莫拉克颱風災後引致水庫集水區 上游重點崩塌地之土砂安定性評估

陳俊愷* 林伯勳** 冀樹勇*** 簡以達**** 蔡明發*****

摘 要

本文採用崩塌地半定量安定性評估方法,針對曾文及烏山頭水庫集水區中之6處重點整治邊坡, 於莫拉克颱風過後進行追蹤,以了解崩塌地經投入治理後之植生覆蓋率之依時變化,供以評估治理 後之邊坡安定性探討。分析顯示至民國 102 年康芮颱風後,6 處重點整治邊坡經保育治理後,目前 坡面呈現安定且穩定復育中;惟此法無法得知崩塌地周緣持續發展之裂隙或相關徵兆,未來可藉高 解析影像及高精度監測儀器,以有效掌握潛在崩塌發生規模及滑動邊界,以供事前抑制災害發生。 關鍵字:水庫集水區、坡面土砂安定性、植生復育

一、前言

臺灣南部地區於莫拉克颱風事件中受到重 創,其中土砂災情尤以高雄市、嘉義縣、屏東縣 及臺東縣等縣市最為嚴重。民國 98 年莫拉克颱 風期間受極端水文事件影響,於曾文水庫集水區 降下 3,005mm 累積雨量,且 72 小時累積雨量為 臺灣歷年之冠(水保局,2010);高強度與長延 時降雨型態,引致集水區內發生大規模土砂災 害,該場事件造成水庫土砂淤積量新增 9,108 萬 立方公尺,遠大於曾文水庫原設計年淤砂量 561 萬立方公尺(何幸娟等人,2012)。水保局 (2010)利用莫拉克颱風後、民國 97 年 11 月之 衛星影像判釋結果顯示,曾文、南化、烏山頭水 庫集水區崩塌地遽增為 2,280.4 公頃,其中山坡

* 中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員

地範圍崩塌地面積約 387 公頃,係為莫拉克颱風 前之 7.6 倍,如圖 1 所示;其中莫拉克颱風造成 曾文水庫及烏山頭水庫上游崩塌地規模較大,且 有影響保全對象之虞者計 6 處,以位處嘉義縣阿 里山鄉樂野村之樂野崩塌為劇。

為改善南部地區曾文、南化、烏山頭水庫營 運功能、加強上游集水區水域環境保育及有效提 升水源備援與常態供水能力,相關部會研擬「曾 文、南化、烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水 計畫」,以加速水庫治理及水源開發,降低缺水 風險及維持水庫營運壽命。經水保局積極趕辦各 項保育治理工程,且近年水庫集水區無重大颱風 豪雨災害影響下,部分原預定整治崩塌地面積自 然復育成效良好,從莫拉克颱風後至民國 102 年 康芮颱風,山坡地範圍崩塌地面積已縮減為 60.4

^{**} 中興工程顧問社防災科技研究中心環境資源組組長

^{***} 中興工程顧問社大地工程研究中心、防災科技研究中心主任

^{****} 行政院農業委員會水土保持局保育治理組正工程司

^{*****} 行政院農業委員會水土保持局保育治理組科長

公頃,可見植生復育及治理工程已發揮「直接治 理減少既有土砂來源」,以及「間接穩定潛在土 砂來源」目標;實際或潛在累計總防砂量約 1,347 萬立方公尺,如圖 2 所示,且坡面供應土 砂來源之崩塌地面積已逐年下降,顯示水庫集水 區上游土砂來源趨於穩定。



圖 1 曾文、南化、烏山頭水庫集水區崩塌地面 積統計





由於曾文、南化、烏山頭水庫集水區幅員遼 闊,於防汛期間易遭受颱風豪雨侵襲,透過衛星 影像進行即時廣域環境監測工作,持續追蹤水庫 集水區坡面及河道環境變遷及土砂安定效果,除 可避免大規模土砂災害發生,且利於評估治理成



效及滾動檢討水土保持需求。鑑此,本文蒐集歷 年多時期、多波段衛星影像及崩塌地之判釋成 果,以民國 98 年莫拉克颱風作為治理分界點, 探究於莫拉克颱風災後引致水庫集水區上游新增 崩塌地,經投入治理後之植生覆蓋率之依時變 化,並輔以現地勘查,以掌握水庫集水區崩塌地 土砂安定性趨勢。

