

NCDR 110-T05

未來升溫情境下之坡地衝擊工具研發  
與圖資建置

Landslide Impact and Adaptation Under Climate  
Change Scenario : Examples of Da-Han Catchments

---



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心  
中華民國 111 年 01 月



NCDR 110-T05

# 未來升溫情境下之坡地衝擊工具研發 與圖資建置

Landslide Impact and Adaptation Under Climate  
Change Scenario : Examples of Da-Han Catchments

---

朱芳儀、李欣輯、林丞庭、鄭兆尊、姜欣妤、林銘郎



國家災害防救科技中心  
中華民國 111 年 01 月



## 中文摘要

大量氣候變遷資料的崩塌潛勢模擬及分析是瞭解氣候變遷衝擊的首要步驟。因此，本報告針對坡地衝擊模式的建置，整體崩塌衝擊的分析方式，以及衝擊圖資的繪製與應用，作研究說明。在衝擊模擬部分，選用美國地質調查所之 TRIGRS 模式，搭配 TCCIP 計畫產製之 MRI-WRF 動力降尺度資料，模擬氣候變遷情境下的崩塌潛勢。因氣候變遷資料量龐大且有更新需求，故與 TCCIP 計畫一同發展單機版模式，以利大量批次模擬氣候變遷降雨事件。針對大量的模擬結果，透過崩塌發生機率來呈現。並以基期崩塌發生機率，及 21 世紀末相較基期崩塌發生機率的變化，評估集水區整體的崩塌衝擊。進而，將評估結果繪製成衝擊圖資，提供坡地衝擊資訊。本報告也透過新竹秀巒地區，進行圖資的測試應用。測試結果顯示，利害關係人可立基於圖資提供的資訊，展開氣候變遷衝擊討論，並且，於交流會議中初步擬定未來調適可參考之措施。以上模式建置方法、圖資繪製等，可供相關單位進行氣候變遷坡地衝擊研究之參考。

關鍵字：氣候變遷、坡地衝擊、工具、圖資、利害關係人

## ABSTRACT

The first step to understand the impact of climate change is through the simulation of a large amount of climate change data and result analysis. Therefore, this report explains the construction of TRIGRS, the overall impact analysis of the catchment area and the drawing along with application of impact maps. In the landslide susceptibility simulation, we used the TRIGRS model and the MRI-WRF dynamical downscaling data produced by the TCCIP project to simulate the landslide susceptibility under climate change scenarios. This report and the TCCIP project developed a tool to cope with the huge amount of climate change data and the need for data updates. We present a large number of simulation results through the occurrence probability of landslide. In addition, the landslide occurrence probability of the base period and the change of the end of the 21st century the landslide occurrence probability are used to assess the integrity landslide impact of the catchment area. Furthermore, we drew the assessment result into an impact map to provide landslide impact information. This report also tested the applicability of impact maps in the Xiuluan area of Hsinchu. The results show that stakeholders can discuss the landslide impact of climate change based on information from the impact map, and select high consensus adaptation measures in the meeting. The above methods and experiences provide references for relevant units conducting research on impacts of climate change.

**Keywords: Climate Change, TRIGRS, Tool, Impact Map, Stakeholder**

# 目錄

第一章 前言.....	1
第二章 坡地衝擊模式與氣候變遷資料.....	3
2.1 氣候變遷資料.....	3
2.2 坡地衝擊模式.....	5
第三章 集水區模式參數建置說明.....	7
3.1 模式建置方法.....	7
3.2 參數率定與驗證.....	11
3.3 建置結果.....	14
第四章 圖資產製方法說明.....	22
4.1 崩塌發生機率.....	22
4.2 衝擊圖資.....	28
第五章 單機版工具建置與示範應用.....	32
5.1 單機版工具.....	32
5.2 示範應用－秀巒.....	37
第六章 結論.....	44
致謝.....	46
參考文獻.....	47

## 圖目錄

圖 1 全臺 24 個集水區分布位置圖 .....	7
圖 2 TRIGRS 模式建置流程 .....	9
圖 3 參數校驗流程圖 .....	12
圖 4 誤差矩陣.....	14
圖 5 2004 艾利颱風模擬結果 .....	15
圖 6 2009 芭瑪颱風模擬結果 .....	16
圖 7 2012 蘇拉颱風模擬結果 .....	16
圖 8 2015 蘇迪勒颱風模擬結果 .....	17
圖 9 2004 年敏督利颱風模擬結果 .....	19
圖 10 2005 年海棠颱風模擬結果 .....	19
圖 11 2007 年聖帕颱風模擬結果 .....	20
圖 12 2009 年莫拉克颱風模擬結果 .....	20
圖 13 原始結果轉換過程示意圖 .....	24
圖 14 轉換後的模擬結果示意圖 .....	24
圖 15 大漢溪集水區基期崩塌發生機率圖 .....	26
圖 16 大漢溪集水區 21 世紀末崩塌發生機率圖 .....	27
圖 17 大漢溪集水區 21 世紀末相較基期崩塌發生機率的變化 .....	28



圖 18 象限分類概念示意圖 .....	30
圖 19 大漢溪集水區崩塌衝擊圖 .....	31
圖 20 單機版工具建置構想 .....	33
圖 21 單機版工具一批次模擬模組介面 .....	34
圖 22 單機版工具一圖資繪製模組介面 .....	35
圖 23 批次模擬產出結果 .....	35
圖 24 新店溪集水區基期崩塌發生機率圖 .....	36
圖 25 新店溪集水區崩塌衝擊圖 .....	37
圖 26 秀巒地區災害潛勢圖 .....	39
圖 27 右岸崩塌地的歷史影像 .....	39
圖 28 秀巒地區受崩塌衝擊的情形 .....	40

## 表目錄

表 1 坡度與深度關係對應表 .....	10
表 2 大安河流域廣域降雨促崩分析之材料參數表 .....	11
表 3 蘭陽溪各颱風事件模擬結果的正確率 .....	17
表 4 蘭陽溪土壤參數表 .....	18
表 5 高屏溪各颱風事件模擬結果的正確率 .....	21
表 6 高屏溪土壤參數表 .....	21
表 7 13 項共識性及重要性高之因應措施 .....	41
表 8 交流會議結果彙整表 .....	42



# 第一章 前言

臺灣氣候的過去與未來（國家災害防救科技中心，2018）一書指出，未來氣候變遷下，侵臺颱風數量減少，但颱風為強烈颱風的頻率提升且強度增強。對於地質脆弱且山坡地面積高達 70%的臺灣地區而言，極端的降雨事件可能造成崩塌、土石流發生機率提升，進而加劇坡地災害的規模。為避免重大坡地災害的發生，瞭解全臺各區未來崩塌潛勢的變動，以衡量各區域現況及未來整體的崩塌衝擊，是相當重要的課題。另外，針對氣候變遷帶來的衝擊，利害關係人的因應及調適，也是因應氣候變遷關鍵的一步。因此，本報告主要說明坡地衝擊模式建置、衝擊圖資產製，以及圖資於利害關係人溝通的應用。

在衝擊模式建置部分，選用美國地質調查所（United States Geological Survey, USGS）發展的淺層崩塌數值模式（Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model, TRIGRS）（Baum et al., 2008），並以李欣輯等（2018）提出的方法為基準，建置不同區域的坡地衝擊模式。進而，搭配臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫團隊（Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP）降尺度之氣候變遷推估資料及開發之單機版工具，模擬多場颱風事件的崩塌潛勢。最後，以崩塌發生機率來呈現各區域的崩塌衝擊。此外，也以基期及世紀末的崩

塌發生機率，代表現況及未來的崩塌衝擊，繪製坡地衝擊圖，瞭解各區域整體的崩塌衝擊情形。

進一步，嘗試將衝擊圖資應用於氣候變遷調適，本報告以新竹縣尖石鄉秀巒地區為研究區。透過衝擊圖資提供的資訊，開啟利害關係人間對於氣候變遷下坡地衝擊影響的交流，進而促使利害關係人討論氣候變遷下因應的調適作為，並達成初步共識。相關的共識可作為未來調適的參考及依據。

以上說明的坡地衝擊模式建置方法、衝擊圖資產製方法，及圖資的初步應用方式，可供相關單位於氣候變遷坡地衝擊評估及調適研究參考。

## 第二章 坡地衝擊模式與氣候變遷資料

過去已有相關文獻採用美國地質調查所開發的 TRIGRS 模式，評估研究區域的崩塌潛勢。鍾明劍等（2011）對於不同尺度的崩塌潛勢模式，提出一套整合流程，在集水區大尺度的崩塌潛勢就以 TRIGRS 模式進行評估。陳嬋璇等（2011）指出工程界常用的廣域降雨促崩模式分別為 SHALSTAB、SINMAP 及 TRIGRS，若考量降雨延時及累積雨量對崩塌潛勢造成的影響，TRIGRS 模式的模擬成效較佳。當中，也有文獻將其應用至氣候變遷下崩塌潛勢的評估。而氣候變遷資料種類眾多，為因應 TRIGRS 模式需求，及坡地崩塌主要受極端降雨事件影響之特性，採用事件型且有小時雨量的資料，在李欣輯等（2017）、李欣輯等（2018）的研究中，是以具颱風事件及時雨量資料的 MRI-WRF 搭配 TRIGRS，模擬大甲溪上游及大漢溪在氣候變遷下之崩塌潛勢。

由上述可知，TRIGRS 能應用於崩塌潛勢之模擬，並且搭配 MRI-WRF 氣候變遷資料，評估集水區整體之崩塌潛勢。因此，本報告以 TRIGRS 模式及 MRI-WRF 氣候變遷資料，瞭解氣候變遷可能帶來的崩塌衝擊。以下針對模式與資料作說明。

### 2.1 氣候變遷資料

聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on

Climate Change, IPCC) 的原始全球模式資料 (General Circulation Model, GCM), 解析度為 100 至 200 km。對於南北長約 377 km, 東西寬約 142 km 的臺灣而言, 約只有數個網格的資料, 完全無法反映出臺灣地形造成的降雨特性。並且, 也難以模擬出結構尺度小的颱風事件。然而, 對於坡地崩塌而言, 颱風事件帶來的極端降雨, 正是重要的誘因之一, 因此, 原始的氣候變遷資料較難直接應用於坡地研究。

科技部 TCCIP 計畫將日本氣象廳氣象研究所 (Meteorological Research Institute, MRI) 高解析度大氣環流模式 (Atmospheric General Circulation Model, AGCM), 模擬出解析度 20 km 的氣候變遷資料 (MRI-AGCM) (陳正達等, 2014; 陳韻如等, 2016; 科技部, 2015), 搭配美國大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 開發的天氣研究與預報模式系統 (Weather Research and Forecasting Model, WRF), 針對能模擬出颱風事件, 但仍無法反映臺灣地形特性造成局部降雨的 MRI-AGCM 資料, 進行動力降尺度。進而, 產出符合臺灣地形特性的氣候變遷降雨推估資料, 其空間解析度為 5 km, 時間解析度為小時, 後稱 MRI-WRF。

MRI-WRF 主要是由 2 組不同的初始場及 RCP8.5 情境下 4 組不同的海溫, 所產生的系集資料。資料的情境為 RCP8.5, 包含基期 (1979 至 2003 年) 及 21 世紀末 (2075 至 2099 年) 2 個時期, 分別具有 166

場及 169 場颱風事件，且各場颱風事件皆具時雨量資料（科技部，2013；科技部，2014；科技部，2015；鄭兆尊等，2016）。

該組資料具有颱風事件，可反映極端降雨情形，且有小時雨量，可用於 TRIGRS 模式模擬。因此，本報告選用 MRI-WRF 資料（V3.1 版本）進行氣候變遷下坡地崩塌衝擊研究。

## 2.2 坡地衝擊模式

TRIGRS 淺層崩塌數值模式是由美國地質調查所（USGS）所開發，主要模擬暫態降雨入滲表土，進而對邊坡穩定性造成的影響。透過數值高程模型（DEM）、流向、坡度、土壤厚度、初始地下水位等資料，建置符合模擬區域地形地質條件之模式。

TRIGRS 模式是以正方網格為計算單元，並由安全係數（factor of safety, FS）呈現模擬結果，安全係數計算式如式 1。計算式中，C' 為土壤凝聚力； $\phi'$  為土壤內摩擦角； $\gamma_w$  為水的單位重； $\gamma_s$  為土壤單位重；Z 為土壤厚度； $\delta$  為坡度； $\psi(Z,t)$  則為不同時間 t 在 Z 土壤厚度下的孔隙水壓。

$$FS(Z,t) = \frac{\tan \phi'}{\tan \delta} + \frac{C' - \psi(Z,t) \gamma_w \tan \phi'}{\gamma_s Z \sin \delta \cos \delta} \quad \text{式 1}$$

我們可透過各網格的 FS，評估邊坡的穩定性。FS 越大表示坡面越穩定，FS 越小則越不穩定。本報告將 FS 門檻值設為 1，當 FS 小

於 1 時，代表該網格不穩定，具有崩塌潛勢；反之，當 FS 大於 1 時，則代表較穩定。





### 第三章 集水區模式參數建置說明

為瞭解全臺山坡地在氣候變遷下之崩塌衝擊潛勢，本報告選取具山坡地區域之 24 個集水區（圖 1），建置其 TRIGRS 模式，搭配氣候變遷資料，模擬各集水區在氣候變遷下的崩塌潛勢。前章已對 TRIGRS 模式進行簡述，而在相關文獻中，對於不同尺度的研究區或研究需求，使用的 DEM 解析度、參數設定、分區方式、分析單元等也有所不同（李欣輯等，2017；陳則佑等，2011）。因此，本章針對模式建置方法、參數率定與驗證及建置結果作說明。



