

108 年度山崩調查觀測技術精進與應用(1/4)

Application of Innovative Technology for Landslide Investigation and Observation (2019) (1/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

廖瑞堂¹

陳昭維¹

邱禎龍²

林錫宏²

Liao, Jui-Tang¹ Chen, Chao-Wei¹ Chiu, Cheng-Lung² Lin, Hsi-Hung²

¹青山工程顧問股份有限公司

²經濟部中央地質調查所

摘要

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，避免邊坡災害無預警發生。

經濟部中央地質調查所於前期計畫中，已完成 31 處潛在山崩地區之基礎調查工作，發現部分潛在山崩地區，於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中，持續引進或改良更先進的調查、觀測技術，以提升現有調查觀測技術水準，工作成果豐碩。由於近期國、內外相關調查、活動性觀測及物聯網技術不斷發展中，本計畫將進行相關技術的資料蒐集、研發及應用，以持續提昇整體防災應變能量。整體計畫包括四大部分：1.潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估、2.多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究、3.前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用及 4.山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流。

關鍵詞：潛在山崩地區、地質調查、孔內探測、活動性觀測技術、物聯網

Abstract

Large-scale potential landslide areas often have special geological conditions, which in turn constitute different landslide mechanisms, and may be accompanied by different slope sliding deformation characteristics and behaviors, such as ancient landslide area or dip slope area. However, these large-scale potential landslide areas all may happen sliding induced by the heavy rain conditions, resulting serious disasters, such as the northern slope of Lushan Hot Spring in Nantou County and the Youcheliao area in Chiayi County, all of which belong to the phenomenon of re-sliding in the ancient landslide area. Therefore, in the face of potential landslides where large-scale landslides have not occurred in the near future, in addition to understand the landslide mechanism through in-situ investigations, it is also necessary to cooperate with appropriate active observation techniques to study the environmental geological conditions of slopes and the characteristics of potential landslide activities to avoid unwarranted slope disasters.

The Central Geological Survey of the Ministry of Economic Affairs has completed 31 basic investigation and observation works of potential landslide areas in previous plan. It has discovered some of the potential landslide areas recently show relatively high activity, and thus it is necessary to continue observation for disaster prevention. In addition, the Central Geological Survey of the Ministry of Economic Affairs continued to introduce or improve advanced investigation and observation techniques in the past, which expect to improve the existing survey and observation technology standards and achieved fruitful results. Due to the recent development of investigations and active observation technologies and Internet of Things technologies, the project will continue to collect, develop and apply relevant technologies to enhance the overall disaster prevention and response energy. The objects of overall plan include: (1) Potential landslide area survey, active observation and geological safety assessment. (2) Multi-scale remote sensing technology applied to potential surface landslide deformation research. (3) The research, development and disaster application of prospective survey and observation and Internet of Things technology (4) Smart application and promotion of landslide activity observation results and technical exchanges at home and abroad.

Keywords : Potential landslide area, geological survey, borehole test, activity observation technology, internet of things

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，期使能提升現有調查、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」)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**：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。
- (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。本年度計畫針對 4 處調查區，包含廬山溫泉北坡、廬山聚落、壽亭及定遠地區等，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。
- (三) **前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用**：持續進行各式地中觀測及無線傳輸技術研發及應用，以精進觀測技術，提升警戒應變能力。此外，由於物聯網技術發展瞬息萬變及日益進步，本計畫將持續相關新期技術的文獻蒐集及研發應用，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：每年度均配合前期計畫完成山崩活動性觀測平台，持續精進。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。

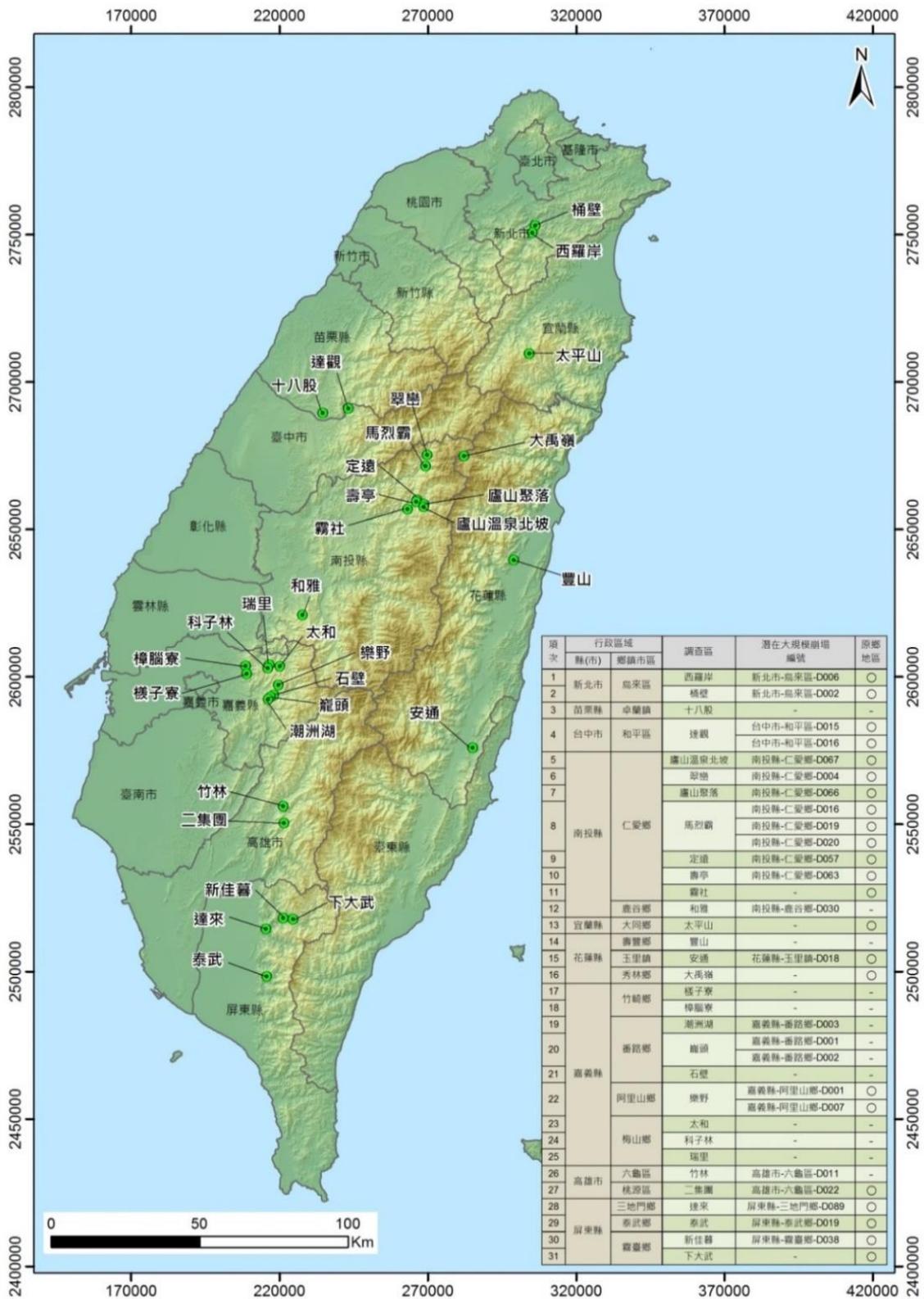


圖1、本年度(2019年)計畫調查區位置分布圖

二、本年度(2019年)計畫工作內容

本年度(2019年)為整體計畫之第一年，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，提供後續相關工作參考，包括：

1. 潛在山崩地區現場勘查：本年度計畫包含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：本年度計畫包含9次手動觀測及19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-B7及LS-B8，孔深分別為130m及150m，合計280m。
 - (3) 岩芯判釋：完成定性岩性描述、半定量之破碎程度分級(千木良法)(Chigira et al., 2013)及定量的岩體評分 Q_{logging} 法(Barton, 1991)。
 - (4) 孔內試驗探測：2孔。利用各式孔內探測儀器，進行孔內試驗，連續測錄鑽孔孔壁資料，建立各式探測成果之柱狀圖，包括超音波孔內攝影、自然伽瑪射線、電阻率、自然電位及波速等。
 - (5) 地中活動性觀測材料安裝：2孔。並置入自記式水壓計，以觀測地下水位。
4. 調查區履歷事件簿更新、彙整及研析：本年度計畫包含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	行政區域		調查區	自動化觀測站數量	手動觀測次數
	縣(市)	鄉鎮市區			
1	新北市	烏來區	西羅岸	1站	1
2	宜蘭縣	大同鄉	太平山	4站	1
3	南投縣	仁愛鄉	廬山溫泉北坡	10站	-
4			廬山聚落	1站	3
5			定遠	無	2
6	嘉義縣	梅山鄉	太和	1站	1
7		竹崎鄉	樣子寮	1站	1
8		番路鄉	潮洲湖	1站	1
合計				19站	10次

(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。本年度計畫針對4處調查區，包含廬山溫泉北坡、廬山聚落、壽亭及定遠地區等，包括以下四部分：

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**：衛星合成孔徑雷達影像主要採日本 ALOS 及 ALOS2 的 Stripmap 高解析模式合成孔徑雷達影像。但由於日本 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，並採用歐洲太空總署(ESA)提供之 Sentinel-1 合成孔徑雷達影像作為輔助之用。衛星合成孔徑雷達影像之蒐集時間包括 2008 年辛樂克颱風前至今，以掌握調查區長期地表位移趨勢。
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**：4 處調查區、10 處觀測站，包括：(1) 廬山溫泉北坡，前期計畫既有 3 站 GPS 連續站沿用、新增 3 站、(2)廬山聚落，新增 2 站、(3)定遠地區，新增 1 站及(4)壽亭地區，新增 1 站。
4. **多尺度地表變形研究成果研析**：綜合各項地表活動性觀測成果，配合地中觀測儀器量測成果比對分析，輔以瞭解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

