

# 降雨誘發山崩動態警戒模式與調查技術研發應用(4/4)

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

主管單位：經濟部中央地質調查所

黃春銘<sup>1</sup> 簡留玄<sup>1</sup> 朱偉嘉<sup>2</sup> 林錫宏<sup>2</sup> 紀宗吉<sup>2</sup>  
Huang, Chuen-Ming<sup>1</sup> Jian, Liu-Xuan<sup>1</sup> Chu, Wei-Chia<sup>2</sup> Lin, Hsi-Hung<sup>2</sup>  
Chi, Chun-Chi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心

<sup>2</sup>經濟部中央地質調查所環境與工程地質組

### 摘要

中央地質調查所於 104-107 年「降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新」計畫已完成 157 幅 1/25,000 圖幅範圍之環境地質資料庫及降雨誘發山崩預警資訊系統。本(108-111)期計畫為了推廣使用計畫成果，擬增補臺灣中部高山區缺漏的 45 幅 1/25,000 圖幅範圍，將臺灣全島納入警戒範圍，擴大山崩動態警戒模式範圍及警戒對象。

去(110)年度計畫使用山崩與地滑地質敏感區變更計畫書之參據資料，建置及更新全臺 202 幅範圍之環境地質資料庫。為使山崩資料涵蓋空間範圍更完整，本(111)年度將增補 202 圖幅外圍零星坡地之資料。計畫成果將於今(111)年度出版成冊，預計將逐幅校稿，完成圖版設計、地圖圖徵編修等文字與顏色易讀性之調整，並完成圖集說明書，說明計畫成果。

前(109)年度計畫將前期(104-107)計畫建置之降雨誘發山崩預警資訊系統進行調整，並更名為降雨山崩即時系統。去(110)年度以前(109)年度完成之全臺斜坡單元山崩潛勢更新降雨山崩即時系統。本(111)年度將持續介接外部資料，確保系統資訊展示功能正常運作。

**關鍵詞：**環境地質資料庫、降雨山崩即時系統

## **Abstract**

From 2015 to 2018, Central Geological Survey (CGS), MOEA, completed environmental geology database and built Rainfall-Induced Landslide Early Warning System during the project, “Improvement of Rainfall Induced Landslides Susceptibility”. This project is to promote the warning system and update the database that is deficient in high mountain areas, extending the warning area to save more lives and protect more livelihoods.

The reference data of geological sensitive areas was to establish and update the environmental geology database of the coverage of 202 sheets of Taiwan last year. To complete the landslide database in spatial coverage, this year, the environmental geology database will be expanded outward slightly to include the remaining slope area. The result of environmental geology database is going to be published. To finish the layout design, map features design and map legibility; we will schedule the proofreading and editing sheet by sheet before printing. And the landslide map guidebook is also going to be proofread and published.

Last year, we updated the Rainfall-induced Landslide Real-time System, which is established in the previous phase (2015 to 2018), and renamed the system to Rainfall-induced Landslide Real-time System (RiLRS). This year, RiLRS keeps adopting rainfall data, ensuring the functionalities work. Moreover, landslide susceptibility in slope unit was updated using last year’s data. The old version system is still available while the new system is under construction and testing.

**Keywords:** environmental geology database, Rainfall-induced Landslide Real-time System (RiLRS)

## 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。民國 97 年辛樂克颱風、98 年莫拉克颱風及 104 年蘇迪勒颱風，分別造成北中南部地區集水區環境生態遭受嚴重破壞，山坡地產生多處崩塌及土石流，影響民生經濟至鉅。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，建立廣域災害潛勢評估方法，即可有效預判災害發生潛在空間分布區位，提早預防因應。

經濟部中央地質調查所於 104 至 107 年度執行「降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新」計畫，已逐年完成臺灣本島北、中、南、東四區域共計 157 幅 1/25,000 圖框範圍之環境地質圖資料庫及山崩動態警戒模式，並初步完成簡易線上模式查詢系統。然而，過去計畫之執行範圍僅針對都會區周緣坡地與高山聚落地區進行分析，為了將計畫成果推廣使用，需要將臺灣全島均納入警戒範圍，將警戒範圍涵蓋臺灣中部山區，擴大山崩動態警戒模式範圍及警戒對象。本計畫規劃於 108-111 年度，延續前期(104-107)計畫之執行成果，針對環境地質圖資料庫查詢系統及降雨誘發山崩動態預警資訊系統進行升級。

## 二、研究地區與研究方法

去(110)年度計畫已完成全臺灣 202 圖幅範圍之環境地質圖資料庫產製及出圖版面設計，本(111)年度將針對版面輸出成果進行勘誤，並增補缺漏的地圖圖徵。此外，增補部分 202 圖幅範圍外圍零星坡地之環境地質圖資料庫，其成果將與相鄰圖幅整併，同時重新設計出圖版面。

前期(104-107 年度)計畫已初步建置降雨誘發山崩預警資訊系統，本期(108-111 年度)計畫將持續介接外部資料，並提供系統功能維護與資料更新服務，確保系統資訊展示功能正常。去(110)年度已將降雨山崩即時系統更新完畢，本(111)年度將持續維持介接資料之即時運算、維護展示系統及相關查詢功能。

### 2.1 出圖版面勘誤及地圖圖徵

全臺共 202 圖幅將於印刷前進行逐步校稿，針對圖中地名、水系名、鄉鎮界名做文字的勘誤及版面調整。

#### 一、地名文字註記勘誤

地名擷取自內政部「兩萬五千分之一經建版地形圖數值圖檔」，原始檔為 dwg 檔，因本計畫以 ArcGIS 軟體進行資料處理、編輯及出圖，便將原始檔轉為 shp 檔，在轉檔的

過程中，中文字可能因編碼等問題導致佚失(如圖 1(a))或錯誤的情況，或是無規則地在部分地名中間產生空格(如圖 1(b))。

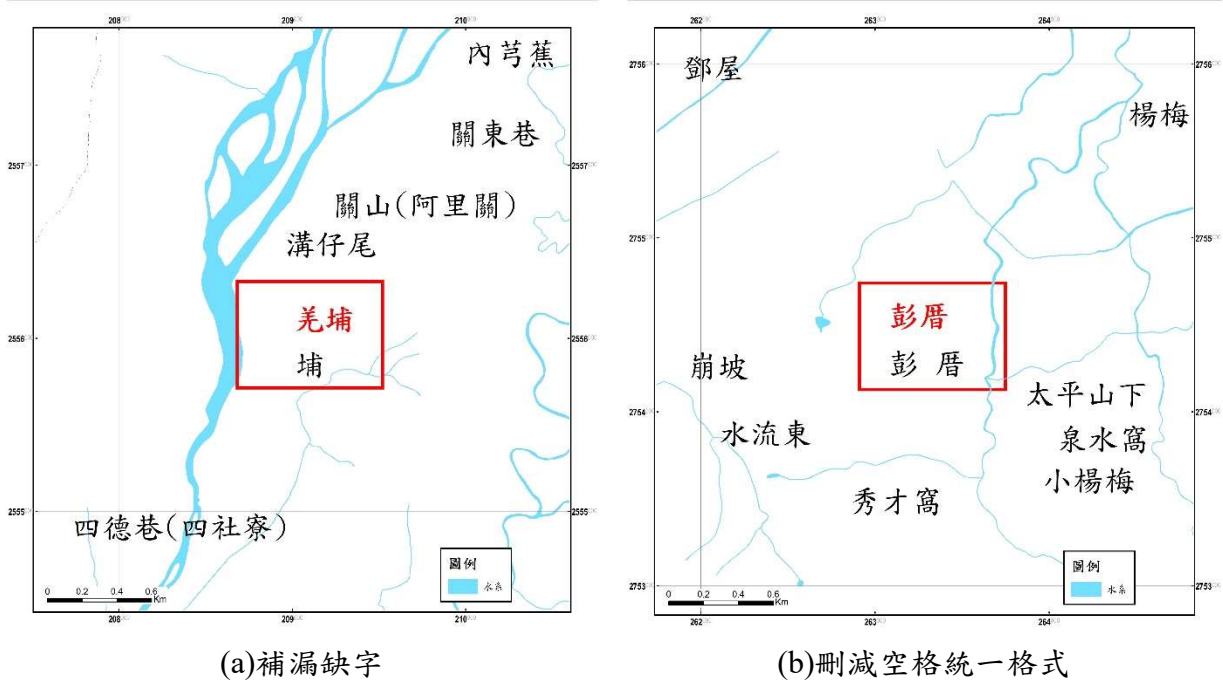


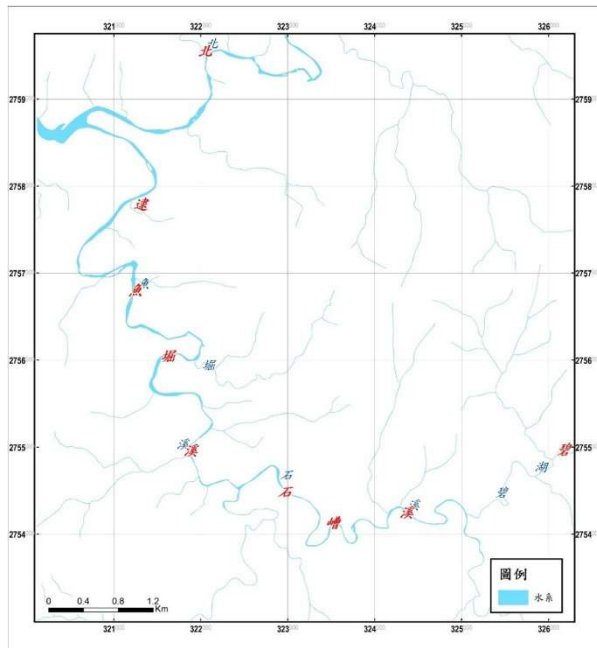
圖 1 地名補遺示意圖(圖面黑字為原地名，紅字為更新後結果)

## 二、水系文字註記勘誤及版面調整

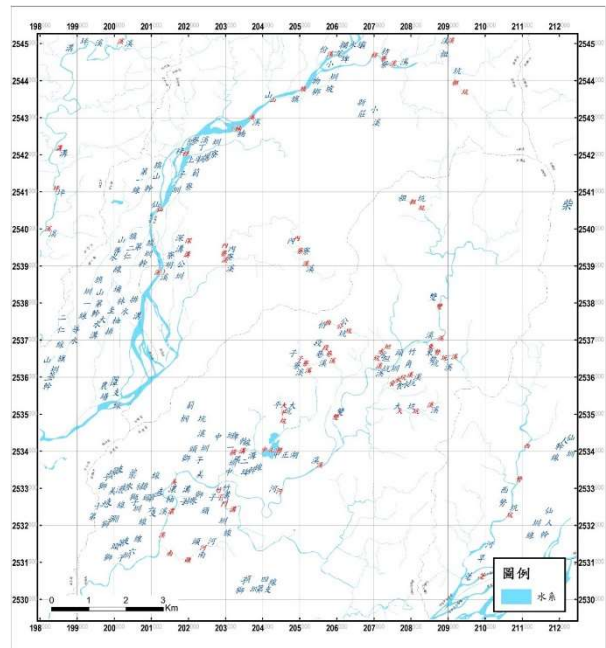
水系名亦擷取自內政部「兩萬五千分之一經建版地形圖數值圖檔」，轉檔過程中佚失之文字，則查詢水利署及縣市政府等單位相關公開資訊，進行多重查核確認，如圖 2(a)中逮魚堀溪的「逮」字在轉檔過程中佚失，經查詢後，水利署曾在逮魚堀溪進行污染削減相關計畫，參考其計畫名稱，修改水系之文字註記。

再者，文字註記應以簡潔明瞭為目標，使環境地質圖資易於閱讀，不致被遮掩，聚落中排水系統之文字註記大多未有相應的水系圖徵，且其設計盤根錯節，如圖 2(b)藍字所示，考量文字註記為輔助閱讀者分辨相對位置為目的，聚落亦有道路、地名、地標等資訊可輔助判斷，因此此階段主要刪除圳道、排水系統等文字註記，如圖 2(b)紅字所示。一般水系之文字註記亦刪除未與圖徵相應的部分，並調整文字重複頻率，以維持圖面簡潔，如圖 2(c)。

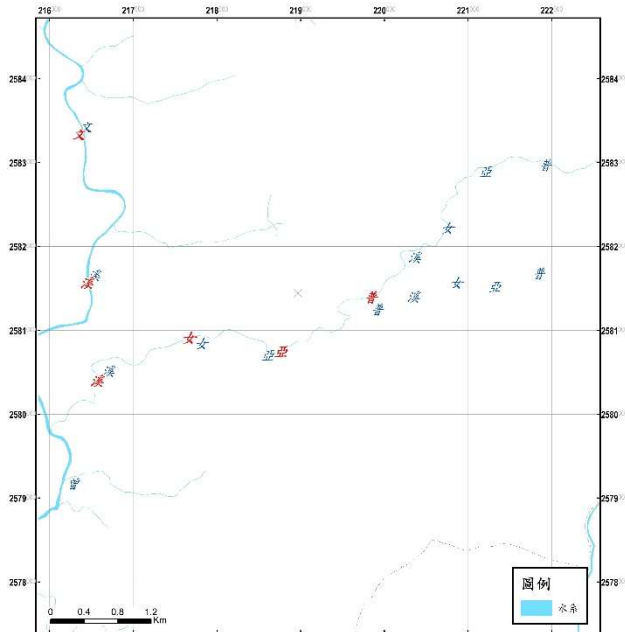
水系常橫跨數個圖幅，且上、中、下游段名稱常相異，部分河流名可能遭誤植導致河流前後段名稱相同，唯有中間一小段名稱迥異，可經查詢後確認，並修改為正確水系名稱(如圖 2(d))。



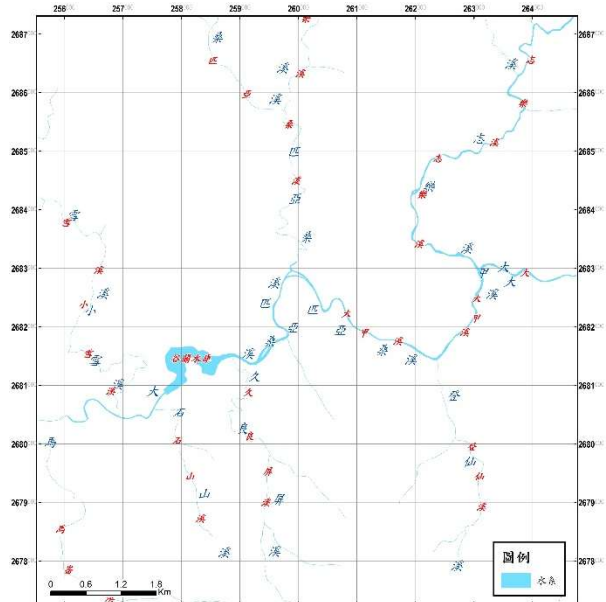
(a)補漏缺字



(b)刪除過多圳道名



(c)刪除重複頻率高之水系名



(d)水系名補遺及勘誤

圖 2 水系名刪減示意圖(圖面藍字為原水系名，紅字為更新後結果)

### 三、兩萬五千分之一圖框更新

隨著平面投影基準更新，兩萬五千分之一圖框相較於第一版環境地質圖所使用之圖框向西邊移動約 800 公尺，往北邊移動約 200 公尺，如圖 3 所示。原始資料中鄉鎮界名、文字註記為一字一點的點資料儲存，以對應圖徵的空間分布及形狀，並且限制其標籤設置彈性。因圖框位置更新，圖框邊界的文字註記可能會橫跨圖幅邊界，以圖 4(a)為例，原鄉鎮界名以黑字顯示，編排於原兩萬五千分之一圖框之兩側(藍色框)，更新後，新圖

框位置如紅色框所示，並且截切原鄉鎮界名，微調位置後鄉鎮界名如紅字所示。水系名(圖4(b))亦有類似情況。

除基本圖資受兩萬五千分之一圖框更新影響外，亦需填補因圖框範圍改變而新增的環境地質圖。山崩分布圖及順向坡與老山崩分布圖中，歷史山崩目錄、順向坡及老山崩圖資皆以全臺灣的的尺度製作，可直接套疊使用，惟山崩災害潛勢圖之各山崩種類潛勢僅涵蓋原 202 幅兩萬五千分之一圖框範圍，需另再進行製作，共有 22 幅臺灣西部圖幅需增補潛勢資料。

潛勢分級分類條件包含坡度分級及岩體強度分級資訊，然而增補之區域並無產製岩體強度分級資訊，考量岩體強度為岩石單壓強度及岩體結構綜合評估下結果，隱含與地質條件相關及具有區域特性，因此參考流域地質圖，利用相鄰區位之岩層、岩性及年代等方式進行推估岩體強度，以填圖的方式補足岩體強度分級之資訊，如圖 5 所示，左圖藍色實線為原岩體強度分級資料，無資料的地方套疊紅色實線之流域地質圖，根據流域地質圖中岩層、岩性及年代等資訊推估岩體強度分級，繪製成右圖黑色實線之岩體強度分級圖。

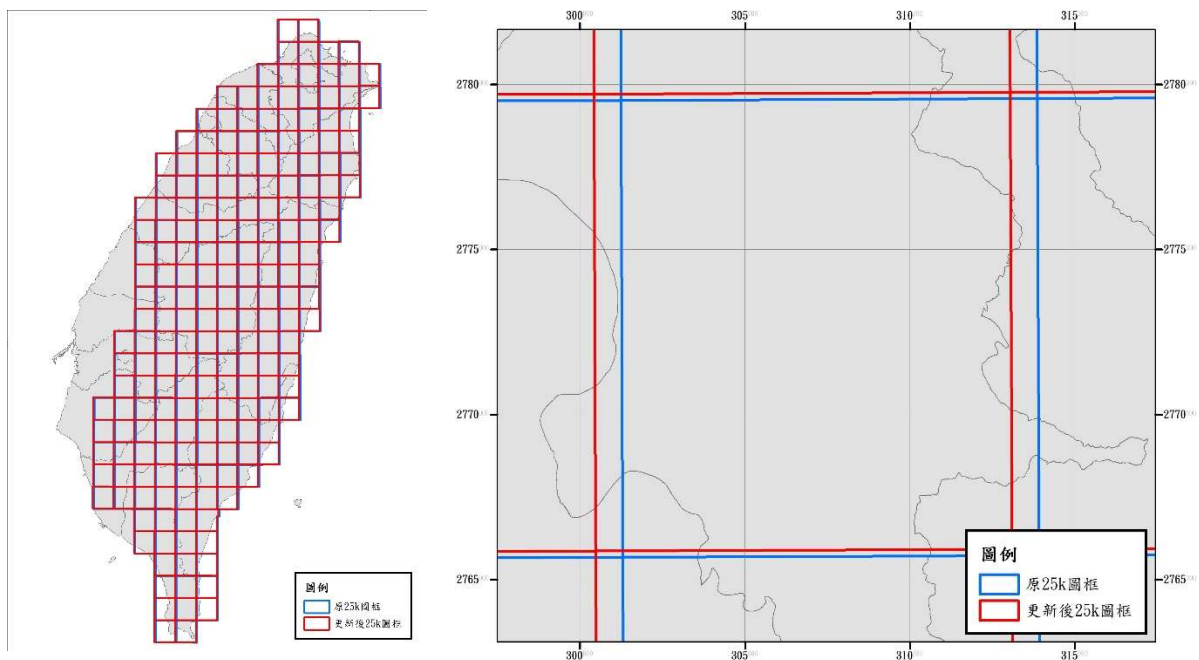
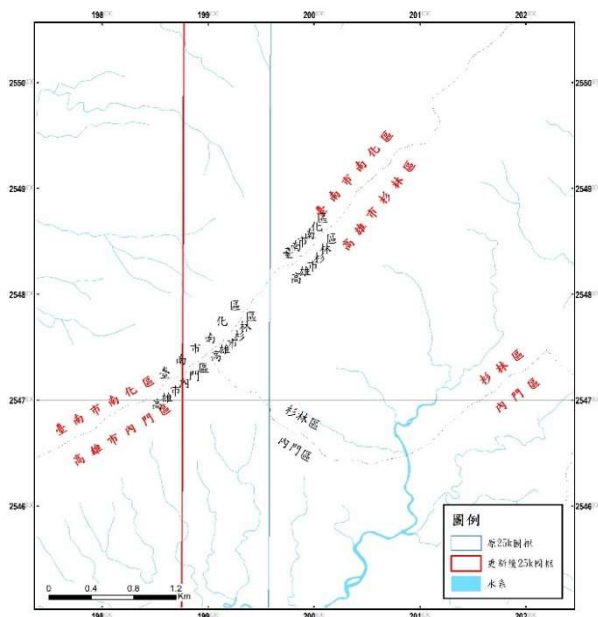
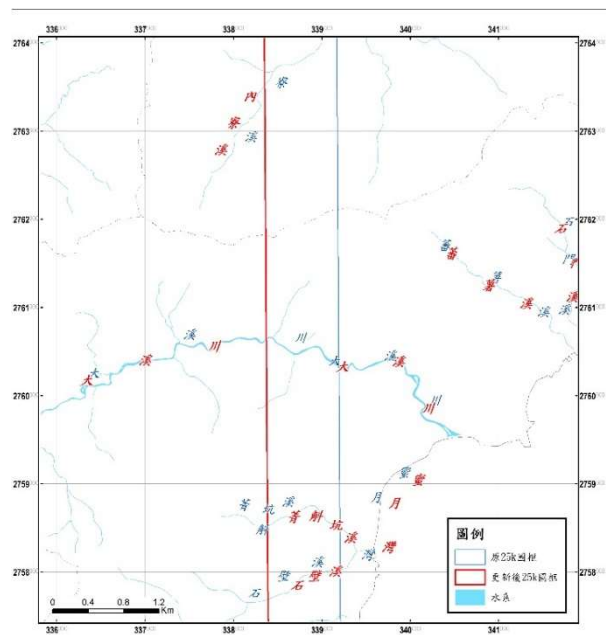


