

嘉義縣竹崎鄉中心崙大規模崩塌潛勢區監測資料研析

林德貴¹張國欽² 陳俞瑾³陳毅輝⁴

摘要

近年受到氣候變遷影響，降雨時間更密集，降雨量也更集中，行政院農業委員會水土保持局盤點「全台大規模崩塌」並將有明確保全對象為最優先處理，嘉義縣竹崎鄉中心崙 T003 大規模崩塌潛勢區(以下簡稱中心崙 T003 崩塌潛勢區)即屬上述地點之一。根據近年監測資料，崩塌地之滑動規模及機制已可掌握，目前崩塌地具高崩塌潛勢之邊坡面積約 32.62 ha。由於中心崙 T003 崩塌地崩滑明顯，為求在地居民及嘉 128-1 鄉道用路人之安全，本研究採用崩塌地在颱風、豪雨期間之監測成果，作為日後警戒值訂定與工程設計適宜對策之參考依據。

本研究採用 2019 年度 M1、M2 滑動塊體新增之地下水位觀測井及孔內伸縮計，以監測地下水位與地層位移變化，M1、M2 滑動塊體平均地下水位約 2.4~4.2 m，汛期時孔內伸縮計可監測到明顯拉伸變化。同時，集水井下邊坡 16-3 TDR(Time Domain Reflectometry)深度約 7.8 m 處有明顯剪動面，L 滑動塊體內 18-4 傾斜管於深度 47~48 m 可測得一深層滑動面；另本研究設置 23 點 GPS 固定樁，測得區域內有明顯之地表位移變化，且利用地面控制點，來製作 UAV 之正射影像，並進行地表位移的比對。

本研究利用崩塌地之自動化監測成果進行治理策略之評估及擬定，最後建議除必須維護嘉 128-1 鄉道之運輸功能外，當 24 小時累積雨量達 200 mm 時，地層滑動情形可能變劇烈，建議未來針對嘉 128-1 鄉道進行預警性封路或疏散避難勸告等防災作為。滑動塊體坡趾亦應施作野溪整治工程，並修復銜接既有地表排水系統。同時，進行橫向集水管工程，以排除邊坡地下水，降低崩塌致災之潛勢，達到保護居民生命財產安全之目標。

(關鍵詞：大規模崩塌、監測系統)

¹ 國立中興大學水土保持學系教授

² 國立中興大學水土保持學系博士生(通訊作者 e-mail：kuoching1226@gmail.com)

³ 行政院農業委員會水土保持局南投分局工程員

⁴ 震翔監測工程有限公司顧問

Analysis of the Monitoring Data for Jhongsinlun Large-Scale Landslide in Jhuci Township, Chiayi County

***Der-Guey Lin*^[1] *Kuo-Ching Chang*^[2] * *Yu-Chin Chen*^[3] *I-Hui Chen*^[4]**

Professor ⁽¹⁾, Ph.D. Student ⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, 402, R.O.C.

Engineer ⁽³⁾, Nantou Branch, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan, R.O.C.

Ph.D. ⁽⁴⁾, CIAN & SHUN TECHNOLOGY CO., LTD., , Taichung, Taiwan

ABSTRACT

Due to extreme climate, rainfall becomes heavier and stronger in recent years. The Soil and Water Conservation Bureau undertakes prior remediation plans for some large-scale landslide areas considered local people's living and safety in Taiwan. The Jhongsinlun potential large-scale landslide, coded as T003, is one of the areas. The T003 is located at Jhuci township in Chiayi county, Taiwan. According to monitoring results in the T003, the extent of the landslide can be determined as 32.62 ha and the displacement of that is significant. In order to the safety of residents, the warning value of the monitoring is necessary during heavy rainfall and typhoons. Meanwhile, strategies for the remediation of the landslide is important for the village road No. 128-1.

In 2019, the groundwater level gauges and extensometers in the sliding masses M1 and M2 indicated that the average groundwater level was at depths of 2.4~4.2 m and displacements of the extensometers were significant after heavy rainfall. The system of Time Domain Reflectometry (TDR) and inclinometers for the monitoring of subsurface deformation in the T003 indicated that a potential sliding surface was located at the depth of 7.8 m at the 16-3 TDR station located at the downslope of a drainage well in the M1 sliding mass. Meanwhile, the monitoring data from the 18-4 inclinometer in L sliding masses showed that the potential sliding surface was located at the depth of 47~48 m. Furthermore, based on the measurement of 23 GPS observation points, ground movements in the landslide occurs significantly, compared to orthoimages of UAV.

Finally, according to the monitoring results of the landslide, it is suggested that the remediation works at slope toes and the repair of surface drainage system in the landslide should be carried on for the maintenance and transportation of the village road No. 128-1. Also, a series of horizontal drains should be installed to drop the groundwater level and reduce potential landslides so as to protect the lives and properties of local residents in the area.

(Keywords : Large-scale landslide, Monitoring system)

研究區域

前言

中心崙 T003 研究區位於嘉義縣竹崎鄉白杞村內，坐落於竹崎鄉南方，東鄰文峰村，東南鄰桃源村，西南隔濁水溪與內埔村為鄰，北鄰塘興村。根據歷年監測成果顯示，研究區已有明顯滑動位移且範圍較大，對於滑動規模及機制於前期計畫(2016-2018 年)中有初步掌握，後續除針對需要緊急處理部分進行治理工程，期透過持續監測地滑區、增加崩塌潛勢分析與評估及治理策略擬定等工作，以謀求解決對策並降低致災之潛勢，達到保護居民生命財產安全之目標。

由於中心崙 T003 崩塌地崩滑明顯(圖 1)，為求在地居民及嘉 128-1 鄉道用路人安全，期以本研究之監測儀器在颱風、豪雨期間，發揮安全監測之效，提供相關單位適宜治理工法之對策。



