線。

本階段最適行車路線替代道路搜尋模組需先建立可供行車線搜尋的路網。首先將 97 年版路網數值圖的道路圖層轉換為可供 ArcGIS 讀取的 SHP 檔，再用 ArcMap 進行圖層編輯，利用 Calculate Geometry 功能進行各線段長度計算並儲存於屬性資料表，作為路網分析阻抗參數。接下來應用 ArcCatalog 新增 Feature dataset 至地理資料庫 File Geodatabase 中，並設定座標系為 TWD 97 座標系，再將道路圖層匯入。後續利用 ArcGIS 擴充模組 Network Analysis 建立 Network dataset，其中 Network dataset 精靈可將道路圖層轉換為含有節點及路段之標準路網，並設定路段長度為阻抗參數，完成路網建立。

6.4.2 路網分析模組開發

路網分析模組開發將採用 ArcGIS 的 Network Server，其會利用前一步驟所建立之路網為基礎，加入資料庫中邊坡路段之起迄點及中斷

點，另外加入目前路況，建立行車替代道路。結果透過網頁方式呈現。為了讓工程師能夠易於了解行車替代道路所經過之區域，故藉由谷歌公司(Google)所開發 API，利用 JavaScript 引用 GoogleMap 地圖資源，讓 ArcGIS server 分析成果套疊在 GoogleMap 的操作介面，其保留 GoogleMap 原本功能，包含地圖縮放、平移以及地圖切換為地圖、衛星或地形，同時也可以顯示所搜尋替代道路之結果。如圖 6.10 所示，左邊地圖則表示所建議行車替代道路所在位置；右邊表格則為中文行車指示，表格會顯示各路段行車距離及估計之行車時間，指示路口該選擇之行車方向。如對於系統所選擇之替代道路任何路段有不合適，可直接點選地圖不合適路段加入中斷點，模組即會重新規劃行車替代道路。

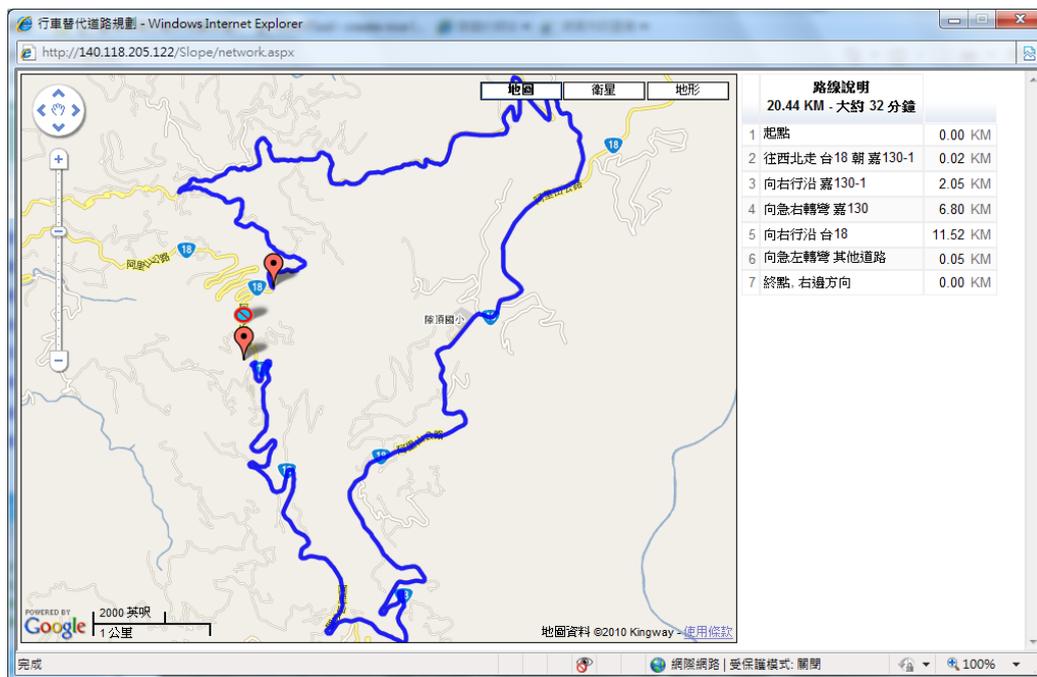


圖 6.10 行車替代道路規劃模組

6.5 模擬成果展現

本系統透過「資料交換平臺」匯整災害資訊，透過「救災資源指派模組」協助段長進行災害應變。當段長決定進行道路管制，可利用「行車替代道路規劃模組」進行替代道路規劃紓解車流量，減輕工務

