

日月潭國家風景區潛在土砂災害調查

趙家民^[1]

南華大學環境管理所助理教授

吳仁明^[2]

大華技術學院防災科技中心講師

摘要

潛在災害調查，對於防災管理與工程治理規劃十分的重要。本文以土砂災害之環境現況、發生原因、地點與規模等主要因子項目進行調查，結合理論分析、航照判釋、現地調查等方法，達到建立災害活動性與影響性資料。藉此可作為工程治理規劃之輕重緩急依據，並對於未來防災與應變實務提供具體規劃藍圖。

本文以日月潭國家風景區為例，說明調查成果，有助於應用在防災管理與工程治理規劃，以達保障居民與遊客生命財產安全之目的。

關鍵字：崩塌、土石流、防災管理、工程治理

1 嘉義縣大林鎮中坑32號 南華大學環境管理所

TEL:(05)2721001轉 56445

E-mail : cmchao@mail.nhu.edu.tw

2.新竹縣芎林鄉大華路1號 防災科技中心

TEL:(03)5927700轉 2119

E-mail : jmwu@thit.edu.tw

Investigating on latency sediment disaster of Sun Moon Lake

Chia-Min Chao

Assistant Professor, Institute of Environmental Management, Nan Hua University

Jen-Ming Wu

Instructor, Center of Disaster Prevention Technical, Ta Hwa Institute of Technology

Abstract

Investigation on latency disaster is rapidly useful for prevention work and management. The items of environment factor, occurrence, the place and scale of sediment disaster are suggested by investigation of the study. The amount of activity and the influence area of sediment disaster are obtained by the procedure of theory analysis, aero photo judgment, and field investigations. After that, the plan on control work and disaster prevention are performed by this result.

The Sun Moon Lake scheme area is selected as case study. Consequently, the result is actually provided for disaster prevention work and management.

關鍵詞 : landslide, debris flow, disaster prevention management, prevention work

一、前言

台灣本島由於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互擠壓結果，造成台灣島的地形陡峻，岩層破碎，地震頻繁，各河川均流短水急，河川的侵蝕力大，加上每年颱風季節，常帶來持續降雨或集中豪雨，引發許多崩塌或土石流災害；因為人口壓力及經濟成長，人為活動遂朝山坡地擴張，使原本脆弱的山坡地，經不當開發，估計台灣因颱風的災害損失每年平均約達新台幣六十億元，因此防災工作顯得格外的重要。

位於南投縣魚池鄉之日月潭，早期因優美之景緻而名聞遐邇，並成為台灣地區觀光遊憩區之代表，本區在歷經九二一大地震後受創嚴重，建築、公共設施皆遭受到嚴重的毀損，附近的山坡地產生數百處崩塌，二年內相繼發生桃芝、納莉颱風，崩塌土砂匯集於下游處發生了8處土石流，除造成民宅沖毀與道路中斷外，亦造成水土資源大量流失。

本文以日月潭國家風景區為例，以期建立災害活動性與影響性資料。藉此可作為工程治理規劃之輕重緩急依據，並對於未來防災計畫提供具體規劃藍圖，以達保障居民與遊客生命財產安全之目標，研究方法與流程詳見圖1所示。

