

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

June
2024



CECI  **台灣世曦**
工程顧問股份有限公司
www.ceci.com.tw

工程永續・數位創新

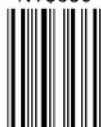
台灣世曦榮獲三項工程數位創新應用獎：

- ◆ 臺北自來水智慧化資訊管理系統2.0
- ◆ 新北市雨、污水下水道GIS_智慧化維運及減碳管理
- ◆ 臺北都會區大眾捷運系統環狀線環段DF115 設計標

ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 51, No. 3

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

羅東大排
兵工施工紀實
軍工協建

台灣土木史

專 輯

勞工安全衛生

工程數位
創新應用獎

專 輯



大台南
會展中心



翡翠原水管工程



國道四號C713標



福清營造 全域獨到



台北市內湖區行善路48巷15號7樓
02-2796 3949
www.for-tune.com.tw



勞動部職業安全衛生署
OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, MINISTRY OF LABOR

第14屆公共工程金安獎



112年度台北市政府公共工程卓越獎

第21屆 公共工程
金質獎

土木類 優等



工程永續·數位創新
台灣世曦工程顧問股份有限公司

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

土木水利

社團法人中國土木水利工程學會會刊



發行人：高宗正

出版人：社團法人中國土木水利工程學會

主任委員：周頌安（中興工程顧問股份有限公司總工程師、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：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木水利工程學會第二十六屆理監事（依姓氏筆劃排序）

理事長：高宗正

常務理事：朱惕之 余信遠 廖學瑞 賴建信

理事：王宇睿 王昭烈 林子剛 林祐正 林聰利 胡宣德 高銘堂

張荻薇 莊均緯 許泰文 陳仲賢 曾榮川 黃一平 楊正君

楊偉甫 歐善惠 謝尚賢 謝震輝

常務監事：宋裕祺

監事：王藝峰 吳文隆 呂良正 沈景鵬 邱琳濱 賴建宏

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

「工程數位創新應用獎」專輯 (客座主編：楊亦東教授)

專輯序言：工程數位創新應用獎	楊亦東	3
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／李耀瑄／唐士宸／林芳輝	5
以數位雙生技術打造多元舒適車站空間	廖純璋／莊建忠／洪晨瑋／劉執敏／薛宏毅	12
輔助管汰工程及智慧管理 建構不缺水城市	李承鴻／黃騰宏／許家成	17
IoT 物聯網結合 BIM 元件模組化在勞安科技應用— 興達電廠燃氣機組更新改建計畫 345/161 kV 開關場區土建及附屬機電工程	簡奉順／姜振中／黃德孝／陳哲仲	22
數位孿生科技博物館—海科館 BIM 建築資訊整合管理系統	林谷屏／鍾紀蔚／康思敏	28

「勞工安全衛生」專輯 (客座主編：徐增興助理教授)

專輯序言：勞工安全衛生	徐增興	35
墜落預防與安全設施的檢驗	陳婉甄／張智奇	36
BIM 在職業安全衛生管理中實務案例之應用	黃隆茂	41
淺談智能影像在勞安科技的應用	陳哲仲	49
生成式 AI 助力營造業科技減災	李秉展／羅紫萍	56
職業災害的預防，落實風險評估，以烏溪烏嘴潭人工湖工程計畫—湖區工程為例	邱怡川／莊曜成／楊志成／楊志遠／陳億全	63
ESG 驅動下營造業職業安全衛生的創新與挑戰	周宏宇	68

台灣土木史

羅東大排兵工施工紀實	黃世傑	72
軍工協建	李文彬	73

廣告特搜

台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 工程永續 數位創新	封面
中興工程顧問股份有限公司 — 萬巒山嶺到地質紋理 掌握大地記錄的奧秘	封底
福清營造股份有限公司 — 福清營造 全域獨到	封面裡
正弦工程顧問有限公司 — 規劃設計 專案管理 施工監造 工程統包	封底裡
義力營造股份有限公司 — 義呈實諾 力呈卓越	27
工信工程股份有限公司 — KSECO 安全 品質 進度 環保 成本	76
亞新工程顧問股份有限公司 — 服務品質 ASSET	77
華光工程顧問股份有限公司 — Connecting the World Moving forward with NOVA	77
山林水環境工程股份有限公司 — 大地山為高 萬物林中生 千古水長流	78
地工技術 — T3-STONE2.0 TORSO 3.0	78



工程數位

創新應用獎

專輯序言

專輯客座主編 楊亦東／國立臺灣科技大學營建工程系 教授

土木工程領域正經歷著具有挑戰性的創新浪潮。隨著科技的蓬勃發展，土木工程產業在生命週期中探索新的資訊與數位技術來提升效率、降低成本並增進永續性。數值模擬和高性能運算使得結構分析和工程設計變得更加迅速與準確。建築資訊塑模（BIM）與數位孿生技術透過虛擬模型提升工程專案的設計、施工和管理協同性。人工智慧與深度學習建立預測與分類模型讓我們優化資源的使用。智慧監測與物聯網（IoT）提供實時數據，預測和解決潛在問題，協助工程現場更加即時和全面地進行監控和管理。

本期土木水利會刊「工程數位創新應用獎專輯」所收錄之論文，乃是邀請獲得中國土木水利工程學會「2023 年工程數位創新應用獎」的得獎單位將獲獎成果進一步擴寫為符合要求之論文。「工程數位創新應用獎」的前身為「BIM 技術優良獎」，其設立目的在於表揚在土木工程領域中致力於數位創新的優秀團隊；不

僅肯定他們的努力付出，更希冀鼓勵更多年輕人才投入到數位創新的潮流，共同讓土木工程產業邁向更現代化、智慧化的未來。本次專輯領域涵蓋各類面向：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）、先進工程設計（以數位雙生技術打造多元舒適車站空間）、城市智慧管理（輔助管汰工程及智慧管理，建構不缺水城市）、勞安科技應用（IoT 物聯網結合 BIM 元件模組化在勞安科技應用－興達電廠燃氣機組更新改建計畫 345/161 kV 開關場區土建及附屬機電工程）、及建築物管理系統（數位孿生科技博物館－海科館 BIM 建築資訊整合管理系統）等前瞻課題。

特此感謝參與「2023 年工程數位創新應用獎」的各界單位不吝分享交流其寶貴應用成果，評審委員們在初評及複評階段付出的努力，以及專輯的論文作者們提供更詳盡深入的研究內容，使得本期特刊得以順利完成出刊，並使產官學各界得以一起分享數位資訊技術於工程產業應用之豐碩成果。

通訊作者，ityang@mail.ntust.edu.tw



「2023 年工程數位創新應用獎」競賽評選通過名單



臺北自來水智慧化資訊管理系統 2.0

臺北自來水事業處
台灣世曦工程顧問股份有限公司

興達電廠燃氣機組更新改建計畫 345/161kV 開關場區土建及附屬機電工程

泛亞工程建設股份有限公司

淡江大橋及其連絡道路 5K + 000 ~ 7K + 035 新建工程

中興工程顧問股份有限公司
工信工程股份有限公司
續紛科技股份有限公司
台灣儀器行股份有限公司

臺北都會區大眾捷運系統環狀線南環段 DF115 設計標

臺北市政府捷運工程局
台灣世曦工程顧問股份有限公司

臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段 DF118 設計標

臺北市政府捷運工程局
中興工程顧問股份有限公司

新北市雨、污水下水道 GIS_ 智慧化維運及減碳管理

新北市政府水利局
台灣世曦工程顧問股份有限公司
宇騫數位科技有限公司

**氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫—應用創新智慧科技於梨山地地滑治理及
G1 排水廊道維護運轉 + (G1 排水廊道集水管清洗及檢修補強工程)**

行政院農業部農村發展及水土保持署臺中分署
德眾工程顧問股份有限公司
鼎宸營造有限公司
震翔監測工程有限公司

111 年度中山區道路巡查維護修繕成效式契約

聖東營造股份有限公司
超鉞科技股份有限公司
日陞空間資訊股份有限公司

桃園市中壢運動公園區段徵收工程委託設計及監造技術服務

桃園市政府工務局新建工程處
亞新工程顧問股份有限公司
國立臺灣大學土木工程學系

無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究

國立臺灣大學

BIM 建築資訊整合管理系統

國立海洋科技博物館
續紛科技股份有限公司



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]。

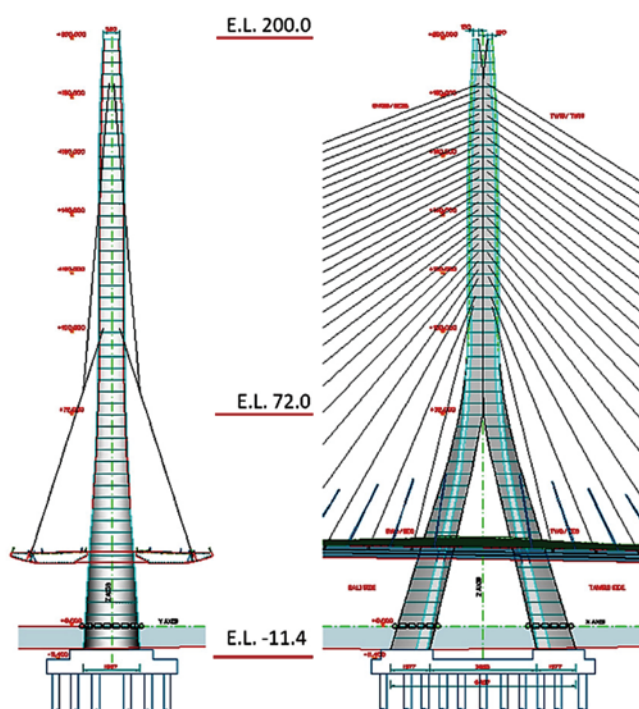


圖 2 淡江大橋橋塔之工程模擬圖

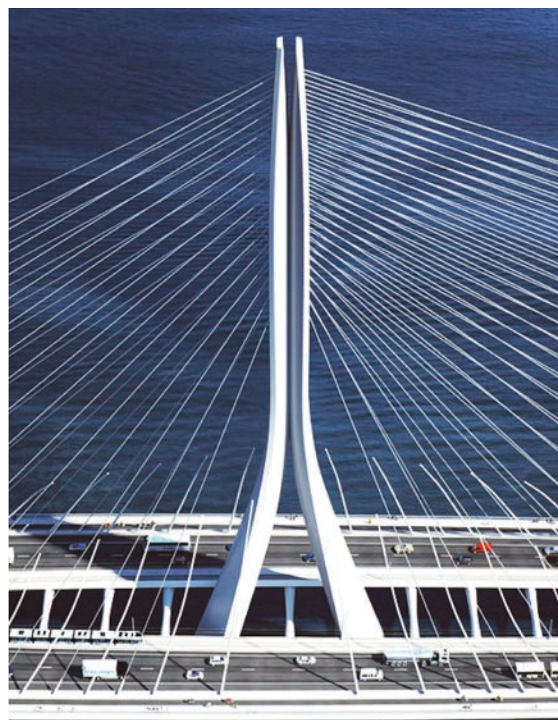


圖 3 淡江大橋主橋塔及橋墩之工程模擬圖

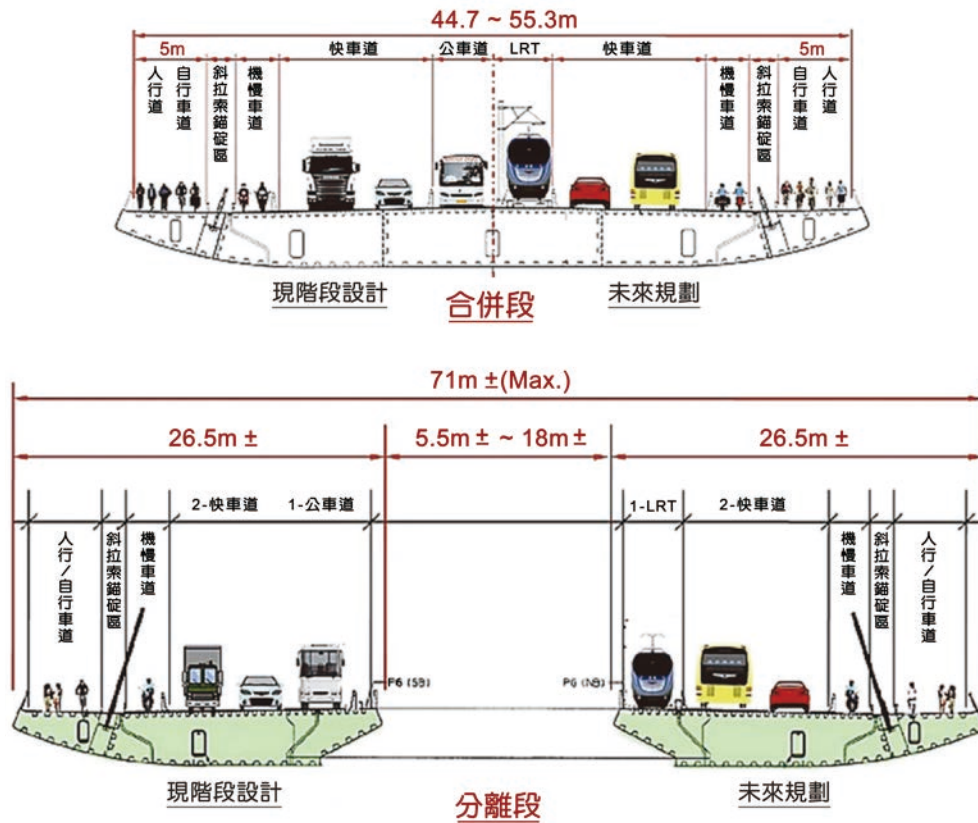


圖 4 主橋段橋面車道配置圖

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。

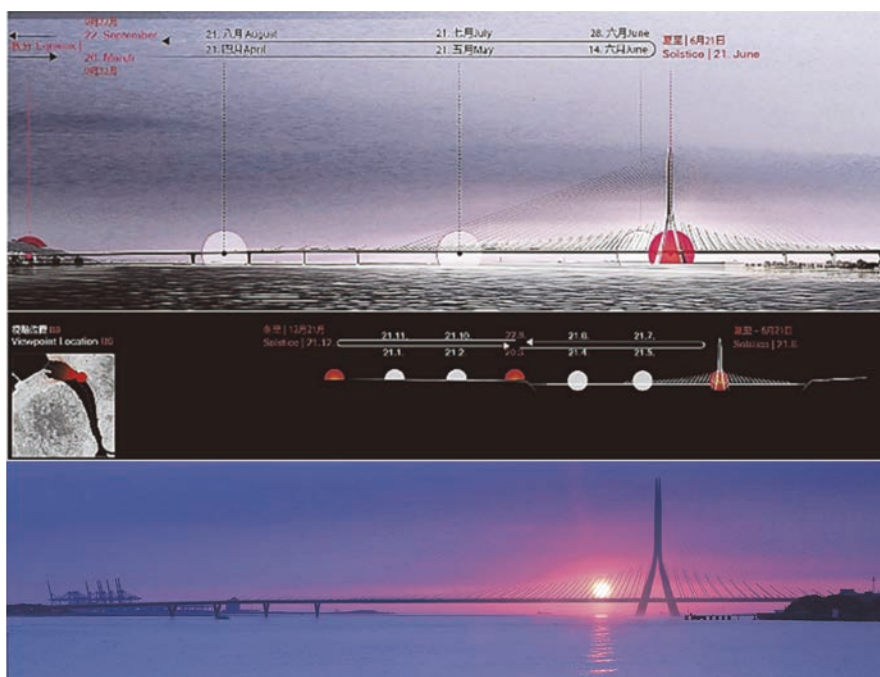


圖 5 淡江大橋落日分析及景觀模擬圖

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。

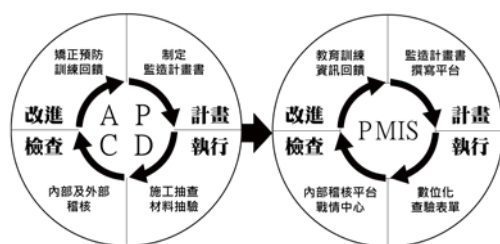


圖 6 監造管理 PDCA 循環圖

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

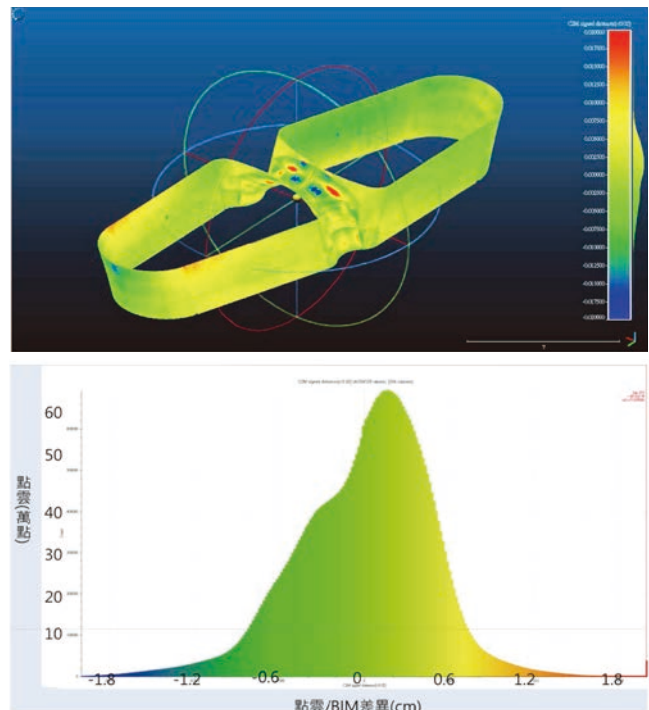


圖 10 LiDAR 掃描與 BIM 模型差異比對

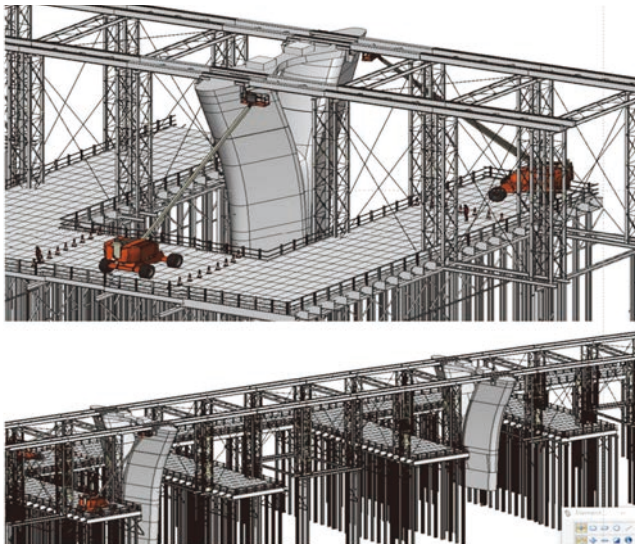


圖 8 八里端鋼梁推進軌道 BIM 模擬案例

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 工區記錄與特定位點機動檢核，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。



先進工程設計

以 數位雙生 技術打造 多元舒適 車站空間

廖純璋／臺北市捷運工程局第二區工程處 副處長

莊建忠／臺北市捷運工程局建築景觀課 課長

洪晨瑋／中興工程顧問股份有限公司軌道二部 工程師

劉執敏／中興工程顧問股份有限公司軌道二部 工程師

薛宏毅*／中興工程顧問股份有限公司軌道二部 工程師

過往進行車站機能設計時，採用二維平面 CAD 圖說，十分仰賴專業設計人員之機能配置經驗，且在垂直動線的檢視上，較難利用平面圖進行構思與檢視，往往造成營運時旅客使用不便的情形。此外，一般專案於轉乘時間係以平面圖設計為基礎，於圖上測量水平距離，搭配垂直方向載具移動速度及距離，以公式計算轉乘時間，僅能取得估算時間、距離，無法反映更多詳細與旅客行為有關的數據。

為使車站設計以及各項捷運工程界面能夠於施工前預先檢核並研擬因應對策，臺北市捷運工程局（以下簡稱本局）於環狀線東環段 DF118 設計標專案（以下簡稱本專案）契約中導入 BIM 設計（如圖 1 所示），透過 3D 立體模型進行全面性檢視，減少因 2D 平面作業造成之設計盲點，並要求以人流模擬分析檢視車站設計成果，確認轉乘車站可提供旅客清楚的轉乘路徑及舒適空間。

本專案的數位創新應用內容透過於營運中臺北捷運轉乘車站進行問卷訪談及調查，實地研究捷運站內旅客行為，運用 (1) 本土化的人流模擬參數及 (2) 建立轉乘舒適度因子以及擁擠密度感知系統，以反映真實旅客於車站內進、出站的行為及瞭解其舒適性。將前述本土化及可量化之人流模擬分析創新技術結合 BIM 模型（如圖 2 所示），優化 DF118 設計標三座轉乘車站，提供旅客「無障礙友善、轉乘便利性、空間舒適性及清楚的標誌導引」的捷運車站，藉此降低設計未能符合民眾期待之風險，亦減少後續因改善車站機能設計而產生的額外成本外，同時增加民眾對於捷運轉乘的滿意度，提高民眾搭乘環狀線東環段的意願，轉移私有旅次，紓解內湖地區塞車問題。

工程簡介

DF118 設計標路線全長約 13.25 公里，共 10 座地下車站及 1 座機廠。起自環狀線北環段劍南路站後尾軌，並與環狀線南環段動物園站銜接。於工程範圍中有三座轉乘車站，Y36 站與臺鐵及綠線松山站交會，Y37 站與藍線永春站交會，Y38 站與紅線象山站交會，如圖 3 所示。

* 通訊作者，jchsueh@mail.sinotech.com.tw

本專案以 DF118 設計標中重要的三座轉乘車站作為應用優化場域。將前述本土化及可量化之人流模擬分析創新技術結合 BIM 模型，透過與車站配置調整的配合，提供一般旅客及無障礙旅客便捷的轉乘動線，並縮減轉乘時間，同時確保旅客於轉乘車站的舒適性及便利性，以提供旅客安全、便捷、優質之捷運系統。為拓展人流模擬分析結合 BIM 之創新技術，後續將應用於輔助進行標誌尋路系統之設計與檢視。

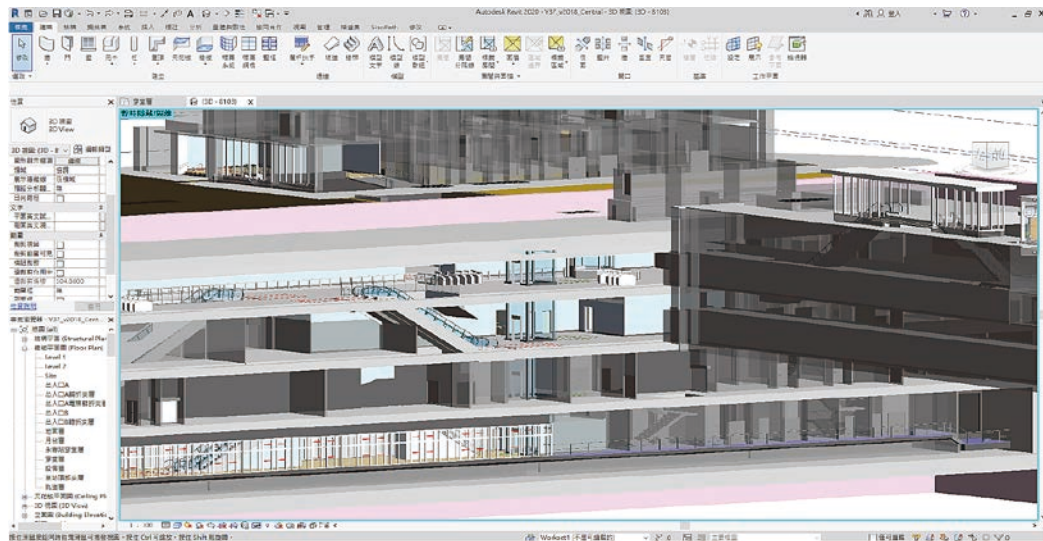


圖 1 BIM 模型示意圖



圖 2 BIM 結合人流模擬分析示意圖

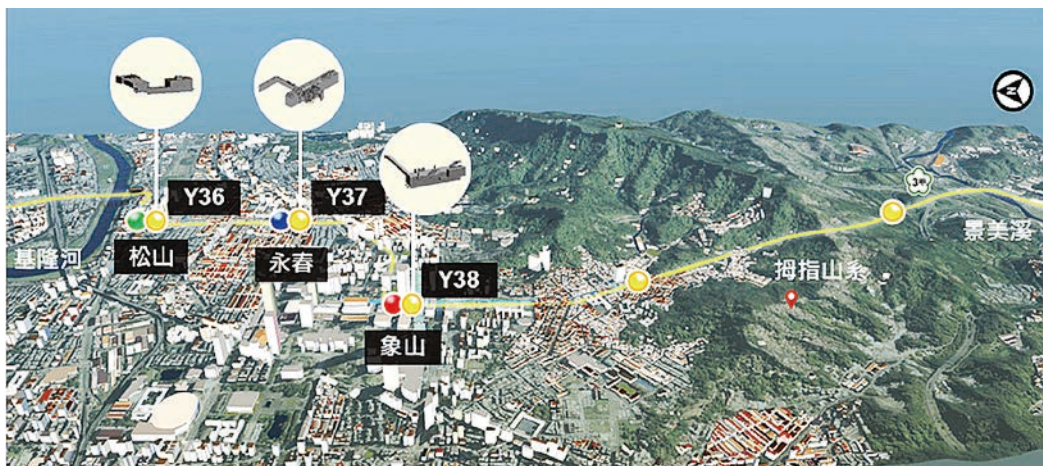


圖 3 應用場域位置介紹

數位創新成果—人流模擬分析

本專案結合產、官、學界攜手完成，由本局提供 DF118 標作為執行場域，由中興工程顧問公司（以下簡稱協力單位）進行設計方法創新。於合作期間，協

力單位為使得人流模擬分析可真實反映車站內旅客使用情形，邀請國立臺灣大學人流專家許聿廷教授與其團隊，在本局協助下針對營運中臺北捷運轉乘車站人流進行深入研究，以建立本土化人流模擬參數，又為

使車站設計成果透過人流模擬分析能有量化數據輔助設計，協力單位與許聿廷教授團隊，建立轉乘舒適度因子以及旅客擁擠密度感知系統，以量化的數據及視覺化模擬成果，回饋車站機能設計。

前述轉乘舒適度因子係以問卷調查及統計迴歸方式取得旅客選擇轉乘路徑考量之重點因素，研究指出轉乘層數、轉折次數（轉乘便利性）及是否為無障礙人士（無障礙友善）影響最為顯著，而後者旅客擁擠密度感知系統則係結合影像分析及問卷調查結果，將旅客對擁擠的程度分為五個等級（空間舒適性），如圖 4 所示。旅客擁擠密度感知系統於人流模擬中之呈現則如圖 5 所示。此外，本局因研究需要，亦協助研究團隊向臺北捷運公司取得轉乘站閘門使用數據，作為研究資料，加速研究進程。

數位創新成果—於實際場域之應用

本專案以 Y36、Y37 及 Y38 轉乘站作為執行場域，透過車站機能設計與人流模擬分析，多次交互回饋的創新設計流程，以及在人流模擬分析結合 BIM 的創新方法下，希冀提供一般旅客及無障礙旅客於轉乘站便捷的動線及舒適的空間。以下分別就各站精進設計處簡要說明：

Y36 站：精進無障礙友善設計

捷運松山站 4 號出入口緊鄰公車停靠站，且未設有電梯，無障礙旅客無法從 4 號出入口直接進入捷運松

山站。考量 Y36 站與捷運松山站及臺鐵松山站共站，故於設計時，提出將捷運松山站 4 號出入口優化，增設電梯，提供無障礙旅客較佳的進、出站動線，方便其轉乘公車，如圖 6 所示。

改善前 Y36 站轉乘臺鐵動線彎繞，且需轉換兩次電扶梯。本專案調整車站機能配置，將南側穿堂層由原 B2 層調整至 B1 層，縮減與臺鐵松山站高差至 1 m，可採 1/20 緩坡順平連通臺鐵，如圖 7 所示。共縮短轉乘距離 59.7 m，縮短轉乘時間 51 秒。

Y37 站：提升轉乘便利性

改善前穿堂層與連通層同一層，旅客需由 Y37 站刷卡出站後，由非付費區轉乘藍線永春站，轉乘動線轉折 1 次，轉乘距離 307 m，轉乘時間 5.1 分鐘。優化後，將穿堂層上移至 B1 層，與連通層分流，旅客可於 Y37 站付費區內轉乘藍線永春站，如圖 8 所示。共縮短轉乘距離 31 m，縮短轉乘時間 30 秒。

Y38 站：提升空間舒適性

透過機房空間整併，將原改善前兩層設備層，優化為一層設備層，可創造穿堂層挑空夾層，讓旅客於車站內感受開闊空間，如圖 9 和圖 10 所示。亦將穿堂層空間調整為方正，旅客可使用公共空間增加，增加舒適度，擁擠密度由等級 2~3 降至等級 1，如圖 11 所示。

Fruin 服務指標	等級B	等級C	等級D	等級D、E 平均	等級E
中興本土化服務指標	等級 1	等級 2	等級 3	等級 4	等級 5
密度(m ² /人)	>2.32	2.32~1.39	1.39~0.93	0.93~0.695	<0.695
問卷調查示意圖					
國人可接受程度	舒適			不舒適	

