中華民國一一五年六月・第五十三卷第三期

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

June
2026



ISSN 0253- 3804

9 770253 380006

NT$350

Volume 53, No. 3

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

學會資訊看板

MACE 30周年
交流報告

重現中山舊橋
的夢想

土木與歷史

專　　輯

因應極端氣候與
天然災害之鐵道永續
及韌性強化作為

2026 4th CICHE

English Presentation Competition

土木水利盃

英語簡報競賽



組別與資格

- 學生組：土木、水利、營建、環境工程、交通等相關科系在學學生
- 青年工程師組：40 歲以下現正從事土木、水利、營建、環境工程、交通等相關工程領域之工作者

賽制

- 初賽：線上繳交三分鐘全英語預錄影片
- 決賽：十分鐘現場英語簡報 、五分鐘英語問答

時程

- 09/15｜線上報名與初賽資料繳交截止
- 08/22｜賽前培訓講堂 @ 國家地震工程研究中心
- 10/01｜初賽結果及決賽名單公告
- 10/16｜現場決賽 @ 國家地震工程研究中心
- 10/30｜優勝發表及頒獎 @ 大台南會展中心

獎勵

- 金牌獎金 NTD 30,000
- 銀牌獎金 NTD 20,000
- 銅牌獎金 NTD 10,000
- 優等獎獎狀

培力資源

- 初賽培訓講堂
- 決賽個別指導

立即報名

tinyurl.com/ciche2026

中國土木水利工程學會
Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

主辦單位：學生活動委員會
協辦單位：青年工程師委員會
學術與教育委員會
工程永續與環境美學委員會



小清水溪橋工程雙線通車空拍照片

土木水利

社團法人中國土木水利工程學會會刊

發 行 人：謝尚賢

出 版 人：社團法人中國土木水利工程學會

主任委員：黃炳勳（台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理、編輯出版委員會主任委員兼總編輯）

定　　價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元（航郵另計）

繳　　費：郵政劃撥 00030678號　社團法人中國土木水利工程學會

會　　址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電　　話：(02) 2392-6325　　傳　　真：(02) 2396-4260

網　　址：http://www.ciche.org.tw

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地　　址：363001苗栗縣公館鄉石墻村石墻 305-1號

電　　話：(037) 230469

社團法人中國土木水利工程學會第二十七屆理監事（依姓氏筆劃排序）

理 事 長：謝尚賢

常務理事：朱惕之　林子剛　莫仁維　黃炳勳

理　　事：王宇睿　李政安　林其璋　林祐正　林聰利　邱建國　胡宣德　莊均緯　許泰文　陳伸賢　黃一平　楊正君　楊亦東　歐善惠　蔣啟恆　賴建信　謝震輝　嚴世傑

常務監事：高宗正

監　　事：呂良正　吳瑞賢　宋裕祺　沈景鵬　邱琳濱　楊偉甫

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係［工程倫理］

出版活動

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利雙月刊

分　　會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

中國土木水利工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木水利工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號　執照登記為雜誌　行政院新聞局出版事業登記証　局版臺誌字第0248號

土木水利 雙月刊 第五十三卷 第三期

目錄

「因應極端氣候與天然災害之鐵道永續及韌性強化作為」專輯

專輯序言：因應極端氣候與天然災害之鐵道永續及韌性強化作為 陳宗宏 3

地表地形監測與科技巡檢技術

鐵路運輸之劇烈天氣監測服務 梁信廣 5

台灣鐵路大範圍邊坡巡檢運用新科技與新技術之作法與成效 張凱硯／黃子珉／李魁士／陳宗宏 11

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／廖仲達／林承翰 20

災害模擬與防護對策

臺鐵北迴線K48路段土石流風險模擬及因應對策與設計 林承翰／郭觀豪／林于超／翁孟嘉／邱家吉／林銘郎 28

從應急搶修到主動預防：臺鐵北迴線小清水溪橋搶修改建工程之韌性策略與整合實務 陳浩秋／熊德育／許文杰／周行健／林舜元／呂斌豪／林政宇 36

預警及聯防機制

鐵路營運與邊坡防汛土石流聯防機制之建立—以臺鐵公司北迴線在0403花蓮地震後作為為例 謝曜宇／李建勳 46

鐵路邊坡土石流監測與災害預警告警系統建置及成效 李冠宏／張旭廷／張簡嘉壬 55

防災體系之實務成果

臺鐵集集線地質複雜邊坡坍滑整治及老舊隧道損壞重建 古正育／賴杏福／邵文郁／周永川／陳正勳／楊智堯／林俊良／陳楚禮 62

平溪線鐵路邊坡崩坍預警與復舊及全線災害熱區巡檢 連建智／賴泓羽／林于超／郭觀豪／邱文峰／陳俊樺／歐文爵／李魁士 72

土木與歷史

重現中山舊橋的夢想 李文彬 80

學會資訊看板

參加MACE Annual Meeting暨MACE成立30周年國際交流出國報告 莫仁維／林冠中 85

廣告特搜

台灣世曦工程顧問股份有限公司 89
志成橡膠廠股份有限公司 90
亞新工程顧問股份有限公司 91
中興工程顧問股份有限公司 92
安倉營造股份有限公司 93
義力營造股份有限公司 19
利德工程股份有限公司 61
臺北市政府捷運工程局 71
黎明工程顧問股份有限公司 94
新亞建設開發股份有限公司 94
安固工程股份有限公司 95
中華工程股份有限公司 95
財團法人中興工程科技研究發展基金會 96



專輯客座主編 陳宗宏*／國營臺灣鐵路股份有限公司 副總經理

鐵路運輸在台灣交通體系中扮演關鍵角色，不僅串聯西部與東部主要城鎮，形成環島運輸的骨幹，也兼具運量大與穩定性高等優勢，有助於提升整體運輸效率。同時，鐵路亦帶動沿線地區發展，促進觀光、產業與城鄉連結，使交通可及性提升，進一步強化區域均衡與社會連結。鐵路不僅提供民眾日常通勤與長途移動的重要選擇，也在災害應變與國土韌性中扮演不可或缺的基礎設施角色。

本期以鐵道永續韌性強化為主軸，探討鐵道在持續營運前提下，如何透過跨單位合作提升對災害之韌性，以因應日益頻繁的極端氣候挑戰。本期共收錄九篇專文，以上游氣象預警作為開端，結合地表地形監測與科技巡檢技術，延伸至跨單位的協調合作與工程實務改善，建立完整的韌性體系。

在氣象預警層面，透過氣象署提供的精細化降雨預報與相關觀測資料，補足偏遠山區及不易設置雨量站區域之監測限制，提升上游降雨預測能力，使鐵道營運單位得以及早掌握降雨變化情形，爭取下游區域的預警與應變時間，作為行車警示與防災決策的重要依據。進一步結合科技巡檢技術，大範圍地形地貌監測、災害後地貌變化分析並辨識潛在災害熱區，作為後續風險評估與工程改善之依據，以強化防災管理能力並建立更完善之災害預防機制。

* 通訊作者，0403454@railway.gov.tw



集集線案例成功應用現代科技之技術，透過高精度光達調查、地質鑽探、地球物理探測與水文分析，掌握崩積地層之複合式破壞機制，於「穩固崩塌源頭、排除地表與地下水、分階修坡加固及明挖隧道復建」之防護策略下，成功克服了斷層剪裂帶等破碎地質挑戰，並達成「零工安意外」目標並提早交付工作界面，除全面提升鐵路支線之基礎設施韌性與營運安全外，更將為南投地區之觀光產業與交通活化帶來顯著效益。

災害防治並非單一單位即可獨立完成，鐵道沿線災害往往涉及上游集水區、山坡地及周邊環境等多重因素，因此本專輯以北迴線大清水溪橋河道沖淤為例，說明透過工程會協調建立跨機關合作機制，結合公路、農業、水土保持及地方政府等相關單位共同投入改善工作，並依區域特性辦理邊坡整治、野溪治理及上游集水區改善等措施，以形成由上而下的整體防災治理模式。

2024 年臺灣東部先後遭受 0403 花蓮強震與凱米颱風之複合型災害，臺鐵北迴線 K48 路段發生多次落石與土石流等重大災害，本專輯除說明災害調查與復舊工程外，亦透過數值模擬、工程設計及現地分析等方法，研擬相對應的減災與避災策略，以降低極端降雨及土石流對鐵道系統之衝擊。由於鐵道路線受地形條件限制，難以完全阻擋土石流衝擊，因此現行改善方向著重於降低災害對行車安全之影響，例如採取導流、緩衝等工程手法，使土石流得以宣洩通過，並爭取應變與清理時間，以維持鐵道營運安全。本專輯亦收錄臺鐵北迴線小清水溪橋改建工程由西正線應急搶修，到東正線預防性改建之完整歷程，說明如何在不中斷營運的情況下修復橋梁，同時以韌性導向取代原型復舊。

此外，聯防機制與 DWS 預警告警系統亦為本專輯重要論述之一。即使已經做了工程改善、預警與防災設施，仍可能面對不可抗力的極端氣候，因此必須建立跨單位聯防與即時通報機制，透過跨單位即時資訊共享與風險通報，使鐵道營運單位得以提前採取減速或停駛等預防性措施；另亦需建立多層次告警與停車機制，包括風險警示、異常監控、告警停車與行車管制等形成完整防護架構，此一機制不僅強化災前預警能力，亦提升整體營運安全之決策即時性。

平溪線案例則具體展現此一防災體系之實務成果。當降雨達到行動值門檻時，系統依預警機制執行列車停駛，成功避免進入災害風險區域，並於災後迅速啟動搶修作業。平溪線雖屬營運規模與收益較低之支線鐵路，但政府仍投入資源迅速完成修復，並結合科技巡檢、邊坡監測與防災分析等進行改善。透過本案例，可呈現政府對地方交通與觀光路線之支持，同時展現臺鐵在極端氣候條件下的應變能力與營運韌性。

整體而言，本專輯呈現臺鐵如何因應極端氣候，建立從氣象預測、地貌監測、上游治理、工程改善、預警告警、聯防機制到災後復原的完整韌性系統。這不是單一工程成果，而是一套由上而下、跨域整合之鐵道防災韌性系統。臺鐵公司未來發展方向，亦將持續朝向智慧化監測與自動化預警之目標邁進，以全面提升鐵道系統面對極端氣候之適應能力與營運韌性。

地表地形監測與科技巡檢技術

鐵路運輸之劇烈天氣監測服務

梁信廣*／交通部中央氣象署 科長

臺灣鐵路運輸系統長期受颱風、豪雨、強風及地震等天然災害影響，近年受極端氣候事件頻率增加之衝擊，鐵道防災與營運韌性面臨更高挑戰。為強化鐵路防災監測與應變能力，交通部中央氣象署與國營臺灣鐵路股份有限公司（下稱臺鐵公司）共同建置「QPEPlus 臺鐵客製化系統」，整合即時氣象監測、降雨警示及防災資訊服務，以支援鐵道營運決策。

系統針對全臺重點監控路段與橋梁建立分級降雨門檻機制，依風險程度發布黃、橙、紅三級警示燈號，協助防災人員即時研判與應變處置。同時，系統亦整合農業部農村發展及水土保持署之土石流與大規模崩塌警戒資訊，以及閃電、強降雨與對流胞等劇烈天氣警示，以提升鐵道沿線災害監測能力。

此外，針對地形陡峭且地面觀測相對不足之蘇花路廊，首次試辦雷達回波門檻監測機制，以補強高風險區域之即時監測能力。未來將持續朝向高解析度監測、即時化預警與 AI 輔助分析技術發展，逐步建構智慧化鐵道氣象防災服務體系，提升鐵路營運安全與災害應變效率。

前言

臺灣鐵路環繞全島，串聯北迴線、縱貫線、南迴線及臺東線，不僅肩負旅客與貨物運輸功能，亦為維持區域發展與民生運輸的重要交通命脈。然而，臺灣地形陡峭、河川短促，加上位處颱風與地震頻繁區域，鐵路運輸長期面臨多種天然災害威脅。

近年全球氣候變遷加劇，極端降雨、強風、高溫及海平面上升等現象日益顯著，使鐵道設施與營運安全面臨更高風險。因此，如何運用高解析度且即時化之氣象監測資訊，提升鐵道防災能力與運輸韌性，已成為重要課題。

颱風與豪雨為影響臺灣鐵路最主要之天然災害。每年夏秋季節，颱風挾帶強風與豪雨侵襲臺灣，常造成電車線受損、路樹傾倒及供電異常；短延時強降雨則可能引發軌道積淹水、道碴流失、路基掏空及號誌設備失效，嚴重時甚至導致鐵路中斷。

* 通訊作者，hsin-kuang.liang@cwa.gov.tw

此外，土石流與邊坡崩塌亦為山區鐵道路段之重要威脅。鐵路沿線若受連續降雨影響，土壤含水量升高，容易發生邊坡滑動與坍方災害，造成軌道掩埋、橋梁受損或隧道出入口阻塞。北迴線蘇花地區及南迴線部分山區，均曾因豪雨引發土石災害而造成交通中斷。

因此，鐵路運輸對於短延時強降雨監測、劇烈天氣預警及高風險區域即時監控之需求日益提高。透過即時掌握累積雨量與降雨發展趨勢，可協助臺鐵公司提前執行慢行、停駛或封閉高風險路段等應變措施，以降低災害衝擊。

劇烈天氣監測系統

中央氣象署（前中央氣象局）自 2000 年代初期開始推動「QPESUMS（Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors）」系統（如圖 1 上），作為臺灣現代化降雨監測與防災資訊服務的重要基礎。該系統約於 2001 年開始規劃建置，並與美國國家劇烈風暴實驗室（NSSL）合作開發，屬於「劇烈天氣監測與預報系統發展計畫」之重要成果。

QPESUMS 主要目標在於整合多元氣象觀測資料，即時掌握臺灣地區強降雨分布與變化，並提供短延時降雨預報，以支援防洪與防災應用。

系統早期主要整合氣象雷達、地面雨量站、衛星雲圖與地面觀測資料，建立多感測器融合架構。透過雷達回波分析與雨量校正技術，可提升降雨估計精度，特別是在臺灣複雜地形及局部強對流環境下具有重要應用價值。其核心技術之一為動態調整之 Z-R Relationship（雷達反射率與降雨率關係式），以改善傳統雷達降雨估計於山區與強對流環境下之誤差問題。

隨著系統逐步成熟，QPESUMS 功能亦由單純氣象監測擴展至防災應用。2011 年前後，中央氣象署開始將 QPESUMS 發展為跨機關防災決策支援平台（如圖 1 下），除即時降雨監測外，亦整合河川水位、土石流警戒區、道路資訊及流域資料，供水利、交通、公路、水保及地方政府等單位使用。

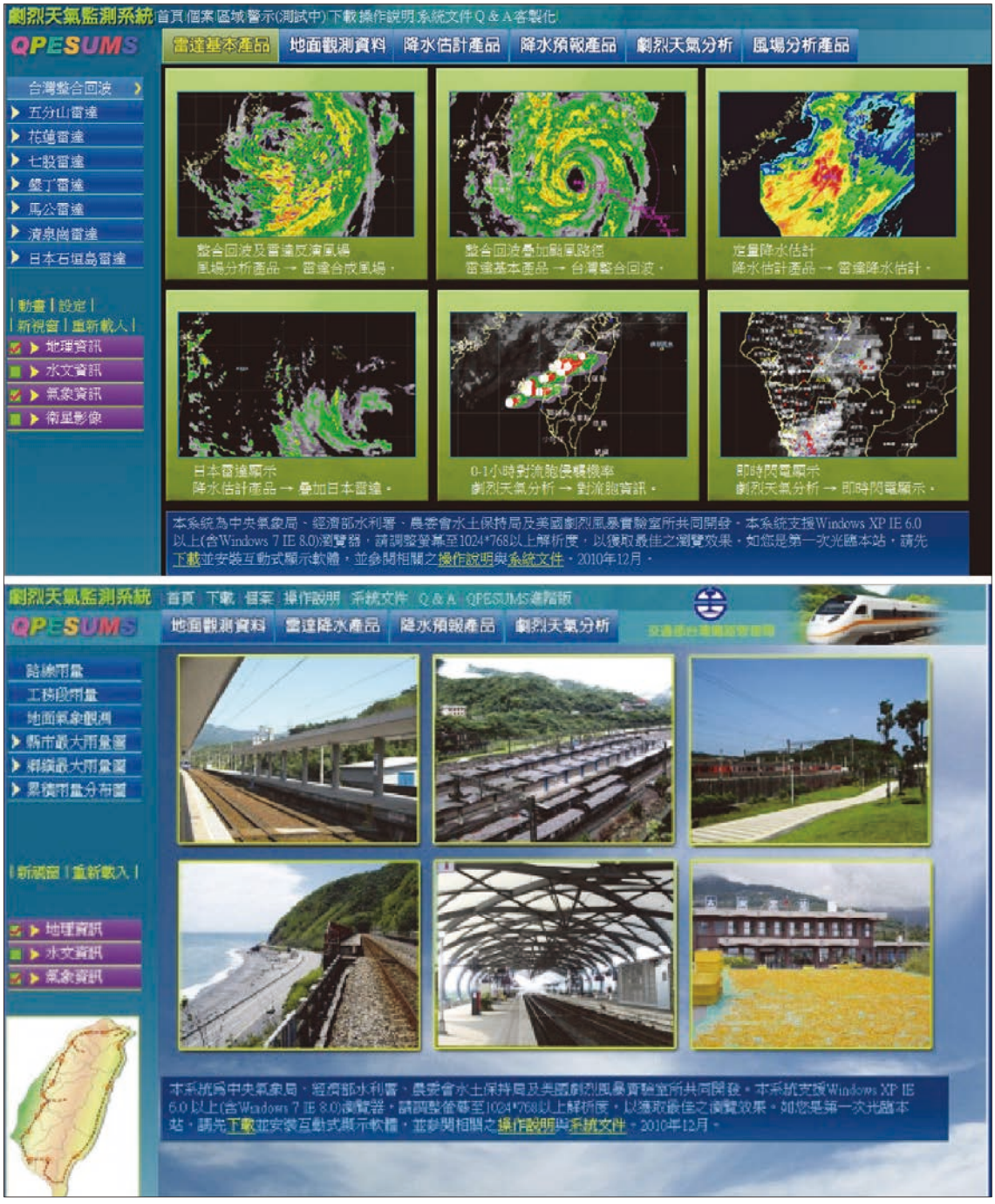


圖 1　上為 QPESUMS 網站，下為臺灣鐵路管理局客製化網頁（2011 年版）。

然而，隨著網頁技術與行動裝置快速演進，原有 QPESUMS 系統架構逐漸面臨瀏覽器相容性、圖台操作性及資料整合能力等限制。因此，中央氣象署於 2017 年後開始規劃新一代顯示服務平台「QPEPlus」。

QPEPlus 可視為 QPESUMS 之延伸與升級版本，並於 2019 年正式上線。系統採用 GIS 地理資訊系統架構，整合雷達回波、降雨觀測、河川水位、土石流潛勢區及交通設施等多元圖資，透過圖層化方式進行空間展示與分析，提升防災資訊判釋效率與決策支援能力。

此外，系統亦提供監控列表功能，結合各防災單位自訂之警戒閾值，將複雜氣象資訊轉譯為黃、橙、紅三級警示燈號與行動值指引（如圖 2）。當監控點達警戒條件時，可即時通知防災與行車人員進行監看、慢行或停駛等應變措施，以確保行車安全。



圖 2　運用防災三燈號提供防災單位進行決策概念模式

鐵道劇烈天氣監測預警服務

中央氣象署與臺鐵公司合作建置 QPEPlus 臺鐵客製化系統，系統主要包含電子地圖與監控服務兩大功能。

電子地圖提供多元氣象資料與警示資訊之圖層化展示，可即時分析劇烈天氣發展與影響範圍；監控服務則以表列方式整合重點監控路段、橋梁、土石流潛勢溪流、劇烈天氣警示及蘇花路廊雷達回波警示等資訊，提供防災應變人員即時監控使用。

此外，於颱風警報期間，系統也提供鐵路沿線 24 小時累積雨量圖及數值模式 1 至 3 日累積雨量預報，計算路線上可能的最大降雨量，供防災人員進行應變，並用以支援行控決策參考。

電子地圖

電子地圖功能可同時顯示整合雷達回波、降雨觀測、閃電等即時氣象資訊，並可疊加鐵道路線、車站或地形等地理資訊，同時也可以疊加客製化警示圖資，快速掌握鐵道沿線或車站之劇烈天氣發展情形，為情資研判與防災決策之圖形化應用平台（如圖 3）。

重點監控路段與橋梁

鐵路容易因颱風、豪雨，受到邊坡崩塌、土石流、落石及洪水沖刷影響。為確保行車安全，臺鐵需將災害風險較高區域列為重點監控路段，並加強雨量、邊坡及路基監測；同時對易受洪水沖刷或結構受損

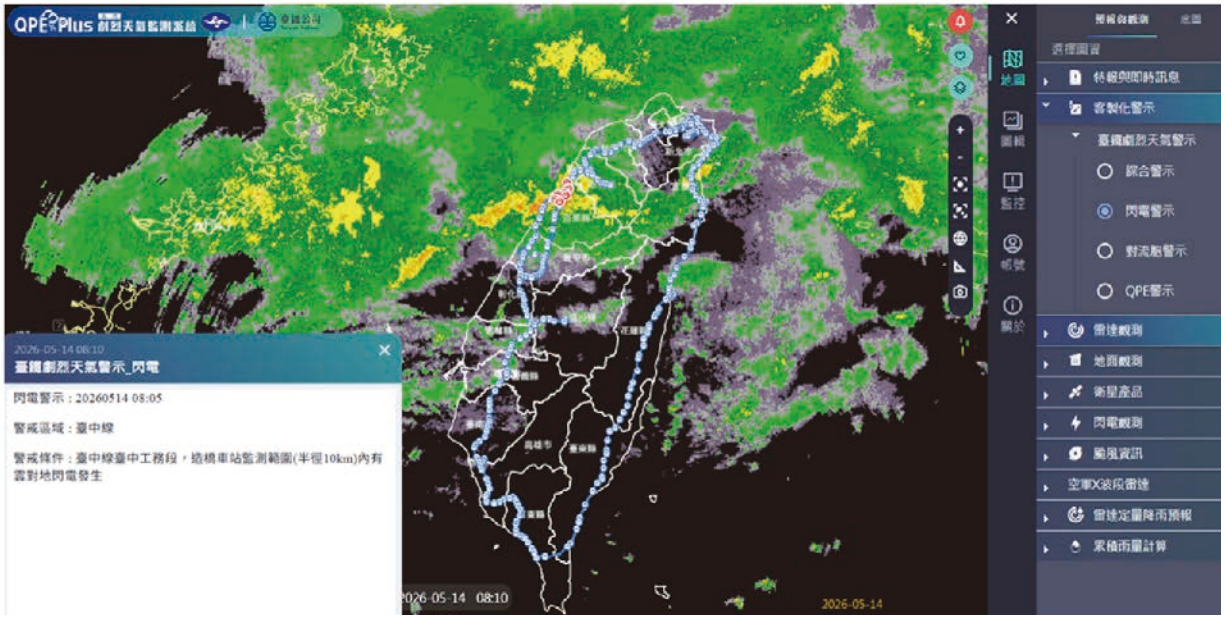


圖 3　QPEPlus 客製化網站電子地圖提供各類氣象圖資疊加、專屬地理資訊圖資及客製化警示資訊。圖中紅色圈顯示臺鐵車站周圍 10 公里內有閃電發生。

的橋梁進行重點監控，掌握水位與橋墩安全狀況。由於列車速度快、煞車距離長，無法即時閃避障礙，因此必須透過監測與預警機制，及早採取慢行或停駛措施，以降低事故風險並保障旅客安全。臺鐵盤點了全臺 99 處重點監控路段及 34 處重點監控橋梁，並依歷史災害經驗、地形特性及設施韌性建立多重降雨門檻值，並定期檢討修正（114 ~ 115 年共修正 7 次）（如圖 4）。

QPEPlus 每 10 分鐘接收最新雨量觀測資料後，自動檢視監控點附近參考雨量站雨量值，當累積降雨量達不同警戒門檻時，分別以黃、橙、紅三級燈號顯示風險程度，應用警戒燈號，建立明確的依循準則，提醒防災人員應處。

此外，系統亦建置歷史燈號查詢功能（如圖 5），目的在於記錄過去各時段發布的警戒燈號狀態，作為防災管理與行車安全的重要依據。透過歷史燈號資料，可分析降雨、水位等環境變化與行車管制之關聯，協助檢討警戒標準是否適當。此外，也能作為災害事件追蹤、事故調查、設備維護及未來防災決策的重要參考。藉由累積歷史資料，可提升預警判斷能力，降低行車風險，並強化鐵路營運安全與應變效率。

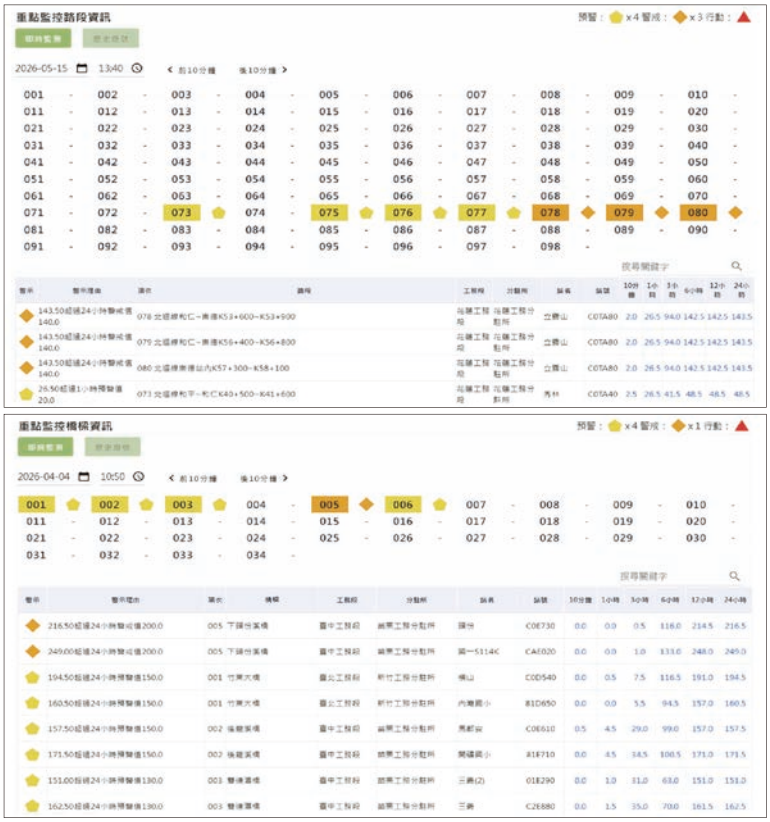


圖 4　QPEPlus 客製化之重點監控路段、橋梁降雨警示。

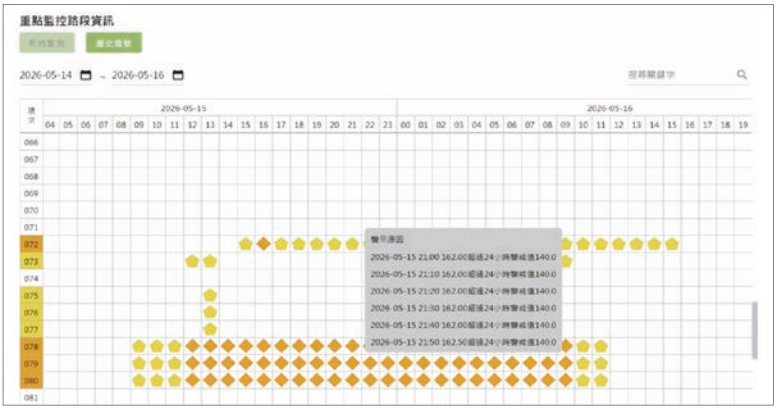


圖 5　重點監控路段、橋樑之歷史燈號。左側為監控點，橫軸為時間序，圖中顯示每 10 分鐘的警示燈號變化。

土石流潛勢溪流監控

土石流警示溪流發布後，代表周邊地區可能因豪雨造成土石流災害，對臺鐵行車安全具有重大影響。若警示溪流鄰近鐵路路線，可能發生土石流侵入軌道、邊坡崩塌、落石或路基流失等情形，危及列車運行安全。土石流警戒資訊可作為防災決策與行車調度的重要依據，提升災害應變效率與旅客安全保障。

QPEPlus 透過跨機關合作，介接農業部農村發展及水土保持署發布之土石流與大規模崩塌紅黃警戒資訊，即時呈現於客製化網頁中，以協助第一線防災人員掌握高風險區域（如圖 6）。

劇烈天氣警示表

對流系統常伴隨短延時強降雨、強陣風及雷擊等劇烈天氣現象，除可能造成鐵道路線積淹水外，亦可能導致供電設備損害、營運中斷及人員安全風險。

因此，系統整合對流胞、強降雨 (雷達降雨估計 40 毫米以上，為大雨等級) 及閃電資訊，建立劇烈天氣警示表，提供車站與防災單位即時掌握劇烈天氣發生情形（如圖 7）。

蘇花路廊雷達回波警示（試辦）

蘇花路廊受限於地形陡峭及地面觀測站分布不足，局部降雨監測存在觀測落差，因此試辦導入雷達回波門檻監測機制，以補強高風險區域之即時劇烈天氣監測能力。

相較於地面雨量站僅能量測固定地點降雨，氣象雷達可大範圍監測降雨位置、強度及移動方向，並即時掌握短延時強降雨、雷雨胞及對流發展情形，對於山區及海岸地區具有較佳監測效益。

目前已於北迴線和仁至崇德站間選取 2 處試辦點，設定直徑 3 公里監控範圍，並以雷達回波 50 dBZ 作為警戒門檻。當監控範圍內 50 dBZ 超過 4 個格點時，即發布紅燈警示，提醒可能有劇烈天氣發生（如圖 8）。



圖 6　鐵道沿線之土石流或大規模崩塌警示即時資訊。



圖 7　臺鐵車站的劇烈天氣警示表，如有劇烈天氣發生，以紅燈警示。

颱風警報期間特定服務

為即時掌握颱風警報期間鐵道沿線降雨情形，系統利用氣象署颱風定量降水預報模式，計算各鐵道路段累積雨量，並於超過警戒值時發布警示資訊（如圖 9）。

未來亦將進一步提供臺鐵車站及重點監控路段 2 日風力預報與 24 小時雨量的單點預報，預計於 2026 年颱風季前完成建置（文章刊登時已完成）。

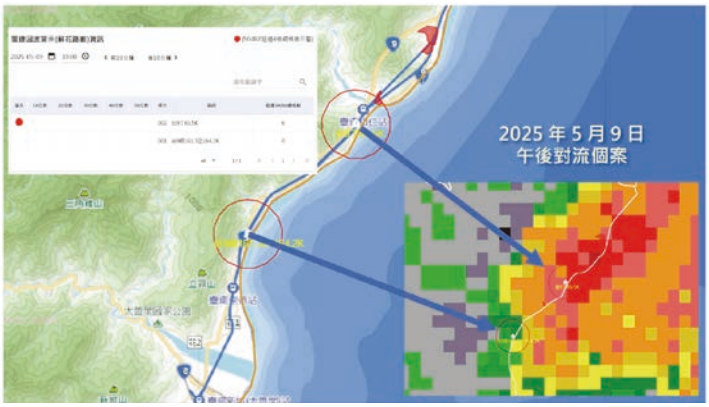


圖 8　蘇花路廊雷達回波警示（試辦）。以 2025 年 5 月 9 日午後對流為例，在和仁站附近出現 6 個回波 50dBZ 的格點，圖左上方的監控表以紅燈警示。

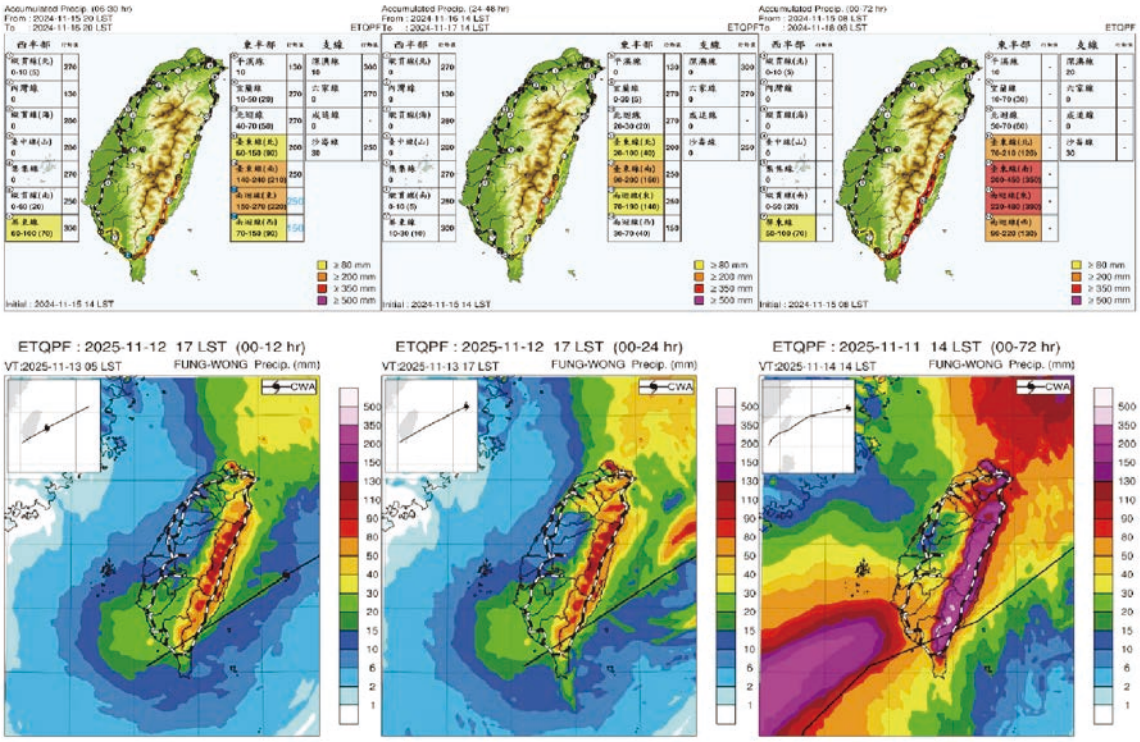


圖 9　上圖為鐵道沿線上的日累積雨量警示，下圖為數值模式雨量預報。

結語

臺鐵公司與中央氣象署基於資源共享與防災合作理念，已於 2025 年簽署合作備忘錄，持續深化鐵道氣象監測與防災應用合作，以提升鐵路系統對地震、颱風、豪雨、強風及其他極端天氣事件之監測與應變能力。

隨著極端天氣事件發生頻率增加，未來雙方將持續推動高解析度監測、即時化預警與 AI 輔助分析技術之應用，逐步建構智慧化鐵道氣象防災服務體系。透過氣象監測、防災資訊整合、即時通報及決策支援機制，可有效提升鐵路營運安全、災害應變效率與整體運輸韌性，確保全島交通系統穩定運作。

地表地形監測與科技巡檢技術

台灣鐵路大範圍邊坡巡檢運用新科技與新技術之作法與成效

張凱硯／台灣世曦工程顧問股份有限公司 地理空間資訊部 工程師
黃子珉*／台灣世曦工程顧問股份有限公司 地理空間資訊部 副理
李魁士／地新科技顧問有限公司 執行長
陳宗宏／國營臺灣鐵路股份有限公司 副總經理

臺灣鐵路路廊歷史悠久，諸多區段緊鄰地質破碎之自然邊坡。傳統人工巡檢常受地形艱險及茂密植被遮蔽之限制，導致監測範圍多侷限於軌道兩側鄰近區域，難以跨越路權邊界掌握高位邊坡與上游集水區之潛在致災因子。為強化鐵路防災韌性並落實預警機制，本文探討導入「多元、多尺度、主動式」之科技監測體系，整合衛星、航空攝影、無人載具（UAV）及地面觀測平台，並融合光學影像、光達（LiDAR）、合成孔徑雷達干涉（InSAR）及 GNSS 等先進測繪技術。

相較於傳統地工儀器之點、線狀局部監測，此技術架構能提供廣域且連續之三維數位資訊，具備穿透植被判識微地形（Micro-topography）之優勢，有效輔助辨識潛在孤石、新生崩塌地及地表細微變位特徵。本文進一步提出一套階層式調查流程：首先透過「廣域快篩」篩選全線風險區段，鎖定變位異常之「風險熱區」；續以「近域詳查」結合航照影像、UAV 高解析攝影與專業技師現地踏勘，針對震後新增之崩塌溢淹點、潛在孤石及裂隙發育區進行精細化驗證與致災風險診斷，並據以評估邊坡穩定狀態與後續整治急迫性。

此科技巡檢模式能將邊坡管理範圍由單點擴展至整體面狀區域，實現「由遠而近、由廣而精」的智慧化管理。最終透過專業綜診與風險分級，不僅輔助篩選出需優先處置之高風險點位，更為護坡工程規劃、災害預防措施及維護管理決策提供科學化數據支持，顯著提升鐵路行車安全與應變效能。

關鍵詞：邊坡科技巡檢、合成孔徑雷達干涉技術（InSAR）、空載光達（LiDAR）、邊坡穩定診斷、風險分級管理、地理空間資訊系統（GIS）

前言

背景與挑戰

自 1887 年起，臺鐵逐步建置全臺鐵路網絡，早期因地形限制，路線多沿溪谷以小曲線半徑鋪設，致使部分路段與自然邊坡高度依存。相較於高速公路或高鐵等近年興建的人工邊坡，臺鐵路廊歷史悠久，早期工程資料、地層鑽探及水文資訊整備不全，難以建構精確之工程地質模型，並進一步分析力學穩定性。面對日益嚴峻的極端氣候，既有路廊邊坡之脆弱性顯著增加，對行車安全構成嚴峻挑戰。

既有管理機制與限制

為提升韌性，臺鐵公司於 2020 年發布《鐵路邊坡養護手冊》，建立系統化之分級維護與巡檢機制（表 1、表 2 及圖 1）。然而，現行作法仍面臨以下瓶頸：

* 通訊作者，stone@ceci.com.tw

表 1　臺鐵邊坡等級標準與養護頻率（國營臺灣鐵路股份有限公司）

邊坡分級	等級標準	經常巡查	定期巡查頻率			邊坡監測頻率	地錨定期檢測
			災害潛感因子				
			低	中	高		
A 級	明顯不穩定	2 週	1 季	1 季	1 月	1 週	1 年
B 級	疑似不穩定	1 月	2 季	1 季	1 季	1 月	2 年
C 級	無明顯不穩定	1 季	2 年	1 年	1 年	1 季，穩定 3 年後每半 (1) 年	4 年
D 級	穩定	1 季	4 年			無；重要保全對象依 C 級執行	4 年

表 2　災害潛感因子評估（國營臺灣鐵路股份有限公司）

評估項目 / 標準	低	中	高
地質敏感區	(1) 地質遺跡 (2) 地下水補注	活動斷層	山崩與地滑
土石流潛勢區	無	低、中潛勢溪流經過	高潛勢溪流經過
災害潛勢	無	落石、岩屑崩滑、岩體滑動、惡地、棄填土區	歷史坡地災害

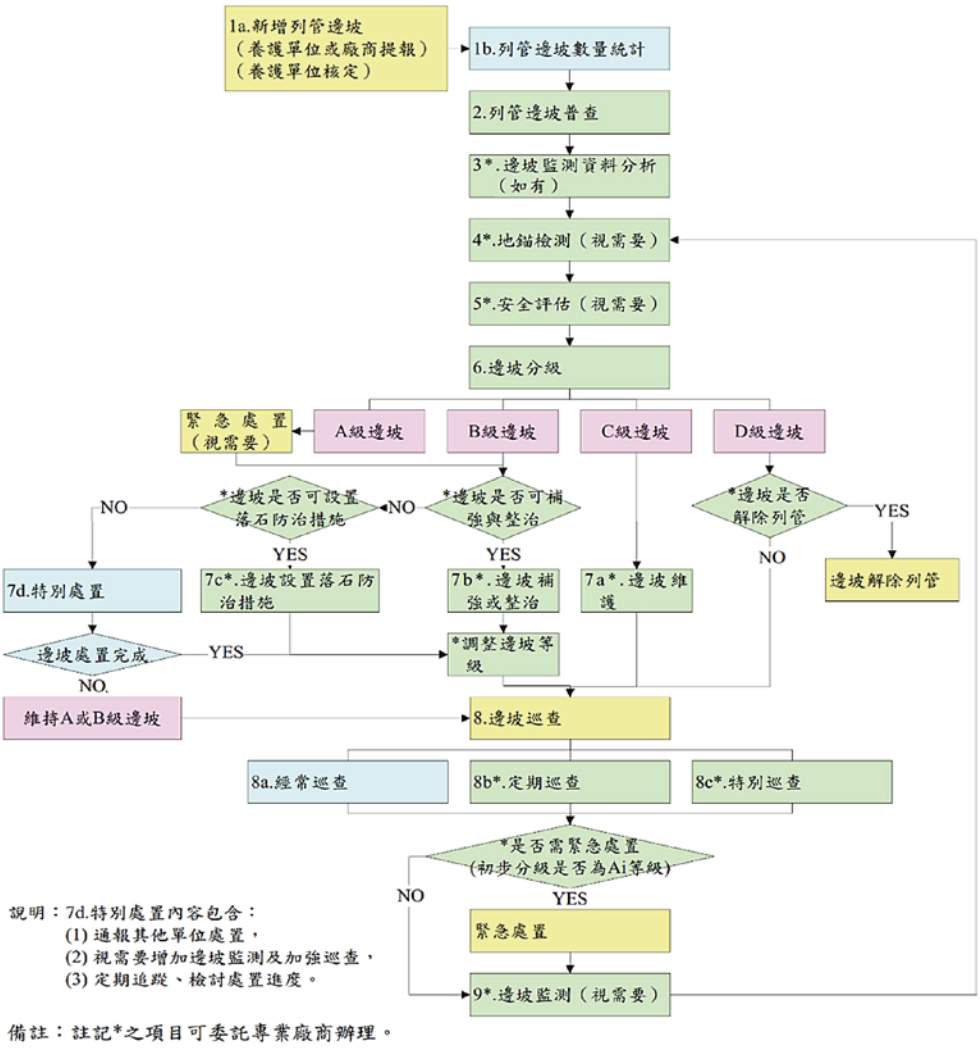


圖 1　鐵路邊坡全生命週期維護管理流程圖

- 監測範圍侷限：傳統目視巡檢常受地形艱險與植被遮蔽，巡查範圍多侷限於軌道兩側約 20 公尺內，難以掌握高位邊坡與上游集水區致災因子。
- 預警效能不足：落石告警系統屬被動狀態，難以偵測邊坡長期活動性。
- 實務分級落差：以 2020 年宜蘭線瑞芳－猴硐間邊坡事故為例，原評為 C 級之邊坡因高位岩體滑動釀災，顯示依當時靜態圖資與目視巡查之分級方式仍有精進空間。