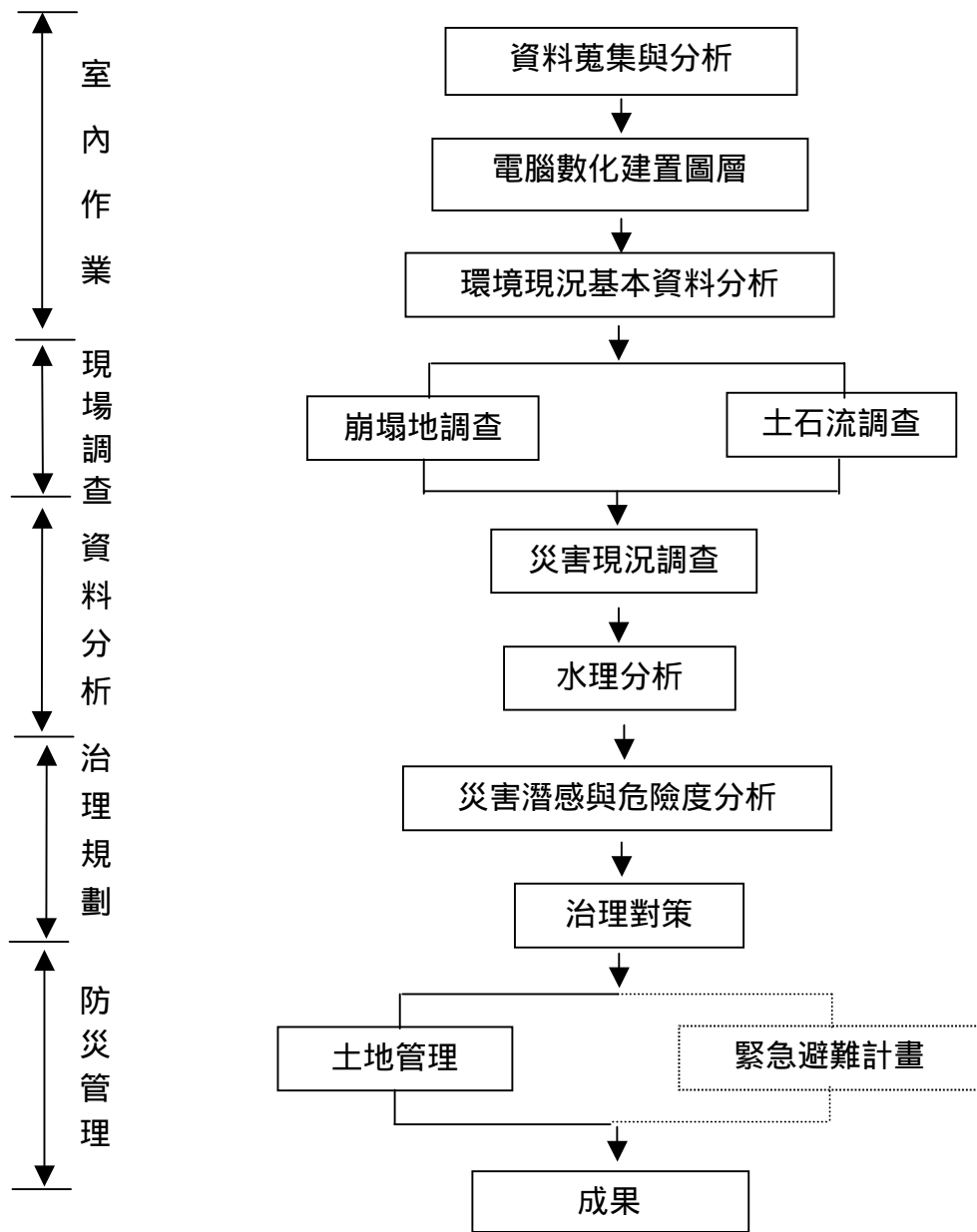


圖1 研究流程圖

二、環境現況基本資料

(一) 地形

本區為一高地盆地，海拔高度在600 700m之間，地貌呈緩慢起伏之低小丘陵，境內共有大小山岳28座，地形上均屬埔里板岩山地，境內有位於東半部日月潭，及西半部之水里溪流域。坡度除日月潭周圍、魚池、頭社台地外，其他地區坡度均超過五級坡(坡度40%)(圖2)。

(二) 地質

本區地層大致東舊西新，各帶中有複雜之背斜與向斜構造，由地質分佈的狀態觀之，本區之地質有古第三紀之板岩、石英岩、石英砂岩及硬頁岩。本區主要區域構造為水裡坑斷層，通過水里溪流域，造成地層破碎(圖3)。