圖1 嘉義縣竹崎鄉白杞村中心崙 T003崩塌地

Figure 1 The T003 Jhongsinlun large-scale landslide at Baiqi village of Jhuci township in Chiayi county

本研究區係位於阿里山山脈西側之嘉義丘陵地區，區域內東南側無名山(海拔 468 m)，該山峰為區域地形之相對高點，本研究區之區域地形如圖 2 所示。地勢分別由其朝向北、西北漸低，其中朝北方漸低至樟樹坪溪，地形高差約 100 m 左右，地勢平緩平均坡度約 15~30%左右。

交通方面，研究區域之交通以公路及產業道路為主，可由嘉義縣竹崎鄉內埔村沿鄉道嘉 128 線向東而行，經濁水溪而過仁博橋約 100 公尺，轉嘉 128-1 鄉道(樟樹坪路)行約 2 公里後而抵達本研究區；每逢颱風豪雨過後，常造區域內之道路下陷、損毀而無法通行，本區之替代道路為東邊南北方向之鄉道嘉 119 線道路及南邊東西方向之鄉道嘉 128 線道路。



圖2 大規模崩塌地點位分佈
Figure 2 Location of the T003 large-scale landslide

本研究區屬朴子溪支流之塘下寮子集水區(編號:1550002)，集水區分區由塘下寮、樟腦寮、大竹園與朴子溪下游組成(圖 3)，坡趾處則為朴子溪上游支流樟樹坪溪(嘉縣 DF015 土石流潛勢溪流)由東向西通過本研究區北側。

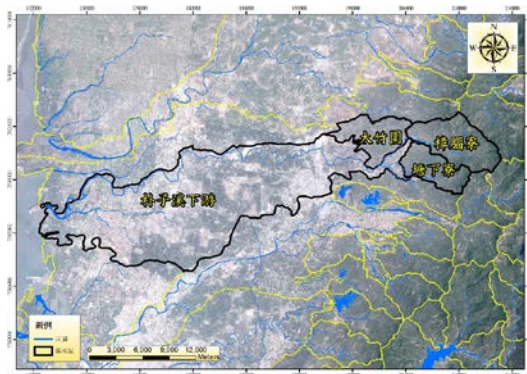


圖3 集水分區圖

Figure 3 Watershed delineation of study area

本研究區主要出露岩層為六重溪層，年代為上新世晚期至更新世早期，岩性上以細粒至粉砂質層狀砂岩為主，顏色淡灰至灰色，風化後常呈黃棕色。砂岩多純淨，局部含泥質。本研究區鄰近之主要地質構造為觸口斷層及水道背斜，圖 4 所示，其走向大致為北北東，顯見區域內之大地應力方向應來自東南方，惟部分區段因受西北向之橫移斷層截切及西北側北港高區影響，而異常向西或向南北方向彎曲突出。

參考經濟部中央地質調查所集水區地形及地質資料庫成果查詢系統，可見本研究區內有岩體滑動高中低潛勢，周遭有落石潛勢，如圖 5 所示。本研究區坡趾為高潛勢之土石流潛勢溪流，編號嘉縣 DF015 土石流潛勢溪流。由此可知，本研究區具有邊坡發生位移滑動之潛勢，而邊坡趾部為溪流，溪流之側向侵

蝕作用等自然營力作用劇烈與否，將影響區域邊坡之穩定性。

圖4 五萬分之一區域地質圖

Figure 4 Regional geological map of Taiwan scale 1:50,000 in the area

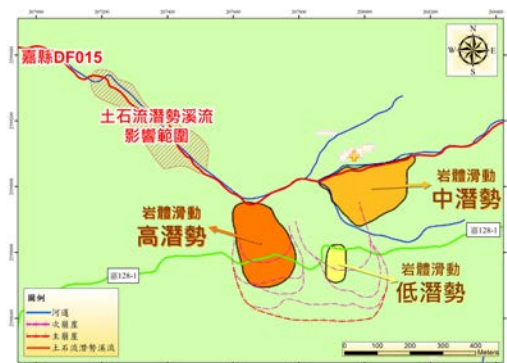


圖5 地質災害潛勢圖

Figure 5 Geological disaster potential map of study area

綜整本研究區 2006~2019 年度相關颱風、豪雨等災情資料，如表 1 所示。其中歷經 2006 年 0609 超大豪雨事件，使嘉 128-1 線鄉道產生大規模損毀，以及辛樂克及薔蜜颱風(2008 年)期間，高強度降雨造成多處崩塌，亦於 2012 年蘇拉颱風帶來之豪雨，引起之邊坡滑

動，而 2017 年 0601 大雨事件，造成區域內部份道路產生損壞；2018 年 0823 熱帶低壓影響，部份道路及邊坡產生崩塌災害；2019 年梅雨期間，集水井水位異常升高及地表發生張力裂縫；2019 年 0813 豪雨期間，嘉 128-1 鄉道下陷毀損、土石籠靜水池基礎淘刷。

表1 本研究區歷年災害統計表

Table 4 Statistical data of historical disasters of study area.