段業務量。以下將假設氣象局發佈颱風警報，模擬本系統應用於阿里山工務段協助防救災業務。

1. 災害應變小組名單建立

當颱風警報發佈，各工務段需成立災害應變小組，並建立人員執勤名單。測試人員以段長身分登入系統，分別建立留守人員、備勤人員及休假人員名單，如圖 6.11 所示。



圖 6.11 邊坡災害應變小組名單建立

2. 監測儀器資料傳遞

當測試人員進入「臺十八線阿里山公路監測」之監測資料頁面，即可對邊坡狀態進行監控，當燈號會變為紅燈，如圖 6.12 所示，系統則會列出危險邊坡清單，並自動指派人員進行巡檢任務，如圖 6.13 所示。



圖 6.12 邊坡狀態已達紅色警戒



圖 6.13 危險邊坡清單

3.指派工程師巡檢

當系統列出危險邊坡清單後，即會指派人員進行巡檢任務，如圖 6.14 所示，系統網頁會顯示目前任務指派狀態。巡檢人員收到簡訊通知後，回覆簡訊內容，系統則會認定完成指派任務。

The screenshot displays the '公路防救災決策支援系統' (Highway Disaster Decision Support System) interface. The main content area is titled '阿里山工務段指派作業(留守名單清冊)' (Ali-Shan Highway Maintenance Section Assignment Operation (留守名單清冊)). It contains two tables. The first table lists personnel with columns for No., 姓名 (Name), 職稱 (Title), 電話 (Phone), 勤務狀態 (Duty Status), and 任務 (Task). The second table, titled '清單' (List), lists specific locations with columns for No., 名稱 (Name), 負責人員 (Responsible Person), and 目前狀態 (Current Status). Navigation buttons for '修改' (Modify) and '取消警戒狀態' (Cancel Alert Status) are visible below the second table. A sidebar on the left contains menu items such as '橋梁資料管理', '邊坡資料管理', '道路資料管理', 'GIS資料管理', '救災規劃', '災害資訊管理', '系統維護', and '自動通報'. A calendar widget shows the date as 西元 2010年10月 21日 (October 21, 2010).

No.	姓名	職稱	電話	勤務狀態	任務
1	阿里山工務段段長	主管	0953893167	留守人員	等待指派
2	阿里山工務段工程師2	工程師	0953893167	留守人員	已指派等待回復
3	阿里山工務段工程師	工程師	0953893167	留守人員	等待指派

No.	名稱	負責人員	目前狀態
1	省道台18線31.35k-32.225k	阿里山工務段工程師2	待巡檢調查

圖 6.14 指派巡檢人員

4.巡檢內容回報

工程師在回覆簡訊後，可開啟 PDA 之巡檢表單，進行邊坡狀態調查，並傳回系統，提供是否進行封路決策之參考。阿里山工務段段長登入系統，如圖 6.15 所示，段長則可以透過系統了解邊坡現地狀況，如圖 6.16 所示。



圖 6.15 測試人員以段長權限登入系統



圖 6.16 段長查看調查結果

5.段長決定封路

當段長根據調查結果，判斷邊坡具有危險潛勢時，可點選監測儀器圖示，開起小視窗執行封路作業，如圖 6.17 所示。系統即會自動開始執行封路指派任務。



圖 6.17 封路決策執行

6.啟動封路指派機制

系統啟動封路指派後，會傳簡訊給工程師及相關技術人員。受指派人員會立即在手機收到封路通知，如圖 6.18 所示。封路人員依巡檢任務指派相同機制，進行簡訊回覆。如果受指派人員有其他任務需處理，則無法回覆簡訊。系統在未收到回覆狀況下，會重新指派人員，直到系統確認封路人員已達要求回覆人數為止。