(三) 土地利用

本區大部分為林務局管轄之林班地，約佔總面積76%(圖4)，於私人用地除開闢為檳榔與果園外，另有小部份為民宿休閒地。

(四) 水文

1. 雨量：

根據歷年之統計資料，本區年平均降雨量為2281mm，雨季分佈於五月至八月，降下全年降雨量之67.3%。

近年來最大月降雨量發生於90年7月桃芝颱風之587.3mm，之後91~92年間並無較大之降雨量(圖5)。

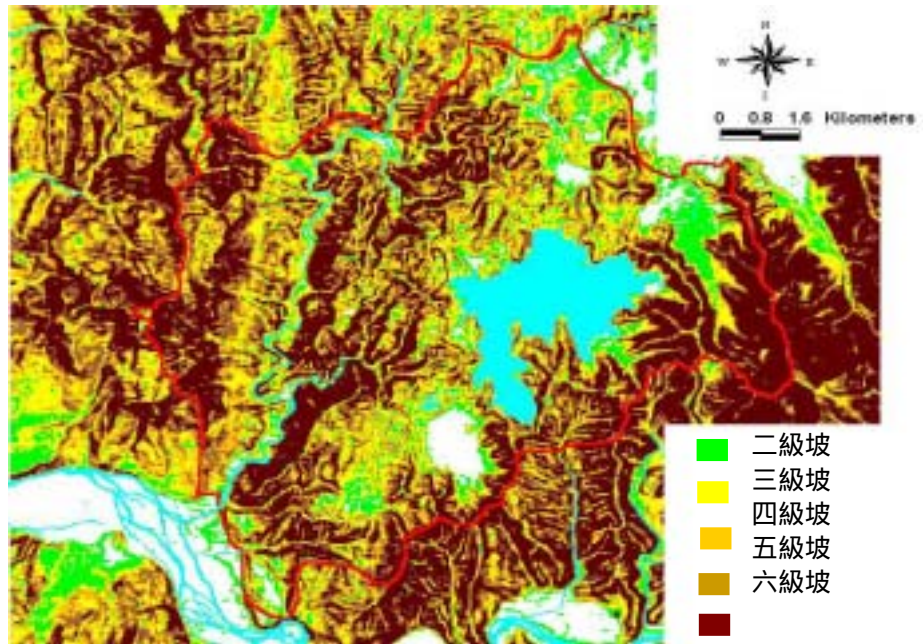


圖2 本區坡度圖

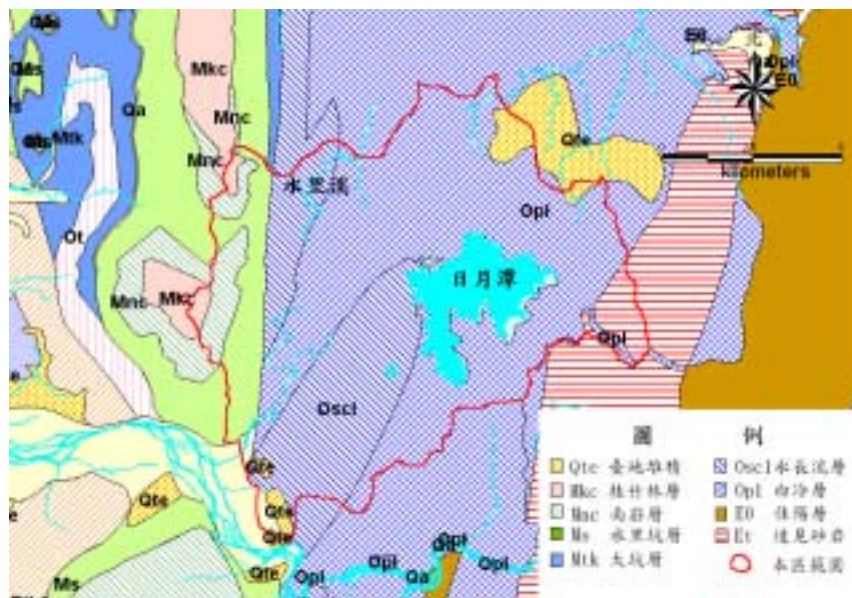


圖3 本區地質圖

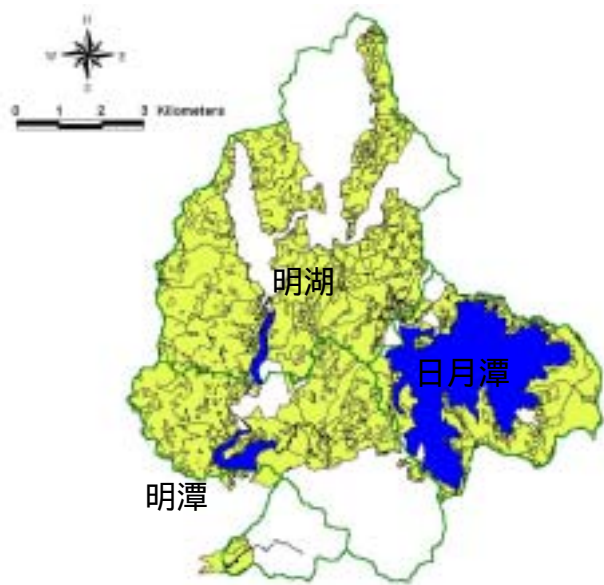


圖4 本區林班地範圍圖

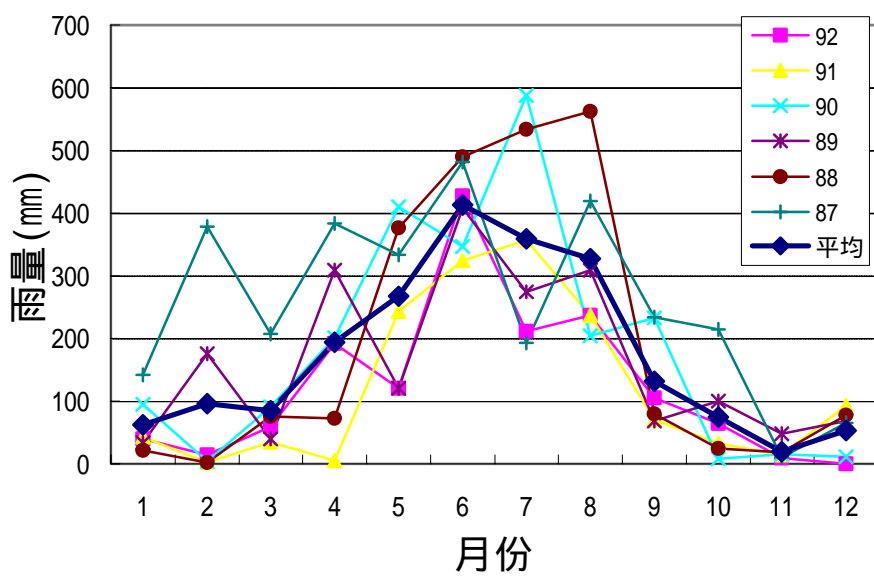


圖5 本區近五年來月降雨資料
(中央氣象局日月潭氣象站)

2.土壤流失量：