災害名稱	主要災情概述
2006年0609超大豪雨事件	農路道路產生較大規模損壞
2006年碧利斯颱風	1.局部邊坡裸露、崩塌 2.農路道路局部毀損
2008年辛樂克颱風	1.局部邊坡裸露、崩塌 2.農路道路局部毀損
2008年薔蜜颱風	1.鄉道嘉128線、嘉128-1線，道路上、下邊坡崩塌 2.道路嚴重錯動破損，部分擋土牆傾倒損壞，規模約20公頃
2009年莫拉克颱風	1.局部邊坡裸露、崩塌 2.農路道路局部坍塌，影響交通
2012年蘇拉颱風	道路下邊坡嚴重塌陷，多處裂縫明顯擴大趨勢
2013年蘇力颱風	農路道路持續位移、下陷
2013年康芮颱風	農路道路持續位移、下陷
2015年蘇迪勒颱風	1.上下邊坡較嚴重滑動現象 2.農路道路嚴重損毀
2016年0611大雨事件	1.連續降雨坡面產生滑動 2.集水井工程約於地下5m 滑動剪斷
2016年梅姬颱風	嘉128-1線鄉道約500m 嚴重損毀，道路中斷，規模約15公頃
2017年0601大雨事件	嘉128-1線鄉道約200m 道路嚴重龜裂，道路中斷
2017年尼莎、海棠颱風	嘉128-1線鄉道約200m 嚴重損毀，道路中斷
2018年0619大雨事件	嘉128-1線鄉道局部出現龜裂、破損
2018年0823熱帶低壓	1.上邊坡持續崩塌，且有新增崩塌 2.嘉128-1線鄉道仍有多處路段損毀
2019年梅雨季	1.集水井水位異常上升 2.集水井周圍產生張力裂縫
2019年0813豪雨	1.嘉128-1線鄉道下陷、毀損。 2.土石籠靜水池基礎淘刷流失

研究方法

本研究蒐集於 2019 年 01 月起至 2019 年 12 月止，為期 1 年之時間，利用自動化監測

儀器監測中心崙 T003 崩塌潛勢區，進行評估坡趾實施野溪整治工程，修復與銜接地表排水系統，並針對邊坡進行橫向排水管工程，以排除坡面地下水，降低致災之潛勢。研究中使

用 UAV 無人載具進行前後期多期空拍，並配合地面控制點進行分析比對，以了解年度地形變異；經由現地調查與地物探勘配合鑽探成果，以了解地層分佈；使用現地監測儀器搭配雨量資料，以了解區域地層滑動驅動之雨量(圖 6)，以利後續防災預警。

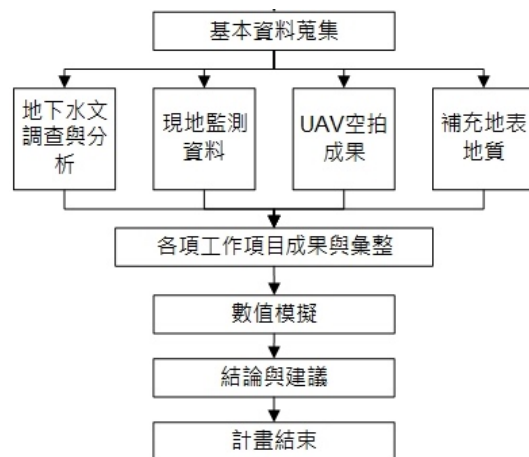


圖6 研究流程圖

Figure 6 Research Flowchart

1. 無人載具空中作業

為了能夠即時且有效的掌握災害發生現況及區域全貌，空中無人載具的應用便成為為一強而有力之工具，以無人載具攜帶影像擷取設備所取得之中低空高解析度影像，除了具備高機動力外，可克服傳統現地調查之地形視野障壁，針對地形死角進行補充調查，取得較佳之全視野影像，配合其他圖資相互搭配使用時，亦可增加對現況之了解程度。

研究中採用 Pix4Dmapper 航測影像處理軟體，製作 DSM 地形與正射影像，並利用空拍影像提供地形地圖與 3D 模型(圖 7)。本研究採用特徵點萃取與匹配，以建立相鄰影像的相對關係，再運用移動獲取空間結構的方

法，解算與建立相機與所拍攝物體之間的空間結構關係，產生高品質的三維模型，包含高密度點雲、網格表面模型及精確的量測結果。



圖7 Pix4Dmapper UAV航測影像處理軟體

Figure 7 Pix4Dmapper

2. 現地調查及地下水文分析

進行崩塌地現況調查且彙整比對崩塌地地形變化特徵，並針對計畫區內既有構造物裂縫、地表裂縫與陷落、地表排水路徑、坡面滲水進行現況調查紀錄。同時整合既有地下水觀測井調查成果，以了解區域地下水文概況並運用相關模式進行地下水流 3D 模擬，掌握地下水流動與分佈，以供後續工程之參考依據。

為了推求中心崙 T003 崩塌地邊坡的地質分層與地下水流向系統，使用 Kriging 內插法對資料的結構進行分析及研究。經由 ARCVIEW 的空間分析做到由網格水頭的高低判釋其水流的方向，在初步判釋地下水流向後，判釋地下水流向的概念化模式。

地球物理探測方式採用地電阻影像探測方法，探測大範圍地層變化情形，藉以判定坡地之透水特性及地下水補注或流出潛勢等，測線佈置應符合崩塌深度及範圍調查需要，並在汛期前後各調查一次。

3. 現地監測作業

3.1 GPS 固定樁

GPS 固定樁觀測採用基準控制點，利用國土測繪中心 GPS+GLONASS 雙星系統 e-GNSS 之定位修正服務，「VBS-RTK 即時動態定位技術」取得點位座標(圖 8)，其優點可以使區域量測之座標系統與全國座標系統進行聯繫，且 GPS 無須通視，可節省時間與提高山區量測之精度。以國土測繪中心 e-GNSS 解算座標，該技術是採用網路傳輸技術即時結合多個基準站觀測資料，建構區域性定位誤差改正，提供 RTK 使用者更準確、可靠的定位誤差修正資訊，有效擴展 RTK 的作業距離。

