

# 豪雨引致山崩之即時潛勢展示系統發展

## Preliminary development of real-time rainfall-induced landslides susceptibility display system

魏倫璋<sup>1</sup> Lun-Wei Wei  
財團法人中興工程顧問社

鄭錦桐<sup>2</sup> Chin-Tung Cheng  
財團法人中興工程顧問社

林彥享<sup>3</sup> Yen-Hsiang Lin  
財團法人中興工程顧問社

林錫宏<sup>4</sup> Hsi-Hung Lin  
經濟部中央地質調查所

紀宗吉<sup>5</sup> Chung-Chi Chi  
經濟部中央地質調查所

楊坤霖<sup>6</sup> Benny Yang  
北極星測繪科技有限公司

### 摘 要

本研究以中央地質調查所過去之山崩潛勢評估成果為基礎，依據所建置之山崩目錄進行山崩時間點之調查，並以其時間資訊重建山崩發生之降雨歷程，並繪製降雨組體圖以輔助說明降雨引致各地質分區岩屑崩滑之機制與特性，建立山崩發生與降雨量之關係，進一步探討山崩與豪雨之關係，嘗試建立全臺各地質分區之動態雨量山崩潛勢模式，並以模式建置成果配合 QPESUMS 雨量資料進行各斜坡單元即時山崩潛勢計算，並將其模式成果建置為 Web-GIS 系統。該系統可分為前端展示模組及後端潛勢評估模組，其中前端展示模組可即時呈現動態山崩潛勢，採圖形化介面操作，提供使用者以空間定位進行資料查詢，後端潛勢評估模組建置系統權限管理、雨量資料擷取、山崩動態分析等模組，其運算結果將傳輸至前端展示模組呈現，系統之建置可即時呈現各斜坡單元之山崩潛勢，並作為災前整備、災中應變及災後資料彙整等災害管理參考資訊。

關鍵詞：斜坡單元、山崩潛勢分析、Web-GIS

### 一、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，研究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。

## 二、基本資料製作

### 1、地質分區

地質分區之劃設主要參考地調所相關計畫成果，以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(圖 1)。

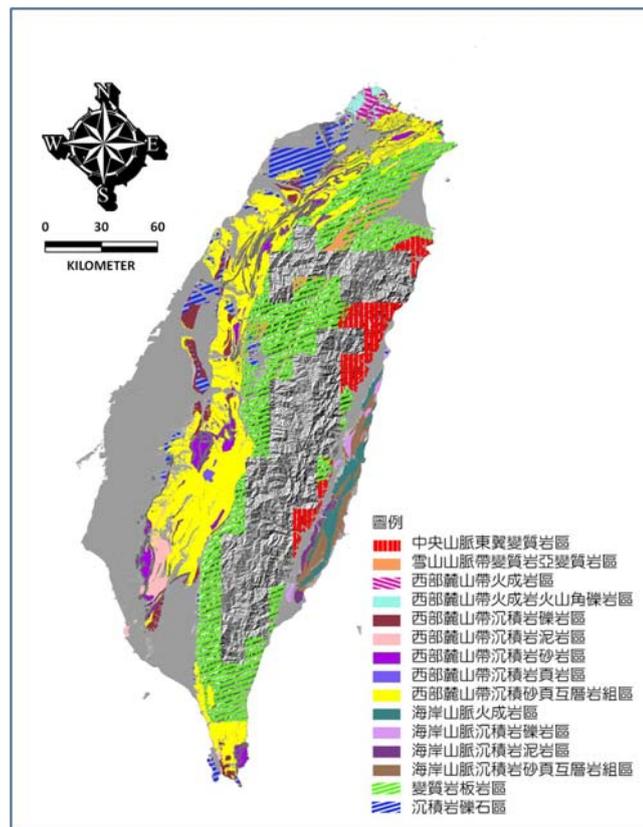
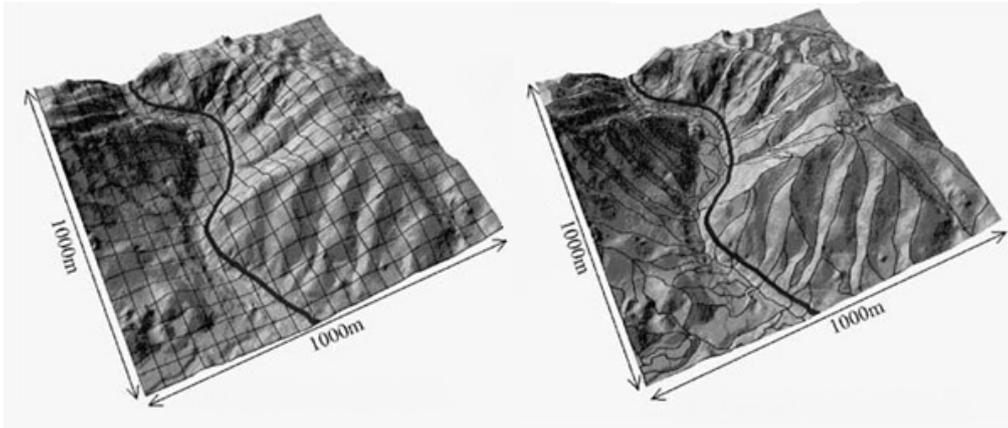


