NCDR 107-T20

暖化情境下坡地災害潛勢之境況模擬

The scenario simulations for slopeland disaster susceptibility

under climate change scenario



國家災害防救科技中心 中華民國 108 年 01 月

NCDR 107-T20

暖化情境下坡地災害潛勢之境況模擬

The scenario simulations for slopeland disaster susceptibility

under climate change scenario

吳亭燁、朱芳儀、陳麒文、劉俊志、李欣輯



國家災害防救科技中心 中華民國 108 年 01 月

第一章	前 言	1
第二章	評估模式及氣候變遷資料	3
2.1	多領域模組整合系統平台(MULTI MODEL INTEGRATE SYSTEM, MMIS)	
2.2	模式操作介面	4
2.3	小結	7
第三章	經驗模式評估	8
3.1	模式建立	8
3.2	操作介面	9
3.3	小結	11
第四章	土壤水分模式	
4.1	模式概念	
4.2	土壤水分指數模式的建立	
4.3	模式操作	
4.4	小結	16
第五章	羅吉斯統計模式評估	17
5.1	模式建立	17
5.2	模式建置	
5.3	MMIS 系統操作	
5.4	小結	20
第六章	數值分析評估	21
6.1	模式簡介	
6.2	模式建置	
6.2.	1 校驗單元劃定	22
6.2.	2 分區方式及參數設定	23
6.2.	3 雨量資料選定	26
6.2.	4 模式率定與驗證	27
6.3	MMIS 建置與操作	
6.4	模擬結果	
6.5	小結	
第七章	結論與建議	
參考文廳	趺	

目錄



圖	1 • M	IMIS 坡地災害操作介面之模式運算4
圖	2 • M	IMIS 系統內所串接之雨量資料種類5
圖	3 • M	IMIS 平台資料查詢下之雨量資料選取頁面6
圖	4 • M	IMIS 雨量資料下載頁面提供全台集水區的資料6
圖	5、	操作流程畫面10
圖	6、終	E驗模式於 MMIS 評估結果範例11
圖	7、才	、保局土石重大災情之災例分布位置13
圖	8、±	- 壤水分指數之 MMIS 平台內操作14
圖	9、±	-壤水分指數於 MMIS 上評估結果15
圖	10、	成果展示方式可採取時雨量變化、正規化土壤水分指數、土壤水分指數
等	方式	
圖	12、	操作流程畫面19
圖	13、	模擬結果展示畫面19
圖	15、	TRIGRS 模式流程圖
圖	16 、	2005 海棠颱風模擬結果
圖	17、	2007 柯羅莎颱風模擬結果
圖	18、	2008 辛樂克颱風模擬結果
圖	19、	操作流程畫面
圖	20、	模擬結果展示畫面
圖	21 、	20 世紀末逐時崩塌潛勢圖-第 20 小時
圖	22 、	20 世紀末逐時崩塌潛勢圖-第 40 小時
圖	23 、	20 世紀末逐時崩塌潛勢圖-第80 小時
圖	24 、	21 世紀末逐時崩塌潛勢圖-第5小時
圖	25 、	21 世紀末逐時崩塌潛勢圖-第 10 小時
圖	26 、	21 世紀末逐時崩塌潛勢圖-第40 小時
啚	27、	20 世紀末最大崩塌潛勢圖
圖	28、	21 世紀末最大崩塌潛勢圖
圖	29、	20 及 21 世紀末前 10%的平均崩塌率

圖目錄



表目錄

表1、	坡度與土壤厚度換算表	25
表 2、	地質水文參數設定初始值	25





摘要

氣候變遷情境下之崩塌潛勢的評估,因應不同情境假設所產製的 雨量資料,所需運算之颱風事件將達一千場以上。為因應龐大的運算 需求,加快崩塌潛勢的運算速度是必須的,除了降低過去僅考慮單一 情境極端事件發生時,分析坡地災害衝擊的過程所產生的不確定性之 外,亦可簡化繁瑣的資料處理過程。

坡地災害衝擊評估過程中,除了透過龐大雨量資料運算以降低評 估結果的不確定性之外,以多模式的評估亦有助於避免單一模式的不 確定性。因此,透過前期模式建立技術的發展,本研究納入水桶模式 (Soil Water Index, SWI)、經驗模式(Empirical model; EMP)、統計模 式(Logistic Regression Model)、以及數值模式(TRIGRS)等來分別模 擬崩塌潛勢,並嘗試整合於單一平台上,透過資料的輸入與操作,使 短時間可迅速進行崩塌潛勢的分析與計算。

關鍵字:氣候變遷、崩塌、衝擊評估、經驗模式、數值模式、統計模 式

I



ABSTRACT

The landslide susceptibility assessment requires the calculation by rainfall data from more than one thousand typhoon events under climate change scenario. To fasten the calculation speed is necessary for responding to the enormous calculation, which decrease not only the uncertainty during analyzing the slopeland disaster impact under a single scenario, but also simplifying the complex calculation process.

Moreover, the uncertainty decreases by employing enormous rainfall data in the calculation, as well as compares between results from different kinds of models. Therefore, this study contains certain landslide susceptibility analysis models, such as tank model (Soil Water Index, SWI), empirical model (Empirical model; EMP), statistical model (Logistic Regression Model), and numerical model (TRIGRS). These models are also integrated into a single platform. The users are able to have rapid calculation by inputing rainfall data.

Keywords: Climate change, Landslide, Impact Assessment, Emperical Model, Logistic Regression Model, TRIGRS



第一章 前言

氣候變遷對於未來造成的可能衝擊,是近年來相當重要且被關注的議題,特 別是針對坡地災害領域。在過去,因地震、極端降雨等事件之影響,造成台灣山 坡地頻繁的坡地災害,主要包括崩塌和土石流。崩塌和土石流造成的災害,從歷 年的災害事件結果來看,不但對山區聚落、重要道路、民生設施等造成直接衝擊 之外,其後續亦對於生態環境、稀有生物的棲地、水環境保育等造成深遠的影響。

統計近年來侵台颱風事件,可發現自 2000 年以來的颱風事件帶來的降雨, 逐漸改變,短延時及高強度之降雨的發生機率更大,這樣的現象並不僅限於台灣, 在其他國家亦可發現相同的事件,例如 2018 年 7 月初因梅雨鋒面的影響,在西 日本地區造成長延時的降雨,引發西日本廣大地區的崩塌以及土石流發生,災害 規模是三十年來最嚴重。顯示氣候造成的影響不只是區域性天氣的變化,在全球 各地皆有類似的事件發生,因應降雨變化的衝擊,必須要有更多更詳細的了解, 因此,在針對氣候變遷的未來推估上,有更多情境條件下的降雨資料的需求。

對於災害對於氣候變遷在未來可能之衝擊,採用大氣模式來評估單一氣候變 遷情境之下可能發生的降雨變化,作為了解崩塌衝擊變化的主要驅動因子,並且, 在模式的建構上已有相當的成果(李欣輯等,2017;李欣輯等,2016;李欣輯等, 2015;李欣輯等,2014;吳亭燁等,2013)。本研究進一步透過平台的建置,將過 去研發技術延伸,透過資料的轉換和串接,以提供平台即時演算。其中,降雨資

料的使用來自於日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)氣象研究所 (Meteorological Research Institute, MRI)所發展的高解析度大氣環流模式,加以美 國大氣研究中心所發展的天氣研究與預報系統模式(Weather Research and Forecasting model system, WRF)之動力降尺度及偏差校正所產製(Mizuta et al., 2012)。由颱風事件的總降雨量經排序後,選取極端事件進一步評估。

為因應不同崩塌評估模式本身所存在的誤差和解釋力之差異,以及因應前期 所發展的各種崩塌潛勢評估方法(李欣輯等,2017),選取四種主要評估崩塌潛勢 的方法,包括經驗模式、數值模式、統計模式、土壤雨量指數等方法進行,分別 經過校驗後再以氣候變遷情境的降雨資料,推估和探討不同情境下,模式產製的 降雨事件之崩塌潛勢變化。



第二章 評估模式及氣候變遷資料

2.1 多領域模組整合系統平台(Multi Model Integrate System, MMIS)

多領域模組整合系統平台 MMIS 為整合不同模式以及降雨資料,讓使用者可 在網頁上,以直覺操作運算的條件和設定各項模式的運算排程,並可在計算完成 後,下載運算使用 GIS 網頁顯示運算結果,以及查詢任一次完成排程運算的結果, 有效簡化運算之資料前後處理流程。

MMIS 資料庫包含多領域資料庫,從氣象資料至不同領域的計算模組皆有。
其中氣象資料庫包括歷史網格觀測氣象變數、GCM 模式(動力降尺度與統計降尺度)網格氣象變數、本系統多領域模組(坡地、農業、水資源、公衛)之運算結果與
外部系統運算結果(海岸與淹水)。其中,以坡地災害為主之模組,

本系統各領域模式研究區之建立,以涵蓋全台或者全台重點研究區為目標, 另外,為了能長久使用本系統模組於氣候變遷相關研究,本系統有更新模組演算 法、更新模式參數與更新模組執行檔之功能。

