紀伊山地大規模河道阻塞（堰塞壩）對策（案）

2017 年 9 月

近畿地方整備局
大規模土砂災害對策技術中心
紀伊山系砂防事務所

～目次～

前言

紀伊山地大規模河道阻塞（堰塞壩）對策構想（案）.....1

Ⅰ. 堰塞壩形成後之對策計畫檢討.....4
1. 堰塞壩的基本對策.....5
1.1 堰塞壩上流區域淹水災害的防止與排除.....5
1.2 堰塞壩潰壩的防止.....5
1.3 堰塞壩侵蝕的防止.....6
1.4 崩塌地土砂流入堰塞湖的抑制.....6
2. 堰塞壩形成後的對應.....7
2.1 堰塞壩對策決策與指揮命令系統的確立.....7
2.2 堰塞壩地點、通路的掌握.....7
2.3 堰塞壩的形狀、規模、蓄水量的量測.....12
2.4 堰塞壩（淹沒區）周邊雨量、上游入流量與堰塞湖水位、堰塞壩下游流量的觀測.....14
2.5 堰塞壩對策所需人員與資材機具的準備.....18
2.6 整備目標期間基本對策的因應.....23
3. 堰塞壩形成後對策計畫的檢討.....24
3.1 堰塞壩形成後的對策計畫.....24
3.2 對策實施可能性的評估.....25

Ⅱ 對策工法的檢討.....28
1. 堰塞壩形成後的對策工法.....28
1.1 堰塞壩下挖與堰塞湖回填.....28
1.2 暗渠排水管的設置.....29
1.3 臨時排水路的設置.....30
1.4 堰塞壩趾部與下游基幹壩的構築.....31
2 施工期間降低水流量位的工法.....32
2.1 以推進工法設置堰塞壩暗渠排水管.....32
2.2 排水隧道的整建.....32
2.3 抽水機排水.....35
3. 堰塞壩對策工法.....36
3.1 對應堰塞壩高度的對策工法.....36
3.2 崩塌地土砂頻繁流出時的對策工法.....40
3.3 大規模崩塌導致土砂移動現象的對策工構想.....41

Ⅲ 配合現地狀況的對策工法案例探討 43
1. 資材機具的運送方法 43
(1) 聚落附近小溪流設置施工道路時（北股地區） 45
(2) 崩塌地內現有道路優先復建（坪內地區） 49
(3) 現有道路離工程實施地點太遠時（栗平地區） 53
(4) 需渡河才能進入工程地點時（長殿地區） 58
(5) 土砂流入堰塞壩頻率高時（赤谷地區） 62
(6) 堰塞壩很高時（栗平地區） 66
(7) 參考：需從堰塞湖上游運送資材機具時（東竹澤地區／中越地震） 67
2. 堰塞湖的排水方法 68
2.1 抽水機排水 68
(1) 堰塞壩很大時（栗平地區） 69
(2) 堰塞壩不大時（北股地區） 75
(3) 堰塞湖入流量相當大時（赤谷地區） 78
(4) 數個堰塞湖同時出現時（熊野地區） 81
2.2 明渠 83
(1) 溢流頻率高的情況（赤谷地區） 85
(2) 土砂流入頻率高時（赤谷地區、北股地區） 89
(3) 堰塞壩相當大時（栗平地區） 96
(4) 滲流（管湧）多時（長殿地區） 104
2.3 暗渠排水管 108
(1) 開挖設置暗渠排水管時（赤谷地區） 109
(2) 非開挖式工法（推進工法）設置時（栗平地區） 112
3. 堰塞壩下挖與堰塞湖回填 118
(1) 堰塞壩規模大時 （赤谷地區） 119
(2) 堰塞壩規模小時（北股地區） 121
4. 崩塌地土砂流入堰塞壩的抑制 125
(1) 崩塌可能擴大時（北股地區） 126
(2) 崩塌地出現湧水時（北股地區） 130
5. 堰塞壩趾部與下游部基幹壩的構築 132
(1) 堰塞壩高數十公尺左右（未滿 30 公尺）且下游坡面坡度較陡時（北股地區） 133
(2) 堰塞壩高數十公尺左右（未滿 30 公尺）且下游坡面坡度和緩時（熊野地區） 136
(3) 堰塞壩相對高大時（30 公尺以上）（長殿地區） 140
(4) 崩壞地土砂頻繁流出時 （赤谷地區） 144

結語

前言

在陡峭地形與複雜脆弱地質為主的我國（日本），經常出現大雨及地震所伴隨產生的土砂災害，造成人命與財產莫大損害。

其中，雖然發生頻率不高，但大規模崩塌所導致形成的大規模河道阻塞（堰塞壩），短期內可能因堰塞壩侵蝕、潰壩而造成嚴重土砂(土石流)災害；中長期則可能因堰塞壩侵蝕、流出土砂推升下游河道之河床，引發土砂與洪水氾濫災害，災情慘重，且災害危險性不斷提高，這是自古以來存在的問題。近年來，2004 年新潟縣中越地震與 2008 年岩手、宮越內陸地震，導致形成許多堰塞壩的記憶猶新。

紀伊山地在 1889 年豪雨曾造成目前奈良縣十津川村一帶，形成幾個大規模堰塞壩，後來堰塞壩侵蝕、潰決產生嚴重的土砂與洪水氾濫災害，當時大部分村民被迫集體遷村。另外，2011 年紀伊半島大水災，當地雖也出現數個堰塞壩，但國土交通省與有關單位實施緊急對策的地點，到目前為止幸好尚未發生堰塞壩侵蝕與潰決所造成的人命傷害。

此等之背景，原因之一是之前新潟縣中越地震發生後，有關單位製作、累積了堰塞壩對策的概念與對策工法、施工方法等資料，並且經由岩手、宮越內陸地震等之實踐，逐步提升對策技術所致。然而，堰塞壩因為不同的形狀、周邊地形(流域面積、河床坡度、河幅、地質、降雨、流量等條件形成不同的特性，因此尚無一致確實的對策技術。

本書彙整到目前為止實施紀伊山地大規模河道阻塞（堰塞壩）對策所得到的知識經驗、對策實施課題，以及今後的對策等，希望有助於今後擬定堰塞壩對策之參考。

2017 年國土交通省 近畿地方整備局
大規模土砂災害對策技術中心
主任(河川部長) 中込 淳

紀伊山地大規模河道阻塞（堰塞壩）對策構想（案）

本資料基本上是經由 2011 年第 12 號颱風（塔拉斯颱風，Typhoon TALAS）紀伊半島大水災所產生大規模崩塌與堰塞壩之對策工程所得到知識，以及 2004 年新潟縣中越地震之芋川流域、2008 年岩手、宮城內陸地震災害之磐井川與迫川流域首度應用堰塞壩對策工程、堰塞壩形成後立刻實施緊急對策工程的基本方針，及其所依據對策計畫、對策工法、對策工程之內容。

因此，下列記載在過去解決方案與手冊之中的大規模土砂災害對應、依據土砂災害防治法所實施之緊急調查、堰塞壩形成時的對應、堰塞壩之監測、危機管理體制、堰塞壩對策工程等堰塞壩對應的做法等，可參考（引用）之其他文獻，此處不予以記載。

「大規模堰塞壩的形成、潰壩為對象的異常土砂災害對應手冊（案）」
（2005 年 3 月）
「大規模土砂災害危機管理的做法（提案）」(2007 年 3 月）
「堰塞壩監測技術手冊（案）」(2008 年 2 月)
「大規模土砂災害危機管理計畫」(2008 年 3 月）
「大規模土砂災害危機管理計畫制定指南」(2008 年 3 月）
「大規模河道阻塞（堰塞壩）危機管理的做法（提案）」(2009 年 3 月）
「堰塞壩形成時對應的基本概念（案）」(2010 年 7 月）
「堰塞壩對策工程手冊（施工編）(案)」(2010 年 11 月）
「大規模崩塌對策技術相關基本事項」(2014 年 9 月）

◆ 適用範圍

・「大規模崩塌對策技術相關基本事項」
→ P.2 圖-1 本稿的構成
之中「崩塌發生後的緊急對策」部分

・「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」
→ P.5 圖 1.1 堰塞壩對策流程
其中「應急復建、緊急復建、正式復建、長期對策」的部分

・「堰塞壩形成時對應的基本概念（案）」
→ P.1 圖 1.1 堰塞壩相關技術手冊等的關係圖
之中「應急復建、緊急復建、正式復建、長期對策」的部分
→ P.4 圖 2.1 災害時對應措施的流程
之中階段Ⅰ~階段Ⅲ 都有所對應

過往的提案與手冊概要（1）

標題	發行年	發行者	目的	概要
大規模堰塞湖形成、潰壩為對象的異常土砂災害對應手冊（案）	2005 年 3 月	（財團法人）砂防第一線整備推進機構	堰塞壩所造成災害，可預期會產生超過通常砂防計畫對象的大規模土砂移動現象，因此，初始實施災害對策時的防災行動很重要。根據這樣的概念，整理堰塞壩形成時的對應方法。	內容主要有以下 5 點。 1. 堰塞壩的形成、潰壩所導致災害 1.1 形成、潰壩事例及其災害狀況 1.2 堰塞壩形成之特徵 1.3 潰壩的特徵 2.對策的概念 2.1 對策的基本構想 2.2 災害時任務分派的基本構想 2.3 災害時的對應 2.4 平常時的對應 3.災害時堰塞壩等異常災害土砂對策 3.1 堰塞壩堰塞壩等異常土砂對策思維 3.2 災害時的對策流程 3.3 第一次出動、確認堰塞壩形成的調查階段 3.4 概略調查階段 3.5 危險度概略評估階段 3.6 監測 3.7 應急對策、詳細調查階段 3.8 危險度詳細評估階段 3.9 長期對策階段 3.10 資訊發佈 4.平常時的堰塞壩等異常災害土砂對策 4.1 平常時的危機管理思維 4.2 流域資訊相關資訊網的整建 4.3 可處理超過規模災害之砂防設備等的整建 4.4 流域危險坡面的掌握 4.5 防災體制之確立 4.6 防災訓練的實施 4.7 周知/宣傳活動的實施 5. 堰塞壩等異常土砂對策計劃的成案 5.1 堰塞壩等異常土砂對策計畫的成案 5.2 防災業務計畫的修訂
大規模土砂災害危機管理的做法（提案）	2007 年 3 月	大規模土砂災害危機管理檢討委員會	目的在調整中央政府與地方政府的任務分派，明確說明負責管理廣大國土的國土交通省之定位。 為了達到上述目的而設置的「大規模土砂災害危機管理檢討委員會」，應針對大規模土砂災害發生時的危機管理基本思維，綜合整理相關提案	提案重點如下。 1.有必要建立發生大規模（含同時多發型）土砂災害時，不待都道府縣等提出要求，即可由中央政府（國土交通省）提供自主且獨立支援或實施緊急措施的體制。 2.鄉鎮市應實施避難之指示，但特別是大規模土砂災害，地方政府既非砂防工程實施機關，也不具備充分知識，因此有必要由中央政府（國土交通省）等，實施自主且獨立之支援。 3.有必要從最適合者來實施（危機管理）的「組織適性」，以及建立能發揮功能者可在現場適當發揮機能架構的「並行權限」角度，調整地方政府、都道府縣與中央政府（國土交通省）的任務分派 4. 中央政府（國土交通省）建立可用來提供都道府縣知事與鄉鎮市長技術性建議、實施勸告之體制，及強化其責任與權限的檢討 5.將依據土砂災害防治法實施基礎調查所得到知識見解應用於危機管理的必要性 6.與相關地方公共團體、警察、消防、自衛隊等相關單位日常性合作體制的建立，與訓練的實施 7.資訊蒐集與資訊分享體制整建的必要性
堰塞壩監測技術手冊(案）	2008 年 2 月	（獨立機構）土木研究所土砂管理研究團隊 土砂・土石流小組	綜合整理在形成堰塞壩地點實施監測的注意構想等，以便建立迅速且有效率的堰塞壩監測系統，順暢地協助實施應急性的監測	形成堰塞壩的地點應具體說明下列事項。 ・監測的項目與方法 ・監測所需機器的選定 ・監測所需資訊與通信系統的建立 此外，本手冊係參考現有文獻，以及 2004 年 10 月 23 日新潟縣中越地震所導致形成芋川堰塞湖的對應事例，以及 2008 年 6 月 14 日岩手、宮城內陸地震所導致栗駒山周邊堰塞湖的對應事例所做成。
大規模土砂災害危機管理計畫制定指南	2008 年 3 月	國土交通省河川局砂防部	本計畫旨在制定防止地震、豪雨、火山噴發等伴隨產生大規模土砂災害時所應實施之事項，同時訂定順暢實施上述事項所應準備之事項，以及恢復正常、重建所需實施事項，並藉由依據上述事項實施危機管理措施，守護國民生命，協助國土保全與確保公共福祉。	所處理對象的現象為地震、豪雨、火山噴發等所造成的土砂災害，包括大規模土石流、地滑、堰塞壩這類現象持續形成的狀況、同時多發性土砂災害、火山噴發所造成的火山碎屑流、熔岩流、火山泥流等的大規模土砂流出，以及其所伴隨產生的大規模堰塞湖等，對應處理時，都需要高度技術，而用來處理平常土砂災害等的體制有所侷限，因此，中央政府的角色相形重要。 ○危機管理的面向，依據時間軸進行分類，可訂定下列三個階段，各面向所包涵的項目整理如下。 (1) 事前對策(災害預防） ・危機管理訓練相關的事項 ・危機管理體制的整建 ・緊急狀況時資訊管理體制的事前整備 ・災害與防災相關的研究，觀測之推動相關事項 ・其他事前的對策 (2)緊急事態對應（災害應急對策） ・災害狀況的掌握與災害資訊管理 ・初始的災情處理與緊急措施 ・災害發生時的應急工程、二次災害防止對策相關事項 ・提供都道府縣等資源的相關事項 (3)恢復原狀、重建（災害重建、復建） ・提供災害現場恢復原狀、重建資源相關事項
大規模土砂災害危機管理計畫	2008 年 3 月	國土交通省河川局砂防部	同上	依據「大規土砂災害危機管理計畫策定指南」所記載的具體內容。

過往的提案與手冊概要（2）

標題	發行年	發行者	目的	概要
「大規模堰塞壩危機管理的做法（提案）」	2009 年 3 月	大規模堰塞壩危機管理相關檢討委員會	經由 2008 年岩手、宮城內陸地震等取得許多教訓， 檢討今後國內再度出現複數大規模堰塞壩、實施危機管理時所需事項，並且進行提案。	堰塞壩危機管理方法應檢討的事項及應改善的重點項目，如下。 1.體制、人力資源（國土交通省的積極支援） 2.堰塞湖的調查 (1)有無形成堰塞湖的掌握（確保有直升機可運用、觀測機器整備、事前的航空測量） (2)堰塞湖形狀的掌握（小型直升機、直升機高性能化、應用 UAV(無人飛行載具)、雷射測量） (3)堰塞湖的危險度評估 3.堰塞壩的監測、資訊通訊(1) 4.警戒、避難體制 (1)平常時流域基礎資訊共享 (2)危險地點調查 (3)協同訓練 (4)宣傳與媒體公關 5.對策工程 (1)現有砂防設備的應用 (2)排水對策 (3)交通斷絕地點的對策 (4)無人化施工 (5)工程期間的安全管理 (6)其他 6.平常時的準備 (1)制訂、修訂堰塞湖警戒避難手冊 (2)砂防指定地，砂防災害警戒區域等指定的推動與設施整建的推動 (3)由專家學者協助進一步提升技術等 (4)災害對應時，適當且快速之意志決定的準備工作
堰塞壩形成時對應的基本概念（案）	2010 年 7 月	國土交通省 國土技術政策總和研究所 危機管理技術研究中心 砂防研究室	協助實施迅速且有效的堰塞壩對應措施，所整理各堰塞壩對應事例	針對堰塞壩形成時對應措施之中的「災害對應流程」、「第一次出動的對應」、「調查」、「危險度判定」、「平常時的對應」等，整理 2004 年 10 月新潟縣中越地震、2008 年 6 月岩手、宮城內陸地震對應等累積的基本思維與概念而成。 此外，應注意本資料並未處理土砂災害防止法的修訂一事。
堰塞壩對策工程手冊（施工編）（案）	2010 年 11 月	堰塞壩對策工程研究會	本手冊係說明堰塞壩形成地點實施對策必要性判斷所需各種條件的調查與評估項目檢討、對策工程實施之際所需之判斷項目，以及迅速且有效實施對策工之概略檢討與應急、緊急、正式重建、長期對策所需的必要事項。	本手冊係針對堰塞壩形成時是否需要對策工之判斷，以及判斷需要時應檢討的項目，依各階段別具體地予以說明 ○對策工必要性的判斷（堰塞壩的去除、存留+對策工、置之不管） ○對策工檢討時所需判斷之項目（現有設施之利用、排水對策、資材機具運送、無人化施工、侵蝕防止等） ○對策工的概略檢討（檢討方法、施工可否之判斷、對策工決定之方法等） ○應急、緊急、正式重建、長期對策的對策工（排水抽水機、緊急排水路、流路工、壩工、除石工等）
大規模崩塌對策技術相關基本事項」	2014 年 9 月	國土交通省國土技術政策總和研究所	提供今後大規模崩塌對策之參考，整理下列有關技術的基本事項。 ・設施整建相關的硬體對策 ・依據與迫切性有關的資訊提供所形成的對策 ・與土地危險性相關資訊（災害地圖）的提供所形成的對策	章節構成如下。 第一章 基本事項 第二章 對策的基本方針 第三章 硬體對策 ・事前對策 ・堰塞湖 ・土石流 ・崩土直接襲擊 ・崩塌發生後的緊急對策 ・長時間存續型堰塞湖 第四章 迫切性資訊的提供 ・常態監測 ・地下水位上升 ・振動 ・重力性 ・崩塌發生後的緊急對策 ・長時間存續型堰塞湖 第五章 土地危險性相關資訊（災害地圖）的提供 ・事前對策 ・堰塞湖 ・土石流 ・崩土的直接襲擊 ・崩塌發生後的緊急對策 ・長時間存續型堰塞湖

Ⅰ・堰塞壩形成後之對策計畫檢討

一般而言，堰塞壩多半是大規模崩塌與地滑等大規模坡面崩塌現象所導致(誘發)形成。這類大規模崩塌與地滑的發生原因大致分為：

■ 豪雨導致(誘發)

■ 地震導致(誘發)

不同原因所形成堰塞湖的特徵，分別說明如下。這部分是實施堰塞湖對策非常重要的參考事項。

■ 豪雨導致(誘發)時：

・豪雨使堰塞湖周邊流量大增，因此容易淹水。

・崩塌地與地滑地含大量水分因此不穩定，可能出現二次崩塌／擴大崩塌或二次地滑。

・堰塞壩也含有接近飽和狀態的大量水體，因此從開始淹水到溢流的時間相對的短。此外，溢流時容易出現侵蝕，也可能產生滲流破壞。

・堰塞壩潰壩時土砂容易流動，因此，土石流與土砂流所抵達的距離可能變遠。

■ 地震導致(誘發)時：

・無降雨的常態流量，堰塞湖開始淹水所需的時間，比豪雨導致形成堰塞壩之狀況為長。

・無降雨時，出現二次崩塌／擴大崩塌或地滑二次移動的可能性，低於豪雨所導致形成堰塞湖的狀況，但仍有因為餘震形成二次崩塌／擴大崩塌或地滑二次移動的可能。

◆ 「大規模崩塌對策技術相關的基本事項」

→ P.4 2.2 依據大規模崩塌發生原因所實施的分類

◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.2-3 2.2 地震形成堰塞壩與降雨形成堰塞壩的注意構想

◆ 「大規模堰塞壩的形成、潰壩為對象的異常土砂災害對應手冊（案）」

→ P.3 1.2 形成的特徵

1.堰塞壩的基本對策

堰塞壩的基本對策如下。

又，堰塞壩對策應比照堰塞壩潰壩等的影響範圍評估，並在判斷有實施之必要性時，予以實施。

■ 堰塞壩上游區域的淹水災害之防止
■ 堰塞壩潰壩導致土石流、土砂流、洪水流所造成災害之防止
＜短期性的土砂移動現象＞
■ 堰塞壩侵蝕導致土砂流出、河床上升、洪水氾濫所造成災害之防止
＜短、中長期的土砂移動現象＞
■ 崩塌地二次崩塌與擴大崩塌導致土砂流入堰塞湖的抑制

1.1 堰塞壩上游流域淹水災害的防止與排除

堰塞壩形成後，上游區域的河川與溪流水流在此淹水，此時若上游區域有保全對象，就會出現淹水災害。

■ 堰塞壩上游區域淹水災害的基本對策
→水位上升的抑制、淹水的消除（排水）

1.2 堰塞壩潰壩的防止

堰塞壩潰壩係短期的土砂移動現象，堰塞壩潰壩會產生大規模土石流或土砂流，直接造成下游區域土砂災害，其間接流出的土砂也會導致河川上升與洪水氾濫災害。

■ 堰塞壩的潰壩的基本對策
— 溢頂破壞
→抑制堰塞湖水位上升、讓溢水流安全往下游流動
— 滲流（管湧）破壞
→抑制水位上升，實施排水
— 堰塞壩結構破壞： 溢頂破壞與滲流破壞之外的崩塌現象
（ex. 降雨所導致堰塞壩表層崩塌、表面侵蝕等所造成的現象）
→堰塞壩的穩定化與表面侵蝕的防止，讓溢水流安全往下流動

◆ 「大規模崩塌對策技術相關的基本事項」
→ P.15 3.2(2) 針對各種不同堰塞壩類型的硬體對策種類與機能
◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」
→P.54 表 3.4 依據不同堰塞壩構成材料所實施的堰塞壩潰壩分類
◆ 「以大規模堰塞壩的形成、潰壩為對象的異常土砂災害對應手冊（案）」
→ P.6.1.3 潰壩的特徵

1.3 堰塞壩侵蝕的防止

堰塞壩的侵蝕是短期現象，也可能是中長期土砂運移現象。發生激烈侵蝕，潰壩之際可能出現土石流或土砂流。中長期而言，堰塞壩慢慢受到侵蝕、土砂往下游區域流動，會造成河床上升，導致洪水氾濫災害。

■ 堰塞壩基本的侵蝕對策

→ 堰塞壩的穩定化、表面侵蝕的防止、讓溢水流安全往下流動

1.4 崩塌地土砂往堰塞壩流出的抑制

崩塌地出現二次崩塌或擴大崩塌導致土砂往堰塞壩流時，土砂可能往堰塞壩下游區域流出，導致河床上升以及洪水氾濫災害。又，崩塌土砂進入堰塞湖淹水區，越流可能造成堰塞壩侵蝕與潰壩。並且難以確保堰塞壩對策工程實施的安全。

■ 抑制崩塌地土砂往堰塞壩流出的基本做法

→崩塌地出現二次崩塌、擴大崩塌的抑制，土砂流出的抑制

2. 堰塞壩形成後的對應

為實施前述之對策，下列對應工作應先迅速實施。

此外，這些對應工作原則上應在數天內完成，以便盡快實施堰塞壩淹水對策。但若天候不良，也盡力因應。

2.1 堰塞壩對策決策與指揮命令系統的確立

■ 決策者的決定

・實施堰塞湖對策，除了設置現地對策本部（位於堰塞湖現場附近），並應確立決策者（行政首長）。

■ 指揮命令系統的確立

・除了決策者之外，也應決定現地對策責任者（施工業者），並整建相關通訊連絡體制。初次發布指揮命令，使用衛星行動電話。

・決策者與現地對策責任者之間，不需設置中間人，以防止資訊錯綜混亂

■ 與當地民眾分享資訊

・為了爭取地區民眾協助，以順利推動對策，應將市町村長與地區首長納入現地對策本部，分享對策相關的資訊。

2.2 堰塞壩地點、通路的掌握

■ 堰塞湖位置的確認

- 確認堰塞湖形成地點的同時，也應確認堰塞湖上下游區域是否有保全對象（聚落、公共設施、道路等）

■ 通往堰塞湖道路的確認

- 通往堰塞湖道路的確認：
  1) 從災區外到堰塞湖周邊的大區域（範圍）路線
  2) 從堰塞湖周邊地區進入的道路
- 2)的部分，應確認有無可抵達堰塞湖的道路、登山道、鄉村道路、鐵路（含已廢線者）。
  →能否將重機械與資材機具送到現場，以及運送能力的侷限、對策工程效率性等的檢討
- 了解新完成的重機械運送路線（含使用堰塞湖上的工作船），以及施工道路整建的狀況等，掌握周邊地形條件（起伏、山谷形狀、斜面坡度等）。
  →以重機械完成新整建路線的選定
  →直升機：能實施吊掛飛行作業的路線，以及直升機起飛場的檢討

上述有效資料與數據的取得方法如下。

・可攜式斜拍攝影系統：直升機

將飛行中所拍攝影像處理成三維影像，取得地形數據

→2013 年 10 月伊豆大島土砂災害的拍攝，有實際成效（成果）

・可攜式斜拍攝影系統：UAV(無人飛行載具）

將無線遙控直升機所拍攝影像處理成三維影像，取得地形數據

→2011 年 9 月伊豆大島土砂災害（那智川）的拍攝，有實際成效（成果）

・合成孔徑雷達（SAR）：人工衛星

任何天候都能操作，取得地形變異狀況

→2011 年 9 月伊豆大島土砂災害（長殿）的拍攝，有實際成效（成果）

◆「大規模崩塌對策技術相關的基本事項」

→ P.15 3.2(2)　針對不同堰塞壩類型的硬體對策種類與機能

◆「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.3-10 3.3　資材機具運送的檢討

→ P.參 7.4　以直升機進行空中運送

■ 堰塞壩場所的特定案例

＜以直升機實施調查案例＞

・紀伊半島大水災之後，為了掌握堰塞湖的形成狀況，也就是第12號颱風產生災情之後立刻派出直升機，實施調查。另外也使用雷射測距儀與GPS，量測堰塞湖的形狀與位置。



直升機從空中拍攝的堰塞壩狀況（赤谷地區）

■ 堰塞壩場所的特定案例

＜以合成孔徑雷達篩選之案例＞

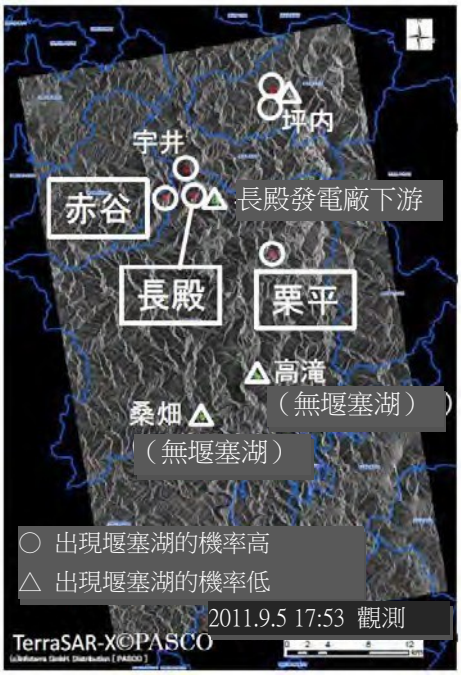
【背景、過程】

・堰塞壩之對策，應盡可能在少量淹水階段就迅速發現堰塞壩。但夜間及天候惡劣時無法實施直升機調查，即使紀伊半島大水災的第一天，因雲量太多無法實施直升機調查，只完成長殿地區的直升機攝影，因此改用即使夜間與惡劣天候也能實施的地表狀態高解析度合成孔徑雷達影像判釋。

【實施結果】

・紀伊半島大水災，藉由實施高解析度 SAR（合成孔徑雷達）影像判釋，篩選出 6 個最可能出現堰塞壩的地點，包括赤谷地區、長殿地區、栗平地區。

・影像判釋主要參考災害前的 ALOS 影像（太空遙測）、國土地理院 10m 網格 DEM（地形模型）等，找出其中與長殿地區大規模崩塌地點相同的影像模式。





長殿地區（判釋用參考依據）



赤谷地區



栗平地區

以合成孔徑雷達篩選的結果

※2011 年紀伊半島颱風 12 號土砂災害調查報告、土木研究所資料

■ 堰塞壩地形數據之取得案例

＜以可攜式斜拍攝影系統之案例＞

【背景、過程】

・以直升機進行調查時，常出現攝影位置與崩塌地拍攝目標距離太遠的問題，因此需要一些時間才能確認所拍崩塌地是否有堰塞壩。可攜式斜拍攝影系統能進行直升機調查、取得拍攝目標的位置資訊。



可攜式斜拍攝影系統（赤谷地區）

■ 將資材機具送往堰塞壩之案例

・將資材機具送往堰塞湖，上述紀伊山地的例子之中，很難開闢通往對策實施地點也就是堰塞湖的道路，因此以「直升機運送」、「沿著河道開闢運送路線」、「架設臨時便橋渡河」等方法，運送資材機具。

・此外，2004 年新潟縣中越地震時，芋川東竹澤地區也有實施「利用組合式工作船（平台）經由水面運送重機械」的例子。

⇒本資料 P.43~67

2.3 堰塞湖的形狀、規模、蓄水量的量測

■ 堰塞湖形狀、規模的量測

・以空載光達測量（LiDAR）實施堰塞壩形狀、規模與周邊地形的量測。

・依據已取得的地形資料，獲取下列相關資訊。

一、平面特性：周邊地形概況的掌握

→大規模崩塌的崩塌土砂量、崩塌寬度、長度與深度

→堰塞湖的堵塞土砂量、寬、長、高、坡度、浸水量

→可能開挖土砂量估算的相關基礎資料

→進行對策工整備範圍檢討的相關基礎資料

（導流堤、壩工、水路工、隧道工 等）

二、橫斷特性：與河道方向直交 3 條測線左右的斷面

→堰塞壩與崩塌地的位置關係：

緩衝帶、作業場規模的檢討

→ (斜面)坡面的縱斷形狀、邊坡穩定分析

二次崩塌等的危險度評估

可能開挖範圍、高程的檢討

三、縱斷特性：與河道方向平行 3 條測線左右的斷面

→堰塞壩的縱斷形狀：

溢頂破壞、滲流（管湧）破壞等的危險度評估

依據高度與坡度判斷可開挖範圍與高程的檢討

■ 蓄水量的量測

・同樣利用堰塞壩上游地形量測資料，檢討堰塞湖滿水位時的最大蓄水量與 H-V 曲線((水泵揚程）水位高差（H)和入流量（V）的關係曲線）

形成複數堰塞壩時，上述資訊可作為對策優先順位排定的基礎參考資料。

上述有效資料與數據取得的方法如下。

・可攜式斜拍攝影系統：直升機

將飛行中拍攝的影像處理成三維影像，取得地形數據

→2013 年 10 月伊豆大島土砂災害的拍攝，有實際成效（成果）

・深淺測量：測量船

利用聲納探深器的反射波取得堰塞壩水面下的地形資料

→2011 年 9 月伊豆大島土砂災害（長殿）的測量，有實際成效（成果）

◆ 「堰塞壩監測技術手冊（案）」

→P.10 .32 堰塞壩整體的狀況掌握（概況調查）

◆「以大規模堰塞壩的形成、潰壩為對象的異常土砂災害對應手冊（案）」

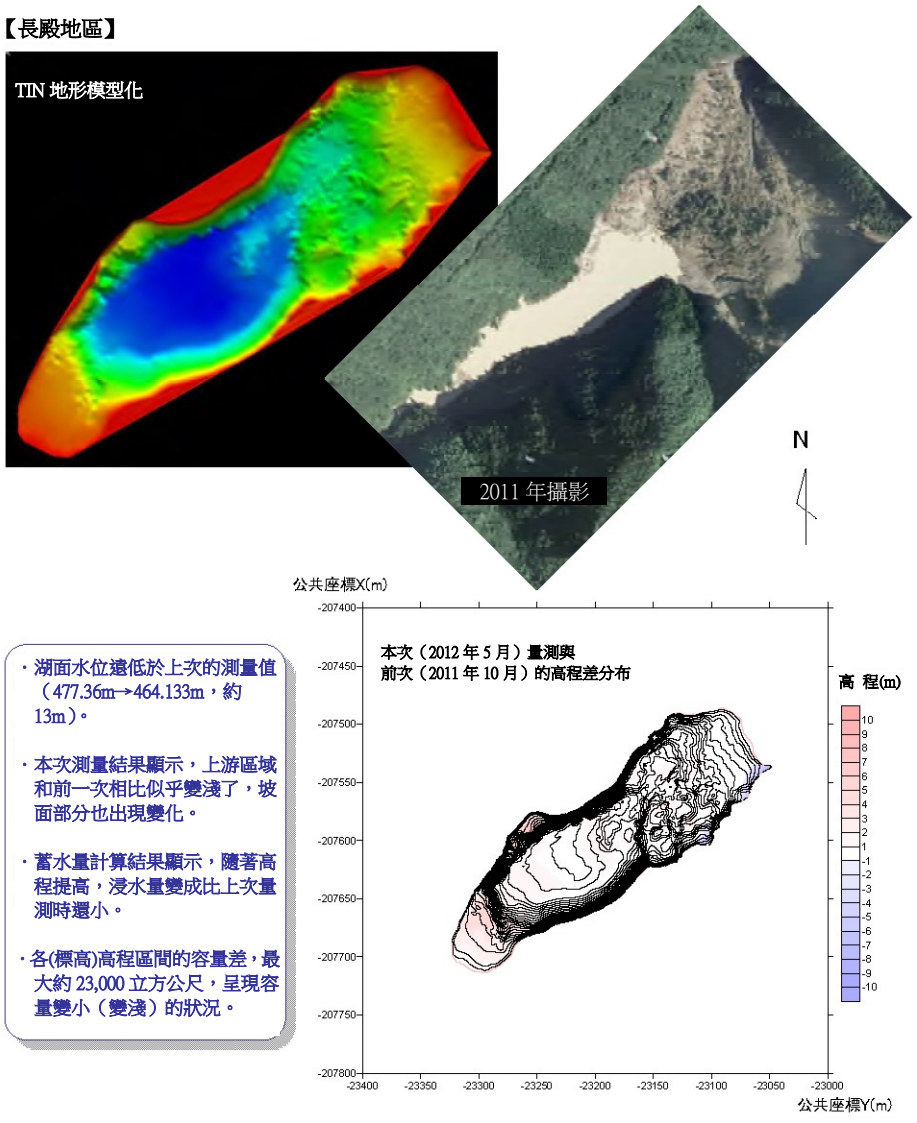
→P.31　3、4、5 概略調查的實施

■ 蓄水量的量測案例

＜測量船實施深淺測量案例＞

【背景、過程】

・進行堰塞湖警戒避難體系整備，有必要先實施盡量精確的溢流預測。因此，應在堰塞湖上游區域實施堰塞湖的定期深淺測量，算出蓄水量並製作 H-V 曲線，提供警戒避難體系參考。此外，實施深淺測量所取得的 H-V 曲線，在計算堰塞壩開挖或堰塞湖回填所需土方量時，也可派上用場。



深淺測量的量測結果（長殿地區）

※2012 年 3 月深淺測量結查結果（長殿地區）

2.4 堰塞壩（淹沒區）周邊雨量、上游入流量與堰塞湖水位、堰塞壩下游流量的觀測

預測堰塞湖到達滿水、溢流所需時間以及溢流時的流量預測，應實施以下觀測。

■ 堰塞湖周邊雨量的觀測

・觀測堰塞湖周邊及上游區域的雨量。

一、簡易雨量計（電池驅動）

二、通訊設備（傳送即時數值）

■ 堰塞湖上游來水量（入流量）的觀測

・觀測流入堰塞湖之支流流量（儘可能涵括所有支流的入流量）。

一、水壓式水位計（電池或太陽能板驅動）

二、通訊設備（傳送即時數值(數據)）

■ 堰塞湖水位觀測

・觀測堰塞湖水位，並運用 2.3 所製作 H-V 曲線，研判蓄水量。

一、空投型浮筒式水位計（電池驅動）

二、水壓式水位計（電池或太陽能板驅動）

三、通訊設備（傳送即時數值(數據)）

■ 堰塞壩下游流量的觀測

・堰塞壩下游有水流時，觀測其流量。

一、水壓式水位計（電池或太陽能板驅動）

二、通訊設備（傳送即時數值(數據)）

上述有效資料與數據取得的方法如下。

・土研式浮筒式水位計（空投型）：直升機

由直升機搭載、拋投浮筒式水位計，可透過通訊衛星傳送水位數據

→ 2011 年 9 月紀伊半島大水災（赤谷、長殿、栗平、熊野）進行觀測有實際成效

◆「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.2-8 2.4.2 堰塞壩到達開始溢流及上游區域產生淹水災害所需的時間

◆「堰塞壩監測技術手冊（案）」

→ P.16 4.2 堰塞湖水位的監測

→ P.16 4.3 堰塞湖入流量的掌握

→ P.16 4.5 堰塞湖出流量的掌握

◆「以大規模堰塞壩的形成、潰壩為對象的異常土砂災害對應手冊（案）」

→ P.31 3.4.5 概略調查的實施

■ 堰塞湖周邊雨量的觀測案例

＜雨量計案例＞

【背景、過程】

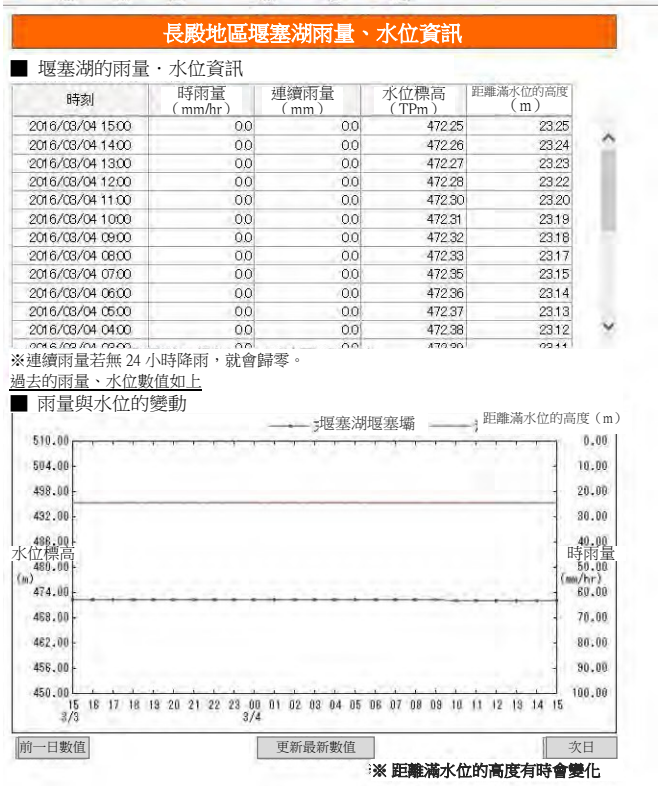
・堰塞湖形成的地點難以確保取得商用電源，並且不易實施配電電纜架設工程。因此，基本上應使用非商用電源之電池+太陽能板驅動的觀測機器，並應考慮配置能無線傳送訊息的機器。

【實施結果】

・赤谷地區、長殿地區、栗平地區、北股地區、熊野地區各堰塞湖地點設置雨量計，觀測數值(數據)公布在紀伊山地砂防事務所網頁。



利用雨量計實施觀測的狀況（長殿地區）



紀伊山地砂防事務所網頁資訊公開狀況（雨量、水位）

■ 堰塞壩上游入流量觀測案例

＜水壓式水位計案例＞

【背景、過程】

・堰塞湖形成地點難確保能取得商用電源，並且不易實施配電電纜架設工程。因此，基本上應使用非商用電源之電池+太陽能板驅動的觀測機器，並應考慮配置能以無線傳送訊息的機器。

【實施結果】

・為了掌握堰塞湖上游的入流量，在赤谷河道實施水位計觀測。堰塞湖上游河道較淺，因此採用常見的壓力式水位計。



水壓式水位計實施觀測的狀況（赤谷地區）

■ 堰塞湖水位的觀測案例

＜土研式浮筒水位觀測計（空投型）案例＞

【背景、過程】

・土研式浮筒水位觀測計（空投型）係以直升機吊掛運送、拋投就能完成設置的水位計，特徵是在難以進入現場的堰塞湖可儘早完成水位計設置

【實施結果】

・紀伊半島大水災時，在赤谷地區、長殿地區、栗平地區、熊野地區設置土研式浮筒水位觀測計（空投型），成功地完成即時水位觀測。

・熊野地區的水位計出現設置在河床上的水位計滑落、傾覆，水位計所在位置深度下降，導致所傳送出來的水位數值上升。

・栗平地區出現土砂流入堰塞湖、機器被捲入造成破損的狀況。

・利用衛星所傳送數值有時會遲延，9 成以上都在 5 分鐘內完成，但有時因為周邊地形與衛星配置關係，出現較明顯的延遲。



土研式浮筒水位觀測計（空投型）



土研式浮筒水位觀測計（空投型）的設置狀況（熊野地區）

2011 年紀伊半島颱風 12 號土砂災害調查報告，土木研究所資料

2.5 堰塞壩對策所需人員與資材機具的準備

■ 實施應急對策所需的臨時工程（抽水機排水）

・堰塞壩對策工程的實施，以及緊急抑制堰塞湖水位上升或使之降低，需實施下列臨時工程。

一、抽水機排水（含電動發電機與燃料）

二、排水管（高密度聚乙烯管等）

＊)抽水機排水為高揚程型（二段連結，全揚程為 20m，實質約 15m）

■ 對策工程所需重機、資材機具

・實施堰塞湖對策工程需準備下列重機械、 資材機具。

・這些機具都是能分解到直升機可運送重量的構造，並且盡可能是無人化的機械。

一、挖土機（1.0m^{3}級）

＊)各地方整備局：配備可進行 1.0m^{3}級分解的無人化重機械

二、吊車（可吊重 2.9 噸的吊車）

三、越野搬運車（履帶式翻斗車：2.5t 級~7t 級，履帶式車輛）

四、推土機

五、排水管（高密度聚乙烯管、U 型槽管等）

六、混凝土與工廠設備（製造防砂用水泥土壤拌合物）等

・國土交通省難以完成重機械搬運工作時，可與自衛隊合作）

■ 運送資材機具準備體制的建立

・運送作業人員與重機械前往堰塞壩現場，原則上應建立特別的運送方法機制

・堰塞壩對策工程所需人員與重機械運送方法，基本上如下。

一、直升機（運送重機械使用大型直升機，運送作業人員使用小型直升機）

二、越野搬運車（履帶式翻斗車：確認重機械能進入現場之後實施）

三、四輪傳動車輛

四、水陸兩用車等

■ 作業人員安全勞動環境的確保

・作業人員在現場工作，應提供安全且良好的勞動環境。

上述有效資料與數據取得的方法如下。

・斜面量測機器

利用 GPS 量測機器即時地觀測崩塌地頂部變位狀況

→2011 年 9 月紀伊半島大水災（赤谷、長殿）進行觀測有實際成效（成果）

◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.4-25 4.7 所需資材機具與材料的選定

→ P.3-10 3.3 資材機具運送方法的檢討

→ P.參 7 4. 以直升機進行空運

■ 資材機具案例

＜抽水機排水設置案例＞

・抽水機排水的現場條件限制較小，可快速搬送到現場，儘早發揮抑制堰塞湖水位上升的效果。紀伊半島大水災時，也在各堰塞湖地點實施抽水機排水。

・紀伊半島所實施抽水機排水的設置案例，參見後述「Ⅲ.2. 堰塞湖的排水方法」。





水中抽水機設置案例（寺野地區／中越地震）





抽水機排水設置案例（東竹澤地區／中越地震）

＜對策工程所使用營建重機械案例＞

・紀伊山地栗平地區與長殿地區並無道路通往對策工程實施地點，因此準備以直升機吊送的可分解式重機械。

・1.0m^{3}級可分解式油壓挖土機能分解成 13 組零件，送到工程現場再以組裝用吊車二輛，進行組裝。

⇒本資料 P.43~67

以直升機空運營建重機械

地區名	重機械種類	輛數	能否分解
栗平	油壓挖土機（0.1m^3）	1	不可分解
	油壓挖土機（0.15m^3）	12	可分解
	吊車（吊重 2.9t）	8	可分解
	翻斗搬運車（2.5t）	1	不可分解
	翻斗搬運車（7t）	6	可分解
長殿	油壓挖土機（0.1m^3）	2	不可分解
	油壓挖土機（0.15m^3）	6	可分解
	油壓挖土機（1.0m^3）	2	可分解
	吊車（吊重 2.9t）	4	可分解
	翻斗搬運車（2.5t）	3	不可分解
	合計	51	

2011 年紀伊半島大水災 國土交通省近畿地方整備局 災害對應的紀錄

＜對策工程所使用排水管案例＞

・紀伊山地主要利用高密度聚乙烯管作為暗渠排水管。

⇒本資料 P.68~118



高密度聚乙烯管（栗平地區）

・U 型槽方面，紀伊山地熊野地區應用在排水路工上。




U 型槽利用案例（熊野地區）

＜水泥與工廠設備（砂防用水泥土壤拌合）案例＞

・紀伊山地長殿地區設置砂防用水泥土壤拌合機，在作業空間有限的情況下，達成高效率施工。

⇒本資料 P.142

■ 人員輸送方法案例

・紀伊山地的栗平地區初始並無道路可前往對策工程實施現場，從現有道路過去還有一大段距離，因此利用直升機運送人員。

・此外河床道路整建完成後，以水路兩用車、覆帶式雪地車輸送人員，但效率都不佳。

⇒本資料 P.43~67

■ 重機械、資材機具運送方法案例

・重機械與資材、機具運送方法方面，紀伊山地的栗平地區運用了越野搬運車。

⇒本資料 P.43~67

2.6 整備目標期間基本對策的因應

■ 整備目標期間的構想

・堰塞湖對策基本上是以下一次洪水期為止，作為整備目標期間。

■ 依據實施可能性設定對策工程的計畫規模

・綜合掌握堰塞湖的形狀、規模，以及到下一次洪水為止所剩時間、施工能力等，設定當前的計畫規模。

■ 緊急對策規格基準的檢討

・ 作為緊急對策而施工的堰塞湖對策構造物，應注意發生堰塞壩是否有不均勻沉陷等狀況，必要時應檢討放寬工程能力管理之基準。

→紀伊山地堰塞壩規模（高度）相當大，挖掘土方量大且因為車輛難以抵達現場、施工能力差，因此設定以二年重現期距流量作為當前的計畫規模。

→但現實上對象流量可能變大，因此不能只依據年重現期距規模等實施規模檢討，也應設定整備目標期間內可能施工的範圍。

→赤谷地區臨時排水路受洪水沖刷，不斷破損與修補，堰塞壩的不均勻沉陷也造成施工中的構造物出現±10cm 左右變形，但不影響通水機能。但仍有必要修補，以便和平常一樣適用工程能力檢查基準。

