103-38-774
MOTC-IOT-102-H1DB007

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(3/4)

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 103 年 4 月

103-38-7742
MOTC-IOT-102-H1DB007

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(3/4)

著 者：張道光、林雅雯、邱建國、黃敏郎
鄭明淵、曾志民、吳育偉、劉峰榮
郭峯豪、許錕安

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 103 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究. (3/4) / 張道光等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民103.04
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-0935-2(平裝)

1.防災工程 2.道路工程 3.橋樑工程

445.5 103006486

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(3/4)

著　　者：張道光、林雅雯、邱建國、黃敏郎、鄭明淵、曾志民、吳育偉
劉峰榮、郭峯豪、許錕安
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587176
出版年月：中華民國 103 年 4 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 75 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：350 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：1010300530　　ISBN：978-986-04-0935-2 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

103

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究發(3/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010300530
定價 350 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：道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(3/4)			
國際標準書號 ISBN 978-986-04-0935-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1010300530	運輸研究所出版品編號 103-38-7742	計畫編號 102-H1DB007
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：張道光 研究人員：林雅雯 參與人員: 陳毓清、李春榮 林隆貞、黃如蜜 聯絡電話：04-26587174 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立臺灣科技大學、聚禾工程顧問有限公司 計畫主持人：邱建國、黃敏郎 協同主持人：鄭明淵、曾志民 研究人員：吳育偉、劉峰榮、郭峯豪、許錕安 地址：臺北市基隆路四段 43 號、台南市永康區中華一路 122 號 聯絡電話：02-27376663、06-3125198		研究期間 自 102 年 01 月 至 102 年 12 月
關鍵詞：橋梁生命週期、維修策略、最佳化模式、山區道路、崩塌、監測、易致災性			

摘要：

臺灣橋梁飽受天然災害侵害，造成橋梁損壞及安全疑慮。如何評估現有橋梁健康度與提升橋梁壽齡是迫切的課題，國內現行檢測作業多以可視老化為主，對於地震、耐洪等潛勢危害較少著墨，要維護橋梁使用安全無虞除了定期檢測維修外，診斷橋梁健康度的評估維護模式亦非常重要。本研究使用共生生物演算法，加入生命週期成本導向之概念建置「橋梁維護策略最佳化模式」，將同時考量各橋梁所評估之現況及風險程度，推估未來橋梁壽齡及狀態，進而輔助公路管理單位針對單一橋梁進行維修時機及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。同時本計畫以臺 9 線宜蘭縣蘇澳鎮路段至花蓮縣秀林鄉路段山區道路為研究對象，進行山區道路山崩等災害目錄建置、災害潛感分析、潛在大規模滑動區位判釋與重大災害案例蒐集等工作，以大尺度之坡面單元與小尺度之工程或排水狀況，進行山區道路易致災路段劃分，並探究其致災因子、危害度與損失程度等，同時進行各易致災路段之災害風險分析，進而依據各種災害類型與風險等級檢討現行道路監測預警架構，提出創新構思與監測管理、養護巡察與預警措施，以提高國內山區道路整體安全的使用。

研究成果效益：

1. 採用坡面單元結合地質敏感區進行易致災路段劃分，此方法可清楚界定各易致災路段的範圍、主要災害類型與災害特性、警戒基準與風險估算。
2. 已完成山區道路之災害風險評估模式，可提供路管單位於提前應變措施參考。
3. 本研究導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁維修策略最佳化模式，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得維修經費。

提供應用情形：

1. 本計畫結合災害潛勢、發生機率與災損成本等因子，完成山區道路之災害風險評估模式，可提供公路總局等路管單位於提前應變措施參考。
2. 在橋梁壽齡研究成果，實務上在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費，在施政上可提供交通部、橋梁管理單位在研擬橋梁維護與補強策略之參考。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
103 年 4 月	472	350	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級： □密 □機密 □極機密 □絕對機密 （解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附錄抽存後解密， □工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密） ■普通
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

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

TITLE: Establishment of disaster prevention and rescue system on roads and bridges (3/4)

ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
I978-986-04-0935-2 (pbk)	1010300530	103-38-7742	102-H1DB007

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Tao-kuang
PROJECT STAFF: Lin Ya-Wen
PROJECT TECHNICIAN: Chen Yui-Chin, Lee Chun-Ron, Lin Long-Jen, Huang Ju-Ming
PHONE: (04) 26587174
FAX: (04) 26564418

PROJECT PERIOD
FROM January 2013
TO December 2013

RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology, GeoHarvester Engineering Consultants Co,Ltd.
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Chien-Kuo, Huang, Min-Lang
Co-PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng Min-Yuan, Tseng Chih-Ming
PROJECT STAFF: Wu Yu-Wei, Liu Feng-Jung, Kuo Feng-Hao, Hsu Kun-An
ADDRESS: .#43 , Sec.4, Keelung Rd. , Taipei 106, Taiwan, R.O.C and No.122, Zhonghua 1st Rd., Yongkang Dist., Tainan City 710, Taiwan (R.O.C.)
PHONE: (02) 27376663, (06) -3125190

KEY WORDS: ：Bridge life cycle, Maintenance strategy, Optimized model, mountain road, landslide, monitor, vulnerability

ABSTRACT:

The bridges are usually damaged by natural disasters, since Taiwan is located in seismic zone and influenced by typhoon climate. As a result, these likely to cause damaged bridges and have safety doubts. Therefore, how to evaluate the health of existing bridges and enhance the life-span is an urgent issue. Now most of the inspections in Taiwan are tangible (visible), as earthquake and flood belonged potential (invisible) risk which resistant capacity has not been described much. Therefore, it would be difficult to assess the real bridge's condition. In order to ensure the safety of the bridge, the regular repair and maintained examine strategy of the bridges is very important. This research both consider the tangible and the potential risk, and is utilized Monte Carlo simulation to calculate risk of the bridges,the research continue the previous review. Then is imitated the method of SOS (Stochastic Optimization of Stimuli) algorithm with life cycle concept to set up Bridge life cycle Maintenance Strategy Optimization Model (BMSOM).. This project selected Provincial Highway Route 9 from Su-ao Township, Yilan County to Sioulin Township, and Hualien County as study area in this year. The concept of slope unit combined with the environmental geology features were applied to conduct the hazard map of roads for analyzing the potential occurring disasters at different load sections, identifying the potential landslide area, and establishing the landslide inventory of mountainous road. Based on the hazard map of the studied area, we discussed the disaster pre-warning and monitoring frameworks of roads, and proposed the new concepts to monitoring, maintaining, and pre-warning the disaster of roads, for enhancing the safety of the mountainous road.

Benefits of research results:

1. The concept of slope unit has been proven an efficient way to quantitatively evaluate hazard potential for mountain roads.
2. The hazard risk evaluation method proposed in this project could be the reference for the road management agency for disaster preparedness.
3. This study imports the cost-oriented concept of life cycle and sets up Bridge life cycle maintenance strategy optimization model.

Current situation in application:

1. This project combines disaster potential and incidence of disaster damage cost factors and completes the mountain roads of disaster risk assessment model. It could be the reference for the road management agency for disaster preparedness.
2. The Ministry of Transportation and Communications or the bridge management department can refer to the results for policy-making. The bridge management department to arrange the optimal funds, in addition estimates the future condition of the bridge with a limited budget.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2014	472	350	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(3/4)

目 錄

中文摘要.....I

英文摘要.....II

目錄 V

圖目錄.....XI

表目錄.....XVII

第一章 前言.....1-1

1.1 研究緣起.....1-1

1.2 研究目的.....1-2

1.3 研究範圍.....1-2

1.4 研究方法.....1-3

1.5 研究內容與流程.....1-4

第二章 文獻回顧.....2-1

2.1 公路維護規範.....2-1

2.1.1 橋梁損害分類.....2-2

2.1.2 橋梁檢測.....2-3

2.2 橋梁性能指標.....2-9

2.3 國外文獻.....2-12

2.3.1 美國橋梁檢測.....2-13

2.3.2 英國橋梁檢測.....2-16

2.3.3 日本橋梁檢測.....2-16

2.3.4 中國橋梁檢測.....2-18

2.4 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集.....2-19
2.4.1 一般檢測.....2-22
2.4.2 耐震檢測.....2-27
2.4.3 沖刷檢測.....2-28
2.5 鋼筋混凝土結構物之補強技術.....2-29
2.6 橋梁維修補強工法.....2-30
2.7 演化式支持向量機推論模式.....2-37
2.7.1 支持向量機簡介.....2-38
2.7.2 演化式支持向量機推論模式.....2-45
2.7.3 ESIM特性與限制.....2-47
2.7.4 ESIM應用.....2-48
2.8 生物共生演算法(Symbiotic Organism Search，SOS).....2-50
2.8.1 共生的基本概念.....2-50
2.9 山區道路災害類型.....2-53
2.10 易致災路段劃分方法.....2-55
2.11 山區道路邊坡整治工法.....2-55
2.12 降雨警戒基準相關分析研究.....2-56
2.13 山區道路災害潛感評估.....2-60
2.14 山區道路風險分析.....2-60
2.15 監測預警管制.....2-61
第三章 橋梁風險分析流程.....3-1
3.1 現地調查結果.....3-1
3.1.1 頭屋大橋.....3-2
3.1.2 北勢大橋.....3-12
3.1.3 台61線大安溪橋.....3-22

3.1.4 小結.....3-29
3.2 建置維修工法資料庫.....3-32
3.3 單橋維護成本最佳化模式確立.....3-39
3.3.1 研究方法及進行步驟.....3-39
3.3.2 橋梁維修機率.....3-40
3.3.3 風險衝擊影響程度.....3-42
第四章 橋梁維修機率.....4-1
4.1 橋梁風險分析-元件老化.....4-2
4.1.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海洋距離).....4-3
4.1.2 統計分析(CI與橋齡).....4-4
4.1.3 維修門檻訂定.....4-5
4.1.4 可靠度指標.....4-5
4.2 橋梁耐震可靠度分析.....4-6
4.2.1 震源型態之介紹.....4-7
4.2.2 建立地震目錄及研究對象.....4-8
4.2.3 平均規模與未來地震發生次數之公式.....4-9
4.2.4 地表震動模式介紹.....4-13
4.2.5 衰減模式與場址特性.....4-15
4.2.6 地表震動衰減模式.....4-17
4.2.7 性能曲線與容量震譜.....4-21
4.2.8 非線性動力分析模式.....4-23
4.2.9 RC橋梁模型.....4-24
4.2.10 諧和加速度地震歷時.....4-25
4.2.11 橋梁地震損害評估.....4-28
4.3 橋梁可靠度分析-洪水.....4-34

4.3.1 橋梁分類(依所在流域).....4-34
4.3.2 統計分析.....4-34
4.3.3 洪水事件產生器.....4-35
4.3.4 失敗門檻訂定.....4-36
4.3.5 蒙地卡羅模擬.....4-37
第五章 風險衝擊影響程度.....5-1
5.1 元件老化及洪水維修成本.....5-2
5.1.1 橋梁維修因子評估.....5-2
5.1.2 橋梁維修因子篩選.....5-3
5.1.3 建立橋梁維修案例資料庫.....5-4
5.1.4 建立橋梁風險影響程度.....5-7
5.1.5 ESIM模式訓練與測試.....5-9
5.2 地震造成風險影響程度.....5-13
第六章 橋梁維護策略最佳化.....6-1
6.1 單橋橋梁維護成本最佳化.....6-1
6.2 單橋維護成本策略.....6-2
6.3 共生生物演算法求解橋梁維修策略.....6-7
6.4 單橋橋梁風險管理策略訂定.....6-11
6.5 單橋橋梁風險管理策略網頁查詢介面.....6-18
第七章 山區道路易致災路段調查評估.....7-1
7.1 蘇花公路山區道路基本特性分析.....7-1
7.1.1 蘇花公路山區道路路線概況.....7-1
7.1.2 蘇花公路山區道路水文及氣候概況.....7-1
7.1.3 蘇花公路山區道路地質概況.....7-3
7.2 地質敏感地區資料蒐集與分析.....7-5

7.3 歷史山崩目錄建置.....7-8
7.4 邊坡山崩潛感分析.....7-11
7.5 山區道路坡面單元劃分.....7-15
7.5.1 坡向分析.....7-15
7.5.2 坡度分析.....7-16
7.5.3 水系分析.....7-18
7.5.4 坡面單元劃分.....7-19
7.6 重大災例蒐集.....7-21
7.7 潛在大規模滑動區位判釋、成因、特性分析.....7-35
7.8 易致災路段分析.....7-39
7.8.1 易致災路段劃分.....7-39
7.8.2 易致災路段災害類型分析.....7-62
7.8.3 易致災路段邊坡區位與地形區位分析.....7-64
7.8.4 易致災路段災害潛感分析.....7-64
7.9 重大災例成因、特性與復建措施分析.....7-68
7.9.1 重大災害案例成因、特性分析.....7-68
7.9.2 重大災害案例復建措施分析.....7-71
第八章 山區道路邊坡破壞因子分析與修正.....8-1
8.1 山區道路邊坡致災因子誘發因子分析.....8-1
8.1.1 台9線山區道路邊坡致災因子、誘發因子分析與降雨參數上限值調整.....8-1
8.1.2 台24線山區道路邊坡致災因子、誘發因子分析與降雨參數上限值調整.....8-23
8.2 道路邊坡破壞分析模式修正.....8-34
第九章 山區道路監測預警管制技術檢討.....9-1

9.1 現有監測預警管制作為分析 9-1
9.2 山區道路監測預警管制技術研發 9-5
9.2.1 監測預警資訊展示方法 9-5
9.2.2 監測預警成果展示 9-9
9.3 山區道路監測預警管制作業研擬 9-11
9.3.1 山區道路監測預警管制路段劃分 9-11
9.3.2 山區道路監測預警管制作業 9-13
第十章 資料庫建置成果展現 10-1
10.1 資料庫建置 10-1
10.2 成果圖製作 10-2
第十一章 結論與建議 11-1
11.1 結論 11-1
11.2 建議 11-2
11.3 研究成果之效益 11-3
11.4 提供政府單位應用情形 11-3
參考文獻 參-1
附錄一 山崩目錄建置成果 附錄1-1
附錄二 邊坡山崩潛感分析方法 附錄2-1
附錄三 山崩潛感因子資料表 附錄3-1
附錄四 山區道路山崩潛感分析圖 附錄4-1
附錄五 年度事件災害概況摘要報告 附錄5-1
附錄六 易致災路段風險分析表 附錄6-1

圖目錄

圖1.1　研究流程圖.....1-5
圖2.1　美國NBI橋梁檢測流程.....2-14
圖2.2　日本橋梁巡檢表單範例圖.....2-17
圖2.3　支持向量機資料分類示意圖.....2-39
圖2.4　最大分離間隔與最優分離超平面.....2-39
圖2.5　支援向量(SV)示意圖.....2-42
圖2.6　線性不可分與鬆弛變量示意圖.....2-42
圖2.7　可容錯線性SVR模式.....2-44
圖2.8　支持向量機最佳化模式架構.....2-46
圖2.9　ESIM應用程序.....2-48
圖2.10 生態系統中的共生生物示意圖.....2-51
圖2.11 雷達-雨量站降雨整合技術之概念示意圖.....2-57
圖2.12 山區道路邊坡崩塌與雨量關係圖.....2-58
圖2.13 道路崩塌雨量門檻值與不同崩塌潛感機率.....2-59
圖2.14 降雨參數與臨界致災曲線圖.....2-59
圖3.1　頭屋大橋衛星影像圖(民國97年拍攝).....3-2
圖3.2　頭屋大橋橋墩竣工圖(1/2).....3-8
圖3.3　頭屋大橋橋墩竣工圖(2/2).....3-8
圖3.4　北勢大橋衛星影像圖(民國97年拍攝).....3-12
圖3.5　北勢大橋縱剖面圖.....3-18
圖3.6　北勢大橋橋墩竣工圖(1/2).....3-18
圖3.7　北勢大橋橋墩竣工圖(2/2).....3-19

圖3.8　專家座談會(2013/9/30).....3-30
圖3.9　養護工程說明會(2013/10/21).....3-31
圖3.10 風險分析流程.....3-39
圖4.1　橋梁維修機率流程圖.....4-1
圖4.2　橋梁CI下降曲線.....4-2
圖4.3　以梁式橋-復興三橋為例.....4-4
圖4.4　以距海300公尺內車流量6000輛內(梁式橋)為例.....4-5
圖4.5　元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖.....4-5
圖4.6　潛勢地震發生機率模型之流程圖.....4-7
圖4.7　中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖.....4-13
圖4.8　剪力波速度量測V30進行場址分類.....4-14
圖4.9　臺灣規模4.0-7.0 之地震記錄與(Campbell，1997）衰減曲線之關係.....4-16
圖4.10 為集集地震的(a)實測值與(b)衰減模式預測值PGA分佈.....4-18
圖4.11 修正函數校正後的預測與其觀測值之誤差殘值分佈.....4-19
圖4.12 臺灣歷年大地震:集集地震之實測值與預測值比較.....4-20
圖4.13 臺灣歷年大地震:花蓮地震之實測值與預測值比較.....4-20
圖4.14 臺灣歷年大地震:嘉義地震之實測值與預測值比較.....4-20
圖4.15 橋梁地震損傷評估流程圖.....4-21
圖4.16 武田模型(Takeda model)之力量與位移關係.....4-23
圖4.17 橋梁通阻之SAP2000牛鬥橋模型.....4-24
圖4.18 牛鬥橋之XTRACT斷面分析.....4-24
圖4.19 SAP2000三星橋模型.....4-24
圖4.20 三星橋之XTRACT斷面分析.....4-25
圖4.21 原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料.....4-26

圖4.22 震後結構性能修正示意圖.....4-29
圖4.23 臺灣主要河系分布圖(水利署).....4-34
圖4.24 發生100年洪水時對應SSI指標下降.....4-36
圖4.25 失敗門檻建議值.....4-36
圖4.26 洪水造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖.....4-37
圖5.1 橋梁維修機率流程圖.....5-1
圖5.2 人工智慧橋梁耐震能力推論模式.....5-7
圖5.3 10組交叉驗證法.....5-10
圖5.4 橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-非跨河橋梁(元件老化) 5-12
圖5.5 橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-跨河橋梁(洪水) 5-12
圖5.6 三星橋未來50年內之損傷超越機率.....5-15
圖5.7 三星橋未來50年內之地震風損成本(單位為重建成本).....5-15
圖5.8 牛門橋未來50年內之損傷超越機率.....5-16
圖5.9 牛門橋未來50年內之地震風損成本(單位為重建成本).....5-16
圖6.1 單橋橋梁維護成本最佳化流程.....6-1
圖6.2 橋梁維修策略示意圖.....6-1
圖6.3 單橋成本目標函數.....6-2
圖6.4 橋梁劣化曲線示意圖.....6-4
圖6.5 橋梁在第30年與第70年維護策略.....6-6
圖6.6 橋梁在第30年與第70年維護策略之計算式.....6-6
圖6.7 單橋維修策略最佳化示意圖.....6-7
圖6.8 SOS演算法程序 6-8
圖6.9 橋梁維修組合方案.....6-11

圖6.10 搜尋維修策略(門檻值75分).....6-17
圖6.11 不同門檻值維修策略.....6-17
圖6.12 網頁查詢結果維修策略.....6-18
圖6.13 橋梁維修策略.....6-18
圖 7.1 研究區域水系及集水區概況圖.....7-2
圖 7.2 研究區域地質概況圖.....7-4
圖 7.3 研究區域坡面範圍內地質敏感地區分布圖.....7-6
圖 7.4 蘇花公路蘇澳至崇德典型地質敏感地區特性.....7-7
圖 7.5 總崩塌面積統計圖.....7-9
圖 7.6 舊有崩塌擴大面積統計圖.....7-10
圖 7.7 新生崩塌面積統計圖.....7-10
圖 7.8 各類崩塌面積統比較圖.....7-11
圖 7.9 0612 豪雨事件山崩潛感.....7-14
圖 7.10 研究區坡向統計圖.....7-15
圖 7.11 研究區坡向分布圖.....7-16
圖 7.12 研究區坡度統計圖.....7-17
圖 7.13 研究區坡度分布圖.....7-17
圖 7.14 研究區水系分布圖.....7-18
圖 7.15 研究區坡面單元分布圖.....7-20
圖 7.16 蘇花公路近年重大災害案例空間分布圖.....7-27
圖 7.17 蘇花公路近年重大災害發生現場照片.....7-32
圖 7.18 蘇花公路山區道路 2008 年迄今道路中斷點位之分布情形....7-34
圖 7.19 研究區域內之潛在大規模滑動區位空間分布圖.....7-36

圖 7.20 潛在大規模滑動區位現地照片.....7-38
圖 7.21 蘇花公路山區道路易致災路段劃分成果圖.....7-45
圖 7.22 蘇花公路易致災路段主要災害類型分布圖.....7-63
圖 7.23 蘇花公路易致災路段災害潛感與主要災害類型.....7-65
圖 7.24 蘇花公路易致災路段全坡面危險度評估結果圖.....7-66
圖 7.25 蘇花公路易致災路段上、下邊坡危險度評估結果圖 7-67
圖 7.26 重大災害案例與易致災路段災害類型疊合分布圖.....7-69
圖 7.27 蘇花公路易致災路段重大災例復建措施工程現況圖 7-72
圖 7.28 蘇花公路樁號 116K+030 大規模岩屑崩滑災害狀況與復建工程現況圖 7-77
圖 7.29 蘇花公路樁號 116K+800 岩屑崩滑災害狀況與復建工程現況圖 7-78
圖 7.30 蘇花公路樁號 144K+750 土石流災害狀況與復建工程現況圖 ...7-79
圖 7.31 蘇花公路樁號 168K+000 土石流災害狀況與復建工程現況圖 ...7-80
圖 8.1 台九線北、中、南路段分區圖.....8-2
圖 8.2 辛樂克颱風期間台 9 線之累積雨量分佈及新增崩塌分布情況 8-4
圖 8.3 辛樂克颱風期間台 24 線之累積雨量分佈及新增崩塌分布情況 8-24
圖 8.4 台 9 線易致災路段上、下邊坡風險圖.....8-37
圖 8.5 台 9 線易致災路段全邊坡風險圖.....8-38
圖 9.1 公路單位警管制應變作為三等級圖.....9-1
圖 9.2 以 KML 檔展示災情資訊狀況圖.....9-6
圖 9.3 監測預警管制方法與流程圖.....9-7

圖 9.4　集水區雨量擷取服務概念圖.....9-8
圖 9.5　集水區雨量擷取服務概念圖.....9-9
圖 9.6　易致災路段 KML 檔案記錄狀況圖.....9-9
圖 9.7　警戒狀況成果即時供應畫面圖.....9-10
圖 9.8　警戒狀況成果疊合 Google Earth 圖 9-10
圖 9.9　以交通部公路總局 SafeTaiwan 平台展示監測預警管制成果圖
.....9-11
圖 9.10 山區道路監測預警管制作為規劃圖.....9-12
圖 9.11 台 9 線蘇花公路段臨時避難路段選定成果圖.....9-12
圖 9.12 台 24 線山區道路段臨時避難路段選定成果圖.....9-13
圖 10.1 台 9 線道路山崩潛感圖範例.....10-3
圖 10.2 台 9 線道路環境地質敏感區圖範例.....10-4
圖 10.3 台 9 線道路風險圖範例.....10-5

表目錄

表2-1　橋梁檢測分類別表 2-5
表2-2　橋梁構造物檢測評定標準 2-7
表2-3　橋梁定期檢測項目 2-7
表2-4　橋梁構件重要性指數 2-10
表2-5　橋梁A構件權重.....2-11
表2-6　國外相關文獻整理表(本研究整理).....2-13
表2-7　美國橋梁檢測表(National Bridge Inventory Information System) 2-15
表2-8　英國公路橋梁檢測優先順序標準與分類級數 2-16
表2-9　日本道路公團橋梁構件劣化綜合評等基準 2-17
表2.10 日本道路公團橋梁裂隙之評等準則.....2-18
表2-11 中國大陸公路橋梁各部位與權重 2-18
表2-12 中國大陸公路橋梁技術評估標準 2-19
表2-13 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集 2-20
表2-14 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集(續).....2-21
表2-15 鋼筋混凝土結構物（橋梁結構為主）之補強技術 2-29
表2-16 震後橋梁補強技術適用表(DER&U目視檢查表).....2-30
表2-17 震後橋梁補強技術適用表.....2-31
表2-18 震後橋梁修復經費參考表 2-35
表2-19 邊坡破害類型分類一覽表 2-54
表2-20 邊坡破害類型與環境地質敏感區對應表 2-55
表2-21 監測預警儀器類型及適用範圍彙整表 2-63
表3-1　檢測橋梁待選清單 3-1

表3-2　頭屋大橋基本資料 3-2
表3-3　頭屋大橋耐震評估結果統計表 3-7
表3-4　橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數 3-7
表3-5　上部結構DER&U評估 3-9
表3-6　下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....3-9
表3-7　評估指標.....3-10
表3-8　上部結構DER&U評估 3-10
表3-9　下部結構DER&U評估 3-11
表3-10 評估指標.....3-12
表3-11 北勢大橋基本資料 3-12
表3-12 北勢大橋耐震評估結果統計表 3-17
表3-13 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數 3-17
表3-14 上部結構DER&U評估 3-19
表3-15 下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....3-20
表3-16 評估指標.....3-20
表3-17 上部結構DER&U評估 3-20
表3-18 下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....3-21
表3-19 評估指標.....3-21
表3-20 大安溪橋(WH37)基本資料.....3-22
表3-21 大安溪橋耐震評估結果統計表 3-27
表3-22 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數 3-27
表3-23 上部結構DER&U評估 3-27
表3-24 下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....3-27
表3-25 評估指標.....3-28
表3-26 上部結構DER&U評估 3-28

表3-27 下部結構DER&U評估(逐跨檢測).....3-28
表3-28 評估指標.....3-29
表3-29 交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修案例(節錄) 3-33
表3-30 新北市政府橋梁維修案例庫 3-34
表3-31 公路總局橋梁維修案例庫(節錄).....3-35
表3-32 交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄).....3-36
表3-33 新北市政府橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄) 3-37
表3-34 公路總局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄) 3-38
表3-35 國內相關文獻列表(研究報告或書籍).....3-40
表3-36 國內相關文獻列表(規範、手冊與系統).....3-40
表4-1 橋梁分組分布表 4-3
表4-2 梁式橋調查資料筆數 4-3
表4-3 相關參數表(以梁式橋為例).....4-4
表4-4 元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算結果(節錄).....4-6
表4-5 為宜蘭ZS01，未來100年地震計算結果發生次數為20次 4-10
表4-6 為花蓮ZS02，未來100年地震計算結果發生次數為24次 4-10
表4-7 宜蘭ZS01區域地震未來100年發生機率.....4-12
表4-8 花蓮ZS02區域地震未來100年發生機率.....4-12
表4-9 為宜蘭ZS01未來100年發生規模大於6.0ML之PGA值 4-27
表4-10 花蓮ZS02未來100年發生規模大於6.0ML之PGA值 4-27
表4-11 為RC結構物之損傷指標 4-28
表4-12 未來100年宜蘭(ZS01)對牛鬥橋模型損壞指標.....4-30
表4-13 未來100年宜蘭(ZS01)對三星橋模型損壞指標.....4-31
表4-14 未來100年花蓮(ZS02)對牛鬥橋模型損壞指標.....4-32

表4-15 未來100年花蓮(ZS02)對三星橋模型損壞指標.....4-33
表4-16 臺灣主要河系洪水重現期對應SSI指標下降表 4-35
表4-17 蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果(節錄).....4-37
表5-1 橋梁屬性資料欄位 5-1
表5-2 元件老化維修經費因子 5-4
表5-3 洪水維修經費因子 5-4
表5-4 非跨河橋維修案例(節錄).....5-5
表5-5 跨河橋梁維修案例(節錄).....5-6
表5-6 ESIM模式參數設定.....5-9
表5-7 風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-非跨河橋梁(元件老化) 5-11
表5-8 橋梁風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-跨河橋梁(洪水) 5-11
表5-9 損害狀況及損害比之關係 5-14
表6-1 橋梁B01-013A-011D生命週期CI值 6-13
表6-2 以B01-013A-011D，CI值門檻75為例，各年度橋梁風險機率 6-14
表6-3 以B01-013A-011D為例，各年度橋梁維修與重建成本(應用現值法求物價上升利率) 6-15
表6-4 B01-013A-011D不同維護策略之LCC表 6-16
表6-5 橋梁B01-013A-011D於門檻值75維修時間與成本.....6-16
表 7-1 研究區域內氣象局氣候站 2010 年逐月平均溫度一覽表 7-2
表 7-2 研究區域內氣象局氣候站 2010 年逐月雨量一覽表 7-3
表 7-3 研究區域坡面範圍內之地質敏感地區數量統計一覽表 7-5
表 7-4 歷史山崩目錄建置選用之福衛二號影像列表 7-8
表 7-5 蘇花公路沿線各期崩塌地個數與面積統計 7-9

表 7-6　0612 豪雨事件山崩潛感權重分布狀況 7-11
表 7-7　坡面災害個數統計表 7-19
表 7-8　蘇花公路近年重大災害案例彙整 7-22
表 7-9　蘇花公路山區道路 2008 年迄今因災害發生中斷案例彙整表 7-33
表 7-10 蘇花公路 2008～2012 年期間災害次數統計表 7-35
表 7-11 研究區域內之潛在大規模滑動區發生成因與特性統計表 ...7-36
表 7-12 以落石為主要災害類型之現地調查表 7-40
表 7-13 以岩屑崩滑為主要災害類型之現地調查表 7-41
表 7-14 以岩體滑動為主要災害類型之現地調查表 7-42
表 7-15 以蝕溝為主要災害類型之現地調查表 7-43
表 7-16 以土石流為主要災害類型之現地調查表 7-44
表 7-17 蘇花公路易致災路段劃分成果一覽表 7-46
表 7-18 蘇花公路易致災路段主要災害類型統計表 7-62
表 7-19 蘇花公路易致災路段所處地形區位統計表 7-64
表 7-20 蘇花公路易致災路段重大災害案例災害類型一覽表 7-70
表 7-21 蘇花公路易致災路段重大災例復建措施工程現況一覽表 7-73
表 7-22 研究區域內第四區養護工程處施作之復建措施工程一覽表 ..7-81
表 8-1　台九線警戒值分析所應用之十場颱風事件及其崩塌資料 8-3
表 8-2　台 9 線不同路段及災害類別之降雨參數上下限 8-5
表 8-3　台 9 線降雨警戒調整因子統計與權重計算彙整表 8-7
表 8-4　台 9 線北、中、南區段之山崩潛感指標計算及降雨參數上限值調整彙整表 8-8
表 8-5　台 24 線警戒值分析所應用之七場颱風事件及其崩塌資料....8-25

表 8-6　台 24 線不同路段及災害類別之警戒值上下限 8-25
表 8-7　台 24 線降雨警戒調整因子統計與權重計算彙整表 8-26
表 8-8　台 24 線之權重加總計算及降雨參數上限值調整彙整表 8-27
表 8-9　台 9 線易致災路段中風險最高的前十個路段資料一覽表 ...8-36
表 9-1　研究區內交通部公路總局 102 年 8 月公布之一、二級監控路段預警值、警戒值與行動值一覽表 9-3
表 9-2　研究區內臺 9 線山區道路降雨基準一覽表 9-4
表 9-3　研究區內臺 24 線山區道路降雨基準一覽表 9-4
表 9-4　國內政府雲支援 KML 檔統計一覽表 9-6
表 9-5　QPESUMS 系統降雨資料規格.....9-8
表 10-1　空間資料庫建置項目一覽表 10-1
表 10-2　易致災路段圖層欄位規劃表 10-2

第一章　前 言

1.1　研究緣起

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。山區道路極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。

又臺灣受季風氣候影響及位處地震帶，颱風與地震頻傳，橋梁飽受天然災害侵害。其中地震造成許多橋梁不同程度的損壞，早期老舊橋梁的耐震能力更有不足之慮；每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降、氣候變遷等因素，使得河水暴漲且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台基礎處河床，特別對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，橋梁易受沖刷而導致損壞；海島型氣候使環境中充滿鋼筋腐蝕劣化的因子，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，嚴重造成政府財政的負擔；在人為使用方面，亦有車輛超載問題。近年來，許多橋梁由於過去施工技術不足，加上施工品質未能嚴謹控制，造成未屆設計年限，卻面臨拆除或需花費龐大金額進行維修補強，對於政府日漸拮据之財務狀況，無疑是雪上加霜。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫。如何評估現有橋梁之健康度，進而計算不同時間點進行維護之延壽與經濟效益是迫切的課題。

公路系統為交通運輸與民生活動的重要管道，橋梁為陸上交通系統

中極為重要的部分，橋梁損壞不但可能阻斷交通，若因災害發生造成破壞，將會對災後的聯絡、急難救助與物資運輸造成重大衝擊，而影響救災工作亦可能危及用路人之生命財產，而重大之橋梁損壞更將付出極大的社會成本，甚者損及國家經濟建設發展或造成區域交通癱瘓，橋梁安全管理非常重要。

基於上述之原由，本研究計畫分兩個方向來探討； 1.橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發；2.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。

1.2 研究目的

本研究目的可摘列整理如下：

1. 本研究導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得所需經費。
2. 輔助橋梁管理單位針對單一橋梁建議維修補強策略，進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作，在有限維護經費下考量最佳經濟效益，研擬最適維護時機與工法策略。
3. 探討山區道路邊坡致災因子、降雨及道路邊坡破壞與否間之關係，以期建立降雨引致之道路邊坡山崩之量化分析模式，同時針對所預測的災害潛勢高低，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，以提高山區道路邊坡穩定工程最佳化選擇之依據。

1.3 研究範圍

在橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發部分：根據統計，臺灣橋梁以鋼筋混凝土結構為應用最廣的類型，其中，95%以上為混凝

土橋梁，且 75%以上橋齡均在二十年以上，橋梁強度堪慮。為保障用路人安全，混凝土橋梁的維護管理為公路管理單位未來重要課題，故本計畫以鋼筋混凝土橋梁為研究範疇。

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部分，以省道臺 9 線宜蘭縣蘇澳鎮路段(106K+000)至花蓮縣秀林鄉崇德路段(182K+000)與前期計畫之台 24 線三地門(22K+600)至阿禮(48K+500)路段為研究範圍。

1.4 研究方法

在橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發部分，以國內現有橋梁殘餘能力評估方法為基礎，並加入生命週期成本導向之概念建置「橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式」。此外，考量橋梁維護修復工法眾多，對於橋梁延壽之效果亦有所不同。目前相關研究對於延壽技術如何施工、何時施工、施工數量等問題較少探討，因此本研究收集目前公路總局採用的 RC 橋梁維修補強工法與國內外延壽策略等相關文獻，確立不同 RC 橋梁維修補強工法之適用性。依此建置 RC 橋梁各部位維修補強工法資料，建置工法資料庫。並藉由人工智慧推論模式找出案例資料中，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值維修案例經費之映射關係。藉此，可依據不同橋梁之 D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。同時導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式。由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益。即維修方案執行後使設施保持堪用狀態或延續壽命的程度可能會有所差異。因此，根據各橋梁之殘餘能力曲線，針對單一橋梁求得殘餘能力，再依狀況分析，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與預算。

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部分，本計畫以臺 9 線宜蘭縣蘇澳鎮路段(106K+000)至花蓮縣秀

林鄉崇德路段(182K+000)之山區道路為研究對象，以集水區坡面為分析單元，結合環境地質敏感區概念，依據地形、地質與災害特性，進行山區易致災路段劃分。同時進行山崩目錄置、重大災例蒐集與大規模山崩判釋等方式建置災害區位，並分析其災害潛因（水文、地形與地質），透過證據權法進行山崩潛勢分析，並結合誘因（降雨）分析，進行災害危害度與損失程度分析，建立山區道路災害風險分析模式，以為後續山區道路災害監測預警與營運管理基礎。

1.5 研究內容與流程

本研究之主要工作項目如下所示，其工作流程如圖 1.1 所示。

1. 相關文獻收集
2. 橋梁風險分析
3. 橋梁維修機率
4. 風險衝擊影響程度
5. 橋梁維護策略最佳化
6. 山區道路易致災路段調查評估
7. 山區道路邊坡破壞因子分析與修正
8. 山區道路監測預警管制技術檢討
9. 資料庫建置成果展現
10. 結論與建議

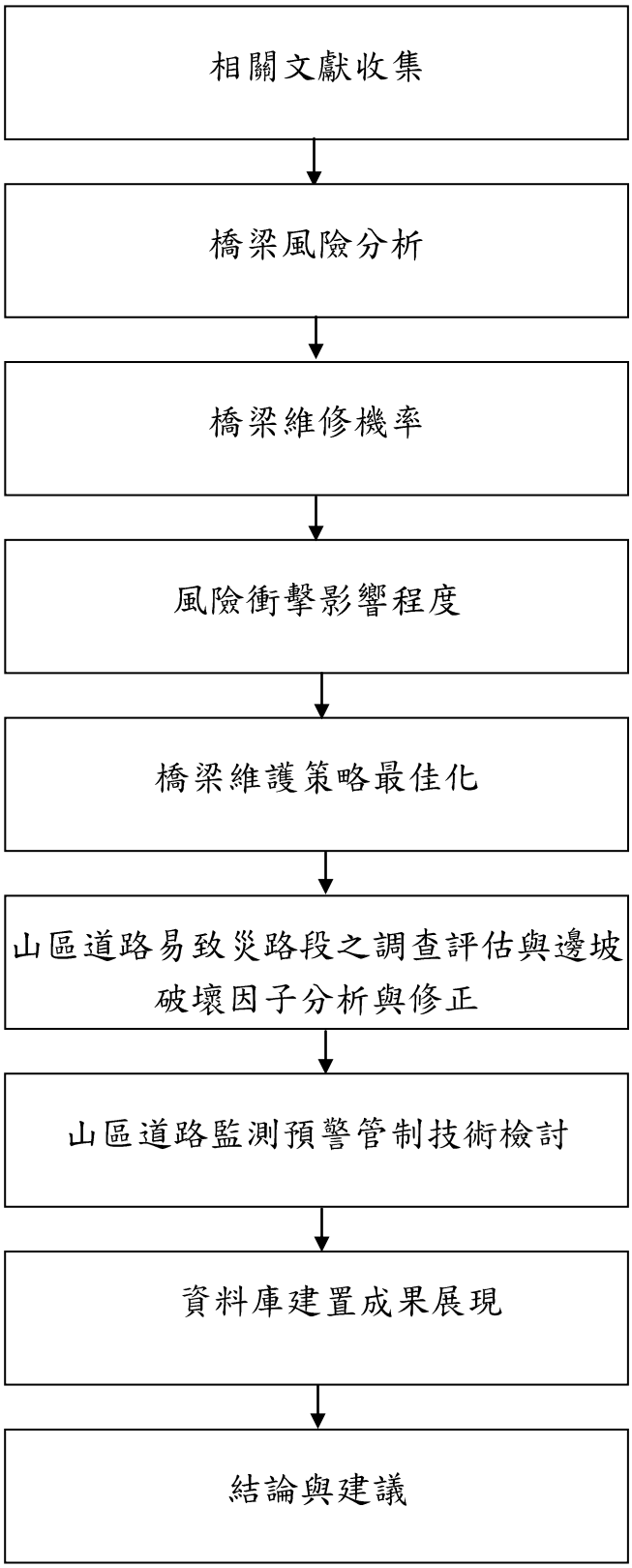

相關文獻收集
橋梁風險分析
橋梁維修機率
風險衝擊影響程度
橋梁維護策略最佳化
山區道路易致災路段之調查評估與邊坡破壞因子分析與修正
山區道路監測預警管制技術檢討
資料庫建置成果展現
結論與建議

圖 1.1　研究流程圖

第二章　文獻回顧

臺灣地形山高谷深和溪河眾多，橋梁亦成為連絡河流兩岸之重要交通工程設施，但因台灣屬季風型氣候夏季多雨、又處於環太平洋地震帶，乃至橋梁常遭受地震、洪水、土石流等災害之威脅，再加上嚴重之交通負荷，使得橋梁老化或損害情況日趨嚴重。有鑑於此橋梁定期檢測與維護就更顯得重要，方得確保橋梁的安全性能。

目前橋梁維護管理工作，國內相關單位雖有其各自發展之橋梁檢測評估手冊、維修養護手冊、維修材料規範及使用手冊等，然所要求的檢測重點、檢測方法及表格種類繁多。為使工程人員在從事現場檢測及維修補強工作時，有較為客觀之標準可資依循，一套橋梁檢測、評估、維修標準有其迫切必要性。橋梁隨著建設路網飽和，因而老舊橋梁愈來愈多，此時橋梁重點由新建轉成維護，在橋梁邁入高齡化的時代後，橋梁功能及服務品質因元件老化或材料劣化而下降，加上天災如颱風、地震、水害，人禍如盜採河川砂石、偷工減料等，均增加橋梁損壞之潛在危險，此時倘未採取適當管理機制，恐日後發生橋災，造成國家、個人重大成本甚或生命付出，由此可見橋梁維護在未來之重要性。以下分別針對公路維護相關規範、風險管理、破壞模式、性能指標與國內外等相關文獻進行整理與探討。

2.1 公路維護規範

養護人員，應經常或定期巡查轄區內公路，並依據公路現況及實際需要訂定養護計畫，利用機具及人力，針對不同設施之養護基本原則與維護方法，辦理各項養護工作。復因公路極易遭受颱風、地震、豪雨及冰雪之侵襲，以及人為之破壞，致使公路阻斷或危及行旅安全，養護單位應立即通報並予以搶修或修復，使公路隨時提供良好之服務水準。

公路養護工作，並應注意環境維護，儘量避免污染空氣、水源及製造噪音等公害，並力求公路美化與周圍環境之調和，使行旅能在安

全、舒適及便利之原則下使用公路。

公路養護即係依據上述原則，分別就路基及邊坡、鋪面、橋梁、隧道、排水設施、交通安全設施、交控及通信設施、沿線路權內附屬設施、景觀及植生、養路車輛機械等各項養護工作，說明其應辦理巡查之方式、頻率、巡查時應檢查之項目、注意事項與各類參考表格，以及相應之處理方式、維護方法等，期能供公路養護人員有所依循。

「公路養護手冊」原頒布於民國七十六年十一月二十四日，爾後十五年餘期間多條高速公路及快速公路陸續完成，養路技術亦有所增進，發現著實有修訂之必要。上次係於 92 年修訂，為因應近年來全球氣候異常天然災害頻傳，養路技術亦有所增進，且各類型道路交通特性不同其相應之養護項目及性質實有檢討修訂之必要。交通部公路總局於 99 年 8 月至 11 月間陸續召開 11 次小組會議初擬各章修訂內容，以民國 92 年交通部頒「公路養護手冊」，及 100 年交通部臺灣區國道高速公路局「高速公路公路養護手冊」為藍本，並參考 2007 年美國 AASHTO “Maintenance Manual for Roadways and Bridges, 4th Edition”，與日本道路協會「道路維持修繕要綱」等相關文件彙編而成，並邀集交通部、運輸研究所及局內各養護單位，於 99 年 12 月召開審查會議進行審查，歷時 5 個月始克修訂完成[1]。

2.1.1 橋梁損害分類

橋梁養護之目的為確保橋梁安全，避免發生損壞及危害公共安全。為能對橋梁對症下藥，養護工作首要重於檢查損害情況。目前公路養護規範針對橋梁損害分類為主要損害、次要損害、構件一般損害等症狀[1]。

1. 主要損害：主要損壞係影響橋梁之整體安全或用路人之行車安全次要損害。
2. 次要損壞：係橋梁構造或附屬設施之小缺陷，但不致影響橋梁安全或其鄰近構材者。

3. 構件一般損害：橋梁構造物之結構構材中以混凝土構材及鋼構材等組成者居多，茲先列述此兩種構材易發生之損壞情況後，再分別列述其他橋梁構造物之構件。

2.1.2 橋梁檢測

公路養護之目的，在使公路之路基及邊坡、鋪面、橋梁、隧道及其附屬設施等，能經常維持其原有良好行車及安全狀態；必要時，可依據各級公路之需求分別予以改善。養護人員，應經常或定期巡查轄區內公路，並依據公路現況及實際需要訂定養護計畫，利用機具及人力，針對不同設施之養護基本原則與維護方法，辦理各項養護工作。當公路遭受颱風、地震、豪雨及冰雪之侵襲，或人為破壞，致使公路阻斷或危及行旅安全，養護單位應立即通報並予以搶修或修復，使公路隨時提供良好之服務水準。公路養護工作，並應注意環境維護，儘量避免污染空氣、水源及製造噪音等公害，並力求公路美化與周圍環境之調和，使行旅能在安全、舒適及便利之原則下使用公路[1]。

2.1.2.1 檢測目的

橋梁檢測之目的除為適時發現橋梁之現況是否降低結構功能外，亦應具備下列之目的：

1. 提供橋梁狀況資訊；若有危及結構安全時，即時採取限制車輛通行或封閉交通等管制措施。
2. 提供劣化程度之資訊、劣化對構件之影響程度，以及該劣化係正常之劣化或其他原因所造成等參考資料。
3. 記錄橋梁時間序列之狀況。
4. 檢測橋梁結構劣化之情況，使橋梁維護計畫更具效率，並降低維修成本。
5. 維修以消除危害橋梁狀況，提高公共安全保障。

2.1.2.2 巡查種類

「巡查」係指公路養護單位就轄區內公路作巡視與檢查。巡查方式依時效可分為：

1. 經常巡查：經常巡查原則上可乘坐車輛及利用易於攜備之適當器具，以目力檢視公路各種狀況。若發現有疑惑時，應予以詳查，期及早發現異常狀況。

2. 定期巡查：定期巡查係以儘可能接近公路設施之方式，進行較詳盡之檢查該設施之安全情形，維護公路應有之功能。

3. 特別巡查：於颱風前後、豪雨、洪水、地震、火災、海嘯或其他重大事故後，就公路重要設施所作之巡視與檢查。尤應注意河川橋梁基礎有無沖刷、淘空、產生裂縫或位移等情事，並應詳予記錄洪水位，作為日後修復或改建工程之依據。

2.1.2.3 檢測頻率

公路養護規範內提到巡查頻率應由各級公路養護管理機關按公路等級，於其公路養護手冊規定。以下以公路總局為例:

1.巡查方式

「巡查」係指養護單位就轄區內公路之巡視與檢查。巡查方式分為：

(1)經常巡查：

日間經常巡查，由指定工程司辦理，從車上以目力檢視公路各種狀況。若發現有疑惑時，應下車詳查。有關鋪面、橋面、伸縮縫等之檢查，可憑車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷公路之實況。夜間巡查， 由養護單位正、副主管或指派專人辦理。

(2)定期巡查：

在設定期間內，以目力或輔以簡易器具巡查轄區內公路，以維護公路應有之功能。個別設施得以定期檢查(測)為之。

(3)特別巡查：

在颱風來臨前後，豪雨、洪水、震度 4 級以上之地震或重大交通事故後， 立即巡查公路構造物。

(4)朝巡：

原則屬於特別巡查之一 種。針對轄區內特定列管易落石、坍方路段，當豪雨或地震設定條件達到啟動標準時，於該特定路段須於每日上午規定時間前完成巡查作業，並持續 7 天，各養護單位得視情形延長辦理天數。養護單位針對轄管公路之巡查作業，如有人力不足等情事， 得委外辦理。

各類巡查原則巡查頻率詳見表 2-1。特別巡查在颱風來臨前後、豪雨、洪水、震度 4 級以上之地震或重大交通事故後為之。挖掘路面案件，每週至少應巡查一次。朝巡之啟動時機為設定條件達啟動標準時，設定條件與啟動標準得由養護單位視需要訂定之，如達封路、封橋之標準，則按相關規定辦理封路、封橋作業。

表 2-1 橋梁檢測分類別表

檢測類別	檢測時機	方式
定期檢測	每年 4 月 30 日汛期前將轄內所有橋梁檢測完竣，並於 5 月 15 日前將檢測結果報局， 檢測期間如發現重大缺陷者應立即通報。另因河道、橋台基礎、橋台、橋墩保護措施、橋墩基礎及橋墩墩體等 6 項易受颱洪影響，於 11 月 15 日前再辦理該 6 項之檢測，並於 12 月 1 日前將檢測結果報局。完工五年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後之第六年進行第一次定期檢測， 而後續之檢測頻率則依照前述規定辦理。	利用徒步或攀登方式或特殊機械車輛儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查。

檢測類別	檢測時機	方式
特別檢測	(1)震度 5 級地區橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中橋梁。 (2)震度達 6 級以上地區所有橋梁。 (3)所在位置最近之水位站達二級警戒水位或上游雨量站達大豪雨(２００ｍｍ以上)， 且橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中橋梁。 (4)所在位置最近之水位站達一級警戒水位或上游雨量站達超大豪雨(35 0 mm 以上)所有橋梁。 (5)人為破壞因素（ 如火災或車輛撞損主梁等）引起之災害	

資料來源：公路總局養護手冊[1]

2.橋梁檢測評估方法

目前臺灣交通部之公路養護規範主要是採用 D.E.R.&U. 方法，此評估法乃根據交通部國道高速公路局所開發之橋梁管理系統基礎，委託CSIR公司與昭陵顧問工程股份有限公司制定之目視評估準則。檢測人員於定期檢測時參照橋梁檢測表格,表列各構件之劣化情形，分別依劣化程度（Degree，D）、劣化範圍（Extent，E）、重要性(Relevancy，R)等三項予以評定後；再評估該劣化構件需維修之急迫性（Urgency，U）。

為評估劣化情形，D.E.R.&U.以 1 至 4 之四個等級予以具體評估劣化程度，但若「無此項目」或「無法檢測」或「無法判定」時，則以 0 予以記錄。並由橋梁檢測人員於現場予以評等。橋梁檢測人員得參考相關檢測手冊並接受適當之橋梁檢測培訓，以期了解D.E.R.&U.檢測評估方法及評定準則[1]。

劣化程度(D)、劣化範圍(E)、重要性(R)以及劣化構件維修之急迫性(U)之評等標準(0.1.2.3.4.)原則如附表 2-2。

表 2-2 橋梁構造物檢測評定標準

	0	1	2	3	4
D	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
E	無法檢測	<10%	10%~30%	30%~60%	>60%
R	無法判定重要性	微	小	中	大
U	無法判定急迫性	例行維護	3年內	1年內	緊急處理維護

資料來源：公路養護規範[2]

3.橋梁檢測項目

根據公路養護規範闡述，橋梁檢測可分為影響橋梁結構安全及影響交通安全兩大層面。影響橋梁結構安全之構件主要有 9 項，影響交通安全者 11 項，不包括在此 20 項時另列為「其他」1 項，合計 21 項作為檢測評估項目，詳如表 2-3 所示。其 21 項檢測評估項目皆採用 D.E.R.&U. 評估法進行評分。

表 2-3 橋梁定期檢測項目

定期橋梁檢測項目		
影響橋梁結構安全	影響交通安全	其他
1. 橋墩保護設施	10. 引道路堤	21其他
2. 橋墩基礎	11. 引道護欄	
3. 橋墩墩體	12. 河道，	
4. 支承墊	13. 引道路堤之保護設施	
5. 止震塊或防震拉桿	14. 橋台基礎	
6. 伸縮縫	15. 橋台	
7. 主構件（大梁）	16. 翼牆或擋土牆	
8. 副構件（橫隔梁）	17. 摩擦層	
9. 橋面版或絞接版	18. 排水設施	
	19. 緣石及人行道	
	20. 護欄	

資料來源：橋梁定期檢測資料表(公路養護規範，2012) [2]

4. 橋梁構件狀況指標[3]

D.E.R.&U.檢測法其含意考慮橋梁結構性、安全性、重要性等，運用橋梁構件狀況指標 Ic_{ij} 進行橋梁評估，當 Ic_{ij} 愈小，表示該橋梁構件損壞愈嚴重，最後將依據 Ic_{ij} 大小加以排列，其橋梁構件狀況指標 Ic_{ij} 計算公式如式(2.1)敘述之：

$$Ic_{ij} = 100 - 100\frac{D \times E \times R^{a}}{(4+4) \times 4^{a}} \quad \text{..... (2.1)}$$

- Ic_{ij}：梁構件狀況指標。
- D、E、R：表示 D.E.R.&U.檢測表格之各構件評分結果，分數範圍為 0~4 分。
- α ：表示相對重要權重之參數，通常內定值為 1，若使用者欲強調該構件之重要性，可取 2。

當各構件 Icij 評估完畢後，再將所各構件 Icij 值帶入式(2.2)中可獲得該構件 i 之狀況值 Ic_i。最後把 Ic_{ij}、w_i 代入式(2.3)即可求出橋梁整體狀況指標 CI 。橋梁整體狀況指標 CI 愈高，則表示橋梁整體狀況越好， 愈低則反之。

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} Ic_{ij}}{n} \quad \text{.....(2.2)}$$

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \quad \text{..... (2.3)}$$

Ic_{ij}：梁構件狀況指標。

Ic_i：為構件項目 之狀況值。

n：橋梁各構件之總數。

CI：橋梁整體狀況指標。

w_i：構件 相對橋梁之權重。

2.2 橋梁性能指標

1.平時檢測指標

臺灣地區橋梁檢測依交通部所頒佈之「公路養護手冊」分為經常巡查、定期檢測及特別檢測。其中定期檢測所使用之方法為D.E.R.&U.目視檢測評估法，該法將橋梁分為 21 項構件，並將各構件之狀況分數加權後可得到狀況指標（Condition Index，CI）以及優選指標（Priority Index，PI)。但當橋梁構件不足 21 項時，現有之構件權重並無法自動分配,造成 CI 及 PI 出現「基本分」之不合理現象。

改善後之新 CI 及新 PI [4]，透過橋梁構件重要性指數，如表 2-4 所示，僅將存在構件之重要性指數挑出，依存在之構件指數佔全部存在構件指數總和之比例，自動計算各構件之權重，再依原 CI 及 PI 之公式計算，得到新 CI 及新 PI。系統會自動判斷 D.E.R.&U.檢測表中各構件是否存在,如該構件之評估項目出現 D=0 或 E=0,甚或 DER 完全空白，系統均視該購件不存在，去除不存在之構件，其餘均為存在構件。

簡單舉例，A 橋為 1 孔之跨河橋，長度為 20 公尺，其存在之構件如表 2-5，由表一中挑出 A 橋存在構件之重要性指數，經正規化成為各構件權重，各構件權重相加為 100，再以此權重計算 CI 及 PI，即為新 CI 及新 PI。

表 2-4 橋梁構件重要性指數

		重要性指數		
項次	構件名稱	橋長>100M	50M<橋長<100M	橋長<50M
1	引道路堤	1.855	1.855	1.855
2	引道護欄	1.351	1.351	1.351
3	河道	2.591	2.545	2.424
4	引道護坡	1.443	1.443	1.351
5	橋台基礎	3.608	3.487	3.487
6	橋台	3.441	3.441	3.441
7	翼牆/擋土牆	2.002	2.002	2.002
8	摩擦層	1.580	1.397	1.230
9	橋面排水設施	1.351	1.351	1.230
10	緣石及人行道	0.517	0.517	0.396
11	欄杆	1.351	1.351	1.351
12	橋墩保護措施	2.820	2.774	1.819
13	橋墩基礎	4.004	3.837	3.716
14	橋墩墩體/帽梁	3.837	3.837	3.670
15	支承/支承墊	2.790	2.790	2.185
16	止震塊/拉桿	2.332	2.378	1.727
17	伸縮縫	1.809	1.626	1.459
18	橋塔(含錨定)【吊橋】	4.004	3.883	N/A
19	橋塔(含錨定)【斜張橋】	4.004	3.883	N/A
20	主構件(大梁)	3.837	3.716	3.670
21	次要構件(橫梁)	1.773	2.002	1.956
22	橋面版	3.232	3.065	3.065
23	主纜索【吊橋】	4.004	3.883	N/A
24	吊索【吊橋】	3.958	3.716	N/A
25	斜張鋼纜系統【斜張橋】	4.004	3.883	N/A
26	拱圈【拱橋】	4.004	3.837	N/A
27	橫桿【拱橋】	2.836	2.607	N/A
28	吊材/立柱【拱橋】	3.670	2.836	N/A
29	其他	N/A	N/A	N/A

資料來源:臺灣地區橋梁管理資訊系統 TBMS[4]

表 2-5 橋梁 A 構件權重

存在構件	重要性指數	構件權重
引道路堤	1.855	7.392
引道護欄	1.351	5.384
河道	2.424	9.660
引道護坡	1.351	5.384
橋台基礎	3.487	13.896
橋台	3.441	13.713
翼牆/擋土牆	2.002	7.978
摩擦層	1.230	4.902
橋面排水設施	1.230	4.902
欄杆	1.351	5.384
支承/支承墊	2.185	8.708
止震塊/拉桿	1.727	6.882
伸縮縫	1.459	5.814
	25.093	100.000

2.沖刷指標

(1) SSI 值計算

SSI 是 Scouring Stability Index 的縮寫，為橋梁的『沖刷穩定指標』，以 0~100 的整數代表橋梁對抗沖刷的能力，分數越高代表狀況越好。SSI 值設計之目的在於凸顯與沖刷有關構件之狀況，包含「河道」、「橋台基礎」、「橋台」、「橋墩保護設施」、「橋墩基礎」及「橋墩墩體」六項，當該些構件檢測狀況不佳時，SSI 值下降，代表該其對於水流之衝擊抵抗能力下降，因沖刷而斷橋之機率增大。六項構件 之計算法與 PI 相同，取最具代表性之 再加以平均。SSI 值之計算公式如下：

$$PI = \frac{Ic_3 \times w_3 + Ic_5 \times w_5 + Ic_6 \times w_6 + Ic_{12} \times w_{12} + Ic_{13} \times w_{13} + Ic_{14} \times w_{14}}{w_3 + w_5 + w_6 + w_{12} + w_{13} + w_{14}} \quad .....(2.4)$$

公路橋(所有結構型式)

$$PI = \frac{Ic_3 \times w_3 + Ic_4 \times w_4 + Ic_6 \times w_6 + Ic_8 \times w_8 + Ic_9 \times w_9}{w_3 + w_4 + w_6 + w_8 + w_9} \quad .....(2.5)$$

計算公式如下：

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} Ic_{ij}}{n} \quad \text{.....(2.6)}$$

公式 2.6 中， 為各構件之總數，由於部分構件有多組 D.E.R. 評分。舉例一座橋橋墩有 A01、P01、P02、P03、A02，而分別計算出之 為 50、30、100、50、100，利用如下所示 取法規則，先找出 最小值，即 為 30 因 小於 50，將小於 50 中的值平均，此範圍中只有一個數值符合，故 n=1。此例之 $Ic_i = \frac{30}{1} = 30$ 。

Ic_i 值之取法如下：

a. 先找出各檢測項目中構件 Ic_{ij} 之最小值，即 $Ic_{ij}(\min)$ 。

b. 若 $Ic_{ij}(\min)$ 值小於 50，將小於 50 的 Ic_{ij} 值挑選出來平均，視為 Ic_i 值。

c. 若 值介於 50 和 75 之間，將此範圍的值挑選出來平均，視為 值。

d. 若值介於 75 和 100 之間，將此範圍的值挑選出來平均，視為 值。

(2)OSSI 值計算

OSSI 為整橋之沖刷穩定指標，由於沖刷問題將導致橋梁中斷，任一跨中斷則全橋便無法使用，因此 OSSI 為各分段 SSI 中取最嚴重，即最小值代表之。

2.3 國外文獻

交通運輸是一個國家經濟與建設重要關鍵指標，橋梁更是公路運輸互相串連之命脈，以下內容將各別介紹美國、英國、日本、中國大陸這些在國際上的經濟強權，如何去檢測維護自己國家的橋梁設施，諸如各國的檢測方式，亦可做為臺灣後續對於橋梁檢測方向之參考與調整，相關文獻整理如表 2-6。

表 2-6 國外相關文獻整理表(本研究整理)

國別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
美國	National Bridge Inspection Standards, (Federal Highway Administration）	1.橋梁檢測員參考手冊 2.橋梁檢測員培訓手冊	1.Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges(1995 , Federal Highway Administration)。 2.臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度	1.National Bridge Inventory Database 2.PONTIS
日本	橋梁定期点検要領（案）	1.橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案） 2.橋梁における第三者被害予防措置（案）	1.混凝土構造物的健全度診斷技術開發報告書	J-BMS
英國	英國公路橋梁檢測優先權標準	-	1.Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects	BridgeMan
中國	公路橋涵養護規範	公路工程質量檢驗評定標準	1.橋梁損傷診斷	CBMS

資料來源: 鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012[5]

2.3.1 美國橋梁檢測

美國主要所使用之橋梁檢測方法為 NBI 檢測，此法源起源需追朔 1967 年美國俄亥俄州發生銀河橋(Silver Bride)斷橋事件，迫使美國必須重視橋梁老舊之問題，為了避免憾事再度發生，美國聯邦公路總署（Federal Highway Administration, FHWA）開始針對全美國橋梁進行資料調查與整理，將橋梁調查之結果並輸入「全國橋梁清冊(National Bridge Inventory)」資料庫中，為使橋梁調查人員能快速且統一填寫每一座的橋梁之基本現況，故訂定了全國橋梁檢測準則（National Bridge Inspection Standards, NBIS），根據此準則對調查人員進行專業培訓，並要求全美各州政府每兩年必須對於負責之管轄橋梁進行全面檢測作業。

NBI 法主採用目視檢測方式，以達快速檢測之目的[3]。NBI 評量步驟如圖 2.1 所示。

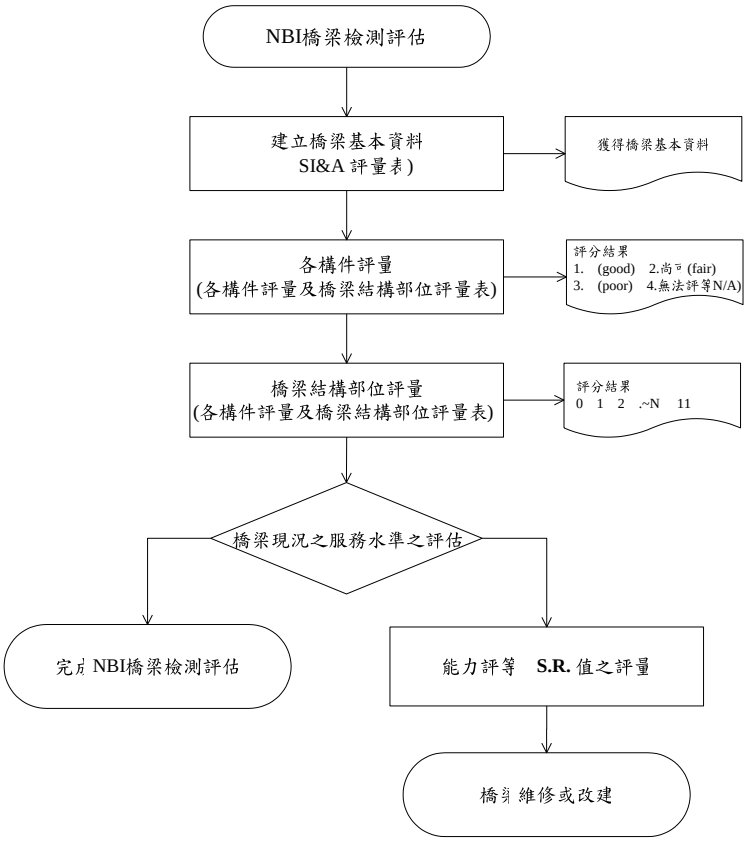


圖 2.1 美國 NBI 橋梁檢測流程

美國當地若以橋梁檢測類型區分，共可分為 5 種類型，分別為初始檢測（Initial）、定期檢測（Routine）、破壞檢測（Damage）、深化檢測（In-Depth）及特殊檢測（Special）[6]。

1. 初始檢測（Initial）：此法即利用「NBI 檢測表單」來獲得橋梁狀態。該項檢測目地在於建立橋梁初始檢測資料檔案。以提供全美橋梁資料庫建置，並透過 NBI 檢測來評估之該橋梁結構安全之最初評量結果。
2. 定期檢測（Routine）：使用「NBI 檢測表單」並以週期例行性對於橋梁進行檢測，如美國為 2 年 1 次，主要目地是希望透過定期的檢測，來判斷該橋梁結構是否符合服務安全性之要求。
3. 破壞檢測（Damage）：此檢測時機主要乃因「環境災害或人為因素」

導致橋梁有受損之可能，進而透過「NBI 檢測表單」結果，作為判斷該橋梁是否需採補強或整建措施之參考。

4. 深化檢測（In-Depth）：該種檢測目的是為彌補定期檢測(目視檢測)判斷之盲點，亦可稱為非破壞性檢測。例如：衝錘法、鋼筋位置探測儀、裂縫深度檢測（超音波）、氯離子含量測試等。

5. 特殊檢測（Special）：此種檢測主要運用在監測系統之檢測工具，通常針對基礎沉陷、河沖刷等進行監測。

NBI 檢測表單如下表 2-7 所示。

表 2-7 美國橋梁檢測表(National Bridge Inventory Information System)

OVERALL SUPERSTRUCTURE CONDITION RATING: N 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

COMMENTS:

Superstructure Elements	Rating				Remarks
stringers	G	F	P	N/A	
Floor beams	G	F	P	N/A	
floor system bracing	G	F	P	N/A	
Multi beams	G	F	P	N/A	
girders	G	F	P	N/A	
truss-general	G	F	P	N/A	
upper chords	G	F	P	N/A	
web members	G	F	P	N/A	
lower chords	G	F	P	N/A	
lateral bracing	G	F	P	N/A	
lateral bracing	G	F	P	N/A	
sway bracing	G	F	P	N/A	
portals	G	F	P	N/A	
arches	G	F	P	N/A	
cables	G	F	P	N/A	
paint	G	F	P	N/A	
bearing devices	G	F	P	N/A	
connections	G	F	P	N/A	
welds	G	F	P	N/A	
	G	F	P	N/A	
	G	F	P	N/A	
	G	F	P	N/A	
timber decay					
concrete deterioration					
steel corrosion					
collision damage					
LL deflection					
vibration					
member alignment					
utilities					

Exhibit 3-22 *Bridge Condition Rating Categories*

Rating	Condition Category	Description
9	Excellent	
8	Very Good	
7	Good	No problems noted.
6	Satisfactory	Some minor problems.
5	Fair	All primary structural elements are sound but may have minor section loss, cracking, spalling, or scour.
4	Poor	Advanced section loss, deterioration, spalling, or scour.
3	Serious	Loss of section, deterioration, spalling, or scour have seriously affected the primary structural components. Local failures are possible. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present.
2	Critical	Advanced deterioration of primary structural elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may be removed substructure support. Unless closely monitored, it may be necessary to close the bridge until corrective action is taken.
1	Imminent Failure	Major deterioration or section loss present in critical structural components, or obvious loss present in critical structural components, or obvious vertical or horizontal movement affecting structural stability. Bridge is closed to traffic, but corrective action may put back in light service.
0	Failed	Out of service; beyond corrective action.

Exhibit 3-25 *Bridge Appraisal Rating Categories*

Rating	Description
N	Not applicable.
9	Superior to present desirable criteria.
8	Equal to present desirable criteria.
7	Better than present minimum criteria.
6	Equal to present minimum criteria.
5	Somewhat better than minimum adequacy to tolerate being left in place as is.
4	Meets minimum tolerable limits to be left in place as is.
3	Basically intolerable requiring a high priority of corrective action.
2	Basically intolerable requiring a high priority of replacement.
1	This value of rating code is not used.
0	Bridge closed.

2.3.2 英國橋梁檢測

英國土地遼闊且亦屬先進國家之一,促使當地公路橋梁設施眾多。但是橋梁設施實在太多，若全面進行橋梁檢測，耗費的人力與經濟資源不是國家一時之間可以承受負擔[7],政府為了能適時針對全國各橋梁進行檢測，且維持延續老舊橋梁生命，將根據橋梁基本性質之橋梁年齡、交通運輸量、社會重要性、先天或後天結構安全不足者之概念加以分類，每一種基本性質均給予 1~5 級數評分，並依據基本性質重要性給予較高之權重，最後把該橋梁各類基本性質累加，即能獲得該橋梁評估分數(TA),其評估公式如式(2.7)所示,分數越高者優先進行檢測。因此只要評估出每座橋梁之分數即能歸納出橋梁檢測之優先順序，表 2-8 為英國橋梁基本性質之類型、分數、權重[6]：

表 2-8 英國公路橋梁檢測優先順序標準與分類級數

順序	基本類型	代號	分數	權重
1	橋梁年齡	(Ra)	1~5	4
2	橋梁型式	(Rf)	1~5	2
3	薄弱部位	(Rd)	1~5	1
4	平均日交通量	(Rv)	1~5	1
5	地形交通量	(Ru)	1~5	1
6	路線重要性	(Ri)	1~5	1

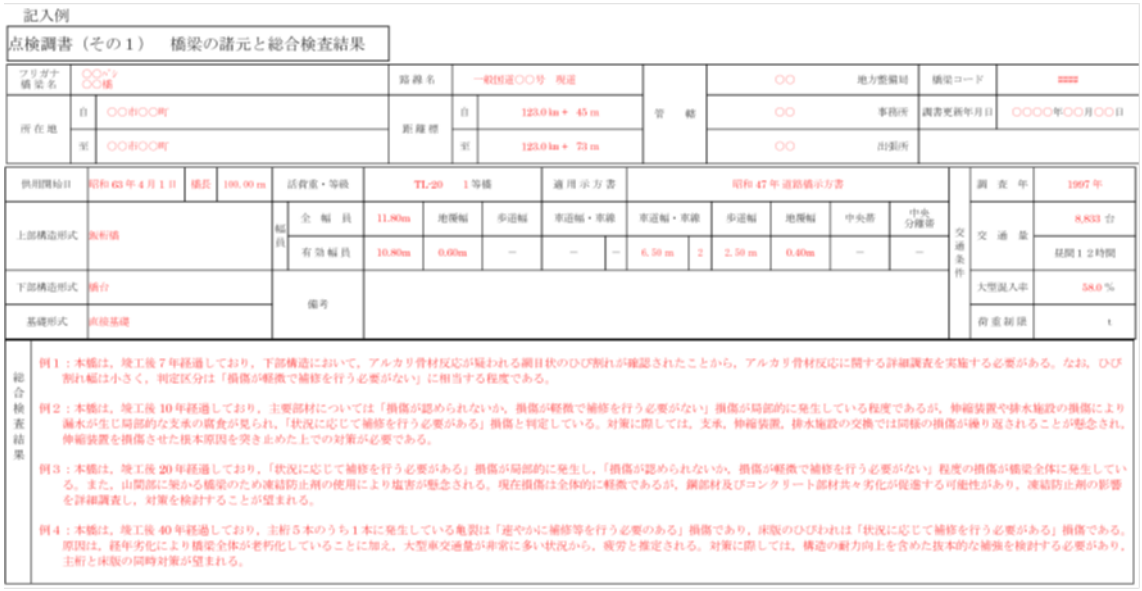
資料來源：劉效堯、蔡鍵、劉暉，2002[8]

$$TA=4Ra+2Rf+Rd+Rv+Ru+Ri \quad \text{..... (2.7)}$$

2.3.3 日本橋梁檢測

日本地形與臺灣類似，同樣具有山高谷深、溪流眾多之特徵，以致橋梁在交通運輸佔有極重要之地位。政府所公布橋梁定期點檢要領(案)中有訂定其橋梁檢測表單，如圖 2.2 所示。政府單位之「日本道路

公園」對於橋梁檢測方式主要是制定一套「橋梁構件評等系統」，藉此檢測全日本之橋梁。此法主要針對橋梁構件之裂隙情況加以描述並量化，再依據裂隙量化結果之給予構件劣化評等，其判定之評等級數為I、II、III、IV，如表 2-9 所示[9]。對於裂縫之量化準則可參考表 2-10 所述。


記入例

点検調書（その１）　橋梁の諸元と総合検査結果

| | | |

表 2-10 日本道路公團橋梁裂隙之評等準則

		高← 對耐荷重、及耐久性之影響 →低					
		大		中		小	
裂隙形狀 (X)		雙向裂紋		--		單向裂紋	
裂隙幅度 (Y)		拌有銹跡0.3mm以上		漏水、游離石灰 0.2mm~0.3mm		0.2mm以下	
裂隙間隔 (Z)		50cm未滿		--		50cm以上	
X	Y	Z	評等	X	Y	Z	評等
大	大	大	II	小	大	大	III
		小	II			小	III
	中	大	II		中	大	III
		小	III			小	IV
	小	大	III		小	大	IV
		小	IV			小	IV

資料來源：日本構造物診斷技術協會，1994[9]

2.3.4 中國橋梁檢測

對於中國大陸在橋梁檢測評估方法，由劉效堯等人於橋梁損傷診斷書中提到，中國大陸之交通部頒發「公路橋涵養護規範」，其規範內容將橋梁切分成 17 項部位(詳如表 2-11)，各部位必須先各別評分(Ri=0~5)，並根據各部位重要性給予權重(Wi)，所佔權重越高者，表示橋梁該部位重要性越高，再將 Ri 與 Wi 代入式(2.8)中，方可獲得全橋技術狀況評分(Dr=0~100)，其表 2-12 為全橋技術狀況評分後各分數範圍之意義。

表 2-11 中國大陸公路橋梁各部位與權重

部件	部件名稱	權數(Wi)	部件	部件名稱	權數(Wi)
1	翼牆、背牆	1	10	橋頭與路堤連接處	3
2	錐坡、護坡	23	11	伸縮縫	1
3	橋台與基礎	24	12	人行道	1
4	橋墩與基礎	8	13	欄杆、護具	1
5	地基沖刷	3	14	燈具、標誌	1
6	支座	20	15	排水設施	3
7	上部主要承重構件	5	16	調治結構物	1
8	上部一般承重構件	1	17	其他	1
9	橋面鋪裝	3			

資料來源：劉效堯 等人，2002[8]

$$Dr = 100 - \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{n} RiWi \quad \text{.....(2.8)}$$

Dr：全橋技術評分(0~100)，高分表示橋梁狀況越好。

Ri:橋梁各部位評分標準,對於標度的定量描述為橋梁技術狀況，分為四類五種。

Wi：橋梁各部位權重。

表 2-12 中國大陸公路橋梁技術評估標準

判定等級	狀況描述	狀況
一類橋梁	(好)	Dr>88
二類橋梁	(較好)	88 >Dr>60
二類橋梁	(差)	60 >Dr>40
二類橋梁	(危險)	Dr<40

資料來源：劉效堯 等人，2002[8]

2.4 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集

因為臺灣屬於地震發生頻繁的地區而且河川坡陡流急，這兩項因素將造成橋梁嚴重損害，故以下除了整理出一般檢測的相關文獻外，在特殊檢測部份將會對於橋梁的耐震檢測及沖刷檢測相關文獻加以論述。另外文獻蒐集的內容將以檢測規範、檢測手冊、檢測相關研究報告以及檢測資訊系統等類別進行編排，整理結果如下表 2-13~表 2-14 所示。

表 2-13 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集

類別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
一般檢測	1.1067公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範 2.國道高速公路局橋梁檢測作業要點 3.公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範 4.鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範	公路養護手冊	1. 機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用 2 .橋梁非破壞目視檢測法與自立陸橋實例 3. 應用無線技術於橋梁檢測管理之研究 4. 我國橋梁維護管理績效評估之探討 5. 建立橋梁檢測制度方法及準則之研究 6. 橋梁安全維護檢測手冊(草案) 7. 高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立 8. 橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例 9. 臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究 10.橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究 11.拱橋與π型橋目視檢測評估方法之研究 12.橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例 13.臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度 14.應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測 15.橋梁的健康診斷 16.應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究 17.橋梁檢測方法與應用	1.公路防救災決策支援系統 2.臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)

資料來源: 鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012[5]

表 2-14 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集(續)

類別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
耐震檢測	1.建築物耐震設計規範及解說	1.建築物耐震設計規範及解說	1.震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段 2.公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究3.考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強 4.災時高效率高經濟行橋梁補強及檢核技術之研發	1.橋梁地震損失評估系統(TELES)
沖刷檢測	1.跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範	1.跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範	1.公路橋梁檢測評估 2.訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究	1.跨河橋梁安全預警系統

資料來源: 鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012[5]

2.4.1 一般檢測

依「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究」[3]及訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究[10]文中所述，交通部所管轄橋梁分別由高公局、公路總局及鐵路局進行管理，各局進行檢測時所依循的規範或手冊分別是：

1.交通部高速公路局

依照「國道高速公路局橋梁檢測作業要點」[11]辦理橋梁檢測，種類計有經常檢測、定期檢測及臨時檢測三種。

(1)經常檢測

經常檢測又分為：日檢測、半年檢測。

日檢測：併工務段每日一般養護巡查辦理。由工務段養護巡查人員，以慢速行車目視為之。以橋面以上構件及引道為檢測重點。檢測項目計有：伸縮縫、引道路堤、引道護欄、摩擦層、護欄計 5 項。

半年檢測：每年 4 月（防汛期前），11 月（防汛期後）辦理。由橋梁檢測員以步行目視或以簡單之量測器具，逐座檢測轄區所有橋梁。以橋面以上構件、引道，及橋下之河道挖取砂石、墩基裸露、橋台為檢測重點。

(2)定期檢測

檢測頻率視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由工務段負責評估。每座橋梁每二年至少應檢測一次，惟橋梁跨徑超過一百五十公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、π 型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。橋梁檢測間隔超過二年，應提出詳細計畫及資料，惟最長檢測間隔不得超過四年。並以接近橋梁構件，以目視或簡單量測器具為原則。針對橋梁所有構件全面檢測。

(3)臨時檢測

颱風、豪雨、地震等天災，或火災、車撞等人為事故後為之。天災或人為事故後，由橋梁檢測人員（必要時應增加人員協助）以目視或簡單之量測器具進行檢測。橋梁檢測員應於天災或人為事故後，能安全到達現場作業二天內完成檢測及製作檢測報告。

2.交通部公路總局

依據「公路總局養護手冊」[1]，由檢測時效可分為平時巡查、定期檢測及特別檢測三種。

(1)平時巡查:

平時巡查共分：經常巡查、重點巡查以及特別巡查等。係平時實施之橋梁異狀、損傷檢測。檢測重點在於對用路人造成影響，需緊急維修之異狀、損傷。平時巡查原則上以二人一組，共乘一部巡查車，由車上以目力檢視橋梁構造物各種狀況，若發現有可疑之處，應下車檢查。經常巡查每週巡查至少一次；重點巡查每月至少一次；特別巡查為颱風、豪大雨或地震後辦理。

(2)定期檢測:

定時對橋梁所有構件實施全面檢測，及確認經常巡查記錄記錄之橋梁異狀、損傷。檢測重點在在掌握橋梁結構安全，早期發現構件之劣化程度並評估對橋梁功能損傷及其原因。定期檢測係利用徒步或攀登方式或特殊機械車輛儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查，以鑑定橋梁構造物之安全情形。

檢測頻率視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由維護單位負責評估。原則上每二年至少檢測一次，惟橋梁跨徑超過一百五十公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、π 型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。完工五年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後之第五年進行第一次定期檢測，而後續之檢測頻率則至少每二個月至四個月一次，維護單位如計畫將某些特定橋梁之

檢測間隔延長至四年，則應提出詳細計畫及資料，送經管理單位「橋梁檢測維護小組」核准。

(3)特別檢測

由天災（如颱風、豪雨、地震造成之災害）或人為破壞因素（如火災或車輛撞損主梁等人為損壞）引起之災害，致可能損傷橋梁結構所做之不定期檢測。檢測重點在針對災後或事故後或其他目的，探討是否造成橋梁功能損傷及是否需維修、補強。必要時，各公路管理單位得視其需要自行訂定檢測頻率。

3.交通部鐵路管理局

依據「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」[12]，其分類可分為平時檢查、定期檢查、定期複檢、安全檢測等。

(1)平時檢查

由轄區工務段或工務分駐所派員步行進行目視撿查，至少每月乙次，於颱風及豪雨期間則視需要機動加強巡查。

(2)定期撿查

每年 10 月~12 月間由轄區之工務段指定主辦工程 2-25 司、轄區監工、班長等組成檢查小組，以步行目視檢查。

(3)定期複檢

每年 1 月~2 月間由本局工務處橋隧課人員，並請工務段施工股、轄區道班等派員組成，對於工務段檢查結果評定結構功能有疑慮施予複檢，並按優先順序提列年度維修經費。

(4)安全檢測

於定期複檢結果，判定需要辦理進一步之詳細檢測者，委託技術顧問機構施以特殊儀器之檢測，並加以適當維修補強。

除了上述橋梁檢測規範外，必要時得就特定橋梁查照其他規範，

如鋼結構橋梁可依公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範「交通部，2008」及鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範「交通部，2010」等。

在現行的規範外，國內有許多學者專家對於檢測的方法、管理、規範準則及檢測系統進行討論與建議。檢測方法大致可分破壞性檢測及非破壞性檢測，而國內目前對於不破壞結構體的非破壞性檢測投入相當多的心力及研究。

非破壞性檢測(Nondestructive Testing, NDT)，即是以不會破壞結構體之方式來檢測結構物內部之劣化現象及程度的一種檢測方法，原理是藉由如聲、光、電、磁等媒介物進行間接量測，有別於一般直接檢測的方式。非破壞性檢測最簡單的方法是利用目視來檢測結構物是否有異常現象；若目視無法檢測的問題，則可利用非破壞性檢測儀器來協助進一步的檢測，其包括透地雷達法、超音波法、敲擊回音法、地電阻法、聲納檢測法及超震波法等。在橋梁檢測方法上進行研討的有：機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用[13]、橋梁非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等，2001) [14]、應用無線技術於橋梁檢測管理之研究(饒珉菘等，2002) [15]、橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政，2005) [16]、拱橋與π型橋目視檢測評估方法之研究(廖家禎，2007) [17]、橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等，2008) [18]、應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測(羅國峯等，2008) [19]、應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源，2008) [20]、橋梁的健康診斷(王仲宇，2009) [21]、橋梁檢測方法與應用(中國土木水利工程學會，2010)等[22]。

檢測除了方法之外，橋梁更需要有一定的橋梁檢測管理機制對於橋梁的健康狀況加以掌控，一方面能保障通過橋梁的用路人的安全及財產，另一方面能節省財政支出，所以國內學者亦有對於此部份提出相關的看法，如下：

(1)我國橋梁維護管理績效評估之探討(曾惠斌等，2002) [23]一文中以技術面及政治面考量，闡明國內橋梁公共工程維護管理績效評估

之機制、建立國內橋梁公共工程維護管理績效評估指標以及國內橋梁公共工程維護管理績效評估方法之應用。

(2)臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度[6] 則是以台灣目前使用之 D.E.R.&U. 檢測系統，與美國 NBI 檢測系統作比較，反應兩種制度與系統之相異處、優缺點，可供相互交流與學習

在過去橋梁的一般檢測準則與規範上國內的專家及學者曾提出相關的研究如建立橋梁檢測制度方法及準則之研究（公路與道路橋梁）(李有豐等，2002) [24]、橋梁安全維護檢測手冊(草案)(王仲宇等，2002) [25]等，對於後續國內研究規範的擬定皆有所助益。

國內在於橋梁的管理上最常使用的即為臺灣橋梁管理系統(TBMS)，但在使用上還是有所限制性現行，故專家學者們亦進行了相關的研討，如下：

(1)高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立(張耀文，2004) [26]，其評估方式是以現有之橋梁劣化評估系統 ABCD 及 DERU 評等法為主，分析橋梁管理系統應用於高屏溪斜張橋的適用性。

(2)橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例(延允中，2004) [27]，此文則是就現行公路總局採用之橋梁管理系統（TBMS）進行檢討提出改進意見，以對橋梁維護管理發揮加倍功效；又就需維修的橋梁提出較符實際的概算經費編列方式；另在現行三級品管架構下，設計橋梁查核機制，並透過問卷後 AHP 權重分析，制定量化評分表來評定維護績效。

(3)臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究(楊振翰，2004) [28]，此文對橋梁管理系統內資料庫之統計、分析，找出臺灣地區橋梁之現況與使用維護上之特性，並提出積極有效之管理對策，以進一步提升臺灣地區橋梁維護管理成效。

(4)在臺灣橋梁管理系統(TBMS)的應用上，公路防救災決策支援系統建立之研究「鄭明淵等，2010」中，則應用 TBMS 所提供的橋梁基本資料對於公路及橋梁進行預警及通報，輔助公路及橋梁管理者進行決策判斷。

2.4.2 耐震檢測

在橋梁耐震的規範上大致與上述一般檢測規範相同，但學者專家們亦有對於其他的震後檢測評估及補強方式進行研究與建議，包括：

1.震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等，1999)[29]文中主要目的即在建立橋梁震後勘災作業準則，其三大目標為：

(1)勘災組織、勘災人資格、權責與作業流程之建立

(2)震後橋梁快速安全評估方法及訓練手冊之建立

(3)震後橋梁緊急應對安全措施與補強方法與作業流程之建立

2.公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(國震中心，2009)[30]，則對於臺灣橋梁耐震評估法之沿革作概略性介紹，並重點式的說明交通部現階段靜力側推分析耐震評估法的原理、分析程序及評估標準與Federal Emergency Management Agency(FEMA)所頒布之耐震評估法的差異做比較。另外再以中興工程橋梁耐震評估實際案例，針對評估所得之構件塑性行為及結構破壞機制進行討論。

3.考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等，2010)[31]，文中提出進行耐震能力評估時應適時考量基樁裸露的因素，SERCB-BRIDGE 配合 SAP2000 軟體之非線性靜力側推分析模組，分別針對構架式橋墩有、無考慮基樁裸露二種情況，進行橋梁耐震能力評估及補強，本文將介紹具體作法，提供工程界參考。

4.災時高經濟及高效率型橋梁補強及檢核技術之研發「陳生金等，2005」考量震後之急迫性，建立災時檢測表單，並可快速填寫並找出對應等級。此外目前工程師往往無法於震災後迫切時間內，提出合適之補強方案決策，此研究以震後橋梁補強方案經濟效益評估模式，提出各構件單元最具經濟效益之補強方案，提升決策效率與經濟性。

震災相關的系統方面:

1.目前由國震中心開發的灣地震損失評估系統(簡稱 TELES)提供了更方便的使用者介面、可客製化的資料分類系統、更有效率的模擬技術外，也研發地震早期損失評估和風險評估功能。臺灣地震損失評估系統結合地理資訊系統(GIS)技術，提供震災境況模擬、震災早期評估以及震災風險評估等三大功能。

2.公路防救災決策支援系統(TRENDS)，係由交通部運輸研究所委託執行計畫。1.整合目前公路設施管理、防災系統於資料交換平台架構下，將各類型設施模組化。2.系統之優點，不同單位可互相分享資料，不致重覆建置的浪費，擴充功能模式有利於其他交通設施加入系統中 3.公路設施防災能力可從單一設施的點範圍提昇至整體綜觀範圍。其特色為於防災領域中首次採用「災害預警資料交換機」所建置之災害資料交換平台，自動擷取及彙整各系統之災害資訊。輔以自動通報機制有效提升設施管理及災害應變之整體縱觀能力，決策者能即時掌握災害資訊，擬定最佳防救災之策略。

2.4.3 沖刷檢測

在橋梁沖刷檢測上目前還未有特定出標準規範，僅有專家學者對於相關的草案進行研討包括公路橋梁檢測評估(陳清泉，1996)[32]及訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究(王仲宇，2010)[10]。在公路橋梁檢測評估此書中有對於公路橋梁安全之河川沖刷影響評估進行草案擬定，包含了評定的標準、後續處理及評分的人員等皆有進行初步的討論。

目前交通部運研所港灣技術研究中心已完成「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」也是為了能對於沖刷檢測訂定出一套適合臺灣橋梁使用的沖刷檢測規範 ，包括檢測表單的擬定，檢測儀器適用性的研究以及檢測後封橋的標準皆有所研究及建議。

目前國內沖刷檢測的相關的系統，有整合上述「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」研究成果的「跨河橋梁安全預警系統」，該系統目前僅針對大甲溪流域上的跨河橋梁在颱洪來臨時進行安全預

警，系統未來將納入上述研究計畫研究成果的沖刷檢測表單，可提供現場人員可在災前、災中及災後填寫，並另設有簡訊通報及回傳表單機制，使橋梁管理者可以快速掌握跨河橋梁的即時現況。

2.5 鋼筋混凝土結構物之補強技術

鋼筋混凝土結構物受損後，常見之處理方式為結構元件之修復、結構元件之補強、結構系統加設消能隔減震裝置補強及結構系統改善補強等，本研究以橋梁結構為主，將過去文獻所介紹之補強技術彙整成表 2-15。

表 2-15 鋼筋混凝土結構物(橋梁結構為主)之補強技術

處理方式	補強技術內容
結構元件之修復	裂縫灌注環氧樹脂工法、敲除鬆動混凝土再以樹脂砂漿修復工法、局部構件敲除重作工法、陰極防蝕工法
	表面封閉修補法、壓力灌漿修補法、鋼板黏貼修補法、鋼板覆蓋工法、瀝青填補法、千斤頂修正橋面差、架設臨時支撐
	裂縫表面修補法、壓力灌漿修補法、表面黏貼修補法
	樹脂灌注裂縫修補、加設防落桿件或擋版、鋼板及鋼索束緊保護破裂之帽梁、千斤頂及型鋼臨時構架支撐、橋面鋪設臨時覆工蓋版以 AC 鋪平、級配土填補沉陷、架設鋼管及臨時護欄保護、重新灌注混凝土
	砂漿修補、混凝土修補、噴凝土工法、伸縮縫修復、支承墊更換
結構元件之補強	梁加設箍筋補強、梁帶狀鋼板補強、梁中央底部鋼板補強、梁兩端頂部鋼板補強、梁兩側鋼板補強、梁中央底部纖維複合材料補強、梁兩端頂部纖維複合材料補強、梁擴大斷面補強、柱加設箍筋補強、柱帶狀鋼板補強、柱圍封鋼板補強、柱圍封複合材料補強、柱擴大斷面主筋貫穿直通補強、底版鋼筋補強、版頂端部鋼筋補強、版加候補強、版加設鋼小梁工法、牆加厚補強
	橋面層加鋪加固、增加梁截面和配筋加固、後拉預應力加固、支座補強加固、防止落橋對策、擴大基礎加固、增補樁基加固、地盤改良、RC 包覆、鋼板包覆、FRP 包覆、支撐法加固、增建輔助擋土強加固、基礎置入加勁材工法、打設臨時擋土結構物工法、加勁式擋土牆補強、支承擴座、增設臨時護欄
	橋柱鋼板補強、橋柱 FRP 補強、橋柱 RC 補強、基礎版擴座補強、補樁補強、鋼鈑樁補強、托底工法、連續壁工法、換底工法、排樁工法、支承更換、擴大支承座、增設防落裝置、橋面加鋪加固法、增大梁截面和配筋加固法

處理方式	補強技術內容
	基礎地盤改良、基礎地錨加固、增設基樁、擴建基腳、RC 包覆補強、增設補強鋼材、鋼板包覆補強、CFRP 包覆補強、更換支承、重新灌注混凝土、噴凝土包覆
	鋼板補強工法、FRP 補強工法
結構系統加設消能、隔減震裝置	斜撐加設三角形鋼板消能器、斜撐加設黏彈性阻尼器、基礎加設鉛心橡膠支承墊、基礎加設橡膠支承墊並配合其他消能器補強
結構系統改善補強	加設剪力牆、加設斜撐補強、加設翼牆補強、加設外側構架補強、加設中央柱補強、加設附屬鋼構架補強
	增設贅梁法、增設立柱或橋墩、換梁法
	結構連續化工法、上部結構支撐改良工法、纜索輔助支撐工法、隔震支承工法、改橋為箱涵加固工法、支承系統改良

資料來源: 鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012[5]

2.6 橋梁維修補強工法

目前本團隊將橋梁適用維修補強工法整理如表 2-16~表 2-17 所示。將橋梁破壞後對應所使用之維修工法，並估算破壞所需花費之成本整理如表 2-18。

表 2-16 震後橋梁補強技術適用表(DER&U 目視檢查表)

主要構建(安全性)	次要構建(服務性)
3.河道	1.引道路堤
5.橋台基礎或沉箱	2.引道護欄
6.橋台	4.引道路堤保護措施
12.橋墩保護措施	7.翼牆/擋土牆
13.橋墩基礎	8.摩擦層
14.橋墩敦體	9.橋面板排水設施
15.支承墊	10.緣石及人行道
16.止震塊/防震拉桿	11.欄杆及護欄
18.主構件(大樑)	17.伸縮縫
19.副構件(橫膈樑)	
20.橋面板、鉸接版	

表 2-17 震後橋梁補強技術適用表

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、 6、13、14、15、16、18、20	適合小斷面之修復	D1 裂縫、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	a.表面修補工法	水泥砂漿、環氧砂漿、瀝青、甲基丙稀酸脂類、防銹材	極容易	快，視現場施工環境而定	低	5~10 年	無明確需求，以恢復構件單元外觀及維持原構件單元強度
3、6、13、14、15、16、17、18、20	適合裂縫之修復抑制裂縫擴大	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	b.壓力灌漿工法	水泥灌漿材、環氧樹脂灌漿材、甲基丙稀酸脂類	容易	3.5~4.5m/工作天	低	5~10 年	無明確需求，以恢復構件單元外觀及維持原構件單元強度
3、6、13、14、18、20	將構件部分或全部拆除而重新澆注混凝土或針對混凝土構件局部剝落而修復	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎	c.重新澆注工法	水泥砂漿、混凝土	容易	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	維持原構件單元強度及耐久性
3、18、20	大梁位移有落橋之虞、橋墩墩體支承處破損產生高低差	D6 折斷、D8 位移、D9 沉陷隆起	d.止震塊/防震拉桿設置工法	混凝土、環氧樹脂黏著劑；鋼製托架；預力構材；防落裝置	可	2 工作天/塊	中	5~10 年	防落裝置無明確需求規定；防落長度規定 $N=50+0.25L+H$
3、6、18、20、14、	修補裂縫、增加結構物強度與剛度	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	e.鋼板表面黏貼修補工法	環氧樹脂黏著劑、鋼板材料	可	快，視現場施工環境而定	低	5~10 年	維持原構件單元強度

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、6、13、14、15、16、18、20	單元結構損傷變形，承載力降低之虞	D1 裂縫、D2 破裂變形、D4 壓碎、D6 折斷、D8 位移、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	f.千斤頂及臨時支撐工法	千斤頂、型鋼構材	可	5 工作天/座	中	5 年以下	恢復構件單元原位及提升橋梁單元結構穩定性
1、2、3、4、17、20	橋面版發生高低差、伸縮縫開口	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	g.鋪設臨時覆蓋版工法	鋼面版	容易	快，視現場施工環境而定	低	5 年以下	無明確需求，旨在提升行車穩定性
20	加高梁版的有效高度	D1 裂縫、D2 破裂、變形	h.橋面加鋪加固工法	混凝土或鋼筋混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	低	5~10 年	增加梁版的抗彎能力、改善荷重橫向分佈
3、14、18	以承受暫時性載重為主	D1 裂縫 D2 破裂 D11 混凝土剝落 D12 鋼筋外露	i.鋼板補強工法	環氧樹脂黏著劑或螺栓、鋼板材料（鋼皮夾克）	可	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
3、6、13、14、18、20	材料具高強度、高抗腐性、重量輕、剪裁容易、造價高，應用範圍廣	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	j.纖維強化高分子複合材料工法	纖維材料（碳纖維、玻璃纖維）、環氧樹脂	不易	60m/工作天	高	25~50 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
3、14、18	當梁構件強度、剛度、穩定性及抗裂能力不足時	D1 裂縫、D2 破裂、變形	k.增大梁截面工法	混凝土或鋼筋混凝土、環氧樹脂黏著劑	容易	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪及抗彎能力

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
14	主要用於增加橋柱之強度及主筋截斷部位補強	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	l.鋼筋混凝土包覆工法	鋼筋、混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
13	欲穩固基礎及增加基礎版垂直及側向承載力	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	m.擴大基礎版工法	鋼筋、混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	中	25~50 年	增強垂直及側向承載力
13	欲穩固基礎及增加地工承載力	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D5 折斷、D6 折斷、D8 位移	n.增樁補強工法	鋼殼樁材、預鑄樁材、型鋼材、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增強垂直及側向承載力
13	欲提升基礎剛性，施工空間受限、施工時間成本高	D1 裂縫、D2 破裂、D4 壓碎、變形、D5 折斷、D6 折斷、D8 位移、D9 沉陷隆起、D11 混凝土剝落 D12 鋼筋外露	o.增設連續壁工法	穩定藥液、鋼筋、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	提升基礎剛性

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
6	欲抑制擋土牆身折斷位移或沉陷	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起、D6 折斷 D7 傾倒、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	p.加勁擋土牆工法	碎石材、加勁材、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增加牆身抗彎抗剪能力；穩定背填土、防止側向 位移
6	欲抑制擋土牆身折斷位移或沉陷	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	q.地錨補強工法	預力鋼材、水泥砂漿	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增加牆身抗彎抗剪能力；穩定背填土、防止側向位移
17	伸縮縫有錯位或變形時應予以更換	D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	r.置換伸縮縫工法	伸縮縫裝置	可	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	主要目的在恢復伸縮縫原有功能
15	支承墊有裂紋或變形時應予以更換	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D8 位移、D10 脫落	s.置換/修補支承墊工法	無收縮水泥砂漿、支承墊裝置	可	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	主要目的在恢復支承墊原有功能
13	以固結灌漿、將低承載地盤地下水位或置入加勁材來增加土層承載力	D9 沉陷隆起、D8 位移、D6 折斷	t.地盤改良工法	灌漿/止水藥液、水泥砂漿、砂料、生石灰	不易	慢，視現場施工環境而定	中	25~50 年	穩定軟落土層、增加土壤承載力

表 2-18 震後橋梁修復經費參考表

工法	破壞模式	構件單元	單位	單價（元）
a.表面封閉修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面版/防落裝置/支承	處	710
		橋墩柱	m^2	1,000
		基礎版/地工	m^2	1,000
		橋台	m^2	1,000
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
b.壓力灌漿修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面版/防落裝置/支承	處	830
		橋墩柱	m^2	1,300
		基礎版/地工	m^2	1,300
		橋台	m2	1,500
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
c.重新澆注工法	混凝土破損修補	大梁/橫隔梁/帽梁	處/m^3	830/5,6650
		橋面版	m^3	3,000
		橋墩柱	m^3	3,000
		基礎版/地工	m^3	1,000
		橋台	m^3	3,000
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
d.防落裝置設置	止震塊/防震拉桿	大梁/橋面版/橫隔梁	塊/組	7,800
e.鋼板表面黏貼修補工法	鋼板貼附修補	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/橋台	m^2	8,100
f.千斤頂及臨時支撐工法	千斤頂架設	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/基礎版/地工/支承/防落裝置/橋台	處	200,000
	型鋼構架及製作安裝		噸	32,500
g.鋪設臨時覆蓋版工法	鋪設臨時覆工版	橋面版/摩擦層/伸縮縫/引道	噸	33,500
h.橋面加鋪加固	混凝土鋪設修補	橋面版	處/m^3	830/56,650
	摩擦層修補	摩擦層	m^2	6,000

工法	破壞模式	構件單元	單位	單價（元）
i.鋼板補強工法	鋼板補強	大梁/橫隔梁/橋墩柱/帽梁	m^2	8,500
j.FRP補強工法	強化碳纖維貼附補強	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/基礎版/地工/橋台	m^2	3,950 (單層單向)
			m^2	6,250 (雙層雙向)
k.增大梁截面工法	梁斷面施作	大梁/橫隔梁/帽梁	m^3	6,400
l.RC包覆工法	工法	構件單元	單位	單價（元）
	RC包覆施作	橋墩柱	m^3	6,925
m. 擴大基版工法	基礎版施作	基礎版	m^3	35,000
n..增(補)樁補強工法	全套管基樁施作	地工	m	25,000
O. 增設連續壁工法	連續壁60cm施工/棄土	基礎版/地工	m^2	2,000
	連續壁60cm劣質打除		m	1,000
	連續壁沈澱池及棄土坑		m	200,000
	連續壁鋪面		m^2	80
p.加勁擋土牆工法	加勁擋土牆施工	橋台	m^2	5,000~6,000
q.預力地錨工法	預力地錨施工	橋台	m	3,600
r.置換伸縮縫工法	更換伸縮縫(橡膠單元)	伸縮縫	m	200
s.置換支承修補工法	更換支承（橡膠）	支承	組	36,500
t.地盤改良工法	地盤改良施作	基礎版/地工	m^2	100,000 (資料來源:「建築資訊服務系統」http)

資料來源:翁明全，2005[33]

2.7 演化式支持向量機推論模式

傳統上營建管理決策的缺點主要分為(1)依賴人員專業知識(2)主觀認定上的誤差(3)試誤法。在依賴人員專業知識方面：由於營建管理領域的問題具有複雜、不確定與隨環境變動的特性，因此，在解決相關問題時多依賴該領域專家經驗與知識進行決策。然而這些屬於專家的經驗與知識會隨著專家記憶淡忘與離職或退休而失去，因此如何傳遞有用的專業知識非常困難(Ko, C. H.,1999)[34]。在主觀認定上的誤差方面：解決營建管理問題多是依賴專家決策，然而專家主要依賴直覺與主觀上的判斷，將影響決策的有效性(Fukahori, K.等,2000) [35]。在試誤法方面：營建管理者以試誤方法學習決策過程中的經驗，但是在營建工程領域，太多模擬兩可的變數以及決策錯誤的花費太大。也因為在決策資訊收集的困難和決策必須快速下達的原因造成決策上的困難。

為了改善上述傳統營建管理決策之缺點，相關文獻中以人工智慧模擬人類決策行為來解決營建管理問題的方法陸續被提出。(吳育偉等，2007)[36]提出一最佳化決策模式「演化式支持向量機推論模式」(Evolutionary Support Vector Machine Inference Model，ESIM)，此模式透過過去案例與經驗學習，歸納出專家決策過程與分析邏輯，輔助決策者進行決策，以提昇營建管理決策的有效性。支持向量機（Support Vector Machine，SVM）為結合統計學 VC 維度理論（Vapnik – Chervonenks Dimension）與結構風險最小化原理（Structure Risk Minimization Theory）所發展之一種機械學習演算法，SVM 在 Vapnik 等人提出後發展迅速，目前已成功的應用在決策輔助及預測中。然而此模式必須先決定其參數的數值，才能使模式的結果最佳化。但目前很少研究針對如何將 SVM 的參數最佳化的議題進行研究。故此研究目的在於提出一新的模式-演化式支持向量機推論模式(ESIM)，此模式融合 SVM 與快速混雜基因演算法（Fast Messy GA），模式中 SVM 用於歸納輸入變數與輸出變數間複雜的關係；而快速混雜基因演算法搜尋 SVM 所需的最佳參數（C 與 γ），藉此提高 SVM 的預測準確度。以下將就 ESIM 與相關理論作進一步介紹。

2.7.1 支持向量機簡介

資料的分類（Classification）與迴歸（Regression）是電腦科學的重要課題之一，其應用越來越普遍。傳統的分類方法有類神經模式（Neural Networks），決策樹（Decision Trees），最近相鄰法（Nearest neighbor methods）等。支持向量機為另一新方法，它已被驗證在許多應用上有相當好之結果。

支持向量機（SVM）是由 Vapnik 與其領導的貝爾實驗室研究小組所發展出的一種機器學習技術，由於其出色的學習性能，該技術已經成為當前國際機器學習研究熱門焦點，以下分別介紹支持向量機在分類與迴歸之運用。

2.7.1.1 支持向量機分類

支持向量機分類（Support Vector Classification，SVC）是建立在機器學習理論的結構風險最小化(Structural Risk Minimization SRM)原則之上，其主要思想是針對低維度分類問題，在高維度空間中尋找一個超平面(Hyper-plane)作為二類的分割，以保證最小的分類錯誤率。且支持向量機一個重要的優點就是能處理線性不可分的情況。SVC 可利用目前現有的資料作訓練，再利用這些分析出的資料(Training Data)選出幾個支持向量(Support Vector)來代表整體的資料，並將少部份極端值事先剔除，然後將所挑選的支持向量包裝成模型(Model)。假設若有測試的資料(Testing Data)作推論預測時，SVC 就會將資料歸類，找出對應之分類。

如圖 2.3 所示，一群資料(Data set,R)，若在低維度中(Data Space,F)，需以非線性函數做為分類依據，然而此非線性函數無法輕易求得。因此藉由一核心函數(Kernel Fuction)將資料映射至高維度空間(Feature Space,H)，此過程將可使得資料點分散並符合線性函數可分類的特性。

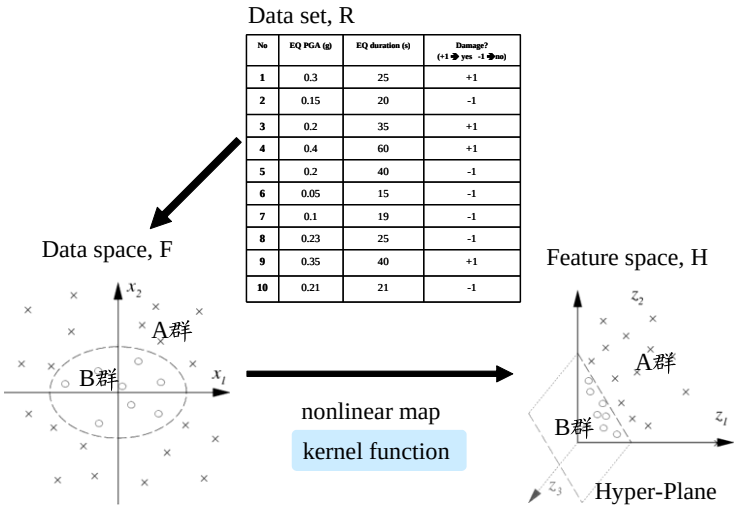


圖 2.3 支持向量機資料分類示意圖

因此在高維度空間中，如圖 2.4 所示，即可找出一超平面可將這群資料切成兩群(ie:群組 A、群組 B)，而屬於群組 A 的資料均位於超平面的一側，而群組 B 的資料均位於超平面的另一側。此平面稱為最優分離超平面（Optimal Separating Hyperplane），此超平面能儘可能將不同類型的樣本點正確分開，同時使分開的樣本點距離該最優分離面的垂直距離最大，即不同類型樣本點有最大的分離間隔（Maximum Margin）。

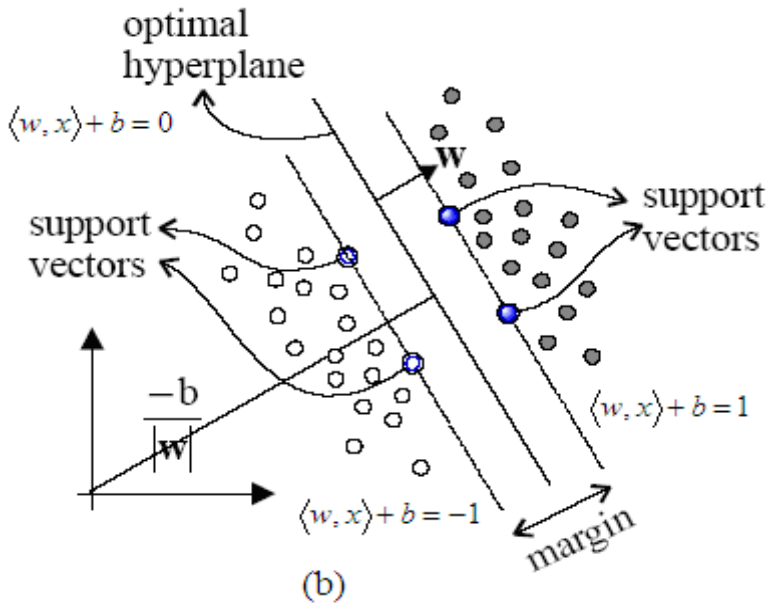


圖 2.4 最大分離間隔與最優分離超平面 (Yonas B. Dibike1.等，2000)

為求解此原始最佳化問題（Primal Optimization Prbolem），假設此問題為包含m個訓練樣本點，每個樣本點具有n個維度之向量集合Ω，則：

$$\Omega=\{(x_1,y_1),...,(x_m,y_m)\}\in X^m\times Y^m,\ x_i\in X=R^n,\ y_i\in Y=\{1,-1\},\ i=1,...,m \quad (2.4)$$

假設這個向量集合Ω可以被超平面 分開，且不同類型樣本點有最大的分離間隔，則稱此超平面為最優分離超平面，而距離超平面最近的樣本點稱為支援向量（Support Vectors），對任一樣本點　皆滿足：

$$\langle w,x\rangle+b\geq 1 \quad if \quad y_i=1 \quad .....(2.5)$$

及

$$\langle w,x\rangle+b\leq -1 \quad if \quad y_i=-1 \quad .....(2.6)$$

式(2.5) (2.6)可合併如式(2.7)所示。

$$y_i\langle w,x\rangle+b\geq 1 \quad i=1,...,m \quad ..... (2.7)$$

假設樣本點x+,x-是分別位於yi=1及yi=-1邊界平面 與 上的支援向量（Support Vectors）則間隔距離Lm可由式(2.6)求得：

$$L_m=\left|\left\langle (x^+-x^-),\frac{W}{\|W\|}\right\rangle\right|=\left|\left\langle x^+,\frac{W}{\|W\|}\right\rangle-\left\langle x^-,\frac{W}{\|W\|}\right\rangle\right|=\left|\frac{1-b}{\|W\|}-\frac{-1-b}{\|W\|}\right|=\frac{2}{\|W\|} \quad .....(2.8)$$

若考慮最大間隔（Maximum Margin）則 可以下列式子 表示，因此最優分離超平面及最大間隔求解問題可轉化為以下之約束條件二次規劃求解問題(Constrained Quadratic Programing)。

$$\min_{w,b} f(w,b)=\frac{1}{2}\|w\|^2 \quad \text{Subject to } y_i\left(w^Tx_i+b\right)\geq 1 \qquad i=1,...,m \quad .....(2.9)$$

因為式(2.9)之目標函數為一個二次凸函數，限制式為凸集合，因此形成的凸優化問題（Convex Optimization Problem），能夠確保找到的極值是全域最佳解（Global Solution）(鄧乃楊等，2004)。

由於原始最優分離超平面及最大間隔求解問題是一個帶有限制式的二次凸優化求解問題，因此引入 Lagrangian 函數求解時具有鞍點（Saddle Point），鞍點同時為不同方向之極大及極小值，因此可使用 KKT 條件（KKT Condition）轉化原始二次凸優化問題為對偶問題並求解。

Lagrangian 函數(L, w, b,α):

$$L(w,b,\alpha)=\frac{1}{2}\|w\|^2+\sum_{i=1}^{m}\alpha_i\left[1-y_i\left(\langle w,x_i\rangle+b\right)\right] \quad , \ \alpha_i\geq 0,\ i=1,...,m \quad \text{.....(2.10)}$$

由 1st KKT 條件（1st KKT Condition）式(2.10)分別對 w 及 b 偏微分梯度為零可得：

$$\frac{\partial L}{\partial w}=w-\sum_i\alpha_i y_i x_i=0 \quad \Rightarrow \quad w=\sum_i\alpha_i y_i x_i \quad \text{.....(2.11)}$$

$$\frac{\partial L}{\partial b}=\sum_i\alpha_i y_i=0 \quad \text{..... (2.12)}$$

將式(2.11)及(2.12)代入式(2.10)可得到對偶函數 W(α)如式(2.13)所示。

$$\begin{aligned} W(\alpha)&=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\alpha_i\alpha_j y_i y_j\langle x_i,x_j\rangle+\sum_{i=1}^{m}\alpha_i-\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\alpha_i\alpha_j y_i y_j\langle x_i,x_j\rangle \\ &=\sum_{i=1}^{m}\alpha_i-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\alpha_i\alpha_j y_i y_j\langle x_i,x_j\rangle \end{aligned} \quad \text{..... (2.13)}$$

考慮鞍點條件 ，鞍點極值 分別為原始優化問題之最小值及 為對偶問題之最大值，因此原始二次凸優化問題可轉換為下列為最大化之對偶問題如式(2.14)所示：

$$\max_{\alpha}W(\alpha)=\sum_{i=1}^{m}\alpha_i-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\alpha_i\alpha_j y_i y_j\langle x_i,x_j\rangle \quad \alpha_i\geq 0\ ,\ \sum_{i=1}^{m}\alpha_i y_i=0\ ,\ i=1,...,m \quad (2.14)$$

上述對偶問題若我們能找到 該樣本點即為支援向量（Support Vectors）如圖 2.5 所示，由 及式(2.15) 之 2nd KKT 條件（2nd KKT Condition）可以解得樣本點偏心值 及支援向量機線性可分問題之決策函數 如式(2.16)所示，式中 為分類問題中待預測之新點資料。

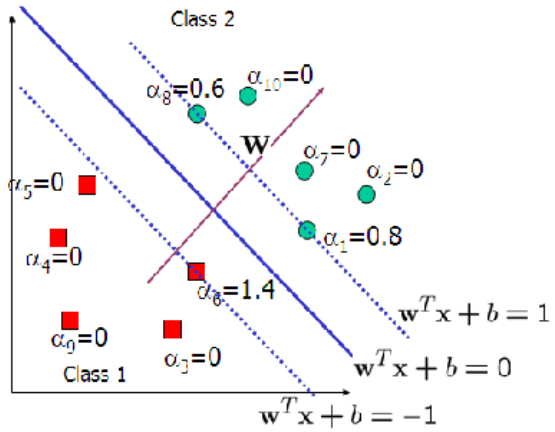


圖 2.5 支援向量（SV）示意圖

$$\alpha_n^*\left[1-y_n\left(\left\langle w^*,x_n\right\rangle+b^*\right)\right]=0 \quad ,i=1,...,m \qquad \text{.....(2.15)}$$

$$f(x)=\operatorname{sgn}\left(\left\langle w^*,x_{new}\right\rangle+b^*\right)=\operatorname{sgn}\left(\sum_{i=1}^{m}\alpha_i^* y_i\left\langle x_i,x_{new}\right\rangle+b^*\right) \qquad i=1,...,m \quad \text{..} \ (2.16)$$

對於線性可分問題，由前述方法可找到最優分離超平面可將不同類別樣本點完全分開，但對於線性不可分問題，如資料來源:Yonas B. Dibike1 等，2000。圖 2.6 所示則無法找到一個超平面可將不同類別樣本點完全分開。

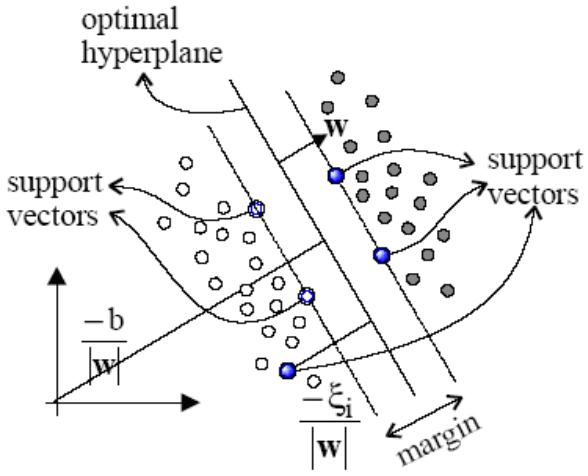


圖 2.6 線性不可分與鬆弛變量示意圖

資料來源:Yonas B. Dibike1 等，2000

因此若想繼續使用超平面進行分類，則必需導入軟化間隔（Soft Margin）與鬆弛變量（Slack）ξ_i ，亦可稱容錯值的概念(鄧乃楊等，2004)，即前述二次凸優化問題的限制式將修正如式(2.17)所示。

$$y_i\left(\langle x_i, w\rangle + b\right) \geq 1-\xi_i \qquad \xi_i \geq 0 \qquad i=1,...,m \quad \text{.....} \quad (2.17)$$

當鬆弛變量ξ_i充分大時原本無法以超平面劃分的樣本點 將滿足式(2.17)的限制而被正確分類，但ξ_i如被任意放大則支撐向量分類機最大間隔原則將變得毫無意義，因此原始最佳化問題的目標函數將導入平均鬆弛變量項$\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\xi_i$使得二次凸優化問題同時考慮最大間隔與訓練誤差最小化。綜合目標函數與限制式的改變，對於線性不可分，原始二次凸優化問題將修正如式(2.18)所示。

$$\min_{w,b,\xi} \frac{1}{2}\|w\|^2 + \frac{C}{m}\sum_{i=1}^{m}\xi_i \qquad y_i\left(\langle x_i, w\rangle + b\right) \geq 1-\xi_i \qquad \xi_i \geq 0 \qquad i=1,...,m \quad \text{....} \quad (2.18)$$

