

利用崩塌潛勢圖作風險評估之應用－以陳有蘭溪流域為例

楊明德* 黃奕達 黃凱翔 張益祥

摘要 本研究利用衛星影像和數值高程模型 (DEM) 擷取出地形、地質、區位三大因子資料，利用不安定指數法分析地形、地質、區位三大因子，計算其變異係數和標準差以求得權重，將所有因子依權重套疊製成崩塌潛勢圖以評估崩塌程度，並結合保全對象資料進一步做風險評估。陳有蘭溪流域為中部地區重點災害防治溪流，本研究利用陳有蘭溪流域之數值高程模型，將集水區依峻線切分成各子集水區，套疊崩塌圖與保全對象資料進行保全因子之評分，再將各子集水區潛勢予以分級，評估其災害風險程度。研究成果指出陳有蘭溪流域中，最須優先處置之區域集中在同富村及神木村，依此能提供區域治理順序評估之依據。

關鍵詞：崩塌潛勢、子集水區、保全對象、不安定指數。

Landslide Hazard Evaluated by a Landslide Susceptibility Map - A Case Study of Chenyulan River Basin

Ming-Der Yang* Yi-Da Huang Kai-Hsiang Huang Yi-Hsinag Chang

ABSTRACT Satellite images and the Digital Elevation Model (DEM) can extract three major factors, such as topographic data, geologic patterns, and the location of the environment, in the instability index. The landslide susceptibility map illustrates the risk of landslides by computing landslide factors through a Geographic Information System (GIS). In this study, the instability index was applied to analyze the risk of landslides. DTM and aerial photographs of Chenyulan river watershed were employed. This research considered the landslide susceptibility and the scoring protected targets to estimate the risk of landslides for each sub-watershed in Chenyulan river. The result of this research shows, in the Chenyulan river watershed, Shenmu and Tongfu villages are currently the top priority for setting up a mitigation strategy and regulations.

Key Words : Landslide susceptibility, sub-watershed, protected target, instability index.

一、前言

諸多學者專家致力研究發展預測崩塌潛勢之方法，崩塌預測模式發展至今仍無法準確預測出崩塌地點，探索崩塌潛勢難以預測之原因，則可概分為三 (吳俊鉉, 2004)，其一為引發崩塌發生之因子眾多且複雜，其二是崩塌現象資料難以蒐集，其三是預測模式是否具有地域性。

崩塌因子依照 Koukis 與 Ziourkas (1991) 所提出可能引起山崩的因子可達 64 個之多，其中可分為動態的誘因與潛在的環境因子等，動態之誘因即為降雨及地震因子，潛在的環境因子則如：坡度、坡向、植生狀況等等；引發的因子很多，但實際上將所有因子都考慮進去並不合適，選擇合適的因子是一個難題 (賴韋廷, 2009)。本研究參考蘇苗彬等人 (2009) 選出地形、地質、區位三大因子。而崩塌資料因崩塌地位處偏遠

亦或是道路中斷導致人員難以在第一時間進入調查之地點，而事後所調查到的資料已經跟真實發生時刻有所差異，本研究運用遙測資料取得相關時間崩塌之情況，輔助解決此問題 (Wu, 2009)。地域性問題則是因各地適合選用的因子各不相同，所以難以定義出一套適用於全台各地的標準，本研究針對陳有蘭溪流域作一討論，期將來能在其他地區以相同的方式進行研究。

自 2004 年敏督利颱風後，土石流災情常出現於陳有蘭溪流域。往後凡雨量較大的颱風，陳有蘭溪流域常發生土石流災情。中央氣象局於 2009 年 8 月 5 日 20 時 30 分發布中度颱風莫拉克之海上颱風警報之後，颱風暴風圈籠罩台灣上空，並與西南氣流發生幅合作用 (convergence)，在台灣各地區皆降下豪大雨。根據中央氣象局雨量統計，本次莫拉克颱風事件已超越 100 年重現期距。總累積雨量以嘉義縣阿里山鄉 3,063mm 最高，於陳有蘭溪流域則為信義鄉神木村的 1,956mm 為最。在中部地區災損部分，南投縣 10 人死亡 6 人失蹤，農林災損約 6 億 8 千萬元，主要集中在水里鄉及信義鄉之陳有蘭溪流域。此次風災亦造成濁水溪沿岸台 16 線道路塌陷，造成 7 部車落水，以及台 21 線往信義鄉道路嚴重受損。水里鄉新山村路基掏空壽山橋及 20 多戶民宅遭沖毀，多戶民宅懸空。信義鄉神木村隆華國小遭土石流沖毀，且因霍薩溪、和社溪數條支流發生集水區崩塌及土石流造成數萬立方土石下移，愛玉子溪橋沖毀，對外聯絡道路沖毀中斷，房屋及學校遭洪水侵襲，受創程度已影響當地居民生活及居住安全 (國立中興大學環境保育暨防災科技研究中心, 2009)，因此本研究選擇陳有蘭溪流域作為研究區域。此本研究選擇陳有蘭溪流域作為研究區域。

二、研究區域概述

陳有蘭溪流域位於南投縣信義、水里、鹿谷鄉境內，為濁水溪之最重要支流，主流發源於玉山北峰八通關之金門峒大斷崖 (海拔 3910 公尺)，自南向北流經山區，於東埔附近有沙里仙溪匯入，並於和社附近有和社溪匯入後蜿蜒流經信義鄉及鹿谷鄉境，其下游於水里鄉新山、永興村附近匯入濁水溪本流，如圖 1 所示。主流全長 42.4 公里，流域面積約 4 萬 5 千公頃，主流平均坡降約 6.75%，為濁水溪本流之 3.7 倍 (Lin et al., 2002)，在台灣多山地區已算是相對陡峻，更勝過世界大多數河川平均坡度。

