

大規模崩塌潛勢區調查監測與整體治理規劃研擬-以臺中市

-和平區-D016 達觀為例

卓宥瑄⁽¹⁾ 林育樞⁽²⁾ 蕭珮恩⁽³⁾ 蕭宇伸⁽⁴⁾

摘 要

本計畫位於臺中市和平區達觀里，區域面積約為 59.74 公頃，計畫範圍為農業部農村發展及水土保持署大規模崩塌編號臺中市-和平區-達觀 D016，保全戶數約 60 戶，為了解計畫區域崩塌地的變動狀況以及風險程度，進行計畫區基本資料蒐集、地表地質及現況調查、空載 LiDAR 調查、地質鑽探、地球物理探測及監測儀器建置等調查工作。依調查成果顯示，計畫區域於崩積層及岩層交界面為深層之可能滑動位置，地下水位於降雨期間升高至地下數公尺，具有可能滑動條件，且現場觀察到坡面有裂縫、陷落、崩積層坍塌、地表沖蝕等現象發生。經綜合評估，因目前邊坡主要以坡面沖蝕引致之淺層崩塌為主，故治理規劃暫以地表與地下排水及坡面穩定處理工程為主，再輔以持續監測，以掌握邊坡之穩定變化。

(**關鍵詞**：大規模崩塌潛勢區、自動化監測系統、崩塌地監測、警戒管理值)

Investigation and Monitoring of Large-Scale Collapse Potential Areas and Development of Overall Management Planning - Dahguan(D016), Heping District, Taichung

Yu-Hsuan Cho ⁽¹⁾ *Yu-Shu Lin* ⁽²⁾ *Pei-En Hsiao* ⁽³⁾ *Yu-Shen Hsiao* ⁽⁴⁾

Ph.D.student (1) Associate Professor(4), Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

Assistant Vice President (2), Zhen-Xiang Monitoring Engineering Co., Ltd.
Soil and Water Conservation Engineer (3), Jian-Lei Engineering Consulting Co., Ltd.

(1)國立中興大學水土保持學系博士生

(2)震翔監測工程有限公司協理

(3)建磊工程顧問有限公司水土保持技師

(4)國立中興大學水土保持學系副教授(通訊作者 e-mail：yhsiao@nchu.edu.tw)

ABSTRACT

The project is located in Daganli, Heping District, Taichung City, with an area of about 59.74 hectares, and the scope of the plan is the large-scale collapse of the Department of Rural Development and Soil and Water Conservation of the Ministry of Agriculture, numbered Taichung -Heping District-Dagan D016, and the number of households is about 60. According to the survey results, the planned area is located at the interface between the alluvium and the rock strata as a deep possible sliding position, the groundwater is located several meters underground during the rainfall, and there are possible sliding conditions, and cracks, collapses, colluvial collapse, surface erosion and other phenomena are observed on the slope surface. After comprehensive assessment, since the current slope is mainly caused by shallow collapse caused by slope erosion, the treatment plan is mainly based on surface and underground drainage and slope stabilization treatment projects, supplemented by continuous monitoring, to grasp the stable changes of the slope.

(**Keywords** : Potential large scale landslides, Automatic monitoring system, Landslide monitoring, Warning threshold value.)

一、前言

本研究位於臺中市和平區達觀里，區域面積約為 59.74 公頃，研究範圍為經濟部地質調查及礦業管理中心公布之大規模潛勢崩塌地，農業部農村發展及水土保持署大規模崩塌編號臺中市-和平區-達觀 D016，第 I 型之大規模崩塌（第 I 型同土石流一併發布紅黃警戒，第 II 類型單獨發布紅黃警戒），主要聚落為下邊坡達觀聚落，為大安溪上游之泰雅原住民部落，其人數眾多，保全戶數約 60 戶。本研究主要為大規模崩塌潛勢區達觀 D016 之調查與監測，其北與苗栗縣泰安鄉相鄰，南接臺中市東勢區。在交通方面，中 47 市道（東崎路）係為聯絡主幹道，往北可抵達苗栗縣泰安鄉，往南可達臺中市東勢區。

