

九份二山堰塞土體的處理與後續演變

蘇苗彬¹、陳毅輝²、廖建鑫³

摘要

九份二山在 921 地震時發生了大規模的地滑，由炭斗山沿順向坡面崩落下滑之土體高達三千多萬立方公尺，造成多人傷亡，並形成兩處堰塞湖。對其後續處理各界看法不一，也引起許多爭議，統由水土保持局負責治理工作。

治理過程中，設置溢流道，安全排水為最主要的手段，隨著溢流道不斷刷深，堰塞湖之危機漸漸的減少，但坡面安定變成了新的課題，滲流的控制為後續需要實施的要項。

山崩地滑均可能造成土砂災害，土石堆積的後續處理不易，其可能造成的災害形成亦複雜，很難掌握，九份二山的堰塞土體的處理，大致得到控制，但其後續演變仍值得注意。

關鍵詞：地滑，堰塞土體，治理工作，演變

ABSTRACT

Chiu-Fen-Er-Shan which was situated near the epicenter of Chi-Chi earthquake had an extensive collapse on September 21, 1999, led to exceptional reshape on topographic landscape. Volume of collapse earth materials was estimated more than 30 millions cubic meters and caused certain amount of casualty. The remedial works were executed by the Soil and Water conservation Bureau. But there were great discrepancy in regard to the strategy and the risk.

The major treatment to the stabilization of the piled material was set to the establishment of spill waterway. With the deepening of the waterway, risk of the dam failure seemed lowering. Slope stability became the new issue and seepage control should be performed.

Landslides can become different type of debris disaster. Treatment afterward is very difficult to make the right decision. Large amount of effort to find the right mechanism of potential failure is needed in every single case.

KEYWORDS : landslide, landslide dam, remedial work, evolution

一、前言

九份二山在 921 地震時發生了震驚全台的地滑，由炭斗山崩落的土體造成多人傷亡，並形成了兩個堰塞湖，後續處理的工作由於國內皆無此經驗，眾說紛云，紛擾不休，但也是持續的進行著至今已過了九年，回頭來看看，這國內唯一劃定為“地震紀念園地”的後續發展，並檢討從這處理與演變的過程，給相關及以後的個案作為參考。

二、治理報告概要

在完成治理工程後，水土保持局與重建委員會合作編彙了「九份二山崩塌及

¹國立中興大學土木工程學系教授

²國立中興大學土木工程學系博士候選人

³國立中興大學土木工程學系博士候選人

堰塞湖治理報告」，約略摘錄其中說明如下。

受九二一集集大地震的影響，南投縣國姓鄉南港村澀子坑地區因山麓大面積土石沿順向坡下滑，其滑動長度超過一公里，滑動體淹沒韭菜湖溪及澀子坑溪之匯流處，形成韭菜湖溪及澀子坑溪兩個堰塞湖，也造成坡下房舍、農地及交通道路等生命財產嚴重損失，為了避免雨季逕流量暴增時，堰塞湖下方堆積土石有潰決的威脅，委託規劃崩塌地治理及堰塞湖之監測處理。

崩塌地位處於南投縣國姓鄉南港村之九份二山北側，崁斗山的東南面順向坡，地處國姓鄉、中寮鄉及草屯鎮之交接處，落下的土石堵塞了韭菜湖溪、澀子坑溪(為南港溪之支流)；而順向坡頂之後側坡面則崩落於粗坑溪集水區。澀子坑溪與韭菜湖溪於其東南側繞流而過，崩塌地南向面對標高 1174 公尺之九份二山，經以衛星影像比對及航空照片判釋結果，崩塌面積約 102.5 公頃，自標高 1025 公尺至 425 公尺向東南崩塌，崩塌體積為 34,923,400 立方公尺，堆積體積為 36,585,000 立方公尺。

韭菜湖溪堰塞湖之溢流水位為 585 公尺，已於八十九年四月二十八日滿水位溢流注入澀子坑溪堰塞湖，而澀子坑西溪堰塞湖亦於四月三十日下午十時溢流，五月一日上午六時溪水水流到達了下游中興橋，水位記錄如圖 1 所示。

崩塌區地質屬中新世水裡坑層(北寮層)之混濁砂岩夾頁岩，岩層為東北西南走向為 N35° E，傾角約 20° SE，傾向為東南向與坡面近似，據崩塌發生前之地質圖研判，崩塌地上方沿走向有國姓逆斷層(或稱十二份斷層)通過，斷層以西屬背斜構造，係觀音石背斜東翼。

表 1 九份二山崩塌集堆積資料

類別	面積(公頃)	體積(立方公尺)	最大崩塌/堆積深度(公尺)
崩塌	102.5	34,923,400	-60.09
堆積	92.5	36,585,000	+96.58
合計/膨脹比	195.0	1.048	

表 2 九份二山堰塞湖資料

堰塞湖及其上游集水區	面積(公頃)	堰塞點座標及高程		堰塞湖河床高程及最大蓄積容量			滿水面面積(公頃)
		座標	高程(公尺)	河床高程	最深水位(公尺)	蓄積容量	
韭菜湖溪上游集水區	272.80	(233918, 2649355)	585.0	556.0	29.0	678,000	4.43
澀子坑溪上游集水區	382.24	(233390, 2649637)	577.5	540.0	37.5	1,089,700	6.48
合計	655.04					1,767,00	10.91

崩塌區之原地形為約 20 度傾斜之砂頁岩互層順向坡，上坡面之滲流水受到頁岩阻隔，在砂頁岩層面流動，促使岩層膠結力減弱，形成滑動面，地震前當地居民多引用自岩石露頭滲出之地下水，可為佐證。且下方有韭菜湖溪流過，常年溪床下切，使得順向坡基腳之不安定端逐漸加深加長，受到車籠埔斷層影響，引發不穩定之坡面向下崩解滑動。受車籠埔斷層影響引發國姓斷層再次活動，斷層上盤岩層因擠壓碎裂崩滑(據內政部土地測量局於地震後重新測量，距崩塌區南方五公里之四角山衛星定位點，向西北水平位移 2.88 公尺，垂直位移向下 0.77 公尺)(見圖 2)。

蓄水體積(m³)

降雨量(mm)

