

山崩活動性評估與防災應用(1/4)

Landslide Activity Assessment and Disaster Prevention Application(1/4)

受到極端氣候及颱風豪雨的影響，近年來山崩及土石流災害不斷，因此本計畫將分年分區更新全國坡地環境地質資料庫，並以防災導向進行不同類型山崩潛勢分析評估，以提供坡地防災基礎資料，及全國災害管理資訊平台防災應用。主要目標包括：進行全台山崩潛勢評估模式更新，研發山崩雨量門檻模式、加強全尺度山崩活動性觀測技術發展。本計畫將研發應用前瞻觀測技術，除針對鄰近聚落的潛在大規模崩塌地區，進行自動化觀測，並研發廣域的動態即時雨量山崩雨量門檻模式，配合展示及防災操作介面，提升坡地災害的警戒效能。

配合「行政院災害防救應用科技方案」第3期研發課題，並延續前期(104~107年)計畫的執行成果，本計畫為4年期(108~111)之中長程計畫，主要包含2項細部計畫：(1)降雨誘發山崩動態警戒模式與調查技術研發應用；(2)山崩調查觀測技術精進與應用。各細部計畫報告分列於後。

細部計畫 1：

降雨誘發山崩動態警戒模式與調查技術研發應用(1/4)

The study of rainfall-induced landslide dynamic warning system and innovative landslide investigation approach (1/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

李璟芳¹ 黃春銘¹ 黃韋凱¹ 陸安¹ 林錫宏²

Lee, Ching-Fang¹ Huang, Chuen-Ming¹ Huang, Wei-Kai¹ Lu, An¹

Lin, Hsi-Hung²

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環境與工程地質組

摘要

本計畫配合「行政院災害防救應用科技方案」第 3 期研發課題，與地調所 108-111 年度「山崩潛勢評估與觀測技術防災應用」計畫，並延續前期(104-107 年)計畫的執行成果，進行全臺環境地質資料更新及山崩潛勢調查分析，持續研發防災導向的區域性降雨引致山崩潛勢分析模式與精進、光達地貌之岩體滑動區判釋及研發多元遙測尺度於山崩災害調查技術，加強防災整合資訊平台與政府整體災害防救科技，以有效提升政府防災決策資訊效能。

本計畫於期末階段已完成高山區之岩性組合圖及岩體強度分級圖，亦重新分析北北基與屏東縣之斜坡單元山崩潛勢。各尺度之山崩調查技術，已選擇測區進行試驗，了解各方法之適用性，以便後續手冊編撰。同時也蒐集了 30 筆山崩災害案例，其中有 11 個案例進行現地調查，並進行各案例之降雨特性分析。

關鍵詞：山崩潛勢、坡地災害警戒雨量、山崩調查技術、防災預警資訊平台

Abstract

For this reason, government agencies commit to improving the efficiency of disaster mitigation in recent years. Based on results from the previous project, this project aims to improve the rainfall threshold and susceptibility of rainfall-induced landslide, update environmental geological maps and establish multiple-stage remote sensing landslide survey approach for disaster mitigation during rainfall period. Furthermore, the analysis of the project will contribute to upgrading the national-wide environmental geologic map and provide competent authority to make decisions reducing the geohazard risk.

In the final-stage, this project has initially completed the lithologic combination map of the high mountain area and the rock mass strength classification map, and also constructed the attribute data of each slope unit within the year(2020). The landslide investigation techniques of various scales have selected the study area to conduct experiments to understand the applicability of each method for the subsequent manual compilation. Meanwhile, 30 cases of landslide disasters were collected, and the rainfall characteristics of each case were analyzed.

Keywords: landslide susceptibility, rainfall threshold, landslide survey technique, early warning information system

一、前言

近年來臺灣地區因地震與連續風災，導致各處坡地災害頻傳。由於坡地地質災害具有在空間上重覆發生之特性，所以無論是山崩或土石流等地質災害，若能預先做好潛在災區的調查分析、評估災害危險度，建立一套災害潛勢評估方法，即可有效抑制災害發生，產生預防效果。有鑑於此，各級政府機關皆積極投注人力及經費，進行各類災害潛勢調查與警戒雨量評估，建置防災整合資訊平台，並用於山坡地之國土規劃、開發利用及建構坡地災害預防體系。

本計畫配合「行政院災害防救應用科技方案」第3期研發課題，與地調所108-111年度「山崩潛勢評估與觀測技術防災應用」計畫，並延續前期(104-107年)計畫的執行成果，進行全臺環境地質資料更新及山崩潛勢調查分析，持續研發防災導向的區域性降雨引致山崩潛勢分析模式與精進、光達地貌之岩體滑動區判釋及研發多元遙測尺度於山崩災害調查技術，加強防災整合資訊平台與政府整體災害防救科技，以有效提升政府防災決策資訊效能。

二、研究地區與研究方法

本計畫於108年至111年內，各工項之分期分區皆不相同，斜坡單元岩屑崩滑型山崩潛勢更新之分期分區如圖1(a)，預計4年內完成全台斜坡單元岩屑崩滑型山崩潛勢更新，坡地環境地質圖資料更新之分期分區如圖1(b)，預計將完成高山區45幅1/25,000比例尺圖幅範圍，其餘工項則針對特定地區，研究方法詳述如後。

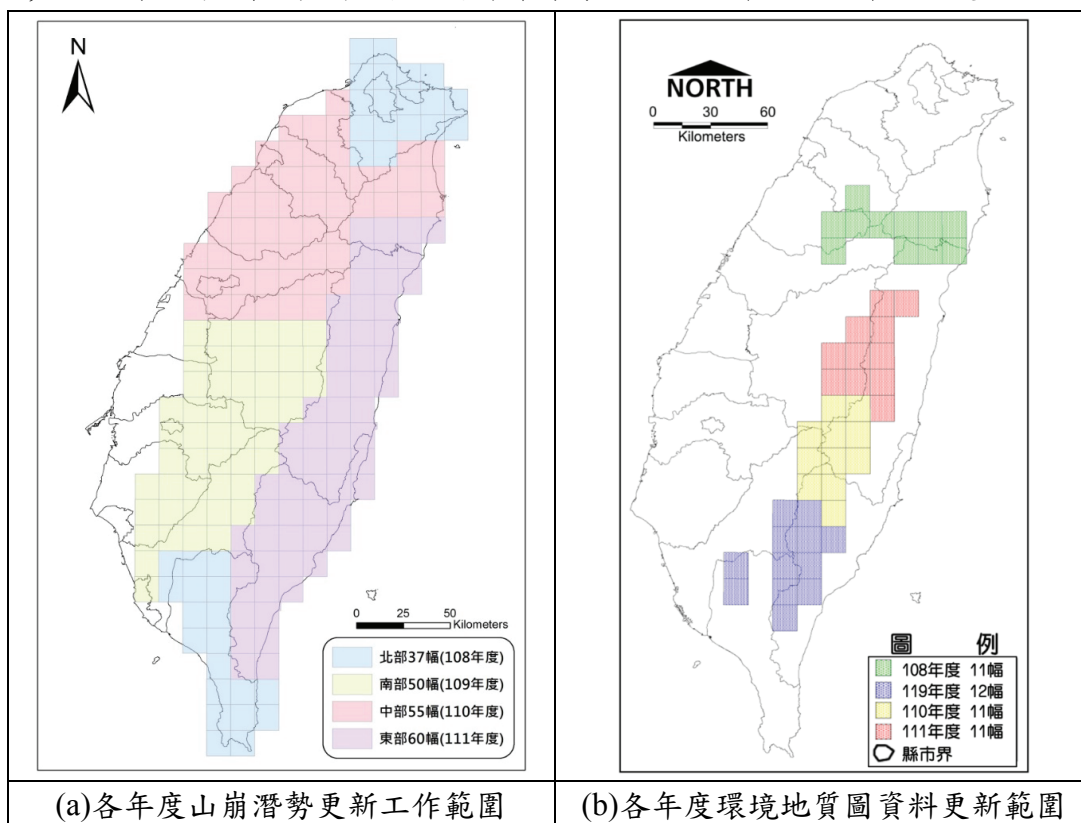


圖 1 計畫工作範圍與期程規劃

2.1 斜坡單元岩屑崩滑型山崩潛勢更新

2.1.1 山崩潛勢因子資料補充

山崩潛勢因子為影響山崩潛勢分析成果良窳的重要環節，因子是否能成功鑑別斜坡單元隸屬於山崩與非山崩及因子是否能詮釋山崩發生的物理意義甚為重要，然而不是所有因子資料都能順利取得，因此，技術上可執行、資料面取得無疑義者，常是最後決定所使用因子的關鍵。本工項沿用前期(99-103 年度)計畫所使用之因子及其製作方式(經濟部中央地質調查所，2014)，除各事件雨量因子需 202 圖幅重新內差外，其餘因子僅增建高山地區資料。

2.1.2 斜坡單元屬性建置

前期(99-103 年度)計畫所使用之斜坡單元缺少台灣中間的高山地區(如圖 1(b))，本計畫將使用地調所最新產製的全臺斜坡單元(將於 2019 年產置完畢)(經濟部中央地質調查所，2018)，進行斜坡單元屬性資料建置，將前節所述之因子資料轉換為各斜坡單元之屬性資料。

2.1.3 斜坡單元山崩潛勢更新

斜坡單元山崩潛勢分析係在評估研究區內每一個斜坡單元發生山崩之相對程度高低，為達此目的，本計畫採用斜坡單元建置山崩潛勢分析模式，為反映不同區域之山崩特性，故以不同分區分別建立山崩潛勢分析模式，將各分區具有代表性之山崩潛勢因子納入潛勢分析，經由模式準確率及模式統計檢定，可以瞭解各山崩潛勢因子於不同分區之影響性，進而瞭解各分區之崩塌特性。

斜坡單元山崩潛勢更新將使用前期(99-103 年度)計畫所建立之山崩潛勢更新流程(如圖 2)，本工項僅為補足深山地區之斜坡單元山崩潛勢，且近年來台灣並無大颱風事件造成崩塌災害，因此，僅沿用前期(99-103 年度)計畫產製之山崩目錄建置新版斜坡單元山崩潛勢(高山地區為無資料區)，不另外建置山崩目錄。

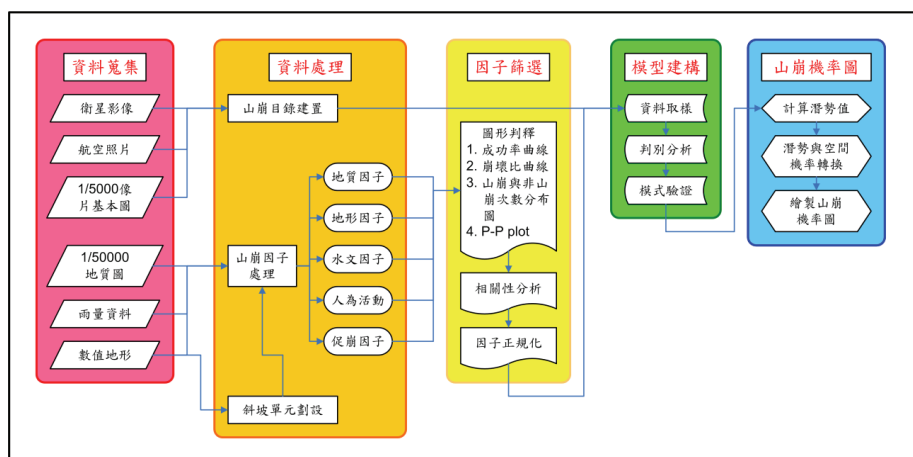


圖 2 山崩潛勢分析流程圖

2.2 區域性山崩雨量門檻滾動更新與斜坡單元山崩動態警戒模式研發

2.2.1 區域性山崩雨量門檻滾動更新

「降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(104年~107年)」考量颱風豪雨期間應變之需求，另提出一套流程，以國家災害防救科技中心(NCDR)之重點聚落資訊為基礎篩選出重點村里，並加權計算各村里之警戒雨量，可降低所需考量之斜坡單元數量及提升災中應變效率，輔助疏散避難決策參考，本期計畫將參考「降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(104年~107年)」提出之方法，考慮重點村里，加權計算各村里之警戒雨量，以下將詳述「降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(104年~107年)」之方法與成果。

重點村里之篩選方法如圖3所示，目前全臺易致災聚落中，共有912個位於本計畫範圍圖框，但部分村里可能含有一個以上之易致災聚落，經統整，此912個易致災聚落共計落於437個村里內。然而，因部分村里係位於較平坦之地區，本計畫並未於該範圍劃設斜坡單元，故最後僅以具有斜坡單元之392個村里做為本計畫之重點村里。

本計畫之重點村里警戒雨量設定方法如圖4所示，首先須確認重點村里之所在範圍，並依據該範圍篩選落於其內之重點斜坡單元。斜坡單元可依據其潛勢值分為第一、二、三類，其中第一類之潛勢最高，故其警戒值較小；第二類之潛勢次之，故其警戒值居中；第三類之潛勢較低，故其警戒值相對較高。本計畫建立兩種警戒雨量值，其一為考量所有斜坡單元，其二為僅考量發生過崩塌之斜坡單元，並採面積加權方式計算各村里之警戒值後，以50mm、25mm等不同級距簡化。

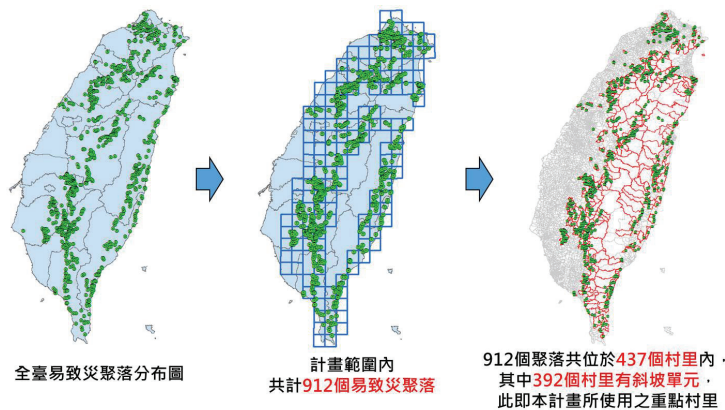


圖3 重點村里篩選流程

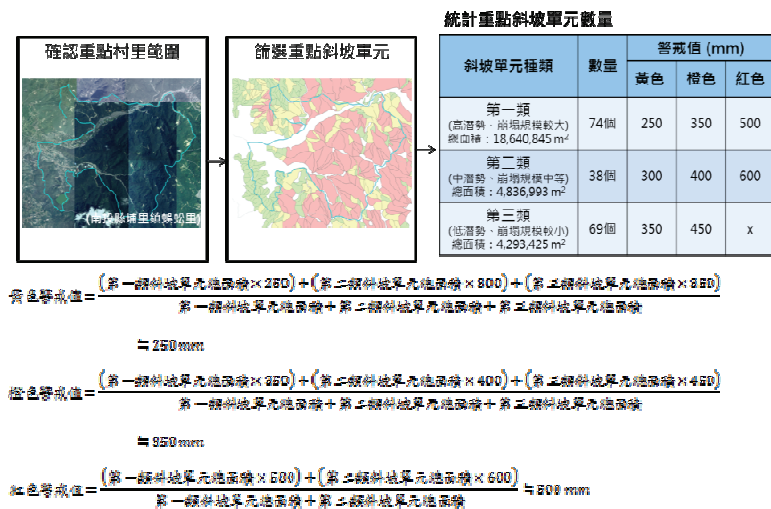


圖4 重點村里警戒雨量設定流程

2.2.2 區域性岩屑崩滑型山崩之警戒雨量值驗證

計畫執行期間(108-111 年度)之災害事件為本計畫驗證山崩警戒雨量值重要案例資料，於完成災害案例資料蒐集後，即可依據該災害所在位置，查詢其所屬之斜坡單元(slope unit, Xie et al., 2004)，經與前期計畫分析成果查詢比對後(經濟部中央地質調查所，2014)，即可得知該斜坡單元所屬區域(北、中、南、東)、所屬潛勢等級分析成果(高、中、低)，以及其山崩警戒雨量值。將該次災害事件的發生時間、降雨歷程等資訊納入後，便可進一步確認該災害之警戒過程(圖 5、表 1)。若災害發生前達到橙色或紅色警戒燈號，則表示其達到中危險等級或高危險等級，並可成功預警該災害；若僅達到綠色或黃色燈號，則需進一步確認其原因，例如是否為既有災害復發之案例等，並加以記錄，提供未來山崩警戒雨量率定檢討使用。

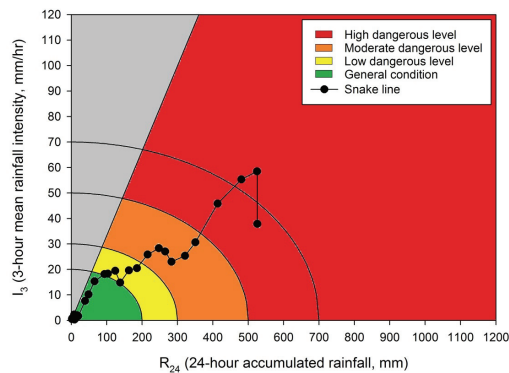


圖 5 山崩災害降雨歷程與警戒過程示意圖(經濟部中央地質調查所，2014)

表 1 山崩雨量門檻警戒燈號表(經濟部中央地質調查所，2014)

