

壹、國內堰塞湖處置案例

國內最早的有較完整的堰塞湖紀錄為 1862 年的草嶺堰塞湖，從 1862 年開始，已發生之堰塞湖案例共計 75 處(如圖 4-1)，許多堰塞湖在來不及處置前就已潰決，或是經判斷後無立即危險且無保全對象而採持續觀察。國內堰塞湖多因降雨引起，土體運動型式以崩塌及土石流為主，多因溢流破壞而潰壞，或藉由工程控制進行堰塞湖處置。本章針對國內 4 個事件 8 個有處置紀錄的堰塞湖進行整理，內容包含誘發事件背景、堰塞湖處置時間軸、緊急應變紀錄、以及中長期應變紀錄。

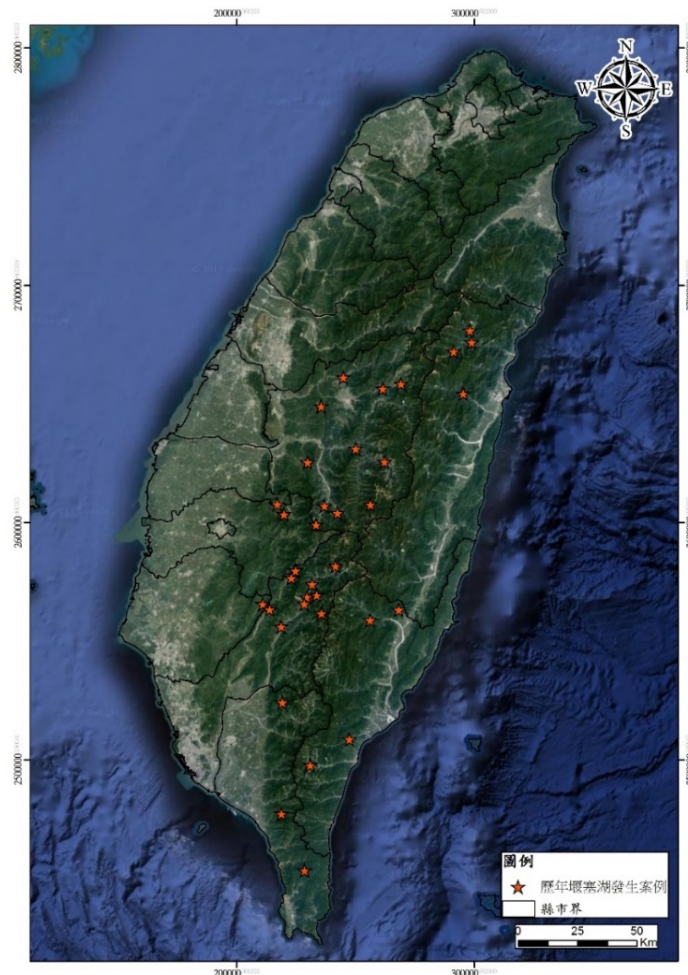


圖 4-1 歷年堰塞湖發生案例分布圖

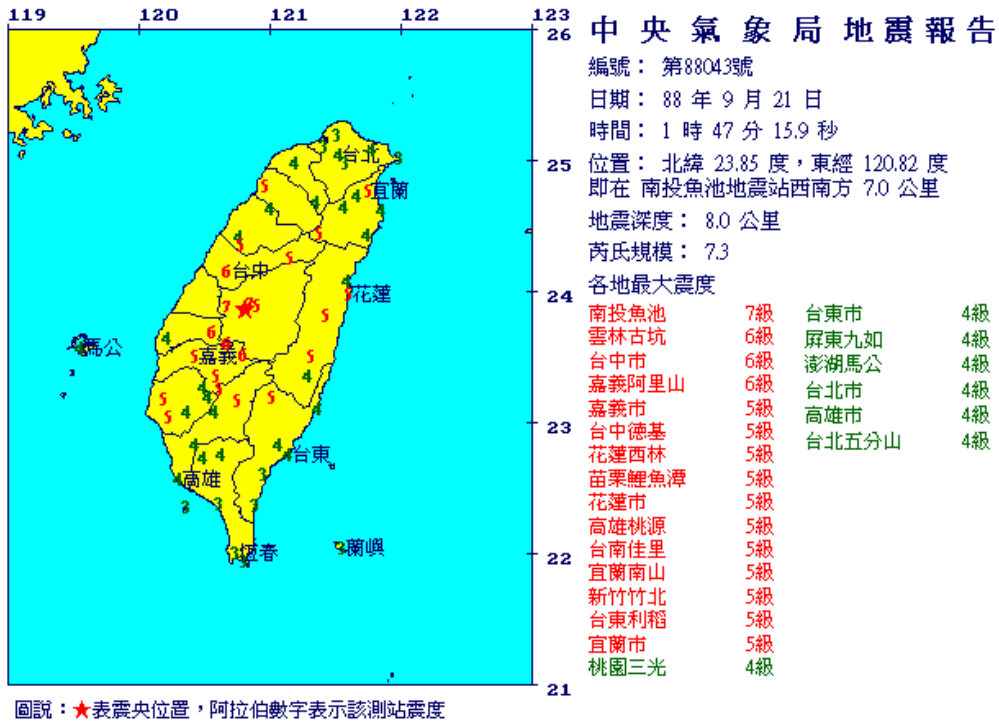
一、1999 年 921 地震-草嶺潭及九份二山

1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分車籠埔斷層活動，在南投縣魚池鄉地震站西南方 7 公里處，發生芮氏規模 7.3 的地震，震源深度 8 公里，最大震度在南投魚池 7 級，雲林古坑、臺中縣(現為臺中市)、嘉義阿里山等地震度亦達 6 級(如圖 4-2)，根據消防署之災情統計，共造成 2,347 人死亡，29 人失蹤，約 9 萬戶房屋全倒或半倒。

南投縣因位於震央，受到最嚴重的衝擊，車籠埔斷層雖沒有直接經過南投集集、埔里一帶，但震央位於集集，集集火車站的木造建築木柱折斷，傾斜位移多達 60 公分，此外，也造成聚落內的信仰中心武昌宮梁柱倒塌。車籠埔斷層穿越南投縣名間鄉，921 地震時造成濁水村隆起約 3 公尺，使得集集鐵路上的名間車站東方約 600 公尺左右隆起，鐵軌扭曲變形，呈南北巷延伸，附近高壓鐵塔嚴重傾斜達約 16.5 度(如圖 4-4)(經濟部中央地質調查所，2009)。

除了南投以外，臺中亦有多處災情，如石岡壩破損、埤豐橋南側橋頭斷落、石岡火車站隆起約 4 公尺造成鐵軌變形、光復國中因逆斷層抬升約 2.5 公尺校舍毀壞等(如圖 4-4)。此外，橫跨南投縣及臺中縣的九九峰在地震時發生崩塌，瞬間光禿一片，影響面積達 878 公頃，生態學者估計需至少 40 年的自然演替才能回復原本青翠的樣貌(如圖 4-3)(經濟部中央地質調查所，2009)。

921 地震時，全臺形成多個堰塞湖，規模最大的為草嶺堰塞湖以及在九份二山形成的澀仔坑湖以及韭菜湖等 2 座堰塞湖，以下的章節將詳述這兩處的堰塞湖處置經驗。



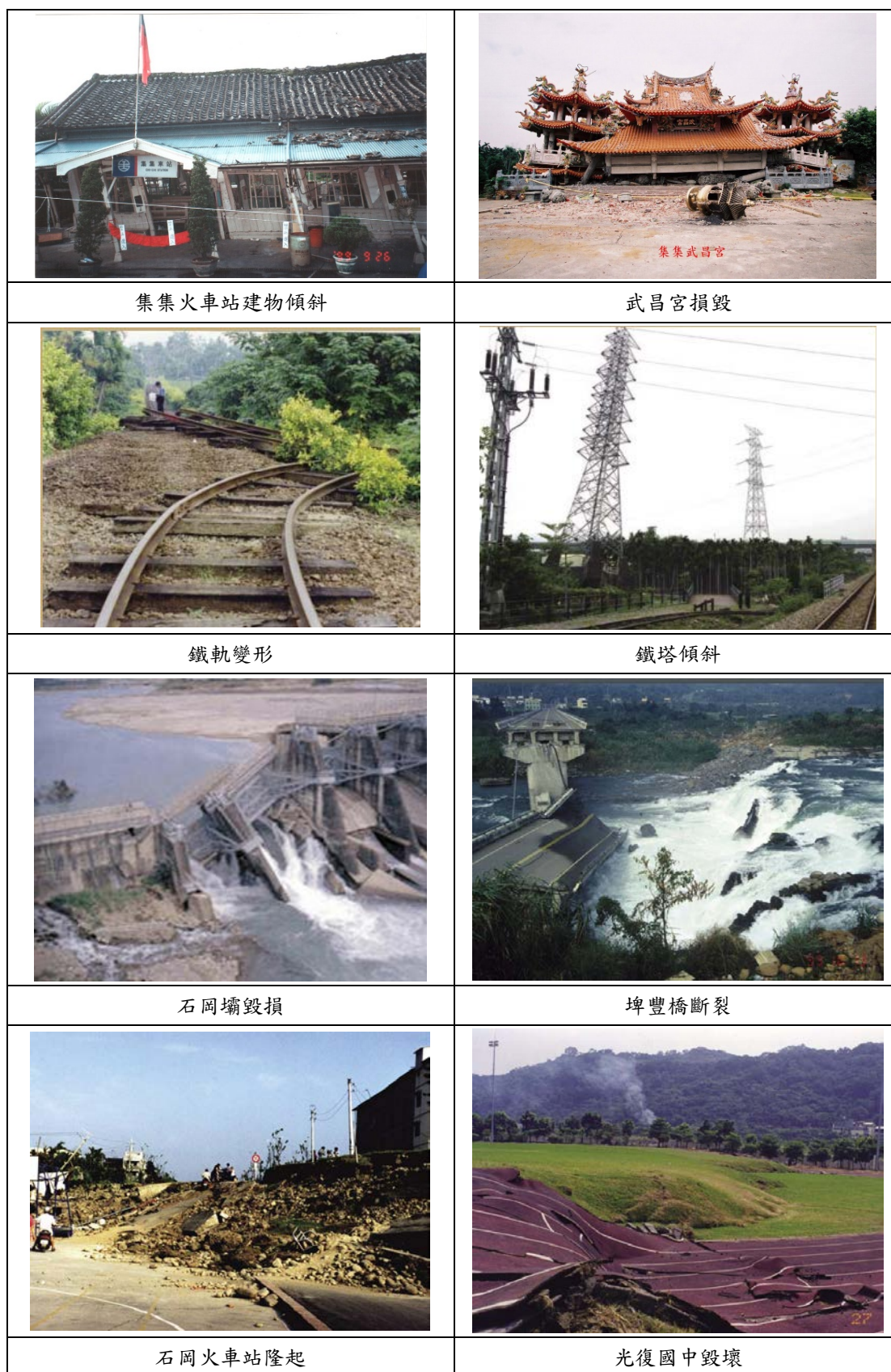
資料來源：中央氣象局

圖 4-2 1999 年 921 地震地震報告



資料來源：經濟部中央地質調查所(2009)

圖 4-3 九九峰震後影像



資料來源：集集鎮公所、經濟部水利署中區水資源局、經濟部中央地質調查所(2009)

圖 4-4 921 地震受災情形影像紀錄

(一)草嶺堰塞湖

草嶺堰塞湖位於清水溪之上游，位於雲林縣古坑鄉草嶺村西方 2 公里處，因為其岩屬性及其地質構造，在文獻紀錄上草嶺潭共發生 4 次堰塞湖 (如表 4-1)，最早的歷史紀錄於 1862 年因地震發生崩塌堵塞河道形成，並於 1898 年因溢流破壞潰決；第二次堰塞湖發生於 1941 年 12 月 17 日，受嘉義大地震的影響(芮氏規模 7.1)再度發生崩塌並形成堰塞湖，隔年 8 月因豪雨引致山崩，原有的天然壩高提升至 170 公尺，堰塞湖蓄水量約 1 億 2 千萬立方公尺，1951 年 5 月因連續豪雨產生溢流潰決；第三次堰塞湖於 1979 年 8 月 14 日因豪雨右岸舊崩積土再度崩塌堵塞河道，天然壩高約 90 公尺，堰塞湖蓄水量約 4 千萬立方公尺，10 日後因茱迪颱風侵襲，強降雨造成湖區水位急遽升高，堰塞湖於 1979 年 8 月 24 日下午 3 時潰決。

表 4-1 草嶺堰塞湖形成歷史

| 項次 | 發生時間 | 誘發原因 | 天然壩狀況 | 潰決時間 | 潰決原因 |
|----|------------|------|---------------------|-----------|------|
| 1 | 1862/6/6 | 地震 | -- | 1898 | 溢流破壞 |
| 2 | 1941/12/17 | 地震 | 壩高約 70 公尺 | | |
| | 1942/8/10 | 降雨 | 再度發生崩塌，壩高提升至 170 公尺 | 1951/5/18 | 溢流破壞 |
| 3 | 1979/8/14 | 降雨 | 壩高約 90 公尺 | 1979/8/24 | 溢流破壞 |
| 4 | 1999/9/21 | 地震 | 壩高約 50 公尺 | 2004/7/2 | 溢流破壞 |

資料來源：文化部國家文化資料庫

1999 年 921 地震發生崩塌，草嶺堰塞湖再度形成，崩塌面積約 400 公頃，崩塌長度沿河上下游約 5 公里，崩塌土方量約 1 億 2 千萬立方公尺，上游側天然壩高約 50 公尺，下游側高差高達 150 公尺，蓄水容量約 4 千 5 百萬立方公尺，迴水長度估計達 5 公里，草嶺堰塞湖位置如圖 4-5，空拍影像如圖 4-6，後於 2004 年 7 月淤滿。



資料來源：經濟部水利處(1999)

圖 4-5 草嶺崩塌(堰塞湖)位置圖



資料來源：經濟部水利處(1999)

圖 4-6 草嶺堰塞湖空拍影像

1. 堰塞湖處置時間軸

草嶺堰塞湖處置時間軸如圖 4-7。1999 年 9 月 21 日發生 921 地震後造成草嶺地區發生大規模崩塌，經濟部水利處第四河川局於隔日上午搭乘空軍直升機進入崩塌區，完成基本測量控制點的設置及初步地形勘查工作，1999 年 9 月 23 日上午再度利用直升機進行災區空中攝影，進行數位化處理後整理相關資料，1999 年 9 月 29 日完成山區道路局部搶通工程，進入災區進行現地調查並裝設堰塞湖簡易水位觀測系統。

1999 年 10 月 1 日邀集國內外專家學者進行現場勘查，並於隔日進行討論提出初步因應對策及建議，1999 年 10 月 18 日針對處理對策進行檢討，治理對策分成兩階段，第一階段以考量堰塞湖可能淹沒範圍以及溢流時對下游河道可能產生之衝擊，以安全考量為優先，於 1999 年 10 月 22 日完成溢流水道、隔離土堤以及攔河壩築填等緊急應變工程。1999 年 11 月 11 日完成上游淹沒警戒範圍測定，2000 年 1 月 21 日完成監測系統，2000 年 3 月 29 日完成微波傳送攝錄系統。

第二階段除了持續辦理完成各相關應變措施，並針對草嶺潭堰塞湖之長期處理對策進行分析評估。2000 年 5 月 28 日完成堰塞湖下游防砂壩及固床工，2000 年 6 月 21 日完成溢流水道加強工程，2000 年 9 月完成下游清水溪急需防洪工程，2000 年 12 月底分別完成第一工區分流緊急工程 1,000 公尺及緊急溢流警報系統 12 處警報站之架設。

草嶺堰塞湖後於 2004 年 7 月 2 日，敏督利颱風侵臺期間受土砂淤滿。



圖 4-7 草嶺堰塞湖處置時間軸

2. 緊急應變

(1) 緊急調查與影響範圍劃定

第四河川局除了利用直升機進行航空測量之外，也辦理影像糾正、DTM 處理、細部地形及斷面測量以及河道調查等緊急調查工作。

為了確實掌握堰塞湖對上下游聚落及道路橋樑等影響，進行警戒範圍測定，於上游側完成 10 公里的水準控制測量、佈設 200 點等高線點、製作與埋設 30 面警告牌、以及埋設 200 面木樁與警示旗。下游側完成 70 公里水準控制測量、佈設 700 點等高線點、製作與埋設 140 面警界告示牌、以及埋設 700 面木樁與警示旗，下游警戒區域的劃定從枋仔崙至濁

水溪匯流點約 30 公里，匯流點至濁水溪出海樞約 43 公里，包含西螺大橋、西濱大橋、二水鐵橋等 14 座橋梁。

(2) 緊急監測

草嶺崩塌面積大地形陡峭，人力監測困難，為即時掌控現場各項變化，保障鄰近聚落之安全，故設置緊急監測系統，監測崩塌地土砂、堰塞湖水位、堰塞湖溢流、地形地貌變化等。崩塌地監測以隨時掌控現地土砂變化情形，在崩塌地上架設地震儀、傾斜儀、以及水壓計等設備，設備數量項目及監測目的如表 4-2。此外，為了瞭解集水區入流量及掌控堰塞湖水位變化，在湖區設置自動水位觀測設備，每日定時觀測水位。

表 4-2 草嶺崩塌地監測系統

| 儀器種類 | 監測目的 |
|------------|-------------------------------------|
| 地震儀 1 座 | 量測該地施之地資料，並啟動自動監測裝置 |
| 埋入型傾斜儀 4 處 | 量測上層傾斜變位情形 |
| 孔隙水壓計 6 處 | 量測土層孔隙、水壓變化情形 |
| 自動化網路 | 系統執行及分析軟體：含地震啟動，隨時啟動定時啟動及分析、報表、參數設定 |

資料來源：經濟部水利處(1999)

為了有效利用各項監測資料，架設草嶺堰塞湖微波監測系統，包含監視站 4 處、中繼站 1 處、草嶺潭副控站 1 處、以及溪州主控站 1 處，即時接收監測資訊，掌握崩塌地及上下游河道狀況，提早發出警報及配合災害預警系統及疏散計畫。

(3) 緊急疏散計畫

緊急疏散避難需整合地方政府以及其他防救災相關單位共同執行，以確保資訊流通迅速及分工明確。經濟部水利處第四河川局協調雲林縣政府成立防救災指揮體系，和嘉義、南投縣政府等相關單位舉辦聯合防汛演習，以確保緊急應變

與疏散指揮之機能。此外，召集上下游可能影響範圍內村里長及警消等相關防救災單位，完成緊急疏散計畫書，以維護民眾之生命財產安全。

(4) 緊急工程

A. 開設溢流水道及水道坡面工程

為因應丹恩颱風來襲及湖區水位不斷高之緊急狀況，向民間緊急租用各類型機具（含挖土機、堆土機及卡車等機具）修築完成 5 公里溢洪道，以期能有效疏導溢流水，降低崩積土體滲透水壓力。

並利用現場之大岩塊，以破碎機具予以破碎成可利用之石料大小，並分別鋪築於渠道兩側邊坡及底部減少溢流水侵蝕渠底。

B. 簡易固床工及簡易防砂壩

為穩定河道於緊急工程期間完成 10 處簡易固床工及 1 處簡易防砂壩。

C. 護坡護岸工程

緊急完成清水溪鯉南護坡工程 200 公尺，以及清水溪枋寮堤防 340 公尺的緊急復建工程，降低堰塞湖潰壩後對沿岸聚落的衝擊。

3. 中長期處理對策

(1) 警報系統建置

為了能在緊急狀況時即時傳遞警戒資訊，依據現場狀況選擇清水溪下游沿岸可能受到堰塞湖影響的範圍內，在有保全戶及電力容易取得之處架設 1 處主控站、1 處中繼站、以及 12 處警報站，主控站設置在水利處第四河

川局控制中心，中繼站架設於中華電信公網，警報站分別設於草嶺堰塞湖至南雲大橋沿線，以架設廣播語音系統提醒民眾堰塞湖緊急狀況並迅速進行疏散避難。

(2)溢流水道加強工程

依詳細評估分析成果，修築強化溢流水道複式斷面，設計標準為溢洪道能容納每秒 3,000 立方公尺的流量，並進行下游溢流水道坡面之消能處理等工作。

(3)防砂壩興建與崩塌地處理

基於崩塌區崩積土之土壤結構主要為破碎之沙岩與頁岩交疊而成，易滲水且節理多，崩積土坡面陡斜容易因含水飽和而產生土層滑動，危及下游河道防洪構造物、跨河構造物及沿岸百姓之安全，故需於下游河道建置系列之防砂壩並處理清水溪潛在崩塌地，以攔蓄土砂、緩和坡降並安定兩側邊坡以減緩土石對下游河道之衝擊。

依現地勘察及專家評估建議結果，於崩積土堆積區下游清水溪原河道興建二座防砂壩，並於枋仔崙坡面處理緊急施設保護工 690 公尺及邊坡植生工程 9.3 公里。



資料來源：經濟部水利處

圖 4-8 防砂壩工程

(4)堤防護岸工程

陸續完成清水溪支流加走寮溪瑞竹堤防工程、清水溪桶頭橋上游護岸工程、清水溪鯉南護岸工程、加走寮溪出口段銜接清水溪右岸上下游段護岸工程、清水溪鯉魚喬治過溪段右岸護岸工程、以及清水溪猿洞護岸工程。

(二)九份二山

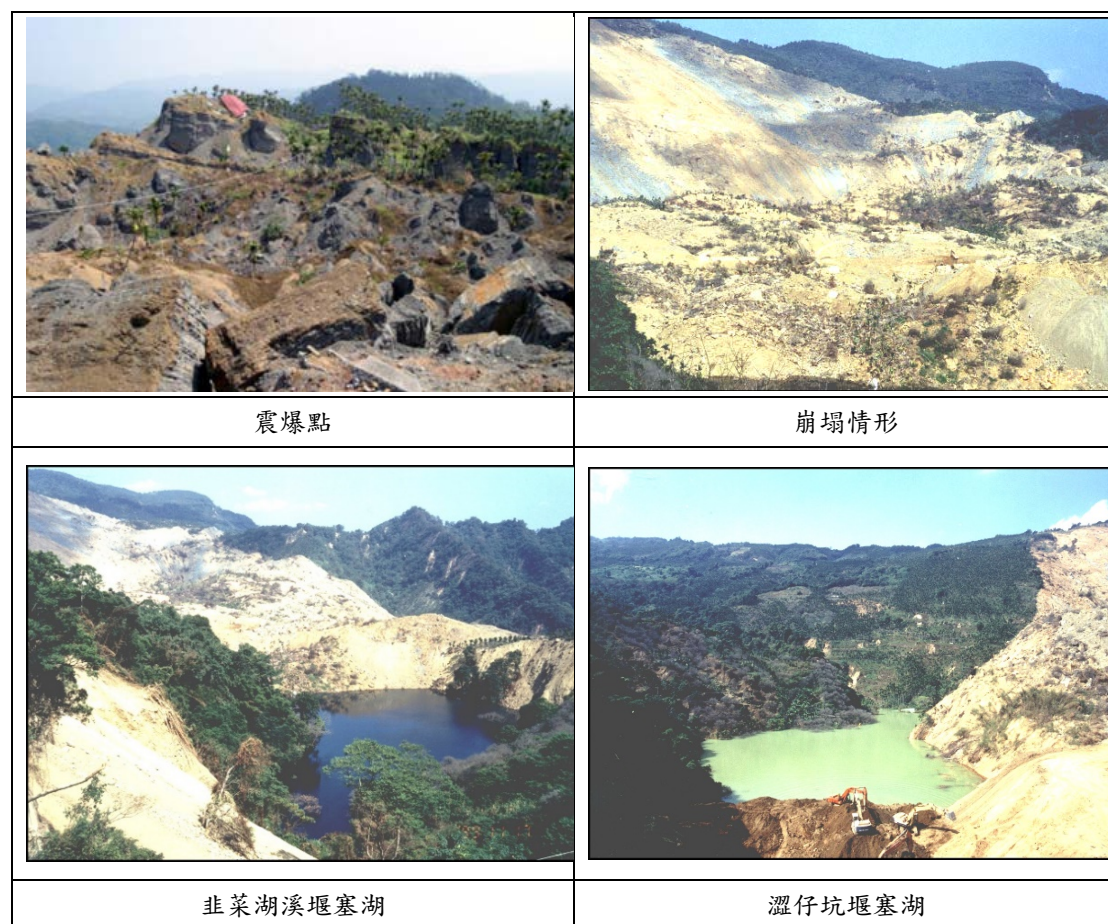
九份二山崩塌及堰塞湖位於南投縣，在國姓鄉、中寮鄉以及草屯鎮之交接處，位於烏溪流域南港溪次集水區內的韭菜湖溪子集水區，集水區面積約 1,018 公頃，主要溪流為全長 16,984 公尺的韭菜湖溪。區域地質以中新世樟湖坑頁岩偶夾薄層砂岩，岩層為東北西南走向。崩塌地土壤以裸岩及砂頁岩淡色崩積土，堆積岩埋區土壤以砂頁岩暗色崩積土、裸岩及頁岩石質土為主；主要保全對象為韭菜湖溪下游的南港社區以及鄰近之農畜牧業。

921 地震時，崁斗山發生大規模順向坡崩塌，崩塌面積約 102.5 公頃，土石滑動長度超過一公里，淹沒堵塞韭菜湖溪及澀子坑溪形成兩個堰塞湖(如表 4-3)，造成 39 人死亡、228 頭水鹿活埋、以及 200 公頃農地損毀。崩塌成因為滲流水在 20 度傾斜之砂頁岩互層中流動形成滑動面，加上韭菜湖溪長年沖刷順向坡腳造成不安定坡面，921 地震時斷層上層岩層因擠壓滑動，使得原本即不穩定之邊坡崩落(如圖 4-9)。

表 4-3 九份二山堰塞湖資料

| 堰塞湖 | 上游集水區面積(公頃) | 堰塞點高程(公尺) | 河床高程(公尺) | 最深水位(公尺) | 蓄積容量(立方公尺) | 滿水面積(公頃) |
|------|-------------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| 韭菜湖溪 | 272.8 | 585.0 | 556.0 | 29.0 | 678,000 | 4.43 |
| 澀仔坑溪 | 382.24 | 557.5 | 540.0 | 37.5 | 1,089,700 | 6.48 |

資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2016)



資料來源：行政院農業委員會水土保持局

圖 4-9 九份二山影像紀錄

1. 堰塞湖處置時間軸

九份二山堰塞湖處置時間軸如圖 4-10。1999 年 9 月 21 日發生 921 地震後造成山坡大面積土石岩順向坡下滑，形成兩個堰塞湖。1999 年 12 月 30 日完成 1,400 公尺的緊急溢流水道，於 2000 年 3 月 30 日利用空貨櫃內填充現場砂石，完成貨櫃加載工程，並於 2000 年 6 月 30 日進行溢流道加強工程，利用現場塊石，排砌加固溢流道兩岸及床底共計 290 公尺。

2000 年 5 月進行植生工程復育以及辦理堰塞湖防災演練，2000 年 8 月 30 日完成堰塞湖下游梳子壩及潛壩興建工程，2001 年 4 月 30 日完成溢流道降挖工程，2002 年建立崩塌地及堰塞湖監測系統，並於 2003 年 1 月 30 日完成柱狀透過性潛壩工程。



圖 4-10 九份二山堰塞湖處置時間軸

2. 緊急應變

(1) 緊急溢洪道工程

1999 年 12 月 30 日完成進行緊急溢流水道施工，緊急溢流水道長 1,400 公尺，深 2 公尺，底寬 20 公尺之拋物線形斷面，以保全下游之南港社區。挖出之部分土方回填至湖區，降低堰塞湖容量，隨後於 2000 年 6 月完成 290

公尺溢洪道加強工程，利用以現場塊石排砌，加固溢洪道以穩定溪床並美化景觀。



資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2017)

圖 4-11 緊急溢洪道工程

(2) 貨櫃壩加載工程

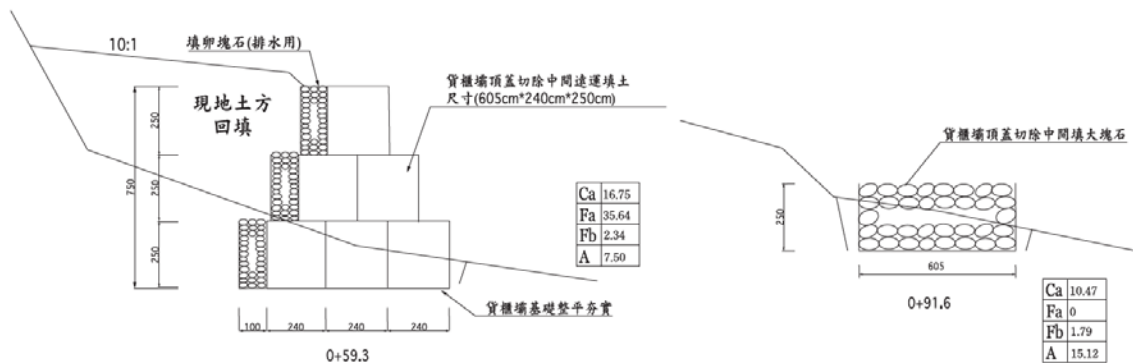
堰塞湖水位升高後，地下水壓逐漸升高，坡趾末端發現湧水等不穩定現象，後採用空貨櫃填現場砂石，完成全國第一座具防砂功能的貨櫃壩加載工程，除了穩定邊坡之外，也能阻止地表水滲入崩塌區，降低堰塞湖風險。



◎ 坡趾壓重工程照片 (2000年9月攝)
 ① 坡面滲出水, ② 貨櫃體, ③ 溢流口, ④ 貨櫃壩基礎

資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2016)

圖 4-12 貨櫃壩加載工程



澀子坑貨櫃壩工程剖面圖

資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2017)

圖 4-13 貨櫃壩加載工程剖面

3. 中長期處理對策

(1)植生綠化工程

2000年5月，崩塌地坡面出現裸露岩盤，植生生長不易，因此在崩積土上進行人工植生撒播作業約75公頃，2001年1月進行第二期復育，完成10公頃植生復育(如圖4-14)。



資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2016)

圖 4-14 坡地植生復育工程

(2)監測系統建置

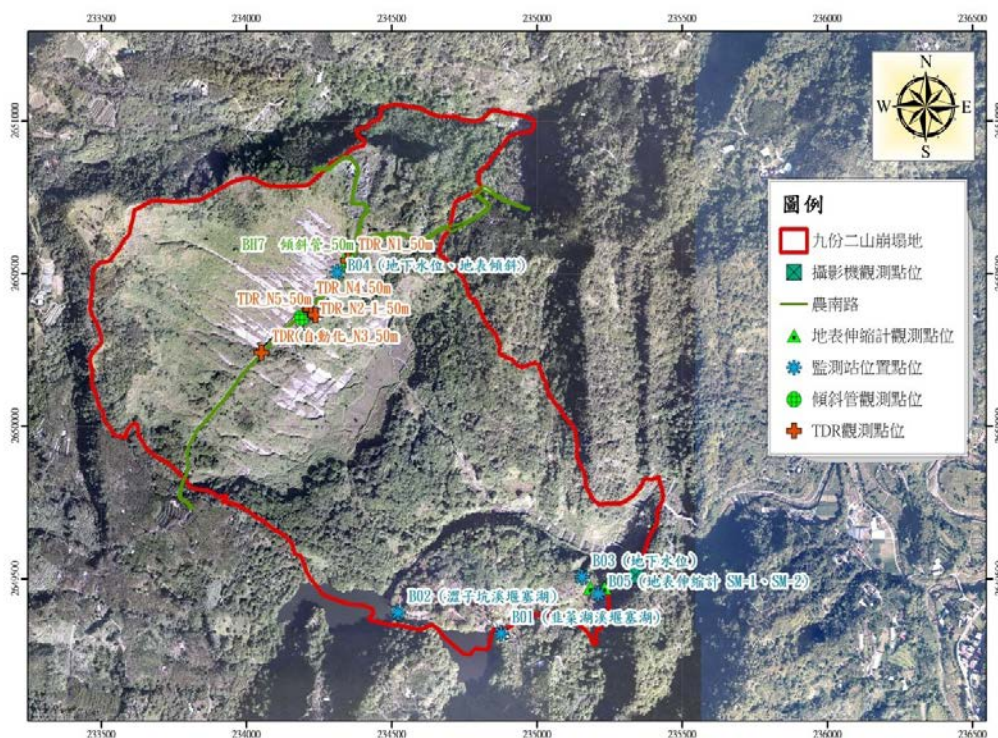
為了確保能夠隨時掌控後續災害可能發生的時間，以利及時應變保障下游居民之生命財產安全，在九份二山進行土石流、崩塌地以及堰塞湖水位等監測工作。

