

八寶寮崩塌地滑動徵兆評估因子建立與關聯性分析

計畫編號：SWCB-106-237

執行單位：財團法人中興工程顧問社

計畫主持人：財團法人中興工程顧問社 柯建仲博士

摘要

本計畫以嘉義縣中埔鄉東興村的八寶寮崩塌地為研究場址，此崩塌地範圍已達 10 公頃左右，且持續有滑動徵兆及擴大崩塌範圍之潛在危機。因此，本計畫提出一套創新的滑動徵兆評估方法，藉由地下水與地表水水體之導電度及離子濃度變化反應，有效掌握滑動發生前兆與建立完整的評估因子。相關重要調查成果如下：

一、地表地質調查與水文地質調查：透過地表地質調查、衛星與 UAV 影像判釋、地質鑽探及室內試驗已掌握崩塌地範圍之地質特性、坑溝位置、滲水點及岩性組成；透過井測與地球物理探測，瞭解岩層主要流進與流出區段，此外藉由鑽孔音波反射振幅分析，可瞭解岩盤結構與潛在滑動面之分布。

二、氫氧同位素分析：八寶寮崩塌地溪水受當地雨水影響很大，而地下水結果亦顯示位於坡頂之 BH-01 及 BH-04 鑽孔地下水之組成分布與溪水相似，顯示本區地下水之來源可能與溪水有關。BH-03 鑽孔之井下 5 公尺氧同位素明顯低於井下 18 公尺，可初步推論井下 18 公尺的水來自地層側向補注，而井下 5 公尺的水體則明顯受降雨補注影響，此水體來源推論與地下水流速調查成果吻合。

三、陰陽離子分析：各水樣內均以碳酸氫根離子濃度含量最高，受到 0601 崩塌事件影響之水離子為碳酸氫根離子及鈉離子。另於 BH-04 鑽孔水樣中，多了硫酸鹽離子受到 0601 崩塌影響而提高。地表水樣中，並未發現

水離子濃度分布與崩塌事件發生有明顯關連。崩塌事件後具有明顯變化之特徵因子：碳酸氫根離子、鈉離子以及硫酸鹽離子，其中與導電度有較良好正相關為碳酸氫根離子及鈉離子。

關鍵詞:滑動徵兆評估、導電度、離子濃度

Correlation Analysis of Slide Evidence Factors and Concentrations of Cations and Anions in Babaoliao Landslide

ABSTRACT

A large-scale landslide, Babaoliao site, located at Zhongpu Township, Chiayi County was selected as the research area. This site area has totally about 10 ha which is identified from satellite and UAV images, and is interpreted as the highly hazard potential site. Therefore, a novel approach for assessing the factors of landslide movement by the hydrogeological investigation, groundwater quality monitoring in 2 boreholes and groundwater and surface water sampling analysis was conducted. The major investigation and analysis results of this project are as follows:

1. Hydrogeological investigation:

(1) Combination of interpretation of satellite and UAV images, geological investigation, and geological drilling results to identify the gully positions, seepage area, and the characterization of the lithology.

(2) The groundwater flow behavior of rock aquifer such as major recharge/discharge zones could be interpreted by the various geophysical logging methods. Furthermore, the potential sliding surface and structures of rock mass could also be shown by the novel borehole camera analysis technology-Sonic Reflection Amplitude Analysis (SRAA).

2. Analysis of Hydrogen and Oxygen isotopes:

(1) From the analysis results of hydrogen and oxygen isotopes of 3 boreholes and 4 sampling positions of surface water, the source of surface water and shallow groundwater could be totally indentified from the rainfall and river except for the depth of 18m in BH-03.

(2) The water in shallow region is affected by rainfall infiltration and lateral recharge in the 5m and 18m under the surface, respectively.

3. Determination of the concentration of cations and anions:

- (1) The concentrations of sodium ion, bicarbonate ion and sulfate ion are increasing in the triggered landslide after 0601 rainfall event.
- (2) There is a good relationship between electric conductivity, sodium ion, and bicarbonate ion, which can provide the information on movement of landslide.