陳有蘭溪流域之整體地形南高北低、東高西低，概以玉山為頂點，匯集玉山北坡面、阿里山脈東坡 (和社溪)、郡大山西坡之水，向北方於水里附近流入濁水溪，形成一直線狀縱谷地形，高差大 (3000 公尺以上)、坡降陡 (6.75%) 是陳有蘭溪河床特色 (李錫堤, 1996)。流域範圍東以郡大山 (標高 3278 公尺) 為界、南以阿里山、玉山 (標高 3952 公尺) 及秀姑巒山為界，分別向北逐漸降低，山高谷深，河川向下切侵蝕的速率快速，陳有蘭溪流域 SPOT 衛星假色影像如圖 2 (拍攝時間為 2009 年 9 月 26 日)。

陳有蘭溪河谷沖積扇發達及崩塌地多為另一項地形上之特色 (李錫堤, 1996)。河谷沖積扇發達表示該河川沖刷量大，且隱含地質變動快速的意義。陳有蘭溪的崩塌地主要有「向源侵蝕型」及「河岸侵蝕型」兩類，而崩塌地發達是河川沖刷量大的一另項主要原因，同時也隱含地質變動頻繁致山坡不穩定之意義。

陳有蘭溪流域出露之地層在地理上之分布，大致可劃分左右兩岸。陳有蘭溪左岸屬於中新世瑞芳群、

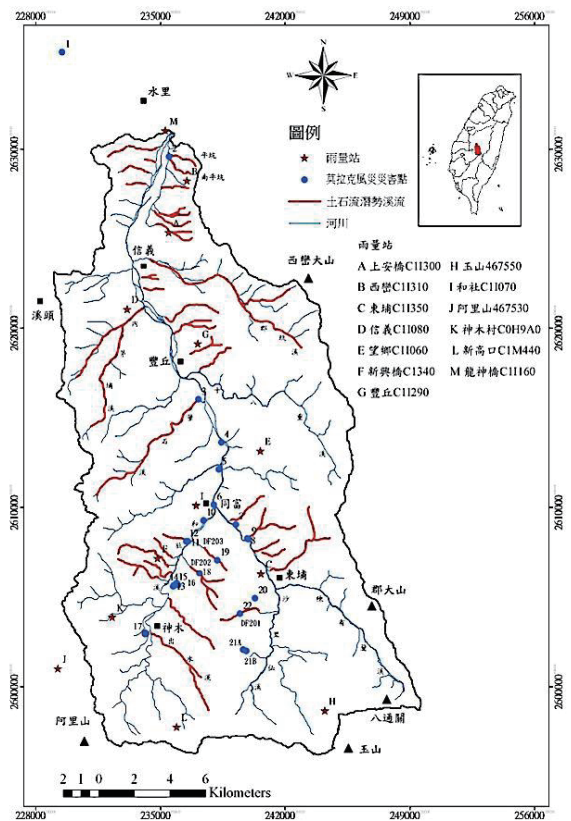


圖 1 陳有蘭溪流域位置圖 (摘自 Lin et al., 2002)

Fig. 1 Location of Chenyoulan River Basin

三峽群及其相當地層等以砂岩、頁岩為主之地層，包括南港層、南莊層、關刀山砂岩、十六份頁岩、大窩粉砂岩等；其右岸屬於古第三紀亞變質岩區之新高層及其層位相當之地層，以灰色石英岩、變質砂岩、板岩及千枚岩為主，圖 3 為中央地質調查所二十五萬分之一臺灣區域地質圖陳有蘭溪流域之地層分布。流域主要大構造為延著陳有蘭溪主流之陳有蘭溪斷層及其向南漸次延伸的斷層，其中包括沙里仙溪斷層和大塔口斷層。各斷層將該流域劃分為左岸的阿里山地塊及其右岸的玉山山地塊兩大地質區 (林銘郎等, 1996)。

三、崩塌潛勢計算

1. 崩塌區位潛勢分析

崩塌潛勢評估之研究，最常見的方法是給予各因子等權或不等權之權重，再將各因子進行疊加套疊以求得研究區域之崩塌程度，而權重常取決於專家學者的現場勘驗，且容易因各人標準不同而影響。因此本研究採用蘇苗彬等人 (2009) 所提之不安定指數法 (instability index method) 進行研究分析。不安定指數法，可從影像資料快速了解崩塌潛在程度，透過統計來計算權重，在風險評估中能客觀反映研究區域之狀況。

整理前人的崩塌因子，可了解評估因子有很多，可歸納成蘇苗彬等人 (2009) 所提的地形、地質及區域三大因子，其中地形因子包含坡度、坡向和高程、地質因子為地層分布、區位因子則含水系、距斷層距離、道路和土地利用因子。本研究考慮到莫拉克風災雨量極大，對崩塌的影響極為關鍵，而坡地植生的狀況亦直接影響坡地的穩定度，故選用地形因子 (坡度、坡向、高程)、地質因子、區位因子 (水系、雨量、道路、常態化植生指標) 作為崩塌潛勢因子，於不安定指數計算，本節將詳細說明不安定指數法及因子分級。圖 4 為崩塌潛勢評估流程圖。

2. 各不安定指數因子簡介

(1) 地形因子

① 坡度及坡向因子

各因子分級主要區分為 5~9 級，避免分級太少導致區別不清和分級太多產生混淆，坡度及坡向因子利用成功大學衛星資訊中心所製作的 5x5 數值高程模型 (digital eleva