圖 4 旅客擁擠密度感知系統五等級



圖 5 旅客擁擠密度感知系統於人流模擬中呈現示意圖

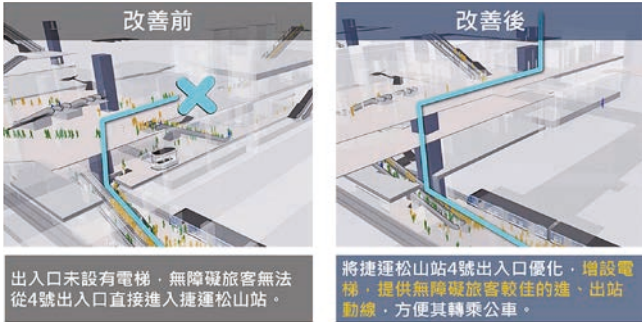


圖 6 Y36 站改善前後（無障礙友善）

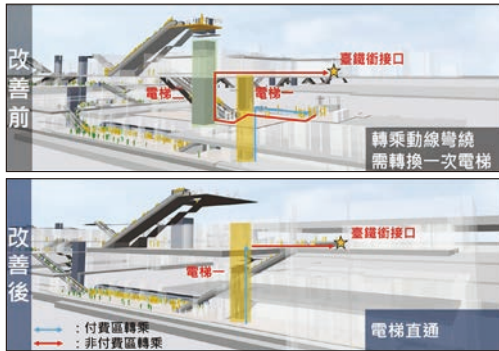


圖 7 Y36 站改善前後（轉乘便利性）

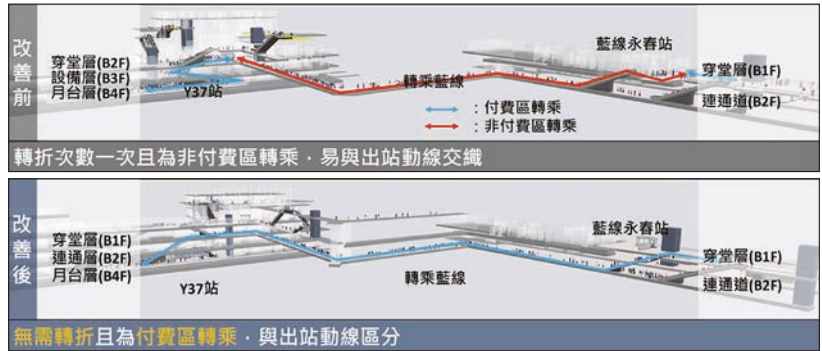


圖 8 Y37 站改善前後（轉乘便利性）

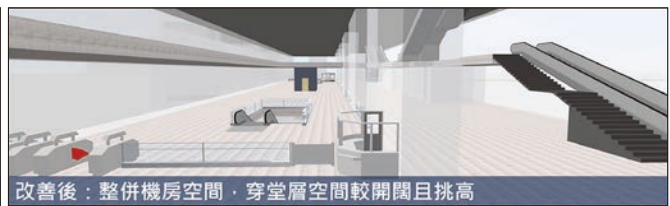
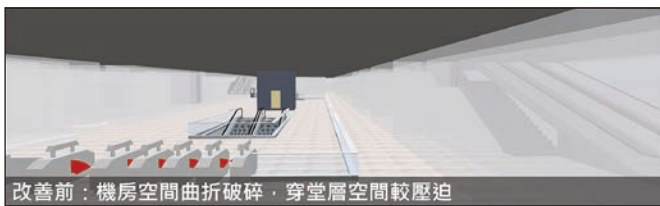


圖 9 Y38 站改善前後（空間舒適性）

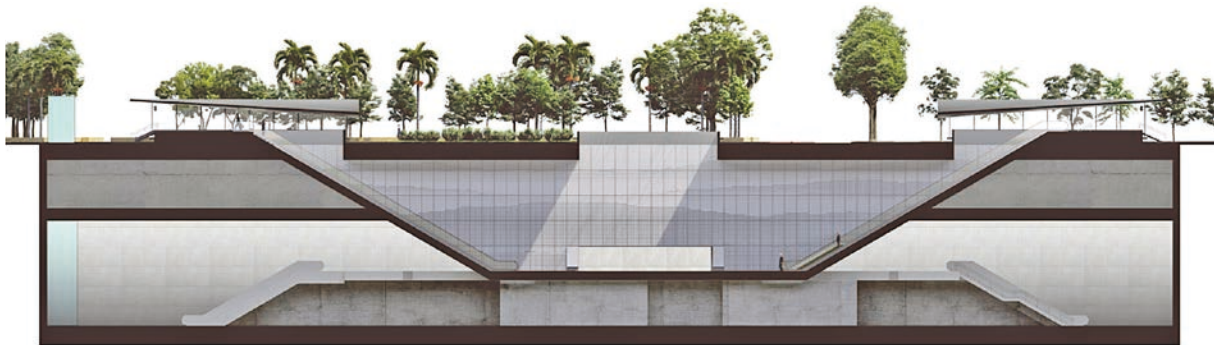


圖 10 Y38 站改善後穿堂層挑高透視圖

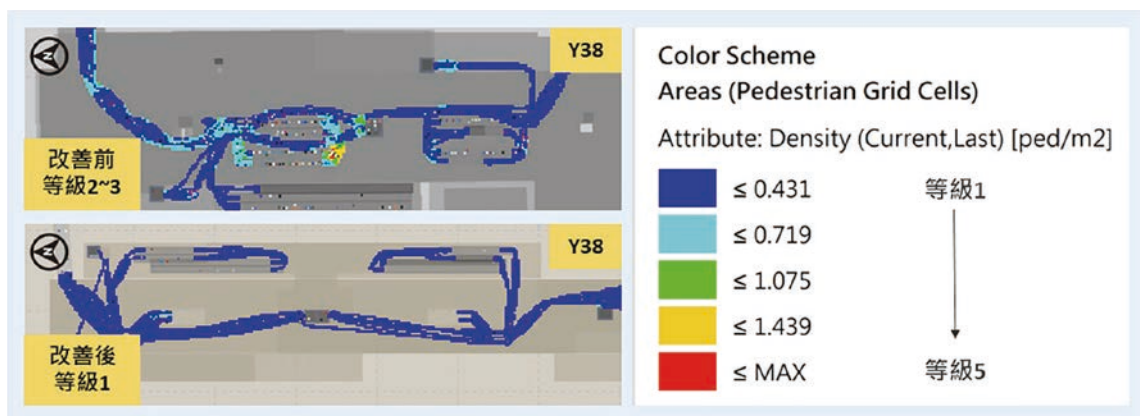


圖 11 Y38 站改善前後（擁擠密度）

結語

本專案非屬自行開發新式軟體或平台，係以結合現有商用軟體創造新的設計流程之技術創新應用，採用之策略為利用人流模擬分析軟體與 BIM 模型的可相容性，

以 BIM 車站模型作為人流模擬場域之基礎，並加入協力單位與國立臺灣大學許聿廷教授團隊所發展之本土化參數進行模擬，展現車站於營運期間旅客使用情形之仿真模擬回饋車站機能設計，茲歸納本專案特色如下：



圖 12 一般及無障礙旅客動線區分示意圖（綠色：一般、藍色：無障礙）

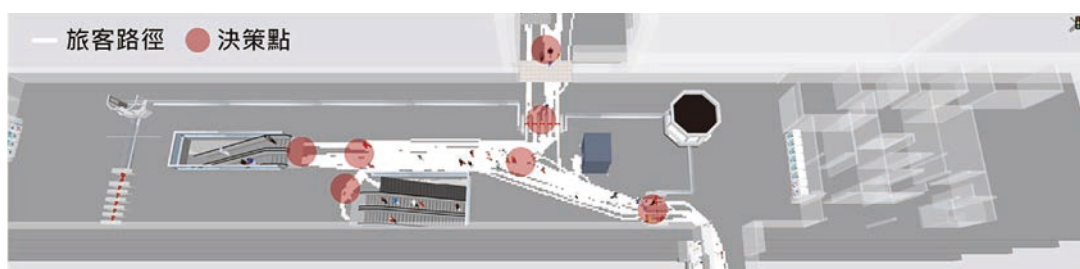


圖 13 旅客路徑及決策點示意圖



圖 14 旅客尋路系統（標誌設計檢核）

1. 空間可視性：本案可於人流模擬分析中，以旅客視角檢視整體車站立體空間設計，檢視是否造成空間壓迫感或動線是否順暢，使設計人員能即時反應精進。
2. 模擬仿真性：本專案與學界專家合作，建立本土化人流模擬參數，包含旅客於月台候車行為、旅客搭乘電扶梯靠左或靠右比例、人與人之間的社會力、不同旅客族群的步行速率等，貼近未來實際旅客於車站內使用情況。
3. 即時回饋性：本專案與學界專家合作，建立轉乘舒適性參數及旅客擁擠感知程度模型將其區分為五個等級，以人流模擬分析成果呈現擁擠密度感知程度。透過人流模擬分析成果，可立即取得未來營運階段可能之運作情況及站內擁擠密度，設計人員能夠根據逐次模擬結果進行立即性的修正，藉以加快收斂速度，提升設計效率及準確性。
4. 設定自由性：人流模擬分析中有多項參數具備可調整性，因此專案人員可根據不同情境條件設定所需參數組合，包括旅客路徑、閘門使用比例、電扶梯運轉速度、列車進站時間、旅次量 … 等，本專案為了解無障礙旅客動線，設定參數區分一般及無障礙旅客動線，以不同顏色呈現作為檢視設計之參考依據，如圖 12 所示。
本專案除應用於人流轉乘動線及舒適度檢視外，於未來擬應用於旅客尋路系統，透過與車站內標誌牌面設計結合，將標誌牌面以 3D 靜態物件匯入人流模擬分析中進行設置擺放，由人流模擬中以旅客第一人稱視角檢視各標誌擺放位置是否可符合旅客尋路需求，亦可透過路徑軌跡檢查旅客路徑選擇決策點（圖 13），根據決策點設置適當牌面指示方向，同時檢視各牌面內容設計是否得宜，預先檢討標誌設計是否完善妥適，如圖 14 所示。



城市智慧管理

輔助管汰工程 及 智慧管理 建構 不缺水城市

李承鴻／臺北自來水事業處供水科 三級工程師

黃騰宏／臺北自來水事業處技術科 股長

許家成*／台灣世曦工程顧問股份有限公司地理空間資訊部 副理

臺北自來水事業處為達成永續發展目標，擬定供水管網改善長程計畫（95 年～114 年），共分為四階段執行，期望於 114 年將管線漏水率降低至 10%，其中第三階段後期與第四階段管網改善所面臨的挑戰極高，如何尋找最適模式發揮效益，以期能達成將管網漏水率降低至 10% 以下之總計畫目標。本期計畫藉由圖資管線屬性（管材、管齡等）、歷史漏水點，結合機器學習進行漏水潛能分析，找出漏水機率較高路段，提供管汰順序的安排，精進開挖、達成節能減碳。積極推動智慧水管理應用，除建立數位孿生的基礎模型外，更強化自來水管線圖資與水理分析結果的即時應用，將水理分析軟體元件整合至 106 年所開發的臺北自來水智慧化資訊管理系統（Water Intelligent System of Enterprise, WISE），建立新一代 2.0 版應用系統，結合即時監控資料，進行擬真（Live）模型研究及試作，以模擬供水分區管網的水壓與流量，藉由試作及驗證過程，來進行即時（Real-time）水理模型應用情境未來規劃，系統可即時依據歷史資料，藉由數據統計分析方法，結合監控 24 小時資料值，做為未來預警值，當有數據異常時，可即時於地圖顯示，結合追蹤分析，讓監控中心同仁於系統可瞭解影響所及範圍，進行輔助決策，若有發生水壓不足時，亦可即時預警，降低災害風險。當發生爆管漏水時，監工透過行動裝置，藉由管線圖資拓模自動化應用，結合智能斷水追蹤功能，自動計算停水影響範圍，可確認需關閉開關及受停水影響用戶統計，加速漏水處理，避免災情擴大。

工程簡介

管線錯綜複雜程度超乎想像，整體改善所面臨的困難將愈來愈高，如何利用創新方法，透過數據或水理分析找出漏水機率較高路段，進行管汰作業，將漏水率由 26.99% 降低至 10% 以下，是計畫創新目標之一。由於漏水機率減少，除可阻斷管線內與外界接觸機會，提升系統水壓，避免系統內負壓產生污染水質風險，並有減少路面挖修影響交通、避免人民生命財產損失及提升政府形象等不可量化之效益；此外，無形中亦增加整體供水系統之備載量，有效舒緩未來水源不足的壓力。本專案創新應

用流程，主要可以分成三個面向進行分析，如下圖 1 所示，先擬定系統應用長程計畫，分年分期逐步推動，第二階段則是水理應用的擴展，將過去研發創新的構想，交由專業廠商開發實作，逐步推進分析成果應用，另外是機關內部大量資源投入及首長支持，才能充分達成需求訪談及經費爭取，最後達到智能管網加值應用的目標。

數位創新成果

創新應用上共研擬了五大關鍵課題，如圖 2。本期延續前期作業成果，並強化原有平臺精進系統自動化功能及智能運用，達成五大目標，包括分析平臺、模型校正、智能應用、圖資同步及知識分享五大面向。

* 通訊作者，terryshiu@ceci.com.tw



圖 1 北水處推動數位創新應用中長程計畫

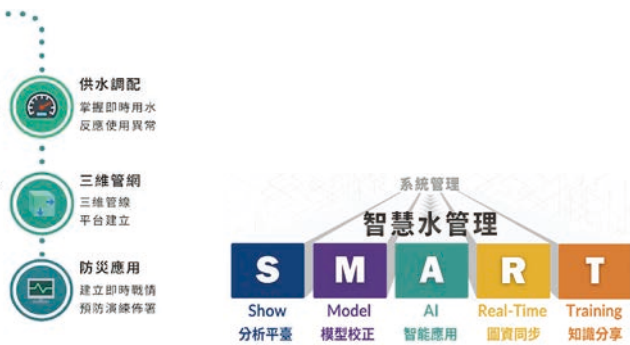


圖 2 本期數位創新五大面向

分析平臺

過去使用者僅能使用 EPANET 單機軟體進行水理分析成果檢視，並無法於 EPANET 中與動態地圖相互整合，分析成果亦無法與現有設備及管網套疊，使用者無法瞭解其分析結果是否正確，因此在 WISE 平臺中開發動態展示分析結果功能，當同仁在 EPANET 中完成水理分析後，以 WISE 做為分析結果展示的平台，可讓其他同仁或長官在不受地點與軟體的限制下，查看管網模擬結果，與即時實際監測數值做比較，協助判斷管網運行狀況。另外，若於分析結果中發現有異常情形，亦可利用 GIS 地圖套匯及定位功能快速查找可

能造成影響範圍與地點，加速管線修漏或修改管網圖資問題，操作範例如圖 3 及圖 4。

為使未來水理分析系統能達到全自動化的目標，本計畫先行試辦擬真（Live）模型研究及試作，建立一套可運作的流程及確認未來展示內容，依據現有的空間資料庫成果尚無法達到擬真模型展示，需分成五個面向進行精進，始可完成任務，包括：模型拓模匯出、智能水源設定、模型校正、擬真模型展示平台建立與加值應用功能研析，各項精進內容，請參閱圖 5。

依上述平台架構，本案已設計擬真模型展示平台畫面，將以地圖呈現為主軸，兩側輔以供水分區關鍵

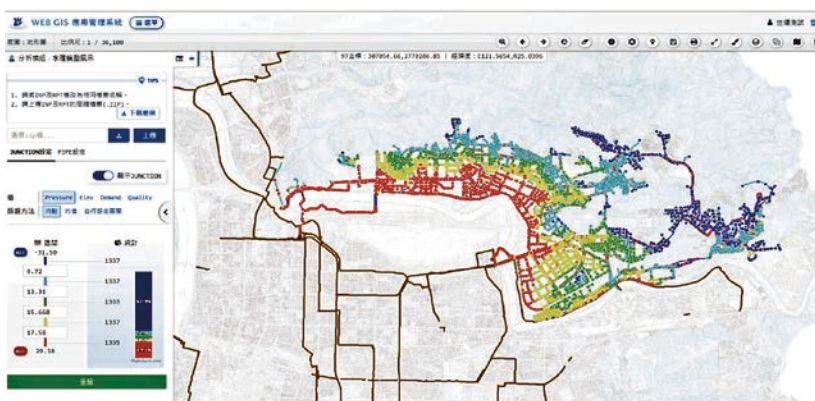


圖 3 水理分析成果展示範例圖

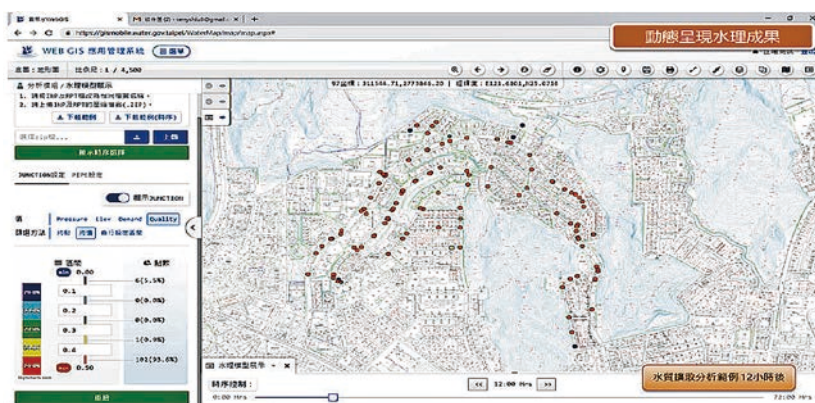


圖 4 依動態時序顯示水理分析成果範例圖



圖 5 擬真模型展示作業規劃

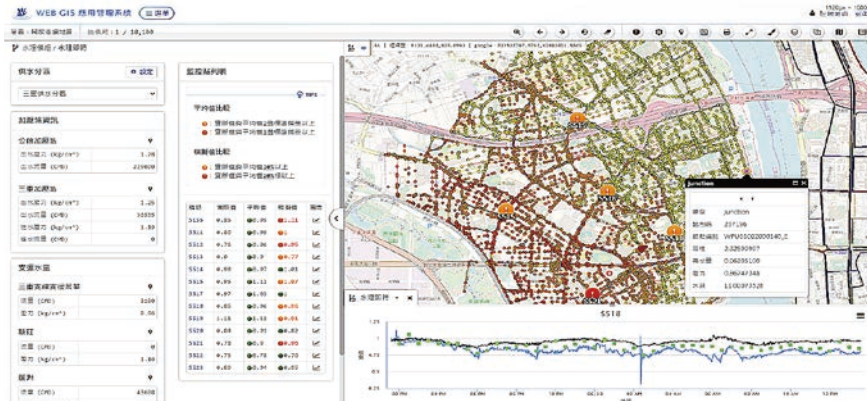


圖 6 水理分析展示成果

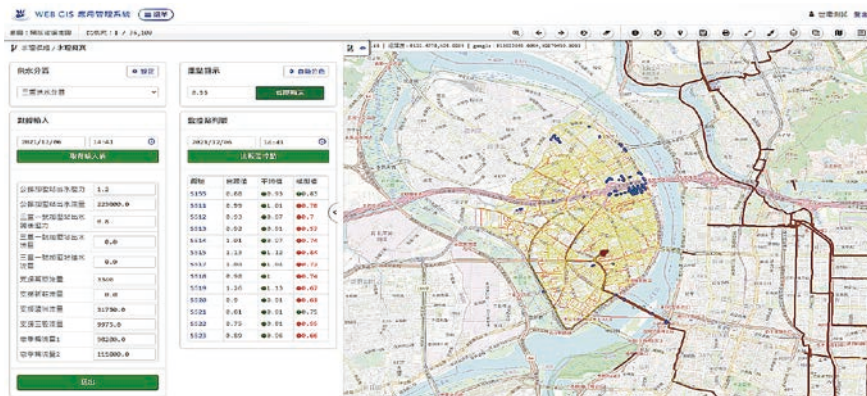


圖 7 擬真模型展示成果

數據，如支援量、加壓站出水壓（量）、監控點監測值等，輔助相關業務人員掌握供水狀況。以 WISE 做為分析結果展示的平台，可讓其他同仁或長官在不受地點與軟體的限制下，查看管網模擬結果，與即時實際監測數值做比較，協助判斷管網運行狀況，如圖 6 及圖 7。

模型校正

本系統為國內首創自行研發的水理分析計算平臺及模型基礎校正軟體，結合遺傳演算法（GA）和水理分析函式庫（EPANET.dll），建立自動化基礎校正軟體，遺傳演算法經由精英選擇、世代交配及定額突變率，來進行粗糙係數（ROUGHNESS）的調整，再經由不斷迭代，去找出符合實際量測值的最佳化解，其研究結果顯示模型於校正前後 0% ~ 10% 誤差率可提升 21%，並與 24 小時監控點的資料進行比對，其誤差平

均值僅為 7.63%，顯示其校正結果非常良好，可大幅增進模型的可靠度。校正工具整體計算架構包含資料前處理，首先從研究區域之空間資料庫轉換為初始水理模型，第二步則是在此模型中，以理論經驗公式計算一組初始化粗糙係數 C，並且進行管網設定，第三步進入校正流程則是透過遺傳演算法及 EPANET.dll 改正 C 值以使模擬壓力 P 值與實測壓力差異最小化，最後產出校正後的 INP 檔案。本研究所設計的遺傳演算法運算，共分成三個階段，包括資料準備、分析計算及結果儲存等，流程如圖 8。

基礎校正軟體開發完成後，以中和永和供水分區進行驗證，校正後模擬結果如表 1，校正後之壓差統計結果可發現，140 點水壓量測點中有 75 點壓差在 0.1 kg/cm² 以下，39 點在 0.1 ~ 0.2 kg/cm² 之間，18 點在 0.2 ~ 0.3 kg/cm² 之間，1 點在 0.3 ~ 0.4 kg/cm² 之間，7

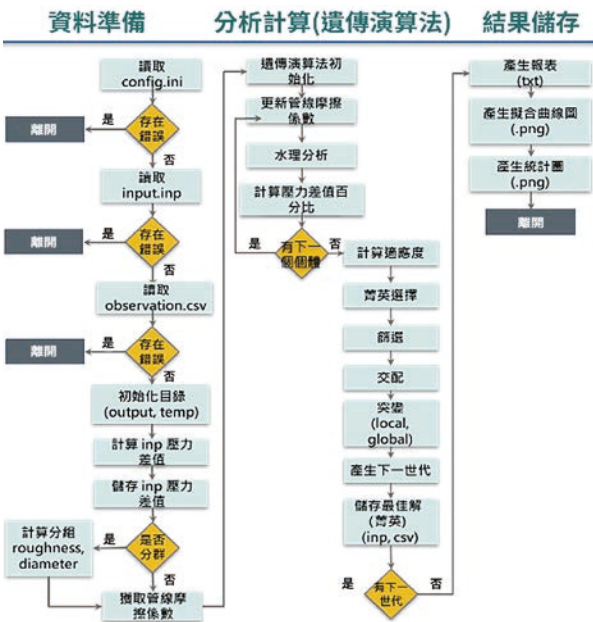


圖 8 遺傳演算法運算流程

點在 0.4 kg/cm² 以上。而誤差在 20% 內的點位共有 114 點，占總數 81.4%，且其中誤差小於 10% 從 57 點增加至 70 點，顯示整體供水分區壓差有明顯改善，如表 2 所示，各點位壓差絕對值與誤差往較低區間靠攏，惟誤差較大之點位仍多維持在管線末端之區域。

以 WaterGEMS 校正後與 WaterCali 比對，校正結果如表 3，誤差在 20% 內的點位為 112 點，為占總數之 80.0%，其中誤差小於 10% 維持在 57 點，可以發現 WaterCali 可以得到更好的成效。

表 1 中和永和供水分區校正前壓差統計表

壓差(kg/cm ²)	數量	占比(%)	誤差(%)	數量	占比(%)
<0.1	63	45.0	<10%	59	42.1
0.1 ~ 0.2	45	32.1	10% ~ 20%	53	37.9
0.2 ~ 0.3	18	12.9	>20%	28	20.0
0.3 ~ 0.4	7	5.0			
>0.4	7	5.0	20%以內小計	112	80.0

表 2 中和永和供水分區校正後壓差統計表

壓差(kg/cm ²)	數量	占比(%)	誤差(%)	數量	占比(%)
<0.1	75	53.6	<10%	70	50.0
0.1 ~ 0.2	39	27.9	10% ~ 20%	44	31.4
0.2 ~ 0.3	18	12.9	>20%	26	18.6
0.3 ~ 0.4	1	0.7			
>0.4	7	5.0	20%以內小計	114	81.4

表 3 水理軟體壓差分析比較表

WaterGEMS			WaterCali		
壓差	數量	佔比(%)	壓差	數量	佔比(%)
<10%	64	45.7	<10%	71	50.0
10%~20%	48	34.3	10%~20%	45	31.4
>20%	28	20.0	>20%	24	18.6
<20%總計	112	80.0	<20%總計	116	81.4

智能應用

當現場發生漏水、爆管情形時，智能斷水分析功能可提供使用者，現場停水方案模擬分析結果，自動建議所需關閉的制水閥位置，協助現場人員在停水影響範圍最小的情況下，用最短時間完成閥關閉作業，縮短民眾不便時間，並自動化依據關閉範圍，統計受影響用戶，並可結合市政簡訊平臺主動發送停水訊息，讓民眾可即時取得停水資訊。另針對自來水施工工程進行作業前宣導，研判受影響區域，預先通知可能受影響用戶，以提昇水處服務品質及民眾滿意度，詳細作業流程如圖 9。



圖 9 智能斷水自動顯示需關閉之閥位置圖



圖 10 圖資異動更新流程圖



圖 11 未來推動構想圖

圖資同步

本案計畫目標乃重新檢視北水處空間資料庫內容及作業流程，擬定與雙北市道路主管機關空間資料同步作業方式，這樣的流程改造不但獲得雙贏，更是全國第一個採用此制度的模範。針對上述問題，提出三階段解決方法，各階段設計說明如下：

現行測量廠商交付測量資料後，主要交付檔案給監工人員進行存查作業，查核完成後，並無統一管理機制，本團隊於工程維運管理雲平台上建立測量 GML 收納平臺，由測量廠商直接上傳測量檔案至收納平臺，並建立測量成果檔案儲存區。監工人員可於平臺上進行查核作業，確認無誤後，即可將成果置於暫存區。接續由數化人員進行版本確認作業，檢核無誤後，可將測量成果 GML 資料匯入至空間資料庫中，並開啟設備管理系統圖資繪製模組，進行以測量成果配置圖資，數化過程中的各項圖資編修程序，將會完整紀錄於「工單異動資訊」當中，待繪製完成後即可將本次異動結果，同步至北水處空間資料庫中。異動更新會分成二部分進行，一部分是依路證編號匯出異動資料，並分成臺北市格式及新北市格式，供監工同仁上傳至雙北市道路管理機關進行結案作業。另一部分則是每日同步異動資訊，將各「工單異動資訊」的成果，從空間資料庫轉製成 GML 檔案格式，並依據雙北市道路管理機關的要求，存放於特定位置，每日進行圖資異動同步更新，詳細作業流程可參考圖 10 所示。

知識分享

水理分析工作，是北水處很重要根基知識，因此在本期計畫中，特別強調水理模型建模、分析、模擬等工作需要從顧問公司經驗傳承北水處同仁，因此如何於執行計畫期間協助同仁累積水理分析知識，開創模型多元化應用，是計畫重點課題。隊針對上述課題，擬定見習計畫作法如下，主要參考卡內基的訓練架構，並加以調整，課程內容設計上將使每位學員有參與感、並與工作融為一體，藉由互動的練習開始（非單純聽講），並將所學運用於生活、工作中，建立自己真正的經驗，經過數週不斷練習新的技能，使學員能養成新的思考行為。

本期計畫已有不錯執行成果，惟受限時間及經費緣故，後續仍有相關面向可再精進，建議事項說明如下：供水分區模型續辦作業、模型更新自動化、水理資料庫建立、擬真模型參數設定、即時系統開發及應用及加值應用功能開發，如圖 11 所示。

結語

為期二十年的管網改善計畫推動，已至提升精緻化的智能管理，達成計畫目標的最後一哩路，筆路藍縷推行至今，成果反映出當初藍圖擘劃遠見，務實不怠精神，及持續長期難題的挑戰。漏水率達成目標僅為計畫之重要里程碑，為讓臺北成為宜居永續城市，北水處將持續推動管網改善工作，打造直飲、效能、永續的臺北好水，以提供用戶質優量足的自來水。



勞安科技應用

IoT 物聯網 結合 BIM 元件模組化 在 勞安科技 應用

—— 興達電廠燃氣機組更新改建計畫 345/161 kV 開關場區土建及附屬機電工程

簡奉順／台灣電力公司綜合施工處 處長

姜振中／泛亞工程建設股份有限公司 董事長

黃德孝／泛亞工程建設股份有限公司 總經理

陳哲仲*／泛亞工程建設股份有限公司 BIM中心經理

營建智慧化是「數位轉型」的核心。除可以實現生產流程的自動化、數據化、可視化更可提高生產效率、降低成本、提升工程品質。例如 BIM 技術的應用，可將設計、施工、維運等環節進行整合，提昇現場施工流程的優化，確保工序順暢且如期、如質交付業主。而工地智慧化更可實踐施工現場科技化管理，提高施工效率、降低意外風險。藉由物聯網、大數據、雲端…等技術的加持，更可實現建築物全生命週期後端物業管理之維運績效，延長建築物使用壽命。

「減碳」目前正也是營建數位轉型的另一項重要指標。營建產業普遍被認為是排碳大戶。如今藉由「智慧工地管理系統」的開發，除有效控管營造過程產生之空污、噪音與大量無謂之能源浪費，是營建產業刻不容緩且必須積極面對的未來。藉由我們的經驗，以及近六年來不斷地嘗試與改善，而開發出一系列創新模組化的應用。為的是減少工安職災的發生，將傳統令人垢病的管理機制慢慢轉變由資訊甚至是 AI 技術來取代。

「數位轉型」是一項複雜且艱巨的任務，需要企業、政府、社會各界的共同努力。企業應積極制定數位轉型目標，強化數位技術的應用，培養數位人才。才能面對未來日趨嚴重之少子化、缺工、缺料與專業斷層危機。

前言

配合國家能源政策，台灣電力公司興達電廠為因應既有燃煤機組除役、滿足經濟增長所需電力需求及國家發展降低空氣污染之政策，增建三部共 3000 MW ~ 3900 MW 之燃氣複循環機組，不但有效減少二氧化

碳排放、增加供電量及穩定性，並減少對周邊環境之破壞。工區位於台灣南部西海岸的高雄市永安區與茄萣區交界處，北臨興達漁港，東側則以濱海公路台 17 號為界；燃氣機組更新改建計畫於既有廠區之東南側鹽灘地規劃新建三部燃氣機組。並於新廠區之東北側規劃 345/161 kV GIS 設備房、345/161 kV 開關場電氣設備房、連絡變壓器區、345/161 kV 電纜涵洞、345 kV

* 通訊作者，jejung.chen@gmail.com

連接站^[1]。本案於投標階段主動於服務建議書承諾無償建置 BIM 模型（圖 1 至圖 4），俾應用於施工階段之規劃與機、水電管路進行套疊暨干涉碰撞檢討使用。

除此之外；BIM 模型除常規之應用，若將模型用於取代傳統自動控制「資料採集與監視系統」SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition，縮寫）之二維圖控頁面，改以實境三維模型來體現，則更能直觀顯示事件（Event）發生所在位置，提昇施工階段人員對即時危害因子的掌握。

