

應用 KRID 觀測降雨資料於崩塌潛勢評估

朱芳儀¹ 吳亭燁¹
國家災害防救科技中心¹

摘要

因氣候變遷影響，將使未來極端降雨事件的發生頻率增加，提升山坡地的不穩定性。為防範坡地災害於未然，藉由評估不同降雨事件之崩塌潛勢，來初步了解崩塌熱點區位，以提早預防及治理。本研究採用美國地質調查所（USGS）發展的TRIGRS淺層崩塌物理模式，評估曾文溪上游集水區之崩塌潛勢。雨量資料使用空間解析度1.25km的雷達-雨量站整合降雨估計資料（KRID觀測降雨資料），並擷取出歷史颱風事件，再經內插、格式轉換等處理為40m之網格時雨量資料，提供模式應用。模式參數的調整與設定，以2007年柯羅莎颱風事件作為參數最佳化依據，並提供建立其他颱風事件的崩塌潛勢模式。模擬結果發現，模式評估之崩塌趨勢與2008年實際崩塌地分布趨勢吻合，模式評估之山崩及非山崩正確率皆可達70%以上。綜合以上所述，KRID觀測降雨資料可有效應用於坡地淺層崩塌潛勢評估。

關鍵字：TRIGRS模式、淺層崩塌、崩塌潛勢、地質水文參數、KRID觀測降雨資料

一、前言

臺灣地區地質破碎、山多平原少，且人口密度高，使坡面脆弱及不穩定。加上近年來氣候變遷影響，短延時強降雨的極端事件頻率增加，使得邊坡的不穩定性大為提升。為了有效預防及因應坡地災害的發生，過去許多崩塌潛勢評估模式的開發，已有一定的基礎，例如SINMAP、SHALSTAB、TRIGRS等。黃翔璋（2012）依模式的方法特點、採用的因子及分級方式來比較SINMAP、SHALSTAB、TRIGRS三種淺層崩塌模式。其中SINMAP與SHALSTAB皆為穩態水文模式，分析方法採用最大降雨強度，只能得知特定時間的廣域山崩潛勢。另一方面，TRIGRS模式考慮時間因子，並充分考量地形、降雨入滲、水文地質等特性，能有效描述因暫態降雨所引發的淺層崩塌。因此本研究選用美國地質調查所（USGS）所發展的TRIGRS淺層崩塌物理模式（Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model, TRIGRS）來評估曾文溪上游集水區之崩塌潛勢。

TRIGRS模式須透過研究區之水文地質參數來表現現地的水文地質特性，由於現地水文地質參數的取得不易，施虹如等人（2015）以現有的水文地質資料為基礎，再透過歷史颱風事件進行參數的調整，來建立評估模式，並且，透過降雨量資料模擬不同事件場次下，可能造成的崩塌潛感變化。然而，以往皆透過雨量站來取得降雨資料，但山區雨量站

稀少，且各站距離遙遠，使得所取得的降雨資料精度有偏低的狀況，對於模擬結果可能產生較大的誤差，以及不易反映實際崩塌發生的區位。以曾文溪上游集水區為例，測站距離較近者約1至2km，如瀨頭站至龍美站、測站距離較遠者則達9至10km以上，如山美站至茶山站，大多數測站距離皆大於2km。且王安翔等人（2009）指出對於降雨資料精度需求較高的坡地災害研究而言，透過雷達-雨量站降雨整合技術所得到之降雨估計資料，可能比由雨量站之觀測值，透過數值方法所得到之降雨空間分佈和降雨估計值更接近實際降雨情況。基於上述因素，本研究嘗試應用國家災害防救科技中心透過雷達-雨量站整合降雨整合技術（Chen et al., 2007），所產製的KRID觀測降雨資料（Estimation rainfall with integrated radar-gauge data, KRID），來進行坡地崩塌潛勢之模擬，期望透過KRID觀測降雨資料的使用，可大幅改善雨量站資料應用於坡地災害潛勢模擬時，測站資料偏少，所造成精度偏低之可能性。

