

潛在大規模崩塌調查與無線傳輸監測分析建立防災管理 基準值-以屏東來義西部落為例

簡愷辰^[1] 許惠綺^[2*] 林秉賢^[3]連惠邦^[4]

摘 要 經濟部中央地質調查所針對莫拉克災區，劃設多處可能危及居民安全之潛在大規模崩塌地區，其中屏東縣來義鄉來義村潛在大規模崩塌地，其座落於來義村東部落旁(此處為編號 DS32 潛在崩塌地)，其上游約 1 公里處仍有一大型崩塌地(此處為 DS32 上游潛在崩塌地)。兩處崩塌地皆曾於莫拉克、凡納比風災期間發生崩塌，導致其塌崩落土方下移造成該區段回淤嚴重，若再次發生大規模滑動，將影響來義鄉部落居住安全，為預防未來豪大雨或颱風來襲時可能造成之災害，故針對該崩塌地進行調查，並建置崩塌區災害形式評估與監測警戒系統規劃，提供即時訊息，以降低災害衝擊。根據比對 2013 年康芮颱風後分析地形變化差異量，進而推估出崩塌面積約為 3,315 平方公尺，平均崩塌深度約為 9.5 公尺，崩塌量體約為 3.15 萬方；而鑽探兩處潛在在大規模崩塌地共計 10 孔，其中位於編號 DS32 之 BH-3 鑽孔於此段監測期間自深度 46.0 m 處開始至地表有持續累積的變形發生(孔口變形量約 1.40 cm)，而 BH-6 於 20.0~ 23.0 m 之間則發現有陷落挫曲之變形狀況發生。從邊坡穩定性判斷表可知目前 DS32 潛在崩塌區已處於準確定變動狀態，崩塌地之活動性判斷暫屬緩慢運動中。而 DS32 上游潛在崩塌區現階段暫處於潛在變動狀態，有待持續觀察其活動性。

關鍵詞：來義村、大規模崩塌、監測系統。

Laiyi Potential Massive Landslide Area Wireless Transmission Survey Monitoring Program

Kai Chen Jian^[1] Hui Chi Hsu^[2*] Bing Shian Lin^[3] Hui Bang Lian^[4]

ABSTRACT According to the Central Geological Survey analysis report on potential massive landslide areas in Typhoon Morakot disaster area, one (No. DS32) potential massive landslide may influence Lai-Yi villages, Lai-Yi, District, Pingtung city. In order to prevent the probable disasters caused by torrential and heavy rains or typhoons in the future, this project will survey this landslide area and analyze the stability, and construct the evaluation and monitoring early warning system for the landslide area induced disaster type, so as to provide reference for disaster prevention and response work. Furthermore, the landslide area observation information integration management platform is constructed, so as to integrate major landslide case monitoring information; This project analysis topography differences than the amount estimated landslide area of about 3,315m², with an average depth of 9.5 m, landslides mass around 3.15 ha. ; And ten bore hole within two landslide potential area, the current monitoring operations from the depth of 46.0 m to the surface at the beginning of this section during the BH-3 continuous monitoring of cumulative deformation (deformation of the orifice of about 1.40 cm); From the slope stability zone has seen the collapse of the current DS32 accurate set of changes in the state of landslide activity is judged temporarily slow motion. The DS32 upstream stage collapse zone potential changes in the state temporarily, to be continued to observe its activity.

-
- [1] 國立中興大學水土保持學系碩士生
Graduate Student. of Department of Soil and Water Conservation, Feng Chia Universtiy, Taichung 407, Taiwan
 - [2] 逢甲大學營建及防災中心助理研究員 (* 通訊作者 E-mail: maggihsu11@gmail.com)
Assistant Researcher. of Construction and Disasters Prevention Research Center, Feng Chia Universtiy, Taichung 407, Taiwan
 - [3] 逢甲大學營建及防災中心研究助理教授
Research Assistant Professor. of Construction and Disasters Prevention Research Center, Feng Chia Universtiy, Taichung 407, Taiwan
 - [4] 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授
Professor, Dept. of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia Universtiy, Taichung 407, Taiwan