圖 3 1/25,000 圖框更新前後位置圖(放大後如右圖所示，更新後圖框(紅色)往左上方偏移)



(a)鄉鎮界名



(b)水系名

圖 4 依圖框位置更新調整示意圖(圖面黑字為原位置，紅字為更新後結果)

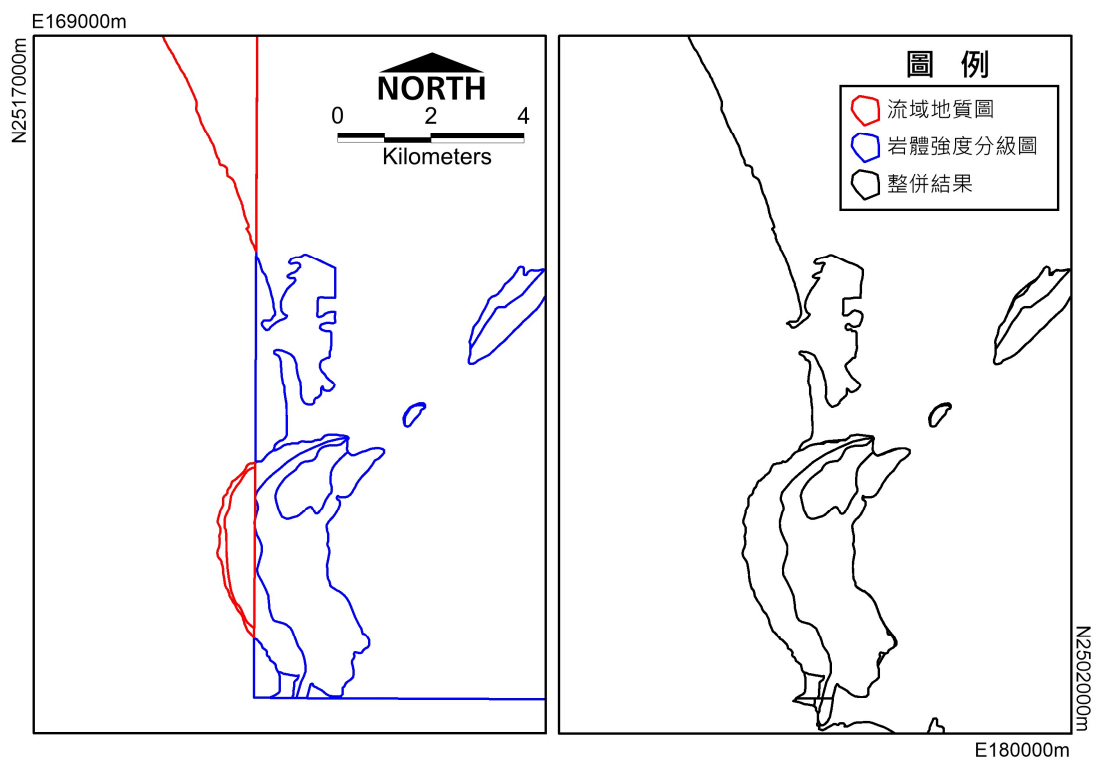


圖 5 岩體強度填圖範例(圖框調整範圍)

## 2.2 圖幅增補及出圖版面設計

部分 1/25,000 圖幅為不規則形狀，並略大於一般圖框以涵蓋完整國土，如澳底、靜浦、蘇澳、富貴角等圖幅(如圖 6)，過去為求出圖比例尺一致，考量到人跡罕至，對社會經濟衝擊較小，超出 1/25,000 圖幅範圍者，則未納入印刷範圍，但為求環境地質圖集涵蓋範圍的完整

性，本(111)年度則擴展以上圖幅之出圖範圍，重新調整出圖比例尺。另外，原訂 202 圖幅出圖範圍外仍有零星坡地(圖 7)，如赤崁、枋寮、下罟尾、芝田、新莊子、豐濱與漢本等圖幅，因仍有發生山崩之可能性，本(111)年度將以上所提圖幅之坡地範圍併入相鄰圖幅產製出圖。

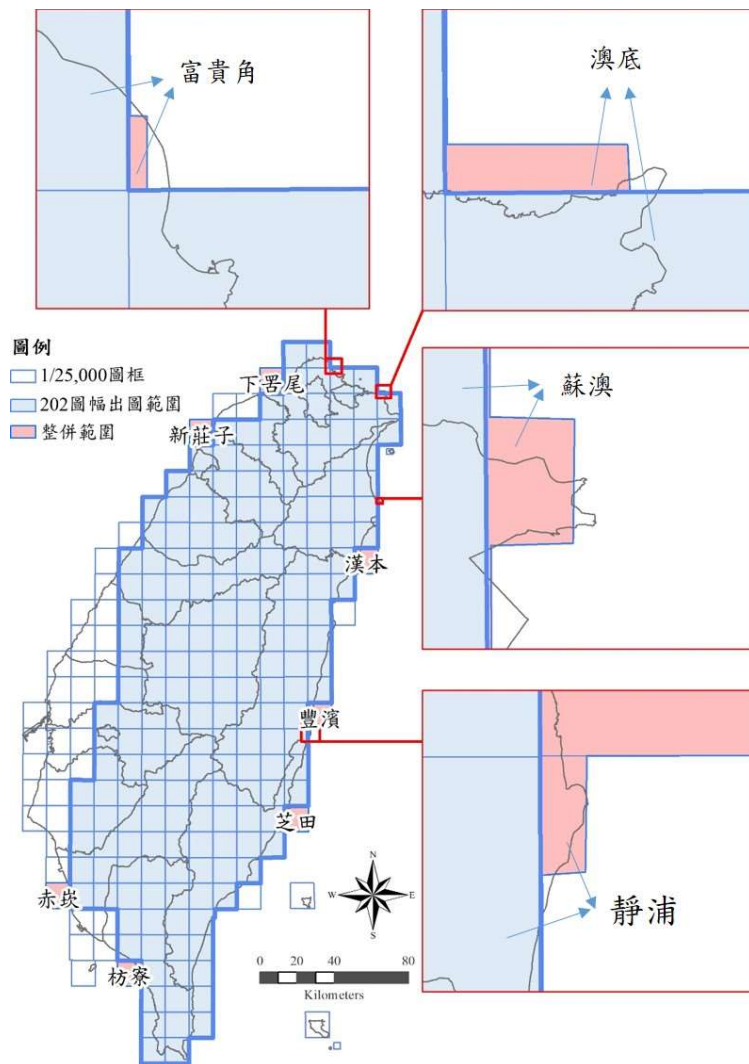


圖 6 增補圖幅分布圖

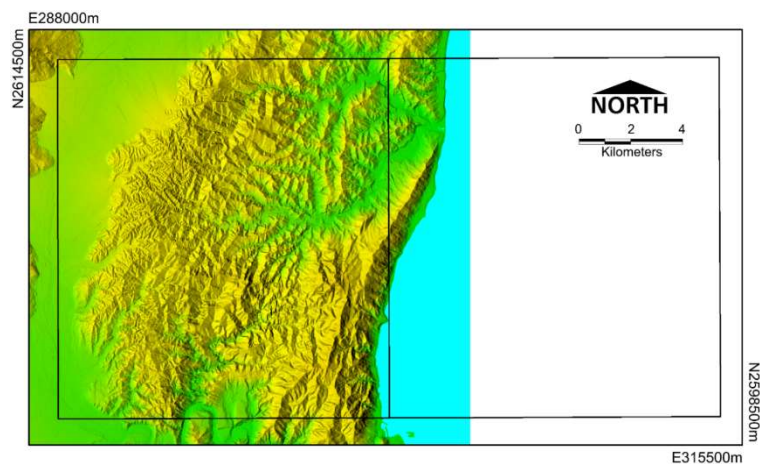


圖 7 增補圖幅(右)之地形圖



## 2.3 圖集說明書暨圖冊印刷相關作業

圖集說明書旨於輔助閱讀山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山災害潛勢圖，揭露繪製各圖目的，詳細說明圖冊展示之資料，如落石、岩屑崩滑、岩體滑動等山崩定義及判釋條件，解釋引用圖資的組成及判釋原則，編撰地調所過去現地調查之案例於圖集說明書中，各類山崩災例將對應至山崩定義及判釋條件，使閱讀者更容易釐清其中差異。藉由圖集說明書與圖冊相輔相成，理解山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山災害潛勢圖的使用方式及限制。

本(111)年度將進行圖冊印刷，預計印刷 150 套，每套分為北、中、南、東四冊，每個圖幅包含山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山崩災害潛勢圖等三張圖。

## 2.5 山崩災害案例蒐集與驗證

本(111)年度透過新聞報導整理及參考水保局 111 年重大土砂災例最速報(未經審核)，共蒐集 19 筆山崩災害案例(位置如圖 8)。新聞報導大多描述災情及地點，發生時間則鮮少說明，極其少數會記載於某個大量降雨時間後發生，過往執行計畫常需針對這些案例進行現地調查及訪談，重複確認這些災例地點及發生時間的正確性。重大土砂災例最速報為現勘資料，是以保全對象做主觀描述(如災害類型判定為碰觸保全對象時之災害類型、發生時間亦同)，但可藉由這些相對資訊推估可能地點及時間。

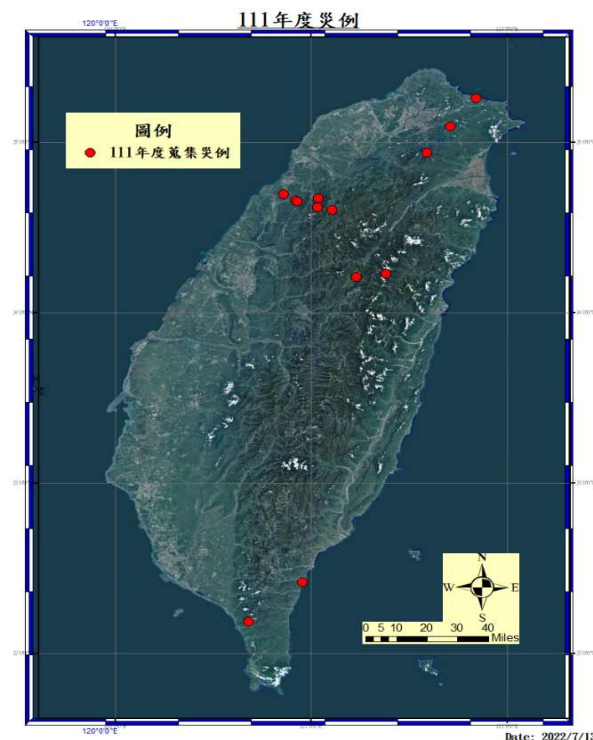


圖 8 本(111)年度蒐集災害案例分布

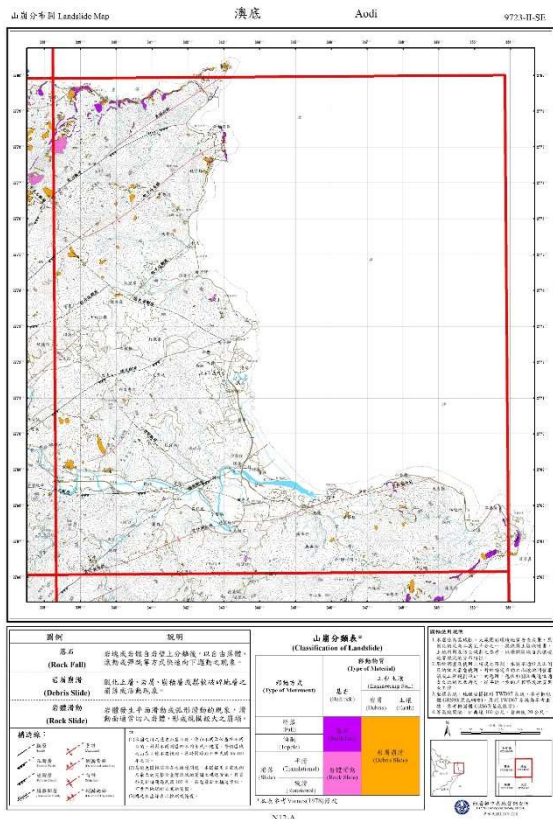
### 三、研究成果

#### 3.1 圖幅增補及出圖版面設計

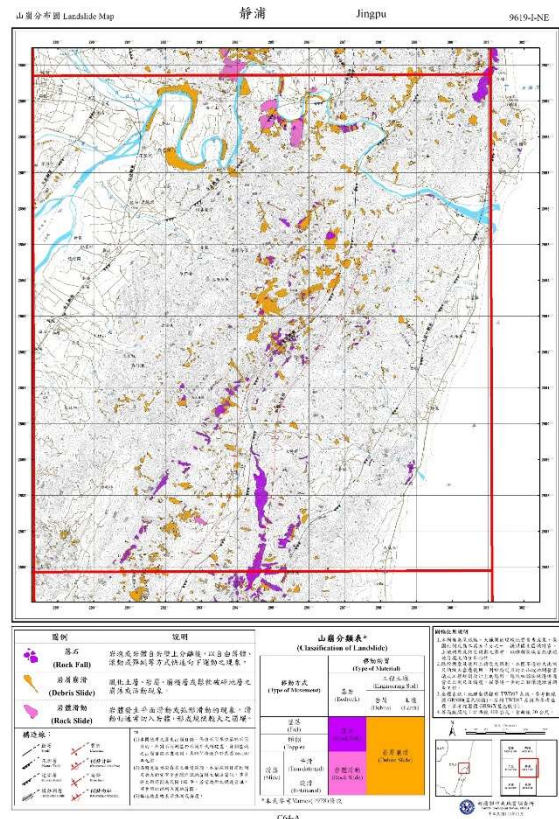
原訂出圖比例尺為 1/50,000，完整涵蓋 1/25,000 圖框，針對要修改的圖幅，為避免造成混亂，增補圖幅之出圖比例尺原則上統一變更為 1/56,000，如表 1 所示。屬於澳底圖幅之鼻頭角、三貂角等位於出圖範圍外，修正出圖比例尺為後可完全涵蓋，如圖 9(a)，其中紅色方框為兩萬五千分之一圖框；靜浦圖幅中東邊的石梯坪(圖 9(b))、蘇澳圖幅中東邊的北方澳、南方澳等(圖 9(c))，和富貴角圖幅中東邊的永興、跳石等(圖 9(d))因範圍較大，除修正出圖比例尺外，亦微調圖面範圍以涵蓋以上所提之地區。

表 1 增補圖幅出圖版面調整統整表

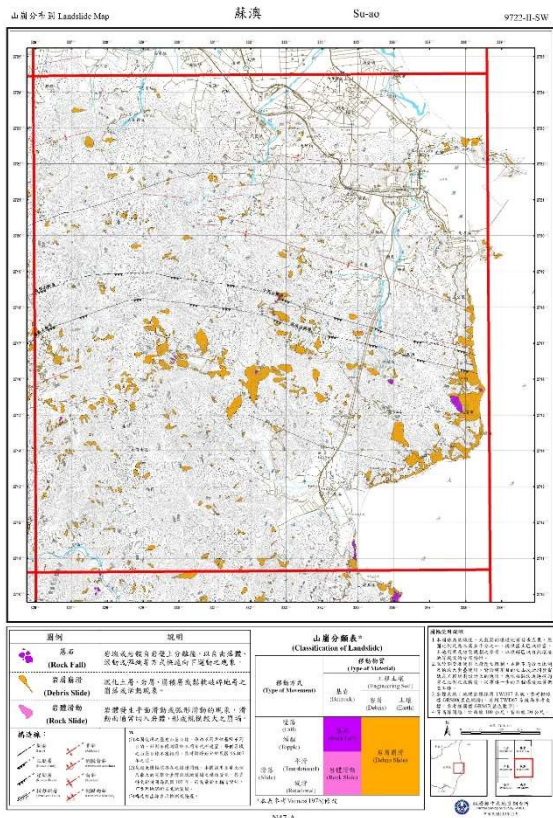
增補圖幅	併入圖幅	出圖比例尺	說明
澳底	澳底	1/56,000	以原圖框做為中心
靜浦	靜浦	1/56,000	調整圖面範圍
蘇澳	蘇澳	1/56,000	調整圖面範圍
富貴角	富貴角	1/56,000	調整圖面範圍
赤崁	高雄市(北部)	1/50,000	未做更動
枋寮	枋山	1/56,000	以原圖框做為中心
下罟尾	南坎	1/56,000	調整圖面範圍
芝田	重安	1/56,000	調整圖面範圍
新莊子	新竹市	1/65,000	調整圖面範圍。可以插入小圖的方式補充
豐濱	鶴岡	1/65,000	調整圖面範圍
漢本	和平	1/65,000	調整圖面範圍



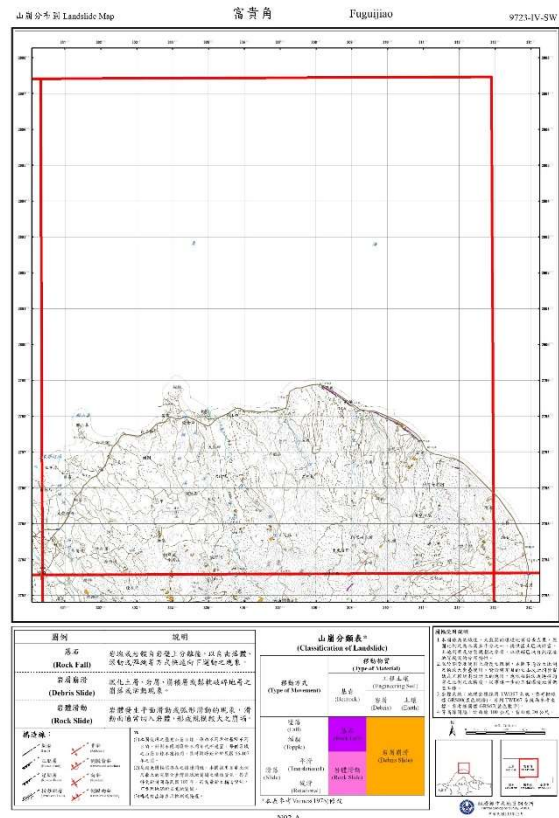
(a) 澳底圖幅



(b) 靜浦圖幅



(c) 蘇澳圖幅



(d) 富貴角圖幅

圖 9 修改出圖比例尺示意圖(1)

202 幅出圖範圍外零星坡地將其與相鄰圖幅做整併，並調整出圖比例尺，重新設計出圖版面(表 1)。原位於赤崁圖幅內的部分壽山山區因 1/25,000 圖框位置更新後，完整納於高雄市(北部)圖幅，因此高雄市(北部)圖幅維持 1/50,000 出圖比例尺(圖 10)；枋寮圖幅位於枋山圖幅西側，並納入枋山出圖範圍(圖 11(a))，因 1/25,000 圖框位置更新後，僅枋寮圖幅中春日鄉少部分丘陵區需增補，調整出圖比例尺為 1/56,000 後，以原圖框為中心，不再微調出圖範圍；下厝尾圖幅位於南坎圖幅北側，並增補進南坎圖幅出圖範圍(圖 11(b))，芝田圖幅位於重安圖幅南側，並增補進重安圖幅(圖 11(c))，以上兩圖幅出圖比例尺調整至 1/56,000 後，因增補範圍較大，需微調圖面範圍以涵蓋以上圖幅內容；新莊子圖幅位於新竹市圖幅北側(圖 11(d))，豐濱圖幅位於鶴岡圖幅東側(圖 12(a))，漢本圖幅位於和平圖幅東側(圖 12(b))，分別納入其相鄰新竹市、鶴岡及和平圖幅之出圖範圍，因豐濱及漢本增補範圍較大，約橫跨 3000 公尺，以 1/65,000 出圖比例尺調整後，才可完整涵蓋，新莊子圖幅中雖丘陵區較少，需增補範圍較小(跨幅約增加 2000 公尺)，但為避免出圖比例尺版本過多，亦設 1/65,000 為出圖比例尺。