每年持續進行各式地中觀測及無線傳輸技術研發及應用，以精進觀測技術，提升警戒應變能力。此外，由於物聯網技術發展日益進步，本計畫並持續相關新期技術的文獻蒐集及研發應用，期使提昇相關調查觀測技術，本年度計畫包括：

1. **前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究**：
 - (1) 資料蒐集及適用性評估。
 - (2) 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究。
 - (3) 地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究。
 - (4) 井內無線傳輸可行性研究(文獻蒐集)。
 - (5) 地層變位模擬研究。
2. **物聯網技術適用性研究**：
 - (1) 資料蒐集及適用性評估。
 - (2) 物聯網布建(現地測試)。

(四) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

配合前期計畫完成山崩活動性觀測平台，持續精進。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。本年度計畫包括：

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。
 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。參與加國內外研討會或展覽會，並發表計畫成果，或與專家學者交流。

三、本年度(2019)計畫成果

本年度(2019)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：針對 8 處邊坡活動性相對較高之調查區進行現場勘查，包含西羅岸、太平山、廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠、太和、樣子寮、潮洲湖。本年度計畫執行期間，各調查區中以樣子寮地區活動性較為明確，可見明顯地表異常徵兆，包含區域道路產生新生裂縫等，如圖 2 所示。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。



道路開裂

(拍攝日期：2019 年 8 月 24 日)



道路開裂

(拍攝日期：2019 年 8 月 24 日)

圖2、樣子寮地區潛在山崩地區現場勘查成果。道路有新生裂縫

2. 潛在山崩地區活動性觀測及自動化活動性觀測站維護：針對前述 8 處邊調查區進行活動性觀測，包含現場手動觀測，應完成 9 次，本計畫共完成 10 次。進行 19 站之自動化觀測站維護。並於特殊環境事件發生時，檢整自動化觀測儀器狀況及觀測成果，進行回報。本年度(2019 年)觀測期間，以廬山溫泉北坡、定遠地區、樣子寮地區及潮洲湖地區，可見觀測儀器有變位量產生，如圖 3~圖 5 所示。