	高發生率 (>=90%)	中高發生率 (>=60%)	中發生率 (>=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

2.3 坡地環境地質圖資料更新

2.3.1 高山區岩體滑動圈繪

本計畫之岩體滑動判釋工作，主要採用經濟部中央地質調查所「[國土保育之地質敏感區調查計畫](#)」於臺灣中部區域之 1 m 數值高程模型(DEM)作為基礎圖資，並以 ArcGIS 自行產製坡度圖、天空開闊度圖、地上開闊度圖、地下開闊度圖及多方位日照陰影圖供岩體滑動綜合研判，此外本計畫亦參考可取得之衛星影像(如 google Earth 或航照正射影像)作為輔助判釋圖資，以瞭解相關災害歷史與地形演育。天空開闊度圖可呈現地表上稜線與河谷特徵，相較於地上開闊度(突顯地表起伏特徵)與地下開闊度圖(增揚地形凹陷之谷地)僅能提供單一特徵，其可於同張影像研判地表隆起與凹陷地貌，且不受日照角度所衍生之遮蔽效應影響分析正確性(Yokoyama et al., 2002; Zakšek et al., 2011; 陳奕中等，2014)，其判釋分析流程如圖 6 所示，判釋之方法則係參考國外岩體滑動地形貌圈繪文獻(Soeters and van Westen, 1996; 上野將司，2012; Agliardi et al., 2012; Chigira, 2011, 2012, 2014)。

另為了提供本計畫環境地質圖之潛勢評估使用，本節所圈繪之岩體滑動採專家

法進行評估，依據現生地形貌特徵所反映之活動性進行潛勢分級(表 2)，將圈繪之岩體滑動點依據地形貌特徵，區分為低(未圈繪任何岩體滑動特徵)、中低(可判釋崩崖與主崩體)、中(主崩體具備活動特徵或不利之地形因子)及高潛勢(近期有較明確活動跡象者)。

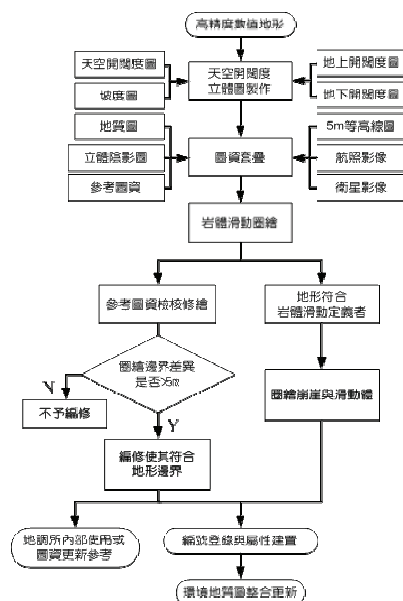


圖 6 岩體滑動區判釋流程圖

表 2 岩體滑動災害潛勢分級表

潛勢與特徵	低	中低	中*	高**
崩崖	無	存在	崩崖面圓潤	崩崖面新鮮、邊緣呈銳利狀；崩崖後緣存在張力裂隙者；
滑動塊體	無	存在	位於順向坡地形； 具多區堆積塊體、次崩崖或反斜崖；	頭部具有多階高程差異之副崩崖與分離塊體地貌； 主崩體內塊體龜裂，植生異常；
坡體現生活動特徵	無	無	具雙溝同源特徵； 樹枝狀蝕溝入侵且發育密集； 道路與溪流通過或砍腳； 坡趾較坡頂開闊； 坡趾曾發岩屑崩滑者；	位於溪流攻擊岸； 前緣呈潰散狀(不穩定物質多)；
山崩目錄	無	無	山崩目錄曾有災害紀錄	近期(10年內)曾頻繁發生崩塌
監測資料	無	無	設有觀測站，但滑移跡象不明確者	設有觀測站，且有明確變位者
*中潛勢：滑動塊體或坡體現生活動特徵所列地貌只要符合其一，即視為中潛勢岩體滑動				
**高潛勢：滑動塊體或坡體現生活動特徵所列地貌需全部滿足，視為高潛勢岩體滑動				

2.3.2 高山區圖幅資料更新

岩性組合圖及岩體強度分級圖需要大量野外資料方能完成，然而高山地區人車不可及，使得調查非常困難，因此，將使用既有資料以填圖的方式補足缺漏的圖幅，其方式為以地調所易淹水計畫(經濟部中央地質調查所，2013)產製之流域地質圖為基底，搭配前期(91-99 年度)「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置」、「地質敏感區災害潛勢評估與監測-高山聚落地區地質災害基本調查」計畫之環境地質資料庫，利用相同岩層、岩性及年代等方式推估岩性組合及岩體強度，填滿高山地區之圖幅。

中央地質調查所於 91-99 年期間，逐年分圖幅建立環境地質資料及地質災害潛

勢，環境地質資料主要由各種地質現象組成，而地質災害潛勢則利用前述環境地質資料為淺層崩塌、落石及岩體滑動三種崩塌形式進行潛勢分析。傳統上，環境地質資料之建立，必須先蒐集完整的地貌現況及過去災害歷史，然而考量時間期程、研究區幅員廣闊及地質現象再次發生頻率，本計畫蒐集經濟部中央地質調查所建立之各類型崩塌地 GIS 圖層，以前期(經濟部中央地質調查所，2010)計畫成果為基底，利用航照、等高線及立體彩繪明暗圖，針對環境地質資料中的淺層崩塌、落石、岩體滑動及順向坡進行整合與更新，建立最新一期的山崩目錄，並據以更新環境地質圖資，同時採用前期計畫建立之潛勢評估方法(經濟部中央地質調查所，2010)，針對新發生岩屑崩滑、落石及岩體滑動等災害之區位，更新其地質災害潛勢。本計畫僅針對環境地質圖中之岩屑崩滑、落石、岩體滑動及順向坡等項目進行更新，目標為製作最新一版的山崩目錄，因此蒐集計畫成果為全臺灣所產製的各類型廣域山崩目錄，並以表 3 所列之中央地質調查所多年來建立之山崩目錄為主，其餘各單位產製之山崩目錄為輔進行整併與更新。環境地質圖資彙整流程分為三部分，分別為岩屑崩滑、落石及岩體滑動，順向坡部分則直接採用地質敏感區參據資料中的順向坡圖層，彙整流程如圖 7。潛勢更新部分，本計畫採用「高山聚落地區地質災害基本調查計畫」計畫所定義之專家評分法，依據專家現場崩塌調查累積之地質經驗，針對各種崩塌因子給予一評估條件，再將各因子評估條件疊合地形、地質等資料，經由分析評估後，更新落石潛勢、岩屑崩滑潛勢、岩體滑動潛勢等三類地質災害潛勢。此方法定性評估每個斜坡是否具有崩塌特性，根據不同專家評分規則，判定斜坡單元之潛勢高低，各類型崩塌判定條件如表 4(修改自經濟部中央地質調查所，2010)。

表 3、各計畫建立之山崩目錄一覽表

計畫時程	計畫名稱	計畫簡稱	山崩目錄類型及底圖
91-95	都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫	都會區周緣環地資料建置	岩屑崩滑、落石、岩體滑動及順向坡(航照)
96-99	高山聚落地區地質災害基本調查計畫	高山聚落地質災害調查	岩屑崩滑(衛星影像) 岩屑崩滑、落石、岩體滑動及順向坡 (航照)
96-102	易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置	易淹水地區地質調查	岩屑崩滑(衛星影像) 岩屑崩滑、落石、岩體滑動及順向坡 (航照)
96-99	都會區周緣坡地山崩潛勢評估	都會區周緣山崩潛勢評估	岩屑崩滑(衛星影像)
100-103	強化豪雨引致山崩之即時動態潛勢評估與警戒模式發展	動態潛勢評估	
100-101	莫拉克颱風災後復建計畫-國土保育之地質敏感區調查分析計畫	國土保育計畫 I	大規模崩塌地(光達地形)
102-104	國土保育地質敏感區調查分析計畫	國土保育計畫 II	

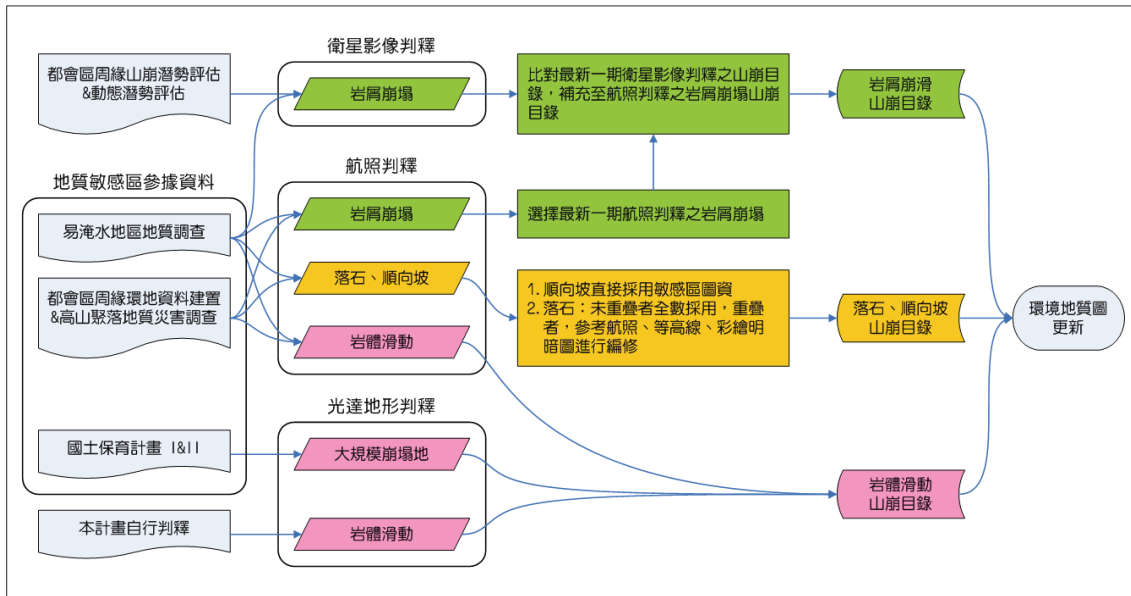


圖 7 環境地質圖資彙整與更新流程圖

表 4、各崩塌類型判定條件一覽表

崩塌類型	判定條件
岩體滑動	一、本計畫自行圈繪之岩體滑動地貌特徵： 使用本計畫自行定義之高、中、中低潛勢。 二、潛在大規模崩塌地： (一) 高潛勢(曾發生岩體滑動) (二) 中潛勢(不曾發生岩體滑動) 三、整合資料： (一) 高潛勢(岩體滑動山崩目錄及舊版岩體滑動高潛勢區) (二) 中潛勢(順向坡)
落石	一、落石高潛勢： (一) 落石山崩目錄 (二) 舊版落石高潛勢區 二、落石中潛勢：坡度>55度且岩體強度分級為 I 至 IV，塊狀或互層狀堅硬岩層。 三、落石中低潛勢：坡度>55度且岩體強度分級為 V 至 VII，軟弱岩層。
岩屑崩滑	一、岩屑崩滑高潛勢： (一) 岩屑崩滑山崩目錄 (二) 坡度於 40~55 度且岩體強度分級為 V 至 VII，軟弱岩層。 二、岩屑崩滑中潛勢： (一) 坡度於 25~40 度且岩體強度分級為 V 至 VII，軟弱岩層。 (二) 坡度於 40~55 度且岩體強度分級為 I 至 IV，塊狀或互層狀堅硬岩層。 三、岩屑崩滑中低潛勢： (一) 坡度於 10~25 度且岩體強度分級為 V 至 VII，軟弱岩層。 (二) 坡度於 25~40 度且岩體強度分級為 I 至 IV，塊狀或互層狀堅硬岩層。

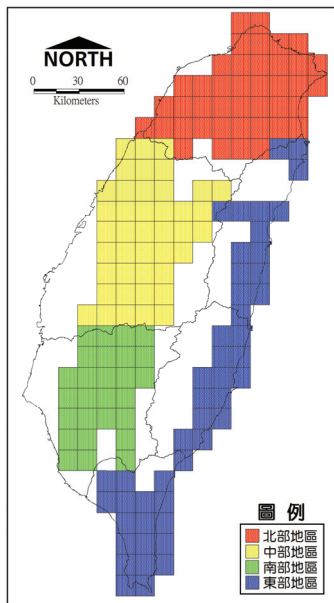
三、研究成果

3.1 斜坡單元岩屑崩滑型山崩潛勢更新

過去(100-103 年度)計畫已完成斜坡單元山崩潛勢(經濟部中央地質調查所，2014)，然而過去計畫之研究範圍(如圖 8.1)缺少台灣中間的高山區，本(109)年度將使用過去(100-103 年度)計畫資料，建立一版全台灣斜坡單元山崩潛勢(如圖 8.2)，補足缺漏的高山區斜坡單元山崩潛勢。

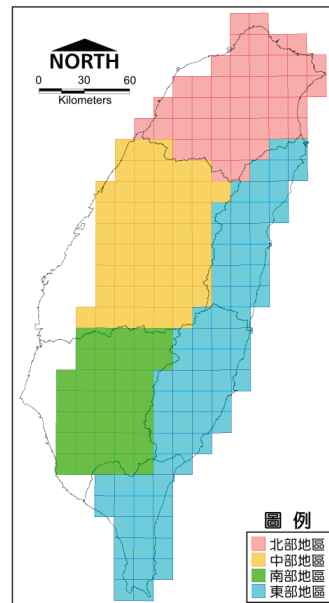
潛勢分析所需之因子沿用過去(100-103 年度)計畫所使用之因子及其製作方式(經濟部中央地質調查所，2014)，除各事件雨量因子需 202 圖幅重新內差外，其餘因子則增建高山區，並彙整過去(100-103 年度)計畫因子成果。

因子建置完成後，須將各因子轉化為各斜坡單元之屬性資料，過去(100-103 年度)計畫所使用之斜坡單元缺少台灣中間的高山區，若本計畫自行建置高山區斜坡單元建置曠日廢時，且都會區周緣坡地與高山聚落地區之斜坡單元分別由不同單位建置，而後合併完成，其劃分準則與人工編修標準差異甚大。因此，本計畫將使用中央地質調查所「山崩與地滑地質敏感區進階劃定資料增建」計畫產製之斜坡單元，進行屬性資料建置，此版斜坡單元為同一單位建置完成，人工編修標準較為一致，較能減少分析誤差。



一、 圖 8.1 過去(100-103)計畫工作
範圍

Fig. 8.1 The scope of previous
project(2011-2014)



二、 圖 8.2 本期計畫分析
範圍

Fig. 8.2 The scope of this project

3.2 山崩災害案例調查與區域性山崩雨量門檻滾動更新

今(109)年度至期末階段，累積蒐集 32 筆山崩災害資料，如表 5，已遴選 11 處山崩災害案例進行重點調查，並與既有山崩降雨預警系統進行驗證。

表 5 本(109)年度蒐集災害案例

項次	災害日期	災害時間	災害地點	斜坡單元分類	經度	緯度	災害類型
1	20200318	15:00	投 131 縣道 4K+900	中部第三類	120.97	23.93	岩屑崩滑
2	20200321	21:00	花蓮磯崎村	東部第三類	121.54	23.71	岩屑崩滑
3	20200523	下午	台 8 線 63K+400	中部第一類	121.18	24.26	岩屑崩滑
4	20200523	N/A	台 8 線 27K+500 裡冷隧道南口	中部第三類	120.96	24.17	落石
5	20200523	09:45	台 9 線 35K+800	北部第三類	121.69	24.94	岩屑崩滑
6	20200523	N/A	台 9 戊線 8K+500	南部第二類	120.85	22.26	岩屑崩滑
7	20200523	05:00	基隆市湖海路二段 2K+700	北部第三類	121.71	25.16	落石
8	20200522	N/A	台 24 線 45K+100~+400	南部第一類	120.76	22.73	岩屑崩滑
9	20200525	清晨	屏東大漢林道 9K	東部第三類	120.67	22.42	岩屑崩滑
10	20200525	N/A	嘉 143 縣道 4K+150	南部第一類	120.59	23.34	岩屑崩滑
11	20200529	清晨	苗 62 線 5.3K	中部第一類	120.91	24.46	岩屑崩滑
12	20200529	清晨	台 14 線觀音 3 號隧道旁	中部第三類	120.91	23.98	岩屑崩滑
13	20200528	11:00	台 8 線 10K+300	中部第三類	120.84	24.17	落石
14	20200531	09:00	宜蘭縣鳩之澤溫泉區	北部第一類	121.51	24.55	岩屑崩滑
15	20200607	N/A	南投縣水里三十甲地區	中部第三類	120.86	23.72	岩體滑動
16	20200802	早上	嘉 166 線道 66K	中部第二類	120.63	23.53	岩屑崩滑
17	20200805	08:00	投 131 縣道 24K	中部第一類	120.87	23.88	岩屑崩滑
18	20200810	17:00	桃園大溪環湖路 2 段 2.2k	北部第二類	121.27	24.82	落石
19	20200823	07:43	台 9 丁線 39.5K	東部第一類	121.79	24.40	岩屑崩滑
20	20200824	09:20	屏 106 線 5K	南部第一類	120.66	22.57	岩屑崩滑
21	20200826	下午	台 28 線 24K500	高山區*	120.43	22.88	岩屑崩滑
22	20200907	08:00	台 24 線 33K+700	南部第二類	120.71	22.74	岩體滑動
23	20200916	19:40	台 20 線 154K+700	高山區*	120.99	23.25	岩屑崩滑
24	20200923	晚上	台 9 丁線 37K+900	東部第一類	121.79	24.41	落石
25	20200927	早上	基隆市中山一路 241 巷	北部第二類	121.74	25.14	岩屑崩滑
26	20200929	20:48	台 9 線 47K+500	北部第二類	121.74	24.90	岩屑崩滑
27	20201013	20:46	台 9 線 120K+200	東部第一類	121.82	24.48	岩屑崩滑
28	20201019	02:36	台 9 線 147K+500	高山區*	121.75	24.29	落石
29	20201023	20:40	台 7 線 68K+300	北部第二類	121.48	24.64	落石
30	20201106	19:00	台 20 線 191K+200	高山區*	121.08	23.15	岩屑崩滑
31	20201113	21:30	台 9 線 46K+550	北部第二類	121.73	24.89	岩屑崩滑
32	20201113	23:50	台 9 線 42K+500	北部第二類	121.72	24.90	岩屑崩滑