→緊急對策須能提早發現是否出現效果，因此，應評估其所具備的設施效果，檢討是否放寬工程能力管理基準。

3. 堰塞壩形成後對策計畫的檢討

依據 1.所說明對策基本內容，配合堰塞湖規模及今後所預測之土砂移動現象（堰塞壩潰壩、侵蝕等），檢討對策計畫。

3.1 堰塞湖形成後的對策計畫

■ 堰塞壩挖開與堰塞湖回填

・釜底抽薪之計，最好能除去堰塞壩，但現實上很難達成這項目標，因此基本上應盡可能降低堰塞壩高度（開挖）。

・堰塞壩下挖範圍，包括堰塞壩的頂端與下游面。在下游面實施開挖並將開挖後的土砂整平，降低堰塞壩下游面坡度，減少一旦溢流時的侵蝕力。

・堰塞湖形成後造成大規模土砂移動的主要原因為水流，因此，應填平或縮小堰塞湖規模，排除造成大規模土砂移動現象的因素。

・堰塞湖填平、縮小規模之後，堰塞壩的滲流路長度會變長，平均水力梯度降低，可抑制滲流（管湧）破壞。

・但若堰塞壩下游區域接近保全對象，應注意避免降低堰塞壩高度（開挖）所可能造成的不良形響。

・此外，堰塞壩下挖或填平堰塞湖，會造成堰塞壩溢流之負面效果（縮短溢流時間、增加溢流次數），因此應在確保堰塞壩下游具備足夠排水機能的狀態下實施。

■ 堰塞壩排水路（明渠、暗渠）的確保

・為了防止堰塞壩溢頂破壞與滲流（管湧）破壞，需抑制堰塞湖水位上升或使之降低，必要時應實施安全且有效率的堰塞壩下挖工程，此時須確保排水路。

・ 排水路構造（明渠、暗渠）應評估堰塞壩的地形與地質特性、施工性等決定。此外，為了達成水流消能的目標，排水路坡度應盡可能放緩。

・堰塞壩趾部的排水路末端，應注意水流本身所可能造成的局部淘刷與河床降低的現象。

■ 堰塞壩下游基幹壩的建造

・為了抑制堰塞湖上游區域與崩塌地、堰塞壩劇烈侵蝕所產生的土砂，可在堰塞壩趾部或下游區域設置基幹壩。

・這種堰壩在抑制堰塞壩上游區域與排水路所流出水造成的局部淘刷與河床降低的現象。

■ 抑制崩塌地土砂流出

・為了確保堰塞壩對策工程安全、抑制堰塞湖土砂往下游流出，應利用防護堤與導流堤，抑制崩塌地土砂流出。

■ 堰塞湖下游河道的土砂、洪水氾濫對策

・為防止堰塞壩下游河道的土砂與洪水氾濫之對策，現有防砂壩清淤，以減少土砂流出，並實施堤防加高等，確保土砂流下能力。

・上述目標**原則上應同時實施**，但仍應綜合掌握堰塞湖的形狀、規模、溢流預估時間等狀況，**檢討優先實施順序**。

・堰塞壩開挖形狀、防砂壩設置地點等對策實施的判斷，希預測溢頂侵蝕形狀或影響範圍，評估其結果作為參考。

◆ 「大規模崩塌對策技術相關的基本事項」
→ P.27 3.3 長時間存續型的堰塞湖硬體對策

◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」
→ P.3-3 3.2 對策工檢討所應評判斷項目的檢討

3.2 對策實施可能性的評估

應配合現地狀況，事先評估現實上對策能否實施。

■ 以穩定分析評估堰塞壩下挖的範圍與高程

・在崩塌地（地滑）實施邊坡穩定分析，藉此評估堰塞壩下挖的可能範圍與高程。

・實施穩定分析時所使用的土壤參數（特別是 c，φ）及地下水位，應配合各種手冊與文獻所使用一般值與現地狀況，暫予設定。但若周邊地區調查取得新資料，應適度地更新。

■ 開挖土方量的計算

・依據所取得地形資料，計算預定挖範圍的土砂量，並依據送到現場的重機械施工能力，估算下挖所需時間等。

＜依據穩定分析估算排水開挖的設施底層高程的檢討案例＞

(1) 計算方法

為了說明設定排水路開挖時設施底層高程的概念，運用逆算法設定物理特性數值，計算排水渠道開挖時設施底層高程。

（輸入的計算條件）

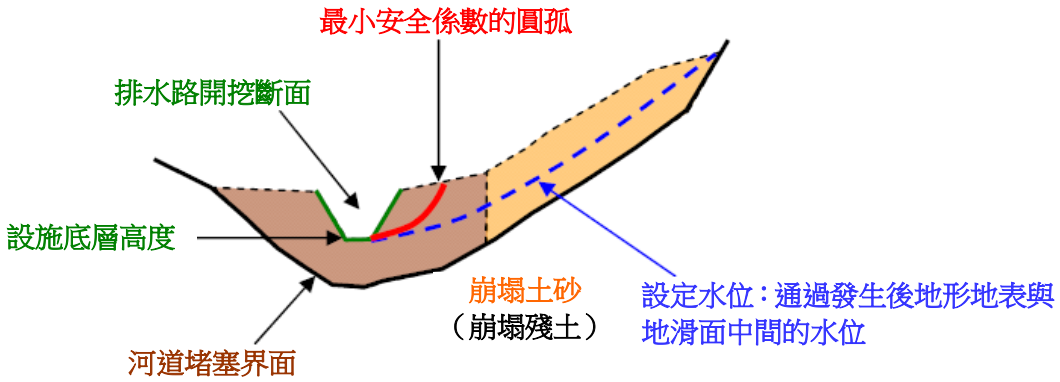
本計算依據過去的穩定分析結果，採用下列設定方法得到的物理特性數值（示意圖如下所示 ）。

C：依據崩塌坡面的土層厚進行設定

φ ：依逆算方式在崩塌後的地形與設定水位上，設定 FS＝1.00 物理特性數值。

水位：目前依據調查結果進行設定仍有困難，因此以「推測會通過崩塌發生後地形地表與地滑面中央的水位」設定之。

單位體積重量：依據土壤試驗結果進行設定

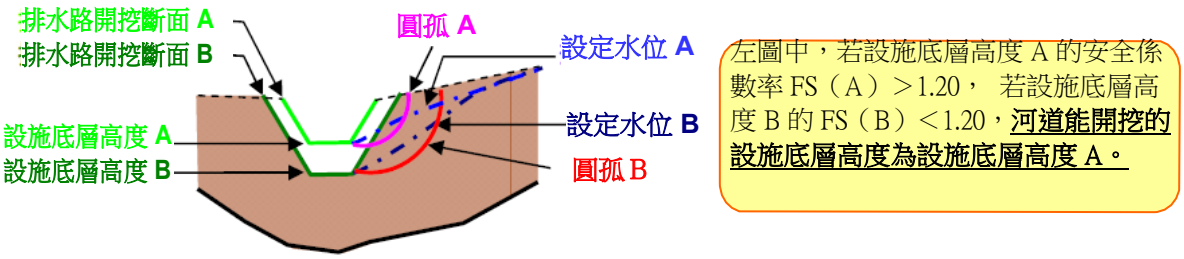


實施穩定分析的斷面示意圖（只記載單邊水岸）

（設施底層高程的設定方法）

實施河道開挖設定用來確保穩定性的設施底層高度時，應如下設定計畫安全係數。此外，河道開挖時的設施底層高度以 5m 為單位計算，算出滿足計畫安全係數的設施底層高度最低高程值。

計畫安全係數：旨在確認排水路開挖後能確保充分穩定性，計畫安全係數 pFS=1.20



不同設施底層高度的穩定分析計算示意圖（只記載單邊水岸）

＜赤谷地區的穩定分析案例＞

赤谷地區的穩定分析結果與斷面圖，如下所示。本案例，即使排水渠道設施底層高度為 472m，整個斷面也是 Fs>1.20，計算結果顯示，仍能確保穩定性。

穩定計算結果（赤谷地區）

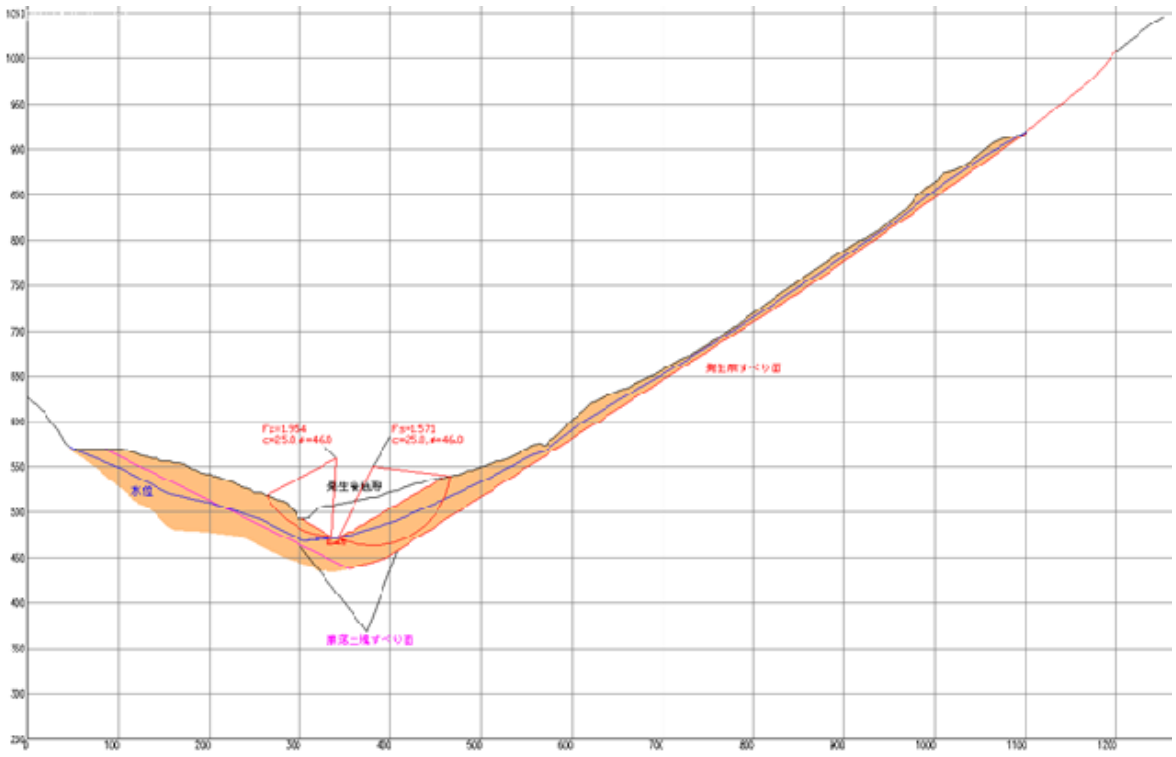
【對象地區：赤谷】現況安全係數 Fs

c-φ 設定條件	土質條件			計算條件	現況安全係數 Fs	設定臨時排水路時的安全係數	
						開挖時的安全係數 PFs=1.20 的排水路底層高度	
	γ	c (kN/m²)	φ (°)			崩落土塊	EL=472m，Fs=3.02
發生後地形 Fs=1.0、C=25 時的 φ 逆分析	17	25.0	46.0	崩落土塊	Fs=3.54	排水路兩岸的坡面 上：左岸 下：右岸	EL=472m，Fs=1.95 EL=472m，Fs=1.57

【對象地區：赤谷】開挖時安全係數 PFs

排水路設施底板高度	崩落土塊	排水渠道兩岸坡面	
		左岸	右岸
492	3.49	1.85	3.16
487	3.31	1.86	2.66
482	3.14	1.86	2.44
477	3.03	1.92	2.10
472	3.02	1.95	1.57
467	3.14	1.98	1.17
462	3.48	1.90	0.76

最大開挖可能深度（暫定）
20m（EL.492m→472m）



赤谷地區斷面圖

Ⅱ 對策工法的檢討

1. 堰塞壩形成後的對策工法

1.1 堰塞壩下挖與堰塞湖回填

■ 特　徵

・堰塞壩下挖與堰塞湖的回填以及縮小規模，能降低溢頂潰壩的危險性與潰決流量規模。

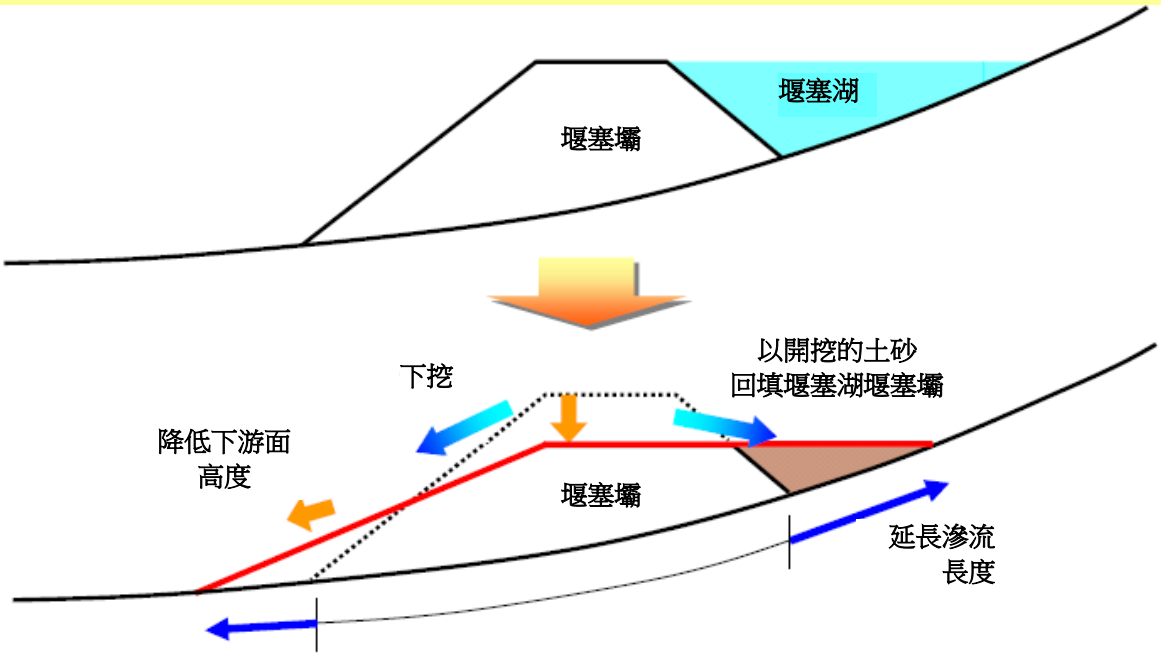
・降低堰塞壩下游面坡度，可提高滲流長度，降低滲透破壞危險性。此外，也能降低溢水流的流速，發揮堰塞壩趾部的消能功能。

・因為是對策工法的初期施工，降低堰塞壩高度（開挖）的範圍，設定在開挖土砂量較小的最深河谷沿線（堰塞壩鞍部、凹部）。

【注意構想】

・若已產生淹水，應實施抽水機排水、暫時降低水流量位再施工。

・堰塞壩下挖與堰塞湖回填會對堰塞壩的溢流產生負面效果（縮短溢流的時間、增加溢流次數），因此應確保堰塞壩下游面排水機能後再實施。



堰塞壩下挖與堰塞湖的回填示意圖

◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.3-3 3.2.1 堰塞壩開挖、除去的檢討

1.2 暗渠排水管的設置

■ 特　徵

・在堰塞壩開挖的底面設置暗渠排水管，可抑制堰塞湖水位上升，降低溢頂潰決危險性與潰決流量規模。

・在不受崩塌地流入堰塞湖土砂或流木影響下排水，但應有進水口阻塞對策。

・雖然原本暗渠的管徑應依據計畫流量設定，但本對策主要係配合器材搬入與施工性之方便，進行設定。

・設置暗渠排水管時，應假設排水管可能堵塞，和臨時排水渠道工併用的設計（雙重設置）。

・無需以人力操作。

【注意構想】

・若堰塞壩開始淹水，應暫時用抽水機排水降低水流量位，再行施工。

・開挖並設置暗渠排水管時，應盡量避免開挖對坡面穩定性造成不良影響。此外，應避免在縱斷方向連續開挖，而應將開挖部分劃分幾個區塊，每個區塊完成開挖並埋設暗渠排水管後，再進行下一個區塊施工。

・須注意堰塞壩可能出現管湧現象。

◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」
→ P.3-6 3.2.2.1 排水對策的檢討
→ P.3-6 3.2.2.2 各種排水方法的整理
→ P.4-8 4.2.3 管渠排水

⇒本資料 P.68~117

1.3 臨時排水路工的設置

■ 特　徵

・設置臨時排水路工可讓溢水流安全流下，降低溢頂潰決危險性與潰決流量規模。

・堰塞壩的下挖需相當時間時，若能整地，可利用分解、組裝式水路工（U 型槽）或不織布模板等，在堰塞壩表面設置臨時排水路。

＜計畫流量＞

・應參考該地的都道府縣砂防技術指南等，設定臨時排水路的計畫流量。但若能依據現地取得的降雨與流量數據設定，不在此限。

＜中心線＞

・堰塞壩下挖時，中心線設在下挖範圍的底面。又，為了儘早施工，在與上述堰塞壩下挖範圍相同，以開挖土砂量最小的最深河谷沿線（堰塞壩鞍部與凹部）作為臨時排水路工的中心線。

・但考量長期對策之施工，並且為了降低堰塞壩下挖對崩塌地造成不良影響，應盡可能將中心線設定在崩塌地對岸山腳沿線。

＜臨時排水路的形狀＞

・臨時排水路的深度，依重機械的施工性設定之。此外，為了降低堰塞壩下游面的流速（水深），及考量需長期對策之施工，盡可能放寬臨時排水路的寬度。

・另外，為了降低流速，可在水路工表面增加粗糙度。

【注意構想】

・堰塞湖已開始淹水時，應實施抽水機排水以暫時降低水流量位，再行施工。

・漏水對策方面，可在臨時排水路與地表之間，鋪設塑膠布（不透水布）。

◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.4-6 4.2.2 緊急排水渠道的開挖

→ P.4-11 4.3.1 本體開挖（排水路設置）

⇒本資料 P.68~117

1.4 堰塞壩趾部與下游基幹壩的構築

■ 特　徵

・溢流導致堰塞壩侵蝕時，堰塞壩趾部之固定，可降低堰塞壩潰壩危險性與潰決流量規模。

・消能效果可降低排水路工下游端局部淘刷與河床降低，防止堰塞壩侵蝕。

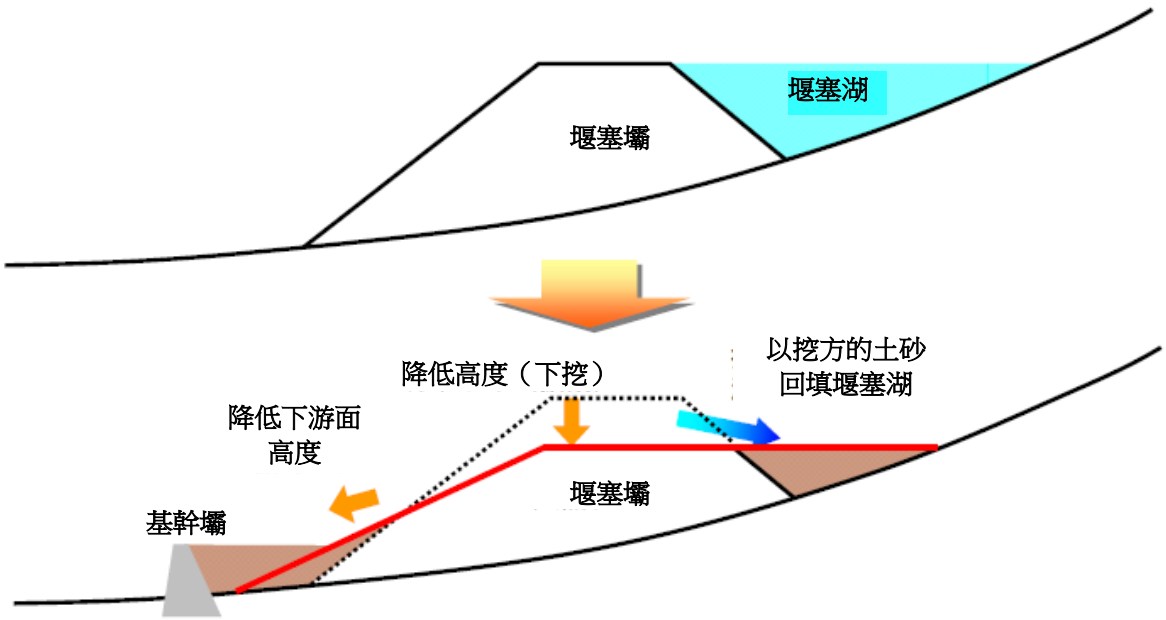
【注意構想】

・考慮施工期間，希運用混凝土塊或防砂用水泥土壤拌合物的壩工，但應注意表面磨損對策之因應。

・應用混凝土塊之壩工，若壩下游出現淘刷，可能導致壩下游側混凝土塊沉陷或移動，有整體倒塌之虞，因此，應採取壩基處理，進行壩基改良與混凝土打設等。

◆ 「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.4-20 4.4.1 利用防砂壩的淤砂可抑制堰塞壩下游土砂移動



堰塞壩趾部與下游基幹壩的構築示意圖

⇒本資料 P.132~148

2. 施工期間降低水流量位的工法

2.1 以推進工法設置堰塞壩暗渠排水管

■ 特　徵

・利用掘進機在不開挖堰塞壩之情況下設置暗渠排水管，可不受崩塌地土砂流入堰塞湖影響，能有效率地進行施工。

・若能同時開挖排水，可縮短施工期間。

【注意構想】

・堰塞壩內若有倒木或巨礫而難以往前掘進，應事先利用鑽掘或先進導坑開挖等方法，盡可能提早掌握堰塞壩內部障礙物的分布狀況。

・為了避免掘進機沉陷，應事先掌握堰塞壩內部的支撐力。

上記事例之中，可使用工法如下。

・以推進工法設置暗渠排水管（2011 年颱風 12 號紀伊半島大水災）
栗平地區的實際成果

⇒本資料 P.68~117

2.2 排水隧道的整建

■ 特　徵

・利用 TBM 或潛盾機等的推進方法或 NATM 工法（新奧地利隧道施工法），開挖堰塞壩上下游之間的排水隧道，可不受崩塌地土砂流入堰塞壩影響而得以順利施工。

【注意構想】

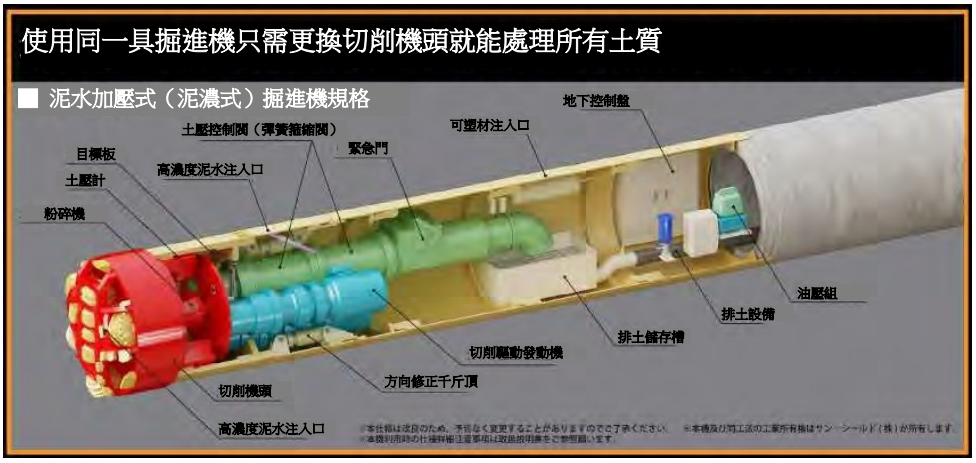
・對堰塞壩而言，開挖地表較容易，而 TBM 或潛盾工法分別要使用 TBM 與潛盾機；NATM 工法則須實施噴凝土與岩栓打設的專用機器搬到現場，因此需先開闢抵達現場的道路。

・TBM 工法與潛盾機工法開挖隧道速度快，但 TBM 與潛盾機得配合現場狀況客製化，耗費相當時間才能開工，因此，若情況緊急，應考量對策所需時間，選擇適當工法。

・NATM 工法主要是用機械與人力開挖岩盤，是較容易處理地質變化與障礙物的工法，因此受到廣泛使用。

＜隧道施工方法案例＞

・推進工法係非明挖工法的一種，是以推進管（主要是鋼筋水泥管）前端架設掘削機，在地中掘進。利用後方推進豎坑的油壓千斤頂，將推進管往前推。



推進工法掘進機規格圖

※泥水加壓式（泥濃式）推進工法手冊，泥水加壓式推進工法協會



推進工法掘進機

・潛盾機掘進法、TBM 工法之中利用油壓千斤頂直接驅動挖掘機前進，並在所挖出隧道內組裝環片（框架）的工法。

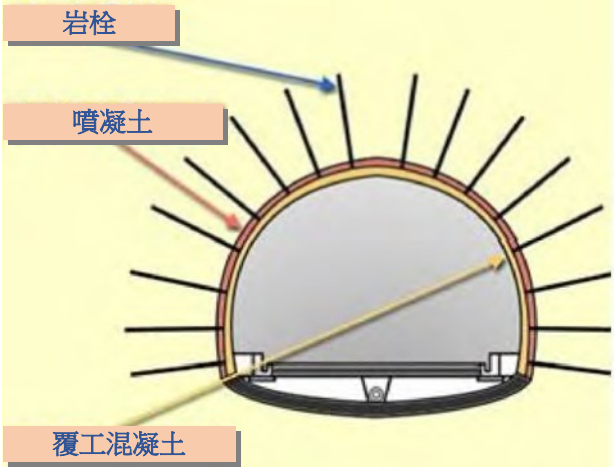


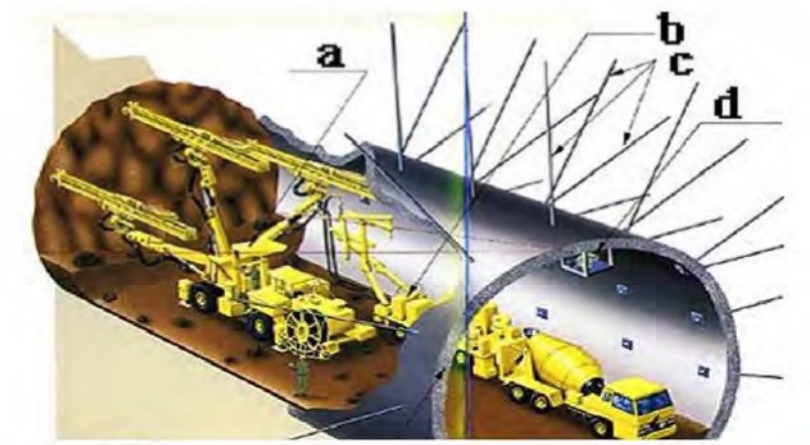
TBM 工法（潛盾型 TBM）



潛盾掘進工法（泥土壓式潛盾機）

・NATM 工法（新奧地利隧道施工法）係山區常用隧道工法之一。方法是開挖部分立刻用噴漿土加以固定，並直接把岩栓打到岩盤深處，利用岩體自持力特性而發展成功的施工方法。





NATM 工法示意圖

（a...巨型伸臂滾輪機、 b...巨型伸臂噴混凝土機、c...岩栓、d...自動測量系統）

NATM 工法示意圖

2.3 抽水機排水

■ 特　徵

・堰塞壩對策工程的實施以及抑制或降低堰塞湖水位急遽上升，需實施抽水機排水，將堰塞壩內的水排放到堰塞壩的下游河道。

・抽水機相對容易設置，能確實達到排水效果。

【注意構想】

・基本上需以人力操作。

・須注意不同揚程有排水能力限制，且以電動發電機排水，燃料成本可能大增

・抽水機排水原則上是短暫降低水流量位的臨時工法。

◆ 堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.2-12 4.3.2 以抽水機降低堰塞湖水位的排水

⇒本資料 P.68~117

3. 堰塞壩對策工法

堰塞壩對策工法應針對堰塞壩的形狀、規模（特別是堰塞壩高度）與崩塌地土砂流入的頻率，進行檢討。

3.1 對應堰塞壩高度的對策工法

■ 堰塞壩較低時（數公尺～10 公尺 左右）：全面開挖、溪流保護工（固床工群）

・若不會對崩塌地(地滑)造成影響，可實施全面開挖，拆除堰塞壩。

・實施堰塞壩下挖，也可同時整備溪流保護工（固床工群），防止堰塞壩侵蝕。

・堰塞壩低、溢頂潰決危險性較小，可使用滲透性較好的鋼製連續框或可調整鋼框。

◆「堰塞壩對策工程手冊（施工編）」

→ P.4-14 4.3.3 下游坡面尾端設置箱籠，以混凝土塊鋪設固床工或帶工（潛壩）

→ P.4-15 4.3.4 拆除本體（開挖）

■ 堰塞壩高數 10 公尺左右（最大 30 公尺）且下游坡面較陡時： 壩工群

・堰塞壩下挖後，為了確保堰塞壩之穩定性，構築可包含堰塞壩的壩群。壩的兩翼要嵌入山壁。

・構築壩群時，各壩體的堆砂區域利用防砂用水泥土壤拌合物等進行地盤改良，然後在上面設置壩工。

・構築壩工讓堰塞壩上游區域淤砂，可讓大規模崩塌或地滑的趾部固定，且即使出現崩塌地二次崩塌或擴大崩塌乃至於地滑再滑動，也可利用壩的淤砂區域，抑制土砂流出，因此應儘可能構築壩工。

・和常見的壩工構造相同，基本上不需維護管理。

・此外，壩工的構造可降低堰塞壩滲流破壞危險性，因此不使用透水性較高的鋼製連續框、可調整鋼框工、箱籠護墊。

→不使用鋼製連續框、可調整鋼框工與箱籠護墊的理由如下：

・填充材的粒徑選擇或設置等，需要較多施工時間

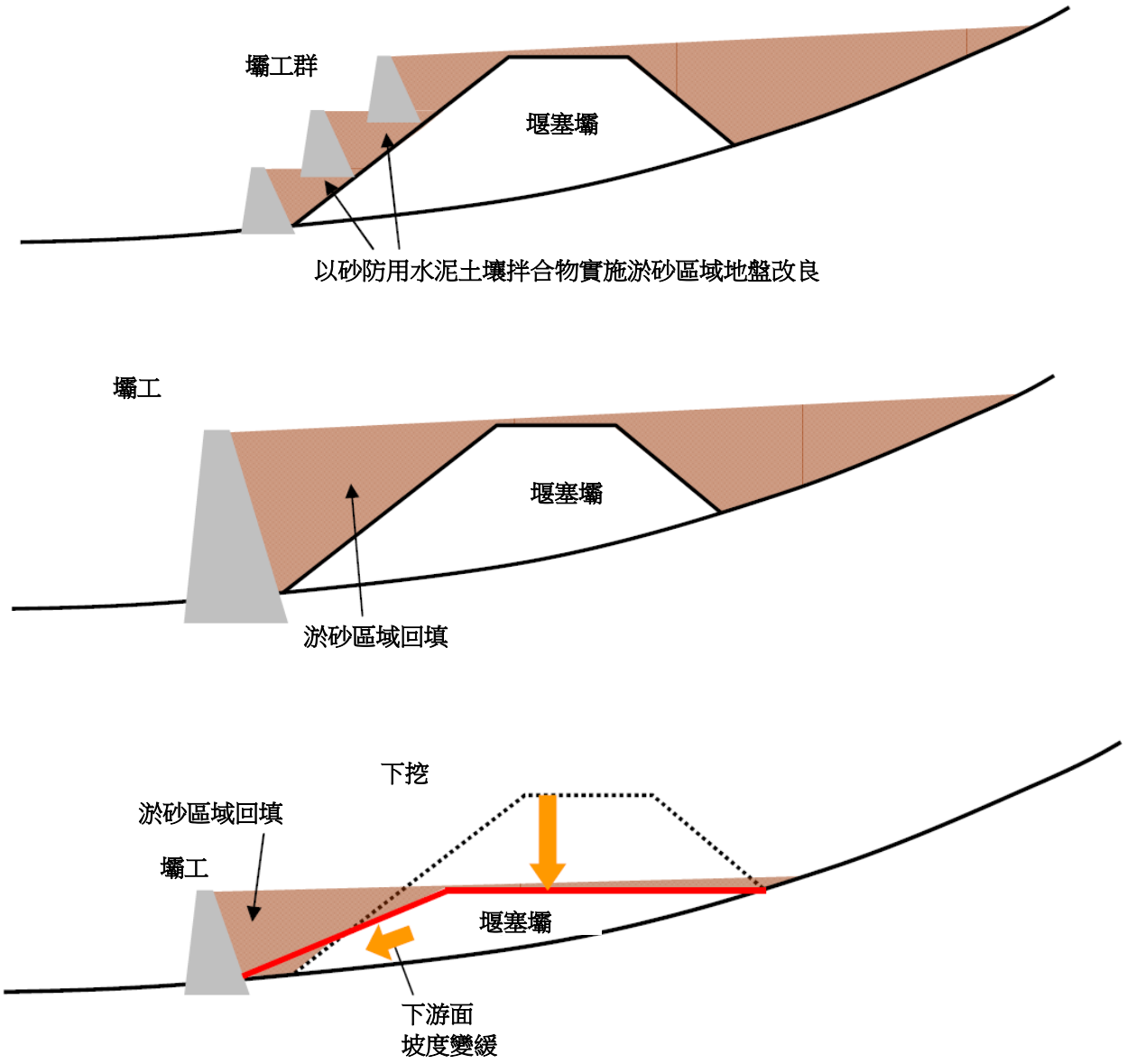
・水會透過構造物往堰塞壩內部滲透，可能助長滲流破壞

・水流可能導致填充材料從構造體內部流出

・構造物上方若堆積土砂，將很難以重機具加以排除

（以重機具排除時，容易導致構造體破損）

→防砂用水泥土壤拌合物可參考『防砂用水泥土壤拌合物設計、施工便覽』 2011 年版 財團法人砂防、地滑技術中心。



堰塞壩高數 10 公尺左右（最大 30 公尺）且下游坡面較陡時的對策示意圖

■ **堰塞壩高數 10 公尺左右（最大 30 公尺）且下游面坡較緩時： 溪流保護工（固床工群）**

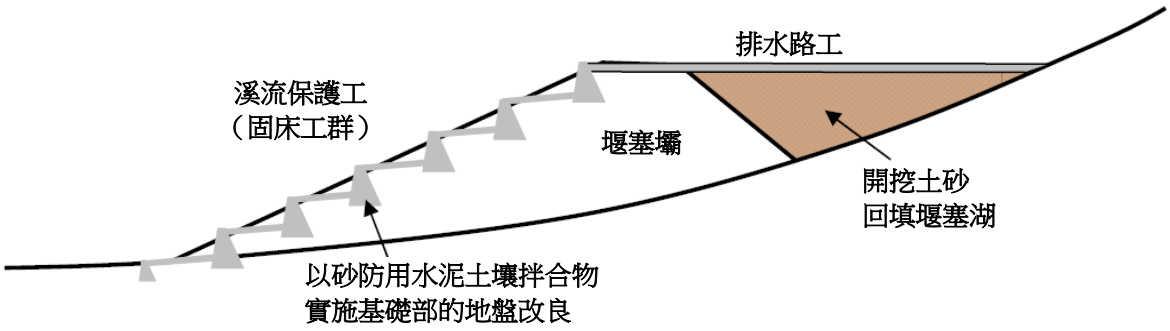
・堰塞壩下挖後，為了讓溢水流安全往下流動並防止堰塞壩侵蝕，應在堰塞壩下游面實施溪流保護工（固床工群）。
・即使溢水流已從堰塞壩往下流動，為了防止堰塞壩的侵蝕與潰決，固床工翼部基礎設施應配置直達兩岸山壁。
・為了防止水流導致淘刷，固床工前庭部應以混凝土設置前庭保護工。
・必要時應在固床工的基礎部，利用防砂用水泥土壤拌合物等實施地盤改良，然後在上面設置固床工。
・需注意，與壩工（群）不同，溪流保護工（固床工群）具備和排水渠道相同的機能，因此無法確保堰塞壩壩體的穩定性。
・與常見的壩工構造相同，基本上不需維護管理，但應抑制土砂從堰塞壩兩岸流入。
・此外，固床工的構造可降低堰塞壩滲流破壞的危險性，因此不使用透水性較高的鋼製連續框、可調整鋼框工與箱籠護墊。

→不使用鋼製連續框、可調整鋼框工與箱籠護墊的理由如下：

・填充材的粒徑選擇與設置等，需要較多的施工時間
・水會透過構造物往堰塞壩內部滲流，可能助長滲流破壞
・水流可能導致填充材料從構造體內部流出
・構造物上方若堆積土砂，將很難以重機具加以排除

（以重機具排除時，容易導致構造體破損）

→防砂用水泥土壤拌合物可參考『防砂用水泥土壤拌合物設計、施工便覽』 2011 年版 財團法人砂防、地滑技術中心。

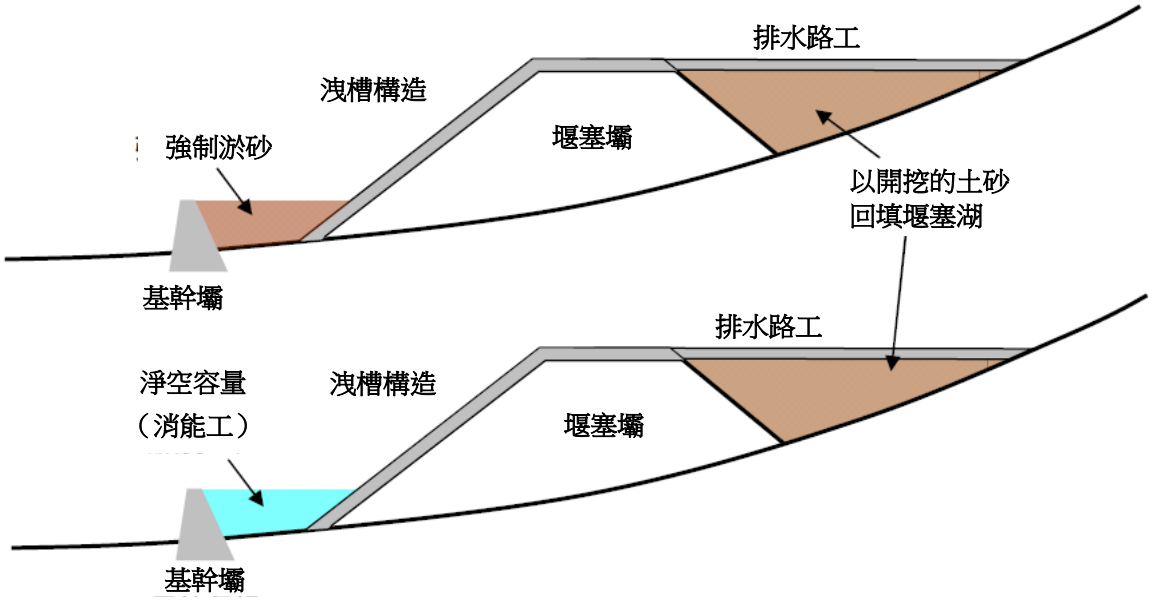


堰塞壩高數 10 公尺左右（最大 30 公尺）且下游坡面較緩時的對策示意圖

■ **堰塞壩相對較高時（30 公尺以上）：**

・為了讓溢水流安全往下流動、防止堰塞壩侵蝕而設置排水路工（洩槽構造）。
・洩槽底面以混凝土塊提高其粗糙度，降低水流量流速度達到消能效果。此外，為了防範礫石或漂流木等的流動破壞洩槽，也可使用鋼筋構造（箍筋）等。
・若溢流導致堰塞壩侵蝕，可用堰塞壩趾部固定的方式，降低潰壩危險性與潰決流量規模，即可在堰塞壩趾部建造基幹壩。
・設置基幹壩能達到消能效果，抑制排水路工下游端局部淘刷與河床降低，防止堰塞壩侵蝕。
・若要取得高度消能效果，應讓基幹壩淤砂還是確保淨空容量，可透過水理模型實驗確認，再做選擇。
・應抑制土砂從堰塞壩兩岸往下流動。
・此外，壩工的構造可降低堰塞壩滲流破壞危險性，因此不使用透水性較高的鋼製連續框、可調整鋼製框工與箱籠護墊。

＊）依據「1.3 臨時排水路的設置」



堰塞壩相對較高情況（30 公尺以上）的對策示意圖

3.2 崩塌地土砂頻繁流出時的對策工法

■ 崩塌地土砂頻繁流出時

・崩塌地土砂頻繁流出時，不設置排水路工。

・堰塞壩下挖後，為了確保堰塞壩的穩定性、讓大規模崩塌與地滑趾部固定，並抑制崩塌地二次崩塌與擴大崩塌、地滑再滑動導致土砂流出，應建造壩工。

・壩工係以包圍堰塞壩的形式建造，其翼部應嵌入地表。

・構築壩工群時，利用防砂用水泥土壤拌合物等，再各自的壩體淤砂區實施地盤改良，然後在上面設置壩工。

・與常見的壩工相同構造，因此基本上不需維護管理。

・此外，壩工的構造可降低堰塞壩滲流破壞危險性，因此不使用透水性較高的鋼製連續框、可調整鋼框工與箱籠護墊。

・壩工等的施工過程中，為了避免土砂從崩塌地流出，應實施施工現場與壩體本體的保護對策。

→不使用鋼製連續框、可調整鋼框工與箱籠護墊的理由如下：

・填充材的粒徑選擇與設置等，需要較多的施工時間

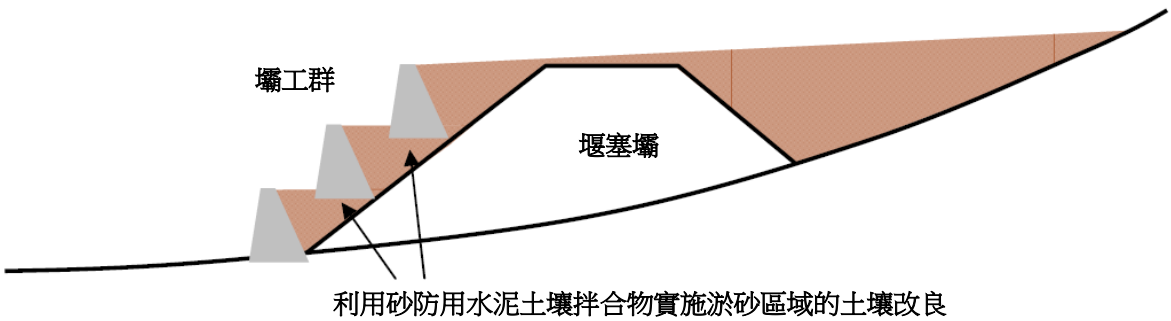
・水會透過構造物往堰塞壩內部滲透，可能助長滲流破壞

・水流可能導致填充材料從構造體內部流出

・構造物上方若堆積土砂，將很難以重機具加以排除

（以重機具排除時，容易導致構造體破損）

→防砂用水泥土壤拌合物可參考『防砂用水泥土壤拌合物設計、施工便覽』 2011 年版 財團法人砂防、地滑技術中心。



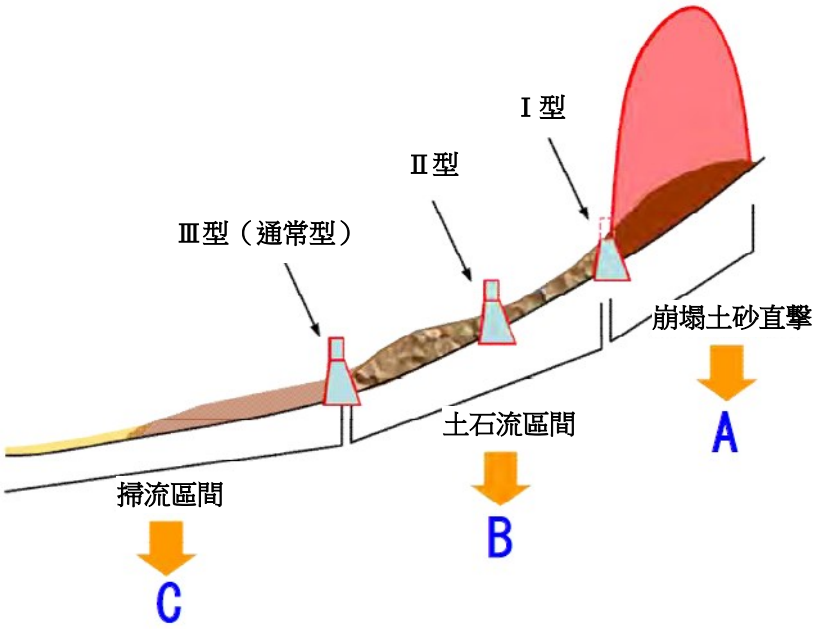
土砂頻繁從崩塌地流出時的對策示意圖

■ 崩塌地土砂流出頻繁且堰塞壩相對高時（30 公尺以上）

・堰塞壩下挖後，為了確保堰塞壩之穩定性與大規模崩塌與地滑趾部固定以及抑制崩塌地二次崩塌與擴大崩塌、地滑再滑動導致土砂流出，應儘可能構築壩工。

3.3 大規模崩塌導致土砂移動現象的對策工構想

大規模崩塌所導致土砂移動現象，從大規模崩塌地點往下流動過程中，會出現不同的土砂移動形態。因此，實施對策工時，應先掌握對象的土砂移動型態。



崩塌所導致土砂移動現象與對策工示意圖

■ **崩塌土砂直擊區間（A）→Ⅰ型防砂壩**

- 崩塌土砂導致防砂設施埋沒、破壞的可能性相當高，因此很難將對象現象之外力納入設計考量。
- 已明確了解崩塌發生範圍與誘因時，應試圖防止、抑制崩塌發生。
- 對策工即使被崩塌土砂直擊、埋沒，非溢流部仍持續發揮抑制土塊的功能。
- 設施形狀為無壩翼
- 穩定條件應納入極限設計，盡量放寬穩定條件，直到能容許壩體極限破壞（外力的合力作用線通過壩體下游端、滑動安全係數=1.0，達到壩體的容許應力為止）

紀伊山地的案例顯示 ，在大規模崩塌地點正下方興建的防砂壩，崩塌斜面二次崩塌土砂直擊，導致翼部受損，但非溢流部仍持續抑制堰塞壩土塊往下流動，發揮固定堰塞壩趾部的效果。



崩塌土砂直擊導致翼部受損，但非溢流部仍持續發揮機能的案例

（2014 年颱風 11 號時赤谷地區的 2 號防砂壩）

■ 土石流的流動區間（B）

B-1：崩塌土砂變成土石流並形成流動深度與流速大之流動區間→Ⅱ型防砂壩

- 這是超過過去砂防事業(計畫)所設定規模的區間。
- 土石流的流動深度相對大於防砂壩規模，土石流流動力與衝擊力相當大，很可能破壞防砂壩，因此很難將對象現象之外力納入計算。
- 對策工的目的在於即使設施局部受破壞，仍能發揮機能。
- 砂防壩的構造，基本形式採透過型防砂壩。
- 穩定條件應納入極限設計，盡量放寬穩定條件，直到能容許壩體極限破壞外力的合力作用線通過壩體下游端，滑動安全係數=1.0，達到壩體的容許應力為止）
- 若該區間已有相關設施，應評估該設施面對預期的土砂移動現象是否具有穩定性。此時的穩定條件與上述穩定條件相同，都應放寬到極限。

■ 土石流的流動區間（B）與掃流區間（C)