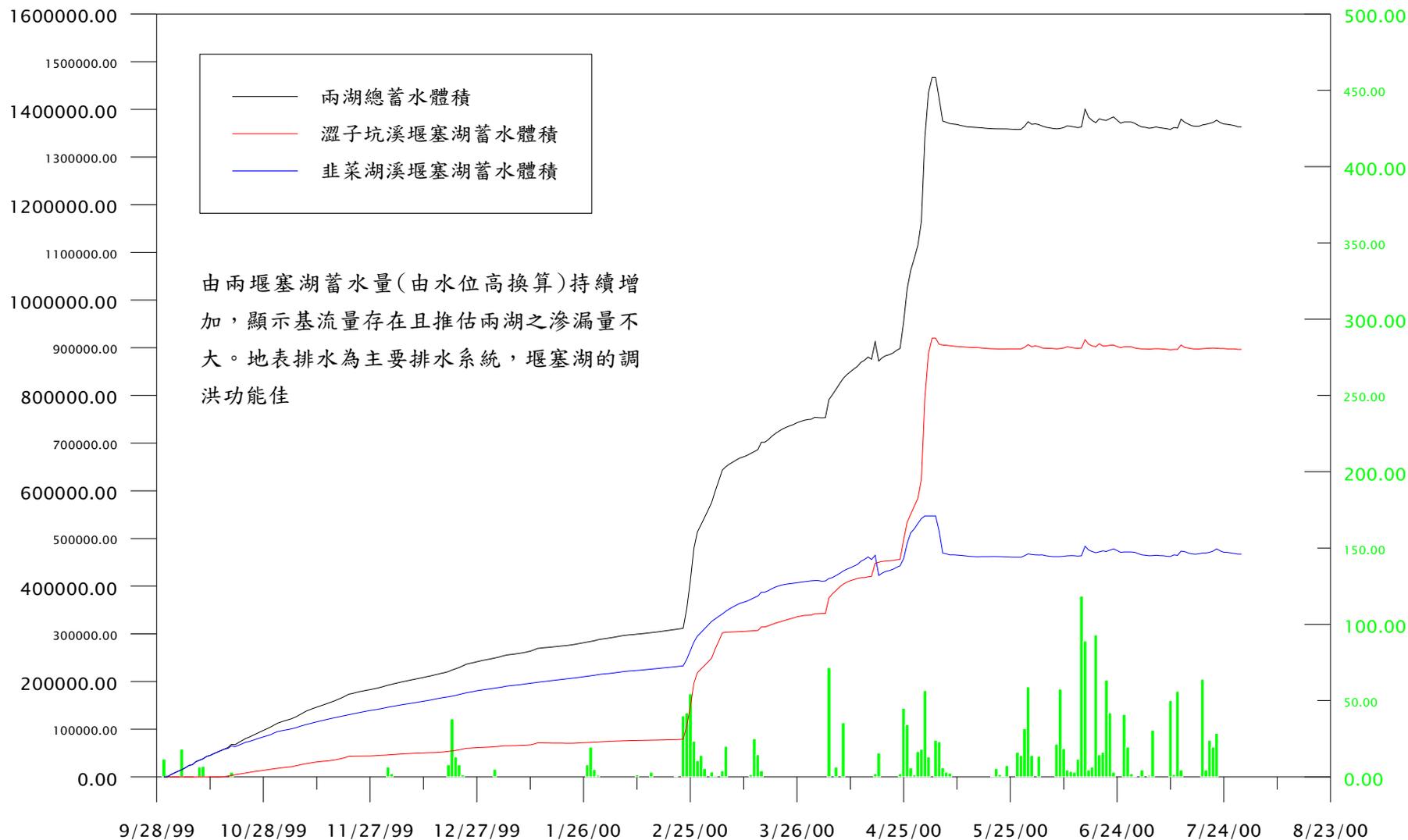


圖 1 九份二山兩堰塞湖續水量歷線

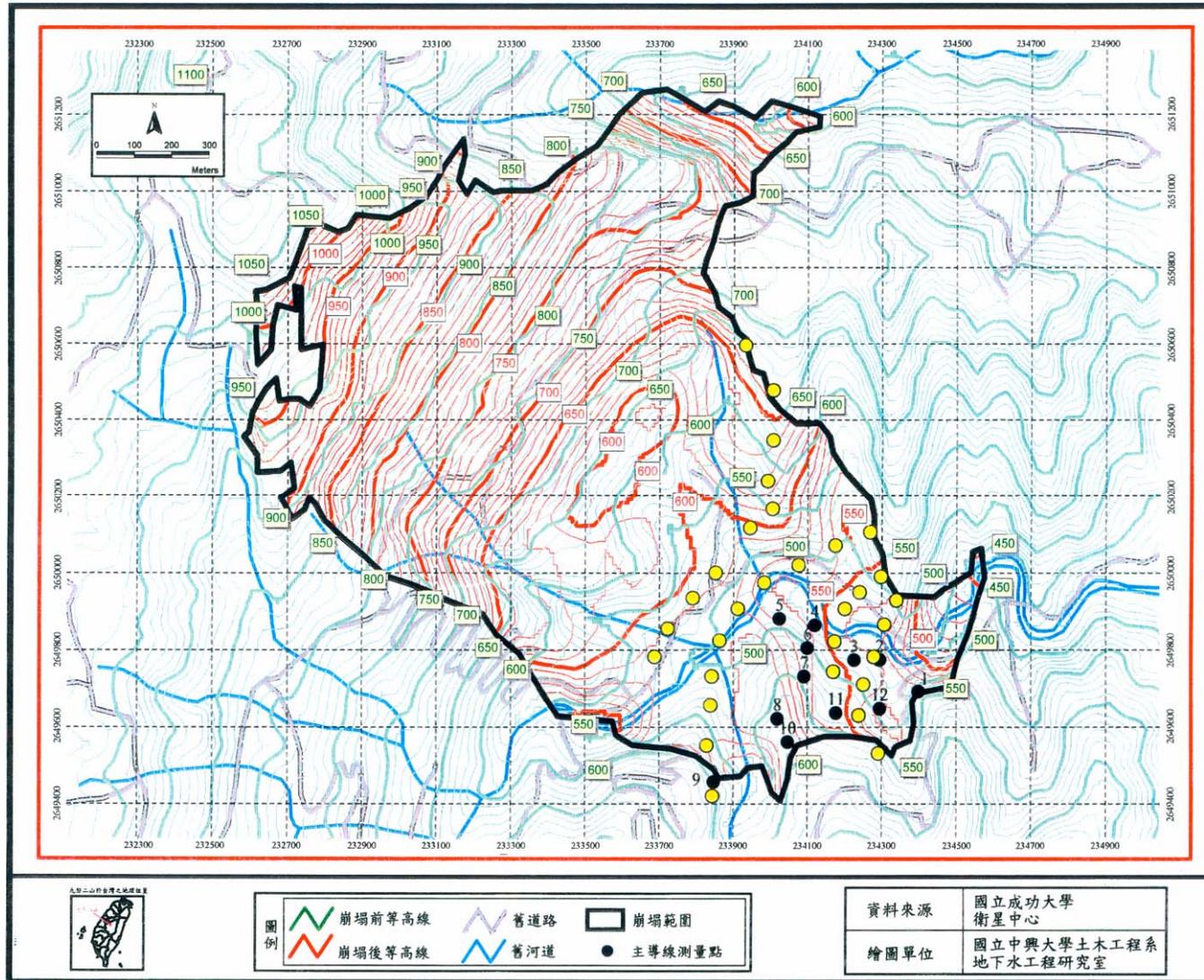


圖 2 九份二山崩塌前後地形比對圖

本地區以農業活動為主，居民多以種植香蕉、檳榔及飼養水鹿為業，本次地震除約 200 公頃農地及農路全部位移損毀外，並導致 14 戶計 39 人及 228 頭水鹿死亡，由於崩塌土石方量甚大及厚度極深，加上位移量極大，22 位被埋遺體未能尋獲，至為遺憾。

為防止堰塞湖之崩塌土石潰決，於 88 年 10 月 10 日發包在崩塌坡面低窪處，施工挖掘長 1450 公尺淺寬(深 2 公尺、底寬 20 公尺之拋物線形斷面)緊急排水道，做為排除堰塞湖之溢流水，並將挖出之部份土石填入湖內，降低堰塞湖容量，減緩危險性。

三、調查與分析

以下依據九十年完成之九份二山堰塞湖規劃及防災演練計畫報告中摘錄。

針對堰塞土體的安全性進行評估，綜合現場勘查現地的實際狀況與可能的變化，再結合電腦數值分析與模型試驗的結果，作成緊急處理與整體治理的工法建議與治理策略，並進行規劃工作以利後續工程的進行。其中緊急處理已大致完成，後續整體治理工作則持續進行。

(一)崩塌土體安全性評估

九份二山地區於 921 地震時發生炭斗山順向坡面大量土石滑落，掩蓋住了韭菜湖溪水道，並形成了二處堰塞湖，其後續發展堪慮，包括順向坡是否會再產生滑落，堰塞湖是否會潰堤，堰塞土體會不會崩塌及發生管湧災害等等。為求對下游居民及土地公共設施等安全有所保障，以下先檢討後續災害的可能發展。由圖 3 的九份二山堰塞湖後續災害可能發展的流程圖來說明其相關的影響，堰塞湖在溢流發生時，可能造成水壓力過大及淘刷作用的助長下形成潰堤的危機。而堰塞土體在達到飽合後，溢流水與地下滲流水雙重作用下，可能發生加速淘刷，大量泥砂流失伴隨局部崩壞的持續擴大，終至全面破壞。災害可能的形式，規模與發生的可能性、影響區域及下游必需的防災措施，應預先做成評估，以提昇防災工作的進行。另外對堆積土體的土壤力學特性演變作成表 3，說明其隨時間安定性的變化，地震崩落前，原順向坡上方的物質應為風化嚴重的疏鬆結構，在地震作用下，順著坡面滑落，形成鬆散緊密不均的堆積物，阻礙了河道，入滲水會持續增加堆積物的飽合程度，孔隙水壓力的增加降低了土體的有效應力，對整體的邊坡穩定可能造成威脅，應特別注意其變化。

(二)崩塌堆積區的安定性

崩塌堆積的土體，其體積龐大，又部份位於行水區，勢必面對地表水沖刷及入滲之地下水水壓力等問題，其安全性受相當多的因子影響，分述如下：

- (1)崩積土的力學性質：崩落堆積的土方，源自順向坡面上的風化材料，包括表層的砂岩及內部的頁岩，其力學特性隨風化程度之不同而差異，兼以崩落堆積的過程在地震震落中受重力的趨使及地形的影響，其異向與不均質性無法掌握，材料強度與變形特性亦無法得知。
- (2)崩積區的水文地質分佈：水文地質指地質材料特性影響地下水流者，崩積區內之堆積物質，不規則不均勻，很難掌握地下水的存在與流動，亦無法明確評定地下水對邊坡穩定的影響。
- (3)崩積區的地下水分佈：崩積區的地下水來源複雜，包括從上游入滲，兩個堰塞湖的滲漏及從順向坡入滲等，應有完整之監測，才得掌握全區之分佈，以評估坡面的穩定性。

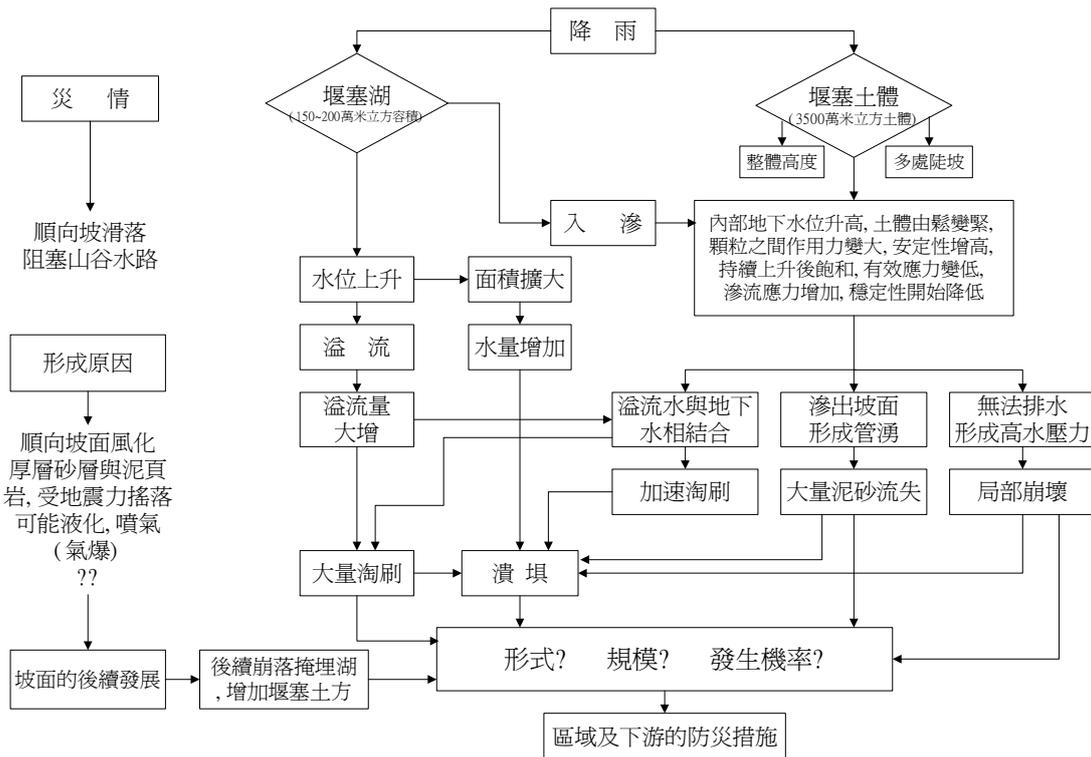


圖 3 九份二山堰塞湖後續災害可能發展

表 3 堆積土體的土壤力學特性演變

時間	事件	特性演變
地震崩落前	順向坡面上，風化嚴重，節理發達，疏鬆結構。	暫時穩定，呈極限平衡狀態。
地震發生時	順向坡面滑下，越過兩個山脊線，堆積在地表，掩蓋了河谷低地。	運動中，可能粗細料分離，粗大顆粒於較低窪處，上方多為細顆粒，剛落下時含水量低。
隨著時間過去 (1)	河道被阻塞，無法地表排水，上游及坡面上的降雨以入滲形式進入，蓄積在土體內。	地下水位由原河道高度漸漸積高，土體掩埋後排水能力降低，受土壤滲透係數控制。
(2)	入滲水造成土壤含水量增加。	土壤接受部份入滲水，經由張力作用，造成部份“夯實”結果，土體變“稍”緊密，顆粒間作用力變“稍”大，暫時安定性變高。
(3)	地下水位持續上升 (飽合高程上升)。	土壤達飽合後，因孔隙水壓力作用，顆粒之間的有效應力降低，剪力強度亦降低，隨著地下水位上升愈多，剪力強度下降亦愈多。
(4)	地下水位面持續上升，且呈空間分佈不一。	剪力強度持續下降，且滲流作用增加了滲流應力不利邊坡安定，滲出坡面則嚴重影響安定性，蓄積成高無法排水之孔隙水壓力，可能造成破壞。