2002年評估將韭菜湖溪劃設為土石流潛勢溪流(投縣DF101)，並設置土石流觀測站及訂定警戒值(300mm)，土

石流觀測站設有雨量計、鋼索檢知器、地聲檢知器、紅外線攝影機以及超音波水位計。

2002 年再度發現崩塌區有上拱及張口裂隙等異常現象，隔年辦理「九份二山崩塌地觀測計畫」，利用地質鑽探、地表變動觀測、孔內傾斜儀以及地下水觀測等方法，持續監測崩塌地變化狀況(如圖 4-15)。

此外，因韭菜湖溪及澀仔坑溪兩個堰塞湖持續存在，為了能有效即時監測兩個堰塞湖的水位變化，設置水位觀測系統，包含水位計、資料紀錄器、電源供應系統及 ADSL 通信模組等(如圖 4-15)。

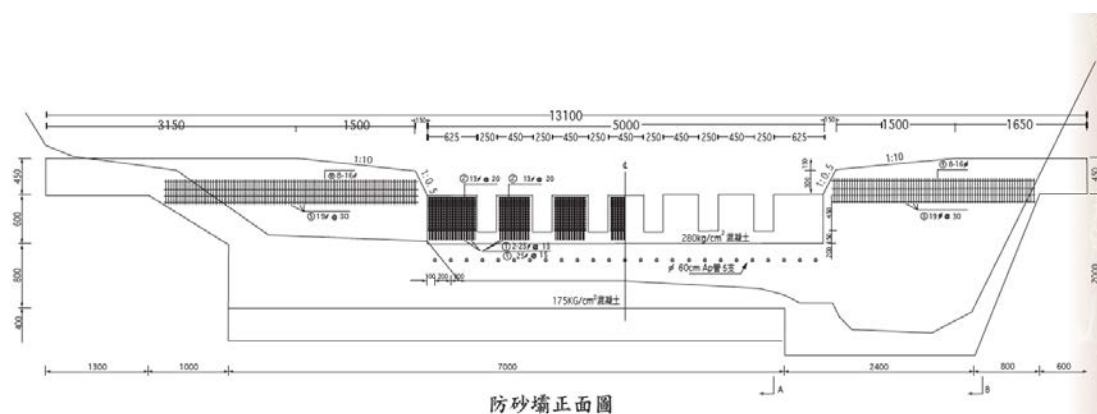


資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2017)

圖 4-15 崩塌地及堰塞湖監測系統

(3) 梳子壩及固床工工程

為降低後續可能發生之土砂災害之衝擊及增加崩塌地坡趾穩定性，完成梳子壩及固床工工程，梳子壩主壩常 131 公尺，高 14 公尺，副壩長 84 公尺，高 8 公尺，固床工長 30 公尺，高 5 公尺(如圖 4-16、圖 4-17)。



資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2017)

圖 4-16 梳子壩工程正面圖



資料來源：行政院農業委員會水土保持局

圖 4-17 梳子壩工程

(4)柱狀透過性潛壩工程

2001 年桃芝颱風侵襲，堰塞湖溢洪道發生向源侵蝕現象，水土保持局南投分局立即規劃柱狀壩透過性壩工程，柱狀壩長 42 公尺，有效壩高 5 公尺，圓柱直徑 1 公尺，三排間隔排列距離 1 公尺，基座底部夯打 3 排 40 公斤/公尺，6 公尺朝鋼軌樁 3 排，圓柱均以鋼筋完整銜接，空隙排放現場大塊石(如圖 4-18)。



資料來源：行政院農業委員會水土保持局

圖 4-18 柱狀透過性潛壩工程

(5)壩體溢洪道降挖工程

為了將地表水安全的從土體表面的溢洪道排除，且降低河道平均坡度防止向源侵蝕保護溢洪道。利用地下水位、

鑽探及數值模式進行穩定分析，評估後推定降挖 5~10 公尺可以提高溢洪道安全係數，因此進行溢洪道降挖工程。

韭菜湖溪堰塞湖降挖後水位深降低了 9 公尺，蓄水容量減少了 15 萬 8 千立方公尺，湖區面積減少了 0.75 公頃；澀仔坑溪堰塞湖降挖後水位深降低了 7.5 公尺，蓄水容量減少了 31 萬 9 千立方公尺，湖區面積減少了 1.26 公頃(如表 4-4)。

表 4-4 降挖後堰塞湖變化情形

| 堰塞湖 | 水位深(公尺) | | 蓄水容量(立方公尺) | | 湖面面積(公頃) | |
|------|---------|-----|------------|-------|----------|------|
| | 降挖前 | 降挖後 | 降挖前 | 降挖後 | 降挖前 | 降挖後 |
| 韭菜湖溪 | 29.0 | 20 | 678 | 520 | 4.43 | 3.68 |
| 澀仔坑溪 | 37.5 | 30 | 1,089 | 770 | 6.48 | 5.22 |
| 合計 | | | 1,767 | 1,290 | 10.91 | 8.9 |

資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2017)

(6)防災演練

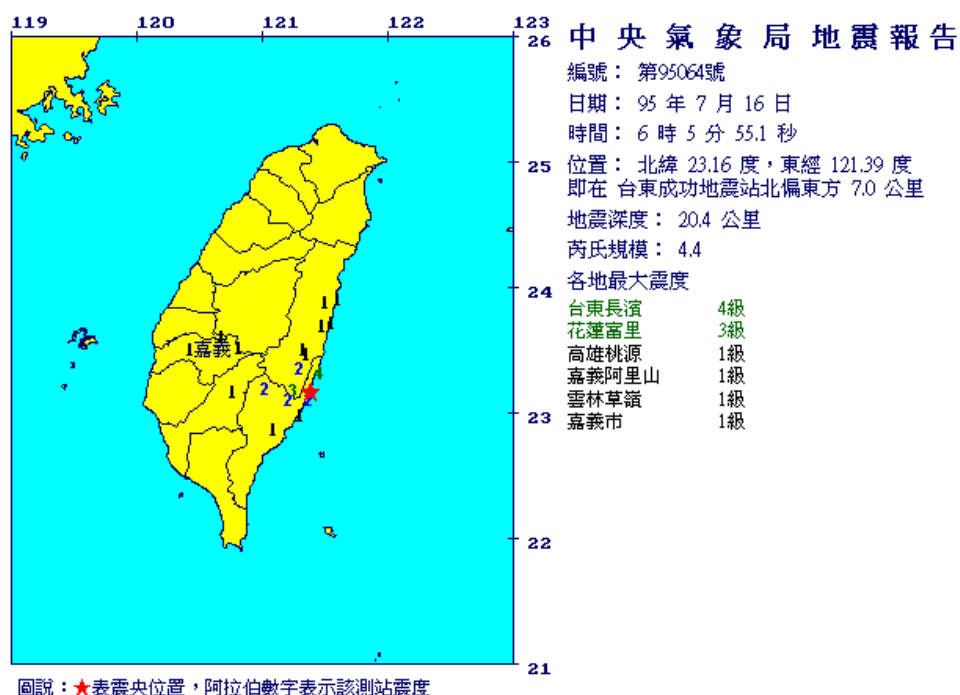
2000 年 5 月及 2003 年 6 月，水土保持局和南投縣政府以及國姓鄉公所共同辦理「九份二山土石流危險區防災疏散演練」，從 2009 年成立自主防災社區後，持續辦理疏散避難教育訓練及演練，加強保全戶對災害應變之能力。

資料來源：行政院農業委員會水土保持局(2017)

圖 4-19 防災演練辦理情形

二、2006 年 7 月地震-龍泉溪堰塞湖

2006 年 7 月 15 日清晨 6 時 5 分在臺東成功地震站北偏東方 7 公里處，發生芮氏規模 4.4 的地震，震源深度 20.4 公里，最大震度在臺東長濱 4 級，在花蓮富里亦有 3 級 (如圖 4-20)，地震造成龍泉溪上游開始發生多次大規模崩塌，崩落石土阻塞河道，形成堰塞湖。



資料來源：中央氣象局

圖 4-20 2006 年 716 地震地震報告

龍泉溪堰塞湖位於臺東縣海端鄉，屬林務局臺東林區管理處關山事業區之第 3 林班，流域則屬秀姑巒溪流域支流龍泉溪，集水區面積 1,200 公頃。堰塞湖下游分布有龍泉、大埔及萬朝等 3 個保全社區，其中龍泉社區距離堰塞湖僅有 2 公里。

崩塌地面積約 16 公頃，平均崩塌深度約 3 公尺，崩塌最大長度為 520 公尺，最大寬度 400 公尺。天然壩平均壩頂長 85 公尺，底長

320 公尺，頂寬 100 公尺，底寬 30 公尺，壩高 40 公尺。堰塞湖面積 5.4 公頃，迴水長度 700 公尺，最大水深 50 公尺，蓄水體積 80 萬立方公尺，溢流口寬度 15 公尺(如圖 4-21)。



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2006)

圖 4-21 龍泉溪堰塞湖空拍影像

(一)堰塞湖處置時間軸

龍泉溪堰塞湖處置時間軸如圖 4-22。7 月 16 日發生芮氏規模 4.4 的地震，造成清水溪上游發生多次大規模崩塌，7 月 17 日接獲龍泉溪堰塞湖形成通報後，行政院農業委員會林務局臺東林區管理處隨即聯繫相關單位與學者專家共同會勘以瞭解現況於 7 月 21 日召開第一次地方居民說明會。7 月 24 日凱米颱風侵襲，臺東縣政府災害應變中心進行居民疏散避難，7 月 25

日因龍泉溪堰塞湖達滿水位開始溢流。8月28日林務局臺東林區管理處完成緊急壩趾穩定工程，經濟部水利署第九河川完成下游堤防強化(9月8日)與疏濬工程(11月4日)。

2007年7月建立「龍泉溪堰塞湖土砂觀測系統」，11月15日完成溢流水道挖降，降低水位5公尺，同年12月完成龍泉溪下游防砂工程，包含下游護岸、固床工及梳子壩1座。2008年5月18日完成第二次堰塞湖溢流水道挖降工程，累積總挖降達10公尺。2009年8月完成「龍泉溪堰塞湖壩體穩定二期工程」，以現地大塊石做砌石護坡保護崩塌坡面，2010年6月完成「龍泉溪河道整理工程」，整理崩積土石及河道，保護崩塌坡面。

2011年2月8日經由衛星影像判釋及現場調查確認，龍泉溪堰塞湖區已遭土石淤滿，2011年9月南瑪都颱風後，經緊急影像判釋，原堰塞湖區無明顯變化情形。



圖 4-22 龍泉溪堰塞湖處置時間軸

(二) 緊急應變

1. 緊急調查

7月15日辦理緊急會勘，會同相關單位與學者專家進行現場狀況確認與討論後續處置方針，後委託專業團隊進行初步現況調查，調查內容包含崩塌地調查(如圖 4-23)、堰塞湖下游保全對象概況調查(如圖 4-24)、現有防洪措施調查(如圖 4-25)、以及重點地形測量。



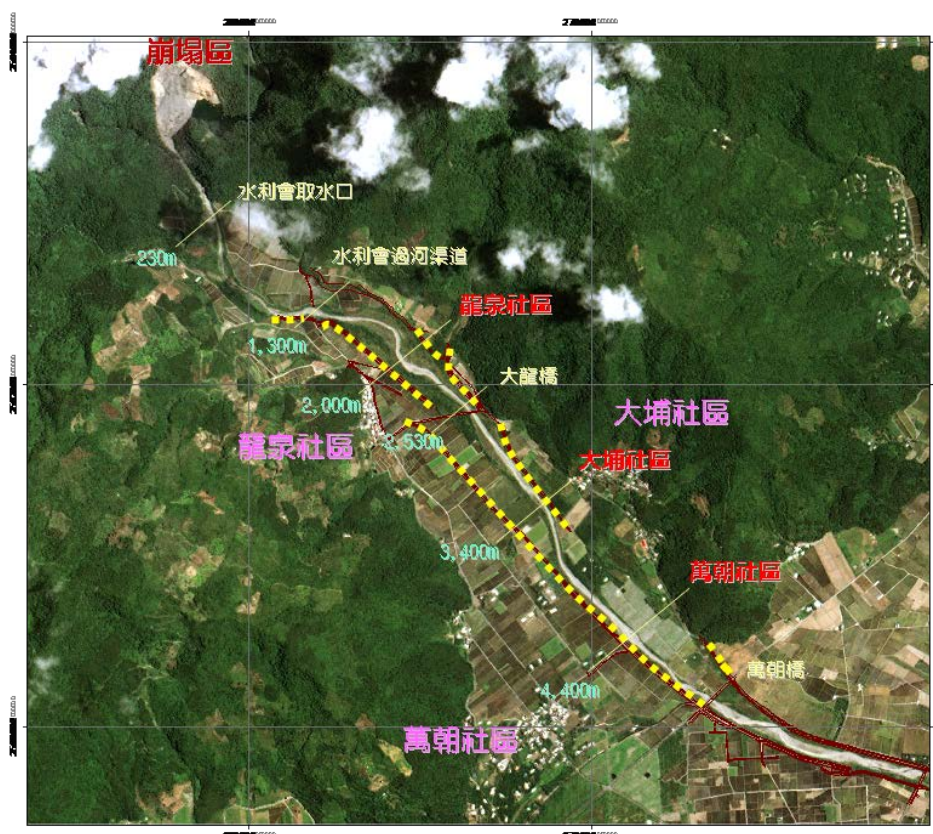
資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2006)

圖 4-23 龍泉溪堰塞湖崩塌面之照片(2006/07/17)



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-24 龍泉溪堰塞湖河道下游保全社區分布概況圖



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2006)

圖 4-25 龍泉溪堰塞湖河道下游防洪設施位置圖

2. 居民說明會

經過緊急調查與評估結果顯示堰塞湖對下游保全社區無立即危險，為能解除民眾疑慮，2006年7月21日於海端鄉廣原村大埔聚會所辦理第一次居民說明會，針對堰塞湖現地狀況、未來可能致災風、未來颱風豪雨期間之緊急應變機制以及相關業務單位後續將於本區域辦理之緊急防災措施等進行說明(如圖 4-26)。2006年12月21日辦理第二次地方居民說明會。



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-26 龍泉溪堰塞湖第一次居民說明會辦理情形

3. 緊急疏散避難

2006年7月24日凱米颱風侵襲，臺東縣政府災害應變中心進行居民疏散避難，疏散下游超過400位居民，凱米颱風期間，池上雨量站觀測之最大時雨量為44.5mm/hr，颱風期間總累積雨量則為171mm。

4. 緊急工程

行政院農業委員會林務局臺東林區管理處進行「關山事業區第3林班龍泉溪上游堰塞湖臨時擋土設施工程」，利用現場崩落之大塊石於崩塌地坡腳構築臨時堆石壩，藉以穩定坡腳並防止崩塌土體滑動(如圖4-27)。



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-27 龍泉溪堰塞湖緊急砌石防砂壩

經濟部水利署第九河川辦理龍泉溪1號堤防堤坡基礎加強長度(130公尺)工程，於2006年9月8日竣工。經濟部水利署第九河川局辦理龍泉溪1號堤防段土石疏濬工程(20,692立方公尺)，於2006年11月4日竣工。

(三)中長期處理對策

1. 土砂監測系統建置

建立龍泉溪堰塞湖現地建立堰塞湖土砂觀測系統，包括 1 個雨量計、3 個壓力式水位計、1 個雷達波水位計、以及 3 個攝影機 (如圖 4-28)。



資料來源：行政院農業委員會林務局 (2016)

圖 4-28 龍泉溪堰塞湖土砂監測系統

2. 堤防強化及修復工程

由經濟部水利署第九河川局辦理龍泉二號堤段加長、加高修復工程，包含龍泉一號堤防後段加高約 90 公分及堤頂整修長 230 公尺、龍泉二號堤段 0+025~0+150 修復堤防長 125 公尺、龍泉二號堤段 0+000~0+850 堤頂、後坡及防汛路整修、以及萬朝圳保護措施長 55 公尺。

3. 溢流道工程

進行兩次溢流道挖降工程，第一次於 2007 年 11 月完成 5 公尺挖降工程(如圖 4-29)，第二次於 2008 年 5 月完成 10 公尺(如圖 4-30)，並進行溢流水道整理及相關跌水工及導流堤的工程施作。



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-29 龍泉溪堰塞湖第一次降挖工程



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-30 龍泉溪堰塞湖第二次降挖工程

4. 下游防砂工程

於 2006 年 12 月 30 日完成龍泉溪下游防砂工程，包括一座長 127.4 公尺，高 10 公尺的梳子壩及下游護岸及固床工等工程。



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-31 龍泉溪堰塞湖堆石潛壩及護岸工程



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-32 龍泉溪堰塞湖防砂梳子壩

5. 崩塌坡面穩定工程

利用現地大塊石施作砌石護坡，保護崩塌地坡面，並整理崩塌堆積土石及河道，加強邊坡穩定以防止二次災害發生。



資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-33 崩塌區坡腳護坡工程

6. 支流排水涵洞工程

進行支流排水涵洞工程，協助排水，降低河道溢流風險。



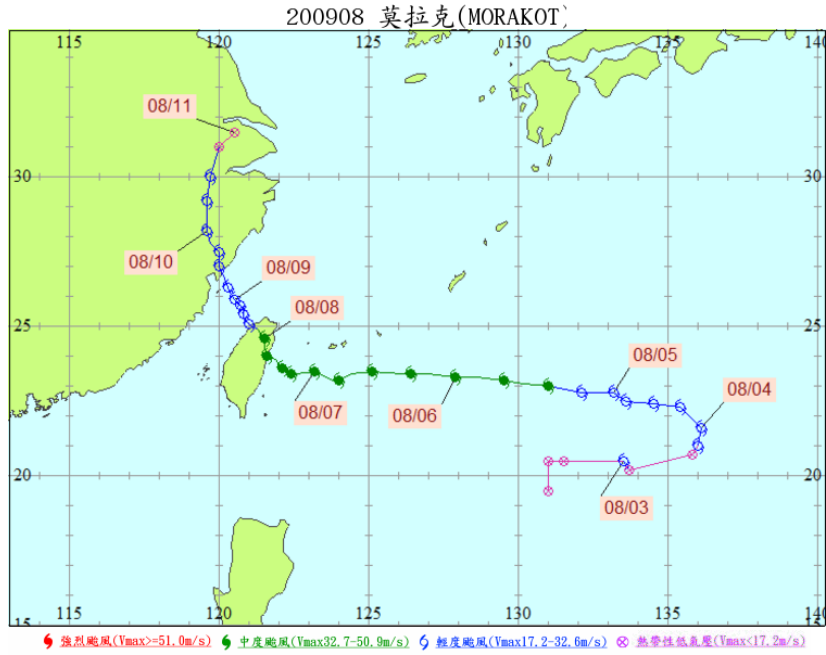
資料來源：行政院農業委員會林務局

圖 4-34 支流排水涵洞工程

三、2009 年莫拉克颱風-旗山溪、士文溪、包盛社及布唐布那斯溪

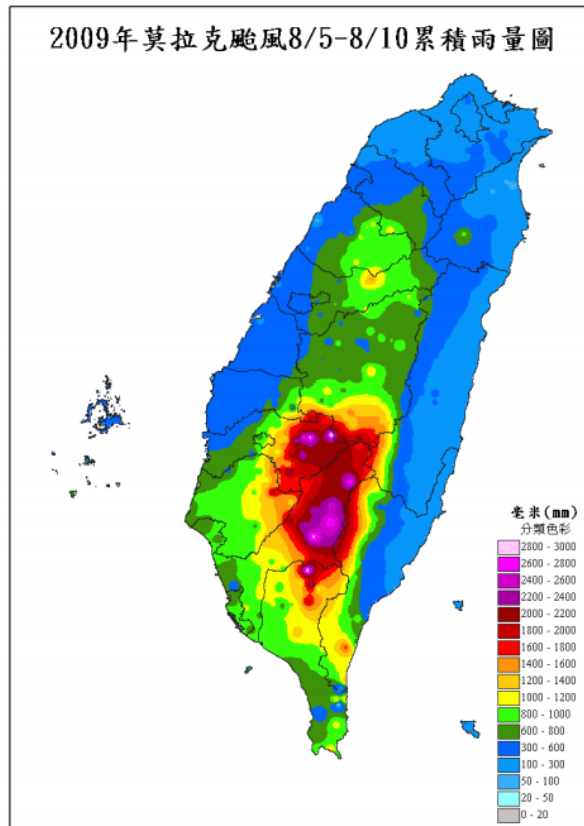
2009 年 8 月 3 日莫拉克颱風在菲律賓呂宋島北端東北東方約 1,000 公里海面形成，5 日開始逐漸以偏西方向移動並持續增強為中度颱風，6 日暴風圈逐漸籠罩臺灣東部陸地，7 日上午九點左右轉向西北方緩慢移動，暴風圈籠罩全臺各地，7 日下午 3 時 50 分在颱風中心在花蓮市附近登陸，晚間 6 時強度略減並轉為偏北方向前進，8 日轉為輕颱並往西北方移動，颱風中心於清晨 6 時左右從桃園附近出海，9 日脫離暴風圈(如圖 4-35)(中央氣象局預報中心，2009)。

莫拉克颱風降雨型態屬於長延時(64 小時)的持續性降雨，從 2009 年 8 月 6 日至 8 月 10 日影響期間，主要降雨集中在嘉義、臺南與高屏山區(如圖 4-36)，5 天累積總降雨量、24 小時延時雨量及 48 小時延時雨量最高紀錄皆發生在嘉義縣阿里山站，總累積雨量高達 3059.5 毫米，累積降雨前 10 名測站(皆超過 2,000 毫米)主要分佈在高屏溪、曾文溪與八掌溪流域上游。24 小時延時雨量超過 200 年重現期的測站有 46 站；48 小時延時雨量超過 200 年重現期的測站有 47 站，和過去 20 年(1989~2008)的歷史排名相比，莫拉克颱風的紀錄遠超過歷史排名的第一名；72 小時延時雨量超過 200 年重現期的測站有 45 站(行政院國家科學委員會莫拉克颱風科學小組，2010)。



資料來源：中央氣象局

圖 4-35 莫拉克颱風路徑圖



資料來源：中央氣象局

圖 4-36 莫拉克颱風 8/5~8/10 累積雨量圖

莫拉克颱風侵襲期間，造成近 50 年來最嚴重的複合性災害，土石、漂流木、洪水及淹水等多項災害同時發生，造成道路中斷、停水、停電、農業損失、水利設施損壞、河道淤積等災情。超大豪雨發生於中南部，導致臺東縣 8 個鄉鎮市、屏東 21 個鄉鎮市、高雄 16 個鄉鎮市、臺南 20 個鄉鎮市、嘉義 17 個鄉鎮市、以及臺中 16 個鄉鎮市發生嚴重淹水災情。山區也因為超大豪雨導致大面積坡地坍塌與土石流，共計 1690 個災害點位。全臺死亡人數達 620 人，失蹤 80 人。農林漁牧經濟損失高達 164 億 4 千多萬元。





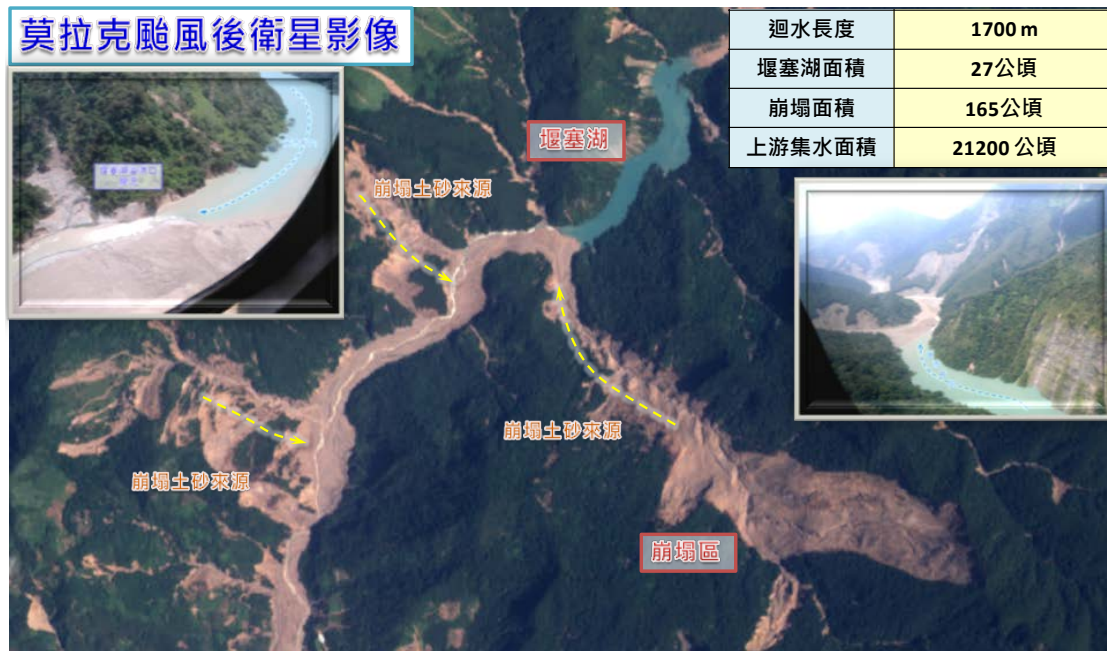
資料來源：國立成功大學防災研究中心、經濟部中央地質調查所

圖 4-37 全臺各地莫拉克風災受災情形影像紀錄

(一)旗山溪堰塞湖

旗山溪堰塞湖位於高雄縣那瑪夏鄉旗山事業區 16 林班之旗山溪支流（二溪），隸屬屏東林區管理處轄管林班地，莫拉克風災時強降雨引發大規模崩塌，崩塌土石與水充分混和後形成土石流並朝下游輸送，流至旗山溪後形成大型沖積扇並阻斷旗山溪主河道，溪水逐漸蓄積並形成堰塞湖(行政院農業委員會林務局屏東林區管理處，2010)。

旗山溪堰塞湖位於旗山事業區 16 林班，距離下游達卡努瓦村（民生村）約 7 公里處，行政區域屬高雄縣那瑪夏鄉達卡努瓦村，流域則屬高屏河流域之旗山溪，堰塞湖上游集水區面積約為 21,200 公頃，崩塌區面積約為 165 公頃，堰塞湖面積 27 公頃，迴水長度約 1,700 公尺(如圖 4-38)。堰塞湖下游鄰近村落分佈有達卡努瓦村（民生村）、瑪雅村（民權村）、南沙魯村（民族村)(行政院農業委員會林務局屏東林區管理處，2010)。



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處

圖 4-38 旗山溪堰塞湖及崩塌區基本資料



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處

圖 4-39 旗山溪堰塞湖空拍影像(2009/11/05)

1. 堰塞湖處置時間軸

旗山溪堰塞湖處置時間軸如圖 4-40。2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風期間，旗山溪支流發生大規模崩塌阻塞河道，形成堰塞湖。行政院農業委員會林務局屏東林區管理處於 8 月 13 日利用衛星影像完成初步判釋工作，並於 8 月 15 日邀集相關單位及專家學者利用直升機進行空勘，針對堰塞湖區域進行緊急安全性評估，8 月 18 日委請當地居民用人工方式監測溪流水位，8 月 27 日及 28 日採人工方式擴大溢流口降低水位。

2009年8月31日屏東林區管理處進行壩體安定性評估判斷該堰塞湖無立即破壞可能。10月29日進行第一次壩體測量作業，進行壩體細部安全性分析作業。11月6日進行溢洪口降挖工程及支流河道整理，2010年4月15日進行第二次降挖工程。2011年10月21日，屏東林管處進行現勘，確認堰塞湖消失後解除列管，同時完成河道整理工作，降低堰塞湖再形成之可能。2012年2月27日於現地完成衛星傳輸現地監測系統架設，持續觀測現場狀況。



圖 4-40 旗山溪堰塞湖處置時間軸

2. 緊急應變

(1) 緊急調查及溢流口擴大

2009年8月13日開始運用福衛2號衛星影像、林務局農航所空照照片、直昇機空勘(15日~22日及25日、27日)、與下游水位監測等方式，取得堰塞湖相關資訊以及與下游保全對象之距離，緊急影像判釋時已發現溢流，溢流口最窄約16公尺，溢流水深1.5公尺，坡度3%，已無潰壩造成安全的疑慮。2009年8月18日協請那瑪夏鄉鄉長僱用當地居民6人輪流於民生村上方監視溪流水位，如水位急速升高時將隨即通報疏散(林務局，2009)。

經判斷後因土石鬆軟僅能採人工方式處理，於8月27日及28日用人工方式將溢流口擴大至20公尺寬，水位降低80公分。8月31日至現場量測堰塞湖水深及下游地形進行壩體安定性評估，平均水深7.2公尺，溢流口下游以呈河床型態，穩定溢流中；10月29日進行第一次壩體測量作業，進行詳細壩體安全性分析作業(林務局，2009)。

(2)溢流道降挖工程

2009年11月6日屏東林管處進行溢洪口降挖工程，湖面水位累計下降約1.4公尺，蓄積水體估計自185萬立方公尺，降低至150萬立方公尺，減少35萬立方公尺之蓄水量。2010年4月15日進行第二次降挖工程，湖面水位累計下降約4.5公尺，蓄積水體估計自150萬立方公尺降低至85萬立方公尺，減少65萬立方公尺之蓄水量(行政院農業委員會林務局屏東林區管理處，2011)。



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處(2011)