B-2, C：歷來砂防事業(計畫)設定規模之土石流與土砂流流動的區間→Ⅲ型防砂壩

- 將對象現象納入外力設計。
- 防砂壩的構造準用現行指南的防砂壩概念，基本上採透過型防砂壩。
- 穩定條件實施準用現行指南之中防砂壩概念的穩定性評估。

Ⅲ 配合現地狀況的對策工法案例探討

堰塞壩對策工法是否有效，視現地狀況而是。以下依據紀伊山地及其他地區案例之堰塞壩對策實際成果，說明配合現地狀況的對策工法概念。

1. 資材機具的輸送方法

■確認可抵達堰塞壩的路線

・應確認可前往堰塞壩的交通路線

1) 從受災區域外抵達堰塞壩周邊的大區域通行路線

2) 從堰塞湖周邊抵達堰塞壩的路線

・2)的部分，應確認有無道路、登山道、鄉村道路、鐵道（含廢線）可通往堰塞壩

→能否運入重機械與資材機具，以及搬運能力的極限、對策工程效率之檢討

・可考慮新的重機具運送路線（包含使用堰塞湖水面工作船），或施工道路之整備等，周邊地形條件（起伏、山谷形狀、坡面坡度等）應予以掌握。

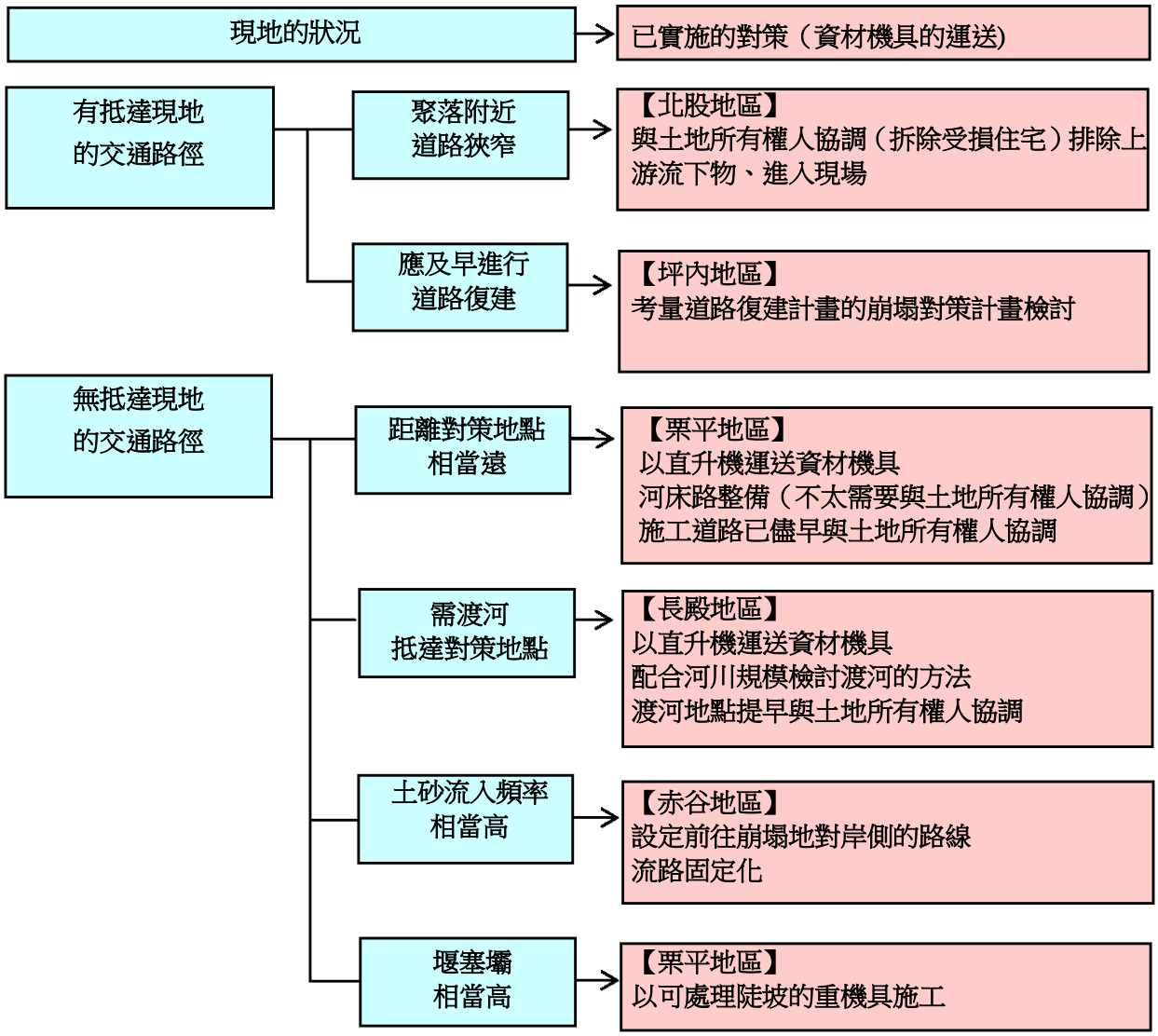
→以重機具開闢新整備道路的選定

→直升機：吊掛飛行可能路徑與直升機起降場的檢討

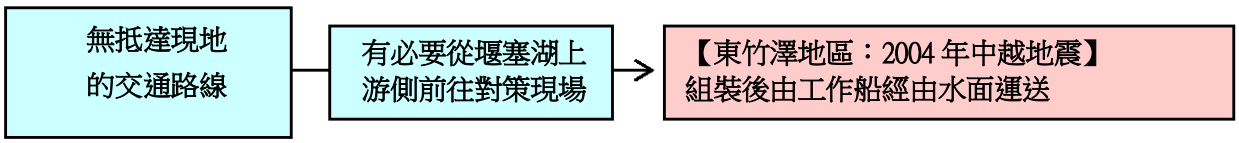
堰塞壩對策工程屬排水路工或侵蝕對策等大規模土工，得先確保能將重機械與資材機具大量送到現場的方法，因此須先確認是否有可抵達堰塞壩的路徑。

堰塞壩對策工程資材機具運送量相當大，因此設置從現有道路通往堰塞壩對策工程區域的施工專用道路。但有時無法等待路開闢完成才運送資材機具，因此在還沒整建完成陸路之前，應先掌握空運等替代方法。

【對策案例的分類】


現地的狀況
已實施的對策（資材機具的運送)
有抵達現地
的交通路徑
聚落附近
道路狹窄
【北股地區】
與土地所有權人協調（拆除受損住宅）排除上游流下物、進入現場
應及早進行
道路復建
【坪內地區】
考量道路復建計畫的崩塌對策計畫檢討
無抵達現地
的交通路徑
距離對策地點
相當遠
【栗平地區】
以直升機運送資材機具
河床路整備（不太需要與土地所有權人協調）
施工道路已儘早與土地所有權人協調
需渡河
抵達對策地點
【長殿地區】
以直升機運送資材機具
配合河川規模檢討渡河的方法
渡河地點提早與土地所有權人協調
土砂流入頻率
相當高
【赤谷地區】
設定前往崩塌地對岸側的路線
流路固定化
堰塞壩
相當高
【栗平地區】
以可處理陡坡的重機具施工

＜參考＞


無抵達現地
的交通路線
有必要從堰塞湖上
游側前往對策現場
【東竹澤地區：2004 年中越地震】
組裝後由工作船經由水面運送

(1)聚落附近小溪流設置施工道路時（北股地區）

■ 對策概要

北股地區崩塌發生在北股聚落附近的土石流危險溪流，來自溪流的大量漂流木流出導致山谷出口附近的聚落受災，進入溪流的道路也受災。因此，先拆除部分受災住宅，設置可渡過北股川的臨時便橋，然後移走漂流木，同時設置可進入土石流危險溪流的施工專用道路。

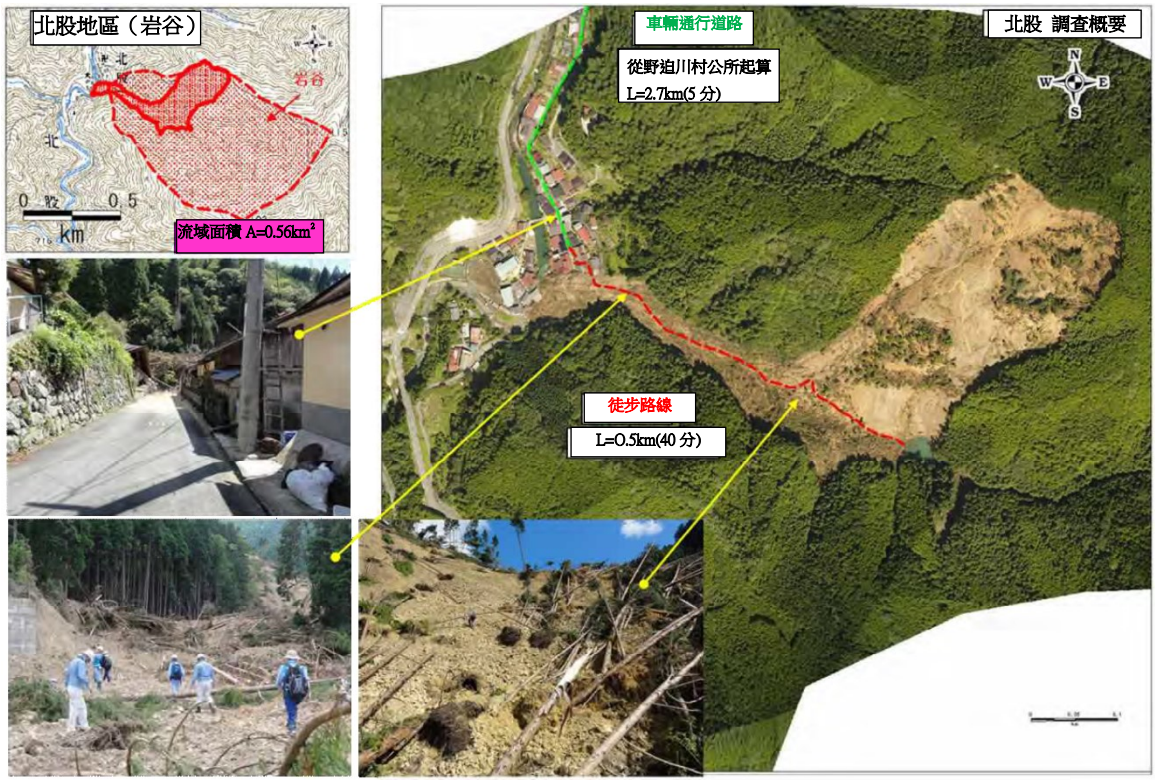
此外，北股地區周邊道路大多狹窄，只有少數道路可運送資材機具前往北股地區。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：進出道路的整備，需與土地所有權人協調
・②：山谷狹窄，施工道路與施工空間相互干擾
・③：通往堰塞壩的道路上，堆積著大量漂流木

■ 遭遇課題的對策

・①：提早與土地所有權人協調，活用當地人力
・②：即使腹地狹窄，選定空間狹窄仍可使用的重機具
・③：以重機具與鏈鋸，從下游開始漂流木移除作業



北股地區的道路狀況

■ 對策案例①：國土交通省災害現場聯絡員、當地人力的運用

・北股地區的崩塌發生在北股聚落旁，溪流的大量漂流木流出，導致山谷出口附近聚落受災。通往溪流的道路也受損。

・北股地區周邊道路大多狹窄，只有少數道路可運送資材機具前往北股地區的道路。

・因此，為了盡量避免使用聚落內道路，選定從舊北股小學出發、利用臨時便橋渡過北股川的路線。

・在此過程中，須先拆掉土石流危險溪流施工專用道路沿線部分受災住宅。與土地所有權人等相關人士協調時，由派到鄉公所的國土交通省災害現場聯絡員斡旋協助。



臨時便橋的設置（北股地區）

＜有效的點＞

・北股地區為了盡量避免使用聚落內道路，選定從舊北股小學出發、利用臨時便橋渡過北股川的路線。

・在此過程中，須先拆掉土石流危險溪流施工專用道路沿線部分受災住宅。與土地所有權人等相關人士協調時，由派到鄉公所的國土交通省災害現場聯絡員協助斡旋，得以順利進行。

・施工需在私有地內作業，需注意有些外地人覺得不重要的事，對於居民而言卻很重要。

・ 北股地區將倒木處理工作委託給野迫川村森林合作社與當地三家業者，有效運用當地人才、獲得當地民眾協助，有效率地推動相關作業。

・野迫川村森林合作社雖未取得營建業執照，但之前已取得參加奈良縣公共工程投標資格，考量此次工程屬緊急對策，因此接受其參與工程。

＜課題構想＞

・北股地區已被劃入警戒區域，有些當地居民反映，「居民不能進入警戒區域內，為何只有工程相關人員能進入？」因此，施工前應先與當地民眾溝通，讓他們了解相關措施係為了完成緊急對策工程。

■ **對策案例②：選定即使空間狹窄也能使用的重機具**

・施工道路與機具作業空間最好分開，但北股地區因為山谷狹窄，防砂壩工程等部分施工時，施工道路需穿過機具作業空間，因此需引進即使腹地狹窄也能作業的重機具。

＜有效的點＞

・北股地區引進即使狹窄腹地也能作業的旋轉式傾卸搬運車與無主機式挖土機等，提高了作業效率。



設置在崩塌地的施工道路（北股地區）



旋轉式越野搬運車（北股地區）

＜今後的建議＞

・北股地區狀況顯示，若河川谷地太窄、施工道路作業空間干擾，應儘早在山麓開闢施工道路，將前往對策實施地點的道路與工程作業空間分開。

■ 對策案例③：利用重機械與鏈鋸從下游實施漂流木移除作業

・北股地區的堰塞壩下游堆積著大量的漂流木。

・大量漂流木交錯堆積，只靠重機械難以清除枯倒木，因此挖土機安裝可拖曳倒木的配件，枯倒木用鏈鋸切塊，然後搬運出去。

＜課題構想＞

・枯倒木切塊作業，其鏈鋸作業時間需遵造勞動基準法規定，作業能力有限。(採伐作業不可一次連續操作超過 10 分鐘，一日操作時間不可超過二小時。

・漂流木處理相當耗時，北股地區工程人員抵堰塞湖對策實施現場需一周的時間。



進入道路整備狀況（北股地區）

(2) 崩塌地內現有道路優先復建（坪內地區）

■ 對策概要

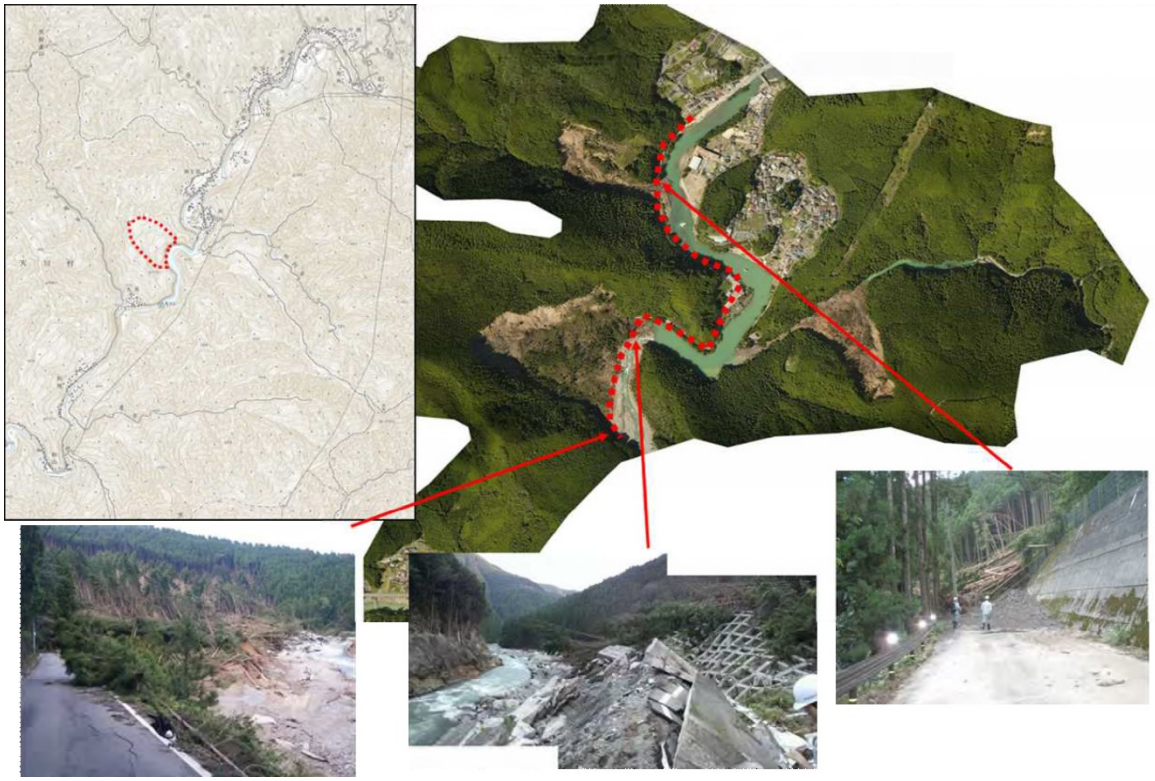
坪內地區以熊野川主流、局部道路先完成道路復建為控制點，劃定河道中心線與河道斷面，推動對策計畫。

■ 對策工程遭遇的課題

・復建道路成為整個對策的控制點

■ 遭遇課題的對策

・與對策計畫通盤檢討的道路復建計畫



坪內地區的道路狀況

■ **對策案例①：以完成復建道路中心線為條件的對策實施**

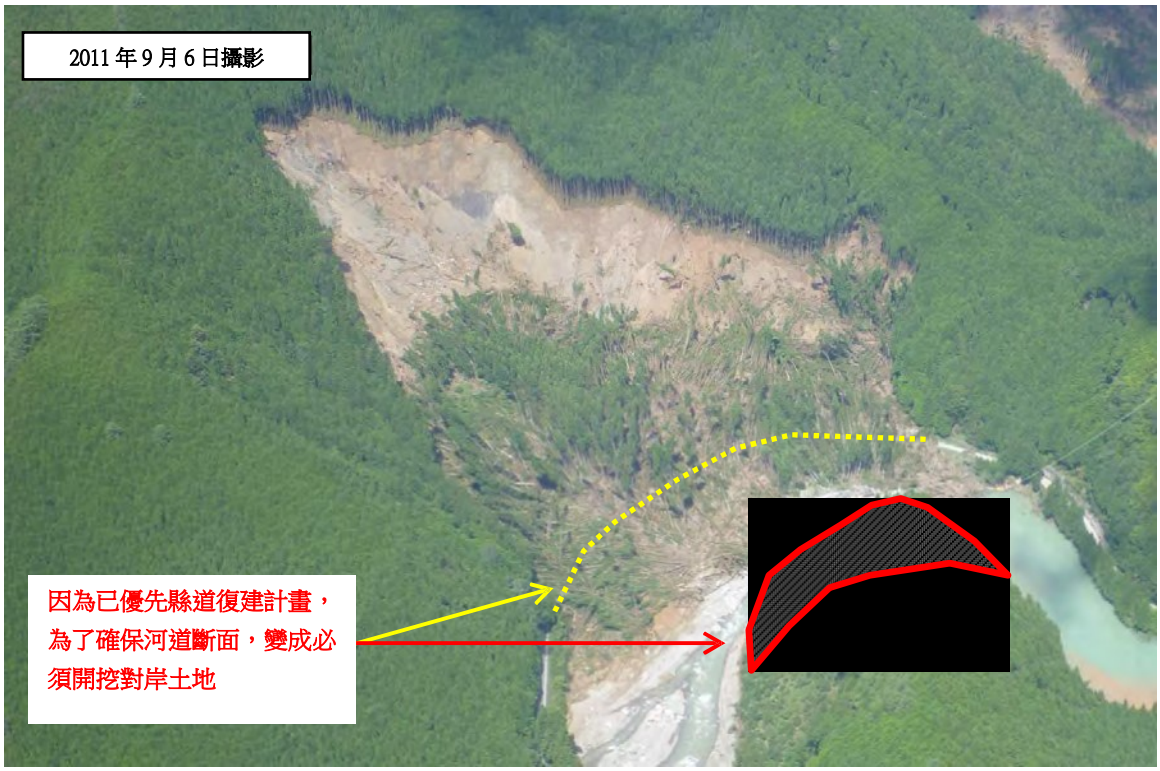
・坪內地區以局部道路先完成復建的縣道為控制點，劃定河道中心線與河道斷面，推動對策計畫。

＜課題構想＞

・坪內地區大規模崩塌所產生土砂流入熊野川主流，河道斷面大幅縮小，對策上需實施河道拓寬等，提高河水流動能力。

・但復建道路已先完成整建，復建道路中心線成為對策實施的依循條件，因此為了確保能對應熊野川主流計畫流量的河道斷面，須大規模開挖崩塌地對岸土地。

・若實施堰塞湖對策區域內有道路復建計畫，應由有關單位協調，檢討並擬定能結合道路復建計畫與堰塞湖對策計畫為一體的計畫。



道路復建與對岸開挖地點的狀況（坪內地區）



大規模崩塌造成道路柔腸寸斷的狀況（坪內地區）



大規模崩塌地崩積土上復建完成的縣道（坪內地區）



為了確保河道斷面而在對岸開挖的狀況（坪內地區）



對岸開挖工程前的狀況（坪內地區）



對岸開挖工程後的狀況（坪內地區）

(3) 現有道路離工程實施地點太遠時（栗平地區）

■ 對策概要

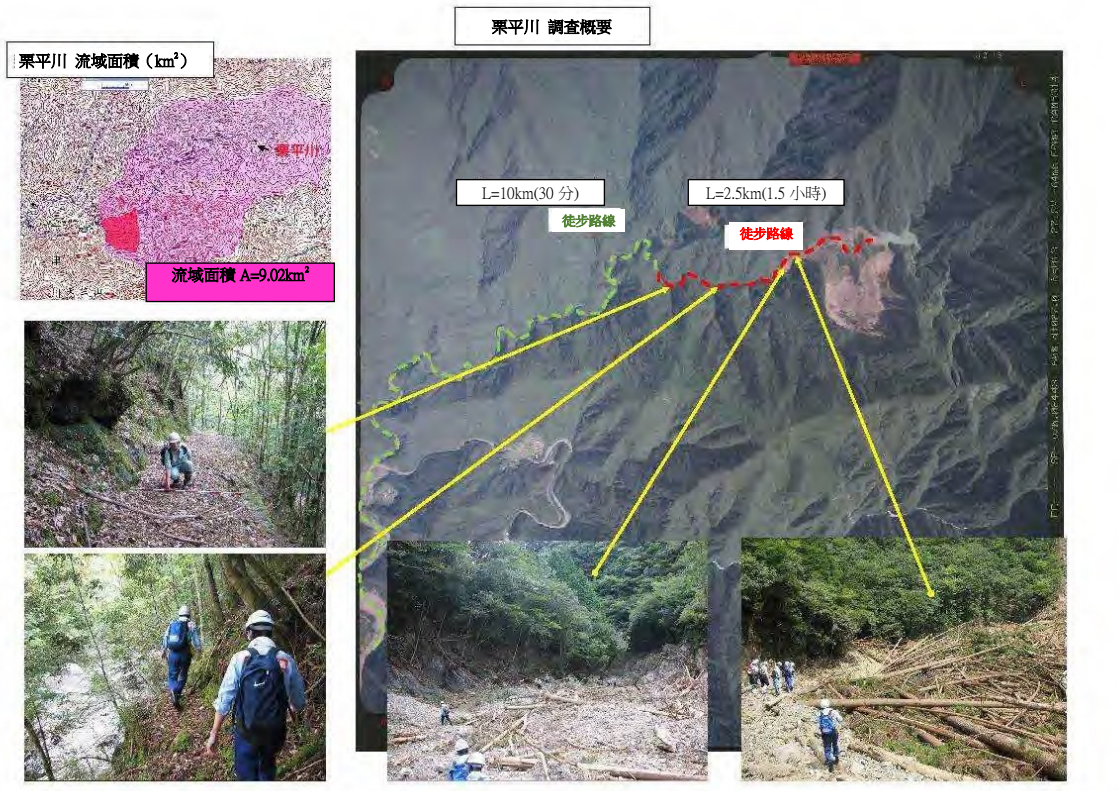
栗平地區崩塌地點在距離現有林道終點約 3km 的上游栗平川沿岸，目前無道路可通往現地。因此，人員前往現場需沿栗平川前進，或徒步走山區道路，除此之外只能乘坐直升機進入。栗平地區為了儘早開通陸路，在栗平川河床設置施工道路。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：無法以車輛將資材機具送到現場
・②：新道路整建以及和土地所有權人協調相當耗時
・③：儘早整建施工道路有其必要

■ 遭遇課題的對策

・①：緊急對應方法是，利用直升機將資材機具與人員送到現場
・②：儘早與土地所有權人達成協議
　　選擇比較不需與土地所有權人協調的路線
・③：河床道路的整建



栗平地區的道路狀況

■ **對策案例①：以直升機將資材機具與人員送到現場**

・栗平地區無陸路可抵達堰塞壩，只能以直升機將資材機具送到現場，民間直升機最大運送能力約 3t(噸)左右，難以空運大型建設重機具，因此緊急對應，使用不滿 3t(噸)且能拆成零組件的分解式重機械。

・初始直升機可能運送 0.08m^{3}級挖土機或螃蟹吊車，空運前先進行直升機起降場設置或重機組裝場設置等準備工作。然後將分解的重機具，以直升機空運到現場，再利用螃蟹吊車完成組裝。

・因為無道路可抵達對策計畫實施地點，現有道路距離對策實施地點太遠，因此作業人員可乘坐直升機前往。



以直升機運送可分解式重機具



分解式重機具（挖土機）組裝狀況（栗平地區）

2011 年紀伊半島大水災 災害對應的記錄， 國土交通省近畿地方整備局

＜課題構想＞

・運用直升機運送的可分解式挖土機，雖對於工程進展有幫助；但需以越野搬運車或堆土機等不可分解型重機具實施的作業，用挖土機取代，施工效率明顯下降。

・直升機須天色明亮時出發、返航，有時間限制，且氣象條件有時不允許起飛，空路運送的安定性劣於陸路。

＜課題構想＞

・以直升機載運工程人員，除了駕駛之外一次只能坐 5 人，運送 30 位作業人員，需耗費一小時，使現地作業時間受到壓縮。

・為了提高作業效率，在堰塞壩下游側實施作業的人員，可在河床道路整建完成後利用費用低廉且不分天候與晝夜都能使用的水陸兩用車運送，但河床道路礫石太多，水陸兩用車來回奔走可能經常故障。

・嘗試使用履帶式雪地運輸車，但沒有雪的河床道路彎道阻力太大，無法使用。

・為了提高作業效率，得整備讓卡車等車輛能通行的施工道路。



水陸兩用車（栗平地區）



雪地車（栗平地區）

工程難以推動狀況下的堰塞壩對策工程～栗平地區堰塞壩緊急對策工程～， 大成建設株式會社

■ 對策案例②：選擇較不需與土地所有權人協調的路線

・為了整備通往堰塞湖的陸路，在山區設置道路時，以計畫路線上的土地所有權人以及協調相關工作相當耗時，因此得一段時間才能完成陸路整備工作。

・因此，為了儘早確保有道路進入現場，規劃在不太需要與土地所有權人協調的栗平川河床設置施工道路。

・河床道路整建時，除了取得十津川村漁業合作社支援工程的承諾，同時在河床寬度太窄或落差較大地點需借地時，希取得土地所有權人的同意。

＜課題構想＞

・土地所有權人之中，有的已離開村落或死亡，得花點時間確認土地所有權人。

・最終仍無法取得所有土地所有權人同意，只好變更部分路線。

■ 對策案例③：河床道路的整建

・栗平地區為了儘早整建施工道路，採用較不需與土地所有權人協調的河床道路整建方案。

＜有效的點＞

・完成河床道路整建，不只能運送大型重機具，而且作業人員也可不受天候影響地走陸路進入現場，作業工程更容易按計畫推動。

・即使天候突然惡劣，走陸路也較能避難。

＜課題構想＞

・設在河床的道路每次洪水路面就會淹水、受損，得一一復建。

・而且因為一再淹水，路面狀況惡劣，能通過的車輛有限。

・此外，車輛在施工道路通行時，得暫時停止抽水機排水運轉，必須讓下游河道水位下降。



河床道路的設置狀況（栗平地區）

＜有效的點＞

・栗平地區初始之走河床道路，一般車輛系統的卡車無法通行，資材機具的搬運只能使用越野搬運車。

・栗平地區的河床道路連接林道終點，因此，將資材機具從卡車搬到越野搬運車上，得在具有相當寬度的林道地點實施。

・但越野搬運車依道路交通法規定禁行林道，因此與警方協商之後，取得十津川鄉公所「道路占用許可」，才順利讓越野搬運車在林道行駛。



越野搬運車（栗平地區）

工程難以推動狀況下的堰塞湖對策工程～栗平地區堰塞湖緊急對策工程～， 大成建設株式會社

(4) 需渡河才能進入工程地點時（長殿地區）

■ 對策概要

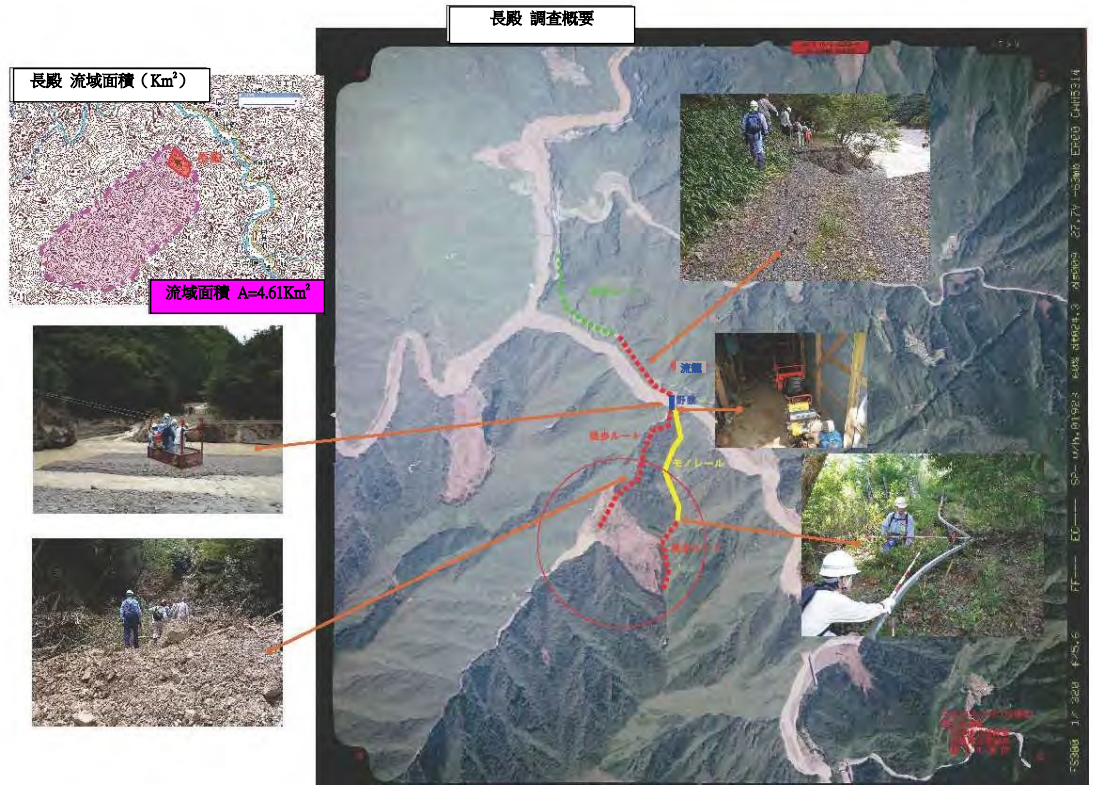
發生大規模崩塌的長殿谷，係國道 168 號通過熊野川左岸的對岸溪流，目前並無可進入溪流的道路，因此人員只能以流籠渡河，或實施直升機空運。為了能儘早建立長殿地區的陸路通行能力，設置渡過熊野川主流的施工道路。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：無法以車輛將資材機具搬運到現場
・②：需與土地所有權人協調
・③：簡易的渡河道路經常流失

■ 遭遇課題的對策

・①：緊急對應的方法是以直升機運送資材機具
・②：儘早與土地所有權人達成協調
　　選擇較不需與土地所有權人協調的路線
・③：選擇適當的渡河位置
　　選擇配合河川規模的渡河方法



長殿地區的道路狀況

■ **對策案例①：以直升機運送資材機具**

・長殿地區部分人員以乘坐流籠的方式進入對策措施實施地點，但流籠無法負荷太多人員，基本上人員移動與資材機具以直升機運送。因此，使用可分解式挖土機，先行實施堰塞壩頂端明渠施工工程。



以直升機運送分解式重機具（長殿地區）



以螃蟹吊車實施分解式重機具組裝（長殿地區）

■ **對策案例②：與土地所有權人協調**

・長殿地區渡河部分經過私有地，需一面與土地所有權人協調，一面實施施工道路整建，但設臨時便橋得大規模改變私有地，和土地所有權人協調觸礁，無法按原計畫路線施工。為因應類似狀況，擬定資材機具運送路線，應備妥複數方案。

■ 對策案例③：配合河川規模渡河方法的檢討

・颱風洪水時渡河道路有流失的危險性，因此，渡河道路應配合所橫渡河川的規模，採取能防止流失的構造。

＜課題構想＞

・長殿地區熊野川主流的渡河方法，初始是在熊野川主流設置波紋管＋填方所完成的渡河道路，整建可進入長殿谷的施工道路。

・當時準備在熊野川主流鋪設大口徑波紋管，但每次熊野主水流位暴漲就流失，造成長時間無法通行。

・因此，在熊野川支流川原樋川設置臨時便橋，分別沿著川原樋川與熊野川，到長殿谷合流點為止設置施工道路。

・但沿著熊野川主流設置道路，水位暴漲道路就受損，得一一復建。

※災情發生時：在該私有地設置可橫渡熊野川的流籠，供部分人員使用，但無法運送大量人員，因此，資材機具與作業人員，基本上仍以直升機運送。



以流籠渡河（長殿地區）

※緊急對策工實施階段：在熊野川主流以波紋管＋填方地設置渡河道路，並在對岸私有地設置可進入長殿谷的施工道路，但每次熊野川主水流位暴漲就流失。



以鋪設波紋管完成的渡河道路（長殿地區）

※停止使用私有地之後：沿川原樋川設置臨時便橋，然後分別沿著川原樋川與熊野川設置抵達長殿谷匯流點的施工道路



以臨時便橋渡河（長殿地區）

(5) 土砂流入堰塞壩頻率高時（赤谷地區）

■ 對策概要

赤谷地區雖沿赤谷川設置了施工道路，但常發生崩塌地土砂流入狀況，導致赤谷川沿岸施工道路流失。因此，赤谷地區以挖土機開闢流路，希望固定流路。此外，在赤谷川下游渡河，在崩塌地對岸側鋪設施工道路。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：土砂流入造成道路受損的風險高
・②：土砂流出，導致河床變動劇烈
・③：土砂流出導致道路受損時，很難掌握狀況

■ 遭遇課題的對策

・①：在崩塌地對岸側設定施工道路的路線
・②：應盡可能固定流路
・③：以 UAV 確認災損狀況



設置通往崩塌地對岸側的施工道路（赤谷地區）

■ **對策案例①：通往崩塌地對岸側施工道路的路線設定**

・土砂流入堰塞壩頻率高時，施工道路路線應盡可能遠離崩塌地，降低受災風險。

＜有效的點＞

・赤谷地區赤谷川下游有赤谷汽車露營場與奈良教育大學的設施，因此能從赤谷大橋進入赤谷川右岸側。

・但赤谷地區大規模崩塌發生在赤谷川右岸側，因此，施工道路應設在赤谷川左岸側，渡河地點則設置在赤谷川下游部。

・初始以波紋管＋填方的方式設置渡河道路，但土砂流出頻繁，每次都導致渡河道路流失，因此改用臨時便橋渡河。



赤谷川渡河部的狀況（赤谷地區） 上：波紋管， 下：臨時便橋

■ 對策案例②：應盡可能固定流路

・赤谷地區的特徵是，一再發生崩塌地土砂流入堰塞湖的狀況，這些土砂往下游移動，導致河床明顯變動。

・上游土砂流出導致河床上升，沿赤谷川設置的施工道路一再流失，希將流路固定。





沿赤谷川鋪設施工道路的河床變動（赤谷地區） 上：平常時，下：洪水時

＜有效的點＞

・為了防止河床上升造成道路流失，盡可能挖走流路中的土砂，讓流路固定化。

・其結果，洪水時水流溢滿整個河道的次數減少，施工道路流失次數也減少了。



赤谷川流路的河道開挖（赤谷地區）

■ 對策案例③：以 UAV（無人飛行載具）確認災損狀況

・赤谷地區一再出現崩塌地土砂流入堰塞壩下游的狀況，通往堰塞壩的道路柔腸寸斷，無法立刻掌握現場狀況。

・赤谷地區等幾個地區為了儘早掌握颱風洪水之後的河道阻塞（堰塞壩）處所狀況，以 UAV 實施河道阻塞（堰塞壩）處所攝影。



以 UAV 實施洪水河道阻塞（堰塞壩）的攝影（赤谷地區） 2014 年 8 月 颱風 11 號

(6)堰塞壩很高時（栗平地區）

■ **對策概要**

栗平地區河床路的施工道路整建，從堰塞壩下游一路整建施工道路。但因堰塞壩高達約 100 公尺，且無迂迴道路，必須沿著堰塞壩下游面陡坡爬上去。

■ **對策工程遭遇的課題**

・①：得走陡坡區上去

■ **遭遇課題的對策**

・①：以能對應陡坡的重機具搬運資材機具實施檢討工程內容。

■ **對策案例：對應陡坡的重機具施工**

・栗平井地區在河床設置道路，若要開闢前往堰塞壩頂端的道路，得從堰塞壩下游面爬坡上去。

・爬坡車輛限履帶式重機具，因此依能通過爬坡路的重機具種類，施工地點所能使用的資材機具，受到限制。



堰塞壩下游坡面設置的施工道路（栗平地區）

(7) 參考：需從堰塞湖上游運送資材機具時（東竹澤地區／中越地震）

■ 對策工程遭遇的課題

・因為需要從堰塞湖上游側抵達對策工程實施地點，得經由水路進行運送

■ 遭遇課題的對策

・利用組合式平台船，走水路運送資材機具

■ 對策概要

・2004 年新潟縣中越地震時東竹澤地區初始並無可抵達對策工程實施地點的道路，因此，只能將小型重機具分解，利用自衛隊所提供直升機空運，抵達工程現場組裝，但因道路確保屬緊急要務，大型重機械送進去仍屬必要。

■ 對策案例：以組合式的平台船經由水路運送資材機具

・2004 年新潟縣中越地震東竹澤地區，為了從堰塞湖上游側抵達對策工程實施現場，利用組合式平台船，走水路將大型重機具送到現場。



利用組合式平台船進行大型重機具的水路運送
（東竹澤地區／2004 年新潟縣中越地震）

2. 堰塞湖的排水方法

2.1 抽水機排水

■ 特　徵

・堰塞壩對策工程的實施，以及緊急降低或抑制堰塞湖水位上升，可使用抽水機排水，將堰塞湖的水排到堰塞壩的下游河道。

・抽水機排水相對容易完成設置，能確實有效地排水。

【注意構想】

・基本上需人力操作。

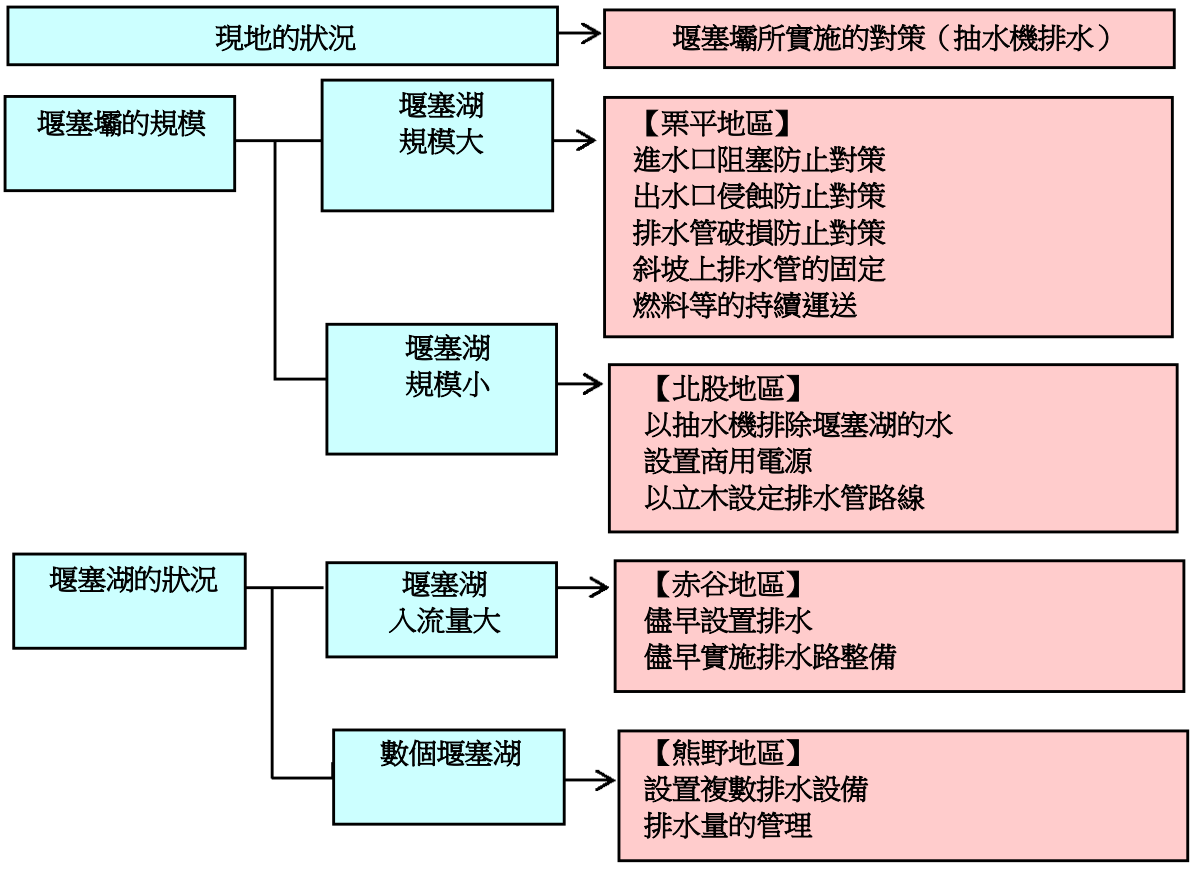
・需注意抽水馬達有揚程排水能力限制，且以電動發電機提供電源，燃料費用很大。

・抽水機排水原則上係暫時降低水流量位的臨時工程。

可移動式抽水機排水能力比水路小，設置目的在於抑制堰塞湖水位上升。因此，利用抽水機排水抑制水位上升，應同時進行明渠等其他排水方法的檢討或施工。

抽水機排水的設置，可依下列狀況進行。

【對策案例的分類】



(1) 堰塞壩很大時（栗平地區）

■ 對策概要

・栗平地區的堰塞壩之河床縱斷方向總長度 750 公尺，高約 100 公尺，和其他堰塞壩相比，特徵是高低差很大。

・栗平地區的堰塞壩非常大，雖然還不至於立刻溢流，但水位慢慢上升，為了今後施工方便，判斷需抑制堰塞壩水位上升，因此配合臨時排水路的整建，除了設置抽水機排水設備之外，堰塞壩也設置排水塑膠管（高密度聚乙烯管）。

・栗平地區只利用直升機運送資材機具，抽水機排水的資材機具同樣以直升機空運，同時現場以挖土機設置排水抽水機。

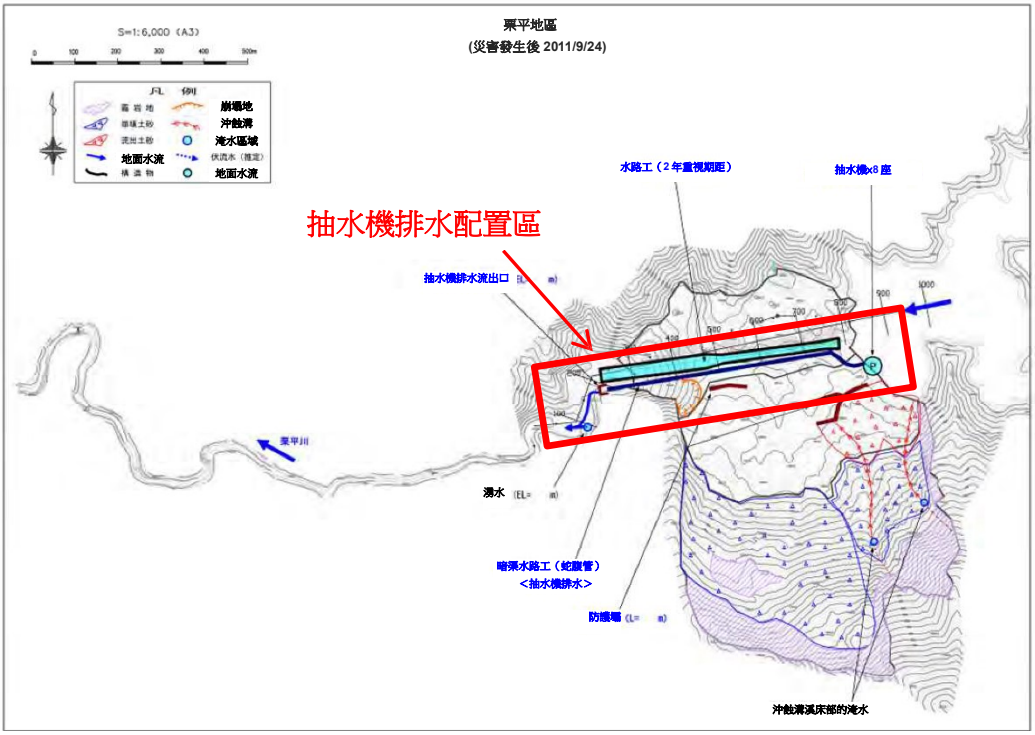
・堰塞壩相當大，堰塞壩下游的排水管固定工程需要一段時間，因此約二個月後才能開始抽水機排水。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：排水管太長，管內阻塞很難清除
・②：水位降低時，原本設在斜面上的抽水機難以配合往下移動
・③：出水口可能受侵蝕
・④：水流衝擊可能導致排水管破損
・⑤：斜坡上難以固定排水管
・⑥：抽水機排水的燃料費很大

■ 遭遇課題的對策

・①：進水口部防止阻塞對策
・②：設置時，將抽水機放在水面上
・③：出水口部侵蝕防止對策
・④：排水管破損防止對策
・⑤：排水管偏離防止對策
・⑥：持續運送燃料



栗平地區抽水機排水狀況



以直升機運送抽水機資材機具（栗平地區）

栗平地區堰塞壩臨時排水路施工狀況資料，2014 年 3 月，大成建設株式會社

■ 對策案例①：進水口部防止阻塞對策

・栗平地區的堰塞壩相當大，抽水機排水管拉的很長。

・排水管一拉長，若漂流木等流入管內，將難以確認阻塞地點，也不易取出阻塞物。

・抽水機排水時，為了防止吸入漂流木等，抽水機進水口四周應有阻塞防止措施（設置濾網等）。

■ 對策案例②：設置時將抽水機放在水面上

・栗平地區水位降低後，抽水機所在的堰塞壩坡面位置變成和堰塞湖水面有點距離。

・堰塞壩坡面難以行走，很難移動架設在坡面上的抽水機。

・因此，最好將抽水機放在筏上，讓抽水機處於水面上。

・栗平地區排水管管徑相當大，抽水時水管重很重，移動相關資材機具時動用挖土機等重機具。



以挖土機實施排水抽水機設置的狀況（栗平地區）

栗平地區堰塞壩臨時排水路施工狀況資料，2014 年 3 月，大成建設株式會社

■ **對策案例③：出水口部侵蝕防止對策**

・排水管出水口會有大量水流流動，因此，抽水機排水的出水口應拉長到堰塞壩下游河道，同時也應實施侵蝕防止對策。

・栗平地區利用大型沙包與塑膠布，實施侵蝕防止對策。



排水管的出水口部狀況（栗平地區）

■ **對策案例④：排水管破損防止對策**

・抽水機排水能有彈性地將排水管設在適當位置，但水流通過時，排水管有時會爆衝移動，而在排水末端或坡度變化點等位置，可能出現排水管爆衝導致的管路破損。針對可能出現這種問題的地方，應實施排水管破損防止對策（比如利用聚乙烯水管將排水管固定，或利用保護膜防止排水管碰撞破損等）。