Keywords: landslide, conductivity, concentration of cations and anions

一、計畫緣起與目的

每逢颱風豪雨來襲，山區諸多潛在崩塌地常會無預警的發生大規模的滑動或土石流，造成人員傷亡或財產損失，因此如何具體掌握及評估崩塌地滑發生前兆，提高即時防災的效能，乃當前亟需深入探討的議題。本計畫挑選位於嘉義縣中埔鄉東興村的八寶寮崩塌地為研究場址，目前崩塌地範圍已達 10 公頃左右(涵蓋白水溪上游支流之向源侵蝕範圍)，且持續有滑動徵兆及擴大崩塌範圍的潛在危機。因此，本計畫提出一套創新的滑動徵兆評估方法，藉由地下岩層水文地質調查、孔內水體導電度長期監測系統建置及地下(表)水質採樣與分析，來有效掌握滑動發生前兆並建立完整的評估模式。相關規劃的工作內容涵蓋最終整合各項調查與監測分析成果，檢核各項評估因子之參數敏感度及確立其關聯性，進而勾勒出整體崩塌地滑動徵兆評估之概念模型，俾利後續相關治理工程之參考。

(一)計畫工作範圍

本計畫之工作範圍為白水溪源頭的兩處支流，分別有向源侵蝕與崩塌等災害之區域，合稱為八寶寮崩塌地，其面積約有十公頃之多，位於嘉義縣中埔鄉最南側之東興村，鄰近地標為八寶寮休閒農場，聯外道路主要為 172 縣道，其地理位置如圖 1 所示。

(二)工作項目及內容與流程

本計畫工作項目主要包含(一)國內外文獻彙整與分析、(二)崩塌地之地下岩層水文地質特性調查、(三)地球物理探測、(四)孔內水體導電度長期監測系統建置、(五)地下(表)水質採樣與分析、(六)崩塌地滑動徵兆評估因子建立與關聯性分析運用及(七)成果彙編及其他指示事項等七項，如圖 2 所示。

