

強化豪雨引致山崩之即時動態潛勢評估

與警戒模式發展(4/4)

Susceptibility, Rainfall Thresholds and the Early Warning System for Debris Slides (4/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

鄭錦桐¹ 李璟芳¹ 黃春銘¹ 魏倫瑋¹ 黃韋凱¹ 張玉舜¹ 冀樹勇¹ 紀宗吉²
林錫宏²

Cheng, Chin-Tung¹ Lee, Ching-Fang¹ Huang, Chuen-Ming¹ Wei, Lun-Wei¹
Huang, Wei-Kai¹ Chang, Yu-Lin¹ Chi, Shu-Yeong¹

¹財團法人中興工程顧問社 防災科技研究中心
²經濟部中央地質調查所

摘要

本計畫旨在發展山崩之降雨警戒門檻率定，並建置山崩預警系統，以期達到邊坡土砂災害之防減災目的。計畫共計4年期程，自100年起至103年止分期分區進行研究，本(103)年度為計畫執行之第4年，主要針對臺灣東部及南部區域共計48幅1/25,000圖幅範圍進行調查與分析。為了防災實際操作之應用，本計畫已篩選出較易致災之約18萬個斜坡單元，以進行山崩潛勢模式之建置及山崩雨量門檻率定，作為災前整備參考資料。本計畫截至目前為止，已透過野外調查蒐集超過900處山崩時間點資料，並針對各案例進行山崩時間點雨量分析工作，藉以獲知山崩與降雨量之關係，並利用相關案例建立山崩潛勢模式，提出山崩雨量門檻及防災應變之構想。最後，本計畫亦將野外調查成果進行「山崩災害歷史資料庫」建置，以利災害案例之蒐集與累積，並依據所發展之模式建構「降雨引發山崩預警資訊系統」，同時將相關防災資訊彙整於線上系統，提供公部門及行政機關參考使用，以強化國內廣域山崩預警防災應用模式。

關鍵詞：山崩潛勢分析、山崩雨量門檻、降雨引發山崩預警資訊系統

Abstract

This project proposes the rainfall threshold for slope units and establishes an early warning information system in regional scale for the purpose of preventing and reducing the losses caused by shallow landslides. The project is divided into 4 one-year segments from 2011 to 2014. In this year, the main study area consists of the area of southern and eastern Taiwan. For the purpose of practical application, the mountain area in Taiwan is

separated into about 180,000 slope units and Logistic regression analysis is performed to evaluate the landslide susceptibility. The geological characteristics, mechanism and the occurrence time of landslides are well recorded for more than 900 cases through the field investigation and interview of residents, hence the relationship between landslides mechanism and rainfall factors are obtained to study their correlation and the rainfall threshold are also determined. Finally, both information systems including the “Landslide Cases Database” and “Rainfall-induced Landslide Early Warning Information System (RiLEWIS)” have been built for the purpose of landslide early warning.

Keywords : landslide susceptibility analysis, rainfall threshold for landslides, rainfall-induced landslide early warning information system.

一、前言

臺灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊之聚合型板塊交界帶，於強烈造山作用下形成陡峭之地勢，且地質材料破碎，常因豪雨事件而引發山崩災害，而災害區位的預判為防救災工作之基礎，因此政府長期以來將此列為重要施政項目。經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)於91至95年已完成「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「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。然而，近年來氣候型態多變，山崩災害預判也顯得愈加困難，既有之靜態災害預判圖資仍有必要結合即時雨量資訊，發展山崩潛勢即時評估模式。

本計畫以4年(100年至103年)為期，隸屬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」及科技部「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，本計畫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，分期分區針對計畫範圍內精進臺灣山崩潛勢評估模式，並結合即時雨量資訊，發展山崩雨量門檻警戒模式與展示系統，以達到實際應用之目標與加強落實防災預警之效能。此外，由於岩體滑動之機制較為複雜，落石則具有甚高之不確定性，故本計畫之對象優先以岩屑崩滑災害為主要探討對象。

二、研究地區與研究方法

本計畫於100年至103年內，分期分區完成各項工作，研究地區分別為都會區周緣坡地101圖幅(100年)、南部研究區47圖幅(101年)、北部研究區62圖幅(102年)、東南部研究區48圖幅(103年)等區域範圍(1/25,000比例尺)。本(103)年度計畫為第4年計畫，除完成東南部研究區48圖幅範圍外，亦統合前三年相關成果，完成全臺共計157幅1/25,000比例尺圖幅範圍(圖1)，研究方法詳述如後。

2.1 基本資料蒐集

針對斜坡單元GIS圖層資料、雨量資料、歷史山崩目錄資料、地質圖、遙測影像、環境地質圖、5公尺×5公尺數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、路網圖等相關基本資料進行蒐集與彙整。

