

中央地質調查所報告第 號
委辦計畫編號 108-5226904000-07-01

山崩調查觀測技術精進與應用(1/4) 成果報告書

報告書內容屬於初步地質調查及山崩潛勢
評估成果，僅供坡地防災應用之參考。



委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：青山工程顧問股份有限公司
中華民國 108 年 12 月

山崩調查觀測技術精進與應用(二)

成果報告書

中華民國一〇八年十二月

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。

關鍵字：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 understanding the landslide mechanism through in-situ investigations, it is also necessary to cooperate with appropriate active observation techniques to supplement 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 investigations and observations of potential landslide areas in previous plan. It has discovered some of the potential landslide areas recently show relatively high activity, and 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 overall plan includes (1) potential landslide area survey, active observation and geological safety assessment, (2) multi-scale remote sensing technology applied to potential surface landslide deformation research, and (3) the research, development and disaster application of prospective survey and observation and Internet of Things technology, and (4) the 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

長摘要

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。

本計畫為四年期計畫，執行期間為西元 2019~2022 年，本年度(2019 年)計畫為整體計畫之第一年。說明本年度(2019 年)計畫主要成果摘要如下：

一、潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估

(一) 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-1 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-1、樣子寮地區潛在山崩地區現場勘查成果。道路有新生裂縫

Fig. 1 Investigation results of Shetzuliao area, which shows new cracks of road

(二) 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-2~圖-4 所示。

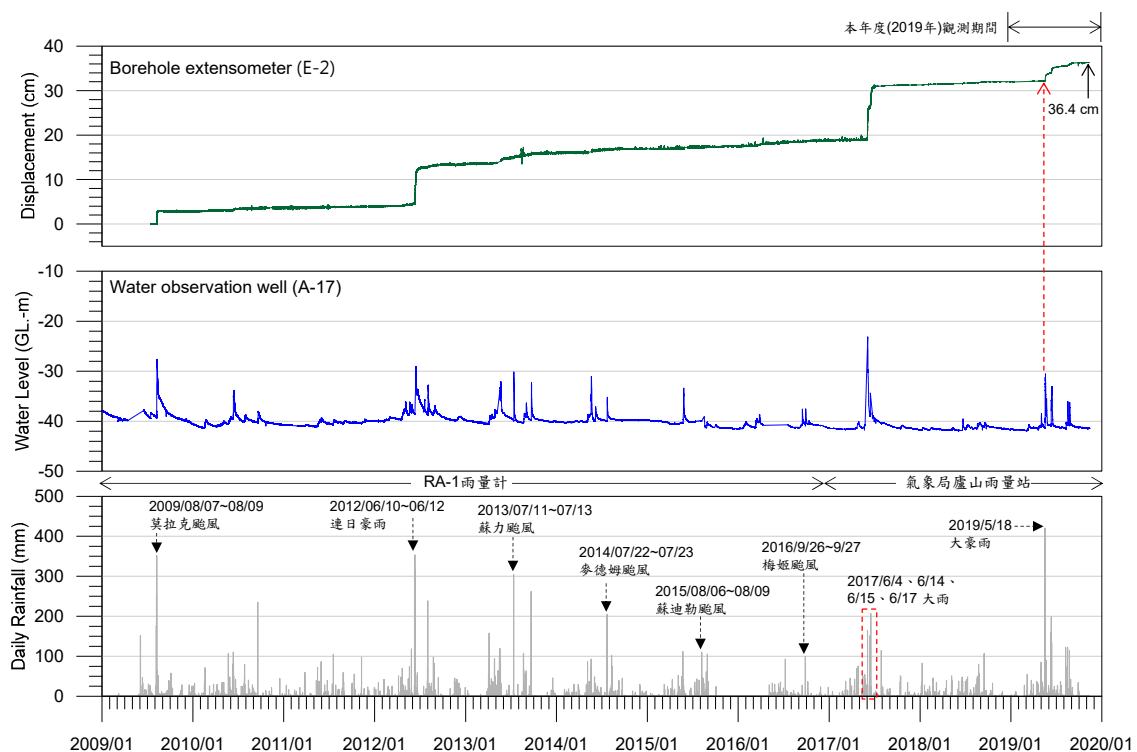


圖-2、廬山溫泉北坡摘要觀測成果

Fig. 2 Partial observation results of north slope of Lushan hot spring

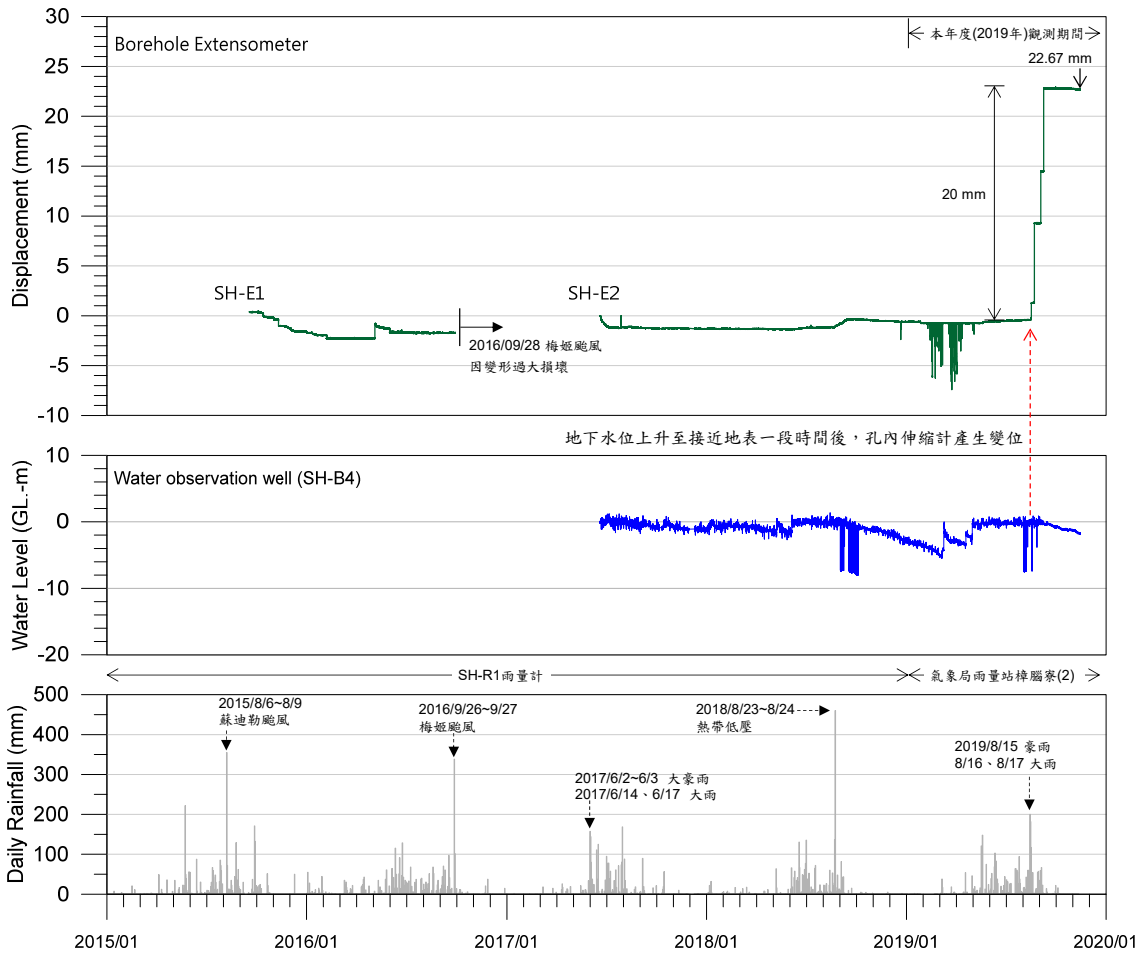


圖-3、樣子寮地區摘要觀測成果
Fig. 3 Partial observation results of Shetzuliao area

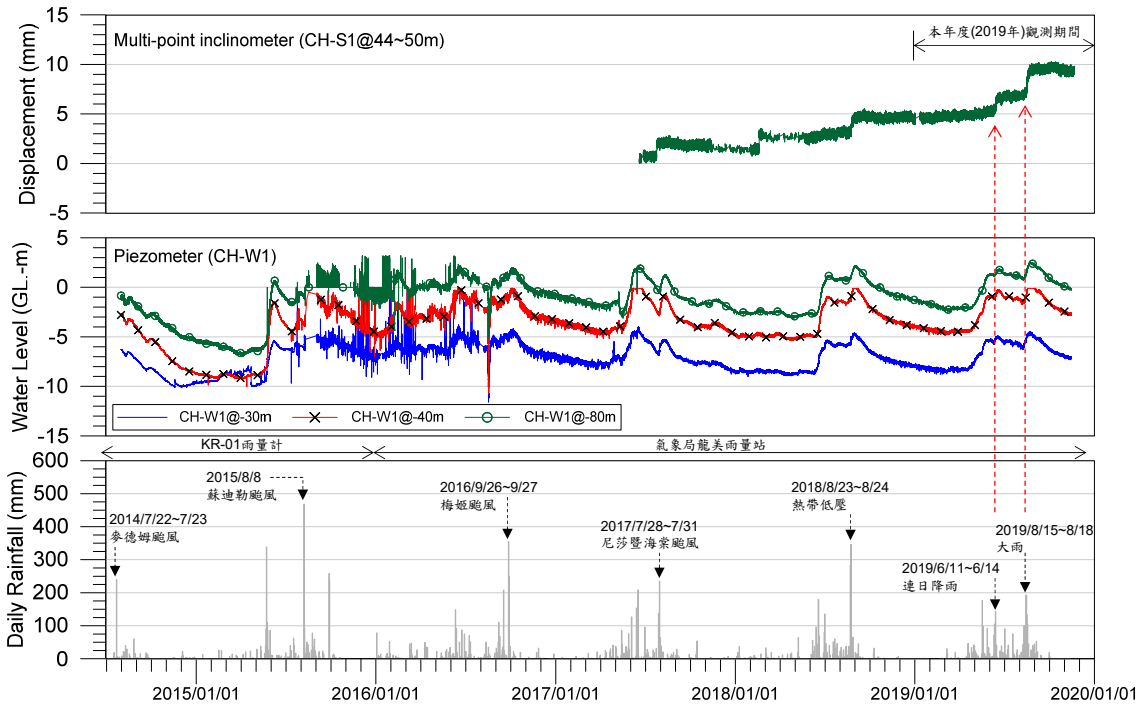


圖-4、潮洲湖地區摘要觀測成果
Fig. 4 Partial observation results of Chaouchuhu area

(三) 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)。

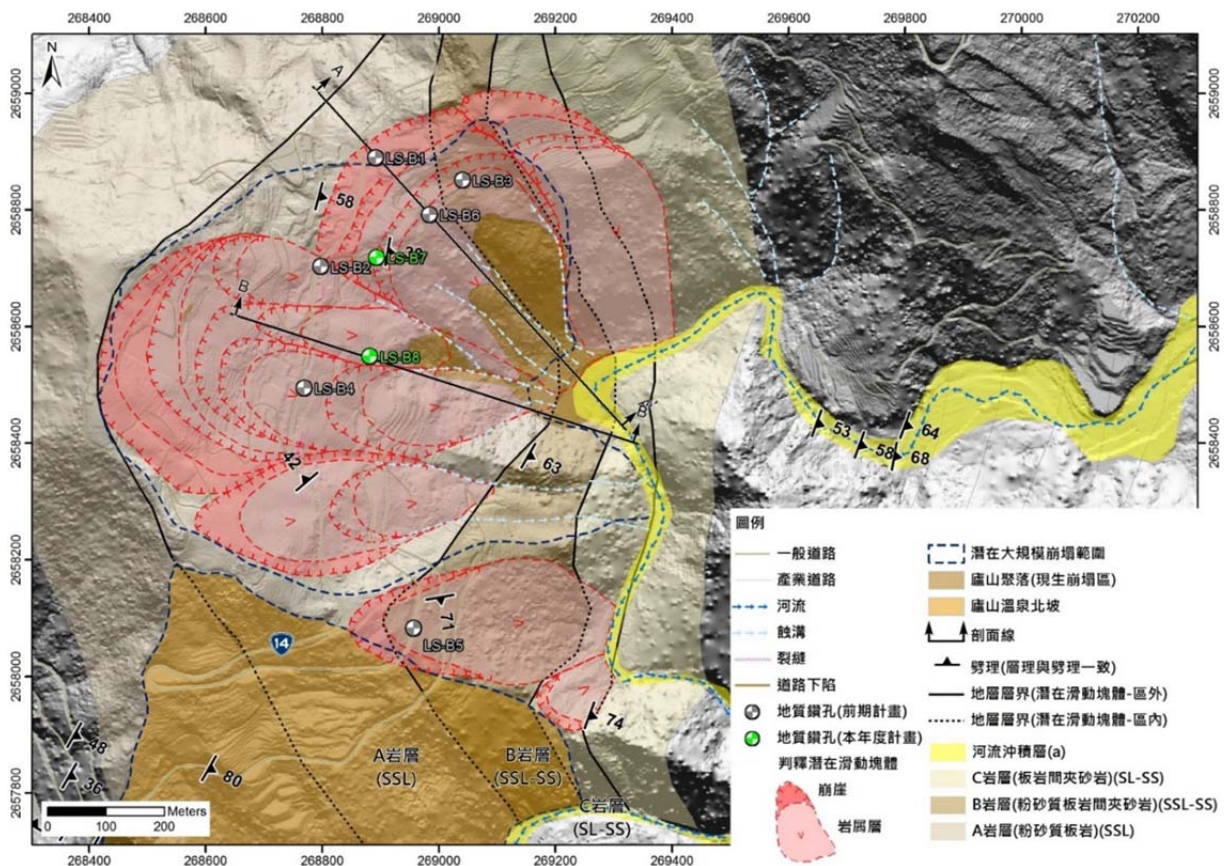


圖-5、廬山聚落地質平面圖

Fig. 5 The geological planimetric map of Lushan settlement

2. 地質鑽探調查：新增完成 2 孔地質鑽探，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-6~圖-7 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。

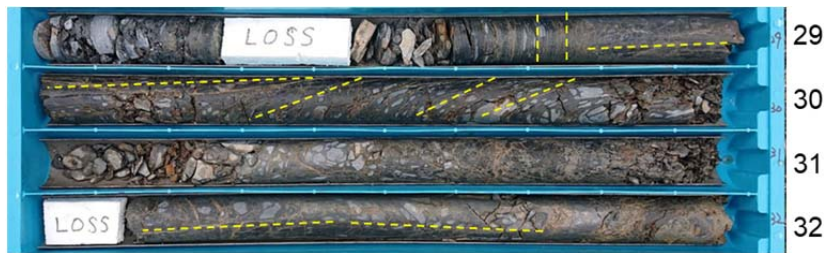


圖-6、LS-B7 岩芯照片。可見劈理傾角變化大

Fig. 6 Drillig core of No. LS-B7, which shows the difference of dip angle of cleavage

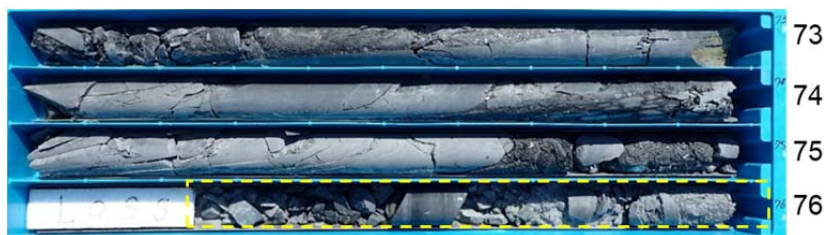


圖-7、LS-B7 岩芯照片。岩性主要為灰黑色粉砂質板岩。局部深度破碎

Fig. 7 Drillig core of No. LS-B7, the rock layer mainly consist silty sandy slate. The rock is broken at some depth.

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**：於新增 2 孔地質鑽孔，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(Kind band)時，則可能形成岩體滑動，如圖-8 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。

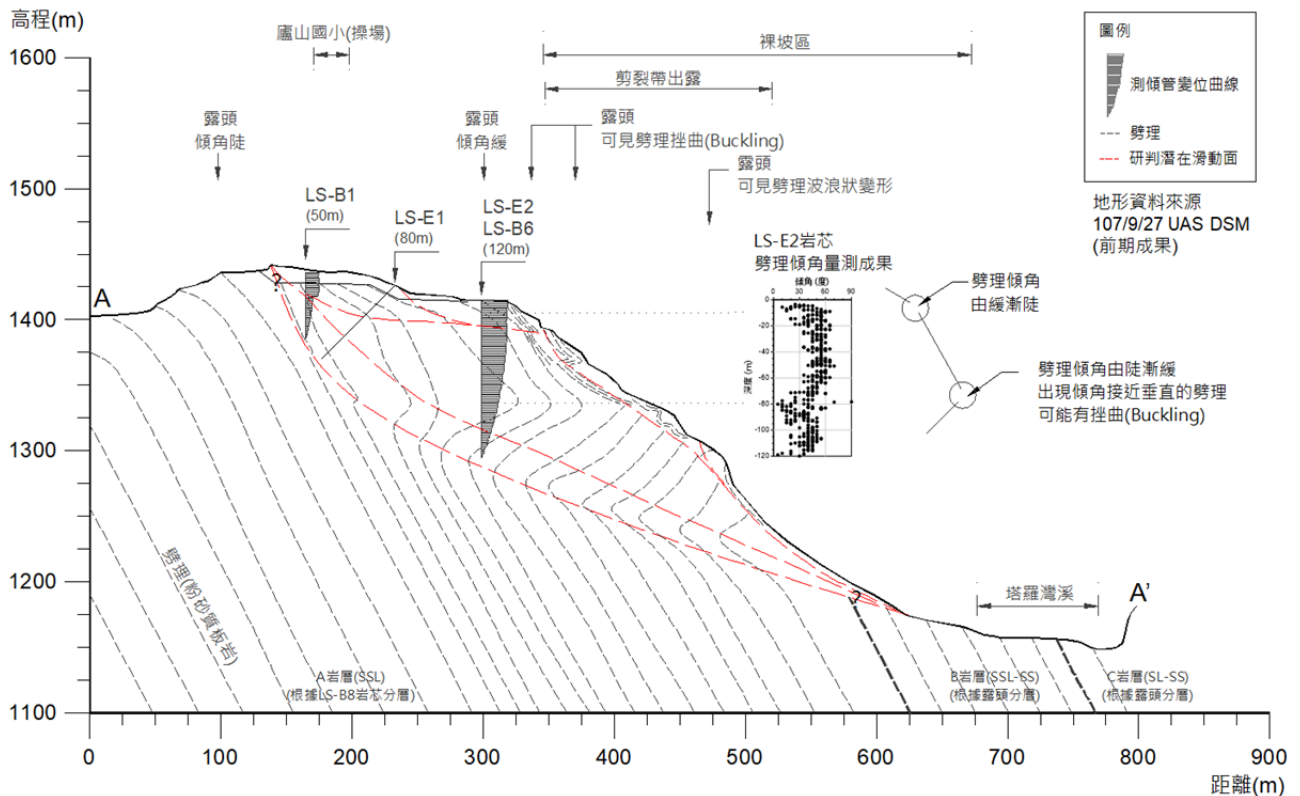


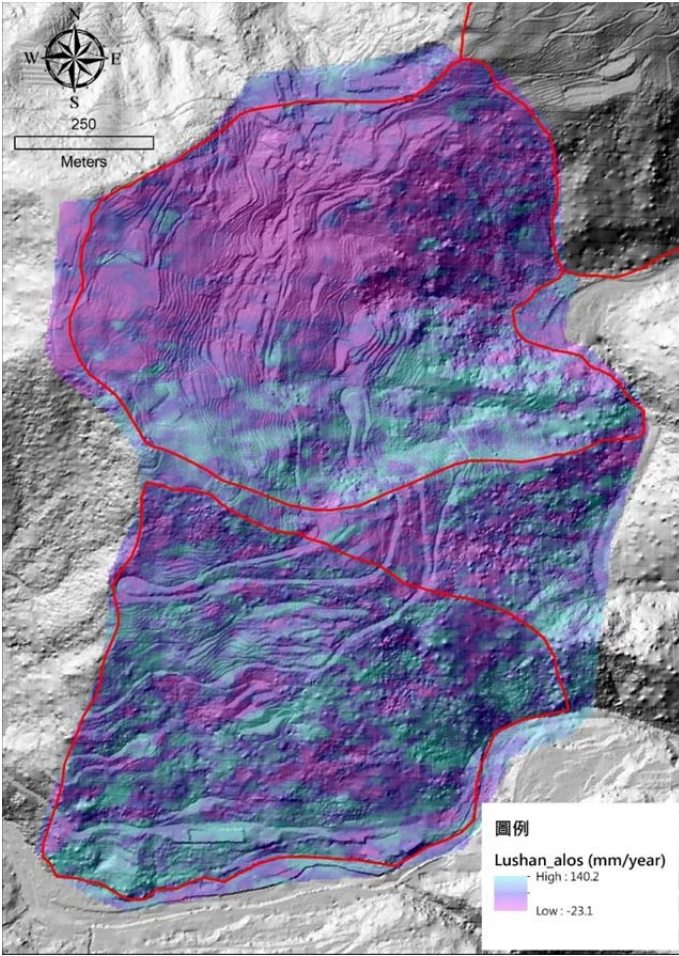
圖-8、廬山聚落潛在山崩機制剖面示意圖(A-A'剖面，位置如圖-5 所示)
Fig. 8 The profile of potential landslide mechanism of Lushan settlement

(四) 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。

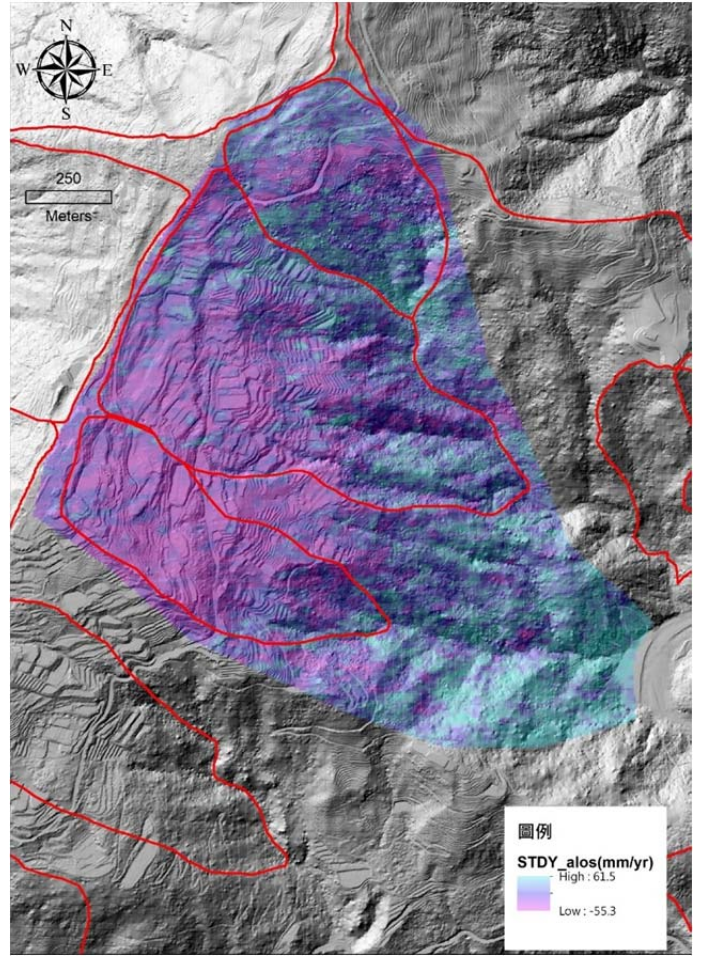
二、多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究

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：

- (一) **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，分析使用短基線長模式(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-9(a)所示，定遠及壽亭地區之地表垂直變形速率如圖-9(b)所示。觀察兩圖中之垂直地表變形量位置，如清境國小(圖-10)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。
- (二) **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。
- (三) **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-1 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-2 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-9、差分干涉合成孔徑雷達(D-InSAR)地表變形分析成果
Fig. 9 D-InSAR analysis results of surface

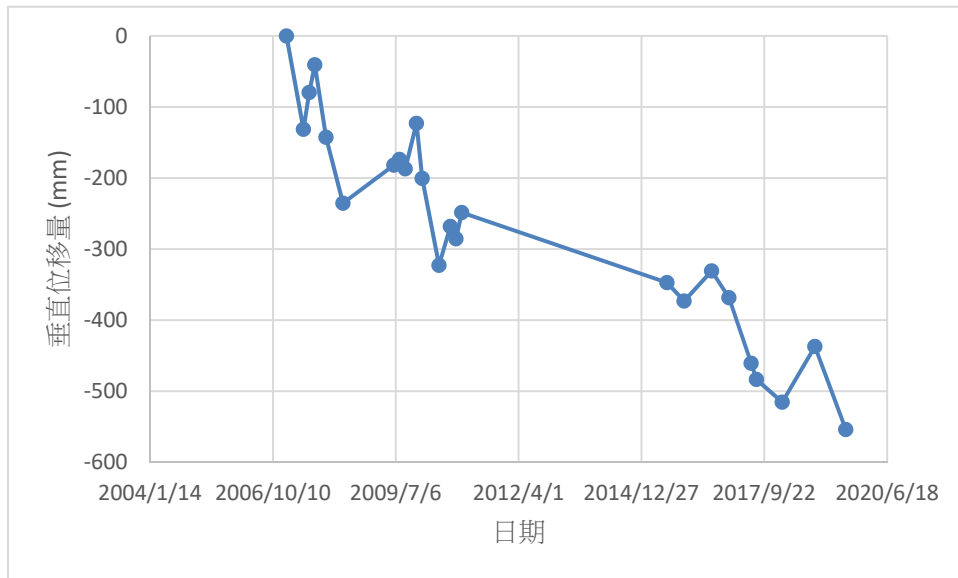
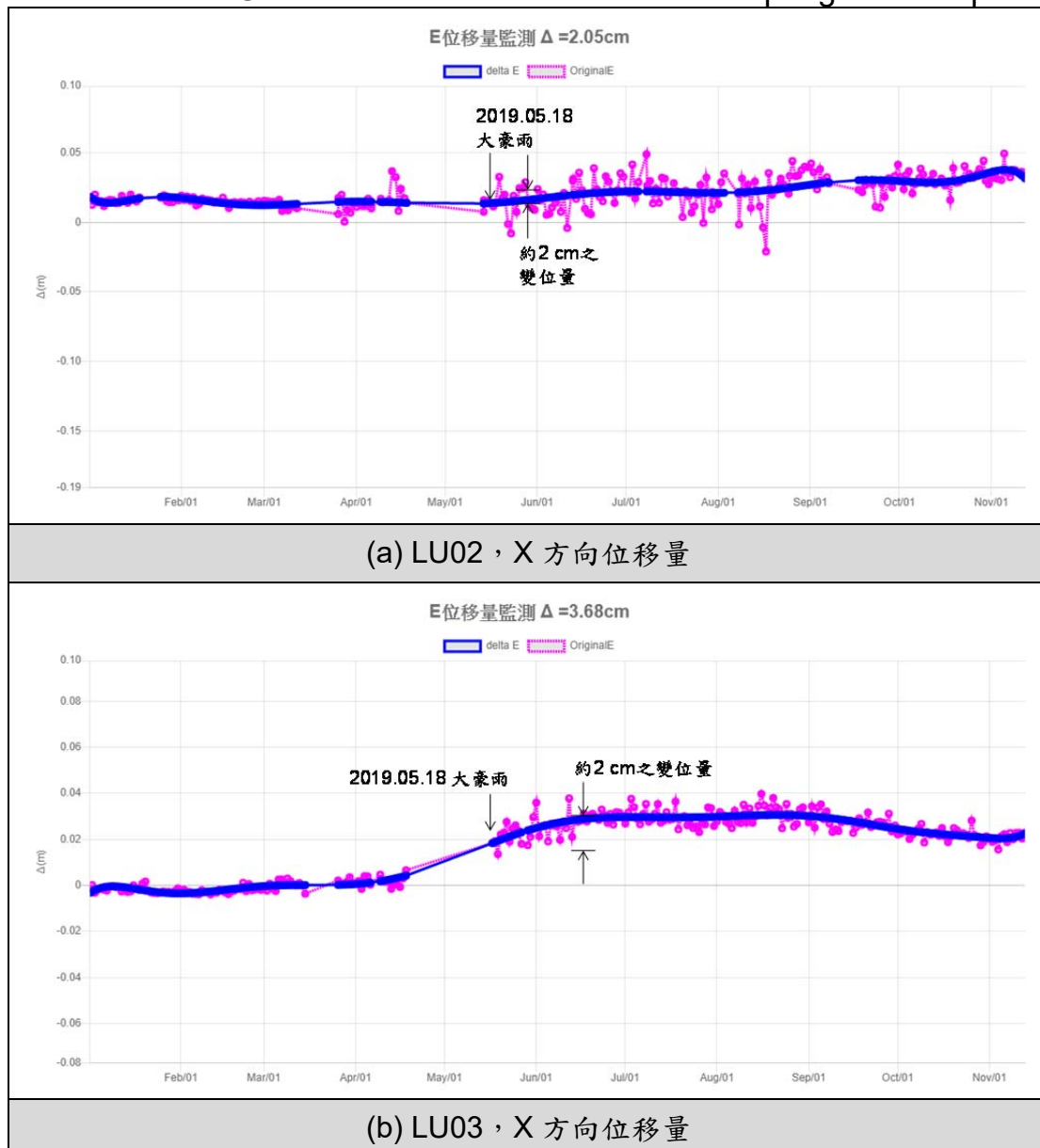


圖-10、定遠地區清境國小 SAR 分析成果。以歷年地表垂直變形量表示
Fig. 10 SAR analysis results of Cingjing elementary school at Dingyuan area

表-1、本年度計畫於廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭之 GPS 站
Table 1 The GPS stations settled in Lushan spring north slope, Lushan settlement, Dingyuan, and Shouting in this year

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-2、廬山溫泉北坡 GPS 觀測站解算成果(LU02 及 LU03)
Table 2 The GPS observation results of Lushan spring north slope



(四) 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-11 及圖-12 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。

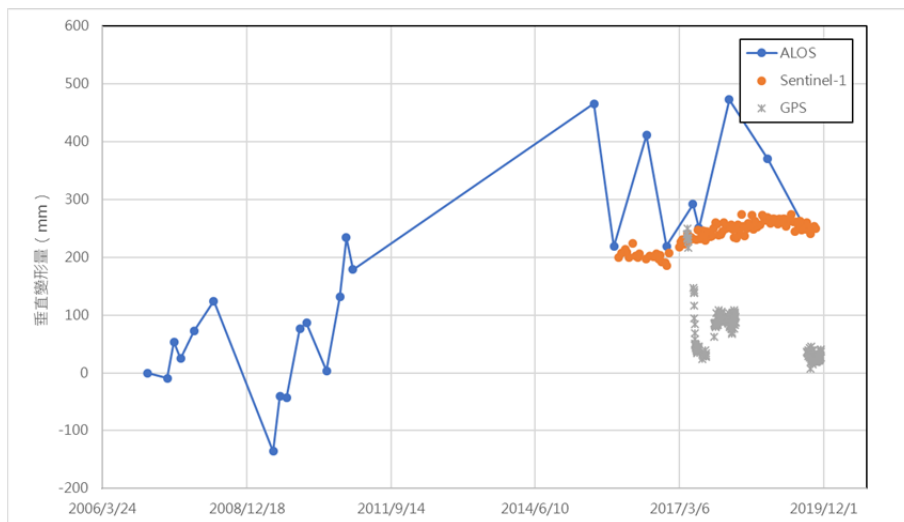


圖-11、編號 CN03 GPS 站 GPS、ALOS 及 Sentinel-1DInSAR 觀測成果比較
Fig. 11 Comparisons of GPS and SAR analysis results of No. CN03 GPS station

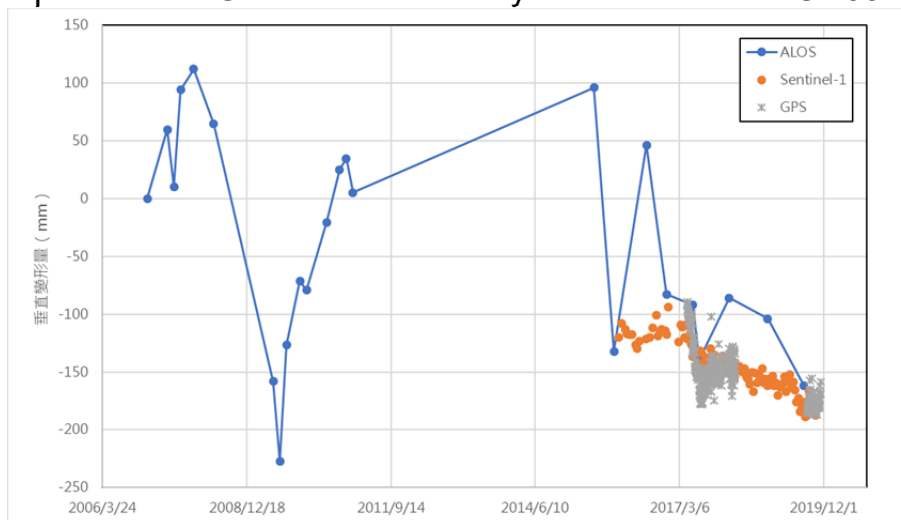


圖-12、編號 CN04 GPS 站 GPS、ALOS 及 Sentinel-1DInSAR 觀測成果比較
Fig. 12 Comparisons of GPS and SAR analysis results of No. CN04 GPS station

三、前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

(一) 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 串聯式測傾儀等新时期觀測技術，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-13 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。

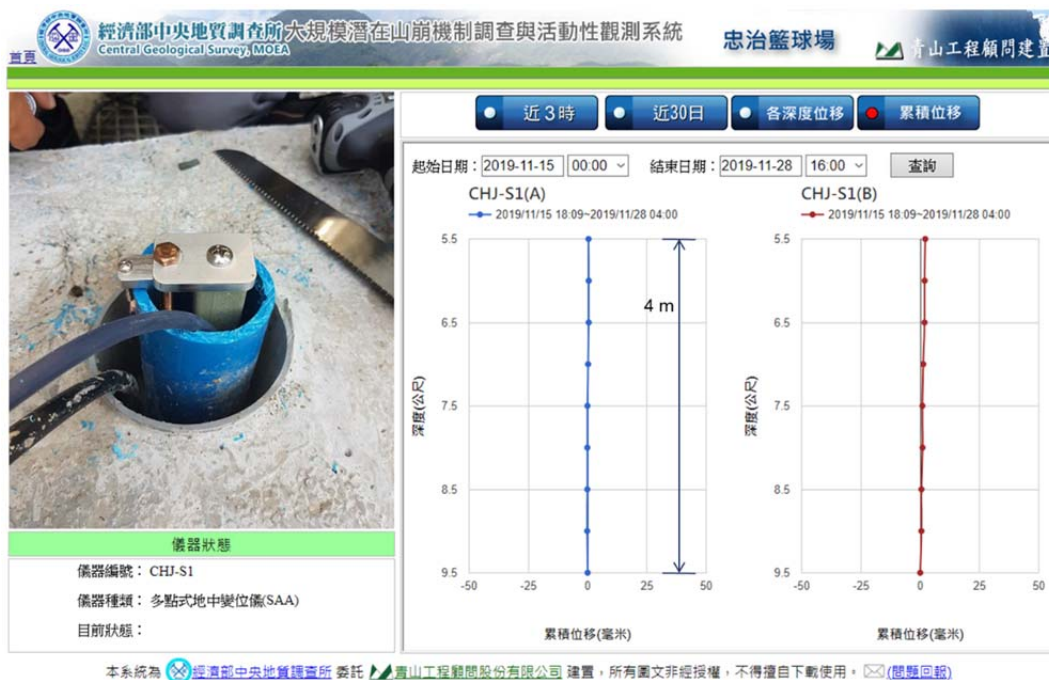


圖-13、CHJ-S1 多點式地中變位儀觀測成果。採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測成果

Fig. 13 Series connected type inclinometer is making used of automatic observation system, the observation results can be viewed on the webpage

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10m，合計30m，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，工作期間並與承辦科持續討論，規劃三個方案A~C及繪製配置圖說，經綜合評估後最後選用C方案，現地配置如表-3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-14及圖-15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-3、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

Table 3 In-situ configuration of applicability study of underground observation instrument integrated with inclinometer casing

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-14、CHJ-E1 及 CHJ-E2 孔內伸縮計(與測傾管共構)觀測成果

Fig. 14 Observation result of No. CHJ-E1 and CHJ-E2 borehole extensometer integrated with inclinometer casing

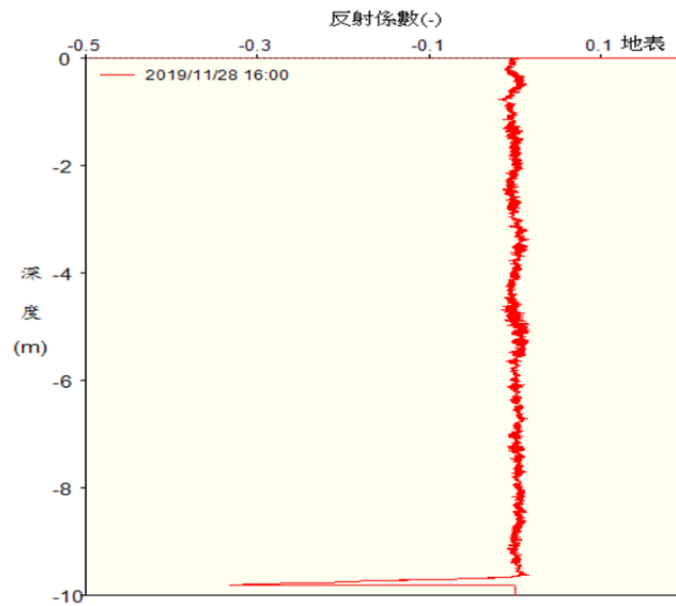


圖-15、CHJ-D1 時域反射儀 TDR(與測傾管共構)觀測成果

Fig. 15 Observation result of No. CHJ-D1 time-domain reflectometer (TDR) integrated with inclinometer casing

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。經查詢(詳表-4)，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-4、井內無線傳輸可行性研究-文獻蒐集情形

Table 4 Applicability study of downhole wireless communication by literature review

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。

(二) 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-5)，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。

表-5、常見低功耗廣域網路 LPWAN 技術比較

Table 5 Comparisons of common LPWAN(Low-Power Wide-Area Network)

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。

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-16 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-17 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。

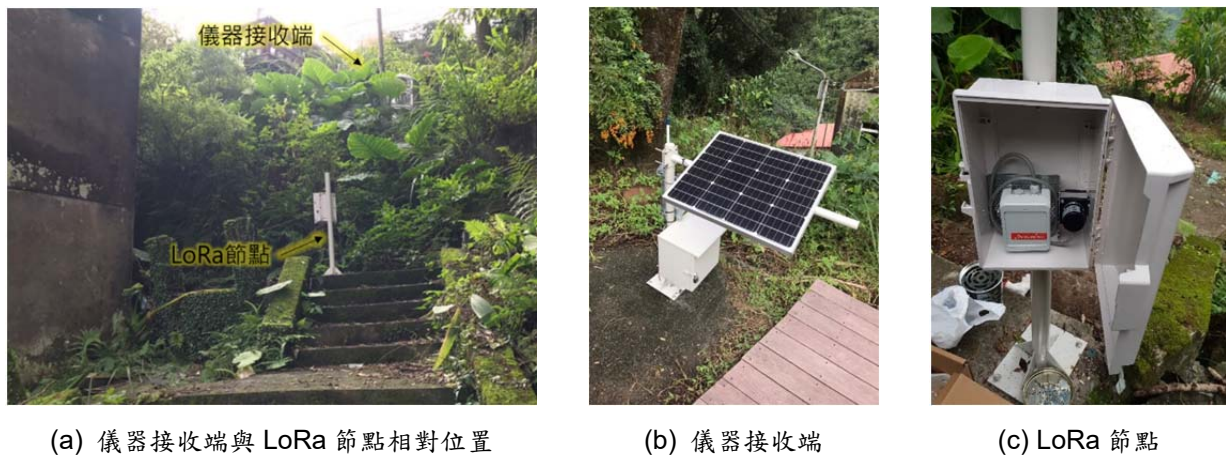


圖-16、忠治籃球場物聯網布建配置情形

Fig. 16 In-situ setup of internet of things at basketball Zhongzhi basketball court

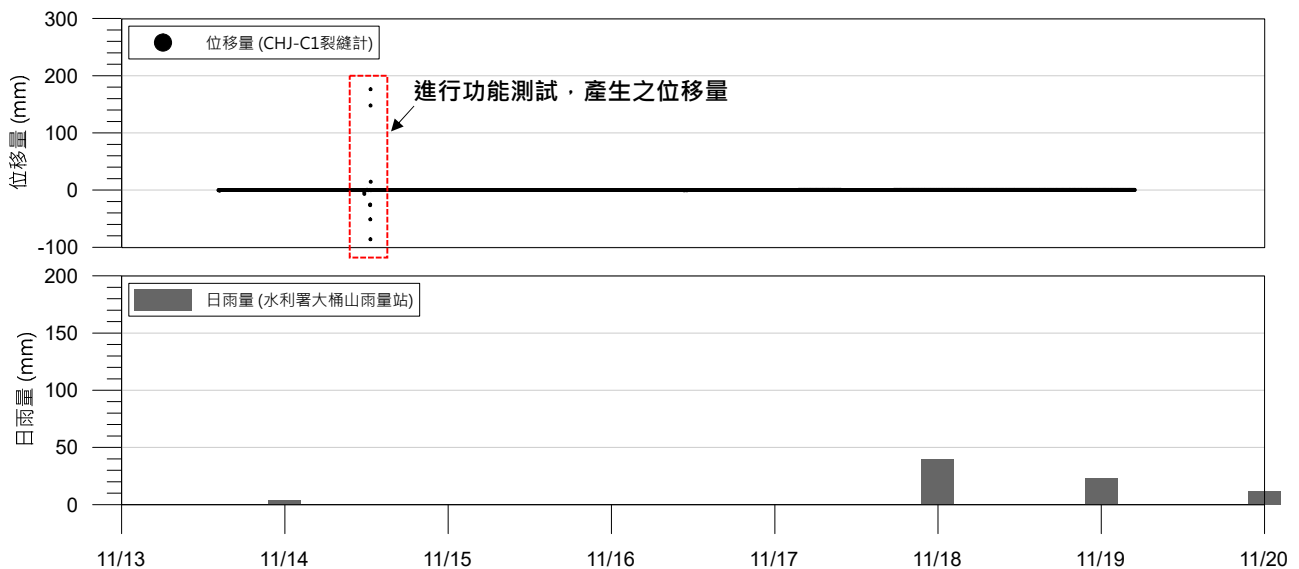


圖-17、利用 LoRa 通訊技術之裂縫計觀測成果

Fig. 17 Observation result of crackmeter based on LoRa communication technology

四、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

(一) 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：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-18 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。

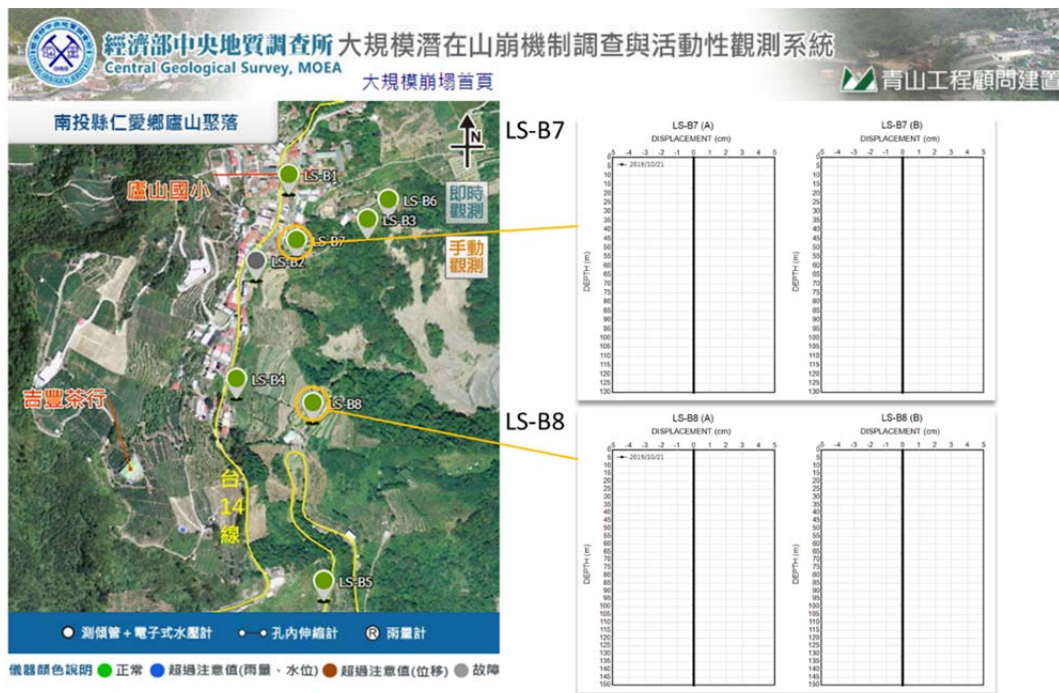


圖-18、廬山聚落擴充觀測網頁情形(新增 LS-B7、LS-B8 測傾管觀測成果網頁)

Fig. 18 Expansion of web page at Lushan settlement, which added the inclinometer observation result web pages of No. LS-B7 and LS-B8

- 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，如所示。本計畫提供之資訊服務，有助落實成果應用推廣。

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-19、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
Fig. 19 Providing the management indicator amount of survey area to disaster management information development and application platform of the Ministry of Science and Technology



圖-20、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
Fig. 20 Providing the interface service of observation data and early warning light of Hisloan area to NCDR

(二) 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。

(三) 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-6 所示。

表-6、國內外技術交流情形
Table 6 List of technology exchange events

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"> 臺北市政府參訪地質調查所。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。

目錄

摘要	摘-1
ABSTRACT	Abstract-1
長摘要	長摘-1
目錄	目-1
圖目錄	圖-1
表目錄	表-1
第一章、前言	1-1
1.1 計畫緣起及目的	1-1
1.2 計畫目標	1-2
1.3 本年度(2019年)計畫工作內容	1-2
1.4 工作會議及現地聯合勘查	1-7
1.5 計畫績效	1-7
第二章、計畫執行方法及進行步驟	2-1
2.1 計畫執行流程	2-1
2.2 潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估	2-2
2.3 多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究	2-13
2.4 前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用	2-16
2.5 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流	2-21
第三章、新增潛在山崩地區之地中調查	3-1
3.1 基本資料蒐集	3-1
3.2 地表地質及環境地質調查	3-11
3.3 新增地質鑽探調查	3-18
3.4 岩芯判釋(半定岩體分級、定量化岩體評分)	3-29
3.5 孔內試驗探測	3-37
3.6 岩芯物理性質量測研究	3-48
3.7 觀測成果(含新增地中活動性觀測材料安裝及地下水位量測)	3-52
3.8 潛在山崩機制與及活動性分析	3-64
第四章、潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估	4-1
4.1 工作概述	4-1
4.2 潛在山崩活動性現場勘查及活動性觀測成果	4-8

第五章、多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究.....	5-1
5.1 潛在山崩地區差分干涉合成孔徑雷達地表變形分析研究.....	5-1
5.2 地表變形記錄與分析.....	5-10
5.3 地表活動性 GPS 觀測成果解算.....	5-14
5.4 多尺度地表變形研究成果研析.....	5-31
第六章、前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用.....	6-1
6.1 研究架構.....	6-1
6.2 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究.....	6-2
6.3 物聯網技術適用性研究.....	6-49
第七章、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流.....	7-1
7.1 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.....	7-1
7.2 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修.....	7-8
7.3 國內外技術交流.....	7-10
第八章、潛在山崩地區自動化活動性觀測站維護及特殊環境事件回報.....	8-1
8.1 自動化觀測站系統、電力及通訊維護.....	8-1
8.2 特殊環境事件之觀測成果彙整及異常回報.....	8-3
第九章、結論與建議.....	9-1
9.1 結論與建議.....	9-1
9.2 使用者可用資訊.....	9-5
附錄(詳光碟)	
附錄一-1、歷次審查及工作會議紀錄.....	附錄一-1
附錄一-2、歷次審查意見及辦理情形.....	附錄一-2
附錄二、現場工作說明.....	附錄二
附錄三-1、新增地質鑽探岩芯照片.....	附錄三-1
附錄三-2、新增地質鑽探 Geo2010 工程地質探勘資料庫鑽孔地質柱狀圖	附錄三-2
附錄三-3、Barton O_{logging} 岩體評分法文獻.....	附錄三-3
附錄三-4、超音波孔內攝影成果.....	附錄三-4
附錄三-5、孔內波速試驗成果.....	附錄三-5
附錄三-6、弱面直剪試驗成果.....	附錄三-6
附錄四、調查區履歷事件簿更新、彙整及研析.....	附錄四

附錄五、測傾管觀測成果	附錄五
附錄六-1、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊	附錄六-1
附錄六-2、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊：勘誤表	附錄六-2
附錄七、物聯網設備規格型錄	附錄七
附錄八、自動化觀測系統維護照片	附錄八
附錄九、特殊環境事件之觀測成果彙整及異常回報	附錄九
附錄十、參考文獻	附錄十

圖目錄

圖 1-1、本計畫主要工作項目	1-2
圖 2-1、工作流程圖.....	2-1
圖 2-2、前期計畫 31 處調查區位置分佈圖	2-2
圖 2-3、本計畫潛在山崩活動性觀測系統架構圖.....	2-5
圖 2-4、潛在山崩地區調查工作流程圖	2-6
圖 2-5、地表地質調查工作流程圖	2-7
圖 2-6、岩芯波速量測示意圖	2-9
圖 2-7、測傾管開孔方式示意圖.....	2-10
圖 2-8、前期計畫 31 處調查區之潛在山崩機制分析成果。本計畫將再根據最新調查及活動性 觀測成果，持續滾動式檢討.....	2-11
圖 2-9、調查區履歷事件簿更新、彙整及研析架構.....	2-12
圖 2-10、LPWAN 及行動網路特性比較.....	2-18
圖 3-1、廬山聚落地理位置圖	3-1
圖 3-2、廬山聚落廣域地形圖	3-2
圖 3-3、廬山聚落地形圖(等高線套疊日照陰影圖).....	3-3
圖 3-4、廬山聚落立體地形圖。廬山聚落區域坡度呈上緩下陡	3-4
圖 3-5、廬山聚落區域地質圖	3-5
圖 3-6、廬山聚落環境地質圖	3-6
圖 3-7、廬山聚落地質災害潛勢圖	3-7
圖 3-8、廬山聚落現況。可見地坪、結構物開裂，可能為邊坡活動表徵.....	3-8
圖 3-9、廬山聚落歷年影像.....	3-9
圖 3-10、廬山聚落歷年影像(續).....	3-10
圖 3-11、廬山聚落 LS-B2 岩芯照片(深度 1~4m).....	3-11
圖 3-12、廬山聚落地質平面圖	3-12
圖 3-13、廬山聚落地質剖面圖(BB'剖面，剖面位置如圖 3-12 所示).....	3-13
圖 3-14、廬山聚落下邊坡裸坡區，可見劈理面產生挫曲(Buckling)變形	3-14
圖 3-15、廬山聚落下邊坡裸坡區，可見灰黑色剪裂帶出露，劈理面呈波浪般的變形	3-14
圖 3-16、廬山聚落附近露頭。劈理呈急折變形	3-15
圖 3-17、廬山聚落前期地質鑽探成果。岩芯可見破碎夾泥及劈理急折(LS-E2 孔).....	3-15
圖 3-18、廬山聚落附近露頭。劈理朝西傾斜，與坡趾朝東傾斜之劈理傾向相反	3-16

圖 3-19、廬山聚落坡趾露頭。位於塔羅灣溪附近，劈理大致傾東傾斜.....	3-16
圖 3-20、廬山聚落坡趾露頭。主要為粉砂質板岩間夾砂岩	3-17
圖 3-21、廬山聚落坡趾露頭。位於塔羅灣溪附近，岩性主要為板岩間夾砂岩	3-17
圖 3-22、廬山聚落新增地質鑽探平面位置圖	3-18
圖 3-23、廬山聚落新增地質鑽探剖面示意圖(B-B' 剖面，位置如圖 3-22 所示).....	3-19
圖 3-24、鑽探過程照片	3-20
圖 3-25、LS-B7 岩芯照片。可見劈理傾角變化大.....	3-22
圖 3-26、LS-B8 岩芯照片。可見劈理傾角變化大。岩芯破碎夾泥.....	3-22
圖 3-27、LS-B7 岩芯照片。可見高度破碎	3-22
圖 3-28、LS-B7 岩芯照片。可見高角度裂隙.....	3-23
圖 3-29、LS-B7 及 LS-B8 岩芯之 RQD 柱狀圖	3-23
圖 3-30、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)鑽探進尺與當日下午、翌日上工水位變化圖	3-27
圖 3-31、廬山聚落地區 LS-B8(150m)鑽探進尺與當日下午、翌日上工水位變化圖	3-28
圖 3-32、岩芯脆性變形程度分類(Chigira et al., 2013)	3-30
圖 3-33、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)岩體破碎程度柱狀圖	3-32
圖 3-34、廬山聚落地區 LS-B8(150 m) 岩體破碎程度柱狀圖	3-32
圖 3-35、廬山聚落地區 LS-B7(130m) Q_{logging} 法評分成果	3-35
圖 3-36、廬山聚落地區 LS-B8(150m) Q_{logging} 法評分成果	3-36
圖 3-37、南投縣仁愛鄉廬山聚落地區地區井測施作情形	3-38
圖 3-38、南投縣仁愛鄉廬山聚落 LS-B7、LS-B8 孔內超音波攝影成果	3-40
圖 3-39、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)，電井測及孔內波速試驗成果	3-44
圖 3-40、廬山聚落地區 LS-B8(150 m)，電井測及孔內波速試驗成果	3-45
圖 3-41、廬山聚落地區 LS-B7、LS-B8 Q_{logging} 法與孔內波速成果比較.....	3-47
圖 3-42、UK1401 超音波探測儀及岩芯波速量測情形	3-48
圖 3-43、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)岩芯波速量測成果	3-50
圖 3-44、廬山聚落地區 LS-B8(150 m)岩芯波速量測成果	3-50
圖 3-45、廬山聚落觀測儀器平面配置圖	3-53
圖 3-46、廬山聚落降雨量觀測成果	3-54
圖 3-47、廬山聚落地下水位觀測成果.....	3-56
圖 3-48、廬山聚落地下水位觀測成果.....	3-57
圖 3-49、廬山聚落測傾管孔口位移與降雨量及地下水位比較.....	3-61

圖 3-50、廬山聚落測傾管孔口位移與降雨量及地下水位比較(續).....	3-62
圖 3-51、廬山聚落孔內伸縮計位移歷時曲線圖	3-63
圖 3-52、廬山聚落潛在山崩機制剖面示意圖(A-A' 剖面，位置如圖 3-45 所示).....	3-65
圖 4-1、本計畫調查區位置示意圖	4-2
圖 4-2、2019 年 4 月 18 日地震震度分佈圖(資料來源：中央氣象局).....	4-10
圖 4-3、2019 年 8 月 8 日地震震度分佈圖(資料來源：中央氣象局).....	4-11
圖 4-4、西羅岸地區摘要觀測成果	4-12
圖 4-5、太平山地區摘要觀測成果	4-13
圖 4-6、廬山溫泉北坡摘要觀測成果.....	4-14
圖 4-7、廬山聚落摘要觀測成果.....	4-16
圖 4-8、定遠地區摘要觀測成果.....	4-18
圖 4-9、太和地區摘要觀測成果.....	4-19
圖 4-10、樣子寮地區摘要觀測成果	4-20
圖 4-11、潮洲湖地區摘要觀測成果	4-21
圖 5-1、廬山北坡及部落之年地表垂直變形速率(單位：mm/year).....	5-4
圖 5-2、南投清境壽亭定遠之年地表垂直變形速率(單位：mm/year).....	5-5
圖 5-3、清境國小歷年地表垂直變形量	5-6
圖 5-4、廬山北坡、部落 2016 年 1 月至 2019 年 10 月之年地表垂直變形速率(單位：mm/year)	5-7
圖 5-5、壽亭、定遠地區 2016 年 1 月至 2019 年 10 月之年地表垂直變形速率(單位：mm/year)	5-8
圖 5-6、廬山部落 GPS 站位置 2016 年至 2019 年之連續地表垂直變形量	5-9
圖 5-7 廬山北坡及廬山部落 2019 年 9 月無人載具空拍正射影像.....	5-11
圖 5-8 廬山北坡及廬山部落 2019 年 9 月無人載具空拍數值地表高程.....	5-12
圖 5-9 壽亭及定遠 2019 年 9 月無人載具空拍正射影像.....	5-13
圖 5-10 壽亭及定遠 2019 年 9 月無人載具空拍數值地表高程.....	5-14
圖 5-11、既有 GPS 站及新設 GPS 站位置圖	5-16
圖 5-12、廬山靜態衛星觀測站站點分布圖	5-20
圖 5-13、清境靜態衛星觀測站站點分布圖	5-21
圖 5-14、坐標位置資料(.pos)示意圖	5-23
圖 5-15 編號 CN03 GPS 站 GPS、ALOS 及 Sentinel-1DInSAR 觀測成果比較.....	5-34

圖 5-16 編號 CN04 GPS 站 GPS、ALOS 及 Sentinel-1DInSAR 觀測成果比較	5-35
圖 5-17、使用 DIC 分析之地表變動量與 GPS 觀測互相比對之案例(Bickel et al., 2018) .	5-36
圖 5-18、2019 年 1 月 8 日至 2019 年 9 月 17 日廬山部落 DIC 分析成果	5-37
圖 5-19、2019 年 1 月 8 日至 2019 年 9 月 17 日廬山北坡 DIC 分析成果	5-37
圖 6-1、物聯網架構.....	6-1
圖 6-2、SAAF 及 SAAV 安裝示意圖	6-4
圖 6-3、DMS(Differential Monitoring of Stability)示意圖	6-5
圖 6-4、DMS 觀測成果。掌握到地表下約 50m 為滑動帶(挪威邊坡活動觀測).....	6-5
圖 6-5、邊坡位移加速破壞示意圖	6-6
圖 6-6、忠治籃球場既有地質鑽探及測傾管平面位置圖	6-7
圖 6-7、忠治籃球場 SI-2 測傾管觀測成果	6-9
圖 6-8、忠治籃球場 SI-3 測傾管觀測成果	6-9
圖 6-9、忠治籃球場 SI-3 測傾管觀測成果與岩芯比對	6-10
圖 6-10、忠治籃球場潛在山崩機制剖面示意圖(A-A'剖面，位置如圖 6-6 所示).....	6-10
圖 6-11、與承辦科人員於忠治籃球場現地勘查情形(2019/7/31).....	6-13
圖 6-12、A 方案配置圖說.....	6-15
圖 6-13、B 方案配置圖說.....	6-16
圖 6-14、C 方案配置圖說.....	6-17
圖 6-15、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究-現地觀測技術設置情形.....	6-19
圖 6-16、CHJ-B5 測傾管觀測成果及串聯式自動化測傾儀配置圖.....	6-20
圖 6-17、串聯式測傾儀觀測成果。採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測成果	6-20
圖 6-18、CHJ-S1 串聯式測傾儀採自動化觀測，每 5 分鐘記錄一筆資料.....	6-21
圖 6-19、現場自動化測站設置情形	6-22
圖 6-20、自動化觀測系統功能測試，現場即時觀測資料可回傳至後端伺服器	6-22
圖 6-21、現地觀測技術引孔及裝設過程	6-23
圖 6-22、現地觀測技術佈設概況.....	6-24
圖 6-23、CHJ-B3~CHJ-B5 測傾管觀測成果	6-25
圖 6-24、CHJ-E1 及 CHJ-E2 孔內伸縮計觀測成果，採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測 成果.....	6-26
圖 6-25、CHJ-E1 及 CHJ-E2 孔內伸縮計採自動化觀測，每 5 分鐘記錄一筆資料	6-27
圖 6-26、CHJ-D1 之 TDR 觀測成果。採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測成果	6-28

圖 6-27、孔內伸縮計示意圖，藉由鋼腱或鋼索拉伸量之變化，掌握邊坡活動性	6-29
圖 6-28、Corominas et al. (2000)評估孔內伸縮計變位量與地表位移量關係之參數	6-30
圖 6-29、地層變位模擬儀	6-31
圖 6-30、地層變位模擬儀頂部組件	6-32
圖 6-31、位移及拉升量關係	6-33
圖 6-32、滑動面角度之變位量及位移量關係	6-34
圖 6-33、不同滑動面傾角之試驗	6-35
圖 6-34、不同剪動帶寬度之試驗	6-35
圖 6-35、孔內伸縮計地層變位模擬試驗成果，考慮不同滑動面傾角，孔口位移量與孔內伸縮計伸縮量比較	6-37
圖 6-36、孔內伸縮計地層變位模擬試驗成果，考慮不同剪動帶寬度及滑動面傾角，孔口位移量與孔內伸縮計伸縮量比較	6-37
圖 6-37、孔口位移量與鋼索伸縮量之幾何關係示意圖	6-39
圖 6-38、不同滑動面傾角的位移量之幾何關係	6-40
圖 6-39、不同剪動帶厚度的位移量之幾何關係	6-41
圖 6-40、試驗與幾何關係之位移量比較	6-43
圖 6-41、進行孔內伸縮計數值模擬之分析剖面	6-45
圖 6-42、數值模擬之變形結果	6-48
圖 6-43、無線傳輸技術之通訊範圍及傳輸率比較	6-49
圖 6-44、常見非授權頻段與授權頻段之 LPWAN 技術	6-50
圖 6-45、SIGFOX 網路架構	6-51
圖 6-46、LoRa 網路架構	6-52
圖 6-47、井內無線傳輸可行性研究示意圖	6-55
圖 6-48、無線感測網路分類(Ali et al., 2017)	6-56
圖 6-49、地下無線通訊網路分類(Silva and Vuran, 2009)	6-57
圖 6-50、Jo et al. (2017)地下無線感測架構	6-59
圖 6-51、Jo et al. (2017)地下物聯網觀測成果，展示於網頁，提供防災管理參考	6-60
圖 6-52、Sadeghioon et al. (2014)地下無線感測架構	6-61
圖 6-53、Sadeghioon et al. (2014)設置地下感測及無線傳輸設備，以進行埋藏管線滲漏之地下無線觀測情形	6-62
圖 6-54、Sadeghioon et al. (2014)採用地下無線傳輸技術之地下管線壓力觀測成果	6-63

圖 6-55、Maher et al. (2019)物聯網試驗架構(a)空-空、(b)空-水及(c)水水場景	6-63
圖 6-56、Maher et al. (2019)水下物聯網試驗結果	6-64
圖 6-57、物聯網布建架構	6-66
圖 6-58、忠治籃球場物聯網布建配置平面示意圖	6-67
圖 6-59、忠治籃球場物聯網布建配置情形	6-67
圖 6-60、資料展示於可視化平台	6-70
圖 6-61、漏失率測試.....	6-73
圖 7-1、租用中華電信 hcloud 雲端虛擬主機	7-2
圖 7-2、自動化觀測系統資料定期備份	7-2
圖 7-3、廬山聚落觀測網頁擴充(新增 LS-B7、LS-B8 測傾管觀測成果網頁).....	7-4
圖 7-4、潛在山崩活動性觀測平台改版，分為本期計畫及前期計畫兩部分點選查看	7-4
圖 7-5、介接中央氣象局提供地震資訊成果.....	7-5
圖 7-6、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.....	7-6
圖 7-7、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更新情形.....	7-7
圖 7-8、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊修正圖 2-8 情形	7-9
圖 7-9、研討會參與情形	7-10
圖 7-10、研討會海報投稿	7-11
圖 7-11、本計畫參與 16ARC Short Course 情形	7-12
圖 7-12、由坡度及葉理關係，邊坡重力變形包含 Buckling、Bending(toppling)、Dragging 及 Sliding 等模式(Chigira, 2019).....	7-12
圖 7-13、崩塌地與溪流或坑溝的關係(廖志中等，2019)	7-13
圖 7-14、利用點雲資料處理技術求取不連續面位態資料(林銘郎等，2019).....	7-13
圖 7-15、客家電視台至西羅岸調查區採訪及本計畫解說現場觀測工作情形	7-14
圖 7-16、本計畫與義大利學者進行 GB-SAR 交流.....	7-15
圖 7-17、本計畫與臺北市政府進行螺旋儀解說及交流情形	7-16
圖 7-18、測傾管扭轉示意圖。會影響滑動方向研判	7-17
圖 7-19、本計畫於農委會水土保持局「2019 大規模崩塌防減災技術交流國際研討會」國內 外交流情形	7-18
圖 7-20、於 Facebook 網路社群平台分享潛在山崩地區調查及觀測相關資訊	7-20
圖 8-1、2019 年 88 地震觀測成果彙整及回報	8-4
圖 8-2、2019 年利奇馬颱風觀測成果彙整及回報	8-5

圖 8-3、2019 年米塔颱風觀測成果彙整及回報..... 8-6

表目錄

表 1-1、工作項目及內容	1-3
表 1-2、既有調查區一覽表	1-4
表 1-3、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	1-4
表 1-4、本計畫新增或補充既有潛在山崩調查區(預計分年執行地中調查)	1-5
表 1-5、工作會議、現地聯合勘查	1-7
表 1-6、計畫績效達成情形	1-8
表 2-1、本計畫各調查區自動觀測站數量及手動觀測次數一覽表	2-3
表 2-2、分年預計執行之調查區、基本資料及工作內容	2-6
表 2-3、新增地質鑽探及孔內試驗探測規劃	2-7
表 2-4、孔內試驗探測方法一覽表	2-9
表 2-5、本計畫採用之合成孔徑雷達影像之衛星	2-13
表 3-1、廬山聚落新增地質鑽探及孔內試驗探測數量	3-18
表 3-2、廬山聚落新增地質鑽探進度表(至 2019 年 8 月 27 日)	3-20
表 3-3、廬山聚落 LS-B7 地質鑽探岩芯描述	3-24
表 3-4、廬山聚落 LS-B8 地質鑽探岩芯描述	3-24
表 3-5、由鑽探過程當日下午工水位及翌日上工水位，定義「暫棲含水層」、「半透水層」或 「漏水層」	3-25
表 3-6、廬山聚落地區地質鑽探岩芯破碎程度分級原則，以 LS-B8 為例	3-31
表 3-7、廬山聚落地區孔內試驗探測基本資料表	3-37
表 3-8、廬山聚落 LS-B7 電井測試驗成果彙整	3-41
表 3-9 廬山聚落 LS-B8 電井測試驗成果彙整	3-42
表 3-10、井測結果試驗值代表意義	3-43
表 3-11、廬山聚落地區岩芯波速量測基本資料表	3-49
表 3-12、直剪試驗成果表	3-51
表 3-13、廬山聚落觀測儀器總表	3-52
表 3-14、廬山聚落特殊降雨事件統計	3-54
表 3-15、廬山聚落測傾管觀測成果表	3-59
表 3-16、廬山聚落測傾管觀測成果表(續)	3-60
表 4-1、本計畫調查區及潛在大規模崩塌區編號	4-3
表 4-2、本計畫 31 處調查區基本資料及調查成果總表	4-4

表 4-3、本計畫 31 處調查區基本資料及調查成果總表(續)	4-5
表 4-4、本年度計畫儀器數量表	4-6
表 4-5、本年度計畫儀器數量表(續).....	4-7
表 4-6、2019 年執行潛在山崩活動性觀測調查區	4-8
表 4-7、2019 年觀測期間特殊降雨事件	4-9
表 4-8、2019 年觀測期間地震事件統計(黃色、橙色、紅色等級).....	4-10
表 4-9、廬山溫泉北坡降雨事件與 E-2 孔內伸縮計觀測成果初步比較	4-15
表 4-10、廬山聚落降雨事件與測傾管觀測成果初步比較	4-17
表 5-1、本年度計畫於廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭之 GPS 站	5-14
表 5-2、新設廬山衛星定位觀測站(廬山溫泉北坡、廬山聚落)	5-17
表 5-3、前期設置廬山地區衛星觀測站(廬山溫泉北坡).....	5-18
表 5-4、新設置清境地區(定遠、壽亭)之衛星觀測站	5-19
表 5-5、2017/4/1~2019/11/13 CN01 測站 X、Y、Z 方向位移變化	5-24
表 5-6、2017/4/1~2019/11/13 CN02 測站 X、Y、Z 方向位移變化	5-25
表 5-7、2017/4/1~2019/11/13 CN03 測站 X、Y、Z 方向位移變化	5-26
表 5-8、2017/4/1~2019/11/13 CN04 測站 X、Y、Z 方向位移變化	5-27
表 5-9、2017/4/1~2019/11/13 CN05 測站 X、Y、Z 方向位移變化	5-28
表 5-10、2019/8/8~2019/10/25 CN06 測站 X、Y、Z 方向位移變化	5-29
表 5-11、2019/8/8~2019/10/25 CN07 測站 X、Y、Z 方向位移變化	5-30
表 6-1、地中調查觀測技術比較.....	6-3
表 6-2、SAAV 取出的最小撓曲半徑(Minimum bend radii)	6-4
表 6-3、忠治籃球場既有地質鑽探及安裝觀測儀器表(本計畫彙整)	6-7
表 6-4、忠治籃球場 SI-2 及 SI-3 測傾管孔口位移量(本計畫觀測).....	6-8
表 6-5、前瞻地中觀測技術研究孔位選擇綜合比較	6-11
表 6-6、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究方案規劃	6-14
表 6-7、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究-現地研究項目	6-18
表 6-8、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究-現場工作歷程摘要	6-18
表 6-9、地層變位模擬儀試驗參數及試驗成果摘要	6-38
表 6-10、進行孔內伸縮計數值模擬之分析參數表	6-45
表 6-11、常見低功耗廣域網路 LPWAN 技術比較.....	6-54
表 6-13、Loadsensing 通訊設備基本規格	6-66

表 6-14、可靠度測試變化過程	6-71
表 7-1、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊勘誤表	7-8
表 8-1、本年度計畫自動化觀測系統維護概述表	8-2

第一章、前言

1.1 計畫緣起及目的

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(以下簡稱貴所)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，貴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。

本計畫為四年期計畫，執行期間為西元 2019~2022 年，本年度(2019 年)計畫為整體計畫之第一年。本年度計畫於 2019 年 6 月簽約後，提送工作計畫書，開始本年度各項工作。並於 2019 年 12 月，綜整計畫執行迄今各項工作成果，提出本期末報告書，供貴所參考。

1.2 計畫目標

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。

本計畫總目標包括：

- 一、潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估。
- 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。
- 三、前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用。
- 四、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流。

1.3 本年度(2019 年)計畫工作內容

依據本計畫總目標，彙整本年度計畫工作項目及內容如圖 1-1 及表 1-1 所示，說明如後。

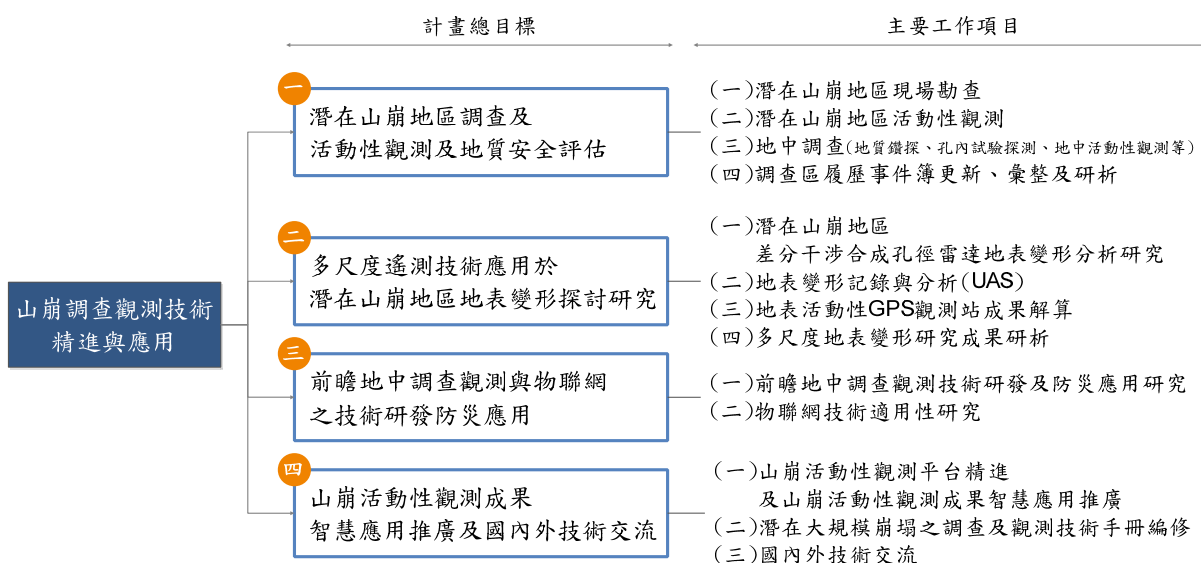


圖 1-1、本計畫主要工作項目

Fig. 1.1 Main work items of this plan in 2019

表 1-1、工作項目及內容
Table 1.1 Work items and contents

項次	工作項目	工作內容說明	預計數量
一、潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估			
(一)	潛在山崩地區現場勘查	108 年度至少 8 處調查區。	1 式 (詳表 1-2)
(二)	潛在山崩地區活動性觀測及自動化活動性觀測站維護	-	-
1	潛在山崩地區活動性觀測	測傾管量測、自記式儀器資料蒐集	9 處/次 (詳表 1-3)
2	潛在山崩地區自動化活動性觀測站維護	儀器及設備維護檢修	19 站/每年 (詳表 1-3)
(三)	地中調查	既有調查區：廬山聚落	1 處
1	地表地質及環境地質調查	更新完成 1:5000(或更大比例尺)地質圖	1 式
2	地質鑽探調查	採 HQ 尺寸，全程取樣	2 孔，280 m
3	岩芯判釋	定性岩芯描述。	2 孔
		半定量岩體分級	2 孔
		量化岩體評分	2 孔
4	岩芯物理(力學)性質量測研究	岩芯波速量測 弱面直剪試驗	2 孔 10 組
5	孔內試驗探測	孔內超音波攝影	2 孔
		電井測	2 孔
6	地中活動性觀測材料安裝	孔內波速試驗	2 孔
7	地下水位置量測	測傾管(含安裝)。	2 孔，280 m
8	地下水位置量測	利用新增測傾管，進行地下水位量測。量測頻率至少 1 次/小時(自記式水壓計)。	2 孔
8	潛在山崩機制及活動性分析	根據該年度成果，回饋分析該調查區之潛在山崩機制及活動性。	1 處
(四)	調查區履歷事件簿更新、彙整及研析	運用圖表及概述文字說明各調查區之災害歷史、調查成果、地質模式、滑動機制、歷年滑動性觀測成果、降雨、地震事件與山崩滑動關聯性等資料，展示各調查區調查及觀測成果。	8 處
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(既有調查區：廬山溫泉北坡、廬山聚落、壽亭及定遠)			
(一)	潛在山崩地區差分干涉合成孔徑雷達地表變形分析研究	蒐集至少包括 2008 年辛樂克颱風前至今之衛星合成孔徑雷達影像(SAR)，並進行分析，以掌握調查區長期地表位移趨勢	4 處
(二)	地表變形記錄與分析	利用無人載具空拍(UAS)，建立正射影像及數值地表模型，並與前期成果比較	4 次
(三)	地表活動性 GPS 觀測站成果解算	連續性自動化 GPS 觀測及解算	10 站
(四)	多尺度地表變形研究成果研析	利用各式地中活動性觀測成果與多尺度地表活動性觀測成果比對，輔以驗證說明地表活動性觀測成果，並評估調查區之潛在山崩活動性	1 式
三、前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發應用			
(一)	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		1 式
2	前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究	含現地測試。地質鑽探 10 m，先利用測傾管(10 m)量測，再評估串聯式自動化測傾儀合適安裝深度(至少 4m)及進行安裝應用研究	1 式
3	地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究	含現地測試。地質鑽探 2 孔，各 10 m，包含孔內伸縮計與測傾管共構安裝適用性研究、時域反射儀 TDR 與測傾管共構安裝適用性研究。	1 式
4	井內無線傳輸可行性研究	資料蒐集	1 式
5	地層變位模擬研究	時域反射儀 TDR 地層變位模擬儀器試驗	1 式
		孔內伸縮計數值模擬	1 式
(二)	物聯網技術適用性研究	含資料蒐集與現地測試(包括物聯網布建、物聯網性能驗證測試、數據彙整至本所既有活動性觀測平台、將資料展示於可視化平台)	1 式
四、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流			
(一)	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	伺服器租用及觀測資料備份	1 式
2	活動性觀測平台精進	政府開放資料服務功能加值應用	1 種
3	山崩活動性觀測成果智慧應用推廣	觀測成果資料庫介接服務。	1 式
(二)	潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修	手冊勘誤及更新	1 式
(三)	國內外技術交流	國內外技術交流訪問、參加研討會	1 式

一、潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估

本計畫執行期間，將針對前期計畫 31 處調查區(詳表 1-2)及本計畫新增潛在山崩調查區，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，包括：

- (一) 潛在山崩地區現場勘查：本年度計畫包含至少 8 處調查區之現場勘查，詳表 1-3 所示。計畫執行期間則依實際需要，彈性調整調查區位置。
- (二) 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 1-3 所示。
- (三) 地中調查：本計畫執行期間，預計每年以區域平衡為考量執行地中調查。規劃分年執行地中調查之調查區，詳表 1-4 所示，本年度計畫為南投廬山聚落。
- (四) 調查區履歷事件簿更新、彙整及研析：本年度計畫包含包含 8 處調查區，以瞭解、追蹤及評估邊坡活動性。

表 1-2、既有調查區一覽表

Table 1.2 Previous investigation regions

1	新北市西羅岸	9	南投縣定遠	17	嘉義縣樣子寮	25	嘉義縣瑞里
2	新北市桶壁	10	南投縣壽亭	18	嘉義縣樟腦寮	26	高雄市竹林
3	苗栗縣十八股	11	南投縣霧社	19	嘉義縣潮洲湖	27	高雄市二集團
4	台中市達觀	12	南投縣和雅	20	嘉義縣龍頭	28	屏東縣達來
5	南投縣廬山溫泉北坡	13	宜蘭縣太平山	21	嘉義縣石壁	29	屏東縣泰武
6	南投縣翠巒	14	花蓮縣豐山	22	嘉義縣樂野	30	屏東縣新佳碇
7	南投縣廬山聚落	15	花蓮縣安通	23	嘉義縣太和	31	屏東縣下大武
8	南投縣馬烈霸	16	花蓮縣大禹嶺	24	嘉義縣科子林		

表 1-3、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

Table 1.3 Amount of manual observation and automated observation stations

既有調查區		執行手動觀測	既有自動化觀測站數量
1	南投縣廬山溫泉北坡	無	10 站
2	南投縣廬山聚落	每年至少 2 次	1 站
3	新北市西羅岸	每年至少 1 次	1 站
4	南投縣定遠	每年至少 2 次	無
5	嘉義縣太和	每年至少 1 次	1 站
6	嘉義縣樣子寮	每年至少 1 次	1 站
7	嘉義縣潮洲湖	每年至少 1 次	1 站
8	宜蘭縣太平山	每年至少 1 次	4 站
總計(共)		每年至少 9 次	19 站

表 1-4、本計畫新增或補充既有潛在山崩調查區(預計分年執行地中調查)

Table 1.4 Potential landslide areas planned to investigate of this plan in 2019~2022

年度(西元)	規劃進行調查之調查區名稱
2019 年	南投縣廬山聚落調查區(既有調查區)
2020 年	嘉義縣潮洲湖或巔頭調查區(既有調查區)(暫定)
2011 年	高雄市玉穗調查區(新增調查區)(暫定)
2022 年	南投縣靜觀調查區(新增調查區)(暫定)

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

本計畫執行期間，每年度將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，包括以下四部分：

- (一) 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。
- (二) 地表變形記錄與分析(UAS)。
- (三) 地表活動性 GPS 觀測站成果解算。
- (四) 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，輔以驗證說明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

本計畫計畫執行期間，每年將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，本年度計畫包括：

- (一) 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究：預計每年度持續精進地中調查觀測技術。本年度計畫研究項目包括：
 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。

(二) 物聯網技術適用性研究：預計每年度持續物聯網技術適用性研究，本年度計畫研究項目，包括：

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

於計畫執行期間，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。本年度計畫包括：

(一) 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。

(二) 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修。

(三) 國內外技術交流。

1.4 工作會議及現地聯合勘查

為精進計畫執行成效，本年度計畫執行期間，多次與承辦人員進行工作會議及現地聯合勘查，並參加研討會，期程如表 1-5 所示。

1.5 計畫績效

本計畫一方面持續進行山崩調查觀測技術精進與應用等研究。另一方面，為落實坡地聚落防、減災的目標，本計畫執行期間持續與其他機關進行交流分享、提供資訊服務、進行成果發表等，期使增加計畫成果應用，詳表 1-6 所示。

表 1-5、工作會議、現地聯合勘查
Table 1.5 Work meeting and joint in-situ survey

項目	日期 (2019 年)	地點	會議或現地內容
工作會議	05/10	青山工程顧問股份有限公司會議室	• 團隊工作會議，討論多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究，後續進行相關事宜。
	07/16	經濟部中央地質調查所 6 樓會議室	• 與承辦科工作會議：工作進度報告，成果討論 • 後續工作方向
	08/01	青山工程顧問股份有限公司會議室	• 團隊工作會議，討論前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用，後續進度及方向相關事宜。
現地聯合勘查	07/08	南投埔里	• 現地液化潛勢調查觀摩(標準貫入試驗、下孔式速度井測、地電阻探測、表面波頻散)。
	07/09	南投廬山溫泉北坡、廬山聚落	• 現地勘查。 • 調查及觀測成果報告。
	07/24	南投廬山溫泉北坡、廬山聚落	• 現地勘查。 • 2019 年新增 GPS 觀測位置勘查。 • 2019 年新增地質鑽探孔位勘查。
	07/25	台 8 線 95k、109k	• 潛在山崩現象勘查。
	07/31	忠治籃球場	• 現場勘查。 • 討論研究場址構想：前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用。
	10/18	南投廬山聚落	• 2019 年新增地質鑽探岩芯查核。
	10/19	南投定遠、壽亭	• 現地勘查。
	11/27	忠治籃球場	• 現地勘查

表 1-6、計畫績效達成情形
Table 1.6 Performance of plan

日期	單位	達成情形	說明
一、資訊服務			
2015~ 迄今	科技部	<ul style="list-style-type: none"> 提供本計畫調查區、觀測儀器之座標位置及儀器管理燈號介接服務。 	<ul style="list-style-type: none"> 延續前期計畫成果：「D.M.I.P 災害管理資訊研發應用平台」，http://dmip.tw。 本年度計畫進行調查區數量更新：包括西羅岸、太平山、廬山溫泉北坡、廬山聚落、潮洲湖等地區。 提供警戒應變防災參考。
2016 年~ 迄今	國家災害防救 科技中心(NCDR)	<ul style="list-style-type: none"> 提供本計畫調查區：西羅岸地區觀測資料、燈號之介接服務。 	<ul style="list-style-type: none"> 延續前期計畫成果：「災害情資網」，http://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/ncdrwebv2/。 提供警戒應變防災參考。
二、公共服務			
2019/7/31	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。 提升公共服務。
三、技術活動			
2019/05/16~ 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)
2019/09/04、 10/01	臺北市府	<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」。
2019/11/06	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。
四、智慧財產			
2019/4/11	本計畫	<ul style="list-style-type: none"> 取得地層變位模擬器專利。 	<ul style="list-style-type: none"> 專利證號：新型第 M577123 號。
五、培育人才(本計畫相關成果提供人才培育參考)			
2018 年	-	<ul style="list-style-type: none"> 碩士班培育：1 人。 	<ul style="list-style-type: none"> 陳俐文(2018)，「降雨引致地下水位變化及邊坡變形分析」，國立暨南國際大學土木工程系，碩士論文。(廬山溫泉北坡)
2019 年	-	<ul style="list-style-type: none"> 碩士班培育：3 人。 	<ul style="list-style-type: none"> 黃淳銘(2019)，「結合地質模型進行三維離散元之崩塌運移數值模擬-以太麻里溪、四川新磨村、樣子寮為例」，國立成功大學地球科學系，碩士論文。(樣子寮)
	-		<ul style="list-style-type: none"> 吳晉維(2019)，「從長期監測資料建立降雨引致深層滑動預警模式-以清境及廬山地區為例」，國立暨南國際大學土木工程系，碩士論文。(廬山、定遠地區)
	-		<ul style="list-style-type: none"> 周昕成(2019)，「類神經網路於降雨引致深層崩塌影響之初步研究」，國立暨南國際大學土木工程系，碩士論文。(廬山溫泉北坡)

第二章、計畫執行方法及進行步驟

2.1 計畫執行流程

本年度(2019年)計畫包括潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估，多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究，前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用，山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流等四大項工作項目。彙整各工作項目之執行流程如圖 2-1 所示，依序說明執行方法如後。

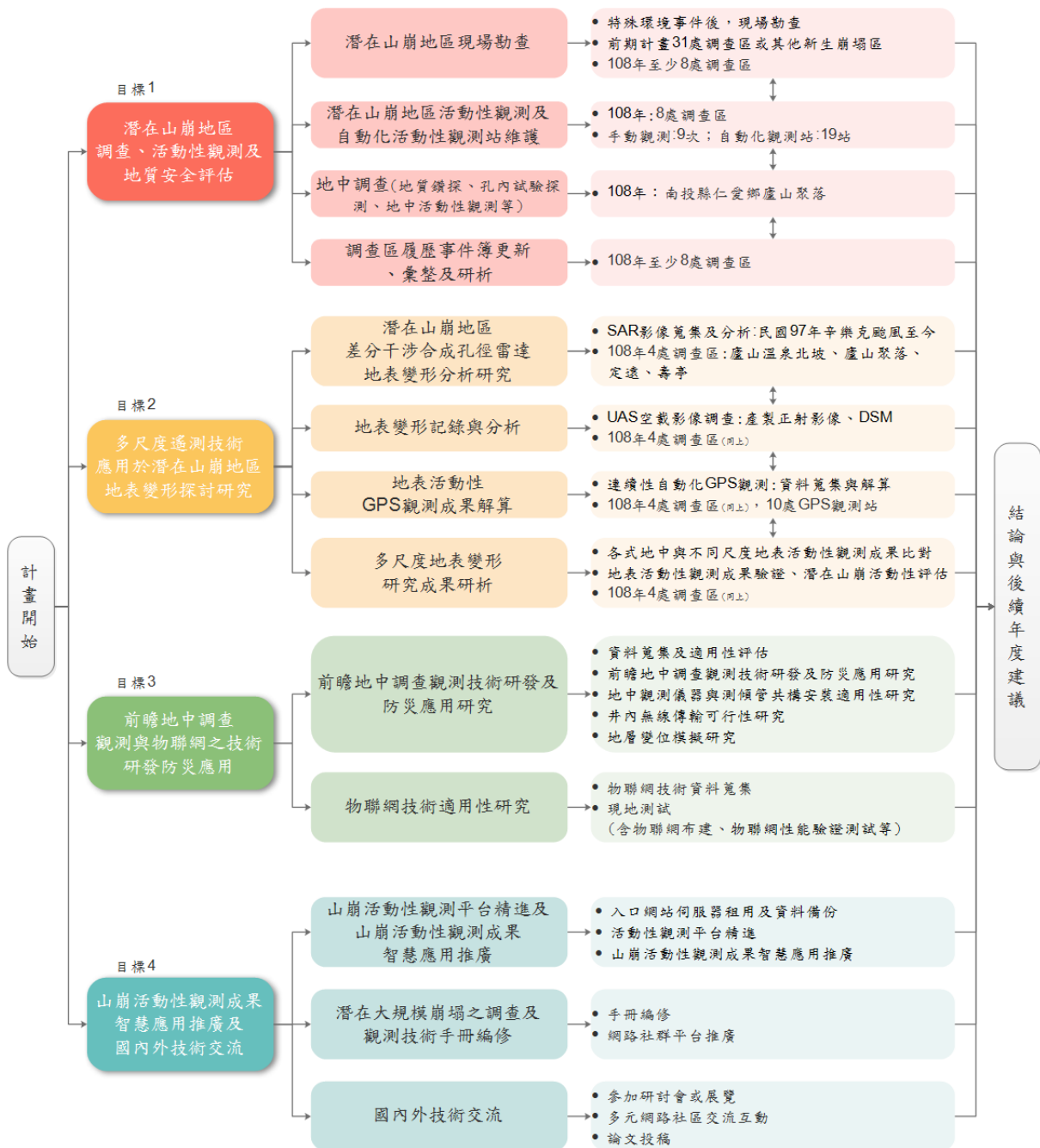


圖 2-1、工作流程圖
Fig. 2.1 Work flowchart

2.2 潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估

於計畫執行期間，針對前期計畫 31 處調查區，進行潛在山崩地區現場勘查、潛在山崩地區活動性觀測及潛在調查區自動化活動性觀測站維護、地中調查、調查區履歷事件簿更新、彙整及研析及等工作，以瞭解、追蹤及評估邊坡活動性，提供警戒防災應變參考。前期計畫調查區位置分佈，如圖 2-2 所示。說明如後。詳細調查結果請參閱第四章。

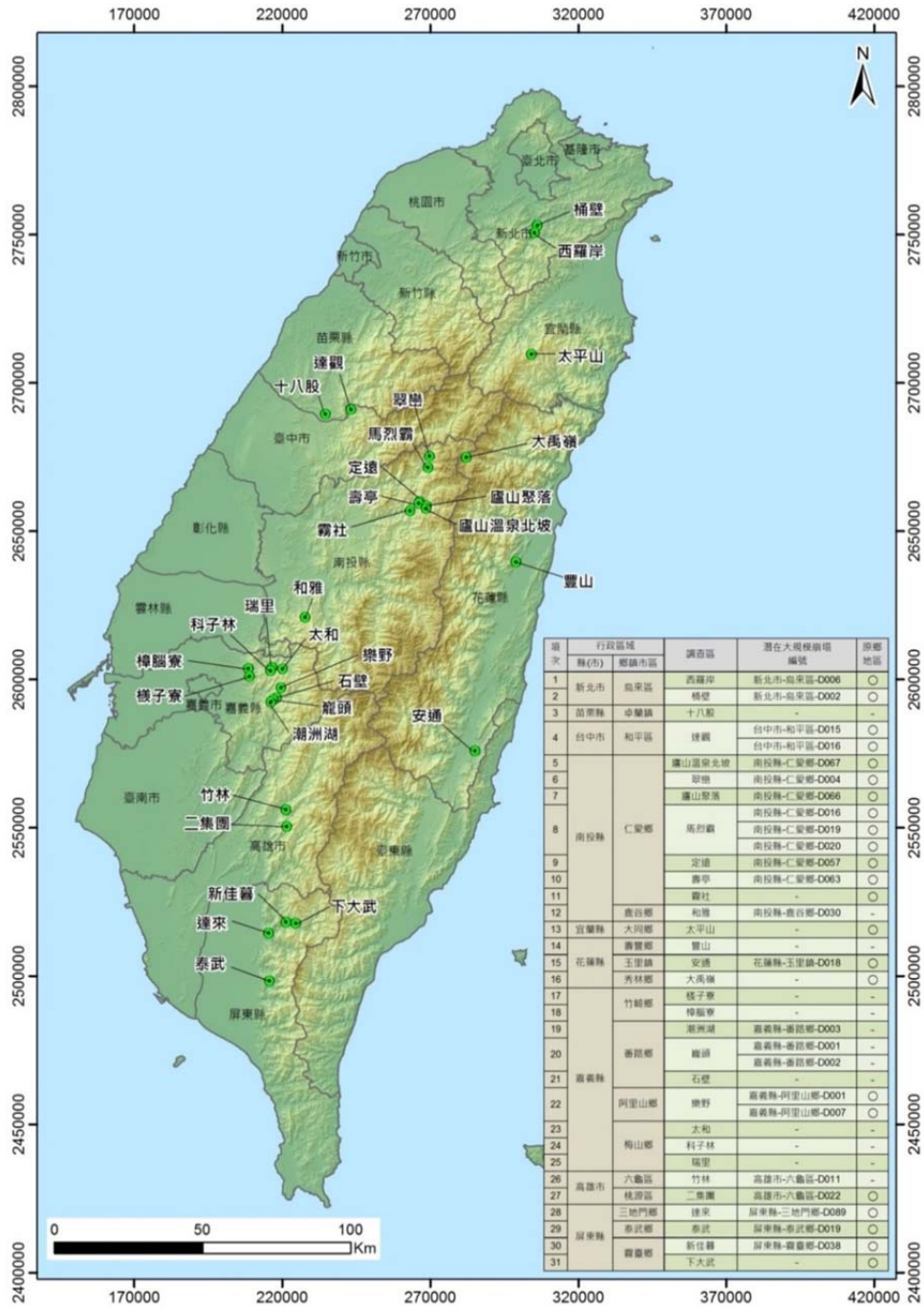


圖 2-2、前期計畫 31 處調查區位置分佈圖
Fig. 2.2 Locations of 31 investigation areas in previous plan

2.2.1 潛在山崩地區現場勘查

針對特殊環境事件發生後，如地震、颱風、豪雨等特殊降雨事件，檢視前期計畫既有 31 處調查區或其他新生崩塌區之災害資訊，進行現場勘查，並將勘查成果彙整於報告書中。2019 年選擇前期計畫觀測結果中，邊坡活動性相對較高的 8 處調查區，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、潮洲湖等調查區。詳細調查結果請參閱第四章。

2.2.2 潛在山崩地區活動性觀測及自動化活動性觀測站維護

前期計畫執行調查之 31 處潛在山崩地區中，部分地區近期邊坡活動性相對較高，且具較多保全對象，有必要持續以量化方式觀測、追蹤。本計畫觀測工作依作業方式不同，可分為(1)手動及(2)自動化觀測等兩種。說明工作執行方法如下。

一、手動觀測作業

本年度計畫共計 8 處調查區之手動觀測作業，每處調查區進行 1~2 次不等之觀測，共計 9 處/次，如表 2-1 所示。手動觀測作業主要包含測傾管、自記式儀器等需以人工方式，定期前往量測或讀取資料之儀器。本年度手動觀測作業時程如表 2-1 所示。

表 2-1、本計畫各調查區自動觀測站數量及手動觀測次數一覽表

Table 2.1 Amount of manual observation and automated observation stations

項次	行政區域		調查區	自動化觀測站數量	手動觀測工作期程(2019年)										應完成次數	實際完成次數
	縣(市)	鄉鎮市區			3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月			
1	新北市	烏來區	西羅岸	1 站	-	-	-	6/18	-	-	-	-	-	-	1	1
2	宜蘭縣	大同鄉	太平山	4 站	-	-	-	-	-	-	-	10/22	-	1	1	
3	南投縣	仁愛鄉	廬山溫泉北坡	10 站	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4			廬山聚落	1 站	-	-	-	-	-	-	9/16	-	11/04 11/18	2	3	
5			定遠	無	-	-	-	-	-	-	9/16	10/22	-	2	2	
6	嘉義縣	梅山鄉	太和	1 站	-	-	-	-	-	-	9/24	-	-	1	1	
7		竹崎鄉	樣子寮	1 站	-	-	-	-	-	-	9/30	-	-	1	1	
8		番路鄉	潮洲湖	1 站	-	-	-	-	-	-	-	10/3	-	1	1	
合計														9	10	

圖例

6/18 已完成手動觀測日期

二、自動化觀測作業

(一) **觀測成果定期彙整**：本年度計畫共計 8 處調查區，19 處現場自動化觀測站(表 2-1)。針對自動化觀測成果，本計畫配合各期報告時程，定期彙整、研析。

(二) **特殊環境事件彈性彙整、回報**：目前自動化觀測系統後端程式，雖能自動研判儀器是否超過管理基準或為損壞等異常狀況，並傳送異常通知(圖 2-3)。但調查區之整體活動性評估，仍有必要透過人工進行專業研判。因此，本計畫於特殊環境事件發生期間，例如陸上颱風警報發佈，將啟動青山防災應變中心，由專業工程師值班，研判各式儀器觀測成果，定時傳送通報單，一旦有超過管理值情形，於接獲警告訊息後，第一時間以「行動電話」簡訊方式通知貴所，提供相關緊急應變措施決策參考。

(三) **自動化活動性觀測站維護**：

1. **例行性維護及定期回報**：本計畫執行期間，針對貴所建置之自動化活動性觀測站，進行通訊、電力及儀器及其他單元等設備之例行維護，並於觀測站有故障發生時，配合防災需求進行儀器或設備之檢修工作。

2. **緊急維護機制**：針對南投縣廬山溫泉北坡、廬山聚落及新北市西羅岸等 3 處具潛在山崩活動性且保全對象較多地區，本計畫加強掌握即時的位移資訊，並建立觀測設備的緊急維護機制。當發現調查區觀測儀器有突發異常情形時，本計畫將第一時間通知貴所，說明維護計畫，並列為優先處理對象，儘速安排至現場檢修，以排除異常，確保自動化即時觀測功能正常。貴所可依實際需要，調整觀測調查區及觀測作業內容。

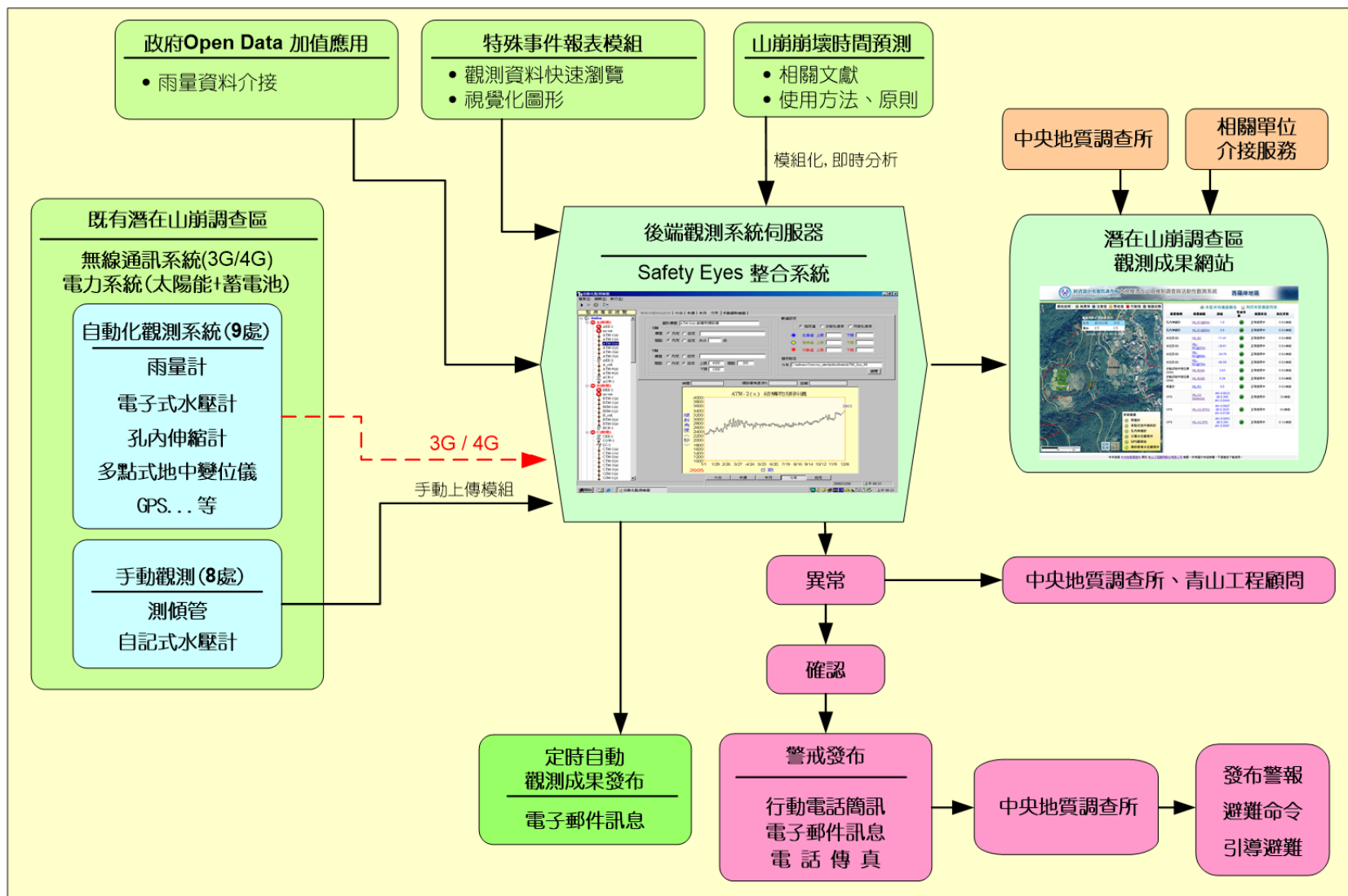


圖 2-3、本計畫潛在山崩活動性觀測系統架構圖
 Fig. 2.3 Structure chart of potential landslide activity observation system

2.2.3 地中調查

前期計畫涵蓋的 31 處潛在山崩地區中，部分調查年份較早，由於近期調查技術持續進步中，為再細緻化目前成果，本計畫規劃每年於既有調查區或新增調查區中，進行地中調查。分年預計執行之調查區、基本資料及工作內容，分別如表 2-2 及圖 2-4 所示。本年度(2019 年)針對廬山聚落進行地中調查，說明地中調查構想如後。詳細成果請參閱第三章。

表 2-2、分年預計執行之調查區、基本資料及工作內容

Table 2.2 Multi-year investigation plan and basic information of study areas

年度(民國)	2019 年	2020 年(潮洲湖或龍頭調查區)		2021 年	2022 年
預定調查區	廬山聚落 (既有調查區)	潮洲湖 (既有調查區)(暫定)	龍頭 (既有調查區)(暫定)	玉穗 (新增調查區)(暫定)	靜觀 (新增調查區)(暫定)
地理位置	南投縣 仁愛鄉	嘉義縣 番路鄉	嘉義縣 番路鄉	高雄市 桃源區	南投縣 仁愛鄉
保全對象	100 戶	20 戶	5 戶	35 戶 台 20 線	15 戶
估計潛在滑動範圍	30 公頃	15 公頃	32 公頃	40 公頃	60 公頃
出露地層 (岩性)	廬山層 (板岩與變質砂岩)	長枝坑層 (堅硬暗灰色頁岩與 灰色砂岩互層)	長枝坑層 (堅硬暗灰色頁岩與 灰色砂岩互層)	潮州層 (硬頁岩或板岩)	廬山層 (板岩與變質砂岩)
順向坡地形	○	○	○	△	△
古崩塌地地形	○	○	○	○	○
災害歷史	○	○	○	○	○

註 1): ○：確定 △：疑似或不明確 X：無此現象 —：尚無資料

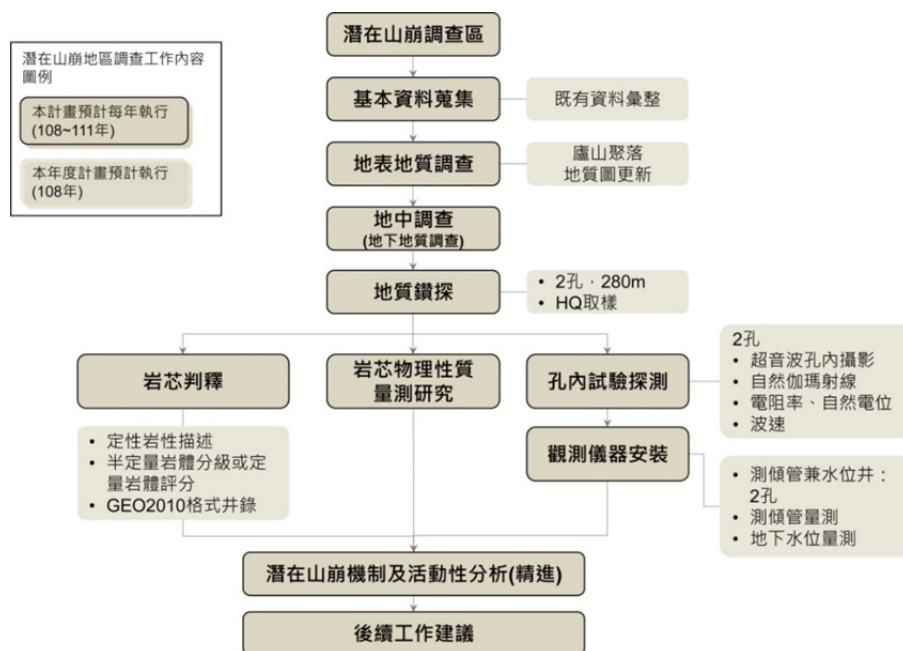


圖 2-4、潛在山崩地區調查工作流程圖

Fig. 2.4 Work flowchart of potential landslide area investigation

本年度(2019年)計畫地中調查工作，主要針對南投廬山聚落地區進行，包含：地表地質及環境調查、地質鑽探調查、岩芯判釋、岩芯物理性質量測研究、孔內試驗探測、地中活動性觀測儀器安裝、地下水位置量測及潛在山崩機制及活動性分析等，詳細成果請參閱第三章，依序說明如下：

(一) 地表地質及環境地質調查：規劃每年度執行，並根據本計畫該年度之調查成果，更新既有調查區或完成新增調查區比例尺為 1:5,000(或更大比例尺)之地質圖。本年度計畫為廬山聚落調查區。工作流程如圖 2-5 所示。詳細工作說明請參閱附錄二-1。

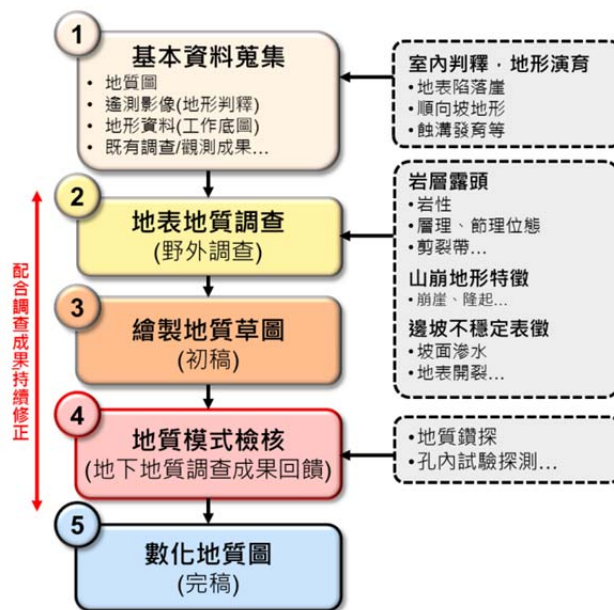


圖 2-5、地表地質調查工作流程圖

Fig. 2.5 Work flowchart of surface geologic survey

(二) 地質鑽探調查：本年度計畫為廬山聚落調查區，2孔，總鑽探深度 280 m。地質鑽探規劃如表 2-3 所示。詳細構想及位置請參閱第三章。

表 2-3、新增地質鑽探及孔內試驗探測規劃

Table 2.3 Design of adding new geologic boreholes and tests

計畫	編號	孔深 (m)	安裝儀器	本年度計畫孔內試驗探測規劃			
				自然伽瑪射線	電井測	孔內攝影	孔內波速
本年度規劃 (2019年)	LS-B7	130	測傾管兼水位井	√	√	√	√
	LS-B8	150		√	√	√	√

為獲取高品質的地質鑽探岩芯取樣，以利後續岩芯判釋及相關物理性質量測研究，本計畫採用 HQ 鋼索(Wire-line)旋鑽法，進行全程連續岩芯取樣(岩芯直徑約 65 mm)。該方法遭遇破碎地層時，可以鑽桿作為套管，保護孔壁避免崩塌，有利保持鑽孔完整性，作為後續孔內試驗探測之用。地質鑽探取得的岩芯，置於岩芯箱，並運送至貴所位於臺南市新營區的岩芯倉庫。詳細工作說明請參閱附錄二-2。