在無法深入監測與試驗調查上述相關事項，初步研判崩塌土體的安全性不足，地表排水應加強溢流道的保護，地下水亦應加以控制，避免其水位過高產生管湧或溢流出坡面，造成局部崩壞的災害發生。

初步以幾個觀測孔水位推估沿溢洪道位置的地下水位，做成地下水位高與推斷可能的流線網，如剖面圖 R1 與 R2(圖 4 及圖 5)所示，顯示其可能危險的部份。

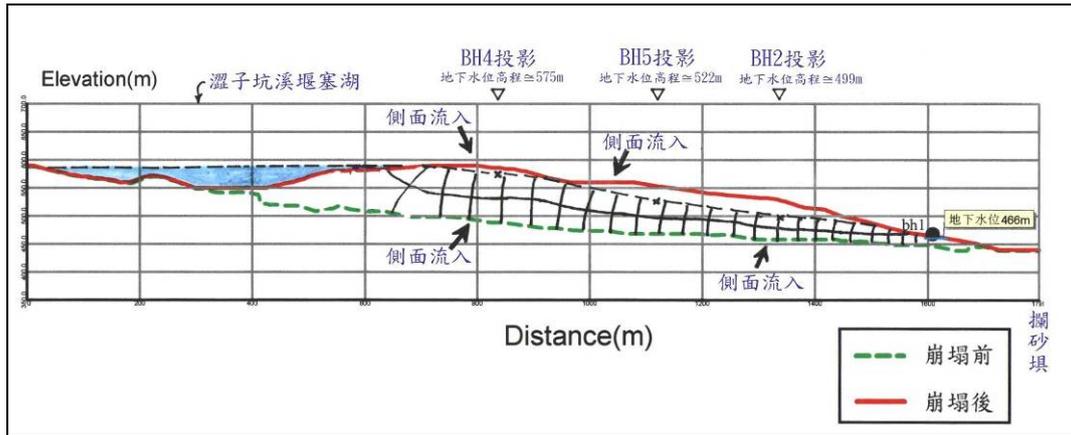


圖 4 九份二山剖面圖(編號: R1)

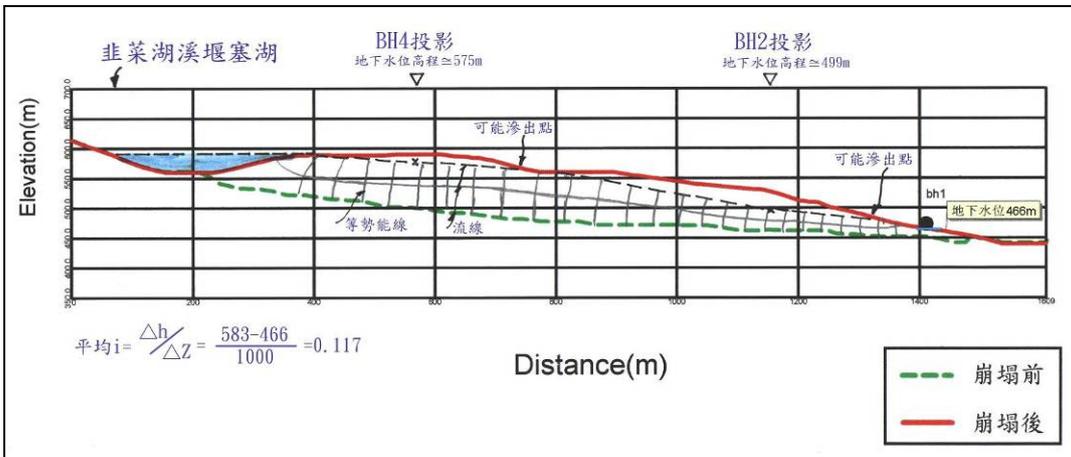


圖 5 九份二山剖面圖(編號: R2)

以最主要的剖面進行其穩定性的分析，大致結果如下述，並依分析結果做後續規劃。

對 R1 剖面進行穩定分析時，係將 R1 剖面線於轉折點處分割成 S1、S2 及 S3 三個剖面(如圖 6)，分別進行邊坡穩定分析作業。邊坡穩定分析作業所使用之土壤基本參數，係由鑽探所取得之試樣，進行室內試驗後而得。所採用之參數為土壤濕單位重 $\gamma_{wet}=1864.8 \text{ kg/m}^3$ (土壤乾單位重 $\gamma_d=1554 \text{ kg/m}^3$ ，含水量以 20% 估算)，飽和單位重 $\gamma_{sat}=1968 \text{ kg/m}^3$ ，凝聚力 $C=0 \text{ kg/m}^2$ ，內摩擦角 $=32.8^\circ$ ，地表下所有土層之基本性質均視為相同。

穩定分析作業所使用之程式為 STABL 5 程式，採圓弧破壞面及修正 Janbu 法分析。分析時以崩塌前之地面作為破壞分析界限，水位面則分成(1)目前之水位面，(2)目前水位面減 5 米及(3)目前水位面減 10 米，三種情形進行穩定分析。分析之結果整理於表 4。表 4 為分析所得之安全係數最低值及分析時使用之土壤參數。圖 7~圖 9 為 S1 剖面進行穩定分析時，所得之 10 個最危險圓弧面，其餘剖面分析圖見原報告。

由分析結果可看出，S2 剖面最為安定，在目前水位面下，最低安全係數達 3.052，次為 S3 剖面，在目前水位面下之最低安全係數亦有 1.715，因此 S2 及 S3 之邊坡目前係屬穩定狀態。至於 S1 剖面之安全係數則最低，在目前水位面下，其最低安全係數為 1.025，若水位降低 5 米後，其最低安全係數為 1.586，水位降低 10 米後，最低安全係數則提高為 1.843。在 S3 剖面上，另外考慮在地質材料可能

不均勻的情況下，設定內摩擦角為 22° ，邊坡排水能力不足，地下水位上升，則 FS 可能降低至 1.04。

穩定分析結果顯示，目前 R1 剖面邊坡之穩定狀態屬於臨界狀態，若有其他外力加諸坡面時，極有可能產生局部破壞之情形，因此為維護 R1 剖面之穩定，建議控制目前之水位面，全面降低 5 至 10 公尺，即可達到提高最低安全係數之目的。

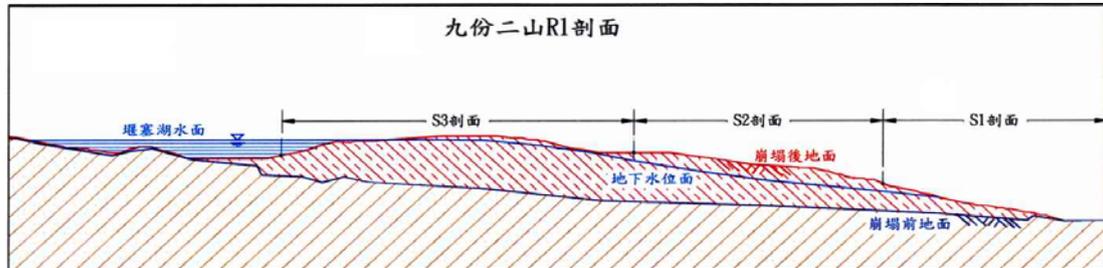


圖 6 R1 剖面

表 4 九份二山 R1 剖面邊坡穩定分析結果

剖面	γ_{wet} (kg/m^3)	γ_{sat} (kg/m^3)	C (kg/m^2)	ϕ (degree)	水位面	圓弧破壞面 線段長度 (m)	安全係數最低值 (Modified Janbu Method)
S1	1864.8	1968.0	0	26.8	目前水位	3	1.025
					降 5 米		1.586
					降 10 米		1.843
S2					目前水位	5	3.052
					降 5 米		3.242
					降 10 米		3.416
S3					目前水位	3	1.715
					降 5 米		2.001
					降 10 米		2.252
				22.0	上游水面上升至地表		1.044

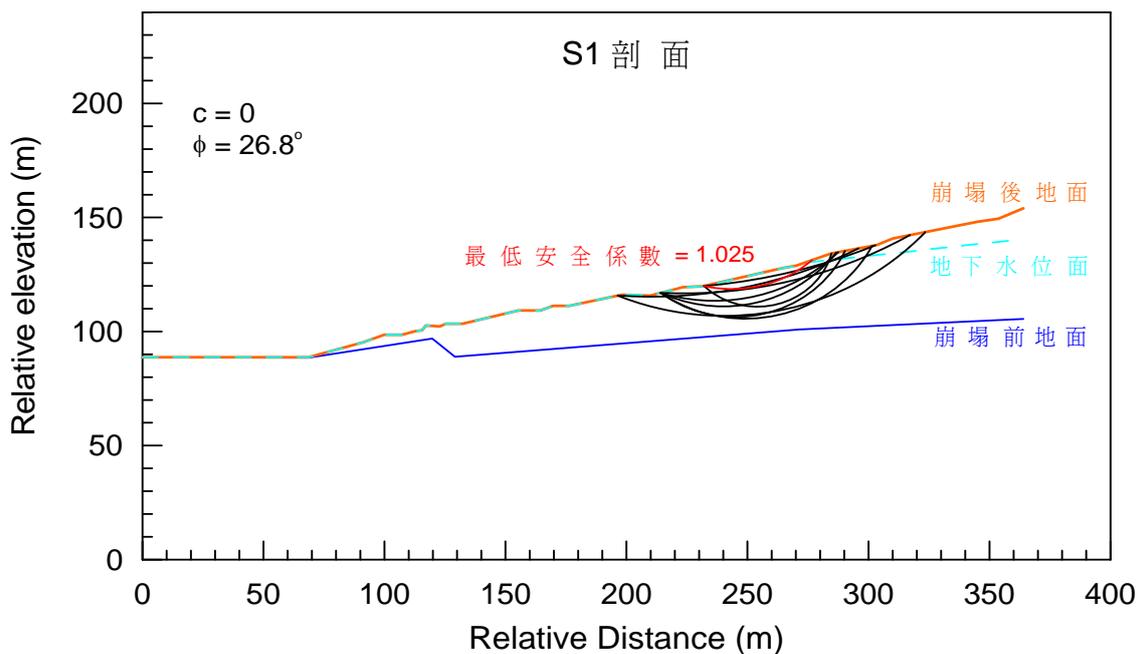


圖 7 S1 剖面之 10 個最危險圓弧面(目前水位)

