

國有林大規模崩塌潛勢區判釋與危險度評估

文／圖 ■ 何岱杰 ■ 國立成功大學防災研究中心研究助理

林慶偉 ■ 國立成功大學地球科學系教授

一、前言

民國 98 年 8 月莫拉克颱風災後，大規模崩塌的發生潛勢地點已成為國內相關單位調查研究之重點。為判釋國有林大規模崩塌潛勢區域，林務局分別於 101 ~ 102 年辦理「國有林深層崩塌致災潛勢調查評估－南部重點流域」研究案（高屏溪及曾文溪流域）、103 ~ 104 年辦理「國有林大規模崩塌潛區判釋評估與簡易觀測分析」（大甲溪流域及濁水溪流域），運用經濟部中央地質調查所空載雷射掃描 (LiDAR) 技術所完成之高精度數值地形模型，完成 4 處集水區國有林事業區之大規模崩塌潛勢區發生區位判釋，共 2,523 處大規模崩塌潛勢區，並初步建立潛勢區之調查、判釋與危險度評估方法等。

惟林務局所轄管林班地面積廣達 153 萬公頃，故後續於 105 年度辦理「國有林大規模崩塌潛勢區判釋及危險度評估」，進行大規模崩塌潛勢區判釋工作。然而崩塌潛勢區數量極多，針對高風險之大規模崩塌潛勢區防減災方法與後續處理策略，同樣是林務局重點工作。

二、大規模崩塌潛勢區判釋方法

原則上，潛在崩塌面積大於 10 公頃者為大規模崩塌潛勢區位之必要條件。利用航照與高精度數值地形產製日照陰影圖與坡度圖等資料，結合有利崩塌發生之各項地質與地形因子，可有系統判釋出工作區域內具崩場地形特徵的潛勢區位。

大規模崩塌區在微地形特徵上大致可以分為冠部、陷落區和隆起區等 3 個分區，主要地形特徵有主崩崖、次崩崖、冠部崩崖、冠部裂隙，反向坡與陷溝等線性構造如圖 1 所示 (Agliardi et al., 2001; Chigira, 2009; Chigira and Kiho, 1994; Crosta et al., 2013; Pedrazzini et al., 2013; Varnes, 1978; 日本土木研究所, 2008)。地形特徵說明如下：

冠部是大規模崩塌發育的頂部，此區為張裂環境。坡面因拉張而發育較大落差者稱為冠部崩崖，較小者為冠部裂隙。

陷落區是大規模崩塌主要材料來源，一般地貌會發育為似碗狀的凹谷地形。內部主要崩塌構造是主崩崖、次崩崖，若滑動體因圓弧滑動，可能造成坡面反轉（坡面朝山脊，形成

反向坡地形)。

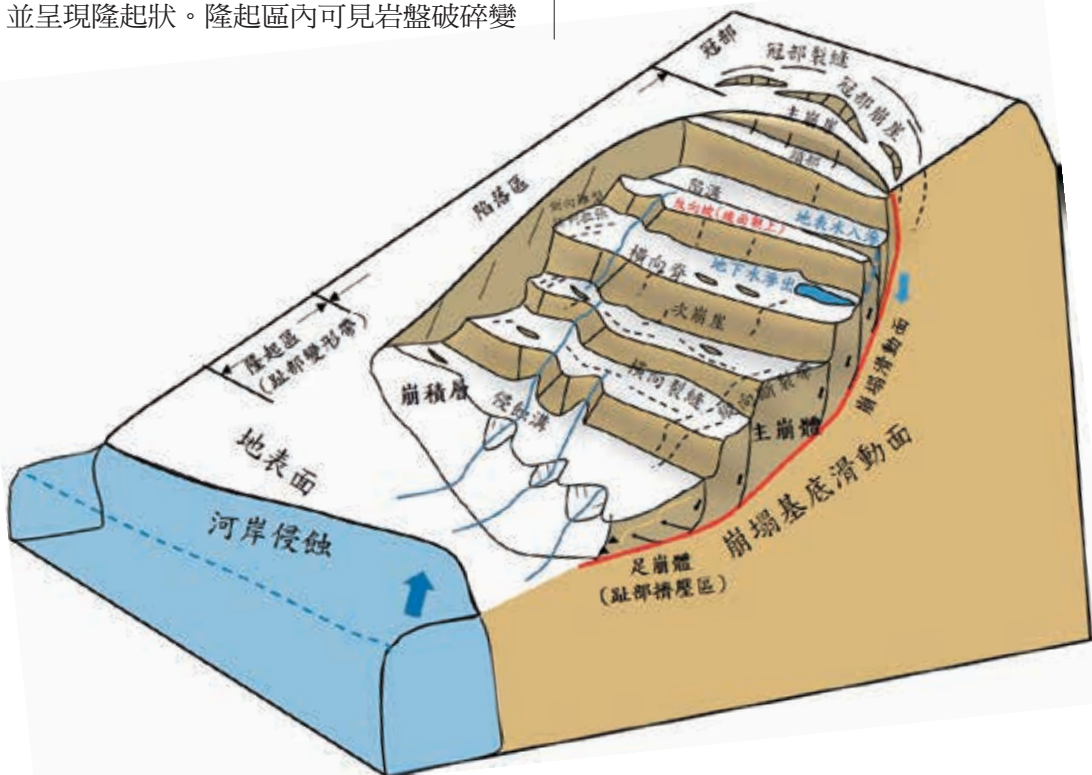
主崩崖為大規模崩塌主要判釋特徵，為崩塌最主要的滑動面，是高精度數值地形判釋中最重要之線形。

