

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(4/4)

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

主管單位：交通部運輸研究所

黃敏郎¹

張道光²

郭峰豪¹

劉峰榮¹

Huang, Min-Lang¹

Tao-kuang Chang²

Kuo, Feng-Hao¹

Liu, Feng-Jung¹

¹聚禾工程顧問有限公司

²交通部運輸研究所港灣技術研究中心

摘要

本研究主要為進行示範區之山區道路（臺9-南迴公路、臺9-蘇花公路、臺11、臺18、臺24線）山崩等災害目錄建置、災害潛勢分析、潛在大規模滑動區位判釋與重大災害案例蒐集等工作，以坡面為單元，劃分山區道路易致災路段，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，提出創新構思與監測管理措施，以提高國內山區道路整體安全的使用。

根據路段區分及重大災害案例分析結果顯示，台9線南迴公路山區道路共可劃分394段，其中14個路段發生過重大災害；台11線山區道路可劃分299段，其中4個路段發生過重大災害；台9線蘇花公路山區道路可劃分306段，其中46個路段發生過重大災害；台18線山區道路可劃分467段，其中79個路段發生過重大災害；台21線山區道路可劃分704段，其中151個路段發生過重大災害；台24線山區道路可劃分138段，其中33個路段發生過重大災害。潛在大規模滑動區共計9處，其中台18線共有4處，台21線共有5處。本年度根據不同路段以往道路阻斷時間點之降雨資料進行分析，並對於紀錄筆數之多寡，分別提出多次記錄路段以及少次記錄路段降雨警戒基準值上下限之分析方法，並利用證據權法計算因子加總，進行各路段雨量上限值之修正，並完成各路段災害風險度分級，以提供未來在面對災害資訊上之參考。而本計畫完成之山區道路監測預警系統建置，當雨量到達警戒狀況時，會發出簡訊至所設定的手機號碼，提醒相關人員注意。

關鍵詞：山區道路、崩塌、監測、易致災性

Abstract

This project selected Provincial Highway Route 9,11,18,21,24 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 road 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.establishment of the landslide inventory, the hazard analysis of landslides and the hazard map, 3.modifying the factors and the analyzing model for slope 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.

Keywords : mountain road 、 landslide 、 monitor 、 vulnerability.

一、前言

本計畫選定台9線南迴段、台11線、台9線蘇花段、台18線、台21線及台24線共六條山區道路進行災害案例蒐集，並以坡面為分析單元，探究道路邊坡致災因子，期規劃建置合理之整合性山區道路邊坡山崩潛勢評估流程與方法。本計畫同時運用證據權法進行道路邊坡災害潛勢分析，並對各項自然環境及邊坡開發等致災潛勢因子進行其權重值之量化分析，以此建置災害潛勢模式。本研究並將結合地理資訊系統繪製山區道路邊坡災害之潛勢圖、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山崩之量化分析模式。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，做為後續相關研究之基礎。

二、研究範圍與研究方法

本計畫主要著重在山區道路易致災路段之調查與評估方法建立，與初步風險分析，據此本計畫以四階段流程完成各項工作，分別為計畫前期作業、山區道路易致災路段之調查評估、山區道路易致災路段風險評估與計畫成果提送等四階段(圖1)。

