

花蓮馬遠村八鄰野溪麥德姆颱風土砂災害調查與評估

簡榮興^[1*] 黃全謐^[2] 曹鼎志^[3] 陳美珍^[4]

摘 要 2014 年 7 月麥德姆颱風過境時帶來充沛雨量，導致花蓮縣萬榮鄉馬遠村八鄰野溪發生嚴重之土砂災害，大量溪水夾雜土石沿野溪溝槽進行渲洩，導致沿線溪床溝岸受到嚴重之沖刷與土石淤積情形，並造成下游左岸 3 戶八鄰民宅遭到土石淤埋。由災後現場調查與室內分析結果得知，該土砂災害事件發生於 7/23 凌晨零時，當時達到兩場最大降雨強度 74.5mm/hr，其有效降雨量為 328.5 mm，總累積雨量 544mm，集水區溝岸崩塌面積共約 0.22 公頃，下游堆積土砂高度約 1~1.5m，災害範圍面積約 4,782m²，堆積之土方量估計約為 5000m³。本研究根據水保局 2013 年函頒之土石流潛勢溪流劃設作業要點之影響範圍判定方法進行初步劃設，並依據現場調查蒐集參數進行 FLO-2D 土石流堆積範圍模擬，將模擬結果與災後實際之土砂影響範圍進行比較與探討，以期精進土石流影響範圍之劃設作業。

關鍵詞：馬遠村、土石流、土石流潛勢溪流劃設作業要點、影響範圍。

Sediment Disaster Investigation and Assessment of a Torrent in Mayuan Village, Hualien during Typhoon Matmo

Jung-Hsing Chien^[1*] Chuan-Yi Huang^[2] Ting-Chi Tsao^[3] Mei-Chen Chen^[4]

ABSTRACT During July 2014 Typhoon Matam brought heavy rainfall, which triggered sediment disaster in 8th neighbor of Mayuan Village, Wanrong Township, Hualien County. Debris was washed down and severely damaged the banks along the torrent, and resulted in the damage of 3 residential houses in the downstream. The disaster was occurred in midnight of Jul. 23, the maximum hourly rainfall was 74.5mm with effective rainfall reaching 328.5mm, and the total accumulative rainfall is 544mm. The main source of sediment is believed to be the erosion of the torrent banks, with visible landslide area less than 0.22 Ha. The debris volume is estimated at 5,000 m³, which covers about 4,782 m² with inundation height 1 to 1.5m. This study follows the guideline of mapping debris flow torrent to draw the preliminary affected area, and then conduct FLO-2D simulation to verify and compare the result with actual disaster event in order to improve the mapping of debris flow in the future.

Key Words: Mayuan Village, debris flow, potential debris flow torrent mapping guideline, inundation area.

-
- [1] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心助理工程師 (* 通訊作者 E-mail: ross@sinotech.org.tw)
Assistant Engineer, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei 114, Taiwan
 - [2] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員
Assistant Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei 114, Taiwan
 - [3] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心正工程師兼組長
Senior Engineer and Group Chief, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei 114, Taiwan
 - [4] 農委會水土保持局土石流防災中心簡任正工程師
Senior Engineer, Debris Flow Disaster Prevention Center, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 540, Taiwan

一、前言

行政院農業委員會水土保持局自民國 89 年起主管土石流災害防救業務以來，藉由防災措施之落實，在歷經多次風災、水災後，已能有效降低土石流潛勢地區之人員傷亡，為確保土石流防災、減災工作之落實，考量近年颱風豪雨後疑似土石流災害、地方政府申請土石流潛勢溪流調整評估等情形，依據土石流潛勢溪流劃設作業手冊(水保局，2013)，辦理土石流潛勢溪流新增及調整作業，以更新土石流災害潛勢資料庫，做為各級政府及民眾進行土石流防災相關工作之基礎資料，以及各項土石流防災整備參考使用。而花蓮縣萬榮鄉馬遠村於民國 103 年 7 月麥德姆颱風時，發生嚴重之土砂災害並造成多戶民宅遭受淤埋，本研究乃針對災害地點進行評估，於災後進行實地勘查以了解災害發生之狀況，並依集水區地文、水文等配合數值模擬進行影響範圍探討，並針對影響範圍內保全對象進行危害度評估，以掌握未來災害實際發生情境，達到防災、減災之效。