＜有效的點＞

・栗平地區利用(支架管)單支柱管將排水管固定住。



排水管的固定狀況（栗平地區）

■ 對策案例⑤：排水管偏離防止對策

・為了防止排水造成溢流侵蝕，排水管的出水口應延伸到堰塞壩下游處。

・在斜坡上設置排水管時，應將排水管固定在斜坡上，避免排水管移動。

・堰塞壩相當大時，下游斜面長度較長，得費時固定排水管。

＜有效的點＞

・栗平地區為了固定排水管，沿排水管設置路線用挖土機挖深地面再鋪上排水管。特別是為了防止斜面上的排水管接管處鬆脫，選用緊密度更高的高密度聚乙烯管接頭。

・北股地區為了將排水管固定在斜坡上，設置地點的地盤加以改良，並打樁，利用上游側的樁將管路固定。



斜坡上的排水管設置狀況（栗平地區）

■ **對策對策案例⑥：持續運送燃料**

・以電動發電機提供電源實施抽水機排水時，每天消耗大量燃料，燃料費用非常大。

・栗平地區堰塞壩距離聚落相當遠，很難從聚落拉電過來，因此，將燃料放進汽油桶，持續送到現場。

・河床道路完成前以直升機運送燃料，河床道路完成後改用越野搬運車運送。



以直升機吊送燃料桶（栗平地區）

・發電機需配備燃料箱與燃油設備，最好採用發電機與燃料箱、燃油設備一體的機型，緊急狀況時容易移動或撤除。

・燃料箱未直接連接發電機時，相當於不必依照「電氣設備技術基準」實施持續監測的發電設施，因此不需配備二十四小時監測員。





發電機與燃料箱、燃油設備的設置狀況（左）三種設備一體成型發電機（右）

(2) 堰塞壩（堰塞湖）不大時（北股地區）

■ **對策概要**

・北股地區靠近聚落的土石流危險溪流內形成河道阻塞（堰塞壩），堰塞壩上游流域面積只有0.3km^2，和其他堰塞湖相比，流域面積相當小。

・因為是規模較小的堰塞壩，並未發現明顯的常態地面水流，降雨時突然洪水激增、堰塞湖水位快速上升，是其特徵。

■ **對策工程遭遇的課題**

・①：堰塞湖相當小，水位容易上升

・②：河道阻塞段（堰塞壩）狹窄，不太有空間架設排水管

・③：抽水機排水耗費燃料

■ **遭遇課題的對策**

・①：堰塞湖規模小，因此盡量將堰塞湖的水排掉

・②：以不太需要很大作業空間的方法，設置排水管

・③：將電源拉到堰塞壩的位置

■ 對策案例①：盡可能排掉堰塞湖的水

・若能確認抽水機排水量大於堰塞湖入流量，抽水機排水對策就會有效

＜有效的點＞

・北股地區上游流域面積小，平時上游入流量只有 0.3m³/min。

・因此，設置排水量能力 0.8m³/min 的抽水機，就能抽乾堰塞湖。

・抽水機排水需注意，不同揚程的排水能力差距很大。

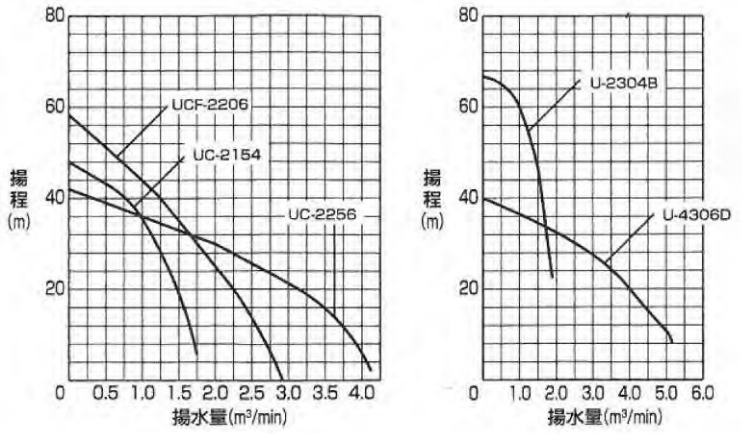


2011 年 9 月 25 日攝影（已經迴水）



2011 年 11 月 7 日攝影（堰塞湖的水幾乎都已抽乾）

抽水機排水的排水狀況（北股地區）



抽水機排水性能曲線案例

＊AKTIO 水中抽水機（高揚程）型錄，AKTIO 股份公司

■ **對策案例②：設置排水管時避開作業空間**

・北股地區河谷狹窄，作業空間有限，排水管設在不會妨礙作業的位置。

＜有效的點＞

・北股地區要從下游逐步除去枯倒木，為了避免影響枯倒木移除作業空間，排水管設置位置沿著立木設置。



排水管設置狀況（北股地區）

■ **對策案例③：把供電設備拉到堰塞壩的位置**

・電動發電機實施抽水機排水，每天都會消耗大量燃料，得持續運送燃料桶，燃料費高。

＜有效的點＞

・北股地區附近有聚落，因此與野迫川村公所及關西電力公司協調，整備供電到堰塞壩為止的設備。

・因此，即便回填堰塞湖等過程中仍需持續實施抽水機排水，但可免燃料搬運或高額燃料費之負擔。

(3) 堰塞湖入流量相當大時（赤谷地區）

■ 對策概要

・赤谷地區的堰塞湖上游入流量大，堰塞湖水位明顯上升，因此實施抽水機排水，希望抑制水位上升。

・但抽水機排水能力小於入流量（非洪水期降雨流入量 3.4m³/min，抽水機排水量 1.0m³/min），因此，洪水時即使實施抽水機排水，堰塞湖水位仍上升。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：堰塞湖水位容易上升

・②：抽水機排水量不大，需一段時間才能降低水流量位

■ 遭遇課題的對策

・①：儘早設置抽水抽水機

・②：儘早整建可代替抽水機的排水路



堰塞湖上游水流入的狀況（赤谷地區）

■ 對策案例①：儘早設置抽水機

・實施抽水機排水需備妥資材機具，才能發揮抑制水位上升效果。因此，堰塞壩形成後應儘早設置抽水機等緊急對策，有效抑制堰塞湖水位上升。

＜有效的點＞

・赤谷地區為了儘早抑制水位上升，不待完成整建施工道路，備齊抽水機等資材機具，以直升機送到現場。

・初始排水管長度不足，水往堰塞壩頂端流放。後來延長排水管，出水口移動到堰塞壩下游側。



抽水機排水實施狀況（赤谷地區）

■ **對策案例②：儘早整建可代替抽水機的排水路**

・只需備妥資材機具就能實施抽水機排水作業，抑制堰塞湖剛形成時的水位快速上升，但抽水機排水流量比排水路小太多，只能當作是緊急水位上升抑制對策。

＜課題構想＞

・赤谷地區決定抽水機排水降低堰塞湖水位，再實施臨時排水路程。但堰塞湖入流量很大，抽水機排水降低水流量位費時，臨時排水路因而延後完成。

＜今後的建議＞

・今後若在相同條件下實施堰塞壩對策，臨時排水路完成前的水位上升抑制對策方面，抽水機排水與臨時排水路的中間對策，可考慮設置構造簡單的臨時排水路。

・北股地區設置以防砂用水泥土壤拌合物作為填充材料的大型沙包水路，可視為臨時排水路方案。



以防砂用水泥土壤拌合物為填充材料的大型沙包水路（北股地區）

(4) 數個堰塞湖同時出現時（熊野地區）

■ 對策概要

・熊野地區的堰塞湖入流量較小，但大規模崩塌導致形成上池與下池兩段的堰塞湖。

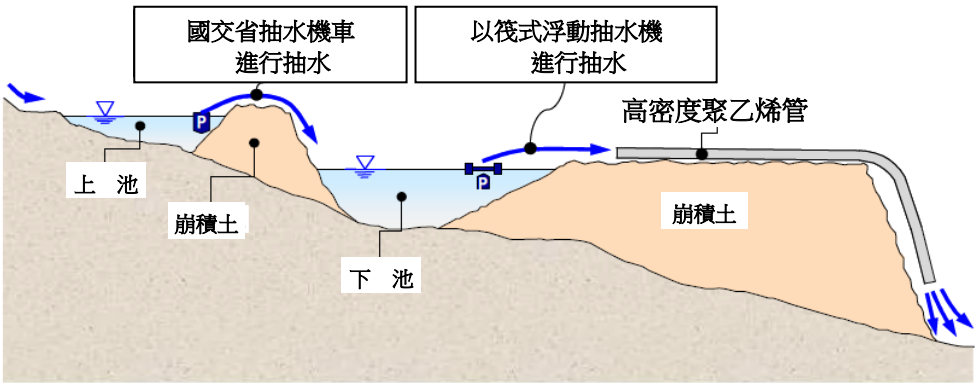
・因此，首先實施上池往下池的抽水機排水，然後從下池實施往下游的抽水機排水，也就是二階段排水。

■ 對策工程遭遇課題

・各堰塞湖水位需個別管理

■ 遭遇課題的對策

・設置複數排水設備，各自管理其排水量



圖：上池與下池的抽水機排水（熊野地區）

■ **對策案例①：設置複數排水設備，各自管理其排水量**

・熊野地區之抽水機排水，分上池與下池二階段進行排水作業，因此需設置從上池到下池以及從下池到下游的二套排水設備。

・熊野地區的施工道路很快完工，車輛可抵達上池，因此，從上池往下池的排水，運用國土交通省所屬抽水機車。

・另一方面，下池車輛難以通行，因此使用能以越野搬運車搬到現場的筏式浮動抽水機。

・抽水機排水分上池與下池二階段實施排水，因此，應確認上池與下池各自水位，調整上池側與下池側抽水機的排水量。



以抽水機車實施抽水排水（熊野地區）



以筏式浮動抽水機實施抽水機排水（熊野地區）

2.2 明渠

■特　徵

・設置臨時排水路工，能讓溢水流安全地往下流動，降低溢頂潰壩的危險性與潰壩流量規模。

・堰塞壩下挖需要相當時間時，若能整地，應利用可分解、組裝式水路工（U 型槽）或不織布模板等，在堰塞壩表面設置臨時排水路。

【注意構想】

・堰塞湖已開始淹水，可先利用抽水機排水降低水流量位，再行施工。

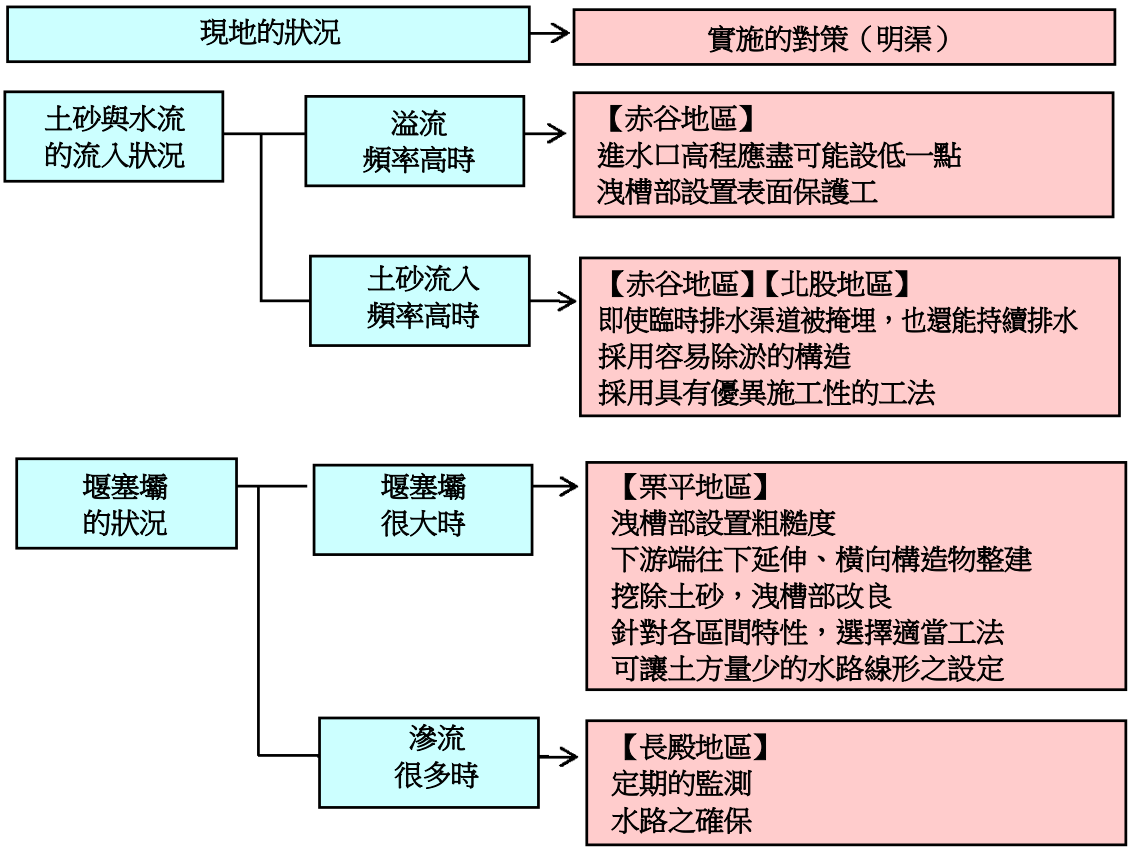
・漏水對策方面，可在臨時排水路與地表之間**鋪設不透水布**。

明渠能加寬水路的寬度，讓更大量的水往下流動。但設置明渠需較大土方量、施工時間長，是其缺點，因此應評估長期對策的實施是否有時間限制，以及投入重機具所能完成的施工量，據此決定明渠的斷面寬度。

此外，明渠應評估以混凝土系材料實施固化，或者實施噴漿土、設置混凝土塊等，以防止水流淘刷。此時為了確保作業安全性，應選擇可盡量降低在崩塌地正下方作業時間的工法。

明渠的設置可配合下列狀況實施。

【對策案例的分類】


現地的狀況
實施的對策（明渠）
土砂與水流
的流入狀況
溢流
頻率高時
【赤谷地區】
進水口高程應盡可能設低一點
洩槽部設置表面保護工
土砂流入
頻率高時
【赤谷地區】【北股地區】
即使臨時排水渠道被掩埋，也還能持續排水
採用容易除淤的構造
採用具有優異施工性的工法
堰塞壩
的狀況
堰塞壩
很大時
【栗平地區】
洩槽部設置粗糙度
下游端往下延伸、橫向構造物整建
挖除土砂，洩槽部改良
針對各區間特性，選擇適當工法
可讓土方量少的水路線形之設定
滲流
很多時
【長殿地區】
定期的監測
水路之確保

(1) 溢流頻率高的情況（赤谷地區）

■對策概要

・赤谷地區為了防範堰塞壩侵蝕破壞與滲流破壞而整建臨時排水路工。為了儘早開始運用，臨時排水路工以二年重現期距流量為目標，進行整建。

・能搬到現場的材料很少，為有效運用現地生成材料，臨時排水路的構造採用箱籠護墊。

・從下游端往下游河道的洩槽構造，初始進行砂漿噴覆施工，並在洩槽下部設置護床工。

・臨時排水路工的下部為設置暗渠排水管的雙重構造，即使崩落土砂阻塞臨時水路，也能讓水流從堰塞湖穩定往下流動，是能發揮抑制堰塞湖水位上升效果的構造。



對策位置圖（赤谷地區）

・赤谷地區崩塌地土砂流出非常頻繁，2012 年颱風 4 號、5 號時土砂流出，以及 2013 年颱風 18 號通過六天後無降雨時發生崩塌坡面內的崩塌殘土再移動，造成臨時排水路工被掩埋。

・此外，堰塞湖水位明顯上升，一再出現溢流狀況。

・2014 年颱風 11 號時，崩塌地出現大規模再崩塌，導致河道阻塞處二度阻塞又潰決，同時正發生堰塞壩侵蝕的狀況，但被掩埋的臨時排水路工發揮機能，防止進一步侵蝕。此時，洩槽部局部因淘刷而嚴重破損。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：溢頂潰決的危險性相當大

・②：土石等往下流動，特別造成洩槽部的水路受到破壞

■ 遭遇課題的對策

・①：進水口高程盡量設低一點

・②：洩槽部實施表面保護工

■ **對策案例①：盡可能將進水口高程設低**

・赤谷地區為了降低溢流侵蝕規模，進水口高程盡量設低。

・實施大規模崩塌地的坡面穩定分析並確認可能降低多少高度、開挖範圍，再依據抽水機排水能力可能流下的水位，設定臨時排水路的進水口高程。

＜有效的點＞

・赤谷地區堰塞壩頂端狹窄，很難確保長期對策與其他水路線形，因此，平面線形以堰塞壩頂端中央部，水路底層高度依據兩個月所能開挖的量以及過去最低蓄水位設定，並且盡可能將進水口高程設低。

・赤谷地區在 2014 年颱風 11 號時等，堰塞壩溢水流導致侵蝕，但侵蝕只侷限在臨時排水路上方。至於臨時排水路工雖已被掩埋，溢流時仍發揮了防止堰塞壩侵蝕的效果。



臨時排水路施工狀況（赤谷地區）



2014 年颱風 11 號時的臨時排水路工狀況（赤谷地區）

＜課題構想＞

・赤谷地區能搬到現場的材料相當少，為了有效運用現地生成材料，採取箱籠護墊做法。

・箱籠護墊需靠大量人力將礫石投入箱籠，因此對策實施期間拉長，這種施工方法若大量人員在崩塌地正下方作業，容易招來危險。

・臨時排水路為了對應工程成品的檢查，須對一度已完成臨時排水路的箱籠護墊，調整其填充材料。



箱籠護墊（平舖）施工狀況（赤谷地區）

■ 對策案例②：洩槽部實施表面保護工

・包含赤谷地區在內的地區，設定的目標是希望下次洪水期到來之前完成臨時排水路。因此，縱斷坡度採用幾乎與堰塞壩形狀相同的水路坡度，並採用不會增加施工量的形狀。於是，洩槽部坡度變陡，流速預測高達 20～25m/s。

・如此一來，赤谷地區洩槽水路很可能就會有堰塞壩所堆積礫石等往下流動衝撞洩槽部的情況，因此應需混凝土被覆。

＜有效的點＞

・赤谷地區初始在洩槽部補強方面，以防砂用水泥土壤拌合物實施改良，並進行砂漿噴覆，但 2012 年颱風 4 號、5 號時，溢流導致巨礫等衝擊洩槽部，砂漿噴覆工嚴重破損。

・之後在洩槽部表面重新鋪設混凝土，解決溢流導致破損的問題。

・水平部分幾乎看不到破損或損傷，因此可視為即使簡單構造也能對應問題的對策工程方法。

＜課題構想＞

・赤谷地區洩槽部下部雖設置護床工，但 2012 年颱風 4 號、5 號溢水流嚴重淘刷，因此，洩槽部下部應以護床工，搭配壩工的侵蝕防止對策。



溢流導致洩槽部破損



用混凝土將洩槽部鋪蓋起來（赤谷地區）

(2) 土砂流入頻率高時（赤谷地區、北股地區）

■對策概要

＜赤谷地區＞

・赤谷地區的崩塌地經常流出土砂，2012 年颱風 4 號、5 號時土砂流出，2013 年颱風 18 號通過 6 日之後，無降雨時出現崩塌坡面內崩塌殘土再次移動，導致臨時排水路掩埋。

・之後 2014 年颱風 11 號時，崩塌地再度出現大規模二次崩塌，河道再度阻塞。

・赤谷地區希望即使崩塌土砂導致臨時排水路阻塞，堰塞湖流下來的水仍能穩定流動、確保其抑制堰塞湖水位上升的效果，而在臨時排水路下部設置暗渠排水管的雙重構造。

＜北股地區＞

・北股地區為了防止堰塞壩侵蝕破壞與滲流破壞而整建了臨時排水路。為了能儘早開始運用，臨時排水路整建時，設定以二年重現期距流量為目標。

・為了防止崩塌土砂阻塞臨時排水路工，臨時排水路採取明渠與暗渠排水的雙重構造。暗渠排水管可縮短開挖寬度，因此，將初始設計的 ϕ1000mm 波紋管 4 條，變更設計為 ϕ1100mm 高密度聚乙烯管 3 條。

・堰塞壩頂端設置暗渠排水管之後，用防砂用水泥土壤拌合物設置明渠。

・堰塞壩下游坡面也同樣設置暗渠排水管，但 2012 年颱風 4 號、5 號時，崩塌地流出土砂導致暗渠排水管進水口阻塞，水流沿著明渠的水路流動，造成堰塞壩下游面侵蝕、下游側的暗渠排水管破損。



對策位置圖（北股地區）

■ 對策工程遭遇的課題

・①：容易因為土砂流入而受損

・②：明渠需要更頻繁的實施除淤工作

・③：應在有土砂流入危險的地點施作水路工

■ 遭遇課題的對策

・①：即使明渠掩埋也能確保排水機能（暗渠排水管）

・②：採用容易除淤的構造

・③：採用施工性佳的工法

■ 對策案例①：即使臨時排水路掩埋也能確保排水機能

・土砂頻繁流入明渠的地點，研判明渠會因此被掩埋而喪失其排水機能。

・因此，若希望確保明渠喪失機能仍能發揮水位上升抑制效果，設置暗渠排水管是有效的方法。

＜有效的點（赤谷地區）＞

・赤谷地區常出現颱風洪水導致土砂流入臨時排水路的狀況。

・但臨時排水路下部設置了暗渠排水管，即使臨時排水路被掩埋仍能確保發揮排水機能，有效抑制水位急遽上升。



臨時排水路的淹沒狀況（赤谷地區）



暗渠排水管出水口部的狀況（赤谷地區）

＜課題構想(北股地區）＞

・北股地區堰塞壩頂端暗渠排水管上方，設置以防砂用水泥土壤拌合物鋪設的明渠，下游坡面則只有排水管構造。

・因此，2012 年颱風 4 號、5 號時，崩塌地流下來的土砂阻塞暗渠排水管，明渠往下游流下來的水嚴重侵蝕暗渠排水管周圍部、造成暗渠排水管破損。

・下游坡面也需要實施表面保護工。



堰塞壩下游坡面排水管鋪設狀況（北股地區）



2012 年颱風 4 號、5 號時排水管破損狀況（北股地區）

＜今後的建議方案（北股地區）＞

・配置在崩土上的排水管容易因為侵蝕而破壞，因此，設置排水管時應將管子固定在地面上。

＜課題構想（北股地區）＞

・北股地區在回填完成部分設置明渠，但被崩塌地流出的土砂掩埋，導致溢流侵蝕。

・因此，即使已完成堰塞湖回填，預估仍會有崩塌土砂流入，此時為了確保排水機能，應整備暗渠排水管。



往明渠區間流入的土砂（北股地區）



暗渠排水管進水口部補強（北股地區）

■ 對策案例②：採用容易清除土石的構造

・土砂流入明渠若要恢復其水路機能，必須除去流入的土砂。

・土砂經常流入地點的明渠，應採用容易清除土石的構造。

＜課題構想（赤谷地區）＞

・赤谷地區能搬到現場的材料相當少，為了有效利用現地生成材料，臨時排水路採用箱籠護墊，但清除流入臨時排水路的崩塌地土砂時，一再發生挖土機剷斗勾到鐵線，導致箱籠護墊破損的狀況。



臨時排水路土砂堆積狀況（赤谷地區）

・赤谷地區崩塌地內沖蝕溝流下來大量泥流狀土砂，雖試圖以挖土機加以挖除，但效果非常差。



以挖土機挖除土砂（赤谷地區）

■ **對策案例③：採用施工性佳的工法（縮短在崩塌地下方的作業時間）**

・土砂頻繁流入明渠施工地點的地方，為了作業人員的安全考量，應採取能盡量縮短在明渠施工地點作業時間、施工性佳的工法。

＜課題構想（赤谷地區）＞

・赤谷地區能搬到現場的材料很少，為了有效運用現地生成材料而施作箱籠護墊平舖構造的明渠，但製作箱籠護墊需投入大量人力將礫石放進箱籠內，對策實施期間拉長，這種施工方法在崩塌地正下方工作的大量作業人員，也很危險。



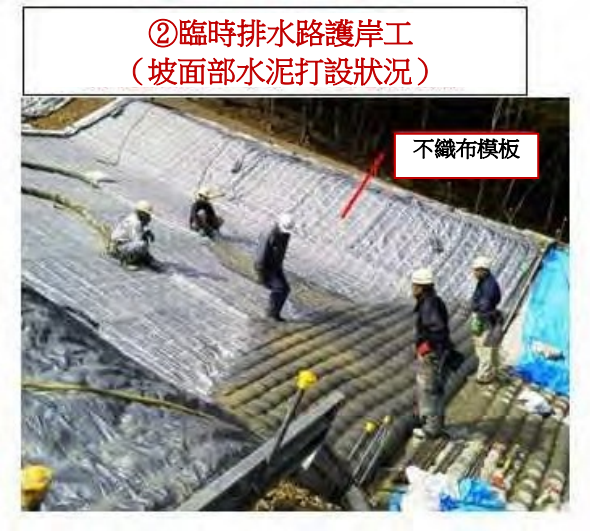
箱籠護墊工礫石鋪設狀況（長殿地區）

＜有效的點（長殿地區、栗平地區）＞

・長殿地區的洩槽部施作抽水機打設的不織布模板水路，栗平地區則實施防砂用水泥土壤拌合物改良土壤＋砂漿噴覆水路的工法，施工性良好。

・混凝土的抽水機打設係屬緊急對策須急速施工且能縮短工期之有效方法。但低坍度的混凝土容易導致抽水機阻塞，因此仍應檢討變更混凝土的坍度值。

・在崩塌地正下方的明渠構造，考量現地狀況，應採取施工性與安全性俱佳的工法。



以抽水機打設不織布模板水路工（長殿地區）



防砂用水泥土壤拌合物改良土質＋砂漿噴覆工完成水路工（栗平地區）

（3）堰塞壩相當大時（栗平地區）

■對策概要

・栗平地區為了防止堰塞壩的侵蝕破壞與滲流破壞，以 2 年重現期距流量為目標，整建臨時排水路。

・臨時排水路盡量減少土方量，在崩塌地與堰塞壩距離相當大，判斷水路開挖對於崩塌地趾部影響相當小，因此頂端高程低的堰塞壩在中央部設置臨時排水路，可採線形直線。

・臨時排水路洩槽部之水深應做淺，水路寬度應盡可能加寬。

・為了盡量減少施工土土量，下游洩槽部的坡度，儘量和堰塞壩下游面坡度相同程度。

・臨時排水路構造之中，箱籠護墊所使用填充材料，無法確保現地能取得所需之量，因此除了部分區間之外，不採用這種做法。此外，不織布模板也因為道路終點距離堰塞壩遠且高差大，難以抽水機壓送，因此不採用這種做法。

・擔心的臨時排水路之入流部有磨損，以及從水平部到洩槽部的變化點，其消能工採用箱籠護墊。此外，水平部與洩槽部採用地盤改良＋砂漿噴覆工。

・洩槽部高低差 100m，形成 1：2 坡降的長型斜面，水流速度提高，可能造成噴覆工損傷或洩槽部下端產生衝擊壓，因此以 TAO 工法確保粗糙度，並降低流速。

・2012 年颱風 4 號時，洩槽部下游端出現淘刷與侵蝕，因此在臨時排水路下游端以塊石籠袋加上 2t 混凝土塊、大型沙包與砂漿噴覆，實施侵蝕對策。



對策工實施位置圖（栗平地區）

・但同年的颱風 16 號、17 號時淘刷與侵蝕擴大，臨時排水路下游部出現大規模侵蝕，臨時排水路 2/3 流失，形成沖蝕溝地形。2014 年颱風 11 號時出現大規模侵蝕，溢流頂端高度降低 15m，且臨時排水路大部分流失，約 160 萬 m^3 大量土方往下游區域流出。

■對策工程遭遇的課題

・①: 水路工施工規模太大
・②: 土方量大，施工時間拉長
・③: 堰塞湖下游面坡度陡峭時，需在陡坡區間設置水路
・④: 堰塞壩太高時，洩槽部的水流會變很快
・⑤: 萬一已經溢流，下游端容易遭受侵蝕

■遭遇課題的對策

・①: 配合各區間條件適合的檢討構造
・②: 能減少土方量的路線與形狀之檢討
・③: 在斜坡路覆蓋改良土
・④: 洩槽部增設粗糙度，以降低流速
・⑤: 下游端實施防止侵蝕對策

■對策案例①: 配合各區間條件適合的檢討構造

・堰塞壩很大時，水路總長度會拉長，因此應針對每個進水口、水平部、坡度變化點、斜坡度、下游端等區間，檢討其機能、土方量與施工性等條件，選擇最適合的構造。

<有效的點>

・栗平地區土砂粒徑小，很難找到適合用來填充箱籠護墊的材料
・因此，考量施工性，臨時排水路採取明渠構造，堰塞壩頂端與洩槽部，實施改良土＋砂漿噴覆，坡度變化點與臨時排水路上下游端，採取箱籠護墊多段堆疊構造。
・堰塞壩頂端與洩槽部的地盤改良目標強度為Ⅰ級。
・水路坡度變化點實施淘刷防止改良工，其改良厚度設定比一般為厚。
・洩槽部除了實施地盤改良＋砂漿噴覆之外，為了降低流速，把洩槽部固定在槽面上時，使用錨釘棒、形成碗狀形狀，提高粗糙度效果（TAO 工法）
・溢流情況下，平坦部以地盤改良＋砂漿噴覆，確定有效。此外，這種工法施工性佳，破損時容易修復。



改良土＋砂漿噴覆打造的臨時排水路（栗平地區 /堰塞壩頂端）



箱籠護墊工打造的臨時排水路（栗平地區 / 坡度變化點）

■對策案例②: 土方量少，施工時間拉長

・明渠應盡可能選擇土方量較少，施工性佳的路線。

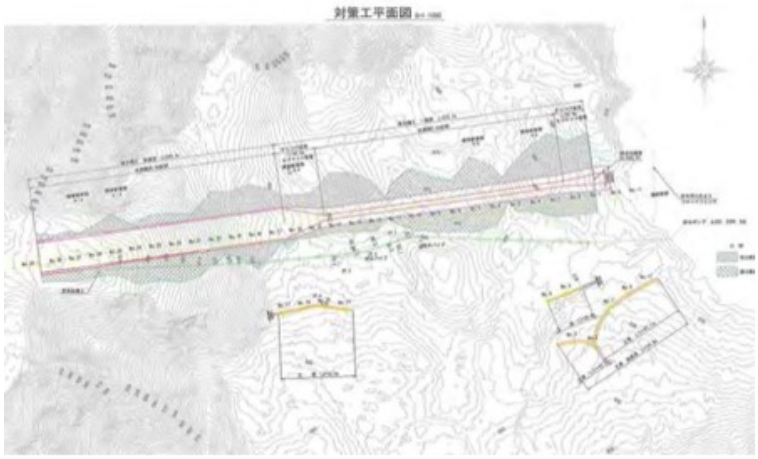
・崩塌地土砂流入堰塞湖的頻率較低時，由堰塞壩頂端最深部切入的路線，效果最佳。

<有效的點>

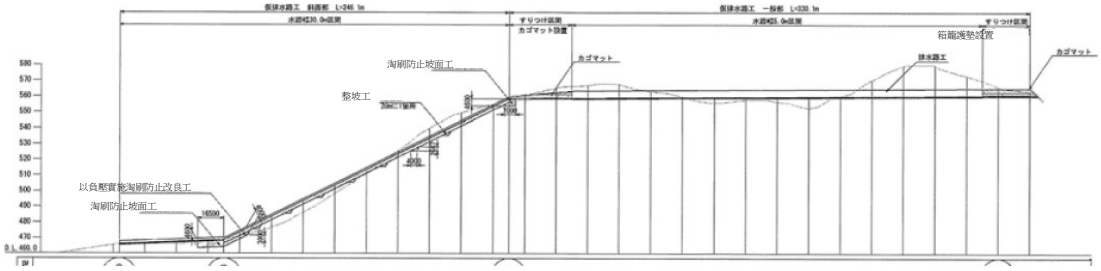
・栗平地區崩塌地與堰塞壩距離遠，判斷開挖水路對崩塌地趾部的影響小，可採由堰塞壩頂端中央部直接進入的線狀。

・考量已形成的堰塞壩縱斷形狀與流速，堰塞壩頂端縱斷形狀的水路坡度設定為 1/150。

・為了盡量減少土方量，洩槽部基本上配合已形成的堰塞壩縱斷形狀，依據非均勻流計算，設定排水路的斷面形狀。



臨時排水路平面圖（栗平地區）



臨時排水路縱斷面圖（栗平地區）

■對策案例③: 斜坡路的改良土鋪設

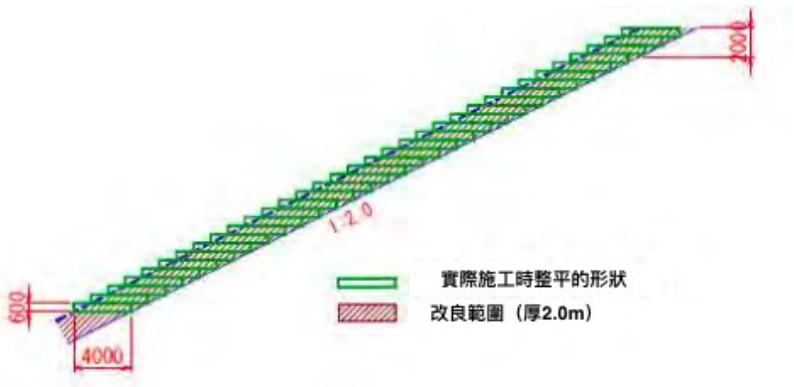
・明渠的洩漕部流速容易增大，應需施設表面保護。

・但洩槽部坡度相當陡，為施工困難場所。

<有效的點>

・栗平地區洩槽部，選定改良土＋砂漿噴覆的構造

・洩槽部施工時，應在陡坡區間配置改良土，因此，栗平地區使用重機具、階梯狀覆土整平的方法



洩槽部改良土整平的形狀（栗平地區）



挖土機實施洩槽部改良土整平的狀況（栗平地區）

■對策案例④：洩槽部施設粗糙度，減低流速

・下游坡面陡峭時，水路中的水流往下流動非常快，只靠砂漿噴覆無法抵擋快速水流。此外，堰塞壩趾部此時很難發揮消能作用。

<有效的點>

・栗平地區曾檢討採取階梯狀水路，但所需混凝土量多，很難在洪水期前完成施工，落差部分也擔心出現淘刷，因此最後決定不採用這種工法。

・因此採用兼具錨釘基部保護的凸疣型水路（TAO 工法）。颱風 4 號、5 號時斜坡路水流狀況顯示，水流混合著空氣，推定已發揮充分的消能效果。



凸疣型水路施工狀況（粟平地區）



凸疣型水路水流動的狀況（栗平地區）

■對策案例⑤: 實施下游端侵蝕防止對策

・臨時排水路溢流會導致下游端出現淘刷。

・因此，下游排水端應實施淘刷防止對策。

<有效的點>

・栗平地區臨時排水路下游端雖實施了箱籠護床工，但臨時排水路剛完成就遭遇颱風4號、5號造成的溢流，護床工下部遭受嚴重侵蝕，護床工整個沉陷。

・之後，雖針對河床降低的區間實施護床混凝土塊鋪設等對策，臨時排水路下游端仍再度遭受侵蝕，部分堰塞壩的土塊流出。

・因此，堰塞壩很大時，臨時排水路應延伸到能確認為原先河床的地點，或者排水路下游端，設置防砂壩等橫向構造物，防止河床降低導致構造物沉陷。



下游端護床沉陷的狀況（栗平地區）



臨時排水路下游端淘刷的狀況（栗平地區）

<有效的點>

・水路工下游端淘刷後，設置由混凝土塊石工（2t）與卵礫石籠袋工（2t）所構成的護床工。

・但 2012 年颱風 16 號、17 號溢流時護床工流失，下游端嚴重淘刷，部分堰塞壩土塊流出。

・堰塞壩大且落差大的地點，其水路下游端設置護床工。此時除非使用較大的四腳混凝土塊，否則難以抵擋溢水流衝擊。



混凝土塊實施護床工，設置在臨時排水路下游端（栗平地區）2012年9月



臨時排水路水路下游端的侵蝕狀況 2012年10月

(4) 滲流（管湧）多時（長殿地區）

■對策概要

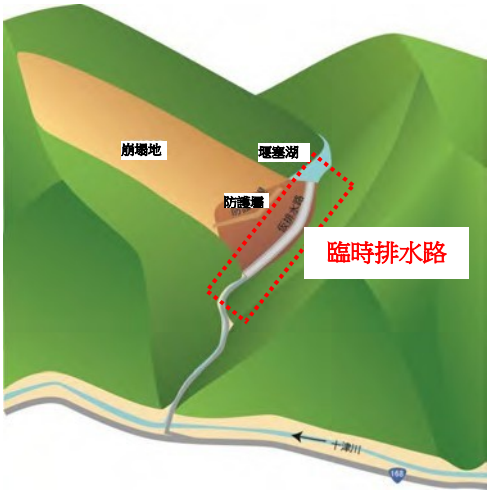
・長殿地區為了防止堰塞壩的侵蝕破壞與滲流破壞，整建臨時排水路時設定以二年重現期距流量為目標。

・長殿地區臨時排水路施工，能搬到現場的材料相當少，為了有效運用現地生成材料，堰塞壩頂端區間與消能部，採用箱籠護墊。

・洩槽部以防砂用水泥土壤拌合物改良土壤做成水路，但堰塞壩下游坡面很陡，預期施工會很困難。此外，砂漿噴覆也可能破裂，因此不採用這種做法。綜合上述狀況，加上判斷可從熊野川匯流點沿河道實施混凝土抽水機壓送，因此最後決定洩槽部採用可縮短工期的不織布模板＋鋼筋插入工。

・長殿地區有許多堰塞壩滲流湧出，擔心管湧可能造成土砂流出，因此實施臨時排水路整備時，消能部下方設置暗渠排水管。

・但 2015 年颱風 11 號時，比過去伏水流湧水地點更高的位置，出現大量滲流湧出，導致臨時排水路背面土砂部分流出、臨時排水路破損。



對策位置圖（長殿地區）

■ 對策工程遭遇的課題

・①：滲流導致構造物不穩定化

・②：湧水地點可能改變

■ 課題的對策

・①：確保湧水的水路

・②：定期監測

■ 對策案例①：確保湧水的水路

・堰塞壩趾部湧水可能造成下游端侵蝕或管湧導致堰塞壩潰壩。

・因此，確認有湧水時，應讓湧水由湧水地點安全往下流動。

＜有效的點＞

・長殿地區形成堰塞壩之後，堰塞壩趾部立刻湧出滲流，為了確保湧水的水路而在堰塞壩趾部湧水地點設置排水管，其上方設置臨時排水路。

・預期即使臨時排水路施工的位置，也可能從構造物背面湧出滲透流，因此在臨時排水路工底面挖洞。



圖：臨時排水路下游端湧水地點設置的排水管（長殿地區）



圖：臨時排水路底面挖洞（長殿地區）

■ 對策案例②：實施定期監測

・湧水地點可能因為洪水事件改變，因此，應針對滲流湧出的堰塞壩實施定期監測調查。（調查項目包括湧水量、湧水位置、濁度、堰塞壩形狀的變位、堰塞壩土體內的水位、上游的入流量等）

＜課題構想＞

・長殿地區形成堰塞壩之後，堰塞壩趾部立刻出現滲流湧出。後來颱風引發堰塞湖蓄水位上升，湧出的滲流呈現混濁狀態，研判滲流可能已造成堰塞壩內部侵蝕。



滲流的湧水狀況 左：2012 年颱風 4 號時，右：2014 年颱風 11 號時（長殿地區）

・2015 年颱風 11 號時，在比過去洪水事件所造成湧水地點更高的位置湧出滲流。這些大量湧出的滲流，造成臨時排水路洩槽部背面土砂部分流出、臨時排水路破損。



滲流的湧水狀況 2015 年颱風 11 號時（長殿地區）

＜課題構想（赤谷地區）＞

・赤谷地區防砂壩左岸側基礎開挖時，湧出大量滲流。滲流造成的湧水地點難以預測，因此大規模開挖堰塞壩時，須注意預期外地點湧出湧水的可能性。

・赤谷地區為了防止湧水造成開挖範圍侵蝕，實施土堤導水工程，但效果不彰。因此為了讓堰塞壩內部止水、導流湧水，進行板樁打設、設置水路。

・之後崩塌地土砂流出，導致壩體開挖部掩埋、湧水狀況難以掌握，無法確保湧水的水路，也不能進行湧水量與濁度等的監測。



滲流的湧水狀況（赤谷地區）



湧水地點的對策狀況（赤谷地區）

2.3 暗渠排水管

■特　徵

・堰塞壩下挖、底面設置暗渠排水管，能有效抑制堰塞湖水位上升、降低溢頂潰壩危險性與潰壩流量規模。

・暗渠排水管能不受崩塌地往堰塞壩流出土砂與漂流木影響地排水，但進水口須有阻塞防止對策。

・原本暗渠排水管管徑應依據計畫流量設定，但本對策設定管徑時，主要考量搬入性與施工性。

・設置暗渠排水管時，應設定排水管可能阻塞，因此採用暗渠排水管與臨時排水路併用的方式（雙重設置）。

・不需以人力操作。

【注意構想】

・堰塞湖已開始淹水時，應先以抽水機排水、暫時降低水流量位，再行施工。

・開挖堰塞壩、設置暗渠排水管時，應避免開挖影響坡面穩定性。此外，開挖時不可連續沿著縱斷方向施工，而應切割幾個區塊開挖，埋設暗渠排水管後，再進行下一個區塊施工。

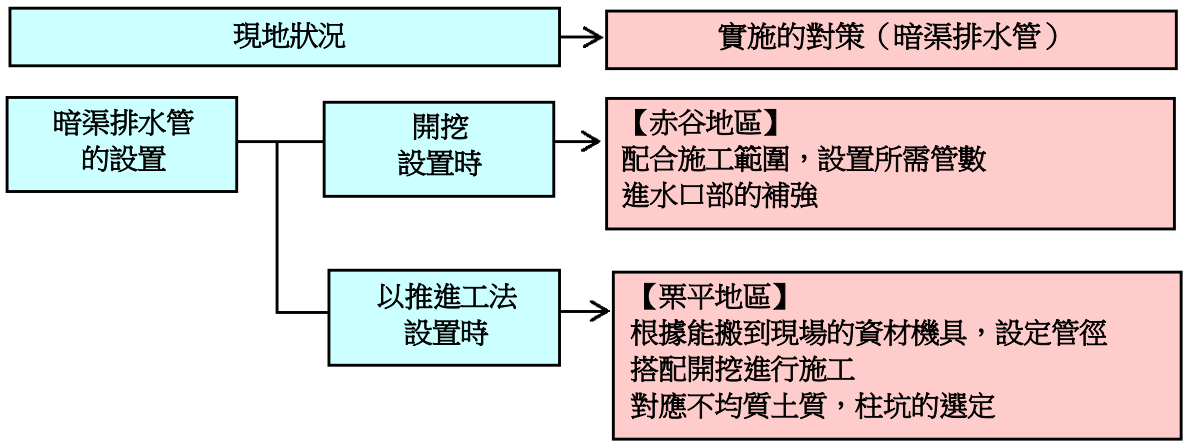
・應注意從上游堰塞湖可能產生管湧現象。

暗渠排水管不受崩塌地土砂流出影響，是有效的排水方法。但若排水管阻塞，可能喪失機能，因此除了暗渠排水管，也同時設置明渠。

另外，進水口部阻塞與出水口部防止淘刷對策之外，也應實施防止管路側邊形成水路而淘刷的對策。

暗渠排水管設置應配合下列狀況實施

【對策案例的分類】



(1) 開挖設置暗渠排水管時（赤谷地區）

■對策概要

・赤谷地預期堰塞湖水位上升頻率高，經常有水進入臨時排水路。此外，預期即使施工期間只靠抽水機排水，無法充分發揮抑制水位上效果。因此，設置暗渠排水管。

・但赤谷地區堰塞壩頂端空間狹窄，要利用不同路徑分別設置暗渠排水管與臨時排水路，有其困難。

・此外，堰塞壩土質狀況不明。

・因此，希望能確實施工，開挖設置的暗渠排水管，和臨時排水路使用相同路徑，也就是在臨時排水路下部設置暗渠排水管。

・暗渠排水管以最低蓄水位-1m 為進水口高程，並且為了讓非洪水期過去五年期間最大流量 3.4m³/s 的水能往下流動，採用 ϕ1,000mm 口徑排水管。

・2012 年颱風 4 號、5 號時，崩塌坡面流出土砂導致臨時排水路掩埋，但暗渠排水管仍持續發揮其排水機能。

■ 對策工程遭遇的課題

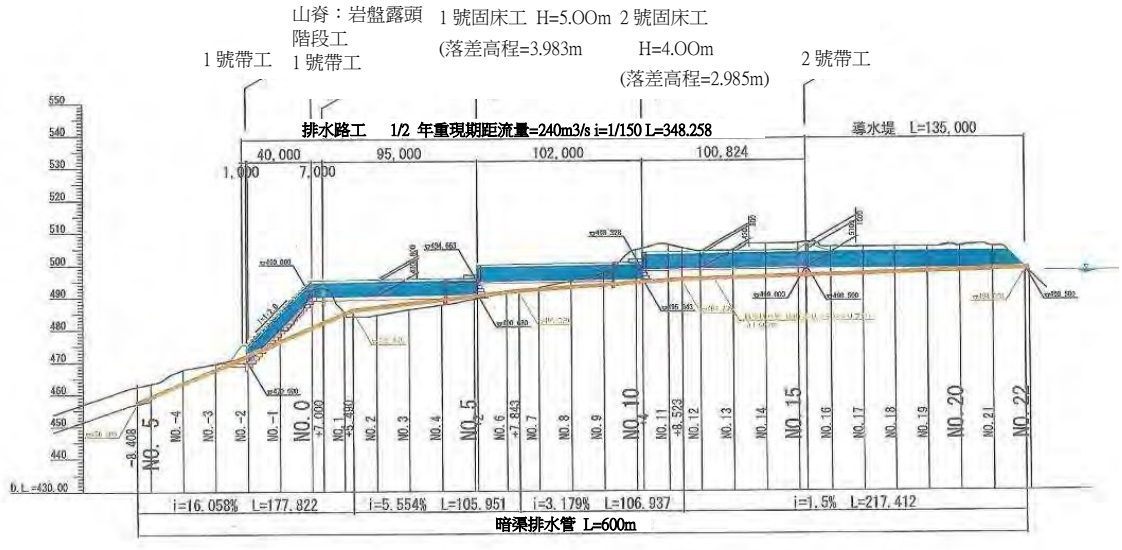
・①：挖掘範圍太大

・②：水深變深時，水壓會造成進水口處潰決

■ 遭遇課題的對策

・①：配合施工範圍檢討能設置多少排水管

・②：進水口部補強



暗渠排水管設置狀況（赤谷地區）

■ 對策案例①：配合施工範圍檢討設置多少排水管

・設置暗渠排水管，需開挖堰塞壩直到暗渠排水管設置地點為止，應避免開挖影響坡面穩定性。

＜有效的點＞

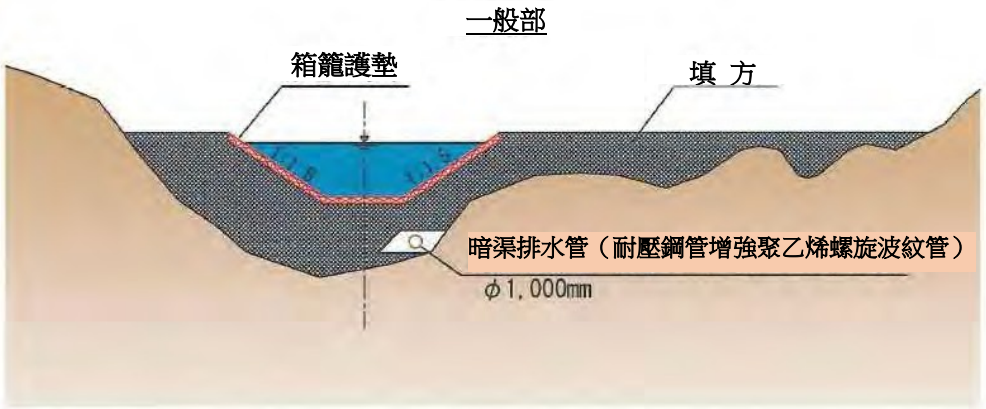
・赤谷地區堰塞壩頂端空間有限，很難找到可開挖、鋪設兩套水管的空間，因此暗渠排水管和臨時排水路使用相同平面線形，亦即在臨時排水路下部設置暗渠排水管。