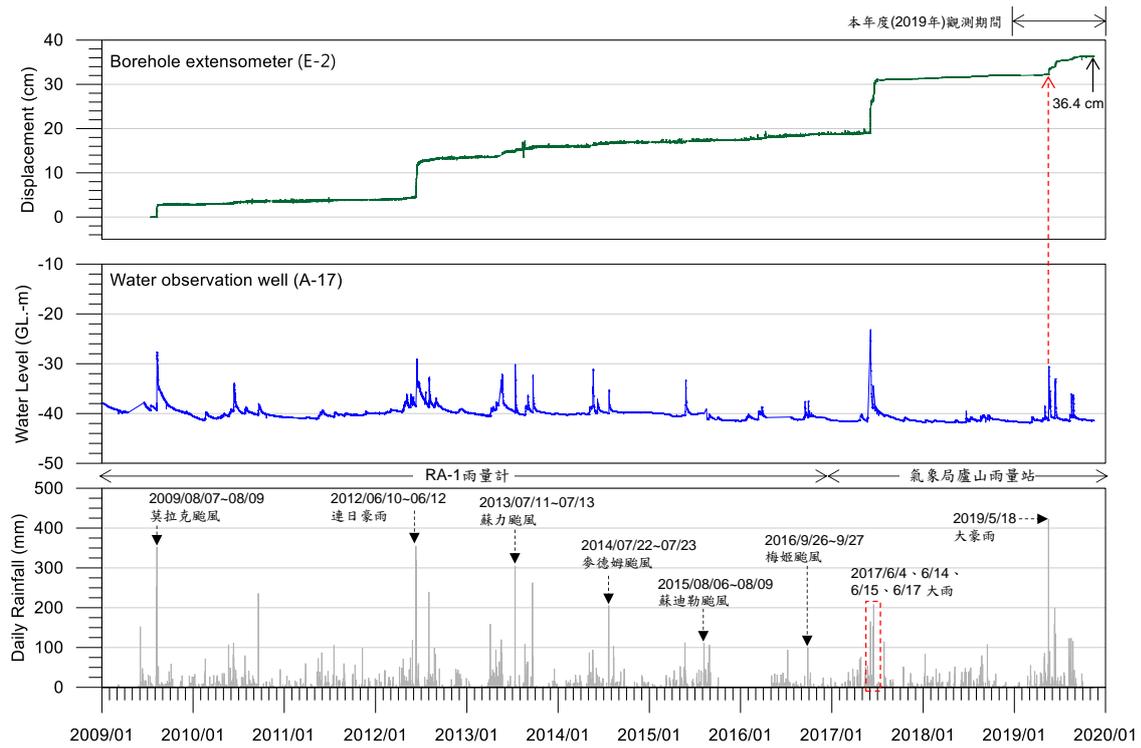


圖3、廬山溫泉北坡摘要觀測成果

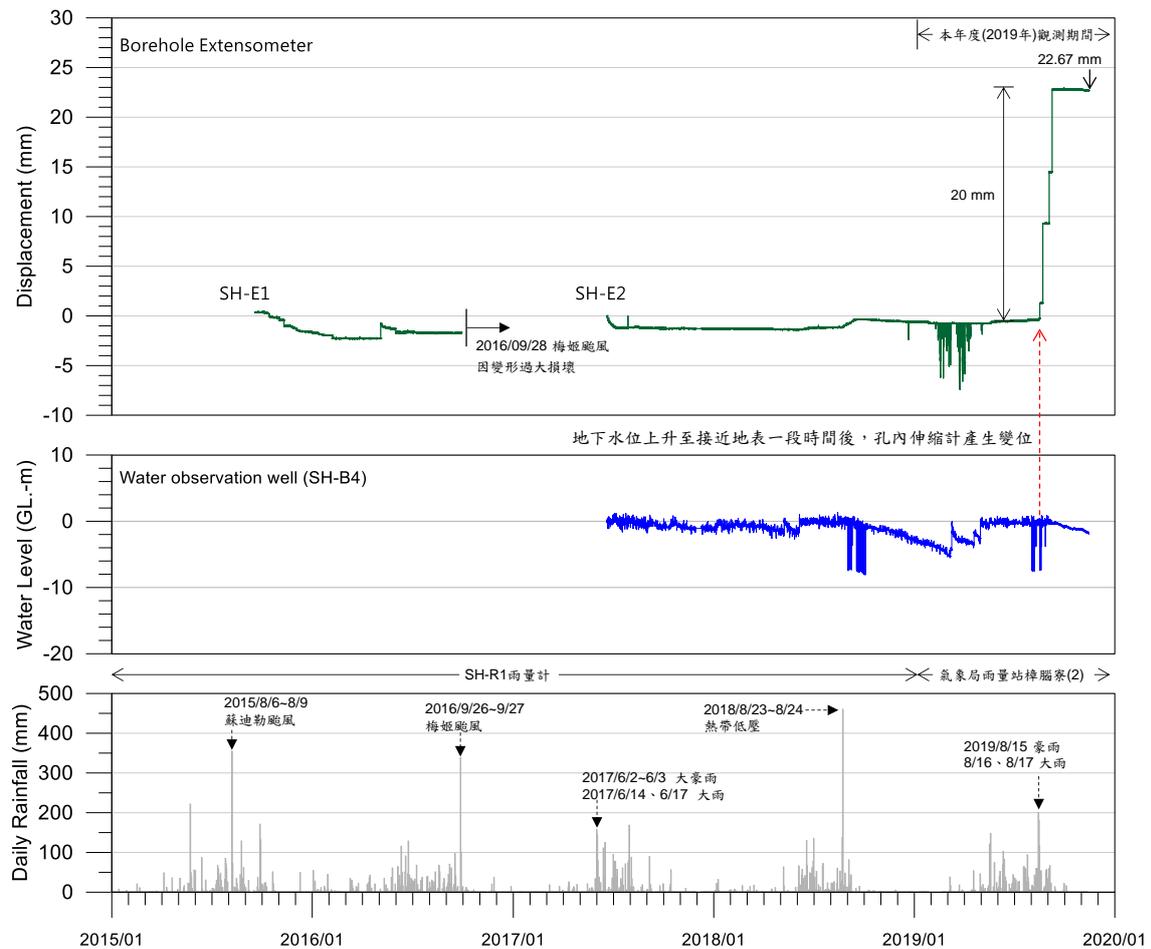


圖4、樣子寮地區摘要觀測成果

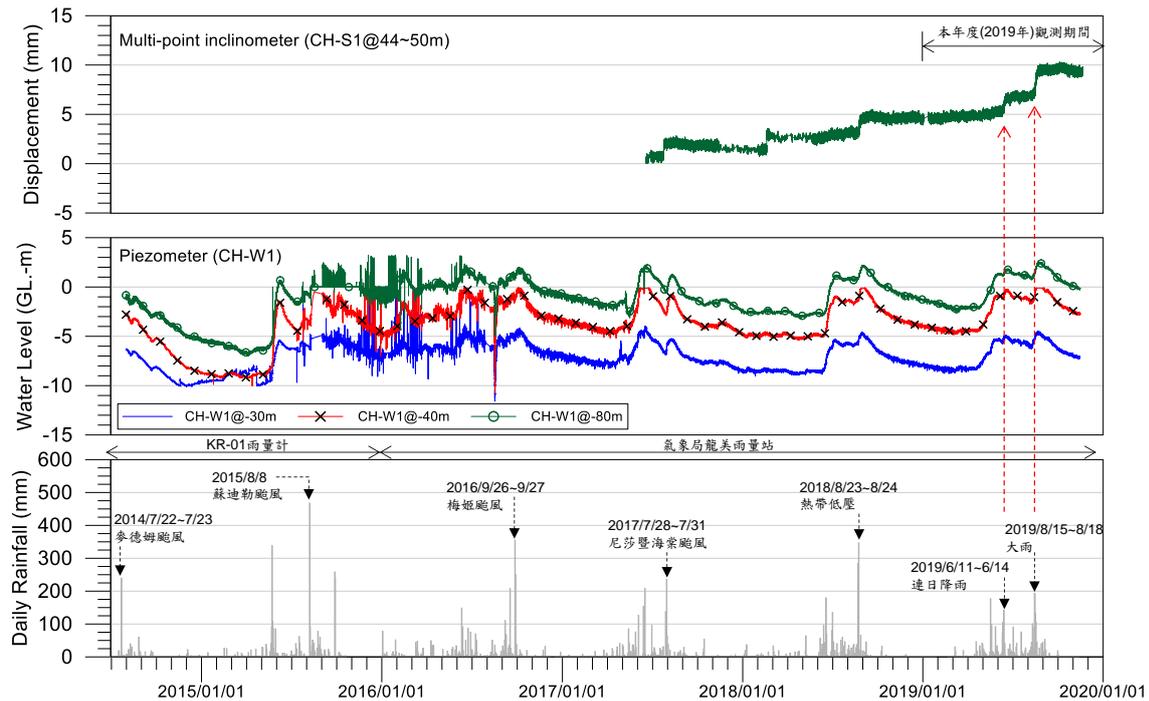


圖5、潮洲湖地區摘要觀測成果

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 6 所示。由調查成果研判，廬山聚落地區大致為劈理順向坡，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，由下至上可再細分為 A、B、C 三層，A 岩層：粉砂質板岩(SSL)，B 岩層：粉砂質板岩間夾砂岩(SSL-SS)，C 岩層：板岩間夾砂岩(SL-SS)。
- (2) **地質鑽探調查**：新增完成 2 孔地質鑽探，編號 LS-B7 及 LS-B8，孔深分別為 130 m 及 150 m，合計 280 m。由鑽取岩芯得知，LS-B7 及 LS-B8 岩性主要為灰黑色粉砂質板岩，且劈理發達。部分深度有剪裂帶、銹染及高角度裂隙情形，如圖 7~圖 8 所示。
- (3) **岩芯判釋**：針對取樣岩芯判釋，完成定性岩芯描述、半定量岩體破碎程度分級(千木良法)及定量化岩體評分(Q_{logging} 法)。
- (4) **岩芯物理性質量測研究**：完成岩芯物理性質量測研究，包括利用乾點式超音波探測儀 UK1401 進行岩芯波速量測 P 波波速(共 2 孔，共 280 m)，及弱面直剪試驗(共 10 組)以取得剪裂帶強度參數。

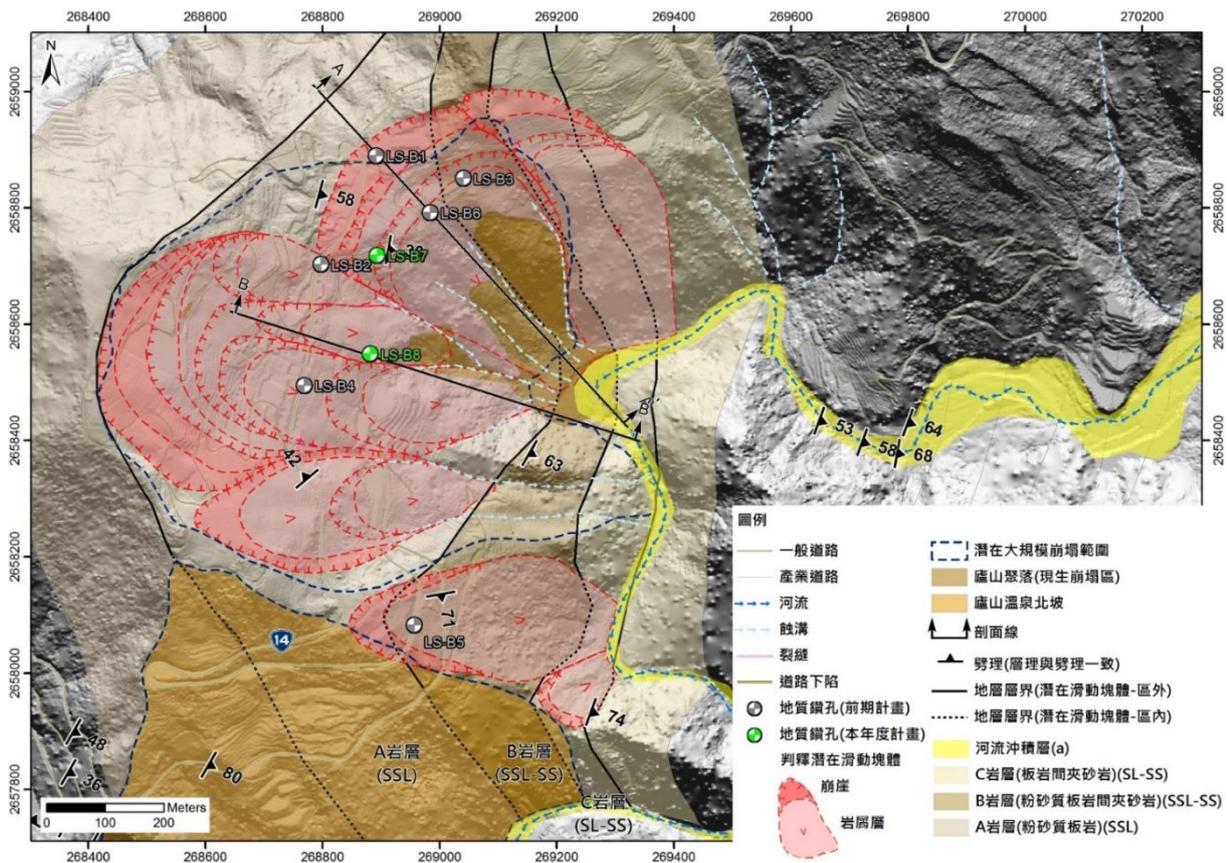


圖6、廬山聚落地質平面圖



圖7、LS-B7岩芯照片。可見劈理傾角變化大

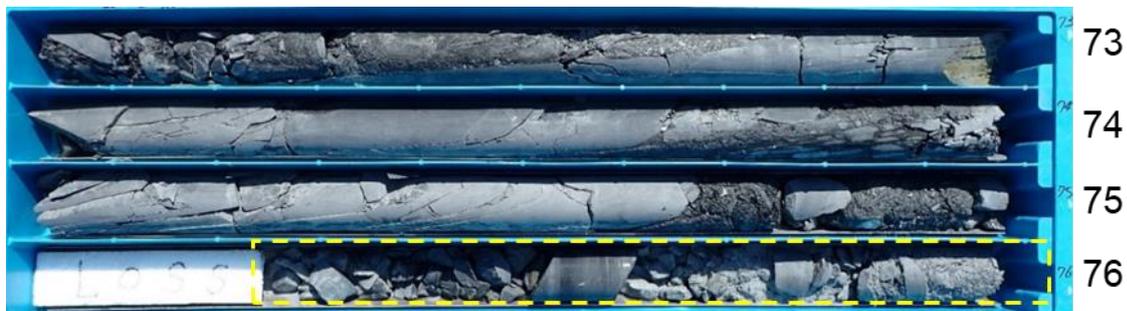


圖8、LS-B7岩芯照片。岩性主要為灰黑色粉砂質板岩。局部深度破碎

- (5) **孔內試驗探測**：完成孔內試驗探測，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，共 2 孔。
- (6) **地中活動性觀測材料安裝**：2 孔，LS-B7 及 LS-B8，完成設置測傾管，共 280 m。
- (7) **地下水位量測**：於新增 2 孔測傾管，LS-B7 及 LS-B，設置自記式水壓計，進行地下水位量測，以取得連續性地下水位變化資料。本年度計畫觀測期間，LS-B7 及 LS-B8 孔之常時水位約地表下 30~33 m，由於觀測期間較短，尚未遭遇較大降雨事件，未能充分掌握前述兩孔之地下水位分布情形。本計畫於後續年度計畫中，將持續觀測，取得較長期觀測資料，以進行研析。
- (8) **潛在山崩機制及活動性分析**：由地質調查及活動性觀測成果，推測廬山聚落區域潛在山崩機制包含順向劈理面發生規模大小不等的挫曲，若切穿劈理面形成規模更大的急折帶(Kink band)時，則可能形成岩體滑動，如圖 9 所示。由 LS-B6 測傾管觀測成果顯示，目前邊坡變形深度達 120 m 以上，目前無明顯的剪動面。區域邊坡大致呈緩慢變形趨勢或無明顯變形，於豪大雨情形則略有加速現象，未來是否可能進一步加速，有賴長期持續觀測。