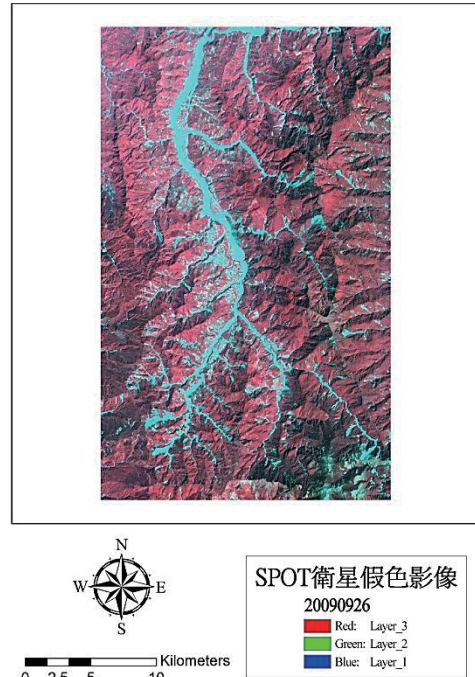


圖 2 陳有蘭溪流域 SPOT 衛星假色影像

Fig.2 False-color SPOT image of Chenyoulan River Basin

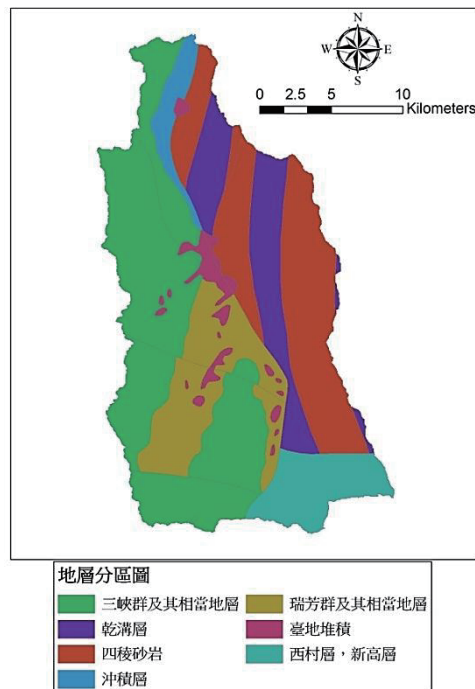


圖 3 陳有蘭溪流域之地層分區圖 (重製自中央地質所 1/25000 地質圖)

Fig.3 Geological map of Chenyoulan River Basin

tion model, DEM) 資料經過 ArcMap 空間分析模組 (spatial analyst) 產生資料。坡度因子代表平地與陡峭的指標因子，劉秀鳳 (2005) 研究得知主要影響崩塌因子為「坡度因子」，故坡度因子是直接影響坡地安定重要指標。本研究坡度分級方法參考張石角 (2004) 之研究，指出坡度越陡峭越容易發生崩塌，當坡度大於 45 度時，屬於低穩定性，故大於 45 度分為一級，其餘則等距分級，將坡度分為七級，如表 1 所示；而坡向分析分為八個方向加以分級，如表 2。

② 高程因子

高程越高發生崩塌機率越高，而且越靠近山脊線處，遭受降雨沖蝕的影響則越大，本研究依現況高程共分六個等級，分為 <800、800-1400、1400-2000、2000-2600、2600-3200、>3200 (m)。

(2) 地質因子

地質因子是為崩塌潛勢最重要因子之一，陳有蘭溪流域主要共分成七個地層種類，依序為乾溝層、四稜砂層、沖積層、三峽群及其相當地層、瑞芳群及其相當地層、台地堆積層、西村層和新高層，岩層種類區分如表 3。

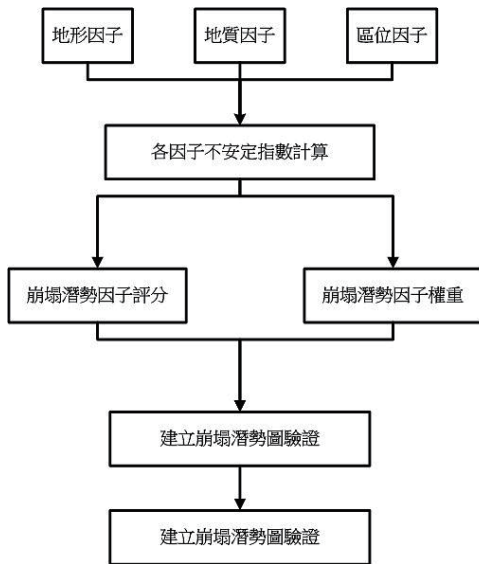


圖 4 崩塌潛勢評估流程圖

Fig.4 Flow chart of landslide potential assessment

(3) 區位因子

① 植生因子

山坡地與地表植生種類有密切的相關性，吳佐川 (1993) 對於植物種類分析發生最多崩塌為在闊葉樹林，也表示植物的疏密程度與崩塌地的相關性，本研究利用常態化植生指標 (normalized difference vegetation index, NDVI)，選用 88 風災事件後之影像，計算崩塌後陳有蘭溪流域的植生指標，來判斷莫拉克風災後的植被狀況，並依照植被生長狀況給予其稀疏至茂密等級，分為 <0、0-0.3、0.3-0.6、>0.6。

表 1 坡度分級表

Table 1 Slope classification

坡度	等級
0-20°	1級
20-25°	2級
25-30°	3級
30-35°	4級
35-40°	5級
40-45°	6級
45-90°	7級

表 2 坡向分級表

Table 2 Aspect classification

方位角	等級
337.5°-22.5°	北
22.5°-67.5°	東北
67.5°-112.5°	東
112.5°-157.5°	東南
157.5°-202.5°	南
202.5°-247.5°	西南
247.5°-292.5°	西
292.5°-337.5°	西北

表 3 地層類別

Table 3 Stratum classification

類別	地層種類
1	乾溝層
2	四稜砂層
3	沖積層
4	三峽群及其相當地層
5	瑞芳群及其相當地層
6	台地堆積層
7	西村層，新高層

② 道路因子

一般道路邊坡受到人為開發擾動之後較易發生崩塌, 本研究取 50 公尺為一單位, 共分九級, 分為<0、50~100、100~150、150~200、200~250、250~300、300~350、350~400、>400(m)。

③ 水系因子

由於崩塌多沿著水系而行或緊鄰水系, 故離水系越遠則發生崩塌機率越少, 故而選定水系為影響因子, 水系圖層的產生是以研究區 DEM 為基本資料, 套入地理資訊系統 Arc Hydro Tools 模組分析, 萃取出水系圖層。以 50 公尺為一個單位, 共分五級, 分為<50、50-100、100-150、150-200、>200 (m)。

