



國道後續路段 橋梁耐震補強工程 — 施工精進 作為解析（以 國道8號 為例）

潘小珍／交通部高速公路局第二新建工程處第三工務所 主任

林邦奎／宏義工程股份有限公司 總經理

林彤珈／宏義工程股份有限公司 職安部主任

林建志*／台灣世曦工程顧問股份有限公司高工處 計畫經理

黃永輝／台灣世曦工程顧問股份有限公司高工處 主任

台灣地狹人稠地形起伏變化大，綿密的交通路網已成為經濟發展及區域聯繫之主要依據，橋梁功能的維持更是確保經濟活動及交通運轉主要關鍵，考量台灣位處環太平洋地震帶，1999年921集集大地震、2016年0206美濃大地震、2019年南方澳大橋無預警斷落意外，均造成重大經濟和人民財產損失，尤其集集大地震造成許多橋梁損毀、交通運輸中斷，救援資訊、人力、物品無法及時運送，顯見全台橋梁安全維護仍有精進提升的空間。揆諸台灣整體防災計畫，國道扮演至關重要的防災運輸生命線，災變時肩負維生功能，成為輸送救災物資、傷患之交通命脈，隨著耐震規範與施工技术與時俱進，高公局耐震補強工程執行迄今已累積一定程度橋梁施工成果，本案有幸參與勞動部112年優良工程金安獎（國道後續路段橋梁耐震補強第M81標—國8全線暨國3新化段），藉由施工精進作為實務分享，期能在資源有限與成本效益的考量下，使用經濟合理之費用使得國道橋梁達到耐震安全的標準，冀望為後續國道相關補強作業，貢獻心力。

國8耐震補強工程之施工精進作為

原國道8號1988年完工通車，全橋東西向，主線里程1k+622～14k+617，全長12,995公尺，為標準跨徑40公尺之PC箱形橋梁，惟因規範變革致原橋耐震能力不足（原支承強度、橋墩韌性不足，1988），本案透過「小震不壞、中震可修、大震不倒」耐震設計（2019）理念施工，採增設力量分散裝置、圍束包覆及調整支承系統的方式補強後，改變整體結構型式之思維，成功滿足現行耐震規範需求^[1,2]，相關創新應用成果（安全看的見、安全聽的見、科技守護），如后述，提供作為後續耐震評估及補強工法之施工參考。

採用國土安全監測平台—整合防災資源及變位監測，提供全面安全資訊

近年來各地天災頻繁，全球氣候與環境的改變使得降雨強度、分布與過去之特性相異，而台灣正好位於板塊邊界，造成活躍的造山與斷層活動，地質相對破碎，而強降雨、地震、崩塌、地層下陷等問題持續考驗著交通建設、國道橋梁、坡地等各項設施的安全性。本工程秉持研發創新、服務卓越、永續經營、正直誠信四大施工理念，深入國8每一角落，為南科生活家園的便捷與舒適，擴大幸福文明的視野，提升社會經濟發展與整體競爭力；同時，接地氣深耕台南、

* 通訊作者，pqzk@ceci.com.tw



圖 1 國 8 國土安全監測平台執行成果

服務人群，體現傾聽大自然的聲音，與大地對話，創造人與土地的和諧永續^[3]。

國8耐震補強工程導入整備防、避、減災及復建工程技術，運用國土安全監測平台（圖1）整合國內各專業技術，自2017年起，快篩沿線50餘座橋梁之耐震性能風險分級，優先針對地震、洪水常損壞道路關鍵節點之國8橋梁，搭配LiDAR/InSAR與光學影像等遙測技術比對，掌握受損橋梁基本資訊（斷層、地質、環境、土壤液化），協助維管單位迅速研判適當救災、復舊對策，有效回饋補強工程之專業技術支援，成功驗證橋梁與坡地等關鍵基礎設施之位移變化趨勢^[4]。

國土安全監測平台可快速篩選橋梁與周邊地盤長期地表形變，操作者可在系統中將地圖移動到台灣的任一點位進行點選，擷取周圍地表變位歷史紀錄，無論是液化潛勢或是InSAR變形圖皆一覽無遺；此外，系統亦已整合國8的地質鑽探、地震颱風、特殊救災資源（如水下切割工、大型抽水機）等，一站式定期監測健康狀態，提供機關安全防護判斷，並榮獲2020年國家新型專利的肯定。