二、基本資料

1. 研究區域

本研究之野溪位於花蓮縣萬榮鄉馬遠村境內八鄰 (以下簡稱花縣 U103-1)，馬遠村位於萬榮鄉南側，境內幅員廣大，西與南投縣信義鄉為界，北臨萬榮鄉明利村，東接光復鄉大馬村、大興村、大豐村與瑞穗鄉富源村、富民村，南與卓溪鄉崙山村、萬榮鄉紅葉村及瑞穗鄉瑞祥村、瑞北村相鄰。交通部分，該溪可由省道台 9 線自瑞北村西轉馬瑞產業道路進入東光聚落即可抵達；花縣 U103-1 全區多屬山地地形，地勢西高東低，由西側高程約 455m 降至東側階地平坦區約為 115m，高程差約 340m，花縣 U103-1 位屬富源溪水系，全長約 1.226 公里，流向由東向西流，集水區面積約 18 公頃，溪床平均坡度約 20 度。

2. 地質背景

依據經濟部中央地質調查所出版之二十五萬分之一臺灣地質圖(如圖 2)，花縣 U103-1 集水區下游均位於臺地堆積層(Q4)，其分布在花蓮到台東之間的東部縱谷。由層理不明顯的礫石層組成，大多數由未經膠結的礫石及夾在其中的平緩砂質或粉砂質凸鏡體組成，一般層理及洩選度都很差；集水區中、上游位於大南澳片岩(PM5)，大南澳片岩主要組成為黑色、綠色、矽質片岩、變質石灰岩及片麻岩。黑色片岩是本變質岩帶中的主要片岩狀岩石；綠色片岩主要呈厚層或薄層或凸鏡體，和其他變質岩成為互層；矽質片岩為灰色，通常因風化而呈灰褐色，包括變質砂岩、石英片岩、燧石層和片狀砂岩；變質石灰岩(俗稱大理岩)呈塊狀或厚層狀，結構為細粒到粗粒，共有三種不同的顏色-淺灰色及深灰色、黑色和白色。

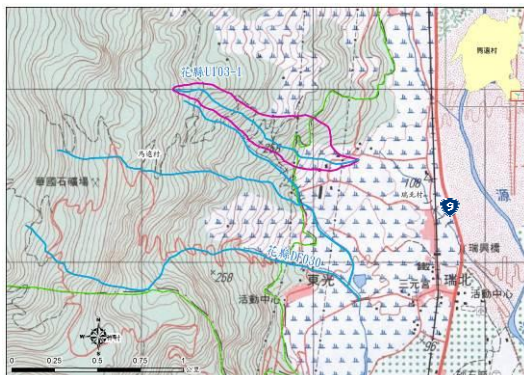


圖 1 花縣 U103-1 位置圖

Fig.1 Hualien U103-1 geography location

圖 2 花縣 U103-1 地質圖

Fig.2 Hualien U103-1 geological map

3. 歷史災害紀錄

由「花蓮縣萬榮鄉馬遠村土石流特定水土保持區長期水土保持計畫通盤檢討」報告(花蓮縣政府, 2014), 可得知馬遠村東光部落之歷年發生災害主要以土石流為主, 由於集水區舊有崩場地, 遇颱風、豪雨季節來臨, 往往造成土石崩落, 洪水夾帶大量崩塌土石, 再加上原先溪床上累積之土石或採石場的礦渣等而形成土石流, 順著溪流向下流竄, 威脅下游東光聚落居民的生命與財產安全。而過去較大之土石流災害以民國 78 年莎拉颱風及民國 90 年桃芝颱風造成之災害最為嚴重, 莎拉颱風期間降下達 447mm 總雨量(氣象局花蓮站), 桃芝颱風期間降下達 489.5mm 總雨量(氣象局光復站), 二場事件均造成土砂流出情形, 導致下游民房受損。

而根據水保局「103 年重大土砂災例現勘及報告彙編」, 103 年麥德姆颱風帶來充沛雨量, 導致花縣 U103-1 集水區上游檳榔園由於逕流集中, 刮蝕崩積層土石, 土石材料沿坑溝下移, 兩側部分崩積物被刮蝕造成崩塌, 至下游轉折點至涵洞前約 50m 處, 涵洞過小阻塞, 至土石受阻淤埋, 並溢過排水溝, 衝擊左岸馬遠 157、157-1、157-2 號等三戶民宅遭土石沖入毀損、淤積。

本研究為探討該災害事件之降雨情形, 採用鄰近集水區之紅葉雨量站資料(如表 1)。並參考水保局提供之風災事件雨量組體圖進行分析探討(如圖 3), 可得知花縣 U103-1 土砂災害發生時, 其降雨強度與累積雨量分別達到 74.5mm/hr 與 328.5mm, 而花縣 U103-1 總雨量為 544mm, 亦超過水保局於馬遠村之土石流警戒雨量 500mm, 因連續之強降雨導致集水區坡面土體內含飽和水, 造成集水區坡面崩落並驅使土石流動, 因而造成下游八鄰住戶土砂災害(如圖 4)。

表 1 花縣 U103-1 麥德姆颱風土砂災害雨量概況

Table 1 Hualien U103-1 debris flow disaster rainfall overview during Typhoon Matmo.

