## RAMMS 軟體參數對土石流災害風險分析之影響

# 謝欣穎<sup>(1)</sup> 吴俊毅<sup>(2)</sup>

## 摘要

本研究利用 RAMMS 軟體模擬土石流淹沒範圍並推估其風險損失值,首先根據賀伯颱風及 101 年豪雨事件將參數校準至最佳參數,接著分析不同量體崩塌在集水區上、中、下游發生時, 淹沒範圍之變化情形,並根據淹沒深度劃定為紅色、黃色危險區。再者,進行易損性分析,根 據 6 種風險元素之單位面積價值推估本區之土石流風險。分析結果可知,根據這兩個事件之參 數模擬不同量體於不同區位發生崩塌之風險損失值,在大型量體崩塌於上游發生時,其風險損 失值皆最大,分別達到約 2.6 億元及約 1.9 億元。此外,敏感度分析顯示 DEM 網格精度對風險 損失值的影響性最大,風險損失值範圍介於 0 元至 9 億元;乾燥庫倫摩擦係數對風險損失值的 影響性最小,風險損失值範圍介於 0 元至 9 億元;乾燥庫倫摩擦係數對風險損失值的

(關鍵詞:風險分析、RAMMS、敏感度分析、豐丘野溪)

# Effect of RAMMS software parameters on risk analysis results of debris flow disasters

Hsin-Ying Hsieh<sup>(1)</sup> Chun-Yi Wu<sup>(2)</sup>

Master<sup>(1)</sup>, Assistant Professor<sup>(2)</sup>, Department of Soil and Water Conservation,

National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C

## ABSTRACT

This study used RAMMS software to simulate the submerged areas of debris flow events and estimated the corresponding risk values. First, the parameters used in RAMMS were calibrated based on the typhoon Hebert event and the heavy rain event in 2012. We then simulated the landslide evens with various scales occurring in the upstream, middle reach, and downstream watershed area and observed the changes of the submerged areas. According to submerged depth, we delimited red and yellow hazard zones. Furthermore, vulnerability analysis was conducted, and the unit area values of six types of elements at risk were employed to estimate the risk values of debris flow disasters. The results showed that the large-scale landslide events collapsed in the upstream resulted in the greatest risk values, reaching about NTD 260 million and NTD 190 million, respectively when using the parameters of these two

<sup>(1)</sup>國立中興大學水土保持學系 碩士

<sup>(2)</sup>國立中興大學水土保持學系 助理教授(通訊作者 e-mail: cywu@nchu.edu.tw)

historical events. Finally, sensitivity analysis showed that the DEM precision has the greatest influence on risk values, ranging from NTD 0 to NTD 900 million; and the dry-Coulomb friction coefficient has the least influence on risk values, ranging from NTD 40 million to NTD 80 million.

(Keywords : Risk analysis, RAMMS, Sensitivity analysis, Feng-Chiou torrent)

## 前言

近年來除人口及產業持續發展之影響外, 極端降雨事件造成崩塌、土石流等坡地災害 日漸頻繁。由於土石流發生常造成生命財產 的損失,在發生地點難以準確預測且防災經 費有限的情況下,應納入災害風險評估的概 念,根據土石流災害風險分析之結果,研擬 整體之防災策略。聯合國國際減災策略委員 會 (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR, 2002)提出天然 災害風險(Risk)係以天然危害(Hazard)、易損 性(Vulnerability)及承受能力(Capacity)三種 因子交互作用之結果。聯合國國際減災戰略 辦公室(United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR, 2019)將風險(Risk)視為 危害(Hazard)、暴露度(Exposure)及易損性 (Vulnerability)三者之結合,且災害造成之生 命財產損失為此三者之函數。

陳樹群等人(2009)利用FLO-2D針對不同 重現期距之降雨事件進行危害度分析,將淹 沒區域劃定為紅、黃色危險區域,接著將淹 沒區域之圖層套疊土地利用圖層,藉此進行 易損性分析,並根據居民問卷及社區檢核表 與各項目之權重來推估社區之承受度,最後 將以上三種因子結合成總風險地圖。陳禹銘 等人(2009)將危害分析、易損性分析及其相關 關聯性加以詳述。其中,危害分析之天然災 害分為三類,第一類為水文氣象性災害,第 二類為地質性災害;第三類則為生物性災害。 此外,易損性分析之脆弱因子分為物理面、 經濟面、社會面及環境面。蕭震洋等人(2018) 根據災害發生潛勢及易損性,以風險矩陣來 分類土石流災害風險,其中,易損性為災害 發生時,造成影響範圍內之可能災損程度。

台灣常利用FLO-2D軟體(Quan Luna et al., 2011; Rickenmann et al., 2006)模擬土石流 流動過程中之淹沒面積、流動速度及堆積深 度。然其模式假設底床為定床(rigid bed)型態, 無法模擬土石流在流動過程中發生淘刷之變 化性,可能使得模擬之堆積深度低於實際之 堆積深度(吳俊毅、謝欣穎,2018)。瑞士森林 及雪崩研究所開發之RAMMS土石流模擬軟 體(RApid Mass Movement System),可推估三 維地形中,從起始滑動到堆積的物理質量運 動型態(WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 2015)。因此,本研究擬利用 RAMMS軟體可設定侵蝕層之特性,進行動 床(movable bed)模擬,期使模擬結果更能接 近實際案例。