(三) 岩芯判釋：本年度(2019 年)計畫擬利用新增地質鑽探取得的岩芯，進行地質特性判釋，包括定性的岩性，與半定量的岩體分級或定量的岩體評分。此外，並應提供 GEO2010 格式的井錄予貴所。

本年度計畫除利用傳統的定性岩性描述，並再採用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)等岩芯判釋方法，取得岩芯定量資料，以與各式孔內試驗探測及地中活動性觀測成果整合，輔以提供評估邊坡活動性參考，並期以提供岩體工程設計或分析參考，精緻化地質鑽孔調查結果。詳細判釋結果請參閱第三章。

(四) 岩芯物理性質量測研究：

1. 岩芯波速量測：進行岩芯波速量測之岩芯物理性質量測研究，輔以孔內試驗探測可能遭遇破碎岩層，而無法順利施測之情形。本計畫利用超音波脈衝儀測得岩芯波速行為，可測得 P 波速度，詳圖 2-6 所示。岩芯波速量測結果屆時可與相關結果比對。岩芯波速量測每 m 量測一筆資料，包含 2 孔，總深 280 m。若遭遇如剪裂帶或剪裂泥等地質條件較差處，則再局部加密量測，以取得更具代表性之資料。試驗成果請參閱第三章。

2. 弱面直剪試驗、一般物性試驗：潛在山崩地區於發生岩體滑動現象時，滑動面多沿著岩層間之剪裂帶運動，為滑動塊體的關鍵弱帶。因此，本計畫規劃配合新增地質鑽探，進行弱面直剪試驗，以掌握剪裂帶強度參數 c 、 ϕ 。並進行一般物性試驗，作為後續分析之參考。本年度計畫進行 10 組弱面直剪試驗及一般物性試驗。試驗成果請參閱第三章。



圖 2-6、岩芯波速量測示意圖

Fig. 2.6 Illustration diagram of measuring the wave velocity on the core

(五) 孔內試驗探測：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，並可與岩芯、地下水調查及活動性觀測比對，藉此研擬合理調查成果。本年度計畫配合新增 2 孔地質鑽探孔，進行孔內試驗探測，孔內試驗探測項目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。各孔內試驗探測項目之適用性及預期成果，如表 2-3 所示。詳細工作說明，請參閱附錄二-3。

表 2-4、孔內試驗探測方法一覽表
Table 2.4 Summary of borehole tests

孔內試驗探測方法	原理	主要取得成果	適用性		預期成果	
			有套管(保護管)	無孔內水		
超音波孔內攝影	音波反射	振幅、走時 ↓分析 孔壁影像 ↓分析 不連續面位態	X	X	<ul style="list-style-type: none"> 協助建立地質模式 協助研判地下水流動層 	
自然伽瑪射線	放射能強度	自然伽瑪線強度	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 協助地層分層 	
電井測	電阻率	地電流	X	X	<ul style="list-style-type: none"> 協助地層分層 研判地下含水層 研判地下水流動層 	
	自然電位	自然電位				
波速	下孔式 (陸上起震、孔內受振)	震波波動	<ul style="list-style-type: none"> P 波速度(V_p) S 波速度(V_s) 	△	X	<ul style="list-style-type: none"> 協助地層分層 推估地質材料動彈性模數等工程參數
	上孔式 (孔內起震、陸上受振)			△	X	
	懸盪(掛)式 (孔內起震、孔內受振) (空間解析度最佳，本計畫優先採用)			△	X	

有套管：○：可再有套管環境施作(訊號不受套管影響)；X：需裸孔施作；△：裸孔施作為佳。

無孔內水：○：可在無水環境施作；X：需在有水環境施作(空氣會影響訊號強弱)。

(六) **地中活動性觀測材料安裝**：本計畫利用新增地質鑽探調查孔，安裝測傾管，以進行地中活動性觀測。本年度計畫 2 孔，總深度不得小於 280 m。測傾管採 2.75" 外徑(約 70 mm)、ABS 材質，雙向內凹型溝槽。測傾管係藉由將雙軸傾斜感測器導入測傾管內，量測地層各深度之水平變化量，進而研判邊坡滑動型態、滑動深度及滑動速率等，詳細成果請參閱第三章。

(七) **地下水位量測**：地下水經常是影響潛在山崩活動性的重要因子，需要納入評估。為取得更多地下水位資料，本計畫針對測傾管的管身進行開孔，兼做水位觀測井使，規劃開孔方式如圖 2-7 所示。同時於觀測井內置入自記式水壓計，量測頻率每小時 1 次，利用自動化連續記讀方式取得連續性較佳的觀測資料，以掌握暴雨期間最大的地下水位昇幅。水壓計資料並配合人工手動觀測時，一併下載取回。詳細內容請參閱第三章。

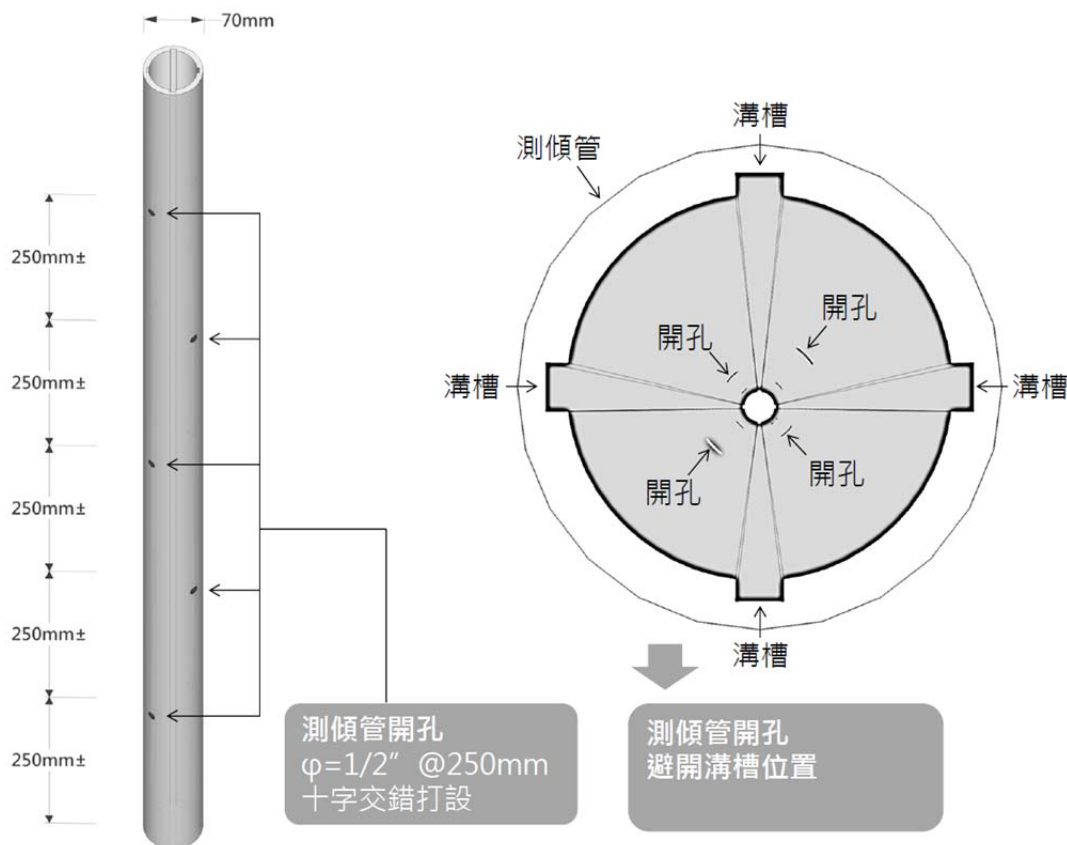


圖 2-7、測傾管開孔方式示意圖

Fig. 2.7 Illustration diagram of perforation method for inclinometer casing

(八) 潛在山崩機制及活動性分析：依據本年度計畫各項調查成果，分析調查區之潛在山崩機制及活動性。圖 2-8 為前期計畫參考工程地質特性建議分類表(林錫宏等，2015)，綜合地質調查及活動性觀測成果，分析各調查區之潛在山崩機制。本計畫執行期間將依據最新的調查成果，滾動式檢討各調查區之潛在山崩機制。

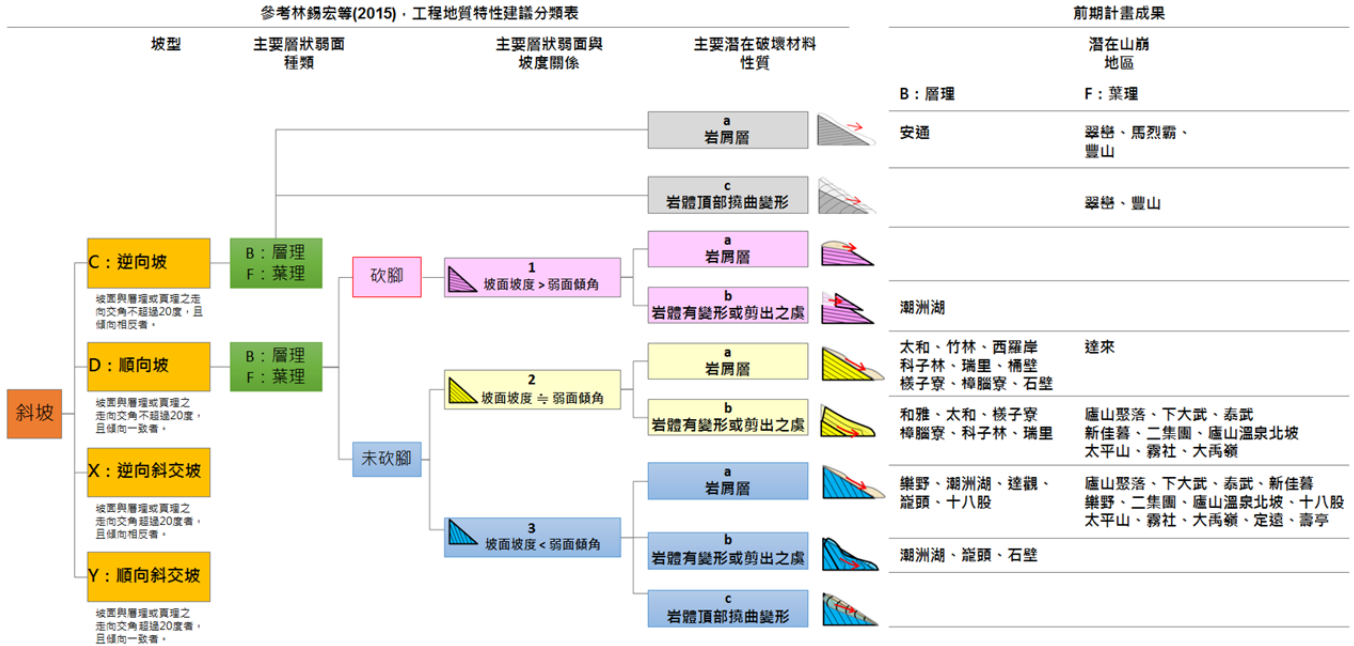


圖 2-8、前期計畫 31 處調查區之潛在山崩機制分析成果

Fig. 2.8 Summary of potential landslide mechanism of 31 investigation areas in previous plan

2.2.4 調查區履歷事件簿更新、彙整及研析

系統性彙整及累積各調查區之調查成果，有利於後續的查詢、研析及應用。前期計畫已採「履歷事件簿」方法，整合調查區不同時期的調查成果，並進行資料更新、彙整及研析。本計畫延續前期計畫成果，持續各調查區之「履歷事件簿」更新、彙整及研析。本年度計畫共計 8 處調查區，大致包含靜態及動態資料之更新及彙整，並提出後續建議，如圖 2-9 所示，詳細內容請參閱第四章，說明如下：

- 一、**靜態資料**：包括調查區之地理位置、地形水系、區域地質、災害歷史、災害判釋、潛在山崩機制等。
- 二、**動態資料**：包括調查區歷年活動性觀測成果、降雨、地震事件與山崩活動關聯性等資料，並持續檢討修訂各調查區管理基準值。
- 三、**後續建議**：製作各調查區專章報告，並依據調查及觀測成果，提出後續工作建議，如補充調查、持續觀測等。



圖 2-9、調查區履歷事件簿更新、彙整及研析架構

Fig. 2.9 Structure of compiling the resume and study works of investigation areas

2.3 多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究

本計畫執行期間，規劃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(2019年)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，包含：

- 一、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。
- 二、地表變形記錄與分析(UAS)。
- 三、地表活動性 GPS 觀測站成果解算。
- 四、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，輔以驗證說明調查區之潛在山崩活動性。

詳細成果請參閱第五章，說明如下：

2.3.1 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

蒐集涵蓋調查區範圍多時序之衛星合成孔徑雷達影像，並透過差分干涉合成孔徑雷達 D-InSAR 法或其他可用方法，例如永久散射法(Persistent Scatterers InSAR，簡稱 PS-InSAR)或短基線法(Short Baseline Subset InSAR，簡稱 SBAS-InSAR)等，解析地表位移量，以觀測大範圍地表位移情形。衛星合成孔徑雷達影像之蒐集時間須包括 2008 年辛樂克颱風前至今，以掌握調查區長期地表位移趨勢。本年度計畫包含前述 4 處調查區，進行差分干涉合成孔徑雷達地表變形分析。

本計畫中於長期的分析方面規劃使用較長波長(L-Band)之日本 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。詳細工作說明，請參閱第五章。

表 2-5、本計畫採用之合成孔徑雷達影像之衛星

Table 2.5 The satellites of synthetic aperture radar image that the project used

衛星名稱	國家	雷達波	影像圖幅範圍	地面解析度(公尺)	本計畫採用
ALOS/PALSAR	日本	L	全台灣	10	✓
Sentinel-1A/B	ESA/歐洲	C	全台灣	6-30	✓

2.3.2 地表變形記錄及分析(UAS)

利用 UAS 無人載具針對調查區進行空載影像調查工作，其空拍範圍大於調查區，並於地面布設控制點及進行 GPS 測量，以將空拍成果處理成具空間位相關係之影像資訊，包括正射影像及數值地表模型(DSM)等。拍攝角度採取垂直角度進行空拍為原則，影像品質以無雲為原則。本年度計畫針對前述 4 處調查區，各完成 1 次空拍，以進行地表變形紀錄，並與既有 UAS 空拍成果進行比較分析。計畫期間如遇重大山崩事件時，視需要機動性調整 UAS 調查範圍。

本計畫主要採用之無人載具於天候條件等情況下，使用包含 DJI P4P、DJI M600 Pro 配合全片幅相機以及 VTOL 無人載具配合地面控制點進行，其中 DJI P4P 具有 1 吋 CCD 像素品質較佳有利於製作數值地形及正射影像，DJI M600 Pro 搭配相機為 Sony A7R 全片幅相機，有效像素達 3,400 萬，但由於機身龐大且電力更換因素作業效率較差；另於天候許可下，本計畫擬嘗試以 VTOL 無人載具配合 PPK 定位，進行大面積高精度數位相片拍攝，此一組合預計一次作業面積可達 1,000 公頃，無控制點水平定位精度可達 5 公分以下，垂直定位精度 20 公分以下，搭配少量控制點即可達到前列無人載具之相同精度，如測試成果對於大面積之調查與測繪為一利器。詳細成果請參閱第五章。

2.3.3 利用地表連續性GPS活動性觀測進行成果解算

利用連續性自動化 GPS 觀測功能，取得 GPS 觀測資料，並提供 GPS 解算服務。透過 GPS 解算成果，取得高精度地表位移觀測資料，以與前述 D-InSAR 及 UAS 之分析結果比較，並評估潛在山崩活動性，同時提供既有 GPS 觀測站即時觀測功能及呈現於本所山崩活動性觀測平台，輔助警戒應變參考。108 年度目標區共 4 處調查區、10 處觀測站，包括：(1)廬山溫泉北坡，貴所既有 3 站 GPS 連續站、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。既有觀測站部分，需維持觀測站之現場設備及即時資料傳輸功能正常運作，以取得即時觀測資料、進行即時解算並呈現於網頁上。新增觀測站部分，包括進行雙頻 GPS 接收、兩種以上電力供應、觀測站保護及無線傳輸功能，以蒐集和資料解算分析地表位移量。

Takasu et al. (2009) 在文獻中提到 RTKLIB 軟體執行的單對單後處理動態定位解

算是以「二次差」來消除時錶誤差及大氣折射，Topcon Positioning Systems, Inc. (2015) 在書中提到 Magnet Tools 軟體執行的靜態基線解算是以「二次差」來消除時錶誤差及大氣折射，以「三次差」來偵測週波脫落值。本計畫中於近即時解的部份為採用點對點的 RTKLIB 定位解算模式，以既有警光山莊 GPS 測站為參考站，另於資料收集後再以 Magnet Tools 以網形解算模式進行，期能在長期觀測上得到更高精度的成果。既有及新設之 GPS 站，請參考第五章。

2.3.4 多尺度地表變形研究成果研析

利用本計畫各式地中活動性觀測成果與不同尺度地表活動性觀測成果比對，輔以驗證說明調查區之地表活動性觀測成果，並評估調查區之潛在山崩活動性。108 年度應完成前述 4 處調查區研析成果。詳細成果請參閱第五章。

2.4 前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

物聯網(Internet of Things, 簡稱 IoT)係指物品與物品間的聯網。物聯網在概念上可分為三層架構, 包含感測層、網路層與應用層等。感測層主要為識別、感測物體的各種狀態, 網路層係將感測資訊傳遞至應用層, 最後應用層結合各種資料分析技術及矽統整、提供不同使用需求。

前期計畫已應用物聯網技術於建置自動化「山崩活動性觀測平台」, 包括透過現場自動化觀測儀器及觀測站, 將山崩活動性相關資訊連結至網路, 再回傳至後端伺服器, 配合觀測網頁平台、資料圖形化、管理值設定等, 從而提供精緻即時的山崩活動性資訊及應變能力。

由於物聯網相關技術日益進步, 故本計畫執行期間規劃持續進行相關應用研究, 期以提升相關技術。感測層部分, 本計畫進行前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究(詳 2.4.1 節)。網路層部分, 本計畫進行物聯網技術適用性研究(詳 2.4.2 節)。有關應用層部分, 本計畫進行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(詳 2.5.1 節)。本節針對感測層及網路層, 說明如下。詳細成果請參閱第六章。

2.4.1 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究(物聯網-感測層)

規劃每年度執行, 持續精進地中調查觀測技術。本年度計畫包括資料蒐集及適用性評估(文獻蒐集), 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究, 地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究, 地層變位模擬研究等, 說明如下:

一、資料蒐集及適用性評估(文獻蒐集)

針對各式前瞻的地中活動性觀測技術, 包括串聯式自動化測傾儀(如 SAA、DMS 等)、孔內伸縮計、多段式孔內伸縮計、短軸距測傾儀、井測及其他相關地中調查觀測技術等。本年度計畫進行國內、外技術之資料蒐集及彙整評析。詳細成果請參閱第六章。

二、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究

針對各式前瞻的地中調查及活動性觀測技術等, 進行技術研發及防災應用研究, 包括串聯式自動化的多點式地中變位儀(如 SAA、DMS 等)、孔內伸縮計、多段式孔內

伸縮計、短軸距測傾儀、井測及其他相關地中調查觀測技術等，進行前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究。並綜合地層變位模擬評估、數值模擬分析、地表觀測技術(如 GPS、無線式地表位移計、遙測技術等)、岩體評分方法等，進行長期性的技術研發、技術引進、適用性評估、觀測資料驗證、現場測試與應用、使用建議等進行資料蒐集及適用性評估。

(一) 第一年度(2019 年):本年度計畫規劃進行串聯式自動化的多點式地中變位儀之地中活動性觀測技術應用研究，含現地測試，4 m。詳細現地選址構想，請參閱第六章。

(二) 第二~第四年度(2020~2022 年):次年度調查位置及應用項目，由後續調查需要，於次年度提出。

三、地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究

對於邊坡活動性高的潛在山崩地區，多數測傾管很快便因斷管，而無法繼續量測，雖然可達到調查滑動深度的重要目的，但對於後續重要的防災或警戒功能，卻因斷管而未盡其功，甚為可惜。若能增加鑽孔的地中活動性觀測使用年限，那麼對於邊坡活動性長期觀測需求或警戒應變參考都將更有助益。因此，本計畫擬進行各式地中觀測儀器與測傾管共構安裝之適用性研究，例如孔內伸縮計、時域反射儀 TDR 等容許變形量相對較大的觀測儀器，期使鑽孔延長地中活動性觀測功能。說明如下：

(一) 第一年度(2019 年):資料蒐集、共構規劃及現地測試

- 1.測傾管共構安裝適用性研究規劃：本年度計畫進行包括：(1)孔內伸縮計與測傾管共構安裝適用性研究、(2)時域反射儀 TDR 與測傾管共構安裝適用性研究，含現地測試。
- 2.現地測試場址規劃：本年度計畫挑選忠治籃球場做為研究場址，詳細現地選址構想，請參閱第六章。

(二) 第二~第四年度(2020~2022 年):初步規劃針對第一年度研究內容，進行長期資料收錄及評估。並依據第一年度成果，提出後續工作建議。

五、地層變位模擬研究

透過室內地層變位模擬儀器試驗及數值模擬方式，考量邊坡滑動特性，例如剪動帶厚度、滑動面傾角等或儀器安裝條件等，進行各式前瞻地中活動性觀測儀器變形試驗及分析，以瞭解其變位特性，例如孔內伸縮計、時域反射儀 TDR 或其他儀器等。試驗結果並與現地觀測成果比較，提升對潛在山崩地區變形機制及各式地中活動性觀測儀器變形特性的瞭解，提供儀器安裝適用性評估參考。本年度計畫進行一種地中活動性觀測技術之地層變位模擬儀器試驗及數值模擬。詳細成果請參閱第六章。

2.4.2 物聯網技術適用性研究(物聯網-網路層)

穩定的通訊品質是讓自動化觀測系統能夠發揮即時觀測功能，不可或缺的要素之一。在各式通訊技術中，以行動網路(3G/4G/5G)免去實體佈線、設置相對容易，同時兼具高頻寬、低延遲的優點，因此廣泛應用於國內坡地安全觀測系統。由於行動網路是共享基地台頻寬，然對於偏遠地區則可能基地台數量偏少，常有通訊品質不佳的情形。而近年來，低功耗廣域網路(Low Power Wide Area Network，簡稱 LPWAN)之無線通訊技術快速發展並日益成熟，其具有大涵蓋，通訊範圍更長的特性(圖 2-10)，若能進一步掌握其功能，交互運用不同通訊技術，應更有利於後續自動化觀測系統之規劃建置。故本計畫規劃進行物聯網技術之適用性研究。研究構想如後。詳細成果請參閱第六章。

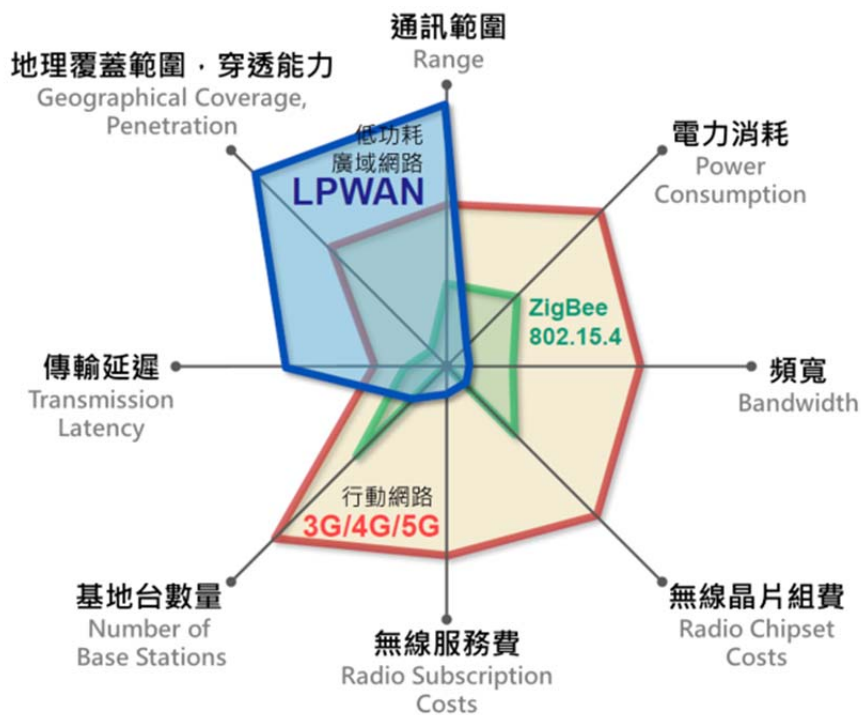


圖 2-10、LPWAN 及行動網路特性比較

Fig. 2.10 Comparisons of LPWAN and mobile network

(資料來源：Guibene et al, 2015)

一、第一年度(2019年)構想

(一) 文獻蒐集、彙整：進行物聯網通訊技術資料(文獻)蒐集比較，提供後續研究參考。本計畫執行期間，規劃針對現行物聯網相關技術，包括 LPWAN(例如 LoRa(Long Range)、Sigfox 與 NB-IOT(Narrow Band IoT))、人工智慧(AI)結合物聯網(IoT)之智慧物聯(AIoT)或其他技術等。本年度計畫年先進行相關文獻，提供後續工作參考。

(二) 物聯網技術適用性研究：透過現地測試，初步評估 LPWAN 效能：完成資料文獻蒐集，初步瞭解不同技術後，據以提出測試地點及規劃構想。本年度計畫於 1 處調查區，進行物聯網技術適用性研究，包含物聯網技術規劃服務、物聯網技術布建服務。其中，物聯網技術布建服務包括現地物理量量測服務、數據彙整至既有活動性觀測平台、將資料展示於可視化平台、物聯網技術適用性研究等，以精進現有技術。

本年度計畫挑選新北市烏來地區忠治籃球場，作為物聯網技術測試場址。烏來地區曾於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風，因區域纜線中斷，使得烏來形成通訊孤島。若應用低功耗廣域網路 LPWAN 的長距離通訊或非授權頻譜方法(不須透過通訊業者進行點對點傳輸)，將資料直接回傳到更遠的基地台，應為可能解決方案。本年度預期目標如下：

- 1.新式物聯網通訊技術與現有山崩活動性觀測平台之資料(介面)彙整。新式物聯網通訊技術與現有平台資料格式不同，因此有必要先進行整合。
- 2.不同天候狀況(晴天、陰天、雨天)，LPWAN 與行動網路(3G/4G)回傳資料完整度、即時性初步比較。預期可供後續方案選擇評估。

(三) 井內無線傳輸可行性研究(資料蒐集)：自動化井內觀測儀器的資料傳輸方式，多是透過實體傳輸纜線，銜接至地表自動化觀測站，再以無線或有線的方式回傳至至後端伺服器。而有線式傳輸在實務應用上可能遭遇的困難點之一，是當邊坡位移剪動孔壁，進而折損訊號纜線時，則可能影響資料回傳訊號的品質。若井內傳輸的方式能改以無線的方式進行，應更有利於後續維護及延

長使用壽命。甚至利用訊號例如光、聲在井內傳輸過程中的大小變化(邊坡變形或滑動，導致井徑變形)，進一步評估邊坡活動性。因此，本年度計畫料擬先進行資料蒐集(文獻蒐集)，並評估於後續年度計畫進行可行性研究。詳細成果請參閱第六章。

二、第二~第四年度(2020~2022 年)

依據第一年度成果，於次年度服務建議書中提出後續研究計畫，如應用 Sigfox 或 NB-IoT 等其他物聯網技術等，經貴所同意核可後，於合適場址進行現地測試，以進行適用性研究。至於井內無線傳輸可行性研究部分，則預計進行室內或現地測試，本計畫將先提出長期測試研究規劃，經貴所同意核可後，據以進行儀器開發、技術研究或現地測試等研究。初步構想如下：

- (一) 評估物聯網通訊技術於不同山崩觀測環境條件之表現：以提供不同環境條件地區最佳方案選擇評估參考。包括不同頻段通訊技術面對各種現地參數之表現，例如**(1)遮蔽段：密林段、結構物等、(2)距離：測站間的有效距離及(3)地形：高地差、跨河段對波傳之影響等。**
- (二) 井內無線傳輸可行性研究：技術研發、室內、戶外測試。

2.5 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

於計畫執行期間，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，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。得標廠商應配合貴所業務需要，協助各項臨時性的會議、現勘、說明、簡報、參訪等工作。詳細成果請參閱第七章。

2.5.1 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(應用層)

一、入口網站伺服器租用及資料備份

考量展示網頁頻寬及資料備份需要，本計畫將活動性觀測資訊平台之後端伺服器，放置於電力供應穩定及網路順暢之機房，並定期備份，並採異地備援機制，以確保資料安全。

二、活動性觀測平台精進

為使調查區之各項山崩觀測儀器之觀測成果能清楚地展示，並有效地解析即時觀測成果進行防災應變之運用，前期計畫自 2007 年開始建置活動性觀測平台，且持續改善系統效能及增添新功能，期使觀測系統能更臻於完善。而為能夠回應瞬息萬變的環境，本計畫之山崩活動性觀測系統，保持以服務導向的彈性架構，因應與日俱增之防災預警需求，持續精進現有活動性觀測平台功能，本年度(2019 年)計畫精進規劃，主要包含以下兩點：詳細成果請參閱第七章。

- (一) 必要觀測頁面改版、系統運作軟體、自動化觀測資料接收程式及資料庫程式等。包括本年度計畫新增之觀測儀器頁面。
- (二) 進行 1 種之政府開放資料服務功能加值應用。前期計畫已進行中央氣象局之雨量資料介接，輔助警戒應變。本年度計畫主要介接中央氣象局提供之地震資訊。

三、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣

為落實計畫成果應用，前期計畫建置之「山崩活動性觀測平台」，已持續進行相關加值應用服務，包括提供相關政府單位之資料介接服務，例如即時儀器警戒燈號、觀測網頁或觀測數據等。本計畫配合相關業務所需，持續提供相關單位多元化介接服務，期以達到防、減災目標。詳細成果請參閱第七章。

2.5.2 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修

前期計畫於 2018 年，已順利將相關研究成果編彙出版「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」，以達成果應用推廣。本計畫執行期間，將網路社群平台或相關活動，持續推廣，並進行勘誤。此外，於最後一年度(2022 年)，配合本計畫整體成果，將相關內容更新手冊，期使手冊內容更為豐富。詳細成果請參閱第七章。

2.5.3 國內外技術交流

技術交流有助於資訊傳遞、相互學習，瞭解最新技術發展趨勢，同時瞭解各界之研究成果及需求，回饋計畫參考，有利落實計畫成果推廣應用。因此，本計畫執行期間，將持續進行國內外技術交流，以提昇計畫成效。詳細成果請參閱第七章。

本計畫執行期間，規劃持續透過多元網路社群平台，例如 Facebook 或 Instagram 等，進行交流活動，推廣計畫成果。此外，於第一~第三年度(2019~2011 年)，安排參加國內外研討會或展覽會，並發表計畫成果，例如論文、海報或簡報等，並與專家學者交流。其中日本之環境條件與臺灣相似，易發生坡地災害，其研究成果最具參考性，故擬以日本為主要交流對象。此外，於最後一年度(2022 年)，配合本計畫整體成果，將相關內容更新至「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」(前期計畫編彙完成)，並舉辦研討會，發表本計畫成果，期使手冊內容更為豐富。

第三章、新增潛在山崩地區之地中調查

本計畫規劃每年以區域平衡為考量，於既有調查區或新增調查區中，進行地中調查。本年度(2019年)計畫主要針對南投廬山聚落地區，進行新增地中調查，說明基本資料蒐集、前期調查成果及本年度新增地中調查如後。

3.1 基本資料蒐集

3.1.1 地理位置

廬山聚落行政區隸屬南投縣仁愛鄉精英村，位於廬山溫泉北坡北側，如圖 3-1 所示。交通方面，以省道台 14 線為主要且唯一聯絡道路，對外串接霧社至埔里。保全對象包含當地住戶、廬山國小等。

此外，廬山聚落為地質調查所另案判釋的潛在大規模崩塌區，編號南投縣-仁愛鄉-D066，範圍如圖 3-1 所示。

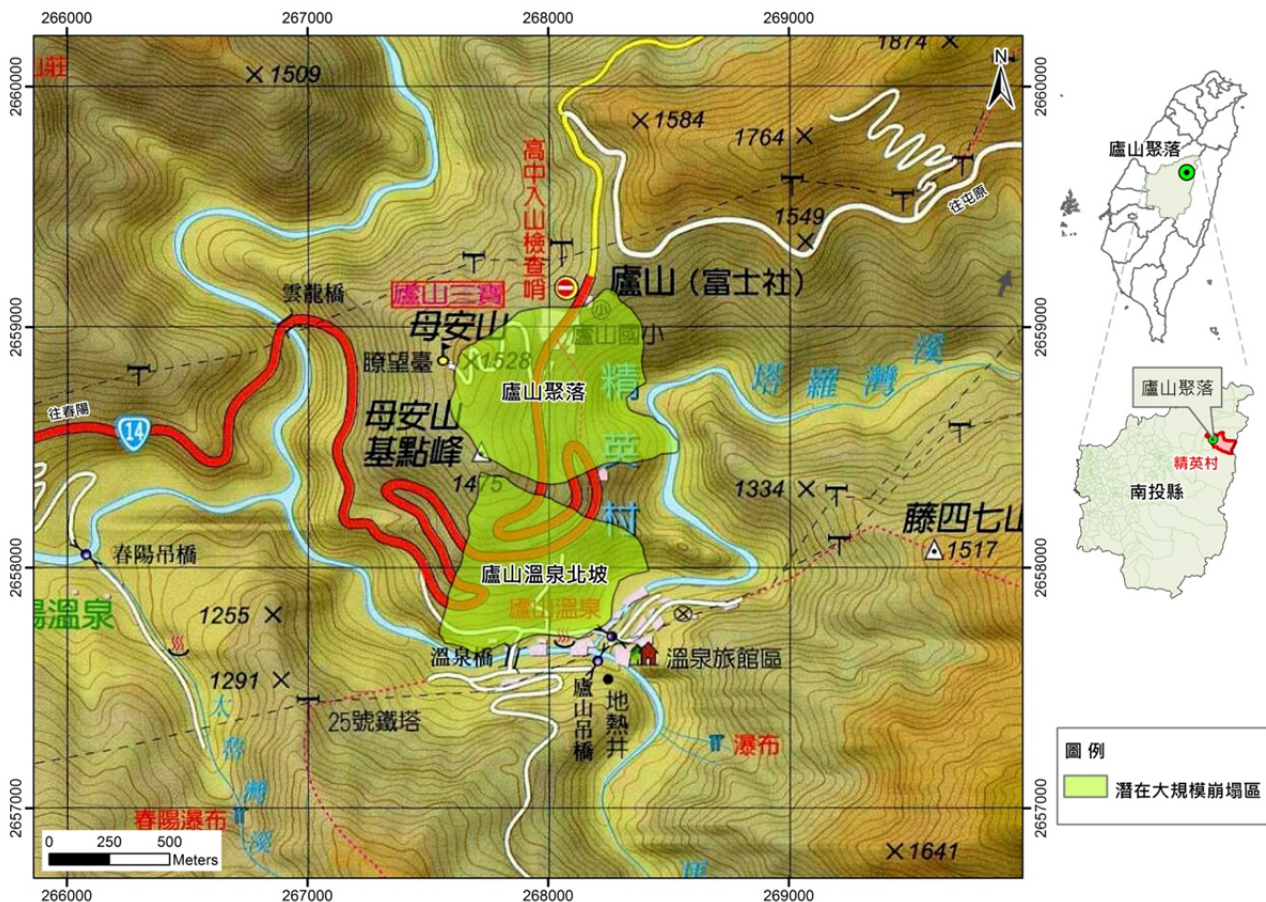


圖 3-1、廬山聚落地理位置圖

Fig. 3.1 Geographic locatiog of Lushan settlement

3.1.2 地形及水系

參考林朝榮(1957)之臺灣地形圖，廬山聚落地處中央山脈，如圖 3-2 所示。中央山脈範圍北起蘇澳南方之烏岩角，南迄恆春半島東南端的鵝鑾鼻，西以中央線形與雪山山脈及玉山山脈為界，東以花東縱谷與海岸山脈為鄰。

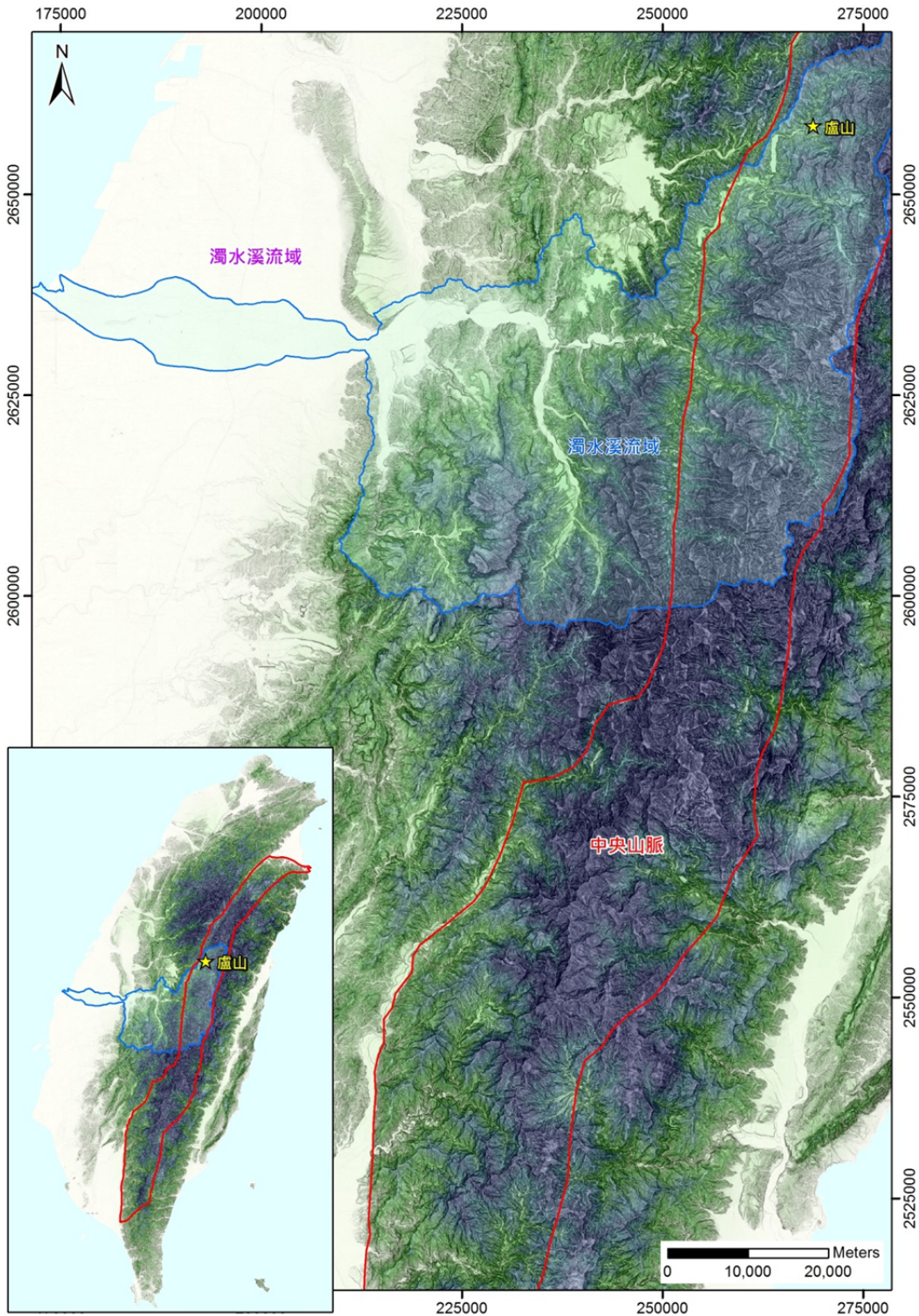


圖 3-2、廬山聚落廣域地形圖

Fig. 3.2 Regional topographic map of Lushan settlement

(底圖來源：林朝榮，1957)

廬山聚落所在邊坡坡高約 300 m，坡向大致朝東，詳圖 3-3 所示。廬山聚落位於稜線上，坡度上緩下陡，以廬山聚落附近地勢相對平緩，平均坡度約 23° ，略呈階狀地形分佈。以廬山聚落下邊坡地勢較陡，坡度約 $30\sim 50$ 度，局部達 60 度以上。

在水系分佈上，廬山聚落屬於濁水溪流域，坡趾為塔羅灣溪流經，部分河段形成攻擊岸。此外，下邊坡可見數條蝕溝發育的線型特徵，顯示可能為降雨逕流或地下水集中的區域，而坡面可見滲水，詳圖 3-4 所示。

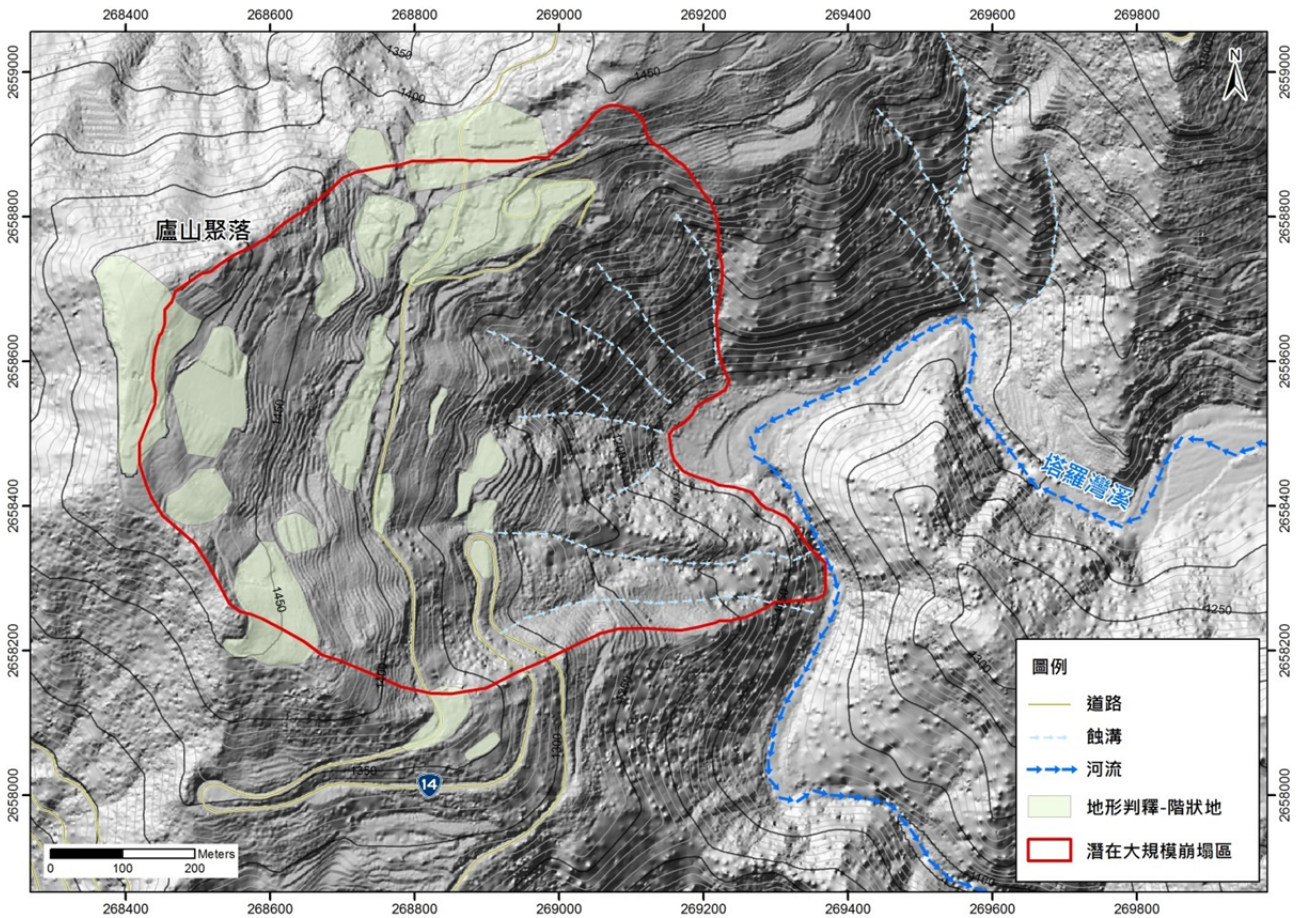


圖 3-3、廬山聚落地形圖(等高線套疊日照陰影圖)

Fig. 3.3 Local topographic map of Lushan settlement (contour overlay hillshade)

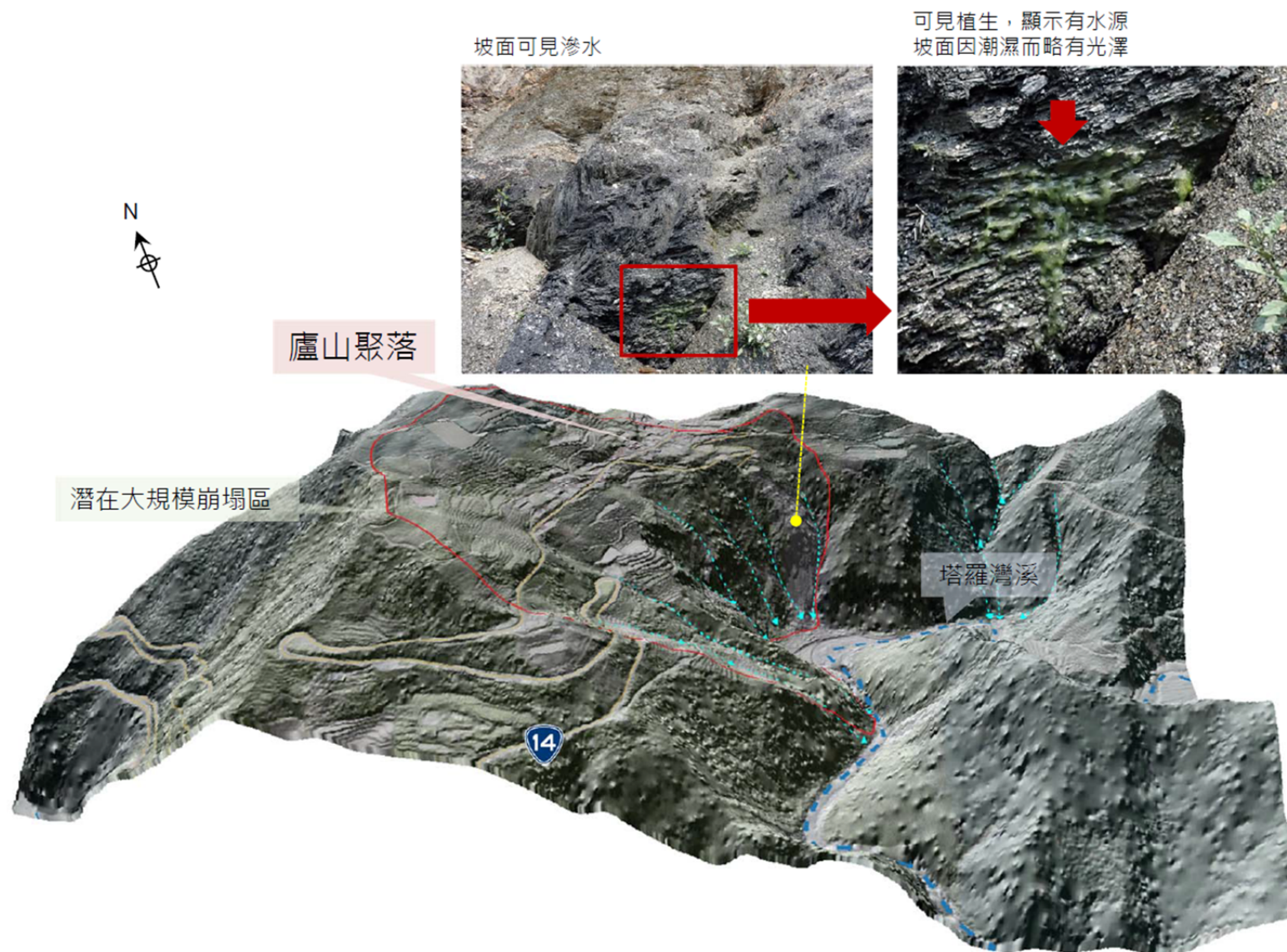


圖 3-4、廬山聚落立體地形圖。廬山聚落區域坡度呈上緩下陡
Fig. 3.4 Three-dimensional topographic map of Lushan settlement

3.1.3 區域地質

參考經濟部中央調查所五萬分之一臺灣地質圖幅，第 26 號霧社圖幅(羅偉與楊昭男，2002)，詳圖 3-5 所示，廬山聚落地區附近出露地層，由老至新分別有中新世之廬山層(Ls)、全新世之階地堆積層(t)。地質構造則有推測的橫移斷層，概述如後。

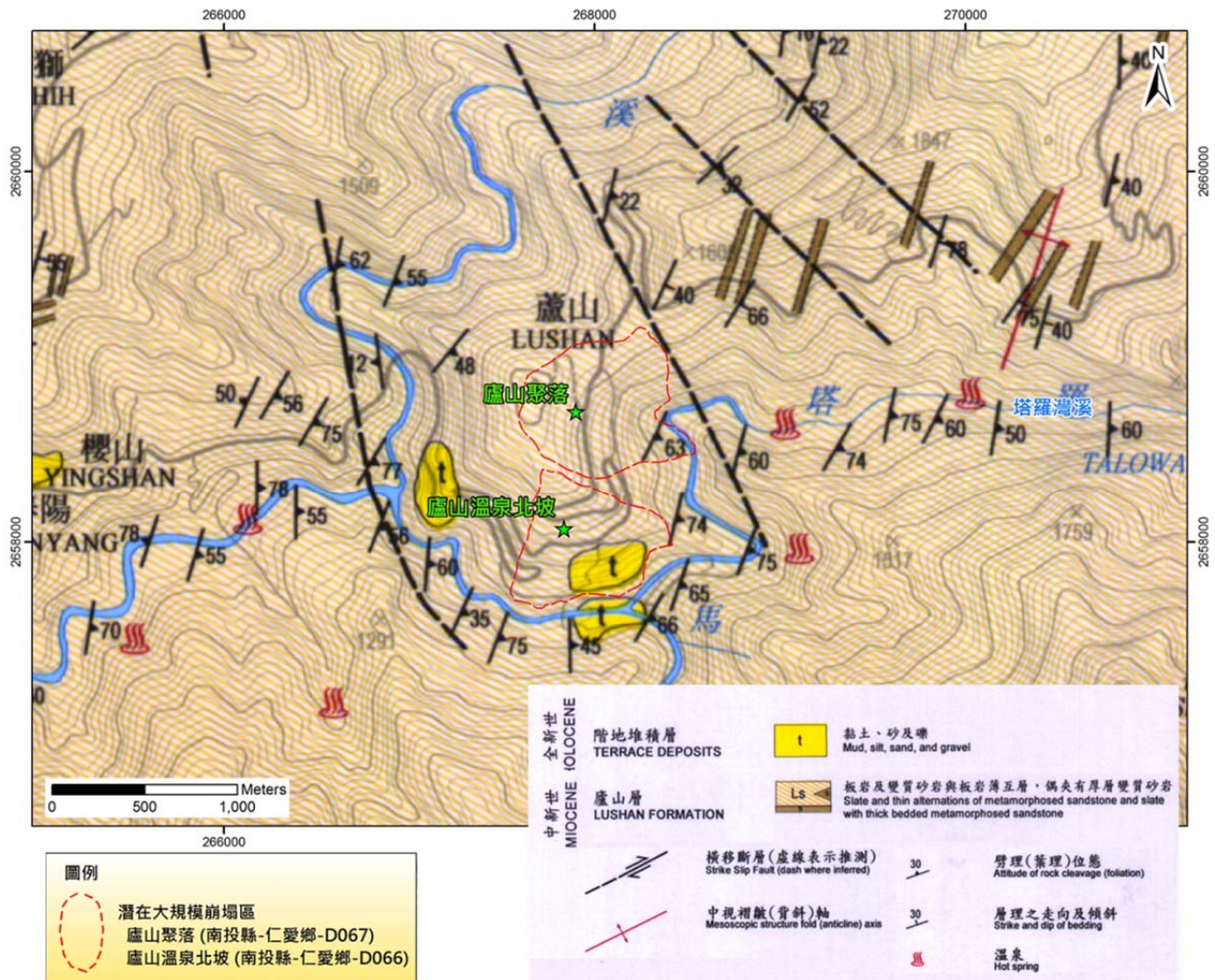


圖 3-5、廬山聚落區域地質圖

Fig. 3.5 Regional geologic map of Lushan settlement

(底圖來源：經濟部中央地質調查所-五萬分之一霧社地質圖幅，羅偉與楊昭男，2002)

一、地層

(一) 廬山層(Ls)：以塊狀粉砂質板岩為主，夾塊狀泥質粉砂岩、厚層混濁砂岩、薄層細砂岩(部分與板岩構成互層)，砂岩厚度由 30 公分至 10 公尺不等，板劈理發育不良，化石及沉積構造的保存亦較佳。

(二) 階地堆積層(t)：本圖幅地區之階地堆積層由未經膠結的礫石為主，間夾透鏡狀薄層砂岩，淘選度差。

二、構造：廬山聚落東側有一條推測的橫移斷層。

由區域地質圖可知，廬山聚落地區區域劈理大致呈東北-西南走向，傾角約 60 度。劈理大致朝東南傾斜，與區域邊坡坡向略為一致，屬於順向坡。

3.1.4 環境地質

一、環境地質圖

參考經濟部中央地質調查所(2008)二萬五千分之環境地質圖，廬山聚落地區位於順向坡上，如圖 3-6 所示。

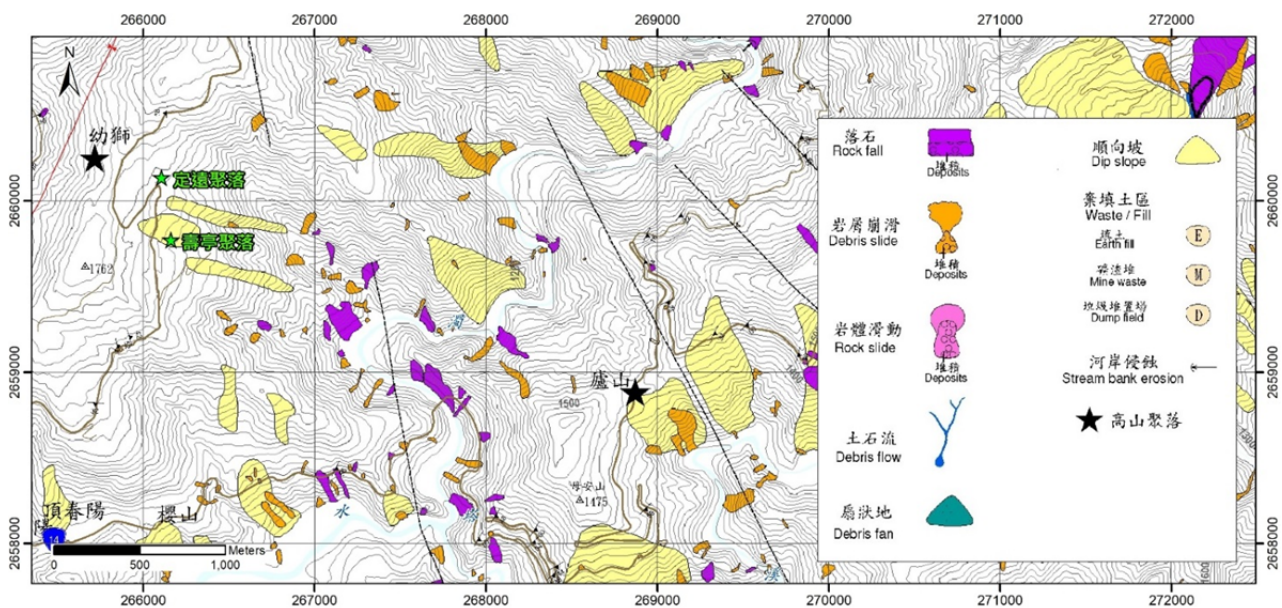


圖 3-6、廬山聚落環境地質圖

Fig. 3.6 Environmental geology map of Lushan settlement

(底圖來源：經濟部中央地質調查所，二萬五千分之一環境地質圖-廬山圖幅，2008)

二、地質災害潛勢圖

參考經濟部中央地質調查所(2008)二萬五千分之一地質災害潛勢圖，廬山聚落地區位於岩體滑動中潛勢區及岩屑崩滑中、高潛勢區，如圖 3-7 所示。

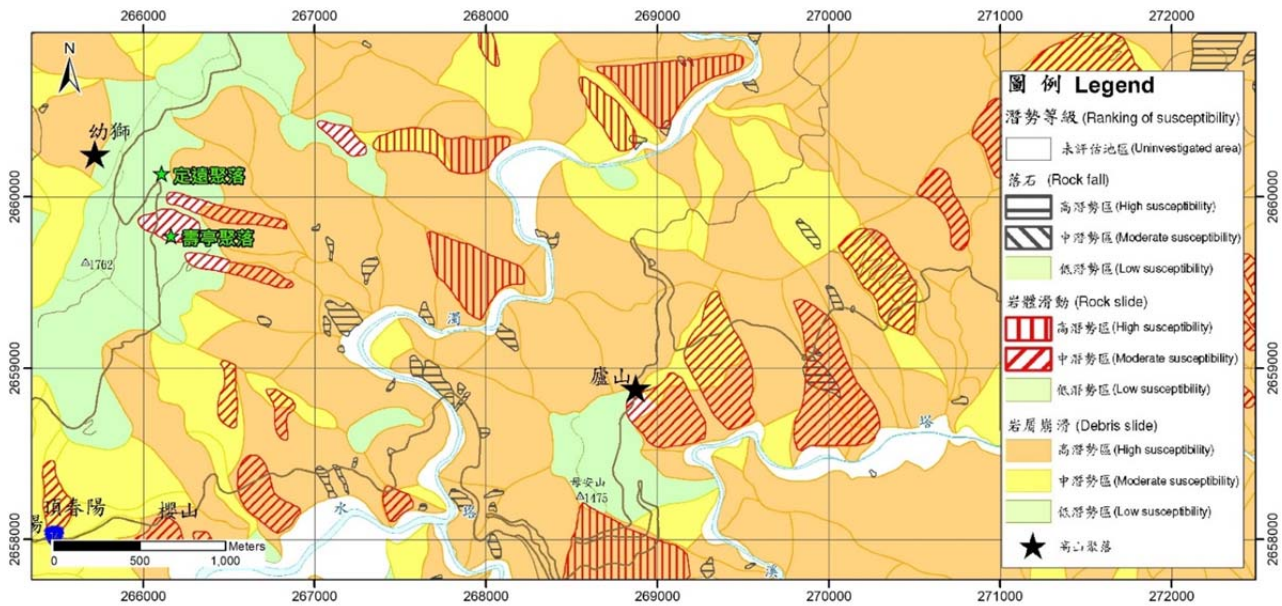


圖 3-7、廬山聚落地質災害潛勢圖

Fig. 3.7 Geology hazards potential map of Lushan settlement
(底圖來源：經濟部中央地質調查所，二萬五千分之一環境地質圖-廬山圖幅，2008)

3.1.5 災害歷史

由現場勘查結果，發現廬山聚落地區之地坪及附近擋土牆等結構物有開裂現象，詳圖 3-8 所示，顯示可能為邊坡活動表徵。此外，比對多期遙測影像發現，廬山聚落下邊坡近期有三次較為明顯的崩塌事件，包含 2008 年辛樂克颱風、2009 年莫拉克颱風及 2017 年 0601 豪雨事件，說明如下：

- 一、**2008 年辛樂克颱風**：廬山聚落下邊坡於 2008 年辛樂克颱風後，坡趾附近出現崩塌情形，詳圖 3-9b 所示。此外，崩塌範圍頭部並略見有裂縫，初步研判為邊坡下滑而產生的裂縫。
- 二、**2009 年莫拉克颱風後**：廬山聚落下邊坡崩塌範圍有向上擴大情形，詳圖 3-9c 所示。
- 三、**2017 年 0601 豪雨事件**：崩塌範圍已接近至廬山聚落，詳圖 3-9d 所示，顯示區域的潛在邊坡活動性。



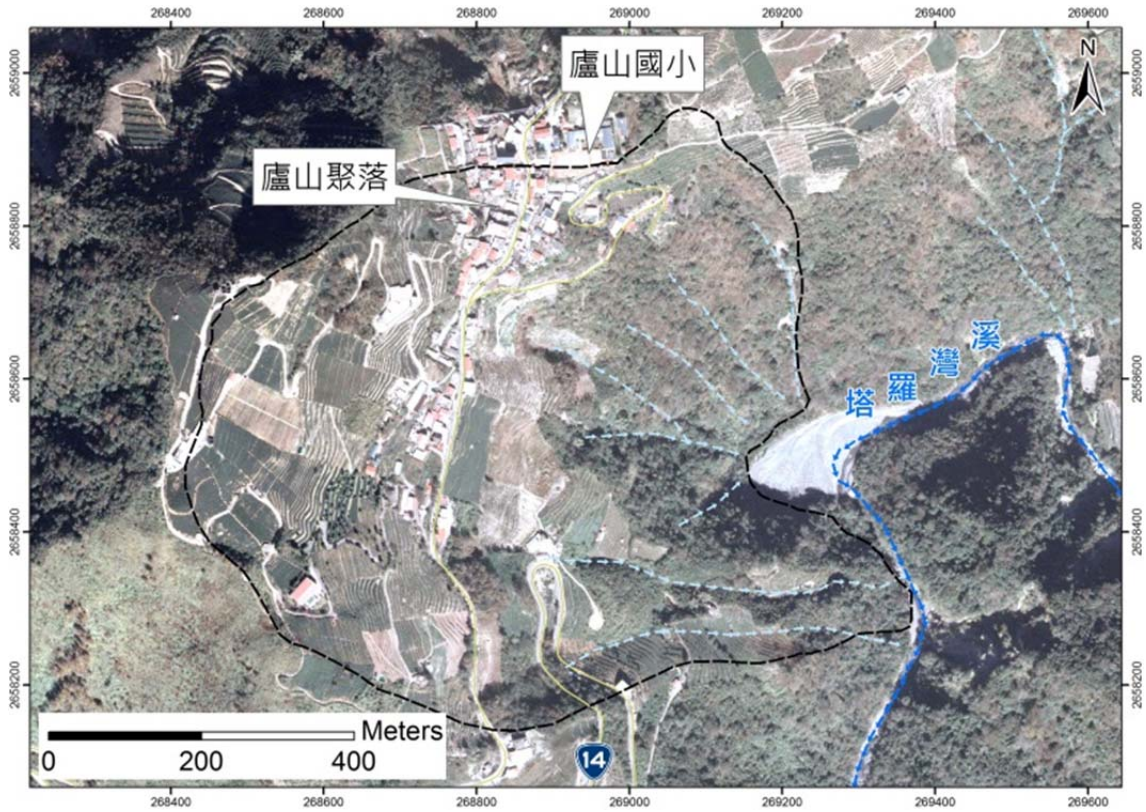
(a)廬山國小操場地坪開裂



(b)廬山國小擋土結構物開裂

圖 3-8、廬山聚落現況。可見地坪、結構物開裂，可能為邊坡活動表徵

Fig. 3.8 In-Situ situation of Lushan settlement



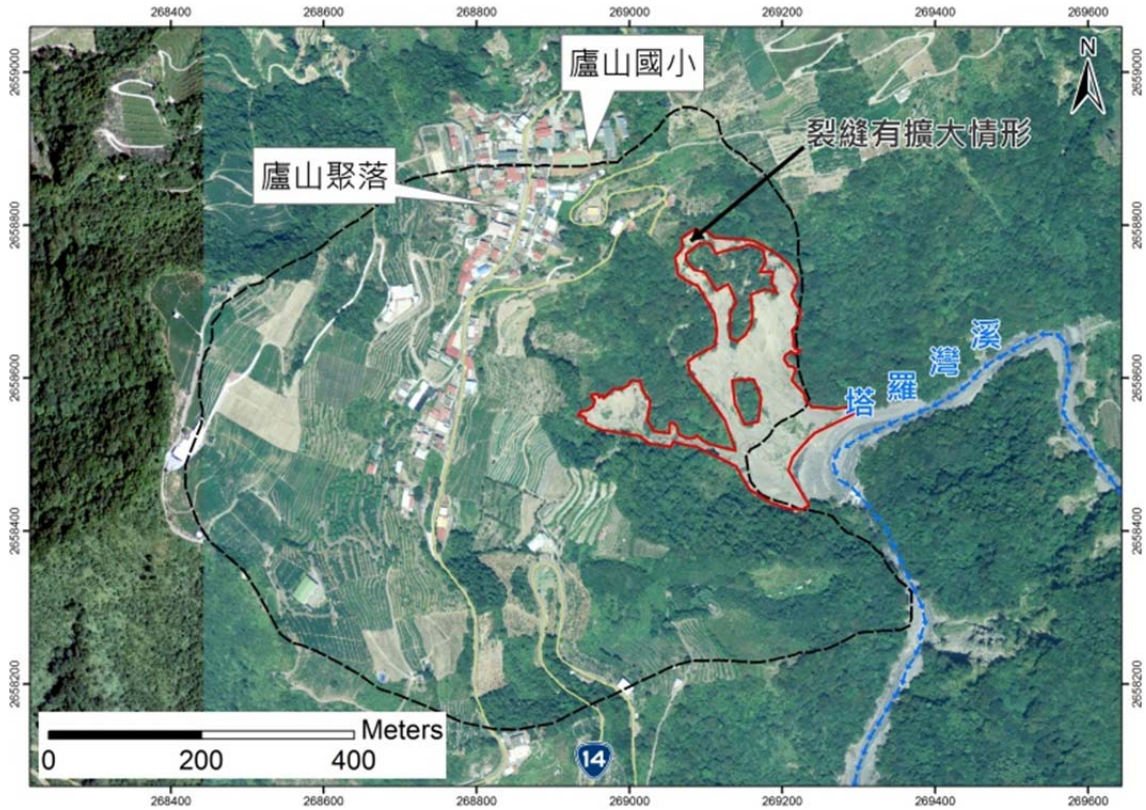
(a) 2007 年，廬山聚落下邊坡無明顯的崩塌裸露情形 (正射影像)



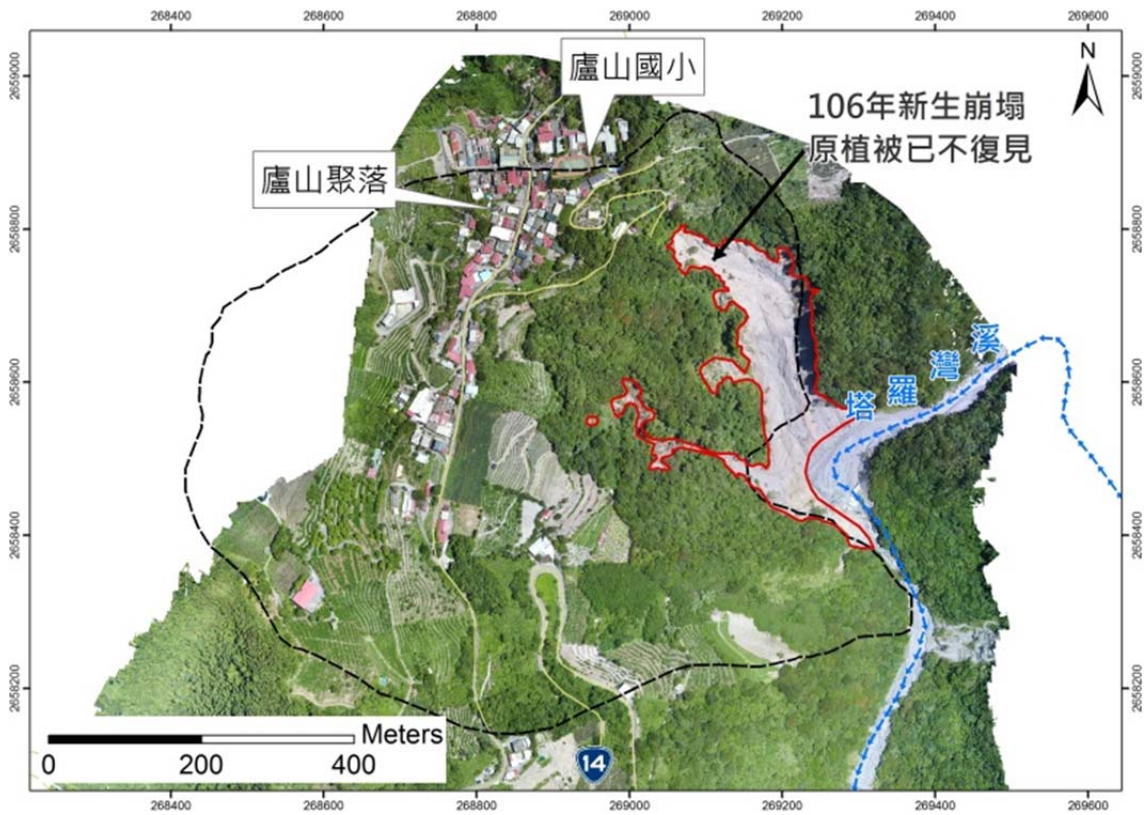
(b) 2008 年，辛樂克颱風後廬山聚落下邊坡出現崩塌裸露 (如紅色圈繪處) (SPOT 衛星影像)

圖 3-9、廬山聚落歷年影像

Fig. 3.9 Remote sensing image of the past years of Lushan settlement



(c) 2009 年，莫拉克颱風後廬山聚落下邊坡崩塌範圍向上擴大，裸露範圍增加 (如紅色圈繪處) (正射影像)



(d) 2017 年，0601 豪雨事件後廬山聚落下邊坡崩塌裸露範圍向上擴大，接近廬山聚落 (如紅色圈繪處) (UAS 正射影像)

圖 3-10、廬山聚落歷年影像(續)

Fig. 3.10 Remote sensing image of the past years of Lushan settlement (continued)

3.2 地表地質及環境地質調查

廬山聚落地區的地表地質調查，著重於出露露頭層面與坡面之關係。本地區地表地質調查路線，包括區域範圍內道路、廬山聚落下邊坡裸露坡面、趾部塔羅灣溪等。本計畫於鑽探作業完成後，除參考鑽取岩芯進行分層對比外，亦進行各式試驗，供地質圖繪製參考。彙整各式調查成果，繪製廬山聚落地質平面及剖面圖，分別如圖 3-12 及圖 3-13 所示。綜合地表地質調查與地質鑽探結果，廬山聚落地區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，說明如下：

一、**岩屑層**：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，如圖 3-11 所示。



圖 3-11、廬山聚落 LS-B2 岩芯照片(深度 1~4m)

Fig. 3.11 Drilling core at depth of 1~4m of No LS-B2 of Lushan settlement

二、**岩層**：岩屑層以下為岩層，岩性主要為黑色粉砂板岩，偶夾灰色砂岩，板劈理發達。露頭可見劈理面挫曲(Bukling)變形，如圖 3-14 所示。在廬山聚落下邊坡崩塌裸露地，可發現存有灰黑色剪裂帶，其劈理呈現波浪狀變形，如圖 3-15 所示。比對鄰近 LS-E2 岩芯，發現在地表下約 79m 處，具劈理急折的現象，如圖 3-17 所示。此外，廬山聚落區域附近露頭可見劈理傾向朝西傾斜之露頭，如圖 3-18 所示，與坡趾朝東傾斜之露頭相反，如圖 3-19 所示。綜合本計畫工作成果，廬山聚落地區岩層，由下至上可再細分為 A、B、C 三層，說明如下：

- (一) **A 岩層**：粉砂質板岩(SSL)，由岩芯判釋及地表地質調查所觀察之露頭判斷，如 LS-B8 岩芯。
- (二) **B 岩層**：粉砂質板岩間夾砂岩(SSL-SS)，由表地質調查所觀察之露頭判斷。
- (三) **C 岩層**：板岩間夾砂岩(SL-SS)，由地表地質調查所觀察之露頭判斷，如圖 3-21 所示。

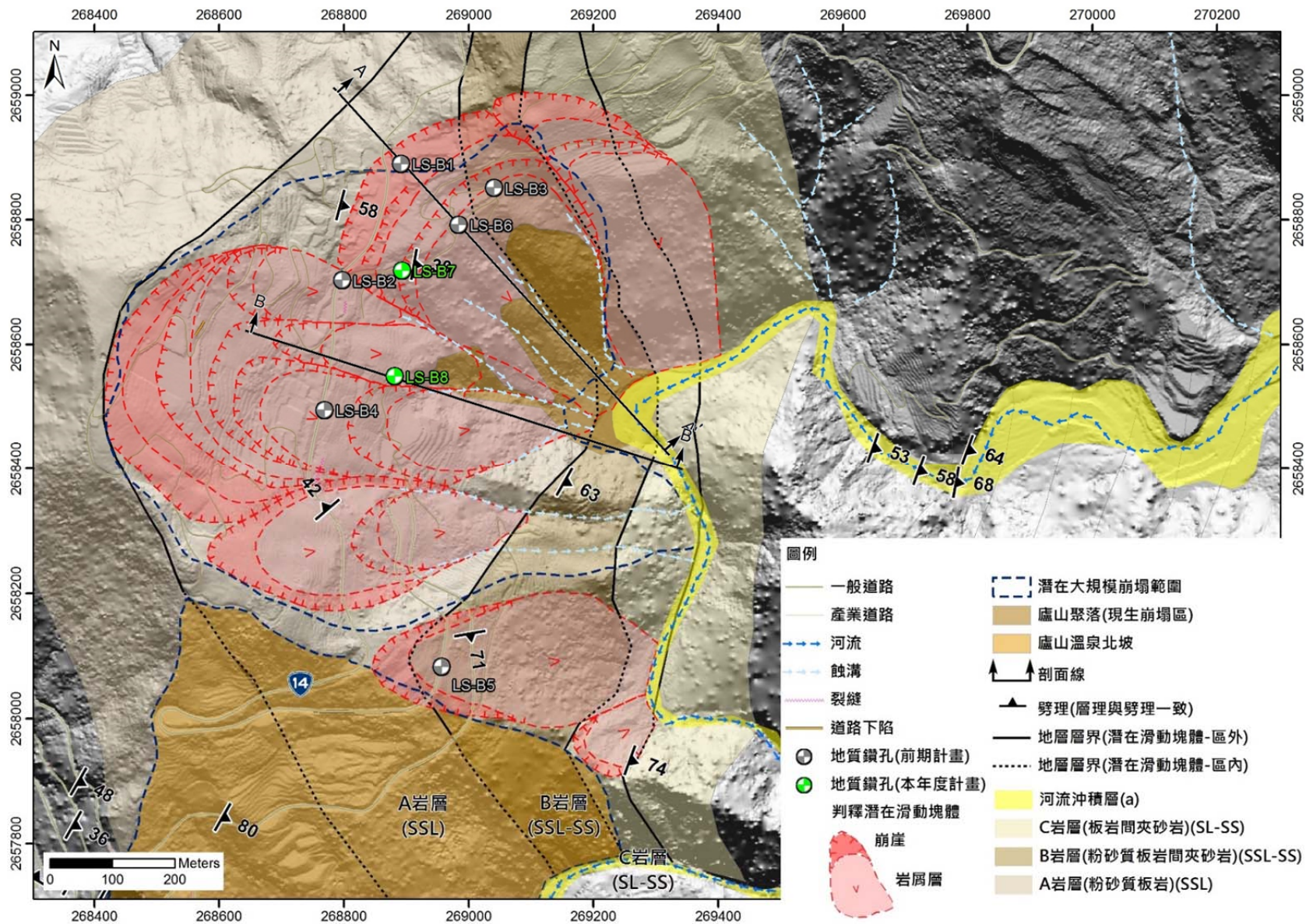


圖 3-12、廬山聚落地質平面圖

Fig. 3.12 The geological planimetric map of Lushan settlement

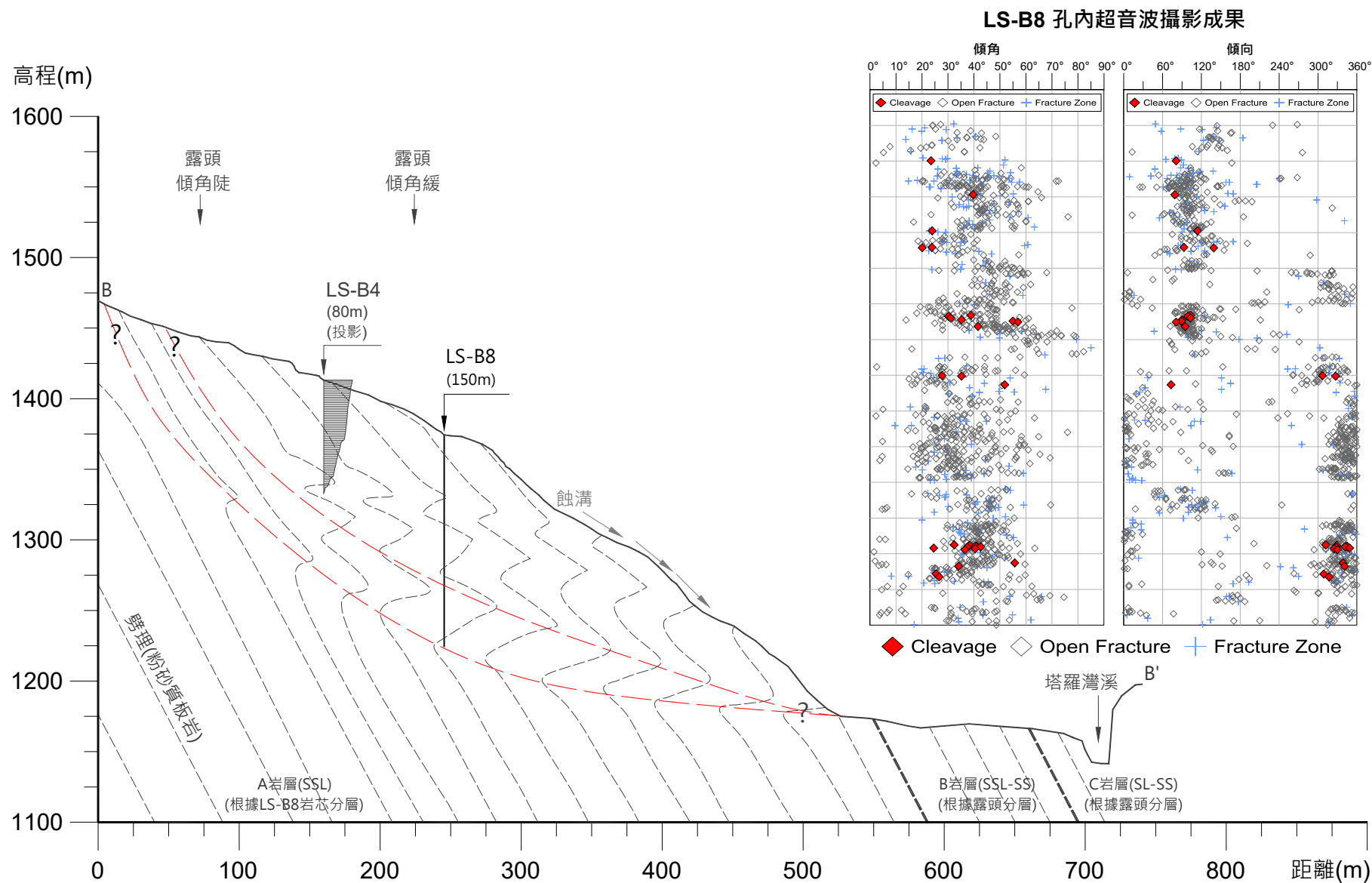


圖 3-13、廬山聚落地質剖面圖(BB'剖面，剖面位置如圖 3-12 所示)

Fig. 3.13 The geological section map of Lushan settlement.



圖 3-14、廬山聚落下邊坡裸坡區，可見劈理面產生挫曲(Buckling)變形
Fig. 3.14 The cleavage plane deformed with buckling characteristics at the lower uncovered slope area of Lushan settlement



圖 3-15、廬山聚落下邊坡裸坡區，可見灰黑色剪裂帶出露，劈理面呈波浪般的變形
Fig. 3.15 Gray-black shear zone outcrops and the cleavage plane deforms like wave at the lower uncovered slope area of Lushan settlement



圖 3-16、廬山聚落附近露頭。劈理呈急折變形

Fig. 3.16 The cleavage shows sharply deformation at Lushan settlement

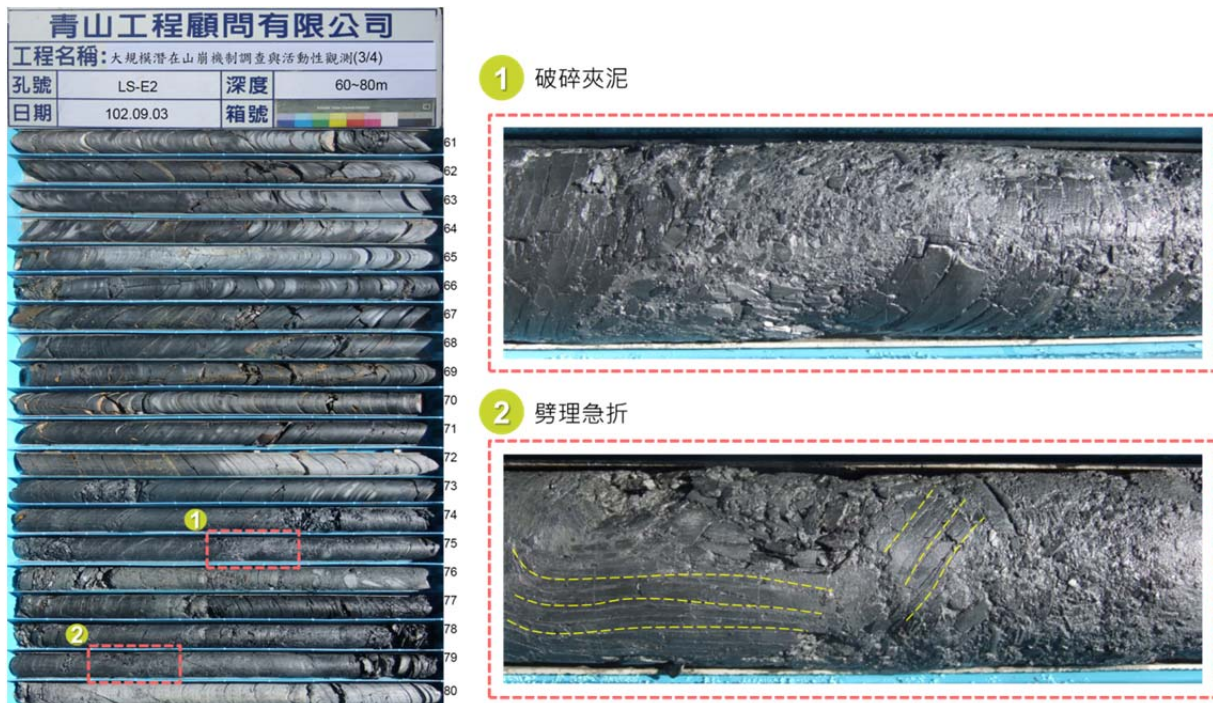


圖 3-17、廬山聚落前期地質鑽探成果。岩芯可見破碎夾泥及劈理急折(LS-E2 孔)

Fig. 3.17 Drilling core of Lushan settlement in previous plan, broken slate is mixed with clay and cleavage deformed sharply



圖 3-18、廬山聚落附近露頭。劈理朝西傾斜，與坡趾朝東傾斜之劈理傾向相反
Fig. 3.18 Cleavage outcrop at Lushan settlement toward west to incline, which is opposite to cleavage east to incline at the toe of slope



圖 3-19、廬山聚落坡趾露頭。位於塔羅灣溪附近，劈理大致傾東傾斜
Fig. 3.19 Outcrop at the toe of slope of Lushan settlement close to Talowan river, the cleavage is approximately toward east to incline



圖 3-20、廬山聚落坡趾露頭。主要為粉砂質板岩間夾砂岩

Fig. 3.20 Outcrop at the toe of slope of Lushan settlement close to Talowan river.
The material mainly consisted of silt sandy slate mixed with sandstone



圖 3-21、廬山聚落坡趾露頭。位於塔羅灣溪附近，岩性主要為板岩間夾砂岩

Fig. 3.21 Outcrop at the toe of slope of Lushan settlement close to Talowan river.
The material mainly consisted of slate mixed with sandstone

3.3 新增地質鑽探調查

前期調查對於廬山聚落的潛在山崩機制及活動性已有初步瞭解，但仍有部分待進一步釐清之處。因此，本年度(2019年)計畫規劃於廬山聚落進行新增地質鑽探，同時配合各式孔內探測技術，並進行測傾管觀測及地下水位量測，以提昇對於廬山聚落潛在山崩機制之瞭解。說明地質鑽探構想及成果如後。

表 3-1、廬山聚落新增地質鑽探及孔內試驗探測數量

Table 3.1 Arrangement of adding new geological drilling boreholes and borehole tests of Lushan settlement

編號	孔深 (m)	安裝儀器	本年度計畫孔內試驗探測規劃			
			自然伽瑪射線	電井測	孔內攝影	孔內波速
LS-B7	130	測傾管	V	V	V	V
LS-B8	150	兼水位井	V	V	V	V

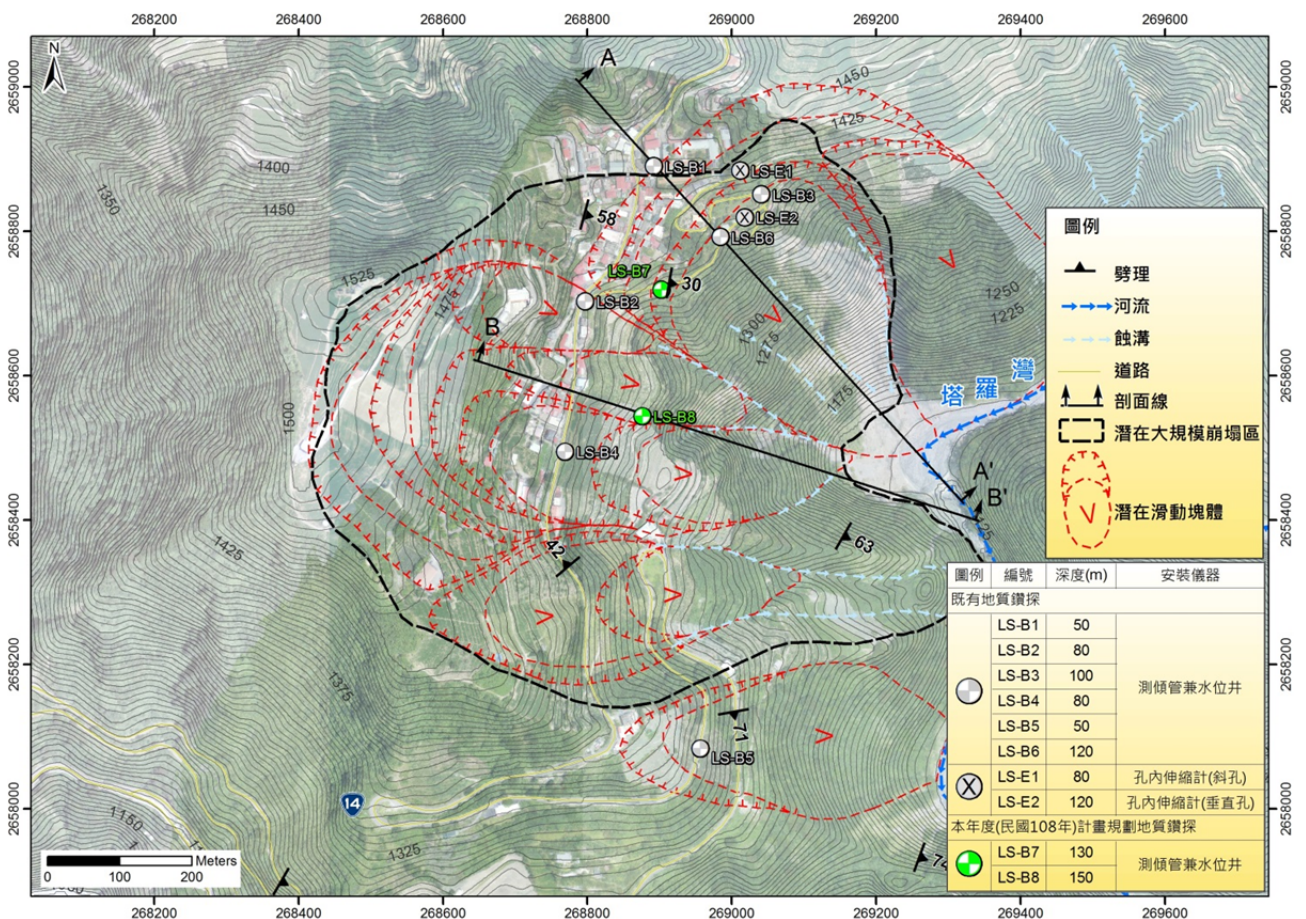


圖 3-22、廬山聚落新增地質鑽探平面位置圖

Fig. 3.22 Plane map of adding new geologic drilling borehole of Lushan settlement

一、地質鑽探構想

(一) 坡體變形(急折帶)有多深?本計畫增加較深的地質鑽探，調查邊坡可能最深變形深度：前期觀測成果顯示，區域內最深的 LS-B6 測傾管(120 m)於孔底即有變形現象(詳 3.7 節)，顯示邊坡變形深度可能更深。因此，本年度(2019 年)計畫規劃兩孔較深的地質鑽探，LS-B7 及 LS-B8，孔深分別為 130 m 及 150 m，配合裝設測傾管進行觀測，以調查邊坡可能最深變形深度。同時採用孔內試驗探測技術，回饋地質模式建立，輔以確認板岩變形模式。繪製廬山聚落新增地鑽探剖面示意圖，如圖 3-23 所示。

(二) 擴大調查範圍。前期地質鑽探集中於頭部，本計畫調查擴展至坡腹。提昇區域的調查精度，掌握剪裂帶分佈：除規劃較深的地質鑽探外，本年度計畫同時希望提升面的調查精度。前期地質鑽探多集中於頭部，對於目前廬山聚落下邊坡 2017 年崩塌裸露出露灰黑色剪裂帶分佈，尚無法充分掌握。本年度將調查擴展至坡腹，以掌握廬山聚落下邊坡剪裂帶可能分佈範圍，提供分析區域潛在山崩機制參考。

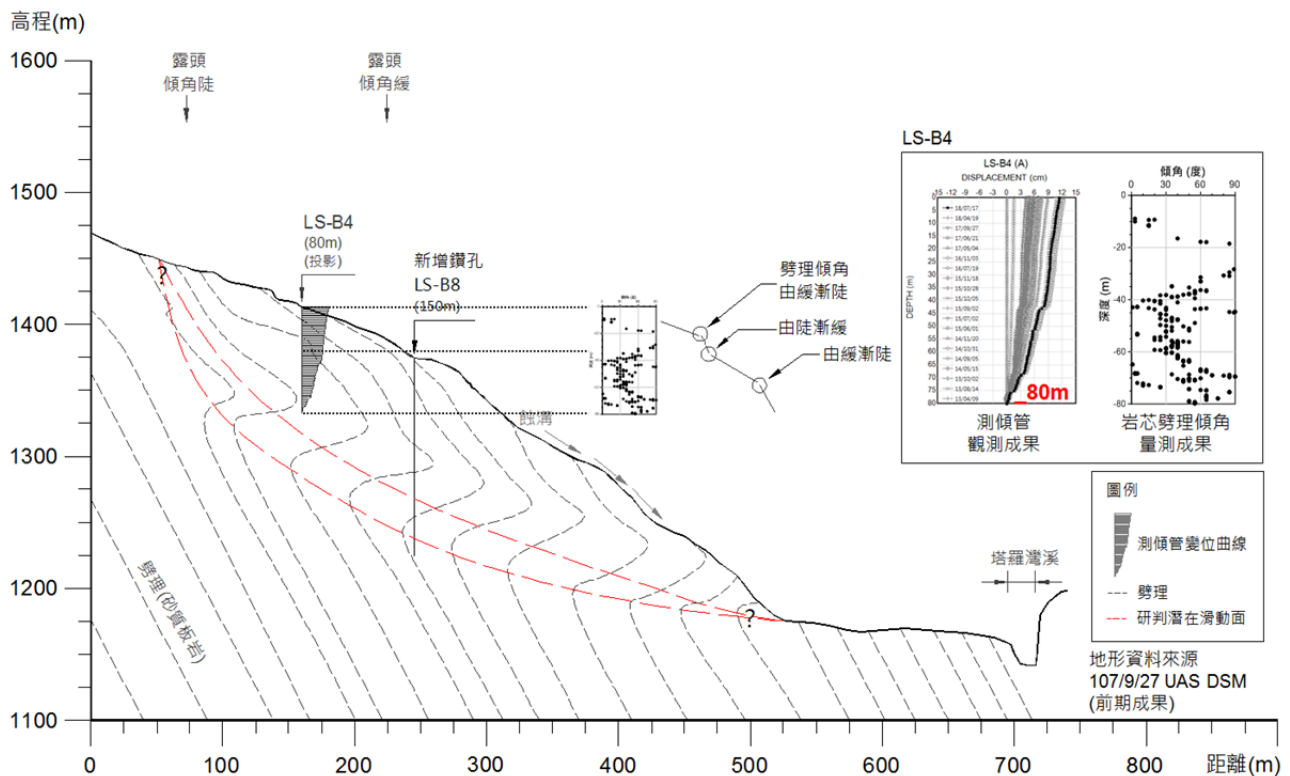


圖 3-23、廬山聚落新增地質鑽探剖面示意圖(B-B' 剖面，位置如圖 3-22 所示)
Fig. 3.23 Illustration profile of adding new geologic drilling borehole of Lushan settlement (B-B' cross section, the location is shown as Fig. 3.22)

二、地質鑽探進度

本年度計畫於 2019 年 7 月 16 日與承辦科進行工作會議，討論地質鑽探規劃。並於 7 月 24 日與承辦科至廬山聚落進行現勘，確認地質鑽探位置。用地協調完成後，採 2 孔併行施作方式執行，於 7 月 29 日~8 月 5 日陸續開鑽，至 9 月 26 日結束，每日平均鑽探進尺約 3~4 m，共歷經 54 天，合計 280 m，如表 3-2 所示。

鑽探完成之鑽孔均安裝測傾管，鑽探完成取得岩芯，並送至經濟部中央地質調查所位於臺南的岩芯倉庫，加以妥善保存，如圖 3-24 所示。說明地質鑽探成果如後。

表 3-2、廬山聚落新增地質鑽探進度表(至 2019 年 8 月 27 日)

Table 3.2 Progress of adding new geologic drilling borehole (until 27, August, 2019)

鑽孔編號	深度(m)	開鑽日期(2019 年)	完成日期(2019 年)	平均鑽探進尺深度(m/天)
LS-B7	130	08/05	09/16	4
LS-B8	150	07/29	09/26	3







鑽孔編號	鑽探作業前	鑽探作業中	鑽探作業完成 裝設測傾管	岩芯入庫
LS-B7				
LS-B8				

圖 3-24、鑽探過程照片

Fig. 3.24 Geologic drilling borehole in progress

三、地質鑽探成果

本年度計畫於廬山聚落調查區，完成兩孔 LS-B7 及 LS-B8 地質鑽探，孔深 130 m 及 150 m，合計 280 m。地質鑽探所鑽取得之岩芯，均有拍攝彩色照片及進行判釋。岩芯照片請參閱附錄三-1，岩芯描述分別如表 3-3 及表 3-4 所示。利用經濟部中央地質調查所「工程地質探勘資料庫系統 GEO2010」完成的岩芯柱狀圖，請參閱附錄三-2。由地質鑽探鑽取之岩芯成果，由上而下大致可分為岩屑層及岩層，詳情如下：

- (一) **岩屑層(Regolith)**：層厚約 0~21.5 m，由土壤、岩屑與大小不等之岩塊所組成。顆粒支持為主，主要成分為灰黑色板岩、黃褐色至深褐色基質材料與岩屑組成。顆粒粒徑約 0~30 cm 不等，岩塊最大粒徑約 20~30 cm。
- (二) **岩層**：岩屑層以下為岩層，LS-B7 及 LS-B8 之岩層，其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。

LS-B7 及 LS-B8 等兩孔岩芯，其劈理傾角普遍約 0~20 度，但局部深度有出現高角度劈理，顯示板岩可能有變形現象，符合本計畫預期目的，如圖 3-25 及圖 3-26 所示。此外，局部剪裂帶夾泥，顯示區域地質條件較差，如圖 3-26 所示。同樣有許多局部高度破碎之區域也顯示地質條件較差，如圖 3-27 所示。另有出現局部高角度裂隙，如圖 3-28 所示。

本計畫針對 LS-B7 及 LS-B8 進行岩體品質指標(RQD)之評估，本計畫依照 RQD 之定義每 1 m 評估一次岩體之完整度，評估結果如圖 3-29 所示。由 RQD 評分結果顯示 LS-B7 及 LS-B8 之岩芯 RQD 多為 0%，顯示呈高度破碎。僅局部有較完整之岩體，RQD 約為 40%~60%，如 LS-B7 地下深度約 111~112 m 及 LS-B8 地下深度約 24 m 和 29 m 有相對較完整的岩體。

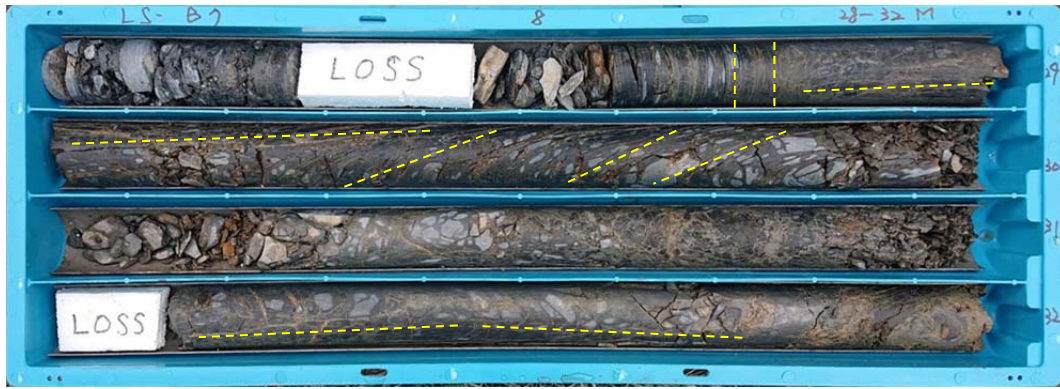


圖 3-25、LS-B7 岩芯照片。可見劈理傾角變化大

Fig. 3.25 Drill cores of No LS-B7, shows the difference of cleavage inclination angles

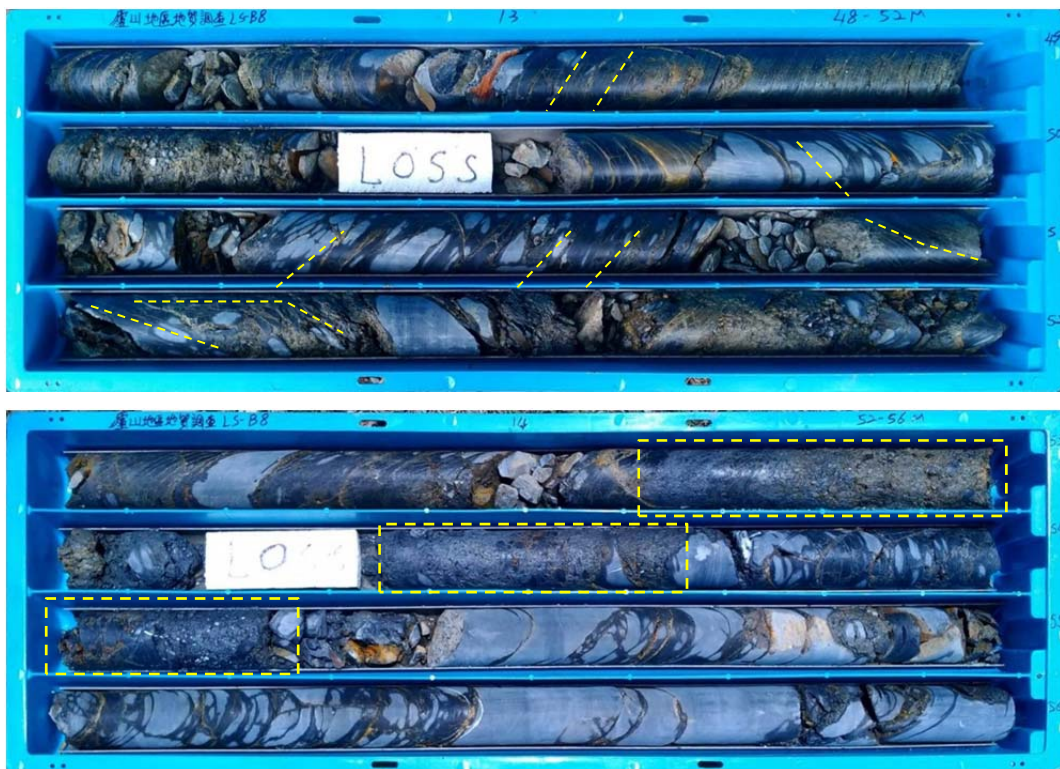


圖 3-26、LS-B8 岩芯照片。可見劈理傾角變化大。岩芯破碎夾泥

Fig. 3.26 Drill cores of No LS-B8, shows the difference of cleavage inclination angles and broken rock mixed with clayey materials

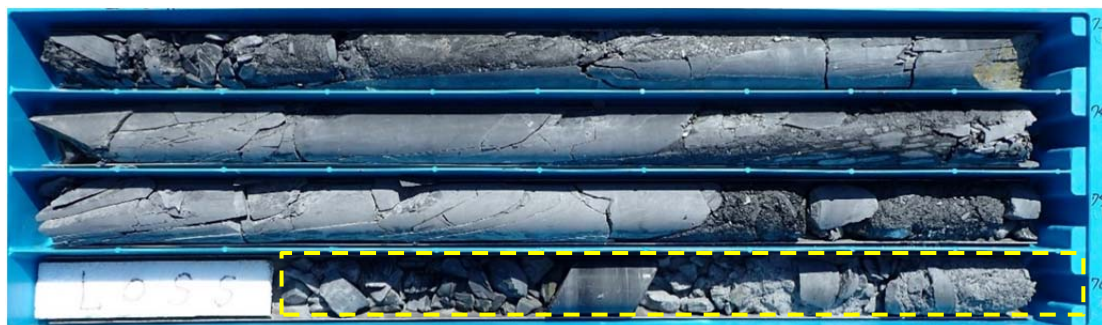


圖 3-27、LS-B7 岩芯照片。可見高度破碎

Fig. 3.27 Drill cores of No LS-B7, shows the highly broken rock.

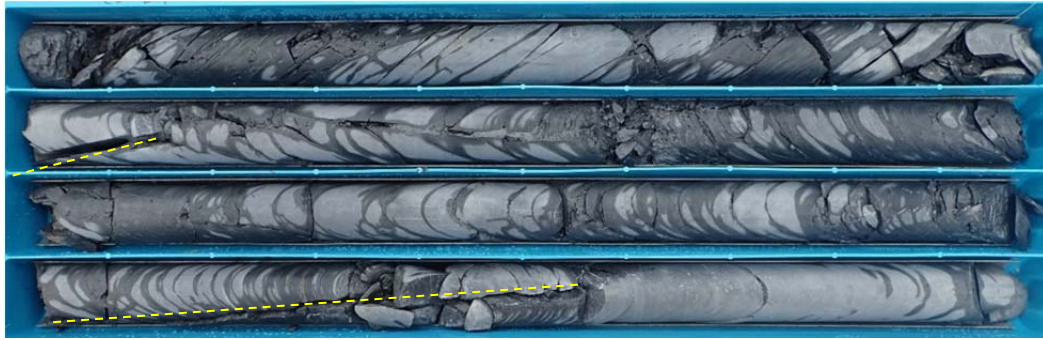


圖 3-28、LS-B7 岩芯照片。可見高角度裂隙
Fig. 3.28 Drill cores of No LS-B7, shows high-angle crack

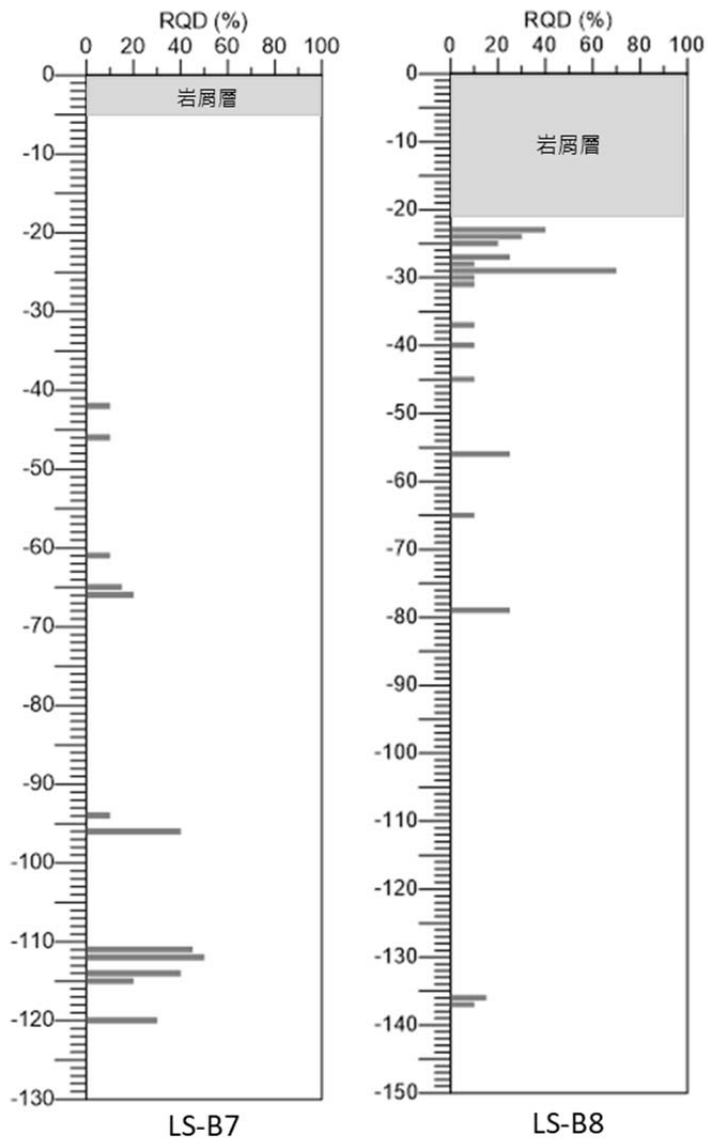


圖 3-29、LS-B7 及 LS-B8 岩芯之 RQD 柱狀圖
Fig. 3.29 The RQD log of drill cores of No LS-B7 and LS-B8

表 3-3、廬山聚落 LS-B7 地質鑽探岩芯描述

Table 3.3 The description of drill core of No. LS-B7

範圍深度	描述說明
0~3.3 m	岩屑層，由灰色板岩岩塊、黃褐色至深褐色基質材料與岩屑組成，岩塊最大粒徑約 20 cm。
3.3~23.4 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理發達，劈理傾角約 0~10 度。部分岩體呈輕度風化。裂隙為黃棕色基質材料填充。 高度破碎：3.3~3.6 m、5.3~5.5 m。 鏽染：10.6 m、10.8 m、23.5 m。
23.4~45.5 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 0~20 度。裂隙為黃棕色基質材料填充。 風化、破碎：24~32 m。 高角度劈理：29~32 m，約 70~80 度。 鏽染：41.28 m。
45.5~47 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 0~20 度。裂隙為黃棕色基質材料填充。 高度破碎：45~45.3 m。 石英脈填充：45.8 m。 鏽染：46.8 m。
47~64.2 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理發達，劈理傾角約 0~20 度，劈理傾角緩。 高度破碎：48~48.4 m、49.9~50.6 m、51~51.3 m、52.4~52.6 m、64~64.5 m。 高角度裂隙：54.3~54.7 m、55.2~55.3 m、55.8~56 m。 石英脈填充：47~47.8 m、48~48.7 m、49.3 m、49.9 m。 剪裂帶夾泥：53.2~53.25 m、49.4~49.7 m、51.9~52 m。 鏽染：47.9 m、48.9 m。
64.2~84.2 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 0~20 度。 高度破碎：68~70 m、74.3~74.6 m、76~76.4 m、82.3~82.6 m、83~83.8 m。 高角度裂隙：70~70.5 m。 剪裂帶夾泥：69.7~69.8 m、70.5~70.6 m、83.2~84 m。
84.2~92.8 m	灰黑色粉砂質板岩，裂隙為黑灰色泥質材料填充，劈理傾角約 0~40 度。 高度破碎：84~84.3 m、85.2~85.6 m、86.2~87.2 m、89.5~89.6 m、90~90.4 m。 石英脈填充：84~85.6 m、86.5~87 m。 剪裂帶夾泥：85.6~86 m、86.6~86.7 m、87~88 m、88.8~89.1 m、89.4~89.7 m、92.2~92.7 m。
92.8~109.6 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 40~50 度。 高度破碎：102.3~103.1 m。 高角度裂隙：98.4~98.9 m、99.4~99.6 m、103.7~104.5 m、109.4~109.9 m。 剪裂帶夾泥：98.6~98.7 m、103.4~103.7 m、104.8~106.2 m、106.7~107 m。
109.6~116.1 m	灰黑色粉砂質板岩，岩體呈完整至輕度破碎，劈理傾角約 20~40 度。 高角度裂隙：113~113.3 m、113.5~113.8 m、114.6~114.8 m。
116.1~130 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 0~40 度。部分深度(126.4~127 m、129.5~129.7 m)，劈理傾角約 70~80 度。 高度破碎：122.3~122.4 m。 高角度裂隙：117~117.6 m、119.1~119.6 m、126.4~127 m。 剪裂帶夾泥：117.2~117.7 m、122.4~123.2 m、125~125.7 m、128.6~130 m。

表 3-4、廬山聚落 LS-B8 地質鑽探岩芯描述

Table 3.4 The description of drill core of No. LS-B8.