本案新建廠區 345/161 kV 地下電纜涵洞（廠區電纜涵洞及 345/161 kV 電纜涵洞至連接站）、及與興達-路北 & 興達-龍崎新建 #4-2 電塔銜接之連接站結構，部分區域位處主要輸配電幹線區域下方（圖 5），施工稍有不慎接近線下 5 公尺危害範圍內（或更近）都有可能發生人員感電意外，甚至觸及輸配電特高壓電纜而造成停電事故，將影響民生或高科技廠房用電甚鉅，除引發大規模區域停電，影響所及絕非賠償所能解決之憾事。

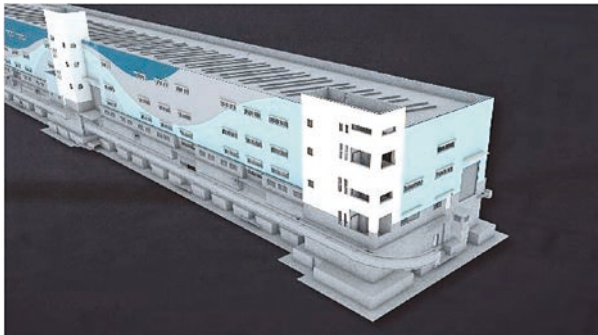


圖 1 345/161 kV GIS 設備房

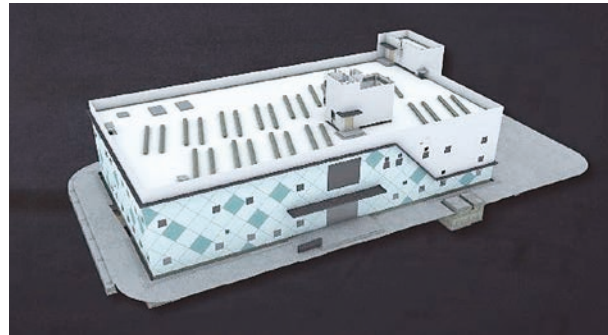


圖 2 345/161 kV 開關場電器設備房

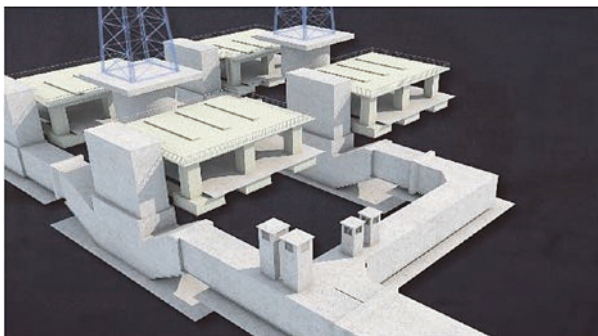


圖 3 地下電纜涵洞

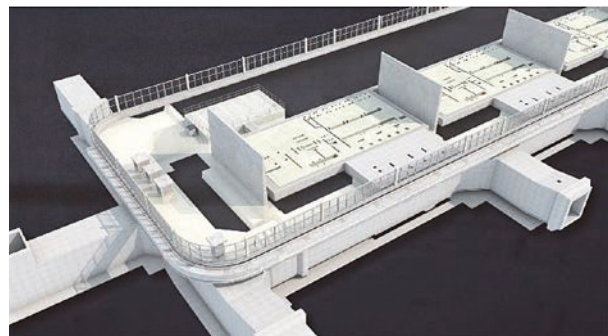


圖 4 聯絡變壓器區



圖 5 工區佈滿台既有 345 kV 特高壓電塔，施工易發生感電危害

先前案例

泛亞工程建設公司緣自民國 107 年承建營建署「台南北外環道路第三標工程」時，順應「工業 4.0」之時代浪潮主動積極投入物聯網技術於該標環境監測與施工安全等相關應用。隔年，延用「台南北外環道路工程」之成功經驗，投標交通部鐵道局「嘉義鐵路高架化前期工程 C602 標」再將物聯網與 BIM 技術進行整合，期盼利用 BIM 技術與 IoT 物聯網之結合，再創工程全新典範，並將 BIM 技術衍生應用與「工業 4.0」並駕齊驅。而該創新應用案例更於「2021 智慧城市創新應用獎」競賽，破除過往歷七屆獲獎單位盡是資通訊產業一級大廠之先例，為國內首家獲此殊榮之營造廠，成果非凡（圖 6）。自此泛亞工程再投入更多人力成本，導入光達掃描設備、透地雷達、MR 混合實境電子頭盔及空拍機與 AI 智能影像等多項創新科技於工程實務應用，經台電興達電廠 CV02 標 POC（Proof of concept）驗證成功後，將透地雷達與 MR 混合實境電子頭盔交互應用，於施工前精準探知電廠周邊主要道路（興達路）24 英吋液化天然氣管所在地位置、深度…並經 BIM 技術輔助建置地下 BIM 管線模型，將管線模型導入 MR 混合實境電子頭盔，時時於鋼板樁施打監看機

具施工狀況，有效避免施工不慎傷及天然氣管，造成無法彌補之重大工安意外事故發生。民國 110 年先後獲得中國土木水利工程學會—「工程數位創新應用獎」（圖 7）與「SGS/品質管理人協會—創新應用獎」（圖 8）、「2021 AUTODESK BIM AWARDS」優勝（圖 9）等獎項之肯定。

民國 110 年泛亞工程再將此一概念導入「台北廣慈專案」之臨時電安全管理，將過往工地配電盤一般例行性巡檢之常規做法，無法有效落實電器管理人員是否確實進行工地配電盤之檢測與記錄，遂變更改以現地全區配電盤與既有 BIM 模型進行整合，運用專案既有 BIM 模型建置之配電盤元件與配電盤編碼專有之 QR CODE 進行綁定，工地專任電氣人員進行配電盤巡檢時，都必須掃描 QR CODE 並對該配電盤進行電壓、電流、絕緣、漏電斷路器功能…及接點紅外線熱顯像儀檢測等電氣資訊勾稽檢測並上傳照片至雲端資料庫備查之無紙化創新管理，亦獲該年度金安獎佳座之表揚。

綜觀前述四項專案都有其共通現象，即施工前都已完整建置全區 BIM 模型與工地門禁系統、勞安巡檢、CCTV、配電盤…等設施，但都必須被動由專屬人員至現地查核，而無法主動告知系統時時之狀態與缺陷。



圖 6 2021 智慧城市創新應用獎獲獎



圖 7 110 年工程數位創新獎



圖 8 2022 品質卓越創新獎



圖 9 2021 Autodesk BIM Awards 優勝

因而為降低人員疏漏造成意外事故發生而藉由 IoT 物聯網與 BIM 連動所形成的一套智慧化管理程序。目標明確且應用方式差異不大、主體架構雷同，但就是每換一個案場就必須請程式系統開發商為新案件改寫程式碼。除 UI/UX 有所變化外，主體程式架構及雲端資料庫資料取用類型幾近相同。為降低開發時間並減輕開發後系統除錯所衍生的時間浪費，對於營造廠來說只是不斷支出相同成本給科技廠商罷了！為扭轉此一幾近重工的態勢是必然的。泛亞工程 BIM 中心自主開發之「BIM 元件與 IoT 物聯網模組化」技術，將會是降低成本、減少重工、縮短開發期程與提昇系統靈活性的最佳方式，遂有此「模組化」概念之發想。

模組化概念與模組的開發^[2]

正如一開始所介紹的，過往的智慧工地系統多是為專屬工地量身訂做。或是單一感測元件對接固定群組之通訊軟體或簡訊進行告警訊息之推送。無法整併所有的告警訊息與事件發生位置等資訊。失去獲取資訊全貌與發生位置之取得。故能透過 BIM 技術將元件資訊與實體感測元件進行綁定，才能有效自 BIM 模型元件中獲取更多資訊與事件發生位置所在。打個比方；就像綜合感冒藥物膠囊包裹者各自不同功效藥劑粉末（此處類比各種屬性資料）經由膠囊投送至身體。而該膠囊正是我們所認知的「載體」（此處類比 BIM 元件屬性欄的資訊，經由元件；例如：柱、梁、版、牆封包組成為一個體。而該柱、梁、版、牆就是我們所稱的「載體」；如圖 3 所示）。此一概念正也跟物聯網的理論有所雷同，物聯網即是透過感測器偵測數據後，並將數據經由通訊裝置傳送至監控端。而 BIM 則是將每個獨立單元或個體（這邊我們稱做「元件」Element）的資訊藉由軟體或程式的撈取分析或統計模型

中所有獨立單元的資訊，以做為後續成本數量統計或材料採購之依據，以加速傳統作業模式之進化。

而物聯網最重要的一個環節就是如何把數據拋送至監控端？又是使用何種語言與監控端互聯？這個時候就需要機械與機械（簡稱：M2M）或機械與人之間的語言溝通，這邊我們叫「通訊協定」（Protocol）。

圖 10 所示的每一個感測元件旁邊都會有一個叫通訊模組的東西，它的主要的工作是將感測器所搜集到的資訊傳遞至雲端，當然與雲端伺服器間還是要有一定的通訊協定進行溝通，才能將訊息傳送至雲端進行發佈或儲存到事件資料庫中，以做為未來資料分析統計之使用。而我們所開發的模組不只如此，它還必須對應到 BIM 模型的元件，因為它還必須讀取元件特殊的編碼，才能有效查詢事件所發生的位置進行圖形顯示。而這個圖形顯示的動作在工業自動控制中的術語就叫「跳圖」。因此整個模組的開發會比工業自動化控制採用的方法稍微再複雜一些些。

BIM 技術與 IoT 物聯網之關係

我們看到分解後的 BIM（建築資訊模型）是由數千甚至上萬個元件所組成（如圖 11）。而其中的每一個元件中又帶有諸多的資訊，在這些資訊中我們不但可以取得感測元件或配電盤的製造商資訊，甚至可以取得操作維護手冊、安裝圖 … 等資訊。再把這些資訊與感測器進行綁定後，這樣一旦因現場感知器探測到異常或原先所設定的條件，即會將感知器所得的資訊連同被綁定的 BIM 元件資料一併顯示到我們行動手持裝置的使用者介面中，讓我們可以在一個裝置中一目瞭然即時告警訊息，以便做相對應的處置。這也就是我們為什麼要將 BIM 元件與實際 IoT 感測元件進行綁定



圖 10 IoT 物聯網結合 BIM 模型元件模組化應用系統架構圖

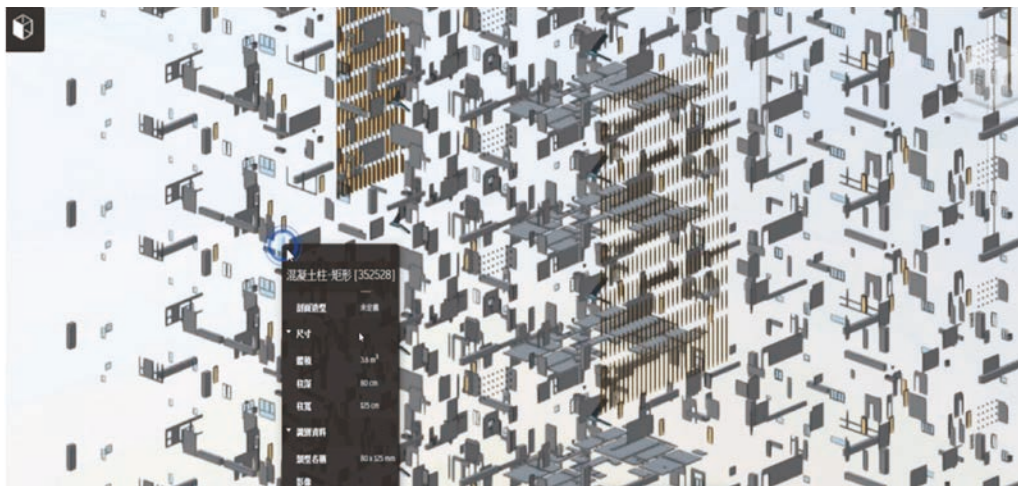


圖 11 建築物 BIM 模型分解後每一個元件都帶有詳細資料

模組型號									
對應感測器	五合一環境偵測器	配電盤漏電偵測(1)	配電盤漏電偵測(2)	LiDAR電子圍籬(1)	LiDAR電子圍籬(2)	LiDAR電子圍籬(3)	排水泵浦啟閉偵測	水位偵測器	自動水霧
感測器信號輸出	Modbus(RS-485)	Modbus(RS-485)	Modbus(RS-485)	Hi/Low(5V或12V)	Hi/Low(5V或12V)	Hi/Low(5V或12V)	繼電器(ON/OFF)	二段斷電器(ON/OFF)	繼電器(ON/OFF)
輸出/入模組訊號型式	AI	AI	AI	DI	DI	DI	DI	DI	DO
MQTT(Topic)	PA/ZONE1/1 (示例)	PA/ZONE1/2 (示例)	PA/ZONE1/3 (示例)	PA/ZONE1/4 (示例)	PA/ZONE1/5 (示例)	PA/ZONE1/6 (示例)	PA/ZONE1/7 (示例)	PA/ZONE1/8 (示例)	PA/ZONE1/9 (示例)
BIM ID	54321	54322	54323	54324	54325	54326	54327	54328	54329
模組編碼	IOT-01	IOT-02	IOT-03	IOT-04	IOT-05	IOT-06	IOT-07	IOT-08	IOT-09

圖 12 BIM 元件綁定 IoT 通訊模組的情況

的目的。圖 12 就是我們所開發出來的模組，其實表中的模組型號對應著是與它連結的感知器與 BIM 元件的組合。這樣就是我們所定義的模組。

成果與效益

「數位轉型」這個名詞近來在營建產業非常火紅。如何將傳統人力密集工作交由機械代勞？甚至近來一樣熱門的 ChatGPT 人工智慧聊天機械人，都可有效降低人力成本的支出，只不過營建同業或許大家不知道從何下手？

勞動部職業安全衛生署近年來積極在「數位轉型」的願景下賣力推銷「營建四化」與「科技減災」等技術的落實。無非就是想藉由科技的手段來降低營建業居高不下的工安意外事故發生率。

以「嘉義鐵路高架化前期工程 C602 標」為例；工期僅 800 天（實際僅 765 天就已報竣）在施工前評估主要拆除橋梁（博愛陸橋）I 型梁底緣最近台鐵架空纜線距離僅 45 ~ 65 公分（圖 13；依台鐵局施工規範要求

至少維持 1.5 米之淨空），而該橋梁係屬省道台 1 線之交通繁忙要道，距嘉義火車站僅 9 百餘公尺，經實際統計；每日通行於橋下之各型列車共計 176 班次（尚未含加班車、調度車與道班巡軌車等車次），施工風險甚高。經導入智慧工地管理系統（包含 AI 人員穿戴辨識、RFID 人員追蹤定位、人臉辨識與 RFID 雙重進場管制與 AI 電子圍籬等多重防護機制下，七佰多個工作天從未發生過任何人員死傷意外。



圖 13 嘉義鐵路高架化前期工程 C602 標施工前點雲模型檢測成果

再以台灣電力公司核火工程處之高雄興達電廠 CV02 標為例，因汲取嘉義鐵路高架化之經驗；一般傳統 AI 攝影機之電子圍籬較容易因視角不同等因素，經常發生誤報之困擾。經本團隊研究後改以光達技術於空中防護區域產出一道虛擬網面，一旦吊車機具臂桿過高碰觸到虛擬網面後即發出告警，同時吊車操作手、指揮手、工程師身上所佩帶之警鈴振動器亦隨之振動並發出警報聲響。此外；藉由泛亞工程獨自開發之 IoT 與 BIM 模組化之智慧工地管理系統，會即時將發生事故之位置（利用全區 BIM 模型直接跳顯事故發生位置），即時傳送至全區工作人員手機 APP 藉以即時處置與追蹤事態後續。

今年；甫獲得 112 年中國土木水利工程學會「工程數位創新獎」（圖 14）之興達電廠新場區關建之開關場（標別編號：CV04 標）結合上述兩項優點，以全新概念開發之模組化智慧工地管理系統。尤以光達電子圍籬一項，系統架設完成至今尚無發生一起因吊臂臂桿誤觸 345 kV 特高壓電纜或距離過近造成電弧閃絡（Arc flash hazard）等危害。再再證明發展新技術防範意外的



圖 14 台灣電力公司綜合施工處 CV04 標獲 112 年工程數位創新獎

最佳典範，未來泛亞工程將持續秉持創新之精神，持續精進在工安意外事故之防範，以最少的人力成本創造企業永續的未來。

參考文獻

1. 台灣電力公司綜合施工處，「興達電廠燃氣機組更新改建計畫 345/161kV 開關場區土建及附屬機電工程」，招標文件第一冊，特定條款 3.1，第 1、2 頁。
2. 陳哲仲，「IoT 物聯網結合 BIM 模型元件模組化應用」，土木水利，第四十九卷，第 6 期，第 105、106 頁。

義力營造股份有限公司
EARTHPOWER CONSTRUCTION CO., LTD.

義呈實諾 力呈卓越

創立於民國八十三年，甲等綜合營造業

深耕台灣，致力鑽研土木、環境、建築、區段徵收、開發工程，秉持追求全員工安、品質提升的精神，在誠信踏實的經營態度之下，堅守營建道德崗位，各項工程實績屢獲優良工程金安獎、公共工程金質獎

土木工程

整地、道路、排水橋梁、隧道、護坡、植生景觀、管線工程

建築工程

辦公大樓、廠辦新建、特殊建築、集合住宅

環境工程

掩埋廢棄物分類清除、土壤污染改良、污水處理、復育工程、廢棄物分類機械製造

區段徵收

區段徵收工程、土地重劃、公設工程施工

開發工程

工業園區開發、社區開發、租售管理

卓越
誠信
安全
技術
品質

優良廠商 / 優良營造業
金安獎、金質獎 雙獎特優

TEL: (04) 2435-0568
FAX: (04) 2435-0569

公司地址：
臺中市北屯區軍福11路553號1樓

郵箱：earth.powerld@msa.hinet.net
網址：www.earthpower.com.tw



建築物管理系統

數位孿生 科技博物館

— 海科館 BIM 建築資訊整合管理系統

林谷屏／國立海洋科技博物館工務機電組 主任

鍾紀蔚／國立海洋科技博物館 助理

康思敏*／續紛科技股份有限公司 總經理

國立海洋科技博物館（本文簡稱海科館）多年來戮力於打造數位孿生博物館，以提升管理綜效。本系統 BIM 建築資訊模型為基礎，整合 APP 開發、IoT 設備監控技術等應用，發展出數位孿生科技博物館—BIM 建築資訊整合管理系統，更與時俱進導入科技創新技術，逐年擴充系統功能以滿足偌大場址之管理需求。

自 2016 年起，本館與各領域之專業開發團隊（包含土木建築、機電、冷凍空調、能源管理、軟體科技等）歷經長期的需求訪談、規劃、開發與應用。除了以圖資配合現場勘驗作業以建立完善 BIM 模型外，更成功開發基礎功能，如：設施設備巡檢報修、圖資檢閱、設備數據監控等模組作為首要開發項目，成功地完成數位轉型並有效提升管理效益。不僅於此，近年更導入遠端圖控機電設備功能、節能分析功能，透過智慧化數據分析降低環境負擔。未來，我們將以「節能」、「防災」兩大方向及永續經營的目標邁進。

關鍵詞：BIM 建築資訊模型、IoT 智慧監控、設施設備管理、AI 節能分析

計畫簡介

國立海洋科技博物館隸屬於教育部的五大科學館之一，位於臺灣基隆市中正區，西迎八斗子市街與八斗子漁港、東接東北角海岸風景特定區，總面積約 48 公頃。本館開館於 2013 年，以海洋科技為展示主題，設有「海洋環境廳」、「海洋科學廳」等 9 個展示廳，以及潮境海洋中心、潮境公園、環保復育公園、八斗子公園等遊憩設施，依山傍海的優美景色與豐富的生態體驗環境，使本館成為全台寓教於樂的指標博物館。

因應幅員廣大的場址、眾多的設施設備及高標準的環境條件維持需求，目前主要面臨課題如下：

1. 主要場館完工時僅交付 2D 圖說至營運階段使用，營運維護所需的資訊不完整。
2. 設備進行汰換、改善或檢查時，無法即時更新資料，影響管理系統的有效性。
3. 場館維修流程主要仍依賴人工方式進行，相關資料之保存及檢索不易，且更難以運用於決策管理。
4. 現有管理人力不足且流動頻繁，管理經驗難以傳承。
5. 場館空調耗電量大，急需進行節能方案優化以降低電費支出。

* 通訊作者，janna970519@gmail.com

基於對場館智慧化之營運管理需求，本計畫透過建立數位模型（Digital Model）、數位影子（Digital Shadow）、數位孿生（Digital Twin）三步驟，打造海科館 BIM 建築資訊管理系統，用以輔助本館日常運維管理，並結合 IoT 物聯網、AI 節能分析等最新科技整合應用，打造領先全台之數位孿生科技博物館。計畫發展概念如圖 1 所示。

- 數位模型（Digital Model）：

本館自 2017 起即利用原有竣工圖說並配合現場勘查作業，開始分階段建置各場館之 BIM 建築資訊模型。運用 BIM 模型輕量化技術，使管理者可運用瀏覽器瀏覽 BIM 模型輔助日常管理作業。

- 數位影子（Digital Shadow）：

利用已建置完成之 BIM 數位模型及相關屬性資料，發展海科館 BIM 建築資訊整合管理系統。該系統結合 BIM 模型、IoT 監控、擴增實境 AR 及大數據分析等技術，並優化既有管理流程，開發 BIM 建築資訊管理、巡檢報修前端 APP 及管理後台、IoT 設備監控整合和節能分析及空調 3D 圖控等功能，成功地為場館的營運維護流程提供強而有力的輔助工具。

- 數位孿生（Digital Twin）：

為優化場館節能方案以降低電費支出，本計畫透過蒐集人流、場館溫溼度、空調系統運作參數等數據建立 AI 分析模型，預測各時段場館電力負載與相應的最佳排程方案，再發展 BIM-3D 圖控模組控制場館空調系統運作，使其自動對應最佳排程，以達到智慧節能之效。

數位創新成果

數位模型（Digital Model）：BIM 建置

BIM 建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）係一種將建築物資料數位化應用的流程，透過建立含有工程及管理資訊的虛擬 3D 建築物資料庫，並作為建築物設施設備資料載體供建築生命週期各階段使用。本館自 2017 起即利用原有竣工圖說並配合現場勘查作業，開始分階段建置各場館之 BIM 建築資訊模型，主要包含下列兩項重點：

1. 制定 BIM 模型建置標準規範：為落實發展 BIM 技術應用，本館於 2017 年即制



圖 1 計畫發展概念圖

定完成符合本館使用之 BIM 模型建置標準規範，內容主要包括：系統及檔案分類標準、樣板及環境規畫標準、模型元件及屬性建置標準、元件編碼標準、檔案移交格式、建置範例說明等。本館既有各棟建築或改建工程均參照本標準規範進行 BIM 建置工作，以利數位化圖資之統一性及有效性。

2. 模型建置作業：為確保模型成果品質，本館逐年編列建置進度及預算，要求相關單位參照上述之建模標準規範及竣工圖資進行建置，並配合現場勘查作業（如圖 2），確保模型與現場一致。目前已完成海科館主題館（A、B、C、D 棟）、行政中心（E 棟）、教育中心（F 棟）、研究典藏中心（G 棟）、海洋劇場及地下停車場（H 棟）、區域探索館及潮境智能海洋館之土建模型及機電整合模型（空調、消防、電力、給排水、照明、環境監控及指標系統）及相關屬性資料等，如圖 3 所示。



圖 2 潮境館現場勘查作業

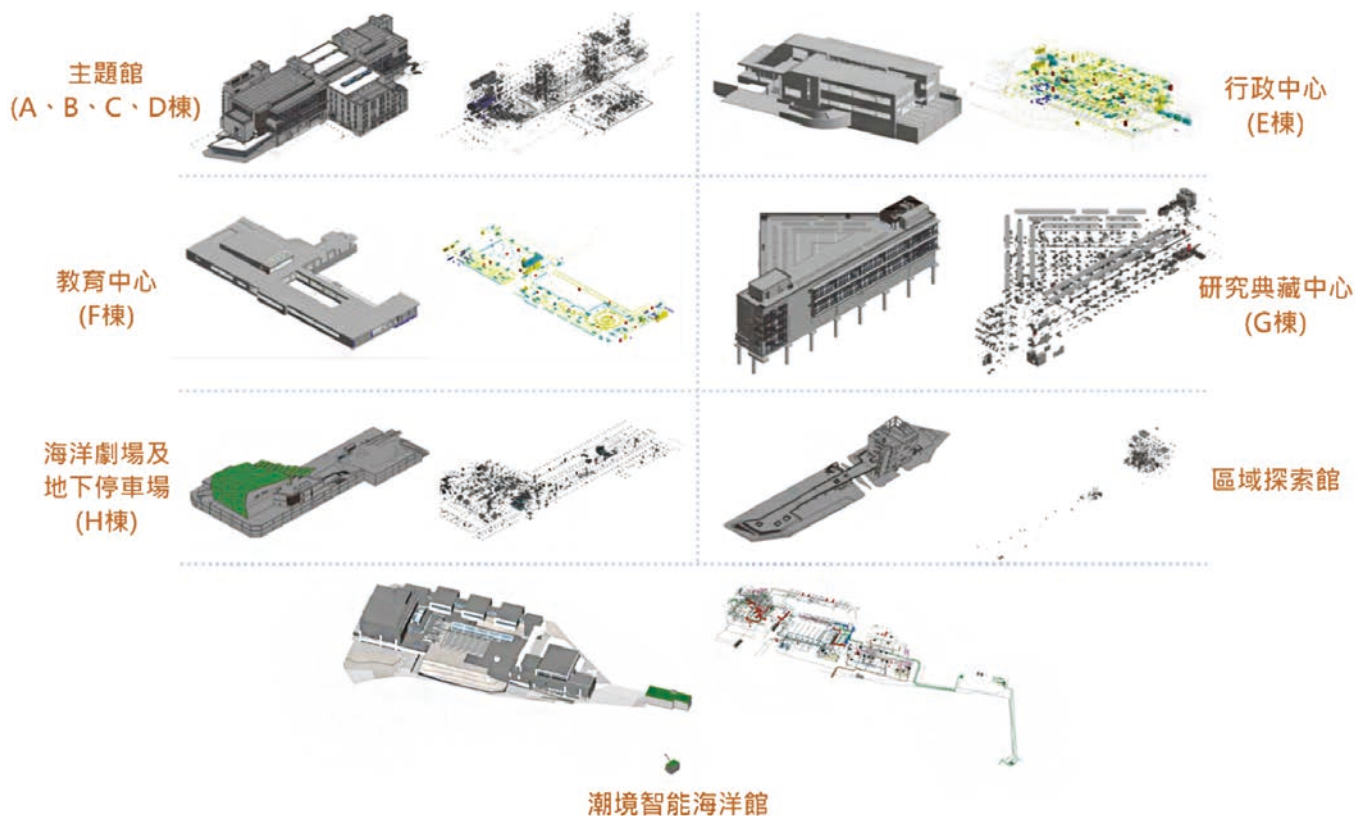


圖 3 BIM 模型成果

數位影子 (Digital Shadow)：資訊系統建置

利用已完成之 BIM 數位模型及相關屬性資料，建置海科館 BIM 建築資訊整合管理系統。該系統由一套基於 BIM 模型的資料庫圖台核心軟體組成，用以提供設備圖資一致性之空間資料管理機制，並提供標準介面與其他系統介接。終端用戶無需安裝 BIM 軟體，僅需採用瀏覽器登入，經驗證帳號密碼取得使用權限

後，即可透過 Web 操作方式進行設備定位、屬性與空間查詢等多種 BIM 功能應用，功能架構如圖 4 所示。

BIM 建築資訊管理

以本館既有管理流程結合 BIM 模型，開發 BIM 設施管理系統後台並以。為提升 BIM 之應用，本館增設 Kiosk 機台提供遊客以簡易的操作本節將概述數位影子範疇之功能模組，說明如表 1：

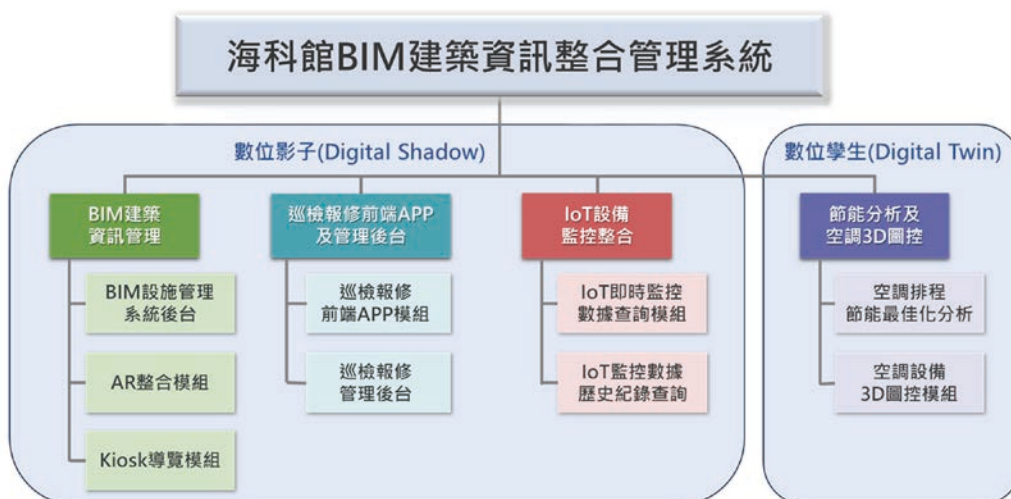
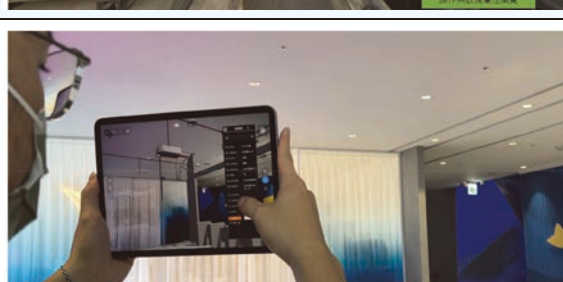


