

全臺國有林地土砂殘留量與崩塌地二次災害潛勢影響評估之現況發展

文／圖 ■ 邱昱嘉 ■ 國立臺灣大學水工試驗所助理研究員(通訊作者)

沈哲緯 ■ 中興工程顧問社防災科技研究中心正研究員

劉時宏 ■ 國立臺灣大學水工試驗所研究助理

一、前言

民國 98 年侵襲臺灣的莫拉克颱風，雨勢集中降雨時程延長，造成全臺灣國有林地崩塌情形嚴重，並衍生嚴重土砂災害，依林務局農林航空測量所於 99 年 11 月印發之「莫拉克颱風崩塌地航攝調查報告」，計新增崩塌面積為 19,137 公頃；故為瞭解該等崩塌後衍生之土砂殘留於國有林地內之數量，以及對下游是否產生災害性之影響，林務局已於 102 年完成國有林地內 97 ～ 101 年間之崩塌地資料蒐集與建置，本研究並據此基本資料與估算 99 ～ 103 年間之土砂生產、運移，及殘留量，

具體工作成果共有：

- (一) 彙整判釋民國 102 年至 103 年底之國有林崩塌地基本資料
- (二) 分析土砂量之變化情形
- (三) 針對國有林地內之保全對象進行殘留土砂二次災害潛勢評估
- (四) 以地面光達掃描評估模式驗證與現地調查

以下茲針對依據前述彙整判釋國有林崩塌地基本資料、分析土砂量之變化情形、國有林殘留土砂二次災害潛勢評估以及評估模式驗證與現地調查數項研究成果說明。

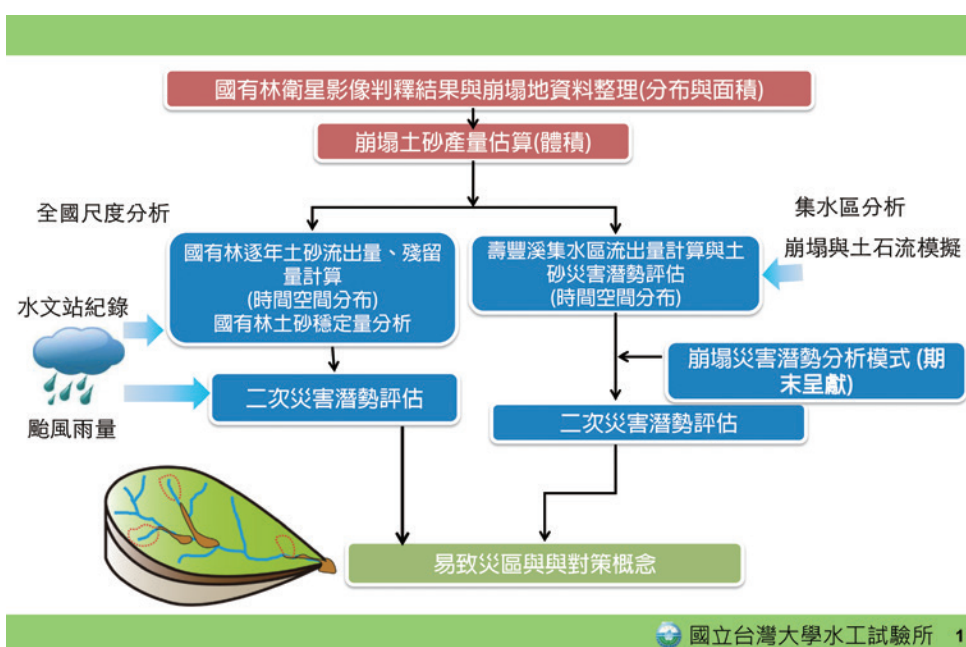


(圖片／高遠文化)

