

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)

Developed a technique for mountain road to investigate risk
assessment, risk analysis, landslide prewarning management(3/4)

主管單位：¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心

邱永芳 ¹	謝明志 ¹	張道光 ¹	黃敏郎 ²
Chiu, Yung-Fang	Hsieh, Ming-Jyh	Chang, Tao-Kuang	Huang, Min-Lang
郭峰豪 ²	劉峰榮 ²	曾志民 ³	
Kuo, Feng-Hao	Liu, Feng-Jung	Tseng, Chih-Ming	

²聚禾工程顧問有限公司

³長榮大學土地管理與開發學系

摘要

本計畫以台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。

本年度主要完成之工作項目包括：1.持續蒐集山區道路重大災例蒐集、成因、特性與復建措施分析。2.選取示範山區道路進行邊坡歷史山崩目錄建置、災因分析與邊坡崩塌潛感分析並製作崩塌潛感圖。3.持續修正山區道路邊坡致災因子、誘發因子(降雨)及道路邊坡破壞分析模式。4.選取示範山區道路進行大規模滑動區位判釋、成因、特性分析。5.現有山區道路監測預警管制技術檢討。6.選取示範山區道路進行大規模滑動區位判釋、成因、特性分析。

本期研究成果與效益有：1.採用坡面單元、地質概念與路段之細部排水、工程狀況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，同時以開放式資料概念、氣象局QPESUMS之降水預報產品，結合港研中心於相關計畫之降水修正結果，自動進行各路段之降雨警戒值比對，將成果以開放及跨平台方式進行供應與展示，可提供路管單位於提前應變措施參考。3.本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。

關鍵詞：山區道路、崩塌、監測、易致災性

Abstract

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.

The works accomplished in this year including: 1.data collection of major disaster events, 2.estabishment of the landslide inventory, the hazard analysis of landslides and the hazard map, 3.modifying the factors and the analyzing model for slopeland failure, 4.identifying the characteristics, the reasons and the location for large landslide area, 5.discussion on the methods of monitoring and pre-warning the disaster of roads.

Finally, the results and benefits of this project includes: 1. the method applied in this study has been shown an efficient way to quantitatively evaluate the hazard potential for mountainous roads. 2. The method evaluating the hazard degree proposed in this project could provide as the reference to the road management agency for disaster preparedness. 3. The study results of this project could provide as the reference for the following related research.

Keywords : mountain road 、 landslide 、 monitor 、 vulnerability.

一、前言

本年度計畫選定省道台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，進行易致災路段調查分析，探究道路邊坡致災因子，並規劃建置整合性山區道路邊坡災害潛感評估流程與方法。本研究擬運用證據權法進行道路邊坡災害潛感分析，並對各項自然環境及邊坡開發等致災潛感因子進行其權重值之量化分析，進而建置災害潛感模式。本研究並結合地理資訊系統繪製山區道路邊坡災害之潛感圖、環境地質敏區圖與易致災路段風險圖，並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破壞分析模式。研究中亦將影像判釋技術應用於大規模滑動區位之判釋，並分析其滑動成因與特性。本研究之成果可提供公路總局及相關單位在山區道路坡地災害防治之參考與應用，以做為後續相關研究之基礎。

二、研究地區與研究方法

本研究前兩年度完成山區易致災路段調查評估方法之建立，本年度計畫主要著重在調查評估方法修正、風險分析及監測預警管制技術之探討等工作，據此本研究擬以五階段流程完成各項工作，分別為(1)計畫前期作業、(2)山區道路易致災路段調查評估、(3)山區道路邊坡破壞因子分析與修正、(4)現有山區道路監測預警管制技術檢討、(4)計畫成果提送等五階段。

