

豪雨引致山崩之Web-GIS災情預警系統發展

Preliminary Development of Early Warning System for Rainfall-induced landslide hazard on Web-GIS

林彥享* 鄭錦桐** 魏倫瑋*** 林錫宏****
Yen-Hsiang Lin Chin-Tung Cheng Lun-Wei Wei Hsi-Hung Lin
紀宗吉***** 楊坤霖*****
Chung-Chi Chi Benny Yang

摘 要

經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)於91至95年完成為期5年之「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」,並於96至99年間為期4年完成「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」與「高山聚落地區地質災害基本調查計畫」等計畫。依據上述計畫中豪雨事件的山崩目錄與地質相關資訊,再透過山崩災害的現地調查與統計分析,萃取斜坡單元中主要影響崩塌之內部因子(如坡度、坡高、岩性...等),採用羅吉斯迴歸(logistic regression)已建立完成台灣各地質分區的豪雨引致山崩之預測(潛勢)模式。本研究發展「豪雨引致山崩之 Web-GIS 災情預警系統」,鏈結氣象局公布之即時雨量預測資料(QPESUMS),以期落實即時山崩潛勢模式應用之目標,並加強達成山崩防災預警之效能。

關鍵字: Web-GIS、山崩潛勢分析、羅吉斯迴歸

* 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心正研究員
** 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心副理
*** 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員
**** 經濟部中央地質調查研究所環境與工程地質組技正
***** 經濟部中央地質調查研究所環境與工程地質組科長
***** 北極星測繪科技有限公司副總經理

壹、前言

經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)於91至95年完成為期5年之「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」,並於96至99年,延續完成為期4年之「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」與「高山聚落地區地質災害基本調查計畫」等計畫。其中「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」計畫,主要係針對都會區周緣坡地進行地質分區劃設、事件型山崩目錄建置與斜坡單元劃分等工作,並搭配各豪雨引致山崩事件之雨量資料,發展豪雨誘發山崩之潛勢評估模式,繪製都會區周緣坡地山崩潛勢圖,以加強落實災前整備之效能。而「高山聚落地區地質災害基本調查計畫」主要於高山聚落地區進行現場調查,結合地理資訊系統(GIS)與遙測影像進行環境地質災害判釋及敏感區劃設工作,並以野外調查與現地試驗檢核計畫成果,建置研究區範圍內「坡地環境地質基本圖」、「坡地環境地質災害敏感區分布圖」及「坡地岩體工程地質特性圖」等成果圖資。

本研究以4年(100年至103年)為期,其主要為落實行政院災害防救委員會會議通過「第二期強化防災科技研發與落實運用方案-建構全國災害管理平台」及國科會「災害防救應用科技方案」,以提昇我國防災應用科技,應變體系作業之效能。而為能落實及延續前期成果之防災應用,故本研究將整合地調所前期執行「都會區周緣坡地山崩潛勢分析」及「高山聚落地區地質災害基本調查」等計畫之研發成果,持續精進臺灣山崩潛勢評估模式,並結合即時雨量資訊,研發動態雨量山崩潛勢即時評估展示資料庫與警戒模式,以達到實際落實應用之目標與加強落實防災預警之效能。

貳、資料處理與山崩潛勢因子

一、地質分區

地質分區之劃設主要參考中央地質調查所於91至95年執行為期5年「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」之成果,以計畫中岩性組合圖及岩體強度級圖成果作為地質分區之劃分依據。其內容包含「五大地質區」、「三大岩類」、「岩性組合」、「岩體強度分級」、「岩體結構類型」與「岩石單壓強度」等六項綜合性地質資料,並參考「臺灣都會區及周緣坡地環境地質圖說明書」做為分區輔助資訊。地質分區劃分成果如圖1所示。

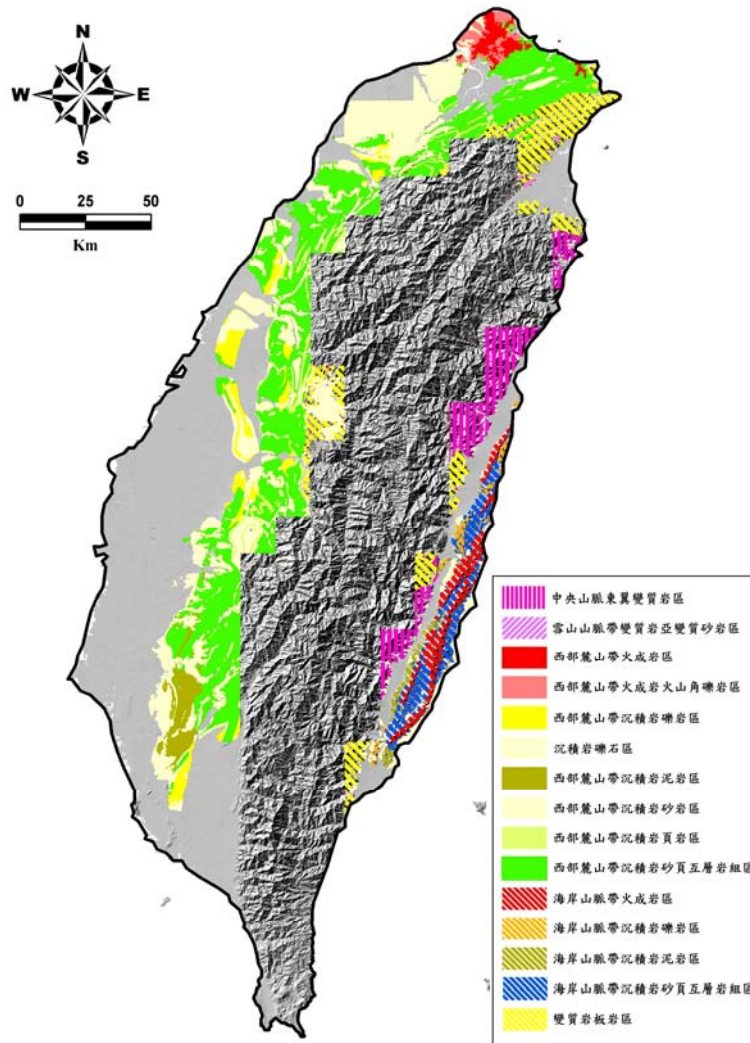


圖 1 合併完成之地質分區空間分布圖

二、斜坡單元

本研究本研究參考義大利(Carrara et al., 1991, 1999)之山崩潛勢分析概念，以斜坡單元做為山崩潛勢分析之基本單元，而採行斜坡單元之目的如下：(1)提升分析時效：具地形條件之分析單元，主要將鄰近具相近地形者，歸為同一分析單元，可減少分析時間，提升分析效率。(2)符合地形邊界的分析單元：斜坡單元較符合地形條件，可視單一斜坡為地形均勻單元，因有地形邊界控制，故斜坡單元不會跨越山脊線與水系。(3)利於山崩管理與山崩清查作業：可避免邊坡上中下段潛勢不同，而衍生管理配套不一致的問題，較易定期進行山崩清查與管理。(4)易建立山崩管理資料庫：斜坡單元更可透過 GIS 軟體進行編輯與管理，於 GIS 軟體中登錄圖層屬性，屬性可包括山崩目錄、內部因子(地形、地文因子等)與外部因子(雨量因子)等相關資訊。(5)山崩預警與決策：透過斜坡單元型山崩潛勢分析結果，搭配即時雨量資料，有利於主管機關進行坡地災害管理、預警與決策。