二、研究方法

就工作程序而言，本計畫先利用歷年衛星影像進行國有林林地區域內的崩場地判釋，再利用體積－面積關係式估算體積，求得各年度之崩塌土砂生產量。其後再根據全國尺度以及

集水區尺度分別進行土砂流出量之量體估算，以及數值模擬等分析工作進行災害潛勢評估，並據此提出保全對象治理對策（圖 1）。以下茲針對各項方法進行說明：



▲圖1、研究流程

（一）彙整判釋國有林崩場地基本資料

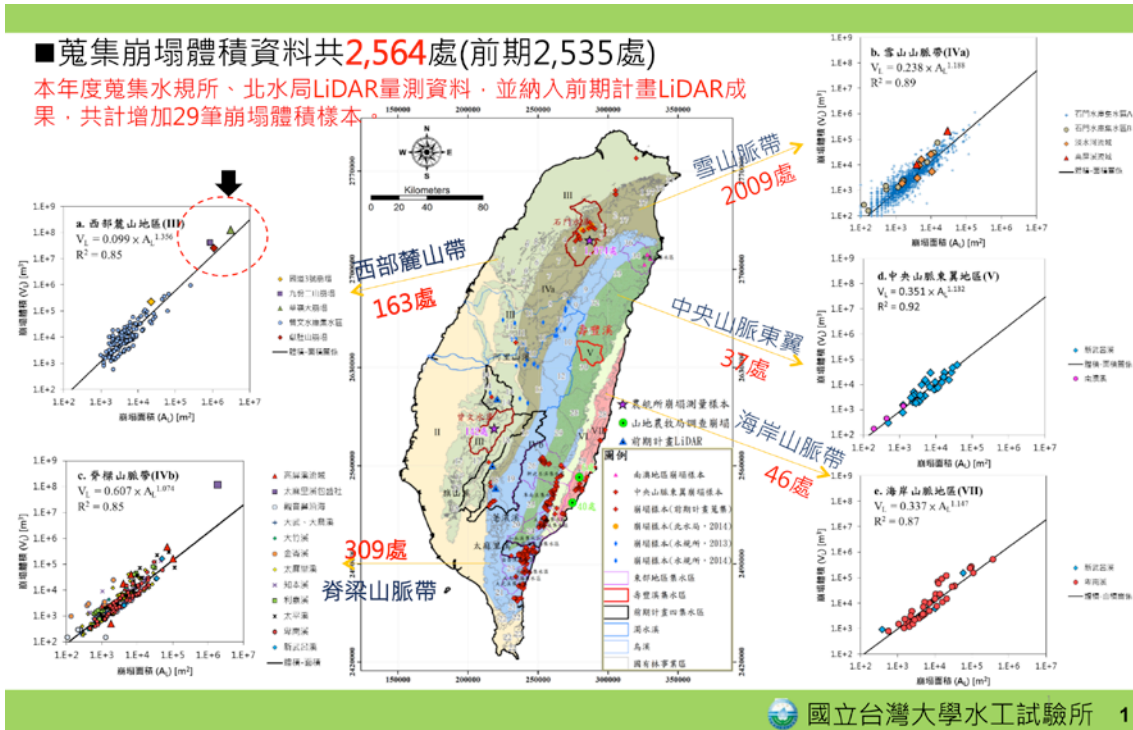
本研究以崩場地圖層統計 97 ~ 103 年全臺各國有林地內崩場地變化歷程，並將崩場地屬性編列透過與其它已建立圖資之連結，本研究使用之圖資包括：經濟部中央地質調查所（兩萬五千分之一環境地質圖、五萬分之一地質圖、易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置計畫相關成果連結）、農委會水土保持局（土石流潛勢溪流、全省山坡地土壤圖、特

定水土保持區）、農委會林務局（林班圖、林地土壤圖、數值地形模型、事業區、保安林地等項）、內政部國土測繪中心（數值地籍圖、國土利用調查成果）、經濟部水利署（全島流域範圍圖、集水區範圍、水庫集水區）等。本研究亦參考地調所（2010）建立與地調所資料庫相符之全臺國有林地崩場地目錄，達成崩場地土砂二次災害管理及崩場地變遷歷程探討參用。

(二) 分析土砂量之變化情形

本研究採用崩塌體積－面積關係式來推估國有林地之崩塌土砂生產量。本研究以臺灣七大地質區將崩塌進行分群，並藉由文獻蒐集與野外量測得之崩塌體積和面積整合。現已蒐

集西部麓山地區樣本數共計 157 處；中央山脈西翼地區－雪山山脈帶共計 1,996 處；中央山脈西翼地區－脊樑山脈帶 304 處；中央山脈東翼地區共 37 處；海岸山脈地區共 46 處，共計 2,540 處，彙整如圖 2。