備註：粗黑體為經現勘災例，高山區*：尚未有斜坡單元分類

本計畫彙整本(109)年度降雨誘發之淺層岩屑崩滑且有明確發生時間記錄的重要災例(崩塌面積達 400 m²)，進行降雨誘發山崩警戒資訊系統驗證(表 6)，驗證成果顯示在 10 處災例中，有 4 處可成功提前警戒，6 處未能於災害發生前預警，其中未能提前預警的 6 處案例中，有 2 處屬於新生崩塌，有 4 處屬於舊有崩塌地復發(擴大崩塌)，且於甚小之累積雨量(R24)即發生崩塌災害，各案例警戒歷程概述如下。

表 6 本(109)年度山崩災害案例模式驗證成果

編號	路段或附近地標	地質條件簡述	山崩類型	斜坡單元分類	警戒燈號及時間	災害發生時間	警戒時間	結果
1	投 131 縣道 4k+900	白冷層(厚層石英岩質砂岩夾薄互層)	擴大山崩	中部第三類	未警戒	3/18 15:00	--	X
2	台 9 戊線 8k+500	潮州層(硬頁岩、板岩、砂頁岩互層)	新生山崩	南部第二類	紅色燈號 5/23 05:00	5/23 06:00	災前 1 小時	O
3	台 24 線 45k+100~+400	潮州層(硬頁岩、板岩、砂頁岩互層)	擴大山崩	南部第一類	紅色燈號 5/22 18:00	5/22 18:00	災害發生	O
4	屏東大漢林道 9k	潮州層(硬頁岩、板岩、砂頁岩互層)	新生山崩	東部第三類	未警戒	5/24 04:00	--	X
5	嘉 143 縣道 4k+150	長枝坑層(砂岩及砂頁岩互層)	擴大山崩	南部第一類	未警戒	5/25 15:00	--	X
6	苗 62 線 5k+300	南莊層(砂岩及頁岩互層，含煤層)	新生山崩	中部第一類	未警戒	5/29 05:00	--	X
7	南投縣水里三十甲地區	樟湖坑頁岩	擴大山崩	中部第三類	未警戒	6/7 09:00	--	X
8	屏 106 線 5k	潮州層(硬頁岩、板岩、砂頁岩互層)	新生山崩	南部第一類	黃色燈號 8/24 08:00	8/24 09:00	災前 1 小時	O
9	台 24 線 33k+700	潮州層(硬頁岩、板岩、砂頁岩互層)	擴大山崩	南部第二類	未警戒	9/7 08:00	--	X
10	台 9 線 120k+200	潮州層(硬頁岩、板岩、砂頁岩互層)	新生山崩	東部第一類	黃色燈號 10/13 20:00	10/13 20:00	災害發生	O

山崩雨量門檻滾動更新所採用的新生災例與更新災例樣本資料中，北部區域的高潛勢斜坡單元災例並無增加也無更新；中潛勢斜坡單元災例增加 1 處，但沒有更新災例；低潛勢斜坡單元災例增加 17 處，但並無更新災例。中部區域的高潛勢斜坡

單元災例增加 5 處，更新 2 處；中潛勢斜坡單元災例增加 3 處，但並無更新災例；低潛勢斜坡單元災例增加 7 處，更新 4 處。南部區域的高潛勢斜坡單元災例增加 4 處，更新 9 處；中潛勢斜坡單元災例增加 1 處，更新 3 處；低潛勢斜坡單元災例增加 4 處，更新 5 處。東部區域的高潛勢斜坡單元災例增加 3 處，但並無更新災例；中潛勢斜坡單元災例增加 2 處，也無更新災例；低潛勢斜坡單元災例增加 4 處，更新 7 處。各區域山崩雨量門檻滾動更新所採用的新增災例與更新災例數量分布統整如表 6 所示。

由於山崩雨量門檻設置考慮到操作性，在 24 小時累積雨量(R24)中將會以 25/24hr mm 的倍數設定雨量門檻，而在 3 小時平均降雨強度(I3)將會以 5 mm/hr 的倍數設定雨量門檻，因此如果雨量門檻滾動更新後數值只有少許變化，將不會調動山崩雨量門檻。考量上述新增災例、更新災例與雨量門檻設定條件後，山崩雨量門檻滾動更新前後成果比較如表 7 至表 10 所示，滾動更新成果(雨量門檻有調動處以粗體字表示)顯示，北部區域山崩雨量門檻的更動數量最多，而東部區域山崩雨量門檻的更動數量最少。其中北部區域的第二類中潛勢斜坡單元中，高發生率、中高發生率、中發生率與低發生率的 I3 雨量門檻皆往上調動；第三類低潛勢斜坡單元中，也有類似現象，R24 與 I3 雨量門檻皆往上調升。中部區域中，第一類高潛勢斜坡單元的中高發生率 R24 與 I3 雨量門檻向下調整；第三類低潛勢邊坡的高發生率 R24 雨量門檻上修，但中高發生率、中發生率與低發生率的 I3 雨量門檻則為下修。南部區域中，只有第三類低潛勢邊坡的高發生率、中高發生率與低發生率的雨量門檻有所調整，其中高發生率與中高發生率的 R24 雨量門檻向下調整至 500 mm 和 400 mm，低發生率的 R24 與 I3 雨量門檻則皆為向上調動。在東部區域中，只有中發生率的 R24 與 I3 雨量門檻有因滾動更新而降低。總結而言，滾動更新後，山崩雨量門檻經過調整的數量約佔總數量的 35%。

表 7 北部區域山崩雨量門檻警戒燈號滾動更新前後比較

		高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
		R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類- 高潛勢	原始	700(702)	70(67)	500(478)	50(49)	300(283)	30(29)	200(192)	20(20)
	更新 後	700(702)	70(67)	500(478)	50(49)	300(283)	30(29)	200(192)	20(20)
第二類- 中潛勢	原始	550(549)	50(51)	350(375)	35(35)	250(259)	25(24)	150(159)	15(15)
	更新 後	550(532)	60(59)	350(356)	40(41)	250(246)	30(29)	150(169)	20(20)
第三類- 低潛勢	原始	450(470)	45(46)	300(318)	30(32)	200(217)	20(22)	100(121)	10(12)
	更新 後	450(474)	50(52)	350(332)	40(39)	250(236)	30(28)	150(142)	20(17)

表 8 中部區域山崩雨量門檻警戒燈號滾動更新前後比較

		高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
		R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類- 高潛勢	原始	750(726)	65(66)	500(485)	45(44)	350(326)	30(30)	250(230)	20(22)
	更新 後	750(726)	65(66)	450(460)	40(42)	350(326)	30(30)	250(230)	20(22)
第二類- 中潛勢	原始	600(586)	60(62)	400(421)	40(42)	300(294)	30(32)	200(221)	20(22)
	更新 後	600(586)	60(62)	400(421)	40(42)	300(294)	30(32)	200(221)	20(22)
第三類- 低潛勢	原始	450(457)	45(43)	350(330)	35(33)	250(259)	25(24)	150(153)	15(14)
	更新 後	500(524)	45(44)	350(337)	30(28)	250(251)	20(21)	150(142)	10(12)

表 9 南部區域山崩雨量門檻警戒燈號滾動更新前後比較

		高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
		R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類- 高潛勢	原始	750(745)	70(68)	600(610)	55(56)	450(438)	40(40)	300(291)	30(27)
	更新 後	750(743)	70(68)	600(592)	55(54)	450(436)	40(40)	300(285)	30(26)
第二類- 中潛勢	原始	650(657)	60(61)	500(498)	45(46)	350(368)	35(34)	250(236)	20(22)
	更新 後	650(657)	60(61)	500(498)	45(46)	350(368)	35(34)	250(236)	20(22)
第三類- 低潛勢	原始	550(539)	50(50)	450(430)	40(40)	300(316)	30(29)	200(167)	15(15)
	更新 後	500(498)	50(49)	400(424)	40(42)	300(316)	30(31)	250(254)	25(25)

表 10 東部區域山崩雨量門檻警戒燈號滾動更新前後比較

		高發生率 ($\geq 90\%$)		中高發生率 (60%)		中發生率 ($\geq 30\%$)		低發生率 ($< 30\%$)	
		R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃	R ₂₄	I ₃
第一類- 高潛勢	原始	700(702)	65(63)	450(468)	40(42)	350(366)	30(32)	250(237)	20(21)
	更新 後	700(700)	65(63)	450(467)	40(42)	350(356)	30(33)	250(237)	20(21)
第二類- 中潛勢	原始	500(500)	45(43)	400(392)	35(34)	300(300)	25(26)	200(196)	15(17)
	更新 後	500(500)	45(43)	400(423)	35(33)	300(300)	25(26)	200(196)	15(17)
第三類- 低潛勢	原始	450(433)	40(42)	350(326)	30(32)	250(239)	20(21)	150(164)	10(12)
	更新 後	450(427)	40(39)	350(326)	30(30)	200(211)	15(15)	150(151)	10(10)

3.3 坡地環境地質圖資料更新

3.3.1 高山區岩體滑動圈繪

本計畫於研究區內共計圈繪岩體滑動區 78 處(圖 9)，經統計圈繪岩體滑動區範圍所涵蓋之面積平均值為 14.2 公頃，岩體滑動特徵數化範例如圖 10 所示。本(109)年度 16 幅高山區圖幅進行判釋與數化圈繪，各 1/25000 圖幅之岩體滑動數量如表 11。茲以岩體滑動數量較多的奧萬大圖幅和東都大山圖幅為範例，挑選數處岩體滑動點位作為判釋圈繪示範區域，多數滑動岩體內均可見數塊次要滑動塊體和次崩崖，塊體內亦常有蝕溝發育與岩屑崩滑。

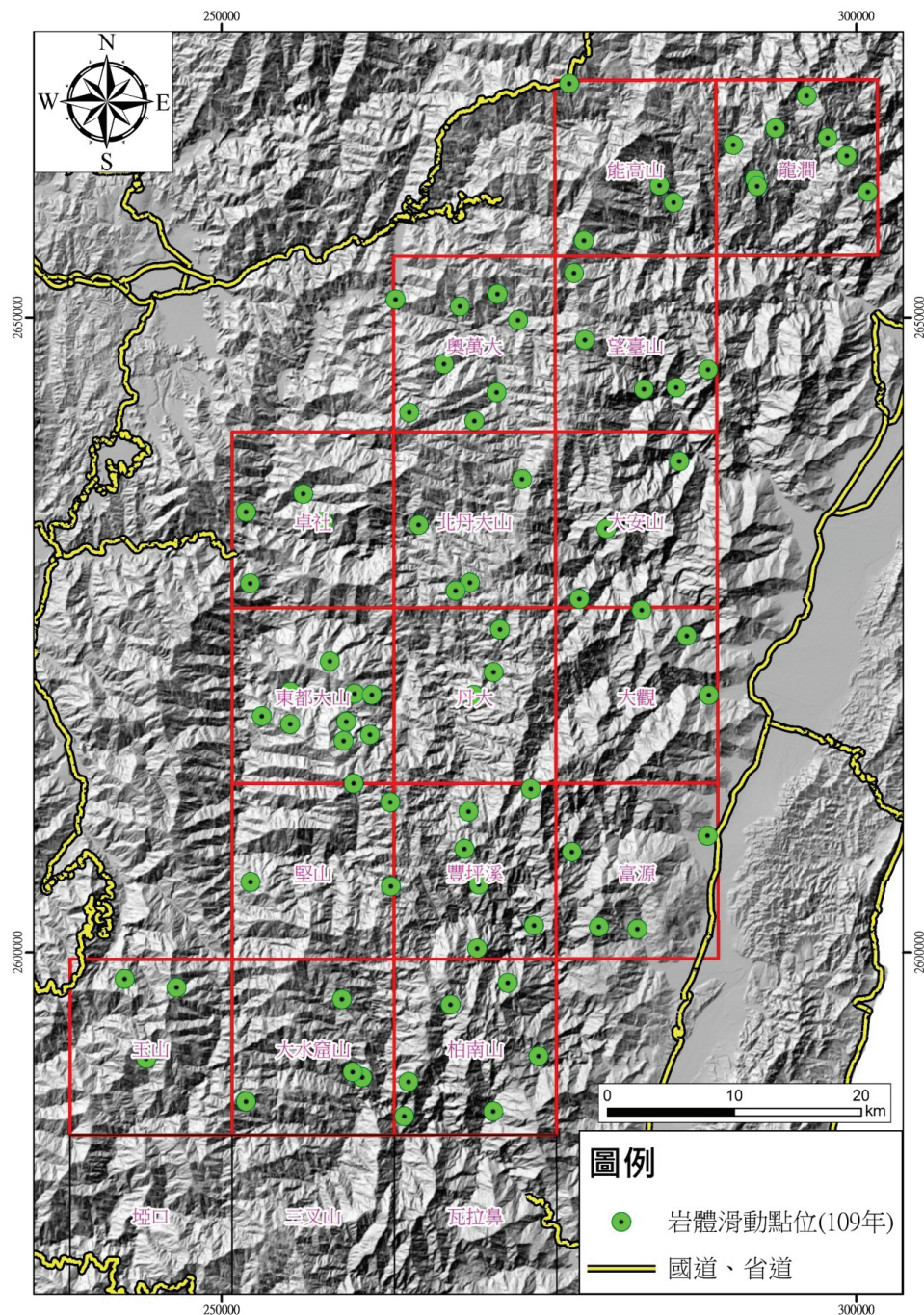


圖 9 108 年度岩體滑動判釋成果

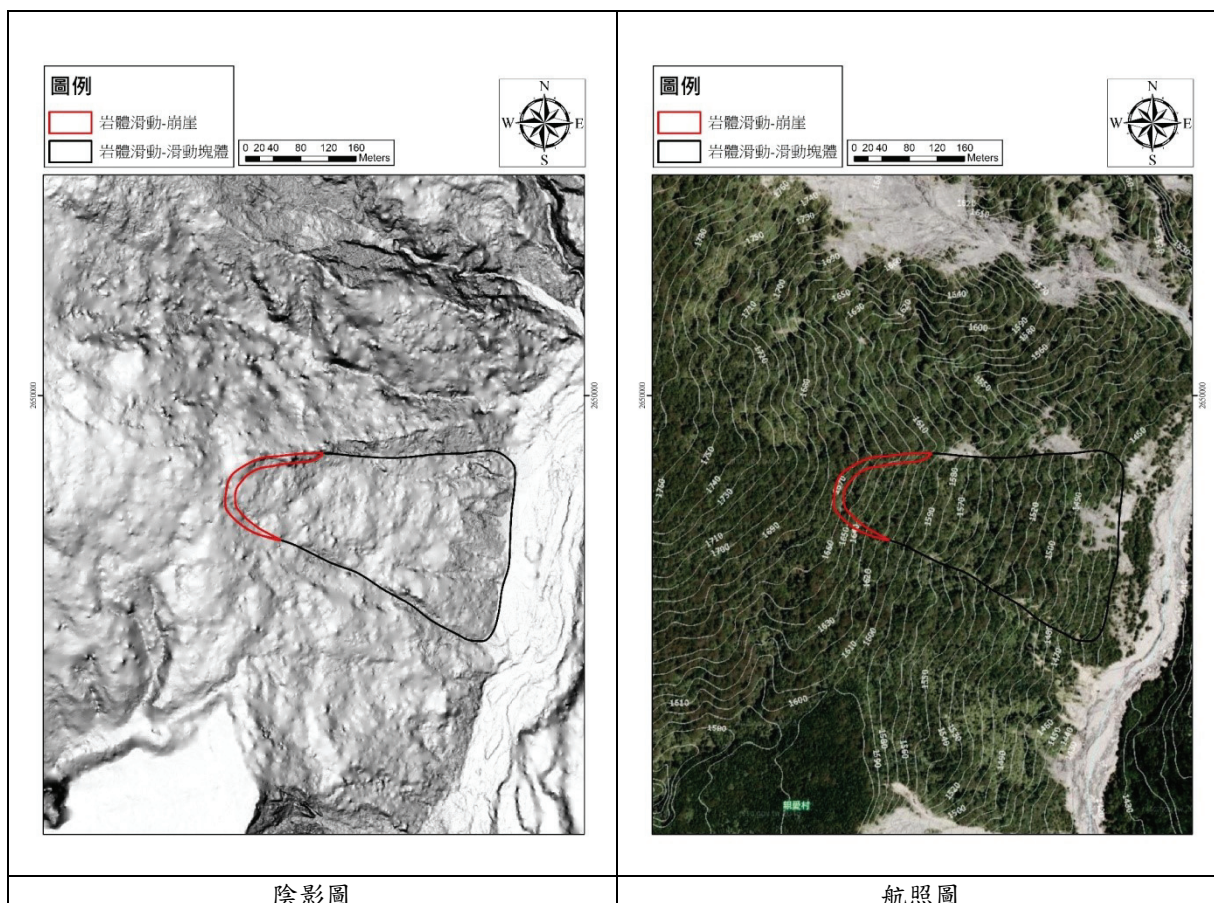


圖 10 岩體滑動特徵數化範例

表 11 109 年度圖幅岩體滑動判釋統計表

1/25000 圖幅編號	1/25000 圖幅名稱	岩體滑動 數量	1/25000 圖幅編號	1/25000 圖幅名稱	岩體滑動 數量
9619-4-NE	柏南山	6	9620-3-NW	東都大山	10
9619-4-NW	大水窟山	4	9620-3-SE	豐坪溪	6
9519-1-NE	玉山	3	9620-3-SW	堅山	3
9620-1-NW	望臺山	5	9620-4-NE	奧萬大	8
9620-1-SW	大安山	3	9620-4-SE	北丹大山	4
9620-2-NW	大觀	3	9620-4-SW	卓社	4
9620-2-SW	富源	4	9621-2-SE	龍澗	8
9620-3-NE	丹大	3	9621-2-SW	能高山	4
				總計	78