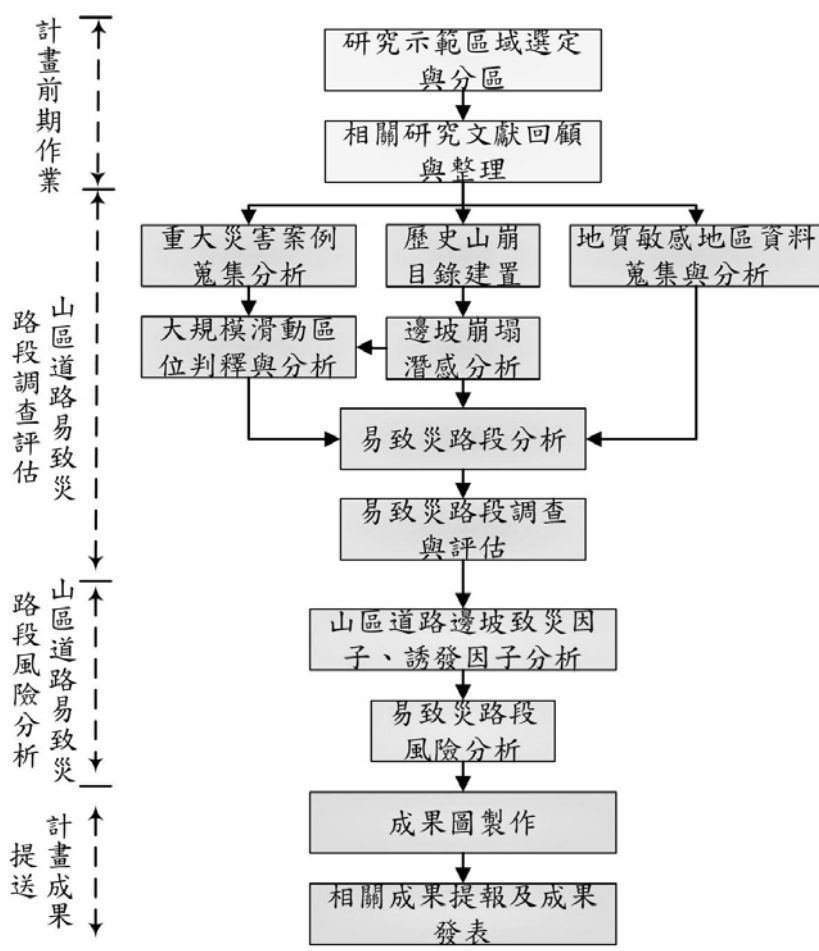


圖1 本研究方法與流程圖

2.1 研究範圍

本研究範圍選定台9線南迴段、台11線、台9線蘇花段、台18線、台21線及台24線共六條山區道路為研究對象(圖2)。



圖2 本計畫六條山區道路路段調查範圍

2.2 易致災路段劃分方法

以往易致災路段大部分採固定里程進行劃分，此方式劃分結果有可能發生同一災害橫跨不同路段的現象，同時也會造成後續災害相關統計的困擾。因此本計畫納入坡面單元進行山區道路之分區。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，以坡面單元概念劃分，在以此坡面單元之地質敏感區特性，進行易致災路段之劃分，以確立個易致災路段之區位與災害類型(如圖3)，後續再進行降雨誘發因子之分析，並嘗試建立個易致災路段之警戒基準。

本研究之山區道路之分區方法，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。

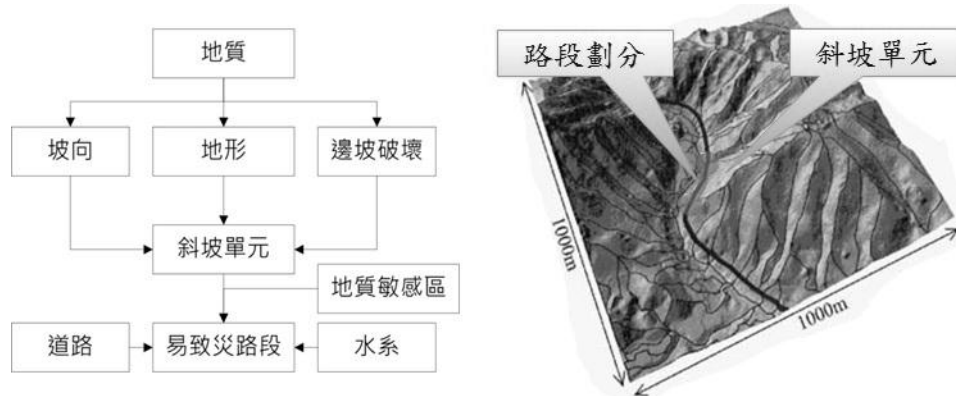


圖3 本計畫易致災路段劃分流程

三、研究成果

3.1 山崩目錄建置

本研究蒐集各山區道路之坡面範圍內的地質敏感地區資料 (99年)，針對崩塌災害進行統計，其中於台9線南迴段路線273處崩塌災害中，共計其面積為51.48公頃；台11線1處崩塌災害中，共計其面積為1.83公頃；台9線蘇花段545處崩塌災害中，共計其面積為520.43公頃；台18線391處崩塌災害中，共計其面積為311.08公頃；台21線384處崩塌災害中，共計其面積為241.40公頃；台24線有598處崩塌災害中，共計其面積為467.46公頃，總計本研究山區道路崩塌面積達1,126.22公頃，各山區道路崩塌面積統計如圖4所示。