次崩崖是大規模崩塌滑動體內部之崩崖，主要為舊崩崖。若崩塌區內存在許多次崩崖，會使坡面如階梯狀，反映出坡面內部存在許多舊崩塌。

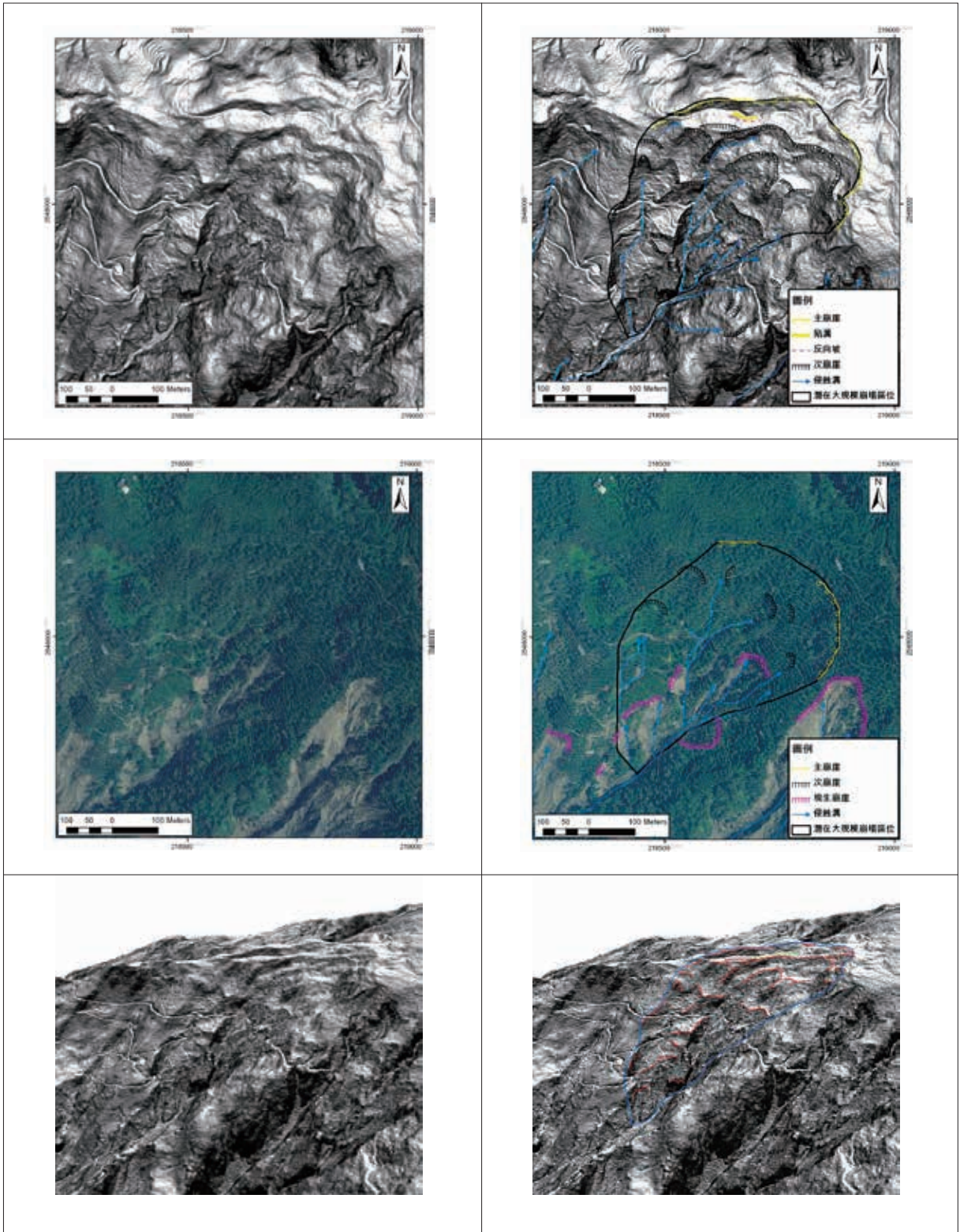
多重山脊地形是指滑動體因旋轉運動，導致坡面反轉使坡向朝山脊，而與正常坡面（朝河谷）之間形成一凹谷。此朝山脊之坡面稱為反向坡(counterslope)，而凹谷稱之為陷溝(trench)。

隆起區為大規模崩塌趾部變形帶或崩崖堆積區。趾部變形帶的主要應力狀態是壓應力，並呈現隆起狀。隆起區內可見岩盤破碎變形。

大規模崩塌潛勢區的判釋主要根據潛移的相關地形特徵，傳統判釋崩塌方法為使用航空照片之立體像對進行判釋(Chigira and Kiho, 1994)，而現今多以光學影像(衛星影像、航空照片)結合數值地形資料(40公尺、5公尺)進行判釋(魏倫璋等, 2012)；迄今拜科技進步所賜，已可利用1公尺高精度LiDAR資料產製日照陰影圖和坡度圖配合航照等相關資料，針對地形特徵進行判釋圖2，空載光達同時剝除了植被影響(劉進金、史天元, 2009)，對於判釋崩塌更是有利(Chigira et al., 2004; Glenn et al., 2006; Tarolli et al., 2012)，也更有機會觀察出大規模崩塌潛勢區之地形特徵。



▲圖1、大規模崩塌潛勢區微地形特徵示意圖(修改自Varnes, 1978)



▲圖2、1公尺坡度圖、航照影像（拍攝日期：98年8月28日）及3D坡度圖立體展示及其判釋成果圖（成大判釋成果）

三、大規模崩塌潛勢區危險度評估方法

目前各研究區域之評估模式係參考高屏溪流域大規模崩塌資料所建立危險等級評估模式，計算發生度等級（表 1）及保全重要性（表 2），參考國際減災策略組織 (ISDR) 公式，以評估矩陣演算危險等級（表 3）。