3.3.2 高山區圖幅資料更新

本計畫之環境地質圖現階段將以比例尺 1/25,000 圖幅作為計數單位，現已完成之圖幅名稱及其災害數量如表 12，部分成果範例如圖 10，此外，下表之岩體滑動數量為整合前述兩期航照判釋之山崩目錄，尚未包含本年度計畫自行判釋之岩體滑動山崩目錄及國土保育計畫之大規模崩塌地。最後呈現環境地質圖資時，若同一地理位置具有多種類型的崩塌，圖面上則依崩塌之危險程度呈現，疊圖順序由上而下為

岩體滑動、岩屑崩滑、落石及順向坡。

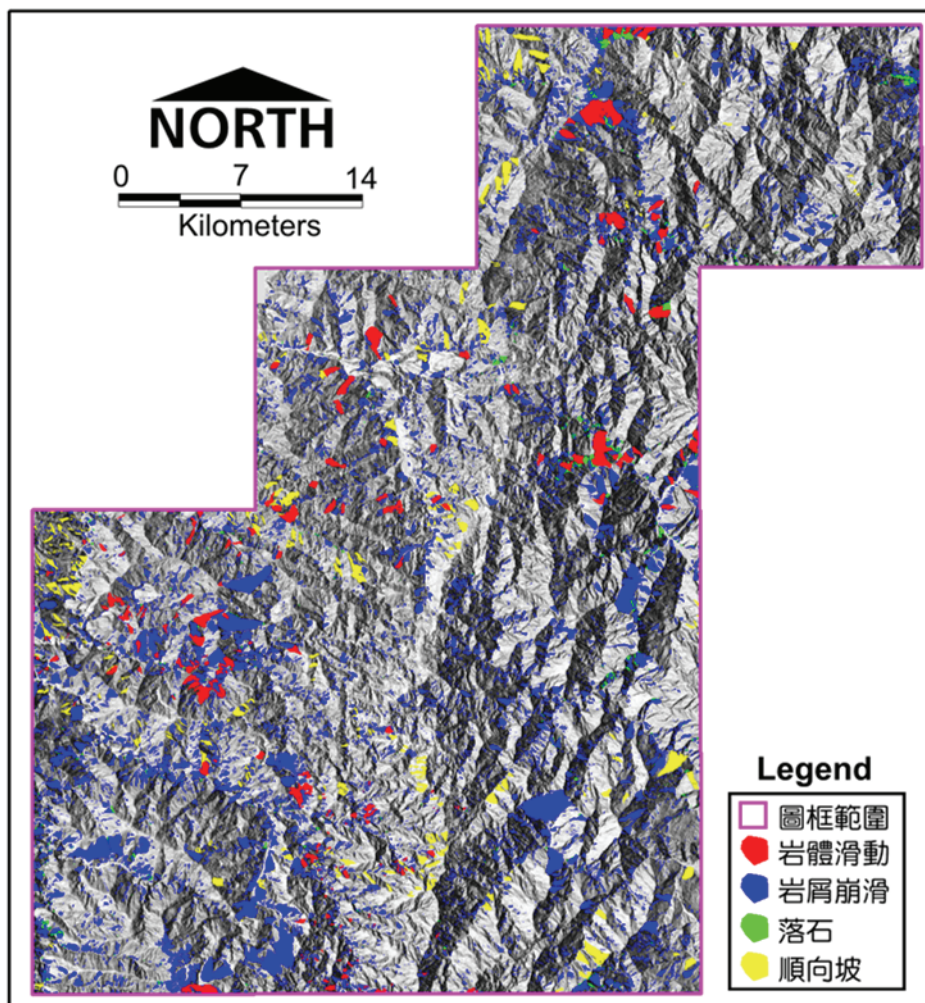


圖 11 環境地質圖資整合成果

表 12、各圖幅之各類型山崩數量一覽表

圖幅名稱	岩屑崩滑 數量	落石 數量	岩體滑動 數量	順向坡 數量	圖幅名稱	岩屑崩滑 數量	落石 數量	岩體滑動 數量	順向坡 數量
大安山	-	2022	95	6	東都大山	3	1348	237	15
大觀	-	2057	69	24	能高山	17	1817	210	44
丹大	78	2038	134	53	望臺山	18	1814	118	9
北丹大山	5	1871	68	33	奧萬大	23	1608	66	28
卓社	61	1564	214	80	龍澗	-	2298	72	13

3.4 環境地質圖及災害潛勢圖版面設計

前期(104-107 年度)計畫「降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新」已針對除高山區外 157 幅 1/25,000 圖幅範圍之環境地質圖及災害潛勢圖進行更新,然而 GIS 檔案不便於一般民眾閱讀,本(109)年度優先針對都會區周緣坡地範圍 101 幅圖幅範圍(如圖 11),每個圖幅設計圖版及圖例說明,圖 12 為本(109)年度暫定之版面,明(110)年度則持續調整修改,同時完成其餘圖幅,並製作圖幅說明書。

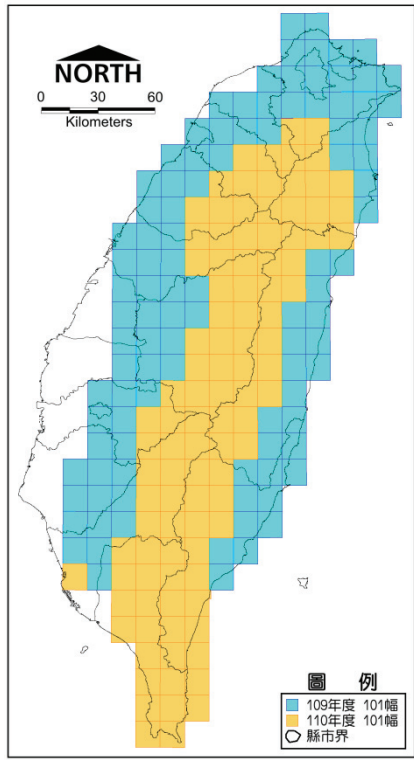
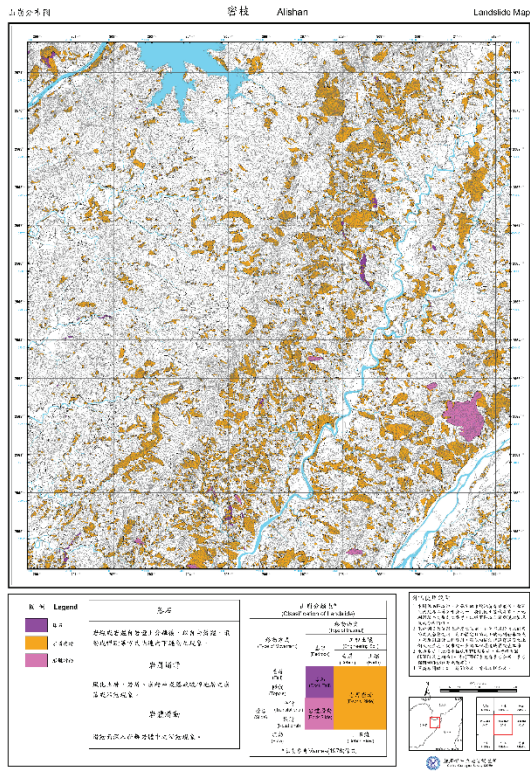
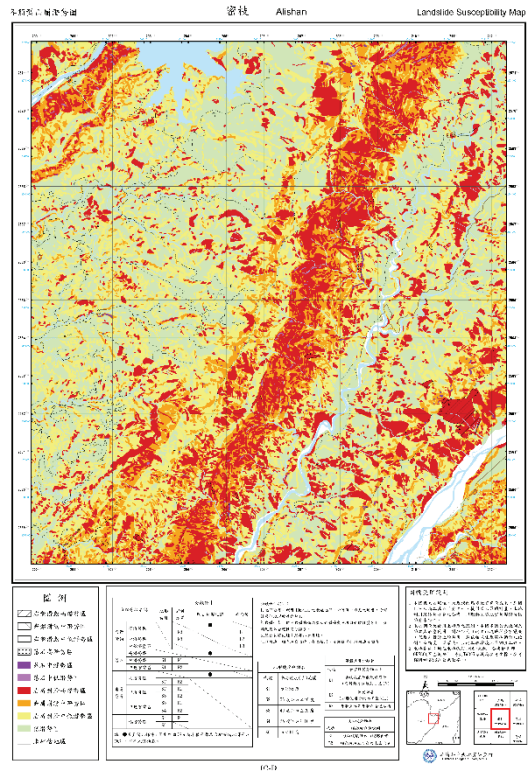


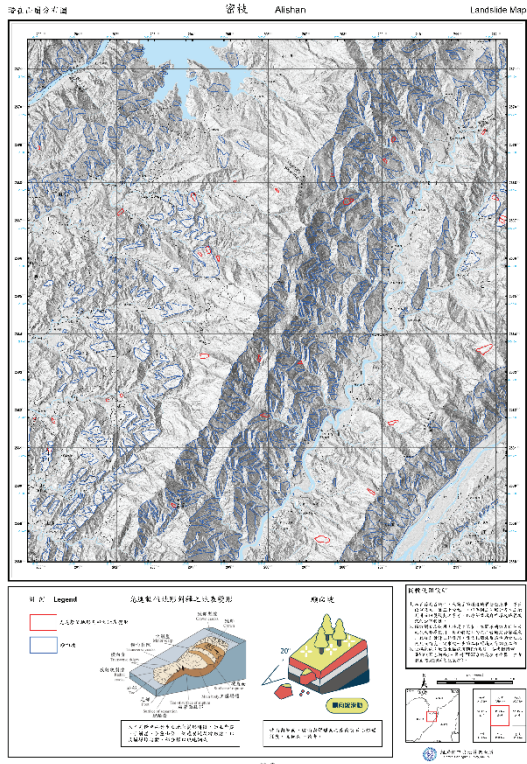
圖 11 環境地質圖及災害潛勢圖版面設計期程



(a) 山崩分布圖



(b) 災害潛勢圖



(c) 潛在山崩分布圖

圖 12 環境地質資料庫組圖版面

3.5 動態即時展示警戒模式系統更新

「降雨引發山崩預警資訊系統」目前已建置於國家高速網路與計算中心(圖 13)，本計畫除持續進行 QPESUMS 雨量介接、即時山崩警戒雨量門檻評估(圖 14)外，亦持續研擬開發村里警戒燈號展示功能，以提供防災人員於豪雨期間應變參考。



圖 13 「降雨引發山崩預警資訊系統」之入口首頁畫面

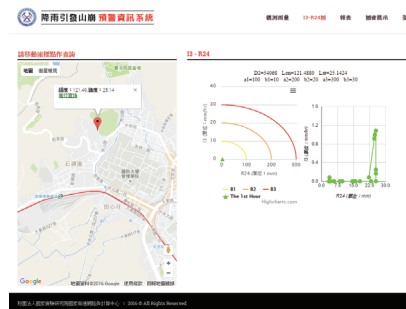


圖 14 斜坡單元山崩警戒雨量門檻運算

四、結論

今(109)年度本計畫共蒐集全臺32筆山崩災害資料，並依崩塌範圍與致災嚴重度

遴選重要之11處災點進行現地調查，其成果除提供山崩災害資料庫建檔之外，也選用適當之岩屑崩滑型案例提供前期計畫已完成之模式驗證使用。

本(108)年度山崩災害案例新生山崩降雨警戒模式驗證成果顯示，在挑選16處災害案例驗證中，有7處可成功提前警戒，有1處即將警戒時發生災害，共9處未能於災前警戒，經查驗後，發現其中未能成功警戒之9處案例中，有3處屬於新生山崩，有6處屬於舊有崩塌地復發(擴大山崩)，且於甚小24小時累積雨量即發生，舊有崩塌地再次復發，可能是坡面尚未穩定之情況下，雖降雨量不高但仍受地表逕流沖刷而致災。在挑選16處災害案例驗證中，有7處為新生山崩災例，因QPESUMS系統提供雨量資料不足，此7處新生山崩災例中，有1處沒有I3-R24降雨分析成果，剩餘6處新生山崩之誘發降雨量將作為既有新生山崩降雨警戒系統之滾動更新資料，由於滾動更新資料數目有限，故對於既有雨量門檻影響變動不大。

本(109)年度山崩降雨警戒系統驗證成果顯示，在經挑選的10處災害案例中，有4處可成功提前警戒，6處未能於災前預警，降雨山崩警戒系統成功率為40%，其中未能成功預警之6處案例中，有2處屬於新生山崩，有4處屬於舊有崩塌地復發(擴大山崩)，且於甚小之24小時累積雨量(R24)即發生崩塌災害。此外，山崩雨量門檻滾動更新中，納入52例新生崩塌災例與30例更新案例，滾動更新成果顯示北部區域山崩雨量門檻調動數量最多，東部區域山崩雨量門檻調動數量最少，山崩雨量門檻經過調整的數量約佔總數量的35%。

本計畫也成功運用震波訊號分析技術(GeoScan)尋找中等規模以上崩塌事件之發生時間，30起崩塌事件之芮氏規模ML為0.97-2.84、崩塌面積為1.04公頃至50.37公頃。進一步利用莫拉克崩塌事件與GeoScan偵測之30起事件資料完成線性回歸分析，獲得俱有高度線性相關係數($r=0.78$)之崩塌面積與規模ML關係式： $ML = 0.778 \log_{10}[\text{Area}] - 1.26$ 。GeoScan提供崩塌致災時間將有助於相關降雨門檻統計分析工作。

本計畫期末階段時，已完成共46例中等規模以上崩塌案例的降雨因子分析，發現大部分誘發中等規模以上崩塌災害的致災累積降雨量多在24小時內累積達成，且大部分中等規模以上崩塌案例自身的I3數值大於I6和I12數值，表示短時間內(3小時內)強降雨是影響中等規模以上崩塌災害發生的因素之一。

岩體滑動區判釋方面，岩體滑動區判釋主要以自行產製之天空開闊度立體圖配合相關遙測圖資進行研判，數化圈繪判釋準則以中央地質調查所定義之岩體滑動特徵進行判釋，並數化崩崖與主崩體特徵。109年度之計畫區內共計圈繪岩體滑動區78處，圈繪之岩體滑動區平均面積為14.2公頃。

環境地質圖資整合與更新方面，本計畫以地調所之地質敏感區參據資料為主，其餘各計畫產製資料為輔，建立各種類型山崩目錄整合與地質災害潛勢分析之執行規範，109年度之區域各類型山崩目錄已蒐集完畢，同時航照判釋之岩體滑動、落石及岩屑崩滑等山崩目錄已整合完成。此外，岩屑崩滑部分同時亦整合最新數期衛星影像判釋的山崩目錄，災害潛勢分析則針對有新增山崩之分析單元，重新進行潛勢更新，均已更新完成。目前已完成岩性組合圖、岩體強度分級圖、環境地質基本圖