民國85年賀伯颱風造成南投縣豐丘村豐 丘野溪(DF190土石流潛勢溪流)發生土石流, 約30萬立方公尺之土砂堆積導致下游豐丘村 生命財產之損失。為瞭解未來土石流事件影 響下游之範圍及其風險分布,以降低災害損 失,本研究擬利用RAMMS軟體可設置不同 崩塌區位及不同量體之特性,模擬不同災害 程度之土石流事件。本研究首先依據歷史災 謝欣穎、吳俊毅: RAMMS 軟體參數對土石流災害風險分析之影響

害事件資料進行RAMMS軟體參數之校準, 由於輸入參數之改變會影響模擬結果,故對 乾燥庫倫摩擦係數(μ, dry-Coulomb friction coefficient)、紊流摩擦係數(ξ, turbulent friction coefficient)、DEM網格精度(DEM resolution) 及降伏應力(τy, yield stress)等四種參數進行 敏感度分析,探討其對於淹沒範圍、堆積深 度及流動速度之影響。再者,針對RAMMS軟 體模擬之結果,分別進行危害分析及易損性 分析,藉此評估土石流災害風險,進而探討 不同軟體參數對土石流災害風險之影響,以 作為未來土石流災害風險分析之參考。

## 研究區域概述

本研究區域坐落於南投縣信義鄉豐丘村, 位於台21線96.4公里處之土石流潛勢溪流, 編號為DF190,如圖1所示。該潛勢溪流之 集水區形狀屬狹長型,其面積約為174ha(陳 榮河、游繁結,1988)。由於九二一大地震, 造成該區域地質鬆散,因此每逢大雨侵襲, 時常發生崩塌等土砂運移現象(蔡誌崇,2004)。

根據中央氣象局之雨量資料顯示,信義 鄉之平均年降雨量約為 2000 mm,降雨集中 在四月至八月間,每月降雨量高於 200 mm。 該區域曾於民國 74 年 8 月 23 日尼爾森颱風 期間,因豐丘野溪上游集水區發生崩塌而形 成土石流,導致下游遭到土石淹埋。民國85 年7月31日賀伯颱風期間,則發生嚴重崩塌 及土石流災害,根據「陳有蘭溪治山防災整 體治理規劃報告」之資料顯示(段錦浩,1997), 豐丘野溪之實際淹沒範圍為 9.55 ha, 而推估 堆積區平均淹沒深度約為 5 公尺(蔡誌崇, 2004)。民國 101 年 5 月 4 日豪雨期間, 集水 區上游大量土砂淤滿下游沉砂池及攔砂壩, 攔砂壩淤積量以河床平均坡度15度推估,壩 體總攔砂量約2萬立方公尺;此外,造成下 游實際淹沒面積約1.5ha,平均淹沒深度約6 公尺,淹沒土砂體積約8萬立方公尺(土石流 防災資訊網,2012)。由於民國 85 年賀伯颱風 事件及 101 年豪雨事件有實際淹沒範圍及淹 沒深度之資料,因此,本研究採用這兩個事 件作為後續分析之對象。



圖 1 研究區域位置圖 Figure 1 The location of the study area

## 研究方法

本研究首先利用 RAMMS 模擬賀伯颱風 事件,並進行參數校準得到乾燥庫倫摩擦係 數(µ)、紊流摩擦係數(ξ)及降伏應力(Ty)等 參數範圍,再根據此參數範圍模擬 101 年豪 雨事件,即藉由兩個歷史事件將參數校準至 最佳參數。本研究進而針對 RAMMS 所需不 同參數,分別進行模擬分析,探討不同參數 對模擬結果之影響。再者,模擬在集水區不 同位置發生不同量體之崩塌時,淹沒範圍之 變化情形,根據淹沒深度劃定為紅、黃色危 險區,以完成危害分析;並藉由土地利用圖 劃分成房屋、農地、林地、道路、橋梁及無直 接損失等六種風險元素,進行易損性分析得 到單位面積價值,進而分析本區之土石流風 險,研究流程如圖2所示。





## Figure 2 Research flowchart

#### 1. RAMMS 軟體

RAMMS 係以 Voellmy-Salm 模式作為理 論基礎(Salm, 1993; Voellmy, 1955),利用三維 座標系統搭配流動深度 H(x, y, t) 及平均速 度 U(x, y, t)作為計算值,其質量守恆方程式 如(1)式:

 $\partial_{t}H + \partial_{x}(HU_{x}) + \partial_{y}(HU_{y}) = Q(x, y, t)$  (1)