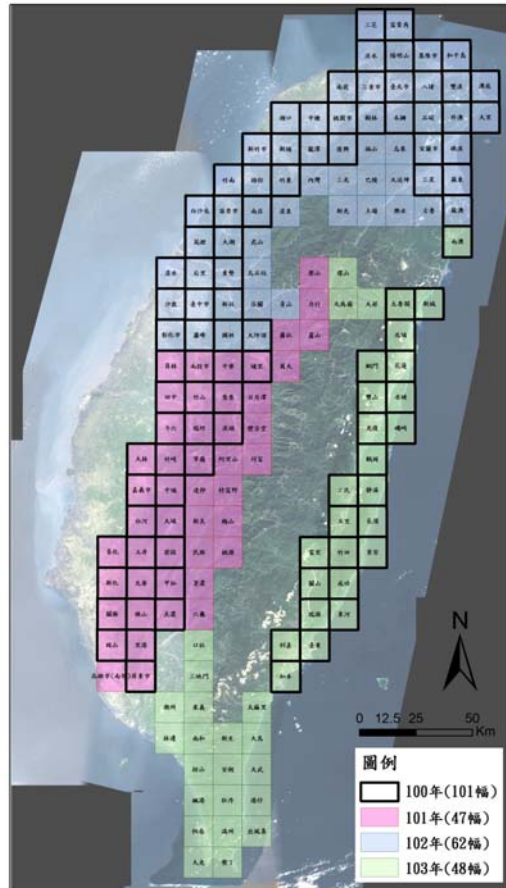


圖1、計畫研究地區範圍

2.2 山崩目錄建置及現場查核

本計畫山崩目錄係以豪雨誘發之岩屑崩滑型山崩為主，建置方法係根據「地質敏感區災害潛勢評估與監測都會區周緣坡地山崩潛勢評估(3/4)」(經濟部中央地質調查所，2009)之「遙測影像判釋崩塌地及事件型山崩目錄建置作業手冊」進行，並經由各級品管後，作為山崩潛勢分析之重要基本資料，其流程圖如圖2所示。



圖2、山崩目錄建置流程圖

2.3 實際山崩時間點調查

為計算更精確之山崩致災雨量，本計畫根據建置之山崩目錄進行歷史山崩時間點調查工作，其調查流程及原則如下(圖3)：

- 一、各圖幅範圍內盡可能選取4個勘查點以上，以平均本計畫各圖幅範圍之調查點。
- 二、各調查點以現場可到達為原則，並經由各村里長或當地居民陪同，進行現場訪查與地質調查。

三、各調查點以自然邊坡為主，且其規模應以投影面積達100平方公尺以上為原則，避免小規模之零星災害影響模式準確性。

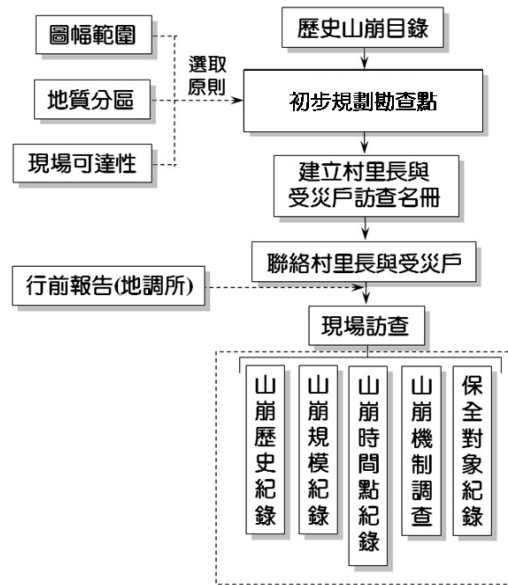


圖3、山崩時間點訪查方法流程圖

2.4 雨量資料分析

本計畫根據蒐集實際山崩時間點之資料，購置各現地調查區位周邊中央氣象局雨量站之時雨量資料，並利用距離平方反比法內插得到各災害發生位置之雨量空間分布，配合山崩發生時間資訊，計算確切之致災雨量。

2.5 山崩潛勢因子製作與篩選

本計畫以斜坡單元作為山崩潛勢分析之基本單元，利用10公尺×10公尺解析度的數值地形、轉換為相同解析度的地質及雨量資料製作山崩潛勢因子，分析所使用之因子包含岩體強度分級、坡高與高程、坡度、坡度均勻度、邊坡陡坡比例、坡型、坡型均勻度、順向坡、斷層密度與褶皺密度、地形濕度指數、連續最大24小時累積雨量、連續最大3小時平均雨量等。因子製作完成後，本計畫利用圖形判釋與相關性分析(圖4)，對因子進行綜合性評估，以此定量篩選流程建立各分區顯著山崩潛勢因子組合。

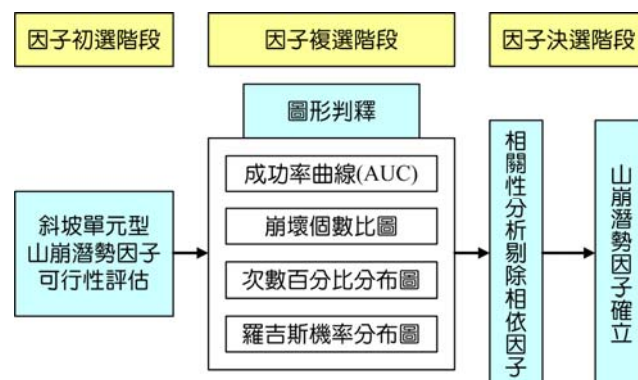


圖4、因子篩選流程圖

2.6 山崩潛勢模式建置與驗證

本計畫採用羅吉斯迴歸(logistic regression)進行山崩潛勢分析，崩塌與否為應變數(二元變數資料)，而顯著(主控)之山崩潛勢因子則為自變數(類別型資料或數值型資料)，迴歸後呈現的計算式如下：