・因此，臨時排水路計畫區間得先開挖完成，才能設置暗渠排水管的排水路。

・暗渠排水管設置完畢後，再進行臨時排水路設置，為了盡快完成臨時排水路，暗渠排水管只設一條。



暗渠排水管的設置（赤谷地區）



暗渠排水管設置地點（赤谷地區）

■ **對策案例②：進水口部的補強**

・暗渠排水管可能因為漂流木等阻塞，去除阻塞物困難，因此，進水口部設置可攔阻漂流木的設備（鐵籠等）。

＜有效的點＞

・暗渠排水管進水口高程不變，水位上升時進水口部所承受水壓大增，有時會出現管路進水口處潰決的狀況。因此，進水口除了設置攔阻漂流木的鐵籠等之外，也應考慮水壓作用，以混凝土塊等補強。



補強前的暗渠排水管進水口部（赤谷地區）



以混凝土塊補強暗渠排水管進水口部（赤谷地區）

(2) 非開挖式工法（推進工法）設置時（栗平地區）

■對策概要

・栗平地區 2012 年颱風 17 號時，堰塞湖流進臨時排水路的水流，導致臨時排水路 2/3 流失，堰塞壩遭受大規模侵蝕。

・臨時排水路可能在下次洪水之前難以完成復建，若流水進入殘存的臨時排水路，可能造成下游側再次侵蝕，因此確保可替代已破損臨時排水路的排水方法乃為急務。

・排水方法，若採用大容量抽水機持續排水，發電機供油與機械維修等費用是一大難題，因此，選擇在比臨時排水路進水口更低高程的地點，設置能讓堰塞湖流出來的水沒有淘刷風險地導流到下游的暗渠排水管。

・栗平地區之前已完成土壤力學調查和鑽探調查，大致掌握了堰塞壩土質狀況，因此暗渠排水管的鋪設方法，採用不需大規模開挖堰塞壩的推進工法。

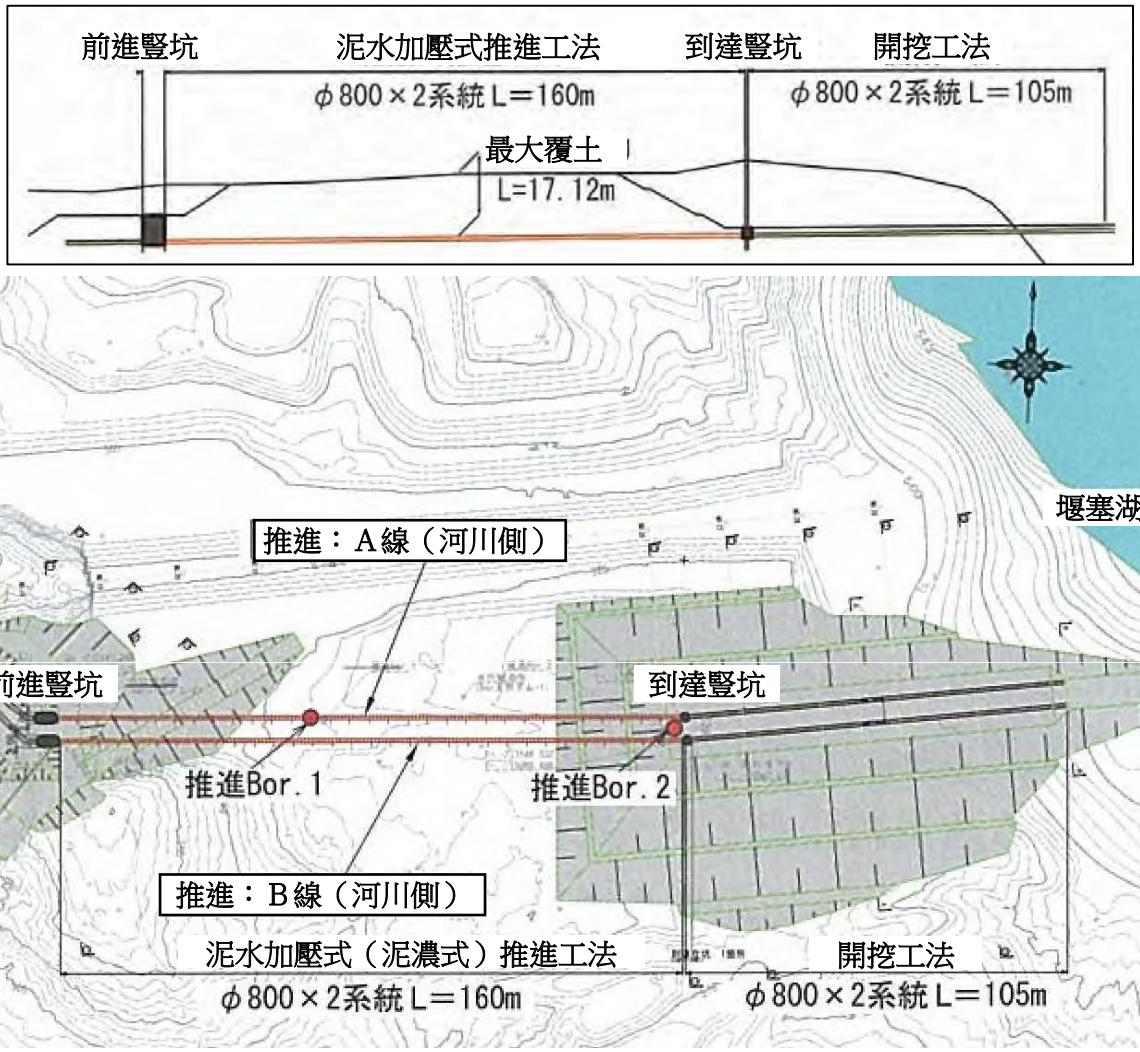
・選擇推進工法，主要考量①即使有硬質岩塊與漂流木等不明土質也能大致對應的推進機制，②崩落土砂可能降低推力的提升，③在滲透係數較高之無水層可實施的逸泥、逸水對策等三點，因此，決定採用最能對應狀況的泥水加壓式推進工法。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：資材機具之搬入
・②：推進工法需花時間準備
・③：堰塞壩的土層條件不明
・④：排水末端有侵蝕之虞

■ 遭遇課題的對策

・①：根據可搬到現場的資材與機具，設定管徑
・②：搭配開挖進行施工
・③：對應非均質土質之掘進機選定
・④：排水出口地點的末端處理



推進工法計畫平面圖與計畫縱斷面圖（栗平地區）

青木浩章、大塚康之：降低堰塞湖水位推進工法的應用ー十津川村栗平地區的土砂災害ー，土木施工，，2014,jun,Vol55,No.6.p41-44,

■ **對策案例①：根據可搬到現場的資材與機具，設定管徑**

・推進工法時除了設置縱坑之外，也必須把許多推進工法所需資材機具搬到施工地點。

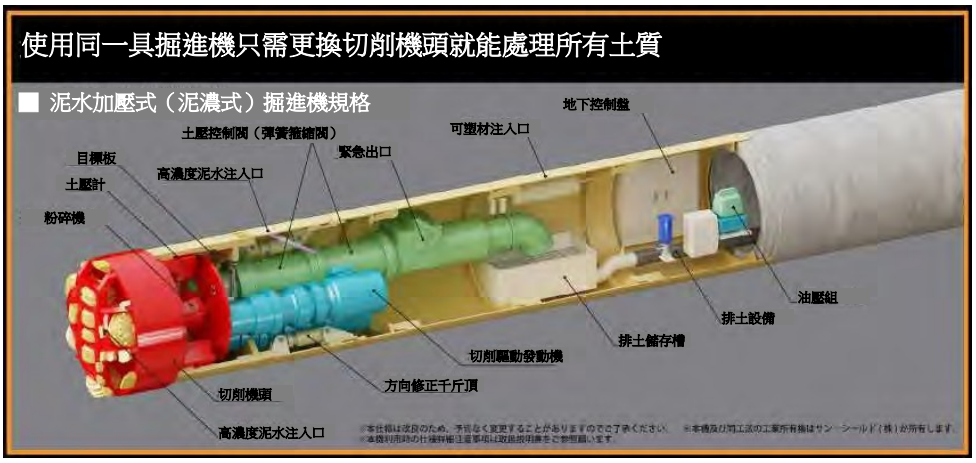
＜有效的點＞

・栗平地區將資材搬到前進豎坑，必須使用能爬坡 30%的 10t 履帶式傾卸車，考量搬運能力以及能搬到現場的多用途重機具能力，管徑設定最大為 ϕ800～900mm。

・此外，考量掘進時遭遇的大礫石或漂流木等，作業人員須進入推進管內加以排除，管徑最大只能設定為 ϕ800～900mm。

・栗平地區泥水加壓式推進工法內，是在 ϕ800mm 之中具有最大掘進力與對應粒徑最大，而且切削機頭具備二次破碎系統的唯一工法，而選擇 RMS 工法（分解回收工法）（GX 型：對應礫石與岩石）。

・為了避免萬一暗渠排水管阻塞導致機能完全喪失，設置二條管路。



推進工法掘進機規格圖

※泥水加壓式（泥濃式）推進工法手冊，泥水加壓式推進工法協會



以推進工法設置暗渠管（栗平地區 ϕ800mm）

■ **對策案例②：搭配開挖進行施工**

・推進工法開挖前須備妥掘進機與鑽頭、管路等，得準備一段期間才能開工。

＜有效的點＞

・栗平地區希望能在下次洪水期前完成施工，同時也考量若無法順利以推進工法掘進的狀況，決定同時以推進工法與開挖工法鋪設暗渠排水管。

・利用推進工法的準備期間進行明渠施工。和完全以開挖工法鋪設暗渠排水管相比，使用推進工法與開挖工法搭配，大幅縮短了工期。



開挖鋪設暗渠排水管的施工狀況（栗平地區）
左側：臨時排水路 右側：以開挖工法設置暗渠排水管的地點



暗渠排水管進水口部的狀況（栗平地區）

■ **對策案例③：對應非均質土質掘進機之選定**

・堰塞壩係崩塌土砂堆積物所形成，土層條件不明，且漂流木混入與否也應加以確認。

＜有效的點＞

・和開挖工法相比，推進工法在更深的位置也能設置暗渠排水管，但堰塞壩土層屬於非均勻土質條件，需注意其岩盤狀況可能無法事前調查掌握。因此，採用能對應礫石與岩盤的掘進工法時，需選擇適當的掘進機。

・在滲透係數高的無水層施工，可能出現高濃度泥水逸泥導致無法推進的狀況。因此要用逸泥防止材與黏土，提高土壤顆粒子間隔的堵塞效果，可以增加送泥量因應之。

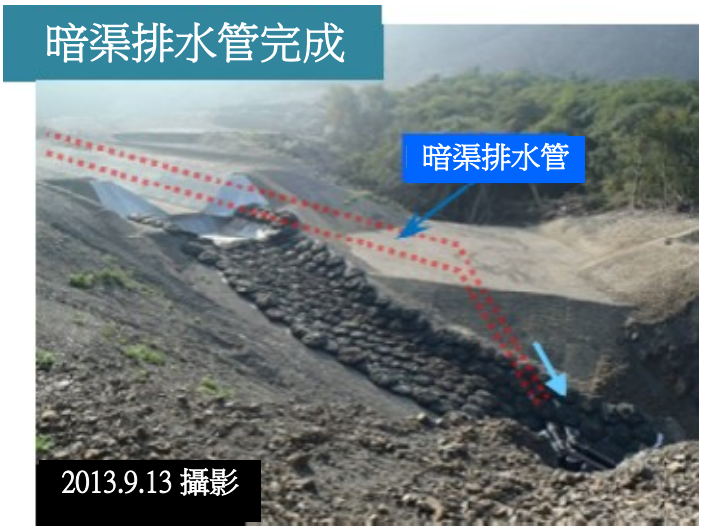
■ **對策案例④：出水口地點的排水末端處理**

・推進工法設置的暗渠排水管，具有相當大流動能力，是其優點。但另一方面，排水末端可能因為大流量的流動造成淘刷，因此需實施排水末端處理。

＜課題構想＞

・栗平地區在堰塞壩上部設置暗渠排水管，但 2014 年 8 月颱風 11 號洪水時，暗渠排水管出水口部淘刷，暗渠排水管也破損，沿著暗渠排水管往上游侵蝕。

・因此設置大流量暗渠排水管時，應同時實施消能工等的流末端處理。





暗渠排水管下游端出現淘刷狀況（栗平地區）

3 堰塞壩下挖與堰塞湖回填

■ 特 徵

・堰塞壩下挖與堰塞湖回填或縮小規模，都能降低溢流潰壩危險性與潰壩流量規模。

・滲流長度拉長可降低滲流破壞的危險性。

・為了先期施工，下挖範圍設定為開挖土砂量最小的最深河床沿線（堰塞壩的鞍部或凹部）。

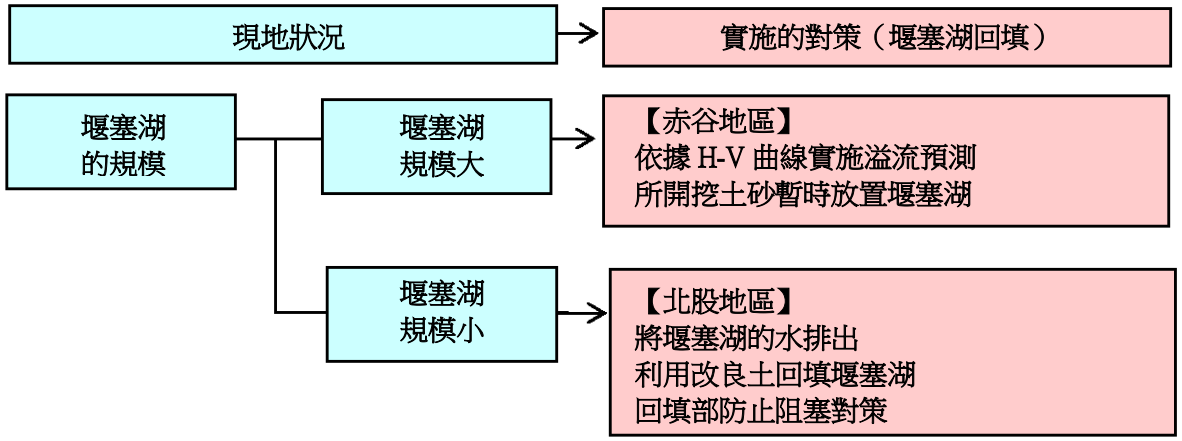
【注意構想】

・若已淹水，應先實施抽水機排水、降低堰塞湖水位再施工。

・堰塞壩下挖與回填，對堰塞湖溢流有「負面效果」（縮短開始溢流時間、增加溢流次數），因此，這兩項工程應在確保堰塞壩下游面排水機能後實施。

堰塞壩的下挖與堰塞湖回填，應視以下狀況推動。

【對策案例的分類】



(1)堰塞湖規模大時 （赤谷地區）

■ 對策概要

・赤谷地區堰塞湖規模大，難以完全回填，施工過程所產生的開挖土砂，臨時放在堰塞湖

■ 對策工程遭遇的課題

・①：堰塞湖回填，會縮短開始溢流的時間

・②：很難確保足以容納所開挖大量土砂的地點

■ 遭遇課題的對策

・①：製作正確的 H-V 曲線，實施溢流預測。

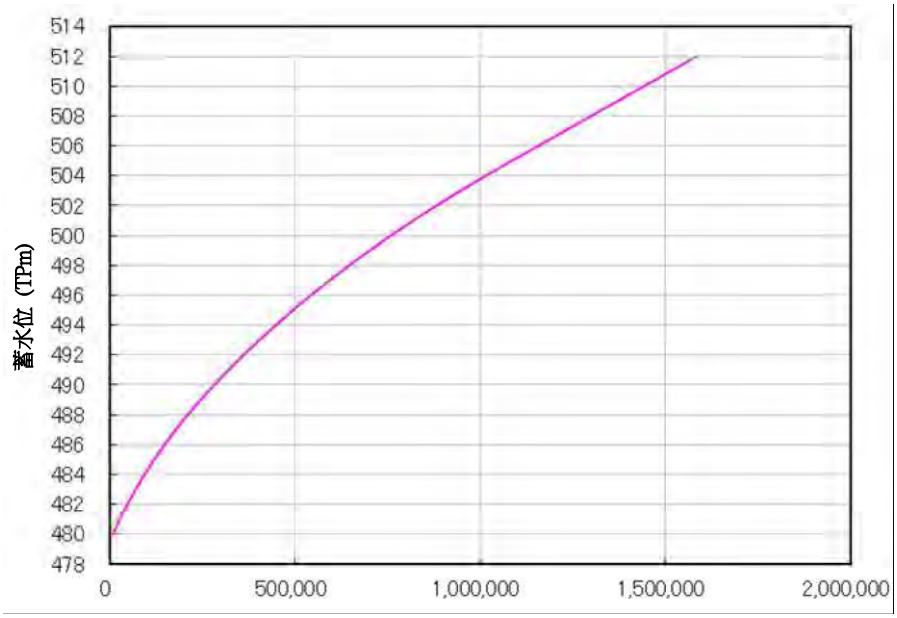
・②：將堰塞湖當作開挖土砂的臨時放置空間

■ 對策案例①：製作正確的 H-V 曲線，預測溢流

・為了掌握正確的堰塞湖浸水量，應儘早實施堰塞湖測量。回填而降低堰塞湖蓄水量，為了掌握到開始溢流時間，應製作回填後的 H-V 曲線。

＜有效的點＞

・赤谷地區實施深淺測量，製作了堰塞湖的 H-V 曲線。



H-V 曲線案例（赤谷地區）

■ **對策案例②：開挖土砂暫時放置堰塞湖**

・山谷形成堰塞壩時，很難找到可放置所開挖土砂的地點，因此應檢討是否用這些土砂回填堰塞湖（或暫時放在堰塞湖）。

・此外，堰塞湖回填會縮短溢流開始的時間、增加溢流次數之「負面效果」，因此堰塞湖回填前應先確保堰塞壩下游排水機能。

＜有效的點＞

・赤谷地區堰塞湖規模大，為了降低潰壩流量、拉長滲透流路，可檢討堰塞壩頂端降低高度與堰塞湖回填工程同時進行。



堰塞湖的回填（赤谷地區）

＜課題構想＞

・崩塌土砂形成堰塞壩時，初始擔心堰塞湖回填是否會增加不穩定土砂量，遲未實施回填措施，然而堰塞湖回填並非「增加不穩定土砂量」，而是「排除溢頂潰壩危險性的對策工程」。

(2)堰塞湖規模小時（北股地區）

■ 對策概要

・北股地區堰塞湖規模很小，可用抽水機排水將堰塞湖的水排掉，因此堰塞壩下挖後，開挖的土砂可投入堰塞湖，回填堰塞湖。

・堰塞湖回填約需一個月，投入土砂量約 7,000m³。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：需判斷堰塞湖是否能回填

・②：回填完成會變成像泥沼地

■ 遭遇課題的對策

・①：應依據抽水機排水能力與平時入流量，判斷能否有效排除堰塞湖的水

・②：回填地方以混凝土改良

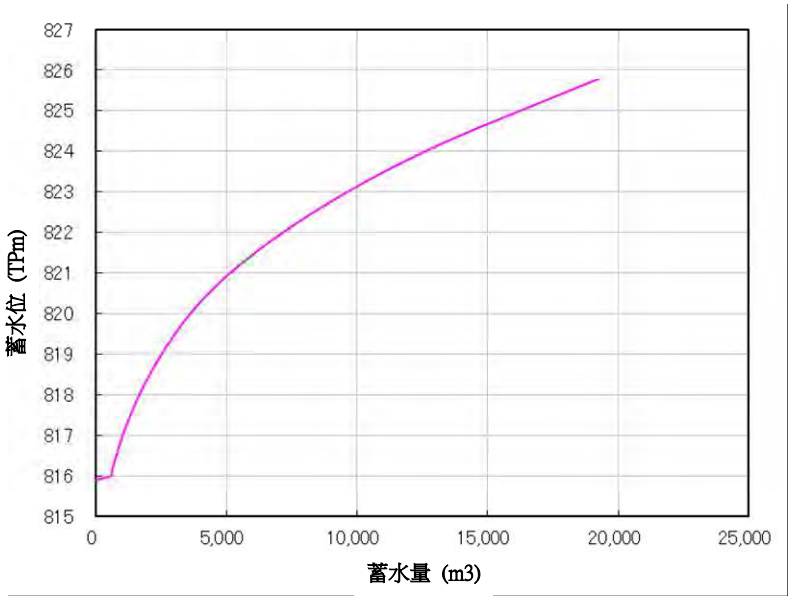


堰塞壩下挖與堰塞湖回填（北股地區）

■ 對策案例①：應正確掌握堰塞湖的入流量

・為了掌握堰塞湖正確蓄水量，應儘早實施堰塞湖測量。

・回填降低堰塞湖蓄水量時，為了掌握開始溢流時間，應製作回填後的 H-V 曲線。



H-V 曲線案例（北股地區）

■ **對策案例②：回填地方以水泥進行改良**

・北股地區以抽水機排除堰塞湖的水，並將來自上游的水流轉流他處、避免流入堰塞湖，才實施堰塞湖回填工程。

・回填工程大約需一個月左右， 所投入土砂約 7,000m^3。

＜有效的點＞

・北股地區堰塞湖回填地點變成類似沼地狀態，需一面實施防砂用水泥土壤拌合物改良，一面回填。

・水泥混合土的攪拌工作，使用「篩式剷斗（skeleton bucket)」。

・水泥添加量的設定，應以滿足通行能力為準，亦即隔天工程車輛能在上面實施作業。

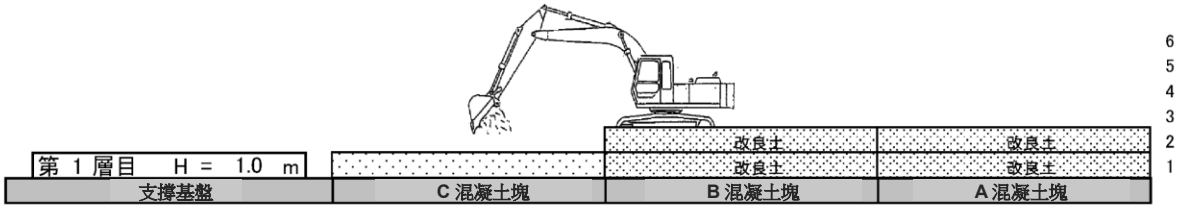


堰塞湖的回填（北股地區）

C 混凝土塊

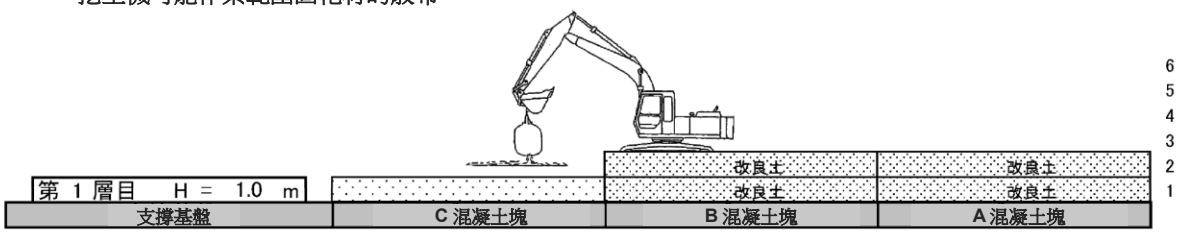
第 1 層 將改良對象土整平

挖土機作業範圍改良土的整平



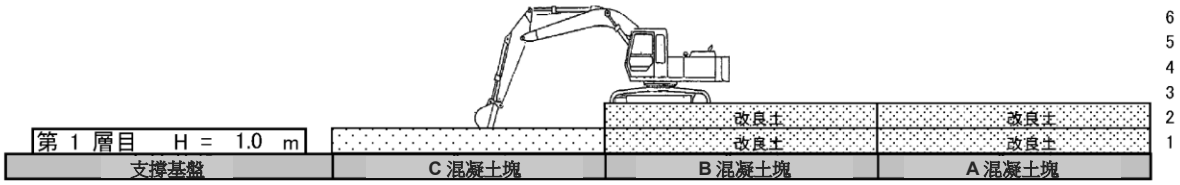
第 1 層 固化材的散布

挖土機可能作業範圍固化材的散布。



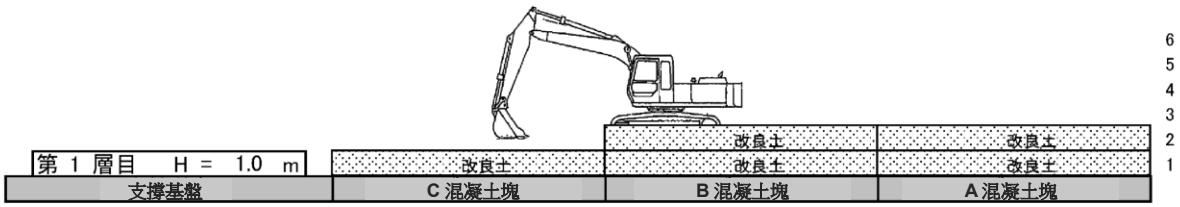
第 1 層 混合與攪拌

挖土機作業範圍的混合與攪拌作業。



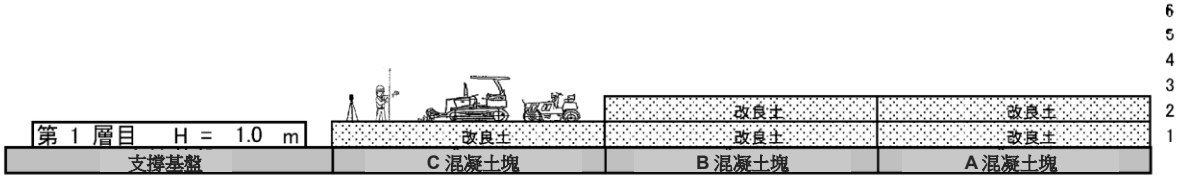
第 1 層 混合與攪拌完成，實施粗整地。

混合與攪拌完畢，挖土機實施粗整地作業。



第 1 層 以預定高度為目標實施整地、輾壓。

針對目標的計畫高度，利用推土機與壓路機實施整地輾壓。



堰塞湖回填施工基本流程（北股地區）熊谷組提供

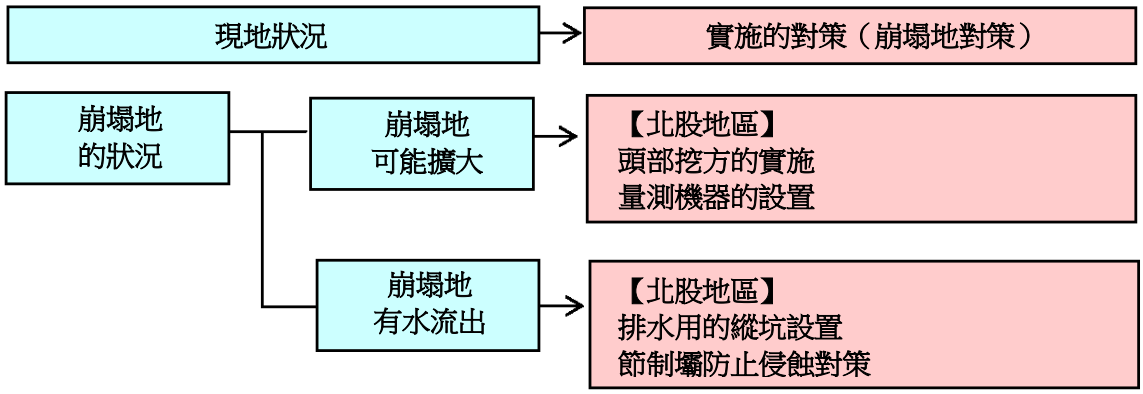
4. 崩塌地土砂流入堰塞壩的抑制

■ 抑制崩塌地往堰塞壩流出土砂的基本對策

→抑制崩塌地二次崩塌與崩塌擴大、抑制土砂流出

崩塌地二次崩塌或擴大崩塌之土砂流向堰塞壩時，當土砂繼續往堰塞壩下游區域流出，造成河床上升或河床上升的洪水氾濫災害。又，崩塌土砂流入堰塞湖，其所造成的溢流可能侵蝕堰塞壩甚至潰壩。此外，在上述狀況下，很難確保堰塞壩對策工程實施時的安全。
抑制崩塌地土砂流至堰塞壩的案例如下所示。

【對策案例的分類】



(1) 崩塌可能擴大時（北股地區）

■ 對策概要

・北股地區的崩塌地與堰塞壩鄰近聚落，一旦崩塌擴大，土砂可能流出而入侵聚落，因此優先實施頭部挖方。

■ 對策工程遭遇的課題

・①：鄰近聚落的崩塌地擴大崩塌，可能造成新的災情

・②：崩塌地與堰塞壩即使稍有距離，仍有擴大崩塌的風險

■ 遭遇課題的對策

・①：為了防止崩塌擴大而實施頭部挖方

・②：為了監測崩塌狀況設置量測機器，並優先進行臨時排水路等的施工

■ 對策案例①：無人化施工進行頭部挖方

・為了防止崩塌擴大造成土砂再生產與流出，讓重機械進入崩塌地頭部、實施頭部挖方，但北股地區崩塌地頭部確認有許多裂隙，擔心實施頭部挖方可能擴大崩塌。因此，北股地區運用無人化施工，實施頭部挖方。

・崩塌地鄰近堰塞湖時，須先掌握能開挖的範圍，因此務必實施邊坡穩定評估。

＜有效的點＞

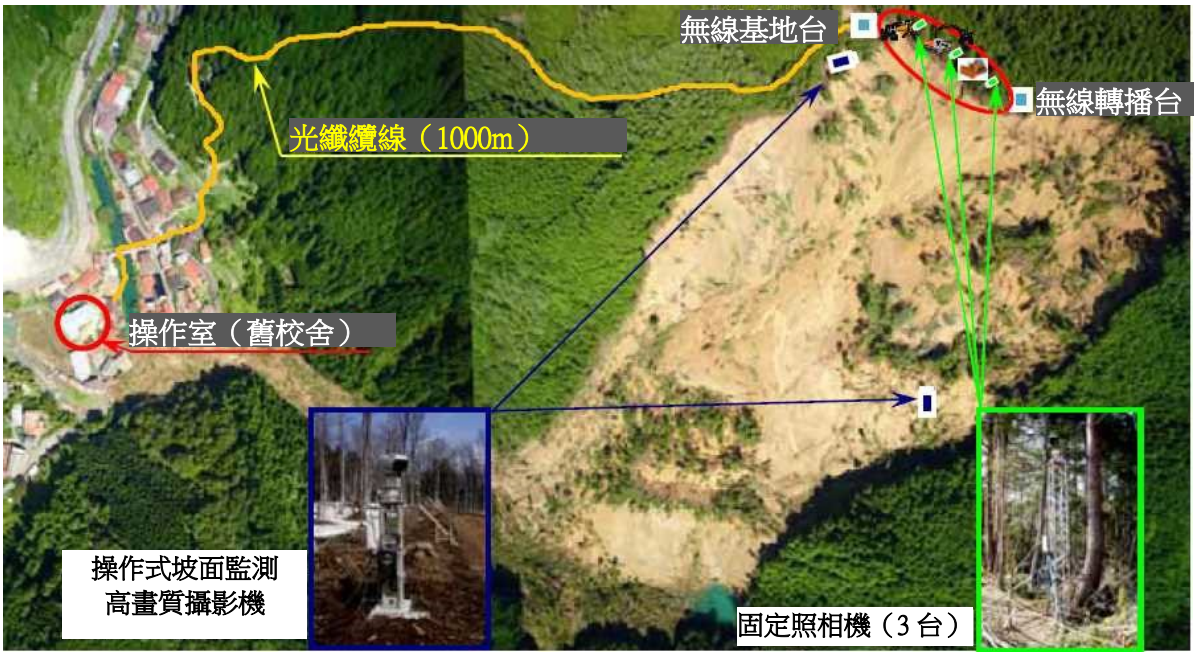
・無人化施工有「人為遙控」或「攝影畫面遙控」兩種作法，坡面頭部進行作業很難通視，因此，北股地區採用「攝影畫面遙控」。

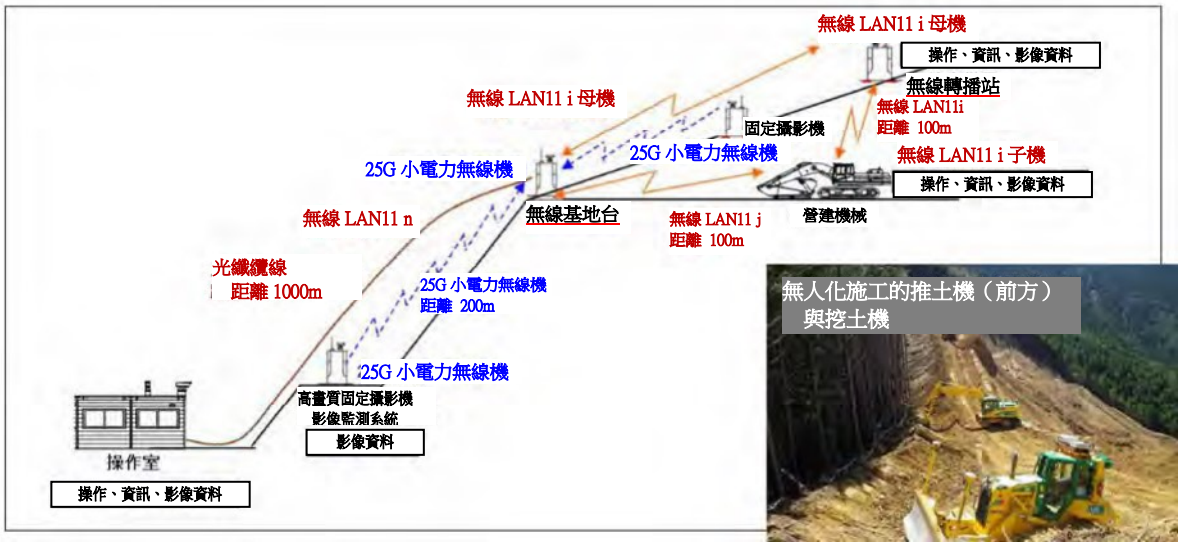
・操作室（北股國小）距離施工地點約 1km，操作室至無線基地台之間鋪設光纖纜線。

・無線基地台至施工機械之間架設無線 LAN（區域網路系統），收發訊息。

・無人化施工耗費設備費用，越是大面積、大範圍實施，越能降低成本。

・頭部挖方作業實施無人化施工，過程中使用固定照相機，以挖土機中的一台作為「攝影車」，照相機固定在該挖土機的懸臂上。





操作室到無人化施工實施地點的通訊系統圖（北股地區）



以無人化施工進行頭部挖方（北股地區）



頭部挖方無人化施工的流程（北股地區）

■ 對策案例②：量測機器的設置（赤谷地區、長殿地區、熊野地區）

・優先實施臨時排水路抑制水路上升對策時，應盡量減少在崩塌地坡面側實施對策工程，並應在崩塌地頭部裂隙(縫)地點設置量測機器。

＜有效的點＞

・崩塌地頭部裂隙(縫)地點設置伸縮計（熊野地區等）或 GPS 量測裝置（赤谷地區、長殿地區），並且必須在確認出現異常變位時，能連絡作業員進行避難。



以伸縮計實施量測（熊野地區）

＜課題構想＞

・施工現場噪音很大，而且因為是谷底視線不清，所以即使確認出現裂隙(縫)等變位，也很難利用警示燈或警報器讓作業員了解狀況。

・解決辦法是赤谷地區的作業員全員攜帶無線電，並且定期實施避難訓練。

(2)崩塌地出現湧水時（北股地區）

■ **對策概要**

・北股地區有許多來自崩塌地的湧水，因此實施崩塌地湧水的處理對策。

■ **對策工程遭遇的課題**

・①：崩塌地產生大量湧水

・②：崩塌坡面內有許多水流

■ **遭遇課題的對策**

・①：堆積工內設置排水用的縱坑

・②：崩塌坡面側的水流處理方面，設置節制壩

■ **對策案例①：堆積工內設置排水用的縱坑**

・北股地區配合防護土堤的整建，在堆積工內設置排水用的豎井（集水井）

＜有效的點＞

・除了設置在堆積工內的排水用豎井，同時將土堤下游側溢流部的水流導入河道，以確保水路的安全。



堆積工內的豎井（北股地區）

■ 對策案例②：以節制壩防止侵蝕對策

・北股地區的崩塌地湧水量大，因此在崩塌地內設置水路，下游端的地點則設置節制壩。

＜有效的點＞

・北股地區的崩塌坡面湧水量大，因此崩塌坡面側的水流處理工作很重要。

・因此在崩塌坡面利用防砂用水泥土壤拌合物為填充材而製作的沙包，設置節制壩。

・因為是以大型沙包完成的節制壩，具有優良施工性，即使在崩塌坡面也能有效運用。

・坡面內也設置以改良土形成的水路。改良土的目標強度為 3N/mm^2 以上，混凝土添加量依據室內試驗結果，設定為 170kg/m^3。



使用大型沙包完成節制壩的侵蝕防止對策（北股地區）

5. 堰塞壩趾部與下游部基幹壩的構築

■ 特　徵

・出現溢流導致堰塞壩侵蝕狀況時，可藉由堰塞壩趾部固定降低潰壩危險性與潰壩流量規模。

・消能效果可抑制排水路工下游端局部淘刷與河床降低，防止堰塞壩侵蝕。

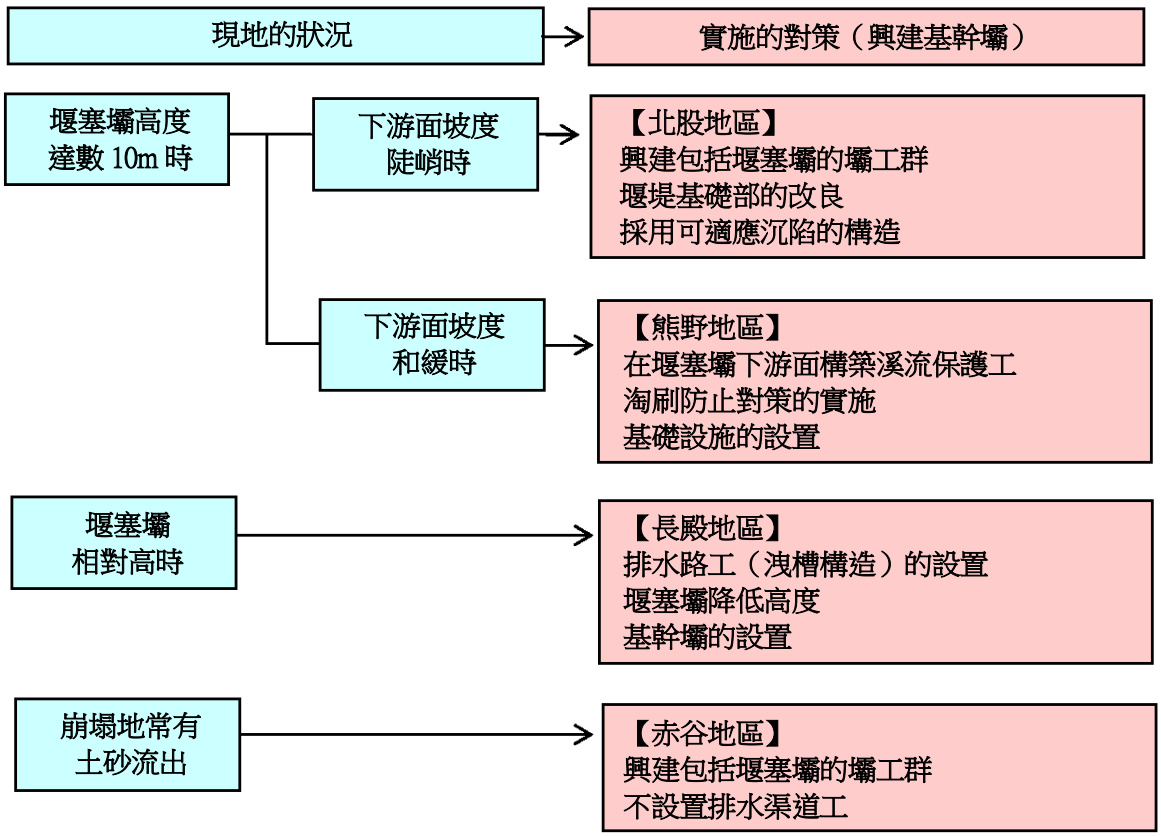
【注意構想】

・考量施工期間等，基本上可運用混凝土塊或防砂用水泥土壤拌合物的壩工。但應有表面磨損對策。

・運用混凝土塊施設堰堤時，其下游若產生侵蝕，將造成下游側混凝土塊沉陷或位移，恐導致整體堰堤傾倒損壞，因此基礎部改良或混凝土打設等基礎處理，有其必要。

在堰塞壩趾部與下游興建基幹壩時，可參考下列狀況採取適當措施。

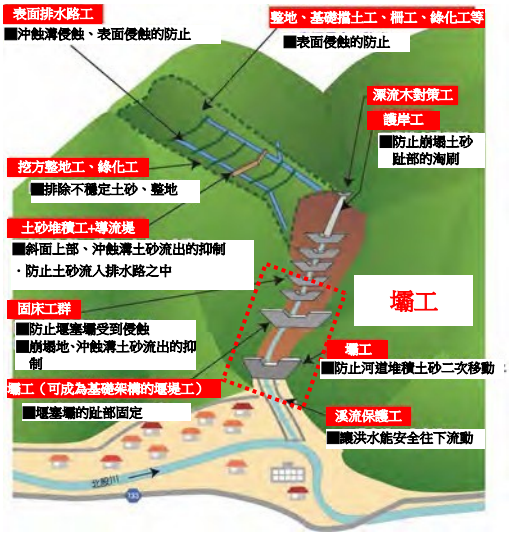
【對策案例的分類】



(1) 堰塞壩高數十公尺左右（未滿 30 公尺）且下游坡面坡度較陡時（北股地區）

■ 對策概要

・北股地區的堰塞壩高數十公尺，且下游面坡度較陡，興建包括堰塞壩在內的壩工（群）。此外，壩工的翼部應嵌入山壁。



對策位置圖（北股地區）

■ 對策工程遭遇的課題

・①：為了確保堰塞壩的穩定性，應構築複數基的防砂堰堤

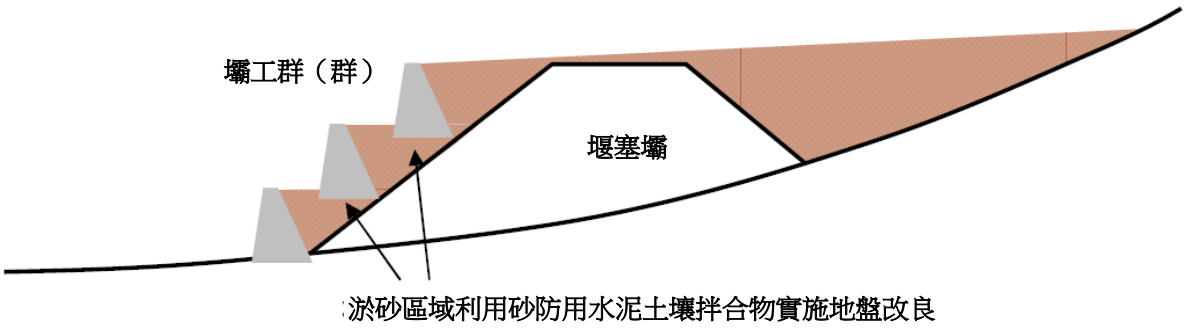
・②：在不穩定土砂上面設置防砂堰堤

■ 遭遇課題的對策

・①：構築形式上可以將堰塞壩包括在內的壩工與固床工群

・②：堰堤體基礎部的地盤改良

採用可因應沉陷的構造



對策示意圖

■ 對策案例①：可將堰塞壩包括在內的壩工與固床工群之構築

・北股地區過去曾有崩塌地土砂流出導致排水路被掩埋的狀況，今後仍可能出現土砂流入排水路造成機能無法發揮的狀況。因此，堰塞壩上應構築壩工與固床工群。



堰堤群的堰塞壩對策（北股地區）

■ **對策案例②：壩體基礎部的地盤改良與可因應沉陷的構造**

・在不穩定土砂上設置防砂堰堤時，可先以防砂用水泥土壤拌合物等地盤改良，然後在上面設置壩工。

・設置壩工可讓堰塞壩上游側產生堆砂，將大規模崩塌趾部固定。而且即使崩塌地出現二次崩塌或擴大崩塌，堰堤的堆砂區域也有抑制土砂流出的效果。



防砂用水泥土壤拌合物養護中的狀況（北股地區）

・北股地區從表層到岩盤基礎為止土石流堆積物堆積厚度約 14.5 公尺，土石流堆積物之 N 值約 5～20，因此為了確保壩體安全， 實施基礎處理。

・地盤支持力小，預期會有沉陷，壩體構造採用「雙牆」（double wall）+雙重板樁構造，雙重板樁構造係可因應沉陷的滑動構造，板樁打進舊土石流堆積物中，可改良壩體基礎部。

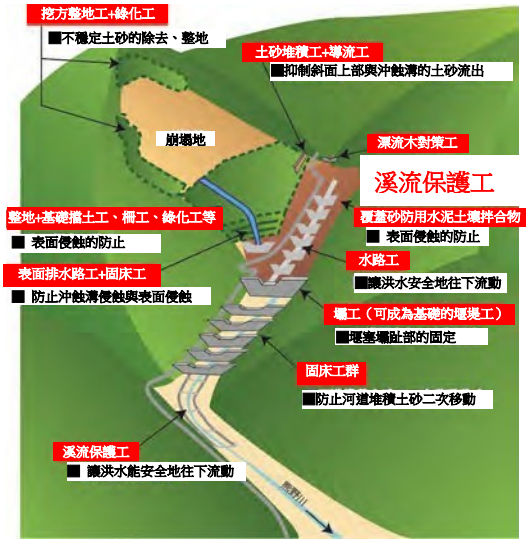


雙牆+雙重板樁構造（北股地區）

(2) 堰塞壩高數十公尺左右（未滿 30 公尺）且下游坡面坡度和緩時（熊野地區）

■ 對策概要

・熊野地區等的堰塞壩高約數十公尺，下游坡度較緩的地點，為了讓溢水流安全往下流動、防止堰塞壩侵蝕，在堰塞壩下游面興建溪流保護工。



對策位置圖（熊野地區）

■ 對策工程遭遇的課題

・①：下游面坡度和緩時，可利用排水路工讓計畫規模流量的水安全往下流動

・②：能安全地讓計畫規模的流量往下流動

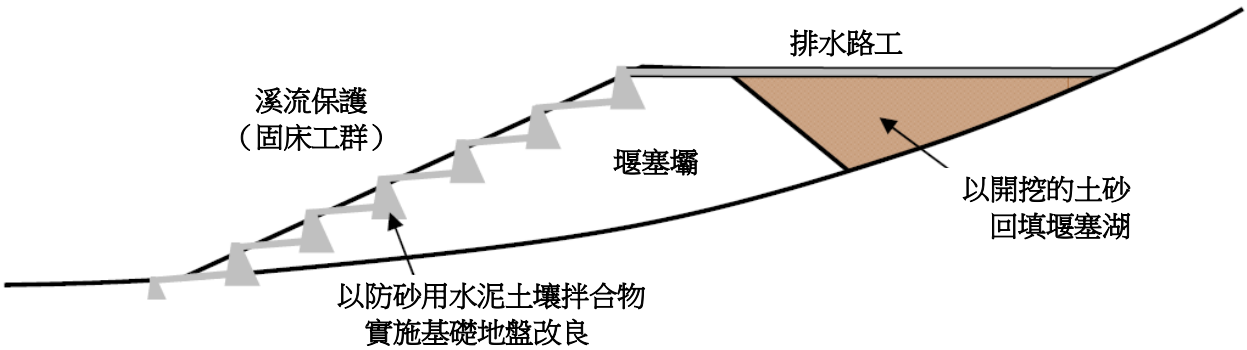
・③：流量超過計畫規模時，從排水路工溢流出去

■ 遭遇課題的對策

・①：在堰塞壩下游面構築溪流保護工

・②：淘刷防止對策

・③：設置可成為基礎的設施



對策示意圖

■ 對策案例①：在堰塞壩下游面設置溪流保護工

・熊野地區判斷很難在對策實施地點分別構築緊急對策水路與長期對策工程，因此應用緊急對策工程所整備完成的臨時排水路，整備了具備 100 年重現期距流量斷面的溪流保護工。