本區土壤流失量係根據台電公司測量之水庫淤泥資料，藉由淤泥量反推上游集水區沖蝕深度(圖6)，由81~90年間顯示日月潭集水區土壤流失量最大，約1.8cm/年，其次為明潭、明湖水庫，推究其原因應是台電公司於明潭、明湖水庫上游進行多年水土保持工程，業以發揮功效。

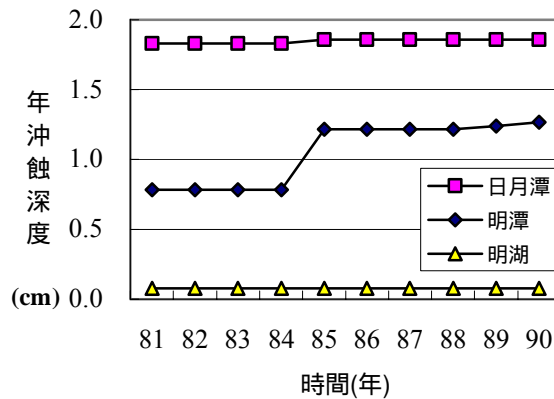


圖6 本區年土壤沖蝕深度

3.土石流流量：

本區之崩塌地與土石流工程構造物，均施設在坑溝上游，其集水面積均小於1000ha，因此用合理化公式⁽⁷⁾推估清水流量：

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA$$

式中： Q_p ：洪峰流量(m^3 / sec)

C ：逕流係數(無單位)

I ：降雨強度(mm / hr)

A ：集水區面積(ha)

估算流動中之土石流體積濃度，土石流之濃度受溪床坡度影響甚大，一般以下列公式⁽⁷⁾表示：

$$C_D = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

式中， C_D ：流動中土石流體積濃度

ρ : 水之密度 (kg/m^3)

σ : 土石密度 (kg/m^3)

