



強化鐵公路 防災韌性之 野溪土砂災害 緊急調查與評估 —— 以北迴線大清水溪 0518 事件 為例

李國維*／國立陽明交通大學防災與水環境研究中心 助理研究員

廖仲達／國立陽明交通大學防災與水環境研究中心 助理研究員

林承翰／國立陽明交通大學防災與水環境研究中心 助理研究員

113 年 0403 花蓮地震後，大清水溪集水區多處崩塌，大量土砂與岩塊堆積於坡面、蝕溝與河道，成為後續強降雨之潛在致災料源。114 年 5 月 18 日午後短延時強降雨誘發土石流，溢淹臺鐵北迴線大清水溪橋（西正線）橋面、湧入隧道，造成軌道與電力設備嚴重損壞、和仁至崇德間列車停駛，並使臺 9 丁清水橋遭土石覆蓋。本研究整合多期航遙測影像與數值地表模型（DSM）、地形沖淤量化及 SRH-2D 二維水理模式，重建破壞機制並評估整治對策成效。分析顯示，強降雨挾帶堆積土砂下移，臺 9 丁清水橋上游右岸巨石阻塞約 30% 通洪斷面，致水位抬升、土砂溢淹橋面；水流過橋後因慣性衝向下游左岸，使臺鐵西正線左岸橋台前緣淤積墊高，終致溢淹軌道。模擬指出，復建工程之梳子壩、固床工與導流翼牆搭配河道清疏，可有效降低橋區水位、調整流心，避免再次溢淹，成果可作為跨機關整治分工與防減災策略之參考。

前言

大清水溪為發源於清水大山東稜之野溪，東流經臺 9 丁線清水橋與臺鐵北迴線大清水溪橋後注入太平洋，出海口即著名之清水斷崖。集水區位於花蓮縣秀林鄉立霧溪事業區第 8 林班地，屬花縣 DF024 土石流潛勢溪流（圖 1）。

113 年 0403 地震後集水區多處邊坡崩塌，土砂與岩塊堆積於坡面、蝕溝與河道，形成颱風事件之潛在料源。114 年 5 月 18 日強降雨引發土石流，淹沒臺鐵

西正線大清水溪橋（K51 + 245）、土石進入隧道，造成軌道及電力設備嚴重損壞、和仁至崇德間列車停駛。災後現勘發現臺 9 丁清水橋上游右岸巨石可能影響流路，且河床仍堆置大量土石，未來地震或降雨事件恐再次危及交通與用路人安全。

林業保育署花蓮分署委託陽明交大進行災後緊急調查^[1]，運用歷年航照判釋、UAV 攝影測量、二維水理分析，釐清致災歷程與破壞機制，並評估河道清疏、巨石移除及整治工程對下游沖淤之影響。本研究彙整前述調查成果、國科會調查成果^[2]、114 年 12 月復建工程資料，提出後續防減災策略建議。

* 通訊作者，KWLi@nycu.edu.tw



圖 1 大清水溪集水區地形全貌 (20250601) [1]

集水區環境與災害概況

地形與地質

集水區面積約 600 公頃，高程 0 至 2,300 公尺，整體坡向朝東南，最高點為西北方之無名山（2,299 公尺）。七級坡占 59%、六級坡占 35%、一至五級坡僅占 6%，地形極為陡峻，崩塌區集中於源頭與河道兩側陡坡。依五萬分之一新城地質圖幅（2009），本區主要岩性為九曲大理岩，岩體堅硬、常形成峽谷或陡崖，風化速度相對緩慢，惟 0403 地震後新生崩塌仍提供可觀之風化岩屑料源；通過本區之地質構造為清水複向斜。

雨量觀測與監測限制

鄰近雨量站為中央氣象署 C0Z310（清水斷崖），位於大清水溪出口臺 9 線大清水遊憩區下方，距集水區源頭約 3.6 公里、海拔落差逾 2.2 公里。本次災害當日（5 月 18 日）0 時至 16 時 10 分累積降雨量僅約 70 mm，遠低於土石流警戒值（300 mm）。研判該站因水平距離與高程差異，無法反映中上游實際降雨；本團隊於 5 月 20 日上游勘查時即見烏雲密布、溪水驟濁、水位上漲，而山下該站僅見細雨，足證其代表性不足。建議於鄰近增設雨量站，並輔以水位計與網路攝影機作為警戒參考。