・熊野地區因為是在崩塌土砂上施工，為了因應構造體沉陷，且現場存在大量土砂，因此堰塞壩頂端採取箱籠護墊施作的水路工，下游坡面採取鋼框壩與整流工（連續框）構造。

・鋼框所使用的填充材料，以現地生成材料壓碎並使用它。

・堰塞壩右岸崩塌地山腳部地質脆弱，且存在直徑 10m～20m 的岩塊，因此排水路中心線應盡可能靠左岸。

・下游坡面坡度應盡量避免開挖，大約與目前堰塞壩下游坡度相當。



以溪流保護工實施的堰塞壩對策（熊野地區）

■ 對策案例 ②：淘刷防止對策的實施

・為了防止水流導致固床工前庭部淘刷，以鋪設混凝土塊等方式設置前庭保護工。

＜課題構想＞

・熊野地區的臨時排水路係以運用現地材料的框工所構築，因此發生溢水流導致填充材料流出的狀況。此外，其滲透性高，有產生滲流破壞的風險。

・因此在固床工正下方的溪流保護工等部分，實施以混凝土塊與鐵板所構成的淘刷防止對策。



固床工正下方出現淘刷（熊野地區）



固床工正下方的淘刷對策（熊野地區）

■ 對策案例③：可成為基礎設施之設置

・固床工翼部即使有溢水流從堰塞壩往下流動，仍可防止侵蝕與潰壩，為此，基礎設施之翼部，應插入兩岸的山壁。

＜課題構想＞

・熊野地區臨時排水路之固床工翼部並未配置直達兩側山壁，因此 2014 年 7 月颱風 11 號洪水時，左岸側的臨時排水路出現溢流侵蝕，左岸側翼部因此局部受損。

・熊野地區希望即使洪水從排水路溢流侵蝕堰塞壩，也不至於破壞整個堰塞壩，因此在排水路工末端部設置可作為基幹的防砂壩。



未將翼部貫入山壁出現侵蝕導致破損的狀況（熊野地區）

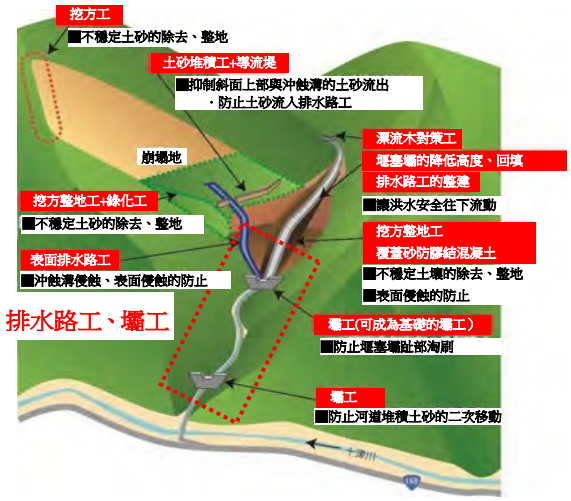


作為基幹的防砂壩（熊野地區）

(3)堰塞壩相對高大時（30 公尺以上）（長殿地區）

■ 對策概要

・長殿地區等的堰塞壩相對高大時，很難以實施壩工達成堰塞壩穩定化。因此，為了讓溢水流安全往下流動、防止堰塞壩侵蝕，設置排水路工（洩槽構造）。



對策位置圖（長殿地區）

■ 對策工程遭遇的課題

・①：難以用壩工群達成堰塞壩的穩定化

・②：溢流高程太高

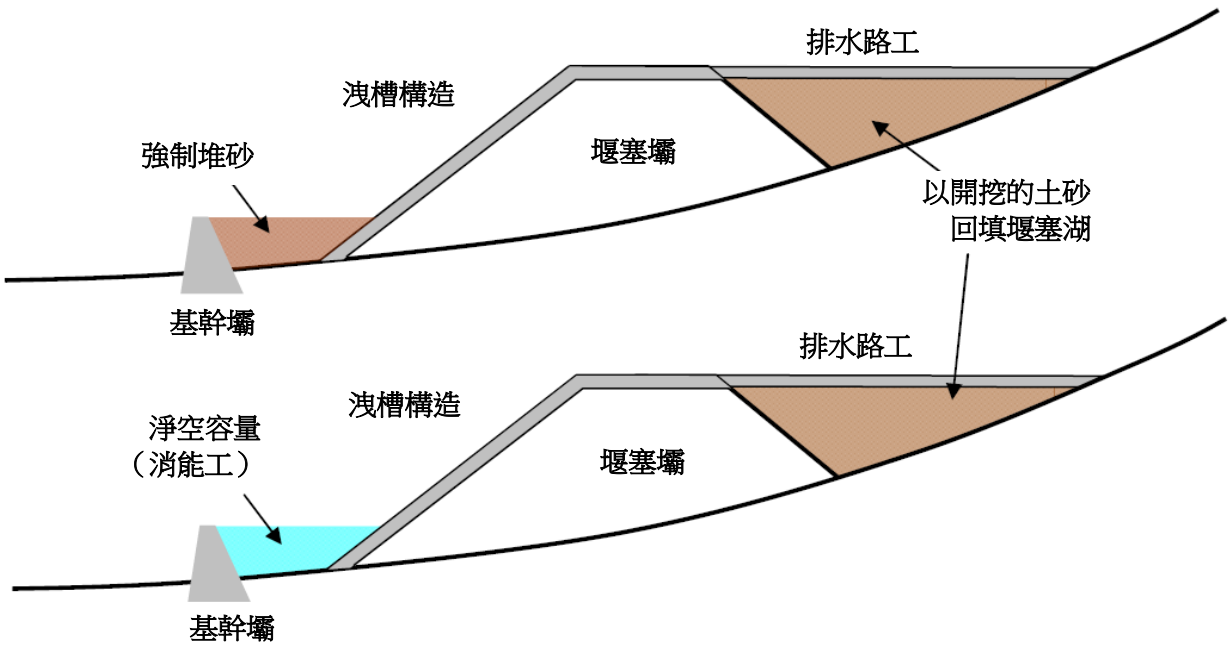
・③：應實施堰塞湖趾部淘刷對策

■ 遭遇課題的對策

・①：排水路（洩槽構造）的設置

・②：堰塞壩降低高度

・③：基幹壩的設置



對策示意圖

■ 對策案例①：排水路（洩槽構造）的設置

・長殿地區為了讓計畫規模的洪水能安全地往下流動，實施臨時排水路拓寬工程（有些地方得重新開挖），整建出必要流動斷面的排水路工。

・即使出現超過計畫規模流量導致排水路工溢流時，為防止堰塞壩劇烈侵蝕，利用防砂用水泥土壤拌合物等，以排水路工周邊為中心，強化堰塞壩。

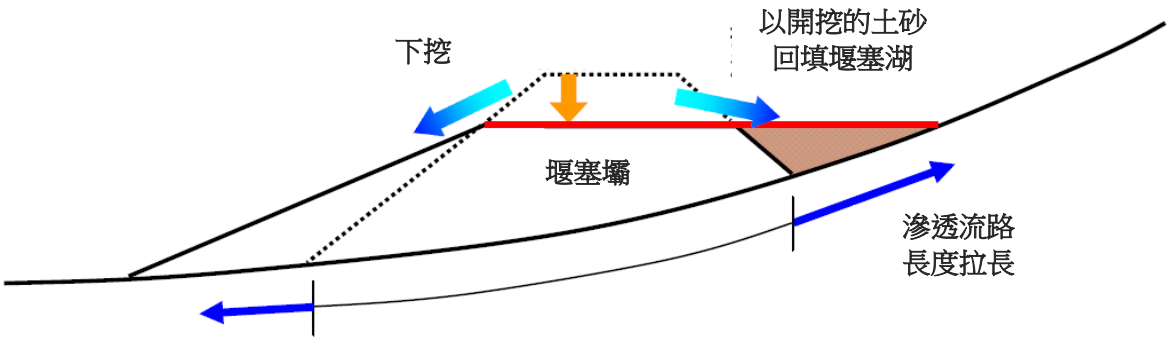


以排水路工保護堰塞壩的對策工程（長殿地區）

■ 對策案例②：堰塞壩下挖

・長殿地區的堰塞壩很高，在不損及崩塌地與崩塌土砂穩定性的範圍內，加上施工困難性的考量，應盡可能降低溢流高程（排水路工進水口高程）。

・配合堰塞壩下挖工程，實施堰塞湖回填以及降低堰塞壩下游面坡度，可減少溢頂潰決與滲流潰決的危險性。



對策示意圖

■ 對策案例③：基幹壩的設置

・長殿地區在堰塞壩趾部構築基幹壩，希望能讓沿著洩槽部流下來的溢水流達到消能效果。

・堰塞壩趾部固定可抑制局部淘刷與河床降低，防止溢流所造成堰塞壩侵蝕。

・為了讓滲流能安全地往下流動，基幹壩設置洩水工。

・長殿地區的作業空間有限，因此引進能自動化製造防砂用水泥土壤拌合物的 SR-拌合機，提高施工效率。



堰塞壩趾部設置基礎防砂壩（長殿地區）





防砂用水泥土壤拌合物製造機械（長殿地區）

※自走式土質改良機 SR-G2000 型錄，日立建機日本股份公司

・基幹壩是在強制堆砂或確保空容量，依水工模型實驗消能效果確認之，結果發現長殿地區的基幹壩，在確保淨空容量方面具有較大的消能效果。





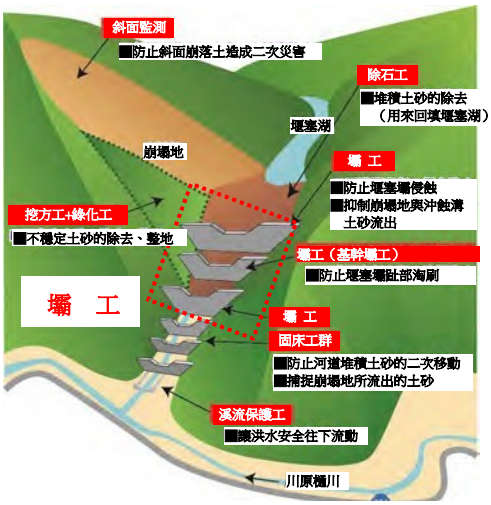
以水工模型試驗驗證消能效果（長殿地區）

(4) 崩壞地土砂頻繁流出時 （赤谷地區）

■ 對策概要

・赤谷地區等地堰塞壩高數十公尺規模，下游面坡度較陡的堰塞壩地點，可將堰塞壩包括在內構築工（群）。此外，壩翼須嵌入兩側山壁地面。

・又，崩塌地土砂流出頻繁，不設置排水路工。



對策位置圖（赤谷地區）

■ 對策工程遭遇的課題

・①：土砂流出導致排水路的機能不易確保

・②：在不穩定土砂上設置防砂壩

・③：土砂流出可能造成防砂壩受損

・④：溢流可能導致下游河道河床降低

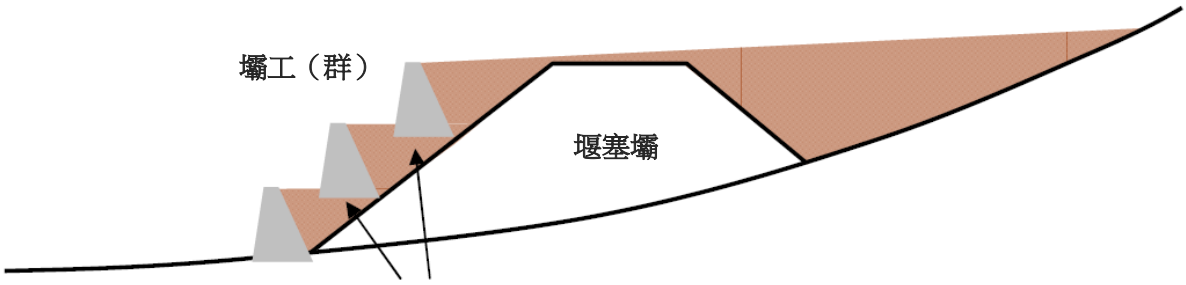
■ 遭遇課題的對策

・①：可將堰塞壩包括在內構築的壩工群，不設置排水路工

・②：壩體基礎部的地盤改良

・③：以防砂用水泥土壤拌合物覆蓋上游側

・④：以防砂用水泥土壤拌合物抑制下游河道的縱向侵蝕



對策示意圖

■ 對策案例①：將堰塞壩包括在內構築的壩工群，不設置排水路工

・赤谷地區崩塌地頻繁流出土砂，預估排水路工的機能可能受到阻礙，因此在堰塞壩上方整建壩工群，但不設置排水路工。

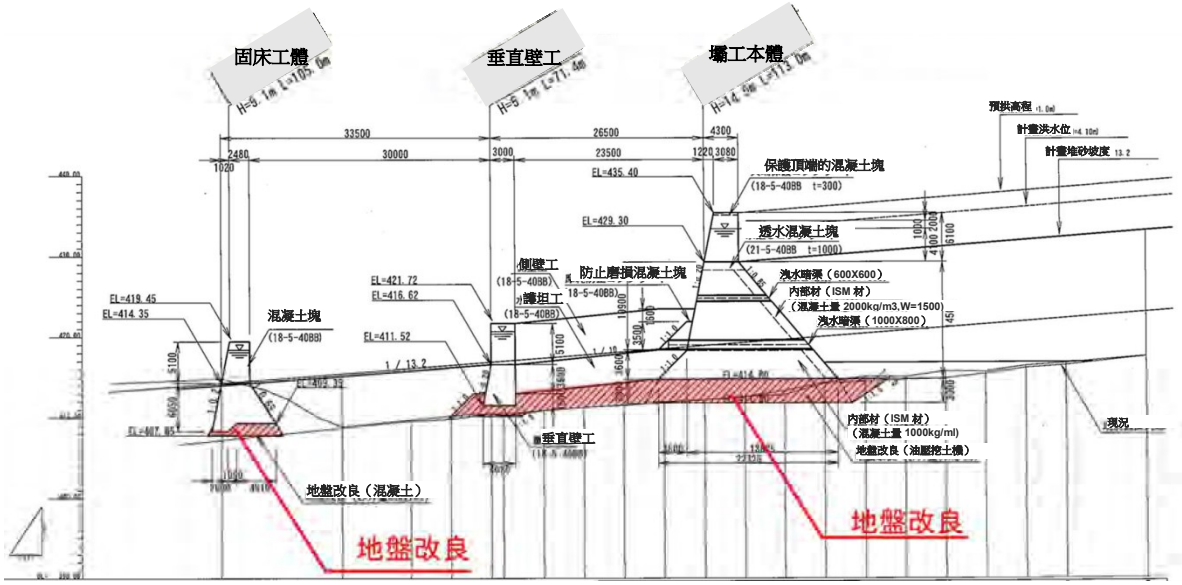


構築壩工群保護堰塞壩的對策工程（赤谷地區）

■ 對策案例②：壩體基礎部的地盤改良

・在不穩定土砂上設防砂壩，應以防砂用水泥土壤拌合物實施地盤改良，然後在上面設置壩工。

・壩工可讓堰塞壩上游側堆砂、固定大規模崩塌趾部，即使出現崩塌地二次崩塌或崩塌擴大，防砂壩淤砂區也可抑制土砂流出。



壩基礎部的地盤改良（赤谷地區）



構築壩工群以保護堰塞壩的對策工程（赤谷地區）

■ 對策案例③：以防砂用水泥土壤拌合物覆蓋上游側

・赤谷地區 2014 年 8 月颱風 11 號時土砂流出，導致施工中的 2 號防砂壩（INSEM-SB）破損。特別是翼部上下游外部保護材與內部材受損而往下游流出。

・另一方面，溢洪道部因為溢流產生磨損，但下游側保護材並未出現剝離等狀況，內部材也未因此裸露，因此確認 2 號防砂壩發揮了固定堰塞壩趾部的效果。

・因此，為了提高土石流頻繁發生地點防砂壩翼部外力的抵抗性，翼部上游側以防砂用水泥土壤拌合物加以覆蓋。



崩塌地流出土砂造成防砂壩破損的狀況（赤谷地區）



以防砂用水泥土壤拌合物覆蓋翼部上游側（赤谷地區）

■ 對策案例④：以防砂用水泥土壤拌合物抑制下游河道的縱向侵蝕

・赤谷地區因為 2015 年 7 月颱風 11 號時產生溢流，導致 2 號防砂壩的下游河道受到侵蝕，左岸側垂直壁翼部與側壁倒塌。侵蝕前的垂直壁下游河道，以土砂回填。

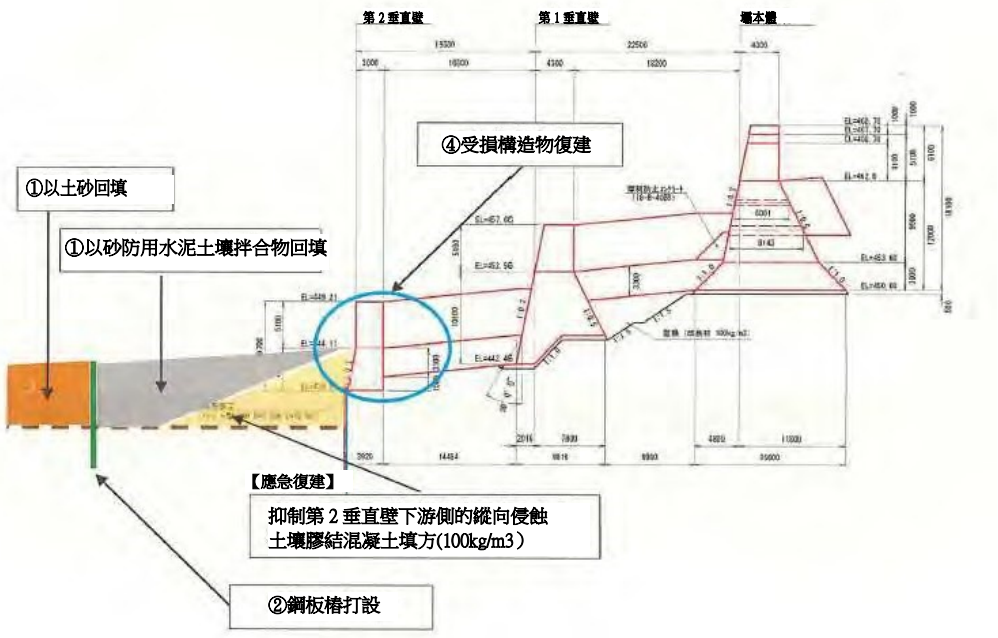
・以防砂用水泥土壤拌合物改良垂直壁正下方的河道，下游側同時實施鋼板樁打設，以抑制侵蝕。

・在河床二次移動劇烈的地點，設施下游側的侵蝕防止對策相當重要。

・此外，2015 年颱風 11 號時 2 號防砂壩本體已經完工，發揮了固定堰塞壩趾部的效果。



下游河道侵蝕導致垂直壁倒塌的狀況（赤谷地區）



以防砂用水泥土壤拌合物抑制下游河道的縱向侵蝕（赤谷地區）

結語

本書係以紀伊山地大規模堰塞壩對策實施的構想，並匯整對策實施內容與實施狀況等實例整理而成。具體而言係依據 2012 年度「堰塞壩等對策檢討委員會」（委員長：水山 高久 高都大學研究所 教授（目前已轉任政策研究大學院大學 特任教授））所提案的紀伊山地大規模崩塌與堰塞壩對策目標、對策基本構想、計畫規模、設施配置等基本方針，並依該方針在八個地點（赤谷地區、長殿地區、栗平地區、北股地區、熊野地區、清水〔宇井〕地區、坪內地區、三越地區）實施對策所獲得的知識見解為基礎。

2014 年 3 月，由前述委員會委員長水山教授擔任主席，召開「堰塞壩對策的今後技術開發動向意見交流會」，除了針對對策工程之從業人員，透過實際對策工程所取得的知識見解、現行對策實施上的課題、今後對策工程應走方向等交換意見之外，也將本書相關內容徵詢施工業者的意見，希望整理出更容易在對策工程施工現場運用的做法，最後編輯成本書。

本書編寫過程中承蒙水山教授在委員會上的特別指導，以及國土交通省國土技術政策總合研究所土砂災害研究部對策工程與相關業務負責人、專家等惠賜寶貴意見。另外災害發生後，一直在嚴苛條件下努力支援、實施對策工程的相關人員，一併在此呈上最高的敬意與謝忱。

2017 年 9 月
國土交通省 近畿地方整備局
大規模土砂災害對策中心
副主任（紀伊山系砂防事務所長） 吉村 元吾

紀伊山地大規模河道阻塞
（堰塞壩）對策（案）
【參考資料編】

2017 年9月

近 畿 地 方 整 備 局

大規模土砂災害對策技術中心

紀 伊 山 系 砂 防 事 務 所

紀伊山地堰塞壩對策概要

1・紀伊山地 2011 年颱風 12 號災害概要

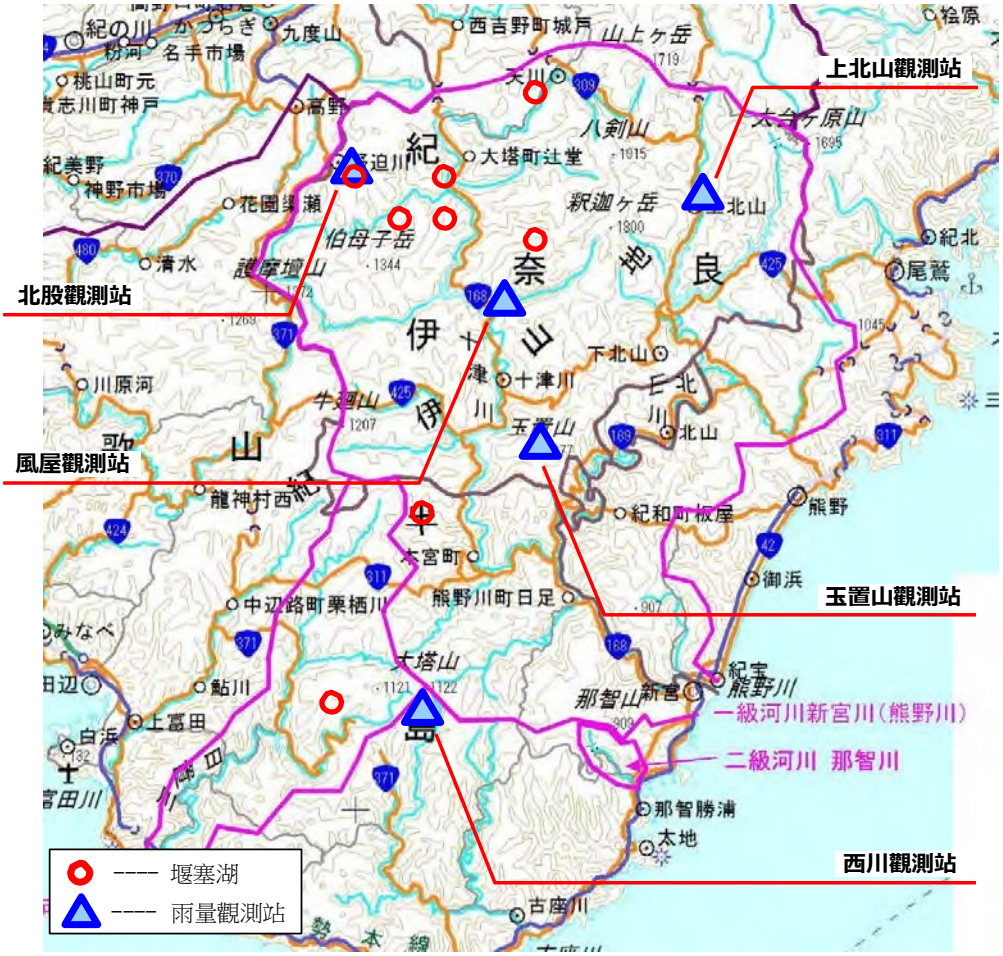
1.1　2011年颱風12號時氣象概要

8 月 25 日 9 時，馬里亞納群島(Mariana Islands)西方海面形成颱風第 12 號，逐漸增強並緩慢北上，28 日發展成為強風半徑超過 500 公里的大型颱風，30 日成為中心氣壓 965 毫巴(hpa)、最大風速達35m/s的大型強颱。

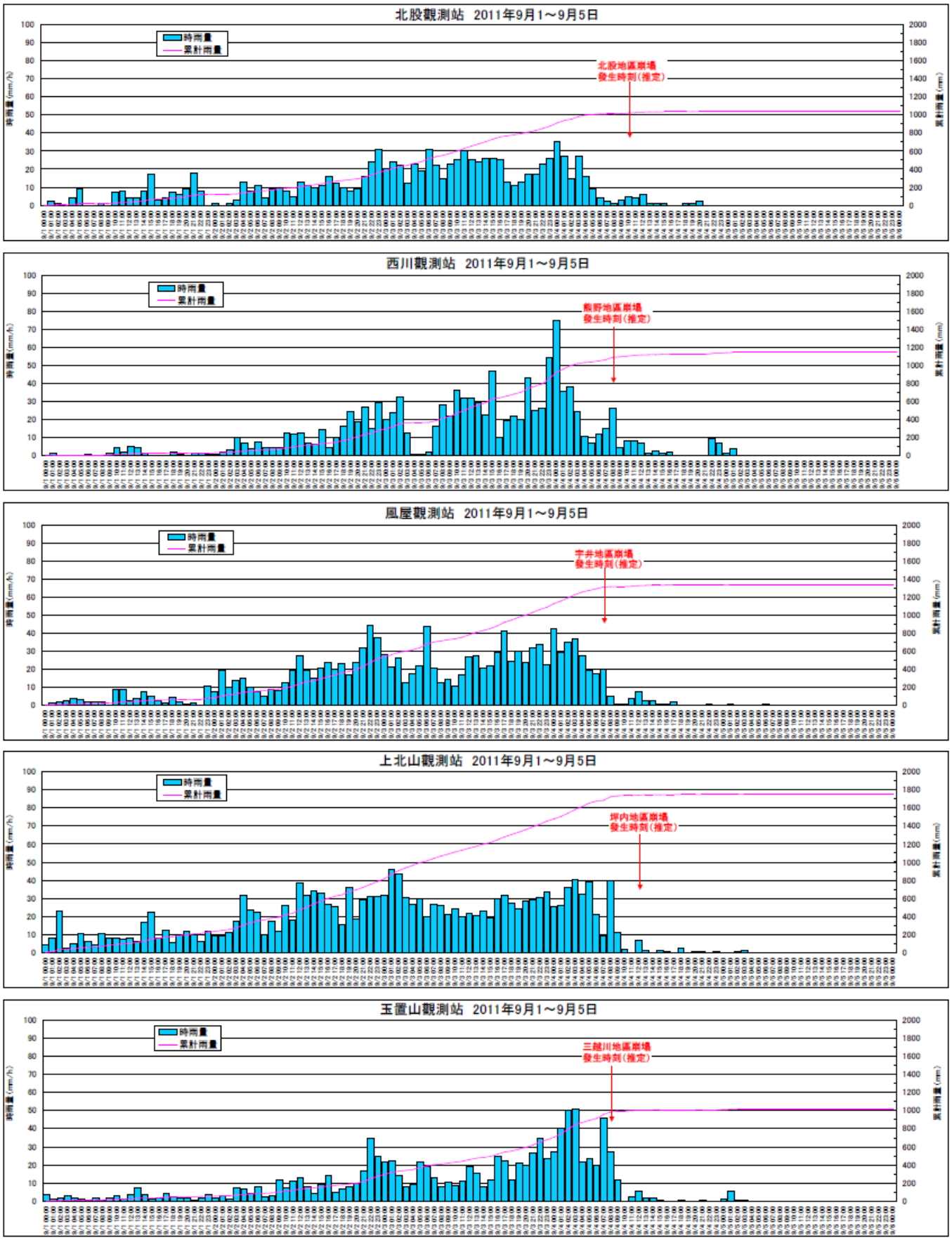
之後，颱風持續緩慢北上，30 日來到小笠原群島附近短暫轉往西走，9 月 2 日恢復往北方向，暴風邊緣逐漸靠近四國地方，然後在 3 日 10 時前登陸高知縣東部。之後颱風緩慢北上，穿過四國地方與中國地方（廣島、岡山、島根、鳥取、山口縣），4 日黎明進入日本海。

因為本颱風屬巨颱且行進速度慢，颱風周邊高濕度空氣長時間籠罩西日本到北日本，於是在迎風面山區為主的大範圍區域，造成破紀錄的雨量。

特別是紀伊半島 8 月 30 日 17 時起的總降雨量，在大區域範圍內都超過 1000mm，設置在奈良縣上北山村的地域氣象觀測系統（自動氣象數據收集系統，（AMeDAS））觀測到 72 小時 1652.5mm 的日本破記錄雨量，遠超過之前記錄的 1322mm（宮崎縣神門），總降雨量達到 1808.5mm，局部地區的分析雨量超過 2000mm ，成為破記錄的大雨。

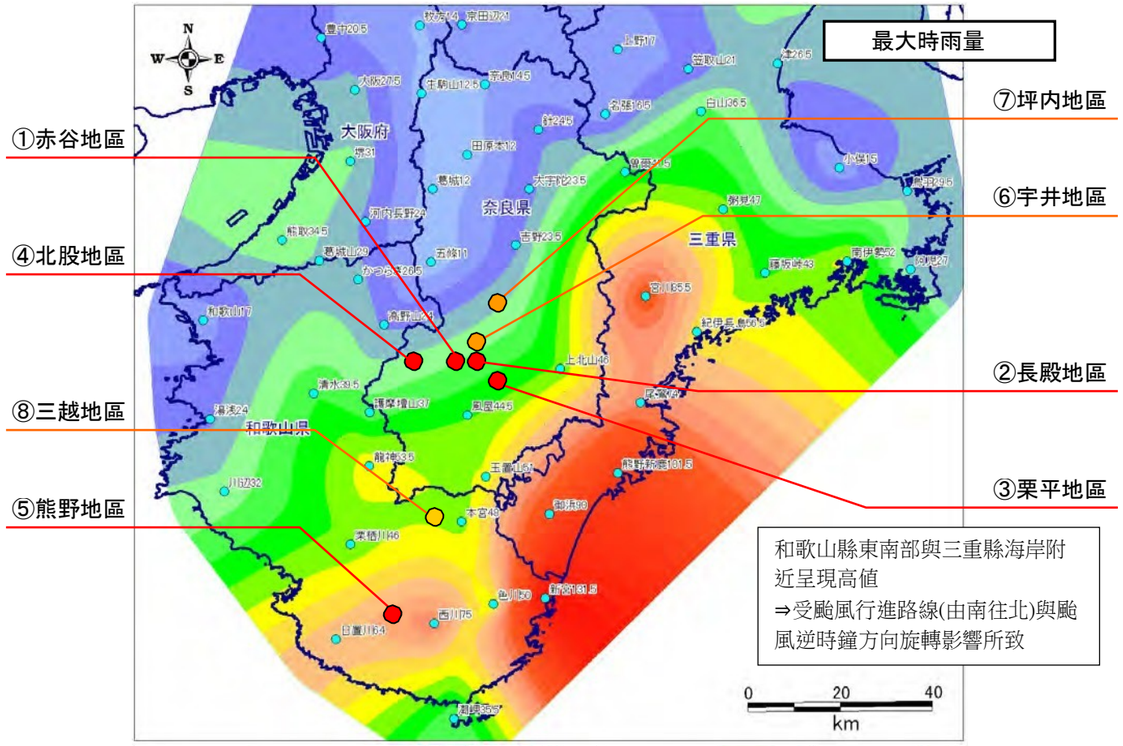


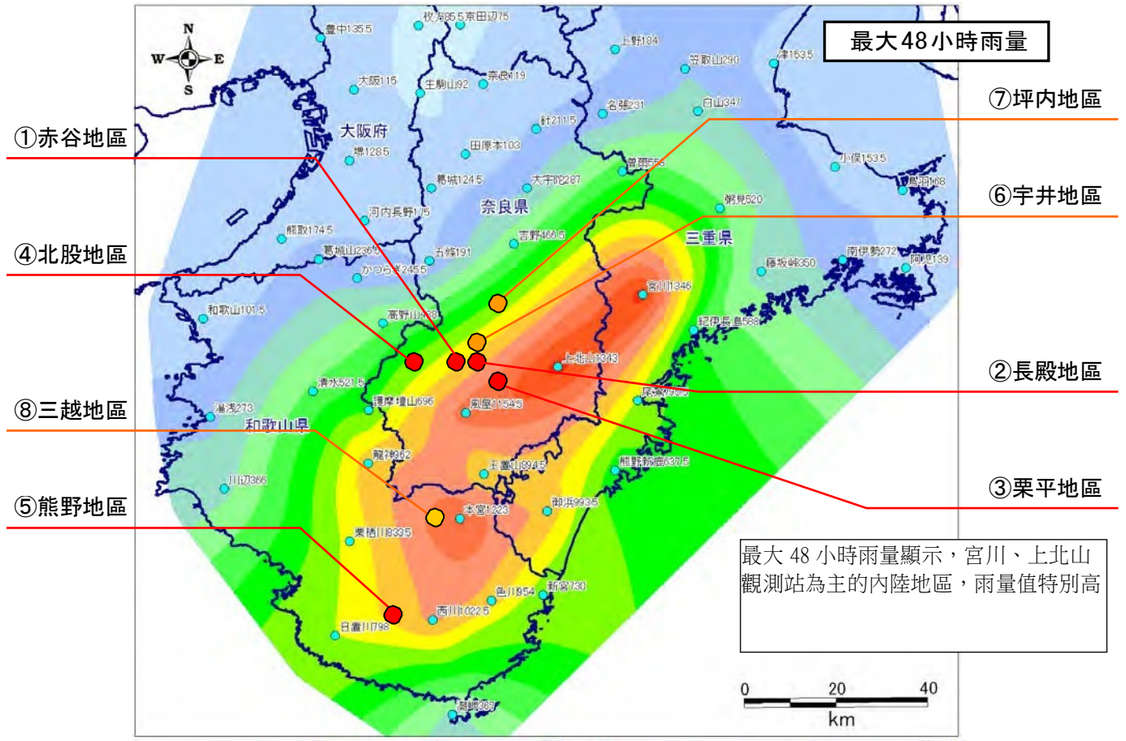
雨量觀測站位置圖

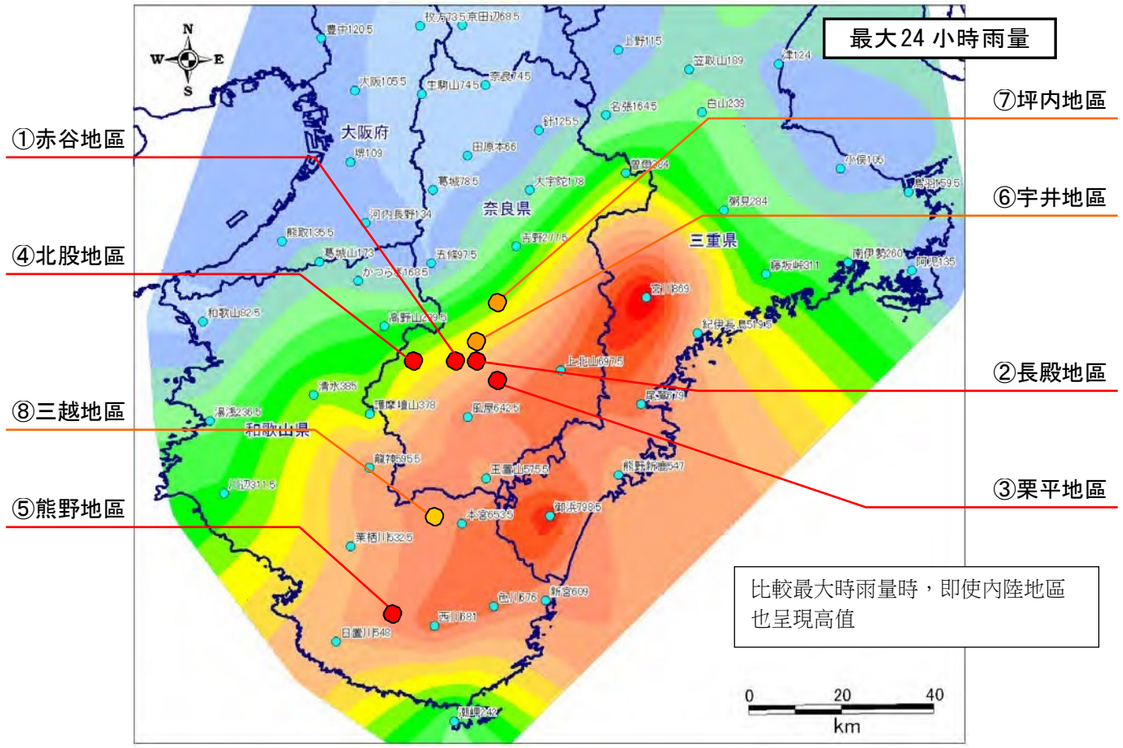


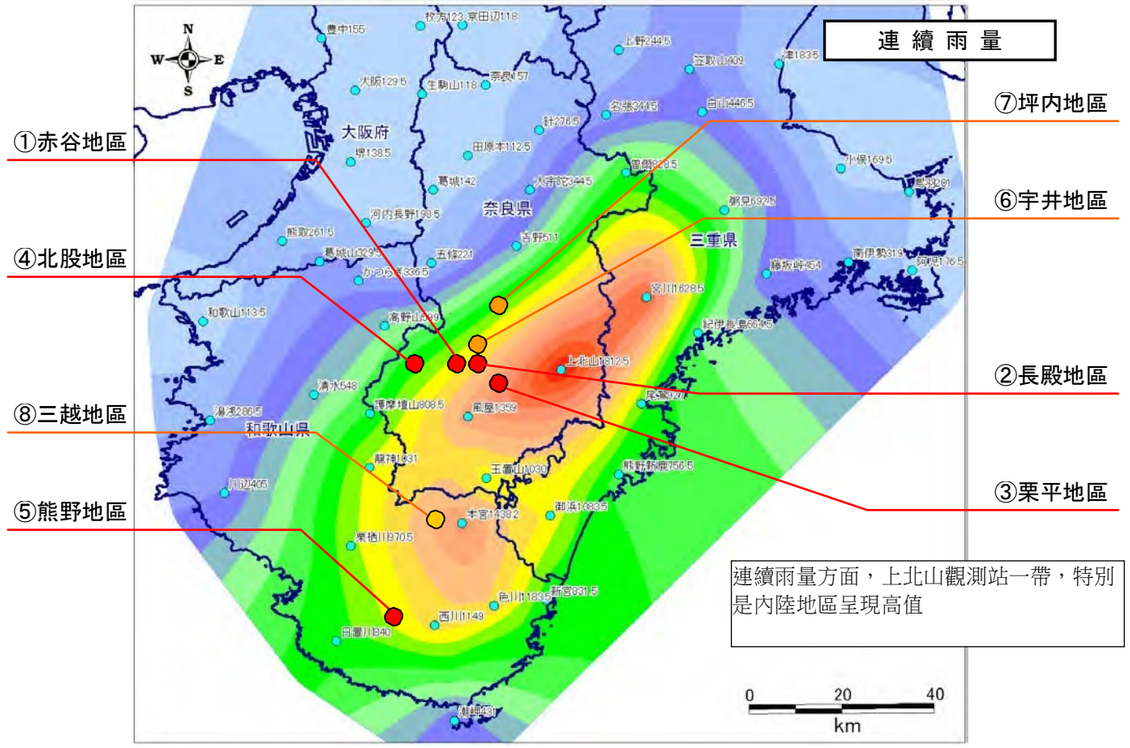
主要雨量觀測站的降雨狀況與災害發生時刻

（出處：第三屆大規模土砂災害監視、警戒、避難系統檢討會　奈良縣大規模崩塌對策室資料「紀伊半島大洪水時的大規模災害實態調查結果」）









氣象廳雨量觀測站的雨量分布圖（2011 年 8 月 30 日 17 時～9 月 4 日 24 時）

1.2 2011年颱風12號災害概要

2011年颱風12 號造成全國死亡人數 78 人，失蹤 16 人，房屋全倒 373 棟，半倒 2,924 棟（2011 年 12 月 15 日 18 時的消防廳統計）。其中，三重縣、奈良縣、和歌山縣的受災狀況（人命傷害與住宅受損）如下表所示。

2011 年颱風 12 號災害概要

縣名		三重縣	奈良縣	和歌山縣	計
人命傷害	死者	2	14	52	68
	失蹤者	1	10	5	16
	負傷者	15	6	9	30
	計	18	30	66	114
住宅災損	全倒	55	49	371	475
	半倒	299	69	1,842	2,210
	局部受損	53	14	171	238
	地板以上淹水	1,683	13	2,680	4,376
	地板以下淹水	830	38	3,147	4,015
	計	2,920	183	8,211	11,314
調查日期		2011 年 10 月 14 日	2012 年 2 月 24 日	2011 年 11 月 30 日	

備註：地板上淹水依日本住宅設計，屋內淹水超過 50 公分稱為地板上淹水，反之為地板下淹水。

土砂災害方面，奈良縣、和歌山縣大規模崩塌等導致形成的 17 個堰塞壩之中，判斷 5 個有溢流、潰壩導致土石流災害之虞，因此首度依據修正後的土砂災害防止法，實施堰塞壩相關的緊急調查。

此外，利用航空照片與衛星照片實施崩塌地判釋的結果，推測崩塌地點大約有 3,000 個（其中崩塌土砂量超過 10 萬 m^3 的有 76 處），總崩塌土砂量達約 1 億 m^3 ，是戰後以來最大規模豪雨所造成的土砂災害。

土砂災害造成的人命傷害，三重縣、奈良縣、和歌山縣等 3 縣合計死亡人數 43 人、失蹤 13 人，住宅受損全倒 98 棟、半倒 46 棟，局部受損 45 棟（ 2012 年 1 月 31 日，國土交通省統計）。

1.3　紀伊山地發生深層崩塌等相關的土砂災害

在紀伊山地之深層崩塌地點，以 2011 年颱風 12 號深層崩塌等所造成的土砂災害，乃是如下所述各種土砂移動（災害）情境所造成。

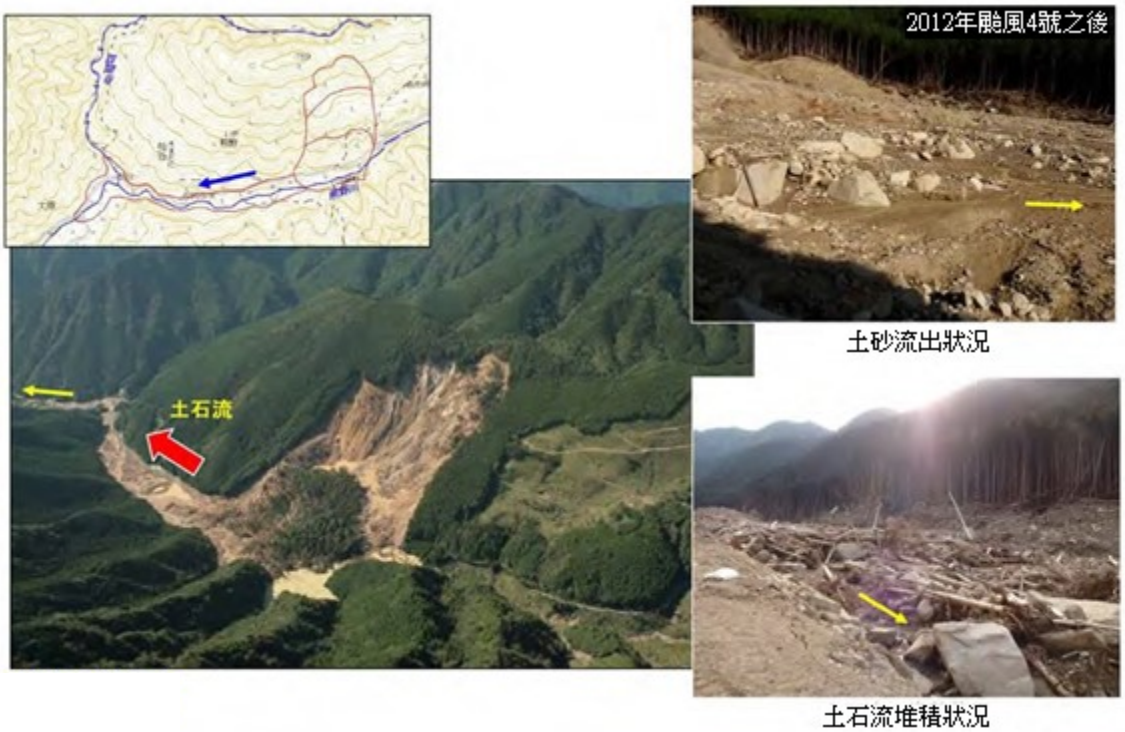
■清水〔宇井〕地區

深層崩塌　→　崩塌土砂直接往下襲擊



■熊野地區

深層崩塌　→　形成土石流往下移動　→　土石流造成災害



■北股地區

深層崩塌 →形成土石流往下移動 → 土石流造成災害



■野尻地區

深層崩塌 → 形成土石流往下移動 → 主河道通洪斷面受阻 → 洪水氾濫災害



■坪内地區

深層崩塌　→形成堰塞壩→　上游淹水災害





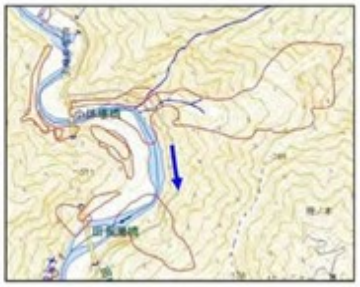


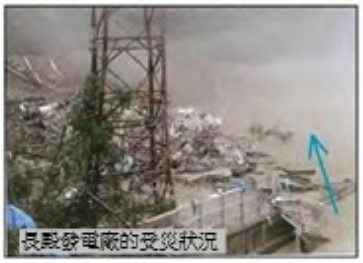


■濁澤・大崩塌地區（長殿發電廠）

深層崩塌　→　形成堰塞壩→　上游淹水　→　淹水區域發生大規模崩塌

→　怒潮（階梯波）造成洪水災害









2． 紀伊山地的堰塞壩對策地點

紀伊山地 2011 年颱風 12 號豪雨所產生堰塞壩，目前仍有 8 個地點由國土交通省實施堰塞壩對策。

本資料一一說明這 8 個地點的特徵及到目前為止所實施對策內容，整理成為第Ⅳ章所示配合現地狀況的對策工法，作為案例，有助於今後堰塞壩對策之規劃、實施。

以下是 8 個對象地點堰塞壩各單元與位置圖。

堰塞壩各單元一覧表

地區名	流域面積	崩塌地各項目内容						堰塞湖各單元		
		斜面方位	斜面坡度	崩塌發生位置	崩塌規模	基盤地質	湧水	規模	形狀	淹水
1 赤谷地區	13.7km^2	西北	37°	斜面上部的稜線附近	寬：460m 長：100m 高：600m 崩塌土砂量 ： 9,354,000m^3	白亜系美山層（My2・My3) 坡面下部 My2 ：頁岩及砂頁岩互層 坡面上部 My3 ：含黑矽石、綠色岩岩塊的頁岩及砂頁岩互層	崩塌後立刻確認有湧水	高度：67m 寬（河床横斷方向）：250m 長（河床縱斷方向）：610m 頂端長：230m	最陡下游面坡度 ：28°（1：1.8） 上游面坡度 ：15.5°（1：3.6）	有
2 長殿地區	4.61km^2	西北	35°	斜面上部的稜線	寬：340m 長：730m 高：400m 崩塌土砂量 ： 6,344,000m^3	白亜系美山層（My2) My2 ：頁岩及砂頁岩互層	崩塌後立刻確認，並且到現在還有湧水	高度：85m 寬（河床横斷方向）：400m 長（河床縱斷方向）：400m 頂端長：70m	最陡下游面坡度 ：22°（1：2.4） 上游面坡度 ：22.6°（1：2.4）	有
3 栗平地區	9.02km^2	西北	33°	斜面上部的稜線	寬：600m 長：960m 高：450m 崩塌土砂量 ： 25,133,000m^3	白亜系美山層（My4) My4 ：含黑矽石、綠色岩岩塊的頁岩及砂頁岩互層	崩塌後立刻確認，並且到現在還有湧水	高度：100m 寬（河床横斷方向）：350m 長（河床縱斷方向）：750m 頂端長：400m	最陡下游面坡度 ：32°（1：1.6） 上游面坡度 ：45°（1：1.0）	有
4 北股地區	0.32km^2	西南	31°	斜面上部的稜線	寬：200m 長：450m 高：190m 崩塌土砂量 ： 1,191,000m^3	四萬十帶日高川層群湯川層（Yk3) Yk3 ：砂頁岩互層及塊狀砂岩	未確認	高度：28m 寬（河床横斷方向）：130m 長（河床縱斷方向）：170m 頂端長：116m	最陡下游面坡度 ：30°（1：1.7） 上游面坡度 ：16.9°（1：3.3）	形成堰塞湖後立刻淹水，目前已將堰塞湖填平
5 熊野地區	1.2km^2	南	35°	斜面上部的稜線附近	寬：440m 長：650m 高：250m 崩塌土砂量 ： 4,741,000m^3	牟婁層群上部 （Mu） Mu ：泥岩、砂岩泥岩互層、砂岩、礫岩及含礫泥岩	未確認	高度：25m 寬（河床横斷方向）：350m 長（河床縱斷方向）：600m 頂端長：200m	最陡下游面坡度 ：12°（1：4.7） 上游面坡度 ：3.8°（1：15）	形成堰塞湖後立刻淹水，目前已將堰塞湖填平
6 清水〔宇井〕地區	218.6km^2	東	32°	斜面中段	寬：220m 長：350m 高：250m 崩塌土砂量 ： 1,600,000m^3	白亜系美山層（My2・My3) My3 ：含黑矽石、綠色岩岩塊的頁岩及砂岩頁岩互層	未確認	已潰壩	－	－
7 坪内地區	120.4km^2	東	-	斜面中段	寬：230m 長：290m 高：180m 崩塌土砂量 ： 1,400,000m^3	白亜系花園層及相当層（H4) H4 ：頁岩（經常含有綠色岩、黑矽石及砂岩的岩塊）、砂岩及矽長質凝灰岩	未確認	已潰壩	－	－
8 三越地區	23.6km^2	北	40°	斜面上部的稜線附近	寬：220m 長：330m 高：180m 崩塌土砂量 ： 500,000m^3	音無川層群上部（Om) Om ：砂岩泥岩互層	未確認	已潰壩	－	－

