本調查區之經濟活動主要為農作，多種植果樹（農業部農村發展及水土保持署，2007）。

二、基本地形與地質資料研析

依據經濟部地質調查及礦業管理中心五萬分之一地質圖，臺中市-和平區-D016 大規模崩塌區及其周圍地質，主要為中新世打鹿頁岩層、中新世北寮砂岩層、中新世觀音山砂岩、更新世-全新世階地堆積層所組成。本區主要之不連續面或地質弱面為地層層面及節理面。其中夾泥部分主要沿崩積層育下覆地層之層界及節理面發育。

由歷年衛星影像顯示，本區崩塌潛勢坡面多農地開發，土地利用多為落葉果樹，如甜柿、水梨等，佔全區 69.95%，其次則為竹林，佔全區 9.96%，建築區主要集中於崩塌

潛勢區之坡趾處，部分零星分散於崩塌潛勢區坡面，地形地貌主要受坡面冲刷而變動。

調查顯示，民國 93 年敏督利颱風、艾利颱風及民國 97 年的辛樂克颱風侵襲使坡地崩積層產生崩滑及構造物損壞並造成土石流災害（農業部農村發展及水土保持署，2008），故自 94 至 109 年間陸續進行相關整治工程，其中包含崩塌地處理、野溪整治、坡面排水及擋土牆災後復建等項目。

本研究首先進行地表地質調查，其中包含地形、露頭、地層位態及岩性等項目。由調查結果顯示，研究區範圍內有兩處露頭（圖 1），地表土壤主要為風化之棕黃色粉質細砂而岩石部分則為砂頁互層及頁岩。砂岩主要特性為黃棕色至灰色砂岩偶夾層剪裂泥，砂頁互層則為灰色砂岩與頁岩互層，具備豐富之沉積構造。研究區範圍之地質構造方面，發育有司馬限斷層（圖 2）（經濟部地質調查及礦業管理中心，2011）。司馬限斷層係一東側上升之逆斷層，其斷層角度約為 75 度，向東南傾斜，為一高角度逆斷層。司馬限斷層下盤所屬坡面為順向坡面（地層向西傾，傾角約為 40 度左右），斷層上盤則為逆向坡（地層向東傾，傾角約為 15 度左右）。岩性為砂岩夾薄層頁岩、砂岩及粉砂岩等。坡度及坡向分布如圖 3 所示。

同時亦針對研究範圍內工程構造物、溝蝕及坡面崩塌等地表現況進行調查整理。研究區坡面有多處巨石或崩塌塊石堆積，呈現古崩塌地特徵，部分臨道路上邊坡有裸露情形，且有一處滲水點；工程構造物方面，部分道路有裂縫，崩塌潛勢區下方位於坡趾之擋土牆結構物狀況均良好，崩塌潛勢區上方

位於坡腹及坡頂者，多有裂縫產生，顯示坡面有變動情形。

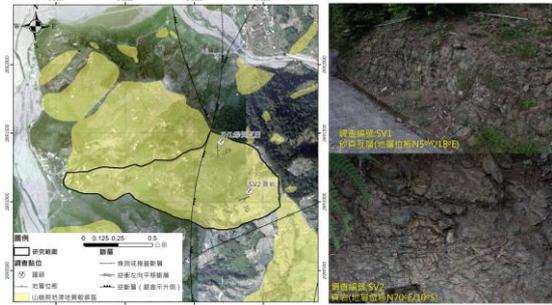


圖 1 岩層露頭位置及現況照片圖
Figure 1. Outcropping location of rock formations and photos

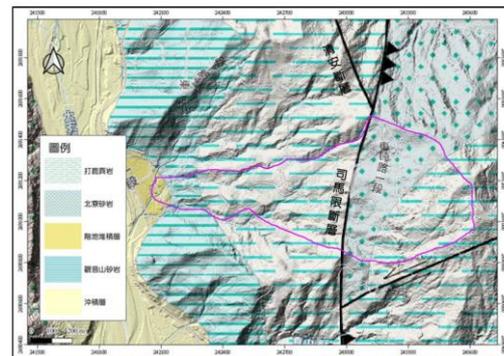
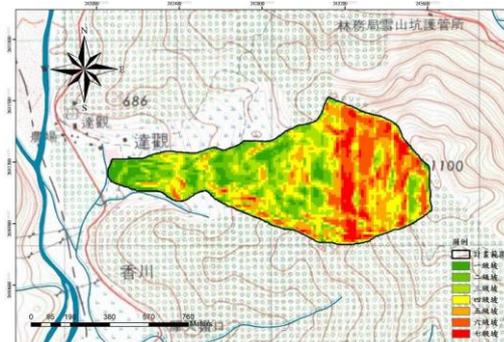