危險等級 = 發生度等級 × 保全重要性
(Risk=Hazard × Vulnerability)

發生度評分方式係以研究區域內已發生之大規模崩塌及大規模崩塌潛勢區目錄為樣本，檢討誘發崩塌之因子，配合證據權重法簡化各因子之分級（類），並計算各分級之權重值 (Wc)，正規化後解得各項因子分數，以評估各流域之危險度。

表 1、因子分級／分類之發生度評分（高屏溪法，林務局訂定）

因子	分級／分類	Wc	因子內部評分	正規化	分數
坡度	>45度	2.52776	2	1	4
	30~45度	-1.23979	1.5	0.38181	1
	<30度	-3.56673	1	0	0
河道距離	河道通過或相切	0.62732	2	0.68817	3
	無河道通過或相切	-0.62732	1	0.48231	1
岩性	板岩	0.53413	2	0.67288	3
	砂岩、砂頁岩互層 變質砂岩、片岩	-0.46676	1.5	0.50865	2
	頁岩	-2.02882	1	0.25234	1
順向坡	有	0.13551	2	0.60747	2
	無	-0.13551	1	0.563	1
構造距離	構造線通過或相切	0.08426	2	0.59906	2
	無構造線通過或相切	-0.08426	1	0.57141	1
發 生 度					T1 (14)
高發生度：14 ≥ T1 ≥ 10		中發生度：9 ≥ T1 ≥ 7		低發生度：T1 ≤ 6	

保全評分係先估算崩塌影響範圍，參考日本治水砂防協會針對地滑的影響範圍之評估，以鏡射法為基礎，配合地形修正，並保守評估可能致災與影響範圍，圈繪計算影響範圍內之保全對象後予以評分。

表 2、保全評分表

保全對象		分數
住戶	住戶50戶以上	36
	住戶20戶到49戶	25
	住戶10戶到19戶	16
	住戶10戶以下	9
交通	主要連外道路、橋樑	4
	道路	1
重要設施	重要公共設施（如防災措施相關之公共場所、高壓電塔、攔河堰）	16
水庫蓄水區		16
保全重要性評分		T2 (72)
高重要性：72 ≥ T2 ≥ 36		中重要性：35 ≥ T2 ≥ 12
低重要性：11 ≥ T2 ≥ 1		無：T2 = 0

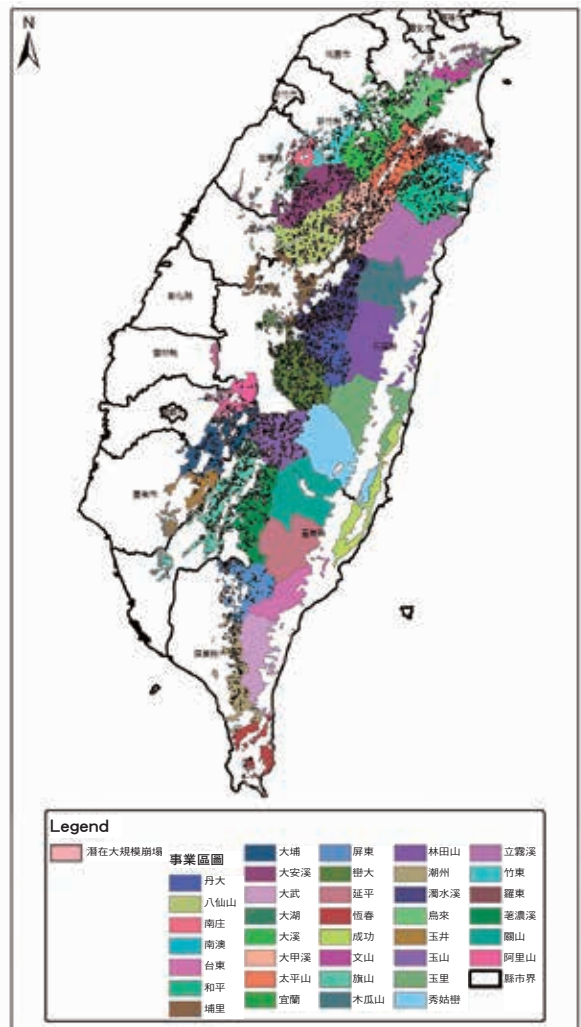
將發生度等級及保全重要性組合出危險等級評分矩陣，進行研究區域內之大規模崩塌潛勢區之危險等級評分，找出高危險等級，作為後續處理之參考。

表 3、危險等級評分表

危險等級評分表		保全重要性 (T2)			
		高	中	低	無
發生度等級 (T1)	高	9	7	4	0
	中	8	5	2	0
	低	6	3	1	0

四、大規模崩塌潛勢區區位判釋成果

林務局經 101 年「林務局國有林深層崩塌致災潛勢調查評估－南部重點流域」、103 年「國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析」與進行之 105 年「國有林大規模崩塌潛勢區判釋與級危險度評估」等計畫，已完成 27 個國有林事業區之大規模崩塌潛勢區判釋，判釋大規模崩塌潛勢區共 4,367 處（圖 3），總面積超過 12 萬公頃。



▲圖3、國有林班地內之大規模崩塌潛勢區分布圖

五、大規模崩塌潛勢區危險度評估成果—以濁水河流域之國有林班地為例

(一) 濁水河流域大規模崩塌潛勢區地點發生度評估方法建立

本區位於臺灣中部地區，受 921 地震影響，導致中部地區（震央地區）的崩塌活動性受地震影響程度高於高屏河流域。因此為了消

除地震效應，選用濁水河流域（全流域）已發生（扣除 1999 年 921 至 2004 年發生之大規模崩塌目錄）及潛在兩種不同的大規模崩塌目錄與證據權重法來建立發生度評分表。