上式中 C 是一個權衡常數（Tradeoff Constant）用來平衡目標函數前後項之間隔最大化與訓練誤差最小化間的衝突。其中低維度空間映射至高維度空間之核函數（kernel function），採用徑向基核函數（Radial Basis Function，RBF）如式(2.19)所示：

$$K\left(x_i, x_j\right) = \exp\left(-\gamma\left|x_i - x_j\right|^2\right) \quad \text{.....} \quad (2.19)$$

綜合以上，可得知支持向量機分類之模式架構取決於核函數（Kernels）與權衡常數（Tradeoff Constant）之設定。

2.7.1.2 支持向量機迴歸

支持向量機迴歸（Support Vector Regression，SVR）上之概念與 SVC 相近。將原本在低維度迴歸問題映射至高維度特徵向量空間中，並找出支持向量，在此向量空間中可得一線性迴歸方程式 如下資料來源:陳昭宏，1997。

圖 2.7 所示。此線性方程式有一容許帶寬 ，支持向量與此帶寬之距離為 如式(2.20)。

$$|\zeta|_{\varepsilon}=\begin{cases}0 & if|\zeta|\le\varepsilon\\ |\zeta|-\varepsilon & otherw\end{cases} \quad \text{.....(2.20)}$$

為找到模式最佳解，並使得 w 與 有小值，如下式所示(2.21)

$$\min \min_{w,b,\zeta,\zeta^*} \|w\|^2/2+C\sum_{i}^{l}\left(\zeta_i+\zeta_i^*\right)$$

Subject to $y_i-\left(w\cdot\Phi\left(x_i\right)+b\right)\le\varepsilon-\zeta_i$

$$\left(w\cdot\Phi\left(x_i\right)+b\right)-y_i\le\varepsilon-\zeta_i^*$$

$$\zeta_i,\zeta_i^*\ge 0 \qquad \forall i \quad \text{.....(2.21)}$$

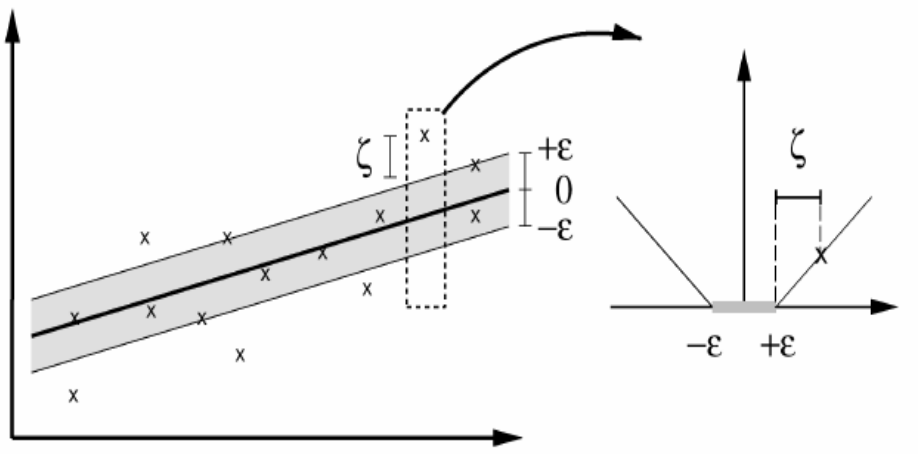


圖 2.7 可容錯線性 SVR 模式

資料來源:陳昭宏，1997

為了解式(2.21)，可將計算式轉為拉格朗茲乘式法（Lagrangian）並求解，如下式(2.22)

$$L=\frac{1}{2}\|w\|^2+C\sum_{i=1}^{l}\left(\zeta_i+\zeta_i^*\right)-\sum_{i=1}^{l}\alpha_i\left(\varepsilon+\zeta_i-y_i+w\cdot\Phi\left(x_i\right)+b\right)$$
$$-\sum_{i=1}^{l}\alpha_i^*\left(\varepsilon+\zeta_i^*+y_i-w\cdot\Phi\left(x_i\right)-b\right)-\sum_{i=1}^{l}\left(\eta_i\zeta_i+\eta_i^*\zeta_i^*\right) \quad \text{..... (2.22)}$$

根據 (D.E. Goldberg，1993)，於式(2.22)中求解 L 之極值為鞍點（ saddle point of the Lagrangian ），等於解 KKT condition（Karush-Kuhn-Tucker，KKT)。可將原問題轉為對偶問題（Dual problem），如下式(2.23)所示，求解得 w*,b*,α*。並得到決策方程式（decision function），如下式(2.24)所示。

$$\max_{\alpha,\beta}\left[-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}(\alpha_i-\beta_i)(\alpha_j-\beta_j)k\left(x_i,x_j\right)+\sum_{i=1}^{m}y_i(\alpha_i-\beta_i)\right]$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{m}(\alpha_i-\beta_i)=0$$

$$0\le\alpha_i\beta_i\le\frac{C}{m} \quad \text{..... (2.23)}$$

$$f\left(x_{new}\right)=\left[\sum_{i=1}^{m}\left(\alpha_i^*-\beta_i^*\right)k\left(x_{new},x_i\right)\right]+b^* \quad \text{..... (2.24)}$$

與 SVC 相同，(2.23)式中的 C 值與(2.26)式中 kernel 的γ值分別為資料容錯值與資料映射至高維度空間中離散程度所設定之參數，其值可決定模式的結構，並影響預測的準確性。

2.7.2 演化式支持向量機推論模式(Evolutionary Support Vector Machine Inference Model-ESIM)

(吳育偉等，2007)[36]為了提高支持向量機的預測準確度，針對模式中參數進行選擇。這些參數包括容錯值參數 C 及核心函數中 值。所提出之 ESIM 結合快速混雜基因演算法與支持向量機模式，提高模式的預測準確度。其架構如下圖 2.8 所示。

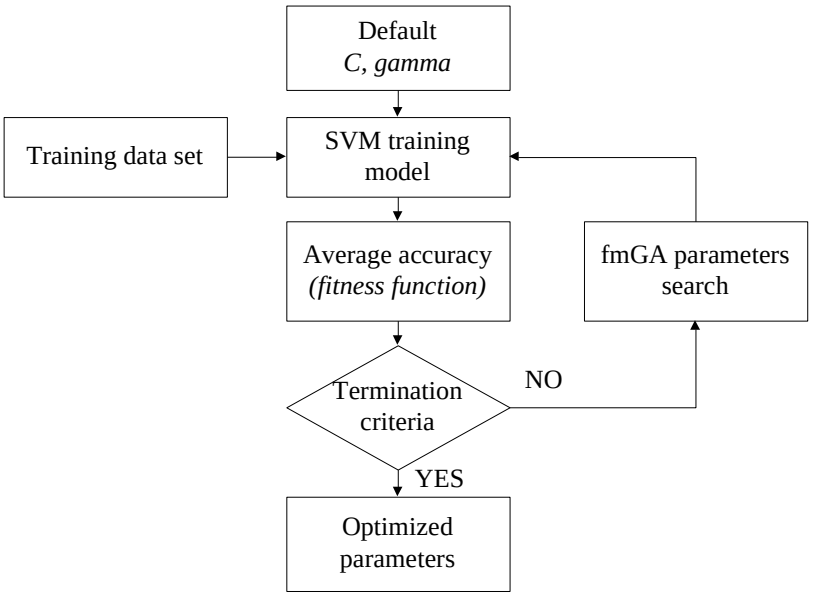


圖 2.8 支持向量機最佳化模式架構

此模式中，將藉由過去案例作為輸入訓練之用，使用初始 C 與 gamma 參數值，運用 SVM 進行輸出之預測並與實際輸出進行比較，fmGA 則經由實際輸出與推估輸出之誤差與模式中支持向量數目作為目標函數，進行參數之最佳化。其步驟說明如下：

Default C, gamma：C 與 gamma 值可能依案例與問題特性而有不同設定，根據 Thorsten Joachims 建議其預設值 C 與 gamma 可分別設定為 1 及 1/M，其中 M 為變數個數。

Training data set：首先在預測模式之前，必須先尋找影響因素，並且建立影響因子集合（influence patternsTraining data set）作為預測的輸入變數。

SVM training model：在此步驟中，使用者預先收集營建管理課題之歷史案例，並以案例影響因子作為輸入因子，案例決策作為輸出。將此輸入與輸出數值做為訓練案例，輸入 SVM 中進行模式的初始訓練，SVM 將以預設之 C 與 gamma 值作為模式中第一次訓練設定值。

Average accuracy：此步驟將根據目標函數之倒數作為適應函式，

其值越大表示此模式架構越佳。

Termination criteria：此流程將持續運作，直到符合某些條件，如達到符合的適存度或數世代演算中適存度無明顯增加(表示已達收斂)。

fmGA parameters search：此步驟中，快速混雜基因演算法將尋找下一世代中較適合之參數值。

Optimized parameters：根據上述最佳化演算，可留下最佳之基因組合。將基因解碼為支持向量機模式之 C 與 gamma 值，即可求得最佳之推論模式。

2.7.3 ESIM 特性與限制

為避免單一理論所造成之缺陷，ESIM 以支持向量機、快速混雜基因演算法(fmGA)結合，粹取彼此的優勢、特性，但隨著各理論的採用，原有方法之限制同時亦隨之產生，說明如下:

2.7.3.1 ESIM 特性

ESIM 承襲了支持向量機、快速混雜基因演算法(fmGA)之特性，經彙整後包括以下八點：

1.具有解決過程不確定、不清楚、或部份未知問題之能力

2.具有對環境自我調適、學習之能力

3.具有解決高維度或高度複雜問題之能力

4.具有容錯能力(Fault Tolerance)

5.具找出輸入變數向量與輸出變數向量間複雜之映射關係

6.具有高度近似推論之能力

7.具有知識、與經驗累積之特性

8.具有訓練速度快之優點。

2.7.3.2 ESIM 限制

此模式須收集訓練資料，藉由混雜基因演算來粹取推論引擎。ESIM 並無資料預處理之功能，因此無法事先驗證訓練資料之正確性。因此，ESIM 有下列之各項限制：

1.需要事先收集訓練資料集

2.訓練資料正確且分布均勻

2.7.4 ESIM 應用

圖 2.9 ESIM 應用程序為本研究之 ESIM 應用程序，以下針對 ESIM 推論系統建構程序作進一步說明。

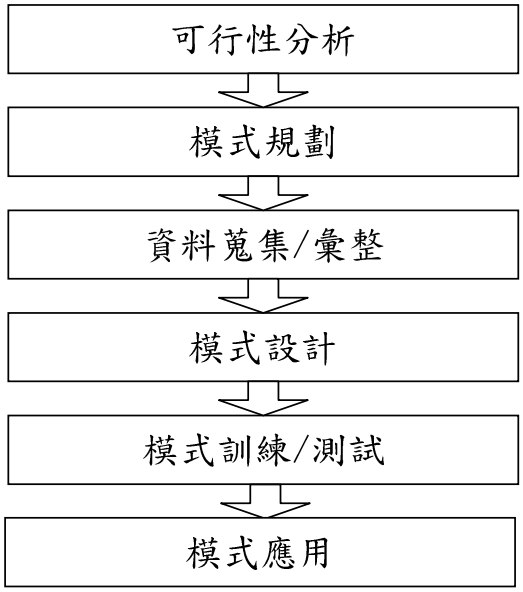


圖 2.9 ESIM 應用程序

步驟一、可行性分析

根據 ESIM 之特性與限制，針對問題領域特性評估是否適合以 ESIM 處理。

步驟二、模式規劃

此步驟將根據文獻回顧或經由專家確認輸入與輸出之變數。輸入變數必須能夠充分反應出問題特性，輸出變數根據實際需求訂定。

步驟三、資料蒐集/彙整

1. 資料蒐集：針對待解決問題之特性進行案例蒐集。為使建構之模式有說服力，歷史案例必須反應出實際情況，亦即案例須具代表性。

2. 資料彙整：將蒐集而得之案例進行預處理。針對 ESIM 對輸入變數與輸出變數處理，使資料符合模式訓練、測試需求。

步驟四、模式設計

模式設計包含兩個部分:模式變數定義、模式參數規劃,分述如下。

1. 模式變數定義：針對模式，定義其輸入、輸出變數之個數、型式。

2. 模式參數設計：ESIM 經實際應用、分析後，參數已作最佳設計，因此，在實際使用時，以內定參數設定即可。當問題情況特殊時，才須要進一步作細部參數設計。

步驟五、模式訓練/測試

1.模式訓練：以訓練案例作為學習「推論規則」之案例資料，利用 ESIM 搜尋較佳之推論模式。

2.模式測試：根據訓練後建立之推論模式進行準確度測試。模式驗證是以測試案例，比較輸出結果與實際值之差異。本研究利用均方根誤差 RMS（Root Mean Square Error）作為評估基準如式(2.26)，當誤差達到訂定標準時，模式即符合要求。

$$RMS = \left(\frac{\sum_{i=1}^{M} e_i^2}{M} \right)^{1/2} \quad \text{.....(2.26)}$$

RMS：均方根誤差

M：測試案例數

ei：實際值與預測值之差

步驟六、模式應用

根據步驟五的評估，推論模式確實具備解決問題之能力後，即可對此問題領域進行實際運用。

2.8 生物共生演算法（Symbiotic Organism Search，SOS）

本研究採用了新的功能強大的演算法為生物共生演算法（SOS），SOS 為鄭明淵學者和 Doddy Prayogo 學者所發展的一種新的最佳化演算法；SOS 通過模擬生物生存在生態系統中與其他生物共生的策略，用以模擬數值優化及解決工程上設計的問題。

工程設計最佳化是個極具挑戰的研究領域，近年來吸引越來越多學者投入這項領域研究，開發了許多最佳化程式試著優化工程上設計的問題， SOS 演算法模擬生物體在自然界中出現的互動行為。這是兩生物體之間生活在一起的交互作用，甚至包含不相似的生物體之間的吞噬行為。基於這種依賴關係被稱為共生。以下小節將解釋共生的意義，舉例共生關係原型的例子，並描述共生生態系統中的作用。

2.8.1 共生的基本概念

共生來自希臘字為“生活在一起”。De Bary 第一次用來形容兩個同居的不同生物體在 1878 年。然而現今，共生是用來描述兩個不同的物種的生物體之間的關係。共生關係，可能是兩種生物互相依賴於對方的生存，或兩種生物選擇同居在一個互惠互利的，但彼此之間不互相依賴對方關係。

在自然界中最易見的共生關係是互利共生，其他為片利共生和寄生。互利共生是指兩個不同的物種之間互惠互利的共生關係。片利功

生是兩個不同的物種，其中一方好處，另一方是未受影響或無害的共生關係。寄生是指兩個不同的物種，其中一方好處，另一方是受到損害或影響的共生關係。

圖 2.10 說明一組共生生物共同生活在一個生態系統中。一般來說，生物體為了發展一種適應環境變化的策略稱為共生關係。共生關係，也可能有助於生物增加體能和長期生存優勢。因此，合理來說共生關係已建成並繼續塑造和維持所有現代化的生態系統。

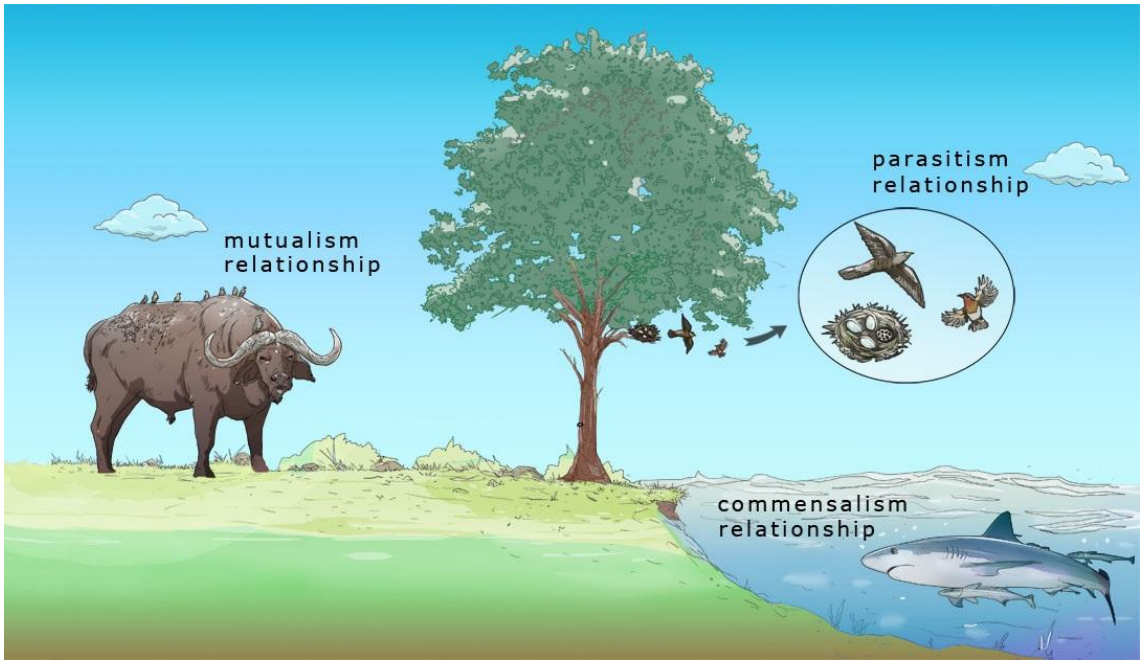


圖 2.10 生態系統中的共生生物示意圖

共生生物演算法是以其他演算法為研究基礎所發展出的演算法，SOS 會在可搜尋空間中，不斷地迭代候選解，進而求得全域最佳解。幾乎所有的啟發式演算法都是使用連續迭代的方案，在每次迭代中，以生成優於原解決方案之方案作為下一次迭代的候選解。在一個標準的遺傳算法(GA)有兩個運算值，即交叉和變異。和諧搜索演算法(Harmony search)是一種元啟發式演算法，和諧搜索演算法模仿音樂家即興創作的過程。起初先建立並隨機初始化大小為 HMS 的 Harmony Memory (HM)為了找到更好的和弦，每個音樂家彈奏個音符創作得到

一和弦。新的和弦創作過程由三個部分組成:隨機選取(memory consideration)、記憶體考量(random selection)、高音調整(pitch adjustmwnt)。蜂群演算法(Artificial Bee Colony)中使用了三個階段來找到最好的食物來源，工作蜜蜂，隨機蜜蜂和偵察蜜蜂階段。共生生物搜尋演算法(Symbiotic Organism Search，SOS)是模仿生物在生態系統中的兩種生物之間的相互作用，類似於真實世界的生物相互作用模型的三種共生模式：互利共生，片利共生，和寄生。

這些共生模式的名稱，大概擬定了該共生模式的主要原則，的相互作用的字符定義了每個階段的主要原則。互利共生在共生模式中，對雙方都有好處；片利共生在共生模式中僅對一方有利，但並不影響其他共生的生物；寄生在共生模式中，常常是一方侵略另一方，造成一方有利，另一方受損。每個生物都必須與其他生物會反覆的進行共生的三個階段，直到滿足終止條件為止。下面的算法大綱反映了上述的解釋：

- 初始化
- 重複
  - 互惠階段
  - 棲階段
  - 寄生階段
- 直到（滿足終止條件）

本研究發表一種新式演算法稱為共生生物搜尋（SOS），其靈感來自生然生態系統中生物之間的互動模式，SOS 使用三種策略:互利共生、片利共生和寄生模擬這種自然的模式。SOS 演算法的三個階段在操作上是容易的，只需要用簡單的數學運算法則。此外比較於同類演算法，SOS 不使用微調的參數，提高了性能的穩定性。儘管比同類算法使用較少的控制參數，還能夠解決各種數值最佳化問題。

2.9 山區道路災害類型

邊坡破壞模式之分類方法甚多，國內公路系統習於參考歐美方法，認為道路邊坡破壞種類依據材料可分為岩坡與土坡；依據運動型態則可區分為墜落(fall)、傾覆(topple)、滑動(slide)、側移(spread)、流動(flow)及複合型(Varnes，1984)。水土保持界則將邊坡破壞綜合名之為崩塌並概分為山崩、地滑、潛移、土石流與沖蝕等(水土保持局、中華水土保持學會，2005。)。

依據台灣地區山區道路規劃設計參考手冊(2006)，山區道路之邊坡破壞類型，主要依據上、下邊坡分別進行分類，上邊坡破壞類型主要為沖刷破壞與崩坍破壞，其中崩坍破壞依土砂之運動方式細分為墜落型、滑動型與流動型三類，而下邊坡破壞類型除無上述之墜落型外，其餘類型皆與上邊坡一致，如表2-19。

本研究為使用地調所之環境地質敏感區進行後續之分析，因此將台灣地區山區道路規劃設計參考手冊中之邊坡破害類型與地調所之環境地質敏感區進行對應，對應結果如表2-20。其中，環境地質敏感區中之河岸侵蝕與順向坡並未出現在邊坡破壞類型中，而本研究亦將此兩種敏感區類型納入，以完整進行分析。

表 2-19 邊坡破壞類型分類一覽表

<table>
<tr><th colspan="3">邊坡破壞類型</th><th colspan="2">調查重點</th></tr>
<tr><td rowspan="4">上邊坡</td><td colspan="2">沖刷破壞</td><td colspan="2">1.尖峰逕流量
2.降雨強度
3.集水區面積
4.土壤一般物理性質
5.土壤剪力強度參數
6.地層種類及其分佈</td></tr>
<tr><td rowspan="3">崩坍破壞</td><td>墜落型</td><td colspan="2">1.坡度與坡形
2.岩層種類構造特性
3.節理面狀況
4.岩層弱面位態
5.岩石強度
6.落石尺寸與規模</td></tr>
<tr><td>滑動型</td><td colspan="2">1.地層種類及其分佈
2.岩土材料一般物理性
3.岩土材料剪力強度參數
4.岩層弱面位態
5.滑動面位態與深度
6.地下水水位分佈與孔隙水壓</td></tr>
<tr><td>流動型</td><td colspan="2">1.地層種類及其分佈
2.岩土材料一般物理性
3.岩土材料剪力強度參數
4.尖峰逕流量
5.降雨強度
6.岩土耐沖蝕能力</td></tr>
<tr><td rowspan="3">下邊坡</td><td colspan="2">沖刷破壞</td><td colspan="2">1.岩土材料一般物理性質
2.岩土材料剪力強度參數
3.河川尖峰流量水位變化、水力特徵
4.集水區面積</td></tr>
<tr><td rowspan="2">崩坍破壞</td><td>滑動型</td><td>1.地層種類及其分佈
2.岩土材料一般物理性質
3.岩土材料剪力強度參數
4.滑動面位態與深度
5.地下水水位分佈與孔隙水壓</td></tr>
<tr><td>流動型</td><td>1.地層種類及其分佈
2.岩土材料一般物理性質
3.岩土材料剪力強度參數
4.尖峰逕流量
5.降雨強度
6.岩土耐沖蝕能力</td></tr>
</table>

資料來源：台灣地區山區道路規劃設計參考手冊(2006)

表 2-20 邊坡破害類型與環境地質敏感區對應表

臺灣地區山區道路規劃設計參考手冊	地調所環境地質敏感區
邊坡壞類型	環境地質敏感區
沖刷破壞	蝕溝
墜落型	崩塌(落石)
滑動型	崩塌(岩屑崩滑、岩體滑動)
流動型	土石流
其他	河岸侵蝕
	順向坡

2.10 易致災路段劃分方法

國家災害防救科技中心（2008、2009)的技術報告，曾針對十條易致災省道（台8、台20、台21、台9、台7、台7 甲、台18、台14、台24、台27)，進行道路警戒分段與致災比率分析，其易致災路段之分段主要依據(a)災點分佈、(b)縣市分界、(c)村里分界、(d)替代道路、(e)影響人口數等五項劃分原則，同一道路劃分約以6~7 段為限。

本研究之前期計畫「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)」採用等距離方式將臺18線與臺21線山區道路每500公尺分成一段，進行後續危害度及易致災性因子分析。

而本計畫易致災路段之劃分方法，將山區道路所在邊坡之地質、地形等致災因子，以坡面單元及地質敏感區特性進行大尺度劃分，再透過復建工程資料蒐集與現地勘查方式，找出小尺度之工程施作路段或排水不良路段，再進行細步易致災路段劃分，以確立易致災路段之區位與災害類型，後續再進行降雨誘發因子分析，並建立各易致災路段之警戒基準。

2.11 山區道路邊坡整治工法

在山區道路邊坡整治工法相關研究方面，吳淵洵、周南山(2006)指出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。對於棄土與回填料之處理，文中亦建議以拌製控制性低強度材料之方式，解決棄土無處傾倒，回填土品質難以控制之困境。

邊坡災害防治措施一般可分為抑制工及抑止工兩大類，依據日本經驗，當邊坡滑動速度在1mm/日以上時，先行以抑制工處理，若是滑動情形無法緩解時則以抑止工進行整治。其基本原則分為三方向，分別為避開、降低下滑力、提高抗滑力等（何泰源等，2000）。

1. 避開

對規模較大、造成災害較嚴重者最好能避開。若無法避開，則可考慮移除不會向上及兩側發展之不穩定之小滑動體土方，但僅限於土方量不太大之情況。

2. 降低下滑力

滑動體之下滑力主要是以重力為主，理論上即減輕滑動體之重量；主要方法包括削坡減重、台階式邊坡、減少開挖深度、避免地表堆積載重、地表及地下排水與輕質材料充填等。例如 EPS 工法、地下排水工法等。

3. 提高抗滑力

穩定邊坡提高抗滑力是從外部給予助力設置擋土結構，或增強其內部抗剪強度；例如抗滑樁、土釘工法、鋼製格框式擋土牆工法等。

2.12 降雨警戒基準相關分析研究

在降雨警戒基準研究結果過去利用雨量站觀測經數值內插方法求取某未知點位雨量估計值，此取決於降雨資料的平滑度與雨量站密度，當降雨在空間上有不均勻分佈的情形發生時，會造成較大的估計誤差。中央氣象局於 2001 年完成台灣全島雷達網的建立，並建置劇烈天氣監

測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS)，能提供台灣全島之降雨強度、移動性與劇烈降雨系統，時間解析度為 10 分鐘，空間解析度為 1.25 公里*1.25 公里。因降雨資料具備空間連續性，因此逐漸成為雨量警戒基準研究之主要資料來源。王安翔（2009）對於雷達估計降雨在山區的估計結果進行分析，結果顯示雷達估計降雨之估計誤差隨測站海拔高度增加而增大。因此後續許多研究則針對雷達估計降雨之提出不同之修正方法，林聖琪等人(2010)於研究坡地災害警戒模型之雨量來源，除傳統雨量站內插分析雨量分布之外，另利用雷達-雨量站整合方式之降雨量，進行災害雨量門檻值判定。(圖 2.11)

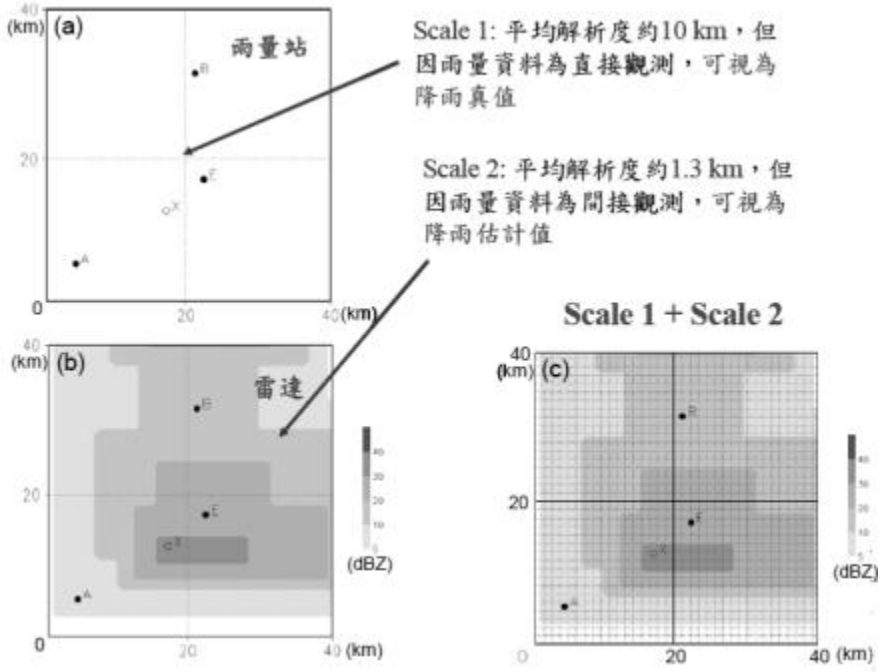


圖 2.11 雷達-雨量站降雨整合技術之概念示意圖

資料來源：林聖琪等人(2010)

而交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)於 2011 年之計畫「河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究」中以雷達降雨預報資料為基礎，採支撐向量機迴歸法與 Kriging 空間誤差修正法估算各地區雨量分布，利用地面雨量站與雷達估計降雨誤差值進行克利金的內插，產生一個空間誤差分布，使用原始雷達估計降雨加上此誤差值來修正雷達估計降雨量，如此可掌握雨量的空間變化特性。

前人研究主要透過前期降雨、最大降雨強度與有效累積雨量進行降雨警戒值律定，在山區道路之降雨基準研究方面，蔡明君(2008)蒐集1996 年至 2007 年間公路邊坡坍方之雨量資料，訂出未發生崩塌與發生崩塌時降雨基準參數之上、下限值。以尋求颱風暴雨及山區豪雨時觸發邊坡崩塌之預警管理值(圖 2.12)。研究結果顯示在不同降雨特性下，邊坡崩塌時雨場的累積降雨量及降雨強度，以及崩塌前先期累積雨量，為影響邊坡崩壞預警值的重要參數。

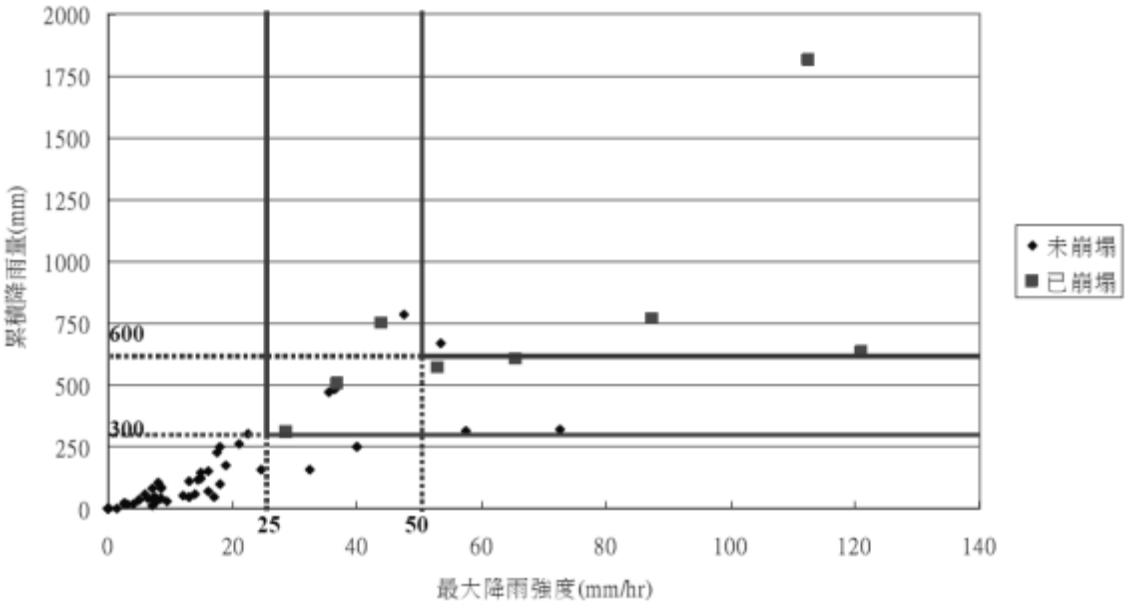


圖 2.12 山區道路邊坡崩塌與雨量關係圖

(紅色線為崩塌時降雨基參數之上、藍色線為下限值)

資料來源：蔡明君(2008)

陳韻如等人(2011)分析山區道路災害與總雨量以及最大時降雨量其相關性較高與有顯著相關，進而以此兩個因子進行邏輯式迴歸，建立道路崩塌潛感的機率模式。該研究利用 2001~2008 年期間的颱風事件造成全省道路災害的五十六場颱風事件進行分析(如圖 2.13，圖中的三條線則是分別表示 30%、50％及 80%道路崩塌發生的機率)。研究結果顯示以總雨量超過 300mm 為例，該道路發生崩塌的機率將高於 50％，但時雨量若高於 80mm/hr，總雨量大於 320mm ，其道路發生崩塌的機率將提高到 80%。未來颱風應變時，針對易致災山區道路時，可藉由此雨量門檻值作為發佈警戒道路之參考。

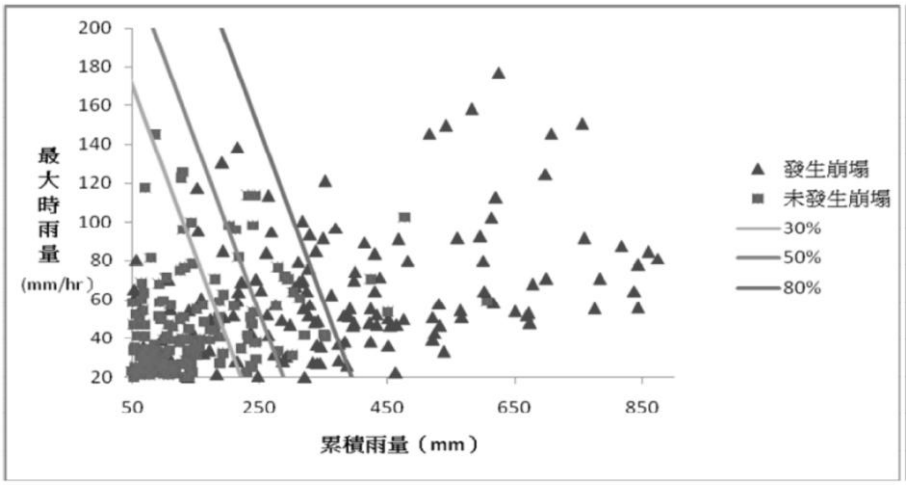
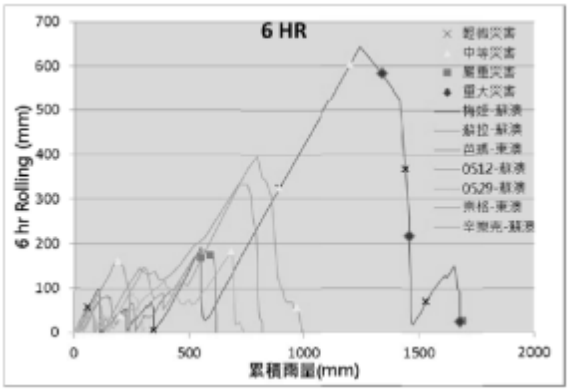


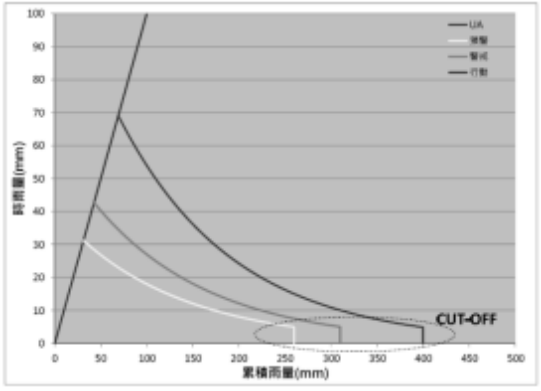
圖 2.13 道路崩塌雨量門檻值與不同崩塌潛感機率

資料來源：陳韻如等人(2011)

交通部公路總局於 102 年初完成之「山區道路因降雨致災之風險管理研究」計畫中提出利用降雨歷線與雙指標軌跡曲線方法，作為災害管控機制研擬之參考。以台 7 線、台 9 線蘇花段、台 9 線南迴段及台 18 線，97~101 年事件公路總局交通阻斷資料進行氣象局雨量站雨量資料分析，並以徐昇法(Thiessen's)進行區域雨量推估，選定累積雨量、滾動式降雨強度(3R、6R、12R、24R)為降雨參數(圖 2.14.a)，進行降雨基準分析，並獲致各路段之臨界致災曲線(圖 2.14.b)。



(a) 交通阻斷之累積雨量與滾動式降雨強度圖



(b) 臨界致災曲線圖

圖 2.14 降雨參數與臨界致災曲線圖

資料來源：山區道路因降雨致災之風險管理研究(2013)

2.13 山區道路災害潛感評估

山區道路災害潛感評估以往前人研究主要針對崩塌為對象進行評估。有關崩塌潛感(Landslide Hazard)之定義，Varnes (1984)及 Guzzettiet al.(1999)對於崩塌潛感之定義為「某地區於特定時間及規模之下，崩塌發生之可能性」。

美國地質調查所(USGS)在2000 年所出版的National Landslide Hazards Mitigation Strategy 中指出，崩塌潛感圖是建構機率式崩塌危害度圖及進行風險評估時不可或缺的基礎資料。Toshiyuki Kurahashi (2008) 分析日本1990~2004年期間1,310 個公路崩塌災害點，發現約有90%的崩塌災害是因為降雨造成的，且80%是表層破壞造成的崩塌。吳從龍(2009)藉由問卷調查方式得知地震及颱風豪雨來襲時對山區道路邊坡破壞最大，其次則是道路開闢的影響。

過去國內許多研究針對特定區域土石流與邊坡崩塌，多是由崩壞資料與其對應的雨量資料建立臨界降雨模式，藉以獲得導致崩塌破壞壞的降雨特性，進一步分析其與未發生崩壞的降雨之間的差異，分析的雨量因子分別有臨前降雨、降雨強度、降雨延時、24 小時雨量及累積雨量等。

蘇吉立等人（2008）分別對台18、台21、台8、台16 和台9 線等山區道路研擬道路邊坡崩塌判定和預警基準值，並建立區域性之道路邊坡崩塌機率之評估模式，以及建立預估崩塌土方量和降雨引致邊坡崩塌時間之預測模式。

2.14 山區道路風險分析

在山區道路災害潛感評估的相關研究方面，陳韻如等人(2011)以Kendall 等級相關性統計分析方法，評估降雨因子造成道路邊坡崩塌災害的相互間關係，得知山區道路災害與總雨量以及最大時降雨量其相

關性較高與有顯著相關，進而以此兩個因子進行邏輯式迴歸，建立道路崩塌潛感的機率模式。

在山區道路的風險評估主要以崩塌的風險分析為主，李維峰等人(2010)，蒐集歷史崩塌資料結合現地調查，搭配山區道路沿線自然環境地文水文資訊，利用邏輯司法進行風險分析，並以台14線為例，建立可供公部門參考之簡易評估模式。

鄭明淵(2005~2006)進行道路邊坡崩塌潛感分析及災損風險評估研究，以(1)生命損失風險評估模式；(2)交通運輸損失風險評估模式，評估每年道路邊坡崩塌之生命損失風險及交通運輸損失風險值，並對各道路邊坡案例進行風險評等。

2.15 監測預警管制

在道路邊坡之監測預警部分，目前國內所採用之道路邊坡監測系統(儀器)種類繁多，依據逢甲大學執行山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發計畫中，建議應針對邊坡之可能破壞模式及風險性之不同進行分級，對於風險性較低或較穩定之邊坡，可選擇簡易及較經濟之監測系統加以監測，對於風險性較高或較不穩定之邊坡，則需選擇較完整之監測系統，以期能充份掌握邊坡之整體行為，並將各種監測儀器作一經濟評析，使儀器效能及風險損失降至最低。各監測儀器說明彙整如表2-21所示。

黃安斌等人(2002)認為道路邊坡之安全監測涉及三個環節：(1)確保安全監測所得之物理量為合宜之參考物理量；(2)妥善進行監測所得物理量之詮釋；與(3)訂定合宜之預警基準應用於管理層次。結合參考物理量、物理量之詮釋及預警基準，道路防災管理方能落實。邊坡之安全監測常包括變形與水壓等物理量之量測，傳統監測之方法，需人工定時施測並擷取資料，效率與經濟效益不彰。近年來自動化監測系統逐漸受到重視，但自動化監測系統之價格昂貴、且儀器設備容易故障。該研究認為光纖感測(Fiber Optic Sensor, FOS)和時域反射法(Time

Domain Reflectometry, TDR)使用上孔(Up-hole)電子儀器，不容易故障且方便維修。因此該研究透過多點式的光纖光柵感測器配合應變管之原理進行自動化，長時間、連續性地層變形監測，其基本原理是將貼有光纖光柵之塑膠軟管放入地下傾斜管內或直接以灌漿的方式固定於地層內，做長期之監測而無須取出。而在TDR 監測技術方面，該研究則研發完成包括地層錯動、水位監測、線性伸張以及雨量計等之TDR監測儀器系統。

在監測資料之傳輸部份，李秉乾(2004)透過現地實測的結果，為能降低系統複雜度，各項感測單元的傳輸方式以TCP 為佳，盡量避免異質傳輸規格的整合，以減少系統不穩定性。而在相同的傳輸協定下，資訊傳輸介質可依地形需要進行不同的規劃，如RS485、TCP 或是802.11b 之方式。該研究亦指出山區道路邊坡監測系統在整體架構上，是以監測路段現地資料的接收及整合為主要目的，經由無線傳輸技術將監測資料傳回資料接收中心並儲存於資料庫。所有資料經過加值與整合成資訊，即可反應現地邊坡的狀況，若加上直覺式資訊呈現、簡易圖表瀏覽等方式進行監測現況了解，若監測數據達到警戒標準，應變小組人員如何進行防災準備處理,以及發生災害時要如何快速應變，因此緊急臨時通報系統的建置，是將預防災害及災害通報等作業進行整體性規劃，並運用網路技術及最新電腦語言技術能力，統合為具有即時應變能力的通報系統。

本研究之前期計畫研究認為，道路邊坡之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。如何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。

而在管制作為部分，陳進發(2011)指出公路單位為積極保全用路人，已納入風險管理概念，評估選出致災風險較大之山區公路及降雨因素作為重點監控路段及觀測指標，應用風險管理概念，降低人員罹災之機率。目前公路總局已律定山區公路汛期重點監控路段 64 處，重點監控橋梁 48 座。於防汛期間將依據「公路總局封橋封路標準業程序（SOP）」相關規定，參照新設定特徵雨量預警值、警戒值及行動值，執行汛期封橋封路作業。

表 2-21 監測預警儀器類型及適用範圍彙整表

儀器類型	型式	適用範圍
傾斜計	插入型	隧道或邊坡開挖變位觀測 大地工程變位觀測 邊坡監測
	定置型	結構物傾斜量測 橋樑傾斜量測 深開挖變位量測
水位計	電阻式	觀測地下水、河川、 取水井等水位觀測
雨量計	打點式	降雨量測
水壓計	電阻式	觀測地下水、河川、 取水井等水位觀測
	振弦式	可進行 24 小時全時監測，大地水位/水壓
管式應變計	電阻式	深開挖邊坡穩定監測
光纖管測(FOS)	光纖	地表或地層錯動監測
時域反射(TDR)	電磁波	地表或地層錯動監測
地滑計	電阻式	地表水平變位監測 邊坡穩定監測
沉陷計	電流感應式	基礎工程及堤岸監測 抽水或邊坡滑動所造成之沉陷監測地層水平或垂直位移監測
全球定位系統 GPS	略	地殼變動橋樑大型構造物監測
土壓計	電阻式	一般裝設於不同深度土層以量測總土壓及有效土壓力，以作為地下室施工過程中分析安全性之參考依據
土壓計	振弦式	結構物總壓監測各向壓力分部監測

儀器類型	型式	適用範圍
鋼筋計	電阻式	量測擋土設施或結構體主鋼筋之應力
地錨荷重計	電阻式	量測岩栓或預力鋼腱在隧道或檔土工開挖後因周圍岩石之鬆動所承受之總荷重 地錨系統 支撐系統
裂縫計	電位式	試樁變位量測 電子式伸縮儀變位裂縫量測 高精度要求之變位量測
擋土構造物內傾斜管	略	深開挖 邊坡穩定 大壩油槽試水 隧道基樁側向載重試驗
結構物傾度盤	略	深開挖 橋樑傾斜 檔土設施 結構傾斜
振動計	略	適用於一般環境及固定性振動發生源之振動測量
地聲檢知器	略	量測發生災害時其所產生地表振動之訊號

資料來源：李秉乾、許盈松、許懷後，2004，山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發

第三章 橋梁風險分析流程

3.1 現地調查結果

為驗證此研究前年度(第二年)所確立橋梁風險評估之可行性，研究團隊於此步驟將現地調查三座橋梁並進行細部評估分析，比對地震、載重、洪水沖刷維修機率評估結果，以修正既有維修機率預測模式。

首先選擇定期進行D.E.R.&U.且具完整檢測資料（含初步與詳細耐震能力評估）之橋梁。預計選定曾做過長期D.E.R.&U.檢測、曾做過耐震能力詳細評估以及沖刷潛勢危害重點橋梁為對象。最後舉辦專家座談會及養護工程處說明會各一場，針對現地調查結果與維修機率預測模式進行討論修正。

本研究團隊已於2013/5/29至港研中心開會確定調查對象待選清單，如表3-1所示。會議中邀請公路總局第二區工程處臺中工務段及苗栗工務段副段長給予實務建議，會議中兩位副段長提供轄區內主要監控橋梁與過去曾有結構耐震補強之橋梁清單。本團隊根據資料完整性、橋梁規模等特性，於2013/6/14至台61線大安溪、北勢大橋、頭屋大橋進行現地調查。調查結果分述如下:

表 3-1 檢測橋梁待選清單

編號	工程處	工務段	橋名	實務問題	橋梁跨距	跨越河川	歷年最低CI/SSI	海岸距離(Km)	平均每日車流量	海岸距離
1	2	臺中	台61中彰大橋	漲退潮問題	36.7+40+36.7+57@39.9+2@27.7+100.6+125+100.9(2742M)	烏溪	89/90	2	9777	三公里內
3	2	臺中	台61大甲溪橋	耐震補強	47@35(1645M)	大甲溪	90/93	1.63	8455	
4	2	臺中	台61大安溪橋	耐震補強	28@35(980M)	大安溪	91/94	1.7	5017	
2	2	臺中	台1大甲溪橋	-	33@40	大甲溪	88/91	5.2	12618	三公里以上
5	2	苗栗	北勢大橋	耐震、耐洪、DERU	1@28.7M+7@43M+1@20.6M(393.3M)	後龍溪	82/83	7.8	7312	
6	2	苗栗	頭屋大橋	補強	13@30M	後龍溪	86/86	11	4248	

3.1.1 頭屋大橋

3.1.1.1 基本資料

頭屋大橋位於苗栗縣頭屋鄉台13 線省道，為跨越河之鋼筋混凝土橋梁，橋梁總長390公尺、最大淨寬53.9公尺，共13跨，橋墩為4列，橋墩排列方向與水流方向夾一角度約5度，如圖3.1頭屋大橋衛星影像圖所示。結構型式為鋼筋混凝土U型簡支梁，橋面板材質同樣為鋼筋混凝土，下部結構則採單柱式橋墩及沉箱基礎，橋台為重力式。民國77年5月興建完成，其後經歷多次改建，最後一次係於民國86年完成，共為4車道，詳細基本資料參照表3-2。

表 3-2 頭屋大橋基本資料

橋名	頭屋大橋				
橋頭里程	25K+950M	路線	臺 13 線	跨越河川	後龍溪
橋梁總長	390M	最大淨寬	53.9M	跨距分配	13@30m
竣工年月	77 年 5 月	計畫洪水位	EL35.21	設計河川高程	EL27.43
結構形式	梁式橋	橋台形式	重力式	橋台基礎形式	沉箱基礎
橋墩形式	單柱式	橋墩基礎形式	沉箱基礎	橋基保護工法	無



圖 3.1 頭屋大橋衛星影像圖(民國 97 年拍攝)

資料來源: 公路總局，2010[40]

3.1.1.2 現勘照片

現勘調查結果與各項紀錄說明如下所示。

	名稱	全景	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	頭屋大橋全景，由A2拍向A1		
	名稱	河道	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	D=2；E=1；R=1 有河道砂石堆積情形，不算嚴重。		
	名稱	引道護坡	拍照日期	2013/06/14
	位置	遠端橋台處	橋台/墩/孔編號	A2橋台
	照片說明	D=2；E=2；R=1 護坡的中間處，有條裂縫。		
	名稱	面層	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 路面平整，無缺陷。		
	名稱	欄杆及護牆	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 欄杆護牆全段皆無較明顯之缺損。		

<table>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>橋墩基礎</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>P7 橋墩右側</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>P7</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=3；E=2；R=2
P7橋墩基礎沖刷較其他基礎嚴重。</td></tr>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>橋墩基礎</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>多數橋墩</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>P2~P6、P9</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=2；E=2；R=1
頭屋大橋多數橋墩基礎皆有沖刷問題。</td></tr>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>橋墩墩體/帽梁</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>多數橋墩</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>除P6、P7、P9外</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=1；E=1；R=1
橋墩全數皆以用鋼板包覆，帽梁也無太大問題</td></tr>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>橋墩墩體/帽梁</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>P6R帽梁下端</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>P6</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=2；E=1；R=1
鋼筋外露，但只有局部，所以影響不大</td></tr>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>橋墩墩體/帽梁</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>P7 兩邊帽梁下端</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>P7</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=2；E=1；R=1
鋼筋外露，但只有局部，所以影響不大</td></tr>
</table>

	名稱	橋墩墩體/帽梁	拍照日期	2013/06/14
	位置	P9R帽梁下端	橋台/墩/孔編號	P9
	照片說明	D=2；E=1；R=1 鋼筋外露，但只有局部，所以影響不大		
	名稱	主構件(大梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 外觀完整，無明顯裂縫發生		
	名稱	副構件(橫梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 外觀完整。		
	名稱	橋面板	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 無明顯缺陷，混凝土狀態佳。		

3.1.1.3 歷史資料

1.耐震能力分析評估

(1)結構型式

本橋梁上部結構為13跨之簡支預力I型梁(13@30m)，下部結構由單柱式圓形橋墩柱(直徑2.0m)組成，橋墩柱編號由西向東分別為A1、P1、P2、P3、P4，P5 、P6、P7、P8、P9、P10、P11、

P12、A2，柱高均為6.3m。下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800與2800kgf/cm^2。整座橋採用單一振動單元進行PUSHOVER 側推分析以評估其耐震能力。

(2)現有橋墩圍束鋼筋及橋墩主筋之校核

根據公路橋梁耐震設計規範（交通部97.11頒布及98.6修訂內容），並引用(公路總局，2010)[40]之結果我們可以知道本橋橋墩之圍束鋼筋不足。根據公路橋梁耐震設計規範（交通部97.11頒布）之規定，橋墩之主鋼筋比不得小於0.01，根據 (公路總局，2010)[40]計算結果主筋比大於1%，故通過。

(3)橋梁耐震能力詳細評估(PUSHOVER 側推分析)

本橋梁設計地震PGA=0.3648g，中度地震PGA=0.0985g。

依據竣工圖顯示本橋梁耐震設計採用民國76 年版之規範。

PUSHOVER 側推分析結果：

a. 行車方向

根據(公路總局，2010)性能目標PL3　　O.K.

根據(公路總局，2010)性能目標PL1　　N.G.

b. 垂直行車方向

根據(公路總局，2010)性能目標PL3　　O.K.

根據(公路總局，2010)性能目標PL1　　N.G.

故本橋梁橋墩需進行耐震補強。

(4)防落橋長度檢核

橋梁縱向防落橋長度

N=50+0.25L+1.0H =50+0.25×30+1.0×6.3=63.8cm

竣工圖上顯示防落橋長度=100－5.0=95cm

故總防落橋長度=95.0cm > 63.8cm　　O.K.

(5)橋墩帽梁上混凝土止震塊之檢核

根據(公路總局，2010)之計算結果為通過。

(6)橋墩基礎檢核

本橋梁橋墩採用沉箱基礎，經檢核沉箱基礎P5至P8(沈箱深度8m)已無法抵抗橋墩底Mp產生之荷載，其他沉箱基礎(除A1外，深度均為12m)可抵抗橋墩底Mp 產生之荷載。

(7)結論

本橋經整體耐震能力詳細分析評估結果詳見表3-3和表3-4，需補強項目包括：P1~P12 橋墩鋼鈑包覆補強。

經估算上述耐震補強工程費用約新台幣2,147 萬元，新建同型橋梁造價(含舊橋拆除費用)新台幣1億7,550 萬元之12%，故建議原橋進行耐震補強。

表 3-3 頭屋大橋耐震評估結果統計表

橋梁名稱	頭屋大橋				
設計地震(PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g	中度地震(PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g
0.3648	0.2080	0.2210	0.0985	0.1230	0.126
橋梁評估結果	N.G		耐震補強建議	橋墩鋼板包覆	

表 3-4 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數

橋梁名稱	頭屋大橋				
行車方向			重直行車方向		
主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數	主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數
15	0.574	0.76	17	0.522	0.35

(公路總局，2010)

2.設計圖

頭屋大橋橋墩之竣工圖，請參考圖3.2、圖3.3。

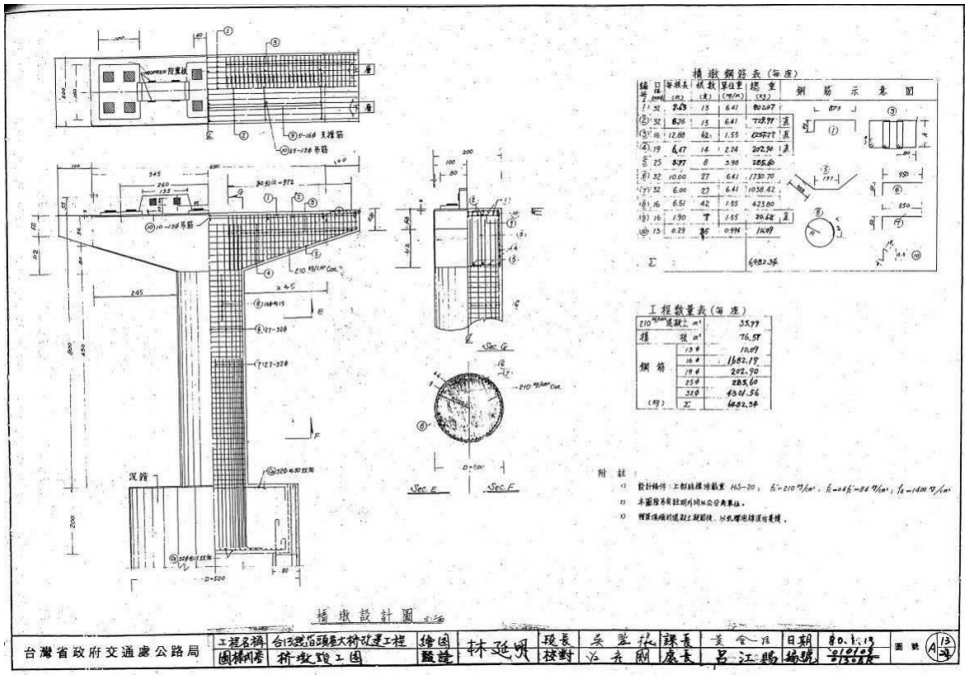


圖 3.2 頭屋大橋橋墩竣工圖(1/2)

資料來源：交通部公路總局

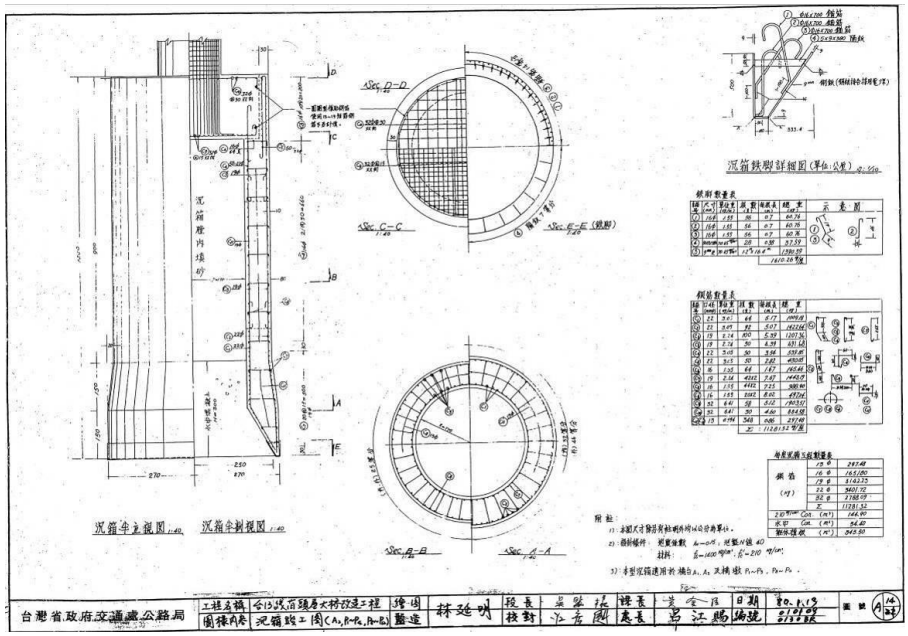


圖3.3 頭屋大橋橋墩竣工圖(2/2)

資料來源：交通部公路總局

3.資料庫D.E.R.&U.評估

以下為先前所作之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-5，下部結構評估詳見表3-6，評估指標詳見表3-7。

表 3-5 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎	0			9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台	1			10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	1	1	7.翼牆/擋土牆	1			11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	0			8.面層	1			21.其他	1		

表 3-6 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12.橋墩/保護措施			13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16 防震措施			17.伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
A1	0			0			0			1			1			1		
A2	0			0			0			1			1			1		
P1	0				0		1			1			1			0		
P2	0				0		1			1			1			0		
P3	0			1			1			1			1			0		
P4	0			1			1			1			1			1		
P5	0			1			1			1			1			0		
P6	0			1			1			1			1			0		
P7	0			1			1			1			1			1		
P8	0			1			1			1			1			0		
P9	0				0		1			1			1			0		
P10	0				0		1			1			1			1		
P11	0			3	2	2	1			1				0		0		
P12	0				0		1			1				0		0		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S3	1			1			1		

表 3-7 評估指標

CI	100	新 CI	99.55	規範 PI	100
PI	100	新 PI	99.55	SSI 沖刷指標	99

4.現勘結果

以下為民國102年6月14號執行之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-8，下部結構評估詳見表3-9，評估指標詳見表3-10。

表 3-8 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎		0		9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台	1			10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	1	1	7.翼牆/擋土牆	1			11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	2/0	2/0	1/0	8.面層	1			21.其他	1		

表 3-9 下部結構 DER&U 評估

12.橋墩/保護措施	13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16 防震措施			17.伸縮縫					
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
P1R	0				0			0			0			0		1		
P1L	0				0			0			0			0		1		
P2R	0			2	2	1		0			0			0		1		
P2L	0			2	2	1		0			0			0		1		
P3R	0			2	2	1		0			0			0		1		
P3L	0			2	2	1		0			0			0		1		
P4R	0			2	2	1		0			0			0		1		
P4L	0			3	2	1		0			0			0		1		
P5R	0			2	2	1	1				0			0		1		
P5L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P6R	0			2	2	1	2	1	1		0			0		1		
P6L	0			1			1				0			0		1		
P7R	0			3	2	2	2	1	1		0			0		1		
P7L	0			1			2	1	1		0			0		1		
P8R	0			1			1				0			0		1		
P8L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P9R	0			1			2	1	1		0			0		1		
P9L	0			1			1				0			0		1		
P10R	0			1			1				0			0		1		
P10L	0			1			1				0			0		1		
P11R	0			1			1				0			0		1		
P11L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P12R	0				1		1				0			0		1		
P12L	0				1		1				0			0		1		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S13	1			1			1		

表 3-10 評估指標

檢測方法 / 類別	TBMS 資料庫結果	現地勘查結果	第二年度預測模式結果
CI	100	98.881	99.45(標準差 0.1052)
SSI	99	98.619	98.407(標準差 1.0922)

3.1.2 北勢大橋

3.1.2.1 基本資料

北勢大橋位於苗栗縣後龍鄉台13甲線省道，為跨越河之鋼筋混凝土橋梁，橋梁總長393.3公尺、最大淨寬18.5公尺，共10跨，橋墩為2列，橋墩排列方向與水流方向夾一角度約10度，如圖3.4北勢大橋衛星影像圖所示。結構型式為鋼筋混凝土I型簡支梁，橋面板材質同樣為鋼筋混凝土，下部結構則採單柱式(壁式)橋墩及沉箱基礎，橋台為懸臂式。民國66年8月興建完成，於民國86年9月開始進行拓寬，民國90年11月完工通車，共為4車道，詳細基本資料參照表3-11。

表 3-11 北勢大橋基本資料

橋名	北勢大橋				
橋頭里程	13K+500M	路線	臺 13 甲線	跨越河川	後龍溪
橋梁總長	393.3M	最大淨寬	18.5M	跨距分配	8@43m，2@28.7m
竣工年月	66 年 8 月	計畫洪水位	EL20.36	設計河川高程	EL14.8
結構形式	梁式橋	橋台形式	懸臂式	橋台基礎形式	直接基礎
橋墩形式	單柱式(臂式)	橋墩基礎形式	沉箱基礎	橋基保護工法	無

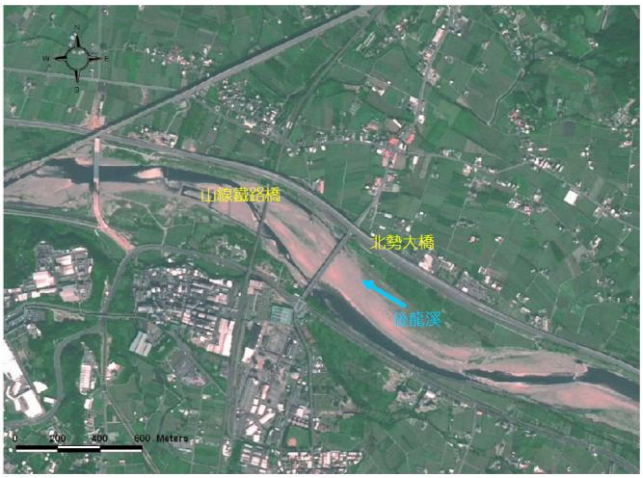


圖 3.4 北勢大橋衛星影像圖(民國 97 年拍攝)

參考文獻: 公路總局，2011b[35]

3.1.2.2 現勘照片

現勘調查結果與各項紀錄說明如下所示。

	名稱	全景	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	北勢大橋全景，由上游方向往下游方向拍攝。		
	名稱	河道	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	D=2；E=2；R=1 輕微砂石淤積。		
	名稱	面層	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 路面平整，無明顯缺損。		
	名稱	欄杆及護牆	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 欄杆護牆全段皆無明顯之缺損。		
	名稱	橋墩基礎	拍照日期	2013/06/14
	位置	全數右側橋墩	橋台/墩/孔編號	P1~P11
	照片說明	D=2；E=2；R=2 橋墩左右結構形式不同，右側橋墩基礎全部都有沖刷問題，沖刷深度約為1~2公尺。		

<table>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>橋墩墩體/帽梁</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>全數橋墩</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>P1~P11</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=1；E=1；R=1
外觀良好。</td></tr>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>主構件(大梁)</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>整體</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>全部</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=1；E=1；R=1
整體外觀完好。</td></tr>
<tr><td rowspan="3">  </td><td>名稱</td><td>副構件(橫梁)</td><td>拍照日期</td><td>2013/06/14</td></tr>
<tr><td>位置</td><td>整體</td><td>橋台/墩/孔編號</td><td>全部</td></tr>
<tr><td>照片說明</td><td colspan="3">D=1；E=1；R=1
無明顯損壞。</td></tr>
</table>

3.1.2.3 歷史資料

1.耐震能力分析評估

(1)結構型式

本橋梁拓寬新橋上部結構為10跨之簡支預力I型梁(8@43m+2@28.7m)，下部結構由單柱式長圓形橋墩柱(4.9m x直徑2.4m)組成，橋墩柱編號由北向南為P1~P9，柱高為11.5m。下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800 與2800kgf/cm^2。整座新橋取P6至P8橋墩為振動單元進行PUSHOVER 側推分析以評估其耐震能力。

舊橋上部結構亦為10跨之簡支預力I型梁(9@43m+20.6m)，

下部結構由單柱式長圓形橋墩柱(2.0m x直徑2.4m)組成，橋墩柱編號由北向南為P1~P9，柱高為9.5m。下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800與2800kgf/cm^2。整座舊橋取P3至P6橋墩為振動單元進行PUSHOVER 側推分析以評估其耐震能力。

(2)有橋墩圍束鋼筋及橋墩主筋之校核

根據公路橋梁耐震設計規範（交通部97.11 頒布及98.6 修訂內容），依據資料(公路總局，2011b)[38]判定舊橋橋墩之圍束鋼筋不足；拓寬新橋橋墩之圍束鋼筋不足。根據公路橋梁耐震設計規範（交通部97.11 頒布）之規定，橋墩之主鋼筋比不得小於0.01。

a.舊橋橋墩主鋼筋：

依據文獻(公路總局，2011b)[38]計算主筋比小於1%，故不通過。

b.拓寬新橋橋墩主鋼筋：

依據文獻(公路總局，2011b)[38]計算主筋比小於1%，故不通過。

(3)橋梁耐震能力詳細評估(PUSHOVER 側推分析)

本橋梁設計地震PGA=0.3648g，中度地震PGA=0.0985g。

依據竣工圖顯示本橋梁舊橋耐震設計採用民國49 年版之規範，拓寬部分採用民國76 年版之規範。

PUSHOVER 側推分析結果：

舊橋:

a. 行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3 O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL1 O.K.

b. 垂直行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3　　O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL1　　O.K.

拓寬新橋:

a. 行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3　　O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL1　　O.K.

b. 垂直行車方向

根據(公路總局，2011b)性能目標PL3　　O.K.

根據(公路總局，2011b)性能目標PL　　O.K.

故本橋梁橋墩不需進行耐震補強。

(4)防落橋長度檢核

橋梁縱向防落橋長度:

舊橋:

N=50+0.25L+1.0H=50+0.25×128.0+1.0×9.5=91.5cm

竣工圖上顯示防落橋長度=100－2.5=97.5cm

故總防落橋長度=97.5cm > 91.5cm　　O.K.

拓寬新橋:

N=50+0.25L+1.0H=50+0.25×43.0+1.0×11.5=72.25cm

竣工圖上顯示防落橋長度=120－5=115cm

故總防落橋長度=115cm > 72.25cm　　O.K.

(5)橋墩帽梁上混凝土止震塊之檢核

舊橋：根據公路總局評估資料(公路總局，2011b)之計算結果為通過。拓寬新橋：根據公路總局評估資料(公路總局，2011b)之計算結果為通過。

(6)橋墩基礎檢核

本橋梁舊橋的橋墩採用沉箱基礎，經檢核沉箱基礎可抵抗橋墩底Mp產生之荷載；拓寬新橋部分的橋墩採用場鑄樁基礎，經檢核樁基礎可抵抗橋墩底Mp產生之荷載。

(7)結論

本橋經整體耐震能力詳細分析評估結果詳見表3-12和表3-13，需補強項目包括：舊橋止震塊補強。經估算上述耐震補強工程費用約新台幣418萬元，約新建同型橋梁造價新台幣9,180 萬元之5%，建議原橋進行耐震補強。

表 3-12 北勢大橋耐震評估結果統計表

橋梁名稱	北勢大橋(舊)				
設計地震(PGA),g	行車方向性能目標PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標PL1(PGA),g	中度地震(PGA),g	行車方向性能目標PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標PL1(PGA),g
0.3648	0.5360	0.4630	0.0985	0.1270	0.1840
橋梁評估結果	O.K.		耐震補強建議	舊橋止震塊補強	
橋梁名稱	北勢大橋(新)				
設計地震(PGA),g	行車方向性能目標PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標PL1(PGA),g	中度地震(PGA),g	行車方向性能目標PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標PL1(PGA),g
0.3648	0.696	0.5690	0.0985	0.1800	0.2220
橋梁評估結果	O.K.		耐震補強建議	不需補強	

表 3-13 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數

橋梁名稱	北勢大橋				
行車方向			重直行車方向		
主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數	主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數
1	1.050	0.800	2	0.860	0.780

資料來源：公路總局，2011b[38]

2.設計圖

北勢大橋橋墩之竣工圖與縱剖面圖，請參考圖3.5至圖3.7。

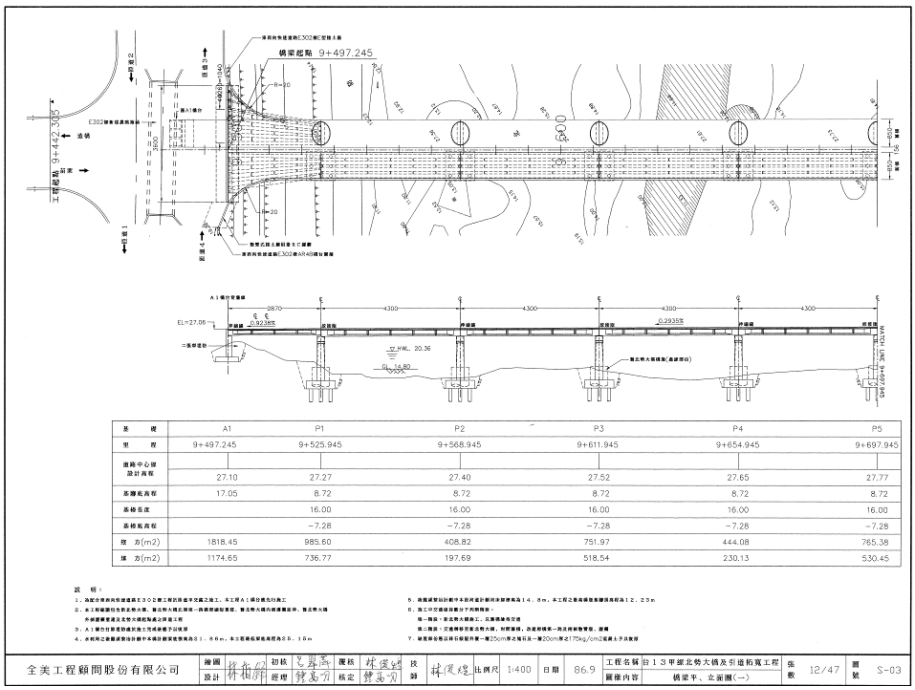


圖3.5 北勢大橋縱剖面圖

資料來源：交通部公路總局

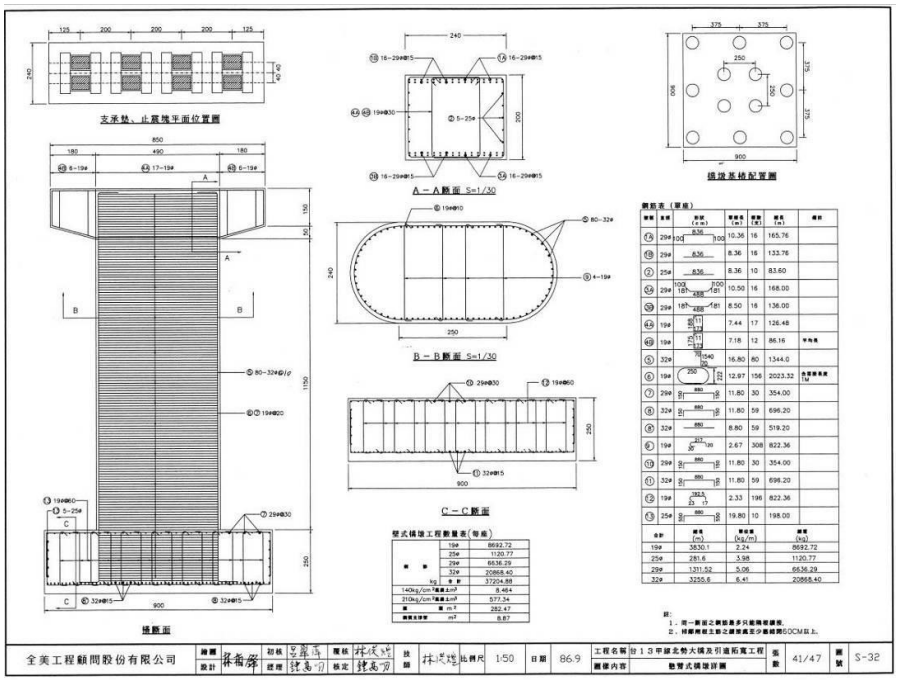


圖3.6 北勢大橋橋墩竣工圖(1/2)

資料來源：交通部公路總局

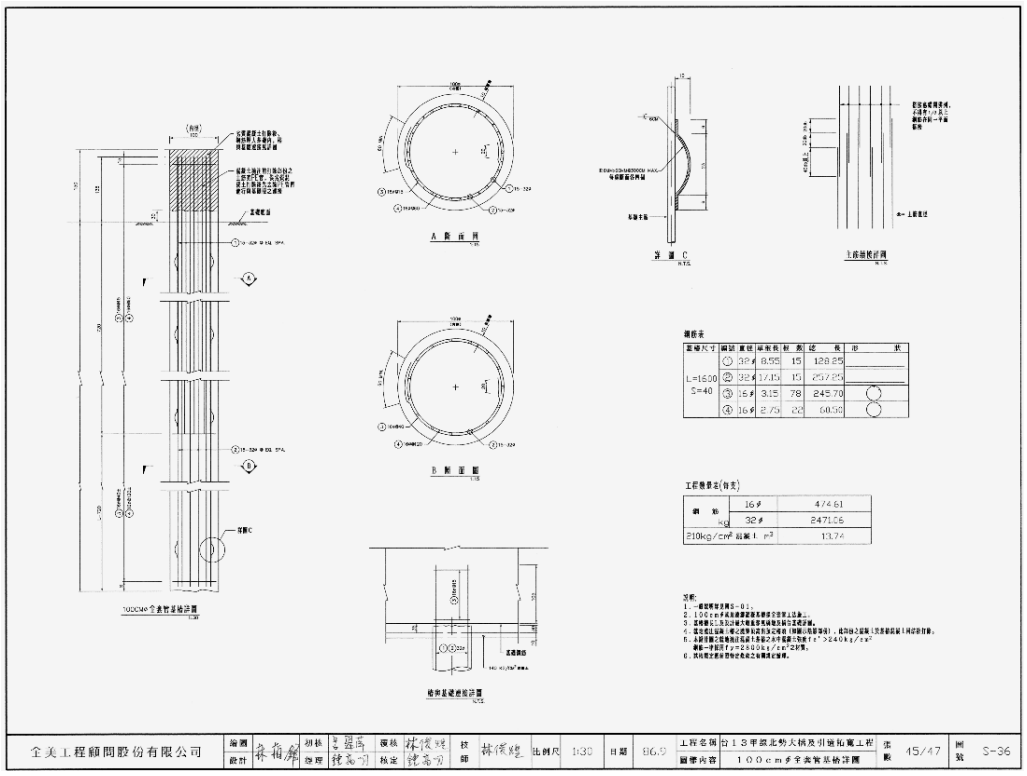


圖3.7 北勢大橋橋墩竣工圖(2/2)

資料來源：交通部公路總局

3.資料庫 D.E.R.&U.評估

以下為先前所作之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-14，下部結構評估詳見表3-15，評估指標詳見表3-16。

表 3-14 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎		0		9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台	1			10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	2	2	7.翼牆/擋土牆	1			11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	0			8.面層	2	2	2	21.其他	1		

表 3-15 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12. 橋墩/保護措施			13. 橋墩基礎			14. 橋墩墩體/帽梁			15. 支承/支承墊			16 防震措施			17. 伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
A1	0			0			0			1			1			1		
A2	0			0			0			1			1			1		
P1	0				0		1			1			1			0		
P2	0			2	2	2	1			1			1			1		
P3	0			2	2	2	1			1			1			0		
P4	0			2	2	2	1			1			1			1		
P5	0			2	2	2	1			1			1			0		
P6	0			2	2	2	1			1			1			1		
P7	0			2	2	2	1			1			1			0		
P8	0			2	2	2	1			1			1			1		
P9	0			2	2	2	1			1			1			0		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S10	1			1			1		

表 3-16 評估指標

CI	97	新 CI	97.37	規範 PI	98
PI	97	新 PI	97.37	沖刷指標	96

4.現勘結果

以下為民國102年6月14號執行之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-17，下部結構評估詳見表3-18，評估指標詳見表3-19。

表 3-17 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎		0		9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台		0		10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	2	2	7.翼牆/擋土牆		0		11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	0			8.面層	1			21.其他	1		

表 3-18 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12.橋墩/保護措施			13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16 防震措施			17.伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
P1R	0			1			1				0			0		1		
P1L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P2R	0			1			1				0			0		1		
P2L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P3R	0			1			1				0			0		1		
P3L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P4R	0			1			1				0			0		1		
P4L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P5R	0			1			1				0			0		1		
P5L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P6R	0			1			1				0			0		1		
P6L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P7R	0			1			1				0			0		1		
P7L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P8R	0			1			1				0			0		1		
P8L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P9R	0			1			1				0			0		1		
P9L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P10R	0			1			1				0			0		1		
P10L	0			2	2	1	1				0			0		1		
P11R	0			1			1				0			0		1		
P11L	0			2	2	1	1				0			0		1		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S10	1			1			1		

表 3-19 評估指標

CI	99.237	新 CI	98.777	規範 PI	99.583
PI	99.237	新 PI	98.777	沖刷指標	98.537

3.1.3 台61線大安溪橋(WH37)

3.1.3.1 基本資料

大安溪橋位於臺中市大甲區台61線西濱快速道路上，為跨越河之鋼筋混凝土橋梁，橋梁總長980公尺、最大淨寬38公尺，共28跨，結構型式為鋼筋混凝土I型簡支梁，橋面板材質同樣為鋼筋混凝土，下部結構則採用牆式橋墩及沉箱基礎，橋台為懸臂式。民國83年5月興建完成，共為6車道，其資料如表3-20。

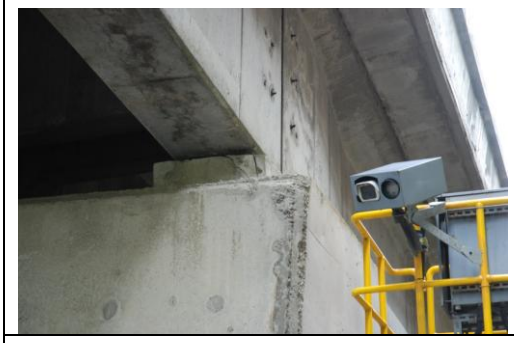
表 3-20 大安溪橋(WH37)基本資料

橋名	大安溪橋(WH37)				
橋頭里程	134K+950M	路線	臺 61 線	跨越河川	大安溪
橋梁總長	980M	最大淨寬	38M	跨距分配	28@35m
竣工年月	83 年 5 月	計畫洪水位	EL14.5	設計河川高程	EL10.78
結構形式	梁式橋	橋台形式	懸臂式	橋台基礎形式	沉箱基礎
橋墩形式	牆式	橋墩基礎形式	沉箱基礎	橋基保護工法	無

3.1.3.2 現勘照片

	名稱	全景	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	大安溪橋全景，拍攝方向由A1拍向A2，此面為橋梁左側。		
	名稱	河道	拍照日期	2013/06/14
	位置		橋台/墩/孔編號	
	照片說明	D=2；E=1；R=1 輕微砂石淤積。		

	名稱	面層	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 路面平整。		
	名稱	欄杆及護牆	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 欄杆護牆全段皆無較明顯之缺損。		
	名稱	橋墩保護措施	拍照日期	2013/06/14
	位置	P3L	橋台/墩/孔編號	P3
	照片說明	D=2；E=1；R=1 防撞鋼版有一小角的損壞。		
	名稱	橋墩保護措施	拍照日期	2013/06/14
	位置	P9L	橋台/墩/孔編號	P9
	照片說明	D=4；E=4；R=1 防撞鋼版遺失。		
	名稱	橋墩保護措施	拍照日期	2013/06/14
	位置	P9L	橋台/墩/孔編號	P9
	照片說明	D=2；E=1；R=1 帽梁鋼筋外露。		

	名稱	支承墊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P1L	橋台/墩/孔編號	P1
	照片說明	D=2；E=2；R=1 支承外的混凝土碎裂，橡膠墊變形。		
	名稱	支承墊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P2L	橋台/墩/孔編號	P2
	照片說明	D=2；E=2；R=1 支承外的混凝土有裂痕。		
	名稱	支承墊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P2L	橋台/墩/孔編號	P2
	照片說明	D=2；E=2；R=1 支承外的混凝土碎裂。		
	名稱	止震塊	拍照日期	2013/06/14
	位置	P4L	橋台/墩/孔編號	P4
	照片說明	D=4；E=3；R=1 止震塊完全損毀。		
	名稱	主構件(大梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 外觀良好。		

	名稱	副構件(橫梁)	拍照日期	2013/06/14
	位置	整體	橋台/墩/孔編號	全部
	照片說明	D=1；E=1；R=1 無明顯缺損。		

3.1.3.3 歷史資料

1.耐震能力分析評估

(1)結構型式

本橋梁上部結構為28 跨之簡支預力I 型梁(28@38m)，下部結構由長圓形橋墩(9.0mx2.5m)組成，橋墩編號由北向南分別為A1、P1~P27、A2，高度約為8.7 m。

下部結構之混凝土、主筋與箍筋/繫筋強度分別為210、2800與2800kgf/cm2。整座橋橋墩結構模式均相同，故以橋面伸縮縫為分隔，取P21~P24 橋墩振動單元進行PUSHOVER 側推分析以評估其耐震能力。

(2)現有橋墩圍束鋼筋及橋墩主筋之校核

根據公路橋梁耐震設計規範（交通部97.11頒布及98.6修訂內容），並引用公路總局評估資料(公路總局，2011b)[38]之計算結果，可判定本橋橋墩之圍束鋼筋不足。

根據公路橋梁耐震設計規範（交通部97.11頒布）之規定，橋墩之主鋼筋比不得小於0.01。依據公路總局評估資料(公路總局，2011b) [38]之計算結果本橋梁主筋比小於1%，故不通過。

(3)橋梁耐震能力詳細評估(PUSHOVER 側推分析)

本橋梁設計地震PGA=0.3192g，中度地震PGA=0.0862g。依據竣工圖顯示本橋梁耐震設計採用民國76年版之規範。

PUSHOVER 側推分析結果：

a. 行車方向

依據(公路總局，2011b)性能目標PL3　　O.K.

依據(公路總局，2011b)性能目標PL1　　O.K.

b. 垂直行車方向

依據(公路總局，2011b)性能目標PL3　　O.K.

依據(公路總局，2011b)性能目標PL1　　O.K.

故本橋梁橋墩不需進行耐震補強。

(4)防落橋長度檢核

橋梁縱向防落橋長度。

N=50+0.25L+1.0H=50+0.25×35.0+1.0×8.7=67.45cm。

竣工圖上顯示防落橋長度=125－5=120cm > 67.45cm　　O.K. 。

(5)橋墩帽梁上混凝土止震塊之檢核

每一橋墩設置1個止震塊，依據(公路總局，2011b) [38]所得結果為不通過。

(6)橋墩基礎檢核

本橋梁橋墩採用沉箱基礎，經檢核沉箱基礎可抵抗橋墩底 Mp 產生之荷載。

(7)結論

本橋經整體耐震能力詳細分析評估結果詳見表3-21和表3-22，需補強項目包括：增設止震塊補強。經估算上述耐震補強工程總經費約新台幣2,545 萬元，約為新建同型橋梁造價新台幣11 億1,720 萬元之2%，故建議以原橋梁耐震補強。

表 3-21 大安溪橋(WH37)耐震評估結果統計表

橋梁名稱	大安溪橋(WH37) (舊)				
設計地震(PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g	中度地震(PGA),g	行車方向性能目標 PL1(PGA),g	重直行車方向性能目標 PL1(PGA),g
0.3192	0.3560	0.8680	0.0862	0.1090	0.7960
橋梁評估結果	O.K.		耐震補強建議	止震塊補強	

表 3-22 橋梁主控模態、震動週期及質量參與係數

橋梁名稱	大安溪橋(WH37)				
行車方向			重直行車方向		
主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數	主控模態	震動週期(秒)	質量參與係數
2	0.490	0.770	11	0.300	0.660

資料來源:公路總局，2011b[38]

2.資料庫D.E.R.&U.評估

以下為先前所作之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-23，下部結構評估詳見表3-24，評估指標詳見表3-25。

表 3-23 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1. 引道路堤	1			5. 橋台基礎	0			9. 橋面排水設施	1		
2. 引道護欄	1			6. 橋台	0			10. 緣石及人行道	0		
3. 河道	1			7. 翼牆/擋土牆	1			11. 欄杆及護牆	1		
4. 引道護坡	0			8. 面層	1			21. 其他	1		

表 3-24 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12.橋墩/保護措施			13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16 防震措施			17.伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
	1			0			2	2	2	1			1			1		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S3	1			1			1		

表 3-25 評估指標

CI	98.987	新 CI	99.55	規範 PI	99.482
PI	98.984	新 PI	99.55	沖刷指標	97.712

3.現勘結果

以下為民國102年6月14號執行之DER評分結果，上部結構評估詳見表3-26，下部結構評估詳見表3-27，評估指標詳見表3-28。

表 3-26 上部結構 DER&U 評估

檢測項目	評估值			檢測項目	評估值			檢測項目	評估值		
	D	E	R		D	E	R		D	E	R
1.引道路堤	1			5.橋台基礎		0		9.橋面排水設施	1		
2.引道護欄	1			6.橋台		0		10.緣石及人行道	0		
3.河道	2	1	1	7.翼牆/擋土牆		0		11.欄杆及護牆	1		
4.引道護坡	1			8.面層	1			21.其他	1		

表 3-27 下部結構 DER&U 評估(逐跨檢測)

橋墩編號	12.橋墩/保護措施			13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支承墊			16 防震措施			17.伸縮縫		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R
P1R	1			1			1			1			1			1		
P1L	1			1			1			2	2	1	1			1		
P2R	1			1			1			1			1			1		
P2L	1			1			1			2	2	1	1			1		
P3R	1			1			1			1			1			1		
P3L	1			1			1			1			1			1		
P4R	1			1			1			1			1			1		
P4L	1			1			1			1			4	3	1	1		
P5R	1			1			1			1			1			1		
P5L	1			1			1			1			1			1		
P6R	1			1			1			1			1			1		
P6L	1			1			1			2	2	1	1			1		
P7R	1			1			1			1			1			1		
P7L	1			1			1			1			1			1		
P8R	1			1			1			1			1			1		
P8L	1			1			1			1			1			1		
P9R	1			1			1			1			1			1		
P9L	4	4	1	1			1			1			1			1		

橋孔編號	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R
S1~S10	1			1			1		

表 3-28 評估指標

CI	99.174	新 CI	98.958	規範 PI	99.482
PI	99.174	新 PI	98.958	沖刷指標	99.005

3.1.4 小結

本階段已完成現地調查三座橋梁，針對三座橋梁之現地調查結果，進行細部評估分析後，其結果與橋梁維修預測模式相近，為正確之趨勢。並計算歷史檢測紀錄與本次檢測結果，因為根據資料庫的資料做統計回歸做模式的建立，其推論結果與資料庫結果較接近，以表3.10為例，CI之評估結果方面，TBMS於今年度3月量測結果為100分，6月份現地勘察結果為98.881分，預測模式推論結果為99.45分(標準差0.1052)，其結果皆相近；SSI方面，TBMS於今年度3月量測結果為99分，6月份現地勘察結果為98.619分，預測模式推論結果為98.407分(標準差0.10922)，其結果皆相近。根據本次結果，舉辦專家座談會(圖3.8)及養護工程處說明會(圖3.9)各一場，針對現地調查結果與維修機率預測模式進行討論修正。





圖 3.8 專家座談會(2013/9/30)



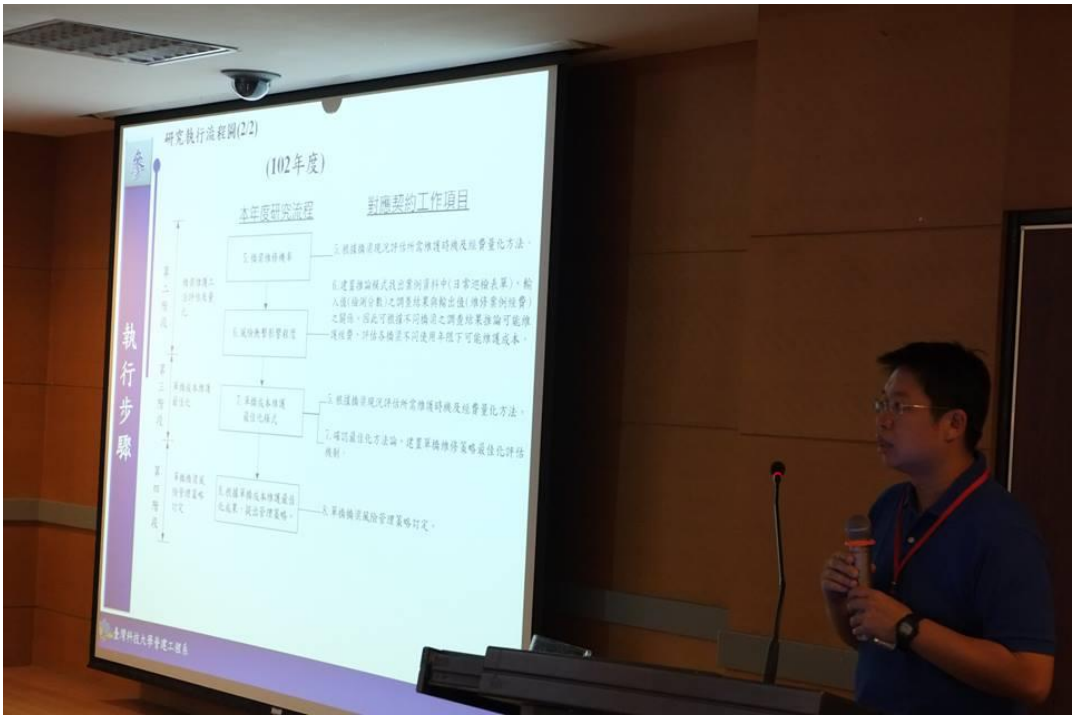


圖 3.9 養護工程說明會(2013/10/21)

3.2 建置維修工法資料庫

本團隊此階段蒐集TBMS資料庫中高公局、公路總局與新北市政府之維修歷史案例資料，整理如表3-29至表3-31。並以橋梁維修工法可適用之橋梁結構部位及對應單價，整理歸納出橋梁維修工法/適用部位/單價之關係，並繪製其對應矩陣表如表3-32~表3-34所示。

本步驟所完成之維修工法案例資料庫，可在後續階段單橋維修策略決定後，提供公路管理單位編列維修經費之參考，即針對需維修部位找尋對應之維修工法並估算所需維護經費。

表 3-29 交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修案例(節錄)

檢測日期	使用狀態	橋梁名稱	工程處	工務段	道路等級	路線	損壞構件	損壞位置	維修工法	數量	單位	單價
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道 G 排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	主構件(大梁)	SG3	修補混凝土	0.01	M^3	1200
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道 G 排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	引道路堤	DN1	破壞與回填整平	0.7	M^3	5000
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道 G 排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	橋面排水設施	S1	修復受損的排水管	1	M	1000
2009/5/13	正常使用	新竹系統交流道匝道 G 排水橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	伸縮縫	A1	伸縮縫清理(m)	8	m	100
2009/5/13	正常使用	新竹 LH 穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	橋台	DS2	修補混凝土	0.01	M^3	240
2009/5/13	正常使用	新竹 LH 穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	橋台	DS2	修補寬度大於 0.3mm 之裂縫	1	式	200
2007/4/24	正常使用	穿越橋 174234(南向)	高公局中區工程處	斗南工務段	國道	國道 1 號	引道路堤	近端	排水陰井清理	2	個	3600
2009/5/12	正常使用	新竹 LC 穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	欄杆及護牆	S2	剝落混凝土修補	0.01	M^3	500
2009/5/12	正常使用	新竹系統交流道匝道 E(一)穿越橋	高公局北區工程處	關西工務段	國道	國道 3 號	橋台	DS2	塗上保護塗料	0.2	M^2	1050

表 3-30 新北市政府橋梁維修案例庫

維修項目及工法	單位	單價	位置
混凝土修復，裂縫 W>0.3mm 修補，水刀鑿除	M	970	橋台、版梁底、版梁右側左側位址、橋面版、大梁、路堤、擋土牆、伸縮縫、墩體
混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除	M^2	2200	橋台、版梁底、版梁右側左側、側端隔梁、大梁底、橋面版、欄杆、護欄、擋土牆
混凝土修復，蜂窩及剝落修補，水刀鑿除	M^2	2000	擋土牆、大梁、橋面版底、橋台、引道護欄、版梁底、欄杆破損、護欄、橋面版、箱涵
結構混凝土，(預拌，水中)，245kgf/cm2	M^3	2500	擋土牆、橋台、版梁底、支承、整體 RC 河床
洩水孔處理	處	510	整體洩水孔
清除植生或雜物	處	400	長樹
混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除	M^3	14500	橋墩、橋台、翼牆、橫隔梁、大梁、橋面板
人造橡膠支承墊，更換	座	25500	
混凝土護欄修復	M	1900	橋頭護欄
伸縮縫修復，填縫料更換	M	910	伸縮縫
雜物及破碎混凝土處理	M	970	底版
回填因侵蝕或沖刷引起的基礎掏空	M^3	4000	混凝土護坦
混凝土修復，裂縫 W<0.3mm 修補，水刀鑿除(含白華龜裂及保護層不足)	M^2	960	白華、箱梁底部
混凝土修復，保護塗層	M^2	960	大梁、橋面版、橋台、橋墩、墩體
更新磁磚	M^2	1000	磨擦層地磚
止滑銅片更新	M	99	人行陸橋
防蝕塗裝，水刀處理+油漆塗裝	M^2	450	橋面版
回填整平	M^3	750	擋土牆
混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除	M^2	4000	橫隔梁蜂窩、橋台、翼牆
混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除	M^2	3300	橫隔梁蜂窩、橋台、翼牆、版梁
人行道面層，舖面磚(高壓)，未含伸縮縫	M^2	1360	人行道、緣石
瀝青混凝土面層刨除，平均後 5.0cm，刨除機 1.2m 寬，未含運費	M^2	43	橋面路面
瀝青混凝土舖面，粗粒料 9.5mm，黏度 AC-20	M^2	3200	橋面路面、磨擦層
混凝土保護塗佈(滲透結晶材)	M^2	1000	橋台
混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除	M^2	1170	橋台、墩體

表 3-31 公路總局橋梁維修案例庫(節錄)

橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	道路等級	路線	橋頭里程	維修工法	維修數量	單位	維修金額	開工日期	完工日期
第二尖山橋	公路總局第一區養護工程處	中壢工務段	省道	臺 1 甲線	16K+500M	>0.3mm混凝土裂縫修補	10	公尺	12000	2009-10-01	2009-10-31
三仙橋	公路總局第三區養護工程處	臺東工務段	省道	臺 11 線	110K+226M	>0.3mm混凝土裂縫修補	2	公尺	1400	2005-01-22	2005-09-20

表 3-32 交通部臺灣區國道高速公路局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)

編號	構件部位→	橋墩墩體／帽梁	橋台	欄杆及護牆	翼牆／擋土牆	橋台基礎	橋墩保護措施	摩擦層	支承／支承墊	橋面版	主構件(大梁)	吊材／立柱	伸縮縫	橋面排水設施	河道
	工法項目↓														
1	加強次要主構件										1071/kg				
2	加強次要副構件										1785/kg		1221/kg		
3	白華處理										402/條				
4	伸縮縫更新(m)										13387/m				
5	伸縮縫清理(m)										89/m				
6	更換支承								7418/組						
7	更換次要副構件								1017/kg						
8	更換填縫膠				134/m								312/m		
9	防水處理									357/m2					
10	金屬欄杆之防蝕保護			305/m											
11	金屬欄杆換新			1071/m											
12	背牆修補		4462~44625/式												
13	修復因沖刷引起之破壞														5087/m3
14	修復受損的排水管													36~892/m	
15	修復基座無收縮水泥(雙邊)												268/處		
16	修補基座無收縮水泥												446/m		
19	修補混凝土	321/m3	214/m3		214/m3					357/m3	1071/m3				

表 3-33 新北市政府橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)

編號	構件部位→	橋墩墩體／帽梁	橋台	欄杆及護牆	翼牆／擋土牆	橋台基礎	橋墩保護措施	摩擦層	支承／支承墊	橋面版	主構件(大梁)	吊材／立柱	伸縮縫	橋面排水設施	河道
	工法項目↓														
1	混凝土修復，裂縫 W>0.3mm 修補，水刀鑿除	928/m	928/m		928/m					928/m	928/m		928/m		
2	混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除		2105/m2	2105/m2	2105/m2					2105/m2	2105/m2				
3	混凝土修復，蜂窩及剝落修補，水刀鑿除		1914/m2	1914/m2	1914/m2					1914/m2	1914/m2				
4	結構混凝土，(預拌，水中)，245kgf/cm2		2392/m3						2392/m3						2392/m^3
5	洩水孔處理													488/處	
6	混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除	13874/m3	13874/m3		13874/m3					13874/m3	13874/m3				
7	人造橡膠支承墊，更換								24398/座						
8	伸縮縫修復，填縫料更換												871/m		
9	混凝土修復，保護塗層	919/m2	919/m2							919/m2	919/m2				
10	更新磁磚							957/m2							
11	防蝕塗裝，水刀處理+油漆塗裝									431/m2					
12	回填整平				718/m3										
13	混凝土修復，剝落修補，水刀鑿除		3827/m2		3827/m2										
14	混凝土修復，鋼筋銹蝕處理，水刀鑿除		3157/m2		3157/m2						3157/m2				
15	瀝青混凝土面層刨除，平均後 5.0cm，刨除機 1.2m 寬，未含運費									41/m2					
16	瀝青混凝土鋪面，粗粒料 9.5mm，黏度 AC-20							3062/m2		3062/m2					

表 3-34 公路總局橋梁維修工法與適用部位經費對照表(節錄)

編號	構件部位→	橋墩墩體／帽梁	橋台	欄杆及護牆	翼牆／擋土牆	橋台基礎	橋墩保護措施	摩擦層	支承／支承墊	橋面版	主構件(大梁)	吊材／立柱	伸縮縫	橋面排水設施	河道
	工法項目↓														
1	>0.3mm 混凝土裂縫修補	500~700/m	500~700/m		700~1800/m						700/m				
2	3000PSI 混凝土修補			2300/m^3	2300/m^3	2300/m^3	2300/m^3				100000~300000/式				
3	4000PSI 混凝土修補	3500/m^3	3500/m^3												
4	AC 路面刨除加鋪							300/m^2							
5	人工清除混凝土	500/m^3													
6	支承座更換								250000/個						
7	打穿處補筋，再以無收縮水泥砂將澆補									4944/m^2					
8	油漆塗裝	3954/m^2									3954/m^2				
9	劣質混凝土鑿除，鋼筋除銹，再塗佈環氧樹脂									3000/m^2	3000/m^2				
10	吊索換新											4943/m			
11	角鋼伸縮縫更換(伸縮量												19000/m		
12	受損基樁混凝土清除					1500/個									
13	表面打毛，再塗佈環氧樹脂砂漿	4000/m^2													
14	洩水孔清除													150~1100/個	
15	面層橘子皮部分清除，油漆塗裝	1500/m^2													
16	基礎挖方														80/m^3
17	掉漆部份以油漆塗裝	2000/m^2													
18	排水設施阻塞清除													99/處	
20	清除混凝土塊	957/m^3													

3.3 單橋維護成本最佳化模式確立

3.3.1 研究方法及進行步驟

本章節將對橋梁風險分析流程做概述說明如圖3.10，在橋梁風險分析流程中，已於去年度完成步驟一橋梁維修機率，以及步驟二風險衝擊影響程度，本年度持續精進橋梁維修機率模擬，並採用現在調查案例驗證的方式修正橋梁維修機率。詳細內容見第四章。

在步驟二風險影響程度中，考量維修工法眾多且資料繁雜問題，故建立維修工法資料庫，將已經收集到的維修工法資料彙整置資料庫中，相關管理單位在未來使用資料庫時，方便修改或新增資料庫內容，保持維修工法資料庫的完成性與即時性。詳細內容見第五章。

步驟三為單橋維護成本最佳化，本年度預計分成二個部分完成，分別為共生生物演算法最佳化搜尋及單橋維護成本最佳化成果。

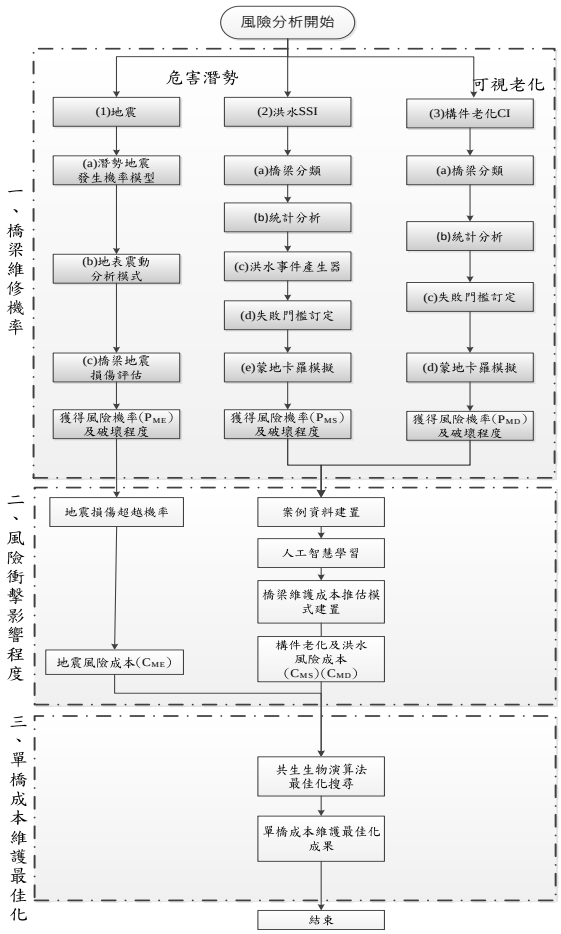


圖 3.10 風險分析流程

3.3.2 橋梁維修機率

橋梁檢測依使用的方法大致可以分為一般檢測及特別檢測兩種，因為臺灣屬於地震發生頻繁的地區而且河川坡陡流急，這兩項因素將造成橋梁嚴重損害，故以下除了整理出一般檢測的相關文獻外，在特別檢測部份對於橋梁的耐震檢測及沖刷檢測相關文獻加以論述。另外文獻蒐集的內容以檢測規範、檢測手冊、檢測相關研究報告、檢測資訊系統以及檢測表單等類別進行編排，整理結果如下表3-35和3-36及所示。

表 3-35 國內相關文獻列表(研究報告或書籍)

類別	檢測相關研究報告或書籍
耐震檢測	1.震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等，1999，行政院公共工程委員會) 2.公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(張國鎮等，2009，國家地震工程研究中心) 3.考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等，2010) 4.災時高效率高經濟行橋梁補強及檢核技術之研發(陳生金，2005，公路總局)
沖刷檢測	1.公路橋梁檢測評估(陳清泉等，1996) 2.訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究(王仲宇等，2010，交通部運輸研究所)
一般檢測	1.機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用(周健捷等，2000，內政部營建署) 2.橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等，2001) 3.應用無線技術於橋樑檢測管理之研究(饒珉菘等，2002) 4.我國橋樑維護管理績效評估之探討(曾惠斌等，2002) 5.建立橋梁檢測制度方法及準則之研究（公路與道路橋梁）(李有豐等，2002，交通部運輸研究所) 6.橋梁安全維護檢測手冊(草案)(王仲宇等，2002，交通部) 7.高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立(張耀文，2004) 8.橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例(延允中，2004) 9.臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究(楊振翰，2005) 10.橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政，2005) 11.拱橋與π型橋目視檢測評估方法之研究(廖家禎，2007) 12.橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等，2008) 13.台灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘等，2008) 14.應用透地雷達與超震波法於老舊橋樑橋墩基礎非破壞檢測(羅國峯等，2008) 15.橋梁的健康診斷(王仲宇，2009) 16.應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源，2008) 17.橋梁檢測方法與應用(中國土木水利工程學會，2010) 18.橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(1/4) (交通部運輸研究所，2011)

表 3-36 國內相關文獻列表(規範、手冊與系統)

類別	檢測規範或手冊	檢測資訊系統
耐震檢測	1. 1067公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範(交通部，1997) 2. 國道高速公路局橋梁檢測作業要點(交通部，2001) 3. 公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部，2008) 4. 鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部，2010) 5. 公路養護手冊(交通部，2003)	1.橋梁地震損失評估系統(TELES)
沖刷檢測		1. 跨河橋梁安全預警系統
一般檢測		1.公路防救災決策支援系統 2.臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)

3.3.2.1 橋梁維修機率-構件老化

可視老化中橋梁構件之狀況，會隨著時間的變化，但每年的狀況值是否為固定或是同時可能存在很多種狀況值，呈現在同一時間區段、類似的老化環境裡，同樣的橋梁構件可能存在著不同的狀況值。構件老化狀況隱含了相當多的不確定性，此不確定性使得橋梁的同一構件的狀態值，可能同時以不同的性能狀態表現出來，各種狀況值皆有可能存在的機率，以機率的概念表示同一時期相同橋梁構件的性能表現比僅以單一狀態值表示較為合理，因此導入可靠度的觀念配合統計分析與機率理論合理解釋橋梁構件老化的狀態。建立步驟如下：

1.橋梁分類：將具相同老化狀況橋梁視為同類型橋梁(如：距海遠近、交通流量、結構型式等)，假設相同橋齡老化狀況類似。

2.統計分析：將同類型同橋齡橋梁CI(樣本資料數需大於30 筆)進行統計，將視為對數常態分佈，求出每一年度之平均值與標準差。

3.失敗門檻訂定：透過文獻、訪談或歷史資料找尋失敗門檻。

4.建立下降曲線：將每一年度橋齡轉換為可靠度指標後，即可透過統計迴歸建立下降曲線，即可推估未來橋梁CI值及維修發生機率。

3.3.2.2 橋梁維修機率-地震

此階段皆分為二部份介紹，分別為(a)潛勢地震發生機率模型；(b)地表震動分析模式；詳細步驟如下:

1. 潛勢地震發生機率模型

本部分研究主要參考文獻：國家地震工程研究中心(最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，2005)[39]；依據報告書內容資料。本章節將以簡單的數學機率模型，建立臺灣地區一般性震源、活動斷層之潛勢地震發生機率模型，並依機率模型推估未來臺灣50年及100之地震發生次數與機率。

2. 地表震動分析模式

本部分研究之人造地震模擬地表加速度值，需考量距離衰減律與地盤場址分類，乃採用國立中央大學碩士論文(張毓文，2002)[40]之地表震動模式；將地震震央位置、規模與深度等參數為輸入，可做為全臺灣各區域測站之PGA、Sas及Sa1為輸出，分析未來地震發生次數與規模，模擬未來50年及100年之三星橋與牛鬥橋梁因遠域地震發生所造成的結構耐震損失。

3.3.2.3 橋梁維修機率-洪水

根據橋梁管理系統TBMS歷年SSI調查記錄與水利署水位站監測記錄，統計分析找出各年度SSI下降值與當年對應之洪水重現期。洪水狀況隱含了相當多的不確定性，本研究根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件，如發生的洪水較小橋梁SSI值下降趨勢亦較為和緩。本階段導入可靠度的觀念配合統計分析與機率理論合理解釋橋梁受洪水影響的狀態。建立步驟如下：

1.橋梁分類：因橋梁所屬流域不同，所遭遇之洪水程度與頻率亦會有所差異，將依橋梁所屬流域分群進行研究評估。

2.統計分析：將橋梁流域在遭遇該洪水時SSI所下降分數，對應(水文資訊網，2012)洪水重現期資料，視為該橋梁遭遇洪水時所下降之分數。

3.洪水事件產生器：根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件

4.失敗門檻訂定：本研究根據各河系橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時SSI值為建議維修門檻。

3.3.3 風險衝擊影響程度

本研究將橋梁破壞後所花費維修成本達原設計水準90%視為衝擊影響程度。故本步驟將建立維修工法案例資料庫，即可找尋對應之維修工法並估算破壞所需維護經費，視為風險對公路管理單位所造成之衝擊

影響。在使用人工智慧學習方式，模擬橋梁維修機率及造成的風險影響程度。再建置橋梁維護成本模式，推估未來橋梁可能發生破壞之機率，又該破壞程度會造成的影響程度及所對應之維修成本。

3.3.3.1 人工智慧學習

本研究擬收集橋梁維護經費資料，藉由人工智慧推論模式找出案例資料中(日常巡檢表單)，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值(維修案例經費)之映射關係。因此可根據不同橋梁之D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

3.3.3.2 橋梁維護成本推估模式建置

對於橋梁壽齡偏低的橋梁，如能在適當的時機點維修，將於有限的經費下有效的提升橋梁的壽齡。不過當要評估的橋梁數量非常龐大時，所花費的時間與經費也很可觀，因此本研究希望應用ESIM，建立橋梁耐震能力診斷模式,利用此模式對影響橋梁維修經費的因子做出準確的判斷，降低橋梁維修成本及花費的時間。

3.3.3.3 地震損傷超越機率

主要針對橋梁未進行任何維護下之地震風險與壽命評估，決定特定震源下之地震事件(包含設定時間內之發生次數與大小)以進行損傷評估。本研究採用蒙地卡羅運算模擬設定時間內之地震事件以計算未進行任何維護下之損傷評估，表示為地震損傷狀態之超越機率。

3.3.3.4 地震風險成本

地震風險成本為此年度結構物受地震外力作用所造成可能之年損失金額，即為考量各程度之地震發生機率及其所造成之損失總和。參考ATC-13(1985)及HAZUS(FEMA(1997))之損害程度方法求取各損傷指標之超越機率及損害分級，可得各損傷分級之發生機率。將其乘上此損害分級之損害比，即為此損傷等級可能造成之年損失金額。

3.3.4 單橋維護成本最佳化

本研究採用了生物共生演算法(Symbiotic Organism Search，SOS)，是新式且具有強大功能的演算法，SOS透過模擬生物生存在生態系統中並與其他生物共生的策略，用以模擬數值最佳化及解決工程上規劃與管理的問題。

共生生物演算法是以其他演算法為研究基礎，所發展出的演算法，SOS會在可搜尋空間中，不斷地迭代候選解，進而求得全域最佳解。在SOS演算法中，初始假設環境是一個生態系統，在這個生態系統搜尋空間中，會有一組隨機生成的生物群，其中，每一個生物代表一個對應問題的候選解，且每一個生物體在生態系統中也代表一組目標適應值，這個目標適應值會反映預期目標的適應程度。

臺灣位處地震帶及受季風氣候所影響，所以颱風與地震頻傳，造成橋梁飽受天然災害侵害。在地震方面之評估，地震會造成許多橋梁不同程度的損壞，尤其是早期老舊橋梁的耐震能力因損傷遞減，其殘餘能力更有不足之慮；另外，每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降和氣候變遷等因素，使得河水暴漲且水勢洶湧，造成橋墩、河床及橋台之基礎處被劇烈淘刷，特別對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，橋梁易受沖刷而導致損壞；海島型氣候使環境中充滿鋼筋腐蝕劣化的因子，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，嚴重造成政府財政的負擔；且在人為使用方面，亦有車輛超載問題。近年來，許多橋梁由於過去施工技術不足，加上施工品質未能嚴謹控制，造成未屆設計年限，卻面臨拆除或需花費龐大金額進行維修補強，對於政府日漸拮据之財務狀況，無疑是雪上加霜。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到堪慮，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫。如何評估現有橋梁之健康度，進而計算不同時間點進行維護之延壽與經濟效益是迫切的課題，詳細內容將於第六章說明。

第四章 橋梁維修機率

橋梁是由許多不同元件組成，各元件功能不一，受風險損傷狀況也不近相同，難以就橋梁整體進行風險評估。本研究考量風險因子包含: 承載、地震、洪水及使用等。其中之承載及使用是屬於橋梁元件老化所造成之風險，故直接以元件老化視為其風險因子，加上地震及洪水等共三項風險因子。

本研究將風險類別分為可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)，其中可視老化中元件老化為風險因子，其風險指標為平時D.E.R.&U.檢測可得之狀況指標(CI，Condition Index)。潛勢危害部分可分為地震及洪水沖刷為主要原因，地震風險指標將使用考慮材料劣化影響之結構耐震容量(Ay及Ac)，並輔以蒙地卡羅模擬生命週期地震事件與受損結構性能修正模型以評估含累積損傷影響之風險。洪水沖刷採用現行SSI值作為風險指標，亦採用蒙地卡羅模擬洪水事件以進行風險評估。

故本階段將評估橋梁維修發生之機率，並分析各風險因子將對橋梁整體造成橋梁維修機率，以利計算危害機率將衝擊橋梁的程度，本步驟計算流程如圖4.1。

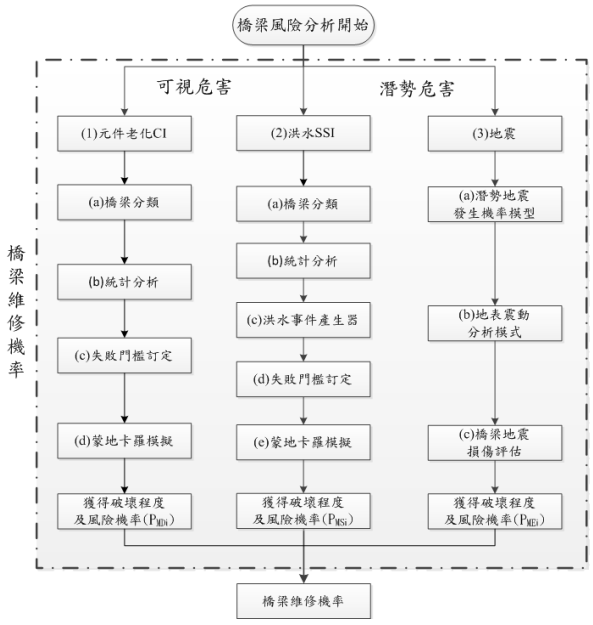


圖 4.1 橋梁維修機率流程圖

本研究風險因子共有三項：包含可視老化(元件老化)、潛勢危害(地震、洪水)。故本步驟將以元件老化、地震及洪水順序橋梁風險分析步驟說明，最後將得到橋梁5年、10年、15年、20年、25年及30年至100年之橋梁維修發生機率。

4.1 橋梁風險分析-元件老化

可視老化中橋梁元件之狀況，會隨著時間的變化，但每年的狀況值是否為固定或是同時可能存在很多種狀況值，呈現在同一時間區段、類似的老化環境裡，同樣的橋梁元件可能存在著不同的狀況值。元件老化狀況隱含了相當多的不確定性，此不確定性使得橋梁的同一元件的狀態值，可能同時以不同的性能狀態表現出來，各種狀況值皆有可能存在的機率，以機率的概念表示同一時期相同橋梁元件的性能表現比僅以單一狀態值表示較為合理，因此導入可靠度的觀念配合統計分析與機率理論合理解釋橋梁元件老化的狀態。建立步驟如下：

1.橋梁分類：將具相同老化狀況橋梁視為同類型橋梁(如：距海遠近、交通流量、結構型式等)，假設相同橋齡老化狀況類似。

2.統計分析：將同類型同橋齡橋梁 CI(樣本資料數需大於 30 筆)進行統計，將視為對數常態分佈，求出每一年度之平均值與標準差。

3.失敗門檻訂定：透過文獻、訪談或歷史資料找尋失敗門檻。

4.建立下降曲線：將每一年度橋齡轉換為可靠度指標後，即可透過統計迴歸建立下降曲線，如圖 4.2所示，即可推估未來橋梁 CI 值及維修發生機率。

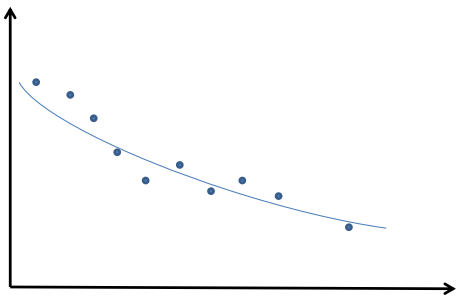


圖 4.2 橋梁 CI 下降曲線

4.1.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海岸距離)