二、文獻回顧

當今面對極端氣候侵襲下,山區連日豪雨動 輒誘發難以計數之山崩,傳統單一邊坡穩定分析 模式實無法針對集水區內所有邊坡個別進行詳細 的穩定分析及預測(鍾明劍等人,2011);臺灣 山區常因颱風或連日豪雨引致集水區產生不安定 土砂,係指堆置於邊坡或溪床上易受地表逕流或 地下水作用而產生移動之鬆散土砂,包括邊坡崩 塌殘土、溪床淤積土體或地表沖蝕土壤等,其中 以崩塌為主要來源(水保局,2014)。因傳統崩 塌土砂安定性評估,常利用野外地形勘查及地表 地質調查,但過於耗費人力且耗時,無法提供即 時數據;相對於衛星遙測技術,其具有長時間、 大範圍拍攝的特性,能夠定時、廣域觀察,資料 具時間與空間連續性與保存性,同時多波段影像 資訊提供不同於可見光之分析指標,如分辨植 生、裸露地等。若有多時期影像資料,更可研判 出地表地形地貌隨時間的變化。對於廣域之崩塌 地土砂安定性調查及評估,可達事半功倍之效。 常見崩塌土砂安定性表現方式,多以邊坡滑動潛 勢或活動度說明,再細究方法學而言,共可分成 定性及定量兩類方法(Aleotti and Chowdhury, 1999),其中定性方法有野外地形分析(Field Geomorphological Analysis)、利用指標或參數 地圖(Use of Index or Parameter Maps);定量方 法含統計分析(Statistical Analysis)、大地工程 方法(Geotechnical Engineering Approaches)、 類神經分析(Neural Network Analysis),如圖3 所示。

財團法人中興工程 顔問社 SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





崩塌土砂安定性之定性評估方法係依據專家 經驗,以敘述形式描述分級可能影響的程度以及 影響發生的機率,針對災害調查範圍先以符號方 式標註其空間位置,藉由文字定性描述潛勢之高 低程度及存在威脅(Lee, 1999; Lee and Clark, 2000),如圖4。



崩塌土砂安定性之定量則多透過力學機制或統計模式,以實際觀測數據來描述影響範圍及機率,分析結果正確性則有賴所使用數據之精確度。林伯勳等人(2011)於石門水庫蘇樂集水區,應用無限邊坡理論結合穩態水文模式發展之 淺層崩塌潛勢評估模式,分析獲得淺層崩塌潛勢 量化分布圖,如圖 5。

結合前述定性描述以及定量評估,即以半定量評估,Lin *et al.*,(2005)、林昭遠等人

中興工程·第128期·2015年7月·PP. 25-37 http://www.sinotech.org.tw/journal/

(2006)曾針對集集大地震造成九九峰之崩塌為 對象,利用衛星影像與多變量統計分析影響植生 復育率之地文因子,且現勘進行復育植種調查, 以驗證分析正確性;水保局(2012)與林務局 (2012)曾針對艾利颱風後於石門水庫引致崩塌 災害,進行植生復育量化評估,並搭配崩塌地現 地勘查、拍攝崩塌崖邊界狀態以瞭解環境現況, 藉以觀察崩塌邊坡表土層安定性評估條件,可補 強僅以植生覆蓋面積作為單一評估條件之不足, 同時驗證分析結果正確性。



三、分析流程

依據前述文獻回顧觀察,以及蒐集多時期、 多波段衛星影像圖資,同時參考林務局全臺綠資 源(2008)樣區調查資料成果作為檢核,進行多 時期植生覆蓋率計算,並搭配崩塌地現地勘查, 參考水保局與林務局崩塌地安定評估方法,針對 其6處重點整治邊坡,於莫拉克颱風過後進行追 蹤,以瞭解崩塌地經投入治理後之植生覆蓋率之 依時變化,供以評估治理後之邊坡安定性探討。 分析流程如圖6所示,共包含「資料蒐集」、 「常態化差異植生指標計算」、「門檻值設定」、 「植生覆蓋率計算」及「崩塌地土砂安定性評估」 等步驟,說明如后。



(一)資料蒐集

1. 歷年遙測影像

蒐集民國 90 年桃芝颱風至民國 102 年康芮 颱風之歷年主要災害事件之影像,共 20 期歷史 災害事件及衛星影像(水保局,2013),彙整如 表 1 所示。藉以完整瞭解曾文、南化、烏山頭水 庫集水區上游土砂災害之時序性演變歷程,供以 評估整體土砂生產環境。所蒐集衛星影像皆以相 同地面控制點、參考數值地形完成影像正射處 理,供以進行多時序影像套疊、追蹤保育治理措 施投入對環境改善情況,作為評估基礎資料。

2. 全島綠資源調查

為減少外界因素(如太陽高度角、大氣狀態 和非正像觀測所引致數據誤差),本文於曾文水 庫集水區內挑選林務局全島綠資源(2008)調查 成果,自2002年至2008年皆為植物覆蓋範圍設 置1km x1km 大小樣區,依各期衛星影像於該樣 區範圍內光譜反應特性,直接計算植生與非植生 判定門檻參考值(陳俊愷等人,2014)。若以曾