圖 1 全臺 24 個集水區分布位置圖

#### 3.1 模式建置方法

TRIGRS 模式建置流程如圖 2 所示。主要以地形參數、土層參數

及土壤水文參數來建立集水區的 TRIGRS 模式，再藉由 4 場降雨事件的模擬結果，校驗參數，直至所有事件模擬結果的山崩及非山崩正確率皆大於 70%，即完成模式參數率定。完成參數率定之模式可應用至氣候變遷降雨事件的崩塌潛勢模擬，進而瞭解集水區未來坡地衝擊的情形。其中，TRIGRS 模式是以網格為計算單元，但因考量網格無地形特性，地形又是影響崩塌的因素之一。因此，本報告改以具地形相似性的斜坡單元，進行參數調整、正確率計算及崩塌潛勢評估。



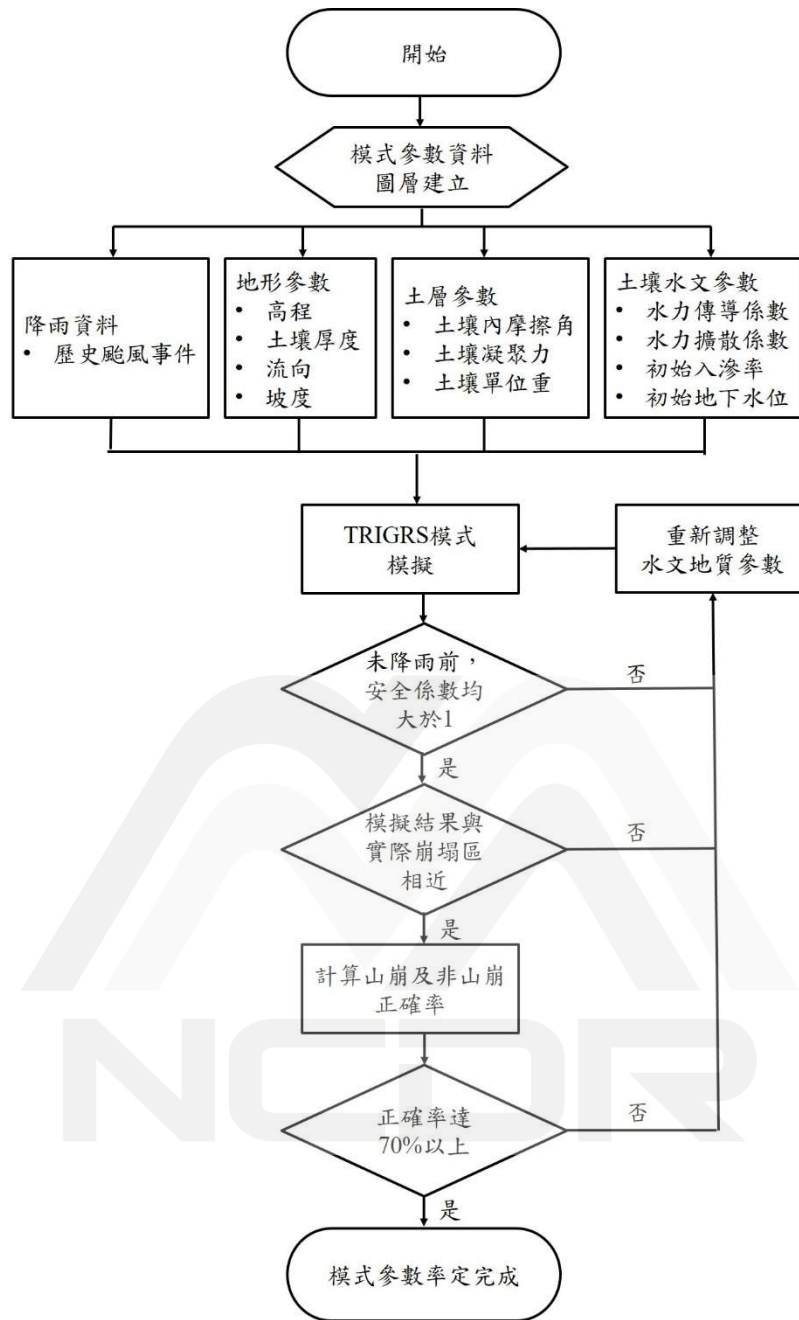


圖 2 TRIGRS 模式建置流程

由於建置之集水區範圍分布全臺，且各集水區實際之土層、水文土壤參數取得不易。為考量建置資料的統一性及可取得性，多使用官方調查計畫、具有全臺範圍之圖層等資料，來建置集水區的 TRIGRS 模式。在地形參數部分，高程使用解析度為 40 m 的 DEM；坡度、坡

向則透過 DEM 計算而得；土壤厚度因缺乏現地資料，以國家災害防救科技中心（2012）提出的坡度－深度關係式推算，二者對應關係如表 1 所示。在土層及土壤水文參數部分，模式參數是依分區設定，施虹如等（2015）研究指出以地層及崩塌率來分區及設定參數，比起單以地層分區，有較佳的正確率。因此，本報告透過地層及崩塌率的高低來分區。而要取得全臺集水區之現地資料著實困難，故土壤凝聚力、土壤內摩擦角、土壤單位重、水力傳導係數、水力擴散係數等參數是參考地質調查所 96 至 102 年度「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」計畫成果，進行參數預設，參數表如表 2。另外，現地之地下水位也難以得知，故假設初始地下水位與土壤厚度相同，表示地下水位面位於地表下土壤與崩積層之交界（施虹如等，2015；國家災害防救科技中心，2012；陳則佑，2011）。

表 1 坡度與深度關係對應表

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 2 大安河流域廣域降雨促崩分析之材料參數表

地層分區	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (度)	K (10 <sup>-4</sup> m/sec)	D (10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /sec)	I <sub>z</sub> (10 <sup>-6</sup> m/sec)
沖積層	16.5~19.5	2.5~3.5	23.1~32	25~2900	75~8800	25~2900
階地堆積層	19.5~23	2.3~3.5	23~28	0.63~0.74	1.8~2.2	0.63~0.74
頭嵙山層香山段	21.0	11.17~57	24~27	0.04~40	0.008~80	0.04~40
紅上台地堆積層	19.0	22.1~45	30~34	0.083~83	0.16~160	0.083~83
東坑層	23.8	10.1~45	30~33	0.6~600	1.2~1200	0.6~600
頭嵙山層火炎山段	26.0	9.28~51	26~30	0.062~62	0.12~120	0.062~62
桂竹林層十六份頁岩	23.1	19.4~99	25~28	0.0001~0.1	0.0002~0.2	0.0001~0.1
上福基砂岩	24.0	11.2~45	26~38	0.1~100	0.2~200	0.1~100
砂丘	23.0	10~24	29~33	0.05~500	0.1~1000	0.05~500
桂竹林層關刀山砂岩	23.1	19.4~99	25~28	0.0001~0.1	0.0002~0.2	0.0001~0.1
卓蘭層	22.4	11.3~57.5	31~39	0.5~500	1~1000	0.5~500
水長流層、巴陵層及其相當地層	23.6	18.6~96	27~30	0.001~0.1	0.002~0.2	0.001~0.1
白冷層	26	9.6~45	30~38	0.0184~1.84	0.00368~3.68	0.0184~1.84
出磺坑層	24.2	18.0~57	28~32	0.001~100	0.002~200	0.001~100
汶水層	23.0	20.58~105	24~27	0.00035~0.35	0.00007~0.7	0.00035~0.35
北寮砂岩	24.4	13.1~45	27~30	0.05~50	0.01~100	0.05~50
桂竹林層魚藤坪砂岩段	23.1	19.4~99	25~28	0.0001~0.1	0.0002~0.2	0.0001~0.1
打鹿頁岩	24.2	24.69~126	30~36	0.12~120	0.24~240	0.12~120
錦水頁岩	23.1	7.19~32.1	30~33	0.015~15	0.03~30	0.015~15
觀音山砂岩	24.0	14.52~57	24~26	0.003~3	0.006~6	0.003~3
碧靈頁岩	24.8	23.52~120	28~32	0.0005~0.05	0.001~0.1	0.0005~0.05

### 3.2 參數率定與驗證

初步建置完成的模式，其參數未經校驗，可能使模擬結果與實際情況差異過大，因此，需要進行參數的率定及驗證。參數率定作業主要由選定歷史颱風事件、計算正確率及調整參數等部分組成，流程如圖 3 所示。

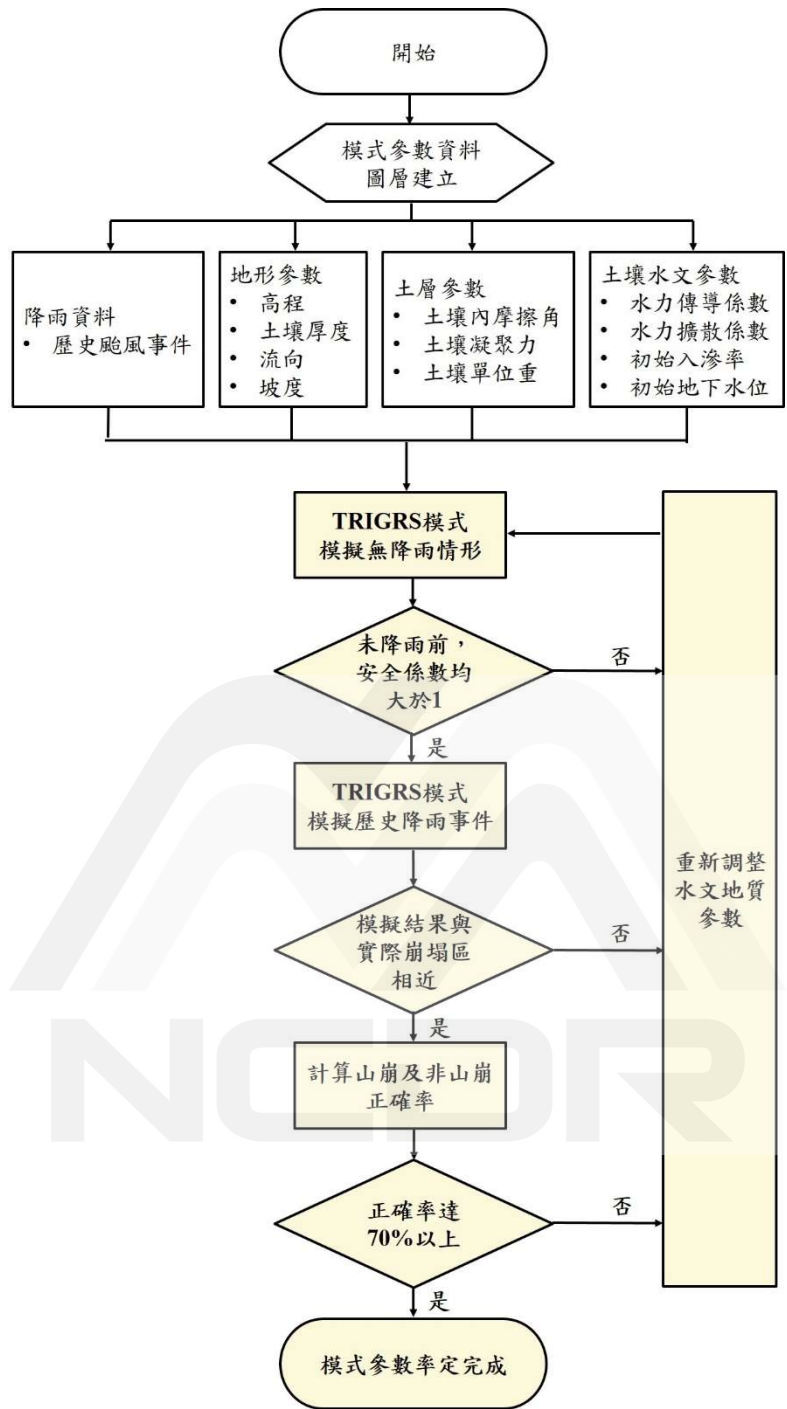


圖 3 參數校驗流程圖

首先，依據歷史災點、水保局重大土砂災例、地質調查所「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」計畫報告等相關資料，挑選出 4 場曾造

成該集水區重大災害之歷史颱風事件。且因以林務局 2004 至 2016 年崩塌地目錄作為實際崩塌，與模擬結果進行比較，因此，選定之颱風事件年份須於 2004 至 2015 間。再者，考量後續應用的氣候變遷事件解析度為 5 km，為避免因資料解析度差異造成模式參數無法反應崩塌潛勢之情形，使用相同解析度的 5 km 網格歷史降雨事件資料進行模擬。