④ 雨量因子

雨量的多寡和崩塌有很高的關聯, 雨量越多則崩塌的危險度越高, 其中累積雨量 500mm、1000mm 為易造成崩塌之警界值 (游繁結等, 2010), 陳有蘭溪流域在 88 風災累積雨量驚人, 故以累積雨量 1000mm 為起始, 300mm 為級距予以分級, 共分七級, 分為 0~1000、1000~1300、1300~1600、1600~1900、1900~2200、2200~2500、>2500 (mm) 以上。

3. 不安定指數法

不安定指數是計算崩塌網格之密度 (蘇苗彬, 1998), 其目的在評估較易崩塌之地區, 計算步驟如下:

(1) 崩塌潛勢潛感因子分級 $Z_i = Q_i / \sum Q_i$

$$Q_i = Q_{\text{landslide}} / Q_{\text{total}} \quad (1)$$

式子說明:

Z_i = 為各個因子之崩壞網格之密度或百分比

Q_i = 為崩塌的崩壞比

$Q_{\text{landslide}}$ = 為該分級崩塌網格數目

Q_{total} = 為該分級之網格總數

(2) 崩塌潛感因子評分

求得崩塌百分比之後, 為了求得各單一因子之評分值, 將各分級之崩塌百分比對應至 1~10 間, 以得各因子評分值。

$$D = \frac{9(Z_i - Z_{\min})}{(Z_{\max} - Z_{\min})} + 1 \quad (2)$$

式子說明:

D = 為各因子之評分值

Z_i = 為崩壞網格之密度或百分比

Z_{\min} 及 Z_{\max} = 因子分類中崩塌子分類密度或百分比最大與最小值

(3) 崩塌潛感因子權重

崩塌潛勢因子之權重值計算方式可分為兩個步驟: 首先計算各因子之權重比較值, 利用統計學上的分區統計方式, 可計算各個崩壞個數所佔有的百分比而得到變異係數 V (variation), 此變異係數較小時, 表示各分類所發生崩塌的比率較相近, 因此無法分辨崩塌比率較高之地區, 其變異係數較高則反之, 故可利用此變異係數之特性計算各因子之權重值。其公式如下:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3)$$

式子說明:

V = 為變異係數 (Variance)

σ = 為標準差 (Standard deviation)

\bar{X} = 為平均值 (Mean)

再計算各因子權重值 W , 各因子都可利用統計學上的分區統計方式, 求得之變異係數, 將各個因子之變異係數除於全部變異係數之總和, 即可得各因子之權重值如下:

$$W_i = \frac{V_i}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_i} \quad (4)$$

式子說明:

W_i = 表示單一因子之權重

V_i = 為單一因子之變異係數

(4) 崩塌潛勢值之疊加

各因子潛感值之乘積疊加, 可了解其發生崩塌可能性, 值越大表示發生崩塌機率較大, 計算如下:

$$D_{\text{total}} = D_1^{w_1} \times D_2^{w_2} \times D_3^{w_3} \dots \times D_i^{w_i} \quad (5)$$

式子說明:

D_{total} = 為山崩之潛感值

D_1, D_2, \dots, D_i = 為山崩潛感因子之評分值

4. 崩塌潛勢評估成果

彙整各個因子之權重與離散係數如表 4 所示, 依照不安定指數法的權重計算, 各因子權重值為各個因子之變異係數除以所有因子變異係數和。權重值代表各因子之變異程度, 表示其顯著性, 因為莫拉克颱風

的累積降雨在陳有蘭溪流域各地都屬高值，故其變異係數值小導致權重較低，顯示累積雨量此因子在本次事件中並非決定是否崩塌之關鍵因子。崩塌潛勢因子權重依大小排序依次為高程、植被指標 (NDVI)、水系、地質、坡度、坡向、道路、累積雨量。陳有蘭溪流域高低起伏變化大，因此高程權重植比較高、也因颱風的影響導致水系分布差異較大權重較高，而植被狀況因颱風所產生的差異對崩塌穩定度也有很大的影響，最後是陳有蘭溪流域的地質，極大部分是由不同的砂岩、深灰色頁岩、砂岩及頁岩，故透水性佳，缺點為膠結性差且易碎裂，故當豪大雨或地震，均會造成上部的坡地遭受破壞崩塌，所以地質因子權重也較高，NDVI由於莫拉克颱風的風雨沖蝕地表造成多處裸露，所以權重影響也不小。圖 5 為各因子權重分佈圖。

由各因子代入崩塌潛勢值公式套疊成果如圖 6。分數越高則表示發生崩塌的機率越高呈現紅色，反之則為綠色，由套疊成果圖表現出發生崩塌機率高的區位在陳有蘭溪流域的上游，多半位於坡頂處，故坡頂為土石崩塌危險地區。

四、坡地災害保全對象及受災潛勢評估

本研究參考 Dai 等人 (2002) 對風險評估之概念進行描述，針對風險估計及其計算方式進行探討。

1. 風險評估概念

風險評估的概念是將預估的風險和已知的風險進行排序，來決定風險的顯著性，以協助決定是否為可接受之風險或者需要進一步的處理風險 (Dai, 2002)。

本研究使用崩塌潛勢圖作為預估的陳有蘭溪流域風險，搭配上調查的保全住戶資料做為已知的風險來進行評估。

經由評估坡地災害及坡地崩塌發生潛勢，劃分陳有蘭溪流域之子集水區，並以自然環境潛在因素、保全對象因素再針對該子集水區之範圍進行評估計算其優先處理順序，將所評估出優先處理範圍內之住戶列為坡地災害之保全住戶，希望所列出之保全住戶須先撤離或者加強戒備，評估流程如圖 7。

2. 優先處理順序評估計算

要達成集水區治理成效，應以集水區上、中、下游整體規劃為思考邏輯 (行政院農業委員會林務局，

表 4 權重與變異係數

Table 4 Weight and dispersion coefficient

因子	權重值 (%)	變異係數值
坡向	0.098	0.64
坡度	0.105	0.69
高程	0.180	1.18
NDVI	0.157	1.04
水系環域影響	0.140	0.92
道路環域影響	0.094	0.62
地質影響	0.132	0.87
莫拉克累積降雨量	0.093	0.61
總和	1.000	6.57