及山崩災害潛勢圖。同時，針對前期計畫已完成之環境地質圖、山崩災害潛勢圖進行版面初步設計。

最後，為了提升防災應用之效率，本計畫均持續維護與更新動態即時展示警戒模式系統及坡地環境地質資料庫查詢系統，以提供斜坡單元即時警戒資訊，並提供災前準備之參考。

參考文獻

1. Agliardi, F. (2001) Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics, *Engineering Geology*, 59, 83-102.
2. Agliardi, F. (2012) Slow, deep-seated rock slope deformation. Czech Geological Survey - Geological Survey of Austria - UNIMIB, Educational Project Geological Field Trip and Workshop.
3. Chigira, M. (2009) September 2005 rain-induced catastrophic rockslides on slopes affected by deep-seated gravitational deformations, Kyushu, southern Japan, *Engineering Geology*, 108, 1-15.
4. Chigira, M. (2011) The Potential Area of Large-Scale Landslides (In Chinese). Scientific & Technical Publishing Co., Ltd: Taipei, Taiwan.
5. Chigira, M. (2014) Geological and geomorphological features of deep-seated catastrophic landslides in tectonically active regions of Asia and implications for hazard mapping. *Episodes*, 37(4), 284-294.
6. Chigira, M., Matsushi, Y., Tsou, C. Y., Hiraishi, N., Matsuzawa, M., Matsuura, S. (2012) Deep-seated Catastrophic Landslides Induced by Typhoon 1112 (Talas). *Disaster Prevention Research Institute Annuals*, Kyoto University, 55, 193-212 (In Japanese with English Abstract).
7. CloudCompare (version 2.6.2) [GPL software]. (2016). Retrieved from <http://www.cloudcompare.org/> (Jan. 28, 2019)
8. Fernandez., O. (2005) Obtaining a best fitting plane through 3D georeferenced data, *Structural Geology*, 27, 855-858.
9. Goodman, R. E. (1976) *Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks*, West Publishing, San Francisco.
10. Hoek, E., and Bray, J. W. (1977) *Rock Slope Engineering*, 2nd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, UK.
11. Phillips, F. C. (1971) *The use of stereographic projection in structural geology*, 3rd Edition, Edward Arnold, London, UK.
12. Ragan, D. M. (1973) *Structural Geology*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.
13. Shugart, H.H., and West, D.C. (1977) *Development of an Appalachia Deciduous Forest Succession Model and its Application of the Impact of the Chestnut Blight*,

- Journal of Environmental Management, 5, 161-179.
14. Soeters, R., and van Westen, C. J. (1996) Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report, 247, 129-177.
 15. Takasuke, S. (2000) Introduction of Topographic Map Interpretation for 688 Construction Engineer -Vol.3: Terrace, Hill, and Mountain, Kokon Publisher, 689.(in Japanese)
 16. Watt, A.S. (1947) Pattern and process in the plant community, Journal of Ecology, 35, 1-22.
 17. 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.
 18. Yokoyama, R., Shirasawa, M. and Pike, R.J. (2002) Visualizing topography by Openness: A new application of image processing to digital elevation models. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68, 257-265.
 19. Zakšek, K., Oštir, K. and Kokalj Ž. (2011) Sky-View factor as a relief visualization technique. Remote Sensing, 3, 398-415.
 20. 上野將司 (2012) 如何識別危險地形和地質，日經 BP 社。(上野將司，2012，危ない地形・地質の見極め方，日經 BP 社(in Japanese))
 21. 陳奕中、侯進雄、謝有忠、陳柔妃、吳若穎 (2014) 高解析度空載光達資料結合地形開闊度分析於構造地形特徵之應用，航測及遙測學刊，18(2)，67-77。
 22. 黃韋凱、丁禕、李璟芳 (2017)，無人載具產製之高精度數值地表模型應用於樹冠孔隙自動判釋及邊坡土體穩定評估，中華水土保持學報，第 48 卷，第 4 期，第 175-187 頁。
 23. 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-高山聚落地區地質災害基本調查。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
 24. 經濟部中央地質調查所 (2010) 國土保育之地質敏感區調查計畫-莫拉克颱風受災區域之地質敏感特性分析(1/3)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
 25. 經濟部中央地質調查所 (2013) 易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
 26. 經濟部中央地質調查所 (2014) 強化豪雨引致山崩之即時動態潛勢評估與警戒模式發展。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
 27. 經濟部中央地質調查所 (2018) 山崩與地滑地質敏感區進階劃定資料增建(1/2)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。

細部計畫 2：

山崩調查觀測技術精進與應用(2/4)

Application of Innovative Technology for Landslide Investigation and Observation (2020) (2/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

陳昭維¹

呂家豪¹

林錫宏²

朱偉嘉²

Chen, Chao-Wei¹

Lu, Jia-Hao¹

Lin, Hsi-Hung²

Chu, Wei-Chia²

¹青山工程顧問股份有限公司

²經濟部中央地質調查所

精簡報告

一、前言

較大規模的潛在山崩地區，往往具有特殊的地質條件，進而構成不同的山崩機制，並可能伴隨不同的邊坡滑動變形特性及行為，如老崩塌地、順向坡地區等。但在豪大雨條件作用下，均可能誘發邊坡發生或再次發生滑動，引致嚴重災害，如南投縣廬山溫泉北坡及嘉義縣油車寮地區等，均屬於老崩塌地再次滑動現象。故面對近期尚未發生較大規模山崩災害之潛在山崩地區，除透過現場調查瞭解其山崩機制外，亦須要配合適當的活動性觀測技術，輔以掌握坡地的環境地質狀況及潛在山崩活動特性，以避免無預警的邊坡災害發生。

經濟部中央地質調查所於前期計畫已進行31處潛在山崩地區之基礎調查及觀測工作，發現部分潛在山崩地區，近期活動性相對較高，有必要持續觀測，供警戒防災參考。此外，經濟部中央地質調查所於前期計畫持續引進或改良更先進的調查、觀測技術，期使能提昇現有調查、觀測技術水準，獲得豐碩成果。由於近期國、內外相關調查及活動性觀測技術及物聯網技術持續發展中，本計畫將持續相關技術的資料蒐集、研發及應用，以提昇整體防災應變能量。

本計畫配合2019~2022年「行政院災害防救科技創新服務方案」研發課題、2019~2022年地調所「山崩潛勢評估與觀測技術防災應用」計畫，不僅延續前期計畫(2015~2018年「山崩觀測技術發展應用研究」)執行成果，並於計畫執行期間，持續進行潛在山崩活動性觀測。針對具活動性的潛在山崩地區，進行詳細調查及活動性觀測及評估等工作，並進行多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究、潛在山崩地區地中活動性觀測及物聯網技術之研發及應用、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流，進而落實危險坡地聚落的地質災害防、減災目標。

整體計畫目標如下：

(一) 潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估：針對前期計畫31處調查區，

進行潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估，以掌握區域現況，提供後續相關工作參考。調查區位置如圖 1 所示。

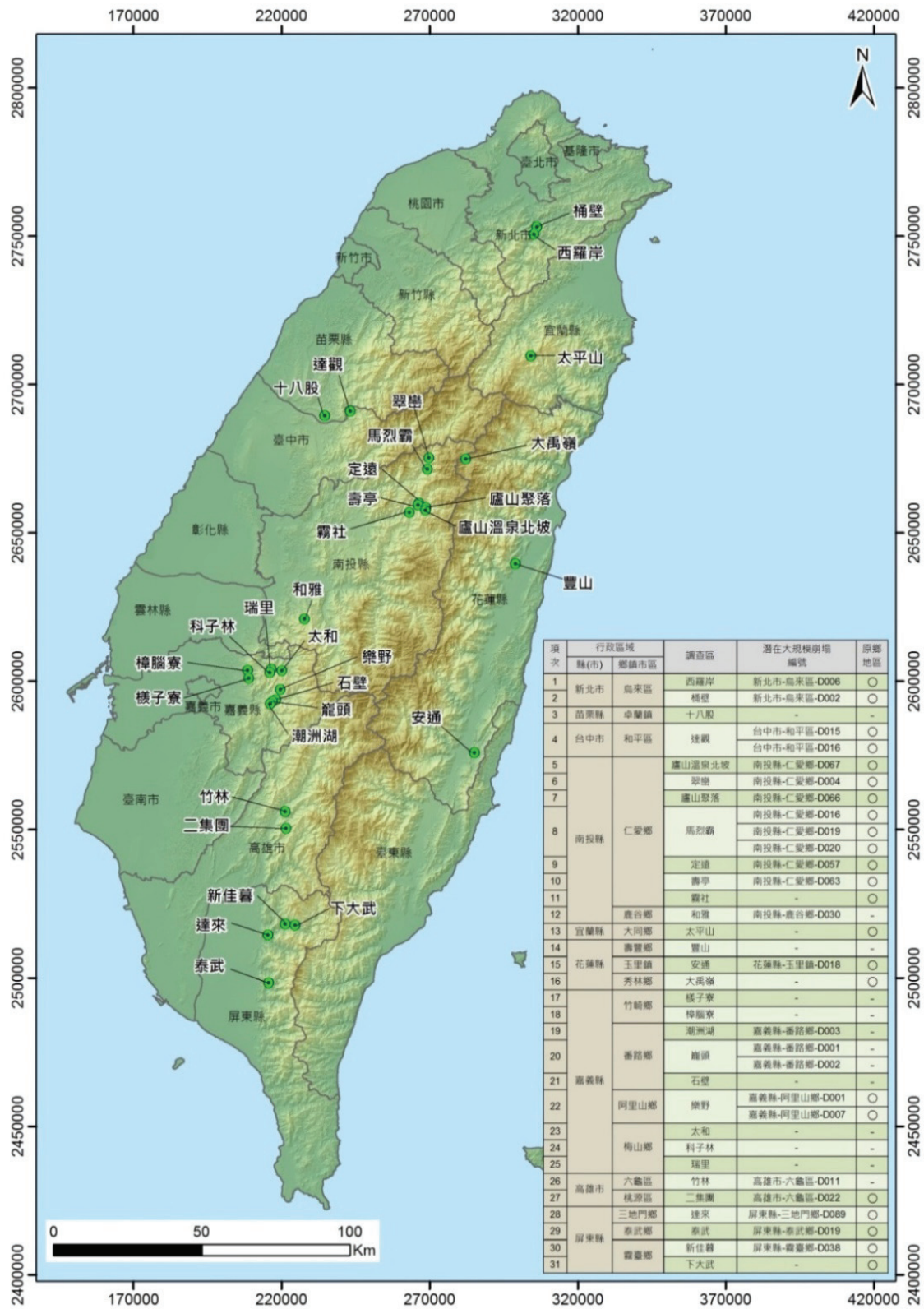


圖 1、本年度(2020年)計畫調查區位置分布圖

(二) 多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究：每年度持續多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究。

(三) 前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用：持續各式地中觀測及無線傳輸技術發展及應用研究，期使提昇相關調查觀測技術。

(四) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流：針對前期計畫建置之山崩活動性觀測平台，持續維護及精進。此外，並進行山崩活動性觀測成果智慧應用推廣、國內外技術交流、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修等。

二、本年度(2020年)計畫工作內容

本年度(2020年)為整體計畫之第二年，主要工作項目及內容如下：

(一) 潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估

針對前期計畫31處調查區(詳圖1)，進行潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估，以掌握區域現況，包括：

1. 潛在山崩地區現場勘查：本年度(2020年)計畫包含8處調查區之現場勘查，詳表1所示。
2. 潛在山崩地區活動性觀測及自動化活動性觀測站維護：本年度(2020年)計畫共進行18次手動觀測及17站自動化活動性觀測站維護，詳表1所示。
3. 地中調查：每年以區域平衡為考量，執行地中調查。本年度(2020年)計畫為南投廬山聚落。工作項目包含
 - (1) 地表地質調查：完成比例尺為1:5000之調查區地質圖。
 - (2) 地質鑽探：2孔，編號LS-B9及LS-B10，孔深分別為100m及150m，合計280m。
 - (3) 孔內試驗探測：2孔。利用各式孔內探測儀器，進行孔內試驗，包括孔內超音波攝影、自然伽瑪射線、電阻率、自然電位及波速等，回饋地質模式建立參考。
 - (4) 地中活動性觀測材料安裝：2孔，利用地質鑽探完成鑽孔，設置測傾管進行量測，以觀測邊坡地中活動性。
4. 調查區履歷事件簿更新、彙整及研析：本年度(2020年)計畫包含8處調查區，以瞭解、追蹤及評估邊坡活動性。

表 1、本年度(2020 年)計畫各調查區數量手動觀測次數及自動觀測站一覽表

項次	既有調查區	執行手動觀測	自動化觀測站數量
1	南投縣廬山溫泉北坡	2 次	9 站
2	南投縣廬山聚落	1 次	1 站
3	新北市西羅岸	3 次	1 站
4	南投縣定遠	6 次	無
5	嘉義縣太和	3 次	1 站
6	嘉義縣樣子寮	1 次	1 站
7	嘉義縣潮洲湖	1 次	1 站
8	宜蘭縣太平山	1 次	3 站
總計(共)		18 次	17 站

(二) 多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究

利用多尺度遙測技術，應用於潛在山崩地區地表變形探討。本年度(2020年)計畫針對廬山溫泉北坡、廬山聚落、壽亭及定遠地區等4處調查區，進行：

1. 潛在山崩地區差分干涉合成孔徑雷達(D-InSAR)地表變形分析研究：4 處調查區，進行 D-InSAR 分析，取得面狀地表活動性觀測資料。
2. 地表變形記錄與分析(UAS)：4 處調查區，利用 UAS 無人載具針對調查區進行空載影像調查工作，並將空拍成果處理成具空間關係之影像資訊，包括正射影像及數值地表模型(DSM)等。
3. 地表活動性 GPS 觀測站成果解算：利用 GPS 觀測及解算，取得地表活動性資料。其中，參考站(解算基站)：2 站；觀測站：9 站，4 處調查區(廬山溫泉北坡：7 站。廬山聚落：2 站。定遠：1 站。壽亭：1 站。)
4. 多尺度地表變形研究成果研析：彙整各式地表活動性觀測成果，進行比對分析，輔以評估調查區之潛在山崩活動性。

(三) 前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

本年度(2020年)計畫包括：

1. 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究：
 - (1) 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究。
 - (2) 地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究。
 - (3) 地層變位模擬研究。
2. 物聯網技術適用性研究：沿用第一年度(2019 年)之 LoRa 通訊物聯網布建成果，持續觀測進行研究。本年度計畫並再增加 NB-IoT 物聯網，進行比較。

(四) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

本年度(2020年)計畫包括：

1. 山崩活動性觀測平台精進及山崩活動性觀測成果智慧應用推廣，包括：
 - (1) 入口網站伺服器租用及資料備份。
 - (2) 活動性觀測平台精進。
 - (3) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣。

2. 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修：進行手冊改版內容與期程規劃。針對主要於忠治籃球場進行「測傾管與不同地中觀測技術整合共構研究」之相關結果，初步彙整成手冊格式。
3. 國內外技術交流：透過 Facebook 網路社群平台，進行計畫成果推廣。參與及舉辦研討會，並發表計畫成果。

三、本年度(2020 年)計畫成果

本年度(2020年)計畫成果概述如下：

(一) 潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估

1. 潛在山崩地區現場勘查及活動性觀測：針對西羅岸、太平山、廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠、太和、樣子寮、潮洲湖等 8 處調查區進行現場勘查及活動性觀測，共完成 18 次現場手動觀測。本年度(2020 年)計畫執行期間，各調查區中以樣子寮地區活動性較為明確，由現場勘查結果顯示道路略有新增開裂，如圖 2 所示。此外，用以觀測邊坡地中活動性之孔內伸縮計，大雨事件後變位量有增加情形，2020 年總變位量約 17 mm，如圖 3 所示，顯示樣子寮邊坡近期具活動性，但尚無持續擴大現象。由於樣子寮過去曾有較嚴重的災害情形，需要持續追蹤邊坡活動性。目前樣子寮地區已有嘉義縣政府及農委會水保局等單位投入調查及治理，本計畫相關工作成果可供參考。
2. 自動化活動性觀測站維護：針對具有自動化活動性觀測站維護之調查區，進行維護及檢修工作，包括通訊、電力及儀器及其他單元等設備之例行維護。觀測站有異常情形時，亦進行必要之檢修工作，使自動化觀測系統功能保持正常運作。本年度計畫共計 17 站之自動化觀測站維護，維護情形如圖 4 所示，各調查區之自動化觀測系統大致運作良好。



圖2、樣子寮地區潛在山崩地區現場勘查成果。道路略有新生裂縫(本計畫彙整)

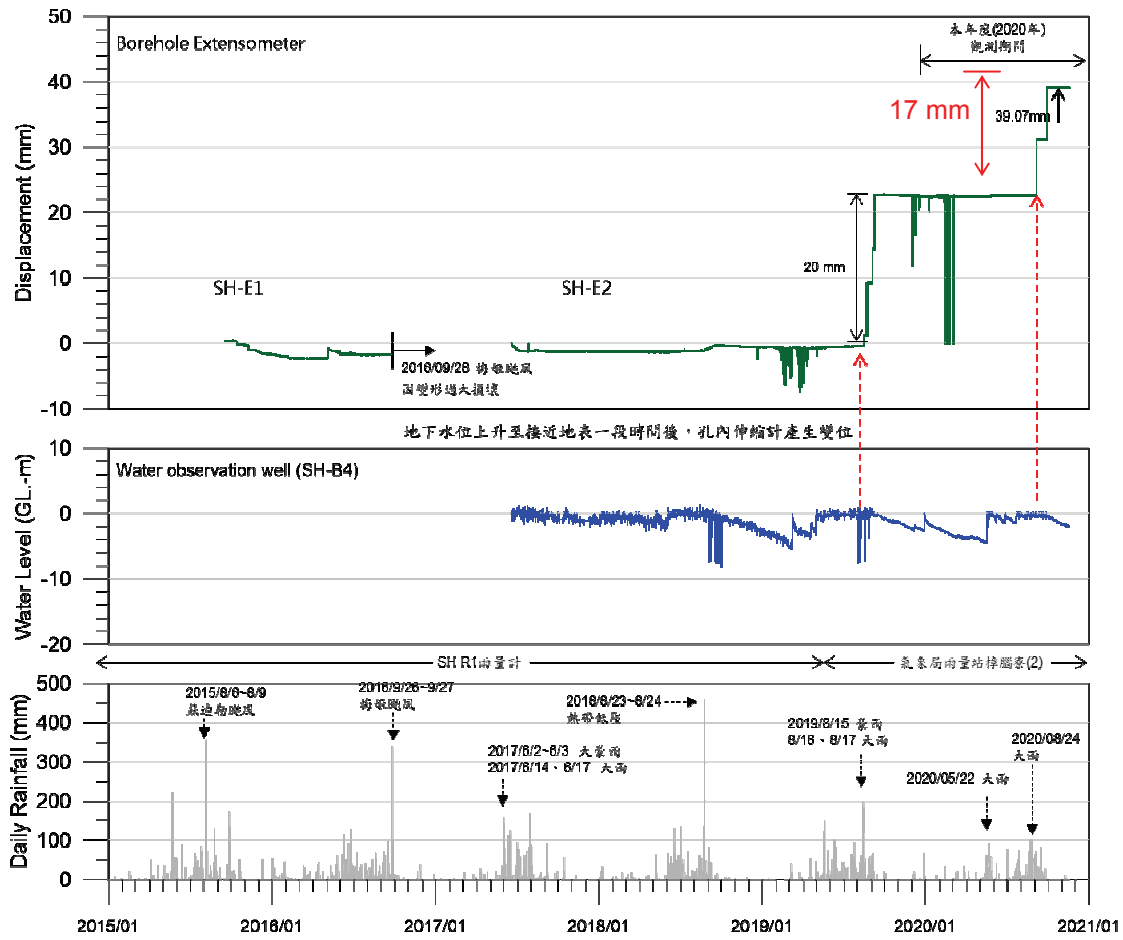


圖3、樣子寮地區摘要觀測成果(本計畫彙整)