本研究將影響可視老化之因素(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)作為分群之依據，收集整理台灣橋梁管理系統中歷年調查結果如表4-1所示。

表 4-1橋梁分組分布表

橋型	數量
桁架橋	63
矩形箱涵	187
斜張橋	62
梁式橋	31778
箱型橋	1201
簡支梁	130
π橋	115
版橋	8319
拱橋	289
剛架橋	243

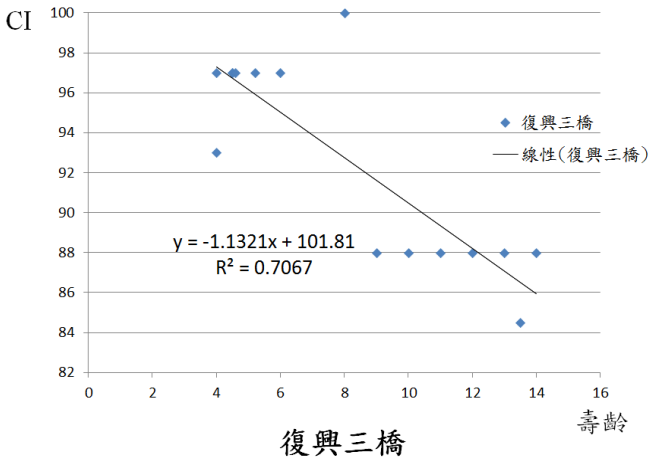
本研究將以梁式橋為例，進行步驟說明，其橋梁資料分組數量如下表4-2所示。

表 4-2 梁式橋調查資料筆數

距海(m) / 車流量(次/日)	<300	300~1,000	1,000~3,000	>3,000
<6000	127	75	151	798
6000~12000	5	15	3	39
>12000	0	0	0	10

4.1.2 統計分析(CI與橋齡)

根據檢測歷史資料，依不同分組橋梁(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)之檢測結果，將每座橋的橋齡(X軸)與CI(Y軸)資料匯出成圖，如圖4.3所示。根據迴歸分析找出橋梁橋齡與CI之關係式，進一步求得各橋CI之下降斜率。



復興三橋

圖 4.3 以梁式橋-復興三橋為例

並以同組橋梁進行統計分析，找出該組橋梁的平均值與變異數，如下表4-3所示。

表 4-3 相關參數表(以梁式橋為例)

橋型	距海遠近 (m)	車流量(次/日)	平均值	變異數
梁式橋	<300	<6000	0.230	0.047
	<300	6000~12000	0.056	0.001
	<300	>12000	0.405	0.000
	300~1000	<6000	0.229	0.094
	300~1000	6000~12000	0.060	0.001
	300~1000	>12000	0.405	0.000
	1000~3000	<6000	0.201	0.096
	1000~3000	6000~12000	0.048	0.001
	1000~3000	>12000	0.405	0.000
	>3000	<6000	0.275	0.552
	>3000	6000~12000	0.242	0.053
	>3000	>12000	0.284	0.048

4.1.3 維修門檻訂定

本研究根據各類型橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時CI為建議維修門檻，經過統計各橋梁的維修時機點皆不同，因此本研究以CI值75至90分作為維修門檻值搜尋範圍分別計算，報告中以梁式橋梁維修門檻75分為例，如圖4.4所示。

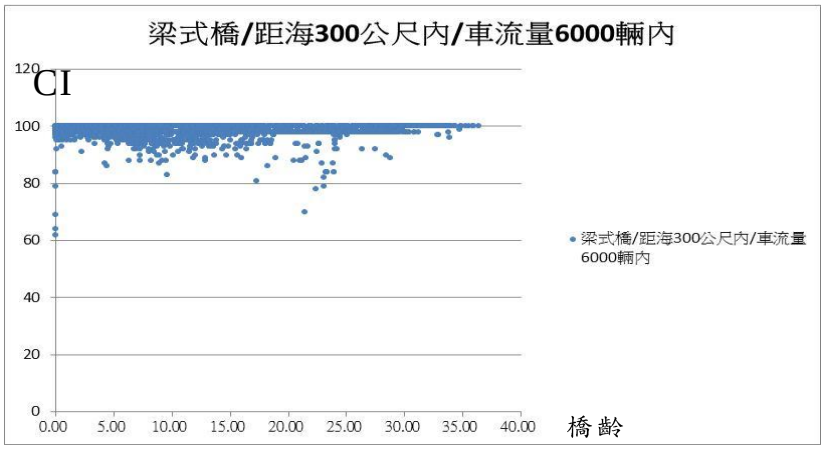


圖 4.4 以距海 300 公尺內車流量 6000 輛內(梁式橋)為例

4.1.4 可靠度指標

綜合上述統計結果做為蒙地卡羅模擬之輸入圖4.5，以模擬10000次方式，找出橋梁於未來各時間點CI小於門檻值之機率，即為橋梁因可視老化所造成之維修機率。節錄計算結果如表4-4所示。

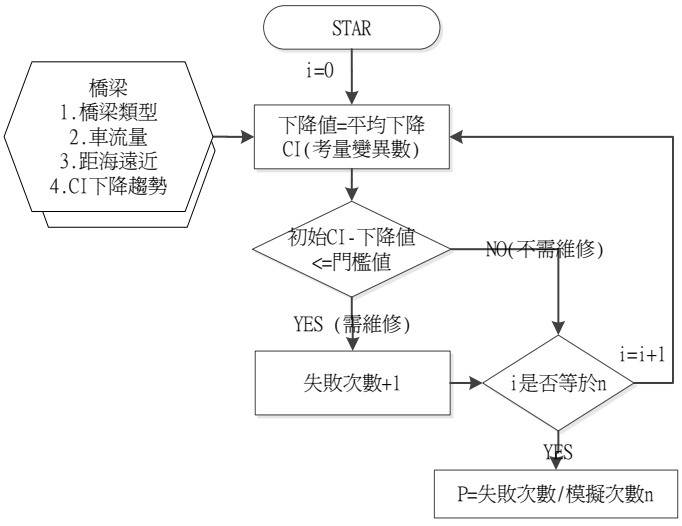


圖 4.5 元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖

表 4-4 元件老化造成維修機率蒙地卡羅計算結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率(%)
A01-0020-098A	一區	景美	臺北縣	貢寮	0
A01-005A-006A	一區	景美	臺北縣	汐止	7.97
A01-0050-017B	一區	景美	臺北縣	汐止	38.83
A01-0050-016A	一區	景美	臺北縣	汐止	14.51
A01-0020-026A	一區	景美	臺北縣	石門	0
A01-0050-017A	一區	景美	臺北縣	汐止	36.69
⋮					
A01-0020-052A	一區	景美	臺北縣	萬里	0
A01-0020-075A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0
A01-0020-076A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0

4.2 橋梁耐震可靠度分析

地震部分參考交通部運輸研究所之橋梁通阻跨河橋梁分析模型[37]，此階段皆分為二部份介紹，分別為(a)潛勢地震發生機率模型；(b)地表震動分析模式；(c)橋梁地震損傷評估。詳細步驟如下:

1. 潛勢地震發生機率模型

本研究主要參考文獻：國家地震工程研究中心(最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，2005)[39]，依據報告書內容資料。本章節將以簡單的數學機率模型，建立臺灣地區一般性震源、活動斷層之潛勢地震發生機率模型，並依機率模型推估未來臺灣100年之地震發生次數與機率。圖4.6為此模型研究流程，對於潛勢地震發生機率模型將依循此流程進行研究。

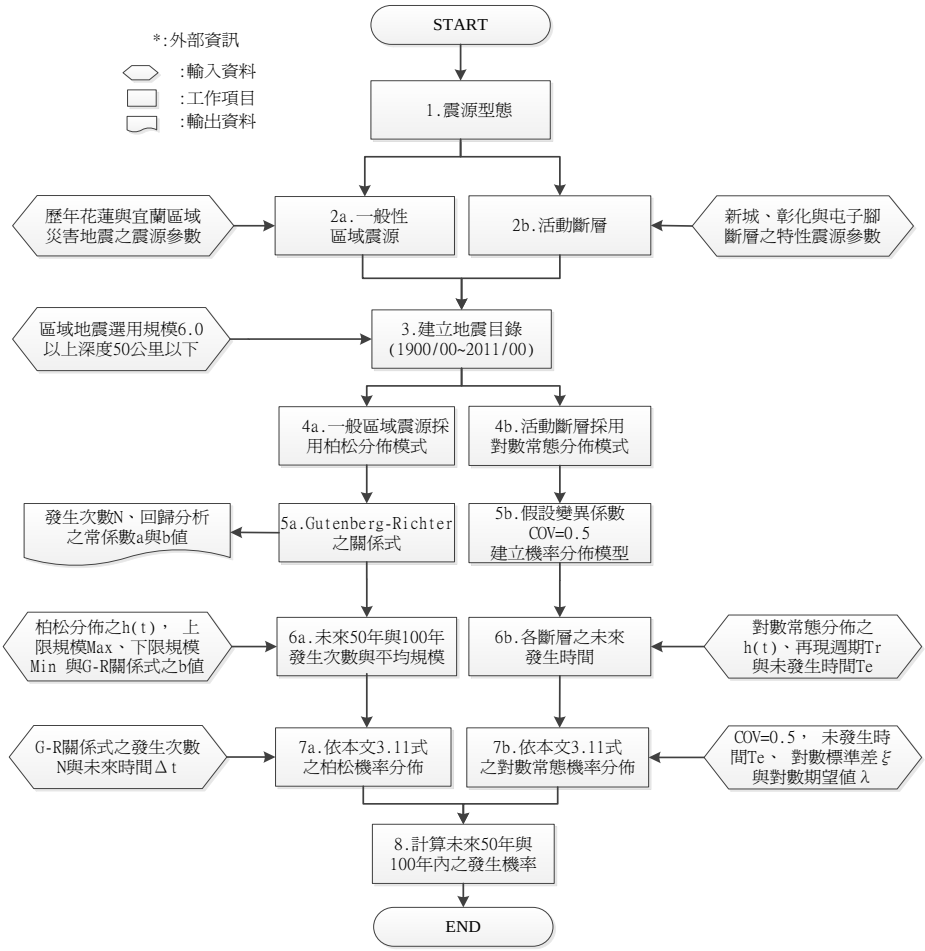


圖 4.6 潛勢地震發生機率模型之流程圖

4.2.1 震源型態之介紹

震源型態地震發生，主要是因為地層斷裂或滑移，然而，在地震危害潛勢評估上，仍可以將地震震源概分為活動斷層地震及區域地震。斷層震源是指地震時地層斷裂面延伸至地表；在地表留下錯動的痕跡，可稱為斷層線，臺灣地區將第一類活動斷層即屬於此類震源地震，當此類斷層地震發生時；造成地震規模較大且災情較為嚴重。區域震源則是指地震時因為震源深度較深或地震規模較小，使得地層斷裂面隱於地下無法延伸至地表，一般所稱的盲斷層，所有不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源，此類地震較為頻繁且規模一般較小。本研究依震源型態選取可能對臺北盆地造成危害之區域地震與活動斷層，而求取震源參數進行分析數據，是依據文獻[14]首先需建立之

參數如下所列：

1.該震源區地震目錄之確定。

2.震源幾何形貌(斷層位態、斷層破裂長度與深度)

3.評估各地震規模的發生率。

4.2.2 建立地震目錄及研究對象

根據中央氣象局所一百餘年的地震紀錄(1900年-2011年的地震參數)，可掌握臺灣各區域地震；發生之地震次數、年份時間、地震歷時及規模等，即可依地震特性建立地震目錄。而本研究因考量遠域強震震波經傳遞過程，一般而言，造成結構危害的地震規模為6.0，故將研究之地震規模區間選取在6.0≦ML≦8.0；決定規模區間後，依據文獻[14]，將歷史區域地震資料進行篩選以建立本研究的區域地震目錄：

1.一般工程震源深度為 35 公里，為考慮震源定位可能的誤差，故將深度篩選條件取至 50 公里。

2.移除各地震相關之前、餘震資料，以符合地震於時間序列上之獨立性，對於前、餘震之處理，乃根據發生時間順序及時間間隔作為判斷條件。

3.1936 年前在地震測量儀器不發達的時代，僅能用地震災害範圍來判定可能之規模、深度及發震時間、位置，對於同一筆地震會有不同的參數定義。此狀況於目錄中需予以篩選並剔除。

建立區域地震目錄，依據一般區域震源型態之地震特性，可藉由(Gutenberg and Richter，1944)年提出之地震規模與再現頻率關係式(簡稱：G-R關係式)，以呈現該區域之地震特性。一般形式為式(4.1)：

$$\log N(m) = a - bm, m_o \le m \le m_u \quad (4.1)$$

式中:

m：地震規模；本研究以芮氏規模為主

N(m)：地震規模大於等於m之地震發生次數

a及b 為常係數可由回歸分析而得，a值為該區域地震發生的頻率、b值為該區域地震規模的大小

(4.1)式有一上、下限規模（mu，mo）之範圍，取決方式於工程考量或地震紀錄。

4.2.3 平均規模與未來地震發生次數之公式

根據(V. K. Gupta and V. Srimahavishnu，2006)未來地震發生次數之公式；主要是依各機率分佈模型之風險函數推算求得，而對於風險函數的之影響參數；主要依該區域之地震發生頻率、時間長度、等待時間及預設未來時間等相關參數，計算公式可遵循依此式(4.2)：

$$N_l(T_0+Y\,|\,T_0)=\int_{T_0}^{T_0+Y} h_l(\tau)d\tau \quad \text{.....(4.2)}$$

式中:

N_l：未來發生的次數

T0：上次地震發生後至今尚未發生地震之等待時間

Y：預設的未來數年的時間

hl(τ)：機率模型之風險函數。

對於未來平均規模求取方法，可經由各區域地震建立的地震目錄，依式(4.1)之G-R關係式運算回歸b值，並依照本研究選取規模區間6≦ML≦8中不同的地震規模大小，以求算出不同規模發生機率密度函數與累積機率，並依公式i之順序決定未來平均規模大小。本研究對於未來100年之宜蘭ZS01與花蓮ZS02；經由式(4.3)-式(4.6)可計算宜蘭ZS01與花蓮ZS02區域之平均規模與次數，下式為(V. K. Gupta and V. Srimahavishnu，2006)未來發生平均規模公式：

$$p(m)=b\ln 10\frac{10^{-b(m-M_{min})}}{1-10^{-b(M_{\max}-M_{\min})}} \quad \text{.....(4.3)}$$

$$F(m)=\frac{10^{-b(m-M_{min})}-10^{-b(M_{\max}-M_{min})}}{1-10^{-b(M_{\max}-M_{\min})}} \quad \text{..... (4.4)}$$

$$pi(m)=\frac{N_l!}{(N_l-i)!(i-1)!}\left[F(m)\right]^{i-1}\left[1-F(m)\right]^{N_l-i}p(m) \quad \text{..... (4.5)}$$

$$E\left[M_i\right]=\int_{M_{\min}}^{M_{ax}} mp_i(m)dm \quad \text{..... (4.6)}$$

式中:

b值：G-R關係式之回歸參數

m：地震規模，Mmax及Mmin：為本研究決定之上及下限規模

$\tilde{N}$：未來發生的次數

i：未來平均規模順序由大至小；(例：i=1,2,3…N，當i=1時為最大平均規模、i=2為次大平均規模以此類推，依表4-5至表表4-6所示)

E[M_i] ：平均規模；規模大小依i決定。

表 4-5 為宜蘭 ZS01，未來 100 年地震計算結果發生次數為 20 次

M_L1	M_L2	M_L3	M_L4	M_L5	M_L6	M_L7	M_L8	M_L9	M_L10
7.4	7.1	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3
M_L11	M_L12	M_L13	M_L14	M_L15	M_L16	M_L17	M_L18	M_L19	M_L20
6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0

表 4-6 為花蓮 ZS02，未來 100 年地震計算結果發生次數為 24 次

M_L1	M_L2	M_L3	M_L4	M_L5	M_L6	M_L7	M_L8
7.4	7.1	7.0	6.8	6.7	6.6	6.6	6.5
M_L9	M_L10	M_L11	M_L12	M_L13	M_L14	M_L15	M_L16
6.5	6.4	6.4	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2
M_L17	M_L18	M_L19	M_L20	M_L21	M_L22	M_L23	M_L24
6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0

4.2.3.1 柏松與對數常態分佈之風險函數

風險函數的定義為地震在一段時間t內未發生地震，故在t+Δt時間內可能發生地震的機率，故稱此機率為風險函數。而本研究區域地震所採用柏松模式之發生率，就物理意義來說意味著一個地震的發散的能量並不影響下一個地震系列的時間，因此其過程並不符合地震的回彈理論(Elastic Rebound Theory)。區域地震發生次數頻繁可視為符合穩態柏松分佈(Stationary Poisson Distribution)且與時間無關，穩態柏松過程主要假設地震發生之風險函數(Hazard Function)為一定值，故柏松之風險函數(Hazard Function)，(簡稱：h(t))可推導式(4.7)：

$$f(t)=\frac{\lambda e^{-\lambda t}}{k!}$$

$$F(t)=\int_0^t f(t)dt=1-e^{-\lambda t}$$

$$h(t)=\frac{f(t)}{1-F(t)}=\frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1-(1-e^{-\lambda t})}=\lambda \quad \text{..... (4.7)}$$

式中:

f(t)：機率密度函數(簡稱：PDF)，依柏松特性假設短時間Δt發生兩次事件的機率可忽略

k：為短時間Δt發生事件(k=1)

λ：單位時間或空間內之地震平均發生率

F(t)：累積函數為f(t)之積分(簡稱：CDF)

h(t)：風險函數(Hazard Function)，推算結果柏松的風險函數等於λ。

4.2.3.2 臺灣未來100年之地震發生機率

本研究推算未來100年發生機率，採用未來發生機率之模式採文獻[37]：為穩態的柏松模式(Stationary Poisson Model)，。穩態柏松模式乃假設每個地震的發生機率在靜待時間(Elapse Time)內都是獨立發生的，因此在未來Δt年內，發生機率計算如下式(4.8)

$$P=1-\exp(-r\Delta t)=1-\exp(-N) \quad \text{..... (4.8)}$$

式4.8中

r：特定規模下的發生率(為再現週期的倒數)

N：在Δt年內同樣地震可能的發生次數。宜蘭ZS01與花蓮ZS02未來100年地震發生機率可依表4-7至表4-8所示。

表 4-7 宜蘭 ZS01 區域地震未來 100 年發生機率

M_L	r	Δt	發生機率(%)
6.0	0.183	100	100.000
6.1	0.147	100	100.000
6.2	0.118	100	99.999
6.3	0.095	100	99.992
6.4	0.076	100	99.950
6.5	0.061	100	99.776
6.6	0.05	100	99.253
6.7	0.039	100	98.035
6.8	0.032	100	95.729
6.9	0.025	100	92.038
7.0	0.020	100	86.875
7.1	0.016	100	80.398
7.2	0.013	100	72.955
7.3	0.010	100	64.984
7.4	0.008	100	56.919
7.5	0.007	100	49.122

表 4-8 花蓮 ZS02 區域地震未來 100 年發生機率

M_L	r	Δt	發生機率(%)
6.0	0.276	100	100.000
6.1	0.219	100	100.000
6.2	0.174	100	100.000
6.3	0.138	100	100.000
6.4	0.110	100	99.998
6.5	0.087	100	99.984
6.6	0.069	100	99.901
6.7	0.055	100	99.588
6.8	0.044	100	98.722
6.9	0.035	100	96.862
7.0	0.027	100	93.595
7.1	0.022	100	88.714
7.2	0.017	100	82.306
7.3	0.014	100	74.716
7.4	0.011	100	66.432
7.5	0.009	100	57.962

4.2.4 地表震動模式介紹

4.2.4.1 地表震動模式之測站點位

臺灣地質構造複雜，震源傳遞過程經由地形、地層與地質構造影響差異極大，可能會影響地震波的振幅、頻譜等特性。[11]資料收集使用中央氣象局自由場強地動觀測網(TSMIP)之強震紀錄，根據氣象局測站名稱編號將全省測站分為七區，涵蓋範圍包括臺北地區(TAP)、臺中地區(TCU)、嘉南地區(CHY)、高屏地區(KAU)、臺東地區(TTN)、花蓮地區(HWA)及宜蘭地區(ILA)，除中央山脈外，各測站平均間距約為5公里，並加入了中央研究院地球科學研究所之山區強震站(簡稱：CMA)的強震紀錄。依圖4.7所示，為中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖[11]三角形Δ 符號表示臺灣自由場強地動觀測網之測站分佈位置，正方形□符號表示中央研究院山區強震站之測站分佈位置。

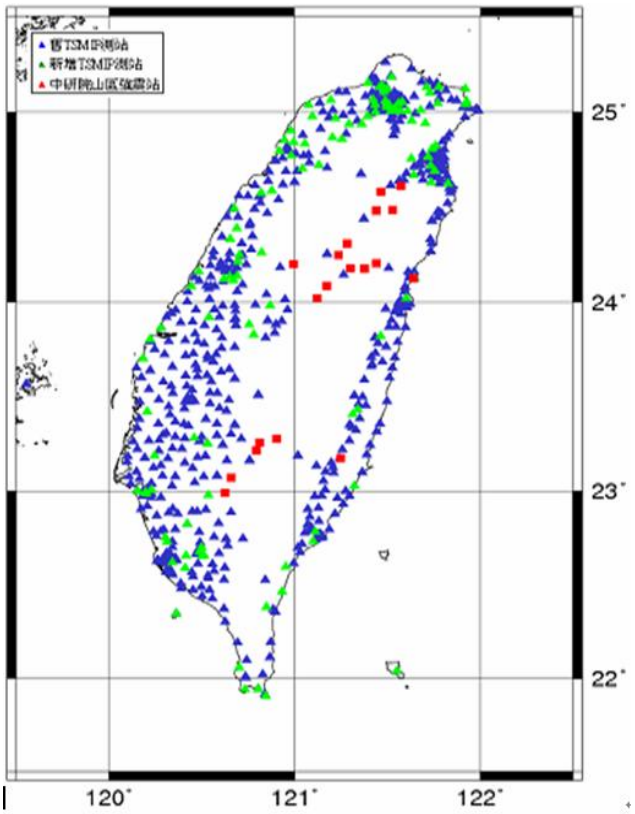


圖 4.7中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖

資料來源：張毓文，2002[40]

4.2.4.2 地表震動模式之場址分類

場址的分類主要依測站的地質狀況及其土層的剪力波速而定，美國加州地區所採用的建築技術規範(ICBO，1991)將地盤分為S1、S2、S3、S4 四類。另外在工程方面有研究依據(Lee et al，2001)以綜合地質、工程鑽探資料及標準貫入試驗之N值和頻譜分析等方法將全臺灣自由場強震站的場址分為B、C、D、E四類。(蔡璧嬬，2007)利用氣象局已完成調查的266個強震站址鑽探資料、中央地質調查所GEO2000工程地質資料庫及其他蒐集到的工程地質資料，依據剪力波速度量測V30進行場址分類；如圖4.8所示。

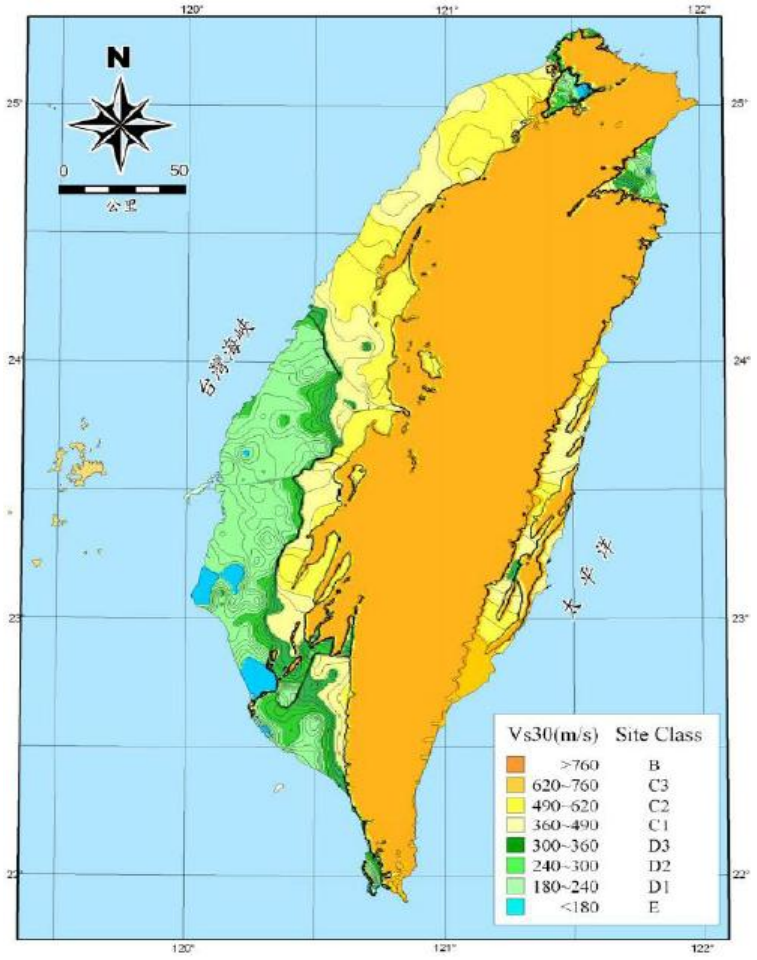


圖 4.8 剪力波速度量測 V30 進行場址分類

資料來源:蔡璧嬬(2007)所畫出全臺灣 VS30 分佈等值線圖

4.2.4.3 地表震動模式之地震參數選取

(簡文郁，2001)所使用的地震資料主要是針對芮式規模5.0以上及震源深度35公里以內，對工程結構物較有危害的地震。並且排除臺北盆地(Wen et al，1998)及宜蘭盆地有明顯場址放大效應的測站紀錄為原則進行挑選，選取的條件如下：

1. 選取芮式規模5.0~7.5的地震，其中包含集集主震及其餘震。
2. 震源深度在35公里以內。
3. 採用符合上述條件地震所觸發的測站歷時紀錄，包含全部即時站地震紀錄及25公里以內的自由場強震站地震紀錄，以避免回歸分析時權重不一的現象。
4. 使用地震紀錄中兩水平方向(EW，NS)地表最大加速度值的幾何平均值來進行回歸分析，求得參考衰減公式之係數。
5. 在進行分析時，為了避免進行分析時有過大的誤差，故先排除有明顯場址放大效應的臺北盆地與宜蘭盆地的測站紀錄，來取得精確度較佳的衰減模式。

最後選取符合條件的59個地震，在進行回歸分析時使用了所有速報系統即時站的紀錄。由於強震網測站設置大多都設置在人口集中的都會區，導致在某些設站密集的都會區會有相當多的地震資料，這種現象會在分析時造成權重不一的情形，因此加入了在地理上分佈較均勻的速報站的地震紀錄，來避免這種情形發生。而本研究將會先探討此地表震動衰減模式之精確度，再依據可能之誤差來源採用較合理的測站區域做為人工地震模擬。

4.2.5 衰減模式與場址特性

衰減原理，簡易來說就是地表震動會隨距離增加而衰減，但地震波從震源傳遞到接收測站之間的過程卻十分複雜，涉及諸多變數，即接收測站所收到的地動值受到震源、路徑以及場址效應的影響。當地震規模越大時，地表震動強度越強，而衰減模式較為緩慢；反之，規

模小地震，能量消逝較快速。而場址效應參考之衰減模式，採用地表下30公尺剪力波速之平均值為分類之依據，並分為軟弱地盤及岩盤的衰減模式，由於衰減公式是使用所有測站的平均場址特性，只適用於一般性地盤，因此在岩盤地區其地動預測值可能會有高估的情形，反之沖積層會低估。

場址特性，一般而言，位於沖積層的測站所記錄到的振幅值會比位於岩盤的測站所記錄到的振幅值高。(溫和葉，1986)研究SMART-1陣列所記錄三大地震指出：沖積層測站的主要共振頻率較岩盤為低，且振幅較大。地震紀錄，發現到位於沖積層的測站收到的水平最大加速度與速度值，跟位於岩盤的測站紀錄相比，分別大了二到三倍，此差異間接影響到衰減模式對於地震危害度評估的準確性。[25]使用不同顏色的實線來代表規模4.0~7.0的衰減曲線，依圖4.9所示，由不同規模的實測值分佈顯示，在岩盤測站隨規模越大，地震紀錄偏差的現象越大，也就是說，Campbell的衰減區線在規模愈大時地表加速度會越大，但依衰減模式是平均各測站場址特性；因此預測值會有偏低的現象，同樣地，在沖積層的衰減曲線也有低估的情形出現。

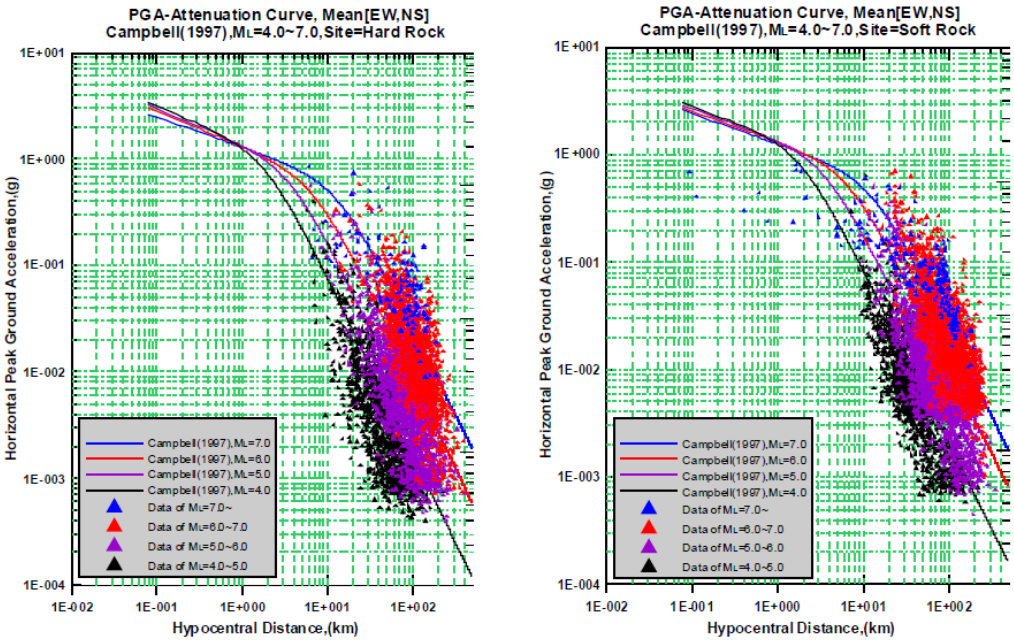


圖 4.9 臺灣規模 4.0-7.0 之地震記錄與(Campbell，1997）衰減曲線之關係

資料來源：張毓文，2002[40]

4.2.5.1 衰減模式及場址特性修正

[10]在參考衰減模式方面，係採用 (Chien，2001)，於規模5.0以上之地震，表現在岩盤衰減較緩慢的現象，故選用其為參考且較適用於臺灣地區的衰減模式。而採用分析模式為Chien對(Campbell，1981)之衰減模式迴歸分析如下式(4.9)：

$$PGA(g)=f(M,R)=b_1e^{b_2M}[\ R+b_4\exp(b_5M\ )]^{-b_3} \quad \text{..... (4.9)}$$

式中，b1~b5為常係數可由回歸分析求得；PGA：震度強度值；M：芮氏規模；R：場址到斷層線最短距離。衰減律分析資料庫包括921 主震及餘震資料。除了921主震採用地表斷層距離外，其餘地震均採用震源距離。

第一階段，利用上式參考之衰減模式得到各測站預測初步之PGA值，由於其分析時並未對測站場址特性加以分類，因此所得結果為一般性場址適用。而第二階段分析時，則將其對各測站實際觀測值的系統偏差量作校正分析。將第一階段參考之衰減模式的預估結果與實測值作迴歸分析；由迴歸分析可得到各測站的場址修正係數C0及C1值。其間之關係式為式(4.10)：

$$\ln(Y_0) = C_0 + C_1 \times \ln(Y_a) \quad \text{..... (4.10)}$$

式中，Y_a ：參考衰減模式的預測值；Y0：實測地震動值；C_0 及 C_1 ：各測站之場址修正係數。

4.2.6 地表震動模擬與真實災害地震之驗證

4.2.6.1 地表震動衰減模式

根據地表震動衰減模式[10]，對於地震模擬進行測試，此測試[37]對於地震模擬器程式所需要輸入資料條件：震央經緯度座標、震源深度(Km) 、地震規模等參數，而地震模擬器模式測試過程，需考量震源效應(Source Effect)、地震波傳遞的路徑效應(Path Effect)及局部地質特性所引起的場址效應(Site Effect)。依據地震模擬器程式分佈全臺灣的地動強度參數PGA，評估程式是否符合該研究探討衰減模式與場址

放效應，而(詹皓凱，2008) [41]之第一階段測試結果只參考地震動衰減律與實測值的全臺灣地表加速度，比較結果如圖4.10所示；(a)為九二一發生時測站實值與(b)為只考慮衰減模式未加入場址效應之模擬PGA。

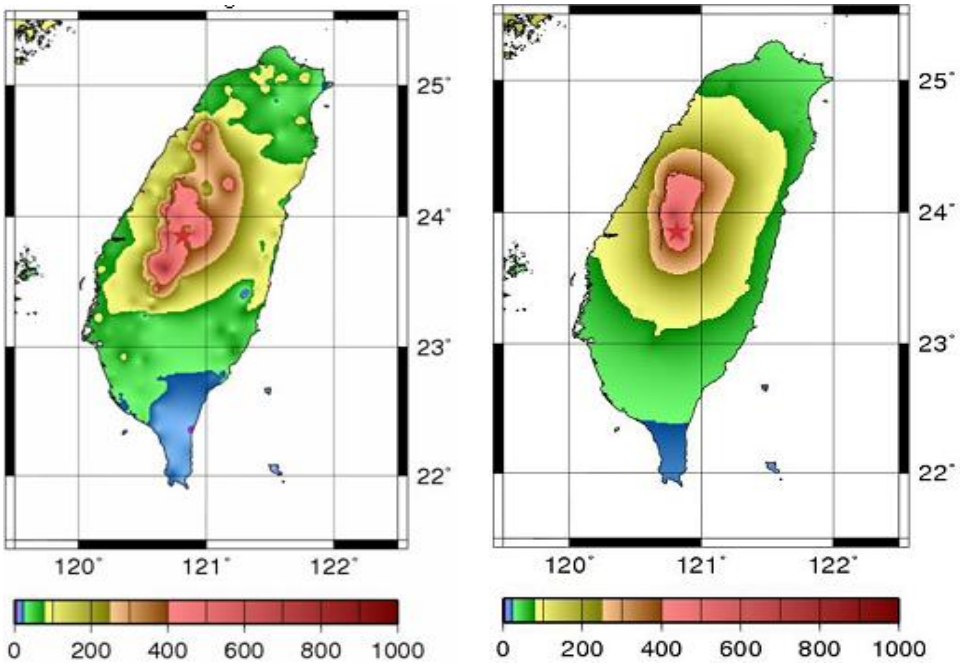


圖 4.10 為集集地震的(a)實測值與(b)衰減模式預測值 PGA 分佈

資料來源:詹皓凱，2008

4.2.6.2 地表震動衰減模式之場址修正

[14]於第二階段測試中在衰減模式中加入場址效應考量，新增TSMIP與CMA測站的場址特性。而使用兩階段步驟對各測站之場址效應進行分析，來得到更可靠的場址修正函數。針對新增之TSMIP與CMA測站的正規化誤差殘值，故於分析場址特性時，採用即時站地震紀錄及自由場強震站之地震紀錄，在資料的選取分析上增加了芮氏規模5.0以上的地震資料來增強分析之準確性，依圖4.11所示，經由場址函數修正過後的二階段預測結果明顯的更接近實際觀測值，得到較為可靠的預測結果。由此可知，測站之場址特性對衰減模式造成的影響，可藉由測站之場址函數修正其場址效應，來降低其系統的標準偏差，提升系統之準確性來得到更加可靠之預測結果。

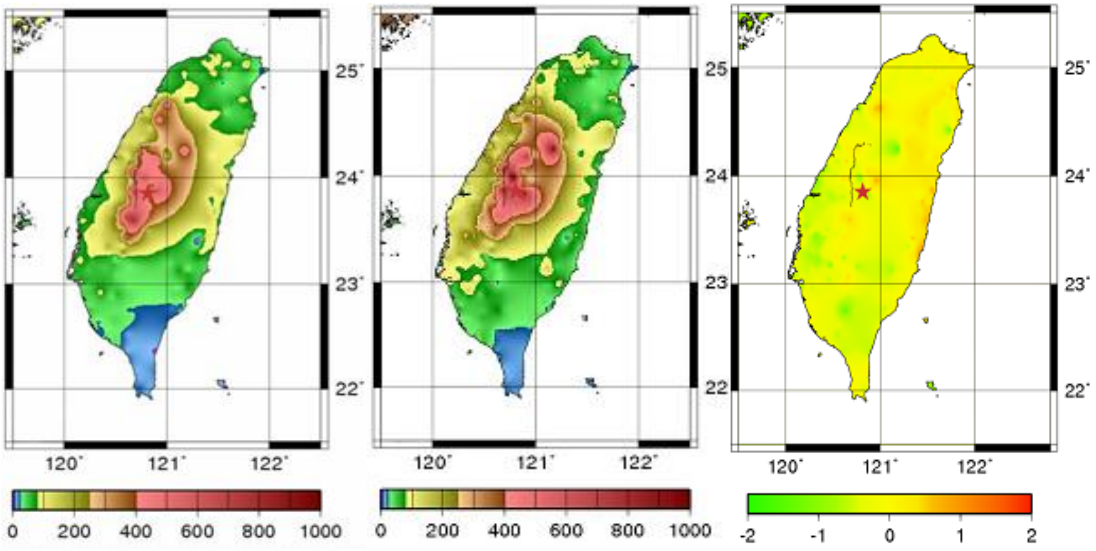


圖 4.11 修正函數校正後的預測與其觀測值之誤差殘值分佈

資料來源:詹皓凱，2008[41]

4.2.6.3 整合評估資料

張毓文(2002)[40]研究地表震動模式之研究與修正結果，而修正後地表震動模式之模擬較符合臺灣地盤效應之PGA值。本研究將歷年地震(集集地震、花蓮地震及嘉義地震)震源特性資料輸入，分析全臺之最大地表加速度PGA值為輸出，在依據中央氣象局地震測站之量測真實值加以比較，其測試結果依圖4.12至圖4.14所示(實現為實測值與虛線為預測值)。可觀察地震模擬結果與測站量測真實PGA值趨勢相近，但地表震動模式之模擬PGA；有些區域尚有局部誤差值較高或低的情形，本研究會加以評估若有不合理之震度參數將不取用，而造成此誤差來源可歸類有三點：

1. 迴歸誤差：是採用多數歷年地震迴歸分析而非單一地震特性，所以會有所誤差。
2. 場址資料不完整:由於中央氣象局測站多集中架設於都會區屬於沖積層，使得場址特性並無完整的參考資料。
3. 衰減曲線之限制：由於參考的衰減曲線之場址特性，只適用於第二類場址及第三類場址，故場址效應在第一類及第四類會有所誤差。

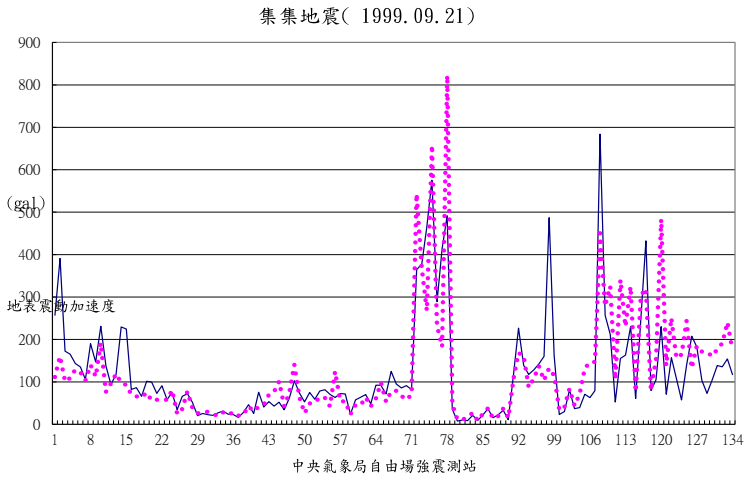


圖 4.12 臺灣歷年大地震:集集地震之實測值與預測值比較

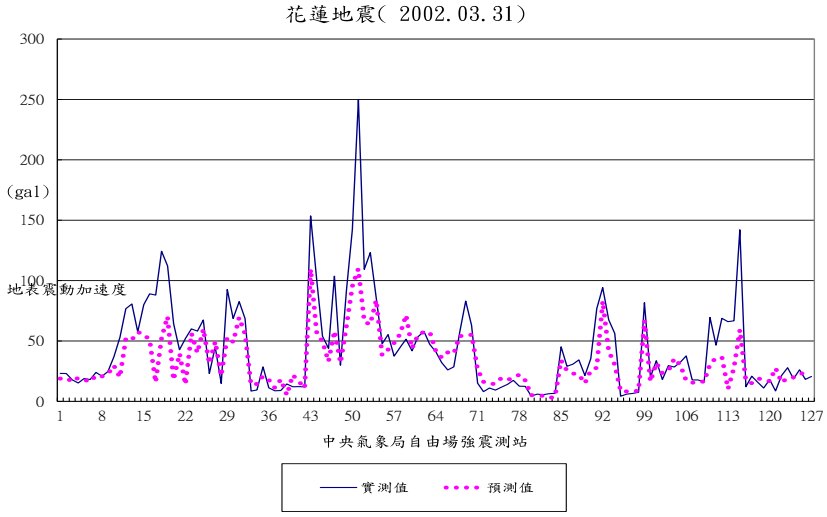


圖 4.13 臺灣歷年大地震:花蓮地震之實測值與預測值比較

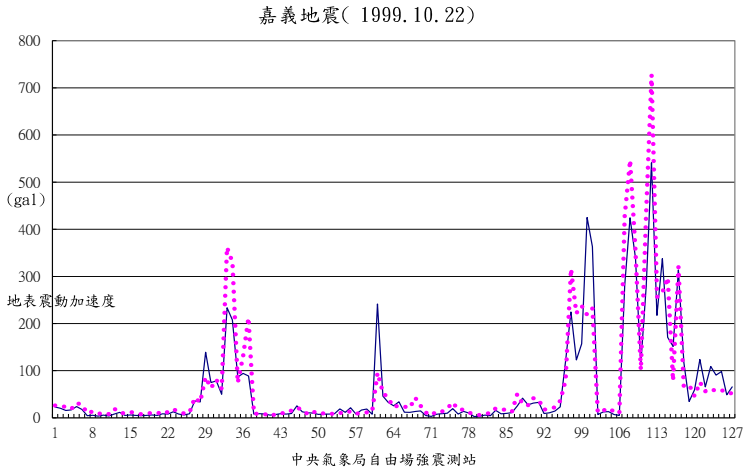


圖 4.14 臺灣歷年大地震:嘉義地震之實測值與預測值比較

1. 橋梁地震損傷評估

本章將採用交通部運輸研究所之橋梁通阻跨河橋梁分析模型[2]，依側推分析(Pushover)所得之等值單自由度結構特性參數，並利用武田模式(Takeda model)進行橋梁之非線性動力分析。依橋梁所在位置之劣化影響及考慮100年之可能遭遇地震以計算其地震損傷指標，分析流程可參考圖4.15所示。此外，本研究以牛門橋(宜蘭)和三星橋(宜蘭)為例，進行其地震損傷與風險評估。

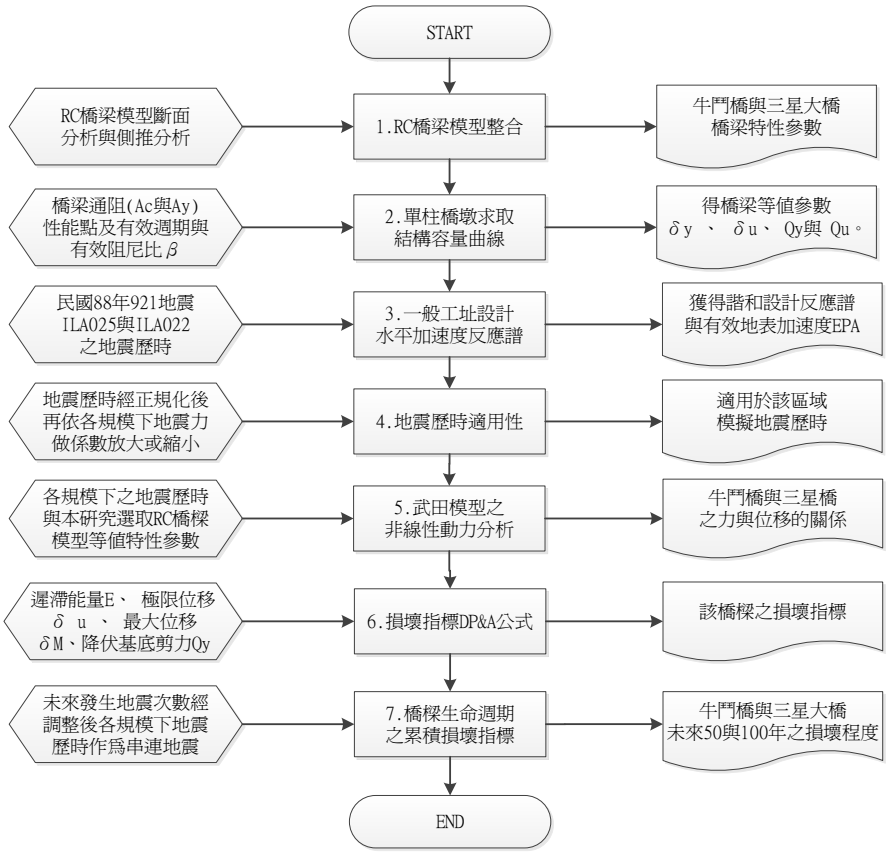


圖 4.15 橋梁地震損傷評估流程圖

4.2.7 性能曲線與容量震譜

當橋梁進行側推分析(Pushover)時之力與位移的關係曲線，稱為結構容量曲線；可代表該橋梁結構抵抗外力之能力，SAP2000程式可將結構之性能曲線(Performance curve, P-Δ關係曲線)經ATC-40轉換為其結構容量震譜(Capacity spectrum; Sd-Sa關係曲線)，並依據該區域所對應之耐震規範設計反應譜，可稱為該區地震需求譜，而結構容量曲

線譜與規範設計下之需求譜所交會的點，即性能點(Performance point)，在工程實務上性能點為表示該結構物之耐震能力重要指標，而性能點Ay為降伏地表加速度與Ac為崩塌地表加速。換言之，亦可依現有之Ay及Ac推求其結構容量震譜，以定義其等值單自由度下之結構特性參數。

由已知之Ay及Ac性能點推求結構之容量震譜時，須先求取該區之設計地震水平加速度反應譜；以一般工址為例，依橋梁所在位置可依耐震設計規範查詢該區域之震區短週期與一秒週期水平譜加速度係數S_S^D、S_1^D，並依地盤類別(依剪力波速度進行分類)求取其對應之反應譜等速度段及等加速度段工址放大係數F_v、F_a，如此可推算其工址短週期與一秒週期之設計地震水平譜加速度係數S_{DS}、S_{D1}與轉角週期T_0^D，如式(4.11)-(4.13)。另外，若橋梁工址臨近第一類活動斷層則須依考慮近斷層調整因子，以修正其譜加速度係數。

$$S_{DS} = F_a S_S^D \quad \text{.....(4.11)}$$

$$S_{D1} = F_v S_1^D \quad \text{..... (4.12)}$$

$$T_0^D = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad \text{..... (4.13)}$$

依橋梁等值單自由度基本振動週期T與其工址轉角週期，參照耐震計畫規範以決定其反應譜所屬週期區段。若基本振動週期小於工址轉角週期，則本研究假設該座橋梁屬等加速度反應段，而其降伏譜加速度Say則為2.5Ay；若基本振動週期大於工址轉角週期，則本研究假設該座橋梁屬等速度反應段，而其降伏譜加速度則須依式(4.14)計算。

$$S_{aD} = \begin{cases} S_{DS}(0.4 + 3T/T_0^D) & ; \quad T \le 0.2T_0^D \\ S_{DS} & ; \quad 0.2T_0^D \le T \le T_0^D \\ S_{D1}/T & ; \quad T > T_0^D \end{cases} \quad \text{..... (4.13)}$$

$$S_{ay} = 2.5 \times A_y \times \left(T_0^D\right)/T \quad \text{..... (4.14)}$$

本研究依橋梁A_y與A_c之比值以決定其地震力折減係數F_{uD}，參照耐震設計規範以計算其系統韌性容量，如式(4.15)所示。

$$F_{uD}=\begin{cases} R_a & ;\quad T\geq T_0^D \\ \sqrt{2R_a-1}+\left(R_a-\sqrt{2R_a-1}\right)\times\dfrac{T-0.6T_0^D}{0.4T_0^D} & ;\quad 0.6T_0^D\leq T\leq T_0^D \\ \sqrt{2R_a-1} & ;\quad 0.2T_0^D\leq T\leq 0.6T_0^D \\ \sqrt{2R_a-1}+\left(\sqrt{2R_a-1}-1\right)\times\dfrac{T-0.2T_0^D}{0.2T_0^D} & ;\quad T\leq 0.2T_0^D \end{cases} \quad \text{..... (4.15)}$$

4.2.8 非線性動力分析模式

非線性動力分析主要是在於模擬結構受地震力之反覆載重時之非線性反應，本研究主要參考武田模型(Takeda model)以進行非線性動力分析乃為工程上RC構材在反覆載重時的受力-變形行為使用最廣泛之模型，其力量與位移關係則如圖4.16所示。主要輸入資訊為：(1)橋梁單自由度下之等值結構容量譜，以識別其結構特性參數包含：彈性勁度ky、降伏基底剪力Fy(=M*Say)、極限基底剪力Fu(本研究假設其與Fy相同)、降伏位移δy、極限位移δu(=Ra*δy)、降伏後勁度修正係數η(本研究假設為0)及勁度折減參數α(=0.4)；(2)與設計加速度反應譜協合之地震歷時，並參考過去所發生之災害型地震記錄，以決定該區適用之地震加速度地震歷時。

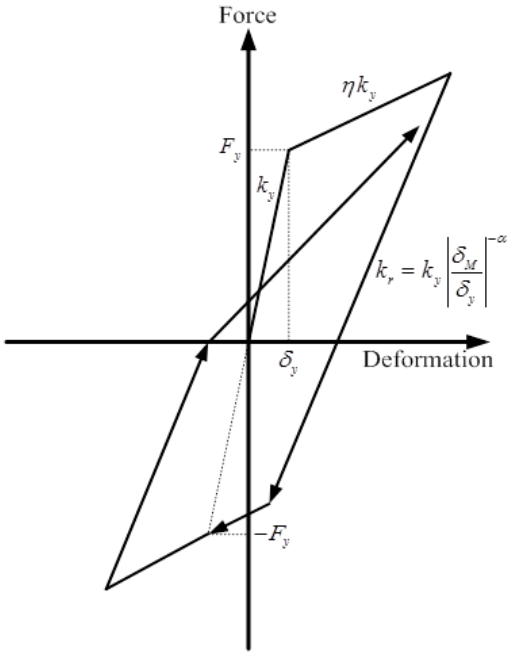


圖 4.16 武田模型(Takeda model)之力量與位移關係

4.2.9 RC橋梁模型

牛鬥橋橋長(L)：7@36.6= 256 m；橋柱高(h)：1080 cm；橋柱斷面圓形直徑(D)：180 cm；軸力(N)：347 t； 箍筋間距(s)：20 cm；主筋#10根數(n)：30，如圖4.17及4.18所示。

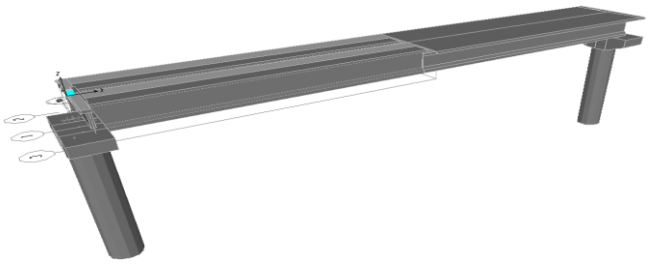


圖 4.17 橋梁通阻之 SAP2000 牛鬥橋模型

資料來源 :橋梁通阻，2011[42]

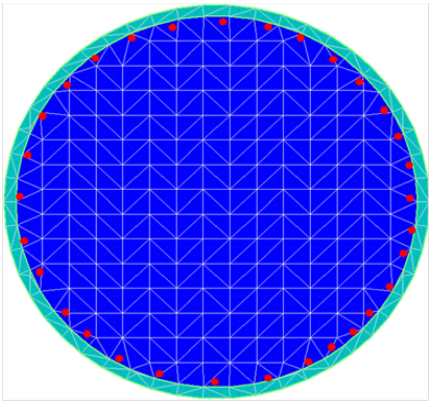


圖 4.18 牛鬥橋之 XTRACT 斷面分析

資料來源 :橋梁通阻，2011[42]

三星橋橋長(L)：4@30= 120 m；橋柱高(h)：600 cm；橋柱斷面圓形直徑(D)：300 cm；軸力(N)：793 t； 箍筋間距(s)：20 cm ；主筋#9根數(n)：84，如圖 4.19 所示。

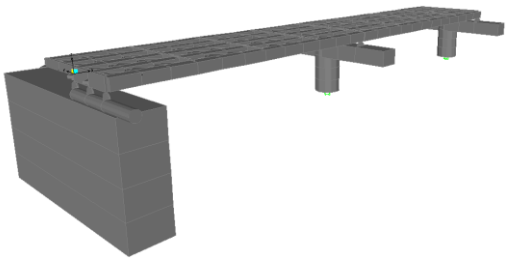


圖 4.19 SAP2000 三星橋模型

資料來源 :橋梁通阻，2011[42]

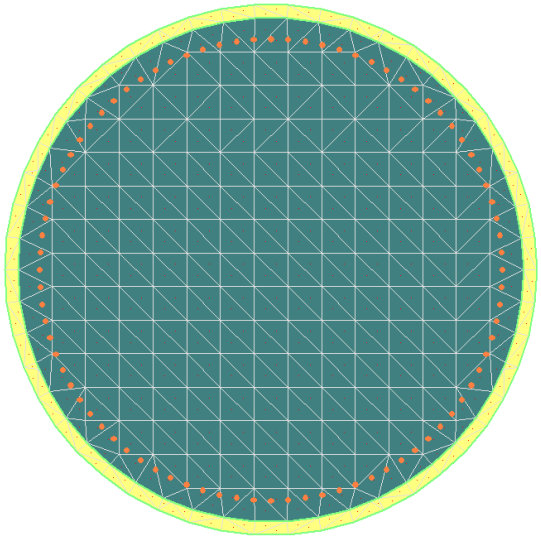


圖 4.20 三星橋之 XTRACT 斷面分析

資料來源 :橋梁通阻，2011 鄭明淵等，2011 [42]

4.2.10 諧和加速度地震歷時

地震事件除其PGA外，地震加速度歷時紀錄亦會影響結構物反應，而考慮人造地震歷時適用性；以符合工址的地質狀況與預期之地震強度。因此需要採用歷年災害真實地震力與耐震設計規範做為該地區諧和地震歷時，本研究主要參考災害地震為發生於民國八十八年九月二十日的921地震，震央位於臺灣南投縣集集鎮，車籠埔斷層上面，規模高達芮氏7.3，是臺灣近百年來具有代表性之大地震。工程應用上，有許多方法可以製作與設計反應譜相符之人造地震，概分為頻率域分析與時間域分析方法兩種，如SIMQUAKE程式即屬於頻率域分析方法，主要根據頻率域之反應譜值誤差量比例修正其對應頻率之富氏譜振幅值，逐次迭代修正致人造地震之反應譜與目標(耐震設計)反應譜一致，而得到人造地震加速度歷時。時間域分析方法可以由原始地震紀錄開始，在各個既定頻率(或週期)計算其反應譜值，根據其與目標反應譜之誤差，在時間域原地震紀錄發生反應極值(即反應譜值)之時間點附近加減一個微小地震紀錄改變量。對每個既定頻率均進行微小地震紀錄改變量之修正。逐次迭代修正致人造地震之反應譜與目標(耐震設計)反應譜一致，而得到人造地震加速度歷時。本研究所使用

國震中心建議之人造地震歷時模擬方法，依據本文第三章分析結果未來100年之地震發生次數與各規模做為輸入檔，由地表震動模擬分析各規模下之PGA值輸出檔，可依表4-9至表4-10所示。

依表4-10公路橋梁耐震設計規範之阻尼比(5%)一般工址設計水平加速度反應譜與選取民國88年921地震歷時進行諧和地震歷時分析如圖4.21所示，經由分析可得(1)諧和設計水平反應譜(2)諧和地震歷時，本研究使用地震諧和設計水平反應譜之EPA值與表4-9至表4-12該區域各規模下之PGA值進行正規化，並依正規化後之地震係數，做為各規模下之該區域諧和地震歷時放大或縮小之依據，即可獲得適用本研究之人造地震歷時。

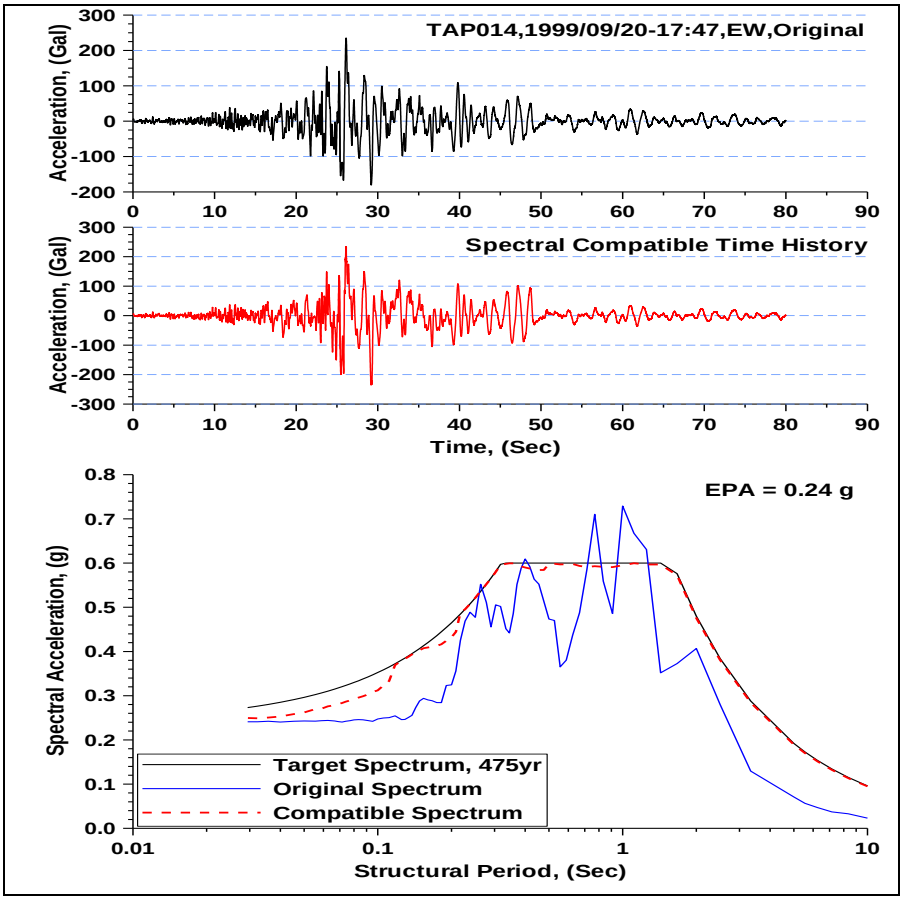


圖 4.21 原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料

資料來源:使用國震中心提供程式分析

表 4-9 為宜蘭 ZS01 未來 100 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值

規模	ILA025(gal)	ILA022(gal)
7.4	127	121
7.1	91	85
6.9	72	67
6.8	64	60
6.7	57	52
6.6	51	45
6.5	45	40
6.4	40	33
6.4	40	33
6.3	35	28
6.3	35	28
6.2	32	24
6.2	32	24
6.2	32	24
6.2	32	24
6.1	28	21
6.1	28	21
6.1	28	21
6.0	25	18
6.0	25	18

表 4-10 為花蓮 ZS02 未來 100 年發生規模大於 6.0 之 PGA 值

規模	ILA025(gal)	ILA022(gal)
7.4	144	116
7.1	104	82
7.0	93	73
6.8	63	61
6.7	55	50
6.6	47	43
6.6	47	43
6.5	40	37
6.5	40	37
6.4	34	32
6.4	34	32
6.3	29	27
6.3	29	27
6.3	29	27
6.2	24	23
6.2	24	23
6.2	24	23
6.2	24	23
6.1	21	20
6.1	21	20
6.1	21	20
6.1	21	20
6.0	18	18
6.0	18	18

4.2.11 橋梁地震損害評估

Park and Ang(1985)所發展出之PA準則主要用於結構物震後損壞程度判斷依據，目前已被廣泛使用於RC結構桿件或系統；其損壞程度共分為五個等級，而與地震損傷指標關係可參照表4-11 (主要參考日本阪神大地震之統計分析結果)。PA模型之損壞指標主要依據地震作用下結構物之最大變形反應與反覆載重下遲滯迴圈之消散能量(即每一振動迴圈遲滯阻尼所消散之能量)進行評估，如式(4.16)所示。一般而言，當其損壞指標大於等於1.0時，則結構物可視為完全損壞或倒塌。

$$D_{P\&A} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \int dE \quad \text{..... (4.16)}$$

式中，DP&A：地震損壞指標；δM：地震作用下結構物之最大反應變位； dE：消散能量增量(Incremental absorbed hysteretic energy (excluding potential energy))；β：反覆載重影響係數(一般鋼筋混凝土建築物為設為0.05)。

表 4-11 為 RC 結構物之損傷指標

損害分級	損傷指標	損壞程度之描述
無損傷	<0.1	外部輕微裂縫非結構元件出現
輕微損傷	0.1-0.2	結構元件出現微小裂縫
中度損傷	0.2-0.4	隔間住上下兩端出現撓剪裂縫。非結構元件出現明損壞。
重度損傷	0.4-0.1	混凝土橋柱之核心混凝土碎裂，箍筋嚴重鬆脫，主筋挫屈。
完全崩塌	>1.0	混凝土橋柱之核心混凝土嚴重碎裂脫離，喪失承載能力，橋柱倒塌趨勢。

結構物若承受中度地震或非災害型地震且震後並未進行修補，當地震再度發生時，其損傷必有所累積且非線性累加。本研究利用地震作用後所得之最大反應變位及殘留變位，依式(4.17)-(4.18)修正其結構性能；其中，(i-1)為第i次地震發生前，而i為第i次地震發生後。

$$\delta_y^i = \delta_M^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \text{..... (4.17)}$$

$$\delta_u^i = \delta_u^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \text{.....(4.18)}$$

本研究除修正上述所列之降伏位移與極限位移外，其結構彈性勁度也會依圖4.22所示進行修正。然而，本研究主要分析橋梁於未進行任何維護下之地震風險評估，因此每次地震後之損傷指標計算，除遲滯消散能量須累計外，最大反應變形則取各地震作用下之最大值進行評估，如式(4.19)所示。

$$D_{P\&A}^i = \frac{\max\{\delta_1, \delta_2, ..., \delta_i\}}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \sum_{i=1}^{i} \int dE \quad \text{.....(4.19)}$$

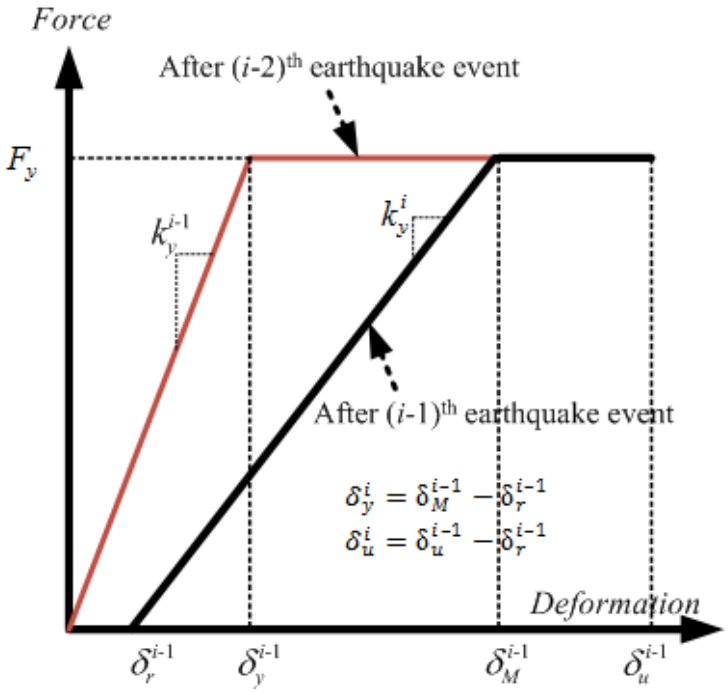


圖 4.22 震後結構性能修正示意圖

本研究對於未來發生地震損壞指標累積分析，依據第三章地震發生次數規模，而求得各規模下之PGA值，一般而言規模要大於6才會造成災害，且研究中發現PGA值小於80gal以下時，對橋梁造成的損壞相當小不足以影響DP&A的判斷，因此本研究不考量PGA值為80gal以下之地震。為求未來各規模地震發生次數序列真實性，本研究依據蒙地卡羅運算模擬地震序列發生，並假設橋梁於不修復條件下之未來100

年地震累積損傷。對於未來100年之牛門橋與三星橋損壞分析結果；如表4-12-表4-15。依分析結果可知，無論為ZS01或ZS02之區域震源，對三星橋之損害並不顯著，均落於輕度損傷範圍；但就牛門橋而言，以100年為其設定使用年限，則橋梁會進入重度損傷等級。

表 4-12 未來 100 年宜蘭 ZS01 對牛門橋模型損壞指標

牛門橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA025 ($D_{P\&A}$)
損傷指標(01)	127	0.30
損傷指標(02)	91	0.37
損傷指標(03)	72	0.37
損傷指標(04)	64	0.37
損傷指標(05)	57	0.37
損傷指標(06)	51	0.37
損傷指標(07)	45	0.37
損傷指標(08)	40	0.37
損傷指標(09)	40	0.37
損傷指標(10)	35	0.37
損傷指標(11)	35	0.37
損傷指標(12)	32	0.37
損傷指標(13)	32	0.37
損傷指標(14)	32	0.37
損傷指標(15)	32	0.37
損傷指標(16)	28	0.37
損傷指標(17)	28	0.37
損傷指標(18)	28	0.37
損傷指標(19)	25	0.37
損傷指標(20)	25	0.37

表 4-13 未來 100 年宜蘭 ZS01 對三星橋模型損壞指標

三星橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA022 ($D_{P\&A}$)
損傷指標(01)	121	0.17
損傷指標(02)	85	0.18
損傷指標(03)	67	0.18
損傷指標(04)	60	0.18
損傷指標(05)	52	0.18
損傷指標(06)	45	0.18
損傷指標(07)	40	0.18
損傷指標(08)	33	0.18
損傷指標(09)	33	0.18
損傷指標(10)	28	0.18
損傷指標(11)	28	0.18
損傷指標(12)	24	0.18
損傷指標(13)	24	0.18
損傷指標(14)	24	0.18
損傷指標(15)	24	0.18
損傷指標(16)	24	0.18
損傷指標(17)	21	0.18
損傷指標(18)	21	0.18
損傷指標(19)	18	0.18
損傷指標(20)	18	0.18

表 4-14 未來 100 年花蓮 ZS02 對牛鬥橋模型損壞指標

牛鬥橋 (ZS02)	PGA (gal)	ILA025 ($D_{P\&A}$)
損傷指標(01)	144	0.33
損傷指標(02)	104	0.39
損傷指標(03)	93	0.43
損傷指標(04)	63	0.43
損傷指標(05)	55	0.43
損傷指標(06)	47	0.43
損傷指標(07)	47	0.43
損傷指標(08)	40	0.43
損傷指標(09)	40	0.43
損傷指標(10)	34	0.43
損傷指標(11)	34	0.43
損傷指標(12)	29	0.43
損傷指標(13)	29	0.43
損傷指標(14)	29	0.43
損傷指標(15)	24	0.43
損傷指標(16)	24	0.43
損傷指標(17)	24	0.43
損傷指標(18)	24	0.43
損傷指標(19)	21	0.43
損傷指標(20)	21	0.43
損傷指標(21)	21	0.43
損傷指標(22)	21	0.43
損傷指標(23)	18	0.43
損傷指標(24)	18	0.43

表 4-15 未來 100 年花蓮 ZS02 對三星橋模型損壞指標

三星橋 (ZS02)	PGA (gal)	ILA022 ($D_{P\&A}$)
損傷指標(01)	116	0.14
損傷指標(02)	82	0.17
損傷指標(03)	73	0.17
損傷指標(04)	61	0.17
損傷指標(05)	50	0.17
損傷指標(06)	43	0.17
損傷指標(07)	43	0.17
損傷指標(08)	37	0.17
損傷指標(09)	37	0.17
損傷指標(10)	32	0.17
損傷指標(11)	32	0.17
損傷指標(12)	27	0.17
損傷指標(13)	27	0.17
損傷指標(14)	27	0.17
損傷指標(15)	23	0.17
損傷指標(16)	23	0.17
損傷指標(17)	23	0.17
損傷指標(18)	23	0.17
損傷指標(19)	20	0.17
損傷指標(20)	20	0.17
損傷指標(21)	20	0.17
損傷指標(22)	20	0.17
損傷指標(23)	18	0.17
損傷指標(24)	18	0.17

4.3 橋梁可靠度分析-洪水

4.3.1 橋梁分類(依所在流域)

因橋梁所屬流域不同，所遭遇之洪水程度與頻率亦會有所差異，故本研究將依橋梁所屬流域分群進行研究評估。參考水利署臺灣主要河川之流域定義，分為二十四個流域，如圖4.23所示。



圖 4.23 臺灣主要河系分布圖(水利署)

4.3.2 統計分析

根據橋梁管理系統TBMS歷年SSI調查記錄與水利署水位站監測記錄，找出各年度SSI下降值與當年對應之洪水重現期，統計分析紀錄結果如表4-16所示。表格中的數字為此流域橋梁在遭遇該洪水重現期時，SSI對應下降分數。以淡水河跨河橋梁為例，曾經遭遇洪水重現期為五年的洪水，所對應SSI的下降值為2分。因阿公店溪無對應之歷年觀測之水位資料，故無法計算對應SSI下降值。

表 4-16 臺灣主要河系洪水重現期對應 SSI 指標下降表

洪水重現期 / 臺灣主要河系	1年	2年	5年	10年	20年	50年	100年	200年
淡水河	1	1	2	2	3	3	3	4
鳳山溪	1	1	7	9	11	14	17	19
頭前溪	1	1	2	3	4	5	6	7
中港溪	2	3	4	5	6	8	9	9
後龍溪	1	1	2	2	3	3	4	5
大安溪	1	3	5	7	10	13	16	20
大甲溪	1	3	5	7	8	10	12	13
烏溪	1	1	2	2	3	3	4	5
濁水溪	1	7	12	15	18	22	27	30
北港溪	1	4	6	7	9	11	12	12
朴子溪	1	2	4	5	6	7	8	9
八掌溪	1	2	3	4	4	5	5	6
急水溪	1	1	2	2	3	4	5	5
曾文溪	1	1	2	2	2	3	3	3
鹽水溪	1	2	4	4	5	6	6	6
二仁溪	1	1	1	2	3	2	2	4
高屏溪	1	1	2	2	3	3	3	3
東港溪	1	3	4	5	5	6	7	8
四重溪	1	3	4	5	6	7	7	8
卑南溪	1	1	1	2	2	2	3	3
秀姑巒溪	1	2	3	4	4	5	5	6
花蓮溪	1	3	4	5	5	6	7	7
和平溪	1	1	2	3	3	4	5	5
蘭陽溪	1	2	2	3	3	4	5	6

4.3.3 洪水事件產生器

本研究根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件，如圖4.24所示。分別為發生100年洪水重現期時對應SSI值下降曲線示意圖，如發生的洪水較小下降趨勢亦較為和緩。

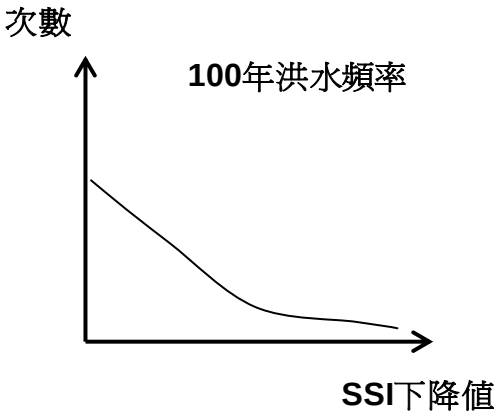


圖 4.24 發生 100 年洪水時對應 SSI 指標下降

4.3.4 失敗門檻訂定

本研究根據各河系橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時SSI值為建議維修門檻，如圖4.25所示，濁水溪流域預設之維修門檻值為68。未來相關管理單位可根據需求調整此門檻值，以符合現況。

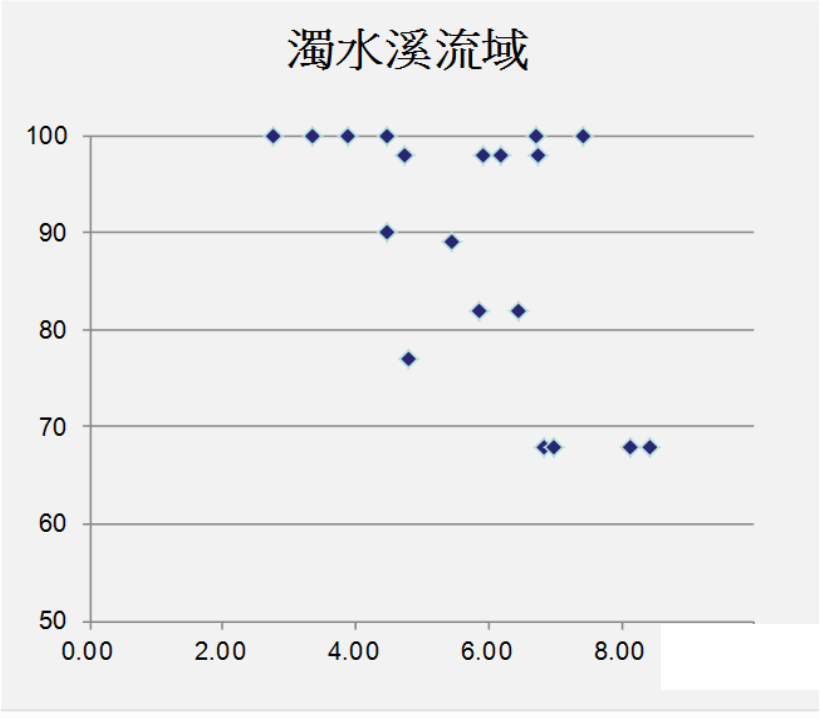


圖 4.25 失敗門檻建議值

4.3.5 蒙地卡羅模擬

此階段使用蒙地卡羅模擬橋梁未來100年洪水可能發生事件，流程如圖4.26所示，將模擬計算10,000次，依SSI下降趨勢表，計算可能之SSI值，找出橋梁在洪水沖刷下破壞的機率。

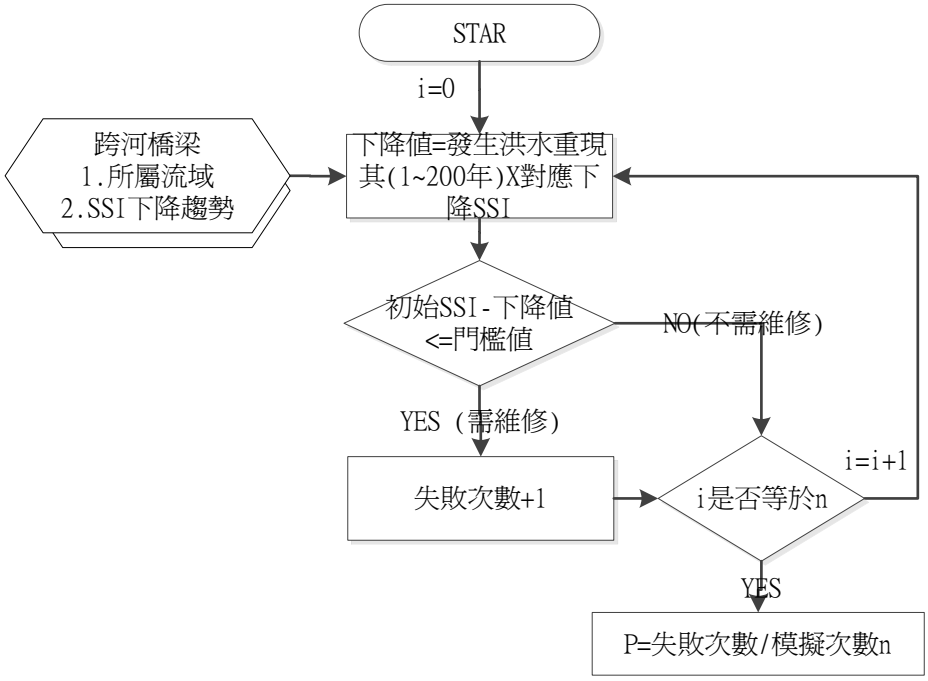


圖 4.26 洪水造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖

公路總局跨越主要河川橋梁依此流程計算，成果如表4-17所示。

表 4-17 蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率(%)
A01-0020-098A	一區	景美	臺北縣	貢寮	76.02
A01-005A-006A	一區	景美	臺北縣	汐止	33.39
A01-0050-017B	一區	景美	臺北縣	汐止	20.72
A01-0050-016A	一區	景美	臺北縣	汐止	12.35
A01-0020-026A	一區	景美	臺北縣	石門	12.03
⋮					
A01-0020-052A	一區	景美	臺北縣	萬里	0.01
A01-0020-075A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0
A01-0020-076A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0

第五章 風險衝擊影響程度

本章節將估算橋梁破壞時所需維護經費，即對公路管理單位所造成之衝擊影響。並建置橋梁維護成本評估模式，利用人工智慧學習方式推估未來橋梁可能造成的影響程度及所對應之維修成本。最後，本章節延續第二年度所確立之綜合能力指標E(MC)(式5.1)，利用上章節獲得之橋梁維修機率(P)結合本章節所得之橋梁維修成本(C)，相乘得到該橋梁風險影響程度，其流程如圖5.1所示。

$$E(MC)_{\mathrm{i}} = P_{E\mathrm{i}} \times C_{E\mathrm{i}} + P_{S\mathrm{i}} \times C_{S\mathrm{i}} + P_{D\mathrm{i}} \times C_{D\mathrm{i}} \quad \text{..... (5.1)}$$

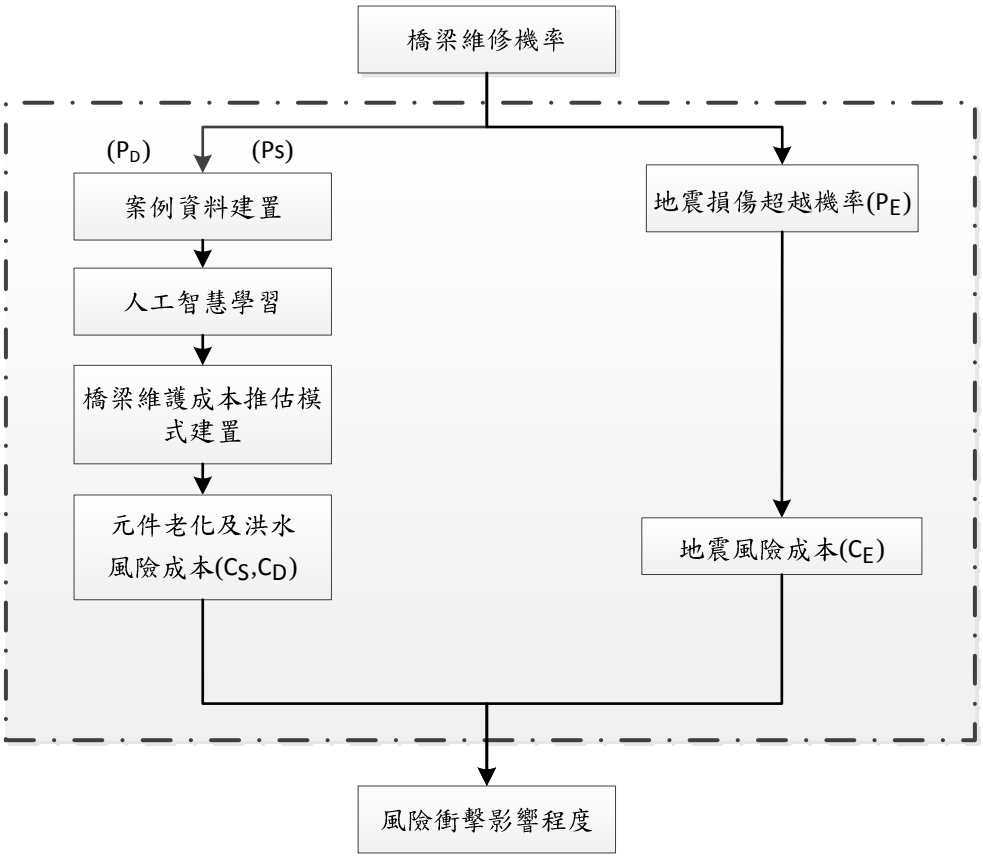


圖 5.1 橋梁維修機率流程圖

5.1 元件老化及洪水維修成本

本研究風險因子共有三項：包含可視老化(元件老化)、潛勢危害(地震、洪水)。故本步驟將以元件老化、地震及洪水順序橋梁風險分析步驟說明，最後將得到橋梁5年、10年、15年、20年、25年及30年之橋梁維修成本。

5.1.1 橋梁維修因子評估

本研究擬收集橋梁維護經費資料，藉由人工智慧推論模式找出案例資料中(日常巡檢表單)，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值(維修案例經費)之映射關係。因此可根據不同橋梁之D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

目前，人工智慧推論模式多採用類神經網路、支持向量機等學習模式，但這些模式均有參數設定與初始化問題。考量尋優速度與推論準確性，因此本研究將應用快速混雜基因演算法融合支持向量機發展一「人工智慧機械學習推論模式」，透過快速混雜基因演算法搜尋模式最適參數值，應用支持向量機分析迴歸輸入(日常巡檢表單，D.E.R.&U.)與輸出(維修案例經費)之映射關係，進而發展出一最佳化推論模式。此推論模式之優點為可藉由案例資料庫之更新與新增案例數，提升模式預測準確率。

每座橋梁之壽齡，因設計、施工及維護保養之條件有所不同，致使橋梁壽齡彼此間可能有很大的差異。對於橋梁壽齡偏低的橋梁，如能在適當的時機點維修，將有效的提升橋梁的壽齡。不過當要評估的橋梁數量非常龐大時，所花費的時間與經費頗為驚人，因此本研究希望應用ESIM，建立橋梁耐震能力診斷模式，利用此模式對影響橋梁維修經費的因子做出準確的判斷，降低成本及花費的時間。

本研究參考臺灣地區橋梁管理資訊系統中，將公路總局所管理之鋼筋混凝土橋梁之橋梁整體狀況指標(CI)與洪水沖刷指標(SSI)，將依據其橋梁屬性資料欄位(如表5-1)的各項因子以統計分析與專家訪談的方法 ，找出最適當的因子，做為本研究模型參數。

表 5-1 橋梁屬性資料欄位

橋梁名稱	是否有竣工圖	跨距分配	橋塔材質
使用狀態	竣工圖說保存地點	最高橋墩高度	橋塔型式
橋梁編號	檢測週期(月/次)	最低橋上淨高(M)	主纜索型式
設施種類	跨越物體	最低橋下淨高(M)	吊索型式
管理機關	年平均每日交通量	橋頭 GPS 經度	吊索佈置型式
養護工程處	參考地標	橋頭 GPS 緯度	索面系統型式
養護工務段	是否為跨河橋	橋尾 GPS 經度	索面佈置型式
所在縣市	跨越河川類別	橋尾 GPS 緯度	拱上結構型式
所在區鄉	河川管理單位	結構型式	橋面版位置
道路等級	河川名稱	支撐端型式	拱圈材質
路線	上游 500 公尺構造物	主梁材質	橫桿材質
橋頭里程(K)	下游 500 公尺構造物	主梁型式	吊材材質
橋頭里程(M)	上游最近水位站	鋼構接合型式	立柱材質
橋尾里程(K)	計畫洪水位(EL)	橫梁型式	鋼纜型式
橋尾里程(M)	計畫河寬(M)	橋面版材質	錨定裝置
竣工年	計畫堤頂高程(EL)	鋪面材質	設計活載重
竣工月	設計河床高程(EL)	伸縮縫型式	地盤種類
最近維修年	設計橋梁出水高(M)	支承型式	防震設施
最近維修月	橋梁總長(M)	橋台型式	設計震度
造價	A1 進橋版長度(M)	橋台基礎型式	防落橋長度
合約編號	A2 進橋版長度(M)	翼牆/擋土牆型式	設計水平地表加速度(G)
交流/匝道	最大淨寬(M)	橋墩材質	設計垂直地表加速度(G)
匝道編號	最小淨寬(M)	橋墩型式	GIS 座標 X
改道長度	橋版投影面積(M^2)	橋墩基礎型式	GIS 座標 Y
設計單位	總車道數	橋墩最淺基礎深度(M)	SSI
監造單位	總橋孔數	橋墩最深基礎深度(M)	CI
施工單位	最大跨距(M)	橋基保護工法	

5.1.2橋梁維修因子篩選

本研究依據公路總局TBMS橋梁屬性資料欄位共107欄位，由於原始資料庫欄位過多，無法明確表示出各因子與橋梁維修經費之相關性。故將結合案例作統計分析，以TBMS系統中228筆(跨河)、160(非跨河)筆橋梁維修紀錄為資料庫，利用SPSS分析評估因子與維修經費相關性，挑選顯著相關參數做為模式因子。將初擬影響元件老化維修經費的因子如表5-2，影響洪水沖刷維修經費的因子如表5-3。

本研究透過專家訪談的方式，將初擬的影響因子與公路總局兩位

副段長及港灣技術研究中心專員討論修正，修正處以*表示。其中元件老化部分:新增竣工年欄位，主要考量橋梁使用時間與材料可能產生老化的反應，另以高程考量山地與平地段之差異。洪水沖刷部分以高程考量山地與平地段之差異。

表 5-2 元件老化維修經費因子

影響因子	關聯	單位
CI	維修前 CI 指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M^2
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程*	山地與平地段考量	文字
年平均每日車流量	反覆載重或使用量影響	車輛數
距海遠近	大氣腐蝕因素	公里
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年
竣工年*	施工技術	民國年

表 5-3洪水維修經費因子

影響因子	關聯	單位
SSI	維修前 SSI 指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M^2
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程*	山地與平地段考量	文字
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年

5.1.3 建立橋梁維修案例資料庫

本研究收集歷史維修紀錄，分別收集非跨河橋梁維修案例160筆(如表5-4)及跨河橋維修案例228筆(如表5-5)，建置維護案例資料庫。再利用人工智慧ESIM推論模式，推論橋梁遭遇風險下可能維修成本。

表 5-4 非跨河橋維修案例(節錄)

No	新CI	維修金額(原始值)	維修金額修正後	物價指數	最近維修年	橋版投影面積(M^2)(維修量體)	最低橋下淨高(M)(維修量體)	結構型式(維修方式)	距海遠近	每日平均車流量	EV	山地考量	開工年(物價修正用)
1	99	600	600	100.00	2006	222.48	5	梁式橋	27676	2306	200.10	0	76
2	99	2000	2000	100.00	2006	187	3	梁式橋	30160	2306	142.84	0	76
3	88	3298681	3537839	93.24	2005	6072	5	箱型橋	20323	2834	23.26	0	81
4	83	4420146	3903343	113.24	2009	27730	4.6	梁式橋	22293	1537	37.00	0	85
5	86	3814037	4090559	93.24	2005	893.44	4	梁式橋	2487	2306	9.66	0	82
6	84	3560679	4388315	81.14	2003	480	8.6	梁式橋	26842	3634	36.08	0	63
7	85	3560679	4388315	81.14	2003	130	3.3	梁式橋	28884	3634	129.73	0	59
155	84	3560679	4388315	81.14	2003	40	2	梁式橋	27358	3664	162.32	0	53
156	83	5190000	4441212	116.86	2010	72682	4.8	梁式橋	17732	2306	154.82	0	85
157	81	5000000	5362505	93.24	2005	646.8	8.9	梁式橋	20709	2306	241.49	0	83
158	82	5917334	5917334	100.00	2006	132	3.89	梁式橋	350	842	16.30	0	63
119	82	5917334	5917334	100.00	2006	67.2	4.82	版橋	127	1684	17.52	0	63
160	80	6000000	6435006	93.24	2005	23322	5	梁式橋	14236	20919	4.69	0	75

表 5-5 跨河橋梁維修案例(節錄)

No	沖刷指標	維修金額(原始值)	維修金額修正後	物價指數	開工年(物價修正用)	橋版投影面積(M2)(維修量體)	最低橋下淨高(M)(維修量體)	結構型式(維修方式)	高程	山地考量
1	99	1400	1502	93.24	2005	9956	11.3	梁式橋	9.85	0
2	99	2000	1711	116.86	2010	1200	4.2	梁式橋	17.21	0
3	99	3000	3000	100.00	2006	1500	3.5	梁式橋	130.52	0
4	99	3000	3000	100.00	2006	1500	3.5	梁式橋	130.52	0
5	99	3000	3697	81.14	2003	6900	5.5	梁式橋	131.25	0
6	98	4500	3974	113.24	2009	3979	8	梁式橋	111.40	0
7	99	4500	3974	113.24	2009	3979	8	梁式橋	111.40	0
8	99	5000	4279	116.86	2010	750	5.3	梁式橋	175.89	0
						•				
						•				
						•				
221	80	10592528	9717916	109.00	2007	359.3	8.4	梁式橋	18.10	0
222	50	9091000	9750107	93.24	2005	1188	6.5	梁式橋	43.78	0
223	81	12510000	10068410	124.25	2008	2530	25	剛架橋	547.86	0
224	77	10087550	10893683	92.60	2004	846	5.7	梁式橋	5.83	0
225	80	12917215	11406937	113.24	2009	11400	20	梁式橋	71.10	0
226	80	12917215	11406937	113.24	2009	11400	20	梁式橋	71.10	0
227	80	13260438	11710030	113.24	2009	39627	4.6	梁式橋	86.94	0
228	80	12072250	12947501	93.24	2005	34452	10.33	梁式橋	8.37	0

5.1.4 建立橋梁風險影響程度

基於橋梁細部檢測與評估分析，所需耗費之人力、物力經費與時間相當龐大，分析成果之橋梁數有限且時效性不足，無法滿足公路管理單位轄下橋梁安全評估之需求，因此本研究藉由AI推估橋梁風險(可能風險成本)，找出橋梁日常巡檢目視調查(D.E.R.&U.)之表單資料與對應橋梁案例維修經費之映射關係，再針對其餘未進行日常巡檢目視調查之橋梁，利用ESIM模式訓練結果預測橋梁風險影響程度，以提升橋梁防災能力與時效性。

5.1.4.1 模式參數設定

本研究使用(Cheng and Wu，2008)以ESIM為架構發展而成的Evolutionary Support Vector Machine Inference System「演化式支持向量機推論系統，ESIS」作為訓練與測試軟體。首先將橋梁風險衝擊影響程度推論模式所需之參數設定值輸入軟體中，利用ESIM執行自我調適程序，系統會將最後搜尋出之最佳染色體，以便使用者利用此一模式進行橋梁的風險影響程度預測。其模式分析流程如圖5.2

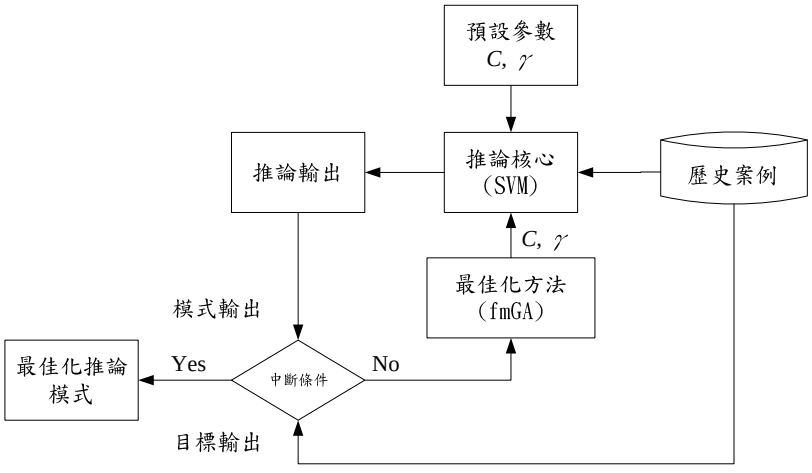


圖 5.2 人工智慧橋梁耐震能力推論模式

5.1.4.2 ESIM可行性分析

本節依據ESIM之架構與特性，針對本研究預測橋梁風險衝擊影響程度進行評估，分析了解此課題是否適合以ESIM模式處理。

1. ESIM 可以經由快速混雜基因演算法案例學習中，擷取最佳化容錯值參數 C 及核心函數(Kernl Fuction)中(gamma)值，決定支持向量機最佳化重要參數。
2. ESIM 以演化式支持向量機為架構妥善的處理不確定的資訊，以解決不確定性的問題(uncertainty)，所以對於預測橋梁風險衝擊影響程度的不確定性已經被考慮在其中。
3. ESIM 係以為支持向量機(SVM)為推論引擎，以處理複雜的輸入與輸出變數之間映射關係，能夠有效地描述出橋梁影響因子與橋梁維護經費之映射關係。

5.1.4.3 ESIM架構

ESIM系統系統模組架構包含三個部分分別為：

1. 資料庫管理(Database Management)：將訓練案例與測試案例輸入資料庫。
2. 模式訓練(Model Training)：於「模式訓練」模組中執行自動參數設定(Automate Parameters)並鍵入終止執行條件，繼而執行模式訓練。
3. 模式表現評估(Model Performance Evaluation)：利用「模式表現評估」模組，以訓練案例與測試案例對訓練出之模式架構進行誤差測試。

5.1.5 ESIM模式訓練與測試

步驟一、案例輸入

元件老化輸入影響因子如表5-2中10項重要影響因子，洪水輸入影響因子如表5-3中7項，將非跨河橋梁與跨河橋梁兩類案例資料分別輸入ESIM之Training File案例資料庫中，應用ESIM進行模式訓練。

本模式輸入變數與輸出皆經由線性調整（Linear Scaling）進行正規化，使輸出值介於0～1之間，參數正規化之過程如式5.2。

$X_{norm}=（X-X_{Min}）/（X_{Max}-X_{Min}）$ ..... (5.2)

其中

X_{norm}：X 正規化後的值

X ：實際值

X_{Max} ：訓練案例中，變數最大值

X_{Min} ：訓練案例中，變數最小值

步驟二、模式訓練

此步驟將設定非跨河橋梁與跨河橋梁案例推論模式參數。搜尋世代設定為100，時間上限為30分，容錯值參數範圍：C=0~100及核心函數中γ=0.0001~1。完成設定後，ESIM系統即進行最佳模式搜尋，如表5-6所示。

表 5-6 ESIM 模式參數設定

ESIM 模式參數設定	
執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)
搜尋時間	30(mins)
容錯參數 C	0~200
核心函數參數 γ	0.0001~1

為求模式之準確性以及廣泛應用性，本研究採取文獻中人工智慧常用之十組交叉驗證(10 fold Cross-validation)方式進行案例訓練與測試。其概念為將案例資料集分成十組，輪流將其中9組當作訓練集，1

組當作測試集，並將10次的結果平均驗證方法可行性。其架構示意如圖5.3所示。

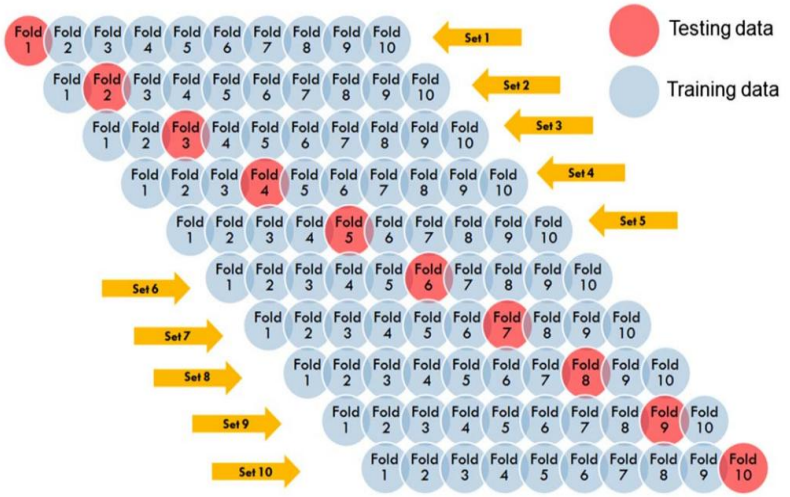


圖 5.3 10 組交叉驗證法

資料來源:Chou，2011

步驟三、模式測試

模式訓練完成後，ESIM會將最後搜尋出之最佳染色體解碼為橋梁風險衝擊影響程度推論模式，經由模式測試可瞭解此推論模式之推論誤差與學習精度。

1. 訓練案例誤差

經由 ESIM 之推論，每筆案例可計算得維修成本輸出值，此評估值又稱為模式預測值；實際橋梁維修成本為實際值，為了瞭解模式訓練後之模式準確度，本研究以誤差均方根（RMSE），計算公式如式 5.3 所示，來衡量模式學習精度。非跨河橋梁模式預測值與案例實際值之十組交叉驗證結果如表 5-7所示、跨河橋梁計算結果如表 5-8所示。

$$\text{RMSE} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{M} e_i^2}{M} \right)^{1/2} \quad \text{..... (5.3)}$$

表 5-7 風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-非跨河橋梁(元件老化)

ESIM 模式執行結果											
案例組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
執行迴圈(EPOCH*ERA)	100(Iterations)										
容錯參數 C	192	198	66	7	50	28	24	126	140	200	103
核心函數參數 γ	0.6673	0.8821	0.1177	0.5356	0.2501	0.0358	0.2761	0.9991	0.5713	0.9501	0.5285
模式訓練-模式均方根誤差(RMSE)	0.08565	0.07118	0.12101	0.12195	0.11567	0.14038	0.10926	0.08452	0.09018	0.07984	0.10196
模式測試-模式均方根誤差(RMSE)	0.09757	0.15824	0.09335	0.04652	0.06300	0.10678	0.17280	0.07449	0.08273	0.12124	0.10167

表 5-8 橋梁風險衝擊影響程度預測模式搜尋結果-跨河橋梁(洪水)

ESIM 模式執行結果											
案例組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)										
容錯參數 C	200	185	120	126	192	16	0	0	189	192	122
核心函數參數 γ	0.4001	0.8705	0.6001	0.8881	0.5221	0.9592	0.7057	0.4705	0.8141	0.9571	0.71875
X 模式訓練-模式均方根誤差(RMSE)	0.09429	0.09550	0.09169	0.08754	0.09375	0.09929	0.10832	0.11578	0.09370	0.08981	0.09697
模式測試-模式均方根誤差(RMSE)	0.09891	0.05421	0.10127	0.11600	0.08188	0.09094	0.14335	0.12138	0.06751	0.09815	0.09736

2. 測試案例驗證

以第一組測試案例輸出結果為例，元件老化 15 筆測試案例模式預測值與實際值之曲線比較如圖 5.4。洪水 21 筆測試案例模式預測值與實際值之曲線比較如圖 5.5。由曲線圖之模式預設值及實際值可發現此模式可成功歸納輸入變數與輸出變數之關係，推論出接近實際成本之預測值。

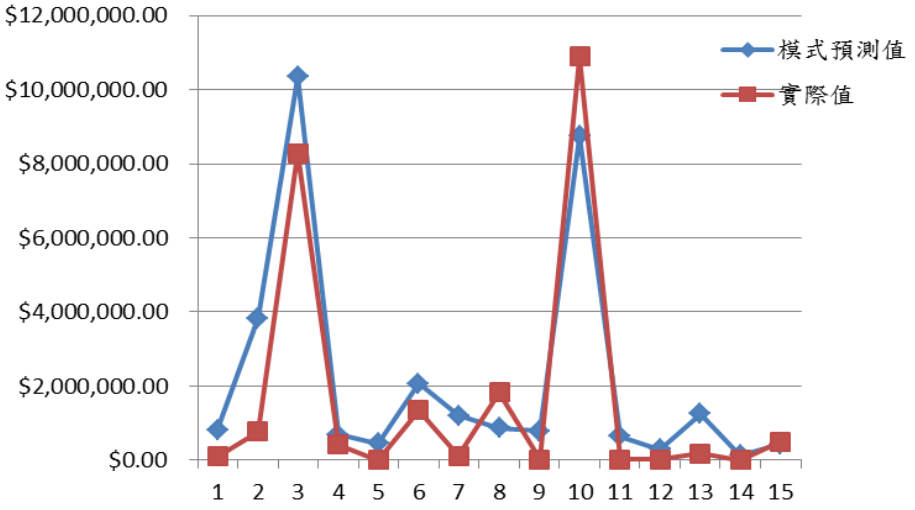


圖 5.4 橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-非跨河橋梁(元件老化)

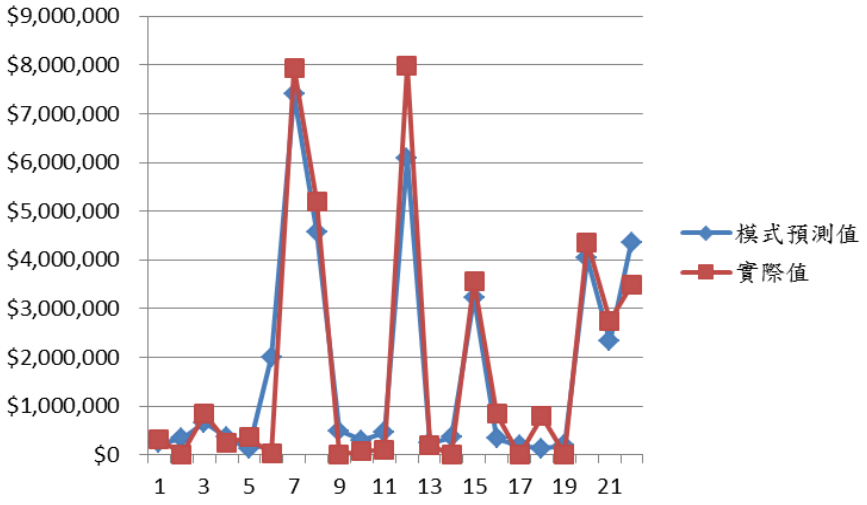


圖 5.5 橋梁風險衝擊影響程度預測值與實際值比較-跨河橋梁(洪水)

5.2 地震造成風險影響程度

本研究主要針對橋梁未進行任何維護下之地震風險與壽命評估，除可依第四章風險機率評估方法決定特定震源下之地震事件(包含設定時間內之發生次數與大小)以進行損傷評估外，然而橋梁管理單位更關心未指定特定震源下之分析結果。因此，本研究建議地震危害度分析法以同時考慮了可能地震及其發生機率、震源可能位置及震度衰減特性，並建立工址某一地震參數(地表最大加速度、地表最大速度、地表最大位移及反應譜等)的年超越機率曲線，亦可稱為危害度曲線(Hazard curve)。

一般工程師不易取得地震危害度分析結果以獲得工址所須之地震危害度曲線，因此本研究為實用性與便利性考量，依耐震設計規範所定之最大地震考量下之工址水平譜加速度係數(再現週期為 2500 年)及設計地震之工址水平譜加速度係數(再現週期為 475 年)，並依自然指數函數近似以求得工址水平譜加速度係數之地震危害度曲線。依工址水平譜加速度係數之地震危害度曲線，本研究採用蒙地卡羅運算模擬設定時間內之地震事件以計算未進行任何維護下之損傷評估，並以各損傷狀態之超越機率表示。此外，本研究依完全崩塌之發生機率定義其未進行維護下之使用壽命。

當結構物受地震損壞時，一般會以結構物損壞狀況之損害比(Damage ratio)此一量化標準來描述地震損壞狀況，如式(5.4)。本研究參考 ATC-13(1985)及 HAZUS(FEMA(1997))之損害程度定義及其損害比之關係，將結構物各損壞狀況對應之損害比定義如表 5-9。

$$\frac{C_L}{C_I} \quad \cdots\cdots (5.4)$$

上式，C_L：結構物受損所需之修復成本；C_I：結構物之建造成本。

表 5-9 損害狀況及損害比之關係

損害分級	損害比
無損傷	0.00
輕微損傷	0.02
中度損傷	0.10
重度損傷	0.50
完全崩塌	1.00

地震風險成本 CE 為此年度結構物受地震外力作用所造成可能之年損失金額，即為考量各程度之地震發生機率及其所造成之損失總和。由上述方法求取各損傷指標之超越機率及損害分級，可得各損傷分級之發生機率。將其乘上此損害分級之損害比，即為此損傷等級可能造成之年損失金額。依此方式即可評估結構物於使用年限下，每年之地震風險成本，詳如式(5.5)所示。

$$C_E = \sum \left(C_E^i \times P_E^i \right) \quad \text{.....(5.5)}$$

上式，C_E^i：建築物第 i 損壞等級之損害比；P_E^i：建築物第 i 損壞等級之發生機率。

以三星橋為例，其初始降伏地表加速度為 0.13g(降伏位移為 0.40cm)而其初始崩塌地表加速度為 0.19g。依其所在位置宜蘭縣三星鄉屬第二類地盤，耐震設計規範所載之震區短週期及一秒週期之設計水平譜加速度係數分別為 0.8 及 0.45(迴歸期為 475 年)，而震區短週期之最大水平譜加速度係數為 0.9(迴歸期為 2500 年)。依本研究所提之分析模式進行壽命評估與地震風險計算，如圖 5.6 及圖 5.7 所示，若以完全崩塌損傷狀態之超越機率 0.5(常態分佈假設下之可靠度值為 0)為限界點決定其壽命，則三星橋於無任何維護工作下之壽命約為 15 年；而 50 年之地震風險成本則為重建成本之 0.9 倍。

以牛鬥橋為例，其初始降伏地表加速度為 0.13g(降伏位移為 3.3cm)而其初始崩塌地表加速度為 0.37g。依其所在位置宜蘭縣三星鄉屬第二類地盤，耐震設計規範所載之震區短週期及一秒週期之設計水平譜

加速度係數分別為 0.8 及 0.45(迴歸期為 475 年)，而震區短週期之最大水平譜加速度係數為 0.9(迴歸期為 2500 年)。依本研究所提之分析模式進行壽命評估與地震風險計算，如圖 5.8 及圖 5.9 所示，若以完全崩塌損傷狀態之超越機率 0.5(常態分佈假設下之可靠度值為 0)為限界點決定其壽命，則牛鬥橋於無任何維護工作下之壽命約為 25 年；而 50 年之地震風險成本則為重建成本之 0.75 倍。

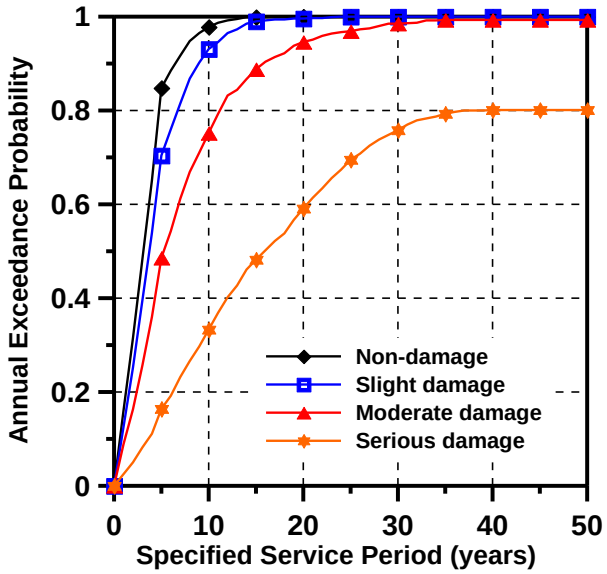


圖 5.6 三星橋未來 50 年內之損傷超越機率

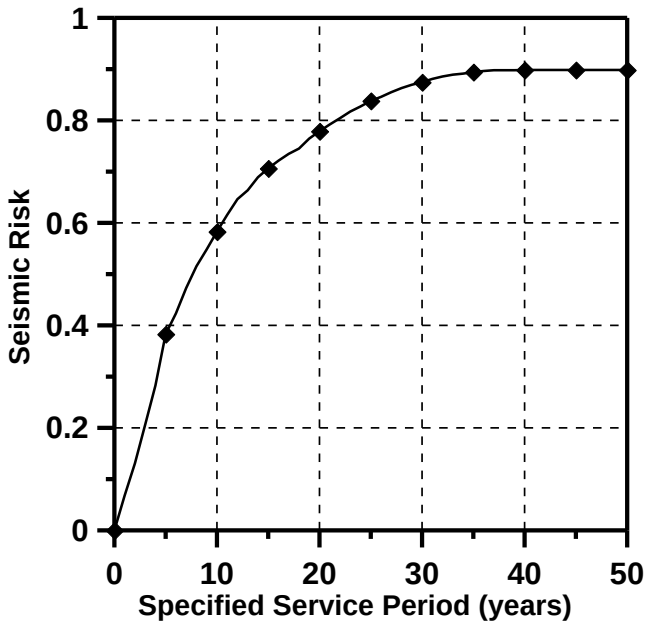


圖 5.7 三星橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

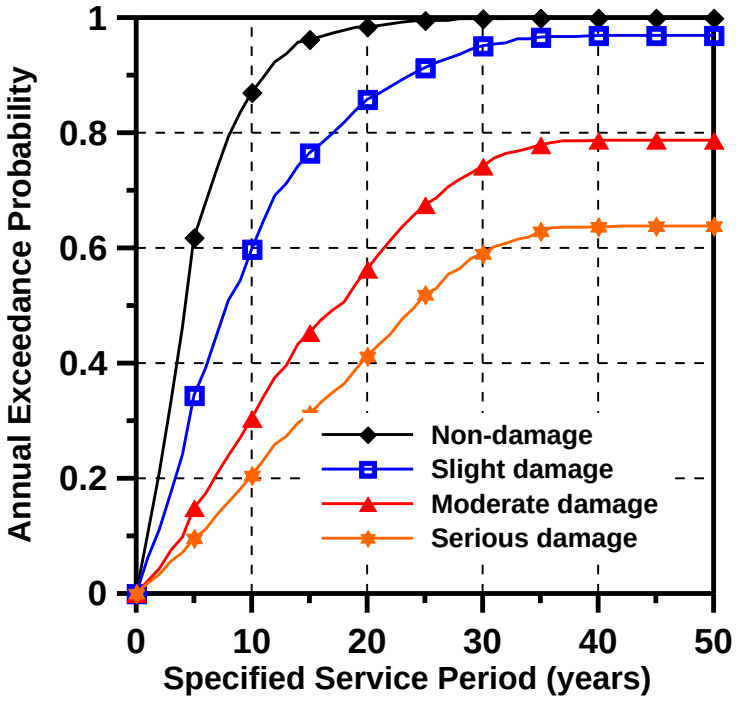


圖 5.8 牛鬥橋未來 50 年內之損傷超越機率

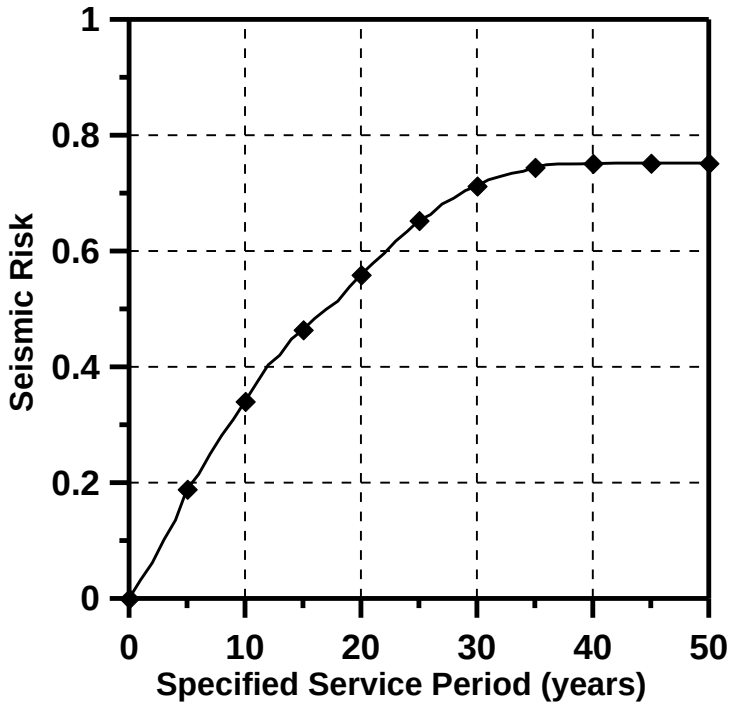


圖 5.9 牛鬥橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

第六章 橋梁維護策略最佳化

6.1 單橋橋梁維護成本最佳化

本研究導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁維護策略最佳化模式，如圖6.1之示意。由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益，即維修方案執行後使設施保持健康或堪用狀態的程度可能會有所差異。因此，根據各橋梁之劣化曲線，針對單一橋梁求得殘餘能力，再依狀況分析，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得所需之維修工期與成本，如圖6.2所示。

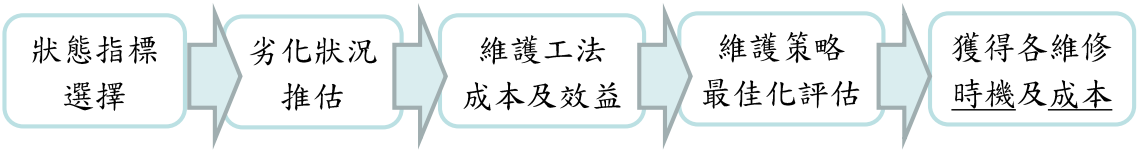


圖6.1 單橋橋梁維護成本最佳化流程

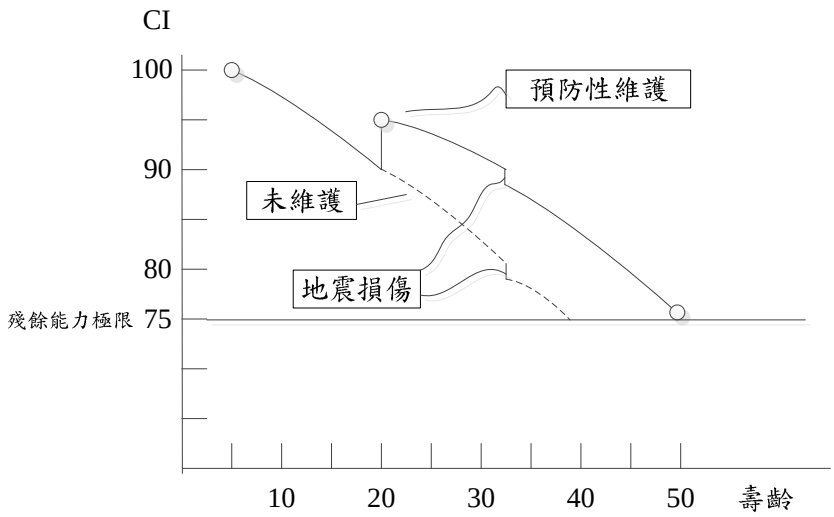


圖6.2 橋梁維修策略示意圖

此外，在考量公路橋梁管理單位橋梁現況且維護經費有限情形下，管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作。因此，將有限資源做最有效運用更顯重要。橋梁維護策略最佳化模式將同時