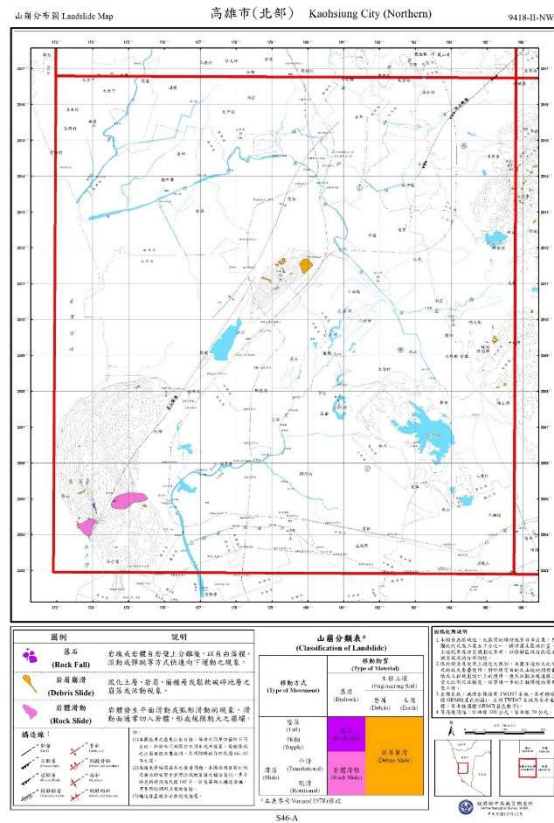
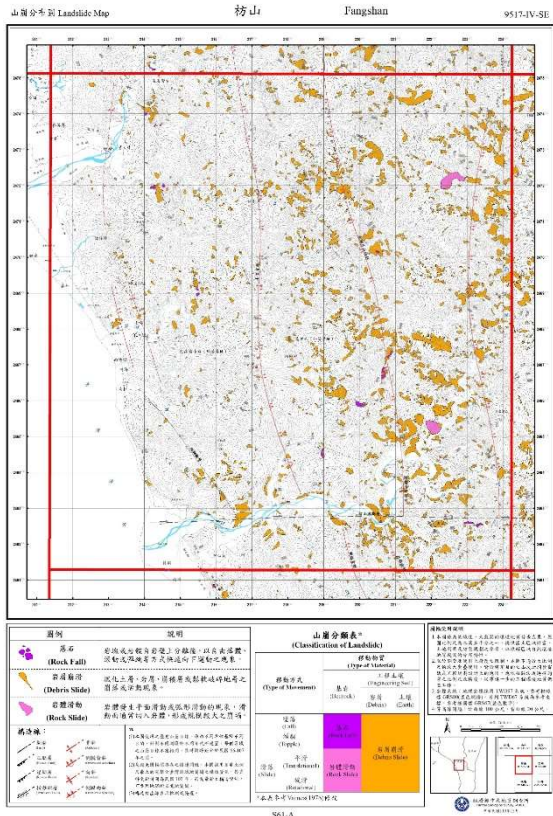
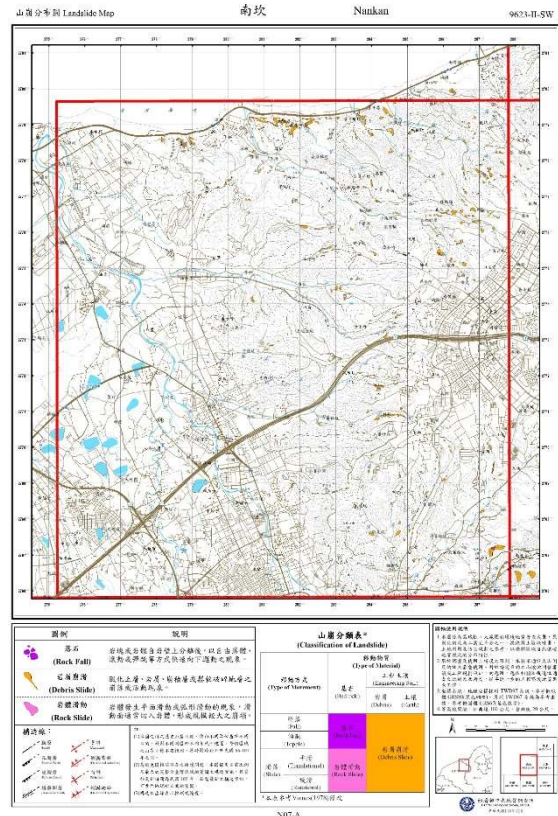


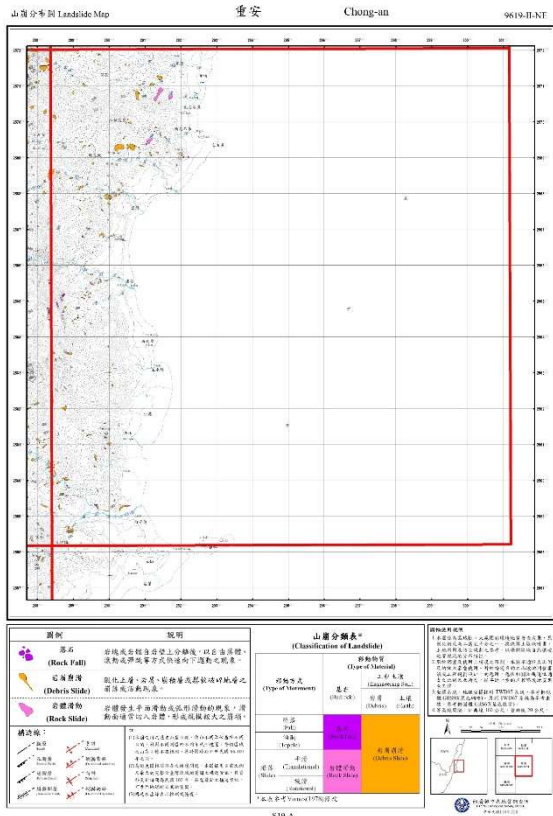
圖 10 修改出圖比例尺示意圖(2)-高雄市(北部)圖幅



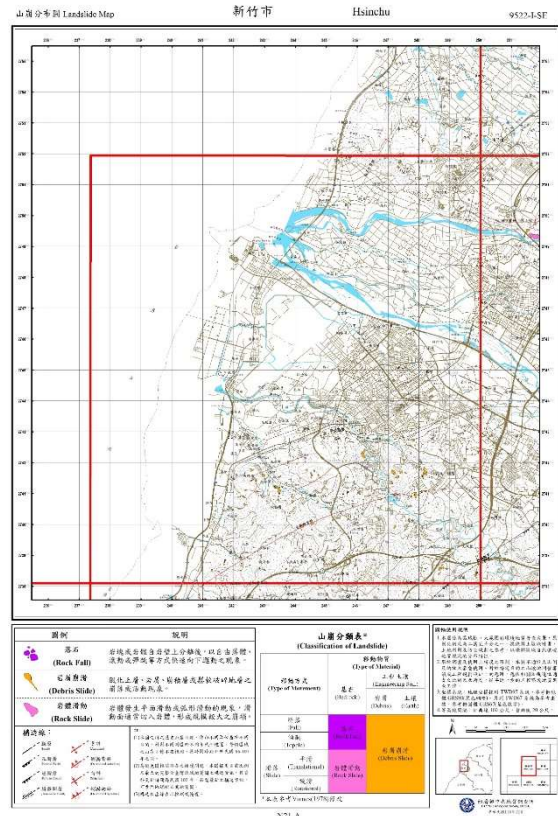
(a)枋山圖幅



(b)南坎圖幅

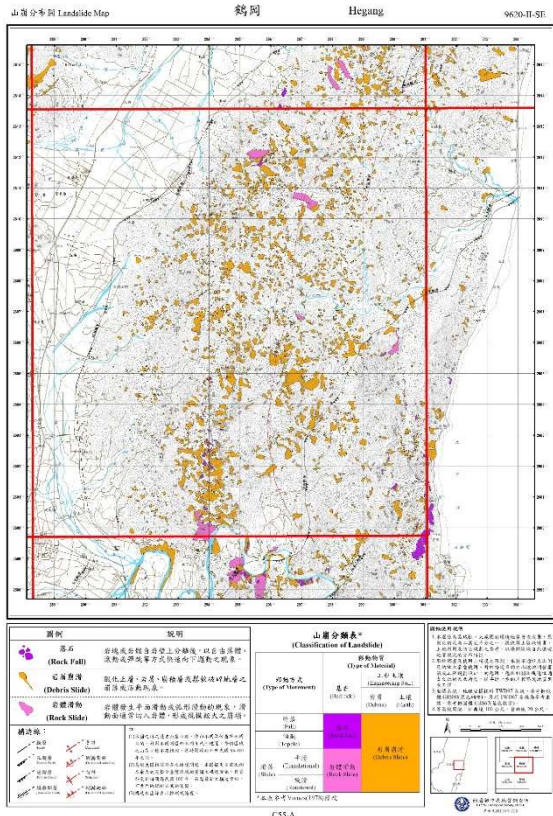


(c)重安圖幅

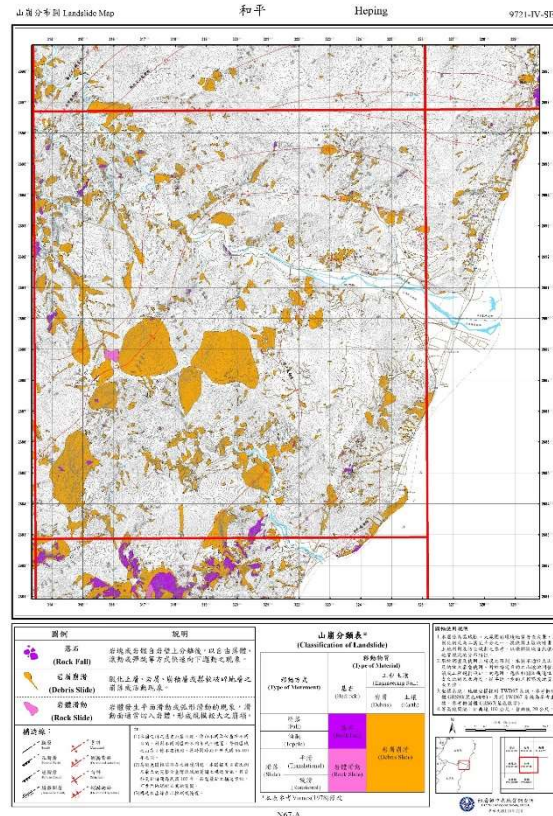


(d)新竹市圖幅

圖 11 修改出圖比例尺示意圖(3)



(a) 鶴岡圖幅



(b) 和平圖幅

圖 12 修改出圖比例尺示意圖(4)

因應出圖範圍擴張，除調整出圖版面，亦產製其相對應之山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山崩災害潛勢圖資料。歷史山崩目錄、順向坡及老山崩圖資皆以全臺灣的的尺度製作，可直接套疊使用，僅山崩災害潛勢需另再進行製作，上述下罟尾、枋寮、芝田、新莊子、豐濱與漢本共 6 圖幅，皆需填補岩體強度分布資料，成果如圖 13~圖 15，並新製潛勢；澳底、靜浦、蘇澳、富貴角圖幅則有岩體強度資料，僅需增補 1/25,000 圖框外之潛勢。

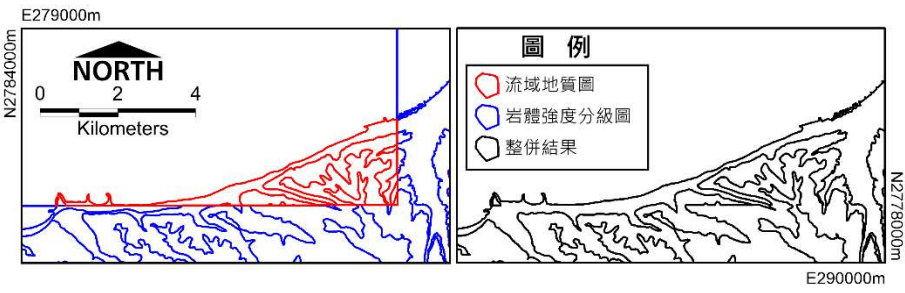
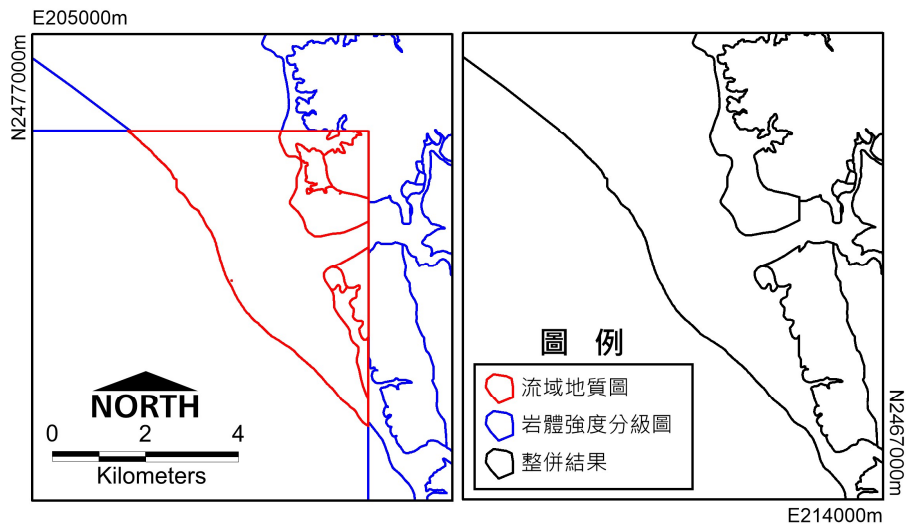
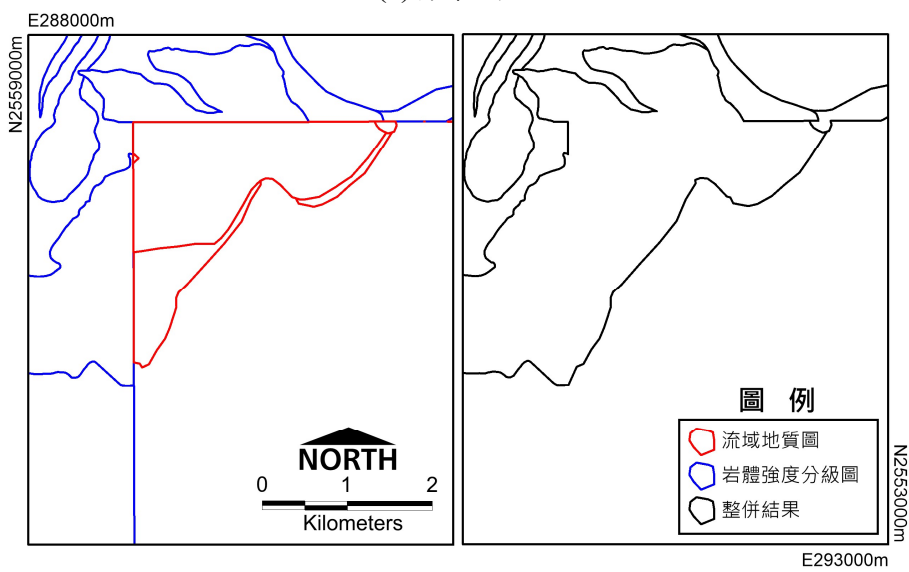


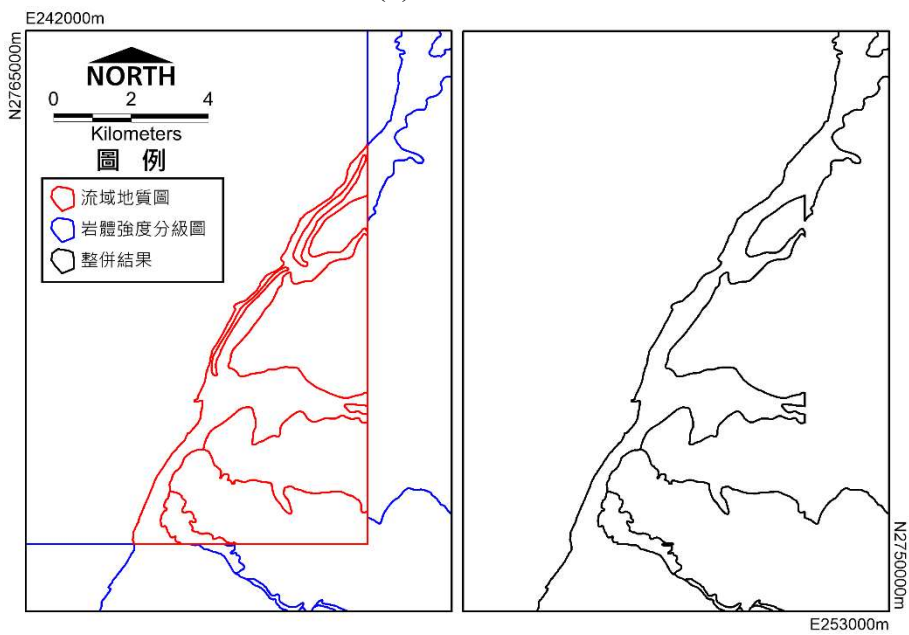
圖 13 岩體強度增補示意圖(1)-下罟尾圖幅



(a) 枋寮圖幅

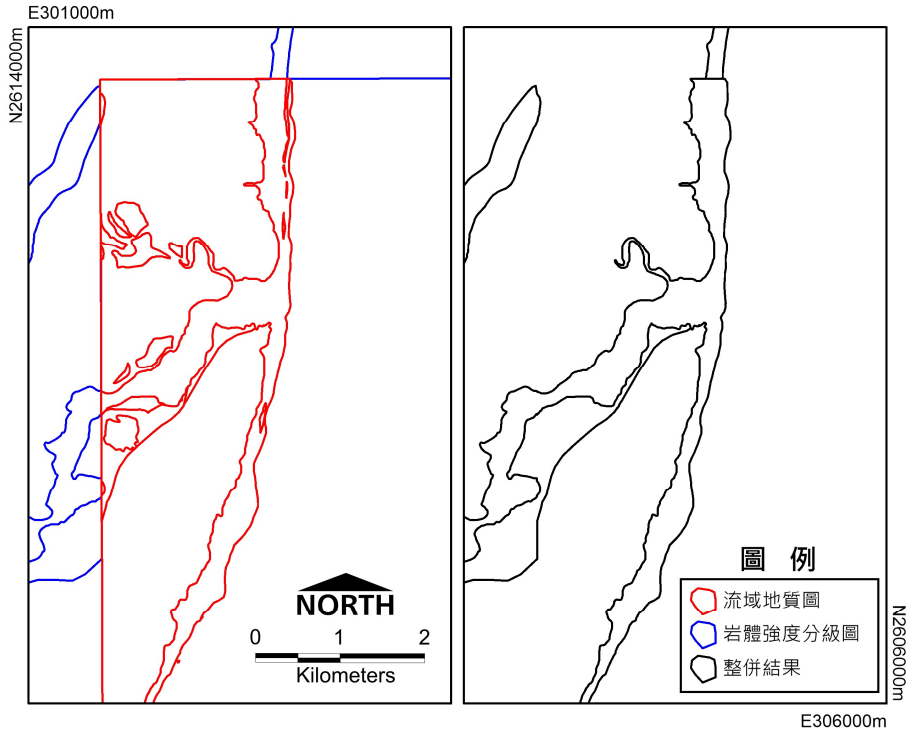


(b) 芝田圖幅

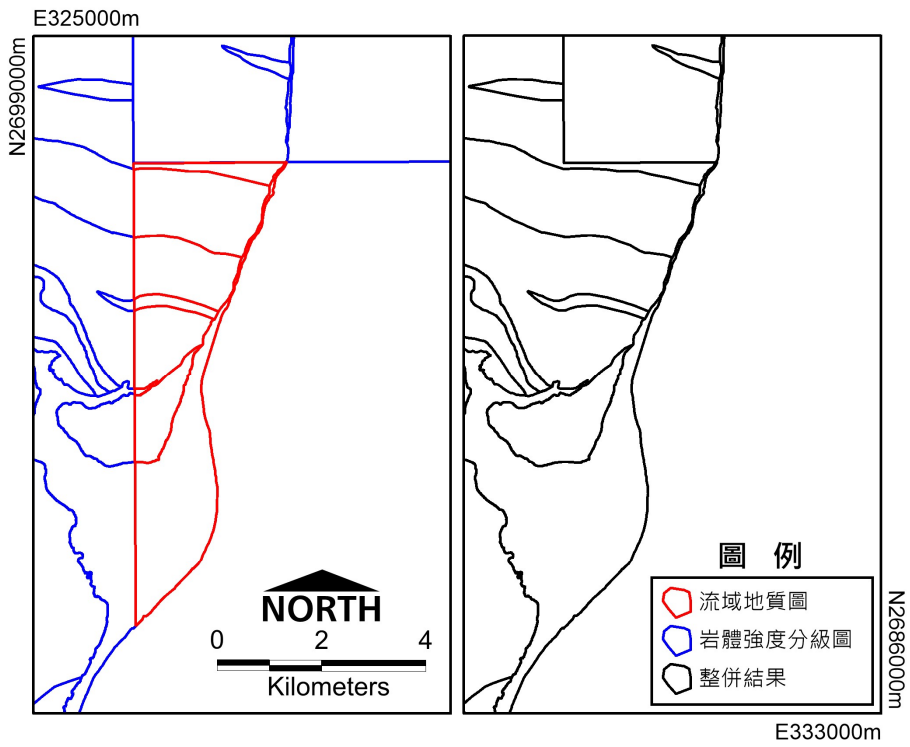


(c) 新莊子圖幅

圖 14 岩體強度增補示意圖(2)