系 点候塑器域	地水文樓組串	抱斯统																							-	
成式運算	國軍权地	10:02:02	v																							
資料展示		-	-																							
國際管理	用實設相	1																								
資料置調	國際方式	· Bran	〇物短編算																							
核就管理																										
	副產用條																									
	·																									
	o water	Bavan																								
		NOID PERMIT	48 478	-		10001210				4TH					e Dal	-				78						
		1300	28 2.8	\$1.7	rercia,	AN GROW	more	mve	2.8	11-11			U/JPB/2	a care to	AL W	- 54				52.51						
			TY JSF 2000 2001		_	194_m00			14/14/01			فر الأوجرية)	31/	raph5 c1		- 194	n npôt c		- 24	k n phi si					
		0	2005DAMREY	~		197901	^	0	197901	~	0	207501	^		207801	^	9	207501	^	0	207501	~				
			2005HAITANG		0	197902			197902	- 11	0	207502	10		207802	10	- 11	207601		-	207502	-				
		-	2005KHANUN		0	197903			197903		1	207601		0	207803		-	207602			207503					
		-	2005LONGWANG		-	197904			197904		11	207602		11	207804		0	207603			207601					
		L	2005MATSA	~		198001	~	1	198001	~	1	207603	~	1	207901	4	4	207604	~	-	207602	~				
			ATTACAMONT			1 delativ			There is a	-	-		-	-	- Alleren		-		-		Attanta					
		〇日定時段	問題通道 KRiD_	TY_LS	ar			~		#	1 4		0	▼勝 至		# 1	▼月	E 0	V H	······································	RID: 20050	701-201	80430,WP	QO: 1979-	2003 WFR	21:2075~209
	Orema		(明)内喻人简量算讯)					193		编	12X37	市場式爆業者	Enc 18													
		9.0	2																							
	設定通知の	1 (0 hai	本法律道							C	5552	自行設定書	(EB)	语作的影	0	553		私執行所有	10 (* 18	an	Y					
																					beautiful and					

圖 1、MMIS 坡地災害操作介面之模式運算

2.2 模式操作介面

由於氣候變遷資料會隨著不同的偏差校正方法、多種的系集分群,事件數目 會有大幅度的增加。目前以單一偏差校正方法及較少的系集分群方式,總共約產 製 500 場事件的雨量資料。未來透過多種的偏差校正及系集分群,所產製的颱風 事件數目可能將增加至上萬場。為因應大量颱風事件偏差修正及更新 AR6 資料 的模擬需求,本研究進行多模式與多資料整合系統(Multi-data and Multi-model Integrated System, MMIS)的開發。透過建立數值模式的經驗協助 MMIS 系統開 發,並提供模式建置過程中所需資料,如降雨事件的轉檔方式、相關圖資等。另 外,由使用者的角度來設計系統的操作及展示介面,讓介面可較符合使用上的需 求,未來可透過此系統模擬不同氣候變遷情境的條件下,大量颱風事件所造成的 崩塌潛勢。 目前,於系統上所串接的雨量資料主要分為兩種形式,包括歷史颱風的 KRID 降雨資料,以及氣候變遷的雨量推估資料。KRID 降雨資料,是透過 1991~2013 期間之氣象局局屬測站的時雨量觀測資料,經由克利金法內差後得到五公里網格 解析度的網格化觀測資料,再經由歷史颱風事件區分事件的長度。基期與世紀末 的颱風資料,則是來自於日本氣象研究所所發展的高解析度大氣環流模式,加以 美國大氣研究中心所發展的天氣研究與預報系統模式(Weather Research and Forecasting model system, WRF)之動力降尺度及統計降尺度後所產製,因應不同 情境,有 AR4 的 A1B 情境下之颱風、AR5 之 RCP8.5 情境的颱風事件,其中 AR5 之 RCP8.5 情境在 20 世紀末共有 84 場颱風,21 世紀末有 45 場颱風。另外,21 世紀末之不同海溫(C0、C1、C2、C3)情境下的颱風事件之降雨資料,總共有 169 場颱風事件等,相關情境資料之種類如圖 2 所示。



圖 2、MMIS 系統內所串接之雨量資料種類

MMIS 平台,除了提供模式運算之外,亦針對雨量資料提供。使用者可至資料查 訊頁面,選取所需要的雨量事件、或是自訂時段與雨量資料種類,以及查詢的區 域等,下載到合適的資料型態(圖)。目前提供的雨量事件以 KRID 的網格降雨 量,時間長度為2005年至2017年,以颱風事件為主。另外氣候推估雨量資料則 是可選擇不同情境的颱風事件資料,由於事件命名原則是以年度加上事件之順序 編號,不具有時間意義,因此若是要選擇特定的極端事件,則需要另行查詢編號 後再由此頁面下載所需資料。在空間分布方面,雨量資料的選擇涵蓋全台集水區, 以主要集水區作為分區,下載檔案格式包括 csv 檔以及 bui 檔兩種。

構式種類	 ● 微韻要件 					1	很式雨量3	放料下载										
[料展示	KRID_TV_LET_2005-2017		INF 20_SPA	-00	WER	20_GPA_m0.	WIR		6_3	WER.2	SFA rep05		VTR.2L	SFA reptis	2	WTR 21	ETA_rp8	5
算管理	2005DAMREY		197901		國政	197901		207501		细胞	207801		<u>1110</u>	207501		-	207501	
后南的	ILE 2005HAITANG		197902	1	周歌	197902	100	207502		川政	207802	-	23 10	207601	1	風歌	207502	
转载组	2005KHANUN	-	197903	- 3.	翻版	197903	重改	207601		服取	207803	2.1	重取	207602	2	重致	207503	
	1 2005LONGWANG	× 📖	R 197904	4	重/定	197904	и к	207602	~	頭液	207804	~	重敗	207603	Y	11 32	207601	~
	華作時間																	
		LST			~	le l	1 1 1		0	∨ ₩ 7	-	1.		E 0	Va	क इक्साई हर	RID 200503	701~20180430.WFR20: 1979~2003.WFR21.20



可服事件						横立	(前鱼黄)	马下 鞭										
- REAL IN LITE 2005 JULY	WFI	70 SPA	00	WHILE	IL EIV. III	11	WFRLIT	SFA I FH	- 46	WPE_/L	Sil upl	5 (1)	WEE,71	94, p	5.7	WER, 74	(PA) us	114
2005DAMREY	<u>(12</u>	197901	~	48	197901	~	重款	207501	~	1157	207801	~	18	207501	~	312	207501	~
ER 2005HAITANG	10	197902	10	調沈	197902		運取	207502		温取	207802		里拉	207601		型双	207502	10
2005KHANUN	12	197903		重直	197903			207601		12	207803		重批	207602		國際	207503	
2005LONGWANG	1 22	197904	~	11 Martin	197904	~	an.	207602	~	an.	207804	¥	<u></u>	207603	Y	<u>an</u>	207601	Y
要件拼题										1						時期約	RID:	
B市時能 問題種類 KRID_TY_LS	T			Y	8	4	1 4	5 <u>6</u>	Q •	1. 第一日		4 1	♥月	E 0	V	20050	701-20180	430,W
大規範間構成。 大規範間構成。 一個人的 一人的 一	2																	

圖 4、MMIS 雨量資料下載頁面提供全台集水區的資料

2.3 小結

從歷史災害紀錄、歷年崩塌地圖層、或是現地踏勘結果可知,石門水庫集水區在過去受到颱風豪雨的影響,沿溪流兩岸或是道路邊坡形成許多較大之崩塌地, 特別是位於河岸攻擊坡之崩塌地,在近年來有擴大的潛勢。

MMIS 平台提供相當豐富的雨量資料,包括歷史颱風事件的極端降雨、基期 提供 AR4 以及 AR5 情境的颱風事件降雨、以及 21 世紀末提供不同海溫情境下 的颱風事件降雨資料。這些資料除了在模式運算時,將直接匯入模式中計算之外, 因應使用者需求,亦可透過人工方式選取,下載需求的颱風降雨事件,對於災害 事件的模擬頗有助益。



第三章 經驗模式評估

經驗模式(Empirical model; EMP)是由所選定之歷史颱風事件,期間的降雨量 換算參數後,與該集水區崩塌特性所建立的關係式,可用於推估不同颱風事件降 雨條件下,可能發生的崩塌規模。根據前期研究,淡水河流域之不同集水區的崩 塌特性有所差異,且主要誘發的颱風事件大不相同,因此,分別針對石門水庫集 水區以及新店溪集水區,建立崩塌特性與雨量因子之關係式,並納入在 MMIS 平 台之中。

3.1 模式建立

評估模式建立主要根據崩塌地圖層以及歷史颱風事件之雨量資料。崩塌地資 料乃是採用林務局透過衛星影像判釋之崩塌地圖層。該圖層為自 2004 年開始, 利用每一年上半年之衛星影像資料,所繪製之全台歷年崩塌圖層。因此,可採用 該資料,來作為模式建立之崩塌地主要資訊。另一方面,在歷史颱風事件選取方 面,由於所欲建立的集水區為新店溪及大漢溪集水區,從 2004 年至 2015 年間挑 選8場近台強度中度以上、且路徑有經過台灣北部的颱風事件,來進行崩塌面積 特性的分析。由於,所選取的颱風事件幾乎分布於不同年份,相當具有代表性且 均為極端災害事件。每一場颱風事件後所判釋的崩塌圖層,可代表該場颱風事件 對兩集水區的崩塌分布造成之影響。

根據上述資料,分別計算此兩集水區在各颱風事件後的崩塌特性,包括最大

崩塌面積、崩塌個數、總崩塌面積、以及崩塌率等,並建立崩塌特性與降雨特性 的關係式。分析結果顯示,石門水庫集水區以累積降雨量,對區域內崩塌發生較 具有顯著性,新店溪集水區則是以尖峰降雨強度較具有顯著性。因此,分別以累 積降雨量以及尖峰降雨量,建立兩個集水區之經驗關係公式如下所示:

