

101-50-7622

MOTC-IOT-100-H1DB007b

# 山區道路易致災路段調查評估、 風險分析及監測預警管制技術之 研發(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101-50-7622

MOTC-IOT-100-H1DB007b

# 山區道路易致災路段調查評估、 風險分析及監測預警管制技術之 研發(1/4)

著者：張道光、張智元、雷祖強、廖為忠  
謝孟勳、張晏魁

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發  
(1/4)/張道光等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，  
民 101.04 面； 公分  
ISBN 978-986-03-2000-8 (平裝)

1. 防災工程 2. 道路工程 3. 災害應變計畫

445.5

101004383

山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)

著 者：張道光、張智元、雷祖強、廖為忠、謝孟勳、張晏魁

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](http://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 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：250 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：1010100661

ISBN：978-986-03-2000-8 (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。

GPN: 1010100661

定價 250 元

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-03-2000-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1010100661	運輸研究所出版品編號 101-50-7622	計畫編號 100-H1DB007b
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：張道光 聯絡電話：04-26587174 傳真號碼：04-26564418		合作研究單位：逢甲大學 計畫主持人：張智元 研究人員：雷組強、廖為忠、謝孟勳、張晏魁 地址：407 臺中市西屯區文華路 100 號 聯絡電話：04-24517250	
研究期間 自 100 年 02 月 至 100 年 12 月			
關鍵詞：山區道路、崩塌、監測、易致災性			
<p>摘要：</p> <p>在臺灣山區道路因受到自然與人為災害侵襲(如颱風、地震、地滑、土石流、破碎地質與不適當的土地利用開發等)容易產生道路災害等問題。本研究針對省道臺 18 線、臺 21 線山區道路進行因子分析與風險推估。本年度主要完成之工作項目包括：1.針對山區道路災害類型彙整、分類與特性分析；2.現地調查(現況紀錄、致災因子調查與量化數據收集)；3.山區道路危害度分析；4.山區道路易致災路段分析；5.山區道路易致災路段之監測系統規劃；6.易致災路段之應變計畫及 7.道路快速搶險機制回顧與檢討。研究結果顯示，結合災害驅動力(累積降雨量)與易致災區域脆弱性因子之危害度分析，將可合理的作為易致災路段之分析方法，未來則可作為山區道路規劃易致災路段監測及應變計畫之基礎。</p> <p>本期研究成果與效益有：1.透過管理模式的建立，可以有效瞭解易致災路段之災害潛勢，作為道路管理機關維護管理之參考依據。2.了瞭解山區道路對風險程度外，對於整體山區道路搶救災的整體應變計畫有所瞭解與提出改善建議，做為公路管理機關應變之用。3.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 4 月	308	250	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>(解密條件：<input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 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)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
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**

<b>TITLE: Developing techniques for investigation and assessment, risk analysis, and an early landslide warning system for vulnerable roads (1/4)</b>			
ISBN (OR ISSN) ISBN 978-986-03-2000-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100661	IOT SERIAL NUMBER 101-50-7622	PROJECT NUMBER 100-H1DB007b
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Tao-kuang PHONE: (04) 26587174 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2011 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: Feng Chia University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chih-Yuan Chang PROJECT STAFF: Tsu-Chiang Lei, Wei-Chong Liao, Meng-Hsun Hsieh ADDRESS: 100 Wenhwa Road, Taichung 407, Taiwan, R. O. C. PHONE: (04) 24517250-3090			
KEY WORDS : MOUNTAIN ROAD, LANDSLIDE, MONITOR, VULNERABILITY			
<b>ABSTRACT:</b> <p>In Taiwan, the highly frequent collapse of mountain roads is often caused by natural destruction and human disasters, such as typhoons, earthquakes, landslides, debris flow, fragile geological geography and inappropriate land use. In this study, the Logistic Regression Estimation Method has analyzed the hazard factors and risk estimation for the high occurrence of disasters on Route 18 and Route 21 highways. In this year, there are seven objectives in this study :study: (1) collection and classification of different disaster factors, (2) investigation of road vulnerability road (such as: states of road, disaster factors and the data quantitating), (3) risk analysis, (4) vulnerability analysis, (5) an ideal monitor system monitoring planning, (6) an emergency program planning, and (7) reviewing the fast rescue program for vulnerable road sections. The results of the study show that the integrating disaster driving force (accumulated rainfall) and regional vulnerability variables could be responsible to for analyze analyzing vulnerable mountain roads. The achievements of the study could be utilized for theto monitor system planning and the emergency program planning in the future.</p> <p>The results and benefits are expected to: 1. Through the management pattern's establishment, effectively understand the risk of the potential disasters and offer the highway management agencies a reference. 2. The study describes the risk level of the mountain roads and provides emergency program planning for the Highway Bureau and other parties. 3. This study and its results can be used for related follow-up research.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2012	NUMBER OF PAGES 308	PRICE 250	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.			

# 山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測 預警管制技術之研發(1/4)

## 目 錄

中文摘要.....	I
中文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XIII
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫背景與目的.....	1-1
1.1.1 計畫背景.....	1-1
1.1.2 計畫目的.....	1-2
1.2 計畫範圍與工作項目.....	1-2
1.2.1 計畫範圍.....	1-2
1.2.2 工作項目.....	1-3
1.3 計畫執行進度.....	1-5
1.4 研究方法及進行步驟.....	1-6
1.5 預期成果、效益及其應用.....	1-7
第二章 國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析.....	2-1
2.1 山區道路災害彙整.....	2-1
2.2 山區道路災害資料分類.....	2-6
2.2.1 地質與地形對邊坡的影響.....	2-6

2.2.2	坡度對邊坡的影響 .....	2-7
2.2.3	水對邊坡的影響 .....	2-8
2.2.4	人為開發對邊坡的影響 .....	2-10
2.3	山區道路災害特性分析 .....	2-11
2.3.1	研究區莫拉克事件資料分析 .....	2-11
2.3.2	山區道路災害類型 .....	2-22
第三章	國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作 .....	3-1
3.1	山區道路易致災路段之分類 .....	3-1
3.2	山區道路調查表格製作 .....	3-4
3.3	山區道路現地調查 .....	3-10
第四章	國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析 .....	4-1
4.1	山區道路危害度因子 .....	4-1
4.2	各類型山區道路易致災路段之危害度分析 .....	4-13
4.2.1	邏輯斯迴歸模式 .....	4-13
4.2.2	約略集合理論分析 .....	4-14
4.2.3	分析方法 .....	4-19
第五章	國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析 .....	5-1
5.1	山區道路線脆弱性因子調查分析 .....	5-2
5.2	各類型山區道路易致災路段之易致災性分析 .....	5-4
第六章	國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃 .....	6-1
6.1	各類易致災路段之監測元件 .....	6-3
6.1.1	各類易致災路段之監測元件 .....	6-3
6.1.2	山區道路易致災路段之監測系統規劃 .....	6-8

6.2 臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃.....	6-18
第七章 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫.....	7-1
7.1 國內山區道路災害應變機制與計畫.....	7-1
7.1.1 國內山區道路災害應變機制.....	7-1
7.1.2 國內山區道路災害應變計畫.....	7-7
7.2 易致災路段之應變計畫.....	7-9
7.2.1 執行計畫之依據及目的.....	7-10
7.2.2 各項災害及緊急事故處理作業.....	7-10
第八章 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討.....	8-1
8.1 國內外道路工程緊急搶修作業相關文獻.....	8-1
8.2 山區道路快速搶修機制檢討.....	8-4
第九章 後續工作重點與建議.....	9-1
9.1 結論.....	9-1
9.2 建議.....	9-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 工作會議紀錄.....	附錄1-1
附錄二 期中報告審查意見處理情形表.....	附錄2-1
附錄三 第一次期末報告審查意見處理情形表.....	附錄3-1
附錄四 第二次期末修定報告審查意見處理情形表.....	附錄4-1
附錄五 臺18線、臺21線易致災性分布(以718豪雨為例).....	附錄5-1
附錄六 第一次期末報告簡報資料.....	附錄6-1
附錄七 第二次期末報告簡報資料.....	附錄7-1

## 圖目錄

圖 2.1	道路邊坡災害歷史的災點統計.....	2-1
圖 2.2	地滑與地層傾斜方向關係之統計(楊佳勳, 2001).....	2-7
圖 2.3	水對邊坡造成各種破壞類型.....	2-10
圖 2.4	邊坡崩塌的種類統計(楊智光, 2002).....	2-11
圖 2.5	臺 18 全線 SPOT 衛星影像圖.....	2-12
圖 2.6	臺 21 全線 SPOT 衛星影像圖.....	2-12
圖 2.7	崩塌資料庫選取範圍.....	2-14
圖 2.8	各坡度分級之崩塌率.....	2-15
圖 2.9	各地質分類之崩塌率.....	2-15
圖 2.10	累積雨量與崩塌率之關係.....	2-15
圖 2.11	降雨強度與崩塌率之關係.....	2-15
圖 2.12	第 1 級坡度之崩塌率(橫軸: 降雨強度 mm).....	2-16
圖 2.13	第 2 級坡度之崩塌率(橫軸: 降雨強度 mm).....	2-16
圖 2.14	第 3 級坡度之崩塌率(橫軸: 降雨強度 mm).....	2-17
圖 2.15	第 4 級坡度之崩塌率(橫軸: 降雨強度 mm).....	2-17
圖 2.16	第 5 級坡度之崩塌率(橫軸: 降雨強度 mm).....	2-18
圖 2.17	第 6 級坡度之崩塌率(橫軸: 降雨強度 mm).....	2-18
圖 2.18	第 1 級坡度之崩塌率(橫軸: 累積雨量 mm).....	2-19
圖 2.19	第 2 級坡度之崩塌率(橫軸: 累積雨量 mm).....	2-19

圖 2.20	第 3 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm).....	2-20
圖 2.21	第 4 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	2-20
圖 2.22	第 5 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	2-21
圖 2.23	第 6 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	2-21
圖 2.24	臺 18 線右線道路災害累計次數圖 .....	2-24
圖 2.25	臺 18 線左線道路災害累計次數圖 .....	2-24
圖 2.26	臺 21 線右線道路災害累計次數圖 .....	2-25
圖 2.27	臺 21 線左線道路災害累計次數圖 .....	2-25
圖 2.28	山區道路災害類型-土石坍方 .....	2-26
圖 2.29	山區道路災害類型-路基下陷或缺口 .....	2-27
圖 2.30	山區道路災害類型-路基流失 .....	2-28
圖 3.1	臺 21 線現地調查道路災害照片 .....	3-13
圖 3.1	道路資料庫(部分).....	3-17
圖 4.1	危害度評估參數.....	4-1
圖 4.2	臺 18 線路段坡度圖 .....	4-3
圖 4.3	臺 21 線路段坡度圖 .....	4-4
圖 4.4	臺 18 線路段地質圖 .....	4-5
圖 4.5	臺 21 線路段地質圖 .....	4-6
圖 4.6	臺 21 線地質崩塌比 .....	4-6
圖 4.7	臺 18 線 NDVI 圖 .....	4-8
圖 4.8	臺 18 線 NDVI 分級 .....	4-9

圖 4.9	臺 18 線周邊雨量站分佈狀況.....	4-11
圖 4.10	臺 21 線周邊雨量站分佈狀況.....	4-11
圖 4.11	臺 18 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖.....	4-12
圖 4.12	臺 21 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖.....	4-12
圖 4.13	約略集合理論概念示意圖.....	4-15
圖 4.14	約略集合軟體架構圖.....	4-16
圖 4.15	ROSE 軟體介面.....	4-16
圖 4.16	ROSE 之約略集合資料離散與離散門檻.....	4-17
圖 4.17	ROSE 之約略集合資料離散結果.....	4-17
圖 4.18	ROSE 之約略集合資料整合.....	4-18
圖 4.19	ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果一.....	4-18
圖 4.20	ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果二.....	4-18
圖 4.21	SPSS 之「邏輯斯迴歸」分析功能.....	4-23
圖 4.22	邏輯斯迴歸選取分析變數.....	4-23
圖 4.23	臺 18 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖.....	4-27
圖 4.24	臺 21 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖.....	4-28
圖 4.25	臺 18 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例.....	4-29
圖 4.26	臺 21 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例.....	4-30
圖 4.27	臺 18 線危害度評估示意圖-以辛樂克颱風為例.....	4-31
圖 4.28	臺 21 線危害度評估示意圖-以辛樂克為例.....	4-32
圖 5.1	易致災性概念示意圖.....	5-1

圖 5.2	風險評估架構.....	5-2
圖 5.3	脆弱性因子分析圖.....	5-4
圖 5.4	臺 18 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例.....	5-6
圖 5.5	臺 21 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例.....	5-7
圖 5.6	臺 18 線預測降雨 300mm 評估示意圖.....	5-8
圖 5.7	臺 18 線預測降雨 600mm 評估示意圖.....	5-8
圖 5.8	臺 18 線預測降雨 900mm 評估示意圖.....	5-9
圖 5.9	臺 21 線預測降雨 300mm 評估示意圖.....	5-10
圖 5.10	臺 21 線預測降雨 600mm 評估示意圖.....	5-11
圖 5.11	臺 21 線預測降雨 900mm 評估示意圖.....	5-12
圖 6.1	RS485 介面轉 TCP 轉接器.....	6-9
圖 6.2	集線器匯集多種前端儀器之示意圖.....	6-9
圖 6.3	系統規劃層級圖.....	6-16
圖 6.4	臺 18 線山區道路歷史災害數量分布圖.....	6-20
圖 6.5	臺 21 線山區道路歷史災害數量分布圖(圖一).....	6-21
圖 6.6	臺 21 線山區道路歷史災害數量分布圖(圖二).....	6-22
圖 6.7	臺 18 線與臺 21 線山區道路高易致災路段圖.....	6-23
圖 6.8	臺 18 線 20K 處監測儀器配置圖.....	6-24
圖 6.9	臺 18 線 63.5K 處監測儀器配置圖.....	6-24
圖 6.10	臺 21 線 12K 處監測儀器配置圖.....	6-25
圖 6.11	臺 21 線 114K 處監測儀器配置圖.....	6-25

圖 7.1	公路預警機制 4 階段.....	7-1
圖 7.2	100 年新增策進作為(以紅色粗框標示).....	7-7
圖 7.3	公路防救災預警機制流程圖.....	7-9
圖 7.4	工程災害緊急應變小組組織架構圖(工程處).....	7-11
圖 7.5	工程災害緊急應變小組組織架構(工務段).....	7-15
圖 7.6	緊急應變小組開設流程圖.....	7-17
圖 7.7	應變計畫單位分工動態表.....	7-21
圖 8.1	含監測預警系統之處理流程與搶險機制.....	8-3

## 表目錄

表 1-1	計畫執行進度表(100 年度).....	1-5
表 2-1	公路總局轄區易落石及坍方危險路段彙總表 .....	2-2
表 2-2	水土保持手冊坡度分級 .....	2-8
表 2-3	水對邊坡不利之影響 .....	2-9
表 2-4	地盤分類圖(Lee et al., 2001).....	2-15
表 2-5	地文、地質組合.....	2-15
表 2-6	民國 85-99 年間省道臺 18 線災害類別統計 .....	2-22
表 2-7	民國 85-99 年間省道臺 21 線災害類別統計 .....	2-23
表 2-7	民國 87 年~97 年颱風所造成公路災情比較表 .....	2-28
表 3-1	易致災危險度評估表(以臺 18 線為例).....	3-3
表 3-2	山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表 .....	3-5
表 3-3	山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表範例 .....	3-6
表 3-4	現地調查表.....	3-7
表 3-5	100 年現地調查點位數量資料表 .....	3-10
表 3-6	臺 18 線 71K+100 附近災害修復工程現地調查記錄 .....	3-11
表 3-7	南瑪都颱風海上陸上警報單 .....	3-12
表 3-8	100 年南瑪都颱風災臺 18 線 97K+0 山區道路土石坍方現地調查記錄 .....	3-14
表 3-9	100 年南瑪都颱風災害臺 21 線 134K+0 山區道路土石坍方現地調查記錄 .....	3-15

表 4-1	崩塌地類型與發生條件(張石角，1992).....	4-2
表 4-2	植生覆蓋情形分級 .....	4-9
表 4-3	臺 18、21 線 97 至 100 歷史災害筆數 .....	4-19
表 4-4	臺 18 線沿線路段依據雨量站 .....	4-20
表 4-5	臺 21 線沿線路段依據雨量站 .....	4-20
表 4-6	模式建構採用歷史災害 .....	4-22
表 4-7	危害度參數示意表 .....	4-22
表 4-8	邏輯斯迴歸模式分析結果 .....	4-24
表 4-9	邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法一).....	4-24
表 4-10	邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法二).....	4-25
表 4-11	邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法三).....	4-25
表 4-12	邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法一).....	4-25
表 4-13	邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法二).....	4-25
表 4-14	邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法三).....	4-25
表 4-15	台 18 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表 ....	4-27
表 4-16	台 21 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表 ....	4-27
表 4-17	邏輯斯迴歸模式參數 .....	4-28
表 5-1	山區道路易致災性評估工程設施評分表 .....	5-5
表 5-2	山區道路易致災性評估累計崩塌次數評分表 .....	5-6
表 6-1	各類監測儀器之特點(修改自 USBR，1987).....	6-7
表 6-2	各種通訊方式比較表 .....	6-14

表 6-3	臺 21 線監測儀器數量一覽表 .....	6-28
表 7-1	公路總局第二區養護工程處重點監控路段降雨管理值 .....	7-4
表 7-2	工程處緊急應變小組任務分配表 .....	7-11
表 7-3	工程處緊急應變小組任務職掌表 .....	7-12

# 第一章 前言

## 1.1 計畫背景與目的

### 1.1.1 計畫背景

臺灣地區位於板塊活動劇烈之環西太平洋地震帶上，活躍的造山運動，造成臺灣有將近四分之三的土地為山地區域。因此，除山高水深且地質脆弱外，於颱風、豪雨與地震的侵襲下，道路邊坡崩塌極易致災。在歷經九二一地震之後，由於土石鬆動，若遭遇颱風或豪雨，更易導致山區道路邊坡發生土石崩坍、滑落、土石流、道路損毀等災情。近年來重大的災害，尤以民國97年卡玫基颱風與辛樂克颱風對山區道路的重創造成相當多的傷亡，民國98年莫拉克颱風帶來驚人的雨量，更摧毀南部眾多重要山區的聯外道路。民國99年梅姬颱風來襲，短時間在宜蘭、花蓮等地降下驚人雨勢，災情以臺9線蘇花公路最為嚴重，甚至由於土石坍方造成多人亡。

臺灣全島三分之二為丘陵及山地，屬於亞熱帶海島型氣候，故因天然災害的頻繁侵襲，極易對工程設施之安全性造成威脅。山區道路即易造成嚴重的邊坡災害。所以預測道路破壞之可能性及其風險，進而了解該如何進行監測管理，成了山區道路邊坡災害管理極為重要的議題。國內道路建設在過去因考量地形之故，為維護人車安全而大量運用邊坡穩定工法，惟仍常因遭逢天然或人為災害導致崩塌，造成情節不等之災害，因此有必要針對道路邊坡崩塌發生機制、防治效益評估方法與應用之研究課題投入心力，藉以提昇防救災作業效能，並延展公路營運之服務年限，進而達成公路建設「永續經營」之政策。

本計畫擬將利用氣象局之雨量預報以及未來可能裝置於現地之監測元件，經由本研究之山區道路易致災分析成果，結合崩塌機率預測機制，將可於颱風豪雨期間提供動態之區域性道路風險管理建議，提高道路管理單位的防救災效率。

### 1.1.2 計畫目的

本研究主要延續民國 96-99 年度之研究成果，除了持續進行臺 18、臺 21 線之災損、搶修與復建工程資料進行蒐集調查外，並將延續前一期研究成果，希望透過持續資料的更新及邏輯斯迴歸模式，針對崩塌區位、崩塌量體、土砂災害及區域降雨量，提升、加強與改善現有風險管理的精度。並針對崩塌潛勢高低，在不同等級的保護規模條件下進行監測、管理以及預警的規劃準備。在本工作中亦期望研擬合適之山區道路災後調查表格，以提高研究因子資料蒐集之效率，並針對災後道路應變計畫進行檢討並提出未來改進對策，以發揮災時應變效率。

## 1.2 計畫範圍與工作項目

### 1.2.1 計畫範圍

全國各山區道路皆有其特殊之自然環境、地質條件、水文特性、交通運輸、人文特性等條件因素，而考量前述之特性對山區道路邊坡之穩定狀況皆有其影響之狀況下，實在無法建置一套全國山區道路邊坡通用之道路崩塌監測預警自動化系統，以及適合各地區應用之邊坡崩塌預測方式與可行之因應對策。因此，建構以統計方法為基礎的山區道路邊坡崩塌風險管理模式，則成為目前相關研究主要發展的方向。

有鑑於此，本研究延續前期 96~99 年之研究計畫，持續針對臺 18 線與臺 21 線各路段之歷史道路邊坡災害資料進行蒐集，並於重大災害發生後實施現地調查，並將災害資料進行危害度分析與易致災性分析，進而持續規劃臺 18 線與 21 線各類型易致災路段之監測系統、應變計畫，並檢討道路快速搶險機制，希望能夠將成果落實應用在相關管理及工程基層單位。亦期望透過管理模式的建立，可以有效瞭解山區道路易致災路段之災害潛勢、風險，以作為道路管理機關維護管理之參考依據，並提高整體管理的效益，給予山區道路使用者更安全且可靠的使用環境，以減少不必要之災損發生。

### 1.2.2 工作項目

本計畫為期四年(100~103 年度)，本年度(民國 100)為第一年，針對臺 18 線與臺 21 線預期完成的工作項目如下：

1. 國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析
  - (1)山區道路災害類型
  - (2)山區道路災害資料建置
  - (3)山區道路災害特性分析
2. 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作
  - (1)山區道路易致災路段之分類
  - (2)山區道路調查表格製作
3. 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析
  - (1)山區道路崩塌潛勢因子
  - (2)各類型山區道路易致災路段之危害度分析
4. 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析
  - (1)臺 18 線與臺 21 線脆弱性因子調查分析
  - (2)各類型山區道路易致災路段之易致災性分析
5. 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃
  - (1)國內道路邊坡監測系統案例
  - (2)山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃
6. 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫
  - (1)國內山區道路災害應變機制與計畫
  - (2)山區道路易致災路段之應變計畫

## 7. 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

第二(民國 101)年度為延續第一年之研究成果，整合研發適合國內區域性道路封路預警模式，且選定易致災路段作為山區道路易致災路段封路預警監測系統示範。該年度之工作項目規劃如下所述：

1. 持續蒐集山區道路災害案例，並分析探討其發生原因與特性。
2. 針對臺 18 及臺 21 線進行災害事件之調查，並建置山區道路歷史災害資料庫。
3. 編撰山區道路易致災路段調查手冊(草案)。
4. 針對臺 18 及臺 21 線進行易致災性分析及風險評估。
5. 研提山區道路易致災路段監測預警模式。
6. 山區道路易致災路段應變機制檢討與改進方案。

第三(民國 102)年度為本計畫延續第二年之研究成果，進行臺 18 線與臺 21 線山區道路資料蒐集，訂定預警監測系統之管理值，擬定應變計畫之標準作業程序。該年度預期完成的工作項目如下：

1. 持續蒐集山區道路災害案例，並分析探討其發生原因與特性。
2. 針對臺 18 及臺 21 線進行災害事件之調查，並建置山區道路歷史災害資料庫。
3. 進行臺 18 線與臺 21 線之山區道路易致災路段管理值訂定。
4. 架構山區道路易致災路段預警封路應變資訊管理系統雛形。
5. 山區道路易致災路段應變計畫檢討與標準作業程序擬定。

第四(民國 103)年度為延續第三年之研究成果，檢討國內山區道路各類型易致災路段之管理值檢討，建置簡易型之山區道路封路預警資訊管理系統，進行山區道路易致災路段應變模擬演練。該年度預期完成的工作項目如下：

1. 持續蒐集山區道路災害案例，並分析探討其發生原因與特性。
2. 針對臺 18 及臺 21 線進行災害事件之調查，並建置山區道路歷史災害資料庫。
3. 進行臺 18 線與臺 21 線之山區道路易致災路段管理值檢討。
4. 建置簡易型山區道路易致災路段預警封路應變資訊管理系統。
5. 山區道路易致災路段應變模擬演練。

### 1.3 計畫執行進度

根據各項工作內容，本年度(100 年度)工作進度說明如下。

表 1-1 計畫執行進度表(100 年度)

工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	備註
	10002	10003	10004	10005	10006	10007	10008	10009	10010	
1.國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析	■	■								
2.國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作	■	■								
3.國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析			■	■	■	■	■	■	■	
4.國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析						■	■	■	■	
5.國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃					■	■	■	■	■	
6.國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫				■	■	■	■	■	■	
7.國內外道路快速搶險機制回顧與檢討						■	■	■	■	
8.報告撰寫				■	■				■	
工作進度估計百分比 (累積數)	10	20	30	45	55	65	80	90	100	

## 1.4 研究方法及進行步驟

本研究針對臺 18 線與臺 21 線，蒐集民國 85 至今發生之歷史山區道路邊坡災害資料，建立山區道路災害資料庫，並將兩線道之山區道路災害類型進行統計分析及分類整理，進而進行各路段的危害度分析與易致災性分析。計畫中並規劃製作「山區道路調查表格」，以利於災害發生後能夠具有一致性的現地調查項目。為了能有效蒐集道路災害資料，除了由公路防救災資訊系統查詢因災害發生或雨量達到警戒值而封閉之路段外，並向各工務段索取轄區內道路災害清冊，同時於防汛期前與颱風災害過後派員至兩線道路現地進行調查。

在第一年規劃之執行步驟中，首先透過相關資料之蒐集彙整與現地調查作業，將山區道路資料予以建檔，並持續擴充既有之道路邊坡災害資料庫，利用已建檔之相關資料，進行危害度分析與易致災性分析，建立兩線道路之易致災性分析模式。並應用分析所得之各路段易致災性協助提擬適合國內區域性道路邊坡監測預警系統之崩塌判定與預警參考基準值，研擬易致災路段之應變計畫，並對國內、外道路快速搶險機制回顧與檢討。計畫執行之第二、三年間，除持續擴建道路邊坡災害相關資料庫外，亦擬透過整合第一年期蒐集彙整之相關文獻與現地調查之經驗，編撰山區道路易致災路段調查手冊(草案)。除此之外，將持續統計分析崩塌事件與各山區道路崩塌潛勢因子之關係式，以及崩塌機率與現地降雨之關係式，並藉以開發不同降雨強度下道路邊坡崩塌潛勢分析模式。最後期擬透過選定之研究對象進行相關成果之驗證作業，並依據驗證結果予以修正。在計畫執行之最後一年度，期擬透過「山區道路易致災路段應變模擬演練」之辦理，確實推廣本計畫編定之山區道路易致災路段調查手冊(草案)與山區道路易致災路段應變計畫標準作業程序(草案)，以及開發建置區域道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫系統等相關研究成果。

本研究主要工作在於透過山區道路災害歷史資料的蒐集與統計，將崩塌地相關之自然環境影響因子、人為環境影響因子以及其他影響因子等致災資料予以彙整及分析，透過統計分析結果與地理資訊系統

之結合，可以有效將山區道路各路段依照危害度與易致災性分類，並藉由具體之圖形化介面的展示，將可提供山區道路管理單位更清晰的道路環境之瞭解。

## 1.5 預期成果、效益及其應用

### 1. 預期成果

- (1) 臺 18 線與臺 21 線山區道路災害特性與危害度。
- (2) 臺 18 線與臺 21 線易致災路段調查成果。
- (3) 臺 18 線與臺 21 線山區道路易致災路段監測系統規劃。
- (4) 國內外山區道路各類型易致災路段應變計畫。
- (5) 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討。

### 2. 效益

- (1) 了解山區道路對風險程度外，對於整體山區道路搶救災的整體應變計畫有所瞭解與提出改善建議，做為公路管理機關應變之用。
- (2) 透過管理模式的建立，可以有效瞭解易致災路段之災害潛勢，作為道路管理機關維護管理之參考依據。
- (3) 提高整體管理的效益，並給予山區道路使用者更安全且可靠的使用環境與對於災害發生的瞭解，以減少不必要之災損發生。

### 3. 應用

- (1) 本計畫之建議未來之監測管理系統將可提供公路總局及相關單位在山區道路坡地災害防治之參考與應用。
- (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。

## 第二章 國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

### 2.1 山區道路災害彙整

臺灣於 921 大地震後，地層滑動及山坡地土壤鬆動情形嚴重，加上近年來山坡地受到人為開發的破壞，導致山坡地水土保持措施喪失其功能，每遇豪雨極易造成土石流、山坡地滑動等災害。在民國 83~84 年歷經 9 個颱風及花蓮地震，發現省道公路護坡以駁坎破壞為多。於民國 86 年溫妮颱風、88 年 921 大地震及 89 年期間發生之地震統計，省、縣鄉道公路清除坍方及修整護坡駁坎等養護工程數量最多。一般而言，颱風或豪雨所造成之災損大部份皆集中於山區。依據國家災害防救科技中心整理歸納近年來經篩選去除非颱風豪雨所造成的道路崩塌事件，統計民國 89 至 96 年各道路歷史發生崩塌的災點數，如圖 2.1，為過去災點數超過 10 個以上的省道。

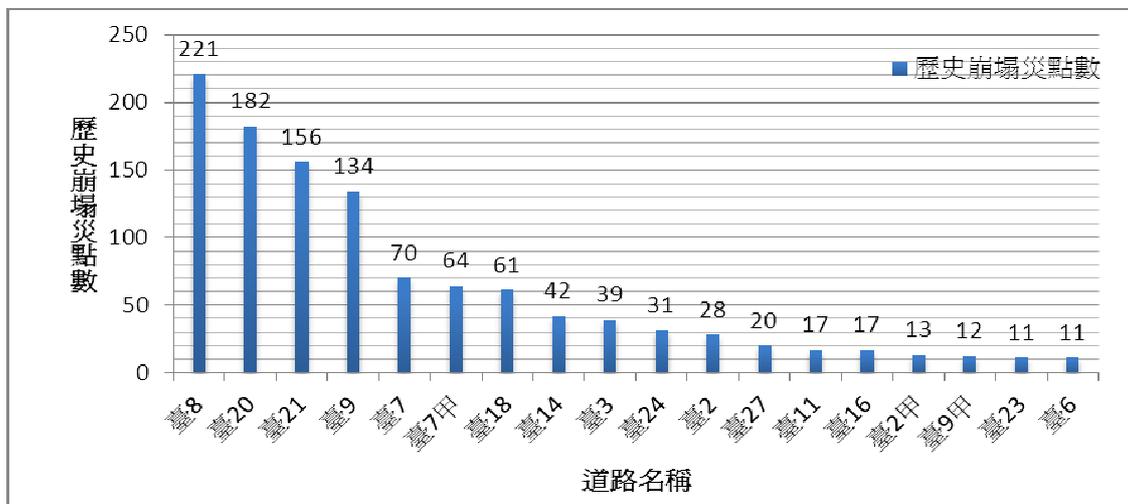


圖 2.1 道路邊坡災害歷史的災點統計

資料來源：國家災害防救科技中心

民國 88 年 921 大地震在中部地區造成重大災難，山坡地亦因地震影響，導致一夕之間出現廣大面積之崩塌。根據農委會在地震前後所做崩塌地之調查，臺灣地區山坡地崩塌處數量從 2,500 多處增加為 22,000 多處，崩塌面積也從 8,000 多公頃增加到 11,000 多公頃。過去

的三年中，鬆動的土石受到豪大雨及餘震擾動的影響，新增崩塌地達 800 多處，崩塌面積也增加約 1,200 多公頃。崩塌地之土石受到降雨逕流的沖刷，崩落之土石逐漸流入野溪、河川，除造成河川水質惡化外，亦是引發土石流之主因之一(周彥士，2006)。

民國 85 年賀伯颱風侵襲臺灣後，隨之而來的 88 年 921 大震、90 年桃芝納莉颱風的侵襲，到民國 93 年 72 水災，民國 94 年的海棠颱風，民國 96 年 0609 水災，到民國 97 年 7、8 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)所挾帶的豪雨所產生的崩塌、地滑與土石流已成為臺灣山區環境坡地災害的重要代名詞。民國 98 年莫拉克颱風對南部臺 20、臺 21、臺 24、臺 27 及臺 28 等省道造成嚴重的崩塌災害，更影響到山區居民避難與後續救助的問題。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，極易形成孤島地區。

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 1、臺 2、臺 7、臺 8、臺 9、臺 11、臺 14、臺 16、臺 18、臺 20、臺 21、臺 23 及臺 26 每逢大雨便易致災之區位，如表 2-1 所示(交通部公路總局公路資訊易落石坍方路段表，2011)。

**表 2-1 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
新北市	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
臺中市	臺 8 線	37K+500~62K+889	馬崙~德基	921 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
臺中市	臺 8 甲線	0K+000~16K+866	壩新~德基	921 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

縣市	路名	起迄樁號	起迄地點	易發生危險災害情形
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	119K+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	111K+650~123K+900 140K+350~142K+280 148K+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	164K+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	69K+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	部分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	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
高雄市	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
高雄市	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
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

由表 2-1 的事件資料可看出，災害多發生於地質不穩定及易崩塌落石之危險路段上，表示這些道路只要每逢颱風豪雨，便具有崩塌的危險。一般而言，道路邊坡破壞可分上邊坡與下邊坡，上邊坡一般為挖方邊坡，下邊坡一般為填方邊坡，無論開挖之規模與範圍，均可能因

自然或人為因素之交互作用產生災害。而山坡地坍方造成之工程設施、保全對象傷亡之災害，其主要破壞模式可概分為沖刷及崩塌二大類。沖刷破壞則是因為邊坡在雨水之衝擊與沖蝕作用下，沿坡面逕流方向形成無數蝕溝，若未加以任何防護措施，蝕溝逐漸擴大，若延伸至坡趾即造成坡面之陷落或坍滑。而邊坡崩塌依據運動型態區分為墜落(fall)、傾覆(topple)、滑動(slide)、側移(spreads)及流動(flow)等五種基本類型，如兩種類型以上同時或先後發生則為複合型。

### 1. 墜落

一般多發生於較陡的岩石邊坡，大小不一的岩塊自上至下崩落。易產生落石的岩層必然具有不良地質材料及地質構造。例如膠結不良、節理發達，造成弱面發育進而切割岩體，導致落石之發生。硬岩下含軟弱層時亦會發生這種現象。近乎直立的土坡，由於缺乏側向支撐，形成坡頂張力裂縫並逐漸向下發育，亦可能導致崩落。

### 2. 傾覆

由單一或數個岩塊或土塊向前倒坍而破壞，包含三種傾倒型式：撓曲傾倒(flexural toppling)、塊體傾倒(block toppling)、塊體撓曲式傾倒(block flexural toppling)。傾倒型破壞常由於坡址處之開挖，或河岸之沖刷，加上塊體或土塊裂縫中之水壓力、和岩塊或土塊之自重(如塊體過度傾斜使重心超過塊體之趾部)，產生相對於塊體趾部之曲動彎矩而倒坍破壞。傾倒與崩落發生之原因雖然不同，但破壞發生後現場之特徵則很類似。

### 3. 滑動

岩體或土體於失穩作用下，沿破壞面發生滑動。滑動面可能為平面、圓弧或不規則面，多發生於岩屑、岩堆等鬆散崩積層構造或傾向於坡面，地層間含有軟弱夾層之地質構造因道路開挖出現自由端。例如岩坡之順向層破壞或土坡之圓弧破壞等。此外，坡面逕流嚴重沖刷亦可能發生淺層滑動破壞。

#### 4. 側移

側移破壞發生、岩塊破碎後，幾乎是水平方向的滑動，漸次向側向擴展以致崩塌破壞之類型。發生於崩坍區域內之破壞，並無明顯之控制剪力面或塑性流區；乃因地底下之軟弱的土壤或岩層，受到震動造成液化或塑性流動(plastic flow)，使上層之土壤或岩石斷裂下陷、移動、旋轉、流動及擠出地面。此類型之特徵為上層物體有些垂直下沉，而下層之塑性體被擠出至地面。

#### 5. 流動

山坡上之岩體或土體於環境因素影響下產生流動之狀態。一般多為颱風、豪雨誘發的破壞，惟有時亦可能因山谷洪水暴漲沖刷引致坡體坍塌與水混合而形成者(陳冠華，2010)。

臺灣地區道路邊坡地質狀態複雜，綜合上述邊坡崩塌破壞運動型態，道路邊坡崩塌分類參考目前較通行者為美國交通研究委員會(TRB, "Landslides Investigation and Mitigation" Special Report 247, 1996)之分類方式。一般而言，自然邊坡崩塌破壞之所有型式均可用材料及運動類型兩個名詞分別予以簡化歸類並加以描述。依據型態所列簡要分類：首先描述材料，可區分為岩層(rock)、岩屑(debris)及土壤(soil)，岩層較完整與尚未移動之堅硬塊體。工程土壤則區分岩屑與土壤，岩屑為粗粒料含量達到一定比例，如大於 2 毫米粒徑含量在 20~80%之間，但其他仍小於 2 毫米者，土壤則為含有小於 2 毫米粒徑之材料達 80%以上者。再者則描述崩塌運動類型，邊坡崩塌依據運動型態如同前述區分為墜落、傾覆、滑動、側移及流動此五種基本類型，若兩種類型以上同時或先後發生則為複合型。

由上可知，坡面的崩壞形式相當多，但由於誘發崩塌的理論因子相當複雜，可以歸納以下說明，崩塌係指構成邊坡之土體或碎屑，受自然與人為因素影響失去平衡，在重力作用下沿斜坡面發生向下或向外運動者稱之。破壞過程滑動體多遭受嚴重破壞，呈分崩離析狀，且滑動面於滑動後裸露於地表或易於判斷其位置。

而導致崩塌發生的因素，一般可分為潛因(inherent causes)與誘因(initiating causes)。潛因是指坡地本身的基本條件，主要由地質與地形等自然因子所組成；誘因則泛指可誘發坡地崩壞之外在因素，如颱風、降雨、地震、人為擾動等，當土壤或岩石的抗剪強度不足以支撐上覆重量時，便會發生崩塌，而土壤或岩石的抗剪強度主要隨著加壓的速率、溫度、圍壓、孔隙水壓，以及岩層或邊坡的大小和形狀而改變。崩塌的發生可能是因為物體吸收水分，或是邊坡上方的承載量增加，因而導致剪應力增加，也可能原來的邊坡工程開挖或河流切割坡腳，致使坡度增加而威脅邊坡的穩定度。有許多學者試圖建立模式推估崩塌地在空間上分佈的特徵，以危害度與易致災性進行災害風險分析，主要考量的因子包括各路段的地質、植生、坡度、坡向、溪流區位等。

## 2.2 山區道路災害資料分類

臺灣山區道路災害之發生大都由於自然因素(道路邊坡坡度、邊坡坡向、地層條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、崩塌地、植生狀況、累積崩塌次數及降雨量等)及人為因素(工程設施、保全對象)交互作用，甚少單一原因，亦即危害度與脆弱性因子的交集。由歷年重大道路災害案例中可發現，山區道路災害類型主要在於上邊坡土石滑落、坍方等地質災害造成交通阻斷。下邊坡坍方、河流沖刷導致路基下陷或缺口、路基流失。造成災害的主因為颱風、豪雨、等自然力，導致工程設施及保全對象之損害或傷亡。

### 2.2.1 地質與地形對邊坡的影響

邊坡往往因地質、地形或自然環境因素等，造成破壞或滑動，而滑動規模與頻率，依據邊坡本身條件與外在環境影響而有所不同，然而不論規模大小或滑動頻繁的邊坡，都會在下邊坡或崖堆上形成堆積物，這些原本在邊坡上的岩石，經過物理或化學等風化程序後，經由滾動、滑動或崩塌等重力作用向低處位移，形成無一定形狀與大小的堆積物，這些堆積物可稱為崩積土。崩積土的組織極不規則，其成分，

大者如礫石，細者為沈泥、黏土，甚至含有機物，其性質變化極大且又難測定，取樣困難極大。其內部，甚為疏鬆，極易聚集流水；其表面，因風化及植物之生長，難於透水，因此易於產生較高水壓，不利於邊坡穩定。

另一個重要的因子即地形，而褶皺將影響地形的發育，造成岩層傾斜及產生岩體之破裂面等。產生破裂面的原因很多，不論其成因為何，破裂面的發育對於邊坡的穩定性皆為負面的影響，如降低岩體強度、造成沉陷現象、提供滑動面、造成岩體破碎等。此外，開口將使水分容易進入岩體中，不但增加水壓，也加速了風化作用。岩層層面的位態常與邊坡坡面位態形成不同的坡型，包括順向坡、逆向坡與斜交坡，而不同坡型的邊坡其穩定程度並不相同，地滑數量與順、逆向坡關係如圖 2.2 所示。順向坡可能發生平面滑動，其坡度較緩，逆向坡可能發生落石，其坡度較陡。斜交坡一般而言，較為安全。

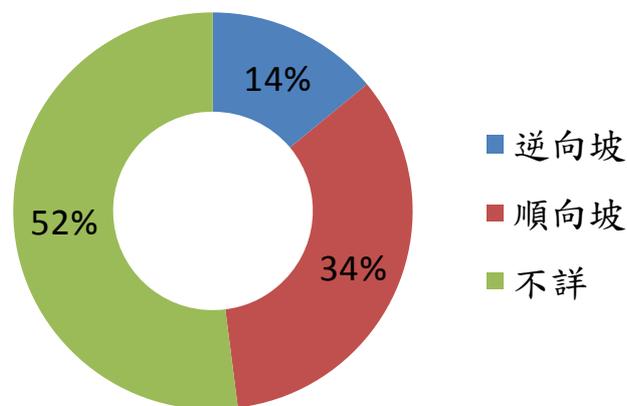


圖 2.2 地滑與地層傾斜方向關係之統計(楊佳勳，2001)

### 2.2.2 坡度對邊坡的影響

一般而言，坡度愈大其邊坡之穩定性愈低。以溪頭地區為例：平均坡度於 35 度以下之邊坡，其崩塌受累積雨量影響較不顯著，平均坡度於 40 度以上之邊坡則相當顯著，且於累積雨量超過 300mm 時發生大量崩塌(林銘郎，2003)。水土保持局針對長期坡度與坡地災害資料的

影響關係調查，將臺灣地區坡度分為六級，如表 2-2 所示。一般而言，對於第 3~5 級坡較易發生災害(傾斜百分比介於 25%~100%)，原因在於在此區間土層穩定性較差，易受降雨及地震的影響而造成災害。

表 2-2 水土保持手冊坡度分級

坡度級	傾斜角度(度)	傾斜百分比(%)	備註
1	$\theta < 5^\circ$	$< 10$	平坦
2	$5^\circ \leq \theta < 15^\circ$	$10 \leq P < 25$	小起伏
3	$15^\circ \leq \theta < 25^\circ$	$25 \leq P < 45$	丘陵地
4	$25^\circ \leq \theta < 35^\circ$	$45 \leq P < 70$	山坡地
5	$35^\circ \leq \theta < 45^\circ$	$70 \leq P < 100$	山地
6	$\theta \geq 45^\circ$	$P \geq 100$	陡峭

### 2.2.3 水對邊坡的影響

降雨與破壞的關係有很明顯的關連性。降雨所產生的地表水及地下水，會使邊坡的孔隙水壓升高，促使邊坡表面風化層或崩積層產生變動，進而造成崩塌。近年來因全球氣候變遷，造成各地氣候型態改變，導致災情更甚。降雨時，雨水對裸露之地面產生衝擊形成逕流，造成地表土層之流失、鬆動與侵蝕。部分雨水經由地面孔隙滲入土層，地下水位上升，孔隙水壓與滲流水壓增加，不飽和土壤因雨水滲入而飽和時，土體自重增大，凝聚力折減而產生山坡地滑動。另由於持續降雨，大量雨水經由山溝野溪流至河川，受地形、地質、坡度因素，如河床坡度陡峭使水流加速，侵蝕力增大，使下邊坡支撐力喪失，而向上游侵蝕，河川水流經凹岸時流速加快於凹岸地形或離心漩渦水流沖刷凹岸，導致坡趾穩定破壞坡面坍塌，路基崩塌，如表 2-3 所示(蔡岱佑，2007)，各種破壞型式照片如圖 2.4 所示。

邊坡穩定受控於孔隙水壓分佈，而孔隙水壓分佈又明顯受到坡地水文地質特性以及降雨造成地下水流動變化之影響。Terzaghi 於 1936 首先提出有效應力的觀念，當孔隙水壓上升則有效應力下降，不僅降低土壤的抗剪強度，也增加了其下滑力，進而影響邊坡穩定的程度。

表 2-3 水對邊坡不利之影響

破壞類型	破壞原因	主要特徵
漫地流造成 路基流失	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 排水溝阻塞</li> <li>● 紐澤西護欄阻礙水流使水量集中造成沖蝕</li> </ul>	水流遇紐澤西護欄缺口時，路面大量逕流及傾洩而出，造成水力沖蝕，使路基留失。
地表沖蝕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 坡面植生不佳，岩石裸露</li> <li>● 上邊坡缺乏適當的排水系統</li> <li>● 坡趾無尾溝沖蝕破壞</li> </ul>	邊坡在雨水之沖蝕作用下形成沖蝕溝，若未適當處理，蝕溝延伸至坡趾造成坡面之坍塌。
向源侵蝕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 河床邊坡陡峭使水流速加大，侵蝕力增大，使下邊坡支撐力喪失，而逐階向上游侵蝕</li> </ul>	常發生於谷地，且為流水匯集之處，產生邊坡滑動的循環破壞模式，使谷地切割產生向源侵蝕。
凹岸沖蝕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 河川水流經凹岸（即供擊岸）時，流速加快，於凹岸地形成離心渦漩水流沖刷凹岸</li> </ul>	河川凹岸之路基遭河水沖刷，使得路基崩塌、路寬縮小，甚至因基礎淘刷，引起破壞的現象。
淺層滑動	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地下水位以上的邊坡因降雨入滲形成飽和浸潤帶，基質吸力因而降低、導致凝聚力折減並形成無限長邊坡之淺層滑動</li> </ul>	多發生於土層或岩土界面間，一般淺層破壞之深度不會超過三公尺破壞面平行於邊坡，一般可以無限長之邊坡破壞模式代表。

資料來源：行政院公共工程委員會，2006，臺灣地區山區道路規劃設計參考手冊



(a)地表沖蝕



(b)向源侵蝕



(c)凹岸沖蝕



(d)淺層滑動

圖 2.3 水對邊坡造成各種破壞類型

#### 2.2.4 人為開發對邊坡的影響

臺灣地質構造脆弱，環境因素複雜且受到人為開發、管理不善等人為因素之影響，山區道路施工常因開挖造成坡度甚陡之邊坡，開挖過程中將坡腳切除使得岩塊失去支撐，或將堅硬的岩塊炸得支離破碎，凡此種種施工行為都會提高該路段崩塌發生的可能性。一旦山區道路進行興築，開發常伴隨著大量的挖填方，若坡地填方區未加以滾壓夯實，內部較不穩定且鬆動，易產生路基下陷或缺口。因此山區道路建設災害之發生，綜合而言是由於各種自然因素包括降雨、地形、地質、地貌、水文、土壤植被等潛在影響，與工程設施開發等人為因素之共同作用所導致。

統計邊坡崩塌種類，如圖 2.4 所示。圖中顯示崩塌最多為自然邊坡

佔 56%，其次是挖土造成邊坡損壞佔 19%，另外不當挖填土佔了 15%，由統計數據知自然邊坡崩塌佔多數，與一般認為自然邊坡是最安全之理念不盡相同(楊智光，2002)。

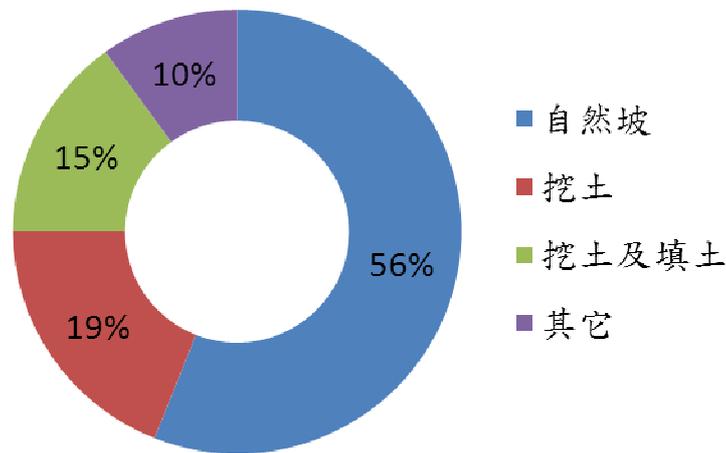


圖 2.4 邊坡崩塌的種類統計(楊智光，2002)

造成邊坡的破壞主要原因之一是降雨，就邊坡的穩定性來看，地下水的存在會增加土層的自重，增加土層的下滑力；如果地下水潤濕黏土，使其泥化及軟化，又使黏土礦物吸水膨脹，大大降低土層的剪力強度，使邊坡的穩定性大為降低。同時降雨則是觸發邊坡崩滑最重要的因素，因降雨會有一部份雨水形成地表的逕流，在地表沖刷坡腳，使邊坡變高、變陡，而降低穩定度(潘國樑，2007)。

## 2.3 山區道路災害特性分析

### 2.3.1 研究區莫拉克事件資料分析

本計畫之研究範圍臺 18 線與臺 21 線，為構成玉山景觀公路之主要交通系統，為中部地區聯絡山區重要景點，在觀光運輸上扮演相當重要角色。故本研究選擇其中臺 18 線及臺 21 線作為分析對象，圖 2.5 與圖 2.6 分別為該兩線山區道路之衛星影像圖。

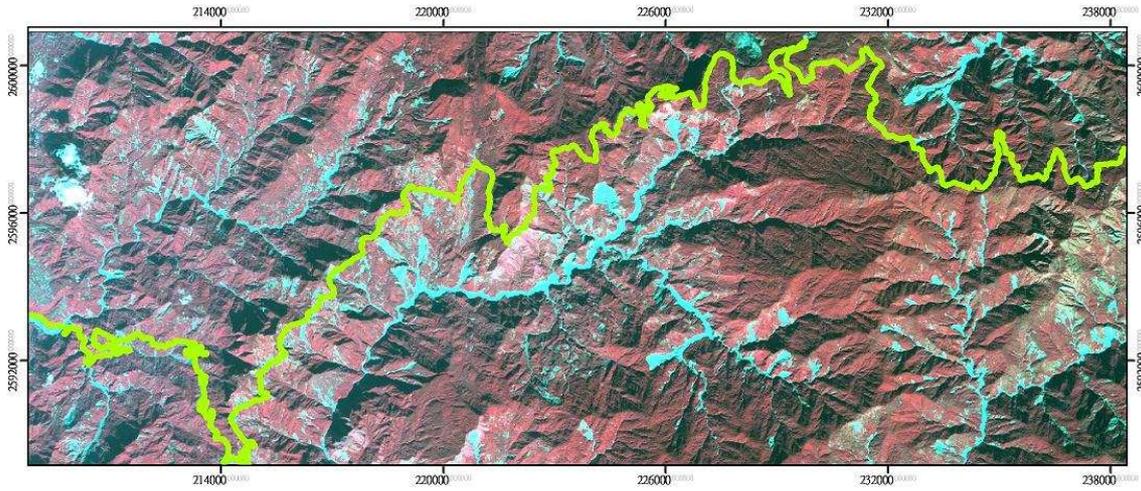


圖 2.5 臺 18 全線 SPOT 衛星影像圖

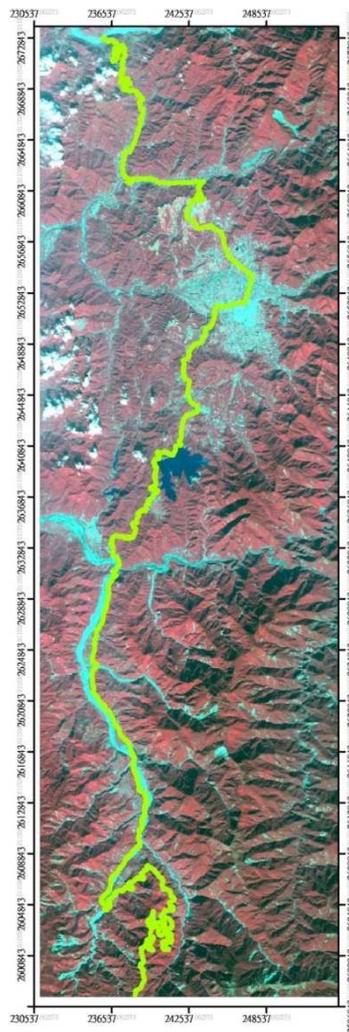


圖 2.6 臺 21 全線 SPOT 衛星影像圖

在臺灣多數的山區道路中，以臺 14、臺 18、臺 20、臺 21 災害特別多。過去幾年省道臺 18 線阿里山公路與臺 21 為歷年研究資源投注之山區道路，但缺乏整合，加上近年來多次颱風降雨中心集中在這兩條道路的山區，造成道路上邊坡植被遭破壞影響土壤穩定性誘發崩塌。野溪水流沖刷造成道路下邊坡的基腳流失，導致路基塌陷與坡面崩落的現象甚多。

民國 98 年莫拉克颱風侵襲臺灣，降下的驚人雨量於臺灣地區的山坡地發生嚴重走山及崩塌等大量的土石災害，土石流、地滑等現象在山區坡地隨處可見。本計畫利用取得之衛星影像資料，分析臺 18 線及臺 21 線之莫拉克颱風崩塌範圍分佈，套疊全臺集水區分佈圖，以單一次集水區為單位逐一切取沿線通過區域之資料庫數據，其範圍如圖 2.7 所示。根據相關文獻指出崩塌的發生，取決於驅動因子(即降雨特性參數)與地文及地質條件，如坡度、地質等交互影響而發生。本研究參考水土保持手冊之坡度分級(詳見表 2-2)，經整理統計各級坡度下崩塌比例，如圖 2.8 所示，並根據 Lee 等人(Lee, 2001)參考 1997 年 UBC 規範(ICBO, 1997)及 NEHRP 分類所建立的臺灣地盤特性分類圖，如表 2-4，此一分類已初步整理臺灣地區四大類地盤特性，整理各分類下崩塌比例如圖 2.9 所示。選取驅動因子如降雨強度、累積雨量進行分類，初步統計其崩塌比例如圖 2.10~11 所示。然而崩塌之發生並非單一地質條件抑或單一降雨特性參數所造成，而是由降雨特性參數、地文、地質條件等重要致災因子之交互影響而產生。

本計畫初步選取各坡度分級及地盤分類進行組合，組合如表 2-5，將崩塌資料庫之數據進行分組，並分別以累積雨量及降雨強度作為驅動因子，統計其崩塌比例。例如，圖 2.12 表示為第 1 級坡度與 B~E 類地質之組合。以降雨強度作為驅動因子之崩塌比例，總計以降雨強度為驅動因子者之組合有 24 組，如圖 2.13~圖 2.18。以累積雨量為驅動因子者之組合有 24 組，如圖 2.19~圖 2.23。此一分組方法可適度表示驅動因子及內在環境條件等各種不同組合下之崩塌災害發生狀況，前述組合為初步選定之一，並非指為臺 18 線及臺 21 線僅此二種因子之

組合。上述分析顯見對於大規模災害，崩塌因子與坡度具有高度相關性，尤其對於第 3~4 級坡度( $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ )。不論對於降雨強度或累積雨量，皆顯示出崩塌率隨著驅動因子升高而提升。而根據地質之分類結果顯示，在此類大規模災害事件下，地質與崩塌之相關性則較不明顯，除 E 類(沉積層或軟泥層)多類屬於坡度較緩 1、2 級坡之外，其他皆有高致災之可能。

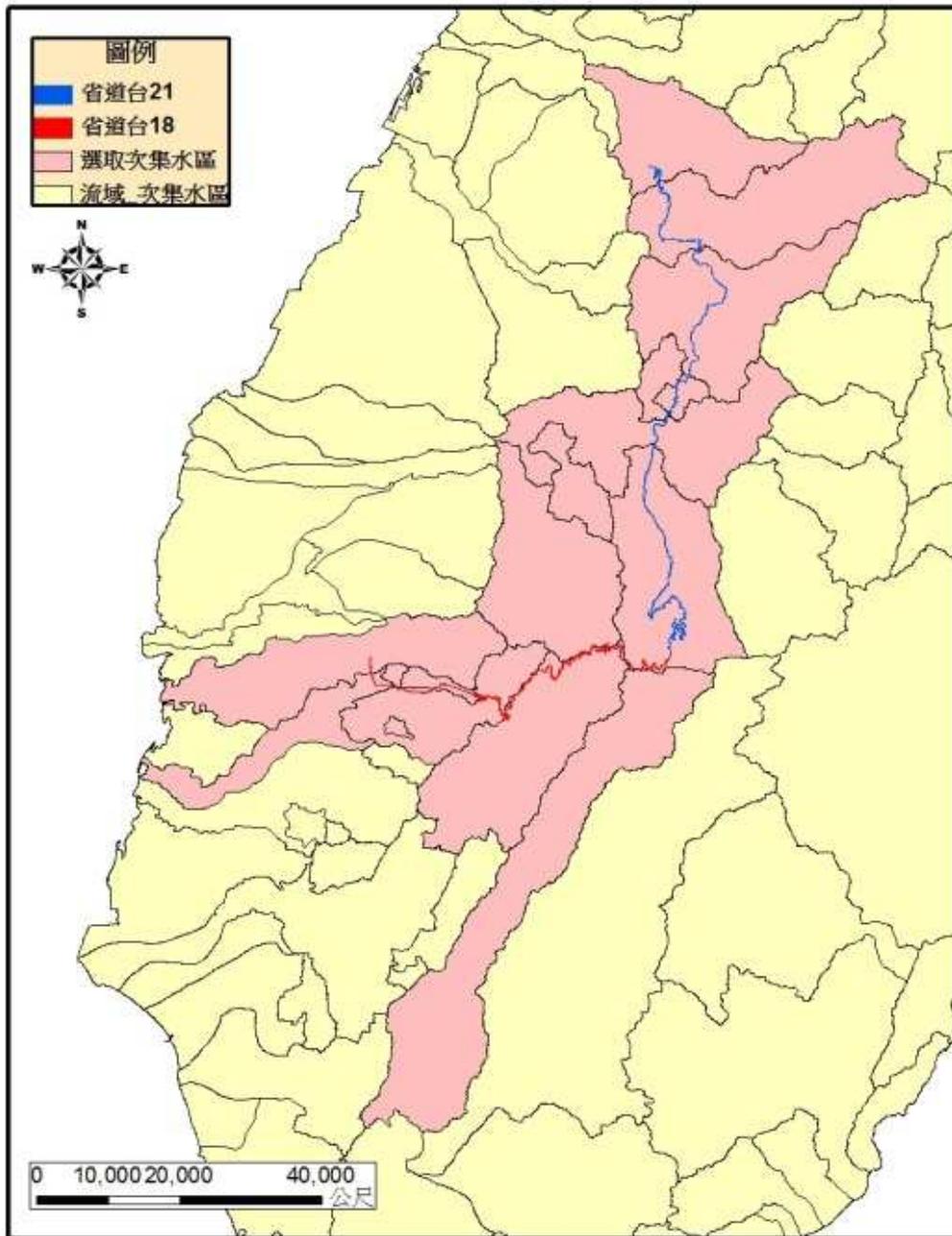


圖 2.7 崩塌資料庫選取範圍表

表 2-4 地盤分類圖(Lee et al., 2001)

Site Class	說明
B	一般岩石
C	軟弱岩石及緻密土壤
D	堅硬土壤
E	沉積層或軟泥層

表 2-5 地文、地質組合

地盤分類 (B~D類)	坡度(1~6級)					
	1級坡度 B地盤	2級坡度 B地盤	3級坡度 B地盤	4級坡度 B地盤	5級坡度 B地盤	6級坡度 B地盤
1級坡度 C地盤	2級坡度 C地盤	3級坡度 C地盤	4級坡度 C地盤	5級坡度 C地盤	6級坡度 C地盤	
1級坡度 D地盤	2級坡度 D地盤	3級坡度 D地盤	4級坡度 D地盤	5級坡度 D地盤	6級坡度 D地盤	
1級坡度 E地盤	2級坡度 E地盤	3級坡度 E地盤	4級坡度 E地盤	5級坡度 E地盤	6級坡度 E地盤	

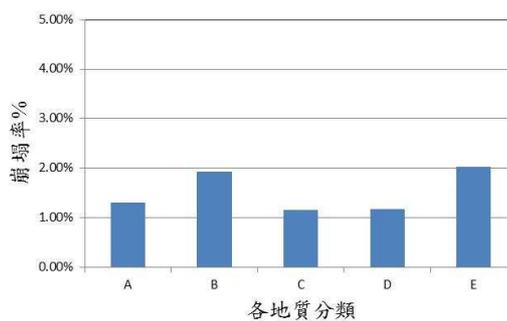
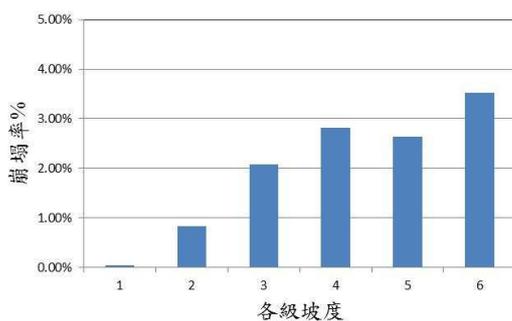


圖 2.8 坡度分級

圖 2.9 地質分類

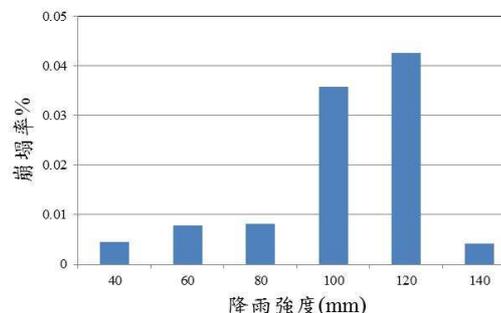
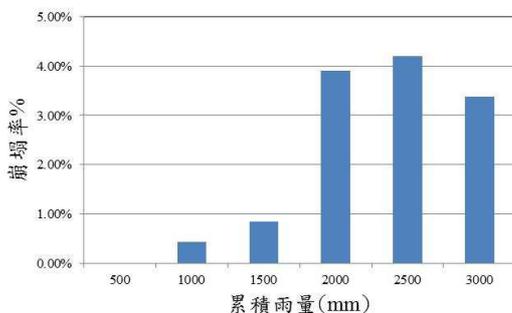
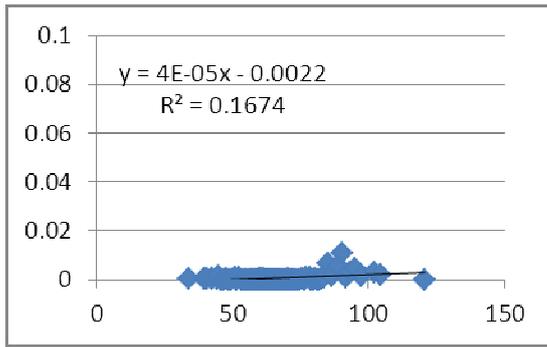
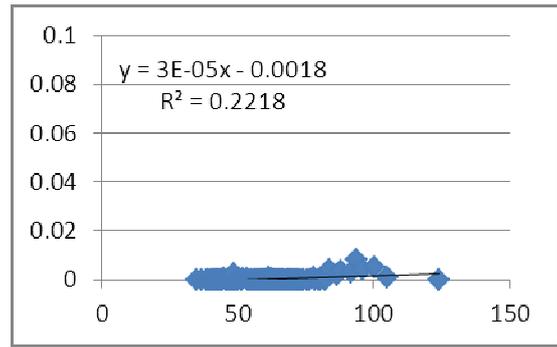


圖 2.10 積

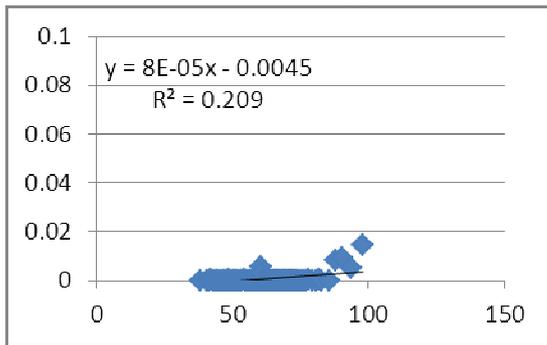
圖 2.11 度



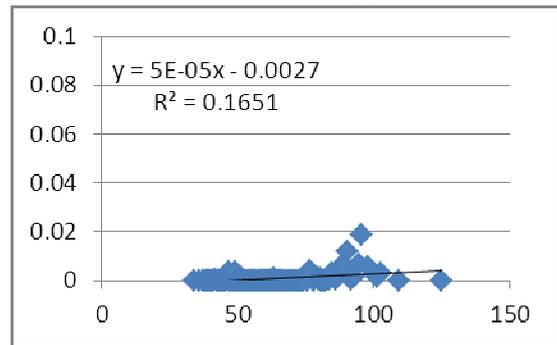
(a) B類地質



(b) C類地質

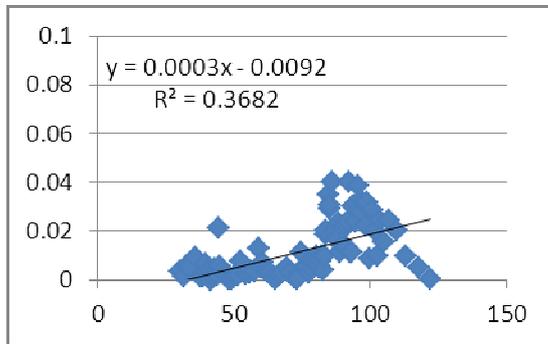


(c) D類地質

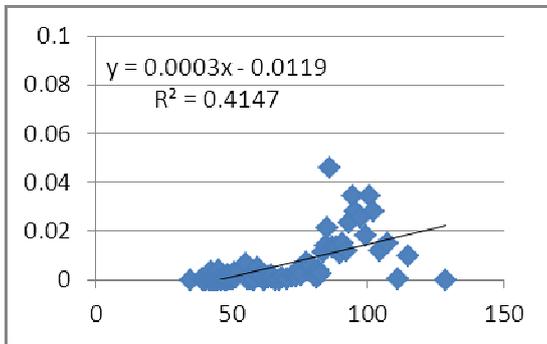


(d) E類地質

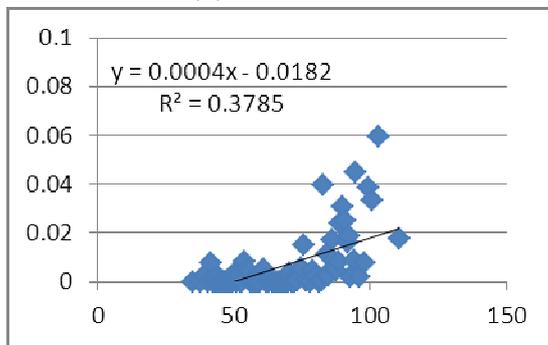
圖 2.12 第 1 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)



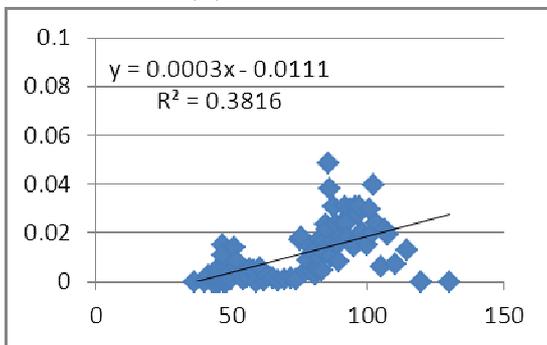
(a) B類地質



(b) C類地質

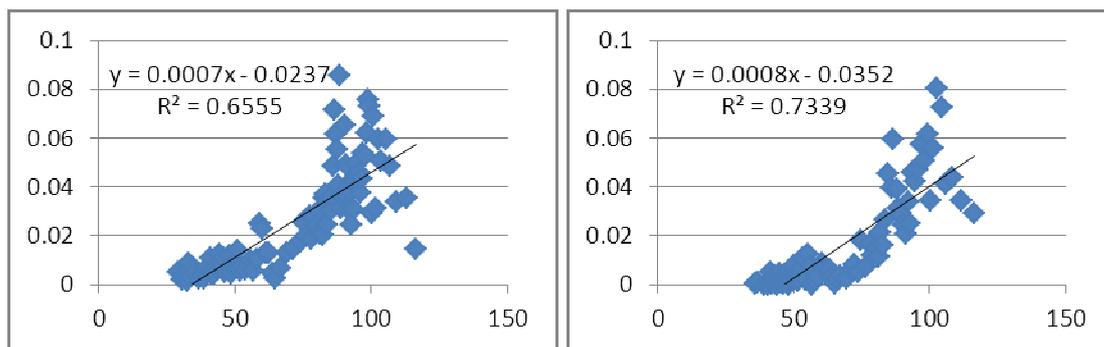


(c) D類地質



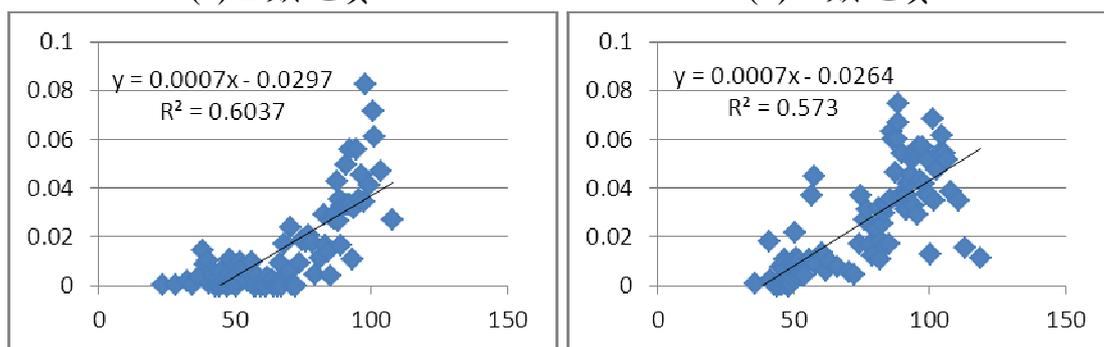
(d) E類地質

圖 2.13 第 2 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)



(a) B類地質

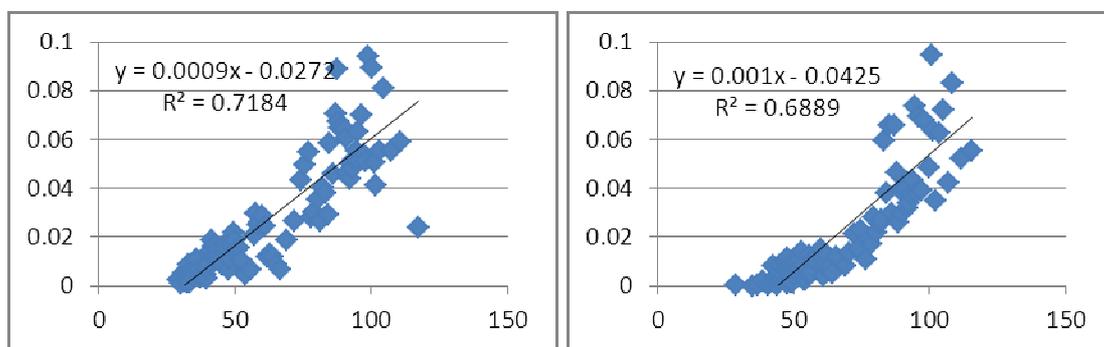
(b) C類地質



(c) D類地質

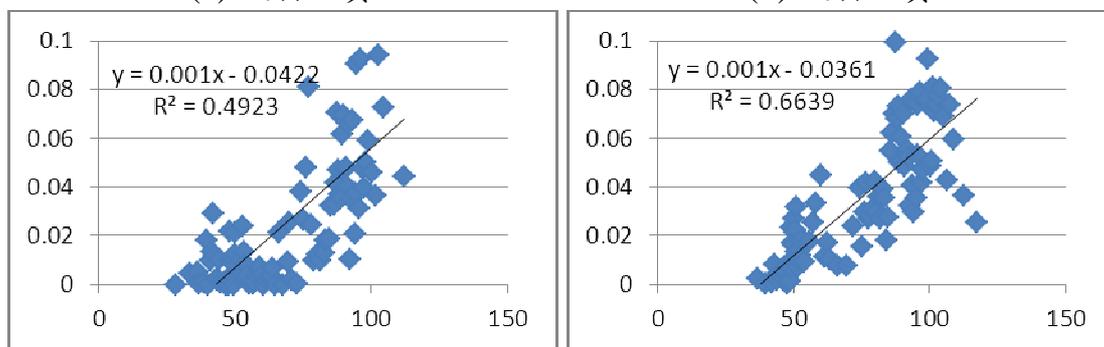
(d) E類地質

圖 2.14 第 3 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)



(a) B類地質

(b) C類地質



(c) D類地質

(d) E類地質

圖 2.15 第 4 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)

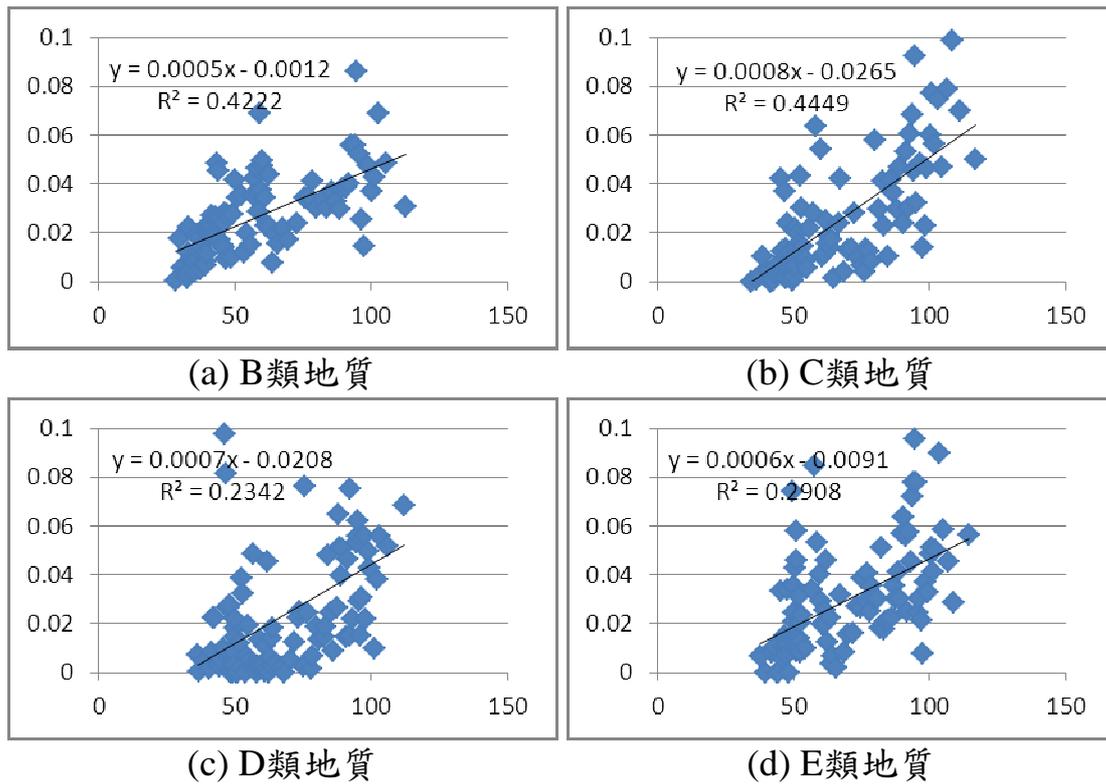


圖 2.16 第 5 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)