(a) 枋寮圖幅



(b) 芝田圖幅

圖 14 岩體強度增補示意圖(2)



## 3.2 圖集說明書暨圖冊印刷相關作業

圖集說明書旨於輔助閱讀山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山崩災害潛勢圖，揭露繪製各圖目的，其主要章節與內容包含如下：

### 一、概述：

因應山崩資料的累積、地形資料的精進產出，以及山崩對社會經濟人民生命財產的影響，進行山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山崩災害潛勢圖的產製與更新。首於本章節進行通則性說明，如出圖範圍、製圖比例尺、圖幅分冊等資訊，並解說三張圖的共同性設計，如圖層架構、版面配置、圖例說明，方便閱圖者進行閱圖方式的查找。最後提及圖集的使用說明與限制，如：本圖集屬區域性、大範圍環境地質普查成果，不適用於過度放大後套疊使用，以避免閱圖者過度解讀與使用。

本章共分為以下各小節：緣起、圖集內容、版面說明、圖層架構、圖例說明、使用說明及注意事項。

### 二、山崩分布圖：

說明此圖為展示地表現況之山崩分布，由光學衛星影像判釋而得。依照移動材料及移動方式山崩可分為落石、岩屑崩滑及岩體滑動三種類型，亦繪製卡通圖以重點呈現三種類型山崩之特徵，輔助說明其定義。並對三種類型之山崩各挑選一實際災例，對照同一災害範圍之現場照片、UAV 正射影像、山崩分布圖，提供閱圖者建立山崩分布圖上圈繪範圍與實際災害範圍之連結。最後闡述產製原則，包括說明資料來源以及如何進行資料處理，至製圖邏輯，提供閱圖者釐清山崩分布圖之山崩範圍意義。

本章共分為以下各小節：山崩的分類、落石、岩屑崩滑、岩體滑動、山崩分布圖製圖原則。

### 三、順向坡與老山崩分布圖：

說明此圖為展示易發生山崩之地形區位，包含順向坡與老山崩。順向坡依據坡面與層面或是坡面與劈理面之走向交角定義，老山崩定義為過去發生崩塌，現仍具有山崩地形特徵之區位，皆基於地調所產製之高精度地形資料判釋。此章節詳細說明順向坡與老山崩資料的地形判釋條件，並舉例實際發生於順向坡與老山崩的山崩災害範例，展示災害的現地照片、UAV 正射影像、及套疊於順向坡與老山崩分布圖，提供閱圖者建立順向坡與老山崩分布圖上圈繪範圍與實際災害範圍之連結。

本章共分為以下各小節：順向坡、老山崩、順向坡與老山崩製圖原則。

#### 四、山崩災害潛勢圖：

說明山崩潛勢的更新，包含潛勢分級分類因子的資料來源、分類標準及判定條件，以及各山崩類型潛勢的分級標準。最後寫述製圖原則，由於三種不同山崩類型之潛勢為個別評估再加以套疊，不同類型山崩潛勢區可能互相重疊，考量其合理性及易讀性，說明各山崩潛勢圖層疊合時遵照之規則。

本章共分為以下各小節：分級分類條件說明、潛勢分級說明與限制、潛勢圖製圖原則。

#### 五、各縣市山崩災害概述：

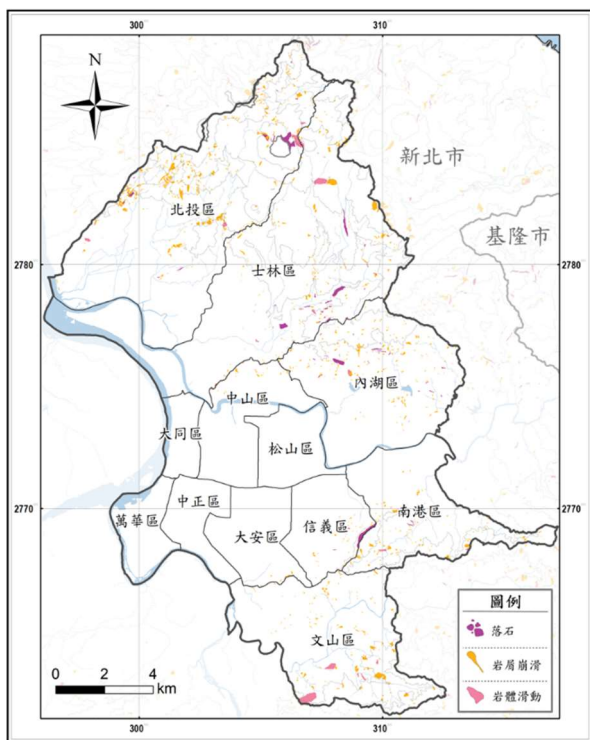
臺灣坡地災害主因為颱風及地震，其中又以颱風造成的崩塌佔大宗。為方便瞭解，本章以縣市為單位分別針對山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山崩災害潛勢圖進行說明，說明各類型山崩分布於何處，哪些鄉鎮市區較容易發生山崩災害；順向坡與老山崩地形位於何處；哪些區位的山崩潛勢較高，山崩高潛勢都位於哪些鄉鎮市區。

茲以臺北市為例，臺北市位於臺灣北部，地勢以東北及東南兩側較高，市境中心為臺北盆地，北側為大屯火山群，東側為地勢較低矮的南港山系，南側則為加里山山脈之延伸，歷年來知名的致災颱風事件有象神、納莉、艾利及芭瑪等。

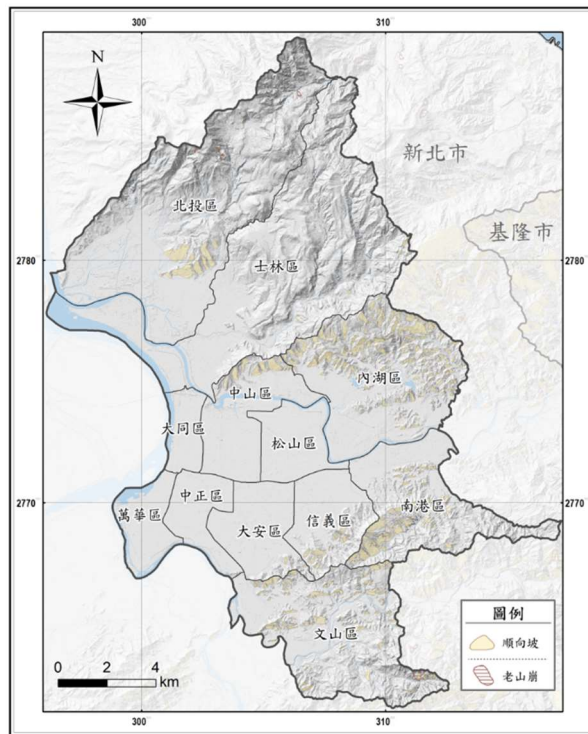
圖 15(a)為山崩分布圖，由圖可知落石主要分布於北側大屯火山群、東側南港山系。岩屑崩滑遍布台北市各區丘陵山地，北投區、內湖區及文山區的崩塌數量較多。岩體滑動數量較少，主要分布於北投區、士林區及文山區。

圖 15(b)為順向坡及老山崩分布圖，由圖可知順向坡分布於東南側山地(信義區、南港區及文山區等山地)，以及內湖一帶丘陵(中山區劍南山一帶、內湖區)，少部分位於北投區硫磺谷一帶。老山崩於臺北市各區山地，均有少量分布。

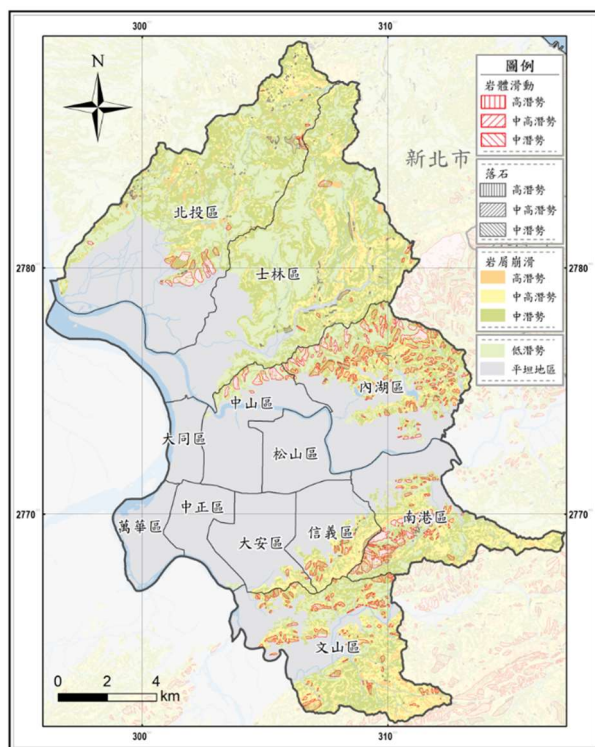
圖 15(c)為山崩災害潛勢圖，由圖可知落石高潛勢區主要分布於大屯火山及南港一帶，落石中潛勢區零星散布於各區較陡的邊坡。岩屑崩滑高潛勢區遍布於臺北市各區山地。岩體滑動高潛勢區主要位於南港區，其餘零星分布於各區山地，岩體滑動中潛勢區則分布於內湖區及文山區，北投區、信義區及南港區亦有零星分布。



(a)山崩分布圖



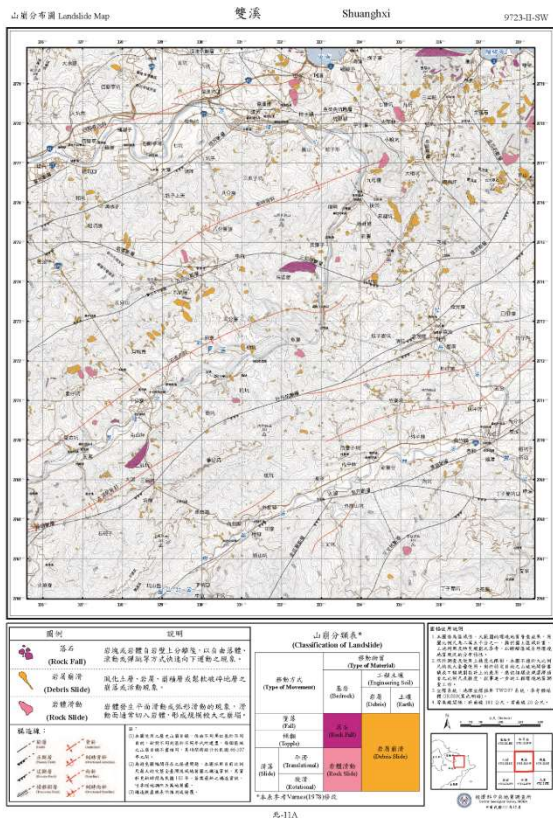
(b)順向坡與山崩分布圖



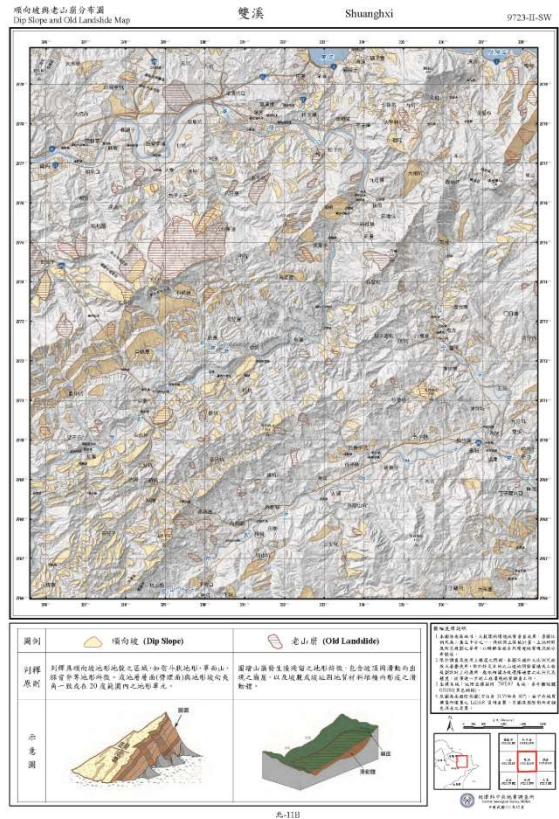
(c)山崩災害潛勢圖

圖 15 臺北市環境地質圖組圖簡圖

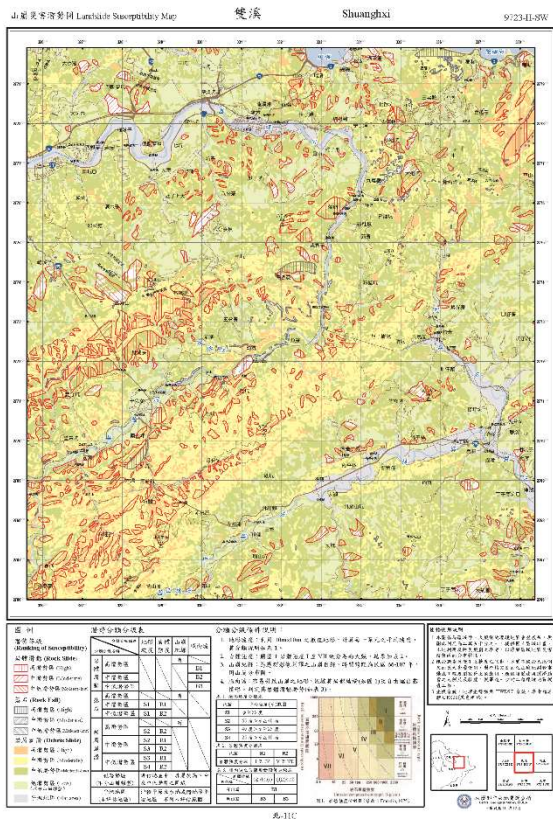
圖 16 為環境地質圖組圖範例，包含山崩分布圖、順向坡與老山崩分布圖及山崩災害潛勢圖等三張圖，202 個圖幅分為北、中、南、東四冊，各圖幅隸屬區域如圖 17。



(a) 山崩分布圖



(b) 順向坡與山崩分布圖



(c) 山崩災害潛勢圖

圖 16 各圖幅環境地質圖組圖範例

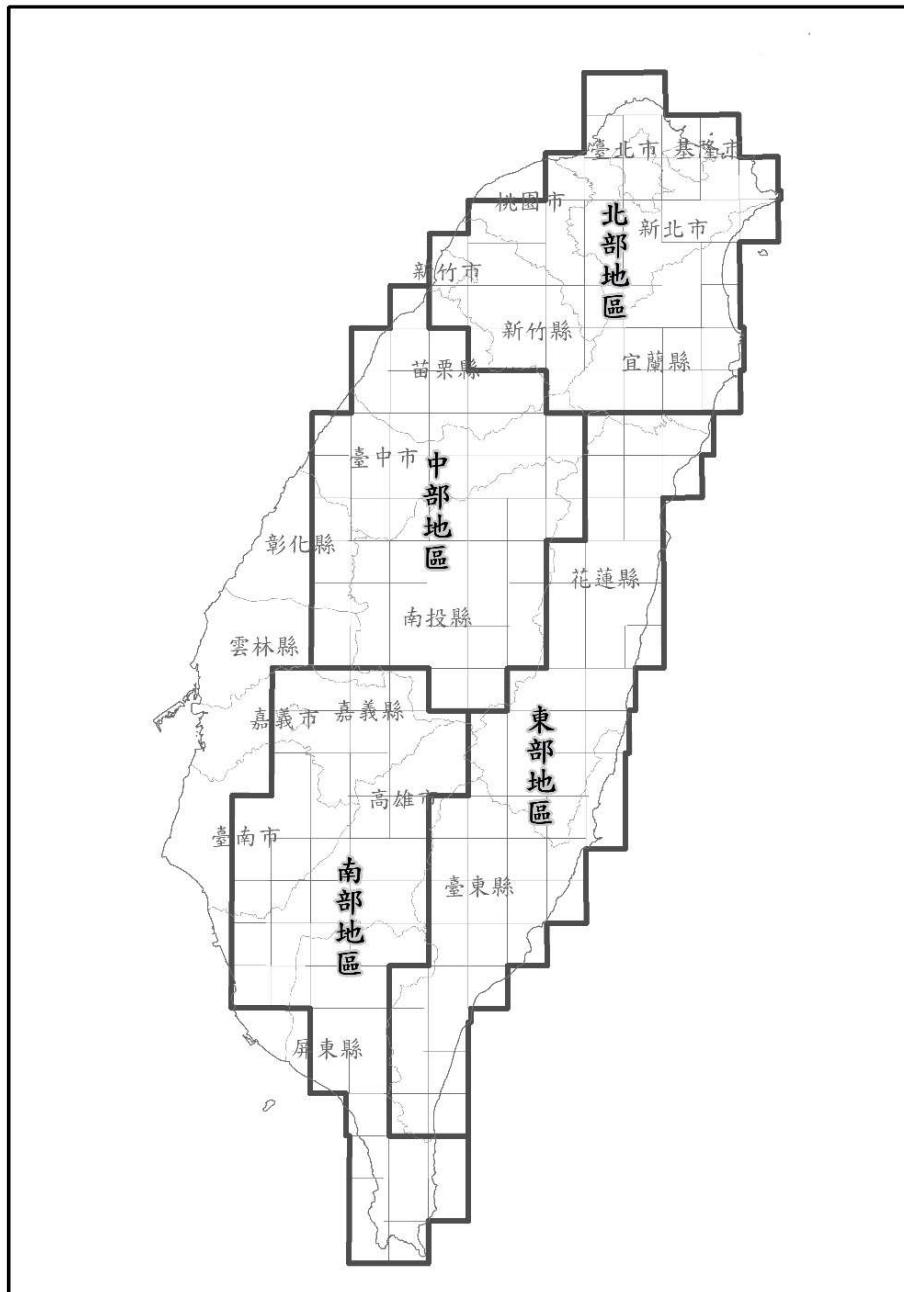


圖 17 北部、中部、南部及東部等地區包含圖幅示意圖

### 3.3 山崩災害案例蒐集與驗證

由土石流防災資訊網取得之 111 年度重大土砂災例最速報 5 筆，另外加上新聞播報資料 14 筆，共計 19 筆資料(表 2)。19 處災例於之致災雨量皆偏小，致災時間回推三天內亦無偏大的雨量，表示無前期降雨影響，考量降雨山崩即時系統對於驗證之山崩災例有適用性，因此針對前述 19 筆災例進行檢核，以排除不適用的災例。