圖 6.18 測試人員收到封路通報

7.行車替代道路規劃

段長確認封路任務完成後，可透過「臺十八線阿里山公路監測」之監測資料頁面，開啟監測儀器圖的小視窗，即可進行替代道路規劃。如圖 6.19 所示。

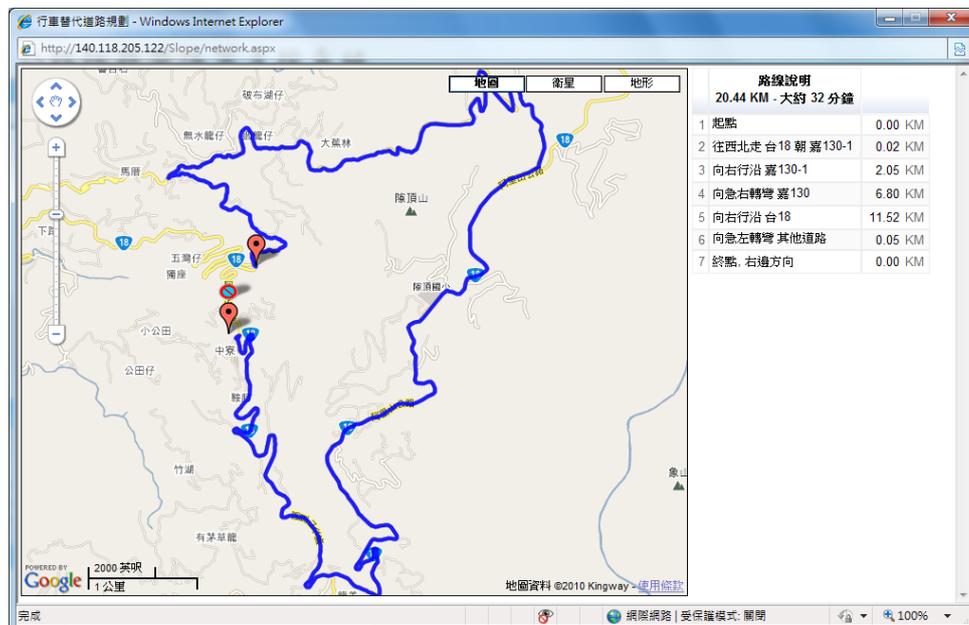


圖 6.19 邊坡替代道路規劃

第七章 結論與建議

山區道路往往是區域唯一聯外通道，而道路邊坡穩定性攸關居民之生命財產安全，因此如何在這些重要卻具有高邊坡災害潛勢區域導入各項先進科技之自動化監測系統、緊急通報系統及防災應變系統，將傳統的防災作業進化成災害管理，已成為近年來各界對於邊坡災害防治的重要發展方向。本計畫的目的是整合四年的研究成果包含對於GPS的邊坡監測預警以及光纖光柵的監測技術與山區橋梁與土石流關係到山區道路邊坡預警的模式研擬及崩塌資訊的傳輸及資料庫建置，並結合國內產、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，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，確實將臺灣山區道路邊坡之崩塌災害減少之最低外，將可提升山區道路之管理效能，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。

7.1 結論

1. 利用光纖光柵分佈式水壓量測技術，及配合有效應力方法，可有效預測可能之淺、深層滑動面位置。
2. 利用光纖光柵現場水流模型結合邊坡穩定分析，可建立現場邊坡紅色、黃色及綠色潛勢破壞範圍大小，以作為日後現場邊坡安全預測依據。
3. 針對一機多天線全球衛星定位系統，於坡地防災之應用提出具體解決方案，並於阿里山公路段完成監測系統測試，以作為防災應變系統與後續研究之依據。
4. 針對道路路基、橋梁結構及臨時設施提出各工法之選擇流程、特性列表及應用對策說明，據以作為未來相關單位設計山區跨河道路及橋梁時之參考。

5. 山區公路橋梁之設計除應將土石產生之衝擊力，包括流體壓力及巨礫衝擊力，納入規劃設計中，以提高道路及橋梁結構之安全性與使用年限。
6. 透過邏輯斯法提出風險潛勢區位之分析找出示範路段在不同累計降雨條件下之崩塌風險潛勢。
7. 本研究建置之 GIS 即時災害資訊頁面整合資料交換平台所交換之災害資訊。以圖形化方式呈現災害位置，易於工程師快速掌握災情狀況。
8. 救災資源指派輔助公路管理單位掌握救災人員狀況，並協助工務段與救災人力進行溝通，以減少工務段與救災人員災情資訊的落差。
9. 公路防救災決策系統能夠提供公路管理單位整體之災害管理，包含災前預防、災中緊急應變及災後復原重建，皆有相對應決策支援輔助公路單位進行決策之評判。

7.2 建議

1. 各轄區皆有不同的地質、水文及環境，再因天然災害或其他重大災害而造成道路阻斷時，為求能在短時間內有系統的動員，達到快速搶通目的，維持交通順暢，各轄區單位得研擬決策支援，將防災應變流程化，做有效之動員處理任何突發狀況。
2. 對於現場工程師而言，災後最重要的工作為搶通聯絡至災區的交通動線，其主要是為要先讓搶救災機具及救援物資能夠更快速進入災區，以減少災區的人員傷亡。然而，如此險惡的環境下，臨時設施的安全性亦不可忽視，應作好完善的測量及監測作業。
3. 持續建構雨量資料，並且建議日後除了以累計降雨做為參考值外，對於降雨強度或相關雨量分析成果納入評估，以提高預測精度。
4. 建議日後評估模式在同條路線上以不同路段建立不同之評估模

式，可以提高更精準的評估模式。

5. 山區道路的安全評估需要每年度進行資料的建置與重新評估，建議此種調查與評估計畫能持續進行，尤其對於封路機制的檢討因其所處條件的不同，亦應進行詳細評估。
6. 公路防救災系統未來如果能提升預警預報之可信度，將有助於救災應變效率之提升。
7. 未來可整合「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」等相關研究計畫案，橋梁、邊坡災害的預警機制，讓災害發生前，即可提早進行災害的應變，提升救災之品質。