一、前言

經濟部中央地質調查所針對莫拉克災區，劃設多處可能危及居民安全之潛在大規模崩塌地區，其中編號 DS32 屏東縣來義鄉來義村大規模崩塌地，其座落於來社溪右岸，崩塌面積約 79 公頃，其上游約 1 公里處仍有一大型崩塌地，崩塌面積約 108 公頃，兩處崩塌地皆曾於莫拉克、凡納比風災期間發生崩塌，崩塌土石下移造成來社溪、內社溪匯流口處回淤嚴重，由於緊鄰來義東西部落，若再次發生大規模滑動，將影響來義鄉來義村東西部落居住安全，為預防未來豪大雨或颱風來襲時可能造成之災害，故有必要針對該崩塌地進行調查，以提供即時訊息，以降低災害衝擊，本計畫將針對該區進行坡地變化及結構安全等相關資料蒐集與監測工作，並建置崩塌區災害形式評估與監測警戒系統規劃。

二、研究動機及目的

本研究針對潛在崩塌地區之地表地質、地形（含岩層露頭調查岩性、地層位態、岩體不連續面等地質特性）、滑動現象、崩塌量範圍與崩塌量等資料蒐集現況，並配合地球物理探勘及鑽探調查試驗等，來評估來義村潛在崩塌地目前現況與前後期差異。此外，本研究就崩塌面變位情況進行整體性安全監測，並以科學可靠之監測方式進行滑動面監測及地表變化觀測資料收集，就觀測過程及資料彙整及研析，以適當模式初步建置崩塌地之管理基準值，供作為應變機制修正參考。



圖 1 DS32 潛在崩塌地



圖 2 DS32 上游潛在崩塌地

三、研究方法及分析

為求掌握計畫區 DS32 及其上游潛在崩塌地之地表地質、地形（含岩層露頭調查岩性、地層位態、岩體不連續面等地質特性）、滑動現象、崩塌量範圍與崩塌量等相關資料，進而進行相關基本資料蒐集。由於坡地之地形與地質調查等分析，應可推測出潛在大規模崩塌好發之區域，因此本研究針對該崩塌地進行調查，並依據工作項目建立一套執行架構流程圖，使本研究推動目標更加明確，如圖 3 所示。

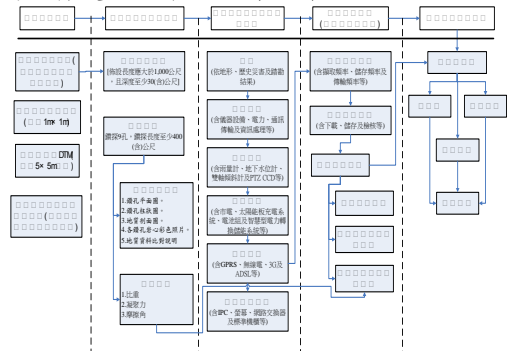


圖 3 本研究執行架構

1. 基本資料調查

參考中央地質調查所「潮州圖幅,2012」，本調查區及其鄰近地區出露之地層主要為潮州層 (Cc)、臺地堆積層 (t)、沖積層 (a) 等，本調查區範圍即位處在潮州層 (Cc) 地層範圍。

在來義村的兩潛在崩塌地調查區中，存在坡面順向坡和楔型破壞模式、兩條向源侵蝕溝、斷層剪裂擾動帶、河岸侵蝕等地質災害特徵。而 DS32 潛在崩塌地地表多為崩積地堆積層所覆蓋，大致為棕

黃色砂質粉土或粉土質砂之土壤以及板岩岩塊、岩屑、碎屑等組成。本調查區之劈理構造相當發達，間距大致分布在數公分至數十公分不等，表面裸露劈理相當發達且顯著，多形成片狀或板狀構造。因此崩塌物大多為片狀或板狀，而小塊體狀，片狀或板狀型體規模大多呈數公分至十幾公分不等，少部分為數十公分，此為現地崩塌物主要特徵；DS32 上游潛在崩塌地調查區中，存在兩處大範圍且相當大土堆積量的崩塌土體、數條向源侵蝕溝、崩塌崖坡面和斷層剪裂擾動帶、河岸侵蝕等地質災害特徵。基本上坡面受雨水和地表逕流沖蝕影響，表面堆積石塊仍不時會發生塊石崩落或滾動情況。