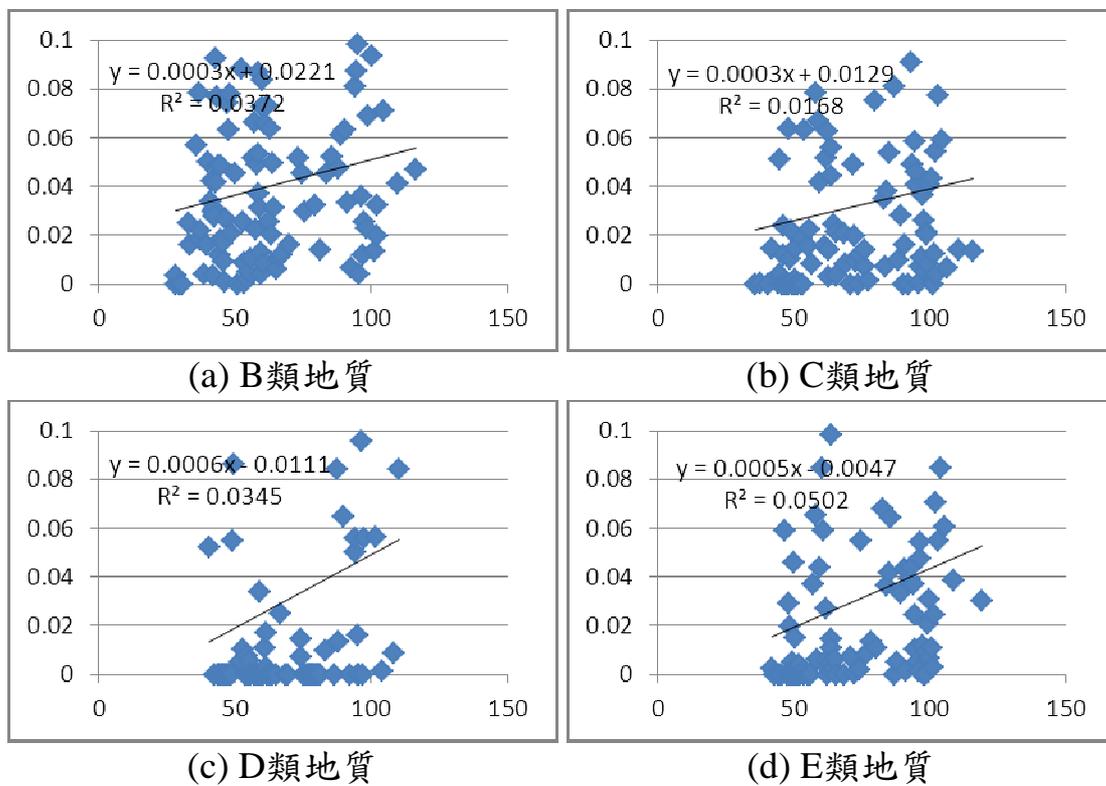


圖 2.17 第 6 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)

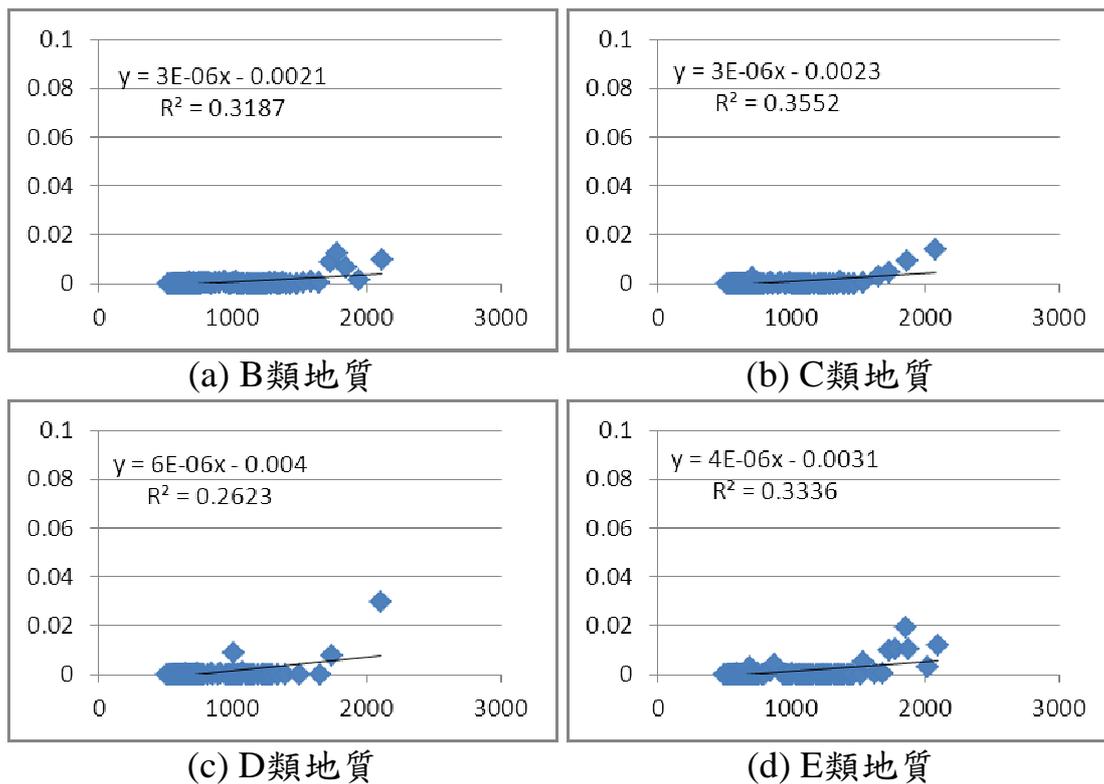


圖 2.18 第 1 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

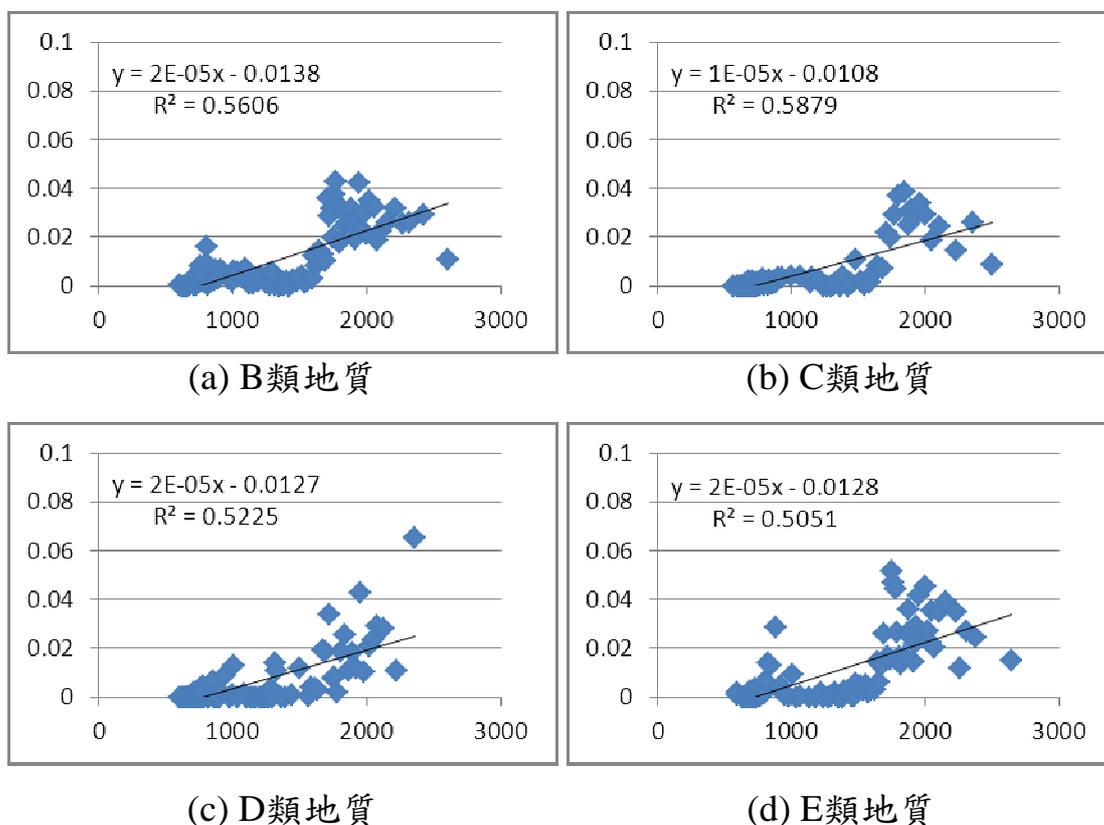


圖 2.19 第 2 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

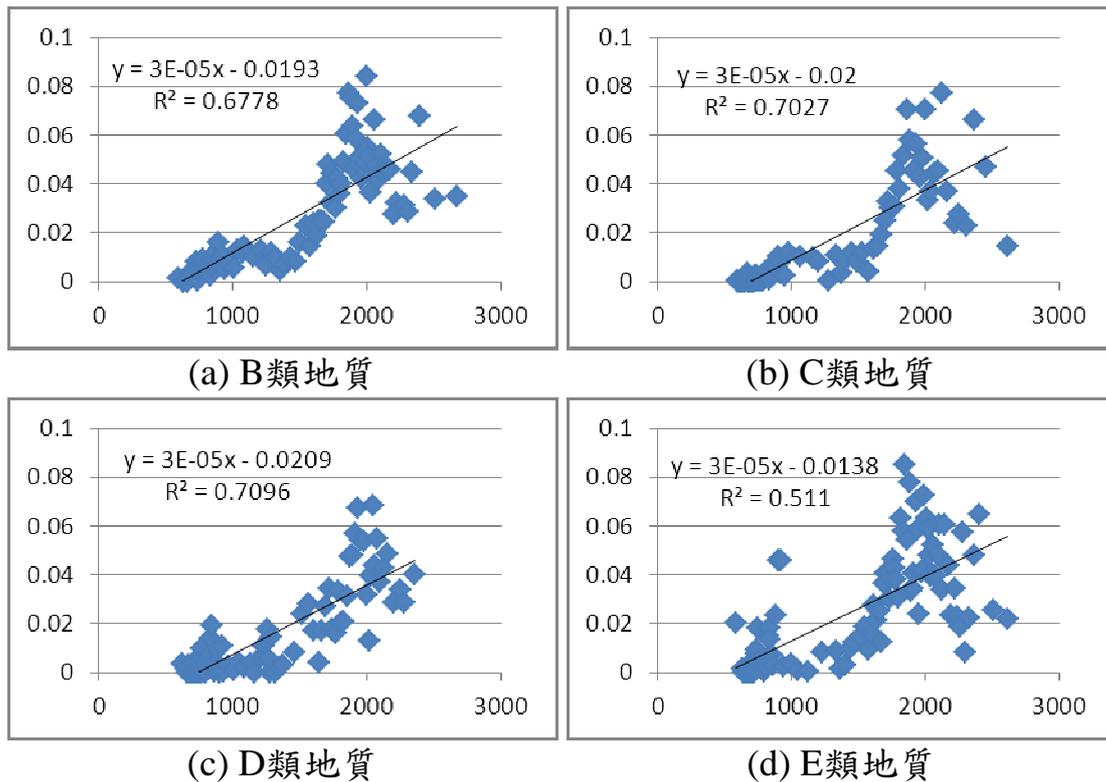


圖2.20 第3級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量mm)

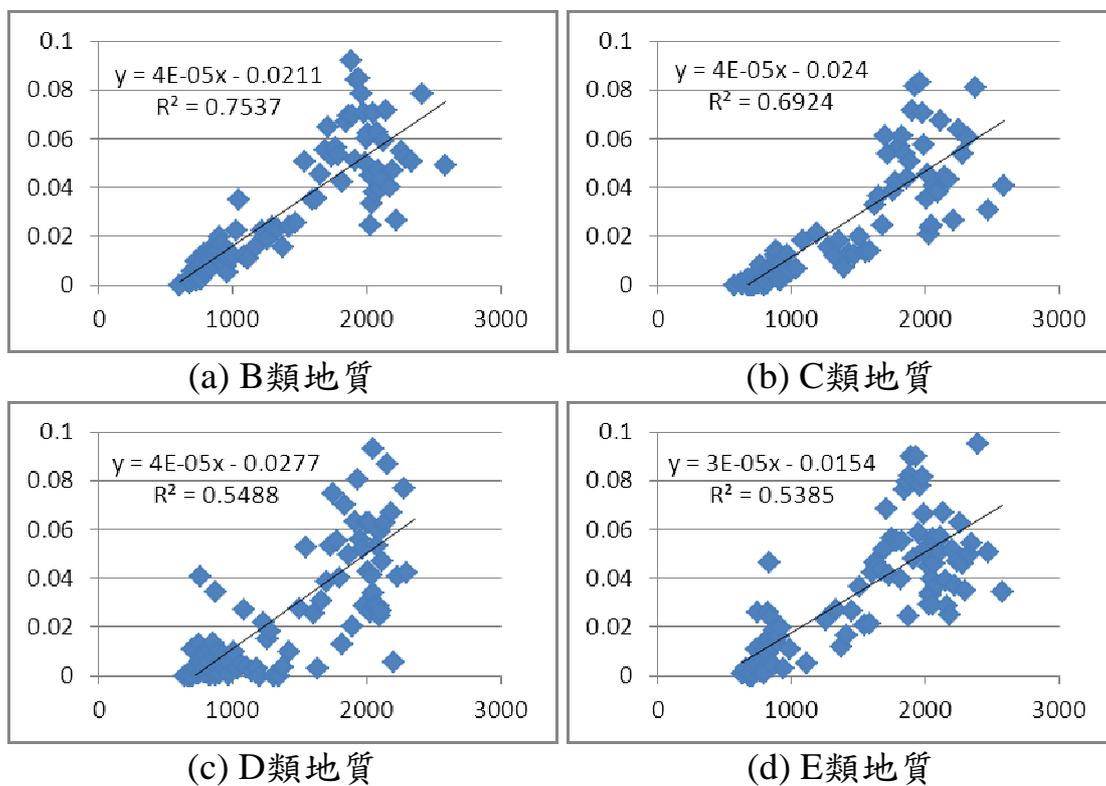


圖 2.21 第 4 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

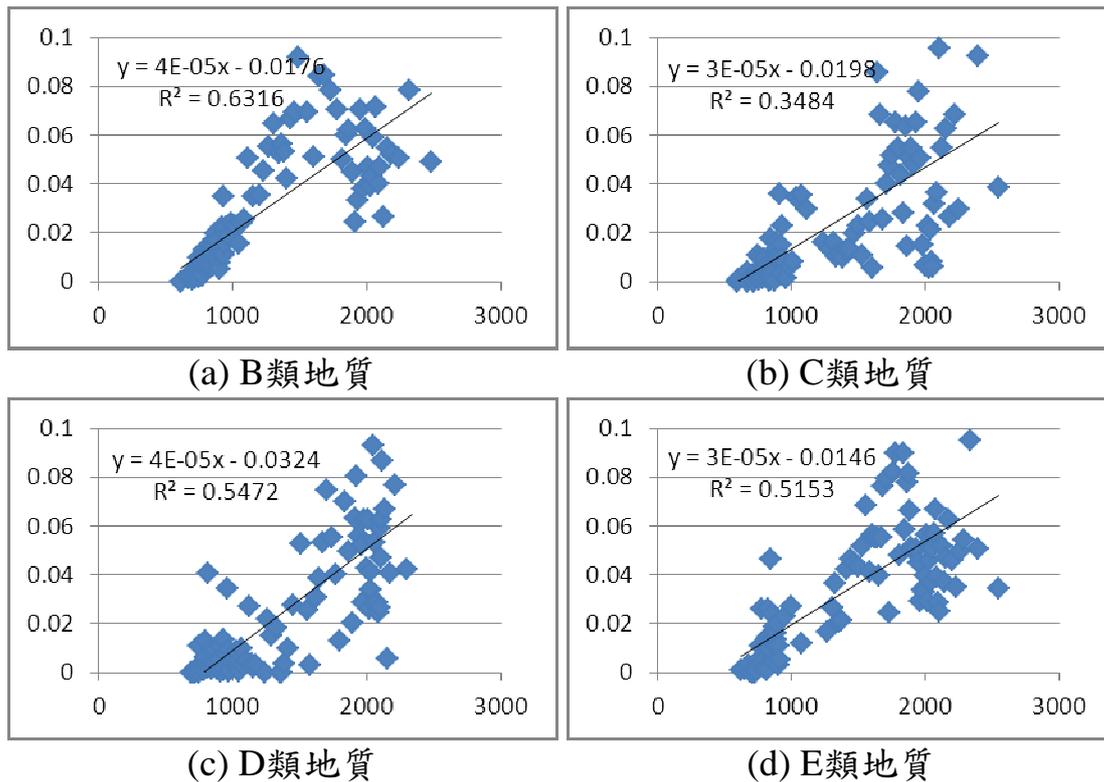


圖 2.22 第 5 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

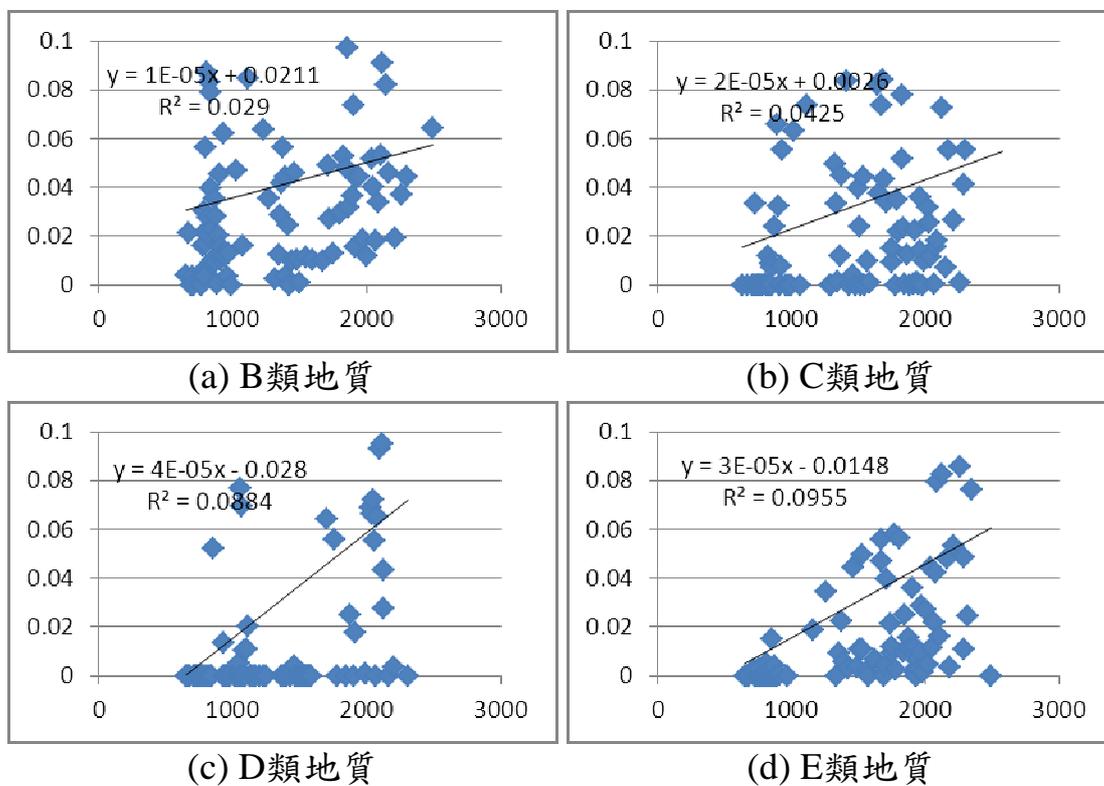


圖 2.23 第 6 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

### 2.3.2 山區道路災害類型

本計畫彙整臺 18 線與臺 21 線資料中發生過的災害類別，由於原始資料中各個轄區工務段與公路防救災資訊系統，對於災害類別及受損情形的敘述方式過於繁瑣，本研究將其歸納成上邊坡的土石坍方、道路本身的路基下陷或缺口以及下邊坡的路基流失三種道路災害類型資料進行統計，如表 2-6 與表 2-7 所示。這樣的分類方式不僅較為簡便，亦提供後續易致災道路分析一個較為可利用的分類方式。統計結果顯示，臺 18 與臺 21 線發生土石坍方比例最高，而發生路基流失比例最少。其沿線左右各路段災害次數統計資料，本研究繪製如圖 2.24~2.27 所示。

**表 2-6 民國 85-99 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
民國 85 年(1996)	120	38	3
民國 86 年(1997)	無資料	無資料	無資料
民國 87 年(1998)	2	0	0
民國 88 年(1999)	無資料	無資料	無資料
民國 89 年(2000)	42	1	0
民國 90 年(2001)	126	18	0
民國 91 年(2002)	無資料	無資料	無資料
民國 92 年(2003)	無資料	無資料	無資料
民國 93 年(2004)	40	3	0
民國 94 年(2005)	108	2	5
民國 95 年(2006)	37	5	1
民國 96 年(2007)	7	0	0
民國 97 年(2008)	29	0	0
民國 98 年(2009)	144	4	3
民國 99 年(2010)	7	0	0
總計	542	71	12
發生比例	86.72%	11.36%	1.92%

資料來源：交通部公路局五區工程處及本計畫整理

表 2-7 民國 85-99 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
民國 85 年(1996)	無資料	無資料	無資料
民國 86 年(1997)	無資料	無資料	無資料
民國 87 年(1998)	14	2	0
民國 88 年(1999)	無資料	無資料	無資料
民國 89 年(2000)	144	5	0
民國 90 年(2001)	52	11	0
民國 91 年(2002)	無資料	無資料	無資料
民國 92 年(2003)	無資料	無資料	無資料
民國 93 年(2004)	330	21	15
民國 94 年(2005)	125	18	6
民國 95 年(2006)	無資料	無資料	無資料
民國 96 年(2007)	56	1	0
民國 97 年(2008)	290	7	0
民國 98 年(2009)	5	1	13
民國 99 年(2010)	33	0	3
總計	1049	66	37
發生比例	91.06%	5.73%	3.21%

資料來源：交通部公路局二區與第三區工程處及本計畫整理

為了解臺 18 線與臺 21 線之易致災路段位置，本研究找出此二線道較高頻率之災害路段各切分為數個路段，於臺 18 線為 15K~30K、30K~45K、45K~60K、60K~75K 及 75K~90K，於臺 21 線為 0K~20K、80K~100K、100K~120K 及 120K~140K。各路段災害出現頻率較高的位置分別為臺 18 線之 20K、42.5K、55K、63.5K 以及 80K 處，臺 21 線之 6K、12K、95K、114K 以及 127K 處。

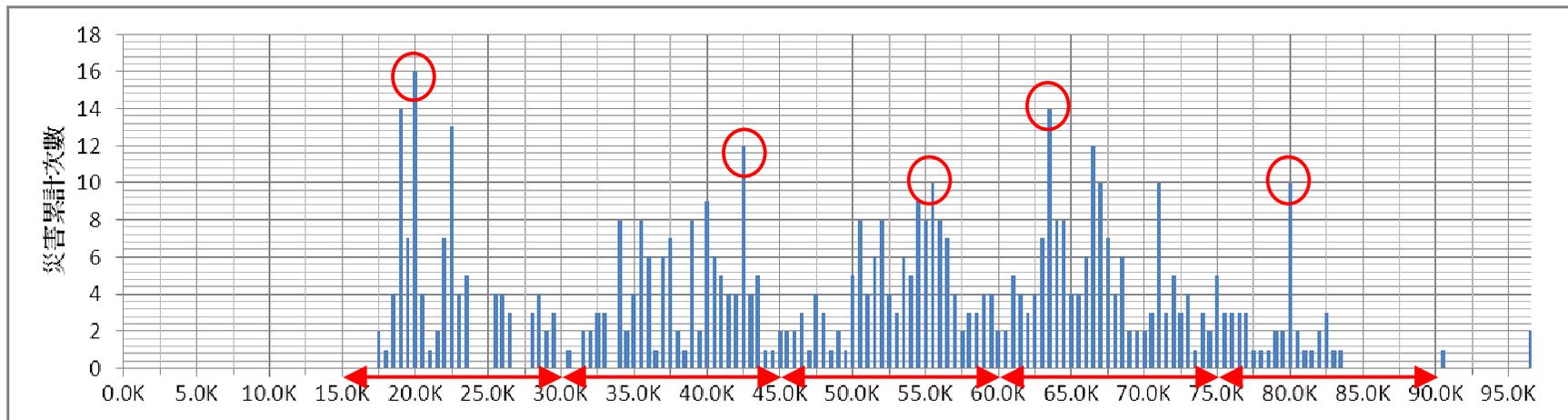


圖 2.24 臺 18 線右線道路災害累計次數圖

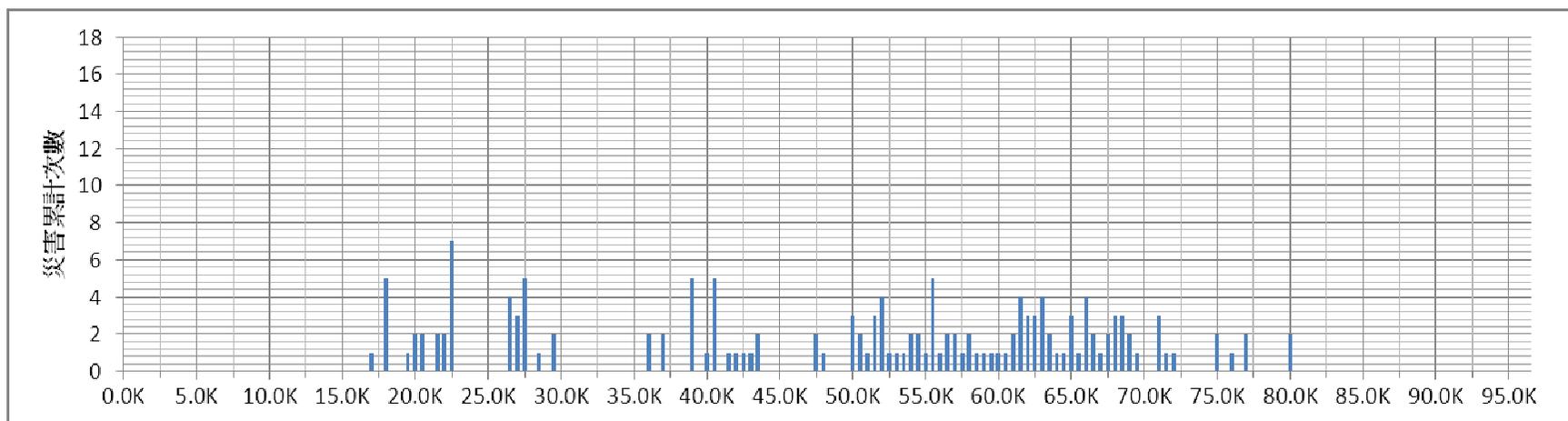


圖 2.25 臺 18 線左線道路災害累計次數圖

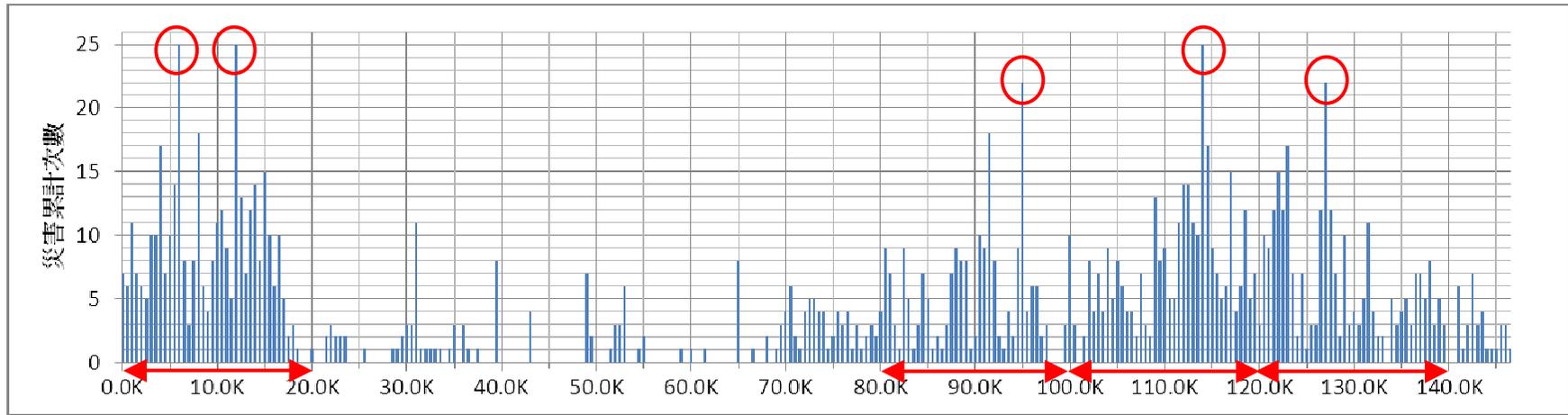


圖 2.26 臺 21 線右線道路災害累計次數圖

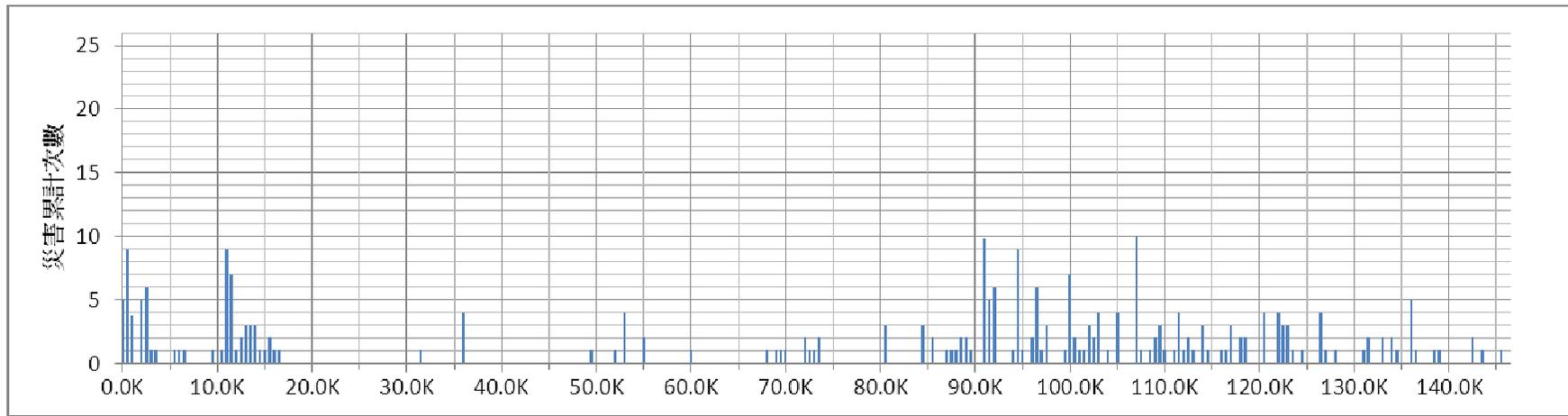


圖 2.27 臺 21 線左線道路災害累計次數圖

本研究針對土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失三種山區道路災害類型，觀察過去颱風於臺 18 線及臺 21 線造成之重大災害事件，考慮道路邊坡坡度與坡向、地層條件、土石流潛勢溪流、累積崩塌次數及降雨量等相關因子。本研究將此三種災害類型針對其特性說明：

### 1. 土石坍方(上邊坡破壞)

主要來自於上邊坡土體崩壞所造成之道路損壞事件，影響因素有道路邊坡坡度、地層條件及降雨量等，例如：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 水災以及龍王海棠颱風造成本區多處土石坍方。臺 21 線 122.6k、133k 等災害地點恰分別位於烏乾溪上下流域，而其上游為大型一崩塌地，遭受颱風侵襲時降雨易將上游大量土石流傾洩而下，沖擊臺 21 線位於流域內的道路。土石坍方照片如圖 2.28 所示。



圖 2.28 山區道路災害類型-土石坍方

## 2.路基下陷或缺口(道路破壞)

主要來自於道路地基設施破壞所造成之道路損壞，影響因素有降雨量、地層條件及下邊坡毀壞或不穩定等，如圖 2.29 所示。例如：莫拉克颱風於臺 21 線 228k+500 處，造成路基路面下陷長 70 公尺、寬 7 公尺、深 0.5 公尺；於台 21 線 231K+500 處，造成路基路面下陷長 30 公尺、寬 6 公尺、深 0.5 公尺。颱風經過時長延時且高強度之山區降雨，早已超過邊坡承受能力，因此邊坡發生崩滑、樹木傾倒、大量土石及樹木流入河道，除了將河床填高之外，河流流心的改變、衝擊與淘刷河道兩岸、並引致兩岸邊坡坍塌、道路路基下陷、並且引發更多的崩塌發生。



圖 2.29 山區道路災害類型-路基下陷或缺口

## 3.路基流失(下邊坡破壞)

主要來自於道路下邊坡基礎設施設計不佳所造成，影響因素有降雨量及路面漫地流導致下邊坡排水不及造成破壞，如圖 2.30 所示。例如：臺 18 線阿里山公路在民國 90 及 93 年間颱風豪雨影響，受到支流野溪沖刷影響甚劇，造成路基流失數量多。莫拉克颱風於臺 1 線 279K+100 處，造成道路路基流失，導致交通阻斷。臺 21

線 79.9k 壽山橋災害路段，有長約 1 公里之路基容易遭陳有蘭溪水沖擊而流失，導致民宅因而懸空或傾倒造成人員傷亡。臺 21 線 133K 路段，該路段位在烏乾溪上游易因土口流造成該處路基流失。臺 18 線位於阿里山山區，於颱風經過時容易引發超大豪雨，導致洪水與土石流，其中尤以巔頭(59k)、福山(71k)、82k 等處最為嚴重。值得一提的是，莫拉克颱風過境時曾經造成此三處嚴重的路基流失災害。如表 2-8 所示，民國 87 年~97 年累積崩塌量尚不及莫拉克風災一次的累積崩塌量。顯示對於強降雨或是累積降雨量過大的事件，此二線山區道路具有高易致災性。

**表 2-8 民國 87 年~97 年颱風所造成公路災情比較**

	坍方(m <sup>3</sup> )	路基流失(m)	備註
民國 87 年~97 年平均值	198,627	4,697	
民國 87 年~97 年最大值	1,432,782	30,680	(2001, 納莉颱風)
民國 92 年~97 年平均值	139,063	4,542	
民國 92 年~97 年最大值	467,391	18,125	
<b>莫拉克颱風</b>	<b>2,587,037</b>	<b>26,587</b>	

資料來源：李忠璋，2009



**圖 2.30 山區道路災害類型-路基流失**

## 第三章 國內山區道路易致災路段之分類及 調查表格製作

本研究彙整臺 18 線與臺 21 線各轄區工務段歷年之工程記錄，配合現地調查與相關資料蒐集，藉由邏輯斯迴歸模式(logistic regression model)進行道路崩塌潛勢敏感分析，並進行山區道路之危害度分析。為了解山區道路易致災之脆弱度因子為何，首先以評點法將影響道路災害風險的危害度與脆弱性予以量化，訂定分級評分標準，才能配合山區道路易致災路段之分類。因此，在調查表格的規劃，本研究參考山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表所建立之現地調查表，規劃以所在位置(里程)、GPS 記錄座標、道路現況、植生狀況、工程狀況、保全對象等山區道路基本資料，將可作為山區道路易致災性分析之考量依據。

### 3.1 山區道路易致災路段之分類

傳統在探討危害度分級之研究中，一般或以經驗方式建立加權數，或以影響評估準則方式建立特定因子之評分表，來進行山區道路易致災路段分級。由於本計畫以邏輯斯迴歸模式來進行道路崩塌潛勢分析，因此本計畫首先將臺 18 線與臺 21 線山區道路每 500 公尺分成一段，將可能造成危害度及易致災性之因子之原始資料進行分組評分。

#### 1. 危害度因子

- (1)道路邊坡坡度
- (2)道路邊坡坡向角度
- (3)地層條件
- (4)溪流區位
- (5)土石流潛勢溪流

(6)植生狀況

(7)事件累積降雨量

## 2. 易致災因子

應用邏輯斯迴歸模式所得之機率當作權重，將配合風險分析的概念，以評點法考量某些脆弱度因子進行分組評分。然後將各脆弱度因子之評分加總後乘以危害度(權重)，作為各路段易致災性的評分結果。易致災因子評估項目包括：

(1)坡面保護工程

(2)累計崩塌次數

上述因子中，坡面保護工程為人為環境影響因子，配合累計崩塌次數進行易致災性評分。當危害度與人為環境影響因子發生交集時，該路段便具有「易致災性」。危害度分析結果的評分，再乘上坡面保護工程與累計崩塌次數評分結果的總合，即得該路段崩塌潛勢易致災性分析之總分，即易致災性=脆弱因子×危害度=(坡面保護工程+累計崩塌次數)×危害度。本計畫參考 Pearson 所提出之邊坡崩塌危害度分析法，以評點法來區分各路段之易致災性，並參酌臺 18 線與臺 21 線歷史災害之分布特性，設定易致災性的門檻。

## 3. 崩塌地因子

主要表示該路段是否發生崩塌，若該段道路有發生崩塌為 1，沒有發生崩塌則為 0，代入邏輯斯迴歸模式求出各因子對應之係數。

如表 3-1 所示，本研究參考吳傳威對於南橫公路進行之研究的評分方式(1999)。自然環境影響因子之主要項目包括地層條件、道路邊坡坡向角度、與道路附近的溪流區位以及植生狀況等，為可能引發道路災害之發生機制的先天條件，可視為構成該路段危害度的一部份參數，即潛因。上述每一項因子依數值大小劃分為四個等級，並以 3 的冪次為主進行評分。由於分組方式考量原始資料狀況會有

不同，表 3-1 僅以臺 18 線為例。危害度分析中使用之 7 項因子為自然環境影響因子，在分析中由於前 6 項因子不會經常改變。此 6 項因子配合「事件累計降雨量」作為道路崩塌危害度分析中之共變量，各路段是否發生崩塌則為依變相，於邏輯斯迴歸分析的訓練資料中發生為 1，未發生為 0。危害度分級方式建議根據邏輯斯迴歸所得之機率作為危害度分級，區分為高、中、低潛勢三類路段。三類路段之潛勢分級，考量原因為災害驅動因子為事件累積降雨量，為每次道路災害資料建置時之變動因子，為颱風、豪雨驅動道路災害發生的關鍵因素。自然環境影響因子及災害驅動因子之邏輯斯迴歸結果可視為該段山區道路崩塌潛勢之危害度。依據邏輯斯迴歸的機率結果，並搭配標準差來進行分類。

表 3-1 易致災危險度評估表(以臺 18 線為例)

評分因子	評分準則與分數			
	0.03分	0.09分	0.27分	0.81分
自然環境影響因子				
道路邊坡坡度	<20度	20~35度	35~50度	>50度
道路邊坡坡向角度	北(0)	東、東南、南、西南	西	東北、西北
地層條件	台地、沖積、頭崙山層、桂竹林(0)	四陵、石底、南莊	乾溝、廬山	大桶山
溪流區位		穿越、附近無溪流	沿岸	
土石流潛勢溪流	無(0)			有(1)
崩塌地	無崩塌(0)			有崩塌(1)
植生狀況	NDVI.>0.4	0.4>NDVI>0.2	0.2>NDVI>0	NDVI<0
人為環境影響因子				
坡面工程	有(1)			無(3)
災害事件與災害驅動因子				
崩塌累積次數	0次(1)	1~4次(2)	5~8次(3)	9次以上(4)
事件累積降雨量(mm)	<383.5	383.5~696.5	696.5~1018	1018~2548

註：評分準則與分數欄位中包含()者，評分方式以()內為主。

表 3-1 當總分超過 0.89 分者為高易致災性路段，代表在某驅動因子下非常有可能發生災害；0.23~0.89 分者為中易致災性路段，代表在某驅動因子下則必須注意發生災害的可能；0.23 分以下為低易致災性路段，代表在某驅動因子下較不可能發生災害。在探討危害度分析之研究中，一般以經驗方式建立加權數，或以影響評估準則方式建立特定因子之評分表，或兩者並用，再依邊坡或其他相關現況由專家評定歸類後定出不同之等級。但由於在評估準則的建立過程中，權數的比重常會因為個人主觀認定的不同而有所差異。而使用調查評分表則除主觀因素外，因人為的疏忽或經驗之多寡而導致不同的評估結果亦甚難避免，以致經常造成成果的偏差。此外，實際上邊坡穩定經常同時會受到多個參數交互關聯的影響，而各個參數對土石崩塌的影響又多屬非線性關係，在這些複雜的關係尚未得到明確理論支持之前，傳統方法為簡化計算多半採用各評估因子各別評分後，再線性加總之方法。

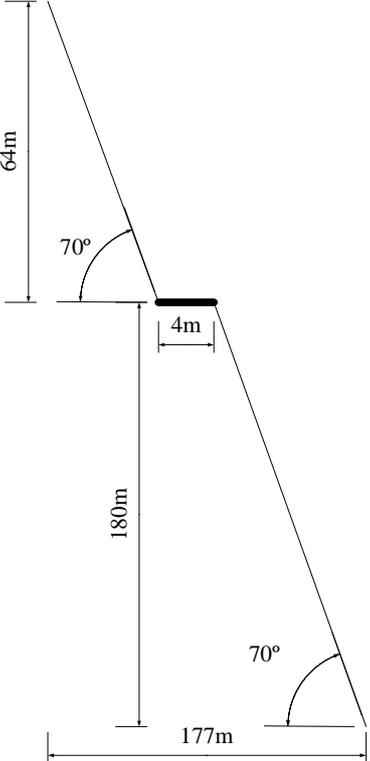
### 3.2 山區道路調查表格製作

公路養護單位對於轄區路段應適時辦理轄區公路邊坡養護巡查作業，各項養護工作，應說明辦理巡查之方式、頻率、巡查時應檢查之項目、注意事項與製作各類巡查表格。養護巡查包含經常巡查(平時巡查)、定期巡查(重點巡查、夜間巡查)以及特別巡查。颱風或汛期前後、梅雨期間、豪雨、洪水、地震或重大交通事故等災害後應進行特別巡查，檢查員應立即對構造物作詳細檢查，尤應注意構造物基礎有無沖刷、淘空、產生裂縫或位移等情事，並應詳予記錄洪水位、構造物之勁度，作為日後修復依據，並依災害範圍區段，指派專人或委外辦理後續事宜，特別巡查使用之調查如表 3-2 所示，使用範例如表 3-3 所示。

表 3-2 山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表

邊坡/擋土設施編號：縣 118 線 55k+600			
邊坡/擋土設施位置(地址)：上、下邊坡			
座標位置(橫麥卡托座標)：		東(E)	北(N)
坡/牆趾高程(m)：	以鄰接公路高度為 0		天氣：陰雨
調查者：養路工程司、日期：90 年 9 月 20 日		校核者：段長、日期：9 月 29 日	
邊坡：			
邊坡材料；破碎岩盤			
邊坡最大高度(m)：上 64m、下 180m、 寬度(m)：177m、坡角(度)：70 度		平台數：無 寬度(m)：	
邊坡坡面狀況？差		坡頂位置坡面狀況？差	
邊坡護坡狀況？裸露		坡頂位置護坡狀況？裸露	
洩水孔/ 水平排水	大小(mm) 間距(mm)	出水情形	阻塞情形
	無，土壤孔隙自然滲漏		
滲漏跡象	部分岩盤坡面及管湧		
損壞跡象	坡面滑動		
過去不穩定情形	無		
排水溝	型式 大小	出水情形	阻塞情形
	均已滑落於下邊坡，形成地表逕流		
擋土牆：無			
擋土牆型式			
邊坡最大高度(m)： 寬度(m)： 坡角(度)： 平台數： 寬度(m)：			
其他			
集水面積(公頃)	3.0		
受影響之構造物	坡頂：遇豪雨邊坡恐生二次災害 坡趾：遇豪雨邊坡恐生二次災害		
公共管道調查情形：電桿傾倒、管線破裂			

表 3-3 山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表範例

邊坡/擋土設施編號；縣 118 縣 55k+600		調查日期：90 年 9 月 20 日	
邊坡/擋土設施位置(地址)：上、下邊坡			
位置座標(橫麥卡托座標)：		東(E)121.3311	北(N)24.7930
調查者：(簽名) 日期：(簽註)		校核者：(簽名) 日期：(簽註)	
高度(m)	坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)		坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)
	構造物型式	距離(m)	構造物型式 距離(m)
	自然邊坡		
損壞跡象： <input checked="" type="checkbox"/> 有， <input type="checkbox"/> 無 說明：邊坡滑動裸露、地表水逕流 是否需進行專業維修？ <input checked="" type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否 說明：			
調查情形：滑動、裸露面積超過人為所能量測面積			
照片及剖面示意圖：			
 <p style="text-align: center;">照片</p>		 <p style="text-align: center;">剖面示意圖</p>	

由於上述表格的使用時機與巡查項目與本研究進行的現地調查工作相近，本計畫配合研究分析所需之因子、參考表 3-2 以及過去歷史崩塌點位統計資料，研提適合本研究使用之現地調查表，如表 3-4 所示。

表 3-4 現地調查表

填表人：_____ 填表日期：_____ 天氣：_____ 編號：_____		
一、基本資料		
行政區域：_____縣(市) _____鄉(鎮)_____村(里)		
地點：_____線	里程：_____K~ _____K	
地標：_____		
GPS 記錄座標	X：_____ Y：_____	
二、災害狀況		
發生時間：民國 _____年 _____月 _____日 _____時 _____分		
現場情形說明：		
道路現況	路面	<input type="checkbox"/> 無毀損，狀況良好 <input type="checkbox"/> 過水路面 <input type="checkbox"/> 龜裂 <input type="checkbox"/> 破碎 <input type="checkbox"/> 路面下陷 <input type="checkbox"/> 路基淘空 <input type="checkbox"/> 其他_____
	上邊坡	<input type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長_____m 寬_____m 深_____m，殘土規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他_____
	下邊坡	<input type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長_____m 寬_____m 深_____m，殘土規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他_____
		下邊坡是否有野溪經過： <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 沒有
		是否為土石流潛勢溪流： <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 沒有
既有排水設施狀況	<input type="checkbox"/> 路面縱向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____) <input type="checkbox"/> 路面橫向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____) <input type="checkbox"/> 邊坡橫向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____) <input type="checkbox"/> 邊坡排水孔( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____)	
植生狀況	<input type="checkbox"/> 草地 <input type="checkbox"/> 裸露地 <input type="checkbox"/> 人造林 <input type="checkbox"/> 自然林	

工程狀況	邊坡工程構造物	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容): (1)規模長_____m 寬_____m 高_____m (2)保護面積: <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> >75% (3)工程類別: <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 <input type="checkbox"/> 錨釘工法 <input type="checkbox"/> 型框工法 <input type="checkbox"/> 防落石網 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	河道工程	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容): (1)規模長_____m 寬_____m 高_____m (2)保護面積: <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> >75% (3)工程類別: <input type="checkbox"/> 護岸工程 <input type="checkbox"/> 固床工 <input type="checkbox"/> 防砂壩或潛壩 <input type="checkbox"/> 箱籠	
保全對象	建築物	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 公共建築 (學校、醫院、民眾聚集場地等) <input type="checkbox"/> 民宅	
	<input type="checkbox"/> 公共設施	<input type="checkbox"/> 有- 說明_____	<input type="checkbox"/> 無
	<input type="checkbox"/> 保全戶	<input type="checkbox"/> 有- 戶數 _____	<input type="checkbox"/> 無
致災可能原因: <input type="checkbox"/> 自然因素 <input type="checkbox"/> 其他因素-說明 _____			
調查情形說明:			
照片及剖面示意圖			
三、災害類別(判定)			
<input type="checkbox"/> 土石坍方 <input type="checkbox"/> 路基下陷或缺口 <input type="checkbox"/> 路基流失			

表 3-3 經與委託單位會商檢討修正，將做為洪汛期前與颱風、豪雨過後臺 18 線、臺 21 線之道路及坡面現況調查表，有災害發生的路段以土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失此三者，進行分類。並且將調查結果彙整，更新道路與災害資料庫，同時持續編修表單內容，以便後三年進行之調查能實際運用。表 3-3 之現地調查表的內容分八大部分，對於道路設施之使用現狀或損害災情進行具體調查與研究：

### 1. 道路基本資料

提供省道易崩塌路段之相關基本資料，主要包括行政區域、路線編號、里程、地標。這部份的資料建立每一個路段在空間中之相對位置。

## 2. 災害狀況

紀錄近期之道路邊坡災害狀況資料，記錄災害發生時間以及現場狀況說明，簡要描述道路的災害狀況。

## 3. 道路現況

提供造成道路路面災害發生的狀況之相關資料，包含路面無損毀、過水路面、龜裂、破碎、路面下陷、路面下陷以及其他。上邊坡與下邊坡之安全狀況記錄資料有崩塌規模、土石滑動規模、擋土牆是否開裂或傾倒、下邊坡是否有野溪經過，若有野溪經過則同時紀錄該溪流是否為土石流潛勢溪流。觀察路面以及邊坡既有排水設施之狀況。

## 4. 植生狀況

分為草地、裸露地、人造林以及自然林。透過植生狀況瞭解植生分佈，並分析崩塌地面積增減情形

## 5. 現有工程狀況

分為邊坡工程構造物與河道工程兩項。邊坡工程構造物包含工程有無、工程規模的長、寬以及高、保護面積百分比，工程類別：掛網植生、打樁編網、蛇籠或鉛絲網籠、擋土牆、錨釘工法、型框工法、防落石網以及其他。河道工程記錄項目包含：工程規模之長、寬以及高、保護面積百分比以及工程類別：護岸工程、固床工、防砂壩以及潛壩、箱籠。現有工程之紀錄可供危害度分析中人為影響參數之坡面保護工程因子的判斷。

## 6. 保全對象

建築物分為公共設施與保全戶，記錄公共設施類別或者保全戶的戶數。此項紀錄可供危害度分析中人為影響參數之保全對象有無的判斷，評估保全對象的安全性。

## 7. 致災可能原因、調查原因說明以及照片與剖面示意圖

現地調查時現場人員對現地道路狀況進行前述調查內容之一系列記錄後，觀察災害情況、推估可能致災的原因，同時對災害現場拍照記錄以及手繪剖面示意圖。

## 8. 災害類別判定

現地調查人員將現場的災害歸類為土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失此三個類別之一。

### 3.3 山區道路現地調查

本計畫於民國 100 年 4 月 27 日與 9 月 9 日分別進行兩次現地調查，其中對於道路災害發生處、目前正在進行之護坡修復工程以及現有護坡工程位置，進行樁點定位、拍照，規模測量以及調查表格填寫等工作。用以更新道路災害資料庫，了解道路現況。今年現地調查的日期、路線以及點位資料如表 3-5 所示。

表 3-5 100 年現地調查點位數量資料表

日期	4 月 27 日	9 月 9 日	9 月 9 日
現地調查路線	臺 18 線	臺 18 線	臺 21 線
現地調查點位數量	8	9	27
現地調查原因	洪汛期前	南瑪都颱風	南瑪都颱風

洪汛期前之現地調查資料，以工程設施為主，以臺 18 線 71K+100 處之莫拉克風災修復工程為例。該處工程目的為修復莫拉克颱風造成之道路與橋梁受損，將道路截彎取直、減少坍方以維持交通順暢。施工期間預計為民國 99 年 5 月 16 日至 100 年 10 月 07 日。該處之現地調查照片以及工程內容，如表 3-6 所示。

表 3-6 臺 18 線 71K+100 附近災害修復工程現地調查記錄

工程名稱	臺 18 線 71K+100 附近災害修復工程
設計單位	臺灣世曦工程顧問股份有限公司
主辦單位	公路總局第五區養護工程處
監造單位	公路總局第五區養護工程處嘉太工務所
施工廠商	泰有營造股份有限公司

現地調查照片



9 月針對南瑪都颱風對於台 18 線與台 21 線造成的災害進行調查，蒐集最新的道路邊坡災害資料，南瑪都之颱風警報單如表 3.7 所示。

表 3-7 南瑪都颱風海上陸上警報單

# 海上陸上颱風警報

中央氣象局 民國 100 年編號第 11 號颱風警報 第 6 報 8 月 27 日 20 時 30 分發布

颱風強度及命名：中度颱風，國際命名：NANMADOL，中文譯名：南瑪都。

中心氣壓：940百帕。

中心位置：27日20時的中心位置在北緯 19.3 度，東經 121.7 度，即在鵝鑾鼻的南南東方約 300 公里之海面上。

暴風半徑：7級風暴風半徑 180 公里，10級風暴風半徑 50 公里。

預測速度及方向：以每小時9公里速度，向北北西進行。

近中心最大風速：每秒 45 公尺(約每小時 162 公里)，相當於 14 級風。

瞬間之最大陣風：每秒 55 公尺(約每小時 198 公里)，相當於 16 級風。

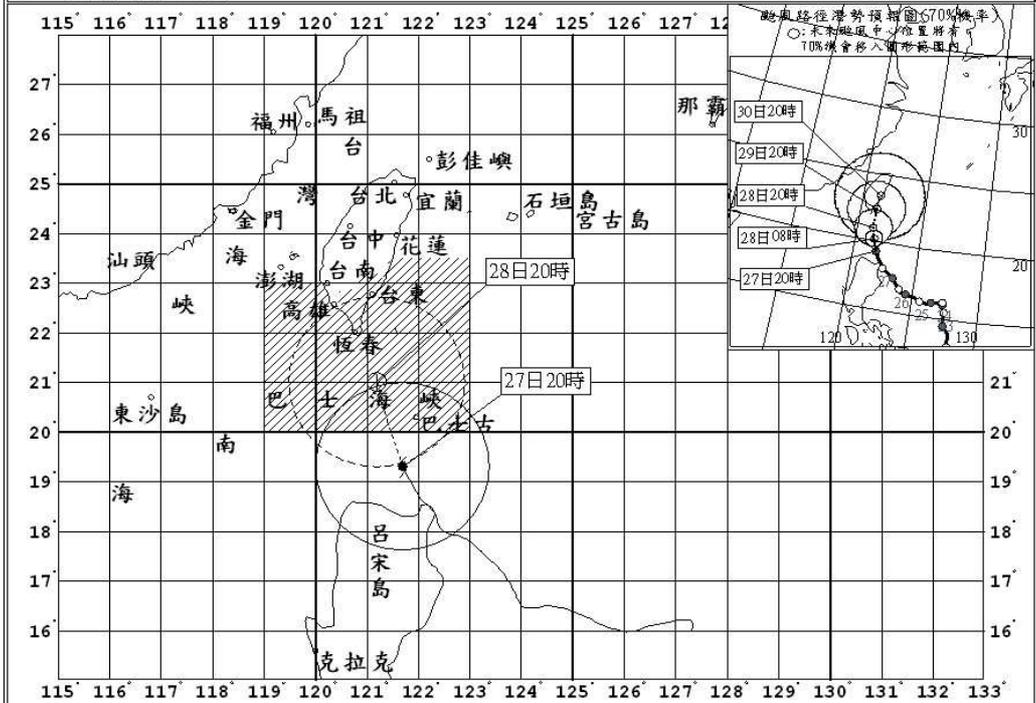
預測位置：28日20時的中心位置在北緯 21.0 度，東經 121.2 度，即在鵝鑾鼻的南南東方約 110 公里之海面上。

颱風動態：根據最新資料顯示，第 11 號颱風過去 3 小時強度略為減弱，目前中心已進入巴士海峽，繼續向北北西移動，對屏東及台東地區將構成威脅。

警戒區域及事項：陸上：屏東(含恆春半島)及台東地區(含綠島、蘭嶼)應嚴加戒備並防強風豪雨。  
海上：巴士海峽、臺灣東南部海面及臺灣海峽南部航行及作業船隻應嚴加戒備。  
\* 豪雨特報：受颱風外圍環流影響，今(27日)晚至明(28日)日北部、東北部、東部、東南部地區及恆春半島有局部性大雨或豪雨發生的機率，南部山區亦有局部性大雨。山區請注意防範坍方、落石、土石流及溪水暴漲。

注意事項：1、臺灣東北部、東部、東南部、西南部、恆春半島、基隆北海岸濱海地區及蘭嶼、綠島有長浪發生，尤其適逢大潮期間，民眾應注意並避免前往海邊活動。  
2、臺灣沿海地區將有較強陣風，請注意。

下次警報預定發布時間：8月27日23時30分。



圖例：現在中心位置及暴風範圍、熱帶性低氣壓、強度(輕度、中度、強烈)、預測中心位置及暴風範圍、預測路徑、過去路徑、警戒區域

註：最新颱風動態，請隨時收聽166、167氣象電話。

今年 8 月 27 日 5 時 30 分，中央氣象局發布南瑪都颱風的之海上颱風警報；並於同日晚間 20 時 30 分發布海上陸上颱風警報，直至 8 月 31 日 8 時 30 分同時解除兩份警報。其中臺 18 線 97K 處於 8 月 30 日 8 時 30 分發生道路邊坡坍方，僅開放單線通車，並於 8 月 31 日 7 時開放通車；66K~88K 於 8 月 30 日 22 時至 8 月 31 日 7 時間進行雙向道路預警性封閉。台 21 線部分，134K 處於 8 月 30 日 8 時 30 分至 8 月 31 日 7 時因邊坡坍方僅開放單線通車；132K 處於 8 月 31 日 6 時 45 分至 8 月 31 日 10 時間亦因邊坡坍方阻斷道路約 50m，僅開放單線通車；121K~145K 處於 8 月 31 日 12 時 50 分至 9 月 1 日 7 時，因 24 小時雨量達到 100 毫米行動值進行預警性封閉。

本計畫團隊於 9 月 9 日上午派員分別對臺 18 線與臺 21 線進行現地調查，對道路災害發生處，如土石坍方、路基下陷或缺口、路基流失等，紀錄災害類別與致災可能原因，以及道路線況與植生狀況，現地調查時所拍攝之照片如圖 3.1 所示。



(a)臺 21 線 123.5-124K 土石坍方



(b)臺 21 線路基流失

**圖 3.1 臺 21 線現地調查道路災害照片**

進行現地查時對於因風災損處拍攝照片及至鄰近里程樁點定位以外，同時會對於該路線上之重大工程進行調查。臺 18 線 97K 處於 100 年 8 月 30 日上午 8 點 30 分因山區道路土石坍方導致單線通車，於 8 月 31 日搶通，現地調查照片如表 3.8 所示。

表 3-8 南瑪都颱風災臺 18 線 97K+0 山區道路土石坍方  
現地調查記錄

災害名稱	南瑪都颱風
路線樁號	臺 18 線 97K+0
阻斷時間	2011/8/30 08:30~2011/8/31 07:00
災害類別	道路，土石坍方。

現地調查照片



臺 21 線 134K+0 處亦於南瑪都颱風時因為道路土石坍方進行單線通車管制，道路管制作為與災害類別詳見表 3-9。

**表 3-9 南瑪都颱風災害臺 21 線 134K+0 山區道路土石坍方調查記錄**

災害名稱	南瑪都颱風
路線樁號	臺 21 線 134K+0
阻斷時間	2011/8/30 08:30~2011/8/31 07:00
災害類別	道路，土石坍方。
現地調查照片	
	
	

藉由現地調查持續更新臺 18 線與臺 21 線道路資料庫，道路資料庫的內容包含道路基本資料、基礎調查、環境資料、工程資料以及災害類別，以下針對此五項內容說明：

### 1. 道路基本資料

基本資料記錄路線名稱，里程樁號所對應之座標，調查方向以及道路寬度，道路寬度除了記錄寬度外，還記錄線道劃分。由於山區道路會經常性地遭受災害而設損，維護工程可能會進行截彎取直或是其他工程作為導致山區道路真實里程產生變化，但所有的道路位置記錄以里程樁號牌為基準。

### 2. 基礎調查

基本路況記錄該 500m 路段之路面與路基狀況，路面部分包含路面狀況、路面鋪面型態、損壞類型以及損壞程度，路基部分包含路基狀況、損壞類型以及損壞程度。

### 3. 環境資料

環境資料包含邊坡、河道、平地、橋梁、房舍、既有排水設施以及隧道，分類進行記錄。

- (1)邊坡：邊坡分上下邊坡記錄邊坡的植被狀態、保護工程工法以及邊坡是否安全無虞。
- (2)河道：記錄其寬度、是否為野溪以及是否為土石流潛勢溪流。
- (3)平地：記錄平地植被種類，若其上有作物，則分左右邊坡記錄作物種類。
- (4)橋梁：記錄橋梁名稱。
- (5)房舍：記錄房舍的使用狀態，以及是否為公有設施。
- (6)基本排水設施：記錄其路面與邊坡排水方式，縱向或橫向。

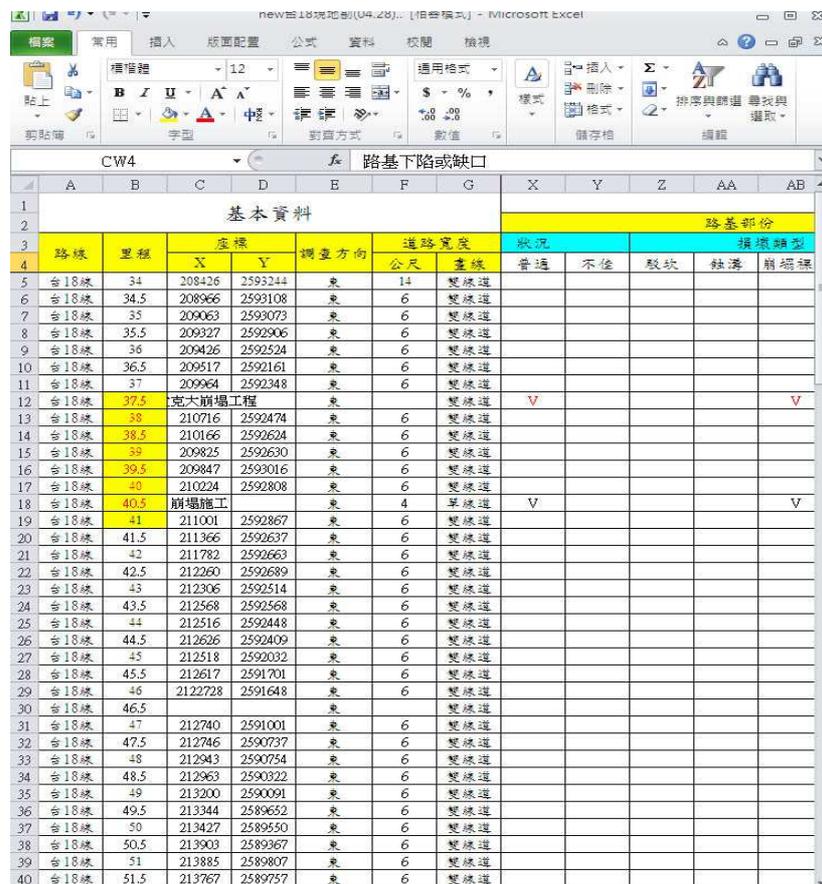
#### 4. 工程資料

坡面工程資料記錄山區道路護坡工程的型式，如：掛網植生、打樁編柵、蛇籠或箱籠、擋土牆、錨釘工法、型框工法以及防落石網。河道工程也以記錄型式為主，分 RC 護岸工程、固床工、防砂壩以及箱涵。

#### 5. 災害類別

記錄致災因素以及災害類別，包含最常見的三種災害類別：土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失。

資料庫的建置工作可以提供業務單位作為未來山區道路管理方式訂定的參考，同時對於研究單位可使用資料庫進行各式分析。除了道路資料庫外，沿線雨量站的 10 分鐘累計降雨量資料也將持續蒐集，以便建立更為安全經濟的道路管理方式。



基本資料							路基部份				
路線	里程	座標		調查方向	道路寬度		狀況		損壞類型		
		X	Y		公尺	畫線	普通	不佳	駭坎	缺邊	崩塌
台18線	34	208426	2593244	東	14	雙線道					
台18線	34.5	208966	2593108	東	6	雙線道					
台18線	35	209063	2593073	東	6	雙線道					
台18線	35.5	209327	2592906	東	6	雙線道					
台18線	36	209426	2592524	東	6	雙線道					
台18線	36.5	209517	2592161	東	6	雙線道					
台18線	37	209964	2592348	東	6	雙線道					
台18線	37.5	克大崩塌工程		東	6	雙線道	V				V
台18線	38	210716	2592474	東	6	雙線道					
台18線	38.5	210166	2592624	東	6	雙線道					
台18線	39	209825	2592630	東	6	雙線道					
台18線	39.5	209847	2593016	東	6	雙線道					
台18線	40	210224	2592808	東	6	雙線道					
台18線	40.5	崩塌雜工		東	4	單線道	V				V
台18線	41	211001	2592867	東	6	雙線道					
台18線	41.5	211366	2592637	東	6	雙線道					
台18線	42	211782	2592663	東	6	雙線道					
台18線	42.5	212260	2592689	東	6	雙線道					
台18線	43	212306	2592514	東	6	雙線道					
台18線	43.5	212568	2592568	東	6	雙線道					
台18線	44	212516	2592448	東	6	雙線道					
台18線	44.5	212626	2592409	東	6	雙線道					
台18線	45	212518	2592032	東	6	雙線道					
台18線	45.5	212617	2591701	東	6	雙線道					
台18線	46	2122728	2591648	東	6	雙線道					
台18線	46.5			東		雙線道					
台18線	47	212740	2591001	東	6	雙線道					
台18線	47.5	212746	2590737	東	6	雙線道					
台18線	48	212943	2590754	東	6	雙線道					
台18線	48.5	212963	2590322	東	6	雙線道					
台18線	49	213200	2590091	東	6	雙線道					
台18線	49.5	213344	2589652	東	6	雙線道					
台18線	50	213427	2589550	東	6	雙線道					
台18線	50.5	213903	2589367	東	6	雙線道					
台18線	51	213885	2589807	東	6	雙線道					
台18線	51.5	213767	2589757	東	6	雙線道					

圖 3.2 道路資料庫(部分)

## 第四章 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

### 4.1 山區道路危害度因子

本章危害度分析將利用圖 4.1 之各項評估參數為輸入因子，同時本圖的部分因子也會作為後續易致災性分析時之使用條件。目前本研究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，延續前期計畫所使用之邏輯斯迴歸模式(Logistic regression model)來進行道路崩塌潛勢敏感分析作業。基本上山區道路易致災路段在危害度建置分析時的影響參數考量為：1.去除人為環境影響參數；2.保留自然環境影響參數以及 3.考量災害事件的驅動力(在此本研究考慮事件累計降雨量)等，其後再針對評估的崩塌潛勢因子進行深入探討，以確立之完整性及有效性。

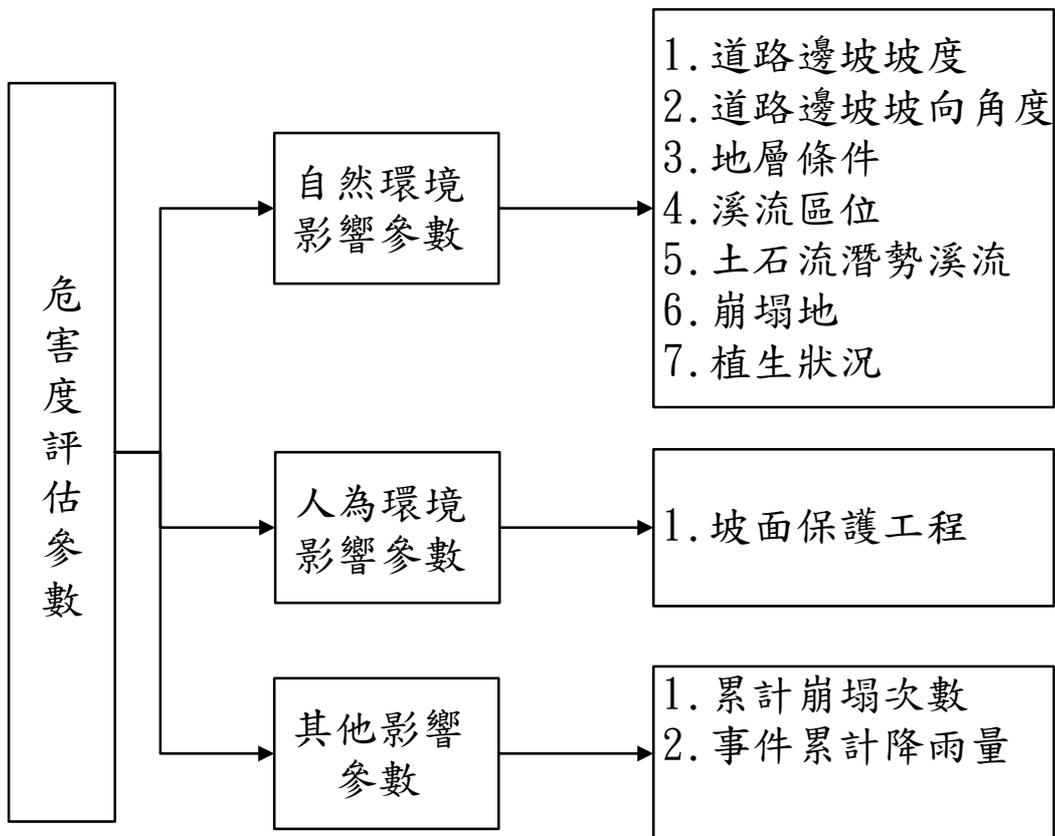


圖 4.1 危害度評估參數

## 1. 自然環境因素

### (1) 道路邊坡坡度

根據張石角(1992)將臺灣的崩塌分成山崩、地滑、潛移、土石流與沖蝕等五種，其中，山崩又細分為落石、岩屑滑移、岩屑滑落、岩屑滑崩；地滑則又分為平面型地滑、弧型地滑、楔型地滑與翻轉地滑等如表 4-1。

表 4-1 崩塌地類型與發生條件(張石角，1992)

崩塌類型	坡度 (%)	土壤厚度 (m)	岩質	坡型	地形作用	高差 (m)
山崩	落石	≥45	<1	硬	---	>10
	岩石滑移	≥15	<4	軟	傾斜坡	---
	岩屑滑落	≥45	<4	軟	傾斜坡、崖坡	---
	岩屑滑崩	≥45	>4	---	斜交坡	>5
地滑	平面型地滑	≥15	><4	硬、軟	傾斜坡	---
	弧型地滑	>15、≤45	>4	軟	不連續面發達	---
	楔型地滑	---	<4	硬	兩組不連續面交線之順向坡	---
	翻轉地滑	---	<4	軟	傾斜坡、崖坡	>3
潛移	土壤潛移	≥15	>4	---	非斜交	---
	岩石潛移	≥45	<1	軟	傾斜坡、崖坡	>3
土石流	≥30	>4	---	---	≥3	---
沖蝕	≥30	>4	---	---	≥3	---
	≥30	<4	軟	---	≥3	---

張石角(2004)認為坡度在 30% 上下的山坡，多為深度風化層，山坡相對較為穩定，故常被開發利用，一、二級坡屬平坦地區，坡度約在 6° 以下，原不容易發生崩塌，而因該區域平坦且近道路與溪流，農耕行為較為頻繁，可能由於人為活動而引發崩塌

的發生。吳久雄等(1989)等進一步對崩塌地的調查，發現臺灣的崩塌多發生在  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$  之間，劉盈劭(2001)也指出濁水溪支流陳有蘭溪地區之崩塌，多發生在  $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$  之間，張政亮(2004)則分析蘭陽地區之崩塌，多發生在  $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$  之間，故崩塌發生與坡度有明顯關聯性。

本研究針對道路上下邊坡 25m 的坡度進行統計，研究區以每 500m 為分析單元，將道路邊坡坡度區分為三個等級分別為  $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$  及  $50^{\circ}$  以上，研究區域各級邊坡坡度地理位置分布如圖 4.2、圖 4.3 所示，並將研究區各等級的區間數量及發生災害次數予以統計，針對不同等級之發生比率以等比數值作該區間之權重評分。

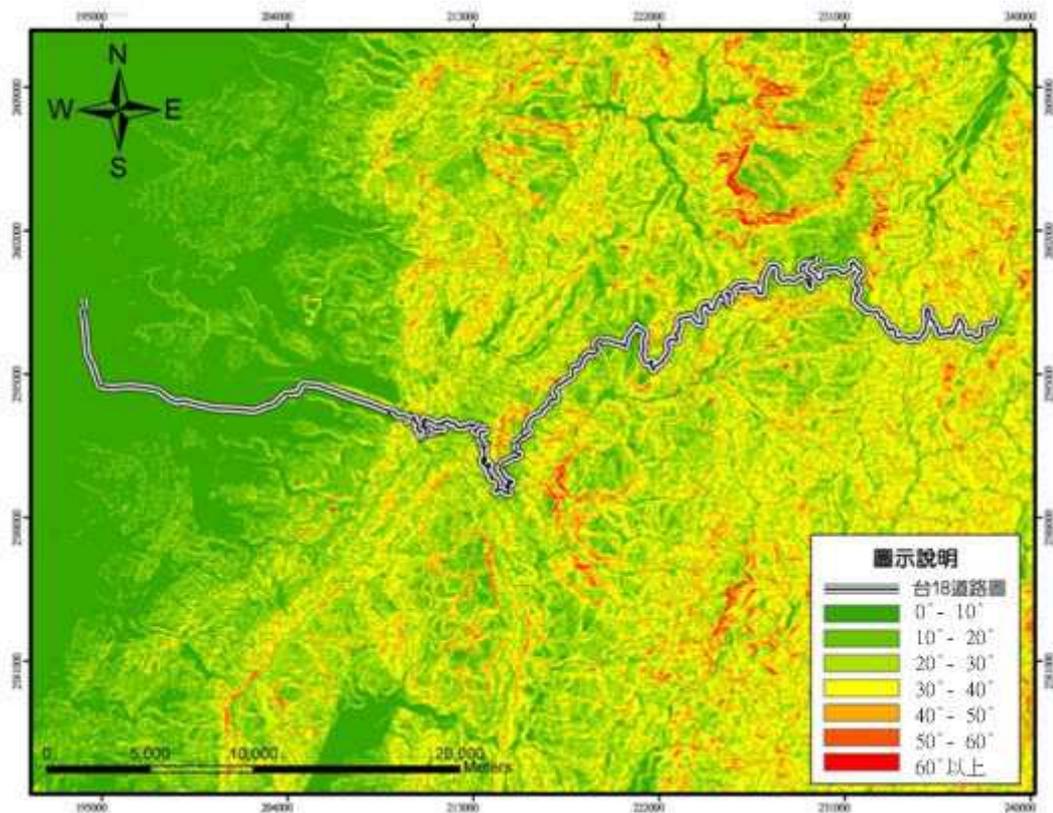


圖 4.2 臺 18 線路段坡度圖

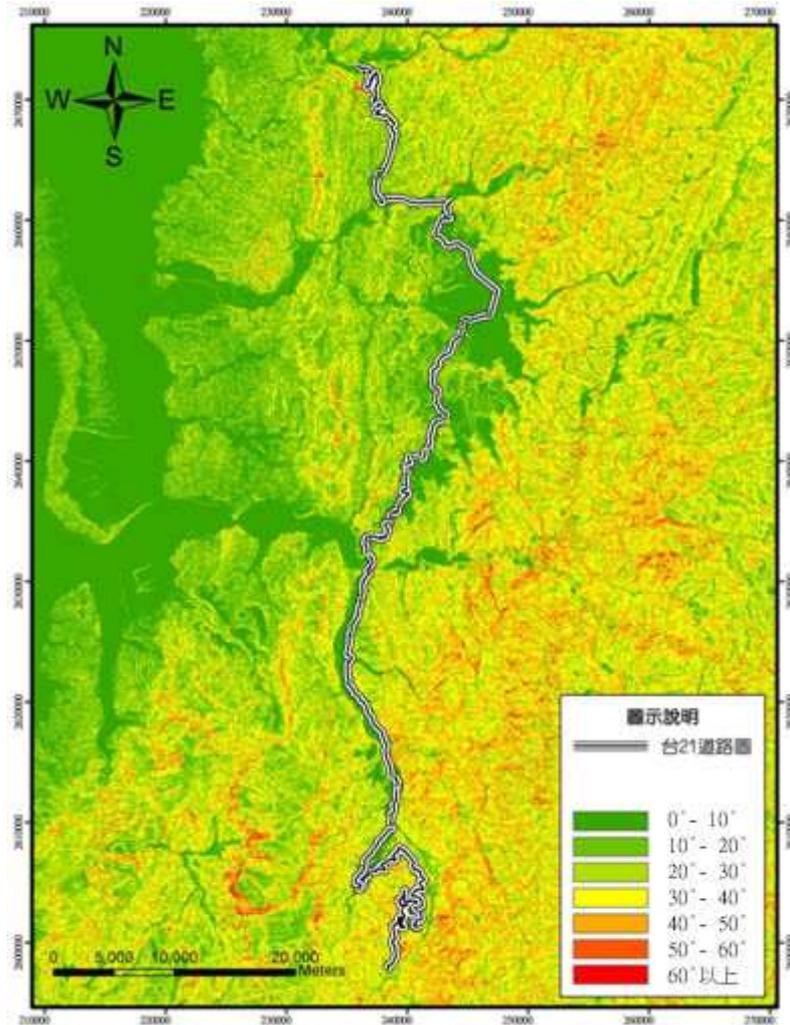


圖 4.3 臺 21 線路段坡度圖

### (2)道路邊坡坡向

利用 GIS 軟體之坡向計算程式處理，主要將研究區塊之平均坡向區分為八個方位：東北(45°)、東(90°)、東南(135°)、南(180°)、西南(225°)、西(270°)、西北(315°)、北(360°)等 8 個類別。坡向主要受季節風向、日照及岩層走向等影響，並按照所在位置之平均坡向，按照區位發生災害比率高低以等比數值給分。