近期災害事件

本次災害基本資料彙整如表 1。災害發生於臺鐵北迴線和仁隧道南口（花縣 DF024 土石流），除淹沒西正線橋面、湧入隧道，造成軌道與電車線設備嚴重損壞外，並溢覆臺 9 丁線路面，且其能量沖毀施工中之導流堤與上游梳子壩。臺鐵西正線於 113 年 6 月 21 日已曾於相同位置因強降雨發生土砂溢淹軌道事故（臺鐵第 229 次新自強號出軌事故），顯示本區災害重複發生潛勢甚高。

災害調查與破壞機制分析

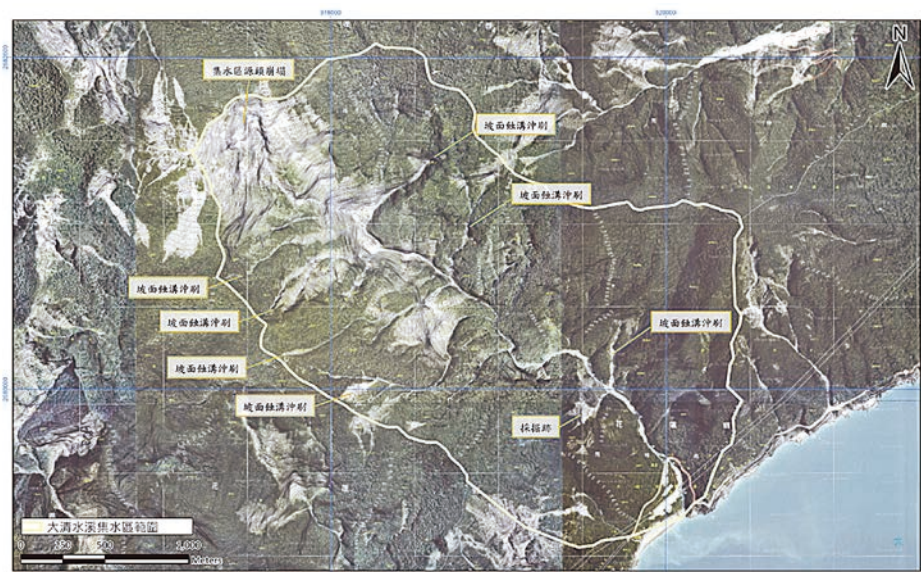
航遙測影像分析

本研究彙整集水區自民國 78 年迄今之航遙測影像，依時序分為災前早期（0403 地震前）、災前近期（地震後至災害前）及災後圖資，並由廣域坡面變化（600 公頃，圖 2）、中尺度河道變化（2 公里，圖 3）延伸至局部橋梁上下游變遷（350 公尺，圖 4），探討近 40 年之地貌演育與河道變遷。

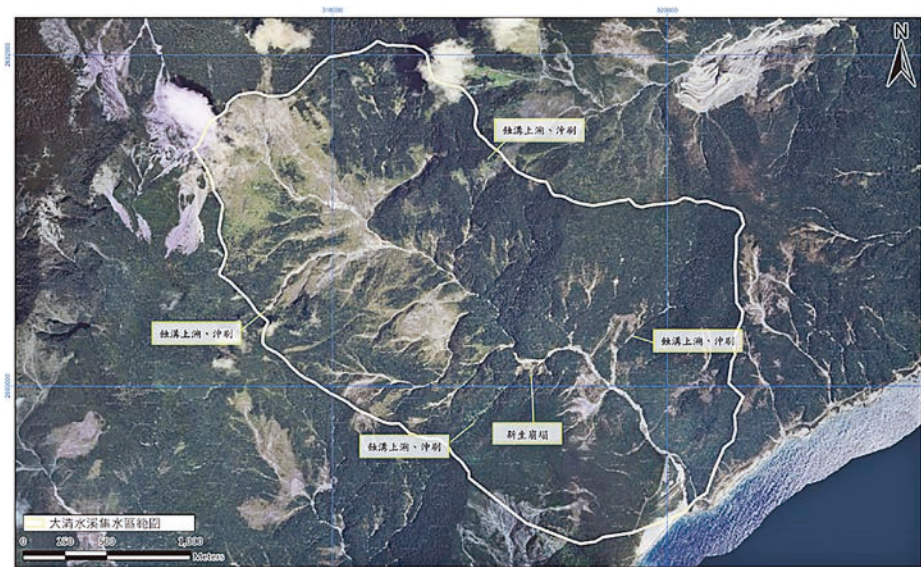
分析顯示，集水區上游西北側岩盤裸露已持續至少 40 年，河道沉積物主要源自源頭崩塌與坡面蝕溝沖刷；歷年蝕溝持續上溯、凹岸沖刷並引致坡面局部崩塌，104 至 111 年間部分蝕溝雖見植生復育，陡坡仍維持裸