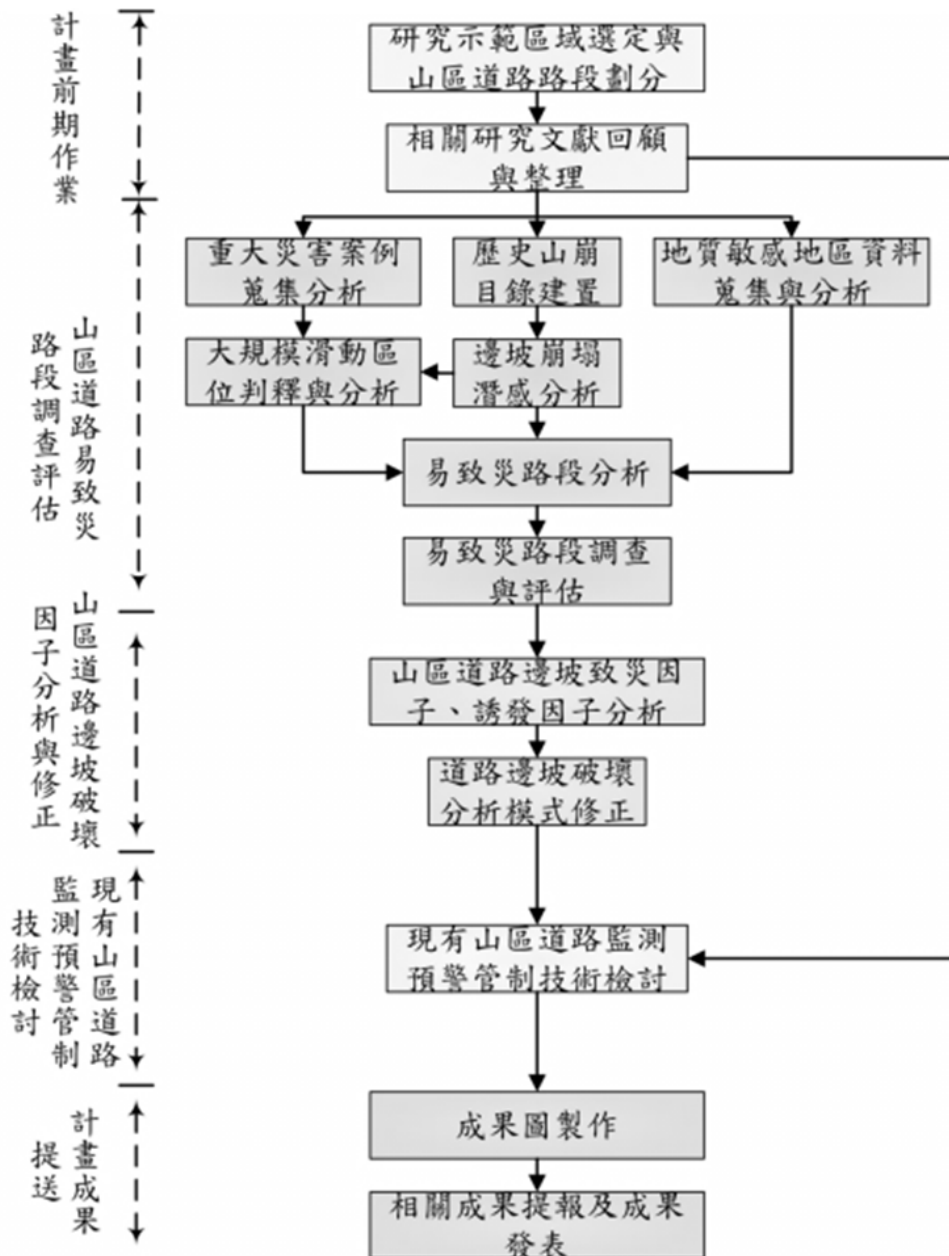


圖1、本研究內容及步驟流程圖

2.1 計畫前期作業

本研究以台 9 線蘇花公路自宜蘭縣蘇澳鎮(106K+000)至花蓮縣秀林鄉崇德路段(182K+000)為研究示範區域(圖 2a)，全長約 76 公里。

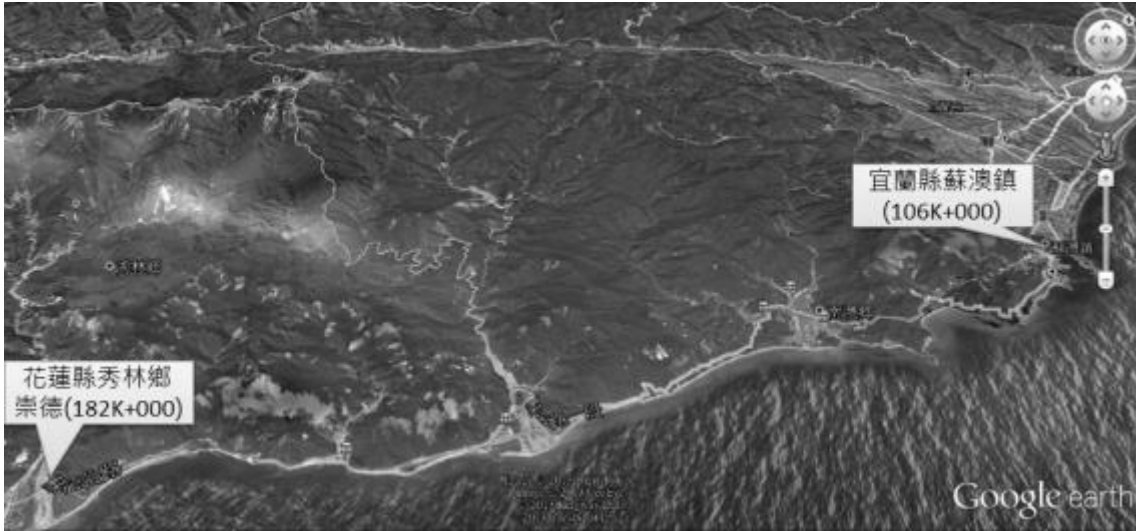


圖2a、本計畫研究對象-台9線宜蘭蘇澳至花蓮秀林鄉崇德段之山區道路

本計畫納入坡面單元進行山區道路之分區。首先套疊道路圖層，將道路依據坡面單元加以切割，再結合災害特性，針對流動型災害(如土石流或蝕溝)區位以水系資料與環境地質敏感區資料再進行細分，如此可明確律定易致災路之主要災害類型，再透過水系分析將土石流、蝕溝等流動型災害進行細分，以與滑動型災害進行區隔，以利後續之災害統計與分析，最後完成易致災路段之劃分作業。經由上述之方法，易致災路段亦會記錄主要災害特性、地形特性，後續再透過資料蒐集與現地查核方式，針對道路排水或相關工程等重要區位導對災害發生與影響進行細部調查，以完整易致災路段之分析作業。

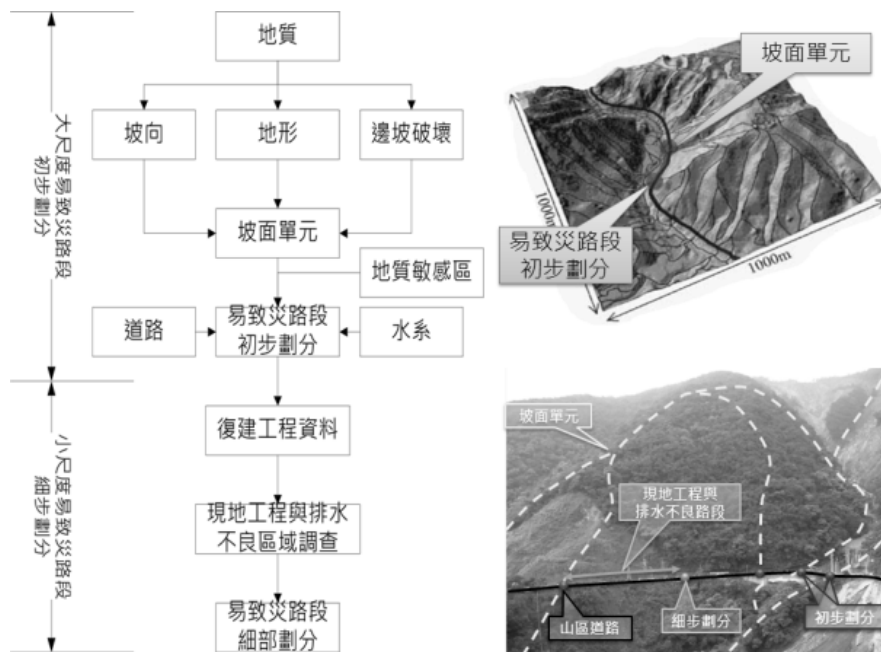


圖2b、本計畫易致災路段劃分流程

2.2 山區道路易致災路段之調查評估

本研究參考港研中心山區道路歷史災害及現地調查資料庫，配合本研究預計蒐集示範研究區道路災害案例，輔以衛星影像判釋技術，建置示範區道路邊坡歷史山崩目錄。針對全流域山崩發生潛勢，本計畫透過上節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勢區，以進行全研究區域深層滑動區位篩選之參考。在山崩目錄選定上，本計畫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。

同時為探究研究示範區山區道路疑似大規模滑動之區位，本計畫以潛在山崩面積大於10公頃者為潛在山區道路邊坡大規模滑動區位之必要條件，利用影像判釋分類之技術，結合有利山崩發生之各項自然環境或人為利用等因子分析方式，有系統地探究示範山區道路各類型之疑似大規模滑動區位。

除山崩災害外，本研究認為山區道路災害與所在之地質敏感地區有關，而依據經濟部地調所之地質敏感地區之相關調查研究，共包括山崩、土石流、順向坡、河岸侵蝕與向源侵蝕五大類，而上述區位皆會造成山區道路災害，因此本計畫擬增加地質敏感地區資料之蒐集與分析工作，以釐清山區道路所處之坡面單元內各種災害之類型與相互影響之關係。