2. 地球物理探勘及分析

本研究為獲取崩塌地的地層構造特性與地下水水位之面狀訊息，擬採用地球物理探測方法中的地電阻影像剖面法 (Resistivity Image Profiling, RIP) 進行調查。地電阻影像剖面法之原理是利用地層物理性質的不同而達到探測目的，目前國內工程界應用地電阻影像剖面法所累積的工程實務經驗甚多，且其探測成效甚佳。地電阻影像剖面法的施作方式為將電極插入地表，傳導直流電或非常低頻交流電進入地底產生人為電場，經由額外電位極量測電位差，依據電極排列方式不同，對應到不同的空間幾何因子，得到的電阻率稱為視電阻率 (apparent resistivity)，經由逆推分析獲得接近實際的電阻率值。其中影響地層電阻率的因子有組成礦物、顆粒大小、組態以及地層之含水量及水中所含物質。施作時依據現場條件及目標深度，選擇合宜之電極排列方式及電極間距，常見方法有溫奈排列法與雙極排列法，電極間距以 10 公尺為主。

地電阻影像調查計完成 A、B 及 C 三條測線，施測電極間距為 10 公尺，測深可達 100 公尺以上。各測線起訖點測線位置如圖 4 所示。

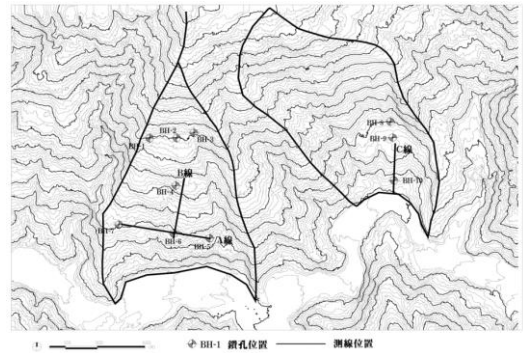


圖 4 地電阻影像測線位置

本研究之地電阻影像調查計完成 A、B 及 C 三條測線，根據施測結果顯示，A 測線於距離約 440-480 公尺附近的崩積層向東側增厚，岩盤裂隙也發達，研判此層段具向測線東側崩滑趨勢；B 測線於距離約 280-340 公尺附近風化層出現向南側陷落或增厚現象，研判此層段具向測線南側崩滑趨勢；C 測線有明顯不連續並向傾斜趨勢，並呈向南側崩塌或滑移趨勢。其 A、B、C 測線剖面如圖 5-7 所示。

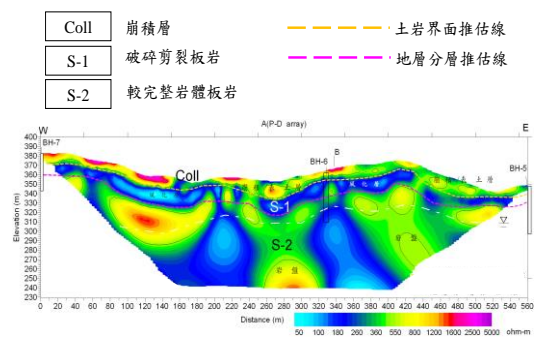


圖 5 地電阻 AA' 剖面成果圖(套地質鑽孔資料)

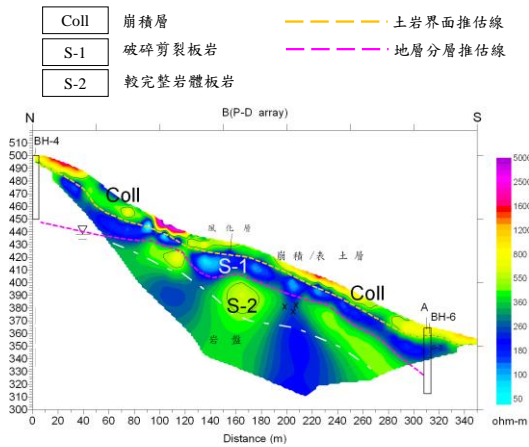


圖 6 地電阻 BB' 剖面成果圖(套地質鑽孔資料)

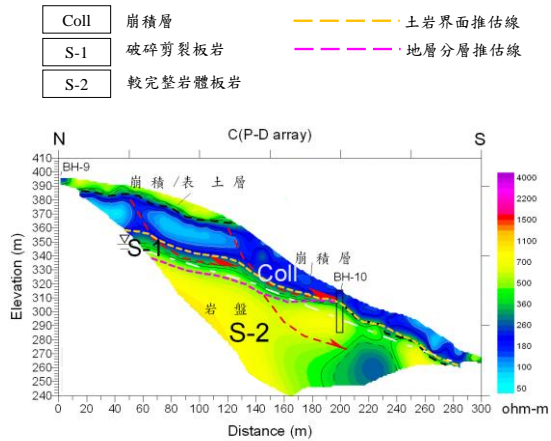


圖 7 地電阻 CC' 剖面成果圖(套地質鑽孔資料)