表 1 114 年 5 月 18 日大清水溪土石流溢淹災害基本資料表

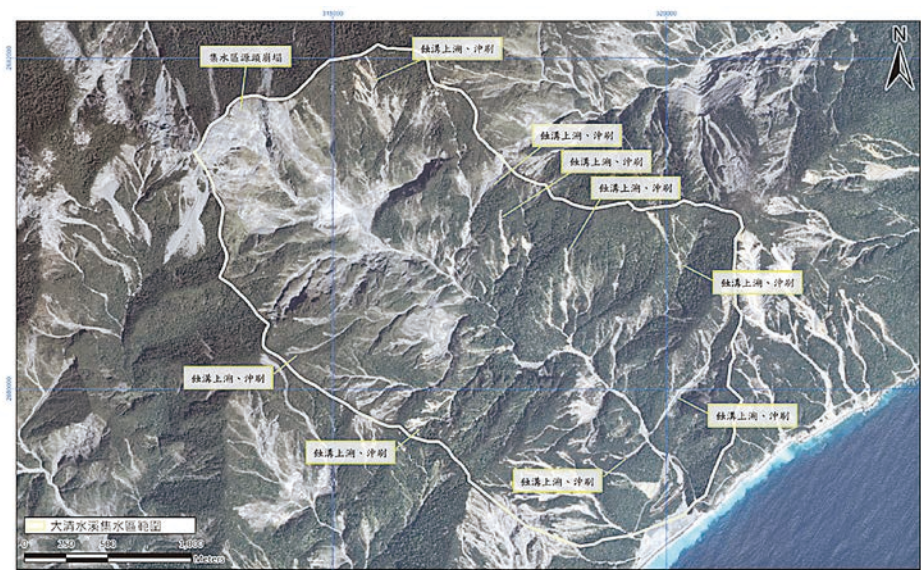
災害發生位置	臺鐵北迴線和仁隧道南口（花縣 DF024 土石流潛勢溪流）
災害發生坐標（TWD97）	X：320,087 Y：2,679,398
災害發生時間	民國 114 年 5 月 18 日 16 時 10 分
災害類型	土石流、土砂溢淹
災害發生累積雨量	約 70 mm（C0Z310 測站，遠低於警戒值 300 mm）