易致災路段分析目的為從示範山區道路中，透過上述各節之山崩目錄、山崩潛感、重大案例、潛在大規模滑動與環境地質敏感區資料蒐集與分析，將易致災之山區道路單元與主要之災害種類篩選出並進行相對之分級，以進行後續調查評估、與風險分析之依據。此外，再針對示範區道路進行歷史災害特性分析及復建措施探討。

2.3 山區道路易致災路段風險分析

山區道路邊坡主要為山崩所造成之各類邊坡災害，而針對造成山崩之致災因子與誘發因子如圖3所示。於致災因子中，主要為地質、地形與地下水條件，而於誘發因子部分則包括降雨、侵蝕、地震及人為因素。

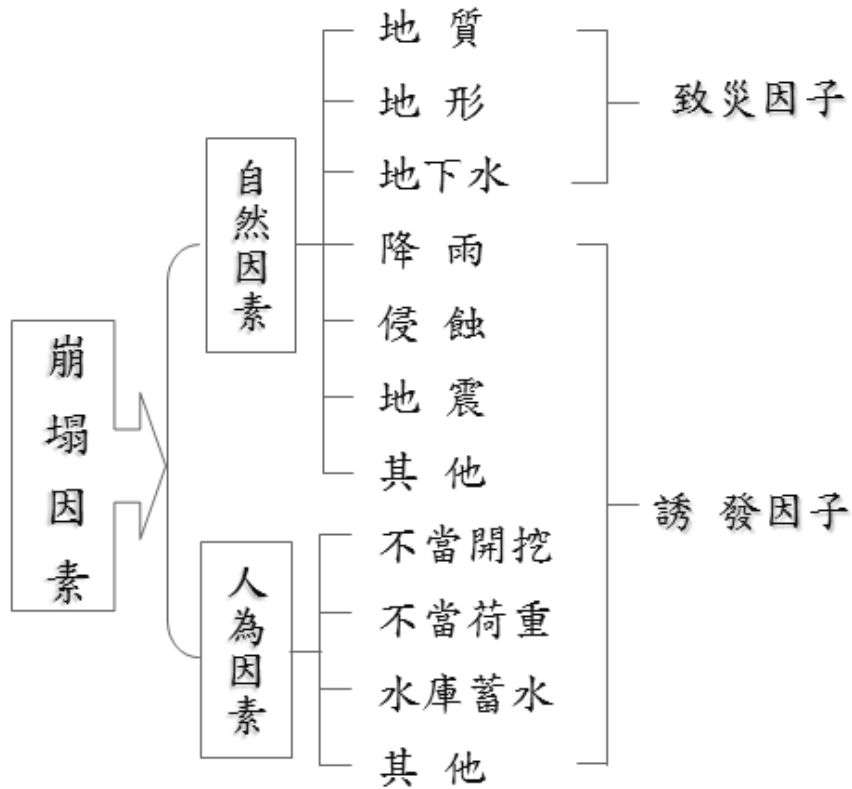


圖3、山崩之致災因子與誘發因子

資料來源:奧園誠之, 1986

在風險評估方面，鄭明淵（2007）以台18線案例資料進行統計分析以「觀光損失評估模式」，結合「生命損失評估模式」及「交通運輸損失評估模式」建立道路邊坡山崩潛勢分析及災損風險評估模式，而考蘇文瑞等人(2010)以災害潛勢 (Susceptibility)、發生災害之機率(Probability) 與損失程度等三部分進行風險評估，本計畫參考蘇文瑞等人(2010)之研究方法，將災害風險表示為下式 [1]、[2]：

$$R(\text{災害風險})= S(\text{災害潛勢})\times P(\text{發生機率})\times L(\text{損失程度}) \quad [1]$$

$$R(\text{災害風險})= H(\text{危害度})\times L(\text{損失程度}) \quad [2]$$

式子[1]中S代表災害潛勢，P代表發生機率，而兩者相乘為危害度H。

本研究以降雨導致之山崩風險計算為例，山崩風險計算分為兩個部分，分別是山崩災害的危害度，與災害發生時對道路所造成的損失程度，藉由此兩者的結合而得到山崩風險值，最後藉由GIS分級工具u 依據等數量間距進行分級。

三、研究成果

3.1 山崩目錄建置

本研究使用自2005年至2012年之颱風豪雨事件的福衛二號影像，所判釋出的崩塌面積及數量統計結果顯示，歷史山崩面積與數量自泰利颱風(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後，有明顯增加且型態以新生崩塌為主。