▲圖2、全臺各地質分區與崩塌樣本分布關係圖



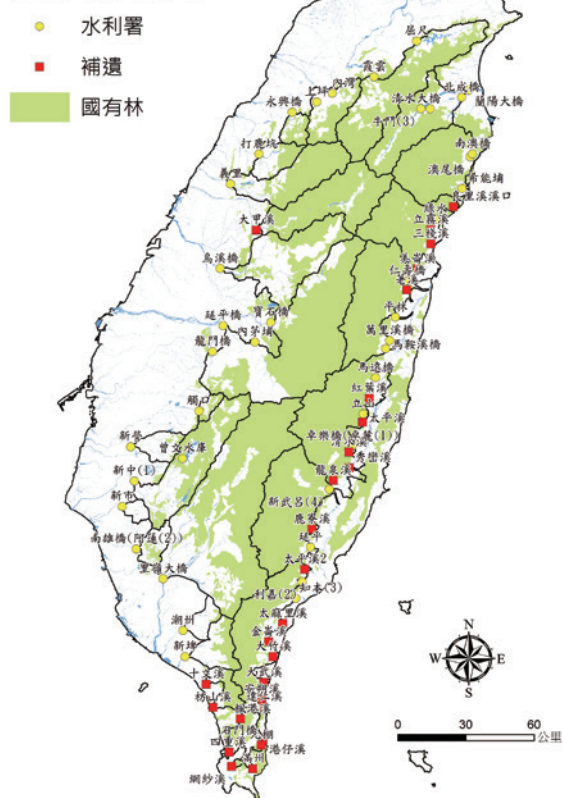
(圖片／高遠文化)

就國有林地的崩塌土砂移出量及崩塌土砂殘留量等量體的估算工作而言，具體分析流程為蒐集歷年水利署河川日流量與含砂量觀測資料，並建立各測站流量和輸砂量之率定曲線（Q-Qs rating curve）帶入流量資料，計算河川輸砂量變化。本計畫蒐集水利署所架設位於國有林範圍的集水區出口測站所記錄之流量與懸浮載濃度（如圖 3）。

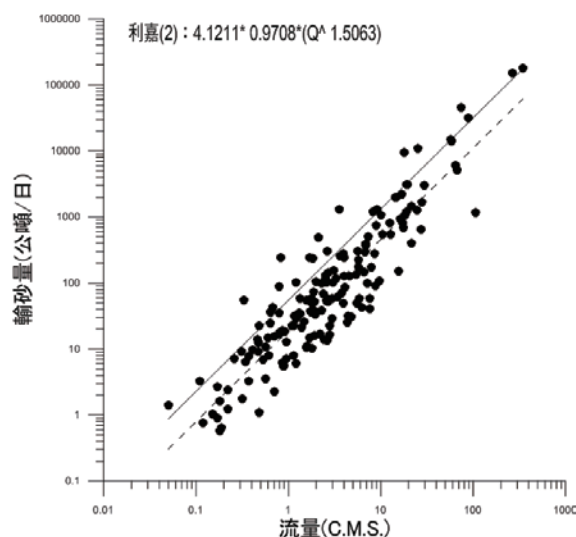
歷史輸砂量資料則是根據測站損毀前的觀測資料。若該集水區過去從未有輸砂觀測資料，則利用鄰近、相似地質與地形條件集水區

之觀測資料來補遺。流量補遺則利用美國陸軍工兵團發展之水文模式系統 Hec-HMS 模擬依據各年度將與資料作為輸入參數後所推算之逐時流量。河川流量－輸砂量計算方法則參考 Kao et al. (2005) 建議的分層時間率定曲線法，其方法根據河川流量－輸砂量的率定曲線進行修正，避免率定曲線在高流量事件統計上有低估的現象，圖 4 為輸砂量測站的流量－輸砂量率定曲線，虛線為未修正的率定曲線；實線為修正後的率定曲線。

水文與輸砂測站



▲圖3、土砂移出量測站與補遺位置



▲圖4、輸砂量測站之流量-輸砂量率定曲線(以卑南溪為例)

由於水利署之水位站之含砂量觀測資料僅包含懸浮載（suspended load），未包含底床載（bedload），本研究使用的輸砂量測站大多位在河川下游處，水深較深，故根據設定懸移質與推移質比例為 80%：20%，計算河川總輸砂量。

(三) 國有林地殘留土砂二次災害潛勢評估

國有林地內保全對象之災害潛勢評估，係指受殘留土砂二次災害（崩塌及土石流）影響下游國有林班地內保全對象之災害潛勢評估。本研究首先建立降雨誘發崩塌之模式，以利推估不同情境下新增崩塌土石生產量分布，合併考量土石流運移模擬殘留土砂分布，即可進行二次土砂災害潛勢模擬與保全對象潛勢評估工作。本研究參考相關研究（Chang et al., 2011；經濟部水利署水利規劃試驗所[簡稱水規所]，2011～2012及林務局，2013）崩塌潛勢模式（或稱山崩潛勢評估模式）選擇的因子，變數中包含地形因子、地質因子（地層、斷層等）、人文因子（道路開發、土地利用等）及水文因子（雨量等）4項。