圖 2 地質結構圖
Figure 2. Geological map



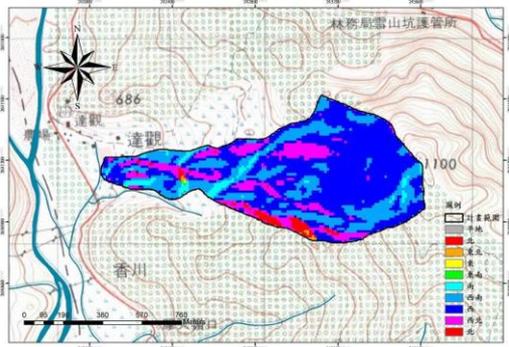


圖 3 坡度分布圖 (上); 坡向分布圖 (下)
Figure 3. Slope distribution map (top); Aspect distribution map (bottom)

三、空載 LiDAR 調查結果

本研究利用空載 LiDAR 產製 1m 解析度之數值地形資料 DEM/DSM 及解析度 25mm 的正射影像進行崩塌及蝕溝判釋與調查，以了解本區崩塌地發育之特性。經判釋與調查結果顯示 (圖 4)，本研究區範圍內共有多個崩塌地滑動體，其區位主要發育於河道邊坡位置，但雖有地形跡象，但現地調查卻無明顯之地滑或破壞現象。除此之外研究區之下邊坡具備順向坡地形特徵，此亦為本區崩塌發育之潛因。

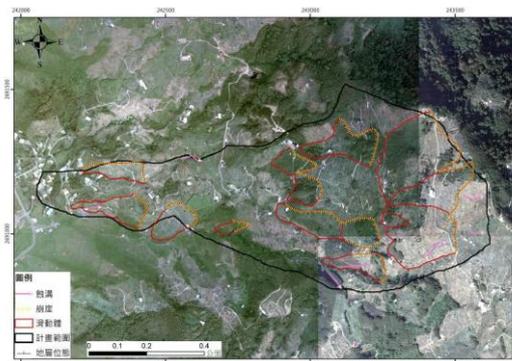


圖 4 崩塌及蝕溝判釋與調查成果圖

Figure 4. Interpretation and investigation results of collapse and gully erosion

四、地球物理探測

本研究分別於汛期前及防汛期各進行一次地電阻測量(農業部農村發展及水土保持署, 2018)，汛期前為 4 月份測量 (當月總降雨量 207.5mm)，防汛期為 8 月份測量 (當月總降雨量 1034.5mm)，探測結果再輔以既有水位觀測井的監測成果，則可進一步評估本研究範圍內之不同時期之降雨及地下水位變化關係。現場規劃為四條地電阻影像剖面，測線 L1、L2、L3 及 L4，L1 測線長度為 335 公尺，L2 及 L3 測線長度皆為 100 公尺，L4 測線長度為 135 公尺，共計 670 公尺 (圖 5)。



圖 5 地球物理探測測線及鑽孔位置分佈圖
Figure 4. Geophysical survey line planning and borehole location distribution map

L1 測線在汛期前及防汛期的剖面圖比對，測線位置 90~130 公尺 (A 區) 的低電阻率區域，在防汛期剖面中有相對的擴大，而測線位置 210~250 公尺 (B 區) 的低電阻率區域，在防汛期剖面中有相對的縮小，代表著此兩區域水的含量有在變化，研判此兩區