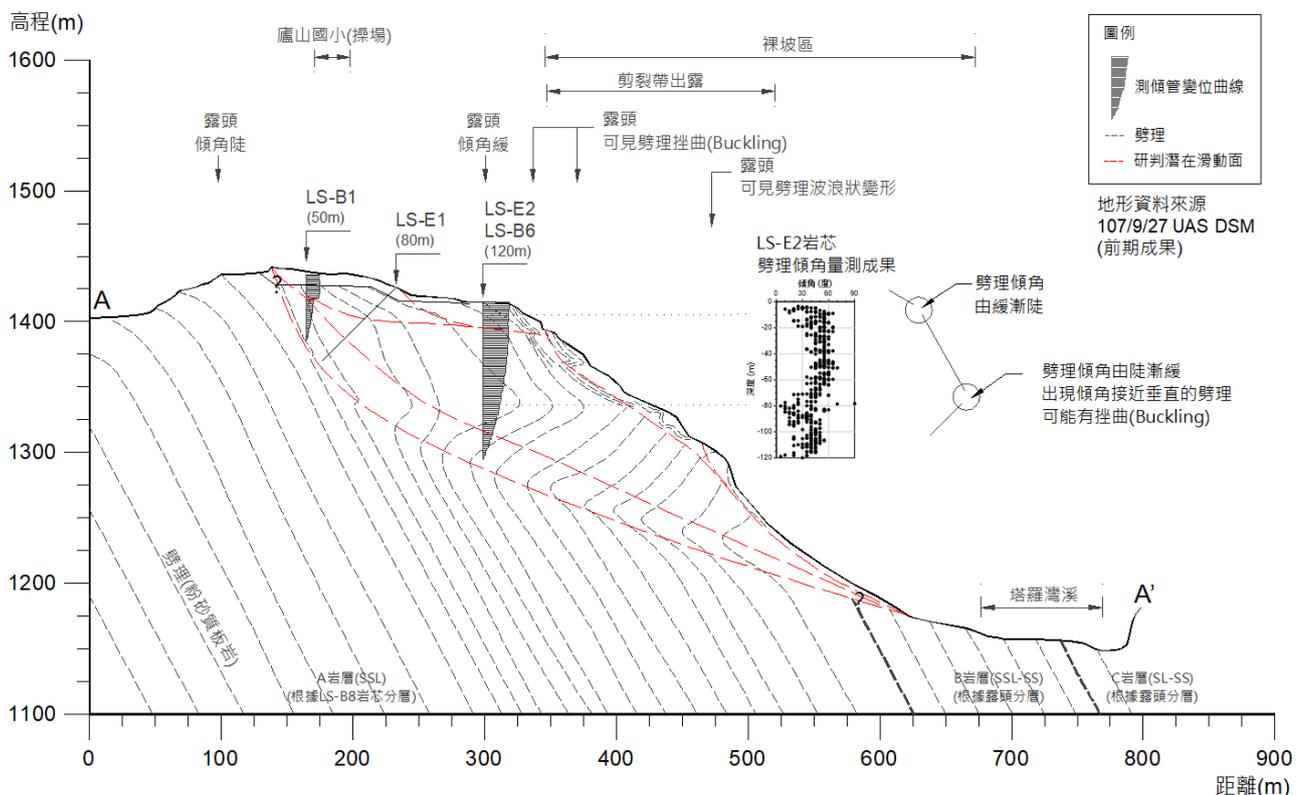


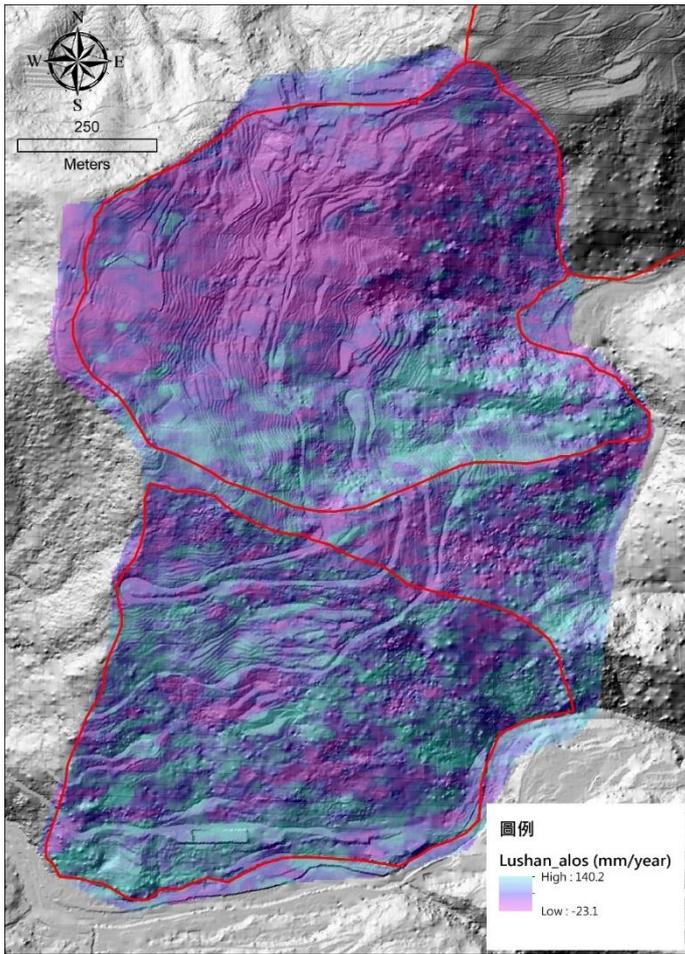
圖9、廬山聚落潛在山崩機制剖面示意圖(A-A'剖面，位置如圖6所示)

4 調查區履歷事件簿更新、彙整及研析：針對前述 8 處調查進行更新。本年度計畫執行期間，以西羅岸地區、太平山地區、太和地區及廬山聚落地區較無明顯的活動性產生。以定遠地區及潮洲湖地區，可見觀測儀器略有變位量產生。各調查區中，以廬山溫泉北坡及樣子寮地區活動性較大，可見明顯地表異常徵兆，包含區域道路產生新生裂縫等，需要持續追蹤邊坡活動性。本計畫有關潛在山崩地區的調查，著重於地質調查，並利用觀測儀器，進行山崩機制及潛在活動性的評估，以提供後續權責機關防災預警措施的規劃。由於囿於經費及觀測儀器壽命，本計畫於確認山崩機制並提供相關單位資訊後，將逐漸退出現場的觀測工作。本計畫工作成果並可提供相關單位參考。後續防災預警及整治工程等作為，有賴各調查區之管轄單位加以規劃、執行。

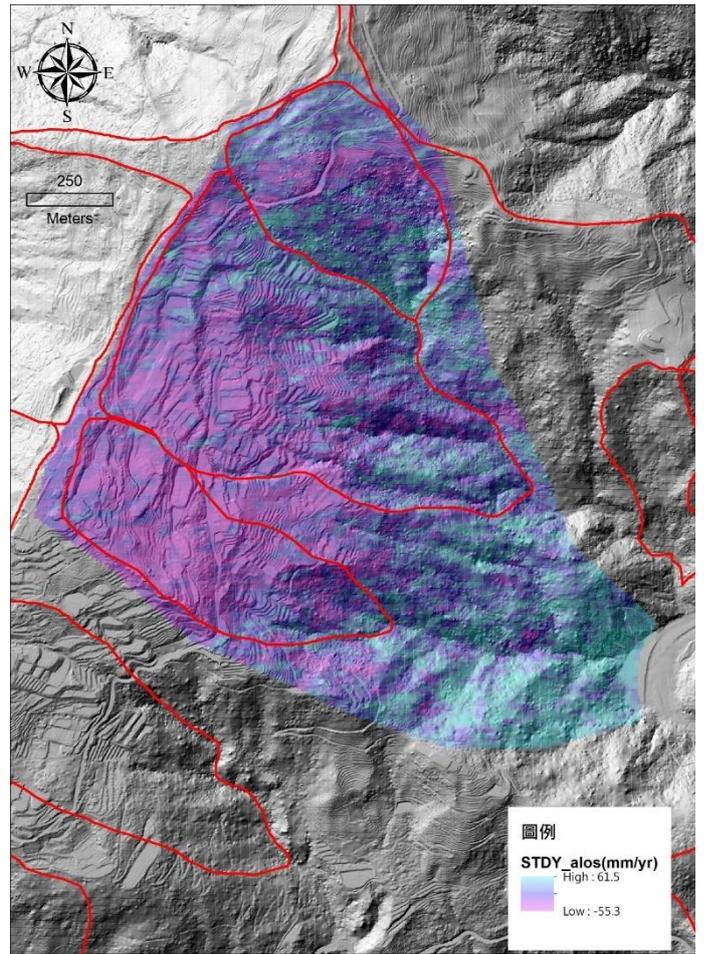
(二) 多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究

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 2019 年 7 月 28 日共計 9 幅，分析使用短基線模式(SBAS)所得之廬山溫泉北坡及廬山聚落之地表垂直變形速率如圖 10(a)所示，定遠及壽亭地區之地表垂直變形速率如圖 10(b)所示。觀察兩圖中之垂直地表變形量位置，如清境國小(圖 11)之歷年變形量於 2017 年有一明顯往下變形趨勢，此變形於 2018 年 2 月減緩後於 2018 年 11 月觀察到上升情形，於 2019 年再次往下變形，為利於掌握這些變形趨勢是否正確，在廬山北坡安裝 3 處多星雙頻 GPS 站、廬山聚落安裝 2 處多星雙頻 GPS 站，以及壽亭、定遠各安裝 1 處多星雙頻 GPS 站，提供分析查核驗證之用。
- 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，2019 年度於 8 月份連續降雨後於 9 月 17 日完成廬山北坡及廬山部落空拍，9 月 18 日完成壽亭及定遠空拍，並產至正射影像及數值地表高程模型，提供後續地表變形分析參考。
- 3. 地表活動性 GPS 觀測站成果解算：**本年度計畫於廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭等 4 處調查區，共包含 10 站之 GPS 觀測及解算，如表 2 所示，以掌握地表位移趨勢。本年度觀測迄今，以廬山溫泉北坡於 0518 大豪雨期間，區域內 LU02(馬赫坡露營區)及 LU03(蔡氏茶廠)等兩處 GPS 觀測站，觀測到地表產生約 5~8 cm 之變位量，顯示近期區域邊坡略有活動性產生，如表 3 所示，但無持續位移加速情形。其餘觀測站則係於 7 月陸續新設完成，本年度觀測成果無明顯變化趨勢。