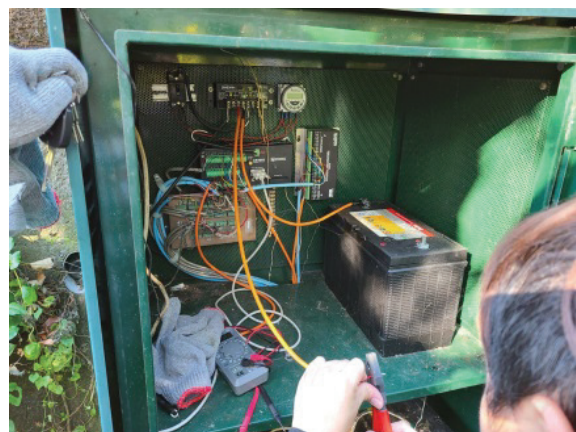


圖4、自動化活動性觀測站維護情形(廬山溫泉北坡)

3. 地中調查：本年度選定南投廬山聚落，完成新增地中調查，成果如下：

(1) 地表地質及環境地質調查：依據地表地質調查、地質鑽探及各式調查成果，繪製廬山聚落地質圖，如圖 5 所示。由調查成果研判，廬山聚落地區大致為板岩順向坡，由上而下可分為岩屑層及岩層等兩層。岩屑層厚度約 2~21.5 m，主要由破碎或風化的板岩、變質砂岩與土壤組成。岩層部分，岩性以粉砂質板岩為主，偶夾砂岩，板劈理發達。廬山聚落地區內出露地層，依照地表露頭及地質鑽探岩芯顯示的岩性差異，由下至上可再分為：A.粉砂質板岩間夾砂岩(SSL-SS(1))、B.粉砂質板岩(SSL)、C.粉砂質板岩間夾砂岩(SSL-SS(2))及 D.板岩間夾砂岩(SL-SS)等四個岩層，分述如下：

(2) 地質鑽探調查：新增完成 2 孔地質鑽探，編號 LS-B9 及 LS-B10，孔深分別為 150 m 及 100 m，合計 250 m。由鑽取岩芯得知，LS-B9 及 LS-B10 岩性主要為灰黑色粉砂質板岩，且劈理發達。部分深度可見劈理傾角分佈不一致，變化大，如圖 6 所示。

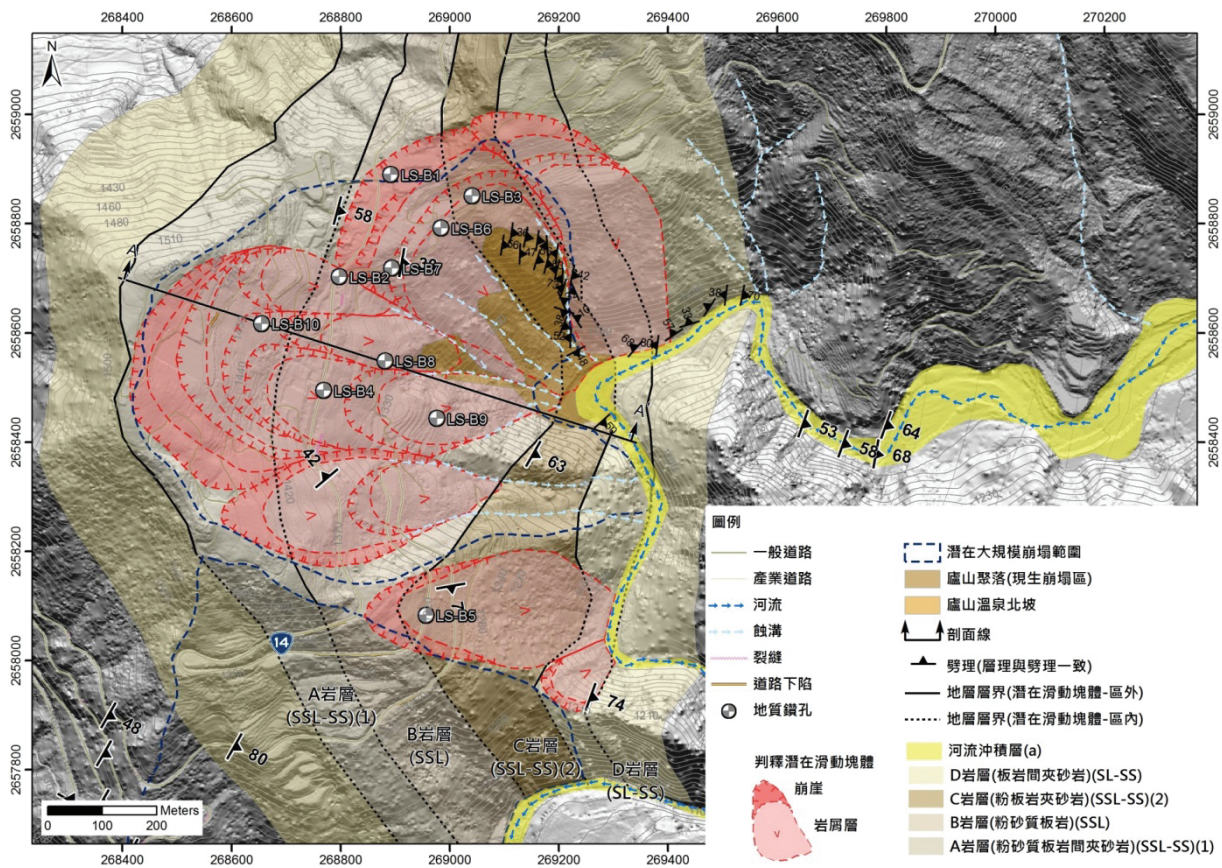


圖 5、廬山聚落地質平面圖(本計畫彙整)



圖6、LS-B9及LS-B10岩芯照片。岩性以粉砂質板岩為主(本計畫彙整)

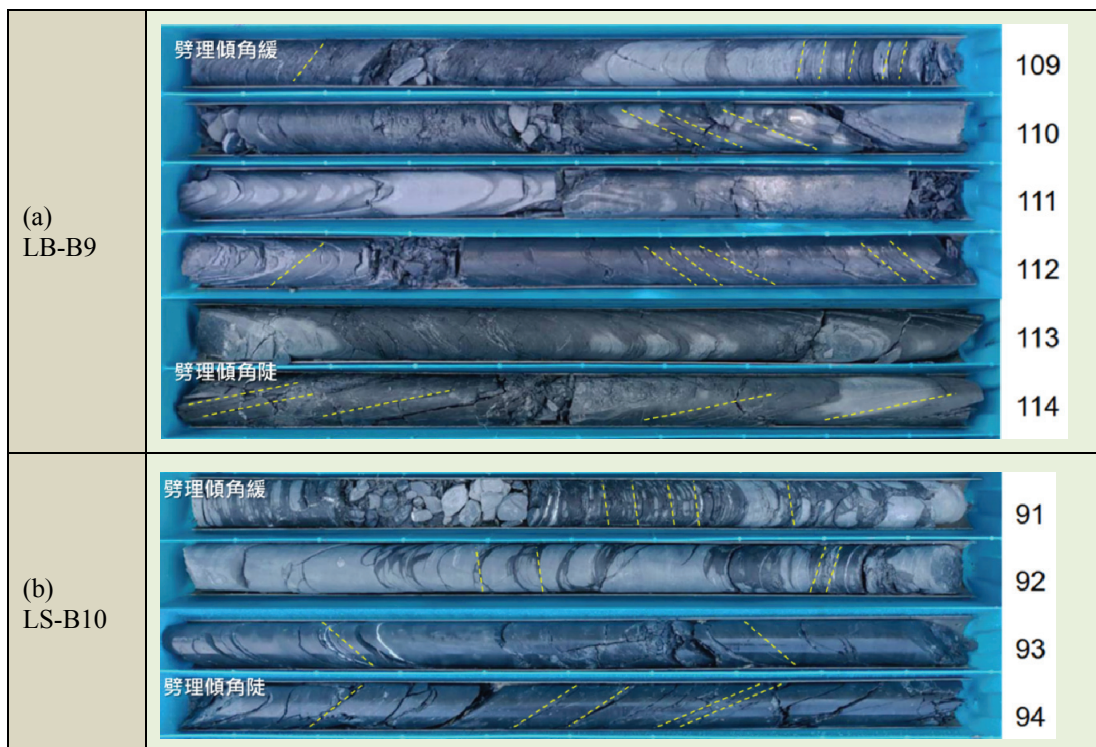


圖7、LS-B9及LS-B10岩芯照片。可見劈理傾角分佈不一致，變化大(本計畫彙整)

(3) 孔內試驗探測：利用新增地質鑽探完成鑽孔，共 2 孔，進行孔內試驗探測，包括孔內超音波攝影取得地下岩層不連續面位態，施測電井測如自然電位差、自然伽瑪射線、電阻率等，及孔內波速試驗，以取得更多資料。其中，由孔內超音波攝影結果，可知：

LS-B9 孔內之劈理位態由下至上，大致可分為兩組 C1 及 C2。C1，大致位於深度約 130~150 m 處，呈東北-西南走向，朝東南傾，傾角約 65 度，與區域位態略為一致(劈理朝東南傾斜)，P 波速度 V_p 達約 3,400~4,800 m/sec，研判達到相對完整岩盤。C2，大致位於深度 20~130 m 處，呈東北-西南走向，朝西北傾，傾角 73 度，與區域位態相反，P 波速度 V_p 分佈約 2,200~4,700 m/sec 不等，初步研判此深度範圍岩層有受擾動情形。

LS-B10 孔內之劈理位態由下至上，大致可分為三組 C1~C3。C1，大致位於深度約 100 m，朝東南傾，傾角約 75 度，與區域位態略為一致(劈理朝東南傾斜)，P 波速度 V_p 達約 4,200 m/sec，初步研判達到相對完整岩盤。C2 及 C3，大致於深度約 40~98 m 處，主要呈西北-東南走向，朝東及東北傾，傾角約 59~68 度，與區域位態略有差異，P 波速度 V_p 約 2,500~4,200 m/sec 不等，初步研判此深度範圍岩層有受擾動情形。透過本年度新增鑽孔之孔內超音波攝影結果，可知廬山聚落邊坡板岩具有變形現象，劈理位態分佈不一致；而 LS-B9 及 LS-B10 在孔底附近均有取得與區域劈理傾角位態大致相符之劈理，研判應有達到相對完整岩盤。

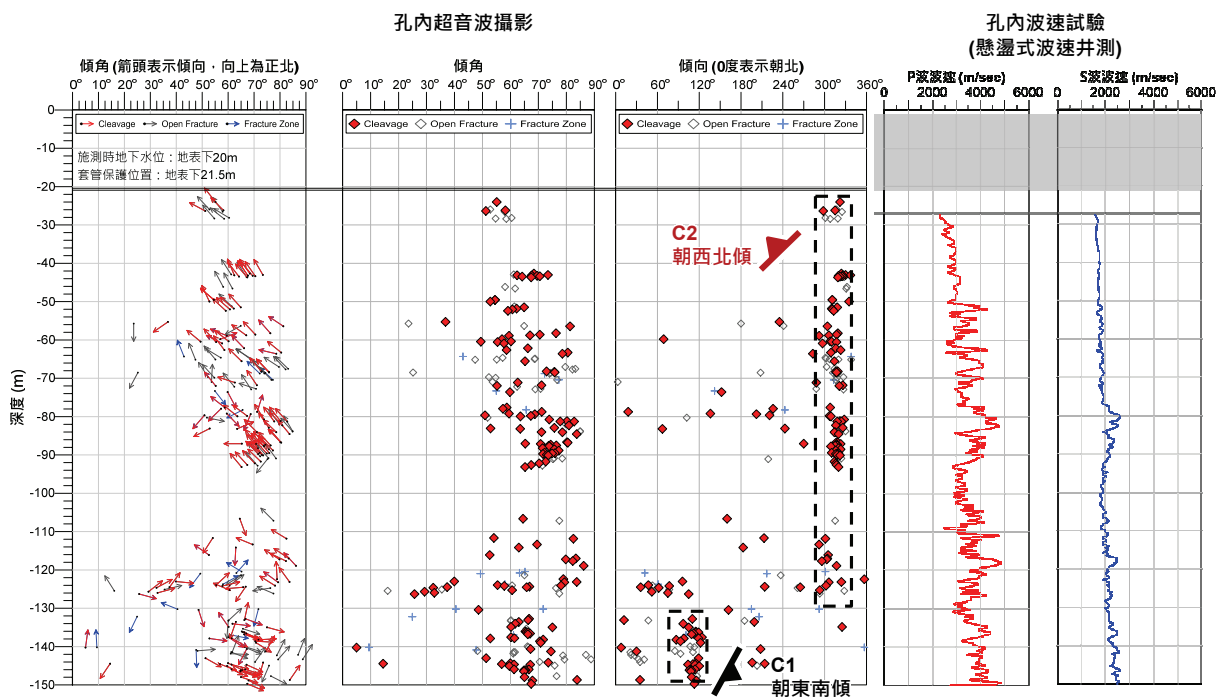


圖 8、LS-B9 孔內超音波攝影結果及孔內波速試驗探測結果(本計畫彙整)

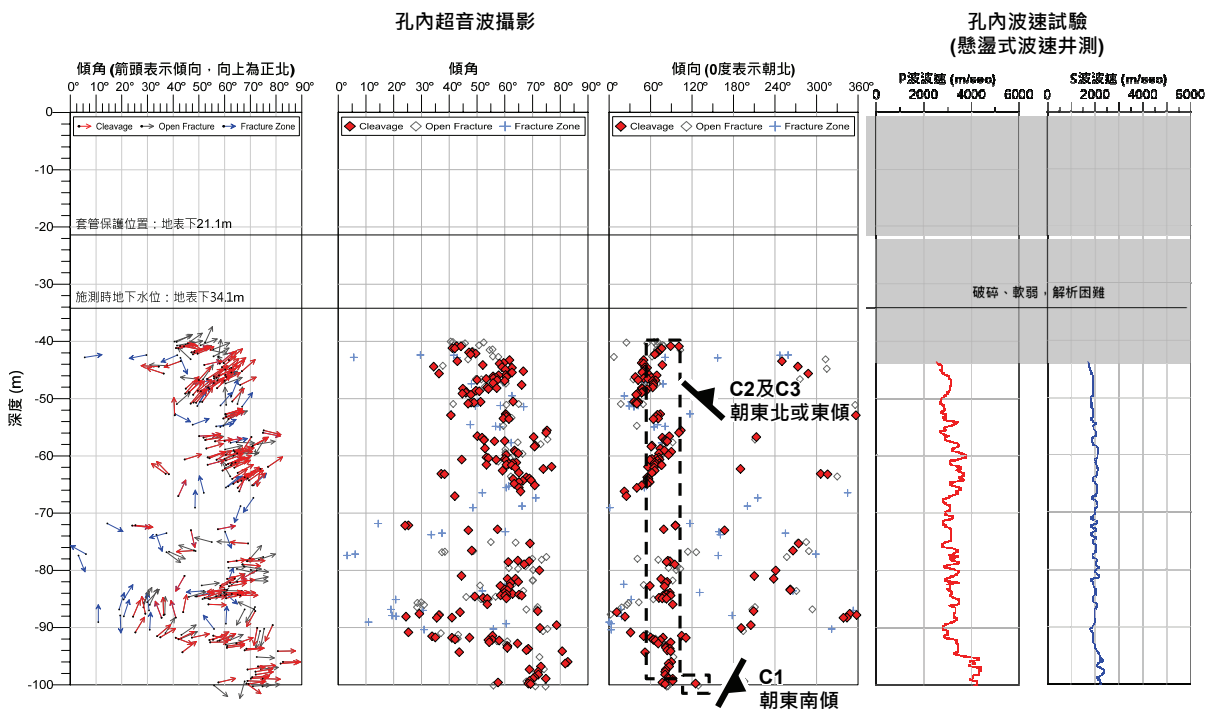


圖9、LS-B10孔內超音波攝影結果及孔內波速試驗探測結果(本計畫彙整)