考量各橋梁所評估之健康度現況、所需維修工法成本與工期及重要性，輔助公路管理單位針對單一橋梁進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。

6.2 單橋維護成本策略

由於單橋橋梁生命週期中，不同元件損傷與不同工法之維護方案與維修時間點組合項次難以估計，如以傳統試誤法等方式求解，將無法在短時間內達到答案。因此，本研究使用生物共生演算法(Symbiotic Organism Search，SOS)作為最佳化模式之理論，其方法之特性為可保持數值迭代時的多樣性及加速收斂的效果。

在橋梁維修策略模式最佳化中，其目標函數是為求解最低的橋梁生命週期成本(Life Cycle Cost，LCC)，如圖6.3所示。LCC是以100年之壽齡為例，同時考量老化、地震、洪水風險下之維修成本(Maintenance Cost)以下簡稱E(MC)與橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之重建成本(Rebuilding Cost)以下簡稱E(RC)，即橋梁因地震或洪水中斷下可能造成損害之重新興建成本。其結果可以得到以最低的LCC為目標下，考慮風險下的維修成本金額E(MC)。同時橋梁可保持堪用狀態，亦即是橋梁的健康度指標(假設CI值為75~90區間以上)必須維持在一定水準之上之維修成本。

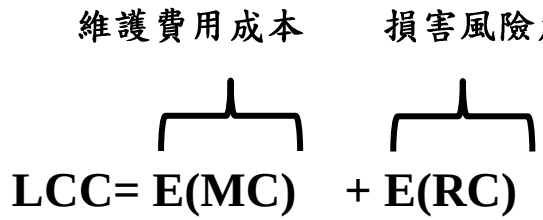


圖6.3 單橋成本目標函數

其中:

1. LCC(Life Cycle Cost)為橋梁生命週期成本、E(MC)為(Maintenance Cost)為風險下維修成本、E(RC)為(Rebuilding Cost) 橋梁在未維修

狀態下須承受可能損害之重建成本E(RC)，即橋梁因地震或洪水中斷下可能造成損害之重新興建成本。

2. 本階段損害重建成本採用橋梁興建成本為預設值

3. 前一階段中已求出維護費用成本E(MC)與E(RC)，如公式6.1與6.2。

$$E(MC)=\left(\sum_{i=1}^{100}P_{MD_i}\times C_{MD_i}+\sum_{i=1}^{100}P_{ME_i}\times C_{ME_i}+\sum_{i=1}^{100}P_{MS_i}\times C_{MS_i}\right) \quad \ldots. \quad (6.1)$$

6.1式中:

P_{MD}:元件老化發生橋樑損壞之維修機率值(Maintenance Occurrence Probability of Deterioration)

P_{ME}:地震發生橋樑損壞之維修機率值(Maintenance Occurrence Probability of Earthquake)

P_{MS}:洪水發生橋樑損壞之維修機率值(Maintenance Occurrence Probability of Scour)

C_{MD}:元件老化發生橋樑損壞之維修成本(Maintenance Cost of Deterioration)

C_{ME}:地震發生橋樑損壞之維修成本(Maintenance Cost of Earthquake)

C_{MS}:洪水發生橋樑損壞之維修成本(Maintenance Cost of Scour)

$$E(RC)=\left(\sum_{i=1}^{100}P_{S_i}\times C_{RS_i}+\sum_{i=1}^{100}P_{E_i}\times C_{RE_i}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6.2)$$

6.2式中:

PE: 地震造成橋梁損害中斷之風險機率值(Bridge Broken Probability of Earthquake)

PS: 洪水造成橋梁損害中斷之風險機率值(Bridge Broken Probability of Scour)

CRE:因地震造成橋梁損害中斷之社會成本(Rebuilding Cost of Earthquake)

CRS:因洪水造成橋梁損害中斷之社會成本(Rebuilding Cost of Scour)，本階段損害重建成本採用橋梁興建成本為預設值

(1) 本研究之假設為橋梁生命週期為一百年，在公式6.1中E(MC)為維護費用成本(並考慮橋梁詳細評估之費用)。算式中P_{MD}、P_{ME}、P_{MS}為元件老化、地震及洪水風險發生的維修機率值。C_{MD}、C_{ME}、C_{MS}為元件老化、地震、洪水之維修成本，將風險發生之機率值與維修成本兩者相乘，即可求出橋梁之維護費用成本E(MC)。

(2) 公式6.2中E(RC)為考量橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之風險成本，即橋梁在未維修狀態下須承受可能損害之重建成本E(RC)，即因地震或洪水中斷下可能造成損害之重新興建成本。PE、PS為地震、洪水造成損害之風險機率值。算式中CRE、CRS為因地震或洪水中斷下可能造成橋梁損害中斷之社會成本。將風險發生之機率值與風險發生的維修成本兩者相乘，即可求出E(MC)。另將損害風險發生之機率值與損害風險發生的維修成本兩者相乘，即可求出E(RC)。

(3) 在圖6.4中，橋梁之CI值初始設定值為一百分，一座橋梁在未經使用前，其CI值為滿分;經使用後，隨著橋齡逐漸提高，橋梁的健康程度也隨之下降。

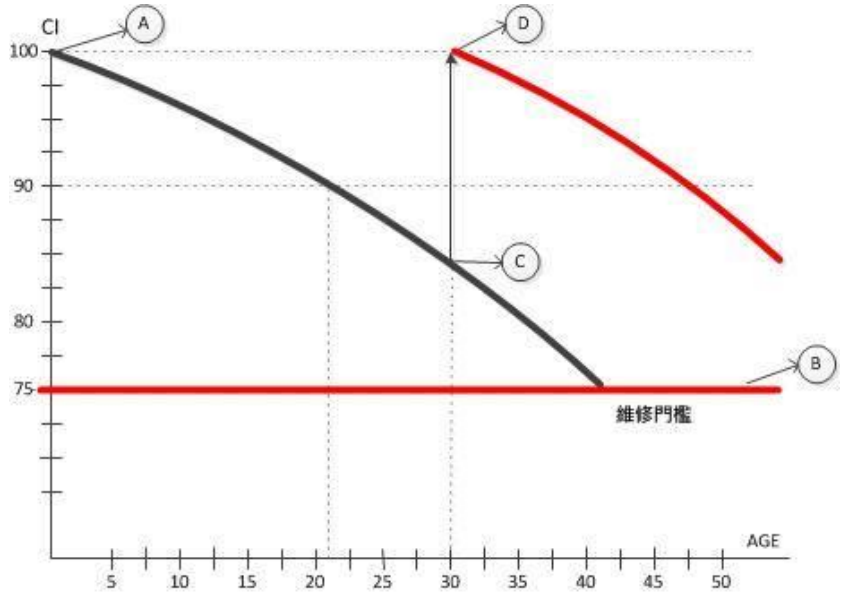


圖6.4 橋梁劣化曲線示意圖

關於圖6.4為本報告之基本假設條件，詳如下列所述:

(1) 本報告參考TBMS之維修頻率，假定維修策略機制啟動時機為CI值下滑至100分以下時，意指從維修門檻以上至100分，橋梁在此段分數間中的任意時間點可以進行橋梁維修。

(2) 橋梁之CI值初始設定值為一百分，橋梁在未經使用前，其CI值為滿分即為(A點)，伴隨著時間增加，因為橋梁尚未維護的關係，CI值不斷降低，若始終不進行維護，則橋梁CI值將低於維修門檻(B點)，在此時橋梁可能嚴重影響到用路人之人身安全，因此在最佳化求解過程中，CI值必須維持在門檻值以上。若現在有一維護策略於橋齡30年時發生(C點)，則橋梁健康程度將提升至100分(D點)。

(3) 橋梁每次經過維修後，CI值能提升回100分，但耐震與耐洪能力僅能恢復至原橋梁強度之90% [15]。

(4) 影響橋梁劣化的因素如：橋梁地理位置、日常車流量及結構型式等，並不會因為橋梁維修而改變，因此本研究假設橋梁的劣化斜率與維修前相同。

(5) 在此假設維修策略之金額將不大於該座橋梁之重建成本（最佳化模式是以本年度為基準應用現值法求出，並考慮營建物價每年以2.8%之利率上漲），如果橋梁維修金額過高，則維護效益不大，則以拆除重建為優先考量。

4. 依據圖6.4之概念假設一橋梁之生命週期為一百年，其維修策略為第30年維修第一次，再過40年維修第二次之後到100年都不需要維修，其維修策略如圖6.5所示，依照圖6.4之公式其計算過程如圖6.6所示。

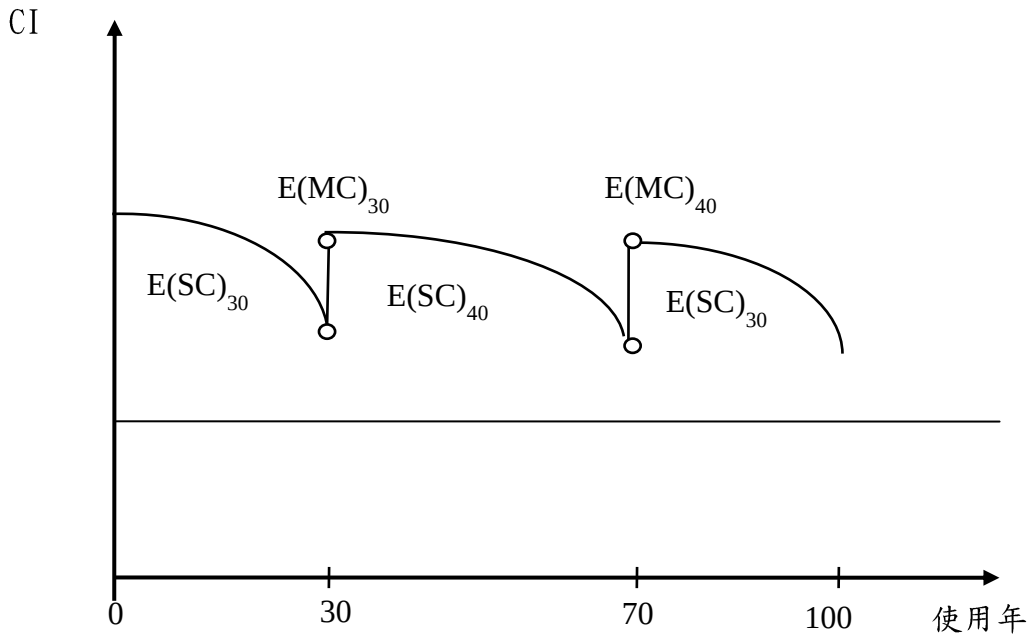


圖6.5 橋梁在第30年與第70年維護策略

維護費用成本　　損壞風險成本

$$LCC = E(MC)_{30} + E(MC)_{40} + E(SC)_{30} + E(SC)_{40} + E(SC)_{30}$$

圖6.6 範例:橋梁在第30年與第70年維護策略之計算式

本研究計畫希望能在有限的維護經費中，提出橋梁維修策略提高橋梁的CI值，因此希望透過最佳化搜尋找出在不同門檻值所對應之維修策略。本研究設定16種橋梁維修門檻，其CI值分別為75分、76分、77分、78分、79分、80分、81分、82分、83分、84分、85分、86分、87分、88分、89分、90分。在此以公路總局鋼筋混凝土橋梁為對象，比較各門檻下的橋梁維修成本，進而建議橋梁於風險考量下之維修策略。因公路總局所管理橋梁所在位置、興建年限與使用條件不同等，故各橋梁發展出維修策略也不同。本研究希望達到最佳之橋梁維修成本與橋梁損害風險成本組合如圖6.7，達到橋梁風險總成本最小化。最後能根據組合之結果，找出最佳維修策略之橋梁維修成本。

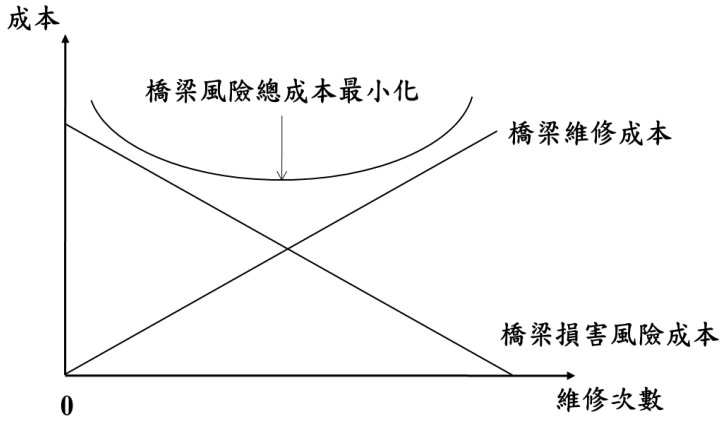


圖6.7 單橋維修策略最佳化示意圖

6.3 共生生物演算法求解橋梁維修策略

現今的啟發是演算法通常模擬自然界生物的現象，例如蜂群演算法ABC(Artificial Bee Colony)模擬蜜蜂成群地覓食特性；粒子群優化算法PSO(Particle Swarm Optimization)模擬動物群聚行為，遺傳算法GA(Genetic Algorithm)模擬自然進化的過程。生物共生搜尋演算法SOS(Symbiotic Organism Search)模擬生物體間的交互共生作用做配對，用於搜索生物體間最合適的交互共生作用關係，最初該算法被開發來解決在一個空間中連續數值的最佳化搜尋。

本研究室使用之生物共生搜尋演算法（SOS），其靈感來自生然生態系統中生物之間的互動模式，SOS使用三種策略:互利共生、片利共生和寄生模擬這種自然的模式。另外SOS演算法的三個階段在操作上是容易的，只需要用簡單的數學運算法則。此外比較於同類演算法，SOS不使用微調的參數，提高了性能的穩定性，儘管比同類算法使用較少的控制參數，還能夠解決各種數值最佳化問題。

共生生物演算法是以其他演算法為研究基礎所發展出的演算法，SOS可在搜尋空間中，不斷地迭代候選解，進而求得全域最佳解。在SOS演算法中，初始假設數值空間是一個生態系統，在這個生態系統搜尋空間中，會有一組隨機生成的生物群，每一個生物代表一個對應問題的候選解，每一個生物體在生態系統中也代表一組目標適應

值，這個目標適應值會反映預期目標的適應程度。詳細演算流程如圖6.8。

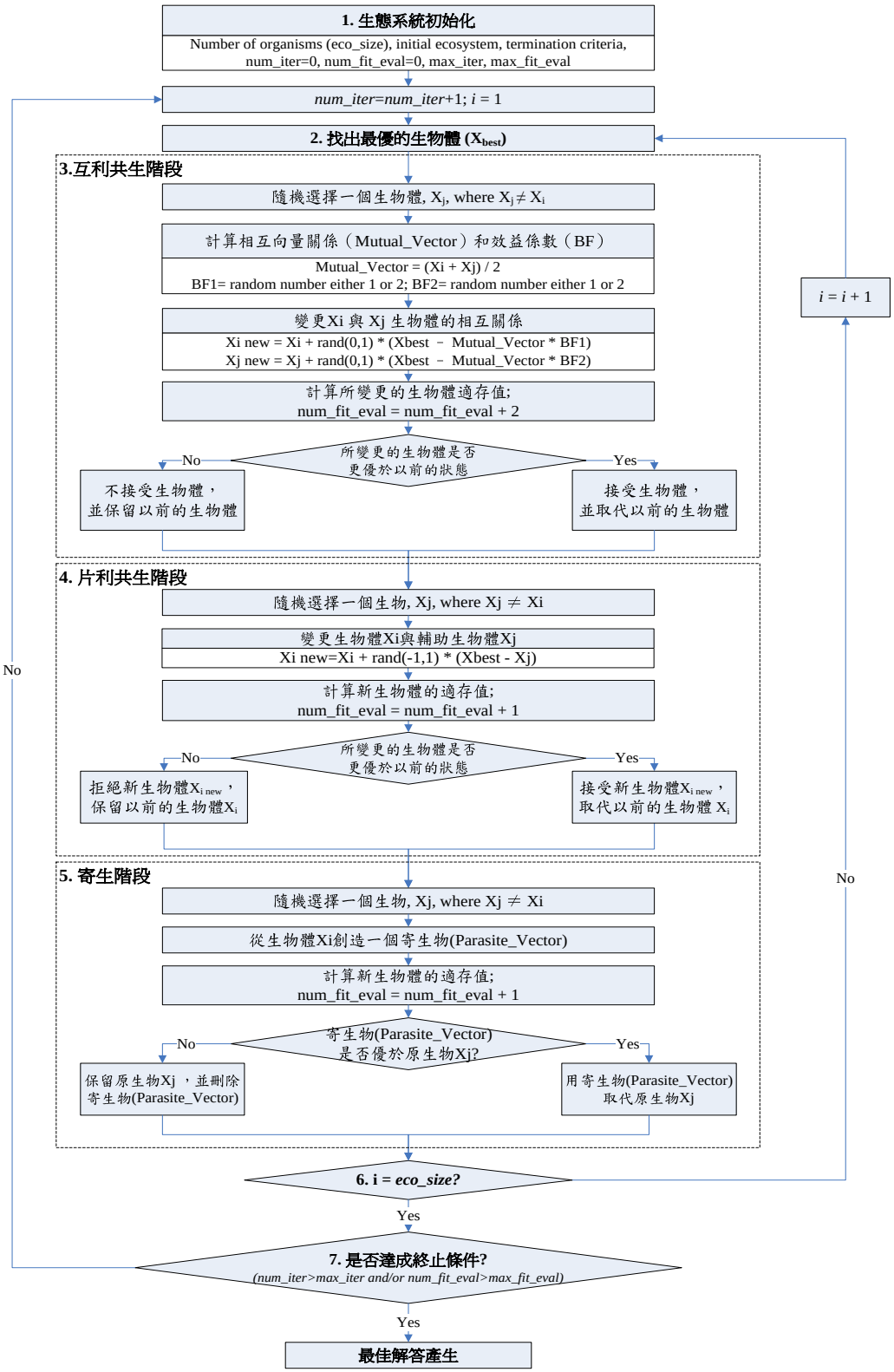


圖6.8 SOS演算法程序

步驟1.生物系統初始化

設定生物體數量，邊界條件

本研究將設定CI值低於100分時，開始維修機制，如CI值門檻設定為75分時(CI可以變動門檻75~90分)，CI值不得低於75分，考量橋梁維修前後外在環境條件不變橋梁劣化曲線斜率相同,維修後又回復至100分，之後又會隨著使用年限往下掉。

步驟2.找出最優的生物體(Xbest)

此步驟將會不斷迭代出最好的解答

步驟3.互利共生階段

舉例來說，互利共生是指兩種不同的生物，彼此互助互惠生存像是蜜蜂與花，蜜蜂在花朵間飛舞採花蜜，這項活動對蜜蜂來說可以獲得花蜜，對花來說因為蜜蜂採花蜜的行為而獲得授粉，在此的SOS階段就像是一種互惠關係。

在SOS中，Xi代表一個生物體在生態系統中第i個成員，另一個生物體Xj是從生態系統中隨機選擇出來和Xi互動的生物體。這兩種生物體彼此之間互助互惠，在生態系統中增進生存優勢。從生物體Xi和Xj的互助關係中會計算出新的候選解Xi和Xj如式(6.3)式(6.4)。

$$X_{i\,\mathrm{new}} = X_i + rand(0,1) * (X_{best} - Mutual_Vector * BF_1) \quad \text{..... (6.3)}$$

$$X_{j\,\mathrm{new}} = Xj + rand(0,1) * (X_{best} - Mutual_Vector * BF_2) \quad \text{..... (6.4)}$$

在這裡利益因素(BF1、BF2)將隨機計算為1或2，這些因素代表每一個生物的利益水平，如生物體在相互作用中是否部分或完全得到好處。公式6.5為一向量稱為互利向量“Mutual_Vector”，表示該生物體Xi和Xj之間的關係特性。最後在互利共生階段，只有當新的適存值優於之前的互動適存值，生物才會更新。

$$Mutual_Vector = \frac{X_i + X_j}{2} \quad \text{..... (6.5)}$$

Step4.片利共生階段

片利共生的例子如短印魚和鯊魚之間的關係。短印魚貼附鯊魚還有吃鯊魚食物殘渣，從而收到好處。鯊魚是幾乎不受短印魚影響，如果有獲益或是損益的話也是很小的。

在SOS中，互利共生階段之生物體Xj為從生態系統中被隨機挑選出之生物與Xi互動。在這種情況下，生物體Xi試圖從互動中受益。然而，生物體Xj本身既無好處也無壞處。新的候選解Xi是根據Xinew和Xj之間的片利共生互動產出，如式6.6。按照這樣的規則，生物體Xi只有當它新的適用值比其之前適用值更好才會更新。

$$X_{i\,\mathrm{new}} = X_i + rand(-1,1)*(X_{best} - X_j) \quad \text{.....} \quad (6.6)$$

Step5.寄生階段

寄生之例子如瘧原蟲，透過瘧蚊叮咬人類，進入宿主。當瘧原蟲在人體內部擴散被發現，其人類宿主遭受瘧疾可能導致死亡的結果。

在SOS中，生物體Xi類似寄生瘧蚊角色，透過人工創造寄生行為稱為寄生向量 “Parasite_Vector”。在搜尋的空間中寄生載體被創造複製出生物體Xi，然後使用一個隨機數修改成隨機的尺寸，再從生態系統中隨機選擇出生物體Xj，Xj作為主導寄生蟲載體。在生態系統中寄生蟲載體嘗試取代Xj。這兩種生物體評估與衡量自己的適用值。如果寄生蟲載體有更好的適用值，它會殺死生物體Xj，並取代其在生態系統中的地位。如果Xj有更好的適用值，Xj將能抵抗寄生蟲和寄生蟲載體，使其無法繼續同處在該生態系統中。

Step6.生物體達到設定值上限

在SOS演算法中，如果迭代次數達到生物體上限，則程式會終止計算。本研究之迭代次數為10000次，並驗證至其收斂。

Step7.滿足終止條件

滿足終止條件時，SOS將會停止計算。得到最小之LCC單橋維護最佳化目標、最佳維護策略與E(MC)橋梁維修成本。

6.4 單橋橋梁風險管理策略訂定

如圖6.9中，A橋梁維修方案有多種維修組合，例如維修策略1為橋梁於10年與30年各修一次，使CI值能維持在門檻之上。維修策略2為 10年、15年、40年各修一次，使CI值維持在門檻之上。本研究希望透過最佳化搜尋，求解最便宜之維修組合。

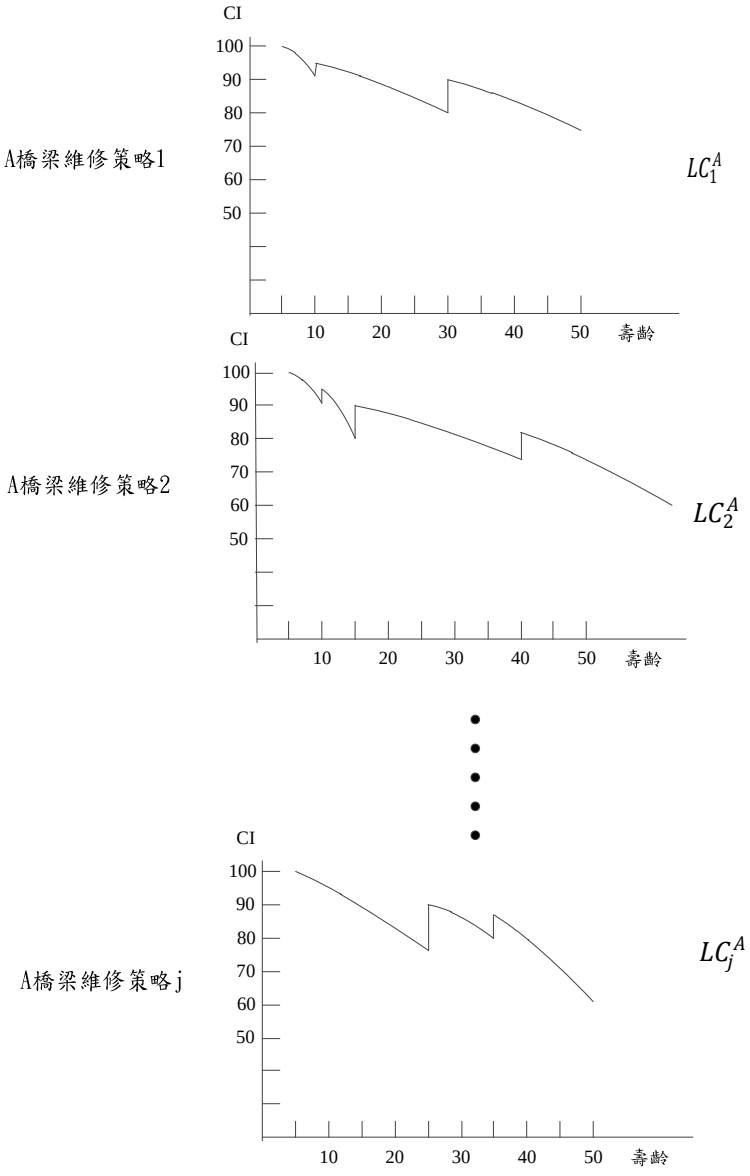


圖6.9 橋梁維修組合方案

由第四章橋梁維修機率中，經由歷史案例統計迴歸得到各橋梁未來CI推論值，如橋梁編號B01-013A-011D在第一次維修時，橋梁年齡為5年時，CI值參照表6-1得知為97.14，橋梁年齡為10年時，CI值為95.76，隨著時間增加，CI值將由100分向下遞減，參考第二次維修CI值，再過維修5年後維修，也就是第15年維修其CI值為94.36，若再經過10仍未維修其CI值降至91.51;如果橋梁經過維修後，CI值將回復為100分，但耐震與耐洪能力恢復至原橋梁強度90%[15]。且CI值維修前後，橋梁劣化斜率相同。

在第四章橋梁維修機率中，將所得之CI推論值再經由蒙地卡羅模擬，得知各年度橋梁於各致災風險下之維修機率。表6-2為橋梁於時間內發生之風險機率，為公式6.1與6.2之機率參數。

由第五章風險衝擊影響程度中，經人工智慧(ESIM)推論出橋梁未來可能發生之風險成本(本階段之橋梁因地震或洪水造成損害之重建成本CRS、CRE採用橋梁興建成本為預設值)，再將表6-2之維修機率乘上所對應之未來可能發生之維修成本，其結果參照表6-3，統稱為各年度橋梁風險與維修成本(以本年度為基準應用現值法，並考慮營建物價上升指數)，帶入圖6.3可求得橋梁生命週期成本LCC。SOS會由所得之橋梁生命週期成本LCC中，搜尋金額最低之成本組合，進而發展出適合門檻值之維修策略。不過單橋的風險下維修成本E(MC)才是維修最佳策略的維修成本。

本研究以編號B01-013A-011D橋梁為例，計算橋梁生命週期100年中，維修策略不低於門檻值之最便宜的維修組合，其結果如表6-4。表6-1為橋梁B01-013A-011D之無維修狀態之CI值，SOS參照此表計算橋梁之最佳維修策略。表6-2、6-3是以橋樑B01-013A-011D為例，橋梁維修門檻可由CI值75提升至CI值90(此表以門檻75為例)，表6-2為各年度橋梁風險機率與表6-3為各年度橋梁維修與考量風險與重建成本，表6-4為橋梁B01-013A-011D在符合不同門檻下之維護策略LCC表。

表6-1 橋梁B01-013A-011D生命週期CI值

橋齡	無維修狀態之 CI 值
5	97.21
10	95.80
15	94.35
20	92.96
25	91.57
30	90.17
35	88.78
40	87.37
45	85.98
50	84.58
55	83.17
60	81.76
65	80.36
70	78.97
75	77.54
80	76.12
85	74.72
90	73.32
95	71.91
100	70.47

表6-2 以B01-013A-011D，CI值門檻75為例，各年度橋梁風險機率

維修年	5 年	10 年	15 年	20 年	25 年	30 年	35 年	40 年	45 年	50 年
元件老化維修機率值 P_{MD}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地震維修機率值 P_{ME}	0.085	0.200	0.343	0.408	0.458	0.523	0.548	0.655	0.708	0.768
洪水維修機率值 P_{MS}	0	0	0	0	0.005	0.002	0.014	0.048	0.211	1
地震損害風險機率值 P_E	0.00225	0.0305	0.0325	0.03425	0.062	0.0885	0.11325	0.19025	0.193	0.217
洪水損害風險機率值 P_S	0	0	0	0	0.001	0.0004	0.003	0.013	0.063	0.333

維修年	55 年	60 年	65 年	70 年	75 年	80 年	85 年	90 年	95 年	100 年
元件老化維修機率值 P_{MD}	0	0	0	0	0	0.066	0.636	1	1	1
地震維修機率值 P_{ME}	0.775	0.795	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808
洪水維修機率值 P_{MS}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
地震損害風險機率值 P_E	0.2185	0.24375	0.24375	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445	0.2445
洪水損害風險機率值 P_S	0.367	0.400	0.433	0.467	0.500	0.533	0.567	0.6	0.633	0.667

表6-3 以B01-013A-011D為例，各年度橋梁維修與重建成本(應用現值法求物價上升利率)

維修年分	5 年	10 年	15 年	20 年	25 年	30 年	35 年	40 年	45 年	50 年
元件老化維修費用成本 P_{MD}*C_{MD}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地震維修費用成本 P_{ME}*C_{ME}	289,052	347,398	777,215	861,524	1,118,354	1,515,556	1,611,539	1,866,828	1,968,945	2,133,645
洪水維修費用成本 P_{MS}*C_{MS}	0	0	0	0	17,505	29,527	125,513	217,765	1,304,018	6,196,146
地震損害風險成本 P_S*C_{RS}	16,259	223,066	240,566	256,584	470,088	679,123	879,551	1,495,427	1,535,379	1,747,173
洪水損害風險成本 P_E*C_{RE}	0	0	0	0	3,791	7,674	38,056	75,459	508,346	2,683,830

維修年分	55 年	60 年	65 年	70 年	75 年	80 年	85 年	90 年	95 年	100 年
元件老化維修費用成本 P_{MD}*C_{MD}	0	0	0	0	10,094	858,155	7,020,597	10,464,586	10,591,070	10,719,083
地震維修費用成本 P_{ME} *C_{ME}	2,200,178	2,432,953	2,545,830	2,576,601	2,607,744	2,639,264	2,671,164	2,703,450	2,736,127	2,769,198
洪水維修費用成本 P_{MS}*C_{MS}	6,271,039	6,346,836	6,423,549	6,501,190	6,579,769	6,659,298	6,739,788	6,821,251	6,903,699	6,987,143
地震損害風險成本 P_S*C_{RS}	1,780,514	2,010,279	2,034,577	2,065,505	2,090,470	2,115,738	2,141,310	2,167,192	2,193,387	2,219,898
洪水損害風險成本 P_E*C_{RE}	2,987,896	3,298,920	3,617,026	3,942,341	4,274,991	4,615,106	4,962,819	5,318,263	5,681,575	6,052,892

表6-4 B01-013A-011D不同維護策略之LCC表

門檻值	興建成本	橋梁維修年限策略(第幾年)																				LCC	E(MC)	E(RC)
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100			
CI 75					V				V				V				V				V	**6,204,760**	4,822,760	**1,382,000**
CI 76					V				V				V				V				V	6,316,330	4,918,180	**1,398,140**
CI 77					V				V				V				V				V	6,300,190	4,918,180	**1,382,000**
CI 78					V				V				V				V				V	6,300,190	4,918,180	**1,382,000**
CI 79					V				V				V				V				V	6,300,190	4,918,180	**1,382,000**
CI 80					V				V				V				V				V	6,300,190	4,918,180	**1,382,000**
CI 81			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	**4,268,900**	2,461,560
CI 82	$7,140,000		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	**4,268,900**	2,461,560
CI 83			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	**4,268,900**	2,461,560
CI 84			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	**4,268,900**	2,461,560
CI 85			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	6,730,460	**4,268,900**	2,461,560
CI 86			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 87			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 88			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	7,610,500	5,148,940	2,461,560
CI 89			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	9,622,010	7,160,460	2,461,560
CI 90			V		V		V		V		V		V		V		V		V		V	9,622,010	7,160,460	2,461,560

在圖6.10中，維修門檻設定為75分，經最佳化搜尋結果，該座橋梁分別於橋齡第20、40、60、80和100年時維修，詳細維修金額如表6-5。在橋梁生命週期中，CI值維持在不低於75分的狀態，又該維修策略是此座橋梁在生命週期維修成本中最低值，因此若用此維修策略，CI值可維持在75分以上，其LCC橋梁生命週期成本為6,204,760元，其考慮隨著時間增加物價上升之橋梁維修成本為4,822,760，其值小於興建成本7,140,000。

表6-5 橋梁B01-013A-011D於門檻值75維修時間與成本

門檻值 75	B01-013A-011D
維修時間	CI 值
0	100
20	92.963
40	92.963
60	92.963
80	92.963
100	92.963
LCC 橋梁生命週期成本	$6,204,760
E(RC)損害風險成本	$1,168,900
E(MC)維護費用成本	$4,822,760
興建成本	$7,140,000
興建成本(考慮物價上升)	$17,136,000

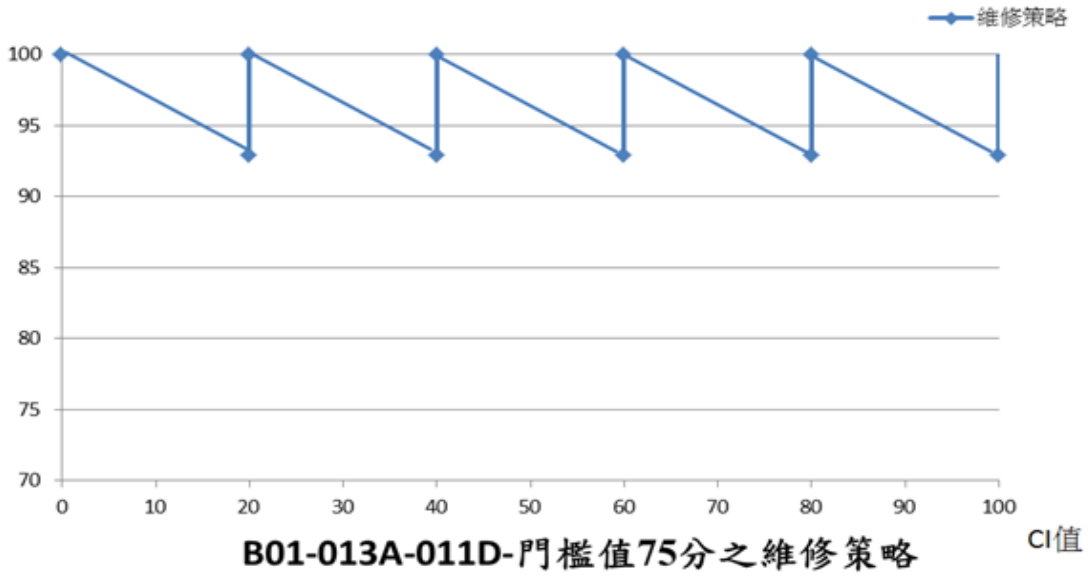


圖 6.10 搜尋維修策略(門檻值 75 分)

橋梁維修門檻可由75調整至90，圖6.11為橋梁B01-013A-011D在符合不同門檻下之維護成本表。根據結果，可發現在門檻75時，有最低之LCC值，可建議橋梁管理單位優先選定此門檻為未來年度之維修門檻亦可根據需求選定不同門檻，保持橋梁高性能(如90分)。

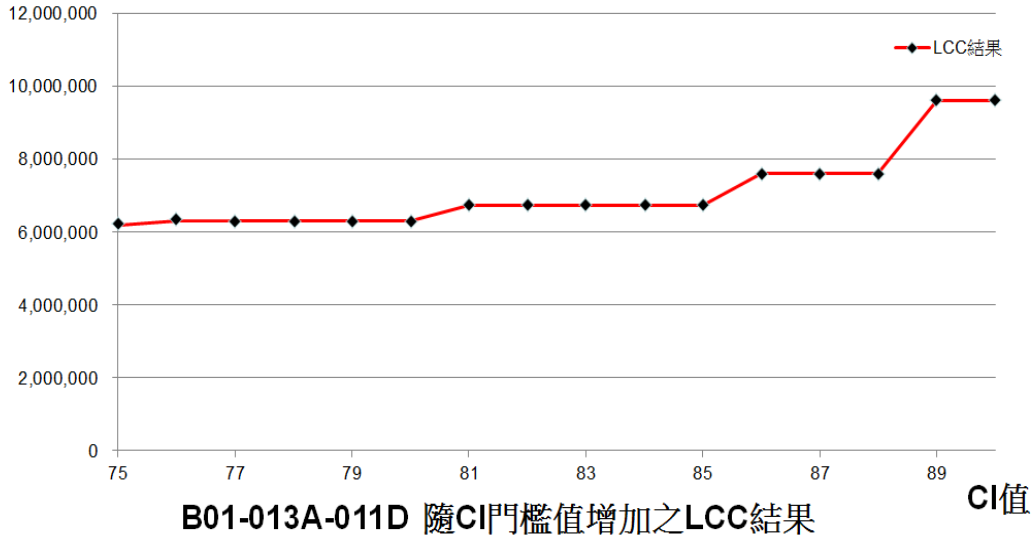


圖6.11 不同門檻值維修策略

6.5 單橋橋梁風險管理策略網頁查詢介面

本研究建置單橋橋梁風險管理策略網頁查詢介面(如圖6.12)，可顯示各橋梁最佳化維修策略與生命周期總成本、維修風險成本與重建風險成本。點選此橋建議維修門檻，可查看此橋不同門檻下之維修策略與成本(如圖6.13)。



圖6.12 網頁查詢結果維修策略



圖6.13 橋梁維修策略

第七章 山區道路易致災路段調查評估

7.1 蘇花公路山區道路基本特性分析

7.1.1 蘇花公路山區道路路線概況

「蘇花公路」為省道台9線宜蘭與花蓮間的部分道路，於民國21年5月通車，第二次世界大戰後改名蘇花公路，爾後持續新建隧道及拓寬並舖設柏油路面，民國79年10月25日改為雙向通車。北方起點是宜蘭縣蘇澳鎮白米橋，南方終點是花蓮縣花蓮市中山中正路口(南埔207+200K)，全長118公里（近年因天災縮減至102.4公里），山區道路主要位於台9線106+000K ~ 182+000K之間，道路多依海岸線於山壁上修築出道路，沿途有數個沖積平原，地勢平緩且較無緊鄰陡峭山壁，道路高程約位於0公尺至360公尺間，蘇花公路養護單位為交通部公路總局第四區養護工程處蘇澳工務段。

7.1.2 蘇花公路山區道路水文及氣候概況

蘇花公路山區道路所在集水區由南往北依序為卡那岸沿海、和平溪、觀音沿海、南澳溪、東澳溪以及蘇澳溪，依據水利署之子集水區資料本區之子集水區包括小清水溪、良里溪、和中沿海、和平溪、觀音沿海、南澳南溪、南澳北溪、東澳溪以及蘇澳溪等9個子集水區(圖7.1)。

而本研究區內之氣象局氣候站由北而南為蘇澳、東澳、南澳、和中以及富世，依據2010年氣象局氣候資料年報顯示，測站月平均溫度大致上介於17 – 29℃，最高為七月、八月平均溫度約介於27-29℃，最低為一月、十二月平均溫度約介於17-18℃，年平均溫度約為23℃(表7-1)。依據2010年氣象局氣候資料年報顯示，蘇澳與東澳除夏季汛期外，冬季亦因東北季風盛行而多雨，年雨量皆超過4,000公厘；南澳、和中以及富世則明顯於十一月後雨量較少，年雨量皆位於2,000多的門檻(表7-2)，兩區因地理位置與地形在雨量上有明顯的差異。

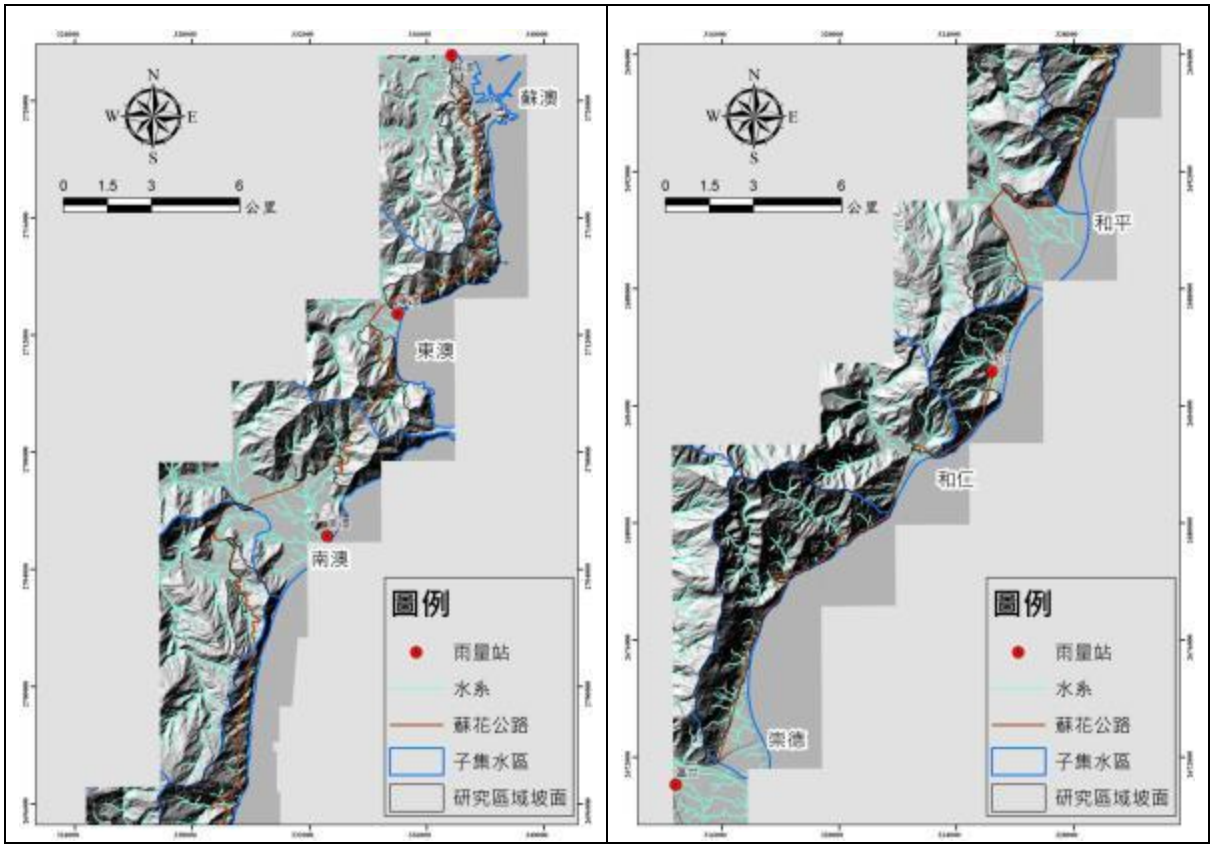


圖 7.1 研究區域水系及集水區概況圖

表 7-1 研究區域內氣象局氣候站 2010 年逐月平均溫度一覽表

測站編號	測站名稱	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
467060	蘇澳	16.9	18.3	19.8	20.7	24.9	25.8	28.8	28.7	27.6	23.9	20.3	17.2	22.7
C0U760	東澳	17.3	19.0	20.1	21.0	25.0	26.1	29.0	28.7	27.7	24.2	20.6	17.5	23.0
C0U770	南澳	18.2	19.7	20.7	21.8	25.2	26.5	28.9	28.9	27.7	24.5	21.2	18.3	23.5
C0T9D0	和中	18.2	19.7	20.6	21.5	25.0	25.9	28.4	28.2	27.1	24.8	21.2	18.2	23.2
C0T9C0	富世	17.8	19.3	20.2	21.0	24.5	25.4	27.8	27.9	26.5	24.2	21.0	18.3	22.8

註:單位 ℃

表 7-2 研究區域內氣象局氣候站 2010 年逐月雨量一覽表

測站編號	測站名稱	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年雨量
467060	蘇澳	376.9	169.4	41.3	188.4	67.0	208.4	31.4	310.8	311.9	1861.2	830.5	341.0	4,738.2
C0U760	東澳	160.5	124.0	44.0	136.5	80.0	223.0	121.0	235.0	558.5	1877.0	478.0	241.0	4,278.5
C0U770	南澳	71.0	85.0	36.5	90.5	64.0	134.5	109.0	152.5	285.5	1171.5	241.0	70.5	2,511.5
C0T9D0	和中	69.0	83.0	114.0	89.5	121.5	148.5	146.5	136.0	407.5	629.0	125.5	33.0	2,103.0
C0T9C0	富世	31.0	99.0	75.5	90.0	92.5	192.0	271.0	104.0	479.5	478.5	58.0	46.5	2,017.5

註:單位 公厘

7.1.3 蘇花公路山區道路地質概況

本研究區域因幅員較廣且狹長，因此選用五十萬分之一台灣地質圖進行地質概述。蘇花公路山區道路主要出露大南澳片岩，以及少部分畢祿山層與盧山層及其相當地層(圖7.2)。大南澳片岩代表台灣出露最老的變質雜岩岩體，真實厚度尚不能確認，截至目前的研究最少有數千公尺厚，依岩性可分作五個製圖單位，而研究區域所出露之大南澳片岩可大略分層三個製圖單位：含片麻岩及混合岩為主；含黑色片岩、綠色片岩及燧石為主；以大理岩為主。

綜合以上所述，本區域除了現代沖積層以及階地堆積層外，在五十萬分之一的尺度下共有五個製圖單位，年代由老至新分別為：大南澳片岩(大理岩)、大南澳片岩(黑色片岩、綠色片岩、燧石)、大南澳片岩(片麻岩、混合岩)、畢祿山層及盧山層及其相當地層。以下針對五個製圖單位作地質層位描述：

1. 大南澳片岩(大理岩)：年代為古生代晚期至中生代，主要分布於崇德至和平之間，最大厚度將近十公里，大理岩常與片岩互層，產狀以塊狀與厚層狀為主，結構為細粒至粗粒，顏色以灰色最為常見，另有白色以及黑色兩種。大理岩因緻密堅硬，於地形上易形成高陡山坡，再加上各種解理發達，易以落石或大型滾石方式往下搬運。

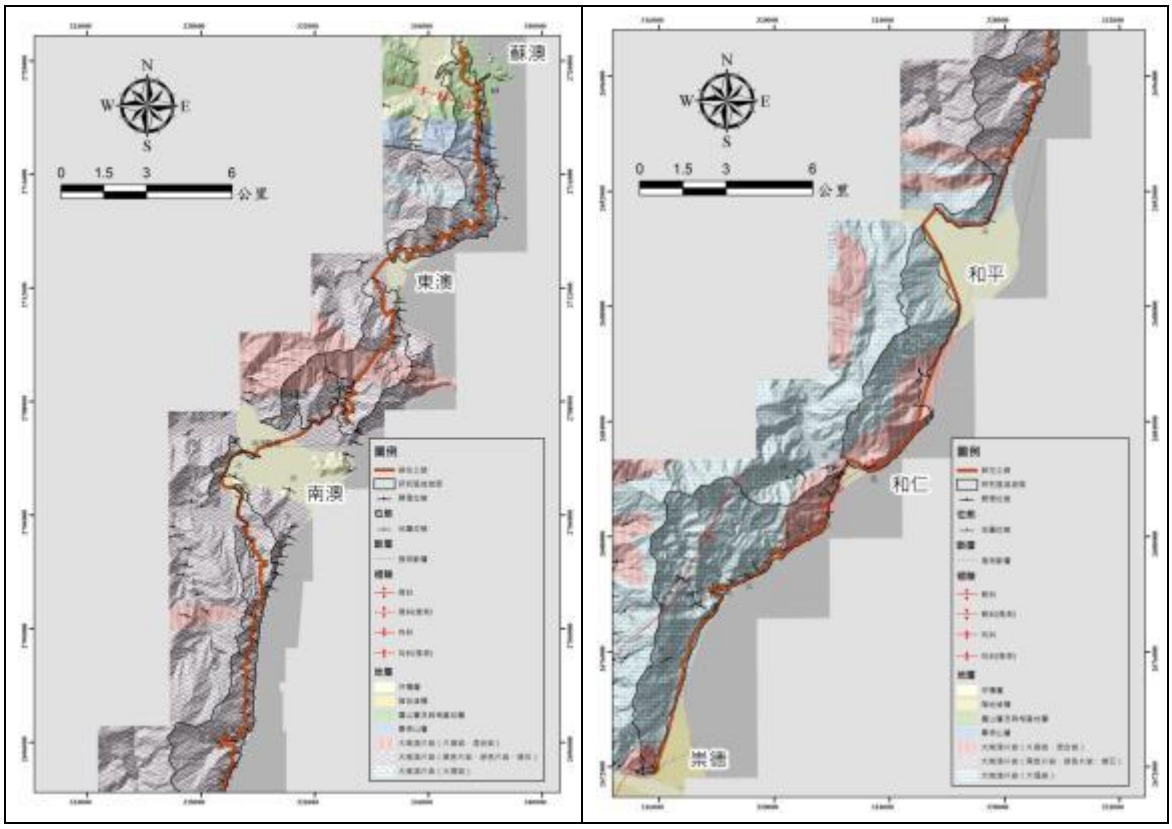


圖 7.2 研究區域地質概況圖

2. 大南澳片岩(黑色片岩、綠色片岩、燧石)：年代為古生代晚期至中生代，主要分布於和平至東澳之間，以片岩相互間夾互層為主，常見的有黑色片岩、綠色片岩以及矽質片岩。相較於本區其他岩性，片岩較為破碎，所生成之風化層相對較厚，再加上葉理十分發達，極易以片狀方式剝蝕，災害多為流動方式。此外，也較易在此岩性出露區域發現順向坡以及潛在大規模崩塌之相關災害。

3. 大南澳片岩(片麻岩、混合岩)：年代為古生代晚期至中生代，散布於崇德至東澳之間，以大型片岩體或小型透鏡體形式存在於大理岩與片岩間，由於片麻岩亦為緻密堅硬之岩性，因此與大理岩相同，於地形上易形成高陡山坡，再加上各種解理發達，易以落石或大型滾石方式往下搬運。

4. 畢祿山層：畢祿山層或於本區稱為南蘇澳層，年代為始新世至漸新世，地層位態約呈東西走向，出露厚度為五百至七百五十公尺，主

要組成為板岩、千枚岩與變質砂岩，以及夾有四十公尺厚之變質輝綠岩與二至三十公尺厚之大理岩，於最底部夾有二至四層薄層礫岩質砂岩，礫岩材料以石英與板岩為主。

5. 廬山層及其相當地層：廬山層及其相當地層或於本區稱為蘇澳層，年代為中新世，地層位態約呈東西走向，岩性以板岩、硬頁岩為主間夾變質砂岩，部分層位則以細粒變質砂岩為主間夾板岩，整體岩性變化較少。

在構造方面，本研究區域北端有數條無名推測斷層與褶皺，走向皆為東西向，於南澳地區有兩條推測斷層，為鹿皮溪段層與南澳段層，亦為東西走向。研究區域南端之構造則以南北向為主，於崇德至和仁間有兩條南北向之褶皺，東側為和仁複背斜，西側為清水複向斜。

7.2 地質敏感地區資料蒐集與分析

本研究蒐集蘇花公路經過之坡面範圍內之地質敏感地區資料 (99年)，在各地質敏感地區之資料統計方面，崩塌共計551處，合計面積約531.58公頃、土石流共計48處、順向坡共計8處，合計面積約29.55公頃、蝕溝共計104處 (圖7.3、表7-3)。

表 7-3 研究區域坡面範圍內之地質敏感地區數量統計一覽表

類型	數量	類型	數量
崩塌	551	蝕溝	104
土石流	48	順向坡	8

經現地勘查，發現蘇花公路蘇澳至崇德沿線以蝕溝、崩塌及土石流災害為主。土石流與蝕溝則平均發育於路段各處，崩塌則集中於崇德至和仁以及和平至南澳之間。順向坡災害則因岩體性質關係，集中在板岩出露地區，但經既有資料與現調查核後僅有8處，皆集中於路線中段至北段。

典型地質敏感地區為蝕溝引起之土石流及崩塌災害，常見蝕溝持續發育，若上方可提供大量土石，強大的側蝕與下蝕易將鄰近坡面刮蝕，增加崩塌面積繼續供應土石，最後發育成坡面型土石流(圖7.4a)；另於豪雨時期，鄰近坡面大量降水集中於蝕溝，造成蝕溝短時間內下蝕力增強，將下邊坡地基掏空，進而引起崩塌災害(圖7.4b)。而土石流則因強大的側蝕與下蝕力，易將溪流兩側河岸基礎淘刷，造成邊坡崩塌(圖7.4c)；亦因夾帶大量土石於地形突然開闊處溢流，危及村莊或道路，造成人員傷亡或阻斷交通(圖7.4d)。崩塌則常見於道路旁陡坡以落石或岩屑崩滑方式形成(圖7.4e)；若位於大型溪流或土石流旁，或因本身即有潛在大規模崩塌潛感，則易造成大規模崩塌(圖7.4f)。

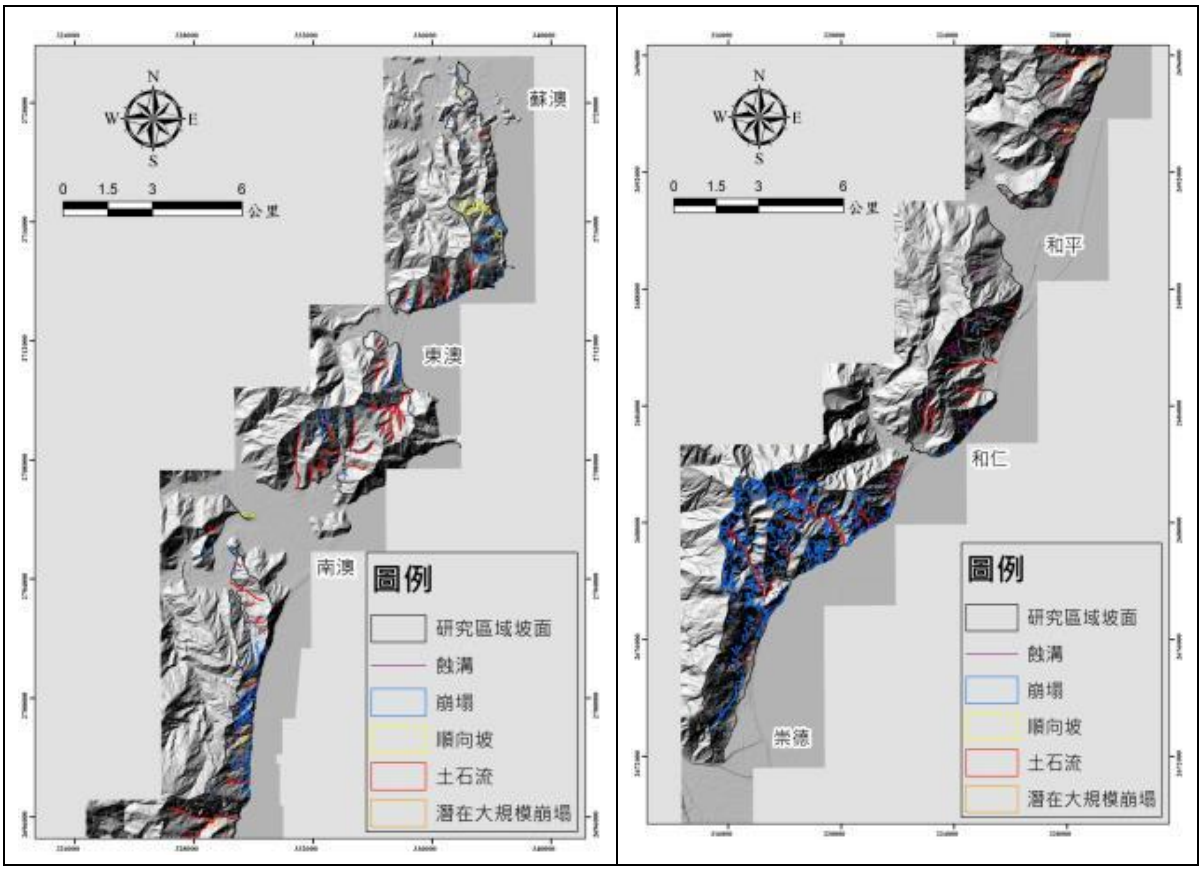


圖 7.3 研究區域坡面範圍內地質敏感地區分布圖



a. 樁號145K+000處2012/05/12豪雨引發蝕溝發育成坡面型土石流。



b. 樁號144K+550處2012/05/12豪雨因蝕溝下蝕掏空路基，引起路面崩塌。



c. 樁號147K+0000處2012/07/30蘇拉颱風，因土石流側蝕造成邊坡崩塌。



d. 樁號168K+0000處2009/10/03芭瑪颱風，因土石流溢流造成交通中斷。



e. 樁號116K+800處2010/12/16豪雨造成邊坡岩屑崩滑。



f. 樁號116K+800處2010/12/22豪雨造成邊坡大規模崩塌。

圖 7.4 蘇花公路蘇澳至崇德典型地質敏感地區特性

7.3 歷史山崩目錄建置

本研究以歷年高精度衛星影像建置歷史山崩目錄。在進行區域內崩塌地判釋之前，必須挑選合適的衛星影像，包括時間條件、雲覆條件及姿態條件符合的影像，選擇在區域內有重大降雨的颱風或豪雨事件前後且雲覆少及衛星拍攝的角度較小的影像作為崩塌判釋的底圖，本研究已蒐集完成的福衛二號影像共有16期，判釋事件包括自2005年至2012年之15次颱風豪雨事件，整理如表7-4。

表 7-4 歷史山崩目錄建置選用之福衛二號影像列表

對應事件	影像時間
0612豪雨後	2005/04/30
馬莎颱風後	2005/08/29
泰利颱風後(2005)	2006/04/03
0609豪雨後	2006/07/04
凱米颱風後	2006/08/10
0604豪雨後	2007/07/21
聖帕颱風後	2007/08/30
柯羅莎颱風後	2007/10/28
米塔颱風後	2007/12/24
辛樂克颱風後	2008/12/04
莫拉克颱風後	2009/08/25
凡那比颱風後	2010/10/25
南瑪都颱風後	2011/11/03
泰利颱風後(2012)	2012/07/15
蘇拉颱風後	2012/08/14

蘇花公路沿線在15次颱風豪雨後之崩塌地分布縮圖如附錄一，各期崩塌地面積整理如表7-5。應用多時序影像可以得到不同重大降雨事件前後的山崩發生位置分布資料，經由山崩分布空間資料的變異分析，將不同時期之同地衛星影像判釋出的山崩圖層套疊，透過空間關聯性分析（Spatial Intersection）可進一步進行歷史山崩變化分析。

在各個重大的降雨事件中所判釋出的崩塌面積統計結果如圖7.5~7.8。崩塌面積統計結果顯示，在泰利颱風(2005)、聖帕颱風、辛樂克颱風、凡那比颱風與蘇拉颱風等降雨事件中有明顯的增加，且增加之型態以新生崩塌為主。

表 7-5　蘇花公路沿線各期崩塌地個數與面積統計

歷史事件	總崩塌面積(公頃)	新生崩塌面積(公頃)	舊有崩塌擴大面積(公頃)
0612豪雨後	72.01	12.92	1.06
馬莎颱風後	46.63	2.75	4.05
泰利颱風後(2005)	144.98	74.38	27.79
0609豪雨後	153.78	27.10	13.04
凱米颱風後	81.11	5.52	2.58
0604豪雨後	76.15	10.40	12.41
聖帕颱風後	154.64	89.61	24.98
柯羅莎颱風後	108.61	7.15	28.08
米塔颱風後	39.41	12.90	4.40
辛樂克颱風後	99.67	66.18	2.15
莫拉克颱風後	64.82	23.87	14.82
凡那比颱風後	104.65	49.89	15.06
南瑪都颱風後	62.67	16.39	14.41
泰利颱風後(2012)	80.79	33.80	4.97
蘇拉颱風後	254.90	163.46	36.78

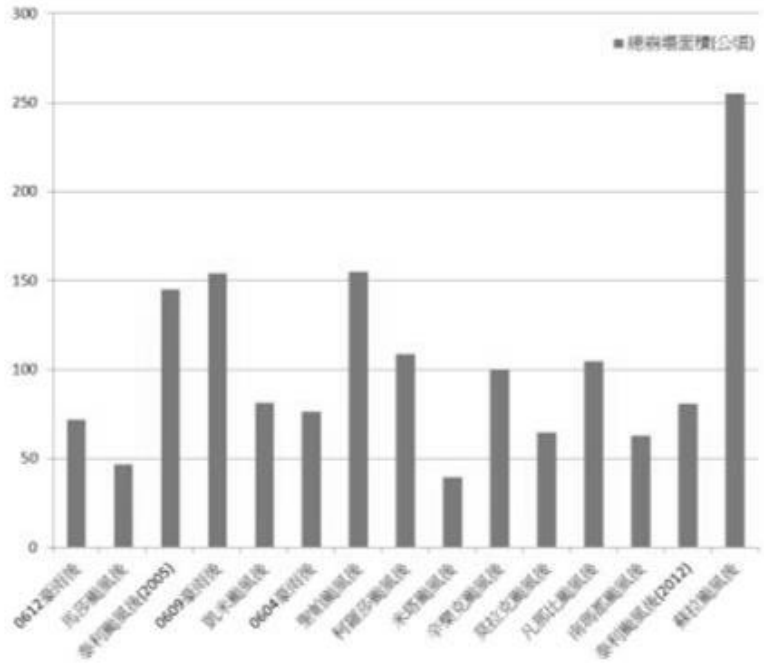


圖 7.5 總崩塌面積統計圖

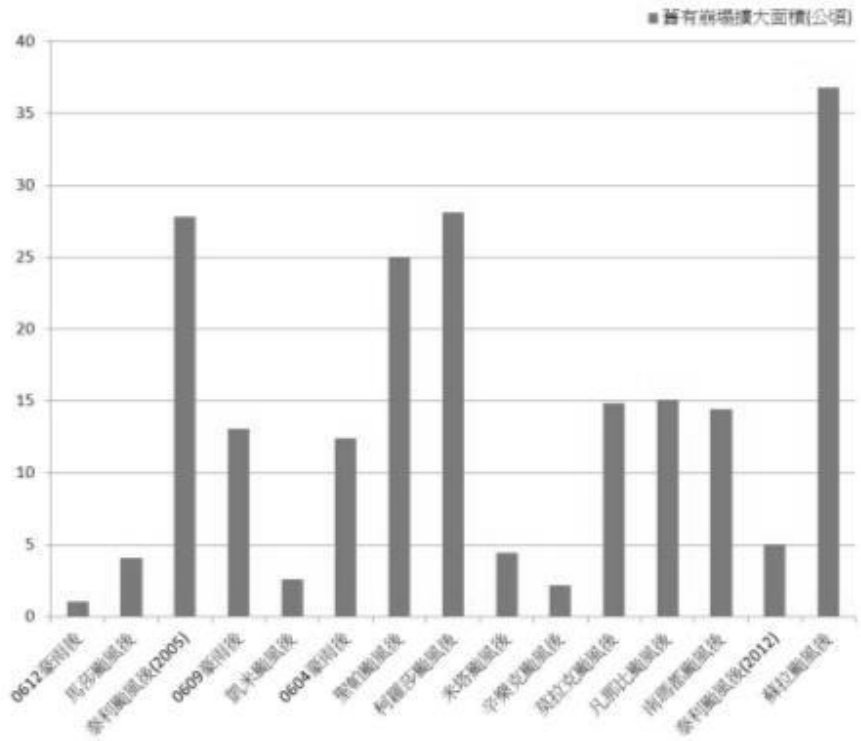


圖 7.6 舊有崩塌擴大面積統計圖

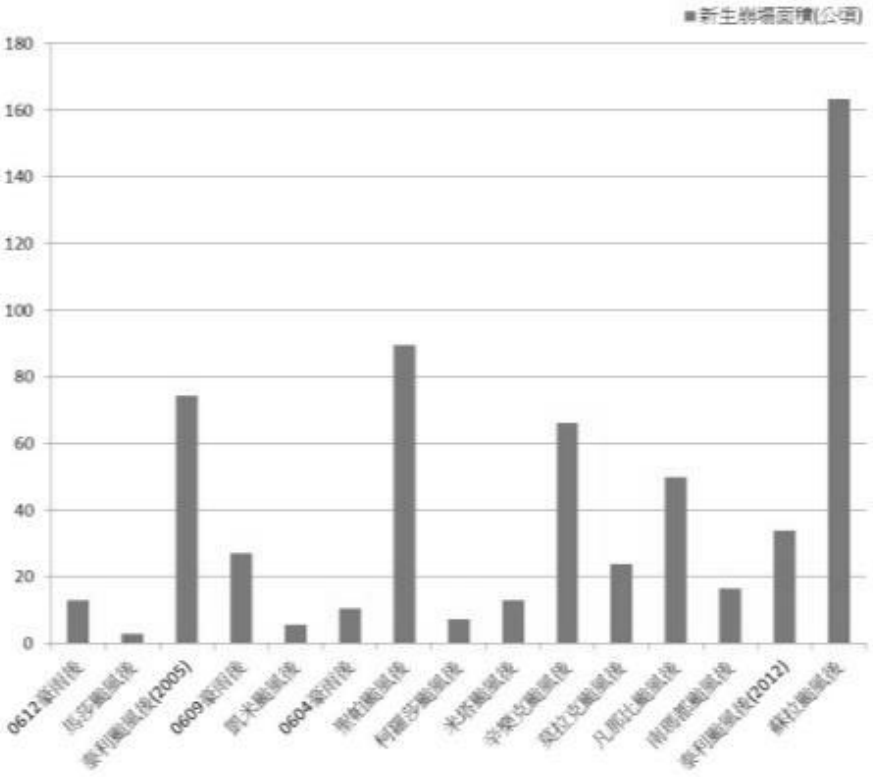


圖 7.7 新生崩塌面積統計圖

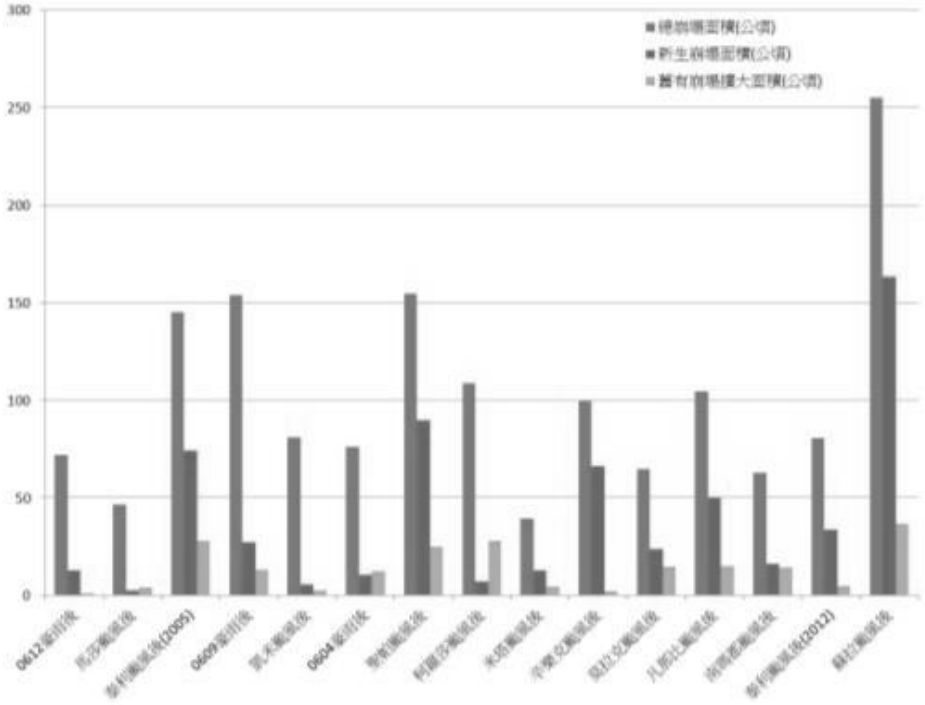


圖 7.8 各類崩塌面積統計比較圖

7.4 邊坡山崩潛感分析

本研究採用證據權重法進行山崩潛感分析，在分析過程中選用的因子包含坡度、坡向、高程、岩性、距構造線距離、距河道距離與正規化值生指標等因子，詳細作業方法請參照附錄二相關說明；表7-6是採用0612豪雨事件資料透過證據權法進行山崩分析所得個因子條件分析後的山崩潛感權重分布之狀況，其他各事件分析所得之成果請參考附錄三。

表 7-6　0612 豪雨事件山崩潛感權重分布狀況

岩性				
分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	41.43	1.22%	0.924461
大南澳片岩 （片麻岩、混合岩）	1624.03	13.23	0.84%	0.106242
大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	17.02	0.55%	-0.43116

表 7-6　0612 豪雨事件山崩潛感權重分布狀況(續)

坡度				
分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
<5	1508.3775	6.0725	0.40%	-0.70465
5-10	303.9575	6.0425	1.99%	1.04776
10-15	220.735	2.8325	1.28%	0.56375
15-20	267.8	0.835	0.31%	-0.89469
20-25	399.07	0.525	0.13%	-1.77811
25-30	663.69	1.22	0.18%	-1.46258
30-35	1051.1175	3.295	0.31%	-0.94208
35-40	1368.5275	7.01	0.51%	-0.43089
40-45	1338.0975	10.0425	0.75%	0.005601
45-50	1029.5725	13.345	1.30%	0.649939
50-55	649.2925	8.7975	1.35%	0.663022
55-60	382.6525	6.065	1.58%	0.808915
>60	413.785	5.5975	1.35%	0.637564

坡向				
分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
北	1288.695	8.6175	0.67%	-0.12765
東北	1083.3725	8.22	0.76%	0.017846
東	1315.66	10.3425	0.79%	0.059955
東南	1263.6775	9.8225	0.78%	0.046392
南	1082.29	8.74	0.81%	0.089095
西南	1050.4725	7.065	0.67%	-0.11789
西	1282.5175	9.2475	0.72%	-0.0409
西北	1229.99	9.625	0.78%	0.054006

高程				
分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
<200	3831.245	19.53	0.51%	-0.5774584
200-400	1888.985	10.74	0.57%	-0.3319718
400-600	1344.0925	13.1325	0.98%	0.32275765
600-800	894.3125	15.185	1.70%	0.97206276
800-1000	608.98	5.9525	0.98%	0.29260286
1000-1200	418.8025	1.0675	0.25%	-1.1099078
1200-1400	210.93	1.96	0.93%	0.22575787
1400-1600	148.26	0	0.00%	0
1600-1800	116.65	0.265	0.23%	-1.2040565
>1800	134.4175	3.8475	2.86%	1.40634438

表 7-6 0612 豪雨事件山崩潛感權重分布狀況(續)

正規化植生指數				
分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
<0	595.6375	0	0.00%	0
0-0.1	606.82	0.3675	0.06%	-2.57984
0.1-0.2	509.575	15.56	3.05%	1.623062
0.2-0.3	504.25	27.09	5.37%	2.444084
0.3-0.4	573.2575	21.71	3.79%	1.955647
0.4-0.5	1064.345	5.83	0.55%	-0.34511
>0.5	5742.79	1.1225	0.02%	-4.55802

距構造線距離				
分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
<50	337.805	0	0.00%	0
50-100	314.815	0.015	0.00%	-5.0955788
100-150	314.8975	0.485	0.15%	-1.6116264
150-200	313.065	0.7525	0.24%	-1.1616805
200-250	309.6375	1.145	0.37%	-0.723651
250-300	300.98	1.18	0.39%	-0.6635203
300-350	291.3825	1.68	0.58%	-0.2677684
350-400	290.0475	1.1925	0.41%	-0.6144289
400-450	286.7275	1.4275	0.50%	-0.4184483
450-500	288.025	1.5	0.52%	-0.3722925
>500	6549.2925	62.3025	0.95%	1.13509077

距河道距離				
分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
<50	609.95	17.64	2.89%	1.59388669
51-100	509.76	8.575	1.68%	0.89469761
101-150	477.9325	2.6625	0.56%	-0.308488
151-200	444.3375	1.8825	0.42%	-0.5912271
201-250	425.0125	1.8575	0.44%	-0.5582315
251-300	418.58	1.38	0.33%	-0.8473681
301-350	398.51	0.8575	0.22%	-1.2804595
351-400	370.51	0.3725	0.10%	-2.0463544
>400	5942.0825	36.4525	0.61%	-0.4554245

圖7.9為以0612豪雨事件資料透過證據權法進行山崩分析所得之成果，其他各事件分析所得之成果請參考附錄四。

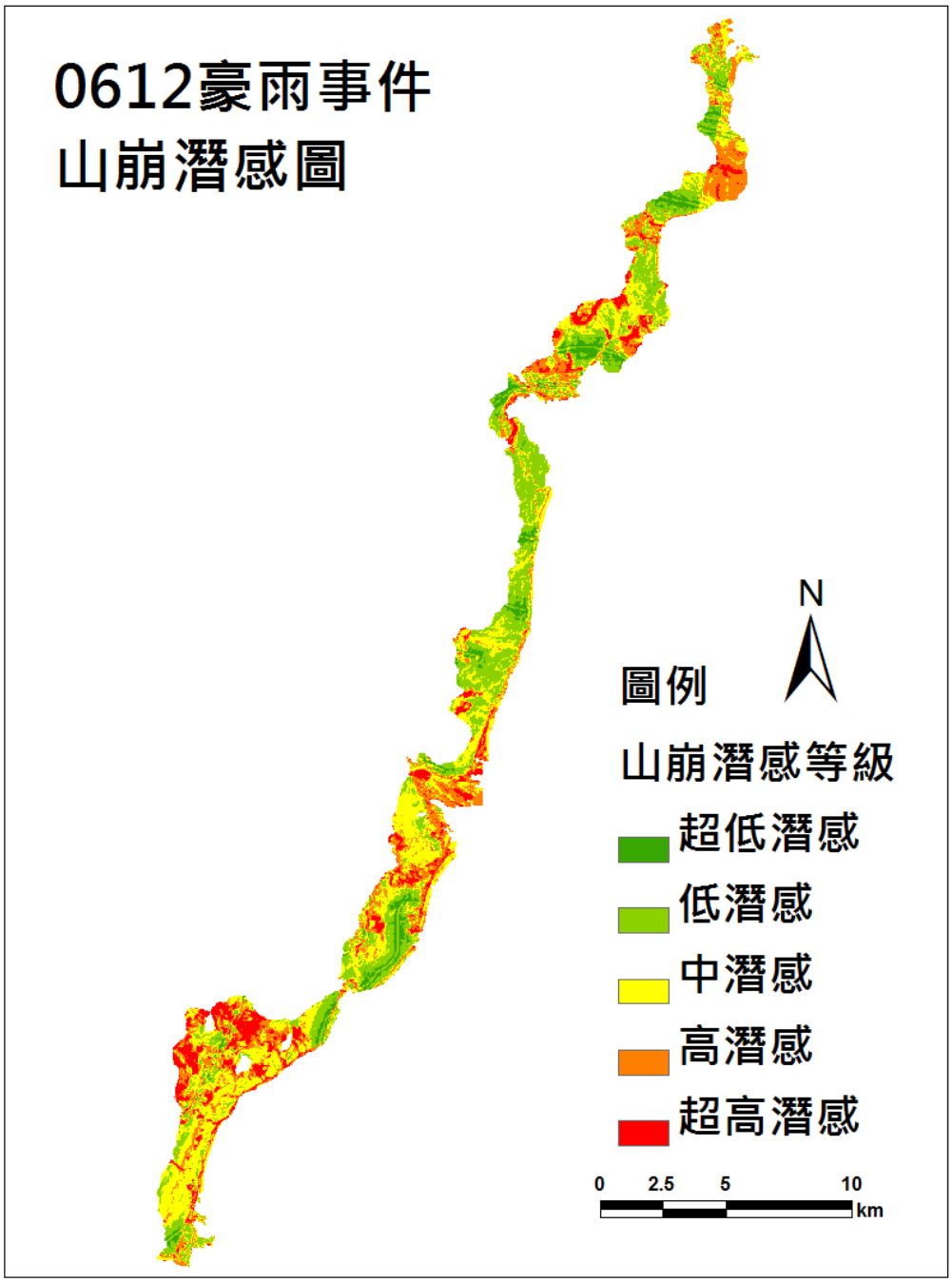


圖 7.9 0612 豪雨事件山崩潛感

7.5 山區道路坡面單元劃分

本研究以內政部資訊中心之5公尺網格解析度數值地形為分析材料，依據坡向與地形分析結果，進行坡面單元劃分。以下就影響蘇花公路坡面之坡向分析、坡度分析、水系分析與坡面單元劃分結果進行說明：

7.5.1 坡向分析

影響蘇花公路坡面約2,513公頃左右，就此範圍內進行坡向分析，將坡向分別以八方向(北、東北、東、東南、南、西南、西、西北)進行統計(圖7.10、圖7.11) ，整體而言，明顯以東方、東南的坡面為最多。自崇德至南澳之坡向主要以東-東南向之坡面為主。南澳至蘇澳之坡向則以東南-南與西-西北的坡面為主。本區自和平以南岩性以大理岩與片麻岩為主，岩體緻密且堅硬，坡向以東至東南向為主；而和平至蘇澳因岩性以板岩為主，但局部因斷層與褶皺發育，造成位態較為複雜，坡向亦無特定面向。

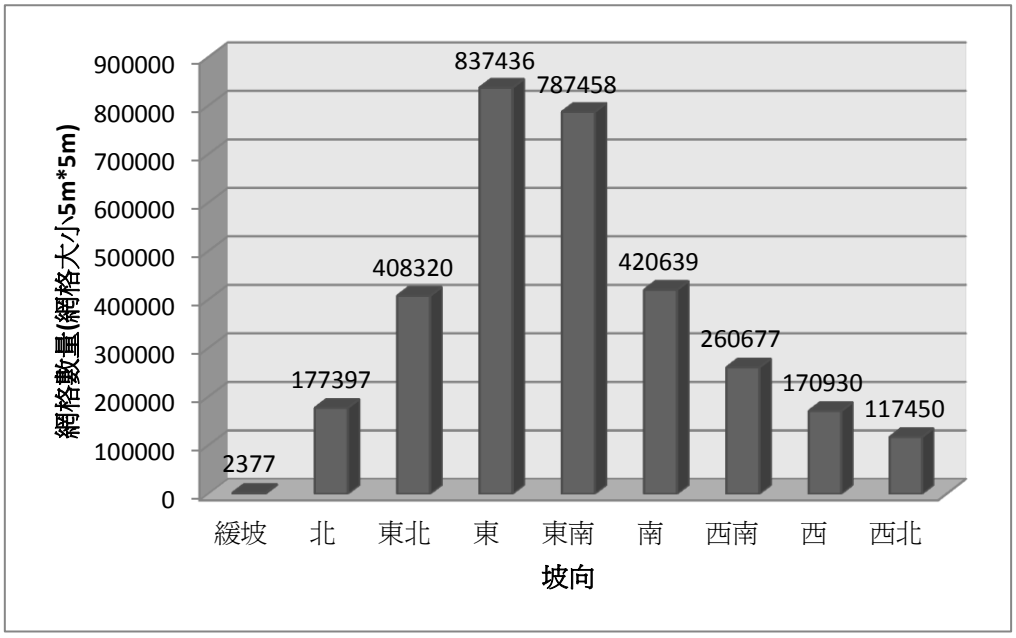


圖 7.10 研究區坡向統計圖

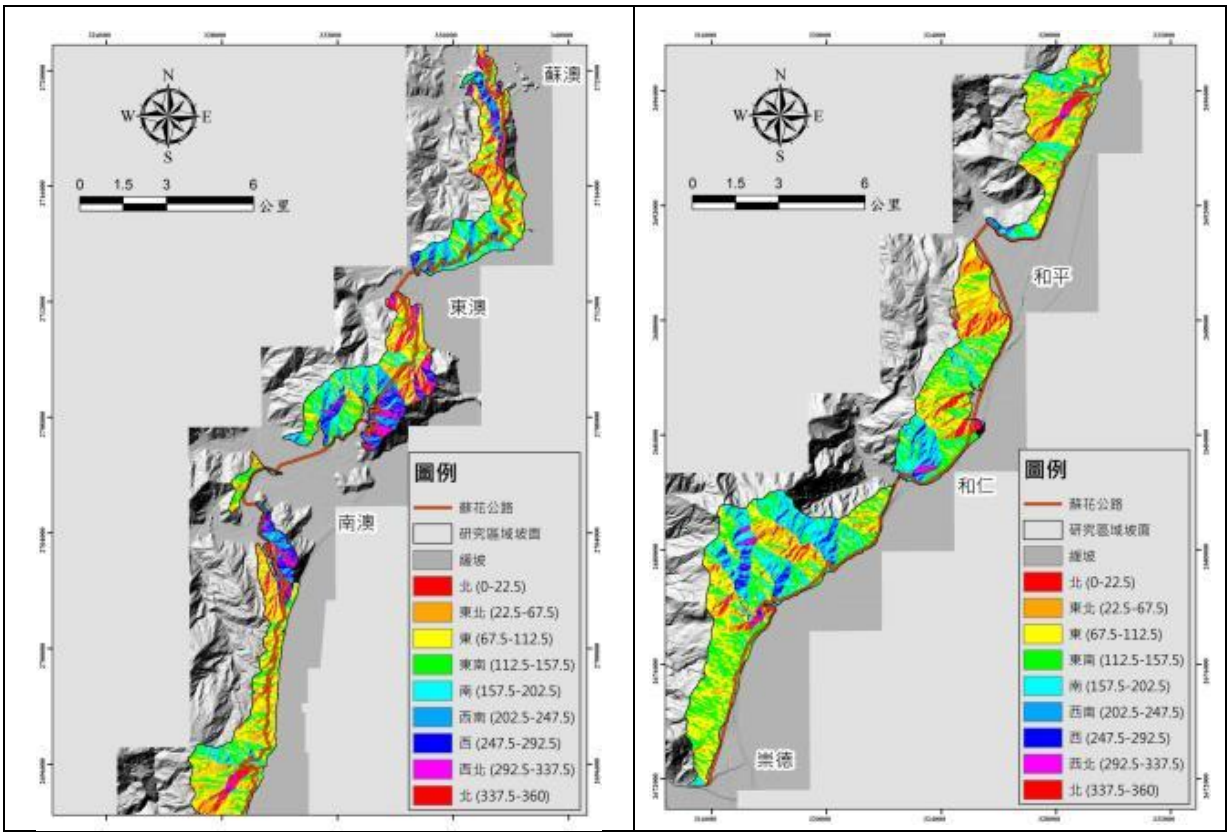


圖 7.11 研究區坡向分布圖

7.5.2 坡度分析

依據水土保持技術規範之坡度分級進行統計(圖7.12)，整體而言坡度集中在六級與七級坡，佔此兩分級佔整體81%左右，約為2,036公頃，顯示研究區域內主要為陡坡地形，不利於邊坡穩定狀況。而就空間分布的狀況(圖7.13)，崇德至和平區域之坡度，相對較和平至蘇澳路段為陡，除了指出因岩性材料不同造成此項差異外，此條件亦反映在地質環境敏感地區的特性上，崇德至和平路段會有較多落石、與崩塌災害。

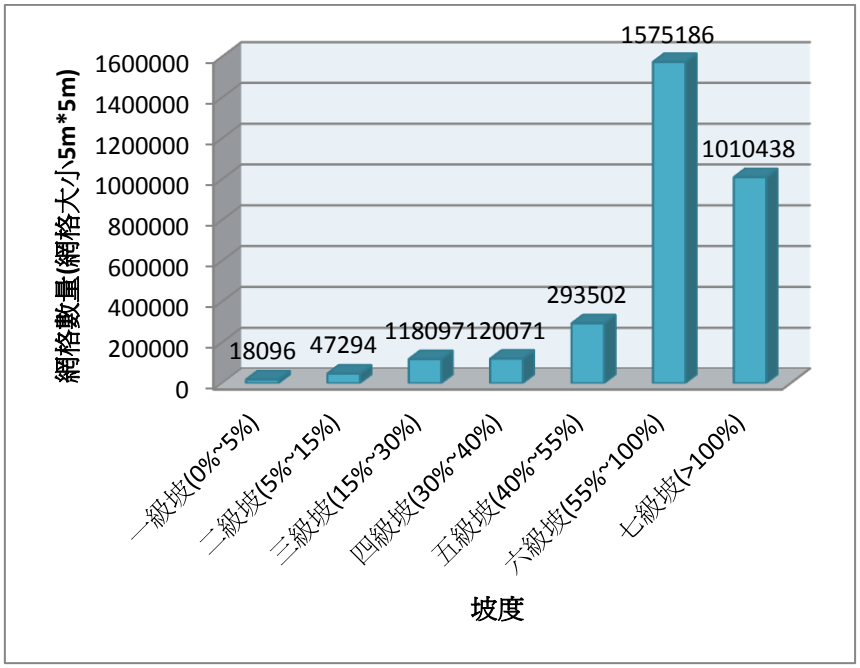


圖 7.12 研究區坡度統計圖

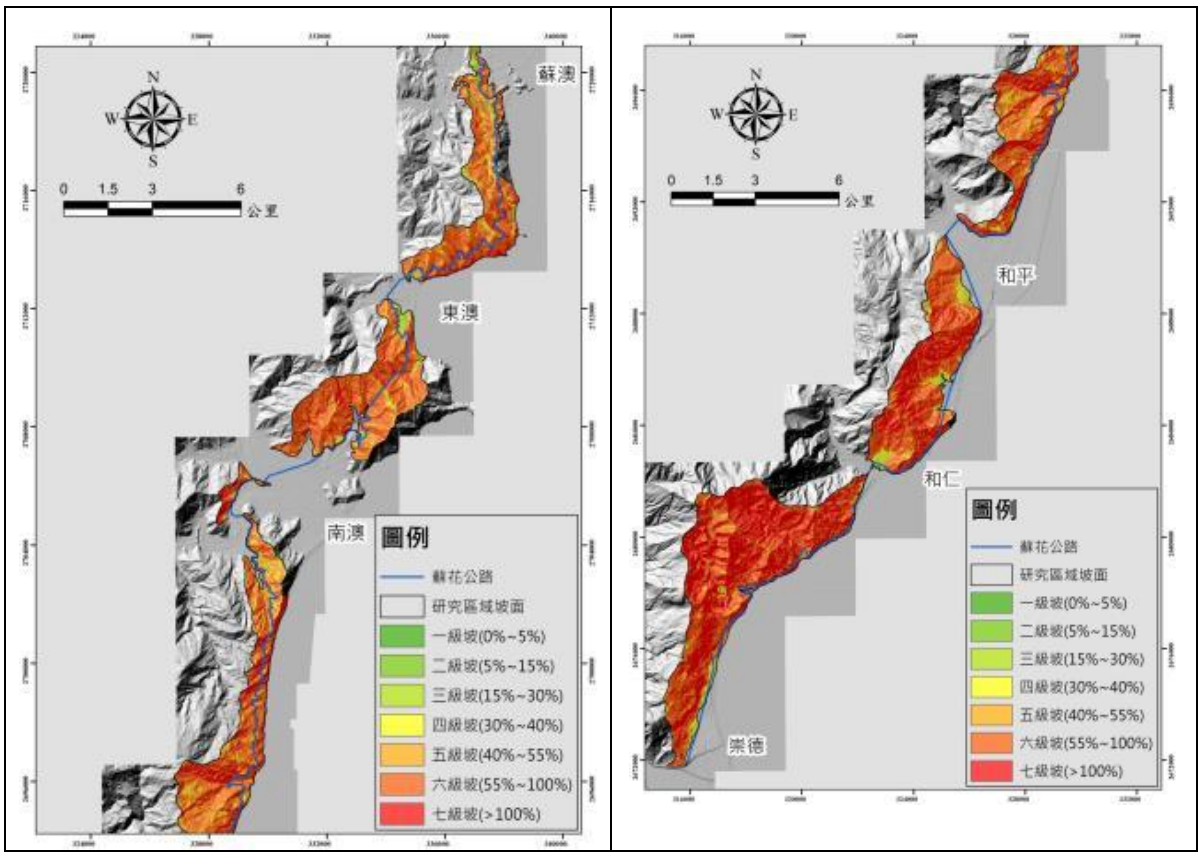


圖 7.13 研究區坡度分布圖

7.5.3 水系分析

水系分布狀況影響道路邊坡排水甚鉅，亦為土石流與蝕溝災害，甚至誘發上、下邊坡崩塌災害之主要發生位置，因此易致災路段之劃分除參考坡向與坡度外，需再參考水系的位置，將道路與水系相交的區位找出，在特別針對這些土石流與蝕溝影響範圍區位進行確認，以完成易致災路段之劃分作業。本研究以內政部資訊中心2005年產製之5公尺網格解析度數值地形，利用ESRI公司ArcGIS 軟體ArcHydro模組，進行研究區與內之水系分析，以土石流有效集水區面積(3公頃)為水系起算門檻，其分析結果如圖7.14。經計算，蘇花公路蘇澳至崇德路段共有77處被水系截切。在水系特性分析部分，從圖中可以看出整體路段沿線之主要水系流向大致由西北流向東南，水系約略呈樹枝狀發育，此顯示因大理岩與片麻岩岩體緻密堅硬，以及板岩劈理較凌亂，導致上游水系無特定流向。

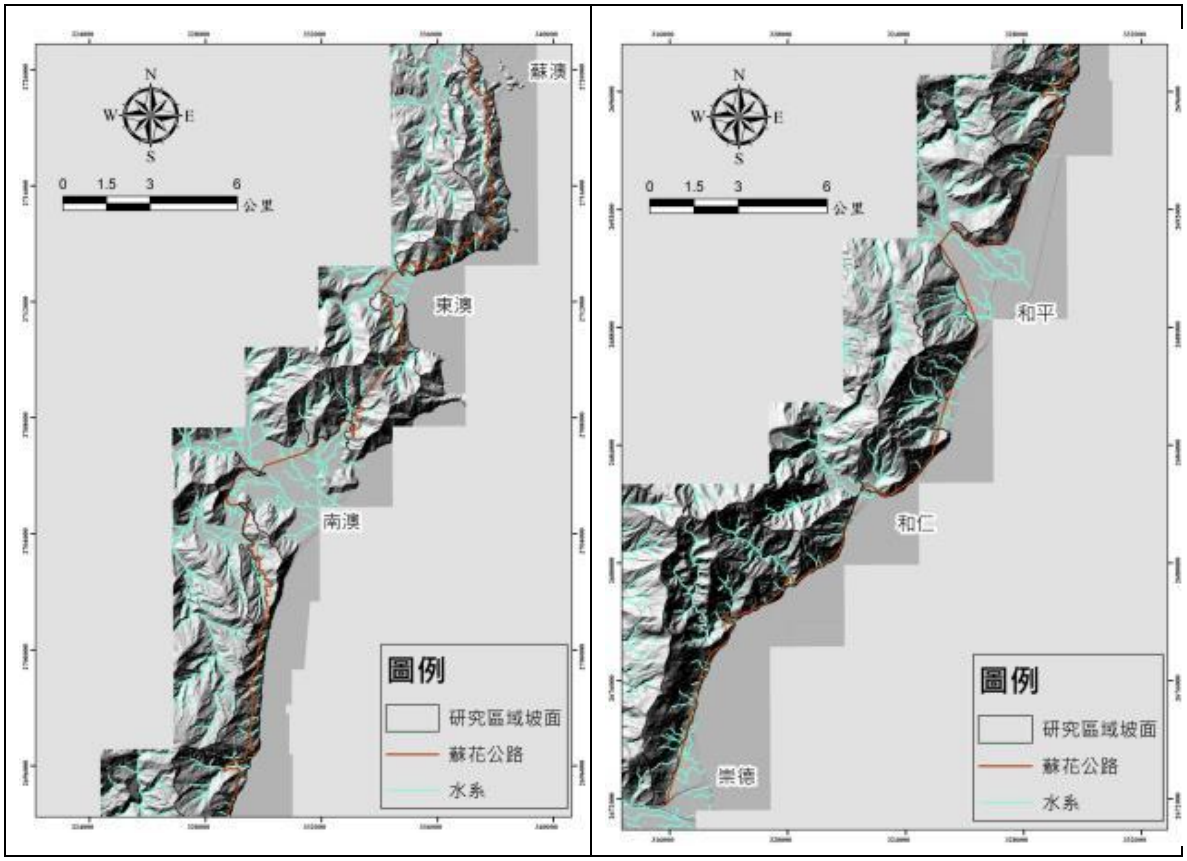


圖 7.14 研究區水系分布圖

7.5.4 坡面單元劃分

綜合坡向、地形分析結果，蘇花公路山區道路路段自蘇澳至崇德路段，共劃分出618個坡面單元(圖7.15)。上述坡面單元中，將各坡面單元之災害個數進行統計(表7-7)，除了無災害之坡面外，以1個災害之坡面為主，坡面數量為188個，其次為同時發育2個災害之坡面為81個，接著為同時發育3個災害之坡面為45個、同時發育4個災害之坡面為30個，而同時發育5個以上之坡面為21個，其中高災害個數之坡面，多因上游崩塌大量發育造成。

就空間分布而言，高災害個數之坡面多發生於集水區上游，如和仁至崇德路段上游集水區，而蘇澳到南澳以及南澳至和平路段邊坡主要以同時發育4個至6個災害之坡面為主 (圖7.15)。

表 7-7 坡面災害個數統計表

災害個數	坡面個數	災害個數	坡面個數
0	219	6	10
1	188	7	11
2	81	8	5
3	45	9	5
4	30	11	2
5	21	13	1

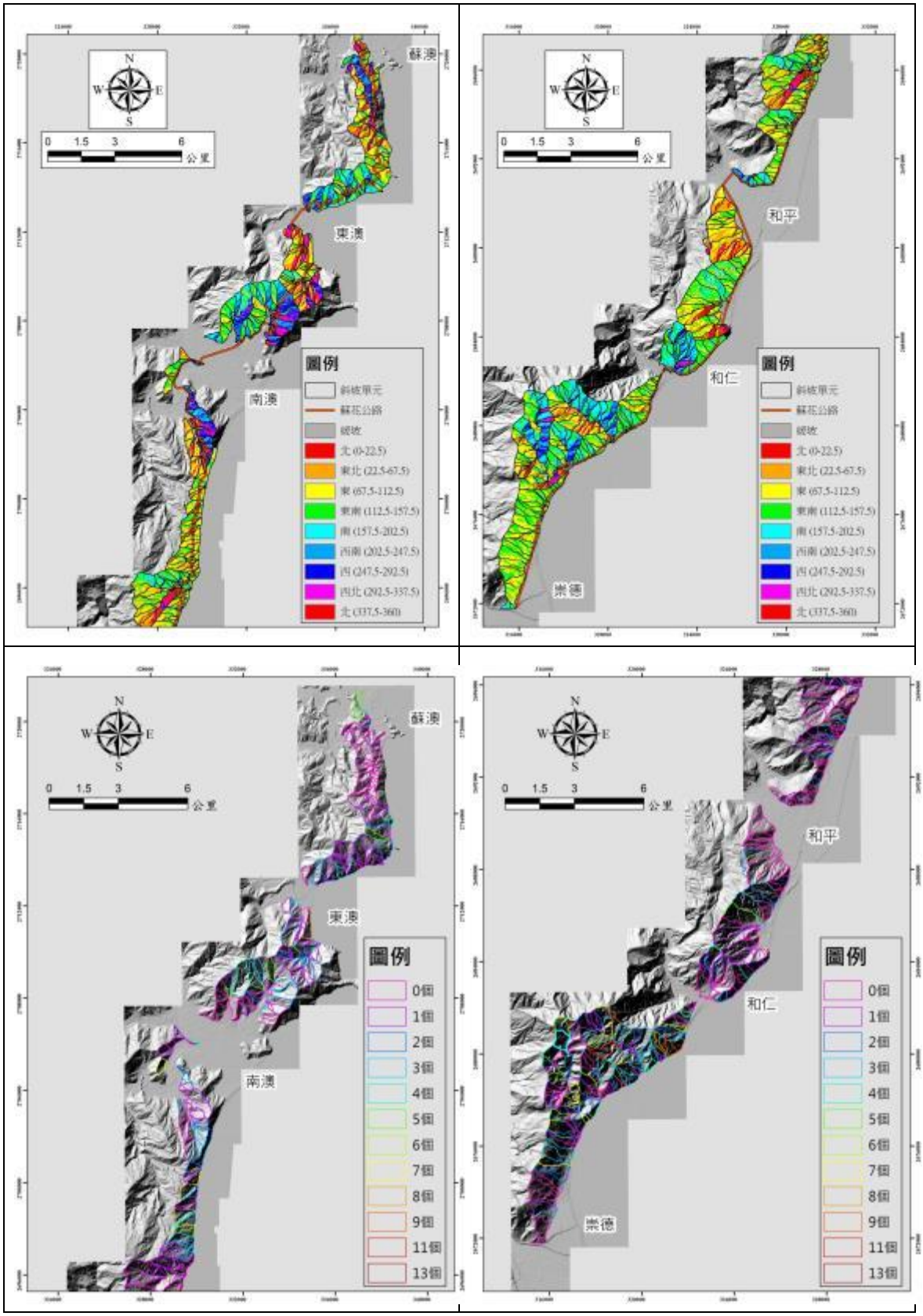


圖 7.15 研究區坡面單元分布圖

7.6 重大災例蒐集

本研究之重大災例蒐集自交通部公路防救災資訊系統(http://bobe168.tw/index.aspx) 之災情資料,依災情資料顯示蘇花公路山區道路路段自2008年9月至2013年11月重大災害案例共計42處(圖7.16)，災害類型主要以邊坡崩塌或土石流造成局部路段或橋樑損壞以及路基崩坍為主。蒐集時間內各路線樁號、致災事件、致災類型及阻斷時間整理如表7-8，受損情形如圖7.17所示，部分路段在颱風豪雨期間係因雨量超過警戒值而採預警性封閉，並非已發生災害導致道路中斷，實際因災害導致道路中斷共計36處(圖7.18)，當時情形記錄如表7-9。

表7-10統計災害案例時間為2008年9月至2013年5月,其中導致中斷的災害類型可分為土石流阻斷、路基流失以及邊坡坍方，而封閉類型皆為預警性的封閉，未必有發生中斷的情形。若以每20K為統計單元分析災害次數，106K ~ 120K災害次數最多，共發生14次的道路中斷或封閉,分別位於106K+800、109K+100、111K+200、111K+500、115K+580、115K+600、115K+750、115K+800、115K+900、116K+030及116K+800等11處。

其中115K~117K處不論在中斷或是預警性封閉類型中，皆為次數最頻繁之處。其次在140K ~ 160K處發生共10次的道路中斷或封閉，分別位於142K+500、144K+550、144K+750、145K+000、145K+350、145K+840、147K+000、147K+050、149K+300及149K+750 等10處，其中142K+500 ~ 150K+050處在2012年5月12日豪雨事件中，發生10處因路基流失或土石流易流而造成災情。

160K ~ 183K處亦發生10次的道路中斷或封閉,分別位於163K+400、166K+000、167K+800、168K+000、166K+500、166K+800、169K+300、169K+900、170K+100以及173K+380等10處，而120K ~ 140K處共發生2次的道路中斷或封閉，分別位於126K+800以及127K+070等2處，在各路段中，未發生預警性封閉的狀況，皆為災害造成道路中斷的類型。

表 7-8 蘇花公路近年重大災害案例彙整

路線樁號	致災事件名稱	縣市鄉鎮	附近地名	災害類型及受損情形	阻斷時間	相片
106K+800	梅姬颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	黑白馬地標	道路，預警性封閉。下邊坡路基流失缺口長 80M 寬 12M。	2010/10/22 07:30	
				道路，預警性封閉。道路路基流失長 80M，寬度 10M。	2010/10/21 20:00	圖 4.17 照片 1
107K+900	梅姬颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	無	道路，預警性封閉。上邊坡坍方長 50M，寬 9M，高 5M*1/2，坍方數量約 1125 M^3。	2010/10/21 13:00	圖 4.17 照片 2
109K+100	梅姬颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	蘇南里	道路，預警性封閉。路基缺口長 30M，寬 9M。	2010/10/21 13:00	圖 4.17 照片 3
111K+200	豪雨	宜蘭縣蘇澳鎮	猴猴坑	道路，邊坡坍方。上邊坡坍方長 10M，寬 6M，高 4M，約 240 M^3。	2012/12/13 16:40	
111K+500	辛樂克颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	九宮里	道路，土石流阻斷。坍方交通阻斷，邊坡坍方長 80M，寬 10M，高 16M，坍方數量約 6400 M^3，路基缺口 40M 深 10M。	2008/09/14 07:30	圖 4.17 照片 4
112K+100	梅姬颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	九宮里	道路，預警性封閉。上邊坡坍方長 100M，寬 12M，高 8M*1/2，坍方數量約 4800 M^3。	2010/10/21 13:00	圖 4.17 照片 5
115K+580	豪雨	宜蘭縣蘇澳鎮	東澳	道路，邊坡坍方。邊坡坍方長約 40M*寬約 8M*高約 15*1*2 約 2000 M^3 現場災情擴大且間歇落石搶修困難	2012/01/08 11:30	圖 4.17 照片 6
115K+600	豪雨	宜蘭縣蘇澳鎮	東澳	道路，邊坡坍方。上邊坡坍方擴大持續坍方落石。	2012/01/09 10:30	

路線樁號	致災事件名稱	縣市鄉鎮	附近地名	災害類型及受損情形	阻斷時間	相片
115K+750	豪雨	宜蘭縣蘇澳鎮	大坑橋附近	道路，道路落石。道路連續落石，無人員車輛損害，進行臨時性管制措施	2011/12/15 20:30	
115K+800	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	東澳	道路，邊坡坍方。邊坡坍方 12*8*3=288 M^3	2012/05/30 01:00	圖 4.17 照片 7
		宜蘭縣蘇澳鎮	石牌宮	道路，路基流失。路基缺口 80M 長、寬 3~3.5M，深度達 100M，路基下滑持續擴大延伸至中央雙黃線	2011/10/09 09:00	圖 4.17 照片 8
115K+900	芭瑪颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	東澳	道路，土石流阻斷。上邊坡坍方長 60M，寬 9M，高 15M*1/2，坍方數量約 4050M3	2009/10/06 12:00	
116K+030	梅姬颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	無	道路，預警性封閉。上、下邊坡坍方及路基流失缺口長 70M，寬 20M，高 20M。	2010/10/21 18:00	圖 4.17 照片 9
116K+400	梅姬颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	東澳石牌公	道路，預警性封閉。路基流失長約 30M，寬約 10M。	2010/10/21 15:30	圖 4.17 照片 10
116K+800	豪雨	宜蘭縣蘇澳鎮	石牌宮	道路，預警性封閉。上邊坡坍方長 30M，寬 20M，高 10M *1/2，坍方數量約 2500~3000 M^3。	2010/12/15 21:30	圖 4.17 照片 11
123K+0	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	東澳	道路，邊坡坍方。1.搶修方式：調度開口契約廠商及工務段機具搶修,2.管制措施：雙向交通阻斷	2013/11/13 11:50	
126K+800	芭瑪颱風	宜蘭縣南澳鄉	南澳	道路，土石流阻斷。邊坡坍方長 80M，寬 9M，高 30M*1/2，坍方數量約 10800 M^3。	2009/10/05 19:00	

路線樁號	致災事件名稱	縣市鄉鎮	附近地名	災害類型及受損情形	阻斷時間	相片
127K+070	奈格颱風	宜蘭縣蘇澳鎮	新澳橋南口附近	道路，邊坡坍方。坍方面積 20*15*4.5/2	2011/10/02 01:30	
142K+500	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	武塔	道路，土石流阻斷。50M 長*10 寬*10 高=5000 M^3	2012/05/12 20:00	
144K+550	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	觀音	道路，土石流阻斷。路基缺口 10M*3M*6M 深，坍方 100M*5M*0.5M=250 M^3	2012/05/12 20:00	圖 4.17 照片 12
144K+750	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	武塔	道路，路基流失。路基流失長 50M，寬 10M，深度 10M。路基寬約 1M。	2012/05/12 19:00	圖 4.17 照片 13
145K+000	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	觀音附近	道路，土石流阻斷。145K+000~+050 坍方 50M *9M*4M=1800 M^3 145K+130 ~ 250 路面積水 0.8M 高淤泥 120M*10M*0.3=360 M^3	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 14
145K+350	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	觀音附近	道路，邊坡坍方。坍方 25M*8M*7M=1400 M^3	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 15
145K+840	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	觀音	道路，邊坡坍方。坍方 40M*10M*3M=1200 M^3	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 16
147K+000	蘇拉颱風	宜蘭縣南澳鄉	南澳觀音	道路，路基流失。147K+000 ~ 147K +100（觀音）路基缺口 100M*20M*20M 深已無路基	2012/08/02 05:00	圖 4.17 照片 17
147K+050	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	觀音	道路，路基流失。路基流失長 40M，寬 10M，深 8M，有效路寬約 2M。	2012/05/12 19:00	圖 4.17 照片 18

路線樁號	致災事件名稱	縣市鄉鎮	附近地名	災害類型及受損情形	阻斷時間	相片
149K+300	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	觀音附近	道路，邊坡坍方。坍方 80*10*1.5+70*10*6=5400 M^3	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 19
149K+750	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	漢本附近	道路，邊坡坍方。坍方 20M*8M*3M=480 M^3	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 20
150K+050	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	漢本	道路，邊坡坍方。坍方 60M*10*0.5+100*10*1.5+100*10*1.5=3300 M^3	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 21
路線樁號	致災事件名稱	縣市鄉鎮	附近地名	災害類型及受損情形	阻斷時間	相片
151K+200	豪雨	宜蘭縣南澳鄉	漢本-和平	道路，邊坡坍方。沿途零星坍方影響車道	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 22
155K+750	豪雨	花蓮縣秀林鄉	和平-崇德	道路，邊坡坍方。沿途零星坍方影響車道	2012/05/12 22:00	圖 4.17 照片 23
163K+400	芭瑪颱風	花蓮縣秀林鄉	和平隧道南口	道路，土石流阻斷。邊坡坍方長 10M，寬 8M，高 1M，坍方數量約 80 M^3	2009/10/05 15:00	
166K+000	芭瑪颱風	花蓮縣秀林鄉	花蓮縣秀林鄉和仁村(和仁隧道南口)	道路，土石流阻斷。邊坡坍方約長 30M 寬 10M 高 16*1/2M 約 2400M^3	2009/10/04 21:00	圖 4.17 照片 24
167K+800	薔蜜颱風	花蓮縣秀林鄉	無	道路，土石流阻斷。道路積水淤泥，交通阻斷。	2008/09/28 18:00	
168K+000	芭瑪颱風	花蓮縣秀林鄉	和仁	道路，土石流阻斷。邊坡坍方 200M*11M*3M	2009/10/05 14:30	圖 4.17 照片 25

路線樁號	致災事件名稱	縣市鄉鎮	附近地名	災害類型及受損情形	阻斷時間	相片
168K+500	芭瑪颱風	花蓮縣秀林鄉	和仁	道路，土石流阻斷。邊坡坍方 100M*11M*(6M+1M)	2009/10/05 14:30	圖 4.17 照片 26
168K+800	芭瑪颱風	花蓮縣秀林鄉	和仁	道路，土石流阻斷。邊坡坍方約 660M^3。	2009/10/05 14:30	圖 4.17 照片 27
169K+300	豪雨	花蓮縣秀林鄉	和清隧道口	道路，邊坡坍方。上邊坡坍方長 20M，寬 10M，高 15M *1/2，坍方數量約 2250M^3。	2012/02/29 06:05	圖 4.17 照片 28
169K+900	豪雨	花蓮縣秀林鄉	清水	道路，道路落石。 仁清隧道南口明隧道橫樑因豪雨落石造成斷裂，全線阻斷。	2013/5/6 08:30	圖 4.17 照片 29
170K+100	芭瑪颱風	花蓮縣秀林鄉	清水	道路，土石流阻斷。邊坡坍方約 3000M^3	2009/10/05 14:00	圖 4.17 照片 30
173K+380	蘇拉颱風	花蓮縣秀林鄉	清水	道路，邊坡坍方。 1.173K+380（清水）坍方阻斷 10M*8M*1.5M 約=120M^3 2.173K+830（清水）坍方阻斷 10M*3M*1.5M 約=45M^3 3.173K+897（清水）坍方阻斷 3M*2M*1M 約=6M^3 4.174K+040（清水）坍方阻斷 15M*5M*2M 約=150M^3 5.174K+090（清水）坍方 4M*2M*1M 約=8M^3	2012/08/02 05:00	

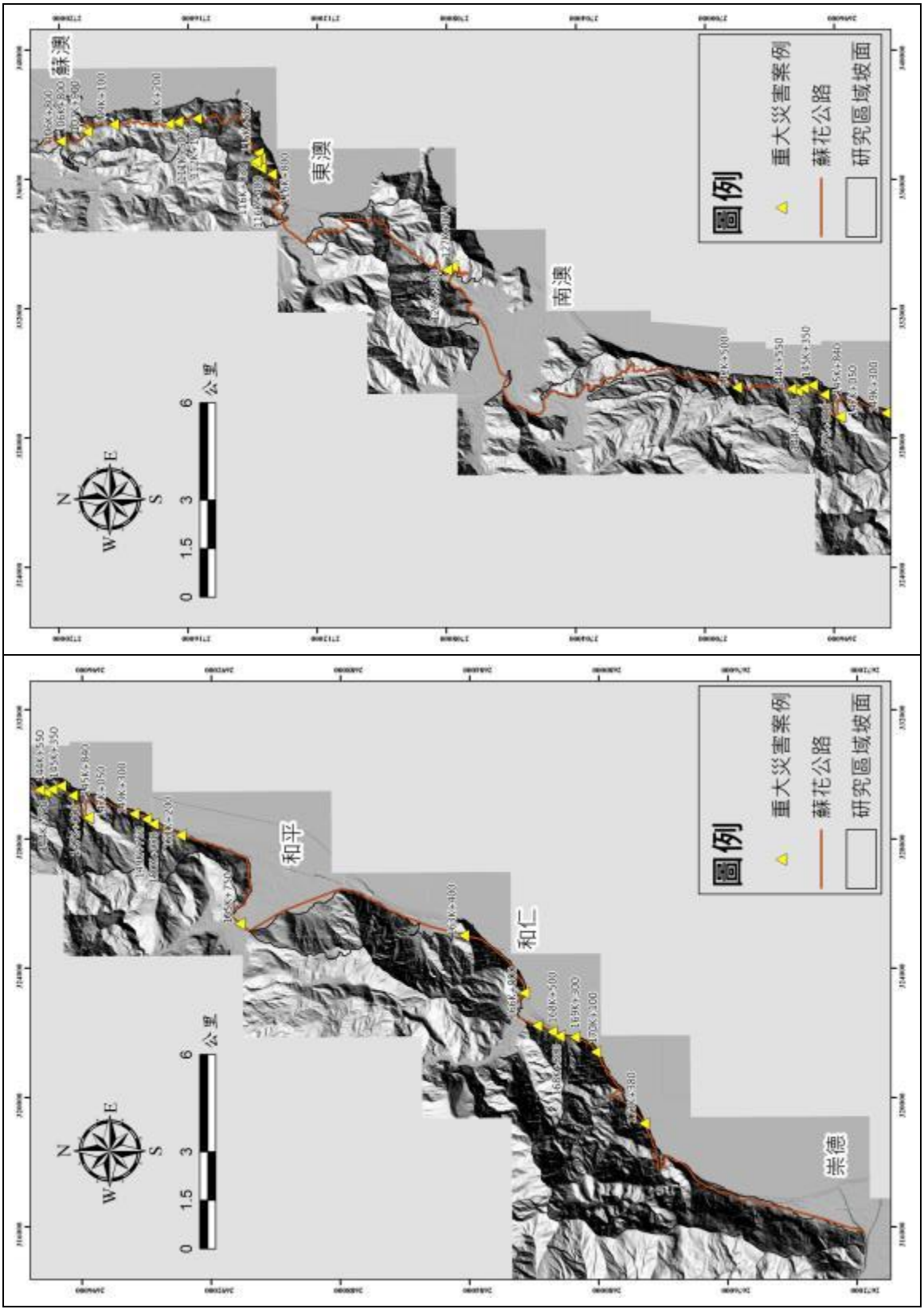
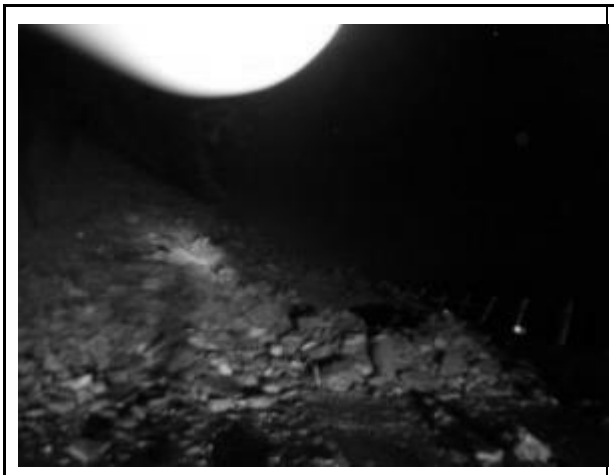


圖 7.16 蘇花公路近年重大災害案例空間分布圖

	
照片 1. 蘇花公路 106K+800 於梅姬颱風期間道路阻斷情形	照片 2. 蘇花公路 107K+900 於梅姬颱風期間道路阻斷情形
	
照片 3. 蘇花公路 109K+100 於梅姬颱風期間道路阻斷情形	照片 4. 蘇花公路 111K+500 於辛樂克颱風期間道路阻斷情形
	
照片 5. 蘇花公路 112K+100 於梅姬颱風期間零星坍方影響車道	照片 6. 蘇花公路 115K+580 於 0108 豪雨事件道路阻斷情形

	
照片 7. 蘇花公路 115K+800 於 0529 豪雨事件道路阻斷情形	照片 8. 蘇花公路 115K+800 於 1009 豪雨事件道路阻斷情形
	
照片 9. 蘇花公路 116K+030 於梅姬颱風期間道路阻斷情形	照片 10. 蘇花公路 116K+400 於梅姬颱風期間零星坍方影響車道
	
照片 11. 蘇花公路 116K+800 於梅姬颱風期間道路阻斷情形	照片 12. 蘇花公路 144K+550 於 0512 豪雨事件道路阻斷情形

	
照片 13. 蘇花公路 144K+750 於 0512 豪雨事件道路阻斷情形	照片 14. 蘇花公路 145K+000 於 0512 豪雨事件間道路阻斷情形
	
照片 15. 蘇花公路 145K+350 於 0512 豪雨事件道路阻斷情形	照片 16. 蘇花公路 145K+840 於 0512 豪雨事件道路阻斷情形
	
照片 17. 蘇花公路 147K+000 於蘇拉颱風期間道路阻斷情形	照片 18. 蘇花公路 147K+050 於 0512 豪雨事件道路阻斷情形

	
照片 19. 蘇花公路 149K+300 於 0512 豪雨事件零星坍方影響車道	照片 20. 蘇花公路 149K+750 於 0512 豪雨事件零星坍方影響車道
	
照片 21. 蘇花公路 150K+050 於 0512 豪雨事件零星坍方影響車道	照片 22. 蘇花公路 151K+200 於 0512 豪雨事件零星坍方影響車道
	
照片 23. 蘇花公路 155K+750 於 0512 豪雨事件零星坍方影響車道	照片 24. 蘇花公路 166K+000 於芭瑪颱風期間道路阻斷情形

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>照片 25. 蘇花公路 168K+000 於芭瑪颱風期間道路阻斷情形</td><td>照片 26. 蘇花公路 168K+500 於芭瑪颱風期間道路阻斷情形</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>照片 27. 蘇花公路 168K+800 於芭瑪颱風期間道路阻斷情形</td><td>照片 28. 蘇花公路 169K+300 於 0229 豪雨事件道路阻斷情形</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>照片 29. 蘇花公路 179K+900 於 0506 豪雨事件道路阻斷情形</td><td>照片 30. 蘇花公路 170K+100 於芭瑪颱風期間道路阻斷情形</td></tr>
</table>