式中Q(x,y,t)[m/s]為質量來源,若Q>0, 稱為淘刷率;若Q<0,稱為堆積率。而深度平 均動量守恆方程式如(2)、(3)式:

$$\begin{aligned} \partial_{t}(HU_{x}) + \partial_{x}(c_{x}HU_{x} + g_{z}k_{\frac{a}{p}}H^{2} / 2) + \\ \partial_{y}(HU_{x}U_{y}) &= S_{gx} - S_{fx} \end{aligned} \tag{2}$$
$$\begin{aligned} \partial_{t}(HU_{y}) + \partial_{y}(c_{y}HU_{y} + g_{z}k_{\frac{a}{p}}H^{2} / 2) + \\ \partial_{x}(HU_{x}U_{y}) &= S_{gy} - S_{fy} \end{aligned} \tag{3}$$

其中c<sub>x</sub>、c<sub>y</sub>為DEM之形狀因子; k<sub>a/p</sub>為土壓力 係數; S<sub>gx</sub>、S<sub>gy</sub>為重力加速度項; S<sub>fx</sub>、S<sub>fy</sub>為摩 擦項。

RAMMS模擬軟體中主要輸入參數分別

2775

為乾燥庫倫摩擦係數(μ)及紊流摩擦係數(ε)。 乾燥庫倫摩擦係數(μ)主要影響土體滑動距離, 手冊建議值介於0.05至0.4(WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 2015),  $\overline{\square}$ 依據滑動邊坡之角度 $\alpha$ 所得之 $\tan \alpha$ 值即為 乾燥庫倫摩擦係數( $\mu$ )值,若tan  $\alpha$  值>0.4,則 以0.4為乾燥庫倫摩擦係數(μ)值。紊流摩擦係 數(ξ)主要影響崩滑運動歷程時間,手冊建議 值介於100到1000之間(WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 2015) , 100 至200間為顆粒狀流體,200至1000間為細粒 徑泥砂為主之流體。由於RAMMS使用單相 模型,材料設定為整體流動,因此無法區分 流體和固體,因此需校準摩擦參數以達到實 際流動特性。此外,降伏應力(**τ**<sub>v</sub>)主要影響模 擬網格之流速和流深,手冊建議值介於0至 2000(WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 2015) •

#### 2. 模擬淹沒面積相似值

本研究根據Schraml et al. (2015)所提出 面積相似值進行參數校準,先分別計算模擬 淹沒範圍與實際淹沒範圍重疊面積(A<sub>x</sub>)、模擬 淹沒範圍超出實際淹沒範圍之面積(A<sub>y</sub>)及未 模擬到實際淹沒範圍之面積(A<sub>z</sub>),再除以實際 淹沒面積(A<sub>observed</sub>)分別得到α、β、γ三個 指標(如(5)~(7)式),藉此計算出面積相似值 (Ω)(如(8)式),當Ω越接近1,模擬結果越準確。

$$\alpha = A_x / A_{observed}$$
(5)

$$\beta = A_y / A_{observed} \tag{6}$$

$$\gamma = A_z / A_{observed}$$
(7)

$$\Omega = \alpha - \beta - \gamma \tag{8}$$

#### 3. 風險分析

#### A. 危害分析

危害分析係利用RAMMS軟體,根據研 究區DEM、降雨量資料及乾燥庫倫摩擦係數  $(\mu)$ 、紊流摩擦係數( $\xi$ )等參數,模擬潛勢溪 流上游集水區發生崩塌所造成下游土石流之 淹沒範圍及堆積深度,根據下游淹沒情形劃 定土石流危險區。不同研究利用堆積深度(h) 或流速(v)進行危害度劃定,有將危險區區分 為3個或2個危險區等級,如表1所示(陳樹群 等人,2009)。本研究參酌表1之劃定標準,考 量模擬淹沒深度對建築物之損壞程度,依照 建築物約3公尺為一層樓,因此以土石流淹沒 區域内各網格的堆積深度1.5公尺為界,劃分 出紅色危險區、黃色危險區。當堆積深度高 於1.5公尺,則表示建築物之財產造成嚴重損 失;當堆積深度低於1.5公尺,代表建築物輕 度受損(輕微)。

表1	土石流危險區劃定標準比較
Table 1 Comparison	for the criteria of hazard zones of debris flows

Tuble 1 Comparison for the effective of hazard zones of debits flows				
	高危險區	中危險區	低危險區	
Rickenmann(2001)	h > 1.5m 或	h≤1.5m 且	h < 1.5m 且	
Kickenmann(2001)	υ > 1.5m/s	$0.5m/s \le \upsilon \le 1.5m/s$	υ < 0.5m/s	
Tang and Okimura (2006)	h > 1m	$0.5m \le h \le 1m$	h < 0.5m <u>∏</u>	
Tang and Okiniura(2000)	υ > 3m/s	$1m/s \le \upsilon \le 3m/s$	υ < 1m/s	

Fiebiger(1997)	$h \ge 0.7m$	-	h < 0.7m
Huggel et al. (2006)	$h \ge 2m$	-	h < 2m
陳樹群等人(2009)	$h \ge 0.5m$	-	h < 0.5m