### (3)地層條件

何春蓀(1975)、王鑫(1980)臺灣島因歐亞大陸與菲律賓兩板塊相互撞擠，造成臺灣島地質的構造運動仍相當活躍，其地質活動

造成西部麓山帶有幾項地質特徵：褶皺多、斷層多、岩層節理發達、地盤上昇速率快、岩性以砂、頁岩互層為主，並含有煤層，而這些地質特徵均充分影響本省山坡的地質災害種類。由於區域性劈理、節理構造極為發達，岩層易風化破碎，加上地層傾斜與源於此山地的溪流也多屬陡急的坡降，易造成劇烈的河川侵蝕以及頻繁的崩塌現象。臺 18 線、臺 21 線路段地質分布圖如圖 4.4、圖 4.5 所示。

地層條件其分級方式是以統計研究調查區內各類地質發生崩塌之比率為主，例如調查區域內所有崩塌地中，屬於同一地質 M 之崩塌面積相加為 a，而研究區域內地質 M 之總面積為 A，則此區域內地質 M 之崩塌率為  $a/A$ 。再以地質種類為橫軸，崩塌率為縱軸，繪製地質種類柱狀圖如圖 4.6 所示，由地質種類柱狀圖找出較為明顯之落差處作為分界點，分為四個等級。如圖 4.4 為臺 21 線地質崩塌比率，落差處以崩塌比率 50%、35%及 20%作為分界點。

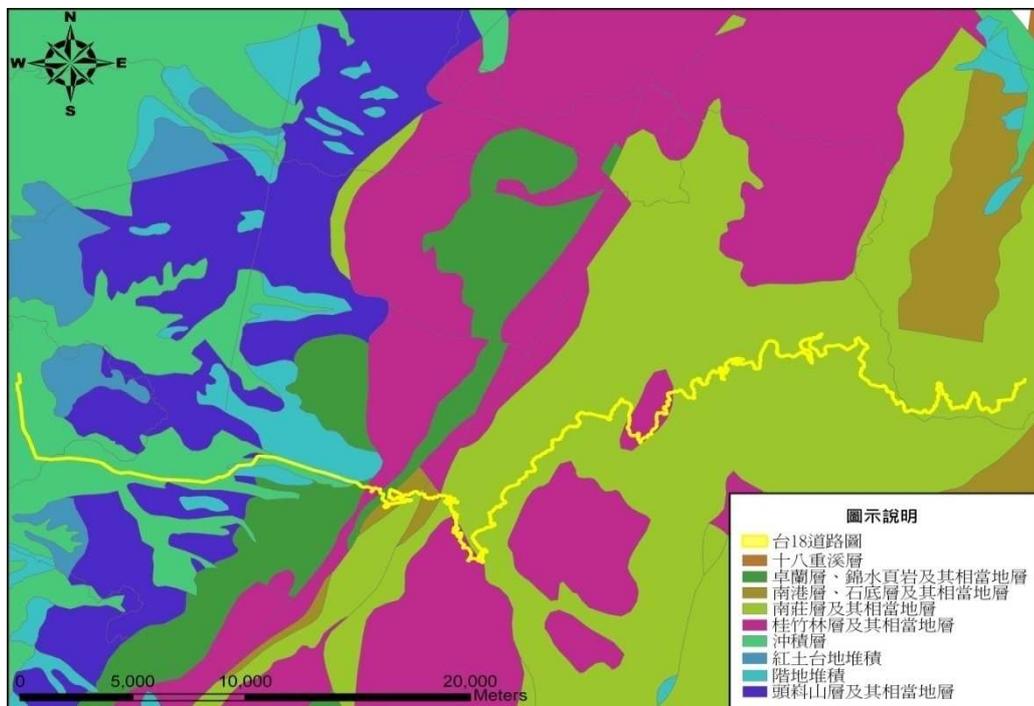


圖 4.4 臺 18 線路段地質圖

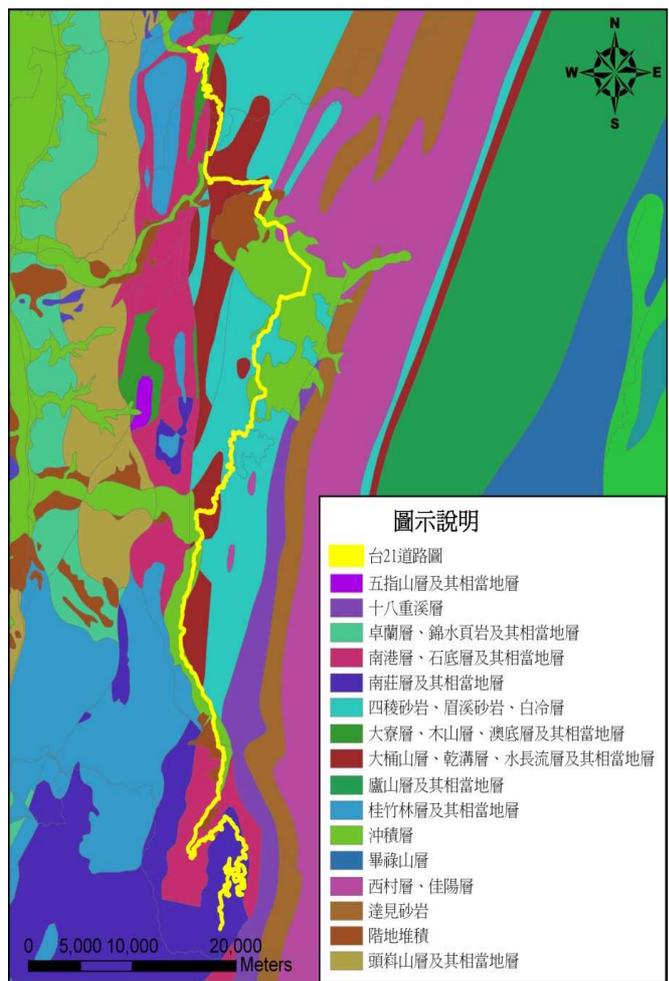


圖 4.5 臺 21 線路段地質圖

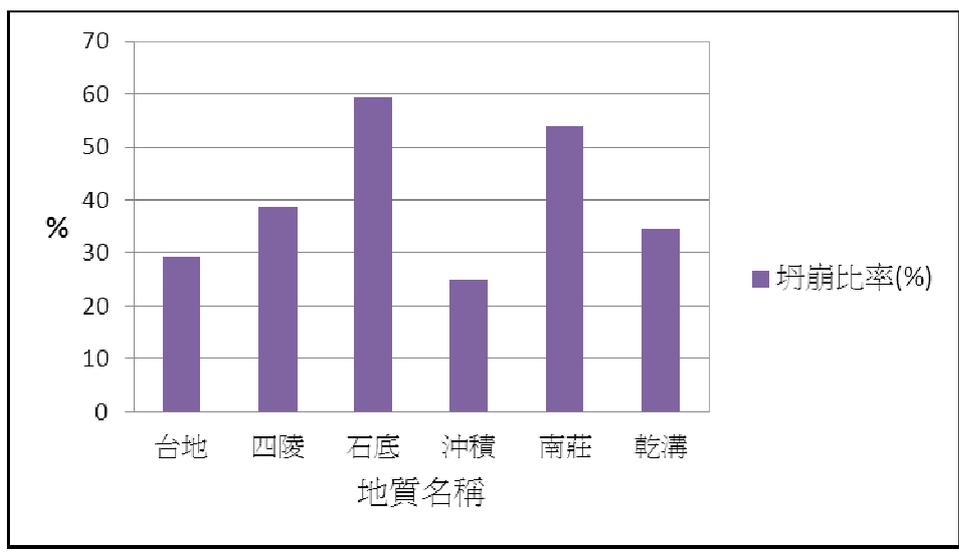


圖 4.6 臺 21 線地質崩塌比

#### (4)溪流區位

馮豐隆、林鴻鵬(2003)研究惠蓀林場 921 地震崩塌地之特性，分析崩塌地與河流、道路的關係，發現崩塌發生區域、面積大小明顯地與河流與道路有關，愈接近河流及道路，崩塌面積愈大，因而針對河流、道路、人為活動區、崩塌地面積分布規劃崩塌地優先治理順序。

溪流區位參數主要對河道位置與道路邊坡關係，針對河道轉彎攻擊角與緊鄰道路(水平距離<200m 者)以及垂直貫穿與>200m 者予以區分。

#### (5)土石流潛勢溪流

依據農委會水土保持局公告之 1578 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，資料形態有潛勢溪流以 1 表示或無潛勢溪流則以 0 表示。

#### (6)崩塌地

本因子是以現地調查與遙測影像中是否有產生崩塌為判釋依據，研究路段有任一區域發生崩塌者，標示為「1」，否則標示為「0」。運用崩塌潛勢參數以建立 Logistic 迴歸模型，藉由 SPSS(12 版)軟體之迴歸統計，以崩塌地為依變項，道路邊坡坡度、道路邊坡坡向、地層條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、植生狀況及事件累積降雨量等七項參數作為共變量，進而分析及驗證。

#### (7)植生狀況

潘國樑(2009)指出，所有植生皆含有葉綠素，而葉綠素及植生的細胞對入射的太陽光有特殊的光譜反應，使得植被在遙測影像上較易辨別，並且成為氣候、土壤、水分含量等一個很好的指示。儘管植生的種類眾多，但是它們的反射曲線之型態卻有一些規律。不過因為不同樹種或不同環境生長的植生，其反射率還

是有一些差異，尤其在紅色及近紅外線波段的差異最為明顯。因此，分析這兩個波段的反射率常可辨別植生的種類與生長狀況。而植生指標就是透過光譜反射特性辨別植生覆蓋情形之工具。

其中，最為廣泛應用的植生指標就是常態化差異植生指標（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI），其藉由綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，以判斷植生覆蓋量多寡，臺 18 線 NDVI 圖如圖 4.7 所示。其值介於 -1 到 1 之間，即綠色植生覆蓋量越高，NDVI 值越趨近於 1；當綠色植生越少或屬於非植生之地物（建築物、道路、水體等）時，則 NDVI 值則低於 0。公式如下：

$$\text{常態化差異植生指標} = \frac{\text{近紅外光波段} - \text{紅光波段}}{\text{近紅外光波段} + \text{紅光波段}}$$

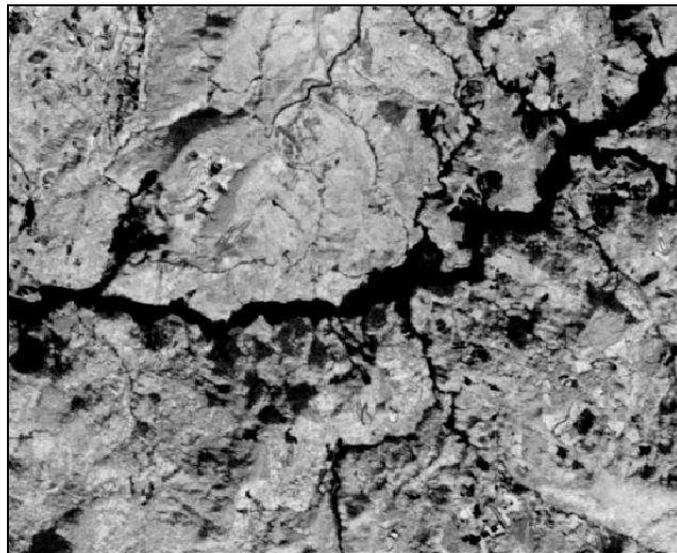


圖 4.7 臺 18 線 NDVI 圖

蕭國鑫等（2003）利用 SPOT 資料，結合影像自動分類、綠度和亮度植生指數，判釋臺灣中北部的崩塌地區，並分析崩塌面積與地形坡度的關係。然而，在小型崩塌判釋因空間解析力因素導致成果較差，不過大面積新崩塌地因光譜反射明顯，加上透過航照進行判釋，故有較佳之成果。

江山宏（2005）以多時期的 SPOT 衛星影像作為研究材料，利用常態化差異植生指標（NDVI）、影像變遷分析及植生復育率（VRR），評估及監測九九峰地區之崩塌區為變化及植生復育情形。此外，劉名翔（2010）利用最佳統計分類法，將植生分佈區域萃取，並透過 K.means 分群法來評估最佳統計分類法的可行性，利用常態化差異植生指標（NDVI）得知植生數值分佈情況。

綜合上述學者研究，透過 NDVI 植生指標瞭解植生分佈，並分析崩塌地面積增減情形。因此，本研究將透過計算 SPOT 影像之 NDVI 值，藉由分析數據與現地調查，得到研究區域之植生覆蓋情形。在研究分析上，以臺 18 線、臺 21 線每五百公尺為一分析單位，分析探討其植生覆蓋情形。根據 NDVI 值分析成果，將植生覆蓋分為四個等級，如表 4-2、圖 4.8 所示：

表 4-2 植生覆蓋情形分級

等級	說明
差	NDVI 值低於 0。
普通	NDVI 值 0~0.2。
好	NDVI 值 0.2~0.4。
極佳	NDVI 值高於 0.4。

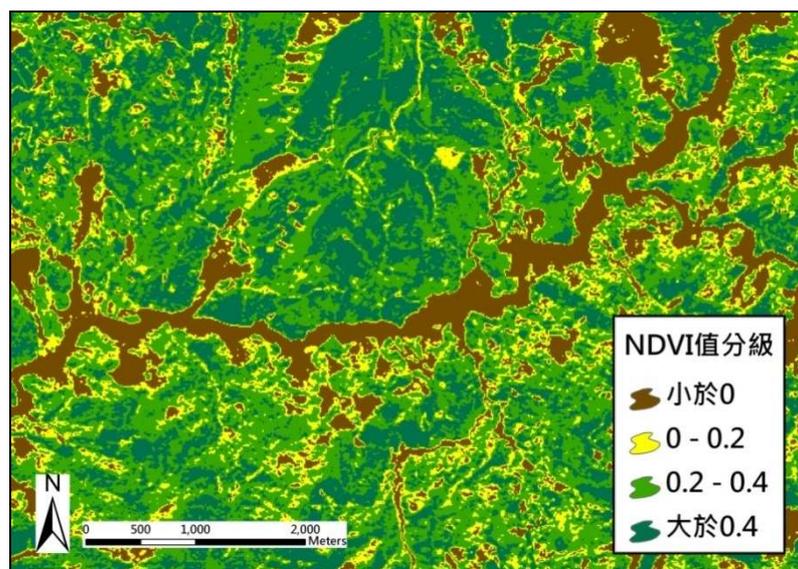


圖 4.8 臺 18 線 NDVI 分級

## 2. 人為影響參數

### (1) 坡面保護工程

針對現場調查成果，記錄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。分析放入資料型態以是否有坡面保護工程，分別標示為「1」及「0」。

## 3. 其他影響參數

此部分參數又可分成災害事件與災害驅動力因子兩大部分，在災害事件部分又分成崩塌次數與崩塌總體量，而在災害驅動力因子部分又可分成數種定義，其內容分述如下：

### (1) 累計崩塌次數

主要針對歷史災害的頻度進行統計，記錄資料年份為 85 年後至今，資料型態區分為高頻度( $\geq 9$  次者)、中頻度(5 至 8 次)及低頻度(1~4 次)以及無發生崩塌者，共四種類型來作等比數值給分。

### (2) 事件累計降雨量

黃漢淨(2006)研究指出 921 大地震的發生，估計造成一億噸以上的土石鬆動，危險溪流從原有 485 條激增為 1420 條，受危險溪流影響可能之崩塌及土石流地區高達 455 處，涵蓋 13 個縣市半數以上的鄉鎮。此外，近年土石流成因的分析結果也指出，當累積降雨量達到 300mm 以上時，鬆動的土石即可能產生滑移。

本研究在分析降雨量處採用事件累計降雨量，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，針對分析區域所對應之雨量站的分析事件進行累計降雨量進行統計，由大至小排序再依第一、三分位及中位數劃分為四等分以等比數值評分。

圖 4.9~4.10 分別為臺 18 線及臺 21 線周邊雨量站的點位分布狀況，運用徐昇式法之結果如圖 4.11 及圖 4.12 徐昇式法權重分配圖。

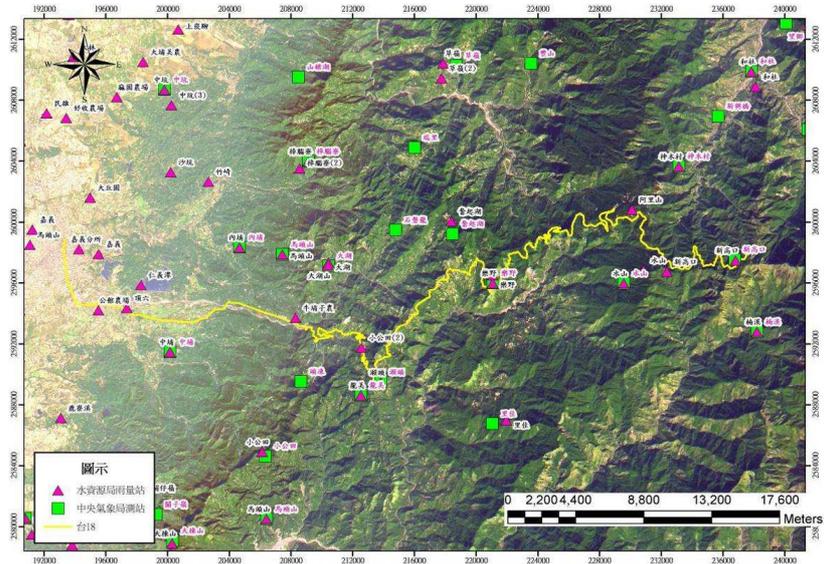


圖 4.9 臺 18 線周邊雨量站分佈狀況

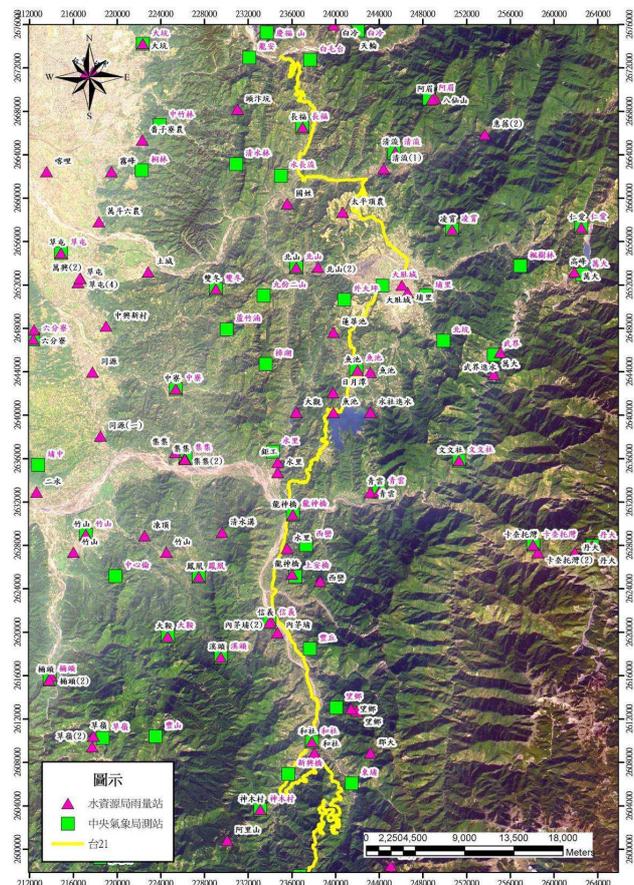


圖 4.10 臺 21 線周邊雨量站分佈狀況

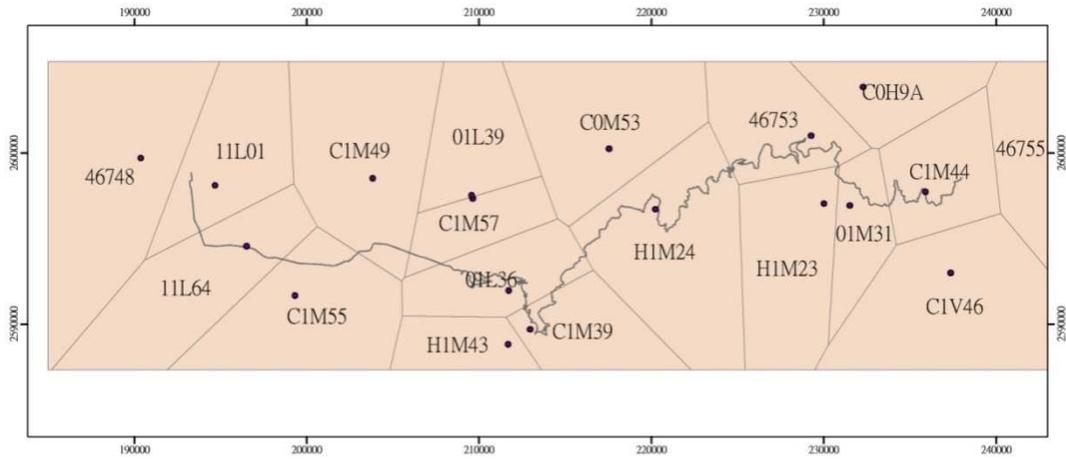


圖 4.11 臺 18 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖

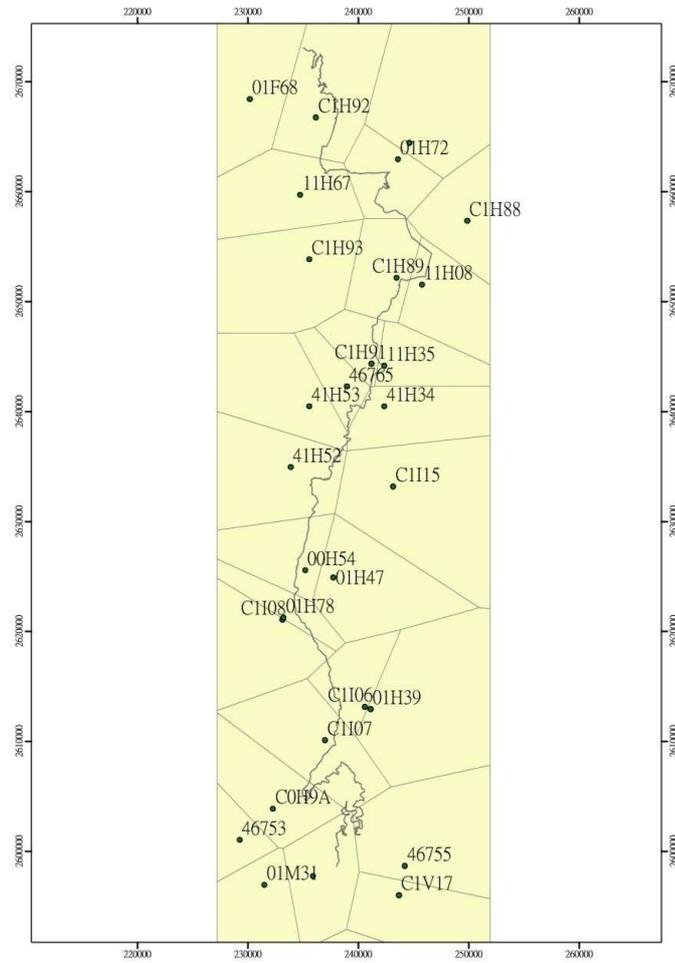


圖 4.12 臺 21 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖

## 4.2 各類型山區道路易致災路段之危害度分析

本研究延續前期計畫所使用之邏輯斯迴歸模式來進行道路崩塌潛勢敏感分析，此外在因子考量部份，本研究以道路邊坡坡度、道路邊坡坡向、地層條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、崩塌地、植生狀況、事件累積降雨量等七項參數及依變量崩塌地作為評估危害度指標的模式輸入值與輸出之相關值。

### 4.2.1 邏輯斯迴歸模式

研究崩塌潛感的方法，通常取決於可獲得的相關資料品質得好壞及量的多寡，一般可分為質性法 (Qualitative method) 及定量法 (Quantitative method; Lulseged and Hiromitsu, 2005)。定量法又可分為統計方法 (Statistical method) 及定率方法 (Deterministic method)，定率方法藉由力學原理及詳細的邊坡資料，以計算邊坡的安定性。其結果雖然可靠，但僅適用於單一邊坡。因此若分析大面積的崩塌特性，如繪製整個流域空間的崩塌潛感圖，則便必須採用統計方法。常見應用於建立崩塌機率的統計方法，包含多變量統計之判別分析法及 Logistic 迴歸模型；利用 Logistic 迴歸統計方法，建立崩塌發生比與獨立因子間之最佳配適方程式，如 Grogory and John(2003) 及 Lulseged and Hiromitsu(2005) 等。邏輯斯 (Logistic) 迴歸方程很早即被用於社會學等研究，並成為一種標準的統計工具。其迴歸特性為其應變數是二元分類變數 (即成功或失敗)，而自變數則可為分類性變數或連續性變數。

若假設應變數  $Y$  (值為 0 或 1)，自變數  $\tilde{X} = (X_1, X_2, \dots, X_k)$ ，而令  $\pi(x) = E(Y|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X}) + 0 \times P(0|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X})$ ，則將 Logistic 迴歸模型將可表示如下 (陳姿君，2003)：

$$\log it(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

其中  $\alpha$  為常數項， $\beta$  為相關係數， $X$  為各種變數。所以  $\pi = \pi(x)$  即為  $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$  下成功的機率，而 Logistic 迴歸模型即為此成功

率的 Logit 轉換所表現之線性型態。將 Logistic 迴歸模型表示為成功率  $\pi(x)$  的型態，即為

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

由於邏輯斯 (Logistic) 迴歸方程求解參數是採用最大概似法 (Maximum Likelihood)，因此其迴歸方程式的整體檢定是透過概似值 (Likelihood) 進行。因為概似值表達的是一種機率，故數值介於 (0,1) 間。而邏輯斯迴歸一般以 0.5 做為崩與未崩的分界 (cut off)，即潛感值若大於 0.5，則表示預估為發生；反之，則表示預估為未發生。

近年來，利用邏輯斯迴歸進行自然災害潛勢評估之研究已逐漸出現。例如，陳幸欣(2005)以國有林大甲溪事業區為範圍，將容易引起森林火災之因子歸納為燃料、地形及人為等 9 項因子，以及蒐集自 1963 年至 2005 年之森林火災歷史資料，並分為兩個時期 (1963~1988, 1989~2005)，藉由統計之 Logistic 迴歸，分析兩時期各項因子對森林火災發生之相關性，以探討隨著時代的演進，森林火災發生之成因，並區劃大甲溪事業區森林火災危險度之空間分布。黃靖柏(2008)利用地理資訊系統結合邏輯斯迴歸進行集水區之崩塌潛勢評估，在使用航照圖、水系圖、地質圖和數值高程模型來萃取集水區面積、河流長度、集水區長度、集水區寬度、平均坡度、地質參數及道路長度等地形因子資料，接著對邏輯斯迴歸模式進行訓練及驗證，最後建立一套邏輯斯迴歸的判別模式。倪柏寧 (2009) 運用基因演算法自動演化類神經網路技術應用於高解析度衛星影像之判釋分類，藉以獲取地表資訊與災害記錄資料，並利用 Logistic 迴歸建置土砂災害潛感模式。

#### 4.2.2 約略集合理論分析

此外為探究因子之間的相關性，本研究也同時使用約略集合理論 (Rough Set) 模式來探究因子間的相依性，進而有效的去除多餘資料。由於在多數的研究實驗中，分析的成果大多只有是 (True、1、Yes…) 與非

(False、0、No…)的判斷，但在現實生活中常存在著介於 0~1 之間的灰色模糊地帶。而為能有效界定在這個區間，便有許多學者提出如模糊化、粗糙化等方式進行決策分析，使其結果更能符合現實所需。在此本研究則是使用資料挖掘概念的約略集合理論來標示山區道路易致災性因子的相關分析。所謂的約略集合理論是由 Z. Pawlak 於 1982 年所提出，其目的是在於能在含糊不精與不確定性的資料上，利用資料的重要屬性核心縮減進行簡化的動作，並可針對資料的不確定性訂定其粗糙度，使其有效擷取知識以進行決策或知識表達。圖 4.13 為概念示意圖，在圖中圓圈為資料範圍，在圈內定為 T，圈外定為 F。而在圈上的部分便是其不確定性的區域，約略集合理論可藉由制定其粗糙度，使其決策能較為符合實際目標需求。

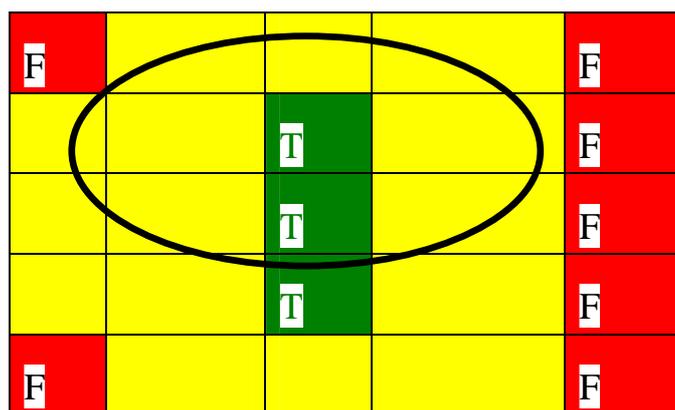


圖 4.13 約略集合理論概念示意圖

在約略集合論應用上，常見的相關軟體有 RSES、ROSE，本研究是利用 ROSE(Rough Set Data Explorer)這一套軟體。圖 4.14 為其軟體架構圖。本研究將利用這套軟體進行核心萃取以及決策知識之建立。

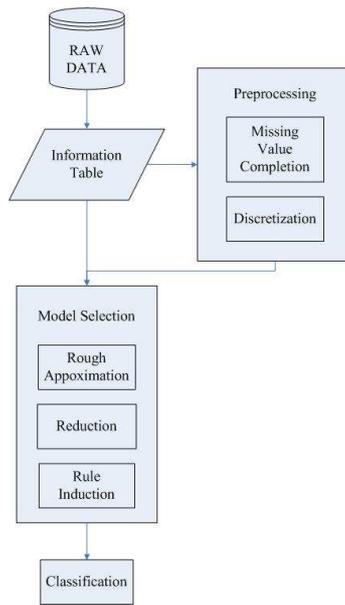


圖 4.14 約略集合軟體架構圖

ROSE 是由波茲南工業大學的智慧決策支援系統實驗室基於約略集合理論下所開發之套裝程式，可進行資料數據的前處理（補遺、離散）、資料基於約略集合概念下的核心縮減、上近似邊界設定以及決策規則萃取，該軟體的人機介面如圖 4.15 所示。

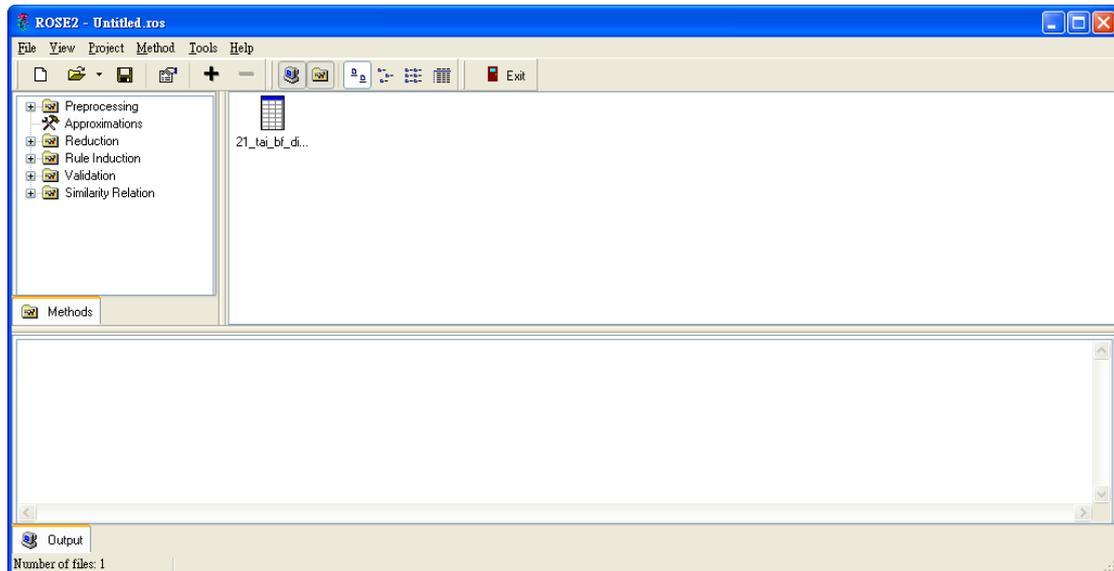


圖 4.15 ROSE 軟體介面

另一方面由於降雨與崩塌事件的資料取得不易，且不同事件所造成之影響不一，如將不同事件複合分析，將增加資料分析的困難與複雜度，且不易了解事件本身與崩塌事件之間的關聯性。因此本研究操作僅以單一事件進行分析，而為求能較合理之分析結果，本研究以莫拉克事件做為事件代表，藉以表述事件與崩塌之間之相關性。而在資料屬性部分，本研究利用現有資料之屬性(道路邊坡坡度、道路邊坡向角度、地質條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、植生狀況)。約略集合分析與邏輯斯分析結果比較，

首先當我們資料取得之後，先行將資料轉換成程式可執行之格式，如有連續尺度之資料(如道路邊坡坡度、道路邊坡向角度)，利用程式當中之離散功能將資料尺度離散化。之後再將離散後資料與原始資料進行整合後，利用核心縮減的功能求得核心重要屬性，資料離散之操作過程如圖 4.16~圖 4.18 所示。

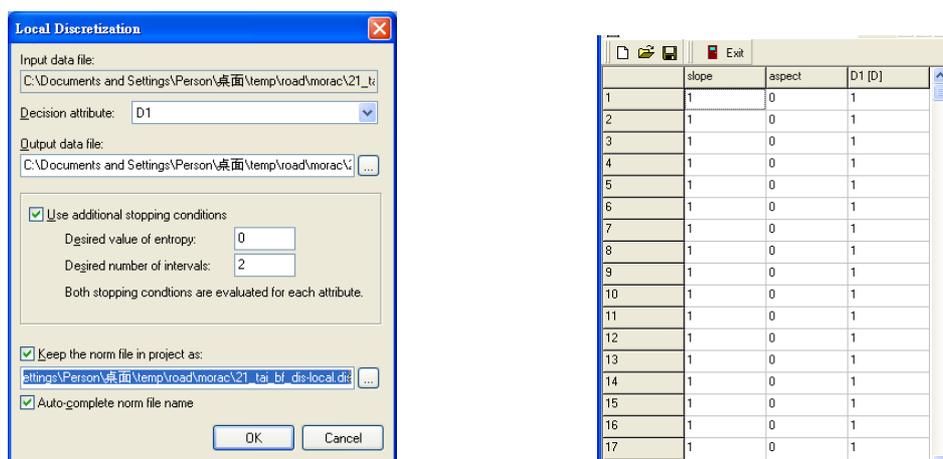


圖 4.16 ROSE 之約略集合資料離散與離散門檻

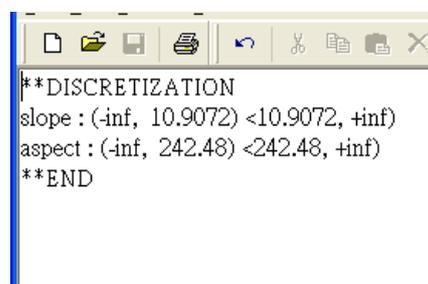


圖 4.17 ROSE 之約略集合資料離散結果

	kilo [D]	side [O]	slope	aspect	glayer	location	debris	vegetation	D1 [D]
1	0.0K	L	1	0	stone	null	N	bad	1
2	0.5K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
3	1.0K	L	1	0	stone	side	N	normal	1
4	1.5K	L	1	0	stone	side	N	normal	1
5	2.0K	L	1	0	stone	cross	N	normal	1
6	2.5K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
7	3.0K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
8	3.5K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
9	4.0K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
10	4.5K	L	1	0	stone	null	N	good	1
11	5.0K	L	1	0	stone	cross	N	good	1
12	5.5K	L	1	0	stone	side	N	good	1
13	6.0K	L	1	0	stone	null	N	good	1
14	6.5K	L	1	0	stone	null	N	good	1
15	7.0K	L	1	0	stone	null	N	good	1
16	7.5K	L	1	0	stone	cross	N	good	1
17	8.0K	L	1	0	stone	cross	N	good	1
18	8.5K	L	1	0	stone	null	N	good	1

圖 4.18 ROSE 之約略集合資料整合

從分析結果，可以得到六個核心屬性，但在本次研究的基本因子屬性也是這六種，因此實際上從圖 4.19 來看是不具意義的。為了解個別屬性的重要性，我們繼續分析其個別屬性的權重以了解主要核心。

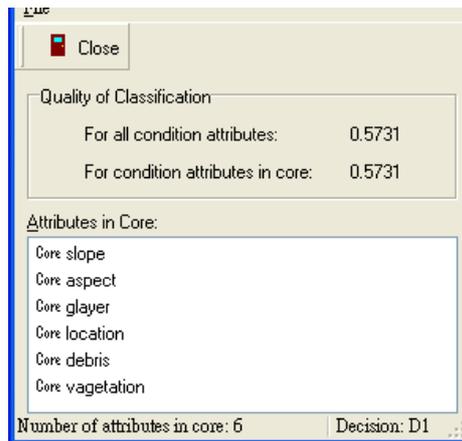


圖 4.19 ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果一

觀察圖 4.20 之核心權重，左半邊為目前所選擇之屬性，右半邊為目前所捨棄之屬性。而圖 4.20 中顯示地層條件、植生狀況與道路邊坡坡度對臺 21 線是最為重要之核心屬性。而臺 18 線經上述操作後，本研究得到道路邊坡坡度、道路邊坡向角度、溪流區位、土石流潛勢溪流及植生狀況等 5 項因子最為重要之核心屬性。

Chosen attributes:	
Attribute name	Quality loss
Core glayer	0.505
Core slope	0.121
Core vegetation	0.255

圖 4.20 ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果二

### 4.2.3 研究方法

本研究內容將針對易致災路段之危害度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. 歷史災害資料及雨量站資料

臺 18 線及臺 21 線歷史災害資料統計年份自 85 年至 100 年，在臺 18 線累積災害資料為 818 筆，臺 21 線災害累計 1252 筆。本計畫選取近年來颱風事件來進行模式建構，資料庫建置之分析資料採用五場颱風及五場豪雨資料，颱風場次分別為 97 年卡玫基、辛樂克及 98 年莫拉克颱風、99 年凡那比颱風、100 年南瑪都颱風及 95 年 0609 豪雨、96 年 0604 豪雨、99 年 0523 豪雨、99 年 0726 豪雨、100 年 0718 豪雨。歷史災害參考自交通部運輸研究所公路防救災資訊系統網頁，整理臺 18 線及臺 21 線採用颱風事件崩塌筆數如下表 4-3 所示，其詳細歷史災害資料請參考附錄。研究分析中，兩路線臺 18 線及臺 21 線沿線運用徐昇氏法作空間權重分配，分析區域各路段對應雨量觀測站整理如表 4-4、表 4-5 所示。

表 4-3 臺 18、21 線 95 至 100 歷史災害筆數

災害類型	年份	名稱	臺 18 線	臺 21 線
颱風	97	卡玫基	100	111
	97	辛樂克	104	76
	98	莫拉克	150	101
	99	凡那比	4	2
	100	南瑪都	0	2
豪雨	95	0609 豪雨	12	0
	96	0604 豪雨	1	0
	99	0523 豪雨	0	3
	99	0726 豪雨	2	0
	100	0718 豪雨	5	10

表4-4 臺18線沿線路段依據雨量站

站號	測站名稱	縣市	鄉鎮	對應路段
11L010	嘉義	嘉義市		0.0K~3.5K
11L640	頂六	嘉義縣	中埔鄉	3.5K~9.5K
C1M550	中埔	嘉義縣	中埔鄉	9.5K~13.5K
C1M490	內埔	嘉義縣	竹崎鄉	13.5K~17.5K
C1M570	大湖	嘉義縣	番路鄉	17.5K~19K
01L360	小公田(2)	嘉義縣	番路鄉	19~32.5K,41.5~45K
C1M390	瀨頭	嘉義縣	阿里山鄉	32.5K~41.5K
H1M240	樂野	嘉義縣	阿里山鄉	45 K ~65.5k
467530	阿里山	嘉義縣	阿里山鄉	65.5K~82K
H1M230	水山	嘉義縣	阿里山鄉	82~83K
01M310	新高口	嘉義縣	阿里山鄉	83 K ~87K
C1M440	新高口	嘉義縣	阿里山鄉	87 K ~97K

表4-5 臺21線沿線路段依據雨量站

站號	測站名稱	縣市	鄉鎮	對應路段
C1H920	長福	南投縣	國姓鄉	0K~21K
11H670	國姓	南投縣	國姓鄉	21K~24.5K
01H720	清流(1)	南投縣	仁愛鄉	24.5 K~38K
C1H890	大肚城	南投縣	埔里鎮	38.5 K~41K, 45.5K~51.5K
11H080	埔里	南投縣	埔里鎮	41 K~45.5K
11H350	魚池	南投縣	魚池鄉	56K~57.5K
C1H910	魚池	南投縣	魚池鄉	51.5K~56K, 57.5K~59.5K
41H340	水社進水	南投縣	魚池鄉	59.5K~62K, 66.5K.68.5K
467650	日月潭	南投縣	魚池鄉	62K~66.5K
41H530	大觀	南投縣	水里鄉	68.5K~68.5K
41H520	鉅工	南投縣	水里鄉	69K~80K
00H540	龍神橋	南投縣	水里鄉	80K~88K
01H780	內茅埔(2)	南投縣	信義鄉	88K~92K
C1I080	信義	南投縣	信義鄉	92K~94.5K
C1I060	望鄉	南投縣	信義鄉	94.5~101K
C1I070	和社	南投縣	信義鄉	101K~108K,113K ~125K,135.5K~136K

站號	測站名稱	縣市	鄉鎮	對應路段
C0H9A	神木村	南投縣	信義鄉	108K~113K
467550	玉山	嘉義縣	阿里山鄉	125K~134.5K
C1M440	新高口	嘉義縣	阿里山鄉	134.5~135K, 137 K ~147K

## 2. 模式建構

分析路段分別採用有發生災害事件來資料庫建置，以針對道路上下邊坡 25m 的坡度進行統計，研究區以每 500m 為平均分析單元，臺 18 線劃分為 388 個分析單元，採用 8 場颱風共有 3104 筆資料，臺 21 線劃分為 588 個分析單元，採用 7 場颱風資料共 4116 筆。資料庫建置選取颱風及豪雨事件共 10 場，臺 18 線於其中 8 場颱風與豪雨事件有發生災害如表 4-3 所示，分別為卡玫基、辛樂克、莫拉克、凡那比颱風及 0609 豪雨、0604 豪雨、0726 豪雨以及 0718 豪雨。臺 21 線於卡玫基、辛樂克、莫拉克、凡那比以及南瑪都颱風及 0523 豪雨、0718 豪雨兩場事件有發生災害。

在模式建構時，雨量資料上，有部分路段對應雨量站未有完整資料，可能為儀器在颱風時期在功能上無法正常運作；在臺 18 線上缺觀測站雨量資料有五站分別為嘉義、頂六、樂野、水山及新高口(01M310)，臺 21 線有六站國姓、大肚城、清流(1)、魚池(11H350)、大觀、鉅工。因此，在資料分析上做篩選動作把缺雨量資料去除，臺 18 及 21 線分別去除 140 及 115 筆資料，其對應崩塌個數分別有 389 及 312 筆。

模式訓練及驗證採用歷史災害場次如表 4-6 所示，臺 18 線分析訓練資料採用六場歷史災害，臺 21 線則採用五場歷史災害，以三種不同方法選取訓練資料，方法如下：

- (1)方法一：採用歷史災害全部資料筆數作訓練，凡那比颱風及 718 豪雨事件作驗證。
- (2)方法二：以隨機採樣方法在兩分析路段分別篩選出各 1500 筆資

料，其他筆資料作為驗證。

(3)方法三：以空間分析觀點來選取資料，在以 500 公尺為單位的道路記錄資料中依序給於編號以等值方式選取資料，本計畫以連續 5 筆資料中取 4 筆資料訓練，1 筆資料驗證。

依驗證結果之找出最適方法，再輸出危害度分析結果採辛樂克颱風及 0718 豪雨事件來作範例。

**表 4-6 模式建構採用歷史災害**

年份	歷史災害事件	訓練資料	
		臺18線	臺21線
97	卡孜基	○	○
97	辛樂克	○	○
98	莫拉克	○	○
99	凡那比		
100	南瑪都		○
95	0609豪雨	○	
96	0604豪雨	○	
99	0523豪雨		○
99	0726豪雨	○	
100	0718豪雨		

模式建構將模式訓練資料各評估參數經由評分匯整成一張 EXCEL 試算表(表 4-7)，再將參數作經過標準化動作，其後 SPSS 即可將 EXCEL 試算表之資料匯入，進而計算出邏輯斯迴歸方程式。

**表 4-7 危害度參數示意表**

路段	邊坡	道路邊坡 坡度	道路邊坡 坡向	地層 結構	溪流 區位	土石流潛 勢溪流	植生 狀況	事件累計 降雨量	一日最大 降雨量	崩塌
0.0K	R	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	1	1
0.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	1
1.0K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	1
1.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	0
2.0K	R	0.33	1.00	1.00	0.33	1.00	0.33	1	1	0
2.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	0.33	1
3.0K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	0.33	1
3.5K	R	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	0.33	0
4.0K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	0.33	0
4.5K	R	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.03	0.33	0
5.0K	R	0.33	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.03	0.33	0

資料分析時首先開啟 SPSS 分析程式並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」，即可使用邏輯斯迴歸功能之視窗，如下圖 4.21 所示。在「二元 Logistic」視窗中，如圖 4.22 視窗操作，選取依變量及共變量，選取後點按確定，即可求得邏輯斯迴歸之分析結果。



圖 4.21 SPSS 之「邏輯斯迴歸」分析功能



圖 4.22 邏輯斯迴歸選取分析變數

各模式資料經由邏輯斯迴歸分析後，經由分析後，可以獲得一邏輯斯迴歸判別式，當輸入某一組因子數值時，透過此判別式之函數轉換即可求得該因子組合下之潛勢機率。由於各因子在邏輯斯迴歸判別式之係數 $\beta$ 值，可被視為該因子對整體判別式之影響程度。因此，當計算各因子 $\beta$ 值與所有 $\beta$ 值總和之對應比值後，即可獲得各因子之判別式對應權重。

邏輯斯迴歸模式(Logistic regression model)透過三種不同選取訓練資料方法之分析結果於表 4-8 所示，臺 18 線分析整體預測準確率分別為 88.9%、88.1%、88.5%，其結果相差不多；臺 21 線迴歸整體預測率為 90%、89%、90.1%；表 4-9~表 4-14 為臺 18 線及臺 21 線之三種邏輯迴歸結果，可由表中觀察在正確率中，雖然整體預測率高，但無法反應在實際發生崩塌路段的正判率上，可能為在訓練資料中，事件的發生崩塌筆數占整體筆數來說，比例占少數；因此，在邏輯斯迴歸模式中對於非崩塌特性資料明顯的比崩塌資料來的明顯；另外，在分析時研究路段採用以 500 公尺為單位，對於崩塌記錄來說，劃分範圍過大，崩塌特徵與各路段特徵屬性明確度降低；在崩塌地質部分，目前放入危害度分析之參數，目前未考量地質順、逆向坡，目前地質資料僅為地質屬性，屬於考良影響淺層崩塌部分，對於深層崩塌需考量順、逆向坡，也將此納入可能影響因素之一。

**表 4-8 邏輯斯迴歸模式分析結果**

	臺 18 線			臺 21 線		
	方法一	方法二	方法三	方法一	方法二	方法三
準確率(%)	88.90%	88.10%	88.50%	90%	89%	90.10%
R <sup>2</sup>	0.252	0.252	0.26	0.08	0.08	0.03

**表 4-9 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法一)**

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	212	0
	非崩塌組	0	1696	100
	整體			88.9

表 4-10 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法二)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	178	0
	非崩塌組	0	1322	100
	整體			88.1

表 4-11 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法三)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	175	0
	非崩塌組	0	1350	100
	整體			88.5

表 4-12 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法一)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	293	0
	非崩塌組	0	2647	100
	整體			90.0

表 4-13 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法二)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	164	0
	非崩塌組	0	1333	100
	整體			89.0

表 4-14 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法三)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	233	0
	非崩塌組	0	2119	100
	整體			90.1

訓練資料經由邏輯斯迴歸，求得邏輯斯迴歸係數，即邏輯斯迴歸公式(於 4.2.1 節說明)。驗證資料，透過邏輯斯迴歸係數及七個崩塌潛勢評估參數的評分值乘積運算，進而求得崩塌潛感值，再由 Logit 轉換之線性型態

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

概似值表達的是一種機率，故數值介於(0,1)間。而邏輯斯迴歸一般以機率 0.5 值做為崩與未崩的分界(cut off)，即潛感值若大於 0.5，則表示預估為崩塌；反之，則表示預估為未崩塌。

驗證資料，臺 18 線及臺 21 線採三種方法之驗證結果筆數於表 4-15 及表 4-16 所示，為研究路線崩塌與未崩塌之處數統計，統計劃分以預測機率 10% 為單位，如：0%~10% 及 10%~20%；在臺 18 線預測機率最高達 30%~40%，因此劃分等級分為 4 等；臺 21 線，預測機率最高也為 30%~40% 等級。由統計崩塌與未崩塌處數表 4-15 及 4-16 之數量，可計算發生率，發生率計算方法為各預測等級內實際發生崩塌處及總處數(實際崩塌處數及未崩塌處數之總和)之比值。如：崩塌處數 1 處，未崩塌處數 4 處，則發生率 20%。將發生率計算後繪製如圖 4.23 及圖 4.24，圖 4.23 為臺 18 線預測機率與實際發生比率對應圖，雖然整體預測機率偏低，但由實際崩塌與預測機率分佈比較，可觀察出方法二在預測及實際崩塌對應上是隨機率越高，發生率也增加，表示方法二有不錯預測結果，在方法一及方法三之趨勢也隨預測機率增加，但方法二發生率相較之下，明顯有較大差異。而圖 4.24 為臺 21 之三種方法之結果，在三種方法中以方法二結果為佳，方法一發生率只分布於預測機率 0~10%，稍嫌不足；而方法三趨勢不一致，因此比較下方法二較佳。表 4-17 為兩分析區域之最佳方法個參數迴歸係數。

同時本研究也將約略集合分析與邏輯斯迴歸分析之比較，可發現共同重要參數在臺 18 線為道路邊坡坡度、地層條件；臺 21 線為溪流區位、土石流潛勢溪流，因此可知確為重要核心因子。

表 4-15 臺 18 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表

方法	方法一		方法二		方法三	
是否崩塌 機率(%)	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌
0~10	575	2	866	77	229	19
10~20	379	0	342	76	224	45
20~30	22	2	57	26	1	0
30~40	10	0	2	0	0	0

表 4-16 臺 21 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表

方法	方法一		方法二		方法三	
是否崩塌 機率(%)	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌
0~10	776	9	308	28	238	11
10~20	0	0	66	6	21	1
20~30	0	0	0	0	44	17
30~40	0	0	0	0	41	8

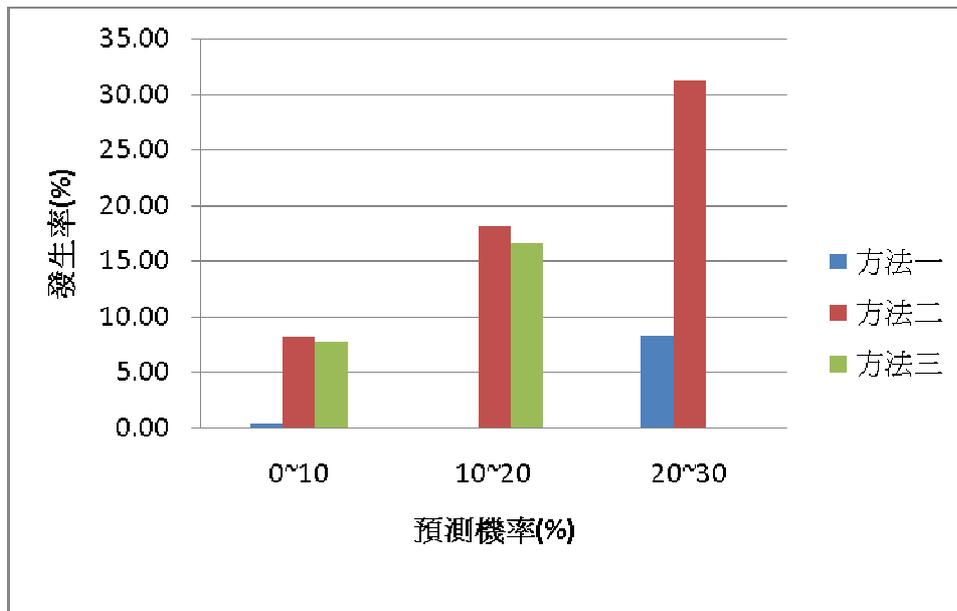


圖 4.23 臺 18 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖

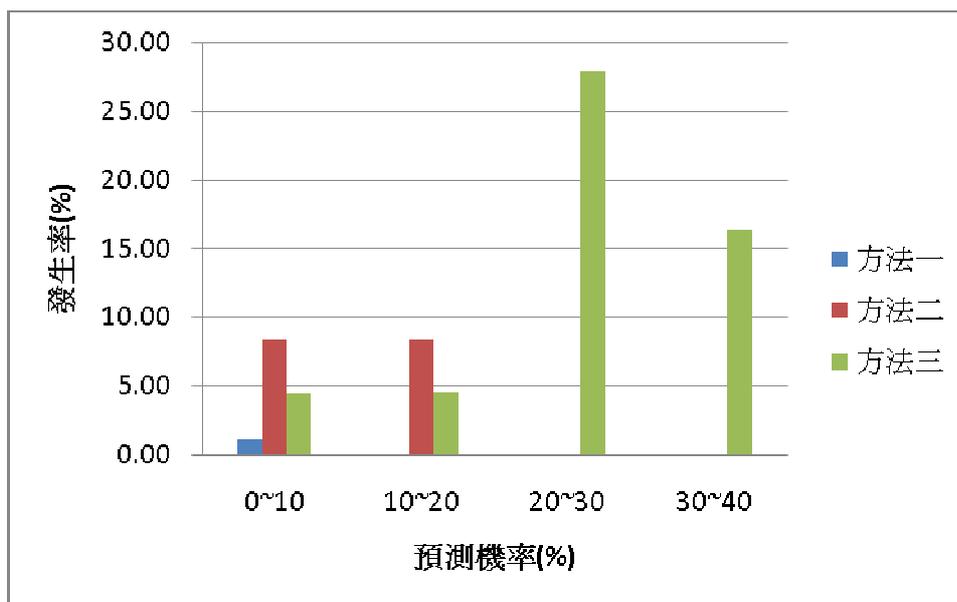


圖 4.24 臺 21 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖

表 4-17 邏輯斯迴歸模式參數

崩塌潛勢因子	臺 18 線迴歸係數	臺 21 線迴歸係數
道路邊坡坡度	0.27	-1.56
道路邊坡坡向角度	0.35	-0.52
地層結構	66.38	1.00
溪流區位	4.86	0.54
土石流潛勢溪流	63.04	-0.41
植生狀況	0.69	-0.12
事件累計降雨量	2.05	1.20
常數	-47.50	-2.39

在模式確認後本研究後，本研究分別使用辛樂克颱風與今年度 718 豪雨事件來進行危害度的分析，並且以 GIS 工具進行分析。而 GIS 以繪圖方式呈現出 718 豪雨兩線潛勢分布圖如圖 4.25 及圖 4.26，在兩圖中發現潛勢分布皆為低潛勢，可能原因為 718 豪雨事件累計降雨量約分布在 400 毫米以下，相較於颱風事件下降雨，明顯較小，以兩研究路線之迴歸係數來探討為事件累積降雨量越大，對於潛勢則有較高趨勢。相較以辛樂克颱風之潛勢分布，如圖 4.27 及圖 4.28，圖 4.25 為臺 18 線潛勢分布，整體來說，高中低潛勢分布以高潛勢比例為多，集中於 25~40K 及 50~70K 處，臺 21 線主要分布為中低潛勢，高潛勢集中於 0~10K 處。

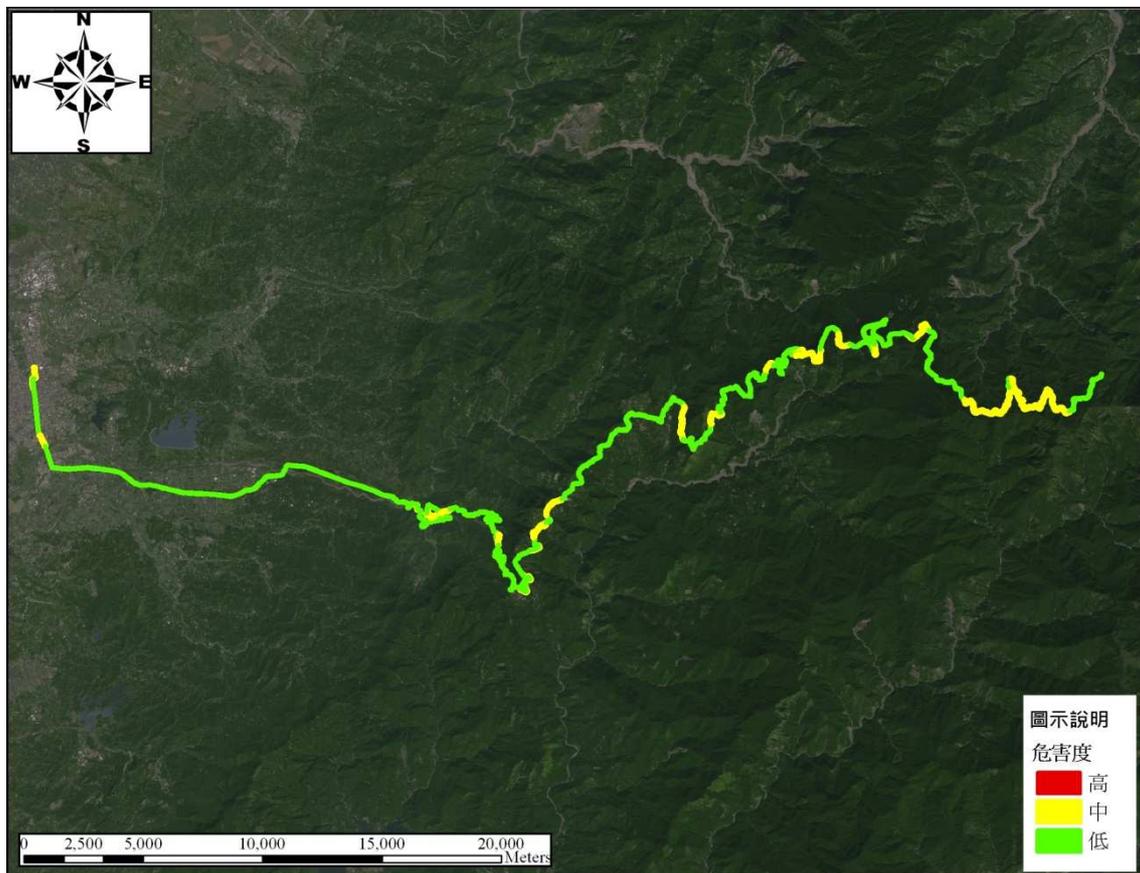


圖 4.25 臺 18 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例



圖 4.26 臺 21 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例

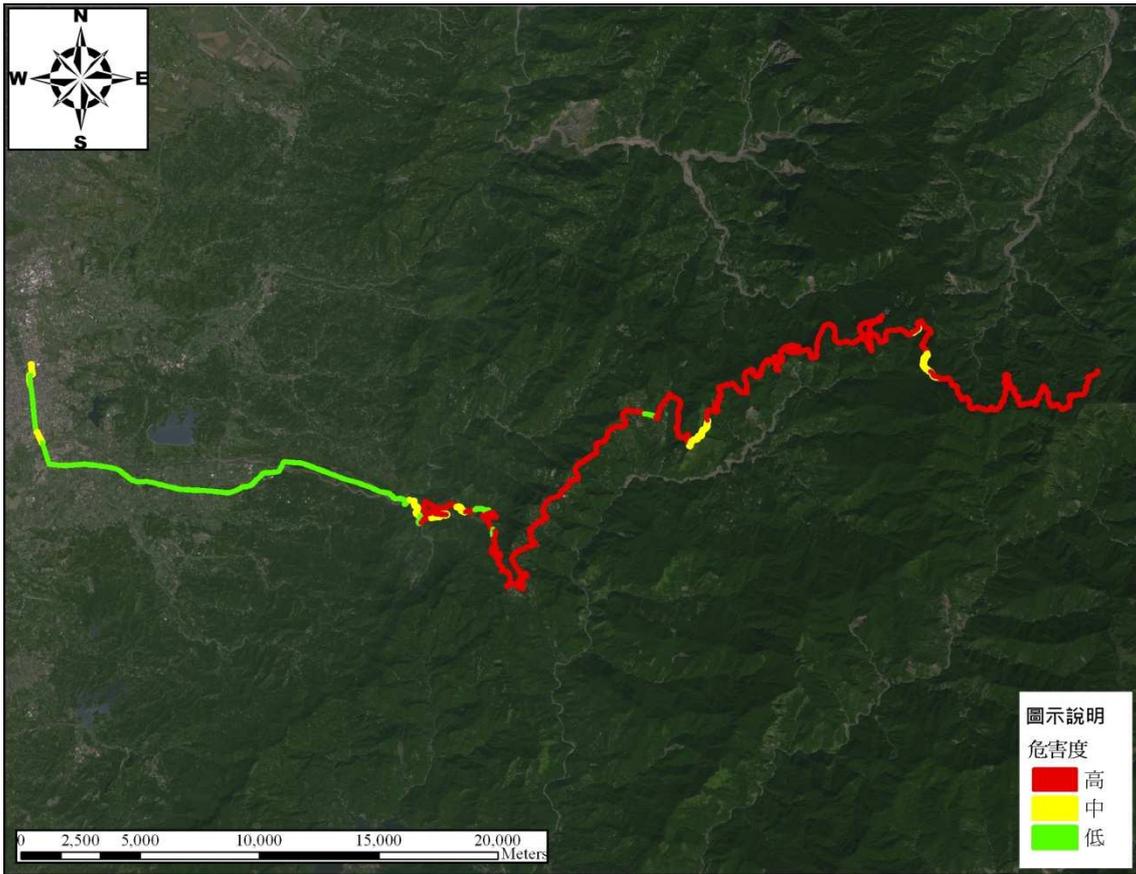


圖 4.27 臺 18 線危害度評估示意圖-以辛樂克颱風為例

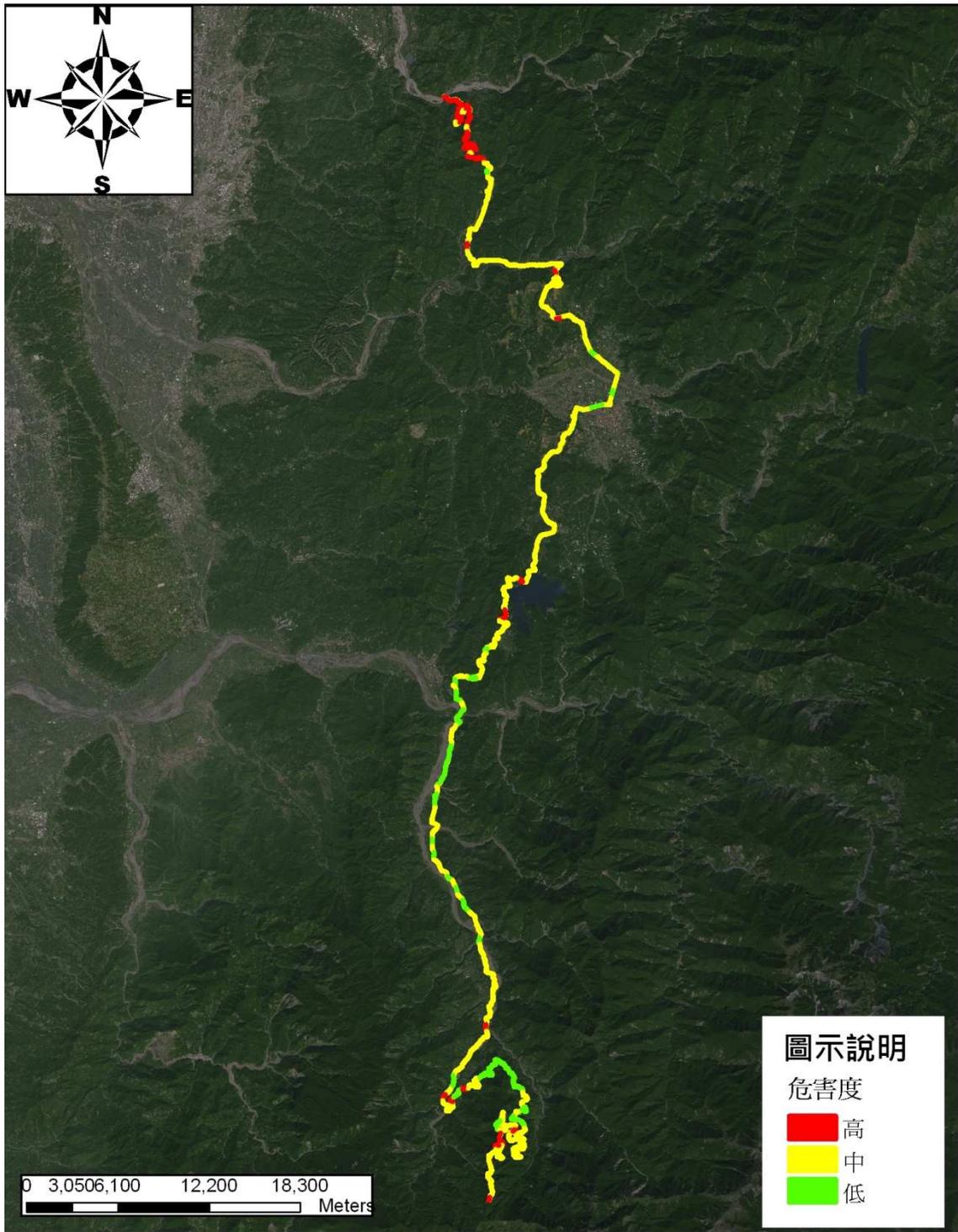


圖 4.28 臺 21 線危害度評估示意圖-以辛樂克為例

## 第五章 國內山區道路各類型易致災路段之 易致災性分析

所謂易致災的概念來自於災害風險管理，災害風險產生的機制，主要由危險源與易致災性互動的災害作用而形成。「易致災性」指由物質、社會、經濟和環境等因素互動形成的條件，如從受體的角度詮釋，指在特定自然事件下，特定地理區域內，暴露於危害源影響範圍內人口、建物或設施的潛在損失或傷害的可能性而言(陳建忠、洪鴻智，2005)。而易致災性分析需包含脆弱性因子評估與危害度評估，而脆弱性所涵蓋之範圍包含四個主要層面：物理層面、經濟層面、社會層面與環境層面。在此四大層面下，需釐清脆弱性因子間之關聯性與相互關聯性，再與危害度交集以產生「易致災性」。此外，脆弱度為一種「狀態」，危害度為一種有殺傷性或有損結果之事件，如果危害度與脆弱度不交集，易致災性則不存在(如圖 5.1)(陳禹銘等人，2009)。以我國為例，臺灣的脆弱度與在菲律賓之間的颱風如果不交集，則不會有易致災性的顧忌，但如果在菲律賓的颱風侵臺(脆弱度與危害度交集)，則會產生易致災性的顧忌。因此，本計畫將根據上章節危害度分析之結果，再透過脆弱性因子調查分析，分別探討危害度與脆弱性因子之關係。

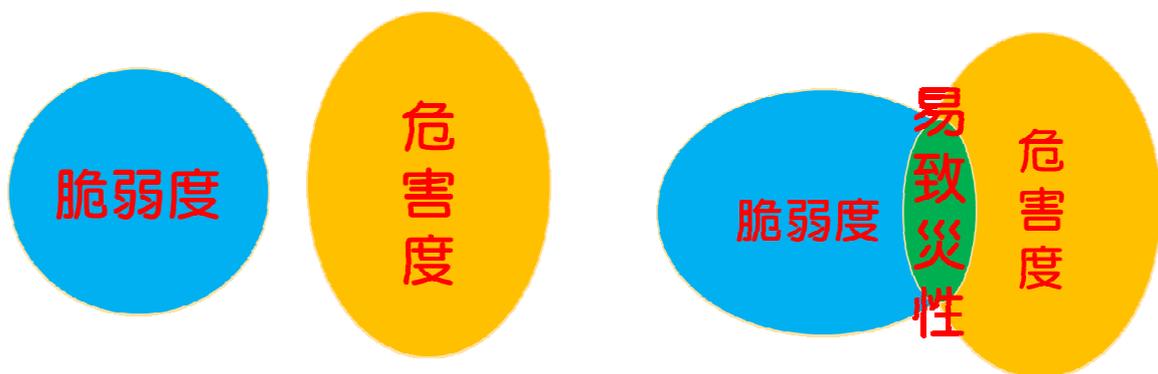


圖 5.1 易致災性概念示意圖

## 5.1 山區道路線脆弱性因子調查分析

傳統的風險評估架構如圖 5.2 所示。災害的損失 (Loss) 或衝擊 (Impact) 與災害的特徵 (Hazard)、暴露於災害的資產 (Inventory) 或稱暴露量 (Exposure)、及其他影響最後災害損失的因素或稱脆弱性 (Vulnerability) 有關。脆弱性分析的目的是藉由對造成損失的潛在因素加以分析，以確認降低脆弱性的方法，強化社會對災害的適應(郭彥廉，2009)。Cutter (1996) 歸納出三個脆弱性主要討論的面向：1.脆弱性是一種災前的既存的條件；2.脆弱性是災害的調適與因應能力；3.脆弱性是一個特定地點的災害影響程度。以下分別討論這三類型脆弱性定義。



圖 5.2 風險評估架構

資料來源：郭彥廉，2009

### 1. 脆弱性是一種災前的既存的條件

此類研究主要在探討災害、人類位於災害發生區域的條件、及損失的程度，特別關注災害的規模、持續的時間、頻率、發生的速度等，以及洪水平原、海岸地區、地震危害區等的生物物理條件 (S. L. Cutter, 1996)。這類型研究的一個分支為探討建築環境中與災害事件相關的結構損失及減災方法。

### 2. 脆弱性是災害的調適與因應能力

Cutter (1996) 歸納這類研究，其將脆弱性定義為人類社會對於災害的妥善因應能力，包括抗災與回復能力。災害的特徵在這類研究中通常被視為給定，多數這類研究在探討長期或慢性的危害，如

乾旱、飢荒、氣候變遷、環境變遷等。這類研究強調脆弱性的社會建構，意即能改變個人或社會因應災害能力之歷史、文化、社會經濟條件。

### 3. 脆弱性是一個特定地點的災害影響程度

Cutter (1996) 歸納這第三種脆弱性定義便是將前面兩者加總，較新的文獻中 Chambers (2006) 及 IPCC (2007) 也是採這樣的定義方式。IPCC 指在氣候變遷下脆弱度是「一個系統在面對氣候變遷時受影響或未能處理的程度（此處提及的氣候變遷包括氣候變異的程度及極端氣候事件），而且脆弱度是一個函數，函數中包括一個系統暴露於氣候變遷的特徵、強度、速率及本身的敏感度及適應能力等因子」。這種定義也可以用更廣義的方式來說明－脆弱性是造成損失的潛在因素 (S. L. Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)。因脆弱度因子多因地而異，故這類研究均強調某一特定地點的某種災害脆弱性。

依據 2010 國家災害防救科技中心易致災區域脆弱性因子調查分析，易致災調查之篩選原則，依據災害事件易發性進行勘災排序：

- (1) 災害發生規模頻率。
- (2) 評估可能再發生災害點位。
- (3) 傷亡統計。
- (4) 經濟損失。

除蒐集易致災區域外，亦包含各脆弱性因子之資料(如圖 5.3)：

- (1) 保全對象。
- (2) 道路使用頻度。
- (3) 橋梁。
- (4) 防洪設施。
- (5) 避難場所位置。
- (6) 救災資源分布。

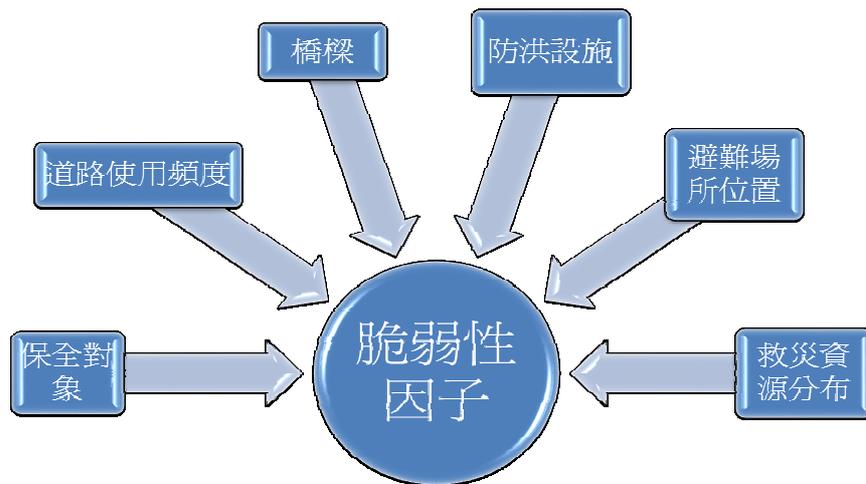


圖 5.3 脆弱性因子分析圖

由於不同的災害特性有其各自的脆弱性因子，因此，本計畫將選取有關山區道路之脆弱性因子。對於山區道路，工程設施影響道路的脆弱性甚鉅，另配合各路段的累計崩塌次數，再根據上章節高、中、低潛勢區域，將易致災性之路段選取出來，下章節將探討易致災性分析結果。