表1 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

3.2 山區道路重大災例蒐集、成因、特性與復建措施分析

本計畫蒐集重大災害案例共42處，其中有36處實際發生阻斷，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。在重大災害案例復建措施分析結果方面，依據調查結果顯示本路段36處復建措施工程現況中，30處既有工程、2處新建工程與4處緊急工程。在30處既有工程中，有2處全部毀損、有9處部分毀損、有19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。

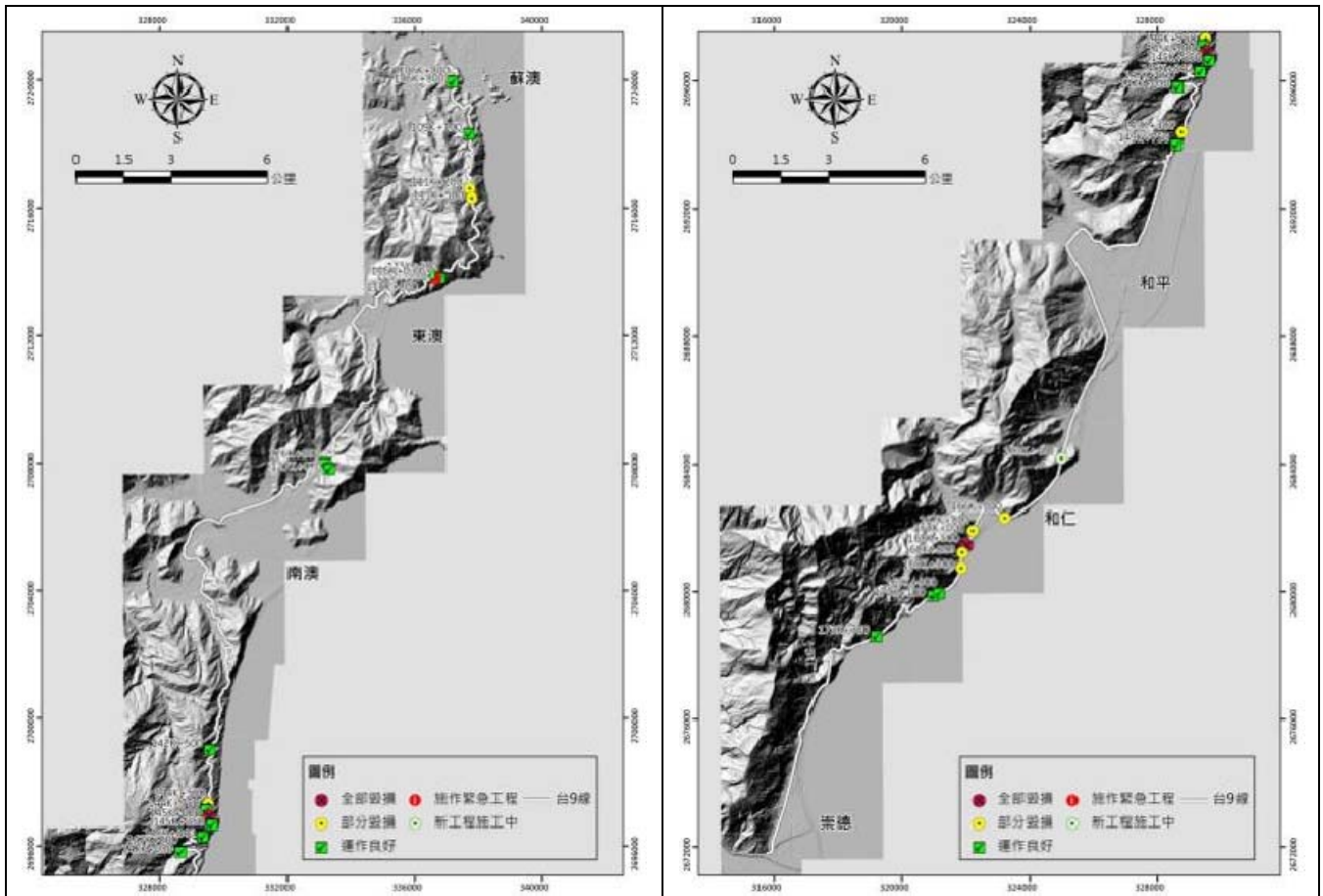


圖4、台9線山區道路重大災例復建措施工程現況圖

3.3 易致災路段分析

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，共將台9線蘇花公路山區道路自蘇澳至崇德路段劃分為306段，這些路段在災害類型統計方面有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，相對於其他路段屬於安全路段，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。若將上述之路段進行災害發生之邊坡區位分析，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。再者，若依據易致災路段所處之地形進行分析，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與緊鄰河岸。而在易致災路段災害潛勢調查與分析成果部分，災害潛勢高者共有141個路段、災害潛勢中者共有116個路段、災害潛勢低者則有49個路段。