(a) 民國 94 年 1/5000 像片基本圖

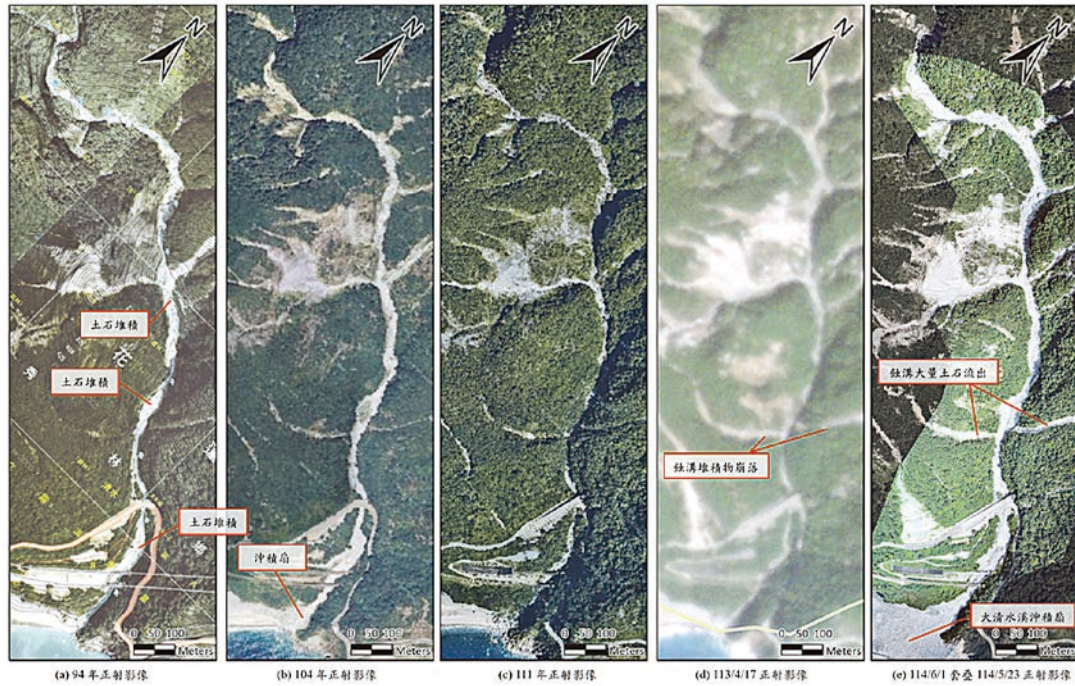
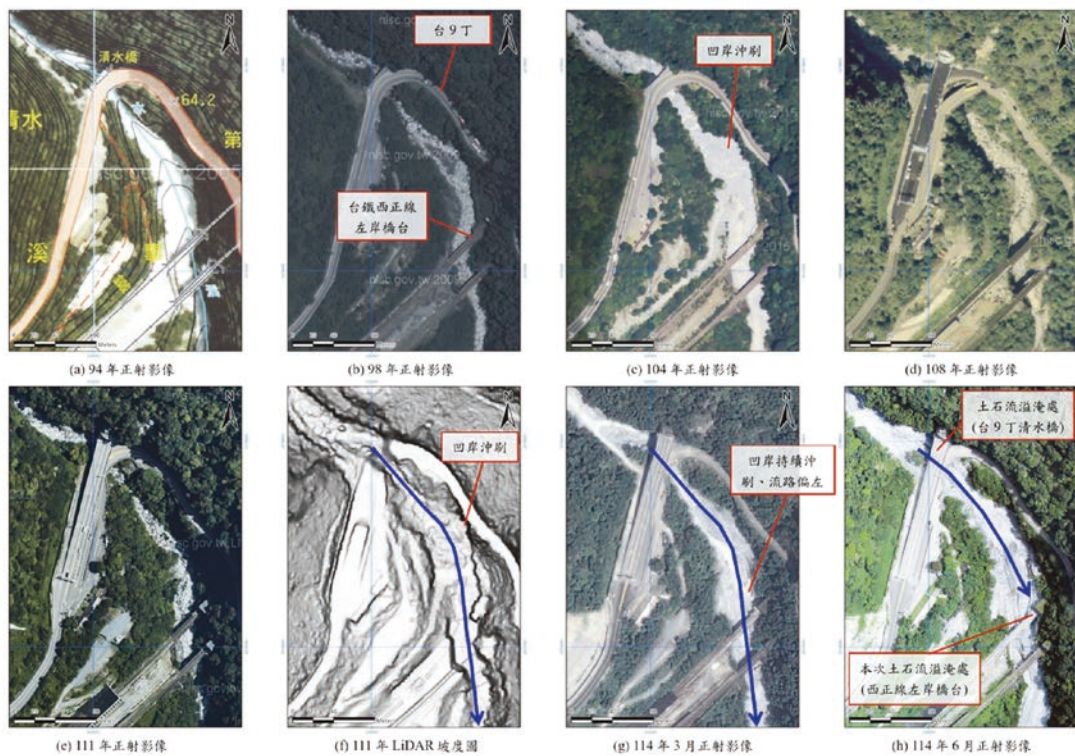