圖 4 BIM 建築資訊整合管理系統功能架構

表 1 BIM 建築資訊整合管理系統功能概述

功能模組	功能說明	系統操作畫面
BIM 設施管理系統後台	BIM 模型操作與管理：進行海科館各場館之 BIM 模型檢視、空間查詢、設備屬性查詢。	
BIM 設施管理系統後台	以資查圖：使用者可依棟別、空間別、空間名稱、國有財產編碼、系統及設備關鍵字等篩選條件，快速於系統中定位查找相關設備之精確位置，點選該設備元件即可跳出屬性視窗，亦可進行後續設備報修。	
	竣工圖管理：依照棟別、空間、系統、圖號及圖名搜尋土建竣工圖及機電竣工圖。	
	720 度環景：環景圖與 BIM 的虛實整合應用，使用全景相機拍攝潮境館空調機房並製作照片環景圖，以水平視角 360 度加上垂直視角 360 度，打造全方位的環景檢視功能，提供更佳臨場感與沉浸效益。於環景照片中的設備上建立標註點，點選標註點，便可檢視該設備資訊以及報修填寫。	
AR 整合模組	以 BIM 模型套疊現場環境，管理者透過螢幕可檢視隱藏管線，進行周邊管線瀏覽功能，提供管理單位即時查詢，現場即可辨別周邊管線種類及分布路徑。此外，亦可於本模組進行點擊報修作業，提升維管效率。	
Kiosk 導覽模組	透過整合 BIM 模型至 Kiosk 現場導覽機進行潮境智能海洋館 BIM 導覽，提供潮境館重要設施與服務之空間分布標示，提供遊客便利的服務。	

巡檢報修 APP 及後台管理

為現場現場人員開發巡檢及報修 APP，強化報修便利性，增進修繕工作效率，並增加後台管理者派工及審核功能，確保「巡、報、修」三大維護環節的流暢與完成度。

巡檢報修 APP

現場巡檢人員以行動裝置登入 APP，查看指派工單，並藉由掃描 QR Code 查看相關設備資訊，並進行巡檢或報修填報。



內巡報修後台管理

管理者於內巡報修管理模組可針對待報修項目進行詳情、派工、審核或點選「定位」後於 BIM 模型中定位到該設備位置。

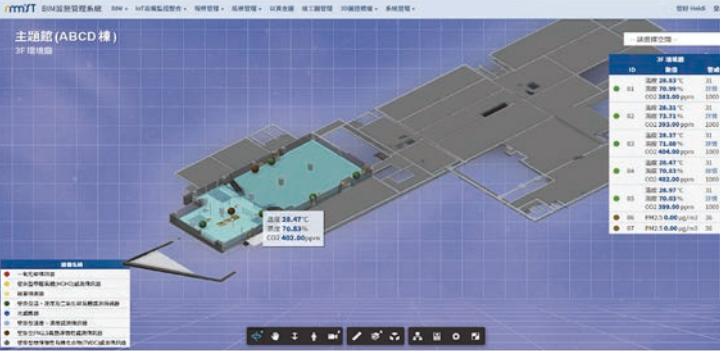


IoT 監控設備整合

利用 Web-API 介接室內環境感測器等 IoT 設備，將環境即時數據整合顯示於 BIM 模型介面。當數值異常時，系統自動發出告警，提醒管理人員即時處理環境異常狀況。

IoT 即時監控數據查詢模組

於館內建置，包含溫、溼度及二氧化碳氣體感測傳訊器、一氧化碳 (CO) 感測傳訊器、PM2.5 氣懸浮微粒感測傳訊器及甲醛氣體 (HCHO) 感測傳訊器等環境感測器，並與訊號蒐集平台介接，將以上環境即時參數整合於 BIM 模型。管理者可檢視即時環境參數資訊於 BIM 模型上。若 IoT 設備偵測到正常值範圍以外之數值，BIM 模型上即可看到該數值以紅色亮顯。





數位孿生 (Digital Twin)：空調自動控制

基於數位模型（智能海洋館 BIM 模型）與數位影子（BIM 設施管理系統）發展空調系統 BIM-3D 圖控軟體、人機介面與通訊整合。本階段之研究流程概述如下：

1. 蒐集數據：蒐集環境參數、小型送風機參數等，並由館方提供影響空調主機運行效率之相關參數歷史紀錄，包含環境參數（室內溫、溼度、人流數）與空調主機參數（設定溫度、設定風速、開關狀態）。
2. AI 分析模型規劃：建立整館的空調箱及冰水主機最適運作模式為目的，擬綜合考量不同位置感測器資料。此外，因智能海洋館展示觀賞魚缸，故需同時監控館內濕度，當濕度過高影響體感溫度時，進行館內空調箱及冰水主機調控。
3. 最佳空調操作設計：依照館內營運模式，分為週一、週間（週二至週五）、週末模式，並考量時間電價之尖離峰時段，進行小型送風機的模式、溫度、風速設定。
4. 實地測試：以蒐集到的全體樣本進行時間序列分析。

5. 評估成效：結果顯示相較於現行之空調運作方式，當週末人潮較多時，新設之空調模式有效降低電力支出。

6. 電價方案評估：以本年度公布之時間電價試算空調操作模式（如圖 5），各方案皆能讓使省電效果卓著。其中，在這些方案中，Case 1 能省下最多電，而 Case 2 讓館內溫度較低。

本階段之建置成果使管理者可於 BIM 模型上監看空調設備運轉即時數據，且控制單一小型送風機之開關、溫度和風速，系統建置介面，如圖 6。另外，本館更進一步發展電力節能模式，透過 AI 模型運算，預測各時段場館電力負載與相應的最佳排程方案，再透過程式編寫控制空調系統，使其自動調整場館溫度，達到智慧節能之效。

系統建置效益及未來展望

系統建置效益

量化效益

- (1) 紙本耗材：本館每個報修案平均耗費 4 張 A4 紙。以最新使用結果為例，112 年 07 月 01 日至 112 年 08 月

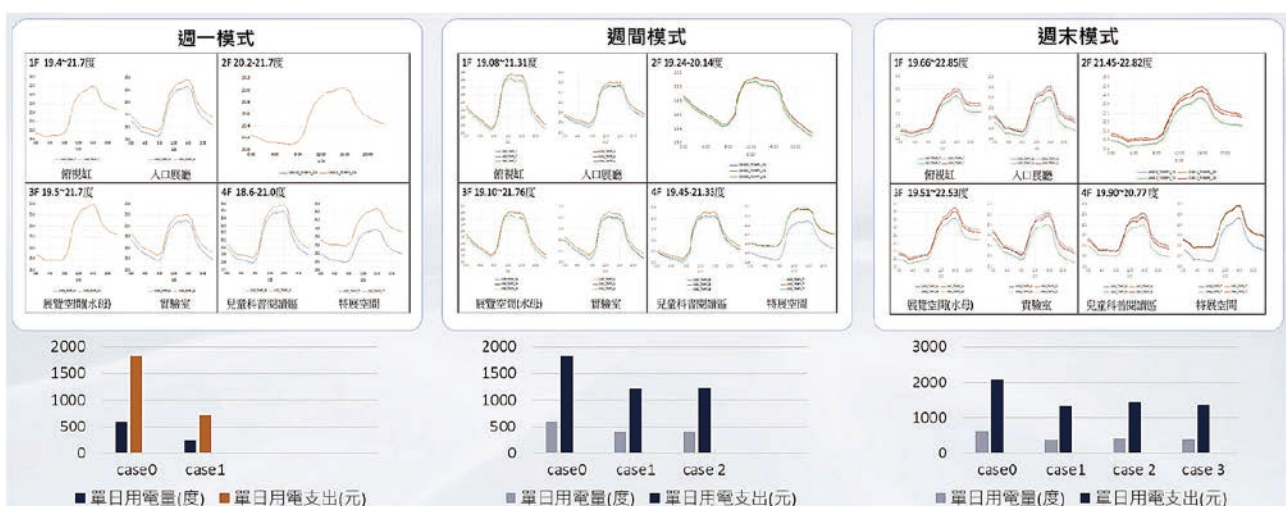


圖 5 節能模式模擬結果



圖 6 3D 智慧圖控介面

21 日運用系統進行設備報修共有 151 件，推估全年共需使用 3,624 張 A4 紙。使用本系統後，將不須使用紙本耗材，耗材使用降低為 0 張。

- (2) 碳排量：依據環保署碳排係數所示，一張 A4 紙排放量為 18 公克 CO₂。以近兩個月報修案件數量約 151 件換算，共計減少了 10,872 公克碳排量，推估全年耗費 65,232 公克碳排量。
- (3) 時間：本館既有的報修作業流程為紙本填寫、人工繕打成電子檔再經人工審核、分類與派工，平均每件需耗時 42 分鐘，預估全年使用 44,436 分鐘。使用本系統進行報修填報及派工處理等作業，平均每件縮短為 5 分鐘，全年共節約 39,146 分鐘即 88% 時間。
- (4) 電力成本：根據用電支出計算潮境智能館之測試標的（92 台小型送風機），平均每日用電量約 600 度（約 2,100 元）。導入智慧節能方案採用 AI 智能分析空調節能技術後，下降至不足 500 度以台灣電力公司收費計算，每周末單日可省下 1,400 元，每年可省下超過 145,600 元之電力成本。
- (5) 人力成本：透過本系統可大量節省填報及派工時間，有效節約人力成本。以每人平均時薪 200 元計算，每年共可節約人力成本約 128,990 元。

非量化效益

- (1) 建立海科館 BIM 建築資訊整合管理系統，具有宏觀管理視野，有效提高管理效率和運營效果。
- (2) 於系統中快速切換 BIM 模型之管理空間及設備，有助於維運作業與空間導覽。
- (3) 將環境即時數據整合顯示於 BIM 模型介面。當數值異常時，系統自行發出告警，提醒管理人員即時處理發生狀況，縮短災害應變所需時間。
- (4) 設有多元化報修途徑，管理者可透過不同工具進行

報修，得以即時回報損壞狀況，除了能防止損害惡化，也能減少通報作業的冗長流程及所需時間。

- (5) 管理者透過長期的巡檢和報修資料搜集與分析，能夠統計出故障率較高的設備和區域，並制定更全面的運維計畫。
- (6) 設置 Kiosk 導覽機於潮境智能海洋館內，利用既有模型推廣 BIM 科普教育，讓 BIM 成為寓教於樂的有趣題材。

未來展望

未來發展重點將著重於「節能」與「防災」。本館將裝設智慧電表並導入機器學習與人工智慧發展新一代節能控制模式，智慧電表能讓場館的數位分身學習選擇當下最佳的控制模式反饋給本體建築，並結合人流運算科技、BIM 科技整合應用，進一步發揮節能環保之效益，並有效節約館方經費之使用。

另外，將 BIM 系統擴展至整體館區防災管理，建置防災管理子系統，以發揮數據管理、精確管控、快速反應的智慧型防災管理。具體項目如下：

1. 持續完成之 3D BIM 數位化工作，並全面納入系統管理。
2. i-Ocean 潮境館智慧電表建置。
3. i-Ocean 智能海洋館空調負載智能控制：採用機器學習模型進行分析預測智能海洋館溫度及需電量趨勢，包含：隨機森林、人工神經網路、KNN 等。設計夏月可行之空調操作策略方案，並針對各方案，機器學習方法預測各方案之溫度及需電量趨勢。
4. 防災子系統建置功能包含：滅火器及消防設備管理、逃生動線管理、危險物品管理、緊急應變計畫（火災等天災、大量傷患）、施工安全管理、安全巡檢管理、防災管理戰情等。



勞工安全衛生

專輯序言

專輯客座主編 徐增興／中華大學土木工程學系 助理教授

營造業是一個高風險的行業，工地安全與健康管理至關重要。有效的安全管理不僅能預防工傷事故，保護工人的生命健康，還能提升工作效率和工程品質，進而提升企業的形象和市場競爭力。然而，營造業在實施安全管理時面臨諸多挑戰，如高風險工作的複雜性、工地環境的多變性、工人安全意識和技能參差不齊、成本控制與安全投入之間的平衡，以及法規和標準的不斷變動等。為了克服這些挑戰，營造企業需要採取多方面的措施。包含建立健全的安全管理體系以及加強安全培訓和教育。除此之外，企業可以運用現代科技手段如物聯網、大數據和人工智慧等，實時監控工地安全狀況，預測和預防潛在風險。土木工程領域正經歷著具有挑戰性的創新浪潮。隨著科技的蓬勃發展，土木工程產業在生命週期中探索新的資訊與數位技術來提升效率、降低成本並增進永續性。數值模擬和高性能運算使得結構分析和工程設計變得更加迅速與準確。建築資訊塑模（BIM）與數位孿生技術透過虛擬模型提升工程專案的設計、施工和管理協同性。人工智慧與深度學習建立預測與分類模型讓我們優化資源的使用。智慧監測與物聯

網（IoT）提供實時數據，預測和解決潛在問題，協助工程現場更加即時和全面地進行監控和管理。

本期土木水利會刊「勞工安全衛生專輯」所收錄之文章，乃是邀請產官學界執行土木專案或研究安衛相關議題之先進，提供執行專案及研究過程中累積之經驗，撰寫深入淺出的專輯論文。本次專輯領域涵蓋各類面向：以試驗提供數據做為法規修訂及數值模擬依據（墜落預防與安全設施的檢驗）、BIM 數位技術在安衛方面的應用（BIM 在職業安全衛生管理中實務案例之應用）、智能影像技術的應用（淺談智能影像在勞安科技的應用）、AI 人工智慧應用（生成式 AI 助力營造業科技減災）、資通技術在實際土木專案之應用（職業災害的預防，落實風險評估，以烏溪烏嘴潭人工湖工程計畫—湖區工程為例）、以及由 ESG 觀點檢視營造業安衛管理的創新與挑戰（ESG 驅動下營造業職業安全衛生的創新與挑戰）等重要課題。

特此感謝參與「勞工安全衛生專輯」的專家學者不吝分享交流其寶貴應用經驗，並提供更詳盡深入且易於瞭解的論文內容，使得本期特刊得以順利完成出刊，並使產官學各界得以一起分享數位資通技術於工程產業中安全衛生管理應用之豐碩成果。 

通訊作者，thsu@g.chu.edu.tw



墜落預防與安全設施的檢驗

陳婉甄*／社團法人中華民國工業安全衛生協會新北技術服務處 副處長

張智奇／勞動部勞動及職業安全衛生研究所 研究員

我國營造業墜落職災數偏高，其中墜落災害死亡的占比將近 7 成。防墜安全設施在設置及使用上，存在性能及強度不足的問題，同時也是造成墜落職災的關鍵主因之一。本文強調對防墜安全設施進行檢驗的重要性，以提高工地墜落事故的預防效果。

前言

營建工程常見的高風險作業項目，包括鋼構作業、施工架作業、電梯井相關作業以及臨開口等高架作業，墜落災害發生的比率很高。為預防人員自高處墜落，這些作業項目通常都會使用到安全母索、中間桿柱、先行扶手框、防墜系統以及錨錠裝置等安全設施。為有效預防營建工程墜落災害的發生，本文針對防墜直接相關的安全設施，包括先行扶手框、錨錠裝置及護欄等，探討相關安全設施在設置、使用階段的性能需求，及確保安全性的必要檢驗。

安全設施使用現況分析

有鑑於我國營造業墜落職災數偏高，且比例未能有效降低^[1]，因此職安署設定今（113）年為「營造業墜落打擊年」，以彰顯降低造業墜落職災的決心^[2]。根據勞動部職安署統計顯示，112 年全產業在工作場所重大職災死亡人數約 280 餘件，其中營造業就占比約一半，而其中墜落災害死亡的占比就將近 7 成，為歷年營造業重大職災類型之首。另外根據勞安所針對營建工程墜落危害所提出之關鍵要因^[3]，依歷年職災統計，分析媒介物、作業內容、災害情形及頻率的重複性

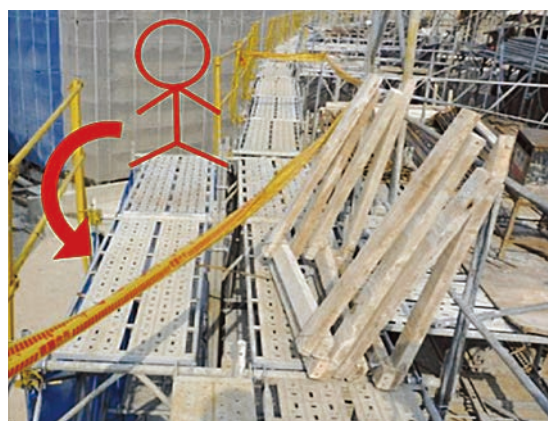
等，提出營建工程墜落災害最主要的關鍵要因包括：配置不當、本體防護不足或無安全設施及性能及強度不足等。其中「性能及強度不足」主要包含防墜安全設施的問題，若能針對此關鍵要因，整合資源妥善運用，當能有效預防墜落災害的發生。

防墜安全設施不完備或有效性不足，每每造成重大職業災害，案例包括：勞工從事垃圾管道間作業，未設置防墜措施導致墜落死亡（如圖 1 所示）^[4]、勞工從事電梯井工作平台拆除作業，發生墜落致死（如圖 2 所示）^[5]、勞工從事鋼構組配作業，於鋼梁上行走時，因重心不穩墜落，而墜落時因安全母索兩端錨錠之黃色中間桿柱鎖固強度不足，連同安全母索及中間桿柱一併扯落並墜落至地面（如圖 3 所示）^[5]、新建鋼



圖 1 垃圾管道間作業自開口墜落^[4]

* 通訊作者，cwj@mail.isha.org.tw

圖 2 電梯井井工作平台拆除作業時墜落^[5]圖 3 安全母索及中間桿柱一併扯落並墜落至地面^[5]圖 4 鋼構廠房墜落，母索及中間桿柱無效而脫落^[4]圖 5 施工架先行扶手框鬆脫造成人員墜落^[6]

構廠房勞工從事屋頂浪板安裝作業時，安全母索未設置堅固的錨錠裝置，造成二名勞工自高度約 31 公尺墜落至地面不治身亡（如圖 4）所示^[4]、勞工於外牆施工架從事模板收料及搬運作業，左手扶著長向先行扶手框時，因長向先行扶手框鬆脫，致由 4 樓墜落至地上 1 樓地面不治身亡（如圖 5 所示）^[6]。

由營建工程現場訪視發現^[3]，設置或使用中的安全設施，通常多無法有效防止墜落災害的發生或降低墜落災害的嚴重性，尤以鋼構作業時使用安全母索及中間桿柱（錨錠）等做為安全設施，其強度及性能明顯不足；框式施工架組拆過程，需採用先行扶手框做為防護設施，多數扶手框設置後常有鬆脫、翻落等問題；外牆施作時，施工架與構造物間，以設置長條型安全網做為防止人員墜落的設施，但其強度及攔截效能有疑慮；電梯井開口多數會以柵欄做完全封閉的防護，但當必須進行

吊料或清潔作業時，多半未再設置擋墜系統或所設置的系統與錨錠裝置的強度不足。上述幾種墜落防護設施的強度明顯不足，但業界仍頻繁使用，且多為工地現況使用之標準配備。直接的安全設施無法滿足防墜需求，可能是造成營建工程墜落災害偏高的重要原因，相關安全設施現況與問題綜整如表 1 所示^[3]。

防墜安全設施選用、設置、使用管理要點

由職災案例分析及現場訪視的結果顯示^[3]，目前營建工程所使用之安全設施本身的強度及性能多有疑慮，加上現場設置的方法不正確及設置位置不當等問題，是造成安全設施無法發揮安全防護功能的主因，因此需要進一步就安全設施的設置進行妥善規劃，並針對安全設施的性能與強度進行檢驗。以下各階段管理要點說明如下：

表 1 營建工程安全設施常見缺失類型與樣態

	缺失類型	常見缺失樣態
安全設施現況問題	設置不當、不完備，導致墜落開口	1. 護欄下端開口過大 2. 施工架端部開口未確實封阻 3. 電梯井上方開口過大未全面遮斷 4. 樓梯轉折平臺處開口，未設護欄 5. 管道間開口，未設護蓋或設置護蓋強度不足 6. 筏基坑覆蓋，未設置警示措施 7. 其他
	尺寸、型式錯誤選用，導致性能不足	1. 電梯井吊料作業所設之單點錨錠強度不足 2. 施工架作業設置之水平母索材質採用棉繩 3. 構構作業所使用之母索、黃色中間桿柱，本身構件性能不足 4. 長條型安全網無法有效攔截 5. 其他
	連結、鎖固未確實，導致系統失效	1. 先行扶手框未確實鎖固連結，造成鬆脫 2. 護欄杆柱距超過 2.5 公尺，造成晃動不穩固 3. 安全設施構件鏽蝕及變形，致無法確實連結 4. 其他

防墜安全設施的選用

為確保正確選用，應根據作業環境和工程需求，選用適合的防墜安全設施，以確保其符合作業需求並能提供有效保護。

- (1) 選用適合特定工程需求和環境條件的安全設施，需考慮到工程的特性、高度、工作類型等因素，選用具有足夠強度與性能適當的防墜安全設施。
- (2) 進行法規標準的查核與確認，以確保所使用之安全設施的設計、安裝和使用符合法規、國家標準以及相關行業標準。

防墜安全設施的設置

為確保完備設置，應在可能發生墜落的地方，完備各項安全設施，以提供有效的保護。

- (1) 防墜安全設施的設置，須確認構件本身強度、構件連結強度，並設置足夠數量，才能充份發揮安全設施的防護功能。
- (2) 安全設施的設置所採用構件，應確認材質正確、尺寸及強度符合法規或相關規範。
- (3) 應使用適當的連接構件及固定方式，如使用不合適的連接件或固定方式，可能使安全設施失去預期的功能，於人員墜落或受外力影響時，可能因強度不足而失效。
- (4) 構件須確實依設計方式施作並鎖固，以確認整體系統的穩定（完整性和穩固性）。

防墜安全設施的使用

為確保有效使用，各項墜落預防的安全設施必須經過適當的「檢驗」，以確認其防護效能，包括目視檢視及性能檢測，使用者應於作業前檢視整體設置完備

性，並可依現場的需求及條件，進行安全設施的性能檢測。

- (1) 檢視：為現場相關人員，應具備基礎知識與能力，以目視及現場簡易評估的方式，確認安全設施有無明顯生鏽、變形之情形，或是因螺絲鬆動、連接件破損，導致晃動不穩固之情形。
- (2) 檢測：依據工程需求及條件的不同，可以要求負責提供安全設施之業者、或請具專業之技術團體經由第三方輔導稽核及抽測^[7]，以確認構件性能及強度符合設計所需（即現場執行抽樣並進行測試）。

防墜安全設施的檢驗

防墜安全設施的檢驗，主要為確保安全設施構件的功能符合設計所需的強度，且能夠有效防止墜落危害。因此現場檢驗分為檢視及檢測，主要的重點即在於確認防墜安全設施的完備性及有效性。為有效確認安全設施的性能，除了透過加強作業人員之職能訓練來達成正確使用的目的外，可以配合由防墜安全設施的專業分包制度，委由專業廠商進行安全設施的施作，來確認安全設施在選用、設計及安裝的正確性。此外，也可以藉由第三方技術團體的稽核驗證，協助確認相關安全設施是否正確選用與使用。本文優先針對營造工地必要且經常使用之防墜設施，包括先行扶手框、護欄及錨錠裝置等，納入防墜設施的檢驗探討。使用者若能有效掌握各項防墜安全設施的防護原理，可依據工地現場各工項實際使用狀況及所使用的安全設施項目，依據功能需求自行修訂，如表 2 所示。

表 2 安全設施檢驗項目參考表

檢驗項目		檢視	檢測	備註
先行扶手框		1. 扶手框生鏽、變形 2. 扶手框型式 3. 扶手框尺寸 4. 扶手框設置間距 5. 扶手框連結鎖固程度	靜態測試 動態測試	提供測試證明 現場抽測
護欄		1. 護欄生鏽、變形 2. 護欄設置高度 3. 杆柱設置間距 4. 護欄連結鎖固程度	拉力測試	現場抽測
錨錠	單點錨錠	1. 構件生鏽、變形 2. 錨錠尺寸大小 3. 錨錠點設置高度 4. 錨錠設置方式	拉拔測試	提供測試證明 現場抽測
	中間桿柱	不適用	不適用	現況使用之黃色中間桿柱，無防墜功能

先行扶手框安全設施檢視及檢測

作用

建築工程中必須設置施工架，在施工架組裝、拆解作業時，輔以先行扶手框做為安全工法時，可以防止勞工自施工架墜落，同時提供安心的工作環境。

常見問題

先行扶手框目前使用多為公、母扣型式，設置後與施工架的鎖固及連結不牢靠，加上多次使用、重覆組拆容易變形，可能造成人員墜落或扶手框飛落等危害。

檢視與項目

檢視先行扶手框選用的型式及尺寸是否符合場域，以及是否有附性能測試證明；設置時扶手框是否有生鏽、變形情形；扶手框間距等是否造成墜落開

口；扶手框連結鎖固程度。

檢測項目

先行扶手框的構造標準及試驗方法可參考勞動部職業安全衛生研究所「施工架之扶手先行工法安全作業技術指引」^[8]，並已將該指引針對先行扶手框的構造要件及測試方法之主要內容納入，供業者依循。先行扶手框之性能試驗方法如下：

(1) 靜態測試 – 確認先行扶手框強度可以做為施工架組拆臨時性護欄。

靜態測試主要是瞭解先行扶手框承受側向時的最大變位值，以確認防護功能是否足夠。首先，先行扶手框施以 30 公斤之水平拉力，其變位不得超過 10 公分；而後，施以 100 公斤水平拉力並靜置 30 秒，其變位不得超過 45 公分，測試方式及測試結果如圖 6 所示。

(2) 動態測試 – 確認先行扶手框能具勾掛安全帶之必要強度及性能。

動態測試主要是確認作為鉤掛安全帶使用之先行扶手框，在質量 100 kg 之沙包以及 170 cm 之安全繩，以距離地板上緣 90 cm 之位置做為重錘之懸吊處，並讓先行扶手框之固定部分為左右對稱之掉落位置自由落下，確認先行扶手框與掛具是否未折損或脫落，且墜落之沙包未接觸地面，以符合先行扶手框動態安全強度測試，測試方式及測試結果如圖 7 所示。

護欄安全設施檢視及檢測

作用

做為墜落開口的遮斷，在開口的邊緣設置護欄，可以有效防止人員或物品從邊緣飛落。



圖 6 靜態測試前後照片^[7]

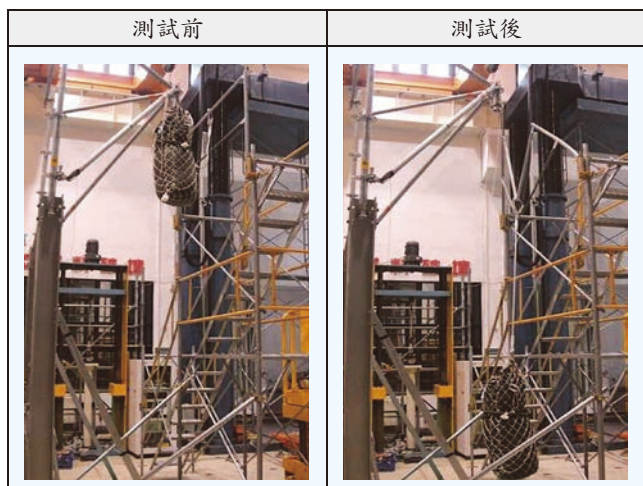


圖 7 動態測試前後照片 [8]

常見問題

- (1) 護欄設置高度不足，除未達 90 cm，也未考量作業場域需求，增加高度及強度等。
- (2) 錨錠強度不足及整體穩定性不佳，當意外碰撞時，無法承受撞擊力。
- (3) 護欄未適當設置，使用及維護時因便利性不足，可能被人員任意拆開。

檢視與檢測項目

- (1) 檢視欄杆設置，具有高度 90 公分以上之上欄杆、中間欄杆或等效設備（以下簡稱中欄杆）、腳趾板及杆柱等構材；其上欄杆、中欄杆及地盤面與樓板面間之上下開口距離，應不大於 55 公分。
- (2) 檢視構件無顯著變形、生鏽情形，並確保整體系統穩固。
- (3) 拉力測試

為確保任何型式之護欄的強度足夠且穩固，其杆柱、杆件之強度及錨錠，應使整個護欄具有抵抗於上欄杆之任何一點，於任何方向加以七十五公斤之荷重，而無顯著變形之強度。

錨錠（中間桿柱）安全設施檢視及檢測

作用

做為全身背負式安全帶鉤掛之單點錨錠，或做為安全母索兩端及中間通過點的錨錠。

常見問題

單點錨錠常因設置方式、設置點及尺寸等問題，造成強度不足。而安全母索兩端及中間通過點的錨錠，目前工地普遍使用的黃色中間桿柱，由於強度不

足，無法達到有效的安全防護，甚至會有安全上的錯誤認知。

- ◎ 現況使用之黃色中間桿柱，因構件本身及錨錠強度均不足，因此不納入檢驗項目。

檢視項目

單點錨錠：檢視材質與尺寸的選用是否適當；錨錠設置的方式及錨錠點設置的高度；錨錠構件是否生鏽及變形等情形。

檢測項目

錨錠點強度可藉由現場的拉拔試驗，確認其強度能符合 2,300 公斤的需求，安全母索可由檢附之材料說明書及現場取樣及拉力試驗，確認其性能能符合 2,300 公斤的需求。

結論與建議

落實防墜安全設施的檢驗是保障作業人員安全的關鍵。事前正確選用、場域的完備設置和確認功能有效發揮，能預防職業災害並避免不必要的法律責任，透過檢驗，可提升安全設施的可靠性與功能的發揮，保障作業人員的安全。

為有效確保安全設施能發揮防護效果，建議加強作業人員對安全設施選用、設置及目視檢測的能力，並配合由防墜安全設施的專業分包制度，委由專業廠商進行安全設施的施作，來確認安全設施在選用、設計及安裝的正確性。此外，藉由第三方技術團體的稽核驗證，可提供客觀評估，以確保安全設施的正確使用，進而保障作業人員在場域上的安全，降低墜落災害發生的風險。