模式參數率定係利用 SPSS 統計軟體，將所有可量化之因子代入迴歸統計中，以 98 年度新增崩場地作為應變數（dependent variable），地形參數則作為獨立變數（independent variables），基於 95% 信賴區間進行顯著性統計。經實際率定以坡度、坡向（正弦、餘弦）、地形曲率、地形指數、距離斷層距離、地質條件與雨量因子，建構全臺崩塌潛勢模式。各項因子分析結果如表 1 及表 2。

表 1、顯著山崩潛感因子統計量

變數	範圍	平均值
坡度 [°]	0~83.0	19.5
坡向正弦 [-]	-1~1	-0.03
坡向餘弦 [-]	-1~1	0.07
地形曲率 [m-1]	-19.3~37.2	0.07
地形指數 [-]	0~18.9	6.6
距離斷層距離 [km]	0~124.6	9.0
最大24小時雨量 [mm]	151~1,245	412
地質（類別變數）	-	-

表 2、顯著山崩潛感因子顯著性分析結果（數值變數）

變數	係數	P-value
坡度 [°]	0.054	0.054
坡向正弦 [-]	0.510	0.510
坡向餘弦 [-]	-0.855	-0.855
地形曲率 [m-1]	-0.145	-0.145
地形指數 [-]	0.209	0.209
距離斷層距離 [km]	0.010	0.010
最大24小時雨量 [mm]	0.00375	0.00375
常數	-24.473	-24.473

三、研究成果與討論

（一）彙整判釋國有林崩場地基本資料

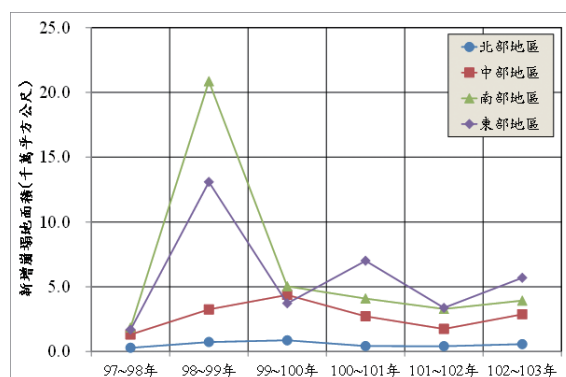
依據本研究蒐集自 98 年以降之崩場地資料，並配合國有林地、區外保安林地分別進行統計，近年來各類林地之崩場地數量與面積變遷趨勢說明如下：

以區外保安林地分區統計，自莫拉克颱風以降之新增崩場地以 98～99 年間所新增的崩場地為 97～103 年間之最大者，其主因

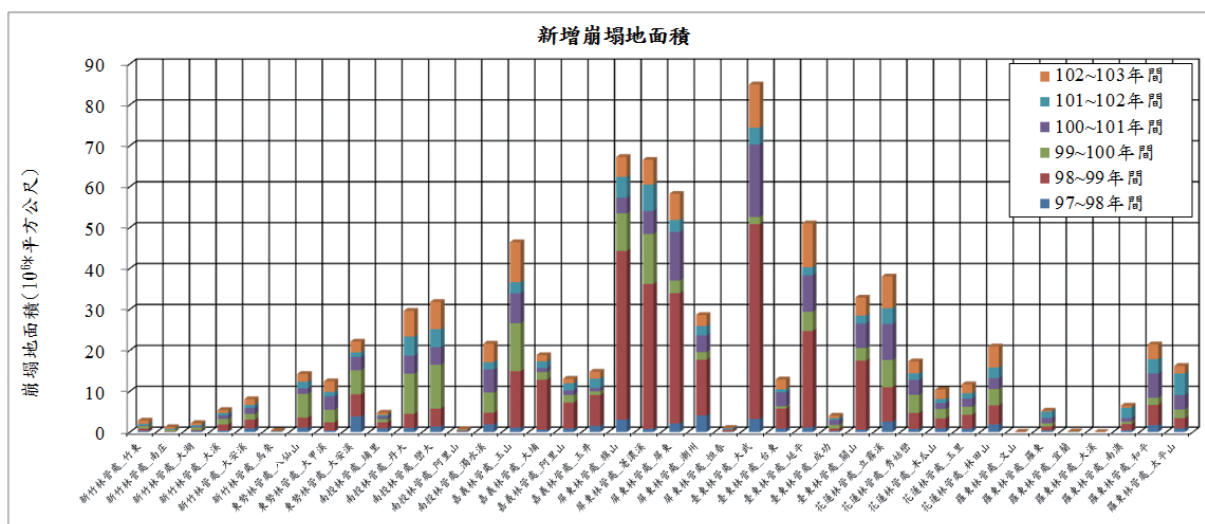
係為 98 年莫拉克颱風帶來近 10 年來最大雨量，故新增崩塌數量、規模皆是最大，全臺各區的區外保安林地新增崩塌面積泰半介於數千至數萬平方公尺不等。綜觀歸納，又以臺中市山區、南投縣、嘉義縣、高雄市、屏東縣、臺東縣及花蓮縣境內保安林地新增崩塌地面積較大。