石門水庫集水區:

$$A_{\rm T} = 4697.3 \times E + 737287 \qquad ({\rm f} {\rm f} 4-3)$$

$$L = 0.0006 \times E + 0.0974 \qquad (\vec{x} \ 4-4)$$

$$A_{\rm M} = 921.69 \times E - 141948 \qquad ({\rm f} 4-5)$$

$$N = 0.6969 \times E + 71.532 \qquad (\pounds 4-6)$$

新店溪集水區:

$$A_{\rm T} = 23764 \times I_{\rm p} - 547585 \qquad ({\rm \ \ t} 4\text{-}7)$$

$$L = 0.0049 \times I_p - 0.1119$$
 (式 4-8)

$$A_{\rm M} = 3924.4 \times I_{\rm p} - 89062 \qquad ({\rm ff} 4-9)$$

$$N = 6.0251 \times I_{p} - 137.23 \qquad ({\rm t} 4-10)$$

於上式中,A_T為總崩塌面積(m²),L為崩塌率(%),A_M為最大崩塌面積(m²), N為崩塌個數,E為累積降雨量(mm),I_p為尖峰降雨強度(mm/h)。

3.2 操作介面

MMIS 系統的操作步驟,如圖 5所示,由畫面最左邊的模式運算功能點選,

選擇使用 EMI 模組,模式提供輸入專案名稱,運算方式以即時或排程運算兩種, 即時運算在輸入後便會開始分析及輸出成果,排程運算則是事先指定運算節點俟 該節點有資源時即可運算。一般來說,當事件數目較少時,建議可設定即時運算 即可,若是事件較多,則需設定排程運算以節省系統運算資源。

雨量事件可由列表內的事件進行選取,畫面上方右半部提供所有事件依照總 降雨量排序後的順序,因此若是要計算較為極端的事件,可以參考該排名來決定, 事件一次可選取許多事件,也可以僅選取單一事件。當所需模擬的事件選取好後, 即可進行運算,以及展示結果,操作流程畫面如圖 185 所示。

and the second second	Carl and a set of the last	in and L																			104
火道林	1000	EMP	~	۰.		-		-			-		_	-	-				_		-
每秋示	****	1			Тор	c1_201	1101	265 7552	c0_2089	101	188 2355	:0_208403	113.6553	e0_208901	520.4462	<3_208101	766.9146	23_208101	1165 0248	c3_208101	1256.6415
1979		-	- and the second		Top	2 20,204	1901	817.011	e1_2072	103	175.8359	+3,207703	117.0699	23_207703	465,4857	c0_208901	728.1686	c0_200901	817,011	c0_208901	(817 011 748 5757
「直対	1122	 部時運算 	○併相運算		Top	4 c1_203	901	717.6864	c3_2081	101	123.5803	c3_208101	226.8488	c0_207701	350.3454	c0_207701	491.132	c1_207901	628.4175	c1_20/901	715,4486
110-18	10 10 10 10			1	C.1.	1000		1.52			-		-	100	-	11.00	-				-
					Topl	100 19	8103	61.5482	m00_199;	203 1	121.4682	m00_19920	3 235.0443	100_19920	393.6732	m00_19920	3 559.8278	m00_1981	03 759 2582	m00_198103	761 5482
	● 新石田田	1			Tapi	m00_19	9203	108.2578	m01_2002	203	95,2144	m00_19800	2 159.131	m01_20120.	260.8555	100_19810	2 412 1661	m00_1994	02 375.5457	m00_199205 m00_199402	575.5457
		• 剪案員件			Topd	m00_19	9402	575,5457	m01_1995	502	047989	m01_19950	2 158.1661	m60_19800	258 5334	e±01_20020	2 295.8355	w00_2000	01, 554 9832	m00_200303	564.846
		KRID	28 2×8	87	梯尺度1	ONEX	m03	150	2月 1	\$×3		動力算	尺度21世纪1	R all ki	di -	1 28	全不遵				
		100	TY_151_3003-2017			SPA =00			101 - A		SFA	n pilli pil	554	ngRhy L	SEA	null, C	556	nyili ya	1 × 1		
			2005DAMREY	0		197901	~		197901	~	D	207501		207801		207501		207501			
			2005HAITANG	12	11	197902		1.1	197902	16	11	207502	10	207302	12	207501	12	207502			
			2005KHANUN		0	197903		(1)	197903		0	207601		207803		207602	11	207503			
			2005LONGWANG			197904			197904			207602		207804		207603		207601			
			2005MATSA	v		198001	~	0	198001	~	0	207603		207901		207604		207602	· · · · ·		
		6.4	THECASARI		64	102007		12	rosno-		179	MATOR -	111	- theater	100	JULION	170	SUPERS			
		0 8298	問題機關 KRID_	Y.LS	T			~	8	 (4)	1 4	E 0	く単面		1 ~月	E 0 ~	је нако	it): 20050701	-20180430,1	FR20: 1979-2	003 WFR21: 2075
	Ditens	L (1919) (19182)	(明) 内最人用屋道病)					主要	Ŀ	15	SEAR	nc SE cov S		emp	根式爆震的	ØI.					
		完成	反定、取得運算的點																		
	原金運動會	1 (B.753)	· 6.4000 (6							5	7522	8/7824(E)	医中国作動點	0.55	3:0-81	2.10万元用田田	titian	*			

圖 5、 操作流程畫面

圖 6 為透過經驗公式計算的結果。模式的計算結果展示,同樣從畫面 左方之資料展示按鈕選取。首先選取氣候變遷推估資料時期,按查詢後, 將出現不同專案編號,所計算的集水區、雨量事件名稱等,使用者可依據 這些資訊找到所需要的評估結果。將所希望展示的計算結果在前方的方格 打勾、並按下展式運算結果後,便可輸出研究區域內的崩塌地面積、崩塌 率、最大崩塌面積、以及崩塌數量等。在成果展示頁面之中,亦由表列方 式列出該專案所選取的降雨事件資料,包括累積雨量、延時、平均降雨強 度、尖峰降雨強度、崩塌個數、最大崩塌面積、總崩塌面積、崩塌率等, 使使用者除了統計資料之外,亦有個別事件的資料提供參考。