目前山崩潛勢分析中最被普遍使用之劃設方法有網格單元法與斜坡單元法，斜坡單元有配合地形特徵進行分析之優勢。本研究參考「集水區重疊法」(Xie

et al., 2004)，以 ArcGIS 的 Hydrology 模組，制定一套斜坡單元自動劃分流程，以供自動產生合適的斜坡單元。如圖 2 所示。

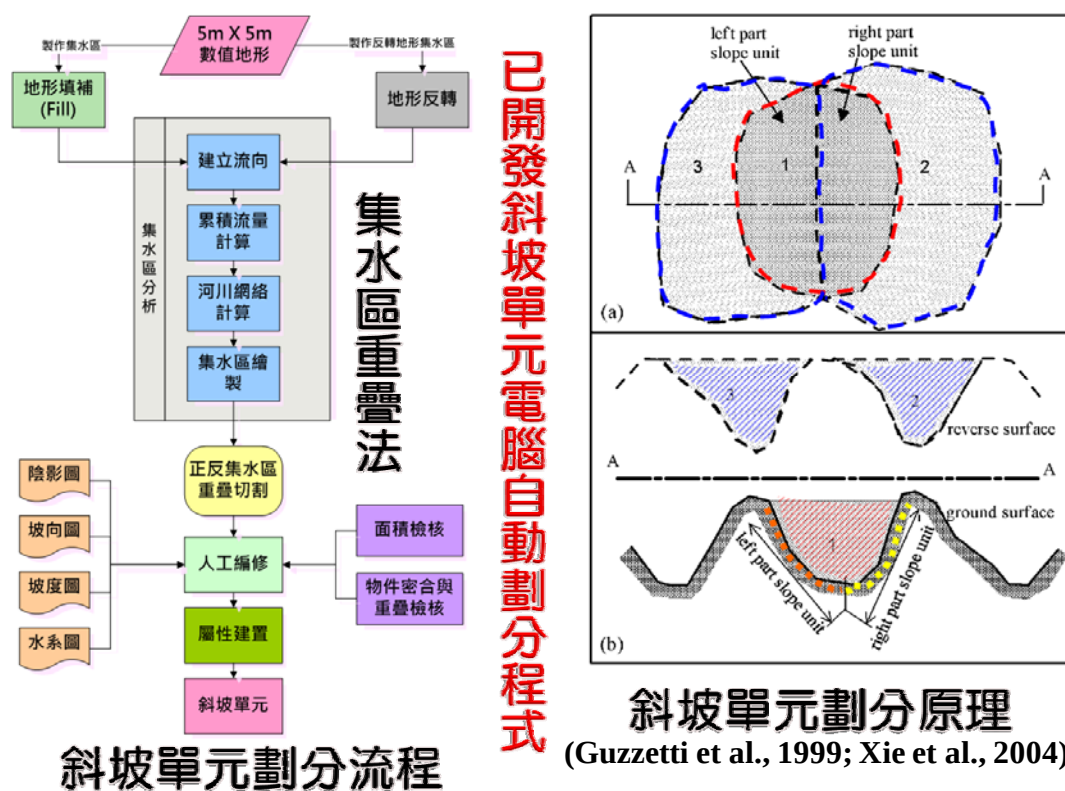


圖 2 斜坡單元電腦自動化劃分作業流程

綜合前期計畫四年(96~99 年)斜坡單元產製成果，得到東部區域(99 年)劃分成果，共計 45,021 個斜坡單元；北部區域(98 年)劃分成果，共計 54,138 個斜坡單元；中部區域(96 年)劃分成果，共計 29,830 個斜坡單元；南部區域(97 年)劃分成果，共計 44,582 個斜坡單元。全臺都會區周緣坡地範圍共計 173,571 個斜坡單元。斜坡單元在 GIS 中呈現的成果如圖 3 所示，顯見斜坡單元之邊界主要為山脊線與河谷，而各斜坡單元之物件除用於可萃取山崩潛勢分析需求之各項因子屬性外，並記錄過去事件型山崩目錄的狀態。

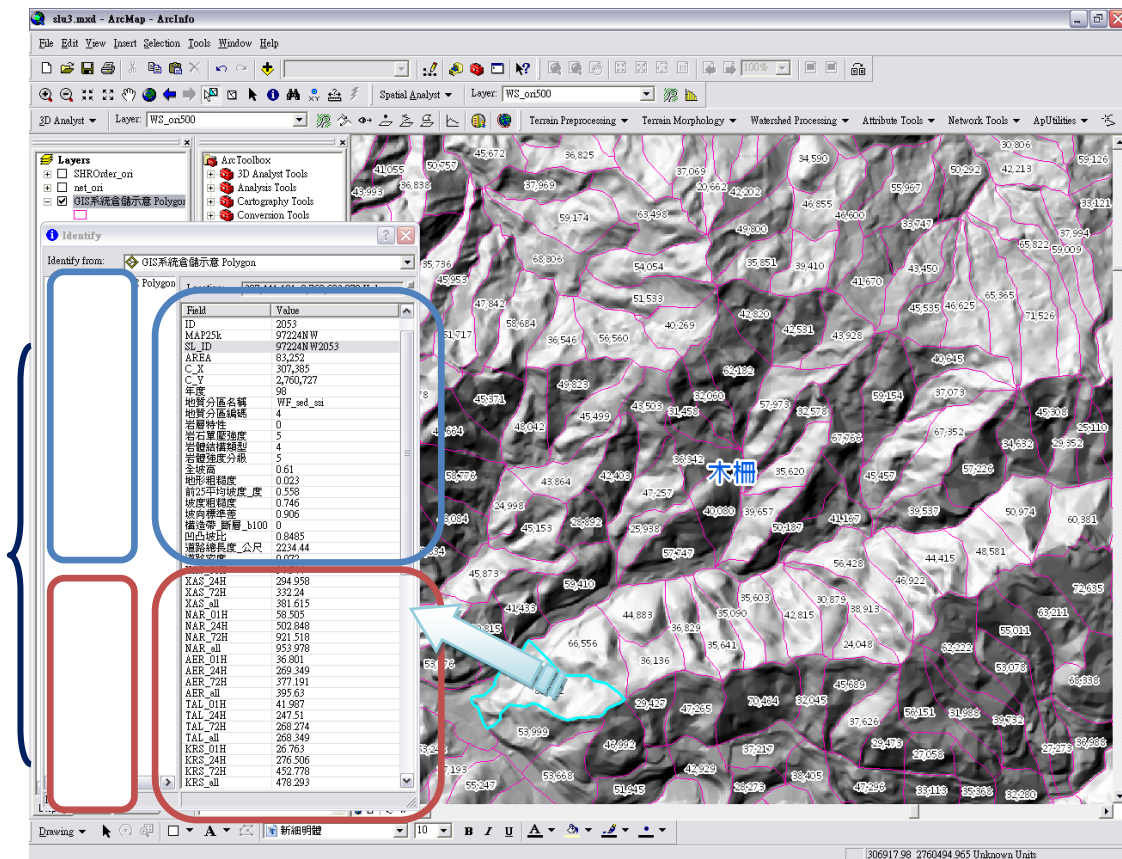


圖 3 斜坡單元屬性 GIS 倉儲示意圖
(以木柵圖幅斜坡單元 97224NW2503 為例)

