

國有林莫拉克風災土砂二次災害潛勢 評估

文/圖 劉格非 ■ 國立台灣大學水工試驗所教授兼主任
邱昱嘉 ■ 國立台灣大學水工試驗所助理研究員(通訊作者)
林宜群 ■ 林務局集水區治理組治山科技正

一、前言

民國98年莫拉克颱風，雨勢集中降雨延時長，造成林務局南投處、嘉義處、屏東處及台東處轄內多處崩塌，並衍生嚴重土砂災害，依農林航空測量所於民國99年11月印發之「莫拉克颱風崩塌地航攝調查報告」(林務局農林航空測量所叢刊第118號)顯示，上揭4個林區管理處災前崩塌面積為1萬3,786公頃，災後增加為3萬2,923公頃，新增崩塌面積計1萬9,137公頃之多，惟對於崩塌地所產生之土砂量，及土砂伴隨降雨下移後之運移量與殘留於國有林內之殘留量等數值化之量體，未有明確之調查與估算，實有必要彙整與判釋民國97-101年國有林崩塌地基本資料、分析新增崩塌量、土砂流出量和坡面殘留量，並調查與評估國有林殘留土砂二次災害，以提供管理單位行動方案與策略研擬之參考。

二、崩塌地變化歷程探討

依崩塌地三級品管流程完成97-101年國有

林崩塌地目錄，初步確認崩塌地區位正確性，再以品管完成之崩塌地資料，進行流域別及國有林地事業區變化歷程探討，並就新增崩塌地空間分布進行地文因子特性分析與歸納，可得知各事業區年度崩塌地面積與崩塌率統計結果，如圖1、圖2所示。結果顯示97年及98年崩塌地面積以花蓮林區管理處立霧溪事業區最高，面積分別達2,362公頃與1,282公頃；99年及101年崩塌地面積以台東林區管理處大武事業區最高，面積分別達5,408公頃與3,768公頃；100年崩塌地面積以屏東林區管理處荖濃溪事業區最高，面積達3,750公頃。由上述統計結果可知，99年汛期前主要是莫拉克颱風造成之崩塌地，致使各國有林事業區皆有為數不少的崩塌地產生，且於100年仍存在相當多崩塌地。