圖 4-41 旗山溪堰塞湖溢流道降挖工程

(3) 支流河道整理

進行支流河道整理，固定水流流路，降低堰塞湖再次形成的可能。



圖 4-42 旗山溪堰塞湖支流河道整理

3. 中長期處理對策

(1) 建立現地監測系統

為了能在災中、災後即時瞭解現地狀況，提供各級單位緊急應變決策參考，於現地完成衛星傳輸現地影像監測系統架設。



資料來源：林務局

圖 4-43 旗山溪堰塞湖現地監控系統

(2) 監測堰塞湖地形變化

藉由水下測量、地形測量得知現地地形變動，並量化土砂變動量，並利用福衛二號影像進行大範圍、全堰塞湖區影像監測，監測堰塞湖現況並了解其變化歷程。



圖 4-44 旗山溪堰塞湖地形變化監測狀況

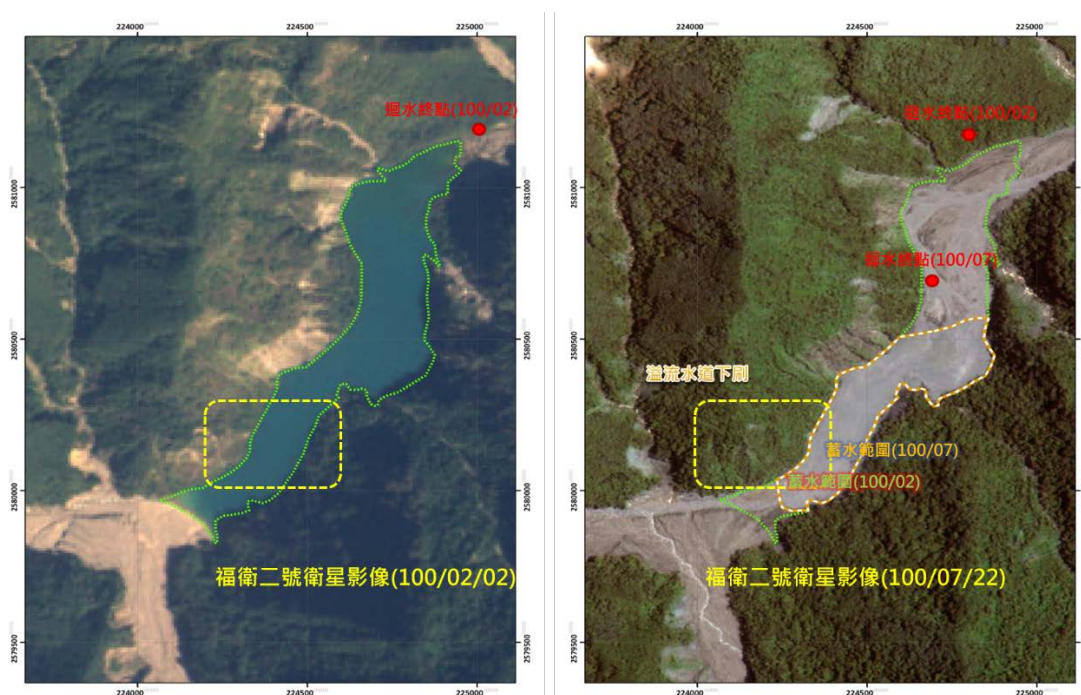


圖 4-45 旗山溪堰塞湖衛星影像判釋

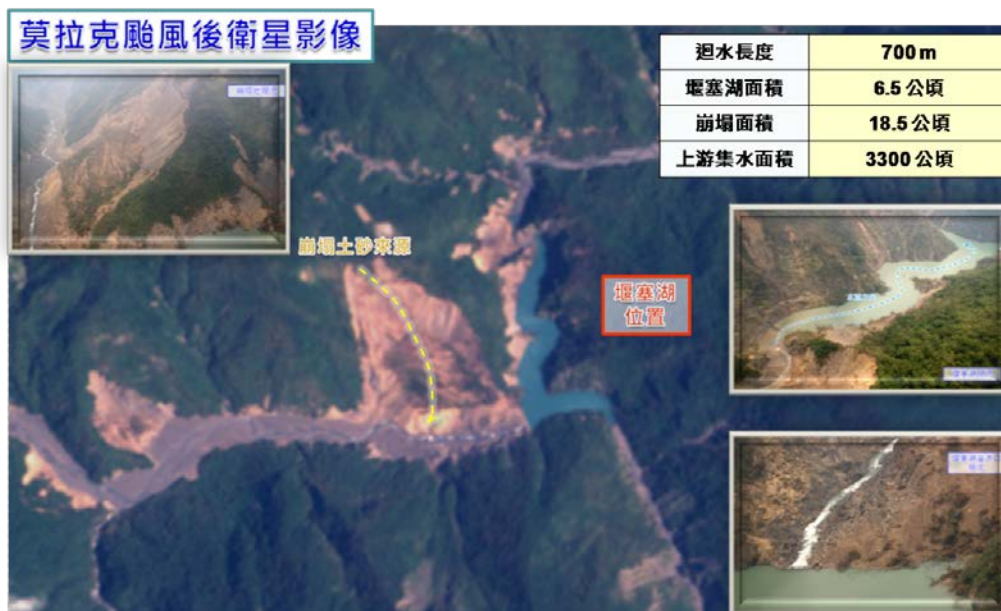
(3) 建立避難疏散機制

蒐集堰塞湖資料，會同專家學者，訂定雨量警戒值，供相關單位參考。地方政府就影響範圍內受影響之保全村落，擬定疏散計畫，建立聯繫方式(如電話、傳真及行動電話)、集合方式、集中地點與疏散工具等，並依監測工作通報有危險之虞時，隨時進行疏散避難。

(二) 士文溪堰塞湖

士文溪堰塞湖位於屏東縣春日鄉潮州事業區 20 林班與原住民保留地交接處之士文溪，屬南屏東沿海河系之士文河流域，上游集水區面積 3,300 公頃，距離下游士文溪橋約 11 公里，溪流右岸原住民保留地因降雨引致大規模地滑崩塌，土石阻斷士文溪主河道，溪水逐漸蓄積並形成堰塞湖（行政院農業委員會林務局屏東林區管理處，2010）。

士文溪堰塞湖淹沒區面積約 6.5 公頃，迴水長度約 700 公尺，堰塞湖最大水深雖深達 23.7 公尺，但因蓄水面積約 122 萬立方公尺，地滑區之寬度高達 550 公尺，堰塞湖下游鄰近社區主要為古華村之舊古華，距離堰塞湖約 10 公里(圖 4-46)(行政院農業委員會林務局屏東林區管理處，2010)。



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處(2010)

圖 4-46 士文溪堰塞湖及崩塌區基本資料



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處(2010)

圖 4-47 士文溪堰塞湖空拍影像(2009/11/13)

1. 堰塞湖處置時間軸

士文溪堰塞湖處置時間軸如圖 4-48。莫拉克颱風期間降雨造成大量土砂堆積形成堰塞湖，立即進行各項緊急調查作業，包含無人載具空拍、現場調查、衛星影像比對等工作，後於 2009 年 9 月 4 日召開緊急說明會，向當地居民說明堰塞湖狀況，9 月 9 日與專家學者再度進行現場勘查，進行堰塞湖安全性評估。

2009 年 12 月 10 日進行溢流水道挖降作業，2010 年 9 月凡那比颱風侵臺，大量土砂流入湖底堆積，溢流道刷深，湖區蓄水體積大幅縮小，2010 年 11 月進行堰塞湖測量，蓄水體積

大幅減少，2011年3月利用衛星影像判釋，堰塞湖蓄水體積已減至0.93立方公尺，2011年10月4日進行河道整理，堰塞湖已經蓄水情形。



圖 4-48 士文溪堰塞湖處置時間軸

2. 緊急應變

(1) 緊急調查

士文溪堰塞湖形成後，屏東林管處隨即進行緊急調查利用無人載具空拍、現場調查、以及衛星影像比對了解堰塞湖及崩塌狀況，進行安全性緊急評估作業。

一個月後，於2009年9月9日再度邀集專家學者進行現場勘查，進一步進行堰塞湖安全性評估，經判定後堰塞湖並無立即潰決危險。



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處(2010)

圖 4-49 士文溪堰塞湖崩塌區現地照片

(2)居民說明會

為了讓附近居民安心及相關配合事項，於 2009 年 9 月 4 日召開緊急說明會，告知當地居民堰塞湖現況，與汛期時期可能之處置與避難工作。

(3)溢流水道降挖

堰塞湖形成後水體以穩定溢流，在河道左岸侵蝕出約 5 公尺寬的溢洪道，林務局屏東林區管理處於 2009 年 12 月 10 日進行溢流水道降挖及河道工程整治，2010 年 2 月份完成，降挖深度 4 公尺，經河道整治已有明顯階梯狀坡降情形，穩定崩塌地坡腳，降低崩塌發生之風險。



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處(2010)

圖 4-50 士文溪堰塞湖溢洪道降挖工程



資料來源：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處(2010)

圖 4-51 士文溪堰塞湖溢洪道現地照片

3. 中長期處理對策

(1) 追蹤監測

2010 年 9 月，凡那比颱風過後，大量土砂流入湖底堆積，溢流道刷深，蓄水體積大幅減少，11 月進行堰塞湖測量，蓄水體積從原本的 122 萬立方公尺減至 7 萬立方公尺，2011 年經衛星影像判釋，水體進一步減少，進行河道整理後士文溪堰塞湖已無蓄水情形，同年 9 月南瑪都颱風後，堰塞湖區已無蓄水情形，2012 年利用汛期後衛星影像進一步追蹤判釋，堰塞湖未再形成。

(三)包盛社堰塞湖

包盛社堰塞湖位於行政院農業委員會林務局臺東林區管理處所轄之太麻里溪流域範圍，主流長度 36.27 公里，集水面積 21,753 公頃，太麻里溪流域內，地勢平緩適於人居之區域僅分布於東部沿海之少部分區域，流域內多為陡峭之山地，然國有林班地則多分布於介達以上之區域，太麻里溪流域內林班地屬於大武事業區第 1 林班至第 12 林班，因莫拉克颱風所帶來之豐沛雨量，使得太麻里溪上游（包盛社附近）之第 9 林班處河岸右岸邊坡發生大規模崩塌，崩塌土體阻塞河道使溪水蓄積而形成堰塞湖，湖址位於第 8、9、10 林班之範圍內。包盛社堰塞湖集水面積約 6,500 公頃，崩塌地面積 250 公頃，天然壩壩高約 10 公尺，天然壩體積 256 萬立方公尺，迴水長度約 2,100 公尺(圖 4-52)。

因上游之大量崩塌與天然壩之表面侵蝕，造成下游嘉蘭村、溪頭村堤防破損與南太麻里鐵、公路橋中斷，形成大規模扇狀堆積，道路中斷、堤防溢提、破壞，嘉蘭村被沖走 47 間民房，下游溪底一帶亦沖走 35 間房舍，淹沒約 400 公頃農地，多處淹水與土砂災情，為太麻里溪流域有記錄以來最為嚴重之大範圍土砂災害（行政院農業委員會林務局臺東林區管理處，2010）。



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2010)

圖 4-52 包盛社堰塞湖空拍影像(2009/11/13)

1. 堰塞湖處置時間軸

包盛社堰塞湖處置時間軸如圖 4-53。2009 年 8 月 13 日林務局臺東林區管理處得知在莫拉克颱風期間包盛社堰塞湖之生成，8 月 14 日即邀集專家學者進行初次空勘及緊急評估，8 月 24 日進行第二次空勘作業，並進行現場調查評估堰塞湖危險性，8 月 30 日雇請機具開設便道並進行溢流道強化工程，10 月 30 日和臺東縣政府等相關單位於金峰鄉嘉蘭村進行堰塞湖疏散避難訓練，12 月 15 日完成堰塞湖溢流水道緊急降挖工程。

2010 年 4 月進行第二階段溢流道改善及加固作業，2010 年 9 月凡那比颱風過後，堰塞湖水體流失，解除堰塞湖警戒作業。2011 年 4 月開始至 2012 年 10 月陸續進行各式監測作

業，包含架設雨量監測站、進行主流河道空載雷達地形掃描追蹤監測、架設水位監測站等工作。



圖 4-53 包盛社堰塞湖處置時間軸

2. 緊急應變

(1) 緊急調查

從獲知堰塞湖形成隔日起至 2010 年 11 月，林務局臺東林區管理處利用無人載具空拍及現地調查(圖 4-54)，共完成 22 次現地調查(圖 4-54)，亦完成 1 次水下地形測量及 4 次地形或斷面測量，2009 年 8 月 24 日空勘時同時進行水下地形測量、11 月 4 日進行天然壩壩體地形測量、11 月 30 日進行河道斷面測量、12 月 5 日進行天然壩下游區域地形測量等工作(圖 4-55)。

除了天然壩及堰塞湖調查外，也進行下游保全對象調查，沿著下游部落河道進行兩岸現況及災害潛勢進行調查分析，利用雷射測距儀簡易進行河岸與部落高差測量(圖 4-56)。



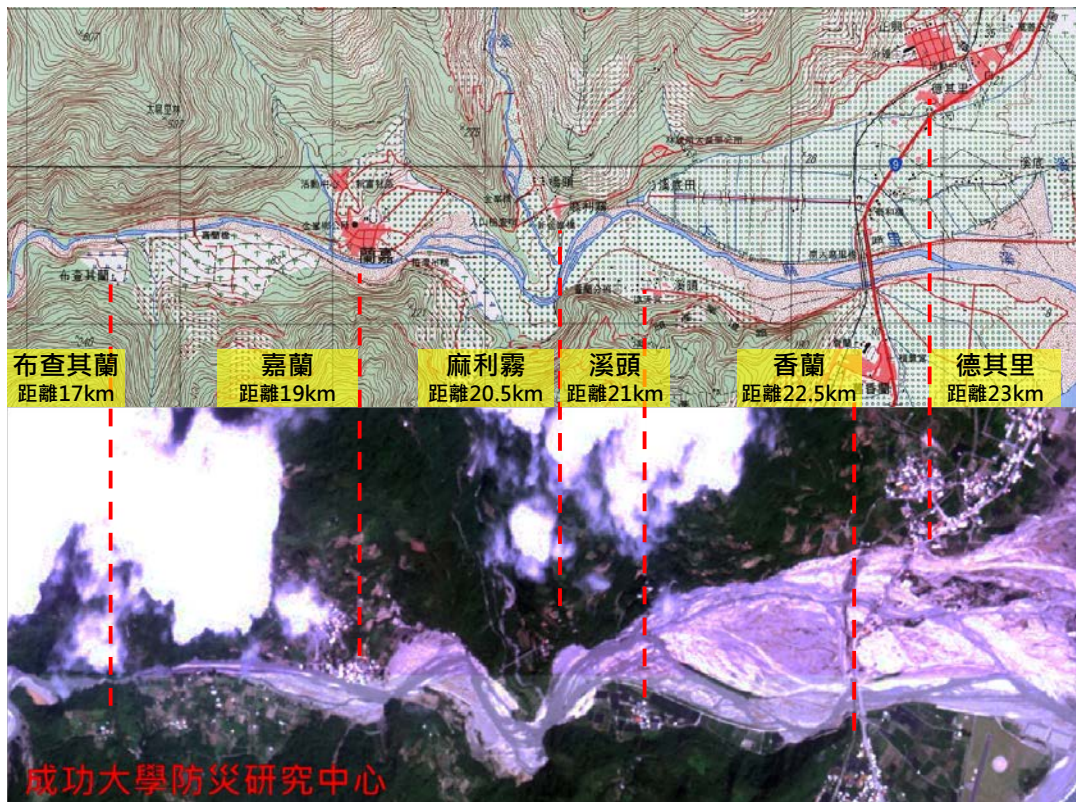
資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2010)

圖 4-54 包盛社堰塞湖崩塌區空勘照片



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處

圖 4-55 包盛社堰塞湖現場調查情形



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2010)

圖 4-56 包盛社堰塞湖下游保全對象調查

(2) 溢流道強化工程

進行溢流水道強化工程，包含挖降溢流水道以減少湖水量降低災害風險、擴大通水斷面增加排洪量避免水流漫溢、以及進行抵床與岸坡加固避免水流沖刷破壞(圖 4-57、圖 4-58)。2010 年 4 月 14 日進行第二階段工程，完成溢流道改善開挖及加固作業。



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2010)

圖 4-57 包盛社堰塞湖天然壩溢流水道降挖作業情形



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處(2010)

圖 4-58 包盛社堰塞湖天然壩溢流水道降挖後堰塞湖狀況

(3) 安全性評估

利用數值模式分析天然壩溢洪口之溢流或潰決流量，上游入流條件設定為 50 年頻率設計流量，最大潰決水深根據降挖後之最高水深資料設定，並設定可能潰決寬度、可能潰決延時、可能殘存壩高、下游支流側流等參數進行演算。

除了天然壩安全性評估外，也評估下游社區安全性，依據各社區與堰塞湖的距離、聚落高差、計畫流量水深、潰壩流量等評估下游社區安全性。

(4) 疏散避難演練

為提升社區自我救災能力及相關部會災害應變能力，須提出適宜下游聚落之疏散避難計畫，為協調各部會防救災權責工作分配及相關事宜，事前舉辦 3 次籌備會議，並於 2009 年 10 月 30 日在金峰鄉嘉蘭村正式辦理避難疏散預演及實際演練工作。

3. 中長期處理對策

(1) 追蹤監測

2010 年 9 月凡那比颱風過後，堰塞湖水體流失(圖 4-59)，解除堰塞湖警戒，隔年 4 月架設上游包盛社附近雨量監測站(TDF01) (圖 4-60)、9 月進行主流河道空載 LiDAR 地形掃描追蹤監測(圖 4-61)，10 月架設下游原嘉蘭橋附近水位監測站(TDF02)(圖 4-62)，2012 年 7 月架設中游黑河匯流處雨量監測站(TDF03)，10 月再度進行主流

河道空載 LiDAR 地形掃描追蹤，持續監測包盛社堰塞湖現地狀況。



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處

圖 4-59 包盛社堰塞湖凡那比颱風後情形

增設水文站-雨量站設置情形

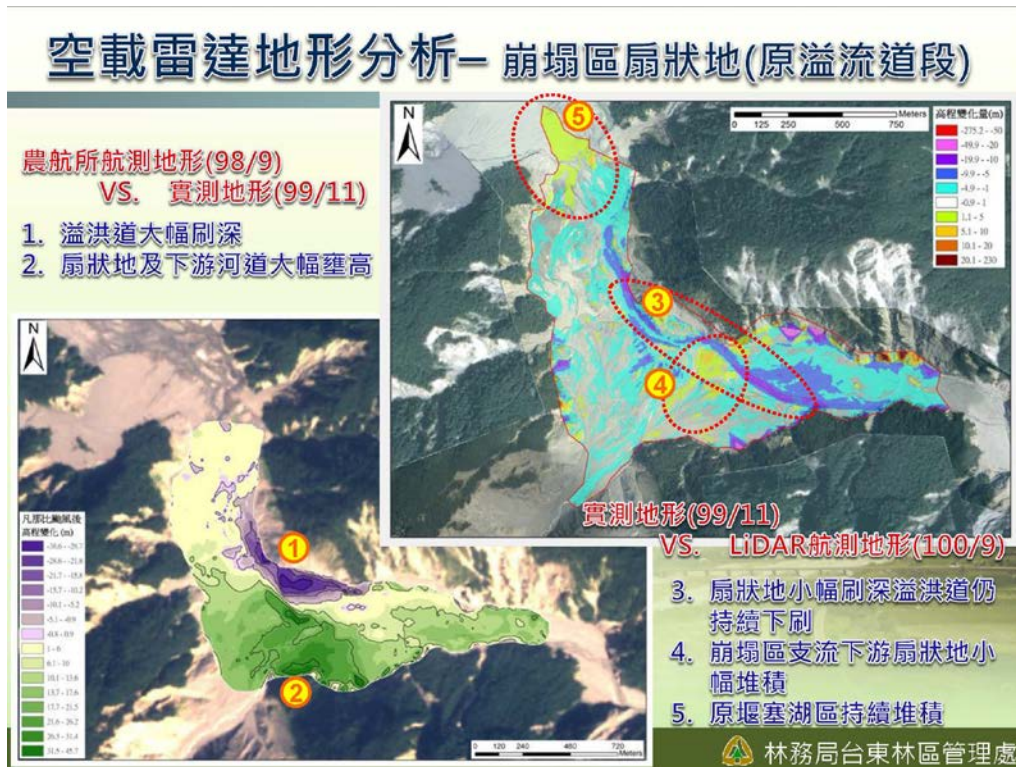
- 雨量站設置於堰塞湖址旁(A點)
- 自記式雨量計 (含Datalog)
- 衛星傳輸設備
 - 訊號強度足夠時，自動傳輸資料
 - 訊號強度不足時，由Datalog紀錄雨量資料，待訊號強度足夠再行傳輸。



區管理處

資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處

圖 4-60 包盛社堰塞湖雨量站設置情形



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處

圖 4-61 包盛社堰塞湖 LiDAR 分析結果

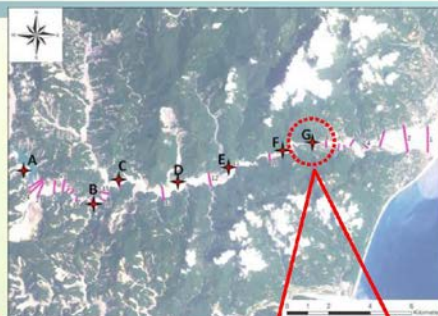
增設水文站- 水位站設置

■ 水位站設置於舊嘉蘭橋址(G點)

□ 自記式水位計 (含Datalog)

□ 衛星傳輸設備

- 訊號強度足夠時，自動傳輸資料
- 訊號強度不足時，由Datalog紀錄雨量資料，待訊號強度足夠再行傳輸。



資料來源：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處

圖 4-62 包盛社堰塞湖水位站設置情形

(四)布唐布那斯溪堰塞湖

布唐布那斯溪堰塞湖位於荖濃河流域，全長 136 公里，流域面積 2,024 平方公里，2009 年莫拉克颱風在高屏河流域新增了超過 1 萬 2 千公頃以上的崩塌，崩塌的土石提供土石流充分的材料因而於布唐布那斯溪形成土石流的扇狀堆積，阻斷荖濃溪本流形成堰塞湖，堰塞湖於莫拉克風災期間形成，但因劇烈降雨導致溪水高漲造成天然壩破壞而潰決，潰壩後洪水造成下游寶來等地區嚴重的淹水災情，同時也因潰壩洪峰造成寶來二號橋沖毀中斷，所幸當時由民眾目擊洪水侵襲告知聚落民眾迅速疏散致鄰近高地而未造成嚴重災害；依據事後調查，該潰壩所形成之洪水波在寶來二號橋旁曾造成越堤且鄰近的水位超過堤頂一公尺以上(圖 4-63)。

2010 年 5 月豪雨期間，經回報在荖濃溪與布唐布那斯溪匯流處有堰塞湖形成，經濟部水利署第七河川局完成針對該處積水進行引流，發揮減輕災害威脅效果。但在凡那比颱風過後大量土石而阻斷荖濃溪本流而再次形成堰塞湖，堰塞湖面積 26.5 公頃、最大水深 5 公尺，平均水深 2.7 公尺，水體體積 72 萬立方公尺，天然壩高 250 公尺，壩體寬約 900 公尺(圖 4-64)。主要保全對象包括下游的勤和、寶來、六龜沿岸聚落高差 100 公尺的地區，2011 年 5 月已無堰塞湖。



資料來源：經濟部水利署(2011)

圖 4-63 布唐布那斯溪堰塞湖莫拉克災後情形



資料來源：經濟部水利署(2011)

圖 4-64 布唐布那斯溪堰塞湖(2011 年凡那比過後)

1. 堰塞湖處置時間軸

布唐布那斯溪堰塞湖處置時間軸如圖 4-65。布唐布那斯溪堰塞湖在 2009 年 8 月莫拉克颱風期間一度形成，後因大量降雨破壞天然壩潰決消失。2010 年在 0522 豪雨及 0529 豪雨期間，經民眾通報於台 20 線 99K 及 107K 處發現堰塞湖，7 月 10 日到 8 月 6 日，經濟部水利署第七河川局完成引流工程，發揮減輕災害威脅效果。

2010 年 9 月凡那比颱風侵襲，大量土砂再度阻斷荖濃溪形成堰塞湖，完成現場調查並持續用衛星監測，在 2011 年 1 月堰塞湖持續存在，未免在汛期時堰塞湖對下游聚落造成威脅，於 2011 年 4 月 27 日及 4 月 29 日經濟部水利署第七河川局再度邀集專家學者進行現場調查，進行細部評估作業集中長期處置規劃，5 月 7 日開始進行引流工程並於 5 月 18 日完成，5 月 18 日因荖濃溪流大沖開堆積土砂，已無堰塞湖存在。



圖 4-65 布唐布那斯溪堰塞湖處置時間軸

2. 緊急應變

(1) 緊急調查

莫拉克風災時形成的堰塞湖因形成後隨即颱風期間內潰決，2010年9月凡那比颱風過後，進行現場調查並持續利用衛星影像監測，2011年4月邀集專家學者進行緊急調查，針對壩體、水體、以及周邊崩塌情形進行現場勘查，並勘查水情監測設施設置地點，利用水下地形測量無人載具空拍所得參數，進行潰壩演算，判斷堰塞湖壩體寬廣且溢流中，並無立即危險(圖 4-66)。



資料來源：經濟部水利署(2011)

圖 4-66 布唐布那斯溪堰塞湖緊急調查情形(2011 年 4 月)

(2) 引流工程

2010 年 5 月豪雨堰塞湖形成，7 月 10 日至 8 月 6 日第七河川局進行引流工程，降低堰塞湖威脅。9 月凡那比颱風造成堰塞湖再度形成，持續觀察後於 2011 年 5 月再度進行引流工程，開挖 300 公尺引流到，將堰塞湖水引流至疏通河道降低水位，並進行河道疏通工程，疏通約 11 萬立方公尺土石增加通水斷面。



資料來源：經濟部水利署(2017)

圖 4-67 布唐布那斯溪堰塞湖引流工程

(3)持續觀監測

第七河川局持續利用衛星影像、雇工、即時影像等方式持續監測布唐布那斯堰塞湖現地狀況。

3. 中長期處理對策

(1)監測系統建置

因為布唐布那斯堰塞湖在莫拉克期間曾造成下游嚴重災害，依據現地地形及地質狀況，未來布唐布那斯溪仍有再度形成堰塞湖的可能性，為了能夠持續監測該區域，建置觀監測系統，包含網路遠端影像監測(荖濃溪及布唐

布那斯溪共 3 處)、堰塞湖應變機制、緊急調查小組成員編定、以及臨時雇工名單建立。

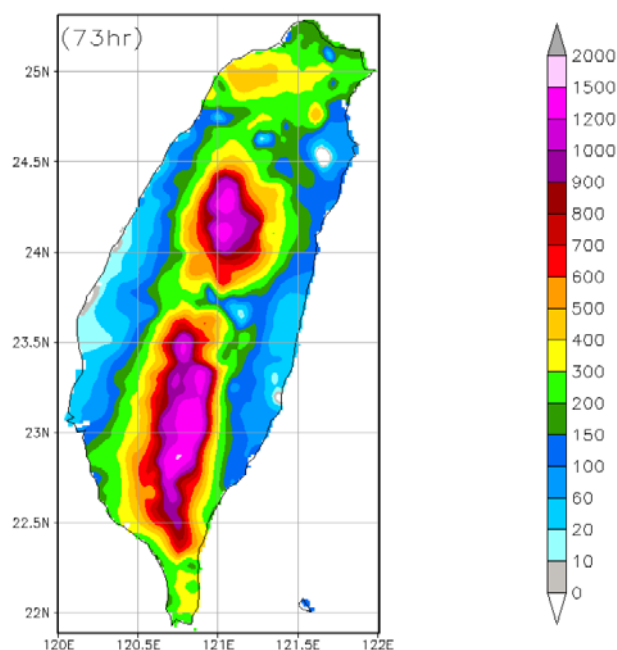
(2)疏散避難演練宣導

持續針對保全對象與聚落，規劃並設置避難處所，加強疏散撤離演練及宣導，提高民眾自主防災意識。

四、2012 年 6 月豪雨-和社溪堰塞湖

2012 年 6 月 8 日起逐漸受到南海地區的西南氣流影響，10 日及 11 日起南部與中部山區陸續發生超大豪雨事件，北部地區除西南氣流影響外，因鋒面逐漸接近，雨勢也逐漸加大。12 日受到強烈西南氣流與鋒面南移雙重影響，全台皆有超大豪雨事件發生。當日臺北站降雨量達 277.5 毫米，創下該站設站以來 6 月份單日降雨第 1 名的紀錄，總計這三天的鋒面與西南氣流事件，為中南部山區帶來將近 1500 毫米、占全年約 1/2 之雨量(圖 4-68)(國家災害防救中心，2012)。

20120610-0000to20120613-0000



單位：毫米

資料來源：國家災害防救中心(2012)

圖 4-68 2012 年 6 月 10 日至 6 月 12 日累積雨量圖

0610 豪雨事件導致全臺重大災情，包含 7 死 1 失蹤 14 傷，有 95 處道路受損，188 間學校受災，災損金額約達 5,868 萬餘元。全臺除了基隆市、宜蘭縣、花蓮縣、新竹市、彰化縣、嘉義市、以及臺東縣

等 7 個縣市無撤離措施外，其餘縣市到 6 月 16 日下午 5 時總計共撤離了 8,659 人，本次豪雨造成的農業損失高達 5 億(國家災害防救中心，2012)。

和社溪堰塞湖在 12 日上午接獲形成通報，和社溪堰塞湖位於南投縣同富村，天然壩長約 200 公尺，壩高約 9 公尺，壩體體積約 40 萬立方公尺，蓄水量約 18 萬立方公尺。



圖 4-69 和社溪堰塞湖影像

(一)堰塞湖處置時間軸

2012年6月12日上午接獲志工通報堰塞湖形成後，水利署第四河川局立即派員進行現場確認並通報相關單位，確認堰塞湖形成後，派遣挖土機進行緊急疏通溢流口寬度及降挖高程，當日中午經初步危險度判定結果有潛在危險，隨時進行人員撤離。12日下午發布新聞稿，晚間通報下游危險潛勢區域範圍，於後持續派遣開口合約搶險人員監控河床與水位變化。6月13日~20日持續派遣挖土機進行河道緊急疏通，6月21日堰塞湖已無潰決疑慮，完成階段性搶險任務。後續處理以疏濬為主，並建立視察通報聯絡窗口、增設監視設施等。

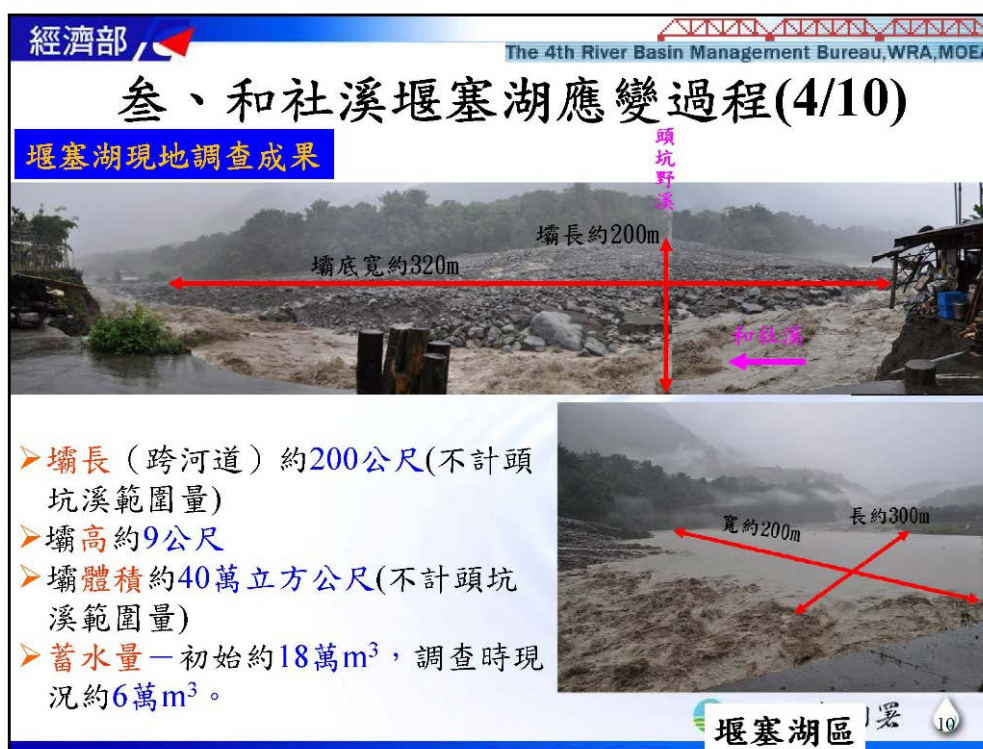


圖 4-70 和社溪堰塞湖處置時間軸

(二) 緊急應變

1. 緊急調查

2012年6月12日上午7時，志工發現疑似堰塞湖形成，通報經濟部水利署第四河川局，立即派遣河段巡防人員及洽和社營林區人員協助前往了解，並同時通報相關單位加強因應及警戒疏散措施，確認堰塞湖形成後，水利署堰塞湖及緊急調查小組隨即邀請水利規劃試驗所等人員於上午11時30分到達現場進行勘查，進行堰塞湖緊急調查作業以及危險度判定(圖4-71、圖4-72)，並於當日下午發布新聞稿說明最新處置狀況。



資料來源：經濟部水利署第四河川局(2015)

圖 4-71 和社溪堰塞湖緊急調查成果

資料來源：經濟部水利署第四河川局(2015)