災例需同時具備下列六個條件，方適用於本系統：

1. 明確的災害發生時間

2. 精確的災害發生地點
3. 降雨誘發岩屑崩滑
4. 新生崩塌
5. 位於自然邊坡
6. 具有一定規模，其崩塌面積至少大於 400 m<sup>2</sup>

表 2 本(111)年度蒐集之山崩災害案例

編號	災害日期	災害時間	災害地點	斜坡單元分類	I <sub>3</sub>	R <sub>24</sub>
1	20220207	傍晚	鄉道投 89 線(力行產業道路 15.8k 處)	中部第一類	0.6	3.0
<b>2</b>	<b>20220223</b>	<b>18:00</b>	<b>槓子寮路資源回收場</b>	<b>北部第二類</b>	<b>1.7</b>	<b>46.8</b>
3	20220309	清晨	大鹿林道 9.5k	中部第一類	0.0	0.0
4	20220327	15:30	台 8 線中橫公路 117.4k	東部第一類	0.1	47.0
<b>5</b>	<b>20220328</b>	<b>8:00</b>	<b>苗 126 線 26.1k</b>	<b>中部第一類</b>	<b>6.3</b>	<b>80.8</b>
6	20220328	18:47	竹 60 線 27.3k	--	--	--
<b>7</b>	<b>20220329</b>	<b>16:30</b>	<b>苗 126 線 26.2k</b>	<b>中部第一類</b>	<b>0.0</b>	<b>19.8</b>
<b>8</b>	<b>20220330</b>	<b>14:00</b>	<b>苗 126 線 28.5k</b>	<b>中部第一類</b>	<b>1.3</b>	<b>4.0</b>
<b>9</b>	<b>20220422</b>	<b>22:00</b>	<b>台 9 線 400k+500</b>	<b>南部第三類</b>	<b>0.0</b>	<b>166.8</b>
10	20220426	7:00	台 8 線 117k+400 關原路段	東部第一類	0.0	0.0
11	20220514	15:00	石碇里石碇西街 63 號旁土地公廟	北部第二類	0.0	29.0
12	20220517	21:50	北 107 線 28k(信福路隧道口處)	北部第二類	0.0	13.8
13	20220601	13:30	鄉道投 89 線(力行產業道路 16.8k 翠巒部落路段)	--	--	--
14	20220609	1:00	苗 12 線平興村路段	--	0.5	91.8
15	20220609	10:30	苗 5-2 線良安宮東側路段	--	--	--
16	20220612	12:50	卡悠峰瀑布附近	南部第二類	0.0	2.8
17	20220629	N/A	大竹村大彰路一段 222 巷	--	--	--
18	20220702	13:00 、16:00	苗 21 線 3.5k	中部第一類	12.8	50.0
19	20220703	6:30	苗 21 線 12.3k	中部第一類	0.2	53.5

粗體字為水保局重大土砂災例

重大土砂災例最速報僅提供推估崩塌時間、崩塌相對位置、崩塌面積及保全對象致災情形，針對山崩類型、新生崩塌地、位於自然邊坡判斷，則需藉由其他輔助資訊進一步確認；而新聞報導大多只提供大致的發生時間和地點，而更為準確的坐標位置、崩塌面積、是否為新生崩塌，崩塌類型等等的資訊，因無現地勘查的資訊，僅能自 Google Earth、新聞照片以及山崩目錄圖資等輔助資訊中判斷。

首先，用以驗證降雨山崩系統的災例需具有明確的時間，以確認致災雨量、進入雨量門

檻時間及系統是否成功警戒。本(111)年度大部分新聞皆有災害發生時間(表 2)，僅編號 1、3、17 案例對致災時間的描述簡略或缺漏。

系統之降雨門檻以斜坡單元作為警戒單元，並且具有因地制宜的特性，針對不同斜坡單元的山崩潛勢設計不同門檻值，山崩的具體位置則用於判斷其所在斜坡單元。水保局重大土砂災例最速報以保全對象為主體，描述受災保全對象(如住宅、道路、橋梁等)之位置，根據水保局重大土砂災例最速報所提供的坐標，及現地照片、空拍照片確認山崩發生之坡面。新聞中山崩發生位置常僅粗略描述，為獲得具體坐標，先透過新聞文字敘述訂出粗估位置，再利用 Google Earth 街景服務功能比對新聞照片提供的相對位置，尋找山崩的發生坡面。整體來說，19 筆案例中，編號 6、13、15、17 無法找到其精確位置或 Google Earth 沒有提供街景服務的位置。

本系統僅針對降雨誘發之岩屑崩滑發布預警，水保局重大土砂最速報為現地調查之成果，當中包含描述致災原因，如降雨誘發(如編號 2、5、7、8 號)或逕流淘刷(如編號 9 號)等，5 筆水保局重大土砂最速報中，有 4 筆符合降雨誘發之岩屑崩滑的條件。新聞案例因缺乏現場調查，導致難以確認山崩種類及致災原因，僅能先以新聞照片篩選出疑似岩屑崩滑之案例，並查詢其雨量資料確認是否為降雨誘發，讀取最近地區的雨量站記錄，計算近日內的雨量分布，新聞案例中 14 筆案例，僅 1 筆有明顯降雨。

關於新生崩塌的分辨方法，水保局重大土砂最速報因未有相關描述，則與新聞災例共同套疊歷年岩屑崩滑圖資，同時比對 Google Earth 衛星影像圖片，藉此判斷是否為新生崩塌地，只要位在歷年岩屑崩滑所涵蓋區域內或鄰近者，則歸於舊有崩塌地復發，總共 19 筆案例中，共有 15 筆屬於舊有崩塌地復發。

藉由新聞照片、google 街景及水保局重大土砂最速報資訊，判斷崩塌地是否位於自然邊坡，編號 4、9、10、15 及 16 號案例無法判定或位於人工邊坡，其餘皆位於自然邊坡上。

崩塌範圍因沒有現地勘查而無法確定，僅水保局重大土砂最速報具有現地崩塌面積的紀錄，編號 2、5、7、8 及 9 號案例範圍皆大於 400 m<sup>2</sup>。

最後考量系統之限制，將案例與斜坡單元套疊進行分析，未涵蓋於系統目前可分析的範圍者(如標號 6、13、14、15、17)，亦納入不適用之災例。

綜整上述，本計畫針對前述之 19 處災例適用性檢核成果如表 3，須滿足表 3 所列之所有條件才適用於系統驗證。

本(111)年度期中階段蒐集之 19 處案例，無災例適用於驗證降雨山崩系統，不適用原因包含為無法確定山崩發生時間、地點、災例非降雨誘發之岩屑崩滑、非新生災害、非自然邊坡、崩塌面積小於 400 m<sup>2</sup> 及未位於斜坡單元等。

表 3 災例適用性檢核表

編號	明確時間	明確地點	降雨誘發 岩屑崩滑	新生 災害	位於 自然邊坡	大於 400 m <sup>2</sup>	位於斜坡單元	適用 與否
1	x	✓	x	x	✓	x	✓	x
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
3	x	✓	x	x	✓	x	✓	x
4	✓	✓	x	x	x	x	✓	x
5	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	x
6	✓	x	x	x	✓	x	x	x
7	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	x
8	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	x
9	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	x
10	✓	✓	x	x	x	x	✓	x
11	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	x
12	✓	✓	x	x	✓	x	✓	x
13	✓	x	x	x	✓	x	x	x
14	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
15	✓	x	x	x	x	x	x	x
16	✓	✓	x	x	x	x	✓	x
17	x	x	x	x	✓	x	x	x
18	✓	✓	x	x	✓	x	✓	x
19	✓	✓	x	x	✓	x	✓	x

粗體字為水保局重大土砂災例

### 3.4 降雨山崩即時系統維護與更新

前期(104-107)計畫所研發之「降雨引發山崩預警資訊系統」已建置於國家高速網路與計算中心機房，本期(108-111)計畫以成果推廣為目標，持續進行系統維護與更新，確保系統正常運作。本(110)年度持續維持簡易版之「降雨山崩即時系統」資訊平台(Rainfall-induced Landslide Real-time System, RiLRS; <http://cgs.colife.org.tw/user/demo.aspx>)(圖 18)運作。



圖 18 全臺縣市、鄉鎮、村里單元即時山崩發生度首頁



## 四、結論

### 1. 出圖版面勘誤及地圖圖徵增補

為使圖資閱讀容易，對版面文字進行調整，如水系名精簡、鄉鎮市區名位置微調、版面文字顯示調整等。全臺 202 幅 1/25,000 圖幅範圍之地名、水系名亦進行文字註記勘誤。前述項目已全數完成。

### 2. 圖幅增補及出圖版面設計

本工項已增補完成全臺 202 幅 1/25,000 圖幅範圍以外且非平原區之零星坡地，其中有 4 個為原圖幅小範圍外擴，7 個為完全新增，最後成果併入相鄰圖幅，並調整出圖比例尺，重新設計出圖版面。

### 3. 圖集說明書

本工項除針對圖集說明書初稿各章節文字與圖片進行修改與置換，本(111)年度新增一章節描述各縣市之山崩災害概況，目前圖集說明書已完稿。

### 4. 山崩災害案例蒐集與驗證

本工項蒐集 19 處災例，經室內作業檢核後全數排除，無災例適用於降雨山崩即時系統。

## 參考文獻

1. 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(4/4)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
2. 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(5/5)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
3. 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(3/3)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
4. 經濟部中央地質調查所 (2017) 山崩與地滑地質敏感區劃定資料加值建置計畫(2/2)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
5. 經濟部中央地質調查所 (2018) 降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(4/4)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
6. 經濟部中央地質調查所 (2019) 山崩與地滑地質敏感區進階劃定資料增建(2/2)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
7. 經濟部中央地質調查所 (2020) 山崩與地滑地質敏感區參據資料更新暨變更計畫書圖製作。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
8. 經濟部中央地質調查所 (2021) 山崩與地滑地質敏感區變更資料更新暨準則執行檢討(2/2)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。
9. 經濟部中央地質調查所 (2021) 降雨誘發山崩動態警戒模式與調查技術研發應用(3/4)。經濟部中央地質調查所委辦計畫成果報告書。

# 111 年度山崩調查觀測技術精進與應用(4/4)

## Application of Innovative Technology for Landslide Investigation and Observation (2022) (4/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

陳昭維<sup>1</sup>      呂家豪<sup>1</sup>      林錫宏<sup>2</sup>      朱偉嘉<sup>2</sup>  
Chen, Chao-Wei<sup>1</sup>    Lu, Jia-Hao<sup>1</sup>      Lin, Hsi-Hung<sup>2</sup>      Chu, Wei-Chia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 青山工程顧問股份有限公司

<sup>2</sup> 經濟部中央地質調查所

### 精簡報告

#### 一、前言

對於具大規模岩屑崩滑或岩體滑動潛勢之潛在山崩地區，往往具有較特殊的地質條件，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。雖促崩條件及崩塌規模不盡相同，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，均屬老崩塌地再次滑動現象。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，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，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。

本計畫為四年期計畫，執行期間為2019~2022年，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」)的執行成果，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：前期計畫及本計畫執行調查及觀測之 32 處潛在山崩地區中，9 處山崩地區近期邊坡活動性相對較高且具保全對象，本年度計畫持續觀測追蹤。32 處調查區位置如圖 1 所示。

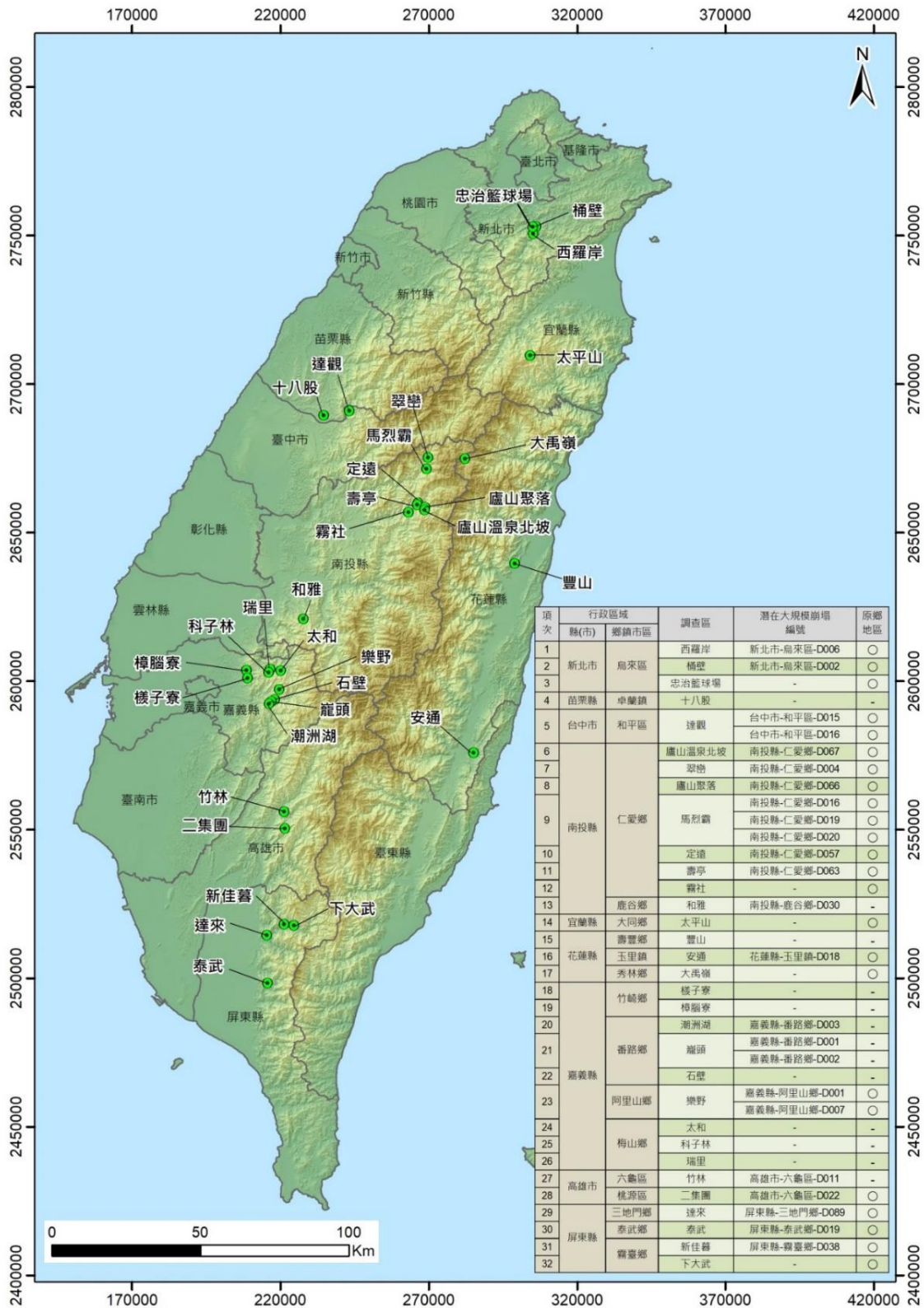


圖 1、本年度(2022年)計畫調查區位置分布圖(本計畫彙整)

(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：利用不同尺度的遙測技術，進行應用於潛在山崩地區地表變形探討研究，供活動性評估參考。

(三) 地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用：於第一至第三年度計畫(2019年~2021年)持續進行地中觀測技術及物聯網通訊技術適用性等研究，本年度(2022年)計畫持續現地觀測，整合共構地中觀測技術與地表觀測應用研究成果。

(四) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流：持續維護與精進前期計畫完成之山崩活動性觀測平台。因應相關技術持續發展，針對前期計畫完成之「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」，彙整本計畫之成果完成手冊之編修改版，並辦理研討會，進行交流。

## 二、本年度(2022年)計畫工作內容

本年度(2022年)為整體計畫之第四年，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(活動性評估)

本年度(2022年)計畫針對西羅岸、忠治籃球場、廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠、壽亭、太和、樣子寮、潮洲湖等9處邊坡活動性相對較高之調查區(詳表1)，進行潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估(活動性評估)，以掌握區域現況。

表 1、本年度(2021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	調查區	執行手動觀測	自動化觀測站數量
1	新北市-烏來區-西羅岸	1次	1站
2	新北市-烏來區-忠治籃球場	4次	2站
3	南投縣-仁愛鄉-廬山溫泉北坡	2次	9站
4	南投縣-仁愛鄉-廬山聚落	2次	1站
5	南投縣-仁愛鄉-定遠地區	2次	無
6	南投縣-仁愛鄉-壽亭地區	2次	無
7	嘉義縣-梅山鄉-太和地區	1次	1站
8	嘉義縣-竹崎鄉-樣子寮地區	1次	1站
9	嘉義縣-番路鄉-潮洲湖	1次	1站
	總計(共)	16次	16站

1. 潛在山崩地區現場勘查及履歷事件簿更新：進行現場勘查，瞭解既有地表裂縫或結構物裂縫等異常徵兆是否擴大，抑或產生新增表徵，輔助評估邊坡活動性，並更新至調查區履歷事件簿。
2. 潛在山崩地區活動性觀測及自動化活動性觀測站維護：各調查區執行1~2次不等之手動觀測，共16次，持續追蹤邊坡活動性及可能滑動深度。並持續維護各區自動化活動性觀測站，共計16站，詳表1所示。
3. 地質安全評估(活動性評估)方法文獻蒐集及初步建議：參考 Cruden and Varnes (1996)山崩活動性定義及崩塌速度等級，初步建議活動性評估方法，並彙整調查區觀測成果，進行評估，瞭解其可行性。
4. 地中調查：每年以區域平衡為考量，執行地中調查。本年度(2022年)計畫於南投定遠地區進行地中調查。工作項目包含：

- (1) 地質鑽探：1 孔，編號 DY-B4，孔深 150m。
- (3) 孔內試驗探測：1 孔，進行，包括孔內超音波攝影及波速試驗等孔內試驗，供地質模式建立參考。
- (4) 地中活動性觀測材料安裝：1 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。

## (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(2022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，如圖2所示，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：利用 D-InSAR 分析技術，觀測地表變形，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。此外，亦嘗試以 UAS LiDAR 技術取得精緻數值地形模型(DEM)，輔助潛在山崩微地形特徵判釋。
3. 地表活動性 GPS 觀測站成果解算：利用 GPS 觀測及解算，取得連續性之地表活動性資料，供 In-SAR 分析結果比對參考。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。)，如圖 2 所示。
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。

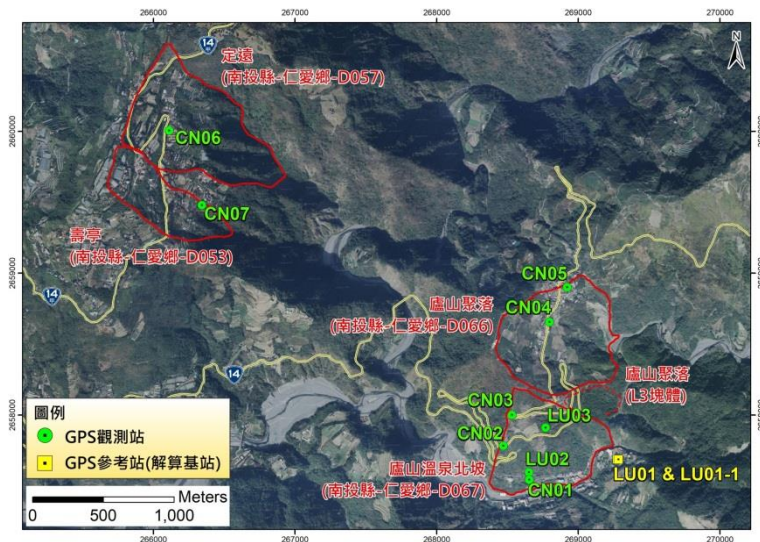


圖2、本年度(2021年)計畫GPS站平面位置圖(本計畫彙整)

## (三) 地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

本年度(2022年)計畫包括：

1. 地中觀測技術與地表活動性整合應用。

## 2. 觀測結果綜合比較及分析

### (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(2022年)計畫包括：

#### 1. 山崩活動性觀測平台維護與精進，包括：

- (1) 入口網站伺服器租用及資料備份。
- (2) 活動性觀測平台維護及精進。

#### 2. 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內技術交流：彙整計畫成果，參加研討會及投稿。舉辦研討會一場。

#### 3. 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修：針對前期計畫完成「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」，納入計畫成果，完成彙編更新及出版。

#### 4. 孔內伸縮計於潛在山崩變形觀測之可視化展示模型研發

## 三、本年度(2022年)計畫成果

本年度(2022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及履歷事件簿更新：本年度(2022年)計畫執行期間，各調查區中以忠治籃球場之邊坡活動性較高，該地區於2022年2月下邊坡產生崩塌，現生崩塌區面積約0.68 ha(圖3)，位於現生崩塌區上方結構物一處損毀(圖4)，一處往東北向位移約12.8 m，崩塌後活動性已減緩(圖5)。由於忠治籃球場上方為台9甲道路，後續崩塌範圍是否可能向上擴大影響道路安全，有賴持續觀查。

