



監造智慧化

以淡江大橋及其連絡道新建工程為例 ——談監造管理全數位化

呂斌豪*／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 技術經理

李耀瑄／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 工程師

唐士宸／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 組長

林芳輝／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 資深協理

淡江大橋是屬於國際級的工程，在工程的技術上是全世界最大的單塔不對稱斜張橋，工程創新設計融合工程美學、在地生態及人文。並積極因應國家政策，推動數位化、自動化、節能化的理念和方法，持續在工程領域推動數位化的工程監造管理作業。藉由 PDCA 循環式品質管理思維，導入專案管理資訊系統 PMIS 的運用，透過數位化查驗、各類監造平台的數據串聯結合，突顯了數位化所帶來的效能、效率等方面的優勢。並結合數位工具結合管理模式，包含 BIM 施工中檢討、Lidar 施工中比對等相關應用，也為淡江大橋工程的數位化監造管理提供了有力的支持和證明。再通過智慧化職安訓練及管理，更提升了整個工程團隊對於安全意識的提升。在工程全數位化監造中，堅持不斷創新和优化的原則，將這些數位化的資料轉化為具有實際用途的寶貴資源。通過統計分析和數據應用，實現了更高效、更準確及更安全的工程監造管理作業。

關鍵詞：淡江大橋、工程管理數位化、監造科技管理

工程背景及創新應用成果

淡江大橋工程簡介

淡江大橋及其連絡道路新建工程（第3標）工程（以下簡稱本工程）為興建一座跨越淡水河連結淡水區與八里區之大跨度橋梁，未來完工通車後，可連絡淡水及八里兩地，縮短兩地產業活動及通行距離，串聯北部濱海公路、西濱快速公路、臺北港特定區及八里左岸遊憩活動，使北部濱海公路系統服務功能更臻完善，完工後之工程視覺圖，如圖1所示。

本工程之主橋段總長 920 公尺，橫跨淡水河，為世界主跨最長之單塔不對稱斜張橋（主跨 450 公尺），



圖 1 淡江大橋完工後之工程模擬圖

* 通訊作者，ahow@mail.sinotech.com.tw

縱坡設計可於 4.1 公尺的梁深條件下，滿足在最高潮位上方 20 公尺的淨高需求。人字形橋塔高出水面 200 公尺，縱向座落於橋軸方向，具有優雅的型態。有關本工程主橋塔之工程模擬圖，如圖 2 所示。

本工程之橋塔基礎係採用 2.5 公尺直徑之全套管樁基礎，樁底嵌入砂岩層，抵抗永久性靜載重、活載重、風力以及極端載重（如地震、船舶衝撞…等）。

河道中之橋墩採 Y 形墩柱造型，展現與橋塔上下顛倒、相互輝映的景觀樣態，有關本工程主橋塔及橋

墩之工程模擬圖，如圖 3 所示。

在耐震與抗風設計、水文水理分析、防蝕耐久等方面，本工程皆比照世界大型橋梁，以適合橋址所在之環境條件的最高標準進行相關設計與檢核。

除提供紓解現行交通的人、車通行道路，橋面設計採雙向四車道，單一行車方向加設一個機慢車道和一個人行/自行車道，沿路線中心兩側更為未來輕軌系統提供預留空間。有關本工程主橋斷橋面車道配置圖，如圖 4 所示^[1]。