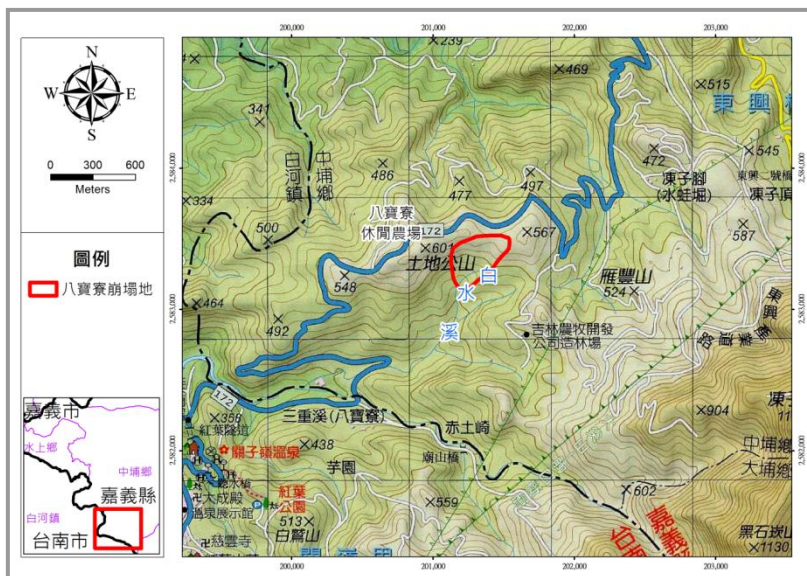


圖 1、八寶寮崩塌地地理位置圖

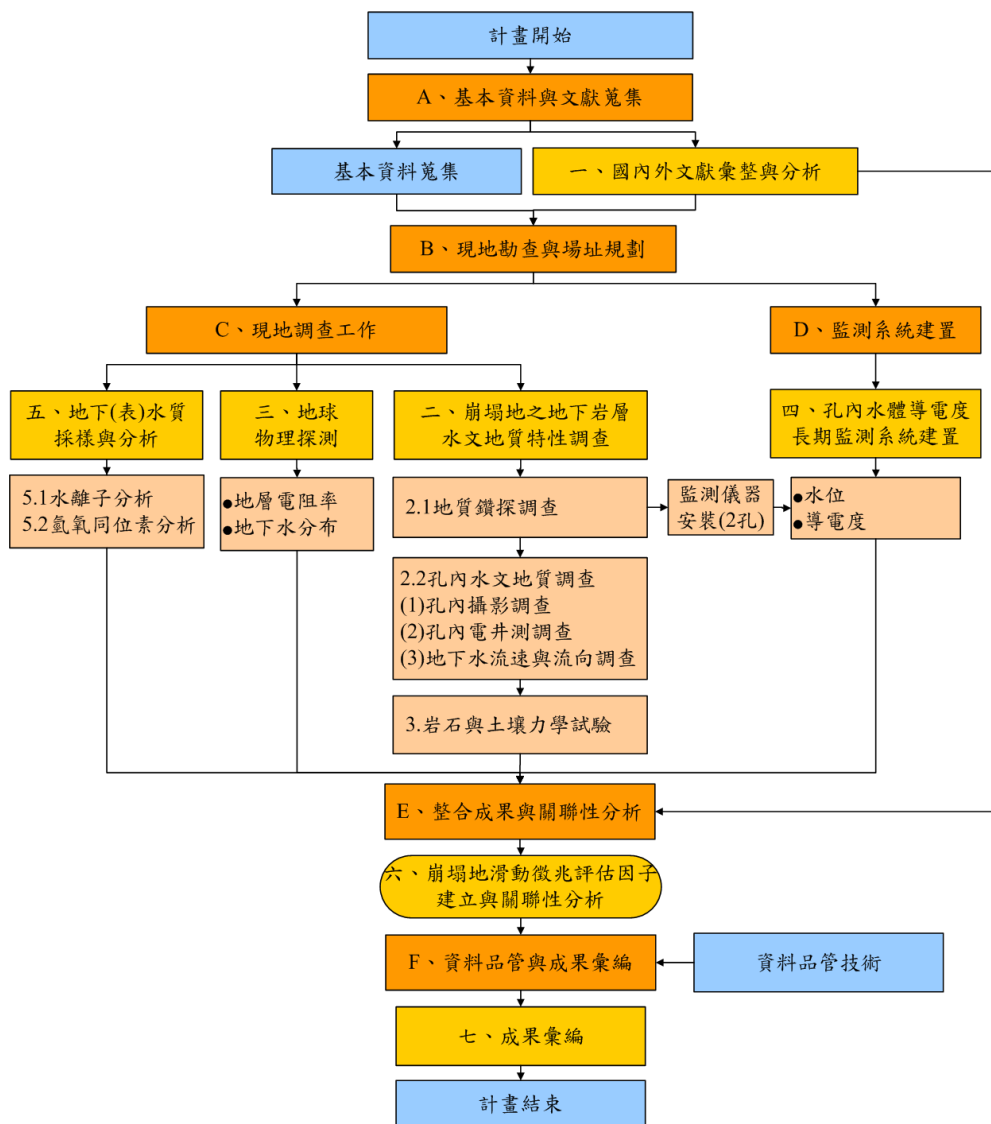


圖 2、工作流程分析圖

三、崩塌地之地下岩層水文地質特性調查

(一)地質鑽探與岩石及土壤力學試驗

本次鑽探場址有 BH-01~BH-04 等四處場址，其深度分別為 20、30、30、20 公尺，共計 100 公尺，而根據各場址岩心紀錄判釋之風化岩層與剪裂帶，及根據地形繪製剖面圖，初步繪製八寶寮崩塌地之地層剖面圖，相關成果如圖 3 所示。另外，由鑽孔岩心取樣進行相關室內試驗分析。

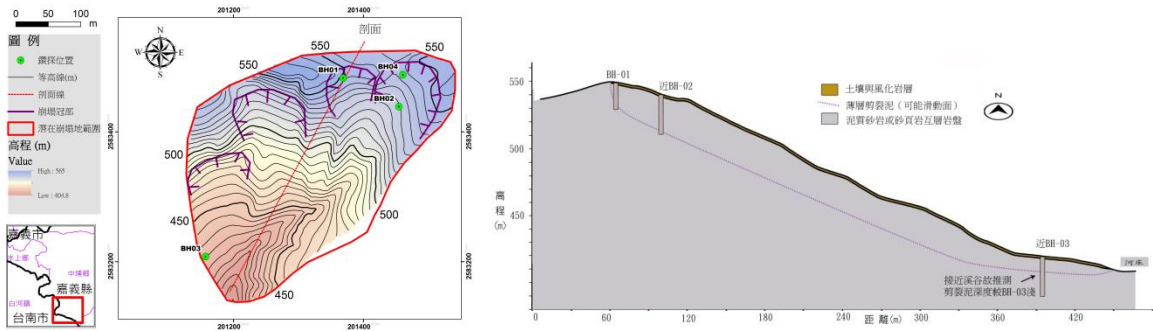


圖 3、地質鑽孔與剖面分布圖

(二)孔內水文地質調查

本計畫於計畫區域內之 2 孔鑽探孔位(BH-02 及 BH-03)施作孔內攝影調查分析、孔內地球物理井測、孔內地下水流速調查及孔內溫度與流體導電度調查。相關調查成果如圖 4 至圖 6 所示。