θ : 溪谷之坡度

Φ : 土石之內摩擦角

以合理化公式推估溪流中之清水流量 (Q_w)。由清水流量 (Q_w) 及土石流體積濃度 (C_D) 可推求土石流之流量，其關係如下：

$$Q_D = \frac{C^*}{C^* - C_D} Q_w$$

$$C^* = 1 - Pr$$

式中， Q_D : 土石流之流量 (cms)

Q_w : 溪谷上游之清水流量 (cms)

C^* : 溪床上土石堆積物之體積濃度

Pr : 溪床上土石堆積之孔隙率

C_D : 流動中土石流體積濃度

代入以上公式，各土石流潛勢溪流之清水及土石流量如下表所述。

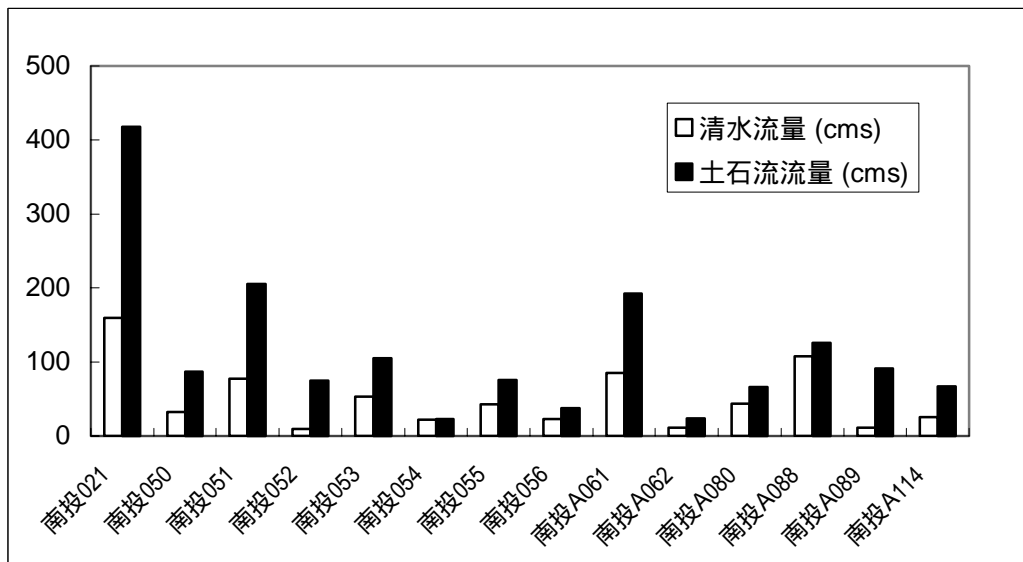


圖7 本區土石流流量

三、災害現況調查與分析

本區主要潛在的土砂災害有崩塌、土石流等，發生災害的潛因多為地形與地質因素，誘發災害的原因係受地震、降雨、水庫蓄水、開路、濫墾與人為不當開發所影響。

因本區大多為林班地，長期土地受管制，較少人為開發的影響，加上水庫周邊圍石英砂岩構成之白冷層地質(圖3)，因質地堅硬，較不受水庫蓄水後因長期邊坡泡水而軟化影響，加上台電公司長期於水庫集水區內進行水土保持工程，因此誘發災害的原因剩下地震、降雨與開路，民國88年921大地震與二年後的桃芝颱風便成為本區大規模土砂災害發生的主因。

(一)崩塌地

本區經水土保持局提供崩塌地位置，區內於921地震後產生新崩28處，崩塌總面積達225.97ha，發生崩塌之平均坡度為42.73%。二年後的桃芝颱風新增崩塌地16處，擴大31處，崩塌總面積增加82.7ha，發生崩塌之平均坡度為28.90%，到了91年底，新增崩塌地有10處，減少有26處，崩塌總面積減少39.54ha，發生崩塌之平均坡度為32.75%，崩塌位置詳見圖8。921地震造成大量的新生崩塌地，桃芝颱風後最為嚴重，之後因降雨量減少，崩塌地的數量與面積也因植生復舊而減少。