國有林事業區自莫拉克颱風以降數年間，以屏東林區管理處、嘉義林區管理處以及臺東林區管理處所管轄，空間分佈位於中央山脈南段，以及阿里山山脈等地的國有林事業區，為歷年來新增崩塌地的主要集中區域。其中又以屏東林管處下轄之荖濃溪、潮州以及臺東林管處下轄之大武、延平事業區等數地為新增崩塌地大量集中的熱區。應為莫拉克颱風大量降雨

使得新增崩塌地出現，而後數年的極端降雨事件引至崩塌地再度擴大累積而成。就時空變遷趨勢而言，全臺新增崩塌地主要集中在中央山脈中南段、阿里山山脈等地，而在北部的雪山山脈帶、海岸山脈以及西部麓山帶等地則並無大量新增崩塌地的出現。



▲圖5、全臺保安林地年間崩塌面積變化趨勢



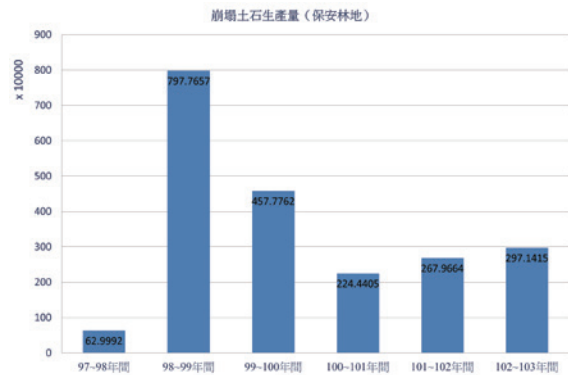
▲圖6、全臺國有林地年間崩塌面積變化趨勢

(二) 分析土砂量之變化情形

依據本研究蒐集自 98 年以降之崩塌、流量、輸砂資料，並配合國有林地、保安林地分別進行統計，近年來各類林地之土砂量變化趨勢說明如下：

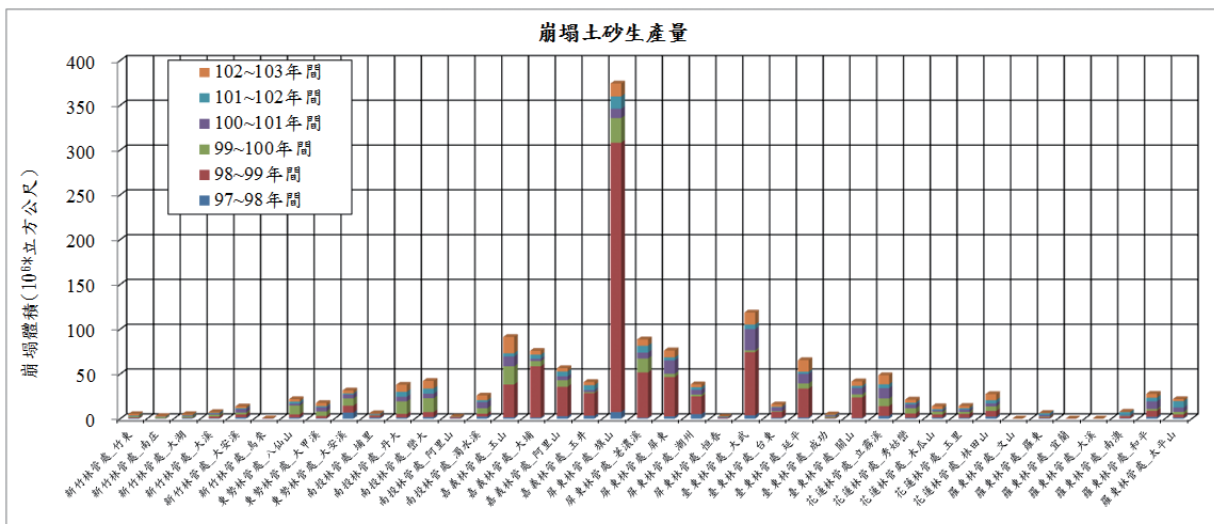
1. 土砂生產量

97 年起至 103 年為止，以全臺保安林地而論，土砂生產量大致上呈現集中於中南部山區，北部山區、淺山丘陵、平度等地的保安林地則呈現相對偏低的生產量之分布狀態。整體而言，保安林地崩塌土石生產熱區以嘉義縣、高雄市以及南投縣交界為主要區域。就時間分布的尺度而論，98～99 年間生產量最高（798 萬立方公尺），99～100 年間次之（498 萬立方公尺）；97～98 年以及 101～102 年則是生產量較為顯著偏低的年份。