在模式正確程度評估部分則透過誤差矩陣 (error matrix method) 的山崩正確率及非山崩正確率來評估 (李欣輯等, 2017; 李欣輯等, 2018; 鐘明劍等, 2011)，計算方式如圖 4 所示。其中，考量地形對崩塌之影響，以具地形相似性的斜坡單元為計算單元，且將網格的 FS 門檻值設定為 1，代表該斜坡單元內只要含有 1 個或 1 個以上 FS 小於 1 的網格，該斜坡單元即被視為具崩塌潛勢。而正確率門檻值設為 70%，當該組參數模擬結果之山崩正確率及非山崩正確率大於 70% 時，即通過校驗；若山崩或非山崩正確率小於 70%，則需比對模擬結果與實際崩塌的差異，調整參數，再次模擬。每個集水區皆須透過 3 場歷史事件率定參數，1 場歷史事件驗證參數。當 4 場事件模擬結果之正確率皆大於 70%，即完成該集水區之模式參數校驗，即可應用至降雨事件之崩塌潛勢模擬。



(單位：斜坡單元)		模式預測結果	
		FS<1	FS>=1
實際情況	已崩塌	N1	N2
	未崩塌	N3	N4
山崩正確率(SRn,%)=N1/(N1+N2)			
非山崩正確率(SRc,%)=N4/(N3+N4)			

圖 4 誤差矩陣

在參數調整部分，主要參考姜世偉等（2010），研究指出土壤內摩擦角、土壤凝聚力與 FS 的變化成正比，而土壤單位重則呈反比，當中，影響 FS 最大的參數為摩擦角，次因子則為單位重及凝聚力。因此，調整參數時，會優先調整上述對於 FS 影響較大的參數。

### 3.3 建置結果

依照上述建置方法、參數校驗等流程，完成全臺 24 區集水區 TRIGRS 模式之建置。李欣輯等（2018）的報告中，已說明大漢溪完成建置之模式，對於 2012 年蘇拉颱風的模擬結果。結果顯示，模擬的不穩定區與實際崩塌區分布趨勢相近，且山崩及非山崩正確率達 70% 以上。下列則以蘭陽溪及高屏溪集水區的建置結果作說明。

蘭陽溪及高屏溪集水區之基本參數 DEM、坡度等，皆依前述相關資料建置，並以各集水區內之歷史災點、重大土砂災例、地調所「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置」計畫等資料，挑選參數校驗的歷史颱風事件。蘭陽溪集水區選取 2004 年艾利、2009 年芭瑪、



2012 年蘇拉、2015 年蘇迪勒歷史颱風事件（空間解析度 5km；時間解析度小時），進行參數調整與校驗。經參數校驗，各颱風事件的模擬結果與實際崩塌地大多相符，如圖 5 至圖 8。且山崩、非山崩正確率皆達 70%以上，如表 3 所示，正確率達到門檻值，完成參數校驗。校驗完成之土壤參數表，如表 4 所示。

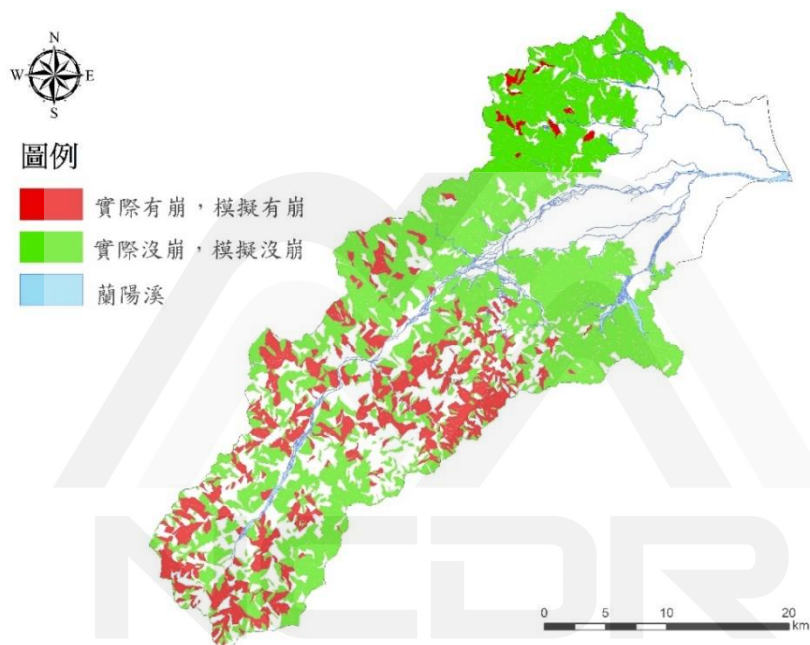


圖 5 2004 艾利颱風模擬結果

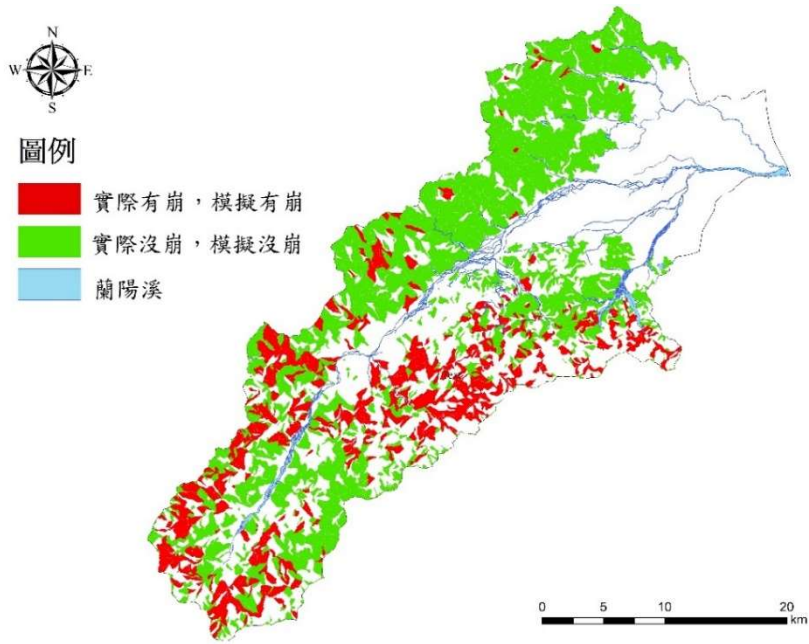


圖 6 2009 芭瑪颱風模擬結果

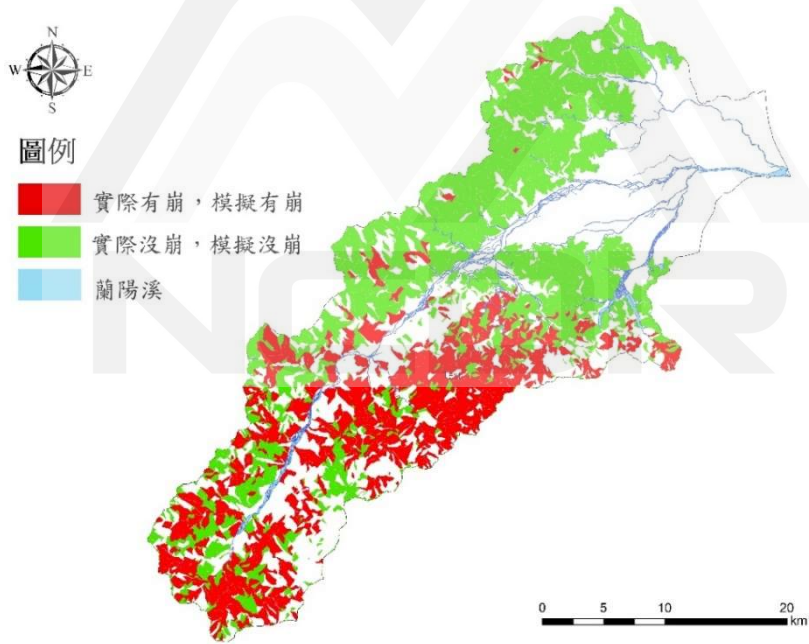


圖 7 2012 蘇拉颱風模擬結果

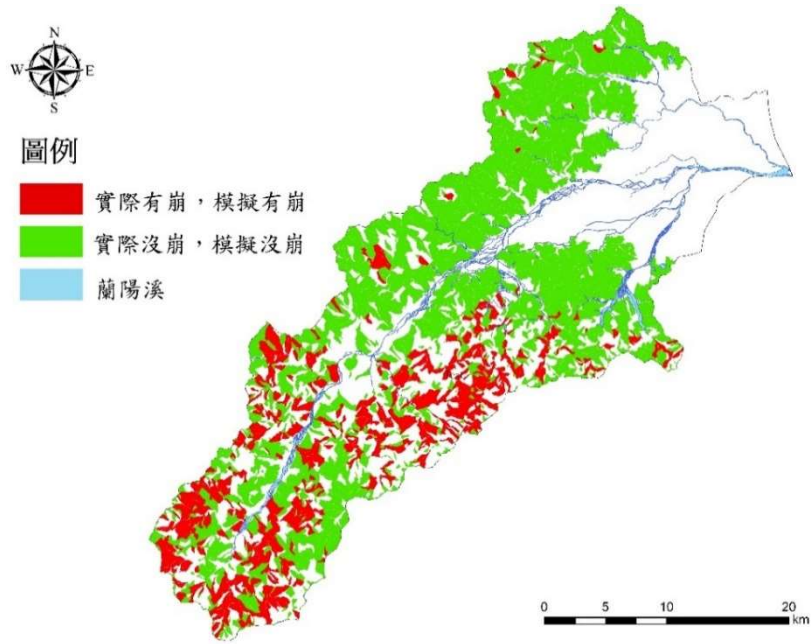


圖 8 2015 蘇迪勒颱風模擬結果

表 3 蘭陽溪各颱風事件模擬結果的正確率

模式預測結果	山崩正確率(SRn%)	非山崩正確率(SRc%)
2004年艾利颱風	82	86
2009年芭瑪颱風	92	72
2012年蘇拉颱風	95	77
2015年蘇迪勒颱風	92	82

表 4 蘭陽溪土壤參數表

地層	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 <sup>3</sup> )	(kPa)	(度)	K(10 <sup>-6</sup> m/s)	D(10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s)
中嶺層	18.6-21.8	20.6-21.6	26.5-36	3.6~20	7.2~40
水長流層(巴陵層)	17.8-22.2	20.125-30	29-35	1~5	2~10
四稜砂岩(白冷層)	18.6-21.05	22.35-25	25-38	1.2~10	2.4~20
西村層	18.6-21.8	20.6-28	26-30	3.6~10	7.2~20
沖積層	16.5	10-23	32	25~29	75~88
佳陽層	22.2	18.9	29.5	2.5~5	5~10
眉溪砂岩	17.8-22	18.9-26	29-35	1~8	2~16
乾溝層	18.6-21.95	21.95-25	26-33	1~20	2~40
粗瓷層	21.4	19.15	26	1.1~10	2.2~10
大禹嶺層	25	19	29.8	320~340	640~680
階地堆積層	19.5	17	28	0.63~0.74	1.8~2.2
廬山層	22.3	20.7-21.49	26	3.2~10	6.4~20
廬山層仁澤段	18.6-22.7	21.05-24.8	26-29	3.2~10	6.4~20
廬山層清水湖段	17.8-22.3	23.49-24.8	26-29.9	1~20	2~40

高屏溪則選用 2004 年敏督利、2005 年海棠、2007 年聖帕及 2009 年莫拉克歷史颱風事件（空間解析度 5km；時間解析度小時），來校驗參數。4 場事件的模擬結果如圖 9 至圖 12。模擬結果與實際崩塌地分布趨勢大致相符，且各場事件之山崩及非山崩正確率皆大於 70%（表 5）。正確率達到門檻值，完成模式參數校驗，參數表如表 6。