## 5.2 各類型山區道路易致災路段之易致災性分析

「易致災性」的定義是脆弱度、暴露度以及威脅度的乘積 ( $Vulnerability \times Exposure \times Threat$ )；在單一災害領域裡，則是脆弱度、暴露度以及危害的乘積 ( $Vulnerability \times Exposure \times Hazard$ ) (陳禹銘等人，2009)；而因「災害」所包含的領域甚廣，有天然災害 (地震、土石流、颱風、洪水等)、環境災害 (沙漠化、伐木、土壤流失等) 與科技災害 (空氣污染、輻射污染、化學毒氣等) 三大類，部分災害由天然因素造成，而有些則是人為因素所導致，本計畫則考量山區道路的災害領域下，將易致災性定義為脆弱因子與危害度 (潛勢區域) 的乘積 ( $vulnerability \times hazard$ )。不同領域有各自的災害風險定義，本計畫易致災性定義如下所示：

$$\text{易致災性} = \text{脆弱因子} \times \text{危害度}$$

風險評估過程中，選擇適當之風險評估工具，可估計災害發生機率與估計災害發生嚴重度。為提高風險評估之準確性，專業工具的協助是不可避免的，每種評估工具均有其特性與適用範圍。而本計畫以上章節高、中、低潛勢區域與易致災區域脆弱性因子間之關係，以評點法分為高易致災性地區、中易致災性地區及低易致災性地區三大類型，將脆弱性因子的評分加總後，乘以危害度，當總分超過 0.89 分者為高易致災性地區，0.89 分以下至 0.23 分者為中易致災性地區，0.23 分以下為低易致災性地區，各脆弱性因子評分如表 5-1、5-2 所示。以下為評估原則：

### 1. 高易致災性地區

經由豪雨或是颱風過後，山區常有崩塌、土石流等災害發生，而在易發生崩塌或是土石流區域通常會有不同之工程設施，目的在於防止二次災害發生。因此，若此路段位於高潛勢區域，沒有工程設施且經常發生崩塌，表示其處於高致災性區域。

### 2. 低易致災性地區

若此路段位於低潛勢區域，有工程設施且該路段的歷史資料顯示很少發生崩塌，表示其處於低致災性區域。

表 5-1 山區道路易致災性評估工程設施評分表

	工程設施	有	無
分數			
得分		1 分	3 分

表 5-2 山區道路易致災性評估累計崩塌次數評分表

	累積崩塌次數	0	1~4	5~8	9 以上
分數					
得分		1 分	2 分	3 分	4 分

風險評估的結果，同樣以 GIS 繪圖方式呈現臺 21 線與臺 18 線的易致災性，以 718 豪雨作範例，由圖 5.4~圖 5.5 可知為豪雨時，在有無工程及歷史崩塌頻度不同就有不同的易致災影響性，與危害度考量角度又多考量一層面。圖 5.6~5.11 為臺 18 線及臺 21 線分別預測降雨量為 300 毫米、600 毫米、900 毫米之易致性地圖，可觀察在某些路段可以提早作預警及監控設施，以降低損失也將資源發揮最大效能使用。臺 18 線及臺 21 線易致災性評估之結果，詳見附錄四以表列呈現，以供清楚參照。

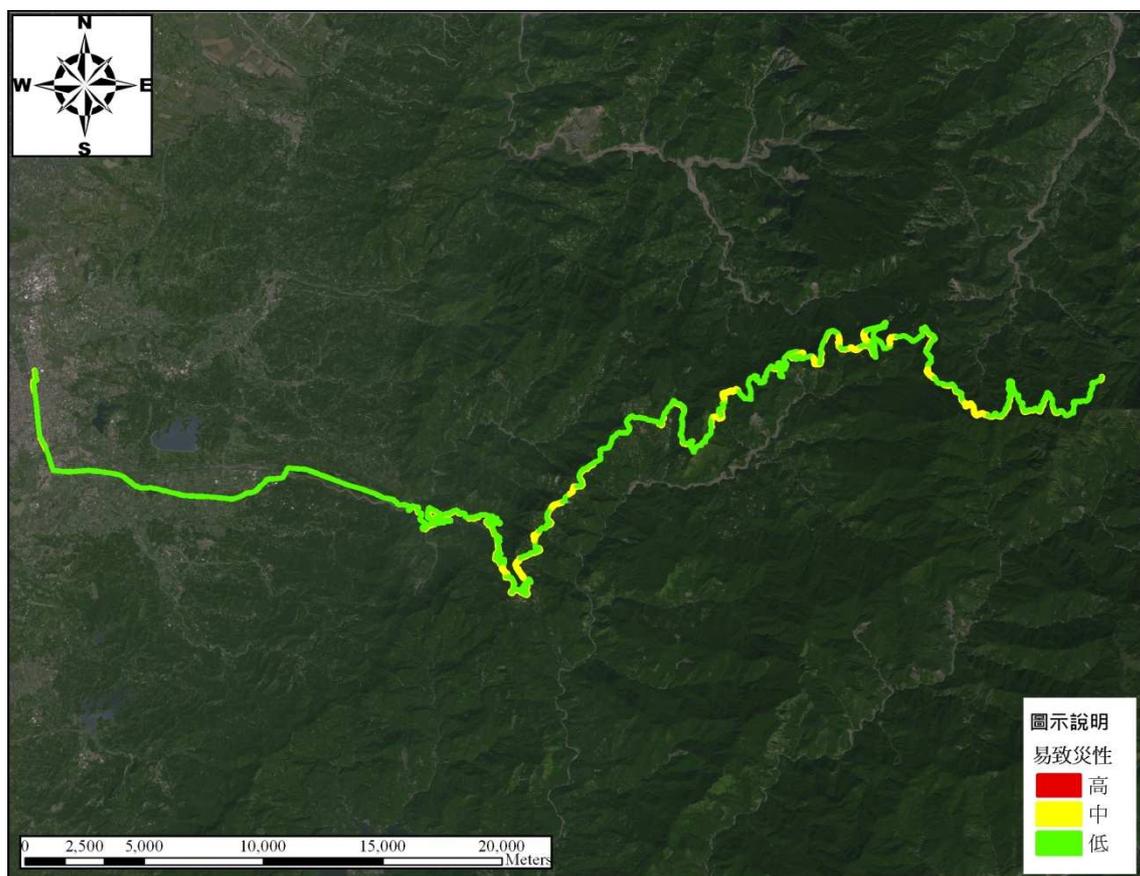


圖 5.4 臺 18 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例

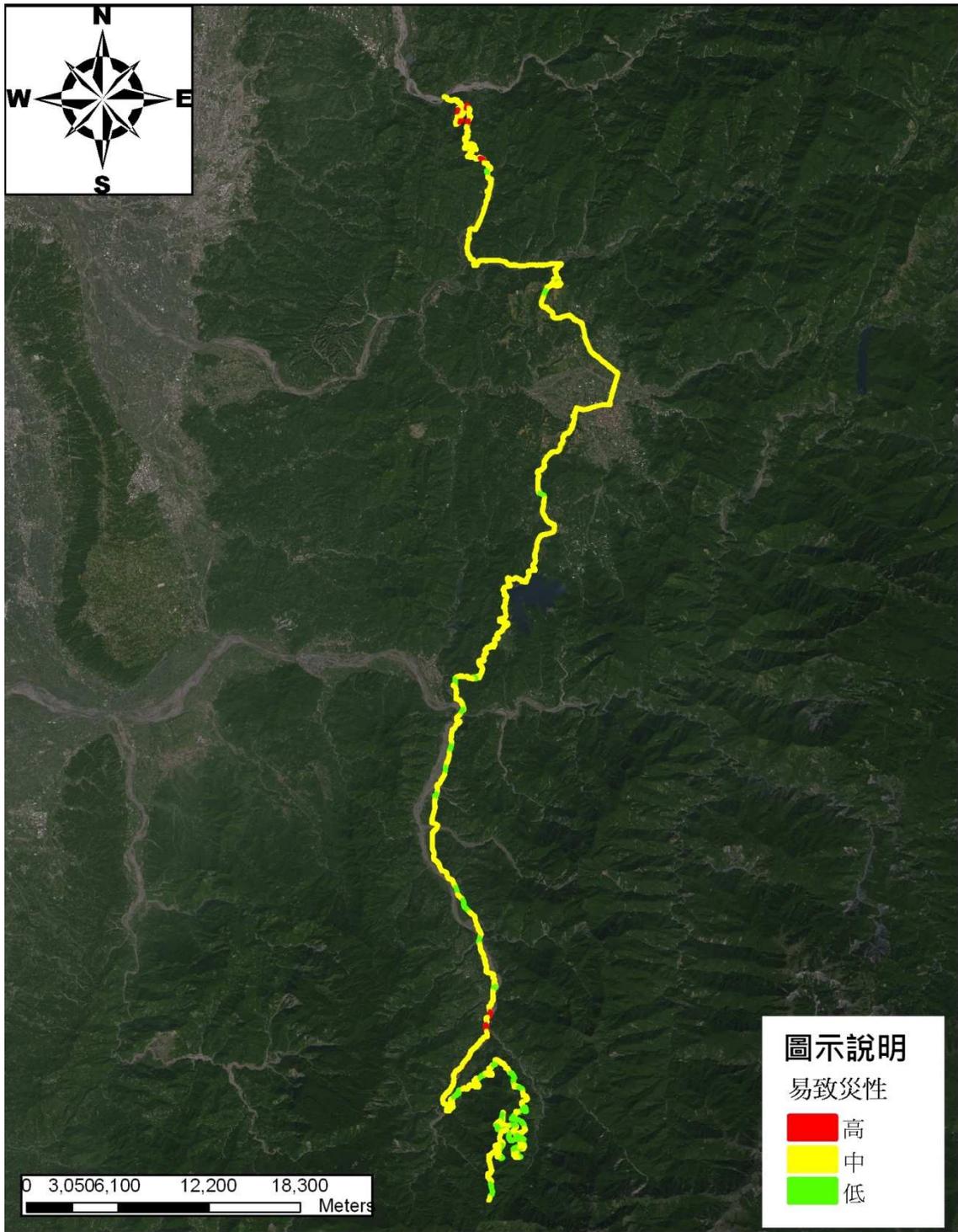


圖 5.5 臺 21 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例

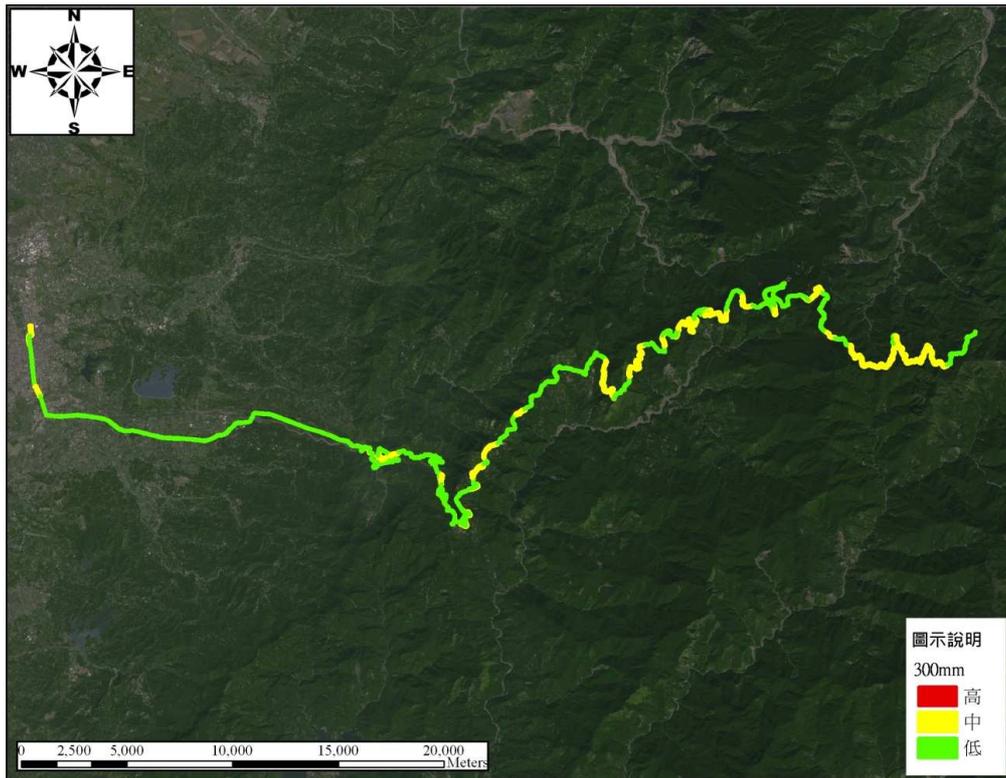


圖 5.6 臺 18 線預測降雨 300 毫米評估示意圖

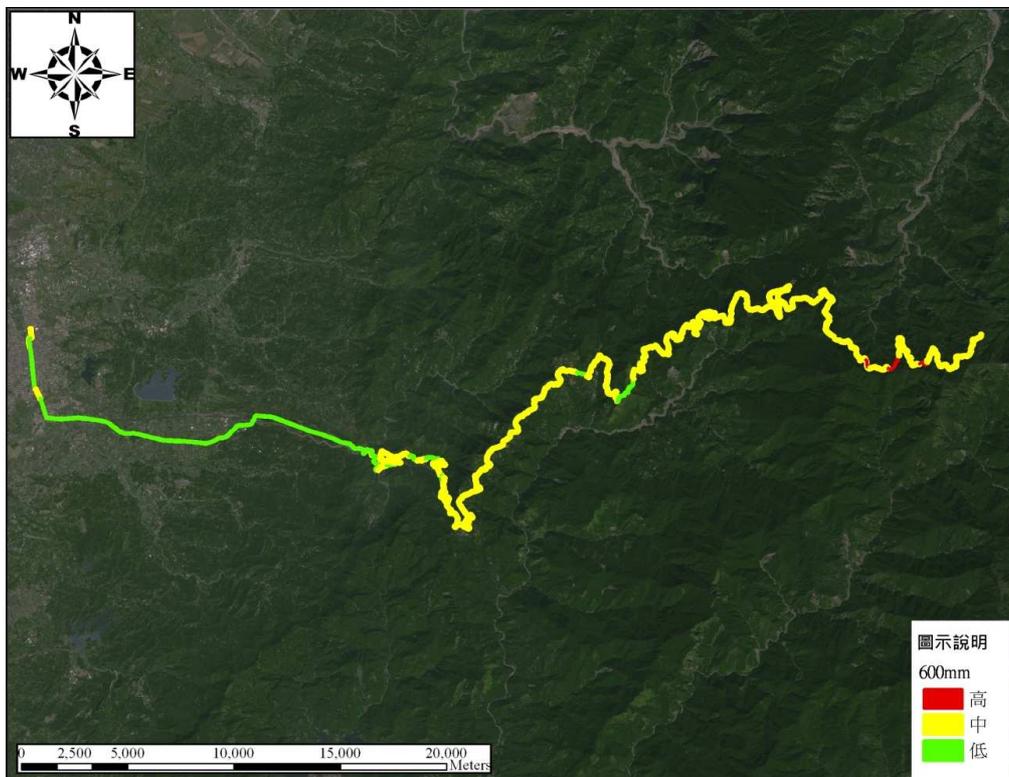


圖 5.7 臺 18 線預測降雨 600 毫米評估示意圖

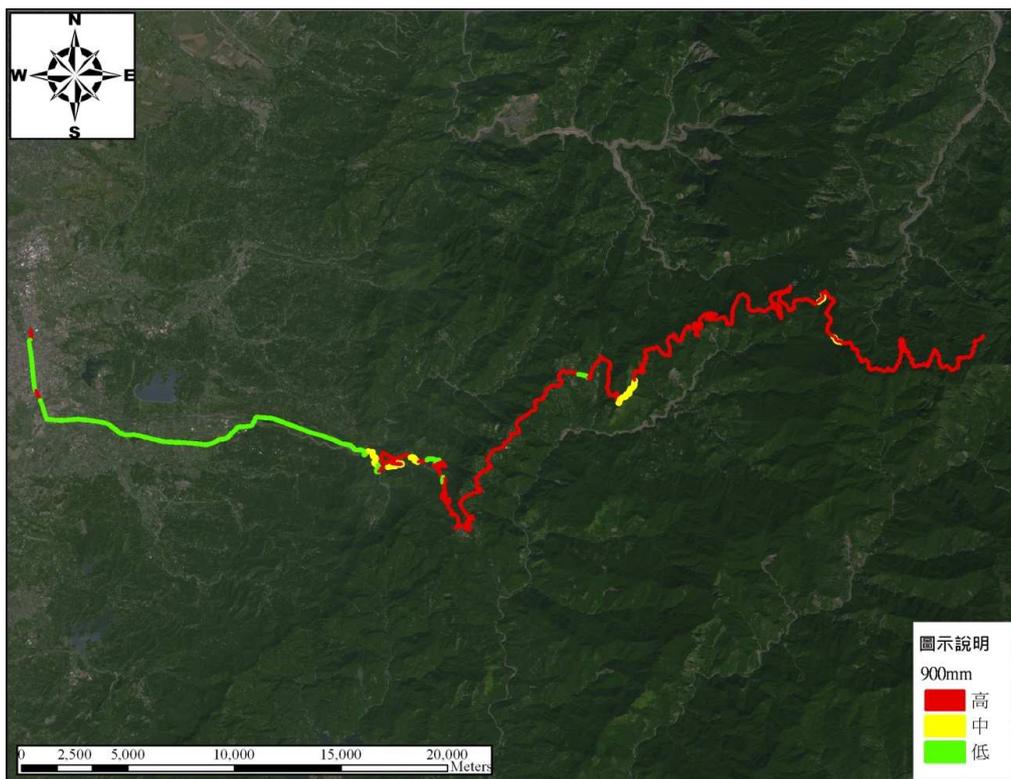


圖 5.8 臺 18 線預測降雨 900 毫米評估示意圖

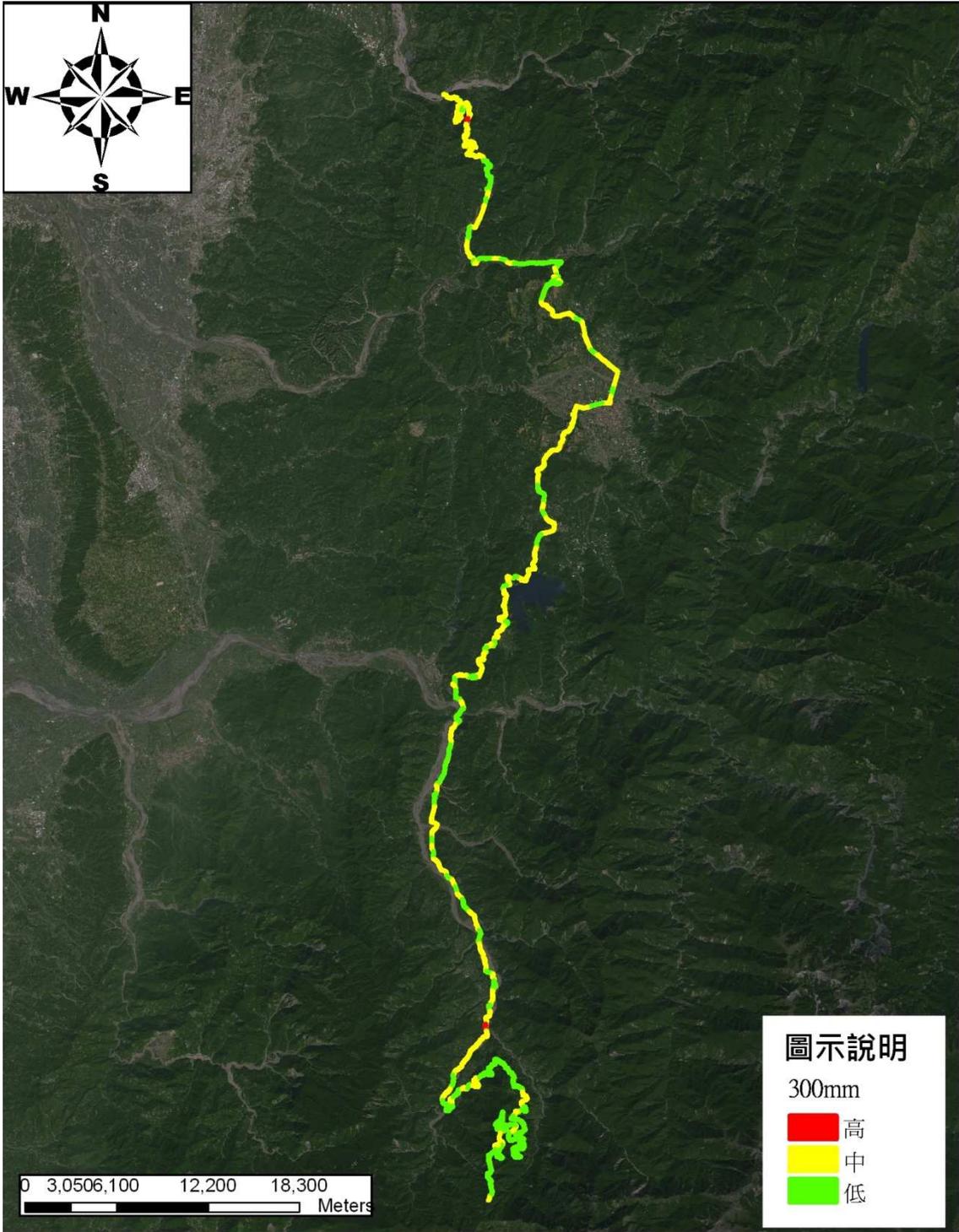


圖 5.9 臺 21 線預測降雨 300 毫米評估示意圖

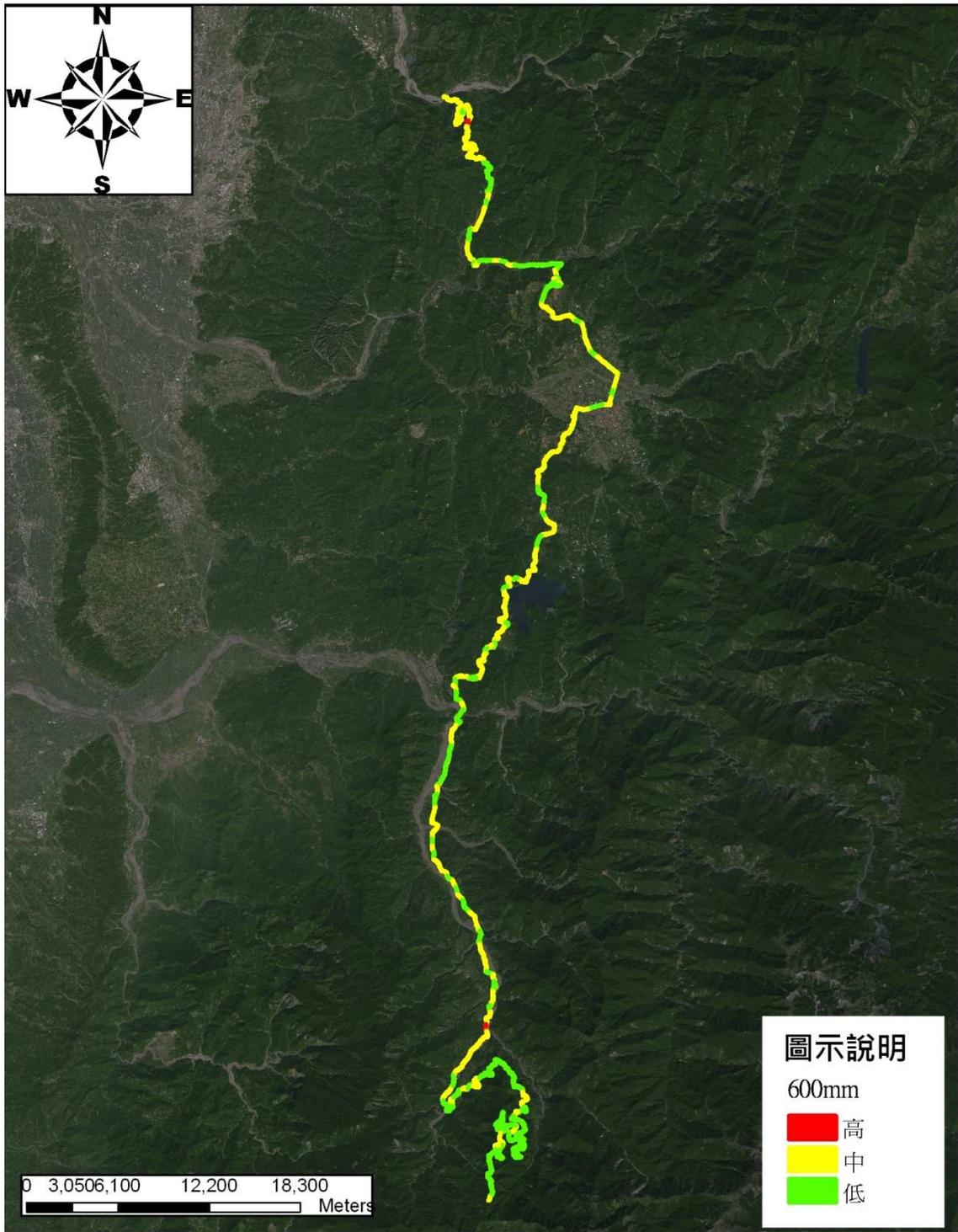


圖 5.10 臺 21 線預測降雨 600 毫米評估示意圖

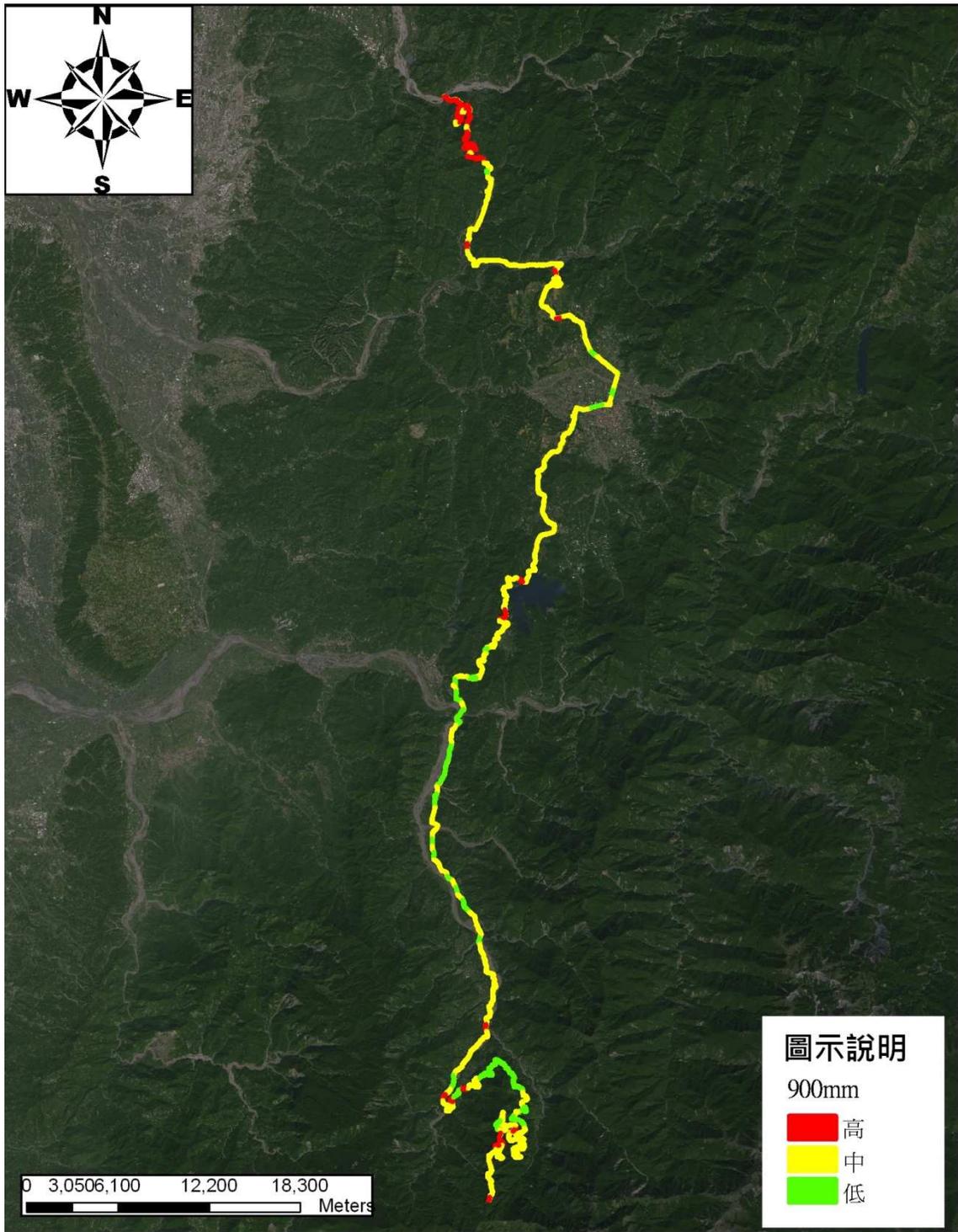


圖 5.11 臺 21 線預測降雨 900 毫米評估示意圖

## 第六章 國內山區道路各類型易致災路段之 監測系統規劃

道路建設為國家重要之基礎建設，道路安全管理暨公路建設後，成為極為重要的課題。臺灣地區由於多山坡地，山區道路遭遇颱風、豪雨之侵襲而產生之災害問題，將對於用路人行車安全構成極大之威脅。因此，合宜地應用監測系統，將可做為山區道路安全管理之重要依據。然因山區道路易致災區域各有不同的災害特性，故監測預警系統之規劃亦應有不同之考量。為充分獲得監測預警所需之相關資料進行分析，唯有透過長期監測之累積，方得以了解山區道路災害之監測預警特性及其管理值。

一般而言，監測系統可概分為人工記讀系統以及自動化系統，自動化系統其組成包括：(1)感測單元；(2)資料擷取單元；(3)資料傳輸單元；(4)資料儲存、展現或分析單元；以及(5)電源供應等五個單元。其中感測單元感測現地物理量(如位移)或環境條件(如雨量)之變化，由資料擷取系統收集、記錄、篩選、判讀並經由資料傳輸單元送達遠端之資料儲存單元儲存、展現或分析資料，必要時並可發送現地警報、簡訊通知守視人員或保全戶。而電源供應單元則負責供應現地或遠端設備所需之穩定電流。

監測系統規劃應該包括以下各項：

1. 完整之環境資料蒐集與調查。
2. 可能災害機制分析。
3. 可能災害風險分析。
4. 根據不同災害機制，決定監測之物理量。
5. 根據山區道路邊坡不同崩塌機制與風險性，選擇適當感測儀器，並決定監測儀器安裝之深度、位置以及數量。

6. 監測系統正確之設置與維護。
7. 適時之量測與資料擷取。
8. 決定資料擷取、傳輸方式。
9. 決定監測所得數據之分析、管理與展示介面。
10. 因地、因時制宜之崩塌預警基準。
11. 根據長期監測結果，持續檢討監測規劃與預警策略。

監測資料應進行妥善之分析，以作為邊坡評估、現象預測及預警基準訂定之重要參考。監測資料分析，一般係將觀測數據以適當比例依時間域繪成曲線，並將影響該觀測值之因素曲線繪在一起，以利比較研判。曲線中可顯示觀測值之長期、短期或異常之突變，再依曲線之變化趨勢，與過去觀測資料、理論分析及自然現象之預期趨勢相比較，以作為警戒預警基準之訂定參考與修正之依據。其中主要係根據各項監測值所繪製過程曲線之穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性加以研判評估(USBR, 2001)，其特性分述如下。

### **1. 穩定性**

當監測量過程曲線變化之規律與趨勢成穩定狀態，則屬正常；如原因量不變而效應量之趨勢隨時間不斷向不利方向增長，則屬不穩定之異常狀態。

### **2. 相關性**

平常監測值中原因量與效應量都會成一定之相關性，如其相關性較以往有所改變，則屬異常。

### **3. 合理性**

監測量之變化趨勢符合自然界之物理現象則屬正常，否則屬異常。

#### 4. 一致性

在相同條件下(即原因量相同),效應量之變化型態應為一致或相似;同一位置使用不同儀器所量測之同一物理量亦應符合一致性,則屬正常,否則屬異常。

#### 5. 突變性

監測量之變化過程中,如有不符合預期或不按規律之突變,則屬異常。如為單一之突變,則可能屬人為之錯誤,如為重複或連續之突變,則可能屬儀器或系統之故障或結構(本質)已有異常現象。

#### 6. 對稱性

如監測儀器埋設於具對稱之位置,則其監測量之變化亦應具對稱性,否則應為異常。

掌握監測系統之特性,除可了解監測對象之特質,亦可作為物理現象模擬時之參考,並進一步根據現象模擬成果利用理論或經驗方法進行預警基準訂定。由於自然災害的不確定性,在大部分的災害監測中,大多透過統計模式協助訂定警界預警基準。然因預警之發佈攸關重大,後續須動員人力物力,因此對於監測儀器監測值(曲線)有偏離預期之趨勢時,須得專業判識是否為人為或機械功能異常等因素引起。

### 6.1 各類易致災路段之監測元件及系統規劃

#### 6.1.1 各類易致災路段之監測元件

監測儀器之規劃需考量易致災因子的物理特性,對於已知的工程監測儀器,目前市面上已有相當多的產品,皆具有相當的可靠度。需考量的是其精度及量測方式的耐候度,高精度的產品往往價格昂貴、耗電量大,對於野外長期監測並不利。因此,考量致災因子的重要程度,選擇合適的監測設備,是不可或缺的一環。一般而言,對於山區道路之監測,依其物理量區分監測元件主要可歸納為:

## 1. 應變或位移監測

邊坡滑動必然有移動之發生，移動之總量、速率以及分佈通常是所需要量測之物理量中最重要。邊坡崩塌現象可分為地表與地層中之移動，地表之垂直、水平位移、裂縫之擴張、以及坡址之隆起都可作為監測之對象，雖然可以從邊坡表面之特性來判斷地層移動之嚴重性，但是最能夠顯示邊坡滑動即將發生之重要指標通常還是來自於土壤或岩層內部微量之移動。只靠坡面之觀察來決定邊坡之穩定是不夠的，而必須要與邊坡內部行為之監測相互配合。地層滑動的方向通常可以由裂縫之型態尤其是裂縫邊緣幾何形狀之匹配來推敲。管理單位可藉由應變或位移監測輔助觀察工程構造物之擋土牆破壞、路面皸裂等決定管制作為，或以應變或位移監測掌握工程結構物的安全係數變化，事先提出警告，達到預警的功能。相關之感測單元包括：

- (1)地滑計(Surface Extensometer, 地表伸縮儀): 地表水平變位之監測。
- (2)沉陷觀測點(Settlement Mark): 地表或構造物沉陷量之監測。
- (3)沉陷計(Extensometer): 地層垂直變位之監測。
- (4)裂縫計(Crack Gauge): 地表或構造物裂縫寬度變化之監測。
- (5)應變計(Strain Gauge): 構造物受力變形產生應變之監測。
- (6)傾斜管(Inclinometer): 地層(或構造物)滑動面之深度、位移量及位移速率等之監測。
- (7)傾度盤(Tiltmeter): 地表、結構物或擋土護坡構造物傾斜變位之監測。

## 2. 雨量、水位與水壓監測

降雨為邊坡崩塌重要之誘因，另一方面，在許多邊坡滑動之問題中滑動體內之孔隙水壓也是重要之參數。尤其是在有互層的情況

下過量之靜態孔隙水壓可能存在於某些岩層之中而造成坍塌。因此雨量、水位與水壓監測相當重要。相關之感測單元包括：

(1)水位觀測井 (Observation Well)

(2) 水壓計 (Piezometer)：有開口式水壓計 (Open Standpipe Piezometer)、壓氣式水壓計 (Pneumatic Piezometer)、電子式水壓計 (Electrical Piezometer)

(3)流量計

(4)雨量計

(5)土壤含水量計 (Soil Moisture Sensor)

對於降雨對地下水位的影響，在不同降雨程度下地下水位會有不同程度之上升，受表層土壤為非飽和及滲流的影響，在暴雨情況下地層內水壓隨深度之分佈常是非線性的 (Ng et al., 2001)。如果使用傳統在鑽孔內只量測一至兩個深度可能無法正確反應水壓分佈。此一現象也顯示地層內分佈式水壓監測之重要性。

運用儀器量測含水量主要原理是利用視介電常數推得體積含水量。土壤是由水、空氣、土壤所組成，由於蒸餾水的視介電常數為 76 至 84，土壤大約為 3 至 8，因此脈衝波進入土壤之低介電常數的環境，只需要微小含水量的變化，總合效應之介電常數將會劇烈增大，此為 TDR (Time~Domain Reflectometry) 技術量測含水量之基本概念，再由迴歸經驗式，來建立土壤電學性質與工程物理性質之關係，即可求得所對應之體積含水量 (Dowding, 2001)。

目前國內對於崩塌災害的監測研究，已逐漸走向以土壤含水量作為主要監測項目，但囿於野外地層土壤的高度非均值，含水量的警戒預警難以訂定，需先率定其當地參數後，再搭配計量模式為之，因此建議應輔以其他設備來監測。

### 3. 應力監測

應力包括地層之現地應力與擋土構造物所受之應力，應力之監測常可供檢討構造物之設計條件。相關之感測單元包括：

- (1)土壓計(Earth Pressure Cell)
- (2)鋼筋計(Rebar Stressmeter)
- (3)地錨荷重計(Load Cell)

一般而言，感測器可裝設在有擋土護坡之結構物上，或埋設於其周圍或其下的地層中，用以觀測該擋土護坡結構或地盤與其周圍環境的相互作用以及其變化。

### 4. 光纖光柵感測器

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。

目前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。(黃安斌等，2009)。

上述不同之感測器，將量測得不同物理量，包括應力、變形以及水壓等，而不同塊體移動型態、規模，其物理量之變化即有極大之不同，因此感測單元之選擇以及位置之布設，必需對於其物理現象有深入的瞭解。不正確之感測單元選擇將降低山區道路預警與安全管理功能。依據影響監測量之各項外界因素，以理論或數值模式分析所得之結果，將可進一步推估於不同條件下該災害現象各種監測量之預期

值，或以監測儀器長期之觀測值，利用迴歸分析方式，建立監測量與影響該監測量之外在因素間之關係式。其中相當重要之關鍵為慎選適當之分析工具，對於監測位置都有其特性，分析者必須經評估後採用適當分析工具。表 6-1 整理各類監測儀計之特點以供儀器選擇時參考。

**表 6-1 各類監測儀器之特點(修改自 USBR, 1987)**

種類	量測參數	優點	缺點
豎管式水壓計	孔隙水壓	簡單、可靠、使用歷史長久、不須精細的控制面板、便宜	偶而壓力反應時間慢、豎管必須近乎垂直，容易遭施工機械破壞
密閉液壓系統	孔隙水壓或總壓力	使用歷史長久、壓力反應時間很快、觀測管可水平裝設而延伸至中央監控中心，不易被施工機械破壞	須設置觀測站、有銹蝕的問題、須要定期排氣、有維護問題、使用期間故障率高、排氣飽和程序複雜
氣壓式系統	孔隙水壓或總壓力	觀測站高程和壓力計的高程無關、壓力反應時間很快	防止濕氣進入壓力管、使用歷史短於密閉液壓系統、複雜測讀程序、施工過程壓力管容易被損壞、不易修復
振弦式系統	孔隙水壓或總壓力	容易測讀及維護、壓力反應時間很快、潛在高靈敏度、適合自動測讀及資料擷取、頻率訊號傳輸可以很遠、可以測讀負值孔隙水壓、較不易遭受施工的損壞	對於溫度敏感、有無法穩定歸零的可能、對大氣壓力的變化敏感、容易因閃電而損壞
電阻式應變計系統	孔隙水壓或總壓力	觀測站高程與壓力計高程無關、壓力反應時間很快、潛在高靈敏度、適合自動測讀、可以測讀負值孔隙水壓	有無法穩定歸零的可能、可能對溫度、濕度、電線接續、電纜線長度及接頭的變化等因素敏感，因為這些因素會改變電路的電阻、一般不宜長時間使用
時域反射土壤含水量計	體積含水量	利用視介電常數推得體積含水量，只需要微小含水量的變化，土體總合效應之介電常數將會劇烈增大，即可求得所對應之體積含水量。	量測結果受到鹽度與土壤類型影響。
層別沉陷計	地中垂直位移	使用歷史久	可能有腐蝕的問題、裝設費用較貴

種類	量測參數	優點	缺點
振弦式沉陷計	地中垂直位移	容易測讀、沒有垂直豎管干擾施工的問題	每台觀測站高程須已知、使用歷史有限、精確度及靈敏度不宜量測小的位移量
移動式傾斜儀	地中側向位移	可靠而且精準、有相當的使用歷史	觀測人員須接受專業訓練
固定式傾斜儀	地中側向位移	可以裝設在難以接近的地點、可自動測讀、容易測讀	在鑽孔內僅可選擇數點測讀、購置費及裝設費用很昂貴
伸縮儀	二點間位移	非常精確而精準、高靈敏度、量測參考點不可得可採遠距電子測讀法	參考點設定應考慮量測裝置之衝程
傾斜計	地盤或岩盤旋轉量	重量輕、體積小、可為移動式或固定式	平行位移無法量測
沉陷釘	地表面垂直及水平位移	裝設費不貴、裝置簡單可靠、在任何時間皆可裝設	測讀須要大量人力，長期連續觀測費用昂貴、量測設備費用昂貴
結構物量測點	結構體垂直及水平位移	不貴、簡單、可靠	測讀須要大量人力，長期的連續觀測費用很昂貴
裂縫計	裂紋兩側相對位移	有各種不同類型可選擇，皆具簡單、便宜及可靠性質、可遠距測讀	

### 6.1.2 山區道路易致災路段之監測系統規劃

除了監測元件，本研究對於整體監測系統還包括了資料擷取方式、資料傳輸方式、資料儲存及展示及電力系統，以下將依各單元分項說明。

#### 1. 資料擷取單元

由於前端感測單元之信號傳遞可能是類比式或數位式，因此擷取單元就必須負責將各式不同的信號轉成中端接收介面之標準規格，以目前之主流思維，中端之資料接收儲存以數位式為主，理由是數位式資料在現今的資訊技術發達的情況下，可以進行非常多種用途的加值處理，提升資訊的附加價值。

因此，在產品成熟度的考量下，感測單元以 RS485 介面傳輸為

佳，理由為 RS485 即為一數位式介面，能夠直接或間接連接電腦進行資料的擷取。然許多感測單元可能無數位式輸出介面，必須經過類比數位的轉換才能進行更多的加值處理。

(1)感測單元輸出即為數位式介面(I)(單一監測儀器)

意指感測單元直接為 RS485 介面輸出，若為單一感測單元環境(該地點僅監測一種物理量，也就是只有一種儀器)，可以直接購置 RS485 介面卡與電腦連接。

(2)感測單元輸出即為數位式介面(II)(多種監測儀器)

若該地點監測超過兩種物理量，為資訊整合方便，可以使用集線器將不同來源之感測單元資訊匯集並統一輸入電腦之 TCP 埠，惟 RS485 並無法直接與集線器連接，必須透過一轉接器加以轉換，如圖 6.1 所示。而整體概念如圖 6.2 所示。



圖 6.1 RS485 介面轉 TCP 轉接器

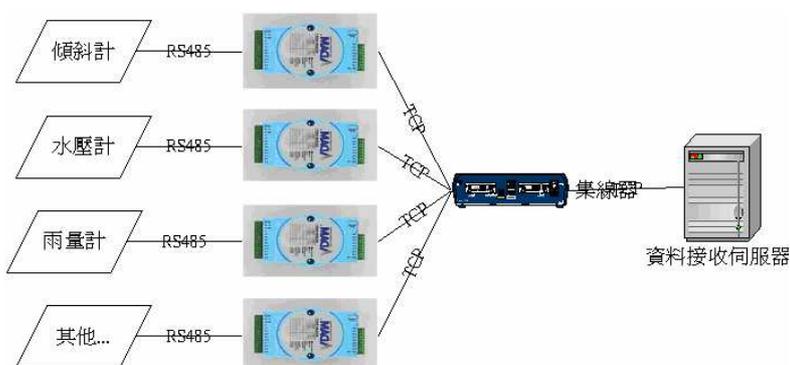


圖 6.2 集線器匯集多種前端儀器之示意圖

### (3) 資料接收伺服器

一般規格個人電腦的設計大部分僅針對辦公室或室內環境，相對於置放戶外或環境嚴苛等場所則需要穩定性更高的企業級電腦，雖然其架構仍為傳統 x86 中央單元控制器，但對於細部元件、耐壓性及相容性皆有絕對的提昇，中端資料接收中心全數使用高安規之企業級伺服器來擔任資料傳輸及儲存之任務，以配合戶外各地嚴苛環境之要求。

## 2. 資料傳輸單元

自動化監測的目的即在於能夠自動將監測物理量以有線或無線的方式加以傳送，以提升資料的可用性及縮短資料傳輸的時間(相對於需人員至偏遠地區取得)，為提升資料傳輸之可靠性且考慮可行性，需完整規劃有效資訊設備與傳輸體並快速彙整來自各方面數據資料，並以達到災害預警及時應變為主要目的。此外，電源穩定、傳輸速度穩定、資料確保、傳輸成本、易於維護、監測資料是否能穩定傳輸應為山區道路監測系統的主要考量。茲以表 6-2 說明各種通訊方式之特性。

### (1) ADSL

ADSL 即為 Asymmetric Digital Subscriber Line，它是目前最受注目的 xDSL 技術之一，因為它可以利用現有電話線路來傳送高傳輸率的訊息，而不需要再增加現有基礎架構設備的技術，由於 ADSL「非對稱的數位用戶線路」是利用現有的電話線路，如同目前一般撥接用戶一樣，再加上 ADSL 專用數據機(ATU-R)，將數位資料的傳輸速度提升到下傳速度為 1.5Mbps 到 9Mbps，上傳速度達 64Kbps 到 640Kbps 的境界，其間的差異牽涉到所採用的 Modem、傳輸方式與和傳輸距離(最主要因素)而定，此傳輸方式為目前除撥接網路外，是一項最經濟實用的通訊方式，但礙於利用高頻傳輸資料，用戶端與電信機房之距離亦有所限制。

## (2)微波傳輸及無線區域網路

無線電微波的頻率範圍在 3GHz~30GHz 間，微波傳輸屬於一種有向性方式，即傳送與接收端間不能存有障礙物體阻擋，才能收到良好的聲音與影像。目前微波可使用頻帶為 2.4GHz 及 5.8GHz 展頻技術，以目前行動電話基地台普遍之情形使用 2.4GHz 恐有干擾之虞，由於傳輸特性需要在視距範圍內，若在山區內欲傳至市區或各站之間有障礙物阻擋，必須架設多座中繼站方可確保傳輸效果。

無線區域網路所使用的頻帶為 2.4GHz 及 5.8GHz，亦屬微波傳輸的範疇，無線區域網路最早出現的標準是 IEEE 組織訂定的 IEEE 802.11 標準。IEEE 802.11 無線區域網路的存取設計方式可以分為三類，窄頻微波(Narrow Band Microwave)、展頻(Spread Spectrum)及紅外線(Infrared)。目前無線區域網路的產品中大部分都使用展頻技術中的跳頻展頻(FHSS)及直序展頻(DSSS)。跳頻展頻和直序展頻是兩種不同的傳輸方式。跳頻展頻的優點在於成本較低，而直序展頻傳輸距離較遠、單位時間傳輸量較大但是成本也較高。

## (3)光纖網路

光纖通訊是指一種利用光與傳遞資訊的一種方式，光經過調變後便能攜帶資訊，將需傳送的資料由發送端輸入到發送機中，將信息調變為信號載體的載波上，然後將已調製的載波通過傳輸媒質傳送到遠處的接收端，由接收機解調出原來的信息。光纖通信具有傳輸容量大，保密性好等許多優點，因此光纖為目前主要有線通信方式之一，在數位時代裡扮演非常重要的角色。

目前光纖網路系統為通信網路中重要的基礎建設。光纖具備高頻寬、不受干擾及長距離信號傳遞的特性。原屬高價位的光纖通信現在建設成本逐漸降低，所以在新的通信網路建設上光纖技術大量的被引用。

#### (4)WIMAX(4G)

WIMAX 是在 INTEL 等大型跨國公司的主導下研發的技術研發成果。它是一項基於 IEEE 802.16 標準的寬帶無線接入城域網技術，能提供全城範圍內面向互聯網或其他業務的高速連接。目前 WIMAX 技術主要是基於 IEEE 802.16d 和 IEEE 802.16e 兩大標準，其中 IEEE802.16d 是固定無線接入的空中介面標準，即通常所說的「固定 WIMAX」，能夠實現漫遊方式網路；IEEE802.16e 是移動無線接入的空中介面標準，即通常所說的「移動 WIMAX」。

WIMAX 使用的工作頻段 2G~66GHz 之間，無線信號傳輸距離最遠可達 50 公里，網速可以達到每秒 75MB，是 3G 基站傳輸速度的 30 倍，網路覆蓋面積是 3G 基站的 10 倍。WIMAX 用戶終端平臺成本低、功耗低、擴展方便、架設靈活、性能優良。由於採用 OFDM、MIMO 等先進技術，WIMAX 改善了非視距性能，可以提供更強的遠距離穿透及繞射能力，確保了端到端網路架構對流量的回程、匯聚、無線接入控制及核心網路和應用，具備了端到端的 QoS 架構和標準的安全機制，使其能夠滿足目前最終用戶對業務應用的傳輸頻寬和高移動性需求。MO 由於採用 BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM 調製技術，根據傳輸距離的遠近以及穩定性等因素，智慧地決定使用哪種調製技術，用於實時監控等特殊應用現場，還可應用於緊急通信、防災指揮等極端和複雜條件。因為其寬頻的特性，被稱為第四代無線通訊(4G)。傳輸距離長，大幅改善前身 WLAN 的缺點，將此技術與需要授權或免授權的微波設備相結合之後，基地台數目將大為減少。且 WIMAX 不必拉線，被視為取代固網的最後一哩路，或稱 Wireless ADSL。

#### (5)衛星傳輸

專用衛星通訊網路係利用衛星地面站，經由衛星網路提供公司所租用之衛星鏈路以單路載波之方式連接衛星作數據電報傳真語音或視訊會議通信，提供衛星網路做點對點或點對多點之通

信。VSAT 為小型地面站之簡稱 (Very Small Aperture Terminal)，以中心站為核心透過衛星轉頻器與遠端站作數據通信，衛星波束具有廣大之涵蓋面，在涵蓋範圍下之各地點均可相互通訊，不受地理環境之限制，除了點對點通訊，其在單點對多點的廣播應用、多點對單點的資料蒐集傳送均頗具效益優勢。而高頻寬之衛星信號更能攜帶大量數據資料，為其他通訊媒介所不能及。近年來 VSAT 衛星小型地面站系統在降低成本、擴大服務範圍、與各種使用者設備或地面網站連接以及開發更為方便、靈活的網路系統等方面已有重大發展，因此能提供天線直徑小、設備價格低、系統功能強、架設靈活之設備。

#### (6)GSM/GPRS

號稱 2.5 代的 GPRS 系統為整合封包無線電服務 (General Packet Radio Service) 的縮寫，是跨入第三代行動通訊的重要技術標準。它彌補了 GSM 在數據傳輸能力上的缺點，以「封包交換」取代「電路交換」，大幅提昇傳輸速率，達到更有效的頻譜資源分配。因此，「快速傳輸」、「瞬間上線」、「持續連網」、「按量計價」可謂 GPRS 的四大特性。透過 GPRS 技術，現行 GSM 的每秒傳輸位元數可從 9.6K 提昇到 120K 左右，但目前的技術實際可達 40K，大幅的改善 GSM 手機上網速度。

#### (7)3.5G

(High Speed Downlink Packet Access 的縮寫 HSDPA)是一種基於 3G 的行動電話技術之行動通訊協議，亦稱為 3.5G。採用 3GPP Rel5 技術標準，該協議在 WCDMA 下行鏈路中提供封包數據業務，在一個 5MHz 載波上的傳輸速率可達 8-10Mbit/s (如採用 MIMO 技術，則可達 20Mbit/s)，涵蓋範圍約在 0.5~5Km 間。在具體實現中，採用了自適應調變和編碼(AMC)、多輸入多輸出(MIMO)、混合自動重傳請求(HARQ)、快速調度、快速小區選擇等技術。

表 6-2 各種通訊方式比較表

通訊方式	上行速度 通信容量	無線電波 頻段	穩定度	主要業者	基本費率	優缺點／限制
ADSL	最大 640K	實體線路	佳	中華 電信	一般線路 8M/640K 月租費每站約 428 元 雙相對稱專線 512K 含線路費用，月租費 每站約 2,000 元(外 加接線費 1,500 元； 設定費 200 元)	專線不需要與他人共 享頻寬，受限於業者 提供服務之機房距離 距機房遠時，需輔以 WiFi 基站無線傳輸至 機房。
微波	最大 311M	2.4G\5.8G	可	自行 架設	微波站及中繼站設 備架設費用每站 360,000 元	訊號穩定，畫質清 晰，不受天候不良的 影響，訊號易受地 形、建物阻擋而無法 順利傳送。亦受定向 性與通視需求而有所 限制。
光纖	最大 10M	實體線路	佳	中華 電信	光 世 代 速 率 100M/10M 線路月租 費每站 700 元(外加 接線費 1,500 元；設 定費 200 元)	高頻寬,通訊量大，衰 減小、傳輸距離遠、 監控點偏遠建置費用 高。使用在山區很易 於因為光纖斷裂而失 效。
WiMAX	最大 70M	2-6 GHz	可	全球 一動	目前業者仍在建置 中，收費機制未建 立，未來需與業者以 專案配合。	傳輸距離長（最長可 達 50 公里，實測 2-5 公里）網路涵蓋範圍 廣高頻譜效率、高傳 輸速率。唯目前廠商 已退出市場，另可考 慮固接 WiMAX 系 統，是具有發展性的 監測傳輸技術。
衛星 (VEST)	最大 128 kbps	4GHz\6G Hz (C 頻)	佳	中華 電信	衛星 VSAT 設備架 設費用每站 600,000 元 VSAT(512Kbps/512 Kbps)月租費 35,000 元	適用於長距離或不便 佈線的場合。通信範 圍大、信號易有延 遲，傳輸延遲時間約 270ms，易受干擾。 10GHZ 以上容易受天 候影響。

GPRS	最大 115 kbps	1800MHz	可	中華、 臺灣、 遠傳	月租費 1,100 元 (含 國內 75 萬封包之資 料傳輸量，上限費率 4,000 元)	高網路延遲、封包易 遺失、連線易中斷。 封包交換技術，頻道 並非獨佔，而是讓大 家共用，當多個感測 器同時使用時效能就 會下滑。
3.5G	最大 144 kbps	5MHz	可	中華、 臺灣、 遠傳	無限上網月租費約 850 元	部署容易、建置快速 涵蓋範圍仍有限，圖 像顯示效果不佳。

由表 6-2 可知，有線通訊方式雖然有成本低，通訊品質不受天候干擾，且頻寬較大等優點，但對於在山區道路預警監測之適用性而言，則需多做考量，如中華電信的基礎設施配合度，以及邊坡運動是否容易使有線設施損毀，導致通訊中斷等。而無線通訊方式雖可以全天候的傳輸，設備對於惡劣氣候耐候性亦較佳，但目前其昂貴的通訊費用則是在成本考量下較難克服之困難。因此，對於山區道路預警監測之最佳化配置，建議應建置主、輔助兩種不同的傳訊方式，一方面可作為備援，另一方面對於監測品質將可有效提升。

NEC 於 2010 年推出最新精簡型無線傳輸系統 (ePASOLINK)，具有高達 2.5Gbps 的超高速連結傳輸量。該系統與光纖網路相比，在人口稠密的區域顯得更有經濟效益，此為設立用來進行行動通訊的網路。目前無線通訊技術發展已越趨成熟，但是仍有速度越快，越易受干擾的瓶頸。過去所常用的通訊方式，目前多已漸淘汰。因此，思考在更先進的通訊傳輸方式應用在自然災害監測應是未來的重點方向，例如目前正發展的固接式 WiMAX，其不僅傳輸量大，相對亦不易受干擾。為其穩定性及耐候性仍須經實際驗證得知。

### 3. 資料儲存、展現單元

山區道路邊坡監測系統攸關用路人使用道路時安全性，同時亦牽涉整體防救災決策擬定，涵蓋層面甚廣。因此，為了能夠使整體系統穩定性提昇，系統規劃上分為四個部份，分別為資料接收層、整合層、展示層及資料儲存層，如圖 6.3 所示。

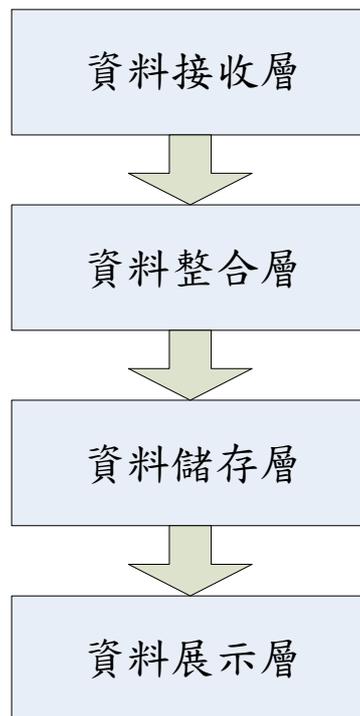


圖6.3 系統規劃層級圖

### (1) 資料接收層

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

#### a. 資料擷取模組

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

#### b. 資料傳輸模組

資料傳輸模組負責將資料擷取模組所處理完成資料，透過傳輸設備傳送回監控中心。

## (2) 資料整合層

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

## (3) 資料儲存層

資料儲存層主要將監測站所接收到的各種監測儀器資料經系統歸類儲存以累積各監測站之歷史資料，提供未來進行現地研究之重要資料來源。資料儲存層規劃上將使用大型資料庫軟體(如 MS SQL Server 或 Oracle)儲存大量監測資料，一方面可藉由資料庫軟體高效率存取能力提供資料使用性，另一方面可藉由資料庫軟體完善的資料管理能力提高資料安全性。

## (4) 資料展示層

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

### a. 網頁展示模式

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

#### b. 無線通報模式

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

### 4. 電源供應單元

#### (1) 電力部分

以 UPS 搭配加大蓄電池，一般時期 UPS 直接取用市電，既可穩壓另一方面充電蓄電池，預算許可的情形下資料接收中心皆應建置一台 5KW 發電機以作為備援電力來源。

#### (2) 用電取得

資料接收中心電力依程序向當地台電申請，並配置獨立電錶，所有設備、儀器之電源供應由最近之電源端頭拉標準 cable 連接，並配合 UPS、發電機及蓄電池使用。一般時期由市電供應電力，災害發生時若對外電力損毀則由備援電力供應。

#### (3) 遠端控制電力

有鑑於部分儀器必須重新啟動或遠端控制其電力開啟時間，每個資料接收中心應配置一台電源管理器，其可設定排程驅動必要的設備可定時開、關機或重新啟動，而控制介面除由 WEB 進入外亦可使用衛星電話以傳統電話音控制。

## 6.2 臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃

為確實避免豪大雨導致道路邊坡破壞，進而影響行車用路安全，目前規劃之監測設備，希望配合易致災性分析結果，以雨量為主要監測預警值，並搭配長期的土壤含水及土壓或地滑計監測數據，未來除可作為預警功能之外，亦可了解當地降雨與土壤含水關係，以做為未

來進一步分析研判。監測系統於規劃階段除針對雨量進行紀錄，再依據現地歷史道路災害頻繁處進行監測系統之規劃與執行外，需合宜地應用監測與預警系統，以確實掌握現況、降低災害。此外，對於山區道路災害類型區分為土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失三大類，其中土石坍方為上邊坡災害，出現頻率最高，臺 18 線之道路災害中有 86.72% 皆屬此種破壞方式，臺 21 線更高達 91.06%，影響用路安全甚鉅。路基下陷或缺口與路基流失屬於下邊坡災害，發生頻率相較於土石坍方的發生頻率來的低，因此本研究規劃之監測重點為土石坍方之災害模式，密切注意山區道路上邊坡的穩定狀況。

本研究經易致災性分析結果並比對歷史災害資料，如圖 6.4~6.7 所示，其中臺 18 線為 15K~30K、30K~45K、45K~60K、60K~75K 以及 75K~90K 路段災害較多，於臺 21 線為 0K~20K、80K~100K、100K~120K 以及 120K~140K 亦然。又以臺 18 線之 20K、42.5K、55K、63.5K 以及 80K 處，臺 21 線之 6K、12K、95K、114K 以及 127K 處為兩線歷史災害高危險段中災害發生數量最多處。然囿於監測設備建置經費所需經費不貲，本研究建議先期可挑選四處作為監測點，後續再逐年建置。因此，依據前述易致災性分析成果，本研究規劃以臺 18 線 20K 與 63.5K 處，臺 21 線 12K 與 114K 處做為重點監測處，實施監測系統規劃。如圖 6.8~6.11 所示。監測站具備三種物理量之監測系統，其中包括雨量計、土壤含水量計(視有無擋土工程而定)及土壓計。將可於颱風或豪雨來臨時，利用即時監測系統傳輸相關數據，透過長期監測資料，分析雨量與含水量特性，進而作為修正監測管理值之參考。各監測量應注意事項如下：

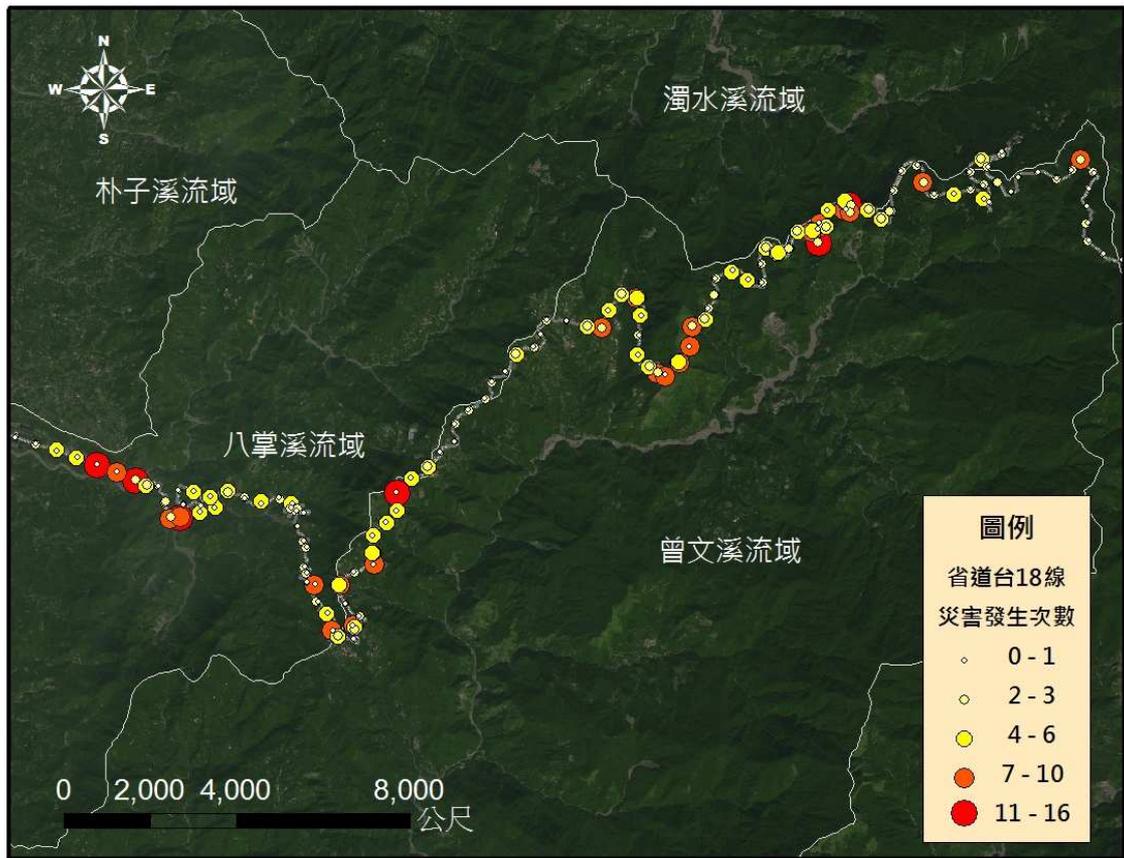


圖6.4 臺18線山區道路歷史災害數量分布圖



圖6.5 臺21線山區道路歷史災害數量分布圖(圖一)



圖6.6 臺21線山區道路歷史災害數量分布圖(圖二)



圖6.7 臺18線與臺21線山區道路高易致災路段圖



圖6.8 臺18線20K處監測儀器配置圖

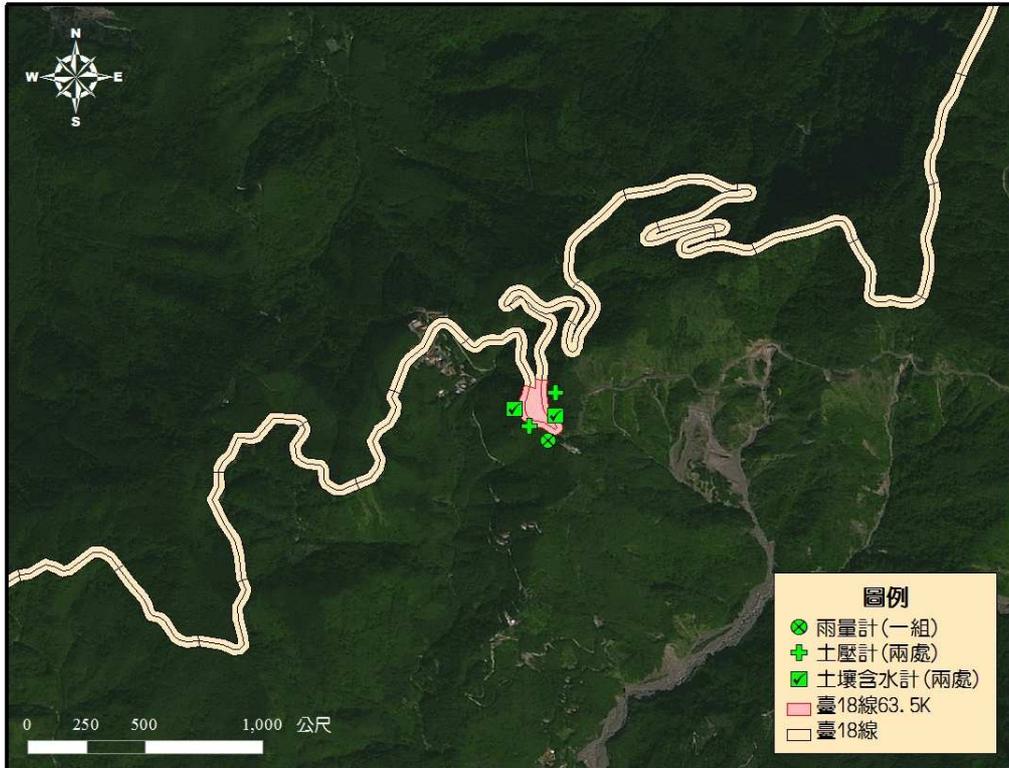


圖6.9 臺18線63.5K處監測儀器配置圖

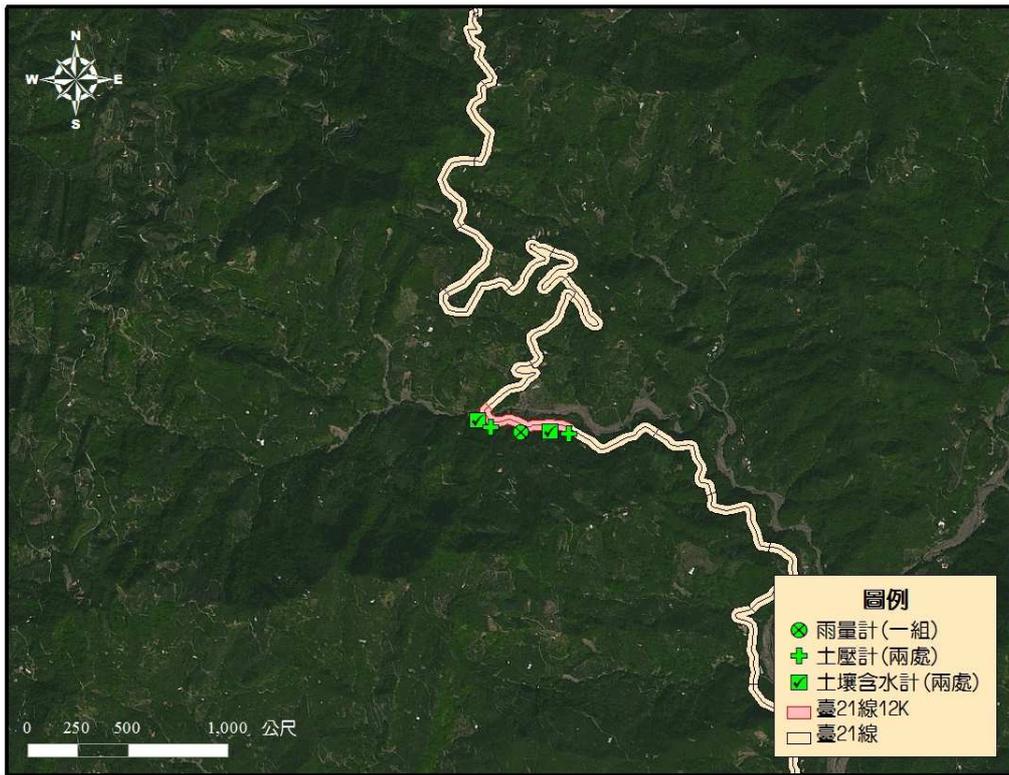


圖6.10 臺21線12K處監測儀器配置圖

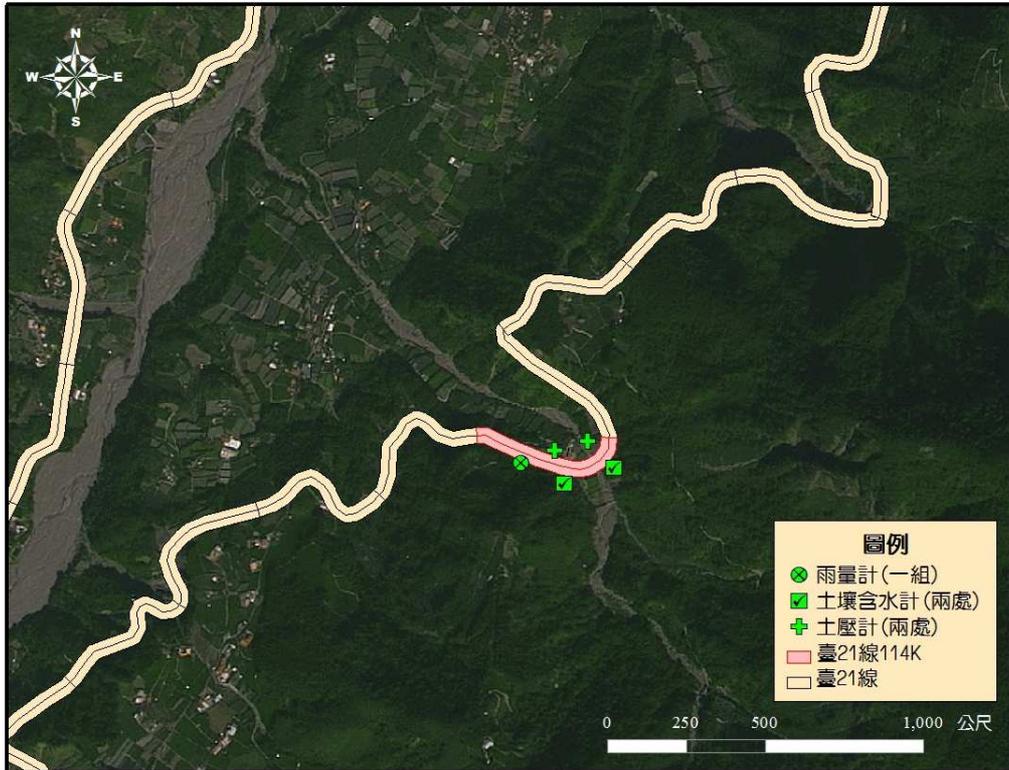


圖6.11 臺21線114K處監測儀器配置圖

## 1. 雨量計

在本研究的危害度與易致災性分析中，降雨量為主要之山區道路災害驅動因子，為了收集現地雨量資料做為山區道路致災機率之研究，因此雨量計的設置地點能否反應出致災當時之降雨量為監測之重點，每處監測點規劃一座雨量計。本研究雨量計設置地點有下列考量：

- (1)鄰近崩塌地。
- (2)設置地點開闊，附近無高大喬木生長。
- (3)雨量計設置於圍牆或紐澤西護欄時，雨量計開口應高出圍牆或紐澤西護欄。
- (4)設置地點宜避開持續崩塌地或易遭崩落物淹埋處。
- (5)附近有適當掩避地點，研究設備便於藏匿，避免遭竊與人為破壞。

一般雨量計設置於氣象觀測坪上，設置環境為了能在不受干擾的情況下確實反應實際之現場降雨情況，其設置條件如下：

- (1)地勢平坦寬闊，排水良好，無積水之患，並避免人煙密集的地方。
- (2)地面鋪種淺草並需經常修剪，保持適當長度，不可使用水泥地、石子地或裸地。
- (3)不可設於靠近陡坡、山脊、懸崖、山谷及凹地或不便瞭望處。
- (4)足以影響氣象之巨大建築物、溪流、湖泊及密林均應遠離。
- (5)四周如有障礙物，觀測坪與障礙物指距離應至少為障礙物高度之四倍以上。
- (6)觀測坪之面積視安置儀器多少而定，普通長 10 公尺，寬 8 公尺即可夠用。
- (7)觀測坪四周為以稀疏之矮木柵或竹籬，如用鐵絲網更加，以免閒人或牲畜闖入毀損儀器。

(8)觀測坪如為方形，以正南北向為佳，裨益於辨認方向。

然而雨量計的設置地點為山區，建議臺 18 線與臺 21 線雨量計設置場所條件如下：

- (1)避免強風吹襲之地帶。
- (2)避免上升氣流之地帶。
- (3)半徑 50m 內為開曠地。
- (4)考慮通信、維護之方便。
- (5)考慮地形、高程因素，需具代表性。
- (6)避免設置於屋頂、山脊。

由上述之設置條件與本研究山區道路旁所設置雨量站比較，發現本研究設置基本條件與一般雨量站設置條件有若干差距，所量得之降雨量將受到山坡地地形、障礙物、風向等影響，且雨量計設置地點可能無法取得土地使用權，可能只能利用山區道路旁有限空地設置雨量計，需經現地評估各項設備及系統通訊、用電之可行性後再做調整。

## 2. 土壤含水量計

降雨是引發山區道路崩塌災害的因子，水激發土石坍方的力學機制是經由入滲，降低土壤內固體顆粒的摩擦力與凝聚力，並增加土壤內的孔隙壓力，減少土壤內的有效應力。當水持續入滲，孔隙壓力逐漸增加，有效應力趨近於零時，使得上邊坡的土石滑落。到底需要多少水才會使土壤液化，這與土壤成分、結構、臨前含水量及入滲強度等條件有關。由於山區道路災害都發生在山區，要量測土石坍方發生前道路邊坡土體的孔隙水壓及地下伏流水狀況困難度很高，降雨資料的取得相對較為容易，因此在過去的研究中，大部份都藉由土石坍方之前的降雨量(前期降雨)來說明土體的含水狀況(即孔隙水壓)，間接探討土壤含水量與土石坍方之關係。

由於本研究易致災道路之影響因子以地層因子為重要考量，未來配合長期現地監測資料，律定土壤含水參數來了解現地土壤條件，輔以土壓計觀測，將可作為後續應變作為的啟動依據。因此，目前規劃每個監測點共設置兩處土壤含水監測，每處依土層深淺設置兩座土壤含水量計。共計四支。

需特別注意的是，土壤含水量計感測器受附近電場影響分佈，當電磁波進入電介質中時，所求出視介電常數，並非整體土壤之介電常數，而是具有一定範圍內部分區域土塊權重較高、較具代表性。同時要注意土壤含水量計的設置範圍內不要有金屬物體在附近，避免對測量結果產生干擾。溫度將對電介質材料之介電常數值造成影響。溫度上升時，水的介電常數會下降。因此，如進行土壤長時間或季節性含水量變化之監控，也必須將溫度納入探討範圍，需注意量測到的是季節性溫度變化還是含水量的變化。