本區之崩塌影響因子包含坡度、岩性、地質構造線、河道及順向坡。經證據權重法計算各因子分級或分類之權重值 (Wc)，經簡化後各因子分級（如表 4 ~ 8）。

表 4、坡度分級簡化之權重計算結果

分級 (度)	已發生與大規模崩塌潛勢區個數	已發生大規模崩塌個數	發生百分比	Wc
< 35	819	23	2.8%	-2.15633
35~40	562	38	6.8%	-0.80545
40~45	221	80	36.2%	1.90920
> 45	63	51	81.0%	3.78504

表 5、岩性分類簡化之權重值計算結果

分類	已發生與大規模崩塌潛勢區個數	已發生大規模崩塌個數	發生百分比	Wc
板岩	1,159	145	12.5%	0.33398
砂岩、砂頁岩互層	296	35	11.8%	0.03461
頁岩、變質砂岩、片岩	210	12	5.7%	-0.84562

表 6、距構造線最短距離重新分類與權重計算結果

分級(m)	已發生與大規模崩塌潛勢區個數	已發生大規模崩塌個數	發生百分比	Wc
0~450	631	75	11.9%	0.05565
> 450	1,034	117	11.3%	-0.05565

表 7、距河道最短距離重新分類與權重計算結果

分類	已發生與大規模崩塌潛勢區個數	已發生大規模崩塌個數	發生百分比	Wc
河道通過或相切	776	114	14.7%	0.58249
無河道通過或相切	889	78	8.8%	-0.58249

表 8、順向坡分類與權重值計算結果

分類	已發生與大規模崩塌潛勢區個數	已發生大規模崩塌個數	發生百分比	Wc
無	1,237	132	10.7%	-0.31106
有	428	60	14.0%	0.31106

(二) 濁水河流域大規模崩塌潛勢區發生度評分

計算各因子分級分類與權重值後，將全部因子之分級分類依據權重值排序並正規化，建立如表 9 之評分表，評分總和即為發生度分數，最小值為 4 分，最大值為 11 分。再將此評分結果套用至濁水河流域的已發生及大規模崩塌潛勢區圖層中，最後的評估結果如表 10，根據轉變為已發生大規模崩塌比例數據，將評分區分為高、中、低三個發生度等級，

總分 4 ~ 7 分為低發生度等級，8 ~ 9 分為中發生度等級，10 ~ 11 分為高發生度等級。圖 4 為濁水河流域大規模崩塌潛勢區發生度評分結果，圖 5 為濁水河流域大規模崩塌潛勢區發生度等級分析結果。

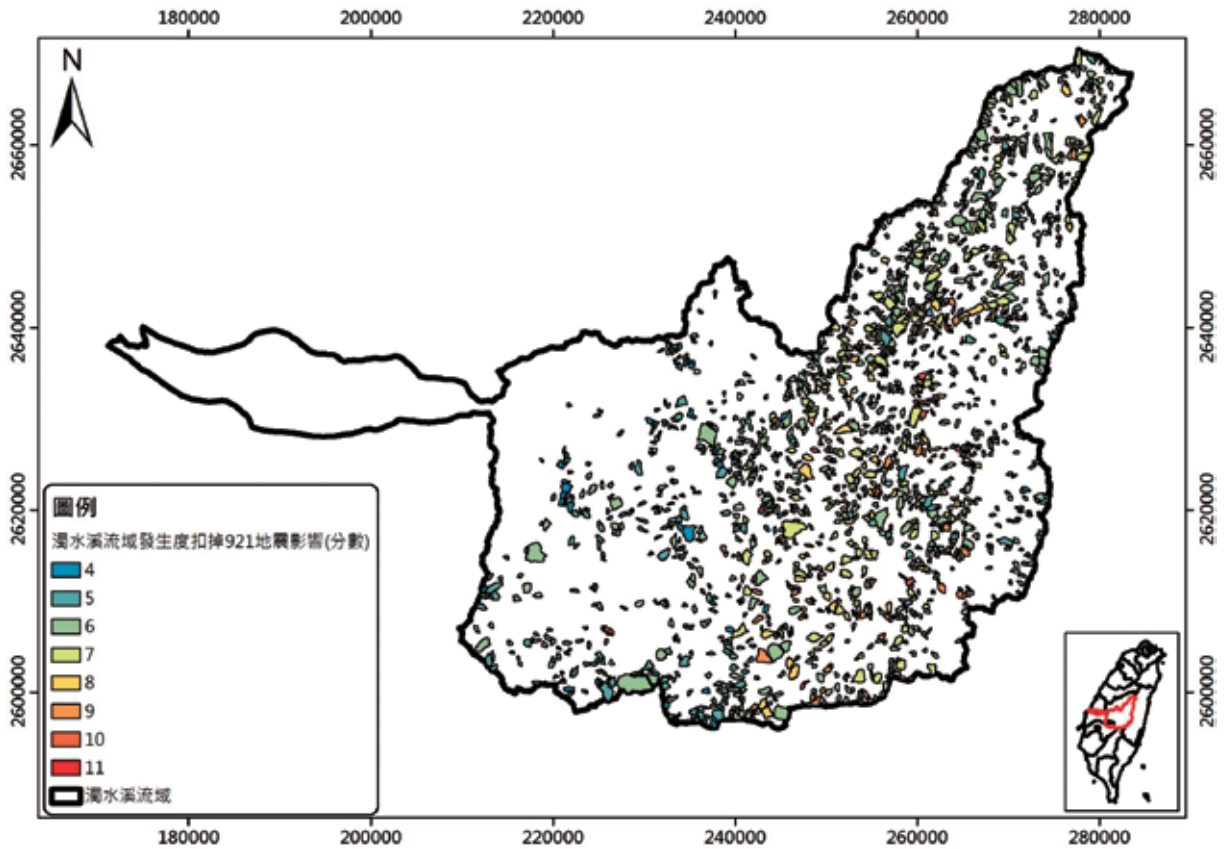
檢視計算結果，在高發生度的部分有 73.68% 的大規模崩塌潛勢區轉變為已發生之大規模崩塌，到中發生度轉變率降至 36.33%，低發生度則只有 3.95%，顯示此評分表具有一定的評估能力。