科技巡檢之導入與數位轉型

為由「被動應變」轉向「主動預警」，臺鐵公司自 2023 年推動「邊坡巡檢精進系統建置」，導入數位轉型與多尺度遙測技術。該平台應用 GIS 技術，收納衛星、InSAR、航照 LiDAR、UAV 及 GNSS 等多源觀測資料。

透過由遠而近（衛星、飛機至 UAV）之調查流程，系統可產製高解析三維模型與時序變位圖資，辨識穿透植被後之微地形變化、崩塌特徵及構造物位移。自 2024 年起，更進一步結合人工智能與地工專業分析，彙整養護、監測及地質水文數據，建構邊坡活動性評估機制，為精密評估、補強規劃及智慧化維護管理提供科學化決策依據。

空間資訊應用於科技巡檢之技術分析

廣域 InSAR 及空載 LiDAR 應用簡介

過往鄰近鐵道邊坡之災害調查，主要依賴現地目視踏勘並輔以地工監測儀器（如傾斜計、沉陷計等）。然而，此類手法屬「點、線」之局部觀測，耗費巨大成本且範圍有限，難以全面掌握分布廣闊之鐵路營運環境。以總長 98.2 公里的臺鐵南迴線為例，鄰近邊坡或隧道之路段即占 76.3%，且多數位處交通難達之深山，傳統人力實難連續擷取地表形變資訊。為破解時空觀測盲區，本研究引進合成孔徑雷達干涉（InSAR）與空載光達（LiDAR）遙測技術，整合進行大範圍地表變位監測與高精度地形測繪，主動辨識鐵道兩側邊坡之活動徵兆。

在地形測繪方面，空載雷射掃描技術（Airborne LiDAR）具備高效擷取高密度三維點雲之優勢，可建構高空間解析度與高精度之數值高程模型（DEM）及數值地表模型（DSM）。透過數值地形計量分析（Geomorphometry）將三維地形資料網格化，並運用地理資訊系統（GIS）高效空間運算，經地貌演算法將細微地形特徵轉化為視覺化影像。這對於判釋被茂密植被覆蓋之線狀構造、古崩塌地裂隙等微地形特徵具關鍵應用價值。目前常用之地形陰影（Hillshade）與地形坡度（Slope）等計測法，已被廣泛應用於構造地形辨識、土石流軌跡追蹤及大規模崩塌潛勢區之判讀[1-3]。

因應廣域巡檢需求，本研究以內政部 1 公尺解析度 LiDAR-DEM 為基礎，運用數值地形計測技術精確劃定軌道兩側工務邊坡之空間影響範圍。隨後採取多源資料疊加策略，整合國家級地質敏感區、土石流潛勢溪流、大規模崩塌潛勢區等災害圖層，並融合雷達衛星演算之廣域 InSAR 地表形變時序速率。透過多波段與多時序資料交叉比對，建立邊坡活動性「快速篩選（快篩）」機制，藉以定義具中高及高活動徵兆之重點關注邊坡，具體之篩選與分級評估作業流程如圖 2 所示。

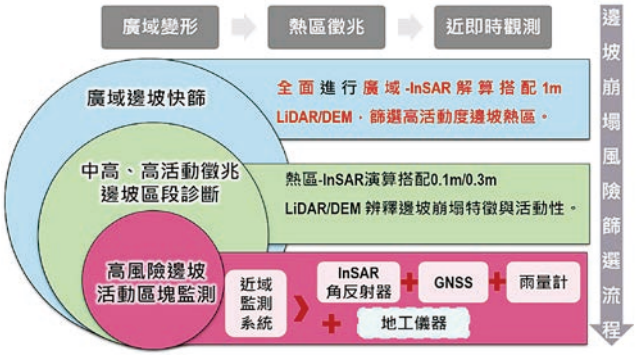


圖 2　鐵路工務邊坡活動性篩選與分級評估作業流程圖

在 InSAR 核心的干涉演算方面，採用自 Zhang *et al.* [4] 所提出之時域相關點合成孔徑雷達干涉技術（Temporarily Coherent Point InSAR, TCP-InSAR）。此演算法的核心優勢，在於能有效克服傳統干涉雷達在相位解纏（Phase Unwrapping）時的瓶頸，進而顯著降低形變解算誤差。TCP-InSAR 的關鍵特點，在於每幅干涉影像對均可同時生成永久式散射點（Permanent Scatterers, PS）與分散式散射點（Distributed Scatterers, DS）作為地表散射候選點。這項機制大幅增加了有效觀測點的空間密度，並成功提升影像對之間的相干性（Coherence）。

隨後，利用這些觀測點在不同影像對之間的相位差，進行最小二乘法（Least Squares Method）的變形向量解算；同時，藉由評估各點在影像對中的殘差大小，能精確區別具備模糊度與無模糊度的 InSAR 觀測點，直接取代了傳統實務上容易產生錯誤或導致解算失敗的相位解纏步驟。透過此演算機制的優化，不僅能顯著提升地表散射點的數量，更能進一步釐清不同地表反射訊號的物理與幾何特性，進而產製出高品質、具備高時間序列連續性的地表長期形變速度觀測成果。

熱區 InSAR 及 UAV 應用簡介

在臺灣鐵路大範圍邊坡巡檢中，合成孔徑雷達干涉技術（InSAR）為核心的非接觸式微變形監測工具。為兼顧「廣域快篩」與「熱區精細診斷」的多尺度觀測需求，現行技術多採用不同觀測模式的聯合監測策略。本技術主要選用日本宇航局（JAXA）的 ALOS-2 雷達衛星，透過兩種互補模式協同觀測：首先利用空間解析度約 100 公尺的廣域快篩模式（WD1, ScanSAR），發揮

其超大寬幅優勢，對全臺鐵路沿線進行長時期、大範圍的地表變形量解算，據以篩選具活動跡象的潛在風險熱區；隨後引入空間解析度達 3 至 10 公尺的精細診斷模式（SM3, Stripmap），相較於 WD1 觀測單元達 1 公頃之局限，SM3 單一網格大幅縮小至 0.01 公頃以下，其高空間解析度能顯著提升資料精確度，用以解算優先關注邊坡整體與局部的時空形變趨勢。透過重疊的 WD1 與 SM3 圖幅聯合觀測（如圖 3 所示），不僅能增加時序影像密度，亦可同步整合上升軌（Ascending）與下降軌（Descending）影像，有效減輕臺灣高陡地形引致的雷達幾何效應（如陰影與幾何畸變）。

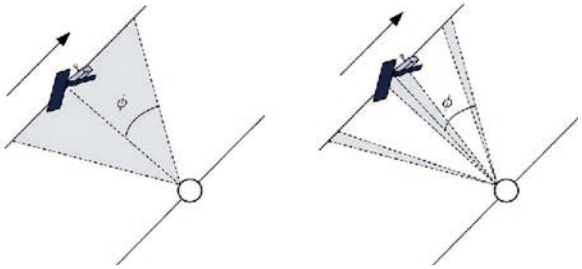


圖 3　WD1（ScanSAR）與 SM3（Stripmap）模式示意圖（引用：Ortiz *et al.* [5]）

為滿足東部幹線、南迴線及集集線等工務段邊坡之解算需求，研究團隊全面蒐集涵蓋沿線各熱區之影像。截至長期監測關鍵期程，經篩選共採用上升軌（如圖幅 137-430、137-440 等）44 幅，以及下降軌（如圖幅 27-3110、28-3160 等）36 幅，總計 80 幅高解析度 SM3 升降軌雷達影像，建構完整的形變分析時序資料庫。值得注意的是，不同觀測模式在時空解析度上存在折衷關係（Trade-off）。WD1 模式之空間網格較大且點資料較稀疏，但因拍攝期程密集而具備高時間解析度優勢，利於解算廣域長期的平均形變速率；反之，SM3 模式雖然拍攝間隔較長，但憑藉細緻的空間點位，極易判釋出邊坡內部不均勻形變的邊界特徵[6-8]。

在實務演算流程中，本技術導入多尺度空間資料融合架構，主要分為兩個階段：第一階段為「廣域篩選」，利用 WD1 觀測模式結合 1 公尺解析度之空載光達（LiDAR）數值高程模型（DEM），大範圍識別相對活動之坡體；第二階段則為「熱區精細解讀」，針對優先關注邊坡改採高空間解析度之 SM3 觀測模式，並進一步融合無人飛行載具（UAV）所擷取之 0.1 至 0.3 公尺高精度數值地形圖，進行活動熱區的分區分塊精細化圈繪。透過此種多尺度變形量劃分法，將分析尺度由巨觀趨勢聚焦至微觀特徵，進而有效判釋坡體不同構造部位的活動不穩定性，為鐵路邊坡提供更為精準的防災與監測依據。

邊坡科技巡檢 GIS 平台簡介

邊坡科技巡檢 GIS 平台旨在強化臺灣鐵路邊坡的維護管理效能與災害風險掌控能力，為整合多源監測數據與進行空間幾何分析的核心工具。該平台高度整合了與國家地震工程研究中心、臺北科技大學等學術與研究單位合作取得之多尺度測繪與監測資料，並全面彙整臺鐵既有的邊坡歷史基礎資料與巡檢維護履歷，藉由地理資訊系統（GIS）強大的空間套疊與分析功能，動態介接至「鐵路邊坡安全生命週期維護系統」。此外，平台亦廣泛介接國家級開放資料（Open Data）來源，包含地質雲、中央氣象署、地理資訊圖資雲服務平台（TGOS）及國土測繪中心等，建構出涵蓋微地形、即時氣象、工程地質與導航基礎圖資的多元時空大數據架構（如圖 4 所示）。此一整合平台不僅能

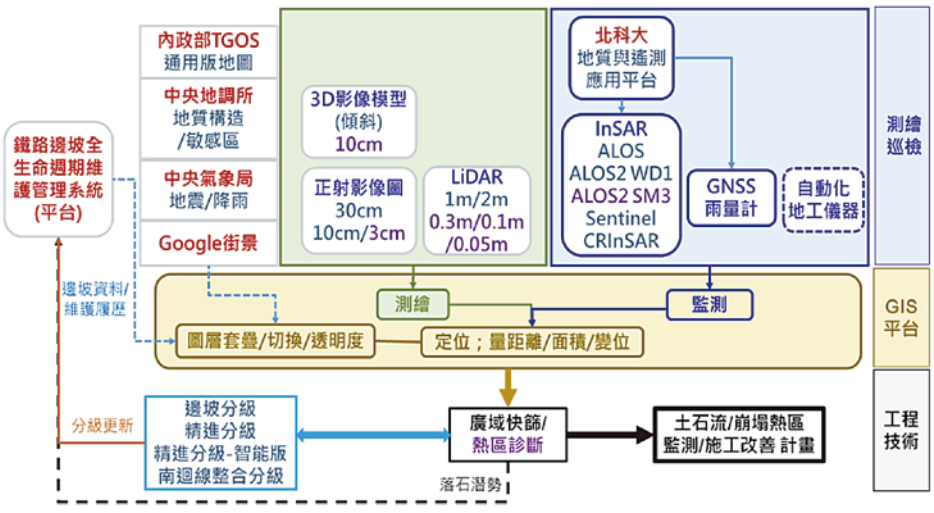


圖 4　邊坡科技巡檢 GIS 平台架構

提供現地工程技術分析與潛在災害熱區判釋的科學依據，更為後續推動自動化異變預警與動態崩塌監測奠定了關鍵的資訊發展基礎。

空間資訊應用於科技巡檢之成果與應用

空載 LiDAR 及 UAV 應用案例

在國家級坡地災害管理中，經濟部地質調查及礦業管理中心、農業部農村發展及水土保持署與農業部林業及自然保育署等機關，其監測範疇多聚焦於面積超過 10 公頃之大規模崩塌地；然而，實際對鐵路、公路等交通幹線運轉安全構成直接威脅的重大邊坡災害，其影響範圍往往僅約 1 公頃左右。諸如 2020 年 12 月 4 日臺鐵宜蘭線瑞芳至猴硐段邊坡岩體滑動、2021 年 8 月 7 日台灣高鐵苗栗 126K 邊坡岩屑崩滑、2021 年 8 月 14 日臺鐵集集支線隧道受坡體滑動擠壓受損，以及 2022 年 11 月 1 日國道一號汐止交流道邊坡不穩定滑動等歷史事件，皆深刻突顯出軌道沿線對於「中小尺度、高致災風險」邊坡進行精細化治理的迫切需求。

現階段由內政部國土測繪中心所提供之常規空載光達（LiDAR）資料，其點雲密度約為每平方公尺 1 點（1 point/m^2），所產製之 1 公尺解析度數值高程模型（DEM）雖足供集水區形貌與主要水系之圈繪，但若欲用於判識鐵路沿線隧道口、擋土牆及護坡等線形邊坡人造保護設施時，其空間幾何精度顯著不足。為大幅提升科技巡檢的實務應用價值，本技術應用採取航線加密 1.8 倍之航測優化策略（或透過提升雷射掃描儀之感測性能），將空載光達點雲密度提升至每平方公尺 10 點以上，據以產製空間解析度達 0.3 公尺的高精度 DEM（如圖 5 所示）。同時，於航飛過程中搭配測繪級高解析度光學相機進行同步攝影，建構具備真實地表紋理的三維影像模型（如圖 6 所示），有效輔助工程人員進行現地人工防護設施的幾何功能判釋與微細地貌比對。



圖 5　飛機 LiDAR/DEM 測繪解析度與運用（南迴線）

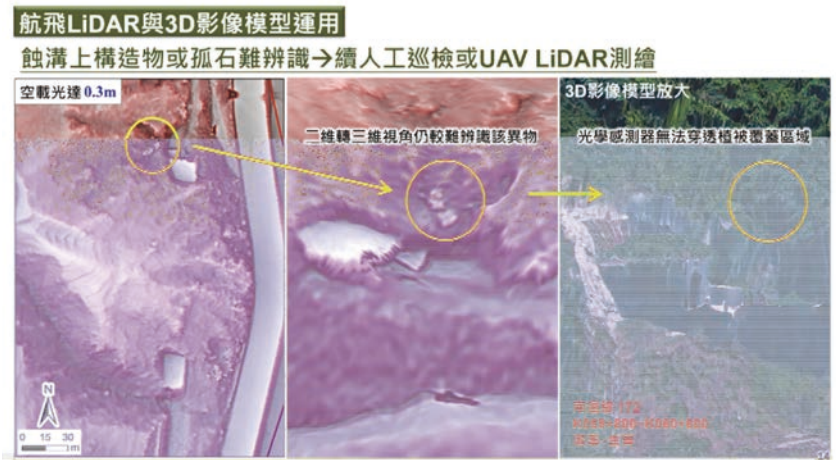


圖 6　飛機 LiDAR DEM 與 3D 影像模型運用

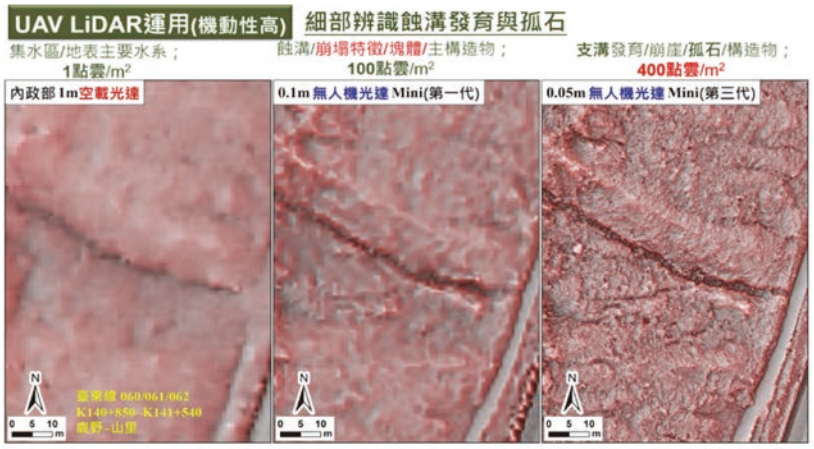


圖 7　UAV LiDAR 細部辨識支溝發育與孤石

當蝕溝、異物或上構造物難以透過光學影像辨識時，則需補以地面巡檢。若需更細緻掌握邊坡支溝分布、崩塌輪廓、孤石位置與主要構造物特徵，則進一步以 UAV 搭載高解析度 LiDAR 進行掃描，產製 0.1 m（100 點雲／m^2）或更高密度之 DEM（如第三代 UAV LiDAR 儀器可達 400 點雲／m^2），以提供具穿透植被能力的高精度裸地模型（圖 7）。

廣域及熱區 InSAR 應用案例

在邊坡監測實務中，合成孔徑雷達干涉技術（InSAR）因具備長期、廣域且非接觸式擷取地表微小形變數據之優勢，已成為科技巡檢架構中不可或缺的關鍵手段。在鐵路沿線之應用程序上，初期階段主要選用長波長且穿透植被能力較佳之 ALOS-2 雷達衛星 WD1（ScanSAR）觀測模式，利用其寬達 350 公里的單幅掃描幅寬，進行邊坡活動性的廣域快速篩選。該模式之空間解析度為 100 公尺 × 100 公尺，意即單一網格單元涵蓋約 1 公頃之地表幾何面積，極適合用以巨觀辨識山區地貌之整體下陷或隆起趨勢。

針對經快篩鎖定之潛在形變熱區，隨後則進一步導入高解析度之 ALOS-2 SM3（Stripmap）觀測模式影像進行精細化解讀。雖然該模式之掃描幅寬縮減至 70 公里，但空間解析度大幅躍升至 10 公尺 × 10 公尺，使得單一網格單元的涵蓋面積縮減至 0.01 公頃以下，能顯著提升局部邊坡地表形變特徵的幾何清晰度。在此精細度下，工程人員得以明確辨識並區分坡頂、坡腹與坡趾等不同坡體部位的差異性形變特徵（如圖 8 所示），並藉由雷達干涉圖中冷暖色調的空間分布，精準圈繪出潛在不穩定變形帶之邊界。這項空間定位成果，為後續判定現地應加強儀器監測或實施土木結構補強改善之具體部位，提供了極具科學價值的決策依據。

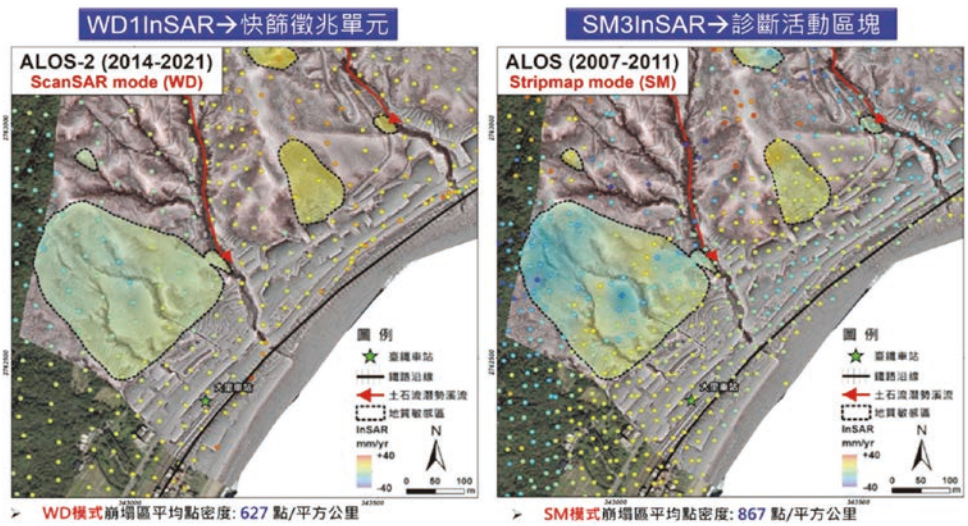


圖 8　宜蘭線大里車站 ALOS 及 ALOS-2 地表長期平均變形速度比較

然而，InSAR 仍受限於雷達衛星的拍攝軌道與地形遮蔽問題。例如 ALOS-2 下降軌從東北向西南移動，對於坡面朝西南的邊坡易產生遮蔽，導致該處回波訊號微弱，進而影響干涉解算品質。因此，在重點邊坡區亦需輔以設置角反射器及 GNSS 點位，以提高 InSAR 監測成果的時空精度與地面驗證能力。

邊坡穩定性受豪雨與地震等自然因子高度影響，特別是颱風豪雨分布具空間與時間之不確定性，地震亦可能於兩次監測週期間造成快速變化，導致傳統如國土測繪中心六年期空載 LiDAR 更新頻率不足以即時掌握異變現象。因此，SAR 衛星具備短天期或每季拍攝一次的能力，為彌補常規地形資料更新之時效性落差，提供一項具時效性的監測工具。

但須注意的是，單一時點 InSAR 形變熱區的判釋結果，尚不足以直接研判其危險程度。仍應整合多源資料，如高解析度航測影像、UAV 光達成果、地表水系變化（圖 9）、極端氣象與地震事件紀錄、工址現地異狀觀察等資訊，進行比對與交叉診斷，方能提升判釋精度與預警準確性。

邊坡科技巡檢 GIS 平台

本研究研發之邊坡科技巡檢 GIS 平台，核心價值在於建構一個整合巨量異質時空的航遙測資料收納，並做邊坡空間決策分析，打破傳統地測高成本且無法全面解析的困境。平台高度收納並融合了多元、多尺度的航遙測核心情資，包含：廣域快篩之衛星 InSAR 時序變位速率、中尺度之高密度空載光達（Airborne LiDAR）高精度數值高程模型、近域精查之無人載具（UAV）實景三維網格模型（3D Mesh，如圖 10 所示），以及現地 GNSS 自動化地面監測點位。透過地理資訊系統（GIS）強大的三維空間幾何運算效能，平台能將高度、坡度、微地形裂隙與沿坡面方向之長期地表變形速度圖層（如圖 11 所示）進行跨維度與多時序的疊加，實現「動態空間情資融合」的面狀管理，為現地工程技術分析與潛在災害熱區判釋提供數位孿生（Digital Twin）之科學依據。

在實務應用與動態風險決策方面，本平台深度介接至既有之「鐵路邊坡安全生命週期維護系統」，全面推動智慧鐵道全生命週期的數位轉型。平台聚焦於「空間變異趨勢分析」與「動態風險快篩」，地工及地質技術人員可對比不同年份之多時序正射影像與三維邊坡模型，找出坡面植被變異、新增蝕溝及防護構造物之微幅沉陷；同時，平台跨部會動態介接經濟部地質調查及礦業管理中心之山崩雲地質敏感圖資、中央氣象署即時降雨數據及既有歷史災害履歷。最終依據前述之篩選與分級評估作業流程，系統可檢視由地工及地質專業團隊分析的「山區工務邊坡區段活動性檢視清單」（如圖 12 所示），將全線邊坡依變位異常特徵劃分風險熱區，將過往「現地被動填報」之點狀思維，升級為高效、即時之智慧化動態預警，顯著提升鐵路護坡工程規劃與災害預防之科學決策效能。

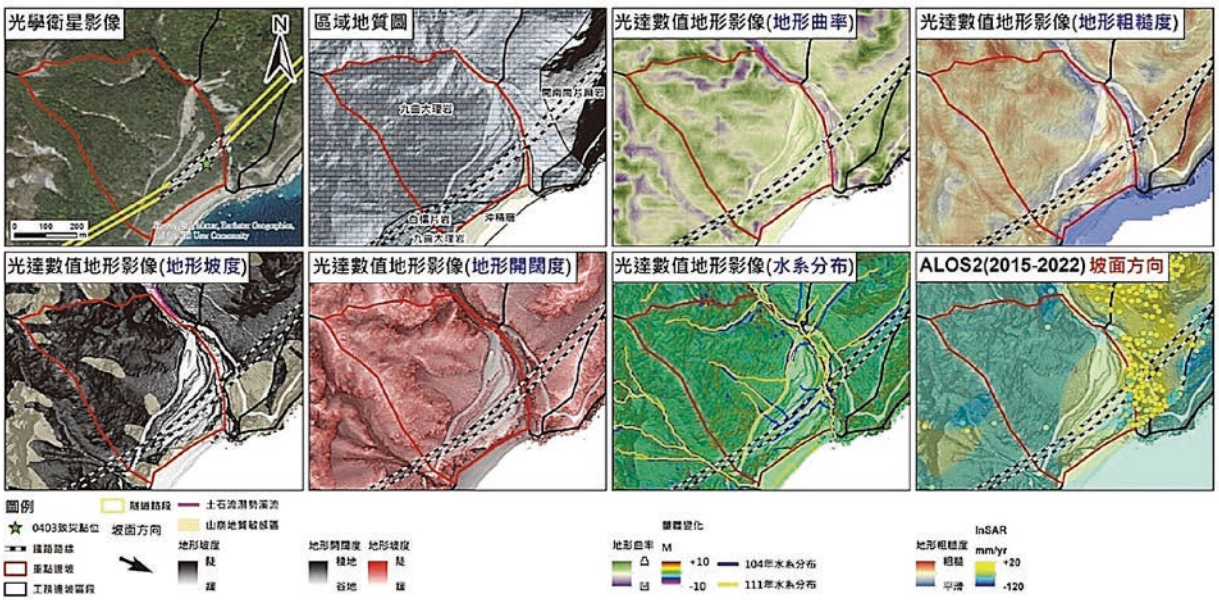


圖 9　工務邊坡地形資訊及地表變形例



圖 10　臺鐵南迴線 3D Mesh

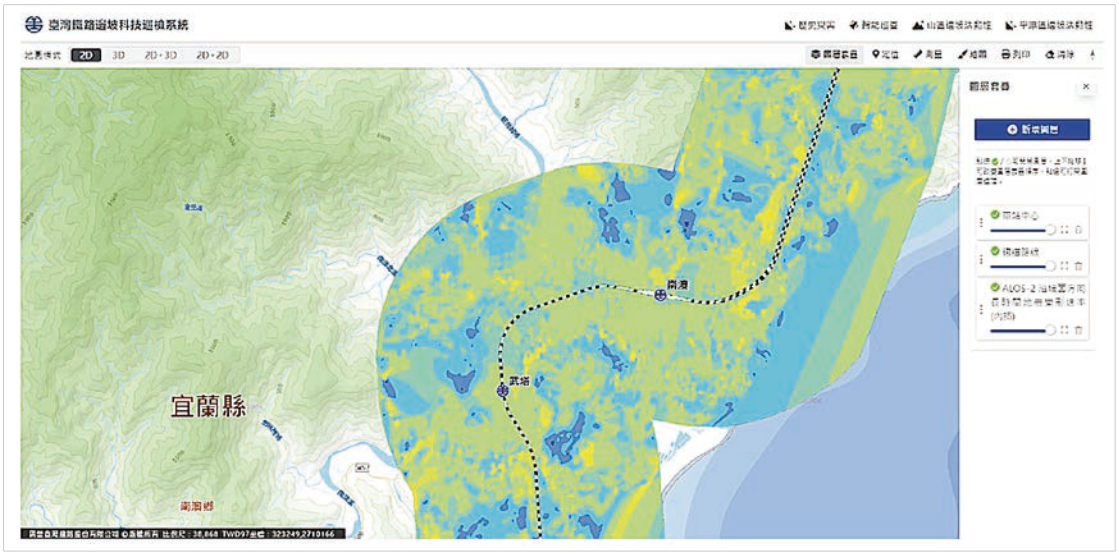


圖 11　ALOS-2 沿坡面方向長時間地表變形速度圖層套疊

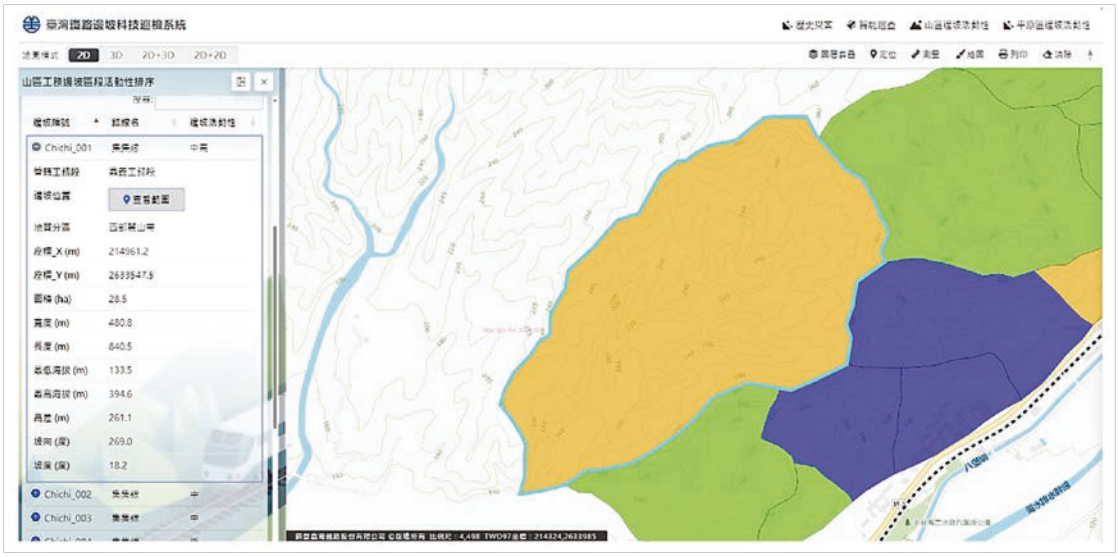


圖 12　山區工務邊坡區段活動性檢視清單

結論與建議

本研究成功導入「多元、多尺度、主動式」之鐵路邊坡科技巡檢體系，並透過航遙測技術及 GIS 分析改善傳統人工巡檢與點狀地工儀器的觀測盲區。利用長波長 ALOS-2 衛星之 TCP-InSAR 演算與高密度空載光達（Airborne LiDAR）技術，實務上建立起「由遠而近、由廣而精」的階層式調查流程；此模式不僅能穿透高位邊坡的茂密植被，辨識孤石、新生崩塌地與細微地形裂隙，更透過升降軌影像融合，有效減輕高陡地形之幾何畸變與遮蔽效應，產製出具備高時間序列連續性的地表長期形變速率。此架構成功將鐵路邊坡的管理範圍由軌道兩側局部區域，擴展至面狀之高位邊坡與整體集水區，為智慧鐵道全生命週期維護奠定數位孿生之科學數據基礎。

為落實科技巡檢成果於常態運維，建議應滾動式納入 InSAR 時序變位與 UAV 高精度微地形篩選結果，將其轉化為動態管理指標以精進分級管理。同時，單一遙測熱區判釋尚不足以判定危險度，後續應透過平台深化跨部會資料動態介接，全面整合氣象降雨、大規模崩塌潛勢、現地 GNSS 與人工防護設施幾何判釋成果。最終經由地工專業團隊與智慧化分析進行交叉綜診，將點狀被動應變升級為面狀動態預警，方能顯著提升鐵路行車安全與路廊之防災韌性。

參考文獻

1. 林俐伶、林可薇、陳品岡、沈哲緯（2011），「斜坡單元進行山坡地土壤流失量之推估」，水土保持學報，43(4)，395-410。
2. 林清洲、王慶雄、陳正偉、吳文隆、蕭秋安、張嘉興、王景平（2018），「台 20 線南橫公路勤和至復興路段複合災害之工程處理對策」，中華技術，(119)，180-195。
3. 黃韋凱、李璟芳、楊豐毓、邱俊榮（2019），「山區公路邊坡潛在易致災區位多尺度評估 – 以台 9 線南迴公路為例」，中興工程，(145)，55-67。
4. Zhang, L., Ding, X., and Lu, Z. (2011-a). Ground settlement monitoring based on temporarily coherent points between two SAR acquisitions. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(1), 146-152.
5. Ortiz et al. (2007). ScanSAR-to-Stripmap mode interferometry protressing using ENVISAT/ASAR data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45(11), 3468-3480.
6. Motohka, T., Isoguchi, O., Sakashita, M., and Shimada, M. (2018). ALOS-2 PALSAR-2 cal/val updates. In Proceedings of the JAXA/EORC Joint PI Meeting of Global Environment Observation Mission FY2017, Tokyo, Japan (Vol. 24).
7. Liang, H., Li, X., Zhang, L., Chen, R.F., Ding, X., Chen, K.L., and Chi, C.Y. (2020). Investigation of slow-moving artificial slope failure with multi-temporal InSAR by combining persistent and distributed scatterers: A case study in Northern Taiwan. Remote Sensing, 12(15), 2403.
8. Strozzi, T., Caduff, R., Jones, N., Manconi, A., and Wegmüller, U. (2022). L-Band StripMap-ScanSAR Persistent Scatterer Interferometry in Alpine Environments with ALOS-2 PALSAR-2. In IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 1644-1647). IEEE.



DOI: 10.6653/MoCICHE.202606_53(3).0004

地表地形監測與科技巡檢技術

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，形成颱洪事件之潛在料源。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

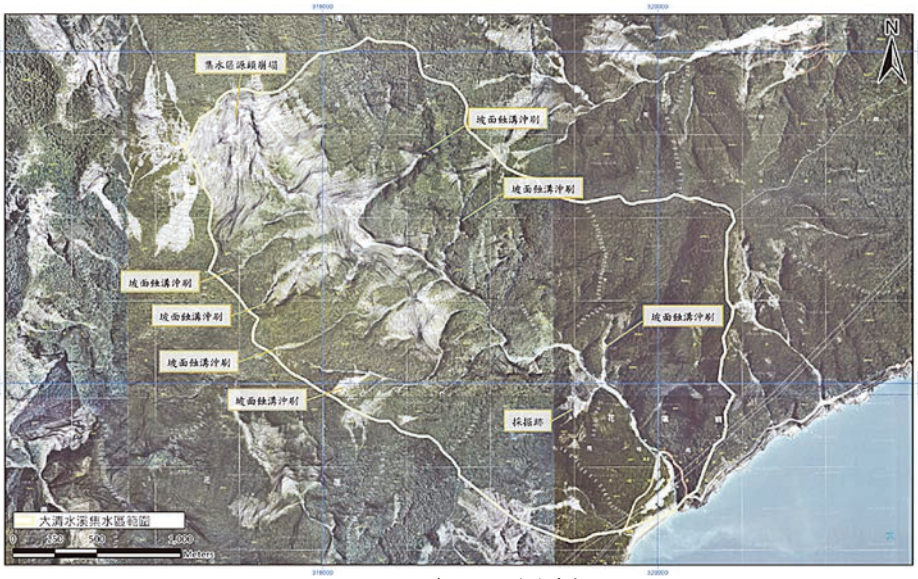
航遙測影像分析

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。

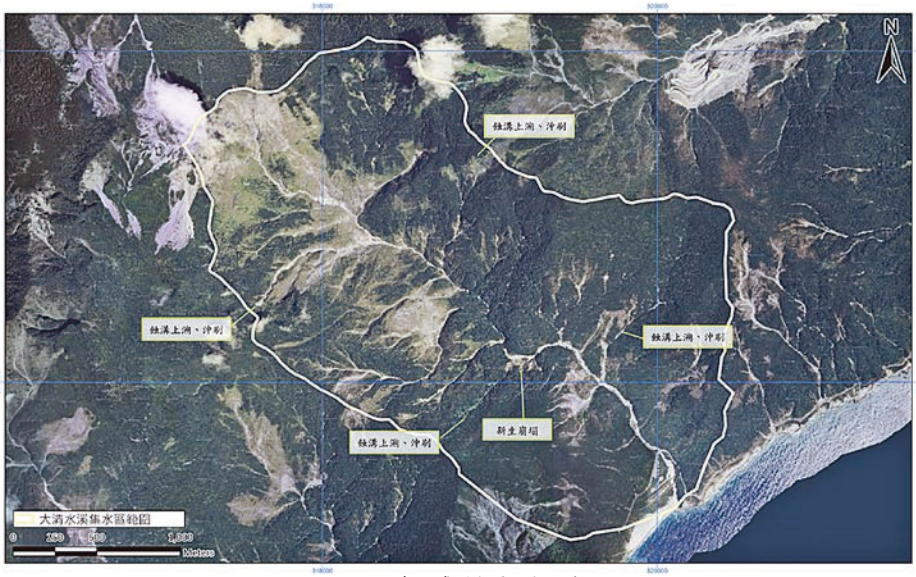
分析顯示，集水區上游西北側岩盤裸露已持續至少 40 年，河道沉積物主要源自源頭崩塌與坡面蝕溝沖刷；歷年蝕溝持續上溯、凹岸沖刷並引致坡面局部崩塌，104 至 111 年間部分蝕溝雖見植生復育，陡坡仍維持裸

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]

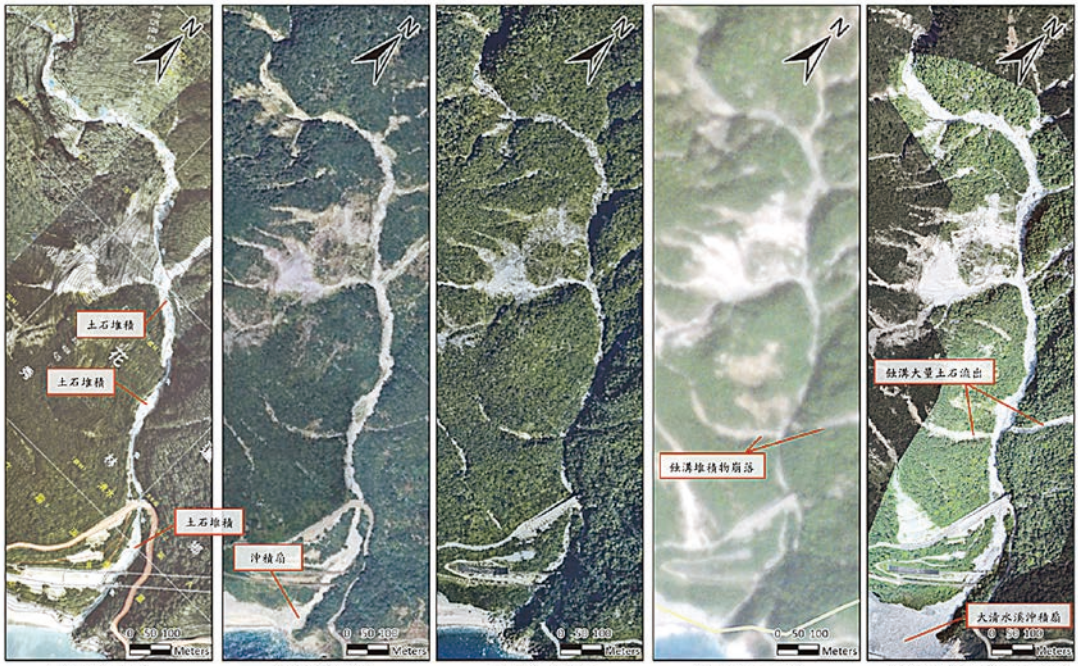


圖 3　中尺度之河道變化 [1]

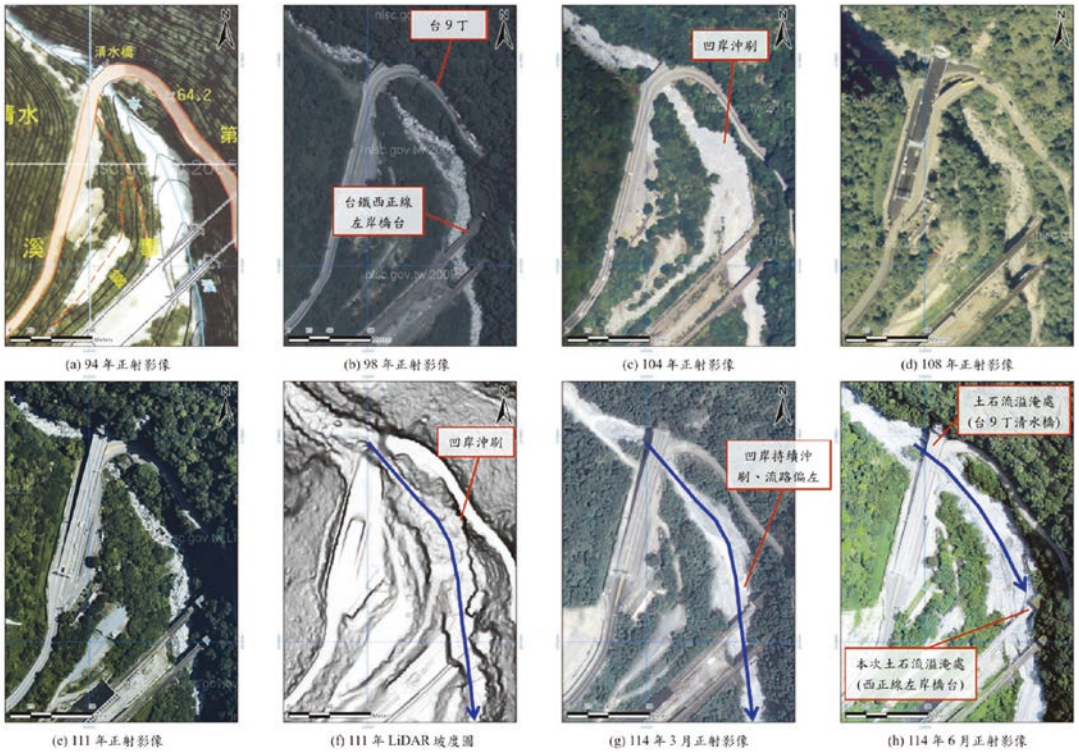


圖 4　橋梁上下游局部河道變化 [1]

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 年多場颱洪持續沖刷殘積物，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 m^3、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）

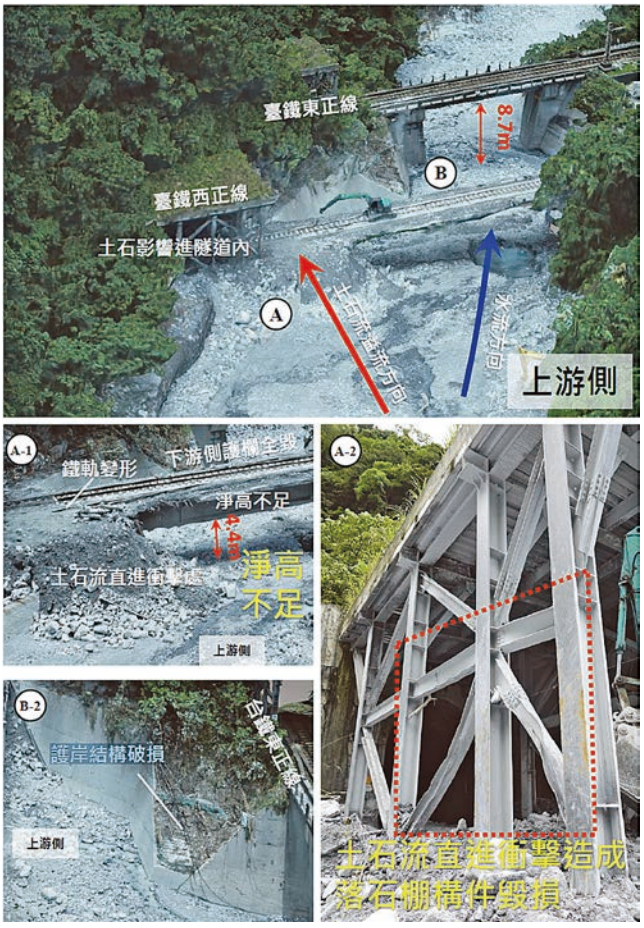


圖 8　臺鐵北迴線受災情形（圖 5 點 3）
（資料來源：GeoPORT）

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]