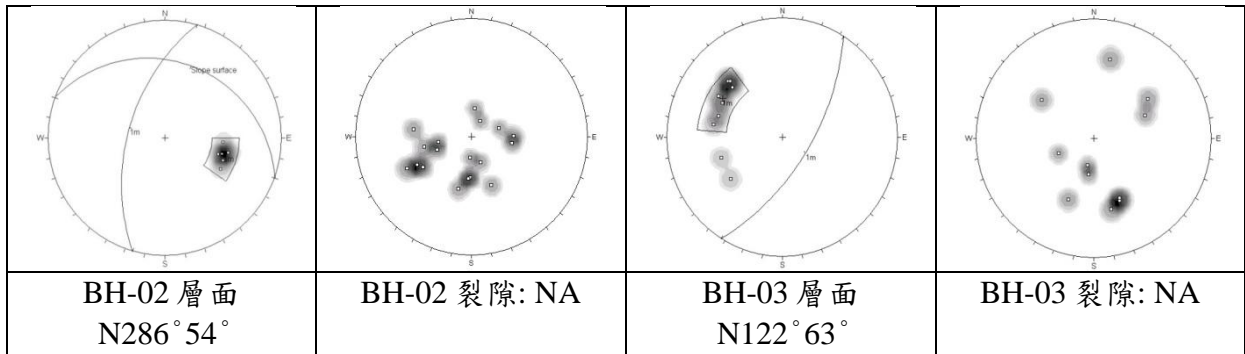


圖 4、鑽孔不連續面分類及位態立體投影圖

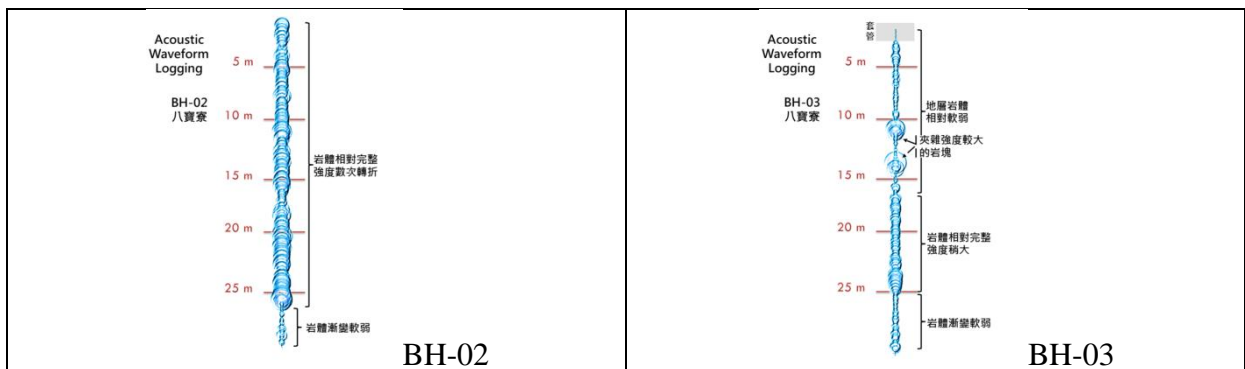


圖 5、八寶寮鑽孔音波反射振幅分析圖

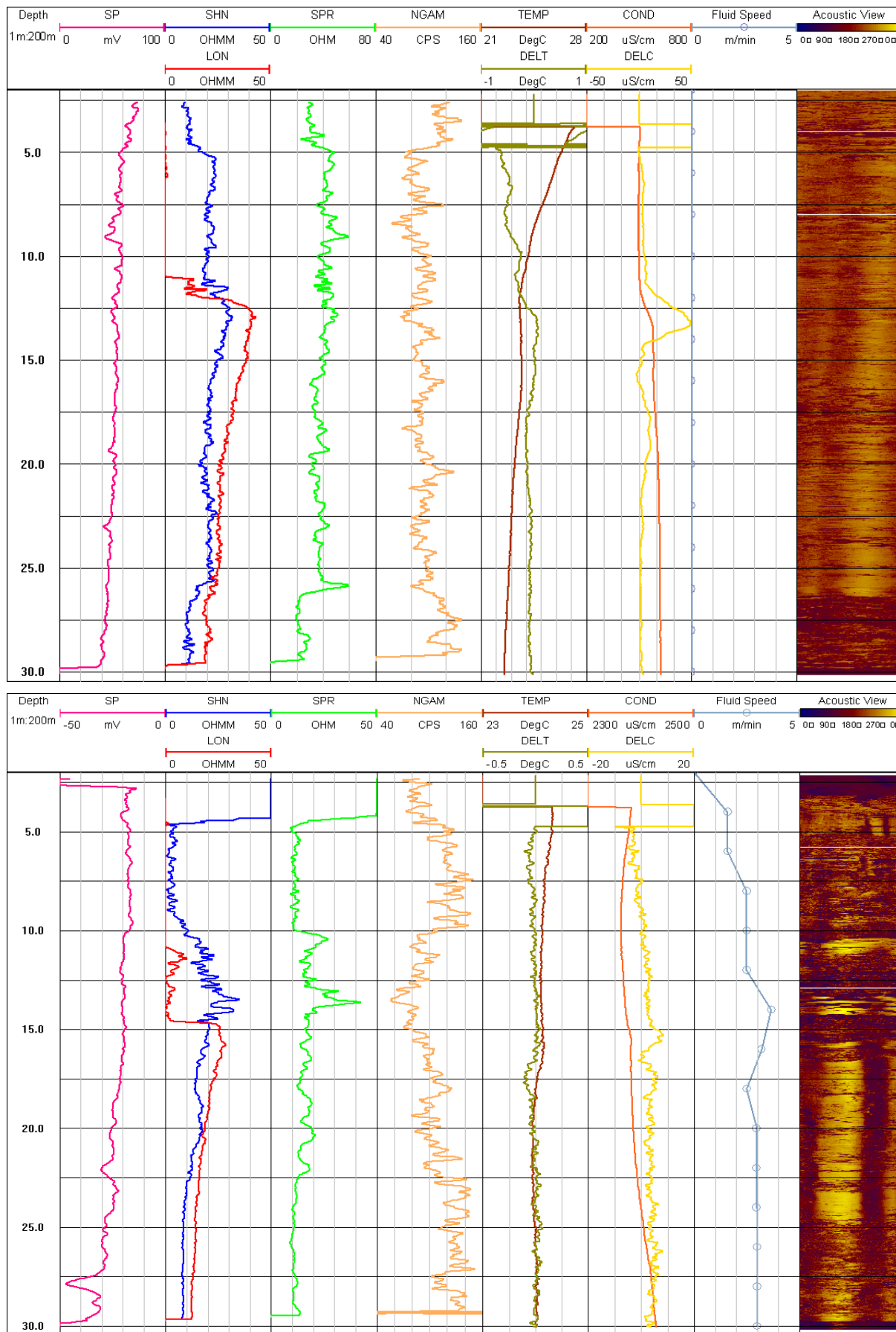


圖 6、八寶寮調查範圍 BH-02 與 BH-03 鑽孔孔內井測結果

(三)地球物理探測

根據鑽探資料及 Griffiths and King(1965)孔隙率愈大含水量愈高之理論，本次 R1~R3 探測剖面，如圖 7 所示，邊坡有淺層岩塊、土壤及岩屑，以及厚層的破碎或節理發達的砂岩。