參考文獻

1. 勞動部職業安全衛生署：中華民國 111 年勞動檢查統計年報；111 年 8 月。
2. 勞動部職業安全衛生署，新聞稿：<https://www.osha.gov.tw/113/02/27>。
3. 張智奇、陳婉甄（2023），營建工程墜落關鍵危害要因分析與預防對策研究，勞動部勞動及職業安全衛生研究所。
4. 桃園市政府勞動檢查處，營造業職災實錄：https://oli.tycg.gov.tw/News_Content.aspx?n=8513&s=1251858, 113/03/20。
5. 勞動部職業安全衛生署，職災訊息：<https://www.osha.gov.tw/48110/48417/lpsimplelist>, 113/03/20。
6. 臺北市勞動檢查處（2010），臺北市職業災害案實錄彙編；第 8 期。
7. 張智奇、湯大同（2021），「臨時構造物第三方稽核制度推動與可行性評估」，勞動部勞動及職業安全衛生研究所。
8. 張智奇、徐增興（2012），施工架之扶手先行工法安全作業技術指引，勞動部勞動及職業安全衛生研究所。



BIM 在職業安全衛生管理中 實務案例之應用

黃隆茂* / 浦海工程技術有限公司、謙任股份有限公司 副總經理
朝陽科技大學營建工程系、逢甲大學土木系 兼任助理教授

本文藉由筆者以往的管理經驗，分享 BIM 在職業安全衛生管理的實際應用及作法，包括：施工規劃、數量計算與分析、施工情境模擬風險評估、環境監測與自動化改善、VR 職安衛作業前訓練、AI 環境監控與安全警示、職安衛施工界面整合等，有些已經在產業界逐漸受到採用，為克服職業安全衛生特有的變動性及不可靠性，筆者亦提供創新作法，供有心朝向工安零災害的營造產業一同創新發展，達到降低營造業職業災害的目標。

前言

依據勞動部職業安全衛生署民國 111 年勞動檢查統計年報^[1]顯示，營造業自民國 99 年至 111 年間職業傷害千人率雖然從 13.6‰ 逐年下降至 7.7‰，但是營造業之職業傷害千人率是全產業的 3.5 倍（如圖 1 所示），仍是發生職業傷害頻率最高的產業，其中民國 111 年死亡人數營造業為 156 人，佔全產業職災死亡總人數 320 人中之將近一半比例。而這些重大職災死亡人數中以墜落、滾落佔 48% 最高，分析重大職災發生原因則以不安全動作與設備兼具佔 44% 最高，不安全動作佔 31% 次之，緊接著是不安全設備佔 21%。

隨著 2011 年國內公共工程導入 BIM 技術開始，利用科技的技術來模擬設計成果（3D）及施工過程（4D, 5D …），變成可以實現的目標，加上近年大力發展的無人機、虛擬實境 VR、擴增實境 AR、人工智慧 AI 及物聯網 IoT 等技術，使得營建管理能夠達到易執行、有效性及精確性的管理目的，代替以往營造公司大多採用的粗放式的管理模式。

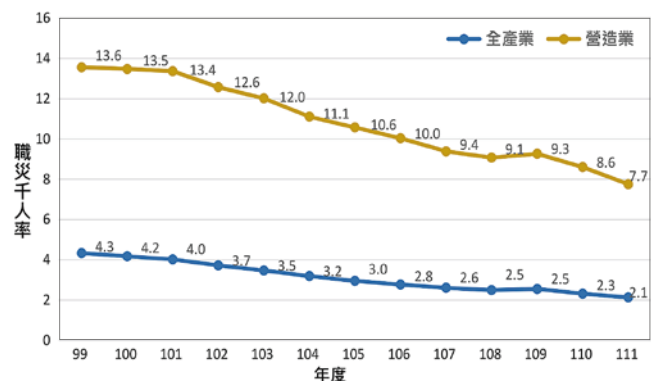


圖 1 民國 99 年至 111 年職災千人率統計表

本文筆者除了提出一些以往 BIM 應用在職業安全衛生實際案例的經驗，並提出一些創新思維的作法供業界參考，期能發展一些未來可以快速的數值化衡量工具，一起努力降低職業安全災害的目標。

BIM 在職業安全衛生之應用

根據 Vaysburd^[2] 引用各國統計資料指出，設計不良導致工程 缺失或瑕疵是的原因，在法國及瑞士約佔 37%，在美國約佔 57%；而 Lopez^[3] 根據美國 139 件營建工程調查結果發現：工程失敗的原因有 80% ~ 90%

* 通訊作者，Dannyhuang2013@gmail.com

因設計錯誤造成，其直接及間接成本損失佔合約金額之 6.85%~7.36%。因此以往 BIM 大多著重於提升設計品質之提升，由於營造工地環境複雜，許多學者及工程師陸續嘗試以 BIM 技術應用於職業安全衛生管理，以達到預防災害及降低災害的目標。

一般 BIM 技術於職業安全衛生的應用有：初期施工規劃、數量計算與分析、施工情境模擬風險評估、環境監測與自動化改善、VR 職安衛作業前訓練、AI 環境監控與安全警示、職安衛施工界面整合等，以下為實際案例說明。

初期施工規劃

職業安全衛生設施的規劃，必須配合建築物的外觀造型、施工法及施工進度來進行規劃，僅僅依賴 2D 圖紙進行規劃作業，往往因為建築物外觀變化，需要藉由空間想像力來完成，這在規劃過程便存在一些不可靠度因素存在，而 BIM 恰恰能夠提供模型使規劃者能夠直觀的依據建築物外觀造型進行規劃，降低施工規劃誤判的風險（如圖 2）。

數量計算與分析

在營造階段存在一些目前 2D 技術難以計算精確的數量，例如施工架數量，主要是因為大部分施工架廠商仍習慣以 2D 圖進行規劃圖繪製，2D 規劃圖的正確與否取決於施工架廠商對於設計圖紙的理解，在複雜的建築設計案中往往容易造成規劃錯誤，這時也反應

在原先報價基準的差異，不願承擔風險的營造公司往往會將風險轉嫁給施工架廠商，而施工架廠商在不願意承擔被「拗」的結果，使得原本可以依照標準施作的職安衛設施，因為施工廠商規劃失誤不願承擔成本損失，便開始用降低成本的方式施作，其結果又產生另一個不可控的風險。

下列案例即是施工廠商以 2D 圖紙規劃施工架施工圖，本案在三樓外牆突然變化，而施工規劃人員並未察覺，仍依照外牆邊緣線繪製施工架施工圖（如圖 3 所示），經由 BIM 檢視後，發現該項錯誤並即時修正規劃方案，圖 4 為施工方案修正前後對照。

施工規劃錯誤直接影響的是施工成本，大多數營造公司最重視的是營造成本，倘若原先估算數量與實際數量差異很大時，營造公司與業主間，或是營造公司與專業施工廠商間，便存在著爭議，爭議的產生與解決方式往往影響職業安全設施施工方式的走向。

圖 5 至圖 7 所示為典型案例，施工架廠商以 2D 圖規劃後，計算施工架數量與 BIM 模型產出數量比較結果（如表 1），施工架廠商原先計算施工架面積 12,576 m²，再以經驗係數乘 1.3 倍，原先數量比 BIM 模型產出數量短少 16%，乘以經驗係數後又比 BIM 模型產出數量增加 14%，顯見一般施工廠商數量估算能力是很不精確的。以 BIM 繪製的施工架模型，目前業界皆視為可以作為施工與發包數量的標準，如果以其他方式估算皆無法替代其正確型。

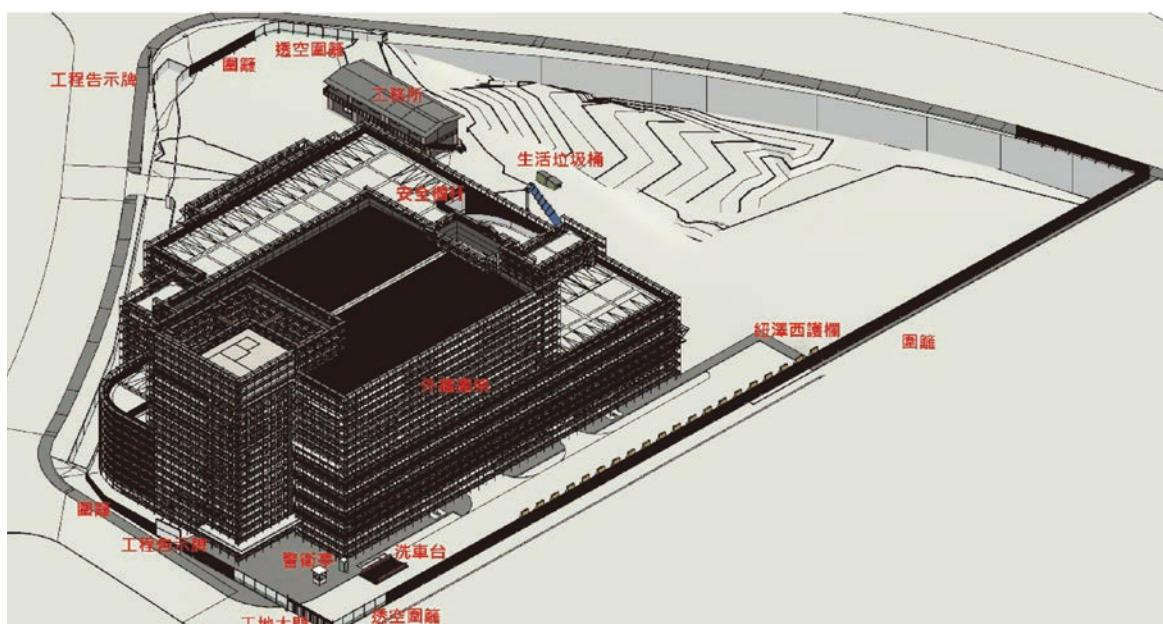


圖 2 營造工地利用 BIM 模型進行職業安全衛生設施的施工規劃案例

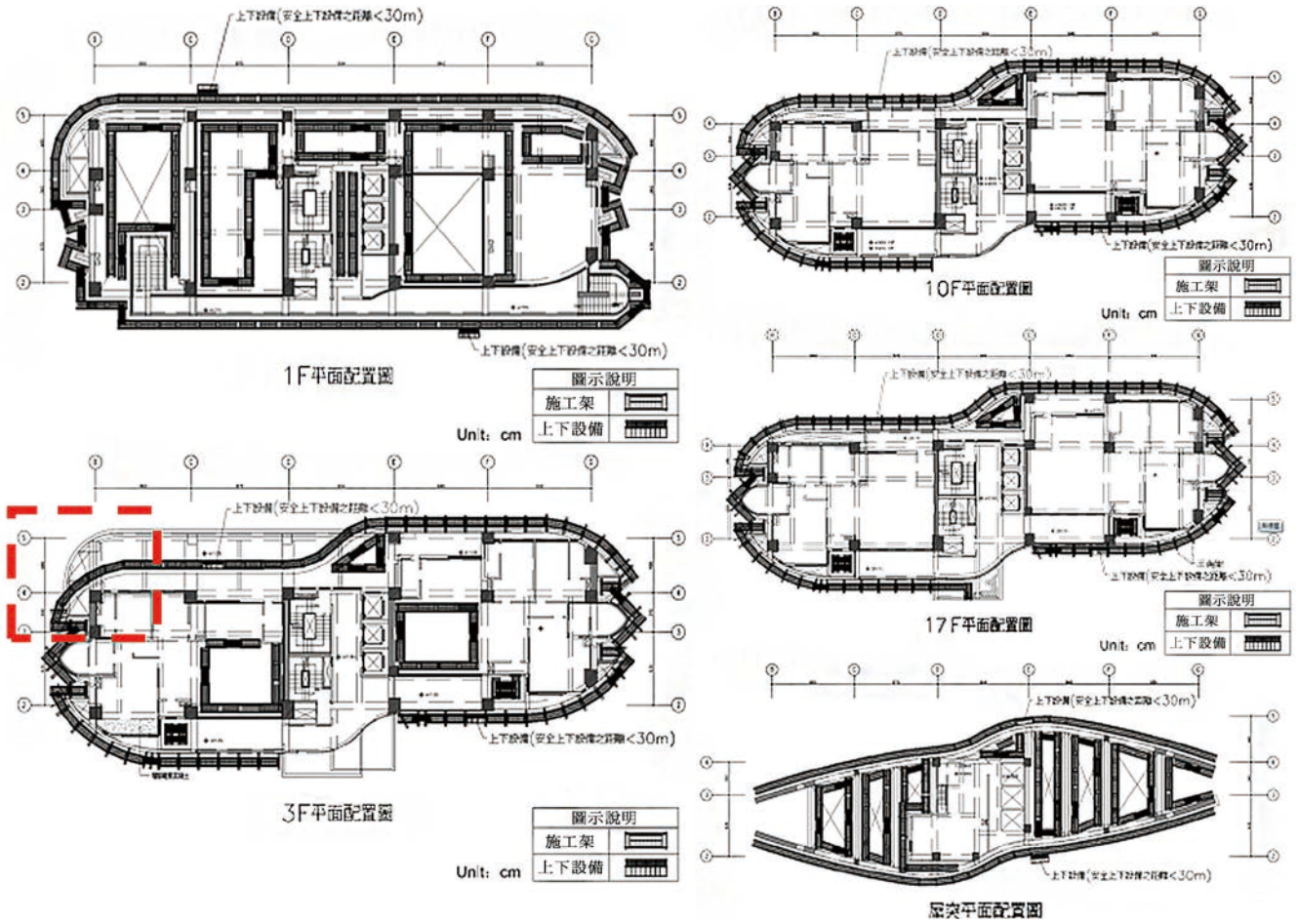


圖 3 施工架施工圖因外牆造型變化，施工規劃錯誤的案例

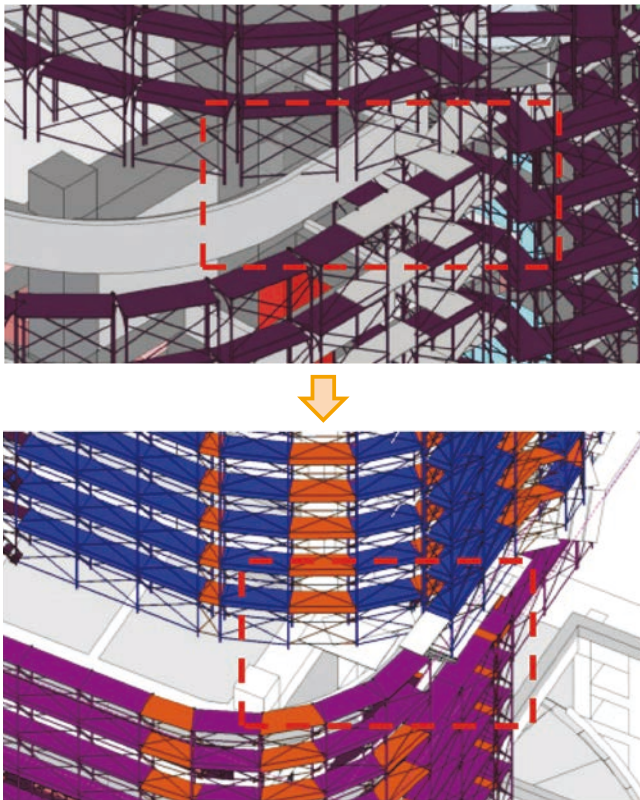


圖 4 施工架施工規劃錯誤，以 BIM 檢核後適時修正前後比較圖

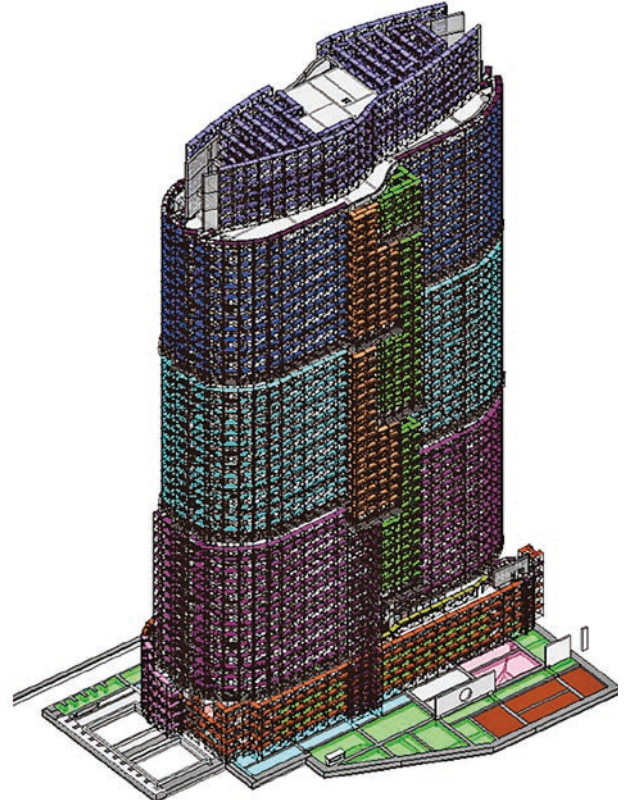


圖 5 建築物外型複雜，施工架廠商原估數量與實際數量差異大

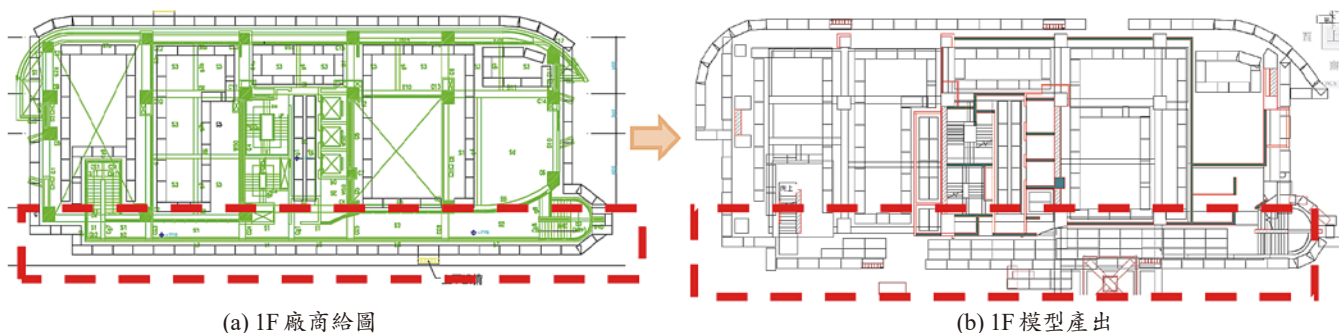


圖 6 營造公司及施工架廠商原本估算施工架數量與實際數量差異對照圖

表 1 施工架廠商與 BIM 模型產出施工架數量比較表

施工架廠商計算	(外牆面積 × 修正係數 1.3)
1F-22F	$140 \times 83.4 = 11,676 \text{ (m}^2\text{)}$
R 層	$100 \times 9 = 900 \text{ (m}^2\text{)}$
	$(11,676 + 900) \times 1.3 = 16,348.8 \text{ (m}^2\text{)}$
BIM 建模產出	(計算施工架組數 × 單一施工架面積)
1F-2F	$345 \times 3.06 = 1,056 \text{ (m}^2\text{)}$
3F-22F	$3,067 \times 3.06 = 9,385 \text{ (m}^2\text{)}$
R 層	$384 \times 3.06 = 1,175 \text{ (m}^2\text{)}$
陽台 (5F.13F.21F)	$516 \times 3.06 = 1,579 \text{ (m}^2\text{)}$
陽台 (9F.17F)	$330 \times 3.06 = 1,010 \text{ (m}^2\text{)}$
5F.13F 陽台底	$133 \times 3.06 = 407 \text{ (m}^2\text{)}$
1F 牆壁內縮	$102 \times 3.06 = 312 \text{ (m}^2\text{)}$
	$1,056 + 9,385 + 1,175 + 1,579 + 1,010 + 407 + 312 = 14,924 \text{ (m}^2\text{)}$

施工情境模擬風險評估

公共工程的分項施工計畫中，一般都被要求須進行該單項作業之施工風險評估，然而該評估作業係以召開風險評估小組，依照其可能性及嚴重程度將風險值列為 9 個等級，再依照風險等級及是否接受來採取對策及改善措施，若於風險評估小組討論階段導入 BIM 技術，模擬施工節點的情境，將有助於該小組提出更為具體的改善作為。

一般施工過程是動態的，而隨時間有不同情境將隨之變化，要模擬這種動態變化，以目前 BIM 工具不易達成，因此大多以多節點式靜態的表達方式來一一呈現及檢視，職業安全衛生署曾於民國 108 年嘗試在丁類危險性工作場所施工安全評估作業中導入 BIM 應用，並完成營造業安全衛生 BIM 軟體操作手冊^[4]，在丁類危險性工作場所施工安全評估作業 BIM 應用示範案例中，有許多值得學習與參考的實例，圖 7 為職業安全衛生設施施工模擬案例，在安裝橋樑補強裝置前必須先安裝安全欄杆，但是當安裝橋樑補強裝置時，該裝置與安全欄杆位置衝突（如圖 8），造成安全欄杆此時必須修改，這是若未事先

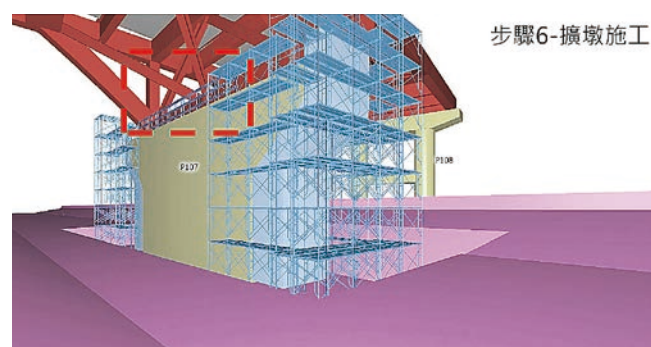


圖 7 橋梁結構補強施工案例，安裝橋樑補強裝置前先安裝安全欄杆

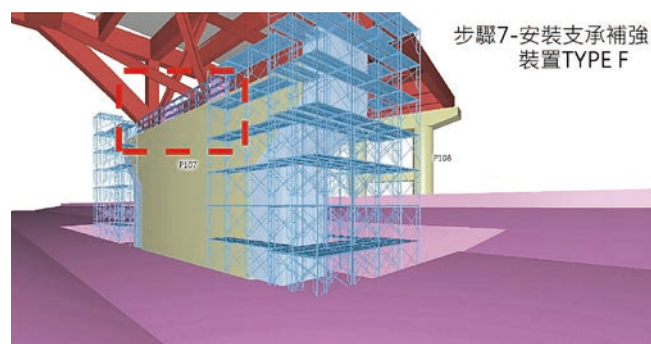


圖 8 當要安裝橋樑補強裝置時發現安全欄杆與該裝置發生衝突

察覺，現場施工人員將依照自身經驗，就地取材修改安全欄杆，施工安全風險自此而生。

環境監測與自動改善

原本安裝在特殊環境及設備的感測器，近幾年隨著感測器的價格普及化，能夠在工地透過物聯網來遠端監控及操控（如圖 9），無論是現場溫度偵測來控制噴霧系統降低工人施工環境溫度；抑或在侷限空間安裝氧氣濃度感測器，並主動控制通風設備達到氧氣濃度安全值；或是在起重機吊索下方安裝熱紅外線感知器，主動告知起重機司機、該名勞工及職安衛人員；在容易發生墜落的電梯口安裝開門啟動感測器，監控施工人員的安全裝備及安全帶是否勾掛；在綠籬安裝濕度感測器，主動提

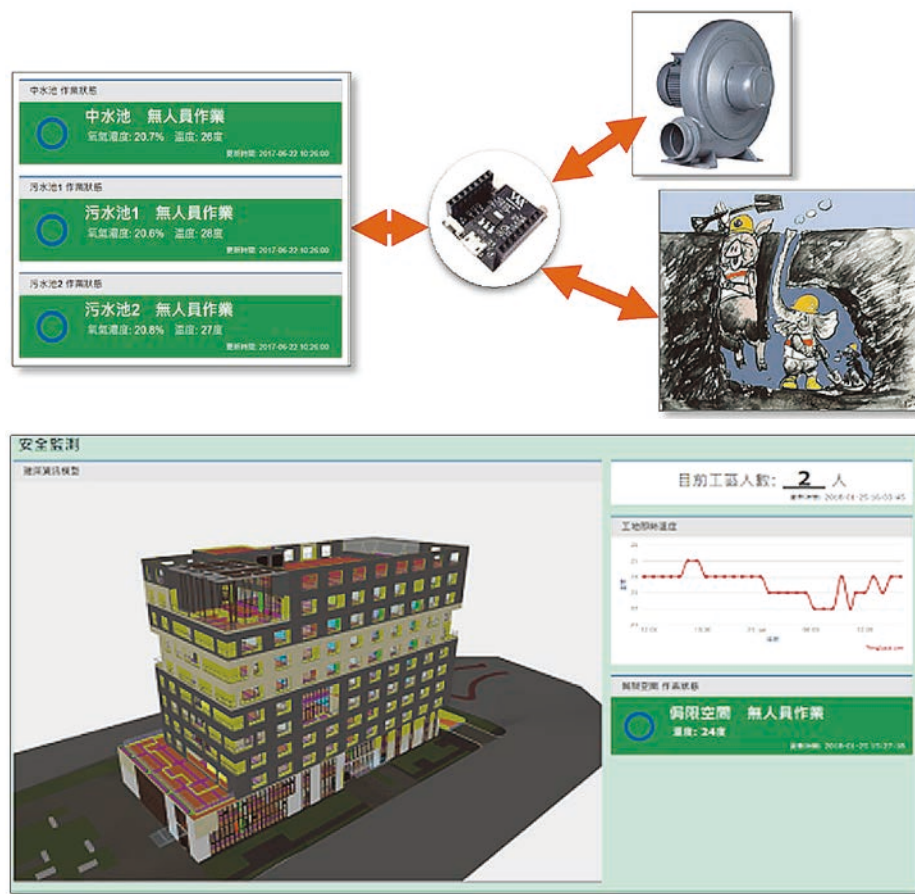


圖 9 結合 BIM 與物聯網，將安裝在工地的感測器訊號傳到遠端，並進行遠端監控及管理

供植栽灑水；在行車路徑安裝粉塵感測器，主動灑水降低粉塵；在臨時電安裝電流感測器，進行能源管理避免浪費 … 等，當發生異常狀態時，主動透過通訊軟體 LINE、簡訊、警報器等推撥給操作人員或相關管理人員，使工地管理更為容易、有效及可行。

VR 職安衛作業前訓練

職業安全衛生訓練大多以職安法令、職災案例宣導及標準化作法作為訓練課程內容，訓練手法多以文字、圖案、照片或影片作說明，難以身歷其境，現場工作往往需要工程師作判斷或決策，這種多重條件的判斷便需要虛擬實境 VR 的環境來訓練工程師或施工人員，尤其是針對施工人員，用文字或是圖表不易表達工地現場狀況，險峻的工作環境亦不易直接在現場指導，用虛擬實境來模擬現場施工環境，即便是危險環境像是墜落意外，在虛擬實境中都可以重新再體驗一次，也不至因為不小心而身歷險境，虛擬實境的訓練環境比較活潑、令人印象深刻，記憶容易停留在腦海，這種特性用其他工具難以達到相同效果（如圖 10）。



圖 10 虛擬實境能感受 360 度的視覺與聽覺的沉浸式體驗，適合於危險情境且不易重現的環境或是高成本的訓練

AI 環境監控與安全警示

依據重大職災發生原因分析，以不安全動作與設備兼具佔 44% 最高，不安全動作佔 31% 次之，因此勞工的不安全動作致使發生重大職災佔比最高，如何即時發現勞工的不安全動作，在發生悲劇前便能提前警示、推撥或採取行動，藉由人工智慧 AI 讓電腦監視器的影像比對，使之具有辨識能力並可隨時提高稽查頻率，彌補人為稽查頻率不足問題，圖 11 所示為人工智慧 AI 辨識的影像，將工地勞工劃分為安全、須注意及危險等級，分別以綠色、黃色及紅色標示這些施工人員，管理人員透過人工智慧 AI 很輕易的對身處危險的工人採取立即行動，對於須注意的施工人員發出警示，彌補人為無法時時監控的缺點。

職安衛施工界面整合

在營造工地撰寫施工計畫、繪製施工圖、進行結構計算分析及現場施工往往是 4 組團隊的作業，各做各的，如果沒有人進行整合，往往施工計畫、施工圖、結構計算書及現場施工完全兜不起來，這樣偏離結構分析的施工，往往存在極高的風險，或許安全，或許不安全，變成不可控的施工環境。圖 12 是透過 BIM 整合的水平支撐施工圖，透過 BIM 作業，比對施工計畫、施工圖及結構計算書之間的差異，結果發現預定進度表是不可靠的、中間柱與主結構的樑是衝突

的、廠商的鋼板樁施工圖是錯的，但是工地採用傳統的管理方式，卻沒有事先發現任何錯誤。

其他創新作法及應用

根據筆者以往在工地管理及職業安全衛生稽查的經驗得知，營造工地有著變動性大及變動頻率高之特性，如果管理機制無法依照這兩種特性進行管理，管理成效將很有限，透過科技技術的研發，提高職安衛稽查的頻率、即時辨識危害因子並逕行通報、透過雲端運算隨時提供數值化分析結果作為危害辨識的依據等，是未來可以發展的方向，茲舉例說明如下。

無人機 + 人工智慧 AI 自動巡檢

目前人工智慧 AI 大多應用於定點的監視系統，而隨著無人機的普及，讓無人機搭配人工智慧的功能，定期巡視檢查、不定時隨機巡視檢查或重點式巡視檢查替代檢查頻率不足的問題，由於巡視過程中，產生大量圖資，必須透過人工智慧加以篩選，或是雲端運算比對差異得出工地施工數量即時反應施工進度問題，或是施工品質問題，可以提供決策者即時做出正確決策，降低產生職業安全衛生管理盲點之風險（如圖 13）。

政府亦可以透過無人機 + 人工智慧 AI 自動巡檢的功能進行管理，例如工廠是否進行非法廢水排放、非法傾倒廢棄物、盜採砂石等，都可以達到一定的嚇阻效果，使管理工作事半功倍。