範圍深度	描述說明
0~21.5 m	岩屑層，由灰色板岩岩塊、黃褐色至深褐色基質材料與岩屑組成，岩塊粒徑大小約 0~30 cm，岩塊最大粒徑約 30 cm。板岩岩塊劈理角度緩，約 0~20 度。於 0~9 m 岩塊比例較少，約 0~30%。於 9~21 m 岩塊比例較多，約 20~60%。部分岩塊可見鏽染情形。
21.5~39.3 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 20~45 度。裂隙為黃棕色基質材料填充。
39.3~49 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 0~20 度。裂隙為黃棕色基質材料填充。 中至高度風化：46.4~48 m。 高角度裂隙：45~45.15 m，約 70~80 度。 鏽染：48.45 m。
49~74.6 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理傾角約 0~30 度，部分深度(50.8~51 m、51.1~51.3 m)劈理傾角約 70~80 度。 岩體風化夾泥：49~52 m、57~58 m、60.4~61 m。 高角度裂隙：64~64.35 m、65~65.2 m、65.6~66 m，約 70~80 度。 石英脈填充：53.7 m、55.4 m 剪裂帶夾泥：52.6~53 m、53.35~53.5 m、68.7~69 m、71~72.7 m、73.7~74 m。 鏽染：54.3 m。
74.6~88.8 m	灰黑色粉砂質板岩，岩體呈中至重度破碎，劈理角度約 0~30 度。 高度破碎：75~76.7 m、77.8~78.2 m、84~84.2 m 高角度裂隙：74~74.6 m、79.2~79.3 m。 剪裂帶夾泥：74.6~77.5 m、80.1~80.4 m、82.6~82.8 m、83~84.3 m、84.5~86.2 m。
88.8~126.3 m	灰黑色粉砂質板岩，裂隙為灰黑色泥質材料填充，劈理角度約 0~20 度。 高度破碎：89.5~90.5 m、92.3~92.5 m、100.6~100.8 m、101.6~101.7 m、101.9~102.4 m、104.3~104.6 m、106.2~106.6 m、115.3~115.7 m、123.5~123.8 m、124.4~124.7 m。 高角度裂隙：92.3~92.4 m、96~96.5 m、102.7~103 m。 剪裂帶夾泥：90~90.5 m、92.9~93.6 m、100~100.6 m、101~101.9 m、103.5~103.7 m、109~112.2 m、113.2~114.2 m、114.5~115 m、117.2~117.5 m、118.2~118.7 m、119.1~119.4 m、120.6~121 m、125.2~125.6 m。
126.3~144 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理角度約 30~50 度，部分深度(140~141.3 m)，劈理角度約 80~90 度。 高度破碎：134.9~135.3 m、137.3~137.6 m、143.4~143.4 m。 高角度裂隙：129.6~129.8 m、138.3~138.6 m。 剪裂帶夾泥：130.1~130.6 m、131.3~131.6 m、133~133.3 m。
144~150 m	灰黑色粉砂質板岩，劈理角度約 0~20 度。 高度破碎：144~144.4 m、146~146.1 m、147.4~147.6 m。 高角度裂隙：149.4~149.6 m。 剪裂帶夾泥：144.4~145.3 m、147~148.6 m、148.7~150 m。

四、鑽探當日下工及翌日上工地下水

為能更加瞭解廬山聚落地區的地下水分布特性，本計畫在 LS-B7 及 LS-B8 地質鑽探之施鑽過程中，除記錄每日進尺外，並一併詳細記錄當日下工及翌日上工地下水位，除瞭解地下水分布外，若水位有明顯升降，亦可作為研判「暫棲含水層」、「半透水層」或「漏水層」參考，有利後續分析，相關定義如表 3-5 所示。

表 3-5、由鑽探過程當日下工水位及翌日上工水位，定義「暫棲含水層」、「半透水層」或「漏水層」

Table 3.5 Defined “prenched aquifer”, “aquitard”, or “permeable layer” on the basis of the water level variation between two days.

分類		鑽孔內地下水位變化			說明
		地下水位	當日下工水位	翌日上工水位	
暫棲含水層	有水層	有	上升	上升或無明顯變化	深度範圍岩層，有地下水流入，可能有受壓水層或棲止水。如圖 A、B、C、D 所示。
半透水層	部分漏水層	有	下降或無明顯變化	下降(幅度小) <50%	深度範圍岩層，地下水之流入量<地下水之流出量，翌日上工水位小幅度下降<50%。如圖 E 所示。
	漏水層	有	下降或無明顯變化	下降(幅度大) >50%或無水	深度範圍岩層，地下水之流入量<地下水之流出量，翌日上工水位大幅度下降>50%。如圖 F、G 所示。
透水層	完全漏水層	無(全透水)	無水	無水	深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。如圖 H 所示。

鑽孔內地下水位變化示意圖及說明							
暫棲含水層				部分漏水層	漏水層		完全漏水層
A	B	C	D	E	F	G	H
第 2 日之當日下工水位較第 1 日之翌日上工水位高，而第 2 日之翌日上工水位雖下降，但仍高於第一日翌日上工水位。	翌日上工水位較當日下工水位上升。	當日下工水位較翌日上工水位高，而翌日上工水位無明顯變化。	當日下工水位與翌日上工水位無明顯變化。	翌日上工水位較當日下工水位小幅度下降(下降幅度 <50%)。	第 2 日當日下工水位較第 1 日下工水位下降者；第 2 日翌日上工水位較第 2 日下工水位仍大幅度下降(下降幅度 >50%)。	當日下工水位高於翌日上工水位，翌日上工無地下水。	當日下工及翌日上工均無地下水。
							

備註：

- 參考改繪於“地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究 共同研究報告書 表解 2-2 孔内水位変化による判定と汲み上げを併用した判定の対比”
- 水位下降幅度係指(翌日上工水位-當日下工水位)和(當日下工水位-當日鑽探進尺深度)之比例。

彙整廬山聚落地區 LS-B7 及 LS-B8 鑽孔之鑽探過程及當日下工及翌日上工地下水水位紀錄，如圖 3-30 及圖 3-31 所示，說明如下：

(一) LS-B7(130 m)：可以分層 3 層

1. 透水層-完全漏水層：鑽探進尺 0~45 m，其當日下工及翌日上工均無量測到水位，研判為透水層-完全漏水層。
2. 暫棲含水層-有水層(1)：鑽探進尺 45~89 m，其翌日上工水位約地表下 40.6~33.7 m，隨鑽探進尺增加，翌日上工水位有逐漸上升現象，研判為暫棲含水層-有水層(1)。
3. 暫棲含水層-有水層(2)：鑽探進尺 89~130 m，其翌日上工水位約地表下 23.3~19.4 m，相較於有水層(1)之翌日上工水位，有明顯上升現象，上升幅度約 10 m，並隨鑽探進尺增加，翌日上工水位有逐漸上升現象，研判為暫棲含水層-有水層(2)。

(二) LS-B8(150 m)：可以分層 3 層

1. 透水層-完全漏水層：鑽探進尺 0~35 m，其當日下工及翌日上工均無量測到水位，研判為透水層-完全漏水層。
2. 半透水層-部分漏水層(1)：鑽探進尺 35~116 m，其翌日上工水位約地表下 37.3~25.6 m，隨鑽探進尺增加，翌日上工水位變化不大，惟部分深度範圍，有下降情形，下降幅度約 6~10 m 不等，顯示有部分漏水情形，故依翌日上工水位變化特性，綜合研判半透水層-部分漏水層(1)。
3. 半透水層-部分漏水層(2)：鑽探進尺 116~150 m，其翌日上工水位約地表下 23.9~17.2 m，相較於半透水層-部分漏水層(2)之翌日上工水位，有上升現象，上升幅度約 3.2 m。隨鑽探進尺增加，翌日上工水位，有逐漸增加情形，惟部分深度範圍，有下降情形，下降幅度約 2~4 m 不等，顯示有部分漏水情形，故依翌日上工水位變化特性，綜合研判半透水層-部分漏水層(1)。

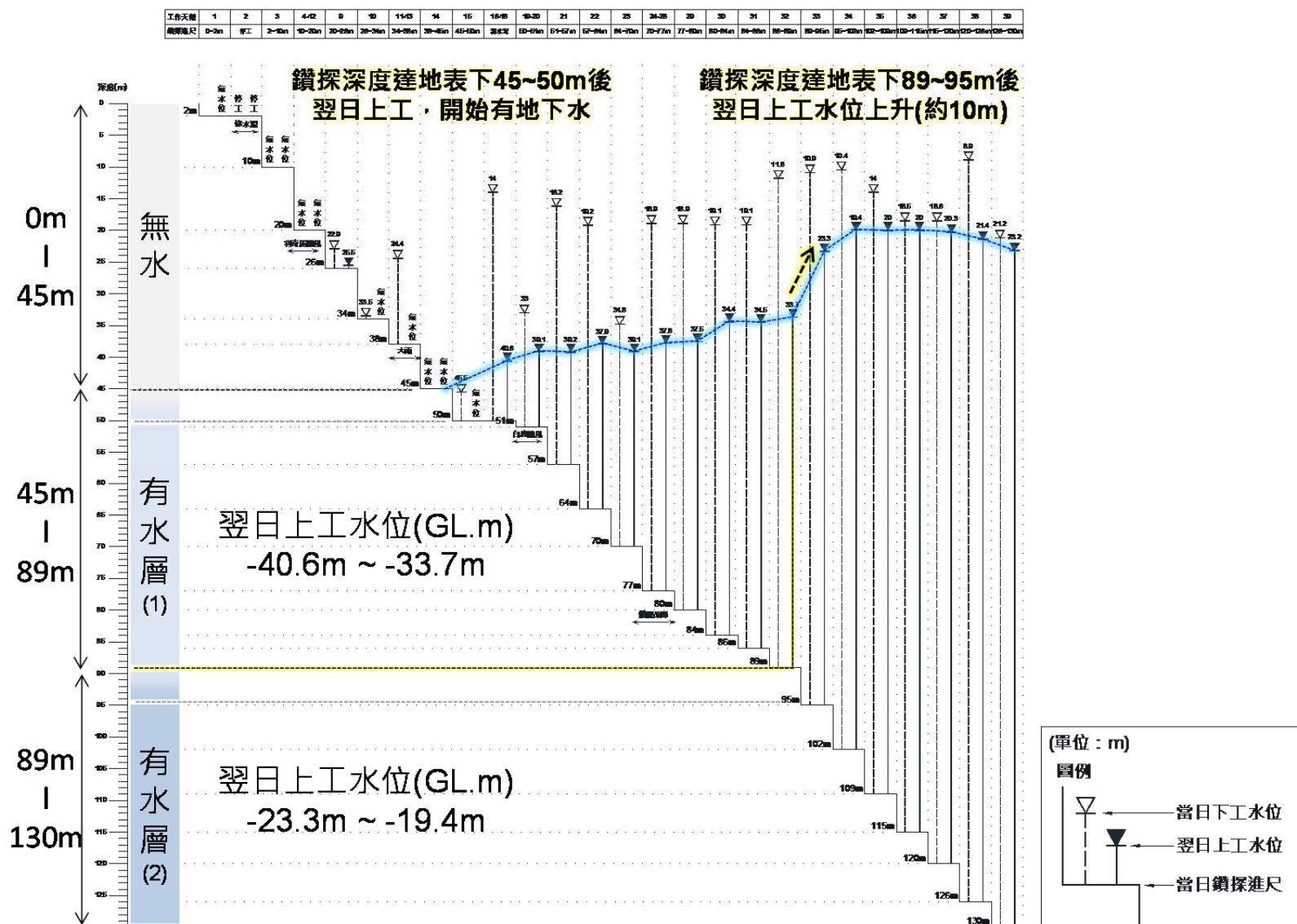


圖 3-30、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)鑽探進尺與當天下工、翌日上工水位變化圖
 Fig. 3.30 The drill cores of No LS-B7(130m), shows the water level variation between two days.

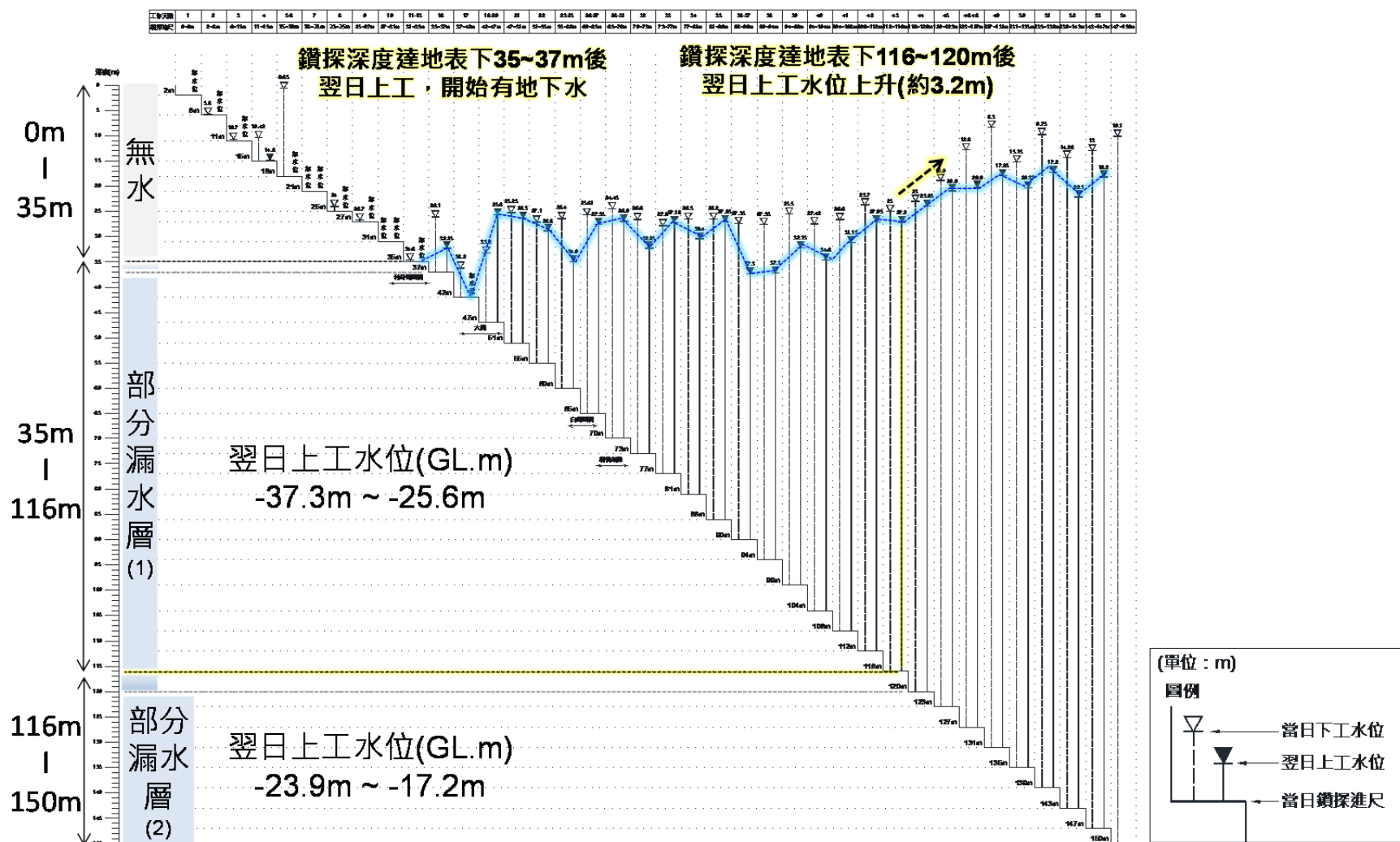


圖 3-31、廬山聚落地區 LS-B8(150m)鑽探進尺與當日下工、翌日上工水位變化圖

Fig. 3.31 The drill cores of No LS-B8(150m), shows the water level variation between two days.

3.4 岩芯判釋(半定岩體分級、定量化岩體評分)

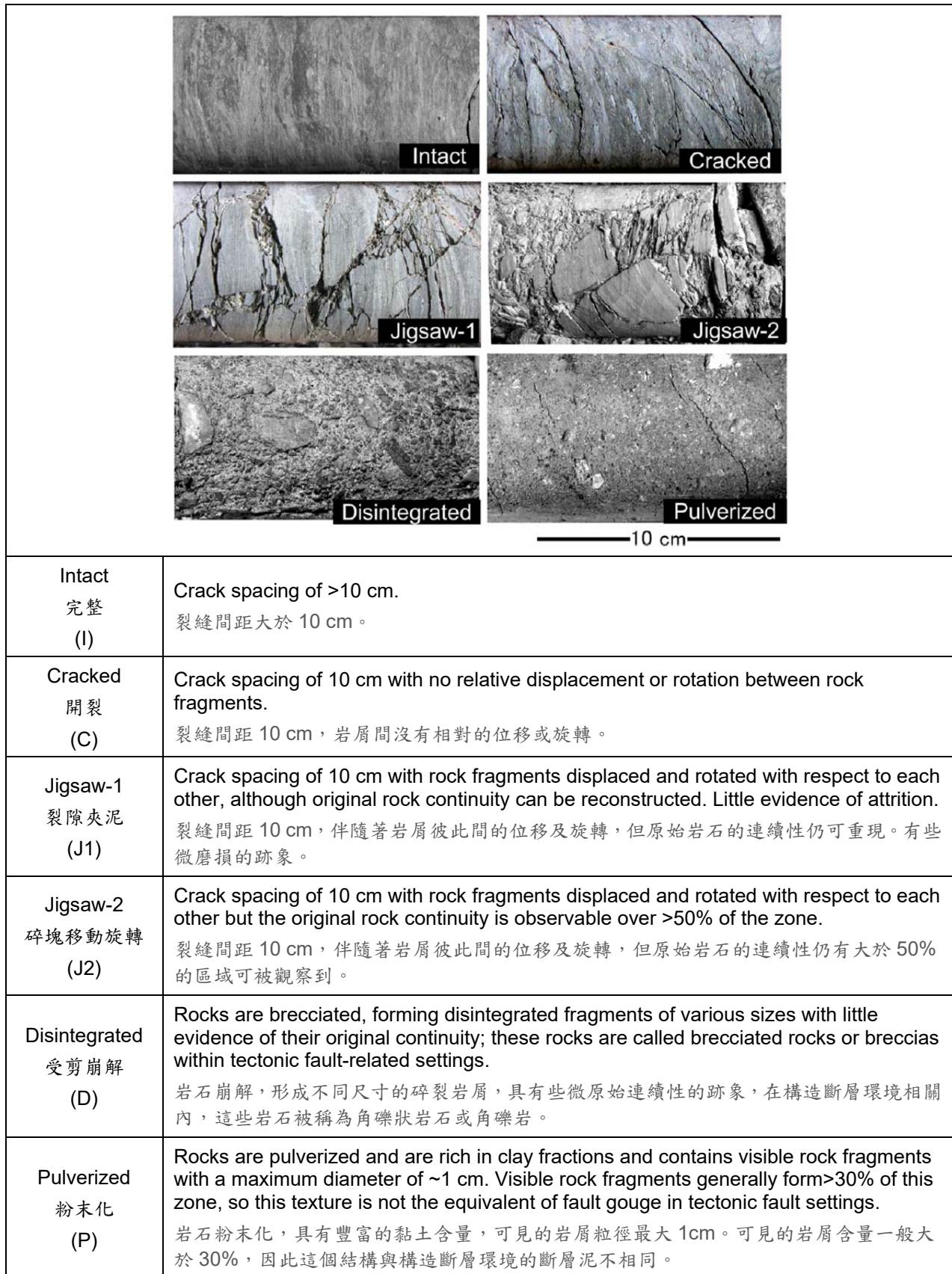
由前期調查成果得知，廬山聚落地區的岩芯具有程度不等的破碎情形，而岩體破碎程度與邊坡穩定性的關係，往往是潛在山崩活動性調查的關注重點。傳統的定性岩性描述可用於岩層對比，若要進一步應用於邊坡活動性關係探討時，則相對不容易。因此，本年度計畫除利用傳統的定性岩性描述，並再採用半定量岩體破碎程度分級(千木良法)(Chigira et al., 2013)及定量的岩體評分 Q_{logging} 法(Barton et al., 1991)等岩芯判釋方法，取得岩芯定量資料，以與各式孔內試驗探測及地中活動性觀測等量化成果進行比對，輔以提供評估邊坡活動性參考。針對半定量岩體破碎程度分級(千木良法)及定量的岩體評分 Q_{logging} 法，說明方法與成果如下：

一、半定量岩體破碎程度分級(千木良法)(Chigira et al., 2013)

(一) 目的：傳統多用岩石品質指標 RQD (Rock Quality Designation)來快速評估工程性質好壞，但廬山聚落的岩芯 RQD 值普遍不高，且具有剪裂帶、夾泥情形，不易快速辨識。Chigira et al.(2013)也注意到，破碎的岩體，可能為構造作用或邊坡滑動所致，並提出岩芯破碎程度分級，嘗試辨認構造(大地應力造成)與非構造結構(重力變形造成)的岩芯產狀特徵。故本計畫採用岩體破碎程度分級進行評估，以進行後續潛在邊坡活動性探討。

(二) 背景概述：日本京都大學千木良雅宏教授等人在紀伊半島(Kii Peninsula)地區，針對頁岩順向坡(Shale dip-slope)進行邊坡深層重力變形研究時，利用岩芯判釋，將岩體依脆性變形(Brittle Deformation)程度，由完整到破碎分為六級，包含完整(Intact, I)、開裂(Cracked, C)、裂隙夾泥(Jigsaw-1, J1)、碎塊移動旋轉(Jigsaw-2, J2)、受剪崩解(Disintegrated, D)及粉末化(Pulverized, P)等六級(圖 3-23)。Chigira et al.(2013)指出構造(大地應力造成)與非構造結構(重力變形造成)，最重要的差異為非構造結構，岩芯呈現具開口的拼合狀岩石碎片(Jigsaw-Fit Rock Fragments with Openings)特徵，如圖 3-23 之 Jigsaw-1、Jigsaw-2 等級。

(三) 操作方法：針對各孔岩芯以每 10 cm 間距依前述六個岩芯破碎程度分級，進行判釋。再將判釋結果繪製成隨深度變化之岩芯柱狀圖。







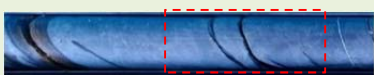
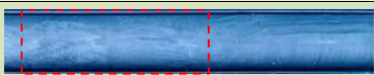
(整理自 Chigira et al., 2013; 經濟部中央地質調查所, 2018)

圖 3-32、岩芯脆性變形程度分類(Chigira et al., 2013)

Fig. 3.32 Brittle deformation classification of drill core (Chigira et al., 2013)

(四) 破碎程度分級成果：依照 Chigira et al.(2013)岩體脆性變形程度分級定義，針對廬山聚落地區岩芯每 10cm 岩芯進行分級，有關廬山聚落地區岩芯破碎程度分級原則(以 LS-B8 孔為例)，如表 3-6 所示。依據破碎程度分級所得隨深度變化圖，如圖 3-33 和圖 3-34 所示。說明如下：

表 3-6、廬山聚落地區地質鑽探岩芯破碎程度分級原則，以 LS-B8 為例
Table 3.6 Brittle deformation classification of Lushan settlement, drill cores of No LS-B8 as example

分級	岩芯產狀	描述說明
P		剪裂帶，碎屑與泥質基質組成，碎屑粒徑小於 1 cm，以基質支持為主。
D		剪裂帶，碎屑與泥質基質組成，碎屑粒徑大於 1 cm，以基質支持為主。
J2		岩體碎塊狀，顆粒可能移動旋轉，泥質材料填充，仍以顆粒支持為主。
J1		具有裂隙且有泥質材料填充，可研判破碎前產狀，顆粒未發顯著位移。
C		具有開口裂隙，可判破碎前產狀(未發生較大位移)。
I		完整岩體，未見裂隙開裂情形。

1.LS-B7 岩芯破碎程度分級成果：於深度約為 0~4 m 時，其破碎程度多為 D 及 P，岩體呈中度至重度破碎，對應至岩層分層為岩屑層。於深度 24~50 m 時，其破碎程度多為 J2、D 及 P，岩體呈中度破碎，對應之 RQD 多為 0%，少部分為 RQD 為 10%。於深度約 83~88 m 時，其破碎程度同樣多為 D 及 P，對應之 RQD 為 0%，岩體呈中度至重度破碎。於深度約 111~112 m 時，可觀察其破碎程度多為 C 及 I，對應之 RQD 約為 60%，岩體呈輕度破碎，屬較完整之岩體。

2.LS-B8 岩芯破碎程度分級成果：於深度 22~29 m 時，其破碎程度多為 J1、C 和 I，岩體呈輕度破碎，對應之 RQD 約為 30%~70%不等，屬較完整之岩體。於深度 75~78 m 時，其破碎程度多為 P 和 D，對應至 RQD 為 0%，岩體呈中度至重度破碎。於深度 110~115 m 時，其破碎程度同樣多為 P 和 D，對應之 RQD 為 0%，岩體呈中度至重度破碎。

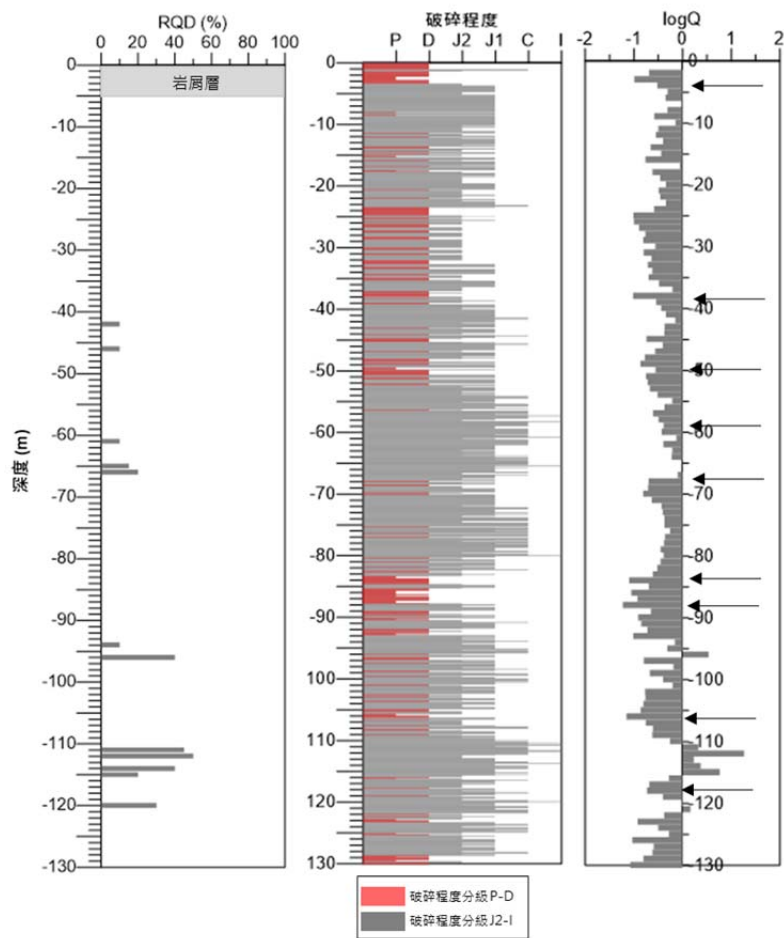


圖 3-33、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)岩體破碎程度柱狀圖
 Fig. 3.33 The rock brittle deformation of the drill cores of No. LS-B7(130 m)

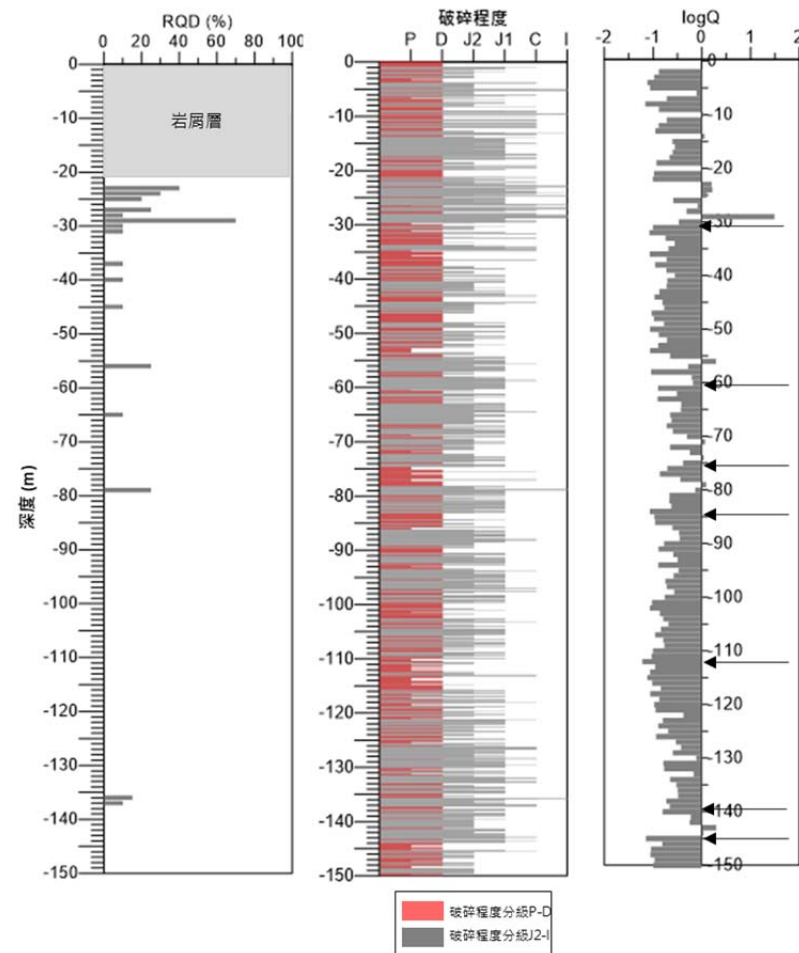


圖 3-34、廬山聚落地區 LS-B8(150 m) 岩體破碎程度柱狀圖
 Fig. 3.34 The rock brittle deformation of the drill cores of No. LS-B8(150 m)

二、定量岩體評分(Q_{logging} 法)

(一) 目的：Q_{logging} 岩芯記錄目的，主要可以提供岩體物理特性及力學參數特性的評估參考。

(二) 背景概述：挪威地工技術研究所的 Barton、Lien 和 Linde，為隧道設計需求，發展出以 Q 值作為分類標準之岩體分類法(Barton et al., 1974)，做為岩石地下工程支撐組合選擇的依據。Barton(1991)將 Q 法結合測線法，並納入統計分析概念，提出以 Q_{logging} 評估記錄鑽孔岩芯，及建立 Q 值與波速的經驗式，可供評估力學參數及分析使用。本年度計畫綜合鑽探岩芯 Q_{logging} 值與量化的物理性質或地中活動性觀測成果，嘗試初步建立與邊坡活動性的連結，期以進一步提升鑽探岩芯的應用。

(三) 操作方法：岩體 Q 值按下式評估(Barton et al., 1974)：

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_a}{J_r} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (\text{式 3-1})$$

(式 3-1)中各項因子：RQD：每單位公尺中長度超過 10 公分岩芯長度的總和。J_n：RQD 評估位置的弱面組數。J_r：最不利弱面的粗糙度或填充情況。J_a：最不利弱面的風化狀況或是充填夾泥、黏土的蝕變狀況。J_w：地下水量與水壓的影響因子。SRF：考慮斷層、地盤強度/現地應力比或是擠壓性、膨脹性地盤特性的應力折減因子。

(式 3-1)中的三個分式，RQD/J_n：反映岩塊尺寸。J_r/J_a：反映弱面剪力強度。J_w/SRF：外在環境與應力因素。

有關(式 3-1)Q 值各項評分因子之評估，例如 J_n 不連續面組數，分為無(0.5~1 分)、一組(2~3 分)、兩組(4~6 分)、三組(9~12 分)、四組以上(15 分)、粉碎的岩石或接近土壤(20 分)等詳細評級與得分，請參閱附錄三-2。

本計畫進行岩芯 Q_{logging} 評分時，主要針對每公尺岩芯單元，依據岩芯狀況，應用機率分佈函數概念，給定 Q 法各評估因子各評級(得分)不同的權重，再由各評級(得分)乘以權重，求得各評估因子的平均值。

(四) Q_{logging} 法評分成果：依照 Barton(1991)Q 值各因子之定義，針對廬山聚落 LS-B7 和 LS-B8 進行各項評分因子之評分，最終得 Q 值，結果如圖 3-35 和圖 3-36 所示，並與 RQD 及岩體破碎程度之比較，如圖 3-33 和圖 3-33 所示。說明如下：

1. **LS-B7 岩芯 Q_{logging} 評分成果**：於深度約 0~4 m、38~40 m 及 48~50 m 處，其 Q 值相對低，對應至岩體呈中度至重度破碎。於深度約 60~68 m 及 75~80 m 時，其 Q 值相對高，對應至岩體破碎程度多為 J1、C 及 I，故此範圍之岩體為相對完整。至深度約 84~88 m，其 Q 值相對低，對應岩體破碎程度多為 D 及 P，故此範圍岩體應呈中度至重度破碎。於深度約 110 至 115 m 時，其 Q 值相對高，對應至岩體破碎程度多為 J1、C 及 I，故此範圍之岩體相對完整。

2. **LS-B8 岩芯 Q_{logging} 評分成果**：於深度約 22~28 m，其 Q 值相對高，對應至岩體破碎程度多為 J1、C 及 I，岩體相對完整。於深度約為 30~54 m，其 Q 值相度低，對應至岩體破碎程度多為 J2、D 及 P，岩體應呈中度至重度破碎。於深度約為 75~78 m，其 Q 值相對低，對應至岩體破碎程度多為 D 及 P，此範圍岩體應呈重度破碎。於深度 110~115 m，其 Q 值相對低，對應至破碎程度同樣多為 D 及 P，此範圍岩體應呈重度破碎。於深度約 140~144 m，其 Q 值相對高，對應至破碎程度多為 J1 及 C，此範圍應呈輕度破碎至相對完整之岩體。

三、岩芯判釋成果小結

本計畫分別以半定量岩體破碎程度分級和 Q_{logging} 法針對廬山聚落 LS-B7 和 LS-B8 進行評估，可發現兩孔之 RQD 皆偏低，於 Q 值相對低之深度對應至半定量岩體破碎程度分級多為 J2、D 及 P，即破碎程度為中度至重度破碎。故以半定量岩體破碎程度分級和 Q_{logging} 法進行岩體評分之結果可相互對應岩體之特徵，以利後續分析邊坡可能之剪裂帶。

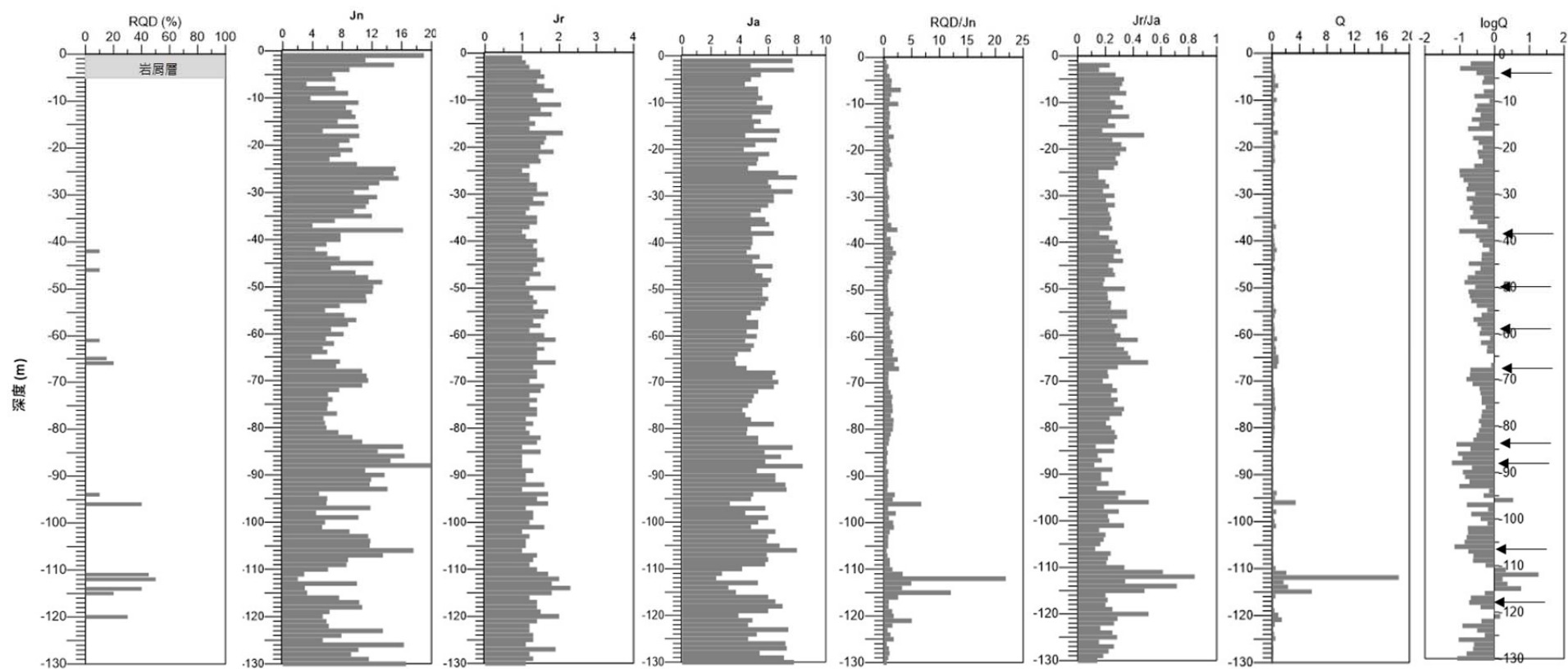


圖 3-35、廬山聚落地區 LS-B7(130m) Q_{logging} 法評分成果
 Fig. 3.35 Q_{logging} of the drill cores of No LS-B7 (130 m).

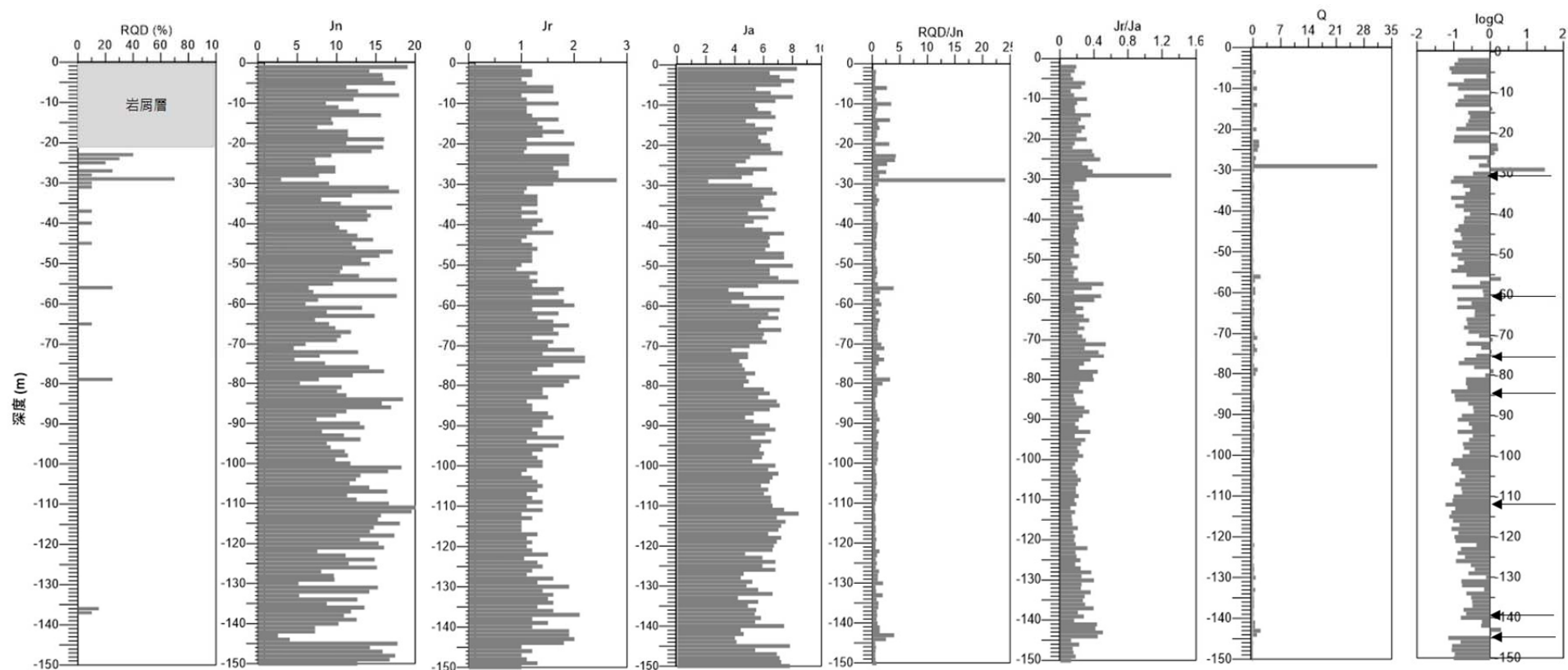


圖 3-36、廬山聚落地區 LS-B8(150m) Q_{logging} 法評分成果
 Fig. 3.36 Q_{logging} of the drill cores of No LS-B8 (150 m)

3.5 孔內試驗探測

本年度計畫於 LS-B7 及 LS-B8 地質鑽孔完成後，共進行 1.孔內超音波攝影、2.電井測及 3.孔內波速試驗等孔內試驗探測。其中，電井測包含自然電位差、自然伽瑪射線及電阻率等成果。現地試驗基本資料如表 3-11 所示，試驗過程照片如圖 3-37 所示。

本年度計畫井內試驗，施作順序為 1.電井測、2.孔內超音波攝影及 3.孔內波速試驗。電井測及孔內超音波攝影施作時，為保護管壁，避免坍塌，造成施作時位於孔內的儀器損壞，故 LS-B7 及 LS-B8 孔，分別下套管至地表下約 4 m 及 8 m。

由於電井測及孔內超音波攝影需要在有水的環境下施作，故採回水方式，以人工方式將 LS-B7 及 LS-B8 孔之地下水位，分別抬升至地表下約 8.5 m 及 22 m，以取得更多試驗成果。LS-B7 及 LS-B8 電井測試驗，全程順利完成，分別取得地表下 4~130 m 及 8~150 m 的資料。孔內超音波攝影試驗過程中，因 LS-B7 及 LS-B8 分別於地表下 0~4 m 及 0~8 m 採套管保護，此外深度 4~49 m 及 8~47 m 遭遇較破碎、軟弱之岩層，故實際取得孔內攝影影像範圍分別為地表下 49~130 m 及 47~150 m。

表 3-7、廬山聚落地區孔內試驗探測基本資料表

Table 3.7 In situ borehole testing information of Lushan settlement

項次	試驗項目	施測時		施測範圍 (地表下)	備註
		套管位置 (地表下)	地下水位 (地表下) (回水施測)		
LS-B7 (130 m)					
1	孔內 超音波攝影	4 m	8.5 m	2~130 m	共取得 850 個不連續面位態。
2	電井測	4 m	8.5 m	4~130 m	施測時地下水位約地表下 8.5 m，採回水施測。套管位置約地表下 4 m。
3	孔內波速試驗 (懸盪式井測)	-	-	49~130 m	4~49 m 遭遇較破碎、軟弱之岩層無法解析，故由地表下 49m 開始施作。
LS-B8 (150 m)					
1	孔內 超音波攝影	8 m	22 m	9~150 m	共取得 1259 個不連續面位態。
2	電井測	8 m	22 m	8~150 m	施測時地下水位約地表下 22 m，採回水施測。套管位置約地表下 8 m。
3	孔內波速試驗 (懸盪式井測)	-	-	47~150 m	8~47 m 遭遇較破碎、軟弱之岩層無法解析，故由地表下 49 m 開始施作。



LS-B7 (130 m)



LS-B8 (150 m)

圖 3-37、南投縣仁愛鄉廬山聚落地區地區井測施作情形
Fig. 3.37 Logging in progress of Lushan settlement.

3.5.1 孔內超音波攝影

本計畫配合 LS-B7 及 LS-B8 地質鑽探完成後，以裸孔方式施做孔內超音波攝影，以取得地下岩層不連續面位態，供分析潛在崩塌機制參考。LS-B7 及 LS-B8 孔深分別為 130 m 及 150 m，而針對兩孔分別於地表下 0~4 m 及 0~8 m 採套管保護，故實際取得孔內攝影影像範圍分別為地表下 4~130 m 及 8~150 m。完整的孔內攝影影像，請參閱附錄三-4。藉由孔內超音波攝影測錄，所獲取的孔壁影像，可進一步透過後處理程式，計算不連續面方向及角度，本次試驗針對 LS-B7 及 LS-B8 分別取得 850 個及 1,259 個不連續面位態，主要包含劈理及節理等兩種類型，並將其繪製成立體投影圖，分別如圖 3-38(a)及(b)所示，說明如下：

一、LS-B7 孔內超音波攝影成果

由圖 3-38(a)顯示，LS-B7 的劈理位態大致可分為三組 C1~C3，C1 呈東北-西南走向，朝西北傾；C2 及 C3 呈西北-東南走向，然 C2 朝東北傾，C3 朝西南傾。根據既有區域地質圖顯示，本區域之岩層劈理大致為東北-西南走向、朝東南傾，故 C1 與岩層位態為反向，C2 與 C3 之走向與岩層大致垂直，由此可知，LS-B7 之劈理位態較為複雜，可能是地層受到擾動或是變形作用使劈理位態不一致。節理位態大致可分為三組 J1~J3，J1 及 J2 呈東北-西南走向，然 J1 朝西北傾，J2 則朝東南傾；J3 呈東南-西北走向，朝西南傾。根據既有區域地質圖顯示，J1 及 J2 之走向與崩崖線型方向大致相同，J3 之走向則與蝕溝發展線型大致同向。

二、LS-B8 孔內超音波攝影成果

由圖 3-38(b)顯示，LS-B8 的劈理位態大致可分為兩組 C1~C2，C1 呈東北-西南走向，朝西北傾；C2 呈東南-西北走向，朝西南傾。本區域之岩層劈理大致為東北-西南走向、朝東南傾，故 C1 與岩層劈理傾向大致相同，C2 則大致反向，由此可知，LS-B8 之地層可能至少受到一次的擾動或是變形作用。節理位態大致可分為三組 J1~J3，J1~J3 皆呈東北-西南走向，J1 朝西北傾，J2 及朝東南傾。根據既有區域地質圖顯示，J1~J3 之走向皆與崩崖線型約略相同，與蝕溝發展線型約略垂直。

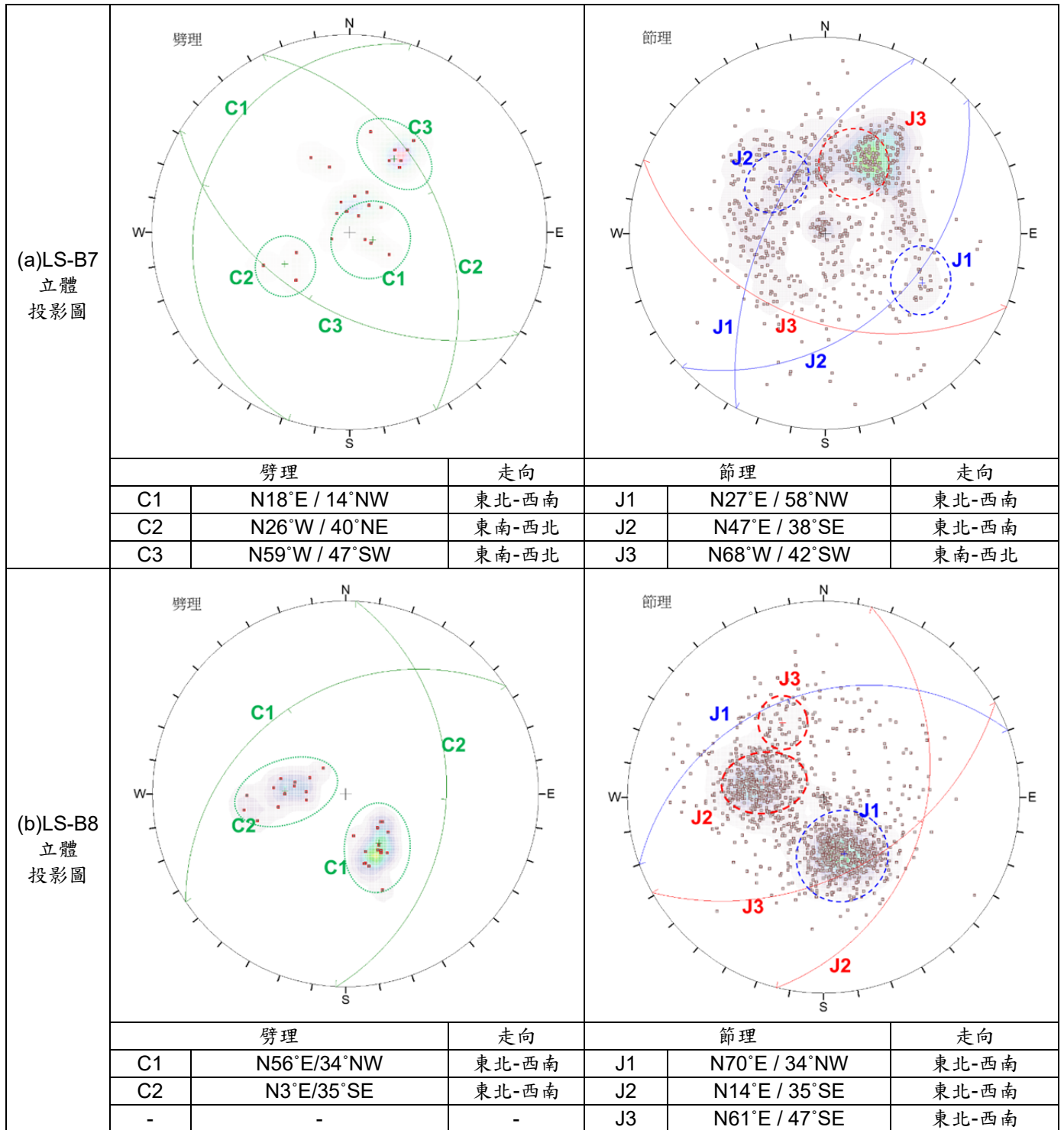


圖 3-38、南投縣仁愛鄉廬山聚落 LS-B7、LS-B8 孔內超音波攝影成果
 Fig. 3.38 Acoustic television of the drill cores of No LS-B7 and No LS-B8.

3.5.2 電井測及孔內波速試驗

本計畫配合 LS-B7 及 LS-B8 地質鑽探完成後，以裸孔方式施做電井測，電井測項目包含 1.自然電位差、2.自然伽瑪射線及 3.電阻率等。其中，電阻率可再分為正長距電阻、正短距電阻及單點電阻。電井測在施測時，由於 LS-B7 及 LS-B8 孔常時地下水位較低，為取得更多井測訊號，因此以回水(孔頂注水)的方式，分別將 LS-B7 及 LS-B8 的地下水位拉升至地表下及 8.5 m 及 22 m 後施測。此外，為避免坍塌，LS-B7 及 LS-B8 分別在地表下 0~4 m 及 0~8 m 採套管保護，除自然伽瑪射線訊號不受套管影響，其餘訊號均會受影響，因此 LS-B7 及 LS-B8 電井測可解釋區段分別為 4~130 m 及 8~150 m。孔內波速成果顯示，LS-B7 及 LS-B8 地表下 V_p 範圍分別約 3,577 m/sec 及 3,220 m/sec。彙整 LS-B7 及 LS-B8 孔電井測成果如表 3-8、表 3-9、圖 3-39 及圖 3-40 所示，說明如後：

表 3-8、廬山聚落 LS-B7 電井測試驗成果彙整

Table 3.8 Electrical logging and radiometric logging of the drill cores of No LS-B7.

深度範圍 (地表下)	電井測試驗項目				
	自然電位差	自然伽瑪射線	電阻率		
			長距電阻	短距電阻	單點電阻
38~50 m	範圍約為 4~31 mv 之間	範圍約為 129~193 CPS 之間	範圍約為 161~372 OHM-M 之間	範圍約為 189~422 OHM-M 之間	範圍約為 149~218 OHM 之間
50~68 m	範圍約為 8~41 mv 之間 (此範圍自然電位 差逐漸上升)	範圍約為 85~199 CPS 之間	範圍約為 116~171 OHM-M 之間	範圍約為 123~223 OHM-M 之間	範圍約為 105~217 OHM 之間
68~82 m		範圍約為 109~196 CPS 之間 (此範圍伽瑪射線 觀測逐漸增加)			
82~90 m		範圍約為 63~190 CPS 之間 (此範圍伽瑪射線 觀測逐漸減少)			
90~106 m	範圍約為 29~40 mv 之間 (於 106 m 明顯遞 減)	範圍約為 109~196 CPS 之間	範圍約為 116~143 OHM-M 之間	範圍約為 126~216 OHM-M 之間	範圍約為 105~185 OHM 之間 (此範圍電阻逐漸 減少，再增加)
106~116 m	範圍約為 14~26 mv 之間		範圍約為 130~169 OHM-M 之間	範圍約為 162~244 OHM-M 之間	範圍約為 122~172 OHM 之間
116~130 m	範圍約為 20~38 mv 之間		範圍約為 125~198 OHM-M 之間	範圍約為 123~268 OHM-M 之間	範圍約為 109~173 OHM 之間

表 3-9 廬山聚落 LS-B8 電井測試驗成果彙整

Table 3.9 Electrical logging and radiometric logging of the drill cores of No LS-B8.

深度範圍 (地表下)	電井測試驗項目				
	自然電位差	自然伽瑪射線	電阻率		
			長距電阻	短距電阻	單點電阻
29~58 m	範圍約為 -343~-288 mv 之間	範圍約為 130~189 CPS 之間	範圍約為 105~174 OHM-M 之間	範圍約為 101~206 OHM-M 之間	範圍約為 73~153 OHM 之間
58~76 m	範圍約為 -299~-261 mv 之間	範圍約為 136~178 CPS 之間	範圍約為 83~187 OHM-M 之間 (於 70~76 m 增加 幅度約 100 OHM-M)	範圍約為 130~247 OHM-M 之間 (於 70~76 m 增加 幅度約 100 OHM-M)	範圍約為 85~136 OHM 之間
76~84 m	範圍約為 -299~-246 mv 之間 (於 78 m 自然電 位逐漸減少再增 加)	範圍約為 136~180 CPS 之間	範圍約為 75~164 OHM-M 之間 (於 76~77 m 逐漸 減少, 約 100 OHM-M)	範圍約為 117~245 OHM-M 之間 (於 76~77 m 驟減 約 100 OHM-M)	範圍約為 95~137 OHM 之間
84~111 m	範圍約為 -213~-183 mv 之間 (此範圍自然電位 逐漸增加)	範圍約為 132~202 CPS 之間	範圍約為 71~126 OHM-M 之間	範圍約為 96~146 OHM-M 之間	範圍約為 68~137 OHM 之間
111~140 m		範圍約為 132~188 CPS 之間			
140~150 m		範圍約為 128~188 CPS 之間			

表 3-10、井測結果試驗值代表意義
Table 3.10 The meaning of well logging test results.

井測方法	原理	獲取的參數	代表意義	備註
連續速度井測(Continuous Velocity Logging)				
下孔式速度井測 (Downhole Velocity Logging)	施以震源(Energy Source),量測岩層中彈性波(Elastic Wave)在岩層中之走時,據以計算波速。	波速 (可進一步推算現地尺度的地質材料工程參數)	<ul style="list-style-type: none"> • 波速高:地質材料質地堅硬完整。岩體完整度高,具有較少的裂隙及夾泥情形,在震波傳遞時,能量損耗較低,故波速傳遞較快。 • 波速較低:地質材料越軟弱、孔隙越大,在震波傳遞時,能量損耗較大,故波速傳遞較慢。 	裸孔施作為佳。
上孔式速度井測 (Uphole Velocity Logging)				
跨孔式速度井測 (Crosshole Velocity Logging)				
懸盪式井測 (Suspension P-S Velocity Logging)				裸孔施作為佳。
放射性井測(Radiometric Logging)				
自然伽瑪射線井測 (Nature-Gamma Logging)	利用探測器,探測孔內岩屑層或岩層自然釋放的伽瑪射線強度,瞭解原生材料的伽瑪射線吸附量。	自然伽瑪射線強度	<ul style="list-style-type: none"> • 自然伽瑪射線强度高:地質材料吸附放射性元素多。 ◊ 透水性較低岩層:頁岩、泥岩、黏土層。 ◊ 低風化,灰色新鮮泥。 • 自然伽瑪射線強度低:地質材料吸附放射性元素少。 ◊ 透水性較佳岩層:砂岩、礫岩。 ◊ 高風化,黃棕色風化泥。 	裸孔施作為佳。
電井測(Electrical Logging)				
自然電位井測 (Spontaneous Potential)	記錄岩層電極與固定在地表電極間之電位差(岩層間流體離子交換時,產生之電位差)。	自然電位差	<p>自然電位差隨深度變化的曲線稱為 SP 曲線,可藉以判斷岩層分布及滲透性。</p> <ul style="list-style-type: none"> • SP 曲線變化不大:滲透性低的岩層,受泥漿滲透(浸污)造成的離子變化作用較低,因此電位差變化不大,SP 曲線多為直線反映。 • SP 曲線產生偏移:滲透性佳的岩層,受泥漿浸污造成的離子變化相對明顯,因此會產生較顯著之電位差,使 SP 曲線產生偏移情形。 	需在裸孔及有水的環境施作。
電阻率井測 ¹⁾ (Resistivity)	利用兩個電極,量測電流流經地質材料後所測得之電位差,再利用歐姆定律計算電阻率的大小。	電阻率	<ul style="list-style-type: none"> • 高電阻率:低黏土含量、低鹽含量或低含水量。 ◊ 顆粒粗,例如礫岩、砂岩。 ◊ 乾燥的岩石。 ◊ 地質材料中無蓄水能力:裂縫少。 ◊ 低孔隙、少裂隙、不透水層。 ◊ 天然氣層、油氣。 • 低電阻率:高黏土含量、高鹽含量或高含水量。 ◊ 顆粒細,頁岩、泥岩。 ◊ 地質材料中含鹽份(總溶解固體)較高。 ◊ 地質材料中具有蓄水能力:裂縫多。 ◊ 高孔隙、含水層、透水層。 	需在裸孔及有水的環境施作。

註 1)電阻率井測包括:

- 正常態電阻率(16"-正短距)(16" normal resistivity):正短距是測定鑽孔橫向淺層的地質材料電阻率,對地質材料界面或薄岩層有較佳解析力,但探測之電阻率往往是泥漿浸污區(invaded zone)或部分浸污區的電阻,較無法直接求得地質材料之真電阻,但可藉由浸污的程度來評估岩性或透水性。
- 正常態電阻率(64"-正長距)(64" normal resistivity):正長距的橫向測定深度較大,所測得的範圍通常可以涵蓋到泥漿未浸污區的區域,其電阻率經校正後較可代表地質材料之真正電阻率,但對地質材料界面或薄岩層之解析度較差。
- 單點式電阻(single-point resistance):記錄地層單點與地表接地間之電阻,其對薄層之電阻變化敏感度較高,可提供薄層或特殊構造定位之參考。

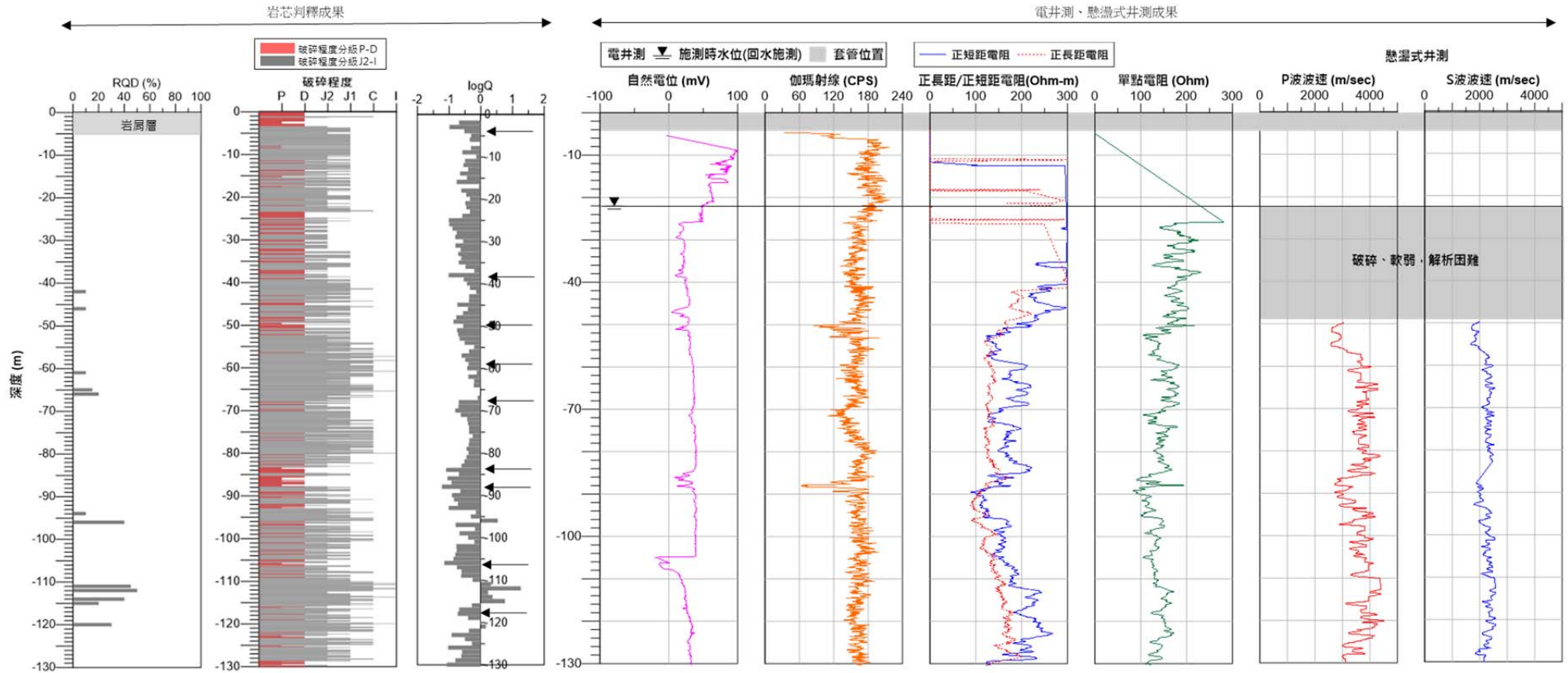


圖 3-39、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)，電井測及孔內波速試驗成果
 Fig. 3.39 Logging test result of the drill cores of No LS-B7 (130 m).

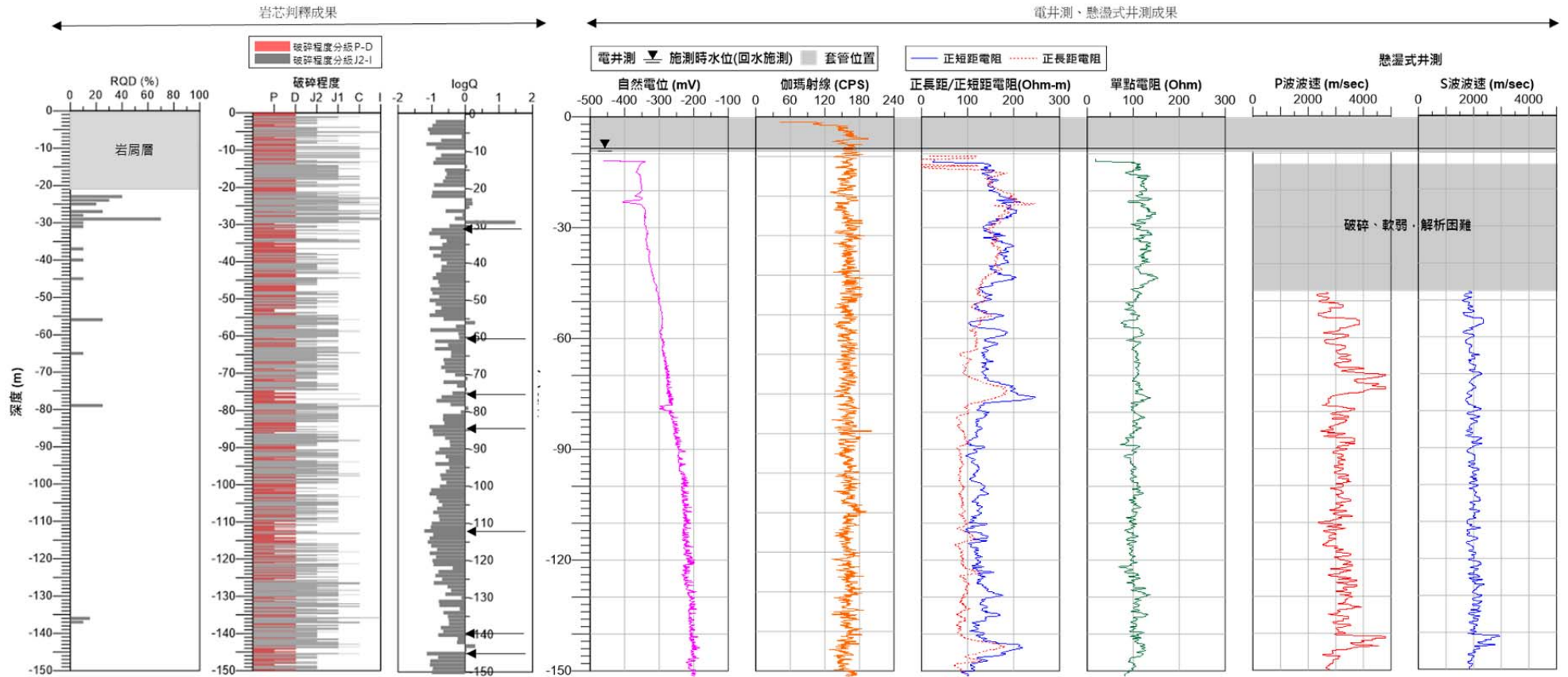


圖 3-40、廬山聚落地區 LS-B8(150 m)，電井測及孔內波速試驗成果
 Fig. 3.40 Logging test result of the drill cores of No LS-B8 (150 m)

3.5.3 孔內試驗成果與討論

一、LS-B7 孔內試驗探測成果

岩屑層位於地表下約 0~3.3 m 處，由於此孔電井測下套管至地表下約 4 m，僅有自然伽瑪射線訊號不受套管影響，可供參考。此處的破碎程度多為 D 及 P，屬較破碎材料，且自然伽瑪射線多分佈於 140~220 CPS，相對起岩層材料之自然伽瑪射線多分佈於 120~180 CPS，顯示岩屑層及岩層材料組成不同。

岩層位於地表下約 3.3~130 m 處，雖岩性多為灰黑色粉砂質板岩，然因破碎程度不同而使自然電位、自然伽瑪射線及電阻率分佈有所變化。於地表下 82~90 m 來看，不論自然電位、自然伽瑪射線或電阻率都有明顯遞減的現象，對應至岩芯判釋成果可發現其破碎程度多為 D 和 P，且 Q 值也相對其他深度之岩體低，顯示此範圍的岩體相當破碎且泥量高。另於地表下約 106 m，自然電位有明顯的電位差，對應至破碎程度多為 P，且 Q 值也相對其他深度之岩體低，顯示岩體較為破碎、可能有較高的滲透性。

二、LS-B8 孔內試驗探測成果

岩屑層位於地表下約 0~21.5 m 處，由於此孔電井測下套管至地表下約 8 m，因此於地表下 0~8 m 僅有自然伽瑪射線訊號不受套管影響，可供參考。於地表下約 21~22 m 處，自然電位有明顯的電位差，約驟減 100 mV，另電阻率為遞增之情形，對應至破碎程度先以 D 及 P 分級較多，後再出現 C 及 I 分級的岩體，對應 Q 值顯示由負值驟增至正值，此處可解釋為岩屑層及岩層之交界。

岩層位於地表下約 21.5~150 處，雖岩性多為灰黑色粉砂質板岩，然因破碎程度不同而使自然電位、自然伽瑪射線及電阻率分佈有所變化。自然伽瑪射線的分佈，整體而言多分佈於 130~180 CPS。於地表下 76~80 m，自然電位有明顯的減少再增加，對應至電阻率有明顯的遞減，對應至破碎程度多為 D 及 P，Q 值相對其他深度之岩體低，顯示此範圍之岩體應較為破碎。另於地表下約 140~150 m，電阻率有明顯的遞增再遞減，對應至破碎程度先以 C 分級之岩體較多，後再出先 D 及 J 分級之岩體，對應 Q 值顯示為遞減趨勢，即此範圍可能在越深之區域其岩體相對破碎，且岩體的滲透性變化由高到低。

由 LS-B7 及 LS-B8 之電井測試結果，配合岩芯判釋成果，可瞭解岩體的物理分布特性並提供分層參考。

此外，將 LS-B7 及 LS-B8 的 Q_{logging} 法與孔內波速試驗所獲得之 P 波速度 V_p 及 S 波速度 V_s ，進行比較，如圖 3-41 所示。可知於 LS-B7 及 LS-B8 等兩孔中，其岩芯 Q_{logging} 值大致與 V_p 與 V_s 呈正相關。其中，LS-B7 顯示 V_p 與 V_s 相關係數皆約 0.15，相關係數較低；LS-B8 顯示 V_p 與 V_s 相關係數分別為 0.4 及 0.2，相關係數較高。

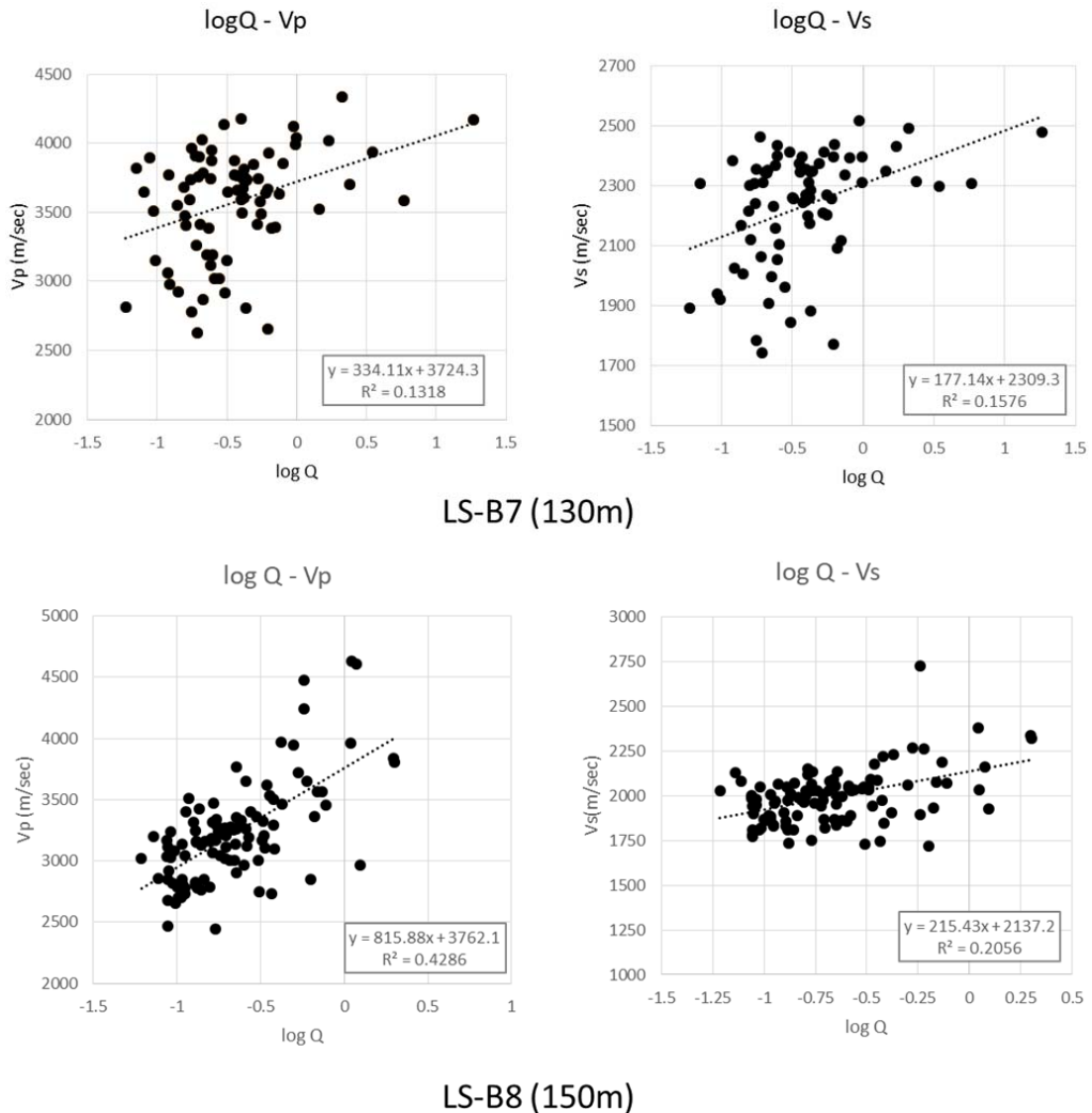


圖 3-41、廬山聚落地區 LS-B7、LS-B8 Q_{logging} 法與孔內波速成果比較
(由 LS-B7 及 LS-B8 之 logQ 與 P 波波速之關係可知其大約呈正相關)

Fig. 3.41 Comparison between Q_{logging} and suspension P-S velocity logging of the drill cores of No LS-B7 and LS-B8.

3.6 岩芯物理性質量測研究

除進行孔內試驗探測，本年度計畫並嘗試透岩芯波速量測之岩芯物理性質量測研究，輔以孔內試驗探測可能遭遇弱帶而無法施作情形。此外，並進行弱面直剪試驗，取得弱面力學參數凝聚力 c 、摩擦角 ϕ 。說明如下。

3.6.1 岩芯波速量測

一、量測儀器及方法

本計畫採用俄國 AKC 公司所生產之乾點式超音波探測儀 UK1401，進行岩芯波速量測，如圖 3-42(a)所示。UK1401 超音波探測儀有兩端探頭，一端為發射端，一端為接收端，其超音波探頭係利用銦鈦酸鉛(Lead Zirconate Titanate, PZT)晶體壓電效應產生應力波，透過觸點將應力波傳入試體內部。在另一頭接收超音波能量時，根據其相位及大小反推振幅及波速。在量測兩端為固定距離下，經儀器內部計算，可求得試體之 P 波速度 V_p 。超音波探測儀 UK1401 探頭為乾點接觸式，故不需塗上耦合劑。本計畫採用量測時將探頭固定垂直於岩芯試體表面，每公尺岩芯量測一次，以求得岩芯試體之 V_p ，試驗過程如圖 3-42(b)所示。



(a) UK1401 超音波探測儀



(b) 將 UK1401 超音波探測儀貼附於岩心表面上，並讀取顯示之 P 波速度值，加以記錄

圖 3-42、UK1401 超音波探測儀及岩芯波速量測情形

Fig. 3.42 Photos of ultrasonic tester UK1401 and measuring the pressure wave velocity of core

二、岩芯波速量測試驗成果

本計畫利用 UK1401 超音波脈衝儀分別量測 LS-B7 及 LS-B8 之岩芯 P 波速度，當量測之岩芯波速 V_p 越大，表示岩體材料相對完整，即破碎程度低。本計畫針對新增地質鑽探完成之 LS-B7 及 LS-B8 岩芯，每公尺岩芯進行一次波速量測，共取得 280 m 資料，岩芯物理性質量測試驗基本資料如表 3-11 所示，試驗結果如圖 3-43 及圖 3-44 所示。說明如下：

表 3-11、廬山聚落地區岩芯波速量測基本資料表

Table 3.11 Rock core physical properties of measurement of Lushan settlement

試驗項目	孔位	施測範圍 (地表下)	量測筆數	試驗結果
岩芯波速量測	LS-B7	0~130 m	130 筆 (每 m 量測一次)	於地表下 110~115m，最大波速 V_p 達 3,380 m/sec。
	LS-B8	0~150 m	150 筆 (每 m 量測一次)	於地表下 70~75m，最大波速 V_p 達 5,470 m/sec。

一、**LS-B7 岩芯波速量測成果**：如圖 3-43 所示。平均波速 V_p 為 1,500 m/sec，於地表下 110~115 m 量測到最大波速 V_p 約為 3,380 m/sec，即 110~115 m 量測之岩芯破碎程度應屬較完整的岩體，對應之破碎程度分級多為 C 及 I。

二、**LS-B8 岩芯波速量測成果**：如圖 3-44 所示。平均波速 V_p 為 1,650 m/sec，於地表下 70~75 m 量測到最大波速 V_p 約為 5,470 m/sec，即 70~75 m 量測之岩芯破碎程度應屬相對完整的岩體，對應之破碎程度分級多為 J1 及 I。

以 LS-B7 及 LS-B8 之岩芯波速量測成果來說，其 V_p 值相較於孔內波速探測所獲得之 V_p 值，有偏低的情形。研判原因主要為 LS-B7 及 LS-B8 等兩孔岩芯具有不少的裂隙，致使超音波能量衰減，量測值而有偏保守的情形。然較完整岩芯段仍有較高的 V_p 值，並與孔內波速探測結果略為一致，也可反映岩芯波速結果能顯示因岩體破碎程度不同而形成的物理性質差異，仍有參考價值。在後續工作時，建議可以孔內波速探測為主，而當遇到破碎軟弱地層，須以套管保護孔避，避免坍孔，因而孔內波速探測不能進行時，可以岩芯波速量測為輔。

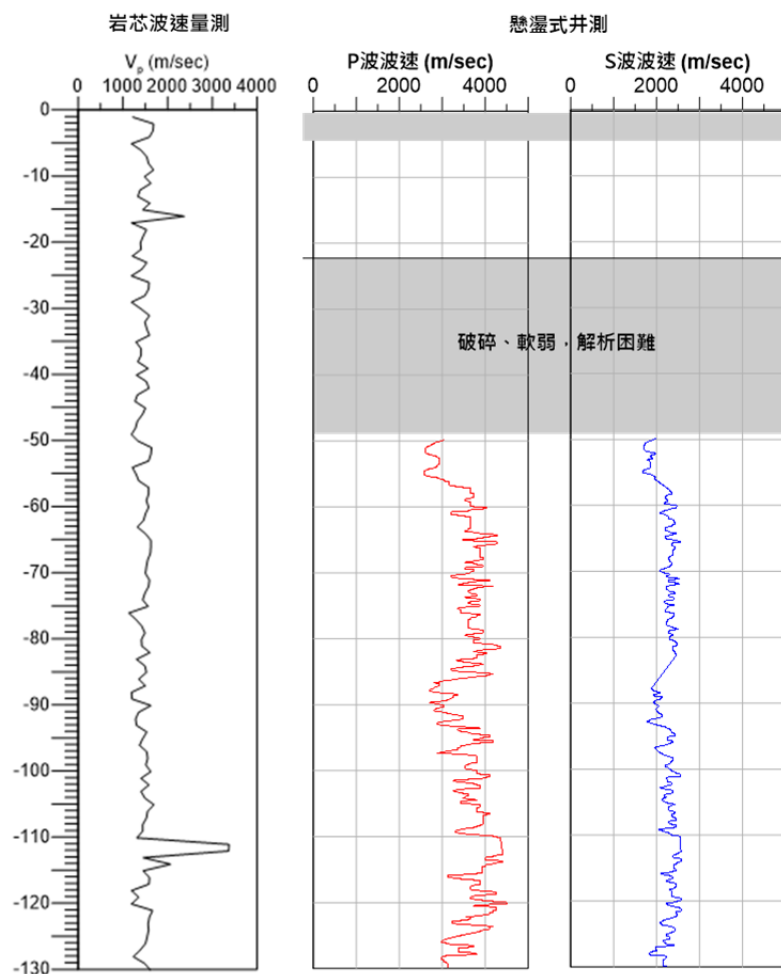


圖 3-43、廬山聚落地區 LS-B7(130 m)岩芯波速量測成果

Fig. 3.43 Wave form of measuring the wave velocity of the drill cores of No LS-B7 (130 m).

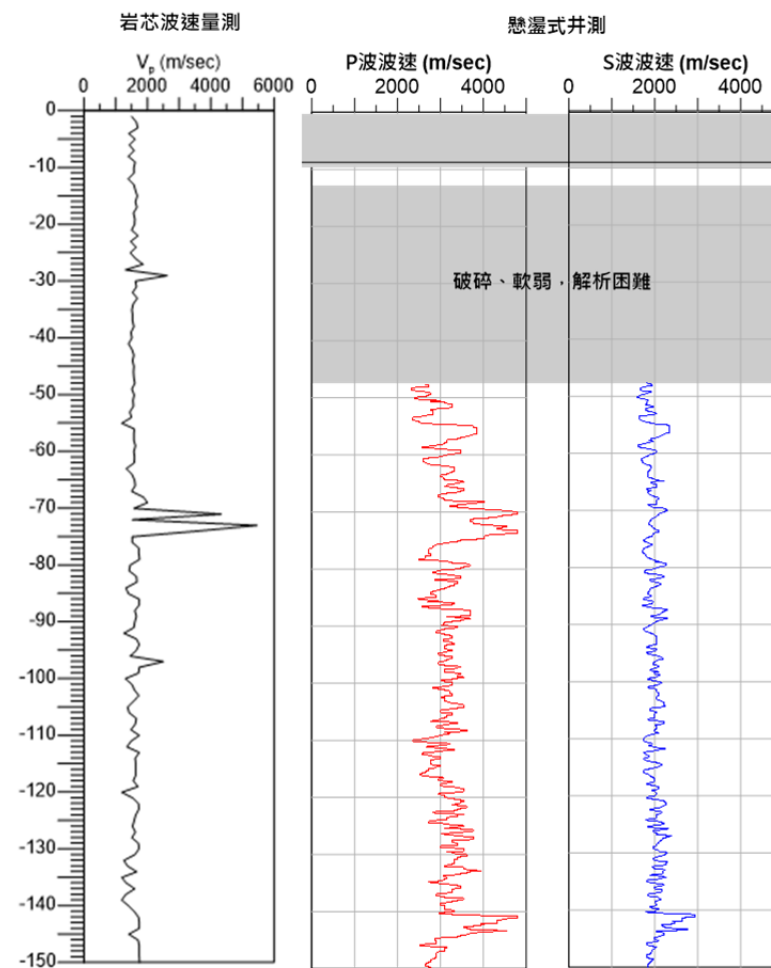


圖 3-44、廬山聚落地區 LS-B8(150 m)岩芯波速量測成果









Fig. 3.44 Wave form of measuring the wave velocity of the drill cores of No LS-B8 (150 m).

3.6.2 弱面直剪試驗

潛在山崩地區於發生岩體滑動現象時，滑動面多沿著岩層間之剪裂帶運動，為滑動塊體的關鍵弱帶。為取得剪裂帶強度參數 c 、 ϕ ，本年度(2019年)計畫配合於廬山聚落新增 2 孔地質鑽探 LS-B7 及 LS-B8，依據岩芯檢視結果，選取試體，以進行弱面直剪試驗。試驗過程為各組試體於試驗前浸水至少 48 小時，以使試體接近飽和狀態。鑽探取出之岩芯修裁適合剪力環大小，置於剪力盒內(剪力盒分為上下二盤)，移動下盤以施加剪力於試體，施加剪力前須先加垂直載重於試體之上，直到試體破壞或剪應變達 10% 為止。試驗正向力分別為 200、400 及 800kPa。剪力強度參數(c 、 ϕ)則藉由施加不同垂直正向壓力及剪力關係，經計算分析求得。

本年度計畫共完成 10 組弱面直剪試驗，詳細直剪試驗試驗成果請參閱附錄三-6，摘要如表 3-12 所示。由直剪試驗結果顯示，LS-B7 及 LS-B8 岩芯若面摩擦角約在 22~30° 間，試體剪動面多具粒徑大小不等之顆粒，部分試體試驗結果摩擦角達 35~36°。

表 3-12、直剪試驗成果表
Table 3.12 Direct shear test results

項次	調查區	孔號	試體編號	深度(m)	岩性描述	直剪試驗成果		岩芯照片	試驗後 試體剪動面描述
						c (kg/cm ²)	ϕ (度)		
1	廬山 聚落	LS-B7	LS-B7-1	15.0~15.7	風化層	0	22.3		黏質材料含量較高，試體剪動面含顆粒，剪動面觸感較粗糙
2			LS-B7-2	49.4~49.6	剪裂泥	0.08	24.2		試體剪動面較為光滑，無明顯顆粒，黏性較高
3			LS-B7-3	53.15~53.25	剪裂帶 夾角礫	0.48	23.27		試體剪動面含有粒徑大小不等顆粒，剪動面觸感較粗糙
4			LS-B7-4	85.6~85.8	剪裂帶 夾角礫	0.21	29.68		試體剪動面含有粒徑大小不等顆粒，剪動面觸感較粗糙
5			LS-B7-5	86.35~86.5	剪裂泥	0.00	22.29		試體剪動面較為光滑，無明顯顆粒，黏性高
6		LS-B8	LS-B8-1	77.2~77.4	剪裂帶 夾角礫	0.19	35.75		試體剪動面含有粒徑大小不等顆粒，剪動面觸感較粗糙
7			LS-B8-2	86.0~86.2	剪裂帶 夾角礫	0.03	28.37		試體剪動面含有粒徑大小不等顆粒，剪動面觸感較粗糙
8			LS-B8-3	111.4~111.6	剪裂泥	0.31	36.87		試體剪動面較為光滑，無明顯顆粒，黏性高
9			LS-B8-4	131.25~131.4	剪裂帶 夾角礫	0.26	30.96		試體剪動面含有粒徑大小不等顆粒，剪動面觸感較粗糙
10			LS-B8-5	148.3~148.5	剪裂帶 夾角礫	0.12	29.25		試體剪動面含有粒徑大小不等顆粒，剪動面觸感較粗糙

3.7 觀測成果(含新增地中活動性觀測材料安裝及地下水位量測)

廬山聚落地區自 2011 年 9 月開始相關活動性觀測工作，彙整觀測儀器及平面位置，分別如表 3-13 及圖 3-45 所示。此外，本年度(2019 年)計畫新增兩孔地質鑽探 LS-B7 及 LS-B8，於鑽探完成後，均設置測傾管，以調查邊坡滑動深度及活動性。此外，為瞭解地下水位分布情形，測傾管，並以人工方式開孔加工，包覆不織布處理，兼做水位觀測井使用，並於孔內置入自記水壓計，以取得連續性較之地下水位變化資料，詳所示，說明觀測成果如後。

表 3-13、廬山聚落觀測儀器總表
Table 3.13 Observation instruments of Lushan settlement

儀器名稱	編號	孔深數量	量測方式	說明	備註
觀測中					
測傾管兼水位井	LS-B3	100 m	手動	測傾管以人工方式開孔，外包覆不織布，兼做水位觀測井使用	-
	LS-B4	80 m			-
	LS-B7	130 m			-
	LS-B8	150 m			-
孔內伸縮計	LS-E1	80m	自動	斜孔。變位計採用 Midori 廠牌變位計。	-
自記式水壓計	LS-B7	1 只	半自動	內置於測傾管兼水位井	-
	LS-B8	1 只			-
停止觀測					
測傾管兼水位井	LS-B1	50 m	手動	測傾管以人工方式開孔，外包覆不織布，兼做水位觀測井使用	孔內堵塞
	LS-B2	80 m			測傾管斷管損壞
	LS-B5	50 m			改裝孔內伸縮計
	LS-B6	120 m			孔口遭重物掩埋
孔內伸縮計	LS-E2	120 m	自動	垂直孔。變位計採用 Midori 廠牌變位計。	損壞
	LS-B5	50 m	半自動	LS-B5 測傾管改裝孔內伸縮計	道路施工時，孔口遭掩埋損壞
自記式水壓計	LS-B2	1 只	半自動	內置於測傾管兼水位井	LS-B2 測傾管斷管，無法取出
	LS-B3	1 只			水壓計電量不足，已帶回
	LS-B4	1 只			
	LS-B5	1 只			水壓計電量不足，已帶回
	LS-B6	1 只			LS-B6 測傾管孔口遭掩埋，無法取出
電子式水壓計	LS-B1	1 只	自動	內置於測傾管兼水位井	損壞
雨量計	LS-R1	1 套	自動	傾斗型雨量計	損壞

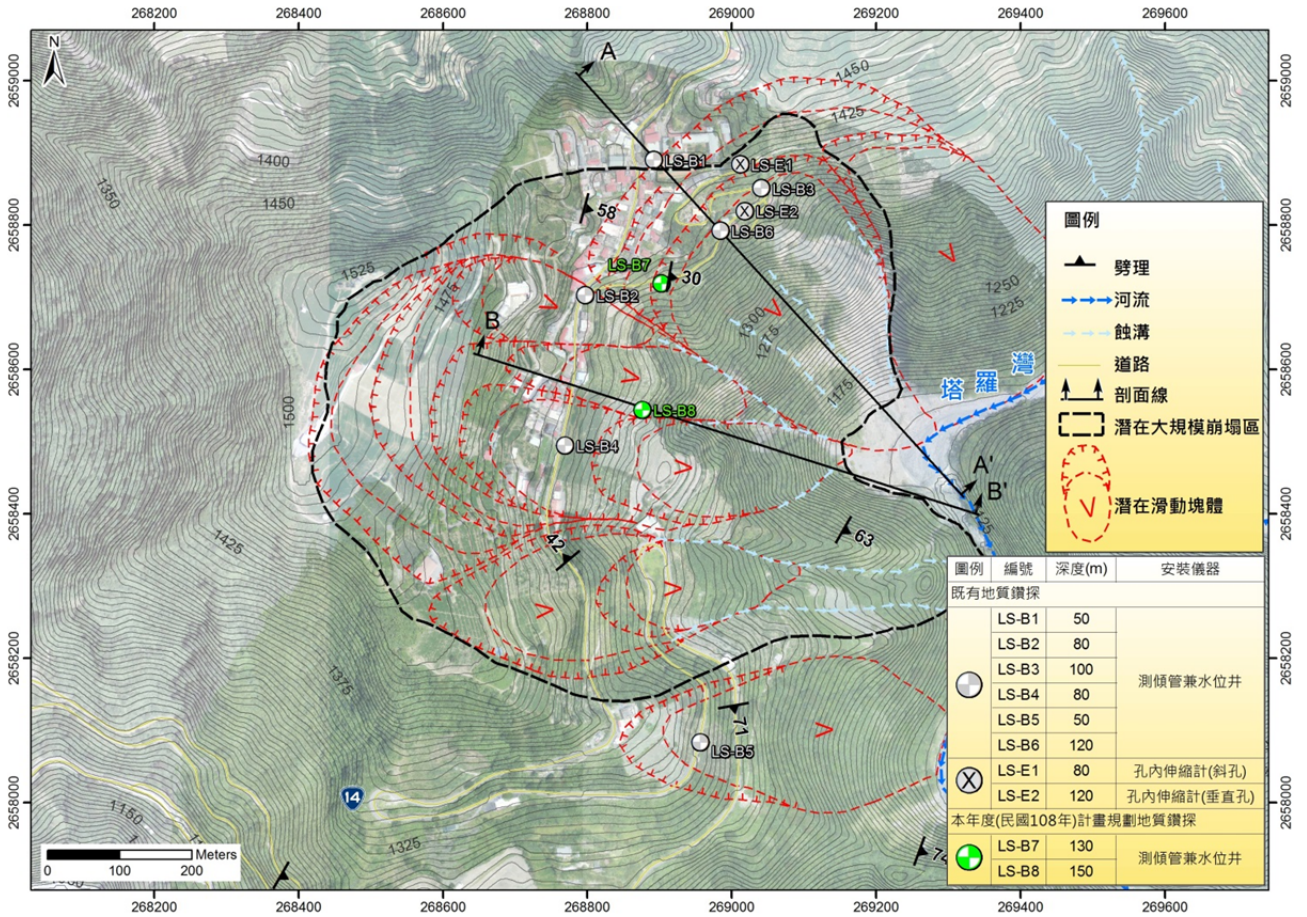


圖 3-45、廬山聚落觀測儀器平面配置圖

Fig. 3.45 Plane map of observation instruments' location of Lushan settlement

一、降雨量觀測成果

蒐集鄰近氣象局廬山雨量站之觀測成果，以瞭解廬山聚落地區之降雨情況，如圖 3-46 所示。本年度(2019 年)觀測迄今，發生數次特殊降雨事件，其中以 5 月 18 日之日雨量達 421 mm 最大，彙整特殊降雨事件如表 3-14 所示。

表 3-14、廬山聚落特殊降雨事件統計
Table 3.14 List of rainfall events of Lushan settlement

項次	日期 (2019 年)	日雨量(mm) 氣象局廬山雨量站	雨量分級【註 1】			
			大雨	豪雨	大豪雨	超大豪雨
1	05/18	421	-	-	V	-
2	06/11	159	V	-	-	-
3	06/12	199	V			
4	06/14	134.5	V			
5	08/09 (利奇馬颱風)	122.5	V	-	-	-
6	08/17	122.5	V	-	-	-
7	08/24	115	V			

【註 1】中央氣象局 2015 年 9 月 1 日修訂之「大雨」及「豪雨」定義如下：

大 雨：指 24 小時累積雨量達 80 mm 以上，或時雨量達 40 mm 以上之降雨現象。

豪 雨：指 24 小時累積雨量達 200 mm 以上，或 3 小時累積雨量達 100 mm 以上之降雨現象。

大 豪 雨：指 24 小時累積雨量達 350 mm 以上之降雨現象。

超 大 豪 雨：指 24 小時累積雨量達 500 mm 以上之降雨現象。

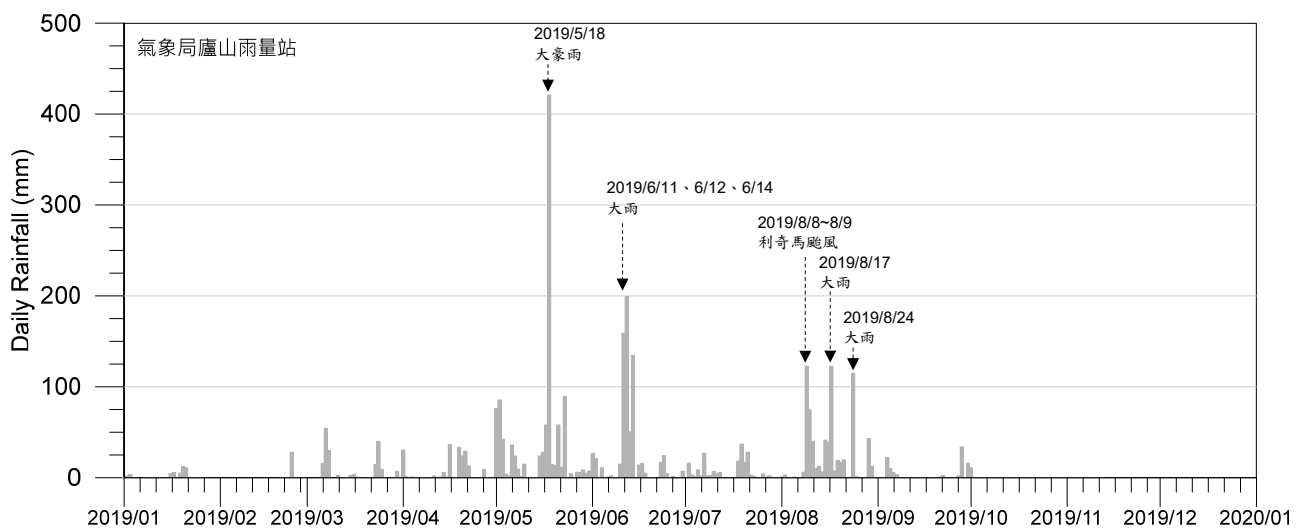


圖 3-46、廬山聚落降雨量觀測成果
Fig. 3.46 Rainfall observation result of Lushan settlement

二、地下水觀測成果

本調查區地下水位觀測方式，係將測傾管予以開孔處理，並於管壁外包覆不織布，以兼作水位觀測井使用，並於孔內置入水壓計，以自動化方式連續記讀地下水位深度，地下水位觀測成果如圖 3-47 及圖 3-48 所示，茲將觀測成果說明如下：

- (一) **LS-B1(孔深 50 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 40 m，降雨期間地下水位上升約 1~2 m，上升幅度不大，目前水壓計損壞已拆回。
- (二) **LS-B2(孔深 70 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 40~42 m，降雨期間地下水位上升約 1~10 m，目前傾斜管斷管，無法取出水壓計讀取資料。
- (三) **LS-B3(孔深 100 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 60~65 m，降雨期間地下水位上升約 2~10 m，目前水壓計電量不足，已拆回。
- (四) **LS-B4(孔深 80 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 46~48 m，降雨期間地下水位上升約 2~5 m。
- (五) **LS-B5(孔深 50 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 49 m，地下水位長期無明顯變化，目前水壓計電量不足，已拆回已拆回。
- (六) **LS-B6(孔深 120 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 66~68 m，降雨期間地下水位上升約 2~12 m，目前測傾管遭掩埋，無法取得水壓計讀取資料。
- (七) **LS-B7(孔深 130 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 33 m，由於觀測期間較短，尚未能充分掌握 LS-B7 孔之地下水位分布情形。本計畫後續將持續觀測，取得較長期觀測資料，以進行研析。
- (八) **LS-B8(孔深 150 m)**：於觀測期間內，常時水位約地表下 30 m，由於觀測期間較短，尚未能充分掌握 LS-B8 孔之地下水位分布情形。本計畫後續將持續觀測，取得較長期觀測資料，以進行研析。

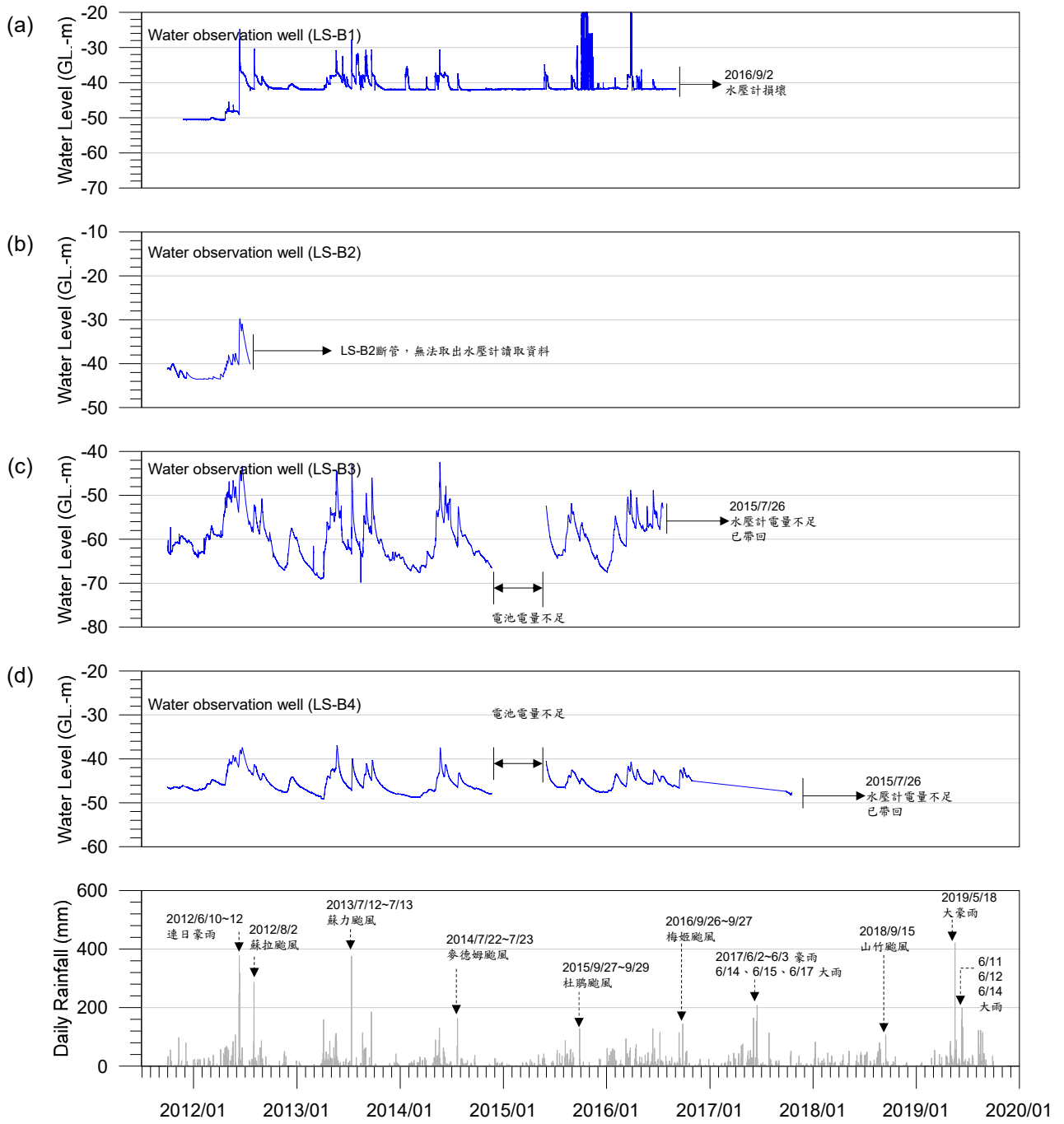


圖 3-47、廬山聚落地下水位觀測成果

Fig. 3.47 Groundwater water observation result of Lushan settlement

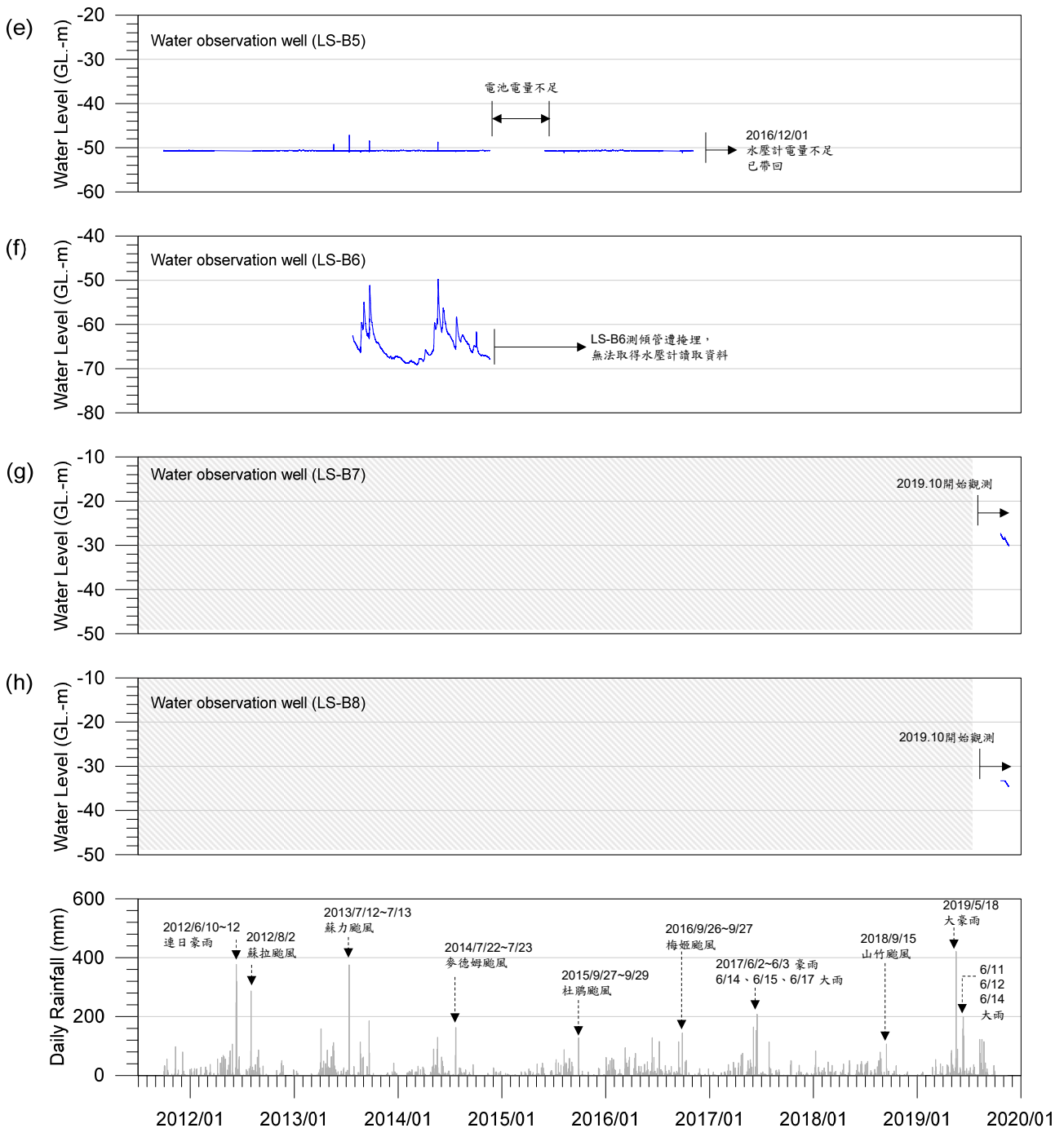


圖 3-48、廬山聚落地下水位觀測成果

Fig. 3.48 Groundwater water observation result of Lushan settlement

三、邊坡活動性觀測成果

廬山聚落地區包含測傾管及孔內伸縮計等邊坡活動性觀測儀器，說明如下：

(一) 測傾管：觀測成果如表 3-15 及表 3-16 所示，說明如下：

1. LS-B1(孔深 50 m，測傾管堵塞)：由 2011 年 9 月~2016 年 7 月觀測成果顯示，於深度 18 m 處具變位趨勢，顯示為可能滑動深度。另於孔底深度 50 m 處，測

傾管即有變形現象，顯示變形深度可能更深。2016年11月量測時發現水壓計纜線損壞，使孔內堵塞，無法繼續量測。至2016年7月時，A及B向孔口累積位移量，分別約1.08及4.06 cm。