參考雨量站	雨量站設置單位	災害事件	本次降雨開始時間	本次降雨結束時間	降雨延時 (hr)	雨量資料		
						土石流災害點降雨強度(mm/hr)	土石流災害點累積雨量(mm)	災害事件總雨量(mm)
紅葉 (C1Z030)	中央氣象局	麥德姆颱風	20140722 AM10:00	20140723 PM21:00	35	74.5	328.5	544.0



圖 3 麥德姆颱風紅葉雨量站降雨組體圖

(摘錄自水保局土石流防災資訊網)

Fig.3 Rainfall diagram in Hongye rainfall station during Typhoon Matmo



圖 4 花縣 U103-1 麥德姆颱風土砂災害現況

(災前照片來源：東華大學防災研究中心；災後照片：本研究拍攝)

Fig.4 Hualien U103-1 debris flow disaster situation

三、災後現地調查

本研究於麥德姆颱風後(103 年 7 月 24 日)進行現地勘查，其調查結果依土石流特性之堆積區(圖 5a)、流動區(圖 5b)、發生區(圖 5c)分述說明如下：

1. 下游堆積區

花縣 U103-1 下游位於馬遠村八鄰東光聚落，與馬遠聯絡道路交會於排水箱涵，該溪段於麥德姆颱風發生嚴重之土砂災害，崩積料源堵塞排水箱涵等整流設施，導致下游左岸之馬遠 157、157-1、157-2 號等多戶民宅、農舍與機車等機具，遭大量土砂淤埋，平均粒徑多介於 8 至 30cm。而位於排水箱涵右岸之馬遠 156-2、157-3、157-4 號及無門牌雜貨店因緊鄰河岸，研判仍有受土砂災害之虞。而於左岸馬遠 157 號受災戶後方擋土牆上邊坡房舍，均與溪床達 10m 以上高差，研判應不受影響。於排水箱涵上游約 80m，為出谷口之地形開闊處起點，崩塌土砂於此往下漫流與堆積。於出谷口之地形開闊處起點上游左岸可見溪岸崩塌地，其寬 25m，高 13m。下游堆積區長度約 275 公尺，溪床坡度均為 6 度以下，而排水箱涵後下游 110m 處，為該土砂災害範圍末段，坡度約為 2 度。

2. 中游流動區

中游流動區部分，該區段可與農路分別交會於三處過水路面，現勘當時各農路交會處均遭大量土砂淤埋阻斷。於第一處過水路面右岸處設有一蓄水塔，雖於本次災害未造成毀損，但因蓄水塔緊鄰河道，仍有受土石流影響之可能。而在第二處過水路面，其上游右側可發現一溪岸崩塌地，寬 15m、高 3m。其崩塌下移土砂造成過水路面阻斷，而右岸之開墾地未遭土砂漫入。目前中游流動區段地形受到侵蝕及搬運的影響，河岸因向下淘刷呈 U 形斷面情形，溪床底質可見大量崩積土石。中游流動區長度約 520 公尺，平均溪床坡度為 19 度。

3. 上游發生區

於第三處過水路面以上至第四處過水路面之河段種植大片檳榔園，於檳榔園下邊坡河段呈現陡降，因土石流縱橫切勢能強大造成沿線溪床河岸坡面裸露，並沖毀右岸道路下邊坡，溪床現仍有巨粒之崩積土石堆積，平均粒徑多大於 30cm，最大粒徑達 2m 以上，該裸露河段為主要料源區之一，範圍長約 100m，最寬處約 15m，裸露面積約 0.12 公頃，溪床坡度約 25 度。