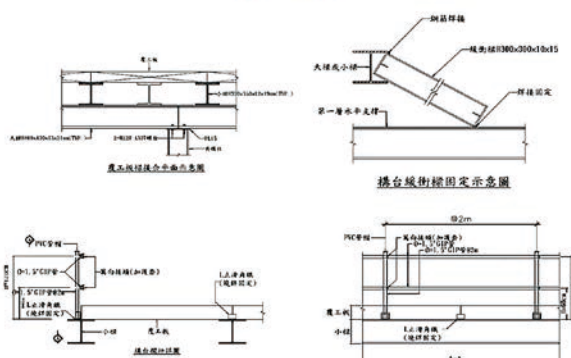


圖 11 用人工智慧 AI 來辨識工地施工人員不安全動作，並即時採取有效的管理措施

表1-3 水平支撐數量表

項次	工程項目	單位	數量	備註
第一層水平支撐				
1	圖令 H300x300x10x15	m ²	6524	
2	水平支撐 H300x300x10x15			間距≤6.5m
3	角撐 H300x300x10x15			
第二層水平支撐				
1	圖令 H300x300x10x15	m ²	6524	
2	水平支撐 H300x300x10x15			間距≤6.5m
3	角撐 H300x300x10x15			
擋土板				
1	木襯板 t≥1.5 cm	m ²	3304	

施工計畫



施工圖

結論：設計採用	
小梁長(跨距)=	6.50 m，間距= 2.00 m，型鋼 H350x350x12x19
大梁長(跨距)=	6.50 m，間距= 6.50 m，型鋼 H400x400x13x21
構台柱打入方式：	
構台柱H鋼總長L =	12.70 m 型鋼 1-H350x350x12x19
構台柱H鋼入土深=	3.50 m

一、構台梁設計

A. 小梁設計

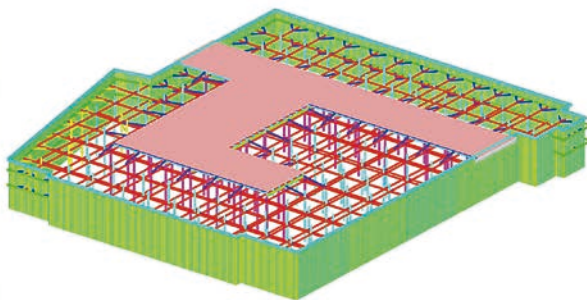
- (1) DESIGN LOADING, $Ww1 = 3.44$ t/m (含小梁自重)
 (2) L (小梁跨距) = 6.50 m
 (3) Temperature FORCE, $Ft = 15$ t, $f_{tem} = Ft/As$
 (4) $Mu(max) = Ww1 * (L^2) / 8 = 18.152$ t-m
 $Qu(max) = Ww1 * L / 2 = 11.170$ t
 (5) $N = 48 * 5\% = 2.4$ t (依據AASHTO 規範，作用之縱向力為作用活載重之5%)

(6) use: H350x350x12x19

$$\begin{aligned}
 As &= 173.9 \text{ cm}^2, Ix = 40300 \text{ cm}^4, Zx = 2300 \text{ cm}^3 \\
 rx &= 15.2 \text{ cm}, ry = 8.84 \text{ cm} \\
 hw &= 35 \text{ cm}, tw = 1.2 \text{ cm}, ws = 0.137 \text{ t/m} \\
 fa &= N / 0.9 = 0.015 \text{ t/cm}^2, ft = 0.086 \text{ t/cm}^2 \\
 k * L / ry &= 73.53, k * L / rx = 42.76 \\
 Cc &= (2 * \pi^2 * E / Fy) * 0.5 = 128.767 \\
 k * L / ry < Cc &\text{ then let } (k * L / ry) / Cc = 0.571 \\
 Fa &= 1.25 * Fy * [1 - R^2 / 2] / [5 / 3 + 3 * R^2 / 8 - R^2 / 8] = 1.41 \text{ t/cm}^2 \\
 * fa + f_{tem} &= 0.102 \text{ t/cm}^2 < Fa \quad 0. \text{ K.} \\
 (fa + f_{tem}) / Fa &= 0.072 < 0.15 \text{ then} \\
 fbx &= Mu / Zx = 0.789 \text{ t/cm}^2
 \end{aligned}$$

結構計算書

BIM模擬



現場施工

圖 12 使用 BIM 建模過程中，比對施工計畫、施工圖及結構計算書發現許多錯誤



圖 13 無人機+人工智慧 AI 自動巡檢構想圖

人工智慧 AI + 即時結構運算

工地管理經常需要即時決定當下應當怎麼做，但是在做決定之前往往沒有任何計算、分析或是數據供作決定之參考，只能憑藉個人經驗來做決策，然而個人經驗有限，未經分析的決策往往偏於主觀且常常發現失誤，再從失誤中累積經驗，這都不是好的做法，尤其是職業安全衛生的失誤，往往只有一次機會不容許失誤。

透過人工智慧 AI 的影像辨識及判斷來採集數據，將所採集數據傳送給雲端結構分析及運算，將現場施

工過程用安全係數反應出來，讓工程師能夠依照輕重緩急進行工地有效管理，圖 14 所示為該系統構想圖。

工地施工過程中，是一步一步完成並非一步到位，然在一般結構分析作業只提供最終完成步驟的結構分析，例如施工架組裝或拆除，每一步驟都潛藏危機，現場能不能這樣做？往往考驗現場工程師的經驗判斷，也無法判斷何時才是管理重點，圖 15 所示為施工步驟自動分析安全係數的趨勢，容易讓工程師判斷何時才是管理重點。



圖 14 人工智慧 AI + 即時結構運算應用於營造工地供工程師決策之構想圖

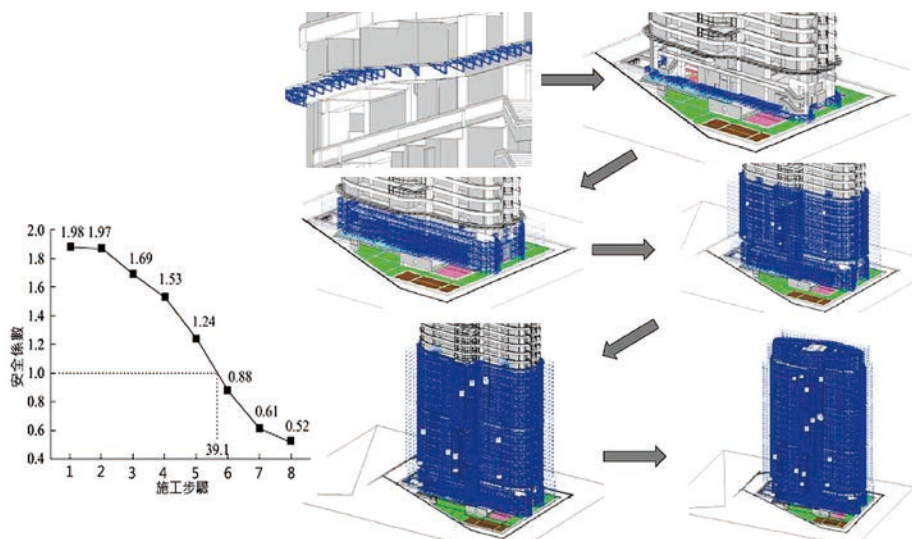


圖 15 依據施工步驟自動分析安全係數的趨勢，容易讓工程師判斷何時是管理重點

結論

目前 BIM 及相關電腦軟體工具的發展迅速且日趨成熟，如果能夠善用這些工具，改善目前無法即時反應工地現況或是無法提供可靠的數據，作為決策的參考，這種情況將隨著科技的進步而改觀，期待國內營造產業能夠撥出一些預算來進行研發新技術，改善我國營造工地管理環境方是甚幸。

參考文獻

1. 勞動部職業安全衛生署 111 年勞動檢查統計年報，<https://www.osha.gov.tw/48110/48331/48333/48339/150732/post>。
2. Vaysburd (2004), "Concrete Repair Technology- A Revised Approach is Needed", Concrete International.
3. Lopez, R. and P.E.D. Love, Design Error Costs in Construction Projects. Journal of Construction Engineering and Management-Asce, 2012. 138(5), pp. 585-593.
4. 勞動部職業安全衛生署，「營造業安全衛生 BIM 軟體操作手冊」，民國 108 年 12 月。



淺談 智能影像 在 勞安科技 的應用

陳哲仲* / 泛亞工程建設股份有限公司 BIM中心 經理

近年來，工程單位常透過「金安獎」、「金質獎」等競賽，展現工地導入創新科技之成果，此類創新科技如：人臉辨識、車牌辨識、安全帽／反光背心穿戴辨識、AI 電子圍籬…等，可謂琳瑯滿目，但競賽後還有多少單位實際使用？如果硬是要將不合規的產品置放到不合宜的場域，只能在競賽時跟評審委員做展示而已。目前各式競賽，委員也不是僅看是否應用創新科技，而是著重在參賽廠商是否用心、盡心與決心？同時也關注細節當中是否積極投入「科技減災」的應用。

本文將探討智能影像技術在營建工地的實際運用情形，並分享筆者六年來與多家智能影像廠商進行概念驗證（Proof of concept, POC）的心得，提供同業參考，以期在「營建數位轉型」的浪潮下，善用科技減災，降低職災風險。

前言

門禁與員工出勤考核導入人臉辨識系統已廣泛應用於各行各業。然而，若未採用高水準之設備與演算法，仍可能存在漏洞。同理，「AI 攝影機電子圍籬」系統若未考量第三維度（景深），亦可能影響人員入侵告警的判斷準確性。

上面兩個例子不是否定各家智能影像廠商的產品，但「隔行如隔山」，營建業與資訊業對彼此領域的認知差異甚大。若貿然將不適用之產品置於不合宜的場域，競賽時或可爭取佳績，實際運用則事倍功半。因此，營建業者需積極投入「科技減災」，並深入瞭解各項細節，方能降低職災發生之風險。本文將分享筆者對智能影像技術的鑽研心得，探討其在營建工地的實際應用。

基本技術介紹

在深入探討理論前，本文先引導讀者以最簡便的方式，利用 Teachable Machine 網頁工具建置物件模型，並使用筆電攝影鏡頭進行影像辨識，體驗智能影

像的基本應用。透過此過程，可初步瞭解模型訓練與應用驗證的流程，為後續學習奠定基礎。

Teachable Machine^[1] 是 Google 推出的網頁訓練模型的工具之一，簡單易用，不需專業知識和撰寫程式的經驗即可替網站應用程式訓練機器學習模型，支援辨識圖片、辨識姿勢和分類聲音。

首先在瀏覽器搜尋「teachable machine」，按 [Get Started] 開始建立新專案（圖 1）。

接下來會看到下面這個頁面（圖 2）：

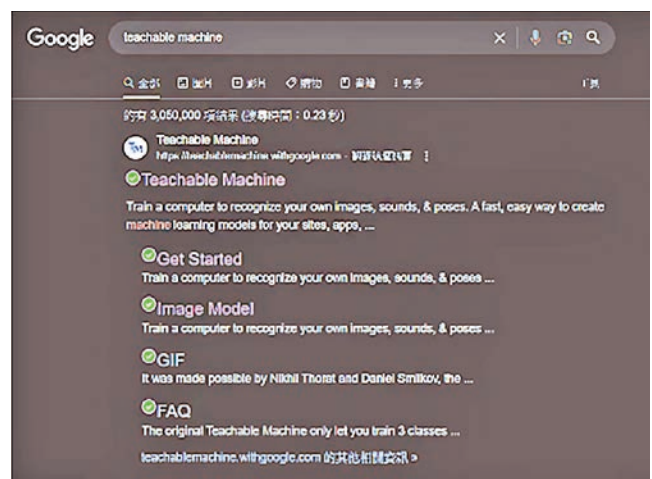


圖 1 利用網頁瀏覽器搜尋「teachable machine」畫面

* 通訊作者，jejung.chen@e-panasia.com

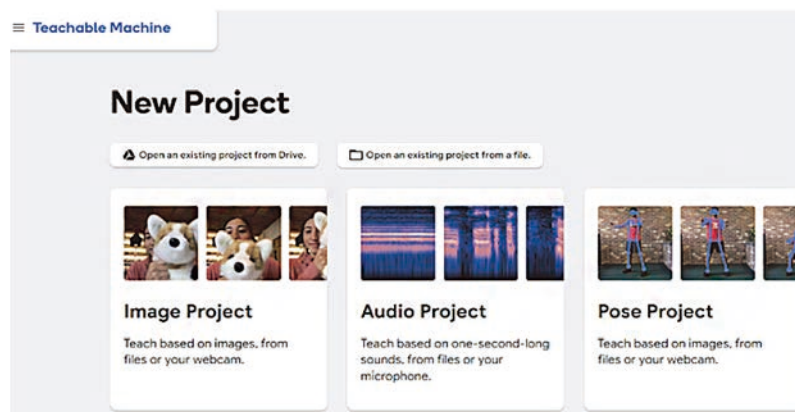


圖 2 Teachable Machine 建立專案之畫面

選擇第一個「Image Project」辨識圖片（第二、三項分別是聲音與姿態辨識），在「New Image Project」下有兩個選項，選擇「Standard image model」進入下一個畫面，更改第一個類別名稱（Class 1）為接下來所要學習辨識的東西（臉、布偶、杯子…等，當然 Class 1 也要改成你想識別的物件名稱，例如此例直接改名為「多啦 A 夢」），接下來圖框中會有兩個選項（圖 3），一個是用筆電攝影機建立模型庫，第二個選項是你提供大量的照片供電腦學習。此處選擇左邊第一個利用筆電攝影機來建立模型庫。

按住「Hold to Record」後會產出一次大約 4 連拍的照片（圖 4），轉動玩偶不同角度（可增加辨識率與可信任度）拍攝，至少產出個 4 ~ 50 張左右（原則上愈多愈好）。接下來下面「Add a Class」可以增加想訓練的模型樣本。

等圖片大致都已建置完成，就可以按第二個節點（Training）的「Train Model」進行模型訓練（圖 5），過了些許時間模型訓練完畢，接下來第三節點（Preview）就可以實際來驗證你所訓練的成果？

不管在第一、二甚至第三節點進行運作前，網頁

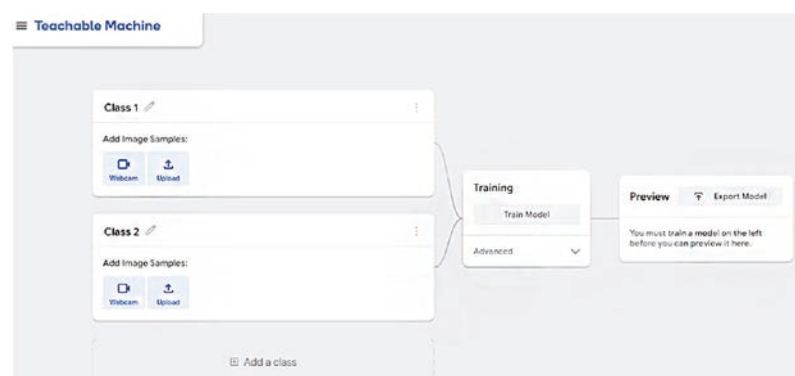


圖 3 Teachable Machine 節點式模型訓練預覽畫面

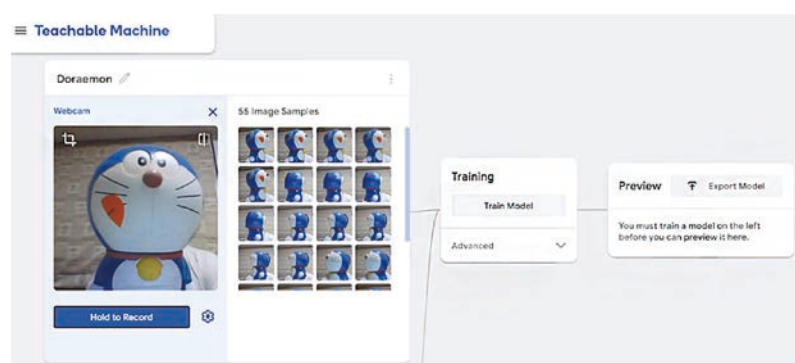


圖 4 利用玩偶進行影像模型取樣，取樣數愈多，準確率相對提高

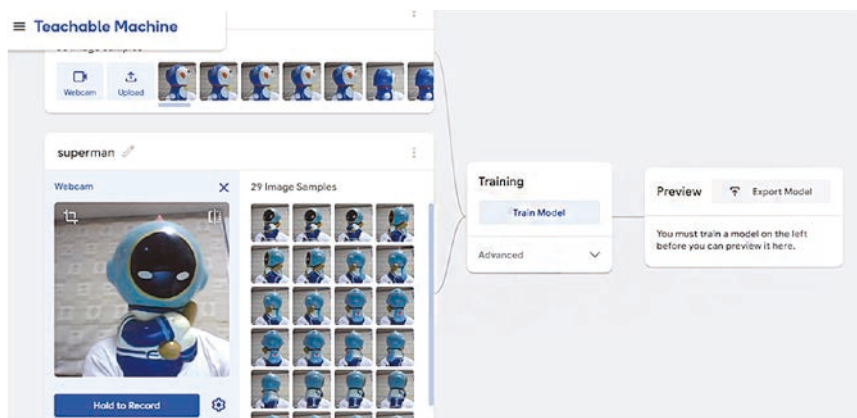


圖 5 增加第二種類型物件樣本供電腦學習，可一直增加類別

都會有一段示範影片提供您練習前參考，所以操作過程不致出現什麼問題。但到第三節點最後有一個「Export Model」的選項，點擊後會出現三個選項供選擇。因為牽扯到程式鏈接的部分，稍後會再介紹另一種簡易拖拉式節點的程式語言（Node-RED）。但如果能再有一些些 JavaScript 程式基礎，會對日後自行開發屬於自己甚至公司工地專屬場域環境的資料庫會更具優勢。

回到剛剛所談的第三個節點「Preview」（圖 5）。事實上這個節點就可以開始幫我們驗證剛剛所建立的模型庫是否能精準辨識物件？例如（圖 6）拿「多啦

A 夢」玩偶給電腦辨識，大家可以看到一條橘色的指示線條（Bar）一直在動，並呈現百分比（這邊我稱做「信心度」），本例玩偶愈接近攝影鏡頭，百分比愈高（這關係到另一個物件影像畫素取樣問題，愈遠畫素愈低。一般智能影像系統開發商通常會有最小成像值至少 100×100 或 50×50 Pixel 以上之成像畫素才做影像辨識等要求，營造廠在採購這方面技術與設備時，必須特別注意）。

圖 6 與圖 7 兩例的信心值都到 100%，信心值取決於物件畫素大小、模型採樣數量多寡 … 等因素。以工

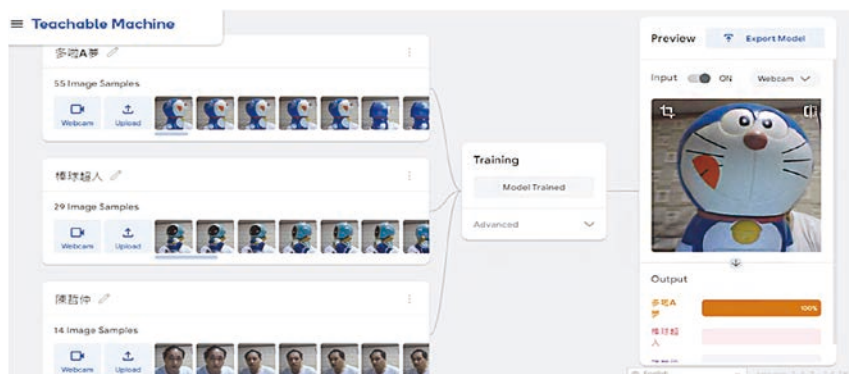


圖 6 拿「多啦 A 夢」玩偶對準鏡頭辨識，其橘色線條變長，信心度達 100%

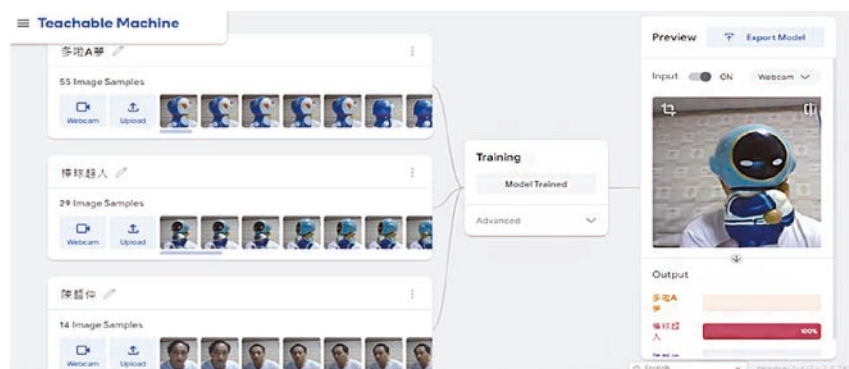


圖 7 拿「棒球超人」玩偶對準鏡頭辨識，其粉紅色線條變長，信心度達 100%

地安全帽為例，如果訓練的安全帽以白色居多，日後移至現場做安全帽穿戴辨識時，如果有人戴別種顏色安全帽，辨識信心值可能會大大降低，甚至可能無法辨識。

經由本例的基本介紹後，讀者應對開發智能影像辨識有深一層體驗，也了解其基本原理。當然影像辨識還是有其複雜的理論基礎，本文後半部分會再介紹一些理論並利用低程式碼（Low-Code）編寫工具來做模型庫的實際應用與嘗試。

TensorFlow 與 Node-RED

坊間相關智能影像產品多數以建置在攝影機本體（一般通稱為「前端」）或影像集中處理端（即網路影像錄影機、Network Video Recorder 簡稱：NVR）之後加設伺服器（這種方式通稱為「後端」）來進行 AI 辨識處理，一般前端智能影像辨識多由攝影機開發商直接寫入攝影機晶片裡居多，也有在攝影機近端加邊緣運算裝置輔助影像偵測。但目前市面上一般多採後端辨識居多。前端辨識做法就暫不討論，然就後端辨識部分；目前廠家多半是以 Python 或 C# 程式語言撰寫居多。本文的目的是希望在儘可能在不撰寫艱澀的程式語言下，輕鬆將智能影像技術導入公司施工場域應用，且不需花費動輒數佰萬元導入一套不適合工地使用的工具。

在講到如何真正落實影像辨識應用之前，先介紹兩個名詞（工具）：TensorFlow^[2]：是 Google Brain Team 開發，在 2017 年所推出的第一個正式版

本，之所以稱為 TensorFlow，其因為輸入/輸出的運算資料是向量、矩陣等多維度的數值資料，稱之為張量（Tensor）。當機械學習模型需要使用流程圖來描述訓練過程中所有數值運算操作，稱之計算圖（Computational Graphs），這是一種低階運算描述的圖形，Tensor 張量就是經過這些流程（Flow）的數值運算來產生輸出結果，稱為：Tensor + Flow = TensorFlow。

Node-RED^[3]：是 IBM 以 Node.js 為基礎，開發出來的 IoT 視覺化開發工具，因為純粹透過流程圖的方式，所以不需要會 Node.js 也可以透過 Node-RED 完成了許多後端才能做的事情。

Node-RED 是一種編輯工具，它提供了一個基於瀏覽器的編輯器，在工具面板中提供了許多節點，我們可以使用這些節點，將各個節點連接起來形成流程圖，之後只要按下「部署」按鈕，即可完成部署與程式執行。

接下來本文會使用這兩種工具，Google 的 TensorFlow 與低程式碼（Low-Code）的程式編寫工具：Node-RED，來完成程式的撰寫。

首先安裝 Node.js 到電腦（下載網址：<https://nodejs.org/en/>），再安裝 Node-RED（切換至 CMD 輸入：npm install -g node-red），開啟瀏覽器，網址列輸入「<http://127.0.0.1:1880/>」，就可以打開 Node-RED。（因文章篇幅限制無法一一詳述，如對上面安裝過程遇任何疑問，可逕自相關網站查詢。）

接下來將直接把節點程式展示（圖 8、圖 9），有興趣讀者可逕搜尋相關網站學習佈設節點等相關要領。

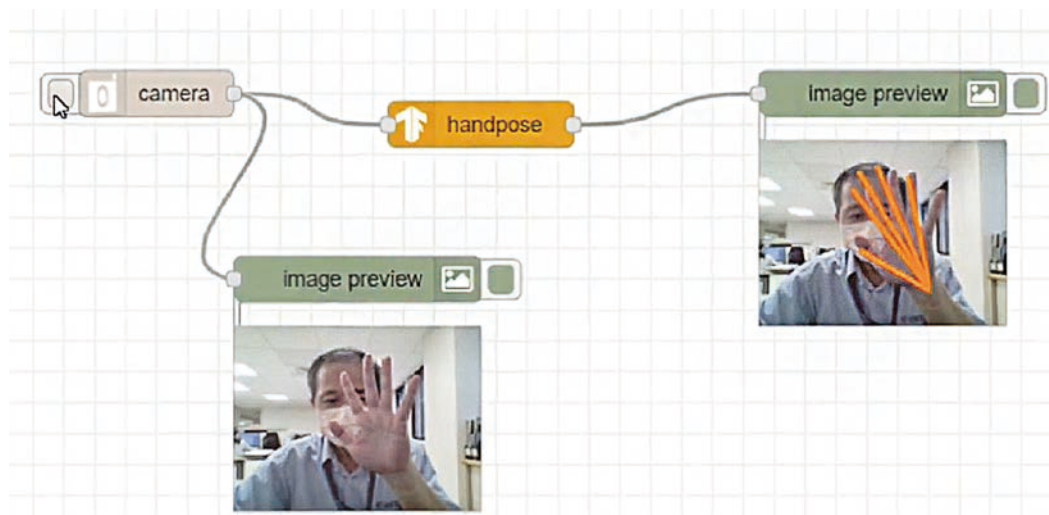


圖 8 利用幾個節點間的線連結，實現姿態（Pose）辨識



圖 9 影像姿態辨識 (俗稱火柴人)

同理；Node-RED 本身就是 Intel 為 IoT 物聯網打造的連接應用工具程式，它除了可以做影像辨識外，還能把你想要連動的感測器、裝置一併導入程式內。有了這套工具對於初學者在學習物聯網與影像辨識會更加得心應手且事半功倍。

當然不是只有 TensorFlow 能做到這樣。目前影像辨識應用還有 Open CV 及 YOLO 等技術，其中 YOLO（YOLO 全名是「You Only Look Once」，意思是電腦只需要看一次，就能完成物件的影像辨識），是一種專門用於目標檢測的算法，因此它可以比 TensorFlow 或 OpenCV 能更有效地執行目標檢測任務，目前實施目標檢測較多還是以 YOLO 技術居多。而 YOLO 技術版本也從早期第一代到第八代，當然這些衍生出來的版本並未在科學期刊上有效揭露與評估，所以未被學術界所認可，因而一般人普遍認知技術多半都還停留在 V4 或 V7 版本。

上述不管是用何種技術，它的道理大多相同。白

話一點說就是：「你有看過的，你就知道；你沒看過的，你永遠不知道。」也就是說訓練模型就如同小孩成長過程類似，你拿一隻狗的絨布娃娃跟小孩說：「這是『狗』」，下次再拿不同款式的狗娃娃跟他說：「這是『狗』」，小 Baby 的腦海中就已記下來，下次再拿同樣的狗娃娃給 Baby 看，相信他將不加思索地跟你講：「狗」。這個比喻就類比影像學習資料庫中數百種樣貌的模型，經由學習的方式加深影像辨識的信心度，以提高影像偵測的可靠度。有些科技公司引用國外既有模型庫來做工地安全帽穿戴辨識，因為學習樣本包含不同人種（如：白種人、黑人 …）不同裝扮與不同環境背景。或許用在臺灣還有 6、7 成的信心度，但若用在臺灣營建工地場域，如果工人戴上頭巾、頭罩甚至女性勞工安全帽內戴大草帽，在這些狀況下，影像辨識結果還能剩幾成？國外的模型庫可能也沒有學習到這些情況。

圖 10 就是利用已訓練完成的節點包（COCO SSD）進行物件偵測的範例，圖 11 使用 Node-RED 進行人形與物件（本例為手機）偵測的結果。重點是過程中不需要撰寫任何一行程式碼便可輕易達成 AI 影像識別，而該系統可植入的設備裝置僅需要一台相對高效的工業級樹莓派 4B 以上的機型，再加上一台 200 萬畫素的攝影機就可達成（按：目前 NVIDIA® JETSON Nano 亦可植入該相關應用，惟讀者在開發該相關應用時注意；切勿同一 Node-RED 系統內植入兩種不同技術；例如與 YOLO 節點包同時並存，容易造成系統當機或程式無法執行。）

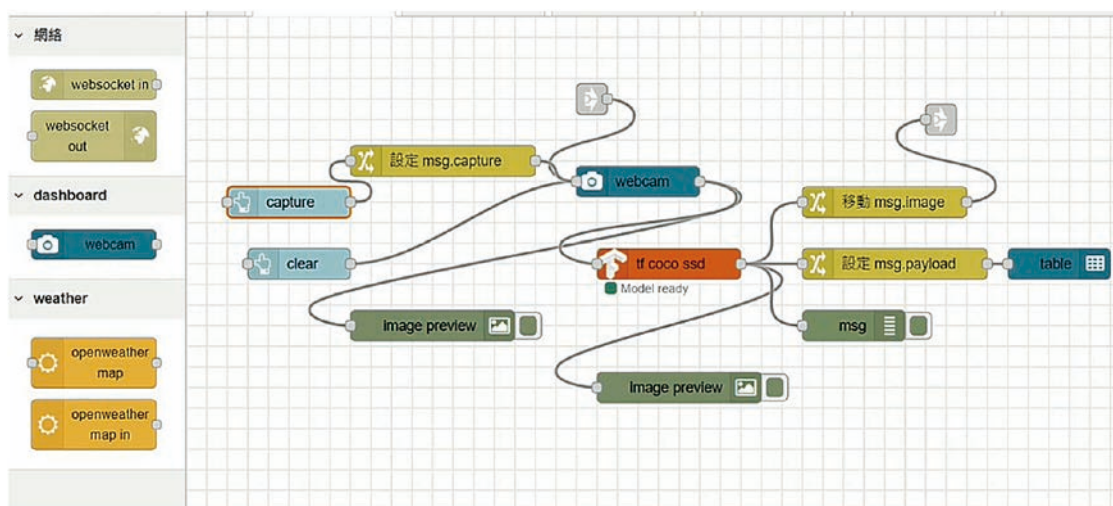


圖 10 利用 COCO SSD 節點包裡既有的模型庫，進行物件偵測的程式流 (Flow)