圖 1 地質分區劃分成果

### 2、斜坡單元

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(圖 2)，而斜坡單元有配合地形特徵進行分析之優勢，故本研究參考義大利(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。



(a) 網格單元

(b) 斜坡單元

圖 2 網格單元與斜坡單元示意圖(Xie et al., 2004)

### 3、山崩目錄

山崩多有其再發性，透過遙測影像判釋崩塌地，持續不斷更新山崩目錄，供後續坡地災害預測模式建立，方可達到坡地防災規劃之目的。山崩目錄建置是非常重要的工作項目，其正確性與完整性對於後續工作影響甚鉅，可以說動態山崩潛勢分析是以山崩目錄為基石，本研究共蒐集並建置多期豪雨誘發崩塌之山崩目錄，可增進動態山崩潛勢分析模式之可行性，並做為警戒發布的重要參考。

### 4、無外部因子山崩潛勢

本研究採用斜坡單元作為山崩潛勢分析之基本元素，為反映不同區域之山崩特性，本研究以不同地質分區分別建立山崩潛勢分析模式，將各地質分區具有代表性之山崩潛勢因子納入潛勢分析，經由羅吉斯回歸分析建置各斜坡單元無外部因子山崩潛勢值 ( $P_0$ )，進而瞭解各地質分區之崩塌特性。無外部因子山崩潛勢值表示如下：

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

其中，A、B、C、D、E...為無外部因子； $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ ...為對應無外部因子之權重係數；C 為常數項。藉由無外部因子山崩潛勢值之建立，可作為潛勢隨雨量增加而上升之動態山崩潛勢模式建置之基礎。

## 三、雨量資料分析

## 1、山崩時間點調查

本研究藉由現場調查進行山崩時間點資料蒐集，並依據所蒐集到之時間點進行崩塌時之雨量資料分析，其時間點資料共經現地調查階段與資料整合階段二個階段品管程序(圖 3)。資料整合時，將比對「水土保持局土石流防災資訊網-重大土石災情報告」及「交通部公路總局全球資訊網-公路防救災資訊系統災情通報」之實際山崩時間等資訊。此外亦利用既有報章雜誌刊登資料進行比對，綜整以上品管後，修正現地調查表。

