



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

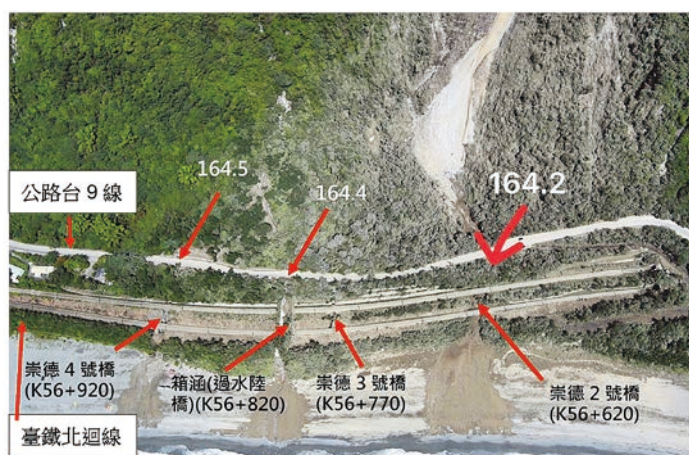


圖 2 北迴線崇德站至崇德隧道間與台 9 線致災點里程對照圖



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

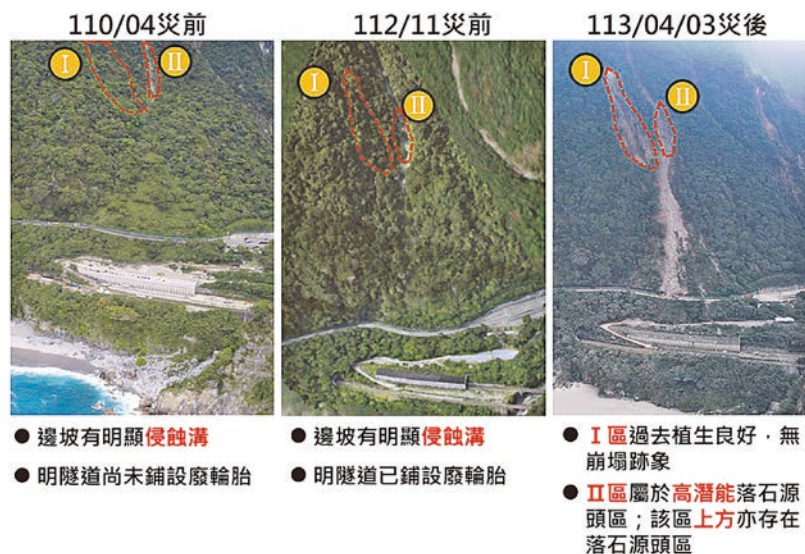


圖 5 用空拍機觀察記錄北迴線 K51 上邊坡情形

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。

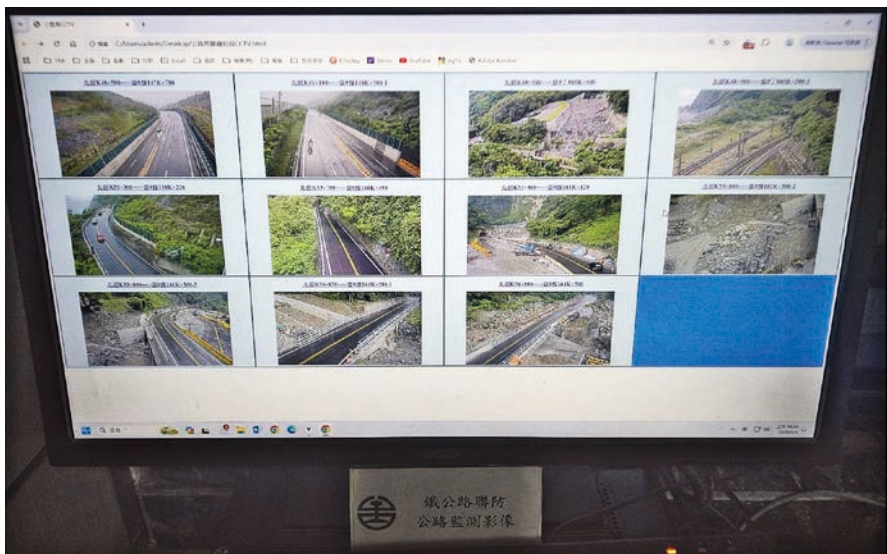


圖 6 花蓮工務段值班室內架接公路 CCTV 即時影像螢幕

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、攔阻疏濬、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. 上下游河道疏濬整治（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：