2. **LS-B2(孔深 70 m, 已斷管)**: 由2011年9月~2012年4月觀測成果顯示，於地表下12 m具變形現象，為可能滑動深度。2012年7月量測時發現於地表下12 m處斷管，無法繼續量測，斷管時A及B向孔口累積位移量，分別約3.88及5.58 cm。
3. **LS-B3(孔深 100 m)**: 由2011年9月~2018年10月觀測成果顯示，於深度97 m處具有變形現象，顯示為可能滑動深度。觀測期間有持續變位現象，至2018年10月時，A及B向孔口累積位移量，分別約11.96及-1.56 cm。
4. **LS-B4(孔深 80 m)**: 由2011年9月~2018年10月觀測成果顯示，於孔底深度80 m處測傾管曲線略呈傾斜的變形現象，顯示變形深度可能更深。觀測期間有持續變形現象，至2018年10月時，A及B向孔口累積位移量，分別約11.11及1.95 cm。
5. **LS-B5(孔深 50 m, 改裝孔內伸縮計)**: 由2011年9月~2016年11月觀測成果顯示，於深度41.5 m處具變位趨勢，顯示為可能滑動深度。觀測期間持續有持續變形現象，至2016年11月時改裝孔內伸縮計，不再量測，此時A及B向孔口累積位移量，分別約17.45及-4.74 cm。
6. **LS-B6(孔深 120 m, 孔口遭掩埋)**: 由2013年8月~2014年11月觀測成果顯示，於孔底深度120 m處計有變形現象，顯示變形深度可能更深。觀測期間持續有變位產生。2015年7月量測時發現孔口遭重物掩埋，無法繼續量測，孔口遭掩埋時A及B向孔口累積位移量，分別約7.97及3.38 cm。
7. **LS-B7(孔深 130 m)**: 由2019年10月~2019年11月觀測成果得知，LS-B7測傾管之A及B向孔口累積位移量，分別約-0.46及0.6 cm。由於觀測期間較短，尚不能充分瞭解LS-B7測傾管之變形現象，本計畫後續將持續觀測。
8. **LS-B8(孔深 150 m)**: 由2019年10月~2019年11月觀測成果得知，LS-B8測傾管之A及B向孔口累積位移量，分別約-0.36及0.15 cm。由於觀測期間較短，尚不能充分瞭解LS-B8測傾管之變形現象，本計畫後續將持續觀測。

表 3-15、廬山聚落測傾管觀測成果表

Table 3.15 Observation results of inclinometers of Lushan settlement

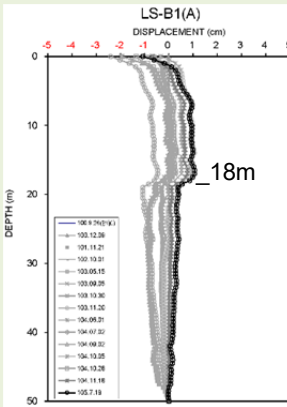
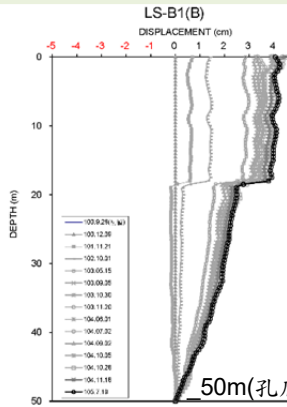
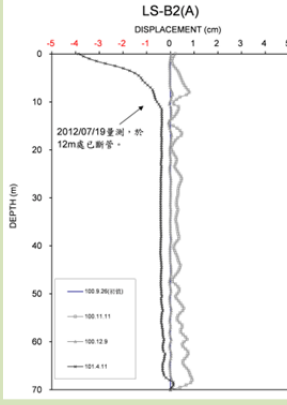
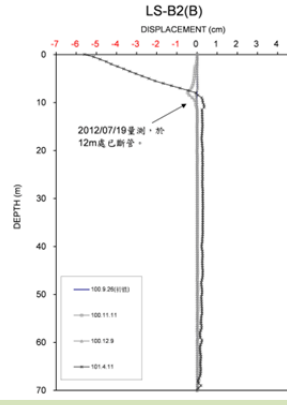
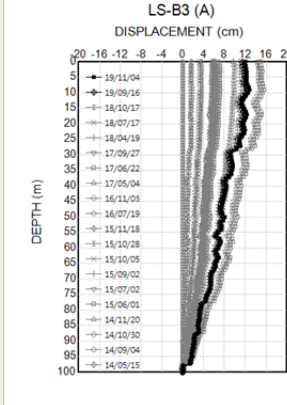
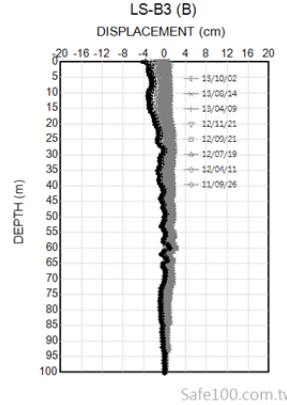
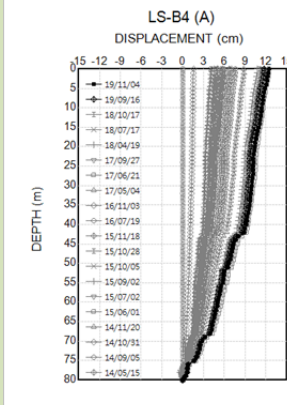
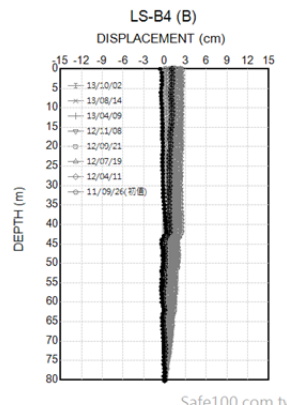
孔號 (深度)	孔口總位移量(cm)		變位圖		備註
	A 向	B 向			
LS-B1 (50 m) (塞孔)	2016.7.19(塞孔)				2016.11.3 發現水壓計纜線損壞，使孔內堵塞無法量測
	-1.08	4.06			
	2015.11.18				
	-0.67	4.44			
LS-B2 (70 m) (斷管)	2012.7.19(斷管)				2012.7.19 發現測傾管於深度 12 m 處斷管，無法量測
	-3.88	-5.58			
	2012.4.11				
	0.02	0.01			
LS-B3 (100 m)	2019.11.4				-
	12.01	-4.25			
	2019.9.16				
	11.43	-3.67			
LS-B4 (80 m)	2019.11.4				-
	12.44	-0.65			
	2019.9.16				
	11.68	1.02			

表 3-16、廬山聚落測傾管觀測成果表(續)

Table 3.16 Observation results of inclinometers of Lushan settlement (continued)

孔號 (深度)	孔口總位移量(cm)		變位圖	備註
	A 向	B 向		
LS-B5 (50 m)	2016.11.4			2016.11 安裝孔內伸縮計，不再量測
	17.45	-4.74		
	2016.7.19			
	16.62	-3.65		
LS-B6 (120 m) (遭掩埋)	2014.11.20(遭掩埋)			2015.7.2 觀測時發現孔口遭重物掩埋無法觀測
	7.97	3.38		
	2014.10.30			
	7.90	3.33		
LS-B7 (130 m)	2019.11.18			2019.10.21 完成初值量測
	-0.46	-0.39		
	2019.11.05			
	-0.25	-0.24		
LS-B8 (150 m)	2019.11.18			2019.10.21 完成初值量測
	-0.36	0.15		
	2019.11.05			
	-0.19	-0.06		

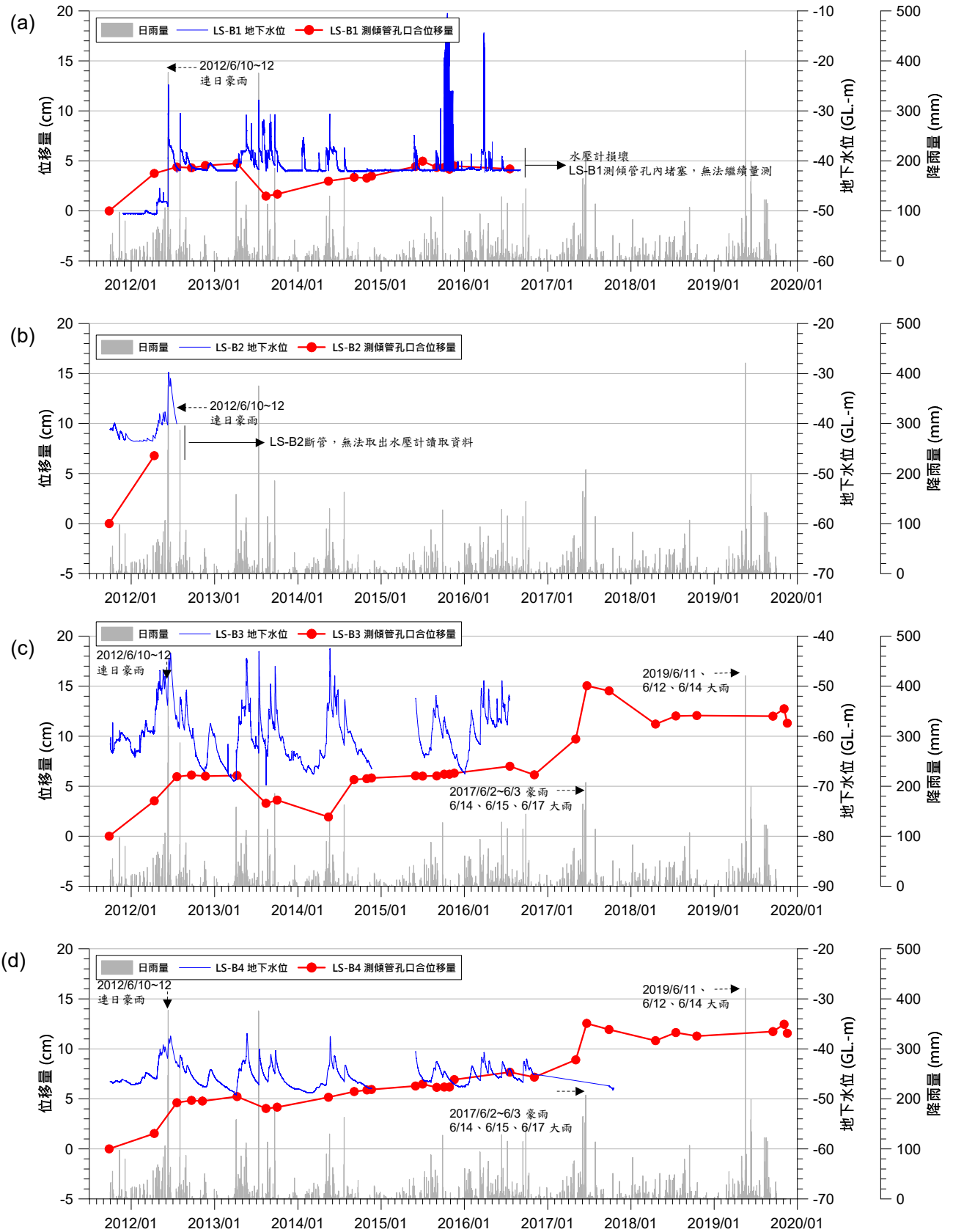


圖 3-49、廬山聚落測傾管孔口位移與降雨量及地下水位比較

Fig. 3.49 Overlay diagram of inclinometer displacement at top, groundwater table and rainfall of Lushan settlement

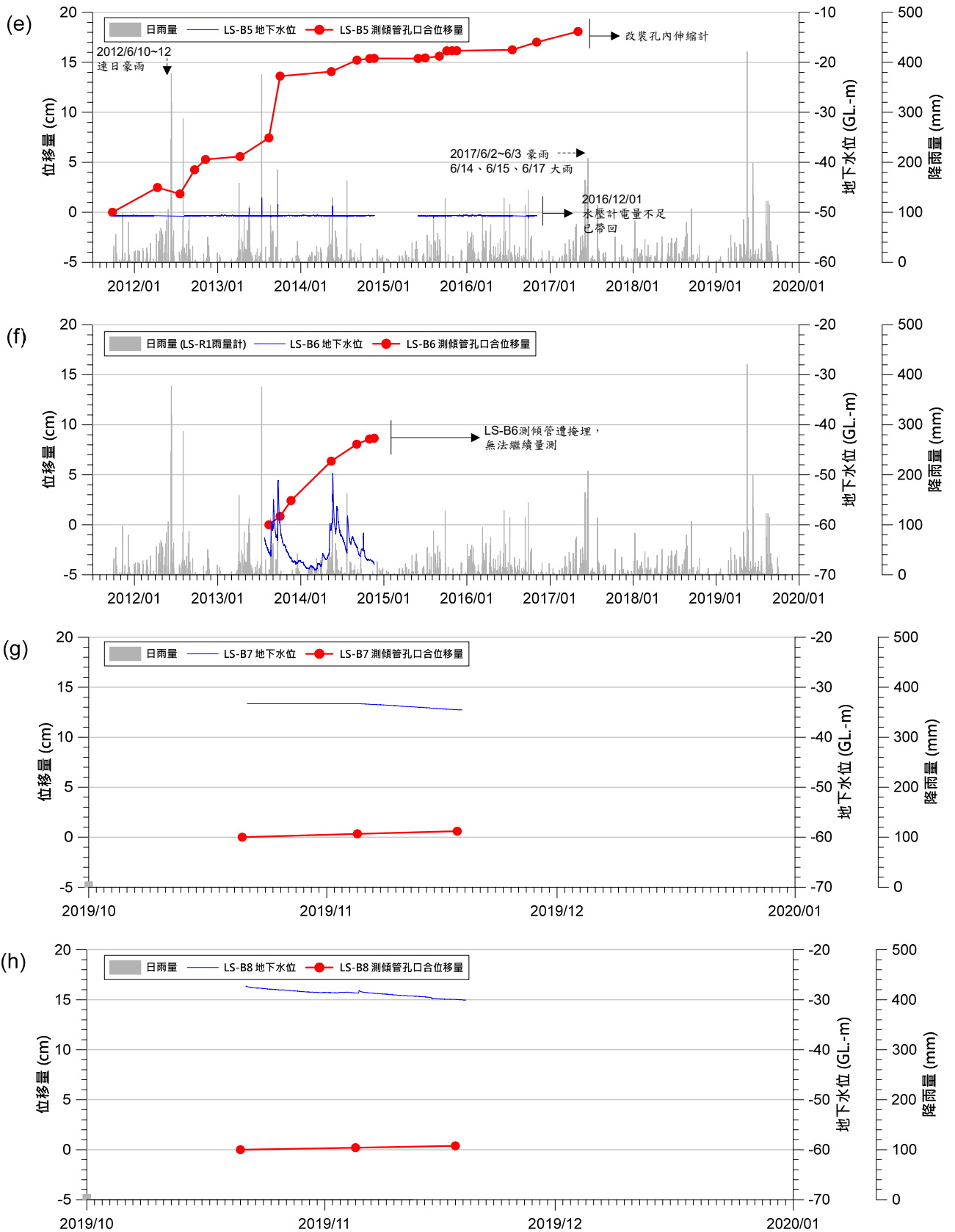


圖 3-50、廬山聚落測傾管孔口位移與降雨量及地下水位比較(續)

Fig. 3.50 Overlay diagram of inclinometer displacement at top, groundwater table and rainfall of Lushan settlement (continued)

(二) 孔內伸縮計：觀測成果如圖 3-51 所示，說明如下：

1. **LS-E1(孔深 80 m)**：本調查區於廬山國小後門道路旁，設置設 1 組孔內伸縮計，深度 80 m，斜孔式，自開始觀測迄今，變化量不大，變化量介於 0~2.5 mm 間。
2. **LS-E2(孔深 120 m)**：本調查區於 LS-B3 孔附近設置 1 組孔內伸縮計，深度 120 m，垂直孔，採自動化觀測。自開始觀測迄今，變化量不大，變化量介於 0~2.5 mm 間。目前 LE-E2 孔內伸縮計故障，無法繼續使用。
3. **LS-B5(孔深 50 m)**：本調查區於利用既有 LS-B5 測傾管改裝孔內伸縮計，深度 50 m，垂直孔，採半自動化觀測。自開始觀測迄今，變化量不大，變化量介於 0~1 mm 間。LS-B5 孔內伸縮計於 2019 年 6 月，因道路施工損壞，無法繼續使用。

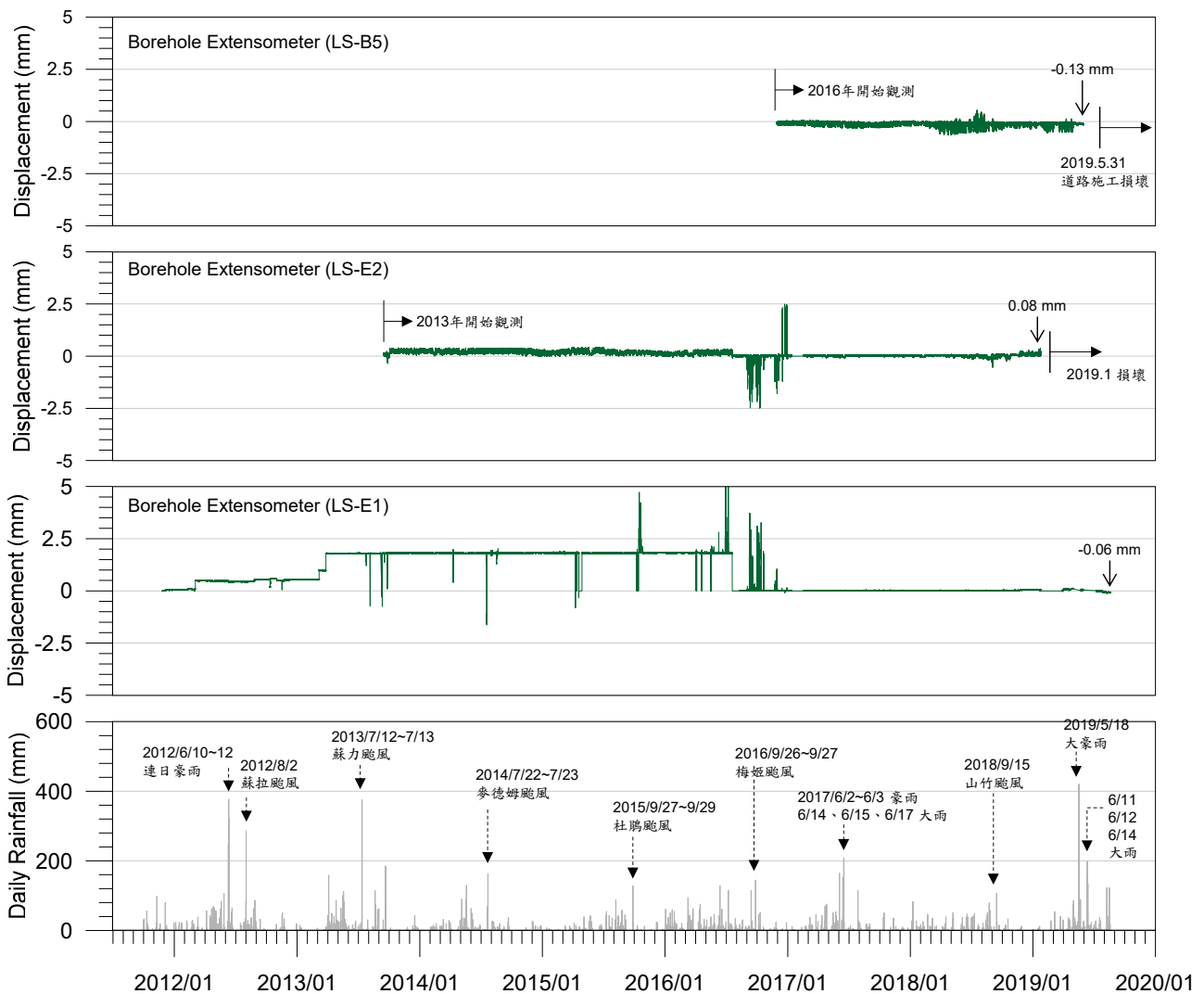


圖 3-51、廬山聚落孔內伸縮計位移歷時曲線圖

Fig. 3.51 Observation results of borehole extensometer at Lushan settlement

3.8 潛在山崩機制與及活動性分析

一、邊坡材料特性

由地表地質調查成果顯示，廬山聚落區域之坡向與劈理位態一致，屬順向坡地形，其不連續面為板劈理面，劈理面傾角大致為 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ，大於邊坡之坡度 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，屬於未見光順向坡。

由地質鑽探岩芯成果發現，區域邊坡地表下約 2~22 m 為岩屑層，其材料組構主要由破碎或風化的粉砂質板岩、砂岩與土壤組成。岩屑層下方為岩層，岩性主要為黑色粉砂質板岩，夾灰色砂岩，板劈理發達。區域邊坡已可見劈理面有挫曲(Bukling)變形，部分岩體也較為破碎，顯示強度較低，不利邊坡穩定，而在較深層岩芯亦可見劈理急折的狀況，顯示區域邊坡有深層變形的狀況。

二、潛在山崩機制分析

由地表露頭及岩芯，可見板劈理面挫曲變形及岩芯劈理面急折，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。而由觀測成果顯示，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，有賴持續觀測。繪製潛在山崩機制剖面示意圖，如圖 3-52 所示。此外，廬山聚落下邊坡於 2017 年 0601、0613 豪雨事件，則有發生相對淺層的岩屑崩滑，亦為需要持續注意的對象之一。

三、邊坡活動性

由目前觀測成果，獲得以下初步結論：

(一) 邊坡變形深度深：由測傾管觀測成果(變位曲線)發現，廬山聚落 LS-B4、LS-B6 孔於地表下約 80~120 m 處，仍可見變形情形，變形深度深。此外，LS-B4(孔深 80 m)、LS-B6(孔深 120 m)測傾管於孔底略有呈現傾斜的變形，顯示孔底非不動點，變形深度可能更深。本年度並新增 LS-B7 及 LS-B8 等兩孔測傾管，孔深分別為 130 m 及 150 m，期以掌握邊坡最深變形深度。由於本年度觀測期間尚短，LS-B7 及 LS-B8 孔尚無明顯變化，本計畫將持續觀測，藉由取得較長期觀測資料，回饋評估邊坡變形深度參考。

(二) 邊坡活動性與地下水有關：觀察 2011~2018 年間之測傾管觀測成果，區域邊坡長期而言，大致有緩慢變形的趨勢。在豪雨事件後，變形量則有增加情形，例如 2012 年 0610 豪雨事件、2017 年 0601 豪雨事件，LS-B3 及 LS-B4 等測傾管位移量增加約 2~5 cm 不等，地下水位則上升約 5~10 m 不等，顯示地下水條件為影響區域邊坡活動性的因子之一。

本年度(2019 年)觀測迄今，廬山聚落地區發生數次特殊降雨事件，其中以 5 月 18 日之日雨量達 421 mm，及 6 月 11 日至 14 日連日降雨，累積雨量達 540 mm 較大，其餘期間降雨量相對較小。其中，與 2018 年觀測結果比較，於 2019 年觀測期間，LS-B3 及 LS-B4 等 2 孔測傾管兼水位井，其孔口變位量約為 1 cm 內，變化量不大。本年度計畫並至廬山聚落地區進行現場勘查，由現場勘查結果發現，區域內可見地坪開裂、結構物變形等可能邊坡不穩定表徵，但無明顯的擴大現象。本計畫將持續追蹤。

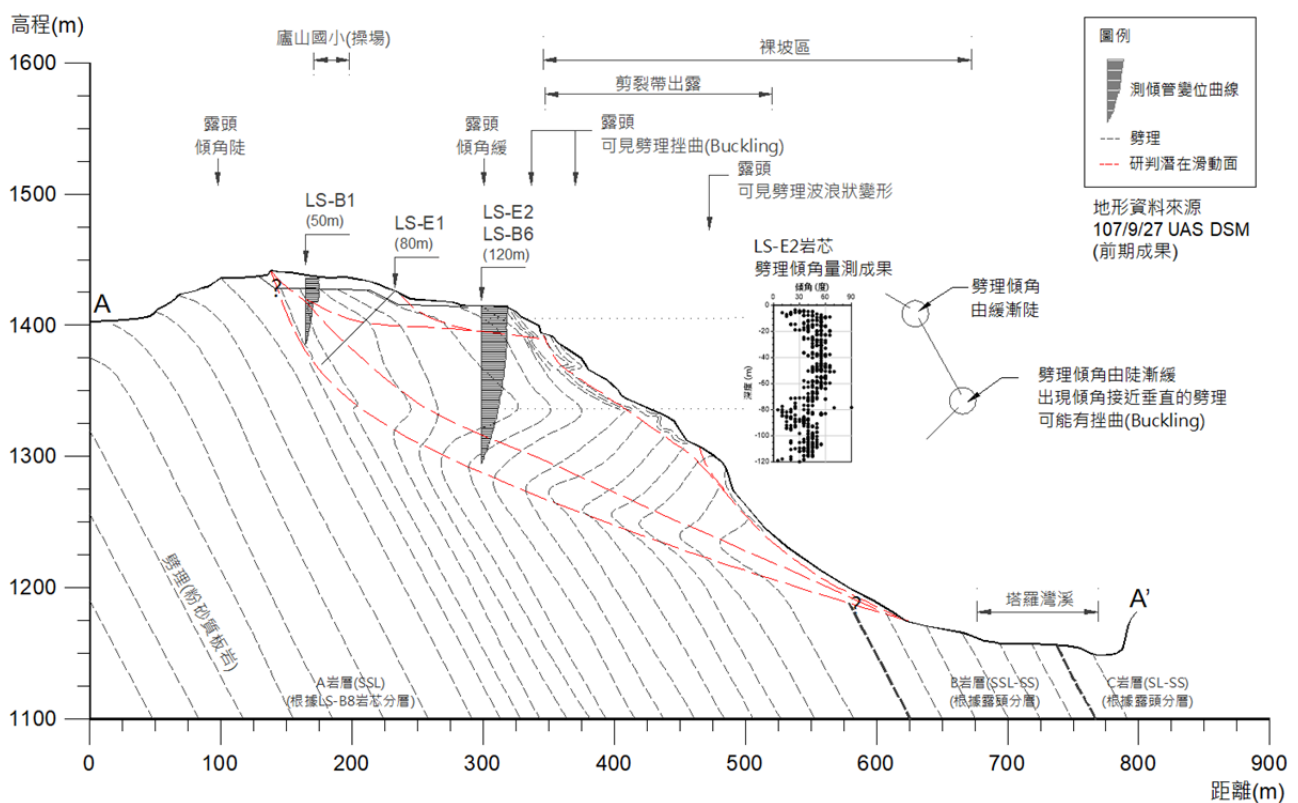


圖 3-52、廬山聚落潛在山崩機制剖面示意圖(A-A' 剖面，位置如圖 3-45 所示)
Fig. 3.52 Illustration profile of potential landslide mechanism of Lushan settlement

第四章、潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估

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，供後續工作參考。針對前述近期活動性相對較高之潛在山崩地區，本計畫將進行現場勘查、活動性觀測及調查區履歷事件簿更新、彙整及研析等工作，以追蹤邊坡活動性。說明成果如後。

4.1 工作概述

一、潛在大規模崩塌編號

本計畫包含前期計畫 31 處調查區，其位置分佈如圖 4-1 所示。其中，本計畫調查區部分為中央地質調查所另案判釋之潛在大規模崩塌區，彙整本計畫調查區與潛在大規模崩塌區編號，如表 4-1 所示，以利後續工作成果整合。另由彙整結果得知，本計畫 31 處調查區中，每處有一個或一個以上的潛在大規模崩塌區編號，共計 24 處。

二、原鄉地區

參考原住民委員會網站公布資料，臺灣地區目前共有 55 個原鄉地區。其中，本計畫 31 處調查區中，共有 19 處調查區位於原鄉地區，彙整如表 4-1 所示。本計畫相關調查及觀測成果，可供原鄉地區防災資訊服務參考。

三、基本資料及觀測作業

本計畫調查區之基本資料如表 4-2 及表 4-3 所示。本年度(2019 年)計畫主要針對其中邊坡活動性相對較高的 8 處調查區，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、潮洲湖等潛在山崩地區進行現場勘查、潛在山崩地區活動性觀測及自動化活動性觀測站維護，以供地質安全評估參考。

本年度計畫潛在山崩活動性區之儀器數量，如表 4-4 及表 4-5 所示，包含手動、半自動及自動化觀測等方式。本年度計畫並根據現場勘查及觀測成果，進行履歷事件簿彙整，如附錄四所示。有關自動化活動性觀測站維護部分，請參閱第八章。概述現場勘查及觀測成果如後。

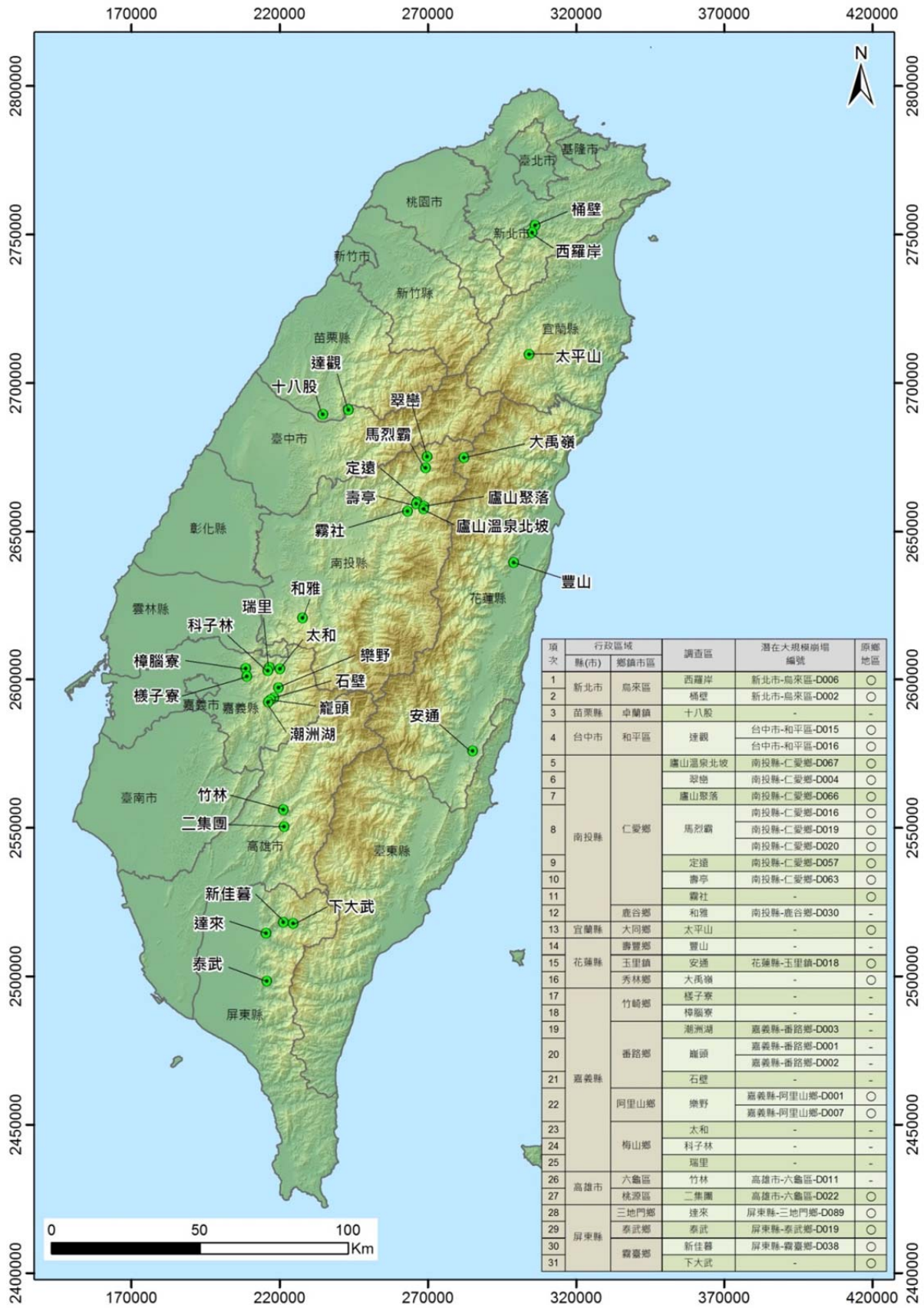


圖 4-1、本計畫調查區位置示意圖

Fig. 4.1 The location of the survey area in this plan

表 4-1、本計畫調查區及潛在大規模崩塌區編號

Table 4.1 The number of survey areas and potential large-scale landslide area

項次	行政區域		調查區	Name	潛在大規模崩塌區編號*	原鄉地區**	
	縣(市)	鄉鎮市區					
1	新北市	烏來區	西羅岸	Hisloan	新北市-烏來區-D006	○	
2			桶壁	Tongbi	新北市-烏來區-D002	○	
3	苗栗縣	卓蘭鎮	十八股	Shibagu	-	-	
4	台中市	和平區	達觀	Daguan	台中市-和平區-D015 台中市-和平區-D016	○	
5			廬山溫泉北坡	North slope of Lushan hot spring	南投縣-仁愛鄉-D067	○	
6	南投縣	仁愛鄉	翠巒	Tsuiluan	南投縣-仁愛鄉-D004	○	
7			廬山聚落	Lushan settlement	南投縣-仁愛鄉-D066	○	
8			馬烈霸	Maliehpa	南投縣-仁愛鄉-D016 南投縣-仁愛鄉-D019 南投縣-仁愛鄉-D020	○	
9			定遠	Dingyuan	南投縣-仁愛鄉-D057	○	
10			壽亭	Shouting	南投縣-仁愛鄉-D063	○	
11			霧社	Wushe	-	○	
12			鹿谷鄉	和雅	Heya	南投縣-鹿谷鄉-D030	-
13			宜蘭縣	大同鄉	太平山	Taipingshan	-
14	花蓮縣	壽豐鄉	豐山	Fengshan	-	-	
15		玉里鎮	安通	Antung	花蓮縣-玉里鎮-D018	○	
16	花蓮縣	秀林鄉	大禹嶺	Tayuling	-	○	
17			樣子寮	Shetzuliao	-	-	
18			樟腦寮	Jangnauliao	-	-	
19	嘉義縣	番路鄉	潮洲湖	Chaochouhu	嘉義縣-番路鄉-D003	-	
20			龍頭	Long-Tou	嘉義縣-番路鄉-D001 嘉義縣-番路鄉-D002	-	
21			石壁	Shibi	-	-	
22	高雄市	阿里山鄉	樂野	Layeh	嘉義縣-阿里山鄉-D001 嘉義縣-阿里山鄉-D007	○	
23			太和	Taihe	-	-	
24		梅山鄉	科子林	Ketzulin	-	-	
25			瑞里	Juili	-	-	
26		六龜區	竹林	Chulin	高雄市-六龜區-D0011	-	
27	桃源區	二集團	Erhchituan	高雄市-六龜區-D022	○		
28	屏東縣	三地門鄉	達來	Talai	屏東縣-三地門鄉-D089	○	
29		泰武鄉	泰武	Taiwu	屏東縣-泰武鄉-D019	○	
30		霧臺鄉	新佳暮	Hsinchiamu	屏東縣-霧臺鄉-D038	○	
31			下大武	Hsiatawu	-	○	

*潛在大規模崩塌編號：目前潛在大規模崩塌判釋計畫仍在進行中，未來編號仍可能變動。

**原鄉地區資料來源：原住民族委員會網站，<https://www.apc.gov.tw/portal/index.html>。

表 4-2、本計畫 31 處調查區基本資料及調查成果總表
Table 4.2 The basic information and survey results of these 31 survey areas in this plan

項次	地理位置	名稱	代號	保全對象估計	連外道路(孤島效應)	潛在滑動範圍估計	出露地層(岩性)		順向坡地形	潛在山崩地形特徵	具災害歷史		可見滑動表徵	自動化觀測系統	地中觀測具滑動現象	可能滑動深度(測傾管編號)	土石流潛勢溪流		潛在山崩機制
							調查區	調查區附近			編號	位置							
1	新北市烏來區	西羅岸	WL	200 戶 (觀光風景區)	-	30 公頃	沉積岩(B)	乾溝層 (硬頁岩夾薄層至厚層深灰色變質細粒泥質砂岩)	○	○	△	X	○	有 (孔內伸縮計) (多點式地中變位儀)	○	70m(WL-B2)	-	-	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.厚層崩積層內亦有可能發生較淺層崩塌。
2	新北市烏來區	桶壁	TB	20 戶	V	7 公頃	沉積岩(B)	乾溝層 (硬岩為主)	○	○	○	○	○	無	△	36m	新北 DF230 (高潛勢)	同集水區	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.厚層崩積層內亦有可能發生較淺層崩塌。
3	苗栗縣卓蘭鎮	十八股	SB	20 戶	-	12 公頃	沉積岩(B)	卓蘭層 (砂岩、泥岩及頁岩之互層)	○	○	△	○	△	無	△	不明確	苗縣 DF053 (中潛勢)	同集水區	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.坡趾前緣野溪侵蝕作用加劇,可能致使產生岩層間滑動
4	台中市和平區	達觀	DG	117 戶	-	40 公頃	沉積岩(B)	打鹿頁岩 (頁岩夾薄層石英砂岩)	○	X	○	○	○	無	△	不明確	中市 DF006 (高潛勢)	同集水區	崩積層及擾動岩層間之滑動。
5	南投縣仁愛鄉	廬山溫泉北坡	LN	380 戶 (觀光風景區)	V	40 公頃	變質岩(F)	廬山層 (板岩與變質砂岩)	○ 劈理順向 未出露	○	○	○	○	有 (孔內伸縮計) (多點式地中變位儀) (定置型傾斜儀)	○	>109m(A-15) (E.L.1236m)	投縣 DF031 (高潛勢)	潛在山崩 趾部前緣	1.淺層風化、崩積及擾動岩體等鬆散材料往下坡運動。 2.板岩劈理順向坡,沿順向劈理面下坡運動過程中,造成劈理急折帶串連之岩體滑動變形。
6	南投縣仁愛鄉	翠巒	CL	25 戶	V	30 公頃	變質岩(F)	廬山層 (板岩與變質砂岩)	X	○	○	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	>100m(CL-B3) 23m(CL-B1)	-	-	板岩下坡變形作用下之傾翻運動過程中,可能因坡趾溪溝侵蝕而造成運動加速,或發生沿剪裂帶之岩體滑動。
7	南投縣仁愛鄉	廬山聚落	LS	100 戶	V	S-1 (約 30 公頃)	變質岩(F)	廬山層 (板岩與變質砂岩)	○ 劈理順向坡 未出露	△	○	○	△	有 (孔內伸縮計)	○	>120m(LS-B6) (E.L.<1270m)	投縣 DF031 (高潛勢)	潛在山崩 趾部前緣	1.因坡趾處河流侵蝕作用,造成劈理面見光,而產生順向坡滑動。 2.沿順向劈理面下坡潛變運動過程中,造成切穿劈理形成剪裂帶之岩體滑動變形。
8	南投縣仁愛鄉	馬烈霸	LX	180 戶	V	54 公頃	變質岩(F)	廬山層 (板岩及變質砂岩與板岩薄互層,偶夾有厚層變質砂岩)	X	△	○	○	△	無	○	85m(LX-B2)	-	-	板岩重力作用下之傾翻運動過程中,可能因坡趾溪溝侵蝕而造成運動加速,或發生沿剪裂帶之岩體滑動。
9	南投縣仁愛鄉	定遠	DY	50 戶	V	64 公頃	變質岩(F)	廬山層 (板岩)	○ 劈理順向 未出露	○	△	○	○	無	○	20m(DY-B1) (E.L.1662m) 33m(DY-B1) (E.L.1650m) 90m(DY-B1) (E.L.1592m) 85m(DY-B2) (E.L.1552m) >120m(DY-B2) (<E.L.1519m)	投縣 DF030 (高潛勢)	同集水區	板岩重力作用下之傾翻運動過程中,可能因坡趾溪溝侵蝕而造成運動加速,或發生沿剪裂帶之岩體滑動。
10	南投縣仁愛鄉	壽亭	ST	93 戶	V	76 公頃	變質岩(F)	廬山層 (硬頁岩、板岩)	○	○	X	X	○	無	○	140m(ST-B1)	-	-	-
11	南投縣仁愛鄉	霧社	WS	87 戶	-	5.4 公頃	變質岩(F)	廬山層 (硬頁岩、板岩)	○ 劈理順向 未出露	X	○	○	○	無	○	73m(EH-16) (E.L.916m)	-	-	1.淺層風化、崩積及擾動岩體等鬆散材料往下坡運動。 2.板岩劈理順向坡,沿順向劈理面下坡運動過程中,造成劈理急折帶串連之岩體滑動變形。
12	南投縣鹿谷鄉	和雅	HY	20 戶	-	68 公頃	沉積岩(B)	桂竹林層大窩砂岩段 (細粒至粉砂質砂岩)	○	○	○	○	△	有 (地表伸縮計)	○	39m(H08-4)	投縣 DF137 (中潛勢)	於南鄰之 集水區	順向坡滑動。
13	宜蘭縣大同鄉	太平山	TP	850 人/日 (觀光風景區)	V	3.1 公頃	變質岩(F)	廬山層 (厚層板岩)	○ 劈理順向 未出露	○	○	○	○	有 (地表伸縮計) (多點式地中變位儀)	○	>70m(IH-21) (<E.L.1885m)	-	-	板岩下坡變形作用過程中,可能因坡趾溪溝侵蝕而造成運動加速,或發生沿剪裂帶之岩體滑動。
14	花蓮縣壽豐鄉	豐山	FS	30 戶	V	19.3 公頃	變質岩(F)	玉里層 (片岩、變質砂岩)	X	○	○	△	○	無	○	33m(NH-15) (E.L.108m)	花縣 DF136 (高潛勢)	於南鄰之 集水區	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.板岩重力作用下之傾翻運動過程中,可能因坡趾溪溝侵蝕而造成運動加速,或發生沿剪裂帶之岩體滑動。
15	花蓮縣玉里鎮	安通	AT	36 戶	-	10.6 公頃	沉積岩(B)	深海沖積扇相地層 (泥質砂頁岩互層)	X	○	○	○	○	無	○	4.5m(OH-05) (E.L.184m)	花縣 DF078 (低潛勢)	潛在山崩 趾部前緣	崩積層及擾動岩層間之滑動。
16	花蓮縣秀林鄉	大禹嶺	YL	10 戶 (觀光風景區)	-	3.4 公頃	變質岩(F)	大禹嶺層 (板岩、千枚岩及變質砂岩)	○ 劈理順向 未出露	○	○	○	○	無	○	43.5m(MH-01) (E.L.2532m) 52m(MH-03) (E.L.2490m)	-	-	1.淺層風化、崩積及擾動岩體等鬆散材料往下坡運動。 2.板岩下坡變形作用過程中,於劈理彎折處產生剪裂帶,致使上方擾動岩層沿此弱帶發生滑動。

註 1): ○: 確定 △: 疑似或不明確 X: 無此現象 -: 尚無資料

表 4-3、本計畫 31 處調查區基本資料及調查成果總表(續)
Table 4.3 The basic information and survey results of these 31 survey areas in this plan

項次	地理位置	名稱	代號	保全對象估計	連外道路(孤島效應)	潛在滑動範圍估計	出露地層(岩性)		順向坡地形	潛在山崩地形特徵	具災害歷史		可見滑動表徵	自動化觀測系統	地中觀測具滑動現象	可能滑動深度(測傾管編號)	土石流潛勢溪流		潛在山崩機制
							調查區	調查區附近			編號	位置							
17	嘉義縣竹崎鄉	槎子寮	SH	25 戶	-	10 公頃	沉積岩(B) 卓蘭層 (細粒至粉砂質層狀砂岩)	○	○	○	○	○	有 (孔內伸縮計) (多點式地中變位儀)	○	5m(SH-B1) (E.L.291m) 4.5m(SH-B3)	嘉縣 DF010 (中潛勢)	於西鄰之集水區	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.坡趾前緣野溪侵蝕作用加劇,可能致使產生岩層間滑動	
18	嘉義縣竹崎鄉	樟腦寮	ZN	9 戶	-	90 公頃	沉積岩(B) 桂竹林層之關刀山砂岩 (厚層泥質砂岩)	○	○	○	△	△	無	△	不明確	嘉縣 DF011 (高潛勢)	於南鄰之集水區	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.坡趾前緣野溪侵蝕作用加劇,可能致使產生岩層間滑動	
19	嘉義縣番路鄉	潮洲湖	CH	20 戶	-	15 公頃	沉積岩(B) 長枝坑層 (堅硬暗灰色頁岩與灰色砂岩互層)	○	○	○	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	24m(KH-01) (E.L.1164m) 60m(KH-03) (E.L.1098m) 47m(KH-05)	-	-	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.擾動岩層間之滑動。	
20	嘉義縣番路鄉	龍頭	LT	5 戶	-	32 公頃	沉積岩(B) 長枝坑層 (堅硬暗灰色頁岩與灰色砂岩互層)	○	○	○	△	△	無	△	不明確	-	-	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.擾動岩層間之滑動。	
21	嘉義縣阿里山鄉	石壁	XB	15 戶	-	55 公頃	沉積岩(B) 長枝坑層 (堅硬暗灰色頁岩與灰色砂岩互層)	○	○	○	△	△	無	△	不明確	嘉縣 DF056 (高潛勢)	潛在山崩趾部前緣	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.擾動岩層間之滑動。	
22	嘉義縣阿里山鄉	樂野	LY	120 戶	-	S-1 (約 16 公頃)	沉積岩(B) 長枝坑層 (砂岩和頁岩之互層)	○	○	○	○	△	無	○	32m(LY-B3) (E.L.1103m)	嘉縣 DF044 (中潛勢)	於西鄰之集水區	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.厚層崩積層內亦有可能發生較淺層崩塌。	
23	嘉義縣梅山鄉	太和油車寮	TH	30 戶	-	S-1(約 22 公頃) S-2(約 19 公頃) S-3(約 23 公頃) S-4(約 65 公頃)	沉積岩(B) 南莊層 (砂岩及頁岩互層)	○	○	○	○	○	有 (孔內伸縮計)	○ (部分區域)	46m(TH-B3) (E.L.1123m) 73.5m(TH-B4) (E.L.1114m) 50m(TH-B5) (E.L.1090m) 45m(TH-B8) (E.L.1190m)	嘉縣 DF008 (中潛勢)	潛在山崩趾部前緣	S-1、S-2 及 S-4:古崩塌地之坡址堆積區,因坡址土石流潛勢溪流側向侵蝕作用下,造成坡趾不穩定,由於岩層間亦見剪裂帶分佈(地表下 72m)。倘若侵蝕作用加劇,不排除造成深層滑動。 S-3:倘若坡趾溪溝侵蝕作用加劇,亦可能造成岩層見光而產生順向坡滑動。	
24	嘉義縣梅山鄉	科子林	RL	15 戶	-	S-1 (約 25 公頃)	沉積岩(B) 卓蘭層 (砂岩、粉砂岩、泥岩及頁岩之互層)	○	○	○	○	△	有 (孔內伸縮計)	△	不明確	嘉縣 DF003 (高潛勢)	潛在山崩趾部前緣	1.厚層崩積層因坡趾遭掏刷而產生崩塌。 2.崩積層與岩層間之滑動。 3.順向坡滑動(頭部區域)。	
25	嘉義縣梅山鄉	瑞里	LL	100 戶	-	62 公頃	沉積岩(B) 卓蘭層 (砂岩、泥岩及頁岩之互層)	○	○	○	○	△	無	△	不明確	嘉縣 DF006 (中潛勢)	潛在山崩趾部前緣	1.崩積層與岩層間之滑動。 2.坡趾前緣野溪侵蝕作用加劇,可能致使產生岩層間滑動	
26	高雄市六龜區	竹林	ZL	12 戶	-	S-1 (約 90 公頃)	沉積岩(B) 樟山層 (深灰色硬頁岩與板岩)	○	○	○	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	94m(ZL-B1) (E.L.610m) 90m(ZL-B2) (E.L.747m)	-	-	厚層擾動岩層(破碎、含剪裂泥材料)之堆積材料膠結度差、強度低,於外力條件(如地下水)達臨界狀態後產生滑動。此外,亦可能因地表逕流集中而產生土石流災害。	
27	高雄市桃源區	二集團	JT	50 戶	V	12 公頃	變質岩(F) 樟山層 (硬頁岩與板岩)	○	○	△	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	>75m(JT-B1) (E.L.<1265m)	高市 DF077 (高潛勢)	於北鄰之集水區	坡趾溪溝(不老溪支流及邦腹北溪支流)向源侵蝕,致使上邊坡破碎板岩區發生滑動。	
28	屏東縣三地門鄉	達來	DL	60 戶	V	S-2 (約 35 公頃)	變質岩(F) 潮洲層 (硬頁岩或板岩)	○	○	○	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	>100m(DL-B2) (E.L.<322m) 105m(DL-B6) (E.L.<432m)	-	-	1.坡趾隘寮北溪側向侵蝕作用,造成坡趾邊坡崩塌,邊坡劈理因而見光,產生大規模順向坡破壞。 2.板岩下坡邊行作用下之傾翻運動過程中,可能因坡趾溪溝侵蝕而造成運動加速,或發生沿剪裂帶之岩體滑動。	
29	屏東縣泰武鄉	泰武	TW	10 戶 (部分已遷出)	V	S-1 (約 20 公頃)	變質岩(F) 潮洲層 (硬頁岩或板岩)	○	○	△	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	>100m(TW-B1) (<E.L.592m) >80m(TW-B2) (<E.L.621m)	屏縣 DF067 (中潛勢)	同集水區	板岩於下坡運動過程中,致使劈理急折,形成剪裂帶。坡趾溪溝向源侵蝕作用,加速板岩地層之變形行為,亦致使邊坡坡趾劈理因而見光,發生順向坡滑動。	
30	屏東縣霧臺鄉	新佳暮	JM	30 戶	V	S-1 (約 17 公頃)	變質岩(F) 潮洲層 (硬頁岩或板岩)	○	△	○	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	>80m(JM-B1) (<E.L.375m)	-	-	坡趾溪溝側向侵蝕作用,造成邊坡坡趾劈理因而見光,發生順向坡滑動。	
31	屏東縣霧臺鄉	下大武	DW	10 戶 (部分已遷出)	V	S-1 (約 15 公頃)	變質岩(F) 潮洲層 (硬頁岩或板岩)	○	△	○	○	○	有 (孔內伸縮計)	○	>80m(DW-B2) (<E.L.387m)	-	-	板岩於下坡運動過程中,致使劈理急折,形成剪裂帶。目前聚落位於崩塌堆積區,受坡趾受河流側向侵蝕作用(坡趾係為攻擊岸),造成坡趾邊坡不穩定,進而產生崩塌。	

註 1): ○:確定 △:疑似或不明確 X:無此現象 -:尚無資料

表 4-4、本年度計畫儀器數量表
Table 4.4 The number of instruments in this plan

調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
1	西羅岸	雨量計	WL-R1	-	○	-
		分層水位觀測井	WL-W1	80	○	安裝電子式水壓計，3只，即時傳輸。 安裝深度：地表下 37 m、69 m、75 m。
		測傾管兼水位井	WL-B1	100	-	-
			WL-B4	60	-	-
		多點式地中變位儀	WL-B2	100	○	內置電子式水壓計，即時傳輸。 SAA 安裝深度：地表下 63~75 m。
孔內伸縮計	WL-E1	80	○	多段式：2段。垂直孔。 固定深度：地表下 65 m、80 m。		
調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
2	太平山	分層水位觀測井	IH-27	65	○	電子式水壓計，2只，即時傳輸。 安裝深度：地表下 12 m、65 m。
		測傾管兼水位井	IH-21	70	○	內置電子式水壓計，即時傳輸。
		多點式地中變位儀	IH-23A	20	○	安裝深度：地表下 0~20 m。
調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
3	廬山溫泉北坡	水位觀測井	A-17	50	○	內置電子式水壓計，即時傳輸。
		測傾管兼水位井	A-21	140	○	內置電子式水壓計，即時傳輸。
			A-24	60	○	內置電子式水壓計，即時傳輸。
			A-15-1	120	○	內置電子式水壓計，即時傳輸。 封層深度：地表下 105 m。
			A-26	50	-	-
		定置型傾斜儀 (IPI)	A-18	80	○	安裝深度：地表下 9~60 m，共 15 只。
			A-22	70	○	安裝深度：地表下 44~51 m，共 8 只。
			A-25-1	60	○	安裝深度：地表下 8~57 m，共 14 只。
		多點式地中變位儀	A-18-1	20	○	安裝深度：地表下 0~20 m。
			A-21-1	120	○	安裝深度：地表下 103.5~111.5 m。
		孔內伸縮計	E-2	70	○	斜孔。
			E-4	50	○	斜孔。
			E-6	60	○	垂直孔。
			E-7	70	○	垂直孔。
			E-8	120	○	垂直孔。
E-9	90	○	多段式：3段。垂直孔。 固定深度：地表下 20 m、50 m、90 m。			
GPS 接收站	G-1	-	○	固定站。(潛在滑動塊體外)		
	G-2	-	○	觀測站。(潛在滑動塊體內)		
	G-3	-	○	觀測站。(潛在滑動塊體內)		

表 4-5、本年度計畫儀器數量表(續)
Table 4.5 The number of instruments in this plan

調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
4	廬山聚落	測傾管兼水位井	LS-B3	100	-	-
			LS-B4	80	-	-
		孔內伸縮計	LS-E1	80	○	斜孔。
			LS-E2	120	○	垂直孔。
調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
5	定遠	測傾管兼水位井	DY-B1	120	-	內置自記式水壓計。
			DY-B2	120	-	內置自記式水壓計。
			DY-B3	140	-	內置自記式水壓計。
調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
6	太和	雨量計	TH-R1	-	○	-
		測傾管兼水位井	TH-B1	100	-	-
			TH-B2	80	-	-
			TH-B4	100	○	內置電子式水壓計，即時傳輸。
			TH-B5	80	-	-
			TH-B7	80	-	-
			TH-B8	60	-	-
		孔內伸縮計	TH-E1	80	○	垂直孔。
調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
7	樣子寮	雨量計	SH-R1	-	○	-
		測傾管兼水位井	SH-B2	60	-	-
		孔內伸縮計	SH-E2	10	○	垂直孔。 固定深度：地表下 10 m。
調查區		安裝儀器	儀器編號	孔深(m)	自動化	說明
8	潮州湖	測傾管兼水位井	CH-B1	100	-	-
			CH-B2	80	-	-
			KH-03	80	-	-
		多點式地中變位儀	CH-S1	80	○	兩段式。 安裝深度：地表下 44~50 m、62.5~71.5 m。
		孔內伸縮計	CH-E1	80	○	垂直孔。 固定深度：地表下 75~80 m 處
		分層水位觀測井	CH-W1	80	○	安裝電子式水壓計，3 只，即時傳輸。 安裝深度：地表下 30 m、40 m、80 m。
			KH-07*	60	-	安裝自記式水壓計，2 只。 安裝深度：地表下 7 m、59 m。
		KH-09*	60	-	安裝自記式水壓計，2 只。 安裝深度：地表下 25.5 m、59 m 處。	

4.2 潛在山崩活動性現場勘查及活動性觀測成果

4.2.1 本年度執行期間特殊環境事件

本年度(2019年)計畫主要針對8處調查區，進行現場勘查及活動性觀測工作，如表4-6所示。本年度觀測迄今，歷經數個可能影響坡體穩定之降雨或地震等特殊環境事件，說明如下：

表 4-6、2019 年執行潛在山崩活動性觀測調查區
Table 4.6 The survey of potential large-scale landslide area in 2019

項次	行政區域		調查區	具自動化 觀測系統	參考雨量站
	縣(市)	鄉鎮市區			
1	新北市	烏來區	西羅岸	√	桶後 (中央氣象局 C0A570)
2	南投縣	仁愛鄉	廬山溫泉北坡	√	廬山 (中央氣象局 C0I010)
3			廬山聚落	√	廬山 (中央氣象局 C0I010)
4			定遠	-	廬山 (中央氣象局 C0I010)
5			宜蘭縣	大同鄉	太平山
6	嘉義縣	竹崎鄉	樣子寮	√	樟腦寮(2) (中央氣象局 01L480)
7		番路鄉	潮洲湖	√	龍美 (中央氣象局 C1M390)
8		梅山鄉	太和	√	TH-R1 (本計畫)

一、降雨事件

彙整氣象局及本計畫降雨量觀測成果，本年度觀測期間主要包含 0518 大豪雨、0611 大雨、0808 利奇馬颱風、0815 大雨及 0930 米塔颱風事件等降雨事件，如表 4-7 所示。各降雨事件中，以廬山溫泉北坡於 0518 大豪雨，日雨量達 421 mm 最大，5 月 15 日至 21 日連日降雨期間累積雨量達 617 mm，E-2 孔內伸縮計變位約 10~20 mm，顯示區域邊坡略有活動性產生。此外，樣子寮地區於 0815 連日降雨後，累積雨量達 541 mm，SH-E2 孔內伸縮計變位約 20 mm，現場勘查可發現道路產生新生裂縫，顯示區域邊坡近期有活動跡象。

二、地震事件

地震部分，經查詢中央氣象局網站(<https://scweb.cwb.gov.tw>)，得知 2019 年 1 至 11 月共有 373 個地震，其中，綠色等級地震 367 個、黃色等級地震 5 個、橙色等級地震 1 個(中央氣象局依據地震最大震度及規模，將地震分為綠色、黃色、橙色及紅色等四個等級)。彙整黃色及橙色等級地震資訊，如表 4-8 所示，其中以 4 月 18 日及 8 月 8 日地震事件，其規模達 6 以上較大，其震度分佈圖如圖 4-3 所示。0418 地震主

要以臺灣北部西羅岸、太平山地區，及中部南投廬山溫泉北坡、廬山聚落及定遠等地區附近，震度達 4~5 級較大。0808 地震主要以臺灣北部西羅岸及太平山地區，震度達 4~5 級較大。前述地震期間，各調查區自動化觀測成果無明顯異常變化。

表 4-7、2019 年觀測期間特殊降雨事件
Table 4.7 The rainfall environmental event in 2019

事件	調查區	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
	參考雨量站	氣象局雨量站 桶後 C0A570	氣象局雨量站 太平山 C0A570	氣象局雨量站 廬山 C0I010	本計畫 TH-R1 雨量計	氣象局雨量站 樟腦寮(2) 01L480	氣象局雨量站 龍美 C1M390
	日期	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)
0518 大豪雨	2019/5/15	5.5	9	24	4.5	10	3
	2019/5/16	0	0	28	8.5	16	5.5
	2019/5/17	39.5	11	58	10.5	5	15
	2019/5/18	48	13.5	421	271.5	121	177
	2019/5/19	11	0	14.5	12	13	15
	2019/5/20	37	11	13.5	140	148	98
	2019/5/21	0.5	0.5	58	3.5	0	2.5
	累積雨量 (mm)	141.5	45	617	450.5	313	316
事件	日期	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)
0611 大雨	2019/6/10	5.5	5.5	15	9.5	10	13
	2019/6/11	80.5	42.5	159	67.5	69	72
	2019/6/12	40.5	46.5	199	141.5	103	105
	2019/6/13	12	4.5	50.5	28.5	32	14
	2019/6/14	40	24	134.5	171.5	83	142.5
	累積雨量 (mm)	178.5	123	558	418.5	297	346.5
事件	日期	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)
利奇馬 颱風	2019/8/6	0	0.5	0	0	13	0.5
	2019/8/7	37.5	46.5	0	0	0	1
	2019/8/8	106.5	119	6	22	43	28.5
	2019/8/9	100.5	41.5	122.5	67.5	40	43.5
	2019/8/10	0	4.5	75	162.5	5	44.5
	2019/8/11	1.5	0.5	40	306.5	60	100.5
	2019/8/12	11	1.5	10.5	64	29	90
	累積雨量 (mm)	257	214	254	622.5	190	308.5
事件	日期	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)
0815 豪雨	2019/8/15	1	2.5	41.5	142	200	193.5
	2019/8/16	21	0.5	39	161.5	182	191.5
	2019/8/17	0	40	122.5	108.5	117	133
	2019/8/18	66	62.5	7.5	47.5	42	106
	累積雨量 (mm)	88	105.5	210.5	459.5	541	624
事件	日期	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)	日雨量 (mm)
米塔 颱風	2019/9/27	19	24	2	0	0	0
	2019/9/28	53	57	34	0.5	0	0
	2019/9/29	70.5	27	0	0	0	0
	2019/9/30	152	243.5	16	7	8	4
	2019/10/1	40.5	2.5	11	20	22	18.5
	累積雨量 (mm)	335	354	63	27.5	30	22.5

中央氣象局 2015 年 9 月 1 日修訂之「大雨」、「豪雨」、「大豪雨」及「超大豪雨」定義如下：
 大雨：指 24 小時累積雨量達 80 mm 以上，或時雨量達 40 mm 以上之降雨現象。
 豪雨：指 24 小時累積雨量達 200 mm 以上，或 3 小時累積雨量達 100 mm 以上之降雨現象。
 大豪雨：指 24 小時累積雨量達 350 mm 以上之降雨現象。
 超大豪雨：指 24 小時累積雨量達 500 mm 以上之降雨現象。

表 4-8、2019 年觀測期間地震事件統計(黃色、橙色、紅色等級)

Table 4.8 The earthquake environmental event in 2019

項次	地震編號	顏色燈號	地震時間	最大震度(級)	規模	經度	緯度	深度(公里)	位置
1	6	黃色	2019/1/30 13:21	4	5.9	122.39	23.75	38.8	花蓮縣政府東偏南方 82.4 公里(位於臺灣東部海域)(臺灣東部海域)
2	22	黃色	2019/4/3 9:52	4	5.9	120.85	22.95	4.1	臺東縣政府西偏北方 37.5 公里(位於臺東縣延平鄉)(臺東縣延平鄉)
3	23	黃色	2019/4/4 9:56	4	5.5	120.86	22.98	3.5	臺東縣政府西北方 38.公里(位於臺東縣海端鄉)(臺東縣海端鄉)
4	31	橙色	2019/4/18 13:01	7	6.3	121.56	24.05	20.3	花蓮縣政府西北方 9.4 公里(位於花蓮縣秀林鄉)(花蓮縣秀林鄉)
5	42	黃色	2019/6/4 17:46	5	5.9	121.61	22.84	14.7	臺東縣政府東方 48.公里(位於臺灣東南部海域)(臺灣東南部海域)
6	50	橙色	2019/8/8 5:28	6	6.2	121.91	24.44	24.2	宜蘭縣政府南偏東方 35.9 公里(位於臺灣東部海域)(臺灣東部海域)

顏色燈號，依中央氣象局定義

- 綠色：未達以下標準
- 黃色：芮氏規模 5.5 以上，最大震度 4 級以上
- 橘色：芮氏規模 6.0 以上，最大震度 5 級以上
- 紅色：芮氏規模 6.5 以上，最大震度 6 級以上

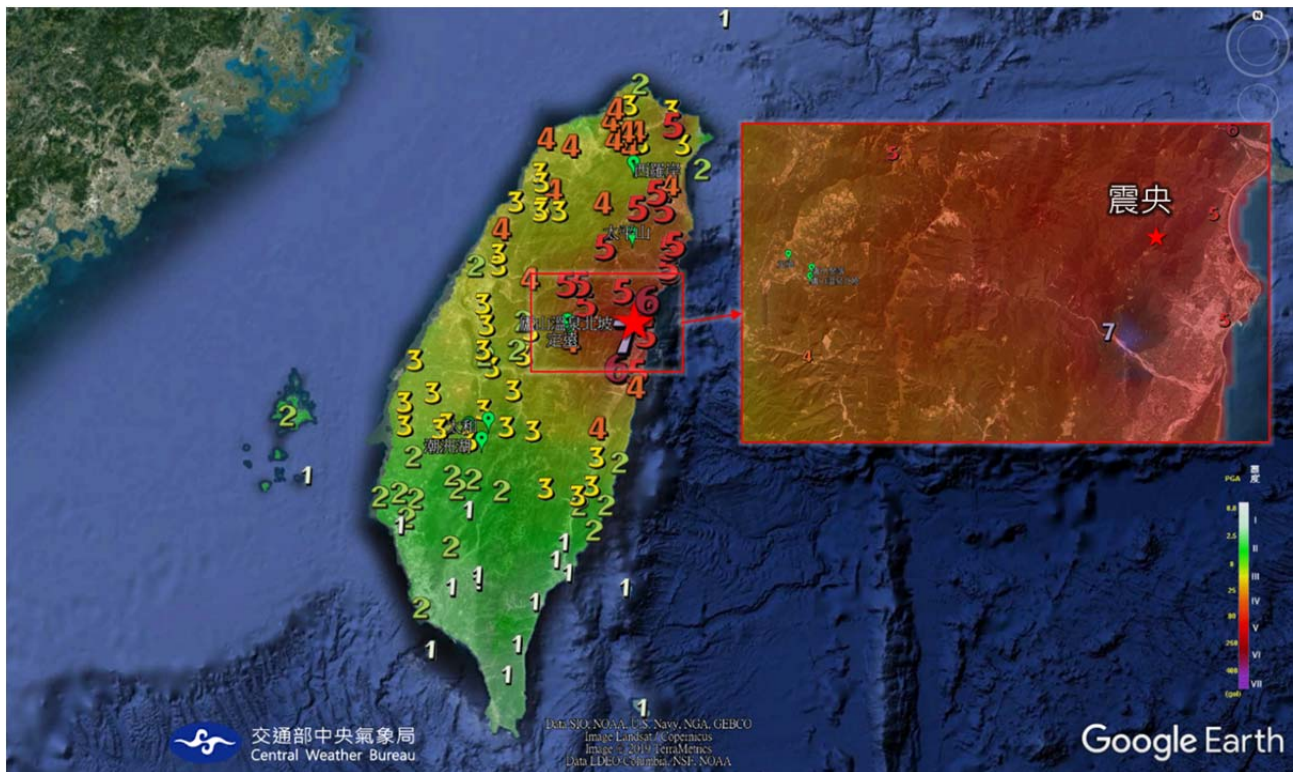


圖 4-2、2019 年 4 月 18 日地震震度分佈圖(資料來源：中央氣象局)

Fig. 4.2 The distribution of seismic intensity by the earthquake on 2019/4/18

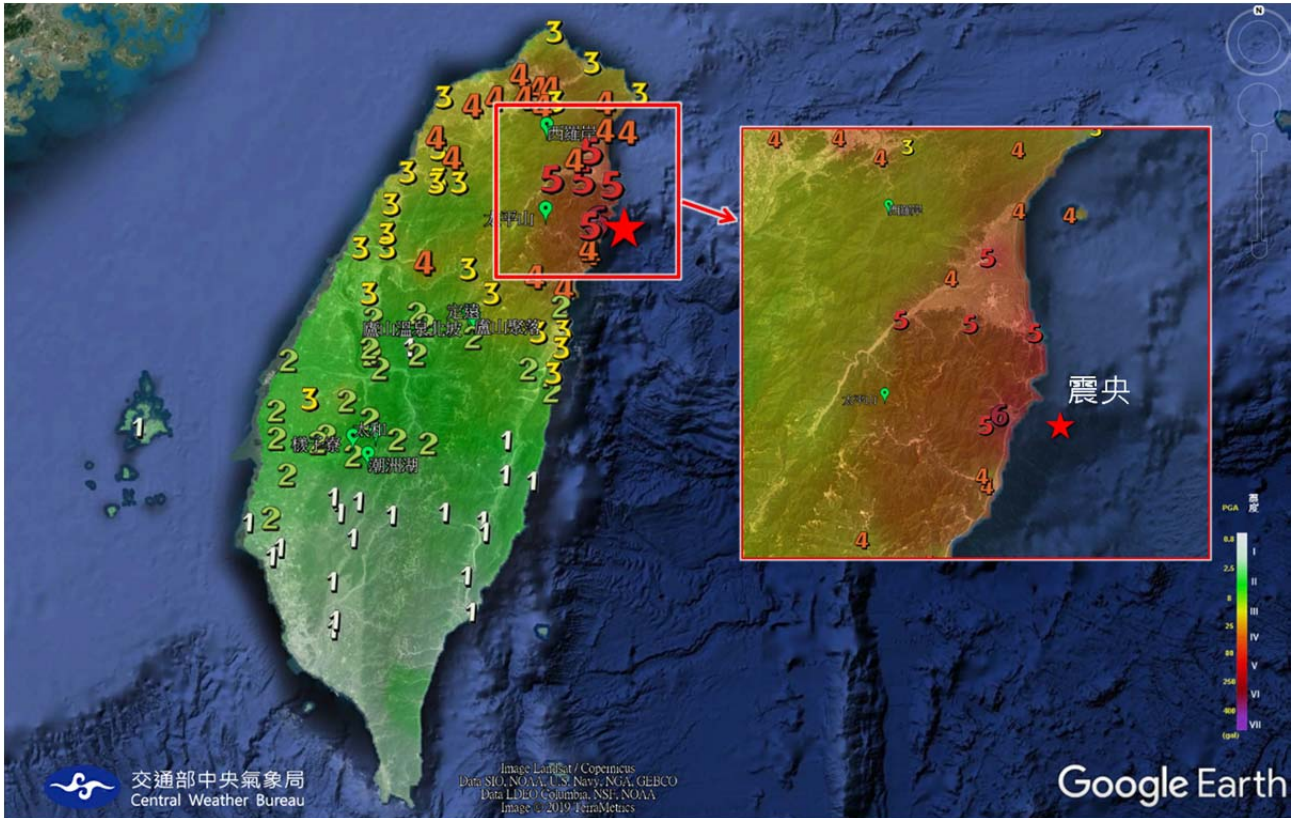


圖 4-3、2019 年 8 月 8 日地震震度分佈圖(資料來源：中央氣象局)
Fig. 4.3 The distribution of seismic intensity by the earthquake on 2019/8/8

4.2.2 潛在山崩地區現場勘查及活動性觀測成果

有關本年度(2019年)計畫於各調查區現場勘查及觀測成果，請參閱附錄四，概述成果如下：

一、新北市烏來區西羅岸地區

本年度觀測迄今，西羅岸地區以8月8日至9日利奇馬颱風期間，日雨量分別達約107 mm及101 mm，累積雨量達208 mm；及9月30日米塔颱風期間，日雨量達152 mm較大，其餘期間降雨量相對較少。本年度觀測期間，WL-W1分層水位觀測井地下水位及WL-E1孔內伸縮計，無顯著的變化，如圖4-4所示，可能與降雨量較少有關。此外，WL-B2多點式地中變位儀於本年度呈持續緩慢變位情形，變位量約1.5 cm，但WL-B2多點式地中變位儀於2014年6月觀測迄今，因受邊坡變位影響，部分深度感測器已陸續出現異常情形，讀值偶有異常變化，故此變位量也可能係儀器不穩定的現象，建議後續僅供參考。本年度計畫於5月24日至現場勘查，由現場勘查成果發現(詳附錄四，4.1.4節)，位於烏來運動場附近既有地坪、擋土牆開裂無明顯擴大現象。另於擋土牆可見滲水情形，初步研判區域具有豐沛的地下水。

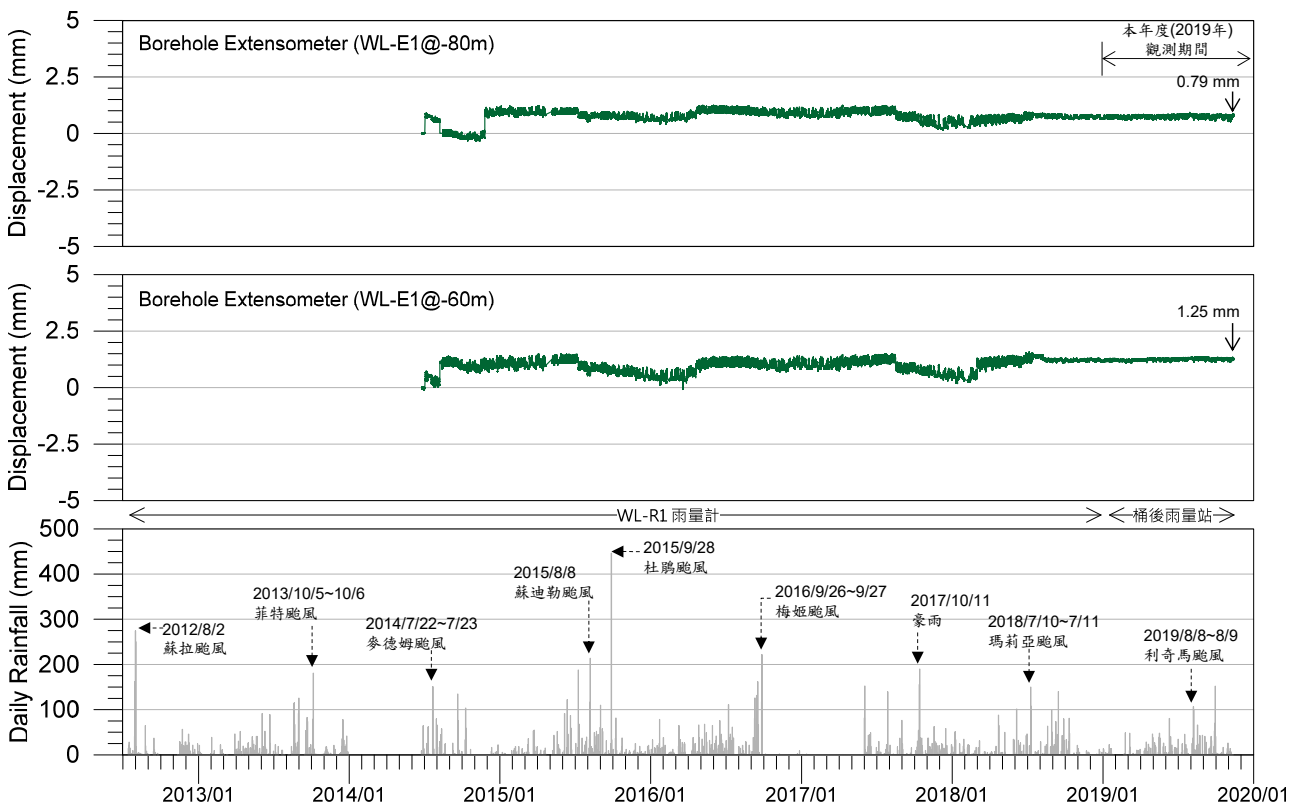


圖 4-4、西羅岸地區摘要觀測成果

Fig. 4.4 Partial observation results of Hisloan area

二、宜蘭縣大同鄉太平山地區

本年度(2019年)觀測迄今，太平山地區以8月8日至9日利奇馬颱風期間，日雨量分別達119 mm及41.5 mm，累積雨量達160.5 mm，及9月30日米塔颱風日雨量達244 mm較大，其餘期間降雨量相對較小。本年度觀測期間，區域IH-21水位觀測井地下水水位昇幅約3~12 m不等，進一步比對IH-23-S多點式地中變位儀之變位狀況，其變位加速情形並不顯著。此外，在8月8日地震期間，太平山地區自動化觀測儀器無明顯異常變化。本年度觀測迄今，IH-23-S多點式地中變位儀呈現持續緩慢變位情形，累積變位量約10 cm。與降雨量及地下水水位觀測成果比較，得知IH-23-S多點式地中變位儀之變位與降雨量及地下水昇幅無明顯關係。而由本計畫現場勘查成果發現(詳附錄四，4.1.4節)，本調查區區域附近有工程正在進行中，故初步研判儀器之變位可能受施工擾動影響。另一方面，多點式地中變位儀於2012年2月觀測迄今，已累積約10 cm之變形量，亦不排除部分深度感測器可能因耐久性而有不穩定情形，尚難避免。此外，太平山地區目前亦由管理單位農委會林務局羅東林管處進行觀測中，本計畫相關成果可供參考。

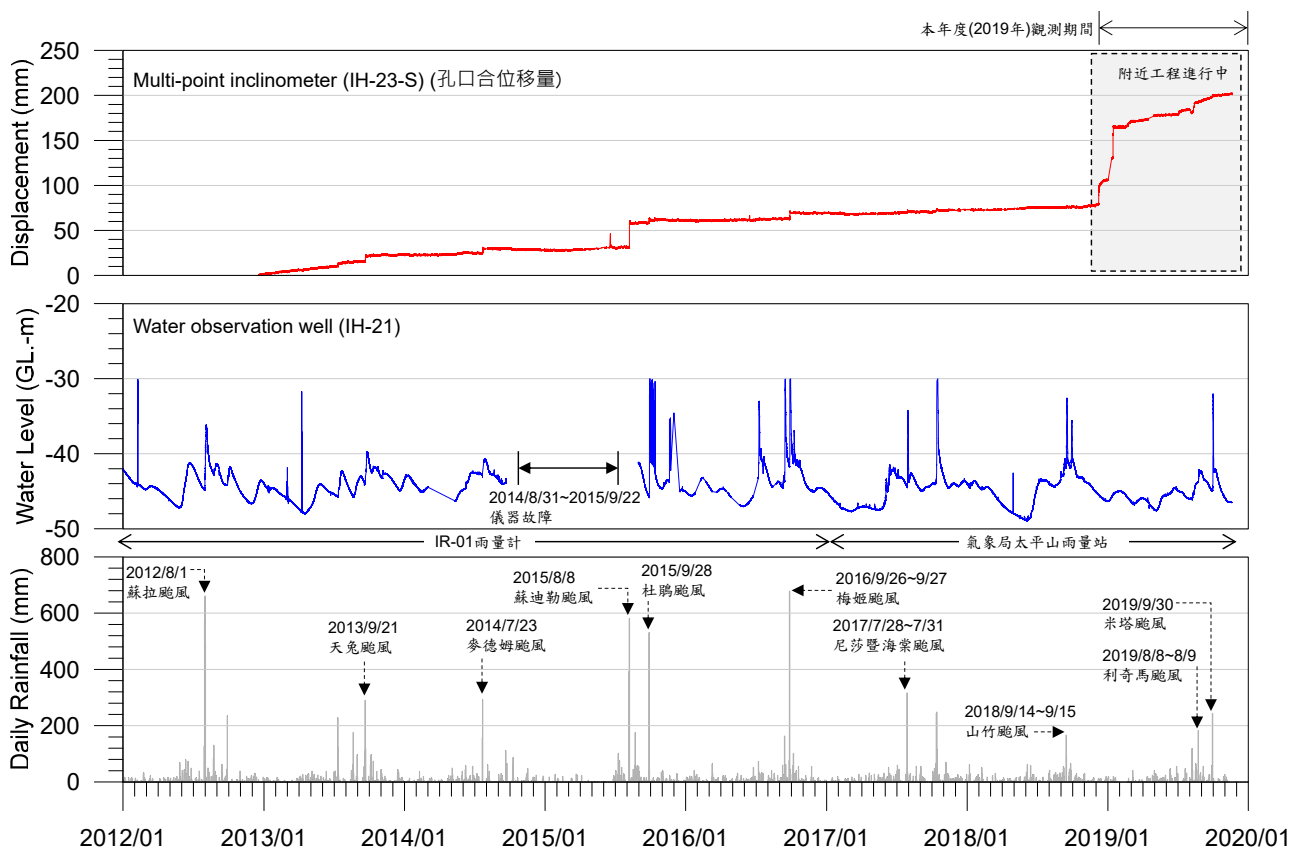


圖 4-5、太平山地區摘要觀測成果

Fig. 4.5 Partial observation results of Taipingshan area

三、南投縣仁愛鄉廬山溫泉北坡

本年度(2019年)觀測迄今，廬山溫泉北坡發生數次特殊降雨事件，其中以5月18日之日雨量達421 mm，及6月11日至14日連日降雨，累積雨量達540 mm較大，其餘期間降雨量相對較小。本年度降雨期間，A-15-1水壓計、A-17水位觀測井及A-21水位觀測井之地下水位，約有5~20 m不等之昇幅。其中，在0518大豪雨及0614~0616連日降雨期間，區域內E-2孔內伸縮計，產生約1~2 cm不等之變位量，觀測成果如圖4-6所示。E-2孔內伸縮計自2009年觀測迄今，累積變位量達約36 cm，於較大降雨事件中，可見變位量產生，彙整歷次較大位移事件與降雨量，如表4-9所示，顯示區域邊坡活動性與降雨量有關。本年度計畫並於2019年7月24日至廬山溫泉北坡進行現場勘查，由現場勘查結果發現(詳附錄四，4.3.4節)，區域擋土牆及道路等既有開裂情形，無明顯擴大，本計畫將持續追蹤。

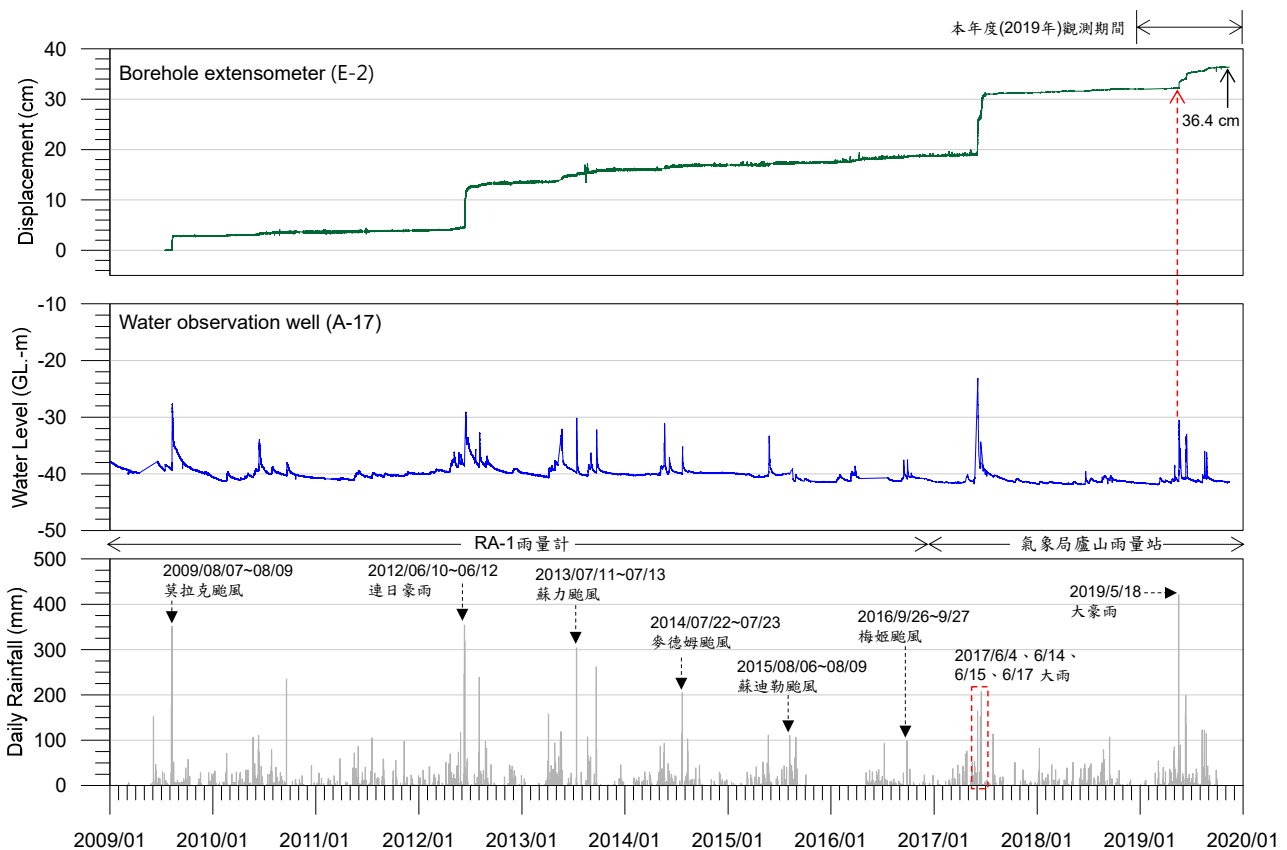


圖 4-6、廬山溫泉北坡摘要觀測成果

Fig. 4.6 Partial observation results of north slope of Lushan hot spring

表 4-9、廬山溫泉北坡降雨事件與 E-2 孔內伸縮計觀測成果初步比較
 Table 4.9 Preliminary comparisons of rainfall event and E-2 borehole extensometer observation results of north slope of Lushan hot spring

年份 (西元)	降雨事件	累積雨量	E-2 孔內伸縮計	
			該降雨事件之 位移量	當年 總位移量
2009*	●0807~0809 莫拉克颱風 8/7 日雨量 176 mm 8/8 日雨量 252 mm 8/9 日雨量 322 mm	750 mm	2.74 cm	2.83 cm
2010	-	-	-	0.79 cm
2011	-	-	-	0.29 cm
2012	●0610 豪雨事件 6/10 日雨量 247 mm 6/11 日雨量 320 mm 6/12 日雨量 320 mm	887 mm	9.26 cm	9.62 cm
2013	-	-	-	2.48 cm
2014	-	-	-	0.94 cm
2015	-	-	-	0.69 cm
2016	-	-	-	1.25 cm
2017	●0601 豪雨事件 6/2 日雨量 296 mm 6/3 日雨量 336 mm	632 mm	7.23 cm	11.89 cm
	●0613 豪雨事件 6/14 日雨量 153 mm 6/15 日雨量 132 mm 6/16 日雨量 208 mm	421 mm	4.49 cm	
2018	-	-	-	0.54 cm
2019**	●0518 豪雨事件 5/18 日雨量 421 mm	421 mm	1.66 cm	4.35 cm
	●0611~0614 連日降雨 6/11 日雨量 156 mm 6/12 日雨量 199 mm 6/13 日雨量 50.5 mm 6/14 日雨量 134.5 mm	540 mm	1.17 cm	

*2009 年統計區間為 7~12 月(7 月開始觀測)

**2019 年統計區間為 1~11 月(尚在觀測中)

四、南投縣仁愛鄉廬山聚落

本年度(2019年)觀測迄今，廬山聚落地區發生數次特殊降雨事件，其中以5月18日之日雨量達421 mm，及6月11日至14日連日降雨，累積雨量達540 mm較大，其餘期間降雨量相對較小。其中，與2018年觀測結果比較，於2019年觀測期間，LS-B3及LS-B4等2孔測傾管兼水位井，其孔口變位量約為1 cm內，如圖4-8所示，變化量不大，彙整如表4-10所示。本年度計畫並至廬山聚落地區進行現場勘查，由現場勘查結果發現(詳附錄四，4.4.4節)，區域內可見地坪開裂、結構物變形等可能邊坡不穩定表徵，但無明顯的擴大現象。有關有賴持續追蹤。

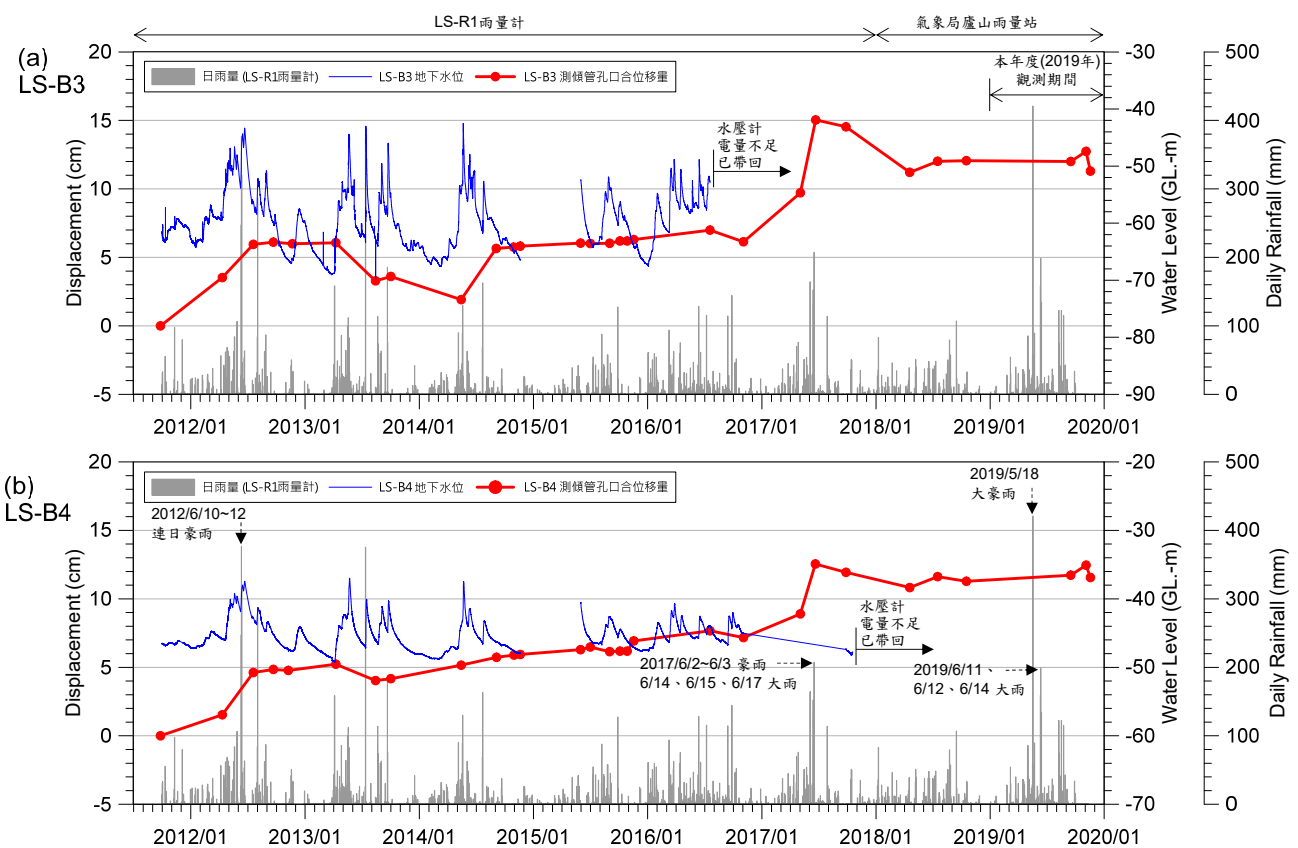


圖 4-7、廬山聚落摘要觀測成果

Fig. 4.7 Partial observation results of Lushan settlement area

表 4-10、廬山聚落降雨事件與測傾管觀測成果初步比較

Table 4.10 Preliminary comparisons of rainfall event and inclinometer observation results of Lushan settlement area

年份 (西元)	參考氣象局廬山雨量站		LS-B3 測傾管 孔口位移量	LS-B4 測傾管 孔口位移量
	降雨事件	累積雨量		
2012	●0610 豪雨事件 6/10 日雨量 247 mm 6/11 日雨量 320 mm 6/12 日雨量 320 mm	887 mm	約 2.1 cm	約 3.0 cm
2017	●0601 豪雨事件 6/2 日雨量 296 mm 6/3 日雨量 336 mm	632 mm	約 5.4 cm	約 3.7 cm
	●0613 豪雨事件 6/14 日雨量 153 mm 6/15 日雨量 132 mm 6/16 日雨量 208 mm	493 mm		
2019	●0518 豪雨事件 5/18 日雨量 421 mm	421 mm	約 0.1 cm (尚在儀器誤差內)	約 0.6 cm (尚在儀器誤差內)
	●0611~0614 連日降雨 6/11 日雨量 156 mm 6/12 日雨量 199 mm 6/13 日雨量 50.5 mm 6/14 日雨量 134.5 mm	540 mm		

五、南投縣仁愛鄉定遠地區

本年度(2019年)觀測迄今，定遠地區發生數次特殊降雨事件，其中以5月18日之日雨量達421 mm，及6月11日至14日連日降雨，累積雨量達540 mm較大，其餘期間降雨量相對較小。於本年度降雨期間，DY-B1~DY-B3等3孔測傾管兼水位井之地下水位，約有5~20 m不等之昇幅。此外，與2018年觀測結果比較，於2019年觀測期間，DY-B1~DY-B3等3孔測傾管兼水位井，其孔口約有1~3 cm不等之變位量，如圖4-8所示，顯示區域邊坡略有活動性產生。本年度計畫並於2019年10月19日至定遠地區進行現場勘查，由現場勘查結果發現(詳附錄四，4.5.5節)，區域擋土牆及道路等開裂情形(前期計畫調查成果)，與前期計畫成果相比，其開裂情形無明顯擴大，本計畫將持續追蹤。

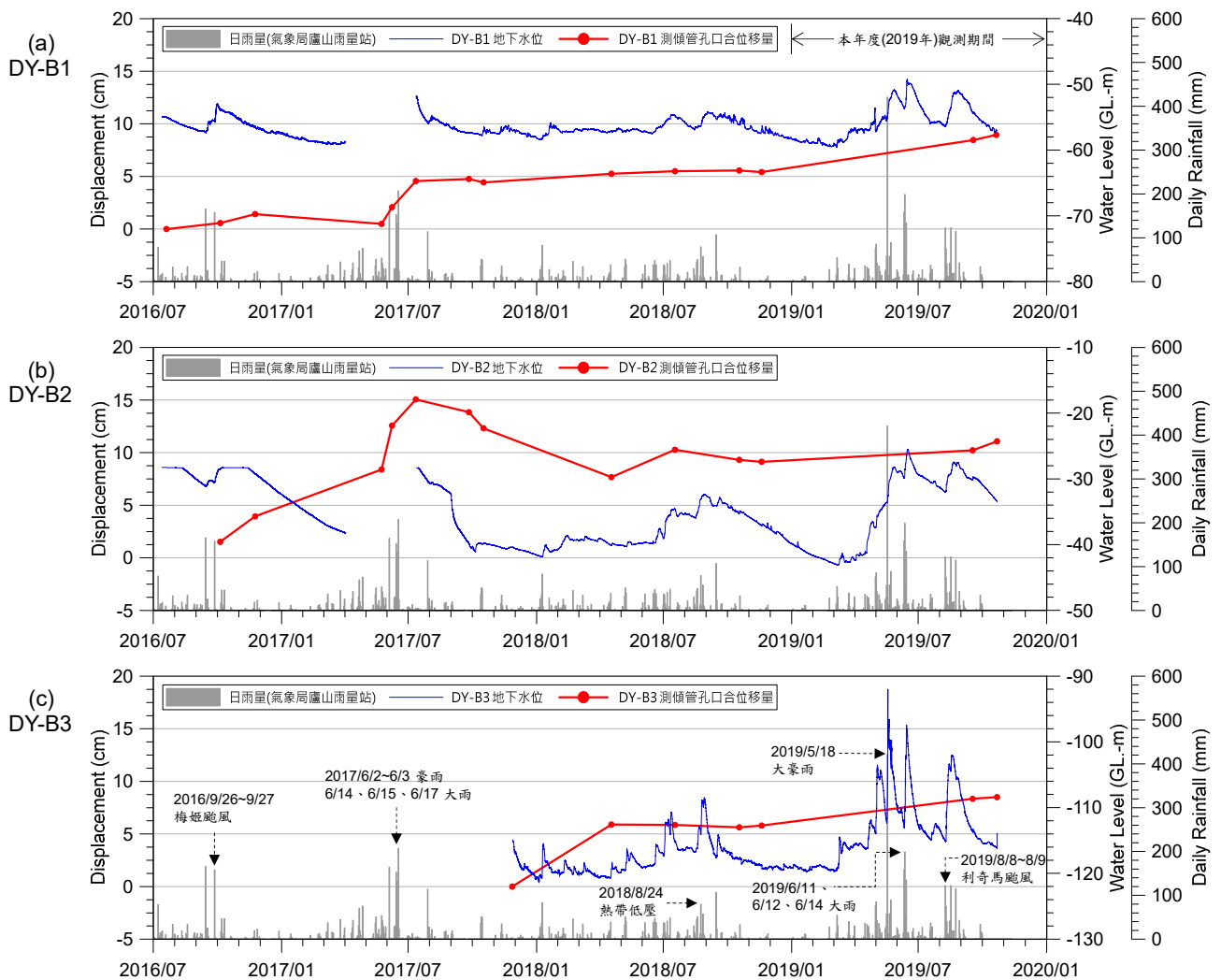


圖 4-8、定遠地區摘要觀測成果

Fig. 4.8 Partial observation results of Dingyuan area

六、嘉義縣梅山鄉太和地區

本年度(2019年)觀測迄今，太和地區發生數次特殊降雨事件，其中以5月18日及8月11日之日雨量，分別達約272及307 mm較大，其餘期間降雨量相對較小。於降雨期間 TH-B4 測傾管兼水位井之地下水位，上昇幅度達約30 m。而鄰近 TH-E1 孔內伸縮計於降雨期間，無明顯異常變化，如圖4-9所示。此外，太和地區 TH-E1 孔內伸縮計於88地震期間，產生約0.1 mm之微變位，後續則無持續變位趨勢。本年度計畫並於11月15日，至太和地區進行現場勘查。由現場勘查結果發現(詳附錄四，4.6.4節)，太和地區內無明顯的異常變化，包含前期2009年8月莫拉克颱風後，區域邊坡滑動造成道路較為嚴重變形的區域，在進行復建後，區域道路近期無明顯的異常變化，如開裂或變形等。此外，可見油車寮坡趾有新築相關防砂設施，相關治理工程持續進行中。

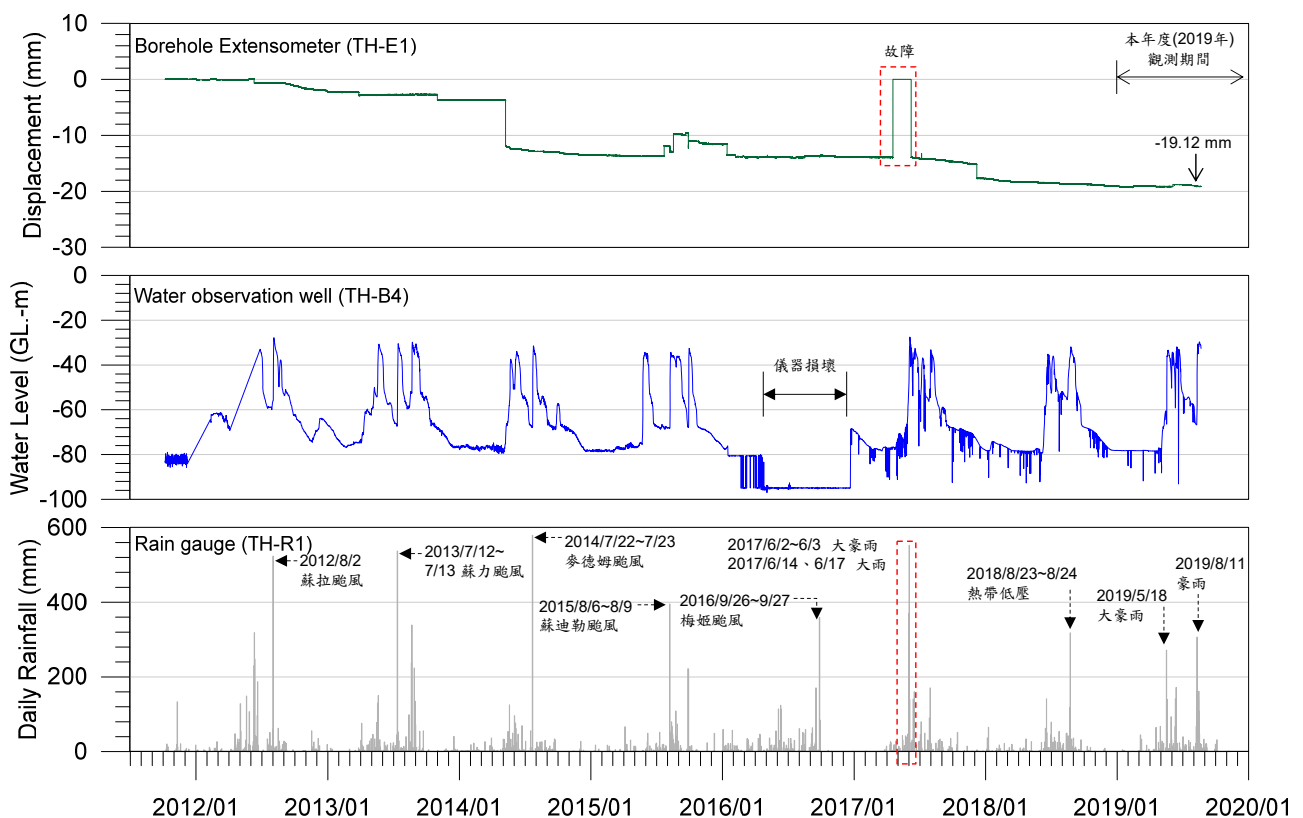


圖 4-9、太和地區摘要觀測成果

Fig. 4.9 Partial observation results of Taihe area

七、嘉義縣竹崎鄉樣子寮地區

本年度(2019年)觀測迄今,樣子寮地區以8月15至18日連日降雨,日雨量42~200 mm不等,累積雨量達541 mm,降雨量較大。其中,於8月15日時,SH-B4測傾管兼水位井之地下水位,上升至接近地表約有3個月(2019/5/1~2019/8/15)時間。而8月15日開始連日大雨後,鄰近之SH-E2孔內伸縮計並於8月17日及22日,分別產生約1及8 mm之變位,並在8月底降雨趨緩,SH-B4孔地下水位逐漸下降後,SH-E2孔內伸縮計變位才有停止的情形,如圖4-10所示。SH-E2孔內伸縮計變位於8月降雨事件,其累積變位量約20 mm。本計畫並於8月24日進行現場勘查(詳附錄四,4.7.4節),發現區域道路有新生裂縫。此外,檢視SH孔內伸縮計內部構件確認有無異常,目前相關設備狀況尚屬良好,正常運作中。由本年度現場勘查及觀測成果得知,樣子寮地區近期有邊坡活動性產生,需持續追蹤。

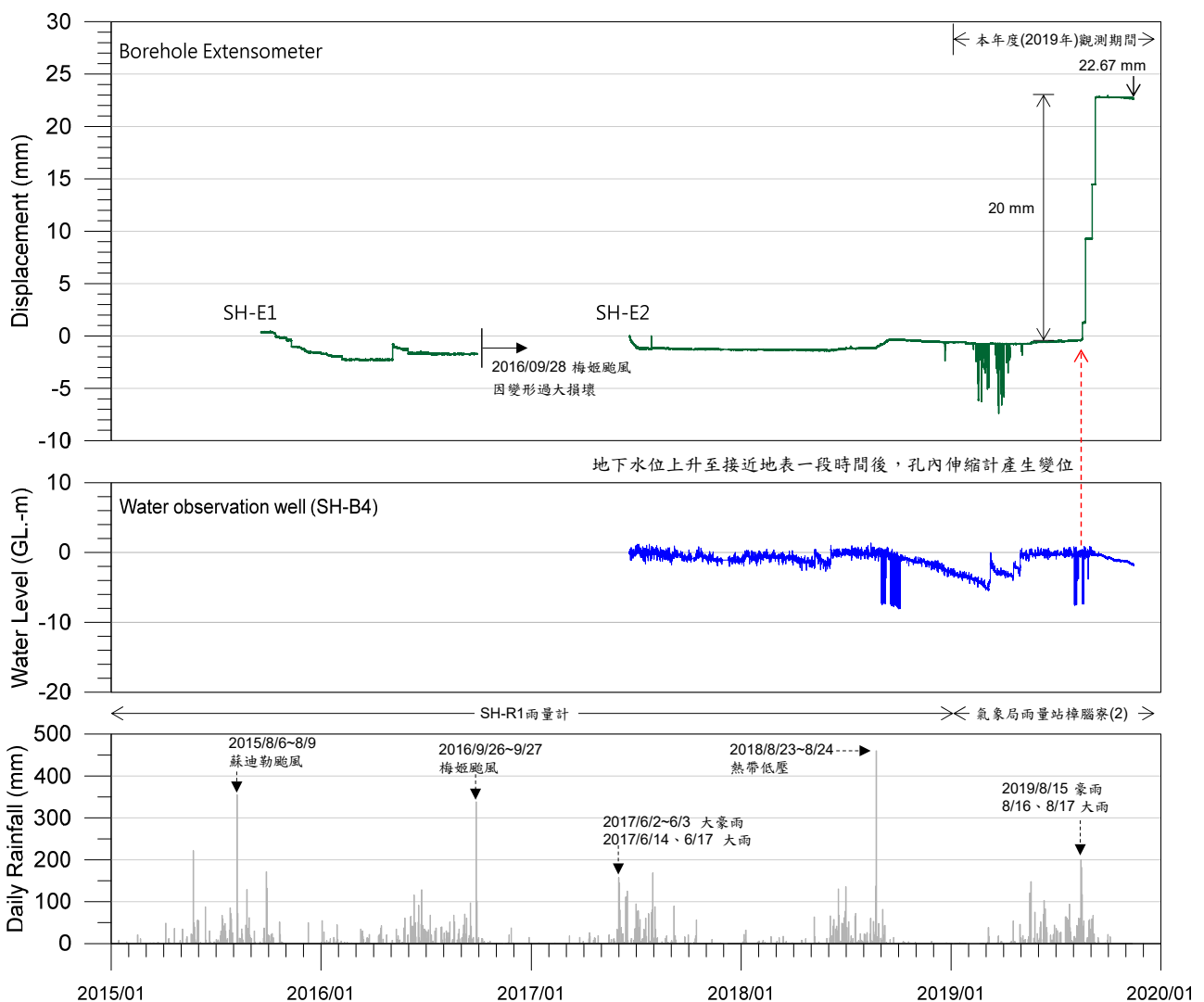


圖 4-10、樣子寮地區摘要觀測成果

Fig. 4.10 Partial observation results of Shetzuliao area

八、嘉義縣番路鄉潮洲湖地區

本年度(2019年)觀測迄今,以6月11日至6月14日連日降雨,日雨量14~142.5 mm,累積雨量333.5mm;及8月15日至18日連日降雨,日雨量106~193.5 mm不等,累積雨量624 mm較大。其中,CH-W1分層水位觀測井於深度30 m、40 m及80 m之水壓計,其地下水位分別達約-4.8~5.3 m、-0.3~0.4 m及1.3~2.4 m(水頭高於地表),較常時水位上升約4~5 m不等。而CH-S1於深度44~50 m處之多點式地中變位儀,則產生約2~3 mm不等之變位,如圖4-11所示。本年度計畫並於11月15日至潮洲湖地區進行現場勘查。由現場勘查結果發現(詳附錄四,4.8.8節),潮洲湖地區內道路略有開裂情形,包含台18線道路及區域內新設完成的農路,但是否與邊坡活動有關,或為區域上常有重車經過,需持續追蹤。