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

$$\lambda = \sum_{i=1}^n w_i \times x_i + c \quad (2)$$

式中， P 代表各斜坡單元之山崩潛勢值、 w_i 為各潛勢因子迴歸係數輸入值、 x_i 為各潛勢因子值， c 為常數項。潛勢值主要反應邊坡是否容易發生崩塌之相對指標，非該邊坡是否發生崩塌的絕對指標，因子係數則反應該分區各因子對於崩塌產生的貢獻。模式驗證方面，本計畫使用正確率、成功率曲線(Success rate curve, SRC)與預測率曲線(Prediction rate curve, PRC)來鑑別模型的優劣(Chung and Fabbri, 1999, 圖5)，以潛勢值0.5劃分斜坡單元隸屬於山崩或非山崩，據此計算正確率；同時以所得之山崩潛勢值與山崩目錄繪製成功率曲線，以另一批未經訓練的資料(即驗證資料)繪製預測率曲線，驗證模型對於未來事件的評估能力。

$$\text{山崩組正確率} = N_1 / (N_1 + N_2) \quad (3)$$

$$\text{非山崩組正確率} = N_4 / (N_3 + N_4) \quad (4)$$

$$\text{總體正確率} = (N_1 + N_4) / (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \quad (5)$$

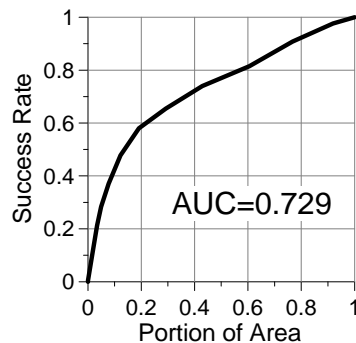


圖5、成功率曲線

2.7 山崩雨量門檻率定與驗證

本計畫將計畫執行期間所有現地山崩調查點之雨量進行綜合分析，結果顯示3小時平均降雨強度(I_3)與24小時累積雨量(R_{24})較易引致區域性之山崩災害發生(Liao et al., 2010；陳盈靜，2014)，其代表之意義分別為短延時降雨及長延時降雨對山崩災害發生之影響，因此挑選此兩參數納入本章山崩雨量門檻值率定之應用，考量山崩災害規模、山崩災害發生機率，並依據危險度矩陣之概念給定警戒燈號。

其中山崩雨量門檻降雨指標之定義如圖6，山崩災害規模分類則以各斜坡單元崩塌率將災害規模分為「第一類-高崩塌率」、「第二類-中崩塌率」、「第三類-低崩

塌率」，若該斜坡單未曾發生過災害，無法從山崩目錄計算及斜坡單元崩塌率時，則利用建立之斜坡單元崩塌率-山崩潛勢值關係式(圖7)比對出其可能的崩塌率，並進行分類。

山崩災害發生機率方面，本計畫係以3小時平均降雨強度(I_3)及24小時累積雨量(R_{24})為降雨指標進行災害發生機率之率定。如圖8所示，將本計畫調查所得之災害案例資料繪入圖內後，利用橢圓包絡線對歷史災害的涵蓋百分比做為雨量門檻率定之界線，90%山崩雨量門檻線代表在該降雨條件下，有90%之歷史災害案例發生崩壞，目前亦設定90%、60%、30%等機率作為高發生率、中高發生率、中發生率、低發生率之門檻，藉此作為警戒發布之參考。

警戒燈號設定方面，本計畫同時考慮災害發生之規模以及災害發生之機率，並結合危險度矩陣之概念給定警戒燈號(表1)，第一類山崩因其可能之崩塌率較高，災害之規模以及影響層面皆較大，因此當其發生機率大於60%時即顯示為紅色(高危險等級)，若災害發生機率介於30% ~ 60%時則顯示橙色(中高危險等級)，若災害發生機率低於30%時則顯示黃色(中危險等級)，更低時則以綠色顯示(低危險等級)。第二類及第三類則考慮其影響層面次之與最小，因此警戒燈號之設定也因應調整。

驗證方面則需蒐集近期發生、具有發生時間紀錄的山崩案例資料，並確認其為岩屑崩滑型山崩災害後，針對其災害發生位置蒐集附近之雨量站紀錄，並繪製降雨組體圖，利用災害發生時間，計算每個小時的3小時平均降雨強度(I_3)及24小時累積雨量(R_{24})並將 I_3 及 R_{24} 的時間變化歷程繪製於 I_3 - R_{24} 圖中(圖9)，藉由其降雨歷程蛇線(snake line)與各門檻之關係，確認災害發生時的警戒燈號，將各案例所得之燈號歸納統整，檢驗山崩雨量門檻於預警之效益。

斜坡單元內之崩塌面積

$$\text{斜坡單元崩塌率} = \frac{\text{斜坡單元內之崩塌面積}}{\text{斜坡單元總面積}} \times 100\% \quad (6)$$