### 3. 土壓計或地滑計

土壓計又稱為總壓力計，設計用來量測堆填體內部總壓力分佈，或土體與混凝土或其他剛性結構物接觸壓力大小之儀器。一般可將數個總壓力計於水平方向排成一列，以測定堆填體內部拱效應之大小，或將數個總壓力計不同角度埋設在同一處，以測定該處之應力狀態。土壓計之安裝目的在於量測大壩填方在施工時及蓄水後之應力狀況，作為評估壩體安全之參考。

土壓計由背板、感應板、信號傳輸電纜、振弦及激振電磁線圈等組成，是除了可量測土壓力變化外，部分設計可同步量測埋設點的溫度，可長期持續放置於土壤中進行監測工作。可用以監測土石壩、土堤、道路邊坡、道路路基等結構物內部之土壤壓力變化。

當待測土壤內部應力發生變化的時候，土壓計感應板同步感受壓力變化，感應板將會產生變形，變形傳遞給振弦轉變為振弦應力變化，導致振弦的振動頻率發生變化。電磁線圈激發振弦並量測振弦之振動頻率，頻率訊號經電纜傳輸至量測系統，記錄土壤內部應

力變化。

地滑計主要由一鋼製可轉動之圓盤及電壓測讀主體所構成，圓盤邊緣設有溝槽，上跨鋼鋼線，鋼鋼線一方連接一重錘設於邊坡上方之假設不動點，另一方則固定於斜坡上之滑動區內。當邊坡滑動時鋼鋼線隨著土體往下邊坡拉扯，圓盤亦跟著轉動並改變測讀系統之輸出電壓。

除此之外，各監測站尚需包含控制系統、傳輸系統、儲存系統、電源系統及建置展示系統。由於監測伺服器必須在服務期間內 24 小時不間斷運作，需要配合穩壓器以及不斷電模組保護監測資料安全。各站監測設備詳如表 6-3。此外，規劃之監測系統之取樣頻率，前端(現地)皆為每分鐘取樣一次，後端則每 5 分鐘儲存一筆資料(資料庫)。而對於監測傳輸系統之選取，則取決於監測之目的及所採取的監測元件、數據量及傳輸方式。整體而言，目前監測站所規劃之雨量計、土壤含水量計及土壓計所需流量並不大，通訊介面應無須採用昂貴的衛星或微波。在考量現地環境可及性、穩定性及經濟性下，建議以 ADSL 或光纖為最佳通訊模式，若經現地實測無通訊中斷之虞，亦可考量以 3.5G 無線網路傳輸。

表 6-3 監測站儀器數量一覽表

項次	監測系統儀器設備	數量	備註
1	雨量計	1	
2	土壤含水量計	4	
3	土壓計	2	

此外，監測系統於安裝後須以例行巡檢的方式維護監測系統儀器與設備之功能，檢核感測器量測物理量之正確性。儀器維修及保養時程可分為定期保養及不定期保養，其主要保養項目如下：

### 1. 功能測試

工程師赴現場，將自動監測系統改為手動操作方式，操作設定的資料蒐集系統，紀錄並列表，查看每一個頻道的資料是否正常，

軟體運作是否正常，輸出波形、電壓是否正常，並逐一比對安裝完成時的原始資料。

## **2. 校正測試**

部分可做校正之儀器，可輸入必須的測試訊號，將輸入與輸出的訊號做一次比對，若兩者的差異不大，則可視為該儀器式功能正常的。反之，則需對該組儀器做一次檢查，以查出是為何原因，造成訊號的不正常，並藉此將儀器做校正或修理或更換，以保持整個監測系統的正常運作。

## **3. 傳輸測試**

與遠端的傳輸單位連線（即資料蒐集單位或是處理單位）測試數據機連線是否正常，並記錄一筆現地的資料，並將傳輸結果存檔。

## **4. 電源供應測試、檢查**

以三用電表檢測供應電源是否正常，必須檢查太陽能電池與太陽能板控制器是否正常，並測試不斷電系統之免保養電瓶充電及輸出是否正常，若有老化則應提早更換。

## 第七章 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

公路總局今年已將預判、部署、預警、應變等四階段為山區道路防災預警應變機制之重點，並修訂以往之管理觀念，為求服務導向，不再被動式的等候通報，改採主動告知預警訊息並提前應變。為將各道路災害防救單位由單兵作戰擴展至聯防，提升為全方位掌控防救災資訊動態及與橫向聯防單位之無縫通報聯繫，整合所有區域內「山、河、橋、路」之主管機關（公路總局、氣象局、水利署、水保局）防救災資訊及內政資訊（警消、戶政），山區道路防救災預警機制流程如圖 7.1 所示。

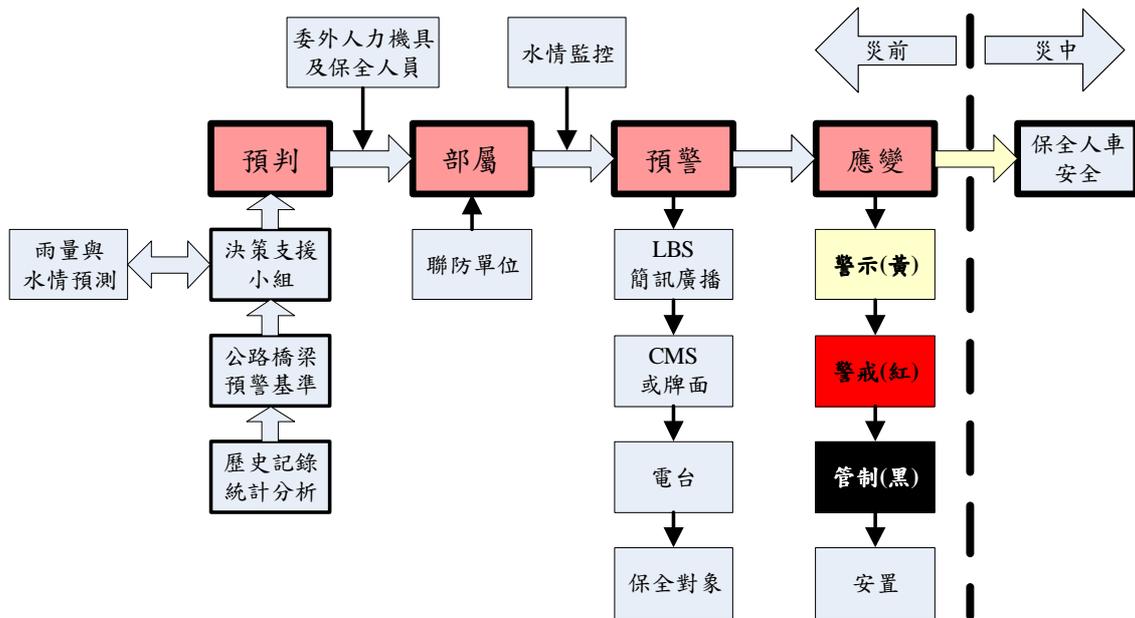


圖 7.1 公路預警機制 4 階段

### 7.1 國內山區道路災害應變機制與計畫

#### 7.1.1 國內山區道路災害應變機制

公路總局於民國 99 年 1 月 22 日完成修正「交通部公路總局封橋封路標準作業程序 (SOP)」，但是近年來氣候極端異常，使得原有作業

程序需進行更週延的考量。除特別巡查外，針對封路標準作業程序，已邀集各養護工程處開會研商，於民國 100 年 4 月 30 日補充修訂完成，正式將危害度分析所得之「降雨觀測指標」、易致災性之「風險管理」、監測系統規劃之「重點監控路段」、等觀念納入標準作業程序內，並已於 4 月 14 日完成該 SOP 修訂工作。

該 SOP 中重點監控路段預警、警戒、行動降雨觀測指標之標準，除時雨量外，業已將最前端之預警值納入 10 分鐘累積雨量為參考，避免無法預測之短時間強降雨所帶來的衝擊，期以較為精準謹慎方式，進一步保護民眾的人身安全。

公路防災預警應變機制在觀念上，以「流域管理」之概念，利用空間縱深之特性取得橋梁預警應變之前置時間。暨以「風險管理」之概念，利用統計公路歷史災情之風險值為基本架構，律定重點監控路段，並以其歷史降雨事件致災前之降雨特徵值為預警觀測指標，啟動保全機制，降低人員於該路段致災之機率。同時於標準作業程序方面，以預判、部署、預警、應變等 4 階段實施操作，並利用多重降雨觀測指標啟動預警應變 3 級制。以下針對 3 級降雨指標之定義、交通管制方式以及用路人資訊加以說明。

### 1. 預警等級(黃色警示)

- (1) 定義：氣象局發布劇烈天氣特報時預測降雨量達到降雨觀測指標行動值或實測降雨量累積達降雨觀測指標預警值時，可介定為此等級。
- (2) 交通管制方式：路段維持通行，並通報地方政府、當地派出所及管制站人員對現場進行警戒。
- (2) 用路人資訊：為因應可能因降雨規模而提升道路應變等級，用路人於收聽警廣時特別注意該路段管制應變訊息。

## 2. 警戒等級(紅色警戒)

- (1)定義：視各路段不同情形，當實測累積降雨量達降雨觀測指標警戒值以上，可劃分為此類等級。
- (2)交通管制方式：路段維持通行，惟可能出現零星落石及小規模土石坍流，並採隨坍隨清，管制點人員勸導遊客避免進入該區域。
- (3)用路人資訊：勸導近端用路人提早撤離，遠端用路人避免行經該路段。

## 3. 行動等級(管制封閉，黑色燈號)

- (1)定義：視各路段不同情形，當實測降雨量累積達降雨觀測指標行動值以上，可劃分為此類等級。
- (2)交通管制方式：路段封閉。
- (3)用路人資訊：發佈道路封閉訊息，請用路人前往安全停駐空間或緊急暫停空間或行走路況良好的替代道路。

目前公路總局第二區養護工程處轄區重點監控路段，於民國 100 年 11 月 17 日二工養字第 1001013829 號核定(第 22 版)，採多重降雨觀測指標啟動預警應變 3 級制，已本研究範圍為例詳見表 7-1。然而該表中並未對於臺 18 線與臺 21 縣所有路段建立雨量管理值。因此，本計畫透過易致災性分析，將管理值訂定之方式，初期建議以易致災性分析成果，建立 300mm(預警)、600mm(警戒)以及 900mm(行動)不同事件累計降雨量下之管理標準。經由臺 18 線與臺 21 線的危害度的變化，將可建議不同易致災性下之初步降雨量管理建議。未來則建議經由規劃建議之長期監測數據進一步檢討其預警、警戒以及行動值。各路段易致災性分布詳見圖 5-6~圖 5-11。

表 7-1 公路總局第二區養護工程處重點監控路段降雨管理值

各工務段、所	重點監控路段	行政區	緊臨或跨溪流名稱 (無則免填)	實體參考雨量站	預警值			警戒值			行動值		
					多重降雨指標 (一)(10分鐘雨量 (mm))	多重降雨指 標(二)(時雨 量(mm/hr))	多重降雨指標 (三)(連續 24 小時累積雨量 (mm))	時雨量 (mm/hr)	連續 24 小時累積 雨量 (mm)	水位(無 則免填)	時雨量 (mm/hr)	連續 24 小 時累積雨 量(mm)	水位(無 則免填)
信義工務段	臺 21 線 80K	南投縣	陳有蘭溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2 時	60	350	達便道 2/3H 時
		水里鄉											
		信義鄉											
信義工務段	臺 21 線 100K	南投縣	陳友蘭溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2 時	60	350	達便道 2/3H 時
		信義鄉											
信義工務段	臺 21 線 103K+500	南投縣	和社溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2 時	60	350	達便道 2/3H 時
		信義鄉											
信義工務段	臺 21 線 105K	南投縣	和社溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2 時	60	350	達便道 2/3H 時
		信義鄉											
信義工務段	臺 21 線 112K	南投縣	頭坑溪	新高口	10	40	250	50	300	-----	60	350	-----
		信義鄉											
信義工務段	臺 21 線 122K+600	南投縣	烏乾溪	新高口	10	30	50	40	70	-----	50	100	-----
		信義鄉											
信義工務段	臺 21 線 133K	南投縣	-	新高口	10	30	50	40	70	-----	50	100	-----
		信義鄉											
信義工務段	臺 21 線 134K+700	南投縣	-	新高口	10	30	50	40	70	-----	50	100	-----
		信義鄉											
阿里山工務段	臺 18 線 59k+100 便道	嘉義縣		阿里山	6	25	150	30	200		60	300	
阿里山工務段	臺 18 線 71k+100 便道	嘉義縣		阿里山	6	25	150	30	200		60	300	

以往防救災體系著重於區域聯防，惟全省有 34 個流域，25 個行政區，顯現流域劃分與行政區劃分並不對等，然而以近年來之災害類型，均係因風災挾帶超量豪雨而致災。然而，降雨後地表逕流之流經區域即為流域，流域內之降雨—逕流水—匯入野溪—匯入支流—匯入本流—出海等過程中，即造成大小規模不一之災害，而流域內之「山、河、橋、路」所對應之主管機關則分別為農委會、經濟部、交通部，管理機關則為水保局、林務局、河川局、公路總局等單位。因此，整合上述單位防救災資訊於共同平台分享，進而以「人」為保全標的，分析研判各自主管事項之災害及與其他機關之防救災協議事項，整合為一、共同防禦，即為『流域聯防』，由於各管理機關各自擁有歷史災情資料庫，因此可透過流域聯防體系發佈地方政府所屬聯防之預警通報。

公路總局為流域聯防體系成員之一，主管公路與橋梁，依據歷史災害記錄與經驗，於防救災期間分災前、災中、災後等階段循序統整出決策支援資訊，以利指揮官更快速下達正確之指令，重要決策支援資訊如下；

1. 降雨集中區域研判及重點警戒流域。
2. 重點警戒流域聯防事項。
3. 單日累積雨量達 500 毫米以上，可能因公路阻斷 2 日以上，造成孤島地區及人數。
4. 重要觀光風景軸線團客動態。
5. 橫向聯防單位協議事項如下；
  - (1)觀光局：重要風景觀光軸線，於啟動預警階段時，即應同步啟動與觀光局之聯繫平台：
    - a.發送道路訊息予觀光局通報專線俾利傳遞予導遊工會、旅遊業者。
    - b.篩選降雨區域之團客名單並發送道路訊息。

c. 遇人車受困時，取得聯繫並引導至安全停駐空間等候救援。

(2) 高公局：

a. 於隧道強制廣播前方省道道路訊息。

b. 於高速公路 CMS 系統播送前方省道道路訊息。

(3) 中華電信：啟動 LBS 播送道路訊息。

(4) 氣象局：QPESUMS 劇烈天氣監測系統未來 3 小時熱線諮詢。

(5) 警消單位：協助配合預警應變作為實施路段管制，維持用路人駕駛安全。

(6) 國軍及內政部空中勤務總隊：若發生居民受困事件時，請進行救援，派遣軍官兵、救援機具、直升機以陸空方式進場受創地區進行緊急救災。

(7) 縣府民政單位：因災害而可能形成孤島之虞路段，應事先擬妥備糧、撤村等因應計畫，並請事前宣導。

(8) 縣府應變中心：工務段接獲轄區邊緣路段災情通報訊息，因路程遙遠而無法迅速前往搶救災時，除工務段搶救災人員仍依規定出勤救災外，另請再通報轉相關救災單位支援或當地派出所。

(9) 流域內各橫向聯防事業單位(水利署、水保局、林務局…)：藉由公路為防救災物資運補路線之聯防單位，請特別注意本局利用雨量站監測實施公路預警應變管制作為，提前因應。

山區道路防災整備方面，可分為觀念、作法以及硬體設備三方面作為，如圖 7.2 所示，其中紅色粗框為 100 年新增策進作為。顯示除了整合各單位聯防及防災資源外，對於非工程防災措施以及如何納入新型防災科技成果，將是未來的重點。

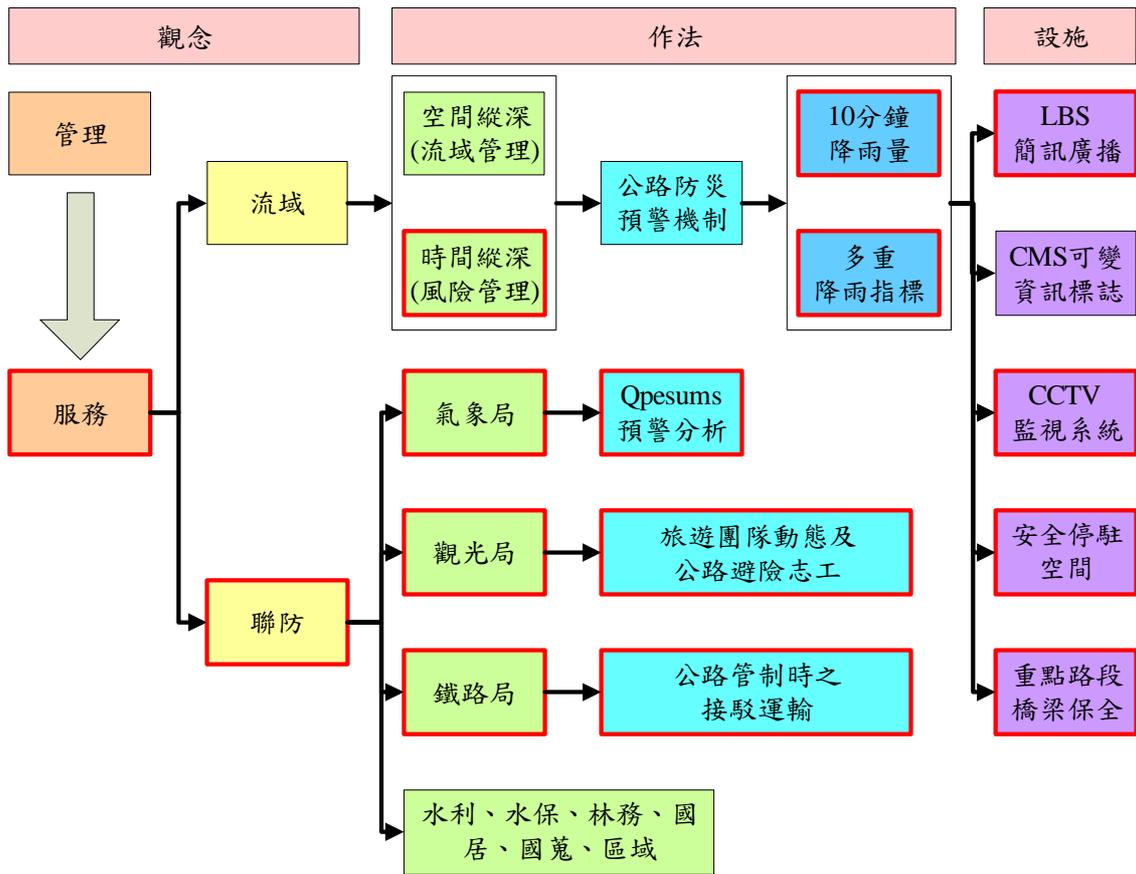


圖 7.2 100 年新增策進作為(以紅色粗框標示)

### 7.1.2 國內山區道路災害應變計畫

一般而言，防救災管理區分為減災、整備、應變及及復建四個階段。目前公路總局針對國內防救災預警機制，已明確將應變計畫分為「災前整備」、「災中應變」及「災後復建」等三個階段。分述如后：

#### 1. 災前整備

本階段主要的實施工作係以崩坍易發生率等潛勢分析模式進行災前(平時)的災害潛勢分析。密切注意中央氣象局發佈之劇烈天氣特報，於特報中預測颱風侵臺前 3 日時，檢視颱風可能路徑造成之山區道路歷史災情記錄，由記錄中發生災害路段與災害類型判斷應進行之預警封路作為。若本次降雨量超過歷史記錄，可能導致災情擴大，則考慮增加管制路段。聯繫其他聯防單位，於 2 小時後與各工務段進視訊會議，研商警戒區域與災害規模。颱風侵臺前 2 日啟動

區域聯防機制，召開應變協商會議。海上颱風警報發佈前，成立防災應變小組。

## 2. 災中應變

本階段是在災害發生時，依災害之類別與強度，搜尋潛勢分析資料庫中對應之分析結果，作為後續緊急應變作業之依據。供業務管理單位作為災後山區道路緊急安全性調查先後順序之參考依據。按分析結果，道路養護管理單位應隨即展開災後山區道路緊急安全性調查，持續監看降雨量與水情，並隨雨量修正應變等級此階段分為三步驟：

- (1)災情蒐集：持續監看降雨量等基本資料。
- (2)緊急調查：迅速掌握高易致災路段受損情形。
- (3)緊急措施：根據緊急調查所採取可通行、管制通行與禁止通行等，並針對受損道路狀況提出替代道路方案。

## 3. 災後復建

中央氣象局解除劇烈天氣特報，天氣狀況較為穩定後緊急復原分為兩步驟：

- (1)緊急評估：主要的實施工作包含實施初步維修方針及安全等級分類而進行之調查作業。
- (2)緊急復原：防止災害持續擴大及快速搶通機制，對災害路段採取快速臨時性緊急復原的補強措施。

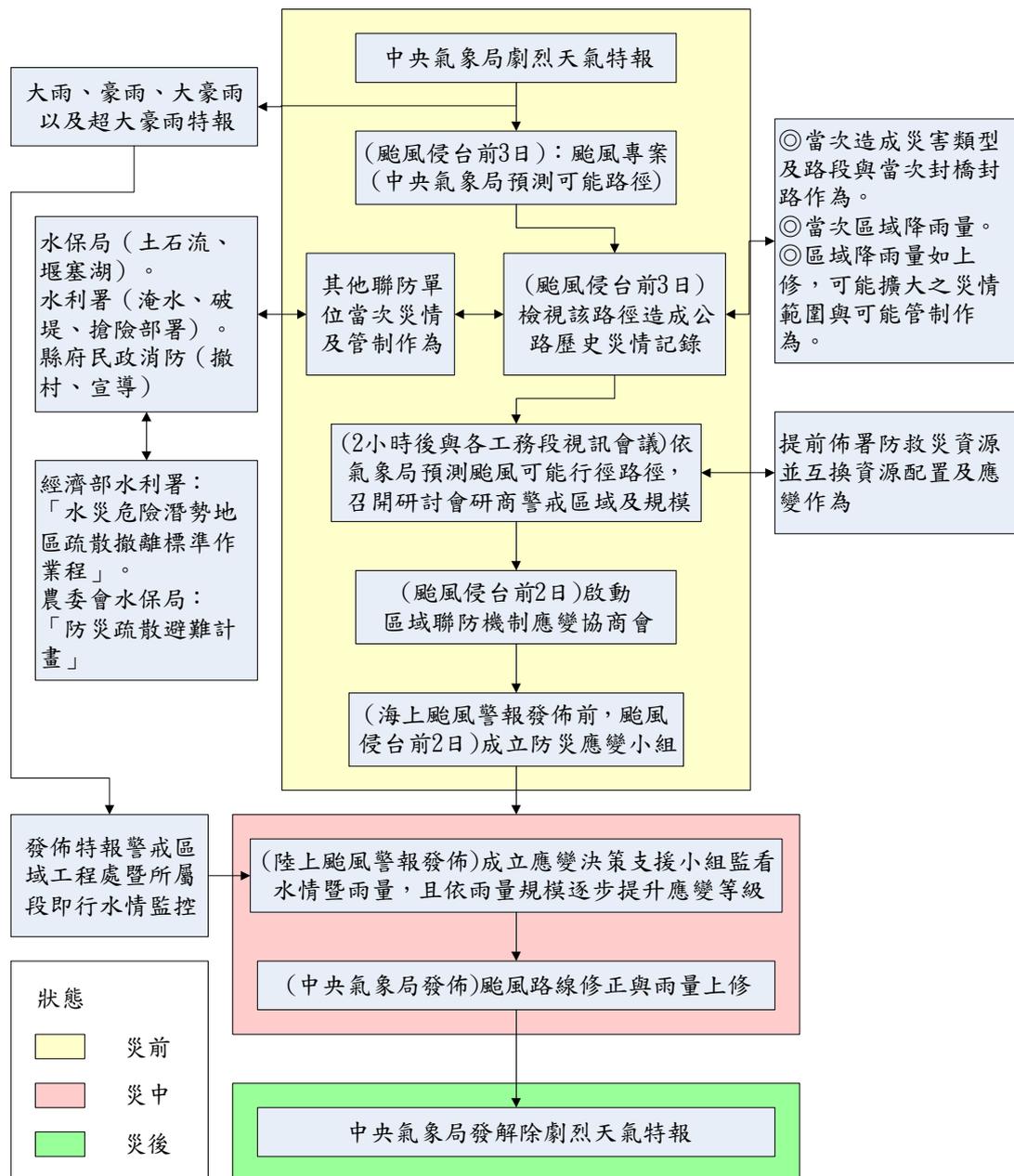


圖 7.3 公路防救災預警機制流程圖

## 7.2 易致災路段之應變計畫

本計畫之主要目的，除了彙整國內山區道路災害類型，並研提易致災路段災害應變計畫。依據前述公路總局制定之標準作業程序，以及「災害防救基本計畫」與「陸上交通事故災害防救業務計畫」之概念，參考交通部公路總局「蘇花公路改善工程處緊急應變計畫」內容。

## 7.2.1 執行計畫之依據及目的

### 1. 計畫執行依據

- (1) 災害防救法及其施行細則
- (2) 行政院「災害緊急通報作業規定」
- (3) 交通部「陸上交通事故災害防救業務計畫」
- (4) 交通部「災害緊急應變小組作業要點」
- (5) 交通部「災害緊急通報作業要點」
- (6) 交通部「工程災害緊急處理原則」
- (7) 交通部公路總局「公路重大災害緊急應變作業要點」
- (8) 交通部公路總局「公路總局災害現場指揮體系」標準作業程序

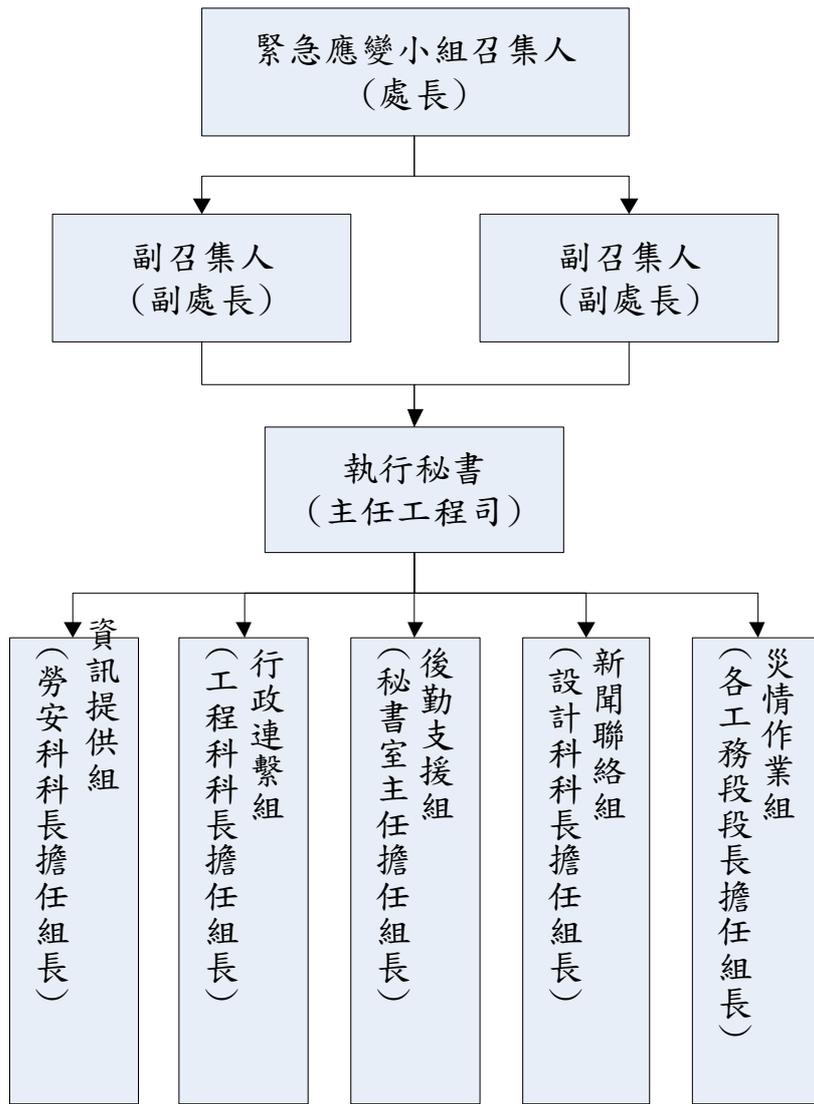
### 2. 計畫執行目的

健全既有災害防救體系，強化災害防救功能及緊急應變措施，有效執行災害搶救、通報及善後復原重建處理，期能提高各工務處及工務段同仁對防災及救災之應變能力，達成災害防災減災、應變整備以及災後復原重建之目的。

## 7.2.2 各項災害及緊急事故處理作業

### 1. 工程災害緊急應變小組組織架構以及任務分配

工程災害緊急應變小組於工程處方面，小組召集人、副召集人以及執行秘書分別由該工程處之處長、副處長與主任工程司擔任；其下分為「資訊提供組」、「行政聯繫組」、「新聞聯絡組」、「後勤支援組」以及「災情作業組」組長分別由勞安科科長、工程科科長、設計科科長、秘書室主任以及各工務段段長擔任，如圖 7.4 所示。各小組成員之任務執掌，如表 7-2 所示，其下各組之任務分配如表 7-3 所示。



7.4 緊急應變小組組 (工程處)

7-2 工程處緊急應變小組任

工程 緊急 應變小組		任 工	
召 集 人	處 長	緊 急 處	工 處 緊 急 應 變 處 ( )
副 召 集 人	副 處 長	緊 急 處	
執 行 秘 書	主 任 工 程 司	緊 急 處 執 行 訊	
資 訊 提 供 組 長	資 訊 主 任	處 資 訊 提 供 任	
行 組 長	工 長	處 行 任	
組 長	秘 書 主 任	處 任	
組 長	長	處 任	
組 長	工 長	處 任	

表 7-3 工程處緊急應變小組任務分配

組別	負責單位	小組任務
資訊提供組	由資訊中心主任擔任組長，工務課及勞安課協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 維護及建置本局網站中之最新訊息與通阻查詢項目。</li> <li>2. 檢核災害現場通報資料之完整性及後續通阻情形之確認。</li> <li>3. 辦理本處、交通部緊急應變小組及中央災害應變中心指示交辦事項，並彙整辦理情形陳報。</li> <li>4. 支援各小組電腦操作及相關資訊問題。</li> <li>5. 臨時交辦任務。</li> </ol>
行政聯繫組	由工務課課長擔任組長，勞安課、秘書室、人事室及政風室協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 擔任本處緊急應變小組與各級單位之行政聯繫工作。</li> <li>2. 負責本處緊急應變小組之各組別聯絡與協調事項。</li> <li>3. 臨時交辦任務。</li> </ol>
後勤支援組	由秘書室主任擔任組長，勞安課、會計室、用地課及工務課協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 負責災害現場及各工作小組所需資源及物資之聯絡與提供。</li> <li>2. 相關後勤支援之提供。</li> <li>3. 臨時交辦任務。</li> </ol>
新聞聯絡組	由勞安課課長擔任組長，工程課及資訊中心協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製作及發佈新聞稿。</li> <li>2. 注意媒體報導，如對該災害相關訊息有不實之報導，立即向該媒體反映並要求更正。</li> <li>3. 臨時交辦任務。</li> </ol>
災情作業組 現場指揮官	由各工務段(所)主管擔任現場指揮官，工務段(所)人員協助辦理。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 災情蒐集及災害搶救之指揮、統籌、協調及請求災害現場各項救災資源的調度及彙整與陳報。</li> <li>2. 定時查填網路災情通報系統及指揮所屬組員適時依本局災害通報程序及交通部災害緊急通報作業要點規定辦理通報。</li> <li>3. 繪製「工程災害地點示意圖」電腦圖檔，並上傳公路總局網站與救災指揮中心。</li> <li>4. 評估災害現場之情勢及救災工作進度，適時下達解除全部或部分各項救災資源配置及各編組任務命令。</li> <li>5. 擔任或授權指定人，為災害現場救災工作進度及</li> </ol>

組別	負責單位	小組任務
		<p>救災運作情形發言人。</p> <p>6.對災害現場損害情形進行初步評估，依據應變計畫及作業要點，建立救災任務編組，並監督各編組確實執行救災工作。</p> <p>7.考量災害現場環境及安全等因素，決定是否於現場設立指揮所。</p> <p>8.災害現場如涉及聯合指揮救災，應隨時與其他機關救災工作團隊保持密切聯繫。</p> <p>9.得依災害型態、影響程度與救災工作進度，或因故無法執行職務時，指派副指揮官或其他適合人員代理，代理人對所代理之職責應負完成之責任。</p> <p>10.建立災害事件須優先處理的目標，適時向本處緊急應變小組召集人、副召集人陳報檢討結果，及修正目標順位。</p>
<p>災情作業組 現場副指揮官</p>	<p>由各工務所工程主辦工程司或經各工務所現場指揮官指派擔任</p>	<p>1.依現場指揮官指派，承接現場指揮官職責綜理救災業務。</p> <p>2.擔任各分組窗口聯絡人，彙整所有災情資訊提供給予現場指揮官作為決策參考。</p> <p>3.襄助現場指揮官，聯繫各任務編組執行救災工作，確保救災工作依計畫持續進行。</p> <p>4.依據事先擬定應變計畫，協助現場指揮官推動各任務編組應辦理事項，並持續追蹤辦理情形，將結果轉達現場指揮官。</p>
<p>災情作業組</p>	<p>由各工務所現場指揮官指派工務所同仁進駐擔任。</p>	<p>1.通知承包商派遣機具至災害現場進行搶修或修復作業，倘災害現場人員遇險有搶救之需要時，立即通報醫療或救護業務權責單位。</p> <p>2.規劃救災機具、車輛及司機之調度、派遣、輪休等管理事宜。</p>
<p>現場作業組</p>	<p>承包商負責交通管制及警戒組。</p>	<p>3.負責轉達搶救命令（含通知承包商利用各種器材設備、觀測儀器進行災害現場加固及監測，加強防範災害現場因突發事故所造成的二次災害），監看及通報現場災情處理進度。</p>

組別	負責單位	小組任務
災情作業組	由各工務所現場指揮官指派工務所同仁進駐擔任。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.視需要協請地方警力支援。</li> <li>2.依據指揮官指示，劃定現場警戒區，維持災害現場秩序，嚴禁非救災工作人員進入警戒線內，並確保救災工作不因外力因素而中斷。</li> <li>3.依據指揮官指示設置或撤除活動式紐澤西護欄、交通錐、拒馬、警告標誌，夜間時應加設警示燈及反光警告設施等交維設施。</li> </ol>
後勤支援組	承包商負責交通管制及警戒組。	<ol style="list-style-type: none"> <li>4.規劃替代道路，於重要路口設立警告及改道標示，並疏通及引導車輛、人員改道。</li> <li>5.利用警廣、媒體、機關網站、電話語音轉達用路人改駛替代道路。</li> <li>6.與工務所人員保持聯繫，並報告救援人員數量及位置。</li> </ol>
災情作業組	由各工務所災情作業組	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.與緊急應變小組後勤支援組互為協調辦理採購、供給及運送救災工作人員所需民生必需品、庶務用品等事宜。</li> <li>2.辦理災害期間經費編列及開支核銷及陳報事宜。</li> <li>3.紀錄災害發生歷程及災害現場工作狀態。</li> <li>4.準備發布新聞所需資料，並注意媒體報導，如有不實報導，應立即向該媒體反映並要求更正。</li> </ol>
行政聯繫組	組長指派工務所同仁擔任	<ol style="list-style-type: none"> <li>5.視需要連繫工程顧問公司、技師公會等專家學者到場評估受損程度及研擬修復方案，提供工程單位修復及專業救援意見。</li> <li>6.視需要通知轄區消防及衛生單位請求支援。</li> </ol>

工務段方面，各段段長除了在應變小組中處理災害搶救事宜等，同時對於他區或是本區其他相關工務段進行橫向聯繫之工作，並隨時掌控監造單位與承包商施工所之作業狀況，如圖 7.5 所示。

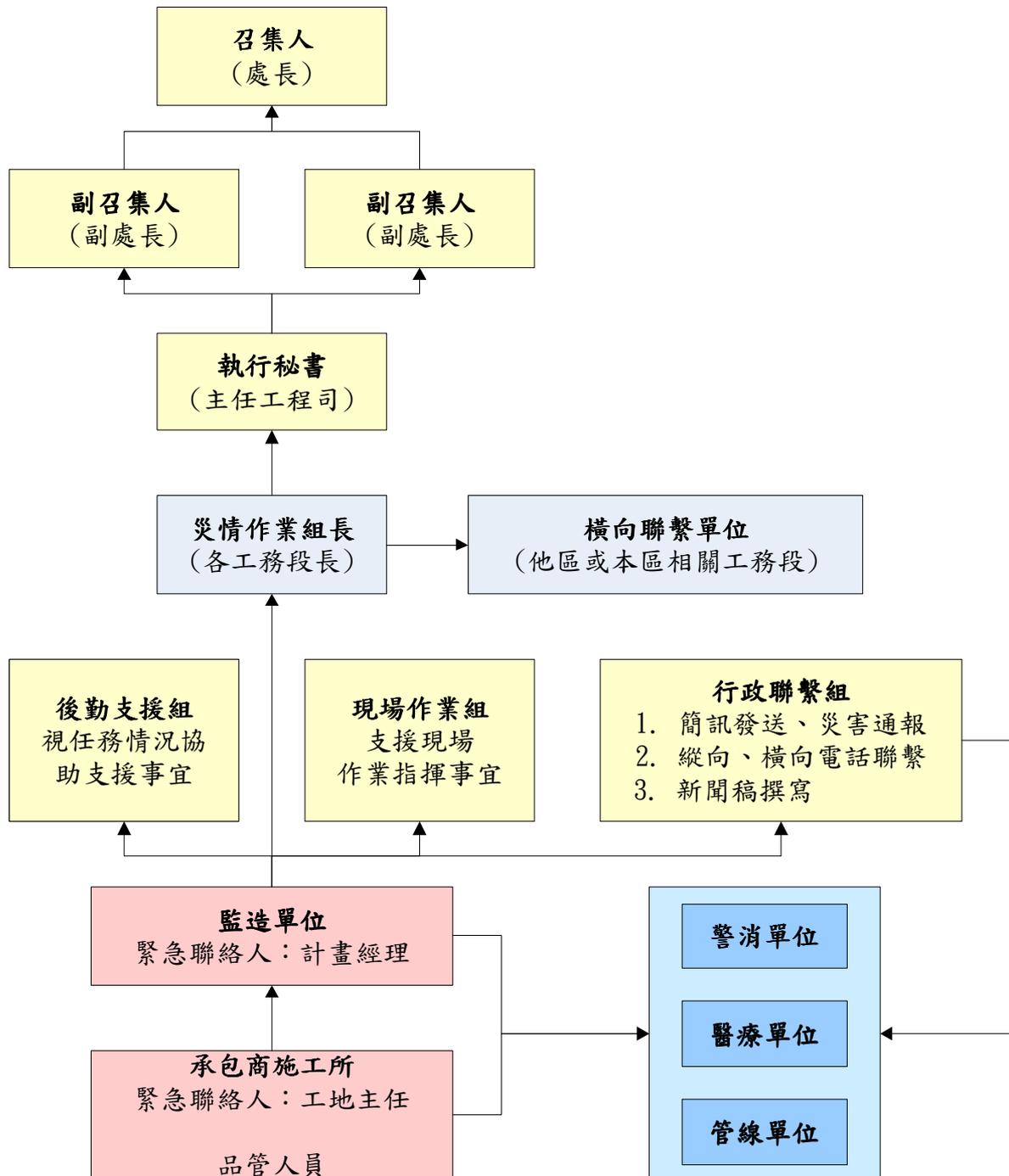


圖 7.5 工程災害緊急應變小組組織架構(工務段)

## 2. 緊急應變小組開設(及撤除)時機及流程

緊急應變小組應於災害發生或有發生之虞時即行運作，主動互相聯繫協調通報，並執行災情蒐集、查證、彙整、通報、災害搶救及救災資源調度等緊急措施，持續運作至災害狀況解除為止。

(1)開設時機：依據交通部公路總局民國 93 年 12 月 22 日路新施字第 0931003852 號函示，就下列事故研判認為具有新聞性、政治性、社會敏感性者，成立緊急應變小組，開設流程圖如圖 7.6 所示。

- a. 因人員、機械、設備、材料等不當的設施與管理，而引起人員及工地設施遭受損害；或天然災變致工程因而停頓延誤。
- b. 工程施工造成管線破損、桿線斷落、基礎或結構物塌陷龜裂傾倒、鄰房龜裂毀損或傾倒等情形嚴重者。
- c. 模板或灌漿工程塌陷、支撐挫屈變形下陷、大樑搬運或吊裝損壞、水中構造物或臨時圍堰損壞等情形嚴重者。
- d. 施工中工程或設施疑遭人為蓄意破壞或放置爆裂物等危險物品，有造成人員及工地設施損害之虞者。
- e. 所轄工區經交通部中央氣象局發布為海上颱風警報之警戒區域。
- f. 其他經上級指示應成立緊急應變小組因應者。
- g. 所轄工區如有人員傷亡(職災)時，依交通部公路總局民國 94 年 08 月 09 日路新勞字第 0941005015 號函規定通報。

(2)撤除時機

- a. 災變或事故之狀況已不再繼續擴大，或災情已趨緩和時，由小組召集人(指揮官)視情形裁示宣布縮小應變小組規模，或對已無執行應變任務需要者宣布解除任務。
- b. 於事件處理至狀況已穩定控制，進入後續處理階段時，經應變

小組召集人(指揮官)宣布撤除後撤除之。

- c. 因颱風來襲而成立緊急應變小組者，於陸上颱風警報解除後撤除之。

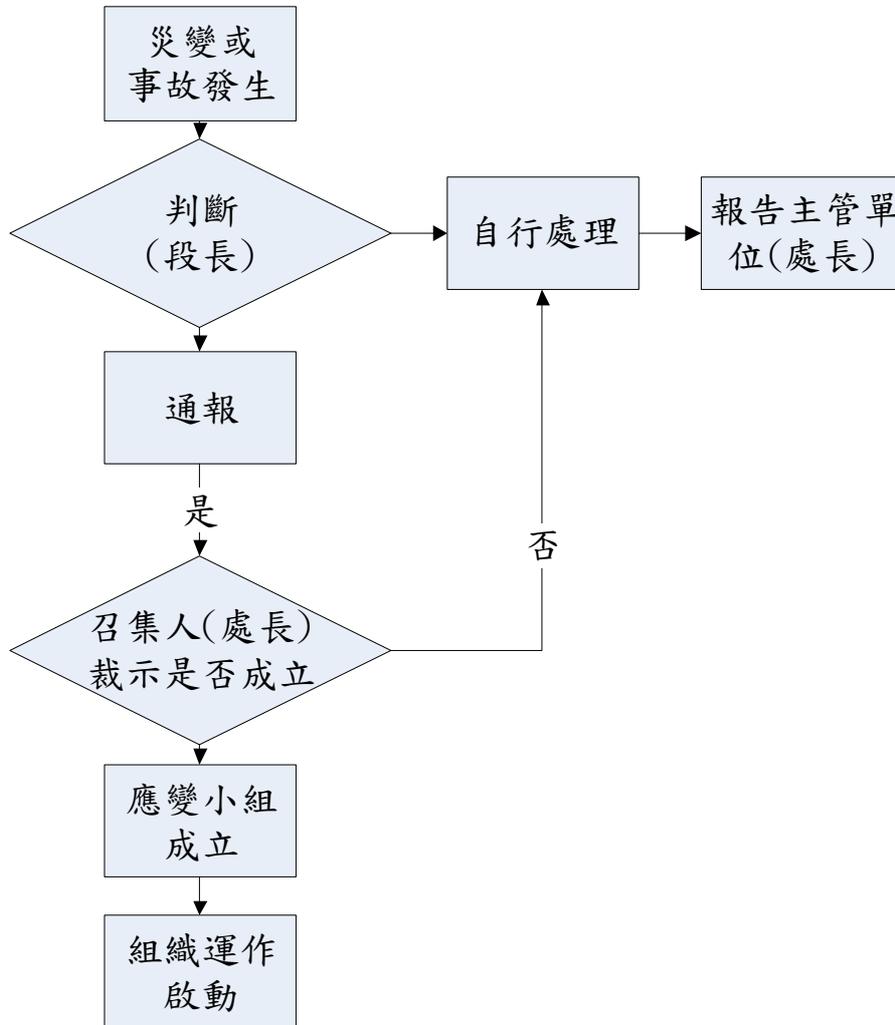


圖 7.6 緊急應變小組開設流程

### 3. 緊急應變作業程序

工程災害事故處置方式依據交通部公路總局民國 94 年 09 月 26 日路新施字第 0940042024 號函轉頒布「交通部工程災害緊急處理原則」辦理：

#### (1)通報

- a. 依據交通部頒「交通部災害緊急通報作業要點」辦理。
- b. 應督導承商主動辦理相關通報作業。
- c. 當工區發生工程災害事故或有發生之虞時，段長獲悉後應立即依「災害通報流程」於第一時間通報處長，並召集工務段人員成立緊急應變小組，迅速通知施工承包商及相關單位，採取各種必要之應變措施並防止災害擴大，搶救傷患減少人員(民)生命財產損失。

## (2)救災

- a. 處長應即指派指揮官進駐現場督導、連絡、協調。
- b. 承包商
  - (a)動員人力、機具、材料全力救災。
  - (b)洽請管線單位關閉電力、自來水、瓦斯等，以抑制災情擴大。
  - (c)請求消防隊協助救災與受傷人員就醫。
  - (d)請求警力協助維持工地鄰近之交通。
  - (e)成立協調小組辦理災民安置、慰問與撫恤。
  - (f)成立工務小組辦理災害監控與協助支援單位排除衍生性之危險。

## (3)復原

- a. 工程處；
  - (a)調查災害經過，並於一週內提報意外事件檢討報告書。
  - (b)邀集承商、受災戶及其他相關單位召開協調會處理相關事宜。
  - (c)邀集相關單位包括保險公司等，辦理災情調查與善後救助出

險事宜。

(d)提報意外事件結案報告書。

b. 承包商：

(a)與受災戶協商選定同意之鑑定單位，辦理鑑定工作。

(b)參加協調會並與受災戶儘速達成協議。

(c)辦理受災戶賠償事宜。

(d)提送工地復原與改善計畫。

(4)協議

a. 鑑定報告完成後，由處長召開協調會，協調受災戶達成協議，並依協調決議辦理後續結案。

b. 若未能達成協議，則商請當地地方政府機關或其他公正機關、調解委員會協助再行協調，至達成協議為止。若未能達成協議，則商請當地地方政府機關或其他公正機關、調解委員會協助再行協調，至達成協議為止。

如遇颱風、豪大雨時之處置方式如下：

(1)奉交通部公路總局電傳單指示(或處長指示)成立緊急應變小組，本處立即配合排定輪值人員(課長級或資深工程司)留守，並依「颱風豪雨防災準備機制」立即進行防災準備檢查之紀錄及統計。

(2)當豪大雨或海上颱風警報發布時，奉交通部公路總局電傳單指示(或處長指示)成立緊急應變小組時，本處即依權責排定輪值人員(課長級或資深工程司)共同留守。本處輪值人員則先由工程課排定輪值順序及製表(含行動電話及家中電話)，依順位通知值勤人員依相關規定辦理。本處所屬工務段緊急應變小組成員隨即進駐段，並通知所轄工程承包商施工所因應可能發行之災害及進行搶修(救)。

#### 4. 緊急應變工作要項（※按輕重緩急依序執行以下救災措施）

- (1) 災害發生時：災害通報、動員廠商進行搶救災工作、同時成立緊急應變小組，全力展開救援事宜。
- (2) 受災人員處理：
  - a. 受傷者：緊急送鄰近醫院急救。
  - b. 罹難者：即刻通知家屬善後，並予協助處理；協調當地檢察署儘速進行罹難者屍體相驗工作。
  - c. 蒐證：通報消防、警察、勞檢等機關進行鑑識蒐證，以備後續責任調查處理需要。
- (3) 安全維護警戒：本處人員視災情狀況決定於災變現場協助及配合警力設置警戒線，以利救災及鑑識調查工作進行。
- (4) 災害控制：防制災情擴大，避免二次災害發生。
- (5) 新聞發佈：如係重大工安事件，應發佈新聞稿刊登交通部公路總局網頁對外說明。如發現有媒體報導錯誤不實，應予澄清。
- (6) 善後檢討：於災情經控制趨於穩定緩和或無擴大之虞後，進行善後處理並檢討事故原因，防範未然。

本研究檢討前述公路總局災害應變作為，建議適合之山區道路易致災路段之應變計畫，應於災前針對不同階段之應變作為，予以更清楚的釐清，如圖 7-7 所示。尤其於災時應變階段，各分組任務分工極易由於權屬不同、資源缺乏，而導致災時混亂的應變指揮體系，將降低應變之有效性。因此，本研究建議應擬定不同作業單位配合不同時機之動態措施，釐清各項工作啟動標準，使各負責小組有所依循，未來更應配合標準作業程序的擬定，強化各區工程處與各工務段(所)之山區道路災害預警與防救能力。

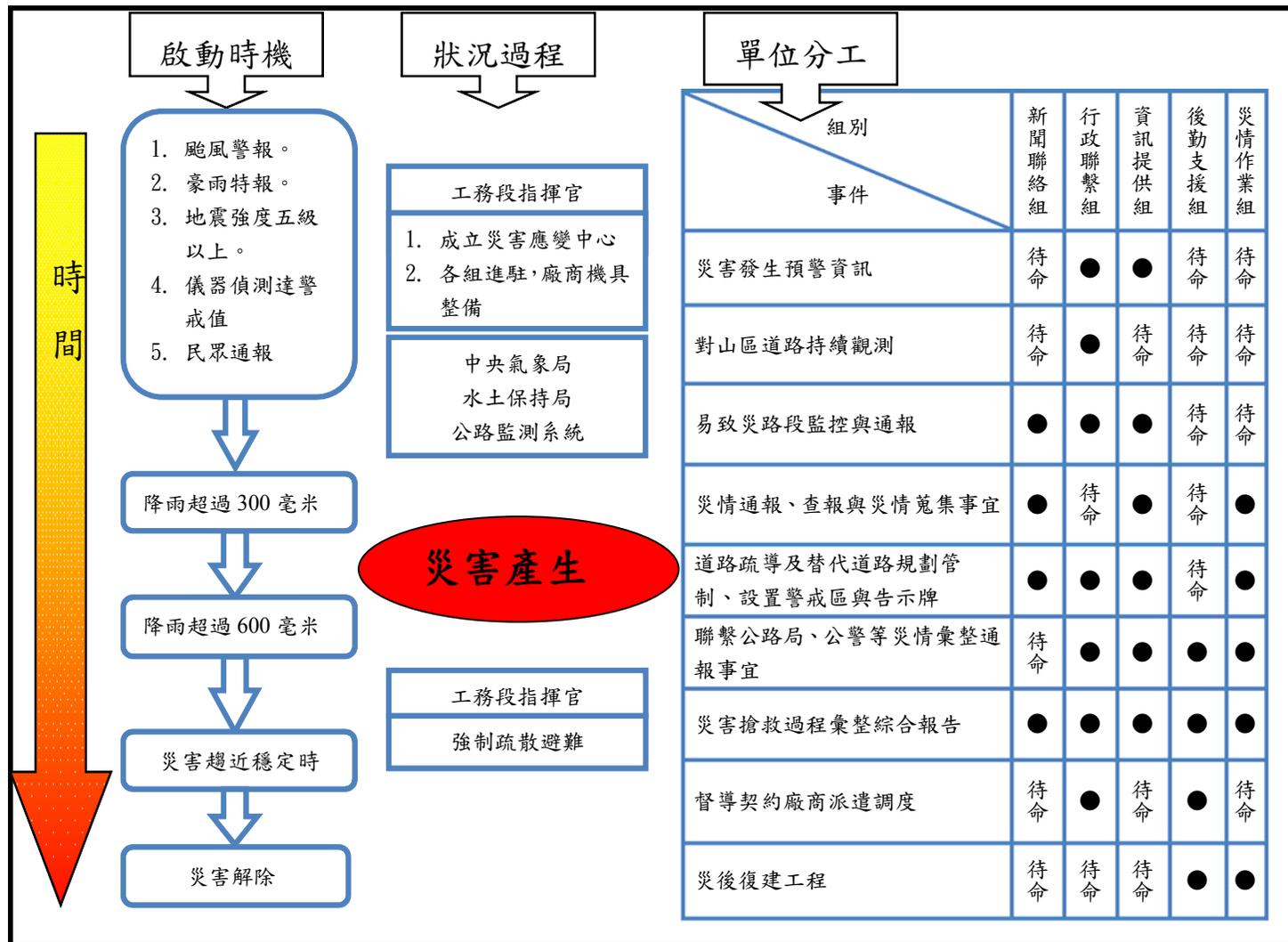


圖 7.7 應變計畫單位分工動態表

## 第八章 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

臺灣位於亞熱帶西太平洋颱風路經要衝，境內河川流短坡陡流速湍急，因此經常發生風災、水災等天然災害。近年來臺灣山區道路邊坡災害頻傳，其致災原因固與先天環境因素不良，地質地形條件惡劣有關，然而山區道路之規劃、設計、分析、施工與維護等工程作為，並未針對臺灣山區環境特性與國人民族習性詳予考量亦具有顯著影響。如何防災避險或提昇災後搶修復建成效實為現階段政府相關主管單位當務之急。

### 8.1 國內外道路工程緊急搶修作業相關文獻

道路工程緊急搶修屬於災後的救災作業，已有學者對災害疏散路線、搶修工程排程與復舊排程等方面進行研究，例如國外學者 Fiedrich 等人(2000) 開發一適合災後搜救時期(search-and-rescue, SAR)的最佳化資源配置決策支援系統。由於目前常見之災難管理決策系統較屬被動性資訊管理系統，缺乏主動性決策輔助資訊，於救災實務功能發揮有限。模式中區分出傷患受困區、二次災害高風險區及需立即搶修之道路設施區等三類災後救援作業區域。Shangyao Yan (2008)運用時空網路架構模型建立緊急道路搶險與救濟物資分送計畫，用以改善傳統以決策者忽視道路搶險與物資分送兩者間關連性，單憑經驗進行之決策過程。Bhoj Raj Pantha 等人(2010) 運用地理資訊系統建立尼泊爾山區道路之邊坡穩定與鋪面維護模式，以國際糙度指標作為鋪面狀態指標，繪製道路邊坡與鋪面之維護優先順序地圖。

近年來由於防災意識之提高，使得國人更加重視防救災相關問題之研究。例如官佩穎(2011)以阿里山道路臺 18 線為例。莫拉克颱風重創嘉義縣山區道路，部落或鄉鎮的唯一聯外道路臺 18 線受損嚴重，以臺 18 線 71 公里處為例，雖然道路崩落僅 300 公尺，卻足足費了 20 個工作天才完成，顯見連續災點搶修作業排程模式之重要性。該研究探

討如何動用最少機具能量搶修，達緊急搶修法定時間，以協助主管單位災害搶修排程決策之參考。魏耀烈(2008)針對臺 7 線山區道路 93、94 年災害搶修工程資料彙整檢討分析，總計 77%的災害點是在颱風來臨時發生，76%的搶修經費是花在颱風災害上，75%的災害點發生在上邊坡災害，而 86%的搶修經費是花在下邊坡災害上，因此若能於平時養護加強下邊坡安全之補強，必能減少颱風來臨所造成的道路災害損失。吳心琪(1996)曾就公路工程的實務觀點論述搶修工程之指揮調度得宜與否將影響災後復舊與救災工作之效率。該文以多場站車輛路線問題模式為基礎，建構一災後公路網搶修工程排程模式。求解方法以簡單遺傳演算法之基本精神發展一啟發式求解法求解。陳郁文(1999)曾應用模糊多目標規劃以求解大規模救災及災區復舊問題，以提昇運輸系統災後應變效率。

吳水威、連振盛等人(2001)研究利用系統分析法與文獻收集評析法而依循危機管理理論，提出交通管制時所需之相關配套措施，確保實施順暢的避難行動及地震防救災緊急應變措施有關的緊急運輸。張立偉(2001)曾建立一套緊急應變指派方法，供決策單位決定災害搶修及搶救點之順序，在有限時間內找出最大搶救及搶修效益之計畫排程。該研究架構上主要在探討一組合最佳化問題，考量之目標則以搶修單位之旅行時間最小化、搶修時間最小化及災點之搶修風險最小化構建多目標式，配合上時窗限制之考量，以 C 語言自行撰寫基因演算法求解問題。馮正民、林楨家等人(2001)曾研究經由震災物流系統運作機制之探討與設計，以數學規劃方法構建決策模式，用以進行物流據點區位分布與運輸路線之規劃。

鄭欣蓉、曾國雄(2003)曾探討如何有效又公平的配送賑災物資，以避免無謂的浪費，並採用模糊多目標線性規劃的手法求解問題，以供災變賑災物資緊急配送考量之參考。王允中、賀寶福(2003)曾建立一套緊急應變路網重建的方法，供決策單位做大規模災害時，路網道路搶修的決策依據。李志華(2003)對路網搶修以基因演算法為架構，考慮搶修處理時間之模糊性，於演算法設計上整合模糊數排序方法及利用共

生式進化演算法，有效求解多重專案與多單位工程資源之排程問題。

施佑林(2004)曾針對實務上兼顧災點搶修時間與物資配送時間最短之目標，並考量災後搶修與緊急物資配送之相關限制，構建一多目標之災後搶修工程與緊急物資配送模式，以供決策單位有效率決定災害搶修與緊急物資配送之順序，並於有限時間內找出最佳搶修效益和物資配送之計畫排程。該研究利用時空網路流動技巧，分別構建災點搶修時空網路與賑災物流時空網路。作者並利用 C 程式語言配合數學規劃軟體發展一有效之啟發解法以有效求解問題。邱裕鈞、賴宇軒(2005)曾建立一個不確定環境下之多目標救災路徑與交通管制整合模式，並採用遺傳演算法選擇最佳管制路段，結合逐次增量指派法及 K 條最短路徑演算法進行交通量指派及最短路徑之求解。

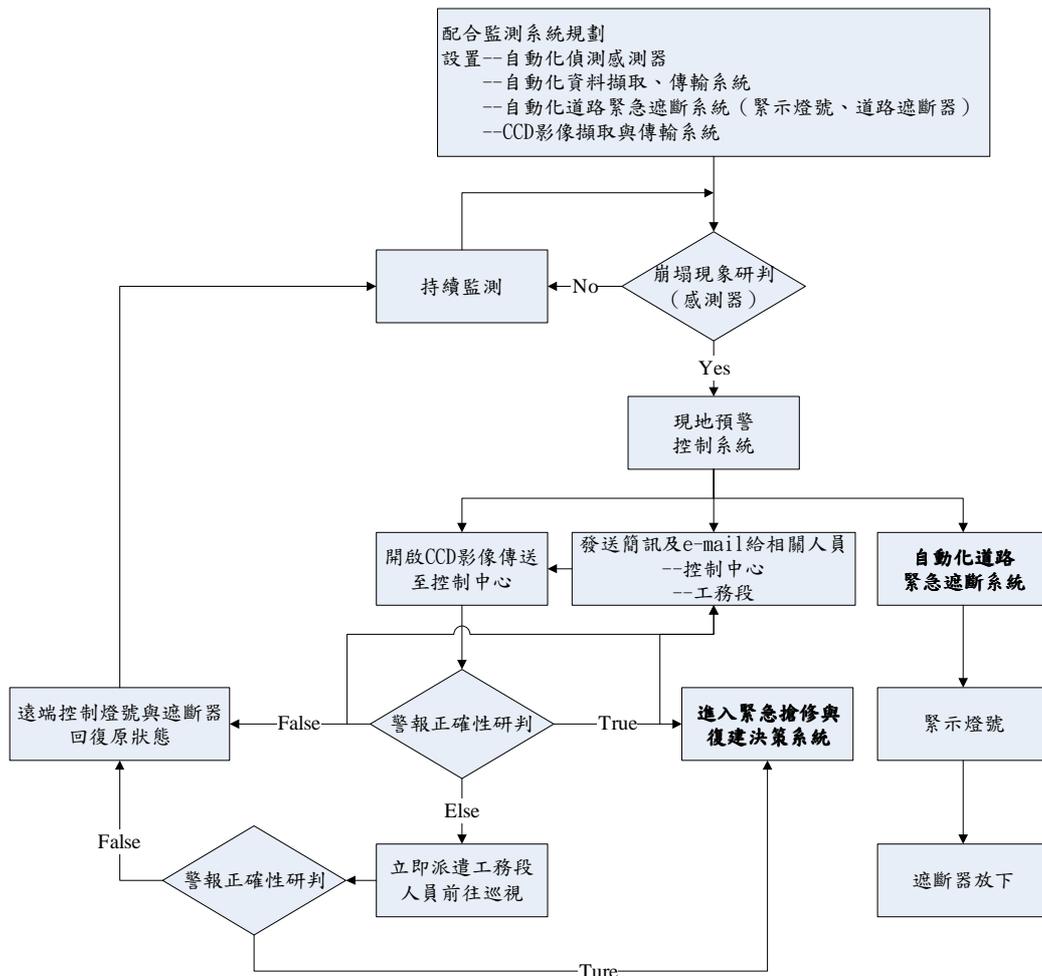


圖 8.1 含監測預警系統之處理流程與搶險機制

如何更進一步提升機關執行重大緊急救災工程效率之基礎。王允中、嚴國基(2005)曾研究建立一套災後路網信賴度評估方法以瞭解路網是否滿足災後疏散的需求量，並針對路段容量退化的關鍵路段進行修復，進而提供災害應變單位有效的決策支援。自動化監測有相當之功能性，尤其是邊坡崩塌事發之自動偵測、警告與自動封閉道路。設置邊坡崩塌自動化應變系統，可避免車輛直接撞擊崩落土石或墜落流失路基之意外事故發生。董家鈞(2003)曾建議，為達防災目的，建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性如圖 8.1 所示。

## 8.2 山區道路快速搶修機制檢討

根據各工務段辦理養護作業規定，如遭遇重大災害時，若無周詳緊急應變作為做為處理藍本，則搶修作業將雜亂無章，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，達到快速搶修的目的，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。

對於現場工程師而言，災害最為重要的工作為「搶通>搶修>加固>復健」，搶通主要原因係因為要先讓搶修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，必須在最短時間內將道路搶通，以提供救災人員或救援物資進入災區，因此在搶修的過程中，只要邊坡不在滑動或產生落石即可。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。

美國於 1979 年成立之聯邦緊急事務管理總署(FEMA)，該單位負責研擬與推動災害應變計畫及輔導地方復建經費，雖然 FEMA 負責統籌全國災害防治與緊急應變工作，然而其公路系統防救災相關計畫與執行手冊之編撰則是由美國運輸交通研究委員會(TRB)進行規劃與執

行。TRB 資料庫現有自 1980 年至 1999 年與交通建設防災相關之研究報告共約 250 篇，其討論之範圍涵蓋防止邊坡滑動、防洪水以及防地震等。美國運輸研究委員會(Transportation Research Board, TRB)成立於 1974 年，是隸屬在美國國家研究會議(National Research Council)之下部門。該委員會是藉由研究，以及研究者與實務工作者間的交流，來促進運輸研究之創新與進步，並強調及鼓勵研究成果的落實。除了在美國國會及政府單位的要求下，主導運輸相關的特別研究外，並負責舉辦運輸年會。參加展示單位包括許多美國交通部的部門(FHWA Office of Safety R&D、NHTSA 等)、TRB、以及美國交通部的重要計畫與研發單位，例如：FHWA Exploratory Advanced Research (EAR) Program、FHWA Highways for Life、FHWA Office of Innovative Program Delivery (IPD)、美國國家駕駛模擬器(NADS)、McTrans Center 等。

TRB 目前正在積極進行 1 項多年期的 SHRP II 計畫(Strategic Highway Research Program II)，此計畫為應用研究型的計畫，目標包(1)進行對公路安全明顯改善的措施，(2)提供公路系統可靠的旅行時間，(3)提供可支援國家經濟、環境及社會目標的公路容量等。SHRP 的第 1 階段在 1987 年到 1993 年間進行，SHRP II 是採行類似的執行程序。

SHRP II 共有 5 個委員會：監督(Oversight)、容量(Capacity)、更新(Renewal)、可靠度(Reliability)及安全(Safety)。其中安全委員會共成立下列 4 個主要的技術專家團(Expert Task Group, ETG)來引導及監督 SHRP II 計畫，道路資訊擷取 ETG 為其中之一。SHRP II 中之安全委員會所監督執行的計畫主要有 12 項，其中多數為進行中及尚在規劃中的計畫。由這些計畫可窺見，透過各種車內、路側儀器設備，自動化紀錄駕駛者車內行為，結合路側資訊，並搭配資料分析計畫為近年及未來幾年內 TRB SHRP II 安全領域的發展重點。其中包涵：

1. 道路量測系統評估。
2. 道路資訊的擷取。
3. 道路資訊資料庫發展與技術整合，及行動資料蒐集計畫的品質確保。

在日本，其救災交通管理系統並非如同美國般設有專責之救災交通管理體系，日本的救災體系與我國相近，皆是設置防災會報，分為中央與地方二級，日本對於中央政府各部會所進行之防災科技研究課題涵蓋面很廣，其交通建設工程建設方面的防災計畫包含地文、地質、水文等天然環境特性，以及維生管線、防洪、防土石流設施等人為環境之特性皆納入資料庫，依其可能產生之災害給予不同之境況模擬，並評估其受損程度，進而據以研擬救災計畫，依此作業方式對於防災維生科技之推動、災害緊急應變對策之擬定以及災後重建之加速等，都有顯著之成效。

在國內以公路單位而言，交通部針對防救災系統規劃之研究自2001年起即委託財團法人臺灣營建研究院辦理「大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略研究(一)(二)」、「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(一)(二)」以及「山區道路邊坡崩塌防治工法最佳化研究」等研究計畫，在計畫中彙整了公路方面之防救災系統規劃，並且針對較具代表性之山區道路(臺9線、臺18線、臺21線以及國道3號)沿線進行相關資料蒐集與建置工作。

在公路易發生災害點之研究方面，農業委員會水土保持局亦針對治山防災工作，推動每四年為一期之防治措施相關績效與風險評估，曾委託辦理「治山防災績效及風險評估(87至89年度)」等工作，確實針對其績效與風險進行檢討與分析作業。行政院經濟建設委員會亦針對山區道路修建工程進行成本效益之分析，可作為山區道路修建工程之決策機制。上述計畫仍多以公路工程防救災之研究為主，目前各公路機關實際已運作之系統如交通部公路防救災資訊系統查詢、臺灣地區橋梁管理系統、國道高速公路-交通資訊系統等系統，仍多著重在「監測與養護」方面。

近年來國內各單位也陸續完成許多防救災應用系統，例如內政部、交通部、環保署、經濟部、農委會以及各縣市政府等單位，但是部分單位開發之系統(例如以消防體系為主之應用系統)，多著重在救人資源之掌握，尚未著重於公路系統之工程修建工作。

## 第九章 結論與建議

就山區道路方面，以目前之科技，公路單位儘可能利用歷史災情統計預判可能致災點，並提前應變措施，惟仍有一定之風險值存在，例如對於山形陡峭之山區公路上邊坡數百公尺高，任何外在因素（除降雨外，尚有如地震、風蝕等驅動力）或邊坡內部之潛移均可能造成坍方落石砸落路面。當氣象局發布豪雨特報或颱風警報時，公路總局理當嚴密監控降雨情形並視情況管制重點監控路段之通行。但是各地複雜之地質條件再加上氣候之急遽變遷下，並非可全然掌握山區道路何處會崩塌，或是不會崩塌，公路單位為積極保全用路人，以風險管理概念評估選出致災風險較大之山區道路及降雨因素作為重點監控路段及觀測指標。故防護山區道路應用風險管理概念，主要係降低人員罹災之機率。

本計畫之主要目的，除了彙整國內山區道路災害類型，並且分析國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析與易致災性分析，規劃國內山區道路各類型易致災路段之監測系統、應變計畫，檢討道路快速搶險機制，並將持續落實應用相關研究成果至工程基層單位。期望透過管理模式的建立，可以有效瞭解易致災路段災害潛勢，作為道路管理機關維護管理之參考依據，以提高整體管理的效益，並給予山區道路使用者更安全且可靠的使用環境與對於災害發生的瞭解，以減少不必要之災損發生。除了做到災時的防備外，對於高風險路段可預作工程防制準備，以達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。

### 9.1 結論

1. 本計畫已完成民國 85 至 100 年間之山區道路災害蒐集，期間透過公路防救災資訊系統，以及各工務段索取之轄區路線(省道台 18 及 21)道路災害清冊，蒐集本年度颱風與豪雨造成之道路災損資料。
2. 本年度已於 4 月與 9 月分別完成南瑪都颱風與豪雨事件之現地調

查，並透過水文水資源資料管理供應系統、水利署水文資訊申請網以及臺中氣象站，蒐集 100 年兩線道路沿線雨量站之歷時資料。

3. 本研究配合邏輯斯迴歸評估模式，採用三種不同方式選取事件資料。將分析結果中驗證資料的預測崩塌機率以 10% 為界進行分組，並與實際崩塌資料繪圖比較。選取最能表現機率趨勢的方法，作為危害度及易致災性的模式。結果顯示可適切的表現各目標降雨量下之易致災性。
4. 評估結果運用了地理資訊軟體繪製危害度與易致災性分布圖，取其中高危害度與高易致災性路段分布與歷史災害事件發生頻率較高處比對，結果大致吻合。顯示本模式對於危險路段判定有一定可靠性。然而部份相異之處，推估原因可能是目前所使用之致災性因子，對於地層結構之致災性因子考量較少(並未考慮道路邊坡之向斜層與背斜層等)。
5. 針對邏輯斯迴歸結果中高易致災性路段規劃設置監測系統，結合沿線雨量站觀測之降雨量歷時資料，將可做為擬定監測預警系統之降雨量管理標準。
6. 本研究建議之災害應變計畫單位分工表，將可作為公路部門與業務單位在行政管理與救災搶險上應變標準作業程序之參考，有效達成快速應變與防救災機制完善的目標。

## 9.2 建議

1. 本計畫就歷史災情統計預判可能致災點，惟仍有一定之風險存在，例如對於山形陡峭之山區公路上邊坡數百公尺高，任何外在因素或邊坡內部之潛移均可能造成坍方落石砸落路面。因此在 500 公尺長度的路段中，各個影響因子的變化於本研究中以均以平均值代表之，這方面尚有改進空間。
2. 各地複雜之地質條件再加上氣候之急遽變遷下，並非可全然掌握山

區道路何處會崩塌，或是不會崩塌。公路單位為積極保全用路人，建議未來可以風險管理概念評估選出致災風險較大之山區道路及降雨因素作為重點監控路段及觀測指標。

3. 山區道路的長期道路災害資料庫與雨量歷時資料庫需要每年度持續進行資料的建置與更新，建議此類型調查與評估計畫能持續進行，尤其對於各路線道路災害潛勢因子因其所處條件的不同，亦應進行詳細評估，此外對於其他重要道路的評估，如省道臺 7、臺 8、臺 9、臺 20、臺 21 南端、臺 27、臺 28 等路線實有必要比照辦理調查與評估。
4. 以目前現階段的評估成果，對於降雨量較小的颱風、豪雨災害事件的量體以及崩塌的降雨量進行更進一步的評估，以提高整體評估系統之可信度與準確性。
5. 規劃中之監測系統除了以降雨量作為管理值的參考標準，土壤含水量的資料對於土壤排水能力、有效承载力以及土壤自重等邊坡災害相關係數有直接關係，亦建議納入管理值的參考項目。
6. 公路總局已律定山區公路汛期重點監控路段 64 處，並依「公路總局封橋封路標準業程序 (SOP)」之相關規定，設定特徵雨量預警值、警戒值及行動值，執行汛期封路作業。本研究應可配合相關資料應透過災害資料庫與雨量歷時資料庫的不斷蒐集，調整未來現地監測之警戒管理標準。

本期研究成果與效益有：1.透過管理模式的建立，可以有效瞭解易致災路段之災害潛勢，作為道路管理機關維護管理之參考依據。2.了瞭解山區道路對風險程度外，對於整體山區道路搶救災的整體應變計畫有所瞭解與提出改善建議，做為公路管理機關應變之用。3.本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。

## 參考文獻

1. Chambers, R. (2006). Vulnerability, Coping and Policy. *IDS bulletin*, 37 (4), 33-40.
2. Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to Environmental Hazards. *Progress in Human Geography*, 20 (4), 529-539.
3. Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84 (2), 242-260.
4. IPCC. (2007). Summary for Policymakers. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. v. d. Linden & C. E. Hanson (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
5. 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.
6. Page M. J., N. A. Trustrum, J. R. Dymond (1994) Sediment budget to assess the geomorphic effect of a cyclonic storm, New Zealand. *Geomorphology* 9: 169-188.
7. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (2001), USBR, “ Design standards No.13 Embankment Dams”
8. USBR, 1987 - Design of Small Dams, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Washington, D. C., 1987.
9. 江山宏 (2005), 「九九峰崩塌地變遷監測之研究」, 明道管理學院環境規劃暨設計研究所碩士論文。

10. 交通部(2009)，「公路路線設計規範」，2009年修訂完整版。
11. 吳從龍(2009)，山區道路邊坡崩塌潛勢之研究，逢甲大學運輸科技與管理學系碩士在職專班碩士論文。
12. 吳淵洵、周南山(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。
13. 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。
14. 吳久雄、蔡銖華、胡錦地(1989)，「臺灣省山坡地崩坍調查報告」，臺灣省水土保持局，139頁。
15. 吳臻燾(2005)，「利用現地監測驗證國道礫石土邊坡土釘工法之研究」，朝陽科技大學營建工程系碩士論文。
16. 何春蓀(1975)，「臺灣地質概論」，經濟部中央地調所，53-57頁。
17. 李豐博、饒正、鄭明淵、蔡明修、吳育偉、張于漢(2009)，「公路防救災決策支援系統建立之研究(2/4)」，交通部運輸研究所研究計畫報告。
18. 林孟龍、林俊全(1998)，「蘭陽溪上游集水區(家源橋以上)崩山之規模與頻率分布關係」，臺灣之第四紀第七次研討會論文集，34-38頁。
19. 周彥士(2006)，「山區道路破壞模式與復建工法研究-以桃園縣鄉道為例」，國立中央大學土木工程學系碩士論文。
20. 周南山、吳淵洵、陳海島，「臺灣地區山區道路規劃與設計參考手冊之研究」，堅尼士工程顧問公司，行政院公共工程委員會委託研究報告，臺北，2006。
21. 陳幸欣(2005)，「地理資訊系統應用於大甲溪事業區森林火災危險度製圖」，國立屏東科技大學森林系碩士論文。

22. 陳建忠、洪鴻智(2005)，「桃園縣龍潭石門地區都市防災空間系統示範計畫」，內政部建築研究所研究計畫報告。
23. 陳禹銘、許秋玲、樊國恕(2009)，「我國複合災害風險系統架構之探討」，Journal of Crisis Management. 2009 Vol. 6 No. 2。
24. 陳冠華(2010)，「AHP 應用於山區道路邊坡生態工法之評估」，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。
25. 郭彥廉、蕭代基(2009)，「天然災害脆弱性與社經脆弱性因子介紹」，國研科技。
26. 倪柏寧（2009），「土砂災害潛勢區風險評估模式之建置」，長榮大學土地管理與開發學系碩士論文。
27. 張石角(1992)，「臺灣各地質分區邊坡崩坍類型及其預測方法(一)-技術轉移講習班講義」，臺灣大學地理系，49-111 頁。
28. 張政亮(2004)，「地理資訊系統應用於蘭陽地區環境地質災害分佈之調查分析」，蘭陽溪生命史—「宜蘭研究」第五屆學術研討會論文集。宜蘭文獻叢刊 22: 73-108。
29. 張石角(2004)，「太魯閣國家公園大同、大禮聯外交通設施工程之工程地形和地質之調查分析與可行性評估」，太魯閣國家公園管理處，98 頁。
30. 國立成功大學防災研究中心(1998)，「地質危險區公路及河川橋樑之維護管理與防救災對策之研擬-以台十一線及台二十一線為例期末研究報告」，臺灣省交通處公路局。
31. 國家災害科技中心(2010)，「易致災區域脆弱性因子調查分析」，成果發表會論文集。
32. 黃漢淨（2006），「德基水庫集水區崩塌地潛感分布與林地使用衝突之研究」，國立屏東科技大學森林系研究所碩士論文。