(b) 104 年航遙測分署正射影像圖



(c) 114 年 3 月 24 日 Pleiades 衛星正射影像

圖 2 廣域之集水區坡面變化^[1]

圖 3 中尺度之河道變化^[1]圖 4 橋梁上下游局部河道變化^[1]

露。113 年 0403 地震造成坡面大量新生崩塌，集中於蝕溝源頭與兩側，材料以大理岩風化岩屑為主；其後 113 年多場颱風持續沖刷殘積物，使大量土石堆積於河床，應為本次土石流之主要料源。土石並於出海口形成大型沖積扇，海岸線外延逾 100 公尺，亦使河床淤高、通洪斷面縮減。

現況調查

本研究於 114 年 5 月 20 日及 6 月 1 日現勘，主要受災位置及致災概況如圖 5。本次災害由短延時強降雨誘發，驅動大量土石下移；岩塊撞擊致梳子壩左側壩體破壞，其上游已淤滿、堆積土石約 7 公尺高，流路偏向左岸（圖 6）。



圖 5 本次土石流主要受災位置與致災概況正射影像（點 1 臺鐵、點 2 臺 9 丁清水橋、點 3 上游梳子壩）^[1]



圖 6 上游溪床與梳子壩受災情形（圖 5 點 1）（資料來源：GeoPORT）

土石通過梳子壩後續往下游運移，因臺 9 丁清水橋上游右岸一既有巨石阻擋而抬升水位、產生湧浪並挾土石溢淹橋面。該大理岩巨石體積約 265 m³、重約 700 公噸，占清水橋下方通洪面積約 30%（圖 7）。過橋後河道轉彎、左岸為凹岸，土石流因慣性朝臺鐵西正線左岸橋台及其下游施工中導流堤衝擊，致橋台前方河床墊高至接近橋面板高程；因導流堤尚未完工，土石順慣性與彎道超高流入堤後，終致溢淹隧道與軌道，造成防落石棚型鋼彎曲、鐵軌變形及橋台損毀（圖 8）。

破壞機制綜整

綜合上述，本次災害之破壞機制為一連鎖歷程：強降雨觸發坡面蝕溝與河道不穩定土砂下移，於臺 9 丁清水橋上游受巨石束縮通洪斷面而抬升水位、溢淹橋面；過橋後水流於凹岸因慣性直衝臺鐵西正線左岸橋台、淤積墊高，終由未完工之導流堤後方溢淹軌道。致災要因兼具「土砂淤積致通洪斷面不足」與「水流慣性直衝結構物基礎」雙重特性，並伴隨河床載之撞擊與磨蝕構造物風險。



圖 7 台 9 丁線 (清水橋) 受災情形 (圖 5 點 2)
(資料來源: GeoPORT)