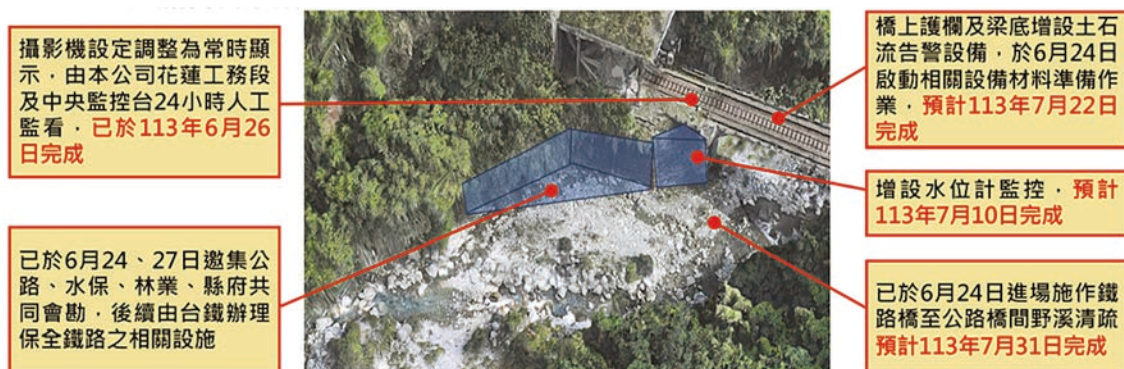


圖 7 因應 0621 土石流北迴線大清水溪橋周邊因應精進作為

- (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疏濬作業，影響公路通行範圍由公路局負責疏濬作業，餘由縣府辦理疏濬作業；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) 前項疏濬作業所需經費，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疏濬土石標售，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疏濬作業，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) 透過蘇花路廊鐵路公路聯防機制，24 小時監控鐵路各關注路段，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。

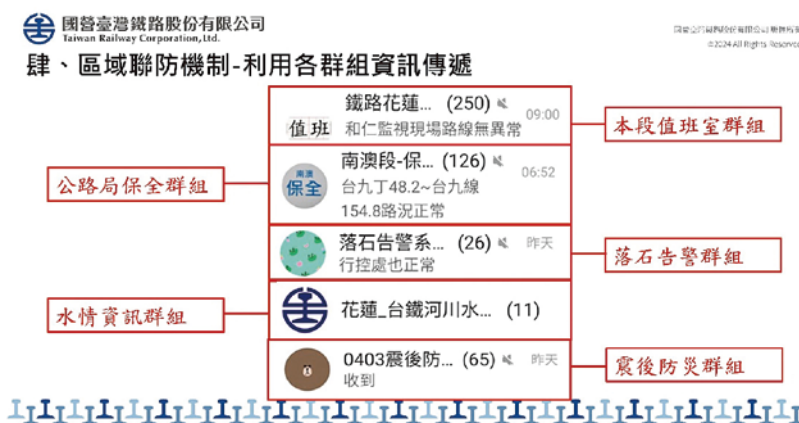


圖 8 區域聯防機制利用各群組資訊傳遞方式

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警告系統。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 處橋梁需立即疏濬或整治，包含鐵路橋梁上下游各 100 公尺內的疏濬作業。
 - (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」、「河道疏濬」、「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 月明確劃定疏濬權責分工，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

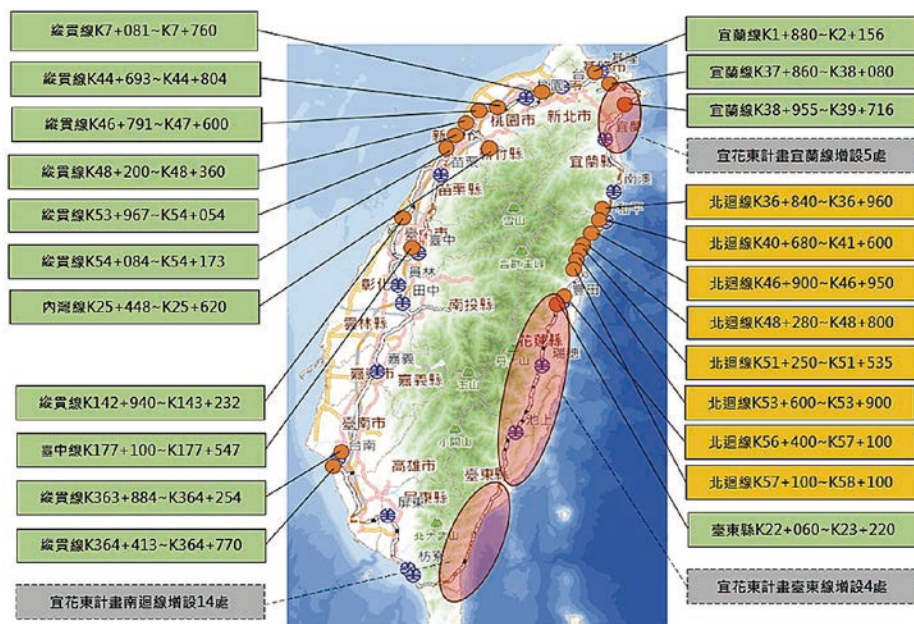


圖 11 臺鐵公司阻隔告警系統分布圖（含建置中 23 處及宜花東計畫增設 23 處）

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。