圖 7.17 蘇花公路近年重大災害發生現場照片

表 7-9 蘇花公路山區道路 2008 年迄今因災害發生中斷案例彙整表

編號	路線樁號	災害名稱	編號	路線樁號	災害名稱
1	106K+800	2010/10/22 梅姬颱風	19	144K+750	2012/5/12 豪雨
2	106K+800	2010/10/21 梅姬颱風	20	145K+000	2012/5/12 豪雨
3	109K+100	2010/10/21 梅姬颱風	21	145K+350	2012/5/12 豪雨
4	111K+200	2010/12/13 豪雨	22	146K+840	2012/5/12 豪雨
5	111K+500	2008/9/14 辛樂克颱風	23	147K+000	2012/8/2 蘇拉颱風
6	115K+580	2012/1/8 豪雨	24	147K+050	2012/5/12 豪雨
7	115K+600	2012/1/9 豪雨	25	149K+300	2012/5/12 豪雨
8	115K+750	2011/12/15 豪雨	26	149K+750	2012/5/12 豪雨
9	115K+800	2012/5/30 豪雨	27	163K+400	2009/10/3 芭瑪颱風
10	115K+800	2011/10/9 豪雨	28	166K+000	2009/10/3 芭瑪颱風
11	115K+900	2009/10/6 芭瑪颱風	29	167K+800	2008/9/29 薔蜜颱風
12	116K+030	2010/10/21 梅姬颱風	30	168K+000	2009/10/3 芭瑪颱風
13	116K+800	2010/12/15 豪雨	31	168K+500	2009/10/5 芭瑪颱風
14	123K+0	2013/11/11 豪雨	32	168K+800	2009/10/5 芭瑪颱風
15	126K+800	2009/10/5 梅姬颱風	33	169K+300	2012/2/29 豪雨
16	127K+070	2011/10/2 奈格颱風	34	169K+900	2013/5/6 豪雨
17	142K+500	2012/5/15 豪雨	35	170K+100	2009/10/5 芭瑪颱風
18	144K+550	2012/5/12 豪雨	36	173K+380	2012/8/2 蘇拉颱風

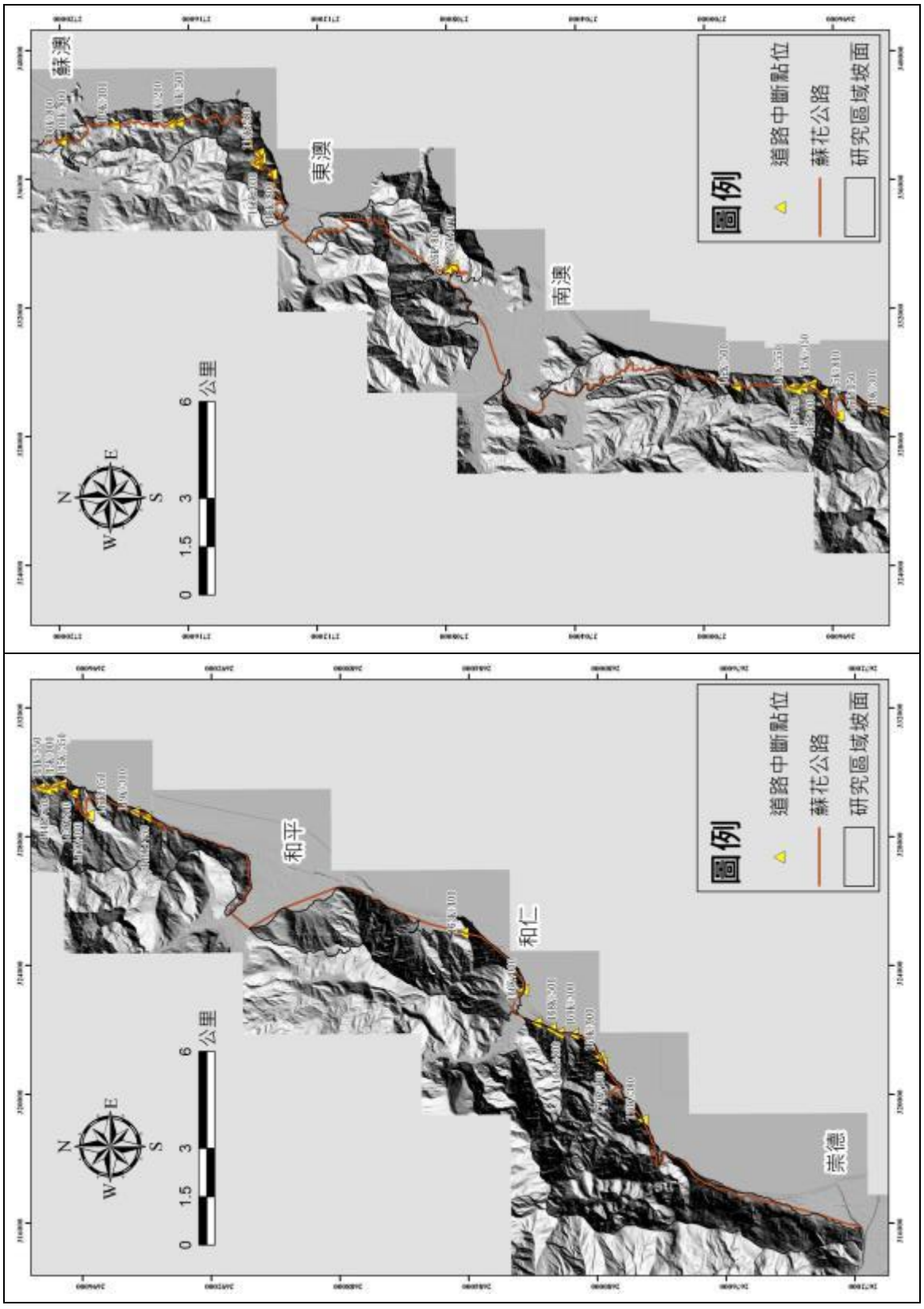


圖 7.18 蘇花公路山區道路 2008 年迄今道路中斷點位之分布情形

表 7-10 蘇花公路 2008～2012 年期間災害次數統計表

路線樁號	災害次數	災害類型
106K~120K	14	中斷：8
		預警性封閉：6
120K~140K	3	中斷：3
		預警性封閉：0
140K~160K	10	中斷：10
		預警性封閉：0
160K~183K	10	中斷：10
		預警性封閉：0

而於計畫執行期間，則持續災害資料之蒐集與調查，本年度共完成一件災害之調查工作，為5月6日之降雨事件，發生於蘇花公路169K+900(仁清明隧道南側入口)處，其災害概況摘要報告如附錄五。

7.7 潛在大規模滑動區位判釋、成因、特性分析

經資料蒐集、判釋與現地調查結果，顯示研究區域內之潛在大規模滑動區位共計有6處(圖7.19，編號LS01~LS06) ，細部之統計資料如表7-11。依據本研究潛在大規模滑動區之類型分類，皆屬於類型III者共計6處(LS01~LS06)(圖7.20)。在發生的特性與成因分析部分，地質構造方面皆為大南澳片岩，但除了LS01為處於片麻岩區外，其餘五個部分皆位於片岩區，而在地質敏感區部分，有3處具河岸侵蝕特性(LS01、LS04及LS06) ，有4處具受片岩岩性影響(LS03~LS06)，另有1處因下邊坡支撐不足影響(LS02)。

在崩塌面統計部分以LS04的面積為最大，約2.78公頃。在坡度之統計部分，以LS06的坡度最陡，約82%左右。而各潛在大規模滑動區，細部說明如下:

表 7-11 研究區域內之潛在大規模滑動區發生成因與特性統計表

編號	地質分區	X 坐標 (97 坐標)	Y 坐標 (97 坐標)	平均坡向	平均坡度 (%)	面積 (公頃)	地質不利因素	滑動類型
LS01	大南澳片岩	328225	2693426	東北	71	1.15	河岸侵蝕	III
LS02		328326	2693549	東	58	1.12	坡腳支撐不足	III
LS03		329097	2695358	東北	74	2.3	岩性	III
LS04		328744	2695840	西北	80	2.78	河岸侵蝕岩性	III
LS05		329544	2698822	東	63	1.34	岩性	III
LS06		329887	2700539	東	82	2.41	河岸侵蝕岩性	III

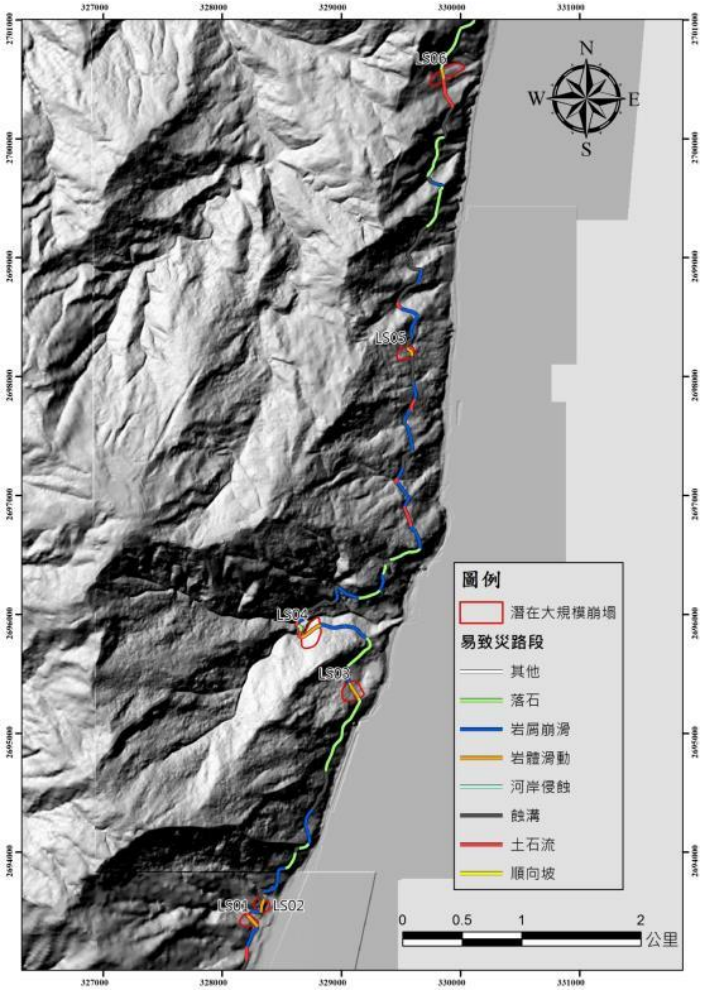
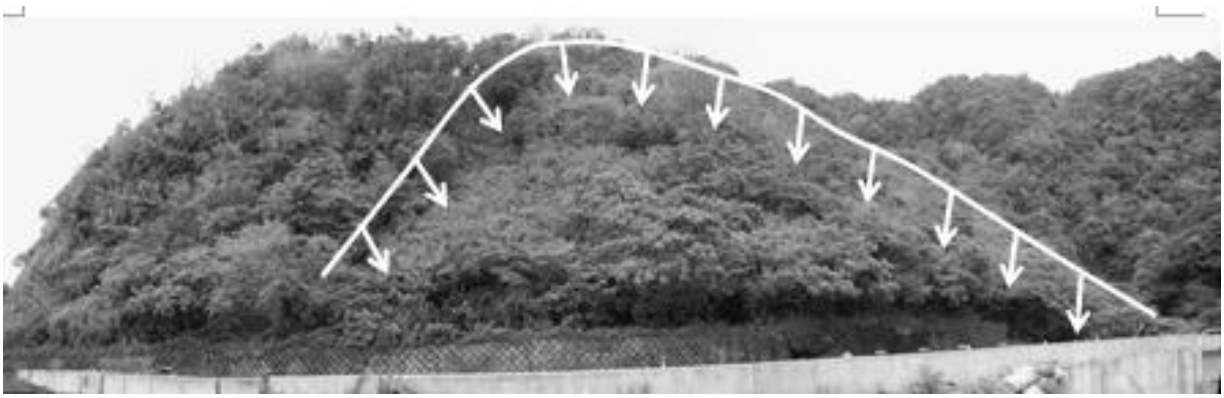


圖 7.19 研究區域內之潛在大規模滑動區位空間分布圖



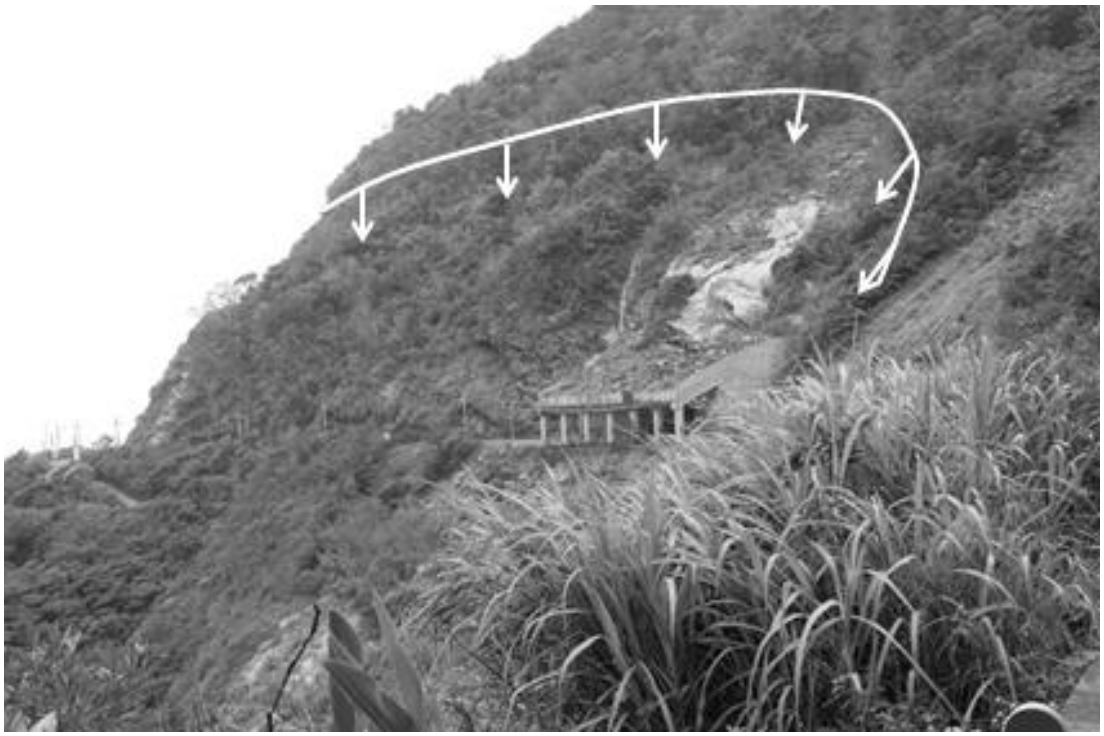
潛在大規模滑動區位編號 LS01 現地照片



潛在大規模滑動區位編號 LS02 現地照片



潛在大規模滑動區位編號 LS06 現地照片



潛在大規模滑動區位編號 LS03 現地照片



潛在大規模滑動區位編號 LS04 現地照片

圖 7.20 潛在大規模滑動區位現地照片

7.8 易致災路段分析

7.8.1 易致災路段劃分

易致災路段劃分方法主要以坡面單元劃分結果(共617個坡面單元)為基礎，結合環境地質敏區特性與水系分析結果，再將明顯產生土石流與蝕溝災害區位這兩類較易限縮災害於水系內之影響範圍進行細分，最後進行現地查核確認及風險評估。

結果共將蘇花公路山區道路自蘇澳至崇德路段劃分為306段(如圖7.21)，本區5種主要災害類型代表路段現地調查表，如表7-12至7-16其細部屬性包括編號(由北向南依序編號)、起始樁號、結束樁號、主要災害類型、影響坡面、地形區位、潛感值、路段災害潛感等資料如表7-17。

表 7-12 以落石為主要災害類型之現地調查表

<table>
<tr><td colspan="10">易致災路段評估表</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段編號</td><td>223</td><td>調查者</td><td>許錕安</td><td>調查日期</td><td colspan="3">2013/02/27</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段坐標(TWD97)</td><td colspan="7">X 324509 Y 2683196</td></tr>
<tr><td colspan="3">地質環境特性</td><td colspan="7">分布地層：開南崗片麻岩 主要岩性：片麻岩</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段起訖樁號</td><td colspan="5">164K+600 ~ 164K+500</td><td>總分</td><td>中(4)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">潛感評估項目</td><td rowspan="2">災害歷史</td><td>災害歷史</td><td colspan="2">■A.是(3) □B.否(0)</td><td rowspan="2">水文不利因素</td><td>有地表水（常流水河道、蝕溝）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">地質不利因素</td><td>順向坡地形</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>有地下水（湧水）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰地質構造</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td rowspan="6">山崩不利因素</td><td>坡面山崩發育</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>岩體弱面發達</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>崩崖</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>厚層砂頁岩互層</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>橫向裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">地形不利因素</td><td>陡坡地形</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>側邊裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>崖錐堆積地形</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>趾部隆起</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>鄰河階陡坡</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>坡面存在大型塊狀基岩</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>舊山崩凹谷狀地形</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td rowspan="3">危險因子</td><td>有坡腳侵蝕現象</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>扇狀地</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>人為切割坡腳</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰河岸</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>週遭構造物發生異樣</td><td colspan="3">□A.是(3) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物照片</td><td colspan="7">  </td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物描述</td><td colspan="7">坡面高陡再加上岩體表層因節理發達而較為破碎，災害以落石為主，坡面有噴漿、掛網與護欄防護，部分已損毀。</td></tr>
</table>

表 7-13 以岩屑崩滑為主要災害類型之現地調查表

<table>
<tr><td colspan="10">易致災路段評估表</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段編號</td><td colspan="2">155b</td><td>調查者</td><td>許錕安</td><td>調查日期</td><td colspan="2">2013/04/08</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段坐標(TWD97)</td><td colspan="8">X 329497 Y 2697188</td></tr>
<tr><td colspan="3">地質環境特性</td><td colspan="8">分布地層：武塔片岩 主要岩性：石墨片岩與石英雲母片岩</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段起訖樁號</td><td colspan="5">144K+700 ~ 144K+600</td><td>總分</td><td colspan="2">高(7)</td></tr>
<tr><td rowspan="13">潛感評估項目</td><td rowspan="2">災害歷史</td><td rowspan="2">災害歷史</td><td rowspan="2">■A.是(3) □B.否(0)</td><td rowspan="2">水文不利因素</td><td>有地表水（常流水河道、蝕溝）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">地質不利因素</td><td>順向坡地形</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>有地下水（湧水）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰地質構造</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td rowspan="6">山崩不利因素</td><td>坡面山崩發育</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>岩體弱面發達</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>崩崖</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>厚層砂頁岩互層</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>橫向裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">地形不利因素</td><td>陡坡地形</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>側邊裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>崖錐堆積地形</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>趾部隆起</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>鄰河階陡坡</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>坡面存在大型塊狀基岩</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">危險因子</td><td>有坡腳侵蝕現象</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>人為切割坡腳</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰河岸</td><td>□A.是(1) ■□B.否(0)</td><td>週遭構造物發生異樣</td><td colspan="3">□A.是(3) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物照片</td><td colspan="8">  </td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物描述</td><td colspan="8">邊坡因表層風化層而有小規模土石崩滑，現已有新設擋土牆防護。</td></tr>
</table>

表 7-14 以岩體滑動為主要災害類型之現地調查表

<table>
<tr><td colspan="10">易致災路段評估表</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段編號</td><td>168</td><td>調查者</td><td>許錕安</td><td>調查日期</td><td colspan="3">2013/02/28</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段坐標(TWD97)</td><td colspan="7">X 328715 Y 2695833</td></tr>
<tr><td colspan="3">地質環境特性</td><td colspan="7">分布地層： 武塔片岩 主要岩性：變質燧石層與石英片岩</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段起訖樁號</td><td colspan="5">147K+230 ~ 147K+030</td><td>總分</td><td>高(19)</td></tr>
<tr><td rowspan="13">潛感評估項目</td><td rowspan="1">災害歷史</td><td>災害歷史</td><td>■A.是(3) □B.否(0)</td><td rowspan="2">水文不利因素</td><td>有地表水（常流水河道、蝕溝）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">地質不利因素</td><td>順向坡地形</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>有地下水（湧水）</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰地質構造</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td rowspan="5">山崩不利因素</td><td>坡面山崩發育</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>岩體弱面發達</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>崩崖</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>厚層砂頁岩互層</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>橫向裂隙</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">地形不利因素</td><td>陡坡地形</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>側邊裂隙</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>崖錐堆積地形</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>趾部隆起</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>鄰河階陡坡</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>坡面存在大型塊狀基岩</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>舊山崩凹谷狀地形</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td rowspan="3">危險因子</td><td>有坡腳侵蝕現象</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>扇狀地</td><td>□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>人為切割坡腳</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰河岸</td><td>■A.是(1) □B.否(0)</td><td>週遭構造物發生異樣</td><td colspan="3">■A.是(3) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物照片</td><td colspan="7">  </td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物描述</td><td colspan="7">邊坡位於土石流溪流旁，曾因側蝕導致邊坡崩塌，現於邊坡擋土牆與本路段道路上可發現多處疑似大規模崩塌徵兆之裂隙。</td></tr>
</table>

表 7-15 以蝕溝為主要災害類型之現地調查表

<table>
<tr><td colspan="10">易致災路段評估表</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段編號</td><td>242</td><td>調查者</td><td>許錕安</td><td>調查日期</td><td colspan="3">2013/02/26</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段坐標(TWD97)</td><td colspan="7">X 321178 Y 2679985</td></tr>
<tr><td colspan="3">地質環境特性</td><td colspan="7">分布地層：開南崗片麻岩 主要岩性：片麻岩</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段起訖樁號</td><td colspan="5">170K+050 ~ 169K+850</td><td>總分</td><td>高(7)</td></tr>
<tr><td rowspan="13">潛感評估項目</td><td rowspan="2">災害歷史</td><td>災害歷史</td><td colspan="2">■A.是(3) □B.否(0)</td><td rowspan="2">水文不利因素</td><td>有地表水（常流水河道、蝕溝）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">地質不利因素</td><td>順向坡地形</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>有地下水（湧水）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰地質構造</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td rowspan="5">山崩不利因素</td><td>坡面山崩發育</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>岩體弱面發達</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>崩崖</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>厚層砂頁岩互層</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>橫向裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="7">地形不利因素</td><td>陡坡地形</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>側邊裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>崖錐堆積地形</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>趾部隆起</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>鄰河階陡坡</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>坡面存在大型塊狀基岩</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>舊山崩凹谷狀地形</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td rowspan="3">危險因子</td><td>有坡腳侵蝕現象</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>扇狀地</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>人為切割坡腳</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰河岸</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>週遭構造物發生異樣</td><td colspan="3">□A.是(3) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物照片</td><td colspan="7">  </td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物描述</td><td colspan="7">有大型蝕溝發育，集水區內若短時間內強降雨，大量雨水集中於此蝕溝，會造成局部明顯下蝕，特別由下邊坡開始下蝕，進而引發上邊坡塌陷，造成道路中斷等災害。</td></tr>
</table>

表 7-16 以土石流為主要災害類型之現地調查表

<table>
<tr><td colspan="10">易致災路段評估表</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段編號</td><td>235</td><td>調查者</td><td>許錕安</td><td>調查日期</td><td colspan="3">2013/02/27</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段坐標(TWD97)</td><td colspan="7">X 321964 Y 2681326</td></tr>
<tr><td colspan="3">地質環境特性</td><td colspan="7">分布地層：開南崗片麻岩 主要岩性：片麻岩</td></tr>
<tr><td colspan="3">易致災路段起訖樁號</td><td colspan="5">168K+200 ~ 168K+100</td><td>總分</td><td>高(8)</td></tr>
<tr><td rowspan="13">潛感評估項目</td><td rowspan="2">災害歷史</td><td>災害歷史</td><td colspan="2">■A.是(3) □B.否(0)</td><td rowspan="2">水文不利因素</td><td>有地表水（常流水河道、蝕溝）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">地質不利因素</td><td>順向坡地形</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>有地下水（湧水）</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰地質構造</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td rowspan="6">山崩不利因素</td><td>坡面山崩發育</td><td colspan="3">■A.是(1) □B.否(0)</td></tr>
<tr><td>岩體弱面發達</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>崩崖</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>厚層砂頁岩互層</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>橫向裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">地形不利因素</td><td>陡坡地形</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>側邊裂隙</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>崖錐堆積地形</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>趾部隆起</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>鄰河階陡坡</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>坡面存在大型塊狀基岩</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>舊山崩凹谷狀地形</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td rowspan="3">危險因子</td><td>有坡腳侵蝕現象</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>扇狀地</td><td colspan="2">■A.是(1) □B.否(0)</td><td>人為切割坡腳</td><td colspan="3">□A.是(1) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td>緊鄰河岸</td><td colspan="2">□A.是(1) ■B.否(0)</td><td>週遭構造物發生異樣</td><td colspan="3">□A.是(3) ■B.否(0)</td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物照片</td><td colspan="7">  </td></tr>
<tr><td colspan="3">災害或構造物描述</td><td colspan="7">與道路相交之溪流已發育成土石流，曾夾帶大量土石溢流而阻斷道路通行。</td></tr>
</table>

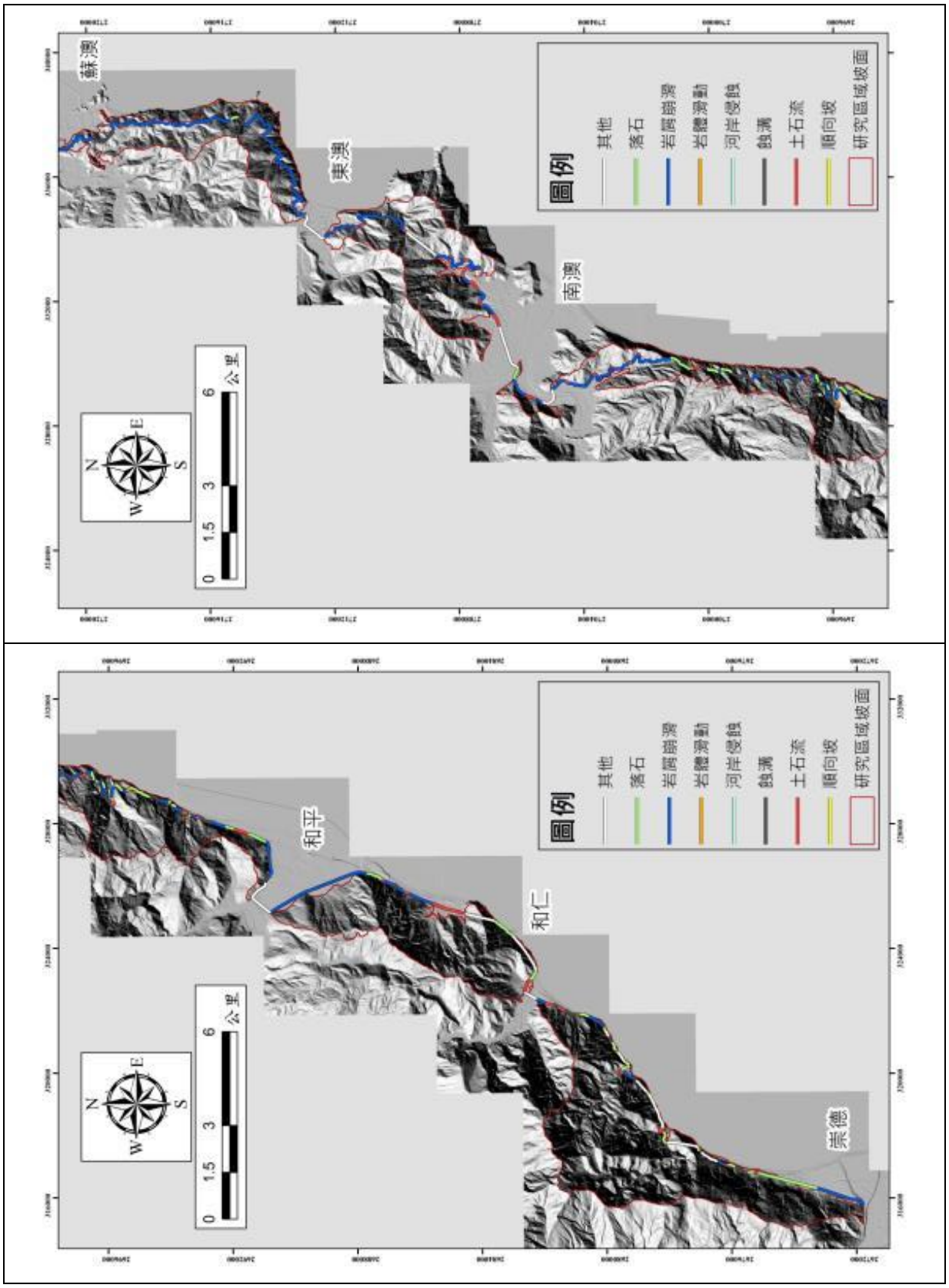


圖 7.21 蘇花公路山區道路易致災路段劃分成果圖

表 7-17 蘇花公路易致災路段劃分成果一覽表

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
1	106K+000	106K+500	500	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	5	高	中
2	106K+500	106K+700	200	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	5	高	中
3	106K+700	106K+800	100	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	5	高	中
4	106K+800	106K+850	50	蝕溝	上邊坡	緊鄰河岸	7	4	高	中
5	106K+850	106K+950	100	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	7	4	高	中
6	106K+950	107K+900	950	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
7	107K+900	108K+150	250	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
8	108K+150	108K+450	300	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
9	108K+450	108K+550	100	土石流	全坡面	緊鄰河岸	7	7	高	高
10	108K+550	109K+400	850	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
11	109K+400	109K+700	300	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
12	109K+700	109K+800	100	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
13	109K+800	110K+050	250	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
14	110K+050	110K+400	350	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	3	3	中	中
15	110K+400	110K+470	70	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
16	110K+470	110K+700	230	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
17	110K+700	110K+800	100	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
18	110K+800	110K+950	150	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
19	110K+950	111K+400	450	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	6	6	高	高
20	111K+400	111K+950	550	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
21	111K+950	112K+400	450	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
22	112K+400	112K+750	350	落石	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
23	112K+750	113K+050	300	蝕溝	全坡面	陡坡地形	8	8	高	高
24	113K+050	113K+600	550	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	10	10	高	高
25	113K+600	114K+100	500	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
26	114K+100	114K+200	100	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	6	6	高	高
27	114K+200	114K+480	280	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
28	114K+480	114K+600	120	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	9	5	高	中
29	114K+600	114K+750	150	土石流	上邊坡	緊鄰河岸	9	5	高	中
30	114K+750	114K+880	130	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
31	114K+880	114K+940	60	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	5	2	中	低
32	114K+940	115K+000	60	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
33	115K+000	115K+150	150	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	4	4	中	中
34	115K+150	115K+260	110	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低
35	115K+260	115K+330	70	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
36	115K+330	115K+680	350	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	4	高	中
37	115K+680	116K+000	320	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	9	9	高	高
38	116K+000	116K+080	80	土石流	全坡面	鄰河階陡坡	11	11	高	高

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
39	116K+080	116K+200	120	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	9	8	高	高
40	116K+200	116K+300	100	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	5	高	中
41	116K+300	116K+390	90	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	6	5	高	中
42	116K+390	116K+480	90	土石流	全坡面	陡坡地形	10	10	高	高
43	116K+480	116K+650	170	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	3	3	中	中
44	116K+650	116K+850	200	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	10	10	高	高
45	116K+850	116K+930	80	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
46	116K+930	117K+000	70	蝕溝	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	9	9	高	高
47	117K+000	117K+080	80	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
48	117K+080	117K+250	170	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
49	117K+250	117K+400	150	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
50	117K+400	117K+550	150	土石流	全坡面	緊鄰河岸	11	11	高	高
51	117K+550	117K+650	100	蝕溝	全坡面	緊鄰河岸	8	8	高	高
52	117K+650	118K+050	400	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
53	118K+050	118K+490	440	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
54	118K+490	118K+550	60	土石流	全坡面	緊鄰河岸	5	5	中	中
55	118K+550	118K+690	140	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
56	118K+690	118K+750	60	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
57	118K+750	118K+800	50	蝕溝	上邊坡	緊鄰河岸	5	3	中	中
58	118K+800	118K+850	50	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
59	118K+850	118K+920	70	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
60	118K+920	119K+000	80	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低
61	119K+000	119K+200	200	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
62	119K+200	120K+450	1250	大型橋樑						
63	120K+450	120K+650	200	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
64	120K+650	120K+750	100	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
65	120K+750	120K+820	70	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
66	120K+820	120K+880	60	土石流	全坡面	緊鄰河岸	9	9	高	高
67	120K+880	121K+000	120	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
68	121K+000	121K+100	100	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	5	2	中	低
69	121K+100	121K+200	100	蝕溝	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
70	121K+200	121K+460	260	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低
71	121K+460	121K+560	100	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
72	121K+560	121K+650	90	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低
73	121K+650	121K+750	100	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	5	高	中
74	121K+750	121K+800	50	土石流	全坡面	緊鄰河岸	6	6	高	高
75	121K+800	121K+900	100	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
76	121K+900	122K+100	200	土石流	全坡面	扇狀地	6	6	高	高
77	122K+100	122K+180	80	蝕溝	上邊坡	緊鄰河岸	7	5	高	中
78	122K+180	122K+400	220	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
79	122K+400	122K+500	100	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
80	122K+500	123K+050	550	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
81	123K+050	123K+200	150	蝕溝	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
82	123K+200	123K+300	100	蝕溝	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
83	123K+300	123K+400	100	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
84	123K+400	123K+580	180	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
85	123K+580	123K+700	120	蝕溝	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
86	123K+700	123K+850	150	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低
87	123K+850	124K+080	230	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
88	124K+080	124K+300	220	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	8	8	高	高
89	124K+300	124K+400	100	土石流	全坡面	緊鄰河岸	6	6	高	高
90	124K+400	125K+700	1300	大型橋樑						
91	125K+700	125K+800	100	蝕溝	全坡面	陡坡地形	6	6	高	高
92	125K+800	126K+200	400	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
93	126K+200	126K+250	50	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
94	126K+250	126K+300	50	土石流	全坡面	緊鄰河岸	9	9	高	高
95	126K+300	126K+550	250	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
96	126K+550	126K+850	300	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
97	126K+850	127K+050	200	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
98	127K+050	127K+200	150	土石流	全坡面	緊鄰河岸	8	8	高	高

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
99	127K+200	127K+500	300	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
100	127K+500	127K+750	250	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
101	127K+750	127K+800	50	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
102	127K+800	128K+250	450	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	2	2	低	低
103	128K+250	128K+300	50	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	9	7	高	高
104	128K+300	128K+500	200	土石流	全坡面	緊鄰河岸	3	3	中	中
105	128K+500	128K+800	300	土石流	全坡面	緊鄰河岸	7	7	高	高
106	128K+800	128K+900	100	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	5	2	中	低
107	128K+900	129K+000	100	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	6	5	高	中
108	129K+000	129K+500	500	土石流	全坡面	扇狀地	6	6	高	高
109	129K+500	129K+750	250	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	5	2	中	低
110	129K+750	130K+000	250	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	4	2	中	低
111	130K+000	130K+110	110	土石流	全坡面	扇狀地	7	7	高	高
112	130K+110	130K+400	290	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	4	高	中
113	130K+400	130K+600	200	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
114	130K+600	131K+000	400	土石流	下邊坡	扇狀地	7	7	高	高
115	131K+000	132K+600	1600	隧道						
116	132K+600	133K+000	400	落石	上邊坡	陡坡地形	6	5	高	中
117	133K+000	133K+450	450	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	5	4	中	中
118	133K+450	133K+700	250	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	5	2	中	低

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
119	133K+700	133K+950	250	土石流	上邊坡	扇狀地	9	7	高	高
120	133K+950	134K+200	250	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	9	8	高	高
121	134K+200	134K+950	750	大型橋樑						
122	134K+950	135K+400	450	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	6	5	高	中
123	135K+400	135K+500	100	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	6	5	高	中
124	135K+500	135K+580	80	土石流	上邊坡	緊鄰河岸	5	2	中	低
125	135K+580	135K+850	270	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低
126	135K+850	136K+150	300	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	5	3	中	中
127	136K+150	136K+680	530	岩屑崩滑	上邊坡	緊鄰河岸	8	5	高	中
128	136K+680	136K+750	70	土石流	全坡面	緊鄰河岸	6	6	高	高
129	136K+750	137K+000	250	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
130	137K+000	137K+420	420	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
131	137K+420	137K+600	180	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
132	137K+600	137K+680	80	土石流	上邊坡	緊鄰河岸	3	2	中	低
133	137K+680	137K+920	240	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	3	3	中	中
134	137K+920	138K+150	230	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	3	3	中	中
135	138K+150	138K+270	120	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	6	6	高	高
136	138K+270	138K+350	120	土石流	上邊坡	緊鄰河岸	3	2	中	低
137	138K+350	138K+620	270	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	3	3	中	中
138	138K+620	138K+680	60	土石流	上邊坡	緊鄰河岸	3	2	中	低

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
139	138K+680	138K+880	200	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	3	3	中	中
140	138K+880	139K+120	240	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	1	1	低	低
141	139K+120	139K+250	130	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	1	1	低	低
142	139K+250	139K+320	70	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	1	1	低	低
143	139K+320	139K+900	580	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	1	1	低	低
144	139K+900	140K+170	270	落石	上邊坡	陡坡地形	2	2	低	低
145	140K+170	140K+270	100	落石	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
146	140K+270	140K+700	430	落石	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
147	140K+700	140K+800	100	岩體滑動	上邊坡	崖錐堆積地形	7	5	高	中
148	140K+800	141K+000	200	土石流	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
149	141K+000	141K+250	250	蝕溝	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	4	4	中	中
150	141K+250	141K+670	420	落石	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
151	141K+670	141K+730	60	蝕溝	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	6	8	高	高
152	141K+730	141K+830	100	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	9	8	高	高
153	141K+830	141K+950	120	落石	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	5	高	中
154	141K+950	142K+040	90	落石	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	3	2	中	低
155	142K+040	142K+100	60	落石	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
156	142K+100	142K+360	260	蝕溝	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	4	高	中
157	142K+360	142K+570	210	蝕溝	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	6	6	高	高
158	142K+570	142K+660	90	蝕溝	下邊坡	緊鄰河岸	5	6	中	高

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
159	142K+660	142K+800	140	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	5	高	中
160	142K+800	143K+080	280	蝕溝	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	5	高	中
161	143K+080	143K+120	40	土石流	全坡面	緊鄰河岸	6	6	高	高
162	143K+120	143K+280	160	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	9	8	高	高
163	143K+280	143K+450	170	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	3	3	中	中
164	143K+450	143K+550	100	蝕溝	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	7	7	高	高
165	143K+550	143K+620	70	岩體滑動	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	10	7	高	高
166	143K+620	143K+700	80	蝕溝	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	5	2	中	低
167	143K+700	143K+900	200	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	6	6	高	高
168	143K+900	144K+000	100	土石流	上邊坡	陡坡地形	5	2	中	低
169	144K+000	144K+180	180	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	6	4	高	中
170	144K+180	144K+220	40	蝕溝	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	9	高	高
171	144K+220	144K+570	350	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	11	11	高	高
172	144K+570	144K+600	30	蝕溝	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	10	11	高	高
173	144K+600	144K+700	100	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	7	7	高	高
174	144K+700	144K+850	150	土石流	全坡面	緊鄰河岸	11	11	高	高
175	144K+850	145K+000	150	岩屑崩滑	下邊坡	緊鄰河岸	8	10	高	高
176	145K+000	145K+030	30	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	9	9	高	高
177	145K+030	145K+180	150	土石流	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	11	11	高	高
178	145K+180	145K+220	40	岩屑崩滑	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	9	高	高

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
179	145K+220	145K+400	180	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	9	9	高	高
180	145K+400	145K+600	200	落石	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
181	145K+600	145K+650	50	蝕溝	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	5	2	中	低
182	145K+650	145K+770	120	落石	上邊坡	陡坡地形	2	2	低	低
183	145K+770	145K+870	100	岩屑崩滑	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	9	高	高
184	145K+870	145K+900	30	岩屑崩滑	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	8	高	高
185	145K+900	146K+100	200	落石	上邊坡	陡坡地形	2	2	低	低
186	146K+100	146K+300	200	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
187	146K+300	146K+350	50	蝕溝	全坡面	緊鄰河岸	9	9	高	高
188	146K+350	146K+400	50	岩屑崩滑	全坡面	緊鄰河岸	5	5	中	中
189	146K+400	146K+700	300	蝕溝	全坡面	陡坡地形	8	8	高	高
190	146K+700	146K+800	100	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	7	5	高	中
191	146K+800	146K+900	100	岩屑崩滑	全坡面	緊鄰河岸	4	4	中	中
192	146K+900	146K+940	40	土石流	全坡面	緊鄰河岸	5	5	中	中
193	146K+940	146K+990	50	落石	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
194	146K+990	147K+030	40	土石流	全坡面	緊鄰河岸	13	13	高	高
195	147K+030	147K+230	200	岩體滑動	全坡面	緊鄰河岸	19	19	高	高
196	147K+230	147K+450	220	岩屑崩滑	下邊坡	緊鄰河岸	4	6	中	高
197	147K+450	147K+600	150	岩屑崩滑	下邊坡	緊鄰河岸	7	8	高	高
198	147K+600	147K+650	50	落石	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
199	147K+650	148K+000	350	落石	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
200	148K+000	148K+100	100	岩屑崩滑	上邊坡	順向坡	12	8	高	高
201	148K+100	148K+350	250	岩體滑動	上邊坡	順向坡	8	5	高	中
202	148K+350	148K+500	150	落石	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
203	148K+500	148K+600	100	落石	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
204	148K+600	148K+950	350	落石	上邊坡	陡坡地形	4	2	中	低
205	148K+950	149K+050	100	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	6	5	高	中
206	149K+050	149K+300	250	蝕溝	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	7	5	高	中
207	149K+300	149K+650	350	岩屑崩滑	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	8	9	高	高
208	149K+650	149K+720	70	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
209	149K+720	149K+770	50	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	6	5	高	中
210	149K+770	149K+950	180	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
211	149K+950	150K+000	50	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
212	150K+000	150K+150	150	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	3	2	中	低
213	150K+150	150K+220	70	岩屑崩滑	下邊坡	緊鄰河岸	4	6	中	高
214	150K+220	150K+270	50	蝕溝	全坡面	緊鄰河岸	7	7	高	高
215	150K+270	150K+400	130	岩體滑動	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	15	8	高	高
216	150K+400	150K+470	70	岩屑崩滑	下邊坡	緊鄰河岸	8	9	高	高
217	150K+470	150K+530	60	土石流	全坡面	緊鄰河岸	8	8	高	高
218	150K+530	150K+650	120	岩體滑動	上邊坡	緊鄰河岸	15	10	高	高

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
219	150K+650	150K+900	250	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	7	7	高	高
220	150K+900	151K+000	100	土石流	全坡面	扇狀地	9	9	高	高
221	151K+000	151K+450	450	蝕溝	全坡面	陡坡地形	8	8	高	高
222	151K+450	151K+600	150	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	5	5	中	中
223	151K+600	151K+950	350	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	10	10	高	高
224	151K+950	152K+400	450	落石	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
225	152K+400	152K+900	500	土石流	全坡面	扇狀地	6	6	高	高
226	152K+900	153K+350	450	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
227	153K+350	153K+750	400	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	2	2	低	低
228	153K+750	153K+950	200	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
229	153K+950	154K+050	100	蝕溝	全坡面	陡坡地形	6	6	高	高
230	154K+050	154K+200	150	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	4	4	中	中
231	154K+200	154K+500	300	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	4	4	中	中
232	154K+500	154K+750	250	蝕溝	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
233	154K+750	156K+150	1400	土石流	全坡面	緊鄰河岸	2	2	低	低
234	156K+150	157K+100	950	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	4	4	中	中
235	157K+100	157K+400	300	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	3	3	中	中
236	157K+400	157K+600	200	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	3	3	中	中
237	157K+600	159K+050	1450	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
238	159K+050	159K+500	450	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	3	3	中	中

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
239	159K+500	160K+100	600	落石	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
240	160K+100	160K+150	50	土石流	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
241	160K+150	160K+300	150	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	8	8	高	高
242	160K+300	160K+400	100	蝕溝	全坡面	陡坡地形	8	8	高	高
243	160K+400	160K+800	400	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	4	4	中	中
244	160K+800	160K+900	100	土石流	全坡面	崖錐堆積地形	10	10	高	高
245	160K+900	161K+350	450	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	6	6	高	高
246	161K+350	161K+900	550	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	3	3	中	中
247	161K+900	162K+550	650	土石流	全坡面	扇狀地	12	12	高	高
248	162K+550	163K+050	500	土石流	全坡面	扇狀地	12	12	高	高
249	163K+050	163K+950	900	隧道						
250	163K+950	164K+500	550	落石	上邊坡	陡坡地形	8	7	高	高
251	164K+500	164K+600	100	落石	上邊坡	陡坡地形	4	4	中	中
252	164K+600	166K+000	1400	隧道						
253	166K+000	166K+350	350	落石	上邊坡	陡坡地形	1	1	低	低
254	166K+350	166K+500	150	土石流	全坡面	扇狀地	9	9	高	高
255	166K+500	166K+650	150	土石流	全坡面	扇狀地	10	10	高	高
256	166K+650	167K+150	500	隧道						
257	167K+150	167K+450	300	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
258	167K+450	167K+750	300	土石流	全坡面	扇狀地	8	8	高	高

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
259	167K+750	168K+100	350	蝕溝	全坡面	扇狀地	7	7	高	高
260	168K+100	168K+200	100	土石流	全坡面	扇狀地	8	8	高	高
261	168K+200	168K+350	150	蝕溝	全坡面	扇狀地	8	8	高	高
262	168K+350	168K+650	300	蝕溝	全坡面	扇狀地	7	7	高	高
263	168K+650	168K+700	50	土石流	上邊坡	陡坡地形	8	5	高	中
264	168K+700	168K+750	50	蝕溝	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
265	168K+750	168K+900	150	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
266	168K+900	169K+500	600	岩屑崩滑	上邊坡	崖錐堆積地形	2	1	低	低
267	169K+500	169K+550	50	蝕溝	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
268	169K+550	169K+650	100	落石	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
269	169K+650	169K+850	200	隧道						
270	169K+850	170K+050	200	蝕溝	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
271	170K+050	170K+150	100	蝕溝	全坡面	陡坡地形	7	7	高	高
272	170K+150	170K+250	100	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
273	170K+250	170K+300	50	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
274	170K+300	170K+400	100	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
275	170K+400	170K+450	50	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	3	2	中	低
276	170K+450	170K+500	50	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
277	170K+500	170K+800	300	隧道						
278	170K+800	171K+100	300	落石	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
279	171K+100	171K+150	50	落石	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
280	171K+150	171K+350	200	落石	全坡面	陡坡地形	6	6	高	高
281	171K+350	171K+500	150	土石流	全坡面	緊鄰河岸	4	4	中	中
282	171K+500	171K+800	300	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	4	4	中	中
283	171K+800	172K+050	250	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	2	2	低	低
284	172K+050	172K+100	50	蝕溝	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
285	172K+100	172K+650	550	隧道						
286	172K+650	172K+750	100	落石	全坡面	陡坡地形	3	3	中	中
287	172K+750	173K+800	50	隧道						
288	173K+800	174K+200	400	土石流	下邊坡	緊鄰河岸	5	7	中	高
289	174K+200	174K+700	500	落石	全坡面	陡坡地形	4	4	中	中
290	174K+700	174K+800	100	土石流	全坡面	扇狀地	9	9	高	高
291	174K+800	176K+250	1450	隧道						
292	176K+250	176K+350	100	落石	全坡面	陡坡地形	2	2	低	低
293	176K+350	176K+450	100	蝕溝	全坡面	陡坡地形	10	10	高	高
294	176K+450	176K+800	350	隧道						
295	176K+800	177K+080	280	蝕溝	全坡面	陡坡地形	10	10	高	高
296	177K+080	177K+300	220	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	2	2	低	低
297	177K+300	177K+400	100	土石流	全坡面	緊鄰河岸	10	10	高	高
298	177K+400	177K+850	450	落石	全坡面	崖錐堆積地形	2	2	低	低

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度（公尺）	主要災害類型	影響坡面	地形區位	上邊坡潛感值	下邊坡潛感值	上邊坡災害潛感	下邊坡災害潛感
299	177K+850	178K+100	250	蝕溝	全坡面	陡坡地形	10	10	高	高
300	178K+100	178K+250	150	落石	全坡面	陡坡地形	8	8	高	高
301	178K+250	178K+400	150	土石流	全坡面	扇狀地	8	8	高	高
302	178K+400	178K+900	500	落石	全坡面	崖錐堆積地形	5	5	中	中
303	178K+900	179K+570	670	落石	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
304	179K+570	180K+400	830	落石	全坡面	陡坡地形	5	5	中	中
305	180K+400	181K+850	1450	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	5	2	中	低
306	181K+850	182K+000	150	岩屑崩滑	上邊坡	緊鄰河岸	5	2	中	低

7.8.2 易致災路段災害類型分析

若將上述之易致災路段綜合上述之基本特性歸納、地質敏感地區資料分析、歷史山崩目錄建置、坡面單元劃分、山崩潛感分析、重大災害案例蒐集分析、潛在大規模滑動區位判釋、成因、特性分析結果，進行易致災路段災害特性分析，分析結果如圖7.22。

各易致災路段之災害類型統計結果顯示(表7-18)，306個路段中，有145個路段以岩屑崩滑為主、6個路段以岩體滑動為主、48個路段以土石流為主、51個路段以蝕溝為主、43個路段以落石為主、13個路段則無顯著災害(大型橋樑、隧道路段或地勢平緩)。

表 7-18 蘇花公路易致災路段主要災害類型統計表

災害類型	數量	災害類型	數量
岩屑崩滑	145	蝕溝	51
岩體滑動	6	落石	43
土石流	48	無顯著災害路段	13

其中13個路段則無顯著災害路段，相對於其他路段而言，屬於安全路段，主要為大型跨河橋樑與隧道或地勢平緩，此代表依據目前之資料現況、分析方法與災害歷史，並無明顯之災害特徵，因此這些路段就災害防救作為而言，可考量建構臨時駐車與避難空間，供用路人於災害來時避難使用。

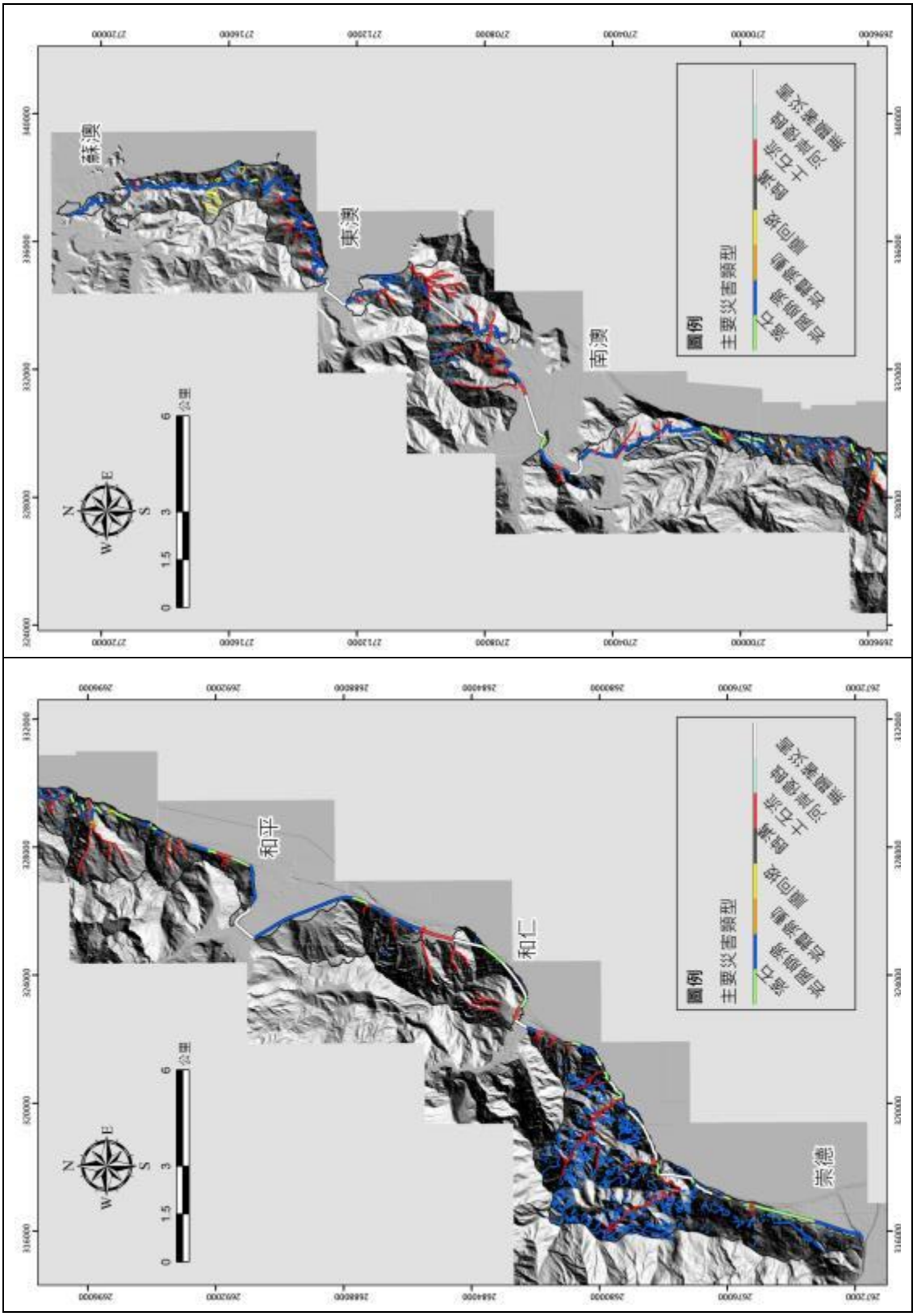


圖 7.22 蘇花公路易致災路段主要災害類型分布圖

7.8.3 易致災路段邊坡區位與地形區位分析

若將上述之路段進行災害發生之邊坡區位分析，發生於上邊坡者共計有102處，而發生於下邊坡者共計15處，屬全坡面發育者共有176處佔絕大多數，此顯示本路段之地質環境不佳，易造成全坡面之崩壞災害，剩餘13處為無法以邊坡分類之大型跨河橋樑與隧道。再者，若依據易致災路段所處之地形區位進行分析，其結果如表7-19，超過50%以上的路段位於陡坡地形，共計146個路段，其次為舊山崩凹谷狀地形共64處、緊鄰河岸共43處、崖錐堆積地形共19處、扇狀地共18處、順向坡2處以及鄰河階陡坡1處，剩餘13處為無法分類之大型跨河橋樑與隧道。

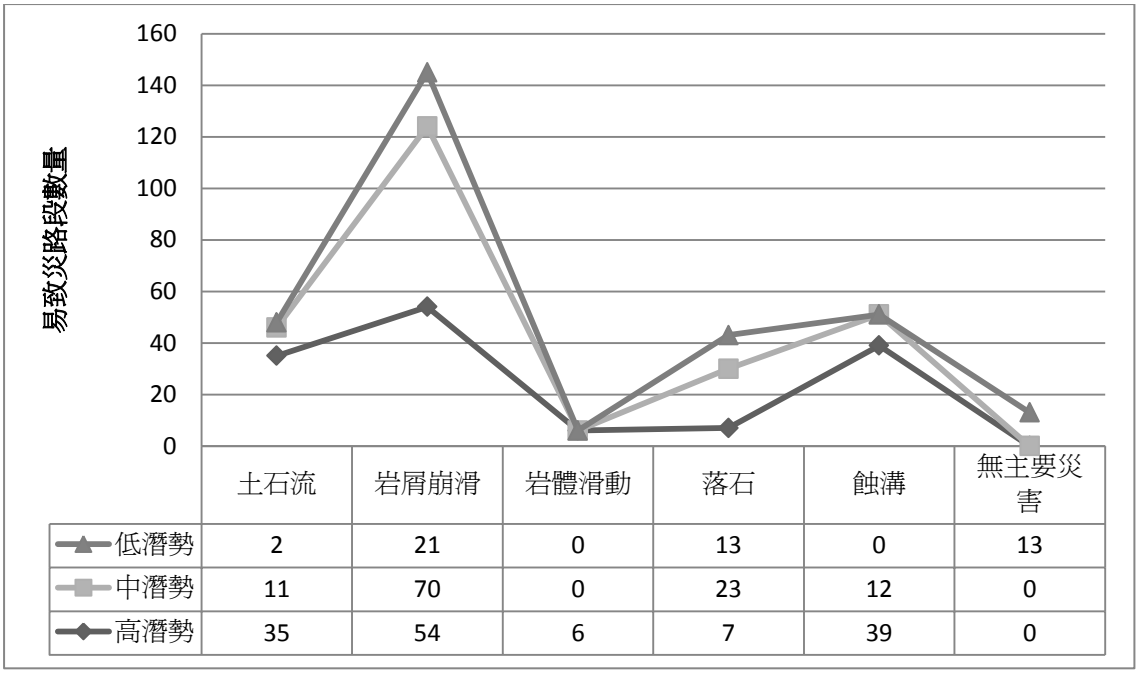
表 7-19 蘇花公路易致災路段所處地形區位統計表

所處地形	數量	所處地形	數量
陡坡地形	146	鄰河階陡坡	1
緊鄰河岸	43	舊山崩凹谷狀地形	64
順向坡	2	扇狀地	18
崖錐堆積地形	19	無	13

7.8.4 易致災路段災害潛感分析

易致災路段劃分完成後，隨即進行現地查核並填寫各路段之災害潛感評估表，進行易致災路段之災害潛感分析，此分析依據全坡面以及上、下邊坡之特性分別進行評估（圖7.24、圖7.25）。分析結果顯示，災害潛感高者共有141個路段、災害潛感中者共有116個路段、災害潛感低者則有49個路段。

分析易致災路段主要災害類型與災害潛感資料可以發現（圖7.23），岩屑崩滑在各災害潛感等級中之數量皆為最高。其次，在高潛感路段中以土石流及蝕溝為次要災害，中潛感路段則以落石、蝕溝與土石流為次要災害，而低潛感則以落石與土石流為次要災害。從表中的統計資料亦可發現，高潛感災害中以岩屑崩滑、蝕溝與土石流有數量較多，而落石數量較少。



	土石流	岩屑崩滑	岩體滑動	落石	蝕溝	無主要災害
低潛勢	2	21	0	13	0	13
中潛勢	11	70	0	23	12	0
高潛勢	35	54	6	7	39	0

圖 7.23 蘇花公路易致災路段災害潛感與主要災害類型

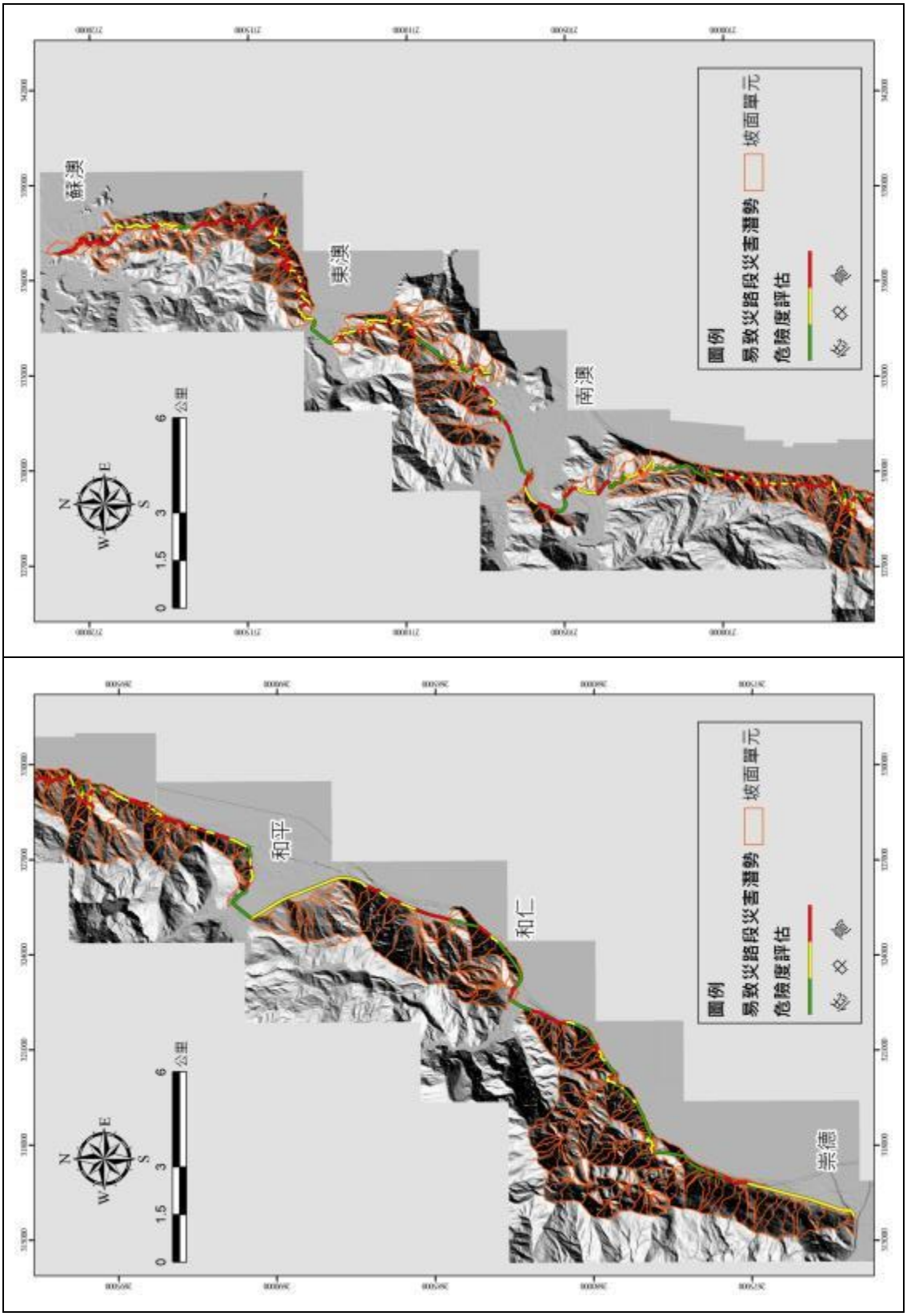


圖 7.24 蘇花公路易致災路段全坡面危險度評估結果圖

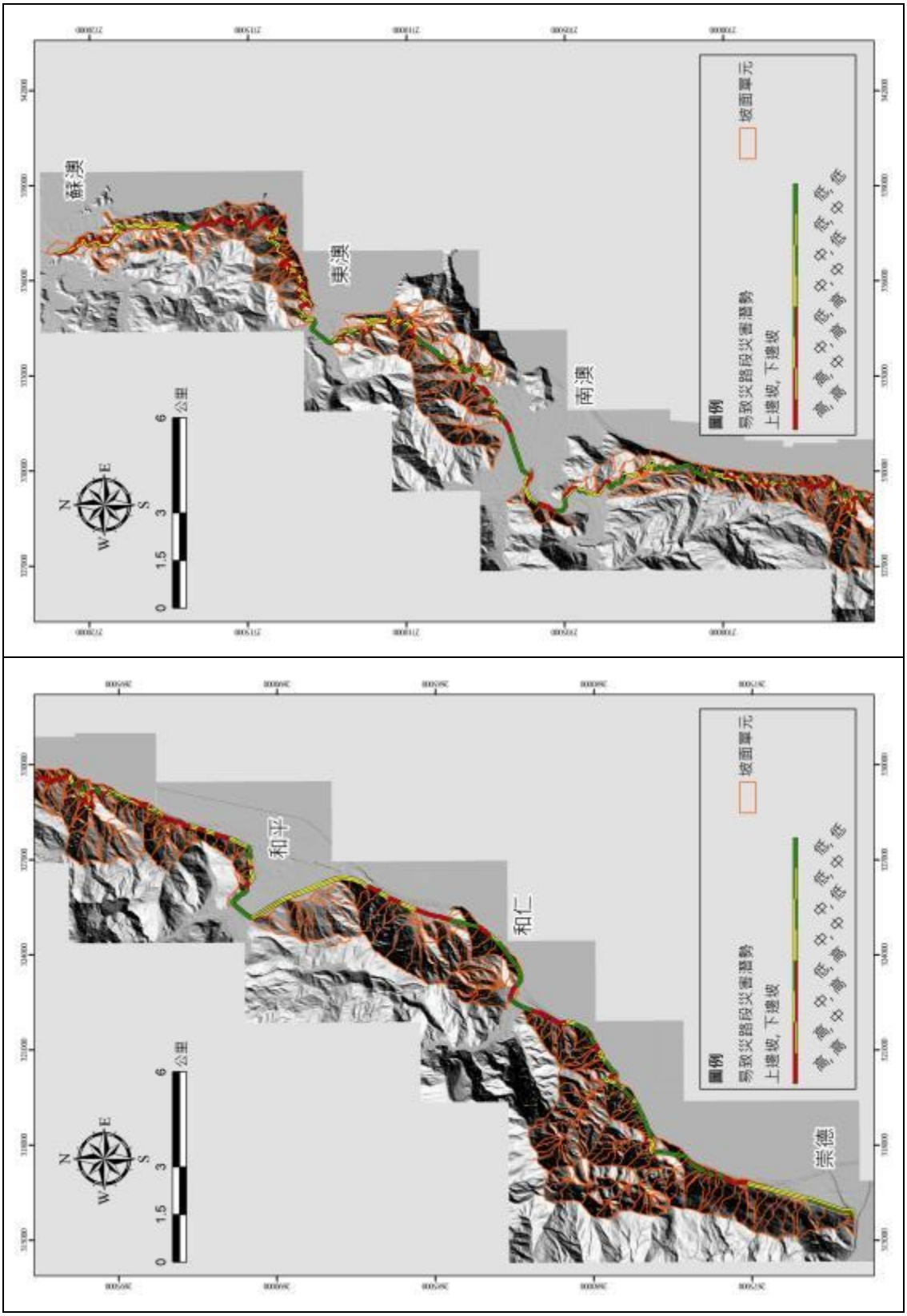


圖 7.25 蘇花公路易致災路段上、下邊坡危險度評估結果圖

7.9重大災例成因、特性與復建措施分析

7.9.1 重大災害案例成因、特性分析

若將本研究蒐集重大災害案例疊合本研究之易致災路段（圖7.26），可將具有發生之重大災害案例進行分析，以提供後續易致災路段災害評估之依據。目前分析結果共計有42個路段發生過重大災害，而此41個之災害潛感分析結果皆為高。

而36處實際發生阻斷之重大災害案例，其路線樁號、地點、災害名稱與災害類型如表7-20所示。上述處重大災害案例中，以岩屑崩滑為最多共計16處，其中共有5處發生於115K~117K之間，其次為土石流共計11次、蝕溝共計5處、其餘落石共計4處。

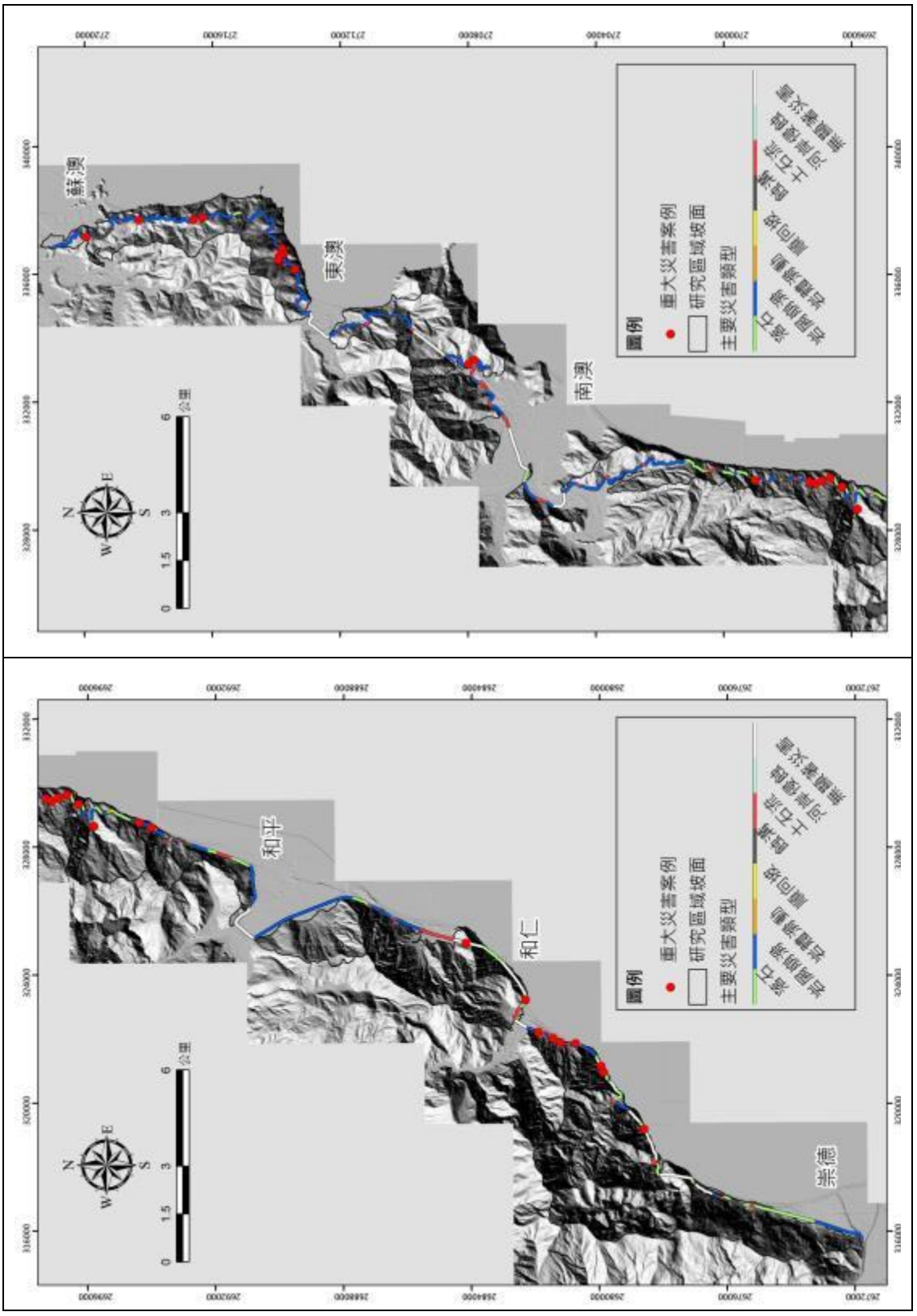


圖 7.26 重大災害案例與易致災路段災害類型疊合分布圖

表 7-20 蘇花公路易致災路段重大災害案例災害類型一覽表

編號	路線樁號	災害名稱	災害類型	編號	路線樁號	災害名稱	災害類型
1	106K+800	2010/10/22 梅姬颱風	岩屑崩滑	19	144K+750	2012/5/12 豪雨	土石流
2	106K+800	2010/10/21 梅姬颱風	岩屑崩滑	20	145K+000	2012/5/12 豪雨	土石流
3	109K+100	2010/10/21 梅姬颱風	岩屑崩滑	21	145K+350	2012/5/12 豪雨	岩屑崩滑
4	111K+200	2010/12/13 豪雨	岩屑崩滑	22	145K+840	2012/5/12 豪雨	岩屑崩滑
5	111K+500	2008/9/14 辛樂克颱風	土石流	23	147K+000	2012/8/2 蘇拉颱風	土石流
6	115K+580	2012/1/8 豪雨	岩屑崩滑	24	147K+050	2012/5/12 豪雨	土石流
7	115K+600	2012/1/9 豪雨	落石	25	149K+300	2012/5/12 豪雨	蝕溝
8	115K+750	2011/12/15 豪雨	落石	26	149K+750	2012/5/12 豪雨	蝕溝
9	115K+800	2012/5/30 豪雨	岩屑崩滑	27	163K+400	2009/10/3 芭瑪颱風	土石流
10	115K+800	2011/10/9 豪雨	岩屑崩滑	28	166K+000	2009/10/3 芭瑪颱風	岩屑崩滑
11	115K+900	2009/10/6 芭瑪颱風	土石流	29	167K+800	2008/9/29 薔蜜颱風	土石流
12	116K+030	2010/10/21 梅姬颱風	岩屑崩滑	30	168K+000	2009/10/3 芭瑪颱風	土石流
13	116K+800	2010/12/15 豪雨	岩屑崩滑	31	168K+500	2009/10/5 芭瑪颱風	土石流
14	123K+000	2013/11/11 豪雨	岩屑崩滑	32	168K+800	2009/10/5 芭瑪颱風	土石流
15	126K+800	2009/10/5 梅姬颱風	岩屑崩滑	33	169K+300	2012/2/29 豪雨	岩屑崩滑
16	127K+070	2011/10/2 奈格颱風	岩屑崩滑	34	169K+800	2013/5/6 豪雨	落石
17	142K+500	2012/5/15 豪雨	蝕溝	35	170K+100	2009/10/5 芭瑪颱風	蝕溝
18	144K+550	2012/5/12 豪雨	蝕溝		173K+380	2012/8/12 蘇拉颱風	落石

7.9.2 重大災害案例復建措施分析

本研究透過現地勘查並填寫復建設施現況調查表，以進行本研究路段之工程復建措施分析，共計完成34處復建設施調查（如圖7.27），其細部工程內容包括樁號、災害名稱、施作工程、工程現況等摘要如表7-21。

本路段於坡面整治面部分採用之復建工法，主要係以擋土牆配合錨釘工法、噴漿、掛網植生與型框工法等複合性工法進行處理；而於土石流與蝕溝部分，則以潛壩、噴漿與箱涵為主要施作工法。

依據調查結果顯示本路段34處復建措施工程現況中，28處既有工程、1處新建工程與5處緊急工程。在28處既有工程中，有2處全部毀損、有9處部分毀損、有18處運作良好，此顯示有將近一半以上之既有工程設施維持良好。

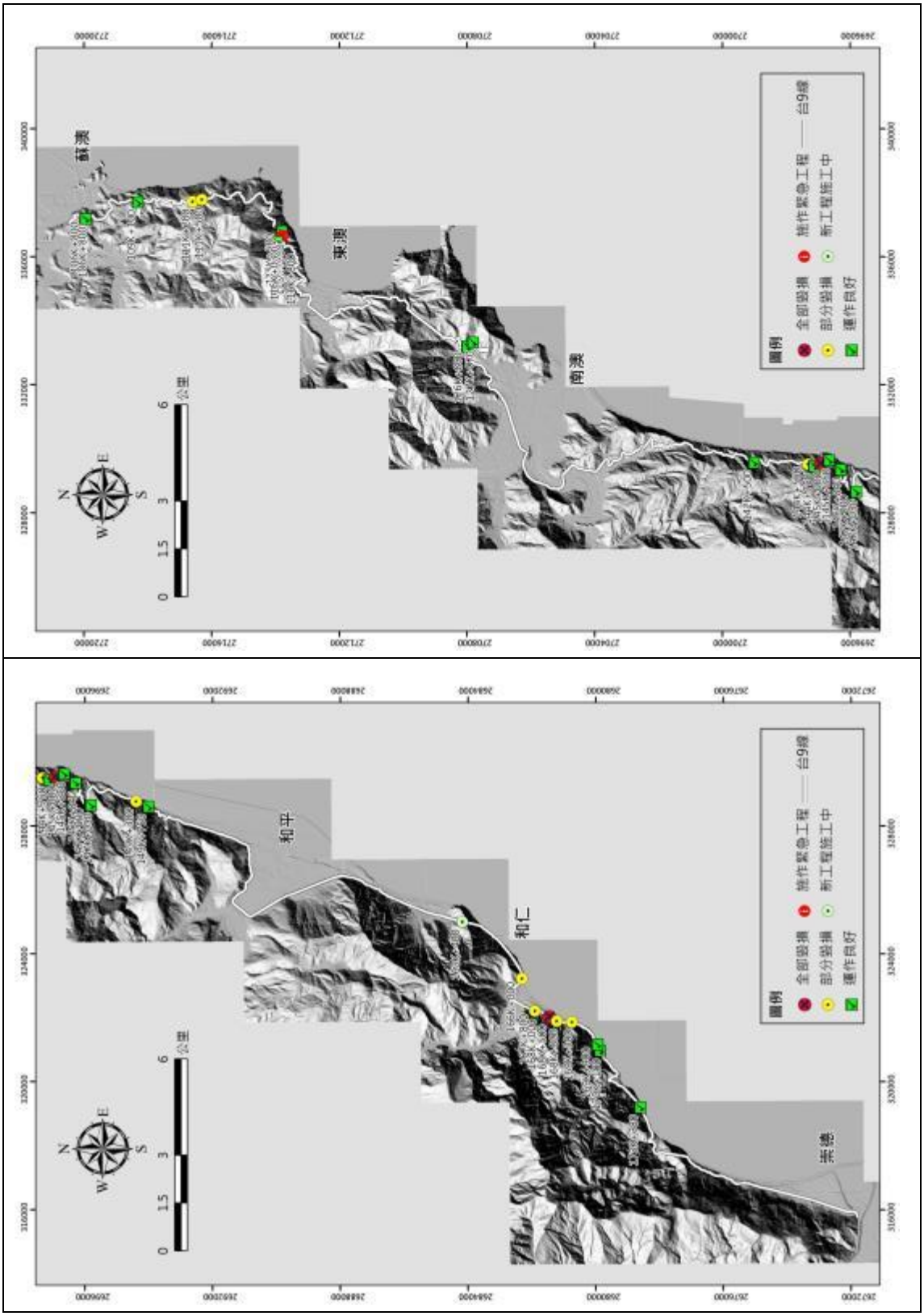


圖 7.27 蘇花公路易致災路段重大災例復建措施工程現況圖

表 7-21 蘇花公路易致災路段重大災例復建措施工程現況一覽表

路線樁號	災害名稱	災害類型	影響坡面	地形區位	施作工程	工程現況	說明
106K+800	2010/10/22 梅姬颱風	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	擋土牆,型框工法,坡面噴漿	運作良好	設施功能正常
	2010/10/21 梅姬颱風	岩屑崩滑					
109K+100	2010/10/21 梅姬颱風	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	擋土牆,型框工法,坡面噴漿	運作良好	設施功能正常
111K+200	2010/12/13 豪雨	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	型框工法,坡面噴漿	部分毀損	崩塌有擴大跡象,工程邊界有損壞跡象
111K+500	2008/9/14 辛樂克颱風	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	擋土牆,坡面噴漿	部分毀損	坡面植生茂盛,噴漿局部有剝落毀損跡象
115K+580	2012/1/8 豪雨	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	擋土牆,型框工法,坡面噴漿	運作良好	設施功能正常
115K+600	2012/1/9 豪雨	落石	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	擋土牆,型框工法,坡面噴漿	運作良好	設施功能正常
115K+750	2011/12/15 豪雨	落石	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	錨釘工法,坡面噴漿,型框工法,擋土牆	施作緊急工程	土石流左岸邊坡因側蝕導致坡面大規模崩塌，路基近乎流失，現正施作緊急工程，以護坡,錨釘與噴漿強穩定坡腳與坡面,防止再次因土石流侵蝕而崩塌
115K+800	2012/5/30 豪雨	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	錨釘工法,坡面噴漿,型框工法,擋土牆	施作緊急工程	土石流刷深河道，並產生側蝕作用，而導致向源侵蝕造成左岸邊坡產生岩塊崩解與坍方，路基近乎流
	2011/10/9 豪雨	岩屑崩滑	全坡面	舊山崩凹谷狀		施作緊急工程	

路線樁號	災害名稱	災害類型	影響坡面	地形區位	施作工程	工程現況	說明
				地形			失，現正施作緊急工程，以護坡,錨釘與噴漿強穩定坡腳與坡面,防止再次因土石流侵蝕而崩塌
115K+900	2009/10/6 芭瑪颱風	土石流	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	坡面噴漿,型框工法,擋土牆,潛壩,涵管	施作緊急工程	
116K+030	2010/10/21 梅姬颱風	岩屑崩滑	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	擋土牆,錨釘工法,坡面噴漿,客土植生	運作良好	下邊坡河岸側路基因土石流沖刷流失,已施工程,但部分毀損,豪雨恐再次坍塌
116K+800	2010/12/15 豪雨	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	擋土牆、明隧道	新工程施作中	現正施作明隧道加強防護
126K+800	2009/10/5 梅姬颱風	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	擋土牆,型框工法,坡面噴漿	運作良好	設施功能正常
127K+070	2011/10/2 奈格颱風	岩屑崩滑	全坡面	緊鄰河岸	擋土牆,型框工法,坡面噴漿	運作良好	設施功能正常
142K+500	2012/5/15 豪雨	蝕溝	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	擋土牆,型框工法,坡面噴漿	運作良好	設施功能正常
144K+550	2012/5/12 豪雨	蝕溝	下邊坡	舊山崩凹谷狀地形	擋土牆,坡面噴漿	部分損壞	局部因溪溝侵蝕而有剝落毀損跡象
144K+750	2012/5/12 豪雨	土石流	全坡面	緊鄰河岸	擋土牆、邊坡噴漿、客土植生、河道清淤	運作良好	設施功能正常
145K+000	2012/5/12 豪雨	土石流	全坡面	舊山崩凹谷狀地形	擋土牆、邊坡噴漿	全部損壞	蝕溝發育而成之土石流，平時無顯著跡象，若遇豪雨可能會引發土石溢流
145K+350	2012/5/12 豪雨	岩屑崩滑	全坡面	崖錐堆積地形	擋土牆	運作良好	設施功能正常

路線樁號	災害名稱	災害類型	影響坡面	地形區位	施作工程	工程現況	說明
145K+840	2012/5/12 豪雨	岩屑崩滑	下邊坡	順向坡	擋土牆	運作良好	順向坡地形,以出露較堅硬之岩盤,爾後以零星落石致災之機會較大
147K+000	2012/8/2 蘇拉颱風	土石流	全坡面	緊鄰河岸	擋土牆、邊坡噴漿、客土植生、河道清淤	運作良好	因土石流而側蝕左岸邊坡,導致路基掏空而阻斷交通,現況設施功能正常
147K+050	2012/5/12 豪雨	土石流	全坡面	緊鄰河岸	擋土牆、邊坡噴漿、客土植生、河道清淤	運作良好	
149K+300	2012/5/12 豪雨	蝕溝	上邊坡	舊山崩凹谷狀地形	擋土牆、邊坡噴漿	部分損壞	局部因溪溝侵蝕而有剝落毀損跡象
149K+750	2012/5/12 豪雨	蝕溝	上邊坡	陡坡地形	邊坡噴漿	運作良好	局部因溪溝侵蝕而有剝落毀損跡象
163K+400	2009/10/3 芭瑪颱風	土石流	全坡面	扇狀地	河道清淤、潛壩	新工程施作中	因發生大型土石流災害,於河道清淤,施作潛壩工程
166K+000	2009/10/3 芭瑪颱風	岩屑崩滑	上邊坡	陡坡地形	擋土牆、邊坡噴漿、掛網防護	部分損壞	噴漿與掛網局部有剝落毀損跡象
167K+800	2008/9/29 薔蜜颱風	土石流	全坡面	扇狀地	堆石護岸	部分損壞	植生茂密以及護岸局部有毀損情形
168K+000	2009/10/3 芭瑪颱風	土石流	全坡面	扇狀地	潛壩、涵管、河道清淤	部分損壞	道路下方通道斷面過小,易無法承受豪雨期間大量土石而溢流。
168K+500	2009/10/5 芭瑪颱風	土石流	全坡面	扇狀地	邊坡噴漿	全部損壞	溪溝發育而成之土石流,原有之簡易防護工程皆遭破壞,雖然致災規模較小,仍可能阻斷交通

路線樁號	災害名稱	災害類型	影響坡面	地形區位	施作工程	工程現況	說明
168K+800	2009/10/5 芭瑪颱風	土石流	全坡面	扇狀地	涵管、河道清淤	全部損壞	為小溪溝發育成之土石流,夾帶大量土石於道路溢流,原有之防護工程皆遭破壞
169K+300	2012/2/29 豪雨	岩屑崩滑	全坡面	陡坡地形	擋土牆、邊坡噴漿、掛網防護	部分損壞	噴漿與掛網局部有剝落毀損跡象
169K+900	2013/5/6 豪雨	落石	上邊坡	陡坡地形	擋土牆、明隧道	運作良好	設施功能正常
170K+100	2009/10/5 芭瑪颱風	蝕溝	全坡面	陡坡地形	擋土牆、邊坡噴漿	運作良好	設施功能正常
173K+380	2012/8/2 蘇拉颱風	落石	全坡面	陡坡地形	擋土牆、邊坡噴漿、掛網防護	運作良好	設施功能正常

以下就重要之工程案例進行檢討分析：

1. 116K+030 大規模岩屑崩滑

樁號116K+030處之大規模岩屑崩滑位於東澳北方，位處凹谷以及陡坡地形，曾於99年10月21日梅姬颱風，因雨水漫流並匯集至凹谷，造成下邊坡路基下刷流失與上邊坡崩塌之全坡面破壞情形，下邊坡路基流失後可見片岩岩體出露，如圖7.28。目前已施作擋土牆、錨釘工法、坡面噴漿與客土植生等工程。

現地之復建工程措施現況良好，但主要工程皆集中於上邊坡，災害發生主因為下邊坡路基流失，進而引發上邊坡與道路大規模崩塌，因此建議可加強下邊坡排水與防護工程以避免災害再次發生。

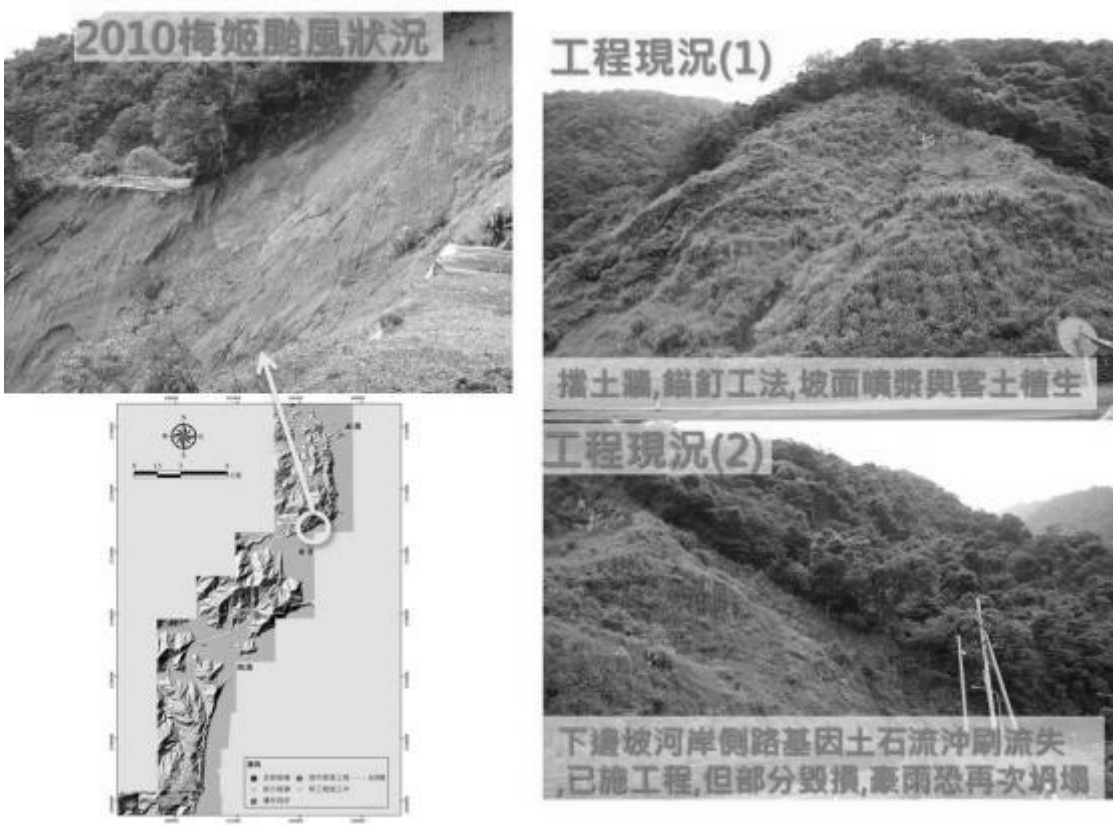


圖 7.28 蘇花公路樁號 116K+030 大規模岩屑崩滑災害狀況與復建工程現況圖

2. 116K+800 岩屑崩滑

樁號116K+800處之岩屑崩滑位於東澳北方，位處凹谷以及陡坡地形，曾於99年10月21日梅姬颱風，因雨水漫流並匯集至凹谷，再加上位於片岩區，邊坡較易造沖刷而剝蝕，最終引發上邊坡崩塌而阻斷交通。目前正施作擋土牆與明隧道等工程，如圖7.29。

現地復建工程措施正在施作中，因此後續仍需持續評估其工程效益。

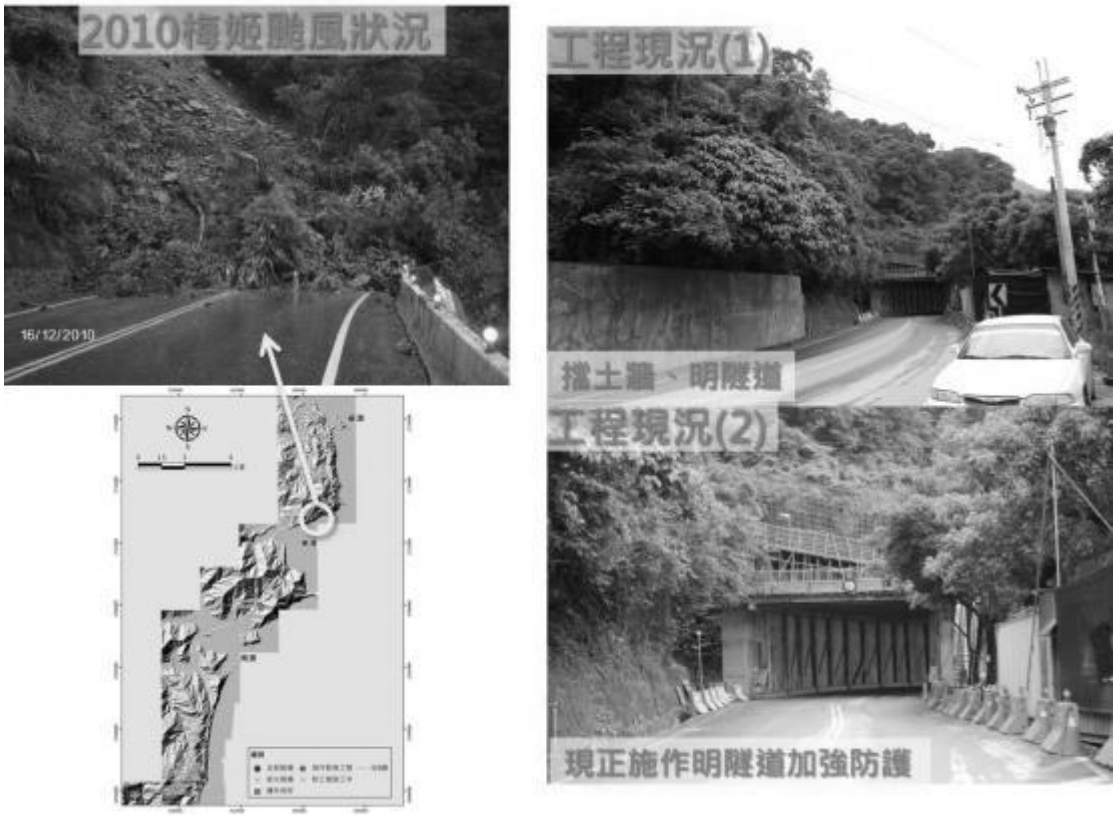


圖 7.29 蘇花公路樁號 116K+800 岩屑崩滑災害狀況與復建工程現況圖

3. 144K+750 土石流災害

樁號144K+750處之土石流災害位於南澳與和平之間，位處陡坡以及緊鄰河岸地形，曾於101年5月12日豪雨事件於溪溝爆發土石流，因土石流之侵蝕導致下邊坡路基流失，除土石溢流至路面外，道路亦有一半以上崩毀而阻斷交通。其致災原因為溪溝於豪雨期間集中大量雨水，進而爆發土石流災害，除了需加強排水外，道路上游要朝溪溝整治與土石攔阻方面著手，防止土石流再次發生，如圖7.30；道路下游要加強邊坡防護，防止路基再次遭侵蝕而流失。

由現地復建工程措施現況進行觀察，目前道路下方復建工程措施現況良好，而道路上游整治較少，因此建議可加強上邊坡排水與防護工程以避免災害再次發生，道路下方則仍需持續評估其工程效益。

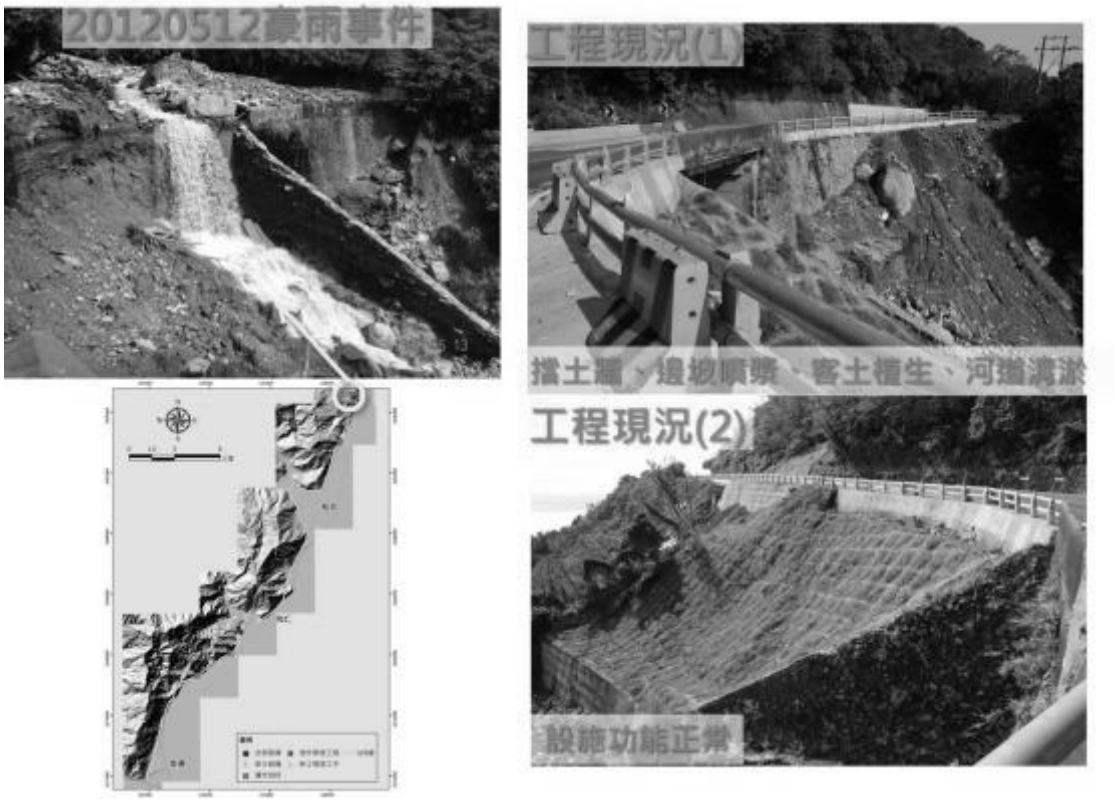


圖 7.30 蘇花公路樁號 144K+750 土石流災害狀況與復建工程現況圖

4. 168K+000 土石流災害

樁號168K+000處之土石流災害位於和仁南方，位處扇狀地地形，於98年10月3日芭瑪颱風時造成土石流溢流災情。其致災原因為溪流中、上游因地勢高陡下蝕力強，持需淘刷土石往下游搬運，而下游地勢較低緩處，除了中、上游運送來之土石外，亦有多處因崩塌造成之崖錐堆積層，所以大量鬆散之堆積材料在豪大雨期間，易引發土石流災害，如圖7.31。

目前除了將影響道路之溢流土石清除外，尚未有其他對溪流顯著的整治工程，建議將道路上游大量土石清淤，再加強潛壩與護岸之規模，而道路下游則需增加行水斷面，以防排洪不及。

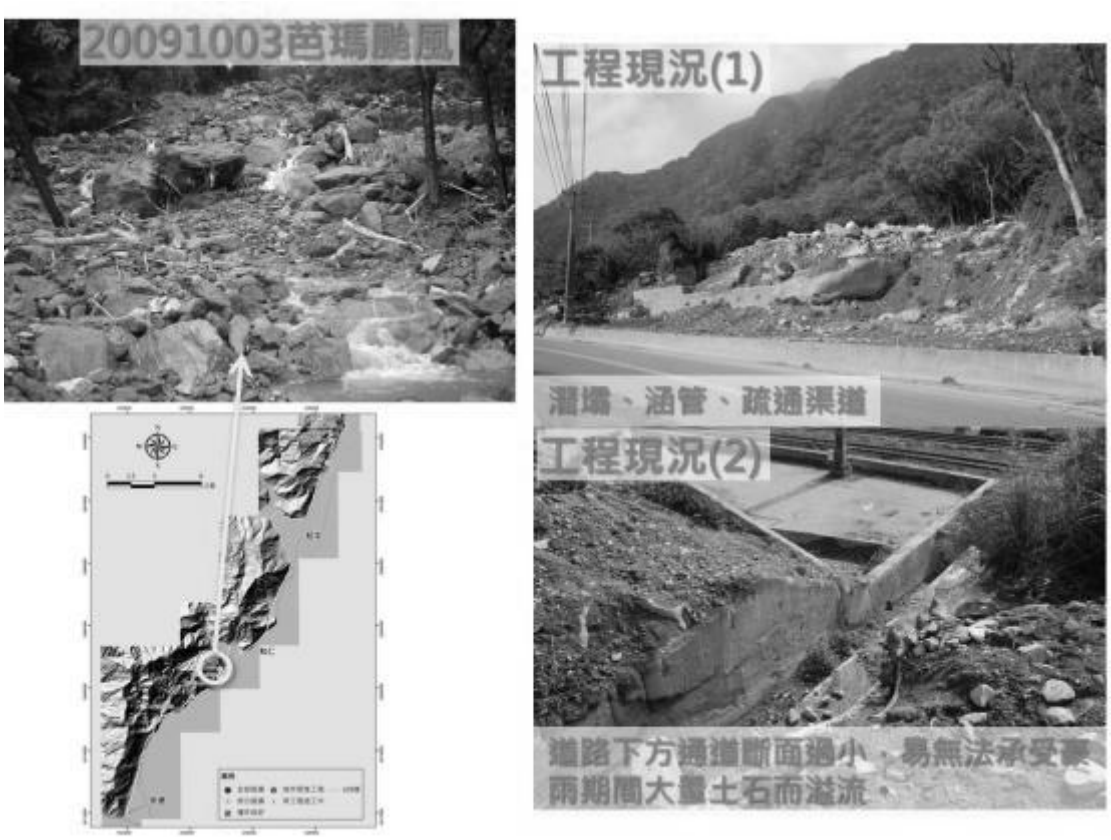


圖 7.31 蘇花公路樁號 168K+000 土石流災害狀況與復建工程現況圖

公路總局第四區工程處針對蘇花公路於民國90年至100年後陸續進行災搶與復健工程（表7-22）。

表 7-22 研究區域內第四區養護工程處施作之復建措施工程一覽表

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
90.1.8	豪雨	112K+500	九宮里	坍方	1,036	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.7.30	桃芝颱風	153K+900	漢本	坍方		上邊坡滑動坍方，坍方運棄，單線阻斷。
90.8.30	豪雨	133K+000	南澳	坍方	3,125	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.5	豪雨	166K+300	和中	坍方		上邊坡落石，落石運棄。
90.9.17	納莉颱風	169K+100	和仁	坍方		上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.18	納莉颱風	146K+000	觀音	坍方	4,650	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.18	納莉颱風	156K+000	澳花	坍方		上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.24	利奇馬颱風	152K+000	漢本	坍方		上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.25	利奇馬颱風	169K+800	和仁	坍方		上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.26	利奇馬颱風	123K+100	東澳	坍方	16,625	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.27	利奇馬颱風	141K+000	東澳	坍方		上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.9.27	利奇馬颱風	155K+600	澳花	坍方		上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
90.12.7	豪雨	169K+800	和仁	坍方	2,614	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.3.31	自然風化	133K+000	南澳	坍方	90	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.3.31	自然風化	164K+100	和中	坍方	188	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，單線阻斷。
91.4.7	自然風化	155K+000	和平	坍方	678	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.5.6	自然風化	165K+000	和中	落石（1 死 3 傷）	78	上邊坡落石，落石運棄。
91.7.11	豪雨	148K+150	觀音	坍方	532	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.8.4	豪雨	178K+480	崇德	坍方	361	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.8.10	豪雨	145K+500	觀音	坍方	223	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.8.10	豪雨	132K+000	南澳	坍方	80	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.8.10	豪雨	169K+900	和仁	坍方	175	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.8.11	自然風化	146K+450	觀音	坍方	226	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
91.9.8	豪雨	178K+480	崇德	坍方	878	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.10.10	豪雨	178K+480	崇德	坍方	278	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
91.10.23	自然風化	115K+900	東澳	坍方	751	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.5.6	豪雨	169K+900	和中	坍方	632	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.5.6	豪雨	170K+100	和中	坍方	364	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.7.6	自然風化	151K+000	觀音	坍方	358	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.7.10	自然風化	164K+020	和中	坍方	436	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.9.12	豪雨	161K+000	和平	坍方	723	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.9.27	豪雨	149K+500	觀音	坍方	821	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.10.3	豪雨	145K+000	觀音	坍方	589	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.10.3	豪雨	148K+000	觀音	坍方	411	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.11.10	豪雨	112K+200	九宮里	坍方	612	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.11.22	豪雨	112K+500	九宮里	坍方	614	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.11.27	豪雨	113K+000	九宮里	坍方	524	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.11.27	豪雨	117K+300	東澳	坍方	324	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
92.11.27	豪雨	140K+600	武塔	坍方	276	上邊坡滑動坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.5.1	地震	164K+300	和中	地震坍方	106	上邊坡地震坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.5.8	大雨	147K+800	觀音	坍方	88	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.6.9	豪雨	114K+300	東澳	坍方	17,404	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.6.9	豪雨	140K+400	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.6.9	豪雨	149K+950	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.6.9	豪雨	154K+450	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.6.9	豪雨	170K+950	和仁	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	113K+100	九宮里	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
93.7.3	敏督利颱風	140K+150	武塔	坍方	26,513	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	142K+360	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	143K+850	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	144K+750	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	145K+300	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	147K+550	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	149K+200	漢本	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	154K+450	漢本	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	160K+000	和平	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	168K+850	和仁	坍方	868	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	170K+400	清水	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	171K+700	清水	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.7.3	敏督利颱風	174K+600	崇德	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.15	自然風化	123K+800	新澳隧道	落石(3死1傷)	163	上邊落石，落石運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.26	大雨	122K+800	東澳	坍方	18,103	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.26	大雨	139+630	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.26	大雨	142+250	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.26	大雨	144+750	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.26	大雨	149+500	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.26	大雨	152+050	漢本	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.8.26	大雨	170K+400	清水	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.9.12	納坦颱風	163K+500	和仁	坍方	141	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.10.26	海馬颱風	139K+630	武塔	坍方	14,248	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.10.26	海馬颱風	142K+250	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
93.10.26	海馬颱風	148+500	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.10.26	海馬颱風	168K+800	和仁	坍方	177	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.10.28	大雨	149K+700	觀音	坍方	88	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.11.26	大雨	111K+770	九宮里	坍方	35	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	111K+600	九宮里	坍方	19,778	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	114K+300	九宮里	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	139K+630	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	142K+250	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	143K+850	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	148K+200	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	149K+200	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	152K+050	漢本	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	164K+000	漢本	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	164K+300	漢本	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
93.12.4	南瑪都颱風	168K+850	和仁	坍方	368	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.2.11	自然風化	112K+300	九宮里	坍方	1,420	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.2.14	豪雨	140K+400	九宮里	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.2.26	豪雨	114K+350	東澳	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.3.14	自然風化	140K+100	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.3.14	自然風化	168K+850	和仁	坍方	355	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.5.13	豪雨	149K+250	觀音	坍方	2,195	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.5.13	豪雨	168K+000	和仁	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.5.16	豪雨	112K+300	九宮里	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.5.28	豪雨	149K+500	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
94.6.5	自然風化	146K+500	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.6.17	豪雨	146K+500	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	111K+600	九宮里	坍方	5,164	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	113K+100	九宮里	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	114K+350	東澳	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	123K+500	東澳	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	139K+630	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	140K+100	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	140K+400	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	140K+970	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	160K+100	和平	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	164K+400	和中	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	164K+500	和中	巨大落石（20m*5m*6m）		落石爆破運棄，無傷亡
94.7.20	海棠颱風	165K+200	和中	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.7.20	海棠颱風	167K+120	和中	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.6	馬莎颱風	114K+350	東澳	坍方	1,702	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.6	馬莎颱風	139K+630	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.6	馬莎颱風	140K+100	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.6	馬莎颱風	140K+970	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.6	馬莎颱風	141K+050	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.13	豪雨	111K+600	九宮里	坍方	1,934	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.13	豪雨	114K+350	東澳	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.13	豪雨	140K+100	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
94.8.13	豪雨	140K+400	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.13	豪雨	140K+970	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.8.13	豪雨	141K+050	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.9.1	泰利颱風	113K+100	九宮里	坍方	2,020	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.9.1	泰利颱風	114K+350	東澳	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.9.1	泰利颱風	139K+630	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.9.1	泰利颱風	141K+050	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.9.1	泰利颱風	145K+100	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.9.1	泰利颱風	167K+200	和中	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.9.10	卡努颱風	147K+100	觀音	落石	1,973	落石運棄，無傷亡
94.10.3	龍王颱風	111K+600	九宮里	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.10.3	龍王颱風	113K+100	九宮里	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.10.3	龍王颱風	140K+100	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.10.3	龍王颱風	141K+050	武塔	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
94.10.3	龍王颱風	167K+200	和中	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.2.3	自然風化	113K+100	九宮里	落石（1 傷）	33	落石運棄，交通單線中斷
95.5.16	豪雨	170K+950	清水	坍方	1,384	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.6.9	豪雨	111K+700	九宮里	坍方	1,980	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.6.9	豪雨	126K+700	南澳	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.6.9	豪雨	167K+900	和仁	坍方	38	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.6.9	豪雨	170K+940	清水	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.7.15	碧利斯颱風	145K+600	觀音	坍方	44	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.7.15	碧利斯颱風	170K+300	清水	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.7.15	碧利斯颱風	170K+950	清水	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
95.7.25	凱米颱風	142K+100	武塔	坍方	841	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.7.25	凱米颱風	149K+600	觀音	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.7.25	凱米颱風	168K+250	和仁	坍方	73	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.8.9	寶發颱風	142K+100	武塔	坍方	337	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.8.9	寶發颱風	167K+380	和仁	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.8.9	寶發颱風	172K+750	清水	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.9.22	大雨	149K+300	觀音	坍方	231	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.11.16	大雨	140K+150	武塔	坍方	153	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
95.12.3	大雨	140K+150	武塔	落石（1m*2m*1m）	33	落石運棄，交通單線中斷（1 死 1 傷）
95.12.13	大雨	140K+150	武塔	坍方	141	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.7	帕布颱風	167K+900	和仁	坍方	433	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.7	帕布颱風	178K+530	崇德	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	118K+600	東澳	坍方	492	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	124K+250	新澳隧道	坍方（9120m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	128K+950	南澳	坍方（2160m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	140K+700	武塔	路基缺口（20m*4m）		路基缺口，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	台 9 線 141K+600	武塔	坍方（1080m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	台 9 線 142K+100	武塔	坍方（900m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	142K+450	武塔	坍方（1575m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	142K+600	武塔	路基缺口		路基缺口（20m*4m），造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	143K+100	武塔	坍方（3990m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

災害發生時間	災害名稱	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	修復經費（仟元）	簡述
96.8.18	聖帕颱風	143K+560	武塔	坍方（1520m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	144K+800	武塔	路基缺口		路基缺口（40m*4m），造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	144K+820	觀音	坍方（1500m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	145K+600	觀音	坍方（2400m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	147K+100	觀音	路基缺口		路基缺口（25m*4m），造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	147K+800	觀音	坍方（3000m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	149K+050	觀音	路基缺口		路基缺口（20m*4m），造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	149K+300	觀音	坍方（7500m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	149K+560	觀音	坍方（1200m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	152K+100	觀音	坍方（4200m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.8.18	聖帕颱風	164K+300	和中	坍方（2000m^3）		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.9.24	聖帕颱風	122K+650	東澳	路基缺口（30m*4m）		路基缺口，造成交通中斷，無替代道路。
96.10.7	柯羅莎颱風	110K+500	九宮里	坍方	1,235	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
96.10.7	柯羅莎颱風	115K+600	東澳	坍方		上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。

第八章 山區道路邊坡破壞因子分析與修正

8.1山區道路邊坡致災因子誘發因子分析

本計畫根據前述之分析，以最大降雨強度和有效累積雨量為主要分析降雨因子，應用克利金法推估降雨空間分佈情況，並依據相關統計方法，分析出降雨參數值之上下限，以作為公路總局於雨場中相關警戒或行動之用。台 9 線及台 24 線道路降雨參數值上下限分析結果說明如下：

8.1.1 台 9 線山區道路邊坡致災因子、誘發因子分析與降雨參數上限值調整

1. 台 9 線山區道路邊坡致災因子、誘發因子分析與修正

本計劃前已對於台 9 線進行相關基本資料之蒐集，因研究區域自花蓮北方和平地區開始，一直延伸至宜蘭蘇澳地區，其南北距離差距較大而且其岩性分佈亦有所不同，因而考量其南北之降雨警戒值也可能有所差異。為此，本計畫初步將台 9 線區分為南、中、北三段路段，分別進行降雨參數之統計。其中南部路段以和平溪以南至立霧溪之路段為主；中部路段以南澳溪以南至和平溪間之路段為主；北部路段則以南澳溪以北至研究區域北端為止。三個路段分界如圖 8.1 所示。此外，本計畫並考量道路邊坡破壞型式不同之可能影響，根據第四章之現地勘查結果，進一步將不同路段可能之致災原因區分為滑動及流動災害，其中流動災害主要包含有土石流及蝕溝災害類型；而滑動災害則包含有岩屑崩滑、順向坡和落石等災害類型。根據其流動災害及滑動災害類型所屬坡面單元之降雨情況，進行警戒參數上下限之訂定。

為進行研究區域之降雨分析，本計畫根據崩塌判釋成果及雨場資料，選取近年十場颱風事件(十場颱風事件之平均降雨及新增崩塌

情況如表 8-1 所示)，並分別應用克利金法進行十場颱風事件於南、中、北路段之降雨分佈推估，根據流動災害及滑動災害類別之災害坡面單元進行分類，以進行相關降雨參數統計。

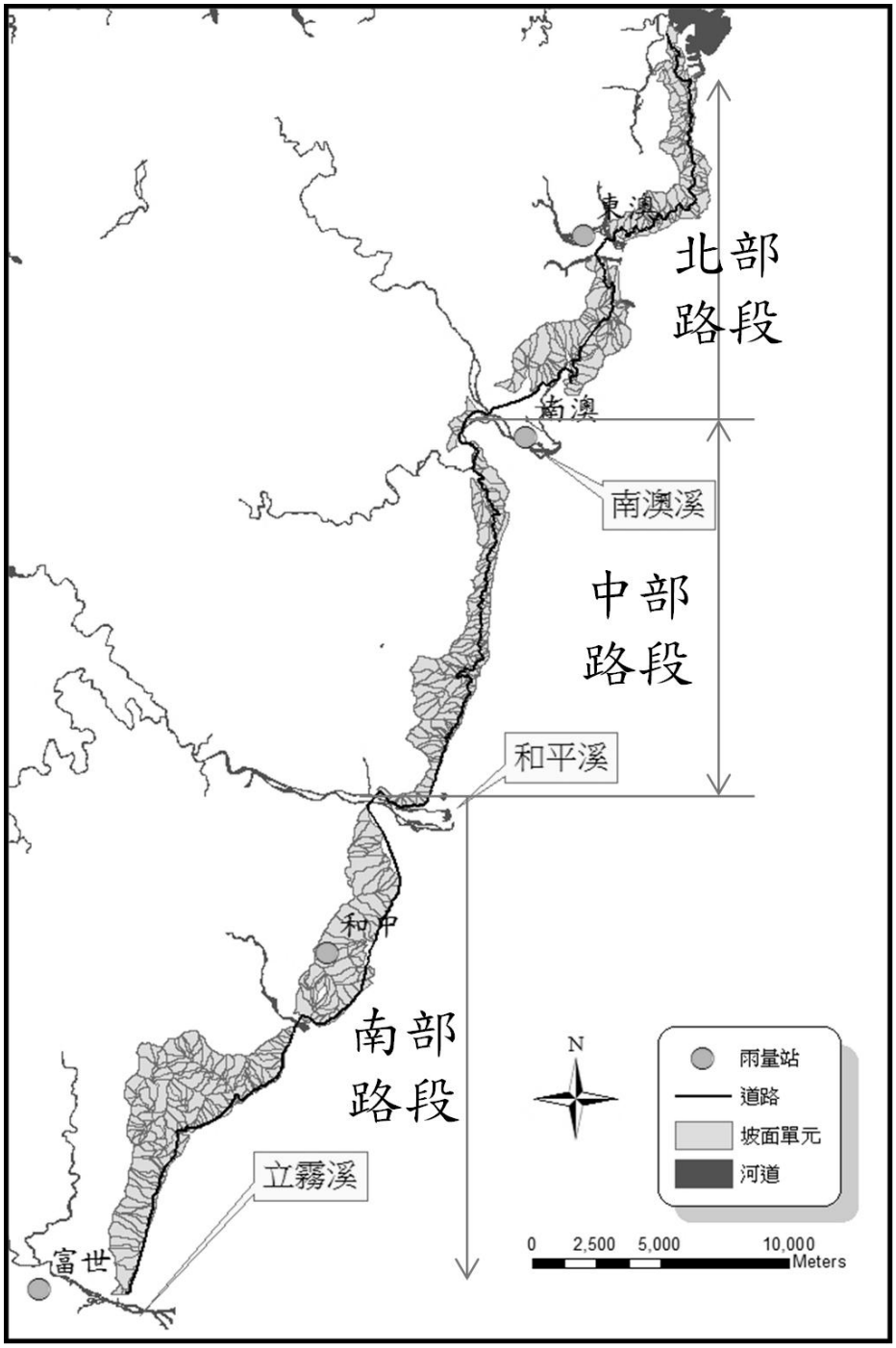


圖 8.1 台九線北、中、南路段分區圖

表 8-1 台九線警戒值分析所應用之十場颱風事件及其崩塌資料

項次	事件	平均雨量 (mm)	平均最大降雨強度 (mm/hr)	新增崩塌數	新增崩塌面積 (m^2)
1	瑪莎	277.55	24	57	683400
2	泰利	238.25	25.89	15	173106
3	凱米	266.74	41.28	122	1146044
4	聖帕	235.6	25.17	17	352420
5	柯羅莎	49.1	12.9	14	81132
6	米塔	19.7	3.2	34	9688
7	辛樂克	111.55	27.86	65	1021802
8	莫拉克	155.6	21.75	31	387057
9	凡那比	177.6	52.2	27	649535
10	南瑪都	254.8	31.7	16	308043

本計畫初步以克利金法所分析出辛樂克颱風期間於台9線之累積雨量分佈情況為例(如圖 8.2 所示)，由圖 8.2 可看出，研究區域南部路段之平均累積雨量並不大，然而卻有明顯新增崩塌；反之，北部路段之平均累積雨量較大，然其新增崩塌則較少。此一現象顯示台九線南北路段因其地文特性之差異，所以發生新增崩塌之情況亦有所不同，進而亦影響到其降雨參數上下限之訂定。