文、南化、烏山頭水庫為分析範圍,其樣區分布 如圖7所示。

表 1 蒐集歷史災害事件衛星影像列表

年份	災害事件名稱 (災害影響日期)	崩塌地事件名稱 (影像拍攝日期)		
2001	桃芝颱風 (2001/07/28-07/31)	桃芝颱風前 (2001/02/07、06/30、 07/02)		
2002	娜克莉颱風 (2002/07/09-07/10)	第742 第25前颱風後 (2002/10/05、11/06) 杜鵑颱風前 (2003/04/20、07/19) 敏督利颱風前 (2004/03/22) 敏督利颱風後 (2004/11/11)		
2003	杜鵑颱風 (2003/08/31-09/02)			
2004	敏督利颱風 (2004/06/28~07/03)			
2005	海棠颱風 (2005/07/16-07/20)	(2004/11/11) 海棠颱風前 (2005/04/30、03/06) 六九豪雨前 (2006/03/30)		
2006	六九豪雨 (2006/06/07-06/11)			
2007	聖帕颱風	聖帕颱風前 (2007/03/30)		
2008	(2007/08/16~08/19)	聖帕颱風後 (2008/01/05)		
2008	卡玫基颱風 (2008/07/16~07/18)	卡玫基颱風後 (2008/08/26)		
2009	莫拉克颱風 (2009/08/05-08/10)	臭拉克颱風雨 (2009/04/11、04/12、 05/09) 莫拉克颱風後		
2010	凡那比颱風 (2010/09/17-09/20)	(2009/11/10) 凡那比颱風前 (2010/03/21、08/04、 08/05) 凡那比颱風後 (2010/09/21、11/27)		
2011	南瑪都颱風 (2011/08/27-08/31)	南瑪都颱風前 (2011/02/02、02/05、 02/06、03/20) 南瑪都颱風後 (2011/09/03、09/14、 09/27)		
2012	天秤颱風 (2012/08/21-08/25 、2012/08/26-08/28)	天秤颱風前 (2009/02/05、03/27、 05/14) 天秤颱風後 (2012/09/21、09/27)		
2013	康芮颱風 (2013/08/27-08/29)	康芮颱風前 (2013/02/18、03/12、 03/17) 康芮颱風後 (2013/09/05、09/09)		



3. 相關參考圖層

利用上述水庫集水區內之影像樣區進行門檻 值設定之參考,並輔以人工彩色航照圖對建物、 湖泊、道路、裸露地與雲覆等非植生,以及衛星 影像崩塌地數化圖層進行確認。

(二)常態化差異植生指標計算

常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)為目前評估植生覆蓋情 形中常用方法之一,適用於監測植生變化。因植 物有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光的特性 (Green *et al.*, 1997; Price and Bausch, 1995), 故應用多波段態資訊於植物資源之探測。判別植 生反射量之多寡,多使用可見光與近紅外光之比 值或差值,即所謂 NDVI,其計算如式 1 所示, 其中 NIR 為近紅外光波段光譜反射值,R 為紅光 波段光譜反射值。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$
(1)

(三)門檻值設定及檢核

植生與非植生區域之判定,可藉由 NDVI 門 檻值加以設定區分,本文參考林務局(2008)全 島綠資源調查成果作為標準樣區,以樣區內同時 期影像光譜反應特性,作為該期影像值域分析參 考,並訂定該影像合理之門檻值,並與蒐集航照 影像交叉比對;若與航照影像明顯不符時,則重 新設定,直至確定其分類正確度達至九成以上。

(四)植生覆蓋率計算

植生與非植生區域之判定,可藉由前項 NDVI 成果,並設定門檻值加以區分,但如何設 定一合理門檻值為一重要關鍵。很多相關研究皆 曾針對不同區域訂定植生與非植生之門檻值,研 究顯示門檻值並非單一特定之定值,隨分析範圍、 植生種類、衛星影像取像角度、拍攝時間不同、 大氣環境狀況不同等原因而有所影響,故本文參 考前述樣區分析結果作為門檻訂定參考。而分析 評估過程中,若影像具雲覆、陰影影響,則扣除 該區域後加以計算所剩區域之植生覆蓋率,藉此 評估集水區植生復育情形;植生門檻植訂定與衛 星影像分類結果,植生覆蓋率計算方式,如下: 植生覆蓋率(%)= 集水區植生覆蓋網格面積 ×100%(2)

(五)崩塌土砂安定性評估

結合前述植生覆蓋率,亦參考水保局分析流 程及方法,將整治後邊坡安定性區分為三級,評 估條件歸納整理列於表 2 所示;由表可知,既有 崩塌地植生覆蓋面積大於原崩塌面積 50%,則代 表此崩塌地安定且不活躍;若植生覆蓋面積小於 原崩塌面積 50%,則代表此崩塌地仍會產生塊體 運動或僅部分土砂安定,未來仍有滑動之虞。