圖 11 引用原節點包進行影像物件偵測：人與手機

談談智能影像原理

智能影像技術的三大支柱為人工智慧（AI）、機器學習（ML）與深度學習（DL）。人工智慧是廣義的概念，涵蓋模仿人類智慧的各種技術。機器學習為 AI 的子集，讓電腦在無需明確程式的情況下，透過數據學習與改進。深度學習則是機器學習的分支，以多層神經網路實現更複雜的學習模型。整個領域的架構如圖 12 所示。

人工智慧^[4]是一個廣泛的概念，它涵蓋了任何能夠模仿人類智慧的技術。而機器學習是人工智慧的一個子集。它是一種基於數據的 AI 技術，可以讓計算機在沒有明確程式的情況下學習與改進。深度學習則又是機器學習的技術分支，用多層（深度）的神經網路技術來實現機械學習。

近年來硬體計算能力增強，許多演算法的精進，人們開始將傳統的單層神經網路擴增為更複雜的多層神經網路，這即為所謂的深度學習，在諸如影像辨識和自然語言處理方面都能得到很好的結果，如今我們口中的狹義型人工智慧，其核心其實就是由機械學習或深度學習技術所構成。而機械學習或深度學習經由圖 13 簡單的比較，這也就是為何深度學習大受歡迎的主要原因（人力消耗比起來較小）。

智能影像技術在勞安的應用

近年來已有很多營建廠商導入如安全帽 / 反光背心穿戴辨識、人員跌倒 / 昏厥、電子圍籬、高空作業安全帶掛勾與安全母索吊扣甚至有專業廠商發展推高機環景人員入侵告警等應用。然而，工地的多變環境對影像辨識的精準度造成極大挑戰。

但事故發生前多半還是有其徵兆可循。例如：防止人員墜落，假設有人員進入尚未完全封版的屋頂，一

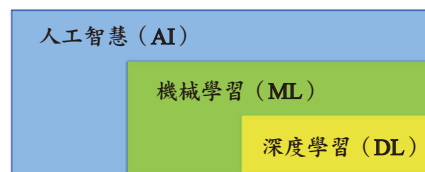
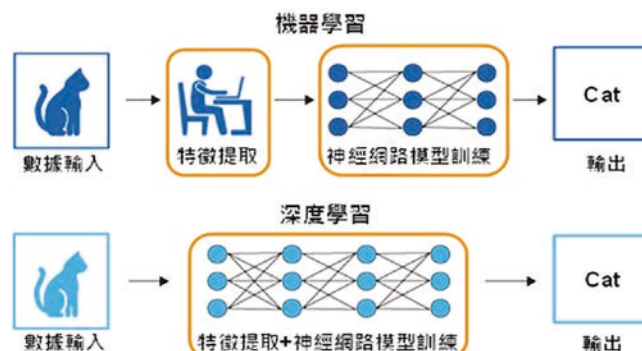


圖 12 人工智慧、機械學習及深度學習三者間的關係圖

圖 13 機器學習、深度學習的運作概圖^[5]

旦施工人員接近開口，就近的攝影機能主動即時追蹤人員，並即時發出告警語音提醒。或者防止人員感電意外，若能在非專業電氣人員接近配電盤開啟盤門的同時，攝影機也能即時轉向該配電盤，借由感測元件主動發出告警語音或聲響，同時；CCTV 控制中心（或戰情中心）大屏幕即時顯示各種潛在可能發生危害事件之即時追蹤影像，授權控制中心人員循 SOP 回報並做即時因應處置，這才是發揮智能影像最積極有效的作法。

又如施工中的大型吊車翻覆案件時有所聞，吊車操作時，存在許多潛在危害因子，如吊車支撐腳伸出站立位置土質鬆軟，或墊底木塊、鋼板不確實放置、周邊阻隔三角錐防護區域未設置、吊車位於人員走動之通道 … 等，若攝影機能透過 AI 學習預判風險，適時發出告警語音，或由控制中心人員緊急通知工程師到場改正吊掛過程，這都有機會將智能影像的應用發揮至極致。

另外如道路管線埋設作業之應用^[6]，如果挖掘機挖掘深度過深，且未依規定設置擋土設施。此時人員進入管溝施作管路之風險極高。現今攝影機科技日新月異，倘若搭配景深攝影機將第三維度（也就是開挖深度）進行監控，一旦未施作擋土設施，即應發出告警訊息至控制中心，並將即時影像傳回，這才是避免災害一再發生的積極作為。

智能影像應用於工地職安衛的難處

營建工地的戶外環境、背光、陰暗等光線變化，以及工人配戴遮陽帽、頭巾、反光背心等影響辨識的因



圖 14 工人頭上披布巾再戴安全帽影像訓練成果

素，例如工人多半在頭上先戴個大草帽（草帽邊緣多半超出安全帽邊緣）或披條遮陽布後再戴安全帽（圖 14）；或者利用毛巾、頭巾包頭，然後只露出眼睛（圖 15）；而鋼筋工也經常打個赤膊穿個反光背心，或者是反光背心只是個交叉反光帶的形式，這些因素都會直接影響 AI 辨識的結果，這些影響辨識的因素，是智能影像廠商未必能夠考量周全之處。若能實際至工地採集樣本、標註分類，建構專屬的 AI 辨識系統，方能克服這些難題。

資訊業者受限於對營建環境的認知不足，恐難開發出真正符合工地需求的產品。隔行如隔山，真要說那方有錯，倒也不盡然，事實就是彼此認知不同罷了。傳統的系統整合商（System Integration，簡稱：SI），多半整合工業廠房自動化應用，對比營建業工作環境時時變化之情況要來得單純許多。建築物從無到有，再加上工作環境幾乎多在外。對於電子產品來說，縱使設備具備防水、防塵等級。但相較於傳統廠房與工地環境，工地所需的防水、防塵等級似乎已超出安裝在室內環境下的工業廠房那種抗候等級，問題因此衍生開來。營造廠若能主動投入研發，深入探究影像辨識原理，定能創造出智慧工地管理系統，為傳統營建注入創新動能。

要真正把智能影像完全應用在營建產業，的確不是一件簡單的事。若能深入研究探知整個影像辨識的原理，甚至實際與廠商進行現場樣本採集、框圖、分類等過程，而建構屬於自己公司案場的 AI 辨識系統，才能真正輔助工地職安衛推行「科技減災」的最有效作法。

結論

智能影像技術為營建業的數位轉型帶來契機。藉由視覺化開發工具，營造廠可自行建置專屬的 AI 影像辨識模型，導入工安管理，避免職災發生。但科技產業中的使用



圖 15 泰籍勞工安全帽內包頭巾僅露出眼睛之訓練後辨識成果

模式，例如用在生產線不良品剔除，提高產線良率；或是利用智能影像監視人員操作設備之順序是否合規？更有利用熱顯像技術監測管線、器具是否有異常過熱現象？這些在廠房內使用的產品或技術，一旦移至戶外使用，效果可能大打折扣。因此長遠而言，營建業者應組成專案團隊，積極投入相關技術研發，惟有營造廠願意主動成立專案團隊抑注資金主動投入研發，才能創造屬於營建工地專屬的智慧工地管理系統。如此才能深化「科技減災」的應用層次，為打造安全、高效的智慧工地而努力。

參考文獻

1. 陳會安，「Node-RED 視覺化開發工具」，博碩文化，台北，P16-13~19（2021/9 初版）。
2. 陳會安，「RaspberryPi 樹莓派 Python x AI 超應用聖經」，旗標科技，台北，第 12-28 頁（2022/01 出版）。
3. 王進德，「工業 4.0 的物聯網智慧工廠應用與實作」，博碩文化，台北，第 106 頁（2021/04 初版三刷）。
4. 羅光志，「從 AI 到生成式 AI - 40 個零程式的實作體驗」，旗標科技，台北，第 2-29 頁（2023）。
5. 賴建宏，「人臉識別的原理與實作」，台北，研討會簡報資料檔第 5、7 頁（2020/08）。
6. 陳哲仲，「路面挖掘安全監視系統」，2023/02，「專利範圍」，專利號：M637835。



生成式 AI 助力營造業 科技減災

李秉展* / 全國營造業職業安全衛生促進聯合總會 秘書長

羅紫萍 / 月進整合科技有限公司 副總經理

科技減災是營造業職災預防與永續發展的重要議題，因而許多國家提出矩陣圖（九宮格）、風險處理對策清單等方法，有效引導事業單位選擇合適的科技以減輕或消除職災風險。然而，隨著生成式 AI 的興起，為引導營造業推動科技減災提供了更具彈性的作法。因此，本研究以墜落與碰撞職災預防為例，說明如何使用生成式 AI 以辨識現場可能的風險、分析現有防護設施的情況、評估風險的等級，以及提出可行的科技減災對策。結果顯示，生成式 AI 可有效提出合適的科技，並提供更豐富的資訊，以提高營造業職災預防能力。

關鍵字：營造業、科技減災、生成式 AI

科技減災是營造業職災預防與永續發展的重要議題

運用智慧科技以降低職業災害風險（以下簡稱科技減災），是職業安全衛生領域的國際發展趨勢。英國、新加坡、日本等先進國家甚至將科技減災納入職業安全衛生政策中^[1]，例如新加坡在其國家職業安全衛生政策「WSH 2028」中，就將「促進科技助力工作場所安全衛生（Promote Technology-Enabled WSH）」作為其中一個主軸，發展工作場所安全衛生科技的生態系統以深化產業能力，並藉由科技強化工作場所安全衛生訓練^[2]。此外，營造業因其高風險作業的特色，在各國都是科技減災的優先推動產業。

從相關研究可知，營造業常見的減災科技包括：物聯網、智慧攝影系統、無人機、沉浸式科技、建築資訊模型 / 地理資訊系統、人工智慧等^[3]，都已顯示出其應用潛力與良好成效。然而，如何讓事業單位選擇到合適的科技用以職災預防，是推動營造業科技減災的關鍵問題。針對這個問題，日本利用類別檢索的方式，根據應用領域、工程類型、職災類型、應用目的

等條件，提供可參考的科技減災應用案例^[4]；而英國則是採用風險處理對策清單的方式，根據風險類型、處理對策類型、適用階段等條件，提供可參考的風險處理對策（包括科技減災）^[5]。

然而，自從 ChatGPT 等生成式 AI 工具的興起，為選擇合適的減災科技提供了更有彈性的作法。因此，新加坡在其「科技助力改善工作場所安全衛生（Technology as an Enabler to Improve Workplace Safety and Health）」報告中，更倡議要活用生成式 AI 來加速科技減災成效^[6]。

生成式 AI 在營造業與科技減災的應用

由於生成式 AI 的快速發展，全球的人工智慧領域正經歷一場巨大變革，對營造業與許多產業都將造成重大影響與轉型契機。此外，我國國科會也積極推動百工百業導入生成式 AI 的計畫，期待各產業能將生成式 AI 與領域知識（domain knowledge）結合，加速產業應用擴散。

營造業其實在機器學習、深度學習等 AI 應用已經有長足的發展，且應用於成本預測、工期預測、建築能源預測、工作者作業識別、施工現場安全、現金流預測、結構健康監測、資源分配與最佳化、預測性維

* 通訊作者，pinchan.lee@gmail.com

護與決策支援系統等領域^[7]。然而，雖然營造業在生成式 AI 的應用才剛起步，但已展現出令人期待的發展潛力。Saka 等人從專家訪談與產業調查的結果，將生成式 AI 可應用於工程全生命週期的各項議題彙整如下^[8]：

預設計階段

- (1) 建築活動的基礎，包括場地研究、規劃、建築成本分析及價值工程。
- (2) 採購決策支援，包括價值工程、生命週期成本和多標準決策制定。
- (3) 專案簡報與業主需求研擬，即業主資訊需求（EIR）。

設計階段

- (1) 設計概念的生成，創造符合專案要求的設計選項。
- (2) 自動法規檢核，確保設計符合法規、標準規範，避免延誤和安全問題。
- (3) 最佳化材料選擇，減少工程的環境影響。
- (4) 工程量清單和成本計算，作為成功專案交付的一部分。
- (5) 改善能源效率分析，應對建築行業能源需求的迅速增長。
- (6) 設計規範的制定，為營造工程提供關鍵成功資訊。

施工階段

- (1) 管理工程進度與物流，制定活動、任務、所需資源和完成時間的綜合計畫。
- (2) 自動法規檢核，確保工程遵守眾多法規與性能標準。
- (3) 風險辨識、評估和處理，有效管理專案目標的潛在影響。
- (4) 工地安全管理，預防事故、減少傷害並確保符合安全標準。
- (5) 工程進度監控和報告，確保施工階段的有效完成。

從 Saka 等人的研究可知，營造安全是生成式 AI 具有潛力的應用議題，用以辨識風險、評估風險、建議風險處理對策（包括科技減災）。雖然從 Alada 的研究認為，生成式 AI 在風險處置與風險監測具有良好表現，而在風險辨識與風險分析的表現有改進空間^[9]。但在 GPT-4 模型問世後，這些限制都可能被解決。

在 GPT-4 模型問世後，微軟研究團隊針對其功能與潛在應用提出詳細報告，並認為安全檢查（safety

inspection）是具有潛力的應用主題^[10]。此外，國際專案管理學會（PMI）亦認為生成式 AI 將成為風險評估的有力輔助工具^[11]。施工安全風險管理是營造業的重要任務，特別是現場的危害辨識、風險評估、風險處理對策研擬等，都需要仰賴工程人員的專業及經驗。此時，若藉由生成式 AI 產生豐富資訊與初步分析結果，將能大力協助工程人員進一步評估與決策。

生成式 AI 在營造業科技減災的應用探索

本研究以營造安全的領域知識為基礎，從職災風險預防的角度來說明生成式 AI 在營造業科技減災的應用。本研究使用 ChatGPT 4.0 作為生成式 AI 工具。

墜落職災預防的科技

屋頂是我國營造業發生墜落職災的前三大媒介物。因此，本研究以勞動部職業安全衛生署官網所提供的屋頂作業墜落職災案例為例，說明生成式 AI 如何提出有效的科技減災建議。

當在現場觀察到屋頂作業可能存在墜落風險時，可利用生成式 AI 的圖片與文字分析功能，分析勞工在此工作場所可能會產生什麼職災風險（如圖 1 所示）。圖 2 為生成式 AI 所回覆的答案，包括墜落 / 滾落、物體飛落、物體倒塌 / 崩塌等，確實都是屋頂作業常見的職災類型。

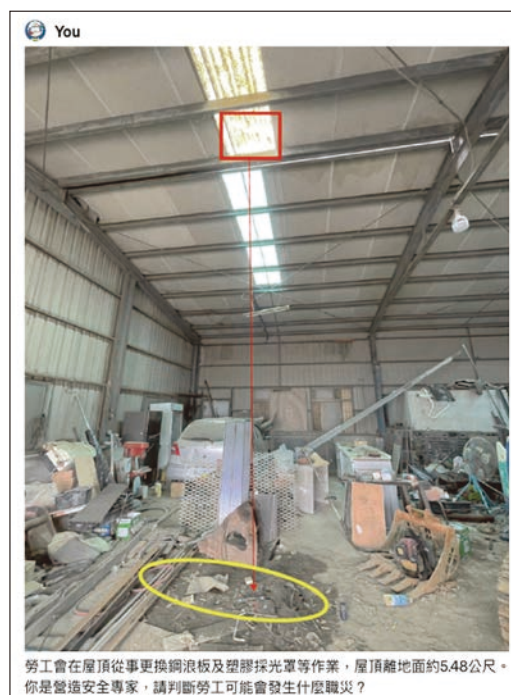


圖 1 屋頂作業職災風險分析



ChatGPT

從這張圖片中，我可以判斷出幾種可能發生的職業災害情況。考量到屋頂的工作環境和高度 (5.48 公尺)，以下是一些潛在的風險：

1. 墜落、滾落：勞工在屋頂工作時，如果沒有適當的防墜設施，如安全網或防墜系統，存在從屋頂墜落的風險。
2. 物體飛落：更換鋼浪板及塑膠採光罩的過程中，如果物件被不當搬運或固定，可能會從高處落下，對下方的勞工造成傷害。
3. 物體倒塌、崩塌：如果屋頂結構不穩或承載超過其設計極限，可能導致部分結構崩塌，勞工有被埋壓的風險。
4. 被撞、衝撞：在屋頂工作時，勞工可能會不慎碰撞到屋頂上的設施或結構，如通風口、天窗邊緣等。
5. 被夾、被捲：工作時使用的工具或機械可能有夾傷或捲入的風險，特別是在搬運重物或操作機械時。
6. 不當動作：由於屋頂工作空間可能受限，勞工在進行作業時可能會因動作不當導致扭傷或拉傷。
7. 踩踏：屋頂上可能散落有鋼釘、工具或其他銳利物品，勞工在行走時可能會踩到這些物品。

為了預防這些職業災害，勞工應該穿著適當的防護裝備，如安全帽、防滑鞋和適當的防墜裝置。同時，應該進行風險評估，以確保所有必要的安全措施都已到位，包括勞工教育訓練、工作監督和緊急應變計劃。

圖 2 生成式 AI 的屋頂作業職災風險分析

接著，可以讓生成式 AI 根據特定法規（例如職業安全衛生設施規則與營造安全衛生設施規則），判斷照片所示的工作場所應遵守的規定，如圖 3 與圖 4 所示。從圖 3 與圖 4 的內容可知，生成式 AI 可根據照片分析風險情況，再跟法規條文進行比對，辨識出適用的規定供使用者參考。

生成式 AI 所產生的內容（圖 2 至圖 4）基本上與職災報告中的肇災原因與防災對策一致，顯示只要輸入足夠詳細、明確的提示詞，生成式 AI 產生的資訊將具有相當的專業性與參考價值。

隨後，可再讓生成式 AI 在現有防護設施下，推薦哪些科技能進一步降低墜落職災風險，如圖 5 所示。



ChatGPT

根據您提供的「職業安全衛生設施規則」文件，對於工作場所進行高空作業時，為了防止勞工墜落，雇主必須依照以下條文實施相應的預防措施：

1. 第224條：高度在二公尺以上的工作場所邊緣及開口部分，若勞工有墜落危險，應設有足夠強度的護欄、護蓋等防護設備。若設置困難或需臨時拆除，則應使用安全帶等措施防止墜落。
2. 第225條：在高度二公尺以上的處所作業，且勞工有墜落之虞時，應架設施工架或其他方式設置工作台。若設置工作台困難，則應採取張掛安全網或使勞工使用安全帶等措施。
3. 第227條：若勞工需在易踏穿材料構築的屋頂或天花板上作業，雇主應規劃安全通道，在屋架或天花板支架上設置寬度超過三十公分的踏板，並在可能墜落範圍裝設堅固格柵或安全網等。
4. 第226條：若作業場所的高度在二公尺以上，遇到強風、大雨等惡劣氣候可能導致勞工墜落，則應停止作業。
5. 第228條：若勞工在高差超過一點五公尺以上的場所作業，雇主應提供能夠使勞工安全上下的設備。

以上措施都是以勞工安全為首要考量，並確保作業時的安全防護。這些條文提供了明確的規範，以減少墜落的職災發生。根據您的專長，應用這些條文來評估和改善工作場所的安全是非常關鍵的。

圖 3 根據職業安全衛生設施規則的生成式 AI 分析內容



ChatGPT

依據營造安全衛生設施標準的第17條規定，雇主對於高度二公尺以上之工作場所，勞工作業有墜落之虞者，應訂定墜落災害防止計畫，並按照風險控制的先後順序採取適當的墜落災害防止設施。這些設施包括：

1. 經由設計或工法選擇，盡量使勞工在地面完成作業，以減少高處作業項目。
2. 變更施工程序，優先施作永久構造物的上下設備或防墜設施。
3. 設置護欄、護蓋。
4. 張掛安全網。
5. 使勞工佩戴安全帶。
6. 設置警示線系統。
7. 限制作業人員進入管制區。
8. 對於增加作業危險的開放邊緣、組模作業、收尾作業等，應訂定保護計畫並實施。

此外，根據第18條，當勞工在屋頂進行作業時，雇主應依據作業的特點採取適當的安全措施，例如設置護欄和適當的工作臺，並在必要時提供背負式安全帶，確保勞工的安全。屋頂作業主管應在現場負責作業方法的決定、檢點、確保個人防護具的使用以及安全衛生設備及措施的有效狀況。

具體措施應根據實際工作條件和勞工墜落的風險來制定和執行，確保勞工在屋頂工作時的安全。

圖 4 根據營造安全衛生設施規則的生成式 AI 分析內容

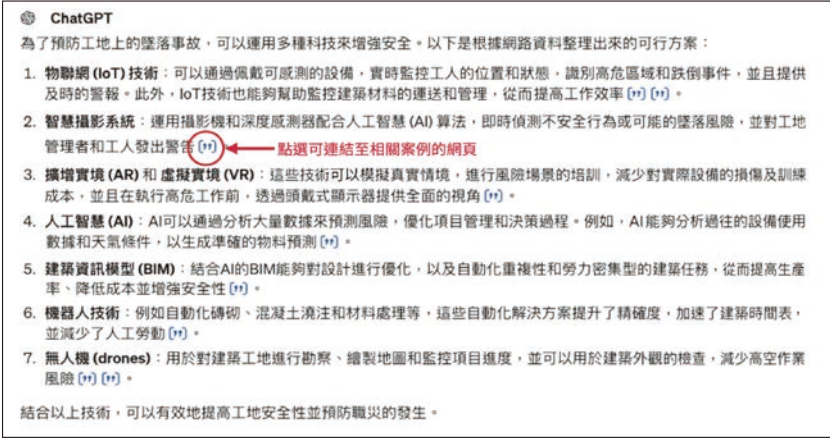


圖 5 生成式 AI 的墜落預防科技減災建議

從圖 5 可知，智慧攝影系統、物聯網、無人機、建築資訊模型等科技，都可用於預防墜落職災發生，且還能點選連結以進一步查看相關案例，助力科技減災的應用。然而，從圖 5 亦可知，生成式 AI 的部分建議描述（例如人工智慧、建築資訊模型、機器人技術）並非針對墜落職災預防。此時就可以修改提示詞，讓生成式 AI 只針對墜落職災預防的科技進行回覆。

除此之外，還可以讓生成式 AI 將上述科技依照控

制層級（hierarchy of control）進行分類，如圖 6 所示。使用者就可以依照控制層級的順序逐步思考每個科技的可行性。

此外，亦可讓生成式 AI 依照所提供的指標（例如安全性、成本、技術成熟度）進行評選，如圖 7 所示。從上述應用可知，科技減災在 PMI 的生成式 AI 分類中應該屬於「輔助」類別，即利用生成式 AI 產生豐富的資訊與初步成果，供使用者根據其專業再進一步評估與調整。

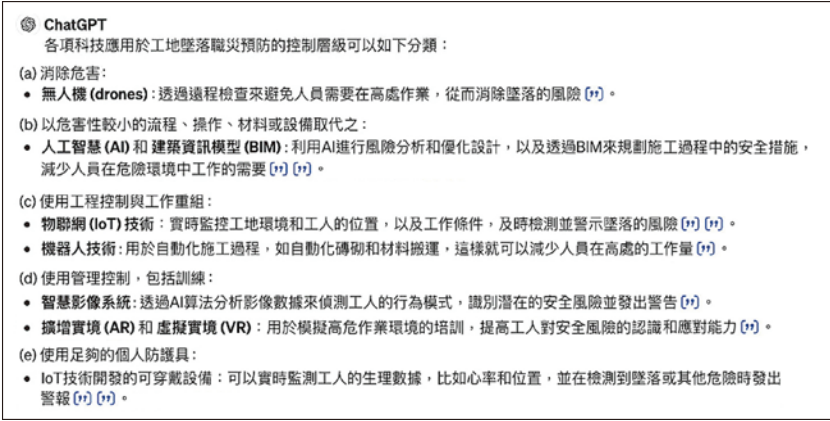


圖 6 依據控制層級將墜落預防科技進行分類



圖 7 利用生成式 AI 對墜落預防科技進行評選

除了生成式 AI 推薦的科技減災案例之外，使用者也可根據生成式 AI 推薦的方向，從「營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台」的營造業安全衛生電子報、營造業職業安全衛生科技分享、優良工程金安獎科技創新作為電子書、安全看得見手冊等，查詢相關的案例，如圖 8 所示。營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台網址為：<https://coshms.osha.gov.tw/>

例如在運用智慧攝影系統以預防墜落職災方面，可參考「新加坡工作場所安全衛生影像監視系統指引」的技術摘要，以瞭解智慧攝影系統基本規格與解析度的要求、建議裝設的高風險作業與地點，以及可增加的智慧功能（包括開口邊緣偵測、個人防護具偵測、工作者使用掛勾/安全帶的情況、電子圍籬等，如圖 9 所示^[12]）。

為能更方便使用，本研究將上述的分析過程寫成「科技減災 GPT」，使用者只需要拍照上傳，就會自動完成科技減災的所有分析，如圖 10 所示。

碰撞職災預防的科技

碰撞（衝撞/被撞）職災預防也是科技減災的常見應用方向。在行政院公共工程委員會的「公共工程採用自動化及預鑄化之規劃設計參考指引」中，亦提到施工機具搭載 AI 以避免碰撞的應用。因此，本研究同樣以勞動部職業安全衛生署官網所提供的碰撞職災案例為例，說明生成式 AI 如何提出有效的科技減災建議。

根據相關碰撞職災案例，可利用生成式 AI 提出未來預防碰撞職災再發生的科技應用（如圖 11 所示）。圖 12 為生成式 AI 所回覆的答案，包括智慧安全帽（物聯網）、AI 監控（智慧攝影系統）、無人機具等，都是可行的碰撞職災預防科技應用。

智慧安全帽在國外已有許多應用案例，從優良工程金安獎科技創新作為電子書中也可看到國內的應用，如圖 13 所示，能有效偵測工作者與施工機具間的



圖 8 營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台



圖 9 智慧攝影系統的延伸功能



圖 10 科技減災 GPT



圖 11 碰撞職災的科技減災分析

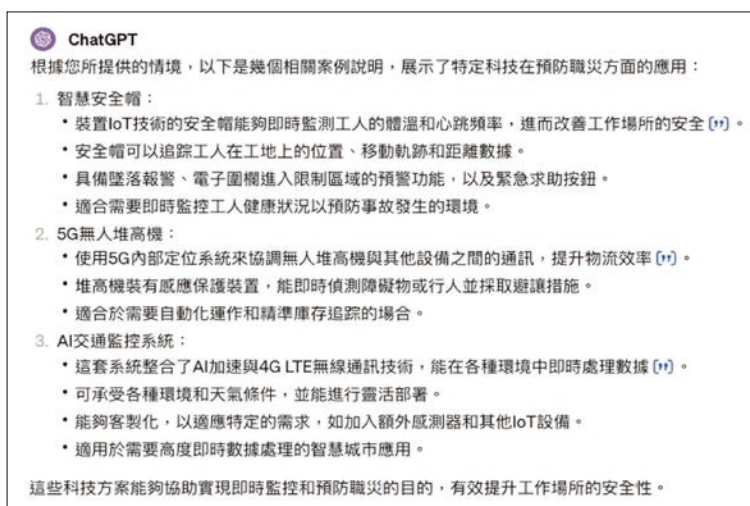


圖 12 生成式 AI 的碰撞職災預防科技應用回覆



圖 13 使用智慧安全帽預防碰撞的國內應用

距離，在侵界時發出警示，以有效預防碰撞職災發生。

在研擬科技應用時，亦可以藉由生成式 AI 來詢問應注意事項。例如圖 14 所示，使用智慧安全帽時應注意持續配戴、定期檢查等事項。

若現場無法全員提供智慧型安全帽時，智慧攝影系統就是一個可行的方案。在優良工程金安獎科技創新作為電子書中可看到國內智慧攝影系統在碰撞預防的應

用，如圖 15 所示，在施工機具上搭載智慧攝影系統，當工作者侵入預警範圍時發出警示，以預防碰撞職災發生。

除了物聯網與智慧攝影系統之外，自動化與遠端遙控施工機具更是預防碰撞的有效方法。相關資訊可從營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台中，查詢營造業安全衛生電子報「日本工程機械施工自動化與遠端遙控發展簡介」的內容。

 ChatGPT

使用智慧安全帽時，應注意以下事項：

1. 持續配戴：工作人員應在工作場所內全程配戴智慧安全帽，以確保安全帽的監控系統能夠即時追蹤及監控健康數據和位置。

2. 定期檢查：應定期檢查智慧安全帽的感應器和發射裝置是否運作正常，包括電池壽命、數據傳輸和報警系統。

3. 數據隱私：確保工人的個人健康數據受到適當的保護，並且遵守相關的隱私法規。

4. 培訓：工作人員應接受適當的培訓，以熟悉智慧安全帽的功能及其使用方式，包括怎樣回應安全帽的警報和通知。

5. 緊急程序：確保工作場所所有明確的緊急反應程序，以便在智慧安全帽發出警報時能夠迅速且有效地採取行動。

6. 維護保養：智慧安全帽應定期進行維護，包括清潔感應器，確保通訊裝置沒有損壞或異常。

7. 適應性調整：智慧安全帽應能夠根據不同的工作環境進行適應性調整，比如在光線不足或特殊環境下仍能夠穩定工作。

8. 技術支持：應有專業的技术團隊提供後續的技術支持和系統升級，以確保安全帽系統與時俱進。

9. 充分溝通：工作場所應有一套溝通機制，讓工人們能夠對智慧安全帽的使用心得提出反饋，並進行適當的改善。

通過上述措施的實施，智慧安全帽能夠在保護工人安全的同時，提高工作效率和預防職災的能力。

圖 14 使用智慧安全帽預防碰撞的應注意事項

圖 15 使用智慧攝影系統預防碰撞的國內應用

結論與建議

本研究以墜落與碰撞的職災預防為例，說明生成式 AI 在營造業科技減災的應用。結果顯示，只要提供明確、詳細的提示詞，生成式 AI 能有效辨識工地的職災風險，並根據相關法規分析現有防護設施的情況。在提供風險評估方法的提示詞後，生成式 AI 亦可根據營造安全的領域知識進行風險評估，並提出可行的科技減災對策。生成式 AI 將成為協助事業單位選擇合適科技的新興方法，也是國際發展的趨勢。

本研究亦建議使用者參考營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台的各項資源，在獲得生成式 AI 推薦的科技方向後，可從平台中查詢相關的國內外應用案例與資訊，協助使用者評估科技減災的可行性與實用性。此外，為使生成式 AI 在安全的環境中運用，亦可參考國際大型營造事業單位的作法^[13,14]，在提高效率的同時能兼具資訊安全。

參考文獻

1. 鄒子廉、李柏昌、李文進、李秉展 (2022)，職業安全衛生數位轉型發展策略，中華技術，第 133 期，第 32-43 頁。

2. Minister for Manpower. (2018). WSH 2028: A Healthy Workforce in Safe Workplaces; A Country Renowned for Best Practices in Workplace Safety and Health.