圖 4-72 和社溪堰塞湖初步危險度評估

2. 溢流道及降挖工程

6 月 12 日確認堰塞湖形成後立即派遣 3 臺挖土機進駐辦理搶險，包含緊急疏通溢流口寬度及降挖，並在下游 200 公尺右岸進行導引水流及吊放消波塊保護邊坡安全，6 月 13 日增派挖土機至 6 部，並於 6 月 18 日泰利颱風來臨前增派挖土機至 8 部，持續進行河道緊急疏通及降挖溢流口高程作業，溢流口從原本的 50 公尺加寬至約 80 公尺，並降挖 4 公尺，水位持續下降至穩定狀態。

3. 疏散避難及監控

6 月 12 日中午通報信義鄉公所及神木村辦公室進行人員撤離。於後持續雇用開口合約搶險人員監控河床與水位變化。

(三)中長期處理對策

1. 疏濬工程及土砂清運

持續辦理河道疏濬及疏通工作，並利用坡腳大塊石保護，並委託南投縣政府辦理 3 年土石運輸計畫。



資料來源：經濟部水利署第四河川局(2015)

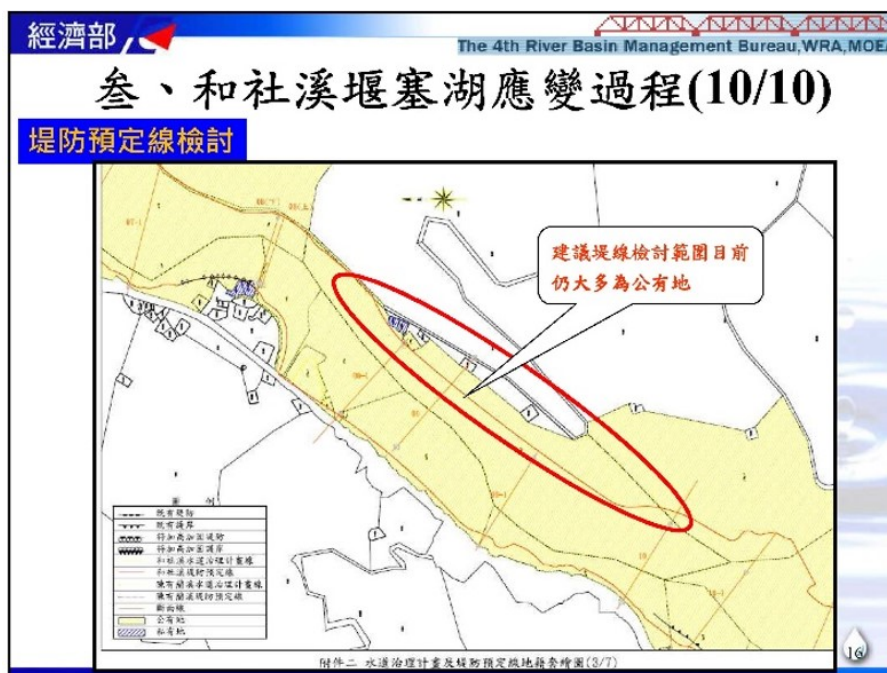
圖 4-73 和社溪堰塞湖設施復健及坡腳保護

2. 監視巡查

建立協助查察與通報聯繫窗口，並增設隆華橋監視設施。

3. 堤防及防洪設施檢討復健

進行堤防預定線檢討、防洪設施復健及新建工程。



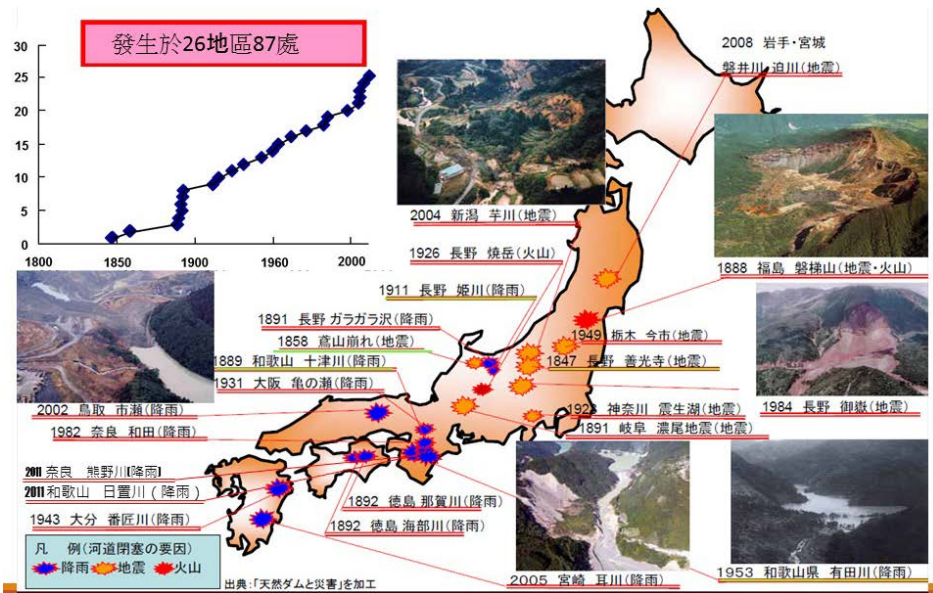
資料來源：經濟部水利署第四河川局(2015)

圖 4-73 和社溪堰塞湖堤防預定線檢討

貳、國外堰塞湖處置案例

堰塞湖的形成在世界各地皆有發生，本冊收錄因崩塌阻塞河道所致之 18 個堰塞湖處置案例，包含 2004 年日本新潟中越地震、2008 年日本岩手宮城地震、2011 年日本 12 號颱風、2008 年中國大陸汶川地震、2012 年印尼崩塌、以及 2016 年紐西蘭地震等 6 個事件，蒐集多國案例以作為未來改善堰塞湖應變處置作為之參考。

日本和臺灣相似，人口稠密且易遭受颱風豪雨侵襲，在過去 200 年內，有 26 個地區發生將近 90 處堰塞湖的紀錄(如圖 5-1)，以全國範圍來說，平均 2~3 年即有堰塞湖產生，有豐富的堰塞湖處理經驗，且處置應變相關紀錄較為完整，因此，本冊中所收錄之案例處置流程較為詳盡，其餘三個堰塞湖以敘述紀錄應變處置過程。



資料來源：大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理に関する検討委員会 (2009)、權田豐 (2016)


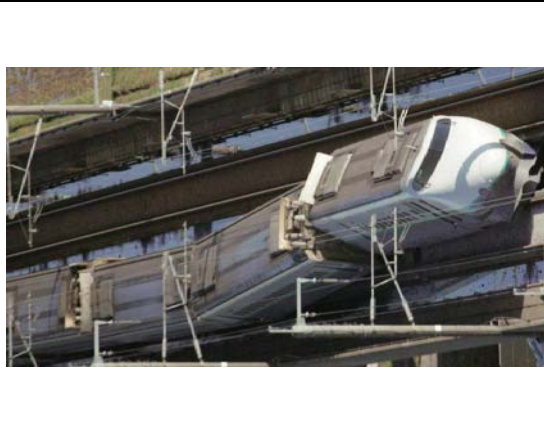




圖 5-1 日本堰塞湖歷史災例

一、日本-2004年新潟中越地震

2004年10月23日，下午5時56分，新潟縣中越地方中心發生芮氏規模6.8的強烈地震，新潟縣的川口町觀測到震度計設置以來最大震度7，小千古市也測得有觀測紀錄以來的最大震度6，在下午6時11分及34分亦再度發生震度6的餘震，日本氣象廳將其命名為「平成16年新潟縣中越地震」，主震和餘震深度從地下5公里到20公里不等，斷層為西北—東南走向，長約12公里，寬10公里，震央附近約有24公分的隆起，並往西南方移動約9公分。

新潟中越地震造成極大的損傷，特別是在震央附近的小千古市、長岡市、川口町、山古志村、十日町市為受災最嚴重的幾個地區，在新潟縣內有超過6,000處的道路受損，阻斷交通造成數十個孤島，造成救援困難。以山古志村為中心進行空中攝影，確認共有3,791的崩塌地形成。新潟縣共有2,827棟住屋全毀，半毀的住屋有1萬2,746棟，部分損壞的住屋高達10萬1,509棟，受害最嚴重的時候約有27萬8,000戶停電，11萬戶斷水，此次地震共造成46人死亡，超過4,000人輕重傷(如圖5-2)。

新潟縣原本就是地滑及土石流多發地區，地震引致的地滑形成多處堰塞湖，在山古志村的芋川流域就產生了5處大規模堰塞湖，其中最大的2處堰塞湖分別位於寺野地區及東竹澤地區(如圖5-3、圖5-4)。

| | |
|---|--|
|  |  |
| 道路中斷 | 新幹線脫軌 |
|  |  |
| 大規模地滑 | 道路陷落 |
|  |  |
| 河川流路改變 | 橋墩剝落 |

資料來源：國土交通省(2004)

圖 5-2 新潟中越地震日本各地受災情形影像紀錄



資料來源：國土交通省(2004)

圖 5-3 新潟中越地震主要土砂災害狀況



資料來源：國土交通省北陸地方整備局等(2004)

圖 5-4 新潟中越地震芋川流域堰塞湖分布圖

(一)堰塞湖處置時間軸

新潟中越地震堰塞湖處置時間軸如圖 5-5。新潟縣中越地震在 2003 年 10 月 23 日下午發生後，新潟縣廳立即成立災害對策本部，國土交通省也宣布進入非常體制，國土交通省北陸地方整備局設置災害對策本部，10 月 24 日開始由國土交通省協助進行直升機現場調查及監測作業，10 月 25 日開始，新潟縣廳砂防課針對芋川上的堰塞湖評估作業，10 月 30 日新潟縣廳向國土交通省請求支援協助監測寺野地區及東竹澤地區堰塞湖。

10 月 31 日新潟縣廳開始進行東竹澤地區臨時排水路工程，並設置水位計監測堰塞湖水位變化，11 月 3 日開始陸續進行寺野地區及東竹澤地區的幫浦排水作業，因新潟縣極力請求，11 月 5 日起由國土交通省接手寺野地區及東竹澤地區堰塞湖應變處置作業。

11 月 5 日國土交通省利用 16 台幫浦進行寺野地區排水作業，著手進行排水路工程，同時完成東竹澤地區之臨時排水路設置。11 月 6 日至 11 月 8 日陸續設置寺野地區地滑監測設備、水位計、以及鋼索檢知器，11 月 9 日利用 6 台幫浦進行東竹澤地區排水作業，11 月 10 日進行東竹澤地區天然壩溢流防止對策工程，並於 11 月 13 日完成。

11 月 18 日變更東竹澤地區幫浦排水地點並將幫浦增至 12 台，同時設置地滑監測設備，11 月 21 日完成寺野地區臨時排水管設置，11 月 29 日東竹澤地區施工道路整備完成，12 月 4 日東竹澤地區天然壩臨時排水管設置完成並開始排水作業，12 月 17

日及12月28日分別完成寺野地區及東竹澤地區融雪對策臨時排水路工程。



資料來源：新潟縣土木砂防課(2005)、國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-5 新潟中越地震堰塞湖處置時間軸

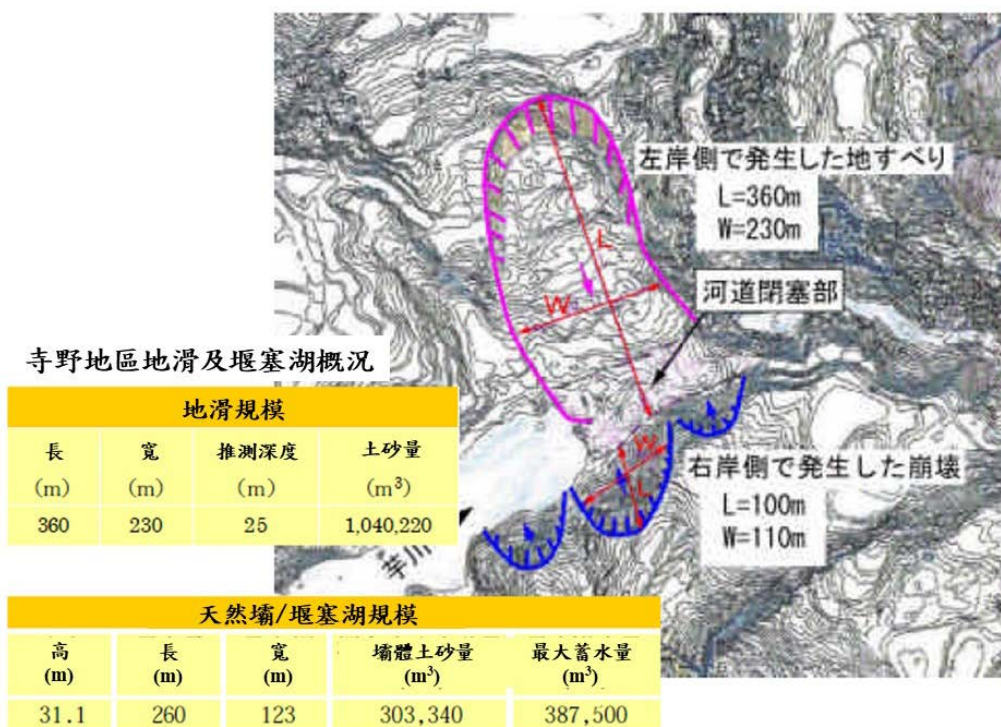
(二) 緊急應變

寺野地區及東竹澤地區的緊急調查包含直升機調查及現場調查作業，分別由國土交通省支援以及新潟縣廳邀集專家學者執行，於調查後進行堰塞湖分析評估，內容包含地形分析、潰壩影響分析、壩體安定性評估、緊急對策規劃等工作。在克服施工道路搶修、脆弱地盤改良、工期遭逢豪雨、有限的施工工期等困難後進行緊急工程作業，堰塞湖緊急應變工作如下所述。

1. 新潟縣寺野地區

寺野地區堰塞湖發生在芋川上游，鄰近地質為泥岩及砂岩互層，芋川右岸坡度陡發生 3 處崩壞，左側坡面較緩產生地滑，地滑運移的土砂堆積在芋川上，形成天然壩，天然壩壩高約 31 公尺、最大長度為 260 公尺、最大寬度為 123 公尺，堆積土砂量約為 30 萬立方公尺，堰塞湖區最大蓄水量為 38 萬 7500 立方公尺(圖 5-6)。

寺野地區堰塞湖緊急應變對策包含建立監測體制、利用幫浦進行緊急排水以及挖掘臨時排水路等項目如圖 5-7，各項措施說明如下。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-6 寺野地區堰塞湖概況



資料來源：國土交通省北陸地方整備局等(2004)

圖 5-7 寺野地區堰塞湖緊急應變對策

(1) 監測設備建置

為了監測寺野地區堰塞湖狀況，國土交通省共設置了 4 種監測設備，設置 1 處監視錄影機利用即時影像監控現地變化、地滑移動監測設備及鋼索檢知器密切注意坡面滑動情形、以及設置 1 支水位計觀測湖區水位變化。

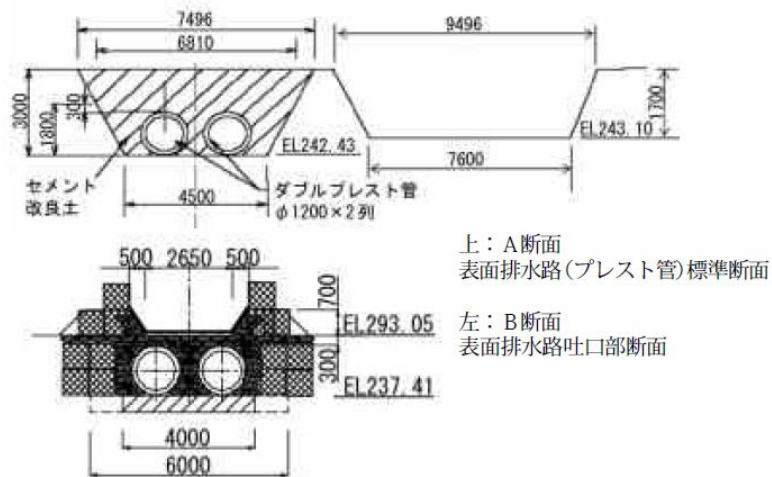
(2) 緊急排水

設置了 16 個每秒 0.033 噸排水能力的排水幫浦 24 小時運作，以降低堰塞湖區水位。

(3) 臨時排水路

為了防止溢流侵蝕，進行臨時排水路(106 公尺)工程，考量地滑坡面安定性，盡可能擴大排水路幅寬，設計標準

為 100 年 1 次之重現期出流量，在臨時排水路整備期間，先行設置臨時排水管進行排水作業，在設置臨時排水路時，出流口的侵蝕是主要的工程挑戰，為強化排水路出流口抗侵蝕能力，利用直升機懸吊大型水泥塊吊掛進行補強作業(圖 5-8、圖 5-9)。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-8 寺野地區臨時排水路設計圖



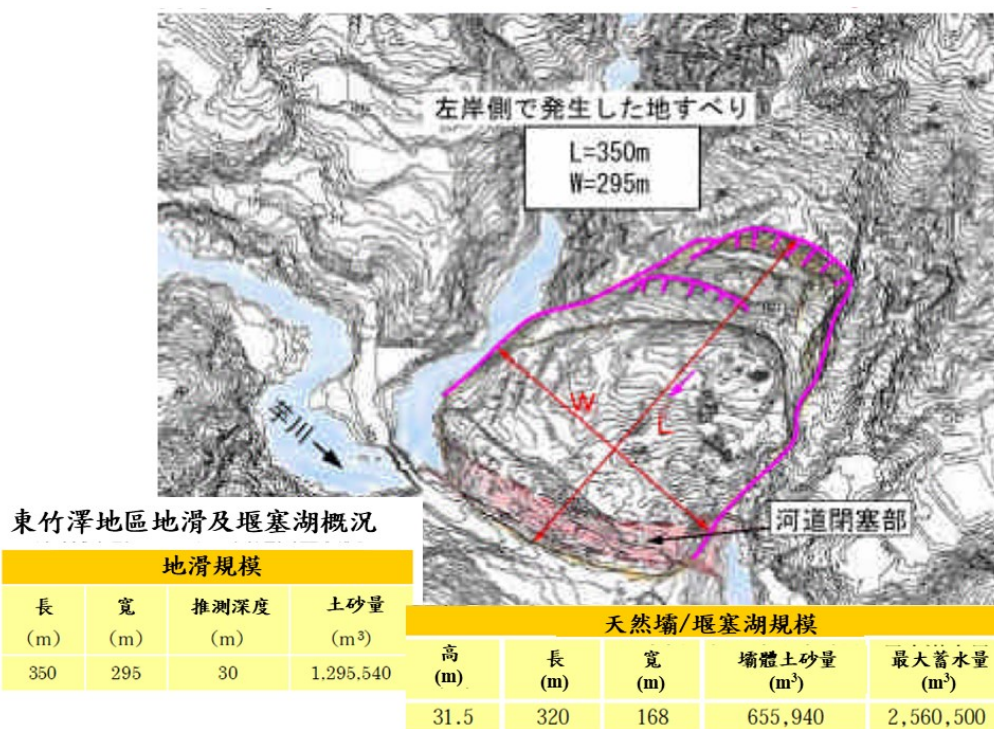
資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-9 寺野地區表面排水路設置狀況

2. 新潟縣東竹澤地區

東竹澤地區堰塞湖是因為芋川河道左岸發生地滑，土砂堆積在芋川上形成天然壩，天然壩壩高約 31 公尺、最大長度為 320 公尺、最大寬度為 168 公尺，堆積土砂量約為 65 萬立方公尺，堰塞湖區最大蓄水量約為 256 萬立方公尺(圖 5-10)。

東竹澤地區堰塞湖緊急應變對策包含建立監測體制、利用幫浦進行緊急排水、天然壩溢流抑止工程、以及挖掘臨時排水路等項目如圖 5-11，各項措施說明如下。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-10 東竹澤地區堰塞湖概況



資料來源：國土交通省北陸地方整備局(2004)

圖 5-11 東竹澤地區堰塞湖緊急應變對策

(1) 監測設備建置

東竹澤地區堰塞湖的監測設備和寺野地區類似，分別設置了監視錄影機(3 處)、地滑監測設備、水位計、鋼索檢知器等 4 種設備進行堰塞湖及地滑坡面監控(圖 5-11)。

(2) 緊急排水

為了減少堰塞湖水位降低潰壩風險，從 11 月 9 日起利用 6 台每秒 0.5 噸排水能力的大型排水幫浦進行作業，從 11 月 18 日起增至 12 台，24 小時持續作業(圖 5-12)，然而因為水位持續上升，幫浦排水出流口受到大幅度侵蝕，11 月 18 日移動幫浦排水位置。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-12 東竹澤地區幫浦排水紀錄

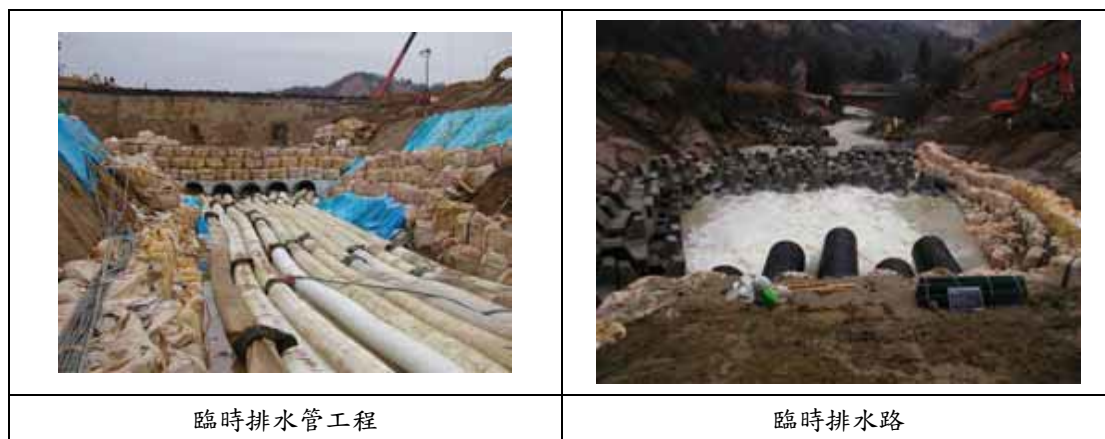
(3)天然壩溢流抑止工程

為了防止溢流破壞天然壩穩定性引致潰壩，11月13日完成天然壩抑止工程，利用帆布及土砂重壓天然壩頂穩定天然壩，同時降低溢流水直接沖蝕破壞天然壩。

(4)臨時排水管及臨時排水路

進行臨時排水路工程前，為了降低堰塞湖水位，在天然壩體中設置5支直徑1公尺的排水管，從12月4日開始進行排水作業，並結合幫浦排水，將幫浦排水的水管穿越臨時排水管中，加速排水速度(圖5-13)。

為因應雪融時增加的上游入流量對堰塞湖可能造成之衝擊，進行臨時排水路工程，考慮上游入流口及地滑穩定性等因素，設計標準為100年1次之重現期出流量(圖5-13)。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-13 東竹澤地區臨時排水管及臨時排水路設置狀況

(三) 中長期處理對策

緊急應變工程以穩定天然壩及降低堰塞湖水位為主，經過緊急應變作業後，進行中長期處理對策評估及施作，進一步降低堰塞湖災害風險，寺野地區及東竹澤地區堰塞湖的中長期處理對策分述如下。

1. 寺野地區

(1) 基礎地盤改良工程及防砂壩工程

寺野地區共建造了 3 個防砂壩，在建造防砂壩工程之前先進行基礎地盤改良，確保防砂壩穩定性。寺野地區防砂 1 號壩位於下游側，以混凝土製作，壩高 10 公尺，長 39 公尺；2 號壩及 3 號分別位於中游及上游側，以鋼材填充岩屑製成，2 號壩高 8 公尺，長 67 公尺，3 號壩高 14.5 公尺，長 104 公尺(圖 5-14)。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2007)

圖 5-14 寺野地區防砂壩工程

(2)地滑坡面穩定工程

寺野地區防砂壩建造過程中同時考慮抑止地下水流通，避免造成地滑坡坡趾不穩，此外，利用現地漂流木於地滑坡面上以格狀的方式排列固定，復育坡面植生達到穩定效果(圖 5-15)。



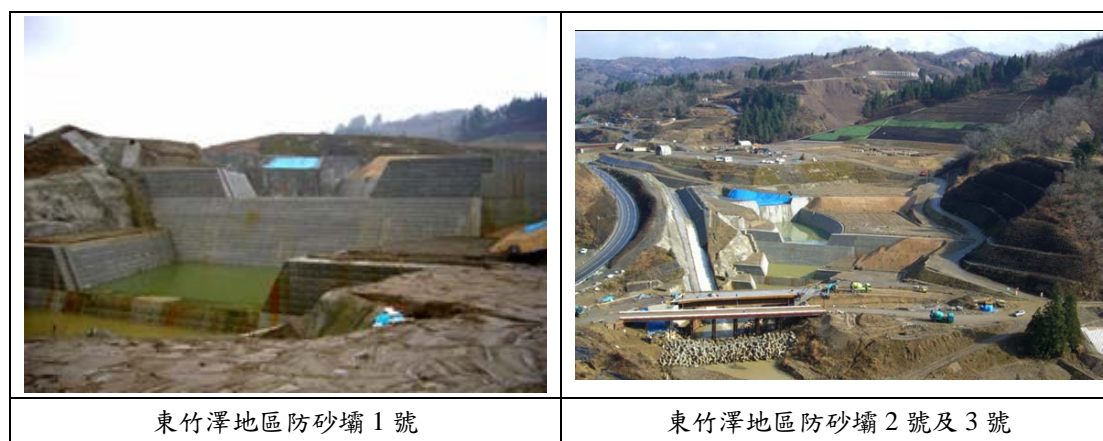
資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2007)

圖 5-15 寺野地區地滑坡面穩定工程

2. 東竹澤地區

(1)基礎地盤改良工程及防砂壩工程

東竹澤地區共建造了 2 個防砂壩，2 號防砂壩因地質不穩，於防砂壩工程前先行進行基礎地盤改良工程。東竹澤地區防砂 1 號壩位於下游側，以混凝土製作，壩高 14.5 公尺，長 106 公尺；2 號壩位於上游側，壩高 11.5 公尺，長 112 公尺（圖 5-16）。

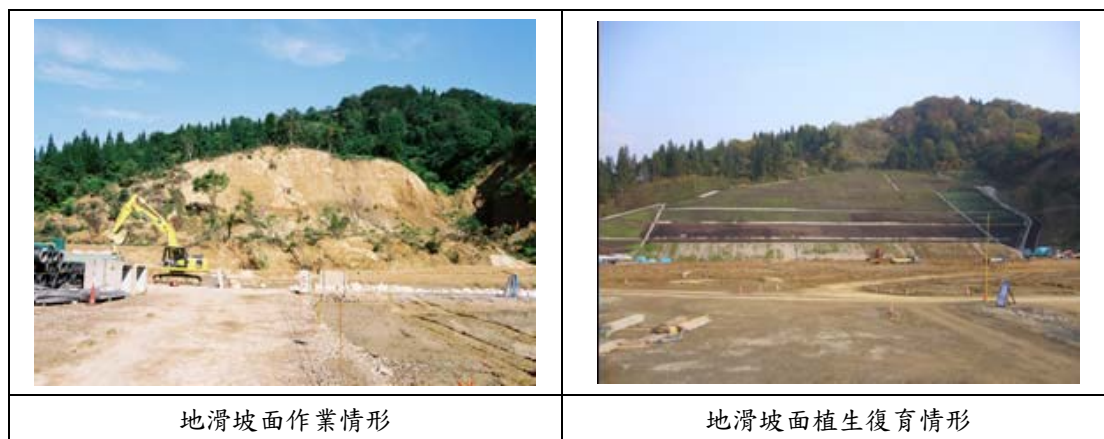


資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2007)

圖 5-16 東竹澤地區防砂壩工程

(2)地滑坡面穩定工程

東竹澤地區地滑坡面穩定工程首先全面移除坡面不安定土砂後，撒下植物種子利用坡面植生穩定地滑面(圖 5-17)。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2007)

圖 5-17 東竹澤地區地滑坡面穩定工程

二、日本-2008 年岩手宮城內陸地震

2008 年 6 月 14 日，上午 8 時 43 分，岩手內陸南部發生芮氏規模 7.2 的強烈地震，地震深度大約 8 公里，岩手縣奧州市和宮城縣栗原市最大震度 6 強，宮崎縣大崎市最大震度 6 弱，岩手縣北上市、一關市、宮城縣仙台市、名取市、登米市、秋田縣湯布市等地震度皆達 5 強，日本氣象廳將其命名為「平成 20 年(2008 年)岩手·宮城內陸地震」，地下斷層長約 30 公里，寬約 10 公里，為一西北西-東南東的逆斷層。

岩手宮城地震在岩手縣和宮城縣造成極大的損失，本次事件共造成 17 人死亡、6 人失蹤、426 人輕重傷，30 棟住屋全毀，半毀地住屋 146 棟，部分損壞的住屋達 2,521 棟。岩手縣、宮城縣、秋田縣三個縣市加起來的土木設施受損及農林水產產業損失皆高達 700 億日幣。在山間多處發生土砂災害，特別是在斷層西側上盤側的區域，因為劇

烈的搖晃發生地地滑或崩塌的地方約有 3,500 處，造成多處道路中斷聚落形成孤島(如圖 5-18)。

地滑跟坡面破壞造成大量土砂淤積河道，在宮城縣及岩手縣共形成了 15 個堰塞湖(如圖 5-19)，其中，因規模較大由中央政府(國土交通省)進行處置的共有 8 個地區 9 個堰塞湖，分別是宮城縣淺布地區、小川原地區、溫湯地區、沼倉地區(含沼倉及沼倉裏澤)、湯之倉溫泉地區、湯浜地區、岩手縣市野野原地區、以及產女川地區。



資料來源：[內閣府](#)、國際砂防協會(2017)

圖 5-18 岩手宮城內陸地震各地受災情形影像紀錄

堰塞湖之發生狀況(河道閉鎖)



資料來源：國際砂防協會(2017)

圖 5-19 岩手宮城地震堰塞湖分布圖

(一)堰塞湖處置時間軸

岩手宮城地震堰塞湖處置時間軸如圖 5-20。岩手宮城地震在 2008 年 6 月 14 日上午發生後，國土交通省隨即派遣直升機進行現地調查，栗原市成立災害對策本部，國土交通省東北地方整備局也設置非常災害對策本部；6 月 16 日國土交通省接受岩手縣及宮城縣知事請求，接手負責大型堰塞湖處置作業，採取「直轄砂防災害關聯緊急事業」；6 月 17 日岩手縣市野野原地區、宮城縣淺布地區、及宮城縣小川原地區開始進行臨時排水路等工程。

6 月 21 日岩手縣產女川地區、宮城縣湯湯地區、宮城縣沼倉地區由國土交通省接手處置，岩手縣市野野原地區臨時排水路開

始通水；6月24日宮城縣湯之倉溫泉由國土交通省接手；6月25日宮城縣淺布地區臨時排水路開始通水，岩手縣產女川開始臨時排水路工程。

6月26日宮城縣小川原地區臨時排水路開始通水；6月27日宮城縣溫湯地區及宮城縣湯之倉溫泉地區開始進行削掘及流路工等工程；7月1日宮城縣沼倉地區開始進行緊急工程；7月9日宮城縣湯浜地區由國土交通省接手處置作業。

◆實施短期間之對策



資料來源：國際砂防協會(2017)

圖 5-20 岩手宮城地震堰塞湖處置時間軸

(二)緊急應變

宮城縣及岩手縣共 8 個堰塞湖的緊急調查包含直升機調查及現場調查作業，由國土交通省邀集專家學者執行，於調查後進行堰塞湖分析評估，各堰塞湖緊急應變工作如下所述。

1. 宮城縣淺布地區

宮城縣淺布地區堰塞湖因坡面崩塌阻塞迫川而形成，天然壩最大長度約為 220 公尺、最大寬度約為 220 公尺，崩落土砂量約為 30 萬立方公尺，災時堰塞湖區最大蓄水量約為 1 萬立方公尺(圖 5-21)。緊急處置作為如下所述。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-21 淺布地區堰塞湖影像