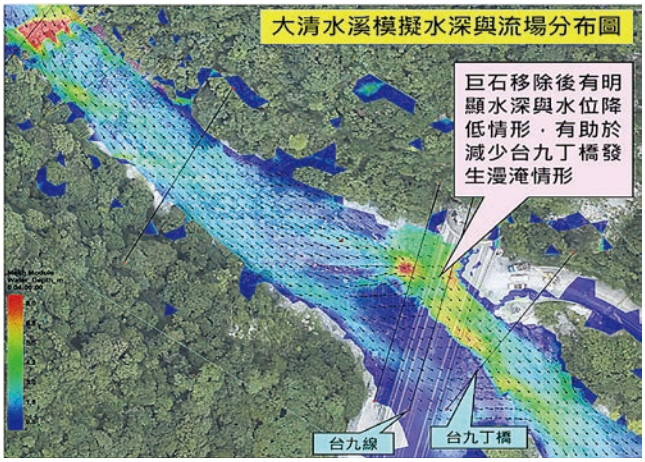


圖 10　水理分析 – 災後地形 + 災害復建工程 + 巨石移除（梳子壩至台 9 丁橋）[1]

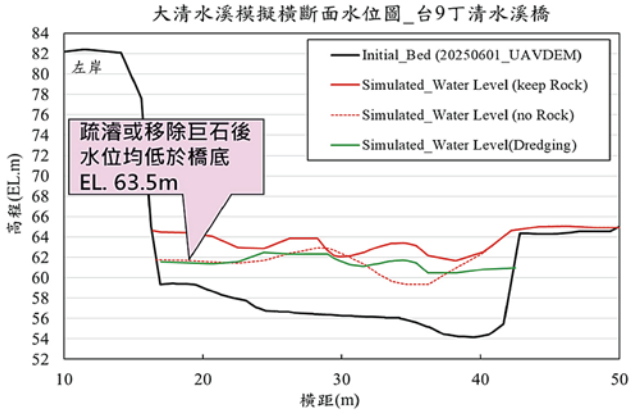


圖 11　台 9 丁清水溪橋斷面水理分析結果 [1]

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，搭配河道清疏可再降約 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）。

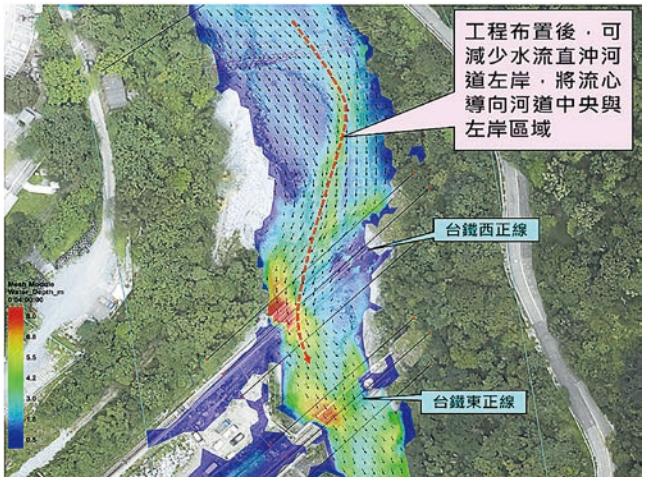


圖 12　水理分析 – 災後地形 + 災害復建工程布置（台鐵西正線上下游）[1]

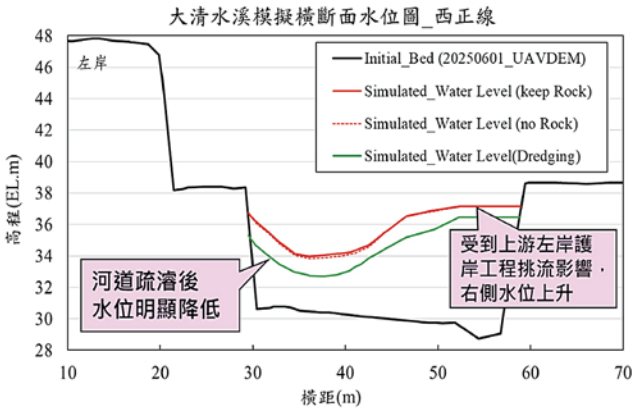


圖 13　台鐵西正線斷面水理分析結果 [1]

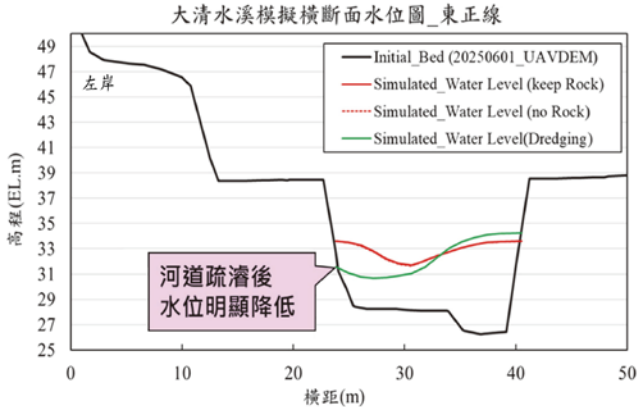


圖 14　台鐵東正線斷面水理分析結果 [1]



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，並以河道清疏增加通洪斷面、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，建議定期清疏以維持儲砂空間。

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沖刷、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公路之破壞機制，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清疏，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 – 清疏 – 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

DOI: 10.6653/MoCICHE.202606_53(3).0005

災害模擬與防護對策

臺鐵北迴線K48路段土石流風險模擬及因應對策與設計

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
郭覲豪／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 正工程師
林于超／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 工程師
翁孟嘉／國立臺灣大學土木工程學系 教授
邱家吉／國立臺北科技大學材料及資源工程系 副教授
林銘郎／國立臺灣大學土木工程學系 教授

地震對山區邊坡所造成的災害不僅僅有同震山崩，在震後的一段時間山體會更頻繁的發生地質災害，整體的地質地形條件也需要長時間才能由不穩定的狀態趨緩，此為地震災害鍊。由 2024 年 4 月 3 號發生的花蓮地震震後對臺鐵北迴線和仁至崇德路段的土石流災害調查經驗得知，此範圍內的土石流料源，除了受震強度降低的岩體材料，更多屬於停留於坡面的同震山崩堆積材料，由於鐵路路網易受到運移快速的土石流影響，整治策略的優先順序便取決於對每個鐵路路段遭受土石流風險的準確評估。對此，本文透過數值分析技術來實現逆算分析、量體重建與影響範圍模擬，為評估震後落石暨土石流之之災害鍊風險影響提供了一套可移植之分析方法學。本文以北迴線和仁車站（里程 K48）為研究場址，藉由 20240403 花蓮地震震後半年間三起土石流事件，建立基於數值模擬的運移與堆積分析模型，反算校核成果顯示數值模型具備重現多次土石流事件疊加導致地形變化之潛力，並進一步考量不同土石流風險與整治策略情境，評估潛在的土石流衝擊風險與工法配置有效性，提供最終整治設計上量化的參考依據。

關鍵詞：20240403 花蓮地震、北迴線 K48 路段、地震災害鍊、土石流模擬、風險評估

前言

大地震震央區域的山崩災害是一個長期的地質過程，這個過程同時包括同震山崩，以及震後二次災害將堆積物從山體坡面帶往下游沉積物匯聚口的行為，此即「地震災害鍊」，對於經常緊鄰高陡邊坡興建，或者橫切山體通過的鐵路等交通運輸網絡而言，地震災害鍊經常直接導致交通中斷，甚至威脅駕駛與乘客的生命財產安全。例如 2024 年 4 月 3 號發生的花蓮地震（下稱 20240403 花蓮地震），同震落石事件造成臺鐵北迴線多處受損與中斷（圖 1a）[1]，儘管掉落至軌道範圍內的岩塊可以迅速地移除並搶通交通，但震後至今 2 年期間，每逢豪雨颱風便好發土石流等二次災害

* 通訊作者，chenghan.stephan.lin@proton.me

事件，即使距離土石流發生區甚遠，也可能遭受廣泛的破壞；另一方面，相較於同震落石，受土石流影響所導致鐵路運輸的中斷，所需要的搶修時間和復建經費更為巨大，顯示震後落石暨土石流之災害鍊對軌道與鐵路相關設施的整治復建工程，存在長期的風險影響，如何有效地評估鐵路軌道等線形基礎設施暴露於土石流災害鍊風險對於規劃整治復建方案至關重要。

本文以北迴線 K48 路段為案例場址，該路段緊臨和仁車站，其東、西正線南側分別銜接臺鐵和仁隧道北口與新和仁隧道北口，鄰近地勢西高東低（圖 1b 紅框），東側緊鄰太平洋，整體高程在 1,000 m 以內，且在高程 500 m 至 600 m 間存在一區域性的陡崖特徵。K48 上邊坡溪流屬於編號花縣 DF172 之高風險土石流潛勢溪流，集水區面積為 0.3046 km^2，均位於國有林班地內。沿此溪流基於光達地形資料繪製一 20240403 地震前地形剖面，如圖 1 所示，溪流坡度由源頭至最下游從 53°、42°、33°緩至 24°，且上述區域性的陡崖也存在溪流中上游處，陡崖坡度約為 71°。地質岩性方面，本文團隊於 K48 路段上邊坡的現場調查發現，20240403 同震落石的掉落岩塊多屬於大理岩，同時比對地礦中心 1/50,00 地質圖和平圖幅、1930 年日治時期地質圖，確認了所關注 K48 路段的上邊坡地層屬於葉理發達的開南崗片麻岩，更高處則為厚層塊狀的九曲大理岩，地層界線位置恰位於蝕溝中上游的地形遷急處（高程約 400 m），是以上述區域性的陡崖特徵，應屬大理岩與片麻岩岩體強度不同所反映的地貌。

基於 20240403 花蓮地震震前航空照片、震後衛星影像、震後 UAV 影像進行比對判釋，用以釐清地震期間以及震後約四個月內，發生於北迴線 K48 路段的地震災害鍊的發展。如圖 2 所示，除同震落石外，震後四個月共發生三起衝擊 K48 路段的土石流災害，以及一起震後落石事件，以下針對三起土石流災害說明如下：

1. 災後衛星影像、災後 UAV 影像（20240422 土石流）：如圖 2(c) 所示，20240422 土石流的主要料源為同震落石堆積在蝕溝中的岩塊，但影響鐵路設施的是土石流沿蝕溝流動時額外挾帶的土砂。災前、災後衛星影像可以觀察到上邊坡兩處主要落石來源區已露出新鮮岩盤陡面，且下方來源區趾部仍堆積大量岩塊，此外，下坡處災後 UAV 影像可清楚辨識巨石位置，經災前、災後比對確認其並未移動，可以作為多期影像的位置標定，UAV 影像也指出 20240422 土石流在行經巨石後，轉往

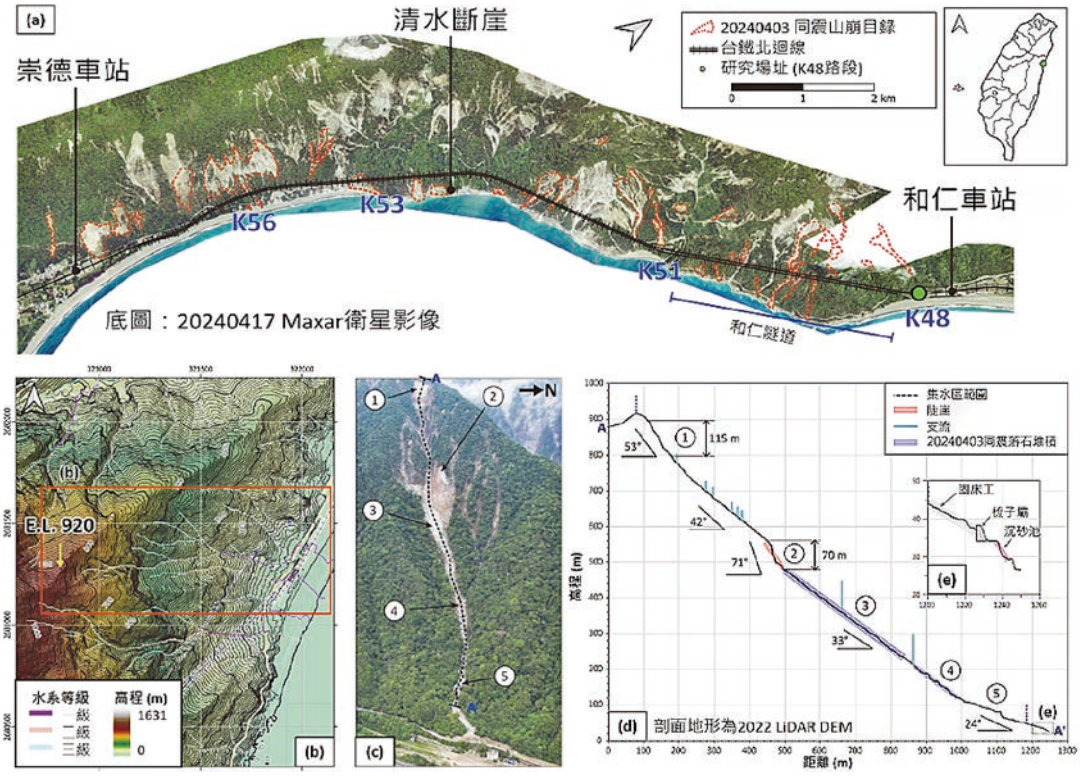


圖 1　(a) 20240403 花蓮地震同震山崩與臺鐵北迴線之空間分布；(b) 地形、陰影與水系分布；(c) 20240429 UAV 空拍照片；(d) 地震前之地形剖面與下游既有防砂設施。

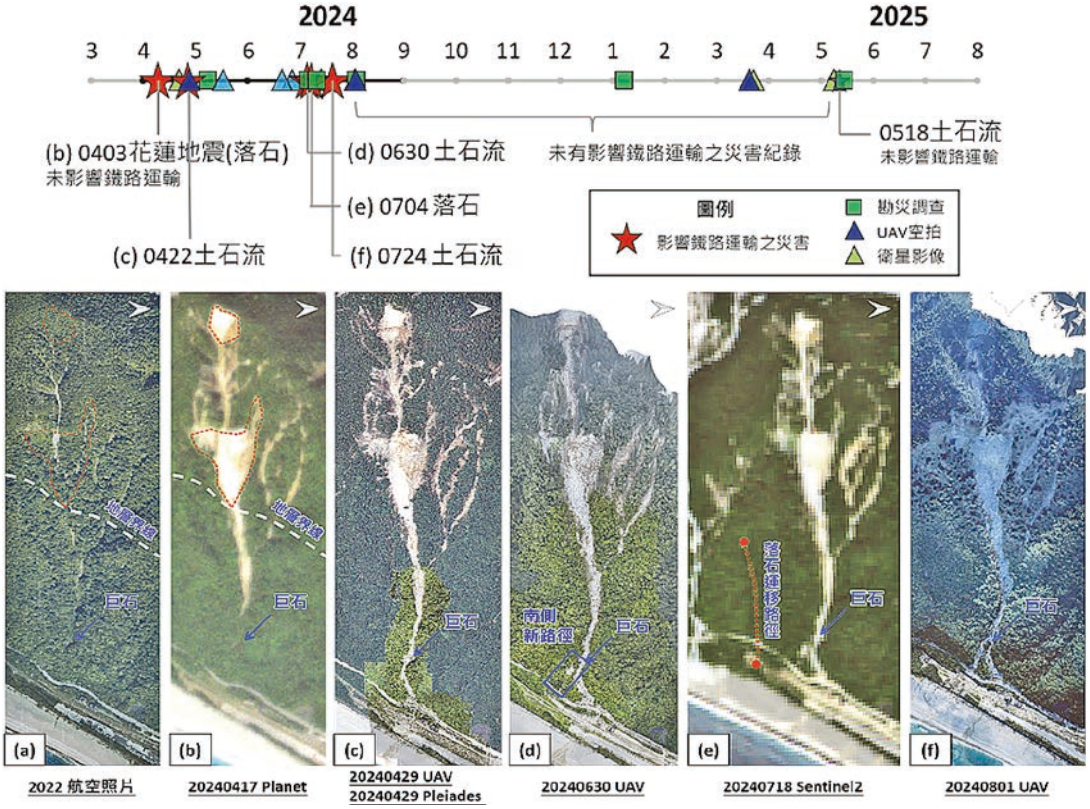


圖 2　臺鐵北迴線 K48 路段地震災害鍊、勘災調查與影像判釋之時間軸對照。

北側的路徑運移流向公路與鐵路設施。

2. 災後 UAV 影像（20240630、20240701 土石流）：如圖 2(d) 所示，20240630、20240701 土石流在前期流動路徑上，在行經巨石後發展出一條南側的新路徑，此南側路徑直接朝往新和仁車站北口方向，使 20240630、20240701 土石流在 K48 路段之地震災害鏈中扮演了災情擴大的關鍵角色。此外，觀察土石流原流路與蝕溝均相較前期影像有明顯擴大，顯示 20240630、20240701 土石流除了有更大的量體規模，同時大量降雨的影響也導致堆積在蝕溝內的鬆散土石移動，以及蝕溝源頭擴大成崩塌。
3. 災後 UAV 影像（20240724 土石流）：20240723 到 20240726 登陸臺灣的凱米颱風是自 20240403 花蓮地震發生以來首個強颱威脅 [2,3]，如圖 2(f) 所示，凱米颱風期間於 K48 路段所發生的 20240724 土石流，其量體規模更勝前兩次土石流災害，且由於 20240630、20240701 土石流已發展出來新的南側流路，造成 20240724 土石流所挾帶的土砂材料多往該路徑流動，從災害 UAV 影像可以明顯觀察到南側路徑的擴大，以及路徑直進方向上的鐵路受損嚴重，土砂影響範圍達到海岸位置。儘管災害 UAV 影像在邊坡高處有扭曲缺漏現象，仍可以觀察到 20240403 花蓮地震同震落石的堆積物已慢慢沿蝕溝向下運移，且在上游蝕溝匯聚處有明顯擴大，以及蝕溝右岸的下刷特徵。

本團隊亦基於 2023 年內政部航拍與 2025 年 3 月航拍之兩期 LiDAR DEM，進行 DOD（Difference of DEM）分析來獲得 2024 年震後災害鍊之地表變化，在使用的 DEM 資料所覆蓋的時間段，2024422、20240630 ~ 20240701、20240724 三起震後土石流事件為導致地表地貌變化的主要災害，因此 DOD 分析結果可視為 K48 路段震後災害鍊的土砂侵蝕與堆積量，如圖 3 所示，主要侵蝕量約為 4.5 萬方，主要堆積量（即坡面殘餘不安定土砂量）約為 2.7 萬方。

土石流災害鍊模擬方法與參數校核

本文採用 RAMMS::Debrisflow 軟體，是一種基於質量動量守恆原理以及深度平均運動方程（淺水方程）的的數值方法，在流變學模型上則基於雙參數 Voellmy 流體摩擦模型，該流體摩擦模型視土石流為單相流體，即數值模型中並無將土石流區分為流體相和固相，而將土石流模擬為材料整體的流動行為，雙摩擦係數決定了模

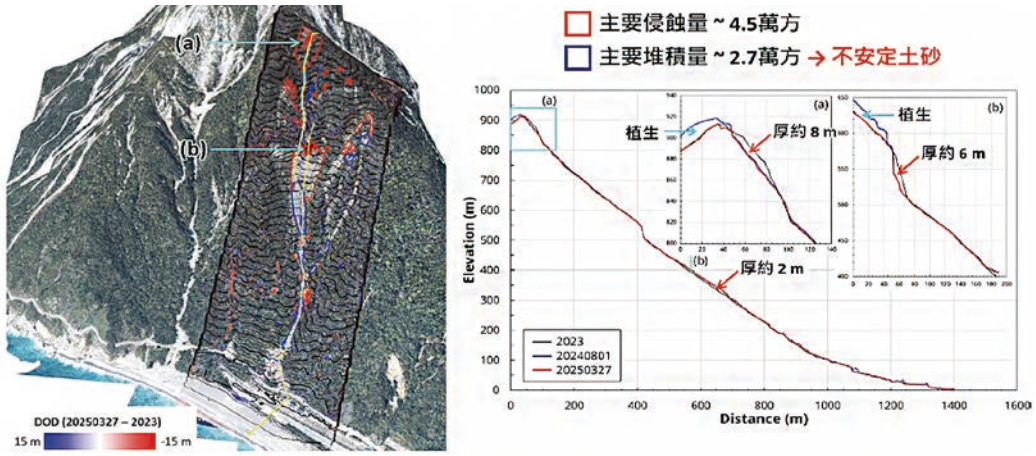


圖 3　20250327 LiDAR DEM 與 2023 LiDAR DEM 之 DOD 與剖面分析

擬中的流動行為：當流動接近停止時，與法向應力相關之庫倫乾摩擦係數（μ）佔主導地位；當流動快速流動時，與速度平方相關之黏滯湍流摩擦係數（ξ）佔主導地位。此外，RAMMS::Debrisflow 中的侵蝕模組則可以模擬土石流在渠道中流動時經常夾帶河床沉積物，而導致河床高程的淨下降，造成侵蝕與量體增加的現象。

有別於過去土石流相關模擬分析多屬單一事件案例，本文旨於建立一套用於量化分析地震災害鍊中土石流災害的分析方法學。因此，歷次土石流事件之間的數值模型連貫性是本計畫的另一重點項目，為了達到此目的，本文首先基於 2023 年內政部 LiDAR DEM 來建立 20240422 土石流的的數值模型（K48 路段地震災害鍊首起事件），並進一步以前期地形加上前期（20240422）土石流模擬在流動侵蝕區之淤積結果，建立出新的災前地形面，來建立第二起（2024629、20240701）土石流災害的數值模型，以此類推後續災害鍊之模型建立，並根據歷次土石流災害之堆積形貌來校核雙摩擦係數 μ 與 ξ。

在初始來源區的條件上，設定來源區與堆積區的範圍維持相同，假設各來源區皆為 0.1 m 崩塌深度，故各事件之來源區料源體積皆為 2,416 m^3，考量到支流與主流土石流材料匯聚處以降可視為一完整的土石流行為，因此將流動區由 0403 同震落石堆積下緣向上提升到主支流匯聚處，並加上南側蝕溝範圍一同視為流動侵蝕區，是以歷次土石流事件模擬之總流出土砂量體，視為料源體積加上歷次事件之渠道侵蝕土砂體積。

圖 4 整理了 RAMMS::Debrisflow 模擬 K48 震後災害鍊的模擬成果與影響範圍，其中 20240704 落石事件之模擬方法學可參考林承翰等人 [4]，本文著重於探討土石流災害模擬。模擬歷次土石流事件之侵蝕量與堆積土方量則統計如表 1 所示。基於相同來源區料源的假設條件下，歷次土石流災害侵入鐵路設施的土方量大小主要受到土石流侵蝕所額外增加的土砂，同時，模擬影響範圍也與歷次災害後的現場紀錄有一定的可比性，即 20240422 土石流主要衝擊北側鐵軌里程與

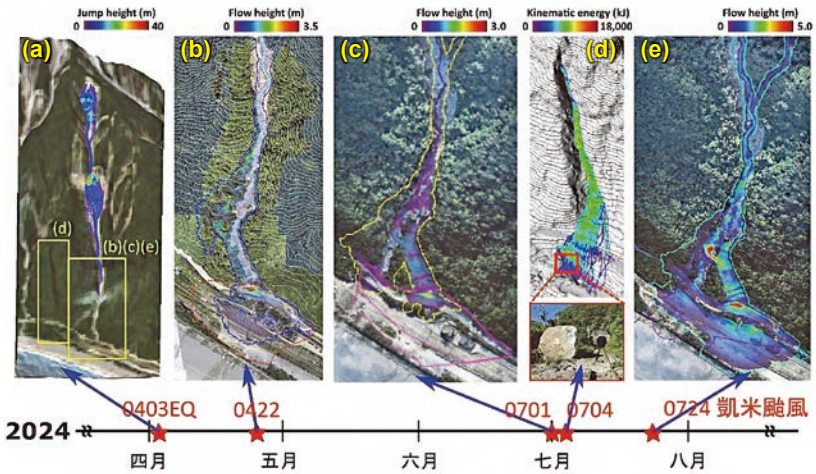


圖 4　RAMMS::Debirsflow 反算模擬 K48 路段之落石及土石流災害鍊成果

道班房，20240630、20240701 土石流則僅有少量土砂越過擋土牆到達南側新和仁隧道前的軌道，20240724 土石流有最廣的影響範圍，且土砂與岩塊堆積明顯擴及東西正線軌道。上述模擬影響範圍的變化，是受惠於歷次土石流數值模型均考慮了前期土石流在下游流動段所造成的蝕溝淤積，此蝕溝地形的變化，也是 20240630、20240701 土石流轉往南側蝕溝流動形成新流路的原因之一。根據反算模擬，2024422、20240630 ~ 20240701、20240724 三起震後土石流災害錬的流出到鐵公路的堆積土方量總共為 12,105 m^3（約 1.2 萬方，如表 1），假設此為 2024 年震後土石流災害錬共流出的土砂量，則反算模擬流出土砂 1.2 萬方 + 坡面殘餘 2.7 萬方 = 3.9 萬方，接近 DOD 分析所得到的主要侵蝕量 4.5 萬方（圖 3），因此驗證本研究所建立之分析方法學能合理模擬震後土石流災害錬之行為。

表 1　RAMMS::Debrisflow 模擬 K48 路段 20240422、20240630 與 20240701、20240724 三次土石流災害之侵蝕與堆積土方量。

災害日期	20240422	20240630、20240701	20240724
模擬料源量（m^3）	2,416	2,416	2,416
侵蝕量（m^3）	186	982	6,597
堆積土方量（m^3）*	2,586	1,029	8,490

* 堆積土方量為計算各數值模型中堆積區範圍的模擬淤積量體。

未來風險影響與整治策略評估

風險情境與數值模型建立

經 2024 年震後土石流災害錬的數值方法驗證與校核模擬參數，本研究進一步應用 RAMSS::Debrisflow 三維數值模型來評估臺鐵北迴線 K48 路段針對未來土石流災害之防護工程有效性。相關防護工程如圖 5(a) 所示，鐵路路權內配置了包含台 9 丁公路靠海側高 3 公尺的擋牆、位於臺鐵西正線鐵軌北側高 10 公尺的擋牆、西正線之導流假隧道、深 6 公尺的沉砂池與東側 3 公尺高擋牆；而農業部林保署則配置了一座高 9 公尺的護岸與高 6 公尺的潛壩兩座，各優化工程針在建立數值模型所需要的空間幾何尺寸（高度、角度與長度），均詳列在表 2，在 RAMMS::Debrisflow 中各防護工程皆視為不可破壞之剛體，故本章節所進行的防護工程有效性評估主要針對各防護設施的導流及沉砂能力。

本研究團隊在 K48 場址所設定的災害風險分析情境，是基於以下準則：

1. 短期災害發生後能夠盡速搶修、通車為主。
2. 中期所完成的被動防護工程應以 0403 地震誘發之災害規模為設計目標。
3. 長期上以針對超過 0403 地震所誘發之災害規模為設計目標。

表 2　於蝕溝下游和臺鐵路權範圍所分別配置之被動防護設施與幾何尺寸。

林保署整治配置（蝕溝下游）	
護岸	H = 9 m ; W = 3 m
潛壩	H = 6 m ; W = 4.1 m
臺鐵整治配置（臺鐵路權範圍）	
導流假隧道	兩側溢牆 H = 3 m ; 頂板傾斜 6°
沉砂池	D = 6 m（池底高程 14.14 m）
擋牆 A（公路側）	H = 3 m
擋牆 B（西正線側）	H = 10 m
擋牆 C（沉沙池南側）	H = 3 m

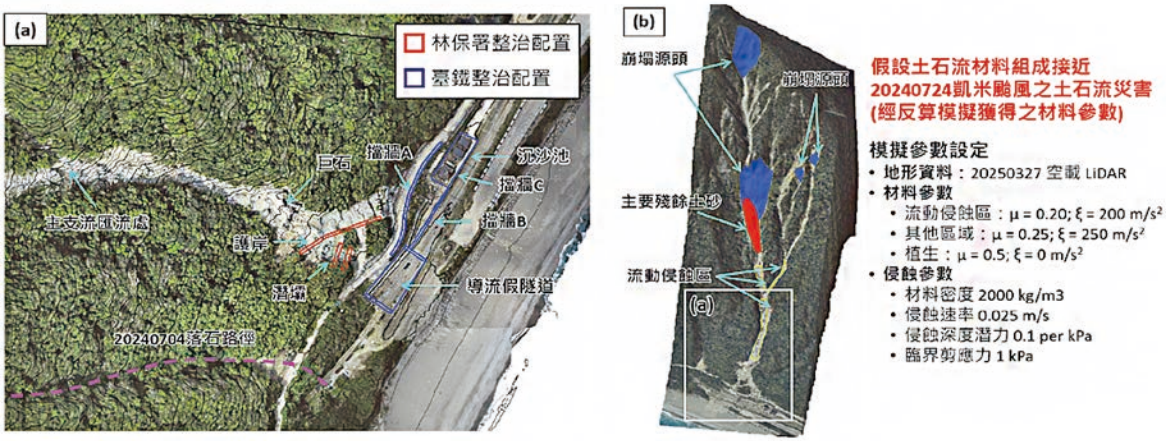


圖 5　(a) 針對 DF172 土石流潛勢溪流所配置之被動防護設施與空間分布；(b) K48 路段未來土石流風險情境模擬之數值模型與參數設定

北迴線 K48 路段在 2024 年地震後至今所記錄的最大規模災害為 20240724 凱米颱風所造成土石流事件（圖 2(f)、圖 4(e)），據以建立本案例合理的土石流風險情境，與 2024 年 7 月凱米颱風所誘發的土石流量體規模（8,490 m^3）相比，本階段所設定的中期、長期與極端土石流風險情境，分別對應約 90%、300%、450% 的震後最大土石流災害規模，若與 DOD 分析成果得到的目前蝕溝內殘餘不安定土砂量（如圖 3，約 2.7 萬方）相比，本階段所設定的長期與極端土石流風險情境，則分別對應殘餘土砂完全流出（~ 100%）和極端災害情境（~ 140%）。此外，由於潛在風險評估應考慮 0403 地震後的土石流潛勢與威脅，故本文團隊透過 2025 年 3 月 27 號所拍攝之正射影像暨 LiDAR DEM 進行潛在來源區的判釋，判釋圈繪時亦參考 DOD 分析成果來釐清蝕溝內現有土砂堆積區域，作為未來土石流災害時可能受侵蝕的額外土砂來源，分析模型與參數設定如圖 5(b) 所示，由於目前現場缺乏土石流相關監測儀器，因此依循反算分析所建立的分析方法，假設塊體均由源頭區釋放，土砂單位重和地形解析度則分別設定為 20 kN/m^3 和 1 m，並基於 DOD 分析成果設定最大可侵蝕深度為 1 m。

比較不同整治策略情境

為釐清不同整治策略的有效性，本研究利用 RAMMS::Debrisflow 數值模型模擬四種整治策略情境，本階段分析情境包括：

1. 未進行整治（編號 A）。
2. 僅農業部林保署針對中下游蝕溝整治，即圖 5(a) 中護岸與潛壩（編號 B）。
3. 僅臺鐵針對鐵路權責範圍進行整治，即圖 5(a) 中導流假隧道、擋牆與沉砂池（編號 C）。
4. 整體整治配置，即圖 5(a) 中所有防護工法（編號 D）。

基於殘餘土砂完全流出（~ 2.9 萬方）的長期土石流風險進行有效性評估，圖 6 為比較不同整治策略情境的最大流高模擬結果。首先觀察未進行整治的模擬結果，其土石流最終影響範圍接近 2024 年 7 月凱米颱風所發生的土石流災情，土砂將從北、南兩流路侵入臺 9 丁公路以降，最終掩蓋了西正線北隧道口前，到既有沉沙池與道班房之間的軌道設施，且與上述凱米颱風之土石流事件相比，圖 6 顯示未進行整治且若殘餘土砂完全流出，則土砂流經鐵路權責範圍內的最大流動高度將會顯著增加，達到接近 5 公尺左右，並進而造成大量的土砂堆積在鐵軌設施上；另一方面，若僅農業部林保署針對中下游蝕溝進行整治，而臺鐵未新增任何防護設施，模擬結果指出，土砂自中游行經護岸位置時，土石流材料將受引導轉往北側流路運移，僅有極少數漫流至南側流路，在此調適引導下，土石流流動行為將維持直進式朝北側流路下游設施衝擊，最終雖然新和仁隧道口的位置免於受到衝擊，但由於主砂全數往北側流路下方運，反而使既有沉沙池與道班房之間形成更廣、更高的堆積影響範圍，在西正線的最大流動高度也達到 4 ~ 6 公尺左右；另一僅臺鐵針對鐵路權責範圍進行整治的情境模擬結果則顯示，由於 DF172 土石流潛勢溪流已在 2024629、20240701 土石流事件中形成新的南側主要流路，因此在 C2 情境中土砂將多數沿南側流路流出，受到假隧道導流的作用，雖使最終最大土石流流高和土砂堆積高度顯著下降，但同時也造成土砂影響範圍擴及至東、西正線兩鐵軌設施，此外，儘管部分土砂仍沿原北側流路往下游流出，但新設擋牆、沉砂池等設施發揮了良好的攔阻與沉砂效果，因此鄰近原道班房的鐵軌設施在 C2 情境中未受顯著衝擊。若採取整體整治配置，如 D2 情境模擬結果，不但可引導土石流流路轉往北側流出，並可將多數土砂材料阻攔在西正線前（圖 6），且假隧道也預期能夠將少數往南側流路漫流的土砂，發揮往出海口位置導流的功效。

比較不同災害規模情境

經 3.2 小節比較不同整治策略之有效性，本研究確認在殘餘土砂完全流出的長期土石流規模風險下，若為達到土砂不侵入鐵軌設施之整治目標，則須在同時配置中下游蝕溝和臺鐵路權範圍內的被動防護工法（如圖 6 之 D2 模擬結果）。而為了進一步釐清在整體整治配置條件下，不同災害規模情境下的土砂衝擊危害度，本研究利用 RAMMS::Debrisflow 數值模型模擬五種風險規模情境，本階段分析情境包括：

1. 極端災害情境，總流動土砂約 3.8 萬方（編號 D5）；
2. 長期風險情境，總流動土砂約 2.9 萬方，即目前殘餘土砂完全流出之情境（編號 D4）；
3. 中長期風險情境，總流動土砂約 1.9 萬方（編號 D3）；
4. 中長期風險情境，總流動土砂約 3.8 萬方（編號 D2）；
5. 中期風險情境，總流動土砂約 0.8 萬方，即 20240403 地震災害錄迄今紀錄最大土石流事件規模（編號 D1）。

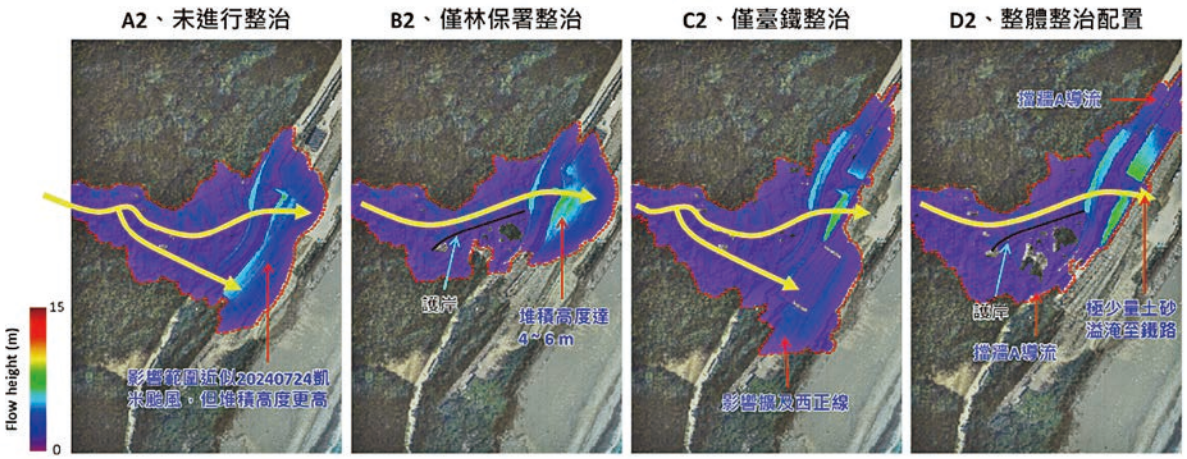


圖 6　在土石流中期風險規模下比較不同整治策略情境模擬之最終堆積高度

首先，將 D1 模擬結果與 20240724 凱米颱風情境（圖 4(e)）比較，如圖 7 所示，可以明顯觀察到由於 D1 模型中新增了下游蝕溝的護岸，使土砂運移時將受到引導往北側流路行進，而使在相同災害規模下，D1 模型中南側流路以降的結構物設施幾乎未受到土砂衝擊，且受益於臺鐵新增的三道擋牆，也能夠將往北側流路運移的土砂有效的攔阻在鐵軌之前，免於軌道設施受到衝擊；當 K48 路段範圍納入整體整治配置，則土砂不侵入鐵軌設施之整治目標，要當土石流風險規模達到 1.9 萬方時（D3 模型），才有少量土砂自擋牆 B 與沉沙池之間溢淹至軌道，然而根據 RAMMS::Debrisflow 模擬之最大流動高度僅小於 1 公尺，相較於 2024 年震後土石流災害錄對於軌道設施的衝擊已有顯著的下降；當殘餘土砂完全流出時（長期風險情境），原道班房位置新設的沉沙池將接近淤滿，而擋牆 A、擋牆 B 的攔阻空間也接近設計上限，由於土石流流露受到防護工法往北側的引導，因此多餘的土砂將持續地朝臺 9 丁與沉沙池北側漫淹；根據 RAMMS::Debrisflow 之情境模擬結果，即使在極端災害情境下（~ 140% 之 20240724 凱米颱風土石流規模），目前整體整治配置仍可大致達成土砂不侵入鐵軌設施之整治目標，且若有超過本研究所設定之極端災害規模事件發生，新設假隧道以上的南側流路也還有因砂空間的餘裕，且新設假隧道也能發揮其導流土砂至出海口的效果。

風險情境成果綜整

圖 8(a) 為比較不同整治策略情境下的土石流最終影響範圍，模擬結果指出各整治策略對臺鐵 K48 路段的影響主要包括：(1) 土砂是否導往北側流路，以及 (2) 土砂堆積高度。此外，減災防災的另一項關鍵是災害應變時間與位置，模擬成果顯示，在土砂自源頭區釋放 150 秒後，土石流侵入鐵路設施的位置，主要取決於中下游蝕溝是否進行整治，而土石流侵入鐵路設施的時間則取決於鐵路權責範圍是否進行整治，尤其擋

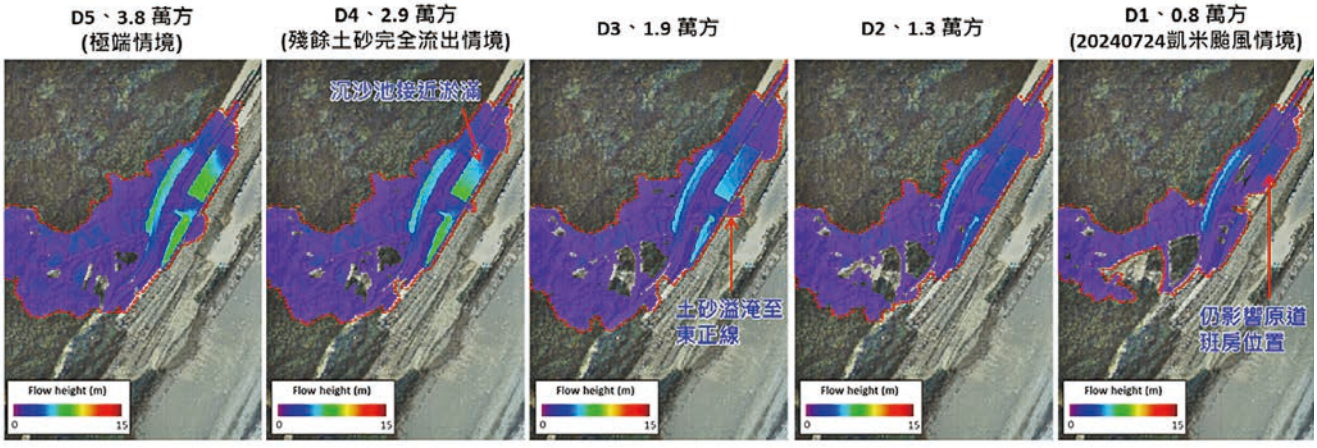


圖 7　在整體配置條件下比較不同土石流風險情境模擬之最終堆積高度

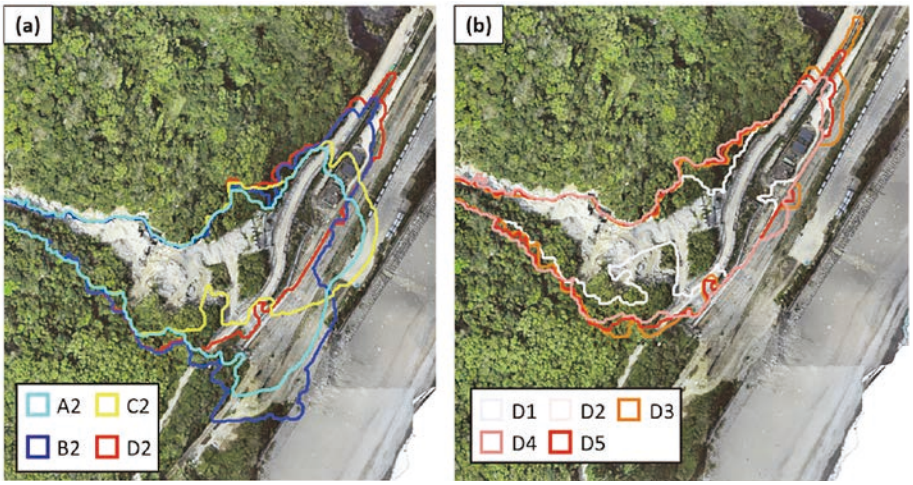


圖 8　在 (a) 土石流中期風險規模下與 (b) 在整體配置條件下分別比較比較不同整治策略與不同土石流風險情境模擬之最終影響範圍。

牆 A 對延緩土砂流向鐵軌有良好的效果（如情境 B2 與 D2），針對目前缺乏保護的新和仁隧道口，採取假隧道導流確實能夠大幅降低土砂堆積在鐵軌設施的關鍵位置和高度（如情境 A2 與 C2），但若殘餘土砂完全流出，仍未能完全將土砂導流至鐵軌之外。此外，圖 8(b) 為比較不同災害規模情境下的土石流最終影響範圍，模擬結果指出土石流最終影響範圍隨災害規模增加而逐漸擴大，且當設計採用整體整治配置之策略，則影響範圍主要朝北側擴大，沉砂池效果約可承受 D4 土砂規模情境（即殘餘土砂完全流出），導流假隧道則在 D5 土砂規模情境仍可發揮其預期效果。綜上所述，本文目前模擬成果顯示採取整體整治配置，可引導土石流流路轉往北側流出，並將多數土砂材料阻攔在東正線前，達到不影響鐵軌設施的目標，在殘餘土砂完全流出的條件下，此時鐵路範圍內的堆積土方量為 19,585 m^3，略低於目前設計假隧道、擋牆、沉砂池等被動估法提供的總共 2.2 萬方的囚砂空間。