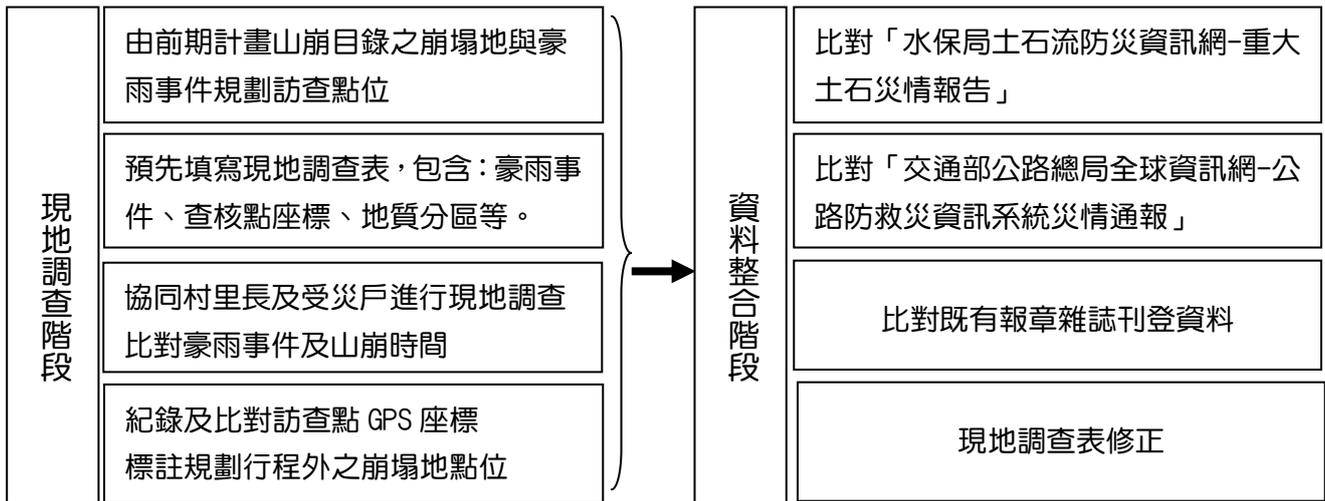


圖 3 實際山崩時間點品管操作流程圖

## 2、山崩雨量分析

本研究依據所蒐集到之歷史山崩時間點蒐集豪雨事件及颱風之氣象資料，並進行雨量資料分析。本研究以「一場連續降雨過程，以時雨量大於 4 mm 處為有效降雨時間開始，以時雨量連續 6 小時均小於 4 mm 處為有效降雨結束處。」將有效降雨開始到降雨結束區間，當作一場有效連續降雨作為雨場切割方法，切割出各事件雨場分布狀況，並以克利金法進行雨量空間內插，最後，對各歷史山崩時間點進行雨型分析，以探討降雨對崩塌發生的影響(圖 4)。

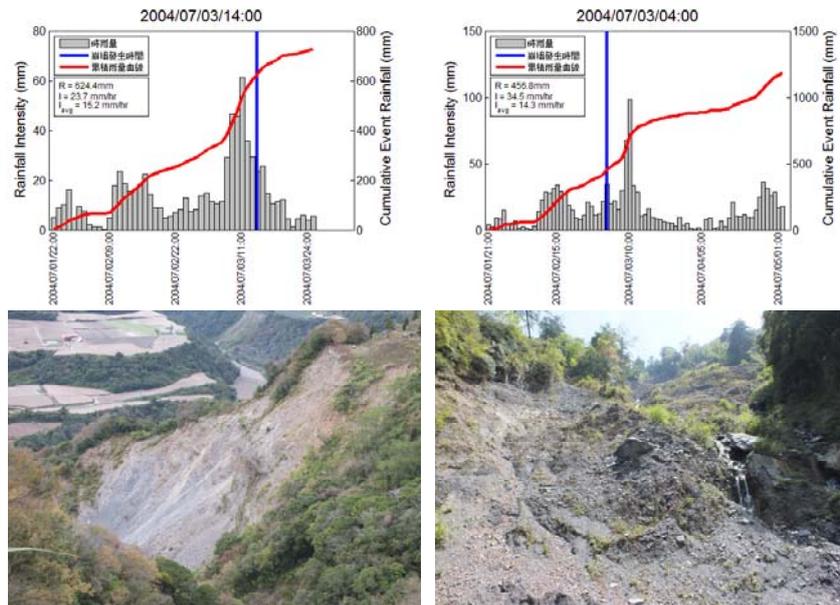


圖 4 雨量組體圖之繪製(以力行產業道路及台 8 線山崩調查點為例)

#### 四、動態山崩潛勢模式建置

本模式之建置係以各斜坡單元無外部因子山崩潛勢值為基礎，加上山崩之臨界雨量與邊坡穩定性評估之觀念，進行模式建置。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。當豪雨事件發生時，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，表示斜坡單元達崩壞臨界狀態，若大於 1 則發生崩壞(圖 5)。其模式分為靜態( $P_0$ )與動態  $W(R)$  潛勢分析項，模式架構如下：

$$P = P_0 + W(R)$$

其中， $P_0$  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  $P_0$  與  $W(R)$  之和小於 1，表示該斜坡單元處於穩定狀態；若此兩值和等於 1，表示該斜坡單元處於崩壞之臨界狀態；而若此兩值和大於 1，表示該斜坡單元為崩壞發生之狀態。