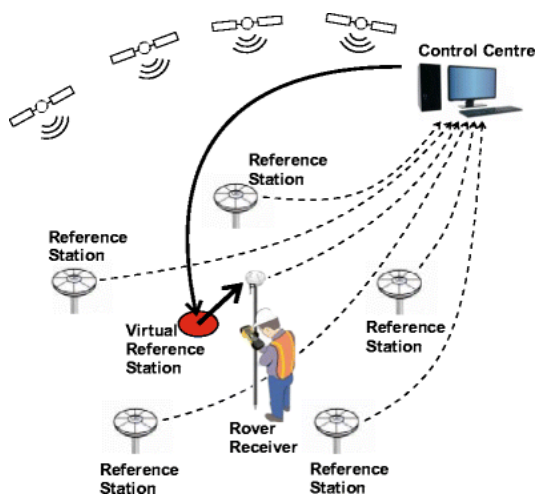


圖8 VBS-RTK 即時動態定位技術

Figure 8 VBS-RTK technology

3.2 伸縮計

於 M1、M2 滑動塊體設置孔內伸縮計、L 滑動塊體設置地表伸縮計，以了解地層即時滑動情形與地表變位(圖 9)。

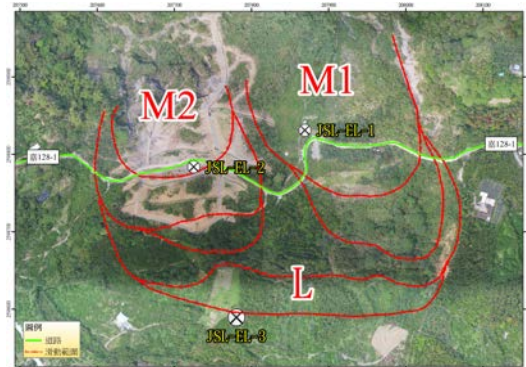


圖9 伸縮計分佈圖

Figure 9 Extensometer distribution map of study area

3.3 地層監測儀器

本研究區除了使用自動化孔內伸縮計進行地層監測外，也進行人工傾斜管、TDR 地層觀測作業，區域內有 5 處傾斜管及 2 處 TDR 等觀測儀器(圖 10)。

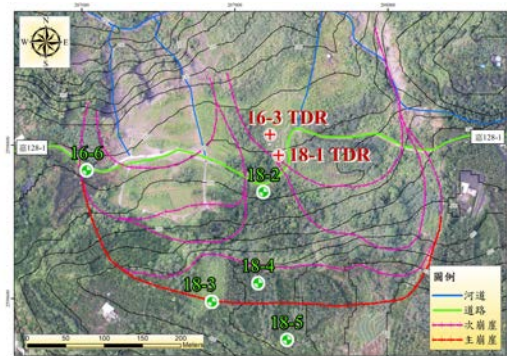


圖10 傾斜管分佈圖

Figure 10 Inclinator distribution map of study area

結果與討論

1. UAV 遙測分析

研究期間進行 2 次無人載具拍攝作業，並搭配地面 GPS 控制點，提高施測精度，進一步了解崩塌地潛勢區域，其成果包含影像正射化處理、DSM 地形製作。採用 Pix4Dmapper 航測影像處理軟體，製作 DSM 地形與正射影像(圖 11~12)，並可利用空拍影像提供地形地圖與 3D 模型。

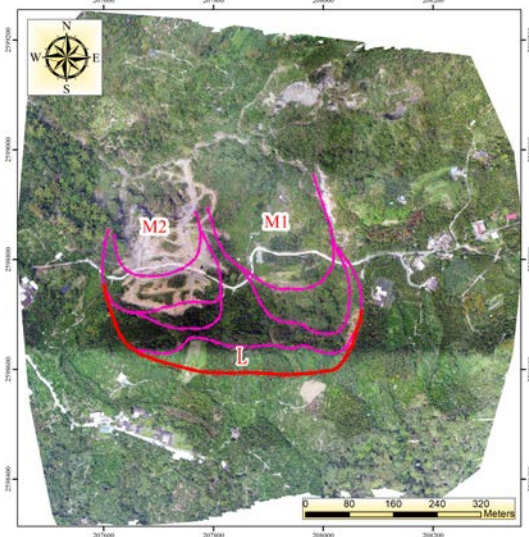


圖 11 中心崙 T003 崩塌地正射影像

Figure 11 Orthoimage of the T003 Jhongsinlun landslide

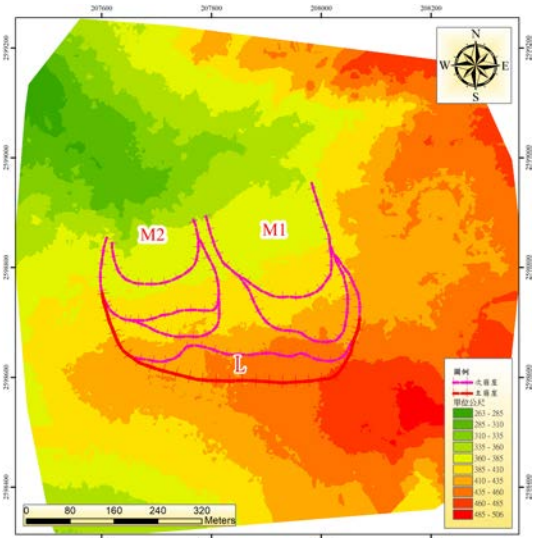


圖 12 中心崙 T003 崩塌地 DSM

Figure 12 DSM of the T003 Jhongsinlun landslide

利用 ArcGIS 將兩期 DSM 進行前後期高程疊減，由於 DSM 高程包含樹高及現場拍攝之地物高程，因此高程變異包含植物生長及其拍攝角度所造成誤差，研究中針對圖上綠色部分(高程變異為降低)進行研究與分析，可觀察到因工程降挖、河道沖蝕與坡面侵蝕等不同營力所造成高程降低(圖 13)，圖內平均高程差約 0.50 m。