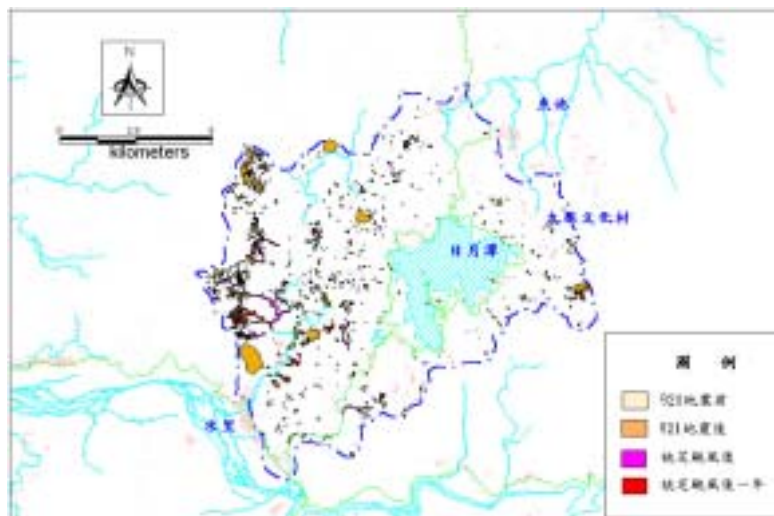


圖8 全區崩塌地分佈圖

崩塌地規模大小涉及治理經費，而其活動性與危險度又與治理需求之輕重緩急有關，建立相關資料有利於治理之規劃進行，崩塌地的活動性藉由野外勘查而得，以潛感性高低來表示(表1)，至於崩塌地的危險度可根據保全對象距離之遠近來決定(表2)。

表 1 崩塌地活動性評估表^[10]

查核評估項目	是	否
1.高度10m以上	7	3
2.坡度100%以上	1	0
3.有倒懸現象	3	0
4.表土厚度0.5 m以上	1	0
5.有滲水、泉水、湧水等現象	1	0
6.曾發生崩塌跡象	3	0
合計(T)		

高潛感度：T 9 中潛感度：8 T 6 低潛感度：T 6

表 2 崩塌地之危險度分級準則^[4]

與崩塌距離		設施種類			
下邊坡	上邊坡	公共設施(或聚落)		一般建築	其他
		活動徵兆明顯	活動徵兆不明顯		
< 2H	< 1H	A	B	C	D
2H 5H	1H 3H	C		D	

H：崩塌地高差

本區崩塌地發生大多集中於水里溪流域，分布位於接近山頂坡度超過55%的陡坡，因地點偏僻，附近又無保全對象，經評定危險度為D級，因此不需處理。另於日月潭周邊因道路開闢，造成8處崩塌，崩塌地正下方多有民宅與道路，列為A級危險，因此急需治理。總計本區崩塌地潛感度高計有6處，危險度A級共有8處，綜合評估處理性高有8處(表3)，先將就這些地區進行緊急治理對策研擬。

表3 崩塌地水土保持問題及需要性分析

編號	座標 (m) N	E	面積 (m ²)	坡頂 高程 (m)	坡度 (°)	坡向	崩塌土 砂量 (m ³)	土地利 用	潛感性	保全	處理性	現有工程	建議治理對策
LS1	240049	2640443	282.1	760	65	東南	282.1	整地	高	民宅	高	卵石護坡	岩錨擋土
LS2	242724	2640365	122.2	810	40	西南	122.2	雜林 草地	高	環潭 道路	高	護坡	植生護坡與擋土
LS3	243253	2640106	178.3	790	60	西南	178.3	雜林	中		高	無	邊坡擋土與植生
LS4	242447	2638977	1332	790	60	南	1332	雜林 草地	中		高	擋土牆	邊坡擋土與植生
LS5	242490	2637862	2675	930	65	東北	2675	雜林	高		高	地表排水 護岸跌水	坡面護坡與擋土
LS6	240858	2637952	109.8	835	60	西南	109.8	雜林	高		高	無	植生護坡
LS7	238687	2636886	743.9	675	70	南	743.9	雜林 草地	高		高	擋土牆	植生護坡
LS8	239133	2638017	65.4	790	65	西南	65.4	雜林	高		高	無	坡面護坡與擋土
合計			5508.7				5508.7						

(二)土石流

本區經水土保持局提供土石流潛勢溪流位置，區內於921地震前曾發生4處土石流，地震後二年的桃芝颱風發生土石流8處，受災總面積為82.7ha，到了91年底，僅南投A051再發生1處土石流，土石流受災位置詳見圖9。至於政府劃定本區內共14條之土石流潛勢溪流，僅發生7處，另有1處未在公告之潛勢溪流當中。