結論與建議

本文主要針對北迴線 K48 路段在 20240403 花蓮地震後，所發生的地震災害錬影響衝擊，透過 RAMMS:: Debrisflow 數值模擬技術建立分析方法學，並針對 K48 路段已擬定的整治對策，量化評估其在不同災害錬風險情境下的工程有效性。所建立之分析方法，透過將前次災害的模擬堆積地形將加回原始地形面，做為下一次土石流事件的初始地形，使各次災害的數值模型間具有連貫性，並能克服缺乏多期災後地形資料之反衍困難。基於來源區量體相同的假設條件下，本文模擬指出災害錬中土石流影響規模的擴大，是來自於侵蝕河床所挾帶的額外土砂，以及災害錬過程中河床地貌與流路的改變。最後應用所建立分析方法學，評估不同整治配置、不同災害規模之情境，結果顯示在考慮整體整治配置與殘餘土砂完全流出（約 2.9 萬方）的條件下，在鐵路範圍內的堆積土方量為 19,585 m^3，土砂到達臺鐵整治設施的時間約為 150 秒，情境模擬也指出在該模型條件下，目前所配置的被動防護工法所能提供的囚砂空間將接近緊繃，而土石流受到工程設施導流之影響，也造成多餘土砂也將開始往沉砂池北側溢淹。在目前數值模型中，並無法模擬護岸、擋牆受土砂衝擊力的結構破壞，考量現實中防護構造若因土石流衝擊而破壞，將失去攔阻引流的預期效果，建議未來實務設計時可藉由模擬獲得的最大土石流流速，帶入水保手冊中的經驗公式來檢核土石流靜動態衝擊力，評估防護工程結構的強度，方能確保本報告中各情境模擬成果的合理性。

參考文獻

1. 王國隆、柯明淳、林聖琪、柯永彥、林承翰、周昕成、郭觀豪、林于超、陳俊樺、楊哲銘、吳重君、詹家賓、林俊廷（2024），「2024 年 0403 花蓮地震地工災害初步調查報告」，地工技術，第 180 期，第 91-102 頁。
2. 國家災害防救科技中心（2024），「113 年凱米颱風災情彙整報告」，國家災害防救科技中心。
3. 農業部農村發展及水土保持署（2024），「重大土砂災例正式報告–113 年凱米颱風—花蓮秀林 -001」，農業部農村發展及水土保持署。
4. 林承翰、郭觀豪、林于超、周昕成、陳俊樺、邱家吉、翁孟嘉、林銘郎（2025），「0403 花蓮地震後落石災害危害度評估 – 以臺鐵北迴線 K51 路段為例」，地工技術，第 184 期，第 83-92 頁。

DOI: 10.6653/MoCICHE.202606_53(3).0006

災害模擬與防護對策

從應急搶修到主動預防：臺鐵北迴線小清水溪橋搶修改建工程之韌性策略與整合實務

陳浩秋／國營臺灣鐵路股份有限公司花蓮工務段 段長
熊德育／國營臺灣鐵路股份有限公司花蓮工務段 施工組組長
許文杰／國營臺灣鐵路股份有限公司花蓮工務段 助理工程師
周行健／國營臺灣鐵路股份有限公司工務處 助理工程師
林舜元／中興工程顧問股份有限公司結構工程部 技術經理
呂斌豪*／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 技術經理
林政宇／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 工程師

2024 年臺灣東部先後遭受 0403 花蓮強震與凱米颱風之複合型災害，導致臺鐵北迴線西小清水溪橋（K53 + 500）遭土石流沖毀，造成花東交通幹線西正線中斷。工程團隊以韌性導向取代原型復舊，採 40 公尺單跨不落墩下路式鋼桁架橋，將主梁底緣抬高 85 公分、通洪斷面提升約 10%，並以疏運需求為時程控制點，歷時 149 日（提前 7 日）完成，恢復西正線通車。搶修期間於康芮颱風後勘查現地，顯示梁底距淤積面僅約 80 公分惟橋體未受波及，提供橋型轉換後在極端水文條件下的現地驗證。同期間透過西正線之搶修揭露東小清水溪橋橋墩損傷與安全虞慮，臺鐵公司以「預防性管理思維」利用清明疏運後至端午節前的窗口期間辦理停駛進行預防性改建，惟停駛前預先完成橋墩帽梁擴建、纜線遷移及鋼構預製等前置條件，使 42 天停駛窗口得以精準執行，全案僅用 94 日 (提前 4 日) 完成。2025 年 5 月 18 日西大清水溪橋再遭遇突發災害而封鎖停駛時，東正線新橋即時投入應急調度，驗證預防性改建已轉化為區域鐵路系統韌性的具體能力。

關鍵詞：複合型災害、韌性橋梁設計、疏運導向時程管理、預立思維、不中斷營運改建、系統韌性

前言

臺鐵北迴線為連結臺灣本島西部與花東地區的唯一鐵路幹線，全線自蘇澳新站至花蓮站，全長 79.2 公里，是花東居民通勤、就學、就醫及物資運輸的核心交通命脈。其中小清水溪橋路段（K53 + 500）位於，和仁至崇德間，緊鄰清水斷崖，橋址位於石公溪出海口附近，東側面臨太平洋、西側為高陡山壁，是北迴線地形條件最為嚴峻的路段之一，亦為整條路線最難以繞行替代的關鍵節點，相關位置如圖 1 所示。

小清水溪橋為雙線分離式橋梁，東、西正線各為

* 通訊作者，ahow@mail.sinotech.com.tw





圖 1　本工程工區位置圖

獨立橋梁結構，均屬預力混凝土 I 型梁構造，河道中央設有落墩：西正線建於 1999 年，總長 39.6 公尺；東正線建於 1977 年並於 2003 年完成大梁改建，總長 79.2 公尺。兩橋共用同一橋址，任何一線受損即直接影響北迴線整體運能；若雙線同時中斷，花東地區對外之鐵路交通將完全停擺。正因如此，本橋址任何工程決策均兼具橋梁工程與鐵路系統運能管理的雙重屬性。

2024 年臺灣東部先後受 0403 花蓮強震與凱米颱風影響，形成複合型連鎖災害 [1]。地震造成石公溪流域上游坡地條件弱化，後續極端降雨觸發大規模土石流 [2]，導致西小清水溪橋橋墩遭沖潰、上部結構全面落橋，北迴線西正線中斷，路段僅能依靠東正線單線雙向運轉，災後現場照片如圖 2 所示。而西小清水溪橋施工過程中透過同步清淤時發現，東小清水溪橋之橋墩即使已完成兩層防撞鋼板包覆，仍在衝擊下出現明顯結構損傷。此一結果顯示，原橋型的問題並非單一構件強度不足，而是多跨落墩橋型在高含砂、高流速且夾帶塊石的土石流環境下，河道內橋墩本身即為最脆弱的受力位置；梁底淨空不足亦無法有效因應極端水文事件。原型復舊將重蹈相同的結構邏輯缺陷。

面對此複合型挑戰，工程團隊確立兩項核心方向：其一，以橋型轉換取代原型復舊，從結構邏輯層次消除脆弱點；其二，將工程時程與元旦、春節、清明及端午等疏運需求整合為施工計畫的骨架，使施工管理同時服務於完工目標，交通系統恢復與再災風險降低。本文即從設計策略、施工管理、鐵路營運限制及流域防治等面向，藉以說明由單點搶修轉化為系統韌性實踐的工程實務經驗。



圖 2　小清水溪橋凱米颱風災後受損照片

西小清水溪橋搶修復原工程

疏運目標驅動的時程框架

西小清水溪橋搶修工程自啟動之初，即以「於元旦及春節疏運前恢復雙線行車」為時程管理的主導目標，而非單純追求「儘速完工」。工程團隊以 2024 年 12 月 28 日為原訂恢復通車節點，向前推算各工序之最

晚完成期限，並將中秋連假與國慶停工等限制條件納入整體排程，使工序安排成為疏運需求與施工風險共同作用下的必要條件。

提前完成各分階段工序，既代表施工效率提升，亦代表颱風、豪雨或道路中斷來臨前現場具有更大的撤離與調整緩衝。本案之時程管理，係疏運導向與防災導向相互結合的施工治理模式。

韌性導向的橋型選擇與設計邏輯

西小清水溪橋橋址因受前後隧道銜接、高程差與線型彎曲等條件限制，無法另覓替代橋位，僅能依原橋址重建。設計團隊在此制約下，從結構施工性、韌性設計、經濟效益與景觀協調性四個面向進行橋型評估，選項包括戰備鋼橋、鋼拱橋與鋼桁架橋三種方案。

在結構施工性方面，戰備鋼橋需重建橋墩，河道施工高風險；鋼拱橋吊裝精度要求高且空間受限；鋼桁架橋採無落墩設計，模組化預製、吊裝彈性佳，現場作業時間最短。在韌性設計方面，戰備鋼橋通水斷面反而減少約 6%；鋼拱橋與鋼桁架橋均可實現梁底抬升 85 公分、通洪斷面提升約 10%，但前者後續維護空間受限，後者開放式構造檢修便利性較佳。在經濟效益方面，鋼桁架橋因河道無須落墩、可利用既有橋台，人機與材料成本最低。在景觀協調性方面，鋼桁架橋的開放式構造視覺穿透性佳，與清水斷崖山海地景較能融合。

綜合評估後定案採用 40 公尺單跨不落墩下路式鋼桁架橋。設計將河道內橋墩自通洪空間中移除，主梁底緣抬高約 85 公分，使通洪斷面相較原橋型提升約 10%。設計載重納入豪雨狀態下水流速及漂流物衝擊力，採用 A709 高強度鋼材，重新設計止震塊及剪力鋼棒以符合耐震需求，橋梁結構高度控制在約 4.05 公尺，無設置上部橫向構件，整體輕量化亦有利電車線設施配置。此橋型係臺灣鐵路橋梁史上首次採用，全橋鋼構重量約 180 噸。設計同步配合供應鏈條件進行動態調整：施工團隊盤點鄰近鋼構廠庫存規格後即時回饋，設計單位優先採用庫存規格調整構件斷面，避免特殊規格採購所造成之時程延誤；構件分段尺寸亦受蘇花公路運輸寬度與熱浸鍍鋅槽體尺寸上限雙重約束，設計確認後方劃定分段位置。此設計與供應鏈雙向回饋機制，使工廠製作得以在設計定案後即刻啟動，為全部構件 42 天內完成製造提供關鍵前提。鋼構組件於鋼構廠內進行假組立以驗證製造精度之照片，如圖 3 所示。

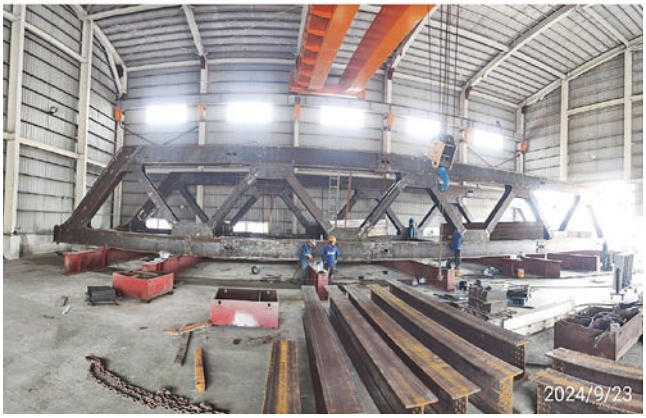


圖 3　小清水溪橋鋼構件於鋼構廠進行假組立照片

本案全橋之鋼構件採全螺栓接合工法，不進行現場焊接，係考量山區峽谷陣風與高濕環境對現場焊接品質之影響，並利用螺栓接合在工廠假組立階段即完成精密定位，使現場吊裝後可直接鎖固，大幅縮短高空作業時間，且具備日後可拆卸更換的維護優勢，如圖 4 所示。並在防蝕設計上，鋼構件工廠加工後施作熱浸鍍鋅（附著量達 650 g/m^2 以上），再回廠施作油漆；螺栓與螺帽鍍鋅附著量達 381 g/m^2 以上。油漆之選用兼顧材料取得可及性，並利用電腦軟體模擬配色，達成與清水斷崖地景之視覺協調。橋面版預留檢修通道與作業空間，使日後油漆補強或構件更換等養護作業可無須動用大型機具。

既有橋台保留再利用方面，現場勘查確認南、北兩側橋台主體無嚴重損壞後，設計單位採植筋方式銜接原有橋台，以外箍鋼筋擴大基座並增設鋼筋混凝土托座以銜接新設支承構件。此設計免除橋台拆除及大規模河岸開挖作業，以最精簡的現場土木工程規模達成施工時效最大化，亦為施工人員安全之防災與加速工程進度之重要決策。



圖 4　西小清水溪橋鋼構件現場吊掛施工照片

施工環境特性與鄰線行車安全管制

西正線施工的基本條件，是在自身線路已斷電斷軌的狀態下進行橋梁重建，工作區域內無列車通行。然而東正線仍緊鄰施工現場持續通車通電，形成「一線斷電施工、鄰線維持行車」的並存環境。兩線間距極近，吊裝機具之迴轉半徑、支撐架基礎選點及施工材料堆置範圍，均可能影響東正線行車安全，構成施工配置之首要制約。

依臺鐵公司施工規定，電化區間鄰線施工原則上須離軌道中心 5 公尺以上；機具、工具、車輛不得侵入建築淨空（距軌道中心 1.9 公尺以內）。鋼桁架吊裝因作業範圍較廣，須事先確認 500 噸吊車於各作業角度均不侵入東正線淨空，並於必要位置設置防護措施；臨時支撐架基礎施作位置亦須在符合淨空規定的前提下選定。工區全程均配置瞭望員，持行控無線電與行車調度保持通聯，即時通報列車動向，確保施工人員得以迅速反應。前進指揮所與跨部門協調群組的持續運作，使工務、電務、電力及設計監造各單位得以即時確認每道工序對鄰線之影響。

在天然災害監視方面，由於東正線持續通車，一旦正線因災害有妨礙運轉之虞，鐵路機構即應採取安全防範措施或預防性停駛。工程期間建立的三層預警網絡，包含：(1) 衛星影像掌握上游地貌、(2) 無人機空拍比對河道斷面、(3) 現場雨量計與水位計即時監控，除服務於工地人員安全，亦同步作為支援東正線行車安全判斷的資訊基礎。多次預警性撤離均依此機制觸發，確保工程作業與東正線行車安全同步受控。

施工完成後，依鐵路規定新建或整修完畢之路線須經檢查，必要時試運轉後方得使用。西正線自 2024 年 12 月 13 日起依序實施分速試運轉（40 km/h → 115 km/h → 130 km/h），完成法定行車安全確認程序，並於 12 月 21 日正式通車，完成工程完工至鐵路行車安全認可之完整驗證。

本工程有三項施工重要指導原則：(1) 減少現場土木工程規模；(2) 將高風險工項移轉至工廠製作；(3) 預先完善施工便道 [3]。而在鄰線通車環境中亦具有明確之工程安全管理邏輯，包含：縮減現場作業規模即降低對東正線臨軌安全之潛在干擾；工廠預製使高空吊裝作業集中且短促，有效降低長時間於鄰線安全邊界內作業之累積風險。本工程於凱米颱風災後，於 2024 年 8 月 9 日透過跨單位協調群組成立，工務、電務、電力、設計、監造及施工廠商迅速集結；8 月 20 日前進指揮所設立，現場作業正式展開。鋼構廠自 8 月 16 日開工，於 42 天內完成全部構件製造、工廠假組立、鍍鋅及油漆，依吊裝順序進場；現場以 500 噸輪式吊車搭配四組臨時重型支撐架，自北向南分組吊裝，並於 10 月 29 日即完成西小清水溪橋之全橋鋼構吊裝作業，展現良好之協調及現場施工管理效益。

河道同步清淤之管理作為

西小清水溪橋搶修工程全程伴隨石公溪河道清淤作業同步推進，凱米颱風所帶來之大量土砂沉積於橋址上下游，不僅壓縮通洪斷面，更直接威脅工區人員及機具安全。為此，工程團隊將河道清淤納入施工管理的一環，與橋梁搶修作業同步執行，而非於搶修完成後另行辦理，現場清淤狀況如圖 5 所示。

清淤作業依河道淤積監測成果滾動調整，工程團隊定期以無人機空拍建立河道斷面點雲模型，透過數位地表模型前後比對掌握淤積量體變化。每次颱風豪雨過後，均即時評估河道再淤積情形，並視需要安排後續清疏。此外，臺鐵公司亦配與公路單位、縣市政府、水利單位及國家公園共同推動聯合清淤與防災協作，使河道清疏從單一工址的即時應變，提升為跨單位協力的流域管理作為 [4]，相關空拍模型之點雲比對河道斷面的案例圖形如圖 6 所示。

同步清淤所積累的河道斷面資料，亦成為東小清水溪橋橋墩損傷評估的重要依據，直接促成後續東正線預防性改建之決策。清淤作業與搶修工程的整合推進，更兼顧了橋址環境安全與流域動態的綜合應對。



圖 5　小清水溪橋工程河道同步清淤之現場照片

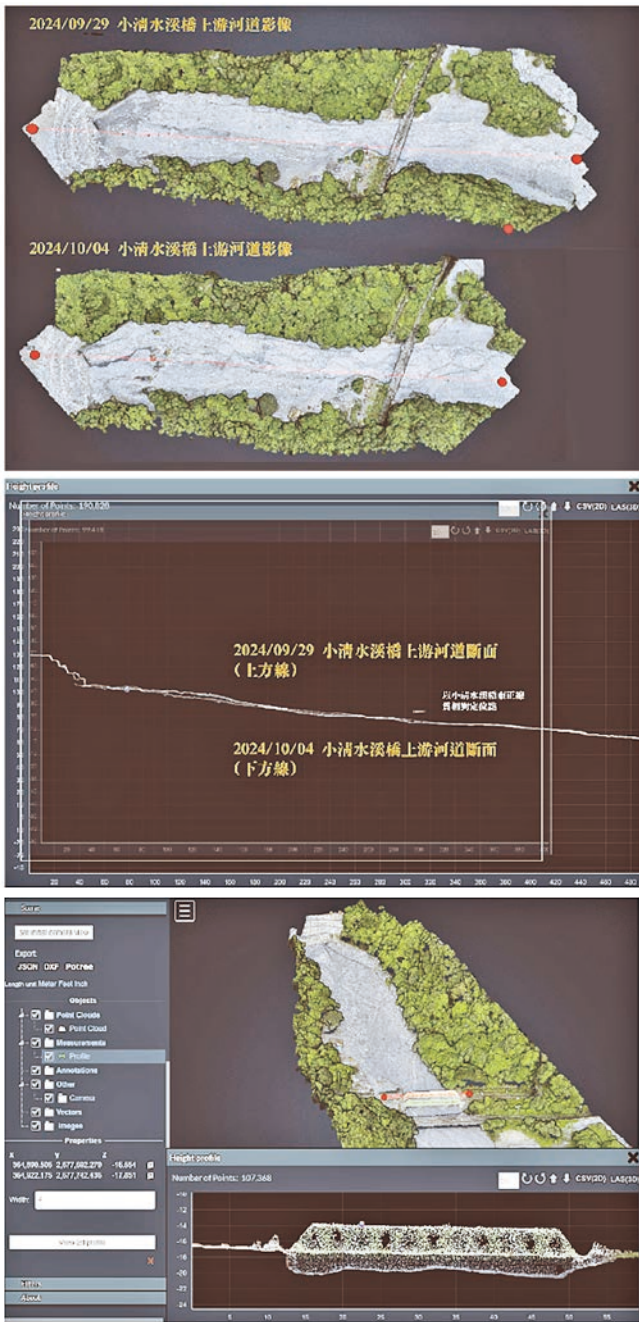


圖 6　空拍模型之點雲比對河道斷面案例

連續颱風事件下之設計韌性驗證

施工期間接連歷經山陀兒及康芮颱風侵台，提供了對於仍處於施工階段的橋梁設計韌性之實地驗證。2024 年 10 月 30 日康芮颱風登陸前夕，施工團隊完成橋面版混凝土澆置後立即撤離；11 月 3 日回現場勘查，發現上游山側最狹隘處距梁底僅約 80 公分，如圖 7 所示，顯示已疏濬河道在極端降雨後仍可能快速再淤積。惟橋梁下弦梁及橋台未見泥水痕跡，研判土砂未漫入橋體範圍 [5]。此一現地觀察記錄說明新橋於高淤積



圖 7　康芮颱風後河道淤積現場狀況

條件下仍保有較原橋型更大的通洪安全餘裕，也提供了「單跨不落墩、梁底抬升」設計策略在極端水文條件下的實證 [6]。

後續於 2024 年 12 月 13 日起啟動試運轉，車速逐步提升至 130 km/h，各速度等級均通過安全確認。2024 年 12 月 21 日正式恢復通車，較原訂目標提前 7 日，總工期 149 日；雙線恢復行車後假日可增開加班車 14 班，春節期間運能亦獲顯著改善。

東小清水溪橋預防性改建工程

從被動搶修到主動預防的決策邏輯

西小清水溪橋搶修期間，河道清淤確認東小清水溪橋 P1 與 P3 橋墩之損傷程度超出原先認知，其橋型同屬多跨落墩配置，與西小清水溪橋共享相同之通洪脆弱性。東正線雖尚可維持通車，但面對下一汛期風險，局部補強或持續觀察均無法有效控制不確定性。臺鐵因此於西正線通車後主動啟動東正線預防性改建，展現從「被動應變」到「主動調適」的策略升級。

此一決策標誌著工程治理思維的轉換：西正線是災害發生後不得不採取之應急搶修，東正線則在既有經驗基礎上主動建立下一道防線。前者驗證橋型轉換與施工整合之可行性，後者將同一套邏輯深化為事前布局，使工程由回應單次災害轉型為系統性風險預防。

鐵路營運中施工之根本限制

東正線預防性改建的預立期，與西正線搶修時「一線斷電、鄰線通車」的環境有本質差異。西正線搶修

期間，施工線路本身已斷電斷軌，只需維護鄰近東正線的臨軌安全距離；東正線帽梁增建則直接在通電通車的橋墩本體上進行，列車於橋面繼續慢行通過，電車線全程帶電。此施工環境下，橋墩下方之結構施作雖不影響橋面板，得以在列車慢行通過之下持續進行，然現場安全管控要求較一般鄰線作業更為嚴格，施工期間全程加強警戒，以確保行車與施工安全並行。

帽梁增建之各工序，依其對電力系統之影響程度適用不同的管制程序。電車線電桿移設因直接影響電力供應，須申請路線封鎖並斷電後方可施作，完成後須在首班列車前完成復電確認及解除封鎖，封鎖申請程序須先經綜合調度核准，現場須配置通訊設備及旗燈備用。橋墩本體之帽梁鑽孔、植筋、鋼筋綁紮及模板組立等工序在橋下進行，不影響橋面板，列車得以慢行持續通過，無需申請封鎖，但仍適用嚴格的臨軌作業管制。

施工期間不論工序性質，工區全程均配置瞭望員，持行控無線電即時掌握列車動向並通報工區人員，施工人員於列車接近時立即暫停振動型作業。鑑於東正線施工現場位於行車線路之下方，各施工階段均須嚴格管制作業區域內之鬆散材料、施工廢棄物及各類輕質物件，防止因風力或操作疏失造成物品散逸至行車區域，此一管制要求貫穿預立期施工全程。

混凝土澆置為連續性作業，須確保在同一施工時段內不間斷完成，以維持結構整體性。列車通過時產生之動態荷重與振動亦影響鄰近混凝土之養護品質，故澆置時機之選定須配合行車班次較疏之時段，並於澆置前確認各項施工條件均已就位。

每個施工階段的完成，是行車安全責任在不同系統主體之間的正式轉移。2025 年 4 月 8 日停駛後，東正線斷電停駛，施工環境轉為與西正線搶修相似的「本線斷電、鄰線（已完工西正線）通車」狀態，施工條件在此節點顯著改善。預立思維的工程意義，正在於認清通車通電期間施工的嚴格限制，並在停駛前把所有受此限制的工作提前消化，使停駛後的 42 天得以在斷電環境下直接高效執行已備妥的工序。

疏運期程作為改建時序的結構依據

東正線改建受兩項條件約束：其一，改建前必須維持行車，不得長時間停駛；其二，須於 2025 年汛期前完成，以降低土石流再度影響之風險。工程團隊因此將疏運規劃轉化為時序設計邏輯：以清明連假結束後（2025 年 4 月 6 日）作為拆橋起點，以端午節前恢復雙線通車作為目標，使旅運需求回落的清明後空檔得以作為整橋更換的施工窗口，端午前通車則可銜接後續夏季旅運高峰。疏運規劃因此不再只是工程的外部限制，而是施工計畫本身的結構性依據，各工序節點從一開始即以交通服務不中斷與高峰期前恢復運能為核心，而非先有工程時程再配合疏運空檔調整。

預立思維：以 44 天的通車前置，換取 42 天的精準兌現

東正線總工期 94 日，其中 2025 年 2 月 20 日至 4 月 7 日為停駛前之預立期（44 日），2025 年 4 月 8 日至 5 月 24 日為停駛後之兌現期（42 日）。兌現期施工效能之所以得以最大化，關鍵在於預立期間已於通車狀態下完成停駛後高效率施工所需之前置條件。本文所稱「預立思維」，即在行動窗口開啟前預先完成行動所需之一切準備。

此一思維具體體現在以下四個面向：

1. 橋墩帽梁預先增建

東正線轉型為單跨設計須先擴建 P1、P3 橋墩帽梁。由於原電車線電桿基礎係以斜撐形式固定於橋墩側緣，直接施作將干擾電桿穩定性並危及行車安全；設計解方是在橋面設置臨時鋼製電桿基座，使電車線維持穩定支撐，帽梁增建作業在橋下平行推進，兩個作業面互不干擾。

在結構設計上，帽梁採用植筋銜接既有橋墩、再增建混凝土帽梁的方式，配置預力鋼腱以補強整體構造之彎矩與剪力抵抗能力。預力施拉採兩段式執行：第一段於帽梁混凝土澆置完成並達到設計強度後施拉，確保帽梁結構在停駛前即具備基本受力能力；第二段則安排於停駛後橋面版澆置完成時施拉，由整體系統在新載重條件下完成最終的受力狀態調整，相關橫向施拉預力狀況如圖 8 所示。這種分段施拉的安排，使帽梁結構得以在通車狀態下完成大部分預力建立，有效縮短停駛後的關鍵工期。全部帽梁結構於停駛前 9 日完成。停駛後鋼橋得以直接落座於預立完畢的支承面上，無需任何結構前置作業。



圖 8　東小清水溪橋橋面板澆置後施拉預力照片

2. 系統纜線預先遷移

東正線橋上設有電務通訊系統四條主要纜線。花蓮電務段通訊組於停駛前夜間封鎖時段分三夜（2025 年 3 月 3 日至 5 日）完成全數纜線切換拆收；民營電信業者亦於 2025 年 3 月 15 日前完成東正線範圍內之纜線遷移。4 月 8 日停駛拆橋啟動時，橋上已無任何系統纜線，施工機具可立即推進橋面版敲除，排除跨系統等待時間。

3. 鋼構工廠預先製作

東正線鋼桁架橋在停駛前即已於鋼構工廠完成全數構件製作、假組立、鍍鋅及油漆，並依吊裝順序排列待運。工廠製作所需時間完全在停駛窗口以外消化，42 天的停駛期間得以全數集中於高效率的現場作業。

4. 施工動線與作業面預先整備

重型吊車進場路線確認、臨時支撐架基礎施作位置規劃、施工便道維護等事項均於停駛前完成，確保停駛日機具到達現場時，所有作業條件已就緒，無需額外的場地準備時間。

停駛後 42 天：序列作業的精準執行

於 2025 年 4 月 8 日零時 18 分，東正線停駛作業正式啟動，電力段完成電車線斷電及接地後，清晨即完成電車線拆除與交付；工務段接續完成切軌，拆橋機具正式進場。整體節奏呈現高度序列化，顯示各系統單位已形成明確之工序接力關係，而非僅是平行配合。停駛後之主要工序節點如表 1 所示。

表 1　東正線停駛後主要工序節點

日期	主要工序	關鍵事件說明
4/8	電力設施拆除、鋼軌切除	00:18 電力段斷電接地；05:52 電車線交棒；06:43 切軌完成，拆橋機具進場
4/8~4/11	橋面版敲除、PCI 梁吊除	既有橋梁結構共 205 立方米拆除；舊 PCI 梁轉作河道邊坡護岸
4/12~4/24	鋼桁架橋節塊吊裝	鋼構依序吊裝，4/24 全數構件安裝完成
4/28	橋面版混凝土澆置	完成 61 立方米澆置
4/29~5/12	預力施拉、版式軌道、道床澆置	5/12 道床混凝土澆置完成
5/15~5/16	鋼軌焊接、電力電務復原	南北四口焊接完成；各系統接力完成復原
5/18~5/19	因應新災緊急啟用	西大清水橋淹沒，東正線以柴聯車緊急應急；5/19 凌晨 03:24 開通
5/24	正式通車	較原訂 5/28 提前 4 日，決標至通車共計 94 日

設計前瞻性的非預期驗證

2025 年 5 月 18 日花蓮地區再度發生強降雨，臺鐵北迴線 K51+300 之西大清水溪橋橋面遭土石流淹沒而無法通行，北迴線和仁至花蓮方向中斷。當時東正線新橋雖尚未完成正式啟用前之全部程序，但軌道已鋪設完成，因而得以採柴油車緊急投入應急運輸，並於 2025 年 5 月 19 日凌晨 3 時 24 分開通；2025 年 5 月 29 日恢復雙線通車，現場空拍之照片如圖 9 所示。

此一事件使東小清水溪橋改建之工程價值，從「降低下一次災害風險」擴展為「支撐系統於新災中維持運作能力」。預防性改建的價值不只在於橋梁本體更新，更在於為區域交通系統預留了面對下一次災害時仍可運作的應急能力。

土石流防治對策與流域韌性佈局

東小清水溪橋的防治對策，並非僅止於橋梁本體的結構更新。橋梁改建是最直接可控的工程介入，但橋梁作為構造物，本質上是被動承受來自上游的力量。若上游土砂生產機制未獲控制，橋梁設計所提供的僅係延緩再災的結構餘裕，而非根本性的風險消除。本案之防治策略因此自單一橋址延伸至流域尺度，形成涵蓋橋梁本體強化、場域導流清疏、流域跨機關治理及預警監控的多層次工程韌性架構。



圖 9　小清水溪橋工程雙線通車空拍照片

橋梁本體層：通洪斷面提升與結構韌性強化

由於東、西正線新橋均採單跨無落墩構造，全面取消河道內橋墩，並將主梁底緣抬高約 85 公分，使通洪斷面相較原橋型提升約 10%。此設計之要旨在於降低橋梁對水流及土砂輸移的阻礙效應：取消落墩消除土砂受阻壅積的物理節點，梁底抬升則增加漂流物與淤積土砂的通洪緩衝空間。

依 2024 年康芮颱風後現地觀察，已疏濬河道仍再次淤積，最狹隘處距梁底僅約 80 公分，惟橋體未見受損，顯示橋型轉換確具實質通洪效果。此一現地記錄揭示，在本橋址，單次颱風事件即可能使河道淤積量逼近梁底，橋梁本體之韌性設計須以持續清疏及上游土砂管理為配套，方能維持長期防護效能。

在橋墩防護方面，即使新橋已採無落墩之設計，但東正線工程施工期間橋址附近仍存有舊橋拆除後的殘餘結構物，以及尚未清除完畢的河床砌石。為避免殘餘構造在洪汛期間形成漂流物及土石之受阻節點，工程對關鍵殘餘結構施作鋼板包覆保護，作為流域土砂量體尚未完全消解前之過渡性防護措施。

橋址場域層：導水牆主動導流與清淤同步推進

橋梁本體強化與導水牆設計分別對應兩個尺度的問題：前者處理橋梁結構的受力邏輯，後者改變水流在橋址附近的行為模式，兩者共同決定橋址的長期安全。

橋址附近施作的導水牆，透過構造介入主動引導洪峰水流方向，使水流動能導離橋台及近橋墩坡面，降低土砂在橋址附近的沉積速率，並減少洪峰水流對橋台坡趾的直接衝刷。此措施體現「主動導流重於被動承受」的設計邏輯：透過構造介入調整水流行為，使衝擊力道在抵達橋梁前即被分散引導，較單純強化橋梁結構更具主動防護效益。

工程期間同步推動石公溪與大清水溪的分期清疏作業，以維持河道通洪斷面的動態暢通。清疏係針對河道持續再淤積特性所採取的定期性干預措施，而非隨橋梁竣工即可停止之一次性工程。工程團隊以無人機空拍影像建立河道斷面點雲模型，透過數位地表模型前後比對，精確掌握河道斷面的淤積量體變化，並以衛星多光譜影像比對上游裸露地範圍，研判流域土砂生產的潛在風險趨勢，為清疏時機與規模的決策提供資訊依據。

東正線拆除的既有 PCI 梁轉作石公溪橋址下游段河道邊坡護岸，在延續構材服務功能的同時提供河岸被動保護外，並強化減碳之工程效益。

流域治理層：多層級跨機關防災體系

從流域治理的視角觀之，臺鐵北迴線橋址在地形上位處石公溪的出海口附近，是整個流域土砂輸移路徑的最終受體。無論是地震造成的山坡裸露、颱風帶來的崩塌土砂，還是野溪河道的長期淤積，最終都可能以土石流的形式抵達橋址。此種「上游產砂、下游受災」的流域特性，顯示單靠橋梁本體之結構強化，不足以從根本消除再災風險；須在整個流域空間中建立多層級治理分工，方能使工程韌性發揮實效。

本案透過工程會擔任統籌平台，建立從上游到下游的空間分工治理架構：上游野溪以上範圍由林務署負責，確保水土涵養與坡地穩定；野溪管理由地方政府主責，並獲得經濟部的經費支援，強化區域排水能力；鐵公路之間的廊道區域由公路局與臺鐵協調合作，建立共同防災機制；橋梁本體及橋址周邊清淤整治則由臺鐵負責執行。此由上而下釐清權責並建立相互支援機制的分工架構，係各層級工程措施整合為系統性防護網絡的制度基礎。

預警監控層：從工程管理到防災預警的資訊整合

工程完成後之長期防護效能，除有賴靜態結構設計外，尚須仰賴能夠感知環境變化、及早發出預警的動態監控機制。本案在工程期間即導入三層次的空間資訊整合系統：

「宏觀層」整合防災預警資訊（水土保持署土石流警戒系統）、氣象署雨量及颱風路徑資料、公路局省道即時監控影像，並疊合 GIS 空間分析平台與 Sentinel-2 衛星多光譜影像之 NDVI 植生指數變化，進行多元資訊的跨層比對，全面掌握石公溪上游流域地貌變化及土砂生產趨勢；「中觀層」以無人機空拍定期建立點雲模型，透過數位地表模型前後比對精確掌握河道斷面變化；「即時層」透過現場 CCTV 即時監控、臨時雨量計及水位計，結合臺鐵公司與氣象署共同開發之 QPEplus 劇烈天氣系統平台，提供沿線氣象監測站的即時資訊，形成施工期間的預警觸發機制。

施工期間多次依此系統發布警戒並執行預警性撤離，均成功確保人員零傷亡，驗證了資訊整合架構在高動態環境中的實際防災效能。工程完工後，此一監控體系持續作為北迴線沿線的常態防災預警機制運作，支援預防性停駛等標準作業程序的啟動決策，使工程防災的成效延伸至橋梁全生命週期的營運維護階段。

綜合上述四個層次，東小清水溪橋的防治對策呈現一個清晰的韌性思維邏輯：橋梁本體強化是第一道防線，消除了最直接的結構脆弱點；場域尺度的導流與清疏是第二道防線，降低了土砂在橋址的累積速率；流域尺度的跨機關治理是第三道防線，從土砂的源頭進行長期控制；動態監控預警是第四道防線，使人員與系統能夠在損害發生之前採取因應行動。任何單一防線都不足以應對極端氣候下的複合型災害；四者整合，才能從根本上提升北迴線在此段的系統韌性。

整合效益

工程與營運效益

本案西、東正線搶修改建工程均達成提前通車目標，並在橋型轉換、通洪能力、施工時程與運能效益等面向取得具體成效。兩工程在工程性質上雖分屬緊急應急與主動預防，然橋型設計邏輯一致，形成橋址系統性的韌性升級。

橋型轉型方面，東、西正線均由多跨落墩預力混凝土梁橋改建為 40 公尺單跨無落墩下路式鋼桁架橋，主梁底緣均抬高 85 公分，通洪斷面較原橋型提升約 10%，為橋址提供更充裕的通洪餘裕。兩座新橋所採用的 A709 高強度鋼材，搭配「鍍鋅＋油漆」雙重防蝕系統，顯著提升橋梁在高濕高鹽霧環境下的耐久性，降低後續維護頻率及長期維護成本。在開放通透的鋼桁架橋構造形式下，橋梁後續之定期目視巡檢、塗裝補強及構件更換等維護作業，均較原預力梁橋型更為便利。

在工期管控方面，西正線歷時 149 日完成，提前 7 日於元旦及春節疏運前恢復雙線通車，假日得增開加班車 14 班，春節期間旅客運能明顯改善；東正線歷時 94 日完成，提前 4 日於端午節前恢復雙線行車，使雙線運能較單線運轉提升約 26%。兩次提前通車均精準銜接疏運節點，充分體現疏運導向之時程管理模式對公共服務的直接貢獻。

在環境效益方面，兩座新橋均採單跨無落墩設計，大幅減少混凝土用量；並再利用既有橋台結構，免除大規模拆除重建；東正線拆除之既有 PCI 梁亦轉作河道護岸 [7]，並減少碳排量。並同步彙整東、西正線工程效益之主要指標於表 2 供對照參考。

表 2　小清水溪橋東、西正線工程效益比較

效益面向	西正線 （西小清水溪橋）	東正線 （東小清水溪橋）
工程性質	災後緊急搶修復原	預防性主動改建
橋型轉型	多跨落墩→ 單跨無落墩	多跨落墩→ 單跨無落墩
梁底抬升	85 公分	85 公分
通洪斷面	提升約 10%	提升約 10%
主鋼構用量	180 噸（A709）	192 噸（A709）
總工期	149 日 （開工至通車）	94 日 （決標至通車）
提前完工	提前 7 日 （原訂 12/28）	提前 4 日 （原訂 5/28）
運能效益	假日可增開加班車 14 班	雙線運能較單線 提升 26%
節能減碳	合計兩橋估計減碳 逾 18.5 tCO_2e	

疏運管理目標的實現

西正線於 2024 年 12 月 21 日提前通車，使北迴線得以於元旦及春節前恢復雙線營運，假日可增開加班車，春節期間運能亦顯著提升；東正線則於 2025 年 5 月 24 日正式通車，使雙線於端午與後續夏季旅運高峰前完整恢復。兩次提前通車不只是工期績效，更是對特定疏運節點公共服務需求的精準回應。

景觀融合與協調性

兩座新橋均採單跨鋼桁架橋形式，結構高度約 4.05 公尺，無上部橫向構件，開放通透的幾何特性有利於通洪與電車線系統配置，亦使橋梁視覺輪廓與清水斷崖山海地景維持協調。油漆色彩選用在兼顧材料取得可及性的前提下配合地景利用電腦軟體模擬色調，使橋梁在功能與環境之間取得平衡。

結語

本文系統整理臺鐵北迴線小清水溪橋改建工程由西正線應急搶修到東正線預防性改建之完整歷程，並提出兩項管理概念。其一為「疏運導向之時程框架」，將假期疏運需求轉化為工序規劃與節點控制的結構依據；其二為「預立思維」，即在停駛窗口開啟前完成所有必要前置條件，使有限的施工時段得以最大化發揮效能。這兩項概念不是事後歸納，而是貫穿整個工程之實際決策邏輯。

從現地驗證觀之，山陀兒颱風主要反映施工環境與便道維持的壓力；康芮颱風後已疏濬河道再次淤積、梁底淨距縮小，則更具體顯示橋址仍面對高動態輸砂條件，但新橋已展現較原橋型更佳的通洪與安全餘裕。再加上 2025 年 5 月 18 日西大清水溪橋新災時，東正線新橋得以及時投入應急調度，說明本案工程成果已超越單一橋梁層級，轉化為區域交通系統之韌性能力。

面對極端氣候常態化與山區河道高不確定性並存的未來，工程技術固然重要，但更關鍵的是：能否在有限時間內整合設計、施工、監造、電力、電務與營運需求，將不確定環境中的多重限制轉化為可執行之決策與節點。本案所展現者，不只是橋型創新或工期管控，而是在複合型災害條件下，將工程設計判斷、時程治理、風險辨識與系統整合落實於現場的整體工程能力，亦是本案對後續鐵路防災及不中斷營運改建最具參考價值之處。

誌謝

本工程之完成，仰賴花蓮工務段、宜蘭工務段、花蓮電務段、宜蘭電力段和平分駐所、中興工程顧問股份有限公司、旭盛營造公司及各協力單位全體同仁之共同投入。於歷次颱風、地震及新發災害處置期間，各級主管持續提供必要支援與協調，對工程如期推進與順利完成具有關鍵作用，謹此致謝。

參考文獻

1. 歐昱辰、吳俊霖、柴駿甫、姚昭智（2024），「2024 年 4 月 3 日花蓮地震勘災報告」（NCREE-24-006），國家地震工程研究中心。
2. 國家災害防救科技中心（2024），「113 年凱米颱風災情彙整報告」，國家災害防救科技中心。
3. 呂斌豪、周行健、林舜元、陳宗宏（2024），「由專案管理原則思考工程搶修策略」，現代營建，第 12 期。
4. 陳宗宏、周行健、林舜元、呂斌豪（2025），「從臺鐵西小清水溪橋搶修復舊案例探討二次災害防治思維」，地工技術，第 184 期，第 93-103 頁。
5. 陳仲俊、周行健、林舜元、呂斌豪（2025），「臺鐵西小清水溪橋災後重建工程紀實」，臺灣鐵路 TRJ 季刊。
6. 呂斌豪、林舜元、林芳輝、周行健（2026），「以小清水溪橋搶修復舊案例—談工程創新應用整合思維」，土木水利，第五十三卷第一期，第 4-13 頁。DOI: 10.6653/MoCICHE.202602_53(1).0002