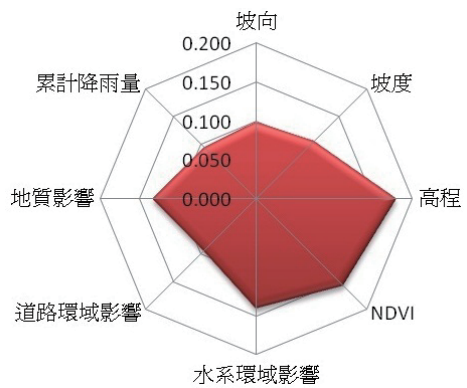


圖 5 崩塌因子權重分佈圖

Fig.5 Distribution of factor weights

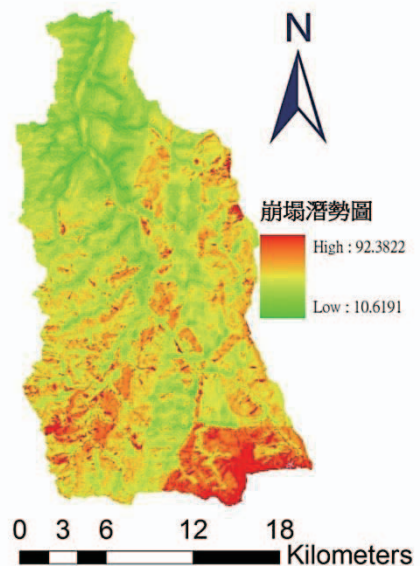


圖 6 崩塌潛勢圖

Fig.6 Landslide potential map

2009)。陳有蘭溪子集水區劃分是利用成功大學衛星資訊中心所製作的 5x5 DEM 資料利用集水區資訊系統軟體來劃分,以集水區上、中、下游整體規劃為前提使用試誤法 (trial and error) 選出合適的門檻值進行集水區劃分,子集水區之門檻值設定為 1000,最大河序為 5。利用該地區高程與水流向來界定各子集水區的範圍,劃分結果如圖 8。將陳有蘭溪之子集水區範圍與崩塌潛勢圖、保全住戶分佈圖個別進行套疊分析後,分別可以得到各個子集水區的自然因素潛在評分與保全對象因素評分,根據此二評分值之加總可決定各子集水區的優先處理順序:

(1) 自然環境潛在因素

包含地質因子、地形因子、區位因子等三項,各因子再分成坡度圖、坡向圖、高程圖、地質圖、道路圖、水系圖、降雨量分佈圖、植生主題圖等 8 項分類,根據不安定指數法所計算的權重來進行評分,各因子分類之權重和評分的分佈如表 5。

表 5 自然環境潛在因素表

Table 5 The potential weight of the natural environment

因子	分類	權重	評分
地形因子	坡度圖 (100)	0.098	9.8
	坡向圖 (100)	0.105	10.5
	高程圖 (100)	0.180	18
地質因子	地質圖 (100)	0.157	15.7
	道路圖 (100)	0.140	14
區位因子	水系圖 (100)	0.094	9.4
	降雨量分佈圖 (100)	0.132	13.2
	植生主題圖 (100)	0.093	9.3
權重加總		1.00	100

表 6 保全對象因素分析表

Table 6 Factor analysis of protected objects

因子	分類	評分
建物 (20)	公共建物 (學校、醫院及民眾聚集場所等)	20
	15戶民宅以上	15
	5戶至15戶間之民宅	10
	5戶以下	5
交通 (15)	橋梁	15
	道路	10
土地使用 (5)	一般農林地	5
	非一般農林地	2
	最高評分合計	40

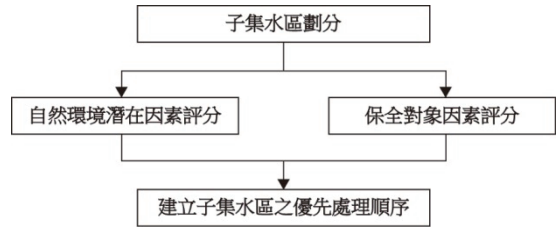


圖 7 優先處理順序評估流程圖

Fig.7 Flow chart of priority evaluation process

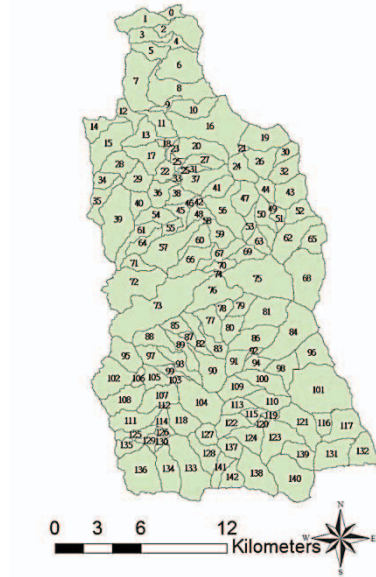


圖 8 陳有蘭溪子集水區劃分圖

Fig.8 Chenyoulan River sub-watershed catchment

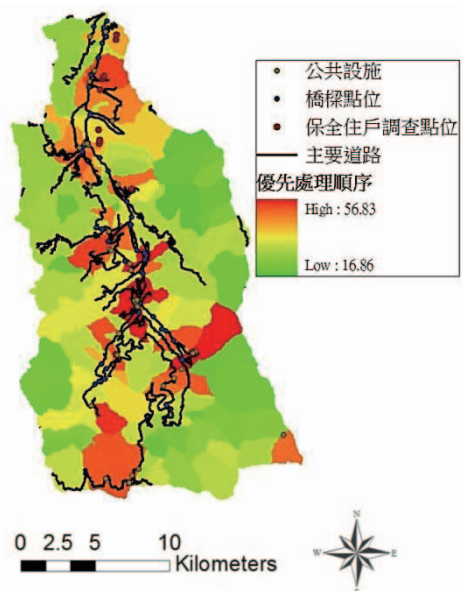


圖 9 保全對象調查點分佈圖

Fig.9 Distribution of protected objects

(2) 保全對象因子

本研究中保全因子之使用，選定三個主要因素－對建物之危害、對交通設施之危害及對土地使用之危害。在建築物部分因公共建築一般使用人數較多，故評分等級最高。交通方面則以橋樑受損對交通之危害較高，故給予較高分數。在土地使用一項，因受山崩災害衝擊之地區一般均為山區，其中以農林用地受損較大，故評分較高(林美聆，2003)。而土地使用上之受災，一般極少造成傷亡，故本項之評分相對較低，如表 6。陳有蘭溪流域之保全對象分佈參考「敏督利颱風及七二水災勘災調查報告」(國立中興大學環境保育暨防災科技研究中心，2004)，整理彙整如圖 9，根據保全對象因子評分表中提及之建物、交通與土地使用等各因子評分以及保全對象分佈圖，即可對子集水區的保全對象因子進行評分。