圖9 全區土石流受災區與潛勢溪流分佈圖

土石流災害之活動性亦可按照表4來評估，土石流危險度可根據保全對象位置相較溪床高低來決定(表5)。

表4 土石流活動性評估表(修改自農委會,2003)

查核評估項目	評估標準(分)		
	10	5	1
土石流上游發生區 坡度	>50度	30度 50度間	<30度
集水區內崩塌規模	明顯大面積崩塌 (崩塌率>5%)	小規模崩塌 (1%<崩塌率<5%)	無明顯崩塌 (崩塌率<1%)
下游堆積材料破碎 情形	土石材料平均粒 徑大於12”	土石材料平均粒徑 介於12”至3”之間	土石材料平均 粒徑小於3”

高潛感度：T 16 中潛感度：15 T 10 低潛感度：T 9

表5 土石流之危險度分級準則

高出溪床		設施種類			
下游	上中游	公共設施(或聚落)		一般建築	其他
		活動徵兆明顯	活動徵兆不明顯		
< 2H	< 1H	A	B	C	D
2H 5H	1H 3H	C		D	

H：土石流深度

經潛感與危險度分析結果，本區土石流潛感度高計有8處，危險度A級共有4處，綜合評估處理性高有10處(表6)，將這些地區列為緊急治理對象，經水理分析(圖7)，現有溪溝斷面均可承受50年洪水頻率的土石流流量，因此無須於溪床外另劃設危險區，直接於溪溝內進行攔砂與整流工程。

表6 土石流潛勢溪流調查統計表

編號	集水面積(ha)	發生次數	潛勢性	危險度	處理性	土地類別	現有治理工程	現地整治成效評估
南投021	523	2	高	高	高	林班地、九族文化村	跌水工與護岸	土砂已安定於溪床中，唯局部地區未施作護岸
南投050	100	2	高	中	高	林班地、檳榔	防砂壩與卵石護岸	目前土石堆積量多，但溪床尚穩定
南投051	242	1	高	中	高	林班地	卵石護岸	目前土石堆積量多，但溪床尚穩定
南投052	29	0	中	高	高	山坡地	植生護坡	目前土石堆積量多，但溪床尚穩定
南投053	167	0	高	中	高	林班地	防砂壩、潛壩、植生護坡、整流工	土砂量多，但因部份施作工程，目前溪床尚穩定
南投055	133	1	高	高	高	林班地、檳榔	護岸	溪流與縣147道路交會處，再加強保護
南投056	71	1	高	中	高	林班地、檳榔	護岸	目前溪床穩定邊土石堆積量少，但上方有崩塌地
南投A088	355	0	中	高	高	山坡地、林班地	防砂壩、護岸	溪床穩定且土石堆積量少
南投A089	35	1	高	中	高	林班地	防砂壩、RC護岸	土砂量多，但因部分施作工程，目前已安定於溪床中
南投A114	77.6	1	高	中	高	林班地	無	土砂量多，應加強土石流防治工程

四、治理對策

本區經檢討出8處崩塌地與10處土石流危險溪流，急需進行治理工程。其中土石流危險溪流部分，因相關單位已規劃設計整治工程，經比對規劃位置圖(圖10)，發現僅A055土石流潛勢溪流須再改善，餘不另作處理。

因此將8處崩塌地治理地區，列為短程處理計畫(第1~2年實施)，以保護邊坡，防止危及財產；至於A055土石流潛勢溪流尚須與相關單位協調施作時間，並近三年內溪溝趨於穩定，因此列為長程計畫(第3~4年實施)。於第五年就當時現況再作通盤調整。