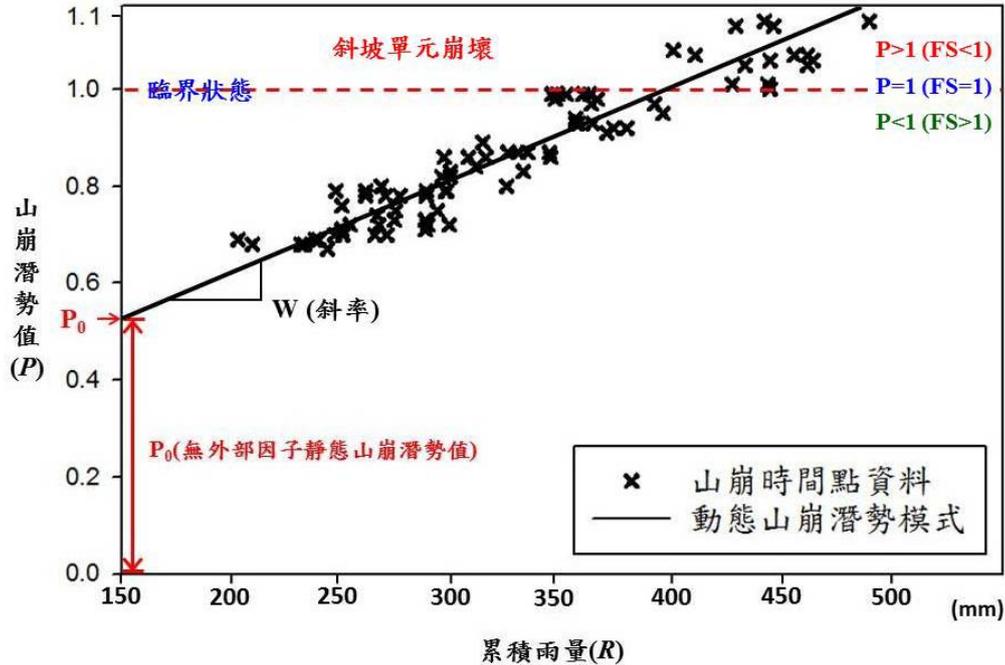


圖 5 本研究動態山崩潛勢模式建置示意圖

#### 五、即時潛勢展示系統發展

本研究之展示系統須獲得即時雨量資料以進行動態潛勢之計算，因此本研究嘗試與 QPESUMS 所發布之雨量資料進行介接，資料介接連結作業整體流程如圖 6 所示。

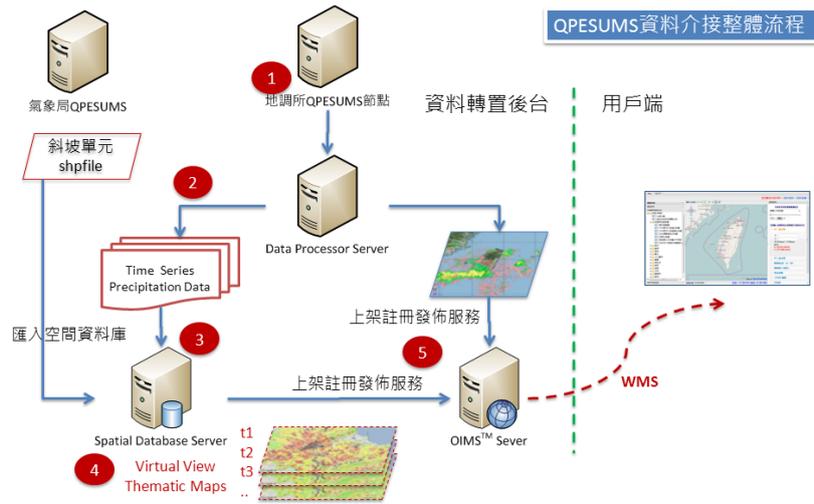


圖 6 坡地動態雨量潛勢圖資料介接整體流程

本系統能配合即時雨量資料呈現不同斜坡單元山崩潛勢評估結果，整體架構應包含前端展示模組與後端潛勢評估模組，其中前端展示模組藉由網頁平台進行查詢、資料增補、動態展示等，並整合歷年山崩目錄等資料提供查詢；後端潛勢評估模組以即時運算及資料處理模組化為主，包含雨量即時擷取與處理、動態山崩潛勢運算、即時傳輸與警戒發布等作業需求，平台功能架構如圖 7 所示。

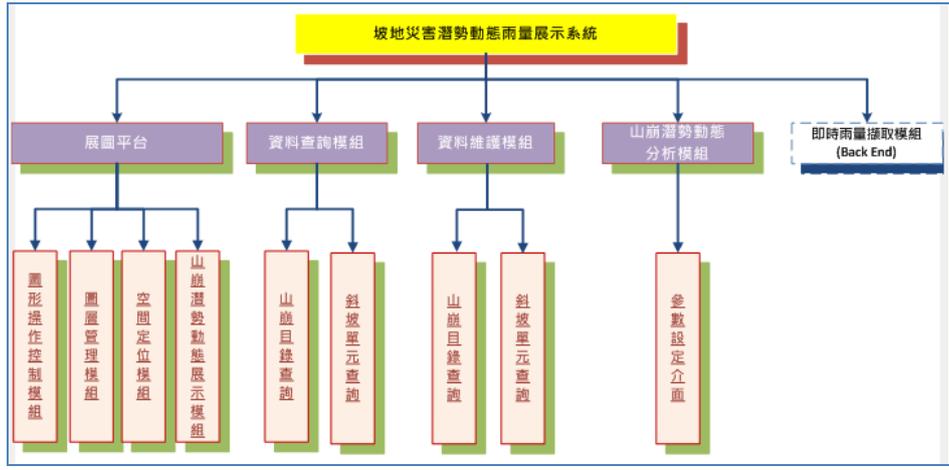


圖 7 坡地災害潛勢動態雨量展示系統架構圖

依據目前相關法令規定，當重大災害發生時，中央與地方政府將分別開設災害應變中心，並由地方災害應變中心負責災害搶救的第一線工作，中央災害應變中心則全面掌握各地災情，研擬因應對策，進行救災資源調度，以支援地方救災。