(3) 子集水區崩塌潛勢優先處理順序評估因素配分

子集水區崩塌潛勢優先處理順序評分參考行政院農業委員會林務局 (2009)，其崩塌潛勢權重與保全因素權重比為 2:1，並參考行政院農委會水土保持局 (林美聆，2003)，其崩塌潛勢權重與保全因素權重比為 1:1。本文整合前述方法，以自然環境因素 (崩塌潛勢圖) 為 60%，保全因素 (最高評分 40) 為 40%，優先處理順序評分之值域為 0~100，評分結果如表 7。

(4) 優先處理順序評定方式

依評分結果決定，所得高分者為高順序處理之子集水區，單一子集水區如果其崩塌潛勢值高和存在公共建物與橋樑，其優先處理順序得分就高，圖10為陳有蘭溪流域子集水區優先評分表，如子集水區編號 94 與編號 84 有最高和次高的優先處理順序評分值，因編號 94 和 84 之子集水區含公共建物和橋樑，其本身崩塌潛勢值也很高，故顏色為紅色，在防災規畫上可以將之設定為最優先處理知區域，圖中顏色偏紅之區域為危險度較高，可看出各子集水區的潛在危害程度，如此一來即可依據其值之高低來輔助防災之規劃。

有蘭溪流域在莫拉克颱風過後的前後期影像，在防災經費有限的情況下能找出最優先處理的子集水區。為了完整考慮災點的致災原因，治理工程應包含集水區。然而陳有蘭溪流域集水區過大不利於工程執行，同時為避免只做單點修復而忽略其他上游相關的影響，所以使用子集水區為單位來進行優先處理順序之評估。故本研究將各支流之子集水區細分成次集水區，兼顧子集水區之完整性及工程之可行性。為了突顯最需要優先處置之區域，將優先處理評分十等分 (Level 10 分數最高)，完成優先等級圖，如圖 11 和圖 12。

表 7 優先處理順序評分表

Table 7 The order of priority scoring table

子集水區編號	環境因素評分	保全因素評估			評分
		建物	交通	土地使用	
0	20.14	0	15	2	29.09
1	23.29	0	10	2	25.98
2	25.12	10	15	5	47.07
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
141	28.97	0	10	2	29.39
142	34.77	0	10	2	32.86

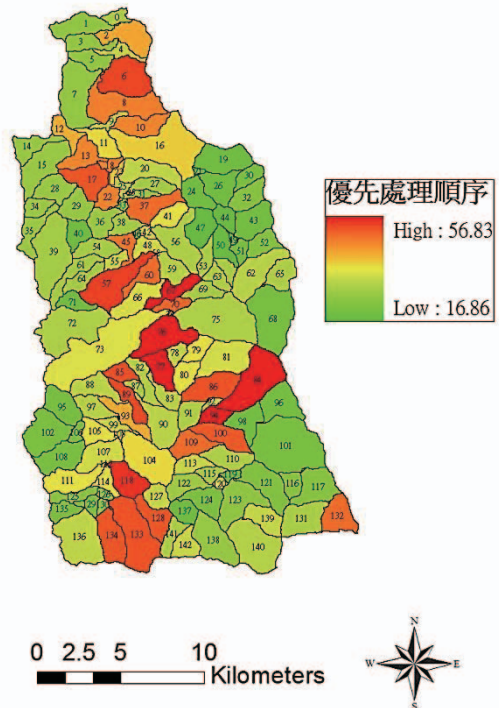


圖 10 優先處理順序評估結果

Fig.10 The order of priority evaluation

五、優先處理順序評估結果討論

在有限預算下為使防災工程更有效率，本研究利用崩塌潛勢圖之預警功能結合風險管理的概念，以陳

莫拉克風災造成陳有蘭溪流域重大災害，其中最為嚴重者有神木村隆華國小遭土石流衝擊而崩落（落於子集水區編號 85，等級 10）、同富村沙里仙橋周遭有重大崩塌發生（落於子集水區編號 94，等級 10）、同富村哈比蘭隧道周遭有重大崩塌發生（落於子集水區編號 86，等級 10）、神木村頭坑溪發生重大土石流（落於子集水區編號 89，等級 10）和新山村壽山橋發生土石流（落於子集水區編號 86，等級 8），可知發生重大災害處皆處於等級高的區域。

完成優先等級圖後，可輕易的從圖上得知防災工程該由何處優先著手，並依照各個子集水區的特性進行工程或管理，工程措施方面主要為抑制工程及抑止工程二大類，非工程措施主要利用人為管理方式來防範（行政院農業委員會林務局，2009）。抑制工程目的為消除崩塌之誘因，可規劃適當之挖土方工程，以改變滑動體自重之作用或進行地表水與地下水排水工程，以減少表面沖蝕及降低地下水壓力之作用，抑止工程目的為增加崩塌抵抗力，多為設計強度足夠之工程構造物來抵抗崩塌之發生，另外可利用植生處理方法，對於崩塌地邊坡先行施作植生基礎工程後，再種植適合立地生長之植物，加強覆蓋表土效應。但當崩塌地並無直接保全對象或崩塌土石並不直接危及人民時可考慮採取非工程措施之自然復育。