DOI: 10.6653/MoCICHE.202606_53(3).0007

預警及聯防機制

鐵路營運與邊坡防汛土石流聯防機制之建立—以臺鐵公司北迴線在0403花蓮地震後作為為例

謝曜宇*／國營臺灣鐵路股份有限公司工務處 處長
李建勳／國營臺灣鐵路股份有限公司前花蓮工務段 段長

本文探討國營臺灣鐵路股份有限公司在面對極端氣候威脅時，如何透過數位轉型與跨領域協作，建構一套完整的防汛土石流聯防機制，並提前啟動預警性停駛，以減少災害損失。面對北迴線頻發的落石、土石流災害等複合式天然災害威脅，臺鐵公司在既有基礎上，整合了 AI 影像辨識、實體感測阻隔、以及 QPEPLUS 納管土石流潛勢溪流監測，成功建立起多層次的安全防線，亦持續針對高風險路段辦理強化改善工程，同時推動安全管理，確保營運之長期安全與穩定。

前言

自民國 80 年 12 月 16 日南迴鐵路全線通車後，正式建構總營運里程達 1,065 公里之環島鐵路路網。其中，跨越主要溪流與河川之鐵路橋梁（含跨河橋、跨線橋及高架橋）共計 1,149 座，為環島路網之核心基礎設施。此外，鐵路幹線因受限於地形而必須穿越山岳、丘陵及地質敏感區，目前營運中之鐵路隧道共計 104 座，並列管 5,237 處邊坡。

經統整近年天然災害引發之鐵路沿線邊坡重大安全事故（如表 1 所示），其災害誘因多為極端降雨，主要崩塌類型涵蓋土石流、落石、岩體滑動、岩屑崩滑及順向坡滑移，常導致擋土牆結構損壞、路線沖毀或落石坍方而造成營運中斷。尤以 113 年 4 月 3 日花蓮發生芮氏規模 7.2 強震後，接續受到凱米、山陀兒及康芮等颱風侵襲，致使臺灣東部鐵公路多次發生邊坡落石與土石流災情。其中，113 年 7 月 25 日凱米強烈颱風更導致臺鐵西部幹線八掌溪橋南橋台路基嚴重掏空，造成罕見之東西幹線同時中斷事件。面對全球氣候變遷之衝擊，如何透過數位轉型與跨領域協作，建構完善之防汛與土石流聯防機制，已成為臺鐵公司維持鐵路韌性之關鍵課題。

* 通訊作者，0701625@railway.gov.tw

表 1　近年臺灣鐵路沿線邊坡重大天然災害

編號	時間	地點與災害事件	災害類型	觸發因子
1	112/9/3	臺東線山里～鹿野間 K146＋520 土石漫流	岩屑崩滑	海葵颱風
2	112/10/4	臺東線 K148＋455 山里隧道北口土石流	土石流	小犬颱風
3	113/4/3	北迴線 7 處土石侵入軌道之災損	落石	0403 花蓮地震
4	113/4/10	北迴線 K40＋550 普悠瑪列車撞擊落石事故	落石	0403 花蓮地震之餘震
5	113/4/22	北迴線和仁～崇德間 K48＋500 土石流	土石流	暴雨
6	113/6/21	北迴線土石流溢淹 K51 大清水溪橋，列車撞土石流事故	土石流	暴雨
7	113/7/4	北迴線 K48 新和仁隧道北口（東正線）落石侵入軌道事故	落石	0403 花蓮地震之餘震
8	113/7/25	北迴線和仁站南邊 K48＋500 土石流淹沒軌道；K53＋800 西小清水溪橋梁遭沖毀；崇德站北邊 K56＋650 土石流淹沒軌道；崇德站北邊 K56＋820 土石流淹沒軌道；縱貫線 K306＋714 八掌溪橋南橋台路基掏空	土石流 / 岩屑崩滑	凱米颱風
9	114/10/23	平溪線嶺腳～望古間 K9＋820～920 路基流失	岩屑崩滑	暴雨

災情現況與分類

台灣東部沿海緊鄰中央山脈，山勢陡峭。當東北季風夾帶太平洋之豐沛水氣移入東部陸地時，受地形迎風面阻擋，氣流沿山坡強迫抬升，促使空氣膨脹冷卻並加速水氣凝結，進而形成局部集中之強降雨。若逢颱風外圍環流與地形抬升效應產生共伴或加乘作用，常使局部降雨峰值劇增，極易引發洪澇與坡地災害。

土石流之觸發主要受地形坡度、降雨強度、土壤特性及地質條件之共同作用。以臺鐵北迴線和仁至崇德路段為例，其上邊坡具高陡之地形特徵，加之 0403 地震及後續餘震頻仍，致使坡面地層破碎並堆積大量鬆散岩屑，極易滿足土石流之啟動條件。根據統計，113 年度北迴線因上述邊坡災害導致路線阻斷或預警性停駛之事件共計 11 次（如表 2 所示）。

災害主因由台 9 線公路側上邊坡落石或土石流侵入鐵路軌道。由鐵公路聯防致災點範圍包含北迴線 K40＋500～K41＋600、K48＋500～K48＋730、K51＋200～K51＋535、K53＋800、K56＋600～K56＋900（如圖 1）。

在颱風季期間，極端降雨常引發大規模土石流，導致鐵公路同時阻斷或啟動預警性停駛。其中，北迴線崇德隧道至崇德站間（K56＋600～K56＋900）因致災頻率最高、受災範圍最廣，且涉及多個權責機關，已成為跨領域聯防之重點管制區域（如圖 2 所示）。

此外，北迴線因災導致路線中斷時間最長者，為石公溪流域之小清水溪橋路段（K53＋800）。民國 113 年凱米颱風侵襲期間，鐵路西正線小清水溪橋遭石公溪土石流沖毀，自同年 7 月 25 日起營運中斷，歷經近 5 個月之鋼桁架橋重建工程，於 12 月 21 日提早搶通。

表 2　0403 花蓮地震後 113 年度北迴線路線阻斷統計表

編號	時間	地點與災害事件	災害類型	觸發因子
1	113/4/3	K41＋500 和平站南（台 9 線 148.3K）、K51＋300 和仁、清水隧道間（台 9 線 158.3K）落石雙線阻斷	落石	0403 花蓮地震
2	113/4/10	K40＋800～K40＋900 和平站南（台 9 線 147.7K）落石 445 次出軌雙線阻斷	落石	0403 地震餘震
3	113/4/22	K48＋500 和仁站南（台 9 丁 45.5K）土石流雙線阻斷	土石流	強降雨
4	113/6/21	K51＋300 新和仁隧道南口西大清水溪橋土石流溢流淹沒軌道，西正線阻斷	土石流	強降雨
5	113/6/29	K48～K56 因強降雨沿線監視系統無法辨識，預警性封鎖西正線	未致災	強降雨
6	113/7/1	K48＋600 和仁站南（台 9 丁 45.6K）土石流雙線阻斷、K56＋600 崇德 2 號橋（台 9 線 164.2K）、K56＋900 崇德 4 號橋（台 9 線 164.5K）土石流西正線阻斷	土石流	強降雨
7	113/7/4	北迴線 K48＋730 東正線（台 9 丁 45.8k）落石東正線阻斷	落石	0403 地震餘震
8	113/7/25	自 113/7/24 中午 12 時起颱風警報發布全線預警性停駛；K48＋600 和仁站南（台 9 丁 45.6K）土石流雙線阻斷、K53＋800 西正線西小清水溪橋遭土石流沖毀、K56＋800 崇德過水箱涵（台 9 線 164.4K）、K56＋900 崇德 4 號橋（台 9 線 164.5K）土石流雙線阻斷	土石流	凱米颱風
9	113/9/8	因強降雨台 9 線已有土石漫流：透過鐵公路聯防機制預警性封鎖東正線；K56＋900 崇德 4 號橋（台 9 線 164.5K）土石流雙線阻斷	土石流	強降雨
10	113/9/30	因強降雨台 9 線已有土石漫流：透過鐵公路聯防機制預警性封鎖東正線；K56＋900 崇德 4 號橋（台 9 線 164.5K）土石流雙線阻斷	土石流	山陀兒颱風
11	113/10/31	因颱風警報發布自 113/10/31 首班車起全線預警性停駛；K56＋800 崇德過水箱涵（台 9 線 164.4K）土石流雙線阻斷	土石流	康芮颱風

與此同時，石公溪土石流亦引發複合性災情：交通部公路局轄管之台 9 線 K161 + 300 處（匯德隧道北口）遭土石流淹沒達 3 次；內政部國家公園署太魯閣國家公園管理處所轄之匯德遊憩區（停車場），亦於該次土石流事件中遭受大面積掩埋而嚴重損毀（如圖 3 所示）。



圖 1　113 年度北迴線致災點分布圖



圖 2　北迴線崇德站至崇德隧道間與台 9 線致災點里程對照圖



圖 3　北迴線小清水溪橋、台 9 線匯德隧道與匯德停車場周邊空照圖

災害發生前預警機制

原臺鐵公司主要運用「臺鐵劇烈天氣監視系統」來面對機端氣候之預警，此系統是自 98 年莫拉克颱風造成嚴重災情後，台鐵局（臺鐵公司前身）導入交通部氣象局即時降雨資料（QPESUM），所建立行車降速機制及強化預警停駛之機制。

101 年則建置 QPE Plus，其具備即時資料串接（雷達、雨量、警報）及大雷雨即時訊息之功能，可直接影響行車決策。同時，整合邊坡監測、落石偵測、淹水警戒等監測系統，使合作單位從單一氣象局（升格為中央氣象署），擴展到經濟部水利署、地質調查及礦業管理中心。

107 年開始進入即時預警與整合決策模式，與中央氣象署深度整合引入大雷雨即時訊息（短延時預警）及高解析降雨預報，具備邊坡監測、落石告警及水位監測功能。

臺鐵公司在 110 年 0402 第 408 次車清水隧道重大鐵道事故後，於北迴線和仁崇德間 K48 + 500 ~ K48 + 650 及 K51 + 200 ~ K51 + 535 設置邊坡落石 AI 告警系統，並在 113 年 0403 花蓮地震及後續歷次強降雨引發土石流災害中，發揮即時遠端監看現場狀況功能（如圖 4）。

另外，為實施全線鐵路橋梁、邊坡安全檢查所需，臺鐵公司也購置無人空拍機並定期以拍攝追蹤，如圖 5 所示，北迴線 K51 上邊坡有明顯侵蝕溝，為重點觀察區域。因此，在鐵公路聯防中共享空拍影像資訊，也成為災害搶修、復建工程規劃的重要研判資訊來源。



圖 4　0403 地震前花蓮工務段值班室監視告警設備



圖 5　用空拍機觀察記錄北迴線 K51 上邊坡情形

聯防機制建置過程

0403 地震後，強降雨引發大規模土石溢流，並波及台 9 線及台 9 丁線，導致蘇花公路南澳至崇德間啟動預警性封閉，實施車輛管制。與此同時，臺鐵公司工務段於歷次路線巡查中發現，北迴線和仁至崇德段內之各跨溪橋梁與沿線排水系統均陸續出現嚴重淤積現象；為確保營運安全，臺鐵公司遂與交通部公路局跨部會合作，共同執行清淤與疏濬作業。

繼 0422 強降雨引發土石流，導致和仁站南端（K48 + 500）雙線營運阻斷事件後，臺鐵公司為強化預警防範機制，進一步介接公路局台 9 丁線之監視控制電視（CCTV）即時影像，並整合農業部林業及自然保育署增設之雨量站即時數據，據以建置即時路況、氣象與水文資訊共享平台（如圖 6 所示），以全面提升鐵路沿線之防災韌性。

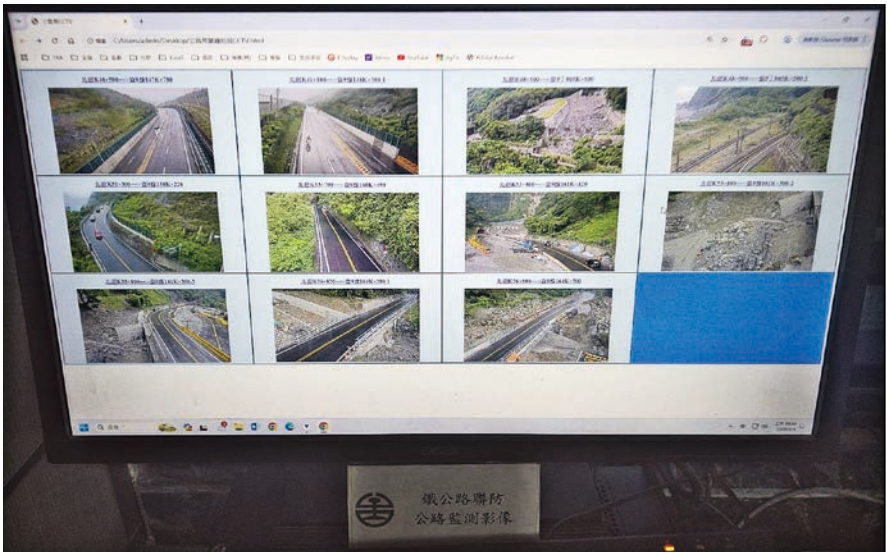


圖 6　花蓮工務段值班室內架接公路 CCTV 即時影像螢幕

0621 北迴線土石流溢淹 K51 大清水溪橋，造成 229 次新自強號撞土石流事故後，臺鐵公司花蓮工務段即在 113 年 6 月 24 日與花蓮縣政府、秀林鄉公所、林業保育署花蓮分署、水保署花蓮分署、公路局東區養護工程分局等相關單位針對北迴線大清水溪橋野溪疏濬整治進行會勘分工及建置初步聯防機制（圖 7）。隨後，因應凱米颱風之侵襲，以及 0403 地震後集水區岩體破碎與汛期土石溢流風險劇增之現況，交通部進一步擴大邀集相關部會，針對該區域之整體安全防護，共同擬定涵蓋「野溪治理、攔阻清疏、智慧預警、實體防護」四維一體之具體跨部會綜合治理規劃：

1. 跨部會分工與橫向聯繫機制

臺鐵公司與中央、地方權責單位建立即時橫向聯繫機制（成立即時通訊 LINE 群組），針對各河段採分層負責治理：

(1) 農業部林業保育署（花蓮分署）：負責最上游的林班地治理、水源頭防範、環境崩塌地監控與林道復建。

(2) 農業部農村發展及水土保持署（花蓮分署）：主管上游至中游的野溪治理、防砂壩／梳子壩功能修復，並負責即時雨量站之氣象水情資訊共享。

(3) 公路局（東區養護工程分局）：主管中下游區域、鄰近台 9 線路橋下方溪床疏濬、增設公路側既有擋土及導流設施。

(4) 花蓮縣政府：依據經濟部公告屬縣市管河川，負責整體河川治理規劃與河道整治。

(5) 臺鐵公司：專責鐵路設施範圍內（橋台固床、鐵路橋墩周邊、鐵軌兩側）的基礎補強與直接保全作業。

2. 上下游河道清疏整治（短期作為）：

於 113 年 8 月 29 日召開「石公溪、小清水溪（大富溪）淤積土石去化具體作為可行性研議」，獲致結論：

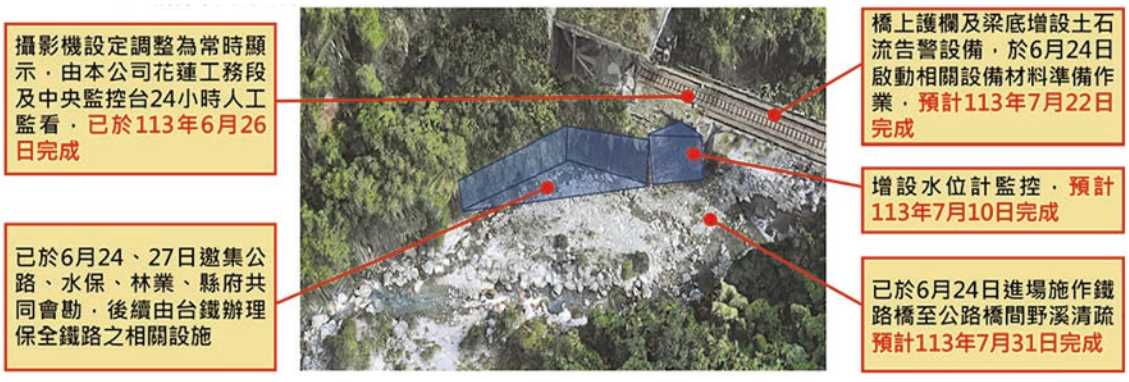


圖 7　因應 0621 土石流北迴線大清水溪橋周邊因應精進作為

(1) 本次會勘依據公共工程委員會 113 年 8 月 22 日「釐清宜花東鐵路沿線土石流潛勢溪流疏濬權管機關及分工」研商會議，主席指示事項延續辦理。

(2) 石公溪屬縣管河川，全流域管理權責為花蓮縣政府，鐵路橋及其上下游 100 公尺範圍由台鐵公司負責清疏作業，影響公路通行範圍由公路局負責清疏作業，餘由縣府辦理清疏作業；林班地範圍內土石，林保署同意由縣府以公共造產土石標售方式辦理。

(3) 前項清疏作業所需經費，倘縣府經費不足，依前開會議結論：請經濟部水利署盤點現有計畫及經費，優予補助，倘經水利署盤點現有計畫及經費不足，請縣府申請由災害救險預備金補助；另依前開會議中水利署表示：因風災因素辦理緊急清疏土石標售，縣府可以逕行辦理，只需報備數量以利全國土石總量管制事宜。

(4) 台 9 線路側空地提供國家公園使用，救災時則提供搶救災通行使用。

(5) 大富溪部分，依照林保署規劃辦理相關國土保安工作，完工後管養工作由縣府辦理。

(6) 本次凱米風災石公溪及大富溪流域已發生土石流災害造成公路台 9 線及鐵路小清水溪橋等花蓮縣對外重要交通設施遭土石沖擊、淤埋，請縣府依土石流潛勢溪流劃設作業流程與方法規定，向水保署花蓮分署提報作業，以利水保署將本流域新增為土石流潛勢溪流，後續依規發布土石流預警時，由太管處、公路局、鐵路公司各自負責協助疏散受影響範圍內人員、車輛等。

3. 跨部會資訊整合與智慧預警

非工程手段的關鍵在於水情與影像數據的跨部會共享：

(1) 水情與雨量監測連線：水保署於高風險區增設即時雨量站，資料直接介接至臺鐵花蓮工務段值班室，當雨量激增或上游觸發泥石流預警時，水保署第一時間通報鐵公路單位戒備。

(2) CCTV 監視影像串接：公路局全面提供台 9 線與台 9 丁線上方公路的 CCTV 監視邊坡影像，直接連接至臺鐵值班室，由臺鐵公司監控人員實施雙人 24 小時人工監看。

(3) 與高雄科技大學鐵道技術中心合作，於大清水溪橋上護欄及梁底安裝高靈敏度壓力感應設備、光學／督普勒雷達，建置土石流溢流告警系統。

聯防機制在路線搶修作為

在災害發生後，臺鐵公司即與公路局、水保署、林業署、太管處及花蓮縣政府建立聯防機制，成立即時通訊 LINE 群組，保持橫向聯繫，以事前減災、事後救災、長期避災為目標，颱風期間聯防機制在路線搶修上具體作為：

1. 颱風警報發布前：

(1) 與花蓮縣政府、公路局、水保署、林業署合作分工，針對土石流潛勢溪流進行清疏作業，減少土石流溢流情形。

(2) 於土石流潛勢溪流附近布置搶修機具，以縮短動員機具時間。

2. 颱風警報發布期間：

(1) 善用已建立系統，掌握各關注地點天候情形情形，如臺鐵公司邊坡落石 AI 告警系統、氣象署網站（QPEPLUS 劇烈天氣監測）、公路局土石流告警監測、林保署土石流或大規模崩塌細胞廣播簡訊等。

(2) 透過蘇花路廊鐵公路聯防機制，24 小時監控鐵公路各關注路段，使發生災損時，能第一時間掌握受災情形。

(3) 安排待命人員、機具於安全處所待命，視風雨狀況辦理路線巡查作業。

3. 颱風過境後：

與上邊坡公路局搶修單位密切保持橫向聯繫，協同辦理搶修作業。

4. 具體聯防減災案例：

於 113 年 7 月 1 日晚間，針對臺鐵公司北迴線 K56 處水保署率先發布預警，促使鐵、公路單位進行戒備。當晚 21 時 21 分，台 9 線發生土石流，公路局即通報臺鐵公司；臺鐵公司接獲通報後，立即對該路段西正線實施預防性封鎖，調整為單線雙向運轉，並派遣人員於現場嚴密監視。至當晚 22 時 24 分，現場監視人員通報土石流已蔓延溢流至 K56 + 500 ~ K56 + 600 區間，臺鐵公司隨即啟動緊急應變機制，實施全線停駛與防護措施。區域聯防機制利用各群組資訊傳遞方式如圖 8 所示。



圖 8　區域聯防機制利用各群組資訊傳遞方式

即時監控強化措施

在 113 年度，臺鐵公司即推動多項即時監控強化措施因應汛期與極端氣候：

1. 監測設備升級：在 0621 強降雨土石流致災的大清水溪橋（K51 + 200）增設水位計及土石流溢流告警系統。同時也在跨越林保署公告土石流潛勢溪流鐵路橋梁、中北溪橋（K42 + 900）、新和仁溪橋（K46 + 940）、東小清水溪橋（K53 + 800）增設水位計。
2. 增設 CCTV 監視器：盤點全線 5 處曾致災或高風險路段，增設 18 支攝影機，分別設置在 K36 + 600（4 支）、K48 + 730（4 支）、K51 + 200 東正線（2 支）、K56 + 600（4 支）及 K58 + 100（4 支）。
3. 值班室監控強化：攝影機調整為常時顯示，增設 4 合 1 大型螢幕並派雙人勤務 24 小時全天候人工監看（如圖 9 所示）。
4. 跨部會聯防機制：臺鐵公司與公路局、水保署、林業署、太管處及花蓮縣政府公路局成立即時通訊 LINE 群組，直接介接公路局台 9 線之 CCTV 影像至花蓮工務段（北迴線 K40 + 500 ↹ 台 9 線 147K + 780；北迴線 K41 + 100 ↹ 台 9 線 148K + 300；北迴線 K48 + 500 ↹ 台 9 丁線 65K + 500，2 支；北迴線 K51 + 300 ↹ 台 9 線 158K + 226；北迴線 K53 + 800 ↹ 台 9 線 161 + 300，2 支；北迴線 K56 + 820 ↹ 台 9 線 164K + 380；北迴線 K56 + 900 ↹ 台 9 線 164K + 500）。
5. 預防性巡查：北迴線漢本至崇德區間，每日首班車發車前，先行派維修工程車辦理路線巡查。

宜花東全線擴大盤點

113 年度除北迴線既有致災點外，臺鐵公司會同鐵道局、專業顧問公司及技師公會成立工作小組，全面



圖 9　花蓮工務段值班室各項安全監控設施

體檢宜花東地區潛在風險：

1. 盤點總數：共計 225 處邊坡與 30 座跨越土石流潛勢溪流之鐵路橋梁。
   (1) 宜蘭工務段（共 13 座鐵路橋梁）主要分布於宜蘭線、北迴線與平溪線。
   (2) 花蓮工務段（共 8 座鐵路橋梁）全數集中於北迴線高風險路段。
   (3) 臺東工務段（共 9 座鐵路橋梁）主要分布於南迴線與臺東線。
2. 盤點辦理進度：113 年 7 月 11 日已完成全部 15 場次之現勘檢查，於 113 年 7 月 27 日提出「臺鐵宜花東路段 C 級邊坡及土石流潛勢溪流跨河橋評估報告書」。
3. 後續作為：參考臺鐵公司「20 年臺鐵中長程建設及營運策略報告書」所建議之行動計畫，以及「臺鐵宜花東路段 C 級邊坡及土石流潛勢溪流跨河橋評估報告書」、「臺鐵 0403 花蓮地震特別巡檢報告書」等建議事項提出「臺鐵宜花東及南迴線路段鐵路設施安全改善計畫」於 115 年 3 月奉行政院核定，總經費為 77.98 億元。本計畫主要是針對 113 年 0403 花蓮地震及後續極端氣候（如強降雨、颱風）對東部及南迴線鐵路造成的衝擊，所提出的系統性強化方案。
4. 計畫核心目標
   (1) 強化基礎設施韌性：針對高風險邊坡與跨土石流潛勢溪流之橋梁進行補強。
   (2) 提升防災能力：建置監測預警系統，確保地震、豪雨時的營運安全。
   (3) 恢復正常運輸：確保東部鐵路運輸的穩定性與服務品質。
5. 主要工程項目（三階段改善）
   (1) 北迴線受損路段復建補強工程：針對已致災路段進行修復與加固。
   (2) 邊坡及跨土石流潛勢溪流橋梁防災整備工程：盤點出 35 處邊坡、11 處橋梁需立即清疏或整治，包含鐵路橋梁上下游各 100 公尺內的清疏作業。
   (3) 實體阻隔牆及告警監測補強工程：建置「外物入侵告警系統」（參考高鐵案例），利用感測電網與無線電系統自動通知列車停車，全線建置 23 處外物入侵告警系統。

目前整體防汛整備作為

臺鐵公司於花東地區因應 115 年汛期之整體整備情形。面對極端氣候引發之土石流及堰塞湖風險，臺鐵透過「聯防機制」、「河道清疏」、「告警設備」及「專案防護」四大核心策略，構建多重安全防禦體系。重點包含北迴線 11 處土石流潛勢溪流之整治現況，以及馬太鞍溪溢流後續之精進改善作為，期能有效降低災害對鐵路運行之影響。

1. 聯防機制與河道權責劃分

   持續整合跨單位防災資訊及落實聯防機制，確保各類災害資訊全面即時掌握，臺鐵公司採取下列措施：
   (1) 清淤權責界定：依據工程會 113 年 8 月明確劃定清疏權責分工，落實鐵路橋上下游 100 公尺範圍內由臺鐵公司負責清淤，此範圍外則由河川主管機關負責清淤。
   (2) 執行成效：已盤點北迴線跨越土石流潛勢溪流之鐵路橋梁計 11 處，並已於 115 年 3 月完成現場勘查，確認橋下均無明顯淤積（圖 10）。農業部林業及自然保育署、交通部公路局等機關亦已分別完成攔石壩、混凝土護岸、導水牆等整治工程，多道防線同步到位。
2. 高風險路段監控與 AI 預警技術

   為提昇災害即時偵測及應變能力，臺鐵公司導入自動化監測技術建立邊坡落石 AI 系統以及實體阻隔告警系統（圖 11），各項預警設備預計於汛期前完成測試上線。因應颱風與豪雨等極端氣候事件，營運管理不可存有寬假心態，務須落實各項防汛整備，以全面確保旅客行車與軌道營運之安全：
   (1) 建置 CCTV 與高桅桿監控：於北迴線高風險路段布設 22 支 CCTV 及 3 支高桅桿監控系統，可即時掌握現場狀況，回傳現場影像至工務段值班室。
   (2) AI 落石告警系統：全線布設 26 處，同時也在北迴線設置 2 處（K48、K51），合計 28 支監視器，已於 112 年 4 月上線運作。
   (3) 實體阻隔及告警設施：全線共設置 38 處實體阻隔設施，其中 15 處同步設置感測型告警系統，其中北迴線和平至崇德間（K40 ~ K57）增設 8 處實體阻隔設施與 8 處告警系統，總體

項次	鐵路橋名	路線里程	溪流名稱	臺鐵執行情形
1	和中北溪橋	北迴線 K42+900	和中北溪	115/3/4橋下無淤積情形
2	新和仁溪橋	北迴線 K46+940	卡納剛溪	115/3/4橋下無淤積情形
3	和仁三號橋	北迴線 K48+505	無名溪流 (跨越排水渠)	115/3/4橋下無淤積情形
4	西大清水溪橋	北迴線 K51+255	大清水溪	115/3/4橋下無淤積情形
5	東大清水溪橋	北迴線 K51+255	大清水溪	
6	東小清水溪橋	北迴線 K53+800	石公溪	115/3/4橋下無淤積情形
7	東崇德二號橋	北迴線 K56+620	無名溪流 (跨縣市區排)	115/3/25完成出海口清疏降挖
8	西崇德二號橋	北迴線 K56+620	無名溪流 (跨縣市區排)	
9	東崇德四號橋	北迴線 K56+920	無名溪流 (跨縣市區排)	115/3/25完成出海口清疏
10	西崇德四號橋	北迴線 K56+920	無名溪流 (跨縣市區排)	
11	清水隧道南口	北迴線 K53+500	小清水溪(大富溪)	115/3/4空拍河道及出海口全貌順暢

圖 10　北迴線土石流潛勢溪流 115 年清疏情形一覽表

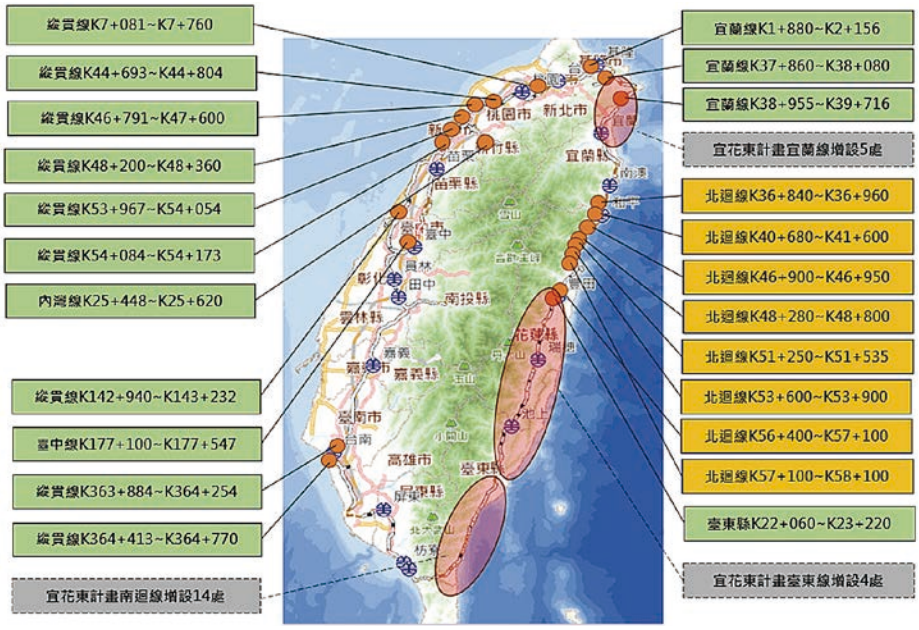


圖 11　臺鐵公司阻隔告警系統分布圖（含建置中 23 處及宜花東計畫增設 23 處）

防護長度 3,895 公尺感應子阻隔網，已於 115 年 5 月汛期前正式上線運作。

(4) 土石流溢流告警：於北迴線 K51 東西大清水溪橋增設專屬土石流溢流告警系統，加強該高風險路段之預警功能。

結論

臺鐵公司在面對極端氣候威脅時，已透過數位轉型與跨單位協作，建構一套完整「數位預警、實體阻隔、聯防互補」的「防汛土石流聯防機制」。在面對北迴線頻發的落石及土石流災害，臺鐵公司則整合了 AI 影像辨識、實體感測阻隔以及 QPEPLUS 劇烈天氣監測，成功建立起多層次的安全防線。

1. 預警機制建立：於北迴線和平至崇德段建置 3,895 公尺實體阻隔告警及 28 支 AI 監視器，將入侵偵測延遲降至 1 秒內，建立即時行車反應機制。
2. 聯防聯網整合：整合公路局、水保署之監控情資，並利用 QPEPLUS 系統提供「戰略級」預警，解決單一營運單位監測視野之限制。
3. 韌性工程強化：針對高風險路段，採取「數位監測、物理阻隔、結構加固」三位一體策略，強化鐵路營運在極端災害下的復原力。
4. 系統性能評估：證實「毫秒級即時告警」與「分鐘級環境預警」分級配置之必要性，為未來鐵路智慧防災提供標準化模型。

預警及聯防機制

鐵路邊坡土石流監測與災害預警告警系統建置及成效

李冠宏／國立高雄科技大學鐵道技術中心 專案經理
張旭廷／國立高雄科技大學鐵道技術中心 工程師
張簡嘉壬*／國立高雄科技大學鐵道技術中心 主任

近年受極端氣候影響，臺灣地區強降雨、颱風及地質災害發生頻率顯著增加，對鐵道運行安全造成潛在威脅，尤以鄰近軌道之邊坡區域最易受土石滑動、土石流及異常崩塌等災害影響，因此亟需建置完善之安全監測與預警告警機制。本研究建置之鐵路邊坡土石流監測與災害預警告警系統，其主要目的在於即時監測可能危及列車運行安全之環境異常狀況，透過即時偵測與預警分析機制，掌握鐵路沿線潛在災害風險。該系統整合多元感測器網路、資料蒐集分析平台及通訊傳輸技術，可持續監測沿線雨量、風速、水位、土石流活動及異物入侵等關鍵環境參數，並透過智慧化判斷與告警邏輯，於災害發生前或初期即時發布警示訊號，提供行車調度單位迅速採取應變措施。系統之建置可有效提升鐵道災害預警能力，強化行車安全防護機制，降低災害事件對鐵道營運造成之衝擊。

前言

地質災害以土石流、崩塌及滑坡最為常見。崩塌好發於陡峭坡面，主因岩塊鬆脫引發垂直墜落；滑坡則受地震或降雨驅動，沿滑移面產生位移。土石流則是高含水量的泥石混雜物，具備強大衝擊力與流速。這類災害具備高度關聯與連鎖效應，尤其在強震使地層鬆動後，若遭遇豪雨或颱風極易產生大規模複合型災害，因此成為地災監控系統的重點對象[1]。2024 年 4 月 3 日，花蓮近海發生芮氏規模 7.2 強震，強震不僅全台有感，更是自 921 大地震以來台灣面臨的最大規模地震，導致東部山區地質高度鬆動。隨後，在氣候變遷引發的降雨型態改變下，東部地區陷入了嚴峻的複合式災難循環。同年 6 月 21 日，受季節性降雨影響，花蓮和仁隧道南口發生土石流。台鐵 229 次自強號因土石淹沒軌道避讓不及，導致列車出軌並造成人員受傷。此事件顯示，震後鬆動的土石在一般降雨下即具備高度危險性。同年 7 月 25 日，凱米颱風由宜蘭登陸，短短 4 小時內預估累積雨量達歷史新高的 1800 毫米。即便已有前車之鑑，極端雨量仍重創東部鐵路，崇德至和仁段，軌道遭大規模土石流掩埋。基礎設施損毀，小清水鐵路橋樑（K56 + 650）遭沖毀，八掌溪橋（K306 + 714）南橋台路基嚴重掏空。進入秋季，地質不穩定的狀況在颱風連番打擊下更形惡化，山陀兒颱風於 9 月底緩慢侵襲，滯留時間長達 4 天，並為基隆等地帶來破紀錄的日雨量。康芮颱風 10 月底由台東登陸，花蓮局部降雨量破千毫米。根據中央災害應變中心統計，全台災情累計破萬件[2]。

* 通訊作者，ccjr@nkust.edu.tw

鐵路邊坡災害告警系統之重要性在於確保行車安全並降低營運風險。由於鐵路列車具備高速行駛及煞車距離長之特性，當發生異物入侵或邊坡崩塌時，僅依賴人工目視巡查往往無法及時完成列車煞停或應變操作。鐵路邊坡土石流監測系統之建置重點在於「預防性監測」與「即時性告警」。此類系統可視為一種分層式（hierarchical）之系統架構，其核心目標在於縮短災害辨識至營運應變之時間延遲。系統通常由前端感測資料擷取、中端通訊傳輸與後端分析決策三個子系統所構成，各子系統之可靠度與即時性將直接影響整體預警能力與系統反應時間[3]。

在前端配置上，感測器佈設強調空間代表性與關鍵位置覆蓋，例如潛在集水區出口、坡腳及既有弱面區域，以提高對局部異常之敏感度。不同於單點量測思維，近年系統逐漸朝向線性或區域型監測（如分布式感測技術）發展，使得沿線變化可被連續捕捉，降低因地形複雜所造成之監測盲區。通訊層面則需兼顧即時性與穩定性，特別是在山區環境中，常透過低功耗廣域網路或中繼傳輸機制確保資料不中斷。資料傳輸延遲與遺失率，為影響預警可靠度之關鍵因素，因此系統多設計備援路徑與斷線緩存機制，以維持關鍵資訊之完整性。

在後端分析部分，監測系統逐步由傳統經驗門檻判斷，轉向結合時序分析與機率模型之風險評估方法。透過長期監測資料建立基準行為模式（baseline behavior），可辨識異常偏移並進行趨勢外推，進而提供更具前瞻性之預警資訊。此外，系統亦可與鐵路營運控制平台整合，將監測結果直接轉化為行車限制條件或自動化警示訊號。值得注意的是，系統設計需考量維護性與環境適應性，包括感測器耐候性、供電穩定性及設備可及性等因素。若缺乏長期穩定運作能力，即使監測技術先進，亦難以在實務上發揮效益[4]。

綜合而言，鐵路邊坡土石流監測系統之發展已由單一參數觀測轉向整合式、智慧化之架構，其關鍵在於空間佈設策略、通訊可靠度及資料解析能力之協同優化，以支援高效率且低延遲之營運風險管理。

問題分析與對策

土石流對邊坡之破壞機制問題分析及對鐵路營運之風險特性

邊坡破壞引發土石流之過程，可視為由顆粒骨架控制之固體力學行為，逐步演化為受固液耦合作用支配之流變行為。當降雨入滲坡體後，雨水進入土體孔隙，使基質吸力降低，並在排水不良條件下導致孔隙水壓上升將降低有效法向應力，進而降低土體剪力強度。依據 Terzaghi Effective Stress Principle 及 Mohr–Coulomb 破壞準則，土體抗剪強度將隨有效應力降低而下降。當坡體內部剪應力超過峰值抗剪強度時，將產生初始滑動或淺層崩塌。其後，在高含水率條件下，鬆散崩塌體可能因剪切軟化及超額孔隙水壓之生成，使有效應力逐步降低，進而轉變為具類液化特徵之流動行為。進一步演化為具黏滯與慣性特徵之土石流運動。其有效應力形式可由 Mohr–Coulomb failure criterion 表示[5-7]：

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

τ_f：破壞剪應力（kPa）

c'：有效凝聚力（kPa）

σ'：有效法向應力（kPa）

ϕ'：有效內摩擦角

此理論主要用以描述土壤或岩體在法向應力與剪應力共同作用下之剪切破壞條件。由此可知，降雨強度、累積雨量及坡體孔隙水壓變化均為影響邊坡穩定性之重要因子。此外，坡腳侵蝕造成之局部支撐削弱，可能導致上部坡體再次失穩，形成連續性崩塌與持續供料現象，進而構成正回饋機制，使災害規模逐步擴大。此機制說明邊坡破壞與土石流形成具有高度耦合性，其演化過程常呈現非線性增長特徵。綜合而言，邊坡破壞演化為土石流之主要機制，可歸納為降雨入滲造成土體強度衰減、內部結構劣化導致顆粒重排與破碎，以及質量夾帶與坡體幾何回饋所引致之動力放大效應，其整體行為可視為多物理場耦合之非線性演化系統。土石流對鐵路營運之影響具有顯著之系統性與鏈結性。由於鐵路系統屬高度線性基礎設施，局部區段受災即可能造成路網服務能力下降，形成拓撲脆弱性。此外，土石流造成之道床污染、排水淤塞及坡體局部變形等隱性損傷，可能在後續降雨或列車動載重作用下逐步累積，進而演變為顯著失效。由於降雨與地質條件具有高度空間異質性，傳統固定閾值式預警模式往往難以準確反映各路段實際風險，易產生誤警或漏警情形。再者，土石流亦可能導致電力、通訊及號誌等附屬設施失效，進一步擴大營運風險[8]。

台鐵軌道邊坡高風險路段預警告警系統建置規劃

綜上所述，土石流對鐵路營運之風險不僅表現為瞬時之物理性破壞，亦涉及系統脆弱性、結構損傷累積效應、決策不確定性及跨系統相依性等多重層面，其本質可視為隨時間與空間動態演化之複合型風險問題。為因應此類複合型風險，本中心建置一套鐵路邊坡土石流監測與災害預警告警系統，應用於台鐵軌道邊坡高風險路段，以提升邊坡災害即時辨識能力及整體營運安全韌性（參見圖 1）。

成果說明

土石流監測與災害預警告警系統建置

本中心建置之鐵路邊坡土石流監測與災害預警告警系統，整合多元感測器網路、資料蒐集與分析平台，以及通訊傳輸技術，可即時且持續監測鐵路沿線雨量、風速、水位、土石流活動及異物入侵等關鍵環境參數。系統透過智慧化分析與告警判斷機制，能於災害發生前或初期即時發布預警訊號，提供行車調度單位迅速掌握現場狀況並採取適當應變措施。於台鐵軌道邊坡高風險路段建置之相關設施及成果，說明如下：

建置項目	建置成果	說明
各式偵測器安裝施工		風速計：將空氣流動速度轉換成可量測的物理訊號，用來分析風的強弱與流動狀態。 雨量計：將降雨量轉換成可量測的物理數據，用來分析降雨強度與累積雨量。 水位偵測器：將液面高度轉換成可量測的物理訊號，再提供監測或控制使用。
傾斜偵測器安裝施工		傾斜偵測器：將物體相對重力方向的傾斜角度轉換成可量測的訊號，當物體傾斜時，感測元件與重力的相對方向會改變，用來判斷設備是否偏移、傾倒或角度改變。
阻隔設施安裝施工		阻隔設施：網狀結構設計可穿透或半穿透的阻隔面，限制特定物體通過。當土石撞擊時，網體會產生拉力，變形，傾倒。
高解析監視器安裝施工		高解析監視器：透過遠端監看地表與環境變化，判斷土石流發生的可能性與運動狀態，並提供預警資訊。
監控系統		監控系統：透過多種感測、資料傳輸、分析判斷與告警機制的整合，持續監測土石流形成條件與流動狀態，以達到預警、防災與災害管理目的。監控系統架設於花蓮工務段值班室。



序號	項次	路線	工務段	起點里程	終點里程	長度（公尺）
1.	2	縱貫線	臺北	K7+081	K7+760	679
2.	3	縱貫線	臺北	K44+693	K44+804	111
3.	5	縱貫線	臺北	K46+791	K47+600	809
	6	縱貫線	臺北	K48+200	K48+360	160
4.	7-1	縱貫線	臺北	K53+967	K54+833	866
	7-2	縱貫線	臺北	K53+919	K54+930	1011
5.	12	內灣線	臺北	K25+448	K25+620	172
6.	15	縱貫線	臺中	K142+940	K143+232	292
7.	21	臺中線	臺中	K177+100	K177+547	447
8.	24	縱貫線	高雄	K363+884	K364+254	370
	25	縱貫線	高雄	K364+413	K364+770	357
9.	26	宜蘭線	宜蘭	K1+880	K2+157	277
10.	29	宜蘭線	宜蘭	K37+860	K38+080	220
	33	宜蘭線	宜蘭	K38+955	K39+716	761
11.	38	臺東線	花蓮	K22+060	K23+220	1160
12.	1	北迴線	花蓮	K36+840	K36+960	160
13.	2	北迴線	花蓮	K40+680	K41+600	920
14.	3	北迴線	花蓮	K46+680	K46+950	130
	4	北迴線	花蓮	K48+280	K48+800	520
15.	5	北迴線	花蓮	K51+250	K51+535	285
16.	6	北迴線	花蓮	K53+600	K53+900	300
17.	7-1	北迴線	花蓮	K56+400	K57+100	700
	7-2	北迴線	花蓮	K57+100	K58+100	1000