福式道算	18.18.1			SPA_m00	594_mi/1	STATE	p85_c0 2 s	FA_rep85_c1 F	Z STA repar	La Dan	cp85_c3	215			
亚以 用/i	LINE A	1	1000	11111			-	1000	1.0	1.000	1		1000	1.1.1	-
ADWR	Top	c3_208101	1265.7552	10,208901	188.2355	£0_208901	333,6553	+0_208901	520.4462	c3_208101	765.9146	<3_208101	1165.0248	e3_208101	1256 6415
1000	Tes	o2 c0_208901	817.011	s3_207703	175.8259	c3,207703	317,0699	e3_207703	465,4857	c0_208901	728.1686	<0_208901	817.011	60,208901	817.011
114 arts	Top	13 c3_207603	748.5717	10,207701	137.1886	10_207701	245.7293	±3_208101	430.1677	+0.207703	345 6506	±3,207603	724.4611	£3,207903	748.5717
av at a second		H GENERAL	1.1.7	D.Course	D.J. Januar	CO_COMPT	1000-000	10,20,103	100.34,44	10,00.004	altra	CALIFOR POR	uco arra	CL_COP Pace	113 antice
	Tee	1	761 5492	m00 100201	121.4682	m00-100308	725 0442	m00 102302	102 6717	m00 100202	150 8779	m01 10410	2. 750 1597	m00 109102	761 5483
	Top	2 m01 198803	608.4795	m00_198004	100.6519	m00_198004	170.77	m01_200202	265,4871	m00_198103	479,8092	m00 19920	1 608,2578	m00_199203	B08 2578
	Too	3	608.2578	m01 200203	95.2144	m00 198892	159 131	m00 196802	260.8555	m00 199402	412 1661	m00 19940	575.5457	m00 199402	5755457
	Tep	4 1000_199402	575.5457	m01_199502	94,7989	m01_159502	158.1663	m00_158004	258,5334	m01_200202	396.8356	m00_20050	1 554.9832	m00_200301	564.845
	1	15.61	-				-	-					24		
	2	lab. 201808111	72544 1	1011108	Shimen	Xindian		KRID TY LST	2005 2017	2005DAMREY	P.		27.8		
	-		72544 2	1011108	Shimeo	Xindian		KRID TV LST	2005 2017	2005HAITAN		-	and the second s		
		100 -013030131		and the second second		There was not a second	-	States and a street of the	Sound Second	"The state of the	e				
		100-001808131	110044 0	1011100		Arritis		WHIP TO LOT .	1000 1000 T	TANDEN DA SILLE	1				
	a	hb_201808131	72544 3	1011108	Shimen	Xindian		KRID_TV_LST_3	2005,2017_	2005KHANUR	ų.	~			
	0	inb_201808131 Job_201808131	72544 3	1011108 1011108	Shimen	Xindian Aindian	ю	KRID_TV_LST_L	2005_2017_ 65 2017 2	2005KHANUN 005LUNGWA	VER	~			
		iob_201808131 iob_201808131 iob_201808131	72544 3 72544 4	1011108 1011108	Shimen	Xindian Aindian	ю	KRID_TY_LST_1 RDF TY 15T 20	2005,2017_ 65 2017 - 2	2005KHANUN DOSLUTVGVVA	V VIE	~			
		inb_201808131 inb_201808131 inb_201808131	72544 3 72544 4	1011108 1011108	Shimen Shimen	Xindian Aindian	ю	KRID_TY_LST_: RID TY LST 20	2005,2017_ 05 2017 20	2005KHANUF	V VIZ	~			
		Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131	72544 3	1011108 1011108	Shimen Shimen	Xindian Aindian Estation	no theim	KRID_TY_LST_ RED TY 1ST 20	2005,2017_ NS 2017 2 BS 800 R5	2005KHANUM 005LUNGWA	V Via Si ile Ile Ile Ile I				
		Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131	72544 3 72544 4 2	1011108 1011108	Shimen Shumen an 1 Was Billin (num)	(Xindian (Aindian Examism (Ain) (n	theene rum/thj	KRUD_TV_LST_J RULT TY 15T 20 (mmr/b)	2005.2017_ NG 2017 2 NG 2017 2		V Vici (karna) (karna)	(6) N 20			
		HER CONCENTS	72544 3 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	10 1.1.108 10 1.1 108 005DAMREV	Shimen shunen shunen waski ai (mun) 351	Condian Aandian Exama (htt) 7	N Hydfar non/hj 5,16	KRID_TV_LST_: RID_TV_LST_2(CRIMINAL (mmax/m) 7.96	2005,2017_ 85 2017 2 85 2017 2 80 2000 2000 200000000000000000000000	2005KHANUM 005LUIWGWA 1 05 88 80 80 (m2) 08674.99	V NG BLAS IK 2004 (karn2) 0.91	145500 (6) 0.12			
		Hee Jord Rotal and Jose 2018/08131 Jub 2018/08181 Jub 2018/08131 Jub 2018/08131 Jub 2018/08131 Jub 2018/08131 Jub 2018/08131 Jub 2018/08181 Jub 2018/08100000000000000000000000000000000	77544 8 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	10.1.1.108 10.1.1.108	Shimen Shimen Shunen 2015 2017 2017 2017 2017 2017 2017 2017 2017	(Xindian Aondian Casalon (Viv) (n 7	tijetine tim(h) 5.16	KRUD_TV_LST_; RUD_TV_LST_2(21 KRUF2 (mma/m) 7.96	2005,2017_ NG 2017 2 NG 2017 2 NG 2017 2 NG 2017 NG 2017 NG 2017_ NG 2017_	2005KHANUN 005UUNGYYA/ 1 005UUNGYYA/ 005KHAN 006674.99	V NG (ban2) 0.01	(4) (4) (12			
	U U U U U U U U U U U U U U U U U U U	Hee_Joil888131 Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131 Heb_201808131	77544 8 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1011108 1011108	Shimen Shim Shimen Shimen Shimen Shimen Shimen Shimen Shimen Shim	(Xindian Aindian Casta (In) (n 7	N 1995年 1997/10) 536 節爆軍	KRUD_TY_LST_2 RUD_TY_LST_2 (mm(%) 7.96	2005,2017, N5 2017 2 E1844 87 9 96 -1	2005KHANUF 00/5LUFNOWA/ (m2) 08674.99	v ma (am2) 0.01	レ (の) 012			前编图数
		Hee_wojakatai heb_201808181 heb_2018081	77544 8 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1011108 1011108	Shimen Shimen Marking (non) 35.1	(Xindian Aindian Casta (htt) 7	n) (m(/h) 5.16 首塌率	KRUD_TY_LST_2 RUD_TY_LST_2 (mma/b) 7.96	2005,2017_ N5 2017 2 (216,44 87 9 95 -1)	2005KHANUF 00/5LUFNOWA/ (m2) 08674.99	v Nie (km2) 001 大筋塌面	。 (6) 0.12		Ĩ	前塌個數
		HOD_ADIANGE111 Hob_201808181 HOD 201808181 HOD 2018081 HOD 20	72544 3 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1011108 101108 005DAMREV	Shimen Shim Shimen Shimen Shim Shim Shim Shim Shim Shim Shim Shim	(Xindian Andian EBRAR (00) (0 7	N N N N N N N N N N N N N N N N N N N	KRUD_TY_LST_J RED_TY_LST_ZU (mma_fb) 796	2005,2017_ NO 2017 2 E116 11 2 96 -1 1	2005KHANUH 005KHANUH 005KHANUH (m2) 08674.99	v NG (Long) 0.01 ↓前塌面 (c)	マ (で) 0.12 積		2 (Uliver)	前塌個數 d)
		Hee_collate11) Heb_201805181 Heb_201805180 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_201805181 Heb_20180518 Heb_2018	77544 3 72544 4 2 2 3 15 3 605 2017 2 弱面積	1011108 101108 005DAMREV	Shimen Shimen BM 3 VEasHim (roun) 35.1	(Xindian Andian EBRIAN (Vii) (n 7	的纸面 nunn(h) 5.16 前塌率)	KRUD_TY_LST_J RED_TY_LST_J (mon_to) 7.96	2005,2017, 805,2017, 2 805,2017, 2 80 95 95 -1 95 -1 95 -1 95 -1	2005KHANUH 005KUNGWAJ (m2) 08674.99 08674.99	v me (am2) 001 て前均面 (c)	マ (00) 012 (積		1 2 100000 (前塌個數 d)
		Hee_collaterial heb_201805181	77544 3 77544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 2 2 2 3 3 2 3 2 3 2 3 2 3 3 7 2 5 4 4 3 7 2 5 4 4 4 4 2 3 7 2 5 4 4 4 4 5 3 7 2 5 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	1011108 1011108 005DAMREV	Shimen Shimen RM 3 VEasHime (roun) 35.1	(Xindian Andian Cardia	5.16 前塌率)	KRUD_TY_LST_J HUD TY LST ZU (mmm_m) 7.96	2005_2017_ NG 2017_2 NG 20	2005KHANUH 005LUNGWAN (m2) 06674.99 06674.99	v hise Kallah (anu2) 001 大崩墹面 (c)	マ (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)		1 2 (1111)	前塌個數 d)
		Hee _outstand inb_201808131 inb_201808131 inb_201808131 inb_201808131 KRO_TV_1ST_2 總前1	72544 3 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 0 0 5 2 0 17 2 3 3 7 2 5 4 4 3 7 2 5 4 4 4 3 7 2 5 4 4 4 4 5 4 5 7 2 5 4 4 5 4 5 7 2 5 4 5 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	1011108 1011108 005DAMREV	Shimen Shunen Shunen (run) 35.1	(Xindian r Aindian 2015 44 (Ar) (m 7 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 1	KRUD_TY_LST_L HD TY LST 20 (mm/m) 7.96	2005_2017_ NG 2017_2 05 -10 -100 -1000 -	2005IGHANUK 005LUNGWAJ 1972) 08674.90	v his Kala (am.2) 001 大崩塌面 (c)	マ (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	and and a second se	1 2 Million Victoria	前塌個數 d)
		Here _ collared all heb_201806131 heb_20180613 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614 heb_20180614	72544 3 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	1011108 1011108	Shimen Shimen Shimen Markin County 35.1	(Serdian r Aindian E Barton (No) (II 7 2 States Names (b)	10 (19)低度 (19)(19) 5.516 () 個項率)	KRID, TY LST, 21 RED TY TST 20 (mma/d) 7,96	2005_2017_ 05_2017_2 05_20000000000	2005KHANUK 005LUNOWA/ (m2) 0867499 0867499	v Nici (kmic) 0.01 大崩塌面 (c)	マ (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	dimension	A Million ()塌個數 d)
		ine_culticality ink_201808131 inb 201808131 inb 2018081 inb	77544 3 77544 4 2 2 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	0011108	Shimen Shim Shimen Shimen Shimen Shim	(Xindian Aindian PERRIAN (Wa) (b) 7 2 3 Mature Xianas (b)	N 1940年 1950(19) 5-16 前塌率)	KRID, TY LST JU SED TY LST JU (mon, to) 7.96	2005.2017_2 805.2017_2 90 95 -1 1449 1449 1449 1449 1449	2005KHANUR 005LURKINA/ (m2) 08674.90	v nua (um/2) 0-91 大崩塌面 (c)	で (00) 0.12 (積	adate a fit and dates	A William (9场回数 d)
		iee_unikatii leb_201805131 le	77544 3 72544 4 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	0011108 1011108 005DAMBEV	Shimen Siunen Siunen Sianonon Sianonon Sianonon Sianonon Sianononon Sianono Siano Siano Sianono Siano Siano Siano Siano Siano Siano Siano Siano	(Xindian r Aindian FERRIAN (A) 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 1 7 7 8 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	10 1996年 1997 1997	KRID, TY LST JU RID TY LST JU 21/89/2 (mmv,10) 7/96	2005,2017_2 2017 2 2017 2 2017 2 2 2017 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2005KHANUH 005U.PKOWA/ 1072) 08674.99 08674.99	v nici (tanu2) 0.01 大崩塌面 (c)	マ (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	Andrea el transfera	R R Marriel (前塌個數 d)
	Ranks	ine_uniteriti inb_201805131 inb_201805131 inb_201805131 inb_201805131 inb_201805131 inb_201805131 inb_201801010000000000000000000000000000000	72544 3 72544 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	0011108 1011108 005DAMREV	Shimen Shunen Shunen (Crom) 351	(Xindian n Andian Caracan (a) 7 2 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	n ntm(和) 516 育塌率)	KRID, TY LST, JU ST REAT TY LST AU (mm,16) 7.96	2005.2017 2017 2017 2 2018 2017 2 2017	2005KHANUK DUSLENKIWAY (m2) OB574.99 EE 7 OB574.99	v Nua (kana2) Coli 大前圳面 (c)	い (20) 0.12 (積	Number of Landslets	i ک بیشت ()塌個數 d)

圖 6、經驗模式於 MMIS 評估結果範例

3.3 小結

MMIS 系統提供崩塌的經驗模式建立,雖然經驗模式無法提供崩塌地的空間 分布,但透過崩塌與降雨的特性,可透過所取得的降雨資料快速運算集水區的崩 塌率、崩塌數量、崩塌面積等,對於需快速運算的情況下,經驗模式是相當容易 使用的工具。