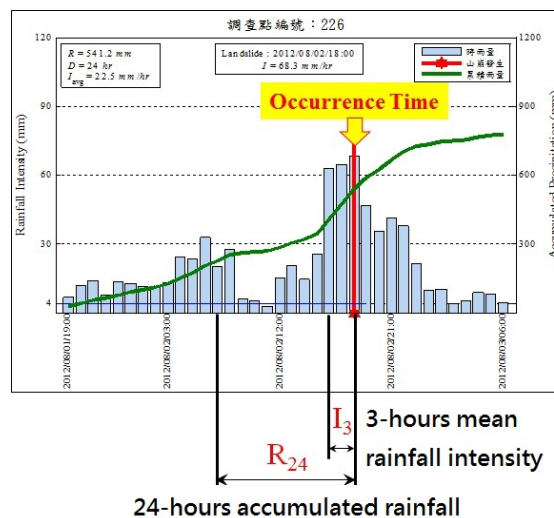


圖6 山崩雨量門檻降雨指標計算方法

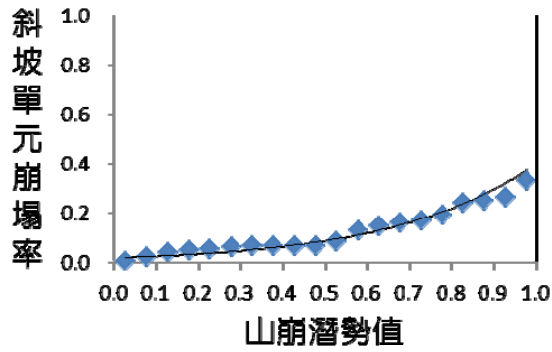


圖7 斜坡單元崩塌率與山崩潛勢值之關係

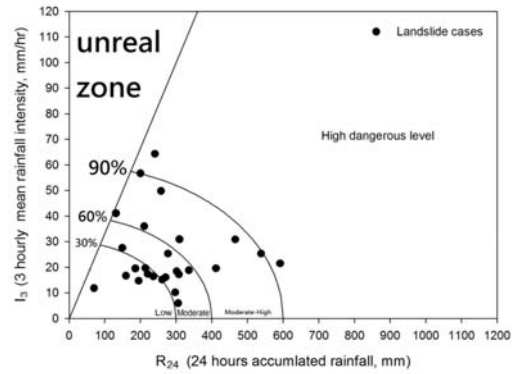


圖8 山崩雨量門檻率定方法

表1 山崩雨量門檻警戒燈號表

	高發生率 ($\geq 90\%$)	中高發生率 ($\geq 60\%$)	中發生率 ($\geq 30\%$)	低發生率 ($< 30\%$)
第一類-高崩塌率	高危險等級	高危險等級	中高危險等級	中危險等級
第二類-中崩塌率	高危險等級	中高危險等級	中危險等級	低危險等級
第三類-低崩塌率	中高危險等級	中危險等級	低危險等級	低危險等級

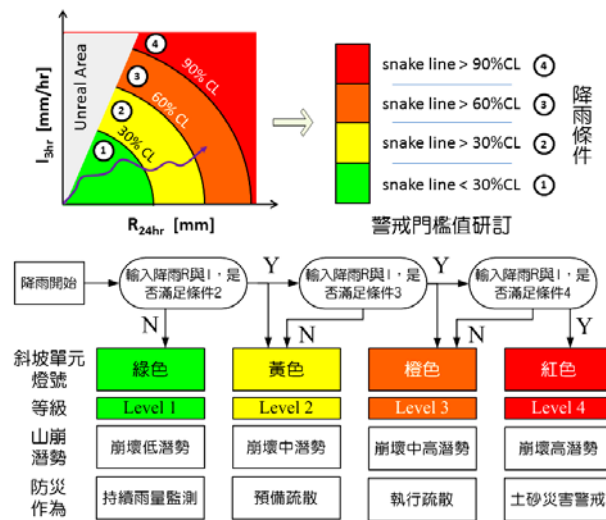


圖9 山崩雨量門檻率定及警戒構想

三、研究成果

3.1 實際山崩時間點調查與致災雨量分析

本研究已完成東部及恆春半島共計48個1/25,000比例尺圖幅範圍內之山崩目錄建置(圖10), 建立之事件包含葛樂禮颱風前後、桃芝颱風前後、敏督利颱風前後、龍王颱風前後、海棠颱風前後、六九豪雨後、聖帕颱風後、辛樂克颱風後、莫拉克颱風前後、南瑪都颱風前後等。

根據數化完成之山崩目錄，本計畫抽驗較重大之崩塌地至現場進行實際山崩時間點調查及山崩目錄檢核。其主要之目的希冀能取得真實山崩發生時之雨量數據，利用其時間點調查成果購置各災害點周邊雨量資料，即可進行該崩塌區位雨量分析，並計算得到山崩發生時之降雨強度、累積雨量等參數，做為模式建置之參考。本計畫完成今(103)年度研究區域內共計122處之實際山崩時間點調查工作，自100年至103年度則共計已完成941處調查成果(圖11)。