而第五處過水路面以上河床坡度漸呈平緩，溪床坡度約 9 度。因花縣 U103-1 集水區源頭稜線緊鄰花縣 DF030 集水區，據馬遠 162 號住戶表示本災害事件之土石係由花縣 DF030 溪岸崩塌地所帶入，大量崩積土石下移時堵塞花縣 DF030 流槽斷面，造成河道改道與大量土石漫至花縣 U103-1 集水區，並造成沿線溪床溝岸嚴重之沖刷破壞，而目前花縣 DF030 河道與崩塌地已由怪手臨時清疏為高約 6m 之土堤，以防止崩積土石再次下移至花縣 U103-1 集水區。

綜觀以上現勘結果得知，造成災害主因係因由於花縣 U103-1 集水區源頭西側之花縣 DF030 溝岸發生崩塌，崩積料源堵塞花縣 DF030 河槽斷面，漫流改道並夾雜大量土石下移，直接進入花縣 U103-1 河道成為土石流之料源，並於檳榔園下游河段造成大範圍之沖刷破壞，形成另一處料源區，且持續夾雜大量土石通往下游，於下游出谷口之地形開闊處發生溢流，並造成兩岸之馬遠 157、157-1、157-2 號等民宅遭大量土砂淤埋。評估麥德姆颱風事件造成之土石流災害，於下游堆積區坡度多介於 2~6 度之間，土砂災害堆積範圍約 4,782m²，平均堆積厚度約 1~1.5m，估計堆積區之土砂量約 5000m³；而中游流動區坡度約為 19 度，溪床可見大量崩積土石，並造成 3 處農路交會處遭到阻斷淤埋。上游發生區長度約 433 公尺，平均溪床坡度為 17 度，料源主要均來自溪床溝岸之崩塌，合計崩塌面積約為 0.22 公頃。花縣 U103-1 土石流溪床縱剖面如圖 6 所示。



Fig.5(a) Hualien U103-1 debris flow disaster (deposition area)



Fig.5(b) Hualien U103-1 debris flow disaster (transportation area)

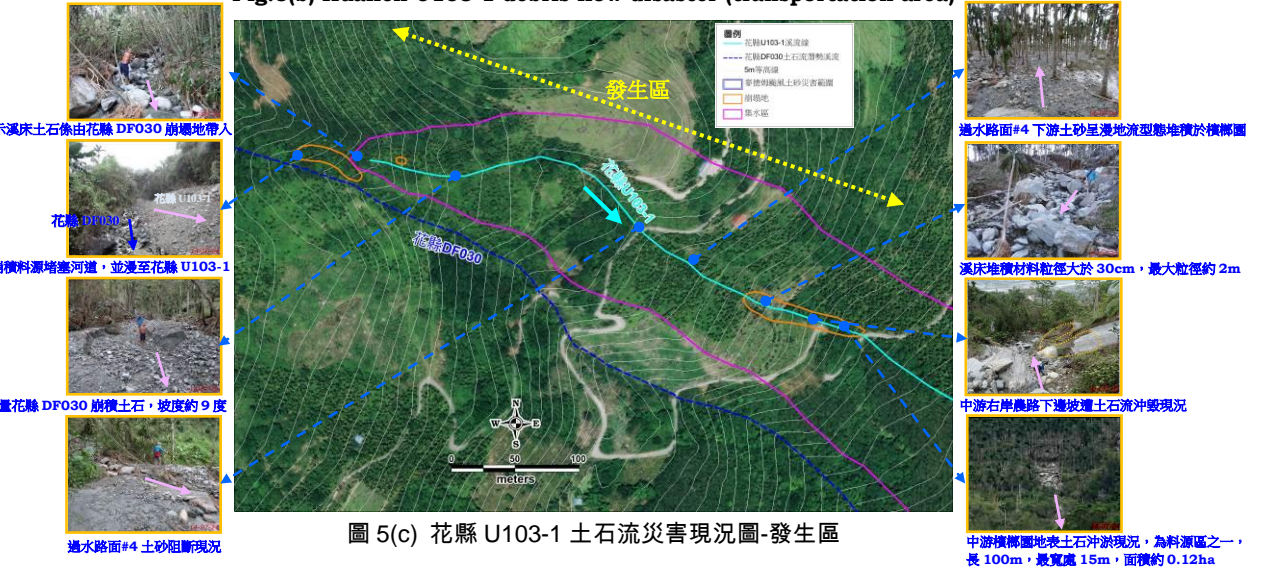
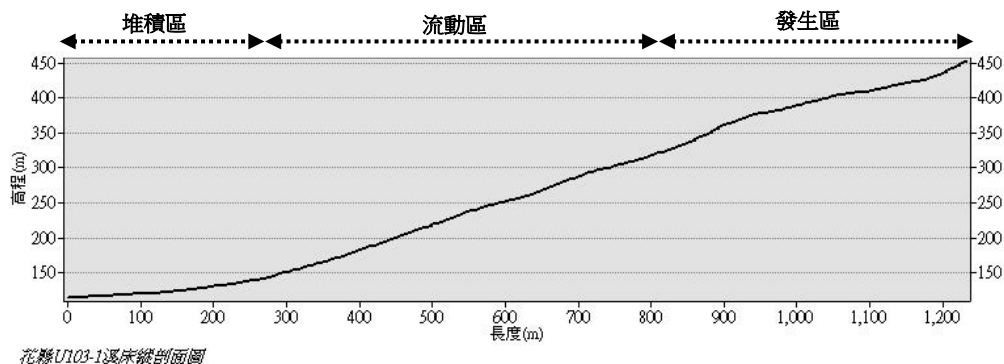