三、事件型山崩目錄建置

(一)山崩事件之遙測影像選擇

針對實際山崩時間調查點之颱風與豪雨事件，計畫區 101 圖幅共蒐集 33 起豪雨事件之氣象資料，其中包含 1987 年琳恩颱風、1996 年賀伯颱風、2000 年啟德颱風、2000 年象神颱風、2001 年桃芝颱風、2001 年納莉颱風、2004 年敏督利颱風、2004 年艾利颱風、2005 年海棠颱風、2005 年龍王颱風、2006 年碧利斯颱風、2007 年梧提颱風、2007 年聖帕颱風、2007 年韋帕颱風、2007 年柯羅莎颱風、2008 年卡玫基颱風、2008 年辛樂克颱風、2008 年薔蜜颱風、2009 年莫拉克颱風、2009 年芭瑪颱風、2010 年凡那比颱風、2010 年梅姬颱風、2011 年米雷颱風、2011 年南瑪都颱風等 24 個颱風事件；另包含 1996 年 07 月 26 日、2006 年 69 豪雨、2007 年 06 月 08 日、2007 年 08 月 13 日、2008 年 09 月 15 日、2010 年 06 月 27 日、2010 年 07 月 28 日、2010 年 09 月 23 日、2010 年 10 月 21 日等 9 起獨立豪雨事件。

遙測影像為本研究建置山崩目錄之基本資訊，包含衛星影像資料與正射航照

資料。遙測影像具有特定時間內之空間特性，其紀錄災害事件之時空分布，可用於辨認山崩範圍及其邊界等二維或三維型態特徵，及其周圍地表條件等，本研究主要採用多期上述主要颱風豪雨前後時間拍攝的衛星影像作為建置各事件型山崩目錄之影像底圖，而航照期數少主要用於檢核。而至於其他諸多斜坡單元中建置之屬性，如山崩之地質材料、岩性組合、風化、侵蝕、交通條件等等屬性資料的研判，除由遙測影像判釋取得外，亦參考山崩地點之像片基本圖、數值地形模型、地質圖、前期遙測影像及判釋成果等，並因應山崩判釋圖比例尺配合相當數量之野外現地查核。

(二) 山崩目錄建置與品管

山崩目錄圖之使用者須了解地質作用是持續不斷地在進行，尤其臺灣地區之山崩變化甚為頻繁，故山崩目錄應以事件為核心，具有時間與空間之動態觀念。故引用資料時，應查明山崩目錄圖幅測繪所使用之衛星影像、正射航照以及野外調查建立之時間，尤其圖層適用之精度狀況必須了解。同時，於各期山崩目錄 GIS 圖資屬性資料之應用方面，由於多數圖資屬性係藉由其他輔助資料所產生，當援用時應瞭解其產生之背景，如此較能正確且客觀的引用山崩目錄，並進行後續山崩相關議題之研究。為探討豪雨誘發之新增崩塌地，本研究必須根據前後期衛星影像之色調與地形特徵之差異，判釋山崩空間分布，而過程中必須將舊崩塌地與新崩塌地進行區分，分為全新崩塌地、舊崩塌地旁新增、舊崩塌地擴大三種，為避免崩塌地面積太小而誤判之情形，新增崩塌面積達 100m^2 者始納入資料庫中。而初步數化之崩塌地成果，必須再經由 3D GIS 環境進行崩塌地地形特徵檢核確認，而針對大規模崩塌地或有疑慮之崩塌地則進行現地檢核與確認之工作，本研究新增崩塌地判釋流程如圖 4 所示。

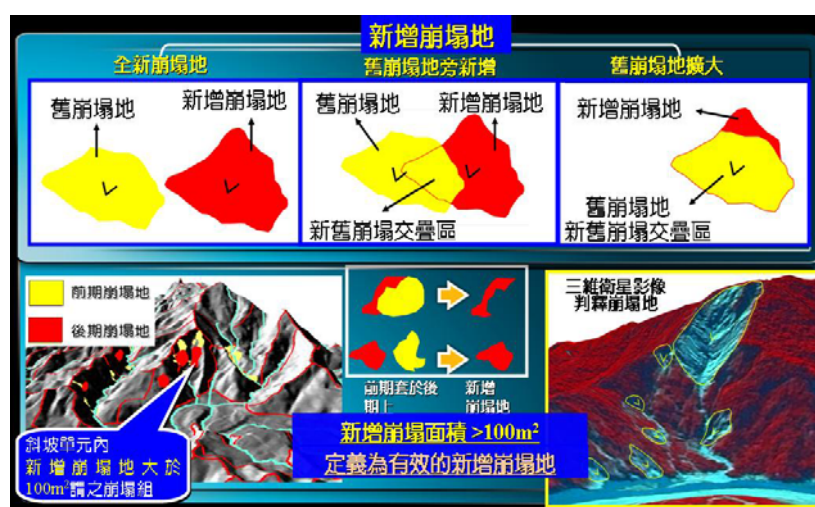


圖 4 本研究採用衛星影像數化新增崩塌地之示意圖

肆、靜態山崩潛勢模式建置

一、靜態山崩潛勢模式建置流程

所謂靜態山崩潛勢模式所指為不考慮雨量因子下評估山崩潛勢之模式。本捷先介紹靜態山崩潛勢評估模式之建置流程，而考慮雨量變化影響山崩潛勢之成果將於下節動態山崩潛勢流程中說明。

本研究採用統計軟體 SPSS 進行山崩潛勢分析求解，主要分析步驟分為因子萃取、因子篩選、樣本選取、潛勢分析、統計檢定、潛勢圖製作及分析模式驗證等，分析流程如圖 5 所示。以下簡述各項分析流程執程序序：

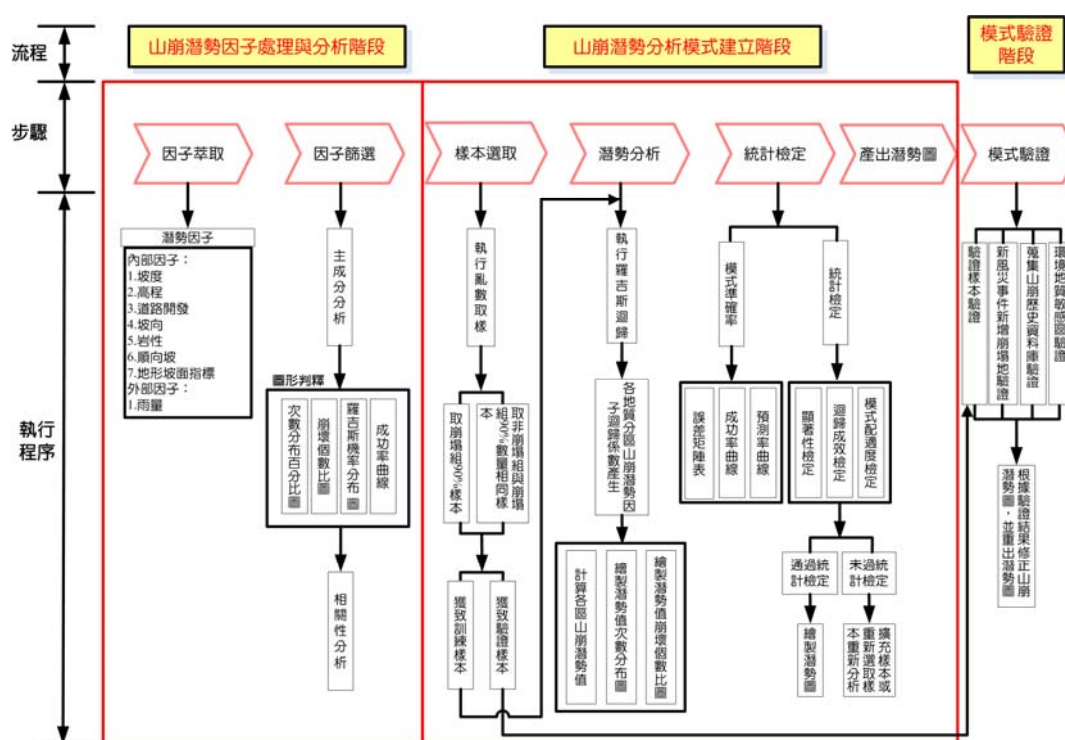


圖 5 本研究靜態山崩潛勢評估模式建置流程圖

二、山崩潛勢因子

(一) 山崩潛勢因子篩選

山崩因子的篩選主要分為初選、複選與決選等三個階段，流程如圖 6 所示，針對各個階段分別說明如下。

1. 山崩因子初選

本研究先由網格式的山崩潛勢分析文獻，瞭解曾經於文獻中採用過的山崩潛勢因子，初步判斷各因子是否適用於斜坡單元，經可行性評估後始完成山崩潛勢因子初選工作。經回顧上百種山崩潛勢因子後，可歸納為地質、地形、自然環境、