表 2 崩塌土砂安定性評估條件

	等級	崩塌地土砂安定性	評估條件
	А	塊體運動活躍	崩塌崖與其邊界皆清晰可見,
		(Active Mass Movement)	且朋场阻生復盍囬慎小於共原 崩塌面積 10%。
	В	部分安定 (Partly Stabilize)	崩塌崖清晰可見,且崩塌上的 植生覆蓋面積介於原崩塌面積 10-50%。
	С	安定且不活動 (Stabilized / Inactive)	崩塌崖仍可以被觀察,但其邊 界較不明顯,且崩塌植生覆蓋 面積大於其原崩塌面積 50%。

(參考來源: McDonagh *et al.*, 2009;水保局, 2012; 林務局, 2012)



四、分析成果

本文探討之6處重點整治邊坡分布於曾文水 庫及烏山頭水庫集水區,其分布如圖 8。曾文水 庫位於嘉義縣大埔鄉曾文溪主流上游,屬在槽水 庫,總容量達7億立方公尺,為臺灣地區容量最 大水庫,集水區面積約為 481 km²,曾文溪主流 長 56.2 km,主要水系包含曾文溪、草山溪、達 那伊谷溪、烏奇那溪及鍾連溪等,並區分為樂 野、里佳、新美、草山、大埔、草蘭、長谷川、 中坑、伊斯基安那、茶山、塔庫布央及達邦等十 二治理分區。年平均氣溫為 24.7℃,年平均蒸發 量約為 1,172.5mm(水保局,2012)。曾文水庫 集水區境內全區地形陡峻,地勢由西南向東北方 向逐漸升高,愈往上游坡度增加更加明顯,地形 高程介於 100m~2,650m 間;坡度大致在五至七級 坡以上,坡向分布以西向最多;地層屬於第三紀 中新世上部至第四紀更新世下部之地層,年代順 序為北寮頁岩、竹頭崎層、茅埔頁岩、隘寮腳 層、鹽水坑頁岩、糖恩山砂岩、長枝坑層、紅花 子層及三民頁岩等;另曾文水庫集水區境內之土 壤大部分組成為石質土,溪流兩岸與集水區下游 地區有崩積土和小部分沖積土,境內溪流兩岸陡 峻處崩坍地甚多,土壤沖刷亦劇烈。

烏山頭水庫位於臺南市官田區曾文溪支流官 田溪上,屬離槽水庫,集水區面積約為 58.24km², 水庫集水區水源有限,故主要從曾文溪東口堰攔 引曾文水庫之放流水,集水區內共分為王爺宮、 南勢坑、馬斗欄及庫區等四治理分區。年平均氣 溫為 24.2℃,年平均蒸發量約為 1,536.3mm(水 保局,2012)。烏山頭水庫集水區地形由東往西 傾降,上游河床較為陡峭,中、下游河床則較平 緩;坡度以五至六級坡度所占比例最大,坡向分 布以西向最多。地層屬於上新世之六重溪層以及 更新世之崁下寮層、二重溪層與六雙層等;另烏 山頭水庫集水區內之土壤組成主要以沖積土以及 崩積土為主,除部分退化磚紅壤土較為肥沃可為 耕地外,其餘皆由砂岩或泥頁岩互層的母岩風化 而成黃、灰色壤土崩積在河岸兩旁。



(a) 崩塌治理工程分布點位



(b) 樂野大崩塌



⁽c)永樂橋下游大崩塌











(f)達邦農路旁大崩塌 (g)馬斗欄部落大崩塌 圖 8 6 處重點整治邊坡分布及莫拉克災後影像圖 依圖 6 分析流程,針對莫拉克颱風過後新增 崩塌地加以追蹤,以瞭解崩塌地經投入治理後之 植生覆蓋率依時變化,供以半定量方式評估治理 後邊坡安定性。依前述方法,利用治理前後歷年 衛星影像觀察其主要崩塌範圍內之植生覆蓋率變 化;再赴現地勘查拍攝崩塌崖邊界狀態,並按崩 塌地安定評估條件說明邊坡安定性。以下就 6 處 重點整治邊坡,於治理後進行土砂安定性探討, 各別說明如后。

(一)樂野大崩塌

樂野大崩塌位於曾文水庫集水區內樂野治理 分區,係於莫拉克颱風引致新生崩塌地,新增崩 塌地面積約達 90 公頃;其中,樂野大崩塌可依 樂野 3 號野溪分為「樂野大崩塌右側」與「樂野 大崩塌左側」。於民國 99 年 5 月曾文、南化、 烏山頭水庫集水區整治計畫執行迄今,總計已辦 理 8 項崩塌地治理工程,其中「樂野大崩塌右 側」共計執行 3 件工程案件,而「樂野大崩塌左 側」共計執行 5 件工程,且現所有工程均已完 竣,各工程分布如圖9所示。