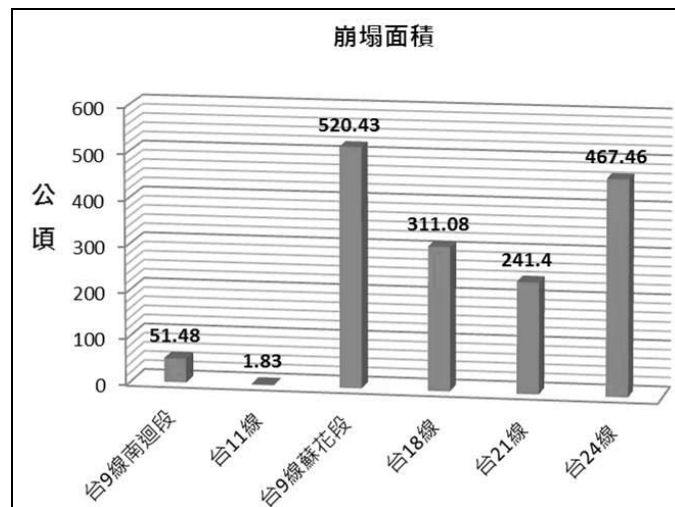


圖4 各山區道路崩塌面積統計圖

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327起道路封閉事件，其中於台9線南迴段山區道路14起道路受阻案例中，有14個路段發生過重大災害；台11線山區道路4起道路受阻案例中，發生重大災害者計有4個路段；台9線蘇花段山區道路46起道路受阻案例中，發生重大災害者計有40個路段；台18線山區道路79起道路受阻案例中，發生重大災害者計有54個路段；台21線山區道路151起道路受阻案例中，發生重大災害者計有68個路段；台24線山區道路33起道路受阻案例中，發生重大災害者計有21個路段。上述致災路段中，以崩塌災害為最多共計132處，其次為土石流共計61處、順向坡共計2處、其餘則為蝕溝共計6處。在重大災害案例復建措施分析結果方面，依據調查結果顯示六條山區道路復建措施工程現況中，顯示有超過一半以上之既有工程設施已回復正常使用的情形。

3.3 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。

3.4 山區道路易致災路段分析

易致災路段劃分方法主要以坡面單元劃分結果(共2,308個坡面單元)為基礎，結合環境地質敏區特性與水系分析，結果總計崩塌災害共計有702處、土石流共有229處、蝕溝共有51處、順向坡共有39處(如圖5、表1)，顯示各山區道路路段較顯著的地質災害類型以崩塌為主，其次為土石流，易致災路段上主要地質敏感災害類型數量統計如表1。其餘則為無顯著災害路段，相對於其他路段而言，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。