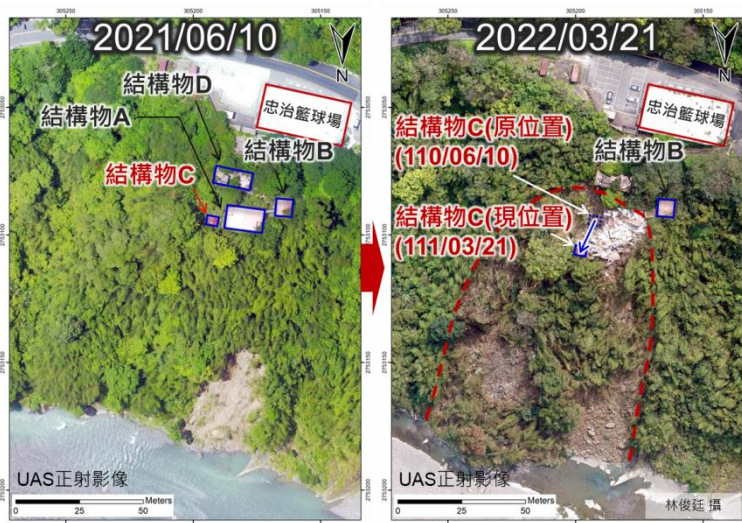


圖3、忠治籃球場崩塌前、後 UAS 正射影像對比(本計畫彙整)



圖 4、忠治籃球場崩塌後現勘成果(本計畫彙整)

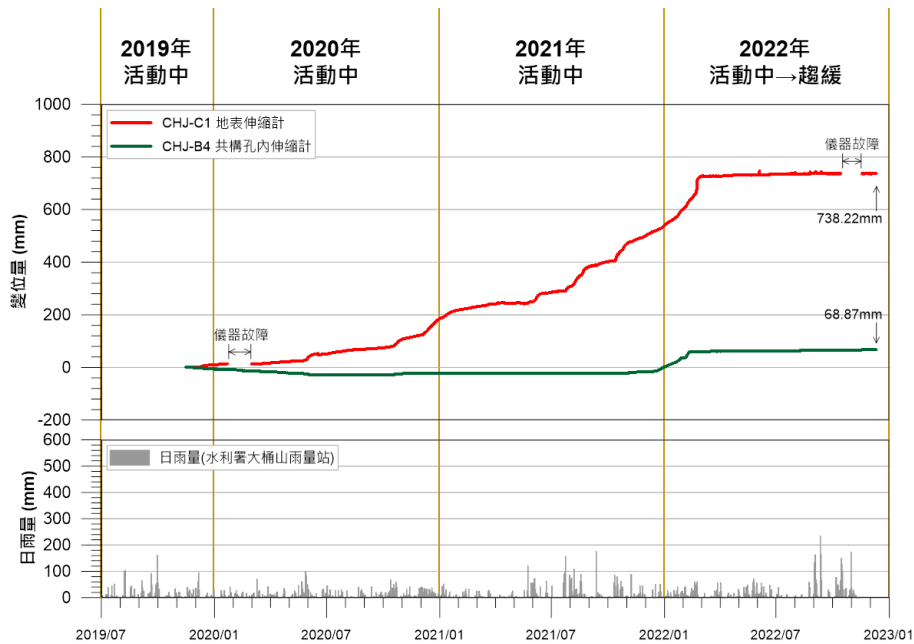


圖 5、忠治籃球場觀測成果(摘錄)(本計畫彙整)

2. 潛在山崩地區活動性觀測及自動化活動性觀測站維護：本年度計畫共計 16 站之自動化觀測站維及檢修工作，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，亦進行必要檢修，使自動化觀測系統功能保持正常運作，維護情形如圖 6 所示，各調查區自動化觀測系統大致運作良好。



圖 6、自動化活動性觀測站維護情形(以廬山溫泉北坡為例)

3. 地質安全評估(活動性評估)方法文獻蒐集及初步建議：本計畫經文獻回顧後及調查區案例試填後，發現若依據 Cruden and Varnes (1996)活動性狀態(State of Activity)，針對最近一年有無活動進行評估，可知因本計畫調查區多屬於活動(Active)，但尚不能反映每年變化情形。基於 Cruden and Varnes (1996)對於活動性狀態及崩塌速度等級探討，本計畫嘗試建立山崩活動度初步評估方法，以量化表示活動情形，如表 2 所示。

利用廬山溫泉北坡地區 E-2 孔內伸縮計 2009~2021 年之觀測成果進行試填，(2009 年觀測期間不足 1 年，但因評估結果為高，故仍列入參考)，結果如圖 7 所示，由位移歷時曲線可觀察到邊坡呈現走走停停的狀態，在較大降雨時間則有較大的位移增加情形，活動度並呈現高~超高的結果，包括 2009 年 8 月莫拉克颱風、2012 年 06/10 豪雨、2017 年 6 月大雨及豪雨、2019 年 0618 大豪雨等，顯示尚能反應位移事件。在 2019 年中 0618 大豪雨引致的位移量，雖若未 2012 年 06/10 豪雨、2017 年 6 月大雨及豪雨，但當年度呈現持續潛移的現象，其評估結果屬於高，顯示尚能潛移的影響。

表2、邊坡活動性評估初步建議表(修改自Cruden and Varnes，1996)

山崩年活動度初步評估表(適用自動化儀器)							
評分項目		AHP 權重	1	0.7	0.5	0.2	0.1
A	當年 累積位移量 (mm/yr)	項目	≥ 160	50	16	5	< 5
		評分	60	42	30	12	6
B	當年最大 24 小時位移速率 (mm/24hr)	項目	≥ 120	30	10	5	< 5
		評分	20	14	10	4	2
C	當年 活動天數 (day/yr)	項目	≥ 12	6	2	1	0
		評分	20	14	10	6	0 (取 0 分)
總分 (活動度評估值)			100	70	50	20	8
活動度類型 評估	超高	70 ≤ T ≤ 100					
	高	50 ≤ T < 70					
	中	20 ≤ T < 50					
	低	10 ≤ T < 20					
	超低	T < 10					
備註：							
(1) 本表考量觀測計畫多以年度分期執行，故以年為單位。							
(2) 若觀測值介於項目評分之間，採用內差法取得其評分。例如，當年累積位移量為 100 (mm/yr)，查上表介於 50~160 (mm/yr)，評分為 42~60 之間，經內插得其評分=50.2。							
(3) 本表適用經過前期調查及觀測，評估具活動性且有裝設自動化儀器之潛在大規模崩塌區。適用同一位置儀器、同一調查區之比較，可依現地特性調整評分內容。							
(4) 本表僅就每年位移情形進行評估，供初步瞭解活動性變化參考，不能與直接對比破壞性，不與邊坡穩定性或崩塌潛勢直接相關，仍應配合相關條件綜合評估。							



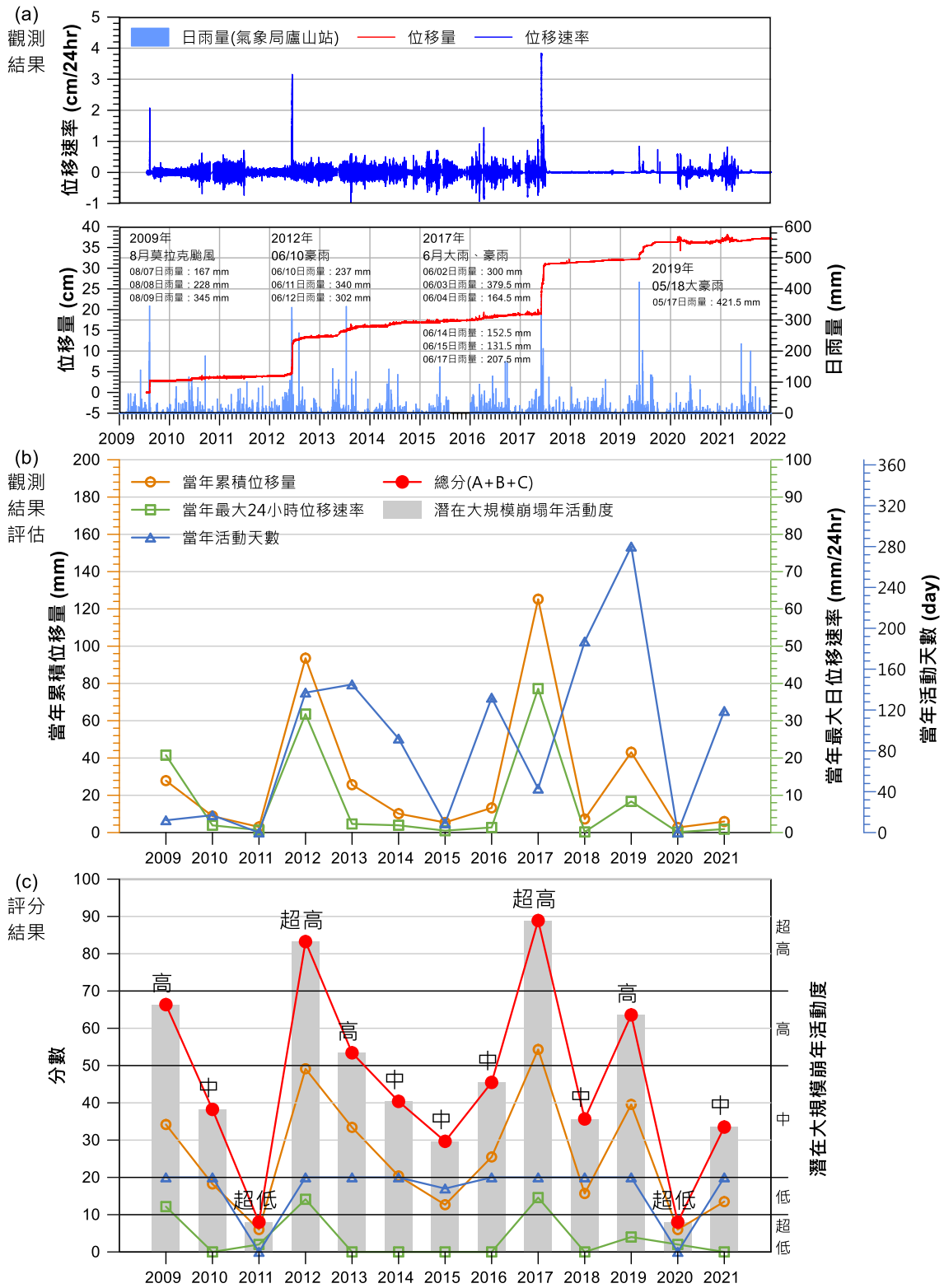


圖7、廬山溫泉北坡地區山崩年度活動度初步評估

4. 地中調查：本年度選定南投定遠地區，進行新增地中調查，成果如下：

- (1) 地質鑽探調查：新增完成 1 孔地質鑽探，編號 DY-B4，孔深 150m。由鑽取岩芯得知，DY-B4 岩性主要為灰白色粉砂質板岩為主，偶夾變質砂岩。本孔岩芯破碎，RQD 均皆近 0；劈理發達，劈理傾角由緩至陡，分布約 0~80 度，變化甚大，如圖 8 所示。

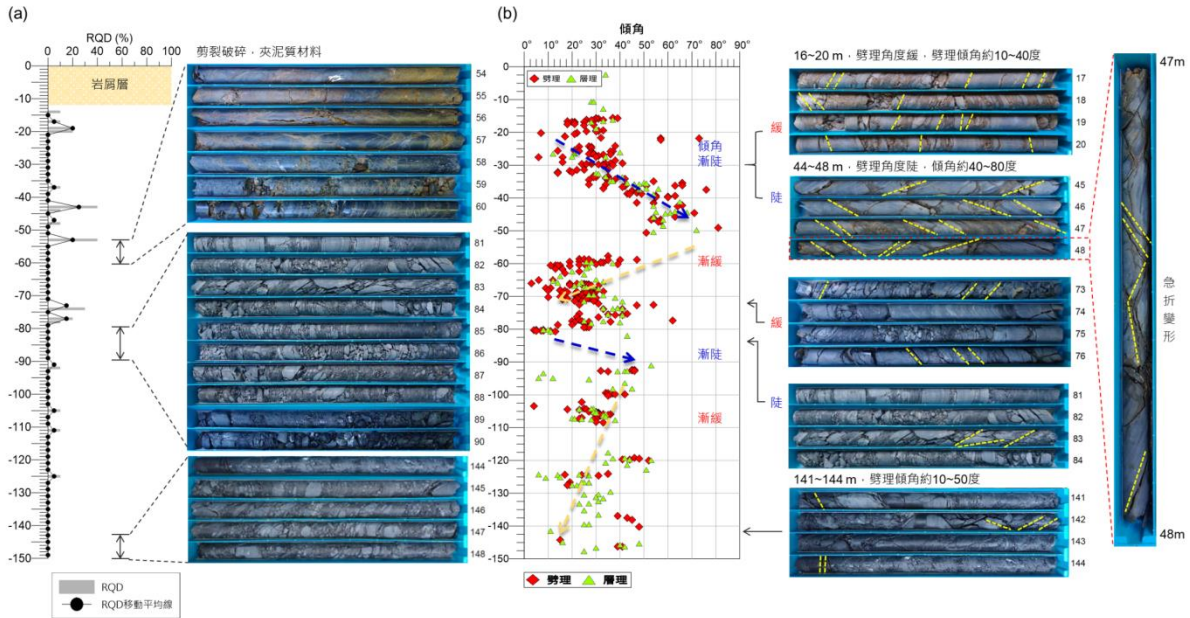


圖8、DY-B4岩芯，粉砂質板岩為主，可見劈理傾角變化(本計畫彙整)

- (2) 孔內試驗探測：利用新增地質鑽探完成鑽孔，共 1 孔，進行孔內超音波攝影，由攝影結果顯示，DY-B4 孔內劈理面位態顯著變化，包括深度 30~40 m 處，朝南傾斜；深度 40~50 m，朝南傾斜，朝西北傾斜；深度 50~110 m，朝東南傾斜；至深度 110~150 m，再轉為朝西北傾斜，具有傾向改變特行，另外劈理面角度分佈範圍約 3~73 度。另外，深度 110~150 m，劈理面大多朝西北傾斜，與坡面(朝東南傾斜)呈現相反關係，由前期與本計畫於定遠、壽亭地區一系列之鑽探成果比對，定遠地區岩體變形深度具有更深的趨勢。

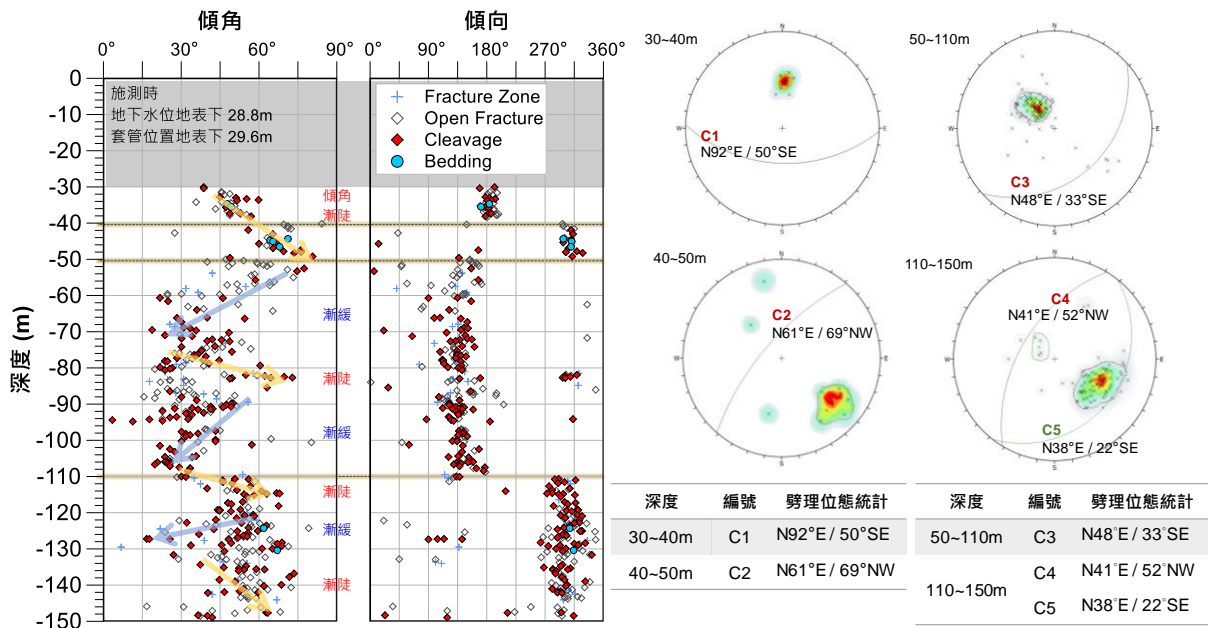


圖9、DY-B4孔內超音波攝影結果(本計畫彙整)

- (3) 地中活動性觀測材料安裝：1 孔，DY-B4，完成設置測傾管，共 150 m。本年度觀測無明顯變化，待持續觀測，回饋潛在山崩機制分析。
- (4) 潛在山崩機制及活動性分析：綜合比例尺五萬分之一地質圖、地表地質調查、地質鑽探、超音波孔內攝影及孔內波速試驗調查成果，定遠地區岩性以板岩為主。由頭部 DY-B1、DY-B2、ST-B3、坡腹 DY-B2 至坡腹前緣 DY-B3、DY-B4、ST-B1、ST-B2 地質鑽探岩芯皆可見劈理傾向、傾角位態變化，此外亦可觀察到岩芯內板岩急折變形，可能具活動性。由於岩芯存在具特定方向排列結構及開口鋸齒狀之產狀，初步推測岩體變形現象可能為構造作用及下坡運動的疊加作用而成，難以完全區隔。目前透過測傾管確認近期滑動面位置，由測傾管觀測結果顯示定遠地區於淺部 20 m(DY-B1)具有持續位移情形，屬岩屑材料滑動，過去於 2017 年 0601、0613 降雨事件，曾產生位移加速情形，顯示降雨量及地下水扮演影響邊坡穩定性的重要角色，比對近期遙測影像，定遠及壽亭地區坡面無明顯大範圍崩塌情形，但一般而言淺部滑動面較容易產生不穩定現象，為需要持續關注的對象。另一方面，定遠地區於深部 85~110 m(DY-B1~DY-B3)破碎岩體亦產生位移趨勢，目前地表表徵雖無明顯破壞情形，但仍需持續觀察，亦可藉由持續觀察累積長期資料，確認區域岩體變形對於大規模崩塌之影響，定遠地區地質剖面如圖 10 所示。

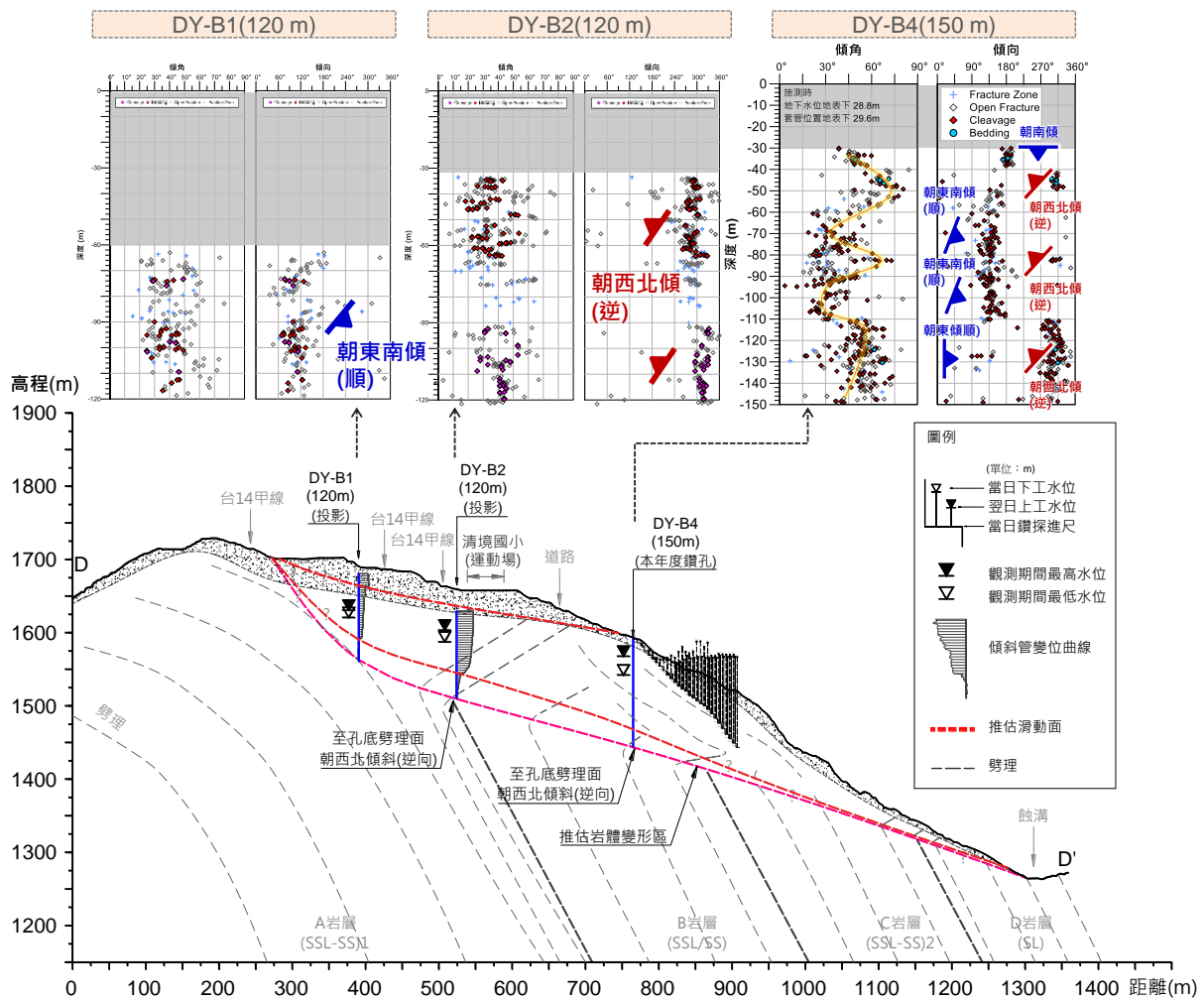


圖10、定遠地區潛在山崩機制剖面示意圖(本計畫彙整)