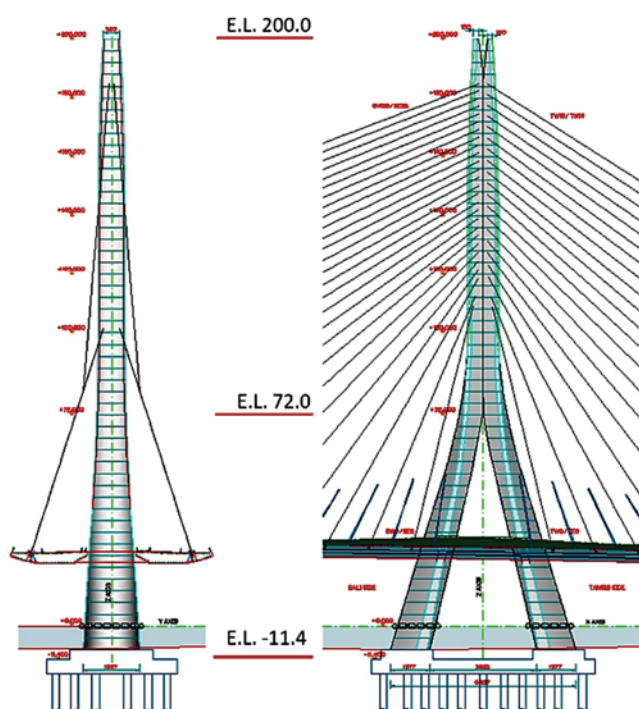


圖 2 淡江大橋橋塔之工程模擬圖

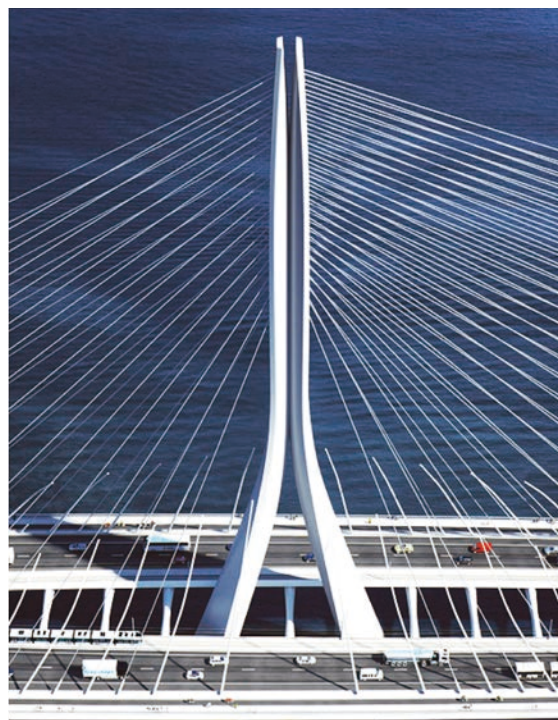


圖 3 淡江大橋主橋塔及橋墩之工程模擬圖

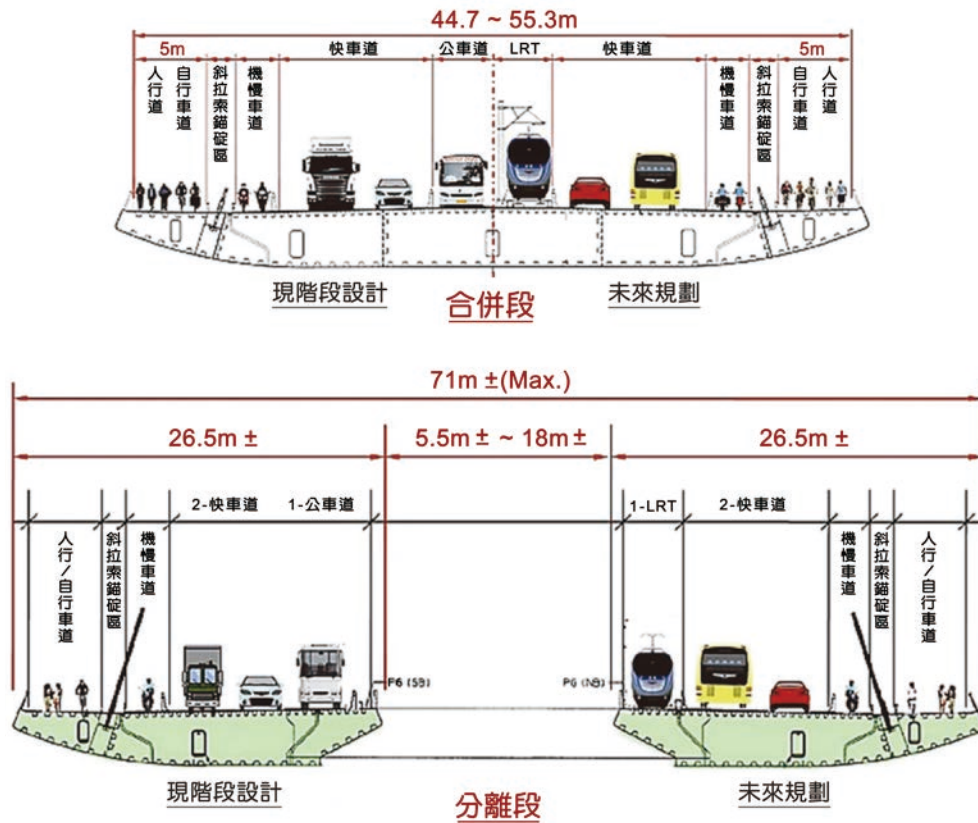


圖 4 主橋段橋面車道配置圖

本工程以創造具有國際視野的新思維擘劃工程，在建築普立茲獎得主之英國扎哈·哈蒂建築師事務所 (Zaha Hadid Architects Ltd, U.K.) 協助下，以夕陽美景及舞者曼妙律動為靈感，將建築藝術和工程技術