域應為裂隙較為發達之地層，有潛移可能，亦可能有地下水通道形成。

L2 測線在汛期前及防汛期的剖面圖比對，測線位置 30~80 公尺（A 區）的低電阻率區域，在防汛期測量剖面中電阻率有顯著提升的現象，可能是壓密排水造成電阻率提高，推測 A 區下邊坡地層較穩定，而其上邊坡 L1 測線 A 區，向下邊坡潛移，擠壓 L2 測線上的 A 區地層而造成 L2 測線 A 區地電阻率提高。

L3 測線在汛期前及防汛期的剖面圖比對，測線位置 10~90 公尺（A 區）的低電阻率區域，在防汛期測量剖面中電阻率有顯著提升的現象，可能是 L1 的 B 區所形成的地下水通道形成導致排水所造成電阻率提高。

L4 測線在汛期前及防汛期的剖面圖比對，測線位置 20~30 公尺（A 區）、70~90 公尺（B 區）的低電阻率區域，在第二次測量剖面中 A 區電阻率有變高的趨勢，低電阻率的區域變小，B 區電阻率有降低的趨勢，低電阻率的區域變大，代表著此兩區域水的含量有在變化，研判此兩區域應為裂隙較為發達之地層。

整體施測結果（表 1），顯示調查區域內地層電阻率隨著時間變化有非常大之差異，有增加也有減少，研判於地層裂隙中地下水含量互有消長，於地層電阻率增加區域研判為地層滑動造成下邊坡受到擠壓，切斷地下水通路所造成，於地層電阻率減少區域研判為地層滑動造成邊坡張裂，使得降雨時地表水易藉由此通道往下入滲，造成低電阻區區域擴大，整體來看調查區域邊坡研判應處於較不穩定之狀態，於強降雨時當地層中地下