三、崩塌產生量估算方法

崩塌體積量的估算，係將所有實測崩塌體積與面積輸入統計軟體，進行穩健迴歸分析(Robust

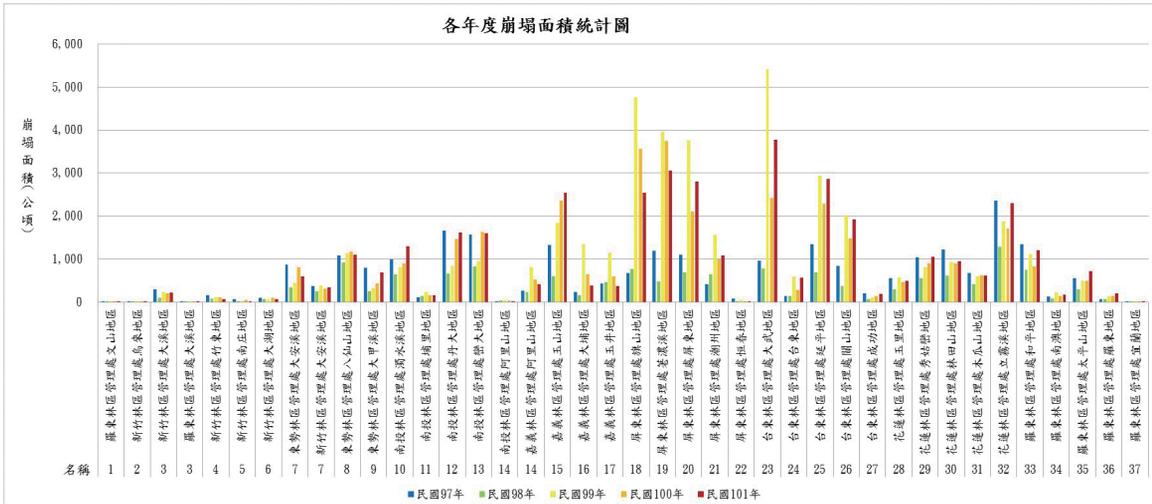


圖1 國有林事業區各年度崩塌地面積統計成果圖

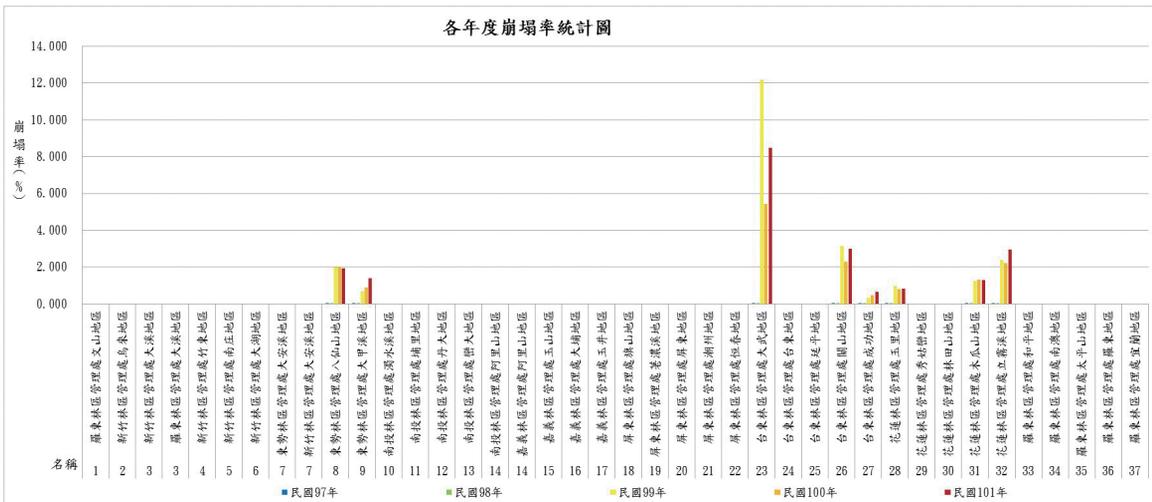


圖2 國有林事業區各年度崩塌地率統計成果圖

Regression), 建立崩塌體積與面積之經驗公式, 同時考量不同地質條件建立各地質分區之崩塌體積-面積關係式(圖3), 且各地質分區崩塌體積-面積關係式之迴歸係數介於0.81-0.92之間, 顯示確有頗佳之分析結果。

四、土砂流出量與殘留量分析

國有林班地透過河川泥砂觀測資料, 可藉以

估算土砂之流出量, 即依據率定曲線(Q-Qs rating curve), 將率定曲線代入流量資料, 估算河川輸砂量。本研究已蒐集水利署98-102年間既有且位於國有林範圍集水區出口的流量與輸砂量測站(共計40站, 如圖4), 測站分布遍及國有林班地內之各流域, 每個測站之觀測頻率約為每年25至50筆。至於國有林集水區之土砂殘留量, 則以集水區泥砂收支(Sediment Budget)平衡的概念來考