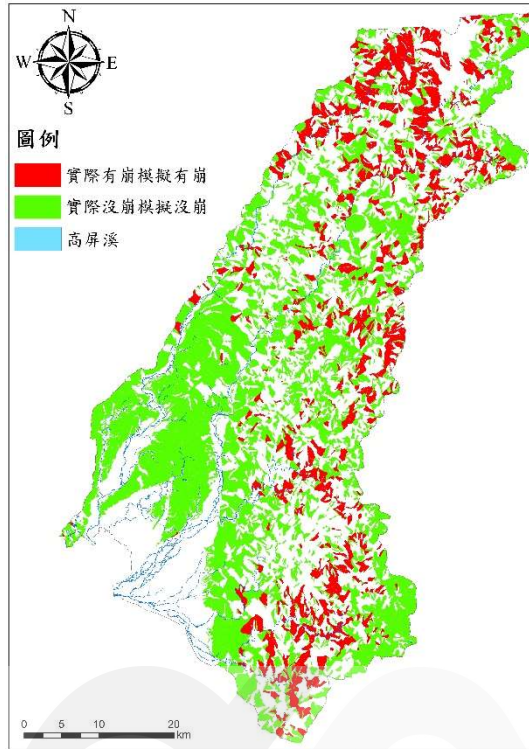


圖 9 2004 年敏督利颱風模擬結果

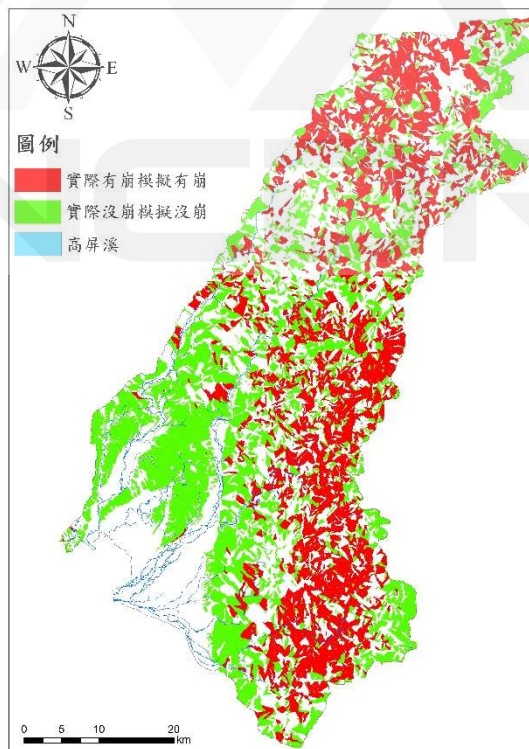


圖 10 2005 年海棠颱風模擬結果



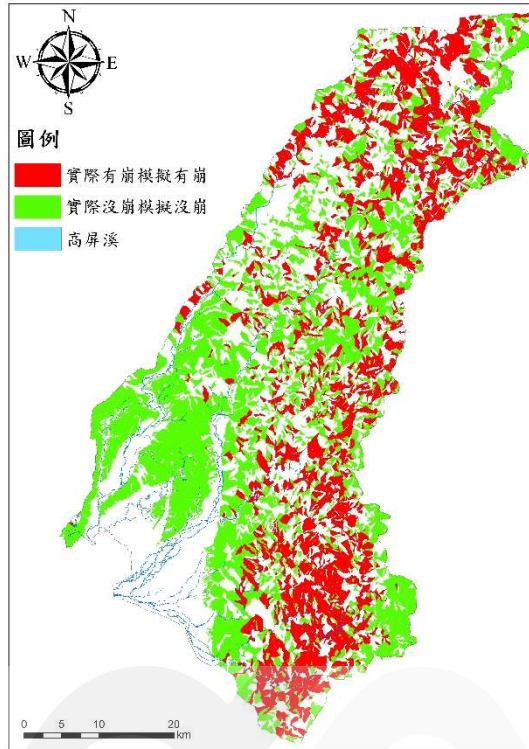


圖 11 2007 年聖帕颱風模擬結果

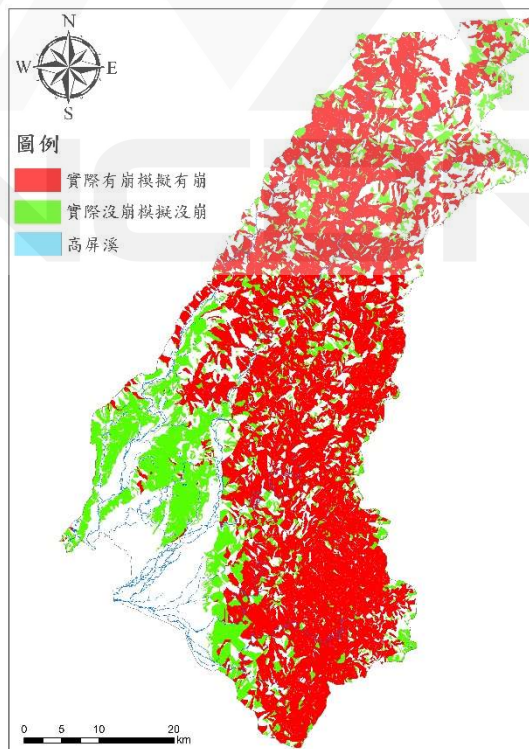


圖 12 2009 年莫拉克颱風模擬結果

表 5 高屏溪各颱風事件模擬結果的正確率

模式預測結果	山崩正確率(SRn%)	非山崩正確率(SRc%)
2004年敏督利颱風	76	71
2005年海棠颱風	74	73
2007年聖帕颱風	72	76
2009年莫拉克颱風	79	74

表 6 高屏溪土壤參數表

地層	土壤單位重	土壤凝聚力	土壤內摩擦角	水力傳導系數	水力擴散系數
	(kN/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(度)	K(10 <sup>-6</sup> m/s)	D(10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s)
九曲大理岩	22.7	12.8	32.5	0.5~0.55	1.5~1.6
十八重溪層	23	12-16.5	33	0.14~0.17	0.42~0.49
三民頁岩	22.7	16.5-19	30	0.6~0.7	1.8~2.1
大禹嶺層	24.1	16.7-25.6	32.5	0.15~0.17	0.45~0.52
六龜層	20.4-22.2	1.7-11	34	0.5~0.58	1.5~1.7
火成岩	25.4	13	40	0.05	0.15~0.17
古亭坑層	20.4-21.6	0.5-5	29	0.05	0.15~0.17
玉山主山層	22.9	5.5-19.8	32.5	5~5.8	15~17
沖積層	16.5	3.5-12	32	25~29	75~88
佳陽層	22.6-24.6	2.1-10	42	0.18~0.21	0.54~0.63
長枝坑層	22.5	15.7-18.93	30	0.15~0.17	0.45~0.52
南莊層	24.5	15-18.7	32	0.15~0.17	0.45~0.52
紅花子層	22.1	12-13.7	32-36	0.1~0.12	0.3~0.35
烏山層	24.1	0.8	36	0.1~0.12	0.3~0.35
高嶺片岩	24	18.7-24	29.5	0.7~0.83	2.1~2.5
畢祿山層	22.1	14.2-22.5	32	0.7~0.83	2.1~2.5
階地堆積層	19.5	10-15.9	28	0.63~0.74	1.8~2.2
達見砂岩	22.5	14.5-17.3	32.5	0.2~0.23	0.6~0.7
隘寮腳層	22.1	0.6-10.8	34-35	0.2~0.23	0.6~0.7
潮州層	22.1	13.2-20.1	32	0.5~0.55	1.5~1.7
糖恩山砂岩	22.6	15.6	33	0.08~0.09	0.24~0.28
嶺口礫岩	23.2	2.8	39	0.18~0.21	0.54~0.63
廬山層	22.1	14.2-17.7	32.5	0.15~0.17	0.45~0.52
鹽水坑頁岩	22.1	22.3	25	0.07~0.08	0.21~0.24

後續即可應用完成建置之模式來模擬氣候變遷情境下各集水區之崩塌潛勢。

## 第四章 圖資產製方法說明

依據前述章節之建置流程、參數設定等方法，可建立坡地衝擊模式。建置完成之衝擊模式可應用於氣候變遷降雨事件模擬。由於氣候變遷降雨事件多，模擬結果資料龐大。因此，本報告透過機率的概念，設定一衝擊指標—崩塌發生機率，來呈現大量模擬的崩塌潛勢結果。並且，透過各時期崩塌發生機率的變化，瞭解氣候變遷下崩塌潛勢的變動趨勢。在坡地領域中，除氣候變遷下崩塌潛勢的變動外，現況的崩塌潛勢也是受到相當的關注。因此，在坡地衝擊呈現的資訊上，使用四象限的概念，分類各區域現況及未來的崩塌潛勢，並繪製成坡地衝擊圖，展現集水區各區域整體的崩塌潛勢。坡地衝擊圖可提供關注坡地衝擊的相關單位或利害關係人等，對於氣候變遷下整體性坡地衝擊趨勢的初步瞭解。以下針對崩塌發生機率的計算及衝擊圖的繪製作說明。

### 4.1 崩塌發生機率

本報告使用衝擊模式搭配 MRI-WRF 氣候變遷降雨推估資料，來瞭解氣候變遷下的崩塌潛勢變動。MRI-WRF 資料含有基期（1979 至 2003 年）及 21 世紀末（2075 至 2099 年）2 個時期，基期有 166 場，21 世紀末則有 169 場颱風事件。對於如此大量的模擬結果，本報告以具地形相似性之斜坡單元為計算單位，透過機率的概念，計算各斜



坡單元的崩塌發生機率，並以其機率值作為各區域的崩塌潛勢。

由於衝擊模式原始產出的資料為網格型態，而本報告採用具地形相似性的斜坡單元為計算單位。因此，原始資料需進行轉換。考量同一坡面具有連動性，當坡面中某一網格 FS 小於 1 時，即代表整個坡面具崩塌潛勢。此外，為瞭解事件最嚴重的崩塌潛勢，將曾具崩塌潛勢之處視為不可恢復。意即在單一事件整個降雨時序中，只要該斜坡單元內有一個網格的 FS 曾經小於 1，代表該斜坡單元在此事件中具有崩塌潛勢。本報告依據上述原則，轉換原始模擬結果，轉換過程示意圖如圖 13，轉換完成的模擬結果如圖 14 所示。整個集水區以具崩塌潛勢及不具崩塌潛勢之斜坡單元，呈現一場降雨事件的模擬結果。

匯集該時期所有事件轉換後的模擬結果，可進行崩塌發生機率的計算，崩塌發生機率計算式如式 2。崩塌發生機率越大，代表該時期該斜坡單元發生崩塌的可能性越高，反之，則代表發生崩塌的可能性越低。而崩塌發生機率只能瞭解崩塌發生的可能性，無法得知崩塌規模的大小。

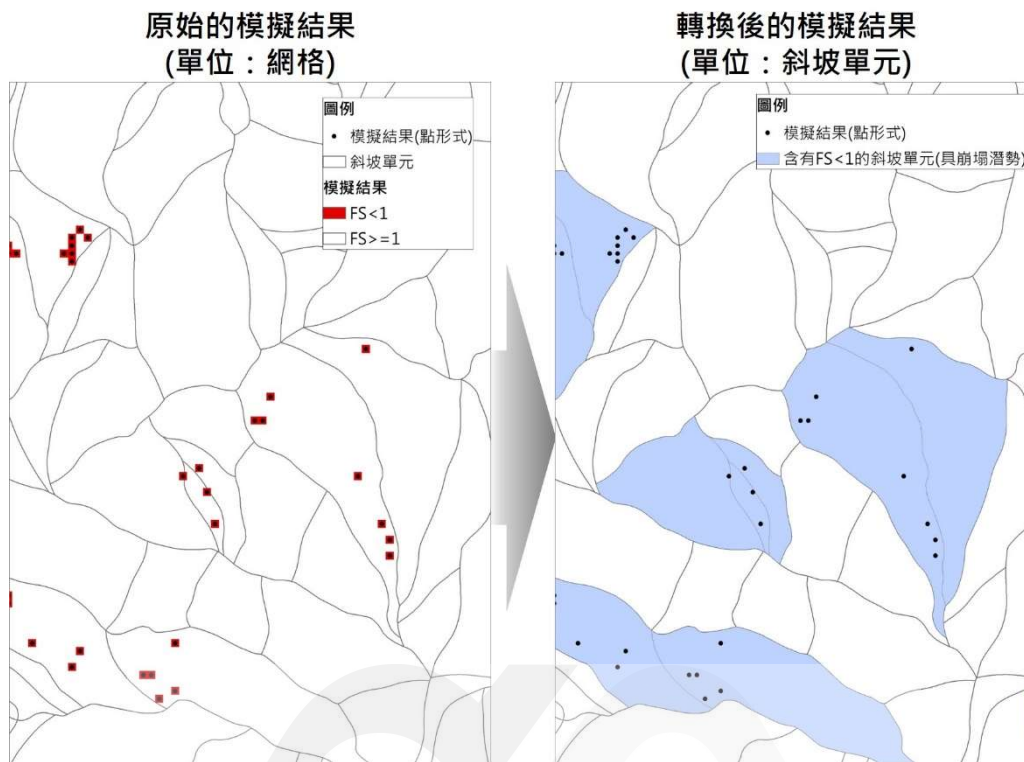


圖 13 原始結果轉換過程示意圖

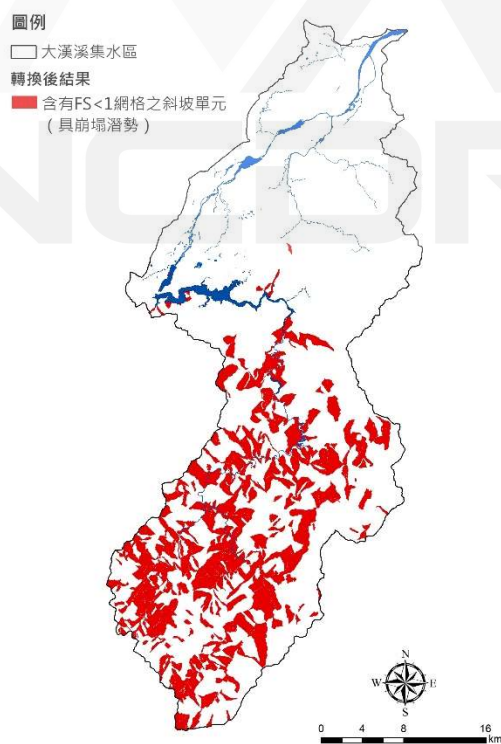


圖 14 轉換後的模擬結果示意圖

$$\text{崩塌發生機率} = \frac{\text{有發生崩塌的颱風事件數目}}{\text{該時期模擬的總颱風事件數目}} \quad \text{式 2}$$

(計算單位：斜坡單元)

以大漢溪集水區模擬全部事件之崩塌發生機率為例，由圖 15 及圖 16 可看出各時期崩塌發生機率相對較高的區域。而圖 17 則可瞭解在氣候變遷下崩塌發生的變化趨勢，如下蘇樂、石磊等是氣候變遷下崩塌發生機率增加較多的區域。



圖例

□ 大漢溪集水區

基期崩塌發生機率(%)