3. 地質鑽探調查及成果分析

本研究於調查區之地質構造特性，以及可能對來義內社聚落地區有安全危害之邊坡等考量，本計畫規劃鑽探孔數為 10 孔，總深度 412.8m，如圖地質鑽探孔位位置圖 8 所示，其中 7 孔規劃在內社聚落對岸的 DS32 潛在崩塌地，另 3 孔規劃在其上游潛在崩塌地。4 孔規劃為連續自計式水位計，3 孔為兼具人工水位量測功能地傾度管。

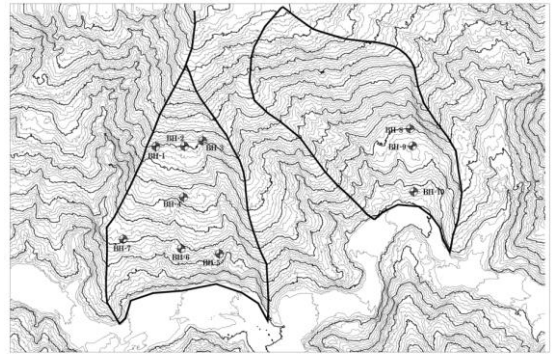


圖 8 鑽探位置圖

由現場鑽探結果，大致可將鑽探岩心記錄分成兩種岩性，(1)崩積層(Coll)和(2)板岩(Slate)，其中板岩依岩體的完整情形(或破碎情形)可分為破碎剪裂板岩(S-1)和較完整岩體板岩(S-2)兩種；其中，BH-6 孔的破碎剪裂板岩(S-1)和較完整岩體板岩(S-2)有交錯互層之情形；綜合野外地質調查、現場地質鑽探作業、地球物理探測作業等成果，調查結果發現本案調查區存在的工程地質問題有：(一)河岸侵蝕崩塌、(二)向源侵蝕作用強盛、(三)土岩界面的潛在滑動面、(四)強弱岩體界面間的潛在滑動面、(五)順向坡潛在滑動面、(六)斷層剪裂擾動帶等；DS32 潛在崩塌地主要工程地質問題為：河岸侵蝕崩塌、向源侵蝕作用強盛、強弱岩體界面間的潛在滑動面；DS32 上游潛在崩塌地主要工程地質問題為：河岸侵蝕崩塌、向源侵蝕作用強盛、土岩界面的潛在滑動面、斷層剪裂擾動帶。

4. 現地監測資料收集與評估

為監測崩塌面變位，本研究擬建置監測系統，其主要分為現地崩塌地變位與降雨資料，以作為颱風豪雨期間防災應變研判之依據，本系統架構包含觀測設備、資料傳輸系統、電力系統及資訊接收站建置等。

(1) 選址原則

依據上述現地調查成果，本研究擬於可能滑動塊體之範圍內預定鑽探孔位，配合鑽孔位置設置安全監測系統，鑽孔深度需確保入岩，以掌握最深之滑動深度，並針對崩塌區及保全對象佈設監測設備，觀測整體變化情形，故本計畫之監測設備所設置點位，如圖 9 所示。