為探討豪雨事件雨量與崩塌發生之關係，本計畫亦針對122處歷史山崩時間點調查成果，蒐集其周邊中央氣象局雨量站之時雨量資料，建立山崩歷程中降雨量的時間、空間分布情形，並計算各災害點之致災雨量(圖12)。利用自100年迄今超過941處山崩時間點調查資料進行雨量分析，結果顯示山崩發生於最大降雨強度起算3小時內、山崩發生於第二或第三大降雨強度起算3小時內之案例各佔約23.2%及25.7%，亦即約有48.9%之案例為高降雨強度所誘發之災害，另外51.1%則主要因累積雨量達一定量值後誘發災害，由此可見降雨強度(時雨量)及累積雨量為山崩預警成效之關鍵。進一步以調查之案例資料，彙整計算其山崩發生前不同時間的累積雨量資料後發現，山崩發生前24小時累積雨量(R_{24})為所有參數內變異最小之參數，顯示24小時累積雨量對於山崩預警功效應較為顯著，相關研究亦有相似之結果(Liao et al., 2010)。此外，整合歸納2001-2013重要颱風事件誘發淺層岩屑崩滑之致災雨量特性顯示(圖13)，其24小時累積雨量約為200-500 mm，3小時平均降雨強度則介於10-50 mm/hr，降雨延時約為10-36 hr，事件累積雨量約為120-580 mm，上述分析結果皆為臺灣豪雨誘發之淺層岩屑崩滑重要致災降雨特性。

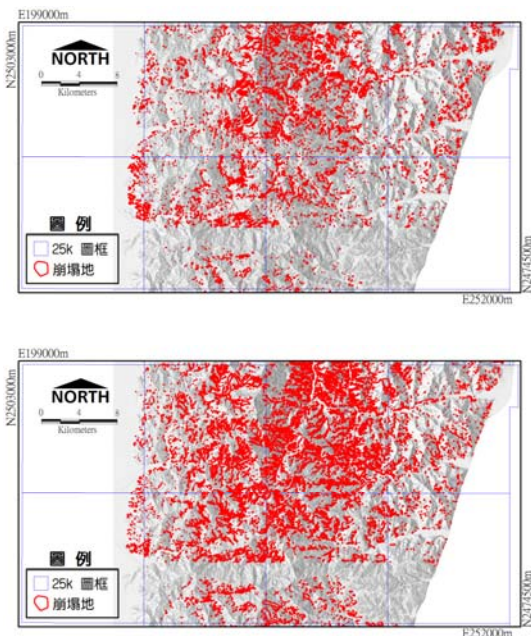


圖10、山崩目錄建置成果
(以莫拉克颱風前後為例)

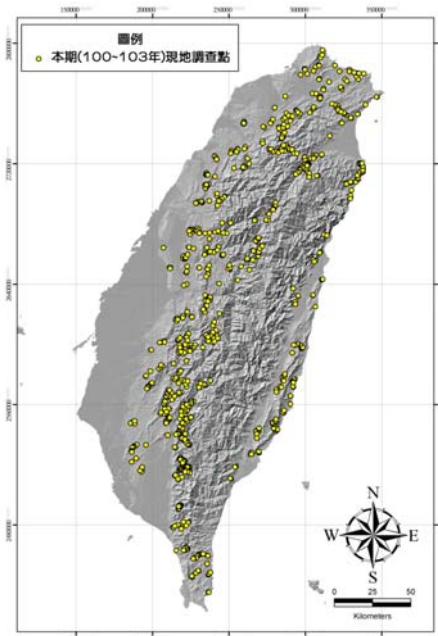


圖11、100年至103年岩屑崩滑實際山崩
發生時間點調查位置分布圖

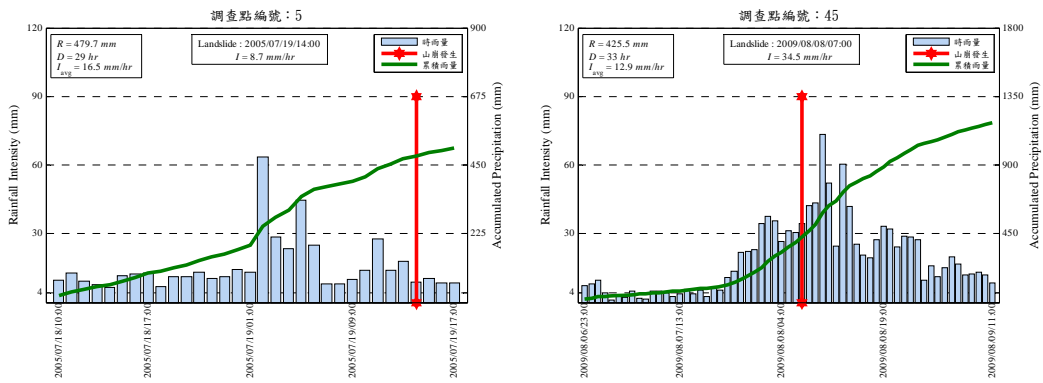
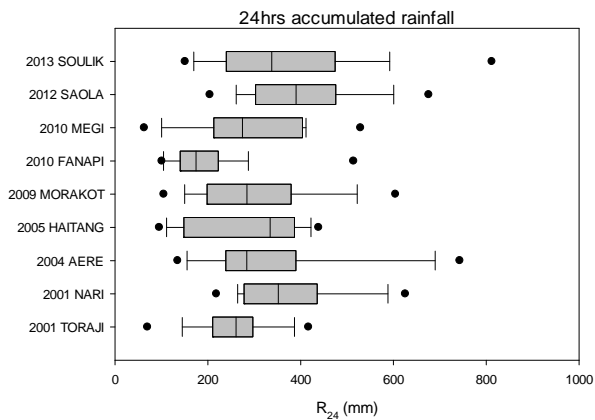
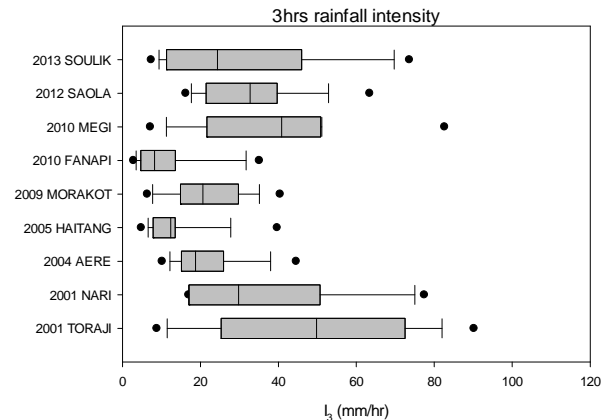