(a) 廬山溫泉北坡及廬山聚落地表垂直變形速率
(單位：mm/year)



(b) 定遠及壽亭地區地表垂直變形速率
(單位：mm/year)

圖10、差分干涉合成孔徑雷達(D-InSAR)地表變形分析成果

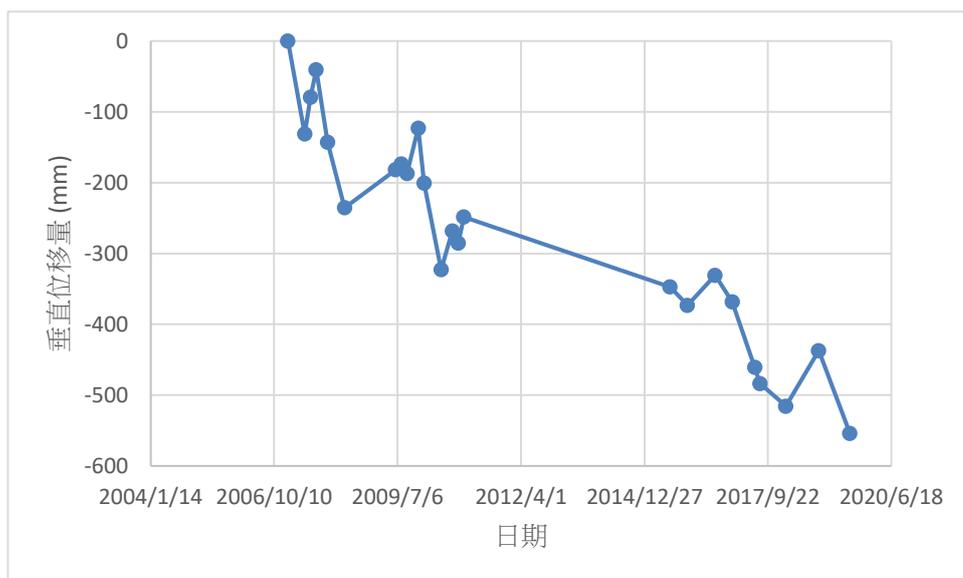
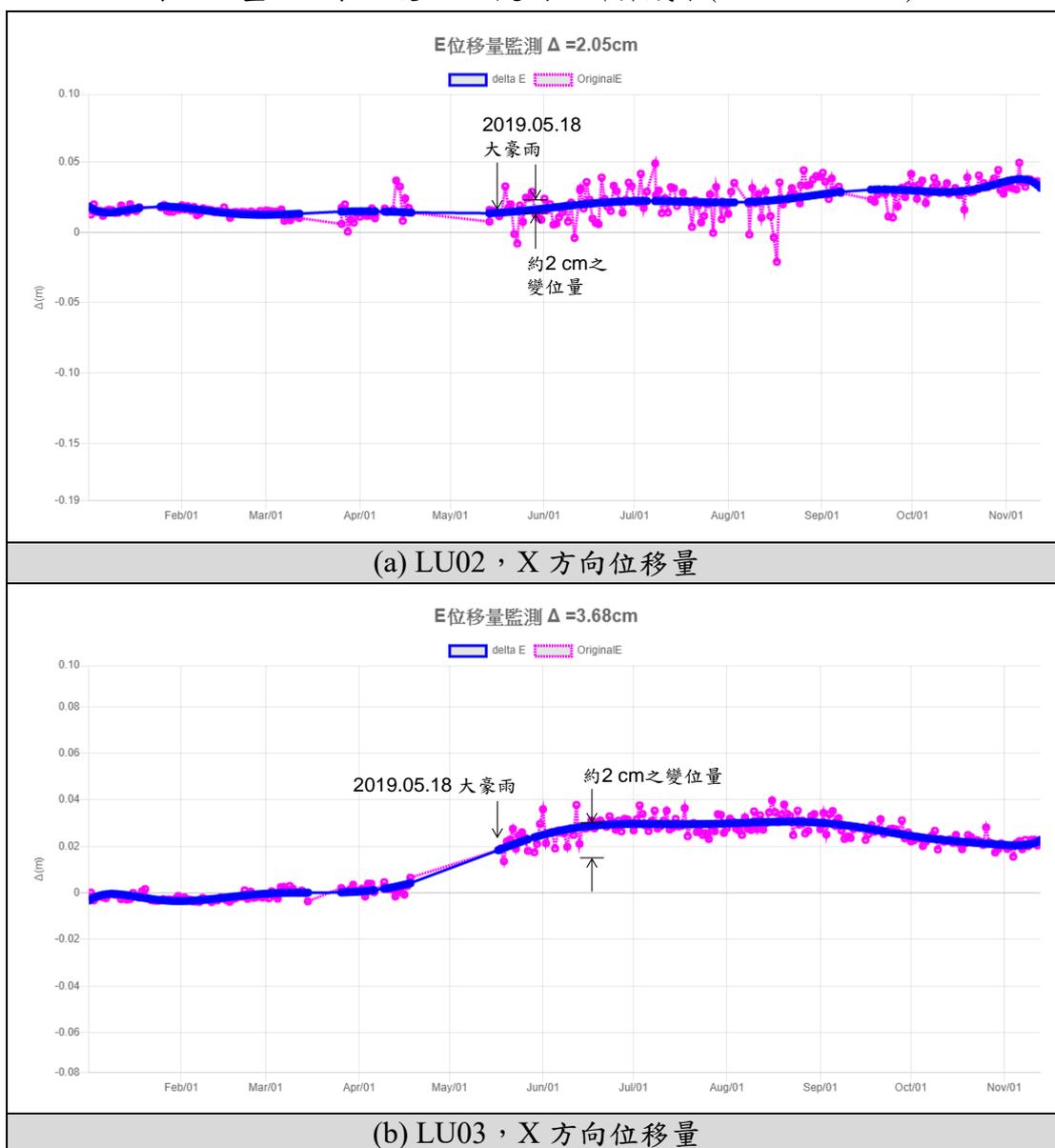


圖11、定遠地區清境國小SAR分析成果。以歷年地表垂直變形量表示

表 2、本年度計畫於廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭之 GPS 站

計畫	調查區	GPS 站編號		數量	地標
前期計畫設置 (2007)	廬山溫泉北坡	LU01	解算基 站	3 站	警光山莊
		LU02	觀測站		馬赫坡露營區
		LU03	觀測站		蔡氏茶廠
本計畫設置 (2019)	廬山溫泉北坡	CN01	觀測站	3 站	廬山停車場
		CN02	觀測站		台 14 側邊果園邊坡
		CN03	觀測站		台 14 線道路
	廬山聚落	CN04	觀測站	2 站	廬山聚落茶廠屋頂
		CN05	觀測站		廬山國小司令台屋頂
	定遠地區	CN06	觀測站	1 站	清境國小
	壽亭地區	CN07	觀測站	1 站	壽亭巷
合計				10 站	-

表 3、廬山溫泉北坡 GPS 觀測站解算成果(LU02 及 LU03)



4. 多尺度地表變形研究成果研析：將 GPS 站設置後觀測成果與 ALOS 及 Sentinel-1 差分干涉合成孔徑雷達 (DInSAR) 解算成果解算分別如圖 12 及圖 13 所示，觀察 GPS 觀測成果可知兩站觀測資料均呈現下降及上升不同趨勢，其主要大幅下降時間均為 2017 年 6 月豪雨，之後則微幅呈現波動情形，此一情形可能情形有二，其一為季節性冬夏變形，其二為不同滑動深度所致，大變形可能為深層滑動，小變形可能為淺層滑動，由於滑動深度不同造成滑出面位置也隨之改變而造成局部頂起現象，但綜觀兩處不同滑動塊體監測成果，編號 CN04 獲得趨勢及大小均相同吻合，然 CN03 未能獲得較精確結果，此一原因可能為分析用影像軌道挑選所致或廬山北坡為南北向不利於 DInSAR 分析所致，後續擬精進改善此一現象。