本期研究成果與效益有：1.本計畫採用之一機多天線GPS系統自動化監測系統可大幅降低國內以一天線對應一主機之GPS儀器經費，並可瞭解坡地地滑位移速度及趨勢，提供公路總局第五區養護工程處瞭解坡地狀況，透過現場觀測監測可增加災前準備時間，防範災害發生。2.完成光纖式地滑與水壓監測系統，可供交通部公路總局第五區養護工程處建立該區域地下水分佈與流向，併作為管理單位研擬安全管理之具體指標。3. 橋墩遭受土石流衝擊之對策研究議可供本所後續研究計畫之參考及未來公路橋樑設計規範修訂之參考依據。4.發展道路邊坡崩塌危害度分析模式，以及研擬道路邊坡崩塌安全管控程序，此項效益將可確實掌控山區道路之崩塌潛勢。5. 公路防救災決策支援系統可配合公路總局防救災業務，提供相關決策支援的參考，提升公路管理單位救災能力及效率。

參考文獻

1. Hearn, E.L., Wilson, R.C., (1995) Shaking Intensity Thresholds for Rock Falls and Slides: Evidence from 1987 Whittier Narrows and Superstition Hills Earthquake Strong-Motion Records, Bull. Seis. Soc. Am., 85(6) : 1739~1757.
2. Jaynes, E.T. (1957). "Information theory and statistical mechanics." Physical Review, 106, 620-630.
3. Slosson, J. E., (1969), "The role of engineering geology in urban planning," The Governor's Conference on Environmental Geology, Colorado Geological Survey, Denver, Colorado, pp.8-15.
4. Bear J (1972) Dynamics of fluids in porous media, Dover, Mineola, New York.
5. Brabb, E.E., Pampeyan, E.H., Bonilla, M.G (1972) Landslide Susceptibility in San Mateo County, California. U.S. Geol. Surv., Misc. Field studies Map, MF-360. (Reprinted 1978)
6. Carrara, A. and Merenda, L.(1974) Methodology for an inventory of slope instability events in Calabria (southern Italy), Geologia Applicata e Idrogeologica, 9 : 237~255.
7. Lumb, P., (1975), "Slope failures in Hong Kong," Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 8, pp.31-65.
8. Stevenson, P.C. (1977) An Empirical Method for the Evaluation of Relative Landslide Risk, Int.Ass. Eng. Geol. Bull., 16 : 69~72
9. Takahashi, T. (1978), Mechanical Characteristics of Debris Flow, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.104, No.HY8, pp.1153-1169.
10. Van Genuchten, M. Th., "A closed-Form Equation for Predicting Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils." Soil Sci. Soc. Am. J.,

Vol. 44, 892~898, 1980.

11. 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.
12. Ives, J.D., and B. Messeri (1981) *Mountain Hazards Mapping in Nepal: Introduction to an Applied Mountain Research Project*. Mountain Research and Development, 1(3) : 223~230.
13. Slosson, J. E., and J. P. Krohn, (1982), "Southern California landslides of 1978 and 1980," *Proceedings of a Symposium*, September 17-18. Washington, DC: National Academy Press, pp.291-319.
14. Hansen, A. (1984) *Landslide Hazard Analysis*. In *Slope Instability* (D. Brunsten and D.B. Prior, eds.), John Wiley and Sons, New York, pp.523~332
- Ives, J.D., and M.J. Bovis (1978) *Natural hazards maps for land-use planning, San Juan Mountains, Colorado, U.S.A, Arctic and Alpine Research*, 10(2) : 185~212.
15. Brand, E. W., J. Permchitt, and H. B. Phillipson, (1984). "Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong," *Proceedings 4th international symposium on landslides, Toronto, Canadian Geotechnical Society, Vol.1*, pp.377-384.
16. Brabb, E.E. (1984) *Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping*. In *Proc., Fourth International Symposium on Landslides, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada*, 1 : 307~324.
17. Varnes, D.J. (1984) *Landslide Hazard Zonation: A review of Principles and Practice*, UNESCO Press, Paris, pp.63.
18. Keefer, D.K. (1984) *Landslides caused by earthquakes*, *Geol. Soc. Am. Bull.* 95 : 406~421.
19. Hurley DG, Pantelis G (1985) *Unsaturated and saturated flow through a thin porous layer on a hillslope*. *Water Resources Research* 21: 821-824.