圖 5(c) 花縣 U103-1 土石流災害現況圖-發生區

Fig.5(c) Hualien U103-1 debris flow disaster (source area)



花蓮 U103-1 溪流縱剖面圖

圖 6 花縣 U103-1 土石流縱剖面圖

Fig.6 Hualien U103-1 debris flow profile

四、土石流影響範圍

(一) 影響範圍劃設

本研究係根據土石流潛勢溪流劃設作業手冊(水保局, 2013)進行災後土石流影響範圍劃設, 其劃設作業分為三個階段, 首先於室內準備時依地形圖及航照圖判釋可能保全對象並完成影響範圍初步劃設, 其次進行現地調查時依現地地形地貌加以修正, 將現勘結果攜回室內作業進行編修, 影響範圍之劃定分述如下。

1. 影響範圍初步劃設

土石流潛勢溪流潛勢區初步劃定谷口及(或)溢流點位置與扇狀地角度之方法, 如下(1)所述; 該扇狀地之半徑長度則以池谷浩公式進行計算, 如下(1)式所述。

(1) 谷口(或溢流點位置)與扇狀地角度之方法: 首先決定影響區之頂點 A, 其以山谷出口、扇狀地頂點, 或坡度 10 度為頂點; 其次由 A 點依據土石流最大擴展角度(105 度)向下游劃出一扇狀區域; 最後以扇形區內坡度 2 度之等坡度線作為土石流之到達邊界, 則該扇形區與上述等坡度線所涵括之範圍, 即為土石流之影響範圍(黃色扇形區)。

(2) 池谷浩公式: 池谷浩公式如下所示, 計算得出淤積長度(L)即為扇狀地之半徑長度, 依半徑長度圈繪影響範圍。

$$\text{Log}(L) = 0.42 \times \text{Log}(V \times \tan \theta_a) + 0.935 \quad (1)$$

式中, L 為淤積長度(m); θ_a 為下游坡度(度); V 為土砂流出量(m^3), 臺灣地區之土砂流出量可表示為 $V = 70,992 A^{0.61}$ (謝正倫, 2000), A 為集水區之總面積(km^2)。本研究參考經驗公式建議, 並依據現場調查結果, 計算之 V 值土砂流出量為 25220 m^3 ; L 值淤積長度為 377 m。

2. 影響範圍現地修正

於現地調查時依地形地貌修正初步劃設之影響範圍底圖, 若劃設影響範圍內確認有保全對象存在, 且判定影響範圍具有溢流點地形, 依池谷浩公式所推估的 105 度扇狀地影響範圍初估保全住戶, 並且繪製可能影響範圍, 現地修正方式:

(1) 現地勘查可能之溢流點位置, 如谷口、障礙物處或地形突然變緩處, 並於現地重新定位, 求得其正確位置所在。

(2) 根據現地地形修正, 將土石流不可能會經過之部分去除。

(3) 刪除溪流兩岸地勢高度已高出流道 10~12m 範圍。

(4) 若以池谷浩所計算的扇狀地長度不足以涵蓋整個保全對象範圍, 則經由現地勘查之狀況延長扇

狀地之半徑長度。

若於現地調查時確認溪流之其他區段內具有保全對象以及溢流點存在，且有相同流動現象與堆積型態，則依據影響範圍現地修正方式，增加可能之影響範圍。

3. 影響範圍室內編修：

依據已完成現地修正之影響範圍以及溪流線，以數值圖層方式套疊於 1/5,000 彩色航照圖或相片基本圖之底圖，溢流點以及影響範圍均須配合底圖進行細部編修，最後製作為數值圖層。