本處植生覆蓋率變遷分析結果如圖 10 所示, 莫拉克颱風前各期植生覆蓋率平均為 86.05%;莫 拉克颱風前、後樂野大崩塌植生覆蓋率由 86.98% 下降至 34.02%;莫拉克颱風後陸續投入工程整 治,並經歷凡那比、南瑪都以及天秤等多場颱風 豪雨事件;經分析顯示,民國 102 年康芮颱風後 之植生覆蓋率,已由原莫拉克風災後之植生覆蓋 率 34.02%,逐漸攀升至 74.09%,雖未恢復至莫 拉克颱風前狀態,但呈現穩定復育中。

蒐集民國 101 年天秤颱風後之現況照片及於 民國 102 年 9 月上旬進行現地勘查,針對溪流及 兩岸崩塌坡面調查成果發現,所建構之河道防砂 設施外觀狀況良好,無明顯損壞情形;此外,在

中興工程·第128期·2015年7月·PP. 25-37 http://www.sinotech.org.tw/journal/

崩塌坡面治理方面,可見坡面鋪網噴植之植生茂 密且復育良好,坡面亦均設置縱橫向排水及集水 井等相關設施,將降雨所產生之地表逕流予以分 流,進而降低坡面逕流對於崩塌地之沖蝕破壞; 另一方面,在其他裸露坡面及崩塌地邊界其植生 亦逐漸恢復。整體而言,崩塌地復育情況良好並 呈現穩定復育狀況,且經植生覆蓋率分析結果顯 示,植生覆蓋率優於 50%,故可判定現階段邊坡 屬為土砂安定狀況,如圖 11 所示。



治理前 治理後 10% 50% 86.38 _____ 85.1485.7584.68 _____ 86.1985.7985.8286.98 80.39 72.20 68.11^{71.38}68.32^{70.34} ____ 34.02^{36.46} 桃 杜鵑颱風前 皱誓利風前 Л 應克烹調風 敏督利鰕風 海棠颱風前 六九豪雨前 聖帕颱風前 聖帕颱風後 卡取基鵰風 莫拉克鴟風後 大程随風前 **医丙酮風浴** 拉克颱風前 瑪都鴟風前 馬都默風後 芝陇凤前 那比颱風後 脱風浴 比颱風前 圖 10 樂野崩塌地治理前與治理後之植生覆蓋 率變遷圖





(a) 民國 101 年拍攝照片(b) 民國 102 年拍攝照片圖 11 樂野崩塌地整治現況照片

(二)永樂橋下游大崩塌

永樂橋下游大崩塌位處嘉義縣大埔鄉永樂村, 其崩塌地坡趾範圍涵蓋嘉 143 線,為上游居民前 往永樂村民活動中心進行土石流防災避難重要道 路之一,於莫拉克颱風後發生大面積崩塌引致下 方道路阻斷。於民國 100 年進行崩塌地整治(如 圖 12),包括坡面穩定及坡面排水設施皆已完竣。

本處植生覆蓋率變遷分析結果如圖 13 所 示,莫拉克颱風前各期植生覆蓋率平均為 93.54%,莫拉克颱風前、後植生覆蓋率由 90.87% 下降至 39.98%;莫拉克颱風後陸續投入工程整 治,並經歷凡那比、南瑪都以及天秤等多場颱風 豪雨事件;至民國 102 年康芮颱風後之植生覆蓋 率,已由原莫拉克風災後之植生覆蓋率 39.98%, 逐漸攀升至 77.68%,雖未恢復至莫拉克颱風前狀 態,但呈現穩定復育中。



圖 12 永樂橋下游大崩塌治理工程之地理位置 分布圖



蒐集民國 101 年天秤颱風後之現況照片及於 民國 102 年 9 月上旬進行現地勘查及當地居民訪 談,在坡腹及上方已設置擋土設施,工程構造物 現況良好;坡面植生覆蓋相當密集且茂密;而崩 塌地下方採暗管銜接縱向排水溝疏導水流;在崩 塌地源頭及兩側崩塌崖仍可發現舊災害地貌,但 已逐漸復育。整體而言,現況治理工程已發揮穩 定邊坡功效,經植生覆蓋率分析結果顯示,其植 生覆蓋率優於 50%;如圖 14 所示,故可判定現 階段邊坡屬為土砂安定狀況。





(a) 民國 101 年拍攝照片(b) 民國 102 年拍攝照片圖 14 永樂橋下游大崩塌整治現況照片

(三) 瀨頭大崩塌

本處重點整治邊坡位於嘉義縣番路鄉公興村 龍美聚落南側,於民國 98 年莫拉克颱風來襲時 傳出地滑及崩塌,此區之地質為砂頁岩互層與斷 層通過之破碎地質,可能因莫拉克颱風強烈雨勢 下誘發崩塌。目前崩塌土體暫留於該處緩移中, 崩崖兩側有部分民宅。民國 100 年開始進行崩塌

財團法人中興工程 顔間社 SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS,INC.