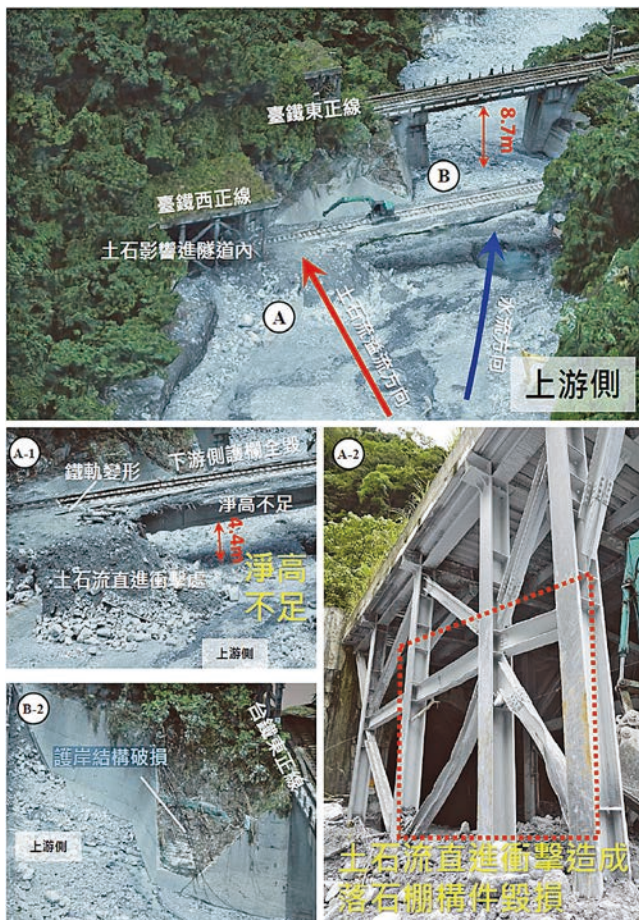


圖 8 臺鐵北迴線受災情形 (圖 5 點 3)
(資料來源: GeoPORT)

災況量化與水理分析

河道沖淤量化分析

本研究以多期地形資料量化河道沖淤，以 111 年為長期穩定地形 (內政部)、113 與 114 年為災前及災後地形 (陽明交大)，並以 114 年減 111 年地形、沿河道劃設 12 個橫斷面計算高程變化與堆積土方量，斷面位置與分段淤積量如圖 9。

量化結果顯示，臺鐵西正線下游堆積約 2 萬 m^3 、西正線上游至梳子壩下游約 3.5 萬 m^3 、梳子壩上游 400 公尺範圍約 5 萬 m^3 ，更上游大致沖淤互現。梳子壩上游 400 公尺主河道堆積約 5 萬 m^3 ，兩側裸露蝕溝潛在來源約 6 萬 m^3 ，合計約 11 萬 m^3 ；以 114 年減 113 年地形相減，梳子壩下游至出海口之單次事件淤積量約 3 萬 m^3 。據此初步推估，梳子壩上游堆積之土砂約需再經 4 場規模與 114 年 5 月 18 日事件相當 (洪峰流量約 600 cms) 的洪水方能逐步排除；惟此試算未計入集水區源頭之潛在料源與後續坡面風化之新增量，仍須配合地形更新滾動修正。

SRH-2D 二維水理分析

本研究採用美國墾務局與經濟部水利署水利規劃分署合作研發之 SRH-2D 二維水理模式進行分析。該模式採非結構性格網，可貼合不規則河岸並納入堰、壩、護岸等構造物，便於聚焦關注區 (構造物周邊格網解析度可小於 1 公尺)。模擬範圍自梳子壩上游 400 公尺至出海口，河床採「不刷可淤」之定床設定，上游邊界以夾帶高含砂土石之入流條件給定，使河床淤積抬高以反映災後土砂淤積之水位狀態；模擬水文事件之洪峰流量設定 600 cms ，約相當於 114 年 5 月 18 日事件之規模。於該情境下，臺 9 丁清水橋之模擬漫淹高度與範圍與現勘結果相符，顯示模式可合理重現本災害之漫淹行為。

模擬以災後地形 (114 年 6 月 1 日 UAV DEM) 為基礎，於復建工程之上分別疊加移除巨石、河道清疏 (整體河道降挖 3 公尺) 等對策。結果顯示：(1) 復建工程併同移除巨石，臺 9 丁清水橋水位較僅施作復建工程可再降約 2.5 公尺，略低於橋底高程 (EL. 63.5 公尺)，有助降低再次漫淹之機率 (圖 10、圖 11)；搭配河道清疏亦可達相近效果。(2) 臺鐵西正線大清水溪



圖 9 斷面位置及河道分段淤積量^[1]