第四章 土壤水分模式

土壤水分模式 (Soil Water Index, SWI)是由水桶模式以及水文方程式的平衡 概念,選定重大土砂災害事件,期間土砂災害發生的時間點之降雨量,經由參數 換算之後,由集水區崩塌發生與總雨量所建立的關係式,可用於推估不同颱風事 件降雨條件下,土壤水分之含量是否超過每個網格之崩塌發生門檻值。

4.1 模式概念

土壤水分模式的計算原理,由水桶模式以及水文方程式之平衡概念所組成。 首先,假設山坡地邊坡由表面垂直往下可分為數層,每一層的含水量均由一個水 桶來表示。當降雨入滲至坡面後,隨著時間將會往下逐層流動。每一層水桶會儲 存部分水分,部分向下或向側向流出,向下流出部分將成為下一層水桶的入流量, 側向流出部分將分別形成地表逕流、土層滲出水流、地下水流出等。透過土壤水 分模式的計算,可有效計算不同日數降水量對於邊坡的影響(Ishihara and Kobatake, 1979)。目前日本廣泛使用水桶模式於山坡地災害潛勢的評估與預警作 業。以土壤水分模式作為基礎,由同一區域之實驗與測試結果,計算山坡地每一 地層的參數,作為評估該區域坡地災害警戒值的基準,當降雨事件發生時,可迅 速計算邊坡含水量是否超過警戒值,作為警戒發布參考的依據(Osanai, 2010)。

4.2 土壤水分指數模式的建立

因此,本研究由同樣概念進行模式的建立。土壤水分指數模式的建立,需了

解各網格坡面的土層參數。從歷史崩塌事件的資料蒐集,必須獲得坡地災害發生的時間點,進而推估崩塌發生時間點之降雨量以及該坡面的水量。由水土保持局所發布之重大土砂災情報告資料,可得知大部分崩塌發生的時間點、有效降雨量、以及降雨量數值。藉由這些資料,便可計算代表該區域之土壤水分指數以及正規 化後的土壤水分指數。



圖 7、水保局土石重大災情之災例分布位置

4.3 模式操作

從 MMIS 系統內坡地衝擊之中,可選取土壤含水量項目進行計算。模式內提 供雨量選擇的方式,系統內事件選取、或是自訂時間方式,提供使用者可自行上 傳事件雨量檔進行運算。降雨事件的運算和展示方式,可由總雨量、雨量時序變 化、最劣情境、以及時序變化等四種方式選擇,提供使用者多樣選取評估事件的 依據。評估結果展示該場事件之正規化後之土壤水量值,當值越大代表該場事件 後,該區域之土壤含水分越大。土壤水分模式的評估範圍為全台,空間解析度為 40公尺*40公尺。

Stalm 単 Stalm 単 Stalm 単 Stalm 単 Stalm 1/Y_L5F_2005-2017 WRE_20_SPA_m00 WFR_20_SPA_m01 WFR_20_SPA_m01 WFR_21_SFA_rcp85_c0 WFR_21_SFA_rcp85_c WFR_21_SFA_rcp85_c WFR_21_SF	电水衝撃	⑦ 而量事件 展示内容 違而量	*					楔	[式說明							
B1 土壌含水量 温敷 2005DAMREY 温敷 197901 温敷 197901 温敷 207501 温敷 207502 温敷 207501 温敷 207502 温敷 207602 温敷 207602 温敷 207602 温敷 207602 温敷 207602 温敷 207601 温敷 207602 温敷 207603 温敷 207601 温敷 207603 温敷 207601 温敷 207603 温敷 207601 温敷 207601 温敷 207602 温敷 207603 温敷 207601 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015<	皮地衝擊	KRID_TY_LST_2005-2017	WRF_20_SPA_m00	WTR	_20_SPA_m01	WFR_2	1_SFA_rep85	_c0	WFR_21	_SFA_rcp8	5_c1	WFR_21	_SFA_rcp8	5_62	WFR_21	SFA_rcp8
B2 崩塌率 構式 1 模式 2 模式 3 超数 2005KHATIANG 単数 197902 単数 197902 単数 207502 単数 207502 単数 207601 単数 207601 単数 207502 単数 2005KHANUN 単数 197903 単数 197903 単数 207601 単数 207603 単数 207602 単数 207503 単数 2005LONGWANG 単数 197904 単数 197904 単数 207602 単数 207603 単数 207603 単数 207603 単数 207601 単数 207602 単数 207603 単数 207601 単数 207602 単数 207603 単数 207603 単数 207601 単数 207602 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207603 単数 207601 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207602 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207603 単数 207601 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207601 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207601 単数 207603 単数 207601 単数 207601 10001 10001 10001 10001 10001 10001 1001 1001 1001 1001 1001 1001 1	B1 土壤含水量	理胞 2005DAMREY	里取 197901	進取	197901	運動	207501	â.	進取	207801	- Ê	選取	207501	-	選取	207501
構式1 構成2 構成2 構成2 構成2 構成2 構成2 構成2 の の の の の の の の の	B2 崩塌率	2005HAITANG	里取 197902	運取	197902	建取	207502		建取	207802		進取	207601		進取	207502
使式 2 使式 3 使式 3 使式 3 使式 3 使式 3 使式 3 使式 3 の 自訂時間 展示内容 時需量・ 市量機類 KRID_TY_LST ・ 年 1 ・月 日 0 ・時 (例如: 2015年3月10日5時) 21 世紀標序種類 case1・ case1 20 世紀市量操 線 WRF_MRI_20EOC_hourly_T2WMRI_SPA_m00・ 野橋 KRID:20050701-20180731 WFR201979~2003 WFR 2075-2099 雪波電灯 全憂 ・ 査論 下数 …	模式1	型取 2005KHANUN	HR 197903	通取	197903	里取	207601		进取	207803		進取	207602		进取	207503
単件時間 (単式3) 単目前時間 展示内容 時需量・ 雨量種類 KRID_TY_LST ・ 年 1 ・月 日 0 ・時 (例如: 2015年3月10日5時) 21世紀振序種類 case1・ case1 20世紀雨量種類 WRF_MRI_20EOC_hourly_T2WMRI_SPA_m00・ 西湖電磁 全優 ・ 査確 下数 …	模式 2	2005LONGWANG	HN 197904 +	通収	197904	里取	207602	*	进取	207804	*	进取	207603	*	进取	207601
	模式3	事件時間 ◎ 自訂時間 展示内容 時需量 ▼]	雨量種類 KRID_TY_LS	T		•	4	1	• 月		• #	§ (例如:	2015年3月	1085	時) 0-10707	2003 (WEE
	優式 3	 単件時間 ③ 自訂時間 展示内容 時間量・ 21世紀保持44 (case1・ case1) 重約高端 全憂 	雨量植物 KRID_TY_LS 20世紀雨量隆特 WR ・ 査務 2	st F_MRI_2 下載	0EOC_hourly_	T2WMRI_	SPA_m00	1	•月	日 0 時間 KR 2075-2	• # ND:200 2099	9 (例如: \$0701-2	2015年3月 20180731(10859 WFR20	時) 0:1979~2	2003 (WFF
	儀式 3	#件時間 ◎ 自訂時間 展示内容 時間量・ 21世紀病序種類 case1・ case1 重調電氣 全憂	雨量隆線 KRID_TY_L5 20 世紀市量隆線 WR • 査務	F_MRI_2 下載	0EOC_hourly_	• T2WMRI_	SPA_m00 v	1	• 月	日 0 時間 KR 2075-2	• # ND:200 2099	≸ (例如: \$0701-J	2015年3月 20180731	10日51 WFR20	時) 0:1979~2	2003 WFF
	催式 3	#件時間 ◎ 自訂時間 展示内容 時間量・ 21世紀病序種類 case1・ case1 重調電氣 全憂	雨量隆線 KRID_TY_Lt 20 世紀雨量隆線 WR • 査務	st F_MRI_2 下載	0EOC_hourly_	T2WMRI_	SPA_m00 v	1	●月	日 0 時間 KR 2075~2	• F	≸ (例如: \$0701-2	2015年3月 20180731	10日55 WFR20	時) 0:1979~2	2003 (WFF

圖 8、土壤水分指數之 MMIS 平台內操作

土壤水分指數的評估結果及展示畫面如圖9及圖 10 所示。該範例是使用 2015 年蘇迪勒颱風的降雨資料計算的結果,其中,圖9為一般展示畫面,圖 10 則是 針對不同展示方式比較。時序性變化是使模式針對每個小時均計算一筆土壤水分 指數資料,然後再將所有的結果疊加後的成果。由於具有時間序列,可看出同一 場事件下崩塌潛勢變化趨勢。

土壤水分指數之外,亦可選擇正規化的土壤水分指數方式表示,該指數的計 算方式是將該網格的土壤水分指數與過去十年內最大的土壤水分指數相除後的 結果。由於在過去資料的評估結果可發現,較多崩塌的發生是在正規化土壤水分 指數為 0.8-1.0 區間,因此透過正規化的轉換,較易判釋出崩塌易發生區域。從圖 10 發現,在 2015 年蘇迪勒颱風期間,崩塌發生的主要區域集中在北部的淡水河 上游流域,包括新店溪、基隆河、以及北勢溪集水區等,本項評估結果初步與實 際狀況相符,且比較結果顯示正規化土壤水分指數較能反映實際崩塌發生狀況