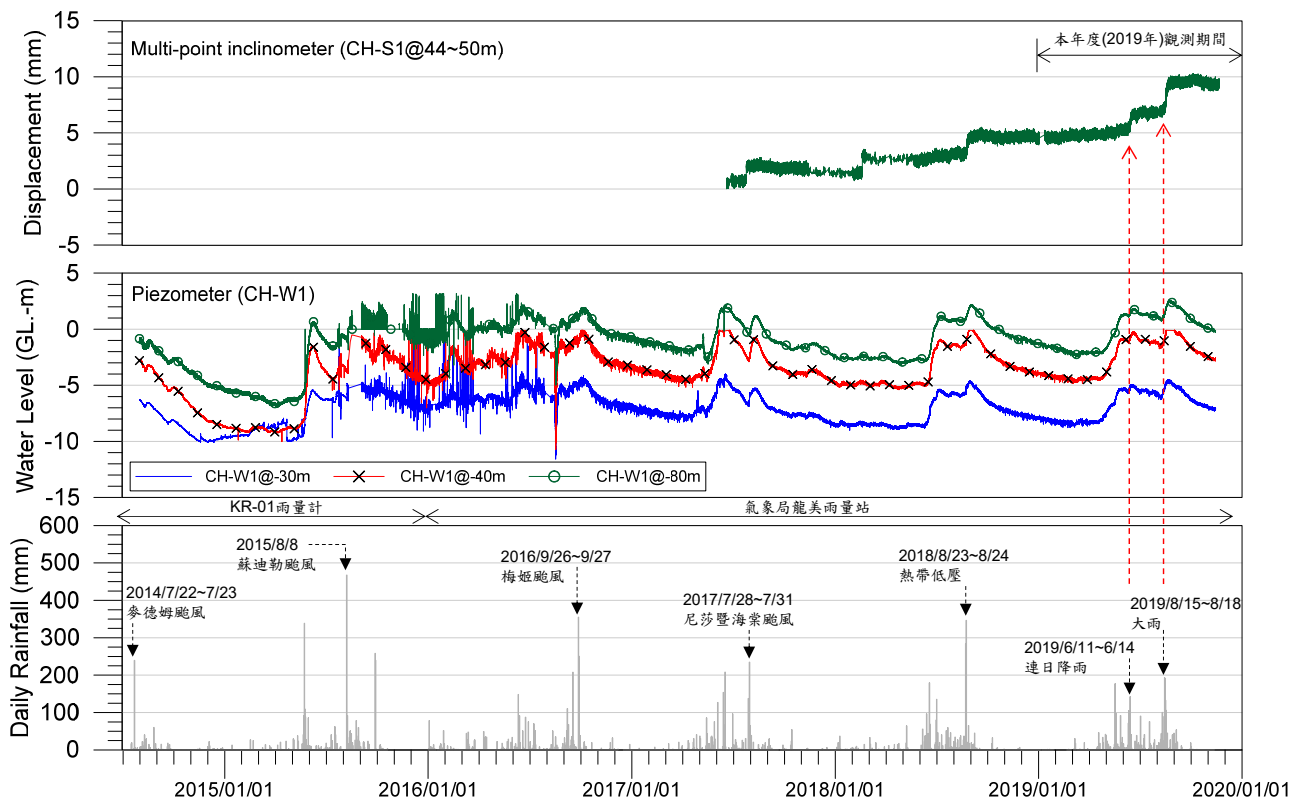


圖 4-11、潮洲湖地區摘要觀測成果

Fig. 4.11 Partial observation results of Chaozhouhu area

4.2.3 小結

於本年度(2019年)觀測期間，以西羅岸地區、太平山地區、太和地區及廬山聚落地區略有變形產生。以定遠地區及潮洲湖地區，可見觀測儀器稍有變位量產生。各調查區中，以樣子寮地區及廬山溫泉北坡活動性相對較大。其中，配合現地勘查，樣子寮地區可見道路新增裂縫現象，廬山溫泉北坡區域結構物略有開裂現象，為較有邊坡穩定疑慮的對象。樣子寮地區已有嘉義縣政府，進行整治設計中。廬山溫泉北坡由現勘成果，發現目前暫無裂縫持續明顯擴大的現象，建議後續視需要增加觀測儀器。太平山地區為農委會林務局羅東林管處轄管範圍，目前有進行更詳細之觀測，本計畫成果可供參考。廬山聚落、定遠、太和及潮洲湖地區今年度變形產生，但整體變位量不大，亦無持續明顯加速情形，建議後續先持續觀測追蹤為主。

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。

表 4-11、本年度各調查區觀測成果及活動性評估

Table 4.11 The activity observation results and assessment of investigation areas

項次	地理位置	名稱	災害歷史	既有觀測成果		本年度(2019)活動性觀測成果		後續觀測建議
				地中觀測具滑動現象	可能滑動深度(測傾管編號)(高程)	活動性觀測成果	活動性評估	
1	新北市烏來區	西羅岸	△	○	70m(WL-B2)	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)	略有	<ul style="list-style-type: none"> 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	南投縣仁愛鄉	廬山溫泉北坡	○	○	>109m(A-15) (E.L.1236m)	具位移事件 (既有結構物裂縫寬度擴大)	明顯	<ul style="list-style-type: none"> 沿用既有觀測系統，持續觀測。 視需要增加觀測儀器。
3	南投縣仁愛鄉	廬山聚落	○	○	>120m(LS-B6) (E.L.<1270m)	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)	略有	<ul style="list-style-type: none"> 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	定遠	△	○	20m(DY-B1) (E.L.1662m) 33m(DY-B1) (E.L.1650m) 90m(DY-B1) (E.L.1592m) 85m(DY-B2) (E.L.1552m) >120m(DY-B2) (<E.L.1519m)	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)	稍有	<ul style="list-style-type: none"> 沿用既有觀測系統，持續觀測。 視需要增加觀測儀器。
5	宜蘭縣大同鄉	太平山	○	○	>70m(IH-21) (<E.L.1885m)	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)	略有	<ul style="list-style-type: none"> 沿用既有觀測系統，持續觀測。 本調查區已由林務局進行部分整治，並且持續觀測中。本計畫成果可供參考。
6	嘉義縣竹崎鄉	樣子寮	○	○	5m(SH-B1) (E.L.291m) 4.5m(SH-B3)	具位移事件 (地表可見新生開裂)	明顯	<ul style="list-style-type: none"> 沿用既有觀測系統，持續觀測。 本調查區由農委會水保局南投分局觀測中。本計畫成果可供參考。
7	嘉義縣番路鄉	潮洲湖	○	○	24m(KH-01) (E.L.1164m) 60m(KH-03) (E.L.1098m) 47m(KH-05)	位移量略有增加	稍有	<ul style="list-style-type: none"> 沿用既有觀測系統，持續觀測。
8	嘉義縣梅山鄉	太和油車寮	○	○ (部分區域)	46m(TH-B3) (E.L.1123m) 73.5m(TH-B4) (E.L.1114m) 50m(TH-B5) (E.L.1090m) 45m(TH-B8) (E.L.1190m)	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)	略有	<ul style="list-style-type: none"> 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。本計畫成果可供參考。

註： ○：確定 △：疑似或不明確

第五章、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(2019年)計畫主要針對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、地表變形記錄與分析(UAS)、地表活動性GPS觀測站成果解算、多尺度地表變形研究成果研析等之多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究，依序說明如後。

5.1 潛在山崩地區差分干涉合成孔徑雷達地表變形分析研究

蒐集涵蓋調查區範圍多時序之衛星合成孔徑雷達影像，並透過差分干涉合成孔徑雷達 D-InSAR 法或其他可用方法，例如永久散射法(Persistent Scatterers InSAR，簡稱 PS-InSAR)或短基線法(Short Baseline Subset InSAR，簡稱 SBAS-InSAR)等，解析地表位移量，以觀測大範圍地表位移情形。衛星合成孔徑雷達影像之蒐集時間須至少包括 2008 年辛樂克颱風前至今，以掌握調查區長期地表位移趨勢。

合成孔徑雷達影像(SAR)是一種微波觀測技術，其基本原理利用衛星運行時連續發射雷達波，並將雷達回波接收後進行解算，以得到成像結果，雷達波具有優越的穿透性，比起可見光，雷達波更能輕易穿透雲霧煙塵到達地表，經反射後再被衛星接收，此外也能於夜間順利施測，其運作時會從衛星上向地表發射一系列的電磁波，當電磁波遇到物體產生反射時，接收這些回波訊號，並量測反射波強度與時間差，以達到量測的目的。

然而對於星載雷達而言，為了達到標準的解析度，必須安裝的雷達天線口徑會超過數百公尺，在現實中不可能達到，為了克服此問題，運用了都卜勒頻率位移的理論，在飛行過程中重複發射電磁波，在這過程中每個小天線接收到地面上的回波，會因都卜勒效應產生些微的相位變化，藉此相位史的變化過程可區分出地面的每個相元，將這一系列的回波匯整，就如同衛星搭載的小天線朝方位向移動，形成一個等效的大天線，即為合成孔徑雷達成相的運作原理。

採用合成孔徑雷達影像的地表位移訊號使用差分干涉技術來取得衛星至地表變形量(Line of sight, LoS)，然而單一組差分干涉技術所取得地表變形量可能存在多種誤差(Wang et al., 2007a, 2007b, 2005)，利用時序性的合成孔徑雷達影像進行干涉分析時，主要產生的干涉相位資訊包含了地形、地表特徵變化、地表移動量以及大氣效應等(式 5-1)，其中地形的相位變化資訊可以採用高精度數值地形及短基線長去除該項誤差，相干值的門檻調整則可以去除低相干區域的影響，以及副產品數值地形的精準度(謝嘉聲與史天元，1999)，大氣效應的誤差可以用長時間多影像的觀測降低，當消弭可能誤差來源後，僅剩下地表移動及雜訊相位差，可藉以取得較高精度且可信任之地表變形量(Lu et al., 2012; Greif and Vlcko, 2012)。

$$\begin{aligned}\phi_{\text{Int}} &= 4\pi \frac{R_1 - R_2}{\lambda} \\ \phi_{\text{Int}} &= \phi_{\text{Topography}} + \phi_{\text{Change}} + \phi_{\text{Movement}} + \phi_{\text{Atmosphere}} \\ &= \frac{4\pi B_n}{\lambda R \sin \theta} h + \phi_{\text{change}} + \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_{\text{Movement}} + \phi_{\text{Atmosphere}} \\ &= \frac{4\pi B_n}{\lambda R \sin \theta} h + \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_{\text{Movement}} + \phi_{\text{Noise}}\end{aligned}\quad (\text{式 5-1})$$

其中， R_1 及 R_2 為不同時間衛星至地表觀測點距離

$\phi_{\text{Topography}}$ ：地形相位變化

ϕ_{Change} ：地表特徵相位變化

ϕ_{Movement} ：觀測點移動相位變化

$\phi_{\text{Atmosphere}}$ ：大氣折射相位變化

$\Delta R_{\text{Movement}}$ ：衛星 1 及 2 至觀測點地表移動量

ϕ_{Noise} ：雜訊相位

B_n 為正常基線 (Normal Baseline)

h 為待測位置地表高程

λ 為雷達波長

θ 為側視角。

採用差分干涉取得的相位差，在條件良好情形下可轉換為毫米等級之變形量，即使不進行相位還原及位移量解算，仍可由人工判釋出滑動塊體範圍，因此，由差分干涉產生出來的相位差資訊可顯示出地表變動位置，如果潛在滑移邊坡因地表高程發生些微變形，將進行進一步分析。

前述差分干涉取得之相位差僅由兩幅至四幅影像產製，雖可經由相位還原取得地表三維變形，但可能存在變位資料誤差而導致三維變形量失真，因此，可採用干涉堆疊技術進行改善並可分析得歷年之地表三維變形，利用雷達干涉堆疊技術求解地表變形趨勢主要有兩種方式，其一為採用地表永久散射體模式(PS-InSAR)，其二為採用短基線長模式(SBAS)，以雷達干涉堆疊技術消弭各項誤差，進而取得時序性監測下之邊坡位移量，經由干涉堆疊技術分析後所得之地表變位資訊相較於僅進行差分干涉地表變形量可靠，採用地表永久散射體模式需進行地表反射體設置或以現存之地表構造物作為散射體，經由散射體位置高反射訊號特性分析可獲得可靠之結果，此外，如雷達資料之基線長較短(低於 200-300 公尺)，則可採用短基線長模式進行分析，亦可取得三維歷時變化情形；除前述兩種方式以外，另有 TCP-InSAR 可進行連續 DInSAR 分析，TCP-InSAR 使用暫存同調性點選擇的方式，毋須進行相位還原程序便可推估長期地表變形(Zhang et al., 2011)，惟其程式碼並未公開；另外，對於山區或非人工構造物取得成果較差的 PS-InSAR，Ferretti1 等人(2011)亦以新的演算法進行改善，可以在散射較嚴重的地方仍能取得品質較佳的候選點，此一演算法稱之為 SqueeSAR，目前此一演算法已由義大利 TRE 公司取得於線上進行山崩變形及定位服務。

差分干涉合成孔徑雷達(DInSAR)及干涉堆疊技術(Interferometric Stacking Technique)等監測方法，可於多年期時序性資料中篩選出地表變形趨勢(Yen et al., 2010; Huang et al., 2011; Lu et al., 2012; Zhao, et al. 2012; Champenois et al. 2012; Tung et al., 2012; 童忻, 2007; 盧志恆, 2008; 周鋒泯, 2008; 蕭逸凡, 2009; 黃雅雲, 2010; 蘇柏宗, 2011)。

本計畫中於長期的分析方面將使用較長波長(L-Band)之日本 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，分析使用短基線長模式(SBAS)所得之廬山北坡含部落之地表

垂直變形速率如圖 5-1 所示，壽亭定遠之地表垂直變形速率如圖 5-2 所示。觀察兩圖中之垂直地表變形量位置，如清境國小(圖 5-3)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。惟本年度日本 JAXA 尚未有更新的 ALOS2 影像。

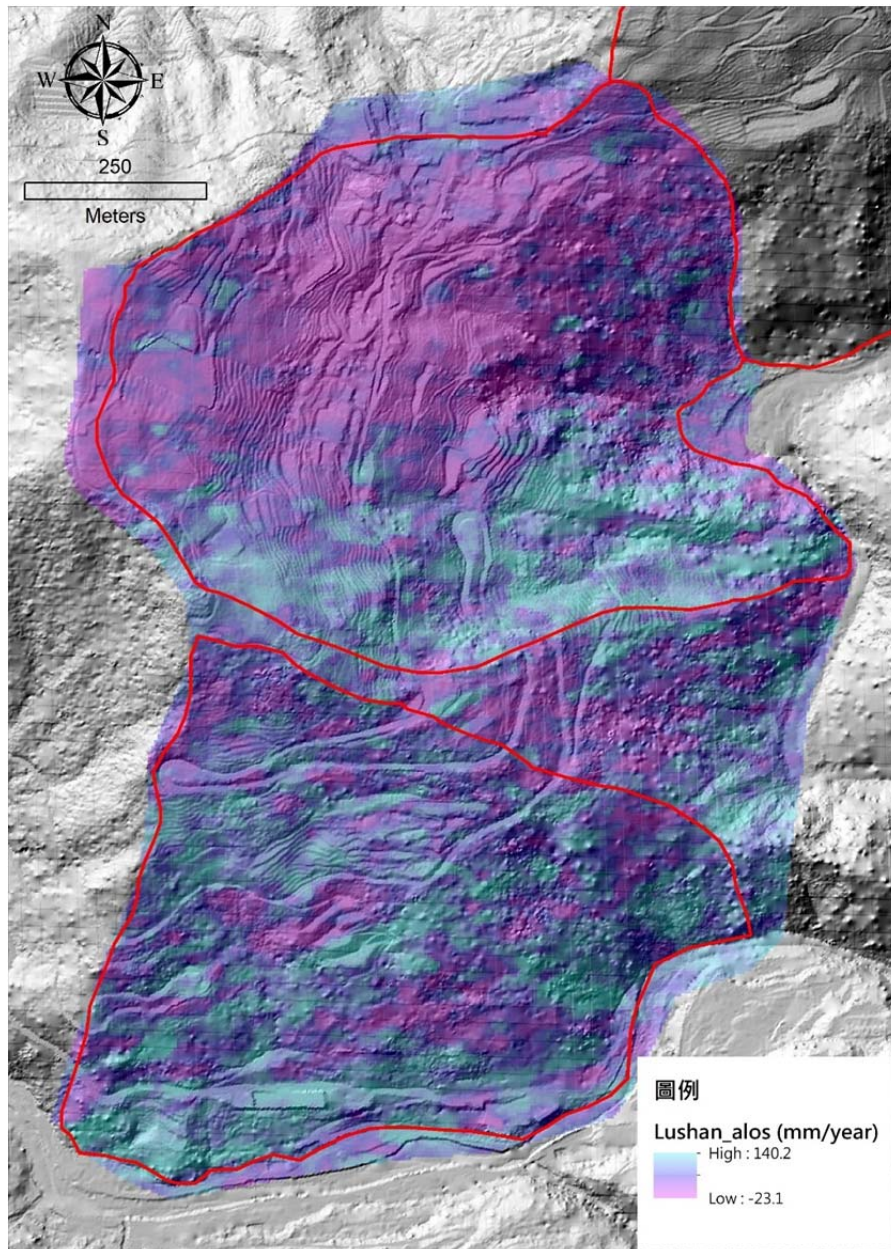


圖 5-1、廬山北坡及部落之年地表垂直變形速率(單位：mm/year)

Fig. 5.1 The vertical deformation rate of the surface at the north slope of Lushan spring and Lushan settlement

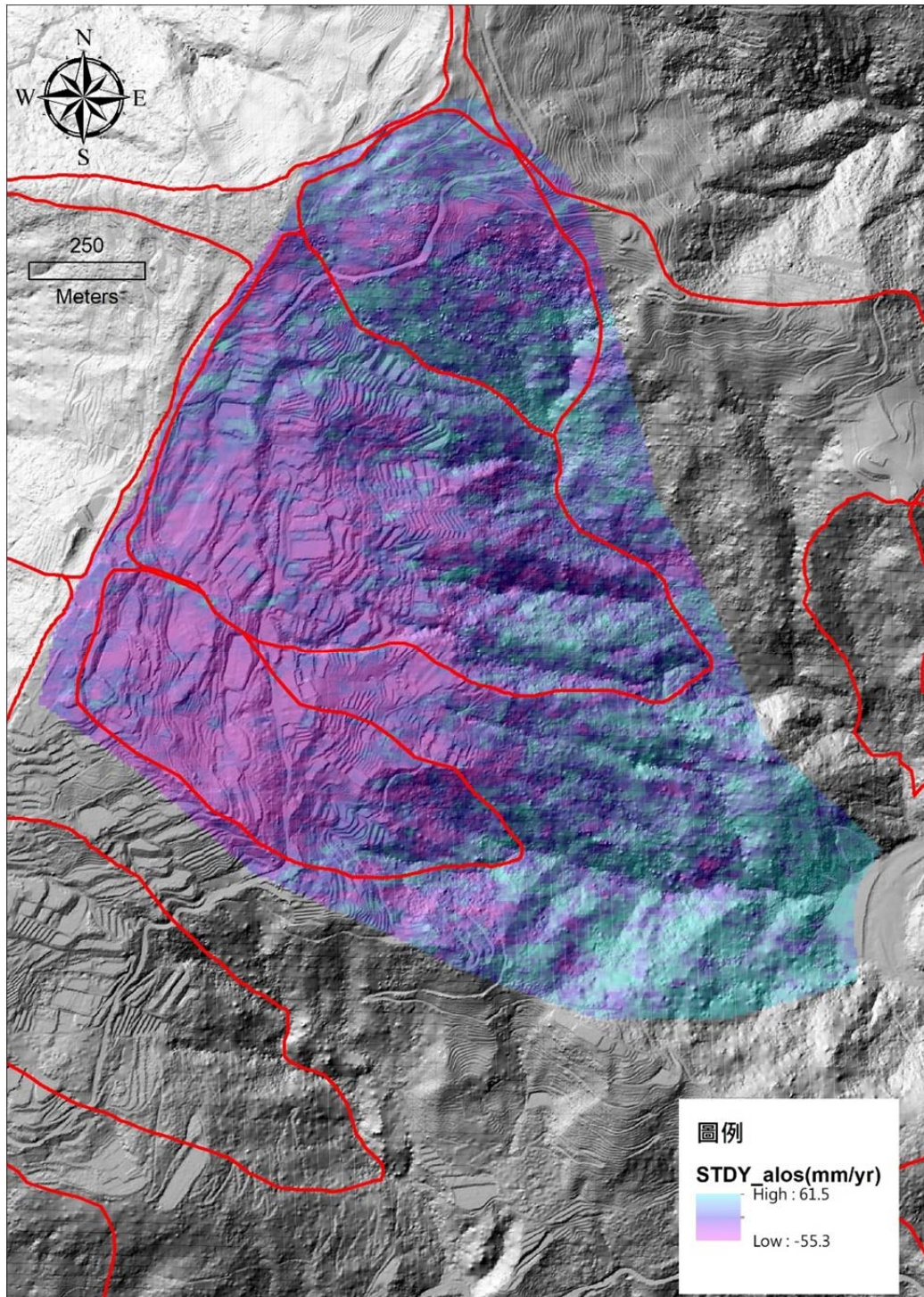


圖 5-2、南投清境壽亭定遠之年地表垂直變形速率(單位：mm/year)
Fig. 5.2 The vertical deformation rate of the surface at Cingjing, Shouting, and Dingyuan in Nantou

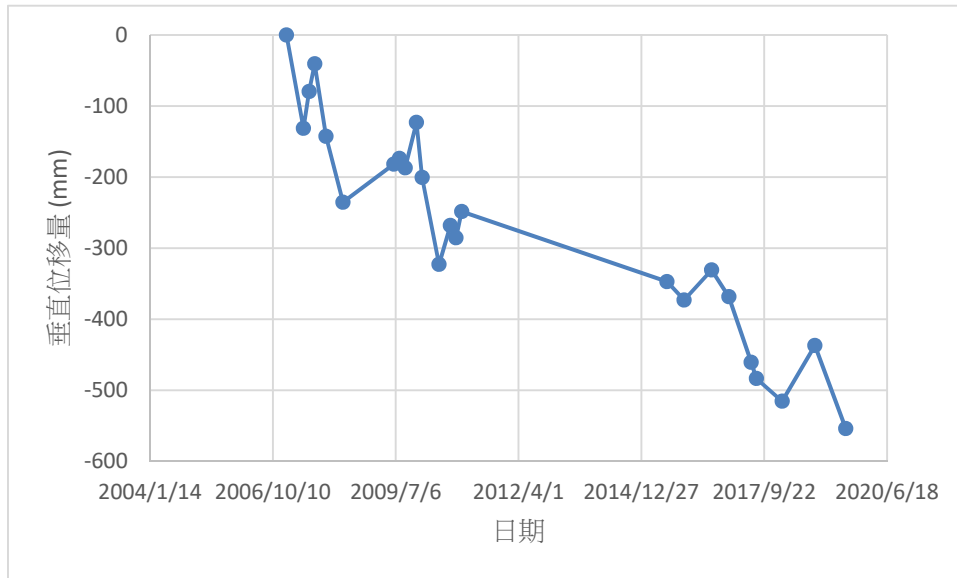


圖 5-3、清境國小歷年地表垂直變形量

Fig. 5.3 The vertical deformation rate of the surface at Chigjing elementary school

但由於日本 ALOS2 Stripmap 模式近年來於台灣地區每年取像僅 1~2 次，為補充期間之不足，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，本計畫使用 2016 年 1 月至 2019 年 10 月合計 97 幅 Sentinel-1A 影像進行分析，圖 5-4 及圖 5-5 為廬山北坡、部落及清境壽亭定遠地區 2016 年 1 月至 2019 年 10 月之年地表垂直變形速率，因 Sentinel-1 為波長較短之 C 波段，波長較短受植生影響較大故可解得之特徵點較少，然因供應時間由單衛星再訪週期可 12 天及雙衛星同步模式下最快可獲得 6 天之再訪週期影像，對於短期監測具有一定之幫助，如圖 5-4 所示為廬山部落茶廠 2016 年至 2019 年間由 Sentinel-1 衛星偵測之地表垂直變形，由圖中可知 2017 年較大事件及持續緩慢變形增加情形。

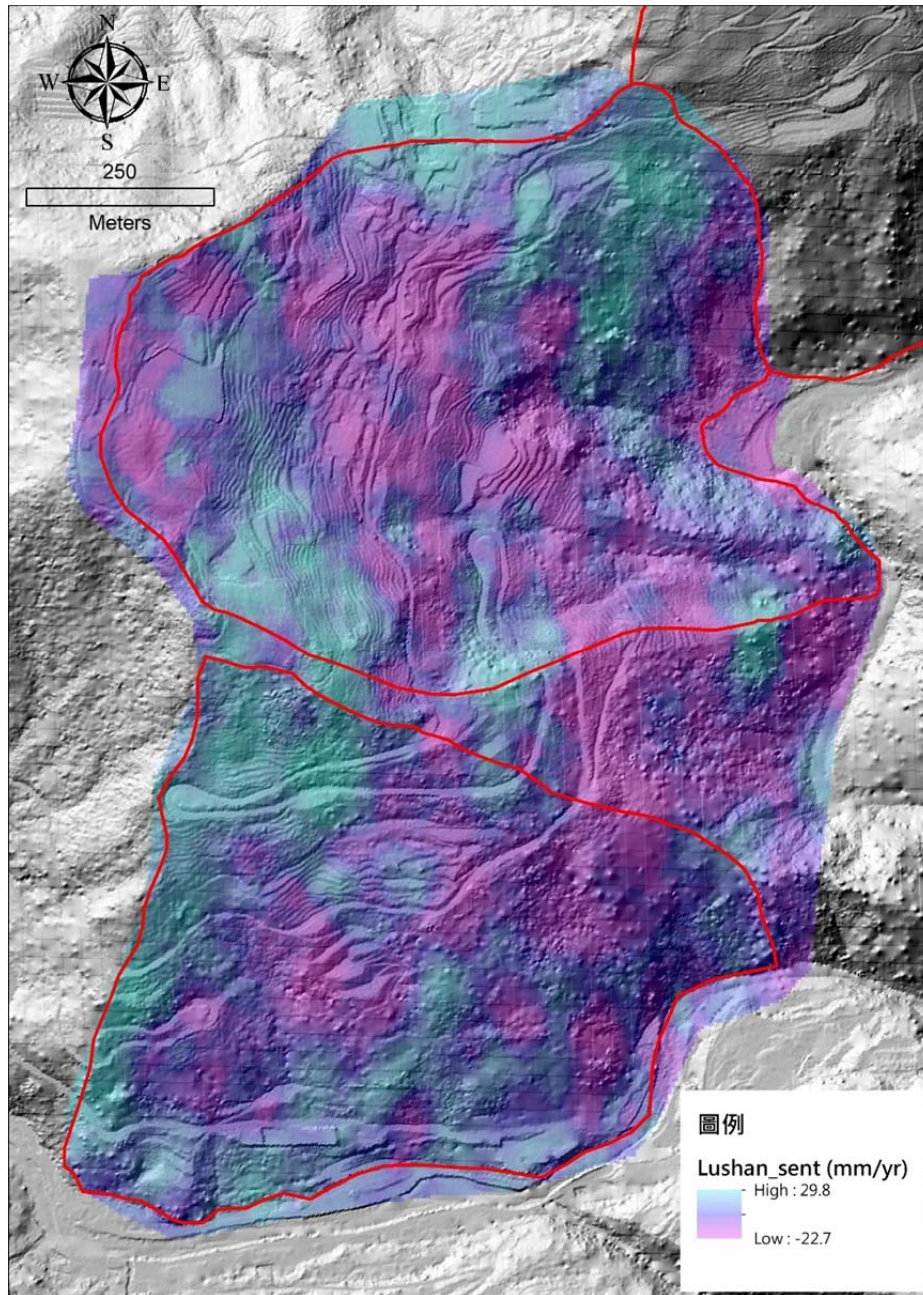


圖 5-4、廬山北坡、部落 2016 年 1 月至 2019 年 10 月之年地表垂直變形速率(單位：mm/year)

Fig. 5.4 The vertical deformation rate of the surface at Lushan spring north slope, Lushan settlement from Jan. 2016 to Oct. 2019

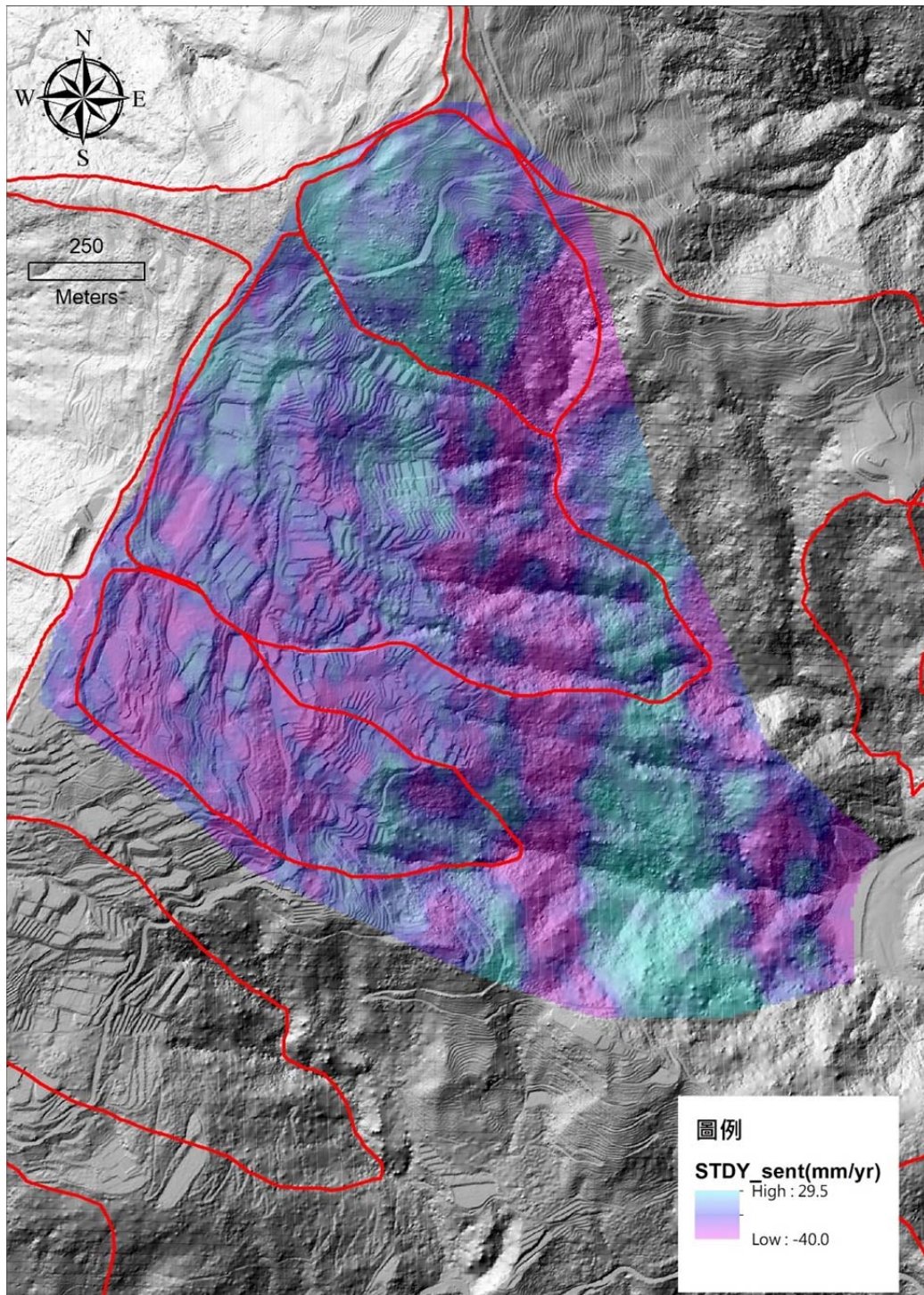


圖 5-5、壽亭、定遠地區 2016 年 1 月至 2019 年 10 月之年地表垂直變形速率(單位：mm/year)

Fig. 5.5 The vertical deformation rate of the surface at Cingjing, Shouting, and Dingyuan from Jan. 2016 to Oct. 2019

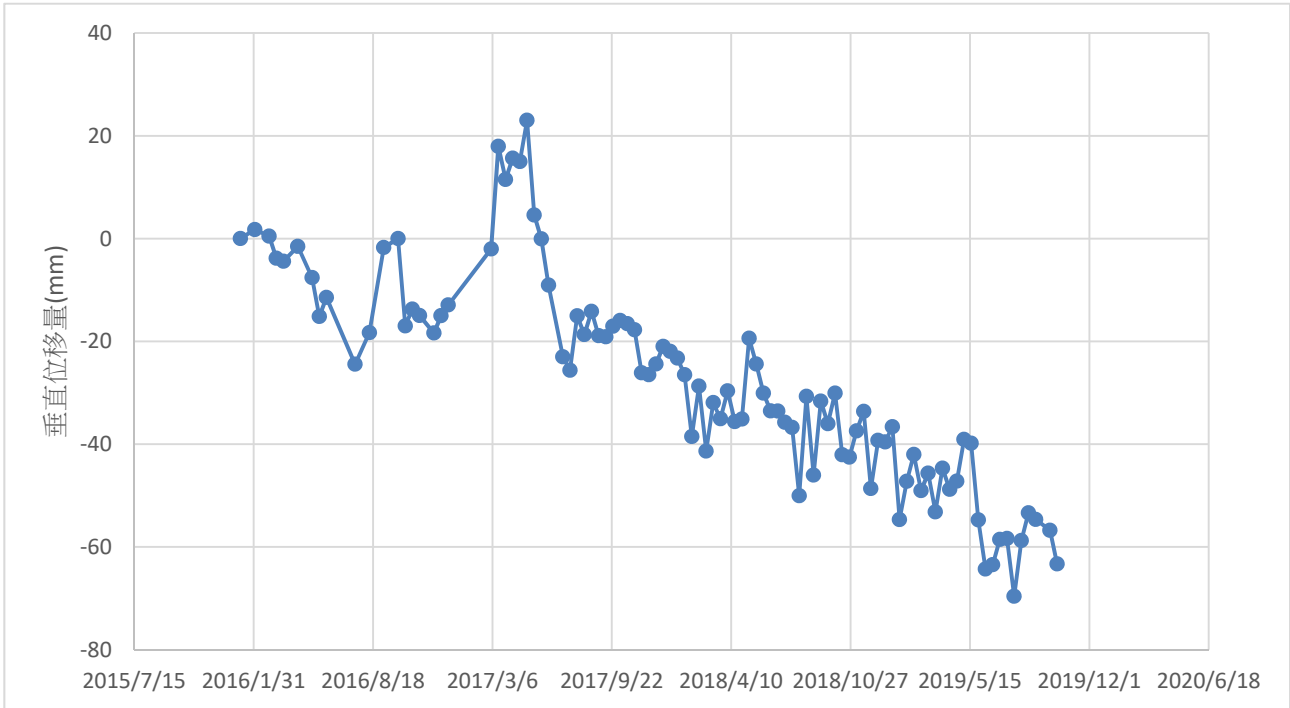


圖 5-6、廬山部落 GPS 站位置 2016 年至 2019 年之連續地表垂直變形量
Fig. 5.6 The continuous vertical deformation of the surface at Lushan tributeGPS station from 2016 to 2019

5.2 地表變形記錄與分析

利用 UAS 無人載具針對調查區進行空載影像調查工作，其空拍範圍至少需大於調查區，並於地面布設控制點及進行 GPS 測量，以將空拍成果處理成具空間位相關係之影像資訊，包括正射影像及數值地表模型(DSM)等。影像像素至少需達 2,000 萬畫素以上。拍攝角度採取垂直角度進行空拍為原則，影像品質以無雲為原則。

本計畫採用之無人載具於天候條件等情況下，使用包含 DJI P4P、DJI M600 Pro 配合全片幅相機以及 VTOL 無人載具配合地面控制點進行，其中 DJI P4P 具有 1 吋 CCD 像素品質較佳有利於製作數值地形及正射影像，DJI M600 Pro 搭配相機為 Sony A7R 全片幅相機，有效像素達 3400 萬，但由於機身龐大且電力更換因素作業效率較差；另於天候許可下，本計畫嘗試以 VTOL 無人載具配合 PPK 定位，進行大面積高精度數位相片拍攝，此一組合預計一次作業面積可達 1000 公頃，無控制點水平定位精度可達 5 公分以下，垂直定位精度 20 公分以下，搭配少量控制點即可達到前列無人載具之相同精度，如測試成果對於大面積之調查與測繪為一利器。

本年度計畫將針對廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭等 4 處調查區，至少各完成 1 次空拍，以進行地表變形紀錄，並與既有 UAS 空拍成果進行比較分析。計畫期間遇重大山崩事件時，得視需要調整 UAS 調查範圍，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，完成之正射影像及數值地表高程分別如圖 5-7 至圖 5-10 所示。

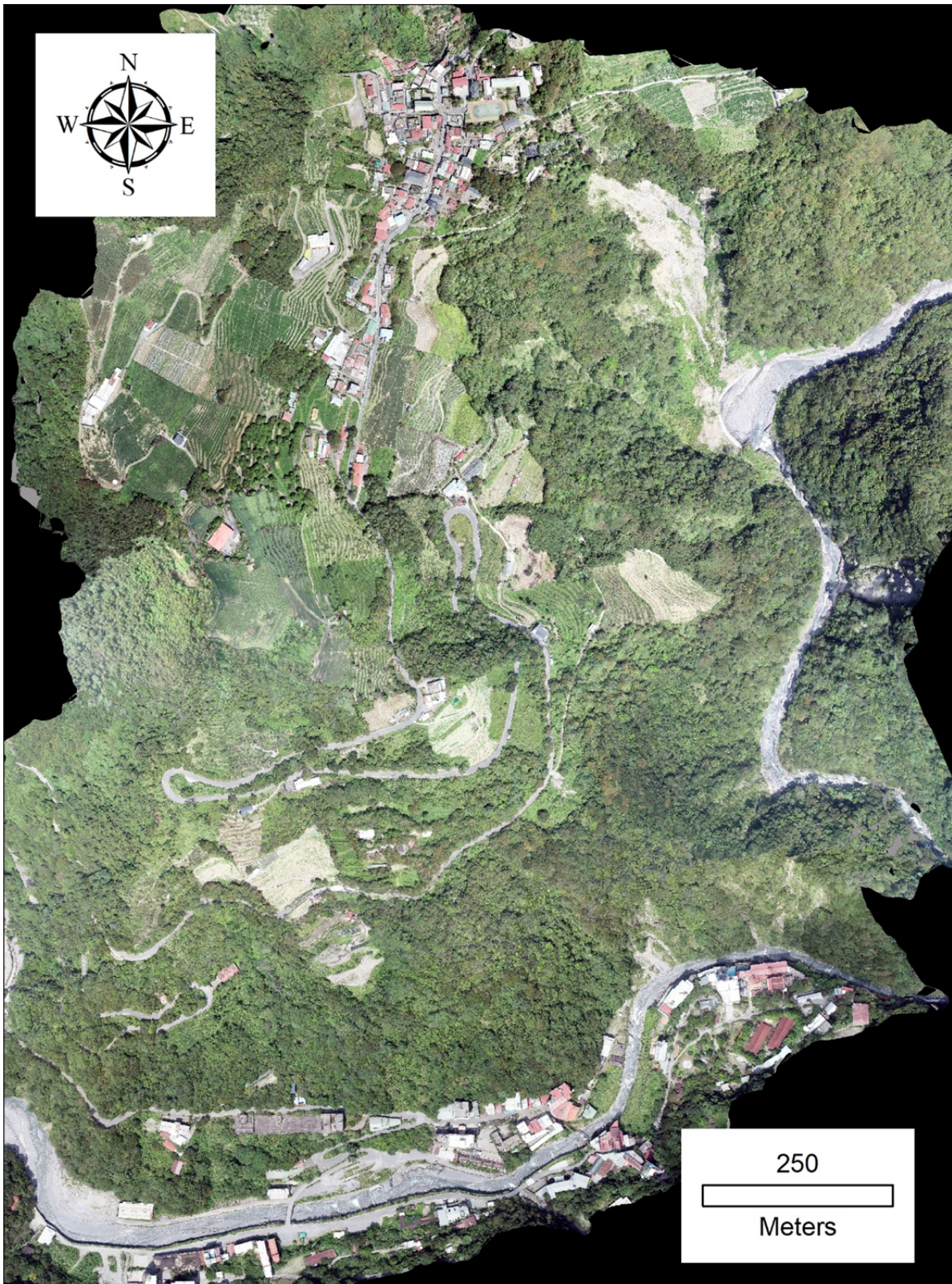


圖 5-7 廬山北坡及廬山部落 2019 年 9 月無人載具空拍正射影像
Fig. 5.7 The ortho image of Lushan north slope and Lushan tribute by UAS at Sep, 2019

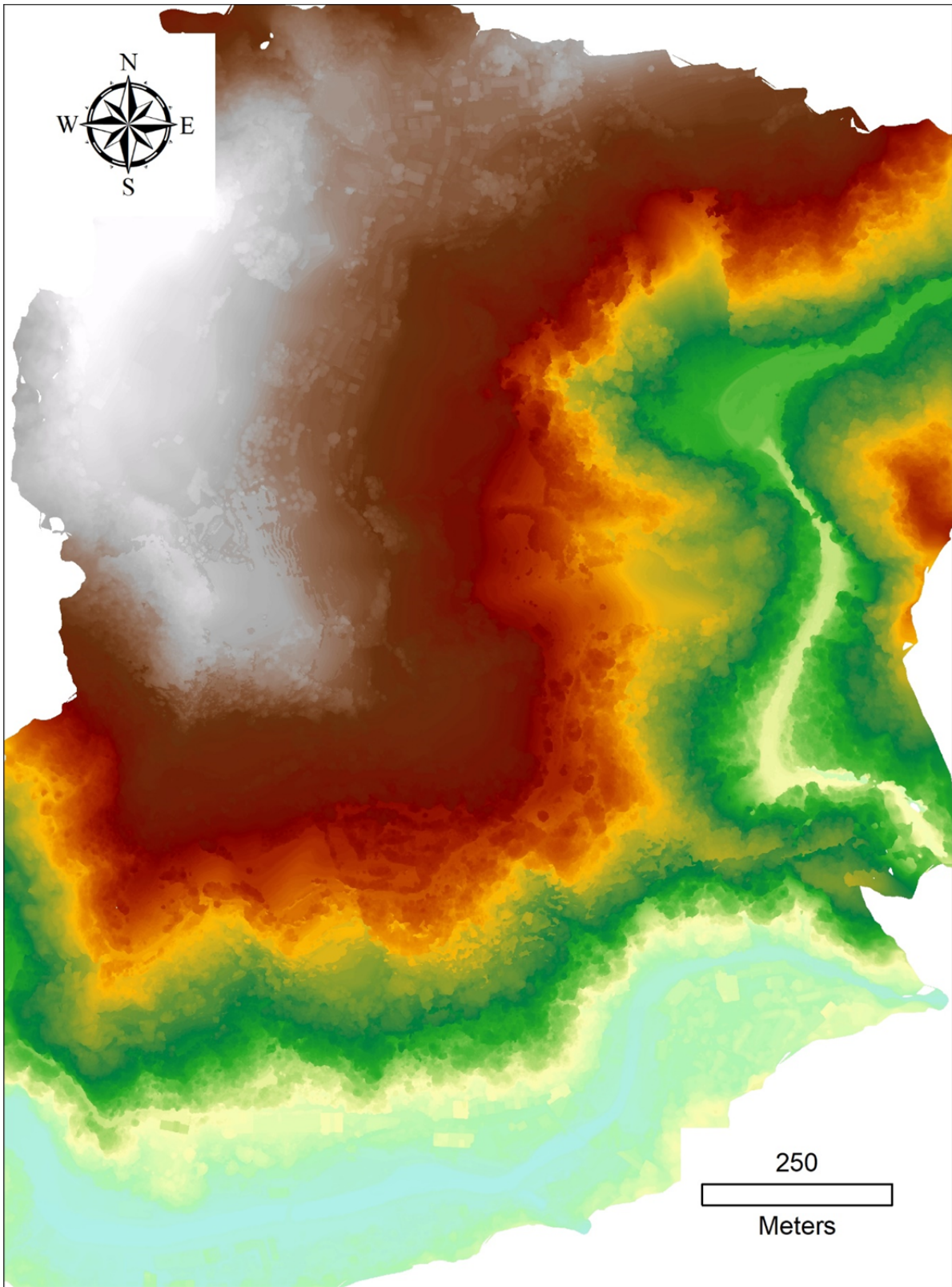


圖 5-8 廬山北坡及廬山部落 2019 年 9 月無人載具空拍數值地表高程
Fig. 5.8 The DSM of Lushan north slope and Lushan tribute by UAS at Sep, 2019

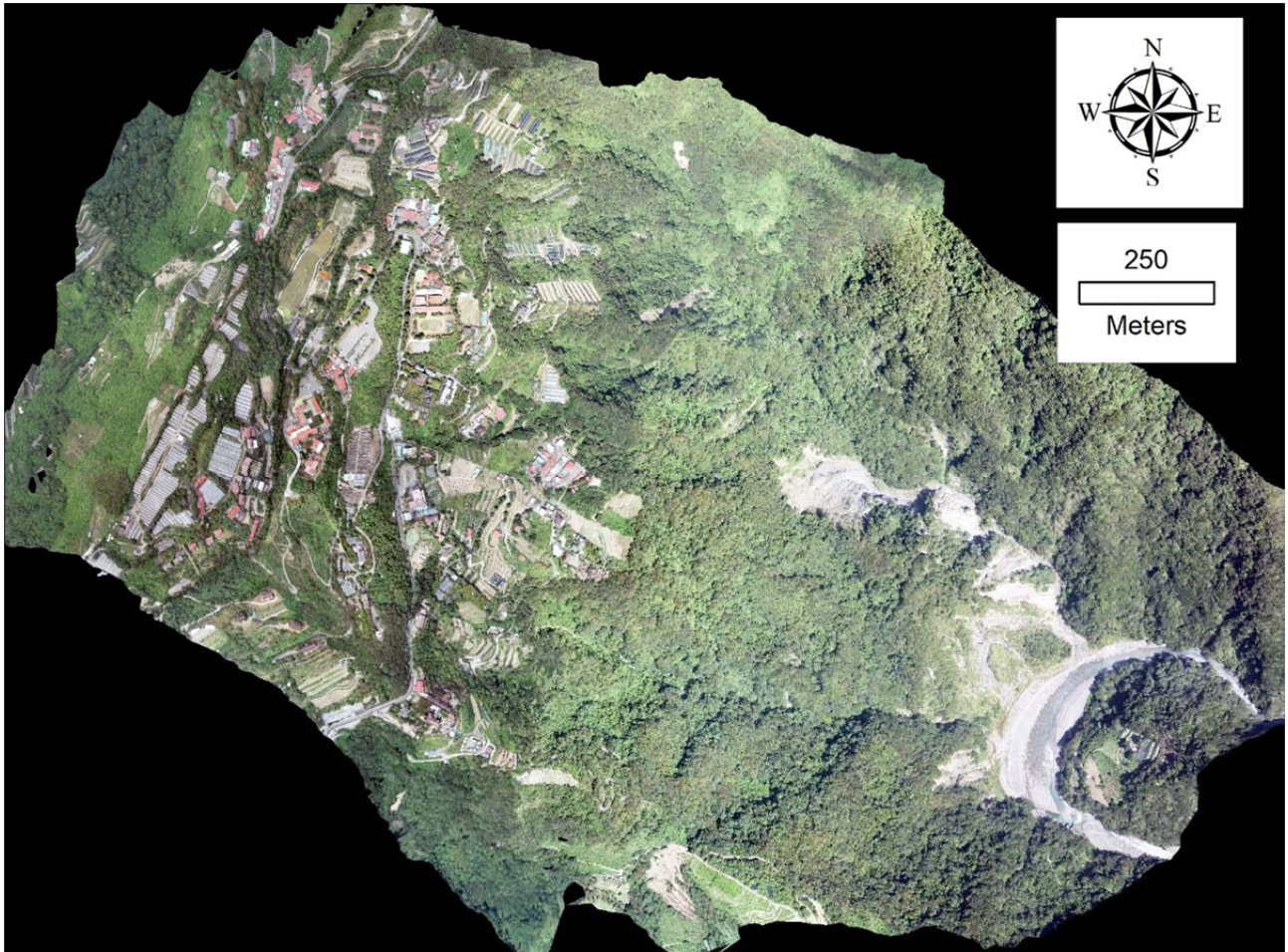


圖 5-9 壽亭及定遠 2019 年 9 月無人載具空拍正射影像
Fig. 5.9 The ortho image of Shouting, and Dingyuan by UAS at Sep, 2019

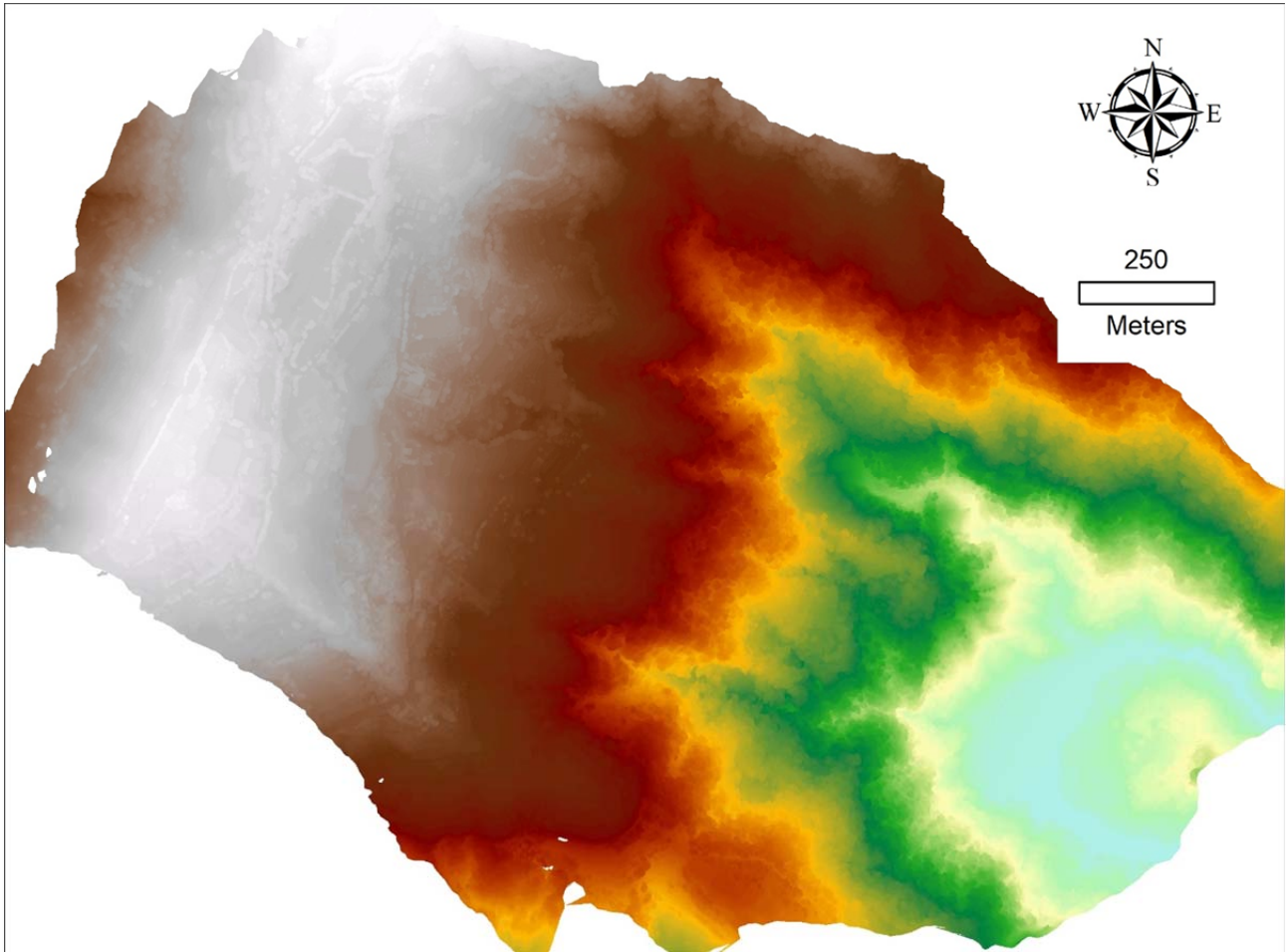


圖 5-10 壽亭及定遠 2019 年 9 月無人載具空拍數值地表高程
Fig. 5.10 The DSM of Shouting, and Dingyuan by UAS at Sep, 2019

5.3 地表活動性 GPS 觀測成果解算

本年度(2019年)計畫將利用連續性自動化 GPS 觀測功能，取得 GPS 觀測資料，並提供 GPS 解算服務，取得高精度地表位移觀測資料，以與 SAR 及 UAS 等活動性觀測技術之分析結果比較，並評估潛在山崩活動性。同時提供既有 GPS 觀測站即時觀測功能及呈現於既有活動性觀測平台，輔助警戒應變參考。本年度計畫目標區共 4 處調查區、10 處觀測站，包括廬山溫泉北坡(既有 3 站 GPS 連續站、新增 3 站)、廬山聚落(新增 2 站)、定遠地區(新增 1 站)及壽亭地區(新增 1 站)，彙整如表 5-1 所示，位置如圖 5-所示。

表 5-1、本年度計畫於廬山溫泉北坡、廬山聚落、定遠及壽亭之 GPS 站
Table 5.1 The GPS stations settled in Lushan spring north slope, Lushan settlement, Dingyuan, and Shouting in this year

GPS 站	調查區	
前期計畫 既有 3 站	廬山地區	廬山溫泉北坡：3 站。 •參考站：1 站，LU01。 •觀測站：2 站，LU02、LU03。
本計畫 2019 年 新增 7 站		•廬山溫泉北坡：3 站，CN01~CN03。 •廬山聚落：2 站，CN04、CN05。
	清境地區	•定遠：1 站，CN06。 •壽亭：1 站，CN07。

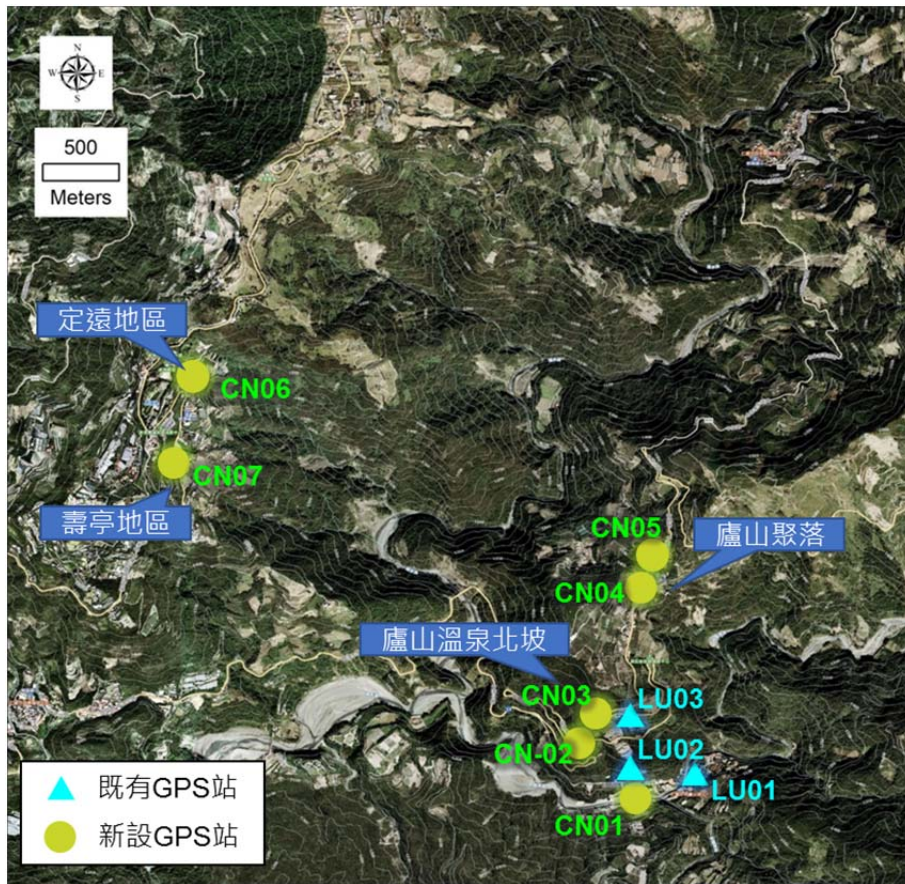


圖 5-11、既有 GPS 站及新設 GPS 站位置圖

Fig. 5.11 The location of the existing and new GPS stations

衛星定位之基本原理為觀測衛星訊號傳播到接收器之時間遲滯或載波相位差經轉換成為距離量，並考慮衛星時鐘、接收器時鐘還有大氣層的折射影響，總稱為時間偏差，若能同時觀測四顆以上衛星，並利用星曆計算各衛星之位置，即可求解測站之坐標。

曾清涼(1986)在文獻中提到基線計算時常將原始的相位觀測值進行線性組合而產生新的準觀測值，即所謂的「一次差」、「二次差」、「三次差」等，主要目的係以差分來抵消大部分之系統誤差以提升求解精度，最常用的為「二次差」觀測量，除了基線分量的三個坐標差未知數之外，尚存在一週波未定值 N ，在短基線的求解中，因大氣折射對基線兩端點的影響量相似，故絕大部分已相互抵消，致使 N 值所受其它誤差混合之影響較小而仍近似為一整數，故求解時有所謂固定解。Remondi(1984)在文獻中提到由於三次差觀測量是由兩個二次差觀測量相減而得，故三次差觀測量仍保有雜訊較小之特性，所以很適合用於偵測週波脫落值。

對二次差、三次差來說，接收器時錶誤差有關項已互相抵消，因此無法自上述二法中精確求得兩接收器時錶之變化情形，一次差則可精確地求得兩接收器之時錶誤差，而三次差中已不含週波未定值，因此適合用來過濾大誤差，但也因此而無法用來求得整數未定值(Integer Ambiguity)之大小。所以三種模式各有其優、缺點，可視目的的不同而分別採用不同方式處理。

Takasu et al. (2009) 在文獻中提到 RTKLIB 軟體所執行的單對單後處理動態定位解算是以「二次差」來消除時錶誤差及大氣折射，Topcon Positioning Systems, Inc. (2015) 在書中提到 Magnet Tools 軟體所執行的靜態基線解算是以「二次差」來消除時錶誤差及大氣折射，以「三次差」來偵測週波脫落值，在本計畫中於近即時解的部份為採用點對點的 RTKLIB 定位解算模式，以警光山莊 GPS 測站為參考站，另於資料收集後再以 Magnet Tools 以網形解算模式進行，期能在長期觀測上得到更高精度的成果。新設之雙頻 GPS 站參考 DInSAR 分析滑移速率較快位置、易於安裝且透空良好位置佈設如下圖所示。

5.3.1 衛星定位觀測站設置情形

廬山(廬山溫泉北坡、廬山國校)及清境(定遠、壽亭)研究區域陸續共設置 10 處 GPS 站點。廬山溫泉北坡及廬山聚落 8 個衛星觀測站，其中包含新設置 5 站(CN01~CN05)，如表 5-2，前期設置 3 站(LU01~LU03)，如表 5-3，其廬山研究區觀測站點位置分布如圖 5-。清境(定遠、壽亭)設置 2 個衛星觀測站(CN06、CN07)，如表 5-4，其清境研究區觀測站點位置分布如圖 5-。

以上測站透過 MG700 無線路由器蒐集定位資訊並將測量資料以網路傳輸，擺脫外業往返更換記憶卡存取之困擾，亦能在發生事件時能即時取得資訊。MG700 是一個高效能的 M2M 無線路由器，支持 3G/4G 及無線 WiFi 開道器，並支持 3 個串列埠讓使用者在 M2M 的產品應用，使用者可快速設定記錄串列埠資料在 Micro SD 卡或 USB 隨身碟/硬碟。

MG700 系列內建 GNSS 模組為雙頻多星接收儀，特色有：

1. 可接收 GPS、GLONASS、Beidou、Galileo(L1, L2, G1, G2, B1, B2, E1, E5b)。
2. 可利用軟體設定 GNSS 的鮑率、衛星模式、輸出資料格式、資料的 Sample rate 及衛星 CutoffAngle、Sample Rate 與 Baseline 等，RTK 精度可達公分等級等功能。

GNSS 的資料可儲在 SD 卡或 USB 隨身碟，或是可利用 TCP Server/Client 的方式將資料傳送到特定的 Server，或是透過 RS232(Serial Port)方式輸出，方便資料管理及存放。MG700 GNSS 具外接天線，並提供電源供天線使用。

表 5-2、新設廬山衛星定位觀測站(廬山溫泉北坡、廬山聚落)

Table 5.2 The pictures of the GPS stations settled in Lushan area (the north slope of Lushan spring and Lushan settlement) this year

<p>站名：CN01 地標：廬山停車場(儀器箱安裝於警衛室屋頂)</p>	<p>站名：CN02 地標：台 14 側邊果園邊坡</p>
	
<p>站名：CN03 地標：台 14</p>	<p>站名：CN04 地標：廬山聚落茶廠屋頂</p>
	
<p>站名：CN05 地標：廬山國小司令台屋頂</p>	
	

表 5-3、前期設置廬山地區衛星觀測站(廬山溫泉北坡)

Table 5.3 The GPS stations settled at the north slope of Lushan spring in previous plan

站名	地標
LU01	警光山莊
LU02	馬赫坡露營區
LU03	蔡氏茶廠

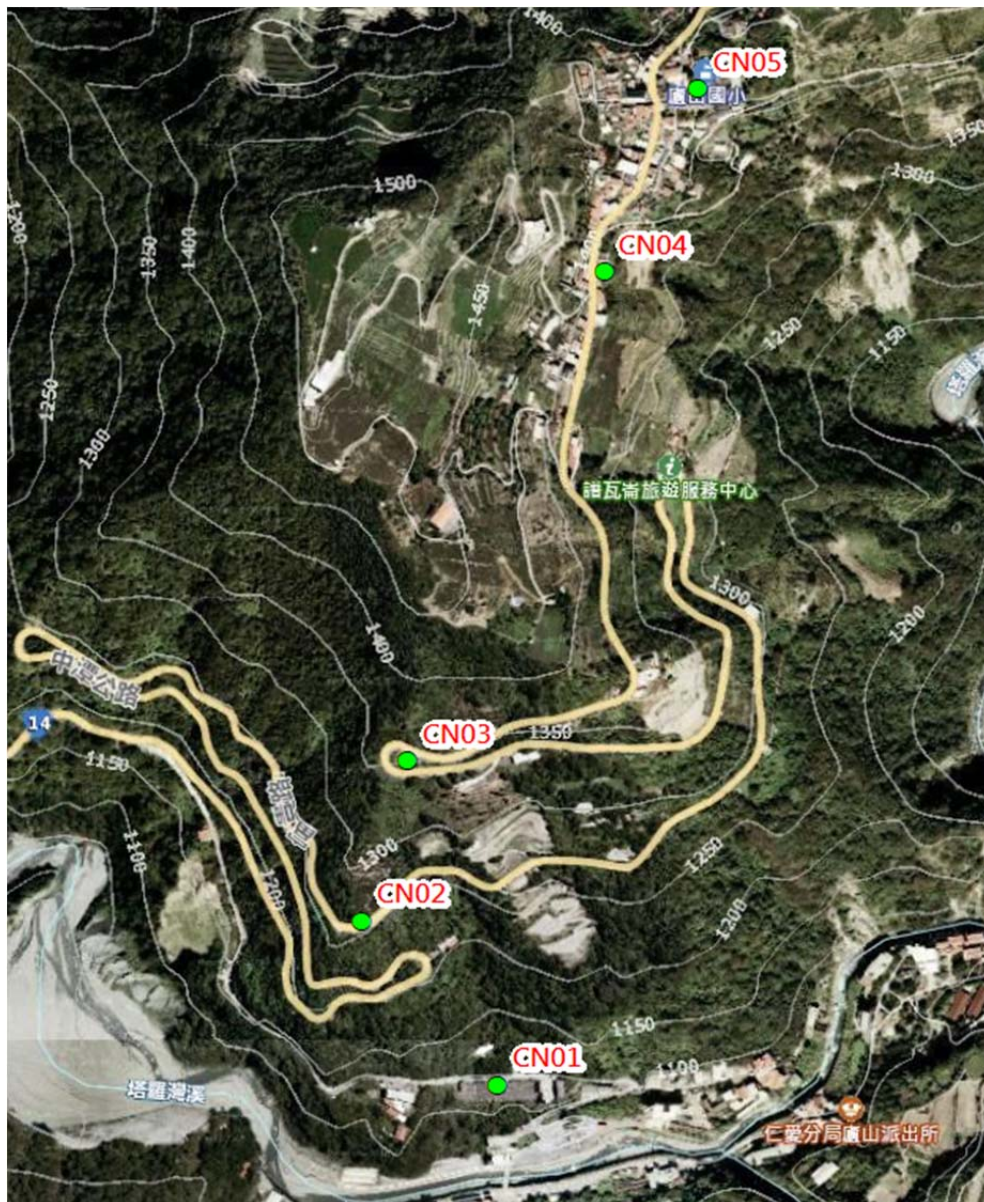




圖 5-12、廬山靜態衛星觀測站站點分布圖

Fig. 5.12 The location of the GPS stations in Lushan area

表 5-4、新設置清境地區(定遠、壽亭)之衛星觀測站

Table 5.4 The pictures of the GPS stations settled in ChigJing area (Dingyuan, and Shouting) this year

站名：CN06 地標：清境國小	站名：CN07 地標：壽亭巷
	

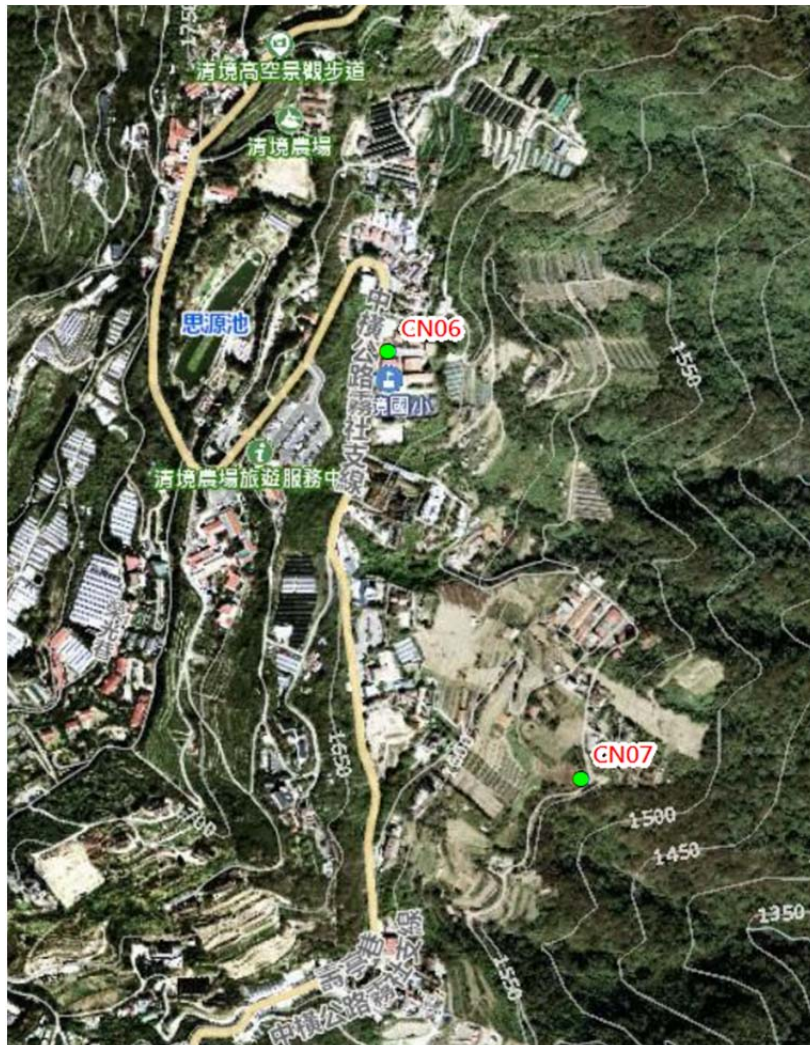


圖 5-13、清境靜態衛星觀測站站點分布圖

Fig. 5.13 The location of the GPS stations in ChigJing area

5.3.2 衛星定位靜態測量資料處理

本計畫於研究區域所設置衛星定位觀測站，採用靜態測量方法來監測地表變位情形，本計畫以「後處理動態定位解算」方式解算觀測站原始衛星觀測資料。

從現地測站蒐集之資料為原始觀測資料(.bpx)，將 2 觀測站(LU02、LU03)原始觀測資料分別配合參考基站(LU01)，以軟體 RTKLIB 進行自動化且快速的單對單後處理動態定位解算，得到各測站坐標位置資料(.pos)，以下說明本研究如何處理坐標位置資料：

- (一) 解算後各測站坐標位置資料內有每筆 1 秒共 5 分鐘的資料，包含時間、坐標、精度，由於每個檔案都是 5 分鐘逐漸收斂，所以本研究只取最後一筆也就是收斂過後精度最高的結果，如圖 5-1 所示。
- (二) 在整理資料過程中發現只要精度大於 0.01 公尺的數值都與正常平均值有很大的落差，從該筆 5 分鐘資料來看都是因為未收斂所造成，故本研究將精度大於 0.01 公尺的極端值在整理資料的過程中先予以剔除，由於資料量龐大，以人工複製貼上會耗費許多時間，使用 C 語言自製程式，可以將資料快速整合成一個文字檔。
- (三) 使用自製程式將連續 5 分鐘的坐標資料加起來平均成一小時的資料，精度以均方根的方式求其均值，再以相同方式將連續 1 小時的資料加起來平均成一天的資料。
- (四) 完成資料整合後，將資料匯入 Excel 軟體中整合，以表格的方式呈現資料，更以此繪製時間對坐標的散布圖，以便觀察資料的狀況。

```

% program : RTKLIB ver.2.4.2
% inp file : D:\Rinex\GPS\NCNU\CN\01\rinex\CN01201805191230.obs
% inp file : D:\Rinex\GPS\SAFE100\LU\01\rinex\LU01201805191230.obs
% inp file : D:\Rinex\GPS\SAFE100\LU\01\rinex\LU01201805191230.nav
% obs start : 2018/05/19 12:30:00.0 GPST (week2001 563400.0s)
% obs end : 2018/05/19 12:34:59.0 GPST (week2001 563699.0s)
% pos mode : static
% freqs : L1+L2
% solution : forward
% elev mask : 15.0 deg
% dynamics : off
% tidecorr : off
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast
% navi sys : gps glonass galileo qzss sbas
% amb res : continuous
% amb glo : on
% val thres : 3.0
% antenna1 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% ref pos : -3019061.1810 4987308.6070 2581140.3290
%
% (x/y/z-ecef=WGS84,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST x-ecef(m) y-ecef(m) z-ecef(m) Q ns sdx(m) sdy(m) sdz(m) sdx(m) sdy(m) sdz(m) sdx(m) sdy(m) sdz(m) age(s) ratio
2018/05/19 12:30:00.000 268653.6963 2657544.3022 1158.0726 1 7 0.0070 0.0148 0.0107 -0.0091 0.0114 -0.0074 0.00 4.2
2018/05/19 12:30:01.000 268653.6966 2657544.3026 1158.0774 1 7 0.0049 0.0104 0.0076 -0.0065 0.0081 -0.0053 0.00 4.0
2018/05/19 12:30:02.000 268653.6951 2657544.3013 1158.0806 1 7 0.0040 0.0085 0.0062 -0.0053 0.0066 -0.0043 0.00 3.9
2018/05/19 12:30:03.000 268653.6942 2657544.3006 1158.0834 1 7 0.0035 0.0074 0.0054 -0.0046 0.0057 -0.0037 0.00 3.7
2018/05/19 12:30:04.000 268653.6945 2657544.3002 1158.0832 1 7 0.0031 0.0066 0.0048 -0.0041 0.0051 -0.0033 0.00 3.7
2018/05/19 12:30:05.000 268653.6946 2657544.2997 1158.0837 1 7 0.0028 0.0060 0.0044 -0.0037 0.0047 -0.0030 0.00 3.4
2018/05/19 12:30:06.000 268653.6951 2657544.2995 1158.0839 1 7 0.0026 0.0056 0.0040 -0.0035 0.0043 -0.0028 0.00 3.3
2018/05/19 12:30:07.000 268653.6956 2657544.2994 1158.0825 1 7 0.0025 0.0052 0.0038 -0.0032 0.0040 -0.0026 0.00 3.1
2018/05/19 12:30:08.000 268653.6959 2657544.2990 1158.0823 1 7 0.0023 0.0049 0.0036 -0.0030 0.0038 -0.0025 0.00 3.2
2018/05/19 12:30:09.000 268653.6957 2657544.2992 1158.0834 1 7 0.0022 0.0047 0.0034 -0.0029 0.0036 -0.0024 0.00 3.1
2018/05/19 12:30:10.000 268653.6958 2657544.2996 1158.0837 1 7 0.0021 0.0045 0.0032 -0.0028 0.0034 -0.0022 0.00 3.1
2018/05/19 12:30:11.000 268653.6959 2657544.2994 1158.0834 1 7 0.0020 0.0043 0.0031 -0.0026 0.0033 -0.0021 0.00 3.1
2018/05/19 12:30:12.000 268653.6960 2657544.2993 1158.0828 1 7 0.0019 0.0041 0.0030 -0.0025 0.0032 -0.0021 0.00 3.1
2018/05/19 12:30:13.000 268653.6961 2657544.2992 1158.0832 1 7 0.0019 0.0039 0.0029 -0.0024 0.0031 -0.0020 0.00 3.2
2018/05/19 12:30:14.000 268653.6957 2657544.2990 1158.0848 1 7 0.0018 0.0038 0.0028 -0.0024 0.0029 -0.0019 0.00 3.3
2018/05/19 12:30:15.000 268653.6955 2657544.2991 1158.0854 1 7 0.0017 0.0037 0.0027 -0.0023 0.0029 -0.0019 0.00 3.4
2018/05/19 12:30:16.000 268653.6953 2657544.2992 1158.0864 1 7 0.0017 0.0036 0.0026 -0.0022 0.0028 -0.0018 0.00 3.3
2018/05/19 12:30:17.000 268653.6951 2657544.2992 1158.0866 1 7 0.0016 0.0035 0.0025 -0.0022 0.0027 -0.0018 0.00 3.4
2018/05/19 12:30:18.000 268653.6952 2657544.2992 1158.0861 1 7 0.0016 0.0034 0.0025 -0.0021 0.0026 -0.0017 0.00 3.3
2018/05/19 12:30:19.000 268653.6951 2657544.2993 1158.0859 1 7 0.0016 0.0033 0.0024 -0.0020 0.0026 -0.0017 0.00 3.3
2018/05/19 12:30:20.000 268653.6949 2657544.2994 1158.0864 1 7 0.0015 0.0032 0.0023 -0.0020 0.0025 -0.0016 0.00 3.3

```

圖 5-14、坐標位置資料(.pos)示意圖

Fig. 5.14 The schematic diagram of the coordinate data(.pos)

5.3.3 GPS量測比對結果

本研究 CN01~CN05 站自 2017/4/1 開始記錄，記錄至 2018/11/21，因儀器於 2018 下半年頻出現故障問題，故先行以單頻設備頂替，單頻儀器自 2019/1/31 開始記錄至 2019/6/30；於 2019/7/4 開始新雙頻儀器的記錄，在儀器安裝前期資料較不穩定，因此本計畫整理 2019/8/8 至 2019/11/13 測站 CN01~CN07 之衛星定位測站資料。CN07 則於 2019/9/13 至 2019/10/5 期間資料數據有異常現象。

● 單對單後處理動態定位解算資料比對

下表 5-5 至表 5-9 為 CN01~CN05 各雙頻測站資料其兩種解算方法(單對單解算及靜態基線解算)與單頻測站產出之 X、Y、Z 方向位移變化量與日雨量之比較。單對單解算及靜態基線解算，由每天解與資料起始日(2017/4/29)坐標比較，計算出 X、Y、Z 方向位移量，並與日雨量進行比較。表 5-5 至表 5-11 為 CN06~CN07 單對單解算產出之 X、Y、Z 方向坐標變化之每天解。

由各站 Z 方向位移量，其各高程可以觀察出，即使尚未有豪雨或地震等事件，各站還是有持續下滑的跡象。在 2017 年 6 月 2 日降雨後開始有大幅度的位移出現，豪雨於 2017 年 6 月 4 日漸緩，但是因為地下水位尚未下降，位移到 2017 年 6 月底才逐漸趨緩，滑動了將近 1 個月，而在之後的一年中也能觀察到些微的移動。

2017 年 CN01 站的廬山停車場在 N 方向移動了約-20 公分，E 方向移動了約 15 公分，高程移動了約-2 公分；測站 CN02、CN03 在 5 月初儀器送修，所以中間有資料缺失，儀器維修裝上後有蒐集到後半個月的資料，混凝土牆上方 CN02 站在 N 方向移動了約-15 公分，E 方向移動了約 8 公分，高程移動了約-10 公分；轉角空地 CN03 站在 N 方向移動了約-26 公分，E 方向移動了約 8 公分，高程移動了約-20 公分；茶廠屋頂 CN04 站在 N 方向移動了約-3 公分，E 方向移動了約 11 公分，高程移動了約-5 公分；廬山國小司令台 CN05 站坐標浮動較大，是因為周遭建築物干擾到訊號所致，CN05 在 N 方向移動了約-2.5 公分，E 方向因為坐標跳動較難判斷，高程移動了約-4 公分。從結果中可以觀察到研究區域整體向東方及南方滑移，高程也有大小不等的下降。在 2019/8/8 至 2019/11/13 這段期間內，可以觀察到明顯位移的跡象：2019/8/22 由 CN01、CN03 測站在 N、E 方向觀察到有明顯坐標位移之跳動。

然同樣解算方式於清境地區兩站尚未獲得良好成果，解算參數與廬山五站相同，

後續將持續嘗試改善期能達到可接受精度，再與其他觀測成果進行比對。

在此段時間內的資料尚不能長時間的變化趨勢，日後可從降雨事件對應到測站資訊變化之結果，可以觀察到研究區域整體向東方及南方滑移，高程也有大小不等的下降。

表 5-5、2017/4/1~2019/11/13 CN01 測站 X、Y、Z 方向位移變化
 Table 5.5 The GPS observation results of CN01 station (from 2017/4/1 to 2019/11/13)

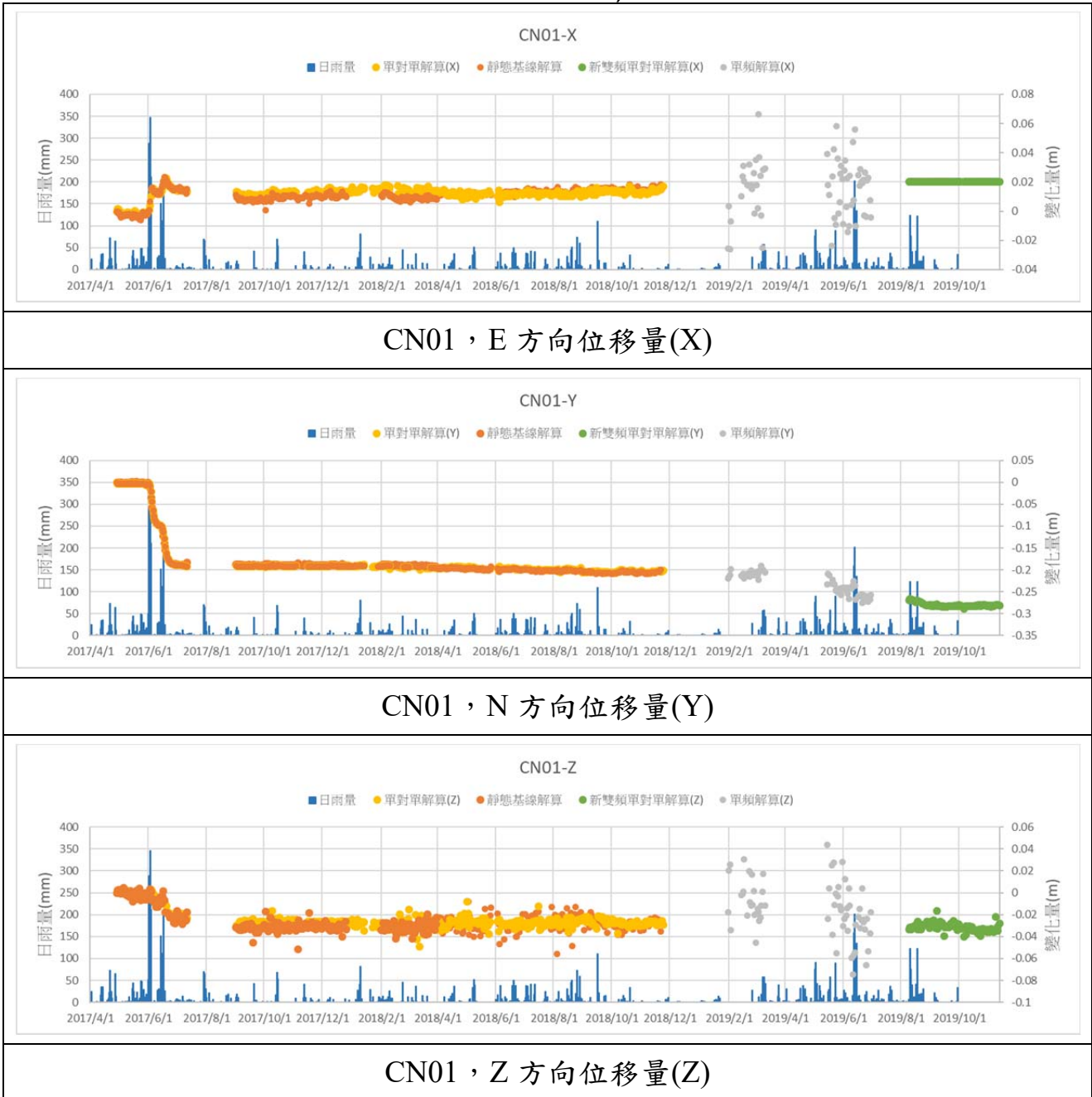


表 5-6、2017/4/1~2019/11/13 CN02 測站 X、Y、Z 方向位移變化
 Table 5.6 The GPS observation results of CN02 station (from 2017/4/1 to 2019/11/13)

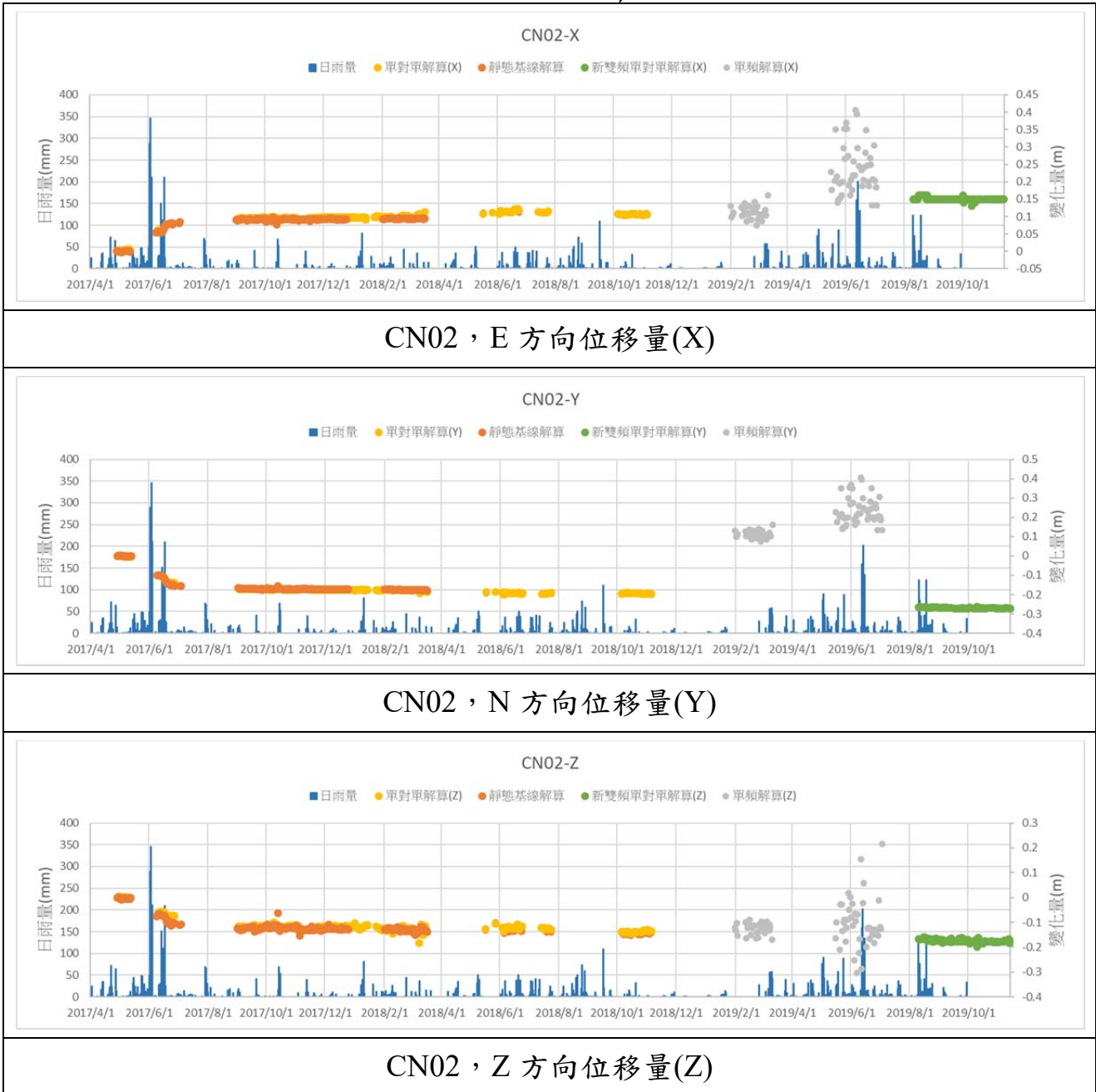


表 5-7、2017/4/1~2019/11/13 CN03 測站 X、Y、Z 方向位移變化
 Table 5.7 The GPS observation results of CN03 station (from 2017/4/1 to 2019/11/13)

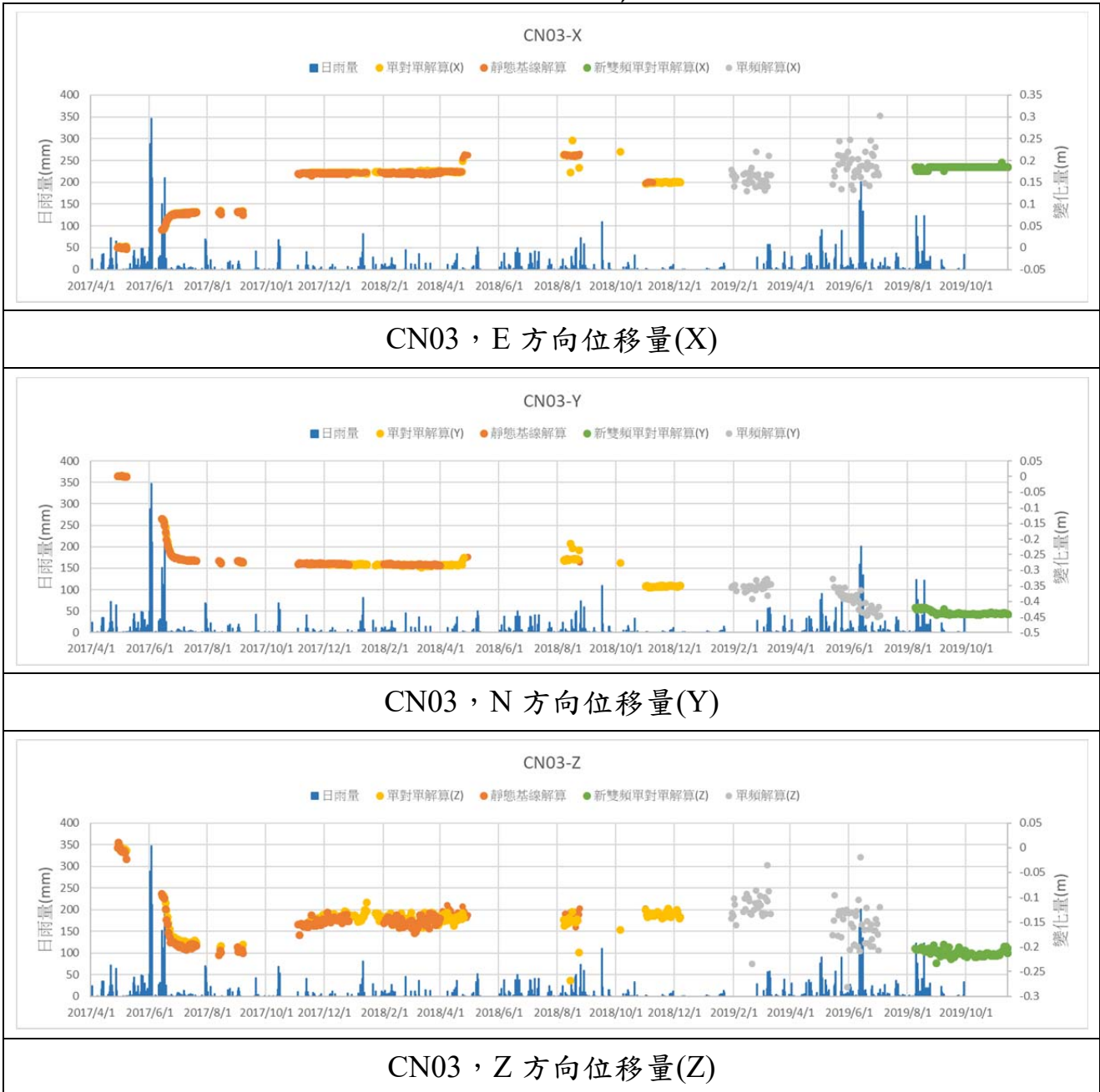


表 5-8、2017/4/1~2019/11/13 CN04 測站 X、Y、Z 方向位移變化
 Table 5.8 The GPS observation results of CN04 station (from 2017/4/1 to 2019/11/13)

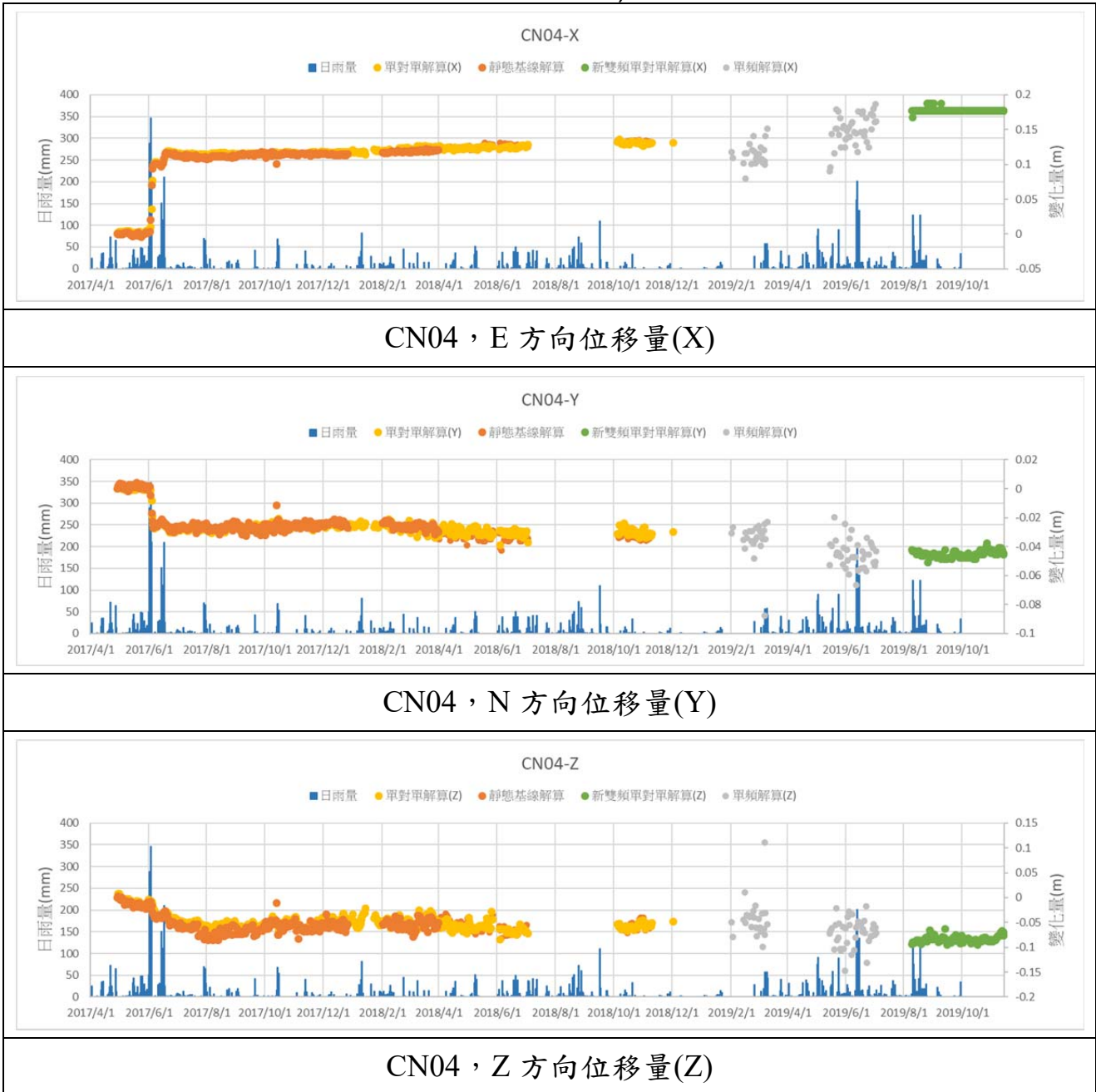


表 5-9、2017/4/1~2019/11/13 CN05 測站 X、Y、Z 方向位移變化
 Table 5.9 The GPS observation results of CN05 station (from 2017/4/1 to 2019/11/13)

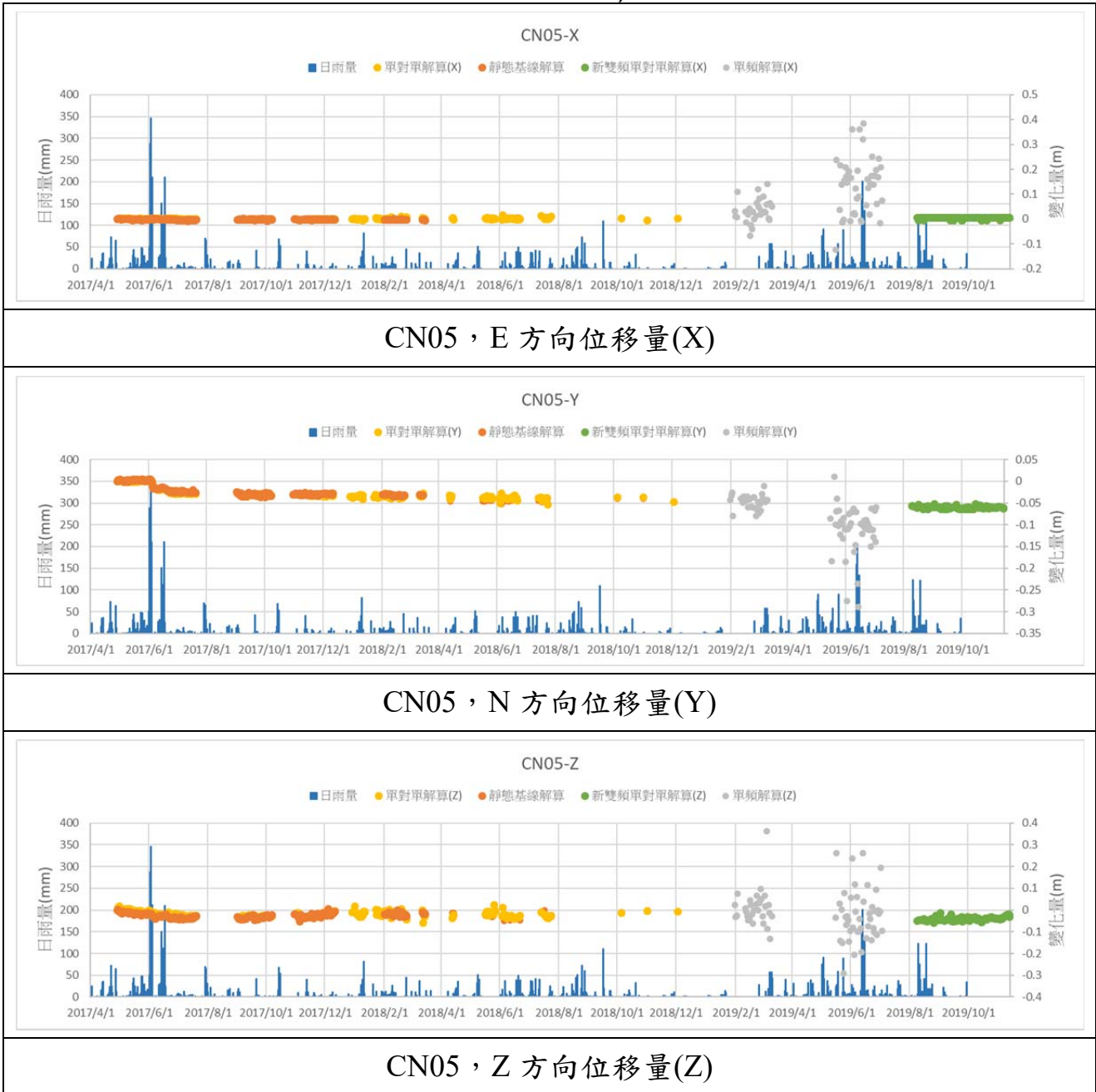


表 5-10、2019/8/8~2019/10/25 CN06 測站 X、Y、Z 方向位移變化
 Table 5.10 The GPS observation results of CN06 station (from 2017/4/1 to 2019/11/13)

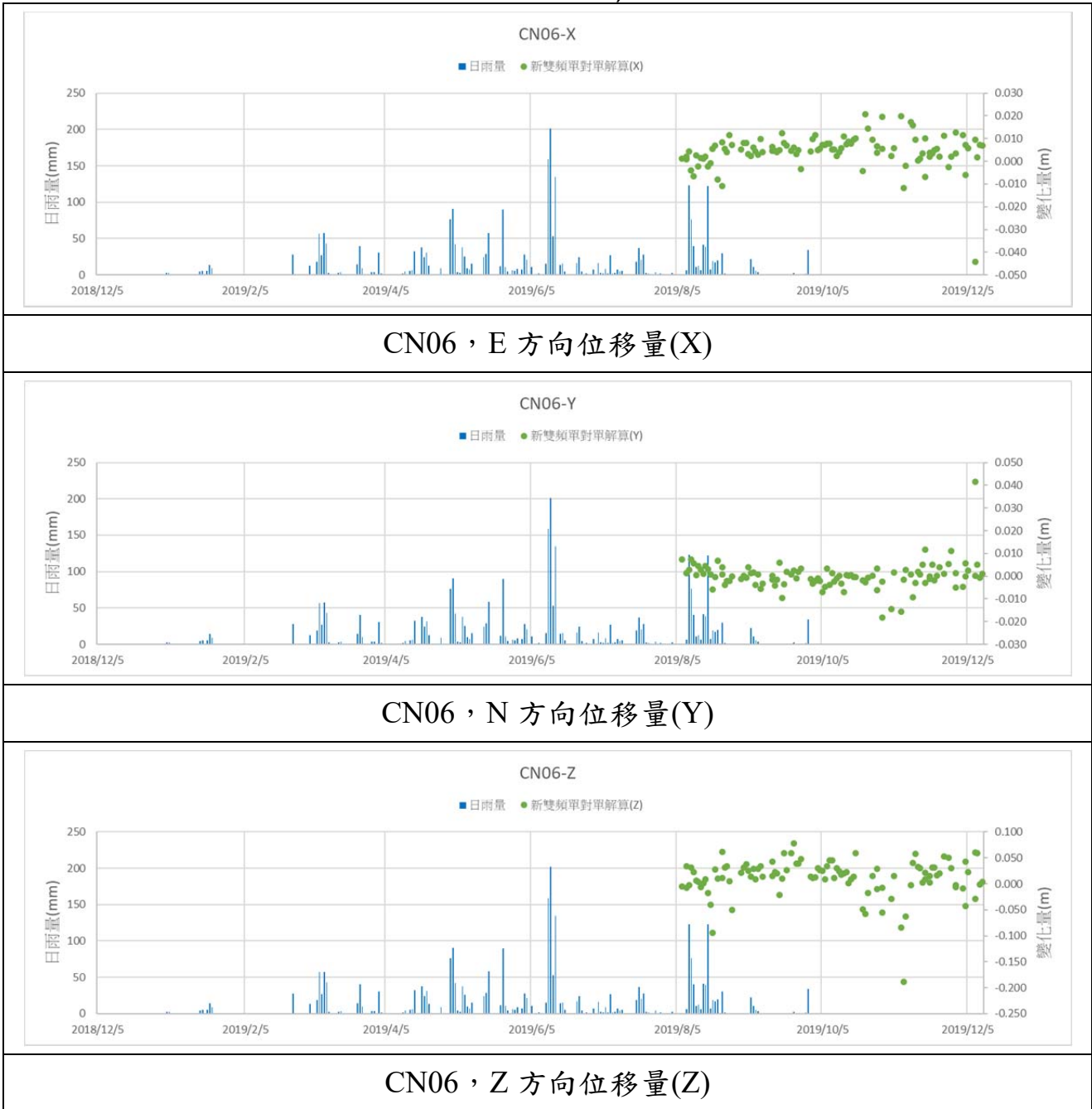
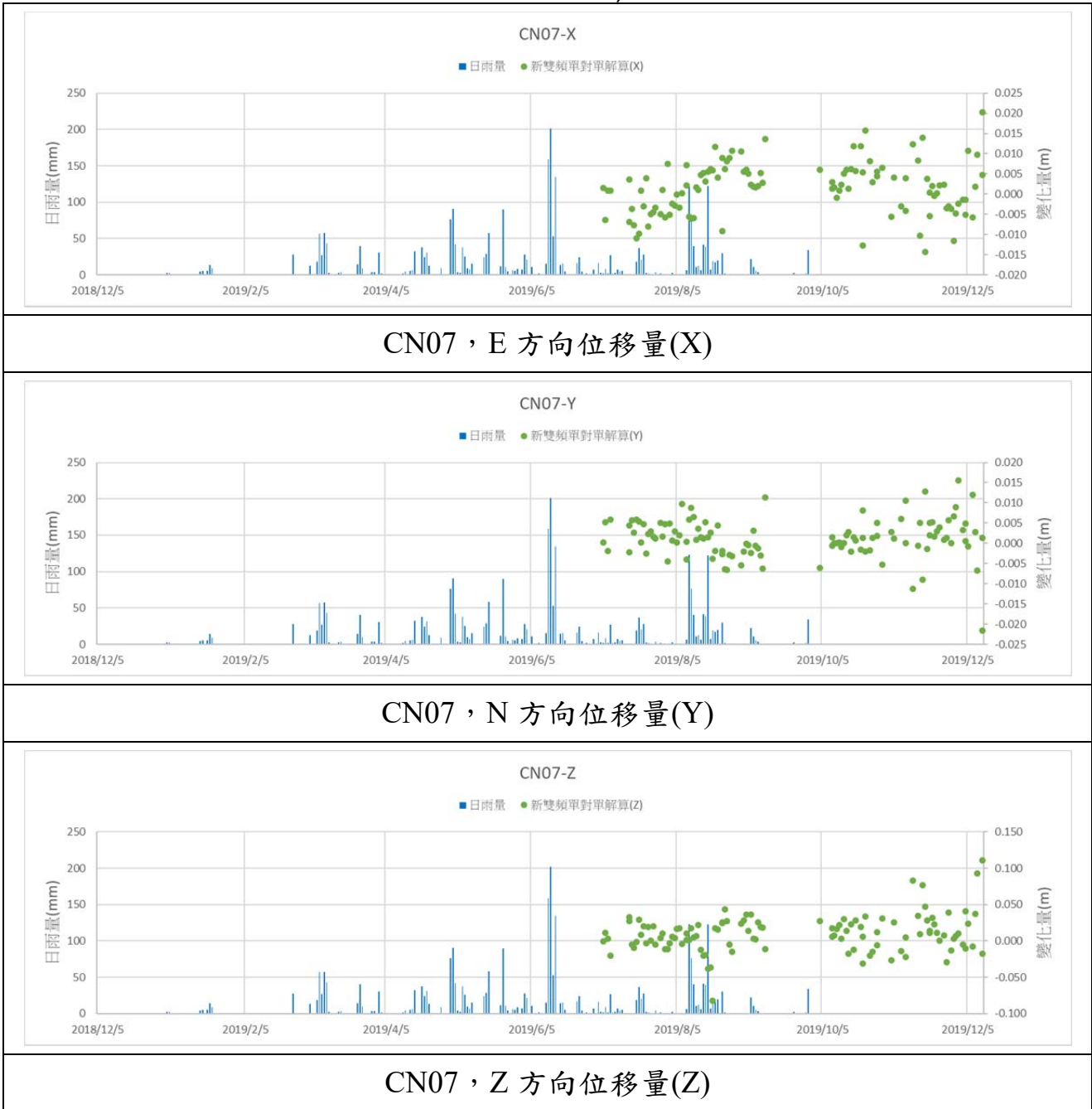


表 5-11、2019/8/8~2019/10/25 CN07 測站 X、Y、Z 方向位移變化
 Table 5.11 The GPS observation results of CN07 station (from 2017/4/1 to 2019/11/13)



5.4 多尺度地表變形研究成果研析

根據前述 SAR、UAS、GPS 等方法可取得地表變形或數值地表模型，如何有效交互驗證是重要的課題，經由 DInSAR 取得之地表變形，一般均以 LOS 表示，但 LOS 僅代表衛星與地面點間之相對位移，以地面觀測者之角度難以研判，本計畫產製之 DInSAR 地表變形轉換為垂直地表變形量，此一變形量可與水準測量、GPS 測量成果進行比對。

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 5-15 及圖 5-16 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。

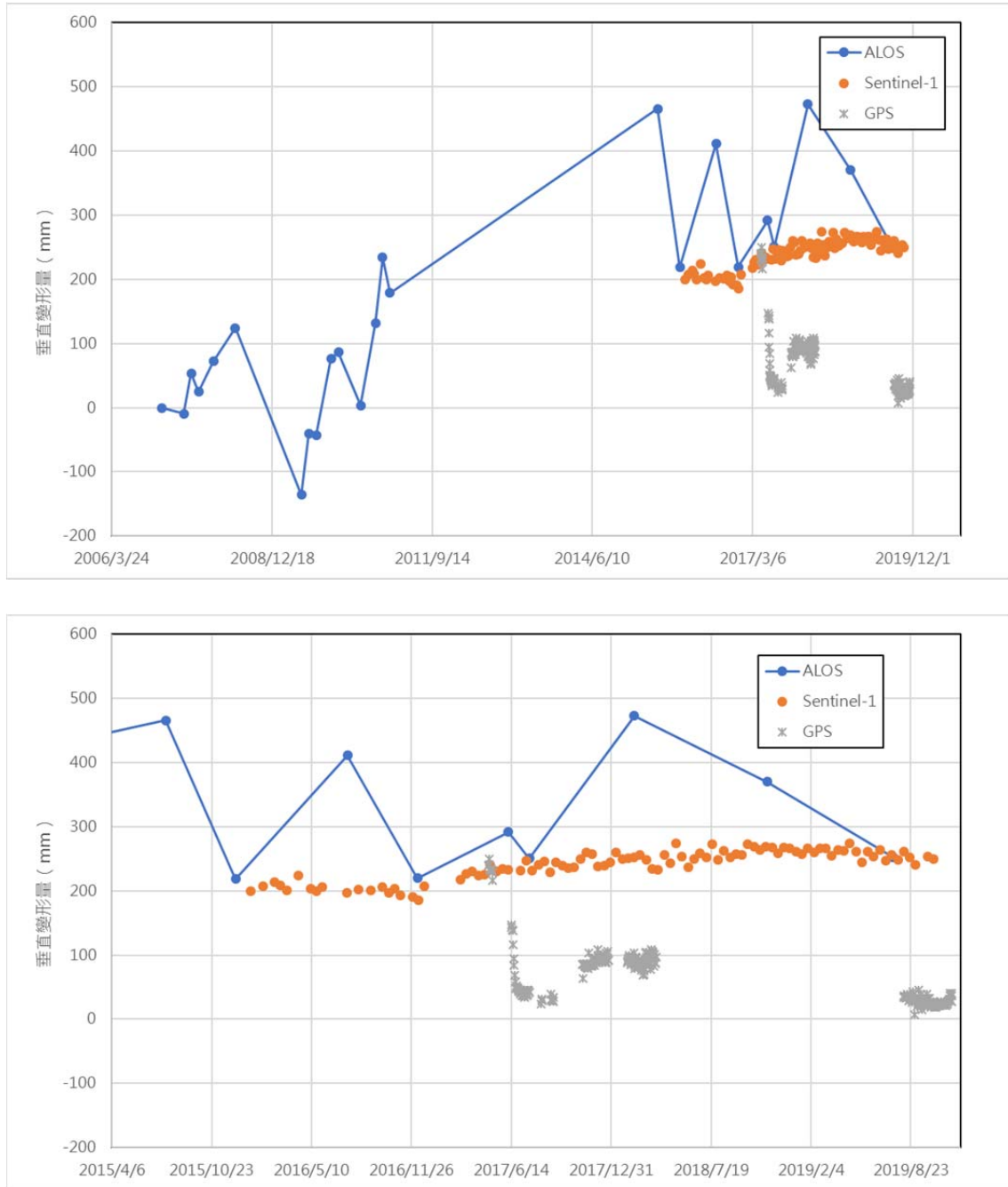


圖 5-15 編號 CN03 GPS 站 GPS、ALOS 及 Sentinel-1DInSAR 觀測成果比較
 Fig. 5.15 The monitoring results of GPS, DInSAR from ALOS and Sentinel-1 at CN03 GPS station