依據以上說明之土石流影響範圍劃設方法，經本研究室內評估與彙整現勘資料後，得知池谷浩經驗公式之流出長度約 377m，其初步劃設結果詳圖 7 所示。而花縣 U103-1 溢流點位於於出口之地形開闊處起點，其以下堆積區坡度約 6 度，故彙整現勘結果與地形特徵將影響範圍終點圈劃至排水箱涵後下游 180m 處(坡度已降至 2 度以下)。如圖 8 所示。圖上之黃色扇形區為依池谷浩經驗公式初步繪製之 105 度影響範圍圖，而經現地地形條件重新繪製為花縣 U103-1 之紅色扇形影響範圍圖。

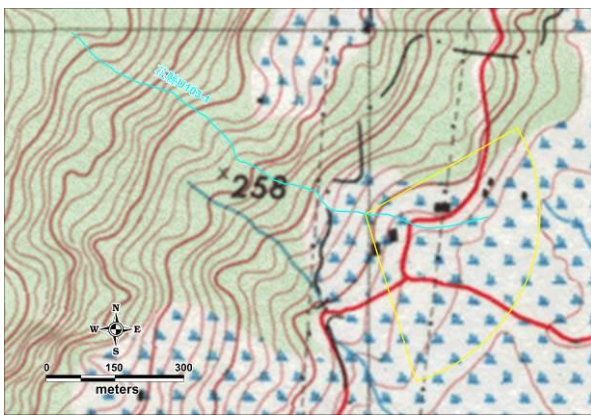


圖 7 花縣 U103-1 初步劃設之影響範圍圖

Fig.7 Hualien U103-1 initial designation of inundation area

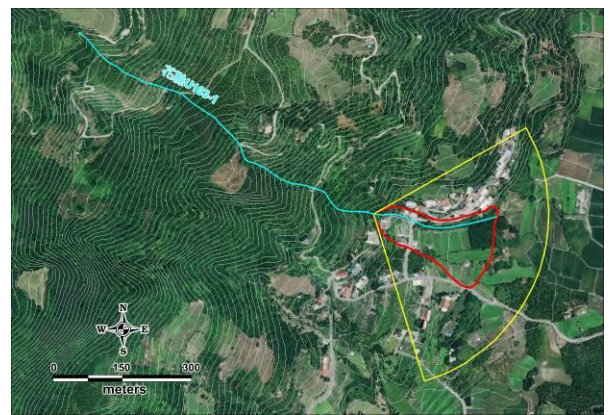


圖 8 花縣 U103-1 現地勘查編修之影響範圍圖

Fig.8 Hualien U103-1 field investigation designation of inundation area

(二)災害範圍模擬與探討

為評估花縣 U103-1 下游堆積區溢淹範圍，本研究採用麥德姆颱風事件之水文參數與現勘所得之地文參數，進行 FLO-2D 二維土石流模擬，此模式於臺灣地區已有多個土石流分析應用案例(Lin et al., 2005; Hsu et al., 2010; 林德貴等人, 2008; 陳振宇等人, 2011)，花縣 U103-1 之模擬流深與流速分別如圖 9、圖 10 所示。由模擬結果可得知，模擬範圍之堆積深度多小於 1m，僅於馬遠 157 號住戶附近有達到 1.04m 之最大深度；在模擬流速部分，於溢流點之地形開闊處起點可得到最快流速 5.92m/s，而其下游兩岸長約 170m 之範圍均有 1.5 m/s 以上之流速分布。綜觀本模擬堆積區範圍結果呈現一扇狀地堆積，於堆積區南側因地勢較低，易受到土石流所影響，北側受地形控制地勢較高，未有溢淹情形發生，整體尚符合實際地形。

為探討本研究土石流影響範圍劃設之合理性，依池谷浩經驗公式繪製之影響範圍面積為 12.84 公頃，與本次 FLO-2D 模擬範圍面積 1.96 公頃、以及麥德姆颱風事件實際災害面積 0.48 公頃相比，顯示經驗公式劃設之影響範圍呈現非常保守，均涵蓋其他方式所劃設之影響範圍且大上許多。而本研究依劃設作業要點手冊所編繪之影響範圍面積為 2.63 公頃，已涵蓋 FLO-2D 模擬範圍與實際災害範圍，尚符合現地地形特徵，建議可做為各級政府及民眾進行土石流防災整備參考使用。