33. 黃靖柏 (2008) , 「運用地理資訊系統結合邏輯斯迴歸進行崩塌潛勢之評估」, 逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士論文。
34. 黃安斌、林志平、董家鈞、廖志中、潘以文(2003), 「道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定」, 91 年度防救災專案計畫成果研討會, 臺北。
35. 廖洪鈞、梁樾、林三賢、李維峰、廖瑞堂、李三畏、劉桓吉、吳啟瑞、魏佳韻、游行健(2003), 「臺灣地區道路邊坡崩塌發生機制及防治效益評估方法研究與應用」, 交通部。
36. 潘國樑 (2009) , 「遙測學大綱—遙測概念、原理與影像判釋技術」, 科技圖書股份有限公司。
37. 潘國樑(2007), 「山坡地的地質分析與有效防災」, 科技圖書, 臺北。
38. 劉盈劭(2001), 「地形敏感性的比較研究-以陳有蘭溪北段小支流為例」, 師大地理所碩士論文, 138 頁。
39. 劉名翔 (2010) , 「利用監督式分類並配合 NDVI 指標進行植生分佈探討—以南投縣竹山鎮林境為例」, 朝陽科技大學營建工程系研究所碩士論文。
40. 蕭國鑫、尹承遠、劉進金、遊明芳、王晉倫 (2003) , 「SPOT 影像與航照資料應用於崩塌地辨識之探討」, 航測與遙測學刊 8(4) : 29-42。
41. 簡碧梧(1995), 「臺灣的崩塌地災害」, 工程環境會刊 6: 23-47。
42. 張道光、蘇仁輝、李維峰、連惠邦、林秉賢、王昭雯(2011), 「山區道路坡地災害防治技術整合研究(4/4)」期末報告, 交通部運輸研究所。

43. 饒正、林雅雯、洪本善、李樹莊、李秉乾、周天穎、蕭泰中、方耀民（2008），「全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用(2/4)」，交通部運輸研究所。

附錄一  
工作會議紀錄

## 工作會議紀錄

編號:001

採購案編號: MOTC-IOT-100-H1DB007b

採購案名稱: 山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)

時間: 100年3月22日上午 10:00

地點: 本所港研中心5樓會議室

出席者: 港研中心: 謝明志、張道光

逢甲大學:

記錄: 廖于慧 尚祖洽 廖于慧

### 討論議題:

1. 工作路段選定範圍, 選定原因為何?
2. 分析選擇因子中, 有針對岩層走向方面, 有考慮進去嗎?
3. 現地調查表格部分, 於包保護面積、工程類別如何辨別? 評分標準為何?
4. 台 14 線信義路段部分, 是否可作 10 分鐘即時雨量模式分析?
5. 報告內文格式要注意。

### 主要結論:

1. 工作範圍選定原因為在歷史災害中, 發生災害機率較高的路段, 若在台 18 線、台 21 線路段中, 有發生重大災害路段, 也會去蒐集災害資料及現地調查。
2. 分析部分, 後續也請將岩層走向考慮進去, 分東西向、南北向分析, 也會考慮地質脆弱度, 從莫拉克崩塌地分布圖來看, 東西向崩塌地較多, 顯示東西向比較脆弱, 或許跟地質結構有關係。
3. 現在調查表格中, 必須考慮評分依據, 有延續性, 於表格內增加現地植生狀況。
4. 台 14 線(信義段)目前不在這次工作項目中, 但請先蒐集台 14 線(信義段)相關資料。
5. 請依本所報告的格式編排。

### 第二次工作會議

壹、計畫名稱：「山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)」

貳、計畫編號：MOTC-IOT-100-H1DB007b

參、會議時間：民國 100 年 06 月 03 日（星期五）下午 2 時 30 分

肆、會議地點：港研中心辦公大樓 5 樓簡報室

伍、主持人：港研中心 謝明志 科長

陸、記錄：謝志勤

柒、出席單位及人員：

	簽名
逢甲大學	曾相強
	謝志勤
本所港研中心	謝明志
	張道光

## 工作會議紀錄

編號：002

採購案編號：MOTC-IOT-100-H1DB007b

採購案名稱：山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)

時間：100年6月3日 下午 02：30

地點：本所港研中心5樓會議室

出席者：港研中心：謝明志、張道光

逢甲大學：雷祖強、謝孟勳

記錄：謝孟勳

---

### 討論議題：

- 1.目前採用之統計方法其涵義為何，有無更好的方法？
- 2.所謂邏輯斯回歸模式的判別率意義為何？
- 3.去年易致災性地圖有標誌對應不同的降雨量？本年度是否會沿用這個方法？
- 4.對於致災的驅動力指標，未來如何落實在監測系統規上？
- 5.報告內文格式要注意。

### 主要結論：

- 1.目前受限於資料的量體，仍延用前期計畫的邏輯斯回歸模型來進行推估，但此統計模式為定律函數，對於自然事件有其應用限制。未來建議持續蒐集及擴充資料後，可採用高等統計分析的方法來進行因子推估，如最大概似推估法。
- 2.目前所呈現的判別率 74.4%，是在三種不同統計樣本下，所得到的最佳模式組合，即模式一。此模式的訓練資料為卡攻基、新樂克及莫拉克，驗證資料為凡那比。即在這個模式下，對於凡那比颱風資料的判別率。
- 3.相關潛勢評估皆可對應降雨量，於成果呈現時會標誌在圖上。
- 4.目前可參考的驅動力指標有水保局的 RTI 綜合指標，但其乃是應用在土石流上，未必適於道路崩塌。而目前國內已將這類研究重點放在更具直接意義的土壤含水量監測上。本研究將建議未來的道路邊坡監測重點，即會包含此類監測項目的監測評估，並建議具體作法。
- 5.請依本所報告的格式編排。

### 第三季工作會議

壹、計畫名稱：「山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)」

貳、計畫編號：MOTC-IOT-100-H1DB007b

參、會議時間：民國 100 年 09 月 27 日（星期一）上午 9 時 00 分

肆、會議地點：港研中心辦公大樓 5 樓簡報室

伍、主持人：港研中心 謝明志 科長

陸、記 錄：

柒、出席單位及人員：

	簽 名
逢甲大學	高祖強
	謝孟郵
	張早慧
	黃凱威
本所港研中心	謝明志
	張道光

## 工作會議紀錄

編號：003

採購案編號：MOTC-IOT-100-H1DB007b

採購案名稱：山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)

時間：100年9月27日上午09:00

地點：本所港研中心5樓會議室

出席者：港研中心：謝明志、張道光

逢甲大學：雷祖強、謝孟勳、張晏魁、黃凱威

記錄：張晏魁

---

討論議題：

- 1.目前道路資料蒐集情況為何？
- 2.道路易致災性分析的結果，能否與即時雨量資訊配合？
- 3.危害度分析中以邏輯斯迴歸萃取影響災害發生機率的核心因子，如何驗證分析結果的可信度？
- 4.報告中研究範圍與邏輯需明確闡述。

主要結論：

- 1.交通部公路局的資料已開放使用，建議加入目前研究案之資料庫範圍。並且將今年4月與7月之外調資料納入資料庫，進行分析。
- 2.將中央氣象局QPESUMS之雨量資訊系統與地理資訊系統結合，應用軟體繪製不同雨量情況下之山區道路易致災性路段地圖，將不同易致災性路段以不同顏色作為區分。
- 3.利用SPSS統計軟體提供之統計方法萃取道路崩塌之核心因子，如粗糙集合理論，與目前使用之統計方法邏輯斯回歸結果比較，觀察不同統計方法所得到的核心因子是否有差異性。研究中「易致災性=危害度\*保全因子」的分析方法，要進行驗證。
- 4.計畫中未來1年之工作項目，以計畫書中之工作項目為主。由於本研究計畫之研究範圍較大，建議於報告書第一章明述研究範圍，避免評審委員疑義，有助研究邏輯闡明。

## 附錄二

### 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)

合作研究單位：逢甲大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
中興大學土木工程學系 林炳森 教授 (共 13 項)		
1. P3-2 冪->冪，更正筆誤。	1. 感謝指教，已更正。	同意
2. P3-3 表 3-1 可將各項分清楚，以便利用。	2. 遵照辦理。詳見成果報告 3.1 節「山區道路易致災路段之分類」。	同意
3. P3-6 請具體說明該如何考慮道路邊坡崩塌分類之問題。	3. 感謝委員建議。請參閱修改後第二章，分類方式以彙整交通部公路局第二區、第三區及第五區養護工程處及本計畫整理之道路邊坡崩塌資料，統計各種災害類別之累計發生次數，以土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失為主要道路邊坡崩塌分類。第三章現地調查表中災害類別判定以此三種分類為主。詳見成果報告 3.1 節「山區道路易致災路段之分類」。	同意
4. P3-8 表 3-3 現地調查表與 P3-6 說明之大項有出入。	4. 感謝委員建議。詳見成果報告 3.1 節「山區道路調查表格製作」。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
5. P4-4” 按照區位發生災害比例高低以等比數值給分”如何給？ 請說明 P4-5 瑞芳群在圖 4.5、4.6 沒有。	5. 本研究統計各種地質條件對應之崩塌路段數量，除以該種地質之路段總數量求得各種地質崩塌比例。給分方式為 0.03、0.09、0.27、0.81，並將對應之崩塌比例由低到高給分。各岩性崩塌比率如圖 4.6 所示，並修正圖 4.4~4.5。	同意
6. P4-8” 其值介於.1 到 1 之間...” ->應為 0.1~1 之間。 P4-11，保全對象->人數多寡應分等級。	6. 已修正該項小數點的表示方式。目前本研究分析中已無保全對象考量。建議可於下期計畫中將保全對象之脆弱因子納入考量。	同意
7. P4-15 請簡述前期邏輯斯迴歸模式(Logistic regression model)為何？	7. 邏輯斯迴歸模式亦譯作「評定模型」，「分類評定模型」，是離散選擇法模型之一，屬於多重變數分析範疇，是社會學、生物統計學、臨床、數量心理學、市場營銷等統計實證分析的常用方法。	同意
8. P4-25(1)台 18 模式二、三為同一式子(P4-24)，但準確率相差很多，請說明原因。(2)另應用同一颱風作比較。	(1)本研究目前分析方法已修正，請參見 P.4-21~ P.4-24。 (2)遵照辦理。目前已採用凡那比颱風、718 豪雨兩場相同事件做比較。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
9. P5-9.(1)請說明表 5-4 之 L、R 各為何意義。(2)不同公路(如台 18 線、21 線)應說明如何選用那一種模式。(3)P4-23 台 18 線模式一...等 9 項太多,實際上應用有困難。	(1)L、R 表示道路之左右邊坡。 (2)目前已修正採用三種方法,依驗證資料採用最佳方法,兩路線接採用方法二。 (3)目前實際上採用六項為背景因子。	同意
10. 未說明如何作風險分析?	10. 本年度由山區道路崩塌因子透過邏輯斯迴歸建立各路段之崩塌潛勢,配合脆弱性因子以評點法分析各路段之易致災性為主要工作項目。	同意
11. P4-25(1)圖 4.19 該為表 4.19(2)如何從潛感值得知是否會發生?	(1)已將該圖更正為崩塌潛勢評估計算表。 (2)將各因子帶入訓練後之邏輯斯迴歸模式,其崩塌災害之機率高於 50%則判讀為預測會崩塌。	同意
12. 第六章(1)實際做出監測系統->儀器之配置圖、種類、數量、位置。(2)P6-7 ”裂縫計裂” 更正贅字。	12. 遵照辦理。 (1)詳見成果報告 6.2 節「臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃」。 (2)已刪除贅字,詳見成果報告表 6-1。	同意
13. P7-1. 6hr>200mm 之依據為何? 應變機制應分不同階段,如分成預警、警戒、	13. 感謝委員建議。該段文字已刪除。另目前之管理值訂定方式,初期	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
行動值。	建議以易致災性分析成果，建立 300mm、600mm 以及 900mm 不同事件累計降雨量下管理標準。未來則建議經由長期監測數據檢討其預警、警戒以及行動值。	
中原大學土木系 張達德 教授 (共 5 項)		
1. 資料收集、文獻回顧除用國內，應加強國外，以及大陸的資料文獻。	1. 感謝指教，已增列國外文獻資料。	同意
2. 文中所提文獻，列入參考文獻，請核對。	2. 感謝指教。	同意
3. TRB 的 "Landslides Investigation and Mitigation" Special Report 247 請多參考。	3. 遵照辦理。已參考該文獻資料 (ISBN/ISSN:030906208X (pbk.))，詳見成果報告書 P.2-5。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
4. 表 6-2，各種通訊方式比較表中，內容應”更新”。微波成本不見得高，GPRS 不見得”不易干擾”！微波頻寬 11M？請確認。	4. 感謝指教。目前市面上數位微波通訊系統傳輸容量從 2Mbps 到 311Mbps 流量。NEC 於 2010 年推出最新精簡型無線傳輸系統（ePASOLINK）則有高達 2.5Gbps 的超高速連結傳輸量。該系統與光纖網路相比，在人口稠密的區域顯得更具有經濟效益，此為設立用來進行行動通訊的網路。GPRS 是一種封包交換技術，頻道並非獨佔，而是讓大家共用，所以當多個感測器同時使用時效能就會下滑。再加上周圍環境的干擾，傳輸量約 115Kbps。	同意
5. 監測預警管制—是否是 Real time？	5. 遵照辦理。規劃之監測預警系統為即時監控系統，詳見成果報告 6.2 節「臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃」。	同意
<b>嘉義大學土木及水資源工程系 陳建元 教授 (共 15 項)</b>		
1. P1-1 前言中國道三號走山案例應非”山區道路”。	1. 遵照辦理。已刪除該案例，詳見成果報告 1.1.1 節「計畫背景」。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
2. P2-3 造成邊坡破壞的原因中”水”的影響建議從孔隙水壓上升造成有效應力降低來考量。	2. 遵照辦理。Terzaghi 於 1936 首先提出有效應力的觀念，當孔隙水壓上升則有效應力下降，不僅降低土壤的抗剪強度，也增加了其下滑力，進而影響邊坡穩定的程度。此部分內容詳見 P.2-8。	同意
3. P2-5 流動型破壞較不可能為岩層破之形勢。	3. 感謝委員建議。已刪除，邊坡崩塌依據運動型態分類部分，詳見成果報告 P.2-4 與 P.2-5。	同意
4. P2-9 所列之 7 項標的 14 項因子中包含地震因子及降雨因子，但在後續分析中以降雨為主。建議將”加速度”因子移除並述明。另”順向坡”如何考量？	4. 感謝指教。本計畫中主要控制因子為降雨量。成果報告中已將地震相關的加速度因子移除，順向坡未列於本計畫分析因子，將於後續年度分析中加入。	同意
5. P3-1 無表 3-1 及表 3-2。若有此二表則 P3-3 表 3-1 應為表 3-3。	5. 感謝委員建議。已重新編修第三章內容，詳見成果報告表 3-1 與表 3-2。	同意
6. P2-3 崩落與 P3-1 落石應指同一災害，名稱全文不統一。P2-3 移坍 (Lateral spreads) 與 P2-9 側移亦有此問題，全文名詞宜一致。	6. 感謝委員建議。已重新編寫第二章，對於災害類型的分類方式依邊坡崩塌依據運動型態為主，同時更正名詞統一問題，詳見成果報告 2.1 節「山區道路災害彙整」。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
7. P3-9 現地調查表中之災害類別無常見之土石流災害，但在 P4-1 有列入考量。	7. 感謝委員建議。本計畫中土石流潛勢溪流資訊於分析時由圖資中取得。同時表 3-3 中，已對於是否為土石流潛勢溪流做調查。	同意
8. P4-7 土石流潛勢目前有 1578 條(2011)。	8. 遵照辦理。已修正。	同意
9. P4-12 目前國內降雨量多採”有效累積降雨量”。	9. 感謝指導。事件發生降雨關係式必須包括當次事件降雨量與前期降雨量。當次事件降雨量為本次降雨開始時刻至事件發生時刻的降雨，是本次降雨事件中對事件發生有直接貢獻之長歷時降雨，其降雨量稱為本次降雨累積雨量。故定義本次降雨累積雨量及本次降雨開始時刻前七天的加權降雨量之和為影響事件發生的「有效累積降雨量」。本研究案中之降雨量因子，以事件累積降雨量為主，事件累計降雨量為該災害事件過程中降雨量之總和。	同意
10.P4-17 歷史資料應註明來源。	10.遵照辦理。已修正。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
11. P4-20 之三種模式，模式三以凡娜比驗證但不考慮莫拉克(雨量甚大)設計上有缺陷且與 P4-21 之資料筆數有異，所以 P4-25 之準確率 99%並不可信。	11.感謝委員建議。目前分析方法已修正，詳見 P.4-21~P.4-28。	同意
12. P6-5 監測儀器缺”光纖”之描述。	12.遵照辦理。已增列光纖光柵感測器，以及光纖傳輸系統，詳見成果報告 6.1.1 節「各類易致災路段之監測元件」。	同意
13. P7-10~11 非颱風造成之豪大雨是否列入考量？	13.遵照辦理。目前增列 100 年 7 月 18 日豪雨災情案例，預計 8 月進行現地調查。	同意
14. P8-2 結論中模式三是否採用？另台 18 線易致災路段 0-20k 與 P5-9，10-20K 不一致，另台 18 線之里程數宜再確認。	14.感謝指教，本計畫中台 18 線與台 21 線皆採用訓練資料中使用颱風數量最多的模式一進行分析。台 18 線易致災路段已確認。本計畫中現地調查作業以省道上之里程碑上之里程數為基準，其他資料也以里程碑為基準。	同意
15. P4-17 災害資料筆數與表 4-2 不符。	15.災害資料筆數指的是兩線各類型災害於 1996-2008 年間之總和。而表 4-3 為每次颱風造成之災害。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
高苑科技大學土木工程系 鄭魁香 教授(共 7 項)		
1. 第 2-6 頁六種邊坡破壞類型中複合型破壞的定義為何？請重新確認。	1. 感謝指教。已重新編寫第二章內容，對於災害類型的分類方式依邊坡崩塌依據運動型態為主，詳見成果報告 2.1 節「山區道路災害彙整」。	同意
2. 第 2-5 頁移坍型破壞定義為何？	2. 感謝指教。已重新編寫第二章內容，對於災害類型的分類方式依邊坡崩塌依據運動型態為主，詳見成果報告 2.1 節「山區道路災害彙整」。	同意
3. 第 2-3 頁由邊坡破壞類型(6 種)收斂到山區道路破壞模式(第 2-8 頁中之土石坍方、路基下陷或缺口、路基流失、路面皸裂)，方法不佳且與簡報內容不符。	3. 感謝指教。已重新編寫第二章內容，對於災害類型的分類方式依邊坡崩塌依據運動型態為主，詳見成果報告 2.1 節「山區道路災害彙整」。分類方式以彙整交通部公路局第二區、第三區及第五區養護工程處及本計畫整理之道路邊坡崩塌資料，統計各種災害類別之累計發生次數，以土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失為主要道路邊坡崩塌分類。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
4. 第 2-8 頁災害資料建置方法與第 2-10 頁的災害特性分析方法有待加強。	4. 遵照辦理。已重新編寫第二章內容，其中災害資料來源為臺 18 線、臺 21 線各轄區工務段道路災害記錄、公路防救災資訊系統以及現地調查資料。災害特性部分詳見成果報告 2.1 節「山區道路災害彙整」。	同意
5. 第 3-1 頁道路邊坡危害度 1.落石、2.土石流、3.地滑以及 4.人工邊坡危害度等級劃分其理由為何？	5. 感謝委員建議。已修正第三章內容。詳見成果報告 3.1 節內容。	同意
6. 第 3-8 頁現地調查表中判斷災害類別為土石坍方、路基下陷或缺口、路基流失以及路面皸裂，但於山區道路調查表格製作說明中並沒有解釋為何為此四種類別。	6. 感謝委員建議。本研究依據易致災性分析模式，將所蒐集之轄區工務段災害類別及受損紀錄加以分類，由於此紀錄並無標準格式，因此本研究將其分為 3 類破壞模式，以適於分析進行。	同意
7. 第 4-15 頁各類型山區道路易致災路段之危害度分析中延用前期之分析模式，使用過去資料以及現地調查案例得到第 4-31 頁的結果，顯示台 18 線以模式一，台 21 線以模式三分析，準確度較佳，試說明其原因為何，有何意義？	7. 感謝委員建議。目前計畫內容已修正，詳見期末修正報告 P.4-21~P.4-28。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
交通部運輸研究所港灣技術 研究中心 李豐博 前副主任 (共 5 項)		
1. 除列述第一年度工作項目 外，宜概述後續年度計畫 內容，提供整體計畫之了 解。	1. 遵照辦理。已增後續 年度計畫內容，詳見成 果報告 1.2.2 節「工作 項目」。	同意
2. 第二章山區道路災害類型 之說明不夠周延明確，請 補充加強，宜配合圖表補 助說明，其中圖表宜與內 文連結。	2. 遵照辦理。已重新編 寫第二章內容，對於災 害類型的分類方式以 運動型態為主，強化內 文與圖表間之關係，詳 見成果報告。	同意
3. 第三章山區道路易致災路 段之分類所指如何？對其 後之危害度分析與易致災 性分析之應用性如何？	3. 感謝委員建議。本研 究依據易致災性分析 模式，將所蒐集之轄區 工務段災害類別及受 損紀錄加以分類，由於 此紀錄並無標準格 式，因此本研究將其分 為 3 類破壞模式，以適 於分析進行。	同意
4. 3.1.1 道路分類、山區道路 定義等之解說不明，圖表 不合，宜補充加強或刪除。	4. 感謝委員建議。已修 正本節內容，詳見成 果報告 3.1 節「山區道路 易致災路段之分類」。	同意
5. 第八章建議事項宜列為本 計畫後續工作重點。	5. 遵照辦理，已增列後 續工作重點。	同意
交通部運輸研究所港灣技術研究 中心 賴瑞應 研究員 (共 8 項)		

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
1. 研究單位用心彙整很多文獻值得肯定，惟研究範圍與對象應說明清楚，另外，相關段落轉折與來龍去脈論述應加強。	1. 感謝指教，將於修正期中報告時遵照委員建議補正報告內容，加強研究範圍與對象之說明以及內容之論述。	同意
2. 第 3-3 頁表 3-1 內容字體模糊，建議重新製表。第 4-2 頁圖 4.2 建議名稱改為表較合適。第 4-3 頁圖 4.3 之圖示說明是否為角度，請加強說明。	2. 感謝指教，成果報告已重新編寫第三、四章內容，更正表 4.2 之標稱，且將台 18 線與台 21 線路段坡度圖之圖例內容標明單位。	同意
3. 第 4-5 頁將臺 21 線地層分級為四級，此四級分類作用為何，是否表示崩坍機率，請說明。另外，請加強說明圖 4.5 及圖 4.6 如何看出四級分類。	3. 感謝委員建議。此四級分類為配合易致災性分級所用，並非表示崩塌機率，各岩性崩坍比率如圖 4.6 所示，並修正圖 4.4~4.5。	同意
4. 第 4-21 頁圖 4.15 建議名稱改為表較合適。	4. 遵照辦理。已修正。	同意
5. 第 5-4 頁定義易致災性=脆弱因子*危害度，請補充說明為何沒有暴露度因子。	5. 感謝委員建議。本計畫中參照易致災性分析的概念，但非完全依照風險分析的方法進行。在崩塌潛勢影響參數中有包含與暴露度相關的因子，與易致災性分析的概念相符。	同意
6. 第 5-5 頁工程設施之得分，建議應依工程設施規模及效果給予不同的得分。	6.. 感謝委員建議。原始資料在工程設施型態以有無表示，目前尚無工程規模資料。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
7. 第 7-2 頁 7.1.2 節，請補充「計畫性復原重建」的相關內容。	7. 感謝委員建議。由於本年度計畫依委託單位意見應著重於災時應變計畫，故已刪除計畫性復原重建相關內容。建議餘下期計畫中檢討納入。	同意
8. 易致災路段之應變計畫(草案)為研究單位自行研訂或是參考公路總局的現行應變計畫做修定，建議應於報告內說明。	遵照辦理。已補充相關內容。易致災路段之應變計畫(草案)為研究單位參考公路總局的現行應變計畫修訂，詳見成果報告第七章。	同意

## 附錄三

### 第一次期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)

合作研究單位：逢甲大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
中興大學土木工程學系 林炳森 教授 (共 6 項)		
1. P.2-19 山區道路災害特性分析，應說明災害類型與何只分成 4 類，因災害類型會影響第四章所選取之分析因子。	感謝指教。本計畫初期分類乃依循前期研究計畫之成果，目前已修正災害類型分類，依委託單位意見，將資料中無災例之「路面皸裂」刪除，目前分類為 3 類。詳見成果報告 P.2-22~P.2-23。	同意
2. (1)P.3-2 分析因子有 12 個，但 P.4-1 圖 4-1 卻只有 11 個。 (2)P.3-6 表 3-2 巡查明細表應附上照片與剖面示意圖。 (3)P.3-2 表 3-1，危險度評分 0.03, 0.09, 0.27, 0.81 分應說明，且與 P3-4 Pearson 不一致。	遵照辦理。 (1)已修正表 3-1，詳見期末修正報告 P.3-2~P.3-3。 (2)已補充照片與剖面示意圖，詳見成果報告 P.3-6，表 3.2「山區公路邊坡及擋土牆結構物特別巡查明細表」。 (3)致災危險度評分的方式參考「道路落石坍方危險度分級準則之探討」(吳傳威，1999)中之評分方式，唯本研究	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	已依計畫需求修正其應用方式，詳見成果報告 3.1 節「山區道路易致災路段之分類」。	
<p>3. P.4-22，由表 4-5 應修正為 4-7。P.4-23，由表 4-7 應修正為 4-8。同時分析結果中：</p> <p>(1) 崩塌預測準確率只有 17%。</p> <p>(2) 宜列出 <math>R^2</math>。</p> <p>(3) 8 個參數，部分有相依性。</p>	<p>遵照辦理。相關文字誤植已修正。另：</p> <p>(1) 本研究已修正為三種方法之整體預測準確率，詳見報告 P.4-21。</p> <p>(2) 此部分將於計畫最終成果報告中 P.4-24，'4.4.2 節研究方法中補充說明。</p> <p>(3) 本研究中參數採用粗集合 (rough set) 理論檢定，該檢定可釐清相依參數中較為重要之參數。此部分將於計畫最終成果報告 P.4-14。</p>	同意
<p>4. P.5-5 易致災性分析，表 5-1，應說明臺 18，臺 21。</p>	<p>感謝委員建議。臺 18 線、臺 21 線皆採用相同的表 5-1~表 5-2 評分表，已補充說明詳見期末修正報告 P.5-5~P.5-6。</p>	同意
<p>5. (1) P.6-16，臺 21 線落石段監測，在表 6-3 未見，應圖示儀器種類、數量與位置。</p> <p>(2) P.6-14.圖 6.3 空白。</p> <p>(3) P.6-7.表 6-1，氣壓式系</p>	<p>(1) 遵照辦理。已修正監測規劃。詳見成果報告 6.2 節「臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃」。</p> <p>(2) 已修正。詳見成果報告</p>	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
統修復未說明完全。	圖 6.3。 (3)已修正。詳見成果報告表 6-1。	
6. 應加強應變計畫草案，如應變機制中連續 3 小時雨量超過 30mm，交通封鎖應依不同地點、地質而不同(可參考公路總局應變計畫)。	遵照辦理。已參考公路總局之應變計畫修正。詳見成果報告 7.1.1 節「國內山區道路災害應變機制」。	同意
<b>嘉義大學土木及水資源工程系 陳建元 教授 (共 16 項)</b>		
1. P.1-2 計畫目的所描述為綜合之計畫，請確認是否與本計畫相符？	遵照辦理。本研究目的為參酌交通部前期相關計畫，來進行山區易致災路段之研究，並反應於各工作項目中，此部分修正內容詳見計畫成果報告 1.1.2 節「計畫目的」。	同意
2. P.1-5 第二年之工作內容未列出臺 21 線，但第一年，三、四年皆有，請確認。	遵照辦理。第二年已補上臺 21 線，參見成果報告書 1.2.2 節「工作項目」。	同意
3. P.1-6 道路兩線之危害度分析在國內一側多為溪岸，是否影響易致災路段分析結果？(如分析因子中之溪流區位)	易致災因子受溪流之影響，於第四章危害度分析中已納入考量。其考慮河道轉彎攻擊角及緊鄰道路是否垂直貫穿予以區分。(依水平距離 200m 為界)	同意
4. P.1-7 圖 1-X？	遵照辦理。已修正，詳見期末修正報告 P.1-5。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
5. 誤字 P.1-1, 「連」外道路, P.1-6 「益」致災性, P.2-2 豪雨所「山生」的崩塌, P.2-19 海「堂」颱風, P.3-3 「激路」。	遵照辦理。已修正相關誤植： (1)已改寫。 (2)詳見成果報告 P.1-6。 (3)詳見成果報告 P.2-2。 (4)詳見成果報告 P.2-25。 (5)已改寫。	同意
6. P.2-2 表列之危險路段與文中所列不盡相符。	遵照辦理。已重新校對危險路段，並刪除不符者。詳見成果報告 P.2-2~P.2-3。	同意
7. P.2-4 表列之省道災害統計與文中有臺 20 線不盡相符。	感謝指教。原表僅為民國 97 年土砂災害統計，考量與本研究長期災害調查資料不盡相符，已將該表刪除。	同意
8. 報告多處圖未於文中提及，如圖 2.1，圖 2.2，表 2-7，表 2-9，圖 3.1，圖 3.2，圖 4.2~圖 4.7，圖 4.14，表 4-8，圖 4-15，圖 4-18~圖 4-23，圖 5-5~圖 5-12，表 6-1，圖 6-5。	遵照辦理。已修正： (1)已改寫圖 2.3 詳見成果報告 P.2-10 與圖 2.28 詳見成果報告 P.2-25。 (2)表 2-7 已刪除。 (3)表 2-9 已刪除。 (4)圖 3.1 更正為表 3-6，詳見 P.3-12。 (5)圖 3.2 詳見成果報告 P.3-13，圖 3.1。 (6)圖 4.2~圖 4.7 詳見成果報告 P.4-3~P.4.8。 (7)詳見成果報告 P.4-23。 (8)表 4-8 詳見成果報告 P.4-24。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	(9)圖 4.15 詳見成果報告 P.4-29~P.4-32。 (10)同上。 (11)圖 5-5~圖 5-12 詳見成果報告 P.5-6~P.5-7。 (12)表 6-1 詳見成果報告 P.6-•。 (13)監測系統規劃內容已重新改寫，相關內容詳見成果報告圖 6.20~圖 6.25。	
9. P.2-13 圖 2.5(b)為崩塌非明顯之”向源侵蝕”。	感謝委員建議。該圖位於馬達加斯加的 Lavaka，右方崩塌處為新的向源侵蝕，左方凹處為舊的向源侵蝕。	同意
10.P.2-19 圖 2.6(a)應為落石？	感謝委員意見。該圖已刪除。	同意
11.P.2-20 及 P.2-21 圖 2.7 及 2.8 之破壞型式相近。	感謝委員意見。該兩類型災害於本研究中分屬於「道路破壞」與「下邊坡破壞」。其中路基下陷或缺口的成因可能為道路基礎設施失敗所造成之路面損壞。而路基流失的成因則為道路下邊坡崩塌或穩定度不佳所造成，其成因不同。	同意
12.P.4-24 文中表 4-8、表 4-9 應為表 4-9、表 4-10。	感謝委員意見。該表已修正。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
13.P.6-17 表 6-3 應為 6-4。	感謝委員意見。監測系統規劃已重新改寫，相關內容詳見成果報告 P.6-29。	同意
14.P.7-2 圖 7.1 阿里山”公路”段應為”工務”段。	感謝委員意見。考慮該圖與成果報告內容之相關性，已刪除。	同意
15.附錄一委員意見請校正誤字。	遵照辦理。已校對附錄。	同意
16.P.2-21 道路邊坡崩壞之類型仍有”路面皸裂”。	遵照辦理。已刪除，詳見 2.3.2 節「山區道路災害類型」。	同意
<b>交通部運輸研究所港研中心 李豐博 前副主任 (共 13 項)</b>		
1. 表 2-1 颱風造成山區道路災害統計資料宜更新補充，且應包括公路總局等機構相關資料，災害之敘述宜以道路為主。	遵照辦理。已索取國家災害防救科技中心所調查之全國道路邊坡災害統計資料，詳見成果報告 P.2-1 圖 2.1。	同意
2. 表 2-3 及內文，土砂災害宜改為土石災害。	感謝委員意見。該表已修正。	同意
3. 表 2-4 及 2-5 災害類別統計，表中部份類別極近似，宜整合。	感謝委員意見。該表已刪除，該表整合結果詳見成果報告表 2-5 與表 2-6。	同意
4. 2.2 節內文編排鋪述欠佳，建議增列 2.2.2 邊坡崩塌，及 2.2.2 山區道路災害類型，2.2.1 內含 1.地質與地形對邊坡影響，2.人為...，3.水...，4.邊坡崩塌分類；2.2.2 內含災害類型	感謝委員建議。已重新修正第二章之章節編排與內容，相關內容並已納入委員之建議。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
之說明及統計資料，尤其應說明災害類型「土石坍方」包含之災害類別(對照表 2-4 及表 2-5)。表 2-7 與上下文關係，宜列表 2.2.2。		
5. 表 2-9 及表 2-10 中，災害類型「路面皸裂」發生比率為 0，請查明。	遵照辦理。根據本研究所調查所得之資料形式，實無法呈現「路面皸裂」之災害類型，因此已將此類型刪除，詳見成果報告 P.2-22~P.2-23。	同意
6. 表 3-1 致災危險度評估表，請補充臺 21 線資料。	遵照辦理。臺 21 線的評分方式，亦採用表 3-1 相同的評估表，唯各路線因子其資料範圍有異，會影響每個評分的區間，故僅以臺 18 線示之。	同意
7. 第四、五章各類型易致災路段之危害度分析及易致災性分析均係針對崩塌類型(土石坍方)災害，對其他類型災害如何，宜有說明。	本研究針對各類型災害於第二章中已有說明，對於易致災分析則以是否發生災害為判斷標準。唯對於不同類型的災害分別進行易致災分析，囿於原始資料的屬性難以得到某類災害條件下的不發生資料，考量易致災分析結果的應用性，乃針對全部類型災害進行易致災分析。此部分將於計畫最終成果報告中 4.1 節山	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	區道路崩塌潛勢因子中補充說明。	
8. 建構邏輯斯迴歸模式所選用之分析參數在臺 18 線及臺 21 線不同，宜說明如何考量。臺 18 線模式中一日降雨量何以未選為分析參數，而事件累積降雨量卻是負相關參數；另，臺 21 線模式分析結果顯示崩塌預測準確率偏低，宜有說明。	本研究之建構邏輯斯迴歸模式，於臺 18 線與臺 21 線皆已考量相同的 7 個因子，詳如期末修正報告 P.4-28。	同意
9. 臺 18 線及臺 21 線易致災性評估之結果，宜將高易致災性路段以列表呈現，以供清楚對照。	此部分將於計畫最終成果報告中 5.2 節各類型山區道路易致災路段之易致災性分析補充說明。	同意
10. 表 5-1 累計崩塌次數評分表與表 3-1 評分準則不同？	遵照辦理。已修正模式為相同的評分準則。詳見成果報告 P.3-3 表 3-1 及 P.5-5 表 5-2。	同意
11. 易致災路段監測系統規劃宜加強。	遵照辦理。本研究已針對臺 18 線與臺 21 線之易致災路段監測站加強說明，並列明監測站位置與其監測單元數量。詳見成果報告 6.2 節「臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃」。	同意
12. 甚多語意不清與錯誤，請更正，如：	遵照辦理。已修正。 (1) 詳見成果報告 P.2-2	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>(1)P.2-2 山生的崩塌,及然而颱風;</p> <p>(2)P.3-2 表-1 道渡邊坡;</p> <p>(3)P.3-3 , 崩塌潛感激路...;</p> <p>(4)P.3-12 圖 3.2;</p> <p>(5)P.4-3 上下邊坡 200m 應為「25m」;</p> <p>(6)P.4-5 西部山麓帶應為「麓山帶」;</p> <p>(7)P.4-7 , 河道專灣攻擊腳;</p> <p>(8)P.4-16 羅吉斯迴歸;</p> <p>(9)P.4-23 中段臺 18 線應為「臺 21 線」, 判別率 84.1% 應為「81.3%」;</p> <p>(10)P.4-25 如圖 4.16, 4.17 所示應為「如圖 4.15~4.23 所示」;</p> <p>(11)圖 4.18, 4.20, 4.22 錯置;</p> <p>(12)P.5-5 中易致災性地區評分區間;</p> <p>(13)P.6-4 及 P.6-5 部分英文名詞(如 surface extensometer 應為 surface extensometer 等);</p> <p>(14)P.6-7 表 6-1 中氣壓式系統修復;</p>	<p>已更正為「產生之崩塌」, 「然而颱風」。</p> <p>(2) 詳見成果報告 P.3-2, 已更正為「道路邊坡」。</p> <p>(3) 已改寫。</p> <p>(4) 詳見成果報告 P.3-14, 修正圖 3.1 內各圖之小標題。</p> <p>(5) 詳見成果報告 P.4-3。</p> <p>(6) 詳見成果報告 P.4-5。</p> <p>(7) 詳見成果報告 P.4-7, 已更正為河道轉彎攻擊角。</p> <p>(8) 詳見成果報告 P.4-14。</p> <p>(9) 已改寫。</p> <p>(10) 詳見成果報告 P.4-26~P.4-29, 已修正該部分內容。</p> <p>(11) 詳見成果報告 P.4-26~P.4-29, 已修正該部分內容。</p> <p>(12) 詳見期末修正報告 P.5-5。</p> <p>(13) 詳見成果報告 P.6-7。</p> <p>(14) 詳見成果報告表 6-1。已更正誤字。</p>	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
(15)臺 18 線等之「台」應 為「臺」。		
13. 期末報告與簡報內容有甚 多相異之處，宜依簡報內 容更新。	遵照辦理。已修正，詳見 期末修正報告。	同意
交通部運輸研究所港研中心 邱永芳 主任 (共 4 項)		
1. 實用性與準確性應進一步 檢討與驗證說明。	遵照辦理。易致災性準確 率以說明詳如期末修正 報告 P.4-23。實用性與準 確性以於結論建議中說 明，詳見期末修正報告 P.9-1。	同意
2. 監測要有時效性，如何配 合而運用在預警上應特別 考量。	遵照辦理。監測之時效性 取決於監測之目的及所 採取的監測元件、數據量 及傳輸方式。整體而言， 目前監測站所規劃之雨 量計、土壤含水量計及土 壓計所需流量並不大，通 訊介面應無須採用昂貴 的衛星或微波。在考量現 地環境可及性、穩定性 下，建議以 ADSL 或光纖 為最佳通訊模式，若經現 地實測無通訊中斷之 虞，亦可考量以 3.5G 無 線網路傳輸。	同意
3. 累積雨量是否可作為判斷 應驗證，或說明其他判定 方式。	在驅動力因子中，事件累 積雨量、有效累積雨量、 3 小降雨量及降雨強度等	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	皆可做為驅動力因子。唯考量易致災性應用需求，目前中央氣象局降雨預報中以累積降雨量作為預報，因此本研究建議仍採用累積雨量為宜。	
4. 易致災路段判定標準應再檢討。	已重新使用新建立之邏輯斯模型進行易致災路段推估，詳見期末修正報告 P.5-5。	同意
<b>交通部運輸研究所港研中心 謝明志 科長 (共 5 項)</b>		
1. 報告 P.3-2，表 3-1 為致災危險度評分表，P.3-4 訂出，以評分 10 及 30 分為界線，劃分出低、中、高易致災性路段，但在第五章，又重新定義易致災性區域(路段)。P.5-5 以評分 0.8 及 3 分為分界，劃分出低、中、高易致災性路段，這兩章談同一件事情，卻用不同的條件方法，請予釐清。	遵照辦理。表 3-1 之致災危險度評分表為提供後續危害度分析與易致災性分析所用，但並非即為易致災路段分級。而 P.5-5 之易致災性結果，則是依邏輯斯分析所得路段危害度乘以脆弱因子所得。此部分補充說明將於成果報告中補充在 3.1 節「山區道路易致災路段之分類」。	同意
2. P.3-3，表 3-1 的第一、二列，評分方式放顛倒。(因為得分愈高，表危險性愈高)，請修正。	遵照辦理。已修正，詳見期末修正報告 P.3-3。	同意
3. 請確認表 3-1 是本計畫處出的，或是引用其他研究而來的，因本計畫一直沒	表 3-1 為提供後續危害度分析中參數所用，為本計畫參考吳傳威(2001)所提	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
有用到表 3-1，而是產出表 3-3 來用，而照 P.3-1 最後一段的講法，是本計畫產出表 3-1，請確認。	評分方式依本計畫需求修正而得。此部分補充說明詳見成果報告 3.1 節「山區道路易致災路段之分類」。	
4. P.4-24，表 4-9「百分比修正」計算有誤，請訂正，圖 4.15，圖示說明潛勢等級，應改為崩塌潛勢，而圖 4.18，圖示說明易致災性，也應改為崩塌潛勢。	感謝委員意見。表 4-9 已刪除，相關道路危害分布圖，詳見期末修訂報告圖 4.25~圖 4.28。	同意
5. 本計畫產出的調查表，表 3-3，內有「保全對象」此評估項目，為何第四章、第五章在分析時，都沒有列入此項？依圖 5-3(P.5-4)來看，應放在第五章，當作脆弱性因子之一，請考慮納入。	感謝委員建議。目前本研 究中山區道路示範區位 之保全對象較少，因此於 本年度中未納入考量。建 議可於下期計畫中將保 全對象之脆弱因子納入 考量。	同意
<b>災害防救應用科技方案辦公室 謝其泰 博士(共 3 項)</b>		
1. 監測儀器的取樣頻率是 多少？	目前規劃之監測系統之 取樣頻率，前端(現地)皆 為每分鐘取樣一次，後端 則每 5 分鐘儲存一筆資料 (資料庫)。此部分詳見成 果報告 6.2 節「臺 18 線與 臺 21 線易致災路段監測 系統規劃」。	同意
2. 2、3、4、5 級各類型地質 圖表，其相關係數是多	遵照辦理。已將各級地質 分級表之相關係數加入	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
少？	圖表中，詳見成果報告 P.2-15~P.2-21。	
3. 為何使用邏輯斯迴歸分析？是否有其他分析的方式？	邏輯斯迴歸分析為本計畫延續前期計畫所使用之分析，該方法於近年常被用來使用於多變量的崩塌災害分析。然而仍有其他分析方式可供選擇，如最大概似分析、類神經等數值模式。	同意
<b>國家災害防救科技中心 吳亭嬋 (共 6 項)</b>		
1. 建議地質圖的繪製，不要用顏色而以不同樣式色塊以便於辨識。	感謝委員建議。考量清晰度，該地質圖於成果報告中將以彩色呈現以利辨識。	同意
2. 建議將風險評估結果附錄於附件中以便於參考。	將於最終成果報告中摘錄評估結果，以便參考。	同意
3. 建議針對崩塌評估結果中崩塌潛勢中影響較大的因子，加以探討，或是將其位置、規模等詳列，以結合後續防減災措施之規劃。	本研究易致災道路之影響因子即以地層因子為重要考量，未來配合長期現地監測資料，律定土壤含水參數來了解現地土壤條件，輔以土壓計觀測，將可作為後續應變作為的啟動依據。	同意
4. 建議多詳加說明提出的道路災害應變機制。可將目前已施行的操作機制附於附件中，以比較相異處，	本計畫依委託單位建議，於計畫中將目前公路總局防災預警機制結合，提出應變機制動態表	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
或是本計畫提案較佳之處。	單架構。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在 7.1 節國內山區道路災害應變計畫。	
5. 建議多著墨於臺 21 線和臺 18 線的環境描述以了解其與崩塌災害的關係。	遵照辦理。本研究除加強敘述臺 18 線和臺 21 線之環境背景之外，並新增莫拉克災害事件統計分析，參見報告 P.2-13~P.2-21。結果顯示，不論是累積降雨量或降雨強度皆與第三~第四級坡度(15°~35°)之相關性顯著，而地質條件因子之相關性較不明顯。此部分補充說明將於計畫成果報告中補充在 2.3.1 節研究區莫拉克事件資料分析。	同意
6 第 5 章的編碼建議修正。	遵照辦理。已修正該章編碼。	同意

## 附錄四

### 第二次期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末修定報告審查意見處理情形表

計畫名稱：山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4)

合作研究單位：逢甲大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
中興大學土木工程學系 林炳森 教授 (共8項)		
<p>1.第四章</p> <p>(1)P.4-23 山區道路各類型易致災路段之危害度分析，採邏輯斯迴歸模式，但表 4-8 未列出迴歸模式，未列出迴歸結果之 R2 (相關係數)?</p> <p>(2)P.4-24.表 4-9</p> <p>a. 採用 3 種方法，但實務應用上，採取那一種?</p> <p>b. 機率只討論 0~0.1、0.1~0.2、0.2~0.3、0.3~0.4，是否亦應討論 0.5~0.6、0.6~0.7、0.7~0.8、0.8~0.9。</p> <p>c. 圖 4-15 預測機率與實際發生比率與表 4-15 不符?</p>	<p>遵照辦理。</p> <p>(1)已修正。詳見成果報告表 4-8 及表 4-17。</p> <p>(2)a.本研究建議採用方法 2 的迴歸結果，其預測的準確率隨著預測出的機率增加而增加，符合機率提升的趨勢。</p> <p>b.本研究採用之邏輯斯迴歸模式受限於事件資料特性，故不會出現超出預期的機率範圍。</p> <p>c.未崩塌預測機率最高達 30~40%，而崩塌機率僅達 20~30%；因發生率計算是針對實際有發生崩塌處，因此呈現為三個等級。詳圖 4.23 及表 4-9。</p>	<p>同意</p>
<p>2. P.2-21，山區道路災害類型，分成三類:(1)土石坍方</p>	<p>感謝委員建議。本研究依據易致災性分析模式，將</p>	<p>同意</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
(上邊坡破壞);(2)路基下陷或缺口(道路破壞);(3)路基流失(下邊坡破壞)，是否合適？	所蒐集之轄區工務段災害類別及受損紀錄加以分類，由於此紀錄並無標準格式，分類過細對於以統計方法為主的易致災性分析模式並無助益，因此本研究將其分為3類破壞模式，以適於分析進行。	
<p>3. P.3-2 表 3-1 致災危險度評估表：</p> <p>(1)評估準則與分數為何分成 0.03 分、0.09 分、0.27 分、0.81 分，4 個等級應說明？</p> <p>(2)土石流潛勢溪流，為何無為 1 分，有為 0 分？</p> <p>(3)事件累積降雨量 (mm)，定義為何？</p> <p>(4)各評分因子之分數如何訂，應加以說明？</p> <p>(5)為何總分超過 30 分為高易致災路段，10 以下為低……;30~10 為中易致災路段，應加以解釋？</p>	<p>遵照辦理。</p> <p>(1)參考吳傳威(1999)對於南橫公路進行之研究，詳見成果報告 3.1 節「山區道路易致災路段分類」。</p> <p>(2)已更正此評分誤植，詳見成果報告表 3-1。</p> <p>(3)事件累積降雨量以颱風為例，以其陸上颱風警報發布至結束前，此段時間之降雨量。以豪雨之事件為例，則以阻斷時間至預計搶通時間，此段時間之降雨量作為事件累積降雨量。</p> <p>(4)參考吳傳威(1999)對於南橫公路進行之研究，詳見 3.1 節「山區道路易致災路段分類」。</p>	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
	(5)已更正此誤植之評分區間，詳見成果報告 3.1 節「山區道路易致災路段分類」。	
4. P.5-5.表 5-1 為何有工程設施得 1 分，無工程設施得 3 分？	已更正此評分誤植，詳見成果報告表 3-1。	同意
5. 五、第六章:應提出可行易致災路段監測系統規劃 (1)P.6-19 於台 18 線之 65K，建議 3 種監測儀器，包含雨量計、土壤含水量及土壓計→不合適，無法發揮效用。 (2)P6-7.表 6-1 氣壓式水壓計之缺點仍未修正(原意見 5)	(1)感謝委員建議。目前規劃之監測設備，希望配合易致災性分析結果，以雨量為主要監測預警值，並搭配長期的土壤含水及土壓計監測數據，未來除可作為預警功能之外，亦可了解當地降雨與土壤含水關係，以做為未來進一步分析研判。詳見成果報告 6.2 節「臺 18 線與台 21 線易致災路段監測系統規劃」。 (2)遵照辦理。詳見成果報告表 6-1，利用氣壓式系統量測孔隙水壓或總壓力缺點在施工過程壓力管容易被破壞，不易修復。	同意
6. P.7-4. 單日累積雨量達 500mm 以上，可能因公路阻斷 2 日以上，造成孤島地區;但在 P.4-11.累積雨量達 300mm 以上時，鬆動的土	感謝委員建議。該兩段說明為兩種不同之狀況，前者為指單日累積雨量過大，可能造成大規模崩坍而導致公路阻斷 2 日以	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
石即可能產生滑移→前後敘述應一致。	上，容易形成孤島地區，因此對於應變搶通更形重要。後者則指累積雨量達 300 毫米時，土石易產生滑移的物理現象。	
7. P.5-3 依據災害事件易發性進行勘災排序，除(1)災害發生規模頻率，應先說明災害的種類與原因。	遵照辦理。詳見成果報告 5.1 節「山區道路脆弱性因子調查」。	同意
8. P.9-1 結論應重新整理，如 (1)第 2 點，本計劃延續「山區道路坡地災害防治技術整合研究(4/4)」所蒐集之台 18 線……沿線雨量歷時資料……→不能作為結論。 (2)第 4 點，建議於邏輯斯迴歸之高易致災性路段，規劃設置道路監測系統。→此為建議，不能作為結論。	遵照辦理。詳見成果報告 9.1 節「結論」。	同意
<b>中原大學土木系 張達德 教授 (共 4 項)</b>		
1.文獻回顧調查評估，風險分析豐富。	感謝委員指教。	同意
2.監測預警技術研發沒有著墨，也無規劃新思維。	感謝委員指教。詳見成果報告 6.2 節「臺 18 線與台 21 線易致災路段監測系統規劃」。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
3.傳輸技術的優缺點不盡完整。	感謝委員指教。詳見成果報告 6.1.2 節「山區道路易致災路段之監測系統規劃」。	同意
4. SHRPII。	遵照辦理。	同意
<b>嘉義大學土木及水資源工程系 陳建元 教授 (共 17 項)</b>		
1.誤字， (1)PI”收”集， (2)P3-5 傾”到”， (3)P3-11 公路總”渠”， (4)P4-10 人為”影響”影響重複， (5)P4-25”未”害度， (6)P5-3”收”集， (7)P6-6” fiber bragg gratiy” →Fiber Bragg Gratiy， (8)附件 P1-3 河道轉”灣”， (9)P6-15”導，致”， (10)P6-19 土”讓”， (11)P6-5 英文空格 etc。	遵照辦理。已修正。 (1)詳見成果報告 P.3-1。 (2)詳見成果報告 P.3-5，「公共管道調查情形」。 (3)詳見 P.3-11，「監造單位」。 (4)詳見 P.4-10，已刪除重複部分。 (5)詳見 P.4-29。 (6)詳見 P.5-3 (7)詳見成果報告 P.6-6。 (8)詳見成果報告附件二，P.4。 (9)詳見成果報告 P.6-15。 (10)詳見成果報告 P.6-19。 (11)詳見成果報告 P.6-5。	同意
2. PIV 未附上”期末”意見回覆。	遵照辦理。詳見成果報告附錄「期中修定報告審查意見處理情形表」。	同意
3.文中”臺” VS”台”建議統一。	遵照辦理。	同意
4. P2-11 引用文獻(潘，2007)格式建議統一。	遵照辦理。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
5. P2-13 地質 B~E 未說明代表何種地質。	遵照辦理。已補充圖表說明，詳見成果報告 2.3.1 節「研究區莫拉克事件資料分析」。	同意
6. P2-27 表 2-27 近十年最大值是否包含 98 年之莫拉克颱風？	感謝委員指正。該表名稱為筆誤，已修正，詳見成果報告表 2-8「民國 87 年~97 年颱風所造成公路災情比較」。	同意
7. P3-5 表 3-2 邊坡坡面狀況不應填寫”是”。	遵照辦理。已更正為「差」，詳見成果報告表 3-2。	同意
8. (1)P4-1 崩塌潛勢評估參數中人為環境只有”坡面保護工程”，但文中尚有提及”河道工程”是否列入？ (2)另其他參數在文中亦有提及”一日最大”雨量(如 P4-8)是否列入？	感謝委員建議。 (1)目前的分析中不使用「河道工程」因子，然而為了後續研究的擴充性，於資料庫中仍持續更新該項資訊。 (2)已刪除該處誤植。	同意
9. P4-8 圖 4-4 不應在文中提及未於圖 4-5 及 4-6 之後，另坍塌比率建議統一用”崩坍”。	遵照辦理。詳見成果報告 P.4-5 與 P.4-6。	同意
10. P4-8 水土保持局公告之土石流潛勢現已非 1552 條。	遵照辦理。已更正為 1578 條，詳見成果報告 P.4-7。	同意
11. P4-11 降雨量在 P4-8 有提及採用”一日最大降雨量”？	感謝委員建議。已刪除該處誤植，詳見成果報告 P.4-7。	同意
12. P3-18 台 18 及台 21 歷史災害資料為本計畫重要工	感謝指教。由於資料繁多，已電子檔案型式，提	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
作項目，建議 excel 列表置 於附件。	供委託單位參考。	
13. P7-8 圖 7.3 標題排版修 正，P6-13 亦同。	遵照辦理。詳見成果報告 P.7-10 與 P.6-14。	同意
14. P8-1§8.1 國內”外”文 獻，但文中只有國”內”文 獻。	遵照辦理。已增列國外文 獻，詳見成果報告 P.8-1。	同意
15.圖 5-6~5-11 黑白影像影印 實看不出，另簡報中之潛勢 列表宜放入報告內。	遵照辦理。已將危害度與 易致災性於臺 18 線與台 21 線之分布圖以彩色方 式呈現，另將潛勢列表置 於附錄四中，詳見成果報 告第四章、第五章以及附 錄四。	同意
16. P4-25 圖 4.15&4.16 圖面 請修正並加上縱軸座標數 字。	遵照辦理。已修正，詳見 成果報告 P.4-27 圖 4.23 與 P.4-28 圖 4.24。	同意
17.順向坡為明顯易致災地質 構造，應列入考量。	感謝委員建議。本年度工 作項目調查中無該項因 子，故建議委託單位向中 央地質調查所協助取得 相關資料後，於下期程計 畫中納入。	同意
<b>交通部運輸研究所港研中心 李豐博 前副主任 (共 11 項)</b>		
1.目錄，PII~PXI 期中報告→ 期末報告;遺漏 7.2 及附錄 二期末報告審查意見處理 情形表。	遵照辦理。詳見成果報告 本文目錄、圖目錄以及表 目錄；附錄二之期末報告 審查意見處理情形表。	同意
2.臺灣，臺 18 線，台 21 線之 「台」「臺」混用，宜統一 為「臺」。	遵照辦理。詳見成果報 告。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
3. 2.1 與 2.3.2 同為山區道路災害類型，建議 2.1 改為山區道路災害彙整。	遵照辦理。已修正，詳見成果報告第二章，P.2-1。	同意
4. P3-2，(八)至(九)項→(八)項;(十)至(十二)項→(九)至(十)項;表 3-1，有無土石流潛勢溪流及有無崩塌之評分反置。	遵照辦理。已更正誤植評分之因子，詳見成果報告 P.3-1~P.3-3 與表 3-1。	同意
5. P4-23，圖表之編號順序宜以內文說明之先後相對應？	遵照辦理。已修正，詳見成果報告 4.2.3 節「研究方法」，P.4-24~P.4-29。	同意
6.最佳邏輯斯迴歸模式需持續調整與確立，包括分析方法與影響因子，提升分析準確性。	感謝委員建議。將於未來研究中持續調整與確立模式，提升分析結果準確性。	同意
7.預警為監測主要目的，應建立各易致災路段之各項監測預警值，尤其降雨量預警值應可先建立。	感謝委員建議。目前分析成果中使用 300mm、600mm 以及 900mm 之事件累計降雨量，經由臺 18 線與臺 21 線的危害度的變化，建立不同易致災之初步降雨量管理標準。	同意
8. P4-25，圖 4.15、4.16 表示不清楚，宜修正。	遵照辦理。已將該圖重繪，補正兩軸單位與刻度，詳見成果報告 P.4-27 圖 4.23 與 P.4-28 圖 4.24。	同意
9. P5-6，路段各預測雨量分布高中低潛勢，語意不清。	感謝委員建議。已修正相關敘述，詳見成果報告 P.5-6。	同意
10.文字錯誤請更正： (1)P3-8，四類災害→三類災害;	遵照辦理。已修正。 (1)詳見成果報告 P.3-8。 (2)詳見成果報告 P.4-10。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>(2)P4-11，三種類型→四種類型；</p> <p>(3)P4-19，道路上下邊坡200m的坡度→25m?;</p> <p>(4)P4-23，圖4.16為台21之三種z方法→為臺21線之三種方法;倒數第6行，表4-9→表4-10;</p> <p>(5)P4-25未害度→危害度;P4-26，台18獻→臺18線;</p> <p>(6)P6-5， openstandpipepiezo meter→open standpipe piezometer， pneumaticpiezo meter→ pneumatic piezometer， eleztricalpiezo meter→ electrical piezometer， rebarstress meter→rebar stressmeter。</p>	<p>(3)詳見成果報告 P.4-21。</p> <p>(4)詳見成果報告 P.4-24。</p> <p>(5)詳見成果報告 P.4-29。</p> <p>(6)詳見成果報告 P.6-5~P.6-6。</p>	
<p>11.附錄頁，期中報告→期末報告，其中合作單位處理情形與簡報內容有修正之處，宜更新。並須包括期中報告審查意見處理情形表。</p>	<p>遵照辦理。已於成果報告中，更新內容，另外已補正期中報告審查意見、期末報告審查意見以及期末修定報告審查意見於附錄一~附錄三中。</p>	<p>同意</p>
<p>交通部運輸研究所港研中心 邱永芳 主任(共4項)</p>		
<p>1.危害度與易致災性之計算參數與判斷方式是否合理。</p>	<p>感謝委員指教。迴歸模式的分析成果，可以提供歷史資料所表現的危害度</p>	<p>同意</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
	與易致災性之趨勢，透過與驗證時之準確率，觀察分析成果與該路段的趨勢相似的程度。	
2.本研究為沿用過去研究臺18線臺21線之資料，其易致災分析方法與過去的分析方法之差異、好處與改變在哪裡，請說明。	遵照辦理。本期研究中所採用的因子與前期計畫中使用的因子部分相異。配合風險分析的觀念進行易致災性分析。除了前期研究採納之颱風事件外，本期研究新增豪雨事件加入訓練資料，以期模型能廣泛的應用於各類降雨事件中，協助業務單位執行山區道路管理。	同意
3.監測功能應用到很多的通訊傳輸方式，到底適不適用，是值得考慮的。	感謝委員指教。相關說明詳見成果報告表 6-2「各種通訊方式比較表」。	同意
4.期末報告請附上期中報告與期末報告審查意見處理情形表，並依本所的報告的要求附上相關資料	遵照辦理。已於成果報告中，更新內容，另外已補正期中報告審查意見、期末報告審查意見以及期末修訂報告審查意見於附錄中。	同意
<b>交通部運輸研究所港研中心 謝明志 科長 (共6項)</b>		
1.本次審查，研究團隊已針對上次委員之意見，提供修正。	感謝委員指教。	同意
2. P.3-2 危險度評估項目，列出10項，但該頁文字描述內，共提到十二項，十二項	遵照辦理。已更正 3.1 節「山區道路易致災路段之分類」危險度因子中之	同意

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
是上次審查時報告所列，請 確認共有幾項評估項目。	敘述，詳見成果報告 P.3-1~P.3-4。	
3. P.3-2，表 3-1，土石流潛勢 溪流與崩塌地區兩個項 目，括號內的 0 與 1 兩個 值，應互調，請修正。	遵照辦理。已更正此評分 誤植，詳見成果報告 P.3-3 表 3-1。	同意
4. P.3-3 第二段文字，災害事 件與災害驅動因子，共有 3 項，但表 3-1 內，只有 2 項， 也請確認。	遵照辦理。已更正此評分 誤植，詳見成果報告 3.1 節「山區道路易致災路段 之分類」，P.3-1~P.3-2。	同意
5. P5-5，易致災性的分級，在 本頁第 8 行及第 9 行，請確 認高、中、低易致災性的分 界，是 3 分與 0.8 分，或是 1.5 分與 0.8 分。	遵照辦理。已更正易致災 性分界，詳見成果報告 5.2 節 P.5-5。	同意
6. 本次將台 18 線、台 21 線， 潛勢因子的最大差異已辨 識出，是在地層結構上，而 順向坡之相同資料，地調所 已建，建議後續研究上，考 慮加入。	感謝委員指教。將於後續 研究中，納入地質構造因 子進行分析。	同意

## 附錄五

臺 18 線、臺 21 線易致災性分布  
(以 718 豪雨為例)

## 臺 18 線、臺 21 線易致災性分布

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
0.0K	R	中	中	高	0.0K	L	中	中	高
0.5K	R	中	中	高	0.5K	L	低	低	低
1.0K	R	低	低	低	1.0K	L	低	低	低
1.5K	R	低	低	低	1.5K	L	低	低	低
2.0K	R	低	低	低	2.0K	L	低	低	低
2.5K	R	低	低	低	2.5K	L	低	低	低
3.0K	R	中	中	高	3.0K	L	中	中	高
3.5K	R	低	低	低	3.5K	L	低	低	低
4.0K	R	低	低	低	4.0K	L	低	低	低
4.5K	R	低	低	低	4.5K	L	低	低	低
5.0K	R	低	低	低	5.0K	L	低	低	低
5.5K	R	低	低	低	5.5K	L	低	低	低
6.0K	R	低	低	低	6.0K	L	低	低	低
6.5K	R	低	低	低	6.5K	L	低	低	低
7.0K	R	低	低	低	7.0K	L	低	低	低
7.5K	R	低	低	低	7.5K	L	低	低	低
8.0K	R	低	低	低	8.0K	L	低	低	低
8.5K	R	低	低	低	8.5K	L	低	低	低
9.0K	R	低	低	低	9.0K	L	低	低	低
9.5K	R	低	低	低	9.5K	L	低	低	低
10.0K	R	低	低	低	10.0K	L	低	低	低
10.5K	R	低	低	低	10.5K	L	低	低	低
11.0K	R	低	低	低	11.0K	L	低	低	低
11.5K	R	低	低	低	11.5K	L	低	低	低
12.0K	R	低	低	低	12.0K	L	低	低	低
12.5K	R	低	低	低	12.5K	L	低	低	低
13.0K	R	低	低	低	13.0K	L	低	低	低
13.5K	R	低	低	低	13.5K	L	低	低	低
14.0K	R	低	低	低	14.0K	L	低	低	低
14.5K	R	低	低	低	14.5K	L	低	低	低
15.0K	R	低	低	低	15.0K	L	低	低	低
15.5K	R	低	低	低	15.5K	L	低	低	低
16.0K	R	低	低	低	16.0K	L	低	低	低

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
16.5K	R	低	低	低	16.5K	L	低	低	低
17.0K	R	低	低	低	17.0K	L	低	低	低
17.5K	R	低	低	低	17.5K	L	低	低	低
18.0K	R	低	低	低	18.0K	L	低	低	低
18.5K	R	低	低	低	18.5K	L	低	低	低
19.0K	R	低	低	低	19.0K	L	低	低	低
19.5K	R	低	低	低	19.5K	L	低	低	低
20.0K	R	低	低	低	20.0K	L	低	低	低
20.5K	R	低	低	低	20.5K	L	低	低	低
21.0K	R	中	中	高	21.0K	L	低	低	中
21.5K	R	低	低	中	21.5K	L	低	低	中
22.0K	R	低	低	低	22.0K	L	低	低	低
22.5K	R	低	中	高	22.5K	L	低	中	高
23.0K	R	低	低	中	23.0K	L	低	低	中
23.5K	R	低	低	中	23.5K	L	低	中	高
24.0K	R	低	中	高	24.0K	L	低	中	高
24.5K	R	中	中	高	24.5K	L	中	中	高
25.0K	R	中	中	高	25.0K	L	低	中	高
25.5K	R	低	中	高	25.5K	L	低	中	高
26.0K	R	低	中	高	26.0K	L	中	中	高
26.5K	R	低	中	高	26.5K	L	低	中	高
27.0K	R	低	低	中	27.0K	L	低	低	中
27.5K	R	低	中	高	27.5K	L	低	中	高
28.0K	R	低	低	低	28.0K	L	低	低	低
28.5K	R	低	低	低	28.5K	L	低	低	低
29.0K	R	低	中	高	29.0K	L	低	中	高
29.5K	R	低	中	高	29.5K	L	低	中	高
30.0K	R	低	中	高	30.0K	L	低	中	高
30.5K	R	低	中	高	30.5K	L	低	中	高
31.0K	R	低	中	高	31.0K	L	低	中	高
31.5K	R	低	低	低	31.5K	L	低	低	低
32.0K	R	低	中	高	32.0K	L	中	中	高
32.5K	R	低	中	高	32.5K	L	低	中	高
33.0K	R	低	中	高	33.0K	L	低	中	高
33.5K	R	低	中	高	33.5K	L	低	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
34.0K	R	中	中	高	34.0K	L	低	中	高
34.5K	R	低	中	高	34.5K	L	低	中	高
35.0K	R	低	中	高	35.0K	L	低	中	高
35.5K	R	低	中	高	35.5K	L	低	中	高
36.0K	R	低	中	高	36.0K	L	低	中	高
36.5K	R	中	中	高	36.5K	L	低	中	高
37.0K	R	低	中	高	37.0K	L	低	中	高
37.5K	R	低	中	高	37.5K	L	低	中	高
38.0K	R	中	中	高	38.0K	L	低	中	高
38.5K	R	低	中	高	38.5K	L	低	中	高
39.0K	R	低	中	高	39.0K	L	低	中	高
39.5K	R	低	中	高	39.5K	L	低	中	高
40.0K	R	中	中	高	40.0K	L	低	中	高
40.5K	R	低	中	高	40.5K	L	低	中	高
41.0K	R	中	中	高	41.0K	L	中	中	高
41.5K	R	中	中	高	41.5K	L	中	中	高
42.0K	R	低	中	高	42.0K	L	低	中	高
42.5K	R	低	中	高	42.5K	L	中	中	高
43.0K	R	中	中	高	43.0K	L	中	中	高
43.5K	R	低	中	高	43.5K	L	低	中	高
44.0K	R	低	中	高	44.0K	L	低	中	高
44.5K	R	低	中	高	44.5K	L	低	中	高
45.0K	R	低	中	高	45.0K	L	低	中	高
45.5K	R	中	中	高	45.5K	L	中	中	高
46.0K	R	低	中	高	46.0K	L	低	中	高
46.5K	R	低	中	高	46.5K	L	低	中	高
47.0K	R	低	中	高	47.0K	L	低	中	高
47.5K	R	低	中	高	47.5K	L	低	中	高
48.0K	R	低	中	高	48.0K	L	低	中	高
48.5K	R	低	中	高	48.5K	L	低	中	高
49.0K	R	低	中	高	49.0K	L	低	中	高
49.5K	R	低	中	高	49.5K	L	低	中	高
50.0K	R	低	低	低	50.0K	L	低	低	低
50.5K	R	低	中	高	50.5K	L	低	中	高
51.0K	R	低	中	高	51.0K	L	低	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
51.5K	R	低	中	高	51.5K	L	低	中	高
52.0K	R	低	中	高	52.0K	L	低	中	高
52.5K	R	低	中	高	52.5K	L	中	中	高
53.0K	R	中	中	高	53.0K	L	中	中	高
53.5K	R	中	中	高	53.5K	L	中	中	高
54.0K	R	中	中	高	54.0K	L	中	中	高
54.5K	R	低	中	高	54.5K	L	中	中	高
55.0K	R	低	低	中	55.0K	L	低	低	中
55.5K	R	低	低	中	55.5K	L	低	低	中
56.0K	R	低	低	中	56.0K	L	低	低	中
56.5K	R	中	中	高	56.5K	L	中	中	高
57.0K	R	中	中	高	57.0K	L	中	中	高
57.5K	R	中	中	高	57.5K	L	中	中	高
58.0K	R	中	中	高	58.0K	L	中	中	高
58.5K	R	低	中	高	58.5K	L	中	中	高
59.0K	R	低	中	高	59.0K	L	低	中	高
59.5K	R	低	中	高	59.5K	L	低	中	高
60.0K	R	低	中	高	60.0K	L	低	中	高
60.5K	R	中	中	高	60.5K	L	中	中	高
61.0K	R	中	中	高	61.0K	L	低	中	高
61.5K	R	低	中	高	61.5K	L	低	中	高
62.0K	R	中	中	高	62.0K	L	低	中	高
62.5K	R	低	中	高	62.5K	L	中	中	高
63.0K	R	中	中	高	63.0K	L	中	中	高
63.5K	R	中	中	高	63.5K	L	中	中	高
64.0K	R	中	中	高	64.0K	L	中	中	高
64.5K	R	中	中	高	64.5K	L	中	中	高
65.0K	R	中	中	高	65.0K	L	中	中	高
65.5K	R	低	中	高	65.5K	L	低	中	高
66.0K	R	低	中	高	66.0K	L	低	中	高
66.5K	R	低	中	高	66.5K	L	中	中	高
67.0K	R	低	中	高	67.0K	L	低	中	高
67.5K	R	低	中	高	67.5K	L	中	中	高
68.0K	R	低	中	高	68.0K	L	中	中	高
68.5K	R	中	中	高	68.5K	L	中	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
69.0K	R	低	中	高	69.0K	L	中	中	高
69.5K	R	低	中	高	69.5K	L	低	中	高
70.0K	R	低	中	高	70.0K	L	低	中	高
70.5K	R	低	中	高	70.5K	L	低	中	高
71.0K	R	中	中	高	71.0K	L	中	中	高
71.5K	R	低	中	高	71.5K	L	中	中	高
72.0K	R	低	中	高	72.0K	L	低	中	高
72.5K	R	低	中	高	72.5K	L	低	中	高
73.0K	R	低	中	高	73.0K	L	低	中	高
73.5K	R	中	中	高	73.5K	L	中	中	高
74.0K	R	低	中	高	74.0K	L	低	中	高
74.5K	R	低	中	高	74.5K	L	低	中	高
75.0K	R	低	中	高	75.0K	L	低	中	高
75.5K	R	低	中	高	75.5K	L	低	中	高
76.0K	R	低	中	高	76.0K	L	低	中	高
76.5K	R	低	中	高	76.5K	L	低	中	高
77.0K	R	低	中	高	77.0K	L	低	中	高
77.5K	R	低	中	高	77.5K	L	低	中	高
78.0K	R	低	中	高	78.0K	L	低	中	高
78.5K	R	低	中	高	78.5K	L	低	中	高
79.0K	R	中	中	高	79.0K	L	低	中	高
79.5K	R	低	低	中	79.5K	L	中	中	高
80.0K	R	中	中	高	80.0K	L	中	中	高
80.5K	R	低	中	高	80.5K	L	低	中	高
81.0K	R	低	中	高	81.0K	L	低	中	高
81.5K	R	低	中	高	81.5K	L	低	中	高
82.0K	R	低	中	高	82.0K	L	低	中	高
82.5K	R	低	中	高	82.5K	L	低	中	高
83.0K	R	低	低	中	83.0K	L	中	中	高
83.5K	R	低	中	高	83.5K	L	低	中	高
84.0K	R	低	中	高	84.0K	L	低	中	高
84.5K	R	中	中	高	84.5K	L	中	中	高
85.0K	R	中	中	高	85.0K	L	中	中	高
85.5K	R	中	中	高	85.5K	L	中	高	高
86.0K	R	中	中	高	86.0K	L	中	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
86.5K	R	中	中	高	86.5K	L	中	中	高
87.0K	R	中	高	高	87.0K	L	中	高	高
87.5K	R	中	高	高	87.5K	L	中	高	高
88.0K	R	中	中	高	88.0K	L	中	中	高
88.5K	R	低	中	高	88.5K	L	低	中	高
89.0K	R	低	中	高	89.0K	L	中	中	高
89.5K	R	中	中	高	89.5K	L	中	中	高
90.0K	R	中	中	高	90.0K	L	中	中	高
90.5K	R	中	中	高	90.5K	L	中	中	高
91.0K	R	中	高	高	91.0K	L	中	高	高
91.5K	R	中	中	高	91.5K	L	中	中	高
92.0K	R	中	中	高	92.0K	L	中	中	高
92.5K	R	中	中	高	92.5K	L	中	中	高
93.0K	R	中	中	高	93.0K	L	中	中	高
93.5K	R	中	中	高	93.5K	L	中	中	高
94.0K	R	低	中	高	94.0K	L	低	中	高
94.5K	R	低	中	高	94.5K	L	低	中	高
95.0K	R	低	中	高	95.0K	L	低	中	高
95.5K	R	低	中	高	95.5K	L	低	中	高
96.0K	R	低	中	高	96.0K	L	低	中	高
96.5K	R	低	中	高	96.5K	L	低	中	高