圖 10、成果展示方式可採取時雨量變化、正規化土壤水分指數、土壤水分指數等方式

土壤水分指數對於崩塌發生的評估,是一個相當有用的模式,不僅可應用在 潛勢推估,對於即時雨量資料亦可快速提供崩塌潛釋的即時資訊。透過 MMIS 系 統的運算,雖然在全台的山坡地地區仍有相當多區域需透過參數校正,使評估的 精確度更為提高,但初步已具備相當準確度,建議後續可持續針對模式持續發展。



第五章 羅吉斯統計模式評估

集水區整體的潛勢評估分析,透過統計模式的運用,可有效反應歷史資料和 現地環境狀況的關聯性。評估模式建立的過程之中,透過資料的蒐集及分析,可 進一步掌握流域特性。因此,統計模式的建立,最重要的流程是資料的前處理以 及模式校驗的過程。由於崩塌的潛勢高低的判定,主要由歷史資料的崩塌發生與 否進行判定,可視為二元的反應變數。對於二元變數,本研究以羅吉斯回歸模式 作為評估的標準,透過歷史崩塌資料以輯所蒐集的地文水文因子,來探討因子與 崩塌發生的關聯性,藉此建立模式,以推求不同降雨雨型之下,崩塌潛勢的高低。 計算的崩塌發生數值,在0與1之間,當數值越靠近1顯示該斜坡單元的崩塌潛 勢受到該場降雨的影響越高,若越靠近0,則代表崩塌發生潛勢越低。

5.1 模式建立

本平台所建立之羅吉斯迴歸分析模組,首先以石門水庫集水區為模擬範圍, 模式建立方法和模式組成,主要依據前期研究成果建立(李欣輯等,2018),該模 式由2004年艾利颱風、1996年賀伯颱風、2000年象神颱風等事件建立。模式建 立後,再比對平台內,已串接之不同颱風事件總降雨量,來計算各個事件之下, 每個斜坡單元的崩塌潛勢數值。每個斜坡單元之崩塌潛勢值經計算以及門檻值評 定後,將以崩塌發生、崩塌不發生等方式評定,並分別套疊艾利颱風、賀伯颱風、 以及象神颱風後的崩塌地分布作為比較。

5.2 模式建置

羅吉斯迴歸模型的建置,經由主要幾項步驟,包括歷史資料的彙整、地文水 文因子與崩塌特性的分析、校驗事件的選定等,最後再以驗證的事件計算模式精 確度。

評估因子的選定,在地形因子包括高程資料、土層厚度、流向及坡度,土壤 水文資料則是涵蓋水力傳導係數、水力擴散係數、初始入滲速率及初始地下水位, 而土層資料有土壤凝聚力、單位重及內摩擦角,以上數值的初始值皆依相關文獻 訂定。並將以2005海棠颱風、2007柯羅莎颱風及2008辛樂克颱風進行模式率定 及建模。

5.3 MMIS 系統操作

MMIS 系統統計模式之操作,如圖 12 所示,先點選最左邊的模式運算功能, 選擇 LOGISTIC 模組,設定專案名稱,選取雨量事件後,即可進行運算。羅吉斯 迴歸分析在 MMIS 平台內,是由斜坡單元為單元進行模擬,模式在計算過程中, 因無論是地文資料或是雨量資料格式,均是以網格為單位,因此需由內插後再計 算每個斜坡單元的平均值。惟類別函數,包括地質、坡向因子等無法以平均值表 示者,則依據所佔比例較高的類別作為代表計算。模擬評估結果如圖 13 所示。

																									-	Califi
Let ill ill	SRC.	Logistic	~																							
(RARE)	m# 1475	_																								
算管理	diam'r.	-																								
利亚的	通算方式	部時運算	〇帥短蓬算																							
致發現																										
	設定問題																									
	● 承統問題																									
		● 計和要作	,																							
		KRID	28 278	87	博尼市	20世纪末	==00	m01	28	***		6	力降尺	查21世纪F	#. e0	e1	12	cl 28	1	-						
			And and a second	_	-		-	-		_	-	_		-		-				_						
		17	2005DAMREY		-	197901		0	197901		1	207501		E A	207801		101	207501			207501					
		0	2005HAITANG	^	0	197902	-	0	197902	-	D	207502	2	ET.	207802	-	-	207601	^	0	207502	^				
		0	2005KHANUN	8	E.	197905		n	197903	6	D	207601	1	D	207803		0	207602	С.	D	207503					
			2005LONGWANG			197904			197904			207602			207804			207603			207601					
			2005MATSA	~		198001	~		198001	~		207603			207901			207604			207602	~				
		67	SANSANA		11	102007		TT.	109002		17	207404	1	111	104001		17	307405		13	207603					
		〇百支神经		TY_U	ST	_	_	~	a	14	1 -	ia 🗍 a	0			# 1		E	Vit	透明に	RID. 200507	01-2018043	D,WFR20	1979-20	03 WFRZ	1. 2075
									_	_	-		-		_	-										
			《明] 内藏入岗值管田)					重要	1	と得	唱當 至2	Bric耀														
	OLERS	自然期) 注意) (
	Oreni	(通於(專案)) (加定)	發走,取得運算的點	tir.	-																					
	Orens	(通於(等数) 完成) 版 ④方式1	發走,取得運算的點 : 馬底港區		-					0) 7E 2	- EF2224	- 	通行的能)521	-R-R	1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.	14-18-	通道	V					





圖 12、 模擬結果展示畫面

評估結果的展示畫面,目前僅有石門水庫集水區之範圍,評估單元是斜坡單元,即由斜坡單元計算該單元內崩塌發生機率大小,並設立門檻值。當崩塌機率

大於 0.5,則判定崩塌發生,小於 0.5,則判定崩塌不發生。但是,為使崩塌潛勢 結果較具有參考性,在成果展示上,仍以 0.25、0.5、及 0.75 等數值劃分區間,提 供使用者參考。並且,在模擬結果上套疊歷史崩塌地圖層,所選定的是崩塌地事 件是影響石門水庫集水區最嚴重之納莉颱風以及賀伯颱風,使用者可藉由評估結 果與崩塌地套疊結果推估崩塌潛勢之變化。

5.4 小結

羅吉斯迴歸分析的模式建置,以石門水庫集水區為主。透過前期研究成果, 得到石門水庫集水區崩塌潛勢之評估公式,可運算極端降雨發生時,石門水庫集 水區的崩塌潛勢、崩塌率、及其分布的狀況。將該公式建置於 MMIS 系統之內, 可快速運算每個網格的潛勢,並套疊石門水庫集水區之較嚴重的歷史事件崩塌地 分布,比較該事件與極端歷史事件崩塌地分布的差異。

第六章 數值分析評估

美國地質調查所(USGS)發展的 TRIGRS 淺層崩塌數值模式(Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model, Baum et al.,2008)用來作 為數值模擬之主要工具,透過多資料多模式整合系統(MMIS)的開發與應用, 來進行後續的崩塌潛勢評估分析。

6.1 模式簡介

TRIGRS 模式(Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model, TRIGRS)是由 Fortran 程式語言撰寫而成。透過數值高程模型、土 壤參數、坡度、坡向等資料來建立模擬區域的地形地質特性,並結合無限邊坡理 論,來模擬降雨事件每小時雨量入滲土層所造成的水壓變化,進而導致坡面穩定 性的改變。由於 TRIGRS 模式是以網格為計算單位,故坡面穩定性可透過網格的 安全係數值來進行評估,安全係數的計算式如式 1 所示。

$$FS(Z,t) = \frac{\tan \phi'}{\tan \delta} + \frac{C' - \psi(Z,t)\gamma_w \tan \phi'}{\gamma_s Z \sin \delta \cos \delta}$$

$$\vec{x} \quad 2$$

計算式中,C為土壤凝聚力;φ'為土壤內摩擦角;γw為水的單位重;γs為土 壤單位重;Z為土壤厚度;δ為坡度;ψ(Z,t)則為不同時間t在Z土壤厚度下的孔 隙水壓。安全係數愈大代表坡面愈穩定,愈小則愈不穩定。本研究將門檻值設為 1.0,即代表數值小於1.0具崩塌潛勢,而大於1.0則較為穩定,在模式中數值最

大為 10.0, 如超過 10.0 皆以 10.0 表示。

6.2 模式建置

TRIGRS 模式主要分為二個部分,先由數值高程模型作為模式的基礎,再透 過地形資料、土層資料及土壤水文資料建立初步的模式,再加入歷史降雨資料進 行崩塌潛勢模擬。以模擬結果持續調整模式參數,直到模擬結果與實際崩塌地分 布相符,且山崩及非山崩正確率皆達70%,才完成模式的建立,模式評估流程如 圖 13 所示。其中,地形資料包含高程資料、土層厚度、流向及坡度,土壤水文 資料則是涵蓋水力傳導係數、水力擴散係數、初始入滲速率及初始地下水位,而 土層資料有土壤凝聚力、單位重及內摩擦角,以上數值的初始值皆依相關文獻訂 定。並將以2005 海棠颱風、2007 柯羅莎颱風及2008 辛樂克颱風進行模式率定及 建模。

6.2.1 校驗單元劃定

模式中須以選定的校驗單元進行分區的劃定、參數設定及正確率的計算,校 驗單元的不同會影響分區、參數設定的細緻度,及正確率的代表程度,而正確率 高低及代表程度決定建立模式的精細度,模式精細度則會影響模擬結果。由於模 式是以地形為建模基礎,校驗單元應選擇具有地形相似性、且與相鄰單元有所區 隔的劃分單元。劃分單元種類眾多,包含網格單元、斜坡單元、行政單元等,而 崩塌潛勢分析多以網格單元或斜坡單元進行劃分。網格單元使用上雖較為方便,