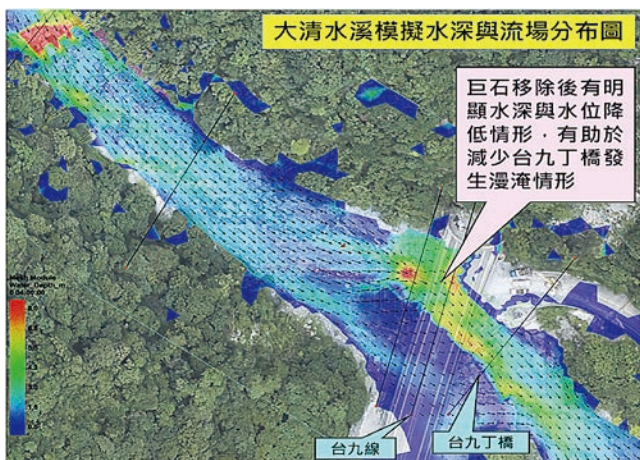


圖 10 水理分析－災後地形＋災害復建工程＋巨石移除（梳子壩至台 9 丁橋）^[1]

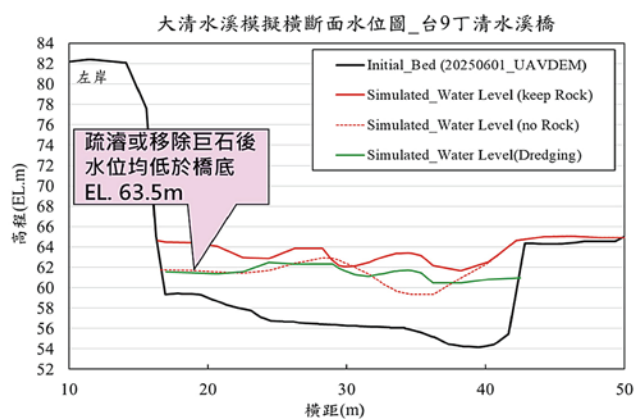


圖 11 台 9 丁清水溪橋斷面水理分析結果^[1]

橋於復建工程後即不致漫淹：受上游左岸護岸挑流影響，流心導離左岸，左側水位降低、右側略升，可降低水流直衝左岸橋台之風險，搭配河道疏濬可再降約 1.5 公尺（圖 12、圖 13）；移除巨石對本區無明顯影響。(3) 臺鐵東正線大清水溪橋於復建工程後水深分布穩定、不致漫淹（圖 14）。

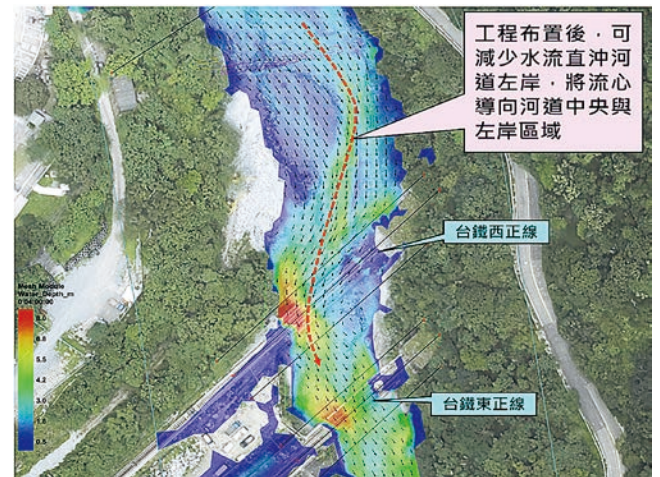


圖 12 水理分析－災後地形＋災害復建工程布置（台鐵西正線上下游）^[1]

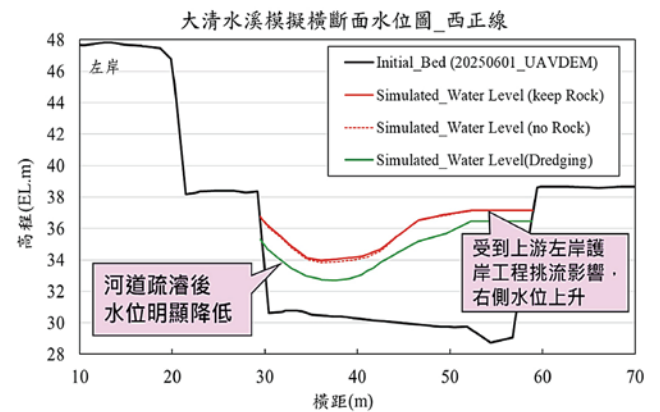


圖 13 台鐵西正線斷面水理分析結果^[1]