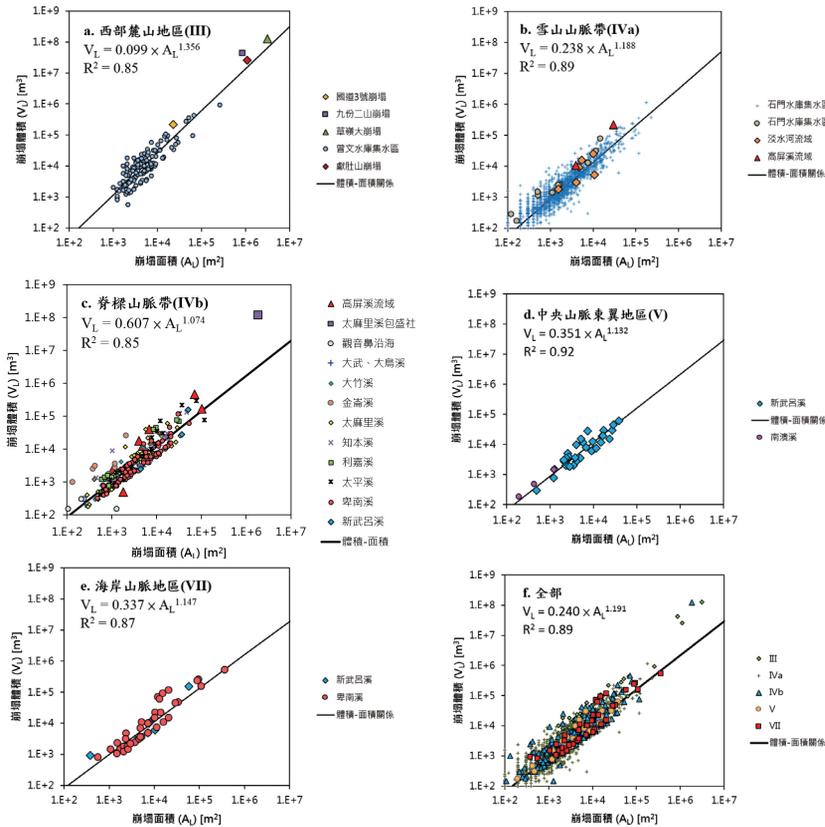


圖3 台灣地質分區與崩塌地樣本分布

量，土砂殘留量等於崩塌土砂生產量減去土砂流出量，根據此方法則可以計算出歷年土砂殘留變化量，計算式如下：

$$S_r(t) = V_L(t) + S_r(t-1) - Q_{su}(t)$$

S_r 為土砂殘留量 $[m^3]$ ； V_L 為新增崩塌量 $[m^3]$ ； Q_{su} 為土砂流出量 $[m^3]$ ； t 為時間[年]。當年的土砂殘留量為當年新增崩塌量加上前一年的殘留量，並且減掉當年的土砂流出量。殘留比則為最後一年的土砂殘留量除以所有時間的總崩塌量，若當土砂殘留量小於零時，則視為沒有土砂殘留量。

依據上述方法可得知民國97年-101年土砂殘留量，如圖5及圖6在97年度因土砂流出量較大，使得中部地區的土砂殘留量由3億7,622萬

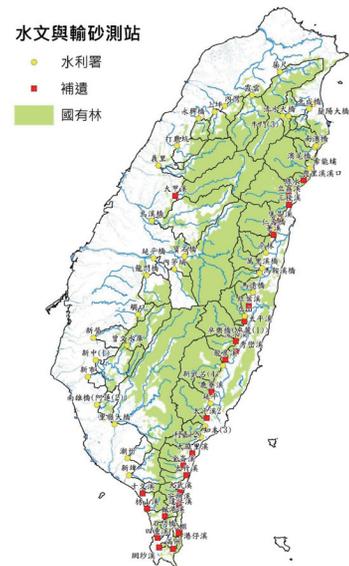


圖4 土砂流出量測站與補遺位置分布圖

立方公尺減少為2億7,115萬立方公尺，而南部地區土砂殘留量為零，表示該年河川屬於侵蝕或是將之前的殘留土砂持續輸送帶走。98年則因莫拉克颱風造成大量的新增崩塌，造成中、南及東部事業區新增大量的土砂量，使得該年度之土砂殘留量明顯增加。99-101年期間，因較無重大的崩塌事件，雖然仍有部分新增崩塌土砂，但整體來說，土砂流出量大於新增崩塌量，故土砂殘留量則持續下降。