本計畫根據前述相關資料及分析方法，進行台 9 線各坡面單元區域平均降雨強度及有效累積雨量的統計分析，並推估出南、中、北路段之滑動災害類型及流動災害類型降雨參數上下限值。本計畫所分析出南、中、北三個路段降雨參數之上下限如表 8-2 所示。

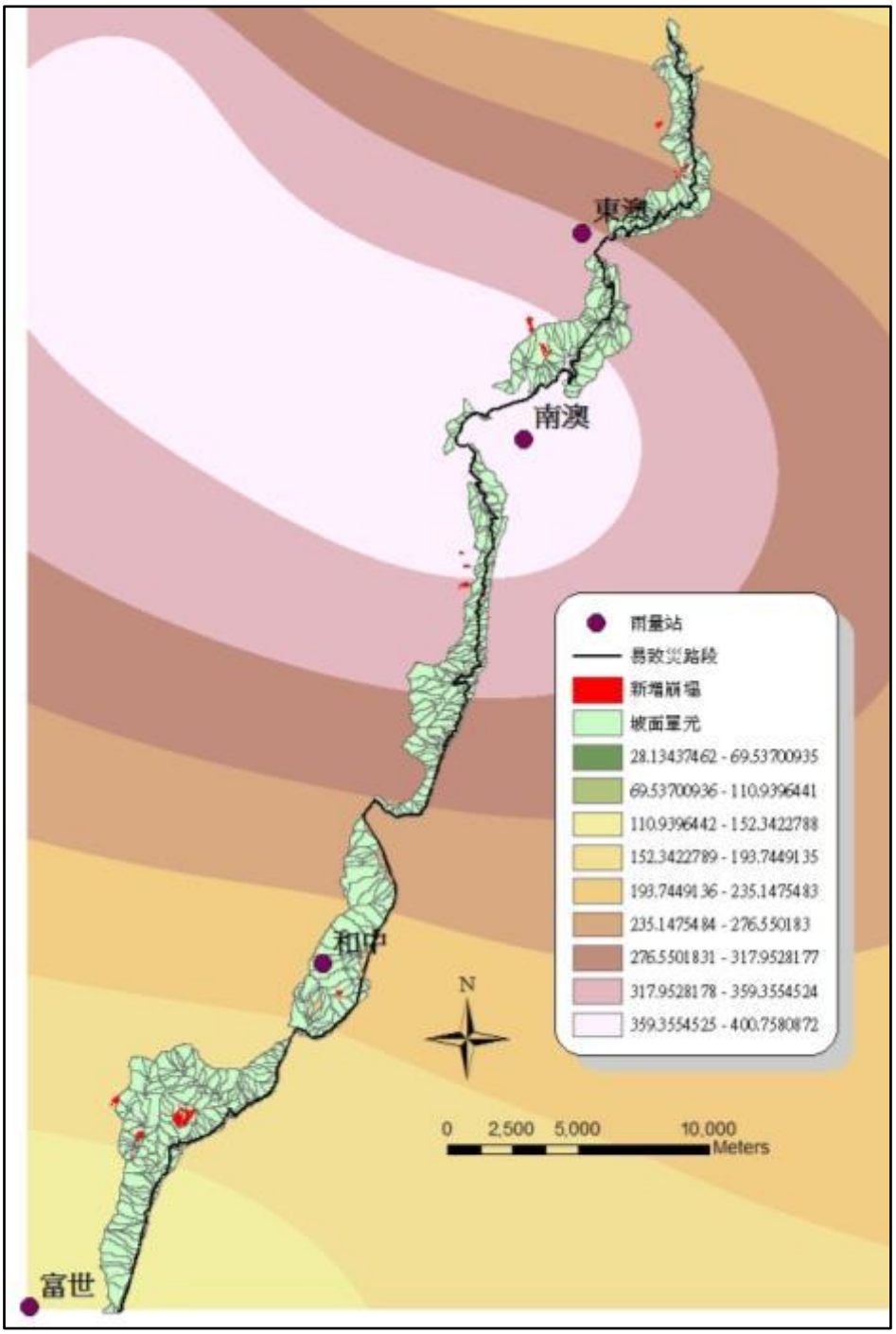


圖 8.2 辛樂克颱風期間台 9 線之累積雨量分佈及新增崩塌分布情況

表 8-2 台 9 線不同路段及災害類別之降雨參數上下限

路段	災害類別	降雨值上下限	有效累積雨量(mm)	降雨強度(mm/hr)
北部路段	流動災害	上限	300	50
		下限	180	30
	滑動災害	上限	200	50
		下限	160	30
中部路段	流動災害	上限	330	30
		下限	140	23
	滑動災害	上限	250	30
		下限	140	23
南部路段	流動災害	上限	170	25
		下限	125	18
	滑動災害	上限	170	23
		下限	125	18

2. 台 9 線山區道路降雨參數上限值調整

本研究考量調整降雨參數上限的的控制因子有易致災路段潛感、崩塌程度、距上次災害時間、排水狀況、植生狀況及施作防護工程現況等,並利用證據權法計算台 9 線各因子發生崩塌之權重值,加總後即求得各路段之山崩潛感指標,最後則依據此指標進行各路段累積雨量及降雨強度參數之調整,求得各路段之降雨參數上限值。

根據本研究各調整因子計算所得之權重值(表 8-3)來看,其中易致災路段潛感於高潛感區呈現較高的關聯性,但中潛感區卻呈現最低的關聯性而非低潛感區,此一現象可能與易致災路段潛感本身之調查計算時,即採用了較多的因子計算之結果,相對使得此項目之計分出現較為複雜的現象。

另依崩壞程度的計算結果來看，路段已達岩盤發生崩塌的關聯性較高於未達岩盤，此一現象可能與台 9 線全線段之地質風化程度不高有關，致使崩塌現象仍可見於已達岩盤之路段。

至於其他因子如距上次災害時間呈現時間越接近，其發生山崩的關連性有越高的情形；排水狀況亦顯示若路段有積水疑慮，則山崩的關連性有越高；植生狀況則以裸露地關連性要高於木生植物覆被之情形；施作防護工程現況亦顯示未施工或施工中路段要高於防護設施良好之路段。以上四項因子經過權重計算後，其呈現之權重相關性與因子關係較屬合理，因此本研究各山區道路降雨參數上限值調整之依據，即主要以此四項因子做權重加總。

山區道路降雨參數上限調整依該路段之災害類型分別代入所屬流動或滑動災害之累積雨量及降雨強度之降雨參數上限值進行調整，亦即將四項因子做權重加總之最大值代入該路段之降雨參數之下限值，而權重加總之最小值則代入該路段之降雨參數之上限值，如同區段之權重加總越高，表示該路段越不安全，可承受累積雨量及降雨強度的程度較小，因此所調整之降雨參數將越接近下限值；反之如區段之權重加總越越低，表示該路段越安全，可承受較大的累積雨量及降雨強度，因此所調整之降雨參數值將越接近上限值。台 9 線北、中、南區段之各降雨參數上限值彙整如表 8-4 所示。

表 8-3 台 9 線降雨警戒調整因子統計與權重計算彙整表

調整因子	易致災路段潛感			崩壞程度		距上次災害時間			排水狀況			植生狀況			路段防護工程狀況		
	高潛感區	中潛感區	低潛感區	已達岩盤	未達岩盤	1 年內	1~5 年	5 年以上	有排水工程	無排水工程	積水疑慮	木生植物	草生植物	裸露地	防護良好	防護不正常	未施工、施工中
發生山崩路段數	23	2	4	21	8	18	4	7	25	0	4	19	4	6	18	7	4
未發生山崩路段數	118	114	45	144	133	86	26	165	251	0	26	227	28	22	238	21	18
N1 (有因子，有崩塌)	23	2	4	21	8	18	4	7	25	0	4	19	4	6	18	7	4
N2 (無因子，有崩塌)	6	27	25	8	21	11	25	22	4	29	25	10	25	23	11	22	25
N3 (有因子，無崩塌)	118	114	45	144	133	86	26	165	251	0	26	227	28	22	238	21	18
N4 (無因子，無崩塌)	159	163	232	133	144	191	251	112	26	277	251	50	249	255	39	256	259
W+ (有因子權重值)	7.36	4.95	6.57	7.07	6.18	7.43	7.12	5.83	6.68	0.00	7.12	6.51	7.05	7.69	6.41	7.89	7.49
W- (無因子權重值)	5.71	7.19	6.76	6.18	7.07	6.14	6.68	7.36	7.12	6.73	6.68	7.38	6.69	6.59	7.73	6.54	6.65
$C = W^{+} - W^{-}$ (因子與山崩關聯)	1.64	-2.25	-0.19	0.89	-0.89	1.29	0.43	-1.53	-0.43	-6.73	0.43	-0.87	0.35	1.11	-1.32	1.36	0.83

表 8-4 台 9 線北、中、南區段之山崩潛感指標計算及降雨參數上限值調整彙整表

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
北	106K+000	106K+500	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	106K+500	106K+700	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	106K+700	106K+800	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	106K+800	106K+850	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	106K+850	106K+950	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	106K+950	107K+900	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	107K+900	108K+150	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	108K+150	108K+450	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	108K+450	108K+550	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	-1.48	土石流	260	44	180	30
	108K+550	109K+400	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	109K+400	109K+700	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	109K+700	109K+800	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	109K+800	110K+050	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	110K+050	110K+400	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	110K+400	110K+470	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	110K+470	110K+700	低	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	190	45	160	30
	110K+700	110K+800	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	110K+800	110K+950	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	110K+950	111K+400	高	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.48	岩屑崩滑	180	39	160	30
	111K+400	111K+950	高	已達岩盤	1 年內	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程不正常	2.21	岩屑崩滑	170	35	160	30

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
北	111K+950	112K+400	高	已達岩盤	1年內	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程不正常	2.21	岩屑崩滑	170	35	160	30
	112K+400	112K+750	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	落石	180	40	160	30
	112K+750	113K+050	高	未達岩盤	1年內	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程不正常	4.19	蝕溝	180	30	180	30
	113K+050	113K+600	高	已達岩盤	大於5年	有排水工程	草本植物為主	防護工程不正常	-0.26	岩屑崩滑	180	41	160	30
	113K+600	114K+100	高	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	114K+100	114K+200	高	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	114K+200	114K+480	中	未達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	114K+480	114K+600	高	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	-1.48	岩屑崩滑	185	44	160	30
	114K+600	114K+750	高	已達岩盤	大於5年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	-3.29	土石流	285	48	180	30
	114K+750	114K+880	中	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	114K+880	114K+940	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	260	43	180	30
	114K+940	115K+000	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	115K+000	115K+150	中	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	115K+150	115K+260	中	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	115K+260	115K+330	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	260	43	180	30
	115K+330	115K+680	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	115K+680	116K+000	高	已達岩盤	1年內	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	3.67	岩屑崩滑	165	31	160	30
	116K+000	116K+080	高	已達岩盤	1年內	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	3.67	土石流	190	31	180	30
	116K+080	116K+200	高	已達岩盤	1年內	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	3.67	岩屑崩滑	165	31	160	30
	116K+200	116K+300	高	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	116K+300	116K+390	高	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
北	116K+390	116K+480	高	已達岩盤	1 年內	有積水疑慮	木本植物為主	未施工或施工中	1.69	土石流	215	36	180	30
	116K+480	116K+650	中	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	116K+650	116K+850	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	1.34	岩屑崩滑	175	37	160	30
	116K+850	116K+930	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.48	岩屑崩滑	180	39	160	30
	116K+930	117K+000	高	未達岩盤	1 年~5 年	有積水疑慮	草本植物為主	防護工程良好	-0.09	蝕溝	240	40	180	30
	117K+000	117K+080	中	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	190	45	160	30
	117K+080	117K+250	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	190	45	160	30
	117K+250	117K+400	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	117K+400	117K+550	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	未施工或施工中	-1.14	土石流	255	43	180	30
	117K+550	117K+650	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	117K+650	118K+050	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	118K+050	118K+490	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	118K+490	118K+550	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	300	50	180	30
	118K+550	118K+690	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	118K+690	118K+750	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	118K+750	118K+850	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	118K+850	118K+920	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	190	45	160	30
	118K+850	118K+850	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	118K+920	119K+000	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	119K+000	119K+200	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	119K+200	120K+450	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	300	50	160	30

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
北	120K+450	120K+650	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	120K+650	120K+750	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	岩屑崩滑	195	47	160	30
	120K+750	120K+820	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	120K+820	120K+880	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	300	50	180	30
	120K+880	121K+000	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	121K+000	121K+100	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	121K+100	121K+200	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	121K+200	121K+460	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	121K+460	121K+560	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	-3.29	蝕溝	285	48	180	30
	121K+560	121K+650	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	121K+650	121K+750	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	岩屑崩滑	195	47	160	30
	121K+750	121K+800	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	300	50	180	30
	121K+800	121K+900	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	121K+900	122K+100	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	300	50	180	30
	122K+100	122K+180	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	-3.29	蝕溝	285	48	180	30
	122K+180	122K+400	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	122K+400	122K+500	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	122K+500	123K+050	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	190	45	160	30
	123K+050	123K+200	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	123K+200	123K+300	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	123K+300	123K+400	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
北	123K+400	123K+580	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	123K+580	123K+700	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	123K+700	123K+850	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	123K+850	124K+080	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	124K+080	124K+300	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	124K+300	124K+400	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	300	50	180	30
	124K+400	125K+700	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	300	50	160	30
	125K+700	125K+800	高	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	260	43	180	30
	125K+800	126K+200	中	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	126K+200	126K+250	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	126K+250	126K+300	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	草本植物為主	防護工程良好	-2.06	土石流	270	45	180	30
	126K+300	126K+550	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	126K+550	126K+850	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	185	43	160	30
	126K+850	127K+050	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	127K+050	127K+200	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.96	土石流	255	42	180	30
	127K+200	127K+500	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	-1.48	岩屑崩滑	185	44	160	30
	127K+500	127K+750	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	127K+750	127K+800	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	300	50	180	30
	127K+800	128K+250	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	128K+250	128K+300	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	128K+300	128K+500	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	300	50	180	30

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
北	128K+500	128K+800	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	260	43	180	30
	128K+800	128K+900	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	128K+900	129K+000	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	岩屑崩滑	195	47	160	30
	129K+000	129K+500	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	300	50	180	30
	129K+500	129K+750	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	129K+750	130K+000	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	130K+000	130K+110	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	260	43	180	30
	130K+110	130K+400	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	130K+400	130K+600	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	200	50	160	30
	130K+600	131K+000	高	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	260	43	180	30
中	131K+000	132K+600	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	330	30	140	23
	132K+600	133K+000	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	落石	230	29	140	23
	133K+000	133K+450	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	133K+450	133K+700	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	133K+700	133K+950	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	330	30	140	23
	133K+950	134K+200	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	134K+200	134K+950	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	330	30	140	23
	134K+950	135K+400	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	135K+400	135K+500	高	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	220	28	140	23
	135K+500	135K+580	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	土石流	275	28	140	23
	135K+580	135K+850	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
中	135K+850	136K+150	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	136K+150	136K+680	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	136K+680	136K+750	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	330	30	140	23
	136K+750	137K+000	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	137K+000	137K+420	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	137K+420	137K+600	低	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	220	28	140	23
	137K+600	137K+680	中	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	255	27	140	23
	137K+680	137K+920	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	137K+920	138K+150	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	138K+150	138K+270	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	138K+270	138K+350	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	330	30	140	23
	138K+350	138K+620	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	138K+620	138K+680	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	330	30	140	23
	138K+680	138K+880	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	220	28	140	23
	138K+880	139K+120	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	139K+120	139K+250	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	139K+250	139K+320	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	139K+320	139K+900	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	139K+900	140K+170	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	250	30	140	23
	140K+170	140K+270	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	250	30	140	23
	140K+270	140K+700	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	250	30	140	23

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
中	140K+700	140K+800	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩體滑動	250	30	140	23
	140K+800	141K+000	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	330	30	140	23
	141K+000	141K+250	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	255	27	140	23
	141K+250	141K+670	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	-1.48	落石	210	27	140	23
	141K+670	141K+730	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	裸露地為主	未施工或施工中	-0.03	蝕溝	215	26	140	23
	141K+730	141K+830	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	岩屑崩滑	230	29	140	23
	141K+830	141K+950	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	落石	185	26	140	23
	141K+950	142K+040	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	0.65	落石	175	25	140	23
	142K+040	142K+100	低	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	落石	220	28	140	23
	142K+100	142K+360	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	蝕溝	295	29	140	23
	142K+360	142K+570	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	蝕溝	220	26	140	23
	142K+570	142K+660	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	蝕溝	220	26	140	23
	142K+660	142K+800	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	岩屑崩滑	185	26	140	23
	142K+800	143K+080	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	蝕溝	220	26	140	23
	143K+080	143K+120	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	255	27	140	23
	143K+120	143K+280	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.82	岩屑崩滑	170	25	140	23
	143K+280	143K+450	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	143K+450	143K+550	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	330	30	140	23
	143K+550	143K+620	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩體滑動	250	30	140	23
	143K+620	143K+700	中	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	255	27	140	23
	143K+700	143K+900	高	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
中	143K+900	144K+000	中	未達岩盤	1年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	土石流	220	26	140	23
	144K+000	144K+180	高	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	144K+180	144K+220	高	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	255	27	140	23
	144K+220	144K+570	高	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	144K+570	144K+600	高	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	1.34	蝕溝	180	24	140	23
	144K+600	144K+700	高	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	144K+700	144K+850	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	0.65	土石流	200	25	140	23
	144K+850	145K+000	高	已達岩盤	1年內	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	-0.46	岩屑崩滑	190	26	140	23
	145K+000	145K+030	高	已達岩盤	1年內	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	-0.46	岩屑崩滑	190	26	140	23
	145K+030	145K+180	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	255	27	140	23
	145K+180	145K+220	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	145K+220	145K+400	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	145K+400	145K+600	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	205	27	140	23
	145K+600	145K+650	中	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	330	30	140	23
	145K+650	145K+770	低	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	205	27	140	23
	145K+770	145K+870	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	145K+870	145K+900	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	145K+900	146K+100	低	未達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	205	27	140	23
	146K+100	146K+300	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	146K+300	146K+350	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	255	27	140	23
	146K+350	146K+400	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
中	146K+400	146K+700	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	255	27	140	23
	146K+700	146K+800	高	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	330	30	140	23
	146K+800	146K+900	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	146K+900	146K+940	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.82	土石流	195	25	140	23
	146K+940	146K+990	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	205	27	140	23
	146K+990	147K+030	高	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	330	30	140	23
	147K+030	147K+230	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩體滑動	205	27	140	23
	147K+230	147K+450	中	已達岩盤	大於5年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	-1.48	岩屑崩滑	210	27	140	23
	147K+450	147K+600	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	147K+600	147K+650	中	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	1.34	落石	165	24	140	23
	147K+650	148K+000	低	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	205	27	140	23
	148K+000	148K+100	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	205	27	140	23
	148K+100	148K+350	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩體滑動	205	27	140	23
	148K+350	148K+500	中	已達岩盤	大於5年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	落石	230	29	140	23
	148K+500	148K+600	中	已達岩盤	大於5年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-2.18	落石	220	28	140	23
	148K+600	148K+950	中	已達岩盤	大於5年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-2.18	落石	220	28	140	23
	148K+950	149K+050	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	草本植物為主	未施工或施工中	2.04	蝕溝	160	24	140	23
	149K+050	149K+300	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程不正常	2.56	蝕溝	145	23	140	23
	149K+300	149K+650	高	已達岩盤	1年內	有排水工程	裸露地為主	未施工或施工中	2.80	岩屑崩滑	140	23	140	23
	149K+650	149K+720	中	已達岩盤	大於5年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	落石	230	29	140	23
	149K+720	149K+770	高	已達岩盤	大於5年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	蝕溝	295	29	140	23

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
中	149K+770	149K+950	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	落石	230	29	140	23
	149K+950	150K+000	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-2.18	岩屑崩滑	220	28	140	23
	150K+000	150K+150	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	岩屑崩滑	230	29	140	23
	150K+150	150K+220	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	150K+220	150K+270	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	330	30	140	23
	150K+270	150K+400	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩體滑動	250	30	140	23
	150K+400	150K+470	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	150K+470	150K+530	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	330	30	140	23
	150K+530	150K+650	高	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	1.34	岩體滑動	165	24	140	23
	150K+650	150K+900	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	150K+900	151K+000	高	未達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程不正常	-0.61	土石流	235	26	140	23
	151K+000	151K+450	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	-2.00	蝕溝	270	28	140	23
	151K+450	151K+600	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	151K+600	151K+950	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	裸露地為主	未施工或施工中	1.94	岩屑崩滑	155	24	140	23
	151K+950	152K+400	中	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	落石	220	28	140	23
	152K+400	152K+900	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	未施工或施工中	-0.78	土石流	240	27	140	23
	152K+900	153K+350	中	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	205	27	140	23
	153K+350	153K+750	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	153K+750	153K+950	中	未達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	-3.29	岩屑崩滑	235	29	140	23
	153K+950	154K+050	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.84	蝕溝	195	25	140	23
	154K+050	154K+200	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
中	154K+200	154K+500	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	250	30	140	23
	154K+500	154K+750	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	-1.48	蝕溝	255	27	140	23
南	154K+750	156K+150	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	170	25	125	18
	156K+150	157K+100	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-2.93	岩屑崩滑	165	22	125	18
	157K+100	157K+400	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	157K+400	157K+600	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	157K+600	159K+050	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	159K+050	159K+500	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	159K+500	160K+100	中	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	落石	160	22	125	18
	160K+100	160K+150	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	土石流	160	23	125	18
	160K+150	160K+300	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	155	21	125	18
	160K+300	160K+400	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.82	蝕溝	145	21	125	18
	160K+400	160K+800	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	155	21	125	18
	160K+800	160K+900	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.82	土石流	145	21	125	18
	160K+900	161K+350	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	161K+350	161K+900	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	161K+900	162K+550	高	未達岩盤	1 年內	有積水疑慮	草本植物為主	防護工程良好	0.76	土石流	145	21	125	18
	162K+550	163K+050	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	草本植物為主	未施工或施工中	0.09	土石流	145	21	125	18
	163K+050	163K+950	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	170	25	125	18
	163K+950	164K+500	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	0.65	落石	145	20	125	18
	164K+500	164K+600	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	0.65	落石	145	20	125	18

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
南	164K+600	166K+000	低	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	無	155	23	125	18
	166K+000	166K+350	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	-1.48	落石	155	21	125	18
	166K+350	166K+500	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	草本植物為主	未施工或施工中	2.04	土石流	135	20	125	18
	166K+500	166K+650	高	未達岩盤	1 年內	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	-0.11	土石流	150	22	125	18
	166K+650	167K+150	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	170	25	125	18
	167K+150	167K+450	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	167K+450	167K+750	高	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	155	23	125	18
	167K+750	168K+100	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	蝕溝	170	25	125	18
	168K+100	168K+200	高	已達岩盤	1 年~5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程不正常	3.33	土石流	130	19	125	18
	168K+200	168K+350	高	已達岩盤	1 年內	有積水疑慮	草本植物為主	防護工程不正常	3.43	蝕溝	130	19	125	18
	168K+350	168K+650	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.82	蝕溝	145	21	125	18
	168K+650	168K+700	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.84	土石流	145	21	125	18
	168K+700	168K+750	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程不正常	1.36	蝕溝	140	20	125	18
	168K+750	168K+900	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程不正常	0.49	落石	145	20	125	18
	168K+900	169K+500	低	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	岩屑崩滑	160	22	125	18
	169K+500	169K+550	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-0.21	蝕溝	150	22	125	18
	169K+550	169K+650	低	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	落石	160	22	125	18
	169K+650	169K+850	低	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	無	160	23	125	18
	169K+850	170K+050	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	裸露地為主	未施工或施工中	1.94	蝕溝	135	20	125	18
	170K+050	170K+150	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-0.21	蝕溝	150	22	125	18
	170K+150	170K+250	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	170	23	125	18

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
南	170K+250	170K+300	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-2.18	落石	160	22	125	18
	170K+300	170K+400	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-2.18	落石	160	22	125	18
	170K+400	170K+450	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	-2.18	蝕溝	160	23	125	18
	170K+450	170K+500	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	0.65	落石	145	20	125	18
	170K+500	170K+800	低	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	無	160	23	125	18
	170K+800	171K+100	低	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	落石	160	22	125	18
	171K+100	171K+150	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	170	23	125	18
	171K+150	171K+350	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程不正常	-0.26	落石	150	21	125	18
	171K+350	171K+500	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	土石流	170	25	125	18
	171K+500	171K+800	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	岩屑崩滑	155	21	125	18
	171K+800	172K+050	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	172K+050	172K+100	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	蝕溝	160	23	125	18
	172K+100	172K+650	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	無	155	23	125	18
	172K+650	172K+750	中	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	落石	160	22	125	18
	172K+750	173K+800	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	無	155	23	125	18
	173K+800	174K+200	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	土石流	155	23	125	18
	174K+200	174K+700	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	170	23	125	18
	174K+700	174K+800	高	未達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.84	土石流	145	21	125	18
	174K+800	176K+250	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	無	170	25	125	18
	176K+250	176K+350	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	170	23	125	18
	176K+350	176K+450	高	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	蝕溝	155	23	125	18

路線區段	起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
南	176K+450	176K+800	低	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	無	155	23	125	18
	176K+800	177K+080	高	已達岩盤	1 年內	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程不正常	4.19	蝕溝	125	18	125	18
	177K+080	177K+300	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	177K+300	177K+400	高	已達岩盤	1 年內	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程不正常	2.21	土石流	135	20	125	18
	177K+400	177K+850	低	已達岩盤	1 年內	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程不正常	2.21	落石	135	19	125	18
	177K+850	178K+100	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程不正常	-0.61	蝕溝	150	22	125	18
	178K+100	178K+250	高	已達岩盤	1 年內	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	-0.46	落石	150	21	125	18
	178K+250	178K+400	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-2.19	土石流	160	23	125	18
	178K+400	178K+900	中	未達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	155	21	125	18
	178K+900	179K+570	中	已達岩盤	1 年內	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-1.33	落石	155	21	125	18
	179K+570	180K+400	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	落石	170	23	125	18
	180K+400	181K+850	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18
	181K+850	182K+000	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	-4.15	岩屑崩滑	170	23	125	18

8.1.2 台 24 線山區道路邊坡致災因子、誘發因子分析與降雨參數上限值調整

1. 台 24 線山區道路邊坡致災因子、誘發因子分析與修正

本計劃去年計畫已對於台 24 線進行相關基本資料之蒐集，並初步訂定其降雨警戒值。本年度計畫進一步根據今年所提出之降雨參數上下限修正方法，對於台 24 線之降雨參數上下限進行修訂。

首先本計畫根據前述之訂定方法，考量邊坡破壞型式不同之可能影響，將不同路段可能之致災原因區分為滑動及流動災害，其中流動災害主要包含有土石流及蝕溝災害類型；而滑動災害則包含有岩屑崩滑、岩體滑動、河岸侵蝕、順向坡和落石等災害類型。本計畫將根據其流動災害及滑動災害類別進行降雨參數上下限之訂定。

在分析雨場選定方面，本計畫依據可取得之衛星影像判釋結果以及雨量資料，選定之七場颱風事件(平均降雨資料及崩塌情況如表 8-5 所示)，並分別應用克利金法進行七場颱風事件之降雨空間分佈推估（圖 8.3）；依據流動災害及滑動災害類別之災害坡面單元進行相關降雨參數統計。本計畫所分析出台 24 線之降雨警戒基準值上下限如表 8-6 所示。

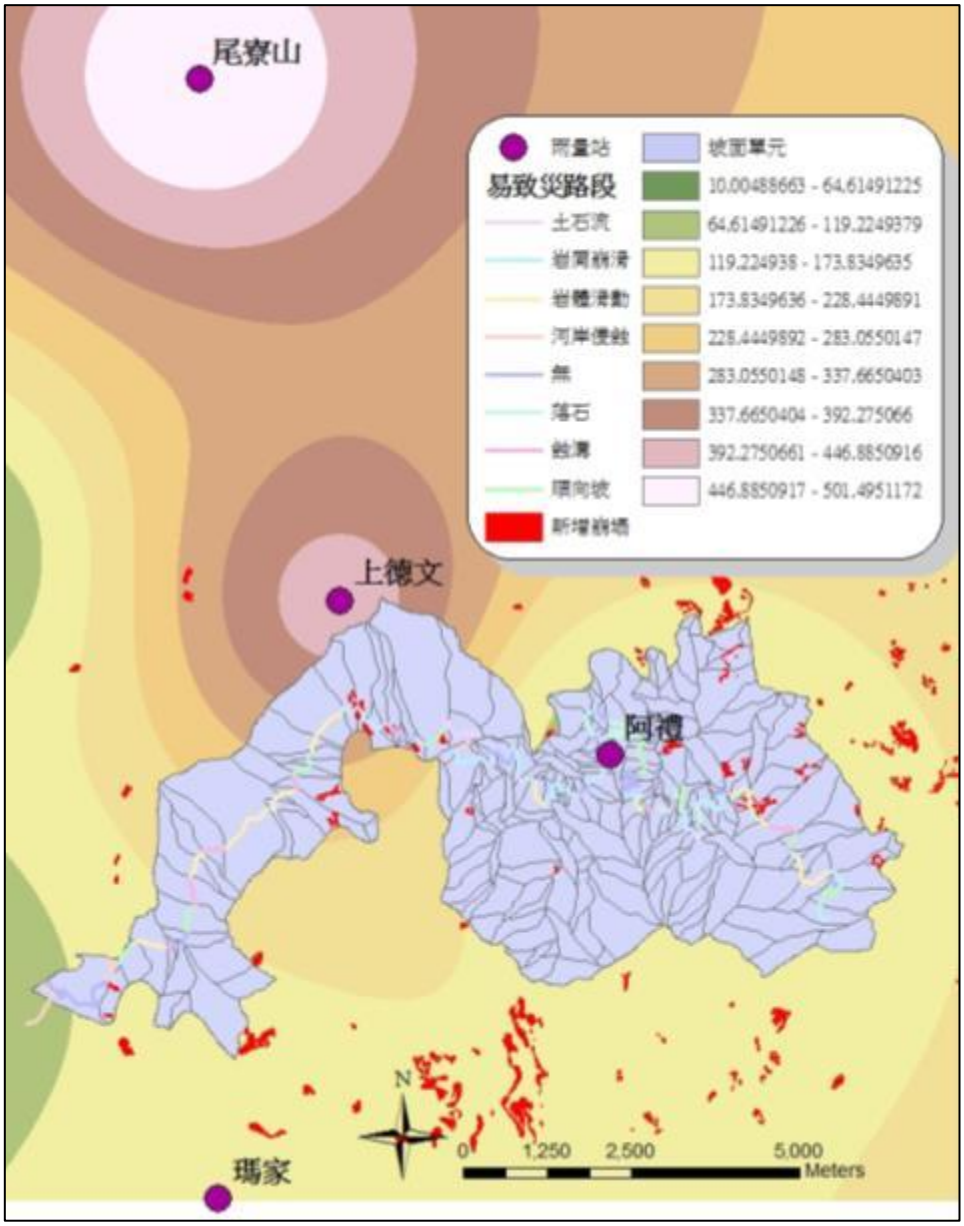


圖 8.3 辛樂克颱風期間台 24 線之累積雨量分佈及新增崩塌分布情況

表 8-5 台 24 線警戒值分析所應用之七場颱風事件及其崩塌資料

項次	事件	平均雨量 (mm)	平均最大降雨強度 (mm/hr)	新增崩塌數	新增崩塌面積 (m^2)
1	瑪莎	52	7.6	67	205700
2	凱米	395.6	44.6	67	193913
3	柯羅莎	152.5	34.3	29	228591
4	辛樂克	252.5	30.7	42	264073
5	米塔	64.12	8.69	27	135504
6	莫拉克	1604.5	71.98	122	3377824
7	南瑪都	592.1	37.65	115	251313

表 8-6 台 24 線不同路段及災害類別之警戒值上下限

路段	災害類別	警戒值上下限	有效累積雨量(mm)	降雨強度 (mm/hr)
台 24 線	流動災害	上限	350	35
		下限	150	30
	滑動災害	上限	400	35
		下限	150	30

2. 台 24 線山區道路降雨參數上限值調整

比照台 9 線計算出台 24 線路段之權重加總如表 8-7 所示。

根據各調整因子計算所得之權重值來看，除崩壞程度之計算顯示路段已達岩盤發生崩塌的關聯性較高於未達岩盤，可能與路段之地質風化程度有關外，其餘因子表現之相關性均屬良好，因此台 24 線之山崩潛感指標之計算，即主要以另五項因子做權重加總計算，而調整之各路段累積雨量及降雨強度參數值則如表 8-8 所示。

表 8-7 台 24 線降雨警戒調整因子統計與權重計算彙整表

調整因子	易致災路段潛感			崩壞程度		距上次災害時間			排水狀況			植生狀況			路段防護工程狀況		
	高潛感區	中潛感區	低潛感區	已達岩盤	未達岩盤	1 年內	1~5 年	5 年以上	有排水工程	無排水工程	積水疑慮	木生植物	草生植物	裸露地	防護良好	防護不正常	未施工、施工中
發生山崩路段數	19	2	1	17	5	0	4	18	15	0	7	16	0	6	12	2	8
未發生山崩路段數	64	28	24	54	62	0	5	111	94	0	22	98	4	14	94	8	14
N1 (有因子，有崩塌)	19	2	1	17	5	0	4	18	15	0	7	16	0	6	12	2	8
N2 (無因子，有崩塌)	3	20	21	5	17	22	18	4	7	22	15	6	22	16	10	20	14
N3 (有因子，無崩塌)	64	28	24	54	62	0	5	111	94	0	22	98	4	14	94	8	14
N4 (無因子，無崩塌)	52	88	92	62	54	116	111	5	22	116	94	18	112	102	22	108	102
W+ (有因子權重值)	6.63	5.21	4.67	6.69	5.33	0.00	7.62	6.03	6.01	0.00	6.70	6.03	0.00	7.00	5.79	6.46	7.29
W- (無因子權重值)	4.99	6.36	6.37	5.33	6.69	6.18	6.03	7.62	6.70	6.18	6.01	6.75	6.22	5.99	7.06	6.16	5.86
$C = W^{+} - W^{-}$ (因子與山崩關聯)	1.64	-1.16	-1.70	1.36	-1.36	-6.18	1.60	-1.60	-0.69	-6.18	0.69	-0.71	-6.22	1.01	-1.27	0.30	1.43

表 8-8 台 24 線之權重加總計算及降雨參數上限值調整彙整表

起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
20K+000	20K+800	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	河岸侵蝕	285	33	150	30
20K+800	20K+950	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	河岸侵蝕	380	34	150	30
20K+950	23K+085	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
23K+085	23K+600	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	河岸侵蝕	370	34	150	30
23K+600	24K+010	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	順向坡	325	33	150	30
24K+010	24K+500	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩體滑動	380	33	150	30
24K+500	24K+640	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	蝕溝	380	34	150	30
24K+640	24K+730	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
24K+730	24K+800	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
24K+800	24K+980	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
24K+980	25K+500	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	順向坡	380	33	150	30
25K+500	25K+900	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	蝕溝	325	33	150	30
25K+900	26K+230	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩體滑動	380	33	150	30
26K+230	26K+310	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩體滑動	325	33	150	30
26K+310	26K+400	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩體滑動	325	33	150	30
26K+400	26K+740	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.82	蝕溝	200	31	150	30
26K+740	27K+340	高	已達岩盤	1 年~5 年	有積水疑慮	木本植物為主	未施工或施工中	0.90	岩體滑動	185	30	150	30
27K+340	27K+460	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.68	岩體滑動	265	32	150	30
27K+460	27K+730	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.76	岩體滑動	235	31	150	30
27K+730	27K+830	高	已達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.76	岩屑崩滑	235	31	150	30

起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
27K+830	28K+000	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩體滑動	435	34	150	30
28K+000	28K+120	高	已達岩盤	1 年~5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程良好	0.85	岩體滑動	205	31	150	30
28K+120	28K+350	高	未達岩盤	1 年~5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.52	岩體滑動	315	32	150	30
28K+350	28K+510	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	蝕溝	370	34	150	30
28K+510	28K+950	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	順向坡	435	34	150	30
28K+950	29K+060	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩屑崩滑	435	34	150	30
29K+060	29K+180	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.65	順向坡	275	32	150	30
29K+180	29K+430	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩體滑動	325	33	150	30
29K+430	29K+880	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.82	岩體滑動	215	31	150	30
29K+880	30K+000	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩體滑動	380	33	150	30
30K+000	30K+050	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.58	土石流	260	32	150	30
30K+050	30K+200	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
30K+200	30K+260	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.43	岩屑崩滑	350	33	150	30
30K+260	30K+290	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程不正常	0.76	土石流	215	31	150	30
30K+290	30K+430	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30
30K+430	30K+690	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程不正常	0.66	岩屑崩滑	270	32	150	30
30K+690	30K+750	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程良好	0.67	岩屑崩滑	265	32	150	30
30K+750	30K+830	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.82	土石流	200	31	150	30
30K+830	30K+900	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.49	蝕溝	285	33	150	30
30K+900	30K+940	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	蝕溝	370	34	150	30
30K+940	31K+000	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	蝕溝	370	34	150	30

起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
31K+000	31K+085	中	未達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	0.26	蝕溝	350	34	150	30
31K+085	31K+175	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
31K+175	31K+295	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.24	無	415	34	150	30
31K+295	31K+500	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.82	岩屑崩滑	215	31	150	30
31K+500	31K+900	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.65	順向坡	275	32	150	30
31K+900	32K+700	高	已達岩盤	1 年~5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	1.00	土石流	150	30	150	30
32K+700	33K+100	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.49	河岸侵蝕	285	33	150	30
33K+100	33K+650	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	岩屑崩滑	445	34	150	30
33K+650	33K+700	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	岩屑崩滑	445	34	150	30
33K+700	33K+800	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.82	土石流	200	31	150	30
33K+800	33K+900	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩屑崩滑	435	34	150	30
33K+900	33K+950	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	土石流	325	33	150	30
33K+950	34K+060	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.43	岩屑崩滑	350	33	150	30
34K+060	34K+400	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
34K+400	34K+650	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
34K+650	34K+735	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩屑崩滑	435	34	150	30
34K+735	34K+820	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30
34K+820	35K+110	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30
35K+110	35K+235	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	土石流	285	33	150	30
35K+235	35K+350	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
35K+350	35K+640	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩體滑動	380	33	150	30

起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
35K+640	35K+810	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程不正常	0.58	岩體滑動	295	32	150	30
35K+810	35K+870	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.49	土石流	290	33	150	30
35K+870	36K+180	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	未施工或施工中	0.72	岩屑崩滑	245	31	150	30
36K+180	36K+210	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩屑崩滑	435	34	150	30
36K+210	36K+320	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩屑崩滑	435	34	150	30
36K+320	36K+500	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
36K+500	36K+585	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30
36K+585	36K+680	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
36K+680	36K+740	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	0.57	土石流	265	32	150	30
36K+740	36K+865	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
36K+865	36K+900	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	土石流	285	33	150	30
36K+900	36K+950	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
36K+950	37K+170	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.49	岩屑崩滑	325	33	150	30
37K+170	37K+250	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	裸露地為主	防護工程良好	0.59	土石流	260	32	150	30
37K+250	37K+350	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
37K+350	37K+440	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	蝕溝	325	33	150	30
37K+440	37K+500	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
37K+500	37K+680	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
37K+680	37K+800	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30
37K+800	37K+940	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.31	無	390	33	150	30
37K+940	38K+085	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30

起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
38K+085	38K+275	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	落石	435	34	150	30
38K+275	38K+450	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
38K+450	38K+670	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
38K+670	39K+500	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	落石	445	34	150	30
39K+500	39K+950	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	落石	380	33	150	30
39K+950	40K+050	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	落石	380	33	150	30
40K+050	40K+200	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	順向坡	380	33	150	30
40K+200	40K+500	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	順向坡	325	33	150	30
40K+500	40K+570	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.49	順向坡	325	33	150	30
40K+570	40K+760	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	順向坡	380	33	150	30
40K+760	41K+820	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.31	無	390	33	150	30
41K+820	42K+000	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
42K+000	42K+265	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程良好	0.67	岩體滑動	265	32	150	30
42K+265	42K+280	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程良好	0.67	土石流	240	32	150	30
42K+280	42K+375	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	落石	435	34	150	30
42K+375	42K+475	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
42K+475	42K+600	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	蝕溝	370	34	150	30
42K+600	42K+630	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	土石流	285	33	150	30
42K+630	42K+770	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	落石	435	34	150	30
42K+770	42K+875	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30
42K+875	42K+950	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	蝕溝	380	34	150	30

起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
42K+950	43K+000	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
43K+000	43K+190	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	落石	435	34	150	30
43K+190	43K+285	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	無	445	34	150	30
43K+285	43K+640	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	順向坡	380	33	150	30
43K+640	43K+710	低	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.16	落石	445	34	150	30
43K+710	44K+000	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	0.57	岩屑崩滑	300	32	150	30
44K+000	44K+010	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程良好	0.67	土石流	240	32	150	30
44K+010	44K+070	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
44K+070	44K+135	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	岩屑崩滑	325	33	150	30
44K+135	44K+415	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程良好	0.67	土石流	240	32	150	30
44K+415	**44K+515**	**高**	**未達岩盤**	**大於 5 年**	**有排水工程**	**木本植物為主**	**防護工程良好**	**0.34**	**岩屑崩滑**	**380**	**33**	**150**	**30**
44K+515	44K+625	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	落石	435	34	150	30
44K+625	44K+855	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	落石	435	34	150	30
44K+855	45K+000	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30
45K+000	45K+200	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩屑崩滑	435	34	150	30
45K+200	45K+275	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程不正常	0.76	岩屑崩滑	235	31	150	30
45K+275	45K+550	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	未施工或施工中	0.72	岩屑崩滑	245	31	150	30
45K+550	45K+750	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	未施工或施工中	0.46	無	340	33	150	30
45K+750	46K+000	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	防護工程良好	0.67	岩體滑動	265	32	150	30
46K+000	46K+300	高	已達岩盤	1 年~5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	1.00	岩體滑動	150	30	150	30
46K+300	46K+700	高	已達岩盤	1 年~5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	1.00	岩體滑動	150	30	150	30

起始樁號	結束樁號	致災潛感	崩壞程度	距上次災害時間	排水狀況	植生狀況	施作防護工程狀況	權重加總	災害類型	累積雨量上限修正	降雨強度上限修正	累積雨量下限	降雨強度下限
46K+700	47K+050	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.50	蝕溝	285	33	150	30
47K+050	47K+200	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	順向坡	380	33	150	30
47K+090	47K+500	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	未施工或施工中	0.72	蝕溝	225	31	150	30
47K+500	47K+645	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	0.57	落石	300	32	150	30
47K+645	47K+845	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.82	岩體滑動	215	31	150	30
47K+845	47K+965	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	裸露地為主	未施工或施工中	0.82	岩體滑動	215	31	150	30
47K+965	48K+490	高	已達岩盤	大於 5 年	有積水疑慮	木本植物為主	防護工程良好	0.57	岩體滑動	300	32	150	30
48K+490	48K+550	中	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.19	岩屑崩滑	435	34	150	30
48K+550	48K+810	中	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	0.03	岩屑崩滑	490	35	150	30
48K+810	49K+115	高	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	0.19	順向坡	435	34	150	30
49K+115	49K+440	低	已達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	0.00	無	500	35	150	30
49K+440	49K+755	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	草本植物為主	防護工程良好	0.03	順向坡	490	35	150	30
49K+755	50K+100	高	未達岩盤	大於 5 年	有排水工程	木本植物為主	防護工程良好	0.34	岩屑崩滑	380	33	150	30

8.2 道路邊坡破壞分析模式修正

本研究根據前述之作法進行分析模式修正，並求得台 9 線北、中、南三區各分析路段之災害風險。

1. 災害潛感分析

在易致災路段的災害潛感部分，本研究求得各路段易致災路段之災害潛感分析結果，分別將各路段之全坡面以及上、下邊坡之災害潛感值進行正規化，以為該路段災害潛感之依據。

2. 發生機率分析

在易致災路段的災害發生機率部分，根據前節所求得各路段降雨參數上限值調整結果後，以兩相乘積之倒數視為發生機率，並將各路段之發生機率進行正規化，以為該路段災害發生機率之依據。

3. 損失程度分析

在易致災路段的損失程度部分，本研究蒐集歷年各台 9 線之災害路段與其復建經費，並依據本研究易致災路段進行單位長度之復建經費乘以該路段長度進行估算，再予以正規化以為該路段災害損失程度之依據。單位長度之復建經費計算原則，若路段中有重複部分，則以經費最高者為該路段之單位損失程度，若路段中無復建經費資料，則以所蒐集資料中復建經費最低者為該路段之單位損失程度，待後有新設工程時再進行復建經費之蒐集。

4. 災害風險分析

結合上述各節之分析結果，將風險值由小至大進行排序後，依據累計數量分為三等份，前三分之一列為風險低，中間三分之一列為中，後三分之一列為風險高。分析結果顯示北區路段以 116K+650 至 116K+850 之岩屑崩滑為最高，其次為 115K+680 至 116K+000 之岩屑崩滑為次之；中區路段以 144K+180 至 144K+220 之蝕溝為最

高，其次為 144K+700 至 144K+850 之蝕溝風險為次之；而南區路段則以 168K+700 至 168K+750 之蝕溝風險為最高，其次為 170K+450 至 170K+500 之落石風險為次之。台 9 線北、中、南區易致災路段中風險最高的各前十個路段如表 8-9 所示。台 9 線及台 24 線易致災路段之風險值如附錄六。

若將 306 個路段之風險值由小大至大排序後，可將風險依據等數量間距劃分成低、中、高等三類，其結果如圖 8.4、圖 8.5 所示。

表 8-9 台 9 線易致災路段中風險最高的前十個路段資料一覽表

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險	下邊坡災害風險
北	44	116K+650	116K+850	200	岩屑崩滑	0.91	0.91	0.69	0.70	1.000	1.000
	37	115K+680	116K+000	320	岩屑崩滑	0.82	0.82	1.00	0.44	0.817	0.817
	23	112K+750	113K+050	300	蝕溝	0.73	0.73	0.91	0.23	0.352	0.352
	41	116K+300	116K+390	90	岩屑崩滑	0.55	0.45	0.44	0.37	0.202	0.169
	50	117K+400	117K+550	150	土石流	1.00	1.00	0.19	0.47	0.200	0.200
	15	110K+400	110K+470	70	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.44	1.00	0.183	0.183
	21	111K+950	112K+400	450	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.79	0.16	0.179	0.179
	24	113K+050	113K+600	550	岩屑崩滑	0.91	0.91	0.53	0.13	0.140	0.140
	20	111K+400	111K+950	550	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.79	0.11	0.125	0.125
	27	114K+200	114K+480	280	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.26	0.25	0.053	0.053
中	170	144K+180	144K+220	40	蝕溝	0.37	0.47	0.21	1.00	1.000	1.000
	174	144K+700	144K+850	50	土石流	0.58	0.58	0.47	0.17	0.607	0.472
	195	147K+030	147K+230	200	岩體滑動	1.00	1.00	0.37	0.09	0.431	0.335
	165	143K+550	143K+620	70	岩體滑動	0.53	0.37	0.15	0.26	0.267	0.146
	171	144K+220	144K+570	350	岩屑崩滑	0.58	0.58	0.37	0.05	0.142	0.111
	206	149K+050	149K+300	250	蝕溝	0.37	0.26	0.92	0.03	0.131	0.073
	124	135K+500	135K+580	80	土石流	0.26	0.11	0.13	0.23	0.102	0.032
	176	145K+000	145K+030	30	岩屑崩滑	0.47	0.47	0.47	0.04	0.100	0.078
	207	149K+300	149K+650	350	岩屑崩滑	0.42	0.47	1.00	0.01	0.072	0.063
	167	143K+700	143K+900	200	岩屑崩滑	0.32	0.32	0.37	0.04	0.057	0.044
南	264	168K+700	168K+750	50	蝕溝	0.58	0.58	0.55	0.66	1.000	1.000
	276	170K+450	170K+500	50	落石	0.25	0.25	0.52	0.91	0.564	0.564
	270	169K+850	170K+050	200	蝕溝	0.58	0.58	0.63	0.23	0.395	0.395
	274	170K+300	170K+400	100	落石	0.25	0.25	0.25	1.00	0.296	0.296
	250	163K+950	164K+500	550	落石	0.67	0.58	0.52	0.07	0.112	0.098
	275	170K+400	170K+450	50	蝕溝	0.25	0.17	0.16	0.52	0.098	0.065
	302	178K+400	178K+900	500	落石	0.42	0.42	0.32	0.09	0.055	0.055
	262	168K+350	168K+650	300	蝕溝	0.58	0.58	0.48	0.03	0.034	0.034
	271	170K+050	170K+150	100	蝕溝	0.58	0.58	0.36	0.03	0.033	0.033
	267	169K+500	169K+550	50	蝕溝	0.58	0.58	0.36	0.03	0.032	0.032

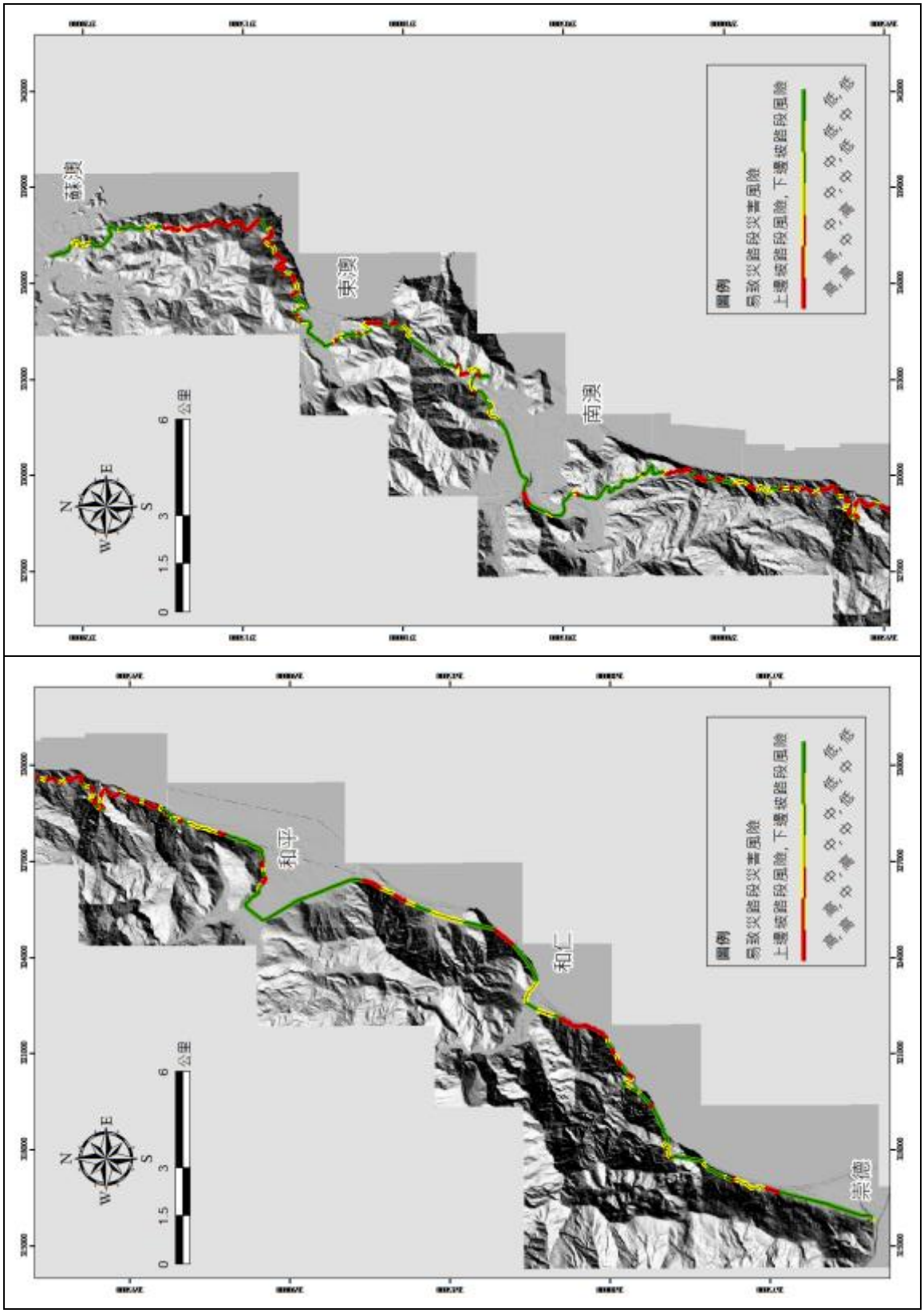


圖 8.4 台 9 線易致災路段上、下邊坡風險圖

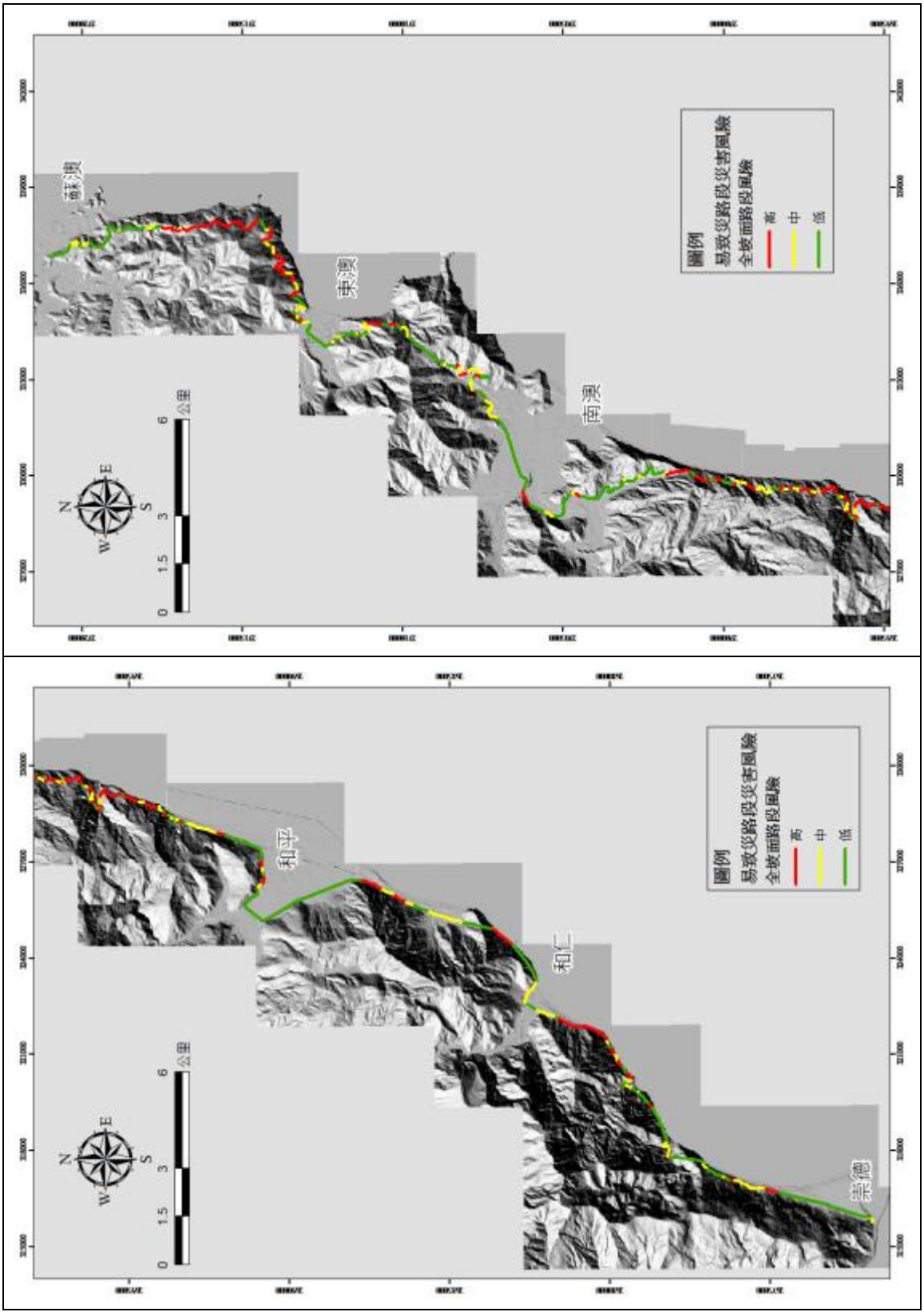


圖 8.5 台 9 線易致災路段全邊坡風險圖

第九章 山區道路監測預警管制技術檢討

本研究綜合目前交通部公路總局之監測預警管制作為，與計畫成果進行山區道路監測預警管制方法之研擬。以下就交通部公路總局現有監測預警管制作為分析、本研究研擬之山區道路監測預警管制技術與山區道路監測預警管制作業三部分進行檢討。

9.1 現有監測預警管制作為分析

目前公路單位於重點監控路段依雨量及道路狀況劃分為預警（黃色注意）、警戒（橙色管制）、行動（紅色封閉）三種階段(如圖 9.1 所示)，針對不同的情境變化提出適切的處置，其管制與應變訊息主要透過警察廣播電台即時傳遞通知用路人。

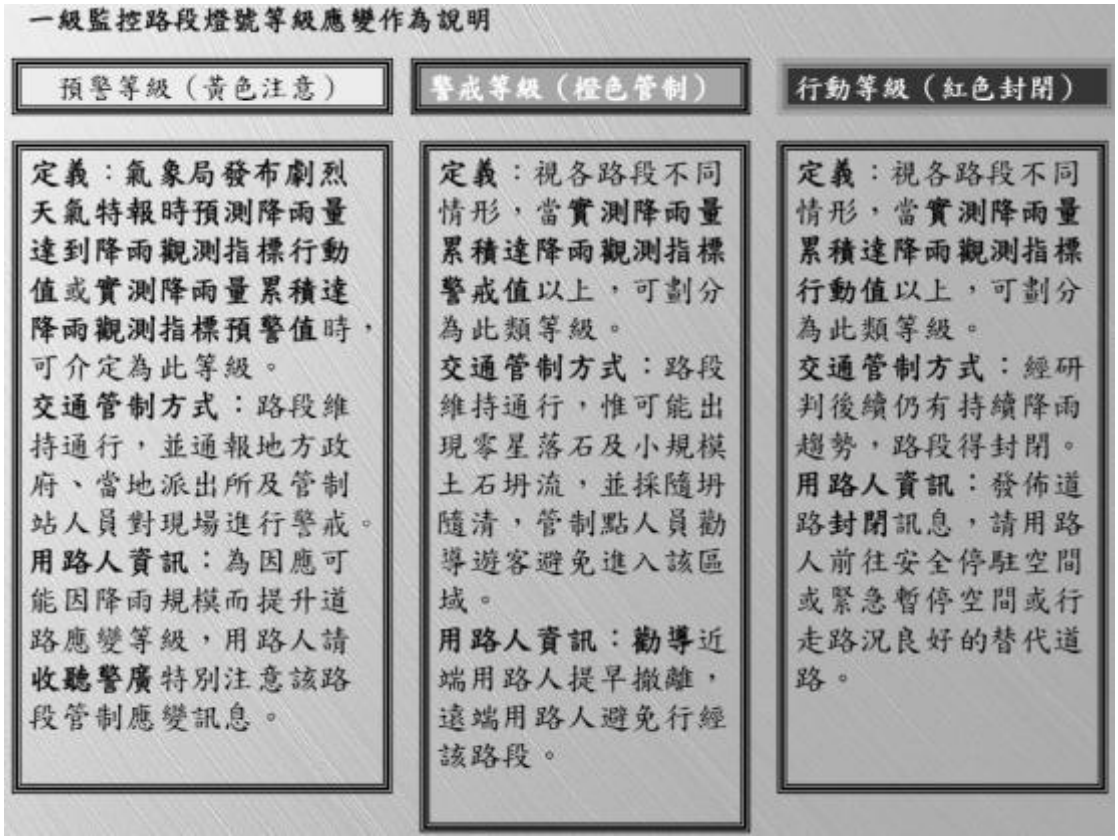


圖 9.1 公路單位警管制應變作為三等級圖

資料來源：交通部公路總局

而交通部公路總局在有限的歷史資料及經驗條件下，統計歷次豪雨期間中山區公路致災風險值較高的路段，採保全方式進行山區道路之預警管理，其啟動及管理機制係統計該路段於歷次致災之降雨事件中各降雨延時累積雨量(10 分鐘、1 小時…24 小時)之特徵值，律定為行動值參考，而考量各路段不同之交通量特性及動員所需時間，往前律定警戒值與預警值。

依據交通部公路總局 101 年封橋封路標準作業程序〈SOP〉，其警戒與封路時機時機如下：

1. 警戒時機

列為重點監控橋梁之警戒時機：中央氣象局發布陸上颱風警報，或河川上游特徵雨量站之觀測雨量達設定值，或橋梁現場觀測水位達設定值。而列為重點監控之道路路段之警戒時機：中央氣象局發布陸上颱風警報，或達養護單位擬定之水情（水位或雨量），或特徵雨量站之觀測雨量達設定值。

2. 封橋時機

列為重點監控橋梁之封橋時機為：(1)河川上游特徵雨量站之觀測雨量達設定值，經現場或其他方式確認後(優先考量）。(2)橋梁現場觀測水位達(封橋水位)設定值。

3. 封路時機

封路之時機，經巡查或通報有下列狀況之一者執行。

(1)公路因災害或無預警發生路基缺口或路基下陷且有擴大之虞時。

(2)公路邊坡發生落石坍方且有擴大之虞時。

(3)發生強烈地震且產生災情阻斷交通時。

(4)預警性封路：重點監控路段觀測雨量值達到降雨觀測指標設定之累積降雨量行動值，並經現地或其他方式確認時。

(5)預警性封路：重點監控路段連續數日之觀測累積雨量達警戒值，若考慮前期降雨因素影響，得於未達行動值前進行封路。

(6)預警性封路：若中央氣象局發布預測雨量達重點監控路段設定之行動值且於夜間路況不明時。

(7)中央氣象局發佈海嘯警報，為維護警報區域路段行車安全時。

(8)其他經公路養護單位評估有危害用路人安全之虞時。

交通部公路總局 102 年 8 月公布之一級監控路段與二級監控路段彙整表資料經整理後，針對本研究之台 24 線與台 9 線蘇花公路山區路段之預警值、警戒值與行動值如表 9-1

表 9-1 研究區內交通部公路總局 102 年 8 月公布之一、二級監控路段預警值、警戒值與行動值一覽表

工務段	監控分級	路段	參考雨量站	預警值		警戒值		行動值	
				1 小時雨量	24 小時雨量	1 小時雨量	24 小時雨量	1 小時雨量	24 小時雨量
潮州工務段	一級	臺 24 線伊拉溪底便橋(32K+890)	阿禮，上德文	40	200	45	250	50	300
	二級	臺 24 線伊拉~阿禮(29K+000~48K+250)路段	阿禮，上德文	45	250	50	300	60	300
南澳工務段	一級	臺 9 線蘇澳~東澳(104K+600~120K)	和中	34	111	43	170	43	272
		臺 9 線南澳~和仁(130K~167K+123)	慈恩	40	130	50	200	50	320
		臺 9 線和仁~崇德(167K+500~179K+100)	布洛灣						
	二級	臺 9 線東澳~南澳(120K~130K)	東澳，烏石鼻						

單位：mm

本研究之警戒基準值亦依據公路總局之預警、警戒、行動三階段之劃分方式，再依據流動與滑動兩類災害進行全路段之警戒值律定(表 9-2、9-3)。而後續再依據各路段之地文因子進行各路段。

就整個路段的降雨基準而言，初步結果顯示本研究臺 9 線流動型災害降雨基準與公路總局之行動值接近，而滑動型災害降雨基準與則較公路總局之預警值為保守(低)。而在臺 24 線方面則顯示本研究之預警值低於公路總局之預警值，行動值高於公路總局之行動值的現象。因本研究需同時到達 1 小時雨量與總累積雨量值之警戒值才符合警戒之要件，而研究成果與公路總局目前之降雨基準結果可互為參考。

而各路段之降雨基準，則再依據本研究利用證據權重法分析之坡致災因子、誘發因子分析與修正方法進行降雨基準行動值之調整，以建立各段之預警、警戒、行動基準。相關成果如第五章所示。

表 9-2 研究區內臺 9 線山區道路降雨基準一覽表

流動型災害	預警值		警戒值		行動值	
	1 小時雨量	累積雨量	1 小時雨量	累積雨量	1 小時雨量	累積雨量
北部路段(蘇澳~南澳)	預估雨量超過行動值		30	180	50	300
中部路段(南澳~和平)	預估雨量超過行動值		23	140	30	330
南部路段(和平~富世)	預估雨量超過行動值		18	125	25	170
滑動型災害	預警值		警戒值		行動值	
	1 小時雨量	累積雨量	1 小時雨量	累積雨量	1 小時雨量	累積雨量
北部路段(蘇澳~南澳)	預估雨量超過行動值		30	160	50	200
中部路段(南澳~和平)	預估雨量超過行動值		23	140	30	250
南部路段(和平~富世)	預估雨量超過行動值		18	125	23	270

單位：mm

表 9-3 研究區內臺 24 線山區道路降雨基準一覽表

災害類型	預警值		警戒值		行動值	
	1 小時雨量	累積雨量	1 小時雨量	累積雨量	1 小時雨量	累積雨量
流動型災害	預估雨量超過行動值		30	150	35	350
滑動型災害	預估雨量超過行動值		30	150	35	400

單位：mm

9.2 山區道路監測預警管制技術研發

本研究以開放式資料(Open data)概念、結合氣象局 QPESUMS 之降水預報產品，並參考港研中心於 2011 年之計畫「河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究」之降水修正結果，自動進行降雨量與各路段之降雨警戒值比對，最後則以開放及跨平台方式進行監測預警管制成果之供應與展示。

9.2.1 監測預警資訊展示方法

1. 成果展示規劃

依據「行政院及所屬各級機關政府資料開放作業原則」之第二條規定-政府資料開放之範圍，為各機關於職權範圍內取得或做成，且依法得公開之各類電子資料，包含文字、數據、圖片、影像、聲音、詮釋資料(metadata)等。因此本研究以 Google Earth KML 檔格式與 OGC(Open Geospatial Consortium，開放式地理空間協會)的 WMS(Web Map Services，網路地圖服務)網路服務對外進行供應，將前期計畫之監測預警管制成果進行展示。

Google Earth KML 與 WMS 皆為開放格式，且為 OGC 公布之空間資料標準之一，目前國內政府雲中大部分皆有支援讀取 KML 與 WMS 格式的能力(表 9-4)，因此在目前大部分政府的雲端系統中皆可透過網際網路鏈結，取得本研究以 SOA 網路服務架構提供之 KML 或 WMS 檔案，並進行即時之資料結合展示。

同時包括交通部公路總局、經濟部水利署、行政院農委會水土保持局等單位皆以 KML 檔對外供應業務範圍內之災情資訊(圖 9.2)，而一般民眾可自行在個人裝置上開啟與其他資訊疊合展示。

表 9-4 國內政府雲支援 KML 檔統計一覽表

政府雲名稱	支援格式	建置單位	網址
SafeTaiwan	KML	交通部公路總局	www.safetaiwan.tw
政府開放資料平台	KML	行政院研究發展考核委員會	data.gov.tw
災害防救業務雲端服務	KML/WMS / WFS	內政部消防署	尚未建置完成
TGOS 國土資訊圖資服務平台	WMS	內政部資訊中心	tgos.nat.gov.tw
災防管理與決策雲端資訊服務計畫	KML/WMS	國家災害防救科技中心	該單位內部系統

註：KML(Keyhole Markup Language)、WMS (Web Map Services)、WFS(Web Feature Services)

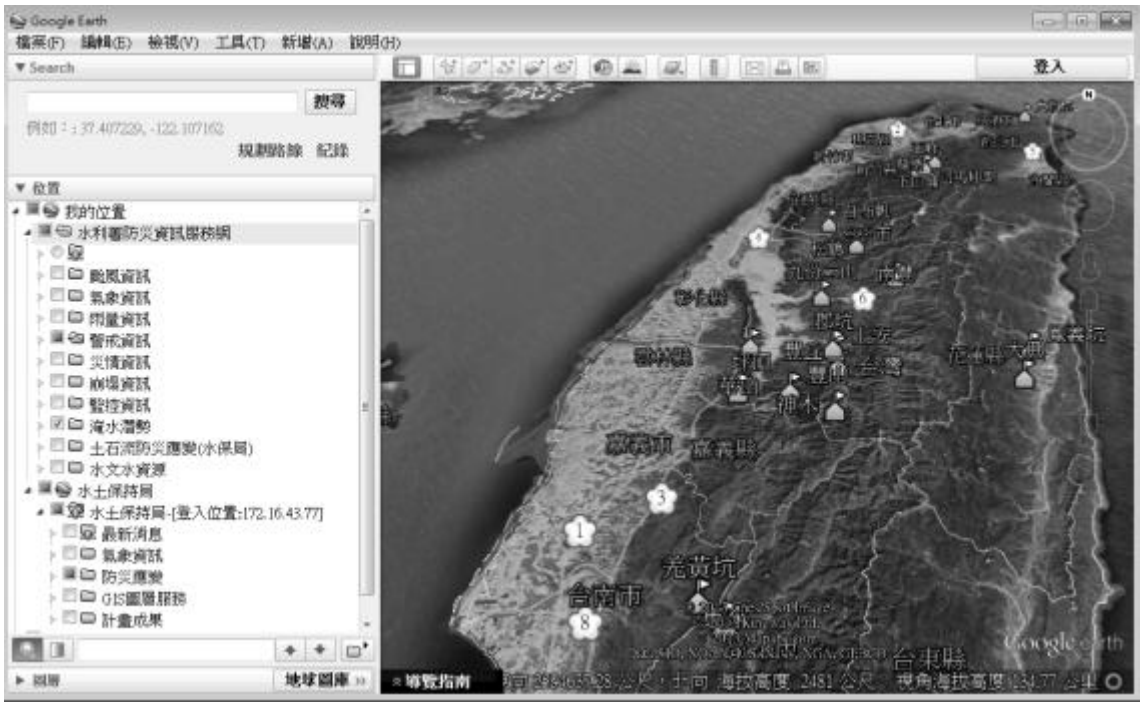


圖 9.2 以 KML 檔展示災情資訊狀況圖(以水利署及水土保持局為例)

2. 成果展示流程

針對監測預警管制成果展示流程，本研究採氣象局 QPESUMS 之降水預報產品結合港研中心相關計畫之降水修正結果為監測預警管制之研判依據，此方式具備低成本及廣域監控之能力。而主要之方法流程(圖 9.3)包括氣象局 QPESUMS 雨量介接、自動警戒狀況研判與更新以及警戒狀況與成果即時供應三部分，而整個監測預警管制系統則建議放置於港灣技術研究中心雲端主機中，茲將規劃之監測預警管制方法與流程說明如下：

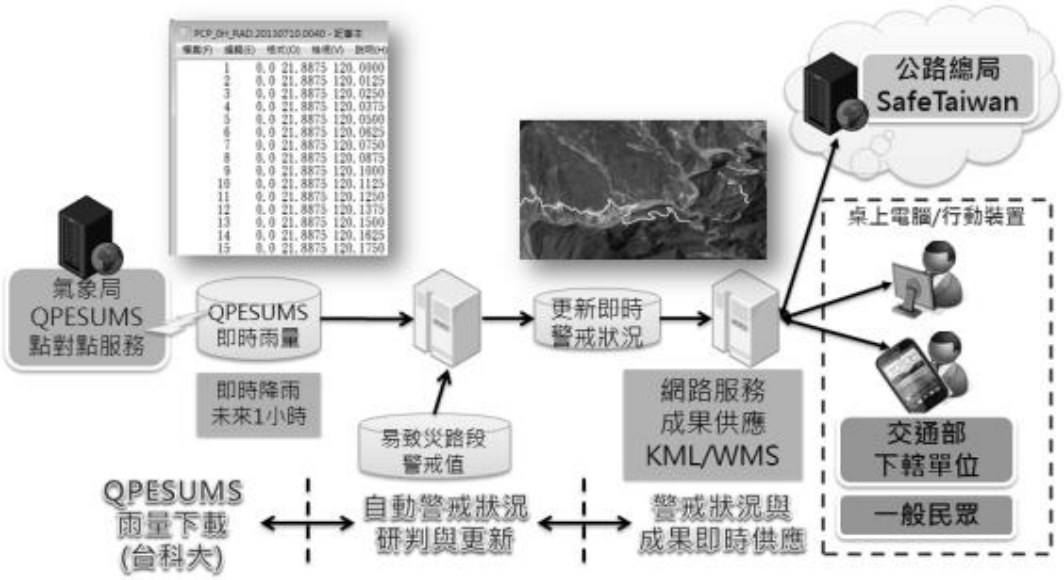


圖 9.3 監測預警管制方法與流程圖

3. QPESUMS 雨量下載

本研究採氣象局 QPESUMS 降水預報產品（表 9-5）進行監測預警管制之研判之依據，QPESUMS 雨量為中央氣象局點對點與劇烈天氣監測系統之雨量資料，為規則網格式資料，空間解析度約為 1.25 公里，時間解析度為 10 分鐘，可涵蓋臺灣本島區域。目前港灣技術研究中心已委託臺灣科技大學接收 QPESUMS 雨量資料，無須再向中央氣象局申請，可立即進行資料連線使用，而本研究直接連線至臺灣科技大學 FTP 網站，取得 1 小時雨量資料與未來 1 小時之預報雨量資料進行後續之基準自動比對判釋。自臺灣科技大學取得之

QPESUMS 雨量為 X、Y、Z 文字檔格式，此格式資料可立即透過程式進行解讀，無須再經格式轉換。

表 9-5 QPESUMS 系統降雨資料規格

QPESUMS 降雨資料資料規格	說明
資料格式	二進位(Binary)資料
座標系統	WGS84(大地座標系統)
時間解析度	10 分鐘
空間解析度	1.25 平方公里
資料儲存方式	檔案形式

4. 自動警戒狀況研判與更新

集水區雨量擷取服務之概念係透過由易致災路段所在上方集水區與由 WCS 發布之 QPESUMS 雨量網格進行集水區內降雨資料之區域統計（Zonal Statistics）（圖 9.4），以取得各集水區內雨量之平均、最大、最小與標準差之數值。取得集水區之平均雨量後，再透過程式與降雨警戒值進行自動比對，而台 24 線與台 9 線各路段之預警、警戒、行動基準等降雨警戒值如表 9-4 及表 9-8 所示。

若易致災路段上游集水區之雨量狀況超過預警值，則易致災路段將列為”黃色注意”，若超過警戒值則易致災路段列為”橘色警戒”，，若超過行動值則易致災路段列為”紅色行動”（圖 9.5），。比對完成後，將比對結果寫入對外供應之 KML 檔案中（圖 9.6）。

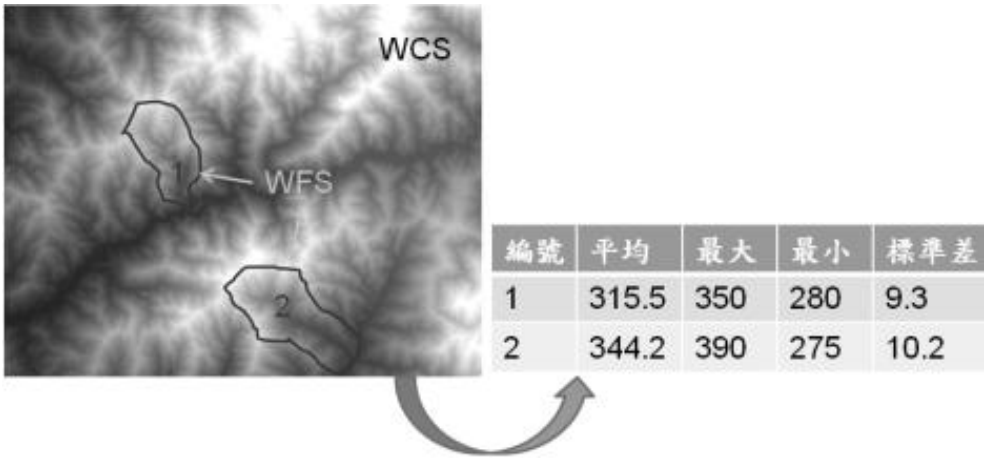


圖 9.4 集水區雨量擷取服務概念圖

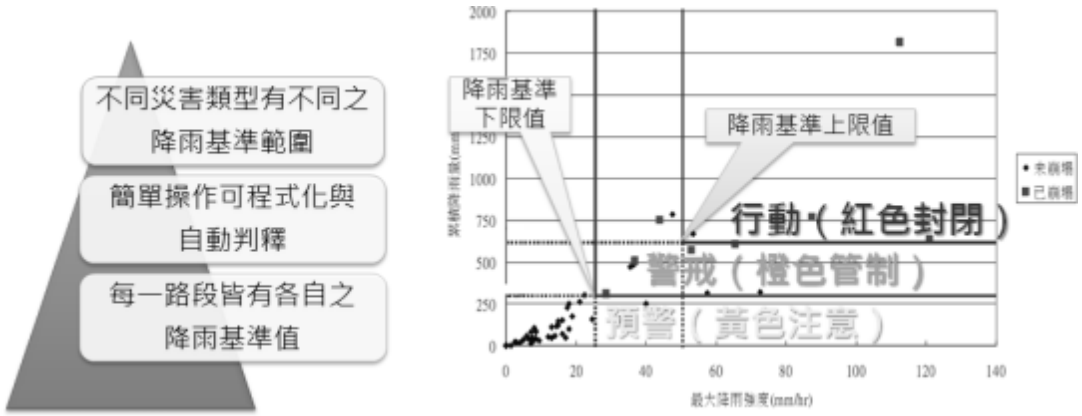


圖 9.5 集水區雨量擷取服務概念圖

```
<table style="font-family:Arial,Verdana,Times;font-size:12px;">
<tr><td>ROADNAME</td><td>台 24</td></tr>
<tr bgcolor="#D4E4F3"><td>主要災害類型</td><td>岩屑崩滑</td></tr>
<tr><td>起點里程數</td><td>36K+210</td></tr>
<tr bgcolor="#D4E4F3"><td>終點里程數</td><td>36K+320</td></tr>
<tr><td>累積雨量基準</td><td>300</td></tr>
<tr bgcolor="#D4E4F3"><td>時雨量基準</td><td>30</td></tr>
<tr><td>警戒狀態</td><td>紅色行動</td></tr>
<tr bgcolor="#D4E4F3"><td>目前時雨量</td><td>40</td></tr>
<tr><td>目前累績雨量</td><td>500</td></tr>
</table>
```

圖 9.6 易致災路段 KML 檔案記錄狀況圖

9.2.2 監測預警成果展示

本研究之警戒狀況成果 shape 檔，以開放源碼(open sourece)之網際網路地理資訊系統軟體 GeoServer(http://geoserver.org/)發布，對外提供 KML 檔案下載與 WMS 服務連結。如圖 9.7 為本研究之警戒狀況結果於 Google Earth 開啟的結果，畫面左上角可顯示警戒狀況圖例，地圖區可顯示各易致災路段之警戒情形，而點選易致災路段後可展示出該路段之警戒值與目前之雨量狀況。而透過 Google Earth(圖 9.8)亦可疊合其他單位之防災資訊，以進行綜合災情分析研判。



圖 9.7 警戒狀況成果即時供應畫面圖

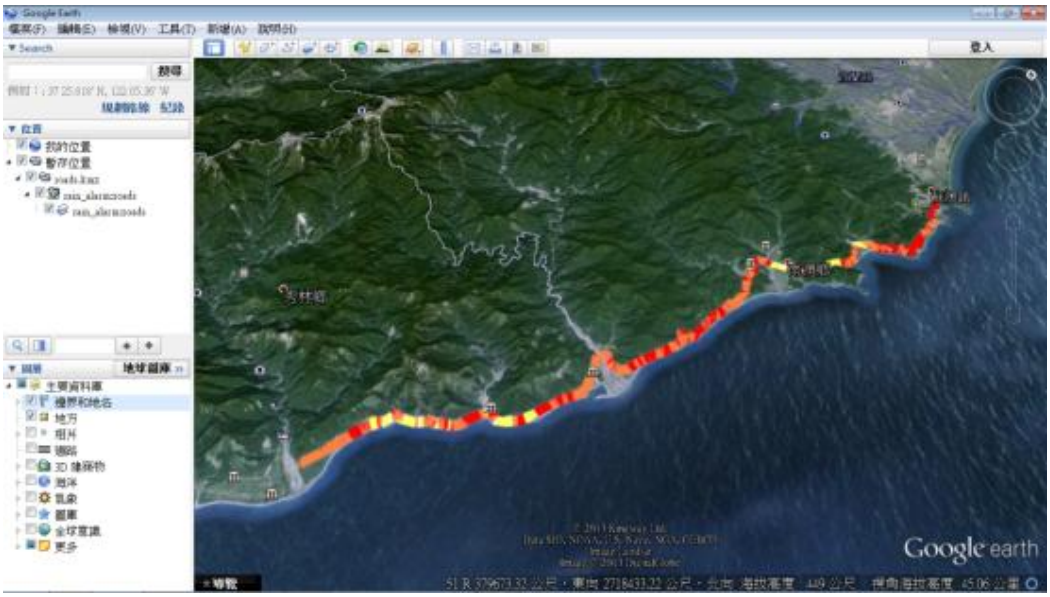


圖 9.8 警戒狀況成果疊合 Google Earth 圖

此方式可提供包括其他政府單位之雲端系統介接或供交通部下轄單位與一般民眾透過手持裝置與桌上型電腦連線下載觀看，此一架構可提供跨平台機制，以達開放與資料共享之目標。

本研究之監測預警管制成果除透過委託單位之通報機制，提送符合通報機制規劃之通報成果外，另以網路服務方式對外提供 KML 檔案下載與 WMS 服務連結，因此在成果展示部分可將本研究之成果連結送交防災相關單位使用，各單位可自行加入本成果，進行山區道路基本資料查詢與即時警戒狀況瀏覽，並疊合各單位自有圖資進行輔助決

策研判，以達防災開放資料與成果共享的目標。

以交通部公路總局之 SafeTaiwan 平台為例，如圖 9.9，透過該平台可匯入本研究提供之監測預警管制成果 KML 檔案，同時可疊合農航所、公路總局、水保局、國土資訊系統等圖資，進行整合展示，於此開放資料供應之架構下，除無須面臨圖資轉檔與系統介接整合問題，同時更可擴大本研究之成果效益。



圖 9.9 以交通部公路總局 SafeTaiwan 平台展示監測預警管制成果圖

9.3 山區道路監測預警管制作業研擬

由本研究自動警戒分析研判後，可得到各路段之即時警戒狀況圖。時同時本研究針對易致災路段調查結果，可依路段之安全等級，擬定適當之管制作為。以下就山區道路監測預警管制路段劃分與管制作業進行說明：

9.3.1 山區道路監測預警管制路段劃分

山區道路監測預警管制路段共劃分為臨時避難路段與警戒管制及封路路段兩類，其劃分原則如下：

1. 以安全路段且有收容所路段為臨時避難路段
2. 以最鄰臨時避難路段之前後路段為警戒及封路路段

本研究調查出相對安全路段同時選定具備收容所路段，作為臨時避難路段。當臨時避難路段間之任一路段雨量到達警戒值或行動值時，臨時避難路段間之各路段皆視為警戒或行動狀態，即應進行警戒管制與封路行動等作為，管制人車往臨時避難路段撤離與安置(圖 9.10)。

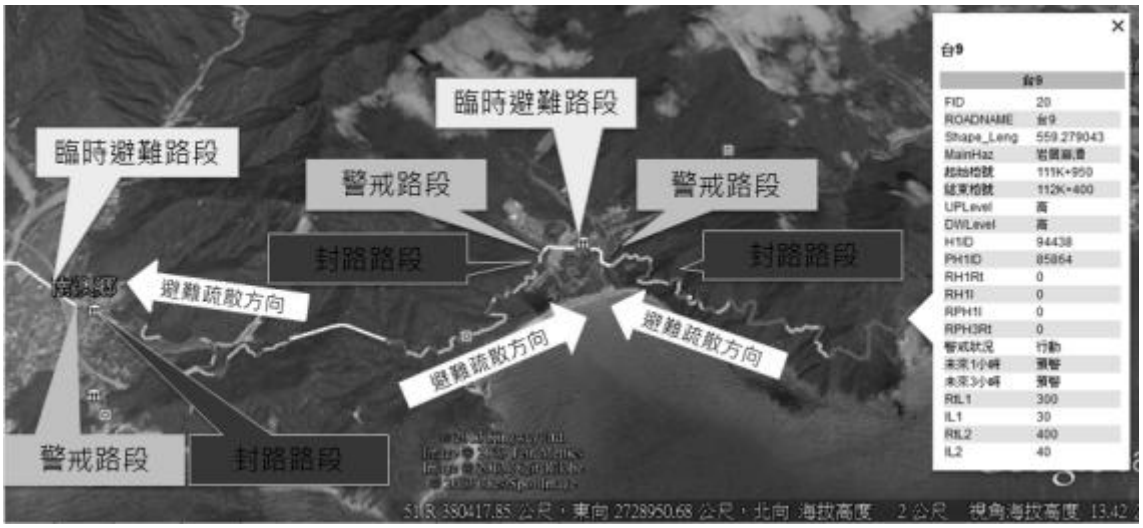


圖 9.10 山區道路監測預警管制作為規劃圖

本研究已完成台 9 線與台 24 線之臨時避難路段選定，其結果如圖 9.11~9.12。

臨時避難路段	起始樁號	結束樁號
東澳	119K+200	120K+450
南澳	131K+000	132K+600
澳花	154K+750	156K+150
和仁	164K+600	166K+000



圖 9.11 台 9 線蘇花公路段臨時避難路段選定成果圖

臨時避難路段	起始樁號	結束樁號
三地門	20K+950	23K+085
伊拉	34K+060	34K+650
霧台	40K+760	41K+820
阿禮	49K+115	49K+440

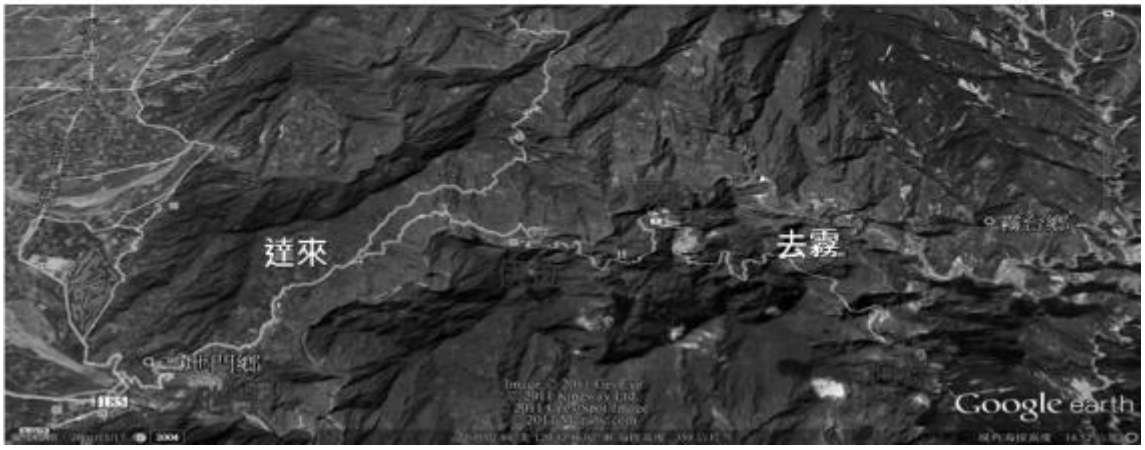


圖 9.12 台 24 線山區道路段臨時避難路段選定成果圖

9.3.2 山區道路監測預警管制作業

依據上述預警管制路段劃分結果，本研究建議山區道路監測預警管制作業，共分為預警（黃色注意）管制作業、警戒（橙色管制）管制作業與行動（紅色封閉）管制作業三部分，其管制作為分述如下：

1. 預警（黃色注意）管制作業

當氣象局之預報雨量值超過本研究之預警值時，工務段現場人員將立即取得系統提供之相關資訊，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。並依「交通部公路總局公路重大災害緊急應變作業要點」辦理行政通報。

2.警戒（橙色管制）管制作業

當氣象局之雨量值超過臨時避難路段間任一路段之警戒值時，工務段現場人員將立即取得系統提供之相關資訊，現場人員則選定最近之臨時避難路段，勸導用路人至該路段進行臨時避難，減少路段車輛行駛，同時布設阻絕及警示設施，防止用路人誤闖。並通報

地方政府、當地派出所及管制站人員對現場進行管制。並依「交通部公路總局公路重大災害緊急應變作業要點」辦理行政通報。

3. 行動（紅色封閉）管制作業

當降雨持續，導致臨時避難路段間任一路段達行動值時，現場人員接收系統提供訊息後，選定最近之安全路段為封閉路段實施封路管制，禁止人車進入封閉路段，並引導人車視狀況至臨時避難路進行緊急避難或行走路況良好的替代道路。並依照「交通部公路總局公路重大災害緊急應變作業要點」規定辦理行政通報。

第十章 資料庫建置成果展現

10.1 資料庫建置

本案之研究主要為山區道路易致災路段調查評估、風險分析之成果，為使計畫成果能提供後續系統建置之使用並進行成果展現，因此本研究將具空間資訊之成果建置成空間資料庫，以供後續計畫與相關單位之使用。而空間資料庫建置項目(如表10-1)主要為基本資料、地質資料與災害資料。基本資料包括水系、道路、子集水區與坡面單元，地質資料則包括地層與構造，而災害資料則包括山崩潛感、環境地質敏感區、山崩目錄、易致災路段、重大災害案例與大規模崩等。而上述之shapefile格式本研究另轉存成KML格式以供後續資料之整合應用所需。

表 10-1 空間資料庫建置項目一覽表

資料類型	資料名稱	資料格式	資料類型	資料筆數
基本資料	水系	shapefile	多邊形	3,375
	道路	shapefile	線段	298
	子集水區	shapefile	面	1,261
	坡面單元	shapefile	面	618
地質資料	地層	shapefile	面	7
	構造	shapefile	線段	7
災害資料	山崩潛感	raster	網格	15
	環境地質敏感區	shapefile	面	551
	山崩目錄	shapefile	面	15
	易致災路段	shapefile	線段	306
	重大災害案例	shapefile	點	41
	大規模崩塌	shapefile	面	6

其中易致災路段為本研究主要之成果圖資，於屬性資料中(表10-2)紀錄本研究各項分析成果包括:路線起迄樁號、主要災害類型、山崩潛

感值、所在地形區位、災害發生區位、重大災害案例簡述、易致災路段危險度評估、降雨警戒基準與災害風險評估值等。

表 10-2 易致災路段圖層欄位規劃表

檔案名稱		資料名稱	易致災路段
屬性欄位說明			
欄位代號	欄位名稱	格式	說明
ID	路線編號	C(10)	例: T24_001
FNode	路線起始樁號	C(10)	例:30K+500
TNode	路線終止樁號	C(10)	例:31K+300
HazType	主要災害類型	C(10)	岩屑崩滑、順向坡、岩體滑動 落石、土石流、河岸侵蝕 蝕溝、安全路段
SP	山崩潛感值	C(10)	高、中、低
TLoc	所在地形區位	C(20)	陡坡地形、鄰河階陡坡、緊鄰河岸、舊山崩凹谷狀地形、順向坡扇狀地、河階台地
HLoc	災害發生區位	C(10)	上邊坡、下邊坡、全坡面
HazDesb	重大災害案例簡述	C(255)	
DLevel	易致災路段危險度評估	Date	高、中、低
RainThrd	降雨警戒基準	N(4.1)	例: 400mm
S	災害潛感	N(6.3)	0~1
L	災害損失程度	N(6.3)	0~1
P	災害發生機率	N(6.3)	0~1
R	災害風險值	N(6.3)	0~1
DDate	資料建置日期	Date	符合西元年yyyymmdd格式

10.2 成果圖製作

本研究之成果圖包括道路山崩潛感圖、道路環境地質敏感區圖與道路風險圖，以1:5000比例尺A1尺寸製作，成果範例如圖10.1~10.3。

圖號：97222085　省道台9線易致災路段山崩潛感圖

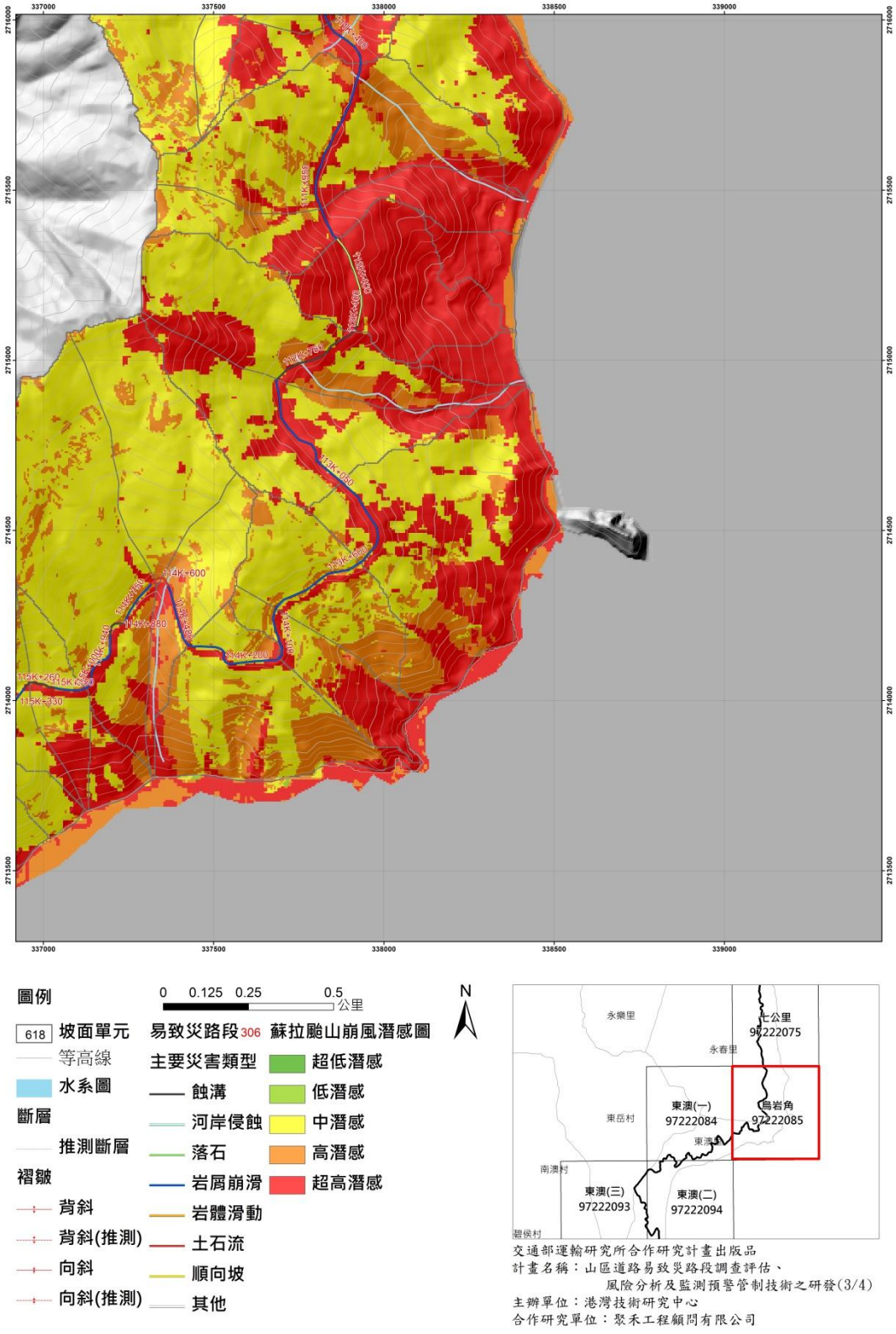


圖 10.1 台 9 線道路山崩潛感圖範例

圖號：97222085　省道台9線道路環境地質敏感區圖

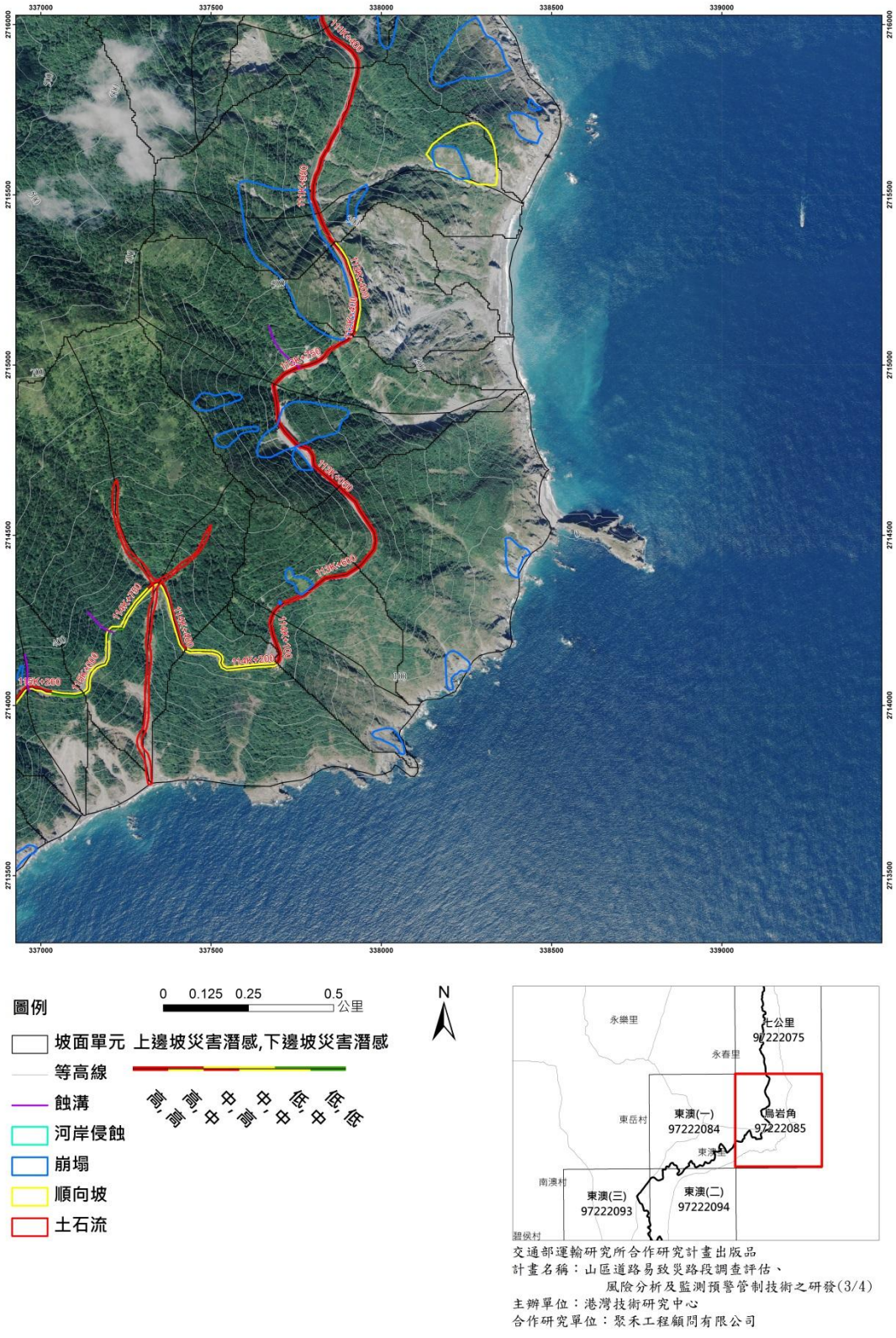


圖 10.2 台 9 線道路環境地質敏感區圖範例

圖號：97222085　　**省道台 9 線道路風險圖**

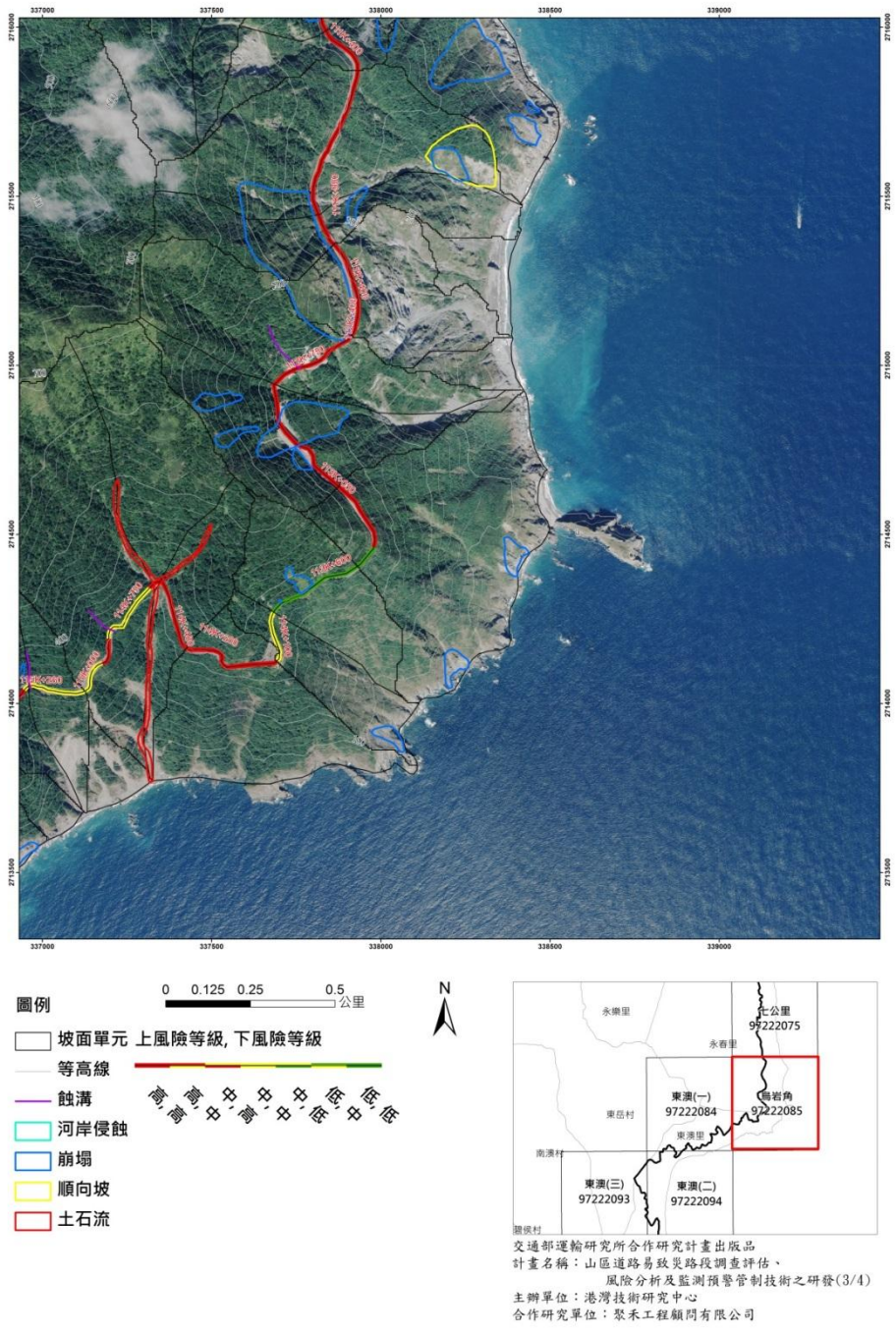


圖 10.3　台 9 線道路風險圖範例

第十一章 結論與建議

臺灣受季風氣候影響及位處地震帶，颱風與地震頻傳，橋梁飽受各種天然災害侵害，如地震、颱風及材料劣化等。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫。如何評估現有橋梁之健康度，進而計算不同時間點進行維護之延壽與經濟效益是迫切的課題。

在山區道路方面以台9線宜蘭縣蘇澳鎮路段(106K+000)至花蓮縣秀林鄉路段(182K+000)山區道路為研究對象，進行山區道路山崩等災害目錄建置、災害潛感分析、潛在大規模滑動區位判釋與重大災害案例蒐集等工作，以大尺度之坡面單元與小尺度之工程或排水狀況，進行山區道路易致災路段劃分，並探究其致災因子、危害度與損失程度等，同時進行各易致災路段之災害風險分析，進而依據各種災害類型與風險等級檢討現行道路監測預警架構，提出創新構思與監測管理、養護巡察與預警措施，以提高國內山區道路整體安全的使用。

本研究所獲致之結論與建議詳列如後。

11.1 結論

1. 本研究針對三座橋梁之現地調查結果，進行細部評估分析，其結果與橋梁維修預測模式相近。
2. 依機率事件模擬可能發生之風險，評估橋梁將遭遇之災害頻率及強度。了解橋梁在生命週期中可能造成的影響程度，橋梁管理單位能有效掌握橋梁狀況與風險排序，並結合維修成本之評估，可在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。
3. 本研究導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁維修策略最佳化模式，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得維修經費。
4. 建置風險評估程式，橋梁管理單位可以實際狀況更新本研究所定義

之風險參數，程式將依此進行風險評估計算，降低維護更新之人力及經費所需。

5. 本研究針對單一橋梁建議維修策略，進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強。在有限維護經費下考量最佳經濟效益，研擬最適維護時間與工法策略。

6. 易致災路段劃分，將蘇花公路山區道路自蘇澳至崇德路段劃分為306段。其中有145個路段以岩屑崩滑為主、6個路段以岩體滑動為主、48個路段以土石流為主、51個路段以蝕溝為主、43個路段以落石為主、13個路段則無顯著災害(大型橋樑或隧道路段)。易致災路段之災害潛感分析，結果顯示災害潛感高者共有141個路段、災害潛感中者共有116個路段、災害潛感低者則有49個路段。

7. 本研究分別根據不同路段以及其致災類型不同，進行各坡面單元區域平均降雨強度及累積雨量的統計，推估出台9線與台24線之滑動災害類型及流動災害類型降雨參數上下限值。就整個路段的降雨基準而言，結果顯示本研究臺9線流動型災害降雨基準與公路總局之行動值接近，而滑動型災害降雨基準與則較公路總局之預警值為保守(低)。而在臺24線方面則顯示本研究之預警值低於公路總局之預警值，行動值高於公路總局之行動值的現象。

7. 本研究採氣象局QPESUMS之降水預報產品結合本所相關計畫之降水修正結果為監測預警管制研判依據，此方式具備低成本及廣域監控之能力。

11.2 建議

本節根據本期末報告之研究成果，提出未來發展之建議事項：

1. 本報告研究範圍僅限於鋼筋混凝土橋梁，未來可將其他形式之橋梁加入探討範圍。

2. 在此針對單一座橋梁進行維護策略最佳化之評選。然而，在考量公路橋梁管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與維護之作

業，因此如何針對群體橋梁進行預算分配及經費評估，並依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作，是一發展方向。

3. 採用坡面單元結合地質敏感區與現地工程及排水狀況進行易致災路段劃分，各路段具相近物理特性與災害發生機制，有利於掌握災害特性、進行預警、管制等對策研擬。後續建議選定其他省道之山區道路路段，持續利用本方法進行劃分並逐步進行方法修正，以提升劃分方法之適用範圍。
4. 山區道路災害發生之降雨基準會隨的潛在因子的改變而變化，尤其是距離前期災害發生時間，攸關道路再次發生災害的機會，因此建議各山區路段完成降雨基準律定後，應逐年修正及更新，以符合路段現況，同時提升降雨警戒基準之精度。

11.3 研究成果之效益

1. 採用坡面單元結合地質敏感區進行易致災路段劃分，此方法可清楚界定各易致災路段的範圍、主要災害類型與災害特性、警戒基準與風險估算。
2. 完成山區道路之災害風險評估模式，可提供路管單位於提前應變措施參考。
3. 本研究導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁維修策略最佳化模式，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得維修經費。

11.4 提供政府單位應用情形

1. 本計畫結合災害潛勢、發生機率與災損成本等因子，完成山區道路之災害風險評估模式，可提供公路總局等路管單位於提前應變措施參考。
2. 在橋梁壽齡研究成果，實務上在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費，在施政上可提供交通部、橋梁管理單位在研擬橋梁維護與補強策略之參考。

參考文獻

1. 公路總局養護手冊，2012
2. 交通部，公路養護規範，2003。
3. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華科技圖書，2000。
4. 臺灣地區橋梁管理資訊系統 Taiwan Bridge Management System (TBMS) ,http://office.eclipse-tech.net/bms2/
5. 鄭明淵等，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(2/4)，交通部運輸研究所，2012。
6. 陳永銘、許阿明，臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度，臺灣公路工程 34 卷，2008。
7. Woodward R J, Bridge Management in Europe “Review of current practice for assessment of structural condition”,1999.
8. 劉效堯、蔡鍵、劉暉，橋梁損傷診斷，人民交通出版社，2002。
9. 日本構造物診斷技術協會，混凝土構造物的健全度診斷技術開發報告書，1994。
10. 王仲宇、連惠邦、楊明德、李維峰，訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究 (第二次期中報告書)，2010。
11. 國道高速公路局橋梁檢測作業要點，交通部，2001。
12. 1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範，交通部，1997。
13. 周健捷、蔣偉寧、唐治平、董必正，機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用，研究報告，內政部營建署， 2000。
14. 沈永年、曾明生、鄭傳璋，橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例，第二屆鋪面工程師生研究成果發表會論文集，2001，第 135-144 頁。

15. 饒珉菘、陳俊杉、謝尚賢，應用無線技術於橋樑檢測管理之研究，第七屆中華民國結構工程研討會，2002。

16. 許文政、黃榮堯，橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2005。

17. 廖家禎，拱橋與π型橋目視檢測評估方法之研究，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2007。

18. 崔國強、林志明，橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例，臺灣林業，2008，第 14-24 頁。

19. 羅國峯、倪勝火、黃烟宏，應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測，臺灣公路工程，第 34 卷，第 5 期，2008，第 2-16 頁。

20. 陳昱源，應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究，碩士論文，成功大學土木工程學系， 2008。

21. 王仲宇，橋梁的健康診斷，科學發展，第 434 期，18 -23 頁，2009。

22. 中國土木水利工程學會，橋梁檢測方法與應用，科技圖書，2010。

23. 曾惠斌、鍾金龍，我國橋樑維護管理績效評估之探討，臺灣大學臺大工程學刊，2002。

24. 李有豐、謝尚賢，建立橋梁檢測制度方法及準則之研究，交通部運輸研究所，2002。

25. 王仲宇主編，橋樑安全維護檢測手冊(草案)，交通部，2002。

26. 張耀文，高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立，碩士論文，國立雲林科技大學營建工程系， 2004。

27. 延允中，橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，2004。

28. 楊振翰，臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究，碩士

論文，國立中央大學營建管理研究所，2004

29. 蔣偉寧、戴忠、莫若楫、唐治平，震後橋樑結構快速診斷手冊之建立與震後橋樑快速補強手段，行政院公共工程委員會，1999。

30. 張國鎮、蔡益超、張荻薇、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、洪曉慧、劉光晏、吳弘明、戚樹人、陳彥豪，公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究，報告編號:NCREE-09-028，國家地震工程研究中心，2009。

31. 邱毅宗、王俊穎、宋裕祺，考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強，第十屆中華民國結構工程研討會論文，2010。

32. 陳清泉，公路橋梁檢測評估，臺灣營建研究中心，1996。

33. 翁明全，震後橋梁補強方案經濟效益評估模式之研究，碩士論文，國立臺灣科技大學營建工程系，2005

34. Ko,C.H. , Computer-aided decision support system for disaster prevention hillside residents, MS thesis, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan,1999

35. Fukahori, K. and Kubota, Y., Consistency evaluation of landscape design by a decision support system, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering , 15(5), 342-354, 2000.

36. 吳育偉，物件導向演化式支持向量機推論模式於營建管理決策之應用，臺灣科技大學營建工程系，2007。

37. 公路總局，二工處省道橋梁耐震補強現地檢測及評估報告書第一冊(修訂四版)，2010。

38. 公路總局，二工處省道橋梁耐震補強現地檢測及評估報告書第二冊(修訂四版) ，2011。

39. 溫國樑、簡文郁、張毓文，最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，國家地震工程研究中心，2005。

40. 張毓文，場址特性分析及最大加速度衰減模式校正，碩士論文，國立中央大學，2002。

41. 詹皓凱，加速度地動潛勢預估，碩士論文，國立中央大學，2008。

42. 鄭明淵等，橋梁通阻檢測分析模式建立研究，交通部運輸研究所，2011。

43. Federal Highway Administration, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges,12, 1995.

44. 公路總局，二工處省道橋梁耐震補強現地檢測及評估報告書第三冊(修訂三版) ，2011。

45. 臺灣世曦，公路橋梁耐震能力評估即補強工程可行性研究，公路總局，2009。

46. 林俊豪，橋梁構件破壞狀態值預測及優選排序模式之研究，碩士論文，1999。

47. 陳俊仲，臺灣地區橋梁管理系統維護管理決策支援模組之建立-以公路總局為例，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2007。

48. 陳屏甫，國道預力混凝土橋與鋼橋生命週期成本評估個案之研究，中央大學碩士論文，2005。

49. 財團法人臺灣營建研究院，高速公路橋梁延壽評估及案例分析委託研究計畫，高公局，2004

50. 財團法人臺灣營建研究院，橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立 II，交通部，2003

51. 連夷佐，橋梁維護管理生命週期成本評估模式之研究，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2003。

52. 國震中心，公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究，港灣中心，2011。

53. 中興工程，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(1/4)，交通部運輸研究所，2011。

54. 黃榮堯、許鎧麟，橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立(2/2)，交通部，2003。

55. 林慧敏，社會成本問題之研究，大同商專學報，第六期，1993。

56. 許京穎，臺灣潛勢地震之發生機率評估，碩士論文，國立中央大學，2008。

57. 張國鎮 、張荻薇、 黃震興、 宋裕祺 、廖文義 、柴駿甫 、鄧崇任 、劉光晏、 洪曉慧 、陳長佑，公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究，國家地震工程研究中心，2007。

58. 交通部，公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究，交通部公路總局，2009。

59. 詹皓凱，加速度地動潛勢預估，碩士論文，國立中央大學，2008。

60. 許京穎，臺灣潛勢地震之發生機率評估，碩士論文，國立中央大學，2008。

61. 生態與防災工程研究中心，橋梁通阻檢測分析模式建立研究，交通部運輸研究所，2011。

62. 溫國樑、簡文郁、張毓文，最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，國家地震工程研究中心，2005。

63. 張國鎮 、張荻薇、 黃震興、 宋裕祺 、廖文義 、柴駿甫 、鄧崇任 、劉光晏、 洪曉慧 、陳長佑，公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究，國家地震工程研究中心，2007。

64. 高橋稔明、酒井通孝、関博、松島学，塩害環境下における RC 構造物の LCC 算定と補修工法選定システムの開発，コンクリート工學論文集，2005

65. 交通部，公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究，交通部公路總局，(2009) 。

66. Dan M. Frangopol, Industrial Short Course on Reliability Engineering 講義, 台灣科技大學, 2010,P47~100.

67. Woodward R. J., Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects,1999.

68. Kumar R., and Gardoni P., Sanchez-Silva M., Effect of cumulative seismic damage and corrosion on the life-cycle cost of reinforced concrete bridges, Earthquake Engineering and structural dynamics 38,2009,P887-905.

69. Ping Tserng H., and Chung Chin-Lung (2007), Health assessment and maintenance strategy for bridge management system: lessons learned in Taiwan, Journal of Infrastructure systems,2007/9, p235-246.

70. H. Ping Tserng, and Samuel Yen-Liang Yin, Chin-Lung Chung(2009), Maintenance Strategy for bridge components on the basis of performance, Journal of performance of constructed, p234-243,2009/7~8.

71. Huang, R. Y., Mao, I. S.(2010), Estimation of bridge life cycle maintenance costs using reliability-based model, ISARC , 2010, p450-460.