■ 0

■ 0 - 5

■ 5 - 10

■ 10 - 15

■ 15 - 20

■ 20以上

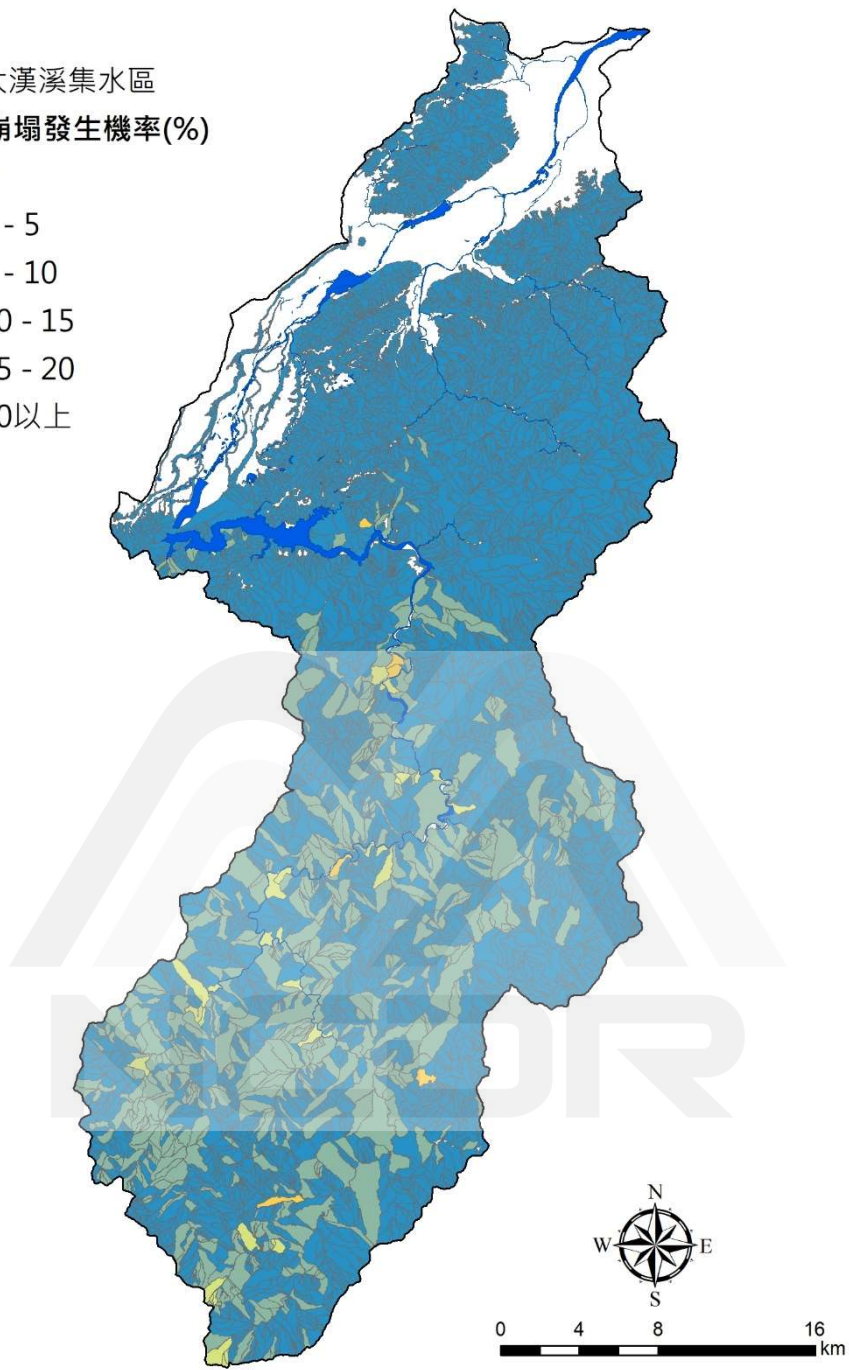


圖 15 大漢溪集水區基期崩塌發生機率圖

圖例

□ 大漢溪集水區

21世紀末崩塌發生機率(%)

■ 0

■ 0 - 5

■ 5 - 10

■ 10 - 15

■ 15 - 20

■ 20以上

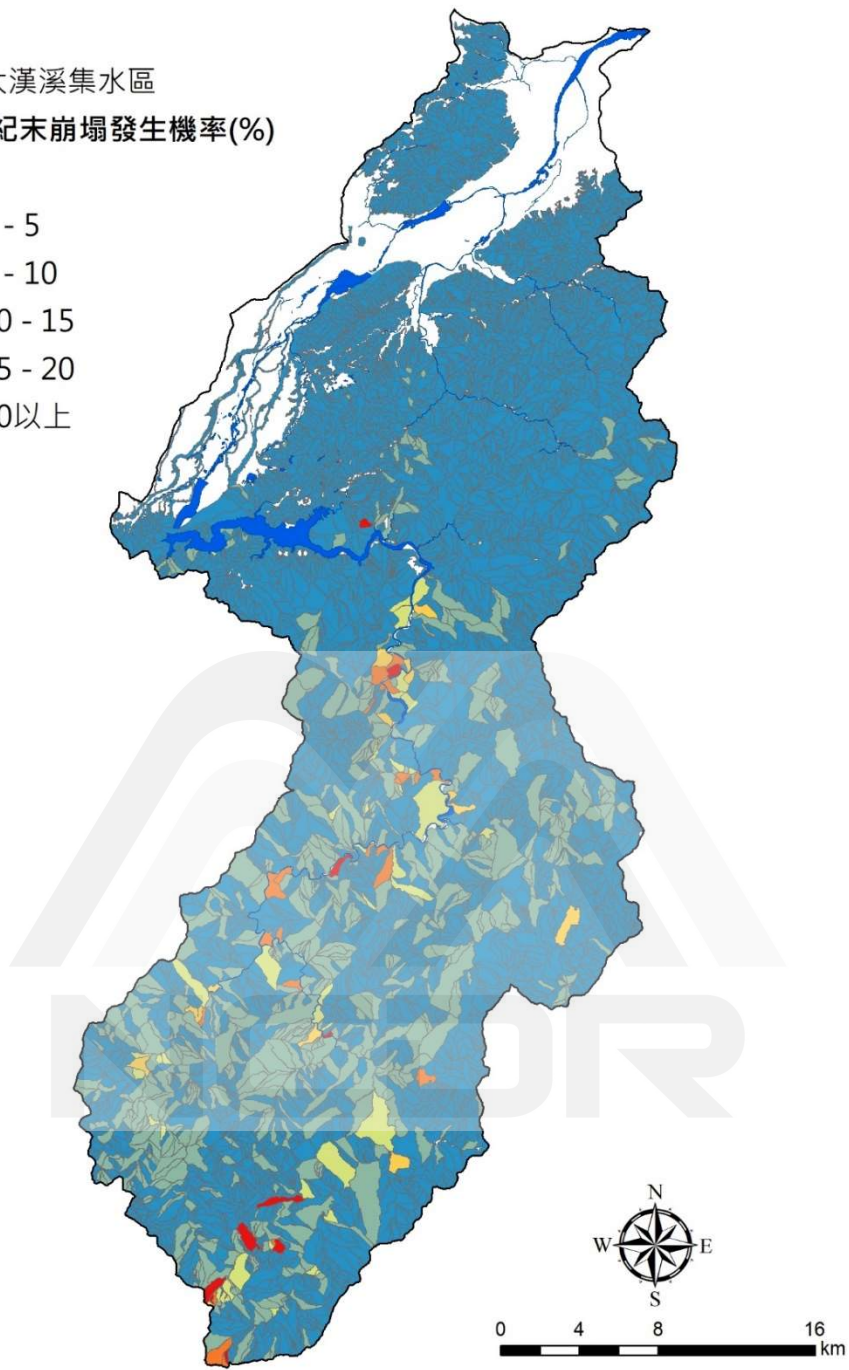


圖 16 大漢溪集水區 21 世紀末崩塌發生機率圖



### 圖例

□ 大漢溪集水區

21世紀末相較基期崩塌發生機率之變化(%)

□ ≤0

□ 0 - 2

□ 2 - 4

□ 4 - 6

□ 6 - 8

□ 8 - 10

□ >10

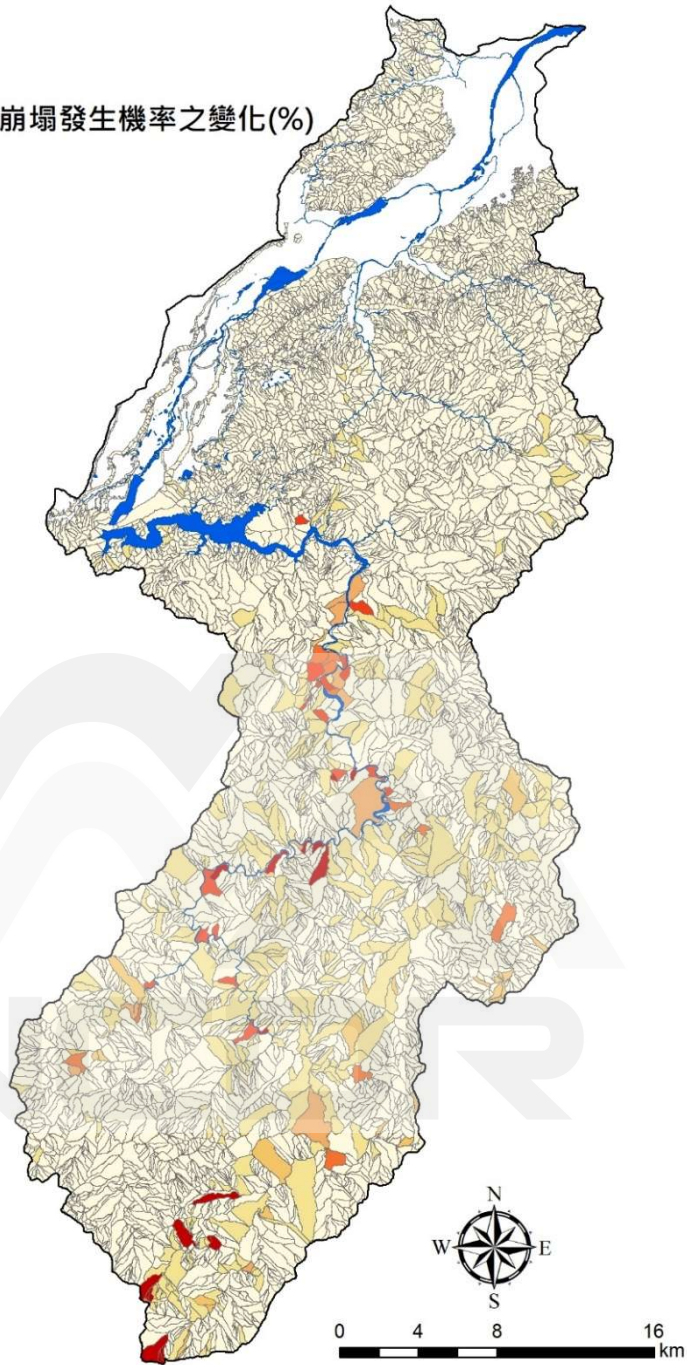


圖 17 大漢溪集水區 21 世紀末相較基期崩塌發生機率的變化

## 4.2 衝擊圖資

資訊的呈現方式有相當多種，如文字敘述、表格、圖等，當中，圖是較直觀且易說明空間分布的一種方式。因此，考量資訊的傳遞性及解讀性，本報告選擇以繪製衝擊圖的形式，來呈現氣候變遷可能帶

來的坡地衝擊。過去與坡地領域利害關係人的訪談結果顯示出，坡地災害有立即處理的急迫性，故除了氣候變遷對坡地可能帶來的影響外，現況的崩塌衝擊更是他們相當關注的部分。因此，本報告嘗試透過基期之崩塌發生機率，與 21 世紀末相較基期崩塌發生機率之變化，繪製坡地崩塌衝擊圖，來呈現集水區整體的崩塌衝擊綜合結果。

本報告以基期的崩塌發生機率為現況，21 世紀末相較基期崩塌發生機率之變化為未來，作坡地現況及未來整體的崩塌衝擊評估。崩塌衝擊圖的評估方式如下。首先，基期及 21 世紀末崩塌發生機率皆為 0 之斜坡單元，代表現況及未來崩塌發生機率都相對較小，先行剔除。進一步，計算各斜坡單元基期崩塌發生機率的平均值，以平均值作為劃分現況崩塌發生機率高低的門檻值。當斜坡單元之基期崩塌發生機率高於平均值，代表該斜坡單元現況崩塌衝擊高，反之，則代表現況崩塌衝擊低。再者，對於氣候變遷變化的部分，則以 21 世紀末相較基期崩塌發生機率之變化大於 0 作判斷。當斜坡單元 21 世紀末相較基期崩塌發生機率之變化大於 0，代表該斜坡單元未來的崩塌衝擊提升，反之，則代表未增加或減少。現況及未來崩塌衝擊程度主要透過基期崩塌發生機率的平均值，以及，21 世紀末相較基期崩塌發生機率之變化大於 0 作劃分，並以四象限的概念來展現，劃分概念示意圖如圖 18。第一象限即代表現況崩塌衝擊高且未來崩塌衝擊提升，