20. Sidle, R.C., A.J. Pearce, C.L. O' loughlin (1985) Hill slope stability and land use, water Resources Monograph, 11 : 140~145.
21. Sidle, R. C., A. J. Percea, C. L. O'loughlin (1985), "Hillslope Stability and Land Use", American Geophysical Union, Washington, D. C, pp. 19-20.
22. VanDine, D.F.(1985), "Debris Flows and Debris Torrentis in Southern Canadian Cordillera", Can. Geotech. J., Vol.22, pp. 44-68.
23. Spiegel halter, D.J. (1986) Uncertainty in Expert Systems. In Artificial Intelligence and Statistics (W.A. Gale, et), Addison-Wesley, Readings, Mass., pp.17~55
24. Wieczorek, G. F., (1987),"Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz mountains, California," Debris Flow/Avalanches: Process,Recognition and /mitigation: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, J.E. Costa and G. F. Wieczorek, Eds. Vol. 7, pp.93-104.
25. Fetter CW, Applied Hydrogeology, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
26. Chow V-T, Maidment D R, Mays L W (1988) Applied hydrology. Mc. Graw-Hill New York,Ch. 4:110-116.
27. McDonald, J. M., and Harbaugh, A. W., A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model, Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 6, 1988.
28. Yin K.L. and T.Z. Yan (1988) Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks, Proceedings of the International Symposium on Landslides, 5 : 1269~1272.
29. Kobashi, S., and M. Suzuki (1988) Hazard Index for the Judgment of Slope Stability in the Rokko Mountain Region, In Proc., Interpraevent 1988, Graz, Austria, 1 : 223~233.
30. Keefer, D.K (2000) Statistical Analysis of an Earthquake-Induced

Landslide Distribution-the 1989 Loma Prieta, California Event, Engineering Geology, 58 : 231~249.

31. Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui, and P. Reichenbach (1990) Geographical Information Systems and Multivariate Models in Landslide Hazard Evaluation. In ALPS 90 Alpine Landslide Practical Seminar, Sixth International Conference and Field Workshop on Landslides, Aug. 31-Sept.12, Milan, Italy, Universita degli Studi de Milano, pp.17~28.
32. Lee, S. W., J. D. Cheng, C.W. Ho and Y. C. Chiang, H. H. Chen, K. J. Tsai, An Assessment of Landslide Problems and Watershed Management in Taiwan, Research Needs and Applications to Reduce Erosion and Sedimentation in Tropical Steep lands (proceeding of the Fiji Symposium, June 1990): LAHS-AISH Publ. No. 192.
33. Gao, J. and C.P. Lo (1991) GIS Modeling of influence of Topography and Morphology on Landslide Occurrence in Nelson County, Virginia: GLS/LIS '91 Proceeding, 1 : 954-963.
34. Koukis, G. and Ziourkas, C. (1991) Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43 : 47~60.
35. Kersey, A.D., 1992, "Multiplexed Fiber Optic Sensors," Proceedings, Fiber Optic Sensors, Boston, Massachusetts, Eric Udd, editor, sponsored by SPIE-The International Society for Optical Engineering, pp.200-227.
36. Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti(1992) Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk, ITC Journal, 2 : 172~183.
37. MacKay, D.J. (1992). A practical Bayesian framework for back-propagation networks. Neural Computation, 4, 448-472.
38. 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.

39. Chung, C.J., and A.G. Fabbri.(1993) The Representation of Geoscience Information for Data Integration. *Nonrenewable Resources*, 2(3) : 122~139.
40. Y. Shoham, “Agent Oriented Programming,” *Artificial Intelligence*, Vol. 60, No. 1, pp. 51-92, 1993.
41. Wilson, R. C., R. K. Mark, and G. Barbato, (1993),“Operation of a real-time warning system for debris flows in the San Francisco bay area, California,” *American Society of Civil Engineers, Proceedings Volumes*.
42. P. Maes, “Agents that Reduce Work and Information Overload,” in *Communications of the ACM*, Vol. 37, No.7, pp.31-40, 1994.
43. O. Etzioni, and D.S. Weld, “Intelligent Agents on the Internet: Fact, Fiction, and Forecast,” *IEEE Expert*, Vol. 10, No. 4, pp.44-49, 1995.
44. Slosson, J. E., and R. A. Larson, (1995), “Slope failures in southern California: Rainfall threshold, prediction, and human causes,” *Environmental & Engineering GeoScience*, Vol. I, No. 4, winter, pp.393-401.
45. M. Wooldridge and N.R. Jennings, “Intelligent Agents: Theory and Practice,” *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 10, No. 2, pp. 115-152, 1995.
46. P. Maes, “Artificial life meets entertainment:life like autonomous agents” , in *communications of the ACM* , Vol. 38, No.11, pp.108-114, 1995.
47. 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.
48. Barber, D. and Williams, C. (1997). Gaussian processes for Bayesian classification via hybrid Monte Carlo. *NIPS 9*.
49. 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.