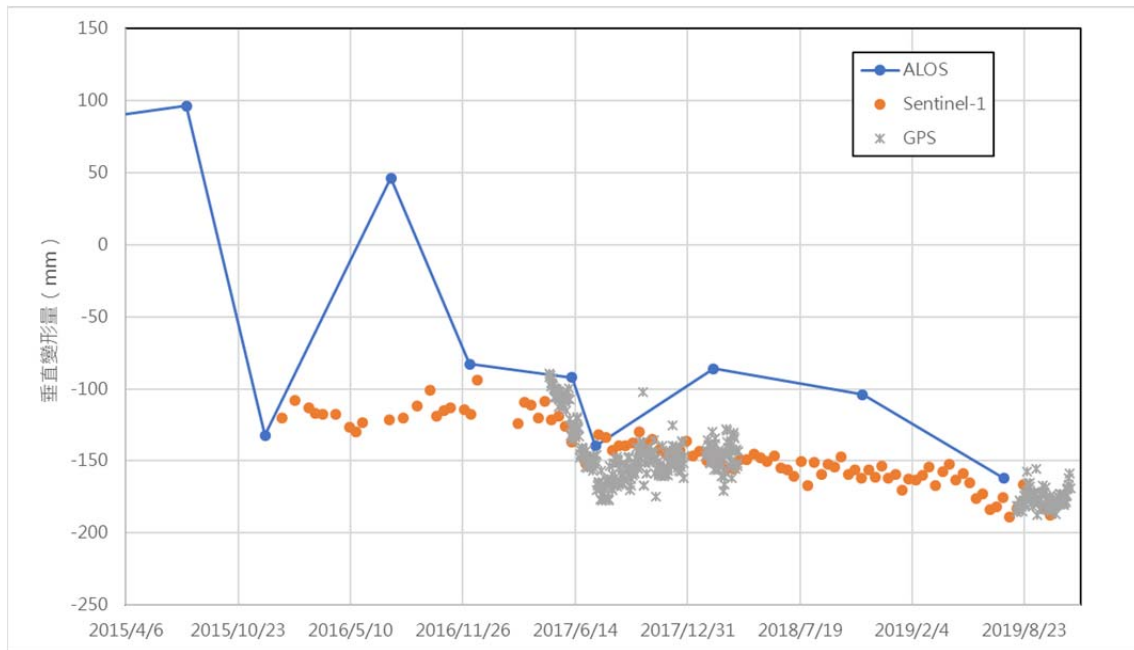
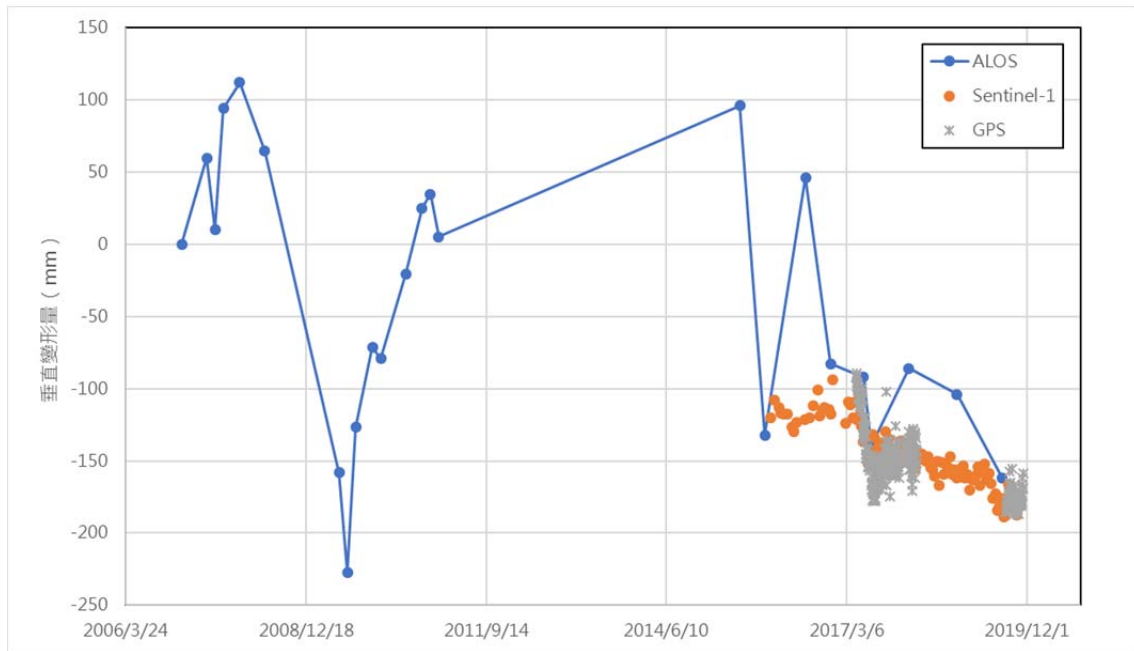


圖 5-16 編號 CN04 GPS 站 GPS、ALOS 及 Sentinel-1DInSAR 觀測成果比較
 Fig. 5.16 The monitoring results of GPS, DInSAR from ALOS and Sentinel-1 at CN04 GPS station

此外，由無人載具取得之正射影像及數值地形亦可與其他兩項成果比對，除常用之質點運動法(PIV)外，本計畫亦以數位影像相關係數法(DIC)進行分析，DIC 演算法之使用與 PIV 類似，但對於平面運動(水平向移動)可以偵測的範圍可達到 1/100 pixel，對於微小的變形偵測較 PIV 為佳。本計畫使用 Bickel 提供之原始 matlab 程式碼嘗試分析，利用團隊 2019 年拍攝正射影像分析，廬山部落及廬山部落成果分別如圖 5-18 及圖 5-19 所示，從結果顯示在值的大小上與變形位置及趨勢吻合，但值大小和方向仍存在一定誤差，追究其原因可能在於參數掌握及正射影像存在之定位誤差，後續將嘗試精進改善分析方法。

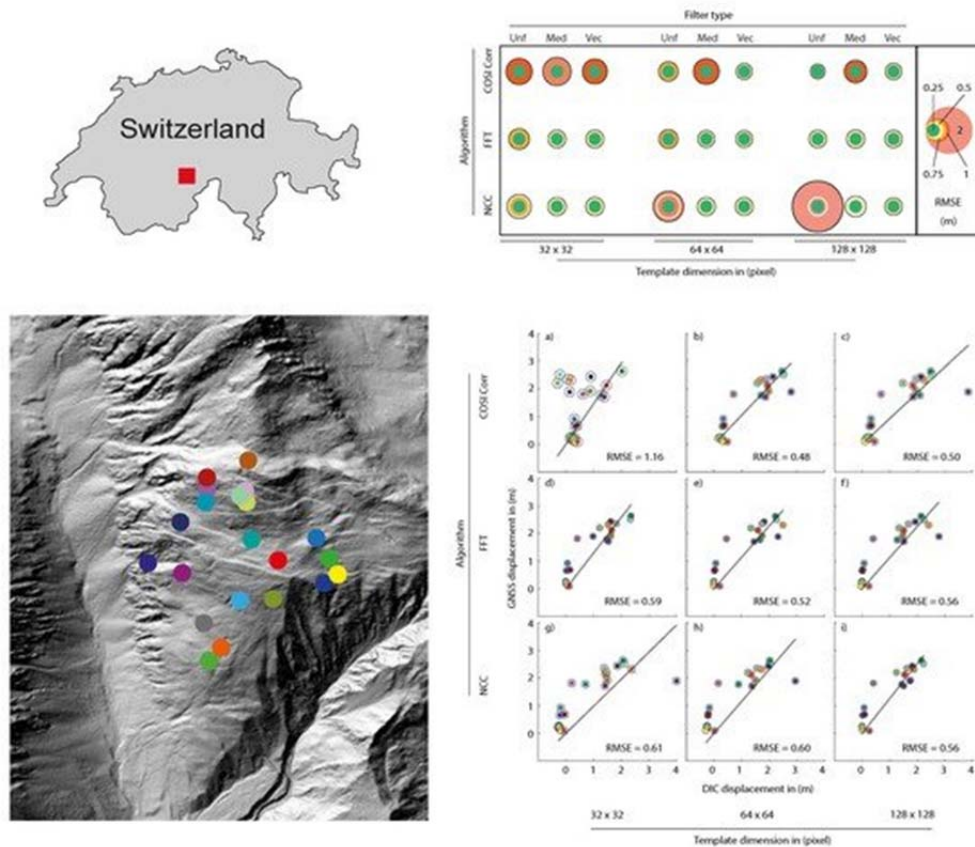


圖 5-17、使用 DIC 分析之地表變動量與 GPS 觀測互相比對之案例(Bickel et al., 2018)
 Fig. 5.17 The case which used DIC method to analyze the surface variation is compared with GPS observations (Bickel et al., 2018)

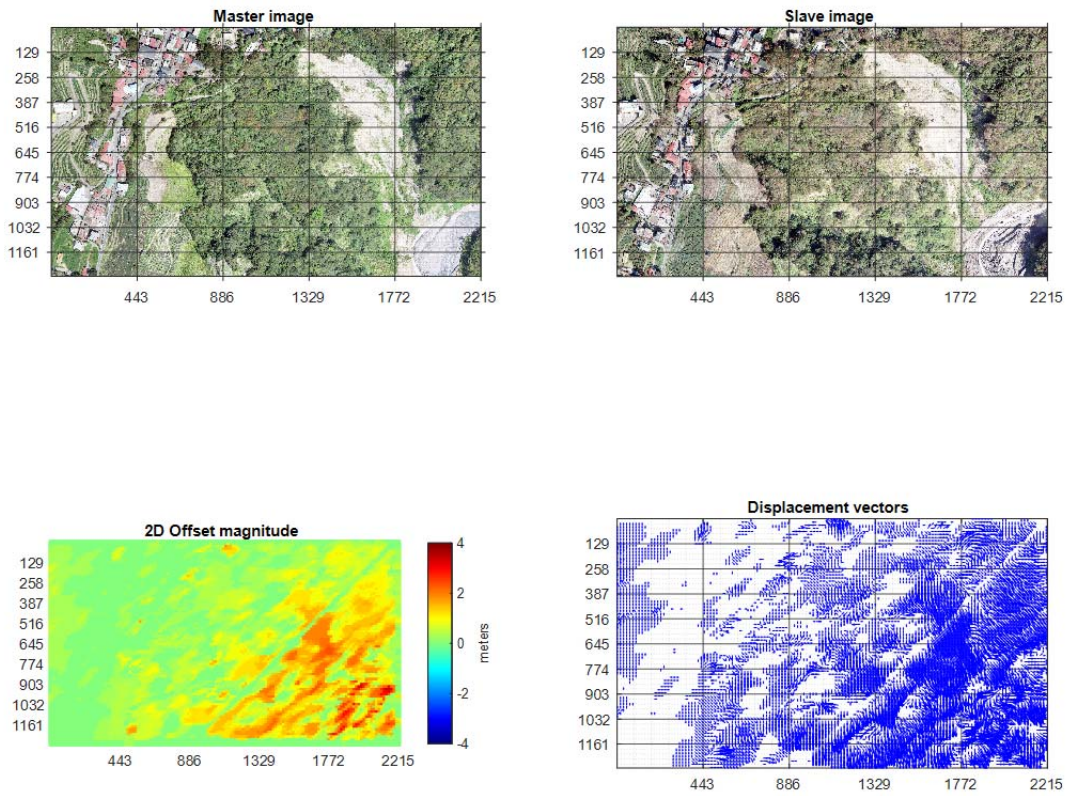


圖 5-18、2019 年 1 月 8 日至 2019 年 9 月 17 日廬山部落 DIC 分析成果
 Fig. 5.18 The DIC analysis result of Lushan Tribute from 8, Jan. to 17, Sep., 2019

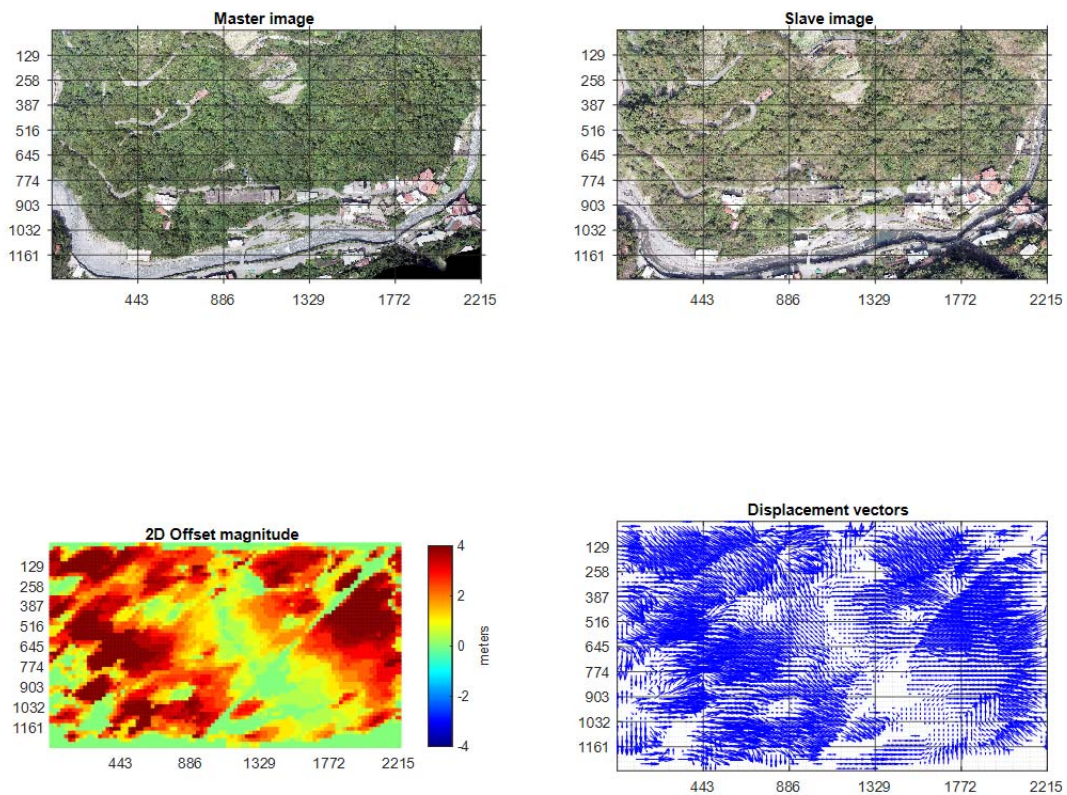


圖 5-19、2019 年 1 月 8 日至 2019 年 9 月 17 日廬山北坡 DIC 分析成果
 Fig. 5.19 The DIC analysis result of Lushan north slope from 8, Jan. to 17, Sep., 2019

第六章、前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

本章包含前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究、物聯網技術適用性研究等二大部份，說明如後。

6.1 研究架構

物聯網(Internet of Things, 簡稱 IoT)係指物品與物品間的聯網。物聯網在概念上可分為三層架構，包含感測層、網路層與應用層等，如圖 6-1 所示。感測層主要為識別、感測物體的各種狀態。網路層係將感測資訊傳遞至應用層。最後應用層結合各種資料分析技術及系統整合，提供不同使用需求。由於物聯網相關技術日益進步，故本計畫執行期間將持續進行相關應用研究，期以提升相關技術。感測層部分，本年度計畫進行前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究(詳 6.2 節)。網路層部分，本年度計畫進行物聯網技術適用性研究(詳 6.3 節)。有關應用層部分，本計畫進行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(詳 7.1 節)。本章主要針對感測層及網路層進行相關研究，請參閱 6.2~6.3 節。



圖 6-1、物聯網架構
Fig. 6.1 Structure of internet of things

6.2 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究

本年度(2019年)計畫之前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究，包含資料蒐集及適用性評估，前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究，地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究，地層變位模擬研究等四部分，說明如後。

6.2.1 資料蒐集及適用性評估

針對各式前瞻的地中活動性觀測技術，包括串聯式自動化測傾儀、孔內伸縮計、多段式孔內伸縮計、短軸距測傾儀及其他相關地中調查觀測技術等。本年度計畫應完成國內、外技術之資料蒐集及彙整評析。前期計畫已有應用孔內伸縮計、多點式地中變位儀(加拿大 Measurand 研發之 ShappeArray, 簡稱 SAA)及電磁波時域反射儀(Time Domain Reflectometry, 簡稱 TDR)等，彙整研究成果如表 6-1 所示。本年度計畫再蒐集相關前瞻地中觀測技術，提供後續研發及防災應用研究參考，期中階段成果如後。

一、加拿大 Measurand 公司研發之新式多點式地中變位儀 SAAV

以往前期計畫使用的 SAA 產品為 SAAF 系列，近期 Measurand 公司研發新式 SAAV 系列。以垂直孔來說，SAAV 由上至下可分為頂部、感測段及底部等三個部分，如圖 6-1(a)所示。頂部利用彈簧箱及伸縮管連接感測段。

感測段由一節一節桿件組成，桿件內部設有微機電系統(Microelectromechanical Systems, 簡稱 MEMS)感測器，用以感測傾斜量，再轉換成位移量。桿件與桿件之間由節點連接，節點為「多皺紋的」(rugged joint)，可適度變形。因此，允許 SAAV 以「Z 字形」(Zigzag pattern)的進入鑽孔內，以固定感測段。可應用至內徑 27 mm 或內徑 47~100 mm 的套管。

感測段以下為底部。SAAV 在底部新增壓桿(Silent segments)構件，壓桿內部無設置感測器，可視需求彈性增加。如此可以不用像以往的 SAAF，若要僅針對滑動範圍進行觀測，需要將感測段以下的深度，全部回填灌漿封閉，如圖 6-1(b)，以固定 SAA 構件，設置過程較為繁瑣。SAAV 利用壓桿方式作為底部支撐(需要事先客製)，同時可不採取灌漿方式設置 SAA，增加 SAAV 在後續的檢修可能及回收性(以往的 SAAF 需要整段灌漿或回填砂包覆)，但仍有最小撓曲半徑限制，如表 6-2 所示。由於 SAAV 相對容易回收，對於後續要應用其他地中觀測技術時，選擇也更為彈性。根據初步的資

料蒐集，得知新式 SAAV 可不需要灌漿包覆，而以往的 SAAF 需要灌漿包覆，本年度計畫規劃加以應用研究，瞭解其特性。

表 6-1、地中調查觀測技術比較

Table 6.1 Comparisons of subsurface observation technologies


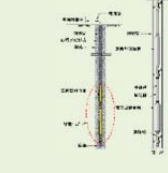
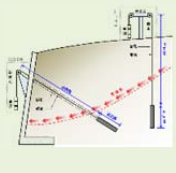
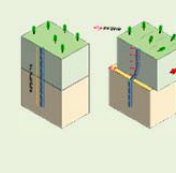
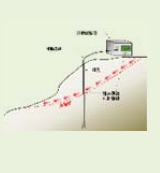
觀測方法	測傾管 (置入測傾儀量測)(Inclinometer)	定置型測傾儀 (In-Place Incliner, 簡稱 IPI)	孔內伸縮計 (Borehole Extensometer)	多點式地中變位儀 (ShapeAccelArray, 簡稱 SAA)(Differential Monitoring of Stability, 簡稱 DMS)	時域反射儀 (Time Domain Reflectometry, 簡稱 TDR)
示意圖					
觀測標的	滑動深度、 位移量、位移方向	滑動深度、 位移量、位移方向	滑動深度、位移量	滑動深度、位移量、 位移方向	滑動深度
量測範圍	±30 度	±30 度	>20cm (位移感測器 LVDT)	±30 度	-
精度	±5mm/25m	±5mm/25m	1.0% F.S. (位移感測器 LVDT)	±5mm/25m	-
自動化	手動觀測為主	自動化觀測為主	自動化觀測為主	自動化觀測為主	可自動化觀測
特點	<ul style="list-style-type: none"> 操作簡單，應用廣。 精度高。 耐久性高。 	<ul style="list-style-type: none"> 可自動化觀測。 精度高。 回收性較高。 	<ul style="list-style-type: none"> 可自動化觀測。 精度高。 設置成本相對較低。 耐久性佳，可觀測較大的累積變位量。 配合安裝位置，決定安裝形式係斜向是或垂直式孔內伸縮計。 	<ul style="list-style-type: none"> 可自動化觀測。 精度高。 	<ul style="list-style-type: none"> 可自動化觀測。 所需儀器及現場設置簡便。
注意事項	<ul style="list-style-type: none"> 測傾管管材及裝設品質，影響觀測成果。 部分案例因預算問題，會於管壁鑿孔兼做水位觀測使用，開孔方式需謹慎處理，避免影響觀測成果。 	<ul style="list-style-type: none"> 成本高。 宜掌握邊坡滑動型態後，再評估規劃裝設深度。 IPI 間之連接及固定構件多，施工細節須審慎。 	<ul style="list-style-type: none"> 應掌握邊坡滑動型態後，再評估規劃裝設。 當邊坡滑動處為較厚的剪動帶，則孔內伸縮計初期較不敏感。 孔內伸縮計變形量，通常不直接等於邊坡變形量，需適度轉換。 	<ul style="list-style-type: none"> 成本高。 宜掌握邊坡滑動型態後，再評估規劃裝設。 位移量略大時，儀器較易受損。 	<ul style="list-style-type: none"> TDR 靈敏度受纜線長度、直徑大小、灌漿方式、邊坡滑動型態等影響，增加應用複雜性。 TDR 反射訊號與邊坡變形量關係之率定模式，受纜線規格、變形模式、灌漿方式、現地材料影響，操作人員需具備專業知識。 量化之驗證仍然不足。
調查區 應用情形	所有調查區 均有使用	廬山溫泉北坡	<ul style="list-style-type: none"> 廬山溫泉北坡 翠巒 廬山聚落 新佳碇 下大武 太和 竹林 達來 西羅岸 科子林 樣子寮 潮洲湖 	SAA : <ul style="list-style-type: none"> 廬山溫泉北坡 潮洲湖 樣子寮 西羅岸 太平山 霧社 安通 	樣子寮

表 6-2、SAAV 取出的最小撓曲半徑(Minimum bend radii)
 Table 6.2 The minimum bend radii for recovering SAAV
 (資料來源：Measurand 公司網站，<https://measurand.com>)

Casing Diameter 套管直徑 (mm)	Minimum Bend Radius 最小撓曲半徑 (m)
70	1.12
85	0.83

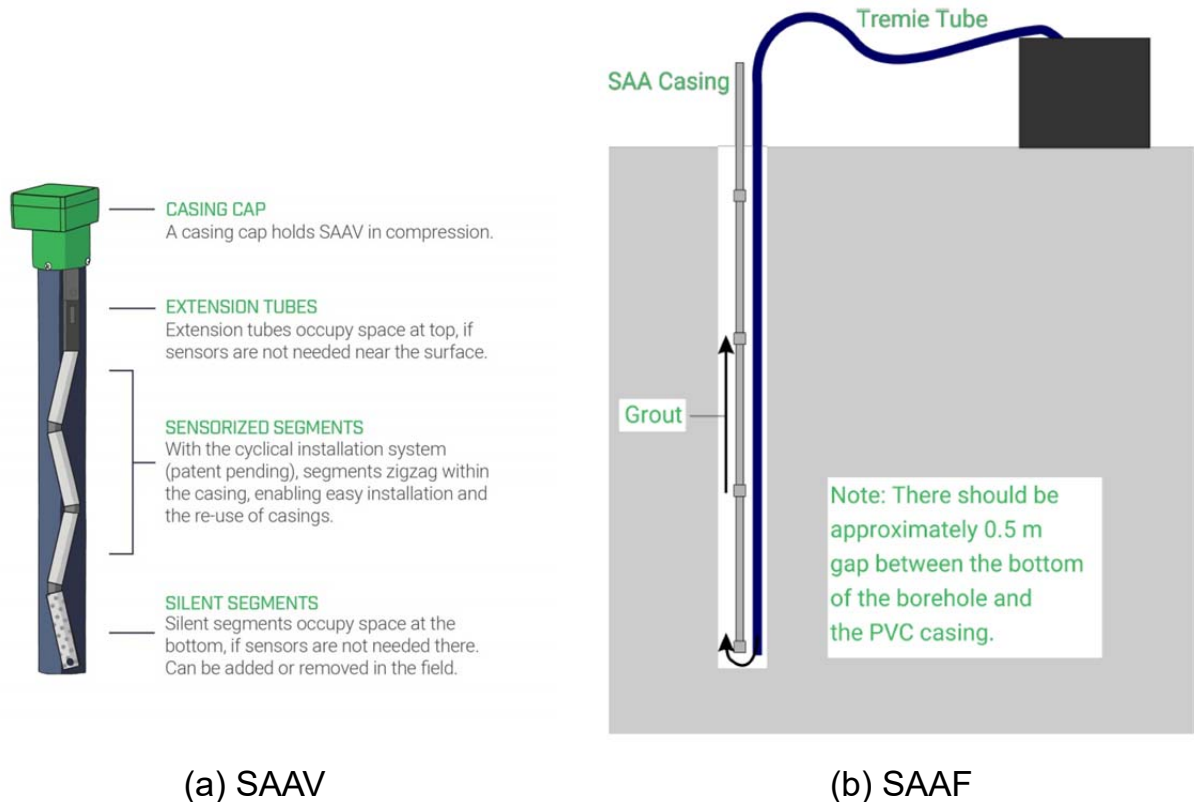


圖 6-2、SAAF 及 SAAV 安裝示意圖

Fig. 6.2 Schematic illustration of SAAF and SAAV installation
 (資料來源：Measurand 公司網站，<https://measurand.com>)

二、義大利 CSG Srl 公司研發之 DMS

義大利 CSG Srl 公司於 2000 年起，研發 DMS (Differential Monitoring of Stability) 系列觀測儀器。DMS 示意圖如圖 6-3 所示，其大致由剛性管狀模組與節點組成，管狀模組內有設置感測器及纜線，用以量測、提供電力及傳輸訊號。節點為可變形的，以允許管狀模組變位。DMS 可應用於地中或地表變形觀測，並可採自動化觀測，提供警戒應變參考。經初步查詢，近年來 DMS 陸續有相關論文發表(Blikra et al., 2013; Lovisollo et al., 2014; Foglino et al., 2015;)，相關觀測成果如圖 6-4 所示，顯示 DMS 儀器應有進一步應用潛力，本計畫後續將再進行評估，加以引進測試研究。

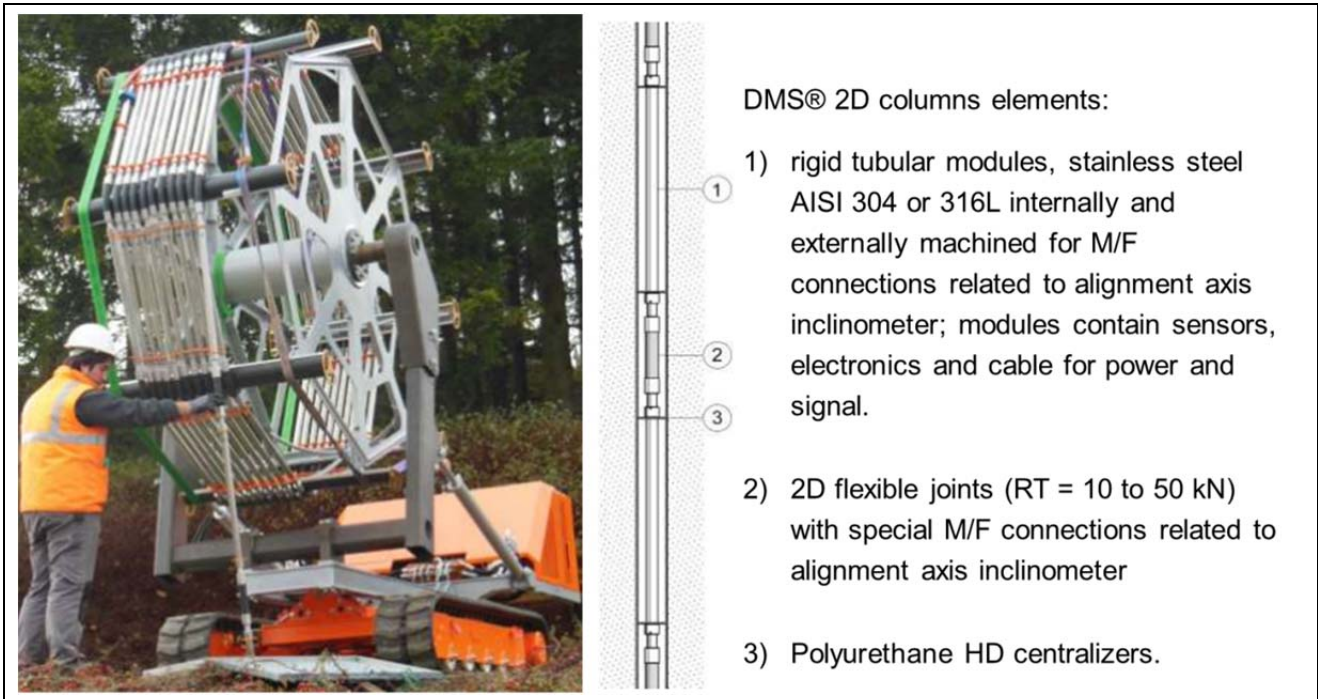


圖 6-3、DMS(Differential Monitoring of Stability)示意圖

Fig. 6.3 Illustration diagram of DMS(Differential Monitoring of Stability)

(資料來源：Lovisolo, 2017)

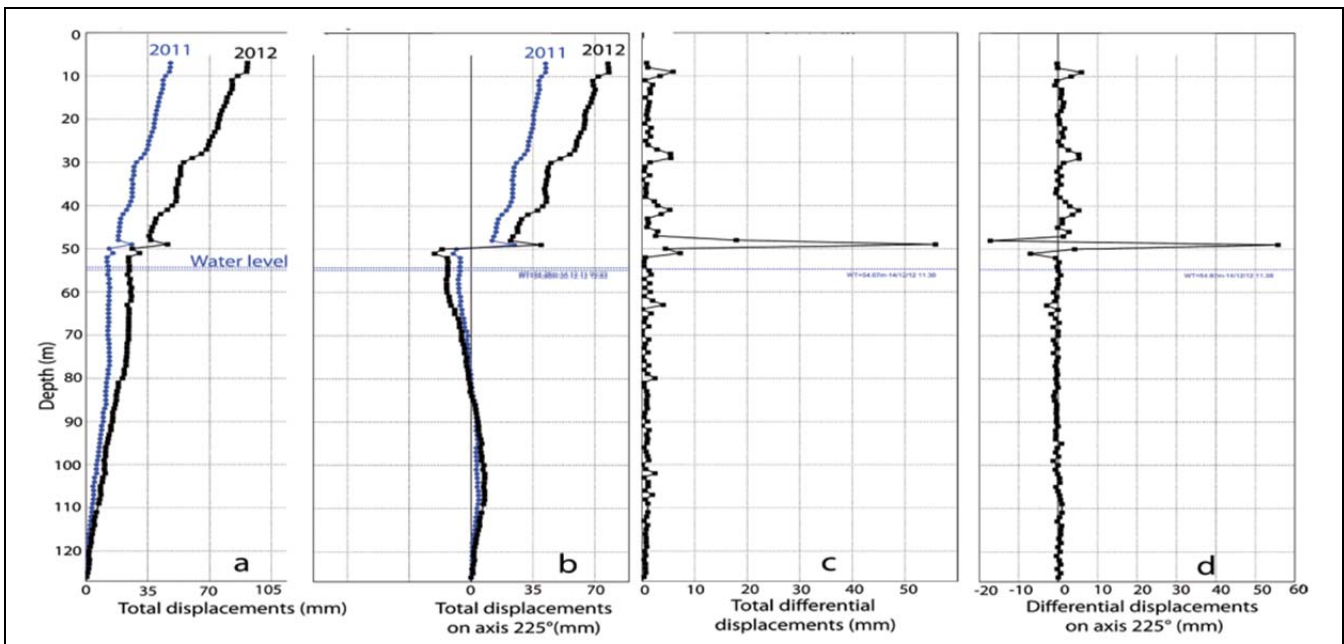


圖 6-4、DMS 觀測成果。掌握到地表下約 50m 為滑動帶(挪威邊坡活動觀測)

Fig. 6.4 Observation results of DMS, which shows the potential sliding zone at depth of 50m of slope in Norway

(資料來源：Blikra et al., 2013)

6.2.2 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究及地中調查儀器與測傾管共構安裝適用性研究

本年度(2019 年)計畫之「前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究」，主要為進行串聯式自動化的多點式地中變位儀之應用研究，含現地測試。至於「地中調查儀器與測傾管共構安裝適用性研究」，則係考量對於邊坡活動性高的潛在山崩地區，多數測傾管很快便因斷管，而無法繼續量測，為不可避免的因素。雖然可達到調查滑動深度的重要目的，但對於後續重要的防災或警戒功能，卻因斷管而無法繼續量測，甚為可惜，如圖 6-5 所示。若能結合相關技術，增加鑽孔的地中活動性觀測使用年限，那麼對於邊坡活動性長期觀測需求或警戒應變參考，都將更有助益。因此，本計畫規劃進行各式地中觀測儀器與測傾管共構安裝之適用性研究，包含孔內伸縮計、時域反射儀 TDR 等容許變形量相對較大的觀測儀器，期使鑽孔延長地中活動性觀測功能。

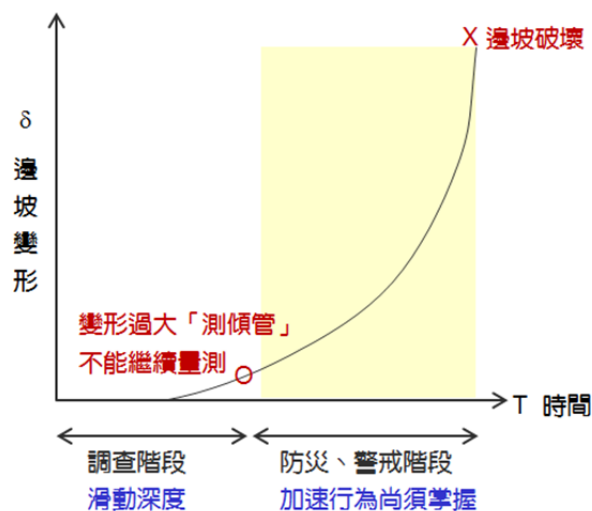


圖 6-5、邊坡位移加速破壞示意圖

Fig. 6.5 Illustration of slope displacement, acceleration and failure

本年度計畫挑選位於新北市烏來區之忠治籃球場，作為現地研究場址，說明先期工作與研究構想如下：

一、現地測試場址先期研究工作

- (一) 既有調查及觀測成果蒐集：經本計畫蒐集彙整，發現忠治籃球場有新北市烏來區公所及臺北水源特定區管理局(以下簡稱北特局)進行地質鑽探調查及測傾管安裝、觀測等工作，共計 4 孔，孔深 20~40 m 不等。彙整既有地質鑽探及測傾管數量如表 6-3 所示，位置如圖 6-6 所示，供本計畫工作參考。

表 6-3、忠治籃球場既有地質鑽探及安裝觀測儀器表(本計畫彙整)
 Table 6.3 Summary of existing boreholes and inclinometer casings at Zhongzhi basketball court (synthesized by this plan)

年份(西元)	編號	孔深(m)	安裝儀器	儀器裝設年份(西元)
烏來區公所	SI-1	20	測傾管兼水位井	2017.12
	SI-2	20		
	SI-3	20		
北特局	18-5BW	40	測傾管兼水位井	2018.04

(資料來源：烏來區公所，2018；北特局，2018)



圖 6-6、忠治籃球場既有地質鑽探及測傾管平面位置圖

Fig. 6.6 Plane map of the location of existing boreholes and inclinometer casings at Zhongzhi basketball court

(二) 邊坡活動性及可能滑動深度初步研判(含本計畫觀測成果綜合研判)：由地形起伏及現場裂縫紀錄，本計畫初步研判忠治籃球場可能包含 M1 及 S1 潛在滑動塊體。M1 塊體主要由地形判釋而得，S1 塊體則是依據現場邊坡不穩定表徵圈繪而得。由於 S1 塊體內地表及結構物開裂情形等邊坡不穩定表徵較多，且有擴大的跡象，初步研判該區域活動性較高。

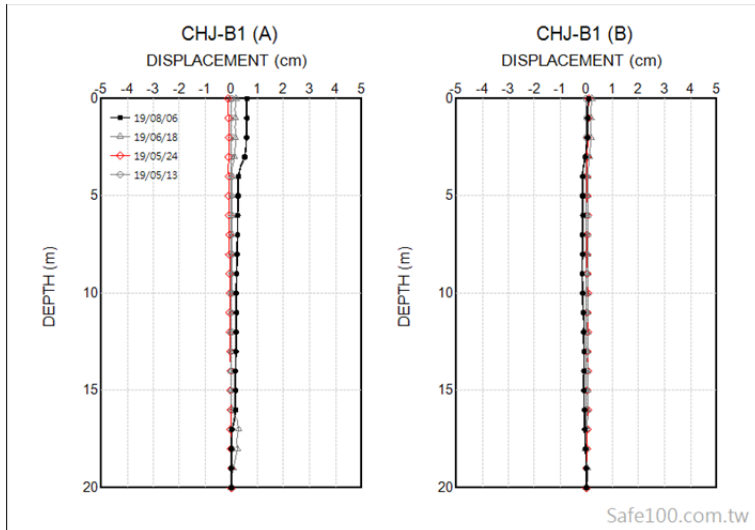
由現場勘查結果，發現忠治籃球場區域邊坡以 S1 塊體邊坡活動性較高。邊坡活動性高較容易使地中觀測儀器產生反應，預期較能達到測試的目標。為瞭解 S1 塊體可能滑動深度，以更周延規劃相關研究工作。本計畫先利用區域內既有既有 2 孔測傾管，編號 SI-2 及 SI-3，進行觀測。於 2019 年 5 月 13 日~8 月 6 日觀測期間，共執行四次手動觀測，觀測結果如圖 6-7 及圖 6-8 所示。

觀測結果顯示，SI-2 及 SI-3 等 2 孔測傾管均有變形現象。其中，以 SI-2 測傾管變位量較小，SI-3 測傾管變位量較大，於本年度 5~8 月，SI-2 及 SI-3 測傾管累積合位移量分別約 0.60 cm 及 5.74 cm，如表 6-4 所示。

表 6-4、忠治籃球場 SI-2 及 SI-3 測傾管孔口位移量(本計畫觀測)

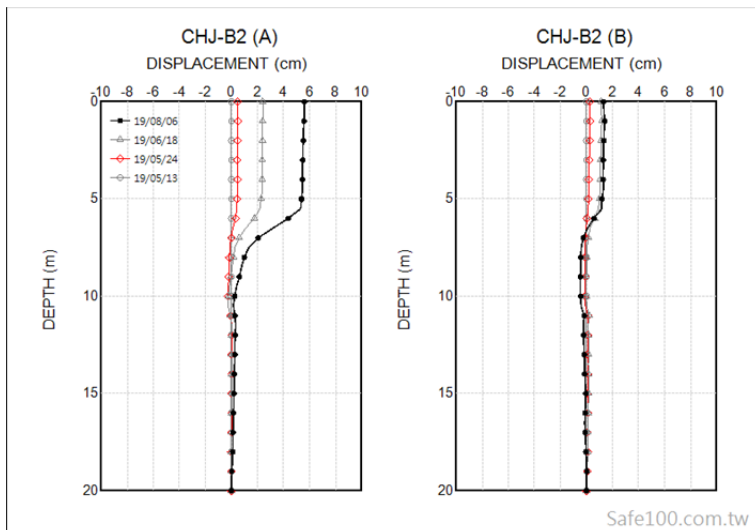
Table 6.4 Top displacement of inclinometer casing of No SI-2 and SI-3 at Zhongzhi basketball court(observation by this plan)

日期	SI-2 測傾管孔口累積位移量			SI-3 測傾管孔口累積位移量		
	A 向 (cm)	B 向 (cm)	合位移 (cm)	A 向 (cm)	B 向 (cm)	合位移(cm)
2019/05/13 (初值)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019/05/24	-0.12	0.10	0.15	0.48	0.24	0.53
2019/06/18	0.18	0.22	0.28	2.40	1.13	2.65
2019/08/06	0.59	0.08	0.60	5.60	1.29	5.74



現場測傾管照片

圖 6-7、忠治籃球場 SI-2 測傾管觀測成果

Fig. 6.7 Incliner observation results of No SI-2 at Zhongzhi basketball court
(本計畫觀測時，另外編號為 CHJ-B1)

現場測傾管照片

圖 6-8、忠治籃球場 SI-3 測傾管觀測成果

Fig. 6.8 Incliner observation results of No SI-3 at Zhongzhi basketball court
(本計畫觀測時，另外編號為 CHJ-B2)

(二) 可能滑動機制(本計畫彙整)：根據既有地質鑽探成果，研判忠治籃球場區域邊坡地表存有厚度 15~20m 以上之岩屑層。由測傾管觀測結果顯示，近期以 SI-3 測傾管地表下約 5~8m 活動性相對較高，呈持續位移趨勢，比對岩芯得知大致為岩屑層內滑動，如圖 6-9 所示。繪製忠治籃球場潛在山崩機制剖面示意圖，如圖 6-10 所示。

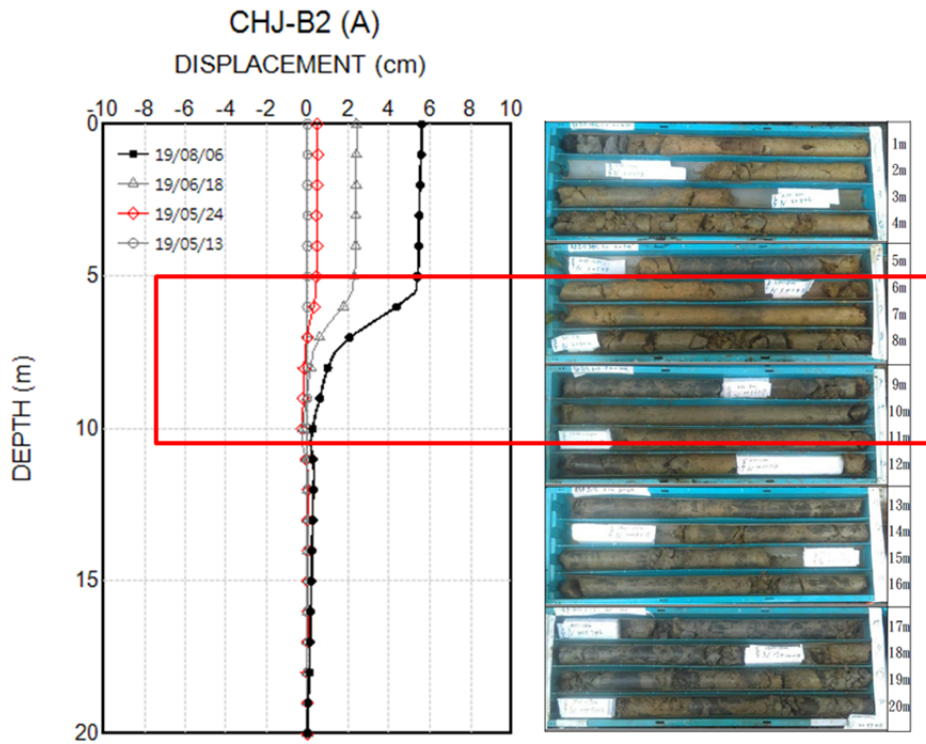


圖 6-9、忠治籃球場 SI-3 測傾管觀測成果與岩芯比對

Fig. 6.9 Comparison of inclinometer observation results and drilling core of No SI-3 at Zhongzhi basketball court

(本計畫觀測，編號為 CHJ-B2)(岩芯資料來源：烏來區公所，2018)

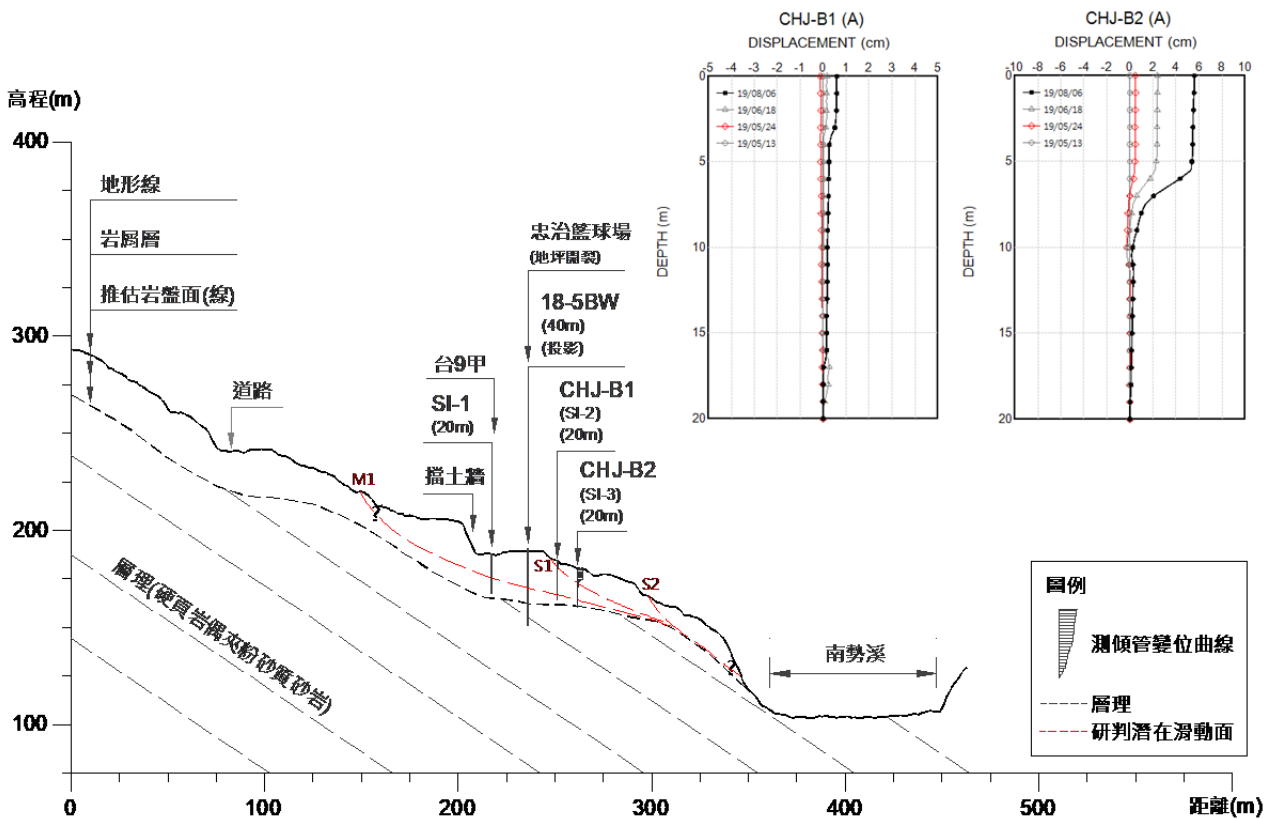


圖 6-10、忠治籃球場潜在山崩機制剖面示意圖(A-A'剖面，位置如圖 6-6 所示)

Fig. 6.10 Illustration profile of potential landslide mechanism of Zhongzhi basketball court

(三) 研究場址挑選綜合評估：進一步綜合比較如表 6-5 所示。整體而言，SI-2 孔可能滑動深度約地表下 3~4m，較淺，但近期活動性相對低，後續各式地中活動性觀測技術測試時，可能不易有反映產生。至於 SI-3 孔，其可能滑動深度約地表下約 5~8m，雖然相較 SI-2 孔滑動深度略深一點，但活動性相對高，研判後續進行各式地中觀測技術測試時，反映應較為明顯，有利研究。故經綜合評估，本計畫規劃於 SI-3 孔附近，進行後續相關地中觀測技術測試研究。

表 6-5、前瞻地中觀測技術研究孔位選擇綜合比較

Table 6.5 Comparisons of in-situ site for study and development of advanced subsurface observation technology

比較		忠治籃球場		備註
		SI-2 測傾管附近	SI-3 測傾管附近	
可能滑動深度		-3~-4m、-16~-17m	-5~-8m	本計畫觀測期間 2019.05.13~08.06
累積合位移量		0.3 cm	5.7 cm	
地中觀測技術 能否反映	多點式 地中變位儀	○	○	本年度計畫進行 「前瞻地中調查觀 測技術研發及防災 應用研究」 本年度計畫同時進行 「地中觀測儀器 與測傾管共構安裝 適用性研究」
	電磁波時域 反射儀 TDR	△ (目前測傾管變位量相對小，初步 研判不容易量測到 TDR 變化)	○	
	孔內伸縮計	△ (目前測傾管變位量相對小，初步 研判不容易量測到變形)	○	
未來壽命		長 (有利長期測試研究)	短 (目前活動性相對高)	-
用地		已取得烏來區公所同意		-
施工		有道路，鑽機較易進場	無道路，鑽機較難進場	-

二、研究構想

承上節所述，經先期研究工作，本年度計畫挑選於新北市烏來區忠治籃球場，進行相關前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究，主要包含前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究，地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究等二部分：

- (一) **前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究**：為串聯式自動化的多點式地中變位儀之地中活動性觀測技術應用研究，含現地測試，4 m。
- (二) **於地中觀測儀器與測傾管共構安裝適用性研究**：進行孔內伸縮計與測傾管共構研究、時域反射儀 TDR 與測傾管共構研究。

為使計畫成果更臻為完善，本計畫執行期間與承辦人員持續交流，並至現場會勘，如圖 6-11 所示。本計畫執行期間，共規劃三個方案 A~C。其中，各方案均為三孔，編號 CHJ-B3~CHJ-B5，孔深均為 10m，研究位置主要為既有 CHJ-B2(SI-3)測傾管滑動深度約地表下 5~8m 處(請參閱前節說明)，彙整各方案差異如表 6-6 所示，最後選擇 C 方案，說明如下：

- (一) **A 方案**：CHJ-B3 研究項目為前瞻觀測技術應用，主要應用新式多點式地中變位儀。過去的多點式地中變位儀須在孔內以灌漿方式回填，不易回收。新式多點式地中變位儀增加孔內構件固定方式(請參閱 6.2.1 節有關 SAAV 說明)，不須使用灌漿或回填方式安裝，提升再利用性，本計畫並規劃進行現地研究測試。有關多點式地中變位儀量測深度，雖選擇於已掌握可能滑動深度的 CHJ-B2 孔，鄰近約 1~2m 處進行測試，考量不同位置仍可能存有差異，故本計畫先利用測傾管量測，掌握滑動面後，再規劃多點式地中變位儀最適量測深度(4m)。CHJ-B4 孔為測傾管與孔內伸縮計共構安裝研究。CHJ-B5 孔為測傾管與 TDR 共構安裝研究。
- (二) **B 方案**：本方案主要目的為進行 TDR 有無與測傾管共構安裝之表現差異比較。故將原本預計應用新式多點式地中變位儀之鑽孔，併至測傾管與孔內伸縮計共構孔。整體而言，CHJ-B3 孔為測傾管與孔內伸縮計共構安裝研究，並應用新式多點式地中變位儀。CHJ-B4 孔為測傾管與 TDR 共構安裝研究。CHJ-B5 孔為單獨安裝 TDR 纜線。

(三) C 方案：本計畫執行期間，持續蒐集相關文獻，發現已有相關研究驗證單獨 TDR 灌漿之可行性，故本計畫目標排除驗證單獨 TDR 安裝之可行性。因此，本方案再回到著重於測傾管與孔內伸縮計及 TDR 共構安裝研究，並比較安裝方式之差異，包含灌漿及回填七厘石(或砂)等，以進行各項觀測技術的比較檢討。此外，TDR 不能直接測到變位量，但是能測到深度(有相關研究 TDR 反射係數轉換為變位量，但較為複雜、變數多)，孔內伸縮計能測到變位量不能測到深度。若將兩者結合在同一孔，則可能測得深度及變位量。因此，本計畫進一步規劃將測傾管與孔內伸縮計及 TDR 共構在同一孔，加以進行研究測試。整體而言，本方案 CHJ-B3 孔為測傾管與孔內伸縮計共構，採回填七厘石(或砂)。CHJ-B4 孔為測傾管與孔內伸縮計及 TDR 共構，採較常採用的灌漿方式。CHJ-B5 孔為測傾管與 TDR 共構，採回填七厘石(或砂)，並應用新式多點式地中變位儀。

經綜合評估，C 方案可以同時進行孔內伸縮計與測傾管共構研究、時域反射儀 TDR 與測傾管共構研究，分別探討其可行性。又規劃將測傾管與孔內伸縮計及 TDR 共構在同一孔，可研究運用不同觀測技術同時觀測到滑動深度與位移量之可行性。並探討安裝方式(灌漿、回填七厘石)對於觀測結果影響，可達到較多研究目標，利於提昇計畫成效，故本計畫最後選擇 C 方案，進行相關測試研究。

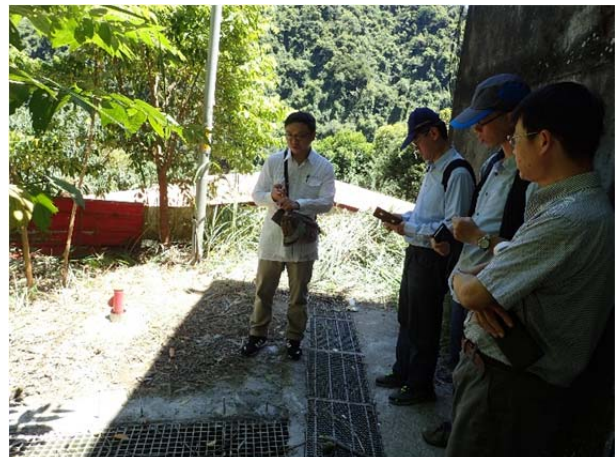


圖 6-11、與承辦科人員於忠治籃球場現地勘查情形(2019/7/31)
Fig. 6.11 Investigation and exchange with CGS member at Zhongzhi basketball court (2019/7/13)

表 6-6、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究方案規劃
Table 6.6 Design of study, development and application of advanced subsurface observation technology and disaster prevention

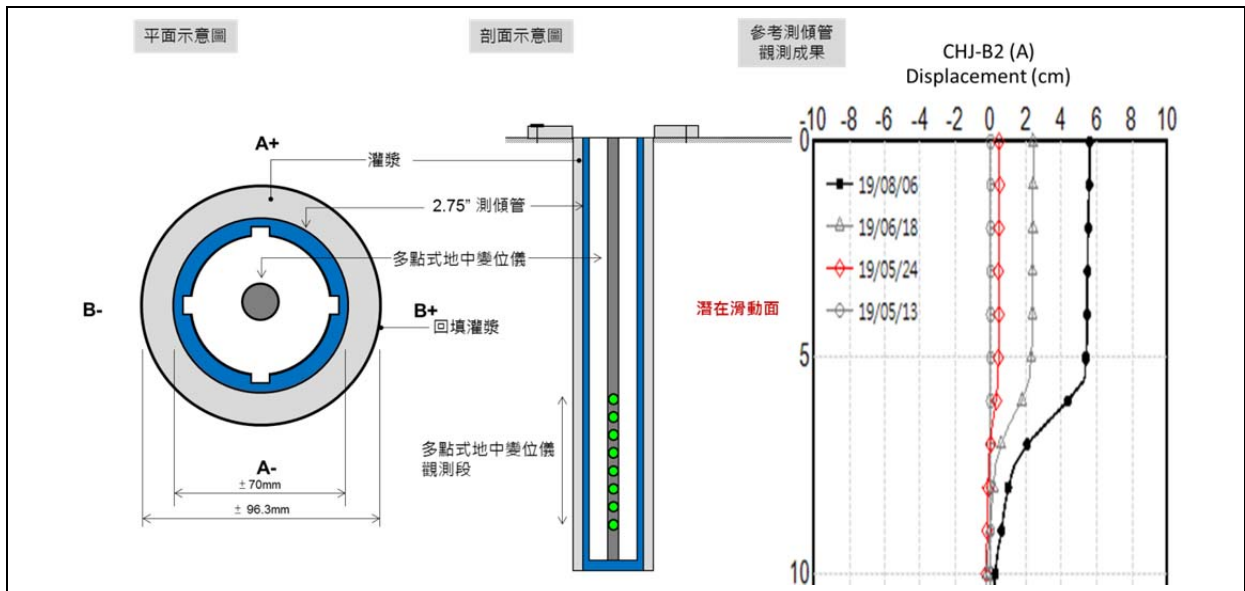
編號	孔深 (m)	採用之地中觀測技術項目				安裝 方式	研究項目	目的
		測傾管	孔內 伸縮計	TDR	多點式 地中變位儀			
既有測傾管[註 1]								
CHJ-B1	20	V	-	-	-	-	•本計畫持續量測，以與研究結果比較	
CHJ-B2	20	V	-	-	-	-		
本計畫研究-A 方案								
CHJ-B3	10	V	-	-	V	灌漿	•前瞻觀測技術研究	•應用新式多點式地中變位儀
CHJ-B4	10	V	V	-	-	灌漿	•測傾管共構研究	•測傾管與孔內伸縮計共構
CHJ-B5	10	V	-	V	-	灌漿	•測傾管共構研究	•測傾管與 TDR 共構
本計畫研究-B 方案								
CHJ-B3	10	V	V	-	V	灌漿	•前瞻觀測技術研究	•應用新式多點式地中變位儀
							•測傾管共構研究	•測傾管與孔內伸縮計共構
CHJ-B4	10	V	-	V	-	灌漿	•測傾管共構研究	•測傾管與 TDR 共構
CHJ-B5	10	-	-	V	-	灌漿		•TDR 對照組 (與 CHJ-B4 孔比較)
本計畫研究-C 方案(最後選擇方案)								
CHJ-B3	10	V	V	-	-	回填 [註 3]	•測傾管共構研究	•探討採回填方式，邊坡變形應力不集中情況下，對於「孔內伸縮計」觀測的影響，是否較不靈敏。安裝方式規劃： ➢ 回填(CHJ-B3) ➢ 灌漿(CHJ-B5)
CHJ-B4	10	V	V	V	-	灌漿 [註 2]	•測傾管共構研究	•研究同時觀測到滑動深度(利用 TDR)與變位量(利用孔內伸縮計)之可行性
CHJ-B5	10	V	-	V	V	回填 [註 3]	•測傾管共構研究	•探討採回填方式，邊坡變形應力不集中情況下，對於「TDR」觀測的影響，是否較不靈敏。安裝方式規劃： ➢ 回填(CHJ-B3) ➢ 灌漿(CHJ-B5)
							•前瞻觀測技術研究	•應用新式多點式地中變位儀

備註：

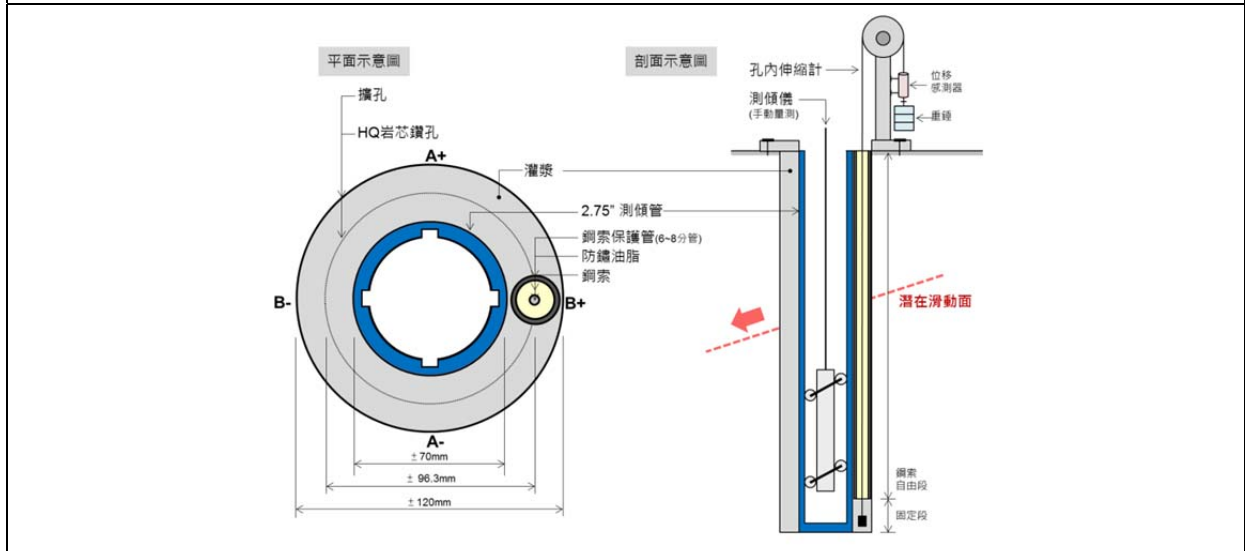
[註 1] 其他計畫安裝，本計畫援用

[註 2] 灌漿：採水泥漿或水泥砂漿

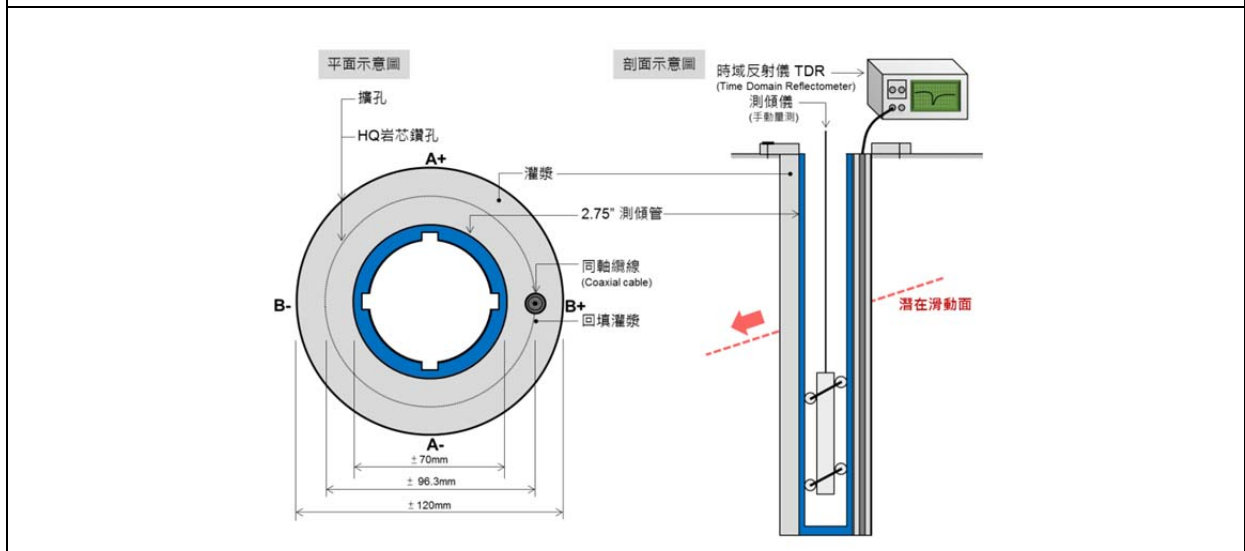
[註 3] 回填：採七厘石或砂



(a) CHJ-B3 孔，前瞻地中觀測技術研究，應用新式多點式地中變位儀

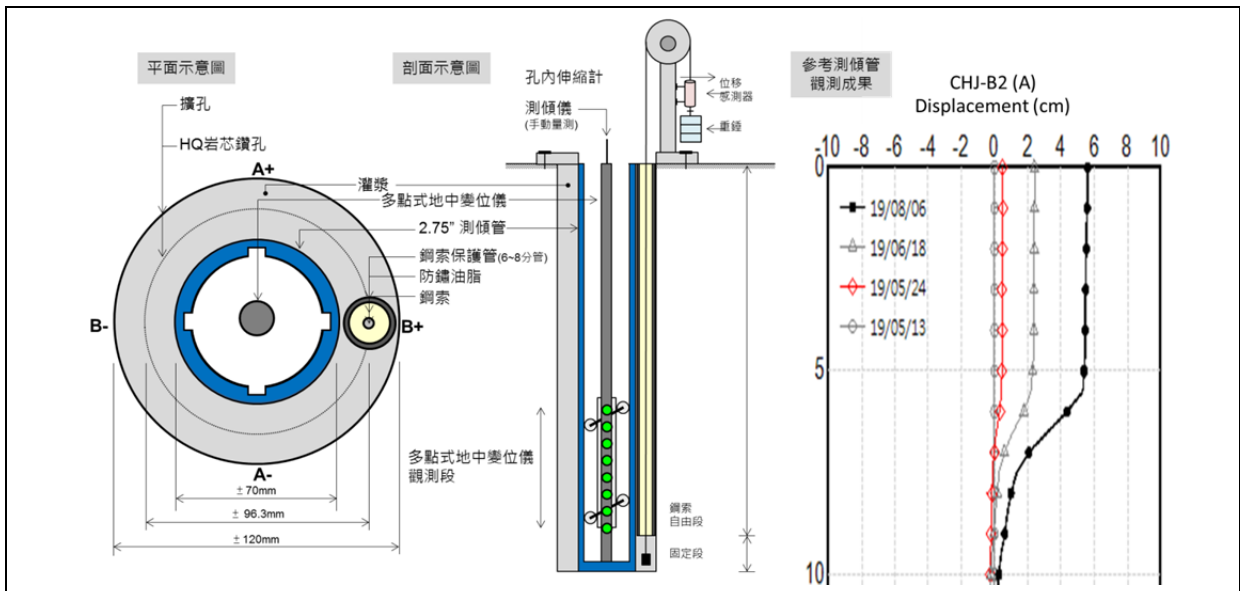


(b) CHJ-B4 孔，測傾管與孔內伸縮計共構研究

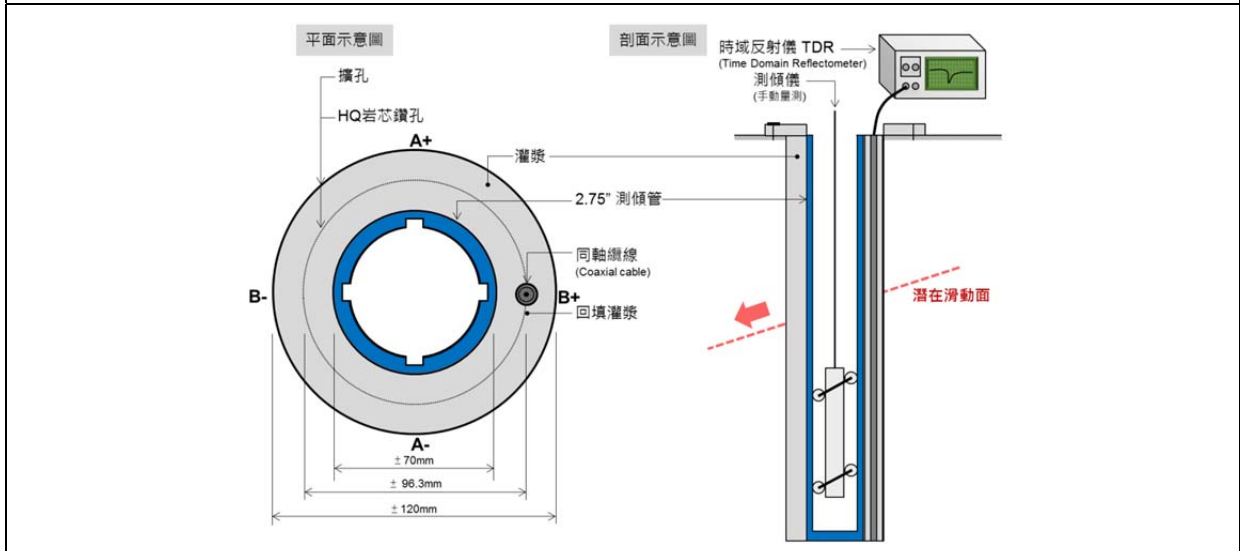


(c) CHJ-B5 孔，測傾管與 TDR 共構研究

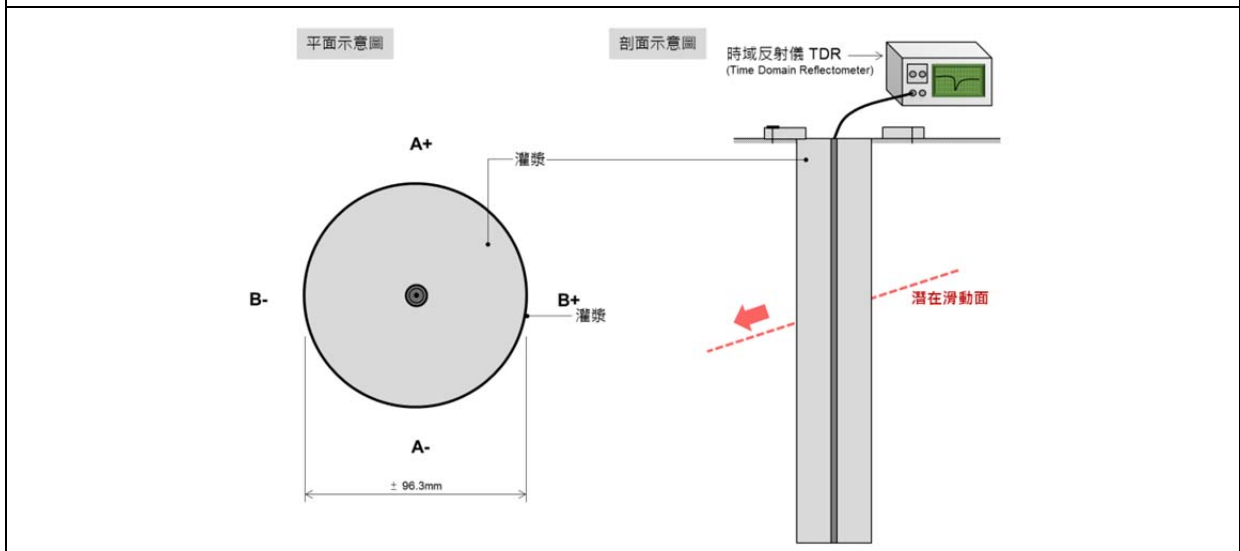
圖 6-12、A 方案配置圖說
Fig. 6.12 Illustration of plan A



(a) CHJ-B3 孔，前瞻地中觀測技術研究，應用新式多點式地中變位儀。測傾管與孔內伸縮計共構研究

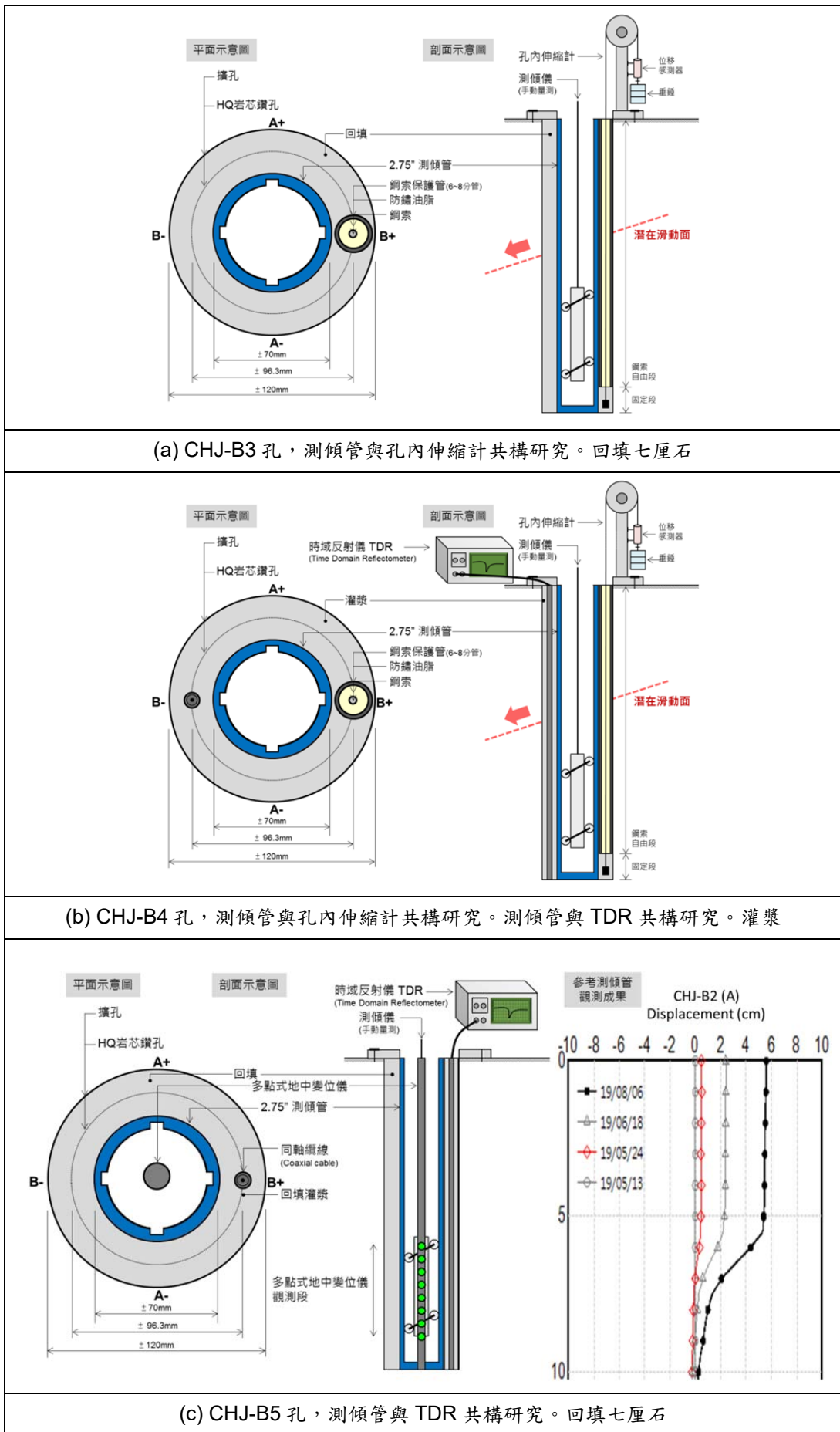


(c) CHJ-B4 孔，測傾管與 TDR 共構研究



(c) CHJ-B5 孔，測傾管與 TDR 共構研究。單獨設置 TDR，作為測傾管與 TDR 共構對照組

圖 6-13、B 方案配置圖說
Fig. 6.13 Illustration of plan C



三、工作成果

本年度(2019年)計畫有關前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究現地測試部分，進行先期研究工作與規劃後，於2019年8月16日陸續開始進行現地設置，並於11月陸續完成引孔及地中觀測技術設置，各式研究項目一覽表如表6-7所示，現地工作歷程摘要，如表6-8所示。此外，本研究主要目的為進行觀測技術研究，引孔時並未進行岩芯取樣，後續可與鄰近既有CHJ-B2孔岩芯資料比對。說明成果如下：

表 6-7、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究-現地研究項目
Table 6.7 In-situ study items of development and application of advanced subsurface observation technology and disaster prevention

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

表 6-8、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究-現場工作歷程摘要
Table 6.8 Summary of in-situ work history of development and application of advanced subsurface observation technology and disaster prevention

日期	CHJ-B3 (10m)	CHJ-B4 (10m)	CHJ-B5 (10m)
08/16	-	開始引孔	開始引孔
08/17	-	引孔中 (遇大岩塊)	引孔中 (地質條件軟弱，坍孔，灌漿)
08/18	-	引孔中 (遇大岩塊)	完成
08/21	開始引孔	引孔中 (地質條件軟弱，坍孔，灌漿)	-
08/22	引孔中	引孔中 (地質條件軟弱，坍孔，灌漿) 完成設置	-
08/23	完成設置 測傾管初值量測	完成測傾管初值量測	完成測傾管初值量測
11/05	完成自動化觀測系統構件及孔內伸縮計構件之產製及現場設置		
11/13	完成自動化觀測系統設置		

(一) 前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究：

1. 前瞻地中觀測儀器安裝孔：本年度計畫完成 1 孔，孔深 10 m，編號 CHJ-B5。並安裝測傾管，工作過程如圖 6-15(a)~(c)所示。
2. 串聯式自動化測傾儀量測規劃：本年度計畫先進行忠治籃球場之現場勘查後，選擇於活動性較高之 CHJ-B2 測傾管附近，進行相關工作規劃，如 6.2.2 節，第一及二項說明。



圖 6-15、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究-現地觀測技術設置情形

Fig. 6.15 In-situ setup of study, development and application of advanced subsurface observation technology and disaster prevention

3. 串聯式自動化測傾儀量測服務：

- (1) 測傾管量測：本年度計畫於先利用測傾管量測 3 次，掌握滑動深度後，再據以規劃儀器最佳設置位置。由 CHJ-B5 測傾管觀測結果(詳圖 6-16)，研判地表下 8~9 m 處，為可能滑動深度，並規劃將串聯式自動化測傾儀設置於地表下 5.5~9.5 m 處，共計 4 m，以涵蓋可能滑動深度，配置圖如圖 6-16 所示。串聯式自動化測傾儀設置情形，如圖 6-15(d)所示，編號為 CHJ-S1。

(2) 串聯式自動化測傾儀量測：本年度計畫設置之串聯式測傾儀，採自動化方式量測，可於網頁查看即時觀測成果，如圖 6-17 所示。提供 4m 的地中變形觀測資料。此外，採每 5 分鐘記錄一筆資料，以取得連續性較佳的觀測資料，如圖 6-18 所示。由於目前觀測期間較短。CHJ-S1 串聯式測傾儀尚無明顯變化，本計畫後續將再持續觀測，加以評估。

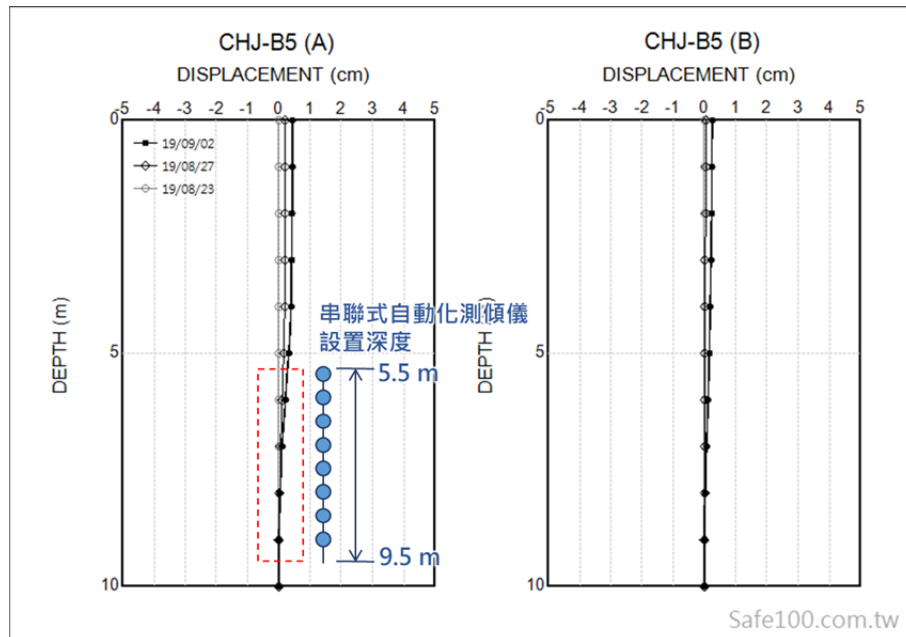


圖 6-16、CHJ-B5 測傾管觀測成果及串聯式自動化測傾儀配置圖
Fig. 6.16 Observation result of No. CHJ-B5 inclinometer and installation depths of automatic multi-point inclinometer

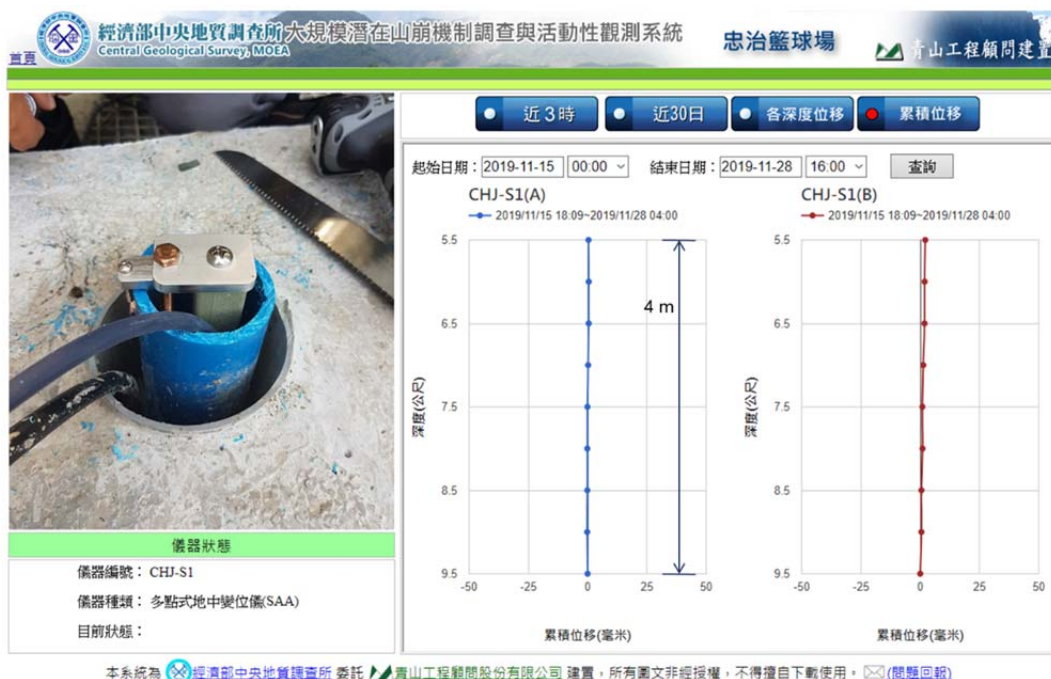


圖 6-17、串聯式測傾儀觀測成果。採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測成果
Fig. 6.17 Series connected type inclinometer is making used of automatic observation system, the observation results can be viewed on the webpage

每5分鐘記錄1筆資料

id	Time	axis	Value	
217	433	2019-11-16 11:50:00	X	0.00000, 20.74886, -19.54312, -7.70838, -60.020...
218	435	2019-11-16 11:55:00	X	0.00000, 20.75997, -19.55790, -7.69689, -60.001...
219	437	2019-11-16 12:00:00	X	0.00000, 20.74523, -19.56613, -7.70793, -60.036...
220	439	2019-11-16 12:05:00	X	0.00000, 20.77131, -19.55011, -7.67348, -59.964...
221	441	2019-11-16 12:10:00	X	0.00000, 20.76296, -19.53953, -7.66568, -59.993...
222	443	2019-11-16 12:15:00	X	0.00000, 20.76014, -19.53996, -7.68198, -60.016...
223	445	2019-11-16 12:20:00	X	0.00000, 20.76527, -19.54436, -7.67482, -59.999...
224	447	2019-11-16 12:25:00	X	0.00000, 20.77052, -19.55793, -7.69044, -60.005...
225	449	2019-11-16 12:30:00	X	0.00000, 20.75116, -19.54240, -7.66887, -59.996...
226	451	2019-11-16 12:35:00	X	0.00000, 20.74814, -19.56647, -7.69984, -59.995...
227	453	2019-11-16 12:40:00	X	0.00000, 20.76706, -19.52535, -7.65982, -59.989...
228	455	2019-11-16 12:45:00	X	0.00000, 20.76795, -19.55193, -7.69989, -60.000...

圖 6-18、CHJ-S1 串聯式測傾儀採自動化觀測，每 5 分鐘記錄一筆資料
 Fig. 6.18 Series connected type inclinometer is making used of automatic observation system, which records the data each 5 minute

4. 自動化觀測服務：本年度計畫之前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究，採用自動化觀測方式，現場自動化觀測站如圖 6-19 所示，說明如下：

- (1) **資料記錄、傳輸、電源保護：**將資料擷取器、無線傳輸模組、蓄電池等設備設置於保護箱內，提供防水保護，如圖 6-19 所示。
- (2) **資料記錄：**採用美國 Campbell Scientific 公司產製之 CR1000 資料擷取器。可記錄資料連續訊號，包含電流、電壓、橋式電路、振弦頻率、數位訊號(序列埠通訊)等。每 5 分鐘記錄一筆資料。具有可程式化遠端控制功能，可直接改變現場設定，調整測讀頻率，如圖 6-19 所示。
- (3) **資料傳輸：**採用無線傳輸模組，提供資料介面轉換，可配合資料記錄服務所儲存之各種資料格式，轉換為 4G 訊號。能使現場訊號透過基地台回傳至後端伺服器，如圖 6-20 所示。
- (4) **電源供應服務系統：**設置太陽能板及蓄電池兩種電力來源，以供應各項設備運作所需，如圖 6-19 所示。
- (5) **系統測試：**現場量測資料可回傳至既有活動性觀測平台，確認回傳功能測試，目前自動化觀測功能正常運作。可將現場即時觀測資料回傳至後端伺服器中，如圖 6-20 所示。



圖 6-19、現場自動化測站設置情形
Fig. 6.19 In-situ automatic observation station

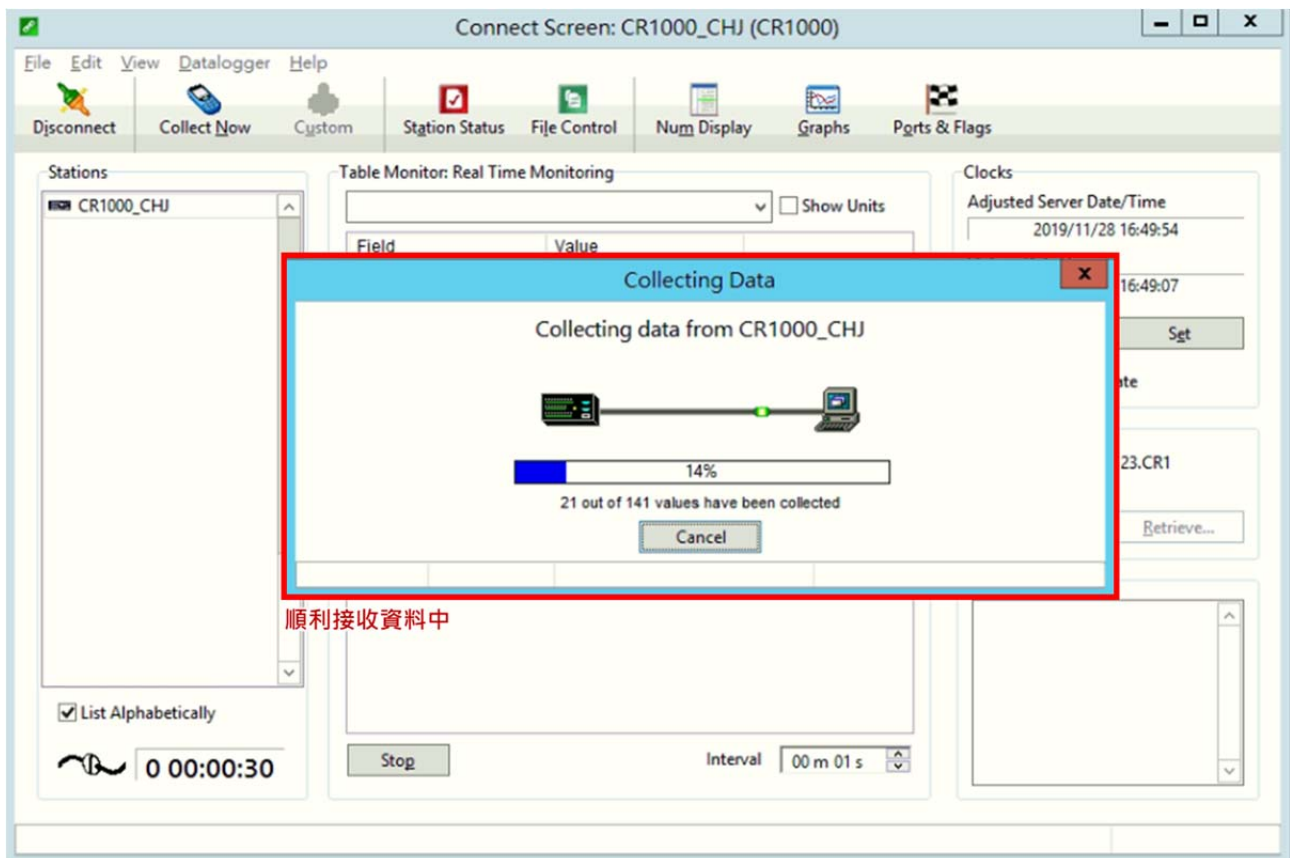


圖 6-20、自動化觀測系統功能測試，現場即時觀測資料可回傳至後端伺服器
Fig. 6.20 Test of automatic observation system function, the in-situ observation data can be transmitted to server

(二) 測傾管與孔內伸縮計共構安裝適用性研究：

1.地中觀測儀器與測傾管共構安裝引孔：原計畫 2 孔，合計 20 m。本年度計畫共完成 3 孔(包含前述之 CHJ-B5 孔)，孔深均為 10 m，合計 30 m，編號 CHJ-B3~CHJ-B5。並安裝測傾管，工作過程如圖 6-21 所示。

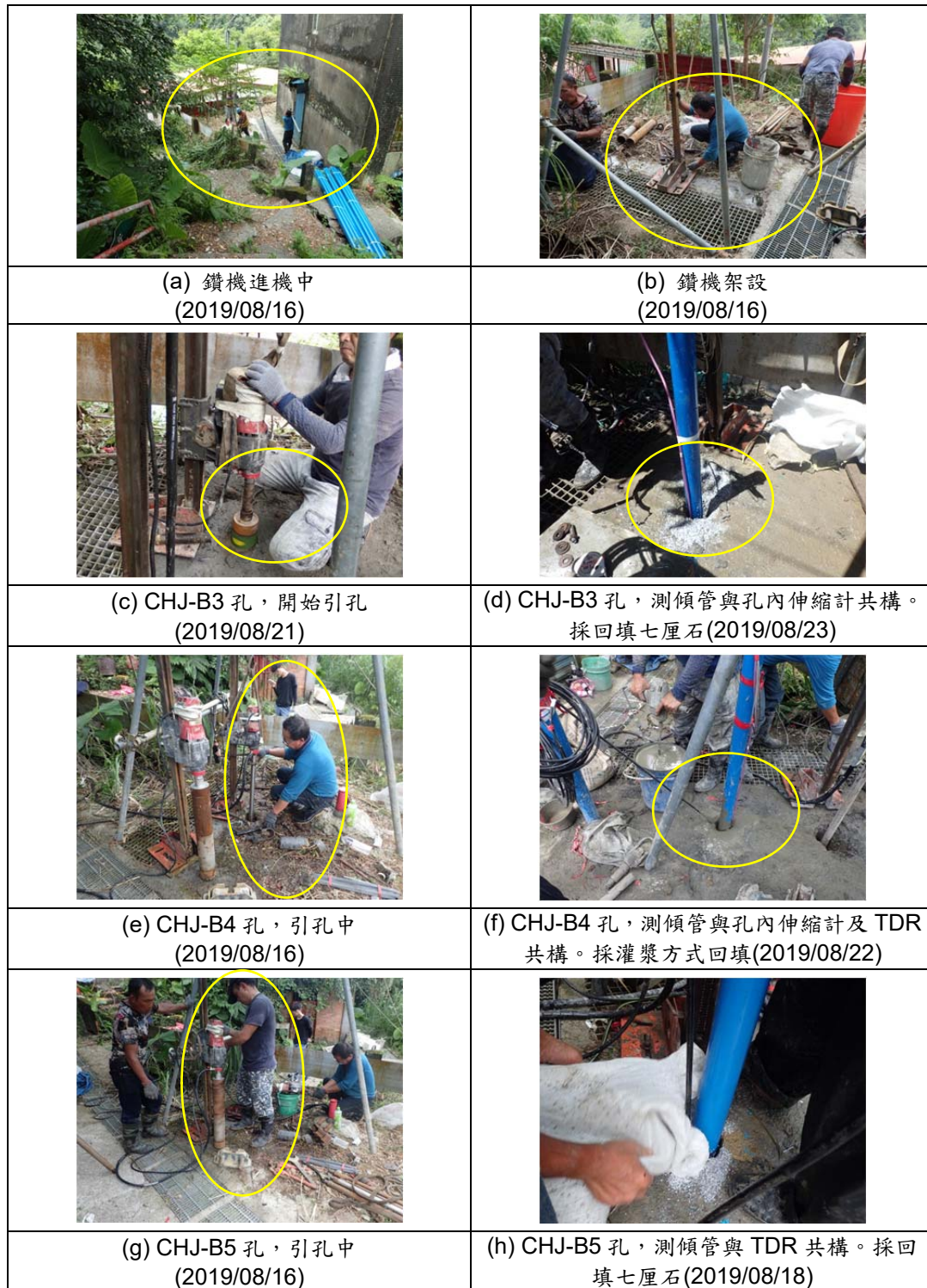


圖 6-21、現地觀測技術引孔及裝設過程

Fig. 6.21 Process of drilling boreholes and installation of instruments

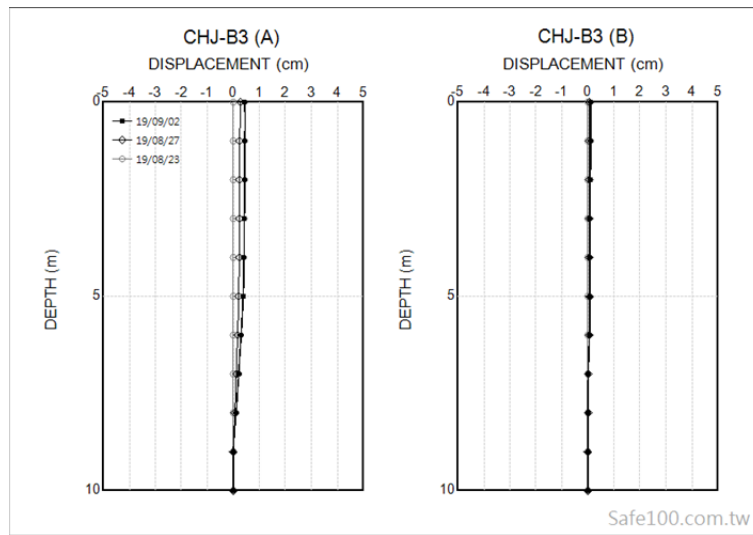
2. 測傾管與孔內伸縮計共構安裝適用性研究

- (1) **測傾管與孔內伸縮計共構安裝設計**：本年度計畫先進行忠治籃球場之現場勘查後，選擇於活動性較高之 CHJ-B2 測傾管附近，進行相關工作規劃，如 6.2.2 節，第一及二項說明。並完成配置圖說，如圖 6-14 所示。包含 CHJ-B3 測傾管與孔內伸縮計共構，及 CHJ-B4 測傾管與孔內伸縮計及 TDR 共構。現場儀器佈設概況，如圖 6-22 所示。
- (2) **測傾管量測**：本年度針對 CHJ-B3 及 CHJ-B4 測傾管，共完成 3 次量測，如圖 6-16 所示。目前功能大致正常。
- (3) **孔內伸縮計量測**：原計畫 1 孔，本年度計畫最後增加 1 孔，共 2 孔。分別於 CHJ-B3 及 CHJ-B4 孔設置孔內伸縮計，編號 CHJ-E1 及 CHJ-E2。將鋼索設置 10 m 深之孔內，配合孔口配重方式，進行穩定量測。利用 LVDT 位移計量測孔內伸縮計之變化，容許變位量 30 cm。採自動化方式量測，觀測成果如圖 6-24 所示。每 5 分鐘紀錄一筆資料，如圖 6-25 所示。目前 CHJ-E1 及 CHJ-E2 孔內伸縮計無明顯異常變化，顯示與測傾管共構方式，尚屬可行。由於觀測期間尚短，本計畫後續將再持續觀測，取得長期觀測成果，回饋評估。

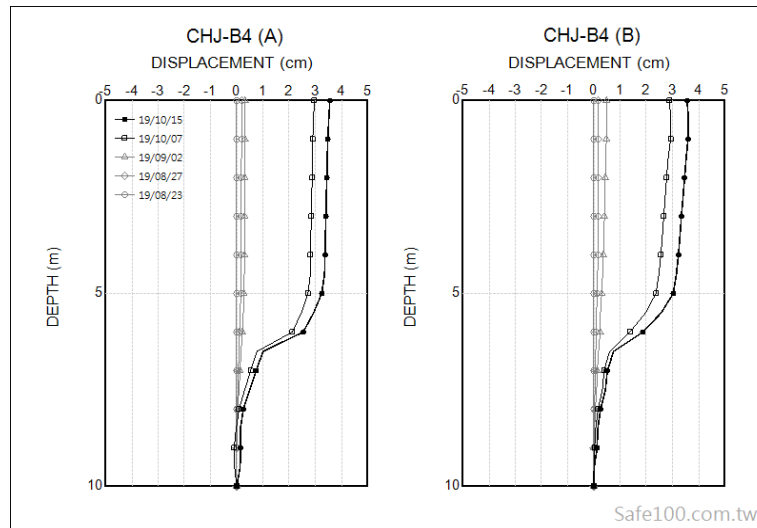


圖 6-22、現地觀測技術佈設概況

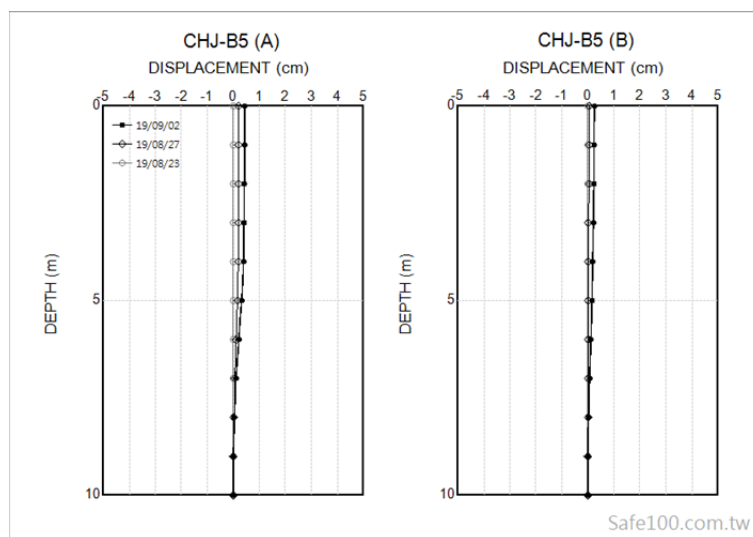
Fig. 6.22 Overview of in-situ observation instruments



(a) CHJ-B3 測傾管(與孔內伸縮計共構)



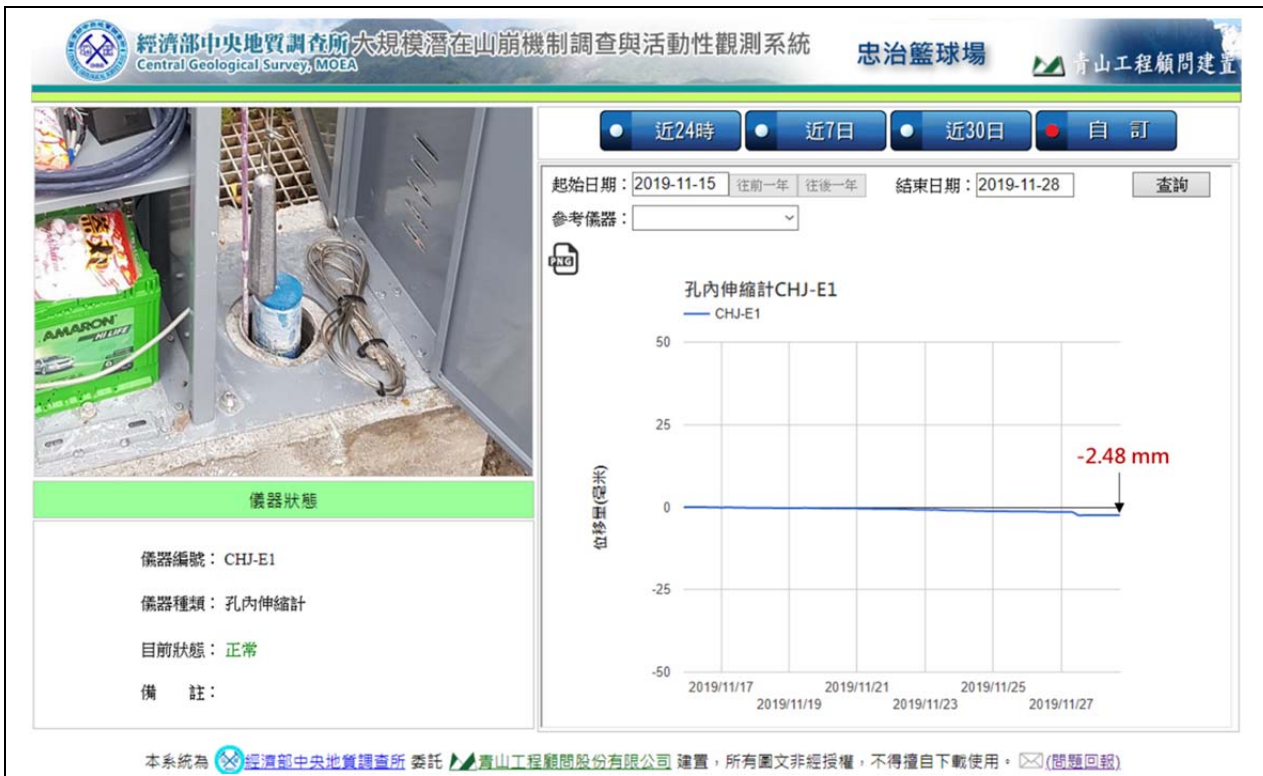
(b) CHJ-B4 測傾管(與孔內伸縮計及 TDR 共構)



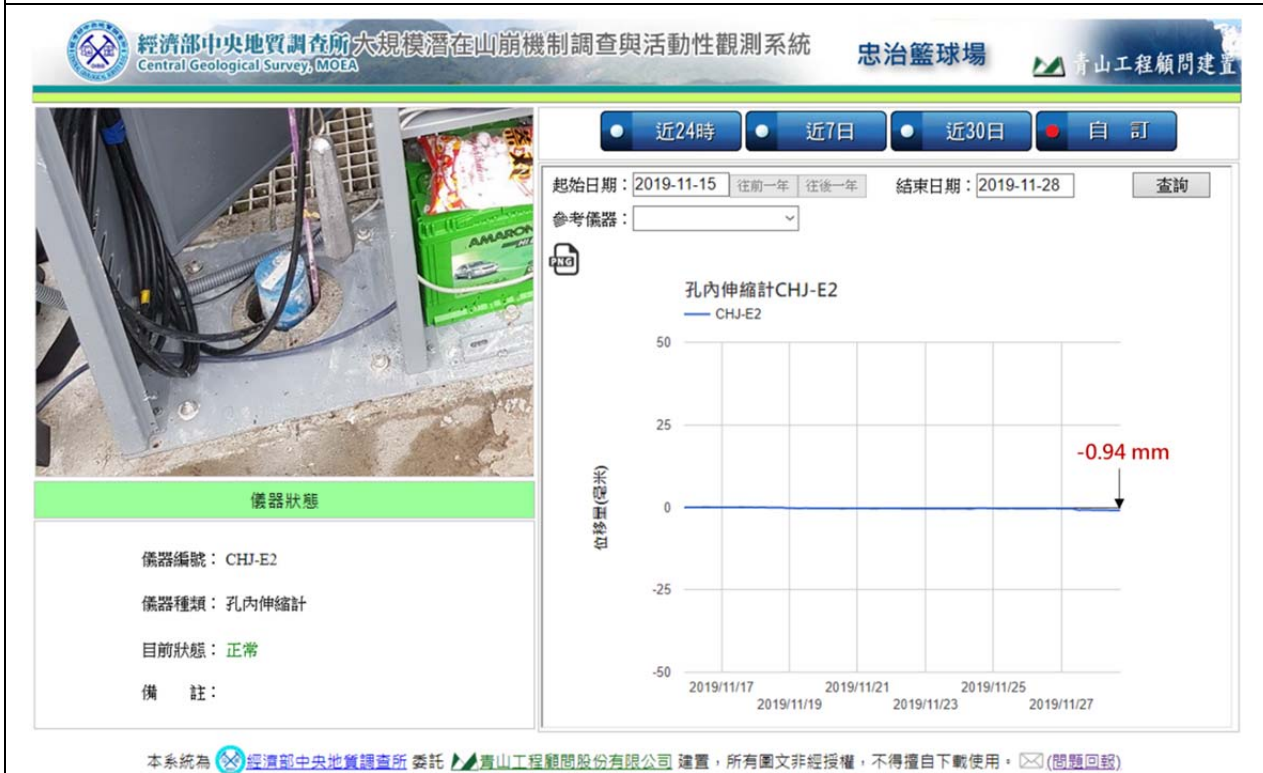
(c) CHJ-B5 測傾管(與 TDR 共構)

圖 6-23、CHJ-B3~CHJ-B5 測傾管觀測成果

Fig. 6.23 Observation results of No. CHJ-B3~CHJ-B5 inclinometer



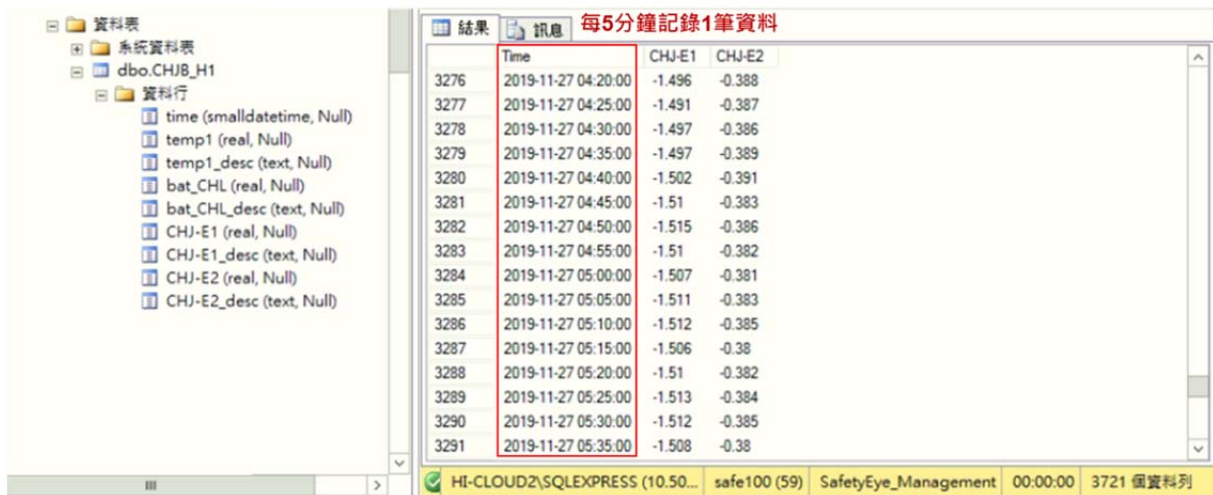
(a) CHJ-E1 孔內伸縮計



(2) CHJ-E2 孔內伸縮計

圖 6-24、CHJ-E1 及 CHJ-E2 孔內伸縮計觀測成果，採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測成果

Fig. 6.24 Observation results of No. CHJ-E1 and CHJ-E2 borehole extensometer, which making used of automatic observation system, the observation results can be viewed on the webpage



Time	CHJ-E1	CHJ-E2
2019-11-27 04:20:00	-1.496	-0.388
2019-11-27 04:25:00	-1.491	-0.387
2019-11-27 04:30:00	-1.497	-0.386
2019-11-27 04:35:00	-1.497	-0.389
2019-11-27 04:40:00	-1.502	-0.391
2019-11-27 04:45:00	-1.51	-0.383
2019-11-27 04:50:00	-1.515	-0.386
2019-11-27 04:55:00	-1.51	-0.382
2019-11-27 05:00:00	-1.507	-0.381
2019-11-27 05:05:00	-1.511	-0.383
2019-11-27 05:10:00	-1.512	-0.385
2019-11-27 05:15:00	-1.506	-0.38
2019-11-27 05:20:00	-1.51	-0.382
2019-11-27 05:25:00	-1.513	-0.384
2019-11-27 05:30:00	-1.512	-0.385
2019-11-27 05:35:00	-1.508	-0.38