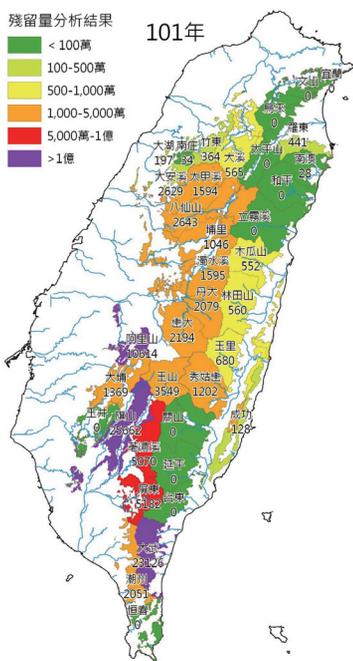


圖5 民國101年國有林土砂殘留量分布圖

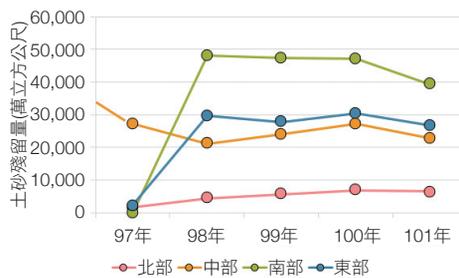


圖6 台灣國有林各區土砂殘留量變化

五、國有林地保全對象災害潛勢評估

土砂殘留於國有林內之量體已估算計得，至於殘留土砂是否須予處理，首先應檢討是否會影響保全對象，故本計畫以阿里山溪、旗山溪、荖濃溪及太麻里溪等四流域進行評估與檢討：

(一)四流域二次土砂成果

國有林地內保全對象潛勢評估係以斜坡單元為分析單元，針對四個集水區流域(阿里山溪、旗山溪、荖濃溪、太麻里溪)及阿里山鐵路範圍進行評估，成果如圖7-圖11所示。可了解每個邊坡因殘留土砂及新增崩塌土砂量作用下，向下邊坡運移堆積之土砂量及堆積深度。

(二)潛勢評估流程與成果

基於林班地內斜坡單元崩塌潛勢分級及殘留土砂二次災害影響範圍成果，套疊保全對象圖層(建築物、暫准建物、林道分布圖、步道、阿里山森林鐵路、鐵路等項)，建立保全對象災害潛勢評估分級，主要分級方法係以殘留土砂二次災害影響範圍為主，斜坡單元崩塌潛勢分級為輔，分析流程圖如圖12。