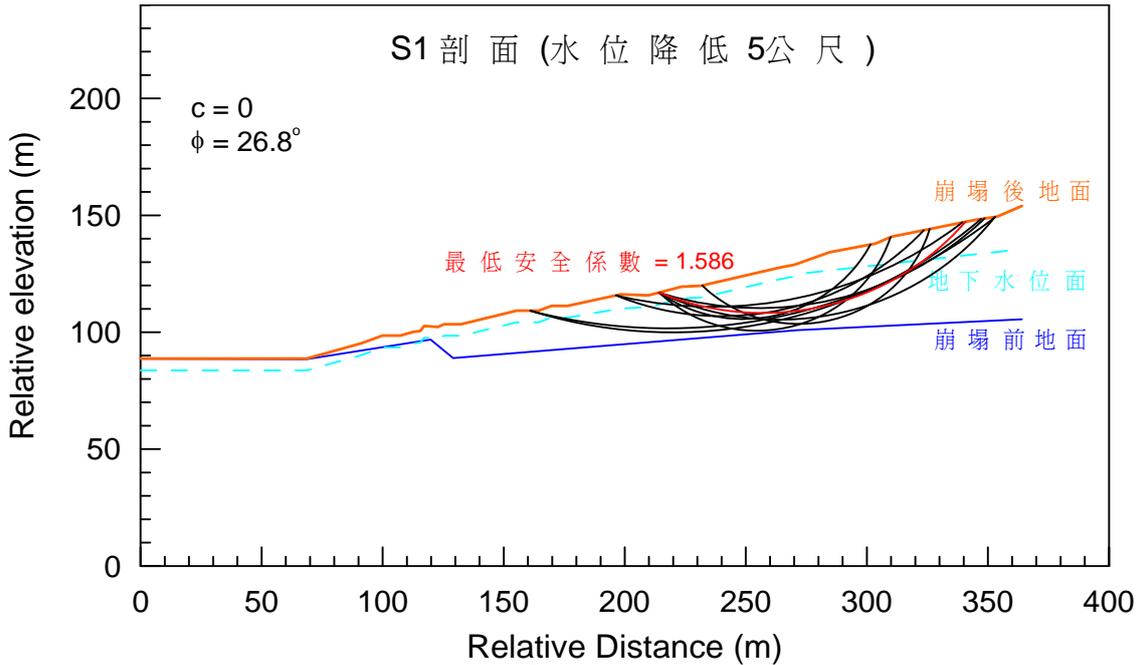


圖 8 S1 剖面之 10 個最危險圓弧面(目前水位降低 5 公尺)

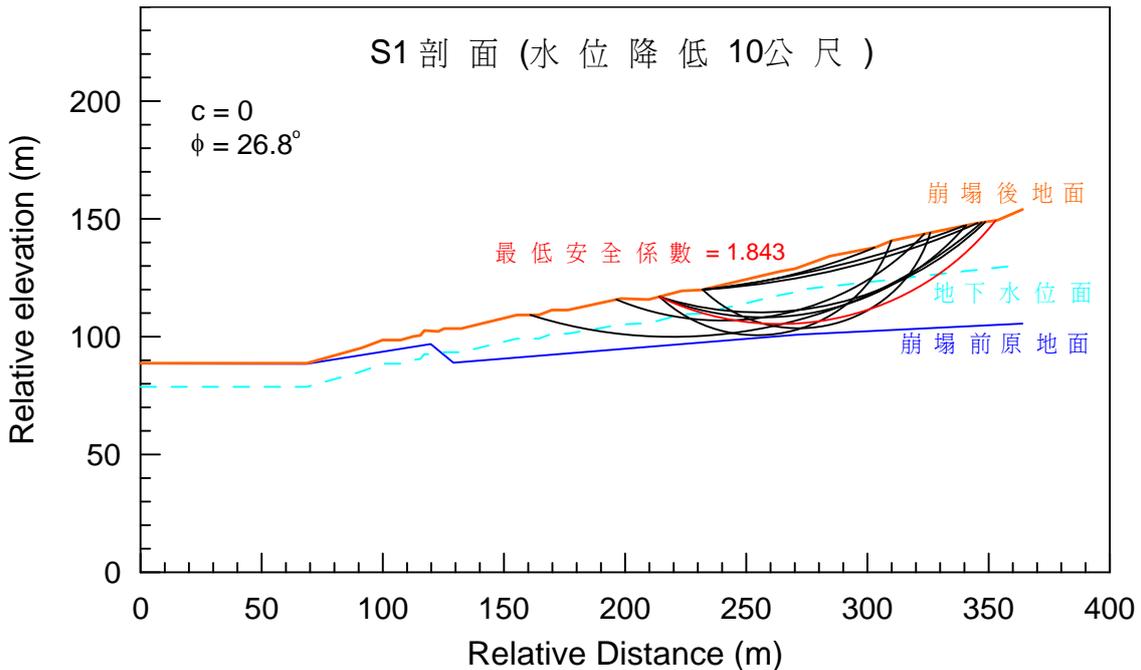


圖 9 S1 剖面之 10 個最危險圓弧面(目前水位降低 10 公尺)

規劃治理過程中，奉重建委員會指示，評估降低溢洪道八公尺的影響，評定如下：

- (a) 對堰塞湖區內之坡面而言，水位整體高程降低八公尺會有暫時急洩降問題，應控制降低的速度，避免在短時間內達成，以免發生大規模崩落。
- (b) 對溢流道而言，降低八公尺高程，則平均河道坡降減小，對溢流道的保護及向源侵蝕防止有正面的影響，但目前部份溢流道坡降高達 20~30%，需特別注意。

(c)對溢流道側面的邊坡穩定而言，降低八公尺，若在地下水位之上，則無明顯的影響，若會接觸地下水則需考慮地下水溢流出對溢流道側面及底部的安定影響。

(d)對整體崩積土體而言，土體的寬度超過 500 公尺最深達 100 公尺，溢流道相對而言很小，堆積的土體表面有足夠的空間作適當的地表排水。

由以上說明，初步認定溢流道挖深八公尺，對整體安定性是有益的，在缺乏其他資料的情況下，無法評定其增加穩定性的程度。重點在於能讓地表水安全的從土體表面的溢流道排除，不致造成溯源沖蝕，入滲的地下水能安全的由地下排水系統控制，不致發生管湧現象，影響邊坡穩定即可，溢流道應要注意排洪量與整體縱斷面的坡降，不宜太窄加速刷深，並應能阻擋由底部來的地下水排出，如地表與地下排水系統設置得宜，則堆積土體的安全性應無虞。

在報告中評定潰堤可能性不大，並使用百年頻率的降雨做成洪水演算，推估下游影響範圍，經變更堰塞湖蓄水量重新計算，其差異不大，重要原因為洪水主要由降雨量排水而來，蓄水部份影響很小，故建議仍可使用原定之潰堤影響範圍。

(三)崩塌區的安全性

崩塌區可約略分為崁斗山順向坡及順向坡潛在危險區兩部份，以下分別說明其現況。

1. 澗子坑溪上游順向坡張力裂縫或潛在危險性

澗子坑延續原滑落之順向坡上游面，由地形圖可見其構造相似，且為已開發之農地，經踏勘及空照圖比對(見圖 10 及圖 11)，並沒有發現張力裂縫及變位發生，坡面上之民宅道路亦沒有明顯災害，反而是崁斗山坡面上殘積的不穩定土石方及上坡面的張力裂縫較危險。

2. 崁斗山順向坡殘坡及潛在危險區調查

崁斗山順向坡滑落之部份為本次災害之主體，而在滑落面上，仍有部份殘餘的不穩定土方，經踏勘及空照發現，上邊坡仍有許多張力裂縫及破裂存在，應特別注意。順向坡面裸露的部份非常脆弱，易受風化侵襲，已有多處持續風化崩壞，尤其中間橫切過的龍南產業道路對順向坡危害很大，隨時有滑落的可能，應考慮封閉，如一定需要使用，應將其編定為臨時性道路，除了加強保護外，應有足夠的警示標誌，只在安全無虞的情況下使用，以策安全。估計坡面上殘留之土方，後續可能再崩落部份，經現場量測配合航照片比對，約在 200~1000 萬立方公尺，並無適當工程方法可以處理。經觀察，在地震後一年新潭位置，亦即順向坡下方原有之深坑，已填充近 100 萬立方的土石，水面所剩已很小，故規劃此部份保留為落石的緩衝地區。

崩塌區之地層主要為樟湖坑頁岩(相當於猴洞坑層)，出現在崩塌地南側有桂竹林層不整合於其上，樟湖坑頁岩之下為石門村層，分佈於北側並於崩塌區東北側形成石門峽谷。主要構造為南北向之大岸山向斜，軸線約略由滑動體趾部通過，東翼傾斜約 50°西翼傾斜約 20°為不對稱向斜。由地層分布及地形顯示向斜軸向北漸變為一斷層，約略在滑動體趾部通過。大岸山向斜西距雙冬斷層約 6 公里，東距水里坑斷層(北與國姓斷層相連)約 2 公里。圖 2 疊合崩塌前後之地形圖，可推算崩塌之厚度。



圖 10 堰塞湖上游集水區



圖 11 炭斗山崩塌土體俯視圖

經過航照圖及地形圖判釋，以及現地之踏勘調查作成現地現況描述如下：

- (1) 滑動體沿順向坡之層面滑動，層面之走向及傾斜約為 N35°E/20°SE；在滑動面上留下擦痕及浮石，降雨及餘震引發之浮石繼續滑落，尤其是西南側滑動面因水量較大伴隨發生小規模土石流。經過穿越滑動面之臨時道路時，應注意外力(風力、降雨、地震等)引發之落石，如圖 12 所示。
- (2) 崩塌區頂部裸露殘坡有 30-50m 之斷崖，斷崖上方有農地及農舍。由地形研判層面沿斷崖底部向上延伸，崩塌區仍有向上延伸後退之潛能，其穩定性及危險範圍仍待仔細評估。
- (3) 斷崖下方兩側有崩積土石，東北側滑動面上有大型殘留斷塊，其體積及穩定仍待仔細評估。
- (4) 滑動面東北側粗坑溪坡面產生數個傾覆式或落石式邊坡破壞，土石崩落於溪谷中如圖 13 所示。
- (5) 下滑岩體受東南側石門峽之阻擋，除了少部份飛越外大多堆積在其西側；