## (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(2022年)計畫針對廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭地區等4處調查區，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：本計畫於長期分析方面，規劃採用具長波長特性(L-Band)之日本 ALOS 及 ALOS2 的 Stripmap 高解析模式(Stripmap 模式)合成孔徑雷達影像，以利山區分析。採用短基線模式(Small Baseline Subset, SBAS)分析，取得時序性之邊坡位移量。於計畫執行期間發現，近年 ALOS2 衛星之高解析模式影像，拍攝頻率降低，於 2020 年 5 月後未有更新圖幅。為持續提供觀測大範圍地表分析，本計畫第四年度(2022 年)，嘗試以 ALOS2 ScanSAR 模式進行測試研究，ScanSAR 模式對地解析度 100 公尺，經由內差及參考高精度數值地形後使用。亦採用歐洲太空總署(ESA)提供之 Sentinel-1 合成孔徑雷達影像輔助，其地面解析度較差約 6~30 m，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，Sentinel-1 取得昇軌、降軌資料可供分析，並嘗

試以雙向軌道融合計算方法進行分析。透過合成孔徑雷達差分干涉分析結果，可以獲得大範圍的地表變形資訊(圖 11)，可供初步研判崩塌活動性影響範圍及後續調查規劃參考，惟階段研究成果顯示 InSAR 分析結果受坡度、坡項及衛星軌道影響，仍需配合其他觀測方法比對驗證，以更完整的掌握邊坡活動性。

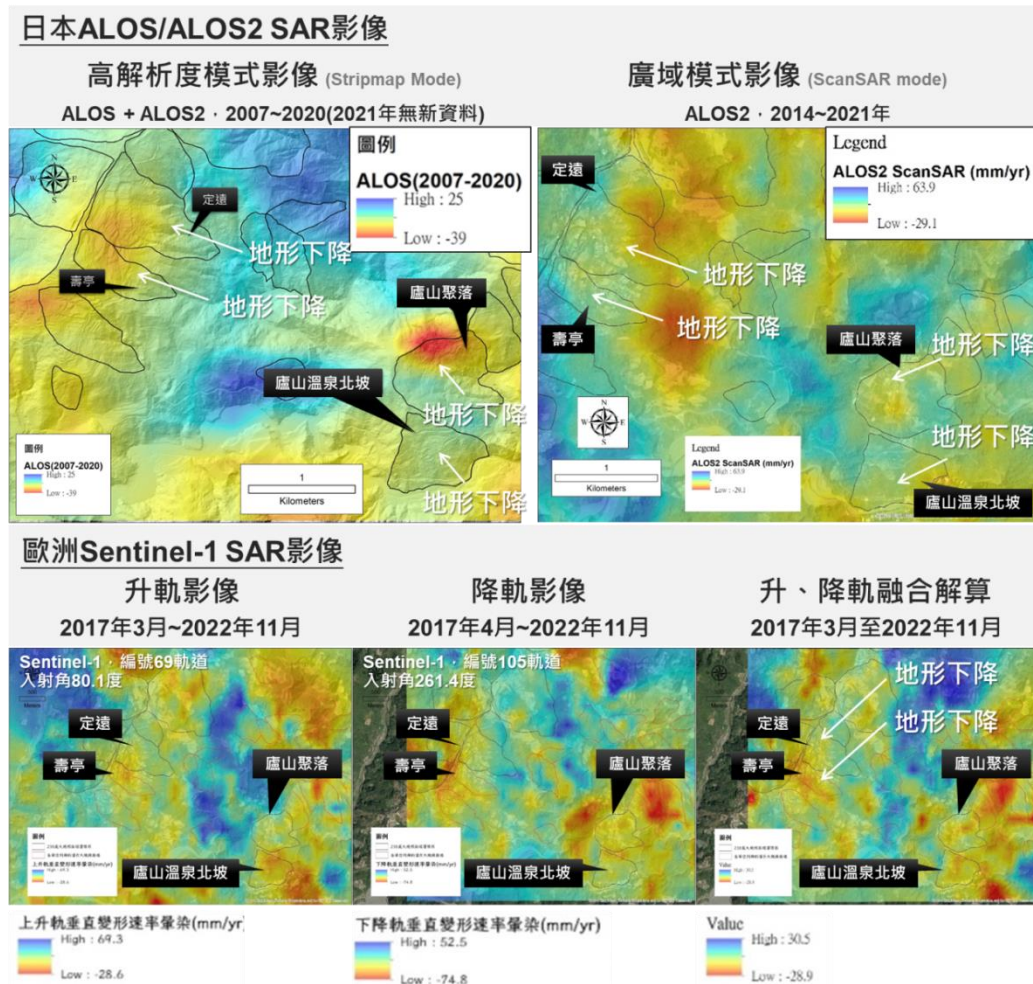


圖 11、廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭地區InSAR分析成果(本計畫彙整)

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，本年度計畫(2022 年)於 9 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，並產製正射影像及數值地表高程模型。由比對多時期空拍成果顯示，廬山溫泉北坡、廬山聚落及定遠壽亭地區近年無明顯新增崩塌事件，如圖 12 及圖 13 所示。此外，本年度計畫於忠治籃球場地區進行 UAS 光達技術測試，與空載光達結果比較發現，UAS 光達所產製之數值地形模型(DEM)具高解析度，可進行更精緻之地形判釋作業，如可見線型較明確，包括大範圍除存在主崩崖，亦可觀察到頭部多個小崖(次崩崖)線型，展現更細緻的地形模型，此外，下邊坡蝕溝線型亦更為明顯，有助圈繪潛在滑動塊體，如圖 14 所示。

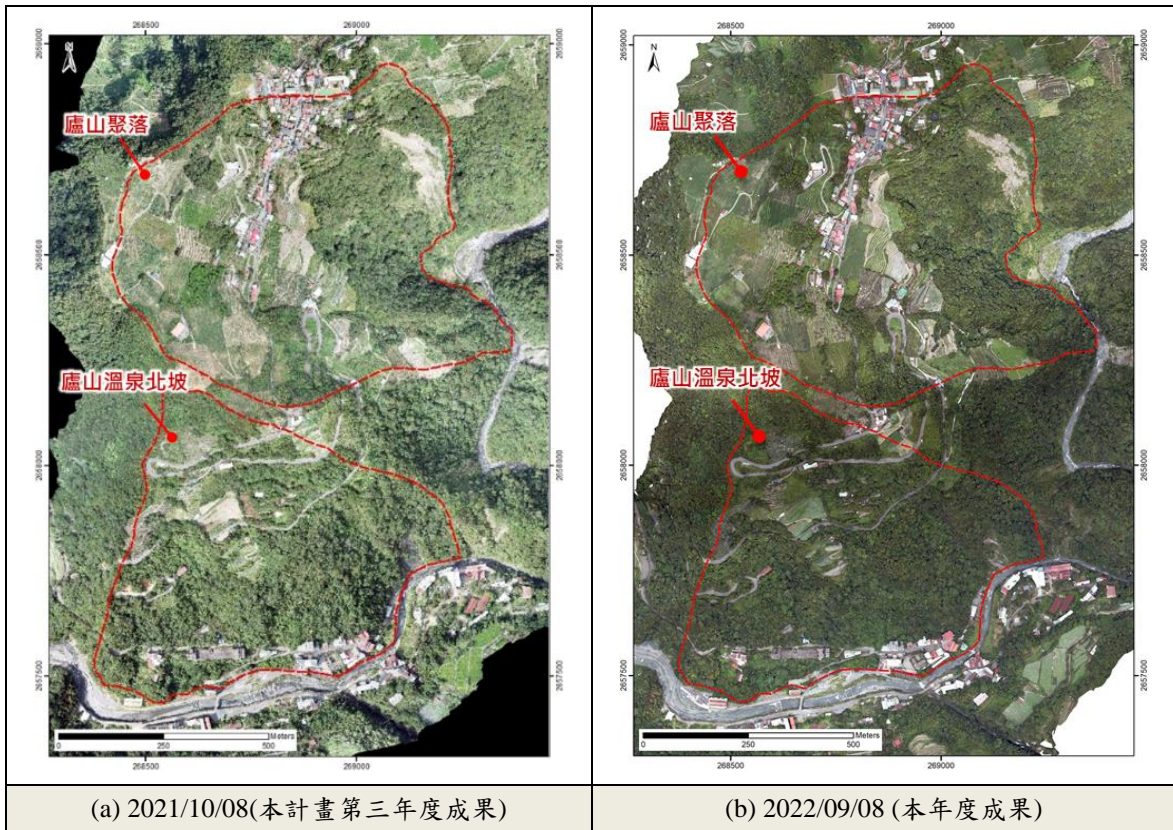


圖12、廬山溫泉北坡及廬山聚落地區UAS空拍產製正射影像結果(本計畫彙整)

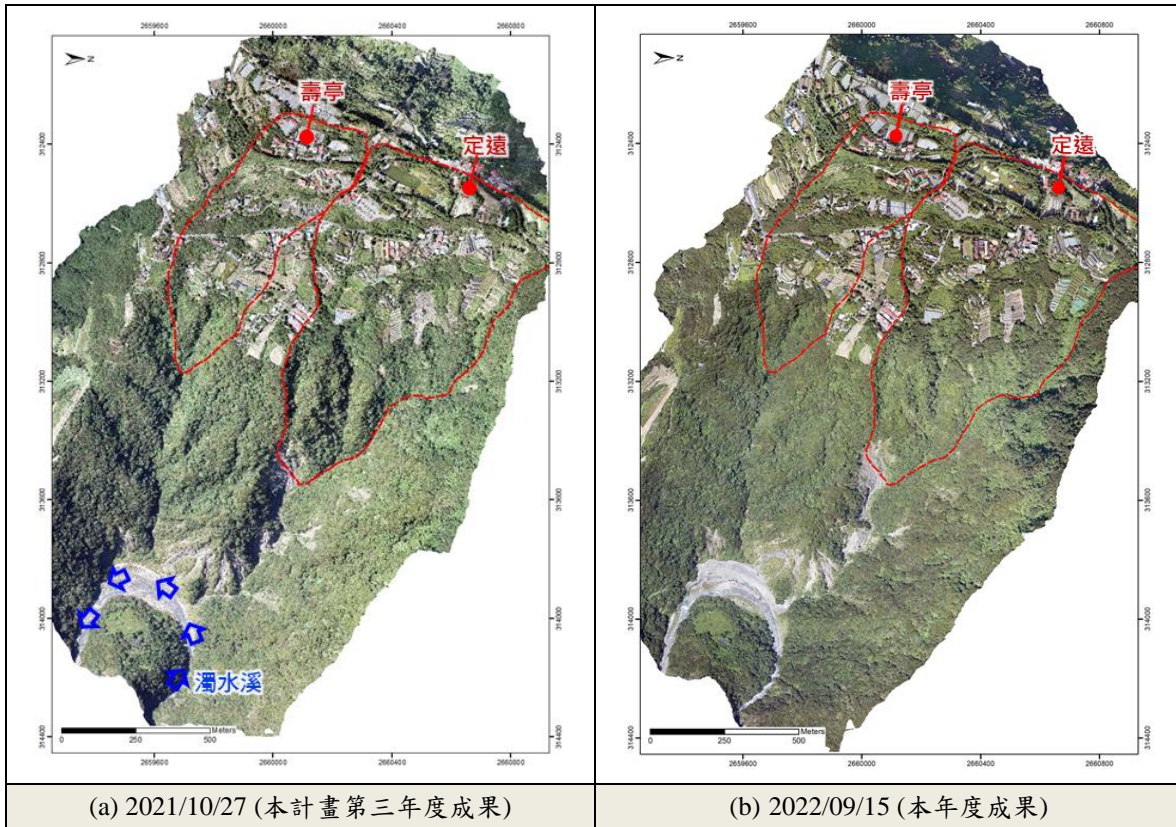


圖13、定遠及壽亭地區UAS空拍產製正射影像結果(本計畫彙整)

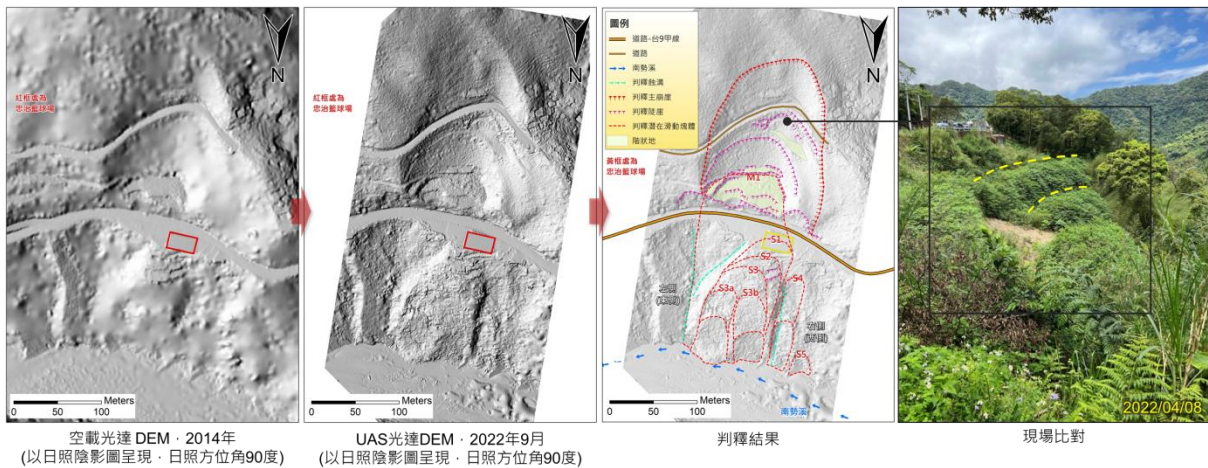


圖 14、忠治籃球場地區空載及UAS光達產製數值地形比較(本計畫彙整)

3. **地表活動性 GPS 觀測站成果解算：**本計畫執行期間(2019~2022 年)，廬山溫泉北坡(CN01、CN02、CN04)、廬山聚落(CN04、CN05)、定遠(CN06)、壽亭(CN07)等 GPS 站皆有觀測到地表變形行為，以廬山溫泉北坡 CN01 站為例(圖 15)，CN01 位於廬山立體停車場施工縫東側，由圖上可知過去 2017 年 4 至 2021 年 7 月初往南移動為 44mm，而後南北向持續變位至 2017 年 12 月變形達 100mm，2018 年南北向變形量達到 156mm，2019 年事件後南北變形約為 100mm，此後緩慢變形，可供比對 D-InSAR 分析結果參考。
4. **多尺度地表變形研究成果研析：**由日本 ALOS/ALOS2 及歐洲 Sentinel-1 之 D-InSAR 分析與 GPS 觀測結果，研究區域均顯示具地表沉降情形，以歐洲 Sentinel-1 衛星之 D-InSAR 解算成果可知，廬山聚落近年變形集中區域及後續應加強監測範圍，其中廬山溫泉北坡及廬山聚落間塊體滑動徵兆明顯；廬山溫泉北坡雖較廬山聚落較不顯著，歸咎其因為坡向對於雷達衛星反射訊號之限制；定遠及壽亭地區皆有地表變形趨勢，目前配合測傾管量測，持續觀測地中活動性。

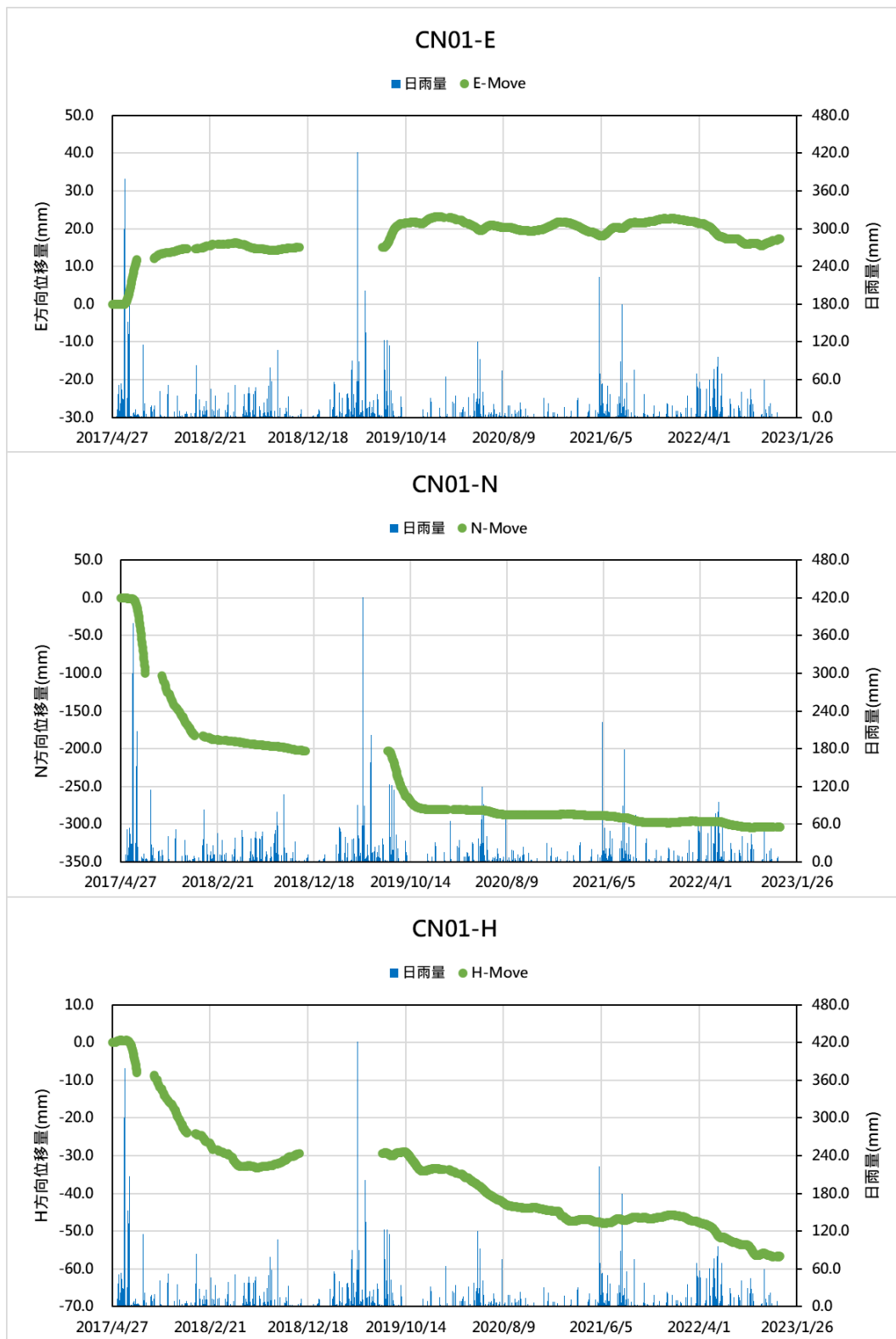


圖15、GPS觀測成果(以廬山溫泉北坡CN01站為例)(本計畫彙整)