採用 PMIS 專案管理平台—建構國8透明及效率的工程產業環境

因應創新經濟與全球化競爭發展，運用數位科技推

動營建產業升級轉型已成趨勢，揆諸國8全生命週期各階段所需管理資訊眾多，憑藉5G網路及資訊技術之優勢，導入PMIS簡易、快速、明確、可行之資料蒐集介面，使主辦機關、監造、廠商能各盡其責、各盡其力共同營造有利系統互通及資料共享之整體環境，並透過管理資訊整合與價值再利用進而衍生更多創新工程服務，加乘發揮工程管理電子化應用之整體效益（詳表1）。

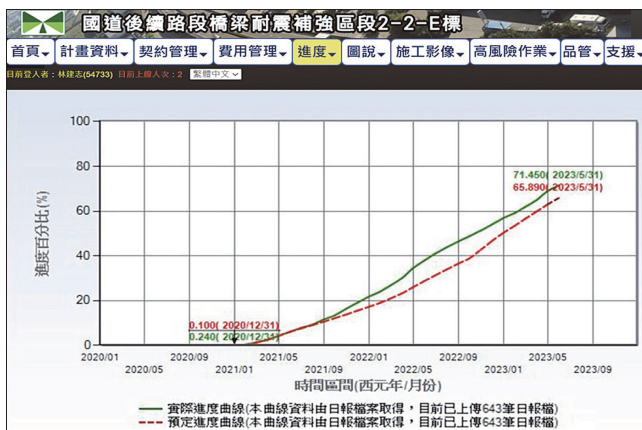
本案落實公共工程工地管理資訊化，實際用於「進度管理」、「計畫書送審管制」、「預警提醒」及「工作報告」，例如**運用即時監控搭配行動裝置，透過標示問題同步系統追蹤，有效掌握現況資訊（同時留置紀錄以利追溯）**，成功驗證PMIS專案管理系統（詳圖2），促進工程資訊更緊密連結、彙整與更快速分流應用，有效提升執行效率，促成營建產業整體再升級之綜效。

人工智能載具輔助工地安全管理—機器人局限空間應用

勞動部職業安全衛生署統計指出台灣重大職業災害引起傷病、失能或死亡人次最高的行業為土木營建業，自2004~2022年綜合統計土建業常見的重大職災分別為局限空間、墜落滾落、物體倒（崩）塌、感電、物體飛落等。前車之鑑，本工程團隊對於工地管理、安全事件預防與避免皆是戰戰兢兢面對，畢竟每一個重大職業

表 1 國 8 之 PMIS 整體效益

項次	項目	要點說明
1	設計	編列工程管理資訊化平台及作業費。
	決標	計畫組織建構及專案開立。
	開工	啟動 PMIS 平台架設，選定主要操作人員受訓。
	施工	a. 即時顯示現地資訊（工地戰情室），簡易操作快速更新。 b. PMIS 平台包含「即時進度、文件管理（日報與圖說）、工作管理（會議與影像）、協同作業（列管專案與涉外單位事項）、施工紀錄（變更、估驗、品管、職安）等」管理平台。
	竣工	竣工資料統整匯出，快速彙整。
2	維護人力	a. PMIS 是由既有表報擷取資料，均屬各參與方原應保存資料，只是換成集中平台，建議 1 人 / 月。 b. 另可視計畫規模及資訊需求，配置作業管理人力。
	意見管理	PMIS 設有線上問題反映機制，使用者可隨時將遭遇問題或回饋建議，線上發送管理人員處理回應，作為系統調校優化的參考。
4	儲存容量	a. PMIS 上傳量無限制，下載量平均為 50 G，符合一般計畫需求。 b. 若有超量需求，可循序擴充。
5	分權管理	PMIS 訂有權限管理機制，可依權限設定資料檔案，系統會記錄留存資料更動的人員與時間。