表 9、因子分級／分類之發生度評分

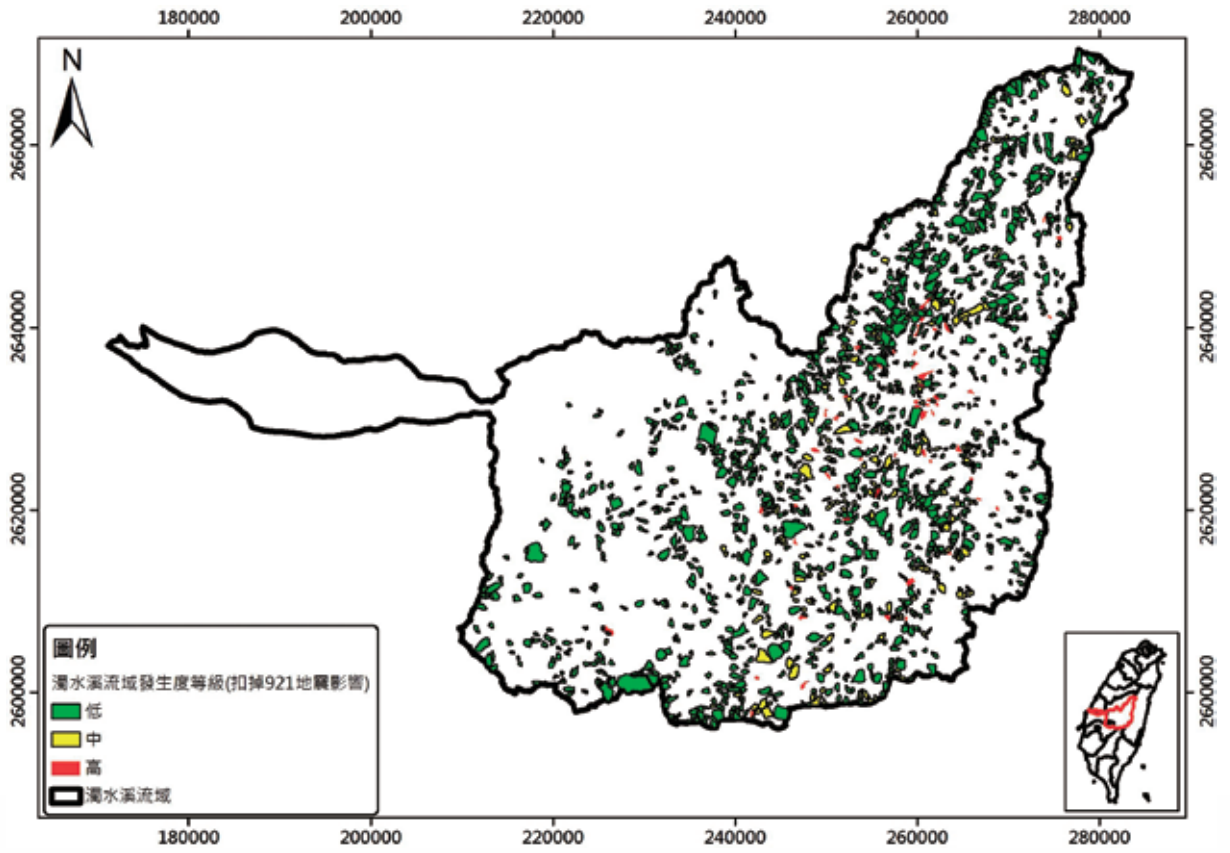
因子	分級/分類	Wc	正規化	分數
坡度	>45度	3.78504	1.0000	4
	40~45度	1.90920	0.6843	3
	35~40度	-0.80545	0.2274	1
	<35度	-2.15633	0.0000	0
河道距離	河道通過或相切	0.58249	0.4153	2
	無河道通過或相切	-0.58249	0.3106	1
岩性	板岩	0.33398	0.4191	2
	砂岩、砂頁岩互層	0.03461	0.3688	1
	頁岩、變質砂岩、片岩	-0.84562	0.2206	1
順向坡	有	0.31106	0.4610	2
	無	-0.31106	0.2649	1
構造距離	0~450公尺	0.05565	0.3723	1
	>450公尺	-0.05565	0.3536	1

表 10、濁水溪流域大規模崩塌發生度評分結果

發生度等級	評分	大規模崩塌 潛勢區 (個數)	已發生大規模 崩塌 (個數)	已發生與大規模 崩塌潛勢區 (個數)	各評分轉變為大規模 崩塌之百分比	
低發生度	4	126	4	130	3.08%	3.95%
	5	410	11	421	2.61%	
	6	462	17	479	3.55%	
	7	290	21	311	6.75%	
中發生度	8	106	46	152	30.26%	36.33%
	9	64	51	115	44.35%	
高發生度	10	14	40	54	74.07%	73.68%
	11	1	2	3	66.67%	