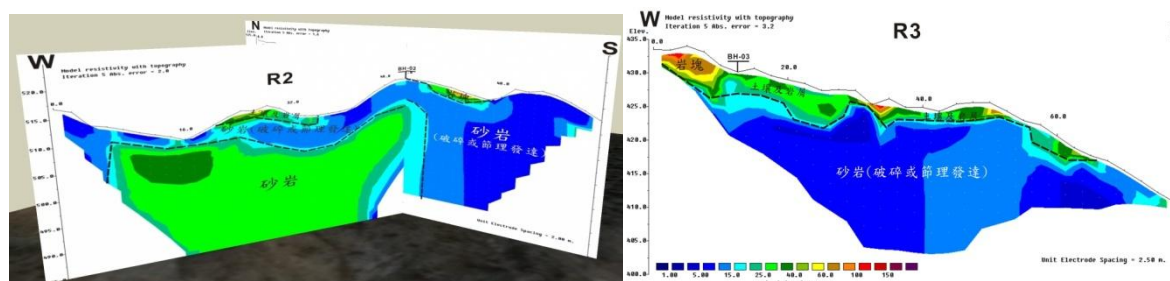


圖 7、八寶寮地電阻影像剖面探測剖面圖

四、地下(表)水質採樣與分析

目前樣本採集日期為 106/3/31 至 106/10/30，共採集雨水標本 101 個，地表水標本 19 個，地下水標本 26 個。

(一)氫氧同位素分析

由氫氧同位素之結果可推論八寶寮崩塌地溪水受當地雨水影響很大，而地下水結果亦顯示位於坡頂之 BH-01 及 BH-04 鑽孔地下水之氫、氧同位素組成分布與溪水相似，顯示本區地下水之來源可能與溪水有關。BH-03 鑽孔之井下 5 公尺氧同位素明顯低於井下 18 公尺，可初步推論井下 18 公尺的水來自地層側向補注，而井下 5 公尺的水體則明顯受降雨補注影響，此水體來源推論與地下水流速調查成果吻合。