圖 1　鐵路災害預警告警系統全台分佈路段位置（引用台鐵資訊）

告警系統建置成效

2025 年 5 月 18 日，花蓮山區因持續降雨影響，導致大清水鐵路路段發生土石流災害並造成軌道淹沒。由於該區域已預先建置土石流告警系統，本次事件中系統成功發揮預警功能，使各級列車得以及時採取防護措施並提前迴避受災路段，避免進入災區而造成行車事故與人員及設備損傷。如圖 2 所示，於 16:07:18 可觀測到土石泥流開始衝擊坡面；至圖 3 之 16:08:37，



圖 2　大清水 K51 實況監視（16:07:18）



圖 3　大清水 K51 實況監視（16:08:37）

短短約 1 分 19 秒內，土石泥流即迅速漫流並入侵鐵道路線，造成鐵路運輸中斷。圖 4 為監控系統記錄水位感測器之監測結果，顯示於 16:07:55 水位快速上升並觸發告警訊號，並於 16:08:07 確認土石流已衝擊橋面結構。圖 5 為台鐵工務段值班室監控畫面，左上角顯示即時雨量資訊，左中區顯示即時水位變化，左下區顯示風速與風向資訊，中間區域為即時監視影像畫面，而中間下方及右下方則分別顯示阻隔設施與防護網之狀態資訊。整體監控系統可整合多源感測與影像資料，提供即時災害判斷與決策支援功能。

車輛及異物入侵告警系統建置

本中心延續「土石流監測與災害預警告警系統」之建置經驗，持續推動全台環島鐵路網高風險路段之「車輛及異物入侵告警系統」建置工作。首先由各工務段盤點轄區路線資料，針對鄰近軌道區等可能發生車輛及異物入侵之高風險路段進行評估，並據以規劃優先設置阻隔設施之位置與範圍（參見圖 1）。

建置目標

針對各優先設置路段之地形環境、鄰近設施及潛在風險特性，選擇適當之阻隔設施型式，並於適當位置配置告警設備，以提升異常事件之即時偵測與通報能力。異物入侵為鐵路運輸系統行車安全的重要危害因子，可能導致列車撞擊、設備損壞及營運中斷等事故。因此，本研究以防止車輛及異物入侵軌道區為核心目標，透過阻隔設施與告警系統之整合建置，有效降低環島路網高風險路段之風險等級，進一步提升臺鐵整體行車安全與營運韌性。

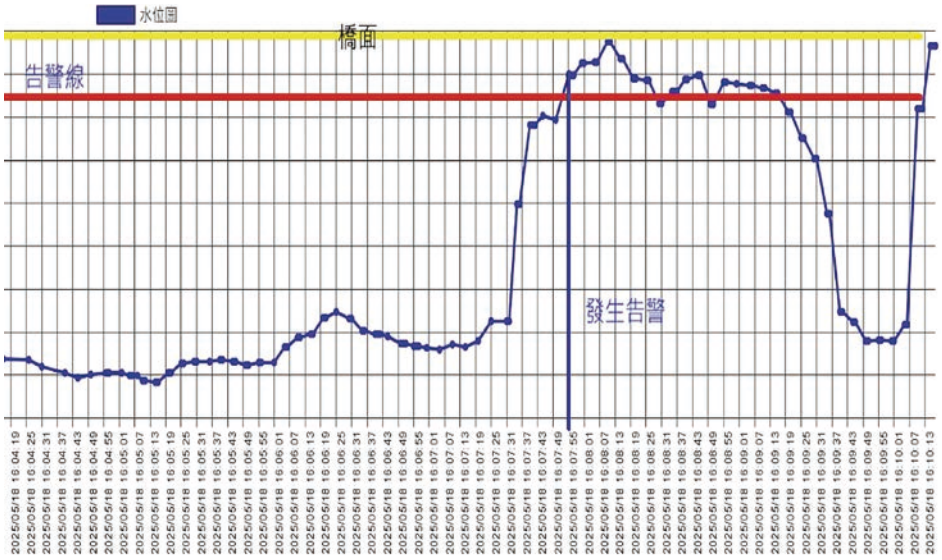


圖 4　水位偵測曲線圖



圖 5　花工段值班室土石流監控系統

系統架構

本研究之系統架構參見圖 6，主要功能設施包含圍籬設施、路側終端設施、封包交換網路及中心系統平台。系統透過封包交換網路，將多處路側終端設備連接至中心系統平台，形成集中監控與管理架構。中心系統平台可依據營運需求下達控制指令至各路側終端設備，以執行設備控制、參數設定及功能管理等作業；另一方面，各路側終端設備亦可將設備運作狀態、告警資訊及監測結果即時回傳至中心系統平台，供後續監控、分析與決策使用。透過上述架構，系統可有效整合現場感測、告警通報及集中管理功能，提升車輛及異物入侵事件之監測能力與應變效率，進而強化鐵路沿線高風險區段之行車安全。

透過路側設備與中心系統平台之整合運作，可建立完整之車輛及異物入侵偵測、告警傳輸、事件管理及設備監控機制（參見圖 7），以達成降低車輛入侵風險及提升鐵路行車安全之目標。

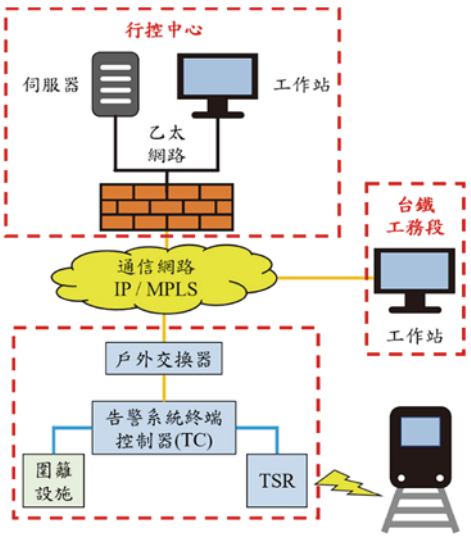


圖 6　車輛及異物入侵阻隔設施及告警系統架構圖



圖 7　車輛及異物入侵告警監測系統

長官實地視察情況

由於本系統達到有效告警作動，並降低災害發生的風險，圖 8 為 2024 年 7 月 23 日前台鐵 – 杜董事長蒞臨大清水 K51 工地現場視察，圖 9 為 2026 年 4 月 23 日台鐵鄭董事長陪同行政院工程會陳政務委員及各級長官，於花蓮工務段值班室視察土石流監控系統運作情況。圖 10 為 2025 年 12 月 23 日交通部廖副司長及各級長官實地視察告警系統架設安裝。



圖 8　前台鐵 – 杜董事長蒞臨大清水 K51 工地現場視察



圖 9　台鐵鄭董事長陪同行政院工程會陳政委視察



圖 10　交通部廖副司長及各級長官視察

結論

本研究建置之鐵路邊坡土石流監測與災害預警告警系統，透過整合多元感測器監測技術、即時資料蒐集分析平台及通訊傳輸架構，已具備對鐵道沿線環境異常狀況之即時監測與預警能力。系統可針對雨量、風速、水位、土石流活動及異物入侵等關鍵環境參數進行持續監測，並依據預設告警邏輯與風險判定機制，即時發出告警訊號，提供行車調度單位迅速採取應變處置之依據。實際應用結果顯示，本系統可有效達成預警告警作動，提升災害異常事件之即時辨識能力，縮短應變反應時間，並於災害發生前提供關鍵預警資訊，有效降低邊坡災害對鐵道運行安全造成之風險。同時，系統透過連續監測與資料分析，可作為鐵道沿線邊坡健康狀態評估與風險管理之重要依據，強化鐵道防災管理機制。此外，本系統之建置除提升鐵道營運安全性外，亦有助於降低因天然災害造成之行車中斷、設備損壞及維運成本，進一步提升鐵道系統整體韌性與可靠度。

參考文獻

1. D.M. Cruden and D.J. Varnes (1996). “Landslide types and processes,” in Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report 247, National Research Council, Washington, DC, USA.
2. O. Ghorbanzadeh et al., (2022). “Landslide4Sense: A benchmark dataset for landslide detection,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.
3. S.J.O. Hungr, S. Leroueil, and L. Picarelli (2014). “The Varnes classification of landslide types, an update,” Landslides.
4. H.K. Kim and C.Y. Choi (2018). “Failure Evaluation Method for a Slope Monitoring System,” International Journal of Transport Development and Integration, Vol. 2, No. 3, pp. 298-309.
5. R.M. Iverson (1997). “The physics of debris flows,” Reviews of Geophysics, Vol. 35, No. 3, pp. 245-296.
6. B.M. Das (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Boston, MA, USA: Cengage Learning.
7. J.M. Duncan and S.G. Wright (2005). Soil Strength and Slope Stability. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
8. Y. Yan et al. (2019). “Monitoring and early warning method for rockfall along railways,” Scientific Reports.



DOI: 10.6653/MoCICHE.202606_53(3).0009

防災體系之實務成果

臺鐵集集線 地質複雜 邊坡坍滑整治 及 老舊隧道 損壞重建

古正育／國營臺灣鐵路股份有限公司專案工程處 處長
賴杏福／國營臺灣鐵路股份有限公司嘉義施工隊 隊長
邵文郁／國營臺灣鐵路股份有限公司嘉義施工隊 主辦工程司
周永川／台灣世曦工程顧問股份有限公司大地工程部 協理
陳正勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司大地工程部 經理
楊智堯／台灣世曦工程顧問股份有限公司大地工程部 經理
林俊良／台灣世曦工程顧問股份有限公司大地工程部 計畫工程師
陳楚禮*／台灣世曦工程顧問股份有限公司大地工程部 工程師

臺鐵集集線為國內具有名氣的觀光路線，興建於民國 14 年。2 號隧道與 3 號隧道（里程 K23 + 720 ~ K23 + 845）位於南投縣集集鎮與水里鄉間區，民國 110 年 8 月 14 日、8 月 24 日集集線 K23 + 720 ~ K23 + 745 路段因豪雨發生二次邊坡崩塌，造成隧道結構嚴重損壞，入侵行車淨空，為快速復舊以利復駛，故集集車站以東停駛並進行隧道復建及邊坡整治修復工程。前述復建工程進行期間，於 111 年 5 月 18 日豪雨不僅造成 K23 + 720 ~ K23 + 745 範圍外之東側邊坡持續崩塌，復於 111 年 9 月 2 日現勘發現 3 號隧道（集集線 K23 + 745 ~ K23 + 800）隧道已有明顯變形損壞，並有坍塌土石衝入堆積致隧道無法行車，且 K23 + 800 ~ K23 + 845 間之隧道結構則有滲水與結構裂縫等嚴重異狀，考量路段災情有擴大且保護不足之情形，故進行 K23 + 745 ~ K23 + 845 受損隧道重建及其上之邊坡整治修復。

透過高精度光達調查、地質鑽探、地球物理探測與水文分析，掌握崩積地層之複合式破壞機制。在「穩固崩塌源頭、排除地表與地下水、分階修坡加固及明挖隧道復建」之防護策略下，成功克服了斷層剪裂帶等破碎地質挑戰。特別是在汛期極端豪雨環境下，面對上方邊坡崩積層的巨大側向土水壓力，克服了明挖覆蓋隧道開挖擋土之極高困難性與變形風險，以鑽掘擋土排樁與臨時地錨進行分階降挖加固，在變化破碎地層中，達成「零工安意外」目標並提早交付工作界面。除全面提升鐵路支線之基礎設施韌性與營運安全外，更將為南投地區之觀光產業與交通活化帶來顯著效益。

關鍵詞：邊坡工程、隧道重建

前言

臺鐵集集線為南投縣境內唯一的鐵路客運路線，興建於民國 14 年，全線自二水站起至車埕站止，全長約 29.7 公里，是聯繫彰化平原與南投山區的重要交通管道。作為全台現存最長、且最具代表性的鐵路支線，集集線不僅承擔沿線居民的日常通勤與民生物資運輸，同時配合日月潭水力電氣工事興建，現已轉型旅遊路線。集集線除了肩負南投縣名間、集集、水里地區的交通外，也是國內具有名氣的觀光鐵路線，此路線為非電氣化區間，全線皆由彰化

* 通訊作者，chenchuli82@ceci.com.tw

機務段所屬的冷氣柴客行駛，受到民國 110 年邊坡坍方以及後續隧道老舊擴孔工程影響停駛，預計於民國 115 年 7 月全線復駛。

工程案例發生於集集～水里間集集線 2 號隧道與 3 號隧道間，於民國 110 年 8 月 14 日、8 月 15 日以及民國 111 年 5 月 18 日、111 年 8 月陸續於集集線 K23 + 720 ~ K23 + 800 處隧道上方發生邊坡坍滑，分別造成 2 號隧道及 3 號隧道受土石擠壓而損壞，遂依序辦理 2 號隧道（集集線 K23 + 720 ~ k23 + 745）新建明挖覆蓋隧道工程、集集線 K23 + 745 ~ K23+ 845 臨時防災措施，以及 3 號隧道（集集線 k23 + 745 ~ k23 + 845）隧道受損重建工程，本工址位置如圖 1 所示。



圖 1　本工程案例位置圖

致災原因探討

工程受災及復建歷程

臺鐵集集支線為民國 14 年日治時代建造，原採磚造隧道襯砌（45 cm），斷面淨空約 4 × 4 m，民國 88 年集集大地震時第 1、2、3、5 號隧道發生損害，進行緊急搶修工程，而為避免隧道異狀持續惡化影響行車安全，遂於 98 年進行集集線加固工程設計及施工，隧道增加鋼支保、噴凝土，詳如圖 2 [1]。

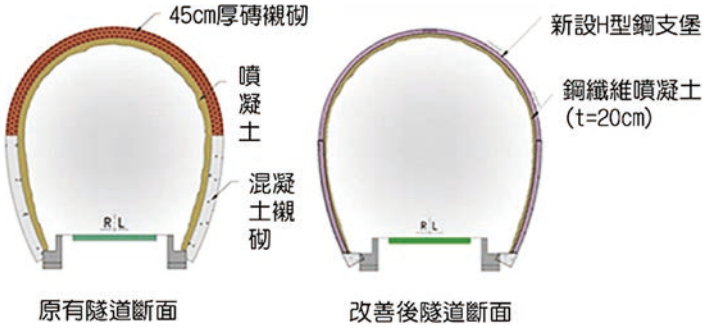


圖 2　集集大地震後改善示意圖

本工程起於 110 年 8 月 14 日及 8 月 24 日於集集線 K23 + 720 ~ K23 + 745，因豪雨發生二次邊坡崩塌，造成隧道結構嚴重損壞，故於 110 年 10 月與 12 月分辦理 2 號隧道（K23 + 720 ~ K23 + 745）明挖覆蓋隧道工程。

上述工程施工期間，111 年 5 月 18 日、111 年 6 月 3 日降雨與地震誘發 K23 + 725 ~ K23 + 745 工程範圍外之東側邊坡坍滑並掩蓋隧道，上方強化型鋼樁則因衝力損壞使隧道二度掩蓋；之後則再於 111 年 8 月強降雨誘發邊坡再坍滑並引致 3 號隧道擠壓坍塌，遂先於 112 年 4 月辦理集集線 K23 + 745 ~ K23 + 845 臨時防災措施，並於 112 年 5 月汛期前完成；並於 113 年 9 月 13 日啟動 3 號隧道 K23 + 745 ~ K23 + 845 受損重建工程。其本工址災害歷史詳圖 3。



圖 3　工址災害歷程

工區環境調查

地形調查

本工址邊坡以高精度光達數值地形赤色影像圖進行崩塌特徵判釋（圖 4），初步判釋結果發現數組早期發育之舊崩塌地冠部邊緣，顯示本區域之邊坡具岩屑崩滑之歷史及潛勢。

本工程工址位於南投縣集集鎮及水里鄉之間沿台 16 線；鄰近河系包含南側緊鄰之濁水溪、北側之清水溪及數條野溪等。區域地形上屬一古沖積扇，研判應為古清水溪發育階段匯入濁水溪後，因地體抬升、河川下切遺留之高位階，整體地勢東高西低如圖 5。邊坡底部高程約 E.L. 200 m，扇頂高程位於 E.L. 300 ~ 400 m 間；階地邊緣處因地表逕流沖刷、颱風或豪雨等緣故，常於冠部發育馬蹄狀崖坡，引致朝南向之坍滑事件，亦為本工址災害之緣由。

地質調查

經地質鑽探與地表地質調查成果，本工程細部地質平面圖詳圖 6。區內地層組成包含樟湖坑頁岩（Ce）、頭嵙山層（Tkh）及階地堆積層（t），並包含雙冬斷層剪裂帶貫穿。此外計畫亦位於山崩地滑敏感區，顯示地質條件複雜且極具不穩定性，對於隧道復建及邊坡整治工程極具挑戰。

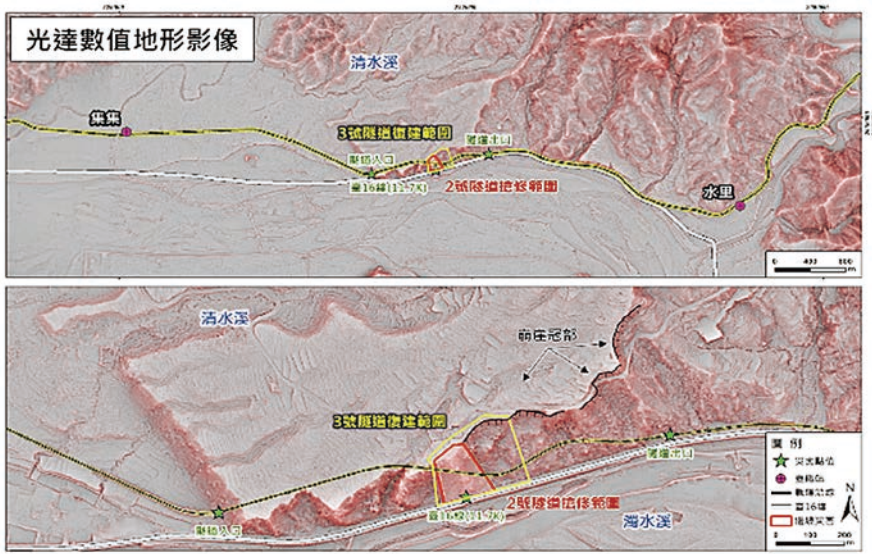


圖 4　既有光達數值地形影像圖

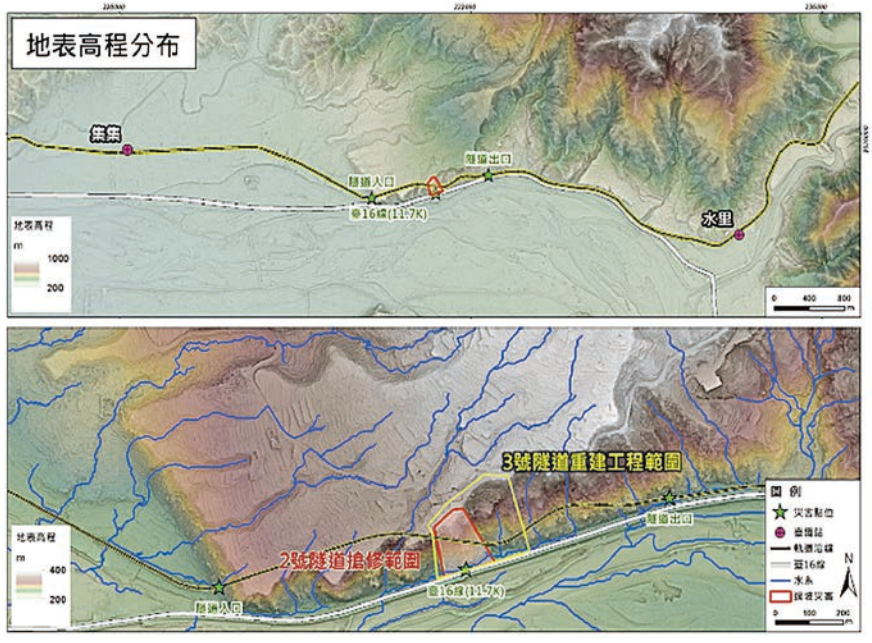


圖 5　計畫範圍內水系圖

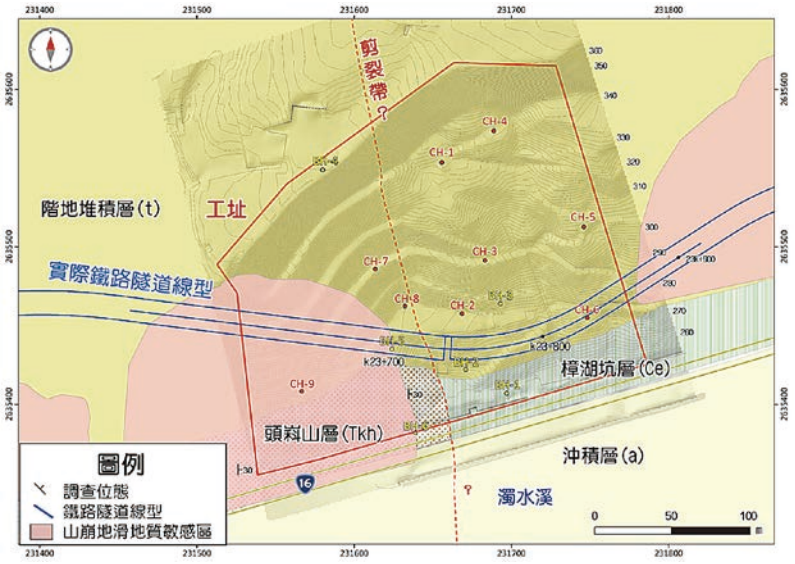


圖 6　細部調查區地質平面圖

計畫範圍內邊坡上方主要為階地堆積層，主要為表土、膠結不佳之礫石、岩塊與砂泥層，主要分布地表下深度約 0 ~ 10 m，厚度可達 20 ~ 60 m。堆積層下方則為岩層，主要包括邊坡西側的礫岩層及邊坡東側的砂泥岩互層，平均分布於地表下深度 10.0 m 以下。礫岩層主要為膠結良好之礫岩夾砂岩，沉積物礫徑肉眼可辨，平均層理 20° ~ 30° 之間。而砂泥岩互層主要為灰色塊狀泥岩或粉砂岩所組成，不易有明顯層理，同於鑽探中發現剪裂帶與岩層擾動，整體相對破碎。依據上述調查結果，繪製地質剖面詳圖 7 及圖 8 [2]。

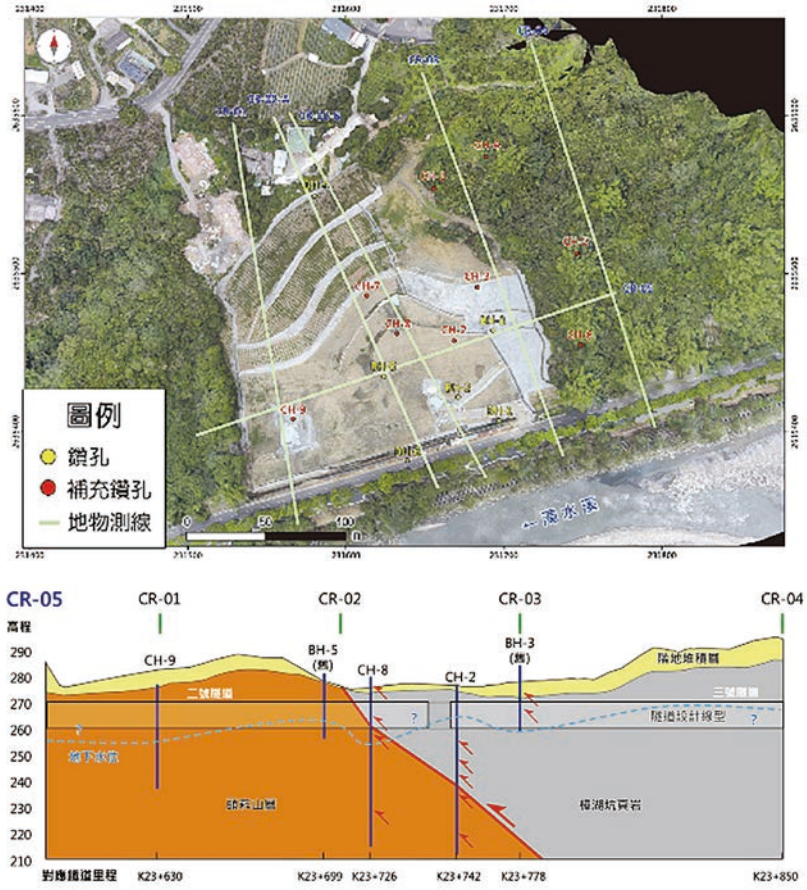


圖 7　剖面線配置（上）與細部調查區地質剖面圖（下）

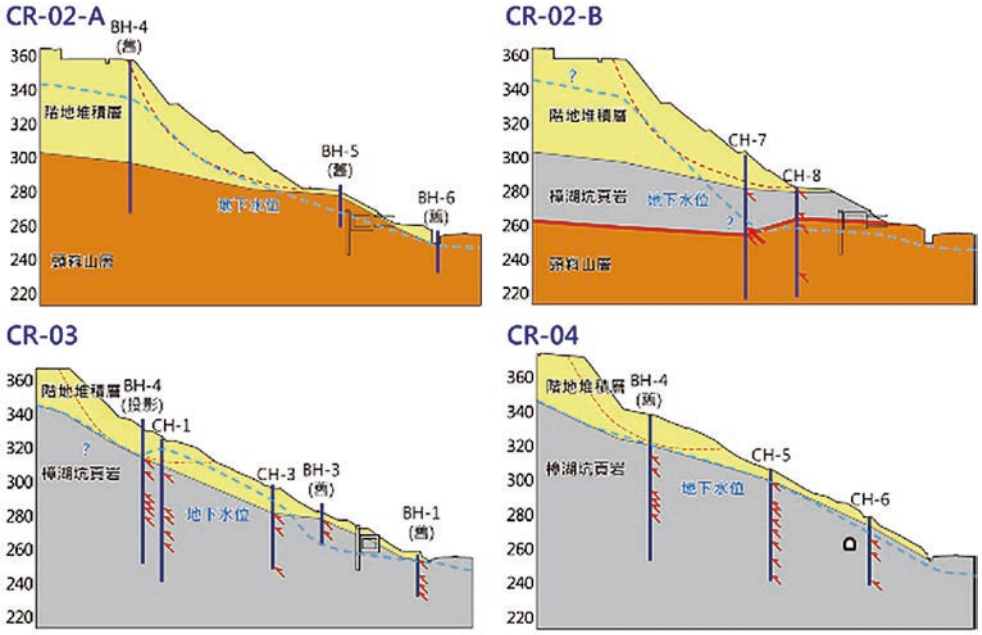


圖 8　細部調查區地質剖面圖

排水調查

經為了解坡面滲水及排水問題，進行工址上游集水區水文調查，並以 1/5,000 像片基本圖沿著等高線繪製集水區範圍（約有 15.25 公頃）如圖 9。本工址係沿永昌國小東側旁道路及前方道路（大坪巷）進行調查，確認集水區範圍及排水路現況，調查位置編號及現況相片與說明如圖 10，調查結果說明如下：

1. 上游集水區多以乾砌石構築平台栽種雜林或果園，沿路側溝為淺溝，溝內淤滿落葉。
2. 排水明溝主線，三面乾砌塊石，寬約 1.3 m × 高約 1 m，排水坡度約 8%，乾砌塊石易有入滲情形。
3. 排水明溝支線，三面乾砌塊石，寬約 0.8 m × 高約 0.6 m，並有破損情形，易有較大量入滲情形。
4. 末端乾砌塊石排水明溝不明顯，已被雜草與雜物覆蓋。

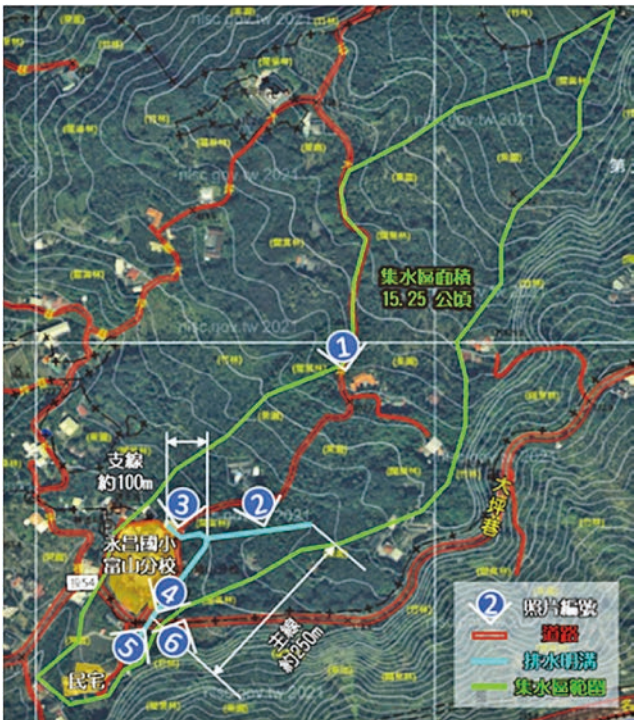


圖 9　工址上方集水區範圍調查位置



圖 10　工址上方集水區範圍調查現況照片

5. 道路（大坪巷）過路箱涵，寬、高各約 1.5 m，無明顯破損情形。
6. 道路（大坪巷）道路側溝，發現多處裂縫。

現場環境調查

本工址於 111 年 8 月現場環境調查，於 K23 + 800 ~ K23 + 845 處為局部原生植披與經濟作物覆蓋，已發育一系列西北 – 東南向之張力裂縫（詳圖 11），影響範圍向東延伸百公尺，顯示邊坡表層仍持續潛移，有潛在滑動之可能。



圖 11　發育（111 年）東側 K23 + 800 ~ K23 + 845 處多張力裂縫

邊坡崩塌及隧道受損調查及研析

經地表地質調查與岩心判釋結果，計畫工址岩層並無特別系統性之節理，僅 2、3 號隧道間於緊急搶修施工時於岩盤發現疑似剪裂帶存在，而岩心亦可發現深度 60 m 以下岩層受剪切擾動；依據地形測量結果，主要坍滑之滑動面呈現圓弧形，頂部坡面角度 80 度，漸次變緩為 50 度，依據原崩積物厚度推估，滑動面發育於階地堆積層之內，並未切穿岩土交界面，或位於岩土交界面上，坍滑災害之滑動面與既有剪裂帶並無直接關係。

對比計畫工址致災情形與現地邊坡位態調查資料研判，地表為厚層固結不佳之階地堆積層，由礫石、岩塊、砂土與風化土壤所組成，推估計畫工址邊坡潛在破壞型式包含：淺層岩屑崩滑與較深部圓弧形滑動破壞，為一複合式破壞，破壞型態詳如圖 12 [2]。

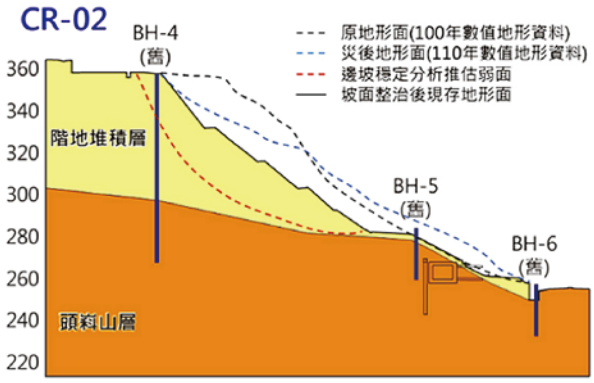


圖 12　推估邊坡滑動面

另觀察民國 110 年 8 月 14 日隧道襯砌環狀裂縫樣態，公路側噴凝土局部襯砌剝離；110 年 8 月 24 日隧道環狀裂縫變化加劇，兩側噴凝土襯砌大面積剝離，另於隧道山側岩栓佈設範圍亦有嚴重裂縫及襯砌剝離情形，規模可達 20 cm，如圖 13，研判為因邊坡坍滑推擠及隧道上方鬆弛覆土堆積導致，上方土壓荷重增加 2.5 ~ 3 倍（如圖 14），使隧道山側產生較嚴重大型裂縫與擠壓異狀；遂先於民國 110 年 12 月 ~ 112 年 6 月辦理 K23 + 720 ~ 745 明挖隧道工程施工（2 號隧道部分）；民國 111 年 5 ~ 8 月因豪雨於前期計畫範圍外 K23



圖 13　細部調查區地質剖面圖

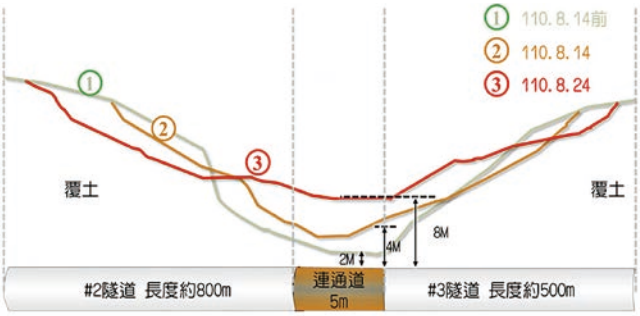


圖 14　隧道縱向覆土示意即發生機制

+ 745 東側邊坡發生坍滑土石侵入 3 號隧道 K23 + 745 ~ K23 + 800 產生嚴重擠壓及鋼支保破壞如圖 15，另於災後進入 3 號隧道調查（如圖 16），隧道里程 K23 + 800 ~ K23 + 845）發現多處裂縫及滲水。

綜上所述地形、地質、排水以及現場環境調查，研判本工址致災原因主要為地地層孔隙大、膠結差、地下水豐沛、坡面無保護，老舊隧道受坍滑側壓及堆積擠壓，使隧道受損破壞（如圖 17）。



圖 15　集集線 K23 + 745、K23 + 845 既有隧道受損斷面

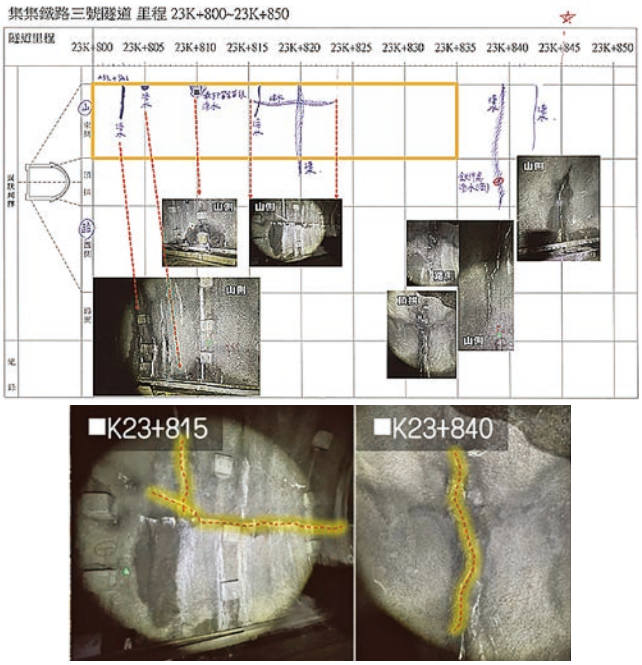


圖 16　K23 + 800 ~ K23 + 845 既有隧道異狀

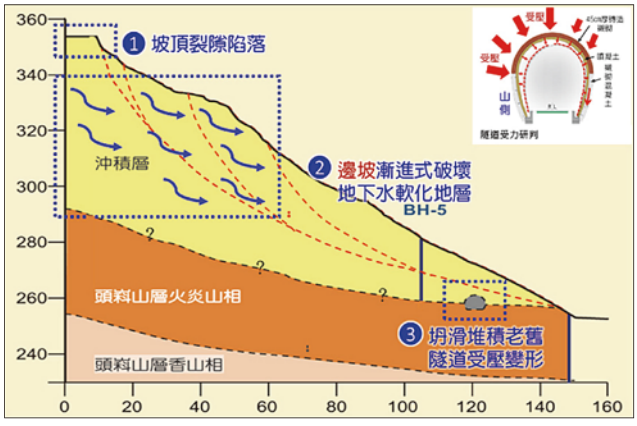


圖 17　災害肇因及機致

整治復建工程設計對策

整體施工規劃

本工程主體為集集線受損隧道重建，而其肇因為邊坡坍滑造成，因此除了重建隧道之外亦需整治其上邊坡，於最上邊坡先行施工穩固崩塌源頭及排除地表水及地下水，而後進行分階修坡及坡面保護，並於崩塌邊坡較穩固時，再進施作擋土排樁臨時擋土，採明挖覆蓋隧道進行隧道重建（詳如圖 18、圖 19）[3]。

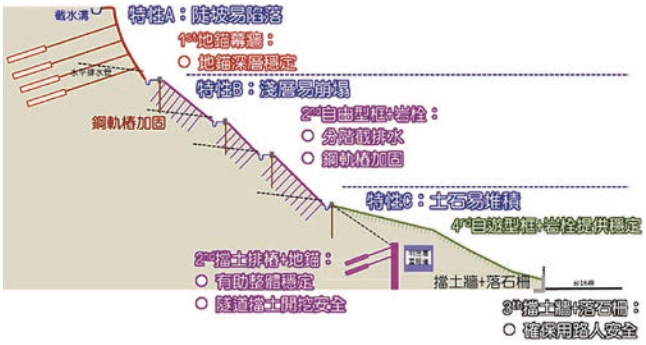


圖 18　工程剖面示意圖

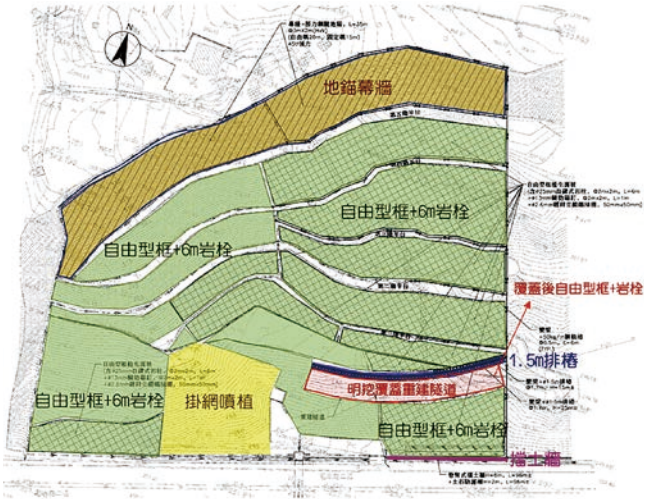


圖 19　工程規劃平面圖

邊坡整治工程

穩固崩塌源頭

本工址邊坡崩塌主要均於坡頂發生張力裂縫，地表水與地下水四處竄流，因水土壓力達臨界程度發生整體崩塌；因此針對崩塌源頭以地錨（L = 35 m）配合鋼筋混凝土幕牆進行坡頂附近垂直邊坡之保護，如此可有效穩固崩塌源頭。

地表水與地下水排除

本區地層屬崩積層，大部分膠結疏鬆，孔隙大且不均勻，除地表水沖刷坡面灌入張力裂縫增加額外驅

動力外，地下水自局部竄出侵蝕邊坡亦為破壞主因；因此邊坡整治除加強地表排水系統，配合邊坡分階佈設外，另增設水平排水管排除地下水，減少邊坡下滑驅動力，確保穩定性。

分階修坡與加固

前述之地表與地下排水系統，須配合修坡分階佈設，如此各階坡長可減少，亦可有效降低地表逕流沖刷力；另外各階平台可打設加固鋼軌樁並以繫梁連結，提升分階邊坡穩定之效益。

坡面有效保護

本區崩積層膠結疏鬆，坡面保護需達一定深度方得以增加其整體凝聚力，配合現地條件，建議以自由型框植生工法 + 岩栓進行坡面保護，可增加邊坡穩定性並可抵抗坡面沖刷；針對坡度較緩部分，建議以掛網噴植工法並加長錨錠鋼筋或佈設一定數量之灌漿錨筋，可有效增加坡面穩定性。

明挖隧道重建工程

隧道山側岩栓佈設範圍曾發現有 3 ~ 5 m 之橫斷大型裂縫及襯砌剝離情形，裂縫寬度達 3 ~ 6 mm 以上，於山側襯砌受擠壓剝離變位量可達 20 cm 情形（參見圖 13）。依日本道路協會分類，隧道已屬丙 ~ 丁之危險等級，另隧道襯砌為老舊磚造型式，由所發現之外部異狀推估，隧道應已有內部損傷，易於異常外力作用下造成安全威脅。

此區段隧道位處山崩與地滑地質敏感區，此次災害之肇因係因隧道上方邊坡土石滑落，隧道受邊坡滑動而受偏壓及土石堆積壓重，導致隧道變形受損及襯砌剝離。隧道結構由現況異狀研判屬不穩定之危險狀態，但採補修原有隧道結構已不易恢復且提升其支承力，加以裂損異狀有明顯加劇變化之不穩定狀態，宜做整體改善提升安全性後，始宜通車。

經評估本處將以新建明挖覆蓋隧道維持鐵路安全，明挖覆蓋新建隧道之施工，配合整地擋土後施工始，步驟如下：

步驟一、 先行施築隧道上方之基樁擋土措施。

步驟二、 基樁完成後配合降挖及移除隧道加固措施、逐階敲除既有隧道結構。

步驟三、 第一階段降挖施作第一階地錨背拉。

步驟四、 第一階地錨背拉完成再降挖及施作第二階地錨背拉。

步驟五、 第二階地錨背拉完成後再降挖至預定高程及施作隧道結構及與舊隧道銜接。

步驟六、 完成明挖覆蓋新建隧道後，再完成隧內管線處理與排水銜接至舊隧道，如圖 20。

本工址明挖覆蓋隧道規劃配合銜接前期內部淨寬 8 m，淨高 6.65 m，配置單一軌道，常時覆土 1.5 m，並以最大覆土高度 15 m 管控以維持隧道結構穩定及安全，如圖 21 [3]。