註:修改自陳樹群等人(2009)

#### B. 易損性分析

易損性分析可根據土地利用類別來分類 成不同風險元素,再利用各風險元素之單位 面積價值來進行分析(吳俊毅, 2012)。因此, 本研究利用Google Earth之空拍圖進行研究 區域之土地利用圖層數化工作,將風險元素 分為房屋、農地、林地、道路、橋梁及無直接 損失等六種風險元素,並蒐集不同風險元素 之單位面積價值,來進行易損性之定量分析。 不同風險元素在土石流災害發生時,其本身 價值之損失比例將導致不同之風險分析結果。 因此,本研究採用「奧地利危險區治理計畫 之成本效益分析」之損害因數(KNU工作團隊, 2005) 做為實際的損失與風險元素本身價值 之平均比例,不同風險元素之損害因數如表2 所示(吳俊毅,2012)。土石流災害風險值或損 失值即為將不同風險元素價值與其損害因數 相乘後之加總值,可視為多起相同規模災害 的平均損失值。

表 2 風險元素之損害因數 Table 2 Damage factor of elements at risk

国险元表	土石流危險區		
幽厥儿系	紅色危險區	黃色危險區	
房屋	0.3	0.1	
農地	1.0	1.0	
林地	0.5	0.1	
道路	1.0	0.5	
橋梁	1.0	0.5	
	د.د		

註:資料來自吳俊

#### 毅(2012)

## 結果與討論

#### 1. 參數校準及敏感度分析

本研究根據土石流位於不同區位之坡度 特性將集水區分類為發生段、流動段及堆積 段,分別設置不同摩擦參數,使模擬更能符 合實際情況。首先設置乾燥庫倫摩擦係數(µ), 根據DEM資料分別得知發生段、流動段及堆 積區之平均坡度,再換算 $tan \alpha$ 值。發生段及 流動段之邊坡角度較為相近,因此將發生段 及流動段區域之乾燥庫倫摩擦係數(μ)值設 為0.45,而堆積段換算tan α接近0.4,因此乾 燥庫倫摩擦係數(μ)值設為0.4。接著設置紊 流摩擦係數( ),此參數係利用土石流材料不 同特性給予不同值,由於堆積段上游攔砂壩 將粒徑較大之土石攔截,堆積段所流經之土 體材料多為細小泥砂,因此堆積段之紊流摩 擦係數(ξ)值會較發生段及流動段大;反之, 發生段及流動段未有攔砂壩攔截粒徑較大之 土石, 土體材料大致相近, 因此亦將發生段 與流動段之紊流摩擦係數( &)設為相同數值。

本研究先利用賀伯颱風事件之資料進行 初步參數校準,由於此事件之崩塌體積推估 約為26.22萬立方公尺,低於下游土砂堆積總 體積約47萬立方公尺,因此須將土石流流動 過程之土砂侵蝕量納入計算。本研究區缺少 河道侵蝕相關資料,因此採用模式預設值並 水土保持學報 51 (2): 2771-2788 (2021) Journal of Soil and Water Conservation, 51 (2): 2771-2788 (2021)

利用試誤法反覆設置最大侵蝕深度,當最大 潛在侵蝕深度約1.6公尺時,可達到土石流總 土體量約47萬立方公尺。其中,侵蝕密度係 根據研究區之土石流密度2730 kg/m<sup>3</sup>設置 (林美聆等人,2000)。最後利用模擬結果之淹 沒範圍與實際淹沒範圍進行面積相似值比較, 可知發生段及流動段之紊流摩擦係數(ξ)值 範圍介於550-750及堆積段紊流摩擦係數(ξ) 值範圍介於700-900數值有較佳模擬結果。本 研究再根據上述紊流摩擦係數(ξ)之參數校 準範圍,利用101年豪雨事件之資料進行參數 確定,由模擬面積相似值可知最佳紊流摩擦 係數(ξ)於發生段、流動段為575,而堆積段 為850(表3),其校準出之最佳參數作為後續軟 體模擬之輸入參數。

#### 表 3 101 年豪雨事件模擬面積相似值

	-		
發生段、流動段ξ(m/s <sup>2</sup> ) 堆積段ξ(m/s <sup>2</sup> )	575	600	625
800	0.357	0.358	0.343
850	0.454	0.345	0.344
900	0.355	0.348	0.351

Table 3 Similar value of submerged area of the heavy rain event in 2012

由於賀伯颱風事件及101年豪雨事件之 停止標準較高,為避免後續不同情境之模擬 分析因提早停止導致淹沒範圍之低估,因此 本研究採用6.5%及5.0%之停止標準進行後續 模擬,其輸入參數如表4所示。