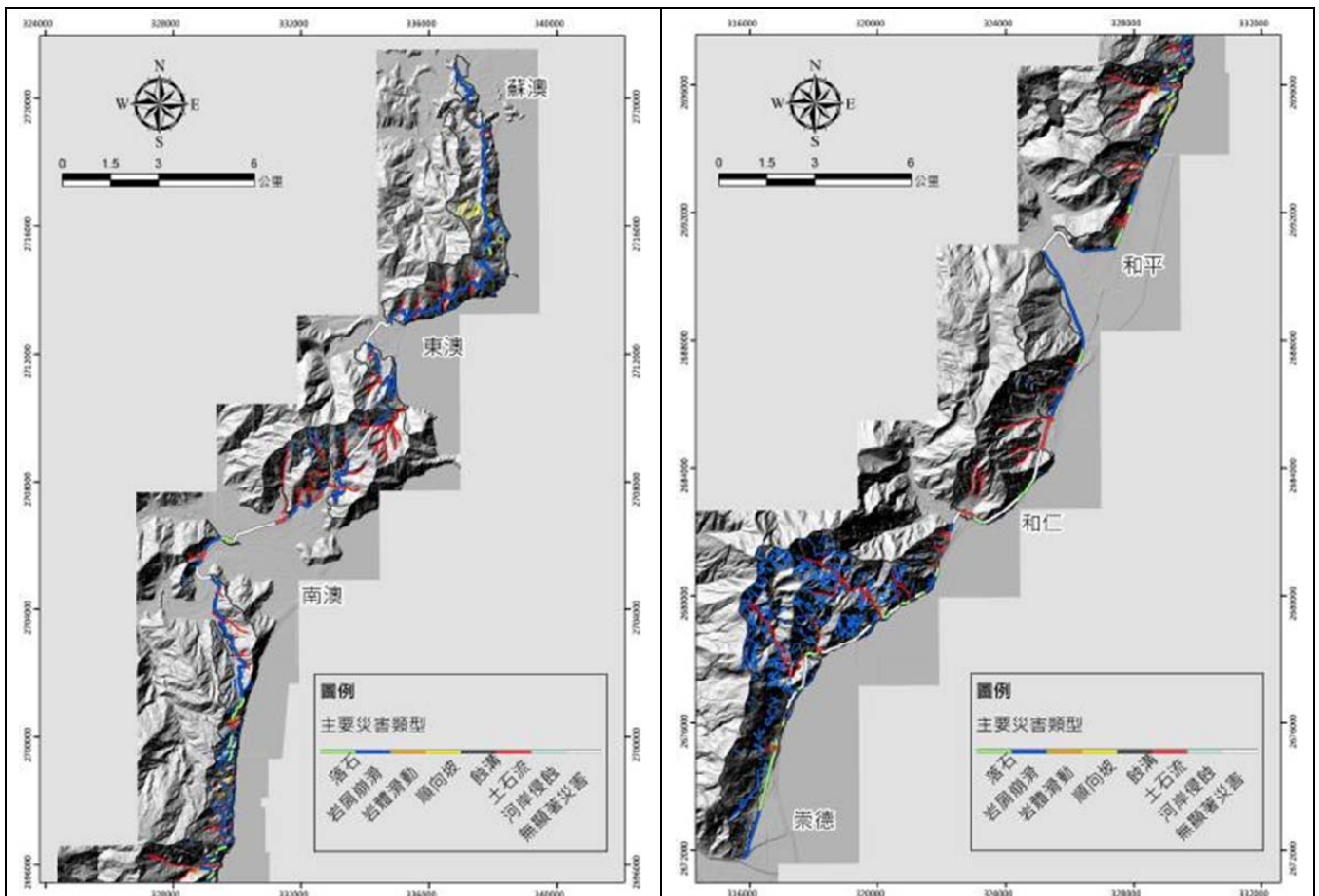


圖5、台9線山區道路易致災路段主要災害類型分布圖

3.4 山區道路邊坡破壞因子分析與修正

本計畫考量最大降雨強度I及有效累積雨量R為誘發因子，並配合降雨事件之新增崩塌判釋成果，進行警戒值或行動值之分析。本計畫採用雙線法，也就是應用降雨參數統計結果，訂定出降雨參數上下限，將警戒區劃分為三個區塊(表2)。而警戒區下邊界可作為公路總局於警戒階段之警戒值；降雨參數上邊界則進一步經由地文致災因子修正後，作為行動階段之行動值。