地處理工程,至民國 101 年計有瀨頭崩塌地處理 工程及瀨頭崩塌地處理二期工程等 2 件已完竣治 理工程(如圖 15 所示)。



圖 15 瀨頭崩塌地處理工程位置分布圖

本處植生覆蓋率變遷分析結果如圖 16 所 示,莫拉克颱風前植生覆蓋率平均為 84.19%,莫 拉克颱風前、後瀨頭大崩塌植生覆蓋率由 87.95% 下降至 28.56%,於凡那比颱風前之植生覆蓋率下 降至 22.02%;莫拉克颱風後陸續投入工程整治, 並經歷凡那比、南瑪都以及天秤等多場颱風豪雨 事件;經分析顯示,民國 102 年康芮颱風後之植 生覆蓋率,已由原莫拉克風災後之植生覆蓋率 28.56%,逐漸攀升至 70.92%,雖未恢復至莫拉 克颱風前狀態,但呈現穩定復育中。



中興工程·第128期·2015年7月·PP. 25-37 http://www.sinotech.org.tw/journal/

蒐集民國 101 年天秤颱風後之現況照片及於 民國 102 年 9 月上旬進行現地勘查,坡面中段農 路通過處已設置擋土設施以及河道防砂處理;而 在坡面下方支流採以小型防砂設施及固床工減緩 縱向刷深;整體而言,坡面植生覆蓋程度良好, 經植生覆蓋率分析結果顯示,其植生覆蓋率優於 50%,如圖 17 所示,故判定現階段邊坡屬於土砂 安定狀況。



(a) 民國 101 年拍攝照片(b) 民國 102 年拍攝照片圖 17 瀨頭大崩塌整治現況照片

(四)潮州湖地區大崩塌

潮州湖地區大崩塌位於嘉義縣番路鄉公田 村,於民國 95 年 6 月 9 日逢阿里山區豪雨過後 發生路基坡體滑動現象,導致該區段路面呈現起 伏不平,影響行車安全。經莫拉克颱風過後發生 大面積崩塌,受影響包含邊坡下方既有住家、耕 作田園、農道、農業產銷、公共設施等,計約 250 公頃。自民國 99 年至 101 年共有公田村潮州 湖地區崩塌地及野溪整治一期至三期工程等工程 投入整治,其空間分布如圖 18,現已完竣。

本處植生覆蓋率變遷分析結果如圖 19 所 示,莫拉克颱風前各期植生覆蓋率平均為 83.93%,莫拉克颱風前、後植生覆蓋率由 83.52% 下降至 31.87%,於凡那比颱風後植生覆蓋率達最 低為 30.89%;莫拉克颱風後陸續投入工程整治, 並經歷凡那比、南瑪都以及天秤等多場颱風豪雨 事件;經分析顯示,民國 102 年康芮颱風後之植 生覆蓋率,已由原莫拉克風災後之植生覆蓋率 31.87%,逐漸攀升至 82.44%,接近於莫拉克颱 風前狀態,並呈現穩定復育中。



圖 18 潮州湖地區大崩塌治理工程位置分布圖





(a) 民國 101 年拍攝照片(b) 民國 102 年拍攝照片圖 20 潮州湖地區大崩塌整治現況照片

蒐集民國 101 年天秤颱風後之現況照片及於 民國 102 年 9 月上旬進行現地勘查,在坡面中段 設置擋土設施及縱橫向排水維持農路通行;而在 坡面下方採以小型防砂設施及固床工減緩縱向刷 深;在崩塌源頭及兩側邊緣則利用鋪設植生網藉 財團法人中興工程 顔間社 SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

以加強坡面植生覆蓋率,其崩塌邊界比較不明顯, 整體而言,植生覆蓋程度良好,經植生覆蓋率分 析結果顯示,其植生覆蓋率優於 50%,如圖 20 所示,故可判定現階段邊坡屬為土砂安定狀況。

(五) 達邦農路旁大崩塌

達邦農路旁大崩塌位於嘉義縣阿里山鄉達邦 村農嘉里,距阿里山鄉公所約距 350 公尺,屬於 曾文溪上游莫拉克颱風後所形成之新增崩塌地, 當時形成農路阻斷情形;其崩塌基腳位於曾文溪 上游伊斯基安那溪之凹岸處,主要受到溪流沖刷 造成崩塌。經民國 100 年達邦村農嘉里 032 農路 旁邊坡崩塌地整治工程投入後(如圖 21),該農 路已恢復通行且於上邊坡有植生復育工程。



圖 21 達邦農路旁大崩塌治理工程位置分布圖

本處植生覆蓋率變遷分析結果如圖 22 所 示,莫拉克颱風前各期植生覆蓋率平均為 94.86%;莫拉克颱風前、後達邦農路旁大崩塌植 生覆蓋率由 99.69% 下降至 18.98%;莫拉克颱風 後陸續投入工程整治,並經歷凡那比、南瑪都以 及天秤等多場颱風豪雨事件;經分析顯示,民國 102 年康芮颱風後之植生覆蓋率,已由原莫拉 克風災後之植生覆蓋率 18.98%,逐漸攀升至 85.47%,雖未恢復至莫拉克颱風前狀態,但呈現 穩定復育中。