二、研究區域概述

曾文溪上游集水區面積約475 km²，主流發源於嘉義縣阿里山鄉的東水山，標高2,609m。上游由後大埔溪接長谷川溪，再與伊斯基安那溪匯流成曾文溪，往下游與草山溪、二寮溪等匯流進入曾文水庫（圖1）。全區多為山地地形，河川流路受到地形限制呈蜿蜒狀，中央地質調查所之1/50000地質圖顯示研究區域出露之地層中，分布最廣的是長枝坑層

(圖 1)。集水區內的村落沿著河川、道路分布，共有十二治理分區(水土保持局，2011)，其中達邦、樂野等村過去於2007年柯羅莎、2009年莫拉克等颱風皆遭受嚴重的土石流、崩塌災害(圖 2)。根據水土保持局的全台重大土石災情總報告顯示，從2005至2017年的颱風豪雨事件多次造成曾文溪上游集水區的土石流、崩塌災害，其中2009年的莫拉克颱風造成樂野村大範圍的崩塌及多處道路中斷，以及在達邦村之崩塌引發的土石阻斷道路和民宅毀壞之災情(水土保持局，2009)。

因此，曾文溪上游集水區出露之地層複雜、地形陡峭、發生土石流及崩塌災害的頻率高，但同時具有多處村落、保全對象及重要的水利設施，因此，選定此區域評估崩塌潛勢。

三、研究方法與資料

研究方法主要以TRIGRS模式評估曾文溪上游集水區之崩塌潛勢，由KRID觀測降雨資料所擷取2007年柯羅莎歷史颱風事件的時雨量資料來調整參數及建立模式，研究流程如圖 3所示。以下就TRIGRS模式、KRID觀測降雨資料及模擬事件選取、參數設定、崩塌地資料、及正確率評估方法等說明。

(一)TRIGRS簡介

TRIGRS淺層崩塌物理模式主要以正方形網格作為計算之單位，考慮暫態降雨所造成淺層表土因水份入滲對於邊坡穩定性之影響。TRIGRS模式是由Fortran程式語言撰寫，降雨入滲機制是以Iverson(2000)對理查方程式(Richards Equation)的線性解為基礎，再延伸為可處理較複雜的降雨事件及邊界條件。根據各區域不同的水文地質條件輸入土壤內摩擦角、土壤凝聚力、土壤單位重、坡度、水力擴散係數、水力傳導係數等來表示該區域之水文地質特性，結合無限邊坡理論(Infinite slope stability analysis)計算各個網格的安全係數值，透過安全係數門檻值之設定，分析邊坡之穩定性。

(二)KRID觀測降雨資料及模擬事件選取

KRID觀測降雨資料的產製，主要是以雨量站之觀測值校正QPESUMS系統之雷達回波估計降雨後獲得，其空間解析度為1.25km。相較於單以雨量站之降雨資料進行事件模擬，KRID觀測降雨資料較能反映出山區局部降雨特性，且解析度也較為精細(圖 2)。因此，選用KRID觀測降雨資料進行崩塌潛勢模擬。為使降雨量資料可供TRIGRS模式應用，先由KRID觀測降雨資料中擷取出歷史降雨事件範圍，並內插至所需網格大小，再依研究區域範圍擷取時雨量資料。

歷史颱風事件選定對於曾文溪上游集水區曾造成崩塌、土石流災害之2007年柯羅莎颱風事件。柯羅莎颱風引進強烈的西南氣流，造成曾文溪上游集

水區，嘉義縣大埔鄉的馬頭山雨量站最大6小時雨量達319.5mm，最大24小時雨量高達817.5mm，且大埔鄉及阿里山鄉皆出現崩塌的情況，故以柯羅莎颱風事件來調整模式參數並進行崩塌潛勢之模擬。