土地利用等四個類別，經初步評估可以斜坡單元萃取各項潛勢因子後。本研究進一步評估是否可以目前國內蒐集之各項圖資進行因子量化，經整理後可選取之潛勢因子項目包括：岩性、工程地質、地形與道路開發等四類，屬內部因子；以及雨量因子，屬外部因子，共計五類因子類別。

2. 山崩潛勢因子製作

本研究使用地調所提供的 10 公尺 ×10 公尺數值地形資料、1/25,000 坡地岩體工程特性圖、地質圖、道路圖層以及本研究產製的雨量分析成果，進而萃取各斜坡單元因子值。而數值地形產製的因子，在萃取斜坡單元因子值時，取 95% 信賴區間內的網格資料點進行計算，將可去除因數值地形謬誤而生成的極值誤差。本研究初步選取之因子為岩性、岩石單壓強度、岩體結構類型、岩體強度分級、全坡高、地形起伏程度、平均坡度、前 25% 平均坡度、坡度變化程度、邊坡陡坡比例、坡向一致性、平均總曲率、順向坡地形、道路總長度、道路密度、最大時雨量、最大 24 小時累積雨量、最大 72 小時累積雨量與事件總雨量等共計 19 項(參考 Lee ,2006)。其中的岩性、岩石單壓強度、岩體結構類型、岩體強度分級與順向坡，原就屬於類別型因子，其餘的連續型因子依照國內外分類建議，將各項連續型因子劃分為類別型因子，統一將所有山崩潛勢因子劃分為分類資料後，再進行山崩潛勢分析工作。

3. 山崩因子複選

將主成分分析、圖形判釋結果進行綜合研判，將圖形判釋中崩壞個數比與成功率曲線當作「必要條件」，其他項目視為「充分條件」，在滿足必要條件下滿足任一項充分條件者，即為複選獲選因子。篩選流程詳見圖 9 所示，顯著因子與非顯著因子比較示意如圖 7。

4. 山崩因子決選

決選階段主要執行相關性分析，以剔除相依因子相互牽制影響，採因子間兩兩比較方式剔除成功率曲線下面積 AUC 較低者，AUC 較高者獲選，如此始完成各地質分區因子篩選，應可篩選出不同地質分區中較具鑑別力的因子，以利進行後續山崩潛勢分析作業。

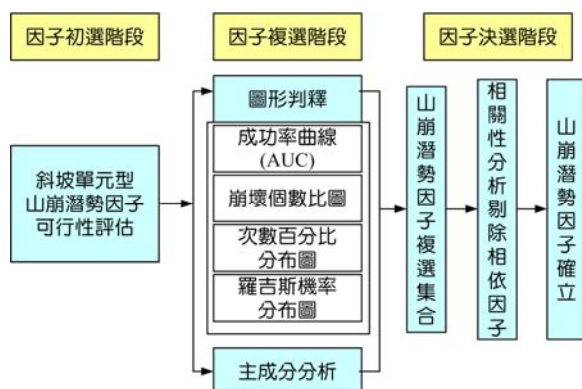


圖 6 山崩潛勢因子篩選流程

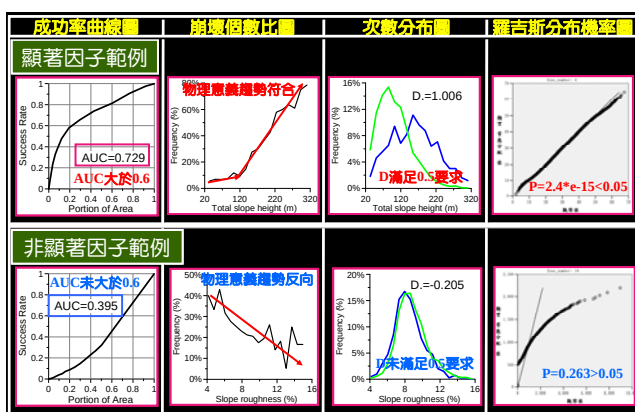


圖 7 山崩潛勢因子顯著性差異示意圖

三、靜態山崩潛勢分析成果

本節主要說明建立無外部因子(無雨量)之潛勢評估模式。其中，無外部因子潛勢分析成果將依據潛勢分級與製圖原則，繪製成靜態的各崩塌類型山崩潛勢圖。以下簡述各項分析成果：

1. 羅吉斯迴歸式

羅吉斯迴歸分析後可獲得通式如下式所示：

$$\lambda = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i + C \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{1 + e^{-\lambda}} \quad (2)$$

式中 P 為山崩潛勢值， λ 為羅吉斯迴歸應變數項， W_i 為各潛勢因子迴歸係數， X_i 各潛勢因子值，C 為常數項。

無外部因子模式主要反映邊坡本質是否容易崩塌之特性，各地質分區採用之潛勢因子略有不同，主要反映不同地質分區由不同地文因子主控崩塌之特性，另以不同降雨強度組合建立山崩潛勢分析模式，藉以表示各地質分區受不同雨量強度與特定重現期雨量影響誘發山崩之潛勢程度差異，各地質分區之模式迴歸成果如表 1 所示，經與實際山崩進行驗證其準確率約 70%~90%。