但各網格間不具任何地形的相聯性,較不符合實際地文特性。由於斜坡單元是透 過地形特徵及等高線進行劃分,具有地形相似性,且各斜坡單元間的地形特性有 所差異,故本研究選定斜坡單元為校驗單元。



圖 13、 TRIGRS 模式流程圖

6.2.2. 分區方式及參數設定

由於 TRIGRS 模式是以網格作為計算單位,透過土壤水文參數的設定及降雨 事件每小時雨量的入滲,以土層水壓的變化來計算安全係數值,進而分析坡面的 穩定度。為使模擬結果可與實際情況較為符合,參數會依據坡面土層特性來設定。 參數的設定除了研究區的地形、坡度、坡向、土壤厚度、初始地下水位及逐時降 雨資料,可讀取垂直空間分布的網格數值外,土壤水文參數包含土壤凝聚力、土 壞內摩擦角、水力傳導係數、水力擴散係數等則須依其分區來設定及調整參數。 因此,分區的方式也會間接影響模擬結果。在前人文獻中所用的分區方式有地質 岩性(譚志豪等,2009;李錫堤及費立沅,2011)、土壤種類(Liao et al.,2011; Gioia et al.,2014)、地形條件(陳則佑,2011)等,由於模式主要是評估表層土壤的穩定狀 態,故應以土壤總類作為分區依據較合適。施虹如等(2015)利用林務局 2004 至 2015 年歷年崩塌地,來計算各斜坡單元的崩塌率,再依崩塌率高低將地層分為5 類,以地層及崩塌率來進行分區並設定參數。在 2008 年辛樂克颱風的模擬結果 顯示,修正後正確率較單以地質分區提升 17%,證實此分區方法的確有助於正確 率的提升。

因此,本研究以地層種類為基礎,再加上林務局 2004 至 2016 的年度崩塌地, 來計算各斜坡單元的歷史崩塌率,透過地層及崩塌率的高低,可將各地層依崩塌 率皆分為七類(無、低、中低、中、中高、高、極高),本研究區曾文溪上游集水區 總共可分為 67 區。

模式中須考量的參數,除降雨資料外,還有地形參數、土層參數及土壤水文 參數。地形參數中的高程資料是使用解析度 40 m×40 m 的數值高程模型(DTM), 而坡度、坡向則由數值高程模型計算。其中,由於土層厚度缺乏現地調查資料,

故以國家災害防救中心(2012)所提出的坡度與土壤厚度對照表來推算,如表 1所 示,並假設初始地下水位與土壤厚度相同(陳則佑,2011;國家災害防救科技中心, 2012;施虹如等,2015)。另外,土層參數及土壤水文參數受限於實際土層、土壤 水文資料的難以取得,故本研究以中央地質調查所(2011)易淹水地區上游集水區 地質調查及資料庫建置的報告中,針對曾文溪及鄰近流域依地層建立的地層參數 表,作為土層及土壤水文參數的初始值,如

表 2 所示,並假設降雨事件前期僅發生零星降雨,土壤為較乾燥狀態來設定 初始入滲率。

坡度(度)	土壤厚度(公尺)
<20	1.5
20~30	3.5
30~40	4.5
40~50	2.5
>50	1.0

表 1、 坡度與土壤厚度換算表

表 2、 地質水文參數設定初始值

地層分區	土壤單位重	土壤凝聚力	土壤 內摩擦角	水力傳導 係數	水力擴散 係數
	(kN/m^3)	(kPa)	(度)	(10^{-4}m/sec)	$(10^{-2}m^2/sec)$
階地堆積層	19.5~23	2.3~3.5	23~28	0.63~0.74	1.8~2.2
沖積層	16.5~19.5	2.5~3.5	23.1~32	25~2900	75~8800
紅土台地堆 積層	19	22.1~45	30~34	0.083~83	0.16~160
南莊層	17.8~27.5	4.9~20	23~32	3.5~10	7~20
二重溪層	27	12.8~80	28~35	0.00014~0.1 4	0.00028~0.2 8
卓蘭層	22.4	11.3~57.5	31~39	0.5~500	1~1000

茅埔頁岩	23.4	7.19~32.1	30~33	0.15~15	0.3~30
鳥嘴層	22.1~26.1	6.0~8.0	30~36	0.1~0.2	0.3~0.35
大社層	22.8~24	8.0~9.0	26~28	0.05	0.15
沄水溪層	24.2	14.6~126	30~36	1.2~120	2.4~240
中崙層	24.2	14.6~126	30~36	1.2~120	2.4~240
北寮頁岩	24.4	13.1~45	27~30	0.05~50	0.01~100
嶺口礫岩	21.2~25	4.1~5.1	33.1~39	0.18~0.21	0.54~0.63
隘寮腳層	22.1~26	0.4~0.6	30~35	0.2~0.23	0.6~0.7
鹽水坑頁岩	22.1~26	3.3~5.1	21~25	0.07~0.08	0.21~0.24
紅花子層	22.1~26.1	2.5~3.6	31~36	0.1~0.2	0.3~0.35
糖恩山砂岩	22.6~26.6	2.5~4.6	28~33	0.08~0.09	0.24~0.28
南勢崙砂岩	22.6~26.6	3.0~4.0	28~33	0.5~0.58	1.5~1.7
古亭坑層	20.4~22.8	3.0~5.0	26~29	0.05	0.15~0.17
崁下寮層	26.6	12~16	28~33	0.5~1	1~2
澐水溪層	26.6	10~18.4	28~33	0.08~0.1	0.16~0.2
三民頁岩	22.7~26.8	8.7~12	25~30	0.6~0.7	1.8~2.1
蓋仔寮頁岩	22.7~26.8	7.4~12.1	25~30	0.05~0.06	0.15~0.17
六重溪層	27	80~12.8	28~35	0.00014~14	0.00028~28
玉井頁岩	27	10.8~50	30~38	0.45~2	0.9~4
六雙層	20.4~24	8.0~10.7	28~34	0.5~0.58	1.5~1.7
長枝坑層	22.5~26.5	3.1~5.6	26~30	0.15~0.17	0.45~0.52
壽山石灰岩	27.5	13~20	36~40	0.05~1	0.1~2
竹頭崎層	27	12.8~80	28~35	0.14~2	0.28~4
烏山層	24.4	13.1~45	27~30	1~50	2~100
崎頂層	27.5	9.7~13	34~40	0.15~1	0.3~2

6.2.3 雨量資料選定

由於模式參數是透過歷史颱風事件的模擬結果進行校驗,故颱風事件的選定 及其解析度,應與後續主要模擬的事件及應用相關。為與模擬氣候變遷情境下曾 文溪上游集水區崩塌潛勢的最終目的相符,本研究選定對於曾文溪上游集水區在 過去曾造成崩塌的 2005 年海棠颱風、2007 年柯羅莎颱風及 2008 年辛樂克颱風 來調整模式參數,且事件的解析度與氣候變遷資料相同皆為 5km。透過相同解析 度的降雨資料進行參數調校,應可避免不同解析度的雨量資料經內插後,可能無法呈現極端雨量,而造成模式無法反應崩塌潛勢情形之問題。

6.2.4 模式率定與驗證

利用解析度 5km 的 2005 年海棠颱風、2007 年柯羅莎颱風及 2008 年辛樂克 颱風事件來率定及驗證模式參數。本研究將安全係數的門檻值設為 1,即安全係 數值小於 1,代表該網格具崩塌潛勢,並以斜坡單元為校驗單位,與林務局的年 度崩塌地進行比較,進而計算山崩、非山崩正確率。而模式建立的山崩、非山崩 正確率門檻值為 70%,即正確率需達 70%以上,方得完成模式建立。經過不斷的 調整與測試,圖 14 至圖 16 顯示三颱風事件的模擬結果與實際崩塌地的分布大 致相符,進一步計算山崩、非山崩正確率,正確率皆達 70%以上,完成曾文溪上 游集水區 TRIGRS 模式的建立。



圖 14、 2005 海棠颱風模擬結果



圖 16、 2008 辛樂克颱風模擬結果



圖 15、 2007 柯羅莎颱風模擬結果

6.3 MMIS 建置與操作

MMIS 系統的操作步驟,如圖 17 所示,先點選最左邊的模式運算功能,選 擇要使用的運算模組,設定專案名稱,決定運算方式,運算方式可取決於模擬事 件的多寡或模擬需求的緩急,大量事件可選排程運算,少數緊急事件則選即時運 算。接著勾選要進行模擬的事件,勾選完畢,按下「完成設定,取得運算節點」, 確認執行節點後,按下「執行運算」,即完成模擬事件的排程或即時執行運算。而 模擬結果可由資料展示介面查詢,透過單一事件的查詢可顯示最大崩塌潛勢、逐 時崩塌潛勢動態圖及逐時崩塌網格數量的變化,展示畫面如圖 18 所示。



圖 17、 操作流程畫面



圖 18、 模擬結果展示畫面

6.4 模擬結果

為了解氣候變遷對於曾文溪上游集水區之崩塌潛勢影響,應用 AR5 氣候變 遷資料來進行崩塌潛勢模擬。20世紀末有 166 場事件,而 21 世紀末則有 169 場 事件,以前 10%的事件代表極端颱風事件,故 20、21 世紀末前 10%事件皆是選 取以總雨量排名的前 17 場事件,並透過 MMIS 系統來模擬曾文溪上游集水區在 氣候變遷情境下的崩塌潛勢。

由於 TRIGRS 模式是以時雨量來模擬崩塌潛勢,故可透過每小時的網格的安 全係數值來了解整個降雨事件的崩塌潛勢變化。並將安全係數小於1的網格轉換 為斜坡單元,來評估集水區中崩塌潛勢的分布。