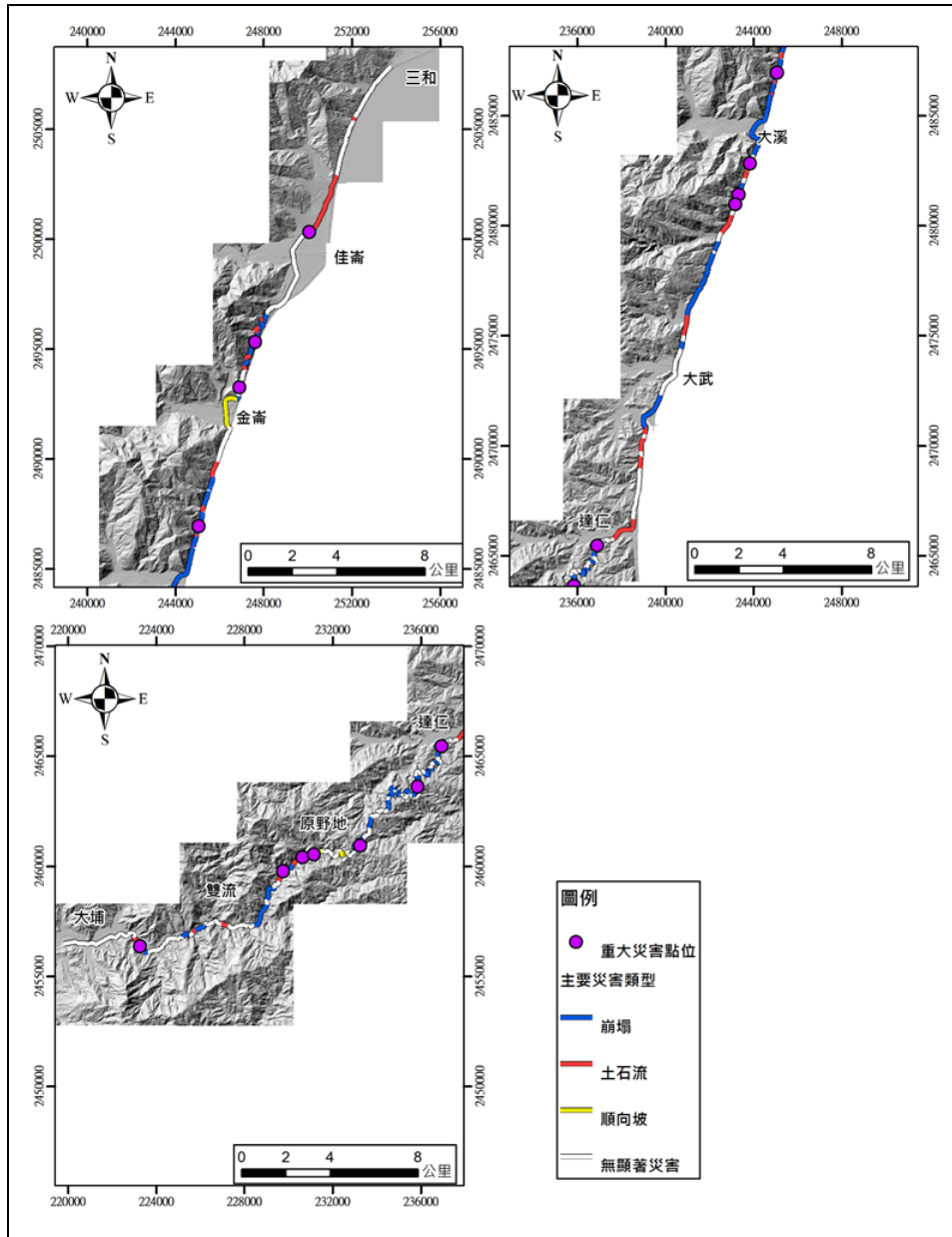


圖5 重大災害案例與易致災路段災害類型疊合分布圖(以台9南迴公路為例)

表 1 易致災路段主要災害類型統計表

道路名稱	主要災害類型 (路段數量)			
	崩塌	土石流	蝕溝	順向坡
台 9 南迴	124	80	0	7
台 11	1	13	0	0
台 9 蘇花	134	24	23	1
台 18	184	33	12	11
台 21	183	73	3	7
台 24	76	15	13	13
災害統計	702	229	51	39

3.5 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6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。