表 1 各地質分區岩屑崩滑型山崩潛勢模式

地質分區		岩屑崩滑型山崩潛勢模式(無外部因子)				
1	沉積岩礫石區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(1.39 X_1 + 1.03 X_2 - 2.07 X_3 + 1.43 X_4 + 1.50 X_5 + 2.11 X_7 + 8.57 X_8 - 2.30)}}$				
2	西部麓山帶沉積岩砂岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(2.14 X_1 + 1.16 X_2 + 6.21 X_3 - 2.83 X_4 + 1.68 X_5 + 6.40 X_7 + 3.06 X_8 + 1.96 X_{10} - 12.27)}}$				
3	西部麓山帶沉積岩頁岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(2.01 X_1 + 9.18 X_3 + 1.03 X_{10} - 8.46)}}$				
4	西部麓山帶沉積岩砂頁互層岩組區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(4.83 X_1 + 5.63 X_2 + 10.47 X_3 + 5.73 X_4 + 0.04 X_5 + 5.63 X_7 + 2.85 X_8 + 0.38 X_{10} - 17.76)}}$				
5	西部麓山帶沉積岩泥岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(4.80 X_2 - 17.81 X_3 + 4.53 X_5 + 4.83 X_7 + 12.53)}}$				
6	西部麓山帶沉積岩礫岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(4.83 X_3 + 0.40 X_5 + 2.46 X_7 + 11.01 X_8 - 0.75)}}$				
7	西部麓山帶火成岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(3.54 X_1 + 1.47 X_3 + 2.55 X_5 + 2.60 X_6 + 2.06 X_7 + 10.33 X_8 - 7.37)}}$				
8	西部麓山帶火成岩火山角礫岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(5.81 X_3 + 4.84 X_5 + 5.38 X_7 - 7.26)}}$				
9	變質岩板岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(0.53 X_1 + 1.45 X_2 - 2.45 X_3 + 2.50 X_6 + 1.22 X_7 + 6.51 X_8 - 1.74)}}$				
10	雪山山脈帶變質岩亞變質砂岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(12.02 X_3 + 3.92 X_5 + 3.74 X_8 + 6.90)}}$				
11	中央山脈東翼變質岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(2.40 X_1 + 2.23 X_2 + 6.09 X_3 + 7.06 X_5 + 12.32 X_8 - 16.90)}}$				
12	海岸山脈沉積岩礫岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(8.16 X_3 + 2.41 X_5 + 6.51 X_7 + 13.35 X_8 + 8.11 X_9 - 24.48)}}$				
13	海岸山脈沉積岩砂頁互層岩組區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(1.33 X_1 + 1.61 X_2 + 4.74 X_3 + 2.21 X_4 + 1.16 X_5 + 3.37 X_6 + 2.40 X_7 + 1.77 X_{10} - 11.23)}}$				
14	海岸山脈沉積岩泥岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(0.62 X_1 + 1.50 X_2 + 3.60 X_3 + 2.88 X_4 + 2.89 X_5 + 0.50 X_6 + 2.44 X_7 + 9.85 X_8 - 11.86)}}$				
15	海岸山脈火成岩區	$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(1.67 X_1 + 1.32 X_2 + 4.35 X_3 - 1.08 X_4 + 1.97 X_5 + 1.71 X_7 + 6.12 X_8 + 1.29 X_9 - 9.76)}}$				
因子	X_1 向源侵蝕	X_2 河岸侵蝕	X_3 岩體強度分級	X_4 岩性	X_5 坡度	
	X_6 坡度均勻度	X_7 邊坡陡坡比例	X_8 坡高	X_9 坡型	X_{10} 順向坡	

肆、動態雨量山崩潛勢模式初步建置成果

關於動態雨量山崩潛勢模式之建置構想，本研究將依據前述建置之各斜坡單元山崩潛勢值(無外部因子模式計算成果)，再加入山崩之臨界雨量與邊坡穩定性評估之觀念，進行模式建置。其意義上，無外部因子之山崩潛勢值係為各斜坡單元於豪雨作用前之靜態山崩潛勢，即反映豪雨作用前之斜坡單元內部狀態。當累積雨量作用於各斜坡單元時，其山崩潛勢值便會開始加入動態模式評估之潛勢值，導致山崩潛勢值隨雨量及降雨延時增加而逐步上昇，直至斜坡單元崩壞。如此，可即時評估各斜坡單元之山崩潛勢，快速掌握各斜坡單元之崩壞分布，做為災中應變之參考依據。模式建構架構如下：

一、動態山崩潛勢模式建置構想

1. 研究分析對象：由於岩體滑動型山崩機制甚為複雜，必須審慎考量其山崩機制、地層材料參數、地層位態、弱面位置、構造分布、地下水位狀態等條件，並經由長期調查與現場監測，方能蒐集其相關參數。再者，此類型山崩須以數值分析方法與現場即時監測成果，評估岩體滑動型山崩之臨界雨量，故不易以廣域方式進行分析。本研究於有限時程與經費下，將先以岩屑崩滑型山崩列為重點分析對象，調查與評估分析全臺坡地豪雨事件引致風化層滑動之山崩臨界雨量，依此建置其動態雨量山崩潛勢模式。而岩體滑動部分，由於山崩機制極為複雜，故將以歷年山崩目錄建置及雨量統計分析為主，初步歸納其山崩及雨量門檻特性。
2. 降雨前之山崩潛勢：無外部因子山崩潛勢模式，係為「都會區周緣坡地山崩潛勢評估」計畫所產製之成果。其主要為評估非豪雨作用下，各斜坡單元受其內部因子(如坡度、坡高、岩體強度分級等因子)影響之山崩潛勢程度，如此可反映各斜坡單元本身地文與地質條件之優劣，作為災前整備之參考。目前各研究區內斜坡單元均已評估出降雨前之山崩潛勢值，本研究將其做為模式計算之初始值，搭配各斜坡單元山崩臨界雨量，建置動態雨量山崩潛勢模式。
3. 山崩臨界降雨量評估：為判斷降雨引致山崩初始滑動時機，故本研究以定率法為基礎，藉由滑動力與抗滑力相等之假設($FS=1$)，反推各斜坡單元崩壞發生時之臨界雨量。另以現場訪查與資料蒐集所得之山崩時間點，經品管確認後，做為參數率定之基準(即訓練樣本)。而研究區內各斜坡單元臨界雨量反算完成後，將以水土保持局 2006 年至 2010 年所蒐集之重大土砂災情報告調查點，做為各斜坡單元臨界雨量驗證結果(即驗證樣本)，評估分析結果之準確性。
4. 動態雨量山崩潛勢模式建置：即綜合各斜坡單元之無外部因子山崩潛勢值與山崩臨界降雨量，做為動態雨量山崩潛勢模式之自變項基礎；而由定率法評估出來之安全係數值，做為模式之依變項基礎。如此，於

豪雨事件來臨前，可依據各斜坡單元之無外部因子山崩潛勢值或模式，進行災前整備；而豪雨事件災中應變時，各斜坡單元潛勢將以動態變化方式呈現(即隨雨量增加而潛勢增加)，當動態潛勢值等於 1 時(代表斜坡單元 FS=1)，表示斜坡單元達崩壞臨界狀態，若大於 1(FS<1)則發生崩壞(圖 9)。其模式分為靜態(P0)與動態 W(R)潛勢分析項，模式架構如下：

$$P = P_0 + W(R) \quad (4)$$

其中，P0 為無外部因子山崩潛勢值；W 為某地質分區斜坡單元受降雨影響之權重值；R 為累積雨量值；若 P0 與 W(R)之乘積小於 1 (表示 FS>1)，表示該斜坡單元處於穩定狀態；若此兩值乘積等於 1 (表示 FS=1)，表示該斜坡單元處於崩壞之臨界狀態；而若此兩值乘積大於 1 (表示 FS<1)，表示該斜坡單元為崩壞發生之狀態。P0 模式表示如下：

$$P_0 = \frac{1}{1 + e^{-(AX_1 + BX_2 + CX_3 + DX_4 + EX_5 + \dots + C)}} \quad (5)$$

其中，A、B、C、D、E....為無外部因子；X1、X2、X3、X4、X5....為對應無外部因子之權重係數；C 為常數項。

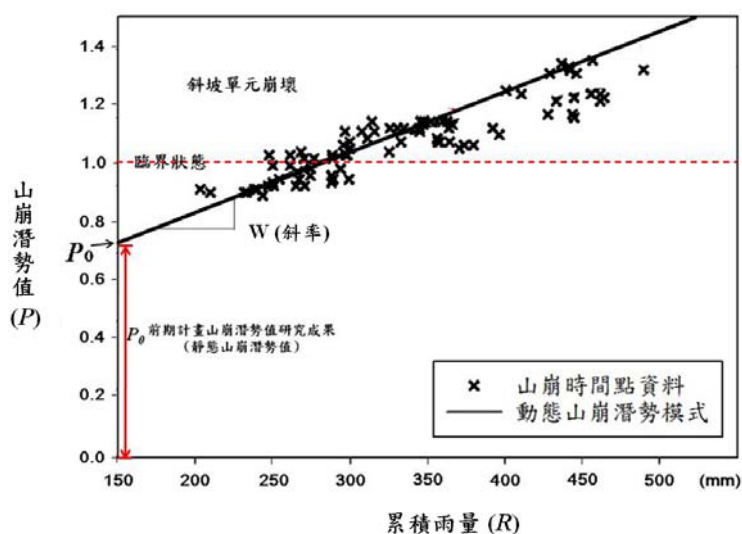


圖 9 本研究山崩潛勢值與累積雨量關係圖

二、動態山崩潛勢模式建置流程

根據上述之動態雨量山崩潛勢模式建置構想，整體模式分析流程如圖 10 所示，各項重點說明如下：

1. 蒐集歷史山崩時間點：於現地蒐集岩屑崩滑型山崩之發生時間，並評估該斜坡單元周緣之雨量站區位，求得各豪雨事件誘發之山崩降雨量，做為模式建置與參數率定分析之參考。