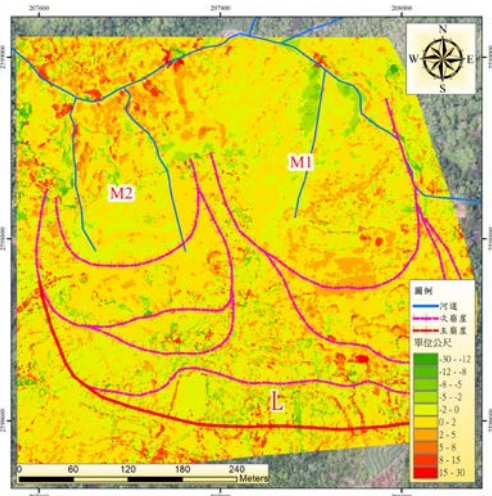


圖 13 前後期 DSM 高程變異圖
Figure 13 Altitude variation of the T003
Jhongsinlun landslide

2.水文監測分析與地下水 3D 模擬

中心崙研究區共有 3 處水位觀測井，編號分別為 JSL-OW1、JSL-OW2 及 JSL-OW3，其分佈如圖 14 所示。依據歷年計畫鑽孔分佈及資料結果，JSL-OW1 孔位鑽孔深度約 25 m，JSL-OW2 孔位鑽孔深度約 15 m，年平均地下水位深分別為 4.2 m 與 2.4 m；另於集水井上游坡面之自動化水位觀測井 JSL-OW3，年平均地下水位深 2.7 m。

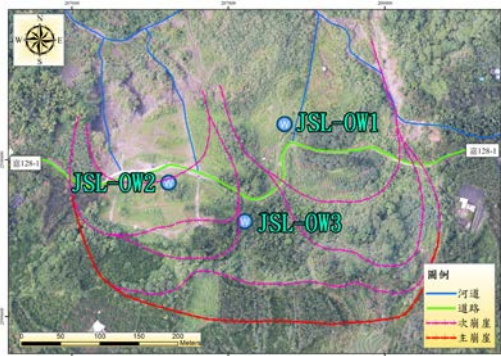


圖 14 水位觀測井鑽孔位置
Figure 14 Location of groundwater-level
observation wells

地下水 3D 模擬部份，蒐集近年所有鑽孔及地下水位高程，除了模擬地下水流向，也針對地表水進行分析，發現中心崙 L 滑動塊體區域地表水分析結果部分向南流，但地下水層仍呈現往北流狀態，如圖 15~16 所示。

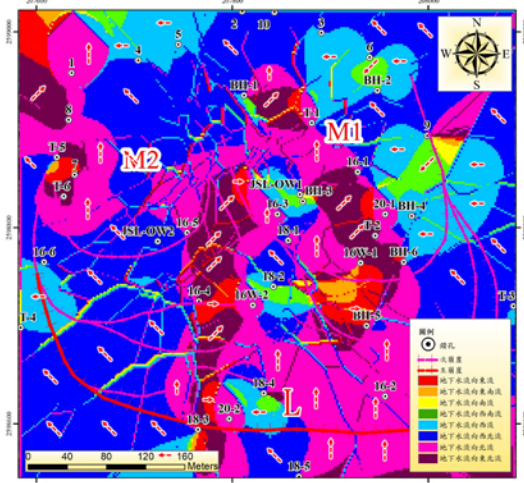


圖 15 地下水流向分佈成果圖
Figure 15 Distribution pattern of groundwater
flow direction of study area

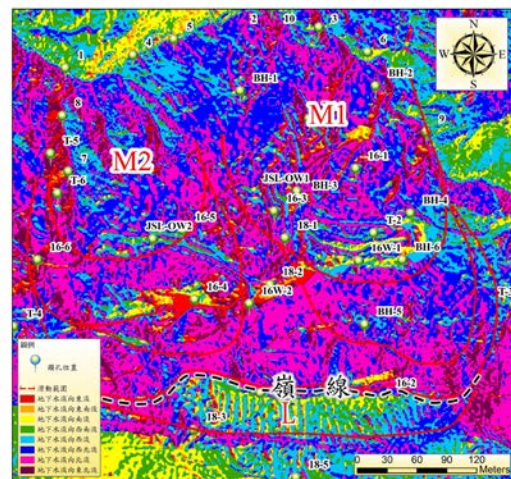


圖 16 地表水流向分佈成果
Figure 16 Distribution pattern of
surface-water flow direction of study area

3.地球物理探勘

本研究分別於汛期前後進行地電阻量測作業，整體區域判釋成果大致相同，分為表土層、崩積層和砂岩泥岩互層，第一層為表土層，厚度約為 1~4 m；第二層為表土層下方之崩積層，厚度約為 4~15 m，最下方大致為砂岩泥岩互層。地電阻圖上之藍色低電阻區域，推測為含水層或地下水位較豐沛之區域。第二次施測成果，可更清楚的看出低電阻(含水量較高)區域；其推測崩積層層面和可能滑動面位置，依電阻值分佈來看，其兩次的推測劃分成果相似。

AB、CD 測線中間重疊區，有較高電阻值區域(紅橘色區域)，推測此區透水性較好，地層可能有較高之穩定性；而較低電阻值區域(綠色區域)，可能有屬於地層含水量較高，根據區域地質鑽探成果，約 5~16 m 以下即為泥岩，因此此區域透水性相對不高；有最低電阻值區域(藍色區域)，推估該區可能有含水層，因此可能有地下水補注及流出之潛勢，經由現地勘查，部分區域即為工程設置點位，並有常流水於工程構造物上(圖 17~18)。

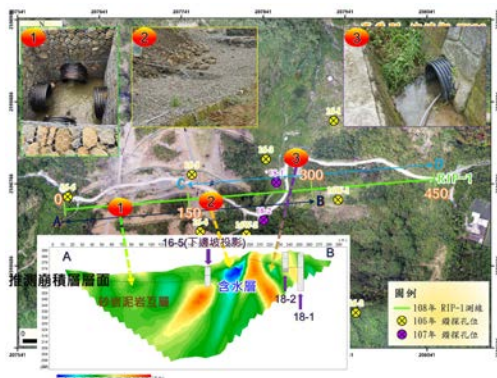


圖 17 含水層與現況排水設施比較(AB 剖面)