50. 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>.
51. Chalermwat, P., "High Performance Automatic Image Registration for Remote Sensing", Phd thesis, George Mason University, Virginia, USA, 1999.
52. Williams, C.K.I. and Barber, D., (1998). Bayesian Classification with Gaussian Processes, IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20, 1342-1351.
53. Chopra, V., et. al., "Professional XML Web Services", Wrox Press, 2001.
54. Hiep, Q. L., S. Gautama, and W. Philips, "Automatic Registration of Synthetic Aperture Radar (SAR) Images", Geoscience and Remote Sensing Symposium, (IGARSS'04), Vol. 6, pp. 3864-3867, 2004.
55. Keefer, D. K. (2004) Personal communication in meeting of Proceedings of international symposium on landslide and debris flow hazard assessment, Central Geological Survey, Taipei, Taiwan, Oct. 12th.
56. Chen C-Y, Chen T-C, Yu F-C, Yu W-H, Tseng C-C (2005a) Rainfall duration and debrisflowinitiated studied for real-time monitoring. Environmental Geology 47: 715-724.
57. Chen C-Y, Chen T-C, Yu W-H, Lin S-C (2005b) Analysis of time-varying rainfall infiltrationinduced landslide. Environmental Geology 48: 466-479.
58. Ho, Y.T., Huang, A.B., and Lee, J.T. (2006), "Development of a fiber Bragg grating sensed ground movement monitoring system," Journal of Measurement Science and Technology, Institute of Physics Publishing, Vol.16, pp.1733-1740.

59. Chen L, Young M H (2006) Green-Ampt infiltration model for sloping surface. *WaterResources Research*, Vol. 42: 1-9 (doi 10.1029/2005WR104468)
60. <http://www.gov.au/hazards/landslide/causes.jsp>
61. 鄭皆達 (1968) 『集水區山崩頻率與坡度關係之研究』，中華水土保持學報，12：pp.1~8。
62. 畢慶昌 (1969)，俯衝運動在臺灣地體構成中的作用，臺灣省地質調查所彙刊，第20號。
63. 王如意、易任(1979)，應用水文學，國立編譯館，上、下冊。
64. 經濟部中央地質調查所 (1980) 『坡地工程地質調查報告』。
65. 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。
66. 日本高速道路調查會(1986)，「危險地動態觀測施工相關研究(3)報告書」，日本道路公團。
67. 張石角 (1987) 『山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用』，中華水土保持學報，18(2)：41~62。
68. 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。
69. 中華水土保持學會 (1992)，「水土保持手冊」，行政院農業委員會。報告，No. 130。
70. 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。
71. 張石角 (1995) 『臺灣東部之環境地質分區與崩塌類型』，工程環境會刊，14：59~85。

72. 連惠邦、趙世照(1996),『溪床堆積土體崩壞模式及其土石流化之研究』,中華水土保持學報,第二十七卷第三期,第 175-183 頁。
73. 連惠邦(1996),『溪床堆積土體崩壞模式及其土石流化之研究』,中華水土保持學報,第二十七卷第三期,第 175-183 頁。
74. 交通部公路局(1997),『賀伯颱風公路災害搶修及復建工程』成果報告。
75. 行政院公共工程委員會(1998),『賀伯颱風災害及復建工程紀實』成果報告。
76. 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。
77. 林黃良雄,地層下陷數值模式發展(一),國科會,民國 87 年 10 月。
78. 炳森、林基源(1999),「土石流之衝擊力與防治工法介紹」,土工技術第 74 期,第 67-80 頁。
79. 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。
80. 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。
81. 田坤國、李德河、黃士昌、楊智堯(1999),楠梓地區邊坡破壞調查研究,第八屆大地工程學術研究討論會,第 953-968 頁。
82. 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。
83. 「災害防救法」,行政院內政部,2000。
84. 姚乃嘉、蔣偉寧,「臺灣區橋梁管理系統之建立」,交通部運輸研究

- 所，2000。
85. 蔡東霖，”區域性地下水超抽導致地層下陷模式之發展與應用”，國立交通大學土木工程研究所博士論文，新竹，臺灣，民國90年。
 86. 陳進福，”利用自發性布里淵散射量測不同光纖的超音波傳輸特性”，國立交通大學光電研究所碩士論文，新竹，臺灣，民國90年。
 87. 薛祖淇(2001)，『溪床泥砂沖刷及其兩岸土石流崩落之土石流發生模式』，逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文，pp.31-42。
 88. 周憲德、黃進坤(2001)，『橋台及橋墩沖刷防治工法之探討』，國立中央大學災害防治研究中心研究報告。
 89. 廖瑞堂(2001)，「山坡地護坡工程設計」，科技圖書。
 90. 童啟哲(2001)，應用地理資訊系統於地震引致坡地破壞多變量模式分析，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
 91. 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。
 92. 交通部公路局(2001)，『臺灣河流沖刷對橋梁基礎與道路邊坡影響之因應對策』，國立中興大學土木工程學系成果報告。
 93. 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。
 94. 劉雲漢(2001)，土石流發生之空間特性研究—以陳有蘭溪集水區為例，國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文。
 95. 財團法人工業技術研究院(2001)，『桃芝颱風災區崩塌地調查分析成果報告』，行政院農業委員會水土保持局，第3-13~3-15頁。
 96. 林信亨、林美聆(2002)『地理資訊系統及類神經網路應用於土石流危險度判定』，地工技術，90：73~84。