基於減少災中應變時簡易迅速之操作的設計理念，本研究將系統操作設計分為單一區域畫面能看到最大的地圖資訊及分割螢幕能看到不同地點的比較兩種方式進行設計規劃。當登入後選擇不同模式之操作介面如圖 8 及圖 9 所示，其中區域選單，滑鼠點選後，監管視窗會進行區域的切換。另一方面兩種操作模式皆會在清單內容中顯示本區域的高潛勢斜坡單元資料，以方便防災操作人員瞭解現在區域內已達高潛勢斜坡單元數量，並可點選切換知道該高潛勢斜坡單元的位置。

而系統平台在多重視窗呈現的部份，最多可同時展示三個行政區域，除了具備了區

域選擇的彈性外，另一方面亦可避免過多區域導致平台畫面過於繁複；相對的，右下側的區域視窗，提供以 Drag-Drop 的方式，可將其他區域放入任一個監管的視窗中，可簡易並迅速切換監管區域。



圖 8 全螢幕視窗介面

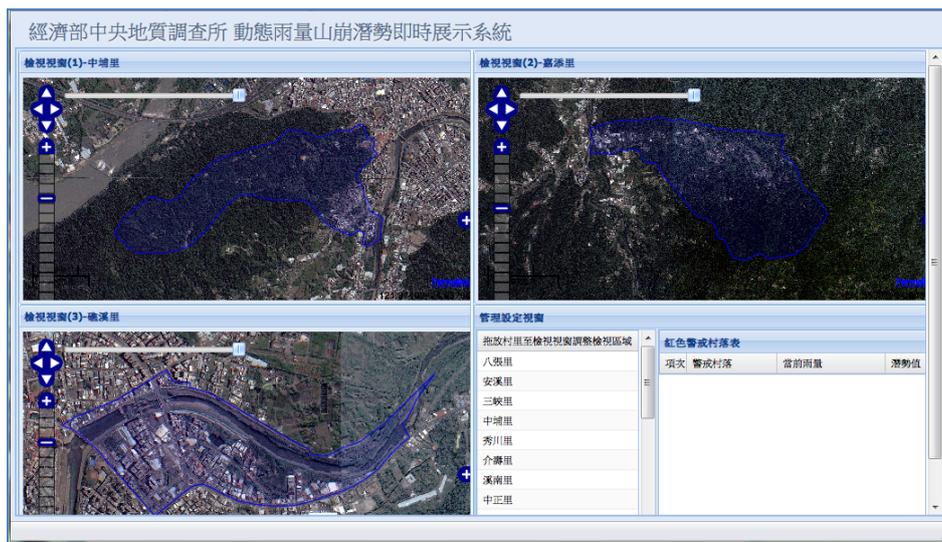


圖 9 多重視窗顯示介面

## 六、結論

本研究藉由基本資料之建置、野外調查、雨量資料分析以及山崩潛勢模式之建立，配合 QPESUMS 雨量資料之介接，已建立一套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，以供豪雨預警發布後快速進行動態山崩潛勢評估。在考量未來災害應變中心的應用及資訊的提供，設計了針對單一區域監控及分割螢幕進行三區域監控之介面，有利於不同防災層級單位運用。未來如能結合雲端概念，進一步取得各單位公、私有雲服務或空間資料彙整，可更豐富圖面參考資訊的內容。且為加速進入監管區域，若能取得列管之危險村落分佈圖資，則可加速引導應變中心使用者直接進入到關鍵重點監

管區域，提升操作上的效益。

### 參考文獻

- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., & Reichenbach, P. (1991). GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(5), 427-445.
- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 117-135.
- Xie, M., Esaki, T., & Zhou, G. (2004). GIS-based probabilistic mapping of landslide hazard using a three-dimensional deterministic model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 33, 265-282.
- 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)。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，經濟部中央地質調查所。
- 經濟部中央地質調查所(2011)。高山聚落地區地質災害基本調查計畫，經濟部中央地質調查所。