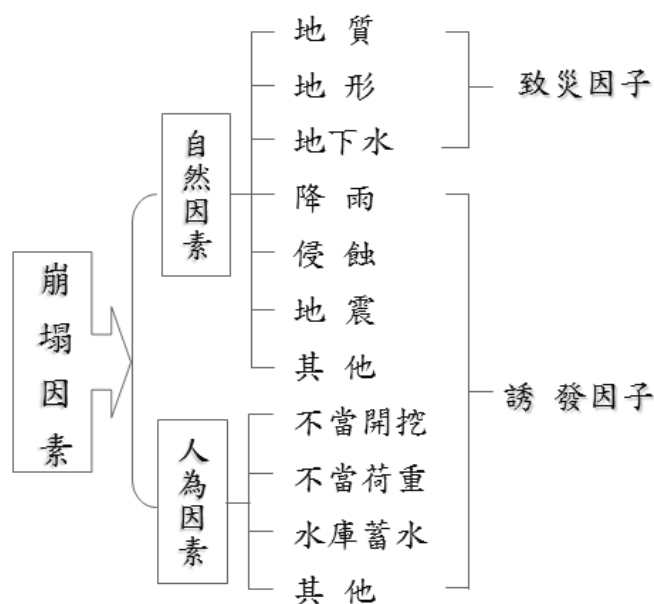


圖6 山崩之致災因子與誘發因子

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。

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，分析結果如圖7所示。

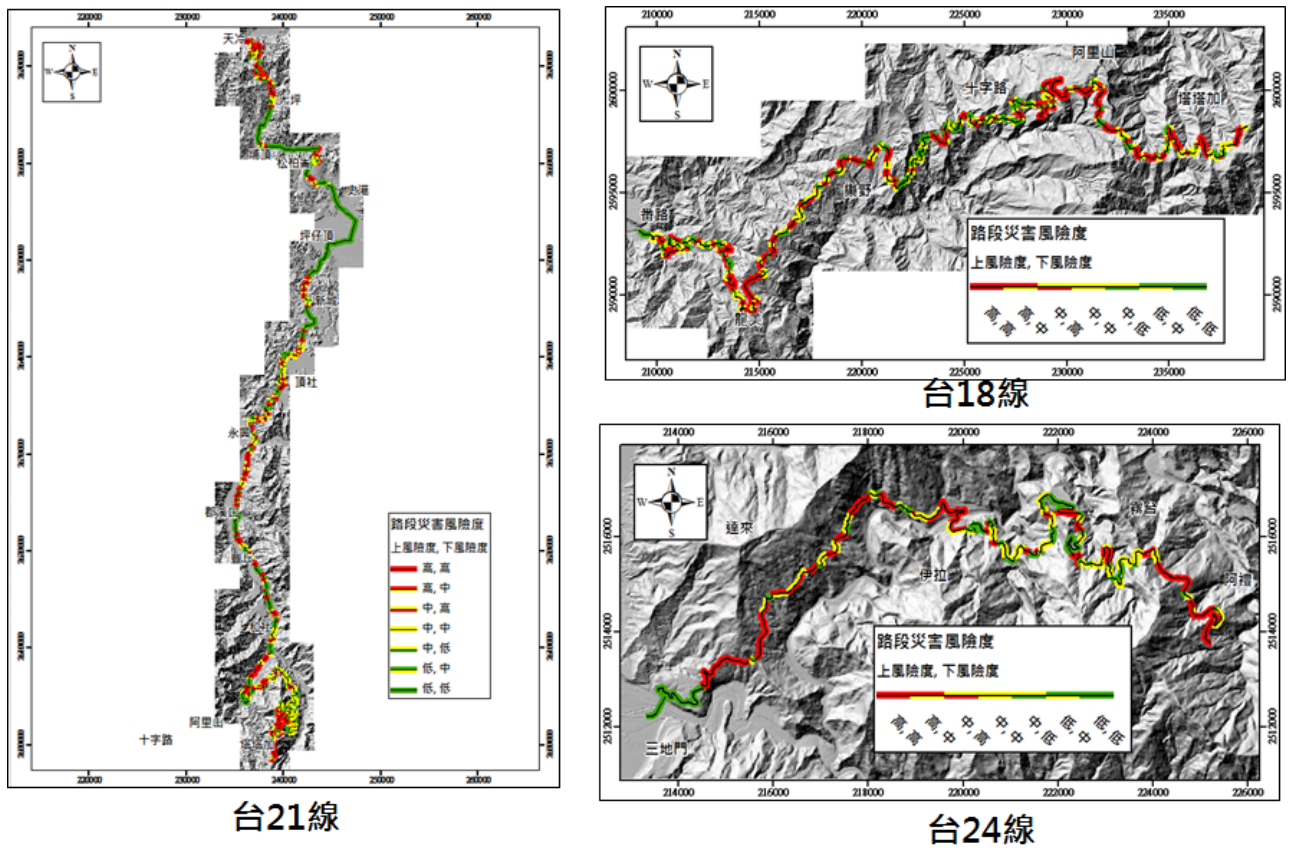


圖 7 易致災路段全邊坡風險圖

3.6 易致災路段降雨基準分析

山區道路最常發生的問題就是道路邊坡破壞，邊坡破壞之誘發因子包括降雨、侵蝕、地震及人為因素，其中降雨為主要山區道路邊坡致災之誘因。因此本計畫以降雨為最主要之致災因子進行各路段災害降雨預警值之律定分析，並將警戒區劃分為三個區塊，如圖3所示。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。再利用易致災路段之崩壞程度、災害潛感、距上次災害時間、施作工程現況與植生狀況等因子進行各路段之基準值調整(圖8)。

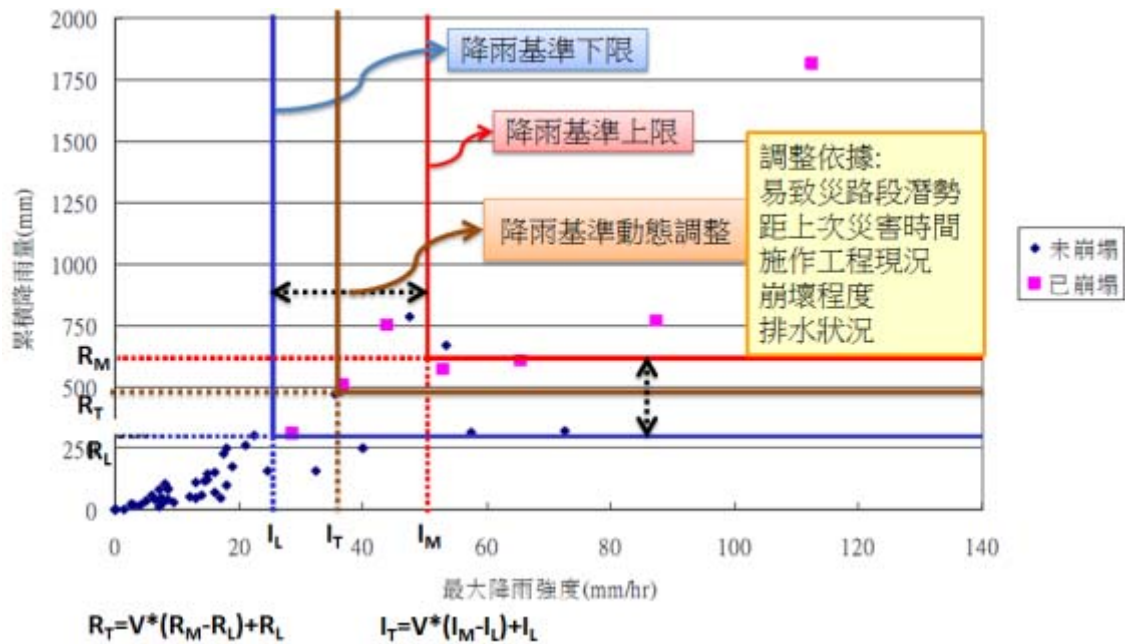


圖 8 各易致災路段降雨基準上下限與調整依據

3.7 即時警戒研判服務

即時警戒研判服務為本計畫之主要成果，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(圖9)。即時警戒研判服務成果，以開放源碼(open source)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(圖10)。當雨量到達警戒狀況時，系統會發送簡訊至所設定的手機號碼，提醒相關人員及用路人注意(圖11)。本案開發之開放式網路地理資訊系統介面，以開放式資料(Open data)為設計概念，並以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。因採開放架構，所以本系統可介接氣象局雨量站觀測(.kml)與公路總局道路災害性封閉(.kmz)等政府開放資料，上述兩類資料皆為即時更新之資料，因此可於本系統中顯示最新之道路通阻與降雨狀況資訊。本系統目前上線測試的路段已有台9線蘇花公路、台24線阿禮-三地門段，未來配合更多山區道路段的納入、山區道路資訊的整合與行動APP的建置應用，將可提供更多元的服務。透過即時氣象及道路、橋梁資訊之整合，不僅提升山區道路的用路安全，也讓遊客能掌握旅途中的路況及氣象變化狀況及未來可能之災害情形。