並堵塞韭菜湖溪及澀子坑溪形成兩個堰塞湖。此外，高水位時在滑動體上方凹處也會積水成潭，如圖 14 所示。

- (6) 堰塞湖積水或滑動體上方水潭造成地下水上升，不僅對堆積體本身穩定構成威脅，也對順向坡之後續發展不利。
- (7) 滑動面下之岩層為不易透水之頁岩，岩層歷經解壓和脹縮作用，有不規則縫隙和崩解風化之現象，如圖 15 所示。
- (8) 由現地取得新鮮崩落岩塊，帶回實驗室進行系列之物理試驗，首先進行單位重試驗，求得該岩石之單位重約為 2.65t/m^3 ，將岩石充分浸泡數十日，發現其含水量極低。其次進行消散耐久性試驗，以鑽孔號深 105-110m 處之岩心敲碎進行試驗；每組試樣進行二次乾濕循環以了解其抗耐風化能力，消散耐久第一次乾濕循環指數為 0.88~0.91，第二次乾濕循環指數為 0.54~0.56，依國際岩石力學會(ISRM)取第二次循環指數為消散耐久指數 (Slake Durability Index)，可由 Gamble 之建議該岩石為低耐久性(Low durability)，其試驗前和試驗後之岩樣如圖 16、圖 17 所示。
- (9) 最後進行直接剪力試驗，鑽取岩心再以切割機切削並磨平後，進行節理面直接剪力試驗。試驗之岩心直徑 5 公分，置入剪力盒後再以高強度石膏固定岩心。為模擬崩塌區滑動，滑動面上之覆蓋深度約 50 公尺，覆土應力約有 13.3kg/cm^2 ，進行直剪試驗時以此為正向應力加載之依據，剪動速率控制為 0.1mm/min 。求得常態下之 $\psi_r=33.4^\circ$ ，浸水充份飽和時之 $\psi_r=29.2^\circ$ 、 $C=0.15\text{kg/cm}^2$ 。由試驗結果得知該區岩材本身剪力強度佳，但抗風化性不佳，故應特別注意其風化之後物理和力學性質，以供其他量測推估之用。



圖 12 滑動面西側之小規模土石流



圖 13 滑動面東北側之邊坡破壞



圖 14 崩塌區上方之新潭



圖 15 滑動面上之裂縫及落石



圖 16 消散耐久試驗前之岩樣



圖 17 消散耐久試驗二次循環後之岩樣

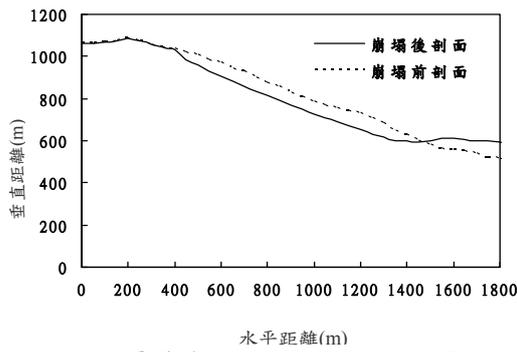
參考崩塌前後地形變化，對崩塌區選取分析斷面，以此幾何條件配合 921 地震測得之地震加速度 $\alpha_v=0.30g$, $\alpha_h=0.49g$ (由雙冬國小與魚池兩測站內差所得)，及試驗求得之數據如表 5 所示，依邊坡穩定程式 PCSTABL 6，崩塌區之滑動面為塊狀滑動模式來分析；先模擬地震前之岩坡安全係數，再計算發生地震時之岩坡安全係數。分析結果可得地震前之岩坡安全係數為 1.66，其岩坡應處於安全之範圍內，地震發生時之岩坡安全係數為 0.56，其地震發生時之岩坡安全係數偏小，故推測當初誘發地滑時地震加速度尚未達峰值 $\alpha_v=0.30g$, $\alpha_h=0.49g$ 的高峰，岩坡就已產生滑動現象。其滑動前後之剖面如圖 18(a) 所示，並由地震前岩坡之安全係數和發生地震時之岩坡安全係數，反推分析所得 C- ψ 關係曲線如圖 18(b) 所示，發生地震時之 C- ψ 關係之 ψ 值最大約為 22° 與實際試驗上求得之 $\psi=33.4^\circ$ 有明顯差異，故可推測當晚地震發生時其加速度未達峰值即產生滑動。此外，考慮臨界狀態下岩坡安全係數為 1.0 時，以極限平衡法反算分析其合理 α_v - α_h 之關係曲線，其結果如圖 18(c) 所示，亦可印証上述之發現。而實際上滑動坡面上方仍有大約四分之一的土體尚未滑落，由空中攝影得知上方之有北側有多處拉力裂縫，推估滑動面仍延伸至坡頂，該四分之一的土體應處於臨界危險狀態，故應防範雨季雨水滲入張力裂縫內造成邊坡之二次滑落。

綜合上述建議順向坡上方仍有許多殘留不穩定土方，應即建立監測系統，並詳加調查，下坡面則應留作為緩衝帶，以避免成災，坡腳下之新潭位置，寬度足夠，應保留做緩衝，避免規劃整地。

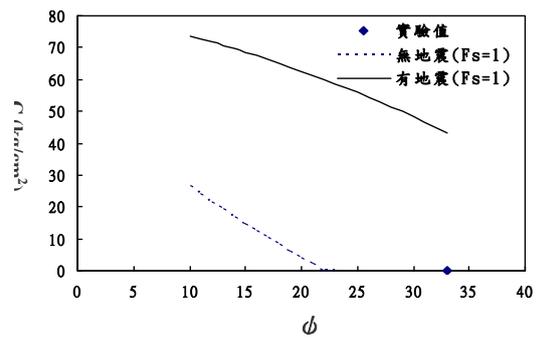
建議應劃定「特定水土保持區」，積極規劃整治事宜。如區域發展以地震紀念園地為主軸，則應與安全監測相互配合，除了緩衝帶保留不可使用外，整體規劃亦應以安全為最先考量，尤其建物設施的佈置應依安全監測結果來考量。

表 5 九份二山岩坡材料之基本性質

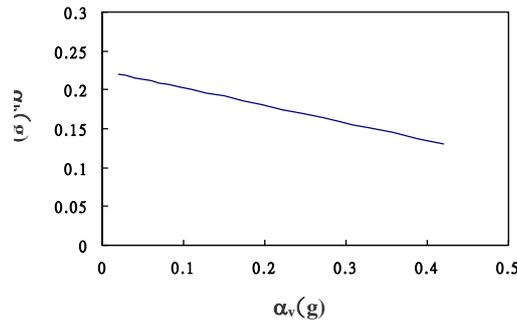
單位重	2.65 t/m ³
基本摩擦角 ψ	33.4°
凝聚力 C	0
消散耐久消數 Id_2	0.54-0.56
地震最大地震水平加速度 α_h	0.49 g
地震最大地震垂直加速度 α_v	0.3 g
地震前安全係數	1.66
地震中最小安全係數	0.56



(a) 地震前後A-A剖面之地形剖面圖



(b) 反算分析所得C- ϕ 關係曲線



(c) $F_s=1$ 反算分析所得 α_v - α_h 關係曲線

圖 18 順向坡反算分析所得之結果

整體而言，地震造成堰塞湖及堆積土體所可能引發的二次災害，需得由水利學及土壤力學等不同觀點，考慮各種可能的破壞機制及風險，作成適當的後續處理，不僅得考慮地表安全排水，防止潰堤及大量土砂沖刷，亦得針對地下水壓力作用及安全控制地下水滲流，方能維持堆積土體的安定，故中長期的整治計畫，應先確定後續土地利用的規劃，再結合安全的考量做成適當的整地計畫，以利安定安全的保持及有效合理的土地利用。

四、治理規劃

(一) 整體治理的規劃

九份二山堰塞土體的體積，相當龐大，堆積在低窪地，不同於其他堰塞湖阻礙了主次要河川的水流，形成了很大的堰塞湖面。九份二山的主要問題在於堆積土體本身的邊坡穩定問題及地表排水可能引發的淘刷向源侵蝕，不像草嶺潭面臨著潰堤的危險。潰堤的分析屬於水利工程，面對的是河川水流的問題，而邊坡穩定與向源侵蝕則是大地工程與水土保持的領域，處理的是土地的問題有極大的不同。一般堰塞湖的潰堤幾乎是必然發生，差別只在於其發生時間的早晚，與潰堤速度的快與慢，沒有可行的工程手段可以來阻止其發生，處理的要點在於監測其發生的時間及設法控制其崩潰的速度，以減少所造成的傷害，但面對邊坡穩定與向源侵蝕，則可透過瞭解其地質條件與材料特性後，經由種種工程手段來防止災害的發生或控制及降低災害的規模。惟仍應考慮其災害的型式與風險及處理工程的經費與經濟效益。現階段如立即依其他堰塞湖個案，只作潰堤的準備放棄治理，可能有損土地利用的有效性，亦不符合民眾及重建規劃的期望。

經由崩塌土體安定性之檢討作成表 6 所列九份二山堰塞湖後續處理建議事項，應先擬定治理的策略，再研提所需之對策，並依其必要安定性分為緊急處理與中長程計畫辦理。

表 6 九份二山堰塞湖後續處理建議事項列表

治理策略	對 策	緊急處理 (至民國89年6月底 前完成)	中長程計畫 (7月以後分年分期執行)
A 維持二湖自然安定	A1. 觀察, 設置變位觀測 A2. 設置地表排水(溢洪道或其他) A3. 設置虹吸管排水 A4. 設置地下排水 A5. 整坡, 壓坡趾 A6. 解壓井 A7. 徹底改進堰塞土體安定程度(工程手段)	←A1(部份) ←A2(部份) ←A5	編定特定水土保持區, 開始整治工作 建立順向坡上坡面與堰塞土體安全監測系統
B 人工挖破二湖填體, 令其流失	B1. 整坡及防護措施 B2. 控制溢流速度 B3. 控制與觀測刷深 B4. 觀測洩洪及下游土砂運移		由現地踏勘及監測變位與地下水位變化來研判堰塞土體演變, 並據以擬定中長程所需進行之工作
C 移除大部份土方維持最低限度的安定	C1. 土方去處規劃 C2. 搬運費用 C3. 坡趾移除危險性		
D 二湖產生潰堤, 土石流失成災	D1. 災害預警系統 D2. 災害警報系統 D3. 災害規模推測 D4. 災害防護規劃(下游梳子壩) D5. 防災演練	←D2 ←D3 ←D4(部份) ←D5	
E (其他問題)	E1. 順向坡後續崩落 E2. 後側粗坑溪問題 E3. 後續崩落, 掩埋堰塞湖 E4. 劃定特定水土保持區		↓ 考慮保護對象與災害風險

在治理策略中, 首先就兩個堰塞湖的存廢, 應先有決定, 欲維持兩個湖的自然安定需有配套的工程手段來增加其安全性, 並需了解其所存在的風險。若欲求風險較小, 可以考慮以人工控制方式逐漸令堰塞土體流失, 而控制其泥沙量在下游水體可以承擔的範圍內。若任令二湖產生自然潰堤, 土石流失成災, 則預警、警報等系統應事先規劃, 並應有相關防護規劃及防災演練。如若考慮以移除方式移去大部份土方, 維持適度的安定性, 則有土方去處規劃及搬運龐大的費用問題。