2. 規劃山崩臨界雨量反算分析範圍：根據調查樣本、雨量站及相關材料參數實驗蒐集等區位，規劃山崩臨界雨量反算分析範圍，降低分析樣本數量不足之問題。
3. 參數蒐集與斜坡單元因子萃取：依其各地質分區主要岩性風化後之岩屑材料特性，再根據所蒐集之材料參數實驗資料與國內外相關研究常用之參數範圍，設定各地質分區之材料參數，並依其斜坡單元範圍萃取其定率法模式之相關因子。
4. 網格式分析轉換與斜坡單元穩定分析：由於定率法分析係以網格式資料為基礎，故本研究評估四種斜坡單元崩壞模式與歷史山崩目錄等，進行分析單元之轉換，增進各斜坡單元山崩臨界雨量反算之合理性。
5. 山崩臨界雨量反算誤差分析：以定率法反算結果比對實際調查成果，評估各斜坡單元樣本之反算誤差，藉由其誤差率定調整各項參數，增進反算分析成果之準確性。
6. 動態雨量山崩潛勢模式建置與驗證：結合無外部因子山崩潛勢與山崩臨界雨量反算成果，進行動態雨量山崩潛勢模式之建置。另比對模式之山崩物理特性與現行公布之警戒雨量門檻，驗證模式之合理性與準確性，以較保守之分析成果評估各地質分區之雨量門檻。

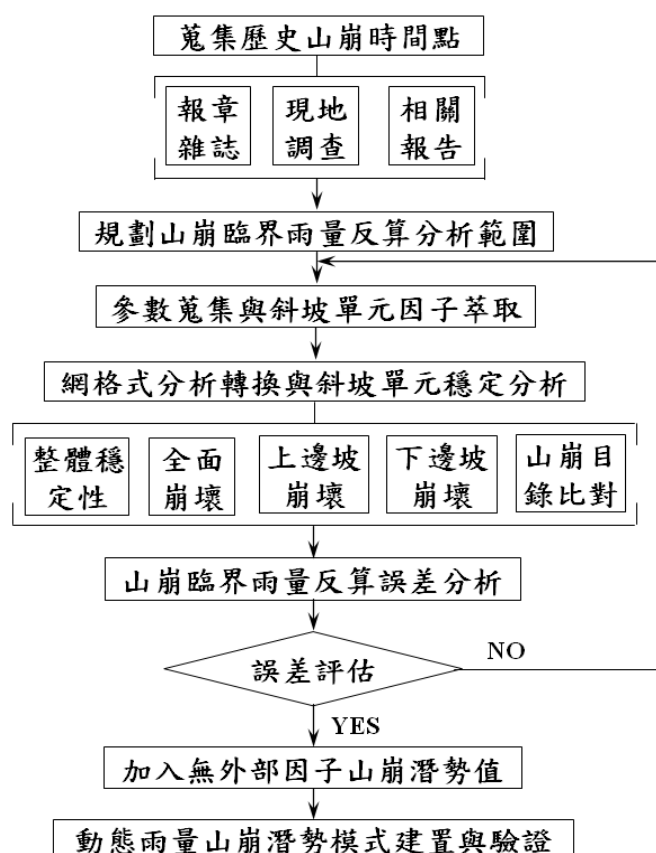


圖 10 本研究動態雨量山崩潛勢模式建置之分析流程

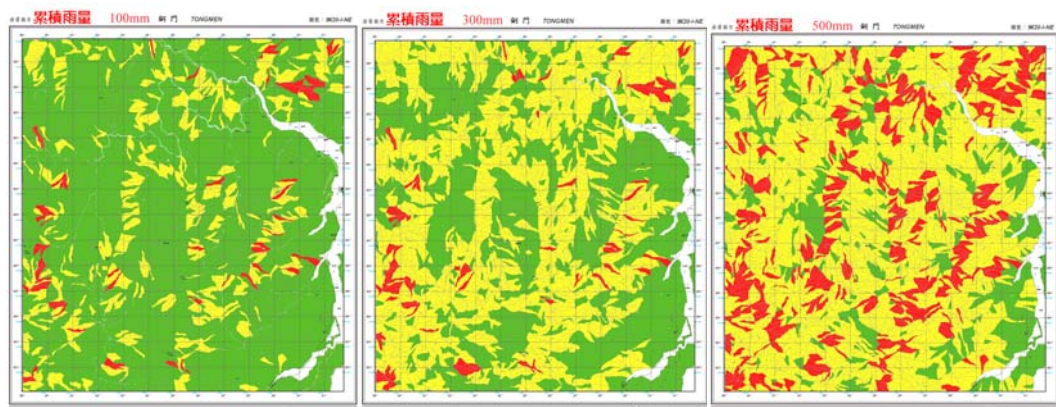
三、動態山崩潛勢分析成果

依據上述分析流程完成各地質分區之山崩潛勢模式初步成果如表 2 所示。表中除陳列動態山崩潛勢模式外，並針對中高潛勢之臨界雨量範圍進行雨量標準差計算。

表 2 全臺各地質分區動態雨量山崩潛勢模式初步建置成果

地質分區	動態雨量山崩潛勢模式	P_0 值範圍 (中高潛勢)	臨界雨量範圍 (mm)	平均(mm) (±標準差)
沉積岩礫石區	$P = P_0 + 1.082 \times 10^{-3} R$	0.30~0.86	129.39~646.95	329.58 (±176.26)
西部麓山帶沉積岩 砂岩區	$P = P_0 + 0.981 \times 10^{-3} R$	0.45~0.82	183.47~560.65	390.82 (±116.69)
西部麓山帶沉積岩 頁岩區	$P = P_0 + 1.109 \times 10^{-3} R$	0.25~0.85	135.26~676.29	474.56 (±128.42)
西部麓山帶沉積岩 砂頁互層岩組區	$P = P_0 + 1.067 \times 10^{-3} R$	0.35~0.85	140.58~609.18	396.02 (±116.45)
西部麓山帶沉積岩 泥岩區	$P = P_0 + 1.130 \times 10^{-3} R$	0.30~0.87	115.04~619.47	201.79 (±133.04)
西部麓山帶沉積岩 礫岩區	$P = P_0 + 1.040 \times 10^{-3} R$	0.45~0.86	134.62~528.85	324.33 (±122.64)
西部麓山帶火成岩區	$P = P_0 + 0.724 \times 10^{-3} R$	0.40~0.86	193.37~828.73	588.93 (±134.61)
西部麓山帶火成岩 火山角礫岩區	$P = P_0 + 0.697 \times 10^{-3} R$	0.55~0.90	143.47~645.62	401.45 (±159.50)
變質岩板岩區	$P = P_0 + 1.093 \times 10^{-3} R$	0.35~0.87	118.94~594.69	356.95 (±187.82)
雪山山脈帶變質岩 亞變質砂岩區	$P = P_0 + 0.892 \times 10^{-3} R$	0.20~0.84	179.37~896.86	575.44 (±189.23)
中央山脈東翼 變質岩區	$P = P_0 + 1.033 \times 10^{-3} R$	0.20~0.85	145.21~774.44	482.03 (±217.63)
海岸山脈沉積岩 礫岩區	$P = P_0 + 1.064 \times 10^{-3} R$	0.10~0.85	140.98~845.87	383.77 (±228.04)
海岸山脈沉積岩 砂頁互層岩組區	$P = P_0 + 1.075 \times 10^{-3} R$	0.10~0.86	130.23~837.21	481.10 (±168.90)
海岸山脈沉積岩 泥岩區	$P = P_0 + 1.153 \times 10^{-3} R$	0.10~0.86	121.42~780.57	512.32 (±200.01)
海岸山脈火成岩區	$P = P_0 + 0.884 \times 10^{-3} R$	0.15~0.86	158.37~961.54	582.52 (±169.37)