Figure 17 Comparison of aquifer and in-situ drainage works (AB profile)

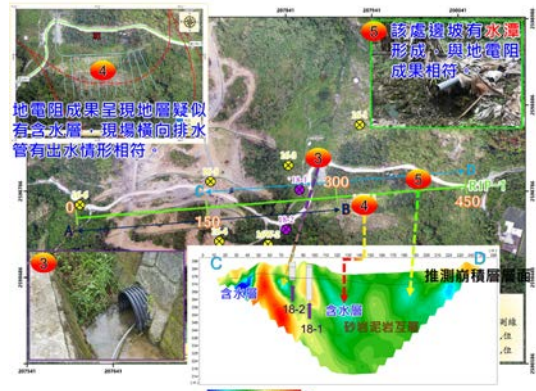


圖 18 含水層與現況排水設施比較(CD 剖面)

Figure 18 Comparison of aquifer and in-situ drainage works (CD profile)

4.地表及地層變位調查

4.1 固定樁觀測

考量區域變化情況頗大，除了針對嘉 128-1 鄉道本身，也針對其上下邊坡、集水井設置 GPS 觀測點，共設置 23 處 GPS 固定樁，以 2019 年 10 月底與 2019 年 04 月初量測之座標比較，其中以 JSL-G15、G05、G16、G03 目前觀測變化量相對較大，分別有 421、401、141、137 cm(圖 19)。

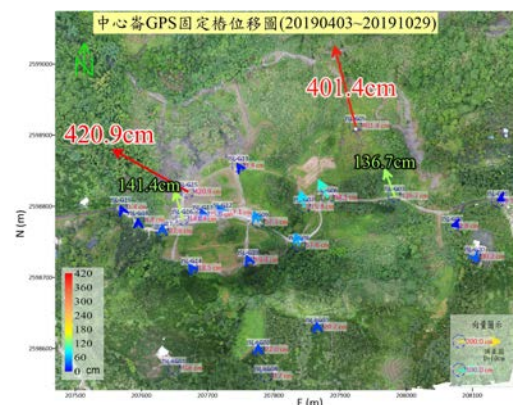


圖 19 GPS 點固定樁位移觀測變化

Figure 19 Displacement variation of GPS observations

4.2 孔內伸縮計

本研究中有 2 處孔內伸縮計，JSL-EL-1 孔內伸縮計設置於 M1 滑動塊體，鄰近集水井工程附近，於 2019 年 07 月 27 日開始監測到明顯變位，本孔年度累積拉伸約 61.8 cm，如圖 20 所示；JSL-EL-2 孔內伸縮計設置於 M2 滑動塊體，位於兩條坑溝中間區域，監測位置西側約 60 m 處，因坑溝影響道路形成陡升陡降，因此設置伸縮計以監測地層滑動情形，於 2019 年 08 月 17 日開始監測到明顯變位，本孔年度累積拉伸約 13.9 cm，如圖 21 所示。

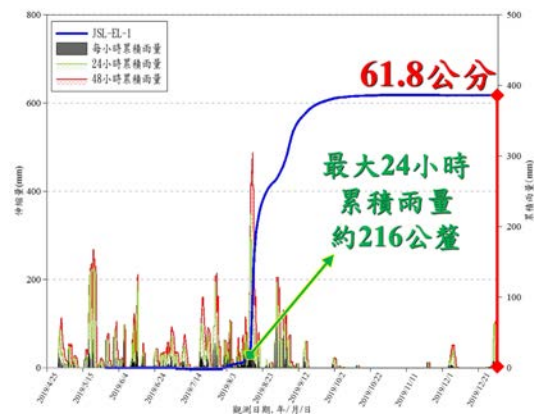


圖 20 孔內伸縮計(JSL-EL-1)位移變化歷時曲線

Figure 20 Time history of displacement variation of (JSL-EL-1) extensometer

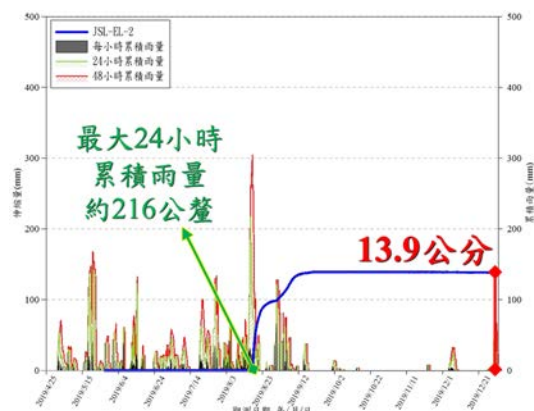


圖 21 孔內伸縮計(JSL-EL-2)位移變化歷時曲線

Figure 21 Time history of displacement variation of (JSL-EL-2) extensometer

4.3地表伸縮計監測為有效進行追蹤及掌握坡頂狀況，針對 L 滑動塊體較顯著之張力裂縫兩端位置，JSL-EL-3地表伸縮計2019年06月17日監測到第一次明顯之拉伸變位，2019年07月28日監測到第二次明顯之拉伸變位，2019年08月15日監測到第三次明顯之拉伸變位，地表年度累積17.1 cm 拉伸變形量，如圖22所示。