水無法及時宣洩，易造成邊坡滑動。

五、地質鑽探調查

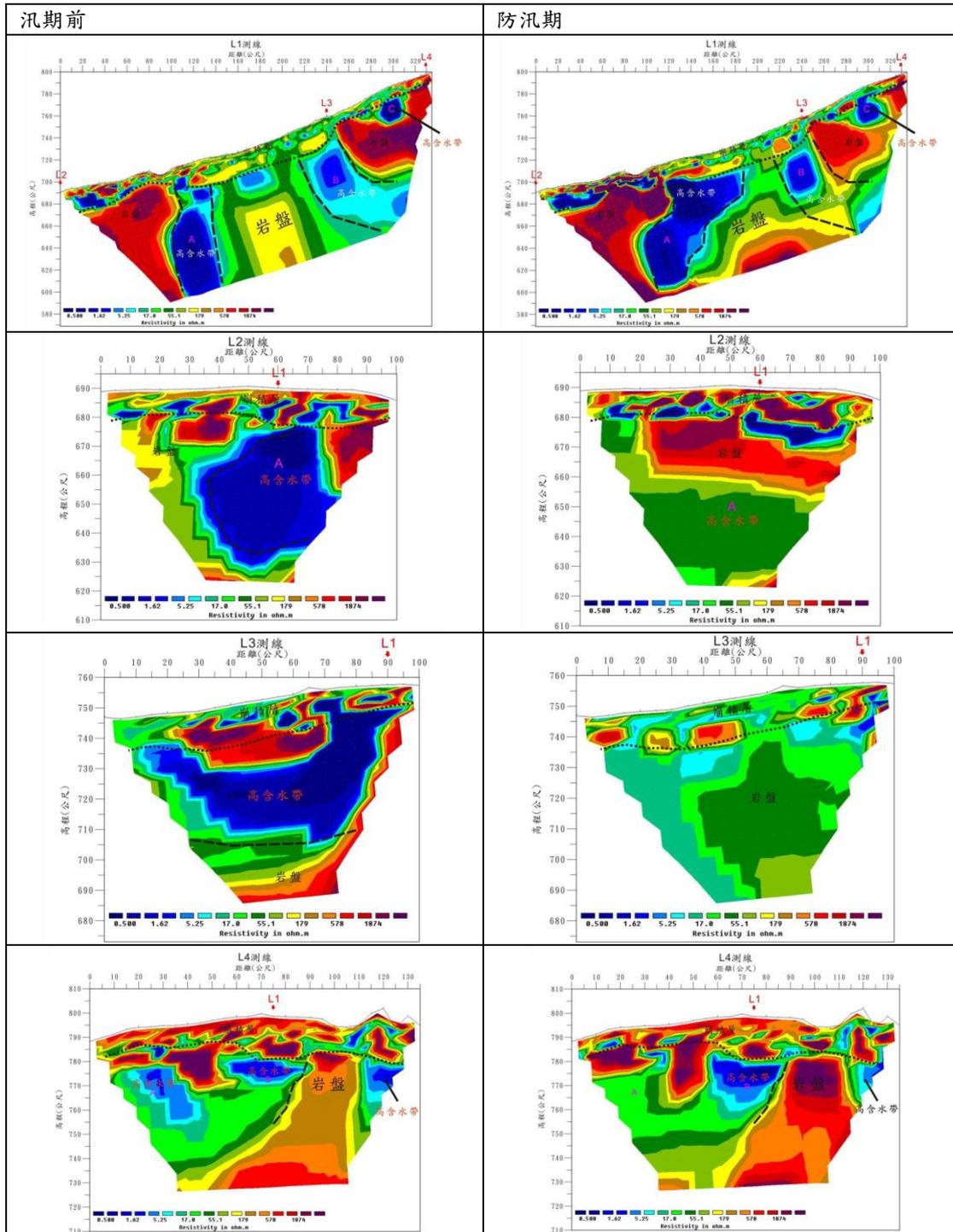
根據經濟部地質調查及礦業管理中心（2014）之地質調查結果，可知前期調查以本研究範圍之西北側為主，表土與崩積層主要分佈於 E.L.560~720m 之間。但研究區之坡趾及坡頂卻無相關鑽孔資料，為了解區內地質變化情形，因而於研究區坡趾、坡腹及坡頂處共設置 8 處鑽孔，藉以繪製地質剖面圖，於坡趾處設置 BH-1 與 BH-2；於坡腹處設置 BH-3 與 BH-4；BH-5 則設置於保全部落最密集的坡腳處邊坡，為確保該區下邊坡居民安全，故特於研究區外設置此孔，日後可做為監測坡體變位及地下水位之用；於上邊坡因坡面堆積大量崩落石塊，故於此處設置 BH-6、BH-7；最後於坡頂區設置鑽探孔 BH-8。

鑽孔布置以取得本區代表性地質剖面為目的，除避免重複前期鑽孔位置外，尚須考量可取得地層剖面之完整性、可能滑動體之分布及可能滑動深度、地電阻影像剖面測線、安裝監測儀器之需求等，鑽孔高程均以現地高程為基準，鑽孔位置佈設如圖 5 所示。109 年 2 月時，BH-5 孔內約 4.5m 處阻塞，已無法持續監測。