- (4) 地中活動性觀測材料安裝：2孔，LS-B9及LS-B10，完成設置測傾管，共250m。持續觀測，回饋潛在山崩機制分析。
- (5) 潛在山崩機制及活動性分析：綜合既有地質圖所標示之劈理位態及本計畫地表地質調查結果，可知廬山聚落區域坡趾劈理大致朝東南傾斜，與坡向略為一致，屬順向坡地形。劈理面傾角大致為40~60°，大於邊坡之坡度30~40°，研判本調查區大致位於板岩順向坡。

由既有環境地質圖及地質災害潛勢圖顯示，廬山聚落地區位於中潛勢岩體滑動區(L1、L5塊體之部分區域)及中、高潛勢岩屑崩滑區(L1~L5塊體之部分區域)。進一步綜合前期及本計畫之地質調查及活動性觀測結果，研判廬山聚落地區可能潛在山崩機制有三：1.岩屑崩滑，廬山聚落下邊坡已有崩塌裸露現象。2.緩慢變形，包含L1及L2塊體，目前深層處滑動面較不明顯，但有持續緩慢變形現象。3.岩體滑動，包含L1~L3塊體。以L3塊體LS-B5測傾管滑動面較明顯，約地表下41.5m處。至於L1塊體之LS-B3測傾管深度98m及L2塊體之LS-B4測傾管深度76m處，略有剪動面產生，但尚不明顯。是否為單孔局部剪動行為，或為整體邊坡滑動行為，有賴持續觀測確認。L2塊體之潛在山崩機制示意圖，如圖10所示。

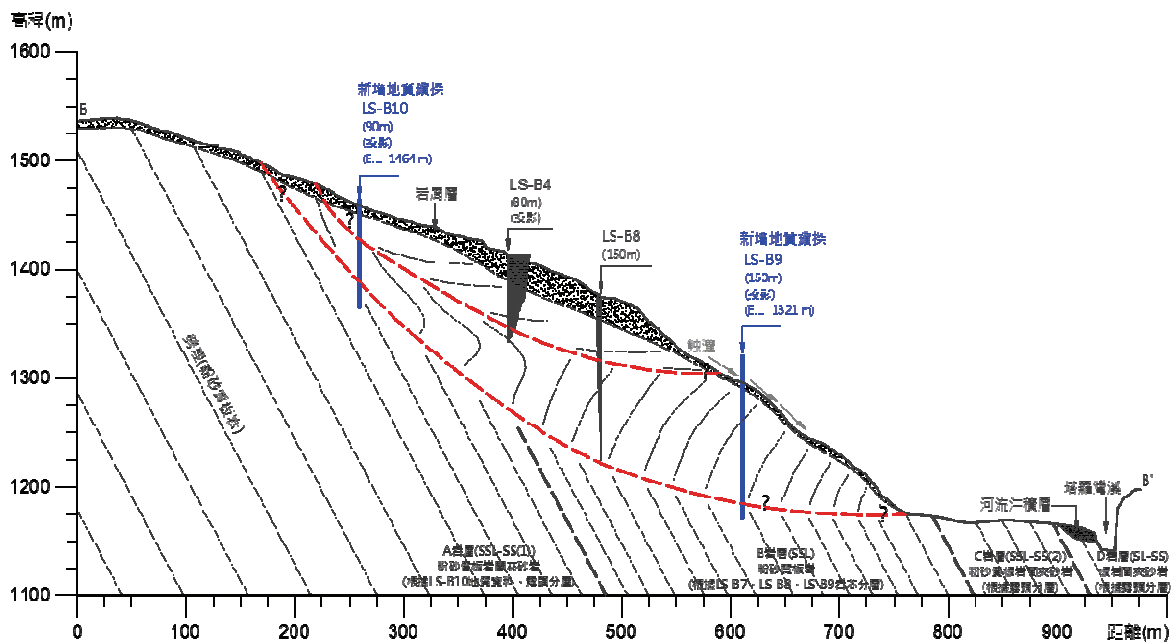


圖10、廬山聚落潛在山崩機制剖面示意圖(A-A'剖面，位置如圖5所示)(本計畫彙整)

4 調查區履歷事件簿更新、彙整及研析：針對 8 處調查進行履歷事件簿更新、彙整及研析，如表 2 所示。本年度(2020 年)計畫執行期間，西羅岸、廬山聚落及定遠等地區變位量不大，研判與本年度降雨量較少有關。

廬山溫泉北坡近期在 2006 年 0609 豪雨、2008 年辛樂克及薔蜜颱風期間，曾發生滑動現象，造成路面崩塌，並間接導致旅館建物傾斜損壞。由現場勘查可發現既有結構物存有規模大小不等之開裂情形，於今年度暫無明顯擴大。

潮洲湖地區於 2007 年 10 月科羅莎颱風、2009 年 8 月莫拉克颱風，曾發生崩塌造成台 18 線道路下陷變形。由前期計畫觀測結果顯示，邊坡有滑動現象。本年度觀測期間，則無明顯邊坡變位加速情形。

太和地區受 2009 年 8 月莫拉克颱風侵襲，曾產生大規模崩塌(太和油車寮)，造成區域內道路嚴重下陷、變形，房屋也傾倒受損。由近期觀測結果顯示略有滑動情形，但變位量不大。本年度計畫現場勘查無顯著變化。

樣子寮地區於大雨期間易有邊坡變形，導致地表道路開裂、下陷情形，近期較大的災害包含 2013 年 8 月潭美颱風、2016 年 9 月梅姬颱風等。本年度觀測期間，樣子寮地區於 0824 大雨及 0915 大雨事件後，SH-E2 孔內伸縮計產生約 8.18 mm 之變化量，配合本計畫現場勘查結果，亦發現道路略有新增開裂情形。樣子寮地區目前由嘉義縣政府進行治理，由農委會水保局南投分局觀測中，建議由相關單位持續觀測，追蹤治理成效。

太平山地區於 2012 年受蘇拉颱風侵襲，區域內繃繃車站所在邊坡發生崩塌，而車站也嚴重傾斜毀損而停駛。目前已由農委會林務局羅東林管處進行治理及持續觀測中。

忠治籃球場地區為本計畫進行「前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用」之研究場址，區域內存有民宅(已無住戶)、道班房等既有結構物。由現場勘查及觀測結果，發現忠治籃球場內邊坡變形現象顯著，亦導致區域內階梯、結構物已產生規模不等之開裂現象。若邊坡持續變形，後續則可能影響上邊坡之台 9 甲線道路，但目前台甲線道路尚未見顯著異常徵兆，建議持續觀測。

表 2、本年度(2020 年)各調查區觀測結果及活動性評估結果

項次	地理位置	名稱	地質安全評估			後續建議
			災害歷史	測傾管觀測結果 研判可能滑動深度	本年度(2020) 活動性觀測結果	
1	新北市 烏來區	西羅岸	△ (現場有擋土牆開裂之邊坡不穩定表徵)	• WL-B2 : 70 m	位移量略微增加 (可能與本年度觀測期間雨量相對較小有關)	• 由於本調查區屬於觀光風景區，保全對象較多，建議持續沿用現有邊坡活動性觀測系統，掌握邊坡位移速率，瞭解是否有加速滑動等異常變化產生，以利警戒防災。 • 視需要增加觀測儀器。
2	新北市 烏來區	忠治 籃球場	○ (現場有擋土牆開謝、道路下陷之邊坡不穩定表徵)	• CHJ-B1 : 淺層 3.5~4.5 m 深層 16.5 m • CHJ-B2 : 5.5~9m	具位移事件	• 沿用既有觀測系統，持續觀測。
3	南投縣 仁愛鄉	廬山溫泉 北坡	○ (2008 年 9 月 辛樂克颱風)	• A-15 : >109 m	具位移事件 (既有結構物 裂縫寬度擴大)	• 沿用既有觀測系統，持續觀測。 • 視需要增加觀測儀器。
4	南投縣 仁愛鄉	廬山 聚落	○ (2009 年 9 月 莫拉克颱風)	• LS-B6 : >120 m	無明顯位移事件 (可能與本年度觀測期間雨量相對較小有關)	• 沿用既有觀測系統，持續觀測。 • 視需要增加觀測儀器。
5	南投縣 仁愛鄉	定遠	△ (現場略有擋土牆開謝、道路下陷之邊坡不穩定表徵)	• DY-B1 : 20 m、33 m、90 m • DY-B2 : 85 m、>120 m	位移量略微增加 (可能與本年度觀測期間雨量相對較小有關)	• 由於本調查區屬於觀光風景區，保全對象較多，建議持續沿用現有邊坡活動性觀測系統，掌握邊坡位移速率，瞭解是否有加速滑動等異常變化產生，以利警戒防災。 • 視需要增加觀測儀器。
6	嘉義縣 竹崎鄉	樣子寮	○ (2016 年 9 月 梅姬颱風)	• SH-B1 : 5 m • SH-B3 : 4.5 m	具位移事件 (地表可見新生開裂)	• 沿用既有觀測系統，持續觀測。 • 本調查區已由嘉義縣政府治理，由農委會水保局南投分局觀測中。本計畫結果可供參考。
7	嘉義縣 番路鄉	潮洲湖	○ (2009 年 8 月 莫拉克颱風)	• KH-01 : 24m • KH-03 : 60m • KH-05 : 47m	位移量增加 (儀器故障，僅供參考)	• 沿用既有觀測系統，持續觀測。
8	嘉義縣 梅山鄉	太和 油車寮	○ (2009 年 8 月 莫拉克颱風)	• TH-B3 : 46m • TH-B4 : 73.5m • TH-B5 : 50m • TH-B8 : 45m	位移量略有增加 (可能與本年度觀測期間雨量相對較小有關)	• 沿用既有觀測系統，持續觀測。 • 本調查區部分區域由農委會水保局南投分局觀測中。本計畫結果可供參考。

註：○：確定 △：疑似或不明確

(二) 多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究

本年度(2020年)計畫針對4處調查區，包含廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭地區等，進行多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究。說明成果如下：

1. 潛在山崩地區差分干涉合成孔徑雷達(D-InSAR)地表變形分析研究：本計畫蒐集 2008 年辛樂克颱風前至今之衛星合成孔徑雷達影像(SAR)，進行長期的分析，使用日本 ALOS 及 ALOS2 的 Stripmap 高解析模式合成孔徑雷達影像，本年度使用之 ALOS 影像為 2007 年 1 月 29 日至 2010 年 12 月 25 日共計 15 幅，ALOS2 影像為 2015 年 7 月 23 日至 2020 年 6 月 28 日共計 10 幅。

由於日本 ALOS2 Stripmap 模式近年來於台灣地區每年僅取像 1~2 次，為補充期間之不足，本計畫採用歐洲太空總署(ESA)提供之 Sentinel-1 合成孔徑雷達影像作為輔助之用，惟其地面解析度較差約 6~30 m，但其更新時間固定為 12 天週期，雙衛星模式下最快可每 6 天獲得一幅影像，有利於大規模崩塌地表變形監測使用。

本計畫採用短基線模式(Small Baseline, SBAS)進行 D-InSAR 分析，分析結果如圖 11 所示，本計畫產製之 D-InSAR 分析結果以垂直地表變形量表式。透過分析結果顯示，各調查區呈現地表下陷趨勢，可能與邊坡活動有關，本計畫並配合 GPS 解算成果，加以交互比對。

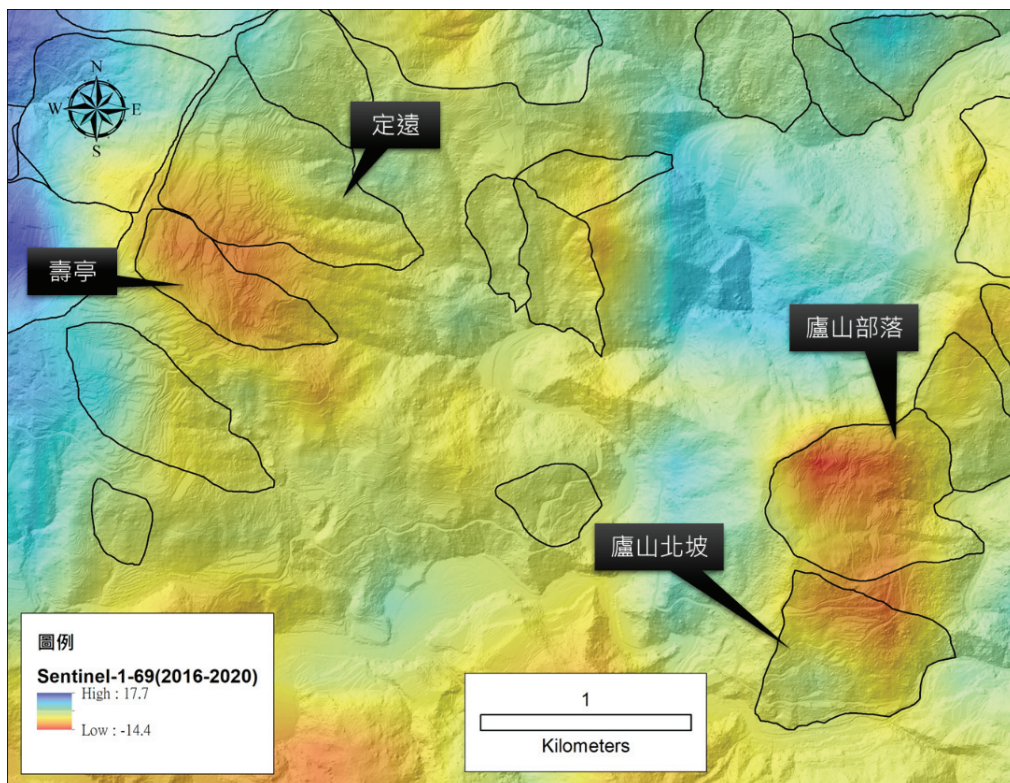


圖 11、差分干涉合成孔徑雷達(D-InSAR)地表變形分析成果(本計畫彙整)

2. 地表變形記錄與分析(UAS)：利用 UAS 無人載具於調查區進行調查工作，2020 年度於 8 月，完成廬山溫泉北坡及廬山聚落，定遠及壽亭地區之 UAS 空拍作業，並產至正射影像及數值地表高程模型。由過空拍成果顯示，廬山溫泉北坡、廬山聚落及定遠壽亭地區無明顯新增崩塌事件，如圖 12 及圖 13 所示。