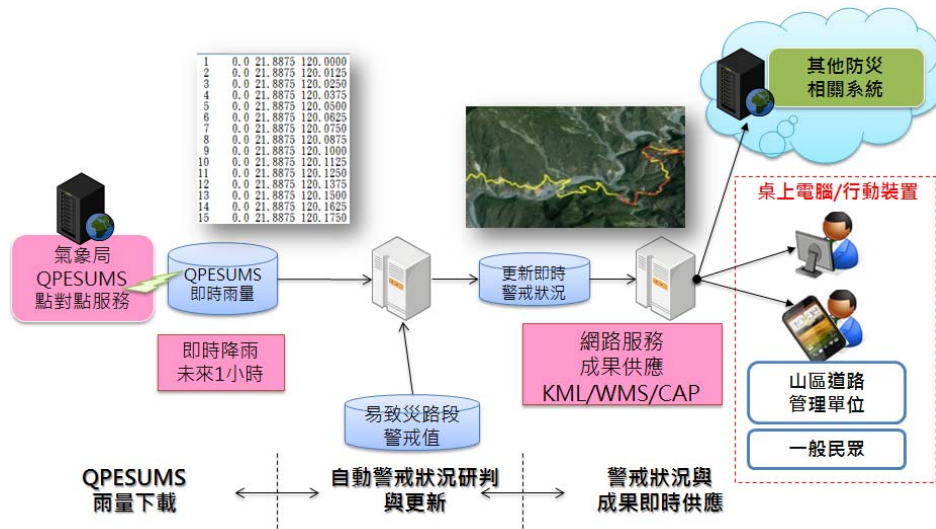


圖 9 即時警戒研判簡訊服務流程

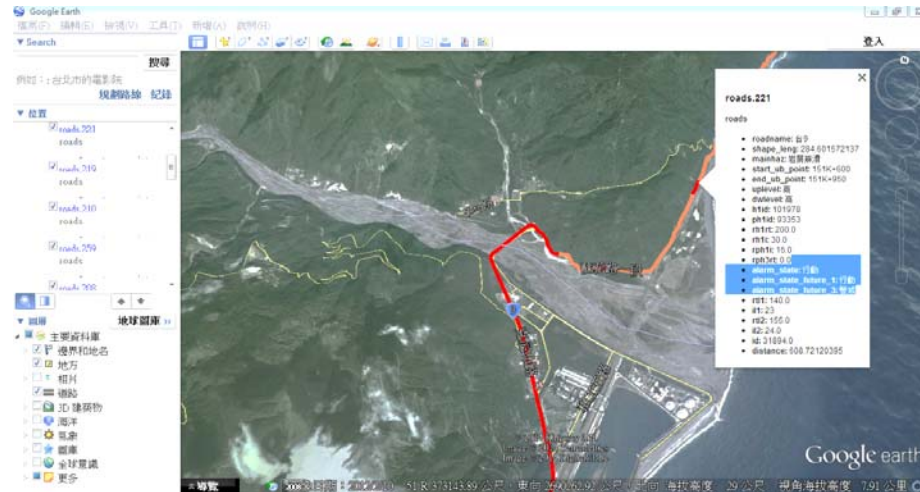


圖 10 警戒狀況成果疊合 Google Earth 圖

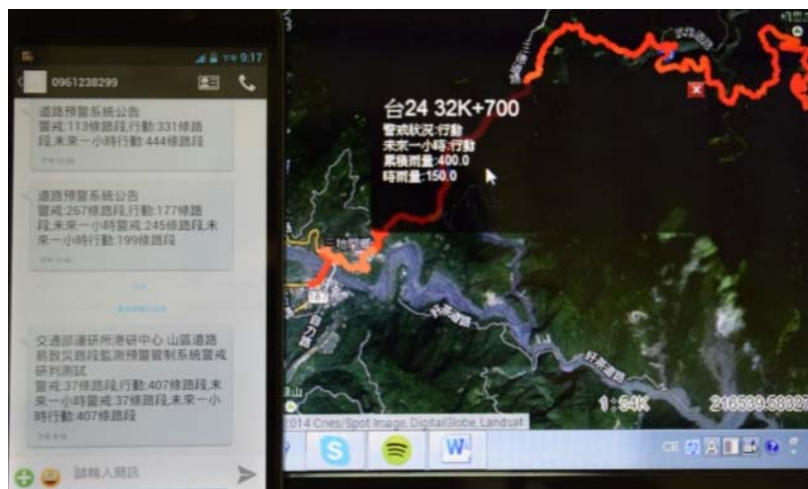


圖 11 即時警戒研判簡訊服務接收畫面

四、警戒系統驗證

本系統於103年麥德姆颱風及鳳凰颱風期間進行警戒系統驗證。麥德姆颱風於2014年7月18日上午2時形成為輕度颱風根據公路總局資料顯示,7月23日上午9:00於台九線蘇花段177k+950處發生坍方災情,其坍方堆積土堆長約50 m、高約2.5 m、寬約8 m;推估土方量約1,000 m³。推估當時累積雨量約為200 mm~250 mm,降雨強度達30 mm/hr。根據本系統之分析,該路段於上午9:00同時達到該路段之行動值(累積雨量250 mm,降雨強度達30 mm/hr)。因已達本計畫之行動值,因而系統發出相關警戒(系統相關作業畫面如圖12所示)。因而可知,本系統所發展之警戒系統可有效預警,可作為相關用路單位之參考。



圖 12 麥德姆颱風期間監測預警管制系統截圖畫面

鳳凰颱風於9月18日上午2時形成監控結果顯示鳳凰颱風期間,於9月21日上午10點時,系統研判當時台24線霧台至阿禮間有路段(46K+0~46K+700)已超過行動值。此路段之行動值基準為累積雨量150mm,降雨強度為30mm,9月21日上午10點時之累積雨量已達144.7 mm,降雨強度為19mm。而後因雨量已達行動值,因此發佈相關警戒訊息。然若根據本年度以多次發生記錄所統計出之警戒值上下限,可看出台24線之有效累積雨警戒行動值應在450 mm~250 mm之間,因此其降雨量不會有超過行動值之情況。顯示本年度應用多次道路封閉時降雨資料之統計結果可更具適用性;因此未來若能蒐集更完整的道路封閉資料,可用於修訂各路線之警戒值,對於警戒值之適用情況可更加提昇。

五、結論與建議