圖例

- 堰塞壩形成地點
- 堰塞壩形成地點（已潰壩）

地點名稱	狀況	水系名稱	住宅
赤谷地區	河道阻塞	新宮川水系川原樋川赤谷	奈良縣五條市大塔町清水地先
長殿地區	河道阻塞	新宮川水系長谷殿	奈良縣吉野郡十津川村長殿地先
栗平地區	河道阻塞	新宮川水系瀧川栗平川	奈良縣吉野郡十津川村內原地先
北股地區	河道阻塞	新宮川水系川原樋川北殿用	奈良縣吉野郡野迫川村北股地先
熊野地區	河道阻塞	日置川水系熊野川	和歌山縣田邊市熊野
宇井地區	向部阻塞	新宮川水系熊野川	奈良縣五條市大塔町宇井地先
坪內地區	向部阻塞	新宮川水系熊野川	奈良縣吉野郡天川村坪內地先
三越地區	向部阻塞	新宮川水系三越川	和歌山縣田邊市本宮町奧番

堰塞湖對策實施地點位置圖

3・堰塞壩對策實施地點概要

3.1赤谷地區

■土砂運移實態

2011 年颱風 12 號豪雨在奈良縣五條市的新宮川水系右支流川原樋川右支流赤谷川（流域面積約13.7km^2），形成河道阻塞（堰塞壩）。赤谷地區河道阻塞之堰塞壩規模高約67m、縱斷長約610m，橫斷長約 250m，頂端(部)長約 230m，最陡下游面坡度 28°（1:1.8），上游面坡度 15.5°（1:3.6），阻塞土堰堤砂量約9,354,000m^3，最大蓄水量 約1,800,000m^3。

赤谷地區在形成堰塞壩後立刻實施緊急對策、完成臨時排水路，然後陸續完成導流堰堤工與基幹防砂壩。赤谷地區過去常有崩塌地土砂流出的狀況，包括 2012年颱風4號與 5號時土砂流出，2013 年颱風18號經過第 6 天、無降雨時發生崩塌坡面內崩塌殘土再移動，掩沒臨時排水路。

此外，2014年颱風11號時，崩塌地出現大規模二度崩塌，河道阻塞部出現二度阻塞然後又潰決，崩土直接襲擊造成正在興建的基幹防砂壩局部破損。

堰塞壩下游河道，2011 年颱風 12 號時，崩塌地土砂流出導致河床高程上升超過 10m ，後因颱風時，崩塌坡面或堰塞壩流出土砂、洪水時河床堆積土砂二次移動，造成水路激烈改變、河床高程大幅變動，並再度發生土砂流入川原樋川的狀況，施工道路也因此流失。

【流域各單元】
流域面積 ：(堰塞壩的上游) 13.7km^2 堰塞壩形成地點河床坡度： 3° (1/20)
【崩塌地各單元】
斜面方位： 西北 斜面坡度： 37°
崩塌發生位置： 斜面上部的稜線附近
崩塌規模： 寬 460m， 長 850m，高 600m，崩塌土砂量 11,378,000m^3
基盤地質： 白亞系美山層 (My2，My3)
斜面下部 My2：頁岩及砂岩頁岩互層
斜面上部 My3：含黑矽石、綠色岩岩塊的頁岩及砂岩頁岩互層
湧 水： 崩塌後立刻確認有湧水，現在則未確認
【堰塞壩各單元】
規 模： 高 67m，寬 250m，滿水時蓄水量 1,078,000m^3
形 狀： 最陡下游面坡度 28° (1:1.8)，上游面坡度 15.5° (1:3.6)
淹 水： 有



赤谷地區災害直後的狀況

■赤谷地區堰塞壩對策概要

①防護土堤

為了防止崩塌地土砂流入堰塞湖、確保對策工程安全而修建防護土堤（H=3m）。

但之後颱風造成崩塌坡面流出的土砂從防護土堤溢流出來、進入臨時排水路。

②臨時排水路

為了防止堰塞壩侵蝕破壞與滲流破壞而施設臨時排水路（L=423.0m，計畫流量240m^3/s：二年重現期距流量）。頂端水平部除了實施地盤改良之外，也設置了箱籠護墊。從下游端一直到下游河道（洩槽部），實施防砂用水泥土壤拌合物加上砂漿噴覆，洩槽下部設置護床工。

不過，臨時排水路在 2012年颱風4號、5號時，遭崩塌坡面流出土砂埋沒，洩槽部出現局部淘刷現象。

③暗渠排水管

目的在於將水從正在施工中的堰塞湖排出，因此在臨時排水路底下，在開挖臨時排水路時設置暗渠排水管（L=553m，φ1.0m，計畫流量3.4m^3/s：非洪水期的過去5年間最大流量）。

此外，為了防止暗渠排水管的進水口阻塞，在進水口設置柵欄。

即使崩塌坡面土砂流出，掩埋臨時排水路，暗渠排水管仍持續發揮排水機能。

④導流堤

旨在防止深層崩塌地點趾部與河道阻塞部（堰塞壩）侵蝕，而在臨時排水路下游端整建導流堤。

2014 年颱風 11 號時遭受崩土直接襲擊而受損，但仍發揮防止堰塞壩與崩塌坡面趾部侵蝕的效果。

⑤基幹防砂壩

為了防止堰塞壩溢流侵蝕與滲流破壞，建造以防砂用水泥土壤拌合物打造的基幹防砂壩（H=12.0m）。因為受到 2014年颱風11號時，崩塌坡面二次崩塌帶來崩土直接襲擊，基幹防砂壩兩翼破損，但本防砂壩仍發揮功能，避免堰塞壩崩塌土砂流出與抑制堰塞壩潰決與侵蝕。

赤谷地區所實施堰塞壩對策的時間序列整理結果，如次頁所示。

■ 赤谷地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程的狀況
2011　9	【進入道路整建】	【2011 颱風 12 號】・形成堰塞壩  	
	【抽水機排水】	【2011 颱風 15 號】・大規模土砂流出 	・形成堰塞壩地點的地形劇烈變化 
'2011　10	【臨時排水路開挖】 【防護土堤的設置】		
2011　11			
2011　12	【暗渠排水管設置】		
	【臨時排水路設置】 【導流堤設置】		
'2012　1			

■ 赤谷地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011　9			
	【抽水機排水】 ・堰塞壩上游的入流量大，水位明顯上升，為了防止侵蝕導致潰壩以及工程安全，實施抽水機排水，以抑制水位上升。		・抽水機排水能力小於上游的入流量(非洪水期降雨入流量 3.4m3/s、抽水機排水量 1.0m3/s)。
2011　10	【開挖臨時排水路】 ・依據到 12 月能開挖的量(10 萬 m^3 以下)與過去堰塞湖最低水位，設定水路底板高度。 ・針對土方量的減少以及土砂往對岸堆積狀況，設定平面線形。	・臨時排水路的平面位置，依據流水路底板高度(EL499.0m)，讓左右岸的挖方量與斜面長達成平衡(挖方斜面坡度 1:1.5)。	・將土方量降到最少，因此能在最短工期內作業。 ・水路的底板高度挖得越低，作業時水位上升產生溢流的風險越高。
2011　11	【防護土堤設置】 ・防護土堤設置的目的在於防止崩土流入臨時排水路施工範圍內。	・在崩塌地正下方實施作業，採用無人化施工機械施工。	
2011　12	【暗渠排水管設置】 ・降雨時入流量大而有經常溢流之虞，因此設置暗渠排水管。	・併用臨時排水路的雙重構造。 ・以最低蓄水位-1m 為進水口高度，為了讓非洪水期的過去 5 年最大流量 3.4m3/s 往下流動，採用 φ 1000m。	・設置暗渠，因此即使明渠被掩埋，仍能維持排水機能。 ・進水口部須補強，以因應水壓變化，防止漂流木等阻塞水流。
2012　1	【臨時排水路設置】 ・為了儘早運用臨時排水路，以二年重現期距流量與泥砂混合率 0.2 計算流量，算出排水路的斷面。	・能搬到現場的材料有限，因此採用就地取材製作的箱籠護墊。 ・在流路上設置固床工與帶工(皆使用箱籠護墊)。 ・下游端到下游河道為洩槽構造，在洩槽下方設置固床工。	・將礫石投入箱籠護墊須大量動員人力，但眾多作業員冒險在崩塌地正下方施工，並不妥當。 ・箱籠成型之檢查嚴格。緊急時可放寬填充材料的施工基準。 ・入流部雖無實施表面對策，但並沒有明顯破損狀況。水平部等流速較慢的部分，似乎可不需實施表面對策。
	【導流堤設置】 ・臨時排水路下游端右側山脊的露岩部設置導流堤，防止崩塌趾部與河床侵蝕。	・導流堤運用 INSEM(就地製作防砂混凝土塊)工法。	・設置在下游端，具有防止堰塞壩土體受侵蝕的效果。 ・之後仍持續明顯發揮防止臨時排水路受侵蝕的效果。

赤谷地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2012 2		【2012 2/7 豪雨】	• 土砂流入臨時排水路內	• 須除去流入水路內的土砂
2012 3				②臨時排水路護岸工 (落差工施工狀況) 
2012 4				
2012 5	【泥土水路工設置】			
2012 6		【2012 颱風 4、5 號】	• 土砂流入臨時排水路內而加以掩埋 • 臨時排水路斜坡局部淘刷 • 下游河道堆積土砂二次移動	• 須除去流入水路內的土砂 • 暗渠排水管仍維持機能
				
				
2012 7	【進入現場道路重新整建】 【挖除流入的土砂】 【設置護床混凝土塊】			 斜面整地與護床預鑄混凝土塊鋪設狀況
2012 8	【河道整建(下游河道)】			
2012 9				
2012 10		【2012 颱風 16、17 號】	• 臨時排水路斜坡局部淘刷 • 下游河道堆積土砂二次移動	• 下游河道部應重新整建 • 暗渠排水管仍維持機能
	【進入現場道路重新整建】 【河道整建(下游河道)】			 颱風 16 號堆積土排除狀況
2012 11				
2012 12				

赤谷地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 2			
2012 3			
2012 4			
2012 5	【泥土水路工設置】 • 為了將崩塌地流出的泥土導流至堰塞壩側而設置水路工。		• 用挖土機挖出崩塌地下方堆積的泥土，但效率不佳。
2012 6			
2012 7	【臨時排水路的復建】 • 為了恢復臨時排水路機能，挖除流入臨時排水路內的土砂，設置預鑄混凝土護床土塊。	• 暗渠排水管仍持續發揮機能，能確保堰塞湖某種程度的排水機能。 • 斜坡砂漿噴漿工破損修復。	• 土砂開挖時，挖土機剷斗可能碰撞箱籠護墊使之破損，箱籠護墊會嚴重影響土砂挖掘效率。 • 堰塞壩溢流會造成箱籠護墊破損，因此不妨採用其它能承受溢流的工法。 • 預鑄混凝土護床土塊被之後的洪水沖走了。
2012 8			
2012 9			
2012 10	【臨時排水路的重建】 • 為了防止臨時排水路(洩槽)下游端淘刷，設置預鑄混凝土護床土塊。		
2012 11			
2012 12			

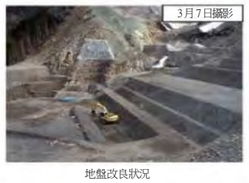
赤谷地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2013 1				
2013 2				
2013 3				
2013 4	【挖方工(左岸斜面)】 【開挖工(壩工)】			4 月 24 日攝影  挖方工開挖狀況
2013 5				
2013 6	【湧水處理(左岸)】	【梅雨鋒面豪雨】	・左岸壩體開挖部出現湧水	
2013 7				7 月 12 日攝影  防砂土工(開挖狀況)
2013 8				

赤谷地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2013 1			
2013 2			
2013 3			
2013 4			
2013 5			
2013 6	【湧水處理】 ・左岸開挖部分有湧水產生，為了防止湧水使開挖範圍出現侵蝕與土砂堆積，將湧水導流進入河道。	・連續打設板樁工程防止侵蝕，同時將湧水導流進入河道。	
2013 7			
2013 8			

■赤谷地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2013 9		【2013 颱風 18 號】 【2013 年 9 月擴大崩塌】	・土砂流入臨時排水路內 ・土砂流入臨時排水路內並加以掩埋	・須除去流入水路內的土砂 ・暗渠排水管仍持續發揮機能
				
				
2013 10	【進入現場的道路重新整建】 【排除流入的土砂】 【河道整備(下游河道)】			 臨時排水路復健狀況(無人化施工)
2013 11				
2013 12	【設置臨時土堤(壩工)】			
2014 1	【開挖工(壩工)】			 開挖狀況
2014 2				
2014 3	【地盤改良工(壩工)】			 地盤改良狀況
2014 4	【第一垂直壁(壩工)】 【壩本體工(壩工)】			
2014 5				 第一垂直壁膠結混凝土施工狀況
2014 6				

■赤谷地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2013 9			
2013 10	【臨時排水路的復建】 ・為了恢復臨時排水路的機能，除去流入臨時水路內的土砂。	・即使晴天也可能出現崩塌，因此除去土砂時採用無人化施工。	・實施無人化施工時，操作者無法感受到機械的負荷，常因此讓機械過度負擔。
2013 11			
2013 12			
2014 1			
2014 2			
2014 3			
2014 4	【基幹防砂壩工】 ・赤谷地區崩塌地常流出土砂，因此在堰塞壩實施壩工，並在壩工的淤砂區域捕捉流出之土砂。	・壩體採用運用現地生成材料的「SB 牆工法（Steel wall or Concrete Block wall 工法）。 ・壩體基礎部以地盤改良的方法加以置換。 ・右岸翼部製作混凝土置模框，左岸以鋼板樁作為外部保護材，內部材使用 INSEM（防砂用水泥土壤拌合物）。	・除了有效運用現場所挖掘的土砂，也能縮短施工期間。
2014 5			
2014 6			

■赤谷地區

	工程	降雨事件 現場狀況	工程狀況
2014 7			
2014 8		【2014 颱風 11 號】 ・土砂流至崩壞斜面對岸 ・壩堰壩局部侵蝕 ・防砂壩局部破損	・下游河道須重新整建。 ・防砂壩須補修。
2014 9	【進入現場的道路重新整備】		9月19日攝影
2014 10	【挖除堆積土砂】 【壩堤本體工復建】		施工道路復建狀況（上游側）
2014 11			
2014 12			

■赤谷地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2014 7			
2014 8			
2014 9			
2014 10	【基幹防砂壩工的復建】 ・左右岸翼部與通水部破損部分除去，並實施修補整地後，重新打造本體。		
2014 11			
2014 12			

3.2 長殿地區

■土砂移動實態

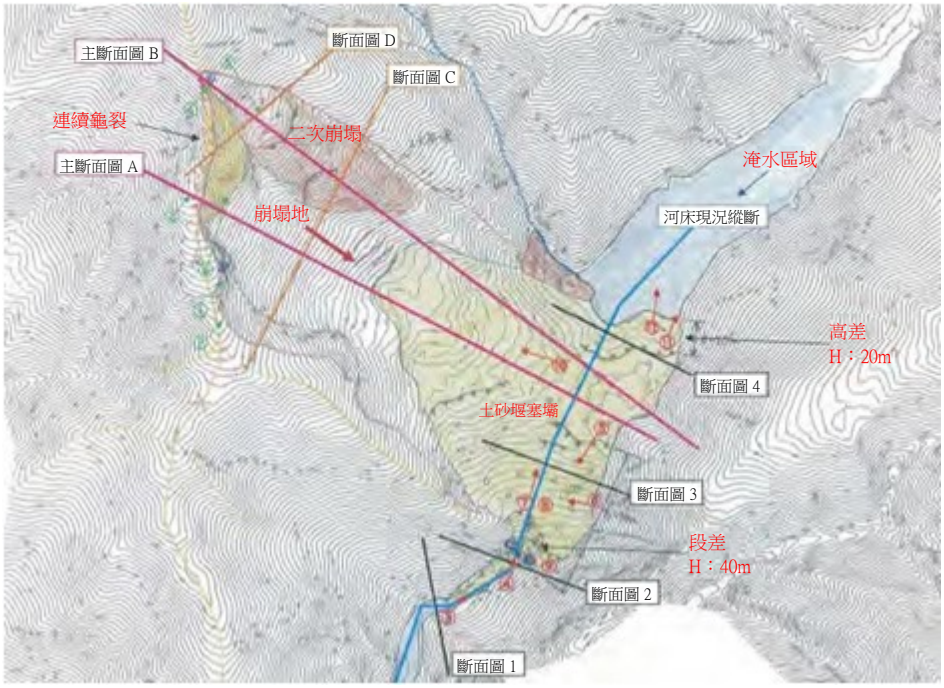
長殿地區崩塌為 2011 年颱風 12 號豪雨，在熊野川右支流長殿谷（流域面積約 4.61km^2）右岸產生。長殿地區堰塞壩的規模，高約 85m、縱斷長約 400m，橫斷長約 400m，頂端長約 70m，最陡下游面坡度 22°（1：2.4），上游面坡度 12.6°（1：2.4），阻塞土砂量約 6,344,000m^3。

構成堰塞壩的是 20～100cm 左右的岩塊，並確認堰塞壩下游面有漏水，堰塞壩趾部出現許多滲透流，可能會因為管湧導致土砂流出。

【流域各單元】
流域面積：（堰塞壩的上游）4.61km^2　　堰塞壩形成地點原本的河床坡度： 5°（1/11）

【崩塌地各單元】
坡面方位：西北　　坡 度：35°
崩塌發生位置：坡面上部的稜線
崩塌規模：寬 340m，長 650m，高 400m，崩塌土砂量 5,954,000m^3
基盤地質：白亞系美山層（My2）
　　My2：頁岩及砂頁岩互層
湧　　水：崩塌發生後直到現在都有

【堰塞壩各單元】
規　　模：高 85m，寬 400m，滿水蓄水量（庫容）2,269,000m^3
形　　狀：最陡下游面坡度 22°（1：2.4）　　上游面坡度 22.6°（1:2.4）
淹　　水：有



長殿地區　土砂移動狀況（2011/9/12）



①與十津川匯流部附近的狀況



②長殿谷的狀況



③土砂流出狀況



④漏水狀況



⑤從堰塞壩眺望崩塌地的狀況
(整體看起來像以護坡料覆蓋的狀況)



⑥傾斜約 30 度，大致穩定



長殿地區　災害直後的狀況

■長殿地區堰塞壩對策概要

①進入現場道路的整備

長殿地區無道路可進入實施對策地點，因此災害發生後開闢直升機場，以直升機進行資材機具運搬工作。但直升機需在白天視線良好時間帶內出發、返航，有時間上的限制，加上氣象條件不佳就無法飛行，由直升機吊掛送往現場的重機械，頂多也只是小型越野搬運車，施工效率差。因此，在熊野川主流設置波紋塑膠管加上填土，開闢了一條渡河道路，整建施工道路，但每次熊野川主流水位高漲就被沖走，無法長期間通行，只好在熊野川支流的川原樋川設置臨時便橋，沿熊野川開闢前往長殿谷匯流點的施工道路。但沿著熊野川主流所設置的施工道路，每次水位暴漲就被沖毀，得重新整建。

②臨時排水路

為了防止堰塞壩侵蝕破壞與滲流破壞而整建臨時排水路（計畫流量 110m^3/ s：2 年重現期距流量規模）。頂端水平部鋪設箱籠護墊，洩槽部分使用水泥抽水機從熊野川匯流點沿著河道把混凝土壓送過去，因此為了縮短工期而製作不織布模板，以箱籠護墊消能。

為了處理堰塞壩趾部流出的伏流水，消能部下方設置暗渠排水管，但 2015 年颱風 11 號時，比過去湧水地點更高位置湧出滲透流，導致臨時排水路洩槽部土砂部分流出，臨時排水路破損。



2015 年颱風 11 號時的臨時排水路破損狀況

③基幹防砂壩

為了防止堰塞壩趾部侵蝕，維護堰塞壩穩定，在堰塞壩趾部設置作為主要基幹的壩工。

從排水路洩槽部下游端，之消能部設置排水工（Drain method）。

壩體運用現地生成的材料作為防砂用水泥土壤拌合物，施工時在壩體附近設置製造場，提高施工效率。

長殿地區實施堰塞壩對策的時間序列整理結果，如下頁所示。

■長殿地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2011 9		【2011 颱風 12 號】	・堰塞湖形成	
		【2011 颱風 15 號】		
2011 10	【直升機機場整建】 【重機具組裝場完成】 【倒木的砍伐堆放】			
2011 11	【臨時排水路開挖】 【抽水機排水設置】 【防護土堤設置】			
2011 12	【臨時排水路設置】 【進入現場道路重新整備】			
2012 1	【進入現場道路整建(渉河部)】			
2012 2				
2012 3				
2012 4				
2012 5	【臨時排水路設置】※完工 【沖蝕溝擴大防止對策】			














臨時排水路護岸工混凝土抽水機打設狀





東側坡面蝕溝擴大防止對策工　砂包設置狀況

■長殿地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011 7			
2011 10	【臨時排水路開挖】 ・依據積水開始排出的 1 月底完成的土方工程，以及配置重機具的施工基面可能開挖深度，設定水路地板高度。	・臨時排水路洩槽部的中心線，設定在與長期對策中心線不同的位置上。	・能以直升機運送的搬運機械只限小型越野搬運車，因此施工效率不佳。
2011 11	・河道彎曲，因此，洩槽部分也隨之設置彎曲部。 ・臨時排水路的進水口位置設於避免沖刷段發生的堰塞湖凹部。 ・洩槽部盡可能放在靠近左岸地點的位置。		
2011 12	【防護土堤設置】 ・在於防止崩土流入臨時排水路施工範圍內。	・將在崩塌地正下方進行作業，因此以無人化施工機械進行施工。	
2012 1			
2012 2	【臨時排水設置】 ・為了盡早使臨時排水路，設計成 2 年重現期距流量加上能讓土砂混合率 0.2 流量通過的斷面。 ・堤頂區間設置箱籠護墊，洩槽部做成不織布模板水路，消能部做成箱籠護墊。 ・為了處理堰塞壩趾部流出的伏流水，消能部下方設置暗渠排水管。	・從熊野川匯流點沿著河道以混凝土抽水機壓送，為了縮短工期，採用不織布模板＋鋼筋插入工。（L=1000m，△h=300m） ・採用不易凝固的配料，以便長距離壓送。	・能使用的重機具很少，只靠挖土機（劇斗）進行箱籠護墊填充材選擇，非常費時。 ・與附近的赤谷地區採用相同的箱籠護墊，因此得等待材料搬到現場。 ・在伏流水漏水量大的情況下設置排水管，因此發生鋪設面的土砂流出以及濾材鋪設過程中管路漂浮的問題。
2012 3			
2012 4			
2012 5	【沖蝕溝擴大防止對策】 ・崩塌地內的沖蝕溝上方設置大型沙包，防止沖蝕溝侵蝕擴大。		

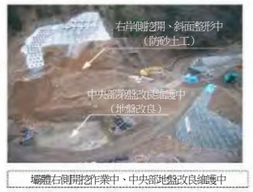
■長殿地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2012 6	【進入現場道路重新整備】	【2012 颱風4・5號】	・堰塞壩趾部的湧水 ・施工道路渡河部流失	・渡河部須重新整建。
				 施工道路渡河部修補狀況
				
2012 7				
2012 8				
2012 9	【進入現場道路重新整備】※完工			
2012 10	【進入現場道路重新整備】	【2012 颱風16・17號】	・施工道路渡河部流失	・渡河部須重新整建。
				 施工道路 道路修整狀況
2012 11	【進入現場道路重新整備】※完工			
2012 12				
2013 1				

■長殿地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 6	【堰塞壩趾部的伏流水對策】 ・臨時排水路兩側相同標高的伏流水（滲透流），往下流動。 ・為了防止堰塞壩侵蝕而設置沙包，將水導往臨時排水路。 ・為了將左側支流小溪的流水導引到臨時排水路而設置大型沙包。 ・為了防止暗渠排水管正下方出現淘刷而設置塊石籠袋。		
			【進入現場道路的復建】 ・在熊野川主流利用暗渠設置進入現場的道路。
2012 7			
2012 8			
2012 9			
2012 10			【進入現場道路的復建】 ・在熊野川主流利用暗渠設置進入現場的道路。
2012 11			
2012 12			
2013 1	【排水路設置的檢討】 ・為了掌握排水路洩槽部中心線以及作為消能工的基幹防砂壩位置、下游河道淘刷狀況等，實施水工模型實驗。	・水工模型實驗結果發現，將洩槽部可能發生衝擊波的情況算進去，基幹防砂壩在淤砂未滿狀況下，能提高消能效果。 ・確認第一副壩與截水牆翼部出現溢流，因此變更了壩軸。	
			
			
			

■長殿地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2013 2				
2013 3	【進入道路整建(沿十津川)】			
2013 4				
2013 5				
2013 6				
2013 7	【披面工(壩工)】			
2013 8				
2013 9		【2013 颱風 18 號】	・進入道路受災（河床道路）	
2013 10				
2013 11				
2013 12	【開挖工(壩工)】			 壩體右側掘削作業中、中央部地盤改良施工中
2014 1	【地盤改良工(壩工)】			
2014 2	【壩本體工(壩工)】			 防砂壩狀況（左岸側→右岸側）
2014 3				
2014 4				

■長殿地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2013 2			
2013 3	【進入道路的復建】 ・在川原樋川設置臨時便橋，並沿著熊野川主流右岸設置進入道路。		
2013 4			
2013 5			
2013 6			
2013 7			
2013 8			
2013 9	【進入道路的復建】 ・沿熊野川主流右岸匯流點的進入道路實施復建。		
2013 10			
2013 11			
2013 12			
2014 1			
2014 2	【基幹防砂壩工】 ・為了防止堰塞壩趾部侵蝕等，維護堰塞壩穩定，在堰塞壩趾部設置基幹防砂壩。 ・基幹防砂壩位於排水路洩槽部下游端，因此在消能部設置排水工。	・壩採用可利用現地生成材料的 SB 牆工法。 ・施工時在壩體附近設置材料製造工場。 ・壩體基礎部以地盤改良的方法加以置換。	
2014 3			
2014 4			

■長殿地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2014 5				
2014 6				
2014 7				
2014 8	【壩本體工】※完工			
	【進入道路再整建】	【2014 颱風 11 號】	・堰塞壩趾部出現湧水 ・施工道路渡河部流失	
2014 9				
2014 10				
2014 11				
2014 12				







防砂壩狀況（左岸側→右岸側）

■長殿地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2014 5			
2014 6			
2014 7			
2014 8			
2014 9			
2014 10			
2014 11			
2014 12			

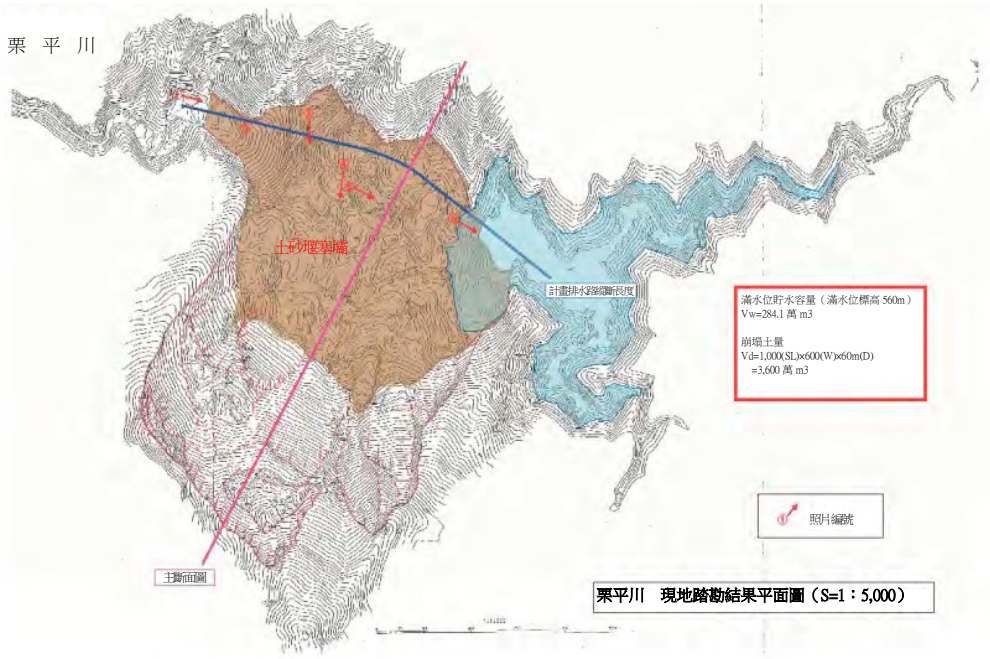
3.3 栗平地區

■土砂移動實態

栗平地區的崩塌地，2011 年颱風 12 號帶來豪雨，因而在新宮川水系左支流瀧川右支流栗平川（流域面積約 9.0km^2）形成河道阻塞（堰塞壩）。栗平地區的堰塞壩規模，壩高約 100m、縱斷長約 750m，橫斷長約 350m，頂端長約 400m，最陡下游面坡度 32°（1：1.6），上游面坡度 45°（1：1.0），阻砂量約 24,133,000m^3，是國土交通省近畿地方整備局紀伊山地防砂事務所管轄區內最大規模堰塞湖。

栗平地區河道阻塞（堰塞壩）形成後立刻實施緊急對策，整建臨時排水路，但 2012 年颱風 4 號時，臨時排水路下游端部出現淘刷，同年颱風 16、17 號時淘刷與侵蝕持續擴大，臨時排水路下游部分流失。再者，2014 年颱風 11 號，堰塞壩出現大規模侵蝕，溢頂高度因此降低 15m，且臨時排水路大部分流失，2015 年颱風 11 號時，堰塞壩溢流水也流入臨時排水路，導致臨時排水路局部侵蝕。

【流域各單元】
流域面積：（堰塞壩的上游）9.02km^2　　堰塞壩形成地點原本的河床坡度： 3° （1/20）
【崩塌地各單元】
坡面方位：西北　　坡 度：33°
崩塌發生位置：坡面上部的稜線
崩塌規模：寬 600m，長 650m，高 450m，崩塌土砂量 23,846,000m^3
基盤地質：白亞系美山層（My4）
　　My4：含綠色岩岩塊的頁岩及砂頁岩互層
湧　　水：崩塌之後直到現在都確認存在
【堰塞壩各單元】
規　　模：高 100m，寬 350m，滿水時蓄水量（庫容）7,228,000m^3
形　　狀：最陡下游面坡度 32°（1：1.6）　　上游面坡度 45°（1:1.0）
淹　　水：有



栗平地區　土砂移動狀況（2011/9/12）



河道阻塞狀況（左：2011/9/14，右：2011/12/20）



栗平地區　崩塌災害直後的狀況

■栗平地區堰塞壩對策概要

①防護土堤

為了防止崩塌地土砂流入堰塞湖、確保對策工程安全修建防護土堤（H =3m）。

②臨時排水路

為了防止堰塞壩侵蝕破壞與滲流破壞整建臨時排水路（L=576.1m，計畫流量 185m^3/s：二年重現期距流量）。頂端水平部實施砂漿噴覆（上下游端設置箱籠護墊），斜面部（洩槽部）實施防砂用水泥土壤拌合物加上砂漿噴覆（TAO 工法），水路下游端的消能部實施防砂用水泥土壤拌合物加上箱籠（石籠）。此外，為了確保對策工程安全、抑制水位上升，實施常態抽水機排水。

2012 年颱風 4 號時洩槽部下游端出現淘刷侵蝕，因此在臨時排水路下游端實施卵礫石籠袋、2 噸消波塊、大型（土囊）沙包與砂漿噴覆等侵蝕對策工程。但同年的颱風 16 號、17 號時淘刷與侵蝕擴大，臨時排水路下游部形成大規模侵蝕，臨時排水路 2/3 流失，出現沖蝕溝地形。2014 年颱風 11 號時，又出現大規模侵蝕，溢頂高度降低 15m，臨時排水路大部分流失，約 160 萬 m^{3}的大量土砂流到下游區域。

③暗渠排水工

為了防止臨時排水工流失後的溢頂侵蝕，並以較低成本降低堰塞湖水位、完成穩定而安全的對策工程，以泥水加壓推進工法整建暗渠排水管（φ800mm×2 條）。利用暗渠排水管延緩颱風 11 號急遽上升的水位，但最後暗渠排水管還是與臨時排水路一起流失。

栗平地區實施堰塞壩的對策時間序列整理結果，如次頁所示。

■栗平地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2011 9		【2011 颱風 12 號】 ・形成堰塞壩	以直升機吊掛重機械的狀況 
		【2011 颱風 15 號】	
2011 10	【直升機場整建】 【重機械組裝場完成】 【倒木砍伐堆放】		
2011 11	【抽水機排水設置】 【防護土堤設置】		②防護土堤設置狀況 
2011 12	【臨時排水路開挖】 【臨時排水路設置(改良土)】 【抽水機排水】 【進入道路整建】		
2012 1			②臨時排水路部改良土製作・搬運・碾壓狀況 
2012 2			
2012 3			
2012 4			 臨時排水路護岸工（斜面部） 砂漿噴覆狀況
2012 5			
2012 6		【2012 颱風 4、5 號】 ・溢流（沿臨時排水路流下） ・臨時排水路末端侵蝕 ・進入道路受損（河床路）	・臨時排水路末端需再整建 ・進入道路需再整建
2012 7	【護床混凝土塊設置】 【袋型基礎固材設置】 【砂漿噴覆】		 排水末端部 混凝土塊石工設置狀況
2012 8			

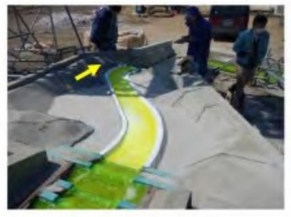
■栗平地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011 9	【防護土堤設置】 ・為了防止崩土流入臨時排水路施工範圍而設置。		・必要土堤高之決定，尚缺乏依據，但仍先設定高度。
2011 10	【抽水機排水】 ・蓄水量非常大，因此為了抑制水位上升、降低潰壩危險性而實施抽水機排水。	・從堰塞湖堰塞壩趾部一直到下游鋪設排水管，實施排水。	・洩槽部設置排水管相當困難，得花很多時間。 ・流水會導致排水管劇烈震動，因此須確切地固定排水管。 ・實施抽水機排水之後，下游河道流量增加，因此，河床路搬運資材機具時，須停止抽水機運轉。 ・抽水機運轉時間長，燃料費用驚人，因此可考慮同時使用虹吸工法。（揚程有上限，難以調整流量） ・從趾部侵蝕的經驗，臨時排水路的排水末端，最好是延伸到舊河道地點為止。 ・栗平地區的堰塞壩頂端很寬大，因此用直升機吊送六輛搬運夯實車過去，提高施工效率。
2011 11			
2011 12	【臨時排水路開挖】 ・堰塞壩頂端長度非常長，為了盡量降低施工土量，採取最短距離的直線水路，以頂端中央的最低地點（EL.+565.63）為進水口。 ・為了將施工土量降到最少，下游洩槽部的坡度，做成幾乎與堰塞壩土體下游面的坡度相同。	・因為左右岸都是崩積土塊，挖方斜面的坡度為 1：1.5，為不穩定狀態，因此挖方工程之坡度降低為 1：1.8。	
2012 1			
2012 2	【臨時排水路設置】 ・箱籠護墊能使用的填充材無法確保現場能充足供應，因此，除了部分區間採取箱籠護墊工法，其餘區間應檢討其他工法。 ・初始曾檢討是否使用不織布模板，但道路終點到堰塞壩高差太大，空壓機難以壓送，因而作罷。 ・水平部與洩槽部，採用地盤改良＋砂漿噴覆工。	・可能會產生磨損的入流部與水平部到洩槽部的變化點，消能工採用箱籠護墊。 ・斜坡路的流速很快，判斷箱籠護墊難以支撐。 ・洩槽部實施地盤改良＋鋼筋插入工，並設計凸狹形狀，降低流速。 ・實施地盤改良工而進行水路壁面輾壓時，採用搭載震動機的劊斗。	
2012 3			
2012 4	【進入道路之整建】 ・初始並沒有現成的道路通往堰塞壩，因此以直升機運送資材機具，但為了提高施工性，在河床鋪設施工道路。	・從現有道路終點到堰塞壩為止，設置河床道路。 ・初始設定多處橫斷河床的渡河部。	・施工性提高，但道路狀況不好，一再出現車輛故障。
2012 5			
2012 6	【臨時排水路的破損、復建】 ・為了防止颱風 4 號、5 號所造成臨時排水路末端部淘刷與侵蝕導致河床降低出現二度侵蝕，設置護床混凝土塊與塊石疊砌網。		
2012 7			
2012 8			

■栗平地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2012 9	【進入道路再整建】	【2012 颱風 16、17 號】 ・溢流（臨時排水路被沖走） ・堰塞壩局部侵蝕 ・進入道路受損（河床部）	・臨時排水路須重新整建 ・進入道路須重新整建
2012 10	【護床混凝土塊設置】 【袋型根固材設置】		10 月 12 日攝影 
2012 11			11 月 22 日攝影 
2012 12	【臨時排水路再整建】※完工		
2013 1			
2013 2	【暗渠排水工】		・以推進工法設置暗渠排水管
2013 3			
2013 4			
2013 5			 臨時排水路進水口周邊狀況
2013 6			

■栗平地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 9	【臨時排水路的破損、復建】 ・颱風 16 號、17 號溢流水造成大規模侵蝕，從臨時排水路上游端只剩下 185m。 ・為了防範殘存的臨時排水路再次侵蝕，設置護床混凝土塊與塊石疊砌網。		・臨時排水路瀉洩槽部下游端受颱風 4 號、5 號侵蝕的範圍，設置了固床混凝土塊與塊石疊砌網，但發生大規模侵蝕之前，都已經被沖走。 ・此淘刷現象可能會引發大規模侵蝕，評估後認為，必須在瀉洩槽部的下游端實施壩工，防止淘刷、達成流水消能。
2012 10			
2012 11	【對策工的再檢討：固床工群的設置】 ・初始對策工打算在洩槽部下游設置基幹防砂壩，但因未出現大規模侵蝕，為防止侵蝕部分產生土砂並流出，而變更計畫設置了固床工群。 ・為了掌握固床工群與下游堰堤的基幹位置以及施工時的課題，進行水工模型實驗。	・依據水工模型實驗結果，決定在最下游固床工與基幹防砂壩之間設置水路。如此，不只能安全地導流洪水，還可防止河床侵蝕。	
2012 12			
2013 1	 		
2013 2	【暗渠排水工】 ・為了在堰塞壩中央設置排水路工，施工期間安全對策之一是設置暗渠排水管，以降低堰塞湖水位，穩定地排水。	・考量施工期間，在堰塞壩下游 160m 處，以推進工法鋪設暗渠排水管，其上游則做成明渠＋暗渠排水管的雙重構造。 ・為了施工期間能讓人進入開挖機械內實施作業，設計 φ800mm×2 條。	・上述施作過程中，堰塞壩土塊內並未出現倒木等障礙物，因此判斷，推進路線上應該不太會有障礙物。 ・各地點出現的倒木，大都位於土塊表面附近，並未發現位於堰塞壩土體深部的狀況。
2013 3			
2013 4			
2013 5			
2013 6			

■栗平地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2013 7			
2013 8			
2013 9	【暗渠排水工】※完工	【2013 颱風 18 號】 ・溢流（臨時排水路被冲走） ・堰塞壩局部侵蝕 ・進入之道路受損（河床道路）	・須實施臨時排水工再整建 ・進入之道路須重新整建
2013 10	【進入之道路再整建】		
2013 11	【暗渠排水管延伸】 【右岸側斜面開挖】		
2013 12			
2014 1			 防砂土工　開挖狀況
2014 2			
2014 3			
2014 4	【挖方工】		
2014 5			 挖方工開挖狀況（2014年6月）
2014 6			
2014 7			
2014 8			

■栗平地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2013 7			
2013 8			
2013 9	【暗渠排水工下游的侵蝕與復建】 ・臨時排水路與暗渠排水管出口匯流部附近往下游的地方出現侵蝕，因此設置塊石疊砌網，以防止侵蝕，並延伸暗渠排水管而設置表面排水路。	・延伸部分實施暗渠排水管與明渠（填土邊坡）的雙重構造。	
2013 10			
2013 11			
2013 12			
2014 1			
2014 2			
2014 3			
2014 4			
2014 5			
2014 6			
2014 7			
2014 8			

■栗平地區

	工程	降雨事件 現場狀況	工程狀況
2014 9	【進入之道路再整建】 【臨時排水路再整建】	【2014 颱風 11 號】 ・溢流（臨時排水路被沖走） ・堰塞壩局部侵蝕 ・進入之道路受損（河床道路）	・臨時排水路幅再整建 ・進入之道路幅再整建
2014 10			
2014 11			
2014 12			

■栗平地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2014 9	【臨時排水路、暗渠排水工的破損與復建】 ・颱風 11 號的溢流水導致整個臨時排水路幾乎最上游端都出現大規模侵蝕，大部份臨時排水路與所有暗渠排水工都流失了。 ・為了防止殘存的臨時排水路最上游部進一步侵蝕，設置護床混凝土塊與塊石疊砌網。 ・該區間同時設置暗渠排水管。		
2014 10			
2014 11			
2014 12			

3.4 北股地區

■土砂移動實態

北股地區崩塌地受 2011 年颱風 12 號豪雨影響，北股川（川源通川左支流）左支溪右岸（流域面積約 0.32km^2）形成堰塞壩。北股地區堰塞壩規模高約 28m，縱斷長約 170m，橫斷長約 130m，頂端長約 116m，最陡下游面坡度 30°（1：1.7），上游面坡度 16.9°（1：3.3）。

北股地區漂流木與部分崩塌土砂一直流出到北股川匯流點，阻塞北股川，但並未發生北股側氾濫導致的淹水災害。

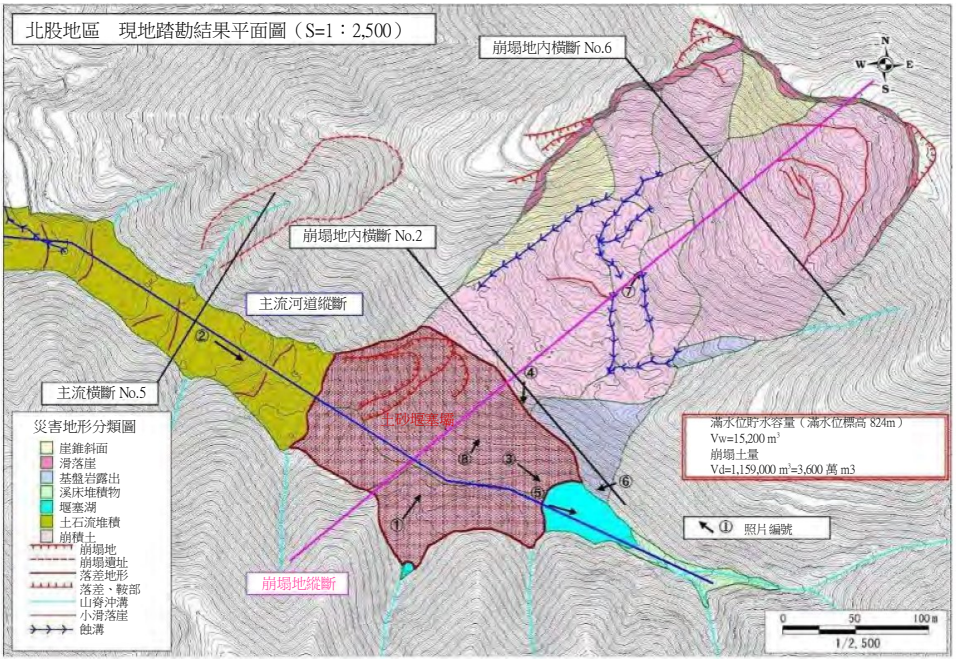
堰塞壩形成後上游匯集溪流水產生淹水，但目前堰塞湖已回填。北股川匯流點有北股聚落，發生崩塌支溪已指定為土石流危險溪流。

北股地區實施緊急對策，整建臨時排水路，但 2012 年颱風 4、5 號時崩塌地土砂流出，阻塞暗渠排水管進水口，流水沿明渠往下流動，侵蝕河道、阻塞下游面全部臨時排水路，堰塞壩下游面的暗渠排水管破損。

【流域各單元】
流域面積：（北股川匯流點上游）0.57km^2
（河道阻塞的上游）0.32km^2
河道阻塞地點原本的河床坡度： 10° （1/5.6）

【崩塌地各單元】
坡面方位：西南　　坡 度：31°
崩塌發生位置：斜面上部的稜線
崩塌規模：寬 200m，長 350m，高 190m，
崩塌土砂量 1,165,000m^3
基盤地質：四萬十帶日高川層群湯川層（Yk3）
Yk3：砂頁岩互層及塊狀砂岩
湧　　水：未確認

【堰塞壩各單元】
規　　模：高 28m，寬 130m，
滿水時蓄水量（庫容）15,000m^3
形　　狀：最陡下游面坡度 30°（1：1.7）
上游面坡度 16.9°（1:3.3）
淹　　水：堰塞壩形成後開始淹水，
目前堰塞湖已回填完畢