(1) 緊急排水

在臨時排水路完工之前，設置抽水幫浦協助降低堰塞湖水位。

(2) 臨時排水路

為了降低堰塞湖湖區水位，規劃建設長 200 公尺寬 10 公尺的臨時排水路，於 2008 年 6 月 19 開始施工，6 月 25 日完工開始通水(如圖 5-22)。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-22 淺布地區臨時排水路設置狀況

2. 宮城縣小川原地區

宮城縣小川原地區堰塞湖因坡面崩塌阻塞迫川而形成，天然壩最大長度約為 520 公尺、最大寬度約為 200 公尺，崩落土砂量約為 49 萬立方公尺，災時堰塞湖區最大蓄水量約為 2.7 萬立方公尺(圖 5-23)。緊急處置作為如下所述。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

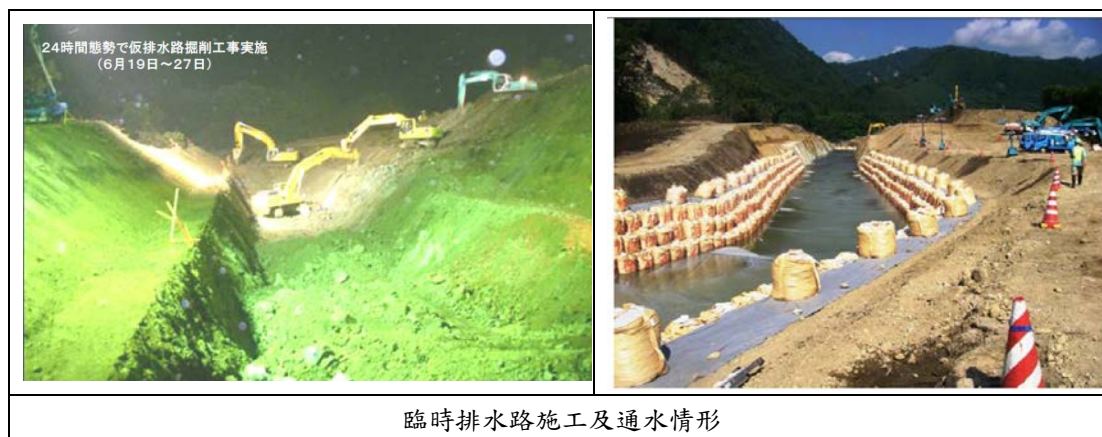
圖 5-23 小川原地區堰塞湖影像

(1) 緊急排水

在臨時排水路完工之前，設置抽水幫浦協助降低堰塞湖水位。

(2) 臨時排水路

為了降低堰塞湖湖區水位，規劃建設長 470 公尺寬 10 公尺的臨時排水路，並於排水路建設期間同時進行流木處理及鄰近道路工程，於 2008 年 6 月 19 開始施工，6 月 27 日完工開始通水(如圖 5-24)。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-24 小川原地區臨時排水路設置狀況

3. 宮城縣溫湯地區

宮城縣溫湯地區河道阻塞因迫川上游形成多個崩塌，崩落土砂堆積在河道造成河道堆積，天然壩最大長度約為 580 公尺、最大寬度約為 80 公尺，崩落土砂量約為 74 萬立方公尺(圖 5-25)。緊急處置作為如下所述。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-25 溫湯地區堰塞湖影像

(1)除石削掘工及防砂壩清淤

溫湯地區因為上游多個崩塌，堰塞湖處置方式為河道除石及削掘工確保流路暢通及防砂壩清淤，應對未來上來可能發生的土石流。工程從 6 月 21 日開始至 9 月 26 日完工，總清除土方量為 2 萬立方公尺(如圖 5-26)。10 月 24 日發生降雨，上游的湯之倉溫泉地區堰塞湖發生大規模土砂沖刷，再度淤積在溫湯地區的防砂壩中，為確保壩體容量再度進行清淤工程。

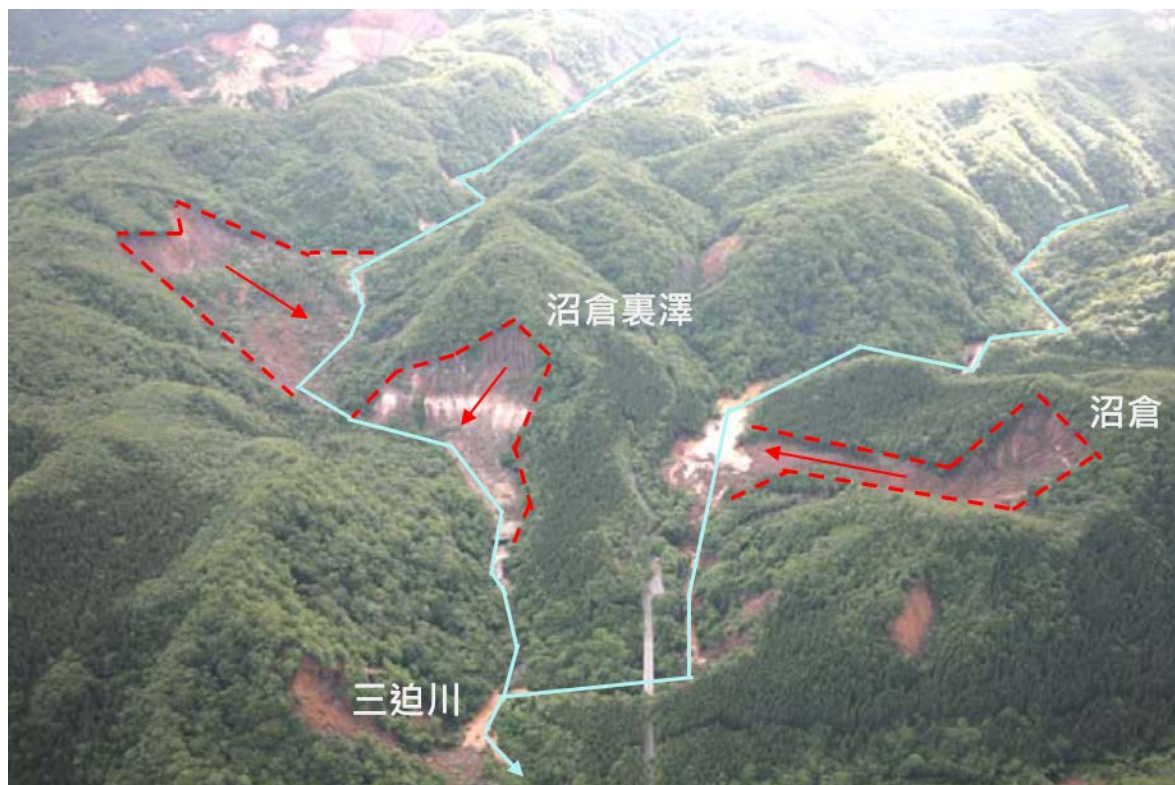


資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-26 溫湯地區河道除石削掘施工情形

4. 宮城縣沼倉地區 (含沼倉及沼倉裏澤)

三迫川上游形成了兩個堰塞湖，分別是沼倉地區堰塞湖和沼倉裏澤堰塞湖，沼倉地區堰塞湖天然壩最大長度約為 300 公尺、最大寬度約為 120 公尺，崩落土砂量約為 27 萬立方公尺。沼倉裏澤地區堰塞湖天然壩最大長度約為 560 公尺、最大寬度約為 160 公尺，崩落土砂量約為 119 萬立方公尺(如圖 5-27)，緊急處置作為如下所述。



資料來源：修改自國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-27 沼倉地區堰塞湖影像

(1)河道削掘及排水路

為了避免未來再度發生降雨造成崩塌區土石流出，危及堰塞湖下游安全性，進行河道削掘工程，確保河道流路暢通，沼倉裏澤地區堰塞湖從 2008 年 7 月 9 日施工，於 8 月 30 日完工，完工之排水路長度 185 公尺，寬度 10 公尺；沼倉地區從 2008 年 7 月 25 日著手進行，於 9 月 10 日完工，河道削掘長度 120 公尺，寬 10 公尺。

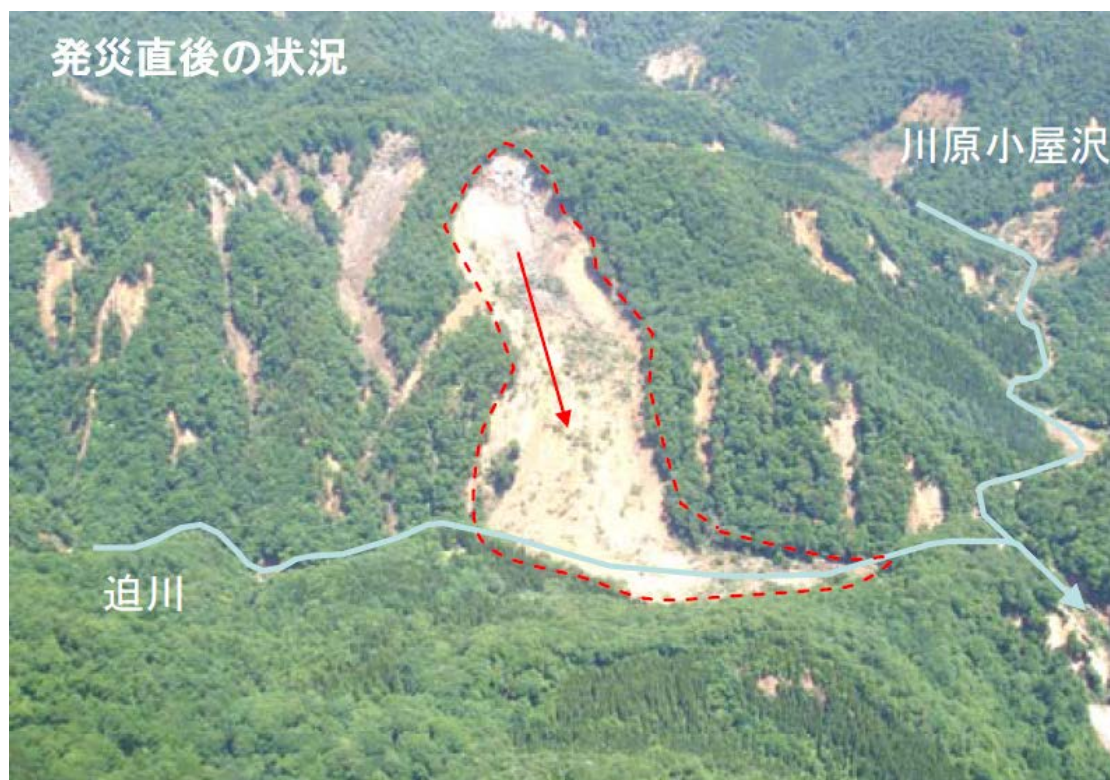


資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-28 沼倉地區河道削掘施工情形

5. 宮城縣湯之倉溫泉地區

宮城縣湯之倉溫泉地區堰塞湖天然壩最大長度約為 660 公尺、最大寬度約為 90 公尺，崩落土砂量約為 81 萬立方公尺，災時堰塞湖區最大蓄水量約為 46.2 萬立方公尺(圖 5-29)。緊急處置作為如下所述。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-29 湯之倉地區堰塞湖影像

(1) 緊急排水

在臨時排水路完工之前，設置抽水幫浦協助降低堰塞湖水位(如圖 5-30)，於 2008 年 7 月 5 日開始進行緊急排水工程。

(2) 臨時排水路

在堰塞湖區並無重機具可以通行搬運的道路，因此利用直升機搬運小型重機具進入現地進行組裝(如圖 5-30)，開始著手進行臨時排水路施工。

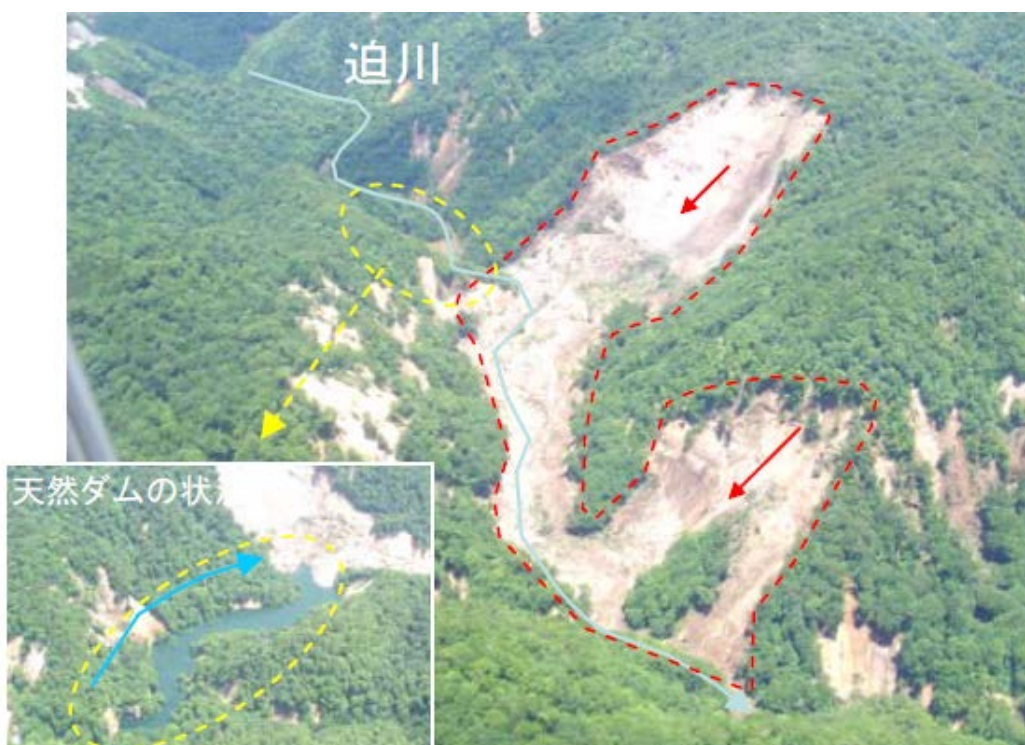


資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-30 湯之倉溫泉地區堰塞湖緊急施工作業情形

6. 宮城縣湯浜地區

宮城縣湯浜地區堰塞湖天然壩最大長度約為 1,000 公尺、最大寬度約為 200 公尺，崩落土砂量約為 216 萬立方公尺，災時堰塞湖區最大蓄水量約為 78 萬立方公尺(圖 5-31)。緊急處置作為如下所述。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-31 湯浜地區堰塞湖影像

(1) 施工用道路建設

排水路施工是湯浜地區堰塞湖主要的應變對策，但是因天然壩所在地無可供重機具進入的道路，險峻的地形和地質條件讓施工用道路的選擇及建設相當費時，直到2009年4月完工後，才開始正式進行河道整治工程。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-32 湯浜地區施工用道路建設情形

7. 岩手縣市野野原地區

岩手縣市野野原地區堰塞湖因坡面多個崩塌阻塞磐井川而形成，天然壩最大長度約為 700 公尺、最大寬度約為 200 公尺，崩落土砂量約為 173 萬立方公尺 (圖 5-33)。緊急處置作為如下所述。



資料來源：國土交通省東北地方整備局岩手河川國道事務所(2010)

圖 5-33 市野野原地區堰塞湖影像

(1) 臨時排水路

在進行河道削掘的同時，利用臨時排水路加速排出堰塞湖湖區水位(如圖 5-34)。

(2)河道削掘工程

在利用臨時排水路排水的同時，持續進行河道削掘工程，確保河川流路，挖掘完成後的河道如圖 5-34。

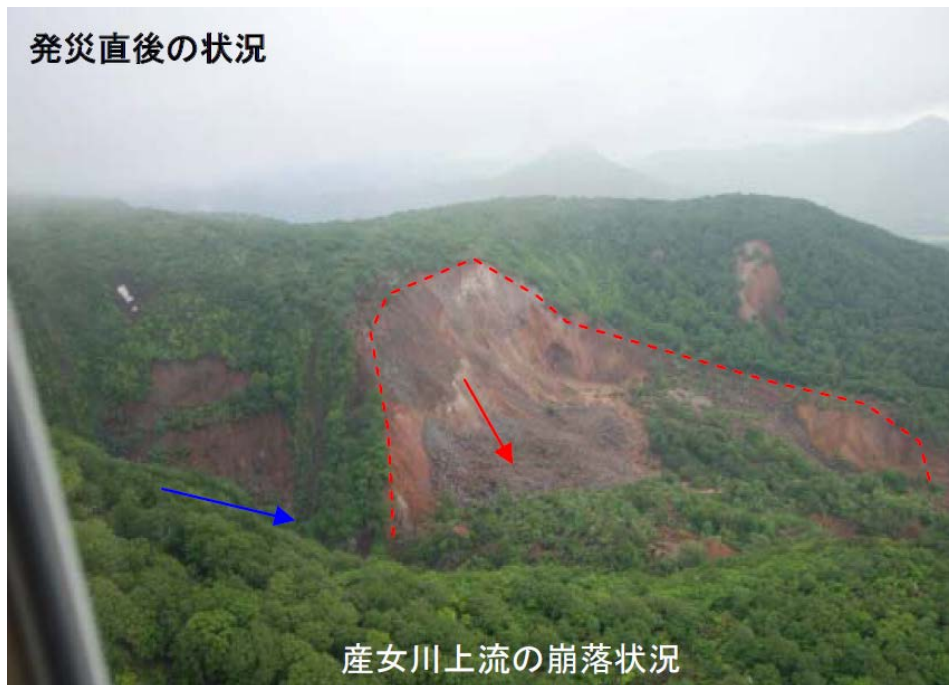


資料來源：國土交通省東北地方整備局岩手河川國道事務所(2010)

圖 5-34 市野野原地區河道削掘及臨時排水路工程

8. 岩手縣產女川地區

岩手縣產女川地區堰塞湖因坡面崩塌阻塞產女川而形成，天然壩最大長度約為 260 公尺、最大寬度約為 200 公尺，崩落土砂量約為 1260 萬立方公尺（圖 5-35）。緊急處置作為如下所述。



資料來源：國土交通省東北地方整備局岩手河川國道事務所(2010)

圖 5-35 產女川地區堰塞湖上游崩塌影像

(1) 河道削掘工程

在天然壩區利用無人化機械進行河道削掘及除石工程，確保河道流路通水（如圖 5-36）。

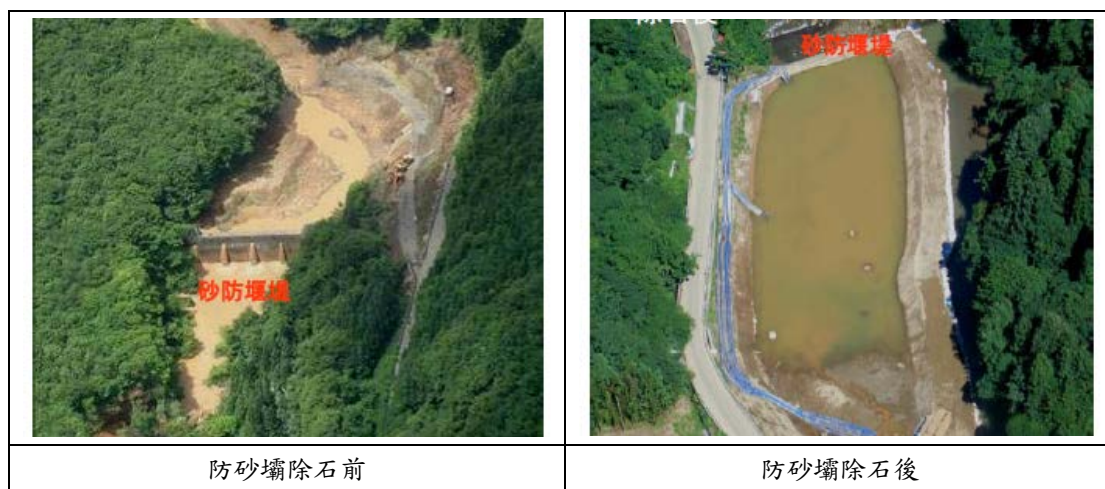


資料來源：國土交通省東北地方整備局岩手河川國道事務所(2010)

圖 5-36 產女川地區河道削掘及除石施工作業情形

(2) 下游防砂壩清淤

針對產女川下游既有防砂壩進行清淤工程，確保防砂壩容量以應對未來降雨時上游崩塌土砂變成土石流危及下游(如圖 5-37)。



資料來源：國土交通省東北地方整備局岩手河川國道事務所(2010)

圖 5-37 產女川地區防砂壩清淤工程

(三) 中長期處理對策

岩手宮城地震形成的堰塞湖緊急應變工程以臨時排水路及河道削掘降低堰塞湖水位為主，經過緊急應變作業後，進行中長

期處理對策評估及施作，進一步降低堰塞湖災害風險，各堰塞湖的中長期處理多以河道整治為主要對策詳述如下。

1. 宮城縣淺布地區

(1)河道整治工程

宮城縣淺布地區河道整治工程從 2009 年 2 月 18 日動工，至 2010 年 3 月 10 日完工，共完成一組帶工及一組固床工，以及護岸工程(如圖 5-38)。

(2)坡面穩定工程

除了河道整治工程外，亦進行崩塌坡面穩定工程，降低崩塌坡面土體崩落再次阻塞河道(如圖 5-38)。



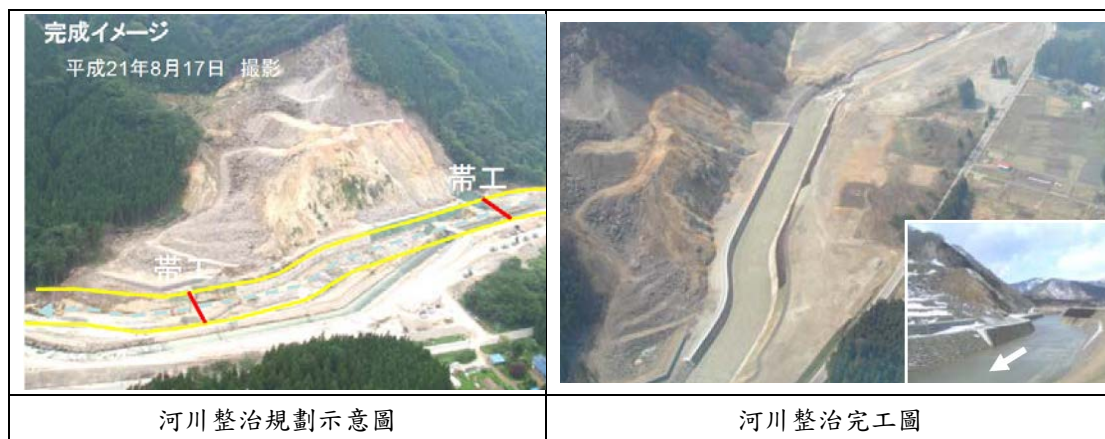
資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-38 淺布地區中長期工程

2. 宮城縣小川原地區

(1)河道整治工程

宮城縣小川原地區河道整治工程從 2009 年 2 月 6 日動工，至 2010 年 3 月 10 日完工，共完成兩組帶工以及護岸工程(如圖 5-39)。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-39 小川原地區中長期工程

3. 宮城縣溫湯地區

宮城縣溫湯地區在緊急工程應變後並無進行中長期處置。

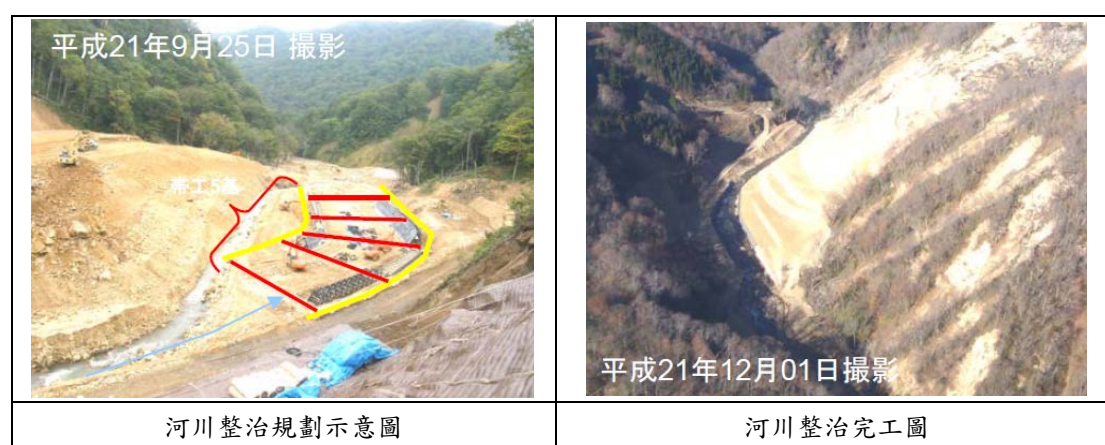
4. 宮城縣沼倉地區(含沼倉及沼倉裏澤)

沼倉裏澤地區在排水路完工後並無進一步進行中長期處置，沼倉地區於2009年3月26日開始進行河道整治工程，並於2010年2月19日完工。

5. 宮城縣湯之倉溫泉地區

(1)河道整治工程

宮城縣湯之倉溫泉地區河道整治工程從2008年8月4日動工，至2009年11月30日完工，共完成五組帶工以及護岸工程(如圖5-40)。



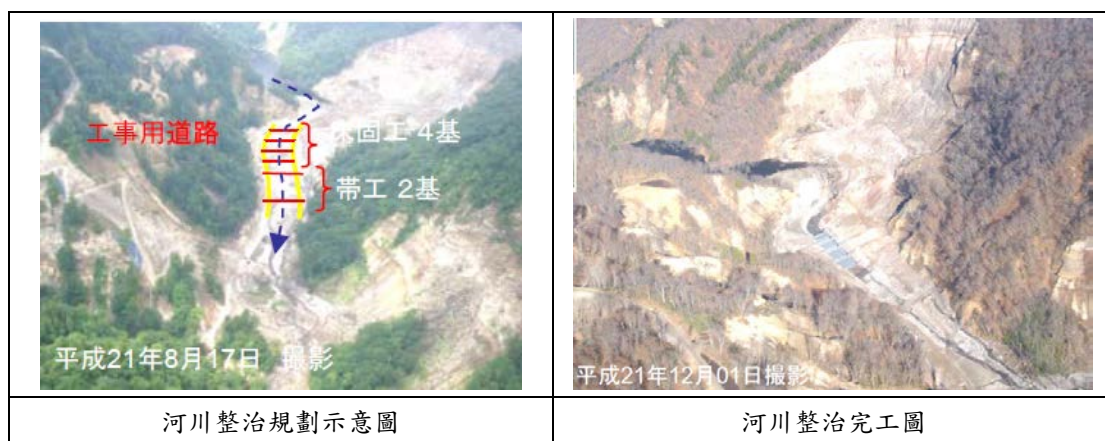
資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-40 湯之倉溫泉地區中長期工程

6. 宮城縣湯浜地區

(1)河道整治工程

宮城縣湯浜地區河道整治工程從 2009 年 4 月 13 日動工，至 2009 年 12 月 15 日完工，共完成四組固床工、兩組帶工以及護岸工程(如圖 5-41)。



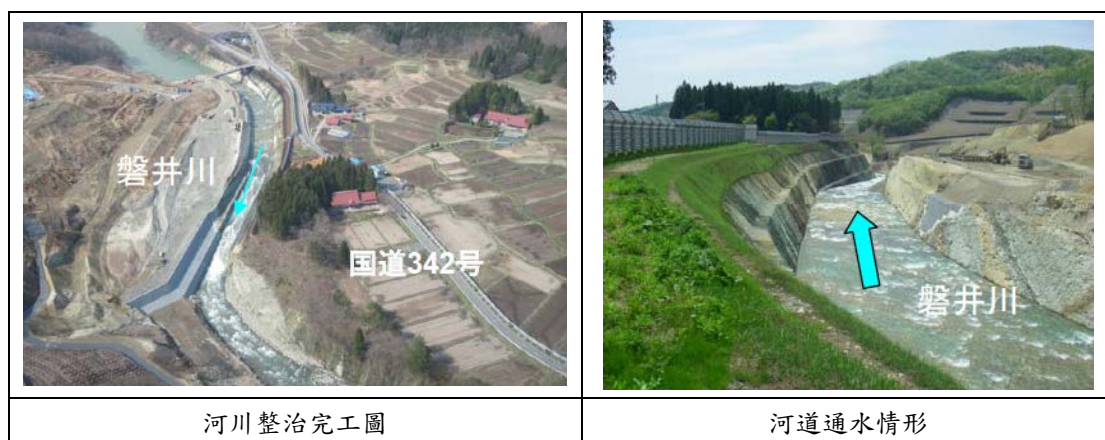
資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-41 湯浜地區中長期工程

7. 岩手縣市野野原地區

(1)河道整治工程

岩手縣市野野原地區河道整治工程從 2009 年 1 月 30 日動工，至 2010 年 3 月 25 日完工，復原舊有河道通洪斷面及增加護岸 (如圖 5-42)。



資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-42 市野野原地區中長期工程

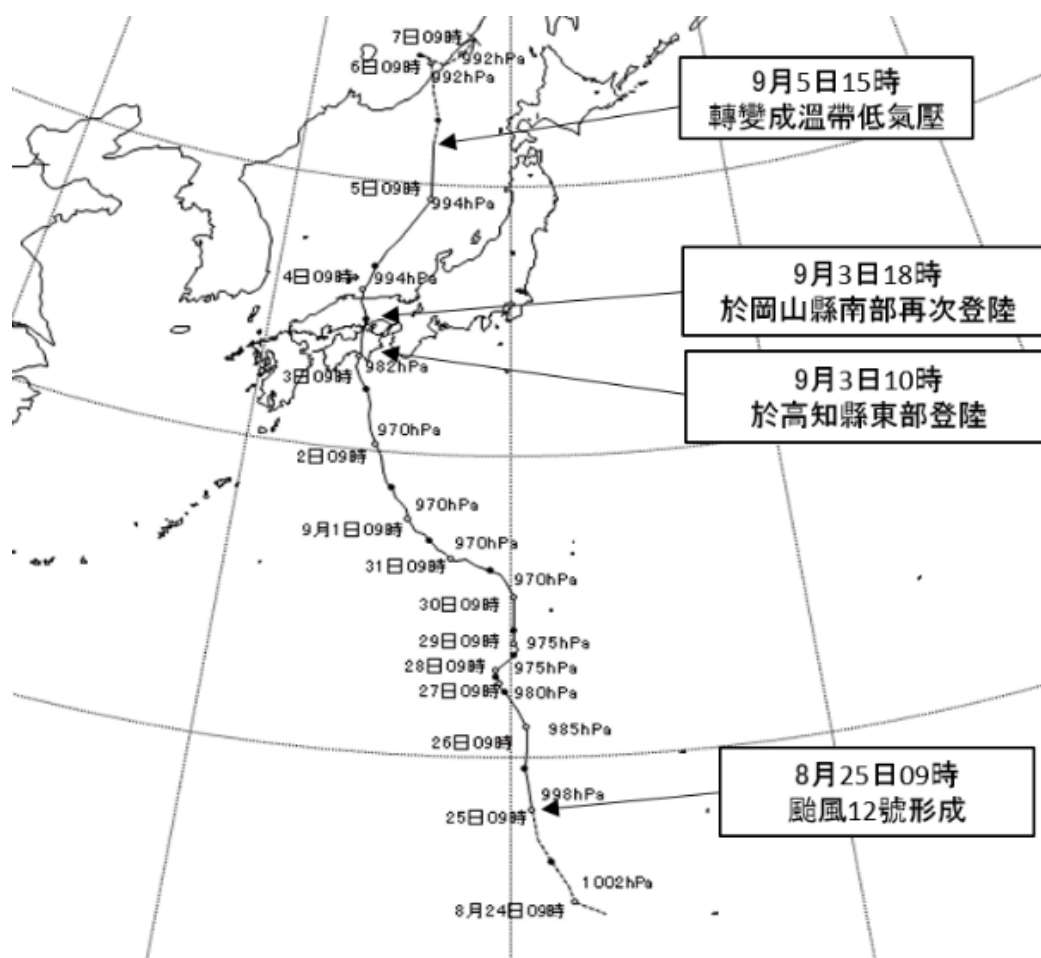
8. 岩手縣產女川地區

岩手縣產女川地區在緊急工程應變後並無進行中長期處置。

三、日本-2011 年 12 號颱風(紀伊半島)