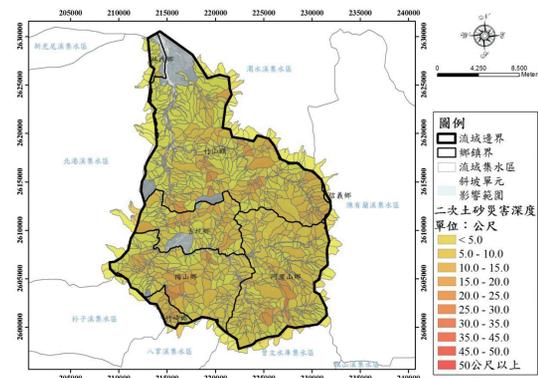


圖7 阿里山溪斜坡單元二次土砂災害堆積深度分布圖

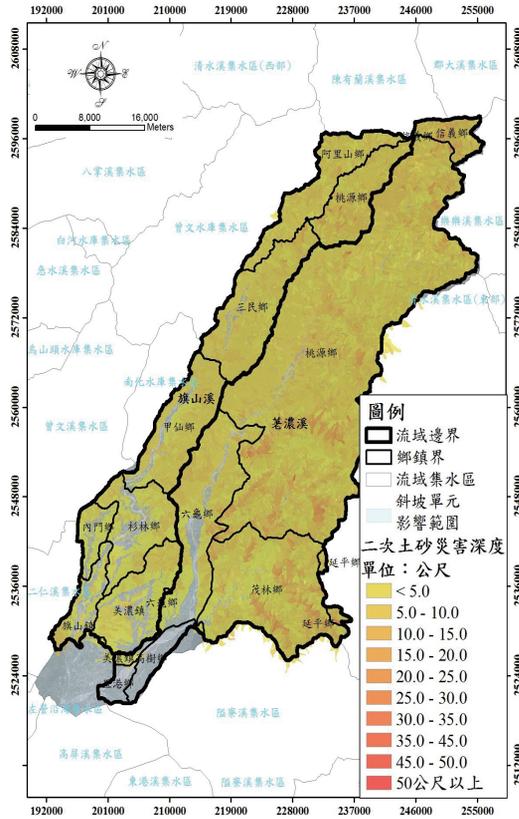


圖8 旗山溪與荖濃溪斜坡單元二次土砂災害堆積深度分布圖

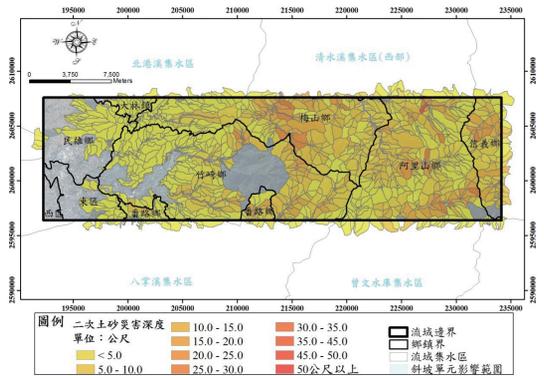


圖10 阿里山鐵路範圍斜坡單元二次土砂災害堆積深度分布圖

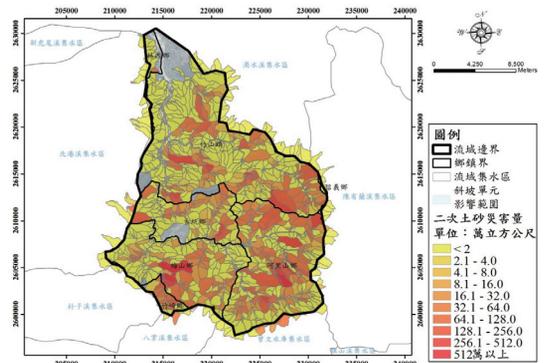


圖11 阿里山溪斜坡單元二次土砂災害土砂量分布圖

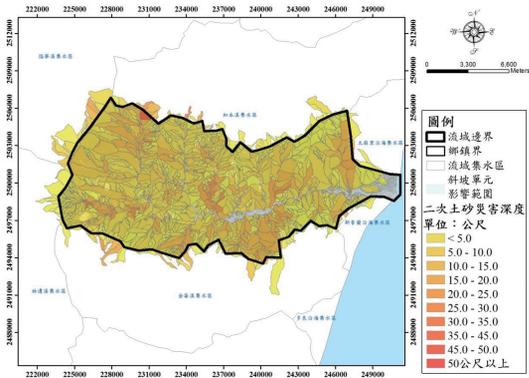


圖9 大麻里溪斜坡單元二次土砂災害堆積深度分布圖

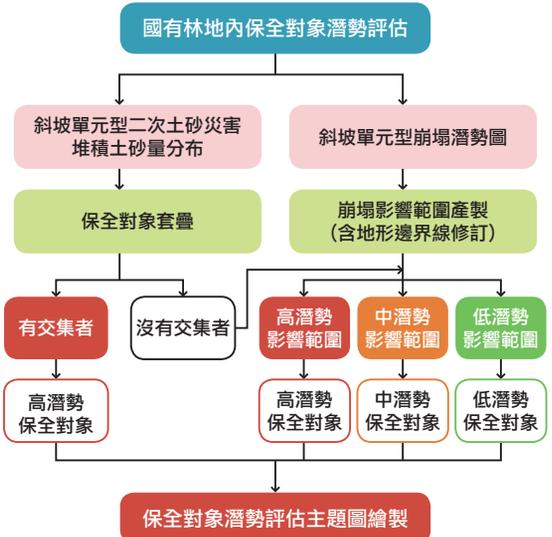


圖12 國有林地內保全對象潛勢評估流程

基於以上潛勢分級原則完成不同保全對象潛勢評估主題圖，且將四子集水區分析成果分為建築物潛勢、路網潛勢、森林遊樂區潛勢等分級圖：

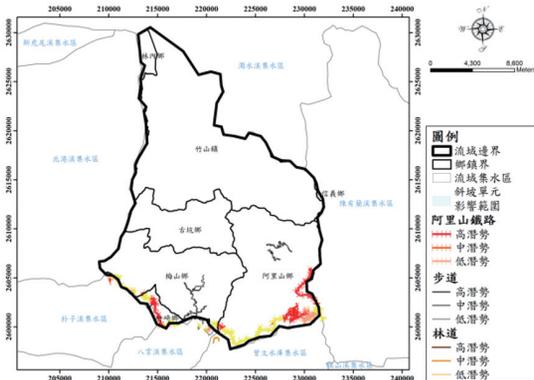


圖13 阿里山溪路網潛勢分級圖

1.路網潛勢(以阿里山鐵路為例)