北股地區　土砂移動狀況（2011/9/27）







北股地區　災害直後的狀況

■北股地區堰塞壩對策概要

①進入道路整建

初始並無進入道路可抵達對策實施現場，因此拆除受損住宅、鋪設道路、架設臨時棧橋才完成施工道路。

溪流內有非常多倒木，砍伐、移走倒木相當耗時，約一個月左右才完成施工道路。

②抽水機排水

堰塞湖規模小，降雨時水位上升迅速、溢流時間提早，因此，抽水機排水成為施工的安全對策。

北股地區已確保超過平常時入流量的抽水機排水能力，因此能有效降低堰塞湖水位。

北股地區降雨時大量流水來自支溪，因此須同時使用波紋管排水。

③堰塞湖回填

為了降低堰塞壩的溢頂侵蝕與潰壩危險性，實施堰塞湖回填。

北股地區堰塞湖規模小，判斷開挖堰塞壩的土砂就能回填，因此實施堰塞湖的回填工程。，首先以抽水機排水方式抽出堰塞湖的水，然後讓上游下來的水不流入堰塞湖。完成回填的地點變成類似泥沼狀態，為了讓翌日交通通行、具備可供車輛通行能力（車輛通過性），一方面實施混凝土改良工程、一方面進行回填工程。

④臨時排水路

為了防止堰塞壩的溢頂破壞與滲流破壞，實施臨時排水路整建。為了防止崩塌土砂阻塞排水路，臨時排水路實施明渠與暗渠排水管雙重構造。

堰塞壩頂端設置完成暗渠排水管後，又以防砂用水泥土壤拌合物設置明渠。下游坡面同樣設置暗渠排水管，並在暗渠排水管出口設置用來防止淘刷與侵蝕的混凝土塊與大型沙包。

2012 年颱風 4、5 號時，崩塌地流出的土砂導致暗渠排水管進水口阻塞，流水沿明渠往下流動，侵蝕堰塞壩下游面，造成暗渠排水管破損。

⑤防護土堤、堆積工

為了避免崩塌土砂導致排水路阻塞及維護工程安全而實施這兩項工程。

堆積工程具有土砂捕捉效果，並且發揮常態性的細砂土粒或水流之排水、導流效果。

⑥防砂壩

設置防砂壩旨在固定堰塞壩趾部、防止侵蝕，防止河道堆積土砂二次移動等。

鑽探調查發現，堆積土砂從目前河床到岩盤為止，約 14.5m，土石流堆積物 N 值約 5～20，為了確保壩體安全，須實施基礎處理。

⑦頭部挖方工

崩塌地頭部確認有許多裂隙，很可能擴大崩塌，因此實施頭部挖方工。

作業採用無人化施工方式。

北股地區實施的堰塞壩對策時間序列，整理如次頁所示。

■北股地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2011 9		【2011 颱風 12 號】	・形成堰塞壩	①進入道路設置狀況
		【2011 颱風 15 號】		
2011 10	【進入道路再整建】 【倒木的砍伐與堆置】			①堰塞湖回填作業狀況
	【抽水機排水】			
2011 11	【堰塞湖回填】			
2011 12	【臨時排水路開挖】 【臨時排水路設置】 【臨時壩設置】			①臨時排水路設置狀況
2012 1	【臨時排水路設置】 【臨時壩設置】※完成			②倒木搬出狀況
	【防護土堤、堆積工設置】			
2012 2				斜面整地工（無人化施工） 挖掘狀況
2012 3	【頭部挖方工】			
2012 4				





















■北股地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011 9	【進入道路整建】 ・為了實施緊急對策而鋪設從堰塞壩到崩塌地頭部為止的施工道路。 ・倒木非常多，耗費相當多時間完成砍伐與堆置工程。	・初始並無可進入溪流內的道路，因此拆除受損住宅而鋪設道路，並設置臨時棧橋，才完成通往溪流內的工程道路。 ・堆積在河道阻塞處的倒木，用抓斗車拔除，再以碎材機切成 4m 的長度，然後搬出。	・倒木的砍伐堆置委託熟悉現場狀況的當地森林工會，因此很快完成。 ・冬季倒木也會凍硬，無法以鏈鋸實施砍伐。
2011 10	【抽水機排水】 ・堰塞湖規模小，降雨時水位上升迅速，並產生溢流，為施工時之安全對策。同時將各支溪之水流導流處理。	・切成塊的倒木混雜礫石較少的，鋸成碎片。難以鋸成碎片的倒木無法搬出，原地放在崩塌地內。	・許多倒木被礫石夾住或壓住，鋸三棵樹鏈鋸就鈍掉，須重新磨利。 ・北股地區河川原本水量就大，降雨時支流匯入更多流水，以波紋管有其必要排水。
2011 11	【堰塞湖回填】 ・堰塞湖不大，以堰塞壩開挖的土砂就足以回填，因此實施可降低溢頂侵蝕與潰壩危險性的堰塞湖回填工程。	・非洪水期實施回填作業。 ・回填完成的區塊頂端，設置明渠。	
2011 12	【臨時排水路開挖】 ・為了防止崩塌土砂阻塞排水路，實施明渠與暗渠排水路的雙重構造。 ・為了滿足達到二年重現期距流量且泥砂混合率 0.2 之流量斷面，實施配合之暗渠開挖工程。	・為了避免開挖崩塌趾部，臨時排水路的中心線配置在左岸側。 ・為了將土方量降到最少，下游坡面部的坡度做成與堰塞壩下游面坡度大約相同的程度。	
2012 1	【臨時排水路設置】 ・堰塞壩頂端設置暗渠（排水管）後，應用防砂用水泥土壤拌合物，設置明渠。 ・下游坡面同樣設置暗渠（排水管），下游坡面趾部的暗渠出口，鋪設用來防止淘刷與侵蝕的混凝土塊與大型沙包。	・明渠部分以防砂用水泥土壤拌合物補強。 ・基幹防砂壩為先期的計畫，因此堆砂地內區間不需實施水路表面對策。 ・暗渠排水管進水口設置沙包牆及柵工，以防止阻塞。	・暗渠初始採用波紋管設計，但為了快速採購、縮短施工期間而變更使用一般排水管，並且從使用四條改成三條。
	【防護土堤與堆積工的設置】 ・為了避免崩塌土砂阻塞排水路、確保工程安全，在崩塌地趾部設置防護土堤。 ・除了設置防護土堤之外，為了捕捉崩塌地內流出的土砂，設置堆積工與暗渠排水管，實施堰塞壩上游流水導流工作。	・考量施工性，防護土堤採用組裝式大型沙包。 ・將流水從防護土堤下游側的溢流部導流入河道。	・堆積工不僅具備土砂捕捉效果，並在平時對細粒土砂或流水的排水、導流具有良好效果。
	【臨時壩的設置】 ・山谷出口附近有許多密集的保全對象，為了抑制土砂流出造成土砂洪水氾濫，在山谷出口設置臨時壩。 ・臨時壩下游設置明渠。	・設定基幹防砂壩施工期間（預定二年）能捕捉流出土砂量所需的壩高。 ・溢流部為了排水性設置箱籠型框，非溢流部設置大型沙包。	・抑制土砂流入北股川。 ・土砂經常流出，降雨洪水時須實施清淤。
2012 2			
2012 3	【頭部挖方工】 ・崩塌地頭部確認出現許多裂隙，擔心擴大崩塌，在評估土砂流出可能危害附近保全對象，實施頭部挖方工。	・因為在有許多裂隙、高危險性的地點實施作業，採用無人化施工。 ・操作室設在舊北股小學，鋪設光纖讓長距離收發訊息穩定化。 ・機械以自走的方式，沿崩塌地內的施工道路，前往施工區域。	・實施無人化施工時，因為使用光纖，幾乎不會有時間漏失的問題。 ・無人化施工的操作，須交給有重機操作經驗的人，否則難以掌握危險操作狀況。 ・每棵樹的樹根伸展狀況都不同，因此，樹木伐根工作不適用無人化施工。 （挖土機的施力狀況各自不同。）
2012 4			

■北股地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2012 5			
2012 6	【大型沙包設置】 【防護土堤重新整建】	【2012 颱風 4、5 號】 ・崩塌地土砂流出 ・溢流造成臨時排水路破損	・防護土堤須重新整建 ・臨時排水路須重新整建
2012 7			8 月 3 日攝影 
2012 8			
2012 9	【施工道路施工(壩工)】		
		【2012 颱風 16、17 號】	
2012 10			
2012 11			 板樁工　翼部開挖狀況
2012 12	【翼部板樁打設(壩工)】		
2013 1			
2013 2			
2013 3			

■北股地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 5			
2012 6	【臨時排水路的破損與復建】 ・崩塌地流出土砂導致暗渠進水口阻塞，流水沿著明渠往下流動，導致堰塞壩下游面臨時排水路整個遭受侵蝕，暗渠也因此破損。 ・為了恢復臨時排水路的機能，流入臨時排水路內的土砂去除之。 ・未埋設暗渠的部分（侵蝕區間），以大型沙包重新整建為明渠。	・暗渠只設在崩塌地正下方的堰塞壩頂端部，與明渠形成雙重構造，堰塞壩下游面則變更為以大型沙包做成的明渠形式。	・暗渠雖發揮了排水機能，但堰塞壩下游面暗渠周邊遭受侵蝕而破損，因此應實施侵蝕防止對策（埋設等）。 ・暗渠部維持著排水機能。 ・即使崩塌地流入土砂，暗渠排水管仍維持排水機能。 ・暗渠只設置在堰塞壩頂端。
2012 7			
2012 8			
2012 9			
2012 10			
2012 11			
2012 12			
2013 1			
2013 2	【防護土堤與堆積工的補強】 ・除了實施防護土堤的補強，也把細粒土砂與流水從堆積工的地方導流到河道中。	・實施防護土堤的補強（組裝式大型沙包）。 ・堆積工內設置排水用的豎坑（集水井），然後把水流從豎坑下來的暗渠以及土堤下游側的溢流部，導流到河道中。	・堆積工不只發揮土砂捕捉效果，並在平時對細粒土砂與流水的排水、導流具有良好效果。
2013 3			

■北股地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2013 4				
2013 5				
2013 6	【主壩板樁打設(壩工)】			
2013 7				
2013 8	【主壩本體工(壩工)】			 INSEM 材搬入狀況 
2013 9	【2013 颱風 18 號】	・崩塌地土砂流出	 	
2013 10				

■北股地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2013 4			
2013 5			
2013 6			
2013 7			
2013 8	【最下游壩工】 ・鑽探調查發現，目前河床到岩盤有 14.5m 左右，土石流堆積物的 N 值約 5～20，若要維護壩體穩定，須實施基礎處理。 ・產生大量的開挖土砂，因此選擇能應用現地生成材料的工法。 【臨時排水路的設置】 ・阻塞河道之堰塞壩，為抑制其在最下游壩的侵蝕，臨時排水路予以延伸。	・基幹防砂壩採用 DW 壩(雙牆壩)＋雙重鋼板樁工法。 ・雙重鋼板樁的雙層牆(DW)採用能隨著沉入的滑板模式，將板樁打入到基礎地盤為止。 ・和一般的壩施工相比，挖掘量較小，可提高施工時的安全性。 ・以大型沙包設置明渠。	
2013 9	【堆積工下部的沖蝕溝侵蝕與臨時排水路掩埋、復建】 ・堆積工下部出現表面流造成沖蝕溝，土砂從崩塌地流出造成暗渠進水口處阻塞、流水沿著明渠往下流動的狀況。 ・為了復建臨時排水路的機能，流入臨時排水路內的土砂予以清除。		
2013 10			

■栗平地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2013 11			
2013 12			
2014 1	【完工】		
2014 2			
2014 3			
2014 4			
2014 5			
2014 6			
2014 7	【斜面補強工】		
2014 8			補強土壁施工狀況
2014 9	【2014 颱風 11 號】		
2014 10			
2014 11			
2014 12			

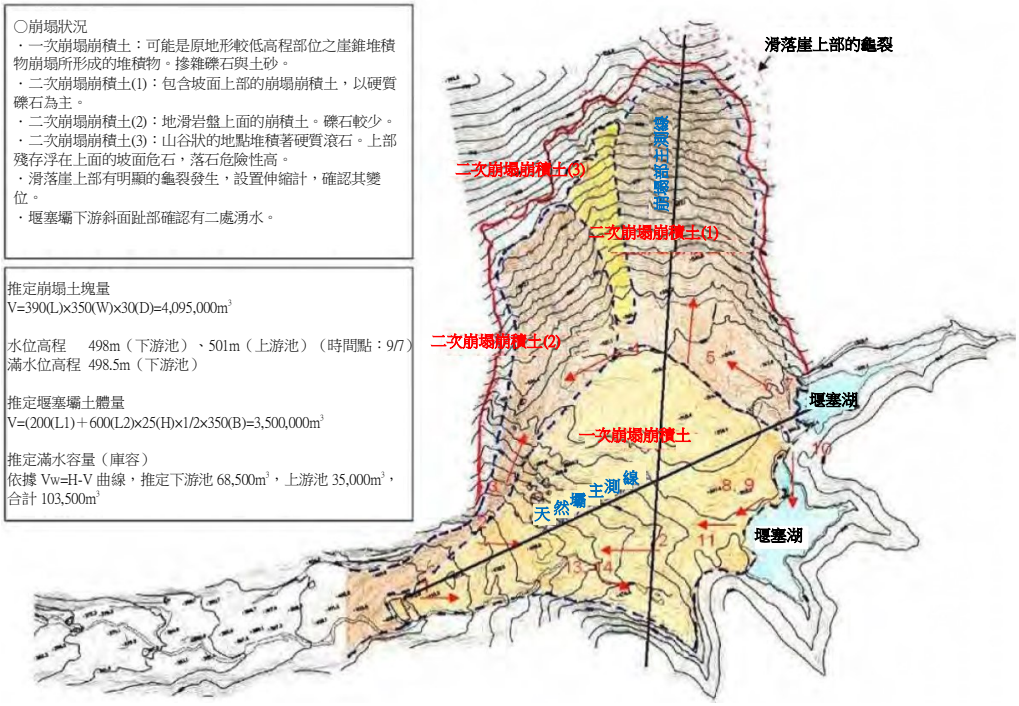
■栗平地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2013 11			
2013 12			
2014 1			
2014 2			
2014 3			
2014 4	【臨時排水路的設置】 ・為了抑制堰塞壩在其最下游壩的侵蝕，將臨時排水路予以延伸。	・以大型沙包設置明渠。	
2014 5			
2014 6			
2014 7			
2014 8			
2014 9	【防護土堤、堆積工補強】 ・除了實施防護土堤補強之外，也將細粒土砂與水流從堆積工導流到河道之中。	・設置以大型沙包完成的壩工（節制壩），除了防止沖蝕溝侵蝕，也將細粒土砂與水流導流到河道之中。	
2014 10			
2014 11			
2014 12			

3.5 熊野地區

■土砂移動實態

熊野地區的崩塌地因為 2011 年颱風 12 號帶來豪雨，而在日置川左支流熊野川右岸（流域面積約 1.2km^2）形成堰塞壩。熊野地區堰塞壩規模高度約 25m，縱斷長約 600m，橫斷長約 350m，頂端長約 200m，最陡下游面坡度 12°（1：4.7），上游面坡度 3.8°（1：15.0）。



熊野地區　土砂移動狀況（2011/9/7）





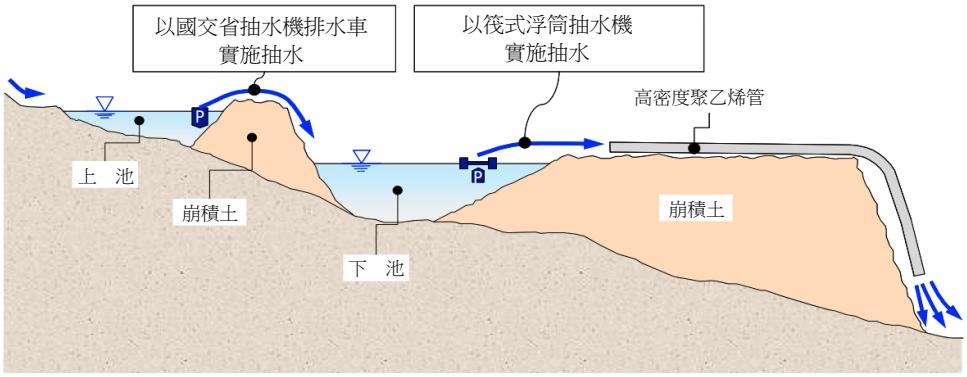
熊野地區　崩塌災害直後狀況

■熊野地區堰塞壩對策概要

①抽水機排水

形成之二個堰塞湖規模小，降雨時水位明顯上升，須實施施工時的安全管理。

有道路通往上游側，因此可將抽水機車與資材機具搬到上游側的堰塞湖。



上池與下池的抽水機排水（熊野地區）



以抽水機排水車進行排水（熊野地區）

②堰塞湖回填

為了降低溢流潰決的危險性而實施堰塞湖回填。

堰塞湖回填可避免堰塞壩大規模侵蝕潰壩的危險。

③排水路工

旨在讓 100 年重現期距流量的水順利往下流動。

在崩塌土砂上進行施工，為了配合構造體沉陷的狀況，且現場有大量土砂，因此堰塞壩頂端以箱籠護墊形成水路工，下游坡面採取鋼製框壩／整流工（連續框）構造。

排水路工施工完成後立刻沉陷，壩與側壁周緣部發生侵蝕。此外，落下的溢流水（水深 30cm 左右）造成鋼製框壩正下方（水護坦）淘刷，填充的土砂流出，鋼製部材也破損。

2014 年颱風 11 號時，為了排水路復建再次通水的臨時排水路受到侵蝕與破壞，在洪水及洪水所夾帶砂礫衝擊之下，侵蝕擴大到鋼製框壩的左岸翼部，連續框內的填充土砂流出，翼部（鋼製部）破損。

熊野地區實施的堰塞壩對策的時間序列整理結果，如次頁所示。

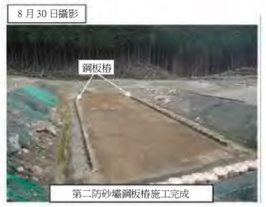
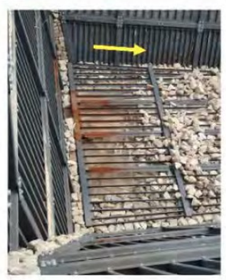
■熊野地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2011 9		【2011 颱風 12 號】	・形成堰塞壩	①對策工程進入邊緣的切削作業土砂堰塞壩現場
2011 10	【進入道路整建】 【倒木的欹伐堆置】 【抽水機排水】 【防護土堤設置】 【上池下池連通工程】	【2011 颱風 15 號】		③抽水機排水
2011 11	【堰塞湖回填】 【排水路開挖】 【臨時排水路設置】			③下池回填狀況 傾卸卡車 推土機
2011 12				②臨時排水路狀況
2012 1	【臨時排水路設置】(連續槎)			③臨時排水路狀況 油壓挖土機 礫石生產廠
2012 2				①臨時排水路程狀況(鋼製框組裝) 油壓挖土機
2012 3				
2012 4				
2012 5				
2012 6		【2012 颱風 4、5 號】	・臨時排水路的破損	・臨時排水路須重新整建 6 月 15 日攝影
2012 7				
2012 8				排水路全景
2012 9				
2012 10		【2012 颱風 16、17 號】		

■熊野地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011 9	【抽水機排水】 ・形成上池與下池二個堰塞湖，兩者規模都很小，降雨時水位上升速度快，因此必須採取施工時安全對策相關設置。	・設置二階段抽水機排水工，將上池的水排到下池，下池的水排到下游，同時監測上下池水位，調整排水量。 ・由上池往下池實施抽水機排水，使用國土交通省的抽水機排水車。	・有道路可從上游側抵達工程現場，因此可將抽水機車與資材機具搬到堰塞湖的位置。
2011 10	【上池下池連通工程】 ・開挖上池與下池之間的土砂，消解上池的蓄水量。		
	【堰塞湖回填】 ・堰塞湖很小，能以堰塞壩所開挖土砂回填，因此實施可降低溢流潰壩危險性的堰塞湖回填。	・在非洪水期實施回填作業。 ・回填地方的頂端周圍開挖水路。	・將堰塞湖回填，因此能避免堰塞壩大規模侵蝕潰壩的危險。
2011 12	【排水路開挖】 ・考慮堰塞壩土體之開挖與堰塞湖回填土方平衡，設定水路底層高度。		
2012 1	【臨時排水路設置】 ・排水路施工時為了能讓水流切換流入、維護工程安全，因此設置臨時排水路。 ・以二年重現期距流量、泥砂混合率 0.2 為準設定流量斷面。		
2012 2	・因為是流量小的臨時排水路，因此以簡易構造（大型沙包＋砂漿噴覆）施設。		
2012 3	【排水路設置】 ・採取 100 年重現期距流量加上泥砂混合率 0.2 為準設定流量斷面。 ・因為是在崩塌土砂上施工，必須採取能配合構造體沉陷的結構，且因為現地有大量土砂，因而採取鋼製框壩整流工（連續框）。	・堰塞壩右岸山腳為脆弱地形，而且有直徑 10～20m 岩塊，因此排水路中心線盡量設在靠左岸的地方。 ・為了盡量避免開挖，下游內面坡度與當時堰塞壩下游的坡度相當。 ・緊急對策水路（臨時排水路）與長期對策（排水路）很難分別設置，重點在於確保計畫規模的水路斷面。	・施工直後構造體出現沉陷以及壩體與側壁周緣部侵蝕。
2012 4		・堰塞壩頂端以箱籠護墊實施水路工，下游坡面採取鋼製框壩／整流工（連續框）構造。整流工為三面鋪面構造。 ・鋼製框所使用之填充材，利用現地生成材料，破碎後使用。	・箱籠護墊與連續框的填充土砂粒徑須篩選，工期因此拉長。 ・箱籠護墊與連續框的填充土砂須以人力填充，工期因此拉長。
2012 5			
2012 6	【臨時排水路的破損、復建】 ・從流水與流動砂礫導致臨時排水路坡度變化點的消能部破損處開始完成復建。		・砂礫往下流動容易造成砂漿噴覆破損，而且，流水的流動會助長砂漿噴覆工背面侵蝕。
2012 7			
2012 8			
2012 9			
2012 10			

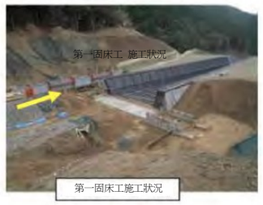
■熊野地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2012 11			
2012 12			
2013 1	【地盤改良工（壩工）】		1月18日攝影 
2013 2			
2013 3			
2013 4			4月5日攝影 
2013 5			
2013 6			
2013 7			8月30日攝影 
2013 8			
2013 9		【2013 颱風 18 號】　・排水路的破損	・礫石從連鑽框流出
2013 10	【完工】		
2013 11	【地盤改良工（壩工）】		
2013 12			

■熊野地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 11			
2012 12			
2013 1	【壩工】 ・鑽探調查結果發現，河床到岩盤的深度很大，含有巨礫的土石流堆積物 N 值為 5～20 左右，為了確保壩體穩定，須實施基礎處理。 ・會產生大量開挖土砂，因此選擇能應用現地生成材料的工法。	・基幹防砂壩採用 DW 壩(雙牆壩)＋雙重鋼板樁工法。 ・雙重鋼板樁的雙牆（DW）採用能配合沉陷的滑動式工法，將這些滑動式鋼板打入基礎地盤中。 ・和通常的壩工施工相比，開挖量較小，施工安全性較高。	
2013 2			
2013 3			
2013 4			
2013 5			
2013 6	【排水路開始通水、臨時排水路停止通水】 ・排水路完成設置，因此將通水從臨時排水路切換到排水路。		
2013 7			
2013 8			
2013 9	【排水路的破損】 ・溢流水（水深 30cm 左右），造成複數鋼製框壩壩基的正下方（護坦）出現淘刷，填塞土砂流失，鋼製材料破損。		・因為採取三面鋪面構造，水可能在堰塞壩內部滲透，導致構造物內部出現侵蝕。此外，也可能助長構造物的沉陷。 ・鋼製框壩的下游面與護坦等的流水範圍，應鋪上一層混凝土等，防止水流在堰塞壩內部侵蝕，並防止流水造成淘刷與侵蝕導致填充土砂流出。
2013 10			
2013 11	【排水路的臨時復建】 ・挖除破損部分的填充土砂與排水路構造材料，在護坦設置塊石疊砌網，應急性地防止淘刷。		
2013 12			

■熊野地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2014 1	【預鑄整流工（水路工）】		4月4日攝影　照片 2
2014 2			 第一固床工施工狀況
2014 3			
2014 4			
2014 5	【壩本體工（壩工）】		
2014 6			
2014 7			
2014 8		【2014 颱風 11 號】 ・臨時排水路侵蝕、排水路階段工左岸翼破損	8月7日攝影　照片 1
2014 9			
2014 10			防砂壩施工狀況
2014 11			
2014 12			

■熊野地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2014 1			
2014 2			
2014 3			
2014 4	【排水路的復建】 ・為了排水路復建補修工程，再度往臨時排水路通水（溢流）。 ・鋼製框壩下游面與護坦等流水範圍，為防止流水往堰塞壩內部滲透、防止流水淘刷與侵蝕造成填充土砂流出，因此用混凝土加以覆蓋。	・整流工底部的填充土砂與部材全部撤除，然後以不織布模板實施混凝土水泥漿重點處理之後打設混凝土，加以覆蓋。 ・側壁在計畫流量水深與出水高考量進去的高度，實施混凝土覆蓋。	
2014 5			
2014 6			
2014 7			
2014 8	【臨時排水路的破損與復建】 ・再度往臨時排水路通水（溢流），因此出現流水導致水路侵蝕與破壞的狀況。 ・流水及其所含砂礫造成砂漿噴覆部受損，侵蝕範圍擴大到鋼製框壩的左岸翼部，連續框內填充土砂流出，翼部（鋼纖部）破損。 ・臨時排水路開挖、整地完成後，以防砂用水泥土壤拌合物加以覆蓋。		・配置連續壩（階段工）時，各壩工的翼部應以一定的間隔嵌入地表，以防止侵蝕造成破損。 ・排水路完成之後，應有避免流水流入臨時排水路的簡易保護措施。
2014 9			
2014 10			
2014 11			
2014 12			

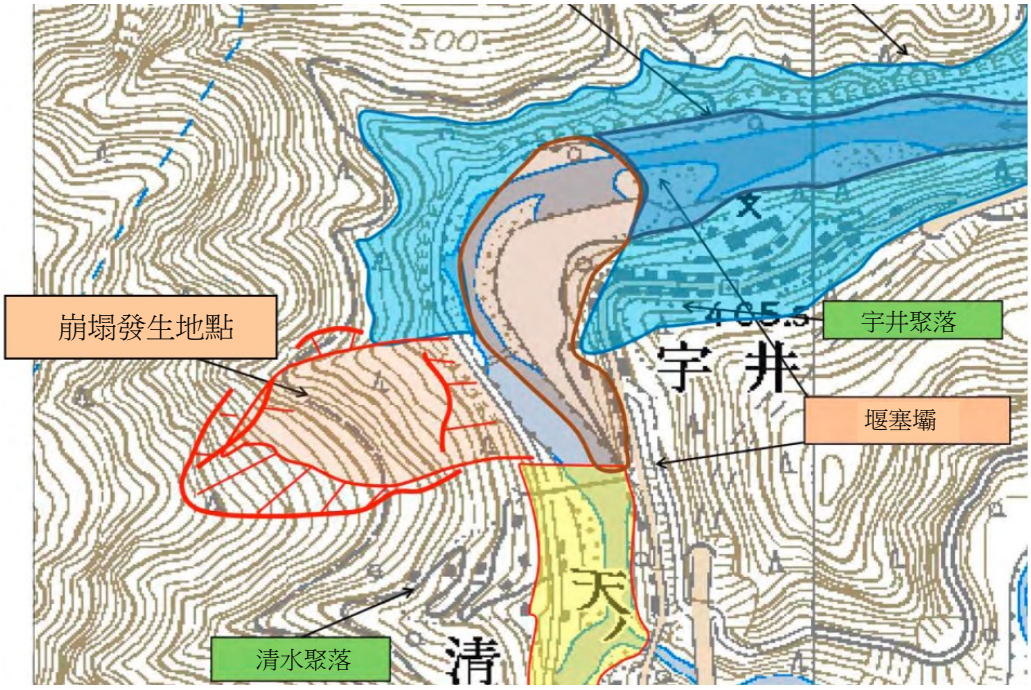
3.6 清水「宇井」地區

■土砂移動實態

清水「宇井」地區因為 2011 年颱風 12 號伴隨的豪雨，在熊野川本流右岸（流域面積約 218.6km^2）形成崩塌。清水「宇井」地區崩塌土砂短暫阻塞河道，但很快潰決，目前河道並未阻塞。

崩塌土砂抵達與河床高差 40m 的對岸斜面，住宅受損，並且發生人員傷害。該次崩落土砂所造成的風壓，也導致周邊建築物與構造物損壞。

崩塌土砂一但形成堰塞壩，上游迴水直到猿谷水壩下游附近，今造成河道沿岸民宅床板以上淹水。



清水「宇井」地區 土砂移動狀況



崩塌地狀況（2011/11/11）





清水「宇井」地區 崩塌災害直後的狀況

■清水[宇井]地區堰塞壩對策概要

①開挖工與護岸工

為了讓河道部的洪水流能安全流下、防止溪岸侵蝕而實施開挖工與護岸工。

2013 年颱風 18 號時護岸工因洪水流出造成災損，沖刷段大型沙包破損、流出，護岸工未能充分發揮機能。

②坡面上部對策工

為了將崩塌土砂整建成穩定的形狀、使其穩定化乃實施坡面上部對策工。

清水[宇井]地區所實施堰塞壩對策的時間序列，整理結果如次頁所示。

■宇井地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2011 9	河床部開挖，以確保河流橫斷面積（國交省工程記錄無記載、詳細不明）	【2011 颱風 12 號】・形成堰塞壩	
2011 10			【坡面上部對策工】 作業道、坡面整地
2011 11			
2011 12			坡面整地
2012 1			
2012 2	【護岸工】 作業道 護岸工 臨時防護柵		上部坡面工
2012 3	【坡面上部對策工】 作業道 作業道坡面整地與養護 坡面開挖與排土工 坡面工 防護土堤設置		
2012 4			伐木堆積與防護土提設置（上部坡面的下部）
2012 5			
2012 6	護岸工 坡面上部對策工	【2012 颱風 4、5 號】	
2012 7			【護岸工】
2012 8			
2012 9		【2012 颱風 16、17 號】	
2012 10			

■宇井地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011 9			
2011 10			
2011 11			
2011 12			
2012 1			
2012 2			
2012 3			
2012 4			
2012 5			
2012 6	【護岸工的設置】 ・為了防止河道部溪岸侵蝕而整建護岸工。		・洪水時土石與漂流木往下流動，大型沙包無法充分發揮護岸的機能。
2012 7	【坡面上部對策工】 ・將崩塌土砂整為穩定的形狀，以達成穩定化。	護岸工 護岸部應用大型沙包，護岸與護床工程則使用合成纖維強化籠袋。	
2012 8			
2012 9			
2012 10			

■宇井地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2012 11	護岸工 坡面上部對策工		護岸工 
2012 12			
2013 1			上部坡面工完成 
2013 2			
2013 3	完工　完工		護岸工完成 
2013 4			
2013 5			
2013 6			
2013 7			
2013 8			
2013 9		【2013 颱風 18 號】　護岸工受損	以大型沙包實施應急復建 
2013 10	【護岸復建】 臨時護岸 鋼板樁護岸 護床、護岸混凝土塊		
2013 11			設置鋼板樁與護床混凝土塊 
2013 12			

■宇井地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 11			
2012 12			
2013 1			
2013 2			
2013 3	【開挖工與護岸工】 ・為了讓河道部的洪水流安全往下流動並防止溪岸侵蝕而實施溪岸斜面整地，並開挖河道，整建護岸工。	護岸工 鋼製型框填石護岸工的實施。 護床工 設置 400 個 2t 型混凝土塊（消波塊）。	
2013 4			
2013 5			
2013 6			
2013 7			
2013 8			
2013 9			
2013 10	【緊急護岸復建】 護岸受災部以土砂設置兼具護岸功能的進入道路，實施大型沙包堆置之應急復建。其後，打設鋼板樁護岸。		・洪水時、土石或漂流木往下流動時，有時大型沙包無法充分發揮其機能。
2013 11			
2013 12			

■宇井地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2014 1			臨時護岸復建完成
2014 2			
2014 3			
	完工		
2014 4	最上部坡面對策 落石對策 湧水對策 鋼骨或加勁格網鋪面工		最上部坡面對策工的位置
2014 5			
2014 6			加勁格網鋪面工與落石對策工
2014 7			
2014 8		【2014 颱風 11 號】	最上部坡面對策完畢
2014 9			
2014 10	完工		最上部坡面對策工的位置
	上部坡面對策 鋼筋插入 高強度格網工		
2014 11			
2014 12			

■宇井地區

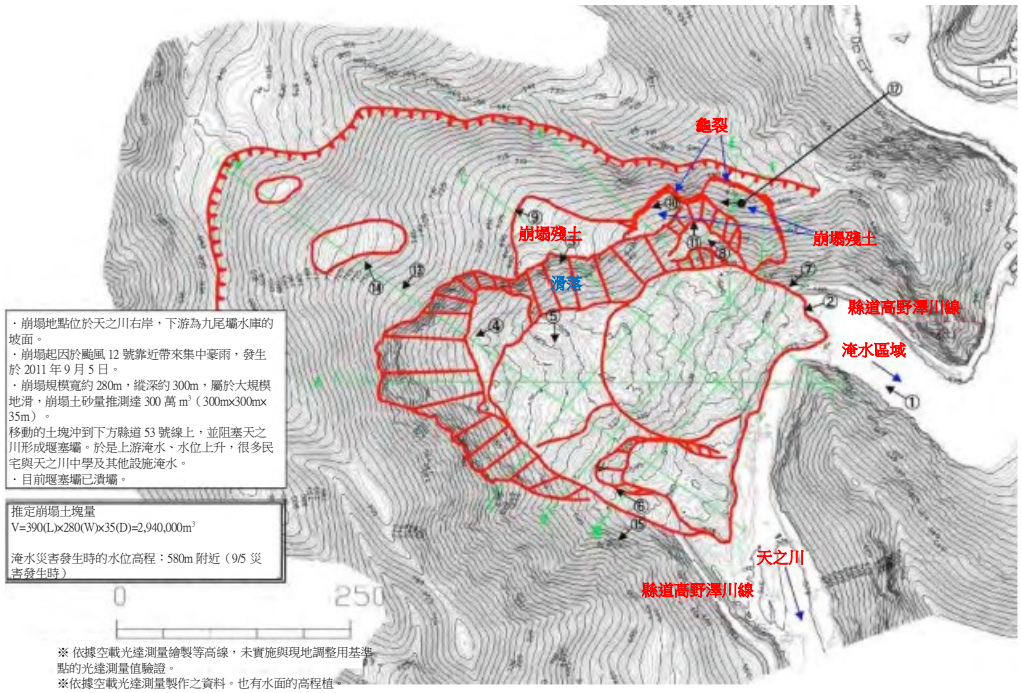
	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2014 1			
2014 2			
2014 3			
2014 4	【坡面上部對策工】 ・為了讓坡面上部穩定化，在完成坡面整地後，實施坡面抑止工（崩塌對策：鋼筋插入工＋坡面型框工等）的整建。		
2014 5			
2014 6			
2014 7			
2014 8			
2014 9			
2014 10			
2014 11			
2014 12			

3.7 坪內地區

■土砂移動實態

坪內地區 2011 年颱風 12 號伴隨豪雨，在熊野川本流右岸（流域面積約 120.4km^2）形成崩塌地。坪內地區崩塌土砂短暫阻塞河道，但很快潰決，目前河道並未阻塞。

崩塌土砂短暫形成的堰塞壩，導致上游坪內地區到南日裏地區淹水、聚落一帶被水淹沒。之後水位徐徐下降，河道不再阻塞。



坪內地區　土砂移動狀況（2011/9/12）



崩塌地的狀況（2011/11/1）





坪内地區　崩塌災害直後的狀況

■坪內地區堰塞壩對策概要

①護岸工

護岸工旨在讓河道部的洪水往下安全流動，防止溪岸侵蝕。

護岸工基礎部製作箱籠護墊，上部設置大型沙包。

整建完成後護岸工的箱籠護墊部基礎出現沉陷與變形，無法維持護岸高度。

此外，洪水時流水越過護岸工基礎部箱籠護墊部頂端，大型沙包因此流失。

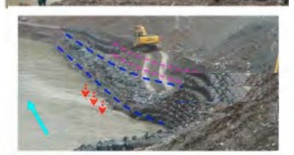
②對岸挖方工

護岸工實施旨在讓河道部的洪水往下安全流動，防止溪岸侵蝕。

計畫對象流量與河道線形決定之前，已先決定通過河道沿岸主要地方道路的道路線形，因此，把道路線形當作初期條件設定河道中心線與流動斷面，也因此必須在對岸疏浚。

坪內地區所實施堰塞壩對策的時間序列整理結果，如次頁所示。

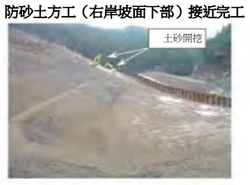
■坪内地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2011 9	實施河床部開挖以確保河流橫斷面積（國交省工程記錄無記載、詳細不明）	【2011 颱風 12 號】 ・形成堰塞壩	
2011 10	臨時表面排水路工　設置完成 （圖面與照片顯示，可確認是以推土機進行表面鋪設水路工。無工程記錄等、詳細不明）		
2011 11	【護岸工】 【臨時防護柵】		
2011 12			
2012 1			
2012 2	護岸工		
2012 3	臨時防護柵		
2012 4			臨時防護柵　完工
2012 5			
2012 6	完工	【2012 颱風 4、5 號】 護岸工受損	
2012 7	【護岸工】		
2012 8			土壩　完工
2012 9	完工	【2012 颱風 16、17 號】	
2012 10	【土壩】		

■坪内地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011 9			
2011 10			
2011 11	護岸工 ・為了讓河道部的洪水安全往下流動、防止溪岸侵蝕，除了開挖河道（開挖河床與左岸地表），並實施護岸工整建。	護岸工除了基礎部設置護墊之外，上部設置大型沙包。	
2011 12	臨時防護柵 為了維護道路通行安全，除了進行坡面整地之外，還設置防護柵。	臨時防護柵以 H 型鋼與板樁構成。	
2012 1			
2012 2			
2012 3			
2012 4			
2012 5			
2012 6		護岸工除了基礎部設置箱籠護墊之外，也設置鋼板樁。此外，上部設置大型沙包。	護岸工基礎部沉陷而在下方出現變形，無法維持護岸工高度。 流水越過基礎部箱籠護墊頂端，沖走大型沙包。 河道開挖與護岸工的實施可確保河流橫斷面積，並讓流水往下安全流動。 設置護岸工後防止崩塌地趾部侵蝕。
2012 7			
2012 8			
2012 9			
2012 10			

■坪內地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2012 11	土壩 對岸挖方工　完工			護岸工復建狀況 
2012 12				護岸工復建完工 
2013 1	對岸挖方工			
2013 2				
2013 3				對岸挖方工完工 
2013 4	完工 防砂土方工 開挖、殘土處理工 施工道路工			
2013 5				開挖工 
2013 6				
2013 7				防砂土方工完工（左岸彎曲部） 
2013 8				
2013 9		【2013 颱風 18 號】		防砂土方工（右岸坡面下部） 
2013 10				
2013 11	【防砂土方工】 開挖、殘土處理 土壩工 【施工道路工】			防砂土方工（右岸坡面下部）接近完工 
2013 12	完工			

■坪內地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 11			
2012 12			
2013 1			
2013 2			
2013 3	對岸挖方工 ・為了讓河道部洪水安全往下流動、防止溪岸侵蝕而進行河道開挖。		
2013 4			
2013 5	防砂土方工 將崩塌土砂（右岸坡面下部）整為穩定的形狀。		
2013 6			
2013 7			
2013 8			
2013 9			
2013 10			
2013 11			
2013 12			

■坪内地區

	工程	降雨事件	現場狀況	工程狀況
2014 1				防砂土工、施工道路
2014 2				
2014 3				土壩工
2014 4	完工 【防砂土方工】 開挖、殘土處理 土壩工 【施工道路工】			
2014 5				左岸開挖工完成
2014 6				
2014 7	【防砂土方工】 開挖、殘土處理 【坡面工】 型框、砂漿噴覆			
2014 8		【2014 颱風 11 號】		
2014 9				
2014 10	完工			
2014 11				
2014 12				

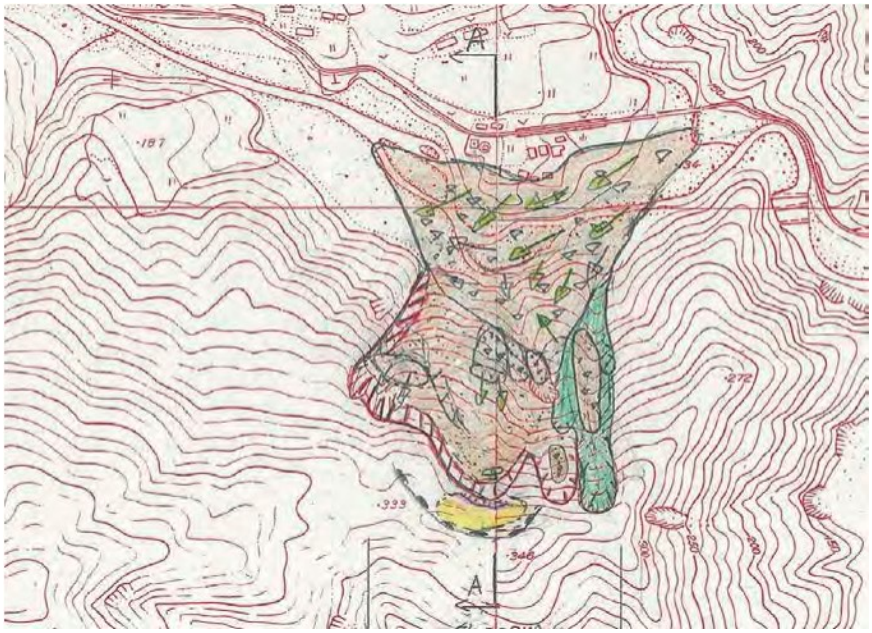
■坪内地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2014 1			
2014 2			
2014 3			
2014 4	對岸挖方工 ・為了讓河道部的洪水安全往下流動、防止溪岸侵蝕而進行河道開挖。		
2014 5			
2014 6			
2014 7			
2014 8	坡面上部的斜面 為了讓坡面最上部穩定，進行坡面整地後進一步實施坡面扣止工（表層崩塌對策：鋼筋插入工＋型框工等）整建。		
2014 9			
2014 10			
2014 11			
2014 12			

3.8 三越地區

■土砂移動實態

三越地區 2011 年颱風 12 號伴隨的豪雨，在熊野川右支流三越川右岸（流域面積約 23.6km^2）形成崩塌地。三越地區崩塌土砂形成堰塞壩。堰塞壩大約三小時後就潰決。潰決貫穿原先左岸側聚落，形成了目前河道的流路。



三越地區　土砂移動狀況



崩塌地的狀況（2011/11/1）





三越地區　災害直後的狀況

■三越地區堰塞壩對策概要

①臨時堤防工與臨時護岸工

為了讓河道部洪水安全往下流動，防止溪岸侵蝕而實施這兩項工程。

臨時堤防工初始以大型沙包做成，但 2012 年颱風 4、5 號時受損，之後基礎部設置固基護墊護岸。

②開挖工與護岸工

為了讓河道部洪水安全往下流動，防止溪岸侵蝕而實施這兩項工程。

三越地區所實施堰塞壩對策的時間序列整理結果，如次頁所示。

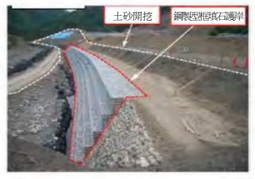
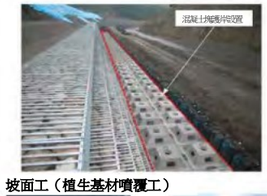
■三越地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2011 9		【2011 颱風 12 號】・形成堰塞壩	
2011 10			
2011 11			
2011 12			設置波紋管
2012 1			
2012 2	【施工道路修補】 【渡河部設置波紋管】 【大型擋土工設置】		大型沙包設置
2012 3			
2012 4			靜水池回填
2012 5			
2012 6	【臨時堤防工設置】 土方工（回填） 大型沙包護岸 固基護墊護岸	【2012 颱風 4、5 號】臨時堤防受損	颱風 4 號受損，須實施臨時堤防復建
2012 7	【挖方、填方工】 挖方工 填方工	 6/27 臨時堤防受損	
2012 8			
2012 9	臨時堤防工 挖方工、填方工	7/3 上部房屋崩落 【2012 颱風 16、17 號】臨時堤防受損	颱風 17 號受損，須實施臨時堤防復建
2012 10			

■三越地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2011 9			
2011 10			
2011 11			
2011 12			
2012 1			
2012 2			
2012 3			
2012 4			
2012 5			
2012 6	【護岸工的設置】 ・為了讓河道部洪水安全往下流動、防止溪岸侵蝕而實施溪岸河面整形，同時進行河道開挖、整建護岸工。	【臨時堤防】 利用大型沙包設置臨時堤防。 遭受災害而破損後，基礎部設置固基護墊（鐵絲網填石）護岸。	・洪水時土石與漂流木往下流動，有時大型沙包無法發揮充分的護岸機能。
2012 7			
2012 8	【挖方、填方工】 ・將崩塌土砂整為穩定的形狀，使其穩定化。		
2012 9			
2012 10			

■三越地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2012 11	臨時堤防工 完工 挖方工、填方工		復健後 
2012 12			護岸工完工 
2013 1			
2013 2			挖方、填方工完工 
2013 3	【開挖土工】 防砂土方工（開挖）		
2013 4	【流路護岸工】 鋼製型框填石護岸工 護床工		
2013 5			
2013 6			
2013 7			
2013 8			坡面工（植生基材噴覆工） 
2013 9			
2013 10	【坡面工】 鋪設金屬網 植生基材噴覆		
2013 11			
2013 12	完工		

■三越地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2012 11			
2012 12			
2013 1			
2013 2			
2013 3	【開挖工、護岸工】 ・為了讓河道部的洪水安全往下流動、防止溪岸侵蝕而實施溪岸坡面整地，同時進行河道開挖、整建護岸工。	護岸工 鋼製型框填石護岸工施工 護床工 設置 400 個 2t 型混凝土塊（消波塊）	
2013 4			
2013 5			
2013 6			
2013 7			
2013 8			
2013 9			
2013 10	【坡面工的設置】 除了將崩塌土砂整為穩定的形狀之外，也可讓坡面穩定化。		
2013 11			
2013 12			

■三越地區

	工程	降雨事件　現場狀況	工程狀況
2014 1			
2014 2			
2014 3	壩工 開挖工 混凝土壩工 截水牆 側壁、護坦工 護岸工		開挖工
2014 4			
2014 5	坡面工 開挖工 鋪設金屬網 鋼筋插入		
2014 6			
2014 7			壩工
2014 8		【2014 颱風 11 號】　臨時排水路受損	
2014 9		受損之後(8/8) 	
2014 10			坡面工
2014 11		受損之後(8/22) 	
2014 12			

■三越地區

	形成對策過程中的思維	工程特徵	教訓與課題等
2014 1			
2014 2			
2014 3	【壩工的設置】 防止河道堆積土砂之二次移動 ・為了抑制堆積在河道的不穩定土砂流出而實施壩工整建。		
2014 4			
2014 5	【坡面工的設置】 除了將崩塌土砂整為穩定的形狀之外，也可讓坡面穩定化。		
2014 6			
2014 7			
2014 8			
2014 9			
2014 10			
2014 11			
2014 12			

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2018

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。