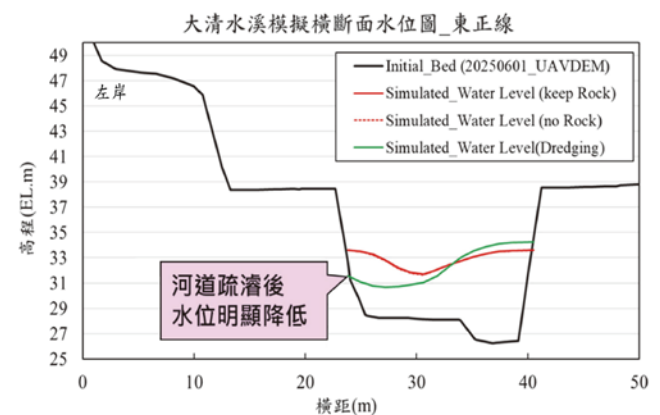


圖 14 台鐵東正線斷面水理分析結果^[1]



圖 15 新設導流翼牆與混凝土護岸 (20251211) [1]



圖 16 梳子壩、副壩、固床工 (20251211) [1]

整治對策與後續處理建議

緊急處理對策

林保署花蓮分署「大清水溪災害復建工程」已於 114 年 12 月完工 (圖 15、圖 16)。臺鐵西正線大清水溪橋上游新設之導流翼牆可於洪水時將水流挑向右岸、避免直衝左岸橋台，混凝土護岸則降低土石沿慣性溢淹軌道之風險；上游工程可將大岩塊攔蓄於梳子壩、副壩上游，並以河道疏通增加通洪斷面、預留儲砂空間。臺鐵西正線至出海口河段災前穩定縱坡約 14%、災後僅約 9%，坡度過緩易致下游回淤、流速減緩與水位壅高，建議定期疏通以維持儲砂空間。

防減災策略

建議現階段先以水位計與網路攝影機監測水位變化，於水位上升並接近橋台時即啟動應變。災後中央氣象署已增設立霧山雨量站；相較於既有之清水斷崖站，立霧山站與大清水溪流域之水平距離雖較遠，惟其設站高程與集水區中上游相近。鑑於前述清水斷崖站受海拔落差過大、難以反映中上游實際降雨之限制，立霧山站在高程上之相似性，對掌握集水區降雨逕流行為具有參考價值。建議後續持續蒐集兩站的累積降雨量與土砂災害之對應關係，據以訂定兼具空間與高程代表性之雨量警戒值。此外，本河段致災風險兼具土砂淤積溢淹與基礎冲刷、結構物磨蝕等特性，相關構造物宜納入土石撞擊強度檢核，並可採鋼板等措施加強保護。

結語

本研究整合多期影像、河道沖淤分析與 SRH-2D 二維水理模擬，重建大清水溪土石流溢淹鐵路之破壞機制，並量化評估整治成效。研究指出，臺 9 丁清水橋上游巨石束縮通洪斷面、凹岸慣性直衝臺鐵西正線左岸橋台，為兩大致災關鍵因子；復建工程之防砂壩、固床工與導流翼牆搭配河道疏通，可有效降低橋區水位、調整流心，避免再次溢淹。

大清水溪上游土石豐沛、河床載粒徑大且地形陡峻，單一工程難以一勞永逸，後續治理宜回歸跨機關（臺鐵、公路局、林保署）權責分工，並以「監測－預警－疏通－結構保護」系統化思維滾動檢討。本研究建立之分析流程與量化基準，可供類似野溪土砂災害緊急評估與防減災規劃參考。

參考文獻

1. 農業部林業及自然保育署花蓮分署 (2025)，大清水溪河道沖淤緊急調查評估工作修正後成果報告書。
2. 國科會 (2025)，「數位科技整合技術應用於山區公路防災預警系統」，<https://www.facebook.com/share/p/1KrZiDEUyc/> 

歡迎加入學會



下載入會申請書

網址：<http://www.ciche.org.tw>

e-mail: service@ciche.org.tw

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260