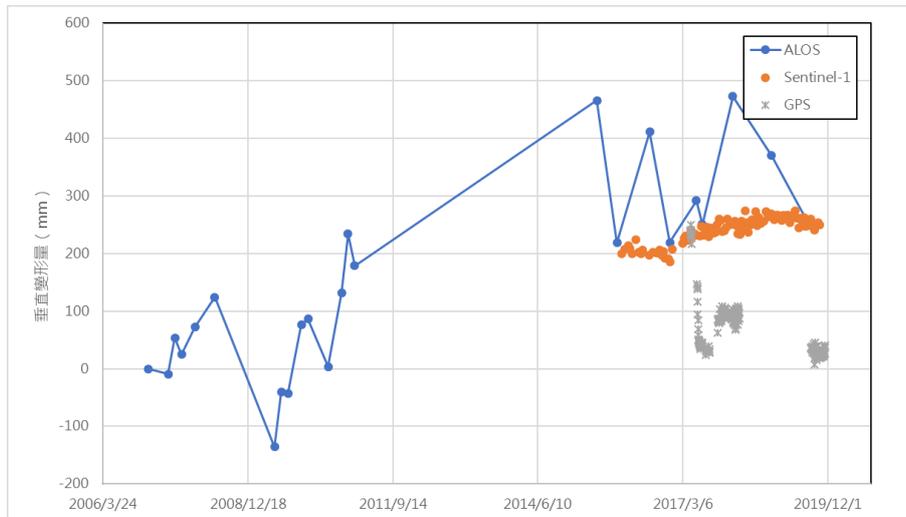


圖 12、編號CN03 GPS站GPS、ALOS及Sentinel-1DInSAR觀測成果比較

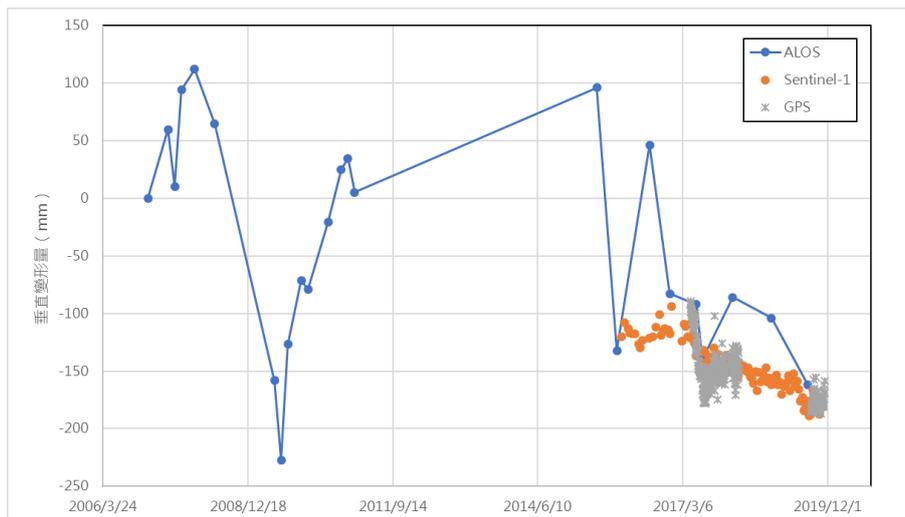


圖 13、編號CN04 GPS站GPS、ALOS及Sentinel-1DInSAR觀測成果比較

(三) 前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

1. 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究：本年度計畫研究包括以下：

- (1) 資料蒐集及適用性評估：完成國內、外技術之資料蒐集及彙整評析，供後續研發及防災應用研究參考。本年度計畫共蒐集加拿大 Measurand 公司研發之新式多點式地中變位儀 SAAV，及義大利 CSG Srl 公司研發之 DMS 串聯式測傾儀等新期觀測技術，可供後續技術應用參考。
- (2) 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究：本年度進行串聯式自動化的多點式地中變位儀之應用研究，挑選場址為新北市烏來區之忠治籃球場。先利用測傾管觀測，掌握滑動深度後，再選擇串聯式自動化測傾儀安裝深度。最後採用新式研發多點式地中變位儀 SAAV，進行應用研究，共設置 4 m，編號 CHJ-S1，每 5 分鐘記錄一筆資料，可於活動性觀測平台查看即時觀測成果，如圖 14 所示。CHJ-S1 多點式地中變位儀目前無明顯異常變化，本計畫於後續年度將再持續觀測，加以評估。

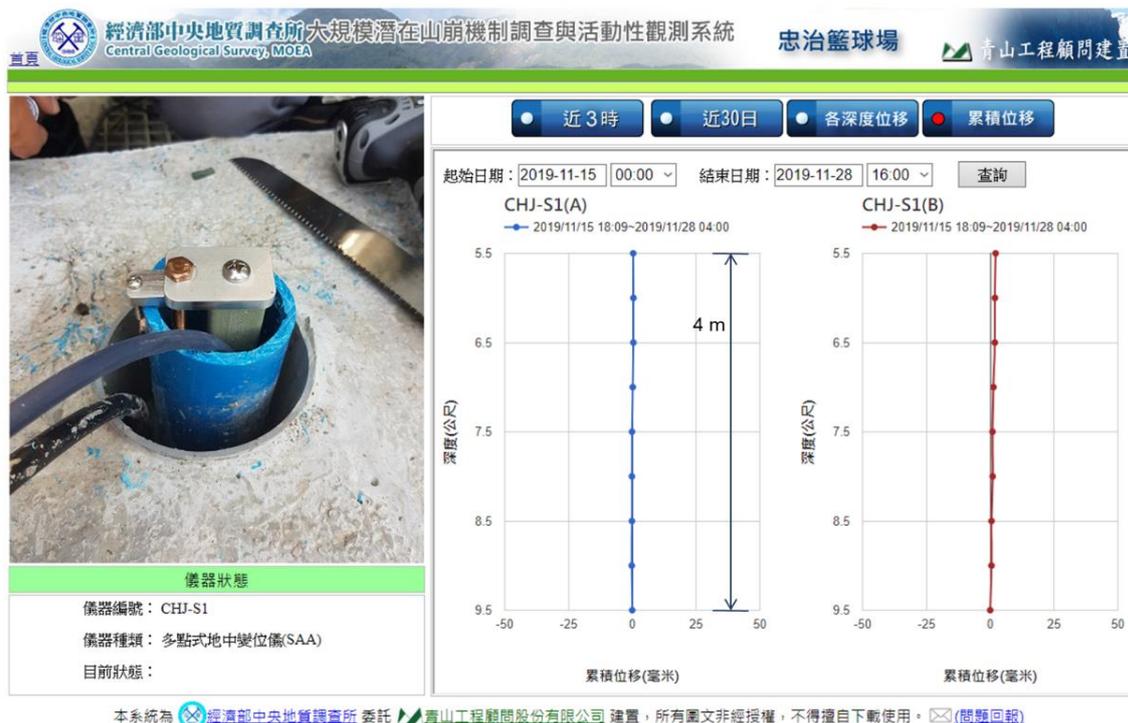


圖14、CHJ-S1多點式地中變位儀觀測成果。採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測成果

(3) 地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究：本年度計畫於現地共完成 3 個鑽孔，編號 CHJ-B3~CHJ-B5，孔深均為 10 m，合計 30 m，用以進行各式地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究，現地配置如表 4 所示。各式地中觀測儀器與測傾管共構安裝之觀測成果，如圖 15 及圖 16 所示，目前功能正常運作中，無明顯異常變化，本計畫於後續年度將再持續觀測，加以評估儀器共構安裝之功效。

表 4、地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究-現地配置情形

鑽孔編號	孔深(m)	安裝方式	採用之地中觀測技術項目(編號)			
			測傾管	孔內伸縮計	TDR	多點式地中變位儀
CHJ-B3	10	回填(七厘石)	CHJ-B3	CHJ-E1	-	-
CHJ-B4	10	灌漿	CHJ-B4	CHJ-E2	CHJ-D1	
CHJ-B5	10	回填(七厘石)	CHJ-B5	-	CHJ-D2	CHJ-S1



(a) CHJ-E1 孔內伸縮計(與測傾管共構)



(b) CHJ-E2 孔內伸縮計(與測傾管共構)

圖 15、CHJ-E1 及 CHJ-E2 孔內伸縮計(與測傾管共構)觀測成果

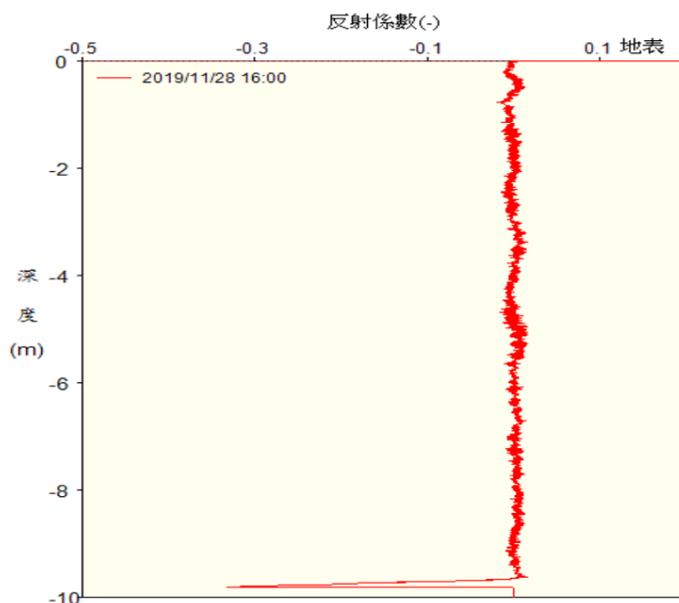


圖 16、CHJ-D1 時域反射儀 TDR(與測傾管共構)觀測成果

(4) **井內無線傳輸可行性研究(文獻蒐集)**：本年度計畫進行資料蒐集，瞭解國內外是否已有類似技術或其他具有應用潛力的技術，加以彙整，並評估於後續年度計畫進行可行性研究。經初步查詢，發現井內無線傳輸應用在潛在山崩活動性觀測，例如變位量或地下水位等資訊相當不容易找到，故本計畫嘗試搜尋其他領域之應用，提供後續應用研究參考。彙整文獻蒐集成果詳表 5 所示，目前在水下或地下無線傳輸已有發展相關技術，包含電磁波、聲波、可視光等。應有相關技術可供發展井內無線傳輸技術，具有可行性。但目前技術在水下或地下環境，對於訊號衰減問題尚無法完全克服，有賴進一步的測試。此外，相關研究在電力供應的部分，主要考慮低功耗的儀器，以提供較長期的服務，也係後續發展應用研究的重點。