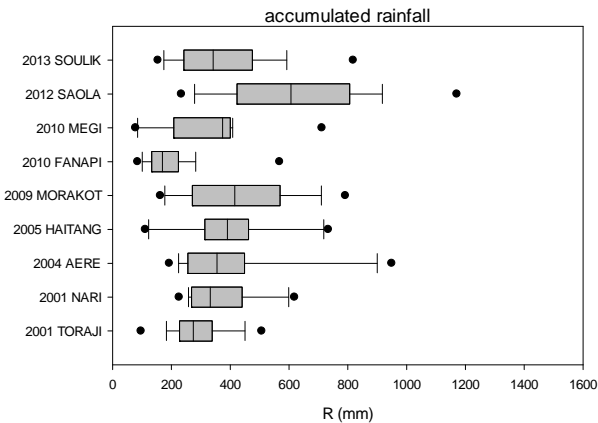
圖12、實際山崩時間調查點致災雨量分析



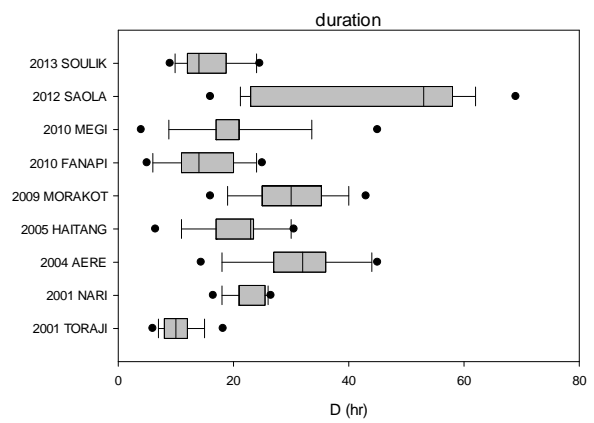
(a) 山崩發生時24小時累積雨量



(b) 山崩發生時3小時平均降雨強度



(c) 山崩發生時累積雨量



(d) 山崩發生時降雨延時

圖13 各區域性降雨誘發淺層岩屑崩滑災害之降雨特性

3.2 山崩災害歷史資料庫建置

為了將本計畫累積之野外調查成果進行系統性的彙整與保存，今(103)年度已建置「山崩災害歷史資料庫」(圖14)，以提供研究及相關人員快速查詢及分析，其內容包含歷年山崩調查案例之詳細資料(發生地點、發生時間、誘發之豪雨事件、地質條件等)、所在位置地圖、現場調查之山崩特性與重點觀察照片，針對特殊案例若有另外撰寫詳細報告者，亦以附件的形式納入資料庫中。

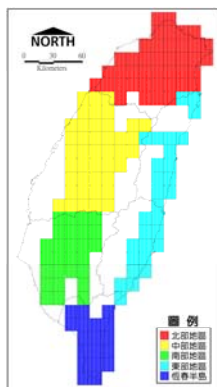


圖14、山崩災害歷史資料庫畫面

3.3 山崩潛勢模式

本(103)年度潛勢模式朝向二個方向精進開發：(1)分析區調整：本(103)年度將不易致災的平緩地、以沖蝕現象為主的泥岩地區斜坡單元去除，並利用地形邊界將全臺灣分為5大分析區(北部、中部、南部、東部、恆春半島，圖 15)來建立山崩潛勢模式，提高模式正確率，惟目前恆春之樣本數較少，仍先以全臺不分區模式替用之。(2)納入雨量因子分析：採用連續最大 24 小時累積雨量及連續最大 3 小時平均雨量等雨量因子進行山崩潛勢分析以改善模式，並利於後續各區域之山崩雨量門檻率定使用。分析結果顯示總體正確率約為 72%(表 2)，透過山崩潛勢值與斜坡單元崩塌率之關係(圖 7)，可提供為山崩雨量門檻率定時所需之斜坡單元山崩規模分類參考(詳 2.7 節與 3.4 節)。