範圍內山區部分多為高潛勢林區道路、高潛勢阿里山鐵路、高潛勢步道、高潛勢林道，圖13主要說明受阿里山鐵路範圍山區高潛勢斜坡單元及土石流影響範圍之影響。

2.建築物潛勢(以旗山溪與荖濃流域為例)

旗山溪中游高雄市甲仙區、中下游地區以及荖濃溪沿岸之高雄市六龜區有高潛勢建築物分布，未來須注意殘留土砂對旗山溪中下游之溪流兩側建築物影響，如圖14。

3.國家森林遊樂區潛勢(以阿里山溪流域為例)

阿里山國家森林遊樂區內部分區域有多處高潛勢斜坡單元與土石流影響，故該等評估區域屬高潛勢遊樂區，如圖15。

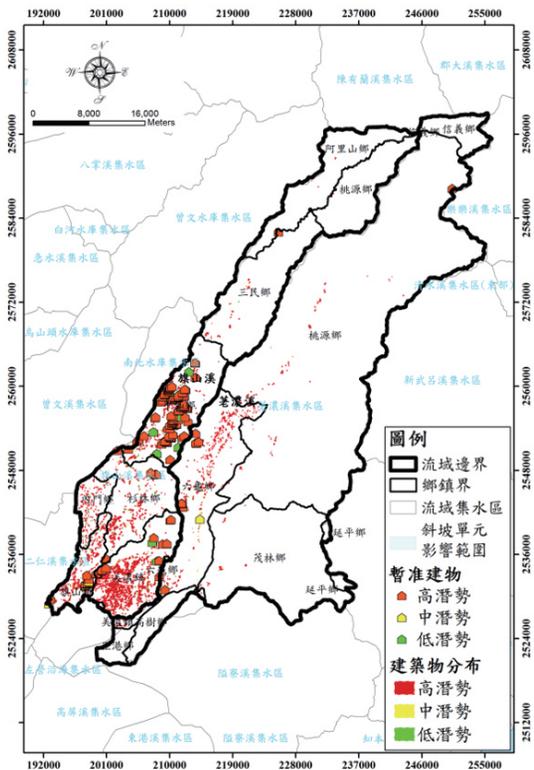


圖14 旗山溪與荖濃溪建築物潛勢分級圖

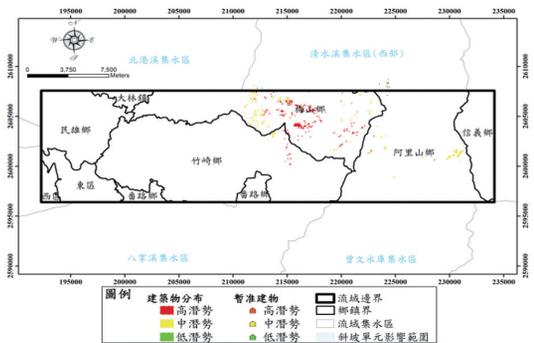


圖15 阿里山國家森林遊樂區潛勢分級圖

六、殘留土砂處理策略研擬

(一)四流域殘留土砂處理策略研擬

依據國有林殘留土砂二次土砂災害潛勢評估及土砂量體估算結果，莫拉克風災後(98年-101年)旗山溪、荖濃溪、太麻里溪以及阿里山溪等四流域集水區土砂殘留重點區域以及殘留土砂統計彙整如表1，並展繪如圖16至圖18。由