表 5、井內無線傳輸可行性研究-文獻蒐集情形

項次	文獻	摘要
1	Silva and Vuran (2009)	<ul style="list-style-type: none"> 將地下無線通訊網路(Wireless Underground Sensor Networks, WUSNs)分為 <ol style="list-style-type: none"> 1.礦坑與隧道無線傳輸 2.地下無線感測網路
2	Ali et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> 進行無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)調查及文獻彙整時，將無線感測網路範疇分為地上、水下、地下、移動及多媒體無線感測網路。
3	Sadeghioon et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> 應用射頻(Radio frequency, RF)通訊技術於地下埋藏管線環境觀測。 訊號傳遞介質為土壤，可成功收到訊號。
4	Jo et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> 用藍芽(Bluetooth)通訊技術於地下礦坑環境觀測。 訊號傳遞介質為空氣，可成功收到訊號。
5	Saeed et al. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> 在進行地下無聯網技術(Internet of Underground Things, IoUT), Saeed et al. (2019)提到地下無聯網通訊技術包含電磁波、聲波、泥漿脈衝、磁感應、有線式及可見光通訊等
6	Maher et al. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> 在水下通訊部分，Maher et al. (2019)提到目前有光學(Optical)信號、射頻(Radio frequency, RF)信號及聲音(Acoustic)信號等三種傳輸技術 Maher et al. (2019)應用射頻通訊技術，進行水下通訊試驗，發現不同射頻頻率及傳輸距離會影響通訊表現。

(5) **地層變位模擬研究**：包含地層變位模擬儀器試驗及數值模擬。本年度計畫於地層變位模擬儀器試驗考量不同滑動面傾角及剪動帶厚度對於鋼索伸縮量之影響。後續依地層變位模擬儀器試驗構件，繪製幾何關係示意圖，並討論在不同滑動面角度及剪動帶厚度下，孔口位移量與鋼索伸縮量之幾何關係。此外，並以數值模擬考量邊坡實際滑動特性，討論於邊坡不同位置模擬裝設孔內伸縮計時之鋼索伸縮量及孔口位置變化。

2. 物聯網技術適用性研究：

- (1) **文獻蒐集、彙整：**針對物聯網中的網路層進行文獻蒐集，包括無線或有線的網際網路。由於山區偏遠，部分觀測點不易以人力到達，以物聯網技術為基礎的自動化潛在山崩活動性觀測系統，多半採用無線網路技術。因此，本計畫主要針對無線網路進行相關文獻蒐集。參考相關文獻(黃能富，2016；Peter, 2015)，無線網路技術依照通訊範圍大致可分為三類，包含近距離、中距離及長距離。近年主要成熟運用於自動化觀測系統的無線通訊技術為行動網路。此外，低功耗廣域網路 LPWAN(Low-Power Wide-Area Network)為另一熱門發展中之新興無線通訊技術，因此本年度計畫就行動網路及低功耗廣域網路等兩部分進行探討。

針對低功耗廣域網路 LPWAN 技術，本年度計畫蒐集到 SIGFOX、LoRa、NB-IoT 等通訊技術相關文獻。綜合比較詳表 6 所示，SIGFOX、LoRa、NB-IoT 這三種低功耗廣域網路具有低耗電、低速度、低資料量、低成本的特性。其中，SIGFOX 及 NB-IoT 均需由業者架設基站，而 LoRa 可自行架設基地台，訊息也可透過閘道器之間的橋接，進一步延伸傳輸距離。因此，若要解決偏遠山區基地台數量少，通訊品質不穩的問題，更有可能的做法，應該是在區域網路先採取 LoRa 這類型的通訊協定，待資料統一傳輸到一個點後，再一起以 NB-IoT 或 4G 傳輸至後端伺服器，達到異質網路整合，為未來可能潛在山崩活動性自動化觀測的發展模式之一。由於 LoRa 可自由佈設網路，加以延伸傳輸距離，本年度計畫後續初步選擇 LoRa 進行物聯網技術研究。

- (2) **物聯網技術適用性研究(現地測試)：**本年度計畫規劃於新北市烏來地區忠治籃球場作為物聯網技術測試場址，進行物聯網之布建，根據前述文獻回顧成果，通訊技術採用 LoRa 之低功耗廣域網路 LPWAN 技術進行測試，現場物聯網布建情形如圖 17 所示，並利用裂縫計的變位量作為物聯網技術測試之物理量變化。本計畫透過數日的資料接受，來觀察其位移點數據接收量，並與鄰近水利署之大桶山雨量站(編號 01A440)，依據降雨量多寡(晴天、雨天)，做為比較基準。由圖 18 可知，裂縫計於功能測試時所產生之位移量有確實接收，其餘位移量之點位數量隨時間增加而增加。由於觀測期間尚短，本計畫於後續年度將持續觀測，待收錄較長期的觀測資料，以回饋評估 LoRa 技術之表現。

表 6、常見低功耗廣域網路 LPWAN 技術比較

技術協定	SIGFOX	LoRa	NB-IoT
成立時間(西元)	2009 年	2015 年	2016 年
主要推動者	SIGFOX (公司)	LoRa Alliance (聯盟)	3GPP (聯盟)
使用頻段	非授權頻段 Unlicensed band 920~925 MHz	非授權頻段 Unlicensed band 920~925 MHz	授權頻段 Licensed band Band8、28
最遠 傳輸距離	50 km (160dB)	10~30 km (157dB)	>10 km (164dB)
使用頻寬	100 Hz	125~500 kHz	180 kHz
傳輸速度	100 bps (低)	0.3~60 kbps (中)	40~200 kbps (高)
最大 資料承載量	12 bytes	243 bytes	1600 bytes
最大 每日傳輸次數	140	無限制	無限制
網路架設	SIGFOX 公司獨立建網 獨立營運	獨立建網 自行架設網路	由電信運營商架設 可使用現有 4G 基站
基站管理	臺灣 Unabiz 公司	私網：自行管理 LoRaWan：視供應商	電信公司
比較	<ul style="list-style-type: none"> • 傳輸距離最長 • 功耗較低 • 提供現有 SIGFOX 基地台及雲段平台 • 全球性網路服務 • 受制於電信營運商的網絡 	<ul style="list-style-type: none"> • 資料傳輸速率彈性 • 可以使用 LoRa 模組自行組網，無需依賴行動網路的基站信號覆蓋，也無需支付給運營商們網絡流量使用費。 	<ul style="list-style-type: none"> • 使用授權頻段，干擾較小 • 可使用現有 4G 電信台 • 無傳輸限制 • 受制於電信運營商的網絡覆蓋，若偏遠的郊外或者山區，沒有部署有支持 NB-IOT 的基站覆蓋的，那基於 NB-IOT 的物聯網接入將無法成功實施。



(a) 儀器接收端與 LoRa 節點相對位置



(b) 儀器接收端



(c) LoRa 節點

圖17、忠治籃球場物聯網布建配置情形

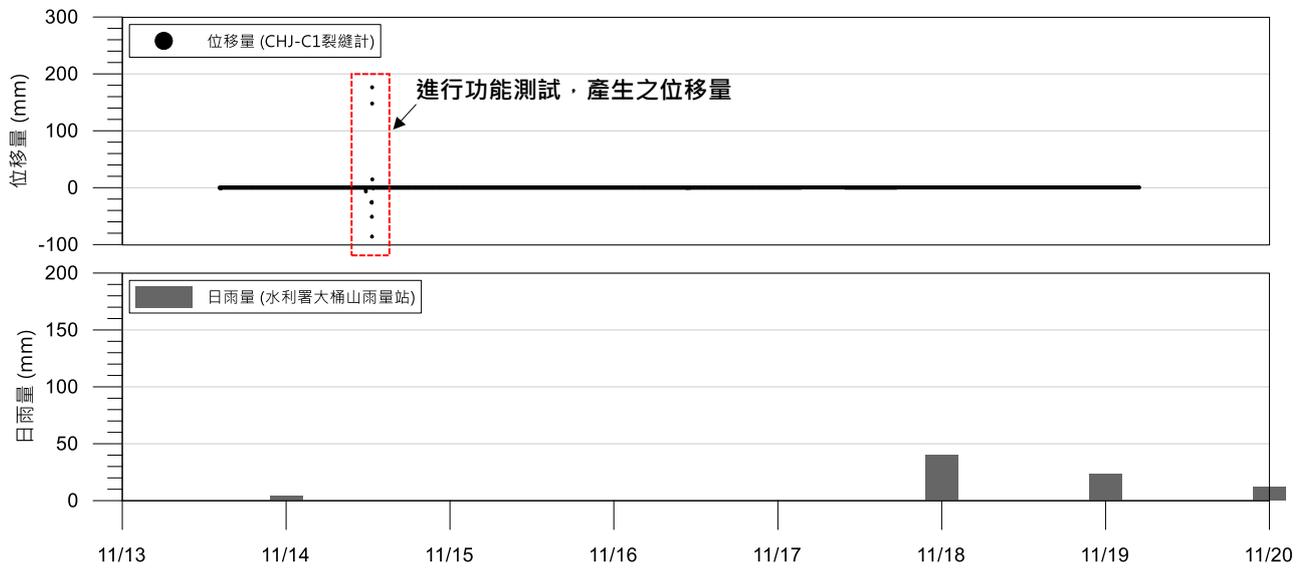


圖18、利用LoRa通訊技術之裂縫計觀測成果

(四) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

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 hcloud 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：本年度計畫主要包含觀測網頁改版及政府開放資料服務功能加值應用。觀測網頁新增本年度計畫之廬山聚落 2 孔測傾管，如圖 19 所示。此外，擴充平台功能，分為前期計畫及本期計畫之觀測頁面。並進行政府開放資料服務功能加值應用，主要為介接中央氣象局提供之地震資訊，以便於瞭解地震震度較大區域，以及與調查區空間分布關係。