表 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

3.5 山區道路易致災路段風險分析

山區道路易致災路段風險主要依據災害潛勢(S)、發生機率(P)與損失程度(L)進行風險評估，分析結果顯示台9線易致災路段風險值，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。

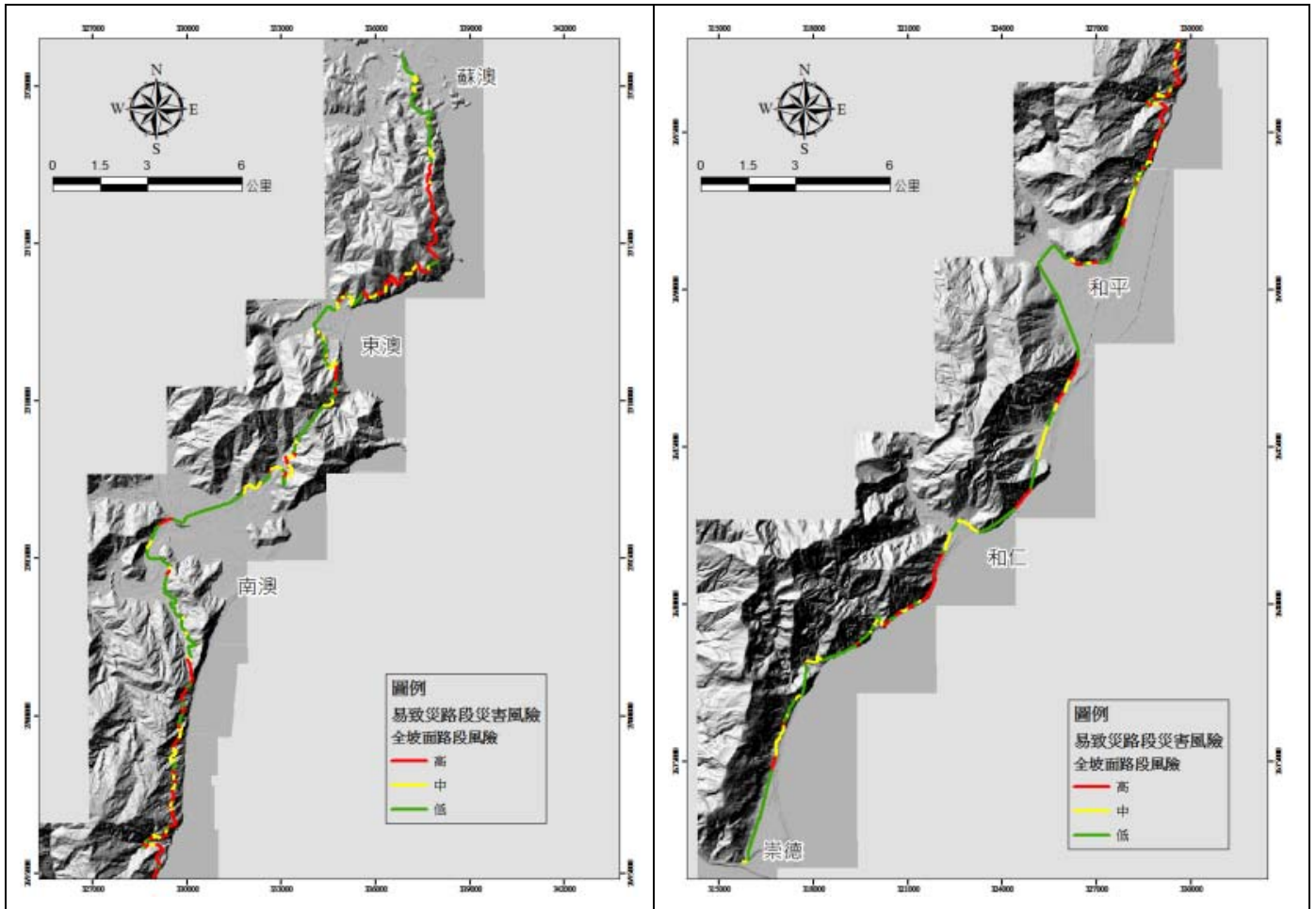


圖6、台9線山區道路易致災路段全邊坡風險圖

3.6 山區道路監測預警管制技術檢討

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，本研究利用證據權重法分析致災因子、誘發因子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(表3、表4)。

表3 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 4 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

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研判依據，此方式具備低成本及廣域監控之能力(圖7)。計畫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，各單位可自行加入本成果，進行山區道路即時警戒狀況瀏覽，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(圖8)。