註：P 為動態雨量山崩潛勢值； P_0 為無外部因子山崩潛勢值；R 為累積雨量(mm)



(a)累積雨量 100mm (b)累積雨量 300mm (c) 累積雨量 500mm

圖 X 動態山崩潛勢隨累積雨量變化之成果(以銅門圖幅為例)

伍、動態雨量山崩潛勢即時展示系統建置

一、Web-GIS 軟硬體架構

本研究在系統軟體選擇上，因為歷史山崩災情查詢與評估需求，必須建置大量災害事件之遙測影像資料倉儲，並考量國內外各相關單位之資料交換與共享機制，故必須兼顧效率性與開放性。經本研究評估後，Web-GIS 伺服器軟體平台則採用 OPIMS™ Server GIS 伺服器軟體，其開放原程式碼，利於未來發展相關延伸應用與服務。另外，網路伺服器則採 Linux 平台之 CentOS 作業系統，可透過符合 OGC (Open GIS Consortium)之 WMS (Web Mapper Service) 國際標準，進行各項空間資料發佈，在網路環境中可快速發布影像，經測試後，其動態展示效能與操作回應時間，回應效率可小於 5 秒鐘。在資料庫設計上，則採用資料倉儲概念建置，透過詮釋資料之設計，可增加資料之共享與流通性。本研究動態雨量資料採用氣象局 QPESUMS 所提供的即時雨量資訊，藉由氣象局 QPESUMS 的資料節點架設，即時運算動態山崩潛勢結果並以 WMS 進行發佈，整體動態山崩潛勢評估系統連接 QPESUMS 運作架構如圖 11 所示。

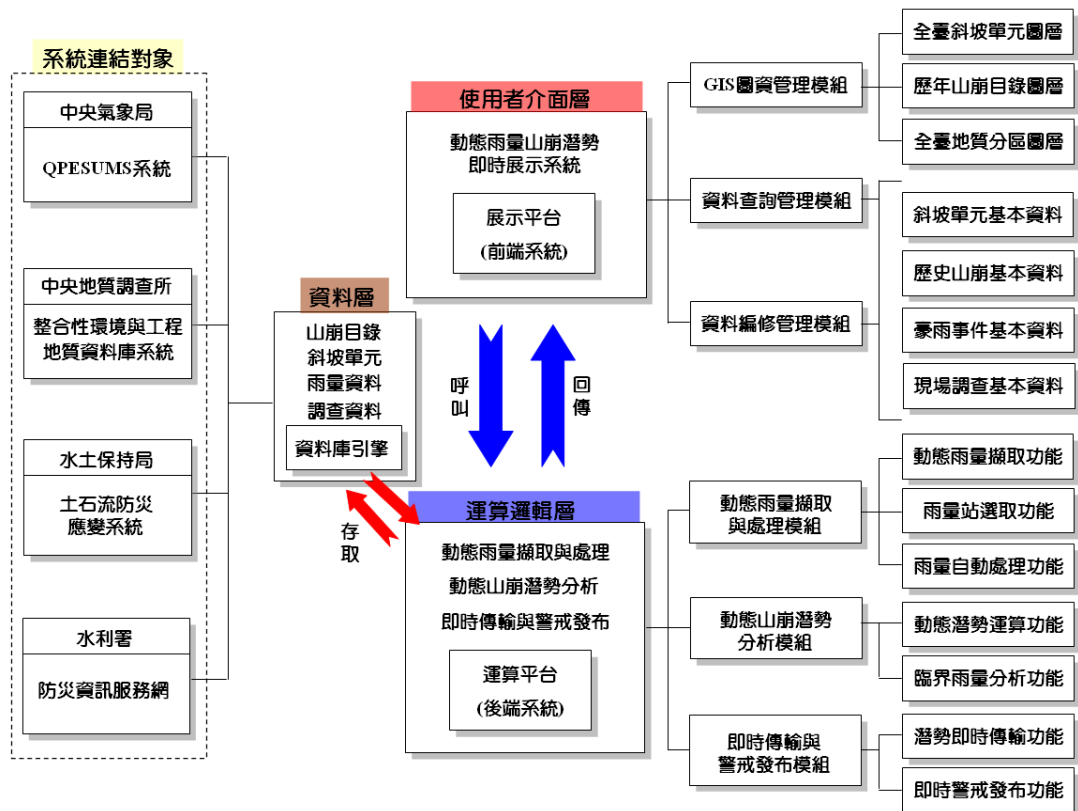


圖 12 整體系統架構圖

陸、系統初步成果

本系統前端一般使用著介面主功能視窗分為圖層套疊、地圖控制、動態雨量撥放及地圖定位查詢等四個主要功能視窗，初步建置的成果畫面如圖 13 所示。各視窗說明如下：

1. 圖層套疊：過去計劃執行期間所蒐集、購置及產製的各項 GIS 圖層，統整在圖層套疊功能視窗中，以便進行圖層切換控制。
2. 地圖控制：圖層展示套疊成果呈現區域，此區域可以進行放大縮小及平移等工作，並在右下角會顯示指標的經緯度資訊。
3. 動態雨量撥放：將連結 QPESUMS 雨量資料運算結果，將過去 24 小時的結果，以動態的方式進行連續性的撥放，進而了解各斜坡單元山崩潛勢的變化情況。
4. 地圖定位查詢：系統可藉由 67 二度分帶、97 二度分帶、經緯度、地址地標、1/5000 圖框及行政區域分界等方法，來將地圖控制區域的快速平移至選定查詢的位置。

前述的系統架構適用於各個單位或民眾針對資料進行即時的查詢，為了給予防災單位的使用者進行操控，本研究的 WEB-GIS 系統另外針對防災應用使用介面進行設計，以全螢幕尺度及多視窗切割兩種方式進行設計(如圖 14 及圖 15 所示)，上述兩種不同的設計說明如下。

1. 全螢幕設計：針對需要廣域了解災害潛勢的防救災單位去設計(如中央單位或各個防救災中心)，可以快速切換全域或鄉鎮的斜坡單元崩塌潛勢，並可藉由即時雨量資料的計算結果，顯示目前紅色警戒之區域(如圖 14 所示)。
2. 分割螢幕設計：針對需要同時了解各個不同區域災害潛勢的防救災單位去設計(如縣市政府及鄉鎮區公所)，可同時顯示三個鄉鎮區的即時防災潛勢現況，並可利用拖曳的方式，即時切換各鄉鎮區內需發佈紅色警戒的斜坡單元，各分割畫面也可以拉動卷軸的方式設定潛勢圖之透明度，了解高中低潛勢現況與其他圖層之間的空間關係(如圖 15 所示)。