1. 維持二湖自然安定

921 地震崩落的土方掩塞了下坡面的排水系統, 形成了兩個堰塞湖, 局部小水體亦慢慢在形成, 社會大眾尤其現地居民對堰塞湖優美的景色, 期望很多, 九份二山災區亦經核定為第二類國家紀念地範圍。但應先了解, 地震崩落形成的堰塞湖為地質作用下的產物, 通常能維持長久安定的機會並不大, 可能因暴雨排水不及形成潰堤, 當然也有安定留存可能。規劃長期安定的保存堰塞湖需有完整的配套措施, 亦得了解其存在的風險, 地方居民應先了解。而堰塞湖的上游仍持續有崩落的可能, 會漸漸的淤積入堰塞湖, 減少其容量, 甚或完全填塞消失。

2. 人工控制破壞堰塞土體

對堰塞湖及堰塞土體最保守的處理方法就是以人為控制的方式, 讓排水慢慢將堰塞土方帶到下游, 控制其沖刷流失的速度, 令其不發生過大的二次災害, 來恢復原來的排水路, 以達永久安全的情況。唯如此的作法, 在經費及技術上都有其限制, 並不是很容易達成, 需有非常慎密的調查規劃與監測才可能實施。

3. 二湖產生潰堤, 土石流失成災

如若沒有適當的處理, 任令二湖自然演變, 在暴雨無法安全排水的情況下, 有潰堤成大量土石流成災的可能, 為免下游民眾生命財產遭受過大的損失, 應作疏散及防災的準備, 預先評估危害可能的區域, 做適度的安排。

自 921 集集地震以來, 蒙各方專家學者關注九份二山的災害與處理方案, 提出

了許多建議事項，參考相關理論與實務，綜合檢討各方建議之方案，作成表 7 之後續處理方案比較表，對各種工程處理列出待考慮事項，並初步研判其風險、成效與經費供各級參考，待後續討論達成共識後做為緊急處理與中長期規劃之依據，來選擇適當的項目及其組合，以避免後續災害對民眾生命財產的威脅。

另外針對九份二山堰塞湖整體或部份填平的檢討有以下的考慮項目，作成表 8 供參考。

(二)中長程計畫

堰塞土體的材料來自順向坡上風化的材料，由其形成的地質條件與現地採樣可以發現原地表面的砂岩多已風化成細粒，而頁岩材料亦風化嚴重，裸露出的材料多為細顆粒。整體而言，細顆粒的條件透水性較差，入滲量較少，對堆積土體的安全是有利的。但細顆粒堆積剪力強度較差，排水能力亦較差，不利其坡面的穩定。細顆粒材料因含粘土礦物較多，可能會發展某種程度的凝聚力，從抗沖蝕的觀點來看，有較佳的抵抗地表溢流水的淘刷沖蝕的能力，也較不易在地下滲流作用下發生之管湧災害。

綜合而言，目前對整體崩積土體的力學行為仍無法確實掌握，雖有相關可能破壞之機制探討，其確實災害發生的可能性則有待整體後續觀察其變化及增加調查採樣試驗等，得到相關參數後才能訂定後續的處理方案。

完成緊急處理所需的相關工作後，有鑑於區域仍存在許多潛在的後續災害可能發生，應考慮依水土保持法規定，劃定「特定水土保持區」，或於地震紀念園地規劃時納入相關安全需求的考量，並編定執行相關所需的中長期計畫，待評定整治安全後，還安定安全之土地於民，恢復適當的土地利用。

表 7 九份二山堰塞湖後續處理方案比較表

工程處理	待考慮	初步研判，待討論及後續觀察		
		風險	成效	經費
1.地表排水溝	溝內無保護，緊急措施，全面佈置	大	小	小
2.溢洪道	渠道內保護方法，加強保護內面工，大水量時淘刷過大，持續觀察	大	中	中
3.左側第二溢洪道	地形考量，由低往高，鬆方上填高，用地問題	大	小	中
4.右側疏洪道	地形考量，挖深，渠道太陡，跌水，用地問題	大	中	中
5.抽水系統	流量是否足夠，有沉陷問題，永久構造，用電，長期維護	中	中	中
6.虹吸管系統	流量是否足夠，有沉陷問題，維護，用電	中	小	小
7.整坡降低溢洪口	邊坡穩定性提高，湖面減少，滯洪能力減少	中	中	小
8.地下水排水系統 (兼考慮穩定邊坡)	沉陷，鬆方上構築，佈置，流量	小	大	中
9.填湖 a.由中間填	效果如何，解決潰堤威脅，對堰塞土體安定無助益	中	小	中
b.由側面填		中	小	小
c.全部填掉		中	小	小
10.坡趾側撐(壓坡腳)	保護邊坡，溢洪道，過濾排水，方案待定	小	中	小
11.整坡	增加邊坡穩定性，方案待配合最終土地利用規劃	中	大	小
12.各種土質改良，灌漿，擋土，樁等工程手段	需完整調查，規劃設計	小	大	大

註：考慮緊急與中長期計畫各採用單一或數個方案。

表 8 九份二山堰塞湖整體或部份填平處理優缺點檢討

處理方式		優缺點
填平	部份填	1.工程費減少。
		2.潰堤威脅減少。
		3.滿足民眾保留湖的要求。
		4.仍有湧浪的威脅
	全部填	1.免去湧浪的威脅，順向坡後續滑落
		2.免去潰堤的威脅。
		3.土水混合物，堆積土體之側壓力更大。
		4.水中填築，土壤含泥高，不易安定，施工不易。
		5.地震紀念地無保留意義。
		6.工程費昂貴 150 萬方×50~200 元/方。
		7.地下水壓力變大，管湧威脅加大。
		8.河道填高，下切能力更大，愈難處理。
不填平，逐步降低溢洪道(自然或人為的)	1.蓄水量降低。	
	2.沖蝕過程中帶走部份土體。	
	3.河道漸刷深，愈接近平衡。	

另外應儘速建立「九份二山堰塞湖堆積土體安全監測系統」，原(本)計畫中，只有對潰堤產生土石流建置必要之土石流觀測機制，不足以評定整體堆積土體的安全性，應成立後續計畫執行安全監測系統之重新建立，目的在評定崩落坡面及堆積土體的安定性，至少應包括以下內容(相關位置標示於圖 2 上)：

- (1)全面地表變位量測量作業。
- (2)全區水文觀測系統與堆積土體地下水壓力空間分佈與變化之監測。
- (3)堆積土體陡坡面隨深度變位監測。
- (4)順向坡面上後續安全監測。
- (5)預警系統安全基準值的建立。

後續中長期計畫應在上述工作開始執行後，依現地現況變化進行研討，再檢討所需執行的後續工作。

整體而言，整體治理之優先順序及分年分期治理策略，依評估結果，對中長期計畫的策略，初步有以下認定：

- (1)由水壓力及溢流水直接造成潰堤的可能性不大；
- (2)故填湖的急迫性不大；
- (3)應考慮降低溢洪道高程，並加強溢洪道保護，評估尖峰流量大，溢洪道為必需，而在堆積體上，分洪不易；
- (4)溢洪道高程可能在淘刷過程中自然降低，其間並產生部份泥沙逐漸下移，應設法控制；
- (5)陡坡面坡趾需保護；
- (6)長期現地可能自然發展出堆積土體的地下排水系統；
- (7)若地下水位持續上升，則顯示自然發展出的地下排水系統不足，應增加人造的地下排水系統；
- (8)若能恢復接近於原有之河道排水能力，則可恢復舊有的排水系統，問題達到暫時疏緩；
- (9)維持堆積土體安定，有助於減少上方順向坡的後續災害。

現地實際狀況的發生，需有完整的調查與規劃，故建議應儘速進行堆積土體的安全監測作業。

(三)韭菜湖溪及粗坑溪治理與檢討

1.韭菜湖溪

韭菜湖溪掩塞土體下游的整治與崩積土體的安定性息息相關，如若崩積土體可以安定的治理完成，則對下游的威脅必然減小，緊急處理中相關單位完成了坡趾的保護及大型攔砂埧的設置，大大的消滅了土石流發生的可能性，則堰塞湖的存在對韭菜湖溪下游而言，成了最佳的調洪池，上游地區的降雨，經兩個堰塞湖及溢流道的調節，洪峰降低，基流穩定。堰塞湖的存在亦有沉砂的功能，上游的泥砂量沉澱在湖底漸漸減少庫容量，不會搬運至下游。

在潰堤災害分析中，以 Q_{25} 、 Q_{50} 及 Q_{100} 做計算所得淹水影響範圍中可見，其下游仍有足夠排洪能力不需做河道的治理，詳細分析結果見原報告。

緊急處理工作中，在堰塞土體下游設置了一座大型的攔砂埧，但堰塞土體本身為不安定的土石方堆積，其土石流失的量會較一般為高，應加強坡面整治及溢流道的沖刷防止工作。由現場觀察可知，堰塞土體的全面植生，已發揮了很大的功能，通過下游面攔砂埧的臨時排水路水流的泥砂量並不高，從下游保護的觀點來看，應加強攔砂的功能，由於下游至南興橋部份，溪流原已完成整治，建議在進入南興橋的部份，建立低高度的攔砂埧，配合其上游側有較寬大的沉砂空間，可以攔阻細顆粒泥砂進入南港溪主流，並一併做好主支流，亦即韭菜湖溪匯入主流之堤防引導水的設施。

2.粗坑溪

粗坑溪亦為南港溪之支流，於韭菜湖溪北側，此次的九份二山崩落屬其側方逆向坡有部份震落，其數量並不多，但因屬逆向坡較陡的坡面形成了較特殊的景觀，龐大的塊石，不穩定的座落在陡坡面上，相當具有威脅性，所幸坡面下即為河道所在，落石陸續滾落，進入河道上游段，現場實際觀察其數量並不太多，應不致造成大的災害，在緊急處理中，於其下游處設置了一座攔砂埧，應可阻擋土石的下移，落石發生區域內仍具危險性，應標定危險區，禁止土地使用以維安全。

由於粗坑溪集水區在地震中並無太多土石災害發生，對整體輸砂平衡與排水系統並無太大影響，兼以本區原本土地開發就較少，河道呈現相當安定程度應可持續保持。

五、治理工作之實施

(一)工作內容

自 921 地震造成崁斗山順向坡面滑落形成了兩個堰塞湖，隨著時間過去，堰塞湖水位持續上漲，讓社會大眾非常憂慮可能的二次災害。

水土保持局自接獲上級指示處理九份二山相關整治工程，由第三工程所積極展開後續處理工程，於 921 之後的兩週，緊急執行「澀子坑崩坍地緊急排水道工程」，設置寬 20 公尺高 2 公尺之排水道，以因應不時排水之需。接著地方政府為挖掘受掩埋之遺骸，在現地多處可能掩埋地點進行長達兩個月的挖土機作業，整治工程配合停止，以便善後工作之進行。另外為恢復地方交通所需，辦理金瓜寮農路緊急搶修，新闢便道 1.8 公里及相關附屬工程，至今亦已大致完成。