圖 6-25、CHJ-E1 及 CHJ-E2 孔內伸縮計採自動化觀測，每 5 分鐘記錄一筆資料
 Fig. 6.25 No. CHJ-E1 and CHJ-E2 borehole extensometer is making used of automatic observation system, which records the data each 5 minute

3. 測傾管與時域反射儀 TDR 共構安裝適用性研究

- (1) **測傾管與時域反射儀 TDR 共構安裝設計**：本年度計畫先進行忠治籃球場之現場勘查後，選擇於活動性較高之 CHJ-B2 測傾管附近，進行相關工作規劃，如 6.2.2 節，第一及二項說明。並完成配置圖說，如圖 6-14 所示。包含 CHJ-B4 測傾管與孔內伸縮計及 TDR 共構，及 CHJ-B5 測傾管與 TDR 共構。
- (2) **測傾管量測**：本年度針對 CHJ-B4 及 CHJ-B5 測傾管，共完成 3 次量測，如圖 6-16 所示。目前功能大致正常。
- (3) **時域反射儀 TDR 量測服務**：原計畫 1 孔，本年度計畫最後增加 1 孔，共 2 孔。分別於 CHJ-B4 及 CHJ-B5 孔設置 TDR 纜線，編號 CHJ-D1 及 CHJ-D2。其中，CHJ-D1 採自動化量測，於孔口設置 TDR 試驗儀可發出電磁脈衝，透過同軸纜線貫入鑽孔內，再接收反射波，藉以估算反射係數。藉由反射係數推估邊坡位移量及深度。CHJ-D1 的 TDR 觀測成果如所示，將量測成果作成反射係數對深度圖形，提供位移趨勢及深度研判參考。目前 CHJ-D1 及 CHJ-D2 之 TDR 觀測成果，尚無明顯異常變化，顯示與測傾管共構方式，尚屬可行。由於目前觀測期間尚短，本計畫後續將再持續觀測，取得長期觀測成果，回饋評估。

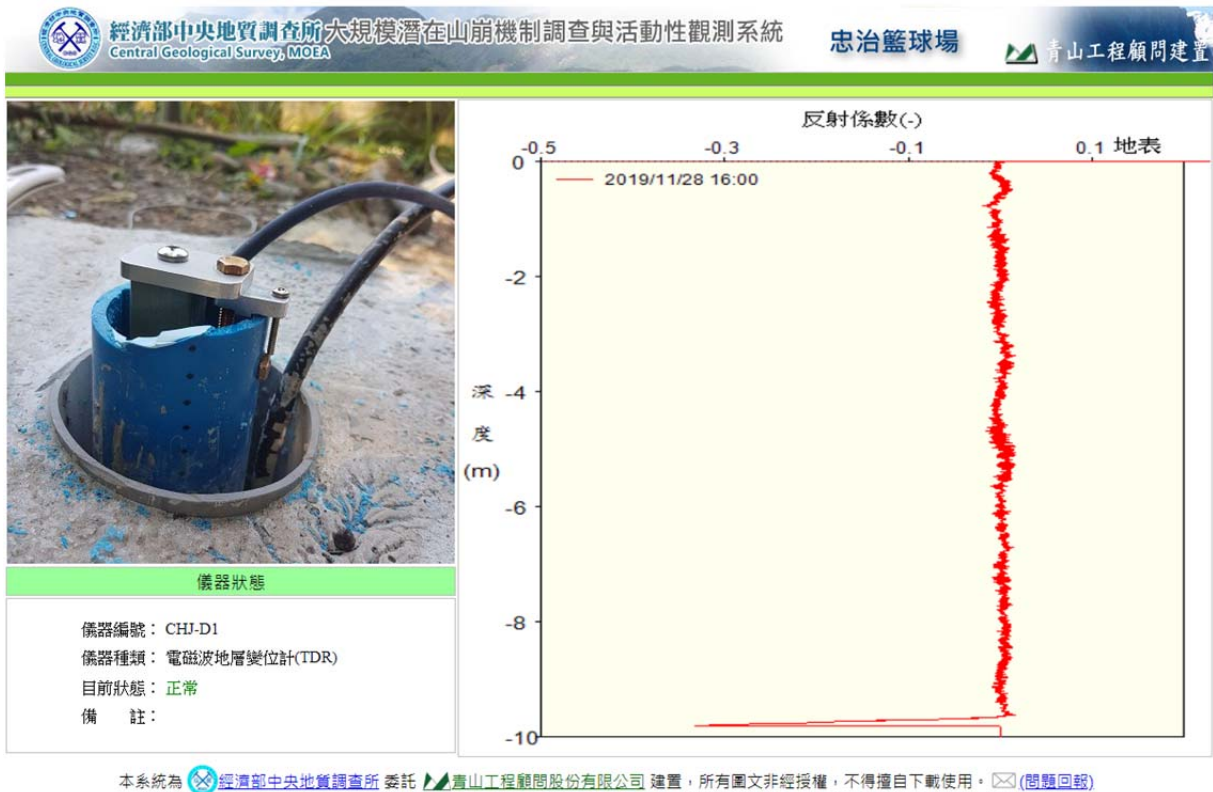


圖 6-26、CHJ-D1 之 TDR 觀測成果。採自動化觀測，可於網頁查看即時觀測成果
Fig. 6.26 Observation result of No. CHJ-D1 of TDR, CHJ-D1 is making used of automatic observation system, the observation results can be viewed on the webpage

6.2.3 地層變位模擬研究

透過室內地層變位模擬試驗及數值模擬方式，考量邊坡滑動特性，例如剪動帶厚度、滑動面傾角等或儀器安裝條件等，進行各式前瞻地中活動性觀測儀器變形試驗及分析，以瞭解其變位特性，有助提供儀器安裝適用性評估參考。本年度計畫主要針對孔內伸縮計，進行地層變位模擬儀器試驗及數值模擬。說明如下：

孔內伸縮計係於斜孔或垂直鑽孔中，將一端向下固定在滑動範圍下方之穩定區域內，另一端設置於地表之伸縮計，如圖 6-27 所示。其原理為當邊坡位移，滑動面剪動至孔壁時，孔壁接觸到鋼索，進而使鋼索受拉變形，藉此來觀測地中位移變化。

孔內伸縮計於本計畫廬山溫泉北坡、樣子寮等調查區，可有效反映地中位移情形，具有良好的觀測成果。但由現地觀測經驗發現，孔內伸縮計變形行為受邊坡滑動特性及安裝型式影響。故在應用孔內伸縮計時，必須先瞭解其變形特性，才能選擇合適的設置位置，以獲得較佳觀測成果。此外，孔內伸縮計之變位量通常不直接等於邊坡之變位量，需要根據現地條件，進行適當換算。因此，本年度計畫擬透過地層變位模擬儀器試驗及數值模擬方式，期以對於孔內伸縮計之變形特性有更多瞭解。詳情如後。

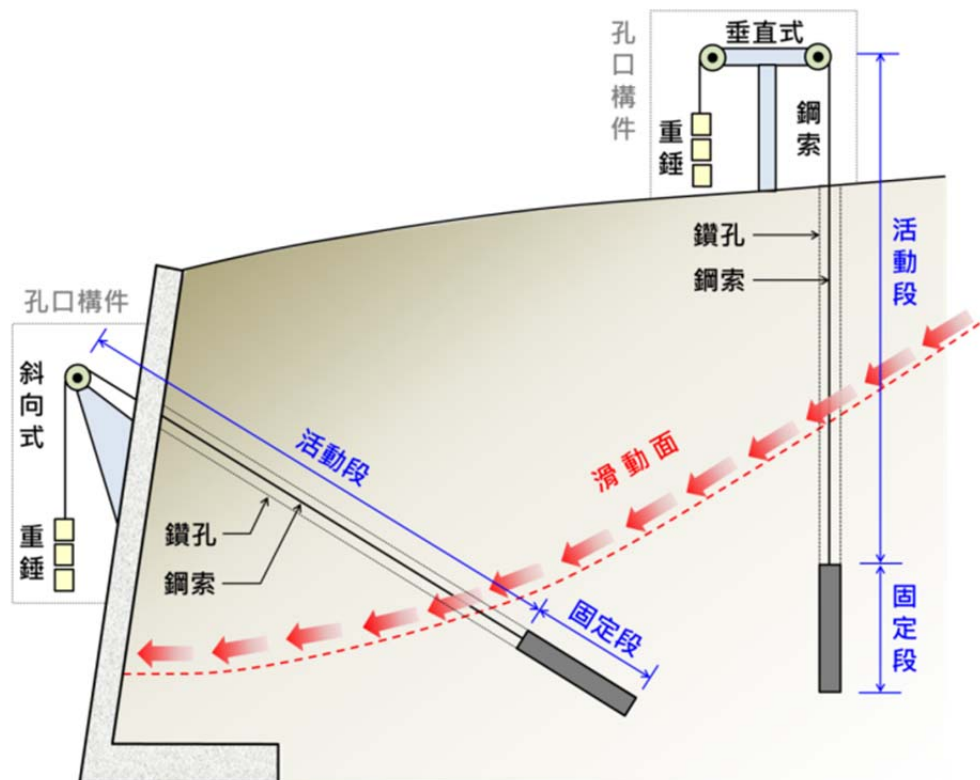
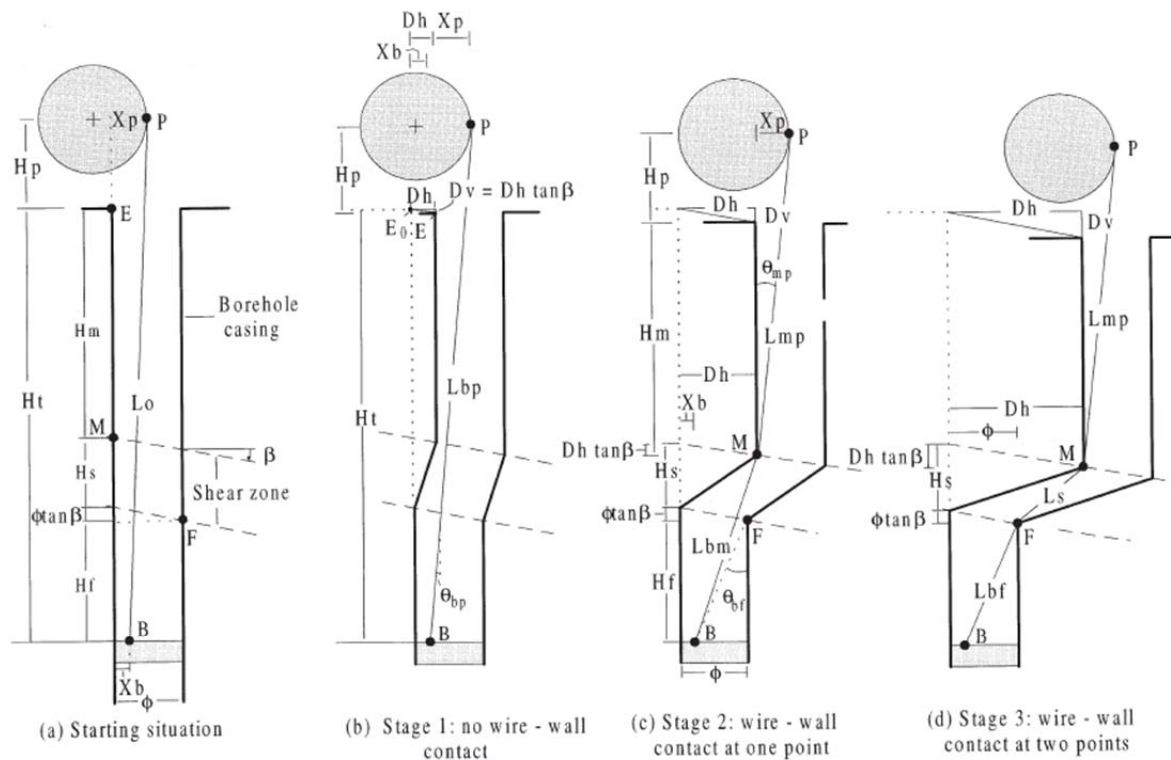


圖 6-27、孔內伸縮計示意圖，藉由鋼索或鋼索拉伸量之變化，掌握邊坡活動性
Fig. 6.27 Illustration of borehole extensometer

一、試驗規劃

(一) 地層變位模擬儀：孔內伸縮計變形行為受邊坡滑動特性及安裝型式影響，且孔內伸縮計之變位量通常不直接等於邊坡之變位量。為研究前述問題 Corominas et al. (2000)曾進行相關公式推導，其考量因子包含邊坡滑動型態(滑動面傾角、剪動帶厚度)及安裝孔徑大小，如圖 6-28 所示。



Legend	圖例(本計畫翻譯)
B: point of the wire fixation to the borehole bottom	B: 孔內伸縮計於孔底之固定點
P: point of contact between the wire and the pulley	P: 鋼索與滾輪之接觸點
H_b : depth of point B	H_b : B點深度
H_p : height of the point P in relation to the ground surface	H_p : P點相對於地表之高度
ϕ : Inner diameter of the casing	ϕ : 鑽孔內徑
X_p, X_b : horizontal distance of point P and B considered from the upslope edge of the casing	X_p, X_b : P及B點與鑽孔上邊坡邊緣之水平距離
H_m : depth of the upper boundary of the shear zone	H_m : 剪裂帶上界之深度
H_s : vertical thickness of the shear zone	H_s : 剪裂帶厚度
β : dip angle of the shear zone	β : 剪裂帶傾角
θ : angle between the wire and a vertical line	θ : 鋼索線與垂線之夾角
L_0 : starting length of the wire	L_0 : 鋼索起始長度
D_h, D_v : horizontal and vertical components of the displacement observed at the ground surface (point E)	D_h, D_v : E點之水平及垂直地表位移

圖 6-28、Corominas et al. (2000)評估孔內伸縮計變位量與地表位移量關係之參數
Fig. 6.28 Parameters affect the relationship between the displacement of borehole extensometer and ground surface

為進一步瞭解孔內伸縮計變位特性，前期計畫研發一套地層變位模擬儀，包含位移模組、可撓式軟管及資料擷取系統。透過位移模組可以對孔內伸縮計產生變位，以討論孔口位移量及鋼索伸縮量關係。位移模組主要以 Corominas et al. (2000)所提出影響孔內伸縮計變形特性之參數為目標，進行設計，包含能改變剪動帶厚度、滑動面傾角及孔徑大小等，可針對不同現地條件來進行試驗。地層變位模擬儀如圖 6-29 所示，說明如後。

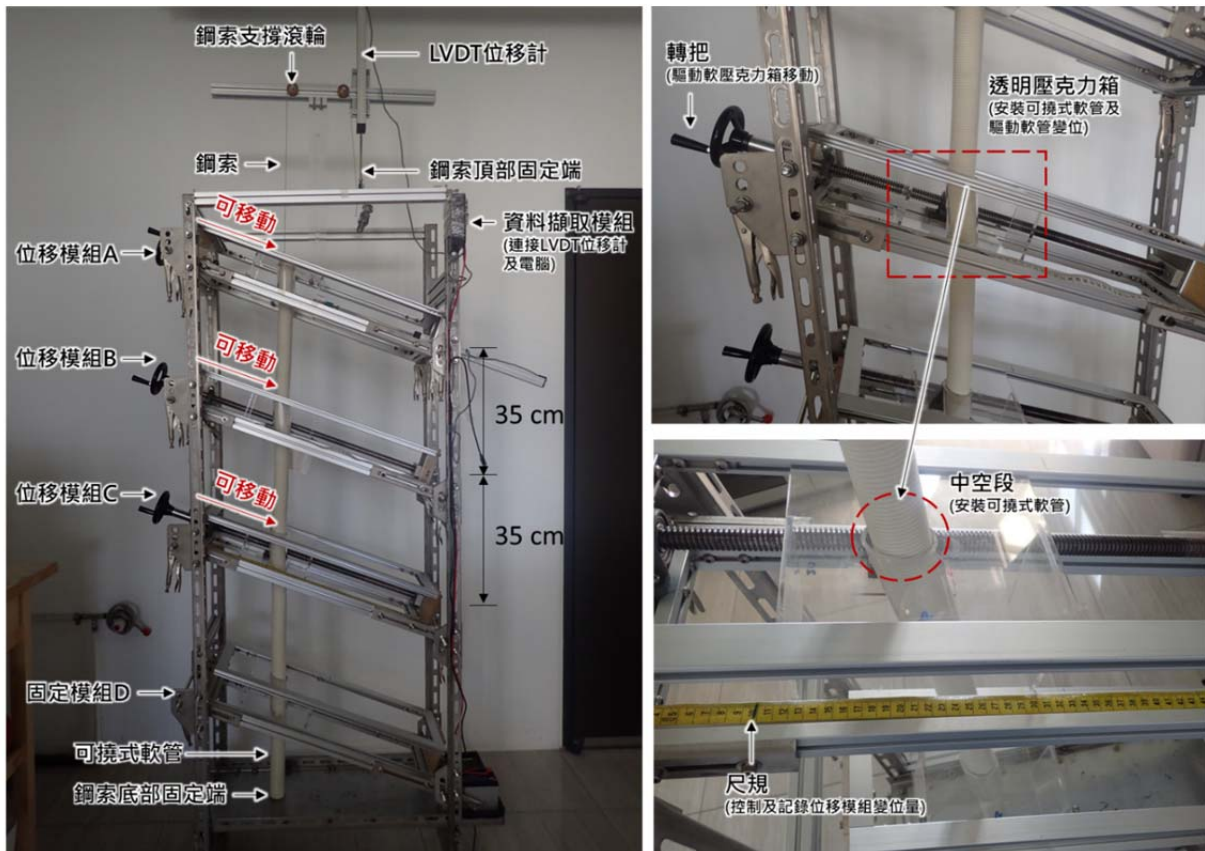


圖 6-29、地層變位模擬儀

Fig. 6.29 Layer displacement simulator

1. 位移模組及固定模組：包含移動模組 A、B、C 及底部固定模組 D。移動模組 A、B、C 用以模擬剪動層，可依需求調整高度、層數或滑動面傾角。底部固定層模組 D 不可自由移動，以固定孔內伸縮計。位移模組內包含一壓克力透明箱，其內部設計一中空段，以置入觀測儀器。A、B、C 等三層間距約 35 cm，D 為固定層，A、B、C 可同步位移或各自單獨位移，以模擬邊坡滑動型態。移動模組與轉把相接，透過轉動把手驅使位移模組移動。前期計畫完成可模擬滑動面傾角為 0 度及 30 度的模組，本年度計畫並進一步完成 20 度及 40 度的模組。

- 2.可撓式軟管：參考常用鑽井岩芯尺寸 NQ(47.6 mm)及 HQ(63.5 mm)，於位移模組之壓克力透明箱盒體中心設計貫穿軟管，包括 $\phi = 4 \text{ cm}$ 及 $\phi = 7 \text{ cm}$ 等兩種孔徑，用以設置孔內型觀測儀器。
- 3.鋼索：本計畫將鋼索置入於可撓式軟管內，孔底於中心點固定，引至孔口穿越滾輪繫予重錘，給予鋼索一定拉力，並容許受位移模組剪動拉扯，而產生變位量。鋼索採用夾具銜接位移計之萬向接頭，以記錄鋼索拉伸位移資料，用以進行孔內伸縮計變形測試，如圖 6-30 所示。

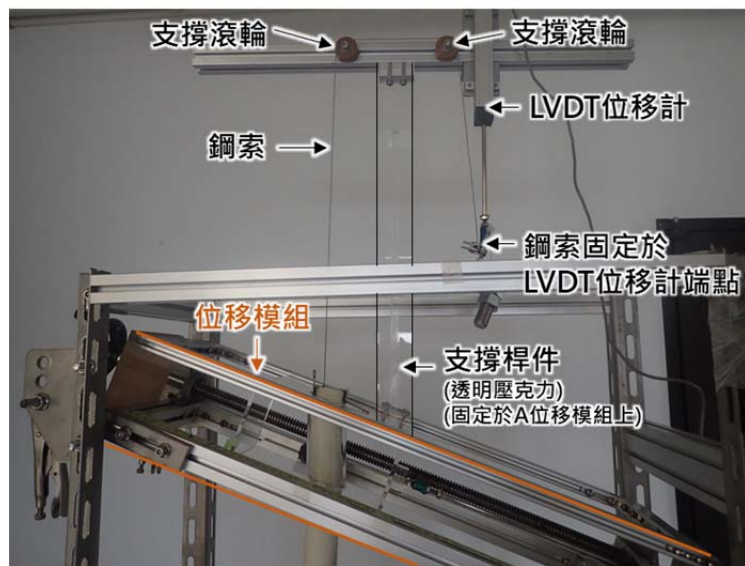


圖 6-30、地層變位模擬儀頂部組件
Fig. 6.30 Top part of layer displacement simulator

4.資料擷取系統

- (1) 感測器：於位移模組頂部設置 LVDT 位移計，以自動化量測鋼索受位移模組剪動而產生之變形量。LVDT 位移計選用量測範圍 300 mm，精度 0.1%(0.3mm)。
- (2) 資料擷取器：採用美國 Campbell Scientific 公司產製之 CR300 資料擷取器，以自動計讀 LVDT 變位計之量測結果。試驗過程每 3 秒記錄一筆孔內伸縮計之鋼索拉伸量。
- (二) 試驗步驟：依據規劃之試驗參數，於試驗過程中利用轉輪推動位移模組，使鋼索產生位移，利用設置於頂部 LVDT 位移計，記錄鋼索變化量。同時記錄位移模組之位移量，以與鋼索變化量比較。說明本年度試驗參數規劃如後。

(三) 試驗參數規劃：前期計畫一方面進行地層變位模擬儀之研發，一方面陸續進行部分試驗。本計畫並再接續前期計畫成果，進行其他參數試驗，說明如下：

1. 孔內伸縮計孔徑大小：為瞭解孔徑對孔內伸縮計反映之影響，前期計畫採用傾角 0 度之滑動面，設計兩種孔徑進行試驗，分別為 $\phi 4\text{ cm}$ 及 $\phi 7\text{ cm}$ ，試驗結果如圖 6-31 所示。由試驗結果發現，各孔徑於地層位移模組移動一段時間後，孔內伸縮計之鋼索才開始有反應，逐漸往正值增加，表示鋼索受位移模組剪動，孔口之鋼索逐漸往內縮，使得孔內的鋼索長度增加，表示孔內鋼索長度增加。

由 $\phi 4\text{ cm}$ 及 $\phi 7\text{ cm}$ 之試驗結果，均可發現孔內伸縮計初期均有一無感段產生，也就是孔內伸縮計無明顯反映的區段。其中， $\phi 4\text{ cm}$ 孔徑無感段約為地表位移 30 mm，較短； $\phi 7\text{ cm}$ 孔徑無感段約為地表位移 38 mm，較長。研判主要原因為滑動初期，管壁尚未接觸鋼索，故有一無感段產生。而以 $\phi 4\text{ cm}$ 孔徑，管壁剪動至鋼索所需路徑較短，故無感段較短。由試驗結果顯示，發現孔徑 $\phi 4$ 公分孔內伸縮計之反應較為靈敏，本年度計畫並採用孔徑 $\phi 4$ 公分，來作為後續試驗參數。

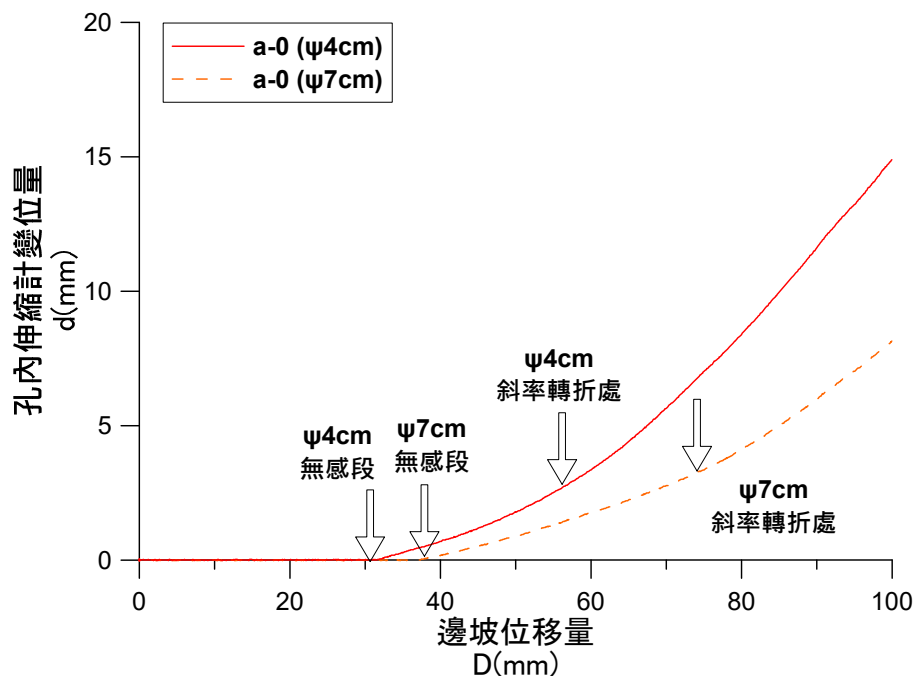


圖 6-31、位移及拉升量關係

Fig. 6.31 The relation of displacement and pull-up increment

2. 滑動面角度：前期計畫根據邊坡變位特徵，滑動面於上中下邊坡所呈現角度不同，上邊坡滑動面角度較陡，下邊坡滑動面角度較緩。故進行滑動面傾角 0 度(水平)及 30 度試驗，探討滑動面角度變化對鋼索變化量之影響。由試驗成果(詳圖 6-32)發現，位於水平滑動面的孔內伸縮計的初始無感段較長。而位於傾角 30 度滑動面的孔內伸縮計，無感段較短，在位移模組啟動不久，孔內伸縮計即有產生變位量。

但可發現傾角 30 度滑動面的孔內伸縮計，一開始有朝負值移動的現象，而隨位移模組變位增加，孔內伸縮計才逐漸有往正值移動的趨勢。研判其原因主要為傾角 30 度滑動面在滑動時，孔口會有向下位移的分量，但滑動初期孔內伸縮計會有無感段，此時孔內的鋼索可能尚未被管壁剪動，故尚不能使孔口鋼索向孔內拉動。因此，在孔口的鋼索便形成被放出的狀況，故鋼索變位量往負值移動，表示孔內鋼索的長度縮短。也顯示孔口的向下位移分量，也就是地表沉陷量，同樣是影響孔內伸縮計變位特性的因子之一。

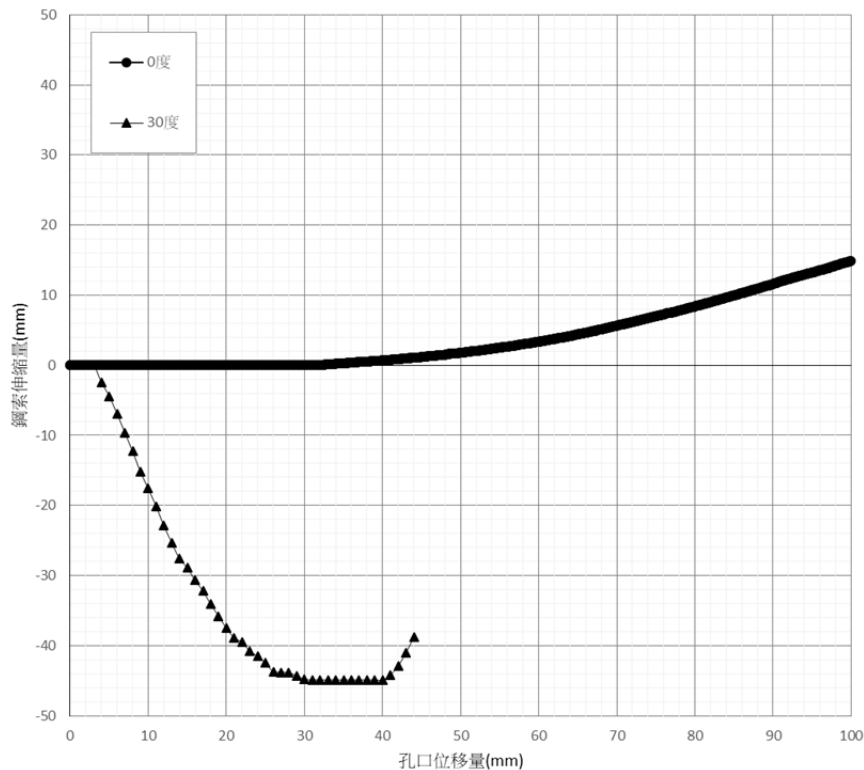


圖 6-32、滑動面角度之變位量及位移量關係

Fig. 6.32 Relation of wire deformation and borehole displacement for different sliding angle

承前述成果，本年度計畫進一步考慮不同滑動面傾角及剪動帶厚度，來探討對於孔內伸縮計變位特性之影響，試驗設置如圖 6-33 所示。包含滑動面傾角為 20 度、30 度及 40 度之試驗，如圖所示。此外，本年度計畫分別以 20 度及 40 度之滑動面傾角，採用 1 倍剪動帶厚度(剪動帶厚度較小者)與 3 倍剪動帶厚度(剪動帶厚度較大者)剪動帶厚度進行試驗，如圖 6-34 所示。說明試驗成果如後。



圖 6-33、不同滑動面傾角之試驗
Fig. 6.33 Test of different sliding angle



(a) 1 倍剪動帶寬度(以 20 度傾角為例) (b) 3 倍剪動帶寬度(以 20 度傾角為例)

圖 6-34、不同剪動帶寬度之試驗
Fig. 6.34 Test of different shear zone

二、試驗結果

本研究為模擬安裝於邊坡之孔口伸縮計，故設計地層變位模擬儀試驗討論孔口位移量及鋼索伸縮量之關係，儀器可透過多層滑動面及滑動距離，並調整不同滑動面傾角來模擬不同的滑移類型。彙整試驗結果如圖 6-35~圖 6-36 及表 6-9 所示，說明如下：

(一) 相同剪動帶厚度、不同滑動面傾角：以相同剪動帶厚度進行試驗，比較滑動面傾角為 20 度、30 度及 40 度時，其孔口位移量與鋼索伸縮量之關係，試驗結果如圖 6-35 所示。可觀察三組試驗之鋼索伸縮量一開始皆呈遞減之趨勢，而 20 度之試驗在約孔口位移量為 130 mm 至 150 mm 時開始遞增；30 度及 40 度之試驗因受限於滑動距離，其數據僅可觀察其遞減趨勢會逐漸趨於平緩。

(二) 不同剪動帶厚度、不同滑動面傾角：分別以 20 度及 40 度之滑動面傾角，以 1 倍剪動帶厚度(剪動帶厚度較小者)與 3 倍剪動帶厚度(剪動帶厚度較大者)進行地層變位模擬試驗，試驗成果如圖 6-36 所示。以滑動面傾角 20 度之試驗可觀察到，1 倍剪動帶厚度之鋼索伸縮量有明顯先遞減後遞增之趨勢，然 3 倍剪動帶厚度之鋼索伸縮量僅呈現遞減之情形，且遞減斜率會逐漸趨緩，最終趨於於水平。此外，可發現 3 倍剪動帶厚度之鋼索縮減量相較於 1 倍剪動帶厚度之鋼索縮減量多。

以滑動面傾角 40 度之試驗可觀察到，不論 1 倍剪動帶厚度或 3 倍剪動帶厚度之鋼索伸縮量皆呈遞減，然 3 倍剪動帶厚度之鋼索伸縮量遞減速率大於 1 倍剪動帶厚度之鋼索伸縮量。

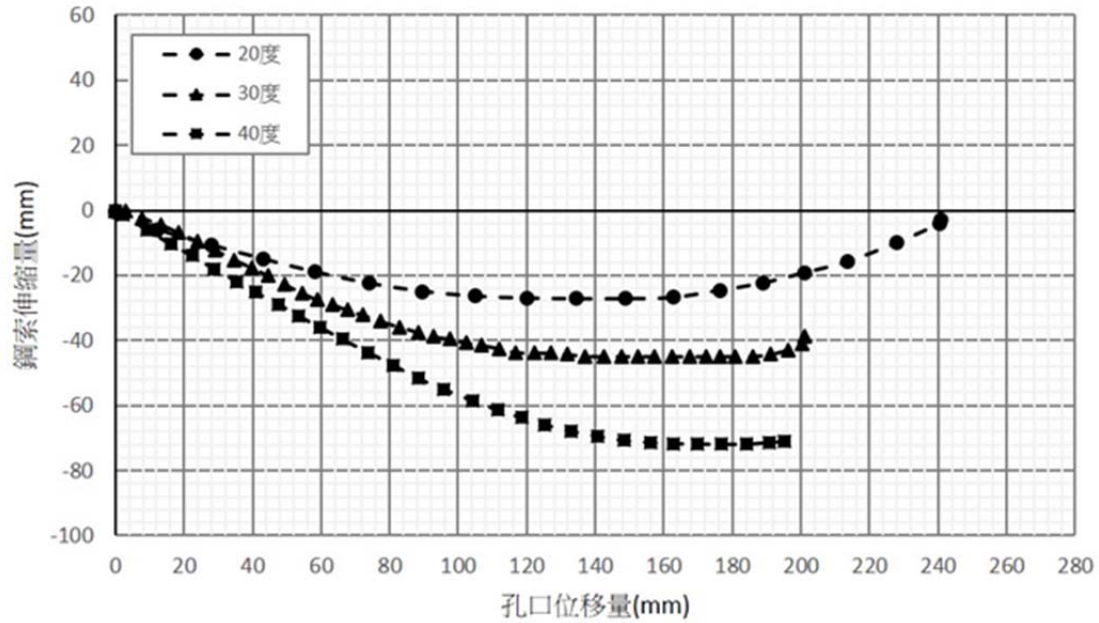


圖 6-35、孔內伸縮計地層變位模擬試驗成果，考慮不同滑動面傾角，孔口位移量與孔內伸縮計伸縮量比較

Fig. 6.35 Layer displacement simulator test result, comparing wire deformation and borehole displacement at different sliding angle

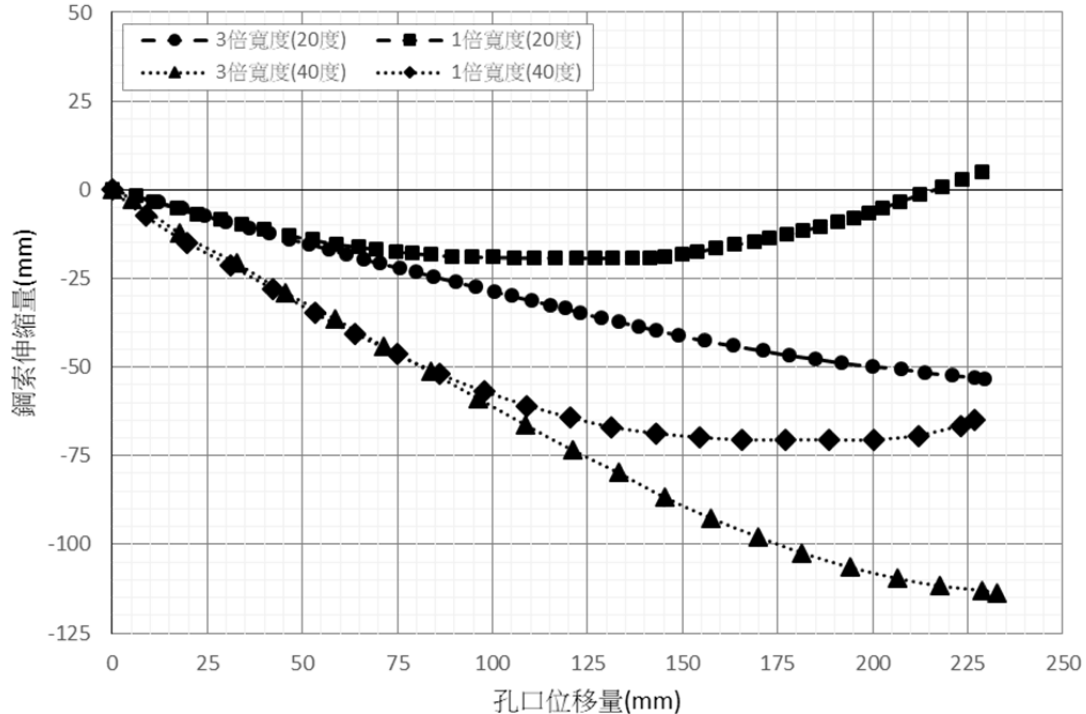


圖 6-36、孔內伸縮計地層變位模擬試驗成果，考慮不同剪動帶寬度及滑動面傾角，孔口位移量與孔內伸縮計伸縮量比較

Fig. 6.36 Layer displacement simulator test result, comparing wire deformation and borehole displacement at different sliding angle and shear zone

表 6-9、地層變位模擬儀試驗參數及試驗成果摘要

Table 6.9 Parameters for test of layer displacement simulator and test results

計畫	試驗考量參數			研究發現
	孔徑	滑動面傾角	滑動形態	
前期計畫 (2017)	$\phi = 4 \text{ cm}$ $\phi = 7 \text{ cm}$	0° (水平)	具有一個明顯的滑動面。	<ol style="list-style-type: none"> 1.孔內伸縮計之鋼索與孔壁間具有一段距離，在滑動初期會有無感段。 2.孔徑越小，無感段越小，孔內伸縮計之反應較佳。
前期計畫 (2018)	$\phi = 4 \text{ cm}$	0° (水平) 30°	具有一個明顯的滑動面。	<ol style="list-style-type: none"> 1.滑動面傾角 30° 的試驗結果，孔內伸縮計之無感段減少。 2.但滑動面傾角 30° 的試驗結果，孔內伸縮計初期會有往負值移動的情形，可能受孔口沉陷的影響。 3.在利用孔內伸縮計評估邊坡活動性時，需考慮孔口沉陷的影響。
本計畫 (2019)	$\phi = 4 \text{ cm}$	20° 30° 40°	具有一個明顯的滑動面。 考慮不同剪動帶厚度。	<ol style="list-style-type: none"> 1.剪動帶厚度越大及滑動面傾角越大時，鋼索縮減量也會越大。 2.在未考量沉陷量時，不同剪動帶厚度及不同滑動面傾角之鋼索伸縮量皆會呈先遞減後遞增之趨勢。 3.透過鋼索伸縮量及孔口位移之幾何關係，可初估未來鋼索伸縮量之變化趨勢。 4.由幾何關係所推估之鋼索伸縮量變化趨勢，在考慮沉陷量時，其鋼索伸縮量無遞減情形，即沒有無感段。

三、簡化幾何模型探討

依本計畫地層變位模擬儀試驗構件，繪製一簡易示意圖，如圖 6-37 所示。考慮滑動面傾角 θ ，滑動體厚度 $L_1 + L_2$ ，其中， L_1 係未剪動變形之滑動體厚度， L_2 係剪動帶厚度。孔口水平位移 x ，孔口位移量 l_4 ，可得出以下關係：

$$\text{孔口位移量 } l_4 = \frac{x}{\cos\theta} \quad (\text{式 6-1})$$

$$\text{地表沉陷量 } l_1 = x \tan\theta \quad (\text{式 6-2})$$

$$\text{未剪動變形之滑動體之鋼索伸縮量} : l_2 = L_1 \quad (\text{式 6-3})$$

$$\text{剪動帶內之鋼索伸縮量} : l_3 = \sqrt{\left(\frac{x}{\cos\theta}\right)^2 + L_2^2 - 2xL_2 \tan\theta} \quad (\text{式 6-4})$$

由上式可推出孔內伸縮計鋼索伸縮量 δ 之關係如下：

$$\text{孔內伸縮計鋼索伸縮量 } \delta = (l_1 + l_2 + l_3) - (L_1 + L_2) \quad (\text{式 6-5})$$

以下分述討論是否考慮沉陷量之孔口位移量及鋼索伸縮量之關係。

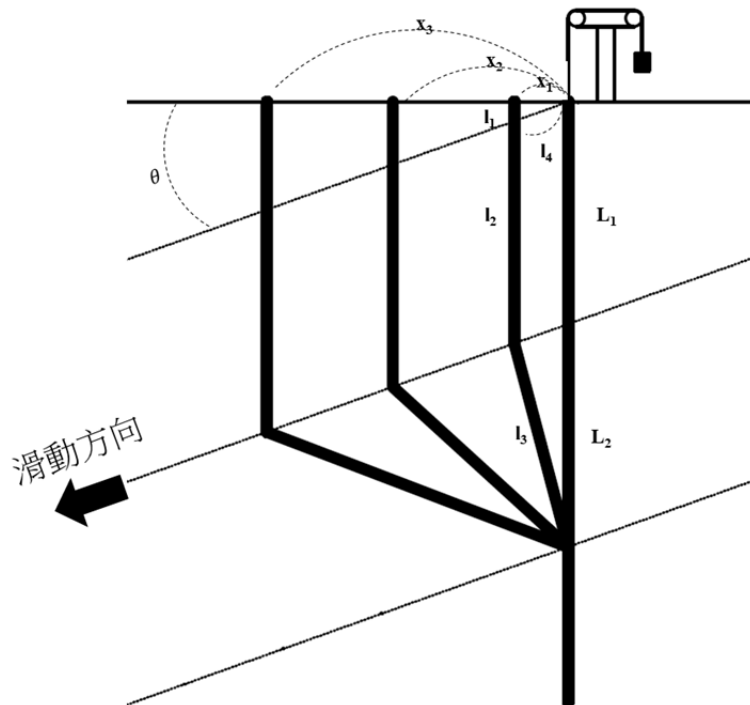


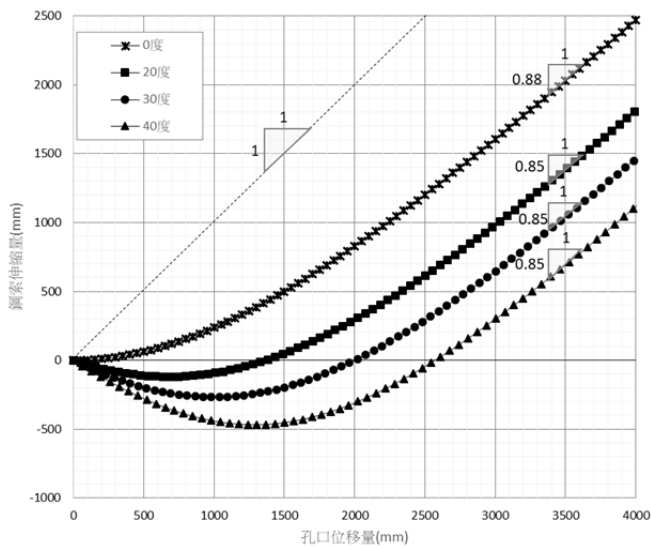
圖 6-37、孔口位移量與鋼索伸縮量之幾何關係示意圖

Fig. 6.37 Illustration of geometric relationship between wire deformation and borehole displacement

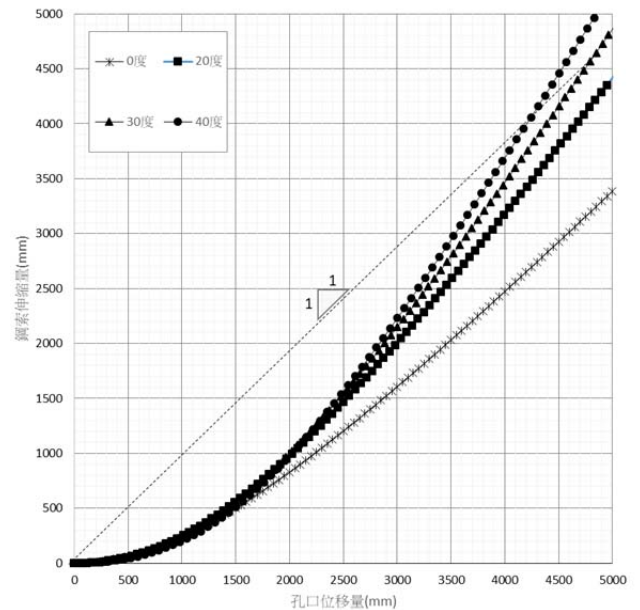
(一) 在不同傾角下，孔口位移量與鋼索伸縮量之關係：

1. 忽略地表沉陷量 l_1 影響：考慮相同滑動體厚度的情況下，比較不同傾角對於孔口位移量與鋼索伸縮量之關係，假設 $L_1 = 6\text{ m}$ 、 $L_2 = 2\text{ m}$ ，最後成果如圖 6-38(a)所示。可發現滑動面傾角 20 度、30 度及 40 度之邊坡發生緩慢滑動時，其鋼索伸縮量會先內縮再伸長，然當滑動面傾角為 0 度之邊坡開始滑動時，其鋼索伸縮量逐漸增加，未有內縮之情形。另可觀察鋼索伸縮量開始遞增後，其斜率會逐漸接近於 1。

2. 考慮地表沉陷量 l_1 影響：在固定滑動體厚度的情況下，比較不同滑動面傾角對於孔口位移量與鋼索伸縮量之關係，此處假設 $L_1 = 6\text{ m}$ 、 $L_2 = 2\text{ m}$ ，最後成果如圖所示，最後成果如圖 6-38(b)所示。可發現除傾角為 0 度之外的邊坡，其位移量伸長之趨勢大致相同。



(a) 忽略沉陷量影響



(b) 考慮沉陷量影響

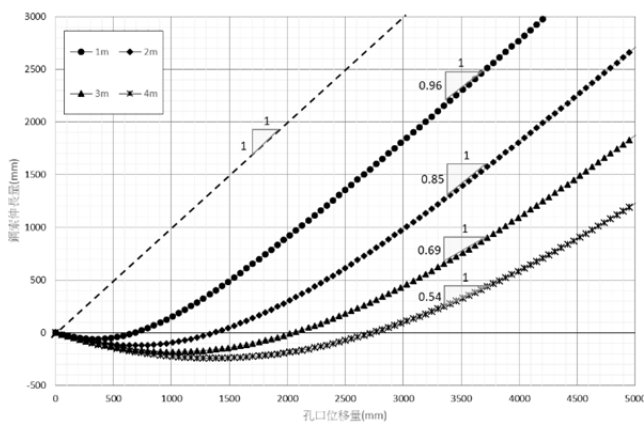
圖 6-38、不同滑動面傾角的位移量之幾何關係

Fig. 6.38 Geometric relationship between wire deformation and borehole displacement at different sliding angle

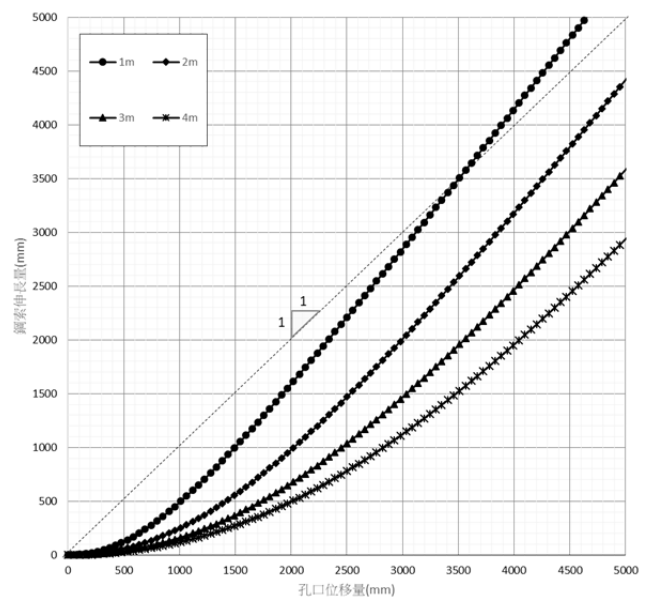
(二) 在不同剪動帶厚度下，孔口位移量與鋼索伸縮量之關係：

1. 忽略地表沉陷量 l_1 影響：在考慮不同剪動帶厚度，比較不同剪動帶厚度對於孔口位移量與鋼索伸縮量之關係，此處假設 $L_1 = 6\text{m}$ 、 $\theta = 20^\circ$ ，成果如圖 6-39(a)所示。可觀察不同剪動帶厚度之位移量同樣呈遞減後遞增，當剪動帶厚度增加時，其鋼索內縮越多，而後開始遞增，當剪動帶厚度越大，其遞增斜率較小，即當剪動帶厚度越大時，越須注意其鋼索伸縮量之變化，雖然鋼索伸縮量為內縮之情形，然已有相當之滑動距離。

2. 考慮地表沉陷量 l_1 影響：在考慮不同剪動帶厚度下，比較不同剪動帶厚度對於孔口位移量與鋼索伸縮量之關係，此處假設 $L_1 = 6\text{m}$ 、 $\theta = 20^\circ$ ，最後成果如圖 6-39(b)所示。可發現當考慮地表沉陷量的影響後，不論剪動帶厚度多大，鋼索伸縮量皆不會有內縮之情形，且當剪動帶厚度越大，遞增的速度越慢。



(a) 忽略沉陷量影響



(b) 考慮沉陷量影響

圖 6-39、不同剪動帶厚度的位移量之幾何關係

Fig. 6.39 Geometric relationship between wire deformation and borehole displacement at different shear zone

四、綜合討論

本年度計畫透過孔內伸縮計之地層變位模擬試驗及幾何關係推導，以更瞭解孔內伸縮計之變位特性，提供後續相關應用參考，提出初步結論如下：

- (一) 孔內伸縮計於觀測初期，其伸縮量會有縮減的情況：在相同剪動帶厚度，不同滑動面傾角之情況，孔內伸縮計鋼索伸縮量隨邊坡位移量，會先縮減一段時間，然後才拉長。以本年度計畫 20 度、30 度、40 度之試驗成果而言，傾角 20 度鋼索伸縮量縮減一段時間，才逐漸遞增，然 30 度及 40 度可能因受試驗儀器之滑動距離之限制，尚未有遞增之情形。進一步透過幾何關係推導，在未考慮沉陷量之情形，不論何種滑動面傾角之情形，鋼索伸縮量皆會先縮減再增加，且滑動面傾角越大，鋼索縮減量也會越大。此外，由試驗可知，在相同滑動面傾角，不同剪動帶厚度之情況，剪動帶厚度較大者其鋼索縮減量較大。透過幾何關係，在未考慮沉陷量之情形，不論在何種剪動帶厚度下，鋼索伸縮量也會先縮減再增加，且剪動帶厚度越大，鋼索縮減量也會越大。
- (二) 地表沉陷量為影響孔內伸縮計的量測值之一，在評估孔內伸縮計變位量與邊坡位量關係時須納入考量：透過幾何關係考量沉陷量之影響，觀察到鋼索伸縮量皆無縮減之情形。在相同剪動帶厚度、不同滑動面傾角之情形，其鋼索伸長量遞增之趨勢大致相同；在相同滑動面傾角、不同剪動帶厚度之情形，其鋼索伸長量遞增斜率會隨著厚度變大而變小。
- (三) 本研究所使用之地層變位模擬儀試驗成果，雖受限於滑動距離，但透過幾何關係與試驗比較後可知試驗結果之鋼索伸縮量變化與幾何解大致相同，同理可推估試驗後續鋼索伸縮量之變化趨勢。然本研究所提出的幾何關係為簡化後之結果，然實際上可能會有多個剪動帶、或是地表傾角與滑動面傾角不同之問題，會須要根據不同的滑移情形調整其簡化後之幾何關係。

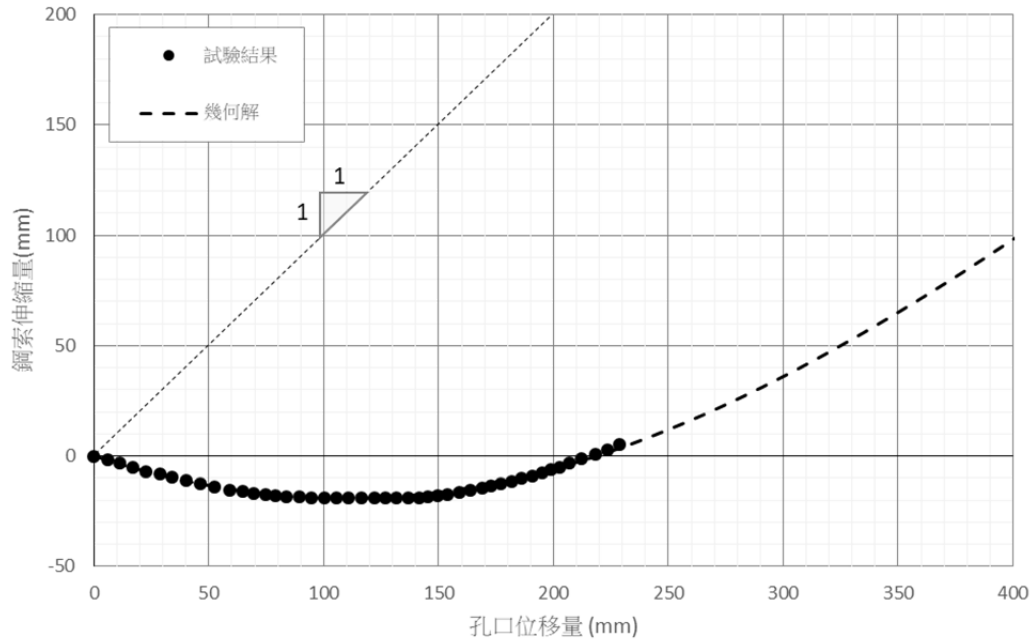


圖 6-40、試驗與幾何關係之位移量比較

Fig. 6.40 Comparison of layer displacement simulator test result and geometric relationship

五、數值模擬

本計畫透過地層變位模擬試驗，討論不同滑動面傾角及剪動帶厚度對鋼索伸縮量之影響，發現於地表與滑動層之間會有沉陷量問題。本年度計畫並以數值模擬，在邊坡上、下不同位置，模擬孔內伸縮計，以觀察孔內伸縮計變形特性。詳情如下：

(一) 數值模擬模型：本年度計畫選定廬山溫泉北坡，進行孔內伸縮計之數值模擬。分析軟體採用 PLAXIS 2D 2011 有限元素法分析程式，說明如下：

1.分層設定：根據地質鑽探岩芯，將廬山溫泉北坡之地層概分為 3 層，分析剖面如所示，說明如下：

(1) 滑動塊體：模型最上層定義為滑動塊體，其底部邊界係根據岩芯呈現的剪裂帶，以及測傾管監測成果之滑動深度作為劃分。

(2) 剪裂帶：廬山溫泉北坡在中段坡附近的鑽孔，均可在岩心中發現明顯的剪裂帶，厚度約 3~10 m 不等，且測傾管所量得的位移深度也大致與剪裂帶深度相符。由於剪裂帶的相對較破碎且夾泥，因此獨立設定為一層，給予不同之參數。

(3) 滑動面下岩盤：各孔岩心顯示，深度到達剪裂帶以下，或到達劈理轉折帶以下，均有較完整之岩盤，故設定為最下層之基盤。

2.參數設定：本計畫於滑動塊體及滑動面以下岩盤採用 Hoek & Brown(1998) 提出的地質強度指數(GSI)觀念評估其強度，並依 Hoek & Brown 準則(2002 版)建議之公式，換算出等效之 c 、 ϕ 參數，結果如表表 6-10 所示。

剪裂帶部分，雖普遍含剪裂泥，然而根據岩心狀況顯示，其中仍含有大量岩塊，且大部分岩塊間仍有接觸，若直接採用本計畫之直剪試驗結果作為分析參數，有低估其強度之虞，因此除了採用直剪試驗所得之參數以外，也同時採用 Hoek & Brown 準則推估其強度參數，兩種參數均嘗試進行分析，比較其適用性。

- 3.地下水位：**根據觀測期間，各孔地下水位觀測成果，加以繪製地下水位線。分析過程主要透過抬昇地下水位，觀察由於應力變化，邊坡產生之變位。
- 4.孔內伸縮計模擬：**利用 PLAXIS 內建之 Geogrid element，模擬孔內伸縮計之鋼索。依據 PLAXIS 使用手冊，Geogrid 為柔性結構，存有軸向勁度，不包含彎曲勁度。Geogrid 可以承受張力，但不承受壓力，與孔內伸縮計之鋼索因受邊坡剪動拉扯而伸長的行為類似，故採用此元件進行模擬。分析參數如表 6-10 所示。由地層變位模擬試驗結果，可知邊坡滑動特性將影響孔內伸縮計變形特性，固本次分析於從滑動塊體頭部至坡趾，共設置四處孔內伸縮計 A~D，以觀察其對於孔內伸縮計反應之影響。

表 6-10、進行孔內伸縮計數值模擬之分析參數表

Table 6.10 Input parameters of numerical analysis for borehole extensometer

分層	地質強度指數 GSI	單位重 γ (kN/m^3)	凝聚力 c (kPa)	摩擦角 ϕ (度)	楊氏模數 E (kPa)
滑動塊體	32	26.17	325	29.8	43,000
剪裂帶 (Hoek & Brown 準則)	12	23.54	163	23.1	13,600
剪裂帶 (採直剪試驗結果)	-	23.54	80	20.5	13,600
滑動面下岩盤	60	26.17	725	38.7	249,000
孔內伸縮計鋼索 (以 Geogrid 模擬)	-	-	-	-	EA (kN/m) 200,000

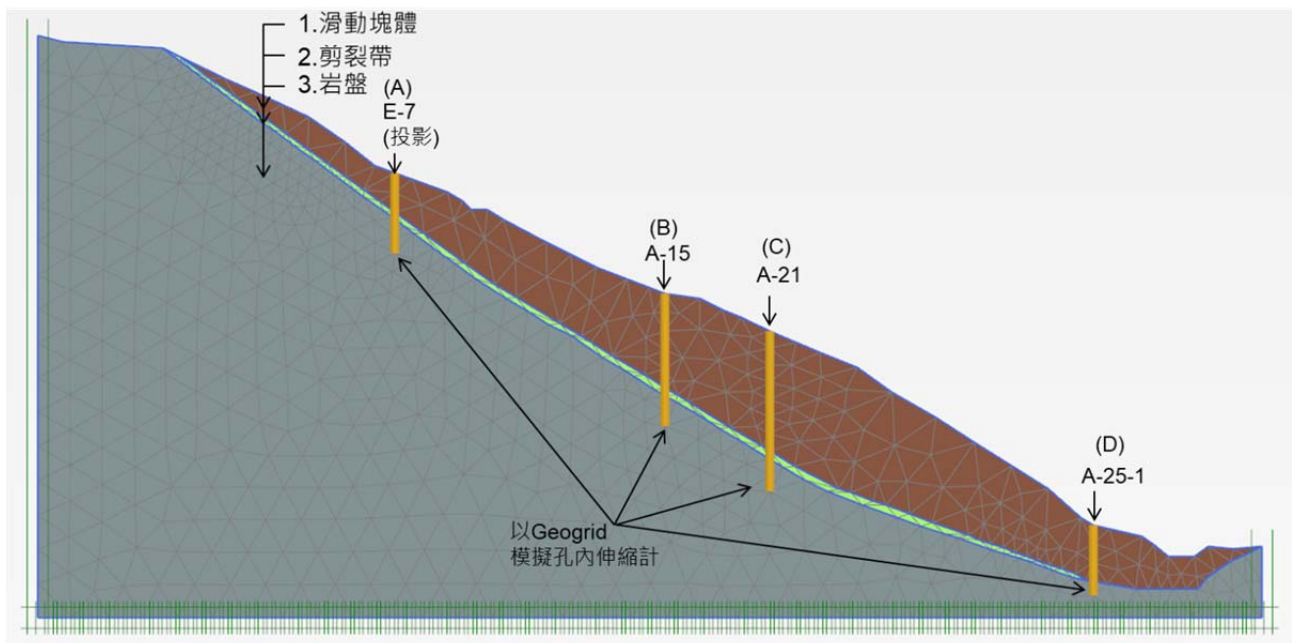


圖 6-41、進行孔內伸縮計數值模擬之分析剖面

Fig. 6.41 Profile of numerical analysis for borehole extensometer

(二) 數值模擬結果：本計畫於邊坡模型設置四處孔內伸縮計 A~D 孔，以模擬孔內伸縮計於不同位置之反應。A 孔位於頭部，B 孔及 C 孔皆位於坡腹，D 孔為趾部。相對位置與各孔之變形情形如圖 6-42 所示，可發現 A~D 孔分別有沉陷或隆起之現象。針對沉陷量與隆起量，將其定義為尚未滑動之孔口位置與滑動後之孔口位置，兩者之垂直變化量為沉陷(隆起)量。以下將分述各個孔位之變形：

1.B 孔：以 B 孔來看，數值模擬計算之鋼索伸縮量為 0.055 m，可發現孔內伸縮計因邊坡滑動後之變形並非直線線型，會約略呈弧形。而圖 6-42(c) 所表示之沉陷量位置，透過數值模擬後之位移圖，依比例尺繪製可能之沉陷量線型並計算後得沉陷量為 0.03 m。

2.C 孔：以 C 孔來看，數值模擬計算之鋼索伸縮量為 0.069 m，可發現 C 孔於滑動層之變形略呈直線線型。透過數值模擬後之位移圖，依比例尺繪製可能之沉陷量線型並計算後得沉陷量為 0.019 m。

3.A 孔及 D 孔：A 孔及 D 孔分別於頭部及趾部，由圖 6-42 (b)及圖圖 6-42 (e) 來看其孔內伸縮計之變形行為與本計畫所提出之簡化幾何模型差異大。以 A 孔來看，頭部之鋼索伸縮量為 0.005 m，即鋼索伸縮量幾乎無變化。孔口位置相對於尚未滑動之邊坡地表較低，與 B 孔、C 孔皆有沉陷量，依比例尺計算約得沉陷量為 0.002 m，為一極小之隆起量。以 D 孔來看，趾部之鋼索伸縮量為 0.022 m，孔口位置有明顯的隆起，依比例尺計算約得隆起量為 0.009 m，可推斷趾部因在邊坡滑動後塊體會堆積於趾部，故孔口明顯隆起而導致鋼索伸長。

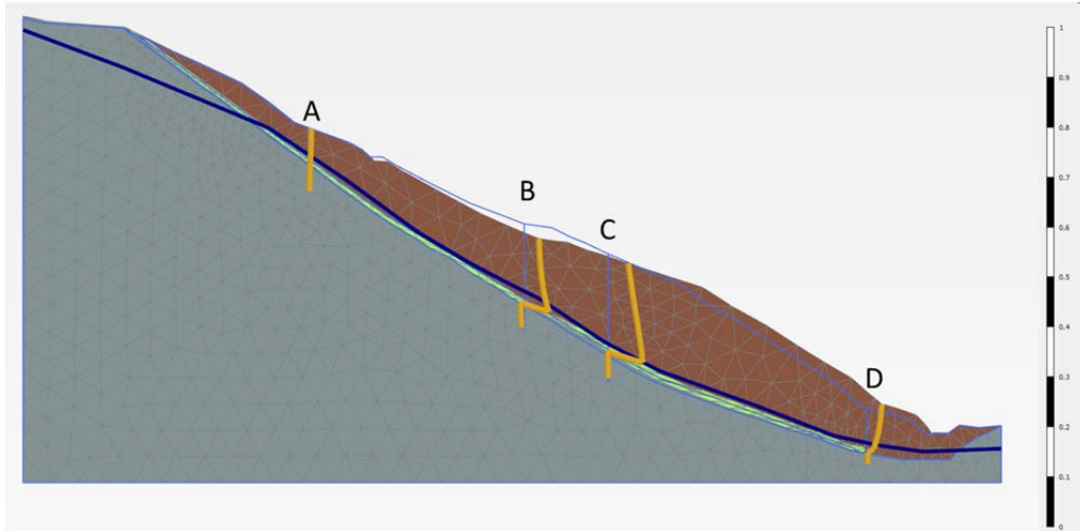
(三) 數值模擬小結：本計畫以數值模擬分析討論孔內伸縮計安裝於邊坡不同位置的變形行為，可得出以下結論：

1.由數值模擬之 B 孔及 C 孔來看，兩孔之變形行為與地層變位模擬試驗較相近，然由數值模擬可發現孔內伸縮計於滑動層及剪動帶之變形不一定為直線線型，可能略呈曲線。幾何公式可瞭解大致關係，但無法完全反映。

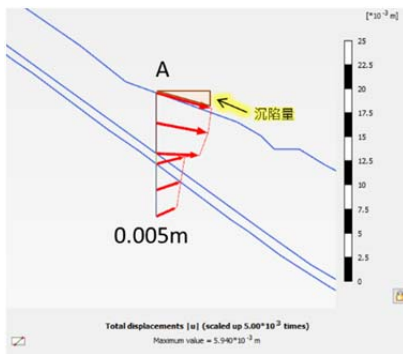
2.由數值模擬之 A 孔及 D 孔來看，兩孔之變形行為與地層變位模擬試驗不

同，其中於 D 孔有孔位隆起之情形。

3. 由數值模擬之邊坡滑動可發現，滑動體可能除有向下的傾角，也可能會有向上的俯角，顯示區域為隆起。故於前述之簡易幾何模型所推衍之關係式，若遇到地表俯角與滑動面傾角不同時，有關滑動面傾角 θ 應重新調整為地表俯角 θ_1 與滑動面傾角 θ_2 ，並同時調整各段鋼索伸縮量之關係式。
4. 數值模擬結果可瞭解邊坡可能變形趨勢，輔以回饋評估孔內伸縮計設置位置參考。然仍須與實際變形行為進行比對，以驗證數值模擬之結果。

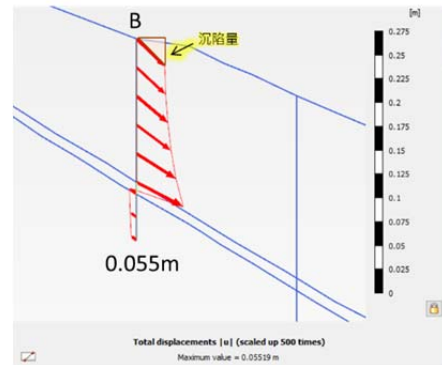


(a) 孔內伸縮計位置



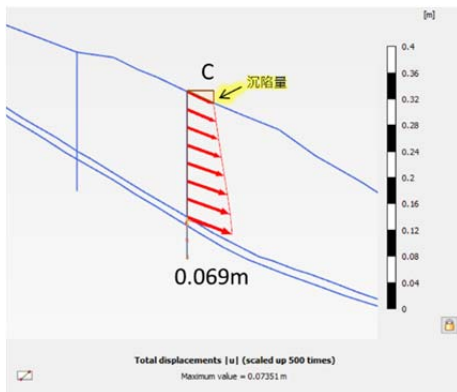
(b) A：位於頭部

(鋼索伸縮量：0.005 m、沉陷量：0.002 m)



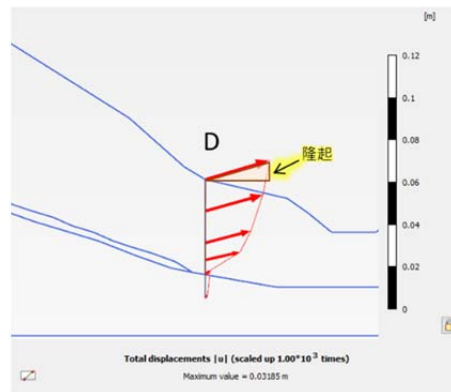
(c) B：位於坡腹

(鋼索伸縮量：0.055 m、沉陷量：0.03 m)



(d) C：位於坡腹

(鋼索伸縮量：0.069 m、沉陷量：0.019 m)



(e) D：位於趾部

(鋼索伸縮量：0.022 m、沉陷量：0.009 m)

圖 6-42、數值模擬之變形結果

Fig. 6.42 Results of numerical simulation

6.3 物聯網技術適用性研究

物聯網大致可分為感測層、網路層、應用層等三層架構，感測層與應用層分別在 6.2 及 7.1 節探討。本節主要針對網路層進行研究，網路層負責將感知層所觀測到的資料，傳輸至應用層進行處理。網路層用以提供可靠的網路傳輸功能，依照網路傳輸需求，會使用到不同的網路服務。本年度計畫包含文獻蒐集，物聯網技術適用性研究及井內無線傳輸可行性研究等，詳情如下。

6.3.1 文獻蒐集

物聯網技術中的網路層，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，如圖 6-43 所示。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。

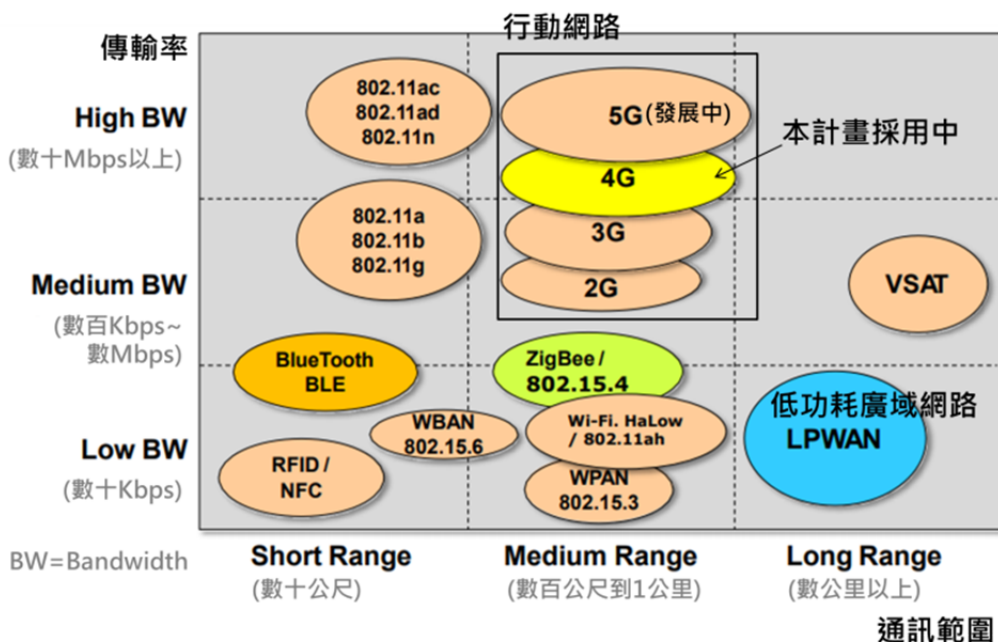


圖 6-43、無線傳輸技術之通訊範圍及傳輸率比較

Fig. 6.43 Comparison of range and data rate of wireless communication technologies

(資料來源：黃能富，2016；Peter, 2015)

一、行動網路

行動網路主要是由基地台與手持裝置所組成，在基地台的服務範圍內的手持裝置，藉由 SIM 卡透過電信業者基地台連結網際網路，來開始進行網路數據資料傳輸等行為。無線電信網路如 3G、4G、5G 技術等。目前本計畫之潛在山崩活動性觀測平台，即是透過 4G 無線網路將現場儀器觀測到的資料，傳輸至後端伺服器，再加以運用。利用行動網路需要透過電信業者提供的基地台服務，遇到偏遠山區基地台較少時，具有潛在通訊訊號不佳的問題。

二、低功耗廣域網路 LPWAN

一般而言，LPWAN 具有低功耗、低速度、低資料量、低成本等特性。「SIGFOX」、「LoRa」、「NB-IoT」均為 LPWAN 技術的一種，也是目前主要 LPWAN 技術。在 LPWAN 技術中，又可分成非授權頻段(Unlicense Band)與授權頻段(License Band)，常見的技術如圖 6-44 所示，「SIGFOX」、「LoRa」為非授權頻段，「NB-IoT」為授權頻段。

(一) 非授權頻段：採用 ISM 頻段(Industrial Scientific Medical Band)，這是一種各國開放給工業、科學及醫學機構使用的頻段。非授權頻段無須向政府購買授權，只需要遵守一定的發射功率(一般低於 1W)，不要對其他頻段造成干擾即可。但對於 LoRa 與 SIGFOX 的製造商或系統整合商而言，依舊需要向 LoRa 聯盟或 SIGFOX 聯盟支付相關費用。此外，目前臺灣提供 920 - 925 MHz 低功率物聯網設備(低功率射頻電機)使用(中華民國交通部，2017)。

(二) 授權頻段：主要為主管機關分配與授權電信商使用的頻段，頻段使用需要購買。

以下分別針對目前常見的 LPWAN 非授權頻段「SIGFOX」、「LoRa」技術及授權頻段「NB-IoT」技術來探討。

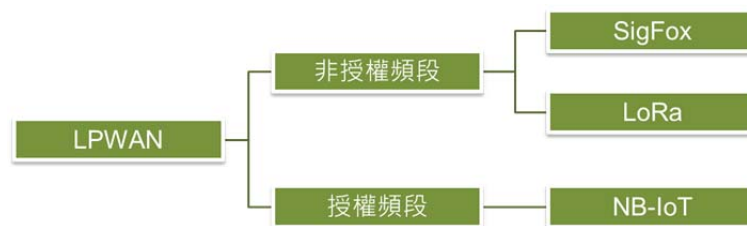


圖 6-44、常見非授權頻段與授權頻段之 LPWAN 技術

Fig. 6.44 Common LPWAN working on unlicensed or license band

(一) **SIGFOX 技術簡介**：SIGFOX 是由 2009 年創立的法國 SIGFOX 同名公司開發。SIGFOX 採用星狀網路(Star network)架構，該網路架構中 SIGFOX 每一個裝置的訊息可以同時直接或間接傳給多個基地台站，基地台則進而與網路伺服器通訊，如圖 6-45 所示。SIGFOX 採獨家提供網路的方式，提供用戶既有的網路布署及雲端服務，使用者只需要利用 SIGFOX 的雲端服務平臺，便可以連線至物聯網裝置，需要付費。SIGFOX 最大的特色在於建立一個全球共同的 IoT 網路雲，再轉交各地特許的網路營運商提供服務，例如臺灣營運商為 UnaBiz。

為了達到低功耗，大幅節省物聯網裝置的電力消耗，SIGFOX 降低了資訊傳輸量，傳輸速率約 100bits/s，每個裝置一天最多能傳送 140 則訊息，每則訊息最大的容量約 12bytes。

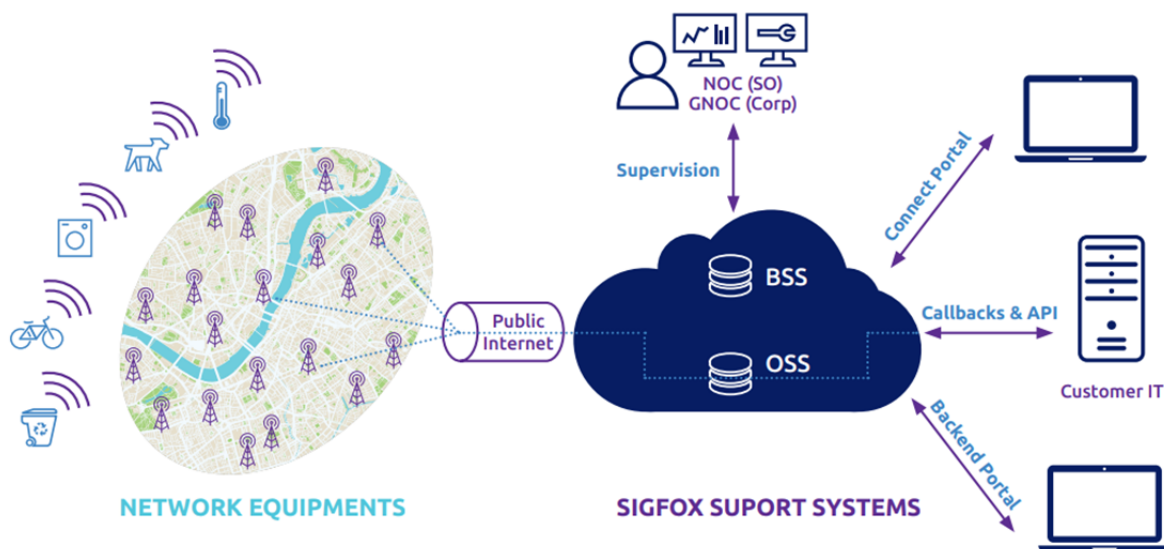


圖 6-45、SIGFOX 網路架構

Fig. 6.45 Network structure of SIGFOX

(資料來源：SIGFOX，2017)

(二) **LoRa 技術簡介**：LoRa(LongRange)是美國 Semteche 公司於 2013 年所開發的技術，在這個基礎上與 IBM 合作完成規範，並由 Semtech、IBM、Cisco 為核心所組成的 LoRa 聯盟推動相關發展，目前擁有 500 多家會員。LoRa 採用如 Wi-Fi 般，任何人都能自行設置基地台(Wi-Fi access point)來建置網路環境的模式。LoRa 主要在全球免費運行三個頻段，包括 433、868、915 MHz 等。LoRa 包含傳輸距離遠、工作功耗低、組網節點多等特點。

LoRa 的網路架構如圖 6-46 所示，採用星狀網路(Star network)架構，遠距節點(End nodes)可以透過多台 LoRa 閘道器(Gateways)與後端網路伺服器(Network server)連接，將資料上傳後送至雲端或伺服器上。在 LoRa 網路中，每個節點並不會彼此相連，須先連至閘道後，才能連回中央主機，或是透過中央主機將資料傳到另一個節點。終端節點的訊息，可以同時傳給多個閘道器。訊息也可透過閘道器之間的橋接，進一步延伸傳輸距離。

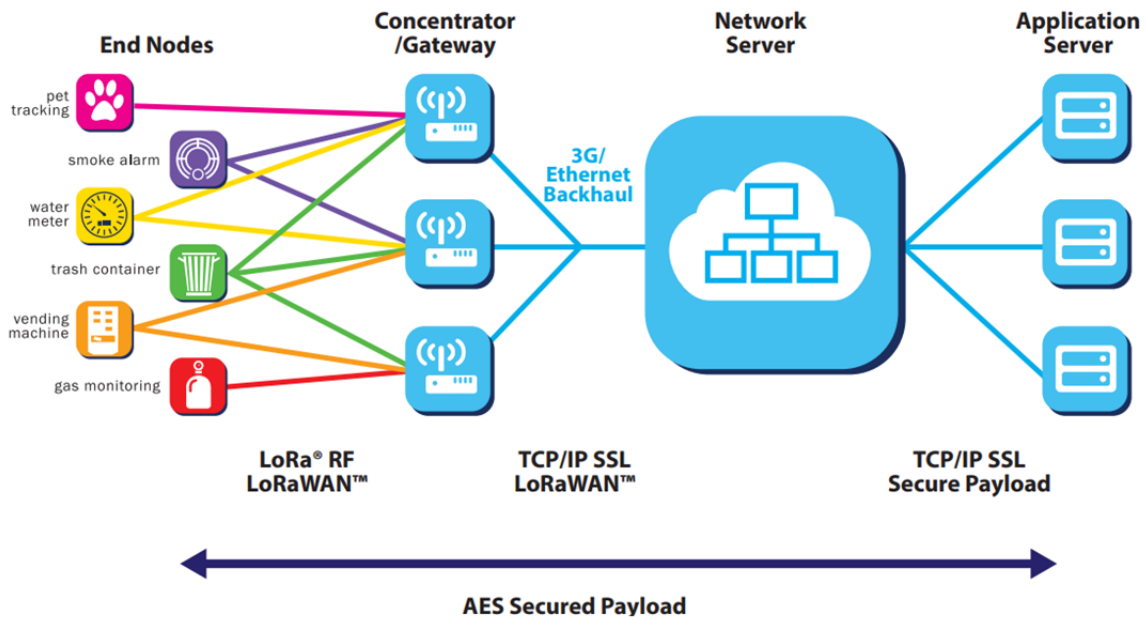


圖 6-46、LoRa 網路架構

Fig. 6.46 Network structure of LoRa

(資料來源：LoRa Alliance, 2015)

(三) NB-IoT 技術簡介：NB-IoT(Narrow Band - Internet of Things)，係由 3GPP 組織(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)於 2016 年發展出低功耗、低成本、廣域覆蓋及大量終端設備連結等特性的窄頻物聯網通訊協定。

NB-IoT 屬於授權頻段，如同 2G/3G/4G 一樣，是專門規劃的頻段，頻段干擾相對少，能夠避免在裝置繁多的環境中發生彼此干擾的問題。NB-IoT 網路包括終端、基站、伺服器等，採用蜂巢式網路，需要仰賴行動通訊的基地連接至網路，NB-IoT 終端設備必須在基站信號的覆蓋範圍內(蜂窩小區)才能進行通訊。NB-IoT 屬於授權頻段，基地台由營運商佈設。

三、綜合比較

初步蒐集 SIFGFOX、LoRa、NB-IoT 等三種低功耗廣域網路 LPWAN 技術，彙整如表 6-11 所示，比較如下：

- (一) **SIFGFOX**：可提供使用者既有的網路佈署及雲端服務，基地台由 SIFGFOX 公司架設。SIFGFOX 的傳輸距離最遠可達 50 公里，是三種技術當中範圍最廣的。不過 SIGFOX 為達到低功耗的目標，SIGFOX 限制每日傳輸次數，一天當中的傳輸時間很短，資料承載量低，較適合發揮在沒有即時通訊需求的領域。此外，SIFGFOX 的傳輸速率也是最低的。本計畫初步評估不採用。
- (二) **LoRa**：傳輸速率較 SIGFOX 為快。在連接網路部分，只要取得關鍵內容，就能開發個別的應用。LoRa 好比小型的私人網域，傳輸距離最遠可達 20 公里，只要掌握技術，就能自行架設基地台，自由度相對高。
- (三) **NB-IoT**：為三者技術中傳輸數度最快，採用授權頻段，基地台的架設仰賴電信業者。NB-IoT 可與既有的 4G 基地台相容，有不需重新布建網路的特性，但 NB-IoT 如採用 4G 無線網路的每一個裝置要裝上 SIM 卡收費。

綜合比較，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。

表 6-11、常見低功耗廣域網路 LPWAN 技術比較
 Table 6.11 Comparisons of common LPWAN(Low-Power Wide-Area Network)
 (彙整自 Mekki et al., 2019)

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。

6.3.2 井內無線傳輸可行性研究(文獻蒐集)

自動化井內觀測儀器的資料傳輸方式，多透過有線方式，銜接至地表自動化觀測站，再以無線或有線的方式回傳至至後端伺服器，如圖 6-47 所示。而有線式傳輸在實務應用上的痛點之一，是當邊坡位移剪動孔壁，可能折損訊號纜線，並影響資料回傳訊號的品質，甚至使傳輸功能失效。因此。若井內傳輸的方式能採無線方式進行，預期更有利於後續維護及延長使用壽命。因此，本年度計畫先進行資料蒐集(文獻蒐集)，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。

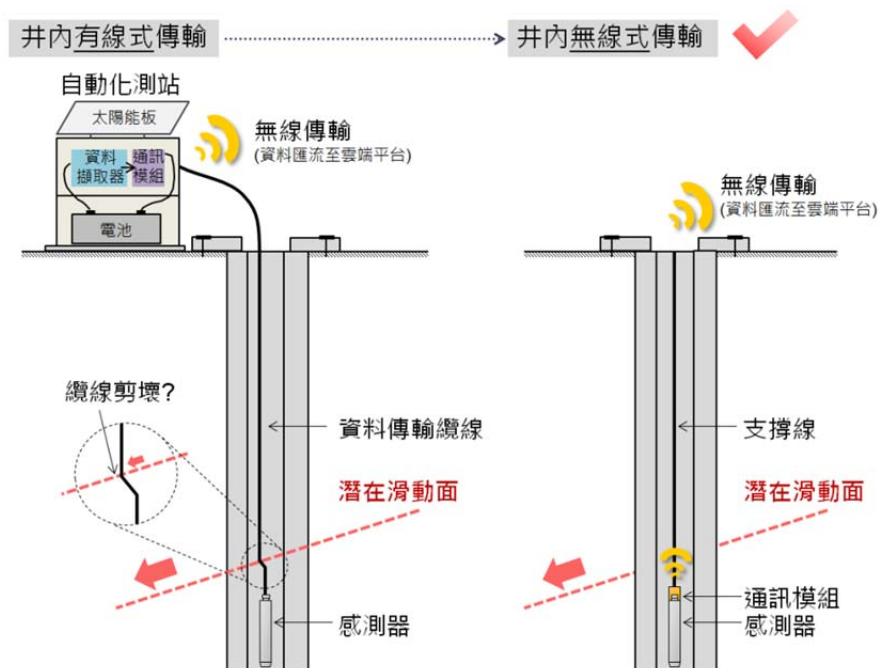


圖 6-47、井內無線傳輸可行性研究示意圖

Fig. 6.47 Illustration diagram of wireless borehole transmission feasibility study

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。Ali et al. (2017)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(詳圖 6-48)來探討。其中，以地下及水下無線感測網路技術與井內無線傳輸較為相關。

Silva and Vuran (2009)在進行現地試驗評估時，將地下無線通訊網路(Wireless Underground Sensor Networks, WUSNs)分為 1.礦坑與隧道無線傳輸及 2.地下無線感測網路等兩個部分。其中，礦坑與隧道無線通訊主要是通過空中進行的。地下無線

感測網路是將感測器埋在地下，通過土壤進行通訊。而井內無線傳輸應屬於礦坑與隧道無線傳輸的應用範疇。Saeed et al. (2019)在進行地下無聯網技術(Internet of Underground Things, IoUT)研究與文獻彙整時，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(詳表 6-12)。

此外，井內會面臨有水環境，因此在相關文獻蒐集也需要考慮水下通訊的相關應用研究。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。光通信可以提供超高資料傳輸速率(達 Gbps)及達到低延遲。但這樣的超高資料傳輸率僅在數公尺內的短距離條件發生。此外，光學信號需要視線 (Line-of-sight, LoS)，並且不能越過水/空氣邊界。射頻通信可以提供適度的資料傳輸速率(達 Mbps)，可以順利通過通過水/空氣邊界，但僅在短距離內及依照選用的射頻頻率而定。聲學通訊支持最遠 20 km 的遠距離傳輸，但資料傳輸率低(達 kbps)，且有很大的延遲。

在前述地下無聯網通訊技術應用部分，本年度計畫蒐集到 Jo et al. (2017)應用藍芽(Bluetooth)通訊技術於地下礦坑環境觀測，Sadeghioon et al. (2014)應用射頻(Radio frequency, RF)通訊技術於地下埋藏管線環境觀測，主要為電磁波通訊技術應用。另一方面，並蒐集 Maher et al. (2019)應用射頻通訊技術，進行水下通訊試驗，以評估通訊效能。蒐集到的文獻，應用條件各有不同，可作為本計畫後續研究參考，說明文獻蒐集成果如後。

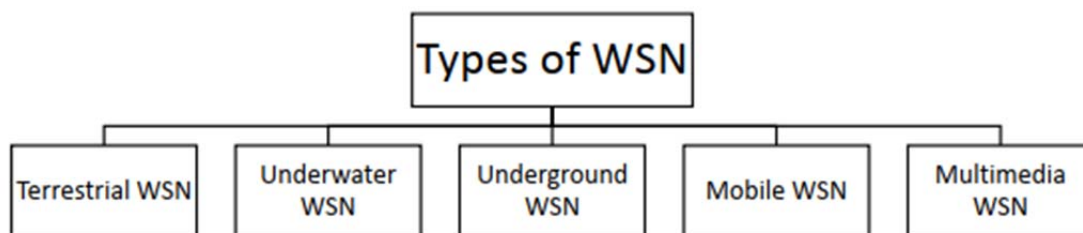


圖 6-48、無線感測網路分類(Ali et al., 2017)
Fig. 6.48 Classifications of WSN (Ali et al., 2017)

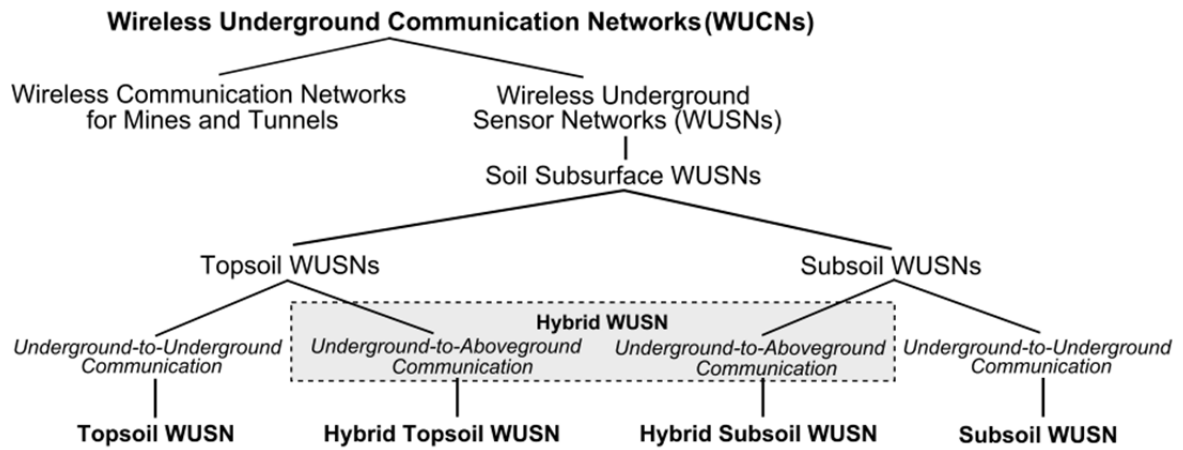


圖 6-49、地下無線通訊網路分類(Silva and Vuran, 2009)

Fig. 6.49 Classification of wireless underground communication networks (WUCNs) (Silva and Vuran, 2009)

表 6-12、地下物聯網(Internet of Underground Things, IoUT)通訊技術之)比較(譯自 Saeed et al., 2019)
Table 6.12 Comparison of underground communication technologies for IoUT (Saeed et al., 2019)

Parameters 參數	EM* 電磁波	Acoustic 聲波	MPT* 泥漿脈衝	MI* 磁感應	Wired 有線式	VLC* 可見光通訊
Transmission Range 傳輸距離	Few meters 數公尺	In hundred of meters 數百公尺	In hundred of meters 數百公尺	In tens of meters 數十公尺	In hundred of meters 數百公尺	In tens of meters 數十公尺
Attenuation 衰減	High 高	High 高	Medium 中	Low 低	Low 高	High 高
Interference 干擾	High 高	Medium 中	Medium 中	Low 低	Low 低	Low 低
Installation Cost 安裝成本	Medium 中	Medium 中	Low 低	Medium 低	Low 低	Low 低
Data rate 資料傳輸率	In tens of bps 數十位元每秒	In tens of bps 數十位元每秒	In tens of bps 數十位元每秒	In kbps 千位元每秒	In Mbps 兆位元每秒	In kbps 千位元每秒
Applications 應用	Agriculture, seismic exploration, and down-hole telemetry 農業、震波探勘、井下遙測	Seismic exploration, buried pipeline monitoring, and down-hole telemetry 震波探勘、埋藏管線監測、井下遙測	Down-hole Telemetry 井下遙測	Down-hole Telemetry 井下遙測	Down-hole telemetry and Buried pipeline monitoring 井下遙測、埋藏管線監測	Down-hole Telemetry 井下遙測
Advantages 優點	High data rate compare to acoustic and MPT systems, easy to install, and can be implemented in multi-hop fashion 資料傳輸率相較於聲波及MPT系統高、安裝容易、可以多點跳躍傳輸	Long transmission range and high data rate than MPT systems 傳輸距離長、資料傳輸率相較於MPT系統高	Long communication range and low installation cost 通訊距離長、安裝成本低	High data rate, support multi-hop communication, low interference, and low attenuation 資料傳輸率高、多點跳躍傳輸、干擾低、衰減低	High data rate, reliable, low latency, and accurate 資料傳輸率高、低延遲、精確	Low installation cost and low interference 安裝成本低、干擾低
Disadvantages 缺點	High attenuation and interference, limited transmission range, and require large antennas 高衰減及干擾、有限的傳輸距離、需要大天線	High attenuation and low data rate than EM, MI, wired, and VLC solutions 高干擾、資料傳輸率相較於電磁波、磁感應、有線式及可見光通訊低	Low data rate and high complexity 傳輸資料率低及高度複雜	Limited transmission range, need dense deployment, and orientation between the coils is required 傳輸距離有限、需要密集的佈建及線圈間的方向	High complexity and non-scalable 高度複雜及不可伸縮的	High attenuation, require line of sight, and can operate only if the underground medium is air 衰減高、需要視線(距)、只能運用於地下介質為空氣

*EM= electro-magnetic waves ; MI = magnetic-induction ; MPT = mud pulse telemetry ; VLC = visible light communication

一、Jo et al. (2017) 應用無線網路傳輸技術於地下礦坑環境品質觀測

Jo et al. (2017) 進行地下礦坑環境品質觀測時，採用以藍芽無線通訊技術為基礎的地下感測網路，藍芽訊號傳遞介質主要為空氣，其地下物聯網架構如圖 6-50 所示。圖中礦井深度約 23 m，礦坑長度約 250 m。整個系統包含一個基站，礦坑內布建 MN、SN 及 RN 等三種節點，透過藍芽通訊方式將觀測資料傳至地表的路由節點，最終回傳至後端伺服器。

MN 節點由礦坑內的人員攜帶，SN 節點負責觀測礦坑內環境品質，MN 可以發送人員相關緊急信號至 SN 節點。RN 節點負責接收由 SN 節點所獲取的資訊，並回傳至地表上的路由節點，再回傳至網路。MN、SN 及 RN 用於共享訊息。

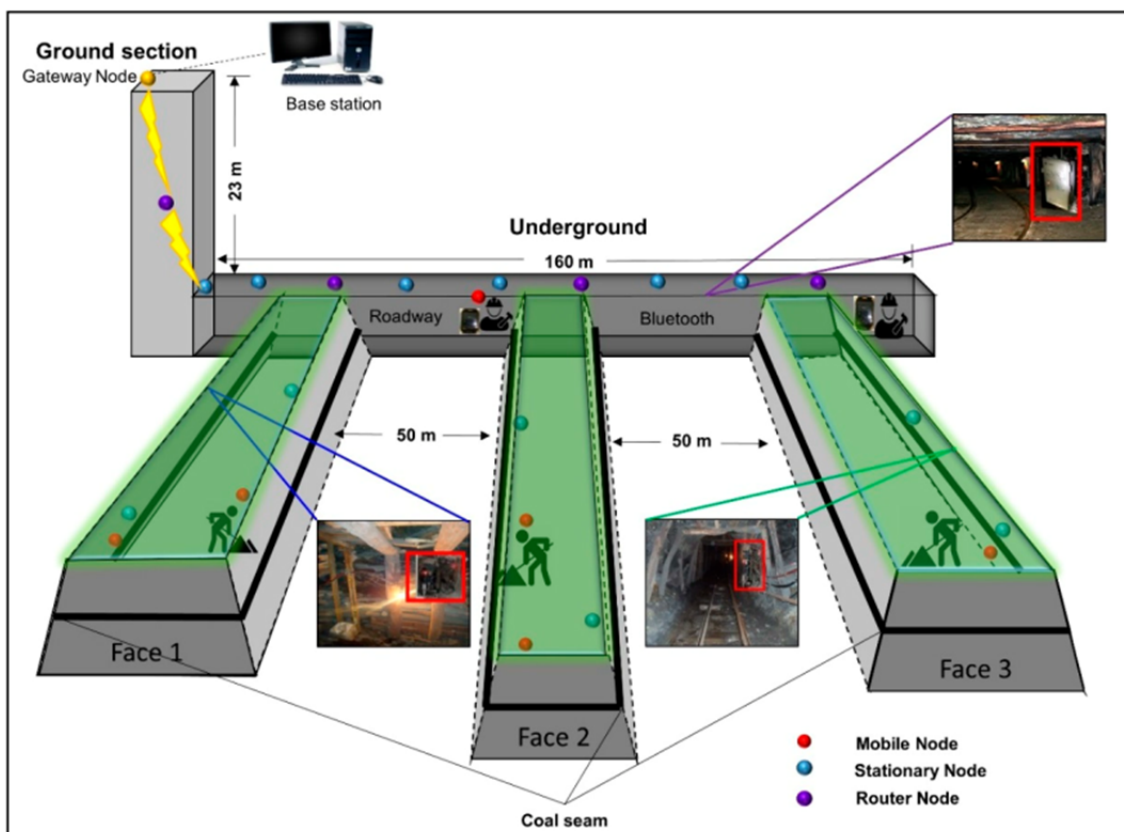


圖 6-50、Jo et al. (2017) 地下無線感測架構

Fig. 6.50 Layout of wireless underground sensor networks (Jo et al, 2017).