8 月 25 日 9 時馬里亞納群島西方海面上生成第 12 號颱風，30 日在小笠原群島附近發展成強烈颱風，9 月 2 日逐漸向四國逼近，3 日 10 點左右從高知縣東部登陸，4 日出海後在隔日於日本海中部轉換成溫帶低氣壓(如圖 5-43)。因為是大型颱風移動速度緩慢，颱風外圍環流持續影響西日本，從 8 月 30 日 17 時開始到 9 月 5 日 24 時在紀伊半島附近下了超過 1000 毫米，佔了年平均降雨量的六成，奈良縣上北山村上北山總降雨量達 1814.5 毫米，72 小時內降雨即達 1652.5 毫米，是日本自 1976 年開始進行降雨觀測以來之最高紀錄，部分區域總降雨量甚至超過 2000 毫米，加上颱風在太平洋上造成強風，平均風速達 20 公尺，波高超過 6 公尺，日本氣象廳發布各種防災氣象情報並且呼籲各單位警戒。

本次颱風造成土砂災害、淹水、河川氾濫等災害，埼玉縣、三重縣、兵庫縣、奈良縣、和歌山縣、廣島縣、德島縣、香川縣、愛媛縣等地紛紛傳出災情，共計 82 名死亡 16 名失蹤；從北海道到四國發生廣域的住家淹水、農田浸水造成農林水產業的損失、鐵路停駛造成交通運輸中斷等災情(如圖 5-44、圖 5-45)，此外，和歌山縣及奈良縣因為豪雨造成山崩形成了 17 堰塞湖(如圖 5-46)，各地皆設置警戒區域禁止民眾進入並保持高度警戒。



資料來源：日本氣象廳(2011)

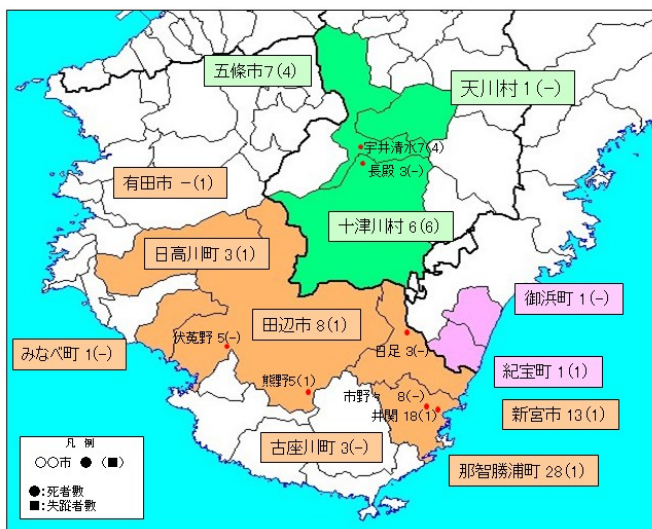
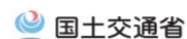
圖 5-43 2011 年颱風 12 號侵襲日本路徑圖



資料來源：日本氣象廳(2011)

圖 5-44 日本各地受災情形影像紀錄

2011年颱風12號 人員受災・住宅受災之狀況



| 都道府縣名 | 死者 人 | 失踪者 人 | 受傷者 | |
|-------|---------|----------|---------|---------|
| | | | 重傷 人 | 輕傷 人 |
| 三重縣 | 2 | 1 | 7 | 10 |
| 奈良縣 | 14 | 10 | 5 | 1 |
| 和歌山縣 | 56 | 5 | 5 | 3 |
| 三縣合計 | 72 | 16 | 17 | 14 |
| 其他 | 10 | 0 | 15 | 67 |
| 全國總計 | 82 | 16 | 32 | 81 |

| 都道府縣名 | 全額 | | 半額 | | 部分破損 | | 地上浸水 棟 | 地下浸水 棟 |
|-------|-----|-------|-----|-------|--------|---|-----------|-----------|
| | 棟 | 棟 | 棟 | 棟 | 棟 | 棟 | | |
| 三重縣 | 81 | 1,077 | 71 | 702 | 832 | | | |
| 奈良縣 | 48 | 71 | 17 | 14 | 58 | | | |
| 和歌山縣 | 240 | 1,755 | 83 | 2,898 | 3,145 | | | |
| 三縣合計 | 369 | 2,903 | 171 | 3,414 | 4,017 | | | |
| 其他 | 10 | 288 | 299 | 2,088 | 12,877 | | | |
| 全國總計 | 379 | 3,191 | 470 | 5,502 | 16,894 | | | |

消防廳第20報(2012年9月28日18時現在)為基準近畿地方整備局製作



新宮市日足地區淹
水之情況

資料來源：国土交通省(2015)

圖 5-45 日本各地受災情形

因2011年颱風12號發生河道閉鎖處



資料來源：国土交通省(2017)

圖 5-46 紀伊半島 17 處堰塞湖分布圖

(一)堰塞湖處置時間軸

在經歷岩手宮城內陸地震以及新潟縣中越地震形成多數堰塞湖災害後，地方政府持續請求中央支援進行技術支援，造成中央與地方政府權責不明，2010年11月修正土砂災害防止法，2011年5月實施，堰塞湖及火山噴發伴隨之土石流等大規模災害等受災範圍廣大且需要高度技術的災害應對，由國家負責進行處置，以堰塞湖規模為例，天然壩高超過20公尺以上，保全戶超過10戶以上的狀況由國土交通省進行處置。

在紀伊半島形成的17個堰塞湖裡有5個符合由國土交通省進行處置標準，包含奈良縣野迫川北股、奈良縣五條市大塔町赤谷、和歌山縣田邊市熊野、奈良縣十津川村長殿、以及奈良縣十津川栗平(圖5-47)。

日本氣象廳從8月30日開始持續針對颱風資訊進行更新，各地氣象台也和全日本28個都道府縣之砂防部(局)合作，針對土砂災害風險高的地方發布警戒資訊，包含大雨、洪水、暴風、波浪、高潮等氣象警報，特別是在奈良縣、和歌山縣、三重縣等地持續發布「破紀錄豪大雨」、「最高警戒」、「土砂災害風險極高」等高度警戒資訊。

近畿災害對策本部從9月2日開始進入警戒狀態，派遣災害對策現地資訊聯絡員進駐相關政府單位，9月4日發生大規模土砂災害，近畿災害對策本部進入特別時期，地方政府申請派遣全日本(近畿整備局、其他地區地方整備局、國土技術政策總合研究所以及土木研究所等單位)之緊急災害對策派遣隊(TEC-

FORCE)，利用直升機進行受災狀況調查，並對地方政府進行技術支援、行政支援、以及協助災害控制等，9月6日已確認在奈良熊野川流域有3處、和歌山縣日置川流域1處屬於大型堰塞湖，9月8日針對可能發生土石流以及其他相關重要土砂災害地區(奈良縣及和歌山縣)發布緊急災害情報，由相關地方政府協助進行緊急避難對應支援，同時持續設置投入型水位觀測浮標、鋼索感知器、雨量計、傾斜崩塌感知器等計測工具，對4處堰塞湖持續進行調查。

9月12日再次發布4個大型堰塞湖的土砂災害緊急情報，提供精度更高的各項調查分析結果，9月13日在調查奈良縣熊野川流域時，發現1處新的大型堰塞湖，開始進行緊急調查，9月15日發布最新1處大型堰塞湖的土砂災害緊急情報，從災害發生後12日(9月16日)開始，陸續進行各處堰塞湖之緊急工程對策(圖5-47)。



資料來源：國土交通省(2016)

圖 5-47 紀伊半島堰塞湖處置時間軸

(二) 緊急應變

為了在第一時間掌握堰塞湖狀況，國土交通省在9月5日凌晨利用德國的高解析度 TerraSAR-X 衛星影像，以奈良縣十津川村為中心進行判釋，下午啟用直升機調查長殿地區的堰塞湖，但是因為多雲狀況無法獲得確切資訊，於晚間再度利用衛星影像進行判釋確認，判釋了包含長殿、赤谷、栗平以及其他8處疑似堰塞湖的地點，於9月6日利用直升機前往各地進行調查確認，利用雷射測距儀以及GPS等機具，確認天然壩位置以及進行相關量測，由國土交通省進行處置應變的5個大型堰塞湖概況如圖5-48。

河道閉鎖各處之概況

国土交通省

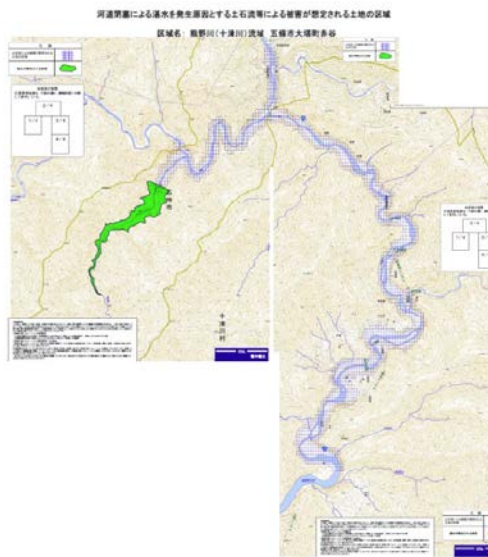


資料來源：國土交通省(2015)

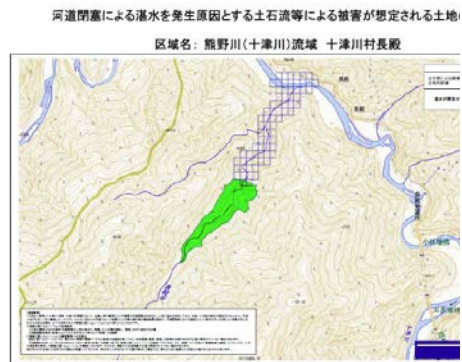
圖 5-48 5 處大型堰塞湖概況

完成初步緊急調查後，需要確實將土砂災害情報傳遞給地方政府以及一般民眾，包含現地調查的結果、天然壩形狀、天然壩

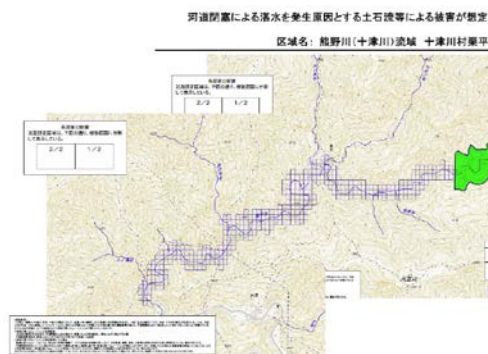
水位、天然壩上游雨量觀測資訊、緊急工程實施狀況、以及其他災害等資訊，作為後續進行疏散必要的重要根據，由地方整備局利用 email 以及傳真等方式直接通知各級地方政府，並利用記者會、網路、簡訊、廣播、報紙等多樣化的途徑將資訊傳達給一般民眾。9 月 8 日國土交通省近畿地方整備局於依據直升機調查以及數值模擬結果，發布土砂災害緊急情報，包含赤谷、長殿、栗平以及熊野等地區的重大土砂災害影響範圍推測(如圖 5-49)，土砂災害情報需要依據調查處置成果持續更新，以確保相關單位及人員可以隨時得知最新資訊。



赤谷地區



長殿地區



栗平地區



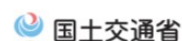
熊野地區

資料來源：國土交通省國土技術政策總合研究所、獨立行政法人土木研究所(2013)

圖 5-49 土砂災害影響範圍推測情報(2011 年 9 月 8 日發布)

根據緊急調查結果，國土交通省也分別在 5 個堰塞湖區域設置各種緊急監測設備，以進行堰塞湖區周邊雨量監測、上游入流量監測、湖區水位監測、天然壩下游流量監測、以及崩塌地監測等(如圖 5-50)。

構築堰塞湖之監視體制、徹底進行災害應對



· 直升機監視、監視攝影機、水位計、雨量計、坡面崩塌感知器、警示燈·警笛之設置或與氣象台合作藉由雨量預測等、構築強而有力之監視體制

監視體制之構築

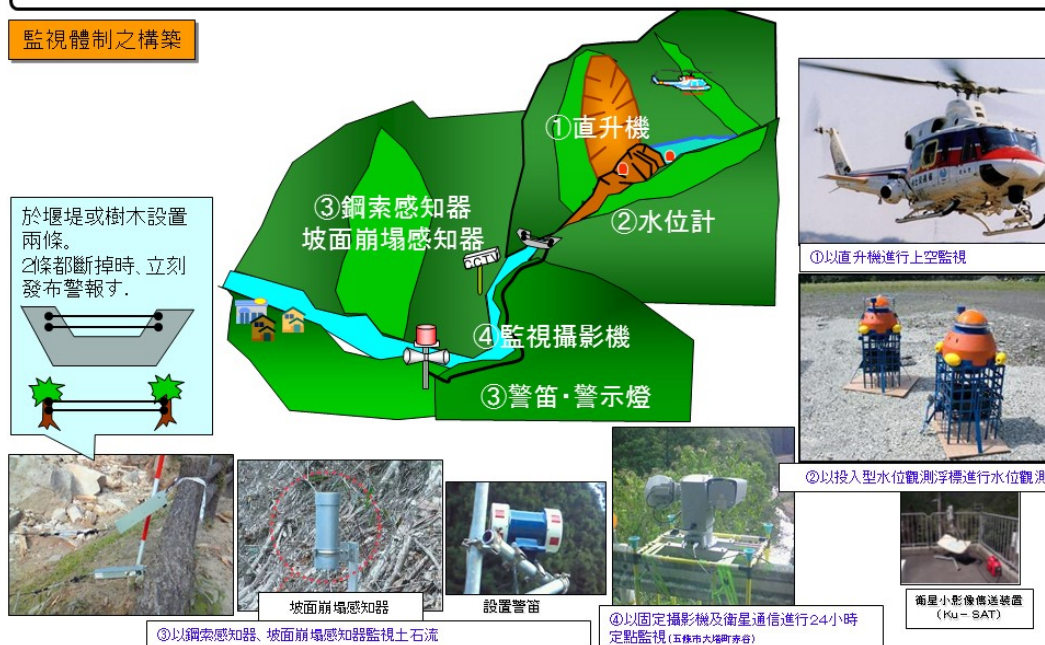


圖 5-50 紀伊半島堰塞湖區監測體制建構

以赤谷地區的監測為利進一步說明堰塞湖監測體制配置(如圖 5-51)，現地的監測設備包含雨量計(監測堰塞湖區周邊降雨情形)、3 個水位計(分別於湖區、上游側、以及下游測各設置 1 個，以進行上游入流量監測、湖區水位監測、以及天然壩下游流量監測)、2 個投入型水位觀測浮標(於 9 月 8 日投入 1 號機，後來因為

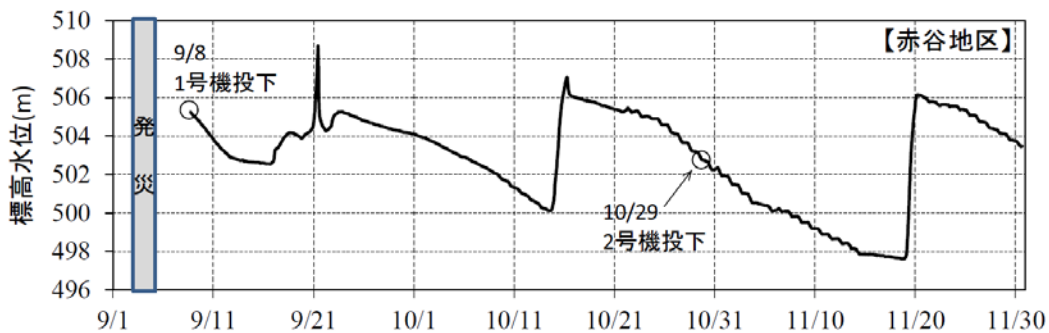
緊急工程需求在湖區另一處投入 2 號機協助進行堰塞湖湖區水位
 監測，降雨、溢流、排水等因素造成之水位變動可從圖 5-52 中獲
 知)、傾斜崩塌感知器(監測崩塌坡面狀況)、鋼索檢知器以及震動
 感知器(監測是否有土石流或崩塌等)、以及臨時攝影機。

觀測機器關係配置圖(赤谷地區)



資料來源：国土交通省(2015)

圖 5-51 赤谷地區觀監測機計配置圖



資料來源：国土交通省国土技術政策総合研究所、獨立行政法人土木研究所(2013)




圖 5-52 赤谷地區投入型水位觀測浮標水位觀測結果

與此同時，依據現地狀況進行緊急工程規劃及執行，緊急應變期間之緊急工程對策主要包含建設施工用道路(以利相關工程資材機具運輸)、幫浦抽水、建設臨時排水路(以可承受兩年一度重現期之出水流量設置以及使用容易取得之材料)、天然壩降挖、天然壩下游穩定工程、以及崩塌地土砂抑制工程等；堰塞湖湖區較大的赤谷、長殿、以及栗平地區，緊急工程以設置排水路為主，力求在溢流狀況下仍能安全排水，堰塞湖區較小的熊野及北股地區，則利用幫浦排水、降低壩體、挖掘隧道、堰塞湖湖區掩埋等方式，去除堰塞湖區之儲水。以下將進一步說明 5 個大型堰塞湖的緊急工程處置狀況。

1. 奈良縣五條市大塔町赤谷

(1)建設施工用道路

赤谷地區原先設定在崩塌對向建造施工用道路，因為崩塌坡面不穩定，因此在遠離崩塌坡面較遠的地方建設便橋以及施工用道路，盡量降低崩塌坡面土砂流出對道路的影響。同時為了避免因為土砂流出河床持續變動造成施工用道路流失，持續在河床上進行土砂清淤工作(如圖 5-53)。

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>於崩塌對側設置施工用道路</p> | <p>便橋</p> |
|  |  |
| <p>土砂流出流路變動</p> | <p>清淤工程</p> |

資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-53 赤谷地區施工用道路建設紀錄

(2) 緊急排水

赤谷地區因為堰塞湖區上游入流量大，為了抑制水位上升而採用幫浦排水，但是因為幫浦排水能量有限，對抑制堰塞湖區水位上升的效用有限，主要是在施工用道路尚未建設完全，臨時排水路尚未設置之前之緊急之用(如圖 5-54)。

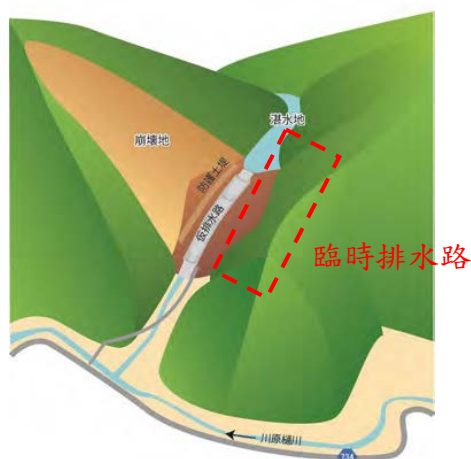


資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-54 赤谷地區幫浦排水紀錄

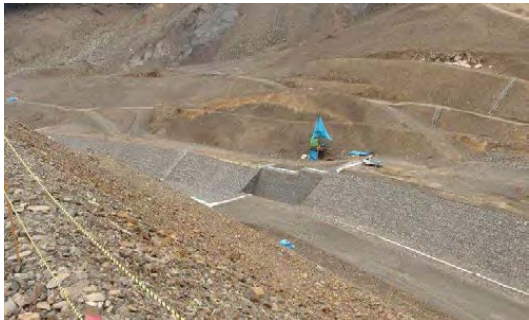



(3)臨時排水路

為了防止溢流侵蝕，赤谷地區因土砂流出量高，於臨時排水路下方另外設置暗渠排水管，確保排水路功能喪失時，還能抑制湖區水位上漲，在建造排水路的同時也會建造防護土堤避免崩塌土砂流入(如圖 5-55)。



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-55 赤谷地區臨時排水路設置圖

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>臨時排水路設置情形</p> | <p>臨時排水路設置情形</p> |
|  |  |
| <p>臨時排水路遭土砂掩埋</p> | <p>暗渠排水管設置情形</p> |
|  |  |
| <p>暗渠排水管入口補強</p> | <p>暗渠排水管排水情形</p> |

資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-56 赤谷地區臨時排水路設置紀錄

2. 奈良縣十津川村栗平

(1)建設施工用道路

栗平地區的崩塌發生在既有林道終點上方3公里處，原本就沒有既有道路，為了確保施工道路有必要建設新的

道路以利人員機具進入，最初利用直升機將各項資材機材送進去，大型機具則分解後於現地重新進行組裝，除此之外，為了提升作業效率，也利用水陸兩用車及雪地車等多樣的機具進行施工，此外亦盡速釐清土地所有權，避免建設施工道路時遭受阻撓（如圖 5-57）。

除了建設由下游進入堰塞湖鄰近的道路外，栗平地區的天然壩高達 100 公尺，為了能抵達天然壩壩頂，另外於天然壩下游側設置建設施工用道路如圖 5-57。





資料來源：國土交通省(2016)、近畿地方整備局(2017)

圖 5-57 栗平地區施工用道路建設紀錄

(2) 緊急排水

栗平地區因為天然壩及堰塞湖區規模皆大，需要抑制水位上升，在建設臨時排水路之前利用幫浦抽水支援排水工作，進行緊急排水時遭遇的困難及對策如表 5-1，緊急排水紀錄如圖 5-58，在利用幫浦排水的同時，也開始整備建造臨時排水路的防護土堤。

表 5-1 栗平地區緊急排水工程挑戰與對策

| 挑戰 | 對策 |
|---------------------------|-----------------------------|
| 天然壩規模大，排水管線長，排水管堵塞時難以進行清理 | 在排水管吸入口設置柵欄，避免吸入流木等物體造成阻塞 |
| 水位低下時，排水管難以進行抽水作業 | 將管線設置在筏上，自動隨著水位變動無須另外進行調整 |
| 排水管出口流水大量排出易造成侵蝕 | 在排水管出水口利用帆布及砂包避免侵蝕 |
| 坡面陡斜排水管難以固定且易造成管路損壞 | 利用水管建立骨架固定排水管 |
| 地處偏遠，燃料運送困難 | 持續利用直升機傳送燃料，於施工用道路完成後改從陸運送。 |

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>上游入流量情形</p> | <p>幫浦排水情形</p> |
|  |  |
| <p>上游入流量情形</p> | <p>幫浦排水情形</p> |

資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-58 栗平地區幫浦排水紀錄

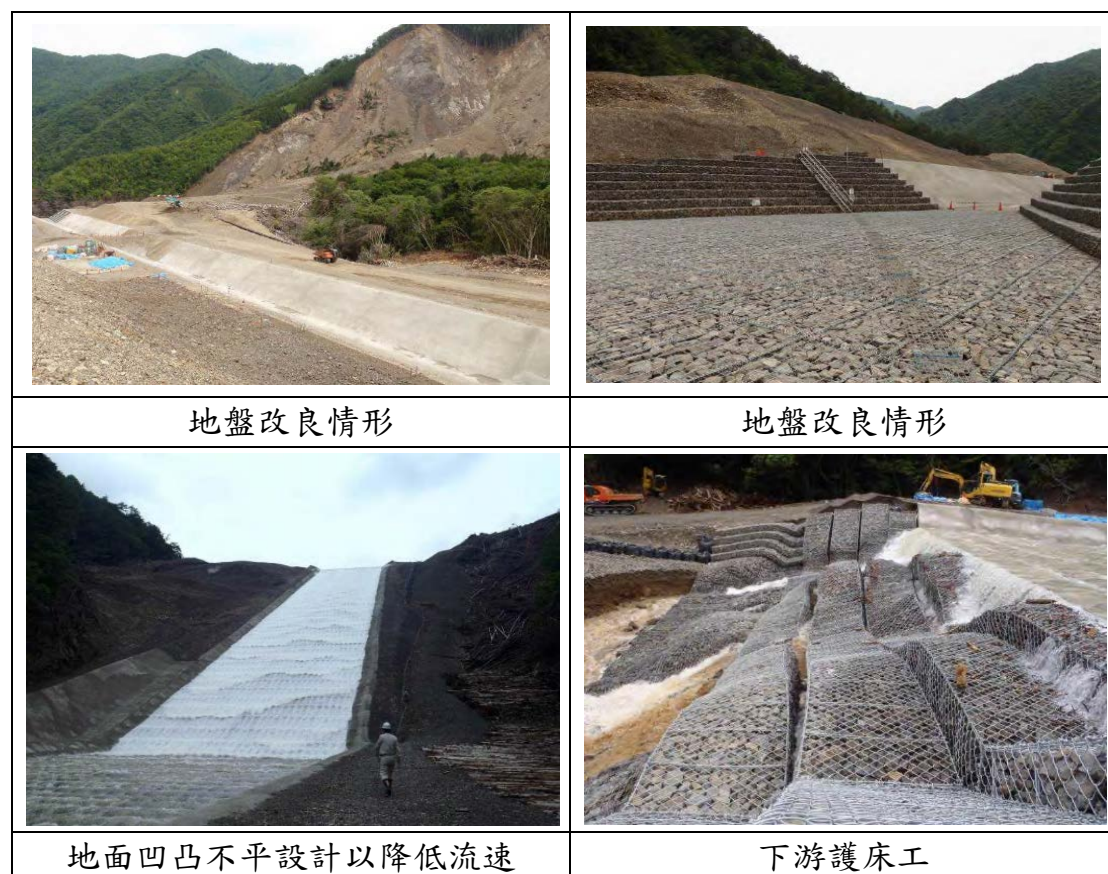
(3)臨時排水路

栗平地區因為天然壩規模大，經判斷後確認臨時排水路即便在壩體正中間也不會影響崩塌地坡腳穩定度而設置(如圖 5-59)，盡可能在施工時減少施作土方量，排水路在設計時需要依據壩體形狀變化調整，舉例來說，坡度過大的地方需要進行填土降低坡度差異、進行地盤改良降低流速、為防止排水路下游處之侵蝕設置護床工等(如圖 5-60)。



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-59 栗平地區臨時排水路設置圖



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-60 栗平地區臨時排水路設置紀錄

3. 奈良縣十津川村長殿

(1)建設施工用道路

長殿地區的崩塌發生在國道 168 號熊野川對岸的溪流，並沒有跨越溪流的既存道路，因此，在渡河道路及便橋完成前，利用流籠跟直升機運送人員機具，施工道路建設會經過私人用地，只能短暫的取得用路同意，在地權遲遲無法變更之下，只能尋找替代方案，在其他的方面設臨時便橋(如圖 5-61)。



資料來源：近畿地方整備局(2017)

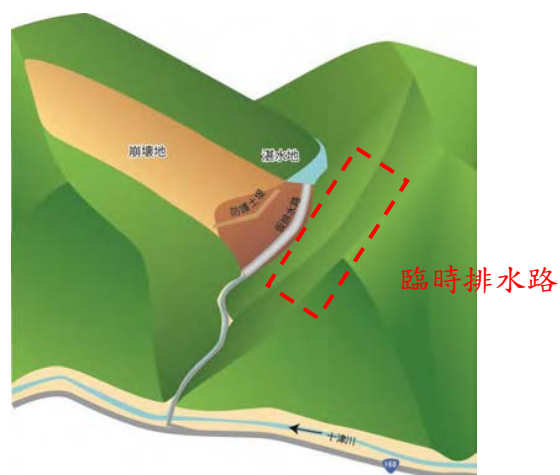
圖 5-61 長殿地區施工用道路建設紀錄

(2) 緊急排水

長殿地區的緊急幫浦排水主要於臨時排水路建造時使用，協助工程進行。

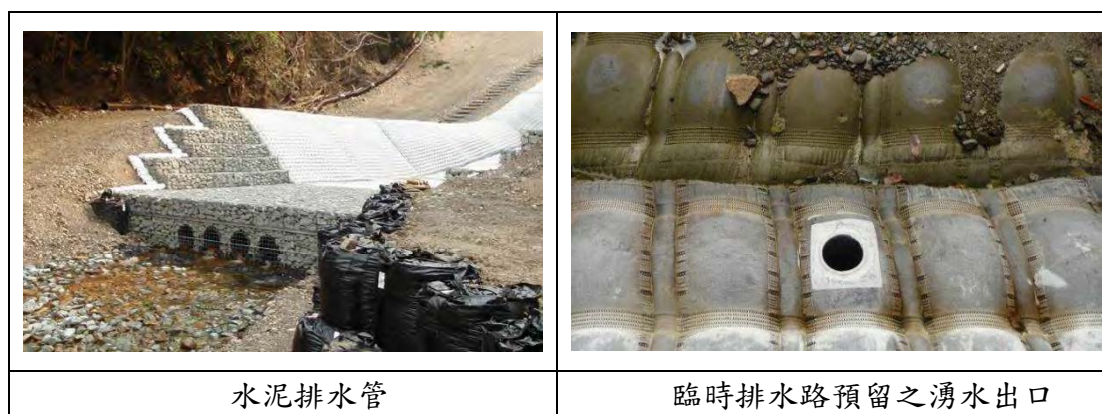
(3) 臨時排水路

長殿地區因為天然壩持續滲流，除了引導湖區水流流出之外，同時也需要確認湧水能夠安全流下，因此在湧水口設置水泥排水管，而後將臨時排水路設置在排水管上方，設想臨時排水路後方可能也會發生滲流而預留一些孔位，此外，持續監測湧水量、湧水位置、濁度、天然壩形狀變化、上游入流量等現地狀況（如圖 5-62）。



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-62 長殿地區臨時排水路設置圖



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-63 長殿地區臨時排水路設置紀錄

4. 奈良縣野迫川北股

(1) 建設施工用道路

北股地區的崩塌位在鄰近北股聚落的土石流潛勢溪流，大量的流木破壞了鄰近的住家以及前往溪流上游的道路，因為聚落周邊道路狹小，人員機具穿越不便，因此在受損住屋附近設置跨越北股穿的臨時便橋，同時委託當地

業者清理道路上的流木確保人員機具可以前往崩塌區，並活用各式種機具適用狹小的道路（如圖 5-64）。

| | |
|--|---|
|  | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 5px;"> ① 進入路設置狀況 </div>  <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 100px; margin-top: 10px;"> 油圧ショベル </div> |
| <p>臨時便橋</p> | <p>施工用路設置情形</p> |
|  |  |
| <p>施工便道</p> | <p>適應狹小施工道路的重機具</p> |

資料來源：近畿地方整備局(2017)

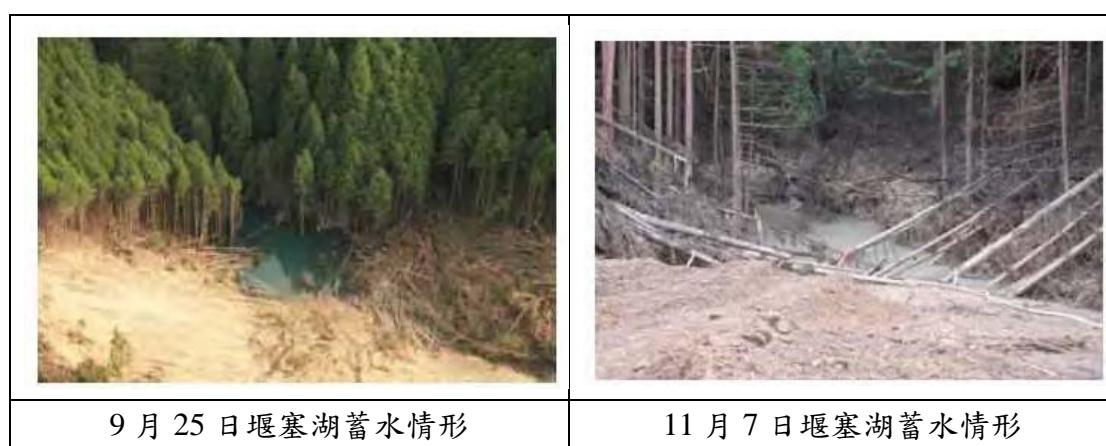
圖 5-64 北股地區施工用道路建設紀錄

(2) 緊急排水

北股地區上游集水區面積僅有 0.3 平方公里，相比於同時期形成的其他大型堰塞湖，上游入流量較少，然而因為堰塞湖區規模較小，一旦入流量增加，堰塞湖區水位容易上升，因此如何利用幫浦排水最大化的去除堰塞湖區水量是重要的應變策略之一。平時上游入流量約為 0.3 立方公尺/分鐘，在堰塞湖區設置排水能力 0.8 立方公尺/分鐘的幫浦可有效去除堰塞湖區蓄水，根據影像紀錄，9 月 25