表1 四流域集水區土砂殘留重點區以及殘留土砂統計表

流域集水區	年度	流域集水區土砂殘留量 (萬立方公尺)			流域集水區 土砂殘留重點區	集水區土砂流出量 與崩塌土砂量關係	殘留土砂重點村里
		坡面或野溪	河道	總計			
旗山溪	98-99年	13,492	4,430	17,922	坡面或野溪	流出>新增崩塌	高雄市那瑪夏區 -南沙魯里、達卡努瓦里、瑪雅里 高雄市甲仙區 -小林里、東安里
	99-100年	13,453	4,483	17,936	坡面或野溪	流出>新增崩塌	
	100-101年	11,678	5,277	16,954	坡面或野溪	流出>新增崩塌	
	各年度平均	12,874	4,730	17,604	坡面或野溪	流出>新增崩塌	
荖濃溪	98-99年	15,906	6,889	22,796	坡面或野溪	新增崩塌>流出	高雄市六龜區 -寶來里、興龍里、中興里、新發里 高雄市桃源區 -復興里、勤和里、寶山里
	99-100年	16,031	7,021	23,052	坡面或野溪	新增崩塌>流出	
	100-101年	14,514	8,043	22,557	坡面或野溪	流出>新增崩塌	
	各年度平均	15,484	7,318	22,802	坡面或野溪	新增崩塌>流出	
太麻里溪	98-99年	15,146	4,285	19,431	坡面或野溪	新增崩塌>流出	台東縣太麻里鄉 -大王村 台東縣金峰鄉 -嘉蘭村
	99-100年	14,481	4,096	18,577	坡面或野溪	新增崩塌>流出	
	100-101年	15,048	4,578	19,626	坡面或野溪	流出>新增崩塌	
	各年度平均	14,892	4,320	19,211	坡面或野溪	新增崩塌>流出	
阿里山溪	98-99年	4,030	3,511	7,541	河道	新增崩塌>流出	嘉義縣阿里山鄉 -來吉村、達邦村、山美村
	99-100年	4,136	3,342	7,479	河道	流出>新增崩塌	
	100-101年	4,371	3,175	7,545	河道	新增崩塌>流出	
	各年度平均	4,179	3,343	7,522	河道	新增崩塌>流出	