圖 20　明挖覆蓋隧道剖面示意圖（左上）、明挖覆蓋隧道 3D 示意圖（左下）、明挖覆蓋隧道 114.09.30（右）

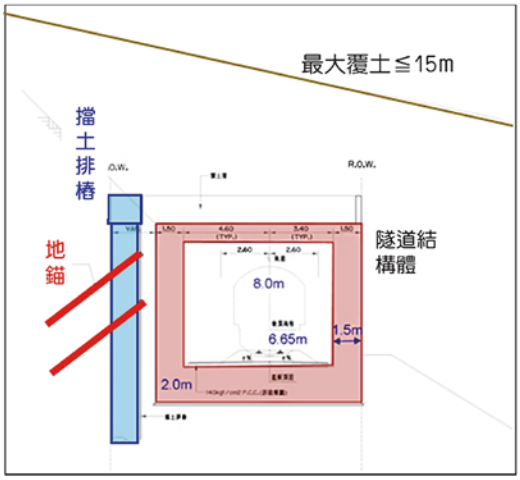


圖 21　隧道剖面示意圖

考量隧道結構防蝕，採用較高強度混凝土，水泥需符合施工規範第 03052 章規定之第 II 型水泥。

另工址位於南投縣集集鎮，依規定需考量活動斷層近域效應，鄰近有大茅埔 – 雙冬斷層為活動斷層，故最小設計水平地震力及垂直地震力將依規範考量反應譜之加速度係數。另隧道底版將採加厚方式以增加結構自重與底部之摩擦力，以提供地震時抗滑能力。

重建後之效益

工程與營運效益

本工程除了能透過重建隧道提升集集線整體的營運年限，更能實質帶動彰化至南投區間的鐵路客運與觀光效益。參考臺鐵公司民國 108 年（集集線停駛前一年）的各站運量統計，集集線全年上車人數旅客達 526,664 人次 [4]，足見其未來復駛後所能創造的經濟效益極為可觀。

過去集集線停駛期間，旅客與居民必須多花 15~20 分鐘在濁水站或集集站轉乘公路接駁車。全線直達通車後，每年將為通勤族與旅客省下累計達數萬小時的時間成本。同時，鐵路復駛能鼓勵民眾搭乘大眾運輸、減少自小客車出車架次，進而降低每年碳排放量，有助於落實淨零碳排與綠色經濟政策。隨著商圈復甦，地方社區將獲得自主資金來源，促進青年與在地居民回鄉就業，全面活化社區再生。

本工程除了達成隧道復駛之核心目標，亦同步完成該路段之邊坡整治如（圖 22），大幅提升鄰近台 16 線的邊坡穩定。台 16 線為聯繫集集、水里及信義鄉之交通動脈，更是通往日月潭與玉山等重要景點的觀光門戶；本工程之邊坡整治，不僅有效降低土石災害風險，更實質提升了該重要幹道的整體用路安全與運輸韌性。

疏運管理目標的實現

本工程為配合「臺鐵集集支線基礎設施改善計畫—隧道及邊坡改善統包工程」之整體進度，積極協調並提早開放工作界面。在本工程團隊全力趕工下，順利於民國 114 年 10 月 28 日提前達成「明挖覆蓋新建隧道」之階段性里程碑。此項關鍵工程的提前完工，不僅有效推進了後續各項軌道、機電等整體工程的界面銜接，更為後半段全線通車奠定了的基礎。隨著明挖覆蓋隧道的達陣與邊坡修復進入尾聲，台鐵已於民國 115 年 4 月 29 日派出由柴電機車牽引莒光號客車的試運轉列車，進行全線挺進終點車埕站進行路線測試。全力衝刺並落實於今年暑假旺季前（115 年 6 月 25 日）前全線通車之目標如圖 23。

結語

本工程針對臺鐵集集線 K23 + 720 ~ K23 + 845 路段因豪雨誘發之大規模邊坡崩塌及隧道損壞，透過高精度光達調查、地質鑽探、地球物理探測與水文分析，已精確掌握崩積地層之複合式破壞機制。在「穩固崩塌源頭、排除地表與地下水、分階修坡加固及明挖隧道復建」之主動防護



圖 22　本工程範圍邊坡整治施工前後對照



圖 23　明挖隧道完工臺鐵公司
鄭光遠董事長蒞臨指導

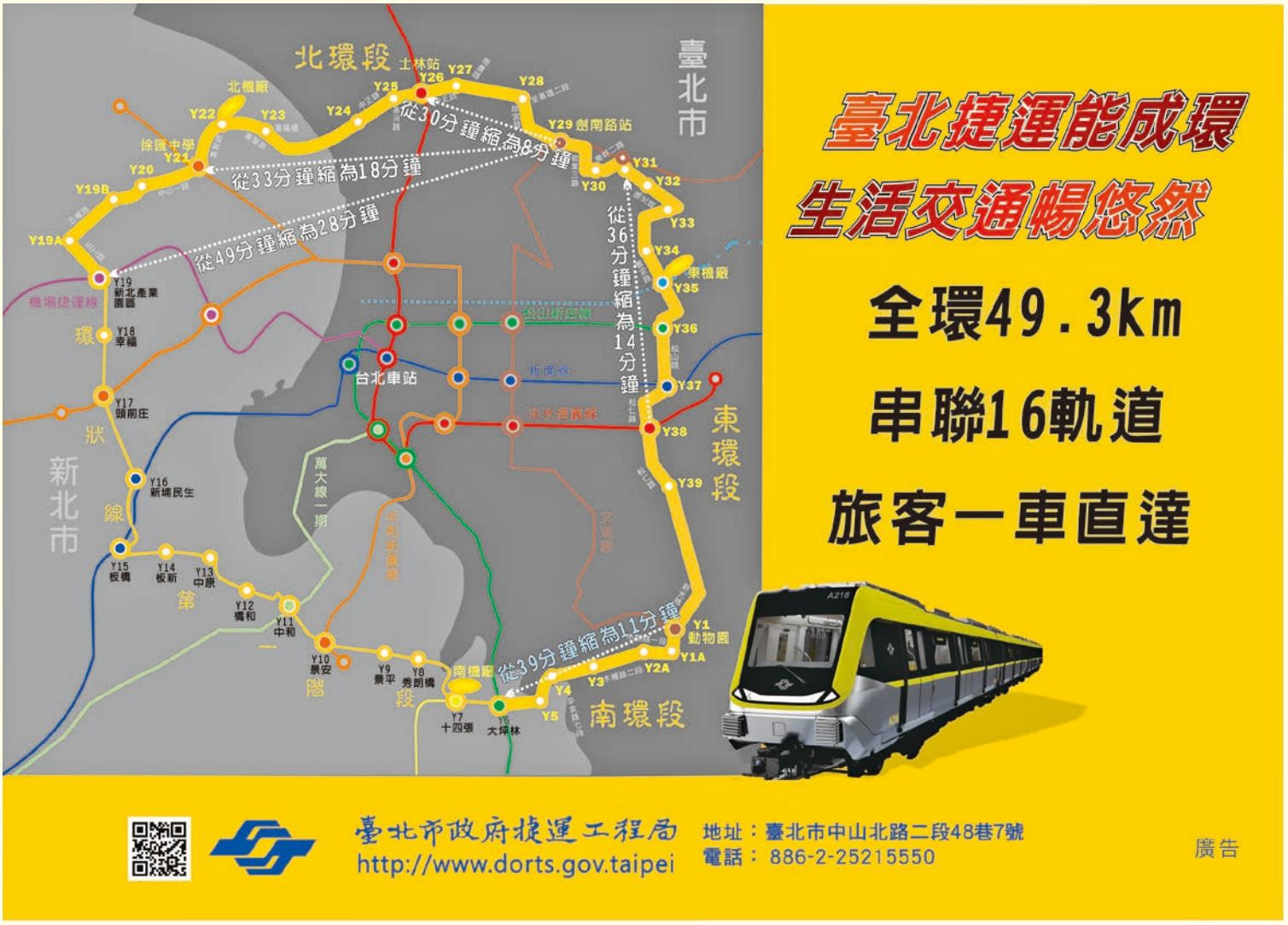
策略下，團隊成功克服了剪裂帶等破碎地質挑戰。特別是在汛期極端豪雨環境下，面對上方邊坡崩積層的巨大側向土壓力，團隊克服了明挖覆蓋隧道深開挖擋土之極高困難性與變形風險，結合鑽掘擋土排樁與高規格臨時地錨進行分階降挖加固，在動態變化的破碎地層中，達成「零工安意外」目標並提早交付工作界面。除全面提升鐵路支線之基礎設施韌性與營運安全外，更將為南投地區之觀光產業與交通活化帶來顯著效益。

誌謝

本工程之完成，仰賴臺灣鐵路公司專案工程處、以及臺灣鐵路公司嘉義施工隊、台灣世曦工程顧問股份有限公司、旭盛營造公司及各協力單位全體同仁之共同投入。於歷次颱風、地震及新發災害處置期間，各級主管持續提供必要支援與協調，對工程如期推進與順利完成具有關鍵作用，謹此致謝。

參考文獻

1. 聯合大地工程顧問股份有限公司（2008），集集線全線老舊隧道安全檢測及改善規劃設計工作現場檢測、資料處理判釋與安全評估報告。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2024），集集線 K23 + 745 ~ K23 + 845 隧道受損重建工程（委託設計及監造部分）」地質敏感評估報告。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2023），集集線 K23 + 745 ~ K23 + 845 隧道受損重建工程（委託設計及監造部分）」基本設計報告。
4. 國營臺灣鐵路股份有限公司（2019），中華民國 108 年各站客貨運起訖量。



DOI: 10.6653/MoCICHE.202606_53(3).0010

防災體系之實務成果

平溪線鐵路邊坡崩坍預警與復舊及全線災害熱區巡檢

連建智／國營臺灣鐵路股份有限公司宜蘭工務段 段長
賴泓羽／國營臺灣鐵路股份有限公司宜蘭工務段 技術員
林于超*／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 工程師
郭覲豪／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 正工程師
邱文峰／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 副理
陳俊樺／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 經理
歐文爵／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 資深協理
李魁士／地新科技顧問有限公司 執行長

本研究針對平溪線支線鐵路，探討極端氣候強降雨下之邊坡致災潛勢，並建立科技防災維運管理機制。整合全線大範圍科技巡檢（包含 InSAR 微波遙測、地形開闊度分析）與現場長距離徒步巡檢，對軌道區、下邊坡及上邊坡進行全線構造物與地質之特徵診斷。針對高陡密林等傳統圖資難以判釋之區域，則利用 UAV-LiDAR 與手持雷射掃描（SLAM）技術，成功克服植生遮蔽並將地形模型解析度提升至公分等級，精準掌握潛在張裂隙與侵蝕溝分布。此外，依據歷史災損頻率與現場劣退化狀況，建置三級風險分級管理架構，其顯示平溪線歷史災害高達 68% 事故集中於冬季非汛期（10 月至 2 月）。最終，將評估成果導向實務應變處置，提出包含精準辨識、降低致災率、優化演練程序及落實預防性維護等四大效益，透過平時視覺化巡檢影像與科技巡檢資料之主動判釋，可作為維運單位採取防護工程之依據，對保障百年支線鐵路營運韌性與公共安全具備關鍵之實用價值。

前言

臺灣鐵路平溪線為單線非電氣化支線，全長 12.9 公里，自三貂嶺車站至菁桐站。沿線地質條件較為複雜，緊鄰基隆河谷地興建，部分路段下邊坡坡趾直接面臨河岸侵蝕威脅；且長期降雨等氣候因素，常有邊坡崩塌、落石等災害風險；加上通車逾百年、基礎設施老化，構成多重複合致災條件，不僅影響列車行車安全與營運穩定，也對旅客生命財產及地方交通造成潛在威脅。2025 年 10 月受鋒面影響，連續降雨導致全線發生 10 處重大邊坡災害（詳圖 1），其中 K1 + 965 ~ K2 + 300 及 K9 + 820 ~ 920 兩處下邊坡路基流失，造成全線中斷。因此，建立完善之邊坡崩坍預警機制、強化災後復舊效率，以及推動全線高風險熱區巡檢作業，為平溪線鐵路維運管理的重要課題。

本計畫針對邊坡地質環境、歷史災害紀錄及既有設施現況進行整體盤點與分析，配合邊坡監測、現地巡

* 通訊作者，yuchao@ceci.com.tw

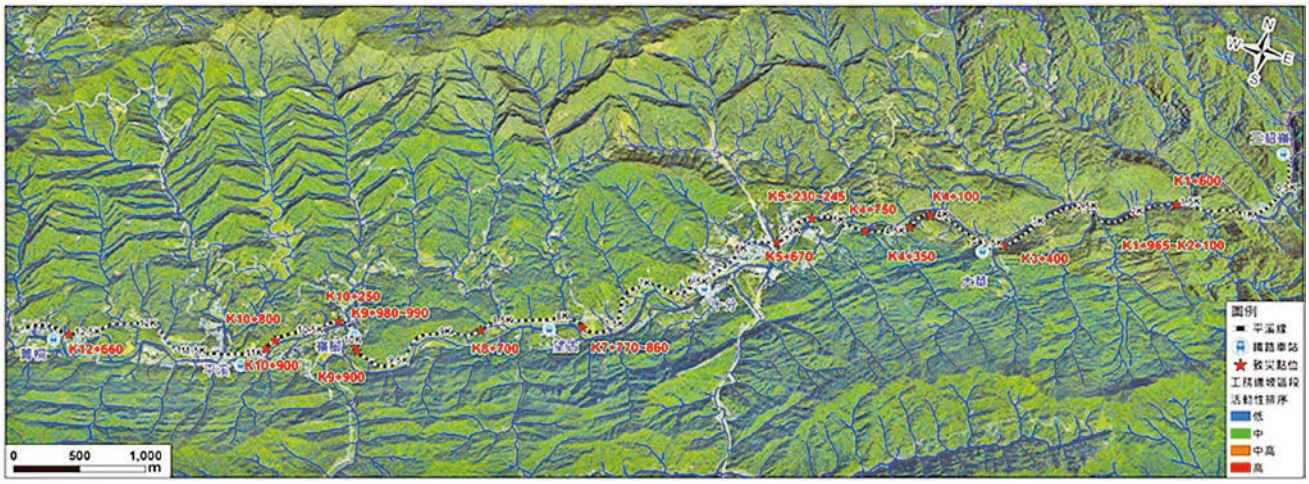


圖 1　平溪線 2025 年 10 月致災路段分布位置

查、三維模型建立等方法，於全線歷史災害熱區進行系統性診斷，藉以建立完整之邊坡現況資料與風險評估基礎，作為後續監測、維護及災害應變之重要依據，提升災害發生前之預防能力以及鐵路系統之韌性與安全性。

全線邊坡科技巡檢技術與診斷方法

影像測繪及分析

為全面掌握平溪線沿線邊坡地形特性與潛在災害風險，傳統邊坡巡檢主要仰賴人工目視檢查，但受限於地形、視距及植生遮蔽等因素，對於高處邊坡及臨基隆河之下邊坡較難全面掌握。為提升巡檢效率、判釋精度及傳統人工巡檢之限制，本計畫採用 UAV-LiDAR 與手持式 SLAM-LiDAR 測繪作業（精度為 25 公分），針對鐵路全線熱區進行整體調查與空間資訊建置，詳圖 2。透過高精度、多視角之影像與三維地形模型分析，可有效辨識邊坡幾何特徵、裂縫分布等資訊，並可藉由不同時期資料及模型比對，分析坡面之位移、局部侵蝕等現象。

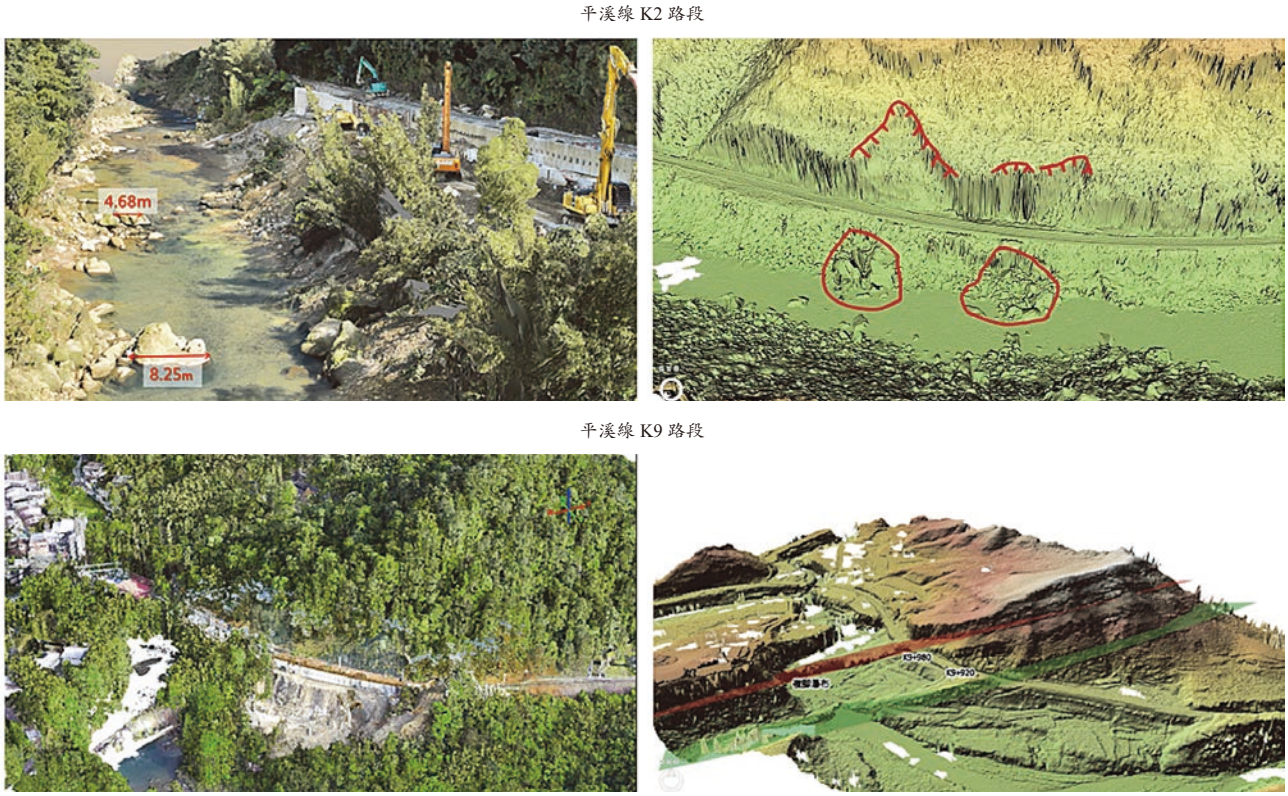


圖 2　影像測繪及分析成果

現地調查

本計畫所採用之UAV-LiDAR測繪及SLAM-LiDAR測繪作業，其精度雖較於傳統空拍影像高，但仍難以有效辨識僅有數公分至毫米等級之細微構造特徵。因此，對於上邊坡潛在崩落風險之精確評估，仍有賴專業地質技師進行近距離現地調查。現地調查採徒步巡檢方式進行（詳圖3），雖然作業期程較長，但能全方位辨識如構造裂隙、異常滲水等微小變異。巡檢過程中，團隊針對各災害點逐一記錄災況並量測規模，同時詳查地質條件（如岩性、節理與風化程度）與既有防護設施（如擋土牆、排水系統）之現況，亦評估復舊工程進度與品質，藉此綜合研判致災原因及潛在風險，作為提出後續改善建議之可靠依據。



圖3　平溪線徒步巡檢之照片

地質災害潛勢診斷

針對平溪全線地質災害，可藉由「臺鐵邊坡科技巡檢（1期）」所建置之基本圖資，搭配本計畫全線現場巡查成果，進行災害潛勢診斷。上述圖資包含衛星影像、地形坡度、地質圖、InSAR活動度、地形開闊度等（詳圖4），各圖資判讀目的及風險指標如表1所示。透過各項圖資之綜合分析與現地調查成果比對，可進一步掌握沿線邊坡之地形特性、地質條件及災害潛勢，評析各路段之潛在風險等級，作為常態化監測追蹤機制建立之依據，以提升整體邊坡安全管理效能。

表1　診斷圖資類型及判讀目的彙整表

圖資類型	主要判讀目的	高風險指標
衛星影像	地表現況、植生異常	裸露地、植生稀疏帶
地形坡度	邊坡陡峭程度	坡度 > 55°
地質圖	岩性與構造弱面	砂頁岩互層、斷層帶
InSAR	地表長期活動性	持續位移暖色區
地形開闊度	細部地形特徵	侵蝕溝、崩崖、凹陷地
歷史災害	重複致災潛勢	多次紀錄、規模擴大

平溪線全線邊坡致災潛勢與風險分級成果

歷史災害紀錄

統計2021年10月至2026年4月間，平溪線全線共計有67處歷史致災路段（表2）[1,2]，包含2025年10月致災的10處重點路段。這67處災害點涵蓋各種類型，包括落石、崩塌、路基流失、擋土牆破壞等，顯示平溪線全線普遍具有邊坡災害潛勢。

由歷史災害分布可知，部分路段具有重複致災特性，且災害規模呈擴大趨勢，反映該區地質條件較為脆弱，或既有邊坡防護與排水設施效能不足。多數災害屬小規模落石或淺層崩塌，崩落量多為數立方公尺以內，通常僅造成列車短暫停駛，經搶修後即可恢復通車。綜整歷史災害資料顯示，重複致災路段具有明顯集中性與再發潛勢，可作為後續邊坡監測、災害預警及熱區巡檢之重要依據。

邊坡致災因子剖析

平溪線高風險路段之共同特徵，主要源於地質條件險峻與既有設施老化。鐵路依傍基隆河谷興建，兩側緊鄰坡度超過55度（紅色區域）的砂頁岩互層高陡邊坡，不僅頁岩易風化軟化，砂岩發達的節理與構造更易引發落石及楔形崩塌（詳圖5）。而多數災害發生

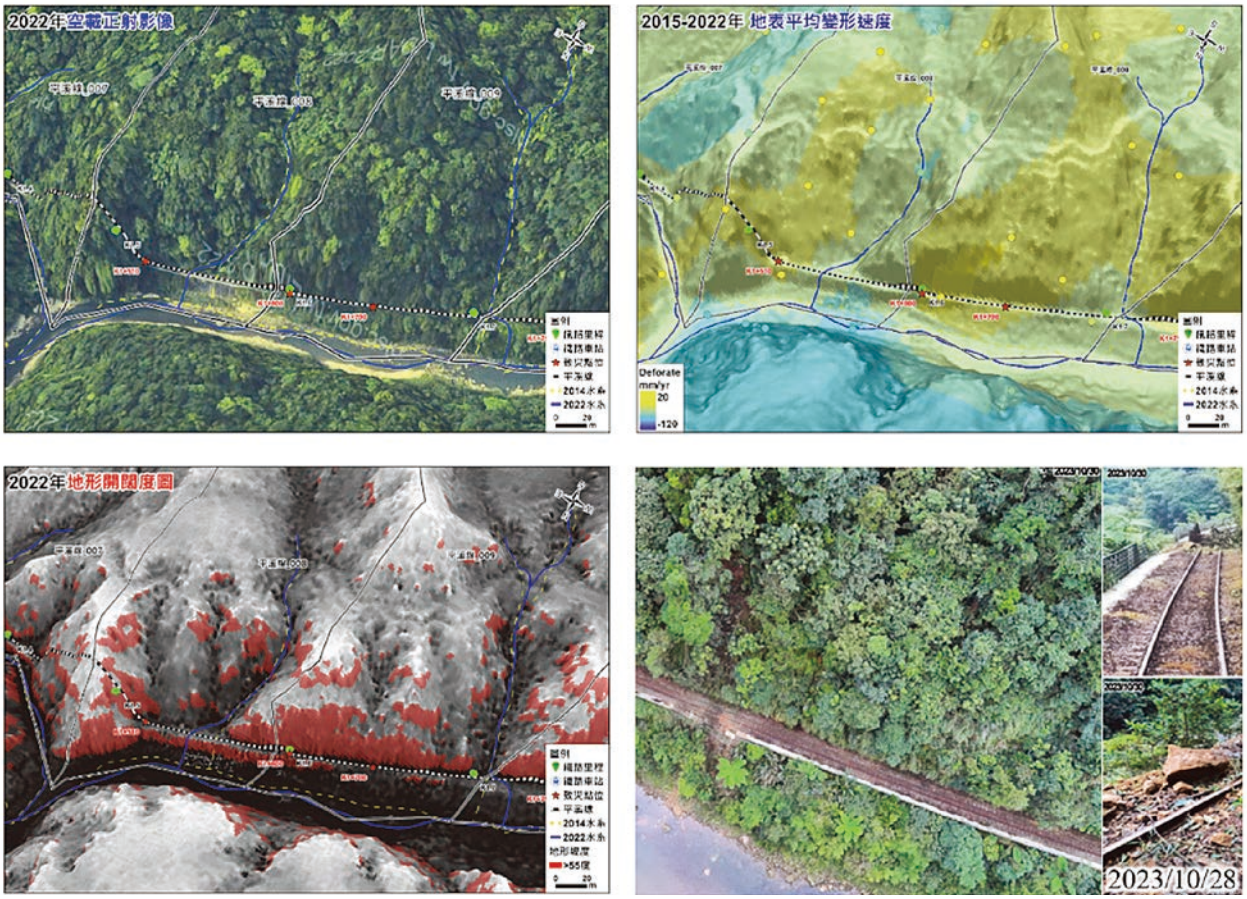


圖 4　平溪線潛在災害之資料蒐集及判釋

表 2　平溪線歷史災害事故路段（2020～2026 年）

1)	K0+220	16)	K2+390	31)	K5+100	46)	K9+980~990	61)	K11+900
2)	K0+350	17)	K2+500	32)	K5+130	47)	K10+000	62)	K12+070
3)	K0+510	18)	K2+600	33)	K5+230~245	48)	K10+030	63)	K12+365
4)	K0+610	19)	K2+850	34)	K5+586	49)	K10+250	64)	K12+370
5)	K0+680	20)	K2+900	35)	K5+670	50)	K10+300	65)	K12+375
6)	K1+000	21)	K3+400	36)	K7+100	51)	K10+350	66)	K12+660
7)	K1+305	22)	K3+450	37)	K7+650	52)	K10+550	67)	K12+700
8)	K1+510	23)	K4+100	38)	K7+720	53)	K10+615	68)	
9)	K1+600~700	24)	K4+150	39)	K7+770~860	54)	K10+670	69)	
10)	K1+750	25)	K4+350	40)	K8+400	55)	K10+700	70)	
11)	K1+800	26)	K4+500	41)	K8+700	56)	K10+750	71)	
12)	K1+900	27)	K4+670	42)	K8+950	57)	K10+800	72)	
13)	K1+965~K2+100	28)	K4+750	43)	K9+680	58)	K10+900	73)	
14)	K2+260	29)	K4+800	44)	K9+920~980	59)	K11+200	74)	
15)	K2+300	30)	K5+050	45)	K9+970~980	60)	K11+400	75)	

藍色為 2025 年 10 月事故路段；2021～2026 年間共計 67 路段

於 10 月至翌年 2 月，雖非颱風汛期但東北季風帶來持續性降雨，使邊坡長期處於高含水狀態；加上現場排水溝普遍遭淤土與植生堵塞，軌道草滋生，地表逕流無法有效排除，大幅削弱了路基與邊坡的穩定性。此外，沿線重力式、漿砌卵石等擋土牆已出現老化、開裂與排水不足等問題，顯見既有設施已不敷現況防災需求。最後，沿線茂密的植生遮蔽了坡面，導致傳統人工巡檢難以察覺潛在的危岩與裂隙，增加了邊坡災害判釋的困難。綜合上述，平溪線地形高陡、地質脆弱、排水失效及設施老化，未來應將重複致災路段列為巡檢之優先評估區域。

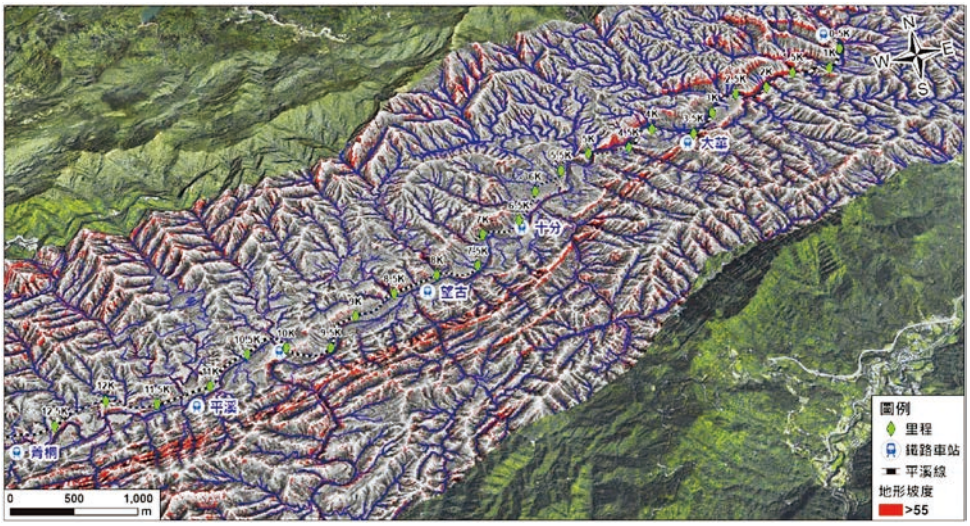


圖 5　平溪線三貂嶺至菁桐全線 LiDAR DEM 地形坡度圖

潛在風險路段判釋與邊坡分級成果

邊坡分級管理依據風險程度及優先處理之急迫性，將全線邊坡區分為三級管理（詳表 3）：

第一級（高風險）：包含 K1 + 600 ~ 700、K1 + 965 ~ K2 + 300、K8 + 400、K9 + 920 ~ K9 + 980、K10 + 800 附近路段。此類路段具下邊坡路基流失或重複大型落石紀錄，應列為優先整治對象；其中 K1 + 600 ~ 700 上邊坡料源多，且為大尺寸巨石，臺鐵已發包採掛網保護，建議進行專案地質調查，並建立自動化監測系統全年運作。

第二級（中風險）：包含 K4 + 100 ~ K5 + 245、K7 + 600、K8 + 700 等路段。具重複落石紀錄但規模較小，建議每半年進行 UAV 測繪比對，並於雨季、颱風季節前後加強人工巡檢。

第三級（低風險）：其餘歷史災害路段，建議納入年度常態巡檢，並建立異狀通報機制。

災害熱區工程復舊設計與施工實務

復舊工程限制條件與分階施工規劃

本復舊工程面臨極其嚴峻之工期壓力與營運環境限制。平溪線鐵路因 114 年 10 月 22 日望古至嶺腳間（K9 + 920 至 K9 + 980）發生下邊坡嚴重坍滑與軌道路基流失，以及 10 月 24 日三貂嶺至大華間（K1 + 965 至 K2 + 300）發生下邊坡坍滑造成軌道沉陷，導致全線實施停駛。為降低對地方民生疏運與觀光產業之衝擊，本案必須克服山區多雨之惡劣氣候，全力於 115 年 1 月 31 日前恢復通車，以因應農曆年節之疏運需求。於僅有約三個月之工期限制與緊鄰基隆河谷之狹窄腹地內，本案採取分階段、由上往下之施工程序進行規劃 [3]：

1. 第一階段（上邊坡既有人工構造物與軌道復原工程）

因應下邊坡坍滑引發之路基流失與軌道沉陷，本階段重點為穩定上邊坡軌道區域，藉此避免荷重加劇邊坡之漸進式破壞及災害範疇持續擴大。團隊採取「由上往下」的施工程序，優先於軌道與臨軌側進行

表 3　平溪線全線邊坡風險分級彙整表

風險分級	關鍵里程範圍	災害特徵概述	管理作為
第一級（高風險）	K1 + 600 ~ 700、K1 + 965 ~ K2 + 300、K8 + 400、K9 + 920 ~ K9 + 980、K10 + 800	路基流失、重複巨石災害（大規模）	列為優先整治對象，並建立自動化監測全年運作。
第二級（中風險）	K4 + 100 ~ K5 + 245、K7 + 600、K8 + 700	重複落石災害（小規模）、岩屑崩滑	每半年 UAV 測繪比對，雨季、颱風季節前後加強人工巡檢。
第三級（低風險）	其餘歷史災害路段	尚無明顯惡化微兆	納入年度常態巡檢、建立異狀通報機制。

關鍵防護設施、地表逕流導排與路基回填，以確保上方軌道基礎之穩定與行車安全，使鐵路得以在最短時間內具備通車條件，達成過年前通車之目標。

2. 第二階段（下邊坡穩固坡址工程）

上方鐵路正式恢復通車後，不影響列車營運、利用非通行時段之有限腹地內，由下邊坡進行穩固坡趾、區域導排系統之防護工程，以抑制潛在剪切破壞面之發展，確保全線邊坡之長期安全。

復舊工程設計方案與挑戰克服

本案於設計階段運用高精度 UAV-LiDAR 測量成果建置公分級三維數值地形模型，並透過二維極限平衡分析與有限元素分析軟體，進行災害機制反算與邊坡穩定評估，以驗證崩塌行為並研擬最適復舊方案。分析結果顯示，本災害屬下邊坡失穩引致之路基支承流失問題，潛在滑動面已延伸至軌道基底下方，致使路基承載能力顯著降低，需採深層基礎結構進行穩定處理（詳圖 6 與圖 7）。另工址鄰近基隆河谷地形，受地形條件限制，施工腹地狹窄，無法採用傳統重力式擋土構造物，且大型施工機具亦缺乏進出及迴轉作業空間，致使工程設計與施工規劃面臨高度挑戰。

K9 路段（望古 – 嶺腳間）

A. 設計與施工限制條件：

本路段坍滑深度較大，路基流失嚴重，考量滑動面承載力不足，設計排除高自重重力式結構，以避免增加坡體負荷造成二次滑動。此外，既有聯外道路狹窄，大型施工機具無法進入，施工須配合軌道拆除及動線調整。

B. 工法與限制因應方案：

第一階段（軌道下方基樁式懸臂擋土牆），施工前協調居民及地主採臨時借道方式解決機具進場問題。為快速恢復路基承載能力，於軌道下方設置基樁式懸臂擋土牆，牆高約 5 至 6 公尺，基礎採三排直徑 80 公分基樁梅花型配置，並嵌入穩定岩盤至少 3 公尺，以提升抗剪及抗傾覆能力。施工採螺旋鑽工法及 H 型鋼抗剪構件，以因應狹小腹地施工限制；另導入毛細式透排水帶及水平排水管設施，主動排除坡體內部之地下水，降低孔隙水壓對邊坡穩定之影響。

第二階段（下邊坡階梯式擋牆與坡趾排樁），恢復通車後，於下邊坡續建第二道基樁式擋土牆，並於坡趾增設擋土排樁，形成多層防護系統，以提升坡腳支撐能力並抑制深層滑動發展。同時設置橫向排水設施及豎向排水溝，完善地表逕流收集與導排機制，降低雨水沖刷及坡趾掏刷風險，提升邊坡長期穩定性。

K2 路段（三貂嶺 – 大華間）

A. 設計與施工限制條件：

本路段臨軌側坡面陡峭且緊臨基隆河，下邊坡呈現漸進式破壞特性，邊坡穩定風險較高。另因該區無既有道路可供進出，施工機具及材料須仰賴鐵路運輸進場，施工條件受限。

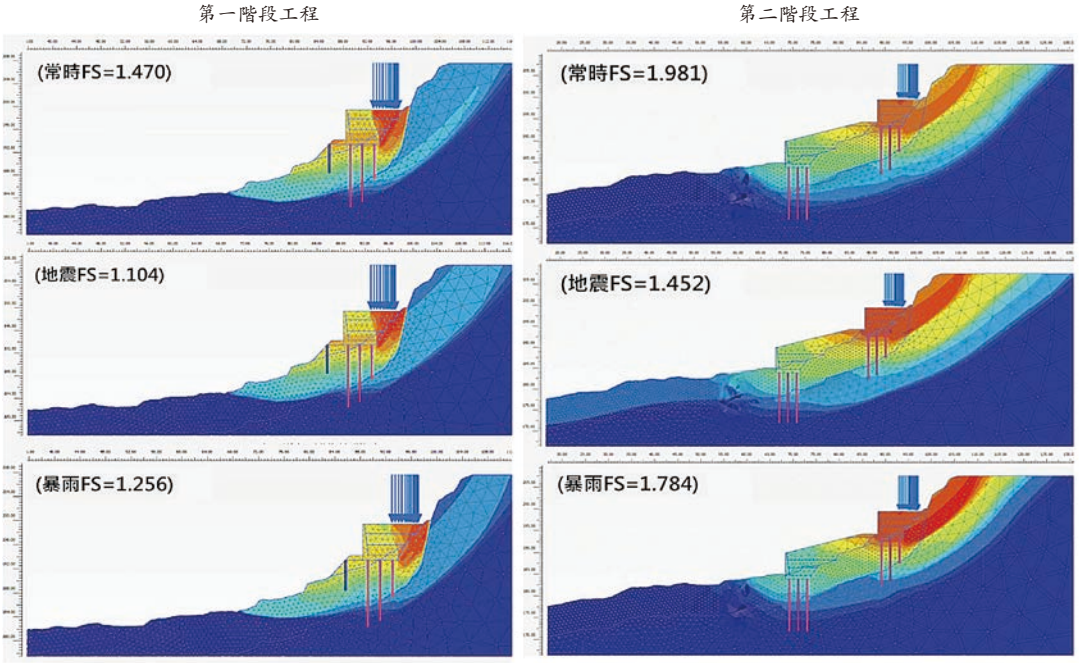


圖 6　平溪線 K9 路段邊坡穩定分析成果

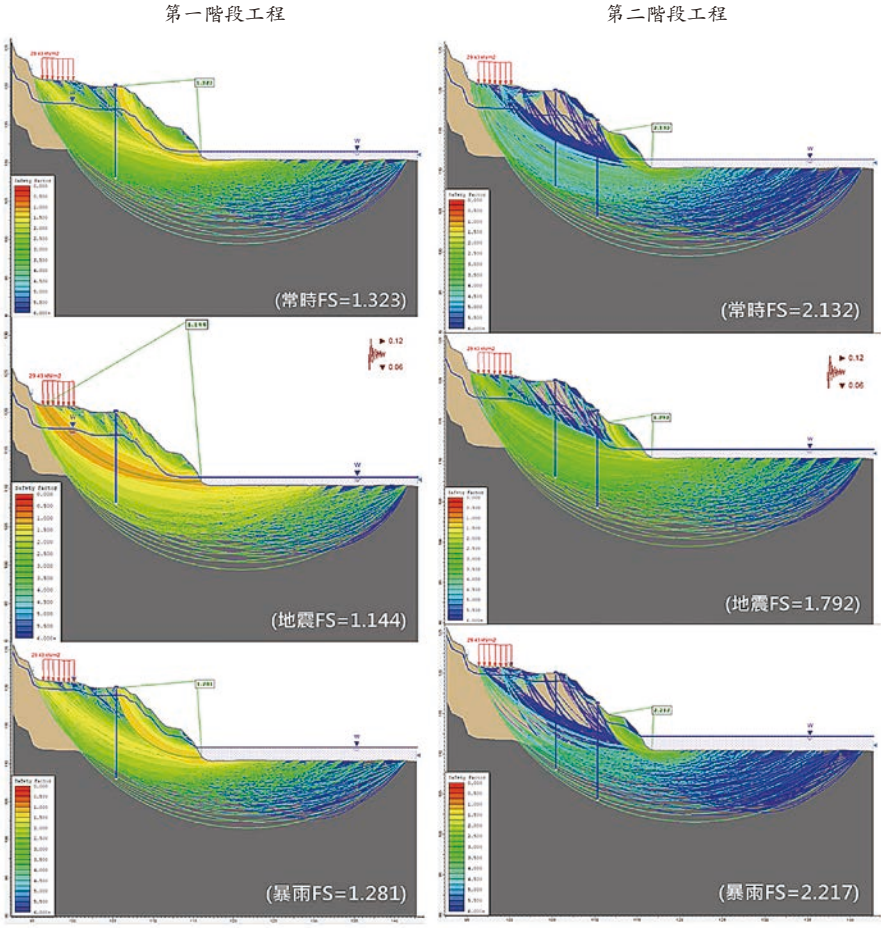


圖 7　平溪線 K2 路段邊坡穩定分析成果

B. 工法與限制因應方案：

第一階段（臨軌側第一道排樁工程），考量工區無道路可達，施工機具與材料先運送至大華車站鄰近空地集結，再以軌道板車駁運至工址；運輸過程嚴格管制設備外緣與隧道建築界限，以確保既有設施安全。針對下邊坡坍滑造成之軌道沉陷問題，優先於臨軌側施作第一道擋土排樁，採螺旋鑽掘工法施工，並以 H 型鋼抗剪構件取代傳統鋼筋籠，在受限腹地下快速建立側向支撐能力，控制軌道及路基變位，防止土體持續滑移，確保搶通作業順利完成。

第二階段（下邊坡臨基隆河之排樁工程），全線恢復通車後，於下邊坡增設第二道擋土排樁，並施作繫梁及橫梁系統，與第一道排樁帽梁整體連結。藉由雙排樁及橫向連結構造形成整體受力系統，有效抑制深層滑動面發展，降低邊坡漸進式破壞風險，提升坡體長期穩定性及營運安全。

自動化監測與營運安全驗證機制

考量本案工址鄰近營運線且施工腹地受限，於 K2 及 K9 災區之臨軌側人工構造物設置電子式傾斜計，搭配無線傳輸模組進行即時監測，並依分析成果建立警戒值及行動值，以掌握復舊結構物及下邊坡長期穩定性。以 K9 路段 115 年 2 月 1 日至 5 月 2 日監測資料為例（詳圖 8），各測點傾斜變位均穩定維持於 0° 附近，歷時曲線未見突發性變位或累積性滑移趨勢，且監測值皆低於設計警戒值，顯示復舊結構具良好整體剛度與穩定性能，有效確保通車後營運安全。

沿線邊坡科技預警判釋與實務應變效益

鑑於平溪線鐵路部分路段具重複致災特性，且在極端氣候強降雨下災害規模呈擴大趨勢，本案建立主動式預警機制，利用高精度 UAV-LiDAR 地形掃描、步踏巡檢與歷史災害資料進行多維度整合，於災前優先判釋潛在致災路段（詳圖 9），並導出關鍵問題，其關鍵實務效益如下：