(二)陰陽離子分析

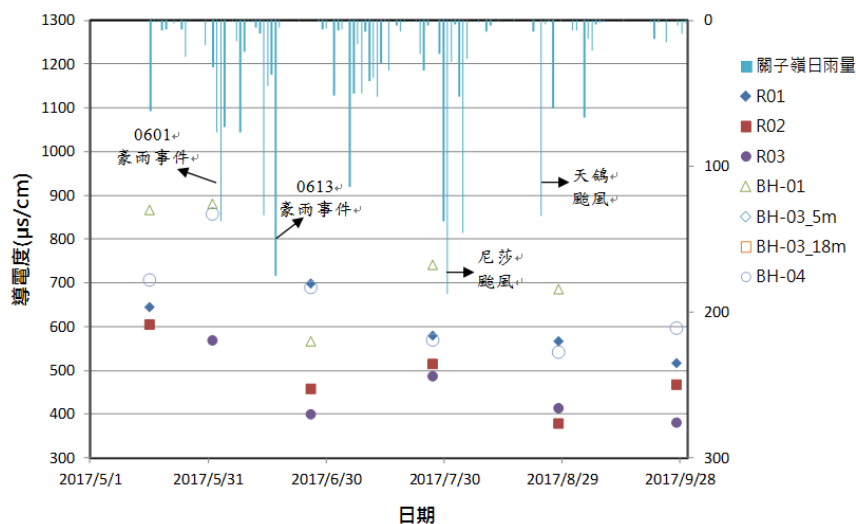
各水樣內均以碳酸氫根離子濃度含量最高，而有受到 0601 崩塌事件影響之水離子為碳酸氫根離子及鈉離子，大部分均為 0601 崩塌事件後離子濃度最高(BH-01 鑽孔水樣內之鈉離子除外，其為崩塌發生後降低)，另於 BH-04 鑽孔水樣中，還多了硫酸鹽離子受到 0601 崩塌影響而提高。地表水樣中，各水樣內同樣以碳酸氫根離子濃度含量最高，但並未發現地表水樣之水離子濃度分布與崩塌事件發生有明顯關連。

五、地孔內水體導電度長期監測系統建置

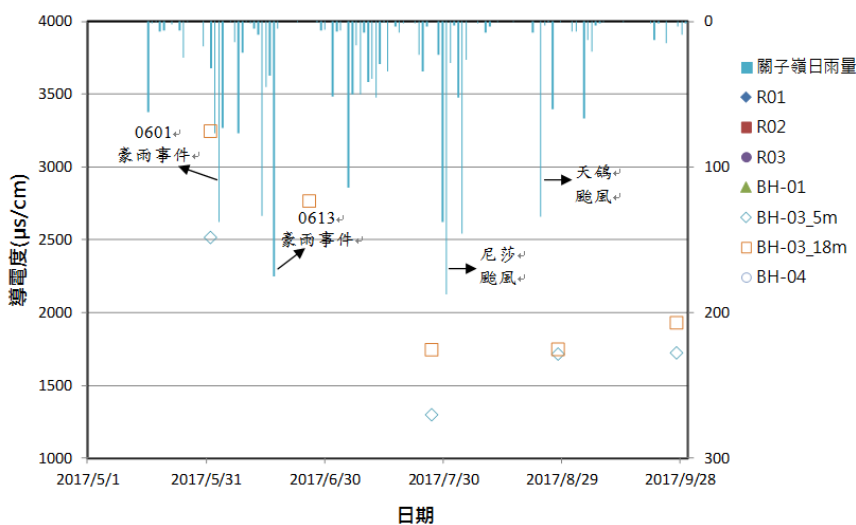
為具體且準確掌握崩塌地之滑動徵兆，除透過定期定點之地表水樣採集與分析外，本計畫並探討藉由孔內水文地質調查技術所擇定之潛在滑動面區段，監測其地下水體之導電度是否會與地表水之導電度存在差異，及不同深度之導電度是否亦有所不同。此外，降雨事件造成之崩塌地滑動過程是否會影響觀測區段之地下水體導電度變化亦為本計畫重要目標之一；

故若須達成此目標，須仰賴孔內水體導電度長期監測系統之建置。

本計畫今年度初步採用美國 In-Situ Inc. 產製之 Aqua Troll 200 系列水質水壓計，其外觀材質為鈦金屬，具極佳之耐腐蝕能力，可適用於各類水質環境進行監測，主要記錄項目包括：水壓、地下水位、導電度及比導電度、鹽度、總溶解固體及溫度等。本計畫於 4 處鑽孔位置中，分別挑選位於坡中的 BH-02 及坡址 BH-03 等 2 處鑽孔埋設 2 吋 UPVC 材質 (SCH 40) 之井管，並藉由孔內水文地質調查與地層結構顯影結果來設計各孔潛在滑動區位為開篩區段。然因今年度 0601 豪雨事件造成 BH-02 孔遭受掩埋損毀，故改安裝在坡頂全開篩之 BH-04 孔來進行水質水位監測，安裝深度為 20m 左右。另外 BH-03 孔的水質水位計安裝深度為 18m，屬於深部的開篩區段中間位置，期望藉由深部水質水位的監測來瞭解八寶寮崩塌地之深層是否亦具有潛在滑動面。