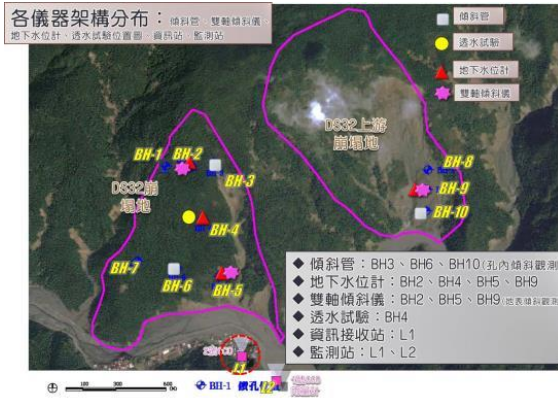


圖 9 DS32 潛在崩塌區儀器佈設分布圖

(2) 儀器設備架構

根據現地調查及相關試驗結果，本計畫擬於崩塌區設置四處觀測點—其中包含地下水水位 4 處 (BH2、BH4、BH5、BH9)，雙軸傾斜計 3 處 (BH2、BH5、BH9)，雨量計 1 處以及 PTZ CCD 合計 2 處(如圖 5-13 所示)，規劃利用資料整合以及無線傳輸的方式，將物理資料以及影像資料，除了現地儲存外，亦透過無線傳輸將資料回傳到匯集站進行資料彙整，此外，亦利用雙傳輸概念，平時利用有線網路將資料回傳到水保局外，亦透過 3G 的方式，將資料進行異地備份與上傳水保局，以保障資料傳輸完整性與防災準確性，安全監測系統傳輸架構圖，如圖 10 所示。

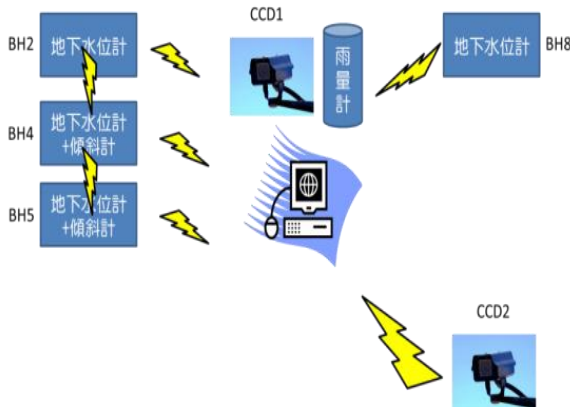


圖 10 安全監測系統架構圖

(3) 監測資料分析

根據現地所即時監測之雨量計資料可知，目前崩塌區此段期間之累積雨量約為 55mm，尚無

顯著之降雨事件發生。同時，DS32 及其上游潛在崩塌地各鑽孔之地下水水位也無發現有顯著變化，各孔水位變動幅度約在 0.1~1.28 m 之間；DS32 與其上游潛在崩塌地之地中變形資料可知，監測至今尚無發現顯著的滑動面及滑動塊體，惟 BH-3 於此段監測期間自深度 46.0 m 處開始至地表有持續累積的變形發生(孔口變形量約 1.40 cm)；而 BH-6 於 20.0~23.0 m 之間則發現有陷落挫曲之變形狀況發生。

由上述可知，目前 DS32 崩塌區已處於準確定變動狀態，崩塌地之活動性判斷暫屬緩慢運動中。因此，未來若有豪大雨事件發生此區崩塌地極有可能達到確定變動狀態。而 DS32 上游崩塌區現階段暫處於潛在變動狀態，待持續觀察其活動性。

截至目前為止，因現地無明顯之降雨、地下水水位及地表位移變動等，但為求警戒值能更明確，並修正符合現地防災需求，故本研究持續針對來義村進行觀測及量測以力求精準。

5. 管理基準值研究

國內目前對於坡地災害警戒以氣象觀測、土石流觀測與現地觀測等三種方式進行，而目前對於坡地崩塌災害之警戒則尚未能夠針對崩塌地提供相關之預警報告。對於崩塌地之掌握，若能夠及早發現其危險，就能降低災害的損失；因此，即時監測系統之建立與危險發佈之基準對於大規模崩塌發生就有相當重要的預警作用。

在崩塌管理基準值評估模式上，首要面臨的課題即是使用何種物理量定義警戒之標準。在過去土石流警戒的案例中，常採用最大小時降雨強度、前段降雨或有效累積雨量做為災前警戒的表徵。其次，計畫區域之地文、地質、水文條件不同，其崩塌機制亦有所不同，因此崩塌管理基準值應針對計畫區域之崩塌機制而有所調整。本研究考量所建置之即時監測項目為水位計、雙軸向傾斜儀和雨量計，其中可能直接激發崩塌的主要誘因仍以雨量計為主；因此本研究優先以降雨量為主要因子發展計畫區之崩塌管理基準值，未來則期望以水位計為輔藉由長時間之觀測，或歷經颱風豪大雨事件後，再視計畫區域之變化趨勢及