97. 康惠雯(2002)，邏輯斯迴歸分析在採礦上的應用，私立東海大學統計學系碩士論文，第 20-21 頁。
98. 連惠邦(2002)，『土石流防治工法之研究評估』，行政院農業委員會水土保持局委託計畫。
99. 簡世杰(2002)，“阿里山五彎仔地滑區滑動機制與穩定性之研究”，國立雲林科技大學營建工程系碩士論文。
100. 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。
101. 何鴻文、陳俊堯(2002)，『桃芝颱風土石流受災重建橋梁復建規劃與災因研析』，臺灣公路工程，第 29 卷，第 4 期，第 2-36 頁。
102. 中華坡地防災學會(2002) 地滑摺頁簡介，苗栗縣政府委託。
103. 壽克堅(2002)，梨山地區地層滑動整治計畫之三一梨山地區之地質，梨山地區地層滑動整治計畫成效評估研討會論文集，第 121-142 頁。
104. 陳志豪、陳時祖(2002)，山區道路邊坡破壞潛勢分析之探討—以南橫公路東半段為例，2002 年公共工程學術研討會論文集，第 93-110 頁。
105. 楊錦釗，黃良雄，海岸地區地陷潛能與危險評估技術(3/3)，經濟部水利署，民國92年12月。
106. 廖洪鈞、梁樾、林三賢、李維峰、廖瑞堂，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，中華民國 92 年。
107. 陳姿君(2003)，從賽局理論分析地區性選舉，國立成功大學統計學系碩士論文，第 36-46 頁。
108. 交通部(2003)，『公路養護手冊』。

- 109.交通部公路總局(2003),『災後臨時橋梁施工技術之研發與手冊之制定』,財團法人臺灣營建研究院。
- 110.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。
- 111.簡旭君,2003,「光纖光柵應變管之研發」,碩士論文,國立交通大學土木工程研究所,新竹。
- 112.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。
- 113.林美聆、連惠邦、謝正倫(2003),『土石流溪流後續調查與演變趨勢觀測』成果報告書,行政院農業委員會水土保持局。
- 114.連惠邦、吳奇錫(2003),『水力類土石流發生模式之研究』,中華水土保持學報,第三十四卷第四期,第 369-379 頁。
- 115.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、臺灣科技大學。
- 116.廖洪鈞、廖瑞堂、董家鈞、李維峰,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,中華民國 93 年。
- 117.李秉乾、許盈松、許懷後、李維聰、連惠邦、周天穎,山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發(二),交通部科技顧問室研究計畫成果報告,中華民國 93 年。
- 118.李維峰、張睦雄、董家鈞、劉桓吉、顏召宜,山區道路邊坡崩塌防治最佳化研究(二),交通部科技顧問室研究計畫成果報告,中華民國 93 年。
- 119.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。

- 120.林美聆 (2004) 『土石流溪流調查方法與資料庫建置』，土石流地質調查及防災對策研討會論文集，pp.9-1~9-6 頁
- 121.沈鍵偉 (2004)，“應用 GPS 作地滑地地表變位長期監測之可行性研究”，國立中興大學土木工程研究所碩士論文。
- 122.邱奕峰(2004)，“阿里山五彎仔 626 坡滑事件機制之探討”，國立雲林科技大學營建工程系碩士論文。
- 123.葉信富(2004)，“降雨入滲對坡地穩定影響之研究-以清水溪流域為例”，國立成功大學資源工程學系碩士論文。
- 124.中國土木水利工程學會(2004)，「七二水災災區調查與復建策略研擬」，行政院經濟建設委員會。
- 125.吳瑞龍等 (2004)，『台 21 線十八重溪橋橋梁上部結構遭土石流推移復建工程施工』，臺灣公路工程，第 30 卷，第 8 期，第 20-24 頁。
- 126.行政院經濟建設委員會(2004)，敏督利颱風災情統計報告。
- 127.曾亦超(2004)，『土石流發生降雨地文綜合警戒指標之研究』，成功大學碩士論文。
- 128.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。
- 129.周南山(2005)，『森林遊憩設施規劃設計與施工研習會暨 94 年度林務局育樂工程計畫內容說明』。
- 130.交通部公路總局 (2005)，『河川橋梁沖刷並補強後之安全評估』 成果報告，臺灣大學。
- 131.交通部公路總局 (2005)，『河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工程之研究』，林呈等人。
- 132.李瑞庭，2005，「光纖光柵讀取系統軟體之研發」，碩士論文，國立交通大學土木工程研究所，新竹。