(a)除 BH-03 孔以外之各水樣導電度



(b)BH-03 孔內水樣之導電度

圖 8、八寶寮各水樣之導電度分布圖

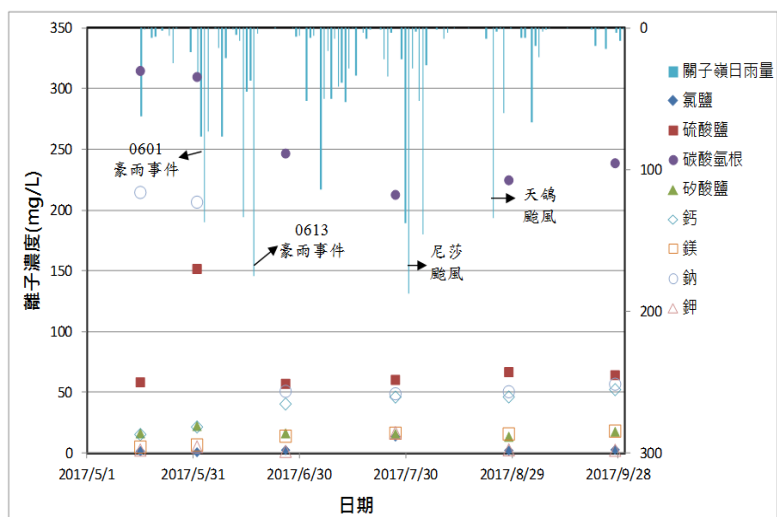


圖 9、BH-04 鑽孔水樣之各水離子含量分布圖

六、崩塌地滑動徵兆評估因子建立與關聯性分析運用

本計畫於崩塌地背景資料之建立部分，已完成八寶寮崩塌地之現地地質鑽探及孔內水文地質調查與分析工作，並已依此成果所判斷之潛在滑動區段位置，設計位於坡中之 BH-02 及坡址之 BH-03 兩孔之開篩觀測區段，然因 0601 豪雨事件導致 BH-02 毀損而無法放置水質水位計監測，故改至坡頂位置之 BH-04 進行監測，目前持續監測中。目前本計畫已初步彙整水離子分析資料共 6 個月、氫氧同位素分析資料共 6 個月、以及現地監測資料共 5 個月，嘗試建立本計畫區之崩塌地滑動徵兆評估因子及其關聯性。

崩塌事件後具有明顯變化之特徵因子：目前於八寶寮崩塌地內，本計畫初步認為較可以代表崩塌事件後發生變化之水離子特徵因子分別為：碳酸氫根離子、鈉離子以及硫酸鹽離子。特徵因子與導電度之關聯性：三項特徵因子中，與導電度有較良好正相關之特徵因子主要為碳酸氫根離子及鈉離子，如圖 10 至圖 11 所示。

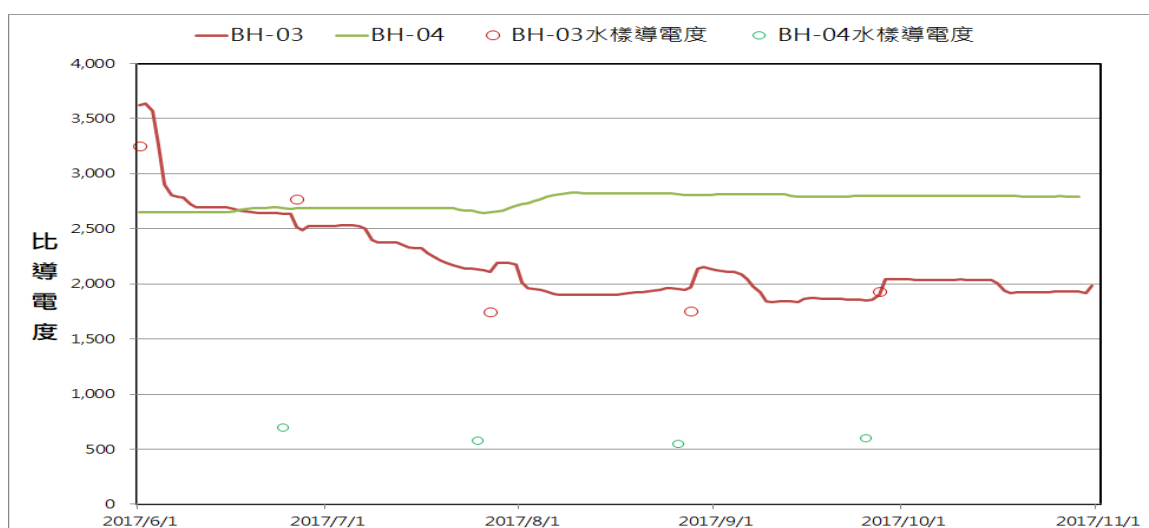
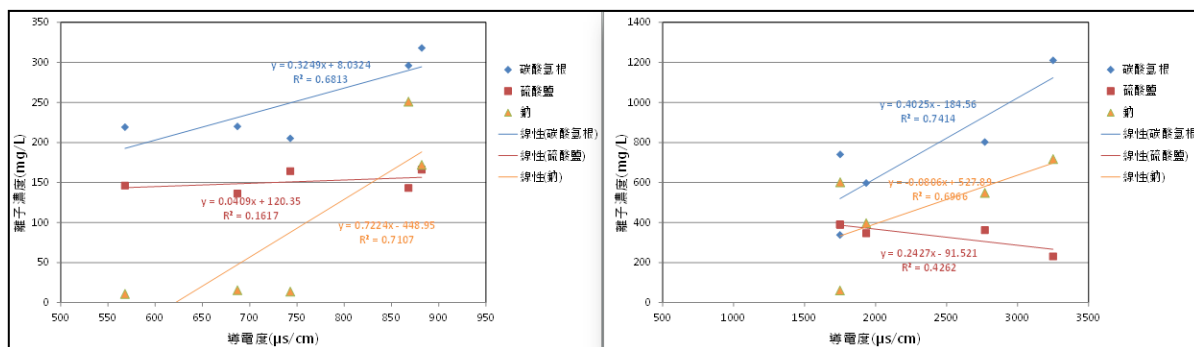