地質鑽探成果顯示研究區域地層主要為砂岩、粉砂及崩積層組成，0~20m 多為崩積岩層，極破碎且易塌孔，岩性單調重覆，且岩性與地質圖大致相符（圖 6 及圖 7）。

表 1 地電阻綜合研判成果

Table 1 Comprehensive research and judgment results of ground resistance



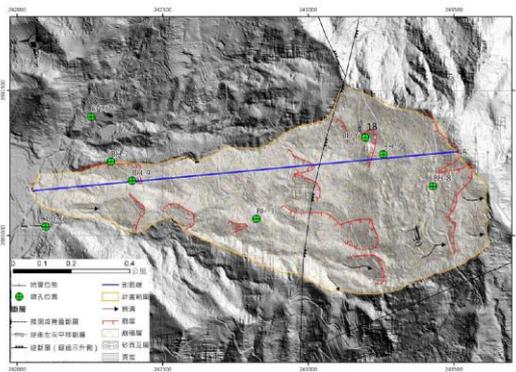


圖 6 地質鑽探與細部調查地質圖

Figure 6. Geological map of geological drilling and detailed investigation

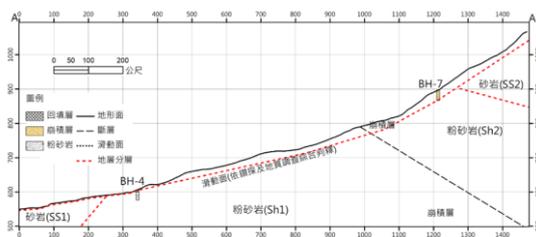


圖 7 地質剖面圖

Figure 7. Geological profile

六、觀測儀器之監測成果

D016 於 107 年研究開始時至 112 年間陸續建置手動監測儀器為傾斜觀測管，自動化監測儀器包含自動化水位站、雨量站、雙軸地表傾斜儀、自動化 GNSS、TDR 及即時影像 (CCD)，相關儀器分布位置如圖 8 所示。以第一次觀測結果作為初值，並定期進行觀測之；自動化成果於農業部農村發展及水土保持署「大規模崩塌監測整合系統」平台展示，提供即時且持續監測成果（農業部農村發展及水土保持，2020）。

監測期間，人工量測之傾斜觀測管在 30 公尺深度內側向位移變化量無明顯變化，自動化監測儀器部分，地下水位監測結果顯示，降雨期間，地下水位有上升情形，尚未達到警戒基準。雙軸地表傾斜儀監測結果顯示，該區域無明顯的地表變位情形。GNSS 地表變位監測結果顯示，該區域無明顯的地表變位情形。



圖 8 自動監測站分布圖

Figure 8. Distribution of automatic monitoring stations

七、滑動機制研判及致災特性分析

依地質調查成果、地電阻探測成果及監測資料顯示，研究區域於崩積層及岩層界面為可能滑動位置，且地下水位於降雨期間升高至地表下 0~6 公尺，具有可能滑動條件，然由現場調查及監測資料分析成果顯示，坡面較明顯破壞情形主要為邊坡表層沖刷及陷落造成蝕溝及地物破壞。

本研究以 GeoStudio 為分析工具，使用 SLOPE/W 模組，並採極限平衡法 (limit equilibrium method) 進行邊坡穩定分析 (張光宗、林哲儀，2008)，剖面邊坡穩定分析採

用剖面如圖 9，相關輸入參數如表 2，其方法包含 Morgenstern-Price、Bishop、Janbu、Ordinary、Spencer 及 GLE 等，可對不同土體類型、複雜地層和滑動面形狀邊坡作分析，主要是將通過土體的滑動面以滿足力平衡或力矩平衡的方式求解安全係數。低水位穩定分析利用 DEM 萃取出地形剖面線高程資料，採用現地鑽探資料與材料試驗結果，建立數值模型分析可能破壞滑動面，依據地下水水位高程，低水位於地表下 13 m，分析結果 F.S.=1.428。高水位穩定分析依據歷史高水位資料來建立模型，以水位在滿水位 0m 分析，分析結果 F.S.=1.282。

本研究利用邊坡穩定分析等方式進行分析（圖 10）並檢討警戒管理基準值，112 年所訂之警戒基準值，地下水水位基準值部分為地表下水位抬升至 2 公尺處即需注意，達滿水位即進入警戒；雨量基準值以累積 24 小時降雨量來計算，達 490mm 即需注意，達 700mm 即進入警戒（農業部農村發展及水土保持，2022）。其餘警戒基準值如表 3，後續將持續進行分析，並進行滾動式檢討。

達觀地區自 107 年開始監測以來統計至 112 年年底，經歷約 20 次颱風豪雨與地震事件（農業部農村發展及水土保持，2023），整體而言對達觀地區並未造成較大的影響。依照地下水水位監測成果，雨量與地下水水位成正相關，觀測期間最接近警戒基準值為 2021 年 8 月 4 日盧碧颱風，24 小時累積雨量最大 235mm，地下水水位最高地表下 2.7 公尺，未達到所訂定之警戒基準值，後續持續觀察其變化（農業部農村發展及水土保持署，2021）；自動化雙軸地表傾斜移監測成果顯示，達觀地區並無明顯的變位情形。人工觀