茲將各規劃工程之位置及順序標示如圖11所示，水土保持處理與維護一覽表(包含工程名稱、工程內容、分期原則、數量、單價、估計經費、執行單位)如表6所示。

表6 本區分期分區水土保持處理與維護一覽表

順序	分區	分期	工程位置	工程內容	單價	數量	經費
1	LS1 治理	短程 (1~2年)	LS1 崩塌地	岩錨擋土工程	6000	282 m ²	1,692,000
2	LS2 治理		LS2 崩塌地	擋土工程	15,000	17m	255,000
3	LS2 治理		LS2 崩塌地	植生護坡	200	122m ²	24,400
4	LS3 治理		LS3 崩塌地	植生護坡	200	178m ²	35,600
5	LS3 治理		LS3 崩塌地	擋土工程	15,000	19m	285,000
6	LS4 治理		LS4 崩塌地	植生護坡	200	1,322m ²	264,400
7	LS4 治理		LS4 崩塌地	擋土工程	15,000	128m	1,920,000
8	LS5 治理		LS5 崩塌地	植生護坡	200	2,675m ²	535,000
9	LS5 治理		LS5 崩塌地	擋土工程	15,000	30m	450,000
10	LS6 治理		LS6 崩塌地	植生護坡	200	703m ²	140,600
11	LS7 治理		LS7 崩塌地	植生護坡	200	744m ²	148,800
12	LS8 治理		LS8 崩塌地	植生護坡	200	267m ²	53,400
13	LS8 治理		LS8 崩塌地	擋土工程	15,000	19m	285,000
14	南投 A055 護 岸工程	中長程 (3~4年)	新興橋至上方 350m 處	護岸跌水 350m 長*8m 寬*3m 高	20,000	350m	7,000,000
合計金額							13,089,200



圖10 本區現有工程設施圖(水里溪中游)



圖11 本區水土保持設施規劃圖

五、土地管理

本區隸屬日月潭國家景特定區，在有限經費與資源，及工程技術考量下，宜統籌辦理土地管制事宜，茲研擬土地管理辦法說明如下：

(一) 管制原則

本區將依森林法、水土保持法、水庫集水區與山坡地開發管理辦法等現行法令規定，管制區內土地之經營及使用情形。

(二) 管制方法：

土地之使用，除依現行法令規定使用外，並依下列管制規定使用：

1. 區內之開發利用申請案，應先徵得風景管理處之同意，核發開發或利用之許可。
2. 本區整體規劃，每五年應檢討一次，並得視實際需要變更之。
3. 本區之林班地，應持續依法進行林業活動與保育。
4. 崩塌及土石流高潛感與危險地區，應劃定危險範圍，禁止任何開發行為。
5. 有崩塌之虞之道路或房屋邊，在治理工程尚未完成前，設置警告標示，以警告遊客行經該處時注意自身之安全。
6. 當地農民之農地水土保持教育宣導，可由管理機關安排至現場與當地居民溝通。
7. 防救災演練、緊急應變對策研擬，須加強演練實施。

六、結論

1. 本區的土砂災害種類以崩塌與土石流為主，發生的原因主要受地震、颱風與開闢道路的影響。
2. 921地震後，崩場地大多集中於水里溪，除受地震強度影響外，並分佈於接近山脊之坡度較陡處。桃芝颱風後崩塌土石部分下移，並於坑溝谷口下方形成土石流。

3. 土石流大多分布於水里溪支流，除因上游崩塌產成大量的土砂料源外，在較陡的溪床坡度，及充足的降雨條件下，便有可能發生。
4. 崩塌及土石流高潛感與危險地區，應劃定危險範圍，禁止任何開發行為，並優先進行治理工程。
5. 本區受921地震與桃芝颱風重大事件影響，產生大規模土砂災害，但事件發生後，土砂災害數量與面積已明顯減少，顯示中上游之水土保持已發揮功效。

七、參考文獻

1. 農委會(2003)，全台灣地區 1420 土石流潛勢溪流調查。
2. 農委會 (2002)，崩落地調查與後續演替趨勢觀測。
3. 行政院 921 震災災後重建推動委員會，2001，921 災區崩塌及土石災害變化趨勢與因應對策成果報告書。
4. 工研院能資所(2001)，桃芝颱風崩落地調查分析。
5. 工研院能資所(2000)，九二一地震崩落地調查與治理規劃報告。
6. 詹錢登(2000)，土石流概論，科技圖書股份有限公司出版。
7. 農委會 (1996)，水土保持技術規範。
8. 松村和樹、中筋章人、井上公夫(1988)，土砂災害調查，鹿島出版社。
9. 何春蓀(1986)，「台灣地質概論」，經濟部中央地質調查所出版，
10. 日本建設省河川局(1985)，「建設省河川砂防技術基準(案)設計編」，山海堂。
11. 林朝榮(1957)，「台灣地形」，台灣省文獻委員會。