位於此象限之區域需多加關注。

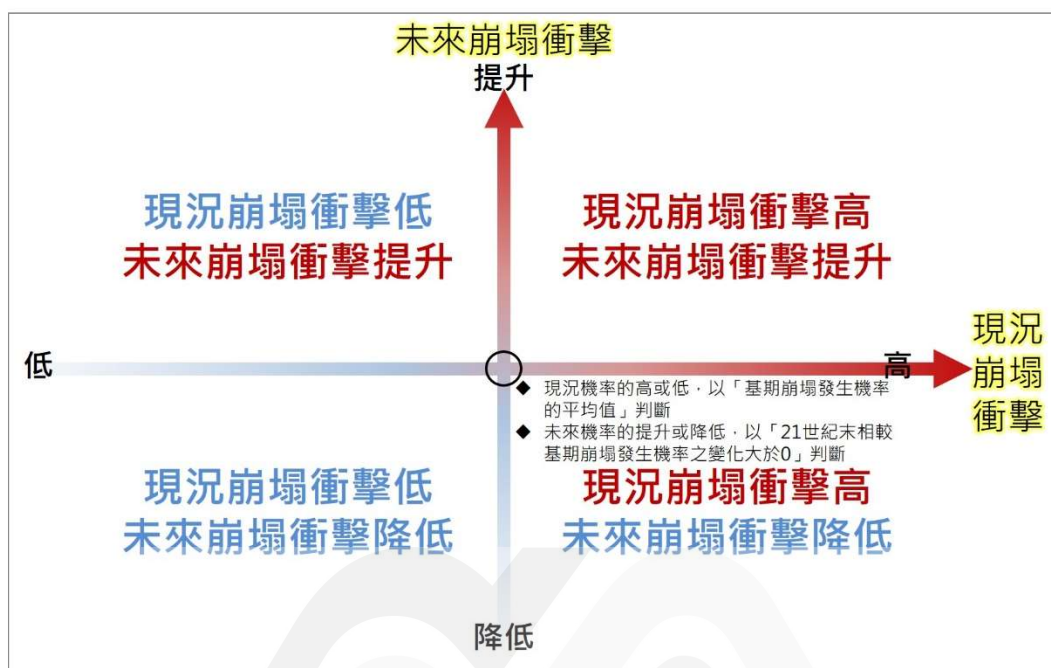


圖 18 象限分類概念示意圖

以大漢溪集水區為例。依據上述分類原則，評估大漢溪集水區現況及未來的崩塌衝擊。結果如圖 19，在現況崩塌衝擊高且未來崩塌衝擊提升的區域中，含有下蘇樂、石磊、泰崗、鎮西堡等地區。除了上述可能受到直接衝擊的區域，需多加留意坡地災害外，可能受到連帶衝擊的區域也需多加注意，如泰崗下方的秀巒地區。



### 圖例

- ◆ 聚落
- 大漢溪集水區
- 大漢溪

### 各區域現況與未來崩塌衝擊的情況

- 現況崩塌衝擊高；  
未來崩塌衝擊提升
- 現況崩塌衝擊低；  
未來崩塌衝擊提升
- 現況崩塌衝擊低；  
未來崩塌衝擊降低
- 現況崩塌衝擊高；  
未來崩塌衝擊降低

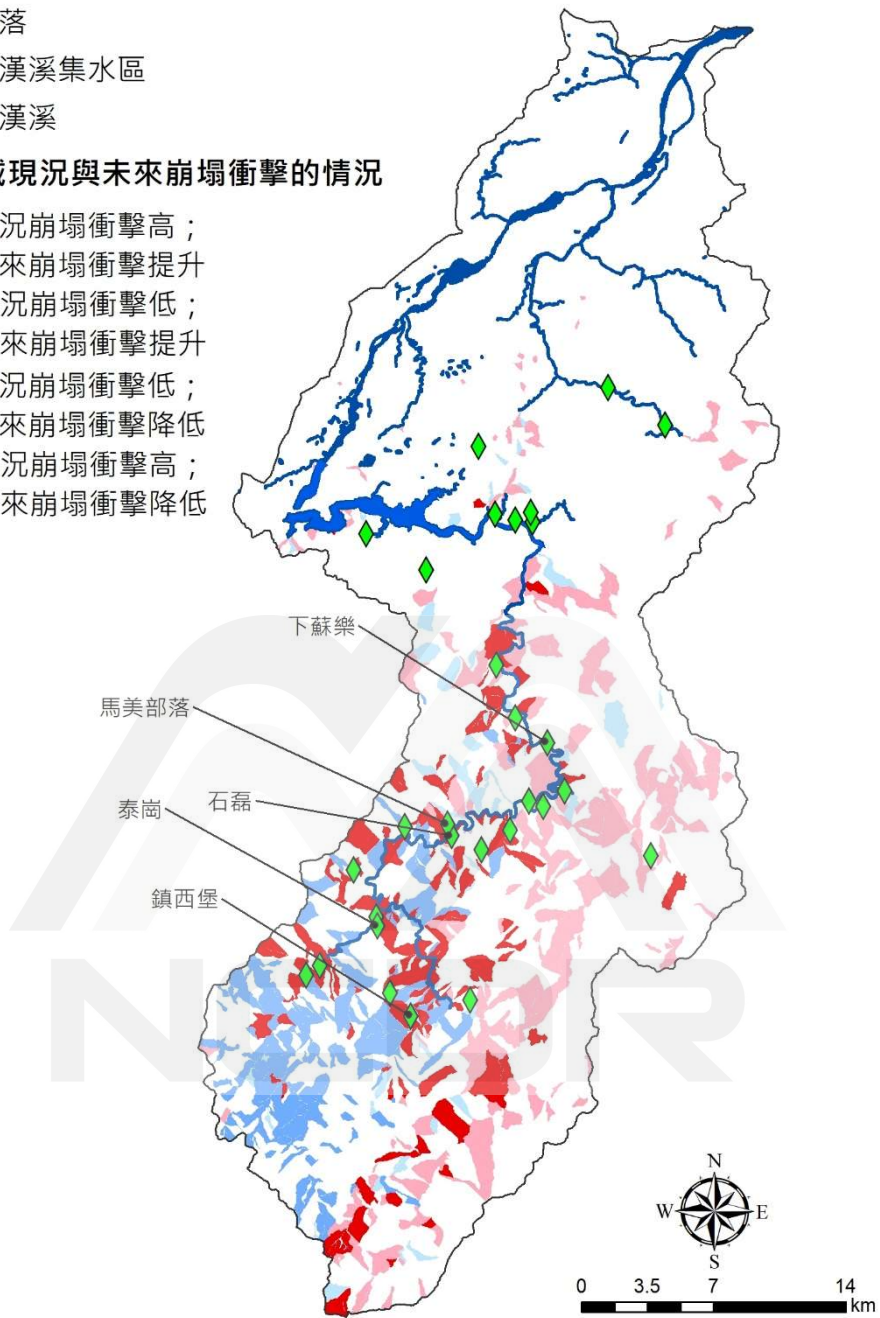


圖 19 大漢溪集水區崩塌衝擊圖

## 第五章 單機版工具建置與示範應用

由於氣候變遷資料會隨著模式數目、基礎設定、偏差校正等不同，而衍生出大量的新資料，鑒於前述特性，將對坡地衝擊模擬帶來大量模擬及更新資料之需求。因此，本報告協助 TCCIP 計畫發展批次模擬及繪製圖資之單機版工具。透過工具可批次模擬降雨事件之崩塌潛勢，並且計算多場模擬結果，繪製衝擊圖資。進而，藉由衝擊圖初步瞭解集水區在氣候變遷下的崩塌潛勢。或者，以衝擊圖開啟利害關係人間的對話，提前共同思索地區面對氣候變遷的因應策略。本報告透過利害關係人的訪談結果，以秀巒村作為圖資應用案例。下列針對單機版工具及圖資應用做說明。

### 5.1 單機版工具

氣候變遷降雨推估資料隨著不同的偏差校正方法及多種的系集分群，颱風事件資料數目會大幅提升。因此，為因應大量資料的模擬需求，及未來 AR6 資料的更新，本報告協助 TCCIP 計畫發展單機版坡地衝擊工具。由於過去的衝擊模擬多是手動更新資料、執行模式及計算結果，較無法有效利用資源與時間，單就手動執行模式就費時費工。因此，單機版坡地衝擊工具主要著重於降雨事件批次模擬及相關圖層產製之功能。透過坡地衝擊工具可大量模擬降雨事件之崩塌潛勢，並產製衝擊指標之相關圖層，以上功能對於氣候變遷坡地衝擊分

析及衝擊圖繪製大有助益。下列針對單機版模式之建置構想、功能操作及產出資料作說明。

批次模擬及計算相關指標是單機版工具最主要之功能。工具整體的運作構想，如圖 20 所示。由選定集水區及欲模擬之颱風事件，執行颱風事件崩塌潛勢之批次模擬，產製模擬結果圖層，至利用結果圖層計算指標等一連串的執行流程。



圖 20 單機版工具建置構想

工具考量資料擴充等應用的彈性，模擬資料的選擇多以資料夾型態作設定。工具實際操作流程如圖 21。首先，選擇欲模擬之集水區，再選取欲模擬之降雨事件資料夾，最後，選定模擬結果的輸出位置，按下執行，即可開始模擬。輸出結果除了模式匯出的原始結果外，工具會協助繪製逐時崩塌網格數量變化、逐時崩塌潛勢、最大崩塌潛勢等圖資，以及，產出最大崩塌潛勢圖層，以利後續衝擊指標計算。



圖 21 單機版工具—批次模擬模組介面

工具另一部分則為圖資繪製。透過前述批次模擬工具產出的最大崩塌潛勢圖層，計算多事件之崩塌發生機率，並繪製崩塌發生機率圖及崩塌衝擊綜合結果圖。實際操作流程如圖 22。先將欲計算之基期降雨事件模擬結果放置同一資料夾，比較期亦同。在工具頁面中，選擇欲計算之基期與比較期資料夾，設定結果輸出位置，確認圖資繪製色階及時期名稱，即可按下執行。



圖 22 單機版工具—圖資繪製模組介面

以新店溪為例，圖 23 為批次模擬功能產出的模擬結果及相關圖資。圖 24 及圖 25 則是應用圖資繪製功能，計算不同時期多場事件模擬結果的崩塌發生機率，繪製出的崩塌發生機率圖及崩塌衝擊綜合結果圖。