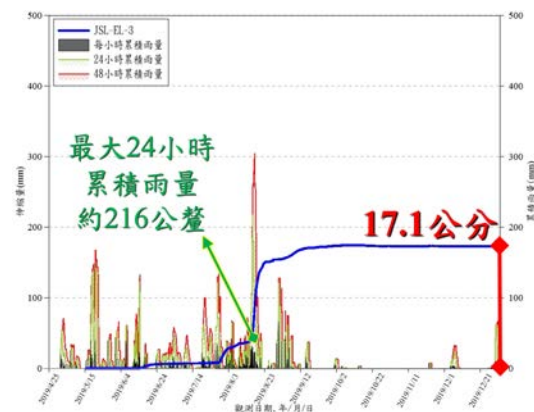


圖 22 地表伸縮計(JSL-EL-3)位移變化歷時曲線

Figure 22 Time history of displacement variation of (JSL-EL-3) extensometer

4.4 地層變位觀測

針對 5 處傾斜管進行觀測，包含 16-6、18-2、18-3、18-4 及 18-5 孔位進行觀測，如圖 23 所示，同時蒐集 16-3 及 18-1 TDR 之資料，進行計畫區滑動面深度及調查，觀測到集水井下邊坡 16-3 TDR 深度約 7.8 m 處有明顯剪動面，如圖 24 所示，L 滑動塊體之 18-4 傾

斜管於深度 47~48 m 測得一滑動面。

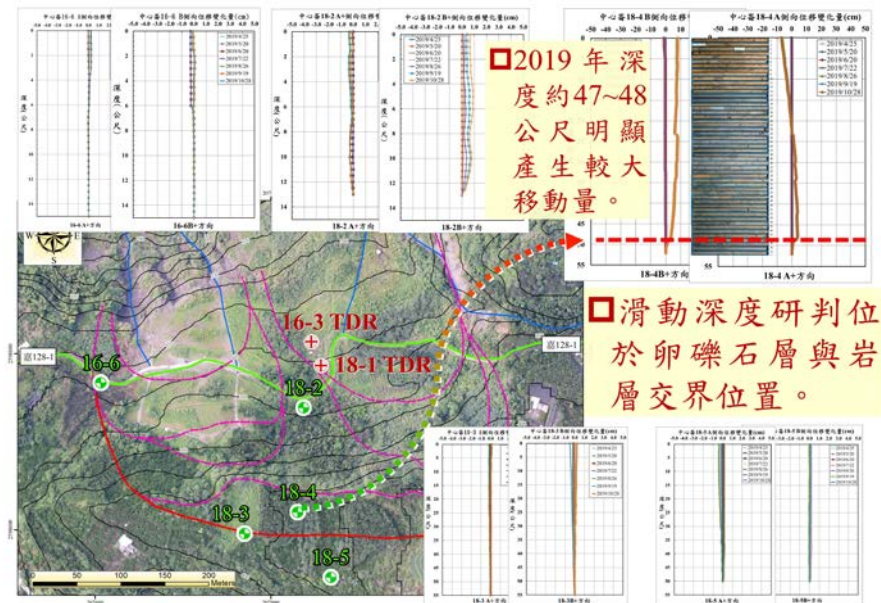


圖 23 管內傾斜儀量測成果一覽表

Figure 23 Summary of the observations of inclinometers

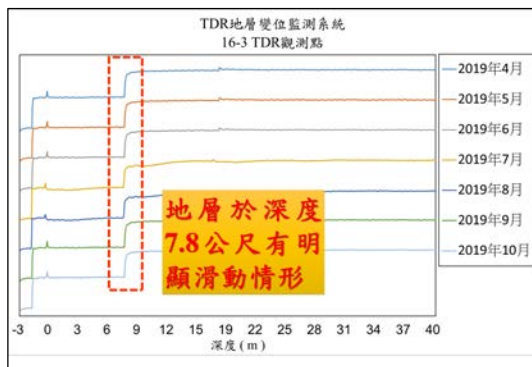


圖 24 16-3 鑽孔 TDR 地層滑動觀測成果
Figure 24 TDR measurements of monitoring borehole 16-3

5. 集水井內監視影像架設與地下水補注分析

於集水井內架設攝影機，觀察到水位高程異常抬升，經由現地勘查，下方匯流井之排水管未有排水現象，顯示集水井排水管已失去排水功能，經由攝影機影像推估 2019 年 05 月 09 日(圖 25)至 15 日(圖 26)井內水位抬升約 4 m。

利用邊坡鑽孔與地下水位高程研判地下水補注，將 L 滑動塊體 18-4、18-5 鑽孔水位高程連接成地下水位高程線，並連接至下邊坡 18-2 鑽孔之水位高程，推估區域之地下水由上游坡面之地下水層補注，亦即 L 滑動塊體之地下水順著地層內地下水脈補注至下邊坡區域，如圖 27 所示。

林德貴、張國欽、陳俞瑾、陳毅輝：
嘉義縣竹崎鄉中心崙大規模崩塌潛勢區監測資料研析



圖 25 2019 年 05 月 09 日集水井攝影機影像
Figure 25 Vedio image of drainage well on
09/05/2019



圖 26 2019 年 05 月 15 日集水井攝影機影像
Figure 26 Vedio image of drainage well on
15/05/2019