▲圖4、濁水溪流域大規模崩塌潛勢區發生度分數分布



▲圖5、濁水溪流域大規模崩塌潛勢區發生度等級分布



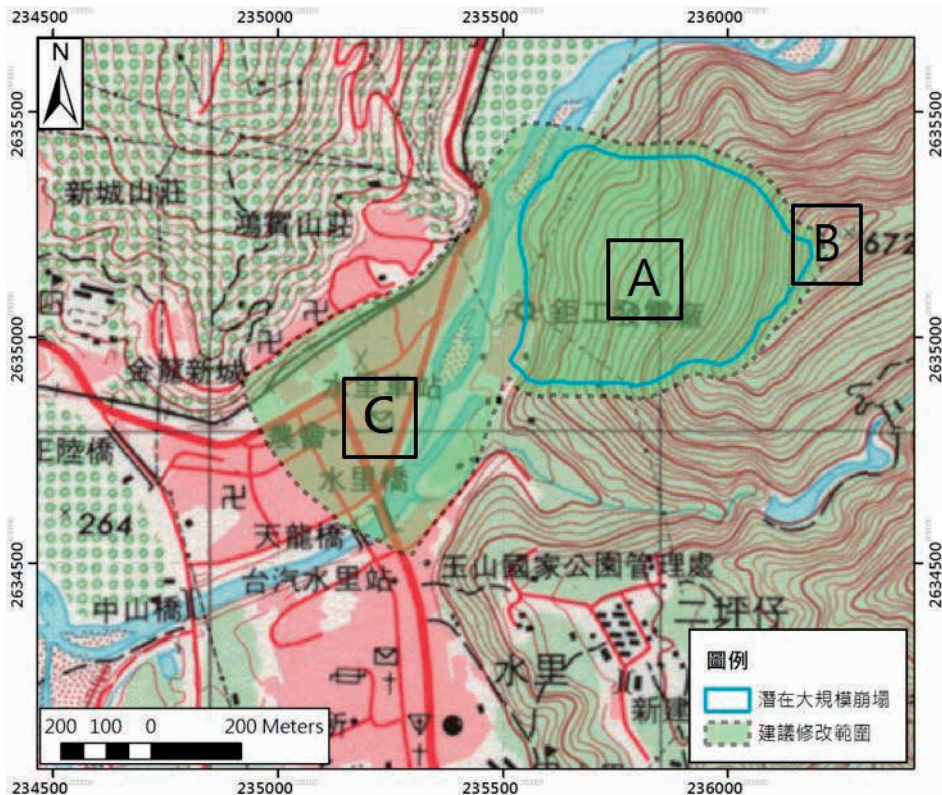
(圖片／高遠文化)

(三) 濁水溪流域大規模崩塌潛勢區保全重要性評估

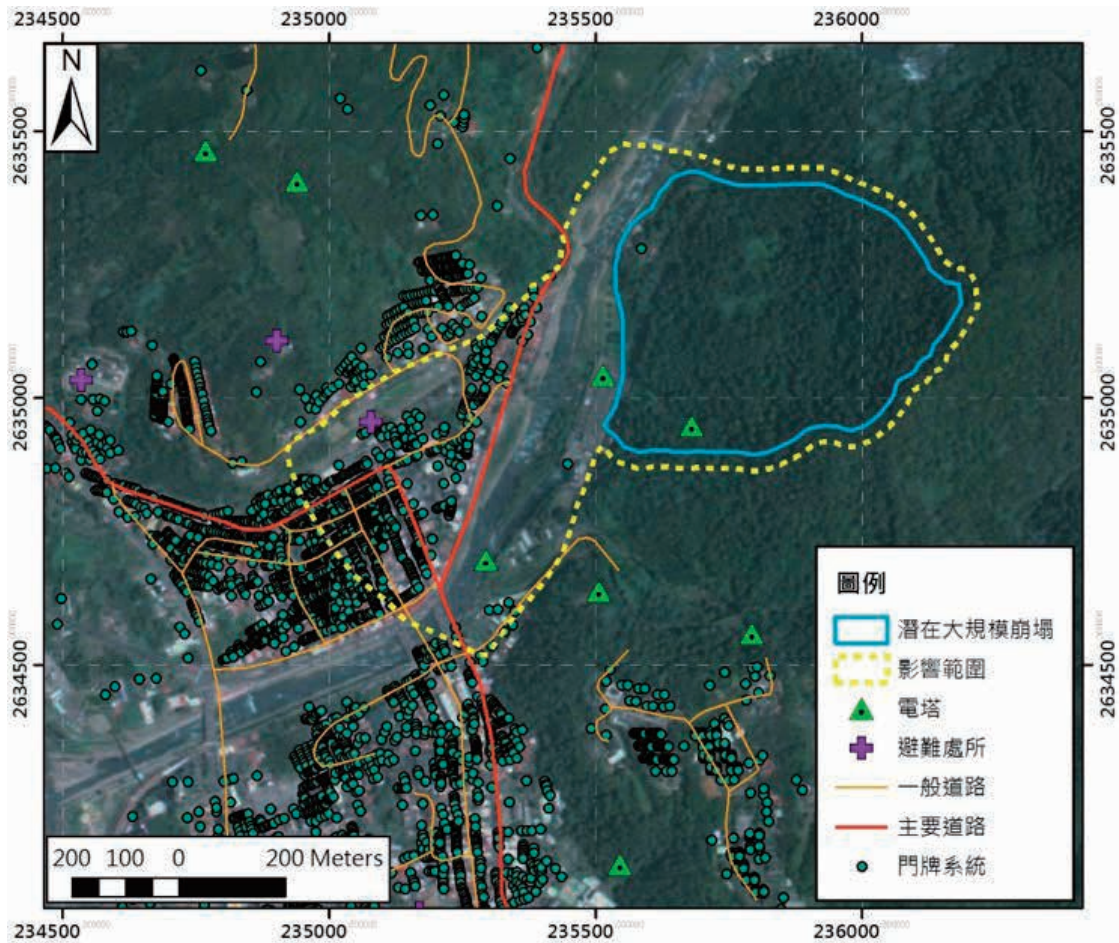
保全重要性評分是利用門牌系統及航空照片配合已判釋的大規模崩塌圖層進行影響範圍內保全重要性的評分，重要保全包括住戶、交通、重要設施（防災措施相關之公共場所、高壓電塔、攔河堰等）及水庫蓄水區等，再將大規模崩塌潛勢區的保全評分進行加總，當評分在 36 分以上為高重要性，12 ~ 35 分為中重要性，1 ~ 11 分為低重要性，0 分為無保全重要性（表 2）。