## 表 4 RAMMS 數值模擬輸入參數一覽 Table 4 The input parameters for RAMMS simulation

4	參數	賀伯颱風事件	101年豪雨事件
土石流密度(γ)		2730(kg/m <sup>3</sup> )	
紊流摩擦係	發生段、流動段	$575(m/s^2)$	
數(ξ)	堆積段	850(m/s <sup>2</sup> )	
乾燥庫倫摩	發生段、流動段	0	.45
擦係數(μ)	堆積段	0.4	
停」	止標準	6.5%	5.0%
	触深度(e <sub>m</sub> )	1.6m	0.7m

此外,本研究以101年豪雨事件之參數為 基礎,對乾燥庫倫摩擦係數(μ)、紊流摩擦係 數(ξ)、DEM網格精度及降伏應力(τ<sub>y</sub>)進行敏 感度分析,探討這四種參數對模擬結果之影 響性,分述如下:

#### **A.** 乾燥庫倫摩擦係數(μ)

針對乾燥庫倫摩擦係數(μ)以間隔0.1分 別進行模擬分析,當乾燥庫倫摩擦係數(μ)整 體變小時,其淹沒範圍則越大,與表4中參數 (發生段、流動段乾燥庫倫摩擦係數(μ)為 0.45及堆積段乾燥庫倫摩擦係數(μ)為0.4)相 比,面積增加最大之參數為發生段、流動段 乾燥庫倫摩擦係數(μ)為0.15及堆積段乾燥 庫倫摩擦係數(μ)為0.1,其面積增加百分比 為78.8%;面積增加最小為發生段、流動段乾 燥庫倫摩擦係數(μ)為0.3,面積增加百分比為 52.3%,綜合上述可知平均面積增加百分比為 69.6%,如圖3(a)所示。

#### **B.** 紊流摩擦係數(ξ)

針對紊流摩擦係數(ξ)以間隔100分別進 行模擬分析,堆積段紊流摩擦係數(ξ)為850 和發生段、流動段紊流摩擦係數(ξ)為575之 淹沒範圍與堆積段紊流摩擦係數(ξ)為5750和 發生段、流動段紊流摩擦係數(ξ)為475接近; 堆積段紊流摩擦係數(ξ)為650和發生段、流 動段紊流摩擦係數(ξ)為375之淹沒範圍與堆 積段紊流摩擦係數(ξ)為550和發生段、流動 段紊流摩擦係數(ξ)為275接近;堆積段紊流 摩擦係數(ξ)為450和發生段、流動段紊流摩 擦係數(ξ)為175之淹沒範圍與堆積段紊流摩 擦係數(ξ)為350和發生段、流動段紊流摩擦 係數(ξ)為75接近。與表4中參數(堆積段紊流 摩擦係數(ξ)為850和發生段、流動段紊流摩 擦係數(ξ)為575)相比,當紊流摩擦係數(ξ) 越小時,其淹沒範圍由小變大,接著由大再 變小,而面積增加最大之參數為堆積段紊流 摩擦係數(ξ)為650和發生段、流動段紊流摩 擦係數(ξ)為375,面積增加百分比為734.5%; 面積增加最小為堆積段紊流摩擦係數(ξ)為 750和發生段、流動段紊流摩擦係數(ξ)為 750和發生段、流動段紊流摩擦係數(ξ)為

#### C. DEM 網格精度

針對DEM網格精度2m、5m、10m、20m、 40m分別進行模擬分析,網格精度2m之模擬 結果未流至淹沒區域即停止,而網格精度5m 以上則隨DEM網格精度變大,淹沒範圍則越 大。與DEM網格精度5m相比,面積增加最大 為DEM網格精度40m,面積增加百分比為 1179.0%;面積增加最小為DEM網格精度2m, 由於模擬未到達淹沒區域,面積值為0,其面 積增加百分比為-100.0%。綜合上述可知平均 面積增加百分比為658.9%。由於下游堆積土 砂總體積為固定值,其淹沒範圍會隨著網格 精度增加而擴大,因此平均流動深度相對減 少,如圖3(c)所示。

#### **D.** 降伏應力(τ<sub>y</sub>)

在降伏應力(τ<sub>y</sub>)之敏感度分析部份,首 先採用手冊建議值0-2000以間隔250分別進 行模擬,與降伏應力(τ<sub>y</sub>)0之下游淹沒面積相 比,面積增加最大為降伏應力(τ<sub>y</sub>)250時,面 積增加百分比為102.6%;面積增加最小為降 伏應力(τ<sub>y</sub>)500時,面積增加百分比為12.9%, 平均面積增加百分比為38.6%,如圖3(d)所示。 其中,降伏應力(τ<sub>y</sub>)1167為利用豐丘野溪之 土石流體積濃度約為53%(蔡誌崇,2004),搭 配體積濃度與降伏應力(τ<sub>y</sub>)之經驗關係式 (4)(詹錢登等人,1997)而得。降伏應力 (τ<sub>y</sub>)1167之模擬淹沒範圍與降伏應力(τ<sub>y</sub>)0之 模擬淹沒範圍差異約百分比為20%,顯示其 影響性較低。

$$r_{\rm v} = 0.811 e^{13.72 C_{\rm v}} \tag{4}$$

其中,C<sub>v</sub>為土石流體積濃度,τ<sub>v</sub>為降伏應力。



圖 3 以 101 年豪雨事件為基礎,定量分析參數之淹沒面積增加百分比,(a)乾燥庫倫摩擦係數
 (μ),(b)紊流摩擦係數(ξ),(c)DEM 精度,(d)降伏應力(τ<sub>y</sub>)