測作業（傾斜觀測管）易無觀測到明顯的變位情形，後續將持續密切觀察。



圖 9 邊坡穩定分析剖面位置圖

Figure 9. Slope stability analysis profile location diagram

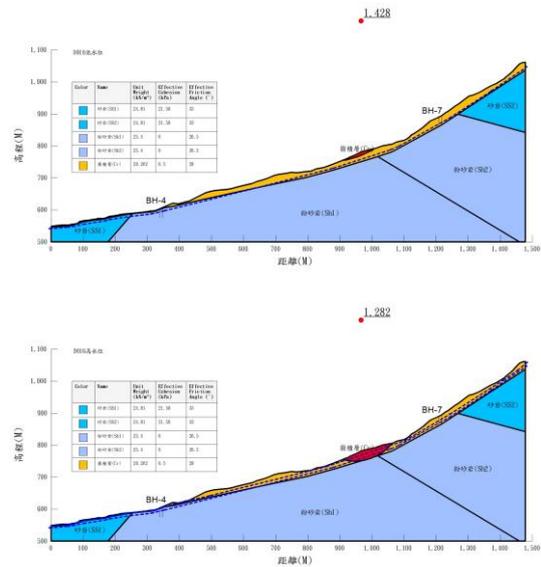


圖 10 低水位穩定分析圖（上）；高水位穩定分析圖（下）

Figure 10. Low water level stability analysis map (top); High water level stability analysis map (bottom)

表 2 剖面邊坡穩定分析輸入參數

Table 2. Input parameters for profile daylight stability analysis

土層類型	單位重 γ (kN/m ³)	凝聚力 c (kPa)	摩擦角 ϕ (°)
砂岩 (SS1)	24.8	21.6	33
砂岩 (SS2)	24.8	21.6	33
粉砂岩 (Sh1)	25.4	0	26.5
粉砂岩 (Sh2)	25.4	0	26.5
崩積層 (Cv)	20.2	0.5	28

表 3 自動監測站儀器之警戒管理基準值

Table 3. Alert management benchmark values of automatic monitoring station instruments

	注意 1 日	注意 7 日	警戒 1 日	警戒 7 日
地表變位基準值	1800 s	5400 s	3600 s	10800 s
雙頻 GNSS 地表變位基準值	35 mm	140 mm	50 mm	200 mm
TDR 地中變位基準值	10 mm	30 mm	20 mm	50 mm

八、整體治理規劃研擬

統籌整體調查及監測結果，結合鑽探、坡面監測等分析後，配合災害發生之機制，並依災害發生潛勢性規劃重點治理區域級序，以整體治理規劃研擬排序參考使用。

研究區域經由現場地表地質調查、監測資料及邊坡穩定分析，可以發現在坡腹的位置由於降雨所產生之雨水入滲致地下水飽和層水位上升，也增加非飽和層土壤之單位重。亦會使土壤之抗剪強度降低，使得邊坡於降雨發生後於某脆弱面發生破壞變形，甚至發生滑動破壞，邊坡穩定性較差，可將坡腹區列為重點注意區 (I 區)；另由邊坡穩定分析可發現上邊坡邊坡穩定度較低，可能由

於上邊坡較陡之緣故，故上邊坡可劃為重點注意區 (II 區)，劃分範圍如圖 11。日後於颱風豪雨期間，可重點關注兩區域，以因應該區發生之崩塌狀況。

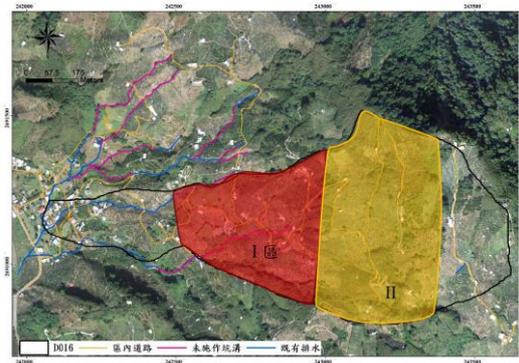


圖 11 重點區域劃分

Figure 11. Classification of key areas

依據監測資料當連續降雨導致地下水位上升後，地下水位並不易立即消散，此特性會使本研究範圍內邊坡於累積降雨較多時呈現不穩定狀態，且地下水位整體來說屬於偏高，對於邊坡穩定不利，故後續治理對策建議以降低地下水位為主。