影響範圍評估以大規模崩塌潛勢區編號南投縣-水里鄉-D016 為例，將大規模崩塌潛

勢區範圍 (A) 往外擴 30 公尺是為崩塌地可能擴大的影響範圍 (B)，因此處地形關係，崩塌地下方影響範圍無法以崩塌地鏡像方式進行劃設，故下方影響範圍根據地形特徵往下游修正，其長度約為崩塌地坡長 (C)。將三項合併後即為南投縣-水里鄉-D016 之影響範圍 (圖 6)。將門牌系統、避難處所、電塔、主要道路等圖層套疊影響範圍分析，結果顯示南投縣-水里鄉-D016 影響之住戶共有 552 戶，且有 1 處避難處所，也有 3 處電塔位於影響範圍內，並有主要道路縣道 131 道路經過 (圖 7)。



▲圖6、大規模崩塌潛勢區編號南投縣-水里鄉-D016之影響範圍
(A：大規模崩塌潛勢區範圍；B：可能擴大之影響範圍；C：崩塌地下方之影響範圍)



▲圖7、大規模崩塌潛勢區編號南投縣-水里鄉-D016影響範圍及其影響之保全對象

濁水溪流域國有林事業區大規模崩塌潛勢區共完成 1,059 處影響範圍評估，影響範圍總面積約為 46,375 公頃，統計結果（如表 11）。其中有 31 處影響保全住戶，1 處有避

難處所設置，31 處有電塔分布，有 13 處位於水庫蓄水區，60 處有主要道路經過，149 處有一般道路經過。

表 11、濁水溪流域各事業區大規模崩塌潛勢區影響範圍統計

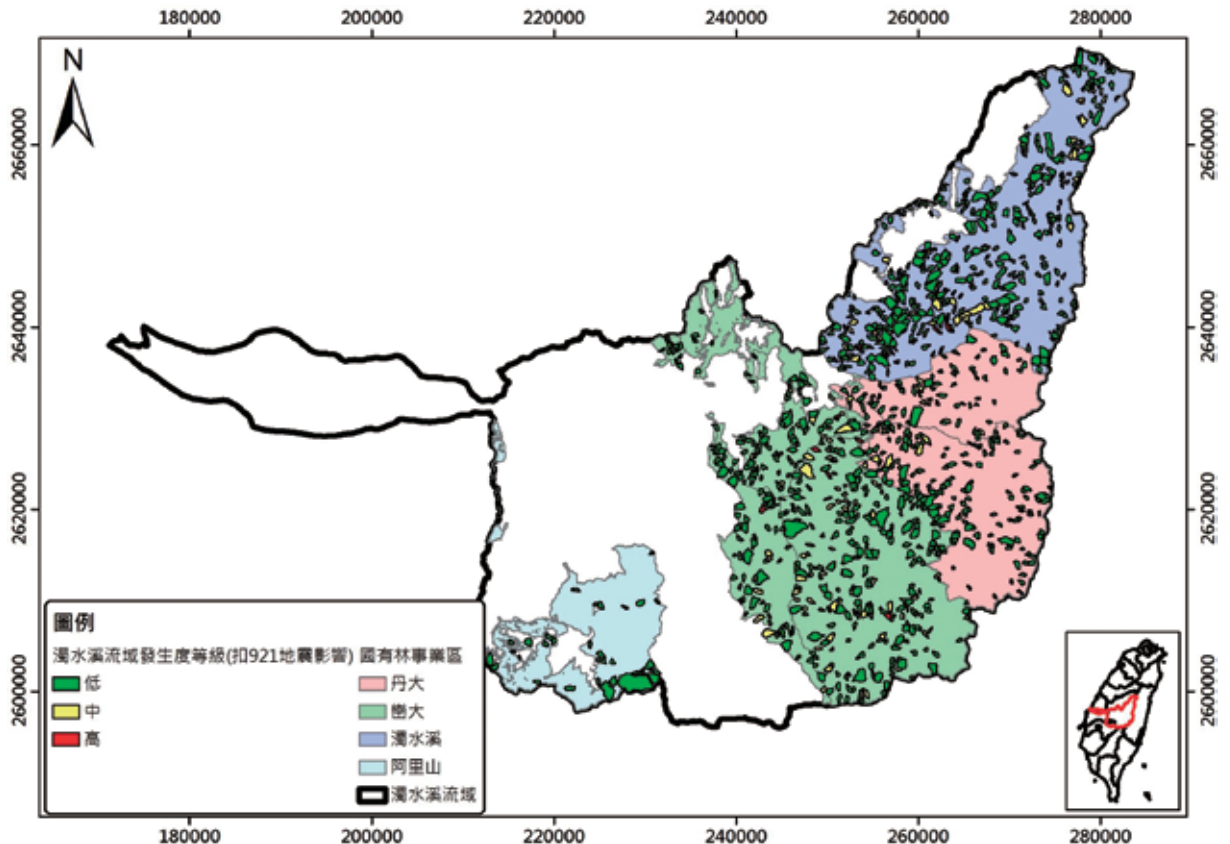
	巒大事業區	濁水溪事業區	丹大事業區	阿里山事業區	總計
大規模崩塌潛勢區個數（處）	417	380	228	34	1,059
大規模崩塌潛勢區影響範圍面積（公頃）	18,241	17,524	8,479	2,131	46,375