融為一體。橋梁設計構想充分考量了淡水、八里地區人文意涵及生態環境維護，並兼顧淡水夕照景觀的融合。更依據工程所在位置，進行不同季節之落日分析及視野景館模擬，如圖 5 所示。

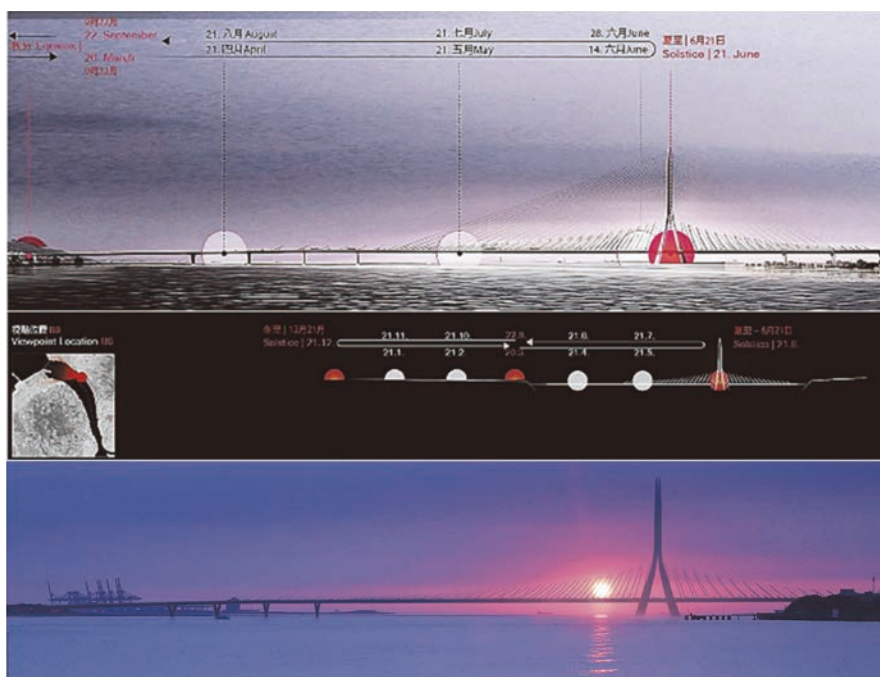


圖 5 淡江大橋落日分析及景觀模擬圖

創新應用成果簡介

本工程由於施工技術困難高，且地理位置位於淡水河口，地形開闊，受季風及颱風之強烈影響，且需於河道中進行施工。為提升本工程之施工品質與施工安全，兼顧現場監造執行作業實務需求，故整合性導入施工數位化監造管理之策略，規劃數位資訊數據多元運用。

相關創新應用包含下列成果，作為監造管理全數位化模式，包含：(1) 監造數位化查證管理；(2) 施工數位化技術應用；(3) 職安數位化主動管理，其成果內容分述如後。

監造數位化查證管理

PDCA 為監造 PMIS 核心思維

中興公司之所有監造工作皆已全面導入「專案管理資訊系統（以下簡稱 PMIS）」，系統以數位化資訊串聯為標的。

配合公共工程三級品管的架構中，主辦機關或監造單位應建立「施工品質查證」管理系統。中興公司以 PDCA（Plan、Do、Check、Act）循環作為思維核心，建構持續優化之監造管理邏輯，並以數位模式與以落實。監造作業品質管圈融入 PMIS 系統之概念^[2,3]，如圖 6 所示。

透過 C# 搭配 .NET、Webform 等網頁開發技術，將數位表單的填報、閱覽、匯出介面以網頁呈現，確保在電腦、手機、平板等 3C 設備皆能順利操作。

系統彙整履約管理文件、施工管理查證表單、便利公文計畫歸檔查詢，進一步再整合統計數據，並開放業主、協力廠商資料存取，以利資訊即時透明，以達成計畫利害關係人資源共享、資訊同步的目的。