圖 19、廬山聚落擴充觀測網頁情形(新增LS-B7、LS-B8測傾管觀測成果網頁)

- (3) 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣：本年度計畫主要持續維護前期計畫針對「山崩活動性觀測平台」，已提供相關政府單位資料介接等資訊服務。包含科技部災害管理資訊研發應用平台介接本計畫調查區警戒管理燈號，如所示。及 NCDR 災害情資網介接本計畫西羅岸調查區觀測資料及警戒管理燈號情形，如圖 20 及圖 21 所示。

資料最新更新時間：2019/8/2 下午 03:00:37

顏色說明：●狀況良好 ●超過注意值 ●超過警戒值 ●超過行動值 ●儀器損壞



測站名稱	測站代號	更新時間
無	無	無
緯度	經度	燈號
無	無	

本計畫更新為6處

- 西羅岸
- 太平山
- 廬山溫泉北坡
- 廬山聚落
- 太和
- 潮洲湖

<http://dmip.tw/Lone//realtime/station.aspx>

圖20、科技部災害管理資訊研發應用平台介接本計畫調查區警戒管理燈號情形

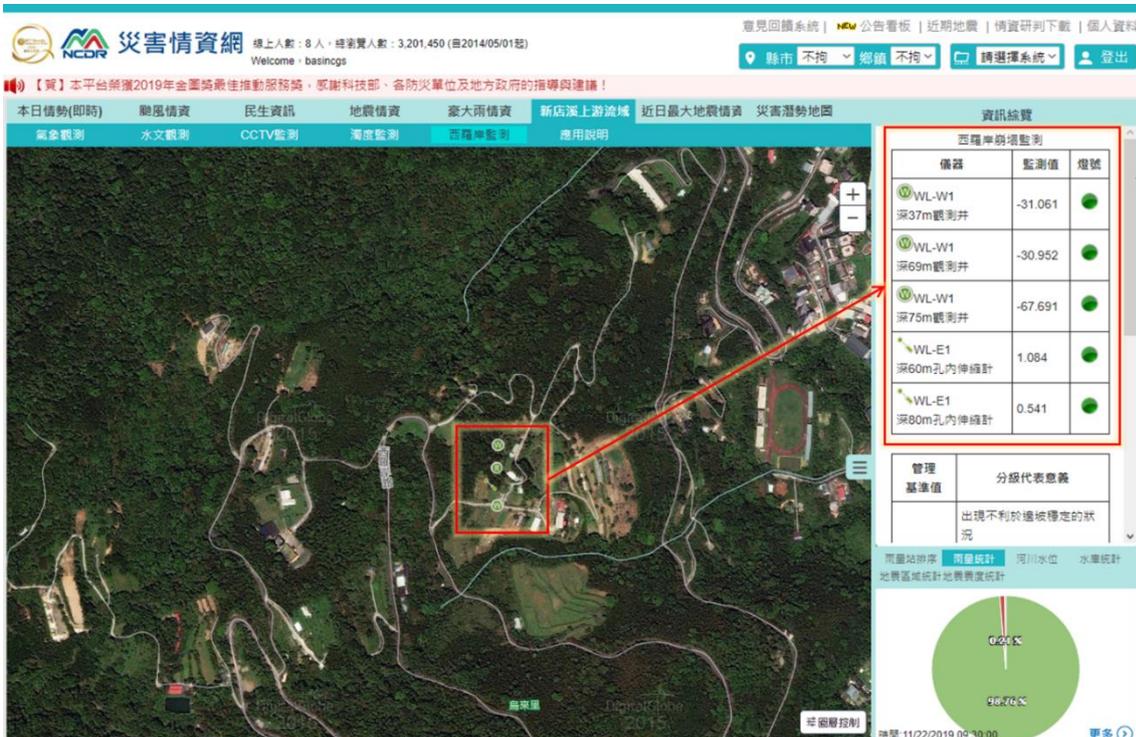


圖21、NCDR災害情資網介接本計畫西羅岸調查區觀測資料及警戒管理燈號情形

2. 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修：針對前期計畫於 2018 年編彙出版之「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」進行勘誤，並於於網路社群平台或相關活動，持續推廣。本年度計畫共完成 1 次更新。
3. 國內外技術交流：透過交流互訪、參加研討會或展覽等方式進行國內外交流，推廣計畫研究成果。本年度計畫共進行 7 次國內外研討會或技術討論，包含投稿 1 次，獲得良好交流，並有助於推廣計畫成果，詳細情形如表 7 所示。

表 7、國內外技術交流情形

日期 (2019 年)	單位	達成情形	說明
07/31	客家 電視台	<ul style="list-style-type: none"> 測傾儀、水位指示器現場操作。 	<ul style="list-style-type: none"> 客家電視台採訪地質調查所，至西羅岸地區進行現勘，本計畫共同參加。 後續客家電視台亦將相關採訪成果，製作成新聞影片『判讀地底岩層動態。地質調查員「深入檢測」』，有助於計畫成果推廣及社會服務。
05/16~ 05/17	-	<ul style="list-style-type: none"> 海報及簡報發表：以「應用孔內攝影探測進行岩體不連續面位態於空間分布之調查，以南投壽亭地區為例」為題。 	<ul style="list-style-type: none"> 參加中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 108 年年會暨學術研討會(2019TGA)。(南港展覽館)
08/19		<ul style="list-style-type: none"> 本計畫與義大利學者 Giovanni Nico 進行有關地面合成孔徑雷達 GB-SAR(Ground-Based Synthetic Aperture Radar)的交流。 	<ul style="list-style-type: none"> Giovanni Nico 博士於簡報中介紹有關 GB-SAR 的原理及應用狀況，可供過國內後續應用評估參考。
09/04、 10/01	臺北市 政府	<ul style="list-style-type: none"> 螺旋儀操作解說及交流。 	<ul style="list-style-type: none"> 臺北市府參訪地質調查所。本計畫協助室內及現場操作解說。並推廣前期計畫編彙之「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」。
10/13	-	<ul style="list-style-type: none"> 參加 16ARC 研討會(第十六屆亞洲區土壤力學及大地工程學術會議) 	<ul style="list-style-type: none"> 日本千木良雅宏教授主講有關「由深層重力邊坡發展至遠變式破壞」(Deep-seated gravitational deformations that develop to catastrophic failure)，千木良教授於簡報中提到由坡度及葉理關係，邊坡重力變形包含挫曲 Buckling、撓曲 Bending(傾覆 toppling)、拖曳 Dragging 及滑動 Sliding 等模式，可供後續本計畫「潛在大規模崩塌之調查與觀測技術手冊」更新參考。
10/25	-	<ul style="list-style-type: none"> 參加「2019 科技部坡地防災整合計畫聯合成果發表暨研討會」 	<ul style="list-style-type: none"> 國立臺灣大學林銘郎教授於「節理特性對多節理複合型楔型破壞之影響」簡報中，提及到利用點雲處理，獲取位態的技術，有助於潛在山崩地區調查。研討會相關成果可供未來本計畫「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」更新參考。
11/06	行政院 農業委員會 水土保持局	<ul style="list-style-type: none"> 潛在大規模崩塌之調查國內外技術交流。 	<ul style="list-style-type: none"> 受農委會水土保持局「2019 大規模崩塌防減災技術交流國際研討會」邀請地質調查所至本計畫定遠調查區進行解說。本計畫共同參與，並簡報有關潛在大規模崩塌地區之調查與成果。

參考文獻

1. 黃能富 (2019), 「長距離低功耗物聯網與智慧校園應用(簡報)」。
2. Ali, Ahmad & Ming, Yu & Chakraborty, Sagnik & Iram, Saima. (2017). "A Comprehensive Survey on Real-Time Applications of WSN". *Future Internet*. 9. 77.
3. Barton, N. (1991), "Geotechnical design", *WT Focus*.
4. Chigira, M.; Hariyama, T.; Yamasaki, S. (2013), "Development of deep-seated gravitational slope deformation on a shale dip-slope: Observations from high-quality drill cores," *Tectonophysics*, 605, pp.104-113.
5. Jo, B.W. & Khan, R.M.A.. (2017). "An Event Reporting and Early-Warning Safety System Based on the Internet of Things for Underground Coal Mines: A Case Study." *Applied Sciences (Switzerland)*. 7. 10.3390/app7090925.
6. Maher, Salma & Ali, Ziad & Mahmoud, Haitham & Abdellatif, Sameh & Abdellatif, Mohammad. (2019). "Performance of RF underwater communications operating at 433 MHz and 2.4 GHz". 334-339.
7. Peter R. Egli (2015), "LPWAN Technologies for Internet of Things (IoT) and M2M Scenarios".
8. Sadeghioon, Ali & Metje, Nicole & Chapman, David & Anthony, Carl. (2014), "SmartPipes: Smart Wireless Sensor Networks for Leak Detection in Water Pipelines", *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 3, pp. 64-78.
9. Saeed, Nasir & Al-Naffouri, Tareq & Alouini, Mohamed-Slim. (2019), "Towards the Internet of Underground Things: A Systematic Survey".
10. Silva A.R., Vuran M.C. (2009) "Empirical Evaluation of Wireless Underground-to-Underground Communication in Wireless Underground Sensor Networks". In: Krishnamachari B., Suri S., Heinzelman W., Mitra U. (eds) *Distributed Computing in Sensor Systems*. DCOSS 2009. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 5516. Springer, Berlin, Heidelberg.