(四) 濁水溪流域大規模崩塌潛勢區危險度評估

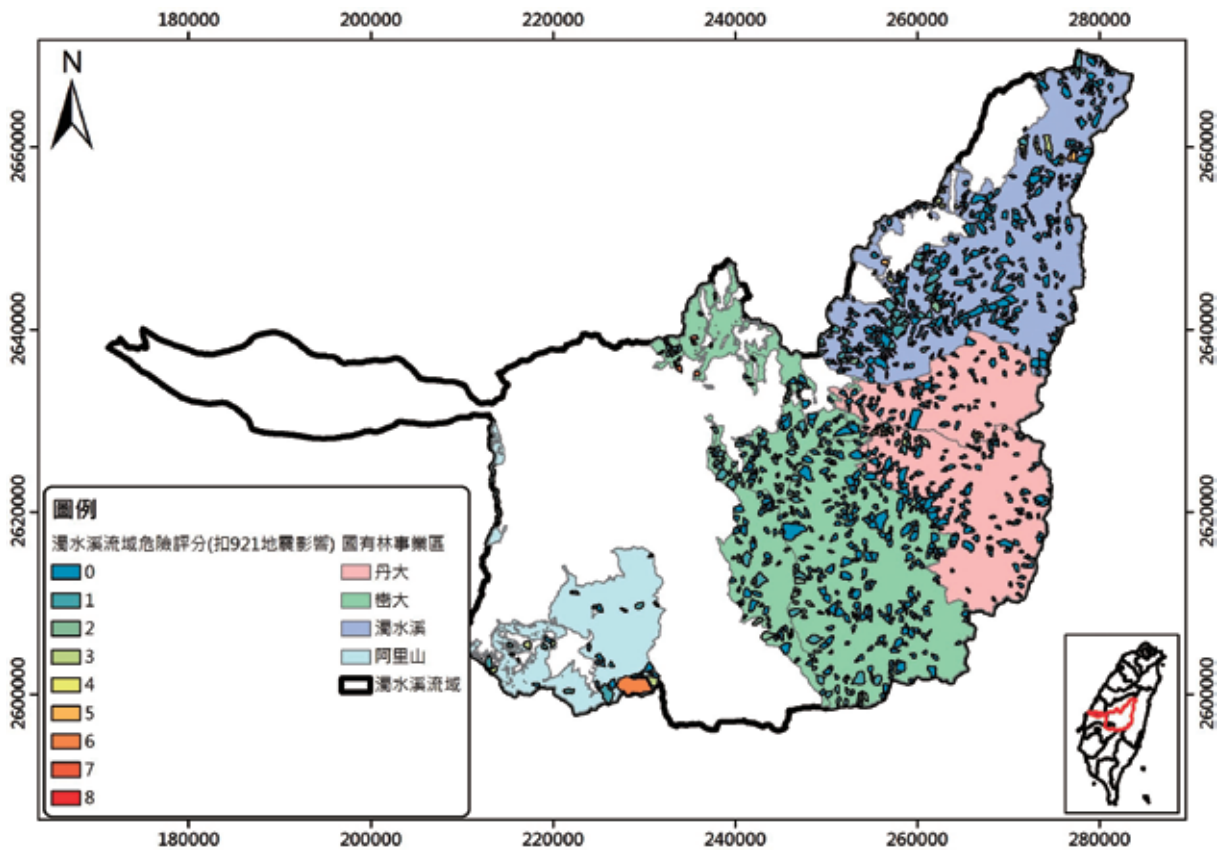
最後依據保全重要性及發生度等級，依表 3 之評分矩陣給予 0 ~ 9 危險等級評分即可評估大規模崩塌潛勢區地點危險等級。

濁水溪流域國有林事業區評估分析結果 (圖 8)，1,059 處大規模崩塌潛勢區中有 14 處位於高發生度等級、138 處位於中發生度等

級及 907 處位於低發生度等級；危險等級評分 (圖 9)，危險度評估最高分數為 6 分，共有 6 處，分別位於巒大事業區內為南投縣-水里鄉-D006、南投縣-水里鄉-D007、南投縣-水里鄉-D008、南投縣-水里鄉-D015 及南投縣-水里鄉-D016，位於阿里山事業區內為嘉義縣-阿里山鄉-D187。



▲圖8、濁水溪流域國有林事業區大規模崩塌潛勢區發生度等級分布



▲圖9、濁水溪流域國有林事業區大規模崩塌潛勢區危險度評分分布

六、研究與建議

林務局利用高精度數值地形判釋國有林區內大規模崩塌潛勢區已有相當豐富之成果。本研究由 101 年至今已判釋 4,367 處大規模崩塌潛勢區，其潛在崩塌面積達 126,210 公頃，完成 27 處國有林事業區之判釋工作，且建立高屏河流域、濁水河流域與大甲河流域之大規模崩塌潛勢區危險度評估。

大規模崩塌潛勢區數量極多，潛在崩塌面積過大，因此難以全面進行整治、調查等後續處理。目前危險度評估方法是依據流域劃分，尚須建立一套通用之評估方法，進一步評估崩塌潛勢，作為後續監測或穩定、治理工程之參考。⚠️

參考文獻（請逕洽作者）