為防止堰塞土體潰堤及大量土石流失對下游產生危險，主辦單位規劃在堆積土體下游中興橋之前的位置，設置攔砂設施，共包括主埧一座長 131 公尺高 14 公尺，以及副埧一座長 84 公尺高 8 公尺並附帶一座長 30 公尺高 5 公尺的潛埧，於 5 月份終得發包，下游的保護工程遂得順利展開，對防汛期的保護有相當程度的保

障。

另外為加強崩塌土體的保護，積極進行植生綠化的工作，於亟須植生的坡面進行人工播種，已大致完成 75 公頃的綠化，可望於沖蝕保護上發揮功能。另外並持續進行原排水道工程的砌大塊石保護渠道底面保護工程，以加強排水能力及淘刷的防止。對於崩塌的土體進行了堆積體內深坑整平的緊急處理工程，改善其地表排水系統，以減少入滲地下積水的威脅。並且在崩塌土體的最下游面，進行載重壓坡趾的工作，以貨櫃裝填現地材料，組裝連結成重力填於坡面最底部，供後方填築載重排水過濾材料，以提供重量壓住坡趾，並得以安全排水的功能。

上述的工作為主辦單位針對本堰塞湖的形成，避免二次災害的發生，努力進行的相關緊急處理工作，與受委託進行規劃單位共同協商，大致已完成緊急處理可行及所需的必要工作。

(二)堆積區末端陡坡處理規劃

土填及其他土石堆積物因其透水容易受入滲水影響其安定，良好的排水設計其目的即在於控制滲流，控制不佳的滲流可以兩種形式對土體及結構物造成威脅，一為細顆粒被帶走，流失或移動到粗顆粒位置，造成破壞。其二為因飽合程度過高和滲流力太大造成破壞。

土石堆積物的邊坡穩定性的影響因子如下：

- (1)重力是永遠使土體或岩塊向下趨動的作用力。
 - (2)在強烈地震時，土體的基本強度，土壤的密度及岩體的組成，對邊坡的安定性有很大的影響。
 - (3)大規模地滑偶而發生在乾鬆的粉質土，但絕大部份發生在豪雨或強烈地震作用下之鬆散、飽和土坡。
 - (4)乾燥或良好排水的邊坡一般是最穩定，而在高水位時則相反。
- 水的作用降低邊坡的穩定性並可能造成邊坡破壞，其形成原因可能為以下項目：

- (1)降低或消除了凝聚強度。
- (2)造成孔隙水壓，減少了有效應力，故降低了剪力強度。
- (3)產生水平斜向滲流力，增加了傾斜力矩。
- (4)當微量的初始移動產生時，水對破壞面有潤滑作用。
- (5)在地震或強烈震動時，造成液化。

綜合而言，影響邊坡抵抗水及其他作用的有下列幾項：

- (1)基質的剪力強度。
- (2)填充料的塑性及強度。
- (3)岩石弱面的走向及傾斜(strike and dip)。
- (4)節理的間距、厚度、及範圍。
- (5)土壤及高度風化岩石的密度，影響對產生液化敏感性。
- (6)不整合(nonconformity)的位置、傾斜度及範圍。

邊坡穩定性通常可以下述方法改善：

- (1)削坡(flattening)。
- (2)移除邊坡頂部的土體。
- (3)在坡趾處加載。
- (4)以岩塊或礫石壁(gravel buttress)置於邊坡基礎，利用其排水及加重的作用以改善穩定性。
- (5)擋土牆及其他擋土措施。

- (6)夯實邊坡表土及填實裂縫以減少表面水進入土體。
- (7)在邊坡頂部四周設置截水溝以減少入滲水。
- (8)控制地下水及滲流情形，是改善土壤邊坡穩定最有效的方法之一，各種排水的方法可參閱 Cedergren(1989)。

考量現地實際情況，緊急處理工程中，於堆積區最末端設置了以貨櫃填土做成臨時的埧構造，並背填塊石等排水材料，利用其重量達成坡趾側撐的構造，以應付本年度雨季的威脅，實施成果良好。

貨櫃填土做成的臨時埧，在 89 年 9 月份檢查中，發現了有變形的情形，由圖 19 可以發現，貨櫃體均朝溢流口傾斜，由其表面鐵板變形可見，受力頗大，可證明了其已發揮了擋土的功能，阻擋上方土石的滑落，提供了側面支撐的效果。另外由其背填土區域中可以發現滲流水安全的排出，顯現出原預期貨櫃埧壓坡趾並提供排水功能亦已達到。另外在溢流口底部兩側可以看見水流集中產生較大的沖刷及部份基礎土壤流失，主辦單位已安排修復及加強貨櫃埧下游的保護，期能漸將貨櫃壓坡趾的構造轉變成永久的設施之一。

在堆積區內除了末端的陡坡外，尚有多處較陡的坡面，雖不若末端因面臨土石流失即影響下游的威脅性較大，仍應在後續工作中，持續調查與觀測其安定性，並依需要辦理治理的工作。陡坡的處理除了加強坡趾支撐的方式外，若問題在於地下水壓力的累積，則應考慮地下排水系統的實施。



圖 19 坡趾壓重工程之貨櫃埧空照圖(89.9) ①坡面滲出水,②貨櫃體變形,③溢流口底面沖刷, ④貨櫃埧基礎部份流失

(三)溢洪道處理規劃

溢流道處理屬地表排水改善的一部份，在緊急處理中為讓堰塞湖的水可以安全的排除，於堆積土體上開設了緊急的排水路，依地形開設了底寬 20 米側面 1:1 斜坡高 2 米的水路，並鋪設塊石做內面工保護，另外於 89 年 5 月規劃設施澀仔坑第二排水道緊急處理工程，如設計圖 20 所示，於 6 月份再追加部份排水道排砌塊石緊急處理，如圖 21 所示。由於上述工作都沒有考慮整體排水的坡度與足夠的水路保護，應有後續改善措施，並依整體治理的需要，持續改善其坡度、跌水等，達永久安全的溢流道設施。