財團法人中興工程 顔問社 SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





蒐集民國 101 年天秤颱風後之現況照片及於 民國 102 年 9 月上旬進行現地勘查,發現原崩塌 之農路上方邊坡已鋪設相當完整植生覆蓋,而其 左側崩塌崖仍可被觀察,但其邊界較不明顯,經 植生覆蓋率分析結果顯示,其植生覆蓋率優於 50%,如圖 23 所示,故可判定現階段邊坡屬於土 砂安定狀況;惟崩塌地屬於凹坡且鄰近伊斯基安 那溪,仍需持續觀察強降雨事件時,下邊坡有無 水流攻擊側坡或淘刷坡趾,進以影響邊坡安定性 之可能性。



(a) 民國 101 年拍攝照片(b) 民國 102 年拍攝照片圖 23 達邦農路旁大崩塌整治現況照片

(六)馬斗欄部落大崩塌

馬斗欄部落大崩塌位於臺南市六甲區與大內 區交界,為當地部落供居民運送民生物資及當地 農產主要連外道路。每逢豪大雨後,由於土壤質 地較為鬆軟,邊坡都會發生程度不一之滑動。於 莫拉克颱風後受強烈降雨引致崩塌發生,道路遭 受阻斷。民國 98 年莫拉克颱風災後重建計畫交 由臺南市政府進行馬斗欄部落崩塌復建工程,如 圖 24 所示;目前該工程已竣工。

本處植生覆蓋率變遷分析結果如圖 25 所 示,莫拉克颱風前各期植生覆蓋率平均為 64.56%;莫拉克颱風前、後植生覆蓋率由 89.49% 下降至 58.42%;莫拉克颱風後陸續投入工程整 治,並經歷凡那比、南瑪都以及天秤等多場颱風 豪雨事件;經分析顯示,民國 102 年康芮颱風後 之植生覆蓋率,已由原莫拉克風災後之植生覆蓋 率 58.42%,逐漸攀升至 80.02%,雖未恢復至莫 拉克颱風前狀態,但呈現穩定復育中。



圖 24 馬斗欄部落崩塌治理工程位置分布圖



蒐集民國 101 年天秤颱風後之現況照片及於 民國 102 年 9 月上旬進行現地勘查,發現原崩塌 之農路邊坡設置擋土牆及排水設施,原崩塌坡面 已進行鋪網植生處理,且崩崖較不明顯,經植生 覆蓋率分析結果顯示,其植生覆蓋率優於 50%, 如圖 26 所示,故可判定目前階段屬土砂安定情況。



(a) 民國 101 年拍攝照片(b) 民國 102 年拍攝照片圖 26 馬斗欄部落崩塌整治現況照片

五、結論與建議

本研究透過蒐集歷年多期災害事件前後之正 射衛星影像圖資,並採植生覆蓋率計算與崩塌地 安定評估莫拉克颱風後引致之樂野崩塌,以追蹤 治理前後之植生覆蓋率依時變化;再赴現地勘查 拍攝崩塌崖邊界狀態,依崩塌地安定評估條件說 明坡面安定性。評估結果顯示治理工程投入,能 加速邊坡穩定、增加植生復育情況,觀察6處重 點整治邊坡至 2013 年康芮颱風後分析結果顯 示,植生覆蓋率已逐漸攀升並穩定復育中;惟需 注意的是現地勘查發現崩塌地未完全復育,而其 未復育的部分可能有再生崩塌地或疑似為岩坡, 需進一步釐清;另仍有部分不安定土砂堆積於坡 面,未來仍需持續透過衛星影像及現地調查等手 段,進行相關追蹤監測作業,據以評估後續成效 或適時進行工程治理。此外,目前本文分析方法 僅可藉由遙測影像與現勘瞭解崩塌地現況,對於 其崩塌地周緣持續發展之裂隙或相關徵兆無法得 知,未來可藉由合成孔徑雷達穿透植被獲得地表 下高解析資訊或配合坡面高精度等監測儀器,以 有效掌握潛在崩塌發生規模及滑動邊界,以供事 前抑制災害發生。