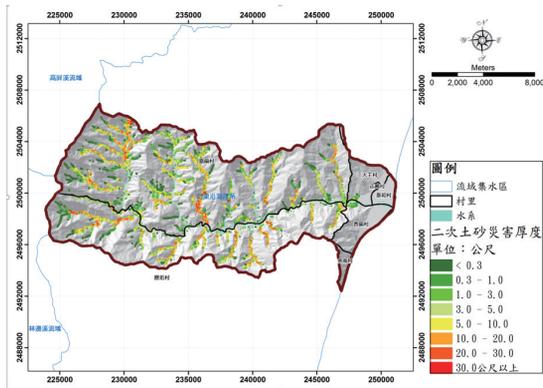


圖16 太麻里溪流集水區土砂二次土砂災害厚度分布圖

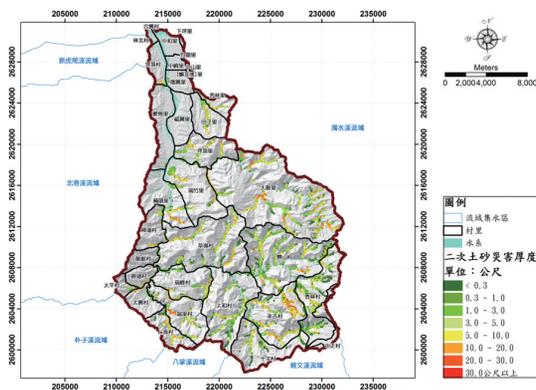


圖17 阿里山溪流集水區土砂二次土砂災害厚度分布圖

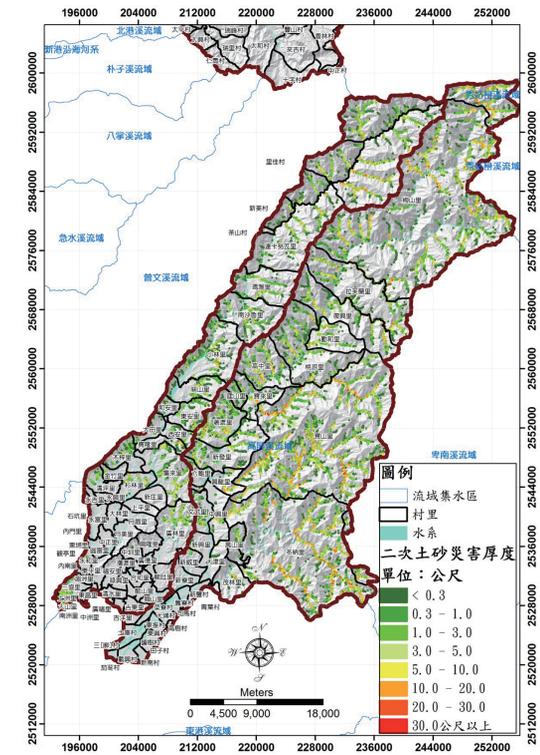


圖18 荖濃溪及旗山溪流集水區土砂二次土砂災害厚度分布圖

表1可得知各年度統計資料，各年度流域集水區土砂殘留重點區除阿里山溪主要集中於主河道外，其餘集水區土砂殘留區域均集中於坡面或野溪內，且除旗山溪流集水區外，各年度平均崩塌土砂產生量均大於土砂流出量，顯見各流域於莫拉克風災後之殘留土砂仍均存留集水區內。綜合以上所述，各流域集水區土砂殘留重點區域以及所對應面臨治理與處理策略均不盡相同。

(二) 國有林殘留土砂處理策略研擬

針對流域集水區不同面向問題，有對應之策略可予以處理，以下針對國有林殘留土砂災害處理之「短、中、長期」處理策略分述如下：

1. 短期處理策略：短期以「急迫災損區位復原及改善」為主，針對保全對象明確且影響範圍大之災害區位優先進行規劃。
2. 中期處理策略：中期以「影響程度較輕微或保全對象少之區位」及「既有災損修復」為主，針對災害影響保全對象較少或致災發生性較低及部分災損進行改善。
3. 長期處理策略：長期則以「集水區潛在災害治理」為主，針對集水區內具潛在災害之區域進行改善(即預防性治理)。

七、結論與建議

本研究彙整與判釋民國97-101年國有林崩塌地資料基本資料、分析崩塌量、土砂流出和

殘留量，並調查與評估國有林殘留土砂二次災害，以提供管理單位行動方案與策略研擬之參考。茲就研究結論與建議敘述如下：

(一)結論

- 1.民國97-101年國有林地事業區新增崩塌地面積總和達60,861公頃，推估崩塌量合計16億4,932萬立方公尺，而莫拉克颱風佔11億7,152萬立方公尺。各事業區以旗山(4億1,373萬立方公尺)、大武(2億9,100萬立方公尺)為最多。截至101年底為止，全國國有林土砂殘留量為5億6,010萬立方公尺，若考慮莫拉克颱風災後的人工清淤和疏浚工程，則土砂殘留量約為5億10萬立方公尺。
- 2.已完成四個集水區(阿里山溪、旗山溪、荖濃溪與太麻里溪)、阿里山鐵路，以及國有林之殘留土砂對於保全對象(建築物、暫准建築物、步道、阿里山森林鐵路、森林遊樂區等)之潛勢評估，並研擬二次土砂災害應急處理及長遠性土砂災害處理策略提供參考。

(二)建議

- 1.本研究成果可提供管理單位二次土砂災害防治和野溪清疏工程之參考，因莫拉克災區仍留有大量殘留土砂，建議後續可採滾動式檢討各年的新增崩塌量、土砂流出量與殘留量、二次土砂災害潛勢，以掌控國有林地土砂殘留的情形。
- 2.集水區坡面上存在許多人工構造物，諸如擋土牆、攔砂壩、護坡工及排水工等，其對坡面穩定、降低地下水及土砂攔阻有其功用，然目前多數崩塌潛勢評估與土砂量估算，甚少考量坡面穩定及囚砂效應，建議未來能以一個試驗集水區為示範區，嘗試開發考量人工構造物減災效應與囚砂效應，較符合實際坡面崩塌潛勢與土砂攔阻情況，也能結合既有工程設置研提合理適宜的土砂處理對策。⚠

參考文獻(請逕洽作者)