圖 7、監測預警管制方法與流程圖

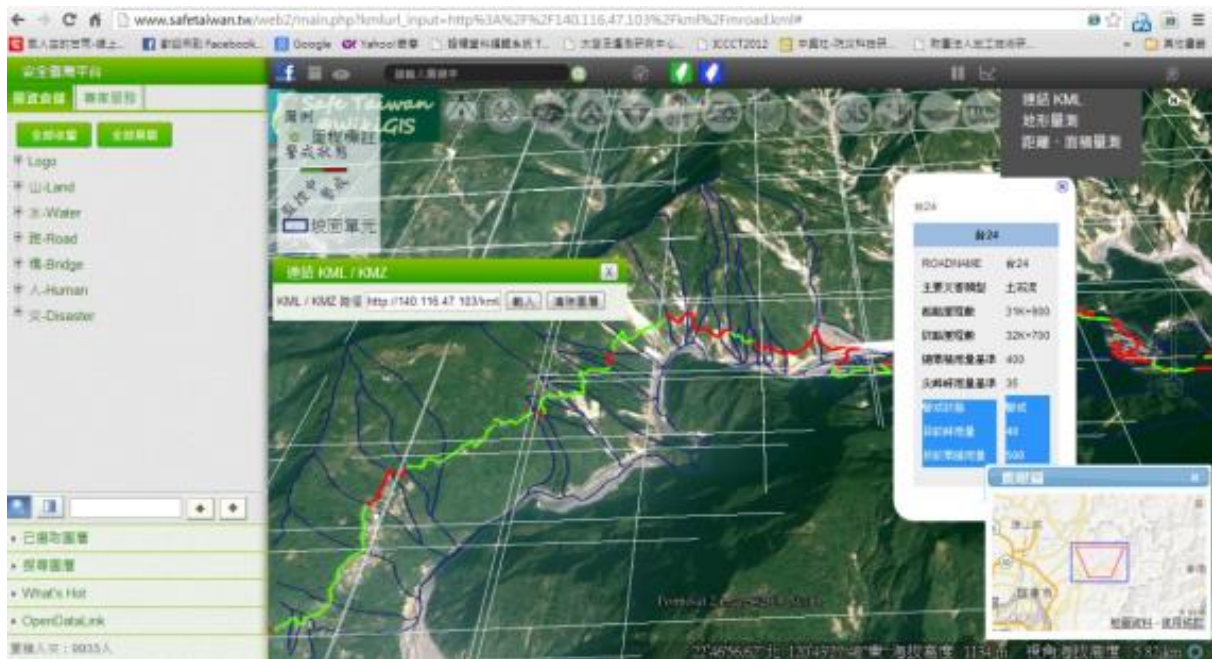


圖 8、以交通部公路總局 SafeTaiwan 平台展示監測預警管制成果圖

四、結論與建議

1. 本研究蒐集蘇花公路研究區域內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。
2. 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。
3. 在歷史山崩目錄建置部份，各個重大的降雨事件中所判釋出的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。
4. 本研究之重大災例蒐集自交通部公路防救災資訊系統之災情資料，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 5 月重大災害案例共計 41 處，實際因災害導致道路中斷共計 35 處。依據調查結果顯示於 35 處復建措施工程現況中，共 29 處既有工程、2 處新建工程與 4 處緊急工程。在 29 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。
5. 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，依據本研究潛在大規模滑動區之類型分類，皆屬於類型 III，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。
6. 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港研中心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。計畫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，各單位可自行加入本成果，進行山區道路即時警戒狀況瀏覽，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。

參考文獻

1. 水土保持局、中華水土保持學會，2005，「水土保持手冊-工程篇」。
2. 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，台北，202-207。
3. 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」。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 何泰源，2006，「台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。
10. 吳淵洵、周南山，2000，「台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。
11. 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。台北市：交通部中央氣象局。
12. 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。
13. 林慶偉，2010，「台灣南部荖濃河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。

14. 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。
15. 陳信雄，1995，山崩地調查與分析，渤海堂。
16. 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。
17. 陳儒賢、洪毓婷，2011，未設測站地點雨量頻率分析之研究，水土保持，第 6 卷第三期，pp.128-140。
18. 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。
19. 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。
20. 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。
21. 國家災害防救科技中心，2008，『精進颱風災害應變預警技術技術報告』。
22. 國家災害防救科技中心，2009，『颱風災害風險評估方法之建立技術報告』。
23. 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。
24. 鄭明淵，2007，「台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。
25. 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。
26. 瀨尾克美、船崎昌繼 (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.
27. 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。