日時堰塞湖區仍有蓄水，在持續利用幫浦排水後，同年 11 月 7 日時已無蓄水(如圖 5-65)。

高額的發電機燃料費用是使用排水幫浦抽水面臨的主要問題，在北股地區因為鄰近聚落，由關西電力公司調整配電，在堰塞湖區進行通電設備整備，以降低燃料費用支出。

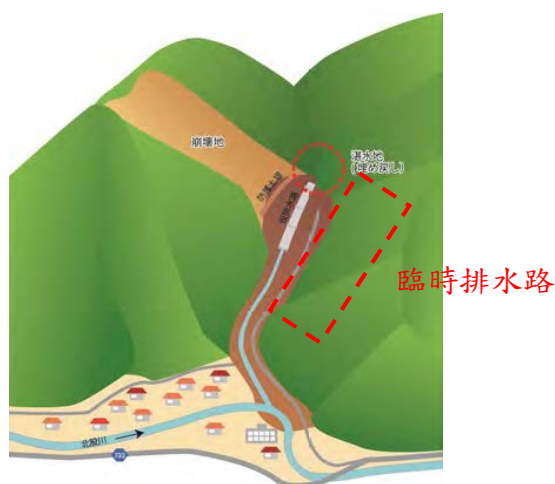


資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-65 北股地區幫浦排水紀錄

(3)臨時排水路

北股地區和赤谷地區類似，都面臨著土砂持續流出的狀況，因此在臨時排水路的設計上也另外增加暗渠排水管，並針對排水管入口進行補強作業，以便在土砂掩埋臨時排水路時能持續進行排水作業(如圖 5-66)，並於臨時排水路完成後建造防護土堤避免崩塌土砂流入損壞排水路。



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-66 北股地區臨時排水路設置圖



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-67 北股地區臨時排水路設置紀錄

(4)天然壩降挖/堰塞湖湖區掩埋

為了降低堰塞湖溢流侵蝕及潰決的危險性，考量北股堰塞湖規模採用降挖及土體回填的方式，在土體回填的一個月內共投入 7,000 立方公尺的土砂，回填目標是希望該處以沼澤的狀態存在，為了讓工程可以在隔日繼續進行，回填的過程會混入混凝土進行土體改良強化地盤。



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-68 北股地區天然壩降挖及堰塞湖湖區掩埋紀錄

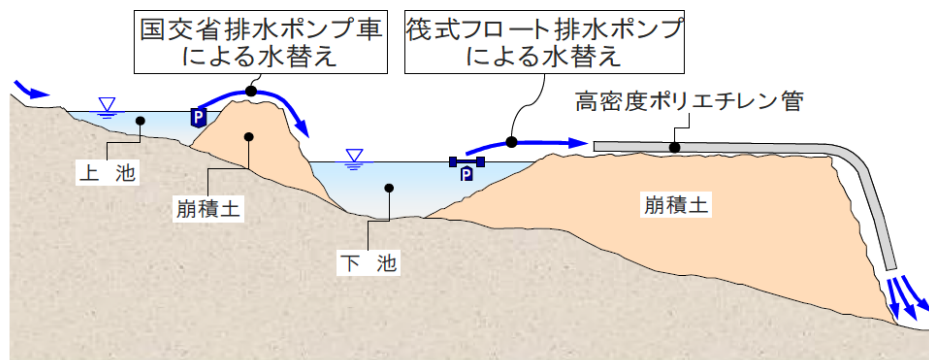
5. 和歌山縣田邊市熊野

(1)建設施工用道路

熊野地區的建設施工用道路在隔天即利用挖土機進行施工用路整備，同時也針對倒塌的樹木進行砍伐跟採集，確保人員機具可以進入。

(2)緊急排水

熊野地區上游入流量較少，深層崩塌後形成 2 個堰塞湖，因此必須設置 2 組排水設備，因為施工用道路整備快速，上游側的堰塞湖區利用國土交通省的幫浦車進行抽水作業，下游側堰塞湖因為車輛通行困難，利用特殊機具設置筏式幫浦，依據 2 個堰塞湖區水位的變化持續進行調整(如圖 5-69、圖 5-70)。除此之外，也於兩個堰塞湖的土體間進行連通工程，解除上游側堰塞湖蓄水。



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-69 熊野地區上下游堰塞湖幫浦排水規劃



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-70 熊野地區幫浦排水紀錄

(3)臨時排水路

熊野地區堰塞湖和北股類似，都是湖區規模比較小的地區，天然壩降挖及堰塞湖湖區掩埋都是緊急應變對策之一，因此在進行臨時排水路規劃時同時要考量未來壩體降挖的位置設置。

(4)天然壩降挖/堰塞湖湖區掩埋

和北股地區堰塞湖湖區掩埋方式相同，以降挖天然壩土體回填堰塞湖區的方式減少溢流潰壩後的風險。

(三)行政體系分工

紀伊半島堰塞湖是在土砂災害防止法修正後首次進行緊急調查，可見中央及地方政府的職責逐漸明確，綜整如下：

1. 中央：国土交通省之應對

(1)受災資訊之蒐集（派遣聯絡員），透過直升機進行受災狀況調查

(2)派遣調度災害應對機具器材

(3)由 TEC-FORCE 進行堰塞湖、河川災害、市町村之災害復建支援

(4)對於堰塞湖相關的市町村進行土砂災害緊急資訊通知

(5)緊急對策工程（降挖、土砂掩埋湖區）之規劃與執行

2. 地區：地方政府之應對

(1)發布避難勸告以及避難指示（收到土砂災害緊急資訊後進行判斷）

(2)劃定警戒區域

(3)協助避難居民一時返鄉(家)

3. 跨單位：各級政府之合作

(1)開設堰塞湖共同對策會議

(2)記者發表會

4. 公私部門協力：民間單位合作協定

(1)緊急復建工程

國土交通省各地方整備局在災害發生的半年內，調派人手及機具協助進行各項災後應變，自 9 月 2 日進行警戒至災後共派遣 1,317 人/日災害對策現地資訊聯絡員至 13 個地方政府(如表 5-2)，9 月 4 日大規模土砂災害發生後，共派遣 TEC-FORCE 成員 4,517 人/日(如表 5-3)。全日本共有 8 架專門進行災害應變的直升機，紀伊半島災後共派遣 7 架協助受災狀況調查以及堰塞湖監控等，共執行 149 次任務(如表 5-4)，其他包括照明車、排水幫浦車、以及衛星通信車(Ku-SAT)總出動次數高達 4,807 次，協助進行夜間緊急復健作業、淹水處排水支援作業、確保通訊及受災狀況即時回傳作業等(如表 5-5)。

表 5-2 災害對策現地資訊聯絡員派遣情形

單位：人/日

| 支援處所 | | 近畿整備局 | 其他整備局 | 合計 |
|-------------|-----------------------|--------------|-----------|--------------|
| 奈良縣 | | 924 | 0 | 924 |
| | 縣政府 | 207 | | 207 |
| | 五條市、十津川村、野迫川村 (兼任) | 15 | | 15 |
| | 五條市公所 | 231 | | 231 |
| | 野迫川村辦公處 | 179 | | 179 |
| | 天川村辦公處 | 2 | | 2 |
| | 十津川村辦公處 | 283 | | 283 |
| | 川上村辦公處 | 7 | | 7 |
| 和歌山縣 | | 345 | 63 | 408 |
| | 縣政府 | 129 | 13 | 142 |
| | 田邊市公所 | 107 | | 107 |
| | 那智勝浦町辦公處 | 103 | 50 | 153 |
| | 新宮市公所 | 6 | | 3 |
| 三重縣 | | 39 | 0 | 39 |
| | 縣政府 | | | |
| | 紀寶町辦公處 | | | |
| | 名張市公所 | | | |
| 總計 | 13 個地方政府 | 1,308 | 63 | 1,371 |

(截至 2011 年 12 月 28 日)

資料來源：國土交通省(2015)

表 5-3 各地整備局 TEC-FORCE 成員派遣情形

單位：人/日

| 支援處所 | 近畿整備局 | 其他整備局 | 合計 |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 奈良縣 | 1,318 | 908 | 2,226 |
| 和歌山縣 | 264 | 1,448 | 1,712 |
| 高度支援等 | | 579 | 579 |
| 總計 | 1,582 | 2,935 | 4,517 |

(截至 2011 年 12 月 28 日)

資料來源：國土交通省(2015)

表 5-4 派遣直升機飛行統計

單位：機/日

| 飛行目的 | 出動台數 |
|---------------|------------|
| 奈良縣調查 | 28 |
| 和歌山縣調查 | 7 |
| 廣域調查 | 3 |
| 天然壩定點監測 | 89 |
| 其他 | 22 |
| 合計出動台數 | 149 |

(截至 2012 年 1 月 5 日)

資料來源：國土交通省(2015)

表 5-5 各地整備局 TEC-FORCE 成員派遣情形

單位：台/日

| 災害對策應變機具 | 地方整備局 | 合計 |
|----------|----------------------|--------------|
| 排水幫浦車 | 近畿、東北、關東、北陸、中國、四國、九州 | 1,067 |
| 照明車 | 近畿、北陸、中國 | 1,779 |
| 應變中心車 | 近畿 | 13 |
| 衛星通信車 | 近畿、北陸、中國、四國、九州 | 82 |
| Ku-SAT | 近畿、北陸、四國 | 1,209 |
| 分解型油壓挖土機 | 中部 | 158 |
| 灑水車 | 近畿 | 196 |
| 路面清掃車 | 近畿 | 187 |
| 側溝清掃車 | 近畿 | 30 |
| 排水管清掃車 | 近畿 | 29 |
| 緊急應變便橋 | 中部 | 60 |
| | 合計 | 4,807 |

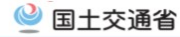
(截至 2012 年 1 月 5 日)

資料來源：國土交通省(2015)

除了國土交通省各地方整備局的人員及機具支援，地方整備局平日即和顧問公司及相關協會簽署災害協定，依據 2005 年「於災害時近畿地方整備局所管設施之緊急災害應急對策業務相關協定書」，各相關條約簽訂單位於災後發生後隨即投入協助緊急調查，包含於交通困難之地點之現地調查、於堰塞湖處設置鋼索

檢知器、緊急實施鑽探調查(如圖 5-71)；除了緊急調查之外，也協助執行幫浦排水及臨時排水路等緊急復建工程(如圖 5-72)。

災害協定業者之作業狀況



■ 「於災害時近畿地方整備局所管設施之緊急災害應急對策業務相關協定書」
(平成17年9月28日締結)

與顧問公司業協會等於事締結災害協定

災害發生後立刻由協定業者協力

○協定單位：(社)建設顧問公司業協會、(社)關西地質調查業協會連合會

■於野猿現地勘查等、交通困難之現場作業

■於因倒木等交通困難環境中，於河道閉鎖處設置鋼索檢知器



協力：十津川村森林組合



■為相野谷川輪中堤等之應急復建、緊急實施鑽探調查
(高岡3支18m、大里2支18m、相筋3支20m)



| | |
|-----------|----------------|
| 關西地質調查業協會 | (株)タニガキ建工 |
| | (株)ダイヤコンサルタン |
| | 中央開発(株) |
| | 川崎地質(株) |
| | 応用地質(株) |
| | 基礎地盤コンサルタンツ(株) |
| | (株)竹田基礎調査 |

| | |
|----|--------------------|
| 建設 | (株)ニュージェック |
| | 国際航業(株) |
| | 日本工営(株) |
| | 明治コンサルタン(株) |
| | いであ(株) |
| | (株)ダイヤコンサルタン |
| | 復建調査設計(株) |
| | (株)布正建設コンサルタン |
| | (株)スリーエスコンサルタン |
| | (株)ピーエムコンサルタン |
| | 東洋技術コンサルタン(株) |
| | (株)エイ日本技術開発 |
| | (株)オリエントコンサルタン |
| | セントラルコンサルタン(株) |
| | (株)東京建設コンサルタン |
| | (株)建設技術研究所 |
| | 中央復建コンサルタン(株) |
| | 日本振興(株) |
| | (株)建設技術研究所大阪社 |
| | (株)日建洋南コンサルタン |
| | 国土防災技術(株)大阪支店 |
| | 八千代エンジニアリング(株)大阪支店 |
| | 応用地質(株)関西支社 |

資料來源：国土交通省(2015)

圖 5-71 災害協定業者之作業狀況—緊急調查

災害協定業者之作業狀況



■ 「於災害時近畿地方整備局所管設施之緊急災害應急對策業務相關協定書」
(平成17年9月28日締結)

與顧問公司業協會等於事締結災害協定

災害發生後立刻由協定業者協力

○協定單位：(社)日本建設業連合會關西分部

■由國總研、土木研究所等現地調查後、立刻、著手進行緊急性高之赤谷地區、熊野地區之應急復建工程

■赤谷地區(9月16日著手應急復建復工程)

■熊野地區(9月16日著手應急復建復工程)

↓幫浦排水狀況

↓幫浦排水狀況



| 地区名 | 着手日 | 協力業者 |
|-----|--------|---------|
| 赤谷 | 9月16日 | 鹿島建設(株) |
| 熊野 | 9月16日 | (株)大林組 |
| 北股 | 9月30日 | (株)熊谷組 |
| 長殿 | 10月8日 | (株)錢高組 |
| 栗平 | 10月8日 | (株)大成建設 |
| 那智川 | 12月11日 | (株)奥村組 |



↑臨時排水路施工狀況



↑臨時排水路施工狀況

資料來源：國土交通省(2015)

圖 5-72 災害協定業者之作業狀況—緊急復建工程

(四)中長期處理對策

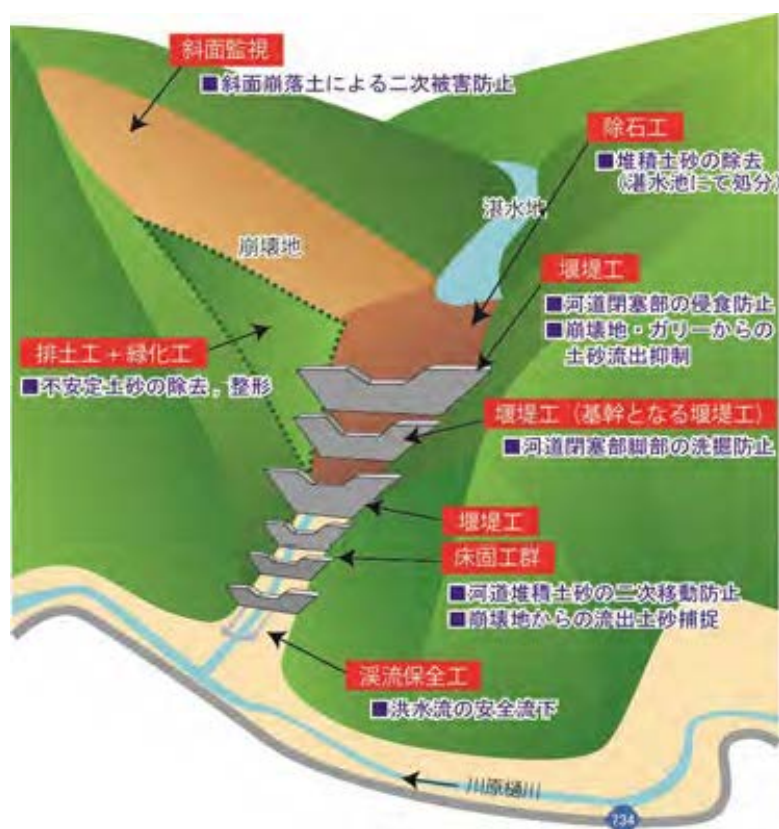
堰塞湖中長程對策時主要以移除或穩定天然壩，主要方法包含天然壩之挖降及湖區土體回填、設置防砂壩以及設置排水路(100年1次之重現期出流量)、崩塌坡面的監測跟穩定等。以下將詳細說明5個大型堰塞湖的中長程處置對策。

1. 奈良縣五條市大塔町赤谷

赤谷地區規劃之中長期處理對策如圖 5-73，包含在崩塌地上利用 GPS 監測坡面變化、在不安定土砂(包括天然壩)上設置防砂壩以及固床工、並於天然壩周邊進行綠化(如圖 5-74)等。赤谷地區因為崩塌地土砂流出的頻率高，依據現場狀況推斷若是設置排水路可能會因土砂掩埋而喪失功能，因此在設計天然壩上的防砂壩時，並沒有另外設置排水路，防砂壩利用現地豐富之土砂與水泥攪拌之土壤水泥製成，可有效縮短工期(混凝土工期約 7 個月，土壤水泥約 4 個月)。

2014 年 8 月颱風 11 號侵襲，流出土砂造成施工中的 2 號砂防壩受損，於後為加強防砂壩強度，在壩體的上游側利用土壤水泥進行強化；2015 年 7 月颱風 11 號發生溢流，造成 2 號防砂壩下游河道發生了嚴重的縱向侵蝕，因此再度利用土壤水泥強化防砂壩垂直向(如圖 5-75)，穩定設施下游側。

此外，赤谷地區因為天然壩規模較大，利用降挖土體回填湖區並不是主要對策之選項，但是在各項施工中產生的土砂量體大，搬運困難，因此選擇將土砂回填至堰塞湖區(如圖 5-75)，然而回填土砂會造成堰塞湖區容量降低，可能提前發生溢流，因此需利用 H-V 曲線預測溢流時間進行現地狀況評估。



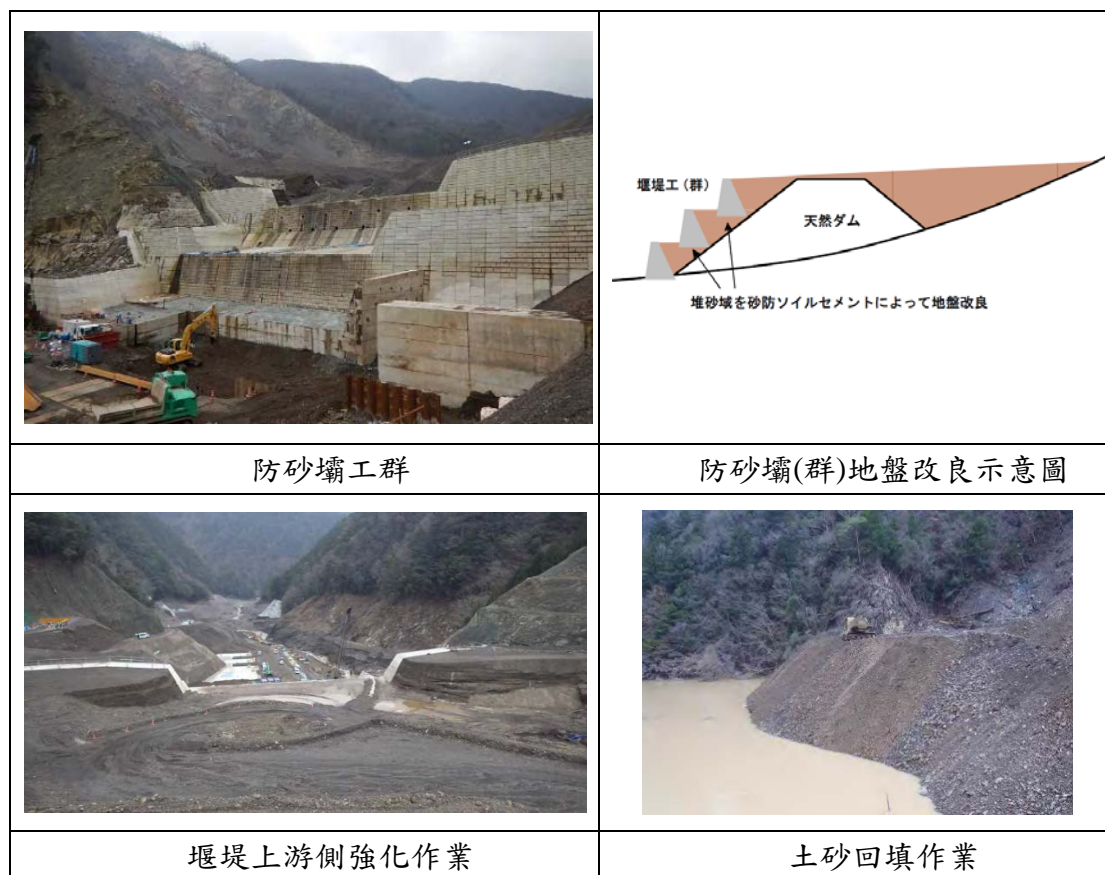
資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-73 赤谷地區中長程處理對策規劃



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-74 赤谷地區中長程處理對策施作進度



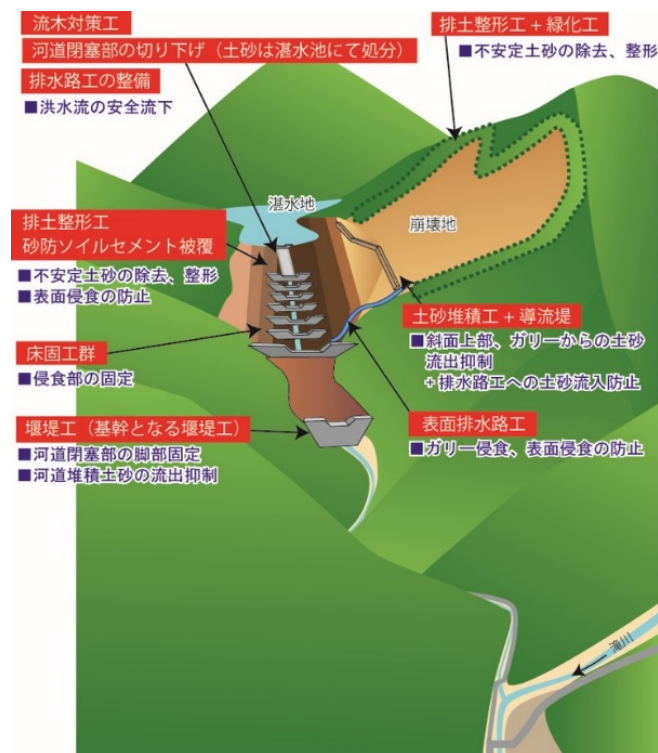
資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-75 赤谷地區中長程處理對策紀錄

2. 奈良縣十津川村栗平


栗平地區規劃之中長期處理對策如圖 5-76，包含穩定崩塌地、防砂壩、固床工、排水路等對策。栗平地區因為天然壩規模大，且天然壩容易遭受侵蝕，設置目標為即使工程構造物受災，藉由設計穩定的河床坡度可以抑制強烈侵蝕發生，因此於土砂堆積區末端設置 35 公尺高的防砂壩，並於天然壩上游坡面設置固床工群。

栗平地區在天然壩壩頂上降挖 20 公尺設置排水路，利用推進工法設置暗渠排水管，2013 年 18 號颱風時進行暗渠排水管效用評估，發現若無設置暗渠排水管，湖區在事件後 3 週仍會維持高水位狀態，可見暗渠排水管於栗平地區設置之重要性。



資料來源：國土交通省(2016)

圖 5-76 栗平地區中長程處理對策規劃

| | |
|--|---|
|  |  |
| <p>調整河床坡度</p> | <p>推進工法進行暗渠施工</p> |
|  |  |
| <p>防砂壩施工作業</p> | <p>防砂壩施工作業</p> |

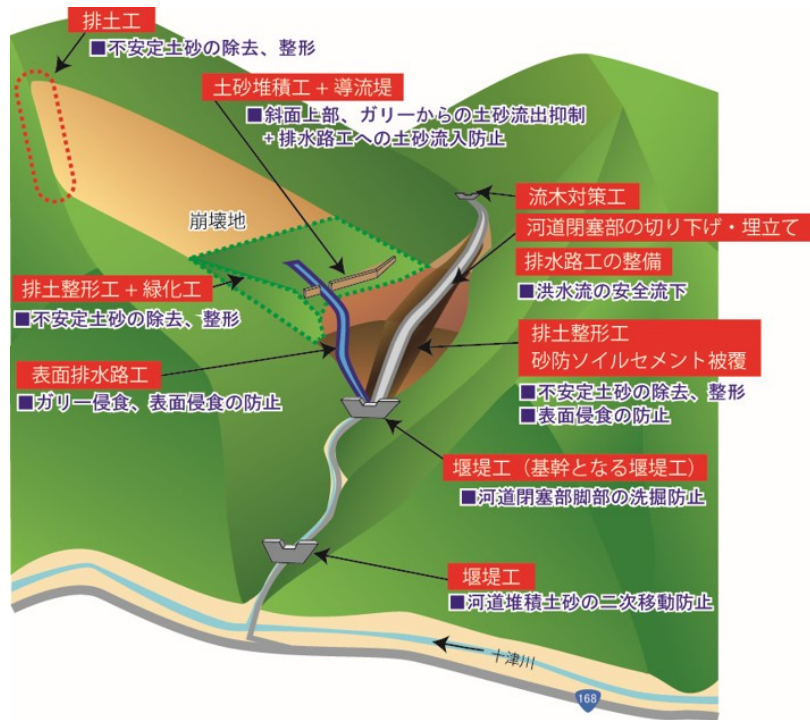
資料來源：國土交通省(2016)

圖 5-77 栗平地區中長程處理對策紀錄

3. 奈良縣十津川村長殿

長殿地區規劃之中長期處理對策如圖 5-78，包含穩定崩塌地、排水路、防砂壩等工程，並於崩塌地上設置 GPS 監測崩塌地變化。長殿地區因為天然壩高度較高，下游坡面較陡，無法利用防砂壩穩定天然壩，因此藉由水工模型進行試驗進行排水路規劃設計，在排水路末端設置防砂壩，以未滿砂的儲砂空間作為消能設施，降低高低差造成之水流能量(如圖 5-79)。並在防砂壩上預留孔隙，讓滲流水可以安全地流出。

此外，採用回填降挖土體於堰塞湖區的手法，盡可能的降低溢流標高，並同時將土砂堆積於天然壩下游側，使下游側坡度趨緩，降低溢流後所造成之危害度。



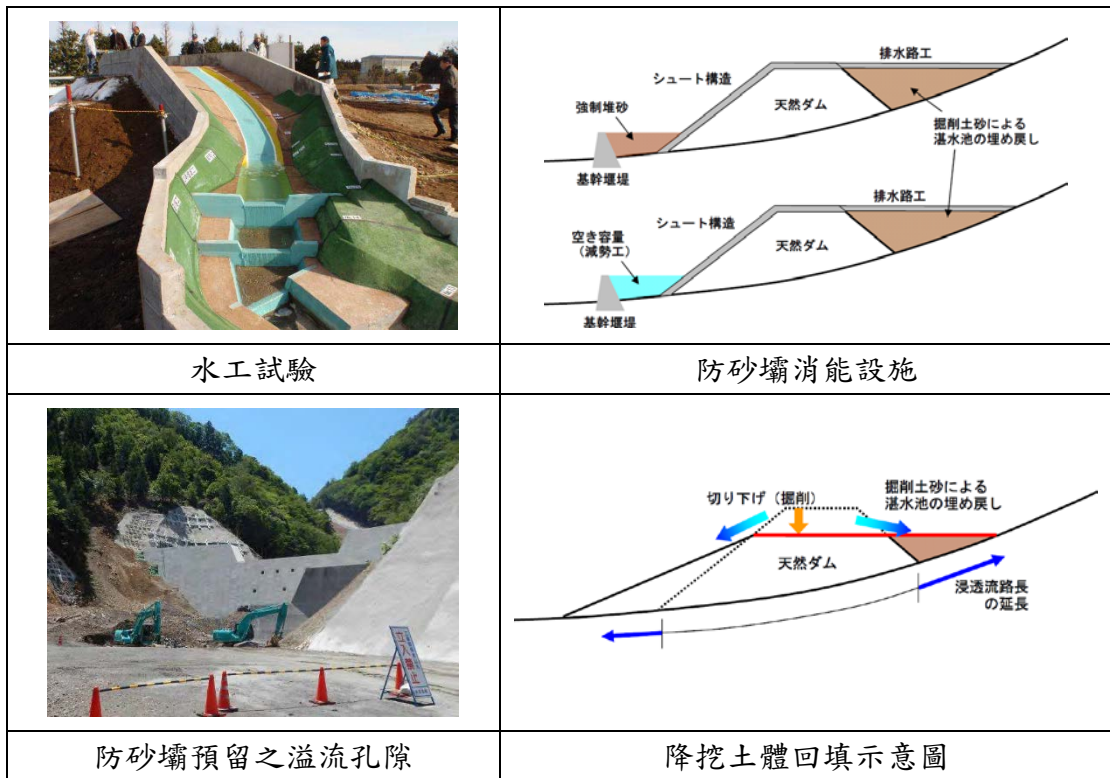
資料來源：國土交通省(2016)

圖 5-78 長殿地區中長程處理對策規劃



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-79 長殿地區中長程處理對策施作進度



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-80 長殿地區中長程處理對策紀錄



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-82 北股地區中長程處理對策施作進度

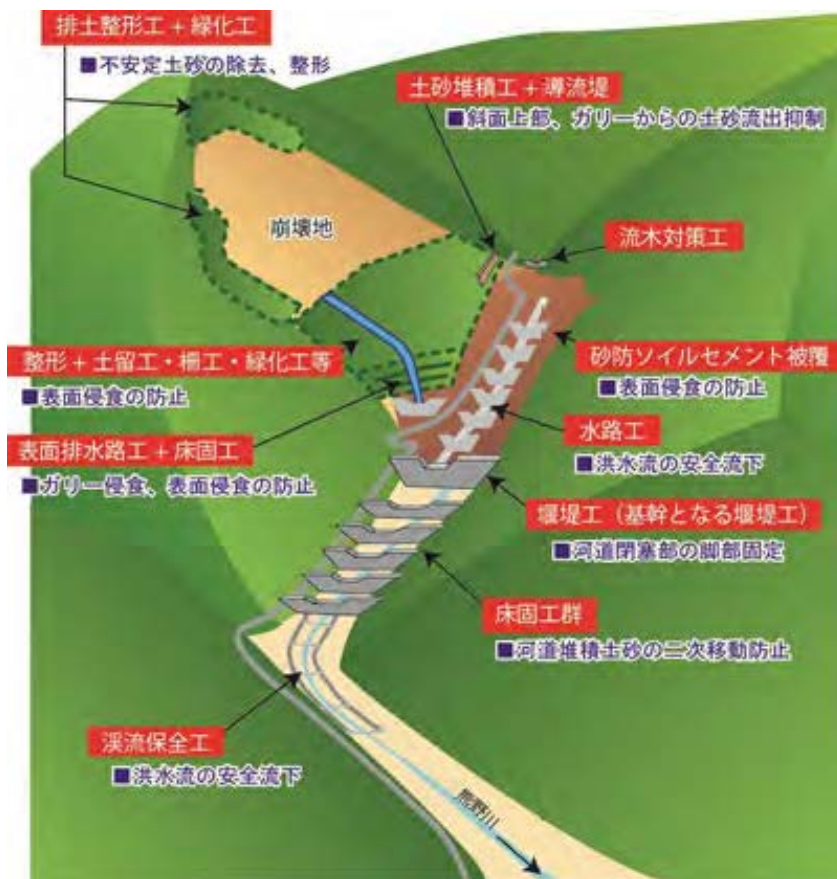
| | |
|-----------------------|----------------------|
| | |
| <p>崩塌面頂端無人化施工作業情形</p> | <p>無人化施工遠端操作情形</p> |
| | |
| <p>板樁地盤穩定工程</p> | <p>防砂壩(群)地盤改良示意圖</p> |