72. S. Das, V. K. Gupta,and V. Srimahavishnu, Damage-based design with no repairs for multiple events and its sensitivity to seismicity model, 2007.

73. Chien-Kuo Chiu, Analysis of Lifetime Losses of Reinforced Concrete Buildings Attacked by Corrosion and Earthquakes Using a Novel Method, 2012.

74. S. Das, V. K. Gupta, and V. Srimahavishnu, Damage-based design with no repairs for multiple events and its sensitivity to seismicity model, 2007.

75. Chien-Kuo Chiu, Analysis of Lifetime Losses of Reinforced Concrete Buildings Attacked by Corrosion and Earthquakes Using a Novel Method, 2012.

76. Jui-Sheng Chou , Chien-Kuo Chiu, Mahmoud Eid Farfoura, and Ismael Taharwee, Optimizing the Prediction Accuracy of Concrete Compressive Strength Based on a Comparison of Data Mining Techniques, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 25, No. 3, 2011, p242-253.

77. 行政院主計總處 http://www.dgbas.gov.tw/mp.asp?mp=1

78. ESRI, ArcGIS 9-Using ArcGIS Desktop 2006, Environmental Systems Res. Inst.

79. Keefer, D. K., 1984, "Landslides caused by earthquakes," Geol Soc Am Bull，Vol.95，pp. 406-421.

80. Varnes, D.J., 1984, "Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice".UNESCO Press, Paris, p. 63.

81. 水土保持局、中華水土保持學會，2005，「水土保持手冊-工程篇」。

82. 王安翔、林李耀、鳳雷及張智昌，2009，「2008 年颱風個案在嘉義縣市之雷達定量降雨」，天氣分析與預報研討會，臺北，202-207。

83. 交通部公路總局第三區養護工程處，2010，「台 24 線 24K~48K（三地門鄉達來村至霧臺鄉阿禮村）簡報」。

84. 行政院農業委員會水土保持局，2003，遙測技術在山崩地、土石流及坡地管理應用計畫，頁 3-5。

85. 李維峰、林秉賢、李漢鑑、連惠邦，2010，「山區道路崩塌風險前世評估-以台 14 線為例」，港灣報導。

86. 李秉乾、許盈松、董家鈞，2003，「山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發」，交通部。

87. 李秉乾、許盈松、許懷後，2004，「山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發」，交通部。

88. 呂冠德，2009，石門水庫上游集水區雨量監測站設置之探討，台灣大學生物環境系統工程學系碩士論文。

89. 何泰源，2006，「臺灣山區公路建設與環境保護之工程技術」，臺灣公路工程期刊，第 32 卷第 15 期。

90. 吳淵洵、周南山，2000，「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。

91. 林聖琪、王安翔、柯明淳、張智昌，2010，「雷達降雨估計資料應用坡地災害警戒模型」，2010 年中央氣象局天氣分析與預報研討會暨美華海洋大氣學會第五屆國際海洋大氣研討會。臺北市：交通部中央氣象局。

92. 林聖琪、柯明淳、陳韻如、陳聯光、周憲德，2009，「崩塌及土石流預警精進研究」，國家災害防救科技中心編號 NCDR 97-T18 技術報告。

93. 林慶偉，2010 ，「臺灣南部荖濃溪流域崩塌與土石流發生特性與觸發基準之研究 (II) 」，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。

94. 柯明淳、林聖琪，2011，「由崩塌地文敏感分級探討山區道路災害警戒應用」，臺灣公路工程，37:9。

95. 陳信雄，1995，山崩地調查與分析，渤海堂。

96. 陳進發，2010，「從橋梁之流域管理與山區公路之風險管理談公路總局之百年防汛」，臺灣公路工程第 37 卷第 6 期。

97. 陳儒賢、洪毓婷，2011，未設測站地點雨量頻率分析之研究，水保技術，第 6 卷第三期，pp.128-140。

98. 陳韻如、林聖琪、王俞婷、李宗融，2011，「山區道路崩塌災害潛感評估」，臺灣公路工程，第 37 卷」第 1 期，pp.5-24。

99. 陳薇伊，2011，克利金法即時修正大甲溪雷達估計降雨，國立成功大學水利及海洋工程系碩士論文。

100.黃安斌、林志平、董家鈞、廖志中、潘以文，2002，「道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制訂」，交通部研究計畫。

101.國家災害防救科技中心，2008，『精進颱洪災害應變預警技術技術報告』。

102.國家災害防救科技中心，2009，『颱洪災害風險評估方法之建立技術報告』。

103.蔡明君，2008，「以降雨特性研究阿里山公路邊坡崩塌預警管理」，成功大學土木工程學系專班學位論文(2008 年): 1-94。

104.鄭明淵，2007，「臺灣山區道路邊坡災害防治最佳化之研究---子計畫: 道路邊坡山崩潛感分析及災損風險評估(III)」，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫，計畫編號：NSC 96－ 2625－Z－011－002。

105.應用克利金法建立高解析度網格點氣象數據之研究，2009，交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告。

106.瀨尾克美、船崎昌継（1973），「土砂害(主に土石流的被害)と降雨量について」,砂防学会誌(新砂防)，26(２)(通卷 89 号)：pp.22-28.

107.蘇文瑞、蔡元芳、 林立偉、 陳怡臻，2010，「國民小學天然災害風險評估之研究 ─以土石流、洪水、地震為例」，華岡地理學報，第 25 期，pp. 21-35。

附錄一

山崩目錄建置成果

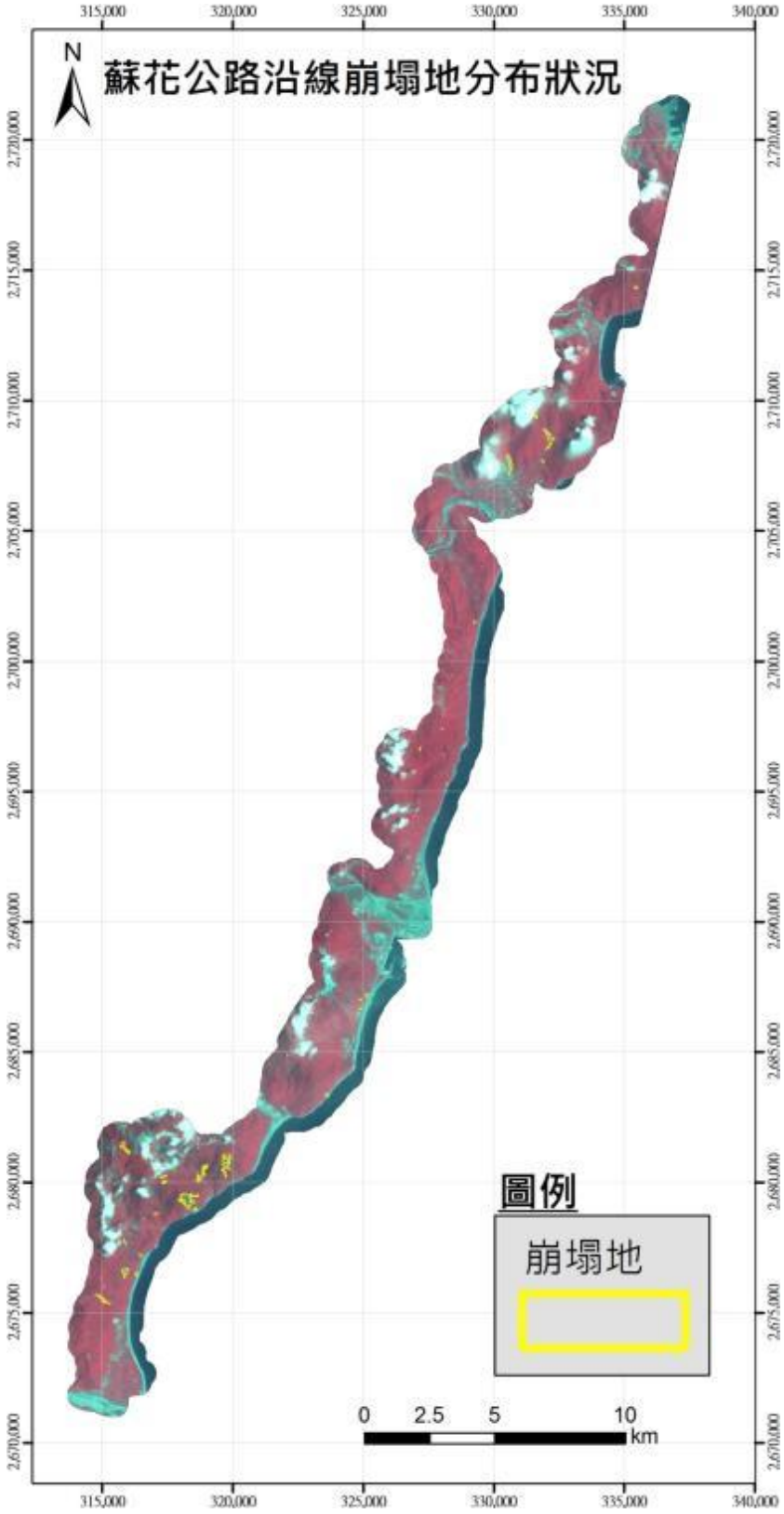


圖 1　0612 豪雨後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

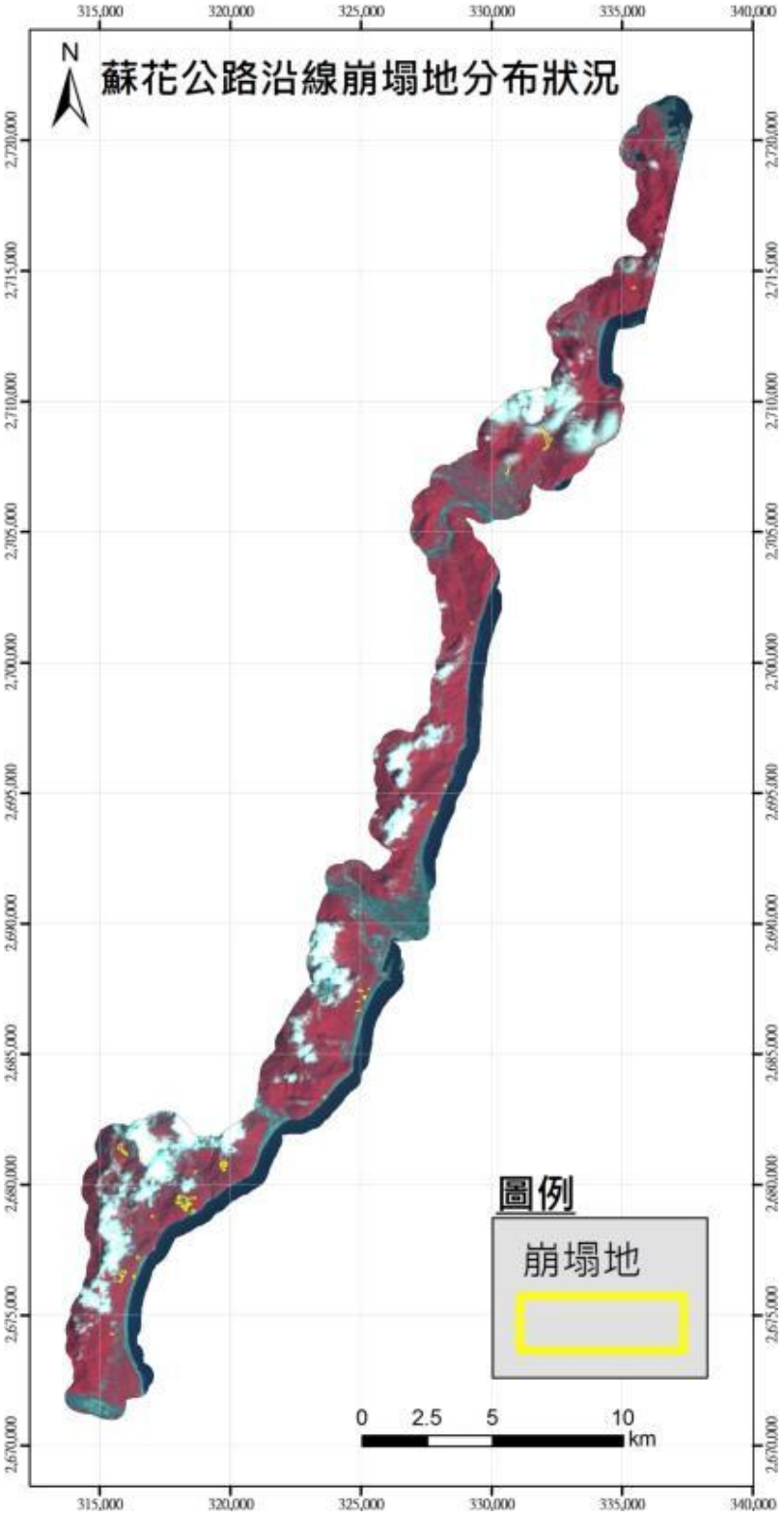


圖 2 馬莎颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

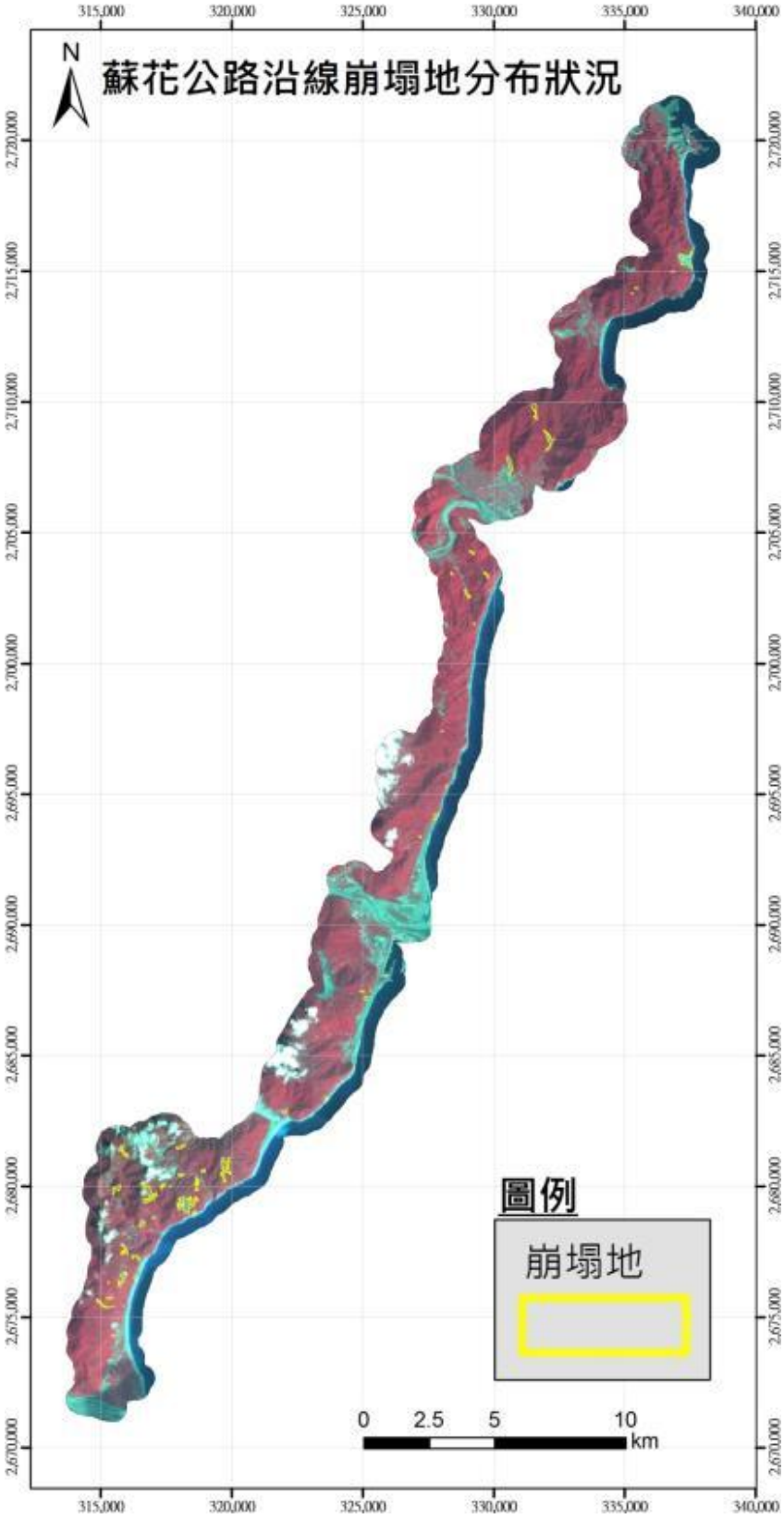


圖 3 泰利颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

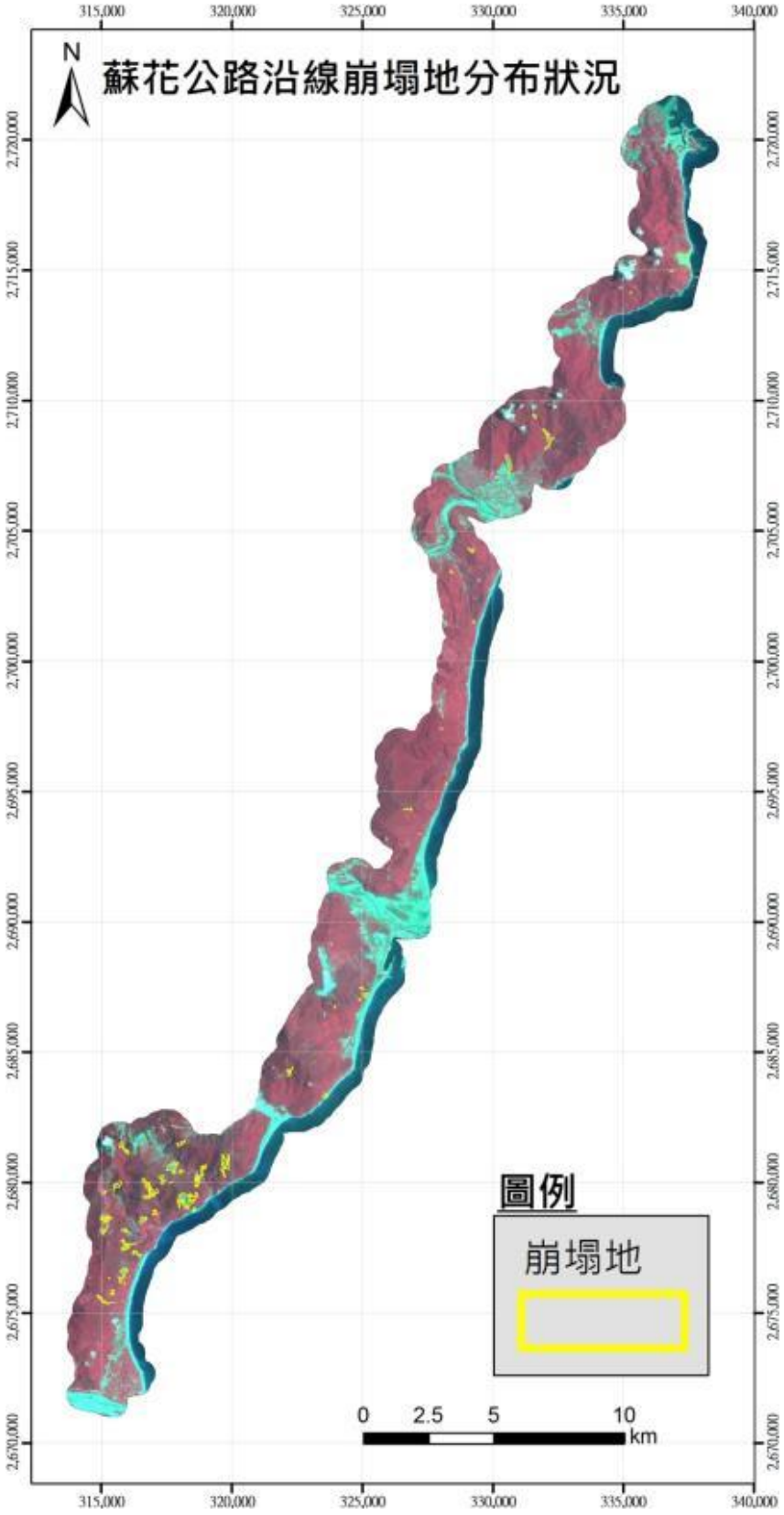


圖 4 0609 豪雨後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

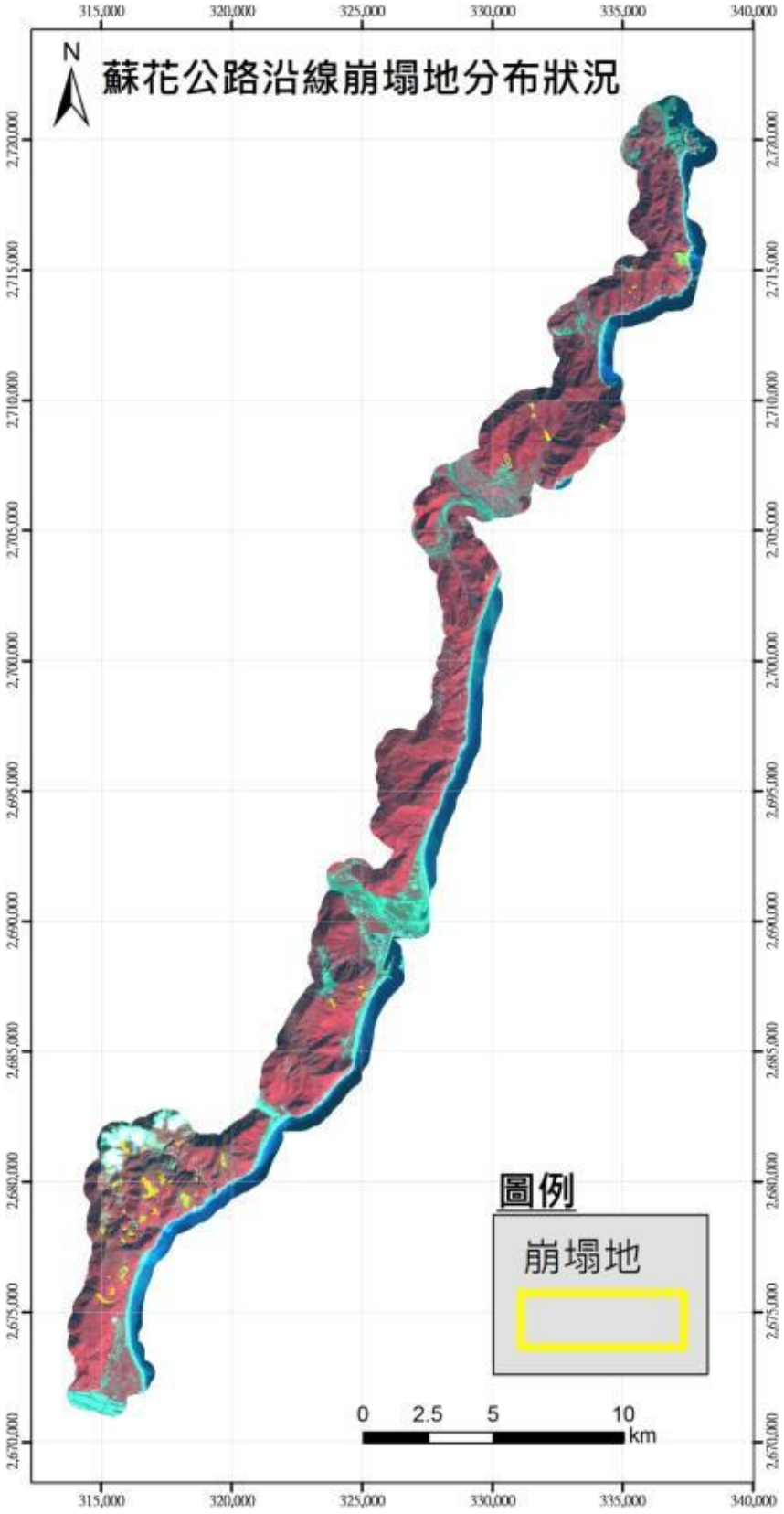


圖 5 凱米颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

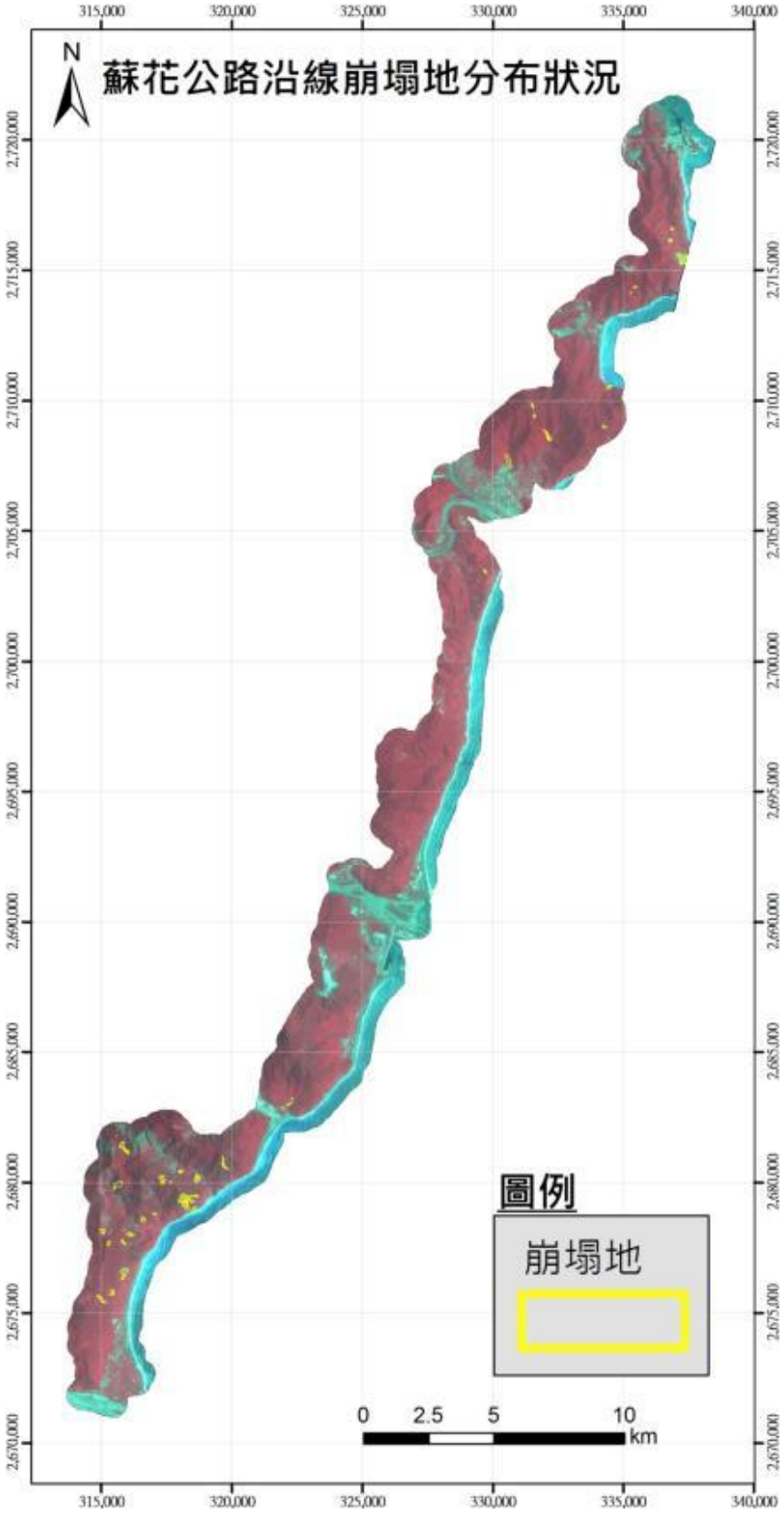


圖 6　0604 豪雨後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

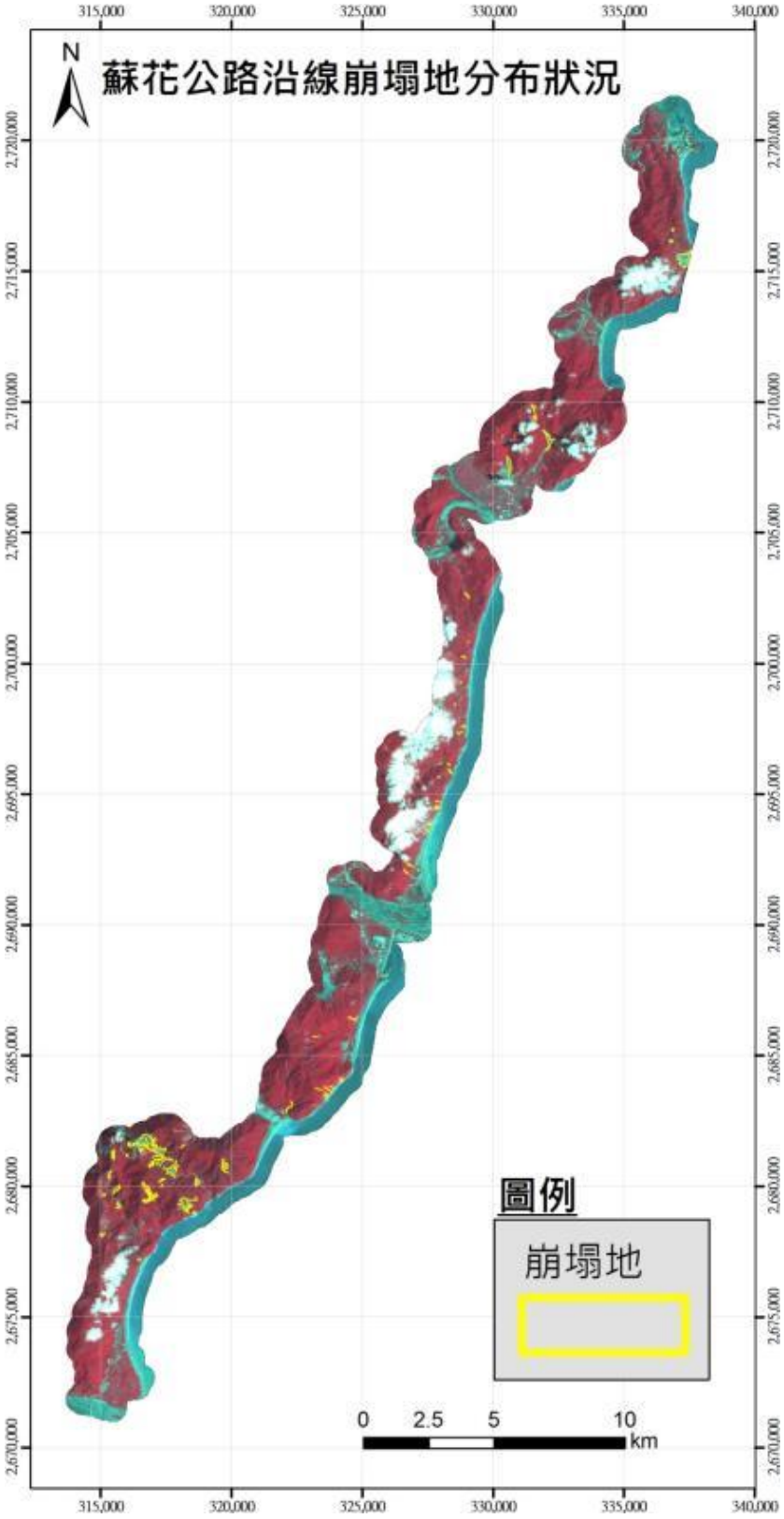


圖 7 聖帕颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

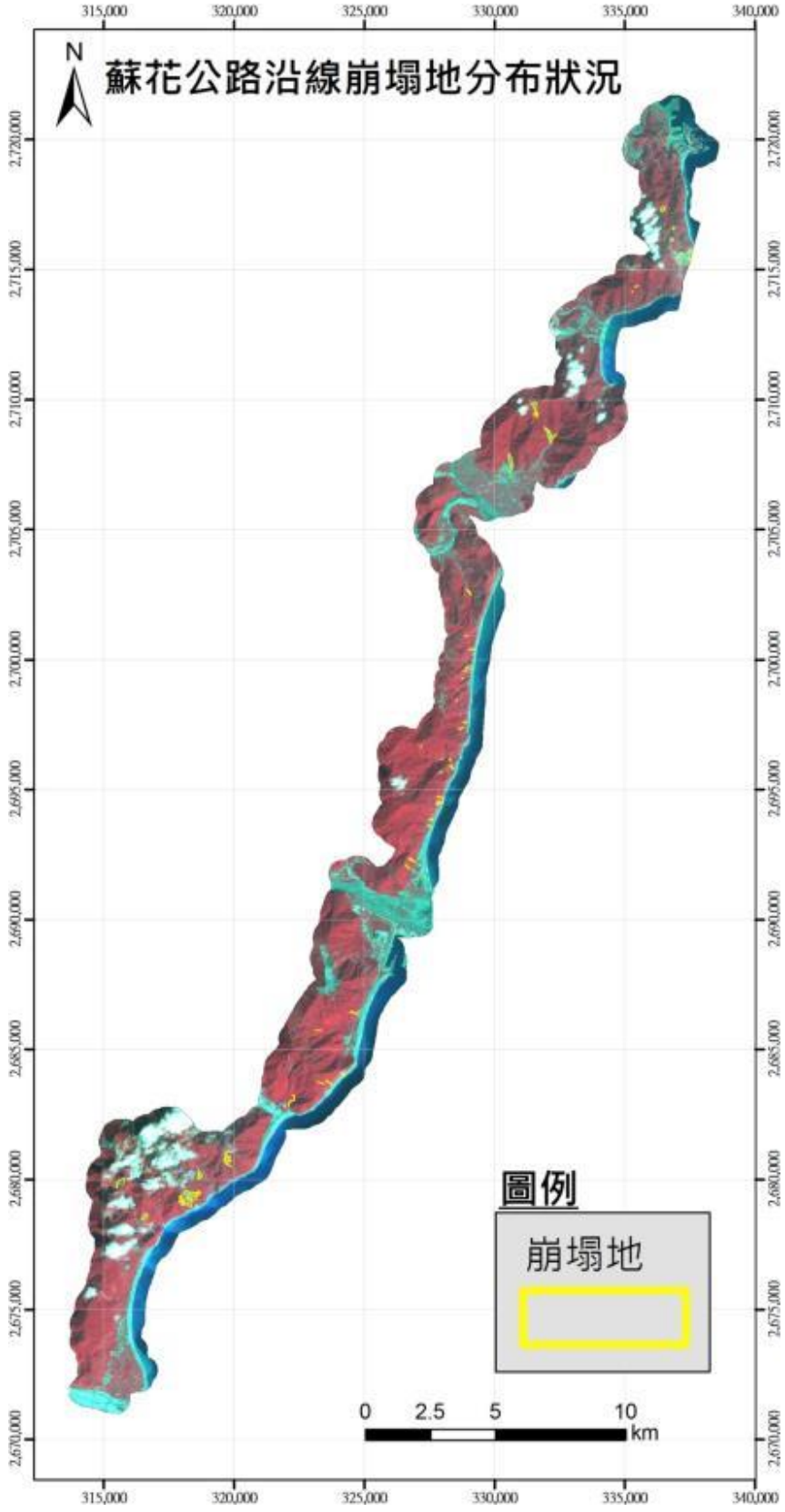


圖 8 柯羅莎颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

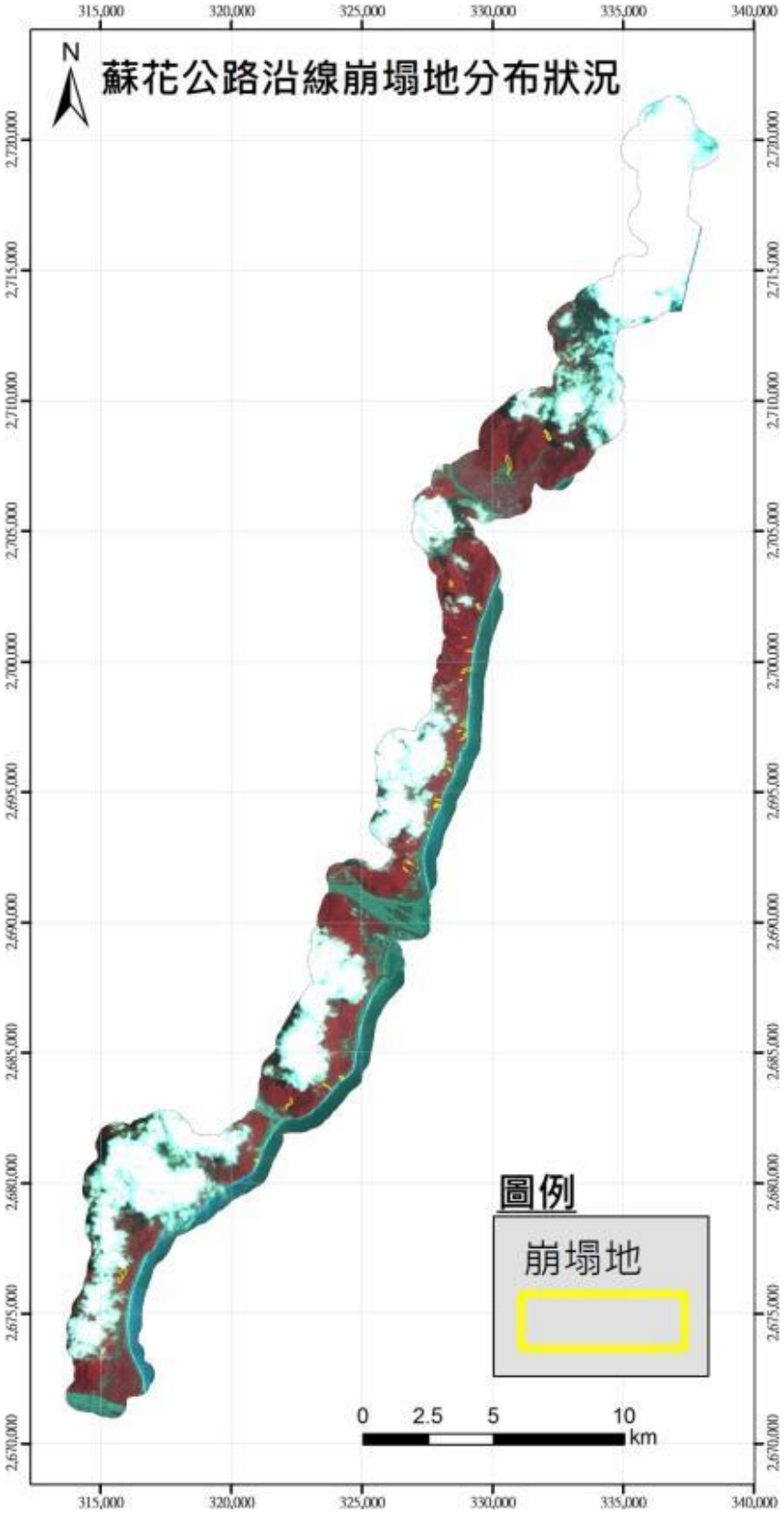


圖 9 米塔颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

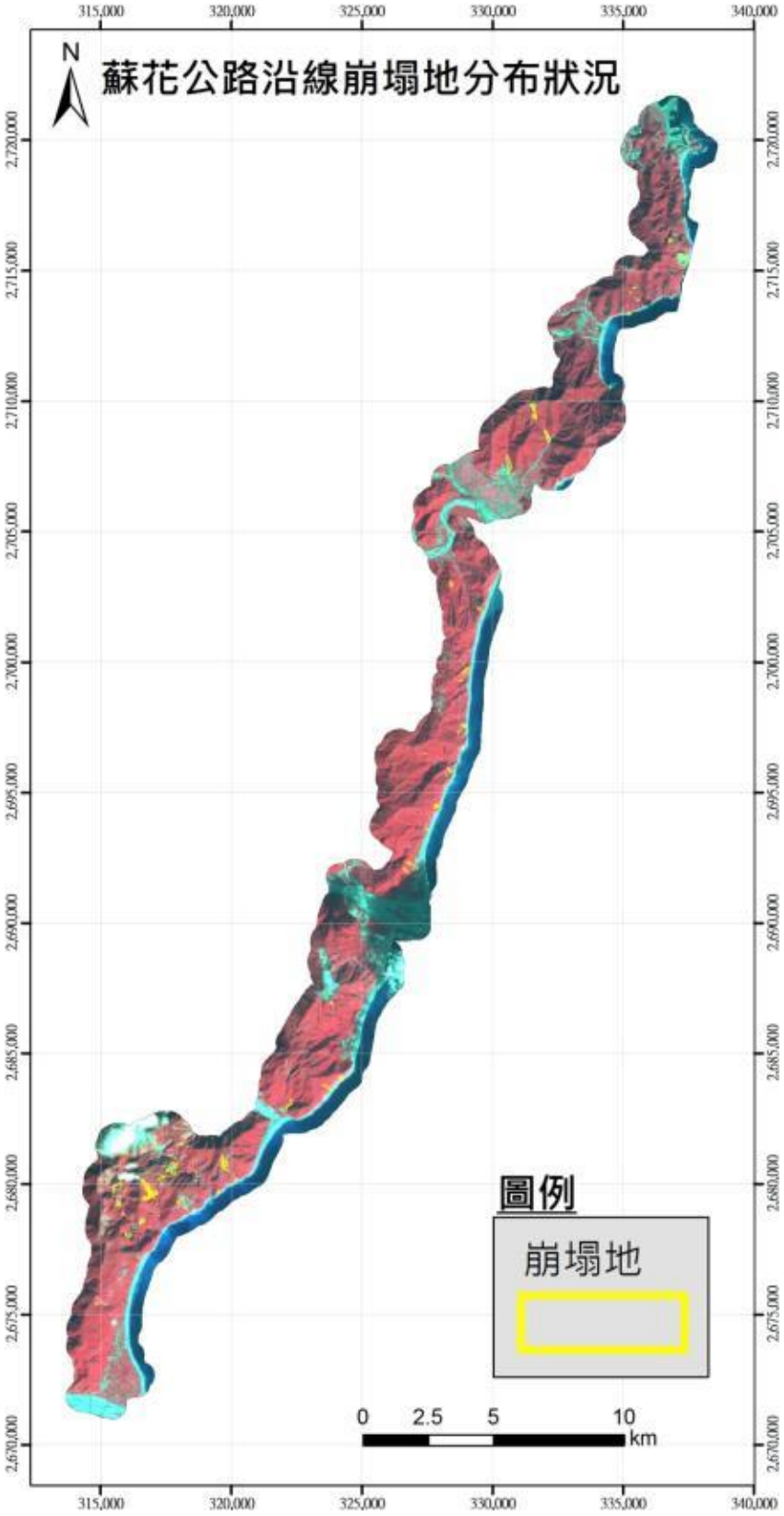


圖 10 辛樂克颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

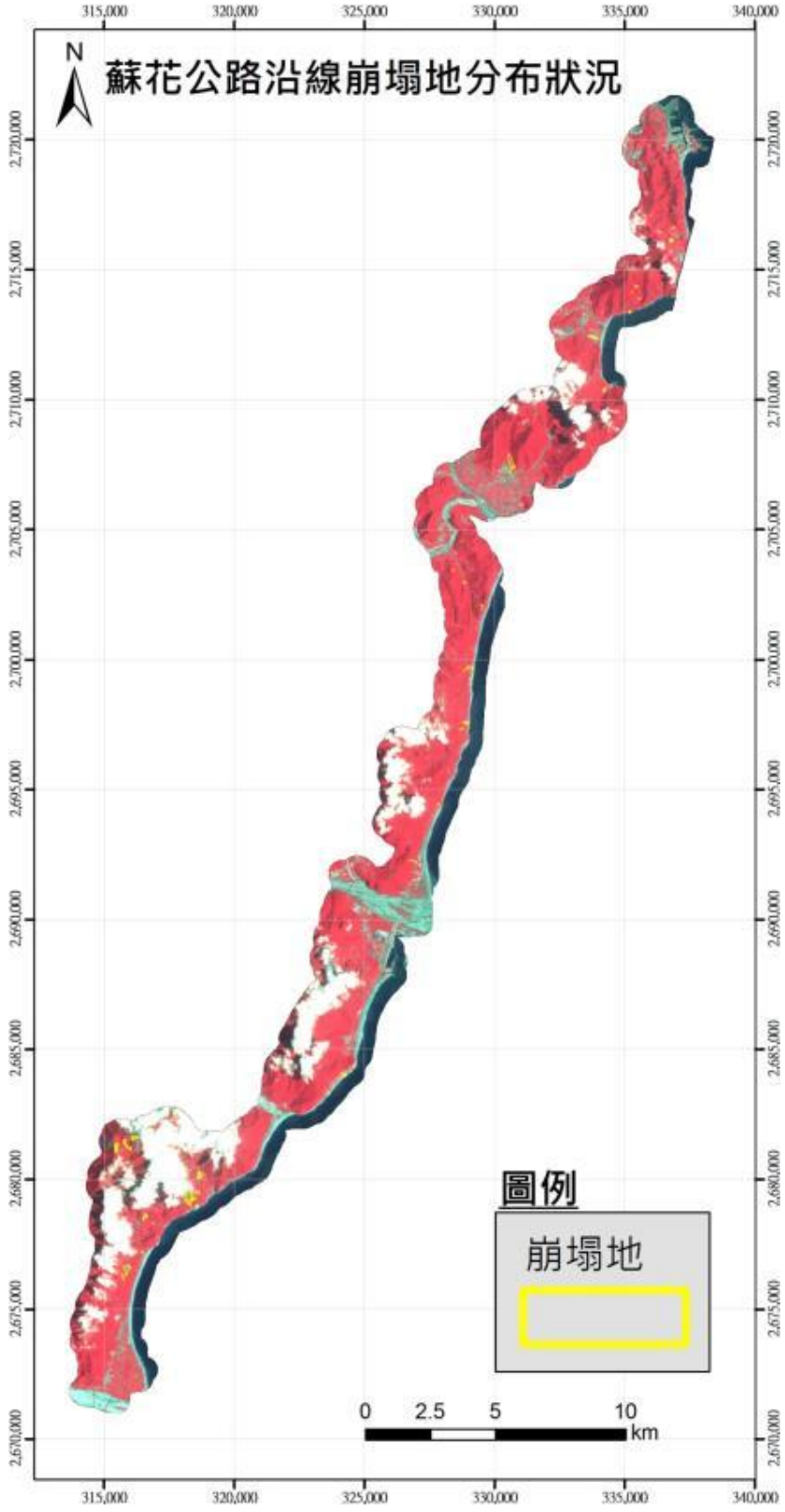


圖 11 莫拉克颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

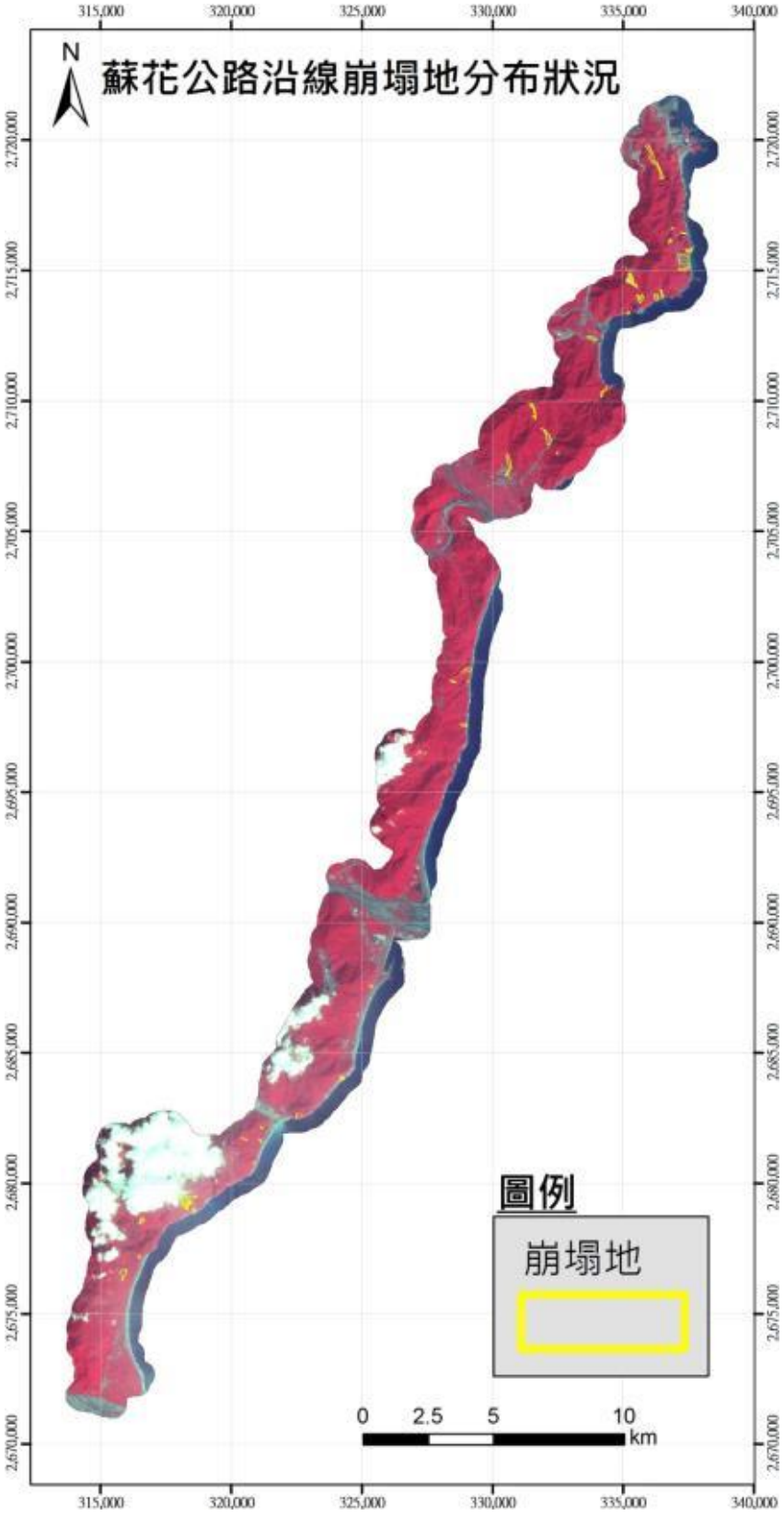


圖 12 凡那比颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

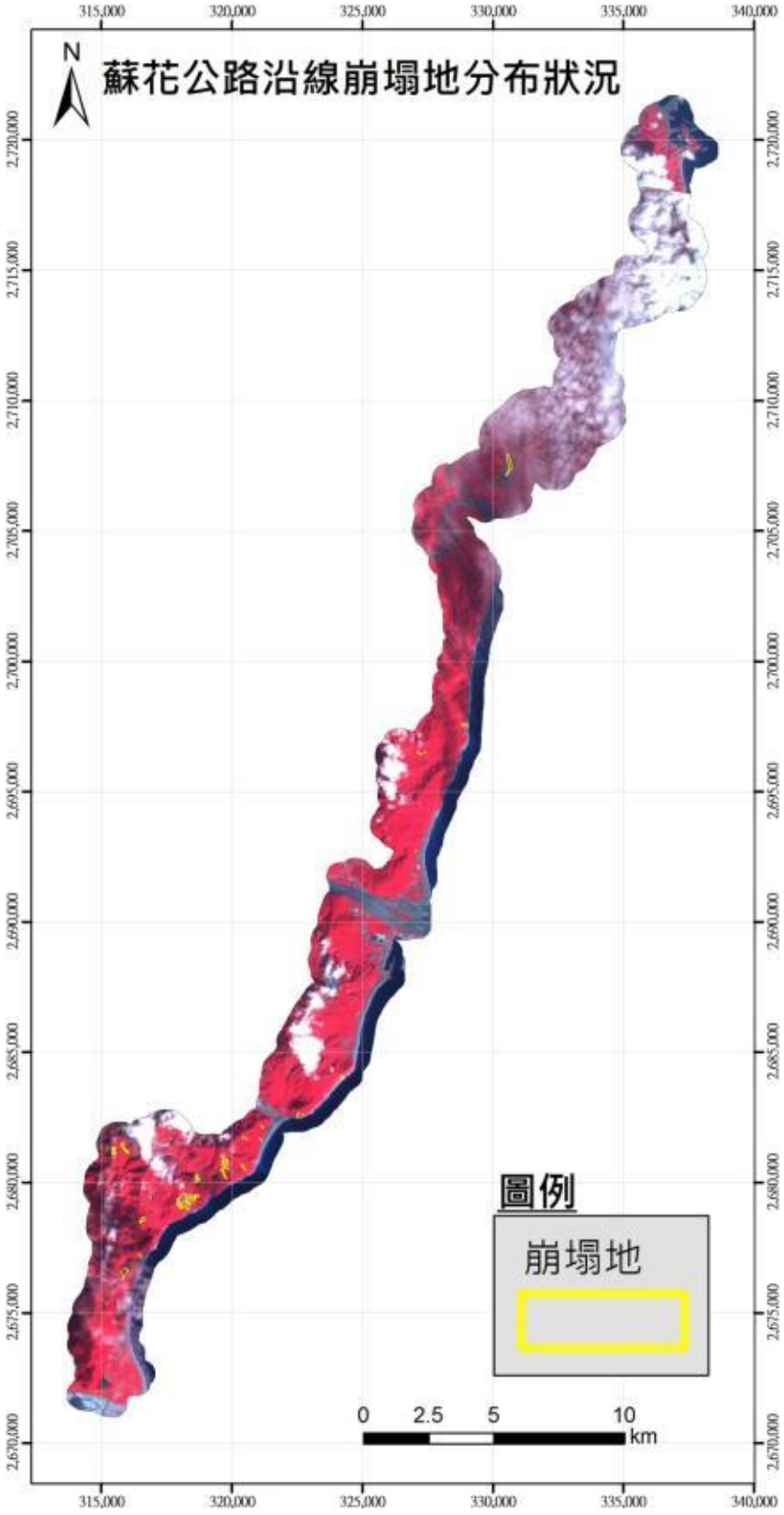


圖 13 南瑪都颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

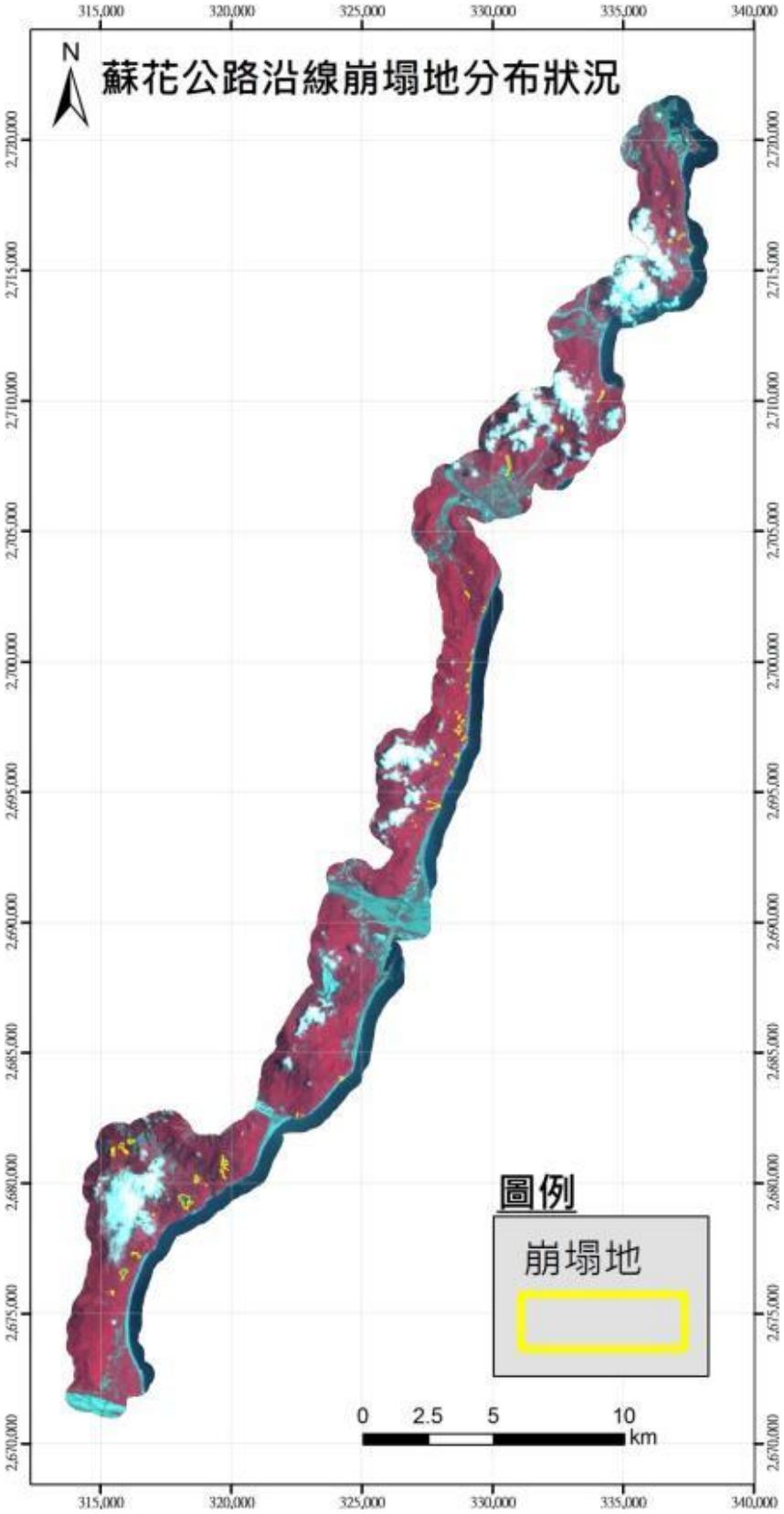


圖 14 泰利颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

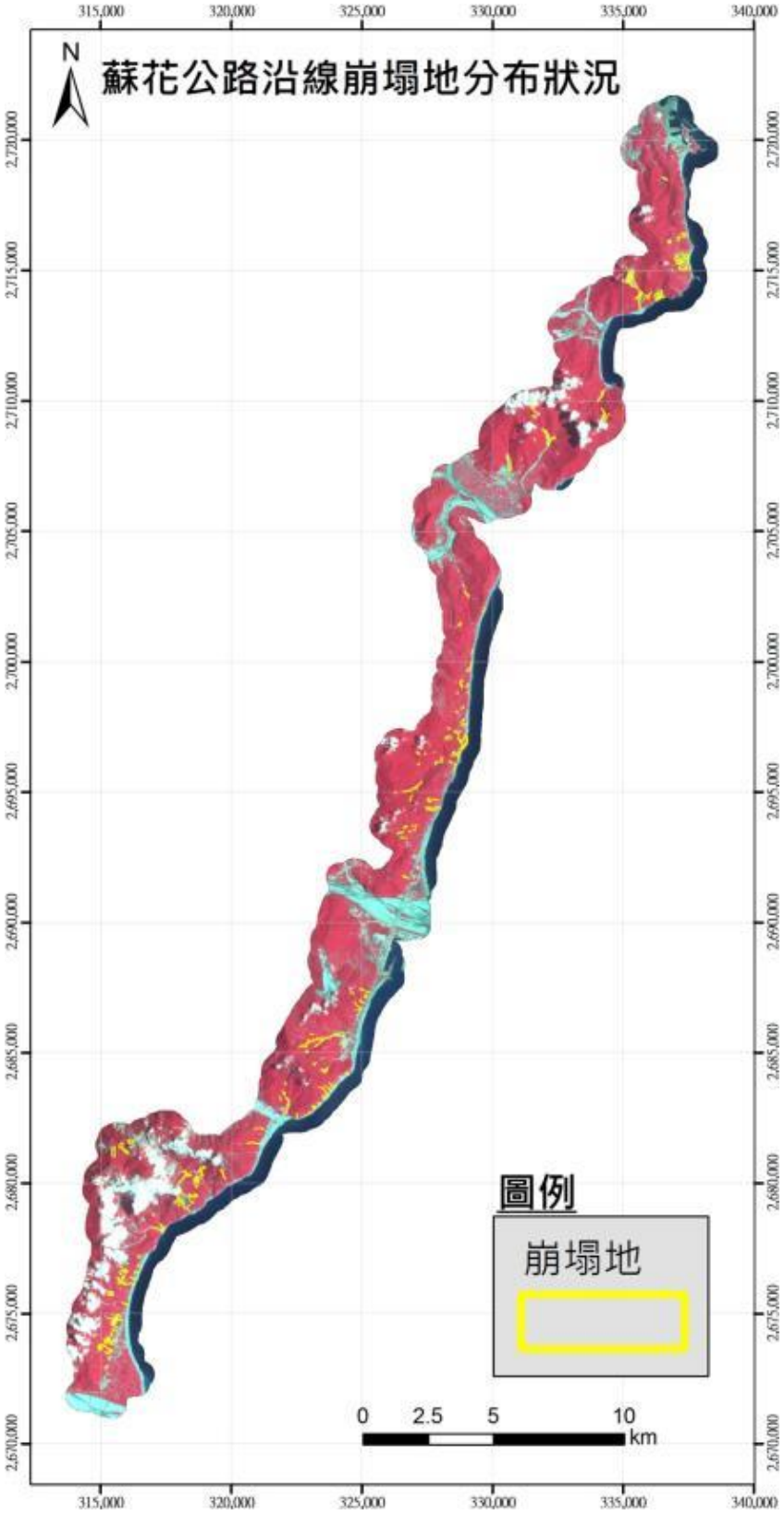


圖 15 蘇拉颱風後蘇花公路沿線崩塌地分布狀況

附錄二

邊坡山崩潛感分析方法

針對全流域山崩發生潛感，本研究透過建置之山崩目錄為基礎，採用證據權重法，製作山崩潛感圖，藉以劃定山崩發生之高潛感區。在山崩目錄選定上，本研究用研究區域內莫拉克災後，產生大量山崩之颱風豪雨事件，進行後續證據權重法分析。其流程主要包括因子權重值計算、因子檢定與成功率驗證與山崩潛感評估結果(圖 1)。

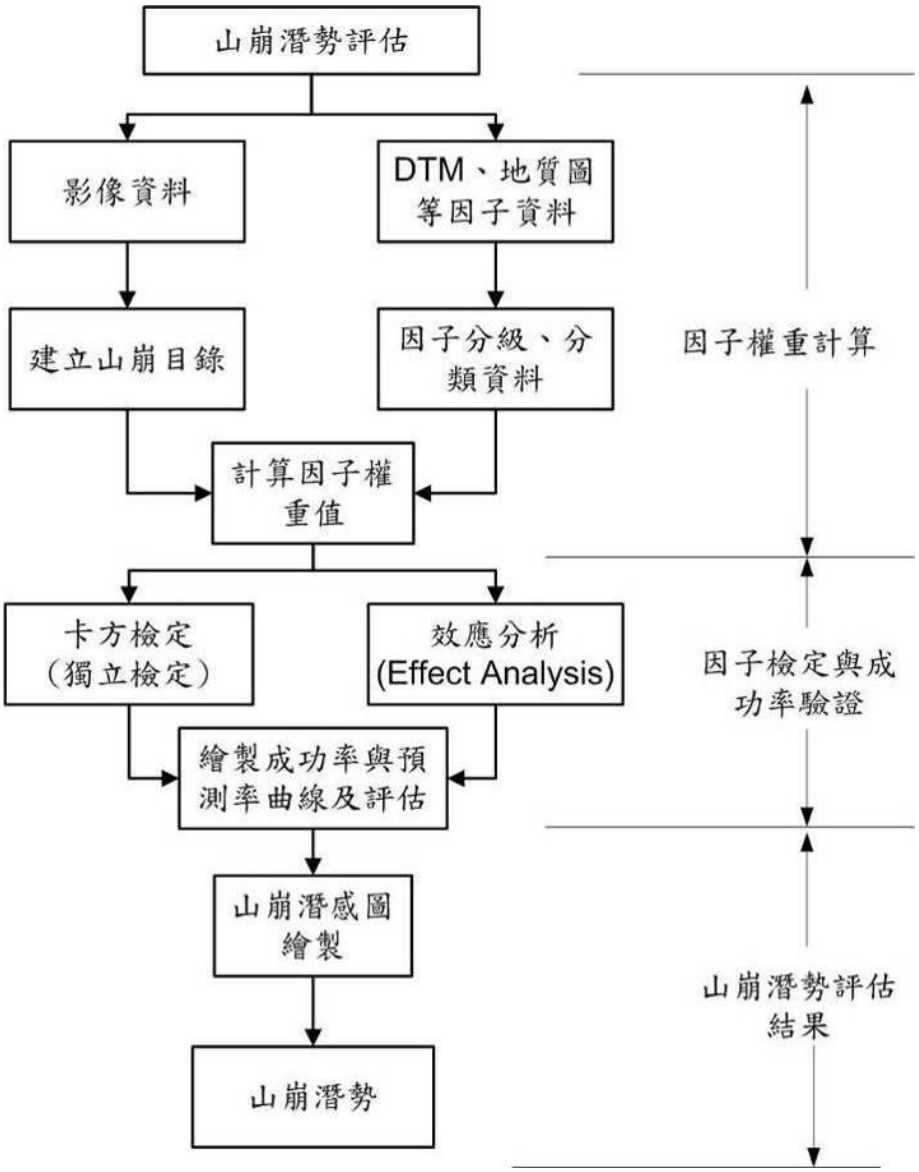


圖 1 山崩潛感評估流程圖

1.因子權重計算

本研究之山崩因子權重計算採用證據權重法進行之，選擇此方法主要理由因其簡單易懂，本方法在山崩潛感分析之成效，已有甚多國外文章予以驗証。證據權重法是應用貝式定理(Bayes' theorem)與勝算比(odds ratio) 對各因子量化及計算各因子的權重值，再分別對各因子做條件獨立檢定，選定獨立因子群進行權重加總並繪出該群因子的山崩潛感圖，最後利用成功率曲線(Success rate curves)找出最好的因子群得到最好的潛感圖。此法的優點為方法簡單、容易使用且不費時，直接利用圖層的堆疊就能計算出不同地區的潛感值。

(1)證據權重法

近十年來，證據權重法結合地理資訊系統被廣泛的用於山崩潛感分析上並得到不錯的成效(Van Westen, 1993; Sentz and Ferson, 2002; Lee et al., 2002; Van Westen et al., 2003; Thiery et al., 2004; Mathew et al., 2007; Neuhäuser and Terhorst ,2007; Thiery et al., 2007; Dahal et al., 2008)，除了山崩潛感分析外，証據權重法也被應用在礦藏預測(Bonham-Carter et al., 1988; Agterberg, 1992; Bonham-Carter, 2002)。

(2)因子勝算比計算

崩塌發生潛感評估首重因子之選取取權重配比，再因子選取方法，本研究採用貝氏定理進行各因子之勝算比計算，貝氏定理源自於十八世紀英國數學家湯瑪斯・貝耶斯(Thomas Bayes)，通常，事件 A 在事件 B(發生)的條件下的機率，與事件 B 在事件 A 的條件下的機率是不一樣的；然而，這兩者是有確定的關係，貝氏定理就是這種關係的陳述。

假設 P(A)和 P(B)分別代表事件 A 和 B 發生的機率，P(A|B)就是在已知 B 事件發生的情況下，A 事件發生的機率，P(B|A)就是在已知 A 事件的情況下，B 事件發生的機率，依據貝釋定理，我們可將這四個機率寫成下列關係式(式 1)。

$$P(A|B)=\frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad \text{.....(1)}$$

簡單的說，透過貝氏定理，我們可以因為新證據的出現修改原本已有的看法。

勝算(Odds)和勝算比多用在醫學上比較兩個樣本的特質，其中勝算是指在一群人中具有某項特質與不具有此特質的比值，例如：一群中有病的比例為 p，沒病的比例為 1-p，故這群人的勝算即為 $\frac{p}{1-p}$ 。而勝算比就是以倍數來量兩組勝算差異，例如 A 群人得病的勝算為 1，B 群人得病的勝算為 0.2，故 A、B 兩群人的勝算比為 $\frac{1}{0.2}=5$ ，也就是說，A 群人得病的可能性比 B 群人高了 5 倍。應用此概念於山崩潛感分析上，分別算出選並因子與非選定因子之勝算比，即可判斷選定因子是否容易發生山崩。

(3)證據權重法因子勝算比計算

證據權重法利用貝氏定理與勝算比對因子進行量化，其因子權重值計算公式如式 2、3：

$$W^{+}=\ln\frac{\frac{N_1}{N_1+N_2}}{\frac{N_3}{N_3+N_4}}=\ln\frac{N_1(N_3+N_4)}{N_3(N_1+N_2)} \quad \text{.....(2)}$$

$$W^{-}=\ln\frac{\frac{N_2}{N_1+N_2}}{\frac{N_4}{N_3+N_4}}=\ln\frac{N_2(N_3+N_4)}{N_4(N_1+N_2)} \quad \text{.....(3)}$$

W^{+}表示當因子存在時，發生山崩的權重值，W－表示當因子 B 不存在時發生山崩的權重值，N1 為在因子內的山崩區域，N2 為在因子外的山崩區域，N3 為因子內未發生山崩之區域，N4 為因子外未發生山崩之區域(圖 2)。

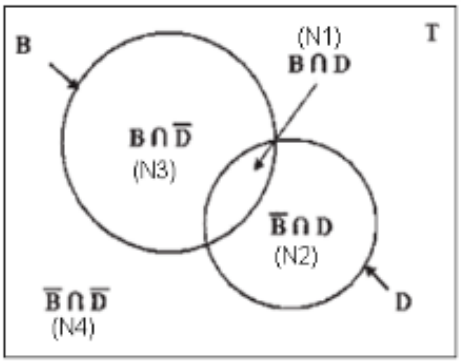


圖 2 山崩與因子關係圖

註:B 為因子，D 為山崩(Lee and Choi, 2004)

計算完各因子 W^+與 W^-兩個權重值後，再將兩個值相減，可得到一對比值(contrast)C，此值可作為指示因子與山崩之間關聯性的指標(式 4)。

$$C = W^+ - W^- \quad \text{.....(4)}$$

當 C 大於 0 時，表示因子存在時發生山崩的機率大於因子不存在時發生山崩的機率，也就是山崩與此因子相關；當 C 等於 0 時，表示因子存在與不存在時，發生山崩的機率相等，反應山崩與此因子無顯著關連性；當 C 小於 0 時，代表因子存在時發生山崩的機率小於因子不存時發生山崩的機率，也就是山崩與此因子不相關。

(4)權重值加總

將所有因子量化後，可於地理資訊系統平台上把所有量化因子圖層進行疊加的動作，加總所有對比值，此加總對比值即為山崩潛感指標(Landslide susceptibility index, LSI)(式 5)。

$$LSI = \sum C_{ij} \quad \text{.....(5)}$$

然而在證據權重法公式推導過程中，由於在連結多個因子時，假定因子彼此之間相互獨立，故最後才能夠將因子權重值加總，所以在加總權重值前須先對因子做條件獨立檢定。

2.因子檢定與成功率驗證

(1)因子檢定

在前人研究中，條件獨立的檢定方法多為使用「卡方檢定」(Lee and Choi, 2004; Regmi et al., 2009)，在執行卡方檢定前，須先建立一張列聯表(contingency table)(圖 2-8)將兩個因子間所有可能排列出來，再利用地理資訊系統將因子彼此疊加，計算各部份所觀察到的山崩面積,依據公式(6)與(7)將 X2 值與自由度 df 算出，並查表找出 X2 臨界值，當計算的 X2 值小於 X2 臨界值，表示兩因子彼此獨立(圖 3)。

$$X^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{.....(6)}$$

$$df = (r-1)(c-1) \quad \text{.....(7)}$$

r＝列聯表列之數目，c＝列聯表行之數目

		Binary pattern F_1		
		Present	Absent	Totals
Binary pattern F_2	Present	$O_1=\{F_1\cap F_2\cap L\}$ $(E_1=\{F_2\cap L\}^*\{F_1\cap L\}/\{L\})$	$O_3=\{\overline{F}_1\cap F_2\cap L\}$ $(E_3=\{F_2\cap L\}^*\{\overline{F}_1\cap L\}/\{L\})$	$\{F_2\cap L\}$
	Absent	$O_2=\{F_1\cap \overline{F}_2\cap L\}$ $(E_2=\{\overline{F}_2\cap L\}^*\{F_1\cap L\}/\{L\})$	$O_4=\{\overline{F}_1\cap \overline{F}_2\cap L\}$ $(E_4=\{\overline{F}_2\cap L\}^*\{\overline{F}_1\cap L\}/\{L\})$	$\{\overline{F}_2\cap L\}$
	Totals	$\{F_1\cap L\}$	$\{\overline{F}_1\cap L\}$	$\{L\}$

圖 3 卡方檢定列聯表(Regmi *et al.*, 2010)

	Slope	Aspect	Curvature	Texture	Material	Drainage	Effective thickness	Topography	Forest type	Timber diameter	Timber age	Forest density	Geology	Lineament
Aspect	0.0641													
Curvature	6.1048	3.2896												
Texture	3.1405	1.6269	0.9211											
Material	7.9449	1.2489	0.2758	83.1289										
Drainage	7.1501	0.9458	0.0955	101.304	465.6250									
Effective thickness	9.7385	2.0121	0.9454	63.3431	447.7937	431.6851								
Topography	0.2588	0.2439	0.2457	113.965	308.2038	319.7046	285.7385							
Forest type	0.2768	1.3246	0.0247	6.1255	17.3288	13.8176	13.6763	5.7700						
Timber diameter	2.7316	6.6313	1.4608	7.1600	19.7605	17.5799	17.7578	4.3711	117.9402					
Timber age	0.0296	0.0119	0.1124	3.2196	0.5772	0.4371	0.2707	0.5250	17.8871	93.3190				
Forest density	0.3920	1.5451	2.4781	8.7177	17.7970	15.8834	15.3392	5.5386	57.1622	277.9595	110.638			
Geology	0.0191	1.9198	0.7841	1.2977	0.7028	2.3818	1.3737	0.1228	16.8855	5.8013	1.9420	0.7434		
Lineament	2.9679	5.4479	0.0638	1.3507	0.8797	0.7897	0.6203	2.5814	6.3919	0.2058	0.9795	1.0951	5.4377	
Land cover	3.9526	11.7421	0.0026	0.5305	0.8361	0.2120	0.3985	0.5819	11.9879	0.4725	4.9109	0.2823	10.1691	4.0301

Oi 為觀測到塌面積，Ei 為期望山崩面積

圖 4 卡方檢定結果示意圖(Lee and Choi, 2004)

卡方檢定完成後，列出所有的獨立因子群，每個獨立因子群內的因子彼此間必須獨立，再對各獨立因子群進行驗證，以找出最佳因子群。

另外，也有學者不進行條件獨立檢定，而是透過效應分析(Effect analysis)來找出對預測成效有較大影響的因子或因子群(Dahal et al., 2007; Dahal et al., 2008)，其為直接將因子分群或是排除部份因子進行權重值加總，比較此時與全因子加總之預測成效，假如預測成效有明顯變化，即表示被排除的因子對預測成效有較大的影響。

(2)成功率驗證

成功率驗證的方式是使用成功率曲線(Success rate curves)，繪製方法式將潛感值切割成若干個等間距區間，由大到小累加，計算各區間山崩面積佔總山崩面積的比例與各區間面積佔總面積的比例，最後所繪製的曲線。在繪製時使用訓練資料繪製稱為成功率曲線(Chung and Fabbri, 1999)，使用驗證資料所繪製稱為預測率曲線(prediction rate curve)(Chung and Fabbri, 2003)(圖 5)。

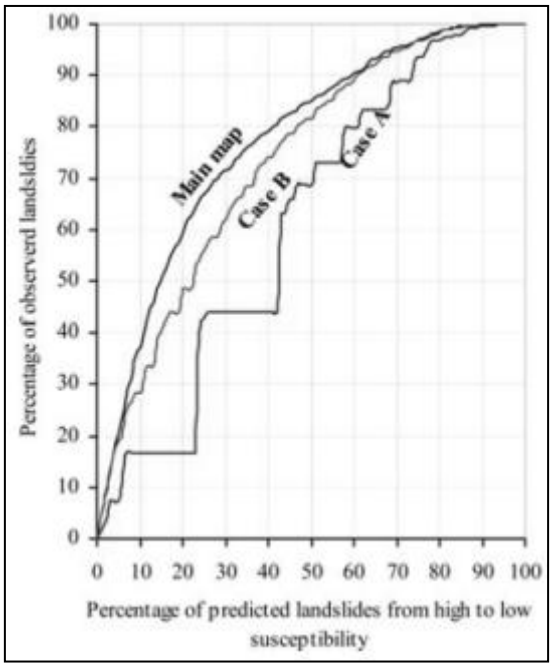


圖 5 成功率曲線示意圖(Dahal et al, 2007)

曲線下的面積總和(the area under the curve, AUC)的大小，為判定該結果好壞的依據，其值在 0 到 1 之間，當面積為 1 時，表示少數的高潛感地區就可以百分之百包含目標事件，當面積為 0 時，表示整個沒有包含目標事件，當面積越接近中間值 0.5 左右，則表示該結果不會比隨機的結果好(Chung and Fabbri, 2003)，圖 2.9 中指出同一區域，所選出的因子群不同其成功率也不同，在本研究的因子全之選定主要是以卡方獨立性檢定所篩選。

對於 AUC 值的評估成效，Lee et al.(2008b)則有提出如表中之建議(表 1)：

表 1　AUC 評估成效表

AUC	評估效果
AUC≧0.9	極佳(excellent)
0.9＞AUC≧0.8	佳(good)
0.8＞AUC≧0.7	可(fair)
0.7＞AUC≧0.6	差(poor)
AUC＜0.6	極差(very poor)

3.山崩潛感評估

本研究之山崩發生潛感評估流程包括用資料選定、因子處理分析、山崩潛感圖製作與山崩潛感檢定與驗證。

(1)使用資料選定

製作山崩潛感圖所使用的資料有：福衛 2 號衛星影像、內政部出版之 5 米網格數值地形模型、經濟部中央地調所出版 1/50,000 地質圖與計畫內相關地質報告、內政部國土測繪中心製作土地利用圖層 (表 2) ，因上述資料規格不同，於蒐集分析因子資料後便進行資料之重新取樣，將網格解析度統一取樣為 5 米 X5 米網格，再進行後續之山崩潛感分析。

表 2 山崩潛感圖分析資料

	名稱	規格	註備
分析因子資料	坡度、坡向、高程、坡型	5m*5m 網格	由內政部出版 5 米 DTM 在 GIS 平台下進行空間分析取得
	岩性	8m*8m 網格	地調所五萬分之一數值流域地質圖研究區域相關地質報告
	NDVI	8m*8m 網格	由事件前期衛星影像計算取得
	河道距離、構造距離	8m*8m 網格	在 GIS 平台下進行環域分析取得
	土地利用	8m*8m 網格	內政部國土測繪中心土地利用圖層

(2)因子處理分析

分析因子的選定參考(溫振宇, 2005)統計 85 到 94 年間共 43 篇與山崩製圖相關之文獻所選取因子統計，選取被多數研究所選用的潛在因子，選定坡度、坡向、高程、坡形、順向坡、岩性、河道距離、構造線距離、常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、土地利用共十個因子進行分析。

a.坡度、坡向、高程、坡形、順向坡

此五個因子使用內政部出版之 5 米網格數值地形模型於 ArcGIS 中進行空間分析(Spatial Analyst)，再對其做分級，以下列出各因子分級。

- 坡度：利用以每 5 度為間距等距分級成 0~5 度、5~10 度、10~15 度、15~20 度、20~25 度、25~30 度、30~35 度、35~40 度、40~45 度、45~50 度、50~55 度、55~60 度，61 度以上，共十三級。
- 坡向：分成北(337.5~22.5 度)、東北(22.5~67.5 度)、東(67.5~112.5 度)、東南(112.5~157.5 度)、南(157.5~202.5 度)、西南(202.5~247.5 度)、西(247.5~292.5 度)、西北(292.5~337.5 度)與平坦，共九類。
- 高程：以 100 米為間距，南化水庫集水區等間距由 0 米分

級至 1200 米，1200 米以上為一級，共十三級；士文水庫集水區等間距由 0 米分級至 1700 米，1700 米以上為一級，共十七級。

- 坡形：依據 Dikau(1989)的分類法，依平面曲率(tangential curvature)與剖面曲率(profile curvature)分成九類(圖 2.11)，分別為：凸脊型、直脊型、凹脊型、凸直型、平直型、凹直型、凸谷型、直谷型和凹谷型(表 2-5)。

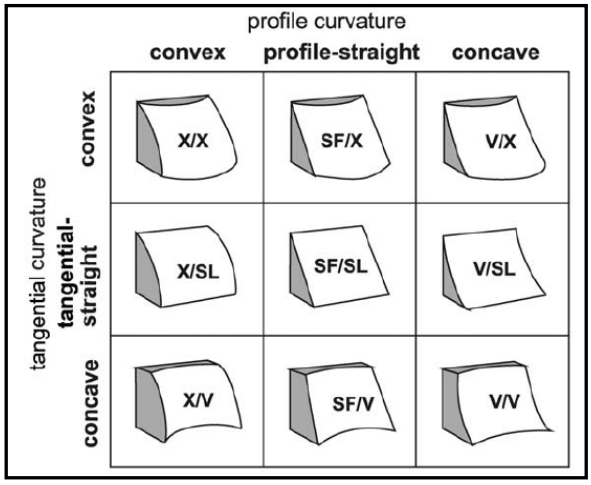


圖 6　Dikau(1989)坡形分類

表 3 坡形分類名稱對照表

	分類名稱		分類名稱		分類名稱
X/X	凸脊形	SF/X	直脊形	V/X	凹脊形
X/SL	凸直形	SF/SL	平直形	V/SL	凹直形
X/V	凸谷形	SF/V	直谷形	V/V	凹谷形

- 順向坡：利用 5 米解析度的高程模型轉換成研究區域之坡向圖及等高線，並參考地調所所出版的 1/50，000 的地質圖中之位態資料，將其位態方向與坡面方向交角小於 20 度者分為順向坡，而交角大於 70 度者為逆向坡，介於 20 度至 70 度之間則為斜交坡。

b.岩性

區域內的地質資料來源為地調所 1/50，000 地質圖。

c.構造距離

使用地調所出版之 1/50,000 地質圖的斷層、背斜與向斜之褶皺資料，在 ArcGIS 平台中做環域分析(Buffer)，並以距構造線每 50 米為間距，等間距將距構造線距離之區域進行分級，分析至 500 米，500 米以上為一級，共分十一級。

d.河道距離

使用 5 米網格數值地形模型，透過 ArcGIS 中的 ArcHydro tool 9.2 執行水文分析，繪製集水區內之河道圖層，再進行環域分析(Buffer)建立河道距離圖層，以 50 米為間距，等間距將距河道距離之區域進行分級，等距分析至 450 米，450 米以上為一級，共分十級。

e.常態化植生指標(NDVI)

在 ArcGIS 利用衛星影像中的紅光(Red)與近紅外光波段(NIR)，依據下列式子進行運算，即可得到影像的 NDVI 值，分析時各事件所用之 NDVI 資料是使用事件前衛星影像運算取得，分級則以 NDVI 值 0 以下為一級，0 以上每 0.1 為一級，0.5 以上為一級共分為 7 級。

$$NDVI = \frac{[NIR]-[\mathrm{Re}\,d]}{[NIR]+[Ned]}$$

，其中**[NIR]**與**[Red]**分別為近紅外光波段與紅外光波段之反射強度

f.土地利用

將內政部國土測繪中心所製作之土地利用圖層，在 ArcGIS 平台上數化，再將土地利用分為非人為開墾之自然林地、人為開墾地及河川地三類，以去除人為開墾之裸露地對於山崩潛感計算所造成的誤差。

(3)山崩潛感圖製作

將所有因子經過證據權重法的量化後，可將所計算出來的權重套疊至各因子的分級圖層中，以山崩地分布的情形進行評估山崩潛感圖的成功率曲線及預測率曲線，進而繪製出山崩潛感圖，再將結果進行討論(圖 7)。

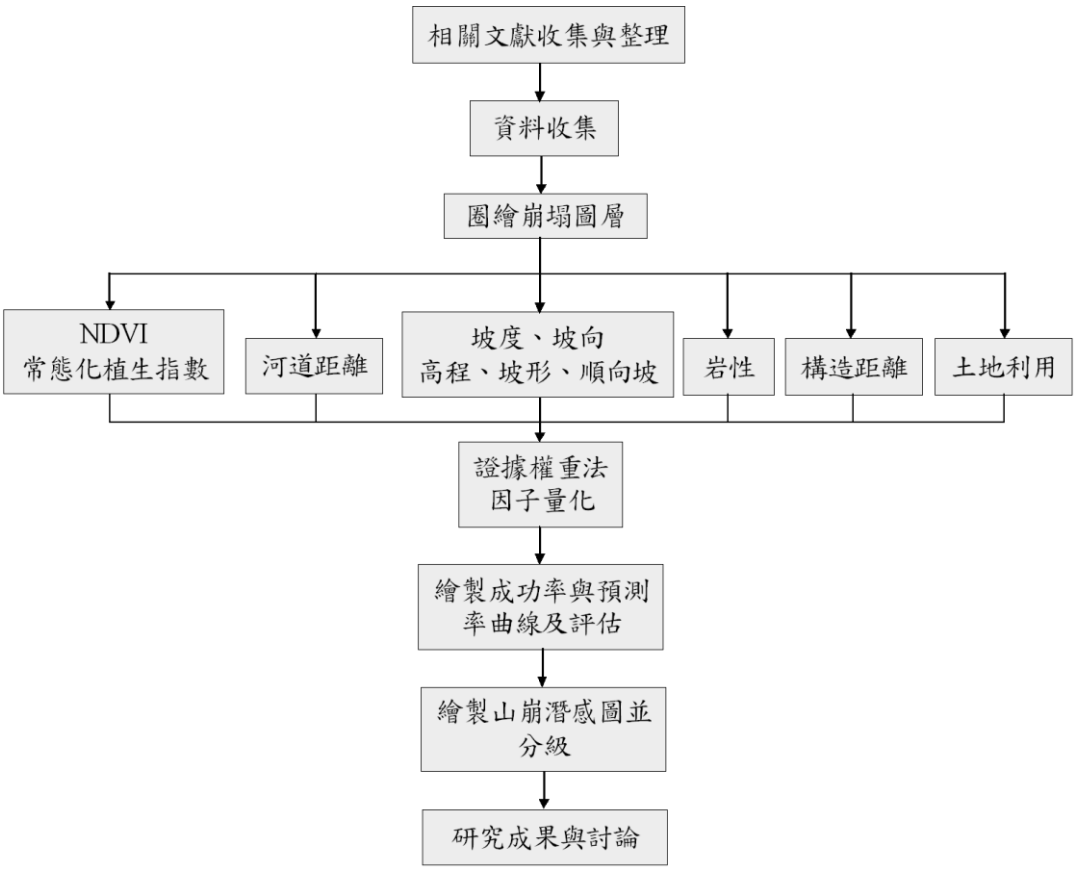


圖 7 山崩潛感圖製作流程

(4)山崩潛感檢定與驗證

在本研究區域內所造成的新增崩塌(圖 8)比例(如下式)，將所繪製出的崩塌潛感圖相互作為檢定比較。

$$\text{新增崩塌比} = \frac{\text{新增崩塌面積}}{\text{區域總面積} - \text{影像缺失及雲遮蔽與陰影部份}} \times 100\%$$

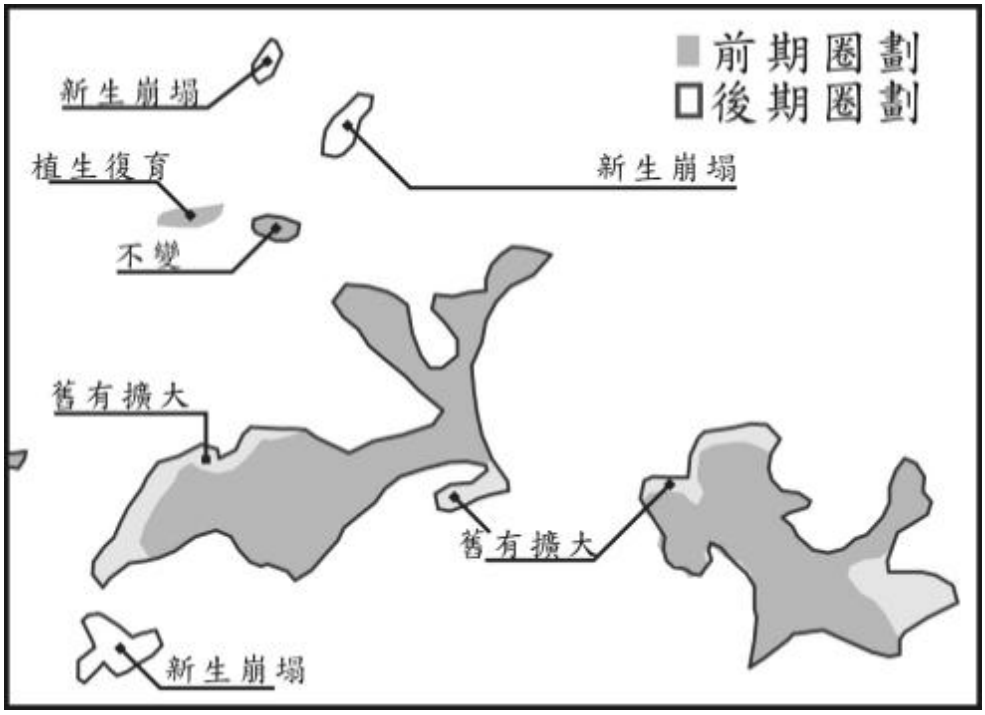


圖 8 新增山崩示意圖(新增山崩=新生山崩+舊有擴大山崩)

附錄三

山崩潛感因子資料表

0612 豪雨山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	6.0725	0.40%	-0.70465
	5-10	303.9575	6.0425	1.99%	1.04776
	10-15	220.735	2.8325	1.28%	0.56375
	15-20	267.8	0.835	0.31%	-0.89469
	20-25	399.07	0.525	0.13%	-1.77811
	25-30	663.69	1.22	0.18%	-1.46258
	30-35	1051.1175	3.295	0.31%	-0.94208
	35-40	1368.5275	7.01	0.51%	-0.43089
	40-45	1338.0975	10.0425	0.75%	0.005601
	45-50	1029.5725	13.345	1.30%	0.649939
	50-55	649.2925	8.7975	1.35%	0.663022
	55-60	382.6525	6.065	1.58%	0.808915
	>60	413.785	5.5975	1.35%	0.637564
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	8.6175	0.67%	-0.12765
	東北	1083.3725	8.22	0.76%	0.017846
	東	1315.66	10.3425	0.79%	0.059955
	東南	1263.6775	9.8225	0.78%	0.046392
	南	1082.29	8.74	0.81%	0.089095
	西南	1050.4725	7.065	0.67%	-0.11789
	西	1282.5175	9.2475	0.72%	-0.0409
	西北	1229.99	9.625	0.78%	0.054006
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	19.53	0.51%	-0.5774584
	200-400	1888.985	10.74	0.57%	-0.3319718
	400-600	1344.0925	13.1325	0.98%	0.32275765
	600-800	894.3125	15.185	1.70%	0.97206276
	800-1000	608.98	5.9525	0.98%	0.29260286
	1000-1200	418.8025	1.0675	0.25%	-1.1099078
	1200-1400	210.93	1.96	0.93%	0.22575787
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0.265	0.23%	-1.2040565
	>1800	134.4175	3.8475	2.86%	1.40634438
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	41.43	1.22%	0.924461
	大南澳片岩(片麻岩、混合岩)	1624.03	13.23	0.84%	0.106242

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩(黑色片岩、綠色片岩、燧石)	3102.83	17.02	0.55%	-0.43116
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	0	0.00%	0
	50-100	314.815	0.015	0.00%	-5.0955788
	100-150	314.8975	0.485	0.15%	-1.6116264
	150-200	313.065	0.7525	0.24%	-1.1616805
	200-250	309.6375	1.145	0.37%	-0.723651
	250-300	300.98	1.18	0.39%	-0.6635203
	300-350	291.3825	1.68	0.58%	-0.2677684
	350-400	290.0475	1.1925	0.41%	-0.6144289
	400-450	286.7275	1.4275	0.50%	-0.4184483
	450-500	288.025	1.5	0.52%	-0.3722925
	>500	6549.2925	62.3025	0.95%	1.13509077
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	17.64	2.89%	1.59388669
	51-100	509.76	8.575	1.68%	0.89469761
	101-150	477.9325	2.6625	0.56%	-0.308488
	151-200	444.3375	1.8825	0.42%	-0.5912271
	201-250	425.0125	1.8575	0.44%	-0.5582315
	251-300	418.58	1.38	0.33%	-0.8473681
	301-350	398.51	0.8575	0.22%	-1.2804595
	351-400	370.51	0.3725	0.10%	-2.0463544
	>400	5942.0825	36.4525	0.61%	-0.4554245
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	595.6375	0	0.00%	0
	0-0.1	606.82	0.3675	0.06%	-2.57984
	0.1-0.2	509.575	15.56	3.05%	1.623062
	0.2-0.3	504.25	27.09	5.37%	2.444084
	0.3-0.4	573.2575	21.71	3.79%	1.955647
	0.4-0.5	1064.345	5.83	0.55%	-0.34511
	>0.5	5742.79	1.1225	0.02%	-4.55802

碼莎颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	2.795	0.19%	-1.0777707
	5-10	303.9575	2.7975	0.92%	0.67199348
	10-15	220.735	2.6275	1.19%	0.93702631
	15-20	267.8	0.82	0.31%	-0.4751119
	20-25	399.07	0.4825	0.12%	-1.4278009
	25-30	663.69	1.0925	0.16%	-1.1347777
	30-35	1051.1175	2.2825	0.22%	-0.8752194
	35-40	1368.5275	3.95	0.29%	-0.5894999
	40-45	1338.0975	5.74	0.43%	-0.1451314
	45-50	1029.5725	8.5175	0.83%	0.62309562
	50-55	649.2925	6.3025	0.97%	0.77132444
	55-60	382.6525	4.635	1.21%	0.98404264
	>60	413.785	4.63	1.12%	0.90029018
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	5.4425	0.42%	-0.16208
	東北	1083.3725	5.3475	0.49%	0.016795
	東	1315.66	7.29	0.55%	0.153598
	東南	1263.6775	6.6975	0.53%	0.100183
	南	1082.29	5.3875	0.50%	0.02639
	西南	1050.4725	4.2675	0.41%	-0.20089
	西	1282.5175	6.02	0.47%	-0.04103
	西北	1229.99	6.22	0.51%	0.045116
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	14.59	0.38%	-0.3810492
	200-400	1888.985	7.5825	0.40%	-0.2349072
	400-600	1344.0925	8.035	0.60%	0.2456939
	600-800	894.3125	10.26	1.15%	1.0159811
	800-1000	608.98	2.255	0.37%	-0.2899018
	1000-1200	418.8025	0.0025	0.00%	-6.7525069
	1200-1400	210.93	0	0.00%	0
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0.1625	0.14%	-1.2625045
	>1800	134.4175	3.785	2.82%	1.85060093
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	29.605	0.87%	1.159332

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	6.3275	0.40%	-0.26263
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	10.74	0.35%	-0.47121
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	0	0.00%	0
	50-100	314.815	0	0.00%	0
	100-150	314.8975	0	0.00%	0
	150-200	313.065	0.1875	0.06%	-2.1279319
	200-250	309.6375	0.5325	0.17%	-1.0641394
	250-300	300.98	0.44	0.15%	-1.2279237
	300-350	291.3825	0.2775	0.10%	-1.6594698
	350-400	290.0475	0.3125	0.11%	-1.5350663
	400-450	286.7275	0.3	0.10%	-1.5643195
	450-500	288.025	0.35	0.12%	-1.4135707
	>500	6549.2925	44.2725	0.68%	2.15581595
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	10.6825	1.75%	1.48914862
	51-100	509.76	2.975	0.58%	0.1946366
	101-150	477.9325	0.22	0.05%	-2.4085871
	151-200	444.3375	0.0025	0.00%	-6.8144926
	201-250	425.0125	0	0.00%	0
	251-300	418.58	0.0725	0.02%	-3.3829794
	301-350	398.51	0.36	0.09%	-1.7221804
	351-400	370.51	0.1975	0.05%	-2.2505298
	>400	5942.0825	32.1625	0.54%	0.31133716
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1270.54	0.3325	0.03%	-3.06248
	0-0.1	903.77	7.37	0.82%	0.593474
	0.1-0.2	661.02	15.82	2.39%	1.956843
	0.2-0.3	626.01	11.56	1.85%	1.566059
	0.3-0.4	678.9675	6.7275	0.99%	0.79939
	0.4-0.5	993.2225	3.355	0.34%	-0.4008
	>0.5	4463.145	1.5075	0.03%	-3.26843

泰利颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	6.57	0.44%	-1.3800413
	5-10	303.9575	7.2925	2.40%	0.49249518
	10-15	220.735	5.285	2.39%	0.48473631
	15-20	267.8	4.47	1.67%	0.10555181
	20-25	399.07	3.085	0.77%	-0.6976153
	25-30	663.69	3.585	0.54%	-1.0844965
	30-35	1051.1175	6.645	0.63%	-0.9490581
	35-40	1368.5275	12.2275	0.89%	-0.5970383
	40-45	1338.0975	16.6625	1.25%	-0.223205
	45-50	1029.5725	22.1725	2.15%	0.41567565
	50-55	649.2925	19.335	2.98%	0.7690706
	55-60	382.6525	16.125	4.21%	1.13326807
	>60	413.785	21.365	5.16%	1.38510669
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	16.54	1.28%	-0.18749
	東北	1083.3725	16.78	1.55%	0.029852
	東	1315.66	21.3825	1.63%	0.087833
	東南	1263.6775	20.345	1.61%	0.076108
	南	1082.29	17.355	1.60%	0.069798
	西南	1050.4725	14.8725	1.42%	-0.07243
	西	1282.5175	18.49	1.44%	-0.05332
	西北	1229.99	19.055	1.55%	0.030634
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	39.34	1.03%	-0.585733
	200-400	1888.985	21.04	1.11%	-0.3708904
	400-600	1344.0925	25.06	1.86%	0.25479273
	600-800	894.3125	22.83	2.55%	0.61117321
	800-1000	608.98	14.98	2.46%	0.54259365
	1000-1200	418.8025	6.98	1.67%	0.10578094
	1200-1400	210.93	7.8975	3.74%	0.96601664
	1400-1600	148.26	2.0125	1.36%	-0.1090478
	1600-1800	116.65	0.5175	0.44%	-1.2437859
	>1800	134.4175	4.1625	3.10%	0.7503835
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	82.0225	2.42%	0.883921
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	20.79	1.32%	-0.19774

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	42.0075	1.35%	-0.15885
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	0.36	0.11%	-2.6984445
	50-100	314.815	0.98	0.31%	-1.6175726
	100-150	314.8975	1.8975	0.60%	-0.9476781
	150-200	313.065	1.9375	0.62%	-0.9203317
	200-250	309.6375	2.52	0.81%	-0.6399752
	250-300	300.98	2.8525	0.95%	-0.4830072
	300-350	291.3825	3.005	1.03%	-0.3955352
	350-400	290.0475	3.0875	1.06%	-0.3627869
	400-450	286.7275	3.175	1.11%	-0.3219062
	450-500	288.025	2.295	0.80%	-0.660562
	>500	6549.2925	122.71	1.87%	0.96035212
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	21	3.44%	0.93698212
	51-100	509.76	11.175	2.19%	0.40649213
	101-150	477.9325	5.375	1.12%	-0.3113942
	151-200	444.3375	6.64	1.49%	-0.0104216
	201-250	425.0125	10.05	2.36%	0.4848855
	251-300	418.58	10.6975	2.56%	0.57013116
	301-350	398.51	9.015	2.26%	0.43470365
	351-400	370.51	5.835	1.57%	0.04512161
	>400	5942.0825	65.0325	1.09%	-0.701624
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	524.305	9.815	1.87%	0.23342
	0-0.1	464.4825	16.145	3.48%	0.924145
	0.1-0.2	378.9225	28.465	7.51%	1.848973
	0.2-0.3	403.84	29.9875	7.43%	1.847054
	0.3-0.4	547.9825	28.8325	5.26%	1.453302
	0.4-0.5	1394.85	22.375	1.60%	0.072982
	>0.5	5882.2925	9.2	0.16%	-3.18602

0609 豪雨山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	6.0225	0.40%	-1.5353121
	5-10	303.9575	6.4275	2.11%	0.29305578
	10-15	220.735	4.51	2.04%	0.25388716
	15-20	267.8	3.645	1.36%	-0.1702555
	20-25	399.07	2.4675	0.62%	-0.9891507
	25-30	663.69	3.3025	0.50%	-1.2316292
	30-35	1051.1175	7.3	0.69%	-0.9139683
	35-40	1368.5275	13.1425	0.96%	-0.584298
	40-45	1338.0975	17.575	1.31%	-0.2312941
	45-50	1029.5725	23.18	2.25%	0.39713249
	50-55	649.2925	20.27	3.12%	0.75467166
	55-60	382.6525	17.175	4.49%	1.13849727
	>60	413.785	28.79	6.96%	1.68973358
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	17.15	1.33%	-0.21508
	東北	1083.3725	17.9775	1.66%	0.039918
	東	1315.66	23.1275	1.76%	0.109726
	東南	1263.6775	21.595	1.71%	0.075492
	南	1082.29	18.32	1.69%	0.062823
	西南	1050.4725	15.7275	1.50%	-0.07738
	西	1282.5175	20.4575	1.60%	-0.00558
	西北	1229.99	19.4525	1.58%	-0.01551
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	32.2275	0.84%	-0.9319284
	200-400	1888.985	23.32	1.23%	-0.3204396
	400-600	1344.0925	25.515	1.90%	0.20325854
	600-800	894.3125	27.75	3.10%	0.7787219
	800-1000	608.98	14.82	2.43%	0.46247166
	1000-1200	418.8025	9.435	2.25%	0.3661113
	1200-1400	210.93	10.685	5.07%	1.23717931
	1400-1600	148.26	5.31	3.58%	0.8442896
	1600-1800	116.65	0.59	0.51%	-1.1729505
	>1800	134.4175	4.155	3.09%	0.68556898
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	104.405	3.08%	1.374077

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩(片麻岩、混合岩)	1624.03	13.8275	0.88%	-0.7329
	大南澳片岩(黑色片岩、綠色片岩、燧石)	3102.83	35.575	1.15%	-0.46931
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	1.8625	0.55%	-1.1017486
	50-100	314.815	1.86	0.59%	-1.0297066
	100-150	314.8975	1.84	0.58%	-1.0409878
	150-200	313.065	2.07	0.66%	-0.9148542
	200-250	309.6375	2.8125	0.91%	-0.5894679
	250-300	300.98	3.0325	1.01%	-0.4823648
	300-350	291.3825	2.55	0.88%	-0.6267872
	350-400	290.0475	2.71	0.93%	-0.5595208
	400-450	286.7275	3.81	1.33%	-0.1955488
	450-500	288.025	4.0925	1.42%	-0.1258288
	>500	6549.2925	127.1675	1.94%	0.80884487
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	20.84	3.42%	0.85675378
	51-100	509.76	13.0175	2.55%	0.50992916
	101-150	477.9325	8.2225	1.72%	0.07599161
	151-200	444.3375	9.5175	2.14%	0.31224852
	201-250	425.0125	11.9975	2.82%	0.61501756
	251-300	418.58	12.945	3.09%	0.7165799
	301-350	398.51	11.2825	2.83%	0.6158661
	351-400	370.51	6.44	1.74%	0.08594995
	>400	5942.0825	59.545	1.00%	-0.9614861
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1357.2375	71.5875	5.27%	1.709161
	0-0.1	260.0925	24.22	9.31%	1.98725
	0.1-0.2	325.8125	24.5125	7.52%	1.749567
	0.2-0.3	548.1825	20.2275	3.69%	0.938812
	0.3-0.4	1782.9825	10.35	0.58%	-1.16417
	0.4-0.5	4242.155	2.6925	0.06%	-3.82269
	>0.5	1080.2125	0.2175	0.02%	-4.513

凱米颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	3.3375	0.22%	-1.4783154
	5-10	303.9575	4.0275	1.33%	0.47167803
	10-15	220.735	2.37	1.07%	0.24637563
	15-20	267.8	1.815	0.68%	-0.2298483
	20-25	399.07	1.265	0.32%	-1.0146387
	25-30	663.69	1.635	0.25%	-1.2922281
	30-35	1051.1175	4.12	0.39%	-0.83909
	35-40	1368.5275	7.3325	0.54%	-0.5203227
	40-45	1338.0975	8.5175	0.64%	-0.3269834
	45-50	1029.5725	10.3725	1.01%	0.19895126
	50-55	649.2925	10.19	1.57%	0.68910189
	55-60	382.6525	9.045	2.36%	1.12025114
	>60	413.785	17.2125	4.16%	1.82156466
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	9.2125	0.71%	-0.19447
	東北	1083.3725	9.5025	0.88%	0.040405
	東	1315.66	12.735	0.97%	0.158457
	東南	1263.6775	11.42	0.90%	0.076271
	南	1082.29	10.14	0.94%	0.116071
	西南	1050.4725	7.83	0.75%	-0.14303
	西	1282.5175	9.88	0.77%	-0.10901
	西北	1229.99	10.5225	0.86%	0.012142
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	19.81	0.52%	-0.7285907
	200-400	1888.985	12.015	0.64%	-0.3477047
	400-600	1344.0925	11.23	0.84%	-0.0154076
	600-800	894.3125	10.265	1.15%	0.34502659
	800-1000	608.98	6.0475	0.99%	0.17296504
	1000-1200	418.8025	4.8875	1.17%	0.34182321
	1200-1400	210.93	7.72	3.66%	1.57106602
	1400-1600	148.26	4.3275	2.92%	1.2983731
	1600-1800	116.65	0.805	0.69%	-0.2082255
	>1800	134.4175	4.135	3.08%	1.35146554
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	56.215	1.66%	1.424424

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	3.56	0.23%	-1.49936
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	21.4675	0.69%	-0.28781
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	0.725	0.21%	-1.4057755
	50-100	314.815	1.1125	0.35%	-0.8983389
	100-150	314.8975	1.6075	0.51%	-0.5227112
	150-200	313.065	1.775	0.57%	-0.4148637
	200-250	309.6375	1.7725	0.57%	-0.404869
	250-300	300.98	1.8125	0.60%	-0.3524475
	300-350	291.3825	1.945	0.67%	-0.2461037
	350-400	290.0475	2.6475	0.91%	0.07843388
	400-450	286.7275	3.755	1.31%	0.45810275
	450-500	288.025	3.4925	1.21%	0.37658361
	>500	6549.2925	60.5975	0.93%	0.31420435
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	8.6225	1.41%	0.56538512
	51-100	509.76	5.1975	1.02%	0.19934766
	101-150	477.9325	2.45	0.51%	-0.5256509
	151-200	444.3375	5.0575	1.14%	0.31597632
	201-250	425.0125	7.3575	1.73%	0.77434007
	251-300	418.58	8.3725	2.00%	0.93621607
	301-350	398.51	8.27	2.08%	0.97458419
	351-400	370.51	4.5575	1.23%	0.39601689
	>400	5942.0825	31.3575	0.53%	-0.9587948
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1133.44	29.365	2.59%	1.461493
	0-0.1	318.165	12.3325	3.88%	1.684401
	0.1-0.2	385.92	11.135	2.89%	1.354197
	0.2-0.3	528.73	12.0975	2.29%	1.114308
	0.3-0.4	800.1675	9.1625	1.15%	0.33792
	0.4-0.5	1566.6825	5.1225	0.33%	-1.07069
	>0.5	4863.57	2.0275	0.04%	-3.70901

0604 豪雨山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	3.71	0.25%	-1.2976574
	5-10	303.9575	4.6025	1.51%	0.68509832
	10-15	220.735	2.1275	0.96%	0.20246862
	15-20	267.8	1.805	0.67%	-0.1675778
	20-25	399.07	1.595	0.40%	-0.710052
	25-30	663.69	1.59	0.24%	-1.2529784
	30-35	1051.1175	3.74	0.36%	-0.8714267
	35-40	1368.5275	7.1125	0.52%	-0.4809066
	40-45	1338.0975	8.8275	0.66%	-0.2118742
	45-50	1029.5725	11.235	1.09%	0.36946639
	50-55	649.2925	9.11	1.40%	0.63524126
	55-60	382.6525	7.795	2.04%	1.02454785
	>60	413.785	12.8125	3.10%	1.52761889
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	8.5575	0.66%	-0.2033
	東北	1083.3725	8.665	0.80%	0.010317
	東	1315.66	11.6575	0.89%	0.131478
	東南	1263.6775	10.435	0.83%	0.047753
	南	1082.29	9.2775	0.86%	0.089526
	西南	1050.4725	7.5275	0.72%	-0.11339
	西	1282.5175	9.98	0.78%	-0.02135
	西北	1229.99	9.9625	0.81%	0.025112
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	18.08	0.47%	-0.7620225
	200-400	1888.985	16.095	0.85%	0.09163111
	400-600	1344.0925	13.5025	1.00%	0.28404295
	600-800	894.3125	9.13	1.02%	0.28571599
	800-1000	608.98	2.35	0.39%	-0.7582997
	1000-1200	418.8025	2.56	0.61%	-0.2720704
	1200-1400	210.93	6.2175	2.95%	1.39896074
	1400-1600	148.26	3.385	2.28%	1.10333127
	1600-1800	116.65	0.5525	0.47%	-0.5230521
	>1800	134.4175	4.19	3.12%	1.43596567
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	49.5825	1.46%	1.240244
	大南澳片岩	1624.03	5.3025	0.34%	-1.00565

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	（片麻岩、混合岩）				
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	21.1775	0.68%	-0.2154
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	1.2175	0.36%	-0.812257
	50-100	314.815	0.735	0.23%	-1.2517092
	100-150	314.8975	0.665	0.21%	-1.3532235
	150-200	313.065	0.5625	0.18%	-1.5162694
	200-250	309.6375	0.61	0.20%	-1.4230127
	250-300	300.98	0.7375	0.25%	-1.2017213
	300-350	291.3825	1.2925	0.44%	-0.5977587
	350-400	290.0475	2.145	0.74%	-0.071924
	400-450	286.7275	2.945	1.03%	0.27078701
	450-500	288.025	2.9725	1.03%	0.27585495
	>500	6549.2925	62.18	0.95%	0.7393039
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	9.2	1.51%	0.71442215
	51-100	509.76	5.3175	1.04%	0.29524246
	101-150	477.9325	2.6275	0.55%	-0.3843231
	151-200	444.3375	4.0125	0.90%	0.13840221
	201-250	425.0125	5.1925	1.22%	0.46265879
	251-300	418.58	6.0025	1.43%	0.63731223
	301-350	398.51	5.5875	1.40%	0.61072946
	351-400	370.51	2.78	0.75%	-0.0573957
	>400	5942.0825	35.3425	0.59%	-0.6329473
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1366.7025	37.71	2.76%	1.801796
	0-0.1	335.5575	12.6025	3.76%	1.732677
	0.1-0.2	544.345	11.4725	2.11%	1.097228
	0.2-0.3	1838.2875	9.9775	0.54%	-0.45378
	0.3-0.4	4402.805	3.8125	0.09%	-2.78975
	0.4-0.5	1108.655	0.4875	0.04%	-3.01659
	>0.5	0.3225	0	0.00%	0

聖帕颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	5.765	0.38%	-1.5678847
	5-10	303.9575	6.0975	2.01%	0.2500349
	10-15	220.735	4.82	2.18%	0.33686513
	15-20	267.8	2.99	1.12%	-0.3624391
	20-25	399.07	2.525	0.63%	-0.95282
	25-30	663.69	3.6775	0.55%	-1.1081034
	30-35	1051.1175	7.81	0.74%	-0.8291639
	35-40	1368.5275	13.375	0.98%	-0.5511423
	40-45	1338.0975	18.21	1.36%	-0.1763195
	45-50	1029.5725	22.6025	2.20%	0.38156391
	50-55	649.2925	21.1125	3.25%	0.81770051
	55-60	382.6525	16.8475	4.40%	1.13000403
	>60	413.785	26.0875	6.30%	1.57757879
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	17.8625	1.39%	-0.15429
	東北	1083.3725	18.9375	1.75%	0.114369
	東	1315.66	21.38	1.63%	0.030898
	東南	1263.6775	20.5775	1.63%	0.033118
	南	1082.29	19.185	1.77%	0.130625
	西南	1050.4725	16.03	1.53%	-0.04179
	西	1282.5175	19.45	1.52%	-0.05015
	西北	1229.99	18.4975	1.50%	-0.05956
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	39.3075	1.03%	-0.6532604
	200-400	1888.985	14.84	0.79%	-0.8271174
	400-600	1344.0925	7.625	0.57%	-1.1375707
	600-800	894.3125	20.215	2.26%	0.40876813
	800-1000	608.98	13.9525	2.29%	0.40817488
	1000-1200	418.8025	10.35	2.47%	0.48082195
	1200-1400	210.93	9.6675	4.58%	1.13823114
	1400-1600	148.26	5.875	3.96%	0.9662811
	1600-1800	116.65	5.845	5.01%	1.21510808
	>1800	134.4175	24.2425	18.04%	2.77801079
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	96.965	2.86%	1.190475

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	15.0175	0.95%	-0.62698
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	39.9375	1.29%	-0.29693
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	4.915	1.45%	-0.0886543
	50-100	314.815	5.1275	1.63%	0.02991032
	100-150	314.8975	4.91	1.56%	-0.0159156
	150-200	313.065	4.4525	1.42%	-0.112235
	200-250	309.6375	3.8825	1.25%	-0.2434642
	250-300	300.98	3.5675	1.19%	-0.3016275
	300-350	291.3825	3.8125	1.31%	-0.1988254
	350-400	290.0475	4.3575	1.50%	-0.0547612
	400-450	286.7275	5.48	1.91%	0.19823855
	450-500	288.025	5.225	1.81%	0.14317413
	>500	6549.2925	106.19	1.62%	0.0786282
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	26.5225	4.35%	1.16703641
	51-100	509.76	15.47	3.03%	0.71928279
	101-150	477.9325	10.335	2.16%	0.33746664
	151-200	444.3375	11.4525	2.58%	0.52905767
	201-250	425.0125	13.49	3.17%	0.76038575
	251-300	418.58	13.2975	3.18%	0.76059338
	301-350	398.51	12.22	3.07%	0.71844326
	351-400	370.51	8.3925	2.27%	0.38296295
	>400	5942.0825	40.74	0.69%	-1.5140297
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	2186.38	103.1975	4.72%	2.01288
	0-0.1	419.26	20.1575	4.81%	1.243397
	0.1-0.2	471.9225	12.905	2.73%	0.597339
	0.2-0.3	624.7275	8.4975	1.36%	-0.1639
	0.3-0.4	1139.47	4.16	0.37%	-1.57959
	0.4-0.5	2842.6	2.3025	0.08%	-3.33025
	>0.5	1912.315	0.7	0.04%	-4.00405

柯羅莎颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	4.835	0.32%	-1.3048971
	5-10	303.9575	5.5	1.81%	0.58838312
	10-15	220.735	5.0625	2.29%	0.83468376
	15-20	267.8	3.12	1.17%	0.12026623
	20-25	399.07	2.57	0.64%	-0.4978797
	25-30	663.69	3.04	0.46%	-0.8650768
	30-35	1051.1175	5.61	0.53%	-0.7289764
	35-40	1368.5275	10.265	0.75%	-0.3734133
	40-45	1338.0975	12.885	0.96%	-0.0876429
	45-50	1029.5725	16.075	1.56%	0.47663274
	50-55	649.2925	13.3975	2.06%	0.77256574
	55-60	382.6525	8.545	2.23%	0.82769573
	>60	413.785	8.7125	2.11%	0.76602624
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	11.8575	0.92%	-0.13943
	東北	1083.3725	11.5775	1.07%	0.033172
	東	1315.66	14.21	1.08%	0.046631
	東南	1263.6775	14.7875	1.17%	0.140869
	南	1082.29	12.0325	1.11%	0.078519
	西南	1050.4725	9.655	0.92%	-0.13702
	西	1282.5175	12.1975	0.95%	-0.10137
	西北	1229.99	13.3	1.08%	0.047485
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	39.685	1.04%	-0.003593
	200-400	1888.985	18.8625	1.00%	-0.0485619
	400-600	1344.0925	14.775	1.10%	0.06766656
	600-800	894.3125	14.98	1.68%	0.55075186
	800-1000	608.98	6.1325	1.01%	-0.032707
	1000-1200	418.8025	1.5	0.36%	-1.1007095
	1200-1400	210.93	2.2425	1.06%	0.02470225
	1400-1600	148.26	1.28	0.86%	-0.188702
	1600-1800	116.65	0.16	0.14%	-2.0437218
	>1800	134.4175	0	0.00%	0
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	畢祿山層	127.0025	2.3075	1.82%	0.577913
	大南澳片岩	3394.8975	38.2725	1.13%	0.132177