Figure 3 Quantitative analysis of the increased percentage of submerged area for parameters based on the heavy rain event in 2012 (a) dry-Coulomb friction coefficient( $\mu$ ), (b) turbulent friction coefficient( $\xi$ ), (c) DEM, (d) yield stress( $\tau_v$ )

综合上述四種參數之敏感度分析結果,

影響模擬結果最大之參數依序為DEM網格

精度、紊流摩擦係數(ξ)、乾燥庫倫摩擦係數 (μ)及降伏應力(τy)。其中,DEM網格精度影 響模擬結果之淹沒範圍最為明顯,根據定量 分析得知淹沒面積增加百分比介於-100.0% 至1179.0%,平均面積增加百分比為658.9%; 其次為紊流摩擦係數(ξ)之設置,當紊流摩擦 係數(ξ)參數越小,其淹沒範圍則越大,其淹 沒面積增加百分比介於29.4%至734.5%,平均 面積增加百分比為563.3%;接著為乾燥庫倫 摩擦係數(μ),淹沒面積增加百分比介於 52.3%至78.8%,平均面積增加百分比為 69.6%;最後則為降伏應力(τ<sub>y</sub>)之設置,其淹 沒面積增加百分比介於12.9%至102.6%,平均 面積增加百分比為38.6%,如圖4所示。



圖 4 以 101 年豪雨事件為基礎,四種參數(乾燥庫倫摩擦係數( $\mu$ ),紊流摩擦係數( $\xi$ ), DEM

精度,降伏應力 $(T_V)$ )之面積增加百分比範圍

Figure 4 The increased percentage range of submerged area for 4 parameters based on the heavy rain event in 2012 (dry-Coulomb friction coefficient( $\mu$ ), turbulent friction coefficient( $\xi$ ), DEM, yield

stress( $\tau_v$ ))

#### 2. 風險分析

#### A. 危害分析

本研究以101年豪雨事件之參數為基礎, 利用RAMMS模擬淹沒範圍,藉此探討土石 流對下游保全對象之影響程度。根據不同可 能崩塌量體模擬得到淹沒範圍,並以網格的 堆積深度1.5公尺為界,劃分出紅色危險區、 黃色危險區,如圖5所示。分析結果顯示小型 量體事件中,當崩塌區位在上游時,其紅色 危險區範圍較大;當崩塌區位於中、下游時, 由於河道侵蝕土砂量體較少,且土砂堆積範 圍較擴散,因此紅色危險區範圍較小。中型 量體事件則顯示崩塌區位越往下游移動,則 土砂堆積範圍越集中且越往溢流點靠近。大 型量體事件由於崩塌區位於上游時,造成河 道侵蝕土砂量體較大,因此紅色危險區遍布 整個社區,造成極大危害。



圖 5 淹沒範圍之紅色與黃色危險區劃定

## Figure 5 The red and yellow zones of the submerged area

## B. 易損性分析

本研究利用GIS數化研究區域之土地利 用圖層,將其分為房屋、農地、林地、道路、 橋梁及無直接損失(水利設施)等六種風險元 素型式,並推估各風險元素之單位面積價值, 本區風險元素之分布及其單位面積價值如圖 6所示。房屋之單位價值估算係根據南投縣政 府提供之「南投縣房屋標準單價」得到住宅 區之單位面積價值為10,000元/m<sup>2</sup>;農地之單 位價值係經由行政院農委會農糧署提供農產 品之單位面積產量與「農產品產地價格查報 系統」提供之年平均價格合併計算得知單位 面積價值約為185元/m<sup>2</sup>;林地之單位面積價 值係利用行政院農委會公告近10年林地損失 面積及金額,得到林地單位面積價值約為 39.3元/m<sup>2</sup>;道路之單位面積價值係以內政部 營建署之建造成本為3,800元/m<sup>2</sup>;橋樑之單位 面積價值則根據陳樹群等人(2009)之資料為 25,000元/m<sup>2</sup>。



圖 6 研究區之風險元素分布及單位面積價值

Figure 6 Distribution of elements at risk in the study area and their corresponding values of the unit area

#### C. 風險分析

本研究根據所劃分之紅色及黃色危險區, 配合損害因數及風險元素之單位面積價值, 進行不同事件之風險損失值之推估,如圖7所 示。分析結果顯示在不同量體事件於上、中 及下游發生崩塌時,土石流之土砂堆積對靠 近沉砂池周圍(如圖7之紫色框內)之風險損失 值最高,而離沉砂池距離越遠之風險損失值 則越低。針對風險元素中房屋類別而言,只 有中型量體崩塌發生於上游與大型量體崩塌 發生於上游及中游時,房屋之風險損失值較 高(如圖7之紅色框內),中型量體崩塌發生在 中游及下游與小型量體崩塌發生時,紅色區 塊內房屋之風險損失值接近為0。此外,由於 野溪左岸地勢較右岸高,導致模擬之堆積範 圍較偏向右岸,因此右岸堆積區域造成風險 損失值較左岸堆積區域高。