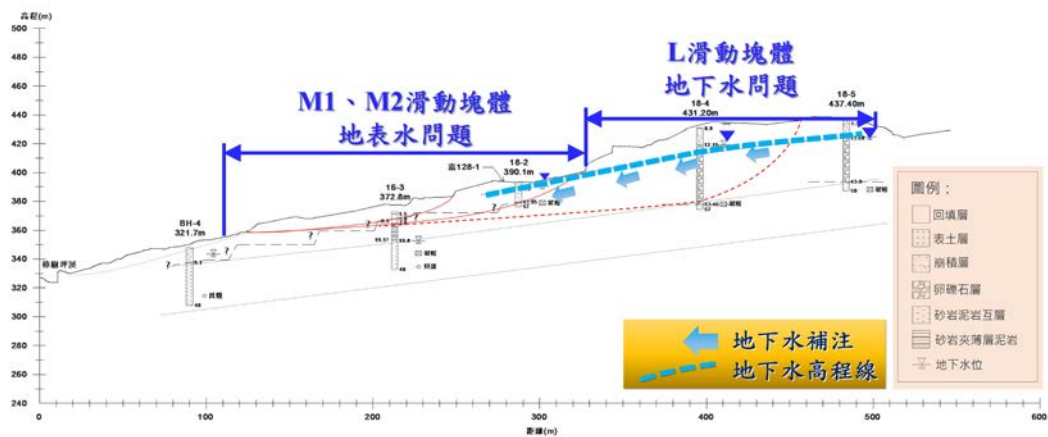


圖 27 地下水水路推估
Figure 27 Estimation of groundwater path

6. 數值分析

本研究依現地狀況進行邊坡穩定分析，主要分析區域之滑動面，為根據現地集水井剪動面深度及上下邊坡監測數據，同時考量孔內伸縮計於汛期期間監測到地層滑動之情形，同時現地水位觀測井水位接近地表狀況，因此在研究區地下水水位接近地表時，邊坡安全係數為 1.00。設定區域經由治理工程完工後，於嘉 128-1 鄉與集水井工程上下邊坡之水位將降低 3 m，其安全係數可由現況 1.00 提高至 1.09(圖 28)。

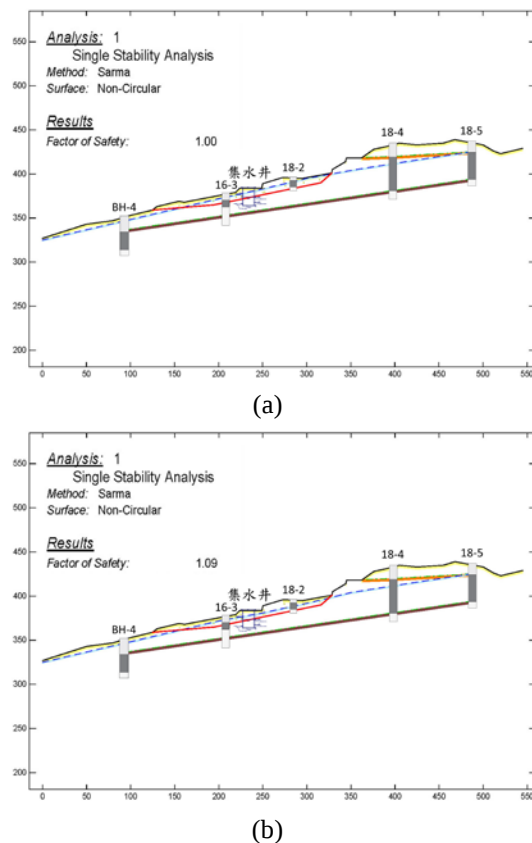


圖 28 滑動地層穩定分析(a)治理前(b)治理後
Figure 28 Slope stability analysis of landslide (a) before (b) after remediation

結論與建議

1. 由研究區調查結果得知，中心崙 T003 崩塌潛勢區存在有 M1、M2 及 L 滑動塊體，於 2019 年地表地層監測項目年度觀測成果，以 M1、M2 塊體滑動變位較為顯著，大致為崩積層(暫置材)沿土岩界面滑動。整體而言，此區地下水豐沛且地表變動明顯，建議進行坡址河道整治工程並搭配淺層地下水與地表排水工程。
2. 經過監測成果，GPS 固定樁觀測部份，M1 滑動塊體之 JSL-G05 及 M2 滑動塊體之 JSL-G15 有較大之變位量，分別達 401 cm 及 421 cm；L 滑動塊體 JSL-EL-3 地表伸縮計多次觀測到明顯之拉伸變位，於年度監測期間累積 17.1cm，18-4 管內傾斜儀於深度 47~48m 測得一滑動面；M1 滑動塊體 JSL-EL-1 孔內伸縮計於年度監測期間累積 61.8cm，M2 滑動塊體 JSL-EL-2 孔內伸縮計於年度監測期間累積 13.9cm，位於集水井下邊坡之 16-3 TDR 地層觀測於深度 7.8m 有明顯剪動面。
3. 考量區域內仍有道路通行之安全，建議持續自動化監測及必要之人工觀測，研究中當 24 小時累積雨量達 200 mm 時，地層滑動情形可能變劇烈，建議未來當氣象局發布豪雨特報時，各防救災機關(單位)應有相關應變處置，針對嘉 128-1 鄉道進行預警性封路或疏散避難勸告等防災作為。

參考文獻

1. 廖瑞堂、吳佳陵、陳志南(2005)，「崩塌地之地下水調查方法探討」，地工技術，No.104，pp.75-86。

2. 嘉義縣政府(2012)，「白杞村西心水保災修工程調查規劃委託技術服務」，嘉義縣政府。
3. 行政院農業委員會水土保持局南投分局(2014)，「朴子溪(福源橋)上游集水區整體治理規劃」，行政院農業委員會水土保持局南投分局。
4. 嘉義縣政府竹崎鄉公所(2016)，「白杞村中心崙農路災修工程調查規劃」，嘉義縣政府竹崎鄉公所。
5. 王文能(2016)，「崩塌的地質特性與防災」，中華防災學會出版委員會。
6. 行政院農業委員會水土保持局(2017)，「中心崙崩塌地監測與評估計畫暨補充大地工程調查分析」，行政院農業委員會水土保持局南投分局。
7. 行政院農業委員會水土保持局(2018)，「107 年度中心崙崩塌地調查監測計畫」，行政院農業委員會水土保持局南投分局。
8. 行政院農業委員會水土保持局(2019)，「108 年度中心崙崩塌地潛在大規模崩塌調查監測計畫」，行政院農業委員會水土保持局南投分局。

水土保持學報 51 (1): 2709-2724 (2021)

Journal of Soil and Water Conservation, 51 (1): 2709-2724 (2021)

110 年 1 月 15 日收稿

110 年 3 月 29 日修改

110 年 4 月 19 日接受