資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-83 北股地區中長程處理對策紀錄

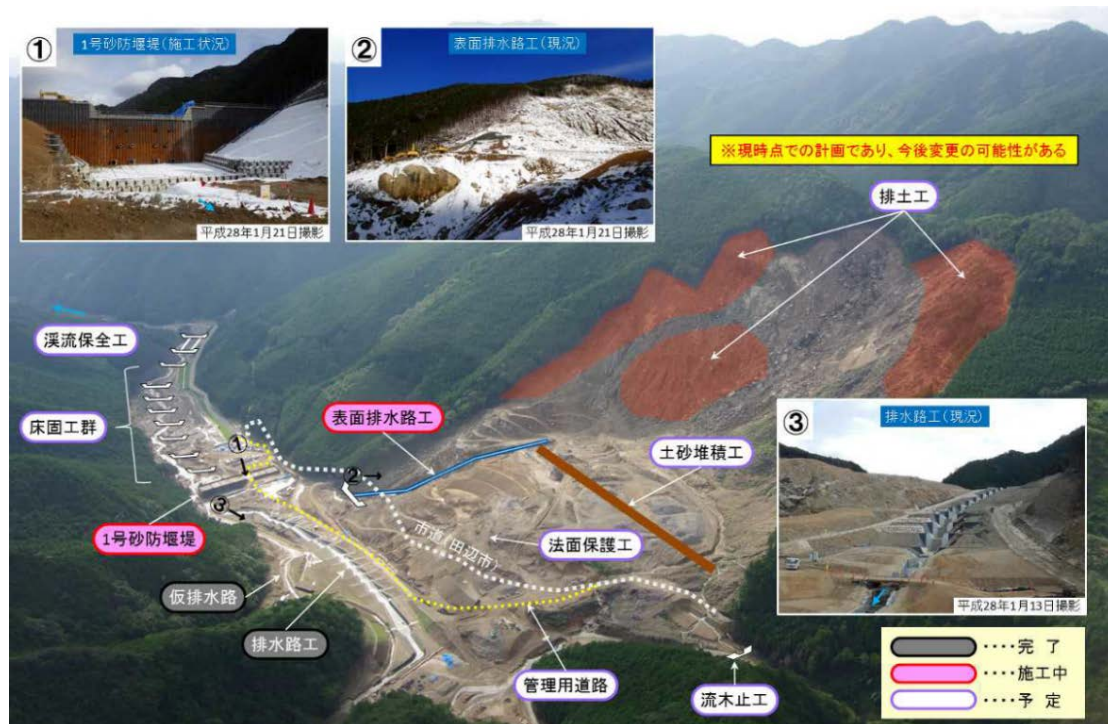
5. 和歌山縣田邊市熊野

熊野地區規劃之中長期處理對策如圖 5-84。在崩塌地頂端設置伸張計監測崩塌地變化。熊野地區堰塞湖規模較小，且下游河道坡度較緩，經判斷湖區出流水可藉由排水路安全的流下，以臨時排水路為基礎，從 2 年重現期將排水路強度提升至 100 年重現期，在排水路末端設置防砂壩，避免從排水路溢流之水量侵蝕天然壩造成潰決。此外，在天然壩下游側利用固床工穩定，在固床工下游側地面採用混凝土及鐵板減少侵蝕發生(如圖 5-85、圖 5-86)。



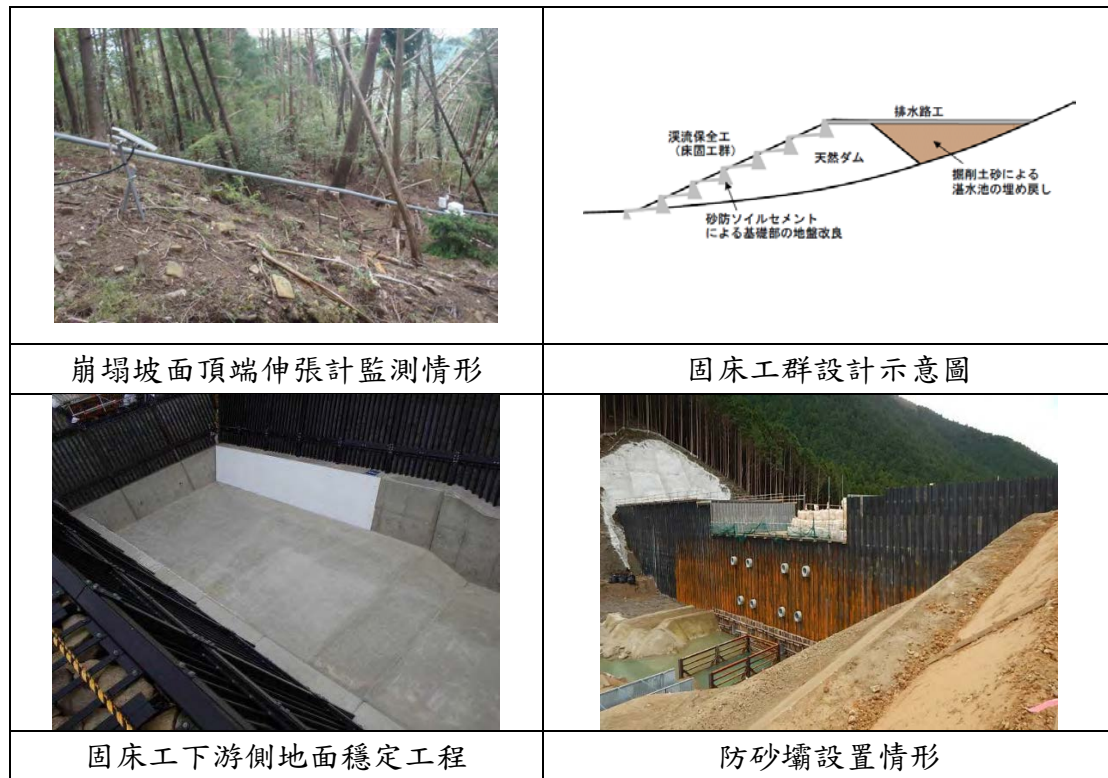
資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-84 熊野地區中長程處理對策規劃



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-85 熊野地區中長程處理對策施作進度



資料來源：近畿地方整備局(2017)

圖 5-86 熊野地區中長程處理對策紀錄

四、中國大陸-2008 年汶川地震

2008 年 5 月 12 日下午 2 時 28 分，在四川省汶川縣映秀鎮發生芮氏規模 8 的地震，震源深度 14 公里，其後餘震深度約在 10 公里到 33 公里左右，地震是由四川盆地西北邊緣東北向逆斷層或沖斷層運動所致。震央與震源機制與龍門山斷層或與其構造相關的斷層運動結果一致，斷層自東北向西南位移，從深度約 11 公里處開始移動，約 45 秒後整個斷層進行位移，最嚴重處斷層錯位約有 3.4 公尺。

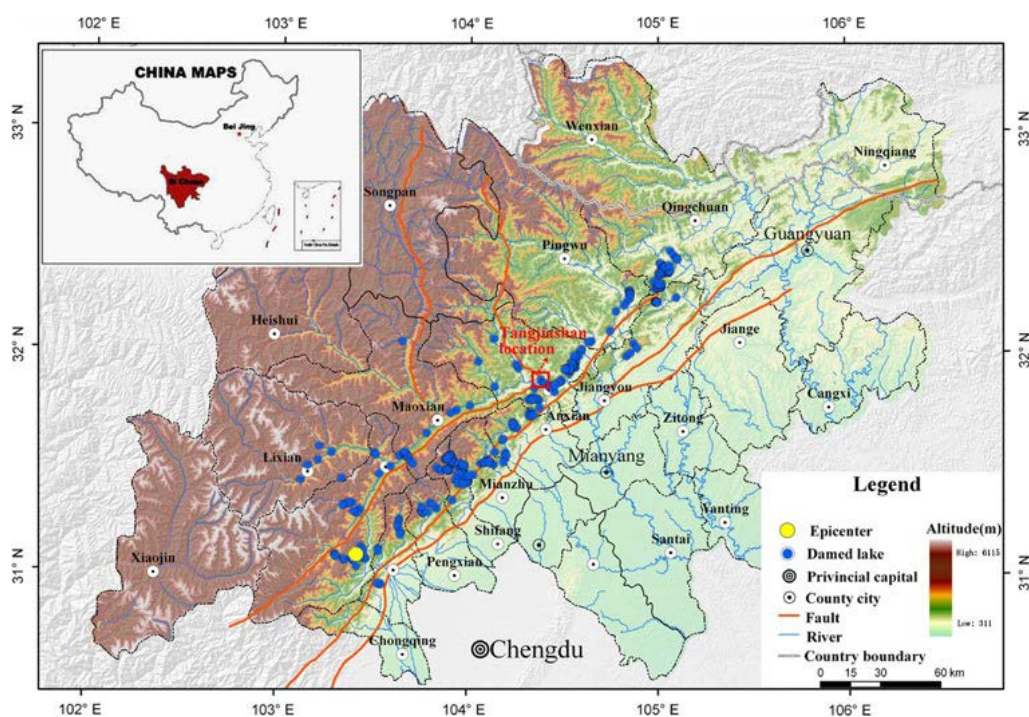
汶川地震對四川省帶來極大的損傷，劃定了 39 個極重災區及重災區，另外，甘肅省及陝西省分別有 8 個和 4 個極重災區及重災區，51 個災區總面積達 13 萬多平方公里。根據中國民政部及國家統計局，汶川地震共造成將近 7 萬人罹難、37 萬多人受傷、約 1.8 萬人失蹤；直接經濟損失 8,452 億人民幣，四川的總損失佔 9 成，其餘的損失來自甘肅及陝西省，住屋損失為最大宗，佔總損失約 3 成，特別是學校、醫院及其他非住宅建物的損毀，其次為道路橋樑等基礎設施，佔總損失約 2 成(如圖 5-87)。



資料來源：[新浪圖片](#)(2018)

圖 5-87 汶川地震受災情形影像紀錄

汶川地震引發了大量的地滑、崩塌、土石流等地質災害多達 1 萬 2 千多處，誘發了約 257 處堰塞湖(如圖 5-88)，在中國水利部的指揮下完成了重點堰塞湖潰決危險性緊急處置評估，並依據評估結果將堰塞湖風險分成極度危險、高度危險、中度危險、以及低度危險等四級。其中，唐家山堰塞湖是本次地震中形成的堰塞湖裡規模最大，風險最高的堰塞湖，因此，本冊以唐家山堰塞湖為例，說明堰塞湖處置策略。



資料來源：Peng C. et al. (2012)

圖 5-88 汶川地震誘發之堰塞湖分布圖

唐家山堰塞湖因為 2008 年 5 月 12 日的汶川地震造成邊坡滑動阻斷通口河形成，天然壩在 2008 年 5 月 14 日進行直升機空中調查時被發現，利用航照分析既有水文及地文資訊，天然壩壩高 82 公尺，壩體長 802 公尺，寬 611 公尺，壩體堆積土方量約 2,040 萬立方公尺，

堰塞湖湖區容量約 3 億 1,600 萬立方公尺(如圖 5-89)，下游保全對象約 120 萬人，唐家山堰塞湖依據航空調查結果被認定為極度危險等級。

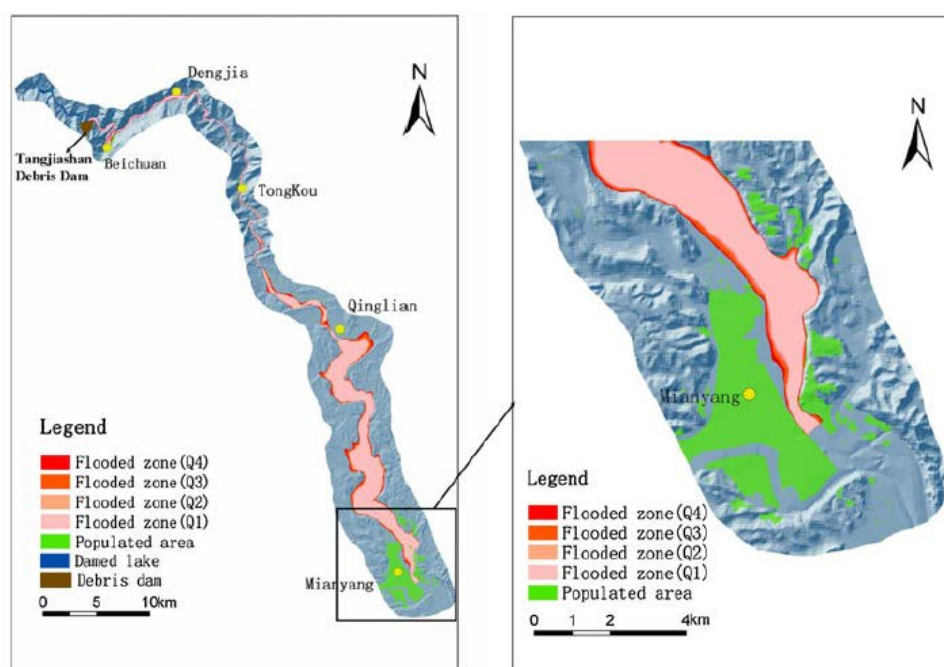


資料來源：Peng C. et al. (2012)

圖 5-89 唐家山堰塞湖空拍影像

2008 年 5 月 21 日現場調查團利用直升機抵達唐家山堰塞湖進行現場調查，根據現場調查結果，天然壩兩岸底岩為薄層砂質岩、砂岩、

泥灰岩、以及泥岩組成，左岸為逆向坡，右岸為順向坡，底岩裂隙多，岩體較為破碎，上層為約 10~15 公尺厚的高度風化帶，地表層為厚度約 5~15 公尺的礫質土。經過潰壩模擬分析後，求得天然壩侵蝕係數從頂部的 120 mm³/N-s 到趾部的 10 mm³/N-s，壩體潰決尖峰速率約為 33,000–70,000 m³/s，下游影響範圍約 16 平方公里，風險分成極高、高、中、低四級(如圖 5-90)。同時，在現場架設水位計跟監視攝影機 24 小時進行堰塞湖監測及資訊回傳。



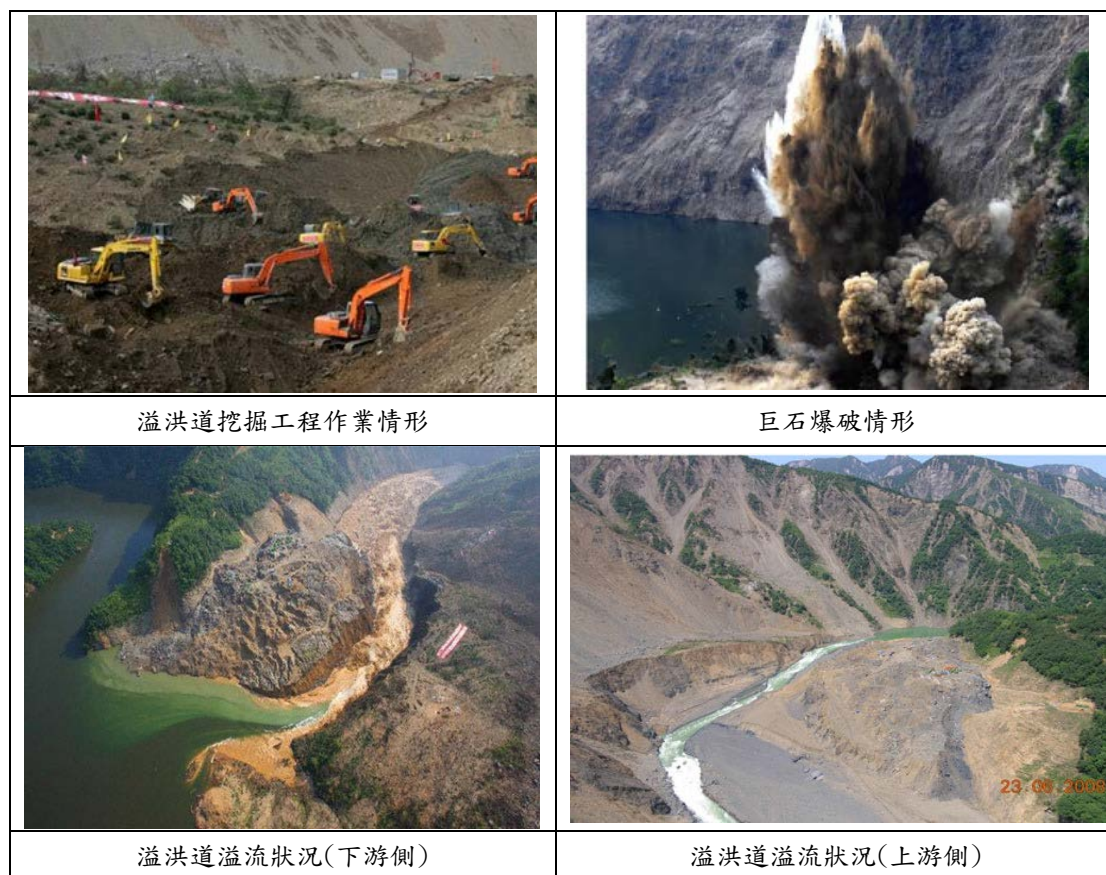
資料來源：Peng C. et al. (2012)

圖 5-90 唐家山堰塞湖潰壩模擬分析(下游影響範圍)

2008 年 5 月 25 日之前，24 台推土機、16 台怪手及 4 輛卡車利用直升機運送到堰塞湖區，從 5 月 26 日至 5 月 31 日密集的進行挖掘工程(如圖 5-91)，同時進行道路疏通、整地、樹木清除等，完成深 12 公尺、底寬 8 公尺、頂寬 44 公尺、總長 475 公尺的溢洪道，堰塞湖

容量降低至 2 億 4,700 萬立方公尺，約 25 萬人在 5 月 31 日前進行疏散避難。

為了加速溢流速度，2008 年 6 月 6 日在既有的溢洪道左側再度開闢新的溢洪道，但是在開始溢流的前兩天出留水量不足，湖區水位持續升高，為了加速壩體潰決降低降挖成本，6 月 8 日持續使用炸藥清除巨石土砂材料，並持續挖掘及小規模爆破加寬加深溢洪道。2008 年 6 月 10 日上午出流水流量遽增最高達 6,420 立方公尺/秒，造成下游的四個堰塞湖發生溢頂潰壩，大量的出流水夾帶土砂造成下游距離 4.5 公里的北川縣城發生嚴重的淹水及土砂淤積(如圖 5-91)，所幸居民已在兩週前進行撤離，無人傷亡。





資料來源：Peng C. et al. (2012) & Peng M. et al. (2014)

圖 5-91 唐家山堰塞湖緊急應變紀錄

五、印尼-2012 年崩塌

印尼安汶島(Ambon Island)位於印尼的東部，2012 年 7 月因為大規模崩塌在 Way Ela 河右岸形成堰塞湖，天然壩壩高約 140 公尺，最大壩寬約 320 公尺，壩長約 1,660 公尺，崩塌土砂量約 1,700 萬立方公尺，最大蓄水量約 2,480 萬立方公尺，流域面積為 13.43 平方公里(如圖 5-92)。天然壩下游約 2 公里處有約有 5,000 人居住的村莊。



資料來源：國土交通省(2018)

圖 5-92 印尼安汶島堰塞湖

印尼政府請求日本政府協助進行堰塞湖應變作業，國土交通省依據現地調查狀況，協助進行觀測機器設置、建設排水路、進行避難路徑整備、製作避難路線看版、利用公佈欄提供堰塞湖相關情報、以及進行民眾教育訓練(如圖 3-48)。

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>觀測機器設置</p> | <p>排水路建設</p> |
|  |  |
| <p>避難路徑整備</p> | <p>避難路線看板製作</p> |
|  |  |
| <p>公佈攔堰塞湖相關情報提供</p> | <p>民眾教育訓練</p> |

資料來源：國土交通省(2018)

圖 5-93 日本國土交通省協助進行堰塞湖應變項目

於 2013 年 2 月以緊急疏散避難計畫為基礎辦理 2 次大型疏散避難訓練，由中央政府(印尼國家災害管理廳 Maluku 事務所)與軍警、地方政府、村辦公室等防災相關單位共同舉辦，要求所有居民參與，在實際進行演練前，將疏散避難路線及避難場所等資訊印製於大型看版上，辦理居民說明會預先進行教育訓練工作(如圖 5-94)。



資料來源：國土交通省(2018)

圖 5-94 印尼安汶島堰塞湖大型疏散避難訓練辦理情形

除此之外，印尼公共事業省研究開發廳水資源研究所(The Research Center for Water Resources, Research and Development Agency, Ministry of Public Works)、印尼公共事業省水資源總局水資源計畫局(The Directorate of Water Resources Management, Directorate General of Water Resources, Ministry of Public Works)、以及日本土木研究所土砂管理組簽訂共同研究協定(由簽訂日至 2013 年 9 月為止)，利用土研式投入型水位觀測浮標進行安汶島堰塞湖監測(如圖 5-95)，即時蒐集回傳堰塞湖水位變化，提供警戒值作為疏散避難之依據。



資料來源：國土交通省(2018)

圖 5-95 投入型水位觀測浮標設置情形

2013 年 7 月 22 日開始出現強降雨，7 月 24 日 17 時 20 分，觀測到堰塞湖區水位超過排水路標高(194 公尺)，高水位持續至 7 月 25 日 5 時 15 分，水位達 196.2 公尺開始溢流，天然壩下游側的臨時排水路流失，壩體開始受到侵蝕，天然壩溢流部分侵蝕擴大，14 時 36 分天然壩潰決，發生大規模洪水，直至 16 時才逐漸趨緩，天然壩潰決後現地狀況如圖 5-96。

7月24日水位開始上升後已發布警戒資訊，7月25日清晨4時開始警鈴持續作響，天然壩潰決前村內的疏散避難領導者以及防災相關機關的負責人在堰塞湖現場觀測，在溢流開始發生後決定進行疏散避難，天然壩潰決後村內有6成的建物流失(圖5-96)，2位民眾死亡，1位失蹤下落不明，其餘的5,227位居民安全無虞。

印尼安汶島的堰塞湖歷時一年，從堰塞湖災害發生開始由日本國土交通省協助處置作業，以排水路、監測、以及疏散避難為主要措施，從安汶島的經驗來看，居民教育訓練以及疏散避難演練相當關鍵。

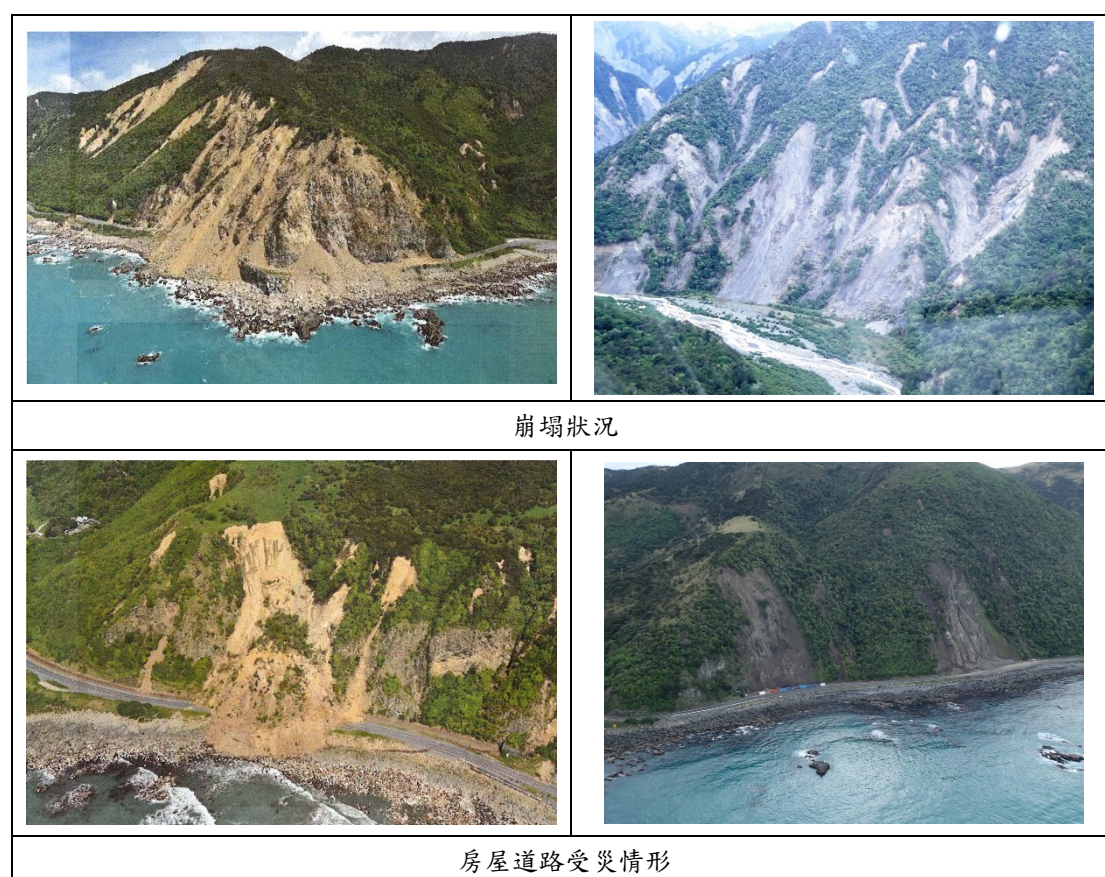


資料來源：國土交通省(2018)

圖 5-96 印尼安汶島堰塞湖天然壩潰決後現地情形

六、紐西蘭-2016 年 1114 地震

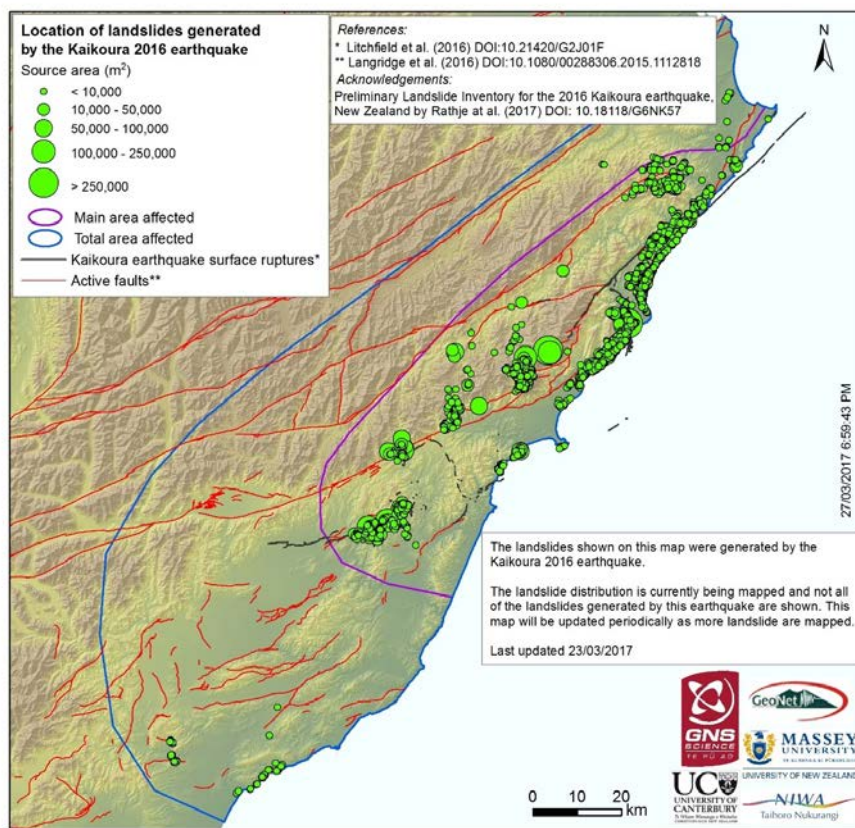
2016 年 11 月 14 日，紐西蘭發生規模 7.8 的地震(Kaikoura)，紐西蘭地質與核能安全研究中心(Institute of Geological and Nuclear Science, GNS)震後隨即展開調查，在 1 萬平方公里的範圍內產生了約 8 萬至 10 萬個崩塌(如圖 3-52)，主要發生的地點集中在 3 千 5 百平方公里範圍內，主要是在南島(South Island)的東北側的北坎特伯雷(North Canterbury)及馬爾堡(Marlborough)地區。即便發生了上萬個崩塌，僅有數間房屋毀損並無人傷亡，但是造成了 1 號公路以及鄰近的鐵路交通受阻(如圖 5-97)。



資料來源：GNS Science、堤大三(2018)

圖 5-97 紐西蘭地震後災害情形

GNS 經過 1 個月左右的調查，發現了超過 200 個天然壩(如圖 5-98)，並進行天然壩風險評估。GNS 先利用直升機調查所有的集水區，並利用 GPS 相片紀錄並點繪於 GIS 圖層(包含流域名稱及高度)，將所有的天然壩依據高中低風險進行分類，堰塞湖蓄水量大或是有保全對象(居民或路面橋梁等重要基礎建設)的地點會被分類為高風險，並進行後續處置應變作為，其餘中低風險地區則由地方政府負責進行警戒資訊通報。



資料來源：GNS Science、堤大三(2018)

圖 5-98 200 個堰塞湖形成分布

一開始有 12 個堰塞湖被歸為高風險，其中 5 個因為在可能影響範圍內有保全對象而需要優先進行詳細調查(如表 5-6)，包含利用地面型雷射掃描儀以及 RTK 測量天然壩高、壩寬、面積、以及體積，並利用這些資訊進行模式計算，迅速推算出可能潰壩時機。

表 5-6 5 個高風險堰塞湖判定原因

| 堰塞湖 | 高風險判定原因 |
|-----------|---|
| Hapuku | 本次事件所引致的堰塞湖裡面天然壩體最大的，堰塞湖下游有道路橋梁，在低窪地區有 2 棟建物。 |
| Linton | 橋梁以及 1 間學校 |
| Conway | 道路 |
| Goose Bay | 近海岸的氾濫平原上有 20 棟建物 |
| Waima | 河岸邊有建物 |

進行初期潰壩演算時最大的挑戰在於因為時間急迫必須迅速得出結果，以提供給地方政府進行相關緊急應變，其中有一個案例在經過後續完整調查後發現，初期演算結果過於保守，高估了可能發生的災害潛勢，因此在災害初期為了緊急應變，只能在精確度和時效性中做調整。

本冊以 Hapuku 堰塞湖為例，簡要說明調查及處置過程。Hapuku 崩塌高差為 150 公尺，崩塌面積為 656,430 平方公尺，崩塌體積為 1 千 2 百萬立方公尺，崩塌類型為岩屑崩壞，崩塌地質以硬砂岩為主(如圖 5-99)。2016 年 12 月 5 日開始出現滲流，紐西蘭交通局(New Zealand Transport Agency)在堰塞湖區及下游 11 公里處的國道 1 號橋梁附近架設水位計，進行水位監測，發現湖區水位逐漸降低，2017 年 4 月 6 日，黛比熱帶氣旋帶來強降雨，天然壩發生溢流(如圖 5-100)，滲流明顯，湖區水位達到最高後逐漸降低。



資料來源：堤大三(2018)

圖 5-99 Hapuku 崩塌及堰塞湖現地狀況



資料來源：Dellow and Massey (2017)

圖 5-100 Hapuku 天然壩滲流及溢流

在發生堰塞湖之後，主要的應變措施除了水位監測之外，也另外架設攝影機持續觀察天然壩及堰塞湖區變化，此外，因為保全戶僅有 2 戶，因此在進入堰塞湖可能影響範圍的道路入口設置警報系統，架

設警示燈以及警報標誌，告知用路人若警示燈亮起前方道路則禁止通行(如圖 5-101)。



資料來源：堤大三(2018)

圖 5-101 Hapuku 堰塞湖下游警戒系統

紐西蘭的堰塞湖處置案例和臺灣、日本以及印尼相當不同，初期調查項目及內容大致相同，但因紐西蘭地廣人稀，在緊急處置應變上主要以影響範圍推算、潰壩演算、以及持續監測為主，警戒避難系統的建置也相對簡易。