	（大理岩）				
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	17.64	1.12%	0.055416
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	41.3975	1.33%	0.401958
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	1.805	0.53%	-0.6868861
	50-100	314.815	2.225	0.71%	-0.3986157
	100-150	314.8975	0.9975	0.32%	-1.2177253
	150-200	313.065	0.5275	0.17%	-1.8550847
	200-250	309.6375	0.57	0.18%	-1.7656257
	250-300	300.98	0.9425	0.31%	-1.2283237
	300-350	291.3825	1.6675	0.57%	-0.6142728
	350-400	290.0475	2.32	0.80%	-0.2702476
	400-450	286.7275	3.0375	1.06%	0.02119173
	450-500	288.025	2.38	0.83%	-0.2366072
	>500	6549.2925	83.145	1.27%	0.86117616
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	16.3875	2.69%	1.08296765
	51-100	509.76	6.86	1.35%	0.27965802
	101-150	477.9325	2.4075	0.50%	-0.7553347
	151-200	444.3375	4.265	0.96%	-0.0827863
	201-250	425.0125	6.2775	1.48%	0.37712952
	251-300	418.58	6.7925	1.62%	0.47900532
	301-350	398.51	6.2225	1.56%	0.43589269
	351-400	370.51	3.3025	0.89%	-0.1595669
	>400	5942.0825	47.1025	0.79%	-0.6013631
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1952.2025	50.4575	2.58%	1.410811
	0-0.1	515.285	12.4425	2.41%	0.93726
	0.1-0.2	734.535	10.2775	1.40%	0.331772
	0.2-0.3	1130.42	9.7375	0.86%	-0.21101
	0.3-0.4	1692.7575	11.4075	0.67%	-0.50891
	0.4-0.5	2636.79	4.885	0.19%	-2.00614
	>0.5	934.685	0.41	0.04%	-3.2734

米塔颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	4.0175	0.27%	-0.4936952
	5-10	303.9575	4.64	1.53%	1.42224926
	10-15	220.735	3.345	1.52%	1.38689254
	15-20	267.8	1.7175	0.64%	0.46862757
	20-25	399.07	1.1725	0.29%	-0.3441958
	25-30	663.69	1.025	0.15%	-1.0219148
	30-35	1051.1175	1.965	0.19%	-0.85011
	35-40	1368.5275	3.6475	0.27%	-0.4862863
	40-45	1338.0975	3.9175	0.29%	-0.3807726
	45-50	1029.5725	4.37	0.42%	0.04173717
	50-55	649.2925	3.9025	0.60%	0.4216218
	55-60	382.6525	2.78	0.73%	0.61057227
	>60	413.785	2.7525	0.67%	0.51763959
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	3.9625	0.31%	-0.32432
	東北	1083.3725	3.4	0.31%	-0.29516
	東	1315.66	6.08	0.46%	0.143529
	東南	1263.6775	6.4325	0.51%	0.257679
	南	1082.29	5.0125	0.46%	0.141831
	西南	1050.4725	3.4025	0.32%	-0.25955
	西	1282.5175	5.18	0.40%	-0.01461
	西北	1229.99	5.7825	0.47%	0.162142
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	25.86	0.67%	1.0711395
	200-400	1888.985	7.5975	0.40%	-0.0209833
	400-600	1344.0925	5.25	0.39%	-0.053614
	600-800	894.3125	0.545	0.06%	-1.9915566
	800-1000	608.98	0	0.00%	0
	1000-1200	418.8025	0	0.00%	0
	1200-1400	210.93	0	0.00%	0
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0	0.00%	0
	>1800	134.4175	0	0.00%	0
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	8.855	0.26%	-0.63312

	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	5.395	0.34%	-0.24651
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	25.0025	0.81%	1.306653
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	1.0075	0.30%	-0.3268246
	50-100	314.815	1.8625	0.59%	0.38624577
	100-150	314.8975	1.385	0.44%	0.07548792
	150-200	313.065	1.05	0.34%	-0.2052798
	200-250	309.6375	0.8575	0.28%	-0.4020583
	250-300	300.98	0.735	0.24%	-0.5304418
	300-350	291.3825	1.175	0.40%	-0.0147134
	350-400	290.0475	1.2625	0.44%	0.06448012
	400-450	286.7275	2.5525	0.89%	0.81959519
	450-500	288.025	1.7625	0.61%	0.42041359
	>500	6549.2925	25.6025	0.39%	-0.136696
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	9.44	1.55%	1.55242978
	51-100	509.76	2.81	0.55%	0.31960867
	101-150	477.9325	0.255	0.05%	-2.0851237
	151-200	444.3375	0	0.00%	0
	201-250	425.0125	0.015	0.00%	-4.8018347
	251-300	418.58	0.355	0.08%	-1.6122592
	301-350	398.51	0.4225	0.11%	-1.3849019
	351-400	370.51	0.1525	0.04%	-2.3356301
	>400	5942.0825	25.8025	0.43%	0.16608191
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	6334.095	21.8	0.34%	-0.44292
	0-0.1	342.6375	4.96	1.45%	1.37349
	0.1-0.2	435.4975	4.78	1.10%	1.077786
	0.2-0.3	698.645	4.055	0.58%	0.385276
	0.3-0.4	982.615	2.525	0.26%	-0.50805
	0.4-0.5	741.905	1.1325	0.15%	-1.03961
	>0.5	61.28	0	0.00%	0

辛樂克颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	4.065	0.27%	-1.3785703
	5-10	303.9575	4.855	1.60%	0.5638643
	10-15	220.735	4.405	2.00%	0.79424859
	15-20	267.8	2.71	1.01%	0.08029805
	20-25	399.07	2.15	0.54%	-0.5756179
	25-30	663.69	2.88	0.43%	-0.8140683
	30-35	1051.1175	5.5225	0.53%	-0.6355377
	35-40	1368.5275	9.2325	0.67%	-0.3768321
	40-45	1338.0975	10.475	0.78%	-0.2075911
	45-50	1029.5725	10.505	1.02%	0.09717867
	50-55	649.2925	10.4775	1.61%	0.60506532
	55-60	382.6525	8.23	2.15%	0.89932393
	>60	413.785	14.39	3.48%	1.46919126
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	9.71	0.75%	-0.24976
	東北	1083.3725	11.21	1.03%	0.113988
	東	1315.66	13.0375	0.99%	0.066105
	東南	1263.6775	13.1575	1.04%	0.123981
	南	1082.29	11.3375	1.05%	0.128192
	西南	1050.4725	9.4425	0.90%	-0.04666
	西	1282.5175	10.9575	0.85%	-0.10649
	西北	1229.99	11.045	0.90%	-0.0488
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	32.8175	0.86%	-0.146149
	200-400	1888.985	11.62	0.62%	-0.5053908
	400-600	1344.0925	5.2525	0.39%	-0.971349
	600-800	894.3125	14.2025	1.59%	0.60927255
	800-1000	608.98	10.91	1.79%	0.72146683
	1000-1200	418.8025	5.7025	1.36%	0.39941411
	1200-1400	210.93	6.165	2.92%	1.20738402
	1400-1600	148.26	2.4625	1.66%	0.59236803
	1600-1800	116.65	0.335	0.29%	-1.1974137
	>1800	134.4175	0.43	0.32%	-1.0900259
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	沖積層	935.5775	0.6375	0.07%	-2.726
	大南澳片岩	3394.8975	37.3375	1.10%	0.263153

	（大理岩）				
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	16.3275	1.04%	0.086553
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	35.595	1.15%	0.319316
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	1.2425	0.37%	-0.9626948
	50-100	314.815	2.23	0.71%	-0.2900988
	100-150	314.8975	2.19	0.70%	-0.3090601
	150-200	313.065	1.905	0.61%	-0.4465945
	200-250	309.6375	1.4825	0.48%	-0.6921057
	250-300	300.98	1.99	0.66%	-0.3607557
	300-350	291.3825	2.6325	0.90%	-0.0376604
	350-400	290.0475	3.65	1.26%	0.30929692
	400-450	286.7275	4.8825	1.70%	0.63113755
	450-500	288.025	4.6725	1.62%	0.57920946
	>500	6549.2925	63.02	0.96%	0.08789865
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	15.6775	2.57%	1.15306557
	51-100	509.76	8.71	1.71%	0.65662064
	101-150	477.9325	3.88	0.81%	-0.1514243
	151-200	444.3375	6.5175	1.47%	0.48188712
	201-250	425.0125	8.8	2.07%	0.86289598
	251-300	418.58	10.3675	2.48%	1.06662572
	301-350	398.51	9.0825	2.28%	0.96744365
	351-400	370.51	4.7075	1.27%	0.32270169
	>400	5942.0825	22.155	0.37%	-1.6187004
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1118.2875	24.885	2.23%	1.080214
	0-0.1	280.9125	14.61	5.20%	1.907108
	0.1-0.2	423.1575	13.1575	3.11%	1.336087
	0.2-0.3	589.715	12.27	2.08%	0.893719
	0.3-0.4	844.4625	10.37	1.23%	0.304404
	0.4-0.5	1645.9325	7.98	0.48%	-0.75931
	>0.5	4694.2075	6.625	0.14%	-2.50358

莫拉克颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	7.6	0.50%	-0.2136587
	5-10	303.9575	4.22	1.39%	0.88320855
	10-15	220.735	0.7675	0.35%	-0.5654393
	15-20	267.8	0.7275	0.27%	-0.8187705
	20-25	399.07	0.8	0.20%	-1.1363676
	25-30	663.69	1.1375	0.17%	-1.3167829
	30-35	1051.1175	2.6175	0.25%	-0.960495
	35-40	1368.5275	5.0775	0.37%	-0.5529196
	40-45	1338.0975	6.47	0.48%	-0.2563967
	45-50	1029.5725	9.045	0.88%	0.43318985
	50-55	649.2925	7.29	1.12%	0.68922083
	55-60	382.6525	5.89	1.54%	1.01109434
	>60	413.785	6.3575	1.54%	1.01488484
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	8.805	0.68%	0.144031
	東北	1083.3725	6.015	0.56%	-0.09571
	東	1315.66	8.555	0.65%	0.085817
	東南	1263.6775	7.9675	0.63%	0.049198
	南	1082.29	6.3675	0.59%	-0.03045
	西南	1050.4725	5.2	0.50%	-0.22284
	西	1282.5175	7.4025	0.58%	-0.05327
	西北	1229.99	7.6875	0.63%	0.038832
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	20.32	0.53%	-0.210073
	200-400	1888.985	11.0825	0.59%	-0.0370661
	400-600	1344.0925	11.5925	0.86%	0.4307273
	600-800	894.3125	6.3675	0.71%	0.18354479
	800-1000	608.98	0.5125	0.08%	-2.0337707
	1000-1200	418.8025	0	0.00%	0
	1200-1400	210.93	0	0.00%	0
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0.1625	0.14%	-1.481676
	>1800	134.4175	7.9625	5.92%	2.47184791
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	沖積層	935.5775	2.7	0.29%	-0.7976
	畢祿山層	127.0025	0.08	0.06%	-2.27865

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	34.5625	1.02%	0.997441
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	1.4225	0.09%	-2.09834
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩）	3102.83	19.235	0.62%	0.037985
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	0.29	0.09%	-1.9878299
	50-100	314.815	0.98	0.31%	-0.682817
	100-150	314.8975	0.955	0.30%	-0.7094507
	150-200	313.065	0.6225	0.20%	-1.1382783
	200-250	309.6375	0.535	0.17%	-1.2801695
	250-300	300.98	0.7725	0.26%	-0.8785004
	300-350	291.3825	1.255	0.43%	-0.3495307
	350-400	290.0475	1.26	0.43%	-0.3406922
	400-450	286.7275	1.68	0.59%	-0.0321408
	450-500	288.025	1.8525	0.64%	0.06460848
	>500	6549.2925	47.7975	0.73%	0.78323785
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	8.2675	1.36%	0.90389803
	51-100	509.76	3.5175	0.69%	0.14143215
	101-150	477.9325	0.9325	0.20%	-1.1698281
	151-200	444.3375	1.065	0.24%	-0.9575958
	201-250	425.0125	1.385	0.33%	-0.6417465
	251-300	418.58	1.0275	0.25%	-0.9315022
	301-350	398.51	0.915	0.23%	-0.9982727
	351-400	370.51	0.56	0.15%	-1.4203738
	>400	5942.0825	40.33	0.68%	0.34111584
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	2145.7925	23.735	1.11%	0.884163
	0-0.1	708.205	11.1925	1.58%	1.109627
	0.1-0.2	476.1075	6.9625	1.46%	0.969742
	0.2-0.3	509.945	5.6925	1.12%	0.66773
	0.3-0.4	736.2925	5.0875	0.69%	0.146809
	0.4-0.5	2174.37	4.1325	0.19%	-1.34528
	>0.5	2845.9625	1.1975	0.04%	-3.00363

凡納比颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	15.8025	1.05%	-0.0476841
	5-10	303.9575	8.8275	2.90%	1.05476414
	10-15	220.735	5.325	2.41%	0.83690231
	15-20	267.8	3.72	1.39%	0.25321133
	20-25	399.07	3.625	0.91%	-0.1916965
	25-30	663.69	4.1375	0.62%	-0.5953856
	30-35	1051.1175	6.84	0.65%	-0.5694835
	35-40	1368.5275	11.795	0.86%	-0.2720403
	40-45	1338.0975	12.72	0.95%	-0.1592982
	45-50	1029.5725	11.9125	1.16%	0.06754599
	50-55	649.2925	8.9175	1.37%	0.25294781
	55-60	382.6525	5.375	1.40%	0.268711
	>60	413.785	5.635	1.36%	0.23652587
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	14.1775	1.10%	0.010505
	東北	1083.3725	11.985	1.11%	0.016587
	東	1315.66	15.0525	1.14%	0.05667
	東南	1263.6775	13.81	1.09%	0.002713
	南	1082.29	11.7075	1.08%	-0.00898
	西南	1050.4725	10.79	1.03%	-0.06747
	西	1282.5175	13.86	1.08%	-0.01033
	西北	1229.99	13.25	1.08%	-0.01396
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	63.005	1.64%	0.83247839
	200-400	1888.985	14.4375	0.76%	-0.4300647
	400-600	1344.0925	14.765	1.10%	0.00882681
	600-800	894.3125	10.55	1.18%	0.08824525
	800-1000	608.98	1.875	0.31%	-1.3203522
	1000-1200	418.8025	0	0.00%	0
	1200-1400	210.93	0	0.00%	0
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0	0.00%	0
	>1800	134.4175	0	0.00%	0
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	沖積層	935.5775	2.7425	0.29%	-1.39849
	廬山層及其	297.4875	12.34	4.15%	1.462584

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	相當地層				
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	24.7475	0.73%	-0.57495
	大南澳片岩（片麻岩）	1624.03	6.785	0.43%	-1.08575
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩）	3102.83	58.0175	1.87%	0.969034
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	1.4	0.41%	-0.9967022
	50-100	314.815	2.43	0.77%	-0.3585561
	100-150	314.8975	2.69	0.85%	-0.2537713
	150-200	313.065	2.405	0.77%	-0.3634168
	200-250	309.6375	1.7775	0.57%	-0.6625195
	250-300	300.98	1.3625	0.45%	-0.9043973
	300-350	291.3825	1.26	0.43%	-0.9503631
	350-400	290.0475	2.0275	0.70%	-0.4597172
	400-450	286.7275	3.4075	1.19%	0.08996253
	450-500	288.025	3.76	1.31%	0.1884585
	>500	6549.2925	82.1125	1.25%	0.53381194
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	21.445	3.52%	1.36101295
	51-100	509.76	4.2825	0.84%	-0.2761447
	101-150	477.9325	0.915	0.19%	-1.7914073
	151-200	444.3375	3.815	0.86%	-0.2516448
	201-250	425.0125	5.7925	1.36%	0.23770444
	251-300	418.58	6.0675	1.45%	0.30374163
	301-350	398.51	5.0875	1.28%	0.16717068
	351-400	370.51	1.715	0.46%	-0.8861744
	>400	5942.0825	55.5125	0.93%	-0.3678787
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1055.9225	0.69	0.07%	-2.93606
	0-0.1	472.9025	16.0775	3.40%	1.278382
	0.1-0.2	526.4175	29.12	5.53%	1.942334
	0.2-0.3	384.2725	21.24	5.53%	1.857048
	0.3-0.4	546.2375	15.0425	2.75%	1.041127
	0.4-0.5	1422.71	11.3325	0.80%	-0.36324
	>0.5	5188.2125	11.13	0.21%	-2.3105

南瑪都颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	3.8325	0.25%	-1.0566353
	5-10	303.9575	3.26	1.07%	0.52173246
	10-15	220.735	0.4125	0.19%	-1.2726506
	15-20	267.8	0.2875	0.11%	-1.8348233
	20-25	399.07	0.46	0.12%	-1.7751163
	25-30	663.69	0.72	0.11%	-1.8610147
	30-35	1051.1175	2.475	0.24%	-1.1005027
	35-40	1368.5275	5.34	0.39%	-0.5828551
	40-45	1338.0975	8.3175	0.62%	-0.0574931
	45-50	1029.5725	12.8925	1.25%	0.77464258
	50-55	649.2925	10.87	1.67%	1.07292635
	55-60	382.6525	7.1975	1.88%	1.15215087
	>60	413.785	6.605	1.60%	0.97103302
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	7.045	0.55%	-0.20396
	東北	1083.3725	6.4625	0.60%	-0.10212
	東	1315.66	9.8775	0.75%	0.164658
	東南	1263.6775	9.18	0.73%	0.124581
	南	1082.29	6.4475	0.60%	-0.1036
	西南	1050.4725	6.005	0.57%	-0.14924
	西	1282.5175	8.6825	0.68%	0.04197
	西北	1229.99	8.97	0.73%	0.128605
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	12.83	0.33%	-0.9538214
	200-400	1888.985	10.6675	0.56%	-0.1791628
	400-600	1344.0925	15.7425	1.17%	0.72848546
	600-800	894.3125	14.89	1.66%	1.12050367
	800-1000	608.98	2.8875	0.47%	-0.3405429
	1000-1200	418.8025	0.0475	0.01%	-4.1038527
	1200-1400	210.93	0	0.00%	0
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0.2025	0.17%	-1.3388921
	>1800	134.4175	5.41	4.02%	1.92964096
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	41.51	1.22%	1.285269

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（片麻岩、混合岩）	1624.03	10.8525	0.69%	0.027957
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩、燧石）	3102.83	10.3075	0.33%	-0.89155
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	0.5175	0.15%	-1.4826706
	50-100	314.815	1.3525	0.43%	-0.4326011
	100-150	314.8975	1.2275	0.39%	-0.532297
	150-200	313.065	0.935	0.30%	-0.8041459
	200-250	309.6375	0.58	0.19%	-1.2771727
	250-300	300.98	0.76	0.25%	-0.9740098
	300-350	291.3825	0.8825	0.30%	-0.7886247
	350-400	290.0475	0.78	0.27%	-0.9093621
	400-450	286.7275	1.015	0.35%	-0.6294576
	450-500	288.025	1.195	0.41%	-0.4673007
	>500	6549.2925	53.425	0.82%	0.99427439
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	11.03	1.81%	1.15893517
	51-100	509.76	3.47	0.68%	0.04417799
	101-150	477.9325	0.895	0.19%	-1.2907358
	151-200	444.3375	0.7575	0.17%	-1.3833551
	201-250	425.0125	1.0075	0.24%	-1.0468212
	251-300	418.58	1.6725	0.40%	-0.511471
	301-350	398.51	0.9675	0.24%	-1.0206376
	351-400	370.51	0.7925	0.21%	-1.1473892
	>400	5942.0825	42.0775	0.71%	0.229967
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1069.59	0.5825	0.05%	-2.59976
	0-0.1	1251	7.4425	0.59%	-0.10713
	0.1-0.2	991.9275	14.6025	1.47%	0.978235
	0.2-0.3	695.6975	11.9175	1.71%	1.111609
	0.3-0.4	609.395	8.825	1.45%	0.891156
	0.4-0.5	910.985	7.675	0.84%	0.287741
	>0.5	4068.08	11.625	0.29%	-1.1792

2012 泰利颱風山崩潛感因子資料表

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	5.01	0.33%	-1.0219697
	5-10	303.9575	4.5625	1.50%	0.63211584
	10-15	220.735	1.68	0.76%	-0.0837254
	15-20	267.8	1.44	0.54%	-0.4415928
	20-25	399.07	1.7425	0.44%	-0.6611885
	25-30	663.69	2.8025	0.42%	-0.7103689
	30-35	1051.1175	6.8025	0.65%	-0.2716178
	35-40	1368.5275	8.955	0.65%	-0.2682474
	40-45	1338.0975	10.93	0.82%	-0.01235
	45-50	1029.5725	12.8475	1.25%	0.48143179
	50-55	649.2925	9.685	1.49%	0.65920777
	55-60	382.6525	6.7175	1.76%	0.81226071
	>60	413.785	6.045	1.46%	0.61284464
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	9.2225	0.72%	-0.16451
	東北	1083.3725	8.34	0.77%	-0.07901
	東	1315.66	11.98	0.91%	0.115592
	東南	1263.6775	10.425	0.82%	-0.00073
	南	1082.29	8.425	0.78%	-0.06644
	西南	1050.4725	8.665	0.82%	-0.00086
	西	1282.5175	11.4125	0.89%	0.087921
	西北	1229.99	10.75	0.87%	0.066323
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	27.64	0.72%	-0.2169263
	200-400	1888.985	14.3825	0.76%	-0.1004977
	400-600	1344.0925	13.6925	1.02%	0.25145294
	600-800	894.3125	10.59	1.18%	0.4104695
	800-1000	608.98	2.5475	0.42%	-0.7169798
	1000-1200	418.8025	0.05	0.01%	-4.2887227
	1200-1400	210.93	0	0.00%	0
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0.4325	0.37%	-0.8117941
	>1800	134.4175	9.885	7.35%	2.37521366
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	廬山層及其相當地層	297.4875	0.4275	0.14%	-1.78138
	畢祿山層	127.0025	0.205	0.16%	-1.6495

坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	37.0625	1.09%	0.477912
	大南澳片岩（片麻岩）	1624.03	10.1	0.64%	-0.33467
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩）	3102.83	31.425	1.01%	0.322015
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	1.1675	0.35%	-0.8966521
	50-100	314.815	1.425	0.45%	-0.6199533
	100-150	314.8975	1.5225	0.48%	-0.5524678
	150-200	313.065	1.6025	0.51%	-0.493897
	200-250	309.6375	0.905	0.29%	-1.0651283
	250-300	300.98	1.395	0.46%	-0.5950672
	300-350	291.3825	1.645	0.56%	-0.3925132
	350-400	290.0475	1.705	0.59%	-0.3509372
	400-450	286.7275	1.7625	0.61%	-0.3048784
	450-500	288.025	1.3525	0.47%	-0.5810953
	>500	6549.2925	64.7375	0.99%	0.73749567
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	15.9025	2.61%	1.32778845
	51-100	509.76	4.9825	0.98%	0.1809321
	101-150	477.9325	1.8975	0.40%	-0.7633676
	151-200	444.3375	1.2475	0.28%	-1.1157789
	201-250	425.0125	2.1125	0.50%	-0.5290331
	251-300	418.58	1.48	0.35%	-0.8785851
	301-350	398.51	1.29	0.32%	-0.9674082
	351-400	370.51	1.285	0.35%	-0.8952069
	>400	5942.0825	49.0225	0.83%	-0.0015678
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	2680.2925	37.365	1.39%	0.842459
	0-0.1	441.515	12.795	2.90%	1.406968
	0.1-0.2	495.155	10.7575	2.17%	1.075057
	0.2-0.3	615.335	8.115	1.32%	0.515621
	0.3-0.4	1118.4175	6.3025	0.56%	-0.42578
	0.4-0.5	2303.54	3.2775	0.14%	-1.99945
	>0.5	1942.42	0.6075	0.03%	-3.50162

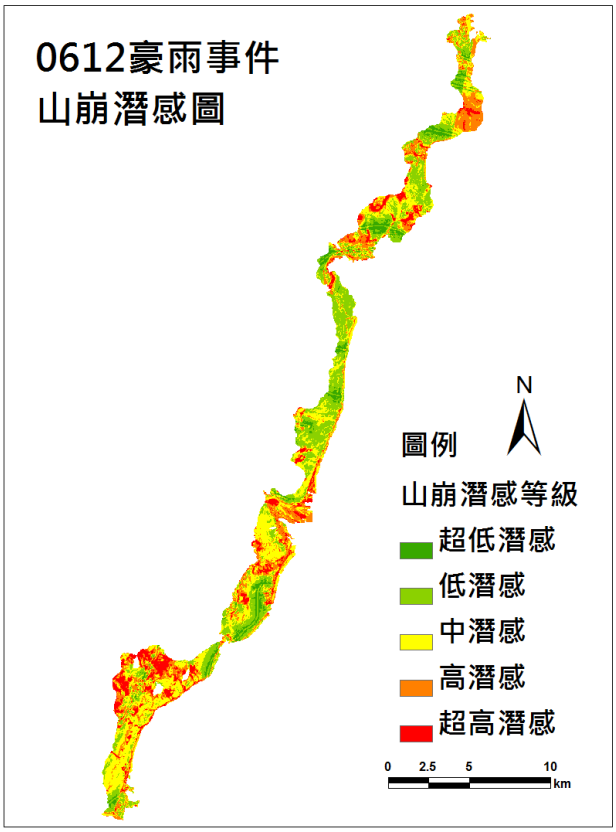
蘇拉颱風山崩潛感因子資料表

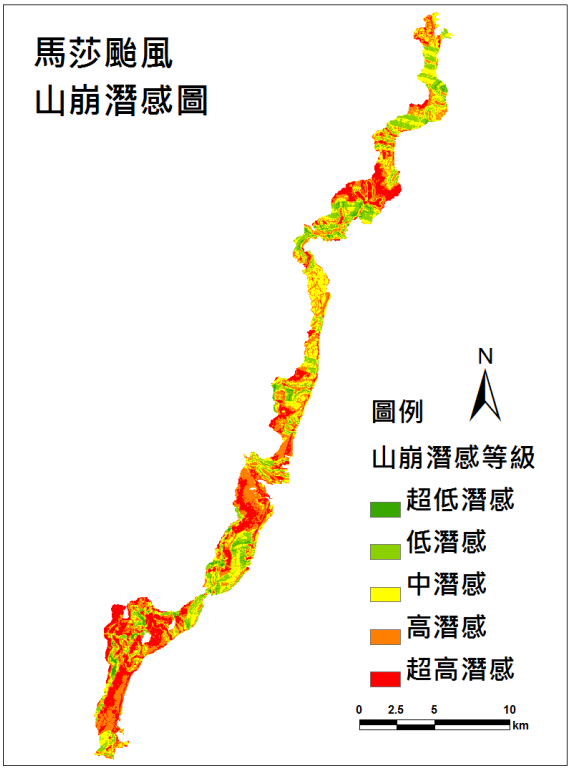
坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<5	1508.3775	8.3425	0.55%	-1.6907024
	5-10	303.9575	14.3225	4.71%	0.66333921
	10-15	220.735	11.7375	5.32%	0.78831849
	15-20	267.8	10.1525	3.79%	0.42187666
	20-25	399.07	10.79	2.70%	0.06088942
	25-30	663.69	15.225	2.29%	-0.1180259
	30-35	1051.1175	25.31	2.41%	-0.0678663
	35-40	1368.5275	32.8775	2.40%	-0.0731127
	40-45	1338.0975	33.7125	2.52%	-0.0165121
	45-50	1029.5725	30.42	2.95%	0.16907653
	50-55	649.2925	21.1175	3.25%	0.26921644
	55-60	382.6525	14.745	3.85%	0.4463584
	>60	413.785	16.405	3.96%	0.47992353
坡向	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	北	1288.695	28.785	2.23%	-0.15736
	東北	1083.3725	27.12	2.50%	-0.02344
	東	1315.66	37.2675	2.83%	0.12405
	東南	1263.6775	34.9325	2.76%	0.093917
	南	1082.29	28.235	2.61%	0.024327
	西南	1050.4725	25.015	2.38%	-0.08055
	西	1282.5175	32.9575	2.57%	0.007004
	西北	1229.99	30.845	2.51%	-0.02176
高程	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<200	3831.245	115.19	3.01%	0.29571512
	200-400	1888.985	50.8625	2.69%	0.06769105
	400-600	1344.0925	37.4325	2.78%	0.10388303
	600-800	894.3125	22.495	2.52%	-0.0175139
	800-1000	608.98	6.8175	1.12%	-0.8779975
	1000-1200	418.8025	0.385	0.09%	-3.3938021
	1200-1400	210.93	0	0.00%	0
	1400-1600	148.26	0	0.00%	0
	1600-1800	116.65	0.3225	0.28%	-2.2578697
	>1800	134.4175	11.6525	8.67%	1.32212446
岩性	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	廬山層及其相當地層	297.4875	1.0475	0.35%	-2.03099
	畢祿山層	127.0025	0.03	0.02%	-4.7217
	大南澳片岩（大理岩）	3394.8975	97.64	2.88%	0.196645
	大南澳片	1624.03	39.7375	2.52%	-0.05181

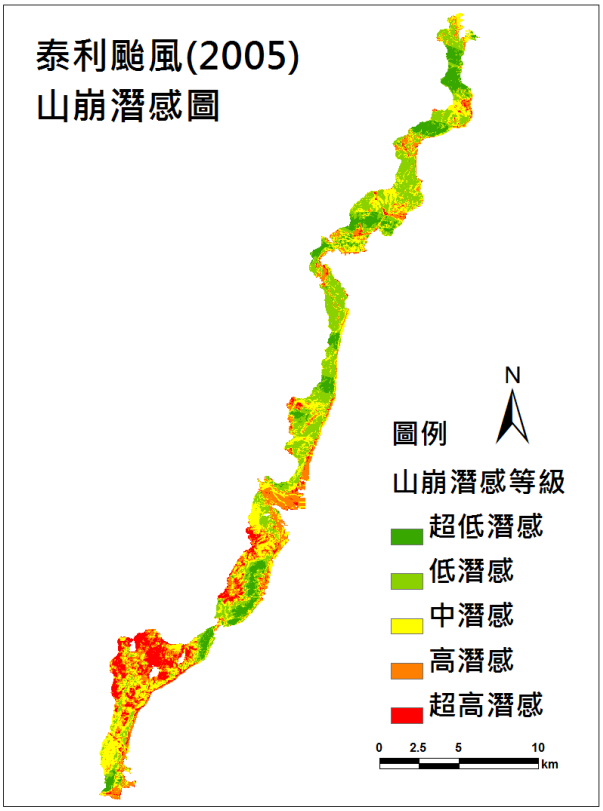
坡度	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	岩（片麻岩）				
	大南澳片岩（黑色片岩、綠色片岩）	3102.83	106.4675	3.43%	0.489199
距構造線距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	337.805	4.3725	1.29%	-0.7110227
	50-100	314.815	6.13	1.95%	-0.2859775
	100-150	314.8975	5.585	1.77%	-0.3834654
	150-200	313.065	5.4975	1.76%	-0.3937711
	200-250	309.6375	4.89	1.58%	-0.5038811
	250-300	300.98	7.015	2.33%	-0.096925
	300-350	291.3825	7.115	2.44%	-0.0477354
	350-400	290.0475	7.1825	2.48%	-0.0329089
	400-450	286.7275	5.9975	2.09%	-0.2103691
	450-500	288.025	5.2125	1.81%	-0.3615495
	>500	6549.2925	186.16	2.84%	0.39332377
距河道距離	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<50	609.95	39.155	6.42%	1.07292367
	51-100	509.76	12.3225	2.42%	-0.0597395
	101-150	477.9325	7.3375	1.54%	-0.540853
	151-200	444.3375	7.105	1.60%	-0.4967472
	201-250	425.0125	8.8425	2.08%	-0.2189195
	251-300	418.58	8.945	2.14%	-0.1904022
	301-350	398.51	8.1125	2.04%	-0.2413589
	351-400	370.51	4.885	1.32%	-0.6938015
	>400	5942.0825	148.4525	2.50%	-0.0589921
正規化植生指數	分類	區間面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)	權重值
	<0	1169.3475	32.04	2.74%	0.082343
	0-0.1	450.435	37.9225	8.42%	1.377604
	0.1-0.2	408.7675	42.0975	10.30%	1.625319
	0.2-0.3	433.975	42.225	9.73%	1.560015
	0.3-0.4	552.305	41.0025	7.42%	1.244859
	0.4-0.5	854.5525	30.505	3.57%	0.38569
	>0.5	5727.2925	19.365	0.34%	-2.90504

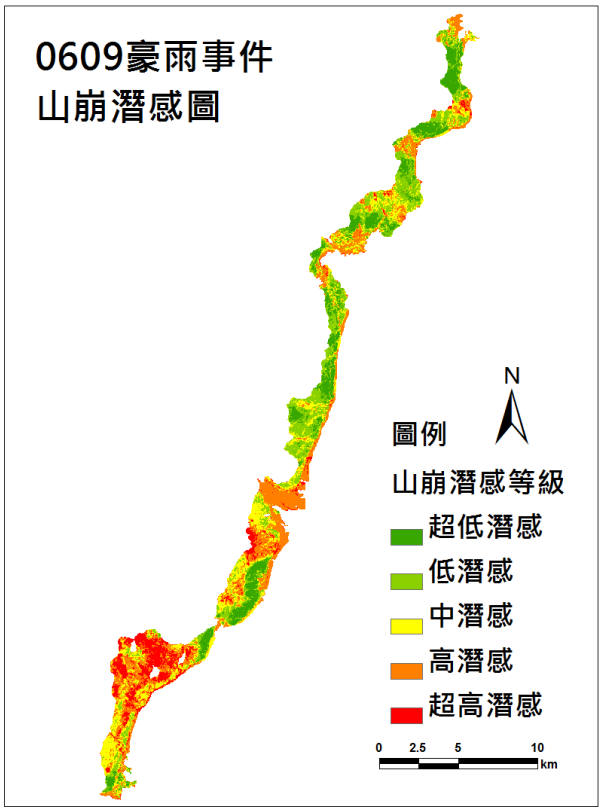
附錄四

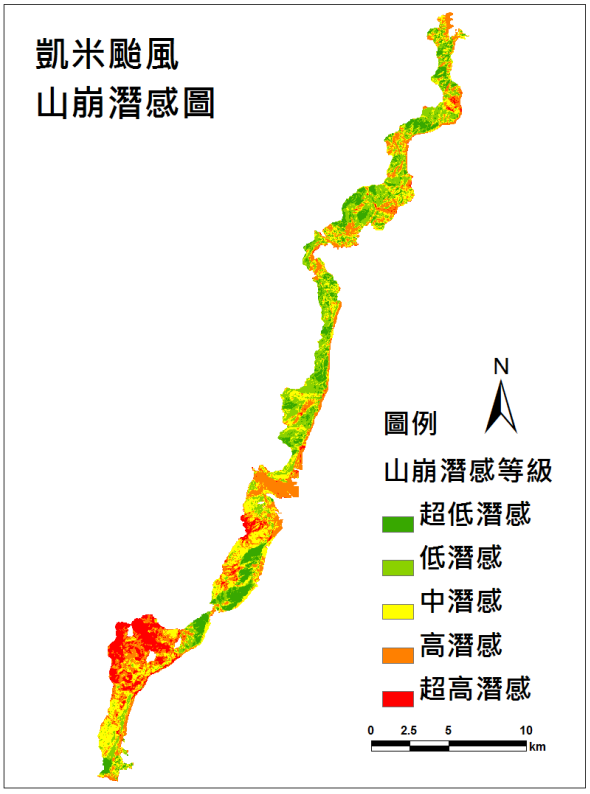
山區道路山崩潛感分析圖

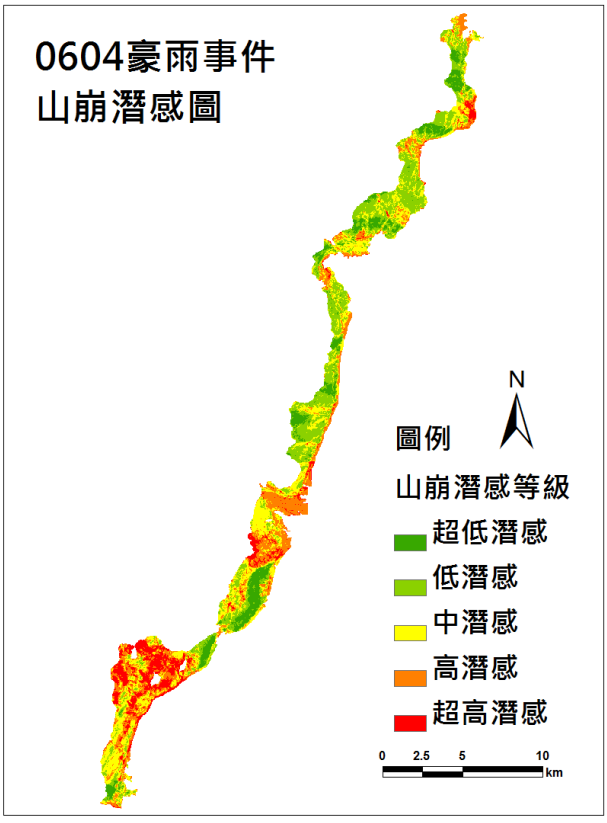

0612豪雨事件
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

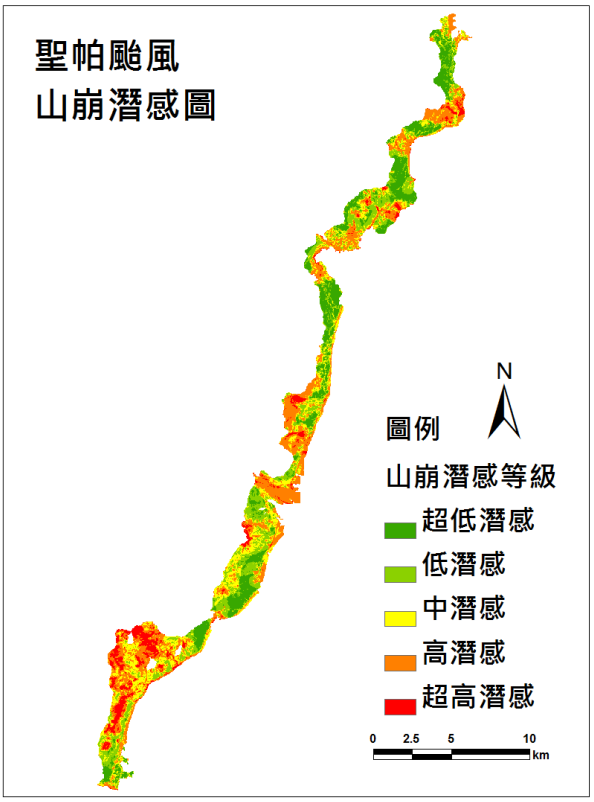

馬莎颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

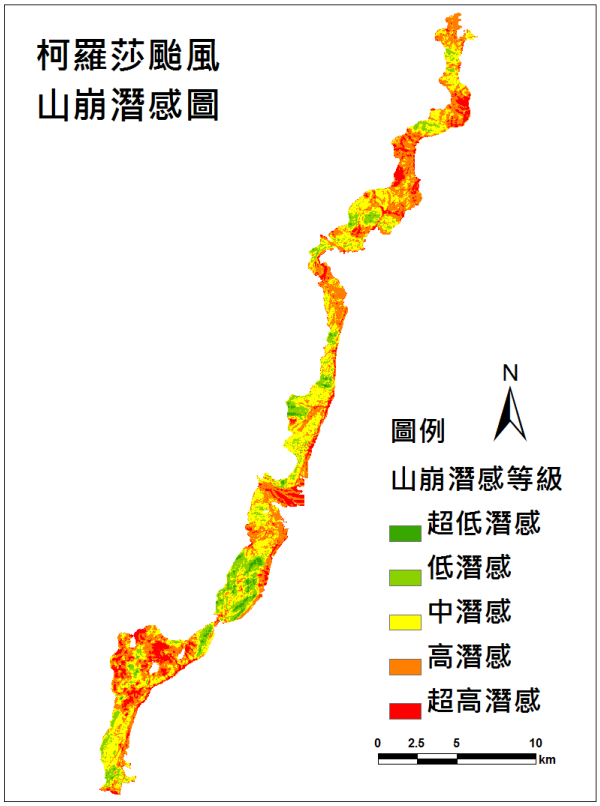

泰利颱風(2005)
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

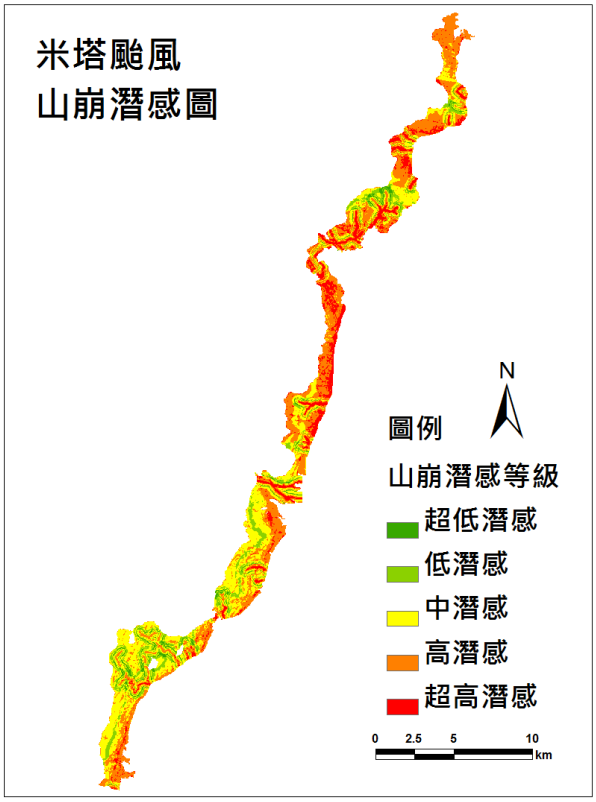

0609豪雨事件
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

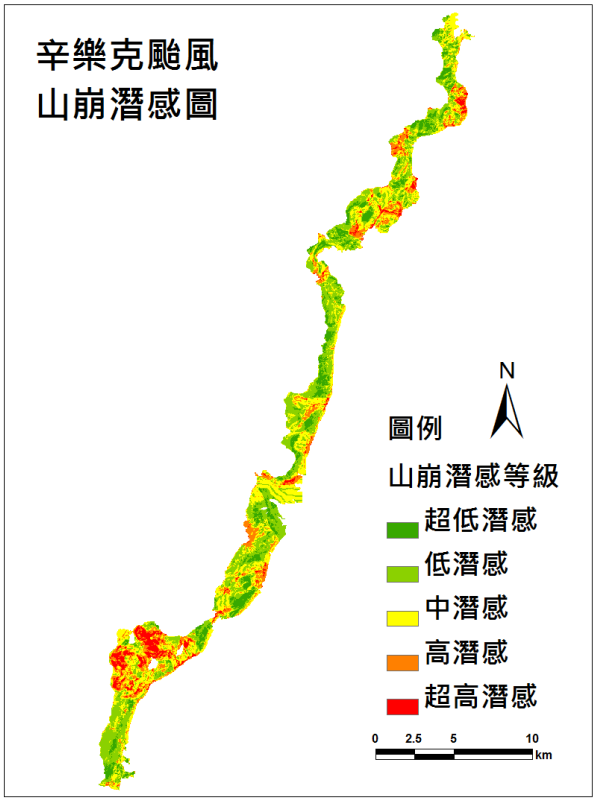

凱米颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

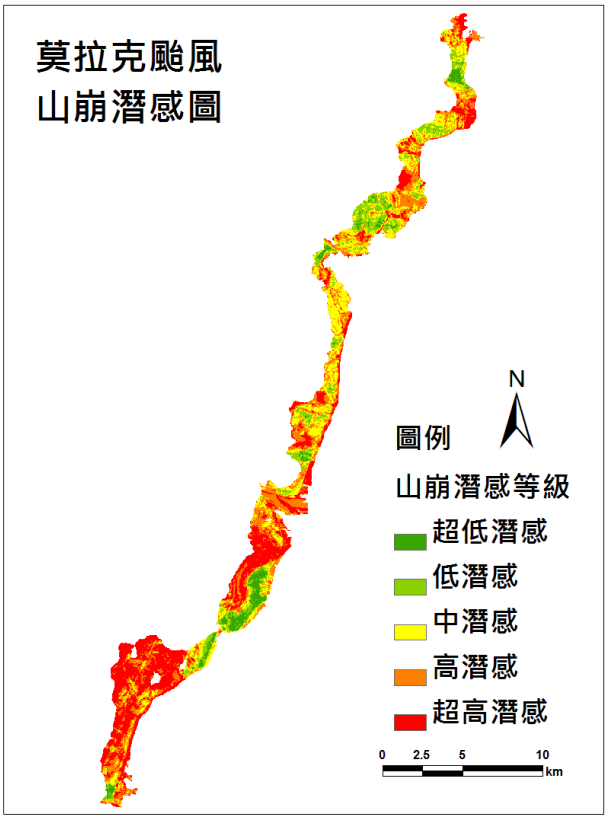

0604豪雨事件
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

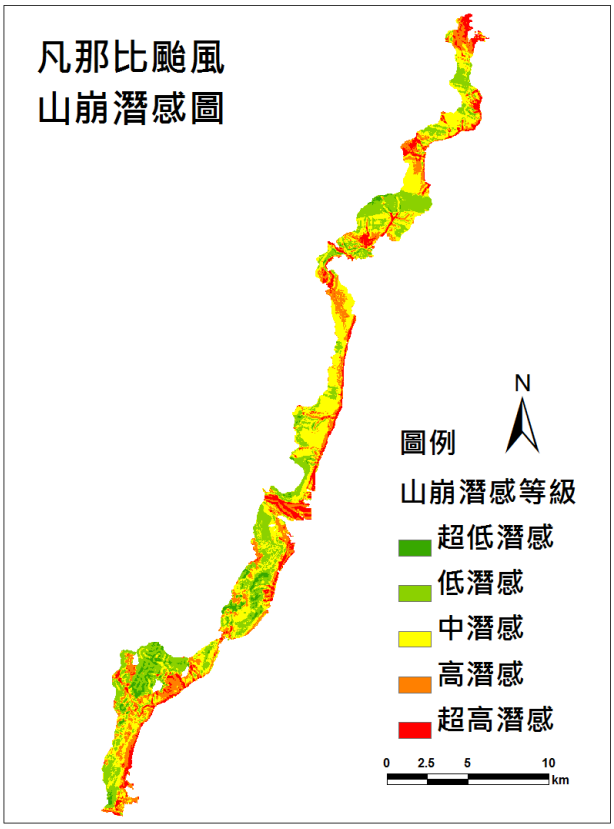

聖帕颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

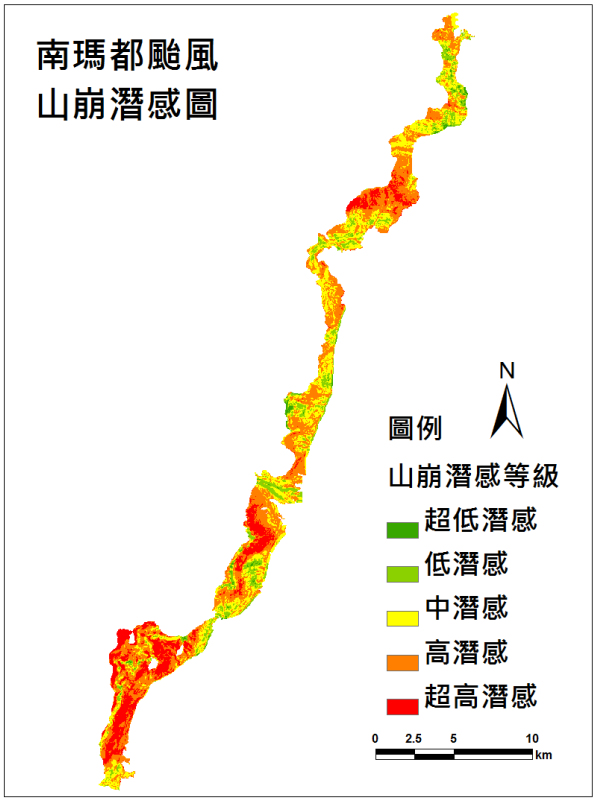

柯羅莎颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

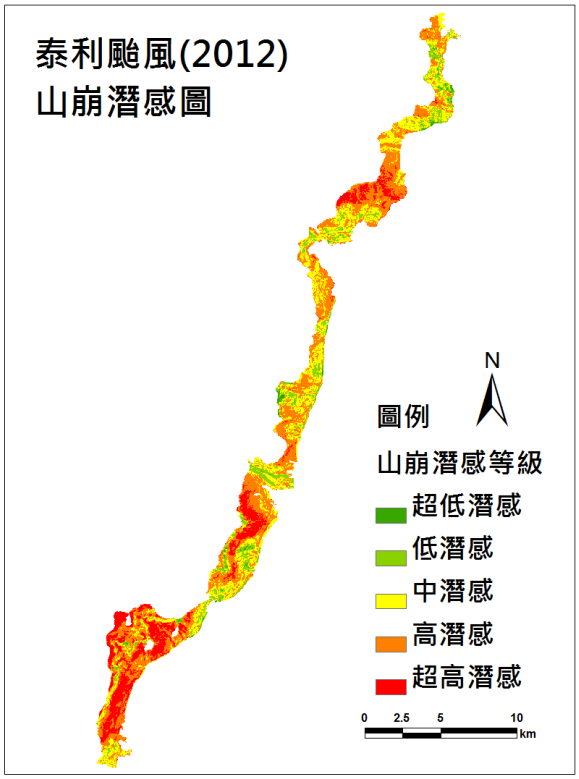

米塔颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

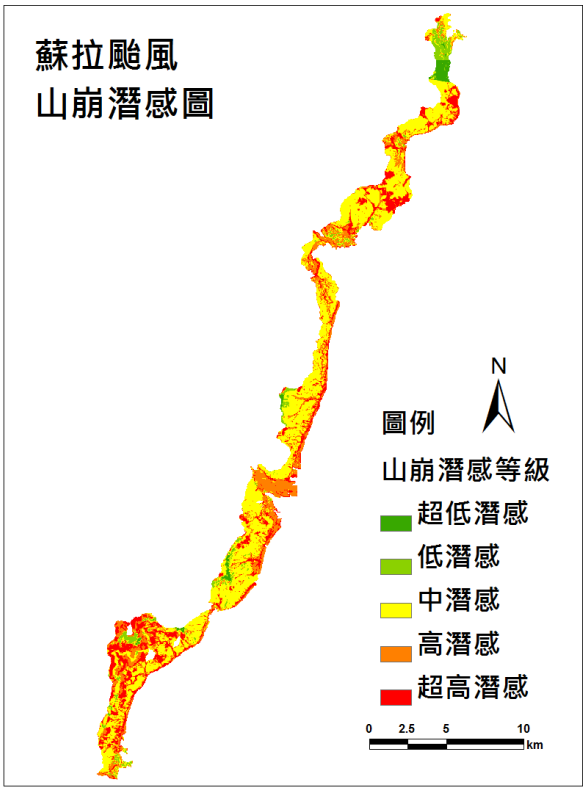

辛樂克颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km


莫拉克颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km


凡那比颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km


南瑪都颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km


泰利颱風(2012)
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km


蘇拉颱風
山崩潛感圖
N
圖例
山崩潛感等級
超低潛感
低潛感
中潛感
高潛感
超高潛感
0 2.5 5 10
km

附錄五

年度事件災害概況摘要報告

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(3/4)

20130506 降雨事件蘇花公路 169K+900

(仁清明隧道南側入口)災害概況摘要報告

委託機關：交通部運輸研究所

執行單位：聚禾工程顧問有限公司

中華民國 102 年 5 月 7 日

一、災害摘要表

表 1 20130506 降雨事件蘇花公路 169K+900 災害概況表

<table>
<tr><td>發生時間</td><td>2013/05/06　AM 08:30</td><td>發生地點</td><td>台 9 線　169 K +900
仁清明隧道南側入口</td></tr>
<tr><td>坐標(WGS84)</td><td colspan="3">經度:121.700958^0　　緯度:24.223899^0</td></tr>
<tr><td>累計雨量</td><td colspan="3">事件發生前 24 小時累計約 150 公厘(和中雨量站)</td></tr>
<tr><td>災害類型</td><td colspan="3">蝕溝災害</td></tr>
<tr><td colspan="4">事件前後對照</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">2013/02/26(事件發生前)</td><td colspan="2">2013/05/06(事件發生後)</td></tr>
</table>

資料來源：(左:本研究、右：爽報)

二、災害發生概況

公路總局公路防災中心表示，宜蘭地區 102 年 5 月 5 日開始下豪雨，蘇花公路沿線出現落石、坍方，102 年 5 月 6 日上午八時卅分，仁清明隧道(圖 1)頂板遭落石重擊損毀、梁柱受損(圖 2)，造成和仁到崇德間共十一公里中斷，102 年 5 月 7 日上午十時起雙向道路封閉。隧道頂板水泥厚度至少二到三公尺，被落石重擊嚴重凹陷變形，強化支撐力的橫梁也斷成兩截，僅剩鋼筋支撐上方土石，公路總局認定已造成「結構上的損害」，很不安全。在雨量狀況部分，依據中央氣象局的雨量資料(圖 4，5、表 2)顯示，崩塌路段到 102 年 5 月 6 日中午的廿四小時累積雨量已達一百四十一毫米。花蓮氣象站主任陳世嵐說，附近的和

中部落五日降雨六十二毫米、六日上午至九點降五十八點五毫米，已快接近豪雨標準。

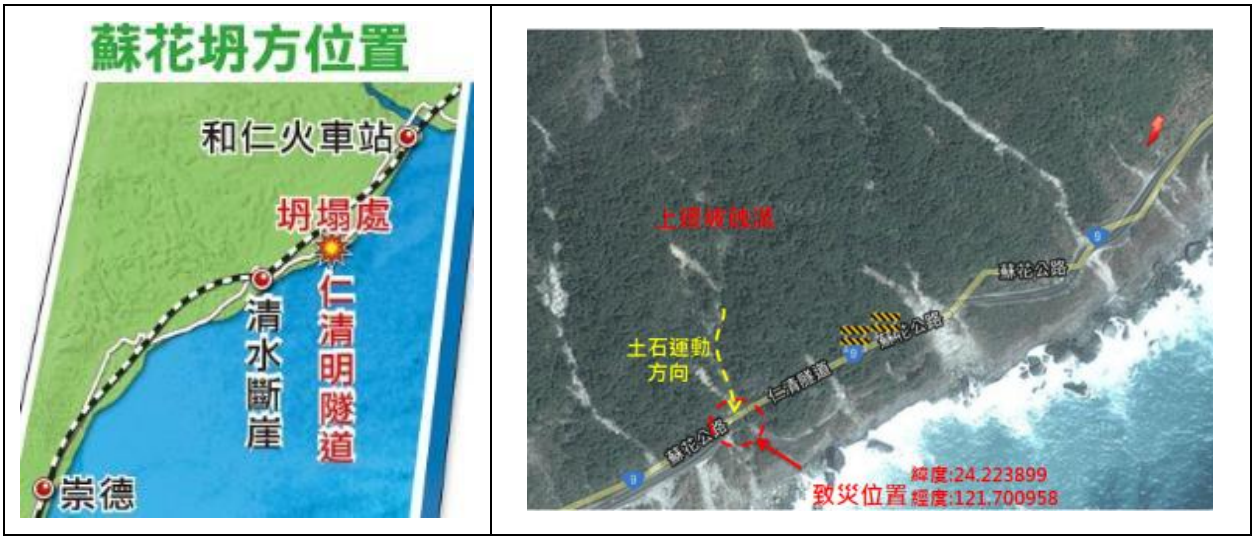


圖 1 災害發生位置圖

資料來源：爽報(左)、修改自省道即時交通資訊網(右)



圖 2 災害現況照片

照片來源：蘋果日報(左上、右)、聯合晚報(左下)

說明：隧道南側路段邊坡蝕溝之大型塊石，因蝕溝沖刷往下方搬運，擊中明隧道頂板而致災。

本研究之易致災路段災害類型為蝕溝 (圖 1 右、圖 3)，蝕溝鄰近邊坡之大型塊石，因蝕溝沖刷往下方搬運，擊中明隧道頂板而致災。依據公路總局第四區養護工程處有記錄之災害歷史資料顯示(表 3)共計 5 次，本次累積降雨達一百四十毫米以上即致災。後續應針對相類似條件之路段應加強監測與注意。



圖 3 仁清隧道南端出口狀況照片

(本研究拍攝於 2013/02/26)

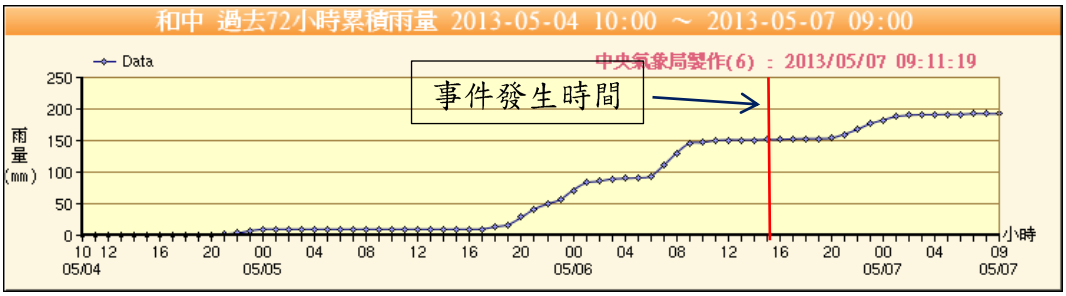


圖 4 中央氣象局和中雨量站累積雨量圖

資料來源：中央氣象局

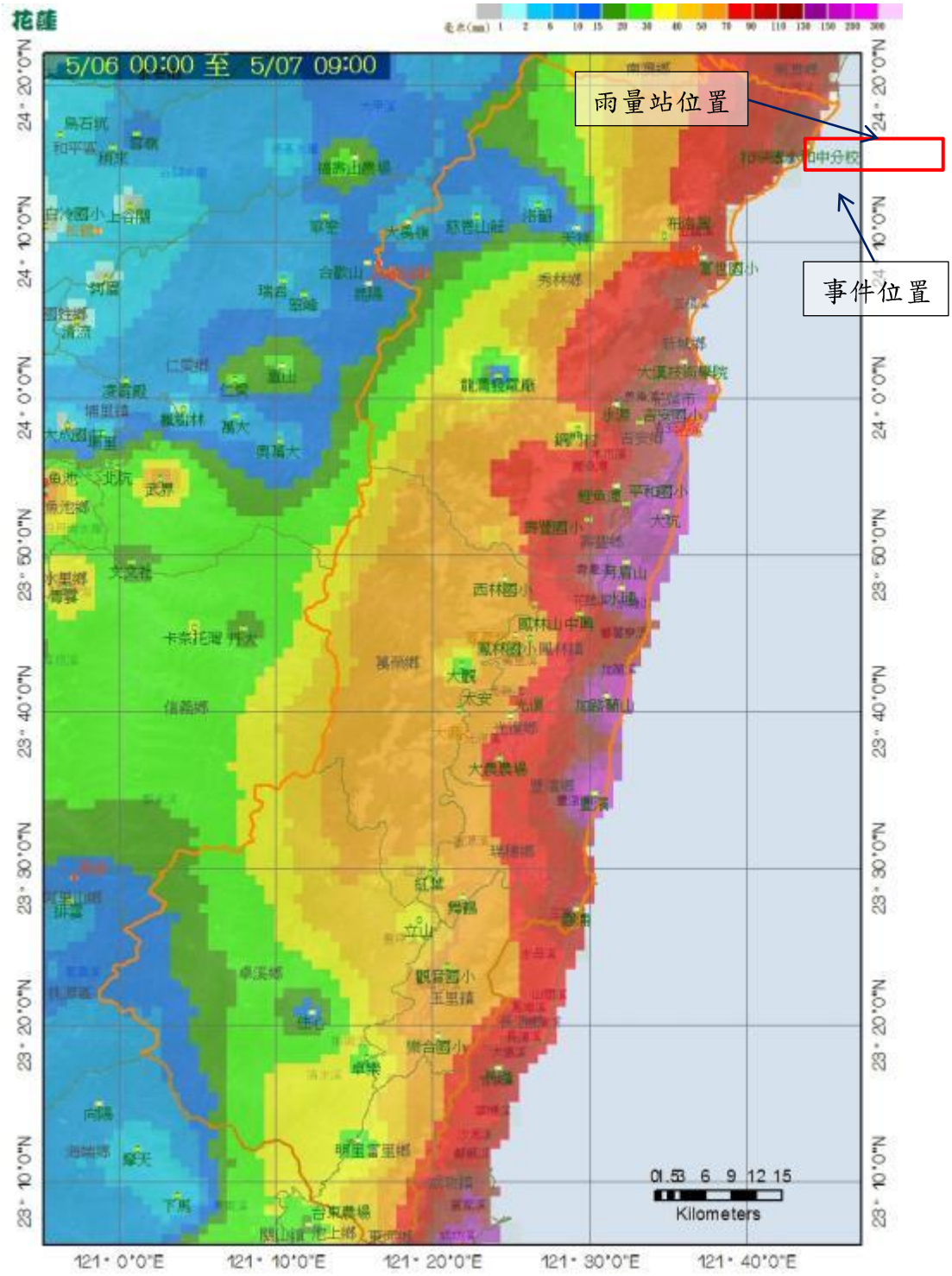


圖 5 北花蓮 5/6~5/7 等雨量圖

資料來源：中央氣象局

表 2　事件前後雨量統計表 (資料來源：中央氣象局)

所在鄉鎮	05/07 07 ↓ 08	06 ↓ 07	05 ↓ 06	04 ↓ 05	03 ↓ 04	02 ↓ 03	01 ↓ 02	05/07 00 ↓ 01	23 ↓ 00	22 ↓ 23	21 ↓ 22	20 ↓ 21	19 ↓ 20	18 ↓ 19	17 ↓ 18	16 ↓ 17	15 ↓ 16	14 ↓ 15	13 ↓ 14	12 ↓ 13	11 ↓ 12	10 ↓ 11	09 ↓ 10	08 ↓ 09	過去 24 小時累積	過去 48 小時累積	過去 72 小時累積	觀測點
花蓮縣壽林鎮	0.5	0.5	2.0	2.5	1.5	0.5	2.5	4.0	1.0	0.5	-	0.5	1.5	1.0	2.0	1.0	1.0	0.5	1.5	1.5	2.0	-	-	1.0	29.0	72.5	87.0	壽林山
花蓮縣壽林鎮	0.5	0.5	1.5	2.5	1.0	0.5	2.5	3.0	-	0.5	-	-	1.0	0.5	1.0	-	0.5	0.5	2.0	1.5	2.0	-	0.5	0.5	22.5	63.5	75.0	壽德坑
花蓮縣壽林鎮	-	0.5	1.0	1.5	1.0	0.5	2.5	2.0	2.5	-	-	-	1.0	-	1.0	-	-	0.5	2.0	1.0	1.5	-	-	-	18.5	76.5	89.0	壽林
花蓮縣豐濱鄉	-	0.5	-	0.5	1.5	2.0	0.5	2.0	5.0	7.0	10.5	2.5	1.0	-	3.0	-	6.5	1.5	0.5	-	-	-	-	1.0	45.5	246.0	250.5	豐濱
花蓮縣豐濱鄉	-	-	-	1.5	0.5	3.0	1.5	-	1.5	1.0	2.0	3.5	0.5	-	2.0	-	0.5	2.5	0.5	1.5	2.0	1.0	1.0	0.5	26.5	256.0	266.5	加拿萬山
花蓮縣豐濱鄉	-	-	0.5	-	-	-	1.0	2.5	5.0	4.0	6.0	-	-	-	1.5	-	-	2.5	-	-	-	-	-	-	23.0	226.5	229.0	磯崎
花蓮縣萬榮鄉	0.5	-	-	-	1.0	2.0	2.5	2.5	1.5	-	-	-	0.5	-	2.0	0.5	2.5	6.0	4.0	5.5	6.5	6.5	3.5	4.0	51.5	92.0	108.5	太安
花蓮縣萬榮鄉	0.5	0.5	0.5	2.0	2.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	1.5	6.5	6.5	2.0	1.0	0.5	-	-	2.0	-	-	-	-	1.0	35.0	67.0	72.5	西林
花蓮縣萬榮鄉	-	-	1.5	1.0	1.0	0.5	2.0	2.5	1.0	0.5	1.5	4.0	1.5	-	1.0	1.5	-	0.5	5.5	2.0	2.0	1.0	3.0	1.0	34.5	51.0	58.0	春連
花蓮縣萬榮鄉	-	0.5	0.5	-	-	-	-	0.5	-	-	0.5	-	-	0.5	0.5	1.5	0.5	2.0	2.0	2.0	6.5	1.5	0.5	0.5	20.0	45.0	50.0	紅葉
花蓮縣萬榮鄉	-	-	-	-	-	1.0	0.5	2.0	0.5	-	-	-	-	0.5	2.5	0.5	-	0.5	1.0	2.0	2.0	-	0.5	2.0	15.5	40.5	55.0	大觀
花蓮縣花蓮市	1.5	3.5	1.5	0.5	1.0	3.0	4.5	3.5	3.0	2.0	3.0	0.5	-	0.5	-	-	-	-	0.5	6.5	1.0	-	13.0	16.5	68.5	226.5	234.0	花蓮
花蓮縣秀林鄉	0.5	-	0.5	0.5	1.0	2.5	3.5	3.5	6.5	7.0	9.5	3.5	3.0	-	-	1.5	0.5	0.5	3.0	1.0	3.5	9.0	11.0	11.5	83.0	151.5	160.0	富世
花蓮縣秀林鄉	-	-	0.5	-	1.0	2.0	2.5	3.5	5.5	8.0	10.0	3.0	0.5	-	-	-	0.5	1.0	2.5	0.5	5.5	11.0	12.0	7.5	77.0	123.5	130.0	太魯閣
花蓮縣秀林鄉	0.5	0.5	1.0	0.5	1.5	3.5	5.0	4.0	7.5	9.0	5.0	4.0	-	-	-	0.5	0.5	1.0	1.0	-	4.0	8.5	7.5	11.5	76.5	157.5	166.0	三棧
花蓮縣秀林鄉	1.0	0.5	0.5	1.0	2.0	1.5	3.5	2.5	2.0	2.5	-	0.5	1.0	0.5	3.5	2.0	-	0.5	-	11.0	15.0	3.0	3.0	7.0	64.0	129.5	136.5	水源
花蓮縣秀林鄉	-	1.0	-	0.5	-	1.0	2.0	5.5	6.0	9.0	7.5	6.0	1.0	-	0.5	1.0	-	0.5	-	-	1.0	3.0	1.5	15.5	62.5	183.0	192.5	和中
花蓮縣秀林鄉	-	-	-	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3.0	2.5	0.5	-	-	-	-	0.5	1.0	0.5	1.0	-	-	1.0	4.0	5.5	26.0	52.5	59.0	东淨溪
花蓮縣秀林鄉	-	-	-	0.5	1.0	1.5	1.5	2.5	2.0	0.5	-	1.5	0.5	-	-	0.5	-	-	1.0	1.5	3.0	-	1.0	2.5	21.0	46.0	49.0	銅門
花蓮縣秀林鄉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	1.5	2.0	-	-	0.5	1.5	0.5	-	2.0	0.5	1.0	-	1.0	0.5	11.5	24.0	28.5	龍溝
花蓮縣秀林鄉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	2.0	1.5	1.5	-	-	-	-	-	5.5	14.5	26.0	錐麓
花蓮縣秀林鄉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	0.5	1.0	2.5	5.0	8.0	13.5	天祥
花蓮縣秀林鄉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	3.5	0.5	-	-	-	-	-	5.0	10.0	18.5	太魯閣
花蓮縣秀林鄉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	1.0	0.5	-	-	-	0.5	-	3.5	8.0	15.5	溪畔
花蓮縣瑞穗鄉	-	0.5	-	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	-	1.0	2.0	-	-	0.5	-	1.0	0.5	1.5	12.5	4.5	1.0	-	-	-	28.5	67.5	72.0	舞鶴
花蓮縣玉里鎮	-	-	-	0.5	1.0	0.5	1.0	1.5	0.5	2.5	1.0	-	-	-	1.0	0.5	-	-	1.0	-	0.5	-	-	0.5	12.0	67.0	68.0	玉里
花蓮縣玉里鎮	-	-	1.0	1.5	0.5	0.5	1.5	0.5	-	0.5	0.5	0.5	-	-	-	0.5	-	-	4.0	-	-	-	-	-	11.5	55.0	55.5	高寮
花蓮縣新城鄉	1.0	2.5	1.0	-	1.0	3.5	2.5	2.0	4.0	3.0	1.5	-	-	-	-	0.5	-	-	-	1.0	1.5	1.0	6.0	13.0	45.0	164.5	191.0	新城
花蓮縣富里鄉	-	1.0	2.5	1.0	2.0	1.5	2.5	2.0	2.5	2.0	1.0	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	0.5	-	1.5	20.5	49.0	52.0	豐南
花蓮縣富里鄉	-	-	-	-	1.0	1.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	-	-	0.5	-	-	-	-	-	0.5	3.5	-	1.0	12.0	31.5	31.5	明里

表 3 蘇花公路 169K+900 鄰近災害歷史統計一覽表

編號	發生時間	災害名稱	工務段	路線樁號	附近地名	災害類別及受損情形	簡述災害發生處理情形
1	90.9.25	利奇馬颱風	南澳段	台 9 線 169K+800	和中	坍方	上邊坡坍方，坍方運棄，造成交通中斷，無替代道路。
2	90.12.7	豪雨	南澳段	台 9 線 169K+800			
3	91.8.10	豪雨	南澳段	台 9 線 169K+900			
4	92.5.6	豪雨	南澳段	台 9 線 169K+900			
5	99.3.18	豪雨	南澳段	台 9 線 169K+866			
資料來源：第四區養護工程處							

附錄六

易致災路段風險分析表

台 9 線易致災路段風險分析結果

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
北	1	106K+000	106K+500	500	岩屑崩滑	0.64	0.45	0.26	0.00	0.000	0.000
	2	106K+500	106K+700	200	岩屑崩滑	0.64	0.45	0.26	0.00	0.000	0.000
	3	106K+700	106K+800	100	岩屑崩滑	0.64	0.45	0.26	0.00	0.000	0.000
	4	106K+800	106K+850	50	蝕溝	0.64	0.36	0.00	0.29	0.000	0.000
	5	106K+850	106K+950	100	岩屑崩滑	0.64	0.36	0.26	0.00	0.000	0.000
	6	106K+950	107K+900	950	蝕溝	0.64	0.45	0.00	0.00	0.000	0.000
	7	107K+900	108K+150	250	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.26	0.00	0.000	0.000
	8	108K+150	108K+450	300	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	9	108K+450	108K+550	100	土石流	0.64	0.64	0.16	0.00	0.000	0.000
	10	108K+550	109K+400	850	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.44	0.00	0.000	0.000
	11	109K+400	109K+700	300	岩屑崩滑	0.64	0.45	0.26	0.00	0.000	0.000
	12	109K+700	109K+800	100	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.26	0.00	0.000	0.000
	13	109K+800	110K+050	250	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.26	0.00	0.000	0.000
	14	110K+050	110K+400	350	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.26	0.01	0.001	0.001
	15	110K+400	110K+470	70	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.44	1.00	0.183	0.183
	16	110K+470	110K+700	230	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.38	0.00	0.000	0.000
	17	110K+700	110K+800	100	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	18	110K+800	110K+950	150	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.26	0.47	0.050	0.050
	19	110K+950	111K+400	450	岩屑崩滑	0.55	0.55	0.60	0.00	0.003	0.003
	20	111K+400	111K+950	550	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.79	0.11	0.125	0.125
	21	111K+950	112K+400	450	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.79	0.16	0.179	0.179
	22	112K+400	112K+750	350	落石	0.64	0.45	0.54	0.01	0.009	0.006
	23	112K+750	113K+050	300	蝕溝	0.73	0.73	0.91	0.23	0.352	0.352
	24	113K+050	113K+600	550	岩屑崩滑	0.91	0.91	0.53	0.13	0.140	0.140
	25	113K+600	114K+100	500	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.26	0.00	0.000	0.000
	26	114K+100	114K+200	100	岩屑崩滑	0.55	0.55	0.26	0.00	0.000	0.000
	27	114K+200	114K+480	280	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.26	0.25	0.053	0.053
	28	114K+480	114K+600	120	岩屑崩滑	0.82	0.45	0.43	0.00	0.000	0.000
	29	114K+600	114K+750	150	土石流	0.82	0.45	0.05	0.47	0.040	0.022
	30	114K+750	114K+880	130	岩屑崩滑	0.45	0.45	0.26	0.00	0.000	0.000
	31	114K+880	114K+940	60	蝕溝	0.45	0.18	0.17	0.00	0.000	0.000
	32	114K+940	115K+000	60	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.44	0.00	0.000	0.000
北	33	115K+000	115K+150	150	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.44	0.00	0.000	0.000

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	34	115K+150	115K+260	130	岩屑崩滑	0.36	0.18	0.44	0.00	0.000	0.000
	35	115K+260	115K+330	70	蝕溝	0.64	0.45	0.17	0.00	0.000	0.000
	36	115K+330	115K+680	350	岩屑崩滑	0.64	0.36	0.44	0.00	0.001	0.000
	37	115K+680	116K+000	320	岩屑崩滑	0.82	0.82	1.00	0.44	0.817	0.817
	38	116K+000	116K+080	80	土石流	1.00	1.00	0.80	0.00	0.002	0.002
	39	116K+080	116K+200	120	岩屑崩滑	0.82	0.73	1.00	0.00	0.001	0.001
	40	116K+200	116K+300	100	岩屑崩滑	0.73	0.45	0.44	0.00	0.001	0.000
	41	116K+300	116K+390	90	岩屑崩滑	0.55	0.45	0.44	0.37	0.202	0.169
	42	116K+390	116K+480	90	土石流	0.91	0.91	0.48	0.00	0.001	0.001
	43	116K+480	116K+650	170	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.44	0.00	0.000	0.000
	44	116K+650	116K+850	200	岩屑崩滑	0.91	0.91	0.69	0.70	1.000	1.000
	45	116K+850	116K+930	80	岩屑崩滑	0.45	0.45	0.60	0.00	0.001	0.001
	46	116K+930	117K+000	70	蝕溝	0.82	0.82	0.28	0.00	0.001	0.001
	47	117K+000	117K+080	80	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.38	0.00	0.000	0.000
	48	117K+080	117K+250	170	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.38	0.00	0.000	0.000
	49	117K+250	117K+400	150	岩屑崩滑	0.45	0.45	0.26	0.01	0.002	0.002
	50	117K+400	117K+550	150	土石流	1.00	1.00	0.19	0.47	0.200	0.200
	51	117K+550	117K+650	100	蝕溝	0.73	0.73	0.00	0.00	0.000	0.000
	52	117K+650	118K+050	400	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.26	0.00	0.000	0.000
	53	118K+050	118K+490	440	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.26	0.00	0.000	0.000
	54	118K+490	118K+550	60	土石流	0.45	0.45	0.00	0.00	0.000	0.000
	55	118K+550	118K+690	140	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.26	0.00	0.001	0.000
	56	118K+690	118K+750	60	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	57	118K+750	118K+850	100	蝕溝	0.45	0.27	0.00	0.00	0.000	0.000
	58	118K+850	118K+920	40	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.38	0.00	0.000	0.000
	59	118K+850	118K+850	40	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	60	118K+920	119K+000	80	蝕溝	0.36	0.18	0.00	0.00	0.000	0.000
	61	119K+000	119K+200	200	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.26	0.00	0.000	0.000
	62	119K+200	120K+450	1250	無	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
	63	120K+450	120K+650	200	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	64	120K+650	120K+750	100	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.33	0.00	0.000	0.000
	65	120K+750	120K+820	70	岩屑崩滑	0.64	0.45	0.26	0.00	0.000	0.000
	66	120K+820	120K+880	60	土石流	0.82	0.82	0.00	0.00	0.000	0.000
北	67	120K+880	121K+000	120	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	68	121K+000	121K+100	100	岩屑崩滑	0.45	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	69	121K+100	121K+200	100	蝕溝	0.45	0.45	0.00	0.00	0.000	0.000
	70	121K+200	121K+460	260	岩屑崩滑	0.36	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	71	121K+460	121K+560	100	蝕溝	0.64	0.45	0.05	0.00	0.000	0.000
	72	121K+560	121K+650	90	岩屑崩滑	0.36	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	73	121K+650	121K+750	100	岩屑崩滑	0.73	0.45	0.33	0.00	0.000	0.000
	74	121K+750	121K+800	50	土石流	0.55	0.55	0.00	0.00	0.000	0.000
	75	121K+800	121K+900	100	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	76	121K+900	122K+100	200	土石流	0.55	0.55	0.00	0.00	0.000	0.000
	77	122K+100	122K+180	80	蝕溝	0.64	0.45	0.05	0.00	0.000	0.000
	78	122K+180	122K+400	220	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.26	0.00	0.000	0.000
	79	122K+400	122K+500	100	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.26	0.00	0.000	0.000
	80	122K+500	123K+050	550	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.38	0.02	0.004	0.004
	81	123K+050	123K+200	150	蝕溝	0.64	0.64	0.00	0.07	0.000	0.000
	82	123K+200	123K+300	100	蝕溝	0.45	0.45	0.00	0.00	0.000	0.000
	83	123K+300	123K+400	100	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.26	0.00	0.001	0.001
	84	123K+400	123K+580	180	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.44	0.01	0.003	0.003
	85	123K+580	123K+700	120	蝕溝	0.64	0.64	0.00	0.00	0.000	0.000
	86	123K+700	123K+850	150	岩屑崩滑	0.36	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	87	123K+850	124K+080	230	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.26	0.00	0.000	0.000
	88	124K+080	124K+300	220	岩屑崩滑	0.73	0.73	0.26	0.00	0.000	0.000
	89	124K+300	124K+400	100	土石流	0.55	0.55	0.00	0.00	0.000	0.000
	90	124K+400	125K+700	1300	無	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
	91	125K+700	125K+800	100	蝕溝	0.55	0.55	0.17	0.00	0.000	0.000
	92	125K+800	126K+200	600	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.44	0.00	0.000	0.000
	93	126K+200	126K+250	50	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.26	0.00	0.001	0.001
	94	126K+250	126K+300	50	土石流	0.82	0.82	0.12	0.00	0.000	0.000
	95	126K+300	126K+550	250	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.44	0.00	0.000	0.000
	96	126K+550	126K+850	300	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.44	0.01	0.002	0.002
	97	126K+850	127K+050	200	岩屑崩滑	0.64	0.45	0.26	0.00	0.000	0.000
	98	127K+050	127K+200	150	土石流	0.73	0.73	0.20	0.00	0.000	0.000
	99	127K+200	127K+500	300	岩屑崩滑	0.27	0.18	0.43	0.00	0.000	0.000
	100	127K+500	127K+750	250	岩屑崩滑	0.27	0.27	0.26	0.00	0.000	0.000
北	101	127K+750	127K+800	50	蝕溝	0.27	0.18	0.00	0.00	0.000	0.000
	102	127K+800	128K+250	450	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	103	128K+250	128K+300	50	岩屑崩滑	0.82	0.64	0.26	0.00	0.001	0.001

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	104	128K+300	128K+500	200	土石流	0.27	0.27	0.00	0.00	0.000	0.000
	105	128K+500	128K+800	300	土石流	0.64	0.64	0.17	0.00	0.000	0.000
	106	128K+800	128K+900	100	岩屑崩滑	0.45	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	107	128K+900	129K+000	100	岩屑崩滑	0.55	0.45	0.33	0.00	0.000	0.000
	108	129K+000	129K+500	500	土石流	0.55	0.55	0.00	0.00	0.000	0.000
	109	129K+500	129K+750	250	岩屑崩滑	0.45	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	110	129K+750	130K+000	250	岩屑崩滑	0.36	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	111	130K+000	130K+110	100	土石流	0.64	0.64	0.17	0.00	0.000	0.000
	112	130K+110	130K+400	290	岩屑崩滑	0.73	0.36	0.26	0.00	0.000	0.000
	113	130K+400	130K+600	200	岩屑崩滑	0.18	0.18	0.26	0.00	0.000	0.000
	114	130K+600	131K+000	400	土石流	0.64	0.64	0.17	0.00	0.000	0.000
	115	131K+000	132K+600	1600	無	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
	116	132K+600	133K+000	400	落石	0.32	0.26	0.24	0.00	0.000	0.000
	117	133K+000	133K+450	450	岩屑崩滑	0.26	0.21	0.15	0.00	0.002	0.001
	118	133K+450	133K+700	250	岩屑崩滑	0.26	0.11	0.15	0.00	0.000	0.000
	119	133K+700	133K+950	250	土石流	0.47	0.37	0.00	0.00	0.000	0.000
	120	133K+950	134K+200	250	岩屑崩滑	0.47	0.42	0.15	0.00	0.000	0.000
	121	134K+200	134K+950	750	無	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
	122	134K+950	135K+400	450	岩屑崩滑	0.32	0.26	0.15	0.00	0.000	0.000
	123	135K+400	135K+500	100	岩屑崩滑	0.32	0.26	0.30	0.00	0.000	0.000
中	124	135K+500	135K+580	80	土石流	0.26	0.11	0.13	0.23	0.102	0.032
	125	135K+580	135K+850	270	岩屑崩滑	0.21	0.11	0.15	0.00	0.000	0.000
	126	135K+850	136K+150	300	岩屑崩滑	0.26	0.16	0.15	0.00	0.000	0.000
	127	136K+150	136K+680	530	岩屑崩滑	0.42	0.26	0.15	0.00	0.000	0.000
	128	136K+680	136K+750	70	土石流	0.32	0.32	0.00	0.00	0.000	0.000
	129	136K+750	137K+000	250	岩屑崩滑	0.11	0.11	0.15	0.00	0.000	0.000
	130	137K+000	137K+420	420	岩屑崩滑	0.11	0.11	0.15	0.00	0.000	0.000
	131	137K+420	137K+600	180	岩屑崩滑	0.11	0.11	0.30	0.00	0.000	0.000
	132	137K+600	137K+680	80	土石流	0.16	0.11	0.21	0.00	0.000	0.000
	133	137K+680	137K+920	240	岩屑崩滑	0.16	0.16	0.15	0.00	0.000	0.000
	134	137K+920	138K+150	230	岩屑崩滑	0.16	0.16	0.15	0.00	0.000	0.000
	135	138K+150	138K+270	120	岩屑崩滑	0.32	0.32	0.15	0.00	0.000	0.000
中	136	138K+270	138K+350	80	土石流	0.16	0.11	0.00	0.00	0.000	0.000
	137	138K+350	138K+620	270	岩屑崩滑	0.16	0.16	0.15	0.00	0.000	0.000
	138	138K+620	138K+680	60	土石流	0.16	0.11	0.00	0.00	0.000	0.000

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	139	138K+680	138K+880	200	岩屑崩滑	0.16	0.16	0.30	0.00	0.000	0.000
	140	138K+880	139K+120	240	岩屑崩滑	0.05	0.05	0.37	0.00	0.000	0.000
	141	139K+120	139K+250	130	岩屑崩滑	0.05	0.05	0.37	0.00	0.000	0.000
	142	139K+250	139K+320	70	岩屑崩滑	0.05	0.05	0.37	0.00	0.000	0.000
	143	139K+320	139K+900	580	岩屑崩滑	0.05	0.05	0.15	0.03	0.003	0.002
	144	139K+900	140K+170	270	落石	0.11	0.11	0.15	0.01	0.003	0.002
	145	140K+170	140K+270	100	落石	0.11	0.11	0.15	0.00	0.000	0.000
	146	140K+270	140K+700	430	落石	0.11	0.11	0.15	0.01	0.003	0.002
	147	140K+700	140K+800	100	岩體滑動	0.37	0.26	0.15	0.00	0.002	0.001
	148	140K+800	141K+000	200	土石流	0.11	0.11	0.00	0.01	0.000	0.000
	149	141K+000	141K+250	250	蝕溝	0.21	0.21	0.21	0.02	0.014	0.011
	150	141K+250	141K+670	420	落石	0.37	0.26	0.36	0.00	0.000	0.000
	151	141K+670	141K+730	60	蝕溝	0.32	0.42	0.37	0.00	0.001	0.001
	152	141K+730	141K+830	100	岩屑崩滑	0.47	0.42	0.24	0.00	0.001	0.000
	153	141K+830	141K+950	120	落石	0.37	0.26	0.51	0.00	0.001	0.000
	154	141K+950	142K+040	90	落石	0.16	0.11	0.61	0.00	0.001	0.000
	155	142K+040	142K+100	60	落石	0.11	0.11	0.30	0.00	0.000	0.000
	156	142K+100	142K+360	260	蝕溝	0.42	0.21	0.08	0.07	0.027	0.011
	157	142K+360	142K+570	210	蝕溝	0.32	0.32	0.36	0.02	0.027	0.021
	158	142K+570	142K+660	90	蝕溝	0.26	0.32	0.36	0.00	0.001	0.000
	159	142K+660	142K+800	140	岩屑崩滑	0.42	0.26	0.51	0.00	0.001	0.000
	160	142K+800	143K+080	280	蝕溝	0.37	0.26	0.36	0.00	0.000	0.000
	161	143K+080	143K+120	40	土石流	0.32	0.32	0.21	0.00	0.001	0.001
	162	143K+120	143K+280	160	岩屑崩滑	0.47	0.42	0.63	0.00	0.001	0.001
	163	143K+280	143K+450	170	岩屑崩滑	0.16	0.16	0.15	0.00	0.000	0.000
	164	143K+450	143K+550	100	蝕溝	0.37	0.37	0.00	0.00	0.000	0.000
	165	143K+550	143K+620	70	岩體滑動	0.53	0.37	0.15	0.26	0.267	0.146
	166	143K+620	143K+700	80	蝕溝	0.26	0.11	0.21	0.00	0.000	0.000
	167	143K+700	143K+900	200	岩屑崩滑	0.32	0.32	0.37	0.04	0.057	0.044
	168	143K+900	144K+000	100	土石流	0.26	0.11	0.36	0.00	0.000	0.000
中	169	144K+000	144K+180	180	岩屑崩滑	0.32	0.21	0.37	0.00	0.000	0.000
	170	144K+180	144K+220	40	蝕溝	0.37	0.47	0.21	1.00	1.000	1.000
	171	144K+220	144K+570	350	岩屑崩滑	0.58	0.58	0.37	0.05	0.142	0.111
	172	144K+570	144K+600	30	蝕溝	0.53	0.58	0.60	0.00	0.006	0.005
	173	144K+600	144K+700	100	岩屑崩滑	0.37	0.37	0.37	0.00	0.001	0.001

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	174	144K+700	144K+850	50	土石流	0.58	0.58	0.47	0.17	0.607	0.472
	175	144K+850	145K+000	150	岩屑崩滑	0.42	0.53	0.47	0.00	0.001	0.001
	176	145K+000	145K+030	30	岩屑崩滑	0.47	0.47	0.47	0.04	0.100	0.078
	177	145K+030	145K+180	150	土石流	0.58	0.58	0.21	0.00	0.006	0.005
	178	145K+180	145K+220	40	岩屑崩滑	0.42	0.47	0.37	0.00	0.002	0.002
	179	145K+220	145K+400	180	岩屑崩滑	0.47	0.47	0.37	0.02	0.050	0.039
	180	145K+400	145K+600	200	落石	0.21	0.21	0.37	0.00	0.002	0.002
	181	145K+600	145K+650	50	蝕溝	0.26	0.11	0.00	0.00	0.000	0.000
	182	145K+650	145K+770	120	落石	0.11	0.11	0.37	0.00	0.000	0.000
	183	145K+770	145K+870	100	岩屑崩滑	0.42	0.47	0.37	0.00	0.001	0.001
	184	145K+870	145K+900	30	岩屑崩滑	0.37	0.42	0.37	0.00	0.003	0.002
	185	145K+900	146K+100	200	落石	0.11	0.11	0.37	0.01	0.007	0.005
	186	146K+100	146K+300	200	岩屑崩滑	0.26	0.26	0.37	0.00	0.000	0.000
	187	146K+300	146K+350	50	蝕溝	0.47	0.47	0.21	0.00	0.001	0.001
	188	146K+350	146K+400	50	岩屑崩滑	0.26	0.26	0.37	0.00	0.001	0.001
	189	146K+400	146K+700	300	蝕溝	0.42	0.42	0.21	0.00	0.005	0.004
	190	146K+700	146K+800	100	蝕溝	0.37	0.26	0.00	0.00	0.000	0.000
	191	146K+800	146K+900	100	岩屑崩滑	0.21	0.21	0.37	0.00	0.000	0.000
	192	146K+900	146K+940	40	土石流	0.26	0.26	0.50	0.00	0.002	0.001
	193	146K+940	146K+990	50	落石	0.16	0.11	0.37	0.00	0.001	0.000
	194	146K+990	147K+030	40	土石流	0.68	0.68	0.00	0.00	0.000	0.000
	195	147K+030	147K+230	200	岩體滑動	1.00	1.00	0.37	0.09	0.431	0.335
	196	147K+230	147K+450	220	岩屑崩滑	0.21	0.32	0.36	0.00	0.000	0.000
	197	147K+450	147K+600	150	岩屑崩滑	0.37	0.42	0.37	0.03	0.047	0.042
	198	147K+600	147K+650	50	落石	0.21	0.11	0.71	0.00	0.002	0.001
	199	147K+650	148K+000	350	落石	0.11	0.11	0.37	0.01	0.005	0.004
	200	148K+000	148K+100	100	岩屑崩滑	0.63	0.42	0.37	0.01	0.022	0.012
	201	148K+100	148K+350	250	岩體滑動	0.42	0.26	0.37	0.01	0.029	0.014
	202	148K+350	148K+500	150	落石	0.16	0.11	0.24	0.00	0.000	0.000
中	203	148K+500	148K+600	100	落石	0.16	0.11	0.30	0.09	0.052	0.027
	204	148K+600	148K+950	350	落石	0.21	0.11	0.30	0.01	0.004	0.002
	205	148K+950	149K+050	100	蝕溝	0.32	0.26	0.77	0.00	0.001	0.001
	206	149K+050	149K+300	250	蝕溝	0.37	0.26	0.92	0.03	0.131	0.073
	207	149K+300	149K+650	350	岩屑崩滑	0.42	0.47	1.00	0.01	0.072	0.063
	208	149K+650	149K+720	70	落石	0.16	0.16	0.24	0.00	0.001	0.001

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	209	149K+720	149K+770	50	蝕溝	0.32	0.26	0.08	0.00	0.000	0.000
	210	149K+770	149K+950	180	落石	0.16	0.16	0.24	0.00	0.000	0.000
	211	149K+950	150K+000	50	岩屑崩滑	0.11	0.11	0.30	0.13	0.050	0.039
	212	150K+000	150K+150	150	岩屑崩滑	0.16	0.11	0.24	0.00	0.000	0.000
	213	150K+150	150K+220	70	岩屑崩滑	0.21	0.32	0.15	0.00	0.000	0.000
	214	150K+220	150K+270	50	蝕溝	0.37	0.37	0.00	0.00	0.000	0.000
	215	150K+270	150K+400	130	岩體滑動	0.79	0.42	0.15	0.00	0.000	0.000
	216	150K+400	150K+470	70	岩屑崩滑	0.42	0.47	0.15	0.00	0.000	0.000
	217	150K+470	150K+530	60	土石流	0.42	0.42	0.00	0.00	0.000	0.000
	218	150K+530	150K+650	120	岩體滑動	0.79	0.53	0.71	0.00	0.002	0.001
	219	150K+650	150K+900	250	岩屑崩滑	0.37	0.37	0.15	0.00	0.000	0.000
	220	150K+900	151K+000	100	土石流	0.47	0.47	0.29	0.00	0.001	0.001
	221	151K+000	151K+450	450	蝕溝	0.42	0.42	0.15	0.00	0.001	0.001
	222	151K+450	151K+600	150	岩屑崩滑	0.26	0.26	0.15	0.00	0.000	0.000
	223	151K+600	151K+950	350	岩屑崩滑	0.53	0.53	0.82	0.00	0.000	0.000
	224	151K+950	152K+400	450	落石	0.21	0.21	0.30	0.02	0.015	0.011
	225	152K+400	152K+900	500	土石流	0.32	0.32	0.27	0.00	0.000	0.000
	226	152K+900	153K+350	450	落石	0.16	0.16	0.37	0.00	0.000	0.000
	227	153K+350	153K+750	400	岩屑崩滑	0.11	0.11	0.15	0.00	0.000	0.000
	228	153K+750	153K+950	200	岩屑崩滑	0.21	0.21	0.21	0.01	0.005	0.004
	229	153K+950	154K+050	100	蝕溝	0.32	0.32	0.51	0.00	0.001	0.001
	230	154K+050	154K+200	150	岩屑崩滑	0.21	0.21	0.15	0.00	0.000	0.000
	231	154K+200	154K+500	300	岩屑崩滑	0.21	0.21	0.15	0.03	0.014	0.011
	232	154K+500	154K+750	250	蝕溝	0.37	0.37	0.20	0.00	0.000	0.000
南	233	154K+750	156K+150	1400	無	0.17	0.17	0.00	0.03	0.000	0.000
	234	156K+150	157K+100	950	岩屑崩滑	0.33	0.33	0.19	0.00	0.000	0.000
	235	157K+100	157K+400	300	岩屑崩滑	0.25	0.25	0.10	0.00	0.000	0.000
	236	157K+400	157K+600	200	岩屑崩滑	0.25	0.25	0.10	0.00	0.000	0.000
南	237	157K+600	159K+050	1450	岩屑崩滑	0.25	0.25	0.10	0.00	0.000	0.000
	238	159K+050	159K+500	450	岩屑崩滑	0.25	0.25	0.10	0.00	0.000	0.000
	239	159K+500	160K+100	600	落石	0.33	0.33	0.25	0.03	0.013	0.013
	240	160K+100	160K+150	50	土石流	0.42	0.42	0.16	0.07	0.023	0.023
	241	160K+150	160K+300	150	岩屑崩滑	0.67	0.67	0.32	0.00	0.001	0.001
	242	160K+300	160K+400	100	蝕溝	0.67	0.67	0.48	0.00	0.003	0.003
	243	160K+400	160K+800	400	岩屑崩滑	0.33	0.33	0.32	0.05	0.024	0.024

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	244	160K+800	160K+900	100	土石流	0.83	0.83	0.48	0.00	0.004	0.004
	245	160K+900	161K+350	450	岩屑崩滑	0.50	0.50	0.10	0.01	0.003	0.003
	246	161K+350	161K+900	550	岩屑崩滑	0.25	0.25	0.10	0.00	0.000	0.000
	247	161K+900	162K+550	650	土石流	1.00	1.00	0.47	0.00	0.000	0.000
	248	162K+550	163K+050	500	土石流	1.00	1.00	0.39	0.00	0.001	0.001
	249	163K+050	163K+950	900	無	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
	250	163K+950	164K+500	550	落石	0.67	0.58	0.52	0.07	0.112	0.098
	251	164K+500	164K+600	100	落石	0.33	0.17	0.52	0.04	0.030	0.015
	252	164K+600	166K+000	1400	無	0.00	0.00	0.24	0.01	0.000	0.000
	253	166K+000	166K+350	350	落石	0.08	0.08	0.31	0.03	0.003	0.003
	254	166K+350	166K+500	150	土石流	0.75	0.75	0.64	0.00	0.003	0.003
	255	166K+500	166K+650	150	土石流	0.83	0.83	0.37	0.00	0.002	0.002
	256	166K+650	167K+150	500	無	0.00	0.00	0.00	0.01	0.000	0.000
	257	167K+150	167K+450	300	岩屑崩滑	0.17	0.17	0.10	0.04	0.003	0.003
	258	167K+450	167K+750	300	土石流	0.67	0.67	0.24	0.00	0.000	0.000
	259	167K+750	168K+100	350	蝕溝	0.58	0.58	0.00	0.02	0.000	0.000
	260	168K+100	168K+200	100	土石流	0.67	0.67	0.85	0.00	0.006	0.006
	261	168K+200	168K+350	150	蝕溝	0.67	0.67	0.86	0.00	0.012	0.012
	262	168K+350	168K+650	300	蝕溝	0.58	0.58	0.48	0.03	0.034	0.034
	263	168K+650	168K+700	50	土石流	0.67	0.42	0.48	0.00	0.007	0.004
	264	168K+700	168K+750	50	蝕溝	0.58	0.58	0.55	0.66	1.000	1.000
	265	168K+750	168K+900	150	落石	0.25	0.25	0.51	0.05	0.028	0.028
	266	168K+900	169K+500	600	岩屑崩滑	0.17	0.08	0.25	0.02	0.005	0.002
	267	169K+500	169K+550	50	蝕溝	0.58	0.58	0.36	0.03	0.032	0.032
	268	169K+550	169K+650	100	落石	0.17	0.17	0.25	0.00	0.000	0.000
	269	169K+650	169K+850	200	無	0.00	0.00	0.16	0.27	0.000	0.000
	270	169K+850	170K+050	200	蝕溝	0.58	0.58	0.63	0.23	0.395	0.395
	271	170K+050	170K+150	100	蝕溝	0.58	0.58	0.36	0.03	0.033	0.033
	272	170K+150	170K+250	100	落石	0.25	0.25	0.10	0.00	0.000	0.000
	273	170K+250	170K+300	50	落石	0.25	0.25	0.25	0.00	0.001	0.001
南	274	170K+300	170K+400	100	落石	0.25	0.25	0.25	1.00	0.296	0.296
	275	170K+400	170K+450	50	蝕溝	0.25	0.17	0.16	0.52	0.098	0.065
	276	170K+450	170K+500	50	落石	0.25	0.25	0.52	0.91	0.564	0.564
	277	170K+500	170K+800	300	無	0.00	0.00	0.16	0.00	0.000	0.000

路段區間	編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
	278	170K+800	171K+100	300	落石	0.17	0.17	0.25	0.11	0.021	0.021
	279	171K+100	171K+150	50	落石	0.17	0.17	0.10	0.00	0.000	0.000
	280	171K+150	171K+350	200	落石	0.50	0.50	0.43	0.00	0.001	0.001
	281	171K+350	171K+500	150	土石流	0.33	0.33	0.00	0.00	0.000	0.000
	282	171K+500	171K+800	300	岩屑崩滑	0.33	0.33	0.32	0.01	0.003	0.003
	283	171K+800	172K+050	250	岩屑崩滑	0.17	0.17	0.10	0.00	0.000	0.000
	284	172K+050	172K+100	50	蝕溝	0.25	0.25	0.16	0.00	0.001	0.001
	285	172K+100	172K+650	550	無	0.00	0.00	0.24	0.00	0.000	0.000
	286	172K+650	172K+750	100	落石	0.25	0.25	0.25	0.02	0.005	0.005
	287	172K+750	173K+800	1500	無	0.00	0.00	0.24	0.00	0.000	0.000
	288	173K+800	174K+200	400	土石流	0.42	0.58	0.24	0.00	0.000	0.000
	289	174K+200	174K+700	500	落石	0.33	0.33	0.10	0.00	0.001	0.001
	290	174K+700	174K+800	100	土石流	0.75	0.75	0.48	0.00	0.004	0.004
	291	174K+800	176K+250	1450	無	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
	292	176K+250	176K+350	100	落石	0.17	0.17	0.10	0.00	0.000	0.000
	293	176K+350	176K+450	100	蝕溝	0.83	0.83	0.24	0.00	0.002	0.002
	294	176K+450	176K+800	350	無	0.00	0.00	0.24	0.00	0.000	0.000
	295	176K+800	177K+080	280	蝕溝	0.83	0.83	1.00	0.00	0.003	0.003
	296	177K+080	177K+300	220	岩屑崩滑	0.17	0.17	0.10	0.00	0.000	0.000
	297	177K+300	177K+400	100	土石流	0.83	0.83	0.67	0.00	0.006	0.006
	298	177K+400	177K+850	450	落石	0.17	0.17	0.71	0.00	0.000	0.000
	299	177K+850	178K+100	250	蝕溝	0.83	0.83	0.31	0.00	0.001	0.001
	300	178K+100	178K+250	150	落石	0.67	0.67	0.41	0.00	0.002	0.002
	301	178K+250	178K+400	150	土石流	0.67	0.67	0.16	0.00	0.001	0.001
	302	178K+400	178K+900	500	落石	0.42	0.42	0.32	0.09	0.055	0.055
	303	178K+900	179K+570	670	落石	0.42	0.42	0.32	0.00	0.000	0.000
	304	179K+570	180K+400	830	落石	0.42	0.42	0.10	0.00	0.000	0.000
南	305	180K+400	181K+850	1450	岩屑崩滑	0.42	0.17	0.10	0.00	0.000	0.000
	306	181K+850	182K+000	150	岩屑崩滑	0.42	0.17	0.10	0.00	0.000	0.000

台 24 線易致災路段風險分析結果

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
1	20K+000	20K+800	800	河岸侵蝕	0.07	0.43	0.30	0.00	0.000	0.000
2	20K+800	20K+950	150	河岸侵蝕	0.07	0.07	0.12	0.00	0.000	0.000
3	20K+950	23K+085	2,135	無	0.00	0.00	0.05	0.00	0.000	0.000
4	23K+085	23K+600	515	河岸侵蝕	0.07	0.21	0.13	0.00	0.000	0.000
5	23K+600	24K+010	410	順向坡	0.29	0.57	0.22	0.00	0.000	0.000
6	24K+010	24K+500	490	岩體滑動	0.21	0.21	0.13	0.00	0.001	0.001
7	24K+500	24K+640	140	蝕溝	0.07	0.07	0.12	0.00	0.000	0.000
8	24K+640	24K+730	90	無	0.00	0.00	0.05	0.00	0.000	0.000
9	24K+730	24K+800	70	無	0.00	0.00	0.05	0.00	0.000	0.000
10	24K+800	24K+980	180	無	0.00	0.00	0.05	0.00	0.000	0.000
11	24K+980	25K+500	520	順向坡	0.36	0.36	0.13	0.01	0.002	0.002
12	25K+500	25K+900	400	蝕溝	0.43	0.43	0.21	0.01	0.004	0.004
13	25K+900	26K+230	330	岩體滑動	0.36	0.36	0.13	0.01	0.002	0.002
14	26K+230	26K+310	80	岩體滑動	0.36	0.36	0.22	0.01	0.004	0.004
15	26K+310	26K+400	90	岩體滑動	0.36	0.36	0.22	0.01	0.004	0.004
16	26K+400	26K+740	340	蝕溝	0.36	0.36	0.64	0.01	0.011	0.011
17	26K+740	27K+340	600	岩體滑動	0.43	0.43	0.74	0.01	0.015	0.015
18	27K+340	27K+460	120	岩體滑動	0.07	0.43	0.38	0.01	0.001	0.008
19	27K+460	27K+730	270	岩體滑動	0.07	0.07	0.49	0.01	0.002	0.002
20	27K+730	27K+830	100	岩屑崩滑	0.00	0.00	0.49	0.01	0.000	0.000
21	27K+830	28K+000	170	岩體滑動	0.07	0.21	0.06	0.01	0.000	0.001
22	28K+000	28K+120	120	岩體滑動	0.29	0.57	0.62	0.01	0.009	0.017
23	28K+120	28K+350	230	岩體滑動	0.21	0.21	0.24	0.01	0.003	0.003
24	28K+350	28K+510	160	蝕溝	0.07	0.07	0.13	0.01	0.000	0.000
25	28K+510	28K+950	440	順向坡	0.00	0.00	0.06	0.01	0.000	0.000
26	28K+950	29K+060	110	岩屑崩滑	0.00	0.00	0.06	0.01	0.000	0.000
27	29K+060	29K+180	120	順向坡	0.00	0.00	0.35	0.01	0.000	0.000
28	29K+180	29K+430	250	岩體滑動	0.36	0.36	0.22	0.00	0.002	0.002
29	29K+430	29K+880	450	岩體滑動	0.43	0.43	0.58	0.03	0.063	0.063
30	29K+880	30K+000	120	岩體滑動	0.36	0.36	0.13	0.04	0.015	0.015
31	30K+000	30K+050	50	土石流	0.36	0.36	0.37	0.04	0.043	0.043
32	30K+050	30K+200	150	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.22	0.05	0.029	0.029
33	30K+200	30K+260	60	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.18	0.06	0.028	0.028

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
34	30K+260	30K+290	30	土石流	0.43	0.43	0.55	0.04	0.076	0.076
35	30K+290	30K+430	140	岩屑崩滑	0.07	0.43	0.13	0.04	0.003	0.018
36	30K+430	30K+690	260	岩屑崩滑	0.07	0.07	0.37	0.04	0.008	0.008
37	30K+690	30K+750	60	岩屑崩滑	0.07	0.43	0.37	0.04	0.009	0.051
38	30K+750	30K+830	80	土石流	0.07	0.07	0.64	0.04	0.015	0.015
39	30K+830	30K+900	70	蝕溝	0.00	0.00	0.30	0.01	0.000	0.000
40	30K+900	30K+940	40	蝕溝	0.07	0.21	0.13	0.00	0.000	0.000
41	30K+940	31K+000	60	蝕溝	0.29	0.57	0.13	0.00	0.000	0.000
42	31K+000	31K+085	85	蝕溝	0.21	0.21	0.17	0.00	0.000	0.000
43	31K+085	31K+175	90	無	0.07	0.07	0.05	0.00	0.000	0.000
44	31K+175	31K+295	120	無	0.00	0.00	0.09	0.00	0.000	0.000
45	31K+295	31K+500	205	岩屑崩滑	0.00	0.00	0.58	0.00	0.000	0.000
46	31K+500	31K+900	400	順向坡	0.00	0.00	0.35	0.00	0.000	0.000
47	31K+900	32K+700	800	土石流	0.36	0.36	1.00	0.00	0.000	0.000
48	32K+700	33K+100	400	河岸侵蝕	0.43	0.43	0.30	1.00	1.000	1.000
49	33K+100	33K+650	550	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.05	0.00	0.000	0.000
50	33K+650	33K+700	50	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.05	0.00	0.000	0.000
51	33K+700	33K+800	100	土石流	0.36	0.36	0.64	0.01	0.009	0.009
52	33K+800	33K+900	100	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.06	0.01	0.001	0.001
53	33K+900	33K+950	50	土石流	0.43	0.43	0.21	0.01	0.005	0.005
54	33K+950	34K+060	110	岩屑崩滑	0.07	0.43	0.18	0.01	0.001	0.004
55	34K+060	34K+400	340	無	0.07	0.07	0.05	0.01	0.000	0.000
56	34K+400	34K+650	250	無	0.00	0.00	0.05	0.01	0.000	0.000
57	34K+650	34K+735	85	岩屑崩滑	0.14	0.14	0.06	0.01	0.000	0.000
58	34K+735	34K+820	85	岩屑崩滑	0.21	0.21	0.13	0.01	0.001	0.001
59	34K+820	35K+110	290	岩屑崩滑	0.29	0.29	0.13	0.01	0.002	0.002
60	35K+110	35K+235	125	土石流	0.57	0.57	0.30	0.01	0.009	0.009
61	35K+235	35K+350	115	岩屑崩滑	0.57	0.57	0.22	0.01	0.007	0.007
62	35K+350	35K+640	290	岩體滑動	0.71	0.71	0.13	0.03	0.021	0.021
63	35K+640	35K+810	170	岩體滑動	0.71	0.71	0.29	0.01	0.011	0.011
64	35K+810	35K+870	60	土石流	0.29	0.29	0.30	0.01	0.004	0.004
65	35K+870	36K+180	310	岩屑崩滑	0.64	0.64	0.44	0.01	0.014	0.014
66	36K+180	36K+210	30	岩屑崩滑	0.29	0.29	0.06	0.01	0.001	0.001
67	36K+210	36K+320	110	岩屑崩滑	0.29	0.29	0.06	0.01	0.001	0.001
68	36K+320	36K+500	180	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.22	0.01	0.004	0.004

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
69	36K+500	36K+585	85	岩屑崩滑	0.29	0.29	0.13	0.01	0.002	0.002
70	36K+585	36K+680	95	岩屑崩滑	0.43	0.43	0.22	0.01	0.005	0.005
71	36K+680	36K+740	60	土石流	0.64	0.64	0.36	0.01	0.012	0.012
72	36K+740	36K+865	125	無	0.00	0.00	0.05	0.01	0.000	0.000
73	36K+865	36K+900	35	土石流	0.43	0.43	0.30	0.01	0.007	0.007
74	36K+900	36K+950	50	無	0.00	0.00	0.05	0.01	0.000	0.000
75	36K+950	37K+170	220	岩屑崩滑	0.43	0.43	0.22	0.01	0.005	0.005
76	37K+170	37K+250	80	土石流	0.43	0.43	0.38	0.01	0.008	0.008
77	37K+250	37K+350	100	岩屑崩滑	0.29	0.43	0.22	0.01	0.003	0.005
78	37K+350	37K+440	90	蝕溝	0.29	0.43	0.21	0.01	0.003	0.005
79	37K+440	37K+500	60	岩屑崩滑	0.43	0.43	0.22	0.01	0.005	0.005
80	37K+500	37K+680	180	岩屑崩滑	0.57	0.57	0.22	0.01	0.007	0.007
81	37K+680	37K+800	120	岩屑崩滑	0.57	0.57	0.13	0.01	0.004	0.004
82	37K+800	37K+940	140	無	0.00	0.00	0.12	0.01	0.000	0.000
83	37K+940	38K+085	145	岩屑崩滑	0.29	0.36	0.13	0.01	0.002	0.002
84	38K+085	38K+275	190	落石	0.14	0.14	0.06	0.01	0.000	0.000
85	38K+275	38K+450	175	岩屑崩滑	0.29	0.36	0.22	0.01	0.003	0.004
86	38K+450	38K+670	220	無	0.00	0.00	0.05	0.01	0.000	0.000
87	38K+670	39K+500	830	落石	0.00	0.00	0.05	0.01	0.000	0.000
88	39K+500	39K+950	450	落石	0.36	0.21	0.13	0.01	0.002	0.001
89	39K+950	40K+050	100	落石	0.21	0.21	0.13	0.01	0.001	0.001
90	40K+050	40K+200	150	順向坡	0.29	0.29	0.13	0.01	0.002	0.002
91	40K+200	40K+500	300	順向坡	0.50	0.50	0.22	0.01	0.006	0.006
92	40K+500	40K+570	70	順向坡	0.29	0.36	0.22	0.01	0.003	0.004
93	40K+570	40K+760	190	順向坡	0.36	0.36	0.13	0.00	0.002	0.002
94	40K+760	41K+820	1,060	無	0.07	0.07	0.12	0.01	0.001	0.001
95	41K+820	42K+000	180	岩屑崩滑	0.36	0.36	0.22	0.01	0.005	0.005
96	42K+000	42K+265	265	岩體滑動	0.64	0.64	0.37	0.01	0.022	0.022
97	42K+265	42K+280	15	土石流	0.64	0.64	0.45	0.01	0.018	0.018
98	42K+280	42K+375	95	落石	0.07	0.14	0.06	0.01	0.000	0.001
99	42K+375	42K+475	100	無	0.07	0.07	0.05	0.01	0.000	0.000
100	42K+475	42K+600	125	蝕溝	0.14	0.14	0.13	0.01	0.001	0.001
101	42K+600	42K+630	30	土石流	0.36	0.36	0.30	0.01	0.007	0.007
102	42K+630	42K+770	140	落石	0.14	0.07	0.06	0.01	0.001	0.000
103	42K+770	42K+875	105	岩屑崩滑	0.57	0.57	0.13	0.01	0.005	0.005

編號	起始樁號	結束樁號	路段長度(m)	主要災害類型	上邊坡潛感	下邊坡潛感	發生機率	損失程度	上邊坡災害風險正規化	下邊坡災害風險正規化
104	42K+875	42K+950	75	蝕溝	0.07	0.07	0.12	0.01	0.001	0.001
105	42K+950	43K+000	50	無	0.07	0.07	0.05	0.01	0.000	0.000
106	43K+000	43K+190	190	落石	0.21	0.07	0.06	0.01	0.001	0.000
107	43K+190	43K+285	95	無	0.07	0.07	0.05	0.01	0.000	0.000
108	43K+285	43K+640	355	順向坡	0.57	0.57	0.13	0.01	0.005	0.005
109	43K+640	43K+710	70	落石	0.07	0.07	0.05	0.01	0.000	0.000
110	43K+710	44K+000	290	岩屑崩滑	0.86	0.86	0.28	0.01	0.015	0.015
111	44K+000	44K+010	10	土石流	0.86	0.86	0.45	0.01	0.024	0.024
112	44K+010	44K+070	60	岩屑崩滑	0.29	0.86	0.22	0.01	0.004	0.012
113	44K+070	44K+135	65	岩屑崩滑	0.86	0.86	0.22	0.01	0.012	0.012
114	44K+135	44K+415	280	土石流	0.79	0.79	0.45	0.01	0.022	0.022
115	44K+415	44K+515	100	岩屑崩滑	0.29	0.36	0.13	0.01	0.002	0.003
116	44K+515	44K+625	110	落石	0.21	0.07	0.06	0.01	0.001	0.000
117	44K+625	44K+855	230	落石	0.21	0.36	0.06	0.01	0.001	0.001
118	44K+855	45K+000	145	岩屑崩滑	0.07	0.21	0.13	0.01	0.001	0.002
119	45K+000	45K+200	200	岩屑崩滑	0.21	0.21	0.06	0.01	0.001	0.001
120	45K+200	45K+275	75	岩屑崩滑	0.57	0.57	0.48	0.01	0.017	0.017
121	45K+275	45K+550	275	岩屑崩滑	0.71	0.71	0.44	0.01	0.019	0.019
122	45K+550	45K+750	200	無	0.07	0.07	0.20	0.01	0.001	0.001
123	45K+750	46K+000	250	岩體滑動	0.79	0.79	0.37	0.01	0.018	0.018
124	46K+000	46K+300	300	岩體滑動	0.93	0.93	1.00	0.01	0.056	0.056
125	46K+300	46K+700	400	岩體滑動	0.93	0.93	1.00	0.01	0.056	0.056
126	46K+700	47K+050	350	蝕溝	0.29	0.50	0.30	0.01	0.005	0.009
127	47K+050	47K+200	150	順向坡	0.64	0.64	0.13	0.01	0.005	0.005
128	47K+090	47K+500	410	蝕溝	0.79	0.79	0.51	0.01	0.025	0.025
129	47K+500	47K+645	145	落石	0.29	0.43	0.28	0.01	0.005	0.007
130	47K+645	47K+845	200	岩體滑動	1.00	1.00	0.58	0.01	0.035	0.035
131	47K+845	47K+965	120	岩體滑動	1.00	1.00	0.58	0.01	0.035	0.035
132	47K+965	48K+490	525	岩體滑動	1.00	1.00	0.28	0.01	0.015	0.015
133	48K+490	48K+550	60	岩屑崩滑	0.14	0.14	0.06	0.00	0.000	0.000
134	48K+550	48K+810	260	岩屑崩滑	0.14	0.14	0.01	0.00	0.000	0.000
135	48K+810	49K+115	305	順向坡	0.43	0.43	0.06	0.00	0.000	0.000
136	49K+115	49K+440	325	無	0.07	0.07	0.00	0.00	0.000	0.000
137	49K+440	49K+755	315	順向坡	0.64	0.64	0.01	0.00	0.000	0.000
138	49K+755	50K+100	345	岩屑崩滑	0.57	0.57	0.13	0.00	0.000	0.000