表 2、各分區訓練結果之正確率與 AUC 值



分區名稱	山崩正確率	非山崩正確率	總體正確率	AUC 值
北部地區	80.81%	80.73%	80.73%	0.862
中部地區	75.57%	70.09%	71.31%	0.777
南部地區	73.24%	70.86%	70.98%	0.767
東部地區	78.56%	75.11%	75.16%	0.832
全臺灣	68.39%	72.79%	72.54%	0.755

圖15 山崩潛勢分區圖

3.4 山崩雨量門檻率定

本計畫之山崩雨量門檻以 I_3 、 R_{24} 為指標，考量山崩災害規模、山崩災害發生機率等進行劃設，並依據危險度矩陣之概念給定警戒燈號。目前已完成北部、中部、南部、東部之淺層岩屑崩滑山崩雨量門檻率定成果，然而恆春半島區域由於目前案例資料仍較為不足，因此本計畫亦另建置全臺不分區之山崩雨量門檻分析成果，可先行應用於資料不足區域(圖16)。分析結果顯示紅色警戒燈號之3小時平均降雨強度(I_3)約為45~70 mm/hr，24小時累積雨量(R_{24})約為500~750 mm；橙色警戒燈號之 I_3 約為30~50 mm/hr，24小時累積雨量(R_{24})約為300~550 mm；黃色警戒燈號之 I_3 約為20~40

mm/hr，24小時累積雨量(R_{24})約為200~450 mm。此外，透過本(103)年度麥德姆颱風的災害案例進行驗證後發現(表3)，目前模式對於新生崩塌之預警成效良好，若為舊有崩塌復發，則建議適度調降警戒門檻，以利防災預警操作使用。