#### 3. 不同參數之風險值分析

為瞭解選擇不同事件之參數進行模擬, 對最終風險損失值之影響,本研究再以賀伯 颱風事件之參數為基礎,進行相關分析。結 果顯示賀伯颱風事件參數之風險損失值整體 皆高於101年豪雨事件參數之風險損失值整體 水土保持學報 51 (2): 2771-2788 (2021) Journal of Soil and Water Conservation, 51 (2): 2771-2788 (2021)

上升,總土體量亦同時大幅上升,造成下游 堆積範圍擴張及堆積深度提高,進而導致下 游保全對象損失更嚴重。此外,根據這兩個 事件之參數模擬不同量體於不同區位發生崩 塌之風險損失值,可以得知在大型量體崩塌 於上游發生時,其風險損失值皆最大,分別 達到約2.6億元及約1.9億元;在小型量體崩塌 於下游發生時,其風險損失值則皆最小,分 別達到約6600萬元及約3300萬元。



圖 7 土石流災害之風險損失分布



Figure 7 Risk maps of the debris flow disasters



#### Figure 8 The risk values of the debris flow disasters

另一方面,本研究根據乾燥庫倫摩擦係 數(µ)、紊流摩擦係數(ξ)、DEM網格精度及 降伏應力(τy)等參數對淹沒面積變化之分析 結果(如圖3),進一步分析參數對風險損失值 之影響。結果顯示乾燥庫倫摩擦係數(µ)之風 險損失值範圍介於約4000萬元至8000萬元; 紊流摩擦係數(ξ)之風險損失值範圍介於約 2400萬元至約6億元;降伏應力(τ<sub>y</sub>)之風險損 失值範圍介於約1000萬元至約8200萬元; DEM網格精度之風險損失值範圍介於0元至 9億元,如圖9所示。由此可知DEM網格精度 對風險損失值的影響性最大;乾燥庫倫摩擦 係數(μ)對風險損失值的影響性最小。



圖 9 以 101 年豪雨事件為基礎,不同參數之風險損失值,(a) 乾燥庫倫摩擦係數( $\mu$ ),(b) 紊 流摩擦係數( $\xi$ ),(c) 降伏應力( $T_v$ ),(d) DEM 精度

Figure 9 The risk values for parameters based on the heavy rain event in 2012 (a) dry-Coulomb friction coefficient( $\mu$ ), (b) turbulent friction coefficient( $\xi$ ), (c) yield stress( $\tau_v$ ), (4) DEM

## 結論與建議

本研究首先利用賀伯颱風事件及101年 豪雨事件進行參數校準得到最佳參數,並對 四個參數進行定量分析,探討參數變化對模 擬結果之影響,接著將賀伯颱風事件及101年 豪雨事件之參數代入RAMMS以模擬小、中 及大型量體崩塌於上、中及下游發生之情形, 並對淹沒範圍及堆積深度進行危害分析。再 者,納入易損性分析,根據淹沒範圍內風險 元素之單位面積價值及損害因數,即可推估 不同事件之風險損失值。

以風險值之空間變化而言,所有事件之 土石流淹沒結果對靠近沉砂池周圍之風險損 失值最高,而離沉砂池距離越遠之風險損失 值則越低;由於野溪左岸地勢較右岸高,因 此野溪右岸堆積區域風險損失值較左岸堆積 區域高。此外,根據這兩個事件之參數模擬 不同量體於不同區位發生崩塌之風險損失值, 可以得知在大型量體崩塌於上游發生時,其 風險損失值皆最大,分別達到約2.6億元及約 1.9億元;在小型量體崩塌於下游發生時,其 風險損失值則皆最小,分別達到約6600萬元 及約3300萬元。

參數之敏感度分析結果顯示,DEM網格 精度最為敏感,網格越大則淹沒範圍越大, 平均淹沒面積增加百分比為658.9%;其次為 紊流摩擦係數(ξ),平均面積增加百分比為 563.3%;接著為乾燥庫倫摩擦係數(μ),平均 面積增加百分比為69.6%;最後則為降伏應力 (τ<sub>y</sub>),平均面積增加百分比為38.6%。再者, DEM網格精度對風險損失值的影響性最大, 風險損失值範圍介於0元至9億元;乾燥庫倫 摩擦係數(μ)對風險損失值的影響性最小,風 險損失值範圍介於約4000萬元至約8000萬元。

本研究目前僅探討個別參數對RAMMS 模擬淹沒範圍及其風險損失值之影響,未來 可針對各個參數間之相互影響性,進行探討 並分析對淹沒範圍及其風險損失值之影響。 此外,未來可結合集水區之崩塌潛勢分析, 根據最可能發生崩塌之區位及其土砂量體, 利用RAMMS模擬下游可能淹沒範圍及對應 之風險損失值,可作為集水區土石流災害減 災規劃之參考。