▲圖7、全臺保安林地崩塌土砂生產量變化趨勢

以國有林事業區分區統計結果可知，97 年至 103 年以屏東林區管理處－旗山、臺東林管處－大武與嘉義林管處－玉山等事業區為崩塌土石生產量的主要集中區域，若以歷年總崩塌土石生產量來看，以屏東林區管理處－旗山最高，主要是莫拉克颱風在山區誘發大量土石所致，崩塌土石生產量高達 3.01 億立方公尺。整體而言，崩塌土石生產量主要集中在臺中、南投、高雄、屏東、花蓮、臺東等地的事業區。

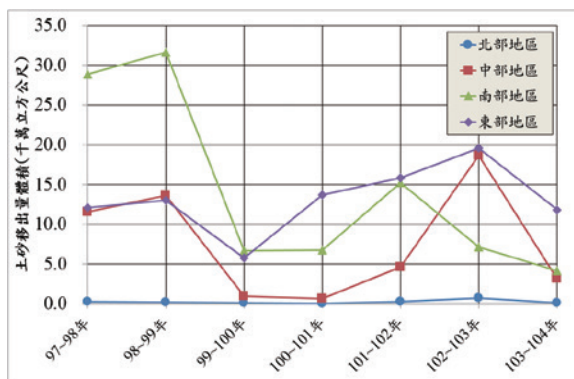


▲圖8、全臺國有林地崩塌土砂生產量變化趨勢

2. 土砂流出量與殘留量

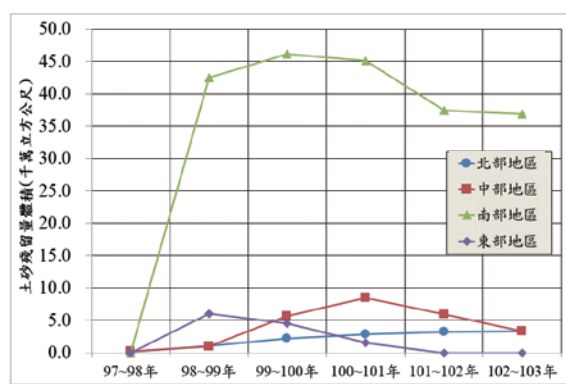
以保安林地分區統計結果可知，97 年起至 103 年為止，全臺各保安林區的土砂流出量大致上呈現集中於中南部山區，北部山區、淺山丘陵、平地等地的生產量則相對偏低。保安林地崩塌土石生產熱區以嘉義縣、高雄市以及南投縣交界為主要區域。就時間分布的尺度而論，98～99 年間生產量最高（798 萬立方公尺），99～100 年間次之（498 萬立方公尺）；97～98 年以及 101～102 年則是流出量較為顯著偏低的年份。

就國有林事業區分區統計結果而言，97 年至 103 年間之土砂流出量以嘉義林管處之大埔事業區、臺東林管處之關山、大武事業區以及羅東林管處之太平山事業區為崩塌土石流出量的主要集中區域，上述各事業區內皆具有下列地形因素：（1）大型河川流經、流量旺盛，（2）區域內皆有高海拔區域，坡降陡峭利於土砂輸送，（3）東部與南部地區在颱風侵襲時首當其衝，地表物質流動具有高動態的特性。



▲圖9、全臺國有林地土砂移出量變化趨勢

就殘留量而言，旗山事業區為全臺殘留量最高的區域，因旗山溪兩岸具有大量的大型崩塌地，加上受到旗山溪本身是為荒溪型河川，輸砂作用受到極端降雨事件之頻率影響，故在供給與輸送相互作用之下，旗山事業林區為殘留量最高的區域，截至 103 年底仍有 298 百萬立方公尺的土砂殘留於其中。



▲圖10、全臺國有林地土砂殘留量變化趨勢

（三）國有林地殘留土砂二次災害潛勢評估

國有林地殘留土砂二次災害潛勢評估工作，包含崩塌潛勢評估模式建立及國有林地內保全對象災害潛勢評估。茲就各項成果彙整結論說明如下：

1. 崩塌潛勢評估

本研究以前揭表 3 之 8 項因子，建構全臺崩塌潛勢評估模式，以極端降雨事件莫拉克颱風對應 98 年度之新增崩塌地為率定事件，並以 97 年及今年度新增研究時程（102～103 年）之新增崩塌地進行模式驗證，模式率定非崩塌地預測成功率為 76.4%；崩塌地預測