項次	文件名稱	版次	大小(KB)	日期	上傳者	文件說明	下載	刪除
1	09107-001-094-10R-174-10R-214(P109-P110)橋梁施工準備工程及應力檢核計算.pdf	(0)	71,202	2023-06-01	林義雄	09107-001-094-10R-174-10R-214(P109-P110)橋梁施工準備工程及應力檢核計算.pdf	☐	☐
2	09107-001-094-10R-174-10R-214(P109-P110)橋梁施工準備工程及應力檢核計算.pdf	(0)	9,764	2023-06-01	林義雄	09107-001-094-10R-174-10R-214(P109-P110)橋梁施工準備工程及應力檢核計算.pdf	☐	☐
3	09107-001-091-施工架(梁力傳)結構計算書.pdf	(0)	6,615	2023-06-01	林義雄	09107-001-091-施工架(梁力傳)結構計算書.pdf	☐	☐
4	09107-001-091-施工架(梁力傳)結構計算書.pdf	(0)	4,063	2023-06-01	林義雄	09107-001-091-施工架(梁力傳)結構計算書.pdf	☐	☐
5	09107-001-090-P108基礎開挖土方支撐施工圖及計算書.pdf	(0)	18,175	2023-06-01	林義雄	09107-001-090-P108基礎開挖土方支撐施工圖及計算書.pdf	☐	☐
6	09107-001-090-P108基礎開挖土方支撐施工圖及計算書.pdf	(0)	10,876	2023-06-01	林義雄	09107-001-090-P108基礎開挖土方支撐施工圖及計算書.pdf	☐	☐
7	09107-001-047B-橋梁施工架(梁力傳)結構計算書(TYPE-A6修訂2版).pdf	(0)	6,768	2023-06-01	林義雄	09107-001-047B-橋梁施工架(梁力傳)結構計算書(TYPE-A6修訂2版).pdf	☐	☐

圖 2 國 8 之 PMIS 平台展示成果

災害的背後，都代表著一處工地環境之人員疏失、不安全行為、危險狀態所造成的傷害與遺憾；透過它案隱含的災害訊息，本文冀望透過科技管理，歸納工程特性、作業環境差異及安全意識等多元複雜成因模式，列舉**局限空間**示範人工智能載具輔助工地安全管理，達到科技守護國 8，**橋安、路安、人平安**。

隨著智慧科技時代來臨，數位技術結合營建產業，工地安全管理推展至新的高度儼然成形，加上近年 COVID-19 疫情因素，營建業正面臨設計、監造、施工人才世代交替、人力不足及流動情況加劇，既有專業人員分身乏術等情形，國 8 工程團隊亟思，在人力資源有限情境下如何藉由現行數位科技、資訊技術應用導入，

提高營建業職業安全衛生管理方法、強化管理作業，提供先進措施來施行危害預防、執行安全防護，終於，AI 機器人局限空間應用，悄然萌芽而生。

綜觀工地危險預防仰賴專業人員及監視系統，進行施工現場檢查、監控及事後檢討，但國8工地往往有不同工種的人員（機電、植筋、水刀、銲接、鉛支、鋼構）來來去去，現場受限專業工安及監控人力有限，盤點現行多以監視系統監控工地（搭載人臉辨識），並導入感測器蒐集工地資訊，再透過人工智慧相關技術進行影像辨識與分析代替人員監看，雖以自動化輔助取代傳統人力，惟工地安全風險仍有強化空間（存在盲區）。揆諸國8橋梁耐震補強工程因有進出箱梁施工之必要（如管線遷移、植筋鑽孔），依**職業安全衛生設施規則規定**，「勞工從事局限空間**作業前**，應確認該局限空間有無可能引起勞工缺氧、中毒、感電、塌陷及火災、爆炸等危害」；爰此，工程團隊採用全自動機械人搭載氣體偵測器及360°廣角鏡頭進入箱梁場域巡檢（詳圖3），遙控偵測確認氧氣濃度（18%以上）、一氧化碳（35 ppm 以下）、危害物質濃度（硫化氫 10 ppm 以下），確保施工人員進入局限空間安全無虞，現場經機器人分層分區實作結果，成效良好。