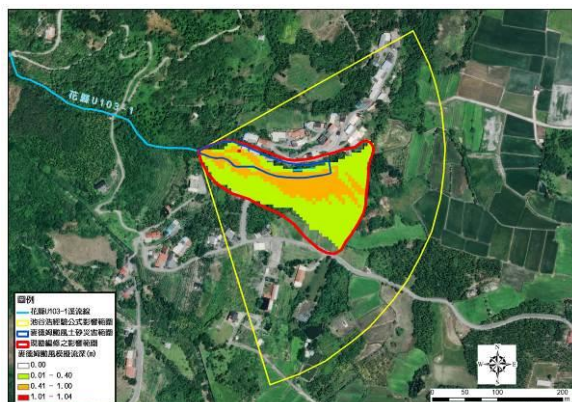


圖 9 花縣 U103-1 影響範圍流深分布圖

Fig.9 Hualien U103-1 flow depth distribution in inundation area

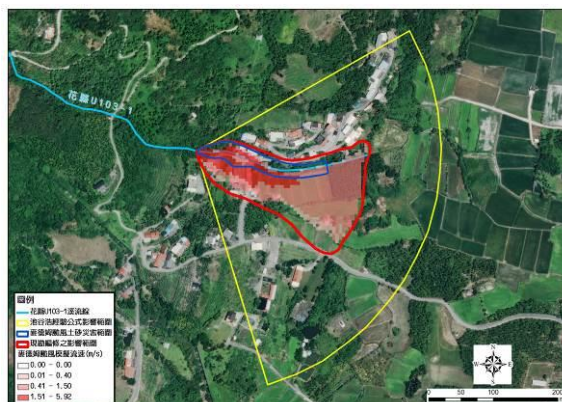


圖 10 花縣 U103-1 影響範圍流速分布圖

Fig.10 Hualien U103-1 velocity distribution in inundation area

(三)危害度評估

本研究依據 Hürlimann et al. (2006, 2008)提出之土石流危害度矩陣(debris flow hazard matrix)產製研究區內之危害度圖。一般而言，土石流危害度矩陣包含了災害於時間上的分布(回歸週期, probability of occurrence, P)及空間上的災害強度(intensity, I ; 多以流動速度或流動深度表示)，如表 2 所示；本研究採用 Rickenmann (2005)提出之災害強度分類法，以直接受土石流衝擊影響區域(direct impact area)給定不同流深與流速進行低(low)、中(media)、高(high)危害度分級，若為非土石流衝擊影響區(not affected area)，則視為非常低(very low)之等級。

綜合 FLO-2D 模擬之流深與流速結果，可繪製花縣 U103-1 影響範圍之土石流危害度圖(圖 11)，由圖中可得知，高危害度之區域主要集中於溢流點出谷口之地形開闊處兩岸，並與實際土石災害趨勢大致吻合；中、低危害度則分佈於下游右岸坡度較為平緩之梯田，與現地特徵呈現相符。本研究成果所製作之土石流危害度圖，可做為各級政府及民眾進行土石流防災相關工作之基礎資料，以及各項土石流防災整備參考使用，以達到防災、減災之效。

表 2 土石流危害度矩陣(整理自 Hürlimann et al., 2006; 2008)

Table 2 debris flow hazard matrix

				發生機率, P (重現期, 年)		
				<40	40-500	>500
BUWAL (1997)		Rickenmann (2005)		高	中	低
強度, I	$h > 1.0$ m and $V > 1.0$ m/s	$h > 1.0$ m and $V > 1.5$ m/s	高	高	高	中
	$h < 1.0$ m or $V > 1.0$ m/s	$h < 1.0$ m and 0.4 m/s < V < 1.5 m/s	中	中	中	低
	Non existent	$h < 0.4$ m or $V < 0.4$ m/s	低	低	低	非常低
非直接影響區(Not affected areas)				非常低	非常低	非常低