- 133.陳蕙華(2005)，遙測衛星影像於南清公路崩塌地潛感分析之應用，私立逢甲大學環境資訊科技研究所碩士論文，第 26-30 頁。
- 134.劉岫雲(2005)，空間風險分析模式之建立與其在梨山崩塌地之應用，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
- 135.王昭雯(2005)，山腹邊坡斜面土體崩壞及其土石流化模式之研究，逢甲大學水利工程學系碩士論文。
- 136.陳本康(2005)，『石門水庫集水區崩塌特性及評估研究』，中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
- 137.陳本康(2005)，石門水庫集水區崩塌特性及潛勢評估研究，國立中興大學水土保持學系博士論文，第 23-58 頁。
- 138.廖洪鈞、蘇吉立、李維峰、陳天健、何應璋、董家鈞、魏佳韻，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，中華民國 95 年。
- 139.高聖傑，2006，「光纖光柵壓力計之研發」，交通大學土木工程系碩士論文。
- 140.侯春帆(2006)，應用 GIS 及 SPOT 衛星影像於河川流域崩塌地潛勢評估研究-以陳有蘭溪為例，朝陽科技大學營建工程系碩士論文，第 9-23 頁。
- 141.高明仁(2006)，「山坡地邊坡滑動之研究—五彎仔崩塌地為例」，國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
- 142.周南山等(2006)，『臺灣山區道路邊坡災害及搶修處理工法之探討』，臺灣公路工程，第 32 卷，第 12 期，第 2-32 頁。
- 143.黃瀚瑱 (2006)，「芒草根系力學之碎形分析」，碩士論文，私立淡江大學土木工程研究所。
- 144.財團法人中華顧問工程司(2006)，『土石流溪流公路橋涵設計與安

全檢算模式之研究』，中區辦事處期末報告。

145. 莊政霖 (2006) 『斜面土體崩壞潛勢與土石流發生潛勢之相關研究』逢甲大學土木水利系研究所碩士論文。
146. 青山顧問有限公司 (民國 96)，台 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。
147. 青山顧問有限公司 (民國 96)，台 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。
148. 運用地理資訊系統結合邏輯斯迴歸進行崩塌潛勢之評估研究，逢甲大學 e-Thesys (96 學年度)。
149. 交通部公路總局 (2007)，『橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等策略之研究』，臺灣大學。
150. 李維峰(2007)，『既有橋梁拆除重建暨維修補強工程研究』，財團法人臺灣營建研究院。
151. 洪浩倫、王志添、陳錕山(2007)，”利用多尺度匹配自動套疊衛星雷達影像”，航測及遙測學刊，12(4)，pp381-401。
152. 李豐博、饒正、鄭明淵等，「交通工程防災預警系統建立之研究 2/2」，交通部運輸研究所，2007。
153. 吳育偉、鄭明淵，「智慧代理人在橋梁災害資訊交換平臺之應用」，第十屆營建管理學術交流論文研討會，2007。
154. 「交通部公路總局災害防救標準作業手冊」，交通部公路總局，2007。
155. 廖洪鈞等，「山區道路坡地災害防治技術整合研究(3/4)」，交通部運輸研究所，2007。

- 156.林孟龍,「地理資訊系統 ArcGIS」,新文京開發出版股份有限公司,2008。
- 157.黃安斌、何彥德,2008,“雙質量式光纖光柵加速度傾斜感測裝置”,中華民國專利,申請中。
- 158.李維峰等(2008),『高風險橋址保護工法介紹』,橋梁耐洪構造及保護工程研討會論文集,第9-1頁。
- 159.「交通部運輸研究所路網數值圖 97 年版」,交通部運輸研究所,2008。
- 160.行政院農業委會水土保持局(2008),“坪頂溪上游坡地監測系統建置計畫~成果報告”,逢甲大學。
- 161.陳奕廷,「全國路況資訊中心擴充與維運(二)」,交通部運輸研究所,2008。
- 162.曾志煌等,「交通設施營運維護管理系統運用推廣計畫(三)」,交通部運輸研究所,2008。
- 163.鄭明淵等,「公路防救災決策支援系統建立之研究 3/4」,交通部運輸研究所,2008。
- 164.交通部公路總局(2009),『莫拉克風災受損橋梁統計及致災原因初步研判』,國立臺灣科技大學公共資產與設施管理研究中心。
- 165.交通部公路總局(2009),『莫拉克颱風52座受災橋災害資料蒐集與致災原因初步研判報告』,李維峰、嚴崇一。
- 166.行政院公共工程委員會(2010),『莫拉克颱風高雄縣甲仙鄉小林村及那瑪夏鄉、桃源鄉致災原因調查』報告,中國土木水利學會。
- 167.李維峰、邱永芳、陳正興、連惠邦、王仲宇、周功台、王炤烈、陳銘鴻、鄭世豪、張慶民(2010),『橋基保護工設計規範(草案)編訂之研究』,交通部運輸研究所。

168.劉憲德、曾俊傑（未發表），阿里山公路沿線地質與山崩災害調查
研究報告，經濟部中央地質調查所。