執行無紙化施工查驗

本工程位處淡水河口，工址位於河域且多有高空作業。面對艱困施工場域，若採傳統方式攜帶大量紙本紀錄表單執行查驗作業，恐有紀錄飛散及職安風險，且無法即時彙整、調閱施工管理資訊。

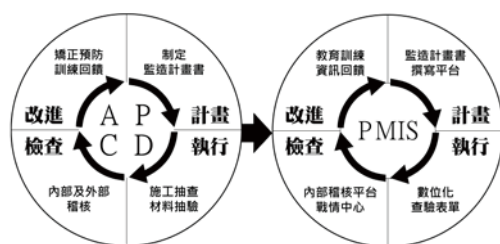


圖 6 監造管理 PDCA 循環圖

無紙化數位查驗大幅提升團隊執行查驗工作的效率，提升查驗安全性、資料保存便利性。從紙本的填寫、掃描、上傳至文件歸檔的繁複作業程序藉由作業流程（Work Flow）的優化以達到簡化的目的，監造數位化查驗後採取平台作業填報後逕自歸檔的模式，以簡化操作者之作業程序。本工程經統計使用查驗數位化表單，平均可節省 40%~50% 的作業時間。

監造平台數位資訊串聯

本工程建立之 PMIS，整合 PDCA 作業管理內容，設置各類作業平台，相關資訊數據串聯整合，有關系統之登入畫面及系統內對應之功能模組項目，詳如圖 7 所示。

本工程之 PMIS 系統已於在 2023 年導入「監造計畫撰寫平台」，介接「無紙化數位查驗系統」大數據資料庫，並依照工程會「監造計畫製作綱要」的格式快速匯入、自動化產出監造計畫，發揮資訊多元利用價值，提升計畫書撰寫效率及準確性。

除代表 P 之「監造計畫撰寫平台」與代表 D 之「無紙化數位查驗」外，PMIS 亦設立「工地內稽平台」、「專案資訊戰情中心」輔助 C、A 階段的執行，藉由工程執行單位熟悉的管理邏輯，持續進行系統介面及程序流程之優化。

平台系統串聯之細節說明可詳土木水利第五十卷第二期之「從監造作業全數位化談公共工程三級品管制度」相關內容^[4]。

施工數位化工具應用

BIM 應用於施工模擬及檢討

本工程外型複雜，組裝精度要求嚴謹。自工程一



圖 7 本工程 PMIS 系統登入介面

開始即導入「BIM 輔助設計及施工管理」，其工作內容包含施工 BIM 模型製作並依據工程之進展及需求，持續維護、更新及深化，有關施工 BIM 模型建置之案例如圖 8 所示。

本工程團隊每周均定期召開「BIM 模型建置及應用執行進度報告會議」。參與人員包含業主、設計單位、監造單位、施工廠商及專業協力分包商，共同以 BIM 施工模擬比對檢討不同施工流程方案、檢查施工介面衝突、優化進度排程等事宜。除了以 BIM 進行相關執行作業的討論外，也由操作者進行相關 BIM 系統操作經驗分享及進階使用說明。

應用於本工程施工階段的 BIM 模型，係透過 ProjectWise Web Server 平台進行管理，在各階段模型上傳後，後續如有假設工程等模型的新建與編修，皆透過此雲端平台來進行審閱與標註，並藉由即時雲端平台管控 BIM 版次歷程，確保檔案唯一性與正確性。

LiDAR 掃描應用於施工精度確認

本工程於模板及鋼構組裝完成後（包含：橋塔及橋墩模板，橋面工廠製作及大組裝），即以「3D 雷射掃描（以下簡稱 LiDAR）及施工模型差異比對」進行成果確定，以確保本工程之結構及各主要單元型式符合設計要求精度，俾利各元件單元組裝遂行。