成功率為 84.4%；修正成功率為 80.4%，各年驗證成效頗佳，模式歷經多場事件驗證可知，

相對穩定可靠，將有助推估不同情境下崩塌土石生產量熱區及二次土砂災害潛勢。

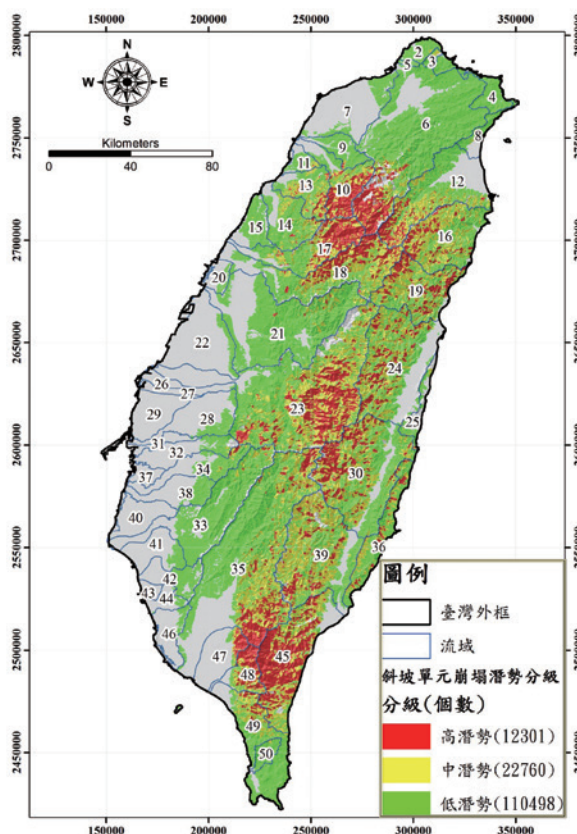
表 3、模式驗證結果預測成功率

年度	預測值 觀察值	非崩塌地 (%)	崩塌地 (%)	非崩塌地成功率 (%)	崩塌地成功率 (%)	修正成功率 (%)
97	非崩塌地	84.9	15.1	84.9	58.8	71.8
	崩塌地	41.2	58.8			
102	非崩塌地	82.1	17.9	82.1	67.8	75.0
	崩塌地	32.2	67.8			
103	非崩塌地	81.9	18.1	81.9	77.8	79.7
	崩塌地	22.2	77.8			

2. 國有林地內保全對象災害潛勢評估

本研究基於崩塌潛勢評估模式，以 100 年重現期崩塌潛勢分級結果為保全對象災害潛勢評估依據，採斜坡單元為分析單元，以崩塌潛勢網格成果，採平均統計完成斜坡單元崩塌潛勢分級，套疊保全對象（暫准建地、國家森林遊樂區、阿里山森林鐵路、林道、及工作站—含分站等），以斜坡單元潛勢定義不同保全對象災害潛勢分級。

分析結果顯示，高潛勢保全對象主要位處高潛勢斜坡單元之上，未來若遭遇極端降雨或氣候變遷事件降雨條件時，坡體有滑動潛勢，進而影響上方之保全對象功能性或安全性，但不代表高潛勢斜坡單元一定會發生滑動，仍須進一步由小尺度邊坡穩定分析確認，以利災害防治及監測管理參考。



▲圖11、全臺國有林班地斜坡單元崩塌潛勢分級圖（100年重現期24小時累積降雨）

四、結論與建議

（一）彙整判釋國有林崩場地基本資料

就全臺整體新增崩場地面積結果進行統計並分析其變異趨勢 98 ~ 99 年間之新增崩塌總數則為 97 ~ 103 年間最大者，主要原因係 98 年莫拉克颱風事件為近 10 年來雨量最大崩塌規模最大的一起極端水文事件，故新增崩場地數量、規模皆是最大，此年間以和平溪、太魯閣沿海河系、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪、臺東沿海河系、高屏溪與林邊河流域為主要社區，其中又以太魯閣沿海河系、卑南溪、臺東沿海河系及高屏河流域境之新增崩場地面積達到超過 500 萬平方公尺以上的數量級。

綜觀歸納，97 ~ 103 年度，全臺各地的新增崩場地以南部地區的高屏溪、林邊溪、曾文溪、恆春半島等地之流域為主要熱區，其次則是以東部地區之花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪、臺東沿海河系等流域境內為次要熱區。