採用坡面單元結合地質敏感區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。此劃分方法可確立各易致災路段之區位、致災因子與誘發因子,後續建議可擴及各山區道路進行實際劃分與驗證,並協請各相關單位(如農委會、經濟部、交通部等)提供所需之致災因子資料,以提升本方法劃分精度。易致災路段之風險分析有待詳細之災害發生時間與當時雨量資訊,本年度使用氣象局雨量站之雨量資料,因其空間解析度低,因此影響降雨機率的計算結

果與風險分析效益，因此建議後續可針對重大災害案例路段進行簡易自計式雨量站設置，再視經費擴及至各路段以提升風險分析之精度。

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. 交通部運輸研究所，(2014)，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(4/4)
2. 交通部運輸研究所，(2013)，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(4/3)
3. 交通部運輸研究所，(2012)，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(4/2)
4. 交通部運輸研究所，(2011)，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(4/1)
5. 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：道路邊坡山崩潛勢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。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。
6. 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」。
7. 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」。
8. 陳韻如、林聖琪、王俞婷、李宗融，(2011)，「山區道路崩塌災害潛勢評估」，臺灣公路工程，第 37 卷「第 1 期」，pp.5-24。
9. 李維峰、林秉賢、李漢鑑、連惠邦，(2010)，「山區道路崩塌風險潛勢評估-以台 14 線為例」，港灣報導。