LiDAR 掃描係使用 Trimble X7 雷射掃描儀進行點雲擷取，再使用 Perspective 軟體在平板電腦上即時處理點雲拼接，如圖 9 所示。

透過點雲距離的設定，可使點雲得到平均的擷取密度呈現，並有效的降低檔案大小。現場便可即時檢

視掃描成果後，再傳回後台電腦進行 BIM 模型比對，即可全面化比對整體設計成果與實際精度，比對成果案例如圖 10 所示。



圖 9 LiDAR 操作照片及掃描成果

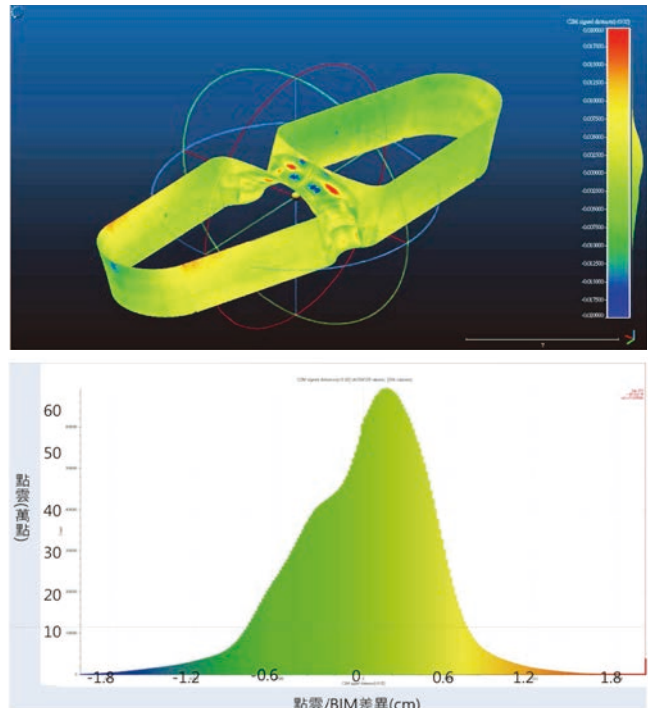


圖 10 LiDAR 掃描與 BIM 模型差異比對

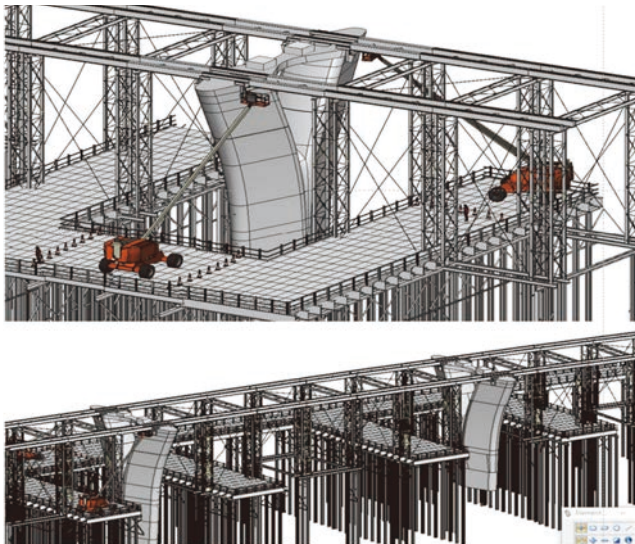


圖 8 八里端鋼梁推進軌道 BIM 模擬案例

職安數位化主動管理

互動體驗以提升內部職安成效

本工程導入「VR 職安衛教育訓練系統」，以虛擬實境（VR）技術，利用互動式操作落實職安情境訓練，取代傳統職安講習簡報式的教學，以加深同仁的印象，提升工地勞動職安意識與訓練成效。

「VR 職安衛教育訓練系統」使用影像 3D 重建技術，使用 GoPro 運動攝影機拍攝相關影像資料。藉由其所拍攝的影片提取計算實景模型照片，再透過相片拼接軟體 Metashape 算出三維實景模型。模型場景匯入遊戲開發軟體 Unity 以完成互動式教學介面的設計與製作，確保施工人員能透過 VR 虛擬實境，身歷其境的完成職安衛訓練、強化職安意識如圖 11 所示。



圖 11 VR 進行職安衛教育訓練系統

彙整外部資訊以強化主動管理

本工程亦導入「工地熱危害管理」模組，強化對工地人員熱危害之防治與提醒。相關模組畫面，如圖 12 所示。

相關模組的計算，是利用附近氣象測站的資訊，並透過長期的大數據趨勢分析，預測熱危害的發生時機，讓工區環境監測管理架構更即時、完善。

而「地震事件自動化通報」模組，是擷取中央氣象局地震測站之公開資訊。當地震發生時，擷取距工地

20 km 內的鄰近地震測站觀測數據之最大值代表工地震度。當工地震度 ≥ 4 級時，由通訊軟體 Line 機器人自動通知資訊，並啟動強制回報機制，如圖 13 所示。