特殊優良機制—安全看的見、安全聽得見、科技守護

日本厚生勞動省每5年會公布一次營造業減災策

略計畫，指出「只要運用一些小技巧，使營造場所的危險源與安全措施可視化，就能有效預防職災事故」，提倡預防事故從小技巧做起，鼓勵事業單位將工作場所的危險源可視化，提高安全措施的防範能力，展現亮眼減災成效^[5]。

鑒於工程發展趨勢，數位科技是提高營造業職業安全衛生管理能力的有效方法，具有極高的發展潛力，這些數位科技包含地理資訊系統（GIS）、建築資訊模型（BIM）、物聯網（IoT）、沉浸式科技（AR/VR）、人工智慧（AI），屢屢證實在「行政管制」、「消除與替代」、「工程管理」、「個人防護具」等風險控制層級上發揮良好功效；藉本文分享3項工地的成功應用作為，共同促進台灣營造業職業安全衛生管理能力（詳圖4）。

1. 安全看的見（氣體貯存區分色管理）

氣體貯存區規劃安全色彩種類，率定**綠色為氧氣**、**黃色為空瓶**、**紅色為乙炔**，工地安全措施加入顏色管理，提升施工人員安全辨識能力。本項色彩管理自推行以來，讓實際作業的工作者直觀地感受到儲放位置，顯眼性高，獲得協力廠商、設備供應商的肯定與支持，展現出亮眼的管理成效。

2. 安全聽的見（施工機具作業半徑警示系統）

施工機具配置警示系統，當施工人員誤入機具作



圖3 國8之人工智能科技應用（局限空間氣體偵測）



圖 4 特殊優良機制（安全看的見、安全聽得見、科技守護）

業半徑範圍內，系統立即發出聲響，提醒機具操作者暫停動作，警示誤入人員盡速離開。營造業是勞力密集產業，作業時需有健康的身体並全神貫注，然而人員普遍高齡化，加上流動率高，形成管理上的隱憂，本項透過安裝在機具上的感知器與搭配聲音警示，降低視覺盲區，提升工作者安全監控的目的^[6]。

3. 科技守護（全測站自動監測系統）

國 8（1k ~ 3k）上構補強墩數 226 墩，更換鉛心橡膠支承（LRB）達 244 組，施工時，必須避免交通中斷，減小封路衝擊，常有穿著衣服改衣服之感，此為補強工程與新建工程最大差異之處。本項工程團隊自主研發「橋梁垂直變位及水平位移自動監測系統」，搭載 5G-IoT 自動連續監測（簡訊秒傳），保障用路行人車安全，體現科技管理，即時掌握橋梁健康狀態。

結語

1. 國 8 橋梁耐震補強工程是交通、科技、智能防災與國道美學的展現，其發包策略、設計理念、監造品質、施工技能、複合材料使用、隔減震技術等經驗，均有助於臺灣後續橋梁工程技術的增進與提升。
2. 本案工程團隊積極導入先進遙測技術，結合空間

大數據建置「國土安全監測平台」，透過長期性的監測及資訊整合分析，達到平時趨吉避凶、災時逢凶化吉，防範災害於未然，一同守護國人的安全，善盡社會責任，成功提升國家防災技術量能。

3. 工程團隊努力的汗水，成長了豐碩的果實，主辦機關、顧問公司、營造廠三位一體，持續維持道安、推動多項精進作為，品質的盡心付出、安全的貼心作為，台南安定區的民眾都看在心裡，藉本文給辛苦的工程人員，讚美喝采。

誌謝

本文承蒙交通部高速公路局第二新建工程處與第三工務所之指導及支持，謹致謝意。

參考文獻

1. 交通部高速公路局（2021），橋梁耐震補強設計注意事項。
2. 陳章丞（2018），國道橋梁應用隔減震支承系統耐震補強之案例分析與探討，台北：第 14 屆結構工程研討會。
3. 交通部高速公路局（2018），橋梁耐震補強設計及維護管理手冊。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2023），中華技術第 138 期，空間技術與跨域創新。
5. 勞動部職安署（2023），淺談日本的安全可視化運動。
6. 勞動部職安署（2020），數位科技在臺灣營造業職業安全衛生管理的應用。