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
0.0K	R	低	低	中	0.0K	L	中	中	高
0.5K	R	中	中	高	0.5K	L	中	中	高
1.0K	R	中	中	高	1.0K	L	中	中	高
1.5K	R	中	中	高	1.5K	L	中	中	高
2.0K	R	中	中	中	2.0K	L	中	中	中
2.5K	R	中	中	高	2.5K	L	中	中	高
3.0K	R	中	中	高	3.0K	L	中	中	高
3.5K	R	低	低	中	3.5K	L	低	低	中
4.0K	R	中	中	高	4.0K	L	中	中	高
4.5K	R	低	低	中	4.5K	L	中	中	高
5.0K	R	中	中	高	5.0K	L	中	中	高
5.5K	R	中	中	高	5.5K	L	高	高	高
6.0K	R	中	中	高	6.0K	L	中	中	中
6.5K	R	中	中	高	6.5K	L	中	中	高
7.0K	R	中	中	高	7.0K	L	中	中	高
7.5K	R	中	中	高	7.5K	L	中	中	高
8.0K	R	中	中	高	8.0K	L	中	中	高
8.5K	R	中	中	高	8.5K	L	中	中	高
9.0K	R	中	中	高	9.0K	L	中	中	高
9.5K	R	中	中	高	9.5K	L	中	中	高
10.0K	R	中	中	高	10.0K	L	中	中	高
10.5K	R	低	低	中	10.5K	L	中	中	中
11.0K	R	中	中	高	11.0K	L	中	中	高
11.5K	R	中	中	高	11.5K	L	中	中	高
12.0K	R	中	中	高	12.0K	L	中	中	高
12.5K	R	低	低	中	12.5K	L	低	低	中
13.0K	R	低	低	中	13.0K	L	低	低	中
13.5K	R	低	低	中	13.5K	L	低	低	低
14.0K	R	低	低	中	14.0K	L	低	低	中
14.5K	R	低	低	中	14.5K	L	低	低	中
15.0K	R	中	中	中	15.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
15.5K	R	中	中	中	15.5K	L	中	中	中
16.0K	R	低	低	中	16.0K	L	低	低	中
16.5K	R	中	中	中	16.5K	L	中	中	中
17.0K	R	低	低	中	17.0K	L	中	中	中
17.5K	R	低	低	中	17.5K	L	中	中	中
18.0K	R	中	中	中	18.0K	L	中	中	中
18.5K	R	低	低	中	18.5K	L	低	低	中
19.0K	R	低	低	中	19.0K	L	低	低	中
19.5K	R	中	中	中	19.5K	L	中	中	高
20.0K	R	低	低	中	20.0K	L	中	中	中
20.5K	R	低	低	中	20.5K	L	中	中	中
21.0K	R	低	低	中	21.0K	L	低	低	中
21.5K	R	低	低	中	21.5K	L	中	中	中
22.0K	R	低	低	中	22.0K	L	低	低	中
22.5K	R	低	低	中	22.5K	L	低	低	中
23.0K	R	低	低	中	23.0K	L	中	中	中
23.5K	R	低	低	中	23.5K	L	低	低	中
24.0K	R	低	低	中	24.0K	L	中	中	中
24.5K	R	低	低	中	24.5K	L	低	低	中
25.0K	R	低	低	中	25.0K	L	低	低	中
25.5K	R	低	低	中	25.5K	L	低	低	中
26.0K	R	低	低	中	26.0K	L	低	低	中
26.5K	R	低	低	中	26.5K	L	低	低	中
27.0K	R	低	低	中	27.0K	L	低	低	中
27.5K	R	低	低	中	27.5K	L	低	低	中
28.0K	R	低	低	中	28.0K	L	低	低	中
28.5K	R	低	低	中	28.5K	L	中	中	高
29.0K	R	低	低	中	29.0K	L	低	低	中
29.5K	R	中	中	中	29.5K	L	中	中	中
30.0K	R	中	中	中	30.0K	L	低	低	中
30.5K	R	低	低	中	30.5K	L	中	中	中
31.0K	R	低	低	中	31.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
31.5K	R	低	低	中	31.5K	L	低	低	中
32.0K	R	低	低	中	32.0K	L	低	低	中
32.5K	R	低	低	中	32.5K	L	低	低	中
33.0K	R	中	中	中	33.0K	L	低	低	中
33.5K	R	中	中	中	33.5K	L	中	中	中
34.0K	R	低	低	中	34.0K	L	中	中	中
34.5K	R	低	低	中	34.5K	L	中	中	中
35.0K	R	中	中	中	35.0K	L	中	中	高
35.5K	R	中	中	中	35.5K	L	中	中	中
36.0K	R	低	低	中	36.0K	L	中	中	中
36.5K	R	低	低	中	36.5K	L	低	低	中
37.0K	R	中	中	中	37.0K	L	中	中	中
37.5K	R	低	低	中	37.5K	L	中	中	中
38.0K	R	中	中	中	38.0K	L	中	中	中
38.5K	R	中	中	中	38.5K	L	中	中	中
39.0K	R	中	中	中	39.0K	L	低	低	低
39.5K	R	中	中	中	39.5K	L	中	中	中
40.0K	R	中	中	中	40.0K	L	中	中	中
40.5K	R	低	低	低	40.5K	L	中	中	中
41.0K	R	低	低	低	41.0K	L	中	中	中
41.5K	R	低	低	低	41.5K	L	中	中	中
42.0K	R	低	低	低	42.0K	L	中	中	中
42.5K	R	低	低	低	42.5K	L	低	低	低
43.0K	R	中	中	中	43.0K	L	中	中	中
43.5K	R	中	中	中	43.5K	L	中	中	中
44.0K	R	中	中	中	44.0K	L	低	低	低
44.5K	R	中	中	中	44.5K	L	低	低	低
45.0K	R	中	中	中	45.0K	L	中	中	中
45.5K	R	低	低	低	45.5K	L	中	中	中
46.0K	R	中	中	中	46.0K	L	中	中	中
46.5K	R	中	中	中	46.5K	L	中	中	中
47.0K	R	低	低	低	47.0K	L	中	中	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
47.5K	R	低	低	低	47.5K	L	中	中	中
48.0K	R	中	中	中	48.0K	L	中	中	中
48.5K	R	中	中	中	48.5K	L	中	中	中
49.0K	R	中	中	中	49.0K	L	中	中	中
49.5K	R	中	中	中	49.5K	L	中	中	中
50.0K	R	中	中	中	50.0K	L	中	中	中
50.5K	R	低	低	低	50.5K	L	中	中	中
51.0K	R	中	中	中	51.0K	L	中	中	中
51.5K	R	低	低	中	51.5K	L	中	中	中
52.0K	R	中	中	中	52.0K	L	中	中	中
52.5K	R	中	中	中	52.5K	L	低	低	中
53.0K	R	中	中	中	53.0K	L	低	低	中
53.5K	R	中	中	中	53.5K	L	低	低	中
54.0K	R	中	中	中	54.0K	L	中	中	中
54.5K	R	中	中	中	54.5K	L	低	低	中
55.0K	R	中	中	中	55.0K	L	中	中	中
55.5K	R	中	中	中	55.5K	L	中	中	中
56.0K	R	中	中	中	56.0K	L	中	中	中
56.5K	R	中	中	中	56.5K	L	中	中	中
57.0K	R	低	低	中	57.0K	L	低	低	中
57.5K	R	中	中	中	57.5K	L	低	低	中
58.0K	R	中	中	中	58.0K	L	中	中	中
58.5K	R	中	中	中	58.5K	L	中	中	中
59.0K	R	低	低	中	59.0K	L	中	中	中
59.5K	R	中	中	中	59.5K	L	中	中	中
60.0K	R	中	中	中	60.0K	L	中	中	中
60.5K	R	中	中	中	60.5K	L	中	中	中
61.0K	R	中	中	高	61.0K	L	中	中	高
61.5K	R	中	中	中	61.5K	L	低	低	中
62.0K	R	中	中	中	62.0K	L	中	中	中
62.5K	R	低	低	中	62.5K	L	中	中	中
63.0K	R	中	中	中	63.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
63.5K	R	中	中	中	63.5K	L	中	中	中
64.0K	R	中	中	高	64.0K	L	中	中	中
64.5K	R	低	低	中	64.5K	L	中	中	中
65.0K	R	中	中	中	65.0K	L	中	中	高
65.5K	R	中	中	高	65.5K	L	中	中	高
66.0K	R	低	低	中	66.0K	L	中	中	中
66.5K	R	低	低	中	66.5K	L	低	低	中
67.0K	R	中	中	中	67.0K	L	中	中	中
67.5K	R	中	中	中	67.5K	L	中	中	中
68.0K	R	中	中	中	68.0K	L	中	中	中
68.5K	R	中	中	中	68.5K	L	低	低	中
69.0K	R	低	低	低	69.0K	L	中	中	中
69.5K	R	中	中	中	69.5K	L	低	低	低
70.0K	R	中	中	中	70.0K	L	中	中	中
70.5K	R	中	中	中	70.5K	L	中	中	中
71.0K	R	低	低	低	71.0K	L	中	中	中
71.5K	R	低	低	低	71.5K	L	中	中	中
72.0K	R	中	中	中	72.0K	L	中	中	中
72.5K	R	低	低	低	72.5K	L	低	低	低
73.0K	R	中	中	中	73.0K	L	低	低	低
73.5K	R	低	低	低	73.5K	L	中	中	中
74.0K	R	低	低	低	74.0K	L	中	中	中
74.5K	R	低	低	低	74.5K	L	低	低	低
75.0K	R	低	低	低	75.0K	L	中	中	中
75.5K	R	低	低	低	75.5K	L	低	低	低
76.0K	R	中	中	中	76.0K	L	低	低	低
76.5K	R	低	低	低	76.5K	L	中	中	中
77.0K	R	低	低	低	77.0K	L	低	低	低
77.5K	R	低	低	低	77.5K	L	低	低	低
78.0K	R	低	低	低	78.0K	L	低	低	低
78.5K	R	低	低	低	78.5K	L	中	中	中
79.0K	R	中	中	中	79.0K	L	中	中	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
79.5K	R	低	低	低	79.5K	L	中	中	中
80.0K	R	低	低	低	80.0K	L	低	低	低
80.5K	R	低	低	低	80.5K	L	低	低	低
81.0K	R	中	中	中	81.0K	L	低	低	低
81.5K	R	低	低	低	81.5K	L	低	低	低
82.0K	R	低	低	低	82.0K	L	低	低	低
82.5K	R	中	中	中	82.5K	L	低	低	低
83.0K	R	中	中	中	83.0K	L	中	中	中
83.5K	R	低	低	低	83.5K	L	低	低	低
84.0K	R	低	低	低	84.0K	L	低	低	低
84.5K	R	中	中	中	84.5K	L	中	中	中
85.0K	R	中	中	中	85.0K	L	中	中	中
85.5K	R	低	低	低	85.5K	L	中	中	中
86.0K	R	中	中	中	86.0K	L	中	中	中
86.5K	R	中	中	中	86.5K	L	中	中	中
87.0K	R	低	低	低	87.0K	L	低	低	低
87.5K	R	低	低	低	87.5K	L	中	中	中
88.0K	R	中	中	中	88.0K	L	低	低	低
88.5K	R	中	中	中	88.5K	L	中	中	中
89.0K	R	中	中	中	89.0K	L	中	中	中
89.5K	R	中	中	中	89.5K	L	中	中	中
90.0K	R	中	中	中	90.0K	L	低	低	低
90.5K	R	中	中	中	90.5K	L	中	中	中
91.0K	R	低	低	低	91.0K	L	低	低	低
91.5K	R	低	低	低	91.5K	L	中	中	中
92.0K	R	低	低	低	92.0K	L	低	低	低
92.5K	R	低	低	低	92.5K	L	低	低	低
93.0K	R	中	中	中	93.0K	L	中	中	中
93.5K	R	中	中	中	93.5K	L	中	中	中
94.0K	R	低	低	中	94.0K	L	中	中	中
94.5K	R	低	低	中	94.5K	L	低	低	中
95.0K	R	低	低	低	95.0K	L	低	低	低

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
95.5K	R	中	中	中	95.5K	L	中	中	中
96.0K	R	中	中	中	96.0K	L	中	中	中
96.5K	R	中	中	中	96.5K	L	中	中	中
97.0K	R	低	低	中	97.0K	L	中	中	中
97.5K	R	低	低	中	97.5K	L	低	低	中
98.0K	R	低	低	中	98.0K	L	中	中	中
98.5K	R	中	中	中	98.5K	L	低	低	中
99.0K	R	中	中	中	99.0K	L	低	低	中
99.5K	R	中	中	中	99.5K	L	中	中	中
100.0K	R	低	低	中	100.0K	L	中	中	中
100.5K	R	中	中	中	100.5K	L	低	低	中
101.0K	R	中	中	中	101.0K	L	中	中	中
101.5K	R	中	中	中	101.5K	L	中	中	中
102.0K	R	中	中	中	102.0K	L	高	高	高
102.5K	R	中	中	中	102.5K	L	中	中	中
103.0K	R	中	中	中	103.0K	L	中	中	中
103.5K	R	中	中	中	103.5K	L	中	中	中
104.0K	R	中	中	中	104.0K	L	中	中	中
104.5K	R	低	低	低	104.5K	L	中	中	中
105.0K	R	中	中	中	105.0K	L	中	中	中
105.5K	R	中	中	中	105.5K	L	中	中	中
106.0K	R	中	中	中	106.0K	L	中	中	中
106.5K	R	中	中	中	106.5K	L	低	低	低
107.0K	R	低	低	低	107.0K	L	低	低	低
107.5K	R	中	中	中	107.5K	L	中	中	中
108.0K	R	中	中	高	108.0K	L	中	中	高
108.5K	R	中	中	高	108.5K	L	低	低	中
109.0K	R	中	中	高	109.0K	L	低	低	中
109.5K	R	低	低	中	109.5K	L	低	低	中
110.0K	R	中	中	高	110.0K	L	低	低	中
110.5K	R	中	中	高	110.5K	L	中	中	高
111.0K	R	低	低	中	111.0K	L	低	低	低

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
111.5K	R	低	低	低	111.5K	L	低	低	低
112.0K	R	中	中	高	112.0K	L	中	中	高
112.5K	R	低	低	中	112.5K	L	低	低	中
113.0K	R	中	中	中	113.0K	L	中	中	中
113.5K	R	中	中	中	113.5K	L	中	中	中
114.0K	R	中	中	中	114.0K	L	中	中	中
114.5K	R	低	低	低	114.5K	L	低	低	低
115.0K	R	低	低	低	115.0K	L	低	低	低
115.5K	R	中	中	中	115.5K	L	低	低	低
116.0K	R	低	低	低	116.0K	L	低	低	低
116.5K	R	低	低	低	116.5K	L	低	低	低
117.0K	R	低	低	低	117.0K	L	低	低	低
117.5K	R	低	低	低	117.5K	L	低	低	低
118.0K	R	低	低	低	118.0K	L	低	低	低
118.5K	R	低	低	低	118.5K	L	低	低	低
119.0K	R	低	低	低	119.0K	L	低	低	低
119.5K	R	低	低	低	119.5K	L	低	低	低
120.0K	R	低	低	低	120.0K	L	低	低	低
120.5K	R	中	中	中	120.5K	L	中	中	中
121.0K	R	中	中	中	121.0K	L	中	中	中
121.5K	R	中	中	中	121.5K	L	中	中	中
122.0K	R	低	低	低	122.0K	L	低	低	低
122.5K	R	低	低	低	122.5K	L	低	低	低
123.0K	R	中	中	中	123.0K	L	中	中	中
123.5K	R	低	低	低	123.5K	L	低	低	低
124.0K	R	低	低	低	124.0K	L	低	低	低
124.5K	R	低	低	低	124.5K	L	低	低	低
125.0K	R	低	低	中	125.0K	L	低	低	中
125.5K	R	低	低	中	125.5K	L	低	低	中
126.0K	R	低	低	中	126.0K	L	低	低	中
126.5K	R	低	低	中	126.5K	L	低	低	中
127.0K	R	低	低	中	127.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
127.5K	R	低	低	中	127.5K	L	低	低	中
128.0K	R	低	低	中	128.0K	L	低	低	中
128.5K	R	低	低	中	128.5K	L	低	低	中
129.0K	R	低	低	中	129.0K	L	低	低	中
129.5K	R	低	低	中	129.5K	L	低	低	中
130.0K	R	低	低	中	130.0K	L	低	低	中
130.5K	R	低	低	中	130.5K	L	低	低	中
131.0K	R	低	低	中	131.0K	L	低	低	中
131.5K	R	低	低	中	131.5K	L	低	低	中
132.0K	R	低	低	中	132.0K	L	低	低	中
132.5K	R	低	低	中	132.5K	L	中	中	高
133.0K	R	低	低	中	133.0K	L	低	低	中
133.5K	R	低	低	中	133.5K	L	低	低	中
134.0K	R	低	低	中	134.0K	L	低	低	中
134.5K	R	低	低	中	134.5K	L	低	低	中
135.0K	R	低	低	中	135.0K	L	低	低	中
135.5K	R	低	低	低	135.5K	L	低	低	低
136.0K	R	低	低	低	136.0K	L	低	低	低
136.5K	R	中	中	高	136.5K	L	低	低	中
137.0K	R	中	中	高	137.0K	L	低	低	中
137.5K	R	低	低	中	137.5K	L	中	中	高
138.0K	R	中	中	高	138.0K	L	中	中	高
138.5K	R	中	中	高	138.5K	L	低	低	中
139.0K	R	低	低	中	139.0K	L	低	低	中
139.5K	R	低	低	中	139.5K	L	低	低	中
140.0K	R	低	低	中	140.0K	L	低	低	中
140.5K	R	低	低	中	140.5K	L	低	低	中
141.0K	R	中	中	高	141.0K	L	中	中	高
141.5K	R	中	中	高	141.5K	L	低	低	中
142.0K	R	低	低	中	142.0K	L	低	低	中
142.5K	R	中	中	高	142.5K	L	低	低	中
143.0K	R	低	低	中	143.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
143.5K	R	低	低	中	143.5K	L	低	低	中
144.0K	R	低	低	中	144.0K	L	低	低	中
144.5K	R	低	低	中	144.5K	L	低	低	中
145.0K	R	低	低	中	145.0K	L	低	低	中
145.5K	R	低	低	中	145.5K	L	中	中	高
146.0K	R	中	中	高	146.0K	L	中	中	高
146.5K	R	中	中	高	146.5K	L	中	中	高

## 附錄六

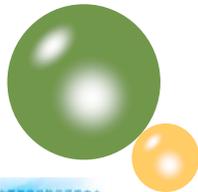
### 第一次期末報告簡報資料

# 山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4) 期末報告

逢甲大學營建及防災研究中心



計畫主持人 張智元 博士  
協同主持人 雷祖強 博士



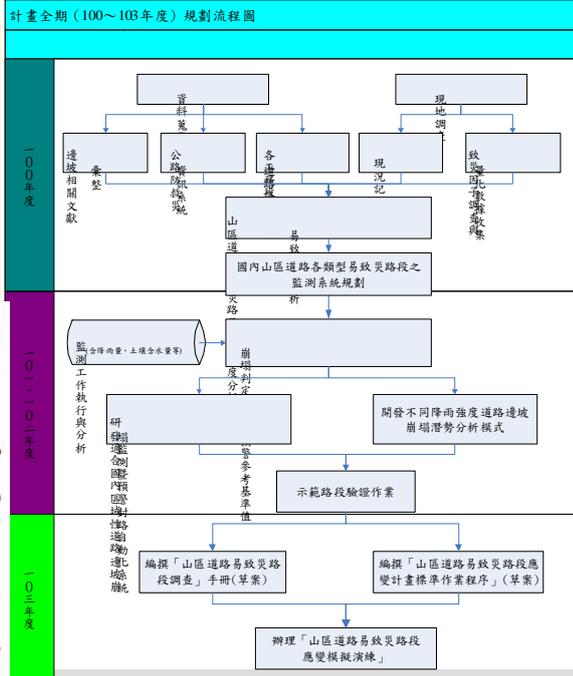
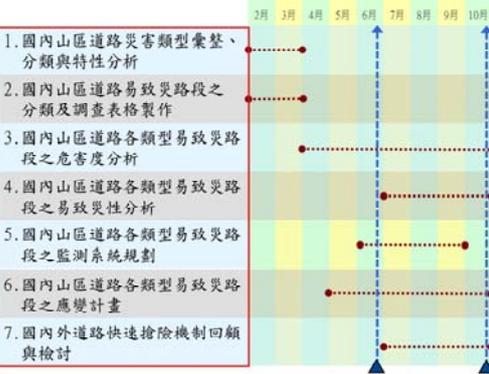
## 簡報大綱

1. 前言
2. 國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析
3. 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作
4. 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析
5. 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析
6. 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃
7. 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫
8. 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討
9. 後續工作重點與建議

# 前言

## 工作架構

一年規劃之執行步驟為先建立兩線道路之**易致災性分析模式**，並研擬道路邊坡**監測預警系統規劃**。第二及第三年編撰山區道路易致災路段調查手冊(草案)。第四年則辦理「**山區道路易致災路段應變模擬演練**」。



# 前言

## 整體架構概念

坡度、坡向、地層、溪流區位、土石流潛勢溪流、崩塌地、一日最大降雨量、事件累積降雨量

加入脆弱性因子-工程

分為高、中及低易致災性

易致災路段規劃

分為啓用時機、狀況過程、單位分工

分為啓用時機、狀況過程、單位分工

潛勢分析  
(自然環境因子)

危害度分析  
(人為環境因子)

易致災性分析

監測系統規劃

應變計畫

快速搶險機制

# 國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

## 山區道路災害類型彙整

據交通部公路局第二區、第三區及第五區養護工程處養護課之各轄區工務段85~100年度之公路災害搶修及修復經費補助表，統計各路段主要受到上、下道路邊坡崩壞損害資料。本研究將其分為三大類型。(依委託單位建議刪除「路面龜裂」類型)

省道臺18線	土石坍方	土石坍滑	雨水沖刷、土石坍方	邊坡崩方	邊坡崩塌造成道路阻斷	邊坡崩滑	嚴重落石	路基下陷	路基缺口	路基流失	路基掏空	邊坡裸露	上邊坡裸露	土石渣	上邊坡落石坍方	兩水洪水沖刷、土石坍方	落石坍方	邊坡崩滑	其他	
85年	98	0	0	0	0	0	0	6	32	3	0	0	0	0	0	0	22	0	2	
87年	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
89年	36	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	12	1
90年	12	5	0	0	1	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93年	40	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

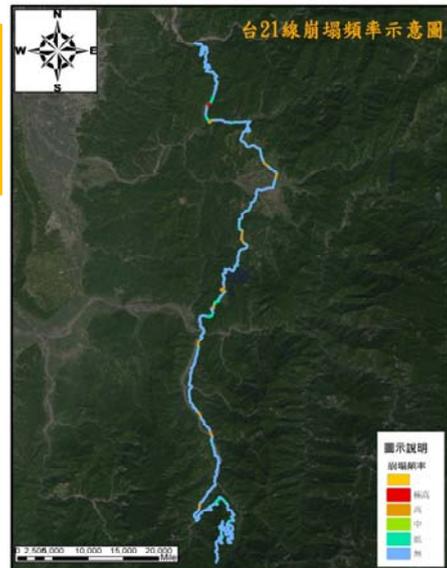
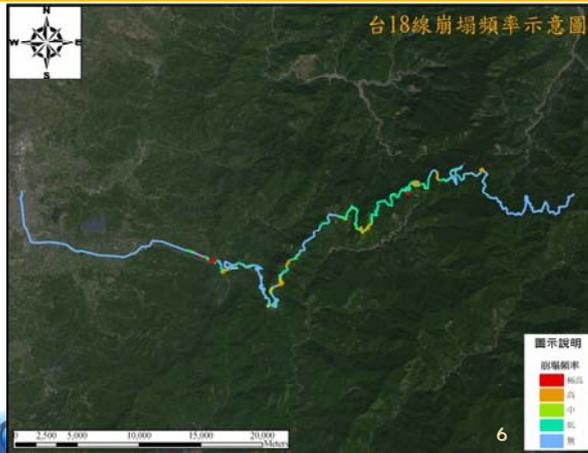
土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失
土石坍方	路基下陷	路基流失
土石坍滑	路基缺口	路基掏空
雨水沖刷、土石坍方		
邊坡崩方		
邊坡落石坍方		
邊坡坍塌造成道路阻斷		
邊坡崩滑		
嚴重落石		

省道臺18線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失
民國85年(1996)	120	38	3
民國86年(1997)	無資料	無資料	無資料
民國87年(1998)	2	0	0
民國88年(1999)	無資料	無資料	無資料
民國89年(2000)	42	1	0
(略)			
民國99年(2010)	7	0	0
總計	542	71	12
發生比例	86.72%	11.36%	1.92%

# 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

## 崩塌頻率之統計

將歷史災害事件發生之頻率之高低以不同顏色繪製於兩線道路上。並將災害分為三類：土石坍方、路基下陷或缺口及路基流失。



# 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

## 崩塌地調查表格製作

填表人：_____ 填表日期：_____ 天氣：_____ 編號：_____	
一、基本資料	
行政區域：_____	
地點：_____ 里程：_____	
GPS 記錄座標 X: _____ Y: _____	
發生時間：民國 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 時 _____ 分	
現場情形說明：	
路面	<input type="checkbox"/> 無毀損，狀況良好 <input type="checkbox"/> 過水路面 <input type="checkbox"/> 龜裂 <input type="checkbox"/> 破碎 <input type="checkbox"/> 路面下陷 <input type="checkbox"/> 路基掏空 <input type="checkbox"/> 其他 _____
上邊坡	<input type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m，殘土規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他 _____
道路現況	<input type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m，殘土規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他 _____ 下邊坡是否有野溪經過： <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 沒有
既有排水設施狀況	<input type="checkbox"/> 路面縱向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足) <input type="checkbox"/> 路面橫向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足) <input type="checkbox"/> 邊坡橫向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足) <input type="checkbox"/> 邊坡排水孔( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足)
植生狀況	<input type="checkbox"/> 草地 <input type="checkbox"/> 雜草地 <input type="checkbox"/> 人造林 <input type="checkbox"/> 自然林
工程狀況	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容)： 邊坡 (1)規模長 _____ m 寬 _____ m 高 _____ m (2)保護面積： <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> 75% 構造物 (3)工程類別： <input type="checkbox"/> 掛網植生 <input type="checkbox"/> 打格編網 <input type="checkbox"/> 蛇籠或鉛絲網籠 <input type="checkbox"/> 擋土牆 <input type="checkbox"/> 釘工法 <input type="checkbox"/> 漿砌工法 <input type="checkbox"/> 防落石網 <input type="checkbox"/> 其他 _____
河道工程	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容)： (1)規模長 _____ m 寬 _____ m 高 _____ m (2)保護面積： <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> 75% (3)工程類別： <input type="checkbox"/> 護岸工 <input type="checkbox"/> 圍底工 <input type="checkbox"/> 防砂壩或壩壩 <input type="checkbox"/> 箱籠
保全對象	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容)： 建築物 <input type="checkbox"/> 公共建築(學校、醫院、民眾聚集場地等) <input type="checkbox"/> 民宅 <input type="checkbox"/> 公共設施 <input type="checkbox"/> 有-說明 _____ <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 保全戶 <input type="checkbox"/> 有-戶數 _____ <input type="checkbox"/> 無
致災可能原因	<input type="checkbox"/> 自然因素 <input type="checkbox"/> 其他因素-說明 _____
調查情形說明：	照片及剖面示意圖 _____
三、災害類別(判定)	
<input type="checkbox"/> 土石坍方 <input type="checkbox"/> 路基下陷或缺口 <input type="checkbox"/> 路基流失	

參考交通部公路總局及山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表

後續作為分析因子之參考：  
A. 植生狀況  
B. 工程有無

# 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

## 現地調查表格

填表人：李承慶 填表日期：4/6/2019 天氣：晴 編號：_____	
一、基本資料	
行政區域：嘉義縣(市) 嘉義縣(鄉) _____ 村(里) _____	
地點：207 線 里程：2.6K-3.65K 地標：_____	
GPS 記錄座標 X: 709462 Y: 259555	
發生時間：民國 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 時 _____ 分	
現場情形說明：	
路面	<input checked="" type="checkbox"/> 無毀損，狀況良好 <input type="checkbox"/> 過水路面 <input type="checkbox"/> 龜裂 <input type="checkbox"/> 破碎 <input type="checkbox"/> 路面下陷 <input type="checkbox"/> 路基掏空 <input type="checkbox"/> 其他 _____
上邊坡	<input checked="" type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長 1.5 m 寬 1.2 m 深 0.5 m，殘土規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他 _____
道路現況	<input checked="" type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m，殘土規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長 _____ m 寬 _____ m 深 _____ m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他 _____ 下邊坡是否有野溪經過： <input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 沒有
既有排水設施狀況	<input checked="" type="checkbox"/> 路面縱向排水( <input checked="" type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足) <input checked="" type="checkbox"/> 路面橫向排水( <input checked="" type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足) <input checked="" type="checkbox"/> 邊坡橫向排水( <input checked="" type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足) <input checked="" type="checkbox"/> 邊坡排水孔( <input checked="" type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足)
植生狀況	<input type="checkbox"/> 草地 <input checked="" type="checkbox"/> 雜草地 <input type="checkbox"/> 人造林 <input checked="" type="checkbox"/> 自然林
工程狀況	<input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容)： 邊坡 (1)規模長 1.5 m 寬 1.2 m 高 0.5 m (2)保護面積： <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> 75% 構造物 (3)工程類別： <input type="checkbox"/> 掛網植生 <input type="checkbox"/> 打格編網 <input type="checkbox"/> 蛇籠或鉛絲網籠 <input type="checkbox"/> 擋土牆 <input type="checkbox"/> 釘工法 <input type="checkbox"/> 漿砌工法 <input type="checkbox"/> 防落石網 <input type="checkbox"/> 其他 _____
河道工程	<input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容)： (1)規模長 _____ m 寬 _____ m 高 _____ m (2)保護面積： <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> 75% (3)工程類別： <input type="checkbox"/> 護岸工 <input type="checkbox"/> 圍底工 <input type="checkbox"/> 防砂壩或壩壩 <input type="checkbox"/> 箱籠
保全對象	<input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容)： 建築物 <input checked="" type="checkbox"/> 公共建築(學校、醫院、民眾聚集場地等) <input type="checkbox"/> 民宅 <input checked="" type="checkbox"/> 公共設施 <input type="checkbox"/> 有-說明 _____ <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> 保全戶 <input type="checkbox"/> 有-戶數 _____ <input type="checkbox"/> 無

本年度於4月與9月共進行三次現地調查(含南瑪督風災後)，證實調查表格可有效蒐集道路崩塌地點與工程位置資訊。

# 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

100年4月調查資料



# 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

100年9月調查資料



# 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

## 100年9月調查資料



# 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

## 道路與災害資料庫更新

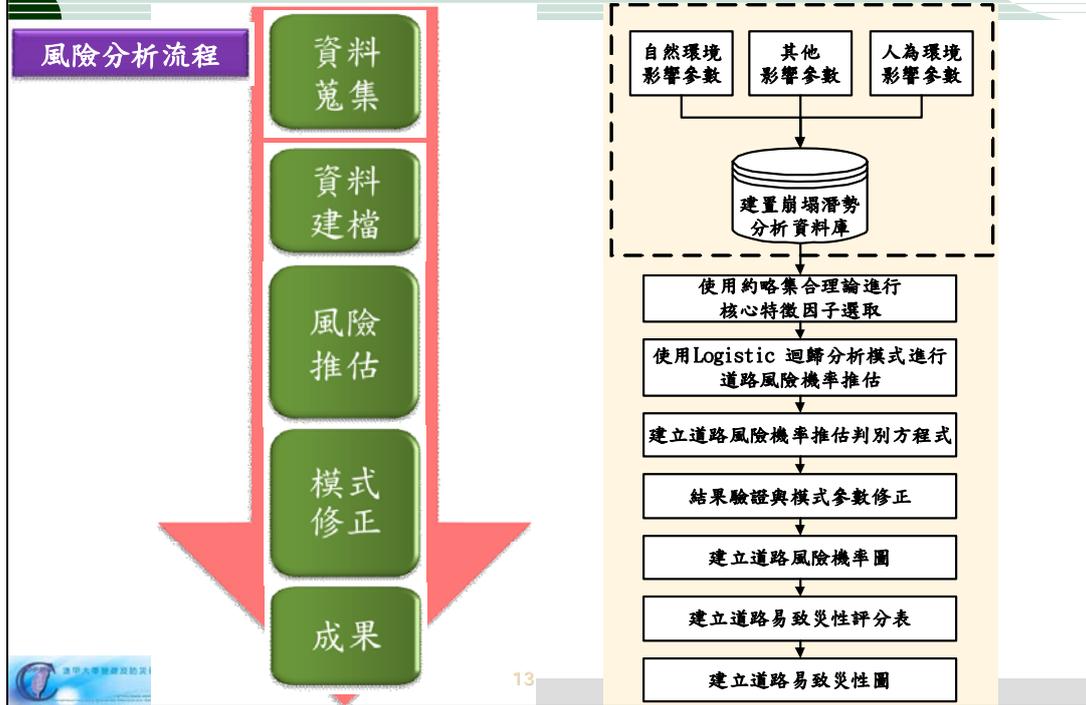
基本資料						基礎調查											
路線	里程	座標		調查方向	道路寬度		路面部份			上邊坡							
		X	Y		公尺	畫線	良好	普通	不佳	林地	安全無虞	草地	雜生地	崩塌地	面		
台18線	34	208426	2593244	東	14	雙線道	v										
台18線	34.5	208966	2593108	東	6	雙線道	v										
台18線	35	209063	2593073	東	6	雙線道	v				v						
台18線	35.5	209327	2592906	東	6	雙線道	v				v						
台18線	36	209426	2592524	東	6	雙線道	v				v				v		3*
台18線	36.5	209517	2592161	東	6	雙線道	v								v	v	3*
台18線	37	209964	2592348	東	6	雙線道	v			0					v	v	4*
台18線	37.5	克大崩塌工程		東		雙線道				v							
台18線	38	210716	2592474	東	6	雙線道	v									v	
台18線	38.5	210166	2592624	東	6	雙線道	v									v	
台18線	39	209825	2592630	東	6	雙線道	v									v	
台18線	39.5	209847	2593016	東	6	雙線道	v									v	
台18線	40	210224	2592808	東	6	雙線道	v									v	
台18線	40.5	崩塌施工		東	4	單線道			v								v
台18線	41	211001	2592867	東	6	雙線道	v										
台18線	41.5	211366	2592637	東	6	雙線道	v										
台18線	42	211782	2592663	東	6	雙線道	v									v	
台18線	42.5	212260	2592689	東	6	雙線道	v									v	
台18線	43	212306	2592514	東	6	雙線道	v									v	
台18線	43.5	212568	2592568	東	6	雙線道	v									v	
台18線	44	212516	2592448	東	6	雙線道	v									v	
台18線	44.5	212626	2592499	東	6	雙線道	v									v	
台18線				32	東	6	雙線道	v				v					
台18線				11	東	6	雙線道										v
台18線				18	東	6	雙線道										
台18線					東		雙線道										

更新樁點  
座標位置

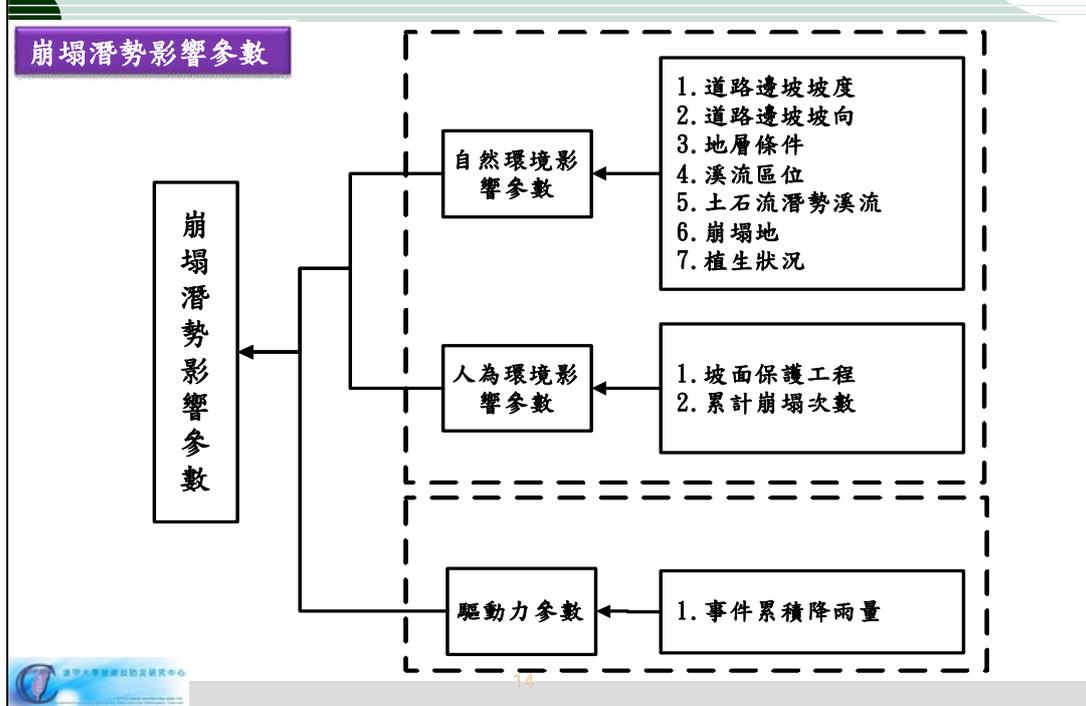
更新路面現況

更新坡地現況

# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

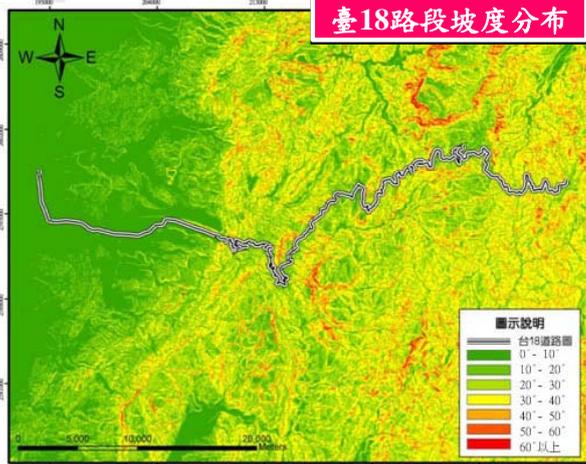


# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

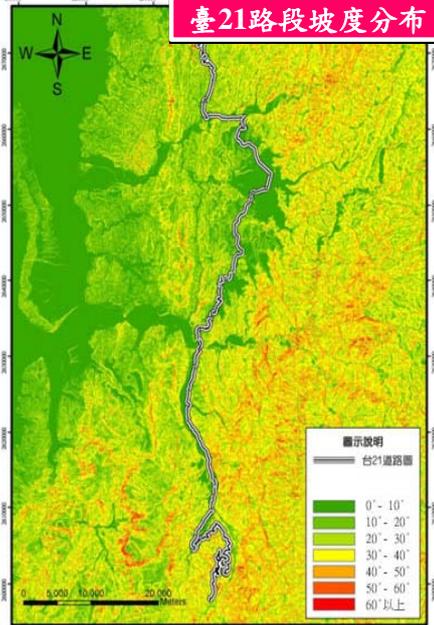
## 坡度

研究區以道路兩側25公尺的邊坡範圍，每500公尺為平均分析單元予以統計。

臺18路段坡度分布



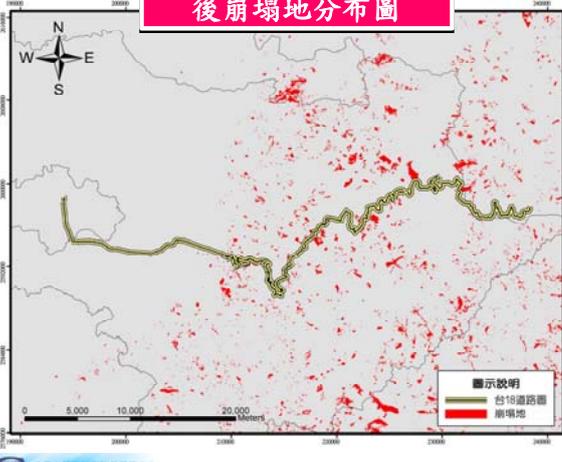
臺21路段坡度分布



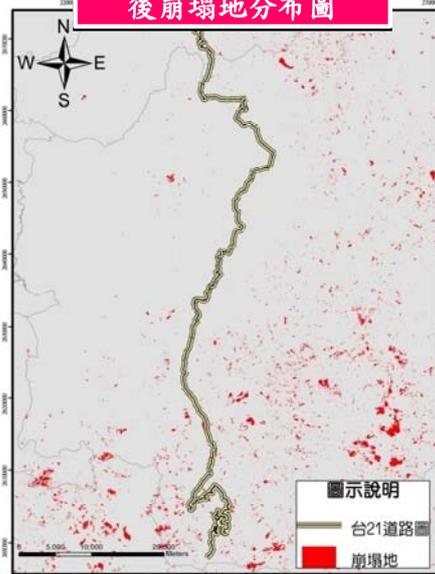
# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

臺18及臺21路段莫拉克颱風後崩塌地分布

臺18路段莫拉克颱風後崩塌地分布圖



臺21路段莫拉克颱風後崩塌地分布圖



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

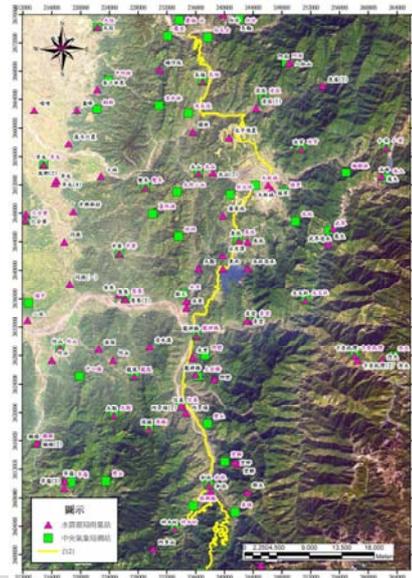
## 臺18及臺21路段周邊雨量站

採用中央氣象局、水利署、臺灣電力公司以及農改場雨量站進行雨量蒐集。

### 臺18週邊雨量站分布狀況



### 臺21週邊雨量站分布狀況



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

近年全球氣候變遷劇烈，夏季區域性暴雨及颱風規模逐漸加劇，導致災害頻傳。

例如：2004年敏督利颱風、2005年海棠颱風、2008年卡玫基颱風、2009年莫拉克颱風、2010年凡那比颱風等，皆造成嚴重災害及經濟損失…

本團隊蒐集莫拉克發生前期、後期之衛星影像，經由影像判釋獲得莫拉克事件產生之新增崩塌地

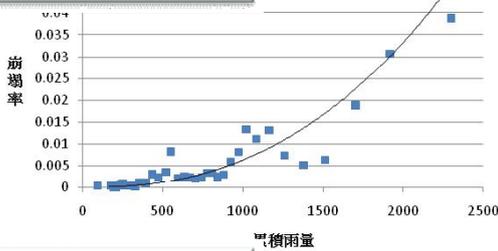
## 莫拉克颱風後新增崩塌地



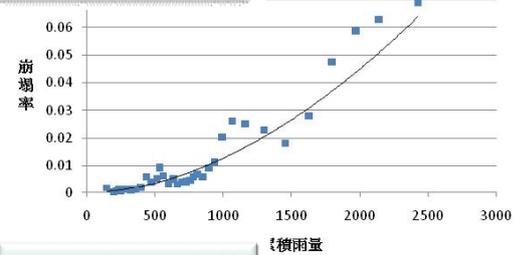
# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

莫拉克颱風新增崩塌地依據水保手冊之坡度分級以及Lee等人(2001)之6類地質分類圖，進行降雨與崩塌之初步統計。

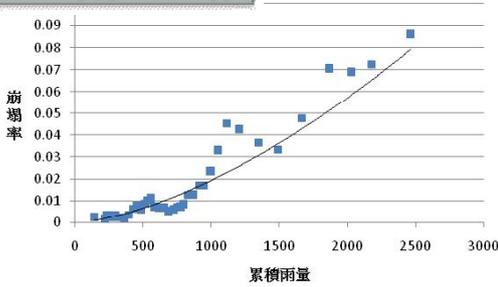
2級坡度C類地質



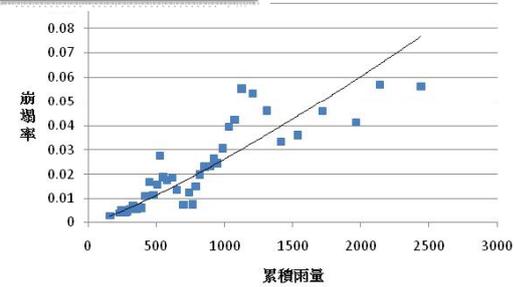
3級坡度C類地質



4級坡度C類地質

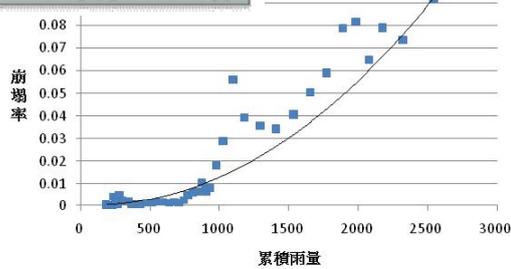


5級坡度C類地質

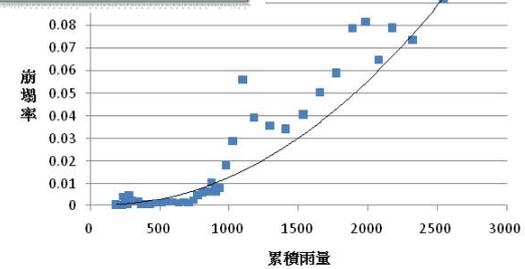


# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

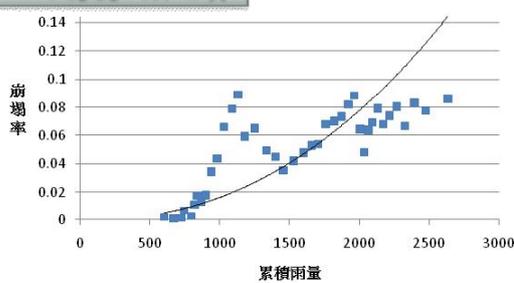
4級坡度D類地質



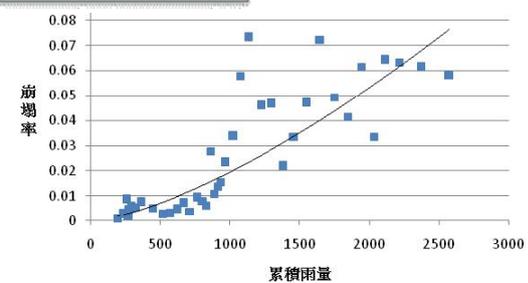
4級坡度E類地質



4級坡度F類地質



5級坡度D類地質



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 粗集合 (rough set) 理論

Pawlak 於1982年所提出，其目的是在於能在含糊不精準與不確定性的資料上，利用資料的屬性核心縮減進行簡化的動作，並可針對資料的不確定性訂定其粗糙度，使其有效擷取知識以進行決策或知識表達。

在此使用粗集合萃取出重要的因子，增加因子的獨立性與顯著性。藉此與邏輯斯迴歸的分析結果比對，同步驗證因子間的權重屬性與重要關係。



本研究以莫拉克事件做為事件代表，藉以表述事件與崩塌之間之相關性。

ROSE軟體介面

Attribute name	Quality loss
Core glayer	0.505
Core slope	0.121
Core vegetation	0.255

透過ROSE分析本研究發現，地層結構、植生狀況與坡度是最為重要之核心屬性。

# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析

- ❖ 本研究應用Logistic於危害度分析
- ❖ 應變？是二元變？Y（成功或失敗），自變？可為分？性或？續性變？

成功機？

$$\pi(x) = E(Y|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X}) + 0 \times P(0|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X})$$

- Logistic迴歸模型：

$$\text{logit}(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

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

# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析

模式建構：

臺18、21線災害事件資料分析，將災害事件資料以事件累計雨量達300毫米為界，若該次災害事件雨量站出現事件累積降雨量紀錄大於300毫米(超大豪雨)的現象，則將該次災害事件歸類為**超大豪雨模式**進行模式建構，其他則歸類為**豪雨模式**。

訓練災害事件資料

驗證災害事件資料

模式型態

超大豪雨模式災害事件歷史資料紀錄

超大豪雨模式災害事件之最近期資料紀錄

超大豪雨模式

+

=

豪雨模式災害事件歷史資料紀錄

豪雨模式災害事件之最近期資料紀錄

豪雨模式

+

=

24

# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析-臺18線超大豪雨模式分析結果

邏輯斯迴歸模式

$$Y_{18} = 0.62X_1 - 0.37X_2 + 6.72X_3 + 1.83X_4 + 2.06X_5 - 0.85X_6 + 0.7X_7 - 24.48$$

	觀察	預測		百分比修正
		崩塌		
步驟 1	崩塌	0.00	1064.00	85.00
		1.00	13.00	2.00
概要百分比				91.58

$X_1$ ：道路邊坡坡度， $X_2$ ：道路邊坡坡向角度， $X_3$ ：地層結構， $X_4$ ：溪流區位， $X_5$ ：土石流潛勢溪流， $X_6$ ：植生狀況， $X_7$ ：事件累積降雨量， $Y$ ：崩塌潛感值

	B	S.E.	Wald	自由度	顯著性	Exp(B)
道路邊坡坡度	0.62	0.16	14.76	1.00	0.00	1.85
道路邊坡坡向角度	-0.37	0.40	0.88	1.00	0.35	0.69
地層結構	6.72	8.89	0.00	1.00	0.99	6.53
溪流區位	1.83	1.13	2.63	1.00	0.11	6.23
土石流潛勢溪流	2.06	2.03	1.03	1.00	0.31	7.85
植生狀況	-0.85	0.31	7.73	1.00	0.01	0.43
事件累計降雨量	0.70	0.22	9.94	1.00	0.00	2.00
常數	-24.48	29.33	0.00	1.00	0.99	0.00

➢ 臺18線超大豪雨模式重要影響參數為**地層結構**、**土石流潛勢溪流**、**溪流區位**及**事件累計降雨量**影響較大。

25

# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析-臺21線超大豪雨模式分析結果

### 邏輯斯迴歸模式

$$Y_{21} = -0.41X_1 + 0.10X_2 + 1.82X_3 + 0.53X_4 - 0.06X_5 + 0.73X_6 - 0.11X_7 - 3.38$$

觀察			預測		百分比修正
			崩塌		
			0.00	1.00	
步驟 1	崩塌	0.00	1424.00	52.00	96.48
		1.00	206.00	72.00	25.90
概要百分比					85.29

$X_1$ ：道路邊坡坡度， $X_2$ ：道路邊坡坡向角度， $X_3$ ：地層結構， $X_4$ ：溪流區位， $X_5$ ：土石流潛勢溪流， $X_6$ ：植生狀況， $X_7$ ：事件累積降雨量， $Y$ ：崩塌潛感值

	B	S.E.	Wald	自由度	顯著性	Exp(B)
道路邊坡坡度	-0.41	0.25	2.70	1.00	0.10	0.66
道路邊坡坡向角度	0.10	0.42	0.06	1.00	0.80	1.11
地層結構	1.82	0.22	68.32	1.00	0.00	6.16
溪流區位	0.53	0.58	0.84	1.00	0.36	1.70
土石流潛勢溪流	-0.06	0.23	0.06	1.00	0.80	0.94
植生狀況	0.73	0.29	6.23	1.00	0.01	2.08
事件累積降雨量	-0.11	0.21	0.29	1.00	0.59	0.89
常數	-3.38	0.72	22.28	1.00	0.00	0.03

►臺21線超大豪雨模式重要影響參數為地層結構、植生狀況、溪流區位及邊坡坡向角度影響較大。



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析-臺18線豪雨模式分析結果

### 邏輯斯迴歸模式

$$Y_{18} = 1.44X_1 - 1.39X_2 + 53.39X_3 - 0.19X_4 + 55.46X_5 - 0.57X_6 + 1.67X_7 - 41.18$$

觀察			預測		百分比修正
			崩塌		
			0.00	1.00	
步驟 1	崩塌	0.00	1056.00	93.00	91.91
		1.00	12.00	3.00	20.00
概要百分比					90.98

$X_1$ ：道路邊坡坡度， $X_2$ ：道路邊坡坡向角度， $X_3$ ：地層結構， $X_4$ ：溪流區位， $X_5$ ：土石流潛勢溪流， $X_6$ ：植生狀況， $X_7$ ：事件累積降雨量， $Y$ ：崩塌潛感值

	B	S.E.	Wald	自由度	顯著性	Exp(B)
道路邊坡坡度	1.44	0.67	4.53	1.00	0.03	4.21
道路邊坡坡向角度	-1.39	1.96	0.50	1.00	0.48	0.25
地層結構	53.39	8.91	0.00	1.00	1.00	5.34
溪流區位	-0.19	3.72	0.00	1.00	0.96	0.83
土石流潛勢溪流	55.46	2.19	0.00	1.00	1.00	1.22
植生狀況	-0.57	1.13	0.25	1.00	0.61	0.57
事件累積降雨量	1.67	0.60	7.60	1.00	0.01	5.29
常數	-41.18	78.24	0.00	1.00	1.00	0.00

►臺18線超大豪雨模式重要影響參數為土石流潛勢溪流、地層結構、事件累積降雨量及道路邊坡坡度影響較大。



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析-臺21線豪雨模式分析結果

### 邏輯斯迴歸模式

$$Y_{21} = -2.91X_1 + 23.78X_2 + 3.67X_3 + 24.37X_4 - 0.75X_5 + 1.31X_6 + 0.69X_7 - 5.47$$

觀察	預測	崩場		百分比修正
		0.00	1.00	
步驟 1	崩塌	0.00	1092.00	74.00
		1.00	9.00	1.00
概要百分比				92.94

$X_1$ ：道路邊坡坡度， $X_2$ ：道路邊坡坡向角度， $X_3$ ：地層結構， $X_4$ ：溪流區位， $X_5$ ：土石流潛勢溪流， $X_6$ ：植生狀況， $X_7$ ：事件累積降雨量， $Y$ ：崩塌潛感值

	B	S.E.	Wald	自由度	顯著性	Exp(B)
道路邊坡坡度	-2.91	1.66	3.07	1.00	0.08	0.05
道路邊坡坡向角度	23.78	59.93	0.00	1.00	1.00	21.28
地層結構	3.67	1.20	9.38	1.00	0.00	39.42
溪流區位	24.37	77.08	0.00	1.00	1.00	38.32
土石流潛勢溪流	-0.75	1.03	0.52	1.00	0.47	0.47
植生狀況	1.31	1.23	1.13	1.00	0.29	3.70
事件累計降雨量	0.69	0.54	4.16	1.00	0.00	2.00
常數	-5.47	97.64	0.00	1.00	1.00	0.00

►臺18線超大豪雨模式重要影響參數為溪流區位、道路邊坡坡向角度、地層結構及植生狀況影響較大。



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析因子權重與粗集合篩選因子比較

ROSE分析	粗集合篩選因子		
	地層結構	植生狀況	坡度

模式	重要因子			
臺18線超大豪雨	地層結構	土石流潛勢溪流	溪流區位	事件累計降雨量
臺21線超大豪雨	地層結構	植生狀況	溪流區位	邊坡坡向角度
臺18線豪雨	土石流潛勢溪流	地層結構	事件累計降雨量	道路邊坡坡度
臺21線豪雨	溪流區位	邊坡坡向角度	地層結構	植生狀況

在此使用粗集合萃取出重要的因子，藉此與邏輯斯迴歸的分析結果比對，發現地層結構與植生狀況由兩種分析方法共同的重要因子。



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

超大豪雨高中低潛勢路段圖

臺21線潛勢分布圖

臺18線潛勢分布圖



30

# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

豪雨高中低潛勢路段圖

臺21線潛勢分布圖

臺18線潛勢分布圖



31

# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 豪雨高中低潛勢路段雨量門檻圖-臺18線

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成果如附錄1-附錄3所示，以臺18線示範段作為示意(如圖4-6-4-8所示)，分別就累計降雨量達300mm、600mm及900mm之坡面崩塌潛勢進行展示。



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 臺18線豪雨高中低潛勢路段雨量門檻圖與歷史災害發生頻率比較

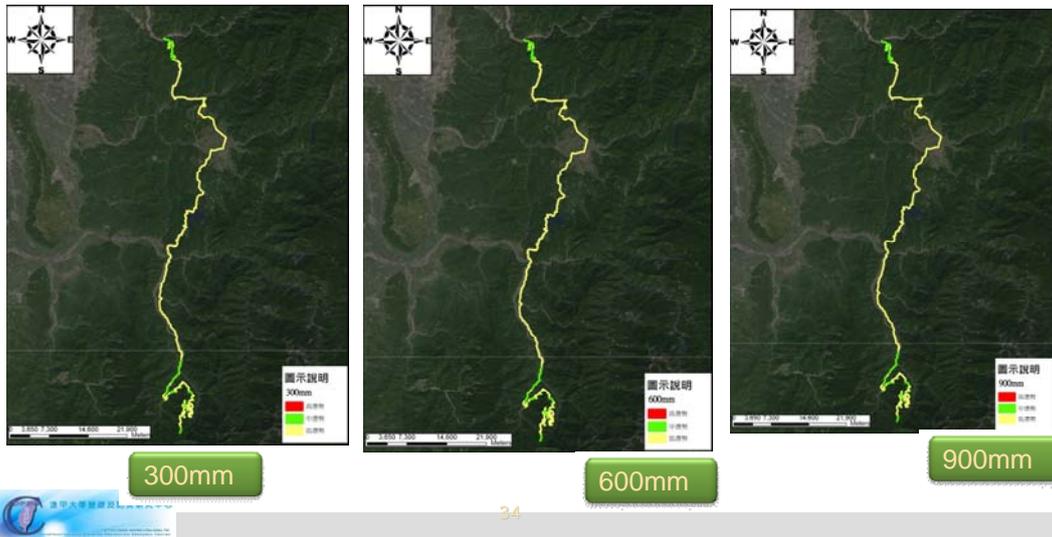
### 台18線崩塌頻率示意圖



# 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 豪雨高中低潛勢路段雨量門檻圖-臺21線

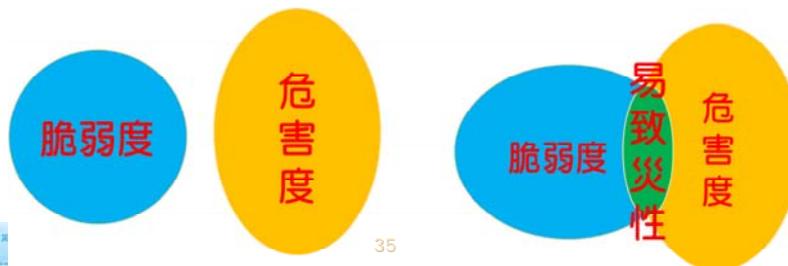
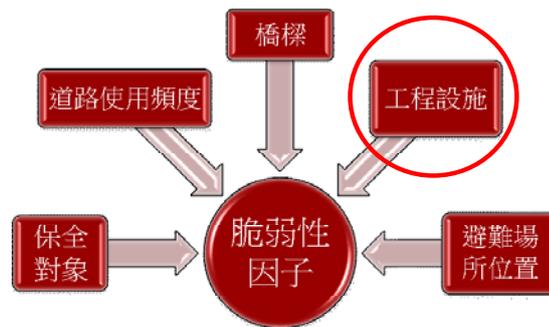
以300mm、600mm以及900mm事件累積降雨量所分析之危害度分布圖，可用於道路管理值建立參考。



# 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析

## 易致災性分析

經由上述危害度分析，可區分為高、中、低潛勢路段區域。配合2010國家災害防救中心易致災脆弱因子調查分析中之工程設施因子，以及各路段的累計崩塌次數為易致災性之脆弱度因子。



# 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析

## 易致災性分析

$$\text{易致災性} = \text{脆弱因子} * \text{危害度}$$

易致災性的計算方式為：  
 (工程設施評分 + 累計崩塌次數評分) × 危害度

易致災性評估工程設施評分表

工程設施	有	無
分數	1	3
得分	1分	3分

評點法分爲

- 高易致災性地區 > 1.5分
- 中易致災性地區 1.5~0.8分
- 低易致災性地區 < 0.8分

易致災性評估累計崩塌次數評分表

累積崩塌次數	0	1~4	5~8	9以上
分數	0	1	2	3
得分	1分	2分	3分	4分



# 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析

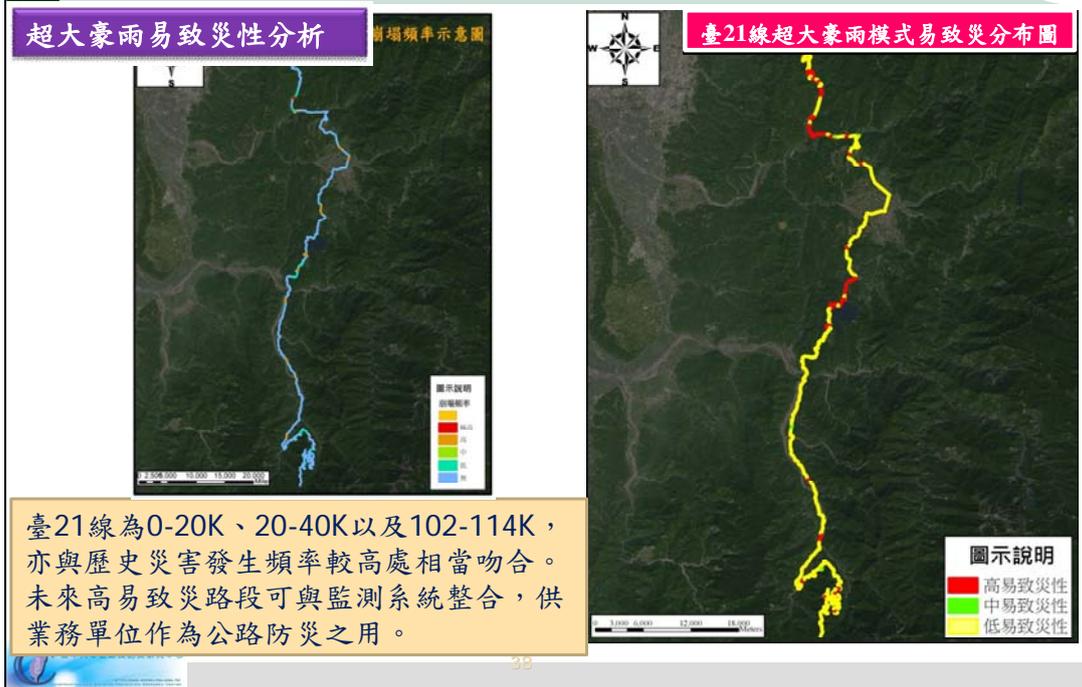
## 超大豪雨易致災性分析



臺18線的高易致災性路段分別10-20K及50-60K，臺18的高易致災路段多發生五彎仔附近，與歷史災害頻率較高處相吻合。



## 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析



## 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

### 規劃程序及步驟

- 由國內山區道路災害類型統計出比例較高的災害類型。
- 易致災分析結果中高易致災路段為重點監測範圍。
- 於高易致災路段有護坡工程進行之位置設置監測設備。

### 規劃原則

災害分類

易致災區域

### 山區道路災害分類

- 彙整統計省道臺18及臺21線1996年-2010年間道路災害資料，主要針對其土石坍方、路基下陷、路基缺口及路基流失以受損等資料，發現主要的災害類型為土石坍方。

### 路段崩塌潛勢分析

- 選擇高潛勢區作為重點監測範圍。
- 分析結果顯示台18與21線共同的主要崩塌潛勢影響參數為地層結構、植生狀況、溪流區位及邊坡坡向角度對應。前3者為大地監測的範圍，降雨量為重要的啟動參數。

## 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

### 易致災路段邊坡崩塌監測設備規劃

根據臺18線、臺21線災害類別統計，以**土石坍方**類型發生之災害比例為**主要災害**。崩塌潛勢影響應參數分析結果顯示主要影響參數多屬於**大地監測**，同時降雨量為重要啟動參數。選用監測設備建議如下。

監測項目	監測儀器	基本規格	量測範圍	精度
地層移動	管式應變計	外徑25mmPVC管，外貼應變計	$\pm 10,000 \mu$	$\pm 0.5\%$
地下水水位或水壓	電子式水壓計		視水壓計深度而定	$\pm 10\text{cm}$
土壤含水量	土壤溼度感測器	電阻式或伺服加速器式	$\pm 40\text{分} - \pm 5\text{度}$	$\pm 8$
雨量	雨量計	倒置式雨量計		$\pm 3\%$



## 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

### 監測系統項目及目的

#### 土壤含水量監測

於施工中之護坡設施附近土層裝安裝土壤含水量計，以觀測土層中土壤含水量分佈及其變化情形。

#### 雨量監測

高易致災路段施工中之護坡設施裝設雨量計，對施工中之護坡設施進行安全預警，配合土壤含水量計觀察降雨對於土壤含水量的影響及兩者間之關係。此外，降雨量為崩塌之重要啟動參數，初步將**參考公路局重點監測路段之管理值進行雨量監測**。例如台21線80K至112K之預警值之時雨量達

#### 管式應變計

擋土構造物之上邊坡裝設管式應變計，以觀測擋土牆構造物上方土層的位移情形。

#### 電子式水壓計

裝設之主要目的為瞭解地下水位變化，亦可既有護坡構造物之排水措施的排水狀況，安裝於護坡設施的上邊坡，配合雨量監測藉以瞭解排水措施的排水能力變化情形，觀測是否發生堵塞的現象。

# 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

## 監測地點選擇方式

高易致災性地區設置監測設備，監測系統除可以持續進? 高易致災路段之長期穩定性的監測工作。

### 落石路段監測

台21路段102K-114K邊坡不穩定之路段中，屬於落石路段有三處，如下表所示

對應里程	坡度(度)	成因(災情)	工程項目	土石數量(m <sup>3</sup> )	邊坡組成材?	歷史次數
105	24	邊坡落石坍方	以型框植生修復	900	石底層	1
107.5	10	邊坡落石坍方	清除坍土石方	992	石底層	1
109.5	34	上邊坡裸露	搶修	2000	石底層	1
112	27	邊坡落石坍方	清除坍土石方	3440	石底層	3

### 地滑路段監測

台21路段102K-114K邊坡不穩定之路段中，災害豐富之五路段進行地滑監測，如下表所示

對應里程	坡度(度)	成因(災情)	工程項目	土石數量(m <sup>3</sup> )	邊坡組成材?	歷史次數
104	28	土石坍方	清除土方	1200	石底層	3
105	24	土石坍方	清除土方	3400	石底層	6
108	21	邊坡坍方	清除坍土方	2400	石底層	6
110	22	土石坍方	清除土方	2720	台地堆積層	8
112	27	土石坍方	清除土方	14400	石底層	14

- 圖例
- ▲ 事發觸動感知器
  - ⊖ 傾斜觀測管
  - ⊞ 地滑計
  - h 水壓計
  - ◀ 監測站
  - A 雨量計
  - ◻ <all other values
  - 落石及地滑區域
  - 落石區域
  - 地滑區域



# 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

## 建議導入無線感測模組

### WSN系統

- 由多個感測器節點，隨機組成
- 非以服務品質為要求。
- 單元簡易、可擴充、低耗電。

### 硬體組成

#### 感測單元

感測元件-偵測環境  
訊號轉換元件-類比轉換數位

#### 處理單元

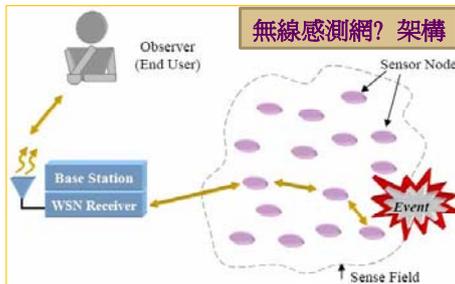
儲存元件-儲存資訊  
處理元件-處理接收資料

#### 傳輸單元

負責連接感測器  
與其他感測器之間的溝通

#### 電力單元

通常由電池或太陽能組成  
省電設計考量

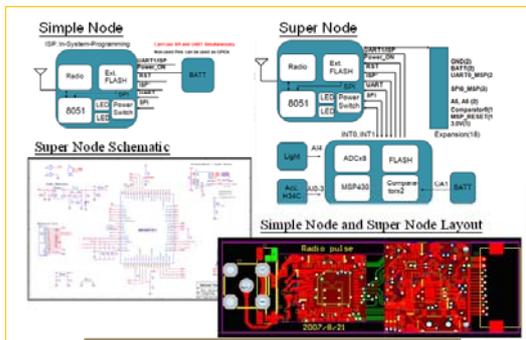


# 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

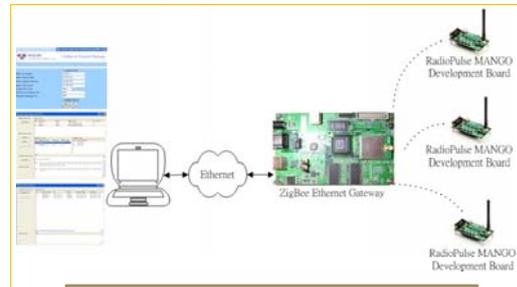
## 無線感測網路架構

無線感測網路平台依功能性及佈建需求，將平台區分成Simple Node、Super Node、及Gateway等三個平台。

- **Simple Node**：主要任務為進行簡單感測資料搜集
- **Super Node**：可以進行更多高階的資料聚合及事件判釋工作
- **Gateway**：將感測網路的資料透過Internet、衛星或是其他傳輸媒介，傳送到後端的伺服器(Server)，即應用程式或管理者手中。



Simple Node與Super Node設計圖

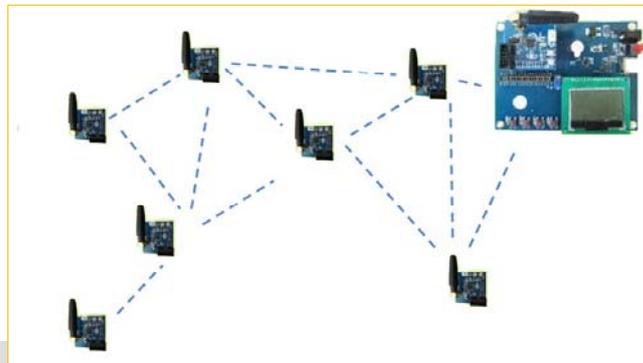


遠端控制及感測裝置資料回報示意圖

# 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

## 無線感測網路架構

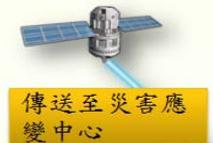
- ▶ **協調器(Coordinator)**：每個網路僅能有一個節點擔任協調者的角色，在實作的網路中，利用此一節點扮演閘道器的角色，利用它將所收集到的資料傳送至電腦，再利用電腦進行後續的分析。
- ▶ **路由器(Router)**：路由器具備將封包轉送的能力，在系統中此類節點並不具備感測的能力，僅具備資料接收及傳送的能力。
- ▶ **感測器(Sensor)**：具備感測的能力，並能將感測的資訊傳送給路由器或協調器的節點，而兩個感測器間不能互相傳送資料。



# 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

## 監測系統傳輸整體規劃

見地可用無線感測網路元件進行監測，需針對各個元件進行無線感測模組化，易於架構簡易式觀測站。再經由固定式觀測站，經由衛星傳送至災害應變中心。



## 無線感測含水量計



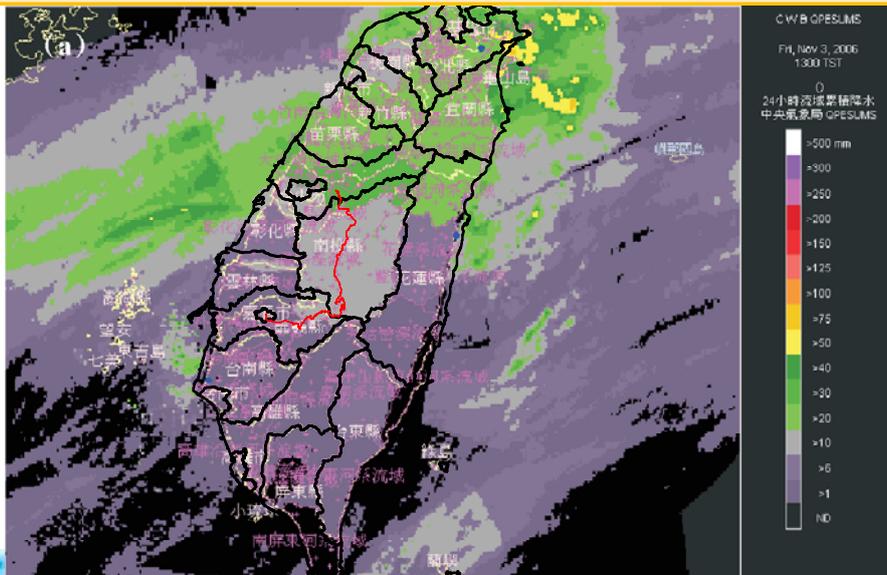
降雨量與含水量率相關性



# 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

## QUPESUM即時雨量觀測系統

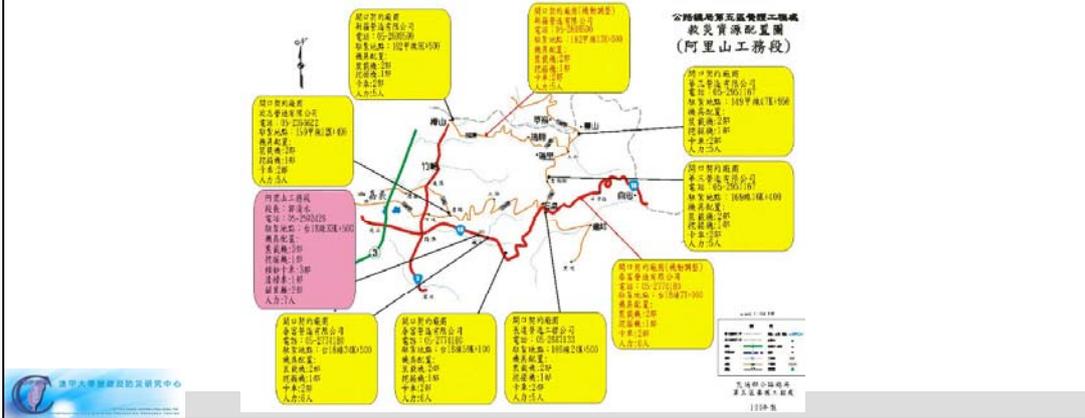
將即時雨量與易致災性分析成果結合，進行高風險路段預警與發佈。



# 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

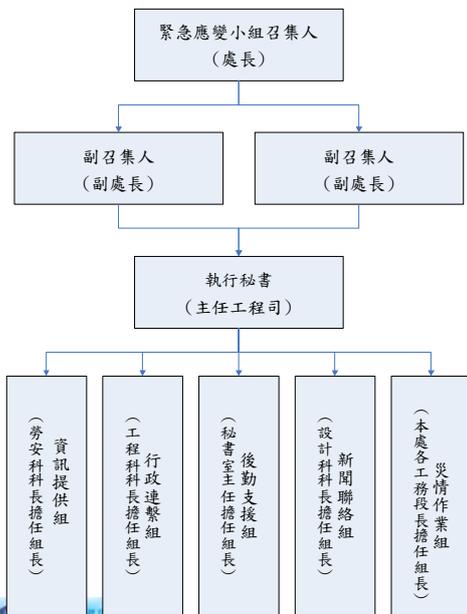
## 應變機制

1. 建立各路段在不同降雨條件下的崩塌潛勢。
2. 颱風警報及豪大雨特報時適當地點準備設置備妥重機械於易致災區待命。
3. 連續三小時雨量超過30mm，通知路管單位及管區進行交通封鎖。
4. 三小時累計雨量低於10mm時，通知管制單位，巡察無虞後解除封鎖。
5. 針對易致災區域分為黃色潛勢區於平時進行每2月定期巡檢工作。
6. 針對不同潛勢區域，建議設置不同規模之救難設施與工具，定時維修保養。



# 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

## 工程災害緊急應變小組組織架構

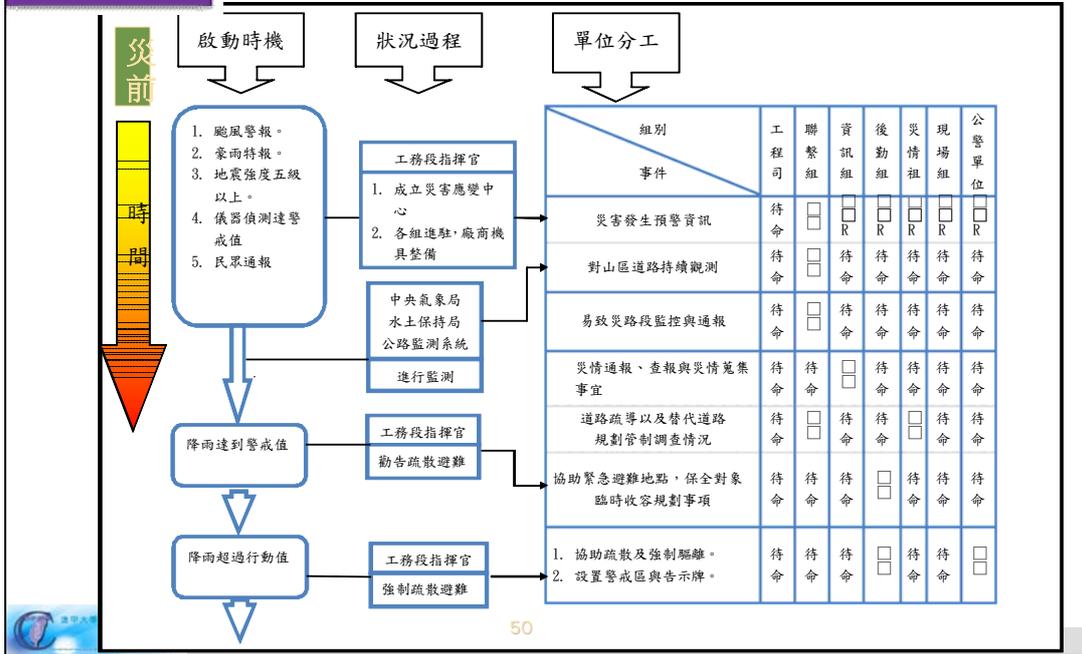


緊急應變小組應於災害發生或有發生之虞時即行運作，主動互相聯繫協調通報，並執行災情蒐集、查證、彙整、通報、災害搶救及救災資源調度等緊急措施，持續運作至災害狀況解除為止。