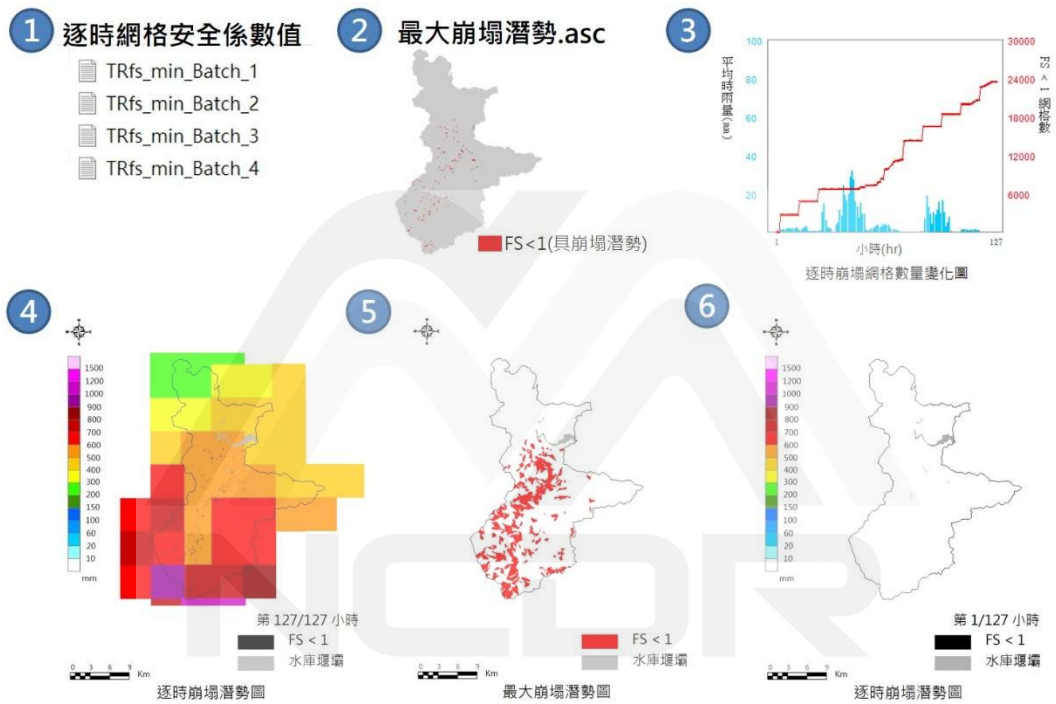


圖 23 批次模擬產出結果



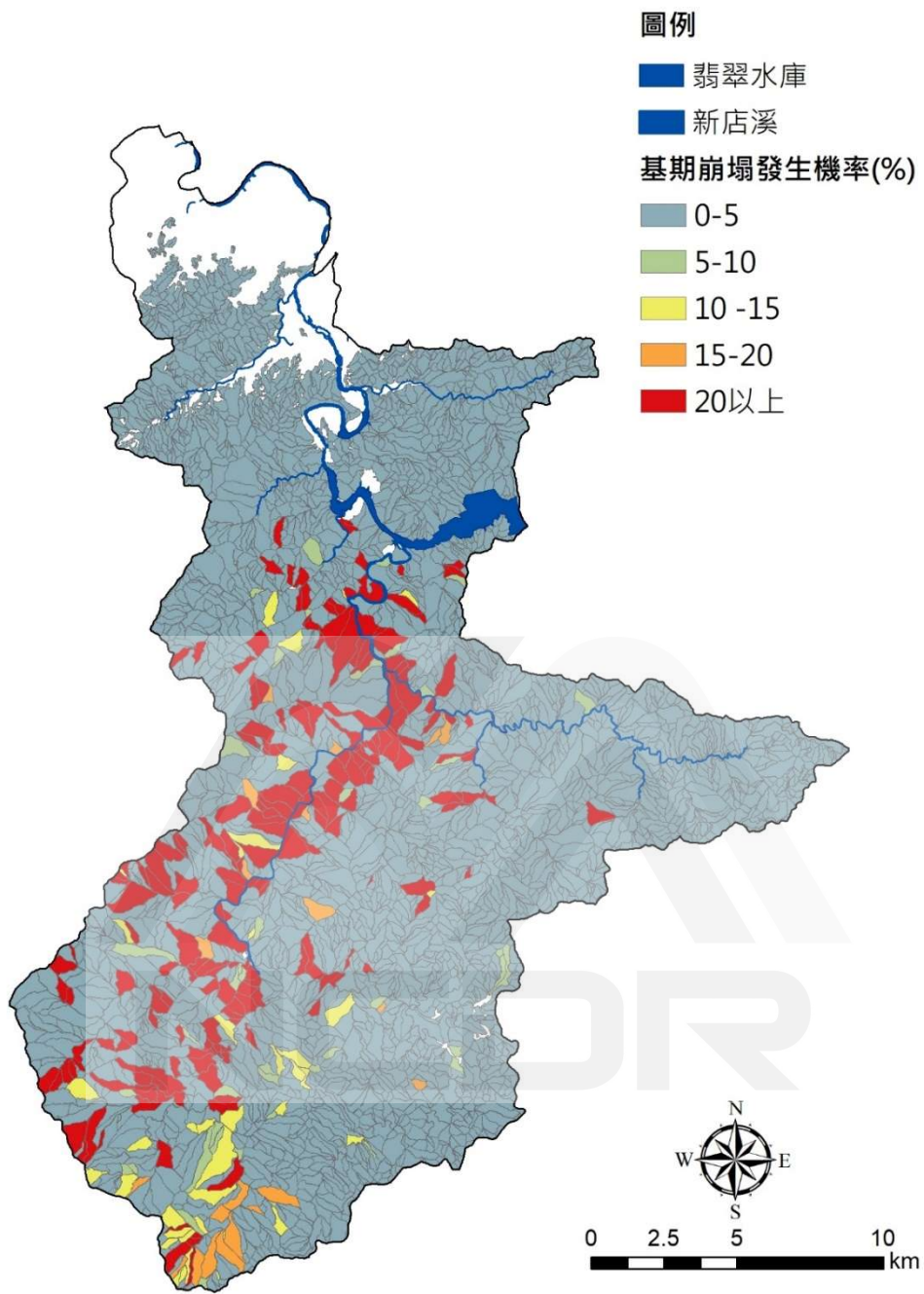


圖 24 新店溪集水區基期崩塌發生機率圖

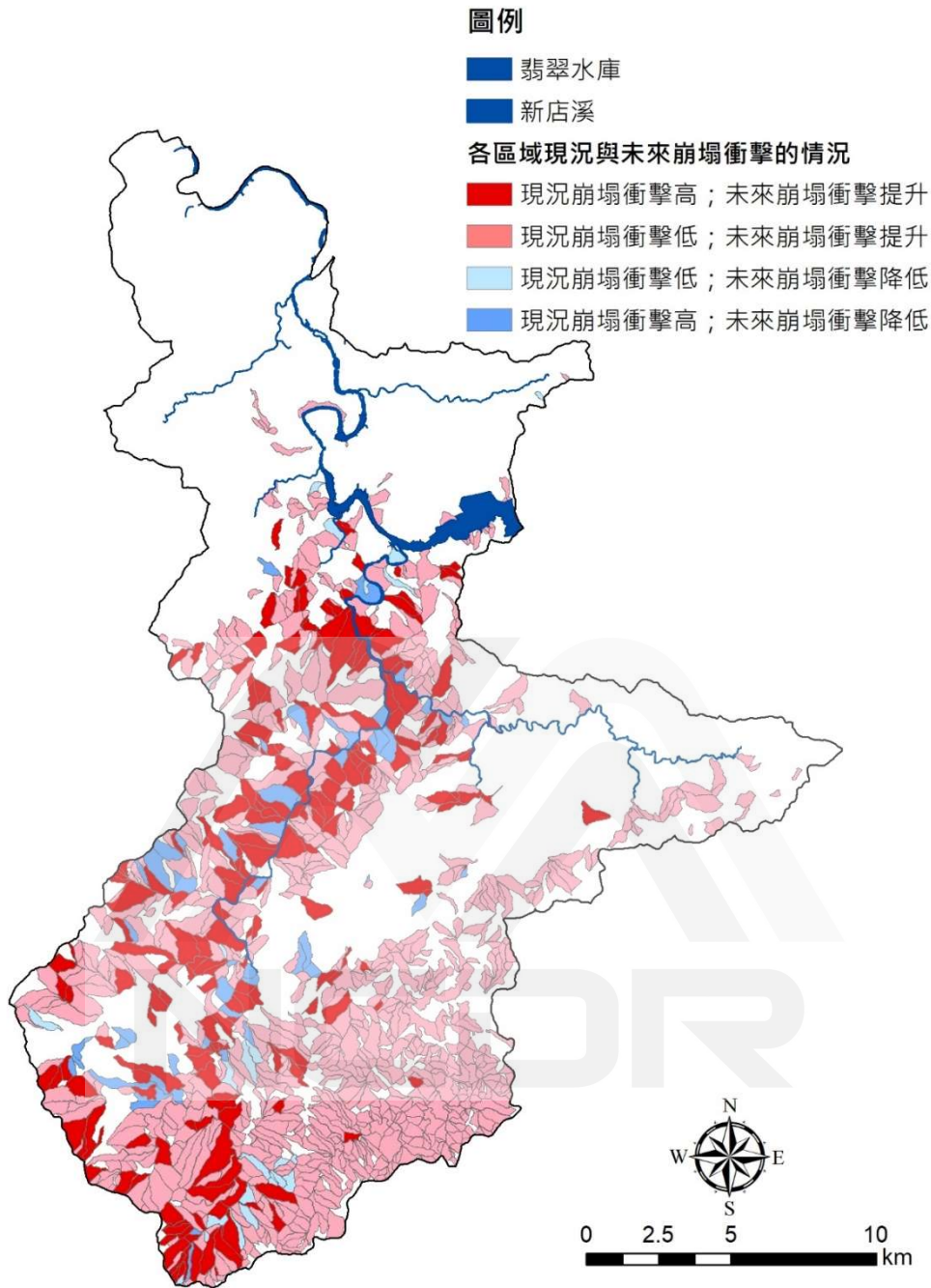


圖 25 新店溪集水區崩塌衝擊圖

## 5.2 示範應用—秀巒

資訊傳遞的方式有許多種，圖資是其中一種，本報告選擇以衝擊圖資來傳遞氣候變遷下集水區坡地整體衝擊的資訊。並藉由與水土保持局臺北分局、桃園市水務局等利害關係人訪談結果，選定新竹縣尖

石鄉的秀巒地區作圖資應用案例。本報告嘗試透過衝擊圖資將資訊傳遞給秀巒地區的利害關係人，並觸發利害關係人對於氣候變遷衝擊議題的交流與討論。

秀巒地區位於白石溪與泰崗溪的匯流處，在自然環境上主要受到白石溪右岸崩塌及土石流竹縣 DF064 的威脅（圖 26）。在過去白石溪右岸崩塌地於 2015、2016、2017 等年曾發生多次崩塌（圖 27），造成財產的損害，及人民生命的威脅。如 2016 年，受梅姬颱風間接影響，右岸崩塌的土石掩埋河岸 70m 的護岸，並占據約三分之一的河道面積。基於歷史災害發生頻繁的情形下，提前瞭解氣候變遷的崩塌衝擊變化趨勢，對於未來規畫及因應策略的研擬是相當重要。

透過圖 28 瞭解，氣候變遷下秀巒地區主要受右岸崩塌地的衝擊，右岸崩塌地屬現況崩塌衝擊高且未來崩塌衝擊提升的區域。本報告透過訪談，瞭解當地利害關係人對於氣候變遷所關注議題，並說明衝擊圖資的資訊。初步以地區相關單位代表為利害關係人，包含秀巒村甘村長、秀巒國小蔡校長、水保局蕭副工程司及新竹縣教育處黃校長等。本報告透過舉辦利害關係人交流會，邀請大家針對秀巒地區可能面臨的氣候變遷坡地衝擊一同討論交流，並初擬因應措施。