20 世紀末總雨量排名 TOP1 事件,其降雨延時為 109 小時,總雨量達 1190.6284 mm,21 世紀末 TOP1 事件的降雨延時為 73 小時,總雨量則高達 2193.7322 mm,由二者的模擬結果來看,可發現除了崩塌率約差 5%外,降雨事 件所呈現的崩塌潛勢變化也有所不同。以事件的逐時崩塌潛勢來看,20 世紀末 TOP1 事件約在第 20 小時開始出現極少量安全係數小於 1 的網格,至第 40 小時 安全係數小於 1 的網格數目才迅速增加,到第 80 小時大致的崩塌潛勢分布已趨 穩定,如圖 19 至圖 21 所示;而 21 世紀末 TOP1 事件則是於第 5 小時出現少量 的安全係數小於 1 的網格,第 10 小時開始安全係數小於 1 的網格數目急增,在 第 40 小時後崩塌潛勢近乎穩定,如圖 22 至圖 24 所示。造成事件的逐時、最大

崩塌潛勢差異的原因,除了二者總雨量約差 1000 mm 外,21 世紀末 TOP1 事件 的降雨型態較 20 世紀末是屬於短延時強降雨的型態。另外,由二者的累積降雨 量分布及最大崩塌潛勢,如圖 25 及圖 26 所示,可發現降雨量較多的地方的確 會出現較明顯的崩塌潛勢,如 21 世紀末 TOP1 事件在曾文溪上游集水區上下雨 端的降雨量較 20 世紀末 TOP1 事件大,上端的南庄層、下端的糖恩山砂岩及隘 寮腳層皆有較多的崩塌潛勢分布,藉由此結果也能再次確定本研究所建立的模式 的確可反應出降雨對坡面穩定性造成的影響。







前10%事件的模擬結果顯示,20世紀末前10%事件的平均崩塌率約為5.1%, 而21世紀末則約為9.1%,如圖27所示。相較於20世紀末,21世紀末的崩塌率 約是增加4%。綜合前述,20、21世紀末TOP1事件及前10%事件的模擬結果皆 表示在氣候變遷情境下曾文溪上游集水區的崩塌情況有更加嚴重的趨勢。



圖 27、 20 及 21 世紀末前 10%的平均崩塌率

6.5 小結

選用美國地質調查所(USGS)開發的 TRIGRS 數值模式來模擬氣候變遷下曾 文溪上游集水區之崩塌潛勢。以研究區之地形資料、土層資料及土壤水文資料建 置模式的基礎參數,並透過 2005 年海棠、2007 年柯羅莎及 2008 年辛樂克 3 場颱 風事件調校參數,建立正確率達 70%的模式。由於氣候變遷資料會隨著偏差校正 方法及系集分群的不同,而衍生出巨量的颱風事件資料,且考量 AR6 資料的更 新,因此,為因應未來大量模擬之需求,開發多模式與多資料整合系統(MMIS), TRIGRS 模式為其中之一。挑選 20 世紀末及 21 世紀末總雨量排名前 10%事件代 表極端颱風事件,來模擬氣候變遷下曾文溪上游集水區的崩塌潛勢。模擬結果顯 示 21 世紀末較 20 世紀末的平均崩塌率增加約 4%,代表在氣候變遷情境下曾文 溪上游集水區的崩塌情形可能會有加重的趨勢。

第七章 結論與建議

本研究透過 MMIS 平台,將不同模式方法建立,藉此彙整不同坡地災害評估 模式於同一平台上,以使未來進行氣候變遷坡地災害衝擊時,可在同時間進行大 量運算。重點結論如下:

 對於 MMIS 的系統的建置,首先考量了主要的災害衝擊評估模組,因而 選取淹水災害以及坡地災害為主要運算模組的開發和建置,系統主要分為後台運 算以及前台展示。其中,後台運算在坡地災害部分,包含統計、數值、經驗模式 等,依據所選取的事件和欲運算的模式種類,能夠直接由兩量資料輸出來得到評 估結果,大大降低一般坡地災害潛勢評估資料前處理之時間成本。前台展示則以 成果展示為主,不同模式考量需求,可套疊各式既有資料作為比較。

2. 經驗模式的模式建立,以石門水庫集水區以及新店溪集水區為主。經驗模式的運算方式,透過崩塌面積、崩塌數量、崩塌最大面積等資料,以及極端事件的延時、總降雨量、降雨強度等因子之關聯性建立。透過 MMIS 的平台運算,除了大量運算不同場次的崩塌率、崩塌最大面積之外,可進一步以盒鬚圖展現各情境的崩塌潛勢趨勢,並比較 20 世紀末以及 21 世紀末的差異狀況。

3. 羅吉斯迴歸分析的模式建置,以石門水庫集水區為主。透過前期研究成果,得到石門水庫集水區崩塌潛勢之評估公式,可運算極端降雨發生時,石門水庫集水區的崩塌潛勢、崩塌率、及其分布的狀況。將該公式建置於 MMIS 系統之

內,可快速運算每個網格的潛勢,並套疊石門水庫集水區之較嚴重的歷史事件崩 塌地分布,比較該事件與極端歷史事件崩塌地分布的差異。

4. 數值模式的評估與模式建置,以曾文溪上游集水區為主。依據過去的技術 研發,將歷年崩塌率概念與參數分類結合,透過該方式所得到的參數分類,能得 到更精確的評估結果。將雨量資料與修正後參數建置於模式工具平台之中,可減 少資料前處理時間,並快速運算獲得評估結果。套疊運算結果並設立崩塌潛勢門 檻值,可有效比較崩塌潛勢受到降雨變化的影響趨勢改變。



參考文獻

中央地質調查所,2011,易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置-集水

區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫(1/3),經濟部中央地質調查 所。

李錫堤、費立沅,2011,山崩災害分析與廣域製圖,地工技術,129:67-76 吴亭燁、魏曉萍、陳偉柏、 李欣輯、陳永明、蘇元風、劉俊志、施虹如、葉

克家,2013,氣候變遷極端颱風豪雨事件之坡地、河川、都會以及海岸之 衝擊評估,NCDR102-T19

李欣輯、吳亭燁、魏曉萍、施虹如、蘇元風、陳偉柏、劉俊志、陳永明,

2014, 氣候變遷極端颱風豪雨於高屏溪之全流域災害衝擊評估, NCDR103-T18

李欣輯、施虹如、吳亭燁、趙益群、陳偉柏、鄭兆尊、陳淡容、張駿暉、陳永

明,2015, 氣候變遷於世紀末對濁水溪流域之災害損失量化評估,

NCDR104-T09

李欣輯、趙益群、吳亭燁、施虹如、蕭逸華、鄭兆尊、陳淡容,2016,暖化情

境下極端颱洪災害風險評估與減災調適_以大甲溪流域為例,NCDR105-T30 李欣輯、吳亭燁、陳麒文、鄭兆尊、童裕翔,2017,暖化情境下極端颱洪災事

件之坡地災害衝擊評估:以大漢溪及新店溪集水區為例,NCDR106-T09 施虹如、吳亭燁、蘇元風、劉哲欣、李欣輯、陳永明、張志新,2015,極端降雨

事件下淺層崩塌潛勢衝擊評估分析,工程環境會刊,34:77-96

陳則佑,2011,應用點估法與TRIGRS 程式分析奧萬大道路邊坡之破壞機率,國

立中興大學水土保持學系,碩士論文。

國家災害防救科技中心,2012,100年坡地土砂災害衝擊評估,國家災害防救科

技中心技術報告, NCDR 100-T36

譚志豪、陳嬑璇、冀樹勇,2009,以定率法評估集水區山崩臨界雨量,中興工

程季刊,105,5-16

- Baum, R.L., Savage, W.Z., and Godt, J.W., 2008, TRIGRS A fortran program for transient rainfall infiltration and grid - based regional slope-stability analysis, Version 2.0. USGS Open File Report 08-1159
- Emanuel, K, 2005, Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years, Nature, 436: 686-688
- Gioia, E., Speranza, G., Ferretti, M., Godt, J.W., Baum, R.L., Marincioni, F., 2014, Using the TRIGRS model to predict rainfall-induced shallow landslides over large areas, EGU General Assembly 2014, 27 April - 2 May, 2014 in Vienna, Austria
- Ishihara, Y., Kobatake, S., 1979, Runoff Model for Flood Forecasting, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto University, Vol. 29, Part 1. NO.260
- Liao Z., Hong Y., Kirschbaum D., Adler R.F., Gourley J.J., and Wooten, R., 2011, Evaluation of TRIGRS (transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis)'s predictive skill for hurricane-triggered landslides: a case study in Macon County, North Carolina. Nat Hazards. 58:325339
- Mizuta, R., Yoshimura, H., Murakami, H., Matsueda, M., Endo, H., Ose, T. Kitoh, A., 2012, Climate Simulations Using MRI-AGCM3.2 with 20-km Grid, Journal of the Meteorological Society of Japan, 90A(0), 233–258
- Osanai, N., Shimizu, T., Kuramoto, K., Kojima, S., Noro, T., 2010, Japanese earlywarning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network, Landslide, 7(3): 325-338

書名:暖化情境下坡地災害潛勢之境況模擬
發行人:陳宏宇
出版機關:國家災害防救科技中心
地址:新北市新店區北新路三段 200號 9 樓
電話:02-8195-8600
報告完成日期:中華民國 107 年 12 月
出版年月:中華民國 108 年 01 月
版 次:第一版
非賣品



地址:23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話: ++886-2-8195-8600

傳真: ++886-2-8912-7766

網址: http://www.ncdr.nat.gov.tw