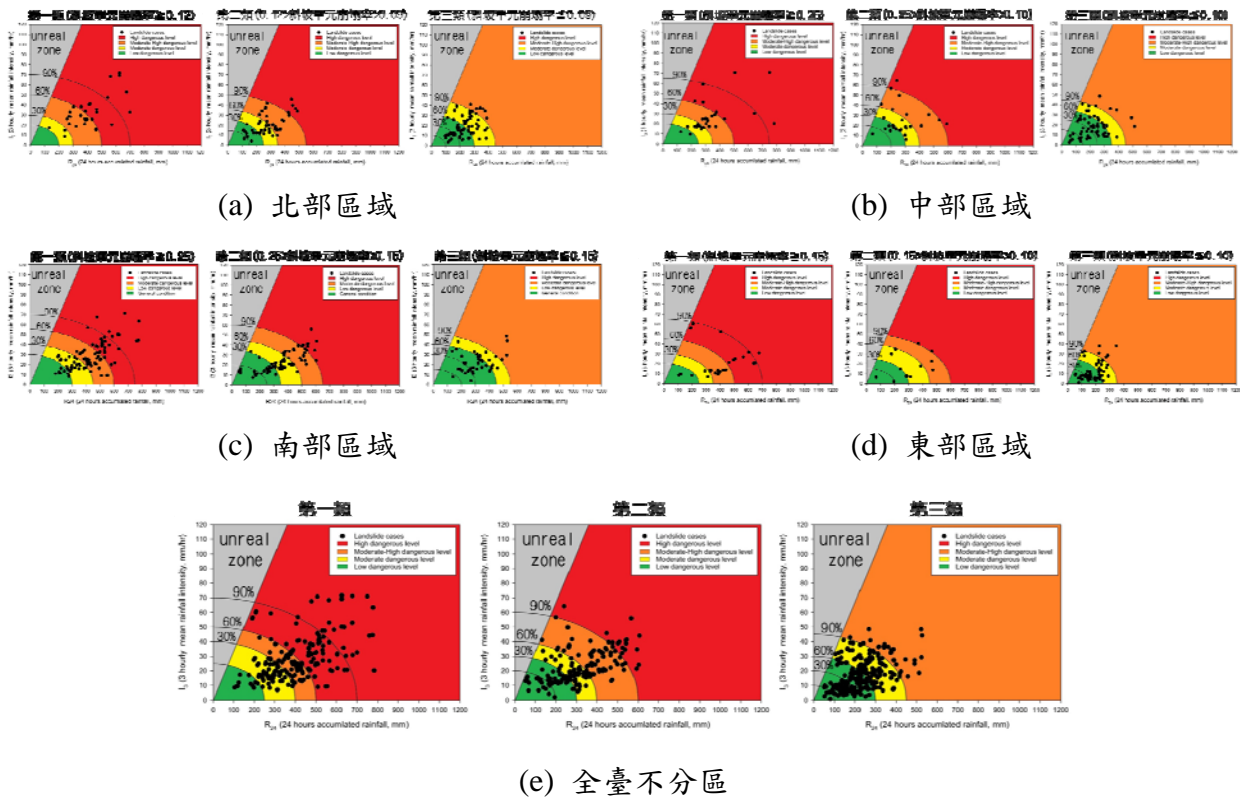


圖16、山崩雨量門檻率定成果

表3、山崩雨量門檻驗證結果

路線格號	附近地名	災害類別及受損情形	阻斷時間	最近雨量站	所屬區域及類別	災害發生前最高燈號	歷史災情
台7甲線 10K+385	茂安	道路，土石流阻斷，路旁土石持續漫流	2014/7/23 09:30	太平山	北部 第一類	紅色	無
台8線 87K+400	梨山	道路，邊坡坍方。台8線87.4k坍方阻斷	2014/7/23 07:00	梨山	中部 第一類	橙色	無
台11甲線 16K+200	整濱	道路，路基流失。下邊坡時基流失50m寬度4M	2014/7/23 02:00	整濱	東部 第二類	橙色	無
台9線 115K+800	東澳	道路，上邊坡坍方。台9線115.8K阻斷	2014/11/17 21:15	東澳橋	北部 第二類	橙色	無
台8線 93K+300	碧綠溪	道路，邊坡坍方。台8線93.3k坍方阻斷	2014/7/23 07:00	梨山	東部 第三類	黃色	有，102/5/17、102/5/20、102/5/21、102/5/22、102/6/2、102/6/4、102/7/15、102/7/18、102/8/7、102/8/8、102/8/22、102/8/30、102/9/21、102/9/22、103/2/10、103/5/1
縣169線 2K+500	太和村	道路，邊坡坍方。邊坡坍方土石流堰壩阻斷	2014/7/23 13:00	碧山	南部 第二類	黃色	有，98/8/10、103/5/13、103/5/21、103/5/29、103/6/7
縣162甲線 42K+0	太和村	道路，邊坡坍方。邊坡坍方1200m3	2014/7/23 17:00	碧山	南部 第三類	黃色	有，98/8/10、98/8/12
台8線 181K+200	白沙橋	道路，土石流阻斷。土石流坍方長140m*寬15m*平均高10m 21000m3	2014/7/23 00:00	布洛灣	東部 第二類	黃色	有，102/9/22
台8線 63K+400	德基	道路，邊坡坍方。坍方長約40公尺、高約12公尺	2014/7/23 07:00	德基	中部 第一類	綠色	有，103/5/20、103/6/6、103/6/9、103/7/1
台14線 98K+600	屯原	道路，邊坡坍方。邊坡上邊坡坍方	2014/7/23 06:00	廬山	中部 第二類	綠色	有，103/5/19
縣159甲線 33K+10	光華村	道路，邊坡坍方。邊坡坍方500m3	2014/7/23 15:10	大湖	南部 第二類	綠色	有，102/8/29

3.5 降雨引發山崩預警資訊系統建置

為將研發之山崩預警模式落實應用，本計畫建置「豪雨引發山崩預警資訊系統」(圖17)，包含專業應用版、簡易查詢版及手機網頁版。其包含山崩潛勢展示、山崩警戒發布、山崩基礎圖資、定位查詢及系統與資料管理等五大模組，並將最新之山崩雨量門檻率定成果建置入內。此外，為了能即時進行山崩潛勢的評估，本計畫亦將該系統介接氣象局之QPESUMS雨量資料，並可即時計算全臺185,300餘個斜坡單元之山崩潛勢，提供防災應變時之決策輔助與疏散避難參考應用。



圖17、降雨引發山崩預警資訊系統畫面

四、結論與建議

本(103)年度計畫模式經四年(100~103年)之測試後，將臺灣依照颱風降雨影響範圍及集水區特性分為北、中、南、東及恆春半島等五區，對於山崩潛感模式分析結果尚稱良好，足以提供廣域山崩預警應用。潛勢分析部分，利用四年(100~103年)期間蒐集941筆實際山崩時間點資料進行模式建置後，另針對基礎分析單元進行篩選動作，將坡度過於低平、泥岩區等較不易發生山崩或其為沖蝕災害之樣本剔除。模式外部雨量因子部分，本計畫遴選3小時平均降雨強度(I_3)與24小時累積雨量(R_{24})納入分析，進而於模式中同時考慮強降雨與長延時兩種不同降雨條件之邊坡潛勢。目前山崩潛勢分析結果顯示各區域之模式總體正確率約為七成以上，且動態降雨歷程線於本年度新增及擴大崩塌事件驗證中均能預先反應，可提供後續防災相關應用。

本計畫利用四年期間蒐集超過900筆實際山崩時間點資料，但對於模式建置而言，仍需持續擴充樣本數量，建議未來仍須持續蒐集山崩災害時間相關資訊，並利用各年度汛期之山崩案例實際進行測試，以驗證山崩雨量門檻之準確性。若有新增之山崩事件則用以驗證山崩潛勢模式，採滾動式更新方式修正各區之山崩雨量臨界門檻值。此外，在「降雨引發山崩預警資訊系統」中雨量介接之資訊，除現行之QPESUMS網格式即時雨量外，亦可考慮其他可用之預估雨量，以利災中應變時預判未來可能之坡地災害情境。

參考文獻

1. 陳盈靜(2014), 台灣山區降雨量與誘發山崩率之關係及集集大地震後山坡復育情形。國立中央大學應用地質研究所，碩士論文。

2. 經濟部中央地質調查所(2009)，地質敏感區災害潛勢評估與監測－都會區周緣坡地山崩潛勢評估(3/4)，經濟部中央地質調查所。
3. Chung, C. F., and Fabbri, A. G. (1999) Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(12), 1389-1399.
4. Liao, Z., Hong, Y., Wang, J., Fukuoka, H., Sassa, K., Karnawati, D. and Fathani, F. (2010) Prototyping an experimental early warning system for rainfall-induced landslides in Indonesia using satellite remote sensing and geospatial datasets. *Landslides*, 7(3), 317-324.