(三)崩塌地資料

崩塌地資料採用林務局所判釋之年度崩塌地圖層，該資料的產製主要是透過當年度1至7月全島鑲嵌福衛二號衛星影像，透過同一基準和流程判釋而成。在曾文溪上游集水區所判釋的崩塌地面積，約介於0.1至400ha間。由於2007年柯羅莎颱風侵台時間為10月份，所產生之崩塌地應將於2008年度的崩塌地圖資呈現。因此，進行模擬結果驗證時，將採用2008年度的崩塌地資料。

(四)參數設定

模式的主要資料及參數設定，是透過40m×40m之數值高程模型來建置，包括坡度、流向、土壤厚度等地形參數等。其中，土壤厚度與地下水位實測資料較為缺乏，因此引用國家災害防救科技中心(2012)所修正坡度-深度關係式，推估土壤厚度(表 1)，並假設地下水位面之位置位於土壤與崩積層的交界面(吳佳郡，2006；陳則佑等人，2011；國家災害防救科技中心，2012)，即地下水位面的數值與土壤厚度相同。另外，現地的水文地質參數取得不易，進行設定時，是以中央地質調查所(2011)易淹水計畫中，經調查和試驗所設定之曾文溪流域的水文地質參數為初始值，再由各區域之崩塌率來設定土壤內摩擦角、土壤凝聚力、土壤單位重等參數。再由2008年崩塌地與模擬結果比較結果，將差異較大區域的參數進行調整，以達到參數優化及最佳的模擬成果。

(五)模式正確率

為了評估參數組合於模式的準確度，藉由誤差矩陣法(Error matrix method)計算模式正確率(表 2)。本研究以具有地形相似性的斜坡單元為單位，評估崩塌潛勢，先將安全係數小於1的網格、實際崩塌地各別與斜坡單元進行套疊，找出具崩塌潛勢與實際崩塌交集之斜坡單元，再計算具崩塌潛勢且實際崩塌、不具崩塌潛勢且未崩塌之斜坡單元數目後，求出模式的正確率。模式參數之設定標準，以正確率達70%以上為基準，即當正確率達70%以上時，代表該組參數可作為應用於其他降雨事件之崩塌潛勢的模擬作業，反之，則需重新調整參數組合，俟正確率達到基準值。

四、結果與討論

(一)崩塌潛勢評估模式建立

崩塌潛勢評估模式之崩塌潛勢評估，採用各網格之安全係數(FS)值，將門檻值設為1，即當FS值小於1時，判斷該網格具有崩塌潛勢。將模擬結果

與2008年實際崩塌地進行套疊後可發現(圖4),具崩塌潛勢網格的分布位置大於實際崩塌地,主要原因為FS值所展現的是坡面因降雨所發生不穩定區域。因此當不穩定區域的分布趨勢,符合實際崩塌地分布,則可依據該評估結果,進行進一步討論。圖4顯示出模擬結果之崩塌潛勢分布區位,與2008年實際崩塌地大多相符。以具有地形相似性之斜坡單元為單位,計算模式正確率後,模式之山崩正確率為83.7%,非山崩正確率為77%。結果顯示,透過KRID歷史颱風事件所建立的評估模式,的確可使模擬結果符合實際崩塌情況,故可將其作為後續建立其他颱風降雨事件的模擬依據。