圖 10、儀器監測及水樣分析結果比較



(a)BH-01 水樣 (b)BH-03 18m 水樣

圖 11、導電度與離子濃度之關連性分布圖

六、結論與建議

本計畫於新興潛在運動的大規模崩塌地，提出一套創新的滑動徵兆評估方法，透過一系列的水文地質調查及藉由地下水與地表水水體之導電度及離子濃度變化反應，有效掌握滑動發生前兆與建立完整的評估因子。後續建議可持續調查與監測，以及增加監測設備，作為綜合性的研判與分析。以利掌握崩塌地滑動徵兆評估因子及其關聯性。

七、參考文獻

1. 王秋嫻、黃瓊彪、盧惠生、劉瓊霏，崩塌對溪流水化學之影響-以六龜試驗林中寮溪為例，林業研究季刊，38(3)，第 181-192 頁，2016。
2. 地頭菌隆，平成 23 年度道路防災に関する技術講習会，2011。
3. 地頭菌隆，溪流水の電気伝導度を用いた深層崩壊発生場の予測，砂防学会誌，Vol.66，No.6，p.56-59，2014。
4. 地頭菌隆、下川悦郎、寺本行芳，深層崩壊発生場予測法の提案—鹿兒島県出水市矢筈岳山体を例にして—，砂防学会誌，Vol.59，No.2，p.5-12，2006。
5. 青木 滋，地すべり地の地質，地下水調査，地層滑動之規劃與整治工法研討會論文集，1998。
6. 范正成、楊展源、孫偉騰，雨量與地下水電導度(EC)監測方法之研究(III)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，2005。

7. 彭宗仁，由水文同位素研究揭釋梨山地滑之地下水來源與防治策略，地質，第 29 卷，第 3 期，第 81-84 頁，2010。
8. 楊燦堯，宋聖榮，陳正宏，劉聰桂，地震前兆之化學性監測，台灣之活斷層與地震災害研討會論文集(89-106 頁)，經濟部中央地質調查所，2002。
9. 鄭裕適，碩士論文，166 線 80K 地滑區滑動機制之研究，國立中興大學水土保持學系，2012。
10. Berninkmeijer, C. A. M., Kraft, P., and Mook, W. G., Oxygen isotope fractionation between CO₂ and H₂O. *Isot. Geosci.*, 1: 181–190, 1983.
11. Guglielmi, Y., Bertrand, C., Compagnon, F., Follacci, J. P., & Mudry, J., Acquisition of water chemistry in a mobile fissured basement massif: its role in the hydrogeological knowledge of the La Clapiere landslide (Mercantour massif, southern Alps, France). *Journal of Hydrology*, 229(3), 138-148, 2000.
12. Ibe, K.M.Sr., Ebe, A.M., Impacts of debris-flow deposits on hydrogeochemical processes and the development of dryland salinity in the cross-river catchment, SE, Nigeria, *Environmental Monitoring and Assessment*, 64, 449-456, 2000.
13. Sakai, H. and Matsubaya, O., Stable isotopic studies of Japanese geothermal system. *Geothermics*, 5: 97–124, 1977.