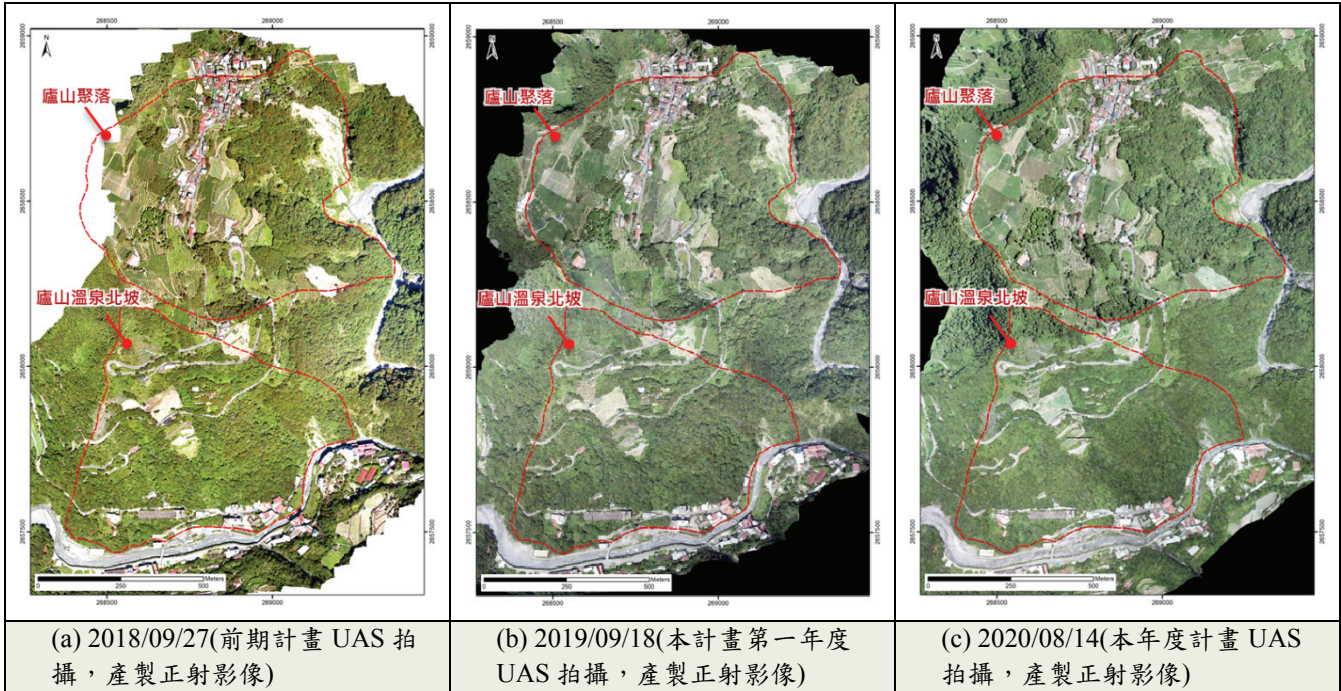


圖 12、廬山溫泉北坡及廬山聚落地區 UAS 空拍產製正射影像結果

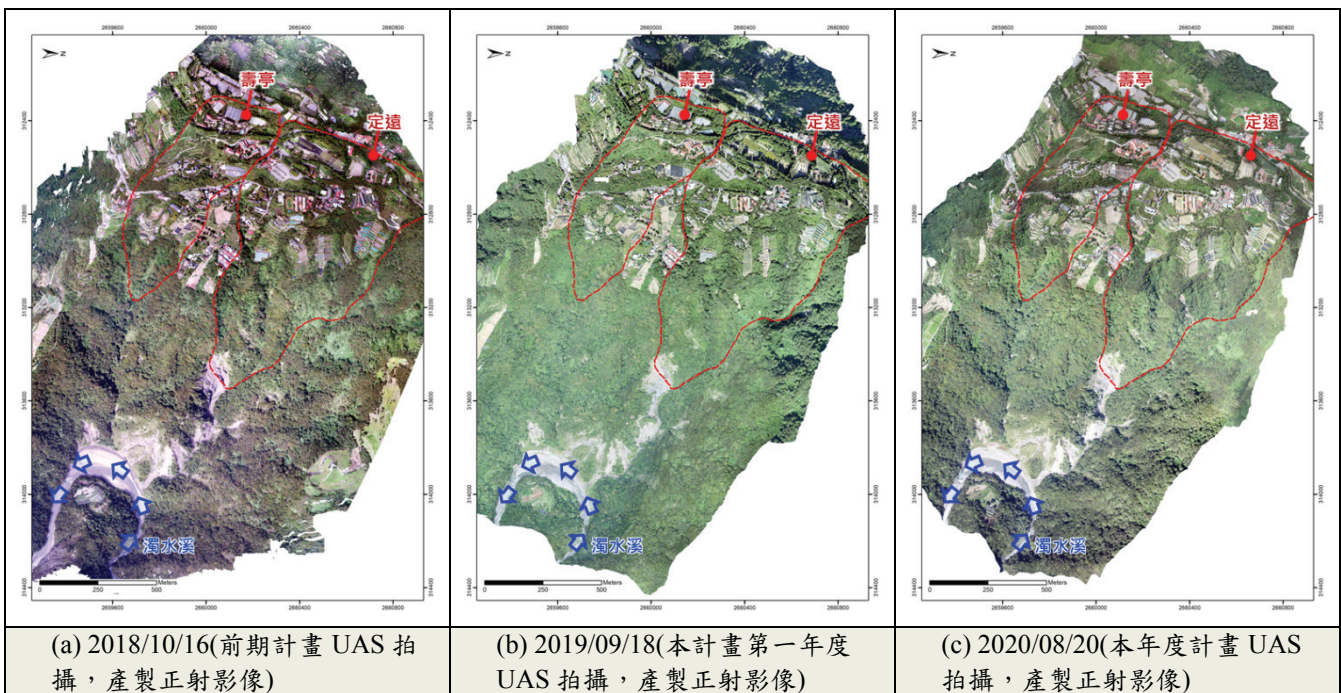


圖 13、定遠及壽亭地區 UAS 空拍產製正射影像結果

3. 地表活動性 GPS 觀測站成果解算：各調查區之 GPS 站位置如圖 14 所示，觀測結果如圖 15 所示：

(1) 廬山溫泉北坡：LU02、LU03 等 GPS 觀測站為雙星雙頻 GPS，其中 LU02 經歷超過 10 年，原有透空之衛星條件因樹木長高造成衛星訊號干擾，可由圖中發現其垂直向解算成果產生跳動幅度較大，但南北向則持續往南移動，於 2018 年至 2020 年往南 110 mm，如圖 15(a)所示。

LU03 於 2019 年中發生較大滑移量，2018 年至 2020 年往南向滑移約 143 mm，垂直向亦降低 143 mm，如圖 15(b)所示。

CN01 位於廬山立體停車場施工縫東側，由圖上可知過去一年水平移動較少，但垂直向為 22 mm，如圖 15(c)所示。

CN02 位於廬山溫泉北坡西側擋土牆上，該處擋土牆開裂後並未進行修補，過去一年往北移動 12 mm，垂直向則下降接近 30 mm，行為接近擋土牆底部推出頂部往後傾斜，如圖 15(d)所示。

CN03 位於廬山溫泉北坡西側回頭彎處地面，過去一年朝東向移動 5 mm、北向 12 mm 及垂直向 30 mm，如圖 15(e)所示，往北向移動情形需持續觀測才能確認滑動行為與整體邊坡滑動關係。

(2) 廬山聚落：CN04 位於廬山聚落建物屋頂，一年內朝東向約為 6 mm、南向 7 mm 及垂直向 7 mm，該處於 2017 年豪雨時主要位移方向為東向，如圖 16(a)所示。

CN05 位於廬山國小司令台上方，過去一年整體變形結果趨近於 10 mm 以內，但南北向至 2020 年 3 月曾達到 27 mm(往南)，之後逐漸恢復至原位置，具體原因仍須持續觀察，如圖 16(b)所示。

(3) 定遠地區：CN06 位於定遠地區清境國小教室上方，一年之間往東向位移 19 mm，垂直向則為 4 mm，如圖 16(c)所示

(4) 壽亭地區：CN07 位於壽亭地區開墾邊坡上，過去一年往北向移動 8 mm、垂直向降低 8.7 mm，如圖 16(d)所示。

4. 多尺度地表變形研究成果研析：本計畫將產製之 D-InSAR 地表變形資料轉換為垂直地表變形量，以 GPS 測量成果進行比對。圖 17 為本計畫第二年度(2020 年)於廬山溫泉北坡地區，利用日本 ALOS / ALOS2 及歐洲太空總署之 Sentinel-1 衛星影像進行 D-InSAR 分析，並與 GPS 觀測站進行比對。由比對結果發現廬山溫泉北坡之 LU03、CN01、CN02 及 CN04 等位置之 GPS 解算結果及 D-InSAR 分析結果，均呈現邊坡下滑趨勢，顯示透過 D-InSAR 分析取得面狀邊坡變形資料，並配合 GPS 解算結果之點狀邊坡變形資料，可提供評估潛在山崩活動行參考。

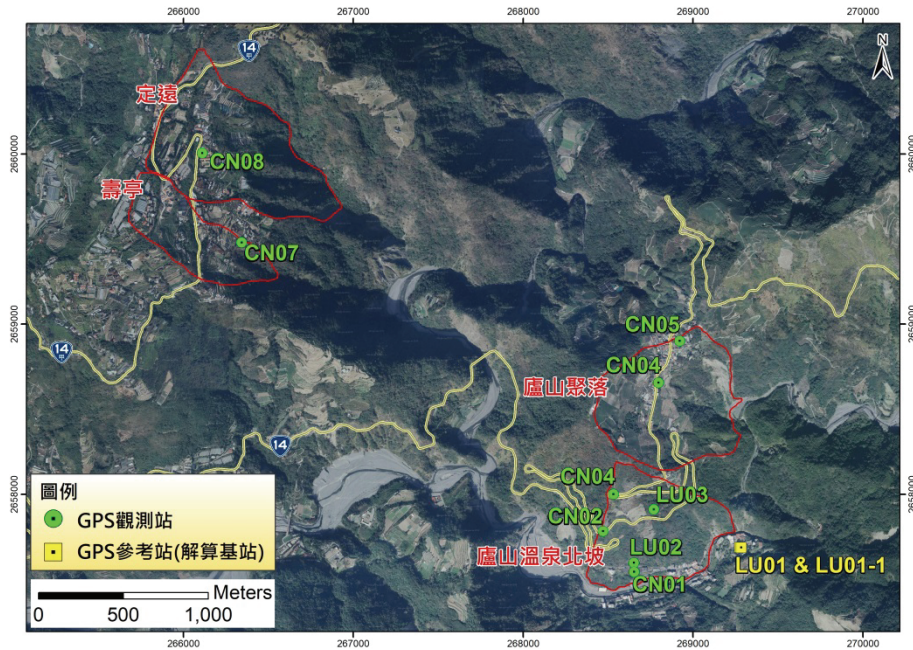


圖14、本年度(2020年)計畫GPS站平面位置圖(本計畫彙整)

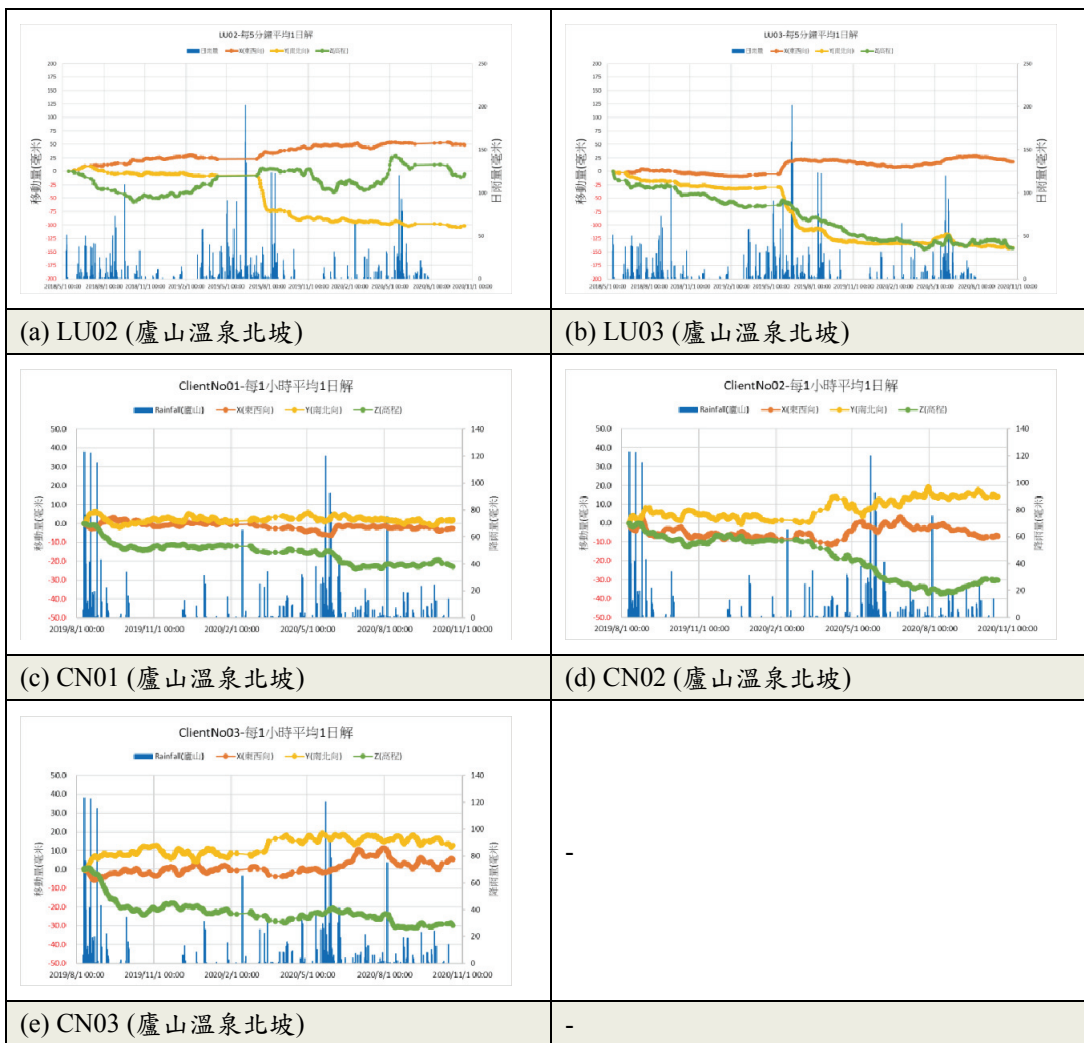


圖15、GPS觀測站解算成果(本計畫彙整)

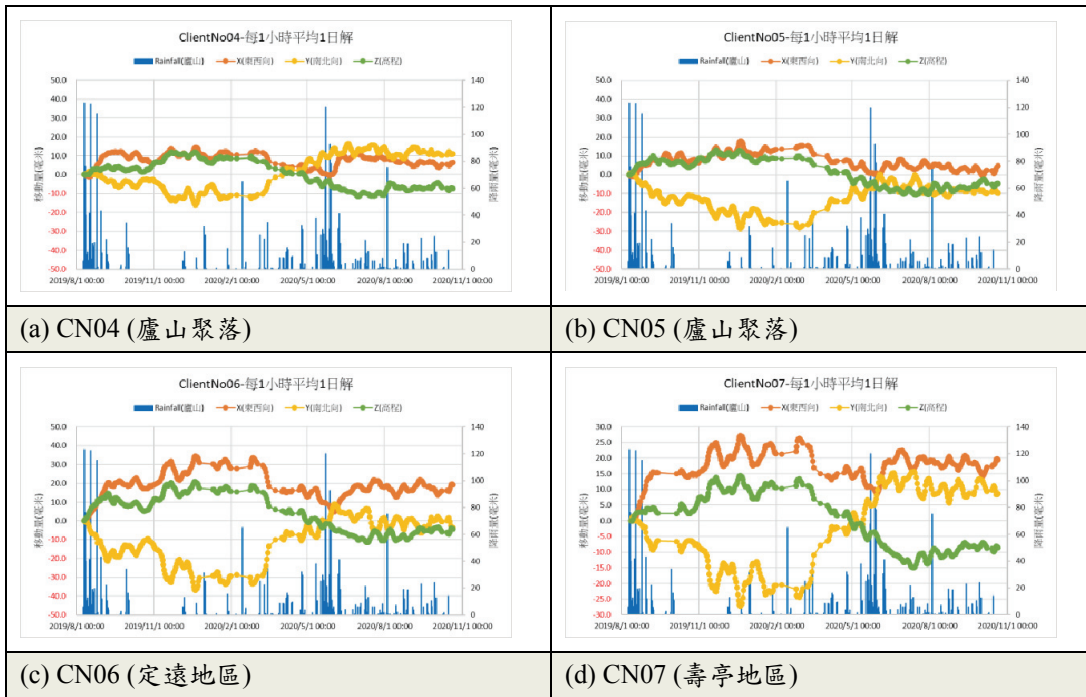


圖16、GPS觀測站解算成果(續)(本計畫彙整)

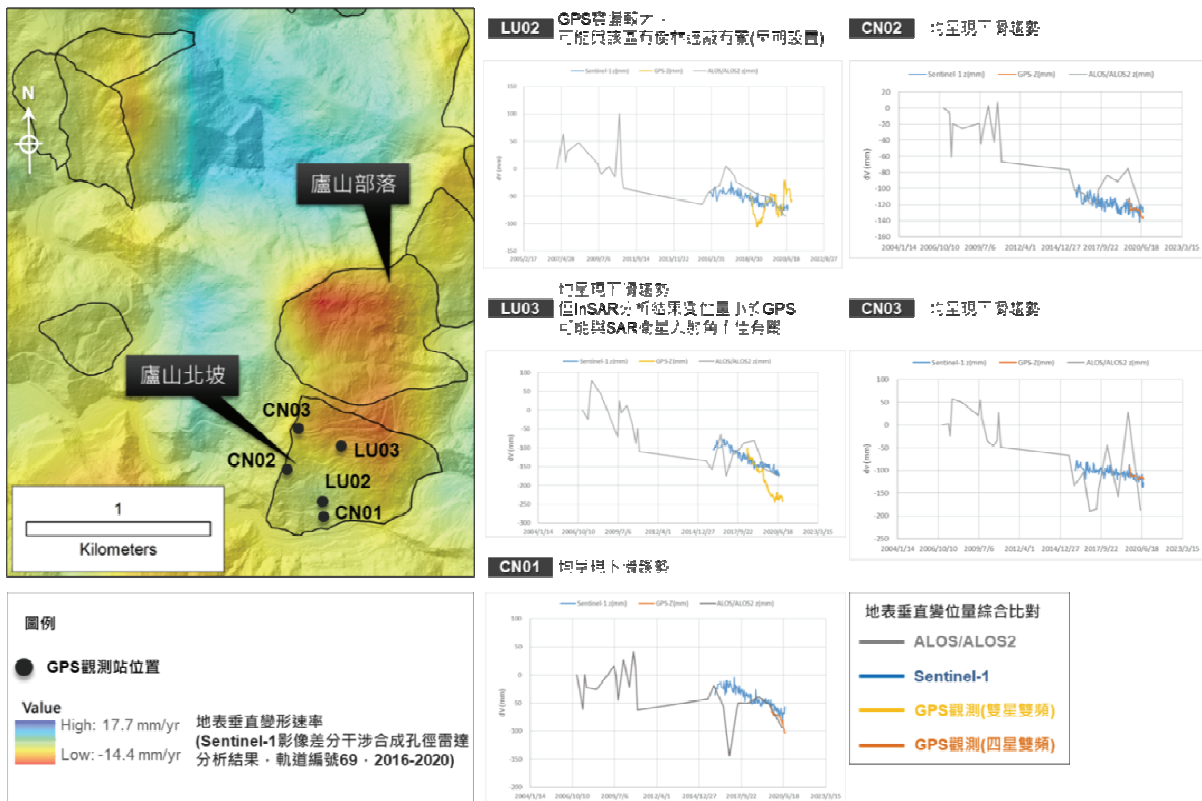


圖17、多尺度地表變形研究成果研析結果(本計畫彙整)