將優先處理評分整理列出等級為 10 共 14 個子集水區主要位置如表 8，可以得知南投縣信義鄉神木村、同富村、東埔村、羅娜村、郡坑村、新鄉村及望美村等村有出現等級為 10 的子集水區，需要優先處理。

表 8 等級 10 的點位主要位置表

Table 8 Locations of level-10 sites

點號	排序	主要位置	優先評分
94	1	南投縣信義鄉同富村	56.83
84	2	南投縣信義鄉東埔村	55.59
77	3	南投縣信義鄉同富村	55.47
76	4	南投縣信義鄉望美村	55.37
67	5	南投縣信義鄉羅娜村	55.01
118	6	南投縣信義鄉神木村	53.68
57	7	南投縣信義鄉新鄉村	52.81
6	8	南投縣水里鄉郡坑村	52.19
89	9	南投縣信義鄉神木村	51.88
85	10	南投縣信義鄉神木村	51.24
133	11	南投縣信義鄉神木村	51.08
86	12	南投縣信義鄉同富村	50.83
134	13	南投縣信義鄉神木村	50.55
128	14	南投縣信義鄉神木村	50.44

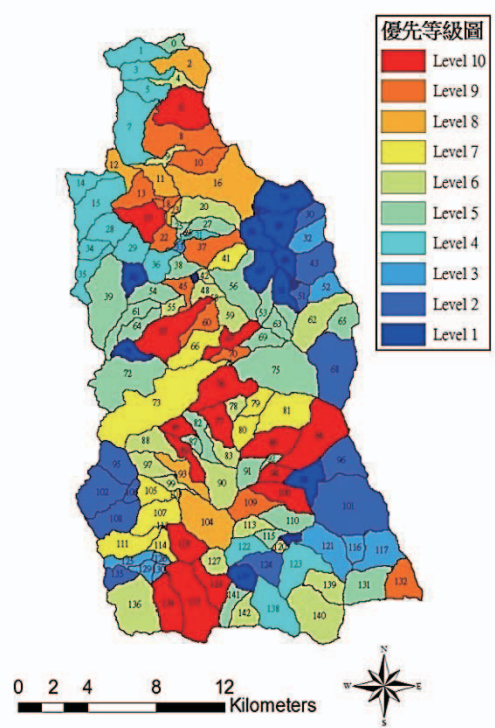


圖 11 優先處理等級子集水區圖

Fig.11 Priority distribution in sub-catchments

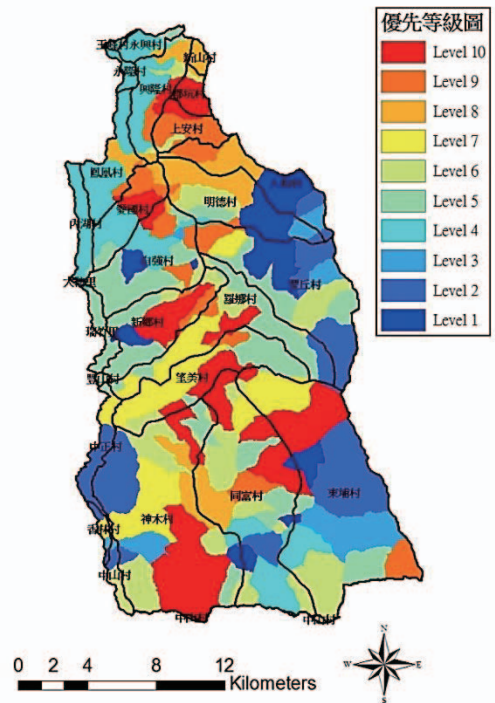


圖 12 優先處理等級行政區域圖

Fig.12 Priority distribution in political regions

六、結論與建議

自 921 大地震之後，台灣地區地理景觀及地形產生相當大的變動，如遇颱風暴雨易釀成土石崩塌或造成土石流災害，經莫拉克颱風肆虐後，除造成各地區淹水災害外，數個嚴重坡地災害亦造成重大傷亡。坡地災害並未因為科技的進步而減少，所以如何預防或減輕坡地崩塌帶來的災害損失，為刻不容緩的任務。

本研究利用不安定指數法，配合陳有蘭溪流域 DEM、衛星影像以及地質圖，進行崩塌潛勢圖製作。各因子權重值為各個因子之變異係數除以所有因子變異係數和。權重值表示各因子其顯著性，因莫拉克颱風的累積降雨在陳有蘭溪流域各地都屬高值，故其變異係數值小導致權重較低，顯示累積雨量此因子在本此事件中並非決定陳有蘭溪流域是否崩塌之關鍵因子。受影響較大之因子有高程、NDVI、水系、地質。高程主要是因為陳有蘭溪流域地勢起伏大，導致其權重較大。而受到莫拉克颱風之暴雨影響，導致地表植被變得破碎而裸露，河道也因水量暴增而產生變化，本研究利用衛星影像偵測植被及水系，所偵測出之 NDVI 和 水系變化劇烈，因此其權重較大。地質因子利用中央地質調查所「二十五萬分之一臺灣區域地質圖」之地質資訊配合研究，陳有蘭溪流域其地質以砂岩、頁岩、灰色石英岩、變質砂岩、板岩及千枚岩為主，易遭受雨量沖蝕而產生局部破壞，導致變異係數增大使得地質因子權重也較高。將以上各因子進行分級、評分，並進行疊加計算，完成崩塌潛勢圖。

本研究將崩塌潛勢圖加入風險評估的概念，結合陳有蘭溪流域村里行政區域圖及流域保全住戶資料，細分各個陳有蘭溪子集水區，進行保全對象之評分，配合崩塌潛勢圖計算出各子集水區的優先處理順序評分，成果顯示陳有蘭溪流域應優先處理的區域為南投縣信義鄉同富村及神木村。本研究流程可利用於各地區進行崩塌潛勢之研究，可以輔助相關防災單位進行防災工程規劃和設計，相信能於災前整備及災中應變階段發揮效用。