(二)初步判釋崩塌潛勢的熱點區位

將模擬結果的最大崩塌潛勢與地層特性進行套疊(圖5),並且計算各地層之崩塌率及FS值小於1之總面積,來初步判釋崩塌熱點之區位及其地層特性。結果顯示三民頁岩、紅花子層、南莊層之地層崩塌率皆達9%以上,相較於其它地層具有高崩塌率。而FS值小於1之總面積較大的地層,包括長枝坑層、糖恩山砂岩及南莊層,總面積達560ha。但三民頁岩、紅花子層的高崩塌率,是因地層面積小所致,而長枝坑層、糖恩山砂岩則是因地層面積大,致使崩塌總面積較大。綜合以上二者條件及原因,可初步判釋崩塌的熱點區位主要聚集於南莊層。進一步歸納熱點之區位可發現大多數的熱點區位,皆位於東北部的阿里山鄉,包含達邦、樂野、里佳等重要坡地聚落,透過歷史災點的分布及常遭受崩塌、土石流災害的聚落位置可發現歷史崩塌熱區與模式模擬的崩塌潛勢熱區相近,故可應用該模式來模擬其他降雨事件之崩塌潛勢,透過了解崩塌潛勢的熱點區位,進而提早預防坡地災害的發生。

五、結論

本研究以TRIGRS模式進行曾文溪上游集水區之崩塌潛勢模擬,透過數值高程模型來建立地形參數,另以2007年柯羅莎颱風的KRID觀測降雨資料、歷史崩塌地之崩塌率、地層特性來設定及調整水文地質參數,再透過模擬結果使參數最佳化,進而完成模式建置。研究結果顯示具崩塌潛勢之區位與2008年實際崩塌地相符,且在出露的地層當中以南莊層最具崩塌潛勢,進一步計算模式正確率,山崩及非山崩正確率皆達70%以上,表示崩塌的熱點區位及其地質特性可由模擬結果進行初步判釋。綜合上述,透過KRID觀測降雨資料所調校之模式,確實可有效應用於坡地崩塌潛勢之評估。另一方面,為使模式參數更能應用於各種類型的降雨,應增加判釋的降雨事件,以減少模式的不確定性。因此,在未來研究上,可依循本研究所提出之方法及流程,選定其他重要颱風事件,來提升模式評估正確性。

六、參考文獻

- 1.水土保持局, 2009: “98年全台重大土石災情總報告”, 水土保持局
- 2.水土保持局, 2011: “曾文水庫集水區多元尺度環境調查與保育治理成效評估”, 水土保持局
- 3.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)”, 中央地質調查所
- 4.王安翔,林李耀,鳳雷,張智昌, 2009: “2008年颱風個案在嘉義縣市之雷達定量降雨估計與短時預報研究”, 天氣分析與預報研討會
- 5.吳佳郡, 2006: “降雨誘發山崩之潛感分析初探”, 國立暨南國際大學土木工程學系碩士論文
- 6.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, 1卷, 1期, 77-95
- 7.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卷, 3期, 228-239
- 8.黃翔瑋, 2012: “極端氣候下降雨引致淺層山崩之脆弱性評估”, 國立台灣海洋大學河海工程學系碩士論文
- 9.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)
- 10.Chen C. Y., Lin L. Y., Yu F. C., Lee C. S., Tseng C. C., Wang A. X., Cheung K. W., 2007: “Improving debris flow monitoring in Taiwan by using high-resolution rainfall products from QPESUMS”, Natural Hazards 40(2),447-461
- 11.Iverson, R.M., 2000: “Landslide triggering by rain infiltration”, Water Resources Research, 36(7),1897-1910
- 12.DATA.COA 行政院農業委員會資料開放平台 <https://data.coa.gov.tw/Query/ServiceDetail.aspx?id=E32>
13. 颱風資料庫 Typhoon DataBase <http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/rain>