1. 辨識潛在不穩定區域：整合地質條件、歷史災損與高精度 UAV-LiDAR 地形資料，建立邊坡資訊管理架構，作為後續評估與決策之依據。

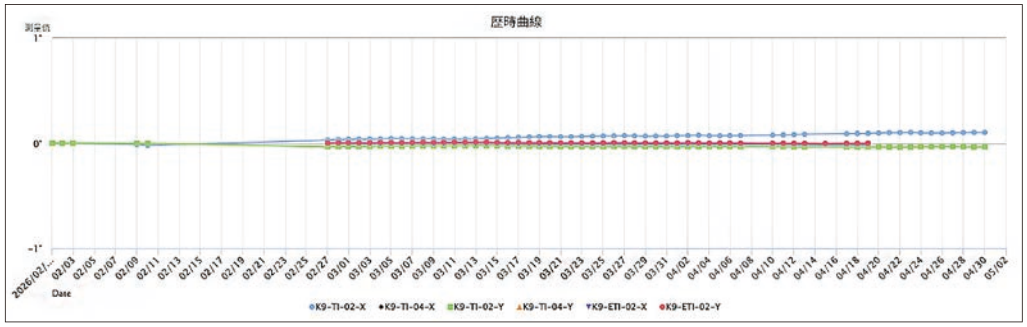


圖 8　平溪線 K9 路段電子式傾斜計監測圖（115/2/1 ~ 5/2）

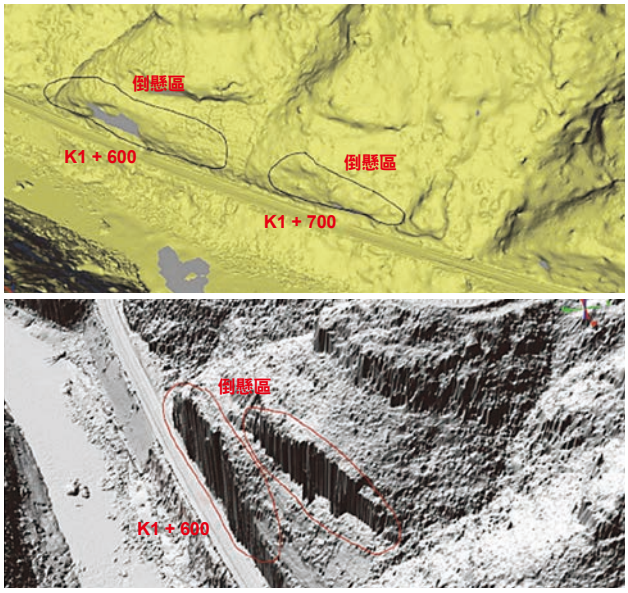


圖 9　高精度 UAV-LiDAR 邊坡產出成果與倒懸辨識成果（K1 + 600 ~ K1 + 700）

2. 降低突發性大規模致災機率：透過自動化監測與定期巡查互補，可及早掌握坡面裂縫發展、地下滲水或落石跡象等異常微兆，提早進行預警處置，避免災害擴大。
3. 優化流程並提升復舊效率：建置標準化緊急應變程序，並適時辦理全線邊坡災害演練（涵蓋通報、列車疏散、鄰軌搶修），確保維運單位熟稔程序，提升資源調度與搶修效率。
4. 落實平時巡檢與預防性維護：透過建立常態化巡檢紀錄制度，落實動態影像與現場拍照資料蒐集，引導管理單位掌握設施設備劣化狀況並及時進行小規模修繕，達到主動式預防維護、延長設施壽命之目的。

結論

1. 平溪線鐵路邊坡之主動式預警與災害熱區巡檢，是營運管理與科技防災結合的實務展現。利用高精度 UAV-LiDAR 地形掃描與定期巡檢建立之風險判釋，不僅能實質提升支線鐵路的營運韌性，亦可作為後續山區鐵路邊坡治理之技術參據。
2. 有鑑於臺鐵宜蘭工務段長期落實巡檢紀錄制度，透過現場影像及資料蒐集，建立完整之資料庫。雖巡檢作業具例行性與繁複性，惟其累積第一線視覺化資訊，為災害研判、風險評估及後續決策提供重要依據，有效提升鐵路營運之安全管理。
3. 透過沿線長距離徒步巡檢與現地調查，掌握極端氣候作用及高陡破碎地質環境下之邊坡變化，發現既有防護設施因長期受環境作用而逐漸降低防護能力。面對複雜地形與潛在災害風險，建立「災前風險判釋」機制，成為推動預防性維護與提升鐵路防災韌性之重要目標。
4. 平溪線歷史災害高達 68% 集中於冬季非汛期的特殊時間分布特徵，主管機關、營運單位及技術顧問，透過科技手段掌握異狀並及時採取防護工程作為，這份對品質的盡心付出與積極處置，是對支線通勤居民與觀光旅客安全最實質的保障，謹藉本文向所有默默堅守在鐵路邊坡第一線的營運與巡檢人員致敬。

誌謝

本計畫之完成，感謝國營臺灣鐵路股份有限公司工務處與國營臺灣鐵路股份有限公司宜蘭工務段之指導與支持，仰賴新北市應用地質技師公會、地新科技顧問有限公司、台灣整合防災工程技術顧問有限公司及台灣世曦工程顧問股份有限公司等全體同仁之共同投入。

參考文獻

1. 國營臺灣鐵路股份有限公司，「平溪線歷史災害紀錄統計表（2021 ~ 2025 年）」。
2. 台灣整合防災工程技術顧問有限公司，「平溪線邊坡定期巡檢與監測年度報告（2022 ~ 2025 年）」。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「臺鐵邊坡科技巡檢計畫（1期）成果報告」，交通部臺灣鐵路管理局委託，2023 年。

DOI: 10.6653/MoCICHE.202606_53(3).0011

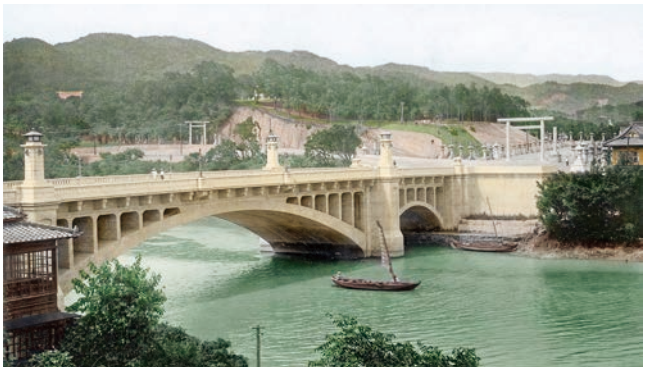
重現中山舊橋的夢想

李文彬*／中國土木水利工程學會土木歷史與文化委員會 委員

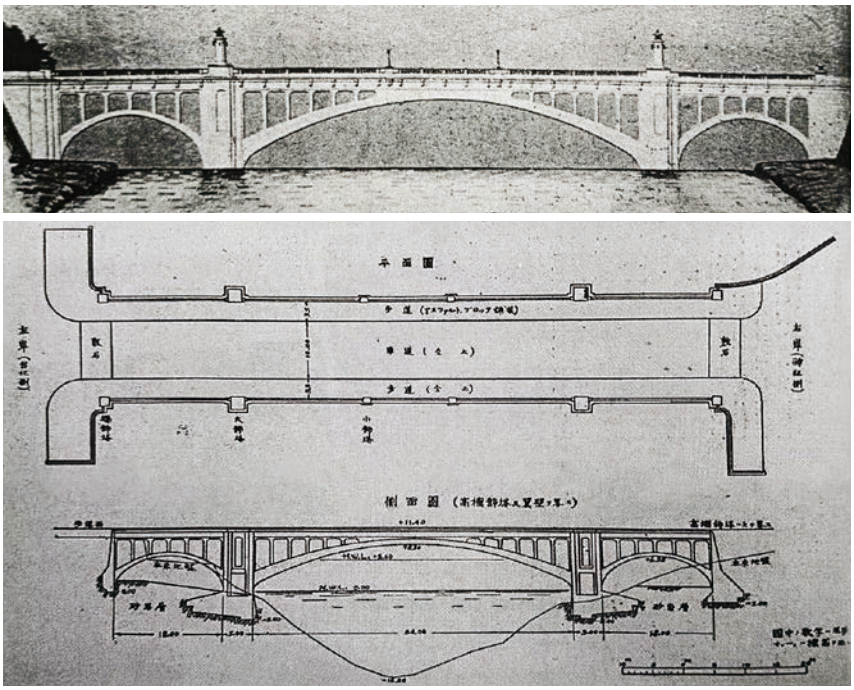
台灣自然環境常受極端天氣颱風暴雨侵襲，加上地震頻繁土石鬆動隨雨水滾落，河川洪水暴漲，急流挾帶泥沙而下甚具破壞力，早期的橋多遭沖毀震塌或因擴充改建，只有一座橋是好好的遭人為拆除，且似乎受到詛咒，屍骨至今仍不得安息，它就是曾在台北圓山跨基隆河上的中山舊橋。

中山橋始建於 1901 年，主要供日人由中山北路過河參拜圓山台灣神社，原稱明治橋，第一代橋為穿式鋼桁架橋，1933 年改建為三孔鋼筋混凝土拱橋，橋身有精美的花崗石雕飾與欄杆，堪稱當時全台最典雅的橋梁精品，日本時代許多中小學生畢業旅行參拜神社後會在橋邊留影（照片 1 ～ 照片 4）；戰後國民政府改稱為中山橋，長期以來是台北市區前往士林的要道。至 1993 年因圓山地區交通整建及基隆河整治計畫（照片 5），市府在橋一側興建中山二橋並於次年通車；2001 年圓山地區因納莉颱風淹水，中山一橋因造成上游水位壅高而面臨存廢討論，引起水利界與文資保護人士的激烈爭辯。2002 年台北市政府基於防洪安全考量決定拆除一橋 [1]，當時馬市長以其為歷史建物（2004 年登錄），為安撫文資界乃宣示將另覓他地重建組，2003 年 4 月拆除完畢，因遷建處未定，原橋體切割成 435 塊構件堆放在新生高架橋下基隆河畔再春游泳池舊址至今（照片 6 ～ 照片 9）。

日前在台灣放送網站無意間看到 2023 年 5 月林延鳳議員質詢蔣萬安市長有關中山一橋（即舊橋）重組時程的錄影，另外 YouTube 網站也有如凌宗魁聊建築等相關短影音介紹此橋 [2-4]，讓筆者回想初識此橋是在 2012 年台大土木系陳清泉名譽教授的「土木文化資產工程講



照片 1　中山舊橋老照片（圖片來源：聚珍台灣，經授權使用。）



照片 2　新明治橋工程視圖（取自土木建築工事畫報，1932.4）

* 通訊作者，u064168@gmail.com



照片 3　夜曲 – 圓山風光攝影比賽佳作（郭儀）



照片 4　畢旅學生 – 中山舊橋老照片（作者不詳）

座」，該講座延請專家學者講授土木工程各面向的文化資產保存、活化、再利用等相關議題，先在台大土木系、後在北科大土木系開課，延續 5 年至 2017 年止。筆者忝為講員之一，針對水利工程及發電工程的文化資產進行簡報，當時筆者即選每年爭議不斷的中山舊橋作為課外田野調查對象，以「**尋找中山舊橋的蹤影**」為題，請學生於期末交心得報告代替考試。

5 年下來已有數百位大學生看到堆放在高架橋下與李再春銅像作伴的數百件橋材。期末報告中同學都能把握了紀念物原地保存或易地重組的原則，考慮文化資產、水利法規、交通運輸、觀光遊憩等多種因素，建議重組的地點有不同方案，當然也有放棄不理或當地景材料佈置的消極主張，但多數同學都傾向應積極覓地重組為觀光遊憩的人行陸橋，地點則以圓山附近的公園較有共識；當然若能真的跨越河川重組呈現原來風貌固然最為理想，但多數同學選擇不與水利河防單位對抗，避免進入基隆河行水區，期能減少行政阻礙，顯然年輕學子在沒有歷史包袱下更能務實地衡量抉擇，我在他們身上看到重組舊橋的希望。

這些年來中山舊橋的環境清潔問題每年都會被當地的里長提出，歷任市府均曾討論重組方案，馬、郝任內由水利處評估重組地點共 25 處，文化局在 2015 年曾舉辦「中山橋創意發想工作營」，發表五組方案，述明重現的方式與地點；柯任內將本案由水利處轉為文化局主辦，文化局建議在城市博物館聚落內重組，2020 年市府文資審議委員會有條件通過 3 處重組的可能方案，包括 (1) 再春游泳池舊址局部重組、局部做碑林案、(2) 基隆河大佳段行水區重組案、(3) 新生公園內重組案，經費初估依序為 4.3、6.8、3.9 億元；惟柯市長屬意的碑林案因反對者眾，迄其卸任猶未敢強制執行，所以 2023 年林議員才會質詢蔣市長有關此陳年老案的執行時間表。



照片 5　中山舊橋鳥瞰圖（作者不詳）

中國土木水利工程學會自始就參與此橋拆遷議題研討，會士台大土木系的陳清泉與高健章教授曾受託鑑定舊橋的結構材料安全，也參與拆遷諮詢的專家會議，只是眾議分歧，市府瞻前顧後種種考量猶疑不決，終至多年停留在紙上作業而無實質作為。其實多年來圓山周邊環境大有改變，當年首要顧慮排洪因素已因上游員山子分洪及基隆河整治工程之執行而紓解，目前各方意見已漸趨一致—**選那個地點都好，盡快做就是**；多數人終於認知重組地點的爭執不下徒然成為市府不作為的藉口，就好像久等多年的美食料理，如今眾人已無興趣講究其擺盤的美觀與否，只想敲桌敲碗向主廚嗆聲快出菜啦！所以現只欠市府的抉擇與執行魄力。

某晚筆者瀏覽網頁有關中山舊橋的老照片及短影音，不知不覺竟打起瞌睡。夢中出現我那仙人老爸問我：「公學校畢業旅行在台北圓山所見的橋還在嗎？我們打算百歲那年同學會舊地重遊！」；又過一會我那學歷史的兒子也出現問我：「你說台灣最美的橋拆掉重組在哪裡啊？」；我頓時驚醒領悟到我們這一代沒有完成舊橋重組是會被祖孫及自己共三代所問責，恐無寧日！接下來幾天的研究，筆者心中對重組這座橋的腹案漸漸有了輪廓。

中山舊橋在圓山周邊**非行水區**的公園群裏（圖 1）擇一空地重組（需土地約 0.6 公頃）應屬眾人共識，場地盤點如下：河左岸兒童樂園舊址接近圓山貝塚考古遺址優先捨棄，花博公園的圓山園區與新生園區內

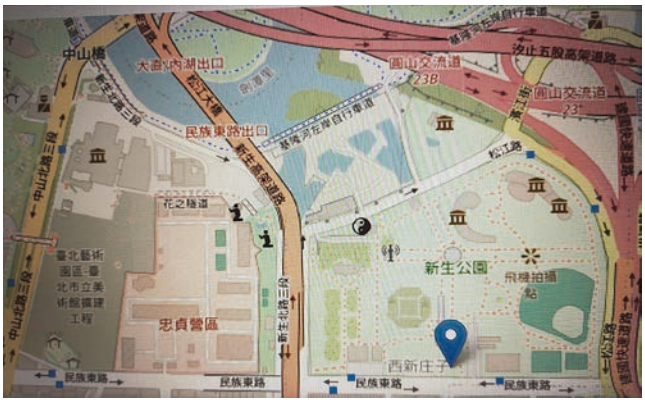


圖 1　中山橋與附近公園位置圖（作者不詳）



照片 6　中山舊橋橋材堆置場－再春泳池舊址（本文作者）



照片 7　橋材堆置場（遠方為劍潭中心）



照片 8　橋材堆置場（左側為防洪牆道路）



照片 9　舊橋切割拆卸施工（作者不詳）

雖都有一大片綠地可擺放長約 120 公尺橋體，但因在航道下方飛機起降噪音不歇，並非理想環境；倒是河右岸飛機噪音降低不少，遊憩環境較優，目前橋材堆置場東南方的圓山河濱公園是我個人最看好的重組處所（照片 10、11），有一大片草地，因有屬行水區的疑慮，必遭水利單位堅決反對，但橋梁不就是建在河川區的土木構造物！放在行水區乃理所當然適得其所，何況行水區也是人為劃設的，因此這全然是水利單位僵化觀念作祟，如果能突破此限制，則左岸行水區內的大佳河濱公園也是不錯的選擇；至於橋材堆置場加上西北方的劍潭青年活動中心，2015 年市府已有劍潭濕地公園的構想，有足夠腹地容納此舊橋為核心，其間有一池塘更是現成的搭配水景，該等土地及建物均為公有，又接近捷運劍潭站與圓山交流道，交通條件最優（照片 12、13）；雖然難免要拆除現地若干設施與砍伐樹木，但這些設施綠地全市有很多，中山舊橋卻是全台唯一橋梁文化資產，如何取捨並非難題，這幾個候選地點已由市府工務局所轄單位研究許多年 [5]，應儘速檢討評估後提報方案供高層抉擇。

文化資產重建為符合「**修復如舊**」的準則，不宜採用現代工法，橋材強度與鋼筋狀況，水利處已完成檢測作業，若舊橋重組後僅供行人通行，因荷重與外力衝擊減輕，僅需整地後將橋材構件擺放地面錨定栓牢，其技術難度不高，不致於組不起來。

執行專案的夢幻隊伍可由文化部文資局督導，業主台北市政府應儘速邀請文資專家如李乾朗、凌宗魁建築師及土木專家加入「中山舊橋重組決策委員會」，俾突破市府相關單位的本位主義，**擇定重組場址與執行方案**；土水學會長期關心此橋，自當義不容辭推派專家參加，如榮譽會員兼會士張荻薇先生曾主編「台灣土木史橋梁工程篇」，嫻熟橋梁工程，素為業界所推崇，必然樂意為這座經典名橋的重現而擔當執行長之職；設計與監造則台灣世曦工程顧問公司、中興工程顧問公司、林同棪工程顧問公司均為國內橋梁工程顧問之翹楚，不僅勝任統包工程任務，還可附加舊橋園區佈置含 3D Walking 人行陸橋規劃；至於重組經費估計數億元對於實業界的大老闆而言只是小筆投資，奉獻給國人而換來一世令名，不然的話發動企業及市民捐獻，也會像國人蓋廟一樣很快地募足，有識之士都會爭取在這座百年名橋重組芳名錄上寄付留名。



照片 10　中山新橋及圓山河濱公園（本文作者）



照片 12　劍潭青年活動中心（本文作者）



照片 11　圓山河濱公園大片草地（本文作者）



照片 13　劍潭青年活動中心生態池（本文作者）

一旦重組完成，傳說中「台灣橋梁經典之作」就真的復活了！台北市一下子冒出一座百年古橋，將生成一最眩的觀光景點，創下世界文資史上獨一無二的傳奇！蔣市長如能推動舊橋重組，讓眾人的夢想因此實現，將是台北市史上最風光的市長且名隨橋在留芳百世！從來好夢易醒，惟賴市民眾志行動讓它不是夢。

參考文獻

1. 張荻薇主編，交通工程誌橋梁工程篇，台灣土木史叢書，土木水利工程學會出版，2008 年，第 6 頁。
2. 2023/05/29 林延鳳議員質詢中山橋（明治橋）重組拍板方案決定於再春游泳池重組？蔣萬安市長四年任內可不可確定動工？
3. 華視懷舊頻道【歷史上的今天 -1220】中山舊橋拆除，歷史建築成追憶。https://youtu.be/M8ddfGhdBe8
4. https://youtu.be/bTe7QXPkC8w 凌宗魁聊建築，台灣史上最美橋梁為何被肢解？明治橋的故事。
5. 基隆河中山舊橋處理方式之研究，台北市政府養工處，民國 85 年。

中山舊橋　小檔案

原名稱：明治橋（第二代）
形式：上承式鋼筋混凝土拱橋
尺寸：長120 m、寬17 m、高16.7m
跨距：三跨連續20.5 m + 59 m + 20.5 m



參加 MACE Annual Meeting 暨 MACE 成立 30 周年國際交流出國報告

莫仁維／亞新工程顧問公司 董事長、中國土木水利工程學會 常務理事
林冠中／國立成功大學土木工程學系 助理教授、中國土木水利工程學會國際事務委員會 委員

本次出訪期間為 2026 年 6 月 17 日至 2026 年 6 月 21 日，係應蒙古土木工程師學會（Mongolian Association of Civil Engineers, MACE）邀請，代表 CICHE 赴蒙古烏蘭巴托參與其年度大會。2026 年對 MACE 別具意義：既是學會成立 30 周年，亦適逢蒙古現代營建產業發展屆滿 100 周年。因此本屆年會不僅是例行性專業聚會，更是回顧產業歷程、擘劃未來方向的重要節點。

參加會議經過

本屆活動安排橫跨數個面向，包含國際技術研討會、KSCE 與 MACE 聯合 AI 應用研討會、營建產業人工智慧政策圓桌會議、MACE 30 周年慶祝晚宴，以及郊外文化參訪。亞新工程顧問公司莫仁維董事長受邀出席，並於圓桌會議中擔任報告人；成功大學土木工程學系林冠中教授一同與會，協助交流、紀錄及後續聯繫工作。以下依時序逐日報告：

拜會 MACE 與 Construction Development Center

6 月 18 日行程以拜會為主，包含 MACE 相關單位 Construction Development Center（隸屬蒙古營建主管機關之國營事業，SOE）。透過拜會與交流，代表團具體了解蒙古營建產業在工程專業制度建置、技術交流推動與國際合作參與上的現況——蒙方正處於產業快速擴張與制度同步建構並行的階段，對成熟營建體系的專業制度設計、監造機制及國際顧問參與模式抱持高度興趣。



莫仁維董事長、Construction Development Center 主任 Demberel Munkhbaatar 及林冠中教授合影

莫董事長藉此機會與主任 Demberel Munkhbaatar 交換意見，初步說明臺灣工程顧問產業在公共建設全生命週期（規劃、設計、監造、營運維護）所扮演的角色，並預告隔日將於研討會與圓桌會議中，進一步分享臺灣在公共建設、專案管理與國際合作上的實務經驗，為後續的實質交流預作鋪陳。

拜會 MACE 辦公室亦讓代表團認識到，這一創立屆滿 30 年的專業組織，長期作為蒙古土木工程界對內凝聚、對外聯繫的重要平台。



與 MACE 創會會長 Prof. Ganzorig 合影

KSCE & MACE AI 應用聯合研討會

6 月 19 日上午舉行 KSCE & MACE Joint Seminar on “AI Applications in Construction and Civil Engineering”。會議由 MACE 會長 GANTULGA Baatar 致詞開幕，隨後由韓國土木工程學會（KSCE）代表發表兩場演講、MACE 發表兩場演講，臺灣代表團亦參與現場交流與討論。研討會聚焦人工智慧於營建管理、土木工程設計、施工控管與維護管理等環節的應用。

此一議程設計，正呼應蒙古營建產業當前面臨數位轉型與提升工程效率的需求。對代表團而言，韓、蒙兩方的分享提供了鄰近國家在 AI 落地上的第一手觀察：技術可行性已非主要瓶頸，真正的挑戰在於如何建立可執行的資料標準、培育跨領域人才，以及讓新技術與既有工程專業制度相互配合。臺灣代表於交流中亦提出相關觀點，為下午的政策圓桌會議埋下伏筆。

人工智慧政策圓桌會議與莫仁維董事長報告

6 月 19 日下午舉行 International Roundtable Meeting on “Policy on Application of Artificial Intelligence in Construction Sector”。此場次為本次出國行程的核心專業交流之一，聚焦政府、產業與工程專業組織三方，應如何協力推動人工智慧在營建部門的政策制定與實務應用。相較於上午偏重技術面的研討會，圓桌會議更著眼於制度與治理層次的討論。

莫仁維董事長於會中進行專題報告，以「Our World, Our Work」為題，分享工程顧問公司在大型公共工程、專案管理、數位化資料整合與 AI 輔助決策上的實務觀察。報告特別強調，AI 的導入不能自外於工程本業——其應用必須與工程品質、風險管理及專業責任制度相互配合，方能真正落地並取信於業主與社會。此一從產業實務出發的視角，恰能補足純學術演講較少觸及的專案管理、業主需求與責任歸屬等面向，因而受到與會代表的重視與回響。



莫仁維董事長於人工智慧政策圓桌會議中進行專題報告



MACE 會長 GANTULGA Baatar 頒授證書表揚莫仁維董事長



莫仁維董事長會後接受訪談並與 Dr. Erdene Khuvilal 交流

MACE 30 周年慶祝晚宴

6 月 19 日晚間舉行 MACE 30th Anniversary Gala Reception。此活動除慶祝 MACE 成立屆滿 30 周年外，亦象徵蒙古土木工程專業組織在現代營建產業發展中所扮演的關鍵角色。晚宴匯聚蒙古當地會員與來自韓國、臺灣等地的國際代表，於較為輕鬆的氛圍中延續白天的專業對話，是建立人脈與互信的重要場合。

為表達祝賀之意，CICHE 代表團致贈琉璃馬一件——以臺灣工藝呼應蒙古的馬背文化，別具巧思。



CICHE 代表團於 MACE 30 周年晚宴致贈琉璃馬

與會心得

本次 MACE Annual Meeting 2026 的特色，在於將土木工程專業組織年會、人工智慧技術應用、產業政策圓桌會議與 30 周年慶祝活動整合於同一行程之中。對臺灣代表而言，這不只是單一研討會的參與，而是一次能夠完整觀察蒙古營建產業發展需求、專業組織運作模式與國際合作機會的難得交流。

就技術趨勢觀察，AI 在土木與營建領域的應用，已逐漸從單點的技術展示，轉向政策制定、資料治理、工程流程再造與產業落地等整體性課題。蒙古工程界對 AI 應用抱持高度興趣，但同時也清楚意識到，若欲真正發揮效益，仍需要可執行的資料標準、系統性的人才培訓與相應的制度配套，三者缺一不可。

反觀臺灣，在公共工程顧問、災害防治、監測資料整合與工程教育等方面均累積有可供分享的經驗。未來若能透過 CICHE、MACE、學術界及產業界之間建立穩定的聯繫管道，將這些經驗有系統地對接蒙方需求，便有機會逐步形成一個更具實質內容、而非僅止於禮貌性拜會的交流平台。

建議

1. 建議持續維持與 MACE 的組織層級聯繫，特別是在土木工程教育、專業訓練、工程顧問實務與 AI 應用政策等主題上，建立具延續性的後續議題，避免交流因單次活動結束而中斷。
2. 可規劃臺灣與蒙古之雙邊線上研討會，由學術界、CICHE 與工程顧問公司共同提出實際案例進行分享，使交流不僅停留於年會期間的短暫拜訪，而能形成常態化的知識往來。
3. 針對 AI 應用主題，宜聚焦於工程可落地的具體場景——例如施工風險辨識、公共工程文件管理、地工與結構監測資料判讀、營建進度與成本預測等——以利雙方從共同面對的實務問題出發，建立目標明確、成果可期的合作。

廣告訂單



「土木水利」雙月刊
廣告價目表

（費率單位：新台幣元）

刊登位置	金額（新台幣元）	敬請勾選
封面全頁 彩色	80,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	60,000	
封面裏／封底裏 全頁彩色	45,000	
內頁全頁 彩色 （直式）	30,000	
內頁半頁 彩色 （橫式）	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 （直式）	8,000	
折扣	3 期 9 折， 4 期以上 8.5 折	

茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木水利工程學會

刊登月份：
○ 53.4（8月） ○ 53.5（10月） ○ 53.6（12月） ○ 54.1（2月） ○ 54.2（4月） ○ 54.3（6月） 共 次

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收掣據
請於刊登後檢據洽收

機構
商號 名稱： （請蓋公司印）

負責人：

地　址：

廣告聯絡人：

電　話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木水利工程學會　電話：(02) 2392-6325　email: service@ciche.org.tw

---

98-04-43-04 **郵政劃撥儲金存款單**

收款帳號	0	0	0	3	0	6	7	8

金額新台幣(小寫)	仟萬	佰萬	拾萬	萬	仟	佰	拾	元

通訊欄（限與本次存款有關事項）

繳納會費
☐ 常年會員年費 1,200元
☐ 初級會員年費 300元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期
☐ 國內・個人會員 新台幣 300 元
☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 1,800 元
自第___卷第___期起，___年期雙月刊____份

訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期
☐ 國內・個人會員 新台幣 1,600 元
☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 3,600 元
☐ 國外・個人 美金 80 元
☐ 國外・機關團體 美金 200 元
自第___卷第___期起____年期學刊____份

收款戶名：社團法人中國土木水利工程學會

寄款人

姓名：

地址：□□□—□□

電話：

主管：

經辦局收款戳

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

社團法人中國土木水利工程學會

信用卡繳納通知書

姓　　名	
會員證號碼	
身分證號碼	
卡　　別	☐ VISA ☐ MASTER CARD ☐ JCB
信用卡卡號	
信用卡末三碼	
信用卡有效期限	(月 / 年)
信用卡簽名	
繳費金額	

款　別 註：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費，入會費一人僅需繳交一次	**繳納會費** ☐ 常年會員年費1,200元 ☐ 初級會員年費300元 **訂閱土木水利雙月刊，一年六期** ☐ 國內・個人會員　新台幣300元 ☐ 國內・非會員及機關團體　新台幣1,800元 自第__卷第__期起，___年期雙月刊____份 **訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期** ☐ 國內・個人會員　新台幣1,600元 ☐ 國內・非會員及機關團體　新台幣3,600元 ☐ 國外・個人　美金80元 ☐ 國外・機關團體　美金200元 自第___卷第___期起___年期學刊_____份
白天聯絡電話	
通訊地址	

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據注意事項

一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。

二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。

三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請　寄　款　人　注　意

一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。

二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。

三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。

四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。

五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。

六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。

七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。

八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款　0503票據存款　2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束（100 張） 94. 1. 210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年（拾大）

夢想和幸福

零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。



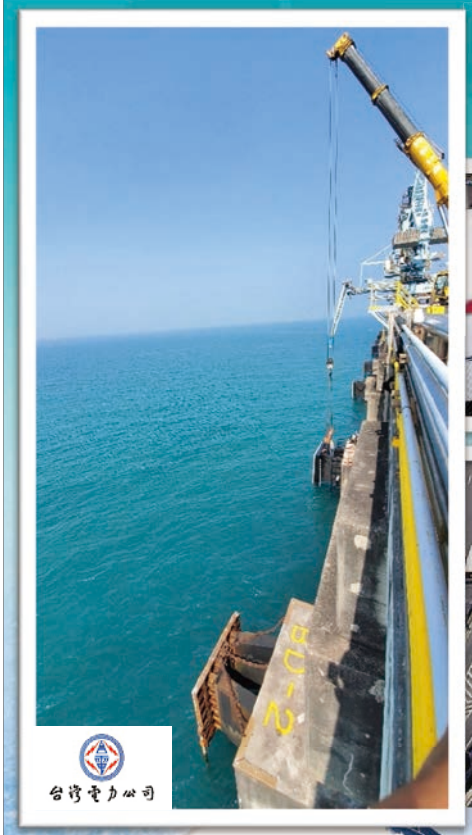
Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI 台灣世曦
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568
http://www.ceci.com.tw E-mail:pr@ceci.com.tw

志成橡膠廠股份有限公司

CHIH CHENG RUBBER FACTORY CO., LTD







臺灣最專業的港灣碰壁設施製造商

為航海運輸提供最可靠的防護

本公司針對不同港灣條件，設計及製造符合特性的防護碰墊。由於產能與機具領先同業，完全可滿足大型船舶的防護性能及其他特殊需求。
產品規格齊全，使用年限長，是航商最經濟的選擇。

嘉義縣民雄鄉興南村工業二路 3 號　　E-mail：chihcheng168@gmail.com
TEL：05-2211126　　FAX：05-2218914

Made In Taiwan 臺灣製造









亞新工程顧問股份有限公司
MOH AND ASSOCIATES, INC.

台北｜台中｜高雄｜仰光｜曼谷｜新加坡｜香港｜北京



運輸工程｜大地工程｜數位工程｜結構工程｜環水工程｜專案及施工管理｜建築、都市計劃、景觀及室內設計｜機電工程







Our World Our Work

亞新集團創業於 1975 年，多年來的經營發展，已逐漸成為亞洲地區居於領先地位的國際工程顧問公司。亞新集團主要是為東亞及東南亞地區政府及私人企業提供包括基礎建設、土地開發、建物結構、環境工程及資訊科技等綜合性國際化技術與管理的全方位專業服務。

目前，亞新集團有一千三百餘位具有不同專業領域的技術人員，分公司及關係企業依地理位置主要分布於大中華地區（台北、台中、高雄、香港、北京），東南亞地區（仰光、曼谷、新加坡），藉著從事專業活動的溝通與互動，將這些地區緊密的結合創造一個共同體，建構分享一個完整的專業服務網絡。

221411新北市汐止區新台五路一段112號22樓（東方科學園區A棟）
Tel: (886-2) 2696-1555　Fax: (886-2) 2696-1166　Website: www.maaconsultants.com
E-mail: maagroup@maaconsultants.com



水資源開發

掌握每一滴匯聚關鍵
成就人們更好生活而努力

> 本工程取出水位置於大壩左岸
包括引水渠道、直立式取水塔、輸水渠道等土木設施
除供應用水需求，也兼具河道放水及緊急洩放庫水的功能
引水工程包括改善上坪堰，目的為減少水庫淤積，延長水庫壽命
並可滿足新竹地區公共給水與竹科園區高科技工業的用水需求。

SINOTECH

新竹寶山第二水庫‧規劃設計、施工諮詢、溢洪道加高之規劃設計及監造

本廣告圖文未經同意不得轉載
中興工程顧問集團廣告

正派經營　品質保證　追求卓越　創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

安倉營造
ANCANG CONSTRUCTION CO.,LTD.

⭐ 2025年版「台灣地區大型企業排名TOP5000」營造業第45名

⭐ 2022年登錄興櫃，股票代碼：5548

深耕公共工程逾30年，持續創新與卓越，攜手共創永續未來，築造環保與品質的典範



◆ 近年公共工程獲獎實績 *近十年獲得金安獎5座、金質獎3座、金品獎1座、縣市級獎項31座



大漢溪堤外水岸廊道串聯暨周邊環境改善工程
2025國家卓越建設獎優質獎 公共建設類



南港立體連通平臺及其附屬綠化設施統包工程
臺北市政府公共工程卓越獎



碧潭堰改善暨周邊環境營造
第23屆公共工程金質獎



民生及士林抽水站抽水機組更新工程
第21屆公共工程金質獎



大龍抽水站擴建站新建工程
第19屆公共工程金安獎

安倉營造股份有限公司
ANCANG CONSTRUCTION CO.,LTD.

地　址：台北市中山區松江路223號6樓
E-mail：ac@ancang.com
電　話：02-2503-9966 (人資部)
傳　真：02-2501-7700

安倉官方網站　104人力銀行

黎明工程顧問股份有限公司
LIMING ENGINEERING CONSULTANTS CO .,LTD

服務看的見　品質是關鍵

25屆金質獎-特優



大安大甲溪聯通管工程-大甲溪輸水管第1標統包工程


苯濃溪(里嶺)伏流水統包工程-水管橋工程

道路工程｜橋梁工程｜橋梁檢測｜水利工程｜水保工程｜重劃工程｜環境工程｜機電工程｜大地工程



黎明工程顧問股份有限公司成立於1984年，目前各領域專業成員計518人。40年來秉持專業技術與操守，透過經驗累積與傳承，持續創新突破。我們秉持尊重自然、敬業守分、創新精進及真誠服務的精神，有效地執行各項任務，確保提供客戶滿意及優良品質。

金質獎累計共30件
特優5件、優等11件、佳作14件
設計特別貢獻獎2次、監造特別貢獻獎3次

408324 臺中市南屯區大墩十七街137號3樓
3F, No.137, Dadun 17th St, Nantun Dist, Taichung City 40848, Taiwan
Tel:(886-4)2320-8051 Fax:(886-4)2320-8025
https://www.limi.com.tw/ E-mail: limi@li-mi.com.tw



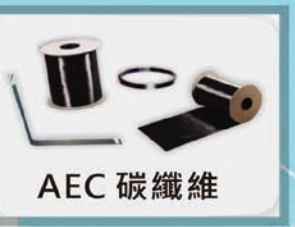
打造台灣工程奇蹟 新亞建設
To Build Taiwan's Engineering Marvel,
Newasia Construction





A&GOOD
A & GOOD CONSTRUCTION PRODUCTS
安得固

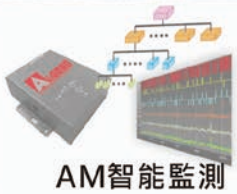

AD減隔震系列


AEC 碳纖維


AEG錨固系列

建築修復結構補強
STRUCTURE REPAIR & REINFORCE SYSTEM


AE結構補強系列


AM智能監測


AC無收縮水泥
AEX 樹脂砂漿

安固 ANCHORS
專業•品質•服務
免費服務電話 0800-009-666
台北 02-29813223 台中 04-23810055 高雄 07-3500090
桃園 03-4022192 雲林 05-5967603 上海 021-54370088
更多的資訊請上安固官方網站 www.anchors.com.tw

中華工程
BES ENGINEERING CORP.

營業項目：
- 電廠 Power Plants
- 水利 Hydraulics Engineering
- 建築 Architecture & Building Construction
- 港灣海事 Marine &Harbor Engineering
- 機場建設 Aviation Infrastructure
- 道路橋梁 Highway Engineering: Roads & Bridges
- 工業區及土地開發 Industrial Zone and Land Development
- 隧道 Tunneling &Underground Works
- 都市更新 Urban Renewal
- 捷運系統 Mass Rapid Transit(MRT) Systems
- 管線 Pipeline Systems
- 鐵路地下化 Underground Railway Infrastructure



中華工程股份有限公司
TEL：886-2-87876687 FAX：886-2-87876987 Email：besbs0@bes.com.tw
Add：台北市松山區東興路12號6樓 6F,12,Tunghsing Rd., Taipei,Taiwan,R.O.C

SINOTECF

- 刊行工程科技技術書刊 / 專題研究、工程技術書刊編撰、翻譯。
- 工程科技及學術交流活動 / 專題演講、參訪交流。
- 工程建設研參活動 / 工程技術現地觀摩活動、海外重要工程現地見習活動。
- 提供獎助學金 / 國內研究生獎助學金及其他具體贊助、培養本國高階工程建設人才。

科普 / 獎學 / 工程交流

Sinotecf









◆ 創設宗旨

中興工程科技研究發展基金會係由中興工程顧問社捐助成立之非營利、經濟事務財團法人。以提升我國工程科技水準，配合國家政策促進經濟建設之發展及科技之普及推廣為宗旨。

財團法人
中興工程科技研究發展基金會
SINOTECH FOUNDATION FOR RESEARCH & DEVELOPMENT OF ENGINEERING SCIENCES & TECHNOLOGIES

10595臺北市松山區南京東路四段186號4樓之9
電話:(02) 2577-4567　傳真:(02) 2577-3667
E-mail: sinotecf@ms32.hinet.net　https://www.sinotecf.org.tw

年會系列活動 2026 CICHE 國際論壇 10 月 29 日在台南盛大舉行
敬請期待

115 年年會系列活動：CICHE 國際論壇、年會大會暨土木水利工程論壇

共同主辦：臺南市政府經濟發展局、國家地震工程研究中心、國立成功大學、中國土木水利工程學會南部分會

115 年 10 月 29 日 (四) 2026 CICHE International Forum 國際論壇

~ Smart & Resilient Infrastructure for Economic Growth and Global Competitiveness ~

地點：【大臺南會展中心】(臺南市歸仁區武東里歸仁十二路 3 號--高鐵台南站旁)

籌辦：中國土木水利工程學會亞洲土木工程聯盟委員會、國際事務委員會

時 間	議 程		
9:00-9:45	Registration 【3F 大員 B】		
10:00-12:20	2026 CICHE International Forum【3F 大員 B】 1. **Open Ceremony** 2. **Keynote Speech 1**: ACECC chair: Prof. Yu-Chi Sung Challenges and Future Prospects of Civil Engineering in the Age of Smart and Resilient Infrastructure 3. **Keynote Speech 2**: (To be invited) 4. **Keynote Speech 3**: (To be invited) 5. **Keynote Speech 4**: (To be invited)		
12:20-13:30	午餐 (餐盒)【3F 大員 B】		
13:30-15:00 (90min)	Session 1 Sustainable Infrastructure Maintenance & Materials	Session 2 Earthquake Resilience	Session 3 Climate Resilience: Flood and Drought
	【1F 努山塔里亞 A】	【1F 努山塔里亞 D1】	【1F 努山塔里亞 D2】
15:00-15:30	交 流 茶 敘		
15:30-17:00 (90min)	Session 4 Digital Transformation & AI	Session 5 Renewable Energy	Session 6 Future Infrastructure
	【1F 努山塔里亞 A】	【1F 努山塔里亞 D1】	【1F 努山塔里亞 D2】
17:30-20:00	Speakers and International Guests Dinner (By invitation)		

115 年年會大會 暨 論壇 10 月 30 日在台南盛大舉行
敬請期待

115 年年會系列活動：CICHE 國際論壇、年會大會暨土木水利工程論壇

共同主辦：臺南市政府經濟發展局、國家地震工程研究中心、國立成功大學、中國土木水利工程學會南部分會

115 年 10 月 30 日 (五) 年會大會 暨 土木水利工程論壇

～ 智慧與韌性基礎建設：驅動城市經濟與國際競爭力 ～

地點：【大臺南會展中心】(臺南市歸仁區武東里歸仁十二路 3 號--高鐵台南站旁)

籌辦：中國土木水利工程學會南部分會

時 間	議 程		
9:00-9:45	相見歡 (註冊、報到與領取資料)【3F 熱蘭遮 A】		
9:45-12:00	115 年年會大會【3F 熱蘭遮 A】(300-400 人) 1. 開幕式：介紹貴賓 2. 主席 開幕致詞：謝尚賢理事長 3. 貴賓 大會致詞：臺南市政府 黃偉哲市長 4. 大會 專題演講：臺南市政府經濟發展局 張婷媛局長：「題目待定」 5. 頒發「土木水利 工程獎章」：評獎委員會報告、得獎人致詞 6. 頒發「中技社土木水利學術獎」：頒獎人致詞、得獎人致詞 (財團法人中技社捐贈) 7. 頒發「工程特殊貢獻獎」：頒獎人致詞、得獎人致詞 (曾元一先生捐贈) 8. 頒發「論文獎」 9. 頒發「獎學金」 10. 頒發「AI 應用獎」(莫若礪先生捐贈) 11. 資訊委員會報告「2026 學生 BIM 軟體應用競賽」、頒獎 12. 學生活動委員會報告「第四屆土木水利盃英語簡報競賽」、頒獎 13. 青年委員會報告「2026 全國大專院校學生工程創意競賽」、頒獎 14. 年會籌備報告：籌委會主任委員 黃忠發特聘教授 15. 115 年會務報告 16. 唱大禹歌、禮成 分論壇詳細議程 請掃描 QRcode		
12:00-13:00	午餐 (餐盒)【3F 熱蘭遮 A】		
13:00-15:00 (120min)	論壇一 (150 人) 土木工程論壇 【3F 熱蘭遮 B】	論壇二 (60 人) 莫若楫總裁紀念論壇 AI 在大地工程的 創新和應用 【1F 努山塔里亞 C】	論壇三 (30 人) 2026 學生 BIM 競賽 優勝發表 【1F 努山塔里亞 D1】
15:00-15:30	交 流 茶 敘	交 流 茶 敘	
15:30-17:30 (120min)	論壇四 水利工程論壇 【3F 熱蘭遮 B】	論壇五 第四屆英語簡報競賽 優勝發表 【1F 努山塔里亞 C】	論壇六 2026 全國大專院校 學生工程創意競賽 優勝發表 【1F 努山塔里亞 D1】
17:30-20:00	大 會 晚 宴 【3F 大員 A+B】		
20:00	賦 歸 ～明年再見～		