UAV 工區紀錄與資訊公開透明

基於工程透明、資訊公開、即時管理的原則，本工程除定期執行 UAV 工區記錄與特定點位機動檢核，並於工區設立 13 支 CCTV 即時監控系統，除了將全工區重要工作面執行現況，透過網路直播全面提供民眾即時監看外，亦以定點及不定點、定時及不定時之數位影像資訊作為工程執行數位監造管理之資訊來源，相關工地即時影像系統如圖 14 所示。

數位創新導入教育訓練

藉由辦理 PMIS 的教育訓練，利用初、中、高階的課程，簡入深指引專案同仁瞭解數位工具的操作。課程為線上 e-learning 的形式，針對 PMIS 中的一般使用（如會議管理、公文管理、文件審查、文檔管理等）及「無紙化數位查驗系統」等功能，以情境式的影片教學呈現。

為使數位創新工具普及化，並讓同仁於操作遇到困難時能即時取得協助，本工程亦成立「PMIS 種子教官」制度。

該制度甄選了在使用數位工具方面表現出色的資深同仁，並透過每季度舉辦為期一周的種子教官培訓課程，協助種子教官獲取最新的數位工具之知識和操作指引，再由種子教官將新知帶回工地宣導，落實資訊傳遞並提升數位文化普及度。

對於執行無紙化數位查驗的監造單位同仁，則於通過 PMIS 操作能力檢核後，由中興公司給予購機補助，以加速監造數位化普及。



圖 12 工地熱危害管理模組畫面



圖 13 地震事件自動化通報模組畫面



圖 14 淡江大橋第三標即時影像資訊

結語

本工程是台灣國際級的指標工程，將工程技術與人文、景觀融合一體。在施工執行階段廣泛運用創新數位策略，提升工程品質與管理效率。包含以下數位策略目標與建置成果：

1. 監造數位化查證管理：為強化監造功能，本工程建立 PMIS 專案管理資訊系統，實現查驗數位化。透過數位平台大幅提升效率，也藉由監造資訊的數位整合，使工程監造管理更高效精準。
2. 施工數位化技術應用：施工中運用 BIM 進行各項施工模擬檢討，並以 LiDAR 掃描驗證組裝品質，將虛實整合，提升施工精度。
3. 職安數位化主動管理：運用 VR 虛擬技術提升安全教育訓練效果。同時建置熱危害風險預警與地震通報系統，利用大數據分析風險並主動發送警示。

工程數位轉型已然是不可逆的趨勢，也是本工程團隊成員共同持續努力的方向。唯有透過推動工程數位創新應用的理念與堅持，突破既有管理模式的窠臼，希望藉由與時俱進的意識，提升工程品質與效率，使資訊數位化與透明化，達成節能減碳，落實 ESG 理念。

藉由工程數位創新應用的落地紮根，將數位文化落實至工程的每個角落，更進一步實踐數位國家、智慧島嶼的國家政策目標。

誌謝

本工程榮獲中國土木水利工程學會 112 年度工程數位創新應用獎。承蒙公路總局北區公路新建工程分局之推薦及各級長官之支持；感謝中興工程顧問股份有限公司淡江大橋工程處所有同仁執行全數位監造管理之辛勞；及主承攬廠商之工信工程股份有限公司於施工執行共同努力與配合；專業分包協力單位之續紛科技股份有限公司、台灣儀器行股份有限公司等共同參與及協助。

參考文獻

1. 梁智信、羅嘉麟、詹文宗（2021），「淡江大橋及其連絡道工程（第3標）規劃設計」，中興工程季刊，第150期，第95-104頁。
2. 林芳輝、郭鴻祥、黃正緯（2021），「從公共工程之監造科技管理淺談—數位轉型」，中國土木水利學刊，第48卷第4期，第95-101頁。
3. 林芳輝、張建信、何祖鵬、蔡宗翰（2023），「從駐外人力管理平台建置—談人力效益最大化」，中興工程季刊，第158期，第69-77頁。
4. 林芳輝、唐士宸、呂斌豪（2023），「從監造作業全數位化談公共工程三級品管制度」，中國土木水利學刊，第50卷第2期，第45-52頁。