崩塌機制，作為修正應變機制之參考。

因此，本研究對於潛在大規模崩塌區之管理基準值訂定首先考量警戒分級之標準。以水土保持局針對土石流潛勢溪流警戒發布概念為例，將崩塌警戒分級的管理機制亦區分為二種警戒分級，其一為黃色警戒管理基準，係評估發生崩塌事件的可能性；其二為紅色警戒管理基準，係指發生深層崩塌之特定邊坡。其整體管理基準值評估架構如圖 11 所示。

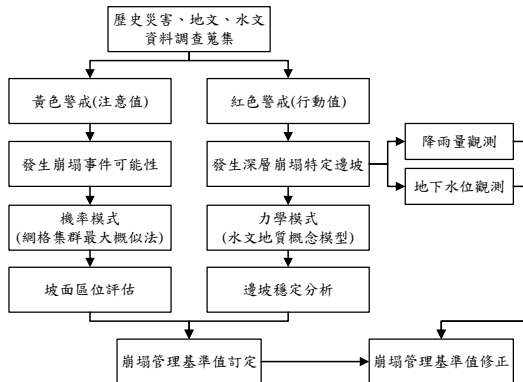


圖 11 潛在大規模崩塌區管理基準值評估架構

由前述之模式進行分析，本研究即可訂定出管理基準值之初步建議。如表 1 所示，在警戒注意值方面，藉由機率模式分析並假定風險係數 0.5 下，建議之 DS32 崩塌地累積雨量管理基準值為 300 mm。在警戒行動值方面，建議可將管理基準值定義為暴雨條件下使邊坡安全係數達 1.1 的累積雨量，在此定義下 DS32 潛在崩塌地的管理基準值為 440 mm，潛在深層滑動塊體如圖 12 所示；DS32 上游潛在崩塌地的管理基準值為 760 mm，潛在深層滑動塊體如圖 13 所示。

表 1 DS32 潛在崩塌區建議之累積雨量管理基準值

區域	黃色警戒	紅色警戒	假設條件
DS32 潛在崩塌地	300mm	440 mm	風險係數 0.5 安全係數 1.1
DS32 上游潛在崩塌地	300mm	760 mm	風險係數 0.5 安全係數 1.1

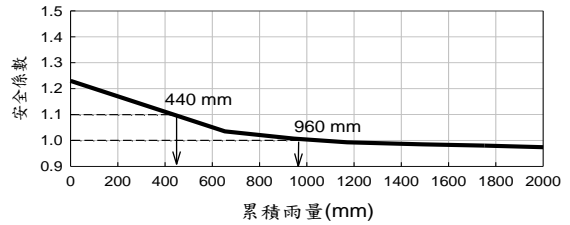


圖 12 DS32 潛在崩塌地管理基準值評估

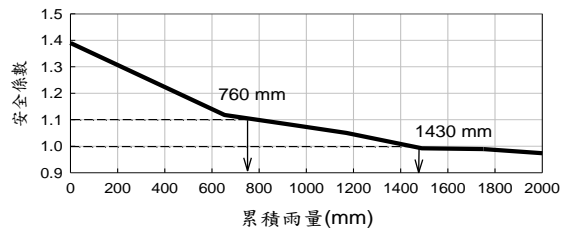


圖 13 DS32 上游潛在崩塌地管理基準值評估

四、結論與建議

(一) 結論

1. 本研究之地電阻影像調查計完成 A、B 及 C 三條測線，根據施測結果顯示，A 測線於距離約 440-480 公尺附近的崩積層向東側增厚，岩盤裂隙也發達，研判此層段具向測線東側崩滑趨勢；B 測線於距離約 280-340 公尺附近風化層出現向南側陷落或增厚現象，研判此層段具向測線南側崩滑趨勢；C 測線有明顯不連續並向傾斜趨勢，並呈向南側崩塌或滑移趨勢。
2. 由現場鑽探結果，大致可將鑽探岩心記錄分成兩種岩性，(1)崩積層(Coll)和(2)板岩(Slate)，其中板岩依岩體的完整情形(或破碎情形)可分為破碎剪裂板岩(S-1)和較完整岩體板岩(S-2)兩種；其中，BH-6 孔的破碎剪裂板岩(S-1)和較完整岩體板岩(S-2)有交錯互層之情形。
3. 綜合調查結果顯示，DS32 潛在崩塌地主要工程地質問題為：河岸侵蝕崩塌、向源侵蝕作用強盛、強弱岩體界面間的潛在滑動面；DS32 上游潛在崩塌地主要工程地質問題為：河岸侵蝕崩塌、向源侵蝕作用強盛、土岩界面的潛在滑動面、斷層剪裂擾動帶。
4. 由雨量計資料可知目前崩塌區此段期間之累積雨量約為 55mm，尚無顯著之降雨事件發生。同時，