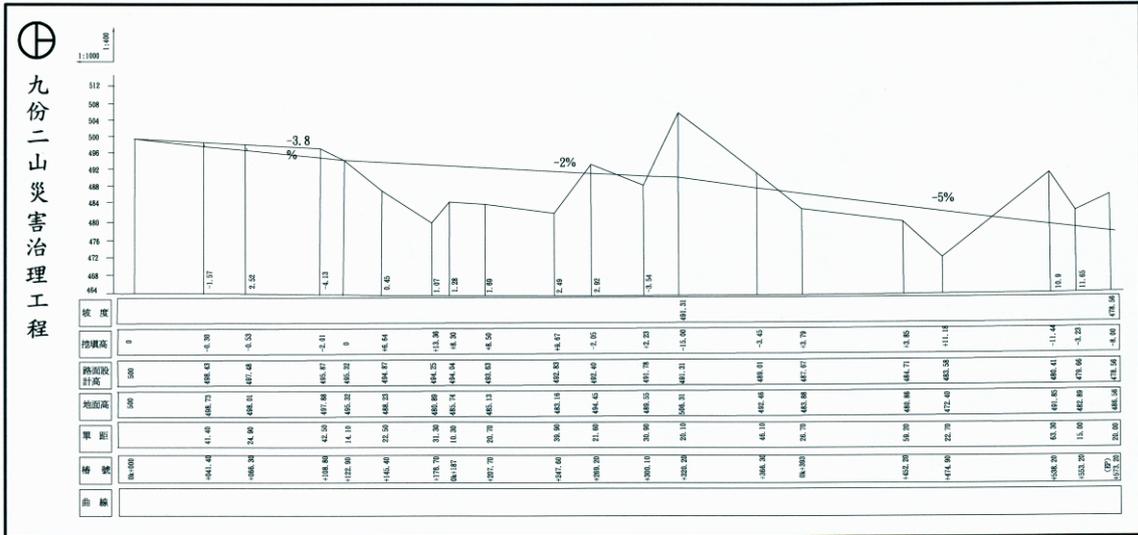


圖 21 澀子坑第二排水道緊急處理工程縱斷面圖

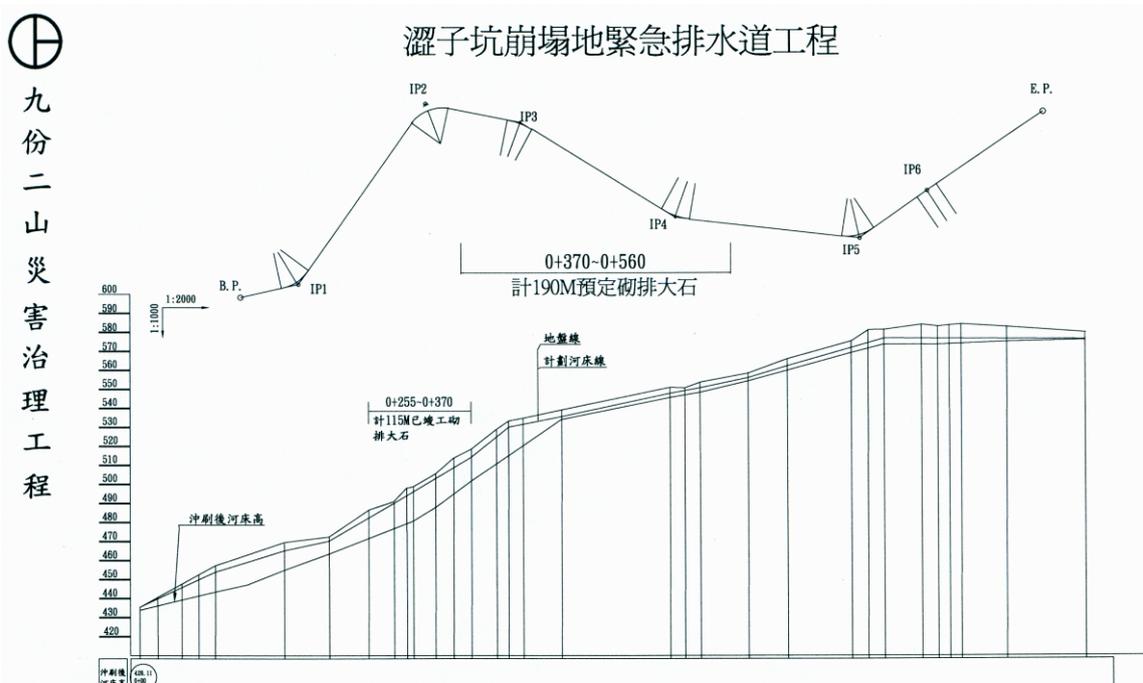


圖 22 澀子坑崩塌地緊急排水道工程

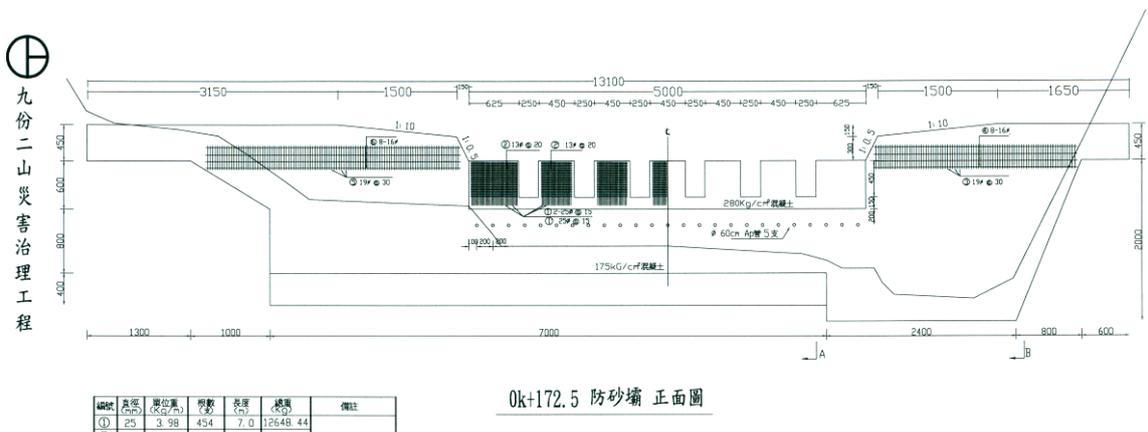


圖 23 九份二山災害治理工程-防砂壩正面圖

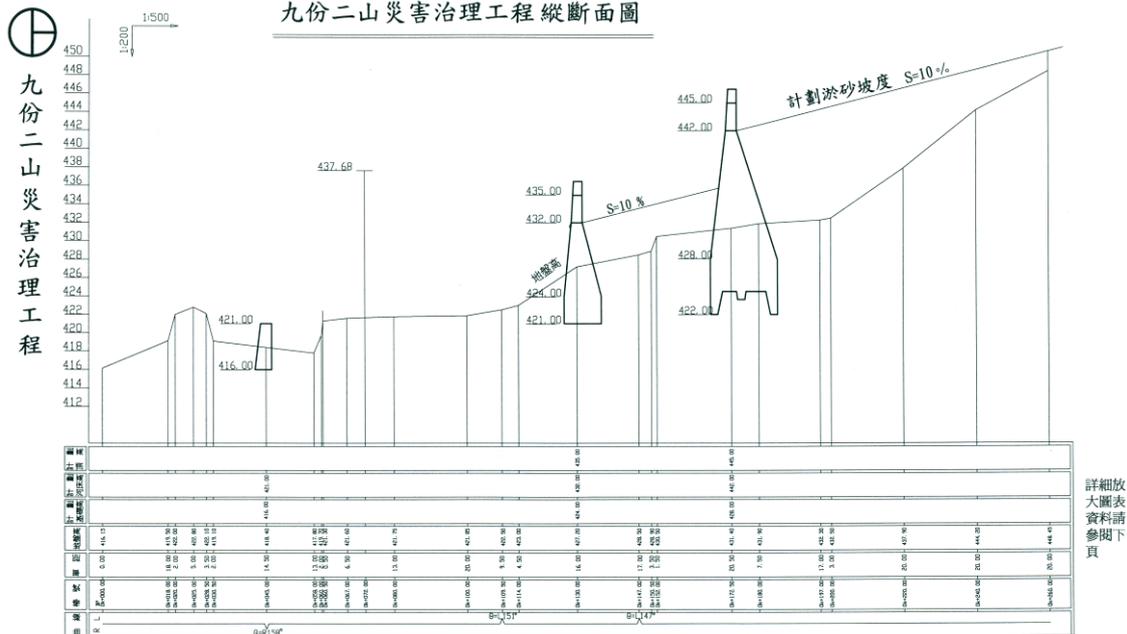


圖 24 九份二山災害治理工程縱斷面圖

地表排水的改善可以透過溢流道的保護達成，可以避免地表及地下排水交互作用對材料淘刷沖蝕的威脅。溢流道若淘刷太大。太深時，可以考慮底部加適當的地工織物做為保護層，內面工不宜用不透水材料，若拋石不夠穩定，可以考慮用編織鐵絲網做成框架內填適當塊石，既可排地表水，亦可過濾排除地下之滲流水。

地表排水系統，延續之前水利處規劃實施，降低溢流口 8 米的部份，後續崩塌土體仍有約 1 公里長的河道，需配合一併治理連接至目前坡趾下游，攔砂填自然堆積位置，本項工作分四段來作說明，由溢流口往下，整體坡面的排水系統，目前水利單位已設置及加強三條的排水路，應持續追蹤及改善，而主要的溢流道則可分為(a)S₃段，自溢流口起至緩坡段前(見圖 6 之標示)，在經過 8 米挖深後流量加大，其側面及底面安定有必要持續加強，增加必要之設施。(b)S₂段，緩坡段應持續維護溢流道設施，(c)S₁段，緩坡段以下至貨櫃壩位置，目前河道安定程度不足，會持續刷深，應進行整治及設置必要的跌水工或固床工以維持河道安定。(d)下游保護段，貨櫃壩以下至攔砂填，貨櫃壩坡趾壓重工程屬緊急工程，應持續追加溢流道之下游保護措施，保護工應維持安定坡降至與攔砂填淤砂高度相銜接。

整體而言，由於溢流道採大塊石方式緊急保護，不足以抵抗太強的水流，後續整體治理應朝永久安定的方向進行，部份大塊石抗風化能力不足及排列不完整，應持續改善，大塊石間應填補中小塊石以防止水流造成淘刷，加深河道，並應整體規劃，重新按照安全排水坡度規劃河床高，建議以 15%為其上限，高程差不足部份則增加跌水工或固床工以穩定河床，做成整體的合理佈置。壓坡趾的貨櫃壩亦屬緊急處理工程，其溢流口下游的保護為其維持安定的關鍵所在，應持續加強保護，規劃中佈置了四處的梳子型固床工保護，應儘快實施。

一般而言，護岸在設計施工上，其可能破壞原因經過去調查結果，河床上之下降或河床變動導致崩壞為最常見，可見護岸之基礎材料是最主要保護的對象。護岸可能破壞原因歸納如下：

- (1)基礎材料之淘空或沖刷。
- (2)因坡後土砂淘出而破壞—由坡腳先發生而逐次擴大。

- (3)因背後土壓及水壓過大而破壞。
- (4)因水流或流石或流木等沖擊坡面造成破壞。
- (5)上下游兩端遭破壞而逐次擴大。
- (6)由護岸肩部之沖刷。
- (7)由護岸構造之變化點之破壞等。

護岸之邊坡，護坡工之構造依垂直高而不同，通常護岸配合流路斷面，又依施工之難易及現地特性而決定其邊坡形狀。標準的護岸邊坡如表 9 建議佈置。因水流沿護岸而流動，故應盡可能設法減少流速而增大粗糙度。

另外，自 89 年 8 月至 90 年 4 月的期間，水利處奉重建委員會指示，執行溢流道降低 8 公尺及地表排水改善工程，在 90 年度實施其植生綠化的保護。

表 9 護岸邊坡之建議佈置

護岸工之構造		護岸工之直高	最大允許邊坡坡面 水平:垂直
砌石，砌混凝土塊	混砌	3m 以上	2:1
		未滿 5m	
	乾砌	3m 以下	3:1
鋪石，鋪設混凝土塊	混砌		1:1.5
	乾砌	3m 以下	1:2
混凝土框砌			1:1.5
鋪蛇籠，連結混凝土鋪設混凝土塊		3m 以上	1:2
		3m 以下	1:1.5

六、後續的演變

(一)桃芝風災緊急處理

90 年 7 月 30 日至 8 月 1 日桃芝颱風過境，狹帶大量豪雨，累積雨量 458 公釐，最大時雨量 108.5 公釐，致澀子坑排洪道受大量逕流，河床嚴重縱向下切，最深處約 50 公尺，造成大量土石下移，所幸中興橋上方之防砂壩發揮攔阻土砂功能，使南港村聚落免遭土砂之危害，惟大量土砂仍淤滿防砂壩及中興橋上下游河道，需立即清除，以免類似豪雨來臨再造成二次災害。

(二)辛樂克颱風後

再歷經敏督利颱風等至今年，颱風特別密集，中部山區降雨量尤大，眉溪、廬山溫泉等陸續傳出山洪暴發、土石淹沒等災情，九份二山也有了較大的變化，溢洪道持續的刷深，柱狀壩已有部份毀損，顯示溢流道床面高程需再下降，後續治理工作應特別注意。

七、結論與建議

地震引發山崩地滑形成堰塞土體，其規模與可能造成的災害，隨其地形、地質與水文條件，會有極大的不同，不確定性極高，可能的破壞機制亦有所不同，對其防災工作與後續處理應依實際現地現況，作成評估並據以擬定對策。

坡地災害的整治及集水區經營管理不同於一般土木工程開發建設，有一定的工作內容與需求，必得經由全面的調查與觀測其需要性，再擬定實質的工作計畫，方不致產生過當的情形。

山崩地滑造成的堰塞土體其實是天然湖泊形成的原因，適當的溢流道可以加速維持安定，應特別考慮水流的下切作用，順應自然條件，誘導安定的演變。

堆積土體本身的安定性受地表水流與地下水滲流影響極大，崩積的材料鬆散，未經工程處理，尤其威脅更大。九份二山的泥質材料佔多數，極易風化崩解，不利自然安定，更應密切觀察其變化，並施以必要之工程處理。

崩塌區的順向坡面目前處於極限平衡的狀態，其坡面上不宜任意再擾動，上方仍有大量不安定浮動的土體，應注意防災措施。

整體而言，921 地震造成中部地區許多的災害，尤其各種形式的土砂災害，規模龐大，數量眾多，後續處理應針對個案施以適當的措施，在九份二山的緊急處理與後續治理工作上，大致符合其可能的自然演變，後續仍應持續觀察可能的變化。

八、參考文獻

- 1.行政院農業委員會水土保持局，2001，九份二山堰塞湖規劃與防災演練計畫成果報告。
- 2.行政院農業委員會水土保持局，2003，九份二山崩塌及堰塞湖治理報告, 921 震災國家地震紀念地及整治成果簡介等相關文件。
- 3.Cedergren, H., 1989 “Seepage, drainage & flow nets”, McGraw Hill.