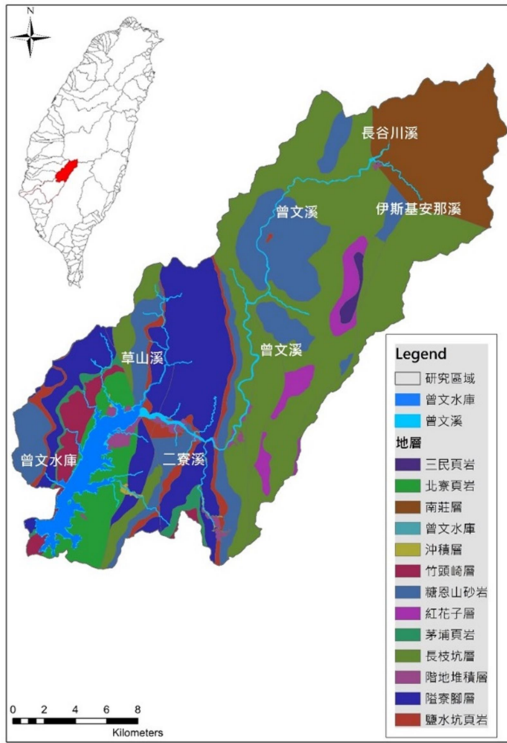


圖 1 研究區域水系及地層圖

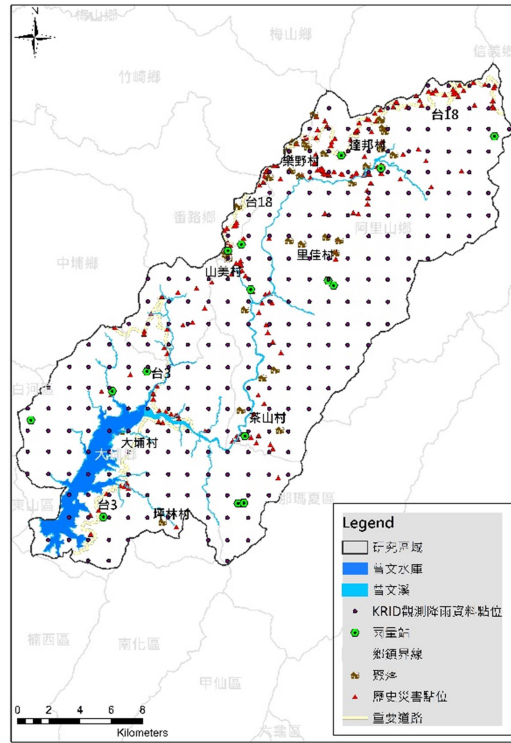


圖 2 聚落、災害點位及雨量點位分布圖

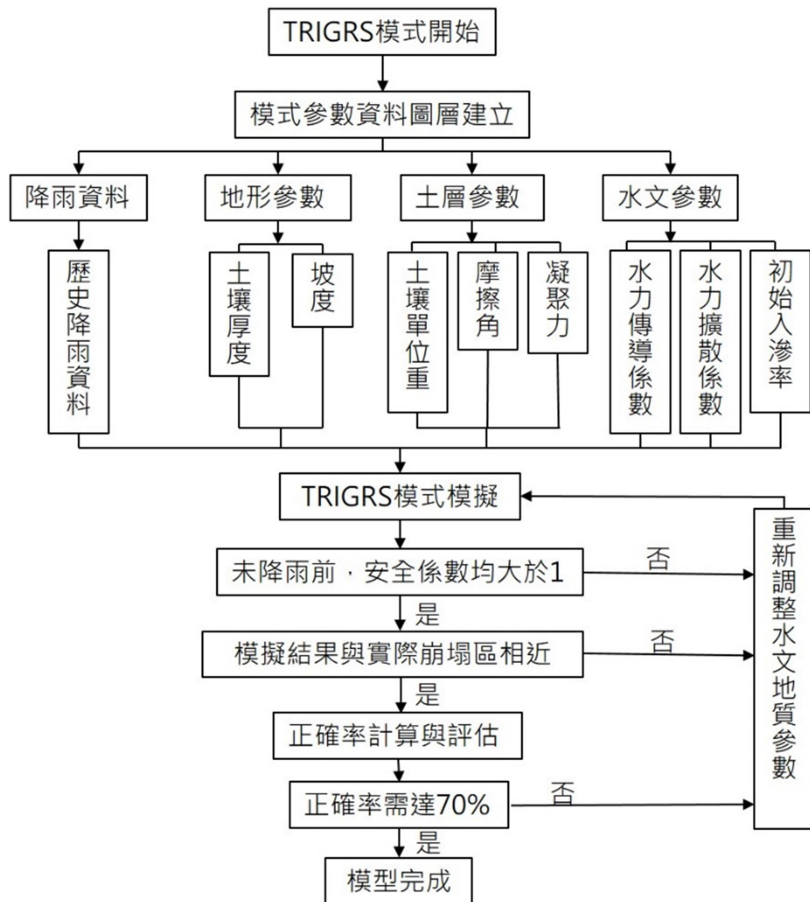


圖 3 TRIGRS 模式執行流程圖

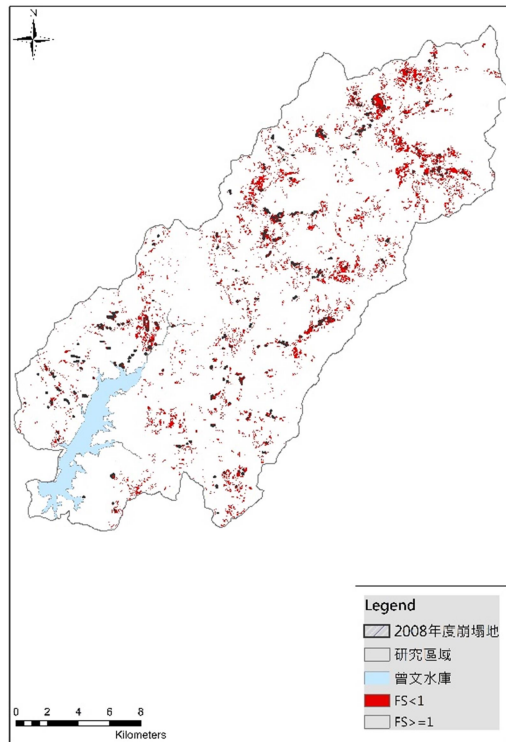


圖 4 模擬結果與實際崩塌地分布圖

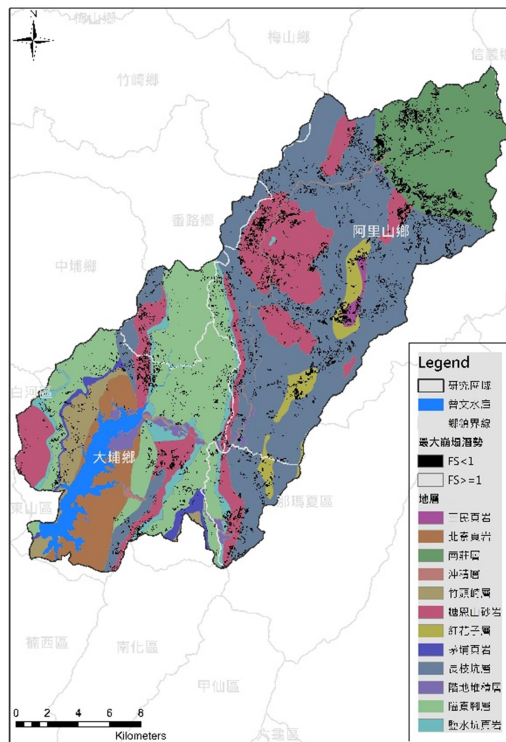


圖 5 最大崩塌潛勢圖

表 1 坡度與土壤厚度換算表（國家災害防救科技中心，2012）

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 正確率計算結果

範例			
(單位：曾文溪上游集水區 降雨事件：2007 年柯羅莎事件)		模式預測結果	
		FS<1.0	FS≥1.0
實際崩塌狀況	已崩塌	345 (N1)	67 (N2)
	未崩塌	1636 (N3)	5463 (N4)
山崩正確率(SRn,%)=N1/(N1+N2)=345/(345+67)=0.837			
非山崩正確率(SRc,%)=N4/(N3+N4)=5463/(1636+5463)=0.770			