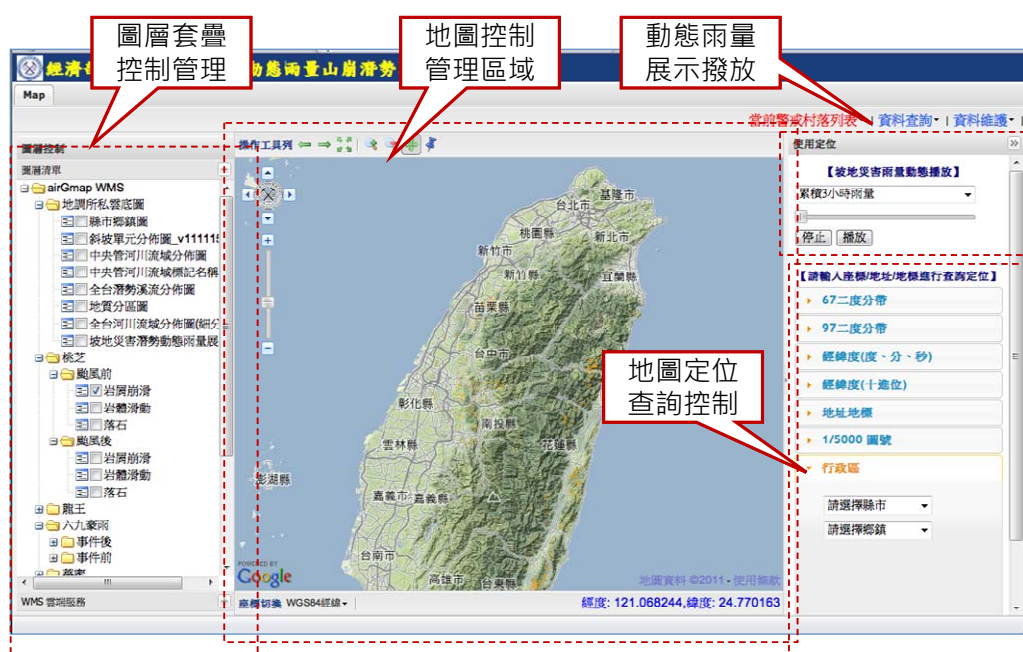


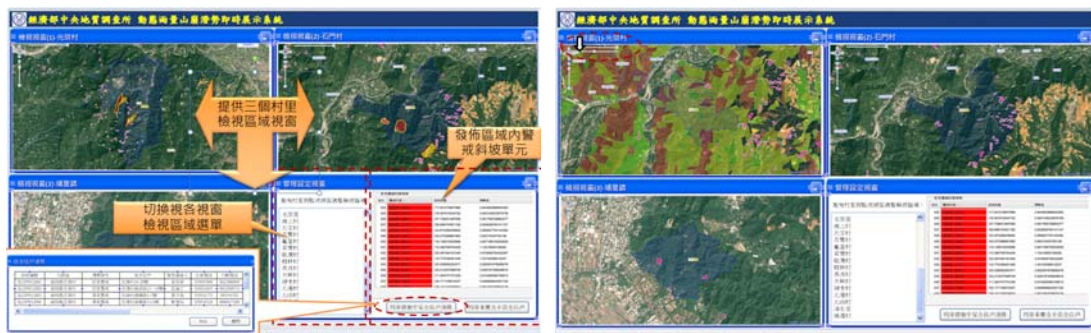
圖 13 動態山崩潛勢展示平台系統主功能視窗



(a) 切換檢視區域

(b) 發佈紅色警戒之斜坡單元

圖 14 全螢幕防災應用使用介面示意圖



(a) 同時檢視不同鄉政區域

(b) 切換透明度檢視崩塌潛勢警示

圖 15 分割螢幕防災應用使用介面示意圖

柒、初步結論與建議

本研究已建立一套 Web GIS 架構下，以斜坡單元為基礎之山崩動態潛勢評估資料庫與警戒模式，以供未來豪雨預警發布後，快速進行動態山崩潛勢評估。計畫之執行成果，將依據山崩發生與地質之特性，分為 15 個地質分區。除建立山崩資料倉儲外，亦發展實際於防災實務操作之系統，包含歷史山崩時間點與誘發雨量歷線關係資料庫、降雨量與誘發山崩潛勢關係率定模式研發、全臺動態雨量山崩潛勢評估與即時評估展示資料庫、降雨引致山崩警戒模式等，主要效益與應用方向包括：

1. 斜坡單元利於山崩災害管理：在斜坡上有一致的地質與地形特徵，邊坡上任一處發生崩塌後對於上邊坡、坡腹、下邊坡皆有所影響，可以有整體之防災規劃，權責清楚，並可有效提昇各項防救及減災作為。
2. 提供坡地災害管理使用：本研究所產製之動態山崩潛勢圖，除有助瞭解區域內岩屑崩滑型山崩潛勢之空間分布，亦可提供災害性豪雨來臨前（災前整備），臺灣都會區與高山聚落區周緣坡地防護工程及災前整備規劃管理參考。

3. 動態雨量山崩潛勢評估強化在中應變：本研究動態雨量山崩潛勢模式，在汛期間可界接即時雨量資料，將有助中央與地方政府山崩預警成效，以保障都會區與高山聚落區周緣坡地保全住戶安全。
4. 山崩資料倉儲建立：完整累積歷史山崩目錄相關資訊於資料倉儲中，包括豪雨事件型之山崩目錄、崩塌地現地調查照片、斜坡單元劃分、各事件雨量空間分布及各地質分區之動態山崩潛勢等成果。此豐富的山崩倉儲資料，可方便查詢各邊坡之山崩歷史資訊，並可定期修正與檢討山崩潛勢模式。
5. Web-GIS 視覺化山崩災害與保全住戶之防災規劃：本研究所完成之山崩潛勢圖成果，可在 Web-GIS 中套疊保全對象空間分布(例如：都市規劃藍圖、道路路網)，可衍伸山崩災害民眾的疏散避難規劃、道路阻斷預警研判、集水區土砂收支管理、都市發展與土地開發限制等利用，讓中央與地方政府藉此 Web-GIS 環境充足防災空間資訊，進一步認知坡地潛在災害，並增進決策能力。
6. 採用 OGC 標準 WMS 發佈山崩潛勢圖利於防災資訊共享：本研究完成之成果將統一 GIS 資料格式與屬性編碼，透過 OGC 標準 WMS 發佈，可有效提昇山崩災害潛勢資料之交換機制，除了地調所內自行運用外，亦可提供其他單位使用分享，達成資源共享目的。

參考文獻

- Carrara, A. (1983) Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation, *Mathematical Geology*, 15(3), 403-427.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999) Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Lee, C.T. (2006) Methodology for estimation of earthquake-induced landslide probability and result evaluation, *Geophysical Research Abstract*, Vol. 8, 05759.
- 紀宗吉、林錫宏、蘇品如、張閔翔、周稟珊(2007)山崩敏感區評估之製圖地形單元製作研究。經濟部報告書編號：95008，共 39 頁。
- 經濟部中央地質調查所(2005)山崩潛勢分析研究。計畫主持人：李錫堤。經濟部中央地質調查所。
- 經濟部中央地質調查所(2006)都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地環境地質災害調查研究。計畫主持人：黃建忠。經濟部中央地質調查所。
- 經濟部中央地質調查所(2006)都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地岩體工程特性調查研究。經濟部中央地質調查所。
- 經濟部中央地質調查所(2010)都會區周緣坡地山崩潛勢評估計畫。經濟部中央地質調查所。