註：h 為流深；V 為流速

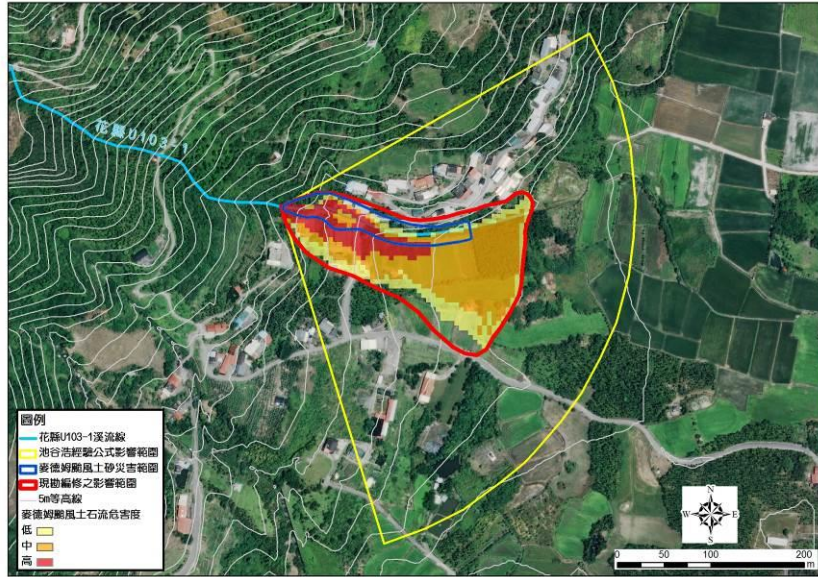


圖 11 花縣 U103-1 土石流危害度分布圖

Fig.11 Hualien U103-1 debris flow hazard map

六、 結果與討論

本研究花縣 U103-1 土石流影響範圍劃設之合理性，依池谷浩經驗公式繪製之影響範圍面積為 12.84 公頃，與本次 FLO-2D 模擬範圍面積 1.96 公頃、以及麥德姆颱風事件實際災害面積 0.48 公頃相比，顯示經驗公式劃設之影響範圍呈現非常保守，均涵蓋其他方式所劃設之影響範圍且大上許多。而根據土石流潛勢溪流劃設作業手冊編繪之影響範圍，已涵蓋 FLO-2D 範圍與實際災害範圍，並符合現地地形特徵。而依據 FLO-2D 數值模擬結果可了解土石流模擬範圍之二維流動深度、流速分佈，並可配合危害度矩陣分級，則針對影響範圍內之保全對象進行危害度劃分，可做為各級政府及民眾進行土石流防災相關工作之更細緻之參考資料，以精進未來土石流防災整備。

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局(2013)，「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」。
2. 行政院農業委員會水土保持局(2014)，「103 年重大土砂災例現勘及報告彙編」。
3. 財團法人成大研究發展基金會(2014)，「花蓮縣萬榮鄉馬遠村土石流特定水土保持區長期水土保持計畫通盤檢討」，花蓮縣政府委託計畫成果報告。
4. 財團法人中興工程顧問社(2014)，「103 年土石流潛勢溪流調查評估與資料建置」，行政院農業委員會水土保持局委託研究報告。
5. 謝正倫 (2000)，「土石流危險溪流調查與危險等級判定」，第二屆全國治山防災研討會論文集，109-124，台中霧峰。
6. 林德貴、徐森彥、趙啟宏、溫惠鈺、許世孟、顧承宇、冀樹勇 (2008)，「土石流流動模擬技術於災害風險區劃定及災損評估應用之研究」，中華水土保持學報，第 39 期，第 4 卷，第 391-402 頁。
7. 陳振宇、羅文俊、楊永祺、曹鼎志 (2011)，「臺灣地區土石流風險管理成效評估」，土工技術，129 期，第 25-34 頁。
8. 「行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網(<http://246.swcb.gov.tw>)」
9. Lin, M.-L., Wang, K.-L., and Huang, J.-J. (2005), "Debris flow run off simulation and verification – case study of Chen-You-Lan Watershed, Taiwan", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, 439-445.
10. Hsu, S. M., Chiou, L. B., Lin, G. F., Chao, C. H., Wen, H. Y., and Ku, C. Y. (2010), "Applications of simulation technique on debris-flow hazard zone delineation: a case study in Hualien County, Taiwan", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 535-545.
11. BUWAL (1997), "Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten". Empfehlungen. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft, Switzerland. Berne, 42 pp.
12. Hürlimann, M., Copons, R., and Altimir, J. (2006), "Detailed debris flow hazard assessment in Andorra: A multidisciplinary approach," *Geomorphology*, 78:359-372.
13. Hürlimann, M., Rickenmann, D., Medina, V., and Bateman, A. (2008), "Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assessment," *Engineering Geology*, 102:152-163.
14. Rickenmann, D. (2005), "Hangmuren und Gefahrenbeurteilung. Kurzbericht für das Bundesamt für Wasser und Geologie", Unpublished report, Universität für Bodenkultur, Wien, und Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 18p.