崩塌地治理策略，先從排除災害誘因的雨水及地下水著手（農業部農村發展及水土保持署，2017），亦即以排水工程為主，目的在於降低滑動土體內的孔隙水壓，使其趨於穩定，現階段邊坡破壞主要為坡面沖蝕等淺層災害，並無明顯深層滑動情形，故規劃方向以地表排水及坡面整治為主，並配合既有排水設施進行規劃。

九、結論

本研究為了解研究區域崩塌地的變動狀

況，共進行研究區基本資料蒐集、地表地質及現況調查、空載 LiDAR 調查、地質鑽探、地球物理探測及監測儀器建置等調查工作，並將調查成果進行分析提供後續治理規劃之參考，於下分述各項目成果與結論。

1. 本研究進行相關監測資料彙整、分析以及各種監測數值之探討，可長期掌握地下水水位高程變動與滑動土體之安全性。
2. 本研究透過傾斜管監測成果及地質鑽探推估潛在滑動面位置，並透過自動化監測儀器 TDR 及自動化水位計即時監測地層變位及地下水水位變化，並結合邊坡穩定分析軟體進行分析，後續即可作為即時預警系統。
3. 依據監測數據成果顯示，該區域地下水水位較高，推測為致災的主要因素，減少坡面入滲以及地下水的排除為該區域整體治理規劃的主要對策。
4. 本區屬於順向坡地形，具備平面滑動的條件，但由於坡趾並未有明顯見光的現象，監測資料亦顯示未有明顯之滑動現象。因此產生大規模滑動之機率並不高。現況主要的不穩定地層為表層之崩積層，崩積層中降雨直接入滲使地下水升高仍為滑動之主因。

參考文獻

1. 農業部農村發展及水土保持署全球資訊網，<https://www.ardswc.gov.tw/Home/>
2. 農業部農村發展及水土保持署土石流及大規模崩塌防災資訊網，<https://246.ardswc.gov.tw/>
3. 經濟部水利署水利空間資訊服務平台，<https://gic.wra.gov.tw/gis/>
4. 國家災害防救科技中心災害事件簿查詢展示系統，<https://den1.ncdr.nat.gov.tw/>
5. 農業部農村發展及水土保持署 (2007)，「大安溪上游集水區整體調查規劃」成果報告書。
6. 農業部農村發展及水土保持署 (2008)，「蟾蜍石集水區調查規劃」成果報告書。
7. 經濟部地質調查及礦業管理中心 (2011)，「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置(第3期100年度)—集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫(1/3)」。
8. 經濟部地質調查及礦業管理中心 (2014)，「大規模潛在山崩機制調查與活動性觀測(4/4)」。
9. 農業部農村發展及水土保持署 (2017)，「大規模土砂災害集水區調適規劃作業參考手冊」。
10. 農業部農村發展及水土保持署 (2018)，「臺中市-和平區-達觀(D016)大規模崩塌地區調查監測計畫」成果報告書。
11. 農業部農村發展及水土保持署 (2020)，「臺中市-和平區-D016 及臺中市東勢區四處大規模崩塌持續監測及系統維護資料分析」成果報告書。
12. 農業部農村發展及水土保持署 (2021)，「110 年度大梨山地區地滑地

- 與臺中市和平區潛在大規模崩塌監測計畫」成果報告書。
13. 農業部農村發展及水土保持署 (2022),「111 年度大梨山地區地滑地與臺中市和平區潛在大規模崩塌監測計畫」成果報告書。
14. 農業部農村發展及水土保持署 (2023),「112 年度大梨山地區地滑地與臺中市和平區潛在大規模崩塌監測計畫」成果報告書。
15. 張光宗、林哲儀 (2008),以極限平衡法分析邊坡穩定—岩坡及崩積層邊坡為例,中華水土保持學報,39 卷 2 期, pp. 155-165。

113 年06 月11 日收稿

113 年07 月05 日修改

113 年07 月11 日接受