## 參考文獻

- KNU工作團隊(2005),「奧地利危 險區治理計畫之成本效益分析」,奧 地利聯邦農林業環境及水利部。
- 土石流防災資訊網 (2012),101年0504
  豪雨事件,南投水土保持局, https://117.56.222.246/Achievement/DisastersContent?EventID=346。
- 吴俊毅(2012),「降雨誘發崩塌與土石 流災害風險降低措施之效益分析」, 國立中興大學水土保持學系所博士論 文。

- 4. 吳俊毅、謝欣穎(2018),「應用RAMMS 軟體預測土石流之影響範圍-以豐丘 野溪為例」,水土保持學報,第五十卷, 第二期,第2447-2460頁。
- 林美聆、陳天健、洪鳳儀、賴達倫、王 國隆、鍾俊弘、簡文鏜、盧彥旭、林俊 佑、黃紀禎(2000),「陳有蘭溪流域土石 流溪流潛勢分析與境況模擬方法建立-出水溪、豐丘及和社一號野溪」,防災 國家型科技計畫八十九年度成果報告。
- 6. 段錦浩(1997),「陳有蘭溪治山防災整 體治理規劃報告」,行政院農業委員會 水土保持局。
- 陳禹銘、蘇昭郎、黃詩倩(2009),「災害
  風險評估研究之探討」,災害防救電子
  報,第48期。
- 陳榮河、游繁結(1988),「土石流災害防 治之研究(以南投示範區陳有蘭溪為對 象)-豐丘土石流扇狀地發展過程之研 究」,國科會計畫編號:NSC88-2625-Z-005-006。
- 陳樹群,吳俊毅,黃柏璁,陳振宇, 林裕益(2009),「工程與非工程方法之 土石流災害風險管理 - 以松鶴地區為 例」,中華水土保持學報,第四十 卷,第一期,第23-37頁。
- 10. 詹錢登、余昌益、吳雲端(1997),「含 砂濃度對含砂水體流變參數的影響之 初步研究」,第一屆土石流研討會論 文集,第179-190頁。
- 11. 蔡誌崇(2004),「FLO-2D模式應用於土 石流災害管理之研究」,國立中興大學

水土保持學系碩士論文。

- 蕭震洋、林伯勳、賴承農、吳佳威、 白朝金、吳俊毅、馮正一、陳樹群
   (2018),「氣候變遷下宜蘭縣大忠村一 號崩塌地之土砂災害風險評估與調適
   策略」,中華水土保持學報,第四十 九卷,第三期,第131-141頁。
- Fiebiger, G. (1997). "Hazard mapping in Austria." Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rockfall Engineering (also in English and German), 134(61):153-164.
- Huggel, C., Kääb, A., and Salmann, N. (2006). "Indicators for identification of urban flooding vulnerability." Natural Hazards and Earth System Sciences, 6:553-561.
- 15. Quan Luna, B., Blahut, J., van Westen, C.J., Sterlacchini, S., van Asch, T.W.J., and Akbas, S.O. (2011). "The application of numerical debris flow modelling for the generation of physical vulnerability curves," Natural Hazards and Earth System Sciences, 11: 2047-2060.
- 16. Rickenmann, D. (2001). "Methoden zur Gefharenbeurteilung von Murgängen." In: Project CADANAV, Etablissement d'une méthodologie de mise en oeuvre des cartes de dangers naturels du canton de Vaud; 2ème rapport intermédiaire, Ecole Polytechinique Fédéral de Lausanne, Switzerland.
- Rickenmann, D., Laigle, D., McArdell, B.W., and Hübl, J. (2006). "Comparison of 2D debris-flow simulation models with

field events." Computational Geosciences, 10: 241-264.

SLF.

- Salm, B. (1993). "Flow, flow transition and runout distances of flowing avalanches." Annals of Glaciology, 18: 221-226.
- Schraml, K., Thomschitz, B., McArdell, B.W., Graf, C., and Kaitna, R. (2015). "Modeling debris-flow runout patterns on two alpine fans with different dynamic simulation models." Natural Hazards and Earth System Sciences, 15(7): 1483-1492.
- Tang, C. and Okimura, T. (2006). "Integrated Assessment of Urban Debris Flow Hazards Using RS/GIS: A Case Study of Dongchuan Urban Area, Kunming City, China." Journal of Geographical Science, 44:1-22.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2002). "Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives," United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2019). "Global assessment report on disaster risk reduction 2019," United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva.
- Voellmy, A. (1955). "On the destructive force of avalanches," SLF, Davos, Switzerland.
- 24. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF (2015). "RAMMS::DE-BRIS FLOW User Manual," WSL Institute for Snow and Avalanche Research

110年	7月	5日收稿	
110年	7月	19日修改	
110年	7月	23 日接受	