財團法人中興工程 顔問社 SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

謝 誌

感謝行政院農業委員會水土保持局提供計畫 (編號 1020118010B)經費補助,與執行過程相 關協助,作者謹申謝忱。

參考文獻

- 臺北市政府大地處(2013)102 年度臺北市內湖區易致災 坡地風險評估計畫
- 行政院農業委員會水土保持局(2010)南部地區災後集 水區水土保持策略規劃
- 行政院農業委員會水土保持局(2010)曾文水庫(阿里 山鄉以外)南化及烏山頭水庫集水區保育治理分析與 對策
- 行政院農業委員會水土保持局(2012)曾文、南化、鳥 山頭水庫集水區環境變異監測及治理成效評估
- 行政院農業委員會水土保持局(2013)水庫集水區環境 資料及土砂災害風險評估(1/3)
- 行政院農業委員會水土保持局(2014)以眉溪土砂變遷 為例評估保育設施影響之對策
- 行政院農業委員會林務局(2008)全臺綠資源調查
- 行政院農業委員會林務局(2012)新竹處轄國有林班地 上游集水區土砂產量調查與防治成效評估
- 何幸娟、林伯勳、張玉粦、冀樹勇、簡以達、蔡明發 (2012)由深度面積體積等物理量評估曾文水庫集水 區莫拉克颱風後龍蛟溪土砂治理成效,2012年中華水 土保持學會年會及學術研討會
- 何幸娟、林伯勳、張玉粦、冀樹勇、簡以達、蔡明發 (2012)曾文水庫集水區多元尺度監測及土砂產量評 估,中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 101 年年會暨學術研討會
- 林伯勳、許振崑、冀樹勇(2011)集水區土壤厚度經驗 式應用分析,中興工程,第111期,第35-45頁
- 林昭遠、劉祐如、林文賜(2006)九九峰崩塌區位植生 復育影響因子之研究,水土保持學報,第38期,第3 卷,第267-278頁
- 陳俊愷、林伯勳、簡以達、蔡明發(2014)以半定量經 驗評估配合多時期衛星影像評估曾文水庫集水區上游 樂野崩塌地土砂安定性,2014 台灣地理資訊學會年會 暨學術研討會
- 鍾明劍、譚志豪、冀樹勇(2011)不同尺度分析模式於 崩塌潛勢評估之整合應用-以莫拉克颱風事件為例, 中興工程,第111期,第47-59頁
- Aleotti, P. and Chowdhury R. (1999) Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 58, Issue 1, pp. 21-44

- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández, T. and El Hamdouni, R. (2006) Engineering Geology Maps: Landslides and Geographical Information Systems, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 65, Issue 4, pp. 341-411
- Chen C. K., Hsiao C. Y., Lin B. S., and Cheng C. T. (2012)
 Utilizing Multi-Scale Remote Sensing Technology for Evaluating Sediment Disaster in the Catchment Area, 2012 International Conference on Earth Science and Remote Sensing
- Green E. P., P. J. Mumby, A. J. Edwards, C. D. Clark, A. C. Ellis (1997) Estimating Leaf Area Index of Mangroves from Satellite Data, Aqua. Bot. 58, pp.11-19
- Lee, E. M. (1999) Coastal Planning and Management: The Impact of the 1993 Holbeck Hall Landslide, Scarborough, East Midlands Geographer, 21, pp. 78-91

- Lee, E. M. and Clark, A. R. (2000) The Use of Archive Records in Landslide Risk Assessment: Historical Landslide Events on the Scarborough Coast, Landslides: In Research, Theory and Practice, Thomas Telford, pp. 893-898
- Lin, W. T., Chou W. C., Lin C. Y., Huang P. H. and Tsai J. S. (2005) Vegetation Recovery Monitoring and Assessment at Landslides Caused by Earthquake in Central Taiwan, Forest Ecology and Management, Volume 210, Issues 1-3, pp. 55-66
- McDonagh, J., Bunning, S., and M. Douglas (2009) Field Guide for Rapid Local Land Resources Assessment in Drylands, PALM Land Resources Assessment Field Guide, July 2009
- Price J. C., W. C. Bausch (1995) Leaf Area Index Estimation from Visible and Near-Infrared Reflectance Data, Remote Sens. of Environ, 52, pp.55-65

}	新書	推	介	
(一)遙測技術於土木 土砂災害資料倉	水利工程」 當儲系統建置	二之應用 冒及莫拉到	(二) 克災區案	例分析
林伯勳、鄭錦桐、 蕭震洋、林彥享、	陳俊恒 謝寶珊等 :	編著		2013年10月初版
(二)坡地災害風險管 莫拉克颱風災區	管理及其應用 區坡地災害研	月(一) 肝究		
曹鼎志、鄭錦桐、 賴承農、黃春銘、	沈哲緯、魏	倫瑋 幸娟等 約	扁著	2014年01月初版
(三)高飛灰摻量混凝 ^{產穎雲、柴希文、}	社於中興] 陳音聖	【程研究:	大樓新建	工程之應用
邱暉仁、張永昌等	深闲 <u>王</u> 编著			2014年01月初版
(四)宜闌東澳地區海	· 招 和 和 本	3目標園	區可行性	研究
林智彭、肅水盛、 王偉宇、李佳樺、	积融致、 更; 李士畦等 ;	馭沓 編著		2014年06月初版
(五)公營事業閒置土 - 以台鐵局及都	:地資產活们 B更再開發家	└開發模: 롢為例	式研究	
黄百富、游明進、	陳蓓如、柯	文欣等 糹	扁著	2014年03月初版