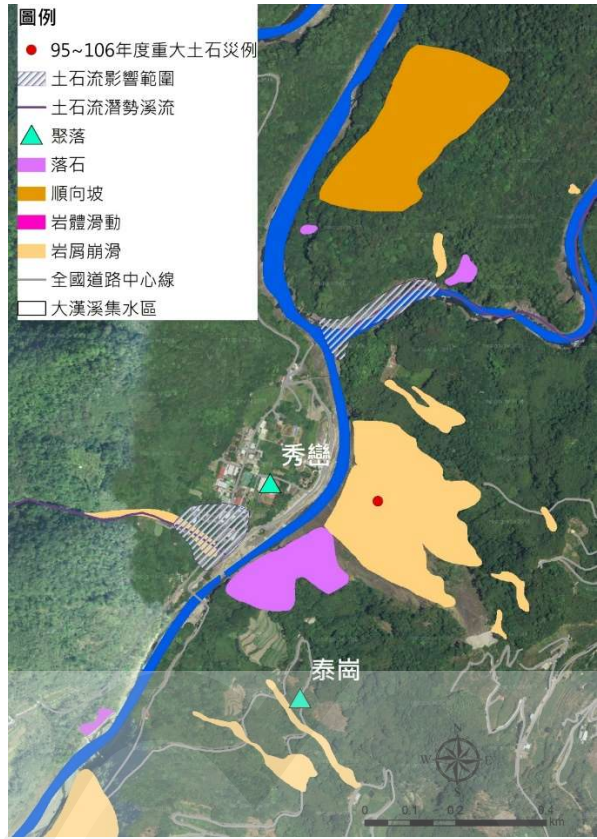


圖 26 秀巒地區災害潛勢圖

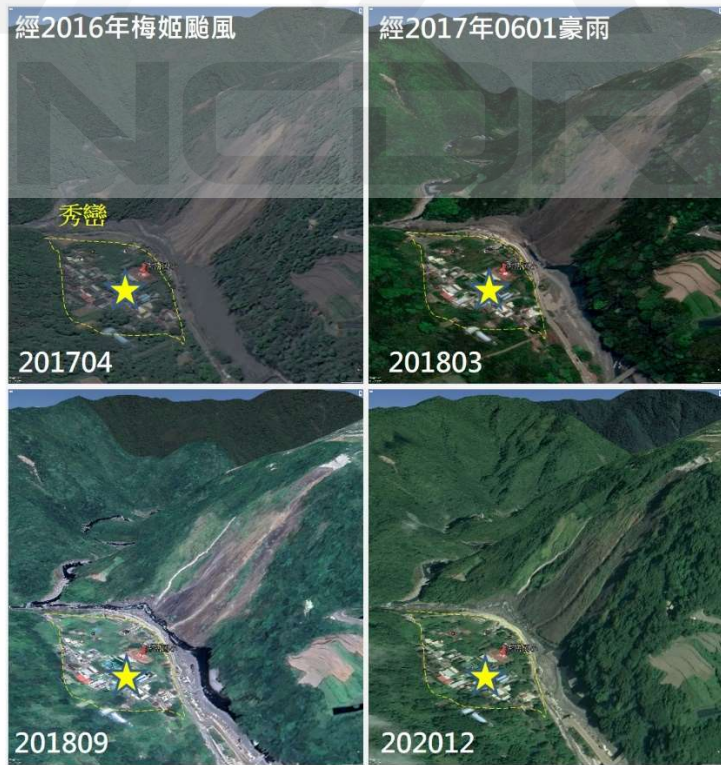


圖 27 右岸崩塌地的歷史影像

### 圖例

□ 大漢溪集水區

■ 大漢溪

### 各區域現況與未來崩塌衝擊的情況

■ 現況崩塌衝擊高；未來崩塌衝擊提升

■ 現況崩塌衝擊低；未來崩塌衝擊提升

■ 現況崩塌衝擊低；未來崩塌衝擊降低

■ 現況崩塌衝擊高；未來崩塌衝擊降低

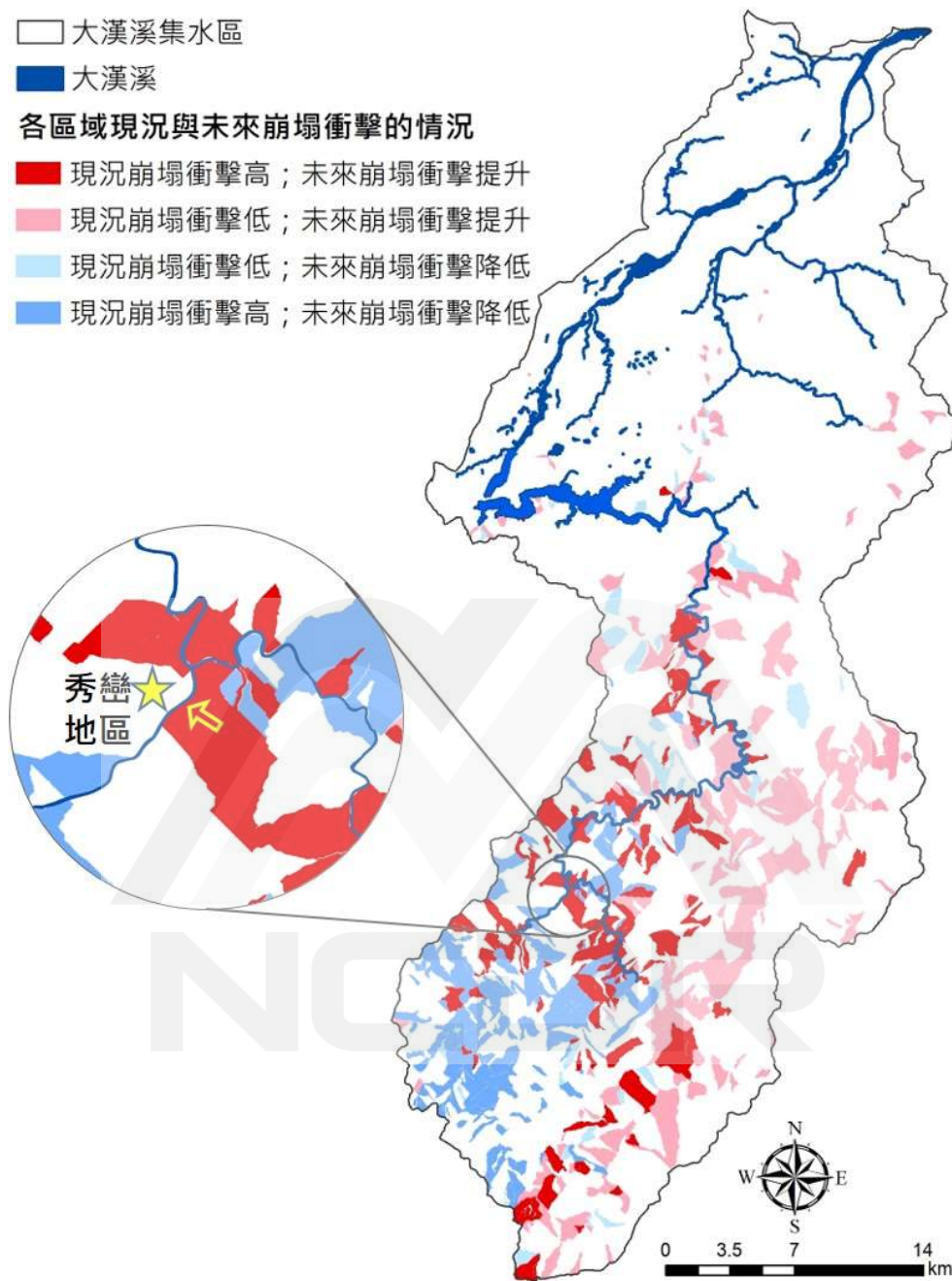


圖 28 秀巒地區受崩塌衝擊的情形

利害關係人交流會議於 2016 年 6 月 25 日舉行，因應疫情，以線上會議形式召開。秀巒村甘村長、秀巒國小蔡校長、水保局蕭及新竹縣教育處黃校長等利害關係人皆一同上線交流。由於因應措施選項眾

多，且會議時間有限，故先透過問卷率定出共識性高的選項，再於會議中進一步討論。問卷結果可率定出 13 項共識性及重要性高之因應措施，如表 7 所示。

表 7 13 項共識性及重要性高之因應措施

分類	措施
結構和物理性 選項	1.多元監測資料庫
	2.預警決策系統
	3.開發整合性之監測預警應變App或網頁
	4.治山防災工程
社會性	1.氣候變遷情境下的風險評估
	2.建立多方共同參與的平台
	3.建立小學的氣候變遷教學平台(含坡地災害)
	4.培育種子教師和助教
	5.製作氣候變遷情境下的風險地圖
	6.評估拓寬洪氾區之效益
	7.估算損害成本及調適成本
制度面	1.調整社區的社會經濟發展計畫
	2. 工程設計標準納入氣候變遷趨勢

在交流會議中，利害關係人針對各項降低崩塌衝擊措施之操作性及可能完成的時期，提出想法與建議。藉由 IPCC (2014) 之結構和物理性、社會性及制度面分類措施，並彙整討論結果。下列舉列重要結論及相關措施的討論重點。所有措施應於短期內開始施行，當中，操作性較高之措施為社會性選項－建立小學的氣候變遷教學平台(含坡地災害)，蔡校長說明目前已有相關資源可運用，短期應可建置完成，中長期則持續更新、維運；而討論度高的措施有三項，分別為社



會性選項－培育種子教師和助教、社會性選項－製作氣候變遷情境下的風險地圖，以及，結構和物理性選項－開發整合性之監測預警應變 App 或網頁。針對社會性選項－培育種子教師和助教的部分，教育處黃校長指出山區師資流動率極高，且相關知識需再培養，短期較難有成果。在社會性選項－製作氣候變遷情境下的風險地圖，利害關係人皆認為重要，但蔡校長也說明自行製作風險須有較多的事前準備，如合適人選等。最後，在結構和物理性選項－開發整合性之監測預警應變 App 或網頁，利害關係人認為這個措施相當重要，甘村長說明當前資訊的交流方式多以通訊軟體為主，利害關係人皆可一同加入，嘗試使用，未來再依需求調整。本報告將會議結果彙整成表 8，呈現最終討論後各措施之施行情形及能初步完成的時段。

表 8 交流會議結果彙整表

分類	措施	已施行	短期	中期	長期
結構和物理性選項	1.多元監測資料庫		▲		
	2.預警決策系統		▲		
	3.開發整合性之監測預警應變App或網頁	以簡訊傳遞	▲		
	4.治山防災工程		▲		
社會性	1.氣候變遷情境下的風險評估		▲		
	2.建立多方共同參與的平台		▲		
	3.建立小學的氣候變遷教學平台(含坡地災害)		▲		
	4.培育種子教師和助教				▲
	5.製作氣候變遷情境下的風險地圖				▲
	6.評估拓寬洪氾區之效益	107年已請顧問公司評估	▲		
	7.估算損害成本及調適成本				▲
制度面	1.調整社區的社會經濟發展計畫				▲
	2.工程設計標準納入氣候變遷趨勢				▲

— 開始施行時間 ▲ 期望初步完成時間

由上述結果顯示，衝擊圖資可傳達資訊並提供利害關係人針對氣

候遷衝擊討論的立基點，本案例為圖資應用的其中一種方式，未來可再嘗試不同的應用。



## 第六章 結論

本報告主要針對氣候變遷坡地衝擊研究工具、圖資作說明，包含衝擊模式的選定與建置、崩塌衝擊的評估方式、衝擊圖資繪製，以及圖資應用等。本報告使用的衝擊工具及評估方法，可提供相關單位在操作氣候變遷坡地衝擊的參考。重點結論如下：

1. 颱風事件帶來的極端降雨是誘發崩塌的重要因子之一，故選用 TCCIP 計畫透過動力降尺度技術，產製之 MRI-WRF 資料。MRI-WRF 資料主要由空間解析度為 5 km、時間解析度為小時的颱風事件組成，較適合應用於坡地崩塌潛勢模擬。
2. 坡地衝擊模式選用美國地調所發展的 TRIGRS，TRIGRS 為物理模式，可考量降雨延時及累積雨量對崩塌潛勢造成的影響。且從過去以來，有許多文獻使用該模式模擬崩塌潛勢。因此，透過 TRIGRS 搭配 MRI-WRF 資料，模擬氣候變遷下的崩塌潛勢。
3. 崩塌衝擊模式建置所需之地形參數、土層參數、土壤水文參數，多數難以取得現地資料，故以地調所「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」計畫成果，設定初始值。再透過

歷史颱風事件之模擬結果，調校參數，建立山崩及非山崩正確率高於 70%之模式。

4. 以崩塌發生機率呈現單一時期大量的崩塌潛勢模擬結果。為瞭解集水區整體的崩塌衝擊，進一步，透過基期的崩塌發生機率，及 21 世紀末相較基期崩塌發生機率之變化來評估。將基期的崩塌發生機率視為現況，而 21 世紀末相較基期崩塌發生機率之變化為未來，由象限法劃分出現況崩塌機率高且未來崩塌機率提升的高度關注區。
5. 為因應氣候變遷資料更新之需求，本報告協助 TCCIP 計畫發展單機版坡地衝擊工具。單機版工具主要提供批次模擬及指標計算之功能。透過工具可大量模擬降雨事件之崩塌潛勢，並計算模擬結果之崩塌發生機率，進而繪製崩塌衝擊圖資。
6. 立基利害關係人訪談結果，選定新竹秀巒地區作為圖資應用案例。藉由衝擊圖資提供的資訊，開啟利害關係人對於氣候變遷衝擊的討論，並於交流會議初步擬定共識性高的因應措施。

## 致謝

本報告成果為科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫(MOST 109-2621-M-865-001)的部分工作，感謝科技部計畫提供必要的資源支持。





## 參考文獻

- 中央地質調查所 (2003 至 2015)。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。
- 姜世偉、陳弘恩、李瑞庭、蔡東霖、楊錦釗 (2010)。水文條件對坡地崩塌影響之現地案例研究。臺灣水利，第 58 卷，第 4 期。
- 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。
- 陳憶璇、譚志豪、冀樹勇 (2011)。不同廣域降雨促崩分析模式於山崩預警應用之探討。第 14 屆大地工程學術研究討論會。
- 陳則佑、馮正一、莊育蓁 (2011)。應用 TRIGRS 程式於邊坡破壞機率分析-以奧萬大地區為例。中華水土保持學報，42(3):228-239。
- 陳樹群、周憲德、陳聯光、劉哲欣、吳亭燁、林聖琪 (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。
- 科技部 (2013)。臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置(1/3)年度成果報告書，計畫編號：MOST102-2621-M-492-001。
- 科技部 (2014)。臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置(2/3)年度成果報告書，計畫編號：MOST103-2621-M-865-001。

陳正達、朱容練、許晃雄、盧孟明、隋中興、周佳、翁叔平、陳昭銘、  
林傳堯、鄭兆尊、吳宜昭、卓盈旻、陳重功、張雅茹、林士堯、  
林修立、童裕翔、楊承道 (2014)。台灣氣候變遷推估研究。大氣  
科學，42(3)，207-252。

科技部 (2015)。臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置(3/3)年度成果報  
告書，計畫編號：MOST104-2621-M-865-001。

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。

陳韻如、林修立、陳正達、陳永明 (2016)。氣候變遷下不同暖化情境  
差異比較。國家災害防救科技中心災害防救電子報電子報，第 132  
期。

鄭兆尊、林宜穎、陳淡容 (2016)。臺灣地區氣候變遷推估—多組 MRI-  
AGCM 氣候推估的動力降尺度。國家災害防救科技中心技術報  
告，NCDR 105-T29。

李欣輯、趙益群、吳亭燁、施虹如、蕭逸華、鄭兆尊、陳淡容 (2017)。  
暖化情境下極端颱風災害風險評估與減災調適：以大甲溪流域為  
例。國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 105-T30。

李欣輯、吳亭燁、陳麒文、鄭兆尊、童裕翔 (2018)。暖化情境下極端

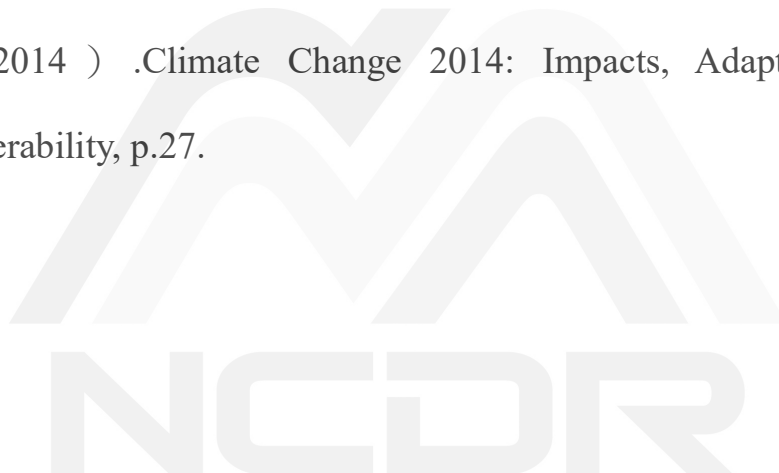
颱洪災事件之坡地災害衝擊評估：以大漢溪及新店溪集水區為例。

國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 106-T09。

國家災害防救科技中心（2018），臺灣氣候的過去與未來《臺灣氣候變遷科學報告 2017—物理現象與機制》重點摘錄。

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. U.S. Geological Survey Open-File Report, 2008-1159, 75 p.

IPCC (2014) .Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, p.27.



## 未來升溫情境下之坡地衝擊工具研發與圖資建置

---

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 110 年 12 月

出版年月：中華民國 111 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>