Jo et al. (2017) 之地下物聯網架構包含以下幾個部分：

- (一) 無線通訊模組：Jo et al. (2017) 考量低功耗需求，SN 及 RN 節點採用 Arduino 公司產製 ATmega32u4 BLE 藍芽微控制器，藍芽頻寬 2.4 GHz。
- (二) 感測器模組：利用美國 Onset 公司 HOBO U12-012 儀器進行溫度及濕度的

觀測。利用瑞典 VCP 公司 Gas Central CH4C 100 產品進行 CH₄ 氣體濃度觀測。利用美國 Amphenol 公司 Telaire 7000 產品及 Fluke 公司 Fluke CO-220，分別進行 CO₂ 及 CO 的氣體濃度觀測。並與 Arduino 藍芽微控制器模組連接，以 IDE 1.0.X Arduino AG 軟體，進行相關程式撰寫開發。

(三) 電力供應：採用礦坑本身提供的電力，提供地下物聯網 3~5 V 之電源。

圖 6-51 為 Jo et al. (2017) 地下礦坑之物聯網觀測成果，包含溫度、濕度、CH₄ 濃度及 CO₄ 濃度等部分，可供於防災管理參考。由 Jo et al. (2017) 之研究成果，顯示藍芽無線通訊為可應用於地下物聯網的技術之一。

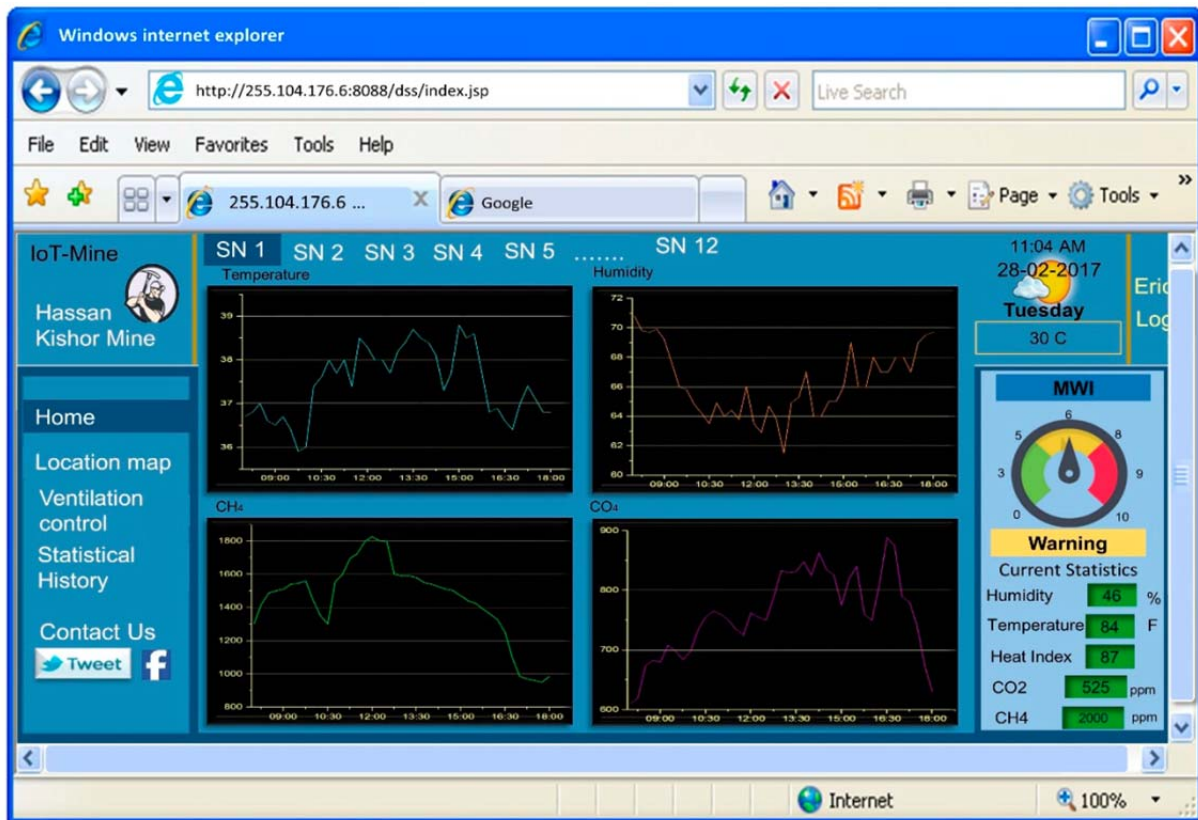


圖 6-51、Jo et al. (2017) 地下物聯網觀測成果，展示於網頁，提供防災管理參考
Fig. 6.51 Results of wireless underground networks technology, presenting on web for risk management (Jo et al, 2017)

二、Sadeghioon et al. (2014) 應用地下無線網路傳輸技術於埋藏管線觀測

Sadeghioon et al. (2014)進行地下埋藏管線滲漏(Leak)觀測研究時，研發一套智慧無線感測網路系統，主要於地下採用射頻(Radio frequency, RF)無線通訊技術，射頻訊號通過土壤介質。由於射頻於土壤的傳輸範圍遠低於空氣，因此傳輸條件更為嚴苛。Sadeghioon et al. (2014)之研究架構如圖 6-52 所示。圖 6-52 中每個感測節點 (Sensor node)之間，均透過射頻訊號進行通訊，每 4~5 個感測結點配置一個主節點 (Master node)透過射頻訊號進行通訊，並可將數據回傳至雲端。

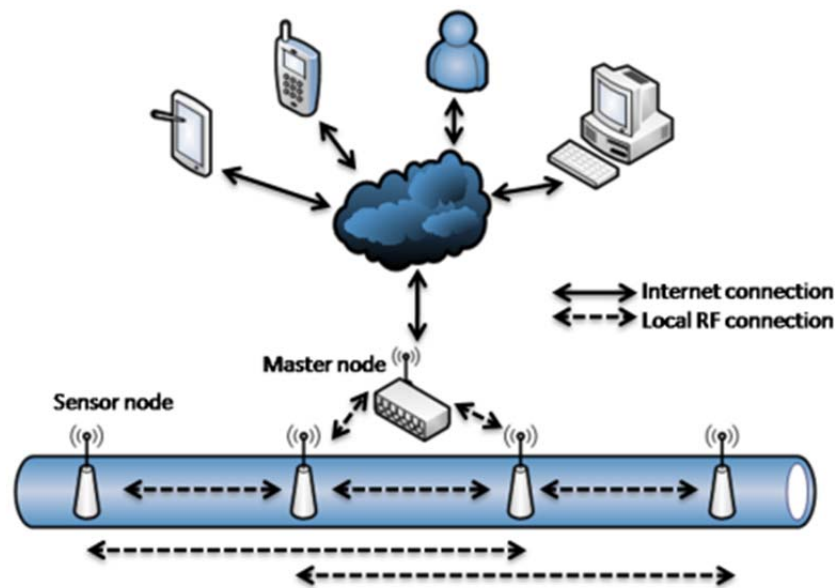


圖 6-52、Sadeghioon et al. (2014)地下無線感測架構

Fig. 6.52 Framework of wireless underground networks technology (Sadeghioon et al. 2014)

Sadeghioon et al. (2014)的地下感測節點主要包含以下四個單元：

- (一) **數據蒐集及處理單元**：採用微控制器單元(Micro Controller Unit, MCU)，負責從感測器蒐集量測數值、處理數據，並傳送到傳輸單元。考慮低功耗目標，MCU 採用型號 PIC16LF1827 之微控制器。
- (二) **傳輸單元**：在射頻收發器選用 eRA400TRS 433 MHz 模組，以低功耗為目標。
- (三) **電源管理單元**：負責將電池的電壓轉換為其他單元可用的電壓。
- (四) **感測器**：管線洩漏或堵塞可能會改變管線中的正常壓力，因此 Sadeghioon

et al. (2014)考量藉由觀測壓力，以識別潛在地異常狀況。在感測器部分，採用以力敏電阻(Force sensitive resistors, FSR)原理的壓力感測器，進行管線壓力的觀測。

圖 6-53 為 Sadeghioon et al. (2014)將感測節點佈置於地下管線之情形，除力敏電阻感測器外，並配置溫度感測器。觀測頻率部分，每個節點約 17 分鐘量測一筆資料，並將資料回傳至主要節點，再透過主要節點將資料上傳到網路。

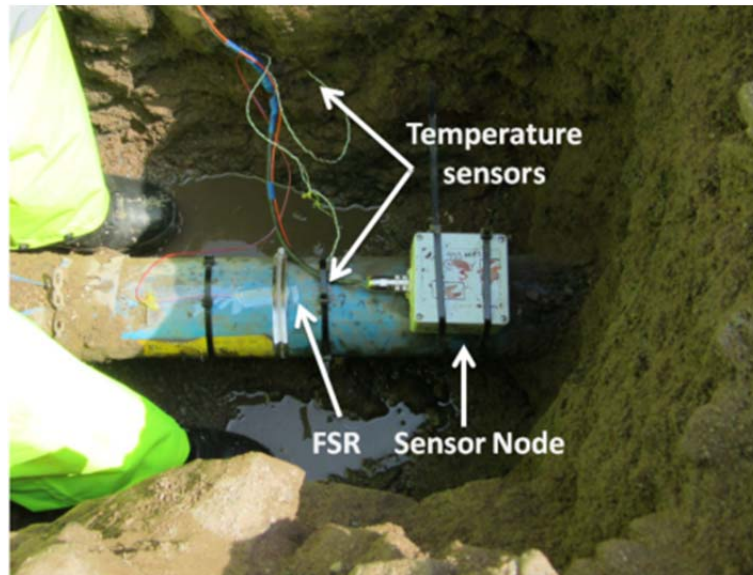


圖 6-53、Sadeghioon et al. (2014)設置地下感測及無線傳輸設備，以進行埋藏管線滲漏之地下無線觀測情形

Fig. 6.53 Installing sensors and wireless underground networks to observe leaking of pipes (Sadeghioon et al., 2014)

圖 6-54 為 Sadeghioon et al. (2014)採用地下無線傳輸技術之地下管線壓力觀測成果，在觀測期間內，管線開關被打開及關閉，以測試地下物線傳輸技術效果。由觀測結果發現，三天內的壓力數據，除了整個管線系統性的壓力變化外，可發現壓力有數次異常降低的情形，則反映管線異常洩漏的情形。

由 Sadeghioon et al. (2014)的研究成果發現，射頻技術具有應用於井內無線傳輸技術的潛力。但 Sadeghioon et al. (2014)的觀測期間較短，整體傳輸訊號的穩定性及電力消耗問題，尚需要進一步來研究。

此外，由於地下物聯網不易維護，無法使用普通電源，Sadeghioon et al. (2014)亦指出電力消耗為最具挑戰的部分，Sadeghioon et al. (2014)主要應用低功耗的相關產品，期以延長電池的運作時間，可作為後續研究參考。

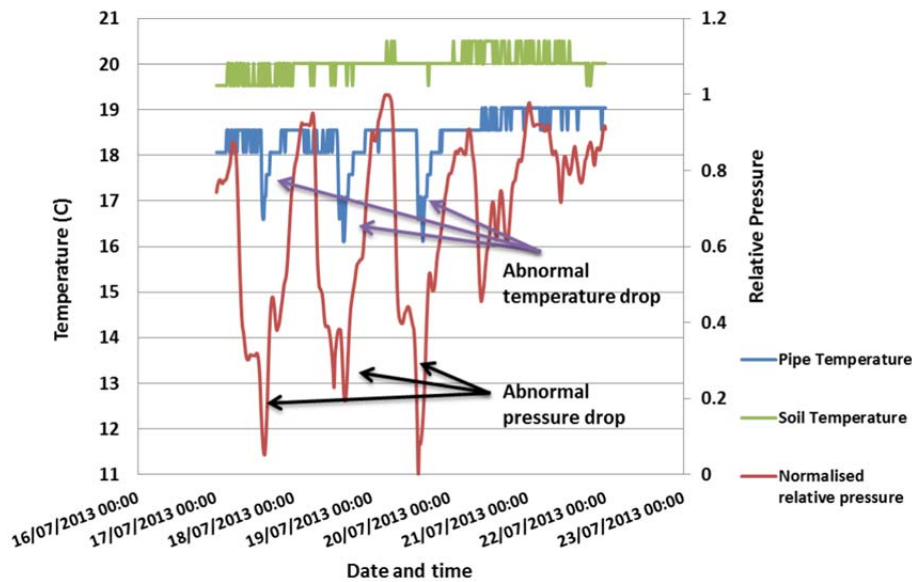


圖 6-54、Sadeghioon et al. (2014)採用地下無線傳輸技術之地下管線壓力觀測成果
Fig. 6.54 Results of pipe pressure by the wireless underground networks technology
(Sadeghioon et al., 2014)

三、Maher et al. (2019)水下物聯網試驗

Maher et al. (2019)利用射頻無線通訊技術，來進行水下物聯網效能的測試研究。Maher et al. (2019)進行研究之網路架構由兩個節點組成，一個為發送端，另一個為接收端，依據節點位置分為包含空-空傳輸、空-水傳輸、水-水傳輸等三種環境條件，如圖 6-55 所示。Maher et al. (2019)研發之節點，包含 Arduino 公司之 Uno 控制器模組、射頻模組(RF module)及電池。其中，在射頻模組部分，採用兩種頻率進行研究，包含 433 MHz(使用 RF 433 MHz module 產品)及 2.4 GHz(使用 nRF24L01 module 產品)。

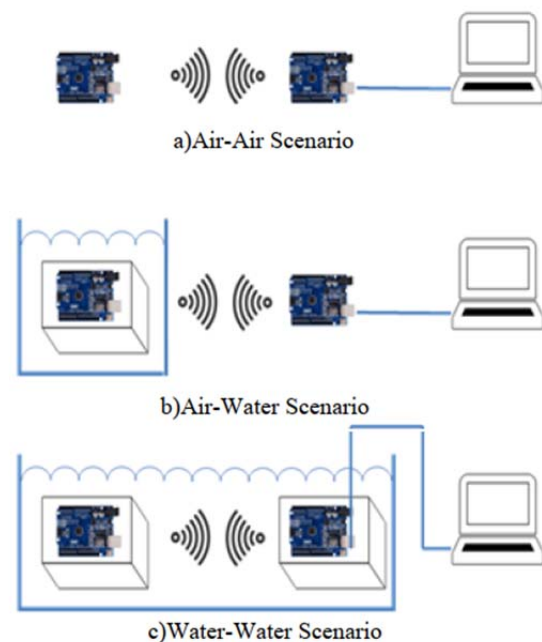
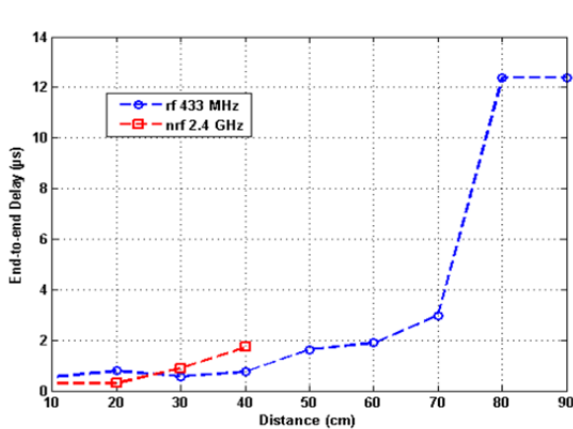


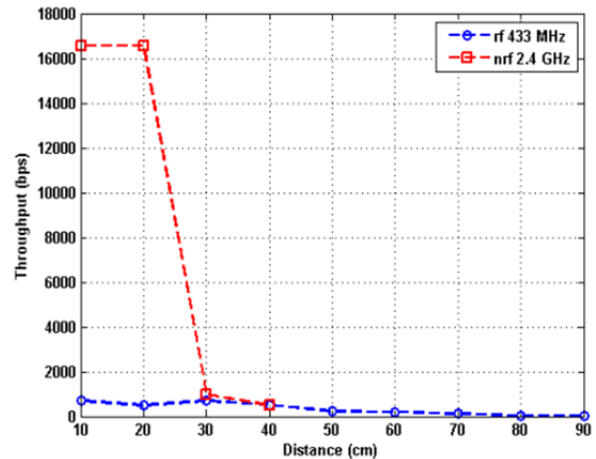
圖 6-55、Maher et al. (2019)物聯網試驗架構(a)空-空、(b)空-水及(c)水水場景
Fig. 6.55 Experimental setup (a) Air-Air Scenario (b) Air-Water Scenario, and (c) Water-Water Scenario (Maher et al., 2019)

圖 6-56 為 Maher et al. (2019)水下物聯網效能測試結果，將發送端及接收端等兩個節點均放置到水池內，深度約 25 cm。兩個節點的距離以每次 10 cm 的方式增加。

由圖 6-56(a)發現在 2.4 GHz 頻率下運行時，初始延遲較低，但到兩個節點距離達 40 cm 後，則無法再接收到任何正確的數據。另一方面，當使用較低的頻率時，433 MHz，到節點距離 40 cm 時訊號都尚屬保持穩定，但之後延遲明顯增加直到訊號中斷。圖 6-56(b)則顯示 2.4 GHz 頻率節點距離 40 cm 時吞吐量很高，但之後則有明顯的衰減。至於 433 MHz 頻率的吞吐量的衰減量較低，且無數據中斷情形。由 Maher et al. (2019)的試驗結果發現，利用射頻訊號來進行水下通訊，為可能的技術之一。其中，射頻訊號的頻率高低會影響通訊效能，未來若要發展井內無線傳輸技術，需進一步研究。



(a) 資料延遲隨節點距離增加變化情形



(b) 吞吐量隨節點距離增加變化情形

圖 6-56、Maher et al. (2019)水下物聯網試驗結果

Fig. 6.56 Test results of wireless underwater networks technology (Maher et al., 2019)

6.3.3 物聯網技術適用性研究(現地測試)

一、物聯網技術規劃

(一) 現地測試地點：本年度計畫挑選新北市烏來地區忠治籃球場，作為物聯網技術測試場址。有關忠治籃球場現況，請參閱 6.2.2 節說明。烏來地區曾於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風，因區域纜線中斷，形成通訊孤島。若應用低功耗廣域網路 LPWAN 的長距離通訊或非授權頻譜方法(不須透過通訊業者進行點對點傳輸)，將資料回傳到更遠的基地台，應為可能解決方案。

(二) 物聯網技術及量測物理量：

1.物聯網技術：本年度(2019 年)計畫進行文獻蒐集，評估採用 LoRa 之低功耗廣域網路 LPWAN 技術進行現地研究測試。本年度計畫選用之 LoRa 設備為西班牙 Worldsensing 公司之 Loadsensing 通訊設備。一般而言，無線傳輸相對於有線傳輸，主要缺點為訊號的穩定性以及傳輸距離具有較大的不確定因素，尤其在傳輸途徑中存在障礙物的情況下，傳輸距離往往可由數 km 衰減至 200 m 以內，甚至在 100 m 以內。然而 Loadsensing 通訊設備除了具有 LoRa 技術基本應有之長距離以及低功耗特性以外，其消除雜訊之能力相對於一般 LoRa 設備較強，因此在訊號傳輸的途徑中即使遭遇障礙物，訊號的有效傳輸距離也不容易大幅衰減。Loadsensing 通訊設備之基本規格彙整如表 6-13 所示，規格型錄詳附錄七所示。

2.量測物理量：本計畫之物聯網技術現場布建於忠治籃球場，並透過裂縫計的變位量作為物聯網技術測試之物理量變化，整體物聯網架構如圖 6-57 所示，平面配置位置圖 6-58，現場物聯網布建情形如圖 6-59 所示。

其中，圖 6-59(b)為儀器接收端，圖 6-59(c)為 LoRa 節點。LoRa 節點擷取裂縫計之變位資料，再將資料回傳至儀器接收端，再傳回後端伺服器(中華電信)。由圖 6-59(b)之配置位置可知，將儀器接收端與 LoRa 節點裝設位置有約 5 m 之高差，以了解兩端儀器之傳輸路徑是否會因高差及受到部分植被遮蔽而影響通訊傳輸，故須進行功能性測試以確認資料接收與發送之穩定性。

表 6-13、Load sensing 通訊設備基本規格
Table 6.13 Specifications of Load sensing communication equipment

項目	規格
使用頻段	1GHz 頻段
傳輸距離 (當主機位於良好之制高點時)	節點與主機可直接通視時：15km 節點位於市區建築物間：2km 節點位於地面下：1km
功耗	Gateway(資料蒐集主機)：3W Reader(資料紀錄器，以最簡易之 LS-G6-PICO 型號為例)： 頻率為 5 分鐘時：鋰電池約可維持 3.5 月 頻率為 1 小時時：鋰電池約可維持 3 年
可測讀之訊號型式	包括防災監測常見之各類訊號： 電壓、電流、電阻(包括全橋電路及可變電阻之比例式訊號)、振弦頻率、脈衝(計數)、熱敏電阻等 (不同資料紀錄器對應之訊號類型不同，頻道數亦從 1~5 個以上不等，可視監測儀器類型選用)

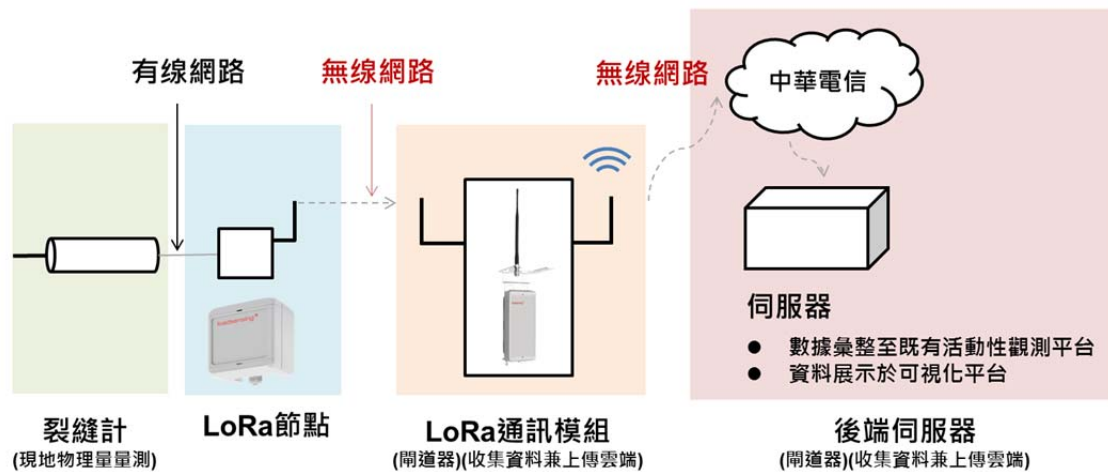


圖 6-57、物聯網布建架構

Fig. 6.57 Structure diagram of developing the internet of things

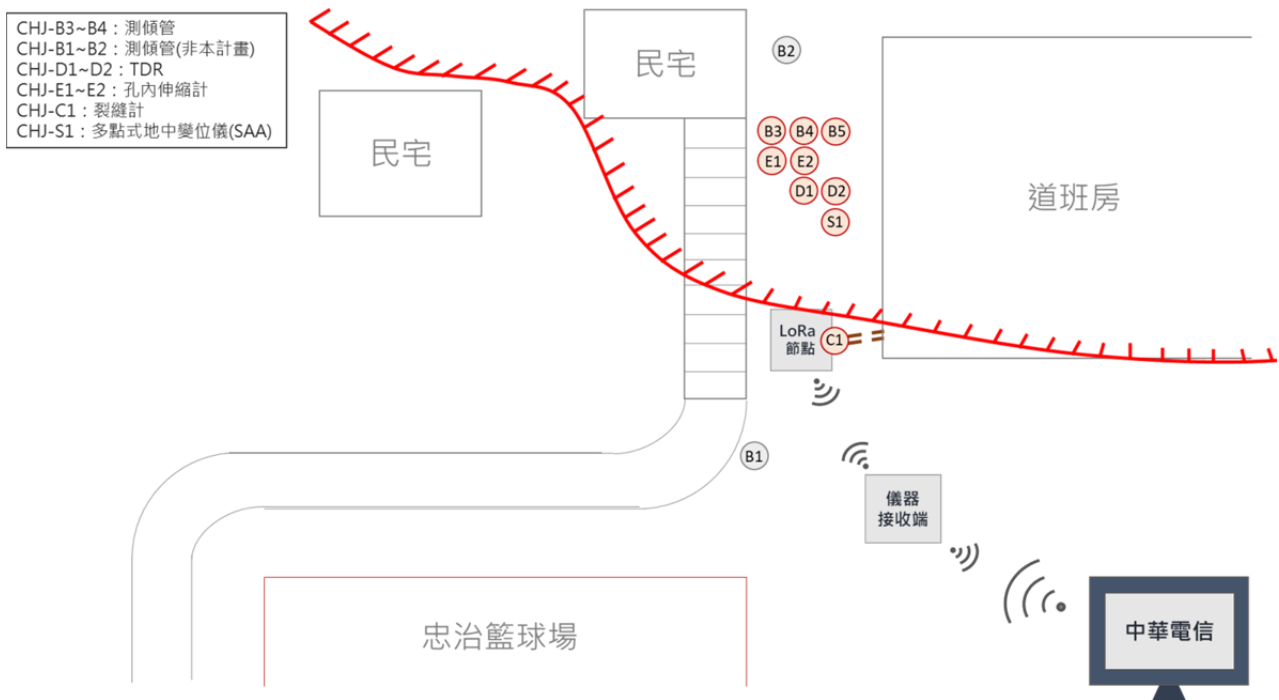


圖 6-58、忠治籃球場物聯網布建配置平面示意圖

Fig. 6.58 Illustration of installing the internet of things at Zhongzhi basketball court



(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 6-59、忠治籃球場物聯網布建配置情形

Fig. 6.59 Installing process at Zhongzhi basketball court

二、物聯網技術布建

本年度(2019年)計畫依照文獻蒐集後，選用 LoRa 之低功耗廣域網路 LPWAN 技術，作為本年度計畫物聯網技術適用性研究之目標。由本計畫經資料蒐集及現地勘查後認為新北市烏來地區的忠治籃球場為近期內有潛在邊坡活動徵兆，且周遭有結構物可配合進行觀測，適合作為現地測試之場址。本年度計畫主要於忠治籃球場布建 1 處以 LoRa 物聯網通訊技術為基礎的裂縫計，編號 CHJ-C1，透過功能性測試來確定儀器之可用性，再由後端伺服器確認接收之變位是具有可靠性，最終將變位以視覺化之方式呈現於活動性觀測平台，提供未來遠端觀測。說明成果如下：

- (一) **現地物理量量測**：本年度計畫於忠治籃球場布建之物聯網技術，採自動化方式量測，每 5 鐘記錄一筆資料。布建之物聯網觀測儀器為裂縫計，編號 CHJ-C1，針對現場結構物裂縫進行量測。量測資料採物聯網運作，包括資料主動發送及接收功能，並將資料上傳至雲端系統整合，與有線傳輸方式配合併行。
- (二) **數據彙整至既有活動性觀測平台**：以自動化回傳資料方式運行，含後台資料庫整合。
- (三) **將資料展示於可視化平台**：本年度計畫於忠治籃球場布建之物聯網觀測系統，除採自動化方式觀測，回傳至後端伺服器。本計畫並將現地即時觀測資料，以視覺化方式呈現，並展示於可視化平台，如圖 6-60 所示，以利查看物聯網觀測成果。

承上所述，目前於可視化平台提供提供每日、每週、每月、每年及歷史資料展示服務。圖 6-60(a)所展示為目前安置於忠治籃球場之物聯網觀測系統，本系統可點選進入想瞭解之觀測儀器，進入後可得儀器狀態並同時展示不同時間區間之變位，如圖 6-60(b)~(d)所示，分別展示近一日變位量、一週變位量及一個月之變位量，亦可自行調整所需時間區間，觀測區間內之變位量，如一年之變位量。並同時與其他監測系統之變位量進行比對，如圖 6-60(e)所示，張裂計可同時孔內伸縮計進行比較。

(四) 物聯網技術適用性研究：本年度計畫為研究物聯網技術適用性，進行量測資料可靠度、漏失率比較。可靠度主要為裂縫計產生變位後，觀察變位量傳回儀器接收端，再傳回後端伺服器之資料是否相同，同時了解資料傳送及接收之即時性。確認資料具可靠度之後，即可進行漏失率測試。由長時間監測後端伺服器之資料變化，並同時與現地的雨量變化進行比較，若接收之資料變化趨勢和雨量變化趨勢相似，即當雨量增加時，邊坡應較容易產生滑動，使裂縫計量測變位增加，查看後端伺服器所獲得之資料也同為增加時，代表資料無漏失，可確實反映裂縫計應有之變化。

1.可靠度：測試方式為於儀器接收端拉伸 6 次，每次增加 10 cm 之方式，同時查看後端伺服器數據之變化。接收之資料為電位量，非實際變位長度，須乘上單位長度 100 cm 即為變形量(長度單位為公分)。變化過程詳如表 6-14 所示，可觀察部分接收變位量之誤差約為 1.00 cm，此誤差可能為人為拉伸裂縫計，並以皮尺進行量測所造成之誤差。此外，透過拍攝照片時間與後端伺服器比對接收時間可知，接收數據快速，具即時性。由此可知，本計畫在透過物聯網技術下，於儀器接收端接收裂縫計之變位量後，可快速回傳至遠端伺服器，且誤差小於 1.00 cm，資料可靠度高，應可作為即時性監測。

2.漏失率：本計畫透過數日的資料接受來觀察其位移點位密集程度及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 6-61 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。

故本計畫於物聯網技術下所安裝之裂縫計回傳資料量密集、漏失率低，適用於遠端監測。後續若能持續長期監測，可觀測日雨量變化與位移量變化是否有相同之變化趨勢。另，亦可與氣溫、相對溼度、風速、風向等資料進行比對，觀察與位移量之關係。



(a) 視覺化活動性觀測系統：忠治籃球場地區



(b) 每日變位圖



(c) 每週變位圖



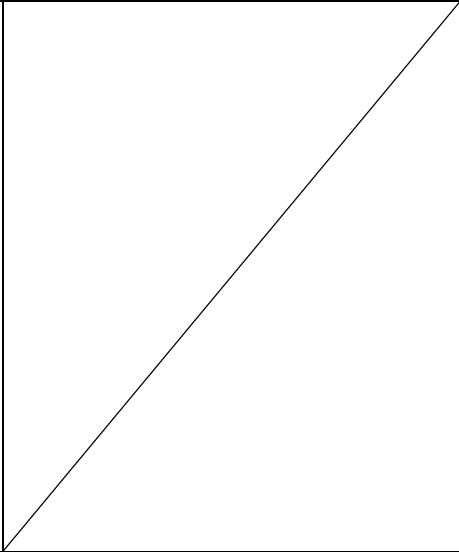



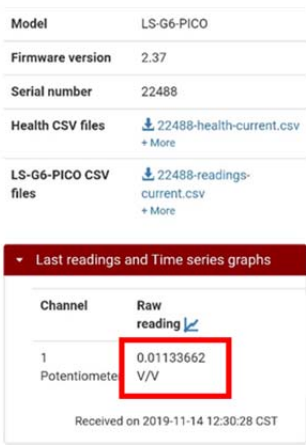
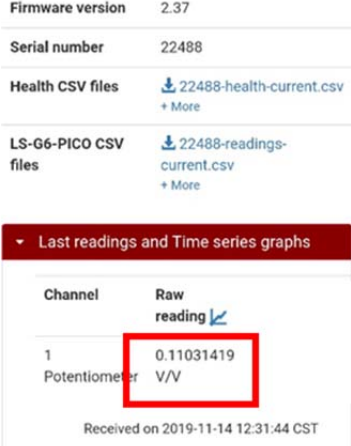
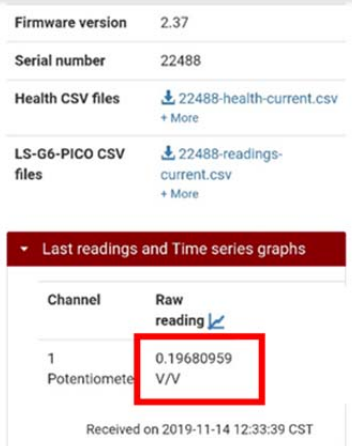
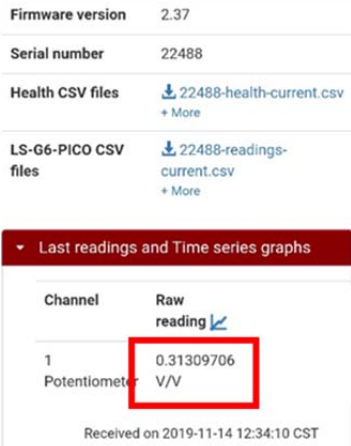
(d) 每月變位圖




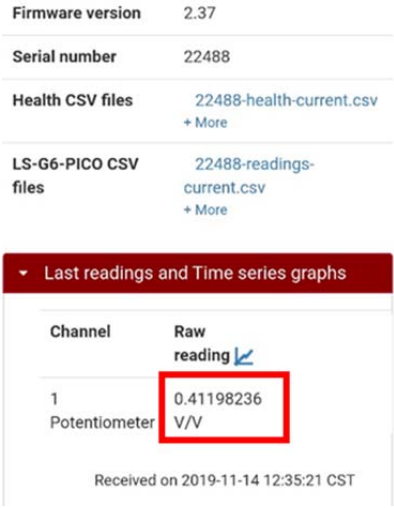
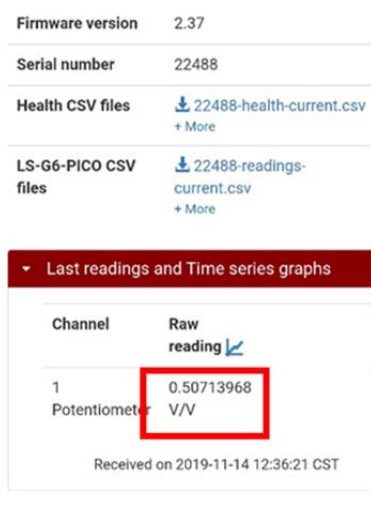
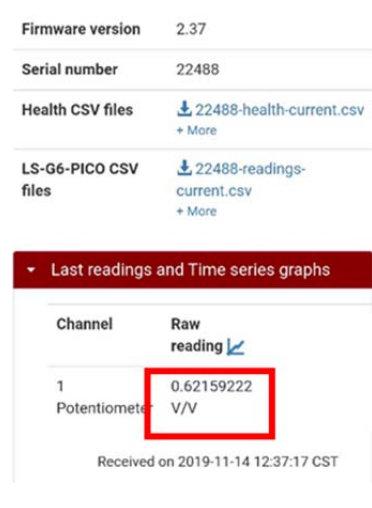


(e) 可與其他監測系統比對

圖 6-60、資料展示於可視化平台
Fig. 6.60 Monitoring system on visual platform

表 6-14、可靠度測試變化過程
Table 6.14 Reliability test in progress

拉伸量	0 cm	10 cm	20 cm	30 cm
接收端				
		拍攝時間：2019.11.14 12:31	拍攝時間：2019.11.14 12:33	拍攝時間：2019.11.14 12:34
接收數據 (變位量)				
	初始值=1 cm	10 cm	19 cm	30 cm

拉伸量	40 cm	50 cm	60 cm
拉伸量 拉伸量	 <p>拍攝時間：2019.11.14 12:35</p>	 <p>拍攝時間：2019.11.14 12:36</p>	 <p>拍攝時間：2019.11.14 12:37</p>
接收 數據 (變位量)	 <p>40 cm</p>	 <p>50 cm</p>	 <p>61 cm</p>

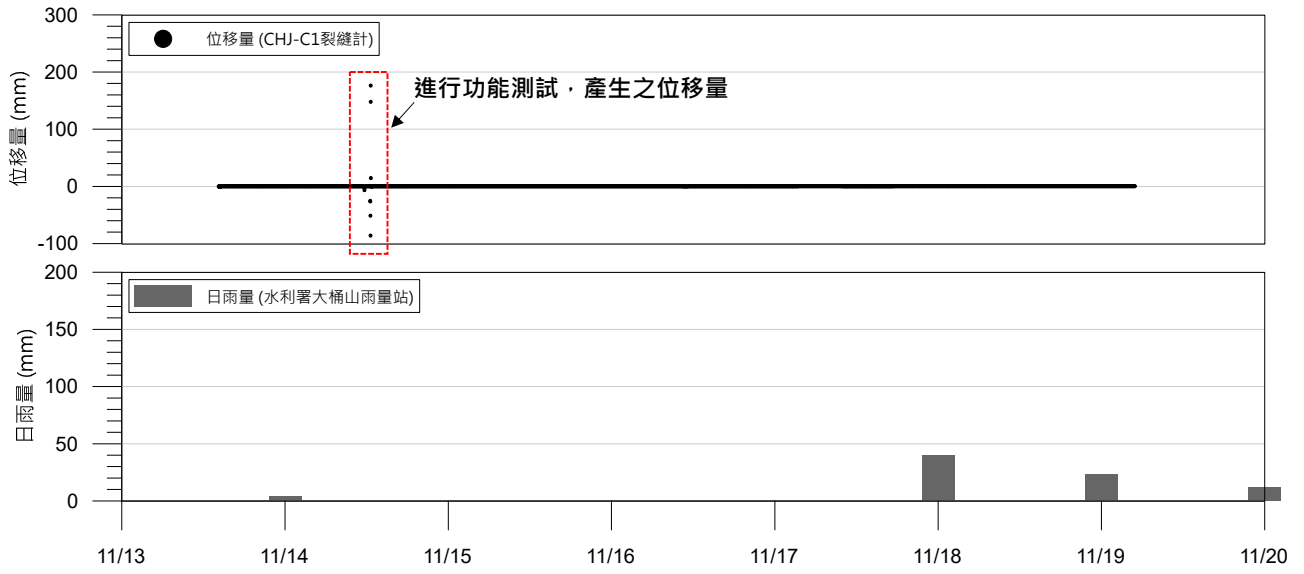


圖 6-61、漏失率測試
Fig. 6.61 Test of loss rate

第七章、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

本章主要包含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、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修、國內外技術交流等，依序說明如下。

7.1 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

本節主要包含入口網站伺服器租用及資料備份、活動性觀測平台精進、山崩活動性觀測成果智慧應用推廣等，詳情如下。

7.1.1 入口網站伺服器租用及資料備份

考量展示網頁頻寬及資料備份需要，本計畫將活動性觀測資訊平台之後端伺服器，放置於電力供應穩定及網路順暢之機房，並定期備份。本計畫租用「中華電信 hicloud 雲端虛擬主機」，作為本計畫之後端伺服器，其運作於電力供應穩定及網路順暢之機房，可減少因停電或主機故障導致系統無法運作之機會，符合本計畫長期觀測使用需求，利於相關管理人員操作及提升穩定性，如圖 7-1 所示。

此外，活動性觀測資訊平台啟用迄今，已累積豐富、大量的資料，本計畫將延續前期計畫成果，持續定期備份及異地備援機制，以確保資料安全，備份情形如圖 7-2 所示。

hicloud > hicloud CaaS雲端運算

雲伺服器 (列表管理) 青山工程_Server2

雲伺服器資訊 網路卡資訊 備份計畫 雲伺服器監控 開關機使用狀態圖

青山工程_Server2
ID: BV550163860002

資訊

運作狀態: 已開機
 承租狀態: 已承租
 登入帳號/預設密碼: administrator
 產品名稱: 標準型 L(Windows)
 作業系統: Windows 2012 Standard cht, 64bit
 規格: 4 virtual core [等同於4GHz運算能力], 8 GB 記憶體
 系統硬碟空間: 一般硬碟 100 GB
 區域: 第一區域
 Zone: CaaS第一區
 雲伺服器監控週期: 5分鐘 (免費) | 1分鐘 (與附加費用外付費)

加值服務

儲存空間: 掛載
 負載平衡: 加入負載平衡
 防火牆: BF550163860004(Server2防火牆, 起租日期 2017/06/28 12:21:01)

持續租用中

開啟雲伺服器Console

下載RDP檔

訂單資訊

訂單編號: 1416193
 名稱: 青山工程_Server2
 申請日期: 2017/06/28 09:21:24
 起租日期: 2017/06/28 09:23:04
 已使用: 882天 4小時 32分
 網路技術/管理聯絡人: 青山工程顧問股份有限公司

圖 7-1、租用中華電信 hicloud 雲端虛擬主機

Fig. 7.1 Hiring the Chunghwa Telecom hicloud cloud web hosting

hicloud > hicloud CaaS雲端運算

雲伺服器 (列表管理) 青山工程_Server2

雲伺服器資訊 網路卡資訊 備份計畫 雲伺服器監控 開關機使用狀態圖

備份計畫資訊

名稱: 3份備份 雲伺服器移出備份計畫
 描述: 最大備份歷史份數 3份/備份對象 * 當備份數量到達上限時, 系統將自動刪除尚未設定保留中的最舊一份備份
 排程時間: 在 0:50 AM, 僅在 星期一 和 星期四
 計畫停用時間: 永遠不要
 異地備份

備份列表

青山工程_Server2

定期備份中

備份名稱	ID	製作時間	雲伺服器名稱	狀態	異地備份	保留
BU5501638600B1	BU5501638600B1	2019/11/18 00:54:43	青山工程_Server2	● 備份完成	---	---
BU5501638600B5	BU5501638600B5	2019/11/21 01:01:29	青山工程_Server2	● 備份完成	---	---
BU5501638600B9	BU5501638600B9	2019/11/25 00:54:50	青山工程_Server2	● 備份完成	---	---

圖 7-2、自動化觀測系統資料定期備份

Fig. 7.2 Regular backup of automatic observation system data

7.1.2 活動性觀測平台精進

本年度(2019年)計畫活動性觀測平台精進，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，說明如下：

一、**觀測成果網頁改版**：包含必要觀測頁面改版、系統運作軟體、自動化觀測資料接收程式及資料庫程式等。

(一) **新增觀測儀器觀測頁面擴充**：本年度計畫因應廬山聚落新增二孔測傾管 LS-B7、LS-B8，於該觀測平台擴充觀測頁面，以地圖化方式呈現測傾管位置，並增加觀測成果連結，屆時可以上網瀏覽最新觀測成果，成果如圖 7-3 所示。

(二) **觀測平台功能擴充**：原觀測平台之地圖展示網頁預設展示前期計畫共 31 處調查區之位置，可供點選，以查看觀測成果。配合本年度計畫針對 8 處調查區持續觀測，需要進行更新檢整，若刪除其他調查區網頁，甚為可惜。故本計畫針對觀測平台進行功能擴充，將其分為本期計畫及前期計畫等兩部分按鈕。本期計畫網頁為預設畫面，可點選本年度計畫 8 處調查區，並查看觀測成果。至於點選前期計畫按鈕後，則可進入其餘調查區之觀測頁面，提供查看觀測成果功能，如圖 7-4 所示。

二、**政府開放資料服務功能加值應用**：前期計畫已進行中央氣象局之雨量資料介接，輔助警戒應變。本年度計畫進一步介接中央氣象局提供之地震資訊，成果如圖 7-5 所示。主要為介接中央氣象局提供之地震資訊，可進一步查看中央氣象局提供之詳細地震報告，包含震度分布、規模及震央等，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，提供後續相關工作參考。

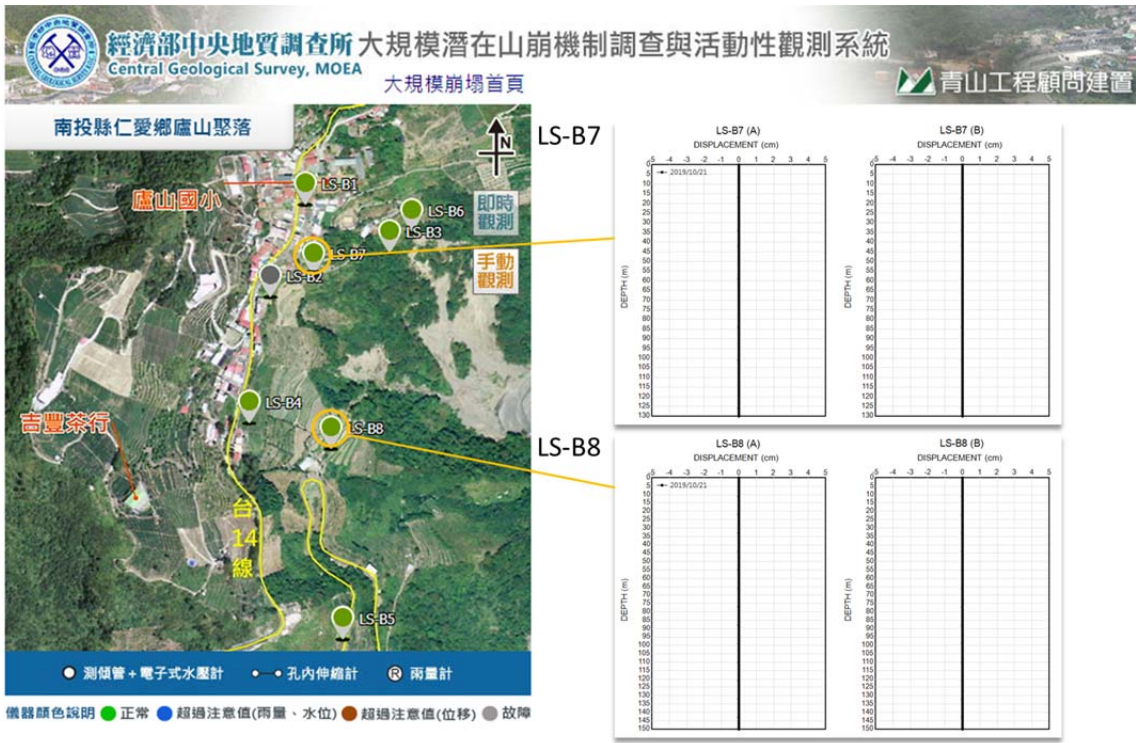
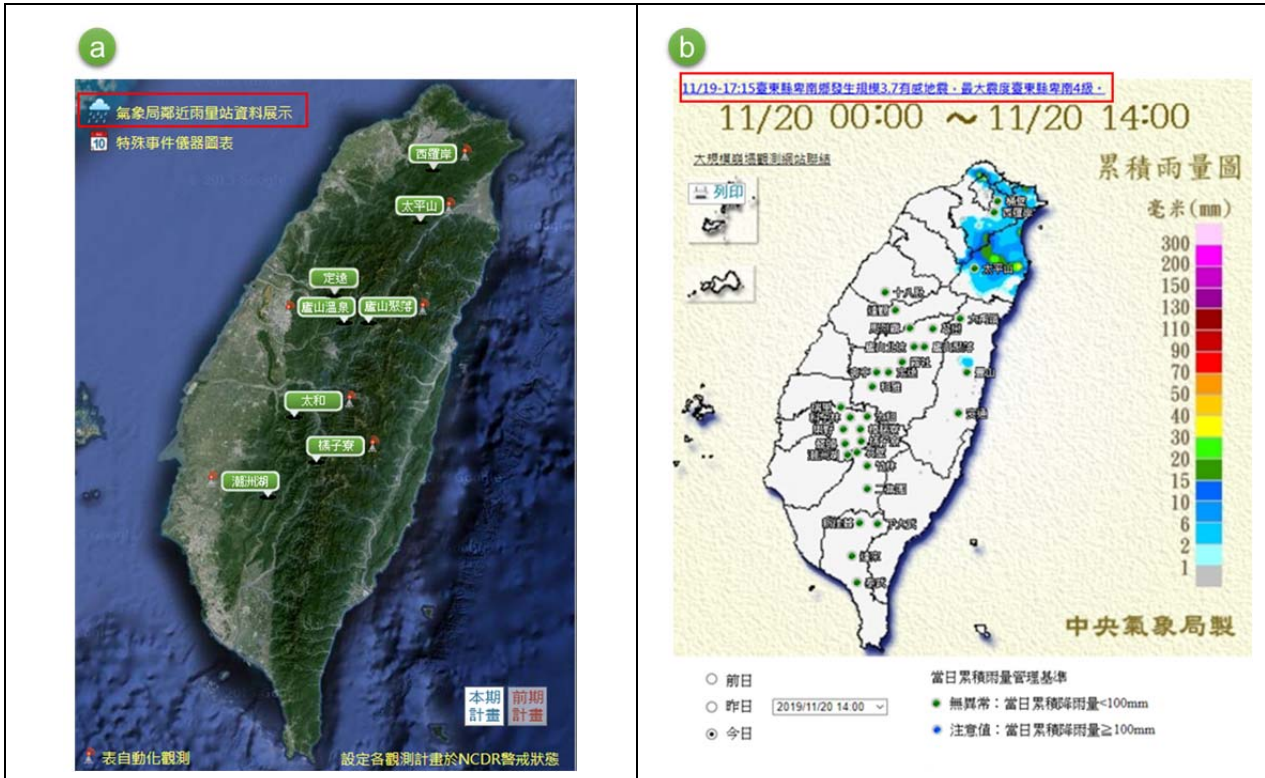


圖 7-3、廬山聚落觀測網頁擴充(新增 LS-B7、LS-B8 測傾管觀測成果網頁)
 Fig. 7.3 Expansion of web page at Lushan settlement



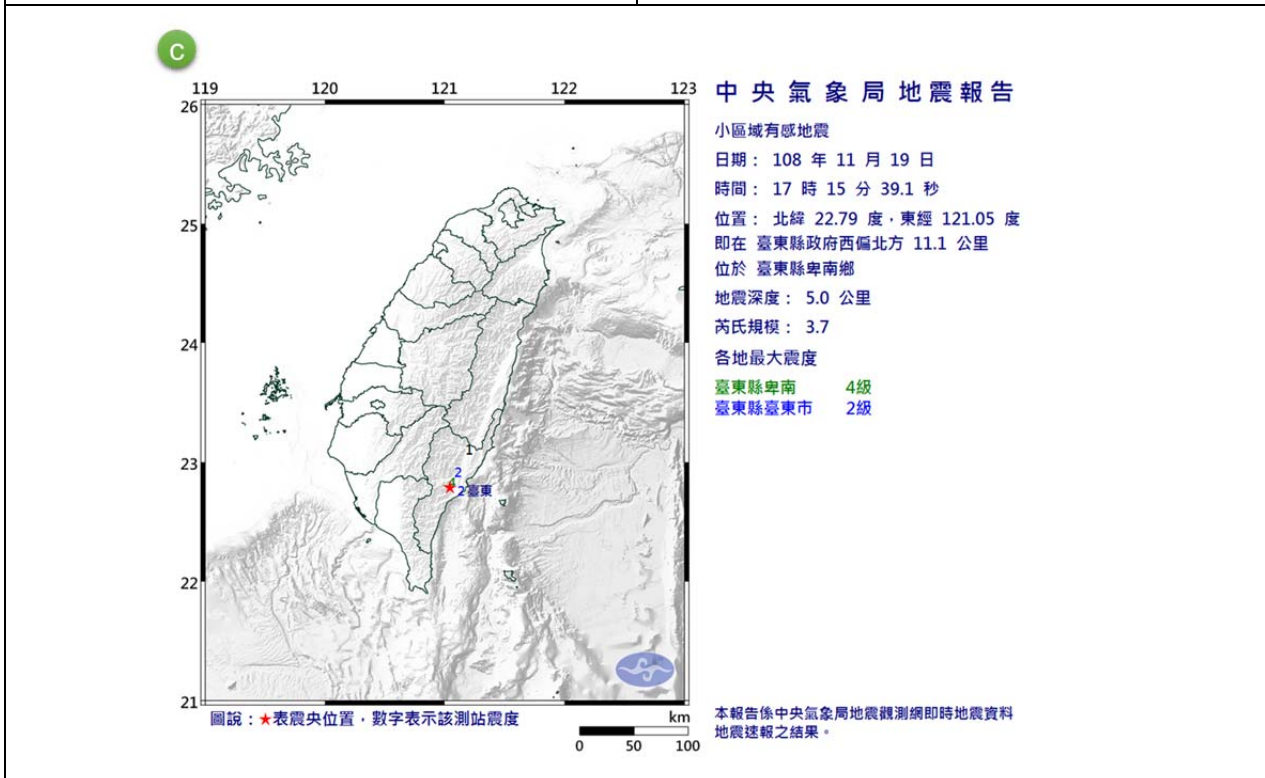
(a) 本年度計畫，包含 8 處調查區及本年度觀測成果 (b) 前期計畫，可查看其餘調查區觀測成果 (預設畫面)

圖 7-4、潜在山崩活動性觀測平台改版，分為本期計畫及前期計畫兩部分點選查看
 Fig. 7.4 The expansion of potential landslide activity observation platform. The platform is divided in to 2 parts, including continue to observation and previous plan investigation areas



(a) 由觀測平台首頁，點選紅框處入查看地震資訊

(b) 由(a)頁面點選紅框進入後，可查看最新地震訊息，如上圖紅框標示處



(c) 再點選圖(b)紅框處，可進一步查看中央氣象局提供之詳細地震報告

圖 7-5、介接中央氣象局提供地震資訊成果

Fig. 7.5 Interfacing the earthquake information provided by Central weather bureau

7.1.3 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣

前期計畫建置之「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，例如即時儀器警戒燈號、觀測網頁或觀測數據等。本年度計畫持續維護相關功能，說明如下：

一、國家災害防救科技中心 NCDR 「災害情資網」

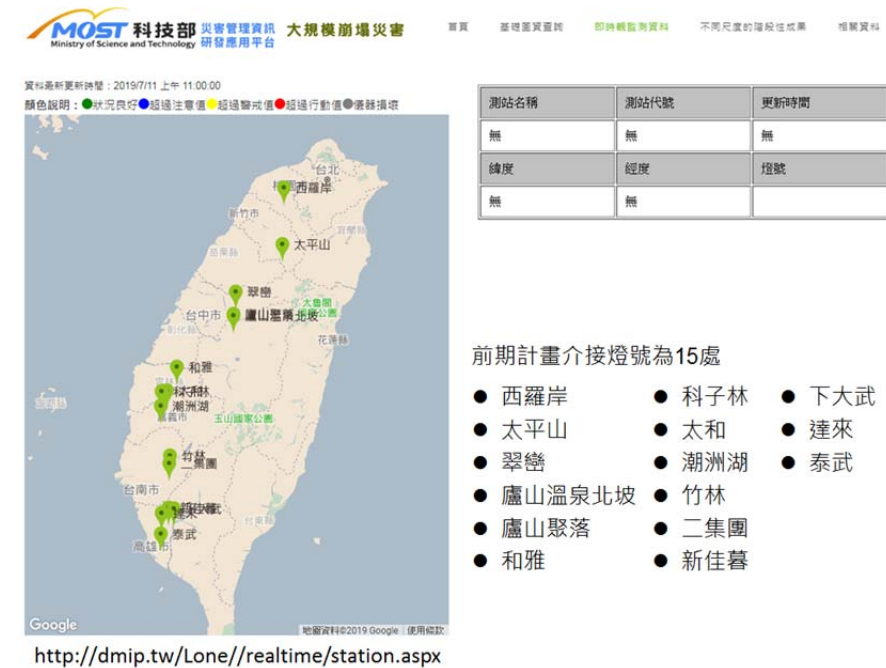
本年度(2019 年)計畫主要維護國家災害防救科技中心 NCDR 「災害情資網」(<http://ceocdss.ncdr.nat.gov.tw/web/>)介接本計畫西羅岸調查區觀測成果，包含觀測資料及警戒管理燈號等，使功能持續正常運作，如圖 7-6 所示。

二、科技部「災害管理資訊研發應用平台」

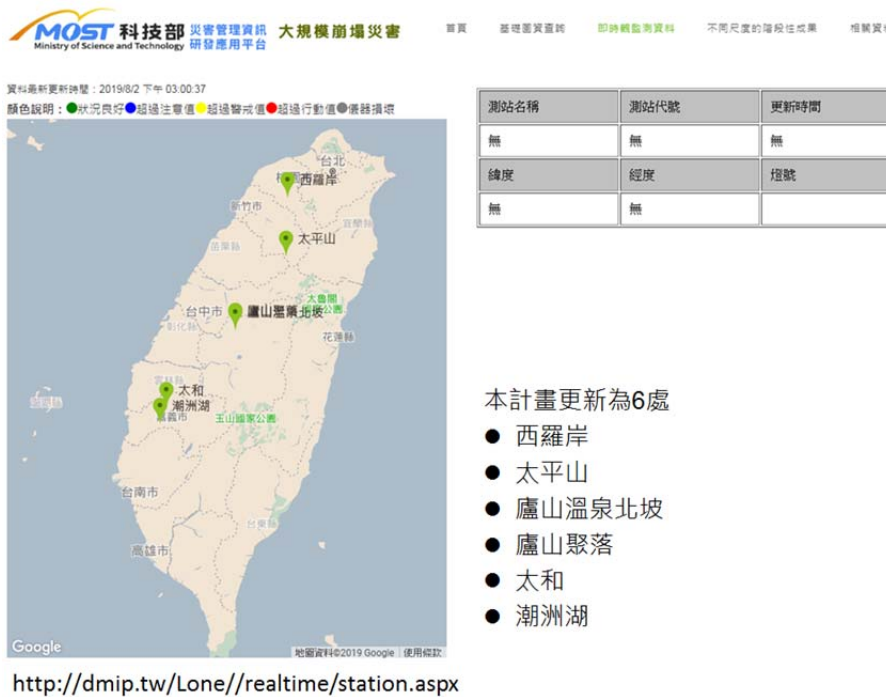
本年度計畫針對前期計畫提供科技部「災害管理資訊研發應用平台」(<http://dmip.tw>)介接調查區警戒管理燈號，配合本計畫調查區數量，進行檢整，並請相關人員協助更新網頁，如圖 7-7 所示。



圖 7-6、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
Fig. 7.6 Providing the interface service of observation data and early warning light of Hisloan area to NCDR



(a) 更新前



(b) 更新後

圖 7-7、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更新情形
 Fig. 7.7 Updating of management indicator amount of survey area, which is interfaced to the disaster management information development and application platform of the Ministry of Science and Technology
 (網址：<http://dmip.tw>)

7.2 潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修

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」(詳附錄六)，本計畫執行期間(2019~2022 年)，將於網路社群平台或相關活動，持續推廣，並進行勘誤。本年度(2019 年)計畫勘誤情形如表 7-1 所示，主要針對手冊圖 2-8 中，原照片 3 位置修正為照片 2，及補充照片 3 位置，如所示。

表 7-1、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊勘誤表

Table 7.1 Modified list of the manual of investigation and observation technology for potential large-scale landslide

項次	手冊位置	原文	更正	勘誤日期
1	P.27, 表 2-6, 第六列, 第三欄	<u>介壽國中</u>	<u>桃117線0k+500</u>	2018/12/19
2	P.27, 表 2-6, 第卅八列, 第三欄	<u>中山大學</u>	<u>西子灣</u>	2018/12/19
3	P.27, 表 2-6, 第卅四列, 第三欄	<u>中間解說站</u>	<u>宜專一線6~8k</u>	2018/12/19
4	P.84, 表 3-4, 第三列第五欄	廬山 <u>部</u> 落	廬山 <u>聚</u> 落	2018/12/19
5	P.111, 圖 3-40	圖 3-40 利用即將斷管之測傾管，安裝孔內伸縮計，延續位移觀測功能（廬山 <u>部</u> 落）	圖 3-40 利用即將斷管之測傾管，安裝孔內伸縮計，延續位移觀測功能（廬山 <u>聚</u> 落）	2018/12/19
6	P.156, 倒數第二行	5. 林錫宏、紀宗吉、費 <u>力</u> 沅（2016），「掌握山崩的前兆」，科學發展，524期，pp.26-33。	5. 林錫宏、紀宗吉、費 <u>立</u> 沅（2016），「掌握山崩的前兆」，科學發展，524期，pp.26-33。	2018/12/19
7	P.31, 圖 2-8	照片 <u>3</u> 位置	修改為照片 <u>2</u> 位置，並補充照片 <u>3</u> 位置	2019/11/27

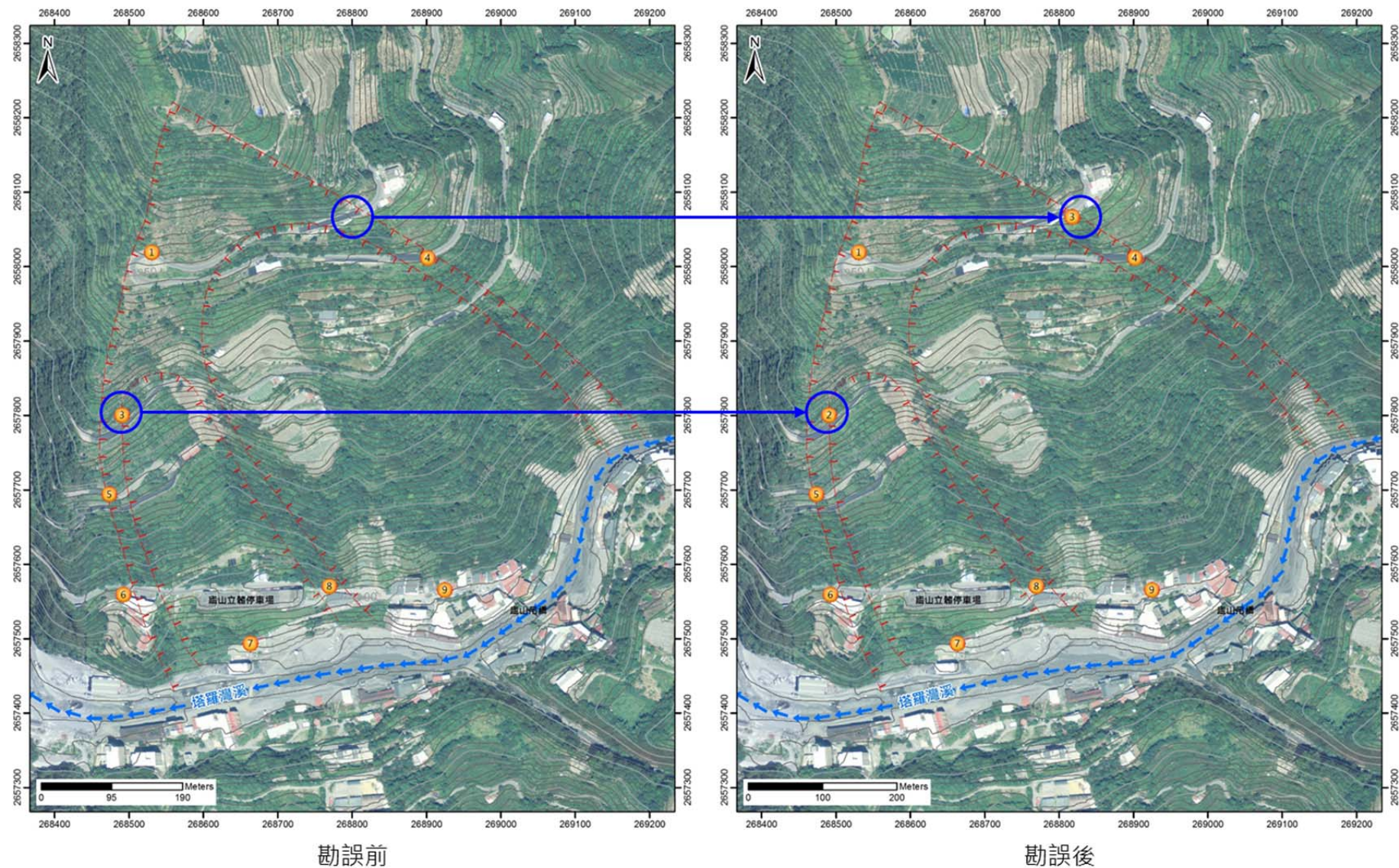


圖 7-8、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊修正圖 2-8 情形

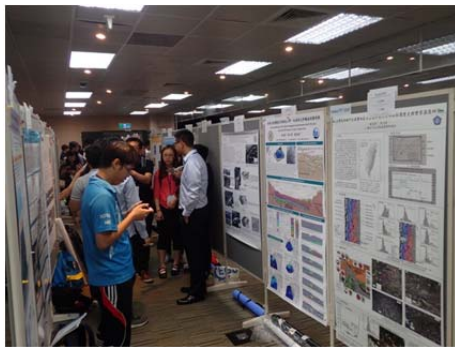
Fig. 7.8 Modifying the Fig. 2.8 in the manual of investigation and observation technology for potential large-scale landslide

7.3 國內外技術交流

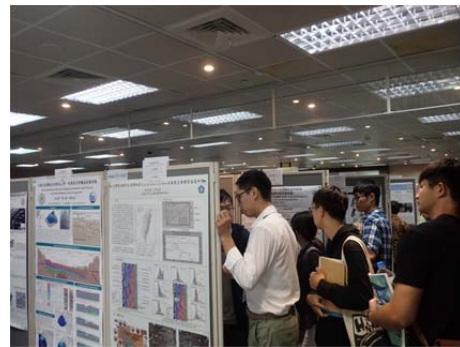
本年度(2019年)計畫執行期間，除進行山崩調查觀測技術發展應用研究外，亦透過交流互訪、參加研討會或展覽等方式進行國內外交流，推廣計畫研究成果，提升計畫效益，以促使成果落實應用，說明如下。

一、參加研討會或演講

(一) 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：本年度計畫於 2019 年 5 月 17 日至 18 日，參與「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」，並投稿「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」，以海報及簡報形式發表計畫成果。研討會參與情形如圖 7-9 所示，研討會海報投稿如圖 7-10 所示。本次發表主題為利用孔內攝影技術取得岩體不連續面位態，應用至潛在山崩地區調查區，在海報發表及簡報等與會過程，均有相關人員進行詢問，交流良好。



(a) 研討會現場-1 (2019/05/17)



(b) 研討會現場-2 (2019/05/17)



(c) 海報發表與解說 (2019/05/17)



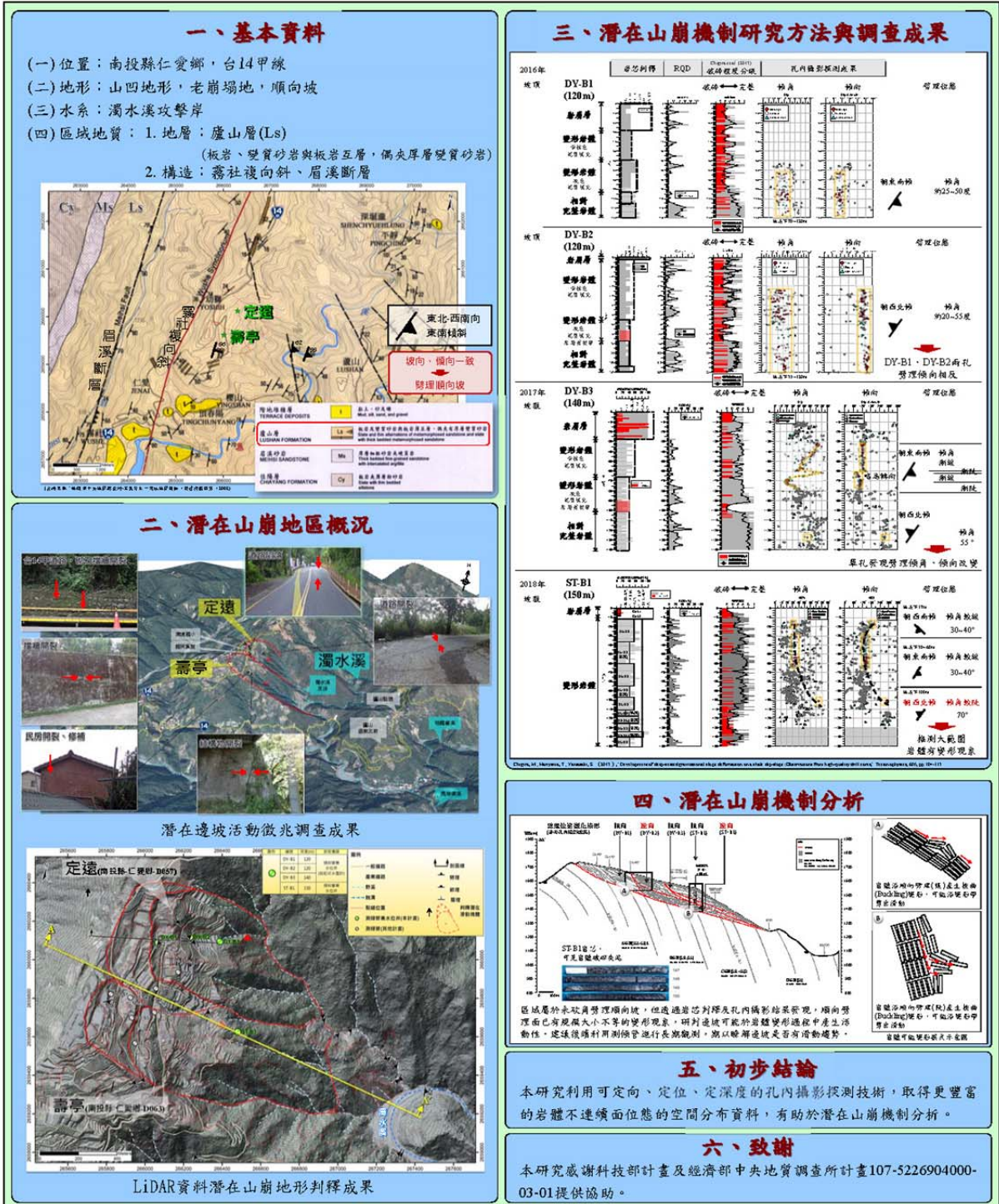
(d) 簡報情形 (2019/05/18)

圖 7-9、研討會參與情形

Fig. 7.9 Situation of participating in the seminar
(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)

應用孔內攝影探測進行岩體不連續面位態於空間分布調查之研究，以南投壽亭地區為例

呂家豪、汪俊彥、陳昭維、林錫宏、蔡政翰、邱禎龍



經濟部中央地質調查所 Central Geological Survey, MOEA

圖 7-10、研討會海報投稿

Fig. 7.10 Submitting a poster to seminar

(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)

(二) **16ARC Short Course**：本年度計畫於 2019 年 10 月 13 日，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)。其中，日本千木良雅宏教授主講有關「由深層重力邊坡發展至遽變式破壞」(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，如圖 7-12 所示。千木良教授並進一步利用照片介紹相關案例，有助於與會者瞭解，相關案例說明值得潛在山崩地區調查時參考。

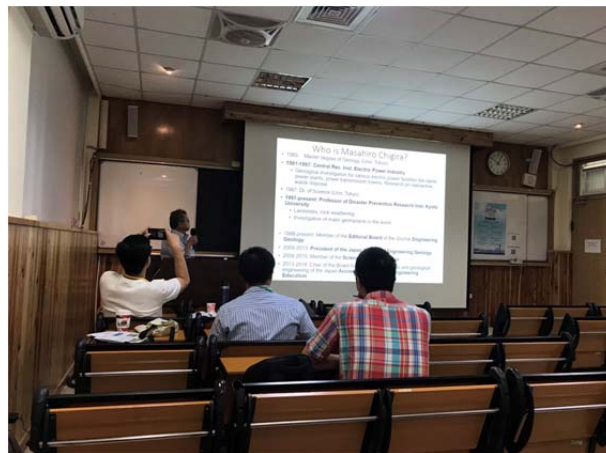


圖 7-11、本計畫參與 16ARC Short Course 情形
Fig. 7.11 Attending the 16ARC Short Course

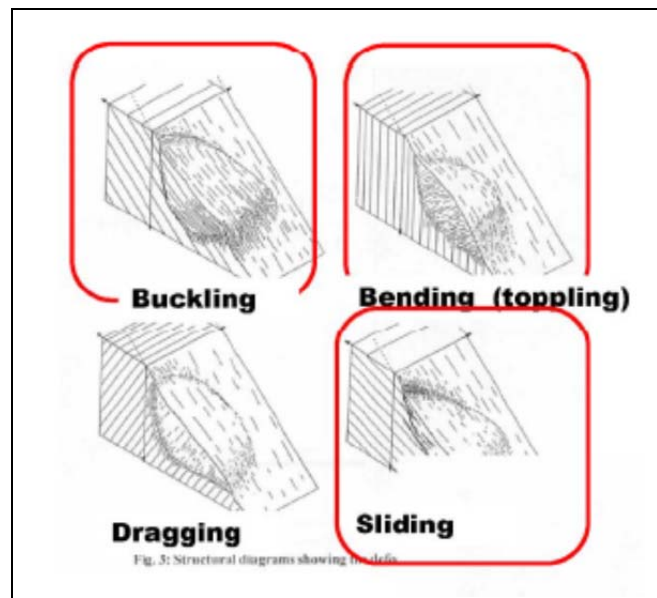


圖 7-12、由坡度及葉理關係，邊坡重力變形包含 Buckling、Bending(toppling)、Dragging 及 Sliding 等模式(Chigira, 2019)

Fig. 7.12 Gravitational slope deformation has characteristic features according to the relationship between a slope and a foliation (Chigira, 2019)

(三) 2019 科技部坡地防災整合計畫聯合成果發表暨研討會：本年度計畫於 2019 年 10 月 25 日，參加「2019 科技部坡地防災整合計畫聯合成果發表暨研討會」。研討會中，國立交通大學土木廖志中教授在「台灣的大規模崩塌及大規模崩塌潛勢區」簡報中，說明到崩塌與溪流或坑溝的關係，包含水系上溯、雙溝同源、切削趾部、水系兩側等，如圖 7-13 所示。此外，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，如圖 7-14 所示。對於人力不易抵達的區域，藉由 UAS 拍攝解算及萃取點雲，再進一步進行求取位態，有助於潛在山崩地區調查，為值得進一步應用的技術。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。

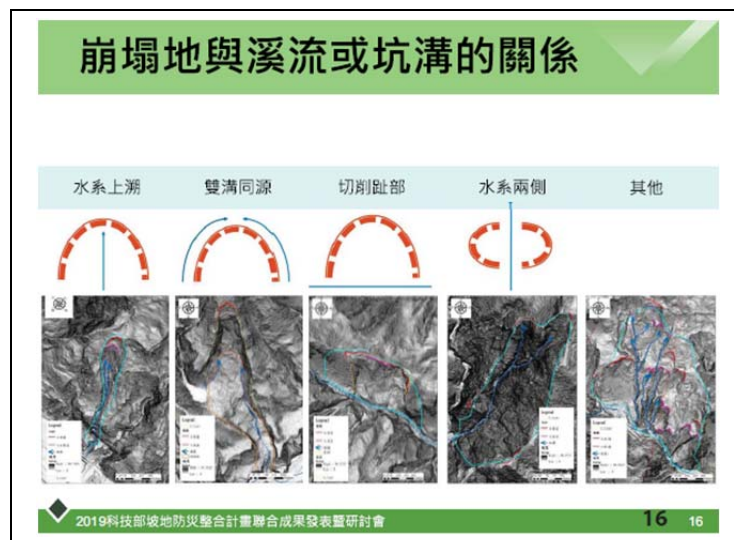


圖 7-13、崩塌地與溪流或坑溝的關係(廖志中等，2019)

Fig. 7.13 Relationships between landslide area and river or gully

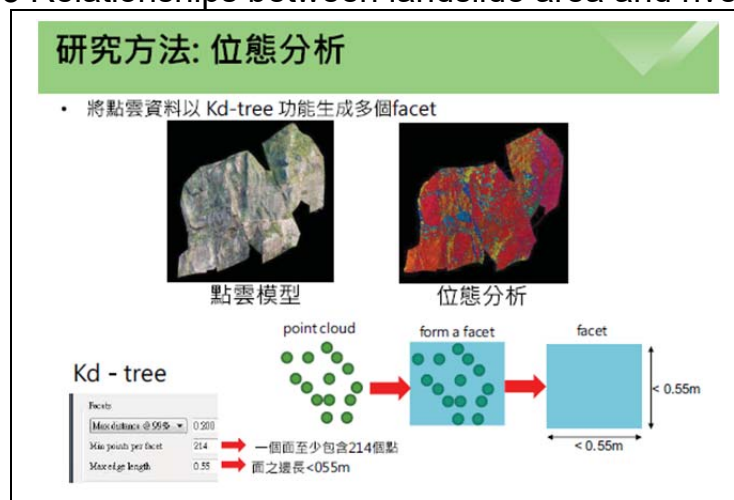


圖 7-14、利用點雲資料處理技術求取不連續面位態資料(林銘郎等，2019)

Fig. 7.14 Using of processing technology of point cloud to obtain the attitude of discontinuities

二、交流互訪

(一) 客家電視台採訪西羅岸調查區：本年度計畫於 2019 年 7 月 31 日，受客家電視台採訪地質調查所，進行有關潛在大規模崩塌調查與觀測訪談，共同至西羅岸地區進行現勘。本計畫主要協助彙整西羅岸地區相關資料，並至現場進行相關儀器操作及解說，包含測傾管、水壓計、孔內伸縮計等，與客家電視台有良好交流。

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」』(<http://www.hakkatv.org.tw/news/184060>)，有助於計畫成果推廣及社會服務。現場解說情形如圖 7-15 所示。



(a) 現場測傾儀操作情形 (2019/07/31)



(b) 現場水位指示器操作情形 (2019/07/31)



(c) 現場解說-1 (2019/07/31)



(d) 現場解說-2 (2019/07/31)

圖 7-15、客家電視台至西羅岸調查區採訪及本計畫解說現場觀測工作情形

Fig. 7.15 Hakka TV station go to Xiluoan area for interviewing and this plan gives a detailed explanation of landslide observation works

(二) 與義大利學者進行 GB-SAR 交流：本年度計畫於 2019 年 8 月 19 日，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。Giovanni Nico 博士為義大利國家研究委員會(Italian National Research Council)研究員，專長影像及訊號處理、統計及資料探勘、遙感探測。

Giovanni Nico 博士於簡報中介紹有關 GB-SAR 的原理及應用狀況，相關情形如圖 7-16 所示。GB-SAR 為利用合成孔徑雷達原理，將儀器放置於現場，藉由對同一區域不斷觀測，以取得該區域的地表變形資料。GB-SAR 儀器及分析技術部分，目前主要在義大利、荷蘭及馬來西亞等有提供相關儀器，義大利及日本則有提供相關分析服務。在量測處理部分，目前 GB-SAR 可達到每小時產出一次觀測成果。GB-SAR 在合適的條件下，精度可達 1 mm 內。但實際上仍可能受植生、水氣、霧影響。相關應用上，包含建物、礦區觀測等。



(a) 義大利學者 Giovanni Nicoru 解說 GB-SAR 原理及應用情形 (2019/08/19)



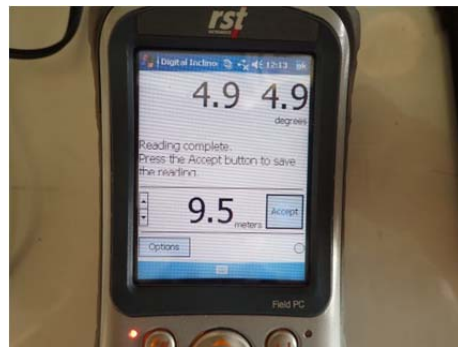
(b) 協同主持人王國隆教授協助翻譯 (2019/08/19)

圖 7-16、本計畫與義大利學者進行 GB-SAR 交流
Fig. 7.16 Having an exchange with Italy scholar about GB-SAR

(三) 臺北市政府螺旋儀交流:配合2019年9月4日臺北市政府參訪地質調查所,本計畫協助檢整測傾儀、螺旋儀及資料讀取器 PDA 等相關儀器設備,並於室內解說螺旋儀,及推廣前期計畫編彙完成「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」相關內容。在2019年10月1日,進一步與承辦科及臺北市政府相關人員至臺北市內邊坡,進行螺旋儀現場量測及解說。並協助提供螺旋儀量測結果,獲得良好交流,有助計畫成果推廣及社會服務。相關解說情形如圖 7-17 所示。



(a) 螺旋儀檢整 (2019/09/03)



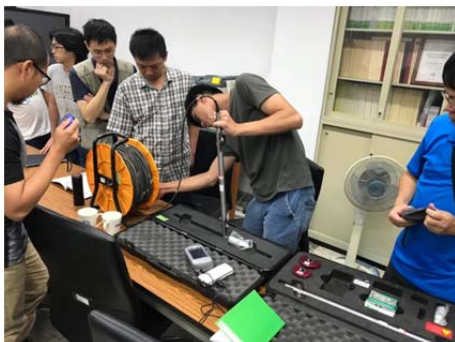
(b) 螺旋儀資料讀取器檢整 (2019/09/03)



(c) 推廣前期計畫編彙完成「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」(2019/09/04)



(d) 螺旋儀室內解說-1 (2019/09/04)



(e) 螺旋儀室內解說-2 (2019/09/04)



(f) 螺旋儀現場操作解說 (2019/10/01)

圖 7-17、本計畫與臺北市政府進行螺旋儀解說及交流情形

Fig. 7.17 This plan takes an explanation of spiral sensor for the Taipei City Government and has an good exchange of opinions

螺旋儀目的為當針對測傾管可能有溝槽旋轉問題，如圖 7-18 所示，進而影響滑動方向判讀時，可利用螺旋儀進行測傾管溝槽旋轉角度之量測，據以瞭解測傾管旋轉狀況並校正。前期計畫編彙「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊時」，對於螺旋儀有更詳細的說明，可進一步參閱，詳附錄六手冊第 91~95 頁所示。

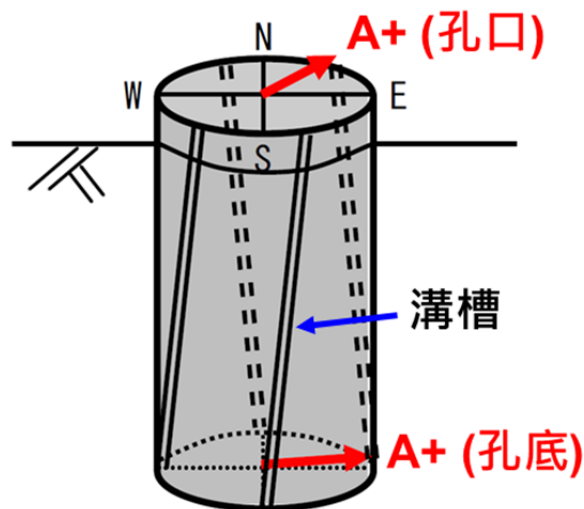


圖 7-18、測傾管扭轉示意圖。會影響滑動方向研判

Fig. 7.18 Illustration of spiraling of inclinometer casing

(資料來源：經濟部中央地質調查所，2018；日本獨立行政法人土木研究所等，2010)

(四) 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」國內外交流：受水保局邀請地質調查所於 2019 年 11 月 6 日前往本計畫調查區定遠地區進行解說，本計畫先於 2019 年 10 月 19 日與承辦科人員進行場堪，瞭解現況、規劃動線及準備相關簡報資料，並在 2019 年 11 月 6 日至現場介紹有關定遠地區之調查成果。

當日與會來賓包含義大利國家研究委員會地質水文所 Alessandro PASUTO 所長、日本筑波大學宮本邦明教授、日本筑波大學山川陽祐教授等國外專家學者。簡報過程討論到藉由地表地質調查、高解析 LiDAR 地形資料、地質鑽探、超音波孔內攝影、波速井測及測傾管觀測等技術，來協助潛在大規模崩塌地區之調查，與會過程中有良好交流，並達到推廣計畫成果。交流情形如圖 7-19 所示。



(c) 現場簡報情形 (2019/11/06)



(d) 國內外交流情形 (2019/11/06)

圖 7-19、本計畫於農委會水土保持局「2019 大規模崩塌防減災技術交流國際研討會」國內外交流情形

Fig. 7.19 Making international exchange in seminar of Soil and Water Conservation Bureau

三、網路社群平台交流

本年度計畫執行期間，持續透過 Facebook 網路社群平台，進行交流活動，推廣計畫成果，說明如下：

(一) 手冊下載連結更新：前期計畫針對 2018 年編撰完成的潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊，成立 Facebook 粉絲專業，並開放相關檔案下載。近期下載連結失效，本計畫進行更新，網址如下：

<https://drive.google.com/drive/folders/1kc7AhySfcQTax8Q2Lj7Jik7Pgy2T76ZC?fbclid=IwAR2YX8sD0R03y1vdT9hljq1I2Ou0ZvqwTWKORDMc0F3FY6zU1H49dGQt6FQ>

(二) 相關資訊分享：本計畫執行期間，持續利用 Facebook 平台分享有關潛在大規模崩塌介紹的資訊，如圖 7-20 所示，包括：

1. 科普一傳十(教育媒體學習平台)「2019 地球大哉問：小林村事件簿」。
2. 公共電視「我們的島，莫拉克十年系列報導-風災十年路」。
3. 客家新聞『判讀地底岩層動態。地質調查員「深入檢測」』。
4. 美國地質調查所 U.S.G.S.於 2008 年出版有關崩塌專書《The Landslide Handbook — A guide to Understanding Landslides》，該書對於崩塌類型、整治工法有豐富的示意圖及照片，目前開放下載，本計畫進行相關資訊分享。

本計畫將持續分享相關訊息，期以達到坡地災害防治宣導與推廣目標。

 <p>潛在大规模崩塌之調查及觀測技術手冊 由 發佈 [?] · 6月3日 ·</p> <p>【影片分享時間🕒🕒🕒】 小編~今天想要跟大家分享一則有關潛在大规模崩塌的影片「2019地球大哉問：小林村事件簿」，節目請到國立中央大學應用地質研究所 董家鈞特聘教授、國立中央大學應用地質研究所 李錫堤教授解說，讓我們跟著老師一起看下去👀👀</p> <p>影片出處：YouTube-科普一傳十 影片連結：https://youtu.be/hJHujZSB0w</p> <p>小林村事件簿</p> <p>YOUTUBE.COM 2019地球大哉問：小林村事件簿 與談人：國立中央大學應用地質研究所 董家鈞特聘教授、國立中央大...</p> <p>131 觸及人數 45 互動次數 加強推廣貼文</p> <p>你和其他13人 2次分享</p>	 <p>潛在大规模崩塌之調查及觀測技術手冊 由 YouTube 發佈 [?] · 8月13日 ·</p> <p>常見的坡地災害有山崩、地滑、土石流等，這些原是環境的自然現象，但若影響生命財產安全時，則轉變為地質災害。 生活在坡地佔3分之2上島嶼的我們，難以避免的會遇到這些災害。如何與這片土地和平共存共榮？</p> <p>YOUTUBE.COM 我們的島 莫拉克十年系列報導-風災十年路(第1015集 2019-08-05)</p> <p>114 觸及人數 27 互動次數 加強推廣貼文</p> <p>16</p>
<p>(a) 2019 地球大哉問：小林村事件簿 (出處：科普一傳十，https://etrans.tw/program/228)</p>	<p>(b) 我們的島，莫拉克十年系列報導-風災十年路 (出處：公共電視，https://www.youtube.com/watch?v=6pU2OiA7IEM)</p>
 <p>潛在大规模崩塌之調查及觀測技術手冊 由 YouTube 發佈 [?] · 8月14日 ·</p> <p>【坡地安全的三部曲】 評估邊坡是否有滑動風險的方法，常見有目視檢查法、儀器觀測法、調查分析法...等。實際如何執行呢。 http://www.hakkatv.org.tw/news/184058</p> <p>地調所監測站分布 ▶ 全台31監測站</p> <p>YOUTUBE.COM 判讀地底岩層動態 地質調查員「深入檢測」【客家新聞 20190813】</p> <p>120 觸及人數 70 互動次數 加強推廣貼文</p> <p>你和其他13人 3次分享</p>	 <p>潛在大规模崩塌之調查及觀測技術手冊 由 發佈 [?] · 10月7日下午9:39 ·</p> <p>美國地質調查所U.S.G.S.於2008年出版有關崩塌的書《The Landslide Handbook - A guide to Understanding Landslides》 書裡對於崩塌類型、整治工法有豐富的示意圖及照片，值得分享。 https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf...</p> <p>PUBS.USGS.GOV pubs.usgs.gov</p> <p>90 觸及人數 32 互動次數 加強推廣貼文</p> <p>13 2次分享</p>
<p>(c) 判讀地底岩層動態。地質調查員「深入檢測」 (出處：客家新聞，http://www.hakkatv.org.tw/news/184060)</p>	<p>(d) 美國地質調查所U.S.G.S.於2008年出版有關崩塌專書《The Landslide Handbook - A guide to Understanding Landslides》</p>

圖 7-20、於 Facebook 網路社群平台分享潛在山崩地區調查及觀測相關資訊
Fig. 7.20 Sharing the information about potential landslide area by Facebook social networking websites

第八章、潛在山崩地區自動化活動性觀測站維護及特殊環境事件回報

本計畫之自動化觀測作業，主要包含 1. 自動化觀測站系統、電力及通訊維護及 2. 特殊環境事件之觀測成果彙整及異常回報等兩部分。說明成果如後。

8.1 自動化觀測站系統、電力及通訊維護

本年度(2019 年)計畫包括 8 處具自動化觀測系統的調查區，每處調查區設有一個或一個以上的現場自動化觀測站，共計 19 處。自動化觀測站包括資料傳輸系統、電力系統、通訊系統及觀測儀器等部份。自動化觀測站之穩定性，係整體防災工作是否成功之重要關鍵。因此本計畫執行期間，定期進行設備功能測試檢查、電力系統功能檢測等維護工作，以維持系統運作之穩定。此外，亦配合突發狀況，進行檢整工作。本年度計畫執行迄今之維護紀錄如表 8-1 所示，現場維護照片請參閱附錄八。

表 8-1、本年度計畫自動化觀測系統維護概述表

Table 8.1. Summary of maintenance for automatic observation system

調查區			自動化觀測站	觀測儀器	維護日期	維護內容
1	新北市 烏來區	西羅岸	H1	<ul style="list-style-type: none"> ● WL-R1 雨量計 ● WL-B2 水壓計 ● WL-W1 分層水位觀測井 ● WL-E1 孔內伸縮計 ● WL-B2 多點式地中變位儀 	2019/06/19	● WL-R1 雨量計維護
					2019/07/30	● WL-E1 孔內伸縮計檢修
					2019/07/30	● H1 測站清潔、保養
					2019/10/01	● WL-R1 雨量計維護
					2019/10/01	● WL-W1 水壓計檢修、維護(更換振弦模組)
2	宜蘭縣 大同鄉	太平山	H1	● IH-21 水壓計	2019/10/22	● 測站清潔、保養
			H2	● IH-23-S 多點式地中變位儀	2019/10/22	● 測站清潔、保養
			H3	● IH-27 分層水壓計	2019/10/22	● 測站清潔、保養
3	南投縣 仁愛鄉	廬山 溫泉北坡	H1	● E-8 孔內伸縮計	2019/11/04	● H1 測站清潔、保養
			H2	● A-17 水壓計	2019/11/04	● H2 測站清潔、保養
			H3	<ul style="list-style-type: none"> ● A-24 水壓計 ● A-25 定置型測傾儀 	2019/11/04	● H3 測站清潔、保養
			H4	● E-7 孔內伸縮計	2019/11/04	● H4 測站清潔、保養
			H5	<ul style="list-style-type: none"> ● A-21 水壓計 ● A-15-1 分層水位觀測井 	2019/07/25	<ul style="list-style-type: none"> ● H5 測站更換通訊模組 ● A-21-1 SAA 電阻檢測
			H6	● E-9 孔內伸縮計	2019/07/08	● H6 測站、E-9 孔內伸縮計清潔、保養
			H7	● E-4 孔內伸縮計	2019/11/04	● E-4 孔內伸縮計維護
			H8	<ul style="list-style-type: none"> ● E-2 孔內伸縮計 ● E-6 孔內伸縮計 	2019/05/22	● E-2 孔內伸縮計清潔、保養
					2019/07/08	● E-6 孔內伸縮計清潔、保養
					2019/11/04	● H8 測站清潔、保養
			HU	● U-1 無線式地表位移計	2019/05/22	● U-1 無線式地表位移計檢修
					2019/07/26	● U-1 無線式地表位移計撤除
			HG01	● G-1 GPS 觀測站	2019/07/25	● GPS 站清潔、保養
HG02	● G-2 GPS 觀測站	2019/11/04	● GPS 站清潔、保養			
HG03	● G-3 GPS 觀測站	2019/11/04	● GPS 站清潔、保養			
4	南投縣 仁愛鄉	廬山聚落	H1	● LS-E1 孔內伸縮計	2019/03/29	● H1 測站檢修
					2019/05/23	● H1 測站清潔、維護
			-	-	2019/07/26	<ul style="list-style-type: none"> ● LS-B5 孔內伸縮計遭掩埋 ● 清出自記式模組、纜線維護
5	嘉義縣 梅山鄉	太和	H1	<ul style="list-style-type: none"> ● TH-R1 雨量計 ● TH-B4 電子式水壓計 ● TH-E1 孔內伸縮計 	2019/09/24	● H1 測站清潔、保養
					2019/10/28	● TH-B4 電子式水壓計檢修(纜線修復)
					2019/10/28	● H1 測站清潔、保養
6	嘉義縣 竹崎鄉	樣子寮	H1	<ul style="list-style-type: none"> ● SH-E2 孔內伸縮計 ● SH-S1 多點式地中變位儀 	2019/07/16	● H1 測站清潔、保養、系統測試
7	嘉義縣 番路鄉	潮洲湖	H1	<ul style="list-style-type: none"> ● CH-W1 分層水位觀測井 ● CH-E1 孔內伸縮計 ● CH-S1 多點式地中變位儀 	2019/07/16	● H1 測站清潔、保養、系統測試

8.2 特殊環境事件之觀測成果彙整及異常回報

自動化觀測系統後端程式，雖能自動研判儀器是否超過管理基準或為損壞等不同異常狀況，並傳送異常通知。但調查之整體活動性評估，仍有必要透過人工研判方式，秉其專業對調查區之穩定性進行判斷。

本計畫執行期間，當有颱風、地震等特殊環境事件發生，均有專人定期檢整各儀器狀態，並回報至經濟部中央地質調查所，供防災應變參考。

本年度計畫執行迄今，主要歷經 2019 年 88 地震、08/08~08/09 利奇馬颱風、09/30~10/01 米塔颱風等特殊事件，期間均有進行自動化儀器檢整工作，除提供各自動化儀器狀態表單，如儀器狀況良好、故障等，亦依據降雨量、地下水位及邊坡變位等即時觀測成果，彙整初步研判成果，供經濟部中央地質調查所參考。摘錄 88 地震、利奇馬颱風、米塔颱風期間觀測成果彙整及異常回報成果，如圖 8-1 及圖 8-2 所示，完整工作成果請參閱附錄九。

經濟部中央地質調查所，「山崩調查觀測技術精進與應用(1/4)」
2019年8月8日，88地震，自動化觀測儀器檢整

青山工程顧問股份有限公司

自動化觀測儀器檢整

壹、說明

2019年8月8日5時28分，發生芮氏規模6.0之有感地震。故針對本次地震事件，進行計畫自動化調查區之觀測儀器檢整，瞭解各調查區是否有異常變化。

貳、自動化儀器檢整結果

本次針對7處具自動化觀測之調查區，執行儀器檢整，如下表。其中，西羅岸地下水位微昇0.2m，目前已回到常時水位。太和地區孔內伸縮計微變位0.1mm，目前無持續變位趨勢。其餘各調查區無明顯異常變化，持續觀測中。

項次	行政區域		調查區	調查區現況 初步研判
	縣(市)	鄉鎮市區		
一	新北市	烏來區	西羅岸	<ul style="list-style-type: none"> WL-B2 地下水位微昇 0.3m，已回到常時水位。 其他儀器無明顯異狀，持續觀測。
二	南投縣	仁愛鄉	廬山溫泉北坡	<ul style="list-style-type: none"> 無明顯異狀，持續觀測。 其中，GPS 現場正常運作記錄，網頁維修中，預計 8 月底網頁可瀏覽。
三			廬山聚落	<ul style="list-style-type: none"> 無明顯異狀，持續觀測。
四	宜蘭縣	大同鄉	太平山	<ul style="list-style-type: none"> 無明顯異狀，持續觀測。
五			樣子寮	<ul style="list-style-type: none"> 無明顯異狀，持續觀測。
六			潮洲湖	<ul style="list-style-type: none"> 無明顯異狀，持續觀測。
七	嘉義縣	梅山鄉	太和	<ul style="list-style-type: none"> TH-B4 傾斜管兼水位井：地下水位下降約 9~13m，已回到常時水位，有賴持續觀測 TH-E1 孔內伸縮計地震期間位移約 0.1mm，目前無持續位移變化趨勢，觀測中。

圖 8-1、2019 年 88 地震觀測成果彙整及回報

Fig. 8.1 Summary of automatic observation results during 88 earthquake in 2019

經濟部中央地質調查所，「山崩調查觀測技術精進與應用(1/4)」
2019年8月9日，利奇馬颱風，自動化觀測儀器檢整

青山工程顧問股份有限公司

自動化觀測儀器檢整

壹、說明

2019年8月8日至9日，利奇馬颱風來襲。針對颱風事件，進行計畫自動化調查區之觀測儀器檢整，瞭解各調查區是否有異常變化。

貳、自動化儀器檢整結果

本次針對7處具自動化觀測之調查區，執行儀器檢整，如下表。各調查區中，以位於北部的西羅岸及太平山，其近3日累積降雨量分別達244.5mm及207mm較大。其中，西羅岸地下水位上昇約1~1.5m。太平山地區地下水位微昇0.5m，其他儀器無顯著變化。其餘各調查區降雨量相對較小，無明顯異常變化，持續觀測中。

項次	行政區域		調查區	調查區現況 初步研判
	縣(市)	鄉鎮市區		
一	新北市	烏來區	西羅岸	<ul style="list-style-type: none"> •WL-B2 地下水位上昇 1m。 •WL-W1 分層水位觀測井@37m 地下水位上昇約 1.5m。 •WL-W1 分層水位觀測井@69m 地下水位上昇約 1m。 •其他儀器無明顯異狀，持續觀測。
二	南投縣	仁愛鄉	廬山溫泉北坡	•無明顯異狀，持續觀測。
三			廬山聚落	•無明顯異狀，持續觀測。
四	宜蘭縣	大同鄉	太平山	<ul style="list-style-type: none"> •IH-21 水位觀測井地下水位微昇 0.5m。 •無明顯異狀，持續觀測。
五	嘉義縣	竹崎鄉	樣子寮	•無明顯異狀，持續觀測。
六		番路鄉	潮洲湖	•無明顯異狀，持續觀測。
七		梅山鄉	太和	•無明顯異狀，持續觀測。

圖 8-2、2019 年利奇馬颱風觀測成果彙整及回報

Fig. 8.2 Summary of automatic observation results during Typhoon Lekima in 2019

經濟部中央地質調查所，「山崩調查觀測技術精進與應用(1/4)」
2019年9月30日，米塔颱風，自動化觀測儀器檢整

青山工程顧問股份有限公司

自動化觀測儀器檢整

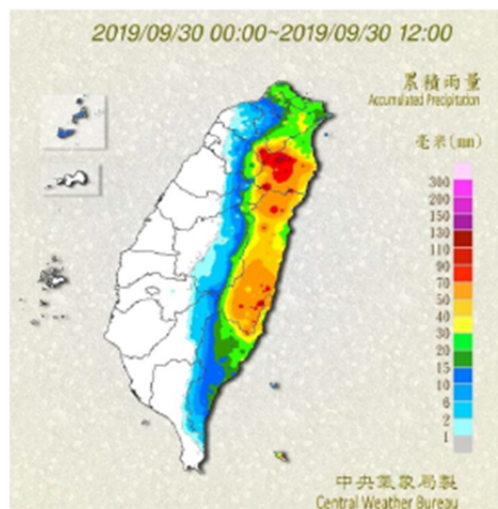
壹、說明

因應 2019 年 9 月 30 日米塔颱風來襲，進行計畫自動化調查區之觀測儀器檢整，瞭解各調查區是否有異常變化。

貳、自動化儀器檢整結果

本次針對 7 處具自動化觀測之調查區，執行儀器檢整，如下表。彙整氣象局雨量資料，目前降雨量以宜蘭地區較大，其中太平山地區近 24 小時累積雨量達 76.5 mm，觀測成果無明顯異常變化。其餘各調查區降雨量較小，觀測成果亦無明顯異常變化，持續觀測中。

項次	行政區域		調查區	近 24 小時累積雨量 (參考氣象局雨量站)	調查區現況 初步研判
一	新北市	烏來區	西羅岸	33.5 mm (桶後(C0A57))	•WL-2 孔內伸縮計無明顯異常變化，持續觀測。 •WL-B2、WL-W1 水壓計讀值異常，待檢修。
二	南投縣	仁愛鄉	廬山溫泉北坡	9 mm (廬山(C0I01))	•E-2、E-4、E-5、E-6、E-7、E-8、E-9 孔內伸縮計無明顯異常變化，持續觀測。
三			廬山聚落	9 mm (廬山(C0I01))	•LS-E1 孔內伸縮計無明顯異常變化，持續觀測。
四	宜蘭縣	大同鄉	太平山	76.5 mm (太平山(C0U71))	•無明顯異常變化，持續觀測。
五	嘉義縣	竹崎鄉	樣子寮	0 mm (樟腦寮(2)(01L48))	•SH-E2 孔內伸縮計無明顯異常變化，持續觀測。
六		番路鄉	潮洲湖	0 mm (龍美(C1M39))	•CH-E1 孔內伸縮計、CH-S1 多點式地中變位儀無明顯異常變化，持續觀測。
七		梅山鄉	太和	0 mm (瑞里(C1M62))	•無明顯異常變化，持續觀測。 •TH-B4 水壓計異常，待檢修。



第 1 頁，共 11 頁

2019/9/30 12:19

圖 8-3、2019 年米塔颱風觀測成果彙整及回報

Fig. 8.3 Summary of automatic observation results during Typhoon Mitag in 2019

第九章、結論與建議

本年度(2019年)計畫包括 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等四大項工作項目，說明結論與建議如下。

9.1 結論與建議

9.1.1 潛在山崩地區調查、活動性觀測及地質安全評估

一、潛在山崩地區現場勘查

本年度計畫主要針對其中 8 處潛在山崩活動性較高的調查區，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、潮洲湖等。其中，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。以廬山溫泉北坡、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，建議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、廬山聚落地中調查成果

本年度計畫針對既有調查區-廬山聚落完成地中調查，包含新增兩孔地質鑽探 LS-B7 及 LS-B8，分別深度為 130 m 及 150 m，共 280 m。並完成岩芯判釋、岩芯物理性質測研究、孔內試驗探測、地中活動性觀測材料安裝、地下水位量測。可得以下結論：

- (一) 邊坡材料特性：由地表地質調查成果顯示，廬山聚落區域屬未見光順向坡，其不連續面為板劈理面，劈理面傾角大致為 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。由地質鑽探岩芯成果

發現，區域邊坡地表下約 2~22 m 為岩屑層，其材料組構主要由破碎或風化的粉砂質板岩、砂岩與土壤組成。岩屑層下方之岩層岩性主要為黑色粉砂質板岩，夾灰色砂岩，板劈理發達。區域邊坡已可見劈理面有挫曲(Bukling)變形，部分岩體也較為破碎，顯示強度較低，不利邊坡穩定，而在較深層岩芯亦可見劈理急折的狀況，顯示區域邊坡有深層變形的狀況。

(二) 潛在山崩機制分析：由板劈理面挫曲變形及岩芯劈理面急折，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，若切穿劈理面發展成規模更大的急折帶(Kink band)時，則可能形成岩體滑動。而由觀測成果顯示，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，有賴持續觀測。此外，廬山聚落下邊坡於 2017 年 0601、0613 豪雨事件，則有發生相對淺層的岩屑崩滑，亦為需要持續注意的對象之一。

(三) 邊坡活動性：由目前觀測成果得出之初步結論如下：

- 1. 邊坡變形深度深：**由測傾管觀測成果可知，廬山聚落 LS-B4、LS-B6 孔於地表下約 80~120 m 處仍可見變形情形，變形深度深。本年度計畫新增 LS-B7 及 LS-B8 因觀測時間短，期以藉由長期觀測資料，掌握邊坡最深變形深度。
- 2. 邊坡活動性與地下水有關：**由 2011~2018 年之測傾管觀測成果可發現大致有緩慢變形的趨勢。且在豪雨事件後，變形量則有增加情形，顯示地下水條件為影響區域邊坡活動性的因子之一。本年度(2019 年)觀測迄今，發生數次特殊降雨事件，然孔口變位量不大，至現場勘查可見地平開列、結構物變形等表徵，但無明顯擴大現象。本計畫將持續追蹤。

9.1.2 多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究

本年度(2019 年)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，完成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、地表變形記錄與分析(UAS)、地表活動性 GPS 觀測站成果解算、多尺度地表變形研究成果研析等之多尺度遙測技術應用於潛在山崩地區地表變形探討研究。

透過 DInSAR 地表變形轉換為垂直地表變形量，與 GPS 及 UAS 之測量成果進行

比對。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，可能情形為季節性冬夏變形，或不同滑動深度所致。觀察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。另以廬山部落及廬山溫泉北坡比對 UAS 產製之正射影像及數值地形資料與 DInSAR 成果，顯示在值的大小上與變形位置及趨勢吻合，但值大小和方向仍存在一定誤差，追究其原因可能在於參數掌握及正射影像存在之定位誤差。後續將擬定改善分析之方法。

9.1.3 前瞻地中調查觀測與物聯網之技術研發防災應用

本年度計畫包含前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究、物聯網技術適用性研究等二大部份。相關研究成果結論如後。

一、前瞻地中調查觀測技術研發及防災應用研究

本計畫為精進地中調查觀測技術，進行串聯式自動化的多點式地中變位儀之應用研究、地中觀測儀器與測傾管共構安裝之適用性研究、地層變位模擬研究等。相關結論如下。

- (一) **串聯式自動化的多點式地中變位儀**：裝設之串聯式測傾儀為自動化方式量測，可於網頁查看即時觀測成果，因每 5 分鐘記錄一筆資料，故可取得連續性觀測資料，然目前觀測期間較短，串聯式測傾儀尚無明顯變化，本計畫後續將再持續觀測，加以評估。
- (二) **地中觀測儀器與測傾管共構安裝之適用性研究**：分別完成測傾管與孔內伸縮計共構、測傾管與孔內伸縮計及 TDR 共構之安裝。目前孔內伸縮計與 TDR 正常運作中，無明顯異常變化，顯示與測傾管共構方式尚可行。然觀測期間較短，後續將再持續觀測，取得長期觀測成果，回饋評估。
- (三) **地層變位模擬研究**：本年度計畫透過地層變位模擬儀器試驗及數值模擬方式，討論孔內伸縮計之變形特性。由試驗及推導之簡化幾何模型可知，孔內伸縮計於觀測初期，其伸縮量會有縮減的情況。此外，可觀察地表會有一沉陷量。另，由數值模擬邊坡滑動之孔內伸縮計變形結果可發現，孔口位置也發生沉陷或隆起之情形。然此一現象於僅模擬孔內伸縮可能變形之趨勢。與實際情

形或既有案例之比對，後續將持續進行驗證。

二、前瞻物聯網技術適用性研究

本年度計畫包含文獻蒐集，物聯網技術適用性研究及井內無線傳輸可行性研究等。

(一) **文獻蒐集**：本計畫針對無線網路中的行動網路及低功耗廣域網路 LPWAN 進行探討，可發現偏遠山區基地台數量少，通訊品質不穩的問題，而 LoRa 可自由佈設網路，加以延伸傳輸距離，故本計畫選用 LoRa 進行物聯網技術研究。另針對井內無線傳輸可行性進行研究，認為射頻技術具有應可應用於井內無線傳輸技術，然整體傳輸訊號的穩定性及電力消耗問題，且地下物聯網不易維護，本計畫後續將再持續蒐集資料，並擇事宜方式進行技術測試。

(二) **物聯網現地布建及測試**：本計畫選用近期活動性較高之忠治籃球場作為現地場址。由現場佈置可知，儀器接收端與 LoRa 節點裝設位置有約 5 m 之高差。由於目前觀測期間尚短，後續將再持續觀測，取得長期觀測成果，再回饋評估成果。

9.1.4 山崩活動性觀測成果智慧應用推廣及國內外技術交流

本年度計畫完成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、潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修、國內外技術交流等。相關結論如下。

一、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

本計畫藉以租用「中華電信 hcloud 雲端虛擬主機」完成入口網站伺服器租用及資料備份。此外，本計畫將既有的觀測網頁擴充平台功能，除可將頁面分為前期計畫及本期計畫外，亦介接中央氣象局提供之地震資訊以便後續相關資料參考，並持續維護觀測網頁。

二、山潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊編修及國內外技術交流

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 Facebook 網路社群平台或相關活動，持續推廣。

另透過參加研討會、交流互訪推廣計畫研究成果，提升計畫效益。本計畫參加「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」，並投稿「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」。另參加「第十六屆亞洲區土壤力學及大地工程學術會議」及「2019 科技部坡地防災整合計畫聯合成果發表暨研討會」。交流互訪之對象有客家電視台採訪西羅岸地區、與義大利學者交流 GB-SAR 技術、配合臺北市政府參訪地質調查所以螺旋儀相關之解說、於農委會水土保持局「2019 大規模崩塌防減災技術交流國際研討會」推廣本計畫成果。

9.2 使用者可用資訊

本計畫之潛在山崩活動性觀測平台，已提供 NCDR 「災害情資網」(<http://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/ncdrwebv2/>)有關西羅岸地區觀測資料、燈號之介接服務。提供科技部「D.M.I.P 災害管理資訊研發應用平台」(<http://dmip.tw>)，包括西羅岸、太平山、廬山溫泉北坡、廬山聚落、潮洲湖等地區之警戒管理燈號，可供相關使用者參考。

此外，本計畫持續於 Facebook 網路社群平台，進行交流活動，持續分享相關訊息，於 Facebook 搜尋「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」即可查到粉絲專業。另，本年度計畫針對前期計畫編撰完成之「潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊」，進行下載連結之維護更新，該手冊依據前期計畫規劃採開放下載，相關使用者可自行下載參考。

CHAPTER 9 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This year's (2019) plan works include 1. Investigation of potential landslide areas, active observation and geological safety assessment, 2. Multi-scale telemetry technology applied to the study of surface deformation in potential landslide areas, 3. Prospective survey and observations and the Internet of Things, 4. smart application and promotion of landslide activity observation results, and technical exchanges. Based on the results, the conclusions and recommendations are proposed as below.

9.1 Conclusions and Recommendations

9.1.1 Investigation, active observation and geological safety assessment of potential landslide areas

1. Site survey of potential landslide area

This year's plan is mainly aimed at eight of the survey areas with relative high potential landslide activity, including Hisloan, Taipingshan, the North slope of Lushan hot spring, Lushan settlement, Dingyuan, Taihe, Shetzuliao, Chaochouhu. Among them, the Hisloan area, Taipingshan area, Taihe area, and Lushan settlement area show relative less activity. With the northern slopes of Lushan Hot Spring, Dingyuan area and Chaozhou Lake area, it can be seen that the observation instrument has a slight displacement. Among the surveyed areas, the activity in the Xiaziyu area and the North slope of Lushan hot spring is relatively large, with obvious signs of surface anomalies, including new cracks in regional roads, etc. It is recommended that the slope activity be continuously tracked.

The plan's investigation of potential landslide areas focus on geological surveys, and uses observational equipment to analysis landslide mechanisms and assess potential activities to provide information for relevant units to plan following disaster prevention and early warning management work. Due to funding constraints and observation instrument life, the plan will gradually withdraw from field observation after get more information about the landslide mechanism. The plan work results can also provide references for relevant units. Follow-up disaster prevention and early warning management works depend on the planning and implementation of the jurisdiction units in each survey area.

2. Survey results in Lushan settlement

This year's plan perform the underground survey of Lushan Settlement, including the addition of two new holes, LS-B7 and LS-B8, with depths of 130 m and 150 m, respectively. And complete core interpretation, core physical quality measurement research, borehole test detection, activity observation material installation, groundwater level measurement. The conclusions are listed as below:

- (1) **Slope material characteristics:** According to the results of surface geological surveys, the Lushan settlement area is a dip slope of slate, which the cleavage is no daylight. The inclined angle of cleavage is approximately $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$. From the results of geological drilling cores, it is found that about 2 to 22 m below the surface of the regional slope is about regolith, and its material mainly consists of broken or weathered silty slate, sandstone and soil. The lithology of the rock formation below the debris layer is mainly black silty slate, mixed with gray silty sandstone, and slate. The buckling deformation of cleavage is observed, and some rock masses are more fragmented, showing lower strength and is unfavorable for slope stability, and sharp splitting conditions can also be seen in deeper cores, showing the deformation depth of slope is very deep.
- (2) **Analysis of potential landslide mechanism:** Based on the buckling deformation observed on outcrops and cores, it is preliminary inferred that the potential landslide mechanism in the Lushan settlement area includes the cleavage deforms with various scale, if the kink band develop, the large scale sliding is possible to occur. Observation results show that the regional slopes generally show a tendency of slow deformation or no obvious deformation. On the other hand, under heavy rain event, it has a slight acceleration phenomenon. It is recommended the observation must be to continue.
- (3) **Slope activity:** The preliminary conclusions drawn from the current observations are as follows:
 - A. **Deep slope deformation depth:** According to the observation results of the tilt pipe, it can be seen that the inclinometers of No. LS-B4 and LS-B6 in

Lushan settlement can still be deformed at a depth of about 80 ~ 120 m below the ground surface, and the deformation depth is deep.

B. Slope activity is related to groundwater: from the results of inclinometers from 2011 to 2018, it is found that there is a general tendency of slow deformation. And after the heavy rain event, the amount of deformation increased, indicating that groundwater conditions are one of the factors affecting the slope slope activity.

9.1.2 Application of Multi-scale Telemetry Technology to Groundsurface Deformation in Potential Landslide Areas

This year's (2019) plan aims at 4 survey areas, including the North slope of Lushan hot spring, Lushan Settlement, Shouting and Dingyuan areas, to complete the analysis of the surface deformation of D-InSAR in the potential landslide area, and the surface Multi-scale telemetry techniques such as deformation records and analysis (UAS), the GPS observation stations, and the research and analysis of multi-scale surface deformation research results are applied to the research of surface deformation in potential landslide areas.

The DInSAR surface deformation is converted into vertical surface deformation that can be compared with the measurement results of GPS and UAS. The GPS observation results show that the observation data of the two stations show different trends of decline and increase, which may be caused by seasonal deformation in winter and summer or different sliding depths. Observe the monitoring results of two different sliding blocks. The number CN04 obtained the same trend and size, but CN03 failed to obtain a more accurate result. This may be caused by the selection of the image track used for analysis or the north slope of Lushan is not favorable. In addition, the UAS results of deformation position and trend are consistent with the results of DInSAR of the North slope of Lushan hot spring and Lushan Settlement,, but there are still some errors in the value and direction. The reason may be that the parameters are mastered and the positioning error exists in the orthophoto. The next year will try to improve the analysis method.

9.1.3 Research, Development and Disaster Prevention Application of advanced Survey and Observation and IoT Technology

This year's plan includes two major parts, including research and development of survey and observation technology and disaster prevention application research, and applicability research of Internet of Things technology. The conclusions of related research results are as follows.

1. Research and development of advanced survey and observation technology and application of disaster prevention

This plan is advanced in-ground survey and observation technology, application research of serial and automated multi-point in-ground positioner, research on applicability of co-installation of in-ground observation instrument and incline pipe, simulation of formation displacement, etc. . The relevant conclusions are as follows.

- (1) **Novel automatic multi-point inclinometer:** The novel automatic multi-point inclinometer installed is an automatic measurement, and you can view the real-time observation results on the web page. Because one data is recorded every 5 minutes, good continuous data can be obtained. However, the current observation period is short, and there is no obvious change in the serial tiltmeter. The plan will continue to observe and evaluate its performance in the future.
- (2) **Study on the applicability of the co-construction installation of the underground observation instrument and inclinometer:** the co-construction installation of inclinometer, TDR and borehole extensometer is conducted. According to the present observation results, there is no obvious abnormal change in the normal operation of the borehole extensometer and TDR, which shows that the co-construction method with the inclinometer is possible feasible. Because the observation period is short, it is recommended the observation work is should be continued to obtain long-term observation results and feedback evaluation.
- (3) **Simulation of layer displacement:** This year's plan discusses the deformation characteristics of the borehole extensometer through

experiments of stratum displacement simulation and numerical simulation. It can be known from the simplified geometric model derived from the experiment and the derivation that the borehole extensometer will shrink in the initial observation period. In addition, there is an amount of subsidence on the surface. In addition, it can be found from the numerical simulation of the deformation of the dilatometer in the hole that the slope is sliding that the position of the hole also can happen settlement or heave, which can affect the response of borehole extensometer.

2. Research on the applicability of IoT technology

This year's plan includes literature collection, research on the applicability of IoT technology, and feasibility studies on wireless transmission in the well.

(1) Literature collection: This project discusses mobile networks in wireless networks and low-power wide-area networks LPWAN. It can be found that there are a small number of base stations in remote mountain areas and unstable communication quality. LoRa can freely deploy networks. To extend the transmission distance, so this plan try to uses LoRa for research on Internet of Things technology. In addition, the feasibility of wireless transmission in the well is studied. It is believed that the radio frequency technology should be applicable to the wireless transmission technology in the well. However, the stability of the overall transmission signal and power consumption issues, and the underground Internet of Things are not easy to maintain. A research is required to continue to collect information and conduct technical tests in a matter of choice.

(2) On-site deployment and testing of the Internet of Things: This plan selects Zhongzhi Basketball Court as a study area, which has recently highly active. It can be known from the site layout that there is a height difference of about 5 m between the receiving end of the instrument and the installation position of the LoRa node. Since the current observation period is short, follow-up observations will be continued to obtain long-term observation results and feedback to the evaluation results.

9.1.4 Promotion and application of landslide activity observation results

This year's plan is to complete the advancement of landslide activity observation platforms and the intelligent application and promotion of landslide activity observation results, the investigation of potential large-scale collapse and the compilation of observation technology manuals, and technical exchanges at home and abroad. The relevant conclusions are as follows.

1. Advancement of landslide activity observation platform and smart application of landslide activity observation results

The plan is to rent the Chunghwa Telecom hicloud cloud web hosting to complete the server rental and data backup. In addition, the plan will expand the existing observation webpage platform functions. In addition to dividing the page into the previous plan and the current plan, it also interfaces with the seismic information provided by the Central Meteorological Bureau for subsequent reference and continuous maintenance. Observe web pages.

2. Survey and observation technology manual for potential large-scale collapse of mountain and technical exchanges at home and abroad

The errata for the "Investigation and Observation Technology Manual for Potential Large-scale Landslide" published in 2018 by the previous plan were compiled and continuously promoted on the Facebook online social platform or related activities.

In addition, through participating in seminars and exchanging visits to promote the research results of the plan, the plan's effectiveness was improved. This project participated in the "108th Annual Meeting and Academic Symposium of the Geophysical Society of the Republic of China and the Geological Society of the Republic of China". This plan also participated in the "Sixteenth Asian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering" and "2019 Joint Ministry of Science and Technology Slope Land Disaster Prevention Integration Project Joint Results Presentation and Seminar". The objects of exchanges and visits include Hakka TV interviewing the West Coast area, exchanging GB-SAR technology with Italian scholars, cooperating with the Taipei City Government's visit to the geological

survey, so explanations related to the spiral meter, and the `` 2019 Large-scale The International Symposium on Collapse Prevention and Disaster Reduction Technology Exchange "promotes the results of this project.

9.2 Available Information for Users

The potential landslide activity observation platform of this project has provided the NCDR "Disaster Information Website" (<http://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/ncdrwebv2/>) for the connection of observation data and signals of the Hisloan potential landslide area service. Provide the "DMIP Disaster Management Information R & D and Application Platform" of the Ministry of Science and Technology (<http://dmip.tw>), including warning lights for Hisloan, Taipingshan, the North slope of Lushan hot spring, Lushan Settlement, Chaochouhu and other areas, which can provide warning information for relevant users.

In addition, this program continues to communicate on Facebook platform, and continues to share relevant information. In addition, this year's plan updated the download link of "Investigation and Observation Technology Manual for Potential Large-scale Landslide", relevant users can download if need.