### (三) 地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

1. **地中觀測技術與地表活動性整合應用：**為提升鑽孔效益，本計畫將孔內伸縮計及時域反射儀 TDR 與測傾管進行共構及現地觀測測試，以評估實際運用之可行性，精進潛在山崩地區活動性觀測應用。並測試 SAAV、GeoFlex 等新式地中變位觀測儀器，此外整合地表伸縮計、GNSS 地表觀測方法，進行比對及應用研究。
2. **觀測結果綜合比較及分析：**由 2019~2022 年四年觀測結果顯示，共構測傾管(圖 16)及孔內伸縮計(圖 17)，可反應地中變形，對於滑動深度有一定掌握，後續主要係追蹤長期活動趨勢的場址，有應用價值。其中，孔內伸縮計受觀測原理影響，孔內伸縮計初期偵測位移量小於其他儀器，需挑選合適位置安裝及轉換為邊坡位移量，以更準確評估邊坡活動性，本計畫並參考第一年度室內試驗成果及相關文獻(管秀哉，2008；Corominas et al., 2000)，提出簡化分析方法，供觀測結果評估參考。共構 TDR 於本次研究中，反射訊號變化不明顯(圖 18)，但觀測時間相較測傾管更長，此外在其他案例中顯示共構 TDR 可產生反應，值得後續更多研究精進及案例實踐。

GNSS 在忠治籃球場地區受限現場通訊條件，資料連續性及精度不及 SAAV、GeoFlex、地表伸縮計及孔內伸縮計等接觸式儀器(圖 17)，突顯在即時觀測及應用上，需要充分考慮現地條件。但 GNSS 對於觀察長期位移趨勢有相當幫助，且採遙測原理，除非產生大量崩塌，相對不容易因邊坡滑動而損壞，可進行長期觀測。

SAAV、GeoFlex 及地表伸縮計等接觸式儀器，可獲得觀測頻率高、連續性佳的資料(圖 17)，其中 SAAV、GeoFlex 及地表伸縮計尚能準確觀測位移加速的時間，顯示足夠敏感可供警戒參考，但 SAAV、GeoFlex 等接觸式儀器，因邊坡持續滑動陸續受剪損壞且難修復，在長期運用則上需考慮耐久性。

由於本計畫於研究場址採用短孔(深度 10 m)進行各類測試研究，是否適用於深孔，仍有賴更多案例驗證。

### (四) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

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：**
  - (1) **入口網站伺服器租用及資料備份：**為確保觀測系統正常運作，本計畫持續租用「中華電信 hicloud 雲端虛擬主機」作為本計畫之後端伺服器。並持續定期備份及異地備援機制，以確保資料安全。
  - (2) **活動性觀測平台精進：**本年度(2022 年)計畫主要包含平台維護及擴充，於定遠地區新增一處傾斜觀測管，進行觀測平台頁面擴充。
2. **山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內技術交流：**於 2022 年 9 月彙整計畫成果，參加第十九屆大地工程學術研討會，發表「由縮尺試驗模型初探垂直式孔內伸縮計於邊坡地中變形觀測特性」文章及簡報(圖 19)。於 2022

年 12 月 1 日辦理「潛在大規模崩塌調查及觀測技術發展應用研討會」，推廣計畫成果及進行交流(圖 20)。

3. 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修: 針對前期計畫 2018 年完成「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」，彙整納入本計畫執行成果，完成彙編更新及出版，ISBN：978-986-533-322-5，如圖 21 所示。為利於推廣，並採實體印刷及電子檔公開下載及等取得管道。
4. 孔內伸縮計於潛在山崩變形觀測之可視化展示模型研發: 本年度(2022 年)精進孔內伸縮計展示模型之構件自動化設計，以讓模型能自行產生位移，並驅使孔內伸縮計產生變位；考量戶外展出電力不易取得，同時保留手動位移功能。並增加降雨促崩因子的視覺展示及整體外觀美化，期使能以更加淺顯易懂方式呈現孔內伸縮計觀測原理。此外，考量模型防蝕防鏽，並針對模型構件進行陽極處理，有利模型戶外展示運作，成果如圖 22 所示。

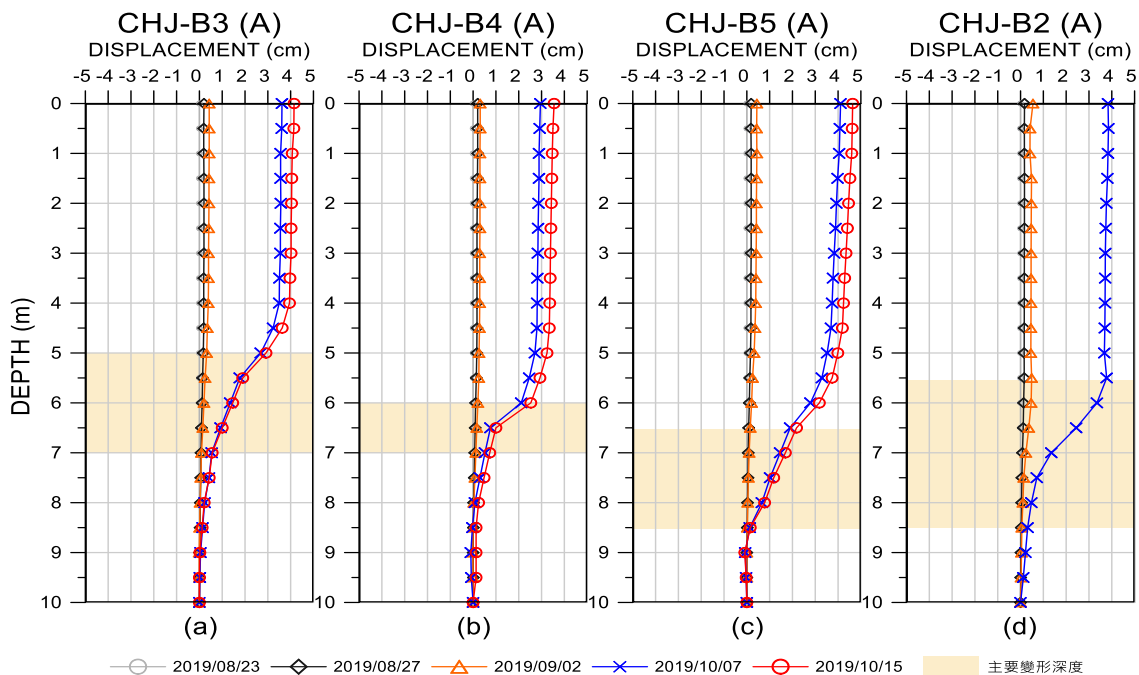


圖16、共構與非共構測傾管隨深度累積位移曲線。(a)~(c)共構孔。(d)非共構孔(本計畫彙整)

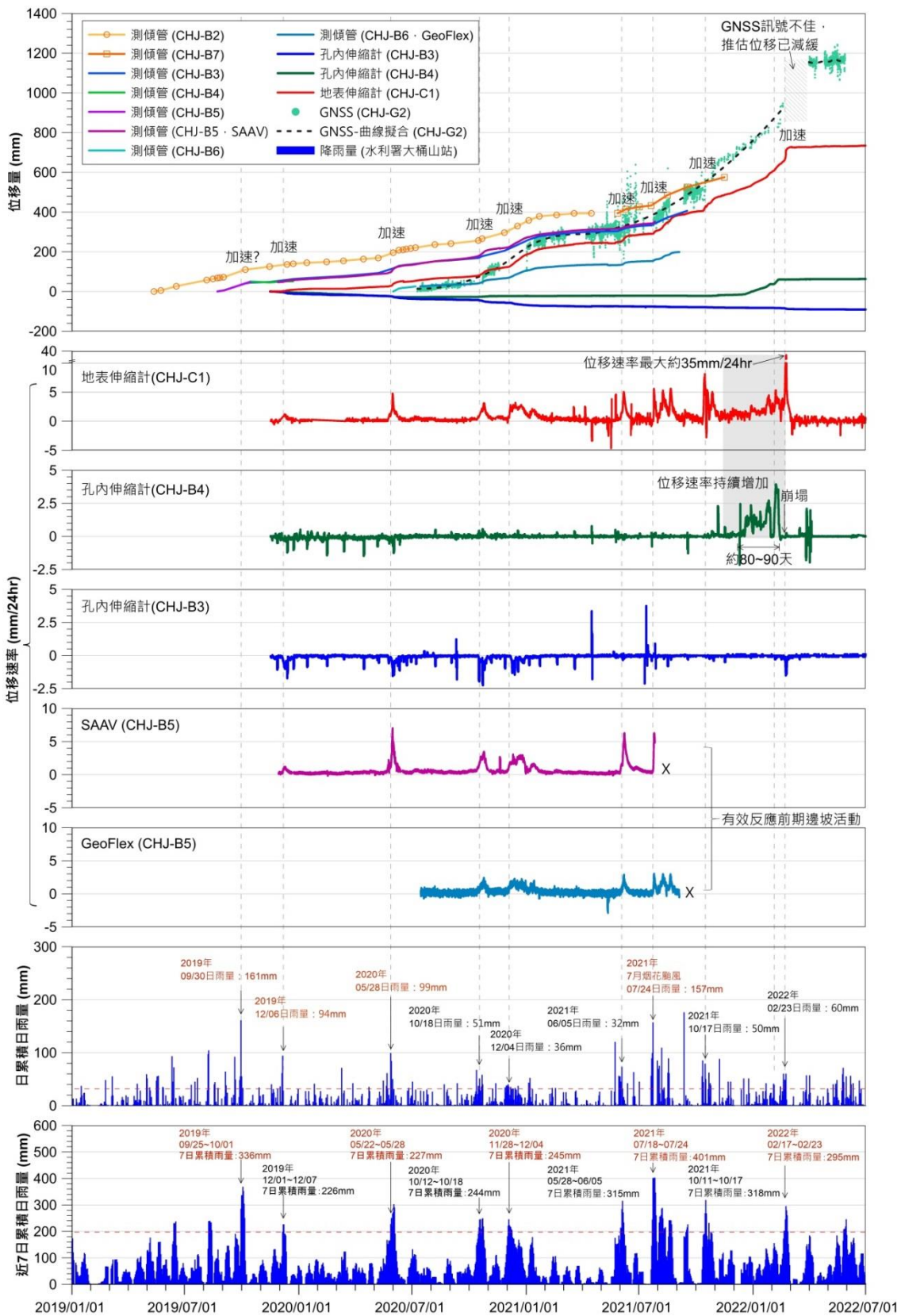


圖 17、共構孔內伸縮計觀測結果(本計畫彙整)

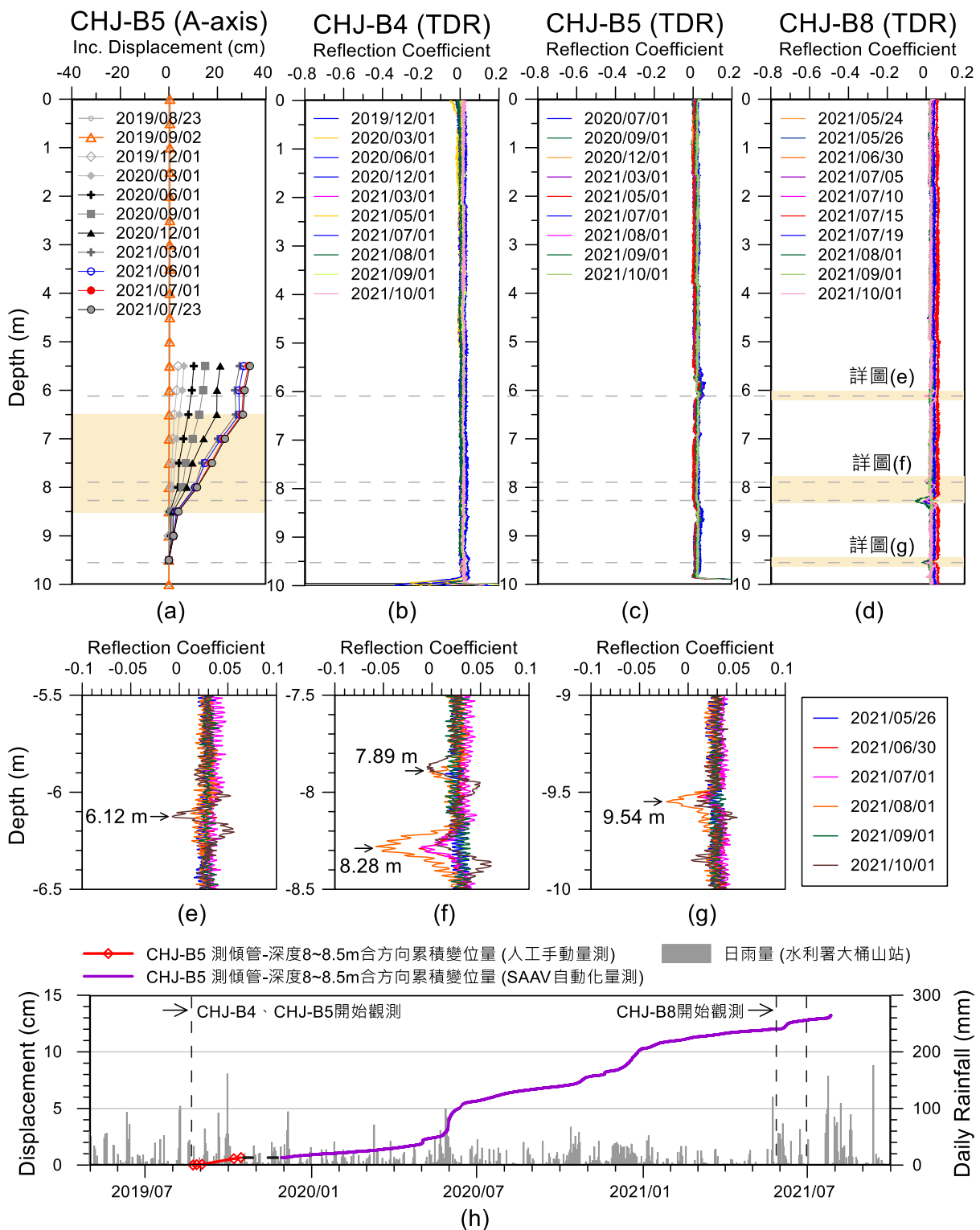


圖18、共構與獨立安裝構時域反射儀TDR觀測結果比較(本計畫彙整)



圖 19、參加第十九屆大地工程學術研討會，發表計畫成果



圖 20、辦理研討會情形

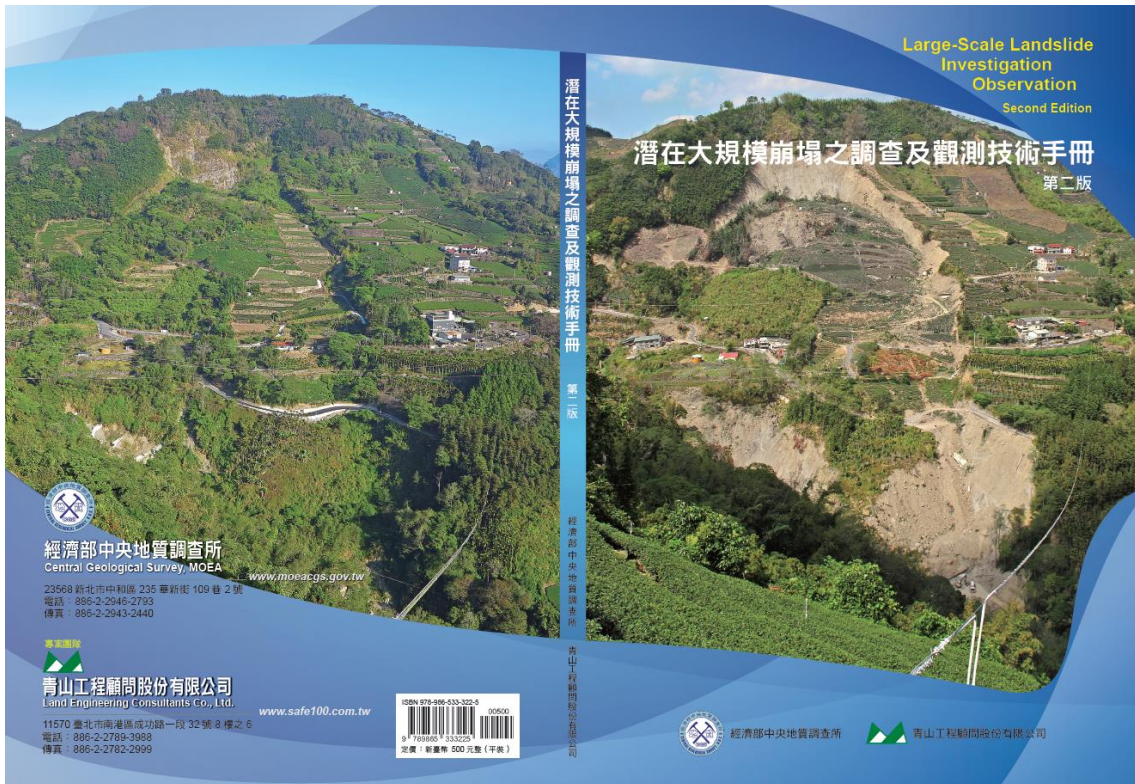


圖 21、完成潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊(二版)增修改版及出版

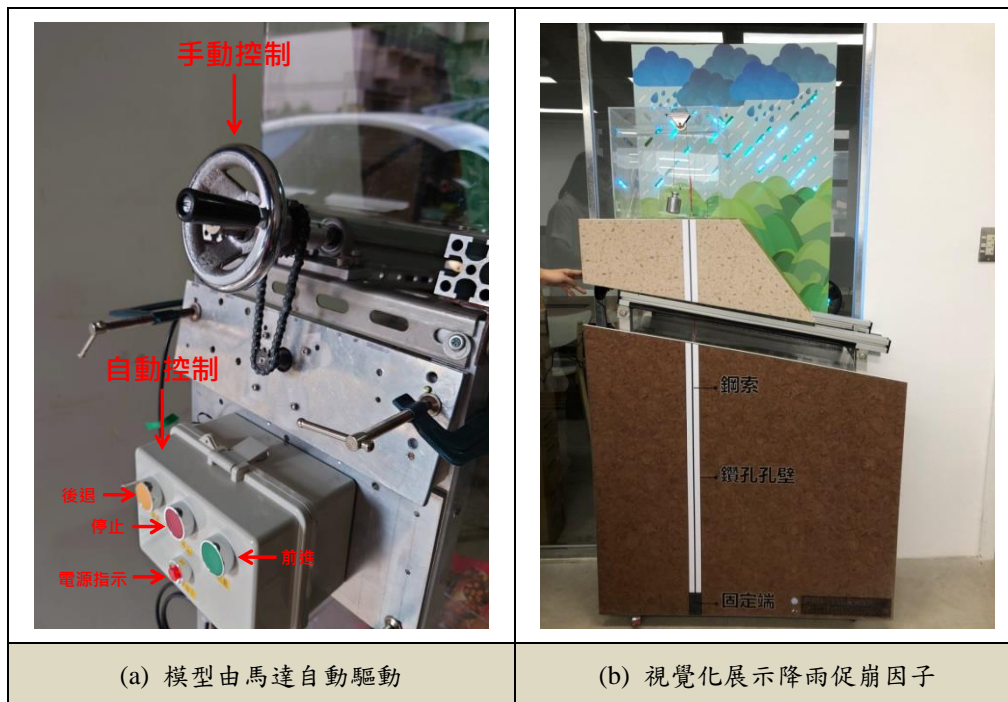


圖22、孔內伸縮計於潛在山崩變形觀測之可視化展示模型研發

## 參考文獻

1. 經濟部中央地質調查所、青山工程顧問股份有限公司(2018),「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」, 臺北。
2. 菅秀哉(2008),「地すべり地における地中伸縮計の変位機構」, 全地連「技術 e-フォーラム 2008」, 高知。(日文)
3. Corominas, J.; Moya, J.; Lloret, A.; Gili, J.A.; Angeli, M.G.; Pasuto, A. and Silvano, S. (2000), "Measurement of Landslide Displacements Using a Wire Extensometer", Engineering Geology, 55, pp. 149-166.
4. Cruden, D. M. and Varnes, D. J. (1996), "Landslide types and processes", Special Report - National Research Council, Transportation Research Board, 247, pp.36-75.