交通部公路總局第五區養護工程處 災害緊急應變小組任務執掌表			
工程災害緊急應變小組職稱	單位職稱	任務分工	備註
召集人	處長	督導指揮緊急狀況處理情形	本處所屬各工務段(所)依權責負責處理緊急狀況，應同時知會政風室。
副召集人	副處長	協助指揮緊急狀況處理事宜	
執行秘書	主任工程師	緊急狀況處理執行、訊息彙整及回報	
資訊提供組長	資訊中心主任	處理資訊提供事宜及臨時交辦任務	
行政聯繫組長	工務課課長	處理行政聯繫事宜及臨時交辦任務	
後勤支援組長	秘書室主任	處理後勤支援事宜及臨時交辦任務	
新聞聯絡組長	勞安課課長	處理新聞聯絡事宜及臨時交辦任務	
災情作業組長	各工務所主管	處理災害搶救事宜及臨時交辦任務	

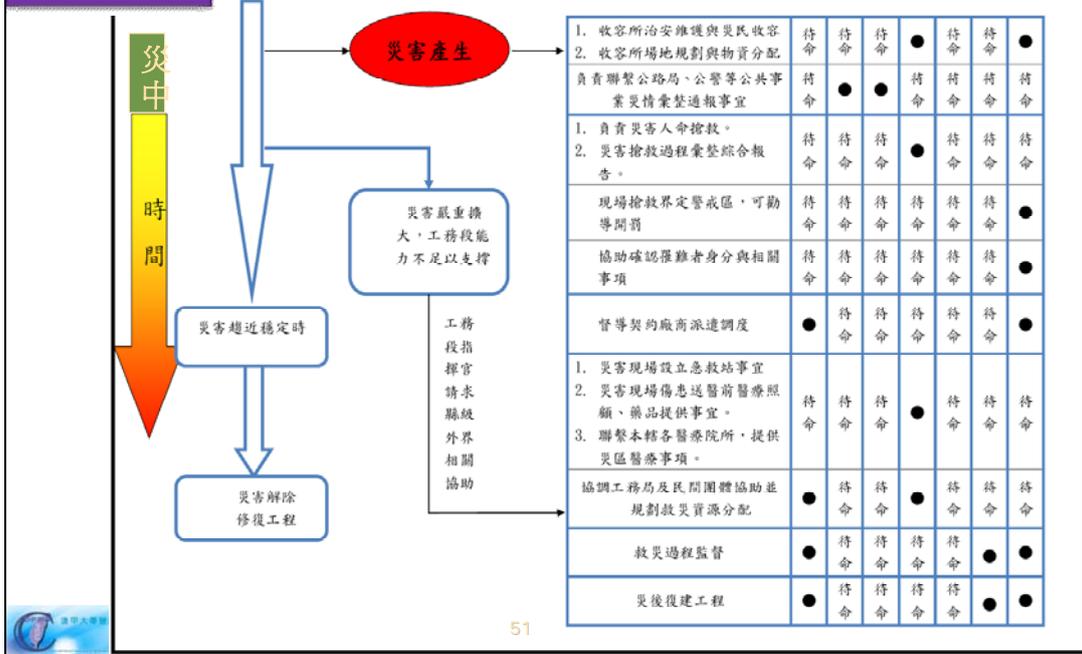
# 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

## 應變計畫流程



# 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

## 應變計畫流程



## 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

### 名詞定義

- ▶ 經濟部水？署天然災害緊急工程處？要點(2010修正)搶險：指天然災害致使水利設施發生**損壞或已發生險象**，為防止損壞險象擴大所作之**緊急搶救措施**。

### 相關文獻

- ▶ 吳淵洵(2006)建議於山區道路邊坡災害發生後，在確定整治方案之前，應即執行緊急搶修以維持當地基本交通與安全需求。對於一般邊坡災害，緊急處理工法包括執行現場踏勘與調查、施作簡易地表及地下排水、修整坡頂或坡趾、築造垛牆或排樁結構，以及鋪設坡面防護等。



## 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

### 相關文獻

- ▶ 董家鈞(2003)曾建議，為達防災目的，建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性，道路**災害通報與處理流程**應與**監測預警系統**結合。
- ▶ Bhoj Raj Pantha et al.(2010)運用地理資訊系統建立尼泊爾山區道路之邊坡穩定與鋪面維護模式，以國際糙度指標作為鋪面狀態指標，繪製道路邊坡與鋪面之維護優先順序地圖。
- ▶ Shangyao Yan(2008)運用時空網路架構模型建立緊急道路搶險與救濟物資分送計畫，用以改善傳統以決策者忽視道路搶險與物資分送兩者間關連性，單憑經驗進行之決策過程。

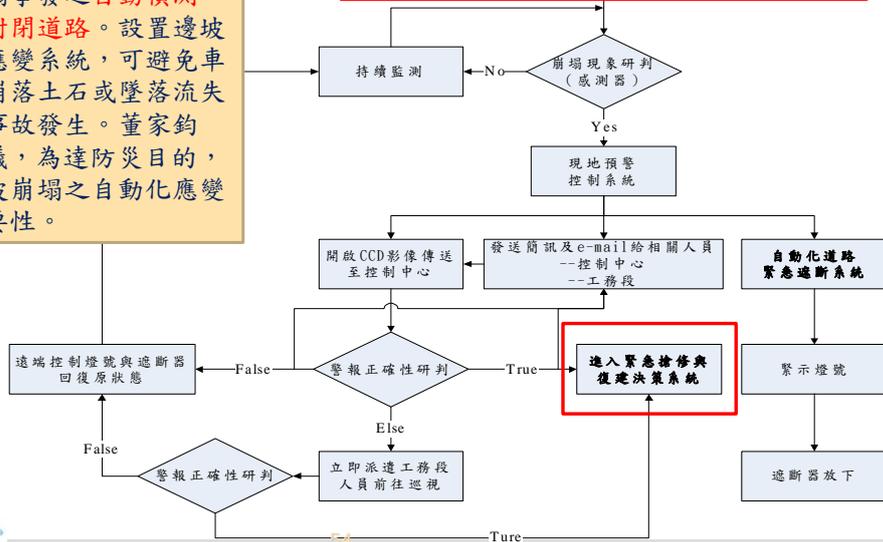


# 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

## 含監測預警系統之處理流程與搶險機制

自動化監測有相當之功能性，尤其是邊坡崩塌事發之自動偵測、警告與自動封閉道路。設置邊坡崩塌自動化應變系統，可避免車輛直接撞擊崩落土石或墜落流失路基之意外事故發生。董家鈞(2003)曾建議，為達防災目的，建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性。

配合監測系統規劃  
 設置--自動化偵測感測器  
 --自動化資料擷取、傳輸系統  
 --自動化道路緊急遮斷系統(警示燈號、道路遮斷器)  
 --CCD影像擷取與傳輸系統



## 結論與建議

### 結論

- ❖ 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作-目前已完成現地調查表格製作，使用該表進行現地調查。並於今年4月及9月進行現地調查、完成崩塌事件及災損資料彙整分類作業。更新更新樁點座標位置、路面現況以及坡地現況。
- ❖ 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析-目前已蒐集崩塌潛勢影響因子，針對臺18、臺21線分析出其高、中、低潛勢路段。發現地層結構、植生狀況、溪流區位及邊坡坡向角度為台18與21線共通的重要影響因子。

## 結論與建議

### 結論

- ❖ 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃-建議設置監測設備於高易致災性路段之護坡工程進行處。除了可以監測高抑制裁災路段之災害潛勢外，亦可？解施工期間邊坡穩定情形及進行施工過程之安全性預警。
- ❖ 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫-針對應變機制、組織架構、單位分工進行應變計畫擬定機制。
- ❖ 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討-建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性，道路災害通報與處理流程應與監測預警系統結合。

## 結論與建議

### 建議

- ❖ 建議此類型調查與評估計畫能持續進行，尤其對於各路線道路災害潛勢因子因其所處條件的不同，亦應進行詳細評估，此外對於其他重要道路的評估，如省道臺7、臺8、臺9、臺20、臺21南端、臺27、臺28等路線實有必要比照辦理調查與評估。
- ❖ 評估結果整體準確度僅有七成至八成，仍有進步的空間，且以目前現階段的評估成果，對於降雨量較小的颱風、豪雨災害事件的量體以及崩塌的降雨量進行更進一步的評估，以提高整體評估系統之可信度與準確性。

# 感謝聆聽 敬請指教

逢甲大學營建及防災研究中心



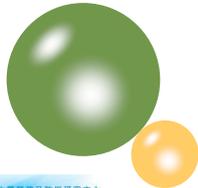
## 附錄七

### 第二次期末報告簡報資料

# 山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(1/4) 期末修正簡報



計畫主持人 張智元 博士  
協同主持人 雷祖強 博士



## 簡報大綱

壹. 前言

貳. 國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

參. 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

肆. 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

伍. 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析

陸. 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

柒. 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

捌. 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

玖. 結論與建議

# 壹、前言

- 有關期末審查意見Q38~Q53，為文字、勘誤、結論建議及附錄等修正，已於書面報告書內修訂完成。
- 其餘各章節審查意見以下簡報逐章回復。

## 第一章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q1. P.1-2計畫目的所描述為綜整之計畫，請確認是否與本計畫相符？	本研究目的為參酌交通部前期相關計畫，來進行山區易致災路段之研究，並反應於各工作項目中，此部分修正內容將於計畫最終成果報告中補正在1.1.2節計畫目的中。
Q2. P.1-5第二年之工作內容未列出臺21線但第一年，三、四年皆有，請確認。	第二年已補上臺21線，參見報告書P.1-4。

### 審查意見

Q1. P.1-2計畫目的所描述為綜整之計畫，請確認是否與本計畫相符？

本研究目的為參酌交通部前期相關計畫，來進行山區易致災路段之研究，並反應於各工作項目中，此部分修正內容將於計畫最終成果報告中補正在1.1.2節計畫目的中。

### 計畫目的

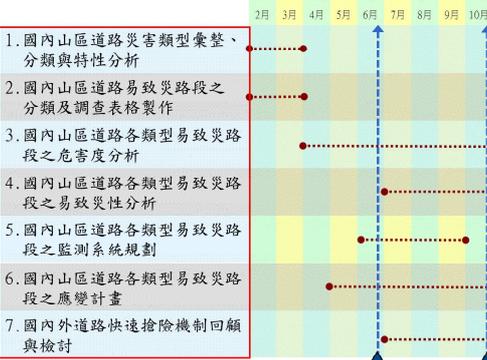
- 彙整國內山區道路**災害類型**。
- 製作國內山區道路易致災路段之**現地調查表格**
- 分析國內山區道路各類型易致災路段之**危害度分析與易致災性分析**。
- 規劃國內山區道路各類型易致災路段之**監測系統、應變計畫**。
- 檢討**道路快速搶險機制**，並將持續落實應用相關研究成果至工程基層單位。

審查意見

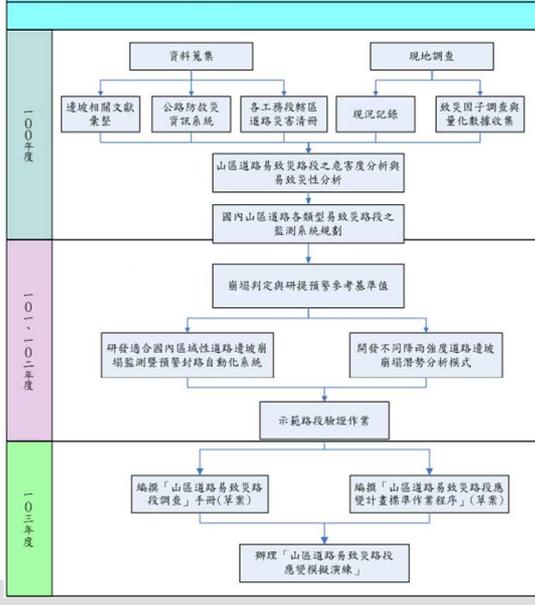
Q2. P.1-5 第二年之工作內容未列出臺21線，但第一年，三、四年皆有，請確認。

第二年已補上臺21線，參見報告書P.1-4。

本計畫工作範圍為臺18線與臺21線第一年規劃之執行步驟為先建立兩線道路之易致災性分析模式，並研擬道路邊坡監測預警系統規劃。第二及第三年編撰山區道路易致災路段調查手冊(草案)。第四年則辦理「山區道路易致災路段應變模擬演練」。



計畫全期(100~103年度)規劃流程圖



整體架構概念

坡度、坡向、地層、溪流區位、土石流潛勢溪流、崩塌地、一日最大降雨量、事件累積降雨量

加入脆弱性因子-工程

分為高、中及低易致災性

易致災路段規劃

分為啓用時機、狀況過程、單位分工

分為啓用時機、狀況過程、單位分工

潛勢分析

(自然環境因子)

危害度分析

(人為環境因子)

易致災性分析

監測系統規劃

應變計畫

快速搶險機制

## 貳、國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

### 第二章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q3. 2.2節內文編排鋪述欠佳，建議增列2.2.2邊坡崩塌，及2.2.2山區道路災害類型，2.2.1內含1.地質與地形對邊坡影響，2.人為...，3.水...，4.邊坡崩塌分類；2.2.2內含災害類型之說明及統計資料，尤其應說明災害類型「土石坍方」包含之災害類別(對照表2-4及表2-5)。表2-7與上下文關係，宜列表2.2.2。	感謝委員建議。已重新修正第二章之章節編排與內容，相關內容並已納入委員之建議。
Q4. 表2-1颱風造成山區道路災害統計資料宜更新補充，且應包括公路總局等機構相關資料災害之敘述宜以道路為主。	遵照辦理。已索取國家災害防救科技中心所調查之全國道路邊坡災害統計資料，詳見期末修正報告P.2-1圖2.1。
Q5. P.2-2表列之危險路段與文中所列不盡相符	已重新校對危險路段，並刪除不符者。詳見修正報告P.2-2~P.2-3。。
Q6. P.2-4表列之省道災害統計與文中有臺20線不盡相符。	原表僅為民國97年土砂災害統計，考量與本研究長期災害調查資料不盡相符，已將該表刪除。



## 貳、國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

### 第二章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q7. 建議多著墨於臺21線和臺18線的環境描述以了解其與崩塌災害的關係。	遵照辦理。本研究除加強敘述臺18線和臺21線之環境背景之外，並新增莫拉克災害事件統計分析，參見報告P.2-13~P.2-21。結果顯示，不論是累積降雨量或降雨強度皆與第三~第四級坡度(15°~35°)之相關性顯著，而地質條件因子之相關性較不明顯。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在2.3.1節研究區莫拉克事件資料分析。
Q8. P.2-13圖2.5(b)為崩塌非明顯之「向源侵蝕」。	感謝委員建議。該圖位於馬達加斯加的Lavaka，右方崩塌處為新的向源侵蝕，左方凹處為舊的向源侵蝕。
Q9. 2、3、4、5級各類型地質圖表，其相關係數是多少？	已將各級地質分級表之相關係數加入圖表中，詳見期末修正報告P.2-15~P.2-21。
Q10.表2-4及2-5災害類別統計，表中部份類別極近似，宜整合。	感謝委員意見。該表已刪除。



## 貳、國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

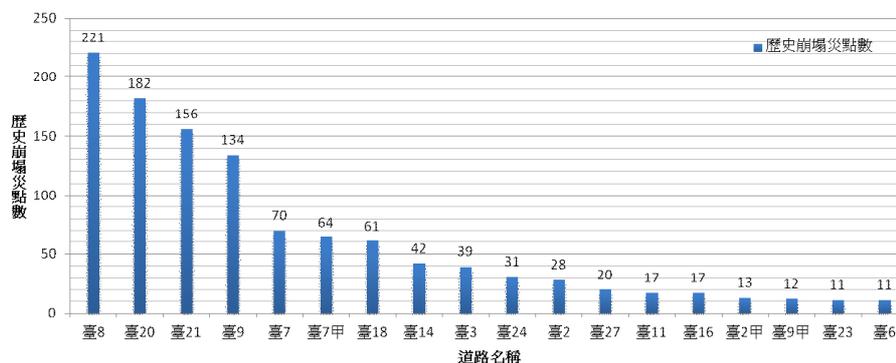
### 第二章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q11. 表2-9及表2-10中，災害類型「路面皸裂」發生比率為0，請查明。	遵照辦理。根據本研究所調查所得之資料形式，實無法呈現「路面皸裂」之災害類型，因此已將此類型刪除，詳見期末修正報告P.2-21~P.2-26。
Q12. P.2-19山區道路災害特性分析，應說明災害類型與何只分成4類，因災害類型會影響第四章所選取之分析因子。	本計畫初期分類乃依循前期研究計畫之成果，目前已修正災害類型分類，依委託單位意見，將資料中無災例之「路面皸裂」刪除，目前分類為3類。詳見期末修正報告P.2-21~P.2-22。
Q13. P.2-20及P.2-21圖2.7及2.8之破壞型式相近	「道路破壞」與「下邊坡破壞」。其中路基下陷或缺口的成因可能為道路基礎設施失敗所造成之路面損壞。而路基流失的成因則為道路下邊坡崩塌或穩定度不佳所造成，其成因不同，故本計畫分兩類敘述。詳見期末修正報告P.2-24~P.2-25。
Q14. P.2-21道路邊坡崩壞之類型仍有「路面皸裂」。	遵照辦理。已刪除。

### 審查意見

Q4. 表2-1颱風造成山區道路災害統計資料宜更新補充，且應包括公路總局等機構相關資料，災害之敘述宜以道路為主。

遵照辦理。已索取國家災害防救科技中心所調查之全國道路邊坡災害統計資料，詳見期末修正報告P.2-1圖2.1。



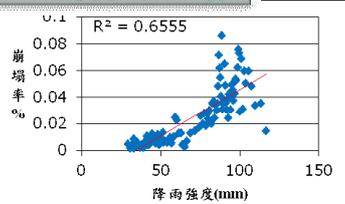
道路邊坡災害歷史的災點統計  
(資料? 源：國家災害防救科技中心)

審查意見

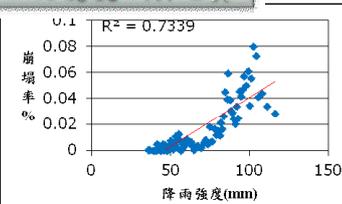
Q7.建議多著墨於臺21線和臺18線的環境描述以了解其與崩塌災害的關係。

本研究除加強敘述臺18線和臺21線之環境背景之外，並新增莫拉克災害事件統計分析，參見報告P.2-13~P.2-21。結果顯示，不論是累積降雨量或降雨強度皆與第三~第四級坡度(15°~35°)之相關性顯著，而地質條件因子之相關性較不明顯。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在2.3.1節研究區莫拉克事件資料分析。

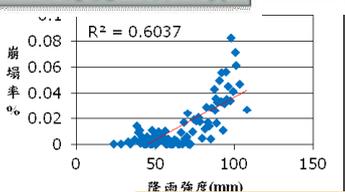
3級坡度B類地質



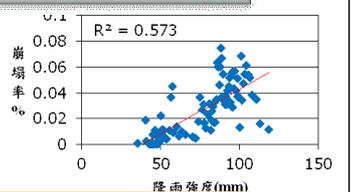
3級坡度C類地質



3級坡度D類地質



3級坡度E類地質



同一坡度分類，各級地質之崩塌率

1.對於此類大規模災害

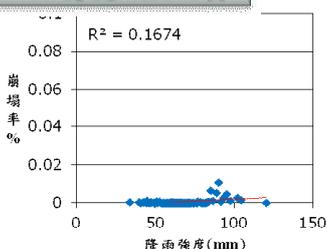
，崩塌因子與坡度具有高度相關性，尤其對於第3~5級坡。不論對於降雨強度或累積雨量，皆顯示出崩塌率隨著驅動因子升高而提升，顯示其災害特性。

2.而根據地質之分類結果顯示，在此類大規模災害事件下，地質與崩塌之相關性較不明顯，除E類(沉積層或軟泥層)多類屬坡度較緩1、2級坡之外，其他皆有高致災之可能。

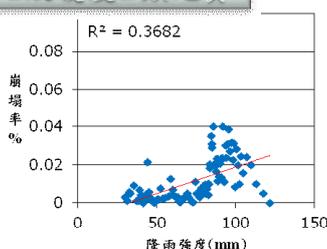
研究區莫拉克事件資料分析

B類地質條件、降雨強度，各級坡度之崩塌率

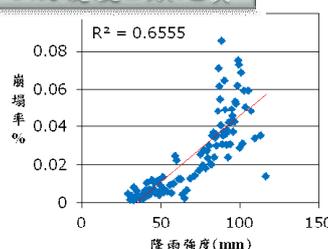
1級坡度B類地質



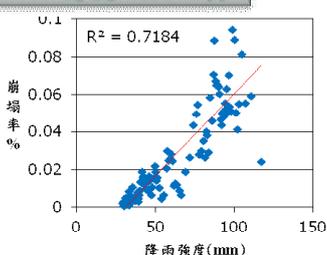
2級坡度B類地質



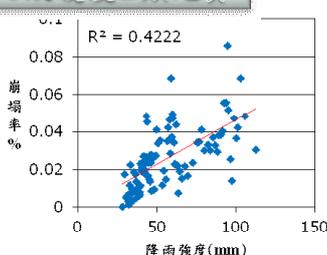
3級坡度B類地質



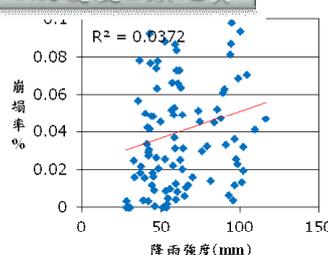
4級坡度B類地質



5級坡度B類地質



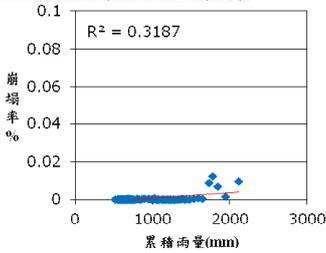
6級坡度B類地質



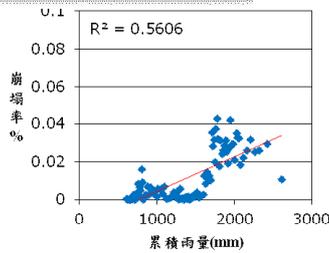
研究區莫拉克事件資料分析

B類地質條件、累積雨量，各級坡度之崩塌率

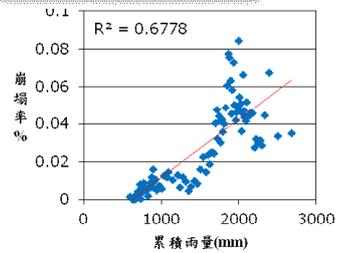
1級坡度B類地質



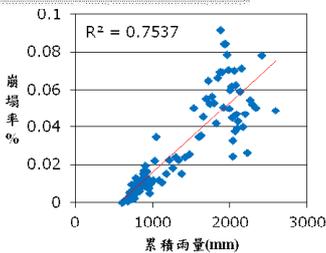
2級坡度B類地質



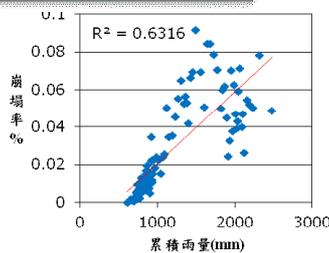
3級坡度B類地質



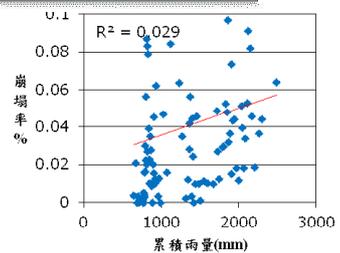
4級坡度B類地質



5級坡度B類地質



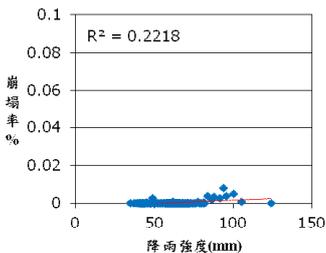
6級坡度B類地質



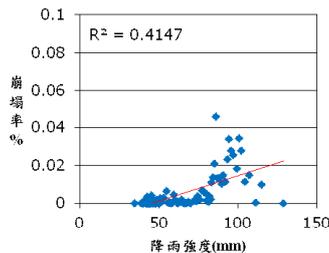
研究區莫拉克事件資料分析

C類地質條件、降雨強度，各級坡度之崩塌率

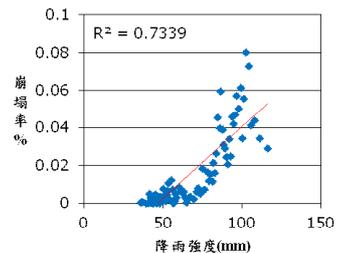
1級坡度C類地質



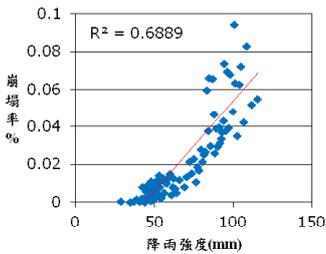
2級坡度C類地質



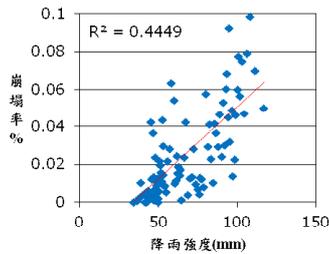
3級坡度C類地質



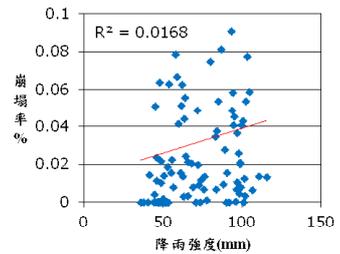
4級坡度C類地質



5級坡度C類地質



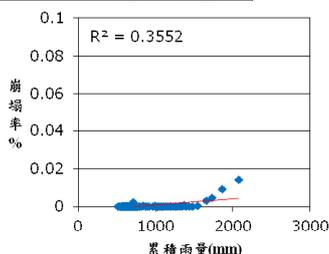
6級坡度C類地質



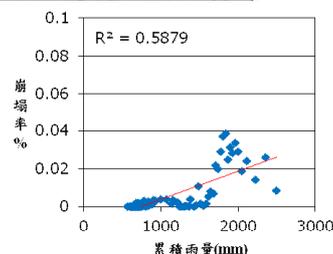
### 研究區莫拉克事件資料分析

C類地質條件、累積雨量，各級坡度之崩塌率

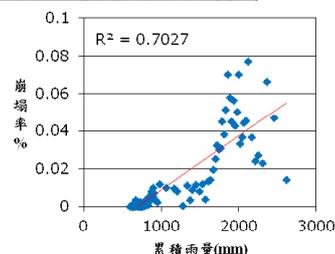
1級坡度B類地質



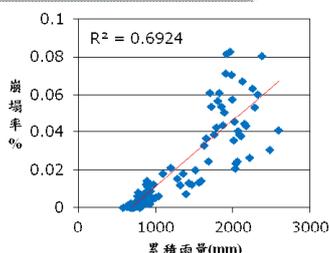
2級坡度C類地質



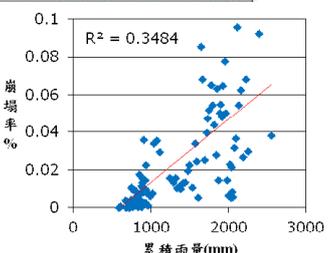
3級坡度C類地質



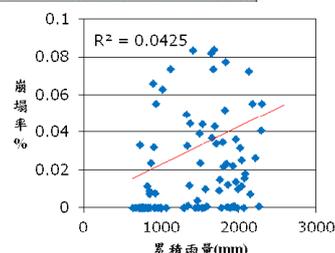
4級坡度C類地質



5級坡度C類地質



6級坡度C類地質



### 審查意見

Q11. 表2-9及表2-10中，災害類型「路面皸裂」發生比率為0，請查明。

Q12. P.2-19山區道路災害特性分析，應說明災害類型與何只分成4類，因災害類型會影響第四章所選取之分析因子。

根據本研究調查所得之資料形式，實無法呈現「路面皸裂」之災害類型，因此已將此類型刪除，詳見期末修正報告P. 2-21~P. 2-26。

本計畫初期分類乃依循前期研究計畫之成果，目前已修正災害類型分類，依委託單位意見，將資料中無災例之「路面皸裂」刪除，目前分類為3類。詳見期末修正報告P. 2-21~P. 2-22。

省道臺18線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失
民國85年(1996)	120	38	3
民國86年(1997)	無資料	無資料	無資料
民國87年(1998)	2	0	0
民國88年(1999)	無資料	無資料	無資料
民國89年(2000)	42	1	0
民國90年(2001)	126	18	0
民國91年(2002)	無資料	無資料	無資料
民國92年(2003)	無資料	無資料	無資料
民國93年(2004)	40	3	0
民國94年(2005)	108	2	5
民國95年(2006)	37	5	1
民國96年(2007)	7	0	0
民國97年(2008)	29	0	0
民國98年(2009)	144	4	3
民國99年(2010)	7	0	0
總計	542	71	12
發生比例	86.72%	11.36%	1.92%

省道臺21線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失
民國85年(1996)	無資料	無資料	無資料
民國86年(1997)	無資料	無資料	無資料
民國87年(1998)	14	2	0
民國88年(1999)	無資料	無資料	無資料
民國89年(2000)	144	5	0
民國90年(2001)	52	11	0
民國91年(2002)	無資料	無資料	無資料
民國92年(2003)	無資料	無資料	無資料
民國93年(2004)	330	21	15
民國94年(2005)	125	18	6
民國95年(2006)	無資料	無資料	無資料
民國96年(2007)	56	1	0
民國97年(2008)	290	7	0
民國98年(2009)	5	1	13
民國99年(2010)	33	0	3
總計	1049	66	37
發生比例	91.06%	5.73%	3.21%

審查意見

Q13. P.2-20及P.2-21圖2.7及2.8之破壞型式相近。

「道路破壞」與「下邊坡破壞」，其中路基下陷或缺口的成因可能為道路基礎設施失敗所造成之路面損壞。而路基流失的成因則為道路下邊坡崩塌或穩定度不佳所造成，其成因不同，故本計畫分兩類敘述。詳見期末修正報告P. 2-24~P. 2-25。

土石坍方  
(上邊坡破壞)

主要來自於上邊坡土體崩壞所造成之道路損壞事件，影響因素有道路邊坡坡度、地層條件及降雨量等

路基下陷  
或缺口  
(道路破壞)

主要來自於道路地基設施破壞所造成之道路損壞，影響因素有降雨量、地層條件及下邊坡毀壞或不穩定等

路基流失  
(下邊坡破壞)

主要來自於道路下邊坡基礎設施設計不佳所造成，影響因素有降雨量及路面漫地流導致下邊坡排水不及造成破壞



## 參、國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

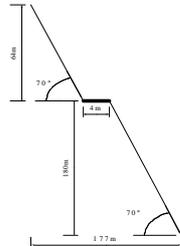
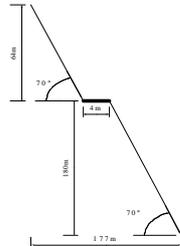
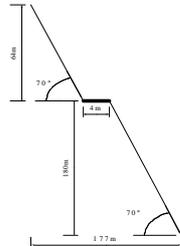
### 第三章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q15.表5-1累計崩塌次數評分表與表3-1評分準則不同？	已修正模式為相同的評分準則，詳見報告中表3-1。
Q16.表3-1致災危險度評估表，請補充臺21線資料。	遵照辦理。臺21線的評分方式，亦採用表3-1相同的評估表，唯各路線因子其資料範圍有異，會影響每個評分的區間，故僅以臺18線示之。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在3.1節山區道路易致災路段之分類。
Q17.(1)P.3-2分析因子有12個，但P.4-1圖4-1卻只有11個。 (2)P.3-6表3-2巡查明細表應附上照片與剖面示意圖。 (3)P.3-2表3-1，危險度評分0.03，0.09，0.27，0.81分應說明，且與P3-4 Pearson不一致。	(1)已修正表3-1，詳見期末修正報告P.3-2~P.3-3。 (2)已補充照片及剖面示意圖，此部分將於計畫最終成果報告中3.2節中補充說明。 (3)致災危險度評分的方式參考「道路落石坍方危險度分級準則之探討」(吳傳威，1999)中之評分方式，唯本研究已依本計畫需求修正其總分計算方式。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在3.1節山區道路易致災路段之分類。

## 參、國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

### 第三章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q18. 請確認表3-1是本計畫產出的，或是引用其他研究而來的，因本計畫一直沒有用到表3-1，而是產出表3-3來用，而照P.3-1最後一段的講法，是本計畫產出表3-1，請確認。	表3-1為提供後續危害度分析中參數所用，為本計畫參考吳傳威(2001)所提評分方式依本計畫需求修正而得。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在3.1節山區道路易致災路段之分類。
Q19. 報告P.3-2，表3-1為致災危險度評分表，P.3-4訂出，以評分10及30分為界線，劃分出低、中、高易致災性路段，但在第五章，又重新定義易致災性區域(路段)。P.5-5以評分0.8及3分為分界，劃分出低、中、高易致災性路段，這兩章談同一件事情，卻用不同的條件方法，請予釐清。	遵照辦理。表3-1之致災危險度評分表為提供後續危害度分析所用，並非即為易致災路段分級。而P.5-5之易致災性結果，則是依分析所得路段危害度乘以脆弱因子所得，其定義與條件不同。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在3.1節山區道路易致災路段之分類。
Q20. 本計畫產出的調查表，表3-3，內有「保全對象」此評估項目，為何第四章、第五章在分析時，都沒有列入此項？依圖5-3(P.5-4)來看，應放在第五章，當作脆弱性因子之一，請考慮納入。	感謝委員建議。目前本研究中山區道路示範圍區位之保全對象較少，因此於本年度中未納入考量。建議可於下期計畫中將保全對象之脆弱因子納入考量。

審查意見																																																								
Q18. (2)P.3-6表3-2巡查明細表應附上照片與剖面示意圖。																																																								
(3)P.3-2表3-1，危險度評分0.03，0.09，0.27，0.81分應說明，與P3-4 Pearson不一致。																																																								
<p>(2)補充照片及剖面示意圖，此部分將於計畫最終成果報告中3.2節中補充說明。</p> <p>(3)致災危險度評分的方式參考「道路落石坍方危險度分級準則之探討」(吳傳威，1999)中之評分方式，唯本研究已依本計畫需求修正其總分計算方式。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在3.1節山區道路易致災路段之分類。</p>	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">邊坡/擋土設施編號：縣 118 縣 55k+600</td> <td colspan="2">調查日期：90 年 9 月 20 日</td> </tr> <tr> <td colspan="4">邊坡/擋土設施位置(地址)：上、下邊坡</td> </tr> <tr> <td colspan="2">位置座標(橫參卡托座標)：</td> <td>東(E)121.3311</td> <td>北(N)24.7930</td> </tr> <tr> <td>調查者：(簽名)</td> <td>日期：(簽註)</td> <td>校核者：(簽名)</td> <td>日期：(簽註)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">高度(m)</td> <td colspan="2">坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)</td> <td>坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)</td> </tr> <tr> <td>構造物型式</td> <td>距離(m)</td> <td>構造物型式 距離(m)</td> </tr> <tr> <td colspan="4">自然邊坡</td> </tr> <tr> <td colspan="4">損壞跡象：<input checked="" type="checkbox"/>有，<input type="checkbox"/>無</td> </tr> <tr> <td colspan="4">說明：邊坡滑動裸露、地表水逕流</td> </tr> <tr> <td colspan="4">是否需進行專業維修？<input checked="" type="checkbox"/>是，<input type="checkbox"/>否</td> </tr> <tr> <td colspan="4">說明：</td> </tr> <tr> <td colspan="4">調查情形：滑動、裸露面積超過人為所能量測面積</td> </tr> <tr> <td colspan="4">照片及剖面示意圖：</td> </tr> <tr> <td colspan="2">  <p>照片</p> </td> <td colspan="2">  <p>剖面示意圖</p> </td> </tr> </table>	邊坡/擋土設施編號：縣 118 縣 55k+600		調查日期：90 年 9 月 20 日		邊坡/擋土設施位置(地址)：上、下邊坡				位置座標(橫參卡托座標)：		東(E)121.3311	北(N)24.7930	調查者：(簽名)	日期：(簽註)	校核者：(簽名)	日期：(簽註)	高度(m)	坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)		坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)	構造物型式	距離(m)	構造物型式 距離(m)	自然邊坡				損壞跡象： <input checked="" type="checkbox"/> 有， <input type="checkbox"/> 無				說明：邊坡滑動裸露、地表水逕流				是否需進行專業維修？ <input checked="" type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否				說明：				調查情形：滑動、裸露面積超過人為所能量測面積				照片及剖面示意圖：				 <p>照片</p>		 <p>剖面示意圖</p>	
	邊坡/擋土設施編號：縣 118 縣 55k+600		調查日期：90 年 9 月 20 日																																																					
邊坡/擋土設施位置(地址)：上、下邊坡																																																								
位置座標(橫參卡托座標)：		東(E)121.3311	北(N)24.7930																																																					
調查者：(簽名)	日期：(簽註)	校核者：(簽名)	日期：(簽註)																																																					
高度(m)	坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)		坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)																																																					
	構造物型式	距離(m)	構造物型式 距離(m)																																																					
自然邊坡																																																								
損壞跡象： <input checked="" type="checkbox"/> 有， <input type="checkbox"/> 無																																																								
說明：邊坡滑動裸露、地表水逕流																																																								
是否需進行專業維修？ <input checked="" type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否																																																								
說明：																																																								
調查情形：滑動、裸露面積超過人為所能量測面積																																																								
照片及剖面示意圖：																																																								
 <p>照片</p>		 <p>剖面示意圖</p>																																																						

參考吳傳威(1999)研究

評分因子	評分準則與分數			
	0.03分	0.09分	0.27分	0.81分
自然環境影響因子				
道路邊坡坡度	<20度	20~35度	35~50度	>50度
道路邊坡坡向	北(0)	東、東南、南、西南	西	東北、西北
地層條件	台地、沖積、頭嵙山層、桂竹林(0)	四陵、石底、南莊	乾溝、廬山	大桶山
溪流區位		穿越、附近無溪流	沿岸	
土石流潛勢溪流	無(1)			有(0)
崩塌地	無崩塌(1)			有崩塌(0)
植生狀況	NDVI.>0.4	0.4>NDVI>0.2	0.2>NDVI>0	NDVI<0
人為環境影響因子				
坡面工程	有(1)			無(3)
災害事件與災害驅動因子				
崩塌累積次數	0次(1)	1~4次(2)	5~8次(3)	9次以上(4)
事件累積降雨量(mm)	<383.5	383.5~696.5	696.5~1018	1018~2548

註：評分準則與分數欄位中包含(0)者，評分方式以(0)內為主。

## 肆、國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

審查意見	意見回復
Q21. 為何使用邏輯斯迴歸分析？是否有其他分析的方式？	邏輯斯迴歸分析為本計畫延續前期計畫所使用之分析，該方法於近年常被用來使用於多變量的崩塌災害分析。然而仍有其他分析方式可供選擇，如最大概似分析、類神經等數值模式。
Q22. P.1-6道路兩線之危害度分析在國內一側多為溪岸，是否影響易致災路段分析結果？(如分析因子中之溪流區位)	易致災因子受溪流之影響，於第四章危害度分析中已納入考量。其考慮河道轉彎攻擊角及緊鄰道路是否垂直貫穿予以區分。(依水平距離200m為界)
Q23. 建構邏輯斯迴歸模式所選用之分析參數在臺18線及臺21線不同，宜說明如何考量。臺18線模式中一日降雨量何以未選為分析參數，而事件累積降雨量卻是負相關參數另，臺21線模式分析結果顯示崩塌預測準確率偏低，宜有說明。	本研究之建構邏輯斯迴歸模式，於臺18線與臺21線皆已考量相同的7個因子，詳如期末修正報告P4-19~P4-26。

#### 第四章 審查意見回復 道路各類型易致災路段之危害度分析

審查意見	意見回復
<p><b>Q24.</b> P.4-22，由表4-5應修正為4-7。P.4-23，由表4-7應修正為4-8。同時分析結果中：</p> <p>(1)崩塌預測準確率只有17%。</p> <p>(2)宜列出R<sup>2</sup>。</p> <p>(3)8個參數，部分有相依性。</p>	<p>遵照辦理。相關文字誤植已修正。另：</p> <p>(1)本研究已修正為三種方法之整體預測準確率，詳見報告P.4-23。</p> <p>(2)此部分將於計畫最終成果報告中4.4.2節研究方法中補充說明。</p> <p>(3) 本研究中參數採用粗集合 (rough set) 理論檢定，該檢定可釐清相依參數中較為重要之參數。此部分將於計畫最終成果報告中4.4.2節研究方法中補充說明。</p>
<p><b>Q25.</b> P.4-24，表4-9「百分比修正」計算有誤，請訂正，圖4.15，圖示說明潛勢等級，應改為崩塌潛勢，而圖4.18，圖示說明易致災性，也應改為崩塌潛勢。</p>	<p>感謝委員意見。表4-9已刪除，相關道路危害分布圖，詳見期末修訂報告圖4.17~圖4.20。</p>

#### 第四章 審查意見回復 道路各類型易致災路段之危害度分析

審查意見	意見回復
<p><b>Q26.</b> 第四、五章各類型易致災路段之危害度分析及易致災性分析均係針對崩塌類型(土石坍方)災害，對其他類型災害如何，宜有說明。</p>	<p>本研究針對各類型災害於第二章中已有說明，對於易致災分析則以是否發生災害為判斷標準。唯對於不同類型的災害分別進行易致災分析，囿於原始資料的屬性難以得到某類災害條件下的不發生資料，考量易致災分析結果的應用性，乃針對全部類型災害進行易致災分析。此部分將於計畫最終成果報告中4.1節山區道路崩塌潛勢因子中補充說明。</p>

Q21. 為何使用邏輯斯迴歸分析？是否有其他分析的方式？

邏輯斯迴歸分析為本計畫延續前期計畫所使用之分析，該方法於近年常被用來使用於多變量的崩塌災害分析。然而仍有其他分析方式可供選擇，如最大概似分析、類神經等數值模式。

**邏輯斯迴歸(Logistic)分析**

- ❖ 本研究應用Logistic於危害度分析
- ❖ 應變？是二元變？Y（成功或失敗），自變？可為分？性或？續性變？

成功機？

$$\pi(x) = E(Y|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X}) + 0 \times P(0|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X})$$

■ Logistic迴歸模型：

$$\text{logit}(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

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

**邏輯斯迴歸(Logistic)分析-訓練資料**

**近年典型災害**

災害類型	年份	名稱	台18線	台21線
超大豪雨	97	卡玫基	100	111
	97	辛樂克	104	76
	98	莫拉克	150	101
	99	凡那比	4	2
	100	南瑪都	0	2
豪雨	95	0609豪雨	12	0
	96	0604豪雨	1	0
	99	0523豪雨	0	3
	99	0726豪雨	2	0
	100	0718豪雨	5	10

**訓練資料選取**

年份	歷史災害事件	訓練資料	
		台18線	台21線
97	卡玫基	○	○
97	辛樂克	○	○
98	莫拉克	○	○
99	凡那比		
100	南瑪都		○
95	0609豪雨	○	
96	0604豪雨	○	
99	0523豪雨		○
99	0726豪雨	○	
100	0718豪雨		

## 邏輯斯迴歸(Logistic)分析-訓練與驗證方法

### 事件分組

方法一：採用歷史災害兩線中全部500m段資料作訓練，凡那比颱風及718豪雨事件作驗證。

### 抽樣分組

方法二：以隨機採樣方法在兩分析路段分別篩選出各1500筆500m段資料，其他筆資料作為驗證。

### 空間分組

方法三：以空間分析觀點來選取資料，在以500為單位的道路記錄資料中依序給於序號以等序號間距方式選取資料，本計畫以連續5筆資料中取4筆資料訓練，1筆資料驗證。

式建構將模式訓練資料各評估參數經由評分匯整成一張EXCEL試算表，再將參數作經過標準化動作，其後SPSS 即可將EXCEL試算表之資料匯入，進而計算出邏輯斯迴歸方程式。

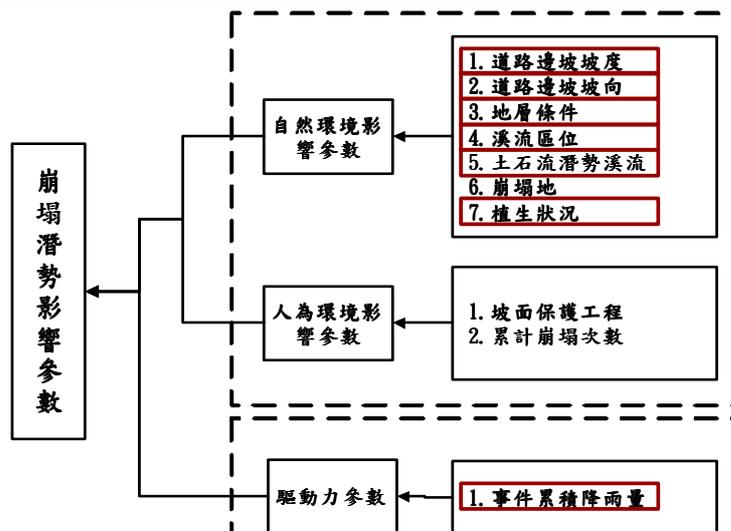
路段	邊坡	道路邊坡 坡度	道路邊坡 坡向	地層 結構	溪流 區位	土石流潛 勢溪流	植生 狀況	事件累計 降雨量	一日最大 降雨量	崩塌
0.0K	R	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	1	1
0.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	1
1.0K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	1
1.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	0
2.0K	R	0.33	1.00	1.00	0.33	1.00	0.33	1	1	0
2.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	0.33	1

### 審查意見

Q23. 建構邏輯斯迴歸模式所選用之分析參數在臺18線及臺21線不同，宜說明如何考量。臺18線模式中一日降雨量何以未選為分析參數，而事件累積降雨量卻是負相關參數另，臺21線模式分析結果顯示崩塌預測準確率偏低，宜有說明。

本研究之建構邏輯斯迴歸模式，於臺18線與臺21線皆已考量相同的7個因子，詳如期末修正報告P. 4-19~P. 4-26。

### 崩塌潛勢影響參數



審查意見

Q24. P.4-22, 由表4-5應修正為4-7。P.4-23, 由表4-7應修正為4-8。同時分析結果中：

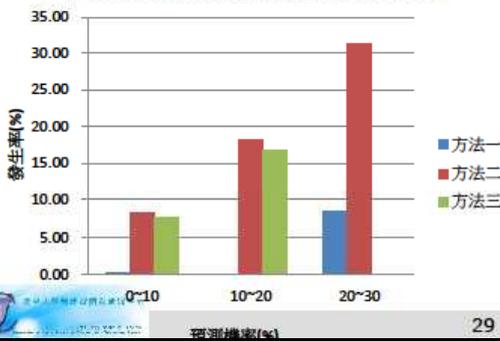
- (1)崩塌預測準確率只有17%。
- (2)宜列出R2。
- (3)8個參數，部分有相依性。

(1)本研究已修正為三種方法之整體預測準確率，詳見報告P.4-23。

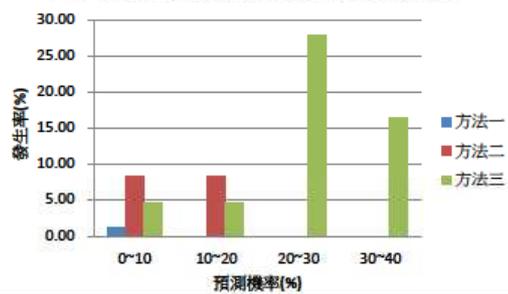
邏輯斯迴歸(Logistic)分析-訓練結果

臺18線分析整體預測準確率分別為88.9%、88.1%、88.5%；臺21線迴歸整體預測率為90%、89%、90.1%。分析結果為機率，若將分析結果以10%為區間分組，可發現方法二隨著分析結果的機率提升，實際崩塌的發生機率也隨之升高。

臺18線預測機率與實際發生比率之對應關係圖



臺21線預測機率與實際發生比率之對應關係圖



(2)此部分將於計畫最終成果報告中4.4.2節研究方法中補充說明。

	臺18線			臺21線		
	方法一	方法二	方法三	方法一	方法二	方法三
準確率	88.90%	88.10%	88.50%	90%	89%	90.10%
R <sup>2</sup>	0.252	0.252	0.26	0.08	0.08	0.03

邏輯斯迴歸(Logistic)分析-訓練結果

崩塌潛勢因子	台18線迴歸係數	台21線迴歸係數
道路邊坡坡度	0.27	-1.56
道路邊坡坡向角度	0.35	-0.52
地層結構	66.38	1.00
溪流區位	4.86	0.54
土石流潛勢溪流	63.04	-0.41
植生狀況	0.69	-0.12
事件累計降雨量	2.05	1.20
常數	-47.50	-2.39

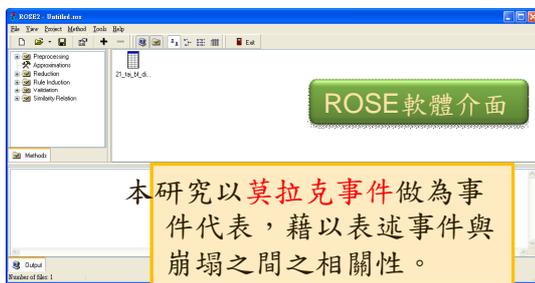
兩線分析結果中，地層結構為最重要的危害度因子，此與略集合的結果相同。

(3) 本研究中參數採用粗集合 (rough set) 理論檢定，該檢定可釐清相依參數中較為重要之參數。此部分將於計畫最終成果報告中4.4.2節研究方法中補充說明。

### 粗集合 (rough set) 理論

由Pawlak於1982年所提出，其目的是在於能在含糊不精準與不確定性的資料上，利用資料的屬性核心縮減進行簡化的動作，並可針對資料的不確定性訂定其粗糙度，使其有效擷取知識以進行決策或知識表達。

在此使用粗集合萃取出重要的因子，增加因子的獨立性與顯著性。藉此與邏輯斯迴歸的分析結果比對，同步驗證因子間的權重屬性與重要關係。



ROSE軟體介面

本研究以莫拉克事件做為事件代表，藉以表述事件與崩塌之間之相關性。

Attribute name	Quality loss
Core glayer	0.505
Core slope	0.121
Core vegetation	0.255

透過ROSE分析本研究發現，地層結構是最為重要之核心屬性。

### 審查意見

Q25. P.4-24, 表4-9「百分比修正」計算有誤，請訂正，圖4.15，圖示說明潛勢等級，應改為崩塌潛勢，而圖4.18，圖示說明易致災性，也應改為崩塌潛勢。

感謝委員意見。表4-9已刪除，圖4.17~圖4.20已修正，詳見期末修正報告P. 4-26~P. 4-29。

### 以辛樂克颱風為例





## 伍、國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析

### 第五章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q27. P.5-5易致災性分析，表5-1，應說明臺18，臺21。	感謝委員建議。臺18線、臺21線皆採用相同的表5-1~表5-2評分表，將於計畫最終成果報告中5.2節各類型山區道路易致災路段之易致災性分析補充說明。
Q28. 易致災路段判定標準應再檢討。	已重新使用新建立之邏輯斯模型進行易致災路段推估，詳見期末修正報告P.5-5。
Q29. 臺18線及臺21線易致災性評估之結果，宜將高易致災性路段以列表呈現，以供清楚對照。	此部分將於計畫最終成果報告中5.2節各類型山區道路易致災路段之易致災性分析補充說明。

審查意見

Q28. 易致災路段判定標準應再檢討。

已重新使用新建立之邏輯斯模型進行易致災路段推估，詳見期末修正報告P. 5-5

易致災性分析

易致災性=脆弱因子\*危害度

易致災性的計算方式為：  
(工程設施評分 + 累計崩塌次數評分) × 危害度

易致災性評估工程設施評分表

工程設施	有	無
分數		
得分	1分	3分

評點法分為

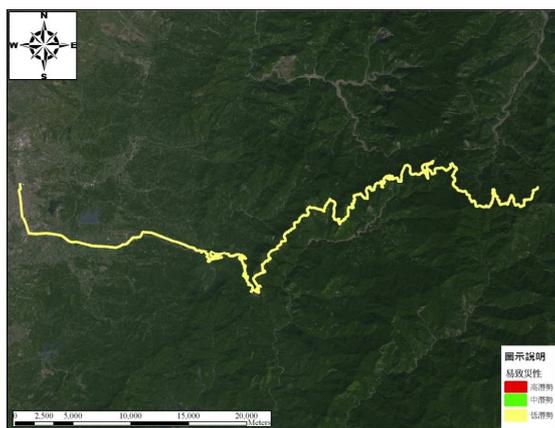
- 高易致災性地區 > 1.5分
- 中易致災性地區 1.5~0.8分
- 低易致災性地區 < 0.8分

易致災性評估累計崩塌次數評分表

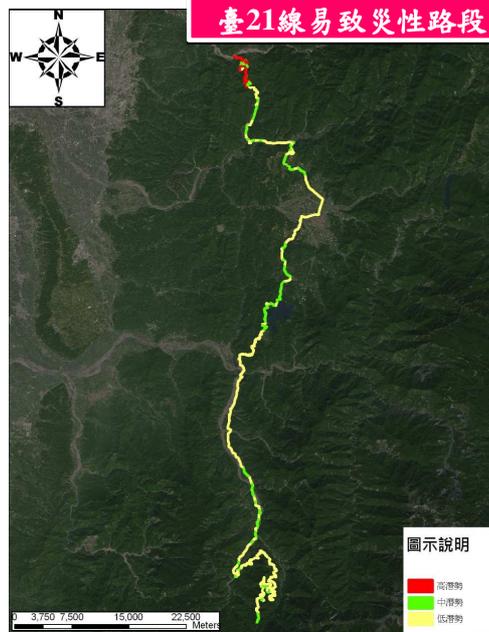
累積崩塌次數	0	1~4	5~8	9以上
分數				
得分	1分	2分	3分	4分

高中低易致災性路段圖-以718豪雨為例

臺18線易致災性路段



臺21線易致災性路段





審查意見

Q29. 臺18線及臺21線易致災性評估之結果，宜將高易致災性路段以列表呈現，以供清楚對照。

此部分將於計畫最終成果報告中5.2節各類型山區道路易致災路段之易致災性分析補充說明。

高易致災性路段列表-以臺21線為例

臺21線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
0.5K	R	低	中	高
1.0K	R	低	中	高
1.5K	R	低	中	高
4.0K	R	低	中	高
5.5K	R	低	中	高
6.0K	R	低	中	高
6.5K	R	低	中	高
7.0K	R	低	中	高
8.5K	R	低	中	高
9.0K	R	低	中	高
9.5K	R	低	中	高
10.0K	R	低	中	高
101.0K	R	低	中	高
102.0K	R	低	中	高
102.5K	R	低	中	高
103.0K	R	低	中	高
103.5K	R	低	中	高
105.0K	R	低	中	高
105.5K	R	低	中	高
114.0K	R	低	低	高

臺21線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
0.0K	L	低	中	高
0.5K	L	低	中	高
1.0K	L	低	中	高
1.5K	L	低	中	高
2.5K	L	低	中	高
3.0K	L	低	中	高
4.0K	L	低	中	高
5.0K	L	低	中	高
5.5K	L	中	中	高
6.5K	L	低	中	高
7.0K	L	低	中	高
7.5K	L	低	中	高
8.0K	L	低	中	高
8.5K	L	低	中	高
9.0K	L	低	中	高
9.5K	L	低	中	高
10.0K	L	低	中	高
12.0K	L	低	中	高
101.0K	L	低	中	高
101.5K	L	低	中	高
102.0K	L	中	中	高
103.0K	L	低	中	高
103.5K	L	低	中	高
104.5K	L	低	中	高
114.0K	L	低	低	高

陸、國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

第六章 審查意見回復

審查意見	意見回復
Q30. 易致災路段監測系統規劃宜加強。	遵照辦理。本研究已針對臺18線與臺21線之易致災路段監測站加強說明，並列明監測站位置與其監測單元數量。詳見期末修正報告P.6-19~P.6-29。
Q31. 建議針對崩塌評估結果中崩塌潛勢中影響較大的因子，加以探討，或是將其位置、規模等詳列，以結合後續防減災措施之規劃。	本研究易致災道路之影響因子即以地層因子為重要考量，未來配合長期現地監測資料，律定土壤含水參數來了解現地土壤條件，輔以土壓計觀測，將可作為後續應變作為的啟動依據。
Q32. 監測儀器的取樣頻率是多少？	目前規劃之監測系統之取樣頻率，前端(現地)皆為每分鐘取樣一次，後端則每5分鐘儲存一筆資料(資料庫)。此部分將於計畫最終成果報告中6.2節臺18線與臺21線易致災路段監測系統規劃。

## 第六章 審查意見回復

審查意見	意見回復
<p>Q33. 監測要有時效性，如何配合而運用在預警上應特別考量。</p>	<p>遵照辦理。監測之時效性取決於監測之目的及所採取的監測元件、數據量及傳輸方式。整體而言，目前監測站所規劃之雨量計、土壤含水量計及土壓計所需流量並不大，通訊介面應無須採用昂貴的衛星或微波。在考量現地環境可及性、穩定性下，建議以ADSL或光纖為最佳通訊模式，若經現地實測無通訊中斷之虞，亦可考量以3.5G無線網路傳輸。詳見期末修正報告P.6-14表6-2。</p>
<p>Q34.(1)P.6-16，臺21線落石段監測，在表6-3未見，應圖示儀器種類、數量與位置。 (2)P.6-14.圖6.3空白。 (3)P.6-7.表6-1，氣壓式系統修復未說明完全。</p>	<p>(1)遵照辦理。已修正監測規劃。詳見期末修正報告P.6-19~P.6-29。 (2)已修正。詳見期末修正報告P.6-16圖6.3。 (3)已修正。詳見期末修正報告P.6-6表6-1。</p>



### 審查意見

Q30. 易致災路段監測系統規劃宜加強。

遵照辦理。本研究已針對臺18線與臺21線之易致災路段監測站加強說明，並列明監測站位置與其監測單元數量。詳見期末修正報告P. 6-19~P. 6-29。

### 規劃程序及步驟

### 規劃原則

### 歷史災害熱點

### 山區道路災害頻率

- 彙整統計省道臺18及臺21線1996年-2010年間道路災害資料，主要針對其土石坍方、路基下陷、路基缺口及路基流失受損等資料，歸納災害熱點。



### 審查意見

Q31.建議針對崩塌評估結果中崩塌潛勢中影響較大的因子，加以探討，或是將其位置、規模等詳列，以結合後續防減災措施之規劃。

本研究易致災道路之影響因子即以地層因子為主要考量，未來配合長期現地監測資料，律定土壤含水參數來了解現地土壤條件，輔以土壓計觀測，將可作為後續應變作為的啟動依據。

### 監測地點選擇方式



### 監測站監測元件(單站)

項次	監測系統儀器設備	數量
1	雨量計	1
2	土壤含水量計	4
3	土壓計或地滑計	2



### 監測系統項目及目的

#### 土壤含水量監

測於施工中之護坡設施附近土層裝安裝土壤含水量計，以觀測土層中土壤含水量分佈及其變化情形。

#### 雨量監測

➢ 高易致災路段施工中之護坡設施裝設雨量計，對施工中之護坡設施進行安全預警，配合土壤含水量計觀察降雨對於土壤含水量的影響及兩者間之關係。此外，降雨量為崩塌之重要啟動參數，初步將參考公路局重點監測路段之管理值進行雨量監測。例如台21線80K至112K之預警值之時雨量達

#### 土壓計或地滑

計土壓計又稱為總壓計，設計用？？測堆填體內部總壓？分佈，或土體與混凝土或其他剛性結構物接觸壓？大小之儀器。

➢ 地滑計主要由一鋼製可轉動之圓盤及電壓測？主體所構成，圓盤邊緣設有溝槽，上跨鋼鋼線，鋼鋼線一方？接一重錘設於邊坡上方之假設？動點，另一方則固定於斜坡上之？動區內。

審查意見

Q32. 監測儀器的取樣頻率是多少？

目前規劃之監測系統之取樣頻率，前端(現地)皆為每分鐘取樣一次，後端則每5分鐘儲存一筆資料(資料庫)。此部分將於計畫最終成果報告中6.2節臺18線與臺21線易致災路段監測系統規劃。

易致災路段邊坡崩塌監測設備規劃

建議可於臺18線之65K及臺21線之115K處建置示範監測站，監測站具備三種測量之監測系統，其中包括雨量計、土壤含水量計(視有無擋土工程而定)及土壓計。取樣頻率：前端(現地)皆為每分鐘取樣一次，後端則每5分鐘儲存一筆資料(資料庫)。

監測項目	監測儀器	基本規格	量測範圍	精度
地層移動	地滑計	122*156*210mm	0~300mm	±0.8mm
地下水水位或水壓	土壓計	受壓面直徑160mm	1MPa	±1%
土壤含水量	土壤溼度感測器	TDR	0~100%	視擷取器而定
雨量	雨量計	倒置式雨量計	9999mm	± 0.5mm



地滑計



土壓計



土壤含水量計



傾斗式雨量計

審查意見

Q33. 監測要有时效性，如何配合而運用在預警上應特別考量。

遵照辦理。監測之時效性取決於監測之目的及所採取的監測元件、數據量及傳輸方式。整體而言，目前監測站所規劃之雨量計、土壤含水量計及土壓計所需流量並不大，通訊介面應無須採用昂貴的衛星或微波。在考量現地環境可及性、穩定性下，建議以ADSL或光纖為最佳通訊模式，若經現地實測無通訊中斷之虞，亦可考量以3.5G無線網路傳輸。詳見期末修正報告P. 6-14表6-2。

通訊方式	上行速度 通信容量	無線電波頻段	穩定度	主要業者	基本費率	優缺點/限制
ADSL	最大1M	實體線路	佳	中電信	一線路4M/1M 費每站636元(線費500元 設定費200元) 線512K含線路費用，費每站2,661元(線費1,500元 設定費1,500元)	線不需要與頻，受限於業者之。時，需以WiFi基站無線傳輸。
微波	最大54M	2.4G/5.8G	可	行設	微波站及中站設備 設費用每站360,000元	訊穩定，畫，不受不的，訊易受地建，播而無傳。
光纖	最大5M	實體線路	佳	中電信	光 速率10M/2M線路 費每站2,550元(線費1,500元 設定費1,500元)	輸，通訊量大，、傳、監點 建置費用。
WiMAX	最大70M	2-6 GHz	可	一動	目前業者 在建置中，費制 建，需與業者以。	傳輸 最 可 50 實測2-5 網路 範圍 頻 效率、 傳輸速率。 WiMAX 設備的 建置成本、 設備的 容性、 統一、WiMAX 頻段的 WiMAX 游 面的 在。
衛星(VEST)	最大 128 kbps	4GHz/6GHz C頻)	佳	中  電信	衛星VSAT設備 設費用每站600,000元 VSAT(512Kbps/512Kbps) 費35,000元	用於 或不 線的。通信範圍大、信 易有、 傳輸 時 270ms、 易受。 10GHZ以上容易受。
GPRS	最大 56 kbps	1800MHz	可	中、 傳	費1,100元(含 75 包之資料傳輸量，上限費率4,000元)	網路 中斷、 包易、 線易中斷。
3.5G	最大 144 kbps	5MHz	可	中、 傳	無限上網 費 850元	部 容易、建置 速 範圍 有限， 示效果不佳。

# 柒、國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

## 第七章 審查意見回復

審查意見	意見回復
<p>Q35. 應加強應變計畫草案，如應變機制中連續3小時雨量超過30mm，交通封鎖應依不同地點、地質而不同(可參考公路總局應變計畫)。</p>	<p>遵照辦理。已參考公路總局之應變計畫修正。詳見期末修正報告P.7-2~7-3。</p>
<p>Q36. 累積雨量是否可作為判斷應驗證，或說明其他判定方式。</p>	<p>在驅動力因子中，事件累積雨量、有效累積雨量、3小時降雨量及降雨強度等皆可做為驅動力因子。唯考量易致災性應用需求，目前中央氣象局降雨預報中以累積降雨量作為預報，因此本研究建議仍採用累積雨量為宜。作為山區道路封路預警判斷機制。</p>
<p>Q37. 建議多詳加說明提出的道路災害應變機制。可將目前已施行的操作機制附於附件中，以比較相異處，或是本計畫提案較佳之處。</p>	<p>本計畫依委託單位建議，於計畫中將目前公路總局防災預警機制結合，提出應變機制動態表單架構。此部分補充說明將於計畫最終成果報告中補充在7.1節國內山區道路災害應變計畫。</p>

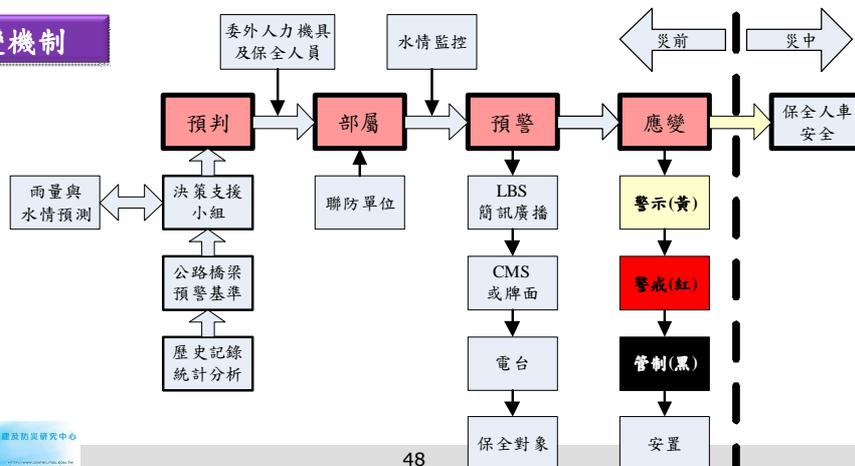
### 審查意見

Q35. 應加強應變計畫草案，如應變機制中連續3小時雨量超過30mm，交通封鎖應依不同地點、地質而不同(可參考公路總局應變計畫)。

遵照辦理。已參考公路總局之應變計畫修正。詳見期末修正報告P.7-2~7-3。

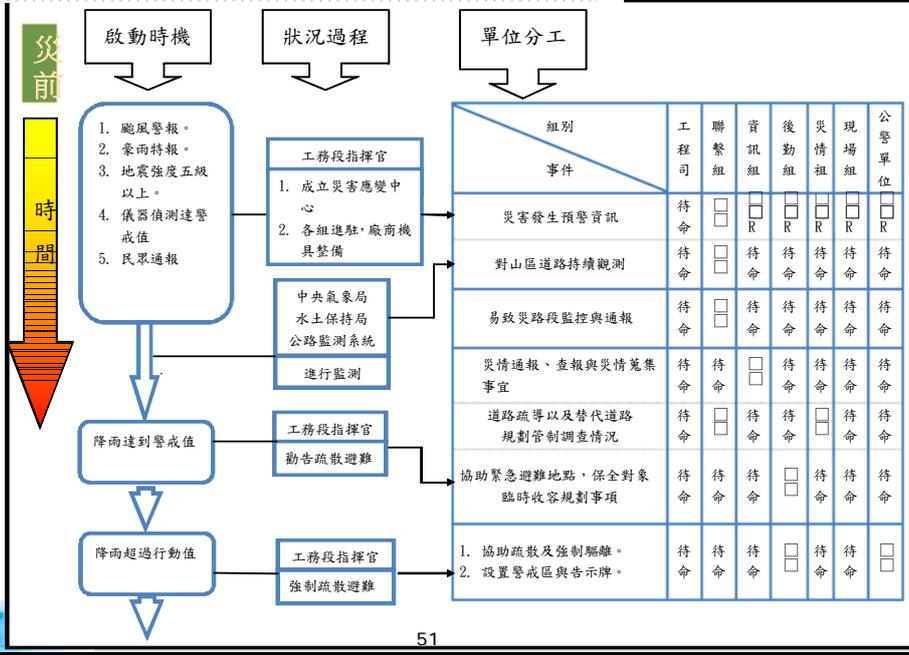
公路總局今年已將預判、部署、預警、應變等四階段為山區道路防災預警應變機制之重點，並修訂以往之管理觀念，為求服務導向，不再被動式的等候通報，改採主動告知預警訊息並提前應變。

### 應變機制



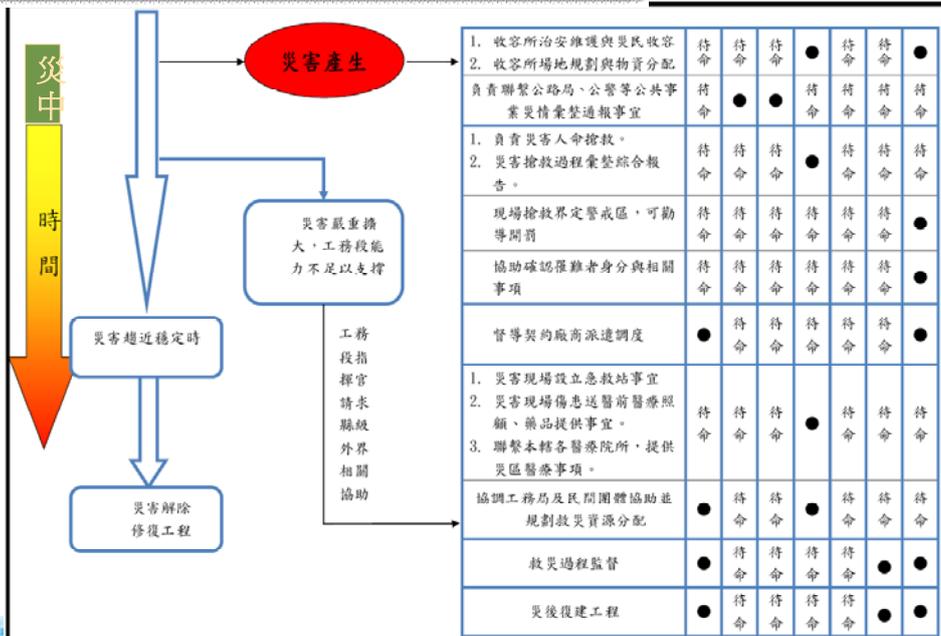


### 應變計畫啟動標準作業程序-動態表單建立



51

### 應變計畫啟動標準作業程序-動態表單建立



52

# 捌、國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

## 文獻探討

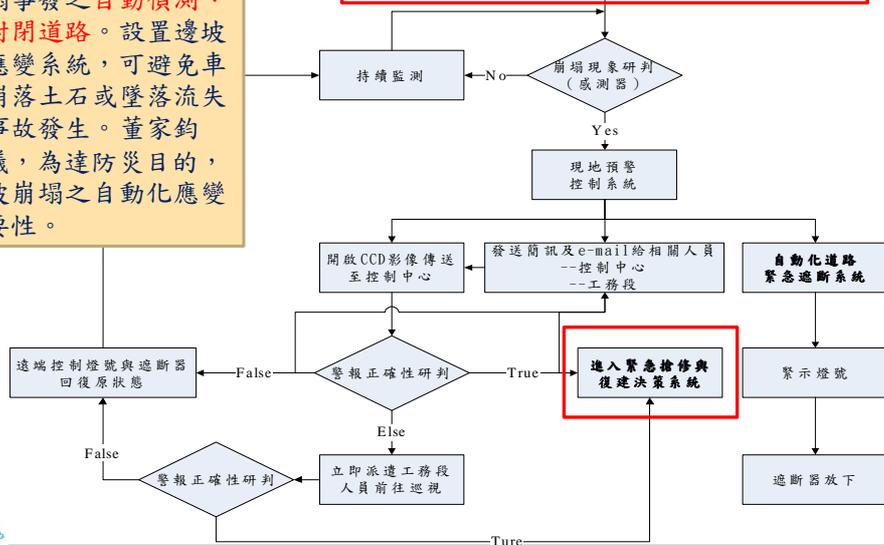
作者	內容
張立偉 (2001)	建立一套緊急應變指派方法，供決策單位決定災害搶修及搶救點之順序，在有限時間內找出最大搶救及搶修效益之計畫排程。探討一組合最佳化問題，考量之目標則以搶修單位之旅行時間最小化、搶修時間最小化及災點之搶修風險最小化構建多目標式，配合上時窗限制之考量，以 C 語言自行撰寫基因演算法求解問題。
吳淵洵 (2006)	山區道路邊坡災害發生後，在確定整治方案之前，應即執行緊急搶修以維持當地基本交通與安全需求。
董家鈞 (2003)	為達防災目的，建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性，道路災害通報與處理流程應與監測預警系統結合。
Bhoj Raj Pantha et al.(2010)	運用地理資訊系統建立尼泊爾山區道路之邊坡穩定與鋪面維護模式，以國際糙度指標作為鋪面狀態指標，繪製道路邊坡與鋪面之維護優先順序地圖。
Shangyao Yan(2008)	運用時空網路架構模型建立緊急道路搶險與救濟物資分送計畫，用以改善傳統以決策者忽視道路搶險與物資分送兩者間關連性，單憑經驗進行之決策過程。

# 捌、國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

## 含監測預警系統之處理流程與搶險機制

自動化監測有相當之功能性，尤其是邊坡崩塌事發之自動偵測、警告與自動封閉道路。設置邊坡崩塌自動化應變系統，可避免車輛直接撞擊崩落土石或墜落流失路基之意外事故發生。董家鈞 (2003)曾建議，為達防災目的，建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性。

配合監測系統規劃  
 設置--自動化偵測感測器  
 --自動化資料擷取、傳輸系統  
 --自動化道路緊急遮斷系統 (警示燈號、道路遮斷器)  
 --CCD影像擷取與傳輸系統



## 玖、結論與建議

### 結論

#### ❖ 國內山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

- 已歸納成土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失3種道路災害類型資料庫進行後續統計。

#### ❖ 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作

- 已完成調查表格製作，並於汛期前及颱風過後，利用此表進行現地勘查3次(9人次)。

#### ❖ 國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析

- 已蒐集崩塌潛勢影響9項因子，針對臺18、臺21線分析出其高、中、低潛勢路段。研究發現地層結構為台18與21線共通影響之重要因子，本項結果與略集合的篩選結果相符。
- 本模式與歷史災害路段趨勢吻合，結果顯示本模式對於危險路段判定有一定可靠性。

## 玖、結論與建議

### 結論

#### ❖ 國內山區道路各類型易致災路段之易致災性分析

- 本研究已完成300mm、600mm以及900mm降雨量下，山區道路易致災之空間特性分析。

#### ❖ 國內山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃

- 已完成臺18線與臺21線高易致災性路段監測儀器配置圖，此圖除了可以監測高易致災路段之災害潛勢外，亦可建立致災因子的長期監測資料。

#### ❖ 國內山區道路各類型易致災路段之應變計畫

- 本研究已完成本區應變機制、組織架構以及單位分工，進行應變計畫擬定機制等工作項目。

#### ❖ 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

- 已完成國內外道路快速搶險機制回顧與檢討並與山區道路災害通報與處理流程應與監測預警系統結合。

## 玖、結論與建議

### 建議

- ❖ 建議此類型調查與評估計畫能持續進行，尤其對於各路線道路災害潛勢因子因其所處條件的不同，亦應進行詳細評估。
- ❖ 建議對於其他重要道路的評估，如省道臺7、臺8、臺9、臺20、臺21南端、臺27、臺28等路線實有必要比照辦理調查與評估。
- ❖ 評估結果趨勢與歷史災害吻合，但仍有進步的空間，建議以目前現階段的評估成果，對於降雨量較小的颱風、豪雨災害事件的量體以及崩塌的降雨量進行更進一步的評估，以提高整體評估系統之可信度與準確性。
- ❖ 建議將上述資料以GIS資料庫的形式建立空間資料庫以利業務單位應用管理分析之用。

逢甲大學營建及防災研究中心

感謝聆聽  
敬請指教