（二）分析土砂量之變化情形

97 年至 103 年期間，以中部濁水河流域及南部高屏河流域為崩塌土石生產量的主要集中區域，且無論以保安林或林班地進行統計，各年間崩塌土石生產集中區域一致，若以歷年總崩塌土石生產量來看，以高屏河流域的國有林地最高，主要是莫拉克颱風在山區誘發大量土石所致，崩塌土石生產量高達 4.97 億立方公尺，其後數年在颱風降雨誘發下，致使莫拉

克颱風舊崩場地擴大，使南部與東部子集水區仍是崩塌土石生產熱區。

土石生產量趨勢應與年間主要致災颱風事件雨量分布及地形有關。故西部、西南部、東南部的河川具有較為大量的土砂生產量。就地形因素觀之，涵蓋範圍具有高山地區的河系具有較高的生產量，其中又以涵蓋中央山脈的河川具有最大的生產量，涵蓋雪山山脈、海岸山脈以及西部麓山帶的流域則是次要的生產區。

（三）國有林地殘留土砂二次災害潛勢評估

根據本研究現有之研究成果，對於國有林地崩塌土砂二次災害管制提出未來發展建議共三大方向。

1. 現有分析工作滾動式檢討

林務局現已完成全國尺度各分區土砂量體變化估算及二次災害潛勢評估等相關分析工作。並建立坡地整合土砂評估方法，評估坡地土砂產生量、流出量以及殘留土砂等計算結果，未來亦可配合林務局所建置之全島國有林地崩場地判釋結果，採滾動式的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情形及保全對象安全。並以各年度分析結果為基礎，界定全臺國有林地內之重點治理區域，以利做為未來年度治理規畫的參考。

2. 崩塌地區位分析與資料驗證

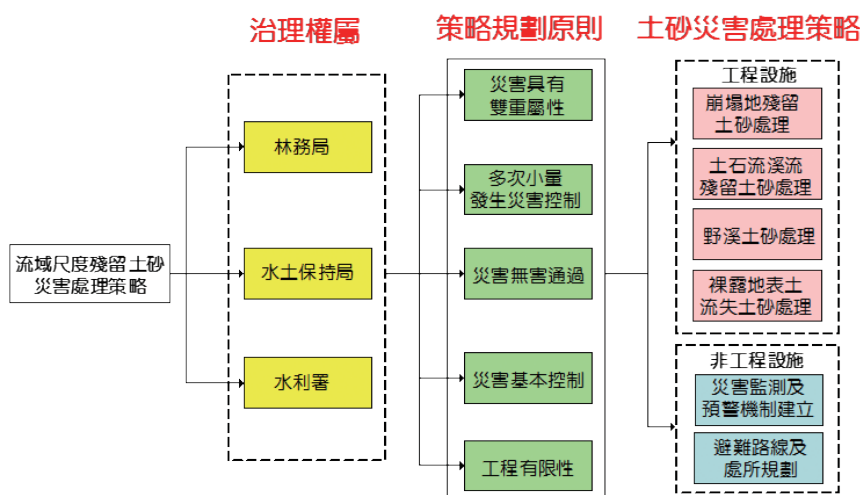
林務局在針對崩塌潛勢評估的工作當中，已完成崩塌潛勢與實際資料之對比工作，以做

為驗證潛勢評估結果的具體方法。根據本研究之成果，已將成功率掌握於 70 ~ 80% 之間，惟以有效監控崩塌土砂的出發點而言，仍有持續監測與強化潛勢評估準確性之必要，故建議未來執行相關工作時，除了現有自民國 97 至 103 年資料之外，亦可納入往年所有相關的圖資，強化相關工作的基礎資料，並進行多年期多重尺度的檢核工作。

3. 殘留土砂評估與後續治理規劃

林務局現已掌握土砂量體變化情形以及二次土砂災害潛勢評估，藉由數期持續研究及監測工作之成果，已能明確掌握全臺各國有林地之殘留土砂的時空分布狀況。故本研究之研究成果亦建議未來的治理對策以及評估工作，可將本計畫以集水區為尺度進行的殘留量分析成果，納入主要因子之中。▲

參考文獻（請逕洽作者）



▲圖12、流域殘留土砂災害處理策略示意圖

致謝：

本研究承行政院農委會林務局集水區治理組科學研究專門計畫「國有林土砂殘留量及二次災害潛勢影響評估」經費補助、中興工程顧問社、行政院農委會農林航空測量所、陶林數值測量工程有限公司、經濟部水

利署、臺灣颱風洪水研究中心、中央氣象局、行政院農委會水土保持局提供相關影像與水文紀錄資料、國立臺灣大學水工試驗所及中興工程顧問社防災科技中心同仁之技術支援，得以順利完成，特此致謝。