DS32 及其上游潛在崩塌地各鑽孔之地下水位也無發現有顯著變化，各孔水位變動幅度約在 0.1~1.28 m 之間；DS32 與其上游潛在崩塌地之地中變形資料可知，監測至今尚無發現顯著的滑動面及滑動塊體，惟 BH-3 於此段監測期間自深度 46.0 m 處開始至地表有持續累積的變形發生(孔口變形量約 1.40 cm)；而 BH-6 於 20.0~23.0 m 之間則發現有陷落扭曲之變形狀況發生。

5.由上述可知，目前 DS32 崩塌區已處於準確定變動狀態，崩塌地之活動性判斷暫屬緩慢運動中。因此，未來若有豪大雨事件發生此區崩塌地極有可能達到確定變動狀態。而 DS32 上游崩塌區現階段暫處於潛在變動狀態，待持續觀察其活動性。

(二)建議

- 1.本研究針對崩塌區之範圍進行檢討，經現地調查及目前鑽探資料結果顯示，崩塌區之現況與歷史資料可能跟有所差距，建議可於後續工作可進行崩塌地現況空拍收集及資料分析。預計可製作各期 DTM 資料，來分析劃分滑動或崩塌量體，以利崩塌區可能崩滑之範圍進行檢討。
- 2.目前現階段，若要針對崩落範圍判識，依現況鑽探資料還尚屬不足，建議後續可再進行地質補充鑽探 2~3 孔縱深度達 200m。地球物理探之測線約 800~1000m，以及 2~3 孔另裝設傾度管和自動地下水位觀測，和必要網路傳輸設施。
- 3.目前因監測期短，故監測孔內之傾斜資料較為不足，故後續需針對各管內高度持續進行偵測。若未來，相關設備儀器更極小化且單價又便宜，建議可以透過廣設方式以提升防災觀測。
- 4.本研究因有效監測期間甚短，且未遭遇較大的降雨事件，僅靠康芮颱風的案例反算來建置水文地質概念模型，其可靠性仍待後續計畫的監測數據進行驗證及重新率定。此外，深層崩塌管理基準值亦應隨著水文地質概念模型修正而同步更新。
- 5.綜合調查監測資料，初步研判崩塌機制可能有分區分階現象，然而目前監測系統設在不同的崩塌區塊，建議後續計畫可視不同崩塌區塊特性，予以規劃補充調查監測工作，並透過即時監測數據研判各崩塌區塊的現況。

五、參考文獻

- 1.吳佐川(1993)，「台灣地區崩塌地區域特性之研究」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 2.廖何松、洪日豪(2003)，「利用地形計測指標研究臺灣南部潮州斷層沿線之活動構造」，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 3.經濟部中央地質調查所(2008)，「集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫」。
- 4.行政院農委會水土保持局(2010)，100 年度藤枝林道下方 3.5K 坡地走山崩塌安全監測計畫，行政院農委會水土保持局委託，財團法人中興土木科技發展文教基金會執行，SWCB-100-162。
- 5.行政院農委會水土保持局(2014)，102 年萬山潛在大規模崩塌區調查監測計畫，行政院農委會水土保持局委託，財團法人中興土木科技發展文教基金會執行，SWCB-103-014。
- 6.水土保持手冊(2006)，行政院農業委員會水土保持局。
- 7.集水區整體治理調查規劃參考手冊(2006)，行政院農業委員會水土保持局。
- 8., J. R., (1986) Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. Prentice-Hall, New Jersey.
- 9.Schott, I.R., Salvaggio, C., and Volchok, W.J.,(1988) Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. Remote Sens. Environ.
- 10.史天元(2004)，農委會空載光達台灣地區測試報告，工研院能資所演講資料。
- 11.陳大科、蕭國鑫、石佳惠、王成機，(2005)。「空載光達資料航帶平差之精度探討」，第二十四屆測量學術及應用研討會，第 123~131 頁。

六、誌謝

本論文為行政院農業委員會水土保持局編號 SWCB-103-028 之計畫，由於水土保持局的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。