本研究因子之選擇和分級參考陳有蘭溪過往相關研究以及莫拉克颱風的極端降雨情況，針對陳有蘭溪流域在莫拉克颱風後進行研究，以反映陳有蘭溪流域八八風災災後的情況，可作為陳有蘭溪流域極端降雨情況之管理參考。未來可朝三個方向進行研究，一是針對陳有蘭溪流域進行多時期之研究，可探討陳有蘭溪流域之崩塌區域之長期變化，其二是在風險評估的

基礎下進行風險管理之研究，對防災管理方面有更實質應用，其三是利用預估之暴雨作崩塌潛勢之評估，並利用災後新增的崩塌區域來進行驗證，評估模式之準確性。

參考文獻

1. 行政院農業委員會林務局 (2009)，「加速國有林地治山防災及林道復建計畫」(Forestry Bureau (2009). Project report of disaster reduction and road rehabilitation in National Forest. Taiwan, ROC. (in Chinese))
2. 李錫堤 (1996)，「從地形學的觀點看陳有蘭溪的賀伯風災」，*土工技術*，57，17-24。(Lee, C.T. (1996). "A Geomorphological view to the disaster in the Chenyulan creek during the Herb Typhoon." *Sino-Geotechnics*, 57, 17-24. (in Chinese))
3. 吳佐川 (1993)，「台灣地區崩塌地區域特性之研究」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。(Wu, Z.C. (1993). "Study on the regional characteristics of landslide in Taiwan." Master thesis, National Taiwan University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
4. 吳俊鉉、陳樹群 (2004)，「崩塌潛勢預測方法於台灣適用性之初探」，*水土保持學報*，36(4)，295-306。(Wu, C.H., and Chen, S.C. (2004). "The Evaluation of the Landslide Potential Prediction Models Used in Taiwan." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 40(4), 377-392. (in Chinese))
5. 林銘郎、鄭富書、吳俊傑 (1996)，「新中橫沿線天然災害及成因分析」，*土工技術*，57，31-44。(Lin M.L., Jeng, F.S., and Wu, C.C. (1996). "Disasters Along New Central Cross-Island Highway." *Sino-Geotechnics*, 57, 31-44. (in Chinese))
6. 林美聆 (2003)，「土石流潛勢溪流後續調查與演變趨勢觀測計畫」，行政院農委會水土保持局，臺灣。(Lin, M.L. (2003). "Field Investigation and Trend Analysis of Potential Debris-Flow Rivers." Soil and Water Conservation Bureau, COA, Taiwan, (in Chinese))
7. 國立中興大學環境保育暨防災科技研究中心 (2009)，「88 莫拉克颱風勘災報告 (中彰投地區)」，國家災害防救科技中心。(Center for Environmental and Disaster Reduction at NCHU (2009). "Disaster survey report in Typhoon Morakot (Taichung, Changhua, Nantou region)." National Science and

- Technology Center for Disaster Reduction, Taiwan, ROC. (in Chinese))
8. 國立中興大學環境保育暨防災科技研究中心 (2004), 「敏督利颱風及七二水災勘災調查報告」, 國家災害防救科技中心. (Center for Environmental and Disaster Reduction at NCHU (2004). "Hazard investigations on typhoon Mindulle and the following storm in 2004." National Science and Technology Center for Disaster Reduction, Taiwan, ROC. (in Chinese))
 9. 張石角 (2004), 「太魯閣國家公園大同、大禮聯外交通設施工程之工程地形和地質之調查分析與可行性評估」, 中華民國工程環境學會。(Zhang, S.J. (2004). "The feasibility assessment and investigation analysis of Engineering Geomorphology and Geology in the transportation construction in Datong and Dali, Taroko National Park." *Journal of Engineering Environment*. (in Chinese))
 10. 游繁結、陳聯光 (2010), 「八八水災坡地災害探討」, 土木水利期刊, 37(1), 32-40。(Yu, F.C., and Chen, L.G. (2010). "The study of landslides induced by Typhoon Morakot." *Journal of the Chinese Institute of Civil & Hydraulic Engineering*, 37(1), 32-40. (in Chinese))
 11. 賴韋廷 (2009), 「利用不同崩塌地分類法改進崩塌潛勢之研究-以德基水庫集水區為例」, 國立中興大學土木工程學系碩士學位論文 (Lai, W.T. (2009). "Using Different Classification of Landslide to Improve research of Landslide susceptibility – A case study of Techu Reservoir watershed." Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
 12. 蘇苗彬、陳毅輝、方俊傑 (2009), 「應用不安定指數法於坡地崩塌之潛勢分析」, 水土保持技師公會, 4(1), 9-23。(Su, M.B., Chen, I.H., and Fang, J.B. (2009). "Application of Instability Index Method to Analyze the Potential of Slope Collapse." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 4(1), 9-23. (in Chinese))
 13. 蘇苗彬、蔡顯修、簡李濱 (1998), 「集水區坡地安定評估之計量分析方法」, 水土保持學報, 29(2), 105-114。(Su, M.B., Tsan, S.S., and Jian, L.B. (2006). "Quantitative Assessment of Hillslope Stability in a Watershed." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 29(2), 105-114. (in Chinese))
 14. Dai, F.C., Lee, C.F., and Ngai, Y.Y. (2002). "Landslide risk assessment and management: an overview." *Engineering Geology*, 64, 65-87.
 15. Lin, P.S., Lin, J.Y., Hung, J.C., and Yang, M.D. (2002). "Assessing debris-flow hazard in a watershed in Taiwan." *Engineering Geology*, 66, 295-313.
 16. Wu, Y.P., and Yin, K.L. (2009). "Study on riskassessment and management of landslide hazard in New Bodong County, Three Gorge Reservoir." *IEEE, Management and service Science, 2009. MASS' 09. Wuhan*, 1-4.
 17. Koukis, G., and Ziourkas, C. (1991). "Slope instability phenomena in Greece: a statistical analysis." *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 47-60.

2010年12月28日 收稿

2011年04月27日 修正

2011年09月08日 接受

(本文開放討論至 2012 年 9 月 30 日)