3. Okpala, I., Nnaji, C., and Karakhan, A.A. (2020). Utilizing emerging technologies for construction safety risk mitigation. Practice Periodi-

cal on Structural Design and Construction, 25(2), 04020002.

4. 建設業勞働災害防止協会 (2019)，勞働災害防止のための ICT 活用データベース。URL: https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/ict/index.html

5. HSE Science and Research Centre. (2021). Discovering Safety - Construction Risk Library project. URL: <https://www.discoveringsafety.com/index.php/works/construction-risk-library-project>

6. WSH Institute (2023). Technology as an Enabler to Improve Workplace Safety and Health. STAS-WSH Council Workplace Safety Forum 2023.

7. Abioye, S.O. et al. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. Journal of Building Engineering, 44, 103299.

8. Saka, A. et al. (2023). GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation. Developments in the Built Environment, 100300.

9. Alada, H. (2023). Assessing the Accuracy of ChatGPT Use for Risk Management in Construction Projects. Sustainability, 15(22), 16071.

10. Yang, Z., Li, L., Lin, K., Wang, J., Lin, C.C., Liu, Z., and Wang, L. (2023). The dawn of Imms: Preliminary explorations with gpt-4v (ision). arXiv preprint arXiv:2309.17421, 9(1), 1.

11. PMI. (2023). Shaping the Future of Project Management With AI. <https://www.pmi.org/learning/thought-leadership/ai-impact/shaping-the-future-of-project-management-with-ai>

12. WSH Institute. (2023). Technology as an Enabler to Improve Workplace Safety and Health. STAS-WSH Council Workplace Safety Forum 2023.

13. 鹿島建設株式会社 (2023)，当社グループ専用対話型 AI 「Kajima ChatAI」。 https://www.kajima.co.jp/news/digest/oct_2023/feature/03/index.html

14. 大成建設株式会社 (2023)，生成 AI を用いた専門技術検索システムを開発—信頼性の高い情報を短時間で提供し、業務効率化と生産性向上を実現。 https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2023/231226_9849.html

62

Vol. 51, No. 3 June 2024 土木水利 第五十一卷 第三期



職業災害的預防，落實風險評估， 以烏溪烏嘴潭人工湖工程計畫 ——湖區工程為例

邱怡川／臺中市勞動檢查處 處長

莊曜成／經濟部水利署中區水資源分署 分署長

楊志成／中興工程顧問股份有限公司 安衛組長

楊志遠／中華工程股份有限公司 處長

陳億全*／經濟部水利署中區水資源分署 副工程司

營造工程風險評估在職業安全衛生相關法規已有明確規定，在設計及施工階段都需要辦理風險評估報告，在合理可行範圍內，採取必要之職安衛預防設施或措施，以避免職業災害，採取的預防設施或措施作為在職業安全衛生署 110 年頒佈之營造工程風險評估技術指引手冊，優先順序為消除風險、降低（替代）風險、工程控制、管理控制及防護具，並隨著科技進步職災預防也跟著引進科技減災方式，所以藉由烏溪烏嘴潭人工湖工程計畫—湖區工程在施工階段辨識出的危害及採用科技作為來分享，為職災預防貢獻心力。

前言

職業安全衛生署公布之 111 年勞動檢查統計年報裡，111 年重大職業災害死亡人數為 320 人，死亡千人率為 0.0291%，其中營造業死亡人數 156 人，死亡千人率 0.1835%，災害類型以墜落、滾落 48% 排名第 1^[1]，其實職業災害發生是可以預防的，藉由作業內容拆解辨識出危害，進而分析該危害發生的嚴重度及影響層面，規劃構想出因應對策來預防，因此職業安全衛生法第 5 條第 1 項規定「雇主使勞工從事工作，應在合理可行範圍內，採取必要之預防設備或措施，使勞工免於發生職業災害。」第 5 條第 2 項「機械、設備、器具、原料、材料等物件之設計、製造或輸入者及工程之設計或施工者，應於設計、製造、輸入或施工規劃階段實施風

險評估，致力防止此等物件於使用或工程施工時，發生職業災害。」營造安全衛生設施標準第 6 條第 1 項亦說道「雇主使勞工於營造工程工作場所作業前，應指派所僱之職業安全衛生人員、工作場所負責人或專任工程人員等專業人員，實施危害調查、評估，並採適當防護設施，以防止職業災害之發生。」再則職業安全衛生法施行細則第 8 條第 2 項「本法（職業安全衛生法）第五條第二項所稱風險評估，指辨識、分析及評量風險之程序。」所以施工前風險評估及危害調查，得知可能遇到的危害，而可以規劃出因應之對策，以防止職災發生。

為了讓營造工程在設計及施工階段風險評估製作有所依循，職業安全衛生署於 110 年 2 月 17 日頒布「營造工程風險評估技術指引」供參考，藉由工程基本資料表、工址環境現況潛在危害辨識表、方案評選表、作業拆解表、風險評估表等，採用循序漸進方式引導製作風險評估報告，並告知風險對策優先順序如下^[2]：

* 通訊作者，wca03040@wraclb.gov.tw

1. 消除風險：採用安全性較高之工程設計，從源頭消除風險。
2. 降低（替代）風險：無法以設計消除之風險，採用較安全之施工方法或改變施工順序，以改變風險類型、降低風險程度及（或）其影響範圍。
3. 工程控制：以安全防護設施將風險隔離或中斷風險作用，達到防止災害之效果。
4. 管理控制：訂定安全衛生作業標準、實施教育訓練、資格管理、自主檢查等措施，以維持施工之安全狀況。
5. 防護具：無法以上述方式達到安全施工之目的者，應依據風險狀況，正確使用個人防護具。

風險對策順序，通常消除風險比較難達成，因此通常會採用後面四種方式，作為風險的對策處理方式，不同的工程性質，對於風險對策處理也會有不同方式，在此以烏溪烏嘴潭人工湖工程計畫—湖區工程為案例來說明。

烏溪烏嘴潭人工湖工程計畫—湖區工程（以下簡稱：湖區工程）（圖 1），為國內最大之人工湖預計 113 年 9 月底前竣工，位於國道 6 號東草屯交流道兩側，臨近烏溪，建設主要目的為彰化地區因長期超量抽用地下水，除導致地層下陷並持續向內陸延伸而易淹水致災外，原規劃於南投地區興設「建民水庫」作為替代水源，惟民國 88 年因天災（921 大地震）發生而導致停建，經濟部水利署提出「烏溪水資源開發分期推動計畫」，烏溪水系水源豐沛，惟目前水源利用率低，

尤其於豐水期期間，大量餘水任其流失，應有因應計畫提升其使用效益，因此從民國 94 年開始便規劃推動，直到 104 年 4 月 10 日行政院核定興建在案，湖區工程用地面積約 178 公頃，興建 6 個人工湖區，有效蓄水量約 1,450 萬立方公尺，土方總挖方量約 1,286 萬立方公尺，竣工後將提供彰化地區 21 萬噸 / 日及南投草屯鎮 4 萬噸 / 日的水量，達成 (1) 供地面水，減抽地下水，減緩地層下陷、(2) 穩定區域供水，降低缺水風險，因應區域發展需求，計畫目標^[3]。

湖區工程對於蓄水區域開挖執行過程中可能遇到之職安危害風險有以下（圖 2）：

1. 墜落：湖區蓄水區開挖深度約 10 公尺到 15 公尺，人員如果在做測量放樣作業，恐有不慎從邊坡墜落。
2. 崩塌：土方開挖過程或是堆置作業不慎，讓土方崩塌，壓傷人員。
3. 物體飛落：土石挖運到搬運機械上，或運輸過程中掉落，砸傷人員。
4. 被撞：重型機具行駛或作業過程中，未注意到周遭人員，將其撞傷。
5. 溺水：於烏溪河道內作業，因為上游降雨量大，溪水上漲，人員受困河道內。
6. 熱危害：夏季戶外高氣溫作業，人員中暑或熱痙攣等。
7. 空氣品質：土方開挖造成粉塵飛揚空氣品質差，影響當地居民生活及作業人員。

對於上述之職安危害預防，湖區工程採取以下降低（替代）風險或工程控制作為。



圖 1 湖區工程空拍圖

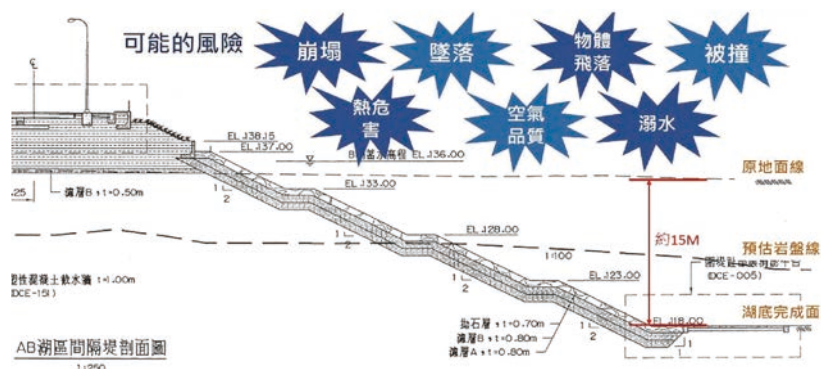


圖 2 湖區開挖職安危害

挖土機安裝土方施工智能 3D 控制系統

該系統主要為作業前先將設計圖資料變成 3D 模型，上傳至雲端藉由 GNSS 衛星訊號，將資訊傳送到挖土機機身上的 GNSS 接受器，挖臂及挖斗安裝相對感應器，挖開資訊即時傳遞到挖土機電腦上計算，操作者可藉由操作室內電腦立即檢視出與設計值差異，規劃好開挖區域，分區分階段開挖，不需測量人員先放樣板，有效減少墜落、崩塌、被撞危害，同時也減少人員放樣錯誤（圖 3）。

鉸接式牽引車

牽引車貨斗及車頭連接採用鉸接方式，依據製造商的介紹影片，貨斗如果翻覆，車頭仍可保持平穩，不會跟著翻覆，與傳統常見之砂石車不同，本工程採用之機型載運量為傳統砂石車的 1 倍，同時搭載自動秤重 OBW（On-Board Weighing）系統，操作者於駕駛室內可即時知道載重資訊，同時車頭上也有載重指示燈，採用紅綠燈概念，讓挖土機操作者知道車輛載重狀況，另外考量施工道路顛簸，座椅採用氣壓式平衡，讓操作者久坐也不會感到腰痛，具有人因性考量，當然也搭配全車環景系統，增加安全性^[4]（圖 4）。

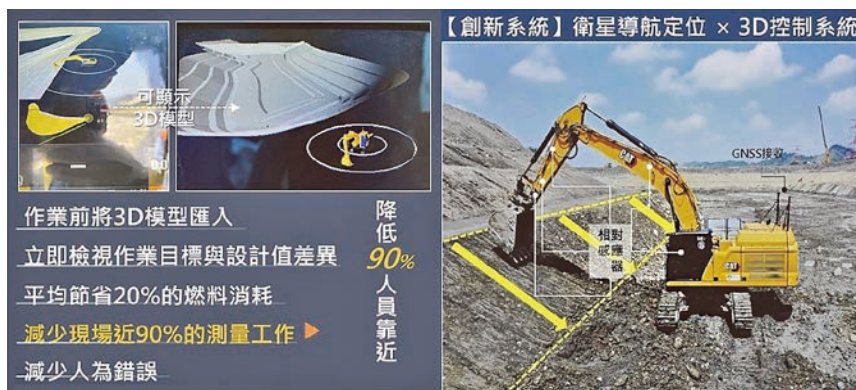


圖 3 土方施工智能 3D 控制系統



圖 4 鉸接式牽引車

因鉸接式牽引車載重後總重達 80 噸，為了防止車輛衝入人工湖區內，特別利用現地塊石經過結構計算，距離湖區邊坡 2 公尺處，設計專屬的土堤防撞設施（圖 5）。

土方壓實引進之壓路機具有壓實儀系統

湖區工程圍堤的土方填築依據施工規範第 02314 章圍堤填築，土方壓實度須達 95%，滾壓次數需由填方現場前輾壓試驗求得，本工程壓路機搭載壓實儀系統，藉由滾壓輪上的傳感器，讓操作人員在駕駛室上的儀表板就可以清楚得知壓實度，並藉由一般土方試驗抽查壓實度是否符合，此精進方式縮短人員進入壓實區域時間，同時可確保壓實度品質一致，顧及維運安全（圖 6）。

空拍機土方收方測量

人工湖挖方量約 1,286 萬立方公尺，面積達 178 公頃，採用傳統測量方式，需要很多測量人員，且有許多重型機具在工區內移動，再加上湖區開挖深度深及夏天炎熱氣候，等於是讓危害暴露時間提升，職安危

害機會增加，為了有效避免，採用空拍機土方收測，空拍機在上方飛行收測，車輛機具在地面施工，互不干擾，經統計測量 20 公頃只需 0.5 天，跟傳統 2.5 天相比，危害暴露時間大大縮短（圖 7）。

數位化環境監測系統

湖區工程戶外作業多且空曠，夏季氣候到來時，熱危害發生機會就增高，傳統熱指數計算耗費時間及人力，因此現在都採用數位化方式，自動計算熱指數，達到設定值搭配 IOT 物聯網進行推播，達到即時監控，並隨著工進，於工區內設置臨時性的休息區，以防止熱危害發生（圖 8）。

防汛科技作為 IOT 物聯網

工區坐落於烏溪旁，部分工項需於河道內進行，藉由搜集上游集水區雨量站資料搭配物聯網，當水位達到警戒值時自動發布訊息到手機 line，並持續觀察水位，達撤離值立刻執行人員機具撤離，經防汛演練大約 30 分鐘可以撤離完成，距離洪峰到達需 1 小時有足夠的時間（圖 9）。



圖 5 防撞土堤



圖 6 壓實儀系統

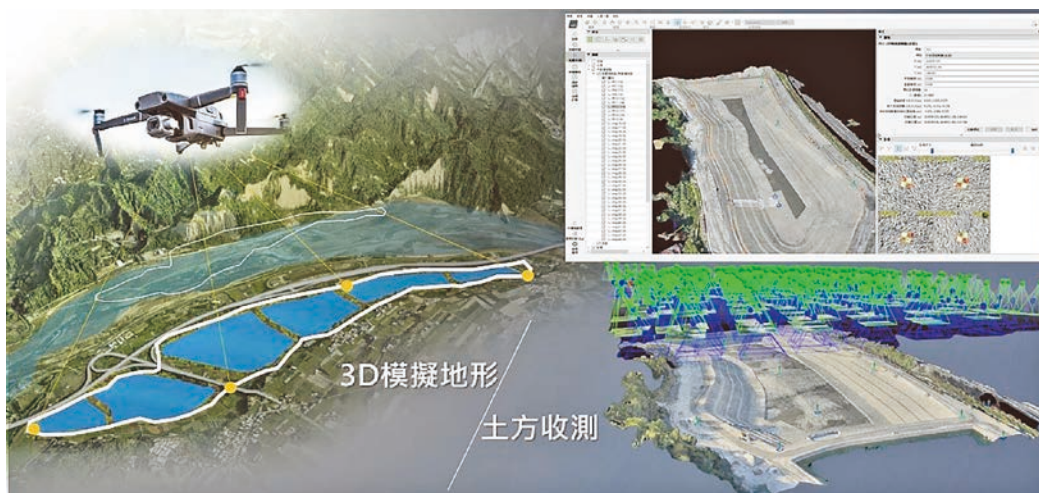


圖 7 空拍機土方收方



圖 8 數位化環境監測系統



圖 9 防汛科技作為 IOT 物聯網

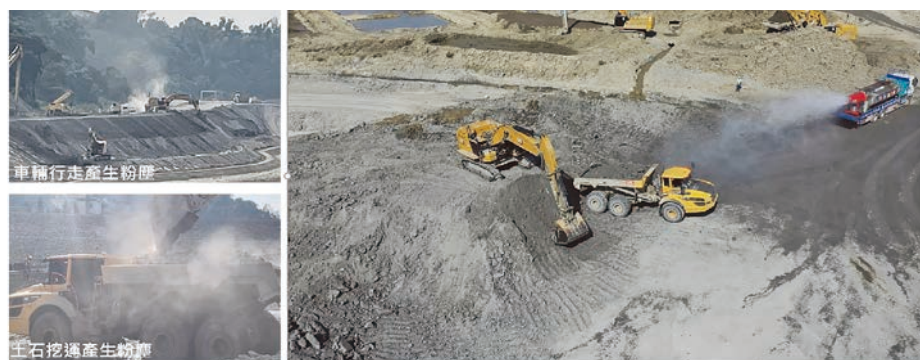


圖 10 霧砲車

空汙防制法寶霧砲車

土方開挖或工區車輛行駛常有塵土飛揚情形，常見方式是採用灑水車灑水，但工程開挖範圍廣大及深，刚开始灑水車尚可處理，但隨著工程進行土石載運下，灑水車無法對於正在開挖作業的範圍進行灑水，因此檢討後，增加霧砲車，藉由將水霧化後噴出，把空氣中粉塵粒子抓住，進而達到空汙防止，且不會影響作業（圖 10）。

結語

風險評估，是職業災害預防的方法之一，通過對於工程作業內容拆節，辨識出危害、分析危害及評量危害發生後，可否接受來執行，同時也是將工程在設計階段

對於所需要的職安衛圖說、預算及規範可視化的作為，編列所需經費及合理工程，讓施工廠商能有所依循，並在施工階段滾動檢討工進，原本施工規劃風險評估報告內的作業風險值及職安衛設施或措施是否需調整，面對風險對策採用科技減災是趨勢，同時也是面對近年來勞動市場缺工的問題的解決方式之一，藉由湖區工程科技減災的作為參考，讓大家持續朝更好的職災預防邁進。

參考文獻

1. 勞動部職業安全衛生署（2023），勞動檢查統計年報 111 年。
2. 勞動部職業安全衛生署（2021），營造工程風險評估技術指引。
3. 經濟部水利署中區水資源分署（2022），烏嘴潭人工湖工程計畫（第 2 次修正）。
4. 中華工程股份有限公司（2019），烏溪烏嘴潭人工湖工程計畫湖區工程施工服務建議書。



ESG 驅動下 營造業職業安全衛生 的 創新與挑戰

周宏宇* / 中華大學土木工程學系 助理教授

在全球永續發展趨勢的推動下，ESG（環境、社會、治理）成為各行各業的重要指導框架。營造業作為高風險、高影響力的行業，職業安全衛生（OSH）問題尤為重要。本文旨在探討 ESG 驅動下，營造業在職業安全衛生領域的創新與挑戰，及職業安全衛生對於社會責任的重要性。首先，介紹 ESG 在營造業中的應用，包括環境友善措施、社會責任承諾以及良好治理實踐。其次，分析營造業目前在職業安全衛生方面的現狀與面臨的挑戰，如相關法規、風險管理等。爾後係探討在 ESG 框架下的創新作為，包括創新技術（如智能穿戴設備、物聯網技術），創新管理（如數據驅動的安全管理、預防性維護）。最後，針對 ESG 對營造業職業安全衛生的影響，並提出未來發展方向與建議，以有效推動營造業在 ESG 框架下達到更高的職業安全衛生標準，並履行其社會責任。

關鍵詞：ESG（環境、社會、治理）、營造業、職業安全衛生（OHS）、社會責任

前言

根據內政部國土管理署主計室於 111 年 1 月公布「營建統計年報」中，110 年營造業家數達 1 萬 9,226 家，資本總額 9,115 億元，110 年底平均每家為 4,731 萬元^[1]。營造業為國家總體經濟重要的一環，帶動關聯產業與經濟景氣息息相關，經濟活動是國家經濟發展與競爭力之重要指標。依據勞動部職業安全衛生署 111 年勞動檢查統計年報，台灣營造業僱工人數超過 85 萬（佔全部產業總僱工人數之占 7.74%）^[2]，顯示營造業在臺灣勞動市場中佔據重要地位。

然而，在全球永續發展和企業社會責任（CSR）日益受到重視的背景下，環境、社會和治理（以下簡稱 ESG）成為評估企業表現的重要指標。營造業作為經濟發展的龍頭產業，對於環境和社會產生重大影響，但也面臨著諸多挑戰。特別是在職業安全衛生（OSH）方面，營造業以其高風險的特性，是各方關注的焦點。如何在 ESG 架構下提升職業安全衛生水平，為政府及企業當前所關心的課題。

隨著 ESG 理念在營造業中的應用逐漸深入，透過一系列環保措施、社會責任以及治理改進，推動產業的永續發展。然而，在執行的過程中也面臨著許多挑戰，營造業在推行 ESG 驅動的職業安全衛生措施時，常常面臨法規遵從的壓力、資源分配的限制以及高風險工作的管理難題。這些挑戰不僅來自於外部監管的要求，還包括內部管理的複雜性和勞工對新技術的接受度。

有鑑於此，如何有效地應對這些挑戰，滿足 ESG 理念在營造業職業安全衛生中的深度融合，成為各公司必須解決的關鍵問題。本文將深入探討 ESG 對於職業安全衛生的重要性，在這些創新措施與挑戰過程中，如何為營造業提升職業安全衛生水平及永續發展提供參考。

營造業執行 ESG 於職業安全衛生的現狀與挑戰

根依據勞動部職業安全衛生署 111 年勞動檢查統計年報（112 年尚未公布），台灣營造業僱工人數超過 85 萬（佔全部產業總僱工人數之占 7.74%）^[2]。從統計資料中發現，全國產業發生職災事件共 46,544 件，

* 通訊作者，harrychou@chu.edu.tw

重大職業職災死亡 320 人；其中營建工程業發生職災事件 6,956 件，營建工程業重大職業災害死亡 156 人，如圖 1 所示。營造業職災事件比率占 14%，重大職災死亡人數卻占 48.75%。再以死亡千人率而言，營造業（0.1835）高達全國所有產業平均值（0.0291）之 6.3 倍，可見營造業勞安問題之嚴重性與急迫性^[2]。

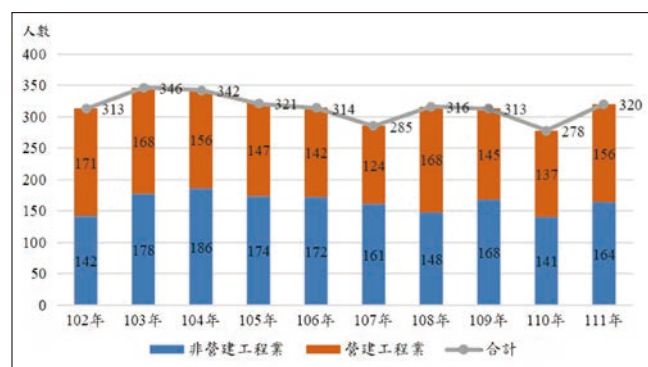


圖 1 歷年工作場所重大職災死亡人數統計圖（本研究整理自^[2]）

在當前 ESG 整體大環境的驅動下，營造業在提升職業安全衛生方面面臨著諸多挑戰。儘管各公司在法規合規、管理體系建設以及技術應用等方面不斷努力，營造業的職業安全衛生現狀仍然呈現出高度的複雜性和挑戰性。從國際間法規差異帶來的合規壓力，到施工環境的固有風險，以及員工安全意識的培養，這些因素都對營造業的職業安全衛生管理提出了更高的要求。以下將從職業安全衛生相關規定、管理體系和職業病和工傷事故三個方面詳細分析這些挑戰。

職業安全衛生相關規定

營造業職業安全衛生在各國皆面臨著嚴格的規定，儘管各國經濟發展水平及法規體系不同，標準的嚴格程度和執行力度存在顯著差異。例如，歐美國家在營造業安全衛生方面具有較高的標準和成熟的監管機制，而一些發展中國家則可能因資源限制和監管體系不健全，導致執行難度較大^[3,4]。根據美國職業安全與健康管理局（OSHA）的數據，2023 年美國營造業報告了大量非致命性傷害和疾病案例，這些數據包括個別的工傷和疾病報告^[3]。

此外，隨著全球對職業安全衛生重視程度的提高，各國也在不斷修訂和完善相關法規，要求企業及時調整其管理體系，以符合最新的法規要求。例如，英國健康與安全執行局（HSE）報告顯示，英國在

2023 年對營造業的安全法規進行了多次修訂，旨在進一步提高安全標準和監管力度^[4]。

這些數據和文獻表明，現代營造業在職業安全衛生管理方面面臨著多重挑戰和機會。企業需要在合規、資源管理、技術應用、員工教育和風險管理等方面不斷改進，才能有效提升其職業安全衛生水平。在這個過程中，持續的員工教育和培訓、技術的有效應用以及風險管理的加強將是關鍵，只有這樣，企業才能夠在日益嚴格的 ESG 環境中脫穎而出，確保員工的健康和安全，同時達成永續發展的目標。

職業安全衛生管理體系

營造業的職業安全衛生管理體系已經逐漸從傳統的被動應對模式轉向主動預防和風險管理。許多企業引入了國際標準化組織（ISO）的職業健康與安全管理系統（如 ISO 45001），透過系統化的方法來識別、評估和控制工作場所的風險。這些管理體系強調持續改進，要求企業不斷監測和評估其安全表現，並進行相應的改進措施。

根據美國勞工統計局（BLS）資料，2023 年營造業報告的非致命傷害和疾病數量顯示出輕微上升的趨勢。從 2021 年起，營造業報告顯示約 17.4 萬例非致命傷害和疾病^[3]，至 2023 年，報非致命傷害和疾病數量達到了約 18 萬例^[5]。這些傷害和疾病的主要原因包括高空墜落、物體打擊和機械傷害。高空墜落和物體打擊仍然是營造業中最常見的事故類型^[5]。

此外，依據 OSHA 的數據，2023 年有超過 375,000 個企業報告了他們的職業安全培訓活動，這些活動包括定期開展的安全演習和培訓課程，旨在提升員工的安全意識和應急能力^[3,5]。先進的技術如物聯網（IoT）設備和大數據分析也逐漸應用於安全管理中，透過實時監控和數據分析，及時發現並處理潛在的安全隱憂^[3]。

職業病和工傷事故數據

依據多個國家的數據統計，營造業是職業病和工傷事故的高發行業。常見的職業病包括肺病、聽力損失和肌肉骨骼疾病，這些疾病通常是由於長期暴露在有害環境中或從事重體力勞動所致。根據美國職業安全與健康管理局（OSHA）的資料顯示，2023 年營造

業報告了大量非致命性傷害和疾病案例，這些數據包括個別的工傷和疾病報告^[3]。在英國，建築工人面臨的健康風險包括肺病、聽力損失和肌肉骨骼疾病，這些疾病通常是由於長期暴露在有害環境中或從事重體力勞動所致^[4]。

在工傷事故方面，高空墜落、物體打擊和機械傷害是營造業中最常見的事故類型。依據 2023 年資料顯示，這些事故在營造業中占據了主要比例。例如，美國建築業在 2021 年報告了 946 名工人死亡，主要原因包括高空墜落和物體打擊^[6]。儘管企業和監管機構採取了多種措施來減少這些事故的發生，但由於施工環境的複雜性和高風險性，完全消除工傷事故仍是一個重大挑戰。為了應對這些問題，企業需要加強風險管理和安全防範措施，同時推動技術創新，以有效保護勞工的健康和安全。

綜上所述，即使在監管嚴格的地區，營造業仍然具有高風險。企業在執行 ESG 框架下的職業安全衛生措施時，應該特別關注這些數據所揭示的風險領域，並持續改進其管理體系和安全措施，以保障員工的健康和安全。

ESG 驅動下職業安全衛生的創新技術

營建產業在推動 ESG 目標的過程中，針對職業安全衛生需要積極採取創新技術，作為 ESG 中社會責任的重要組成部分，不僅能夠保護員工健康，還能提升企業的整體競爭力。本章將探討營造業如何透過技術創新，並強調其對企業的多方面好處。

進行物聯網 (IoT) 和大數據分析

物聯網 (IoT) 設備和大數據分析技術在營造業中的應用日益普及，這些技術透過實時監控和數據分析，可以有效地預測和預防潛在的安全風險。例如，安裝在工地上的 IoT 傳感器可以監測空氣質量、噪音水平和機械運行狀態，並將數據實時傳輸到中央控制系統進行分析^[3,7]。

採用區塊鏈技術

區塊鏈技術為營造業提供了透明且不可篡改的數據記錄方法，特別適用於供應鏈管理。企業可以使用區塊鏈技術來追蹤建材的來源和運輸過程，確保其符

合環保標準和社會責任要求^[6]。

強化綠建築技術

儘管國內以執行綠建築已有多年的經驗，若能夠強化現有的技術，包括使用可再生能源、節能設備和永續建材。例如，太陽能電池板和風力發電設備可以大幅度降低建築物的碳足跡。此外，使用低揮發性有機化合物 (VOC) 材料和回收建材，可以減少對環境的污染^[8]。

虛擬現實 (VR) 和增強現實 (AR)

VR 與 AR 技術在營造業中的應用迅速增長，這些技術可用於員工培訓、安全演習和設計模擬。例如，企業可以使用 VR 技術模擬危險場景，讓員工在安全的環境中學習如何應對緊急情況。此外，AR 技術可以提供實時的視覺化數據，幫助工人更準確地完成施工任務^[3,8]。

自動化和機器人技術

自動化和機器人技術在營造業中的應用可以顯著提高效率 and 安全性。這些技術可用於執行重複性高、危險性高的任務，如砌磚、混凝土澆築和高空作業。透過減少人工操作的風險，這些技術有助於降低工傷事故的發生率^[7]。

營造業職業安全衛生的社會責任

在 ESG 框架中，職業安全衛生的社會責任扮演著關鍵地位，依據前章節的論述分析可了解到，營造業各廠商透過提供安全的工作環境、推動員工健康培訓及應用先進技術來預防職業危害，不僅保護員工的福祉，還提升了企業的永續發展能力。這些措施不僅增強企業的社會形象，還促進了整體社會的健康與和諧。因此，本文就營造業在推動職業安全衛生的社會責任方面，分析如表 1 所示。

營造業在推動職業安全衛生方面承擔著重要的社會責任，透過提供安全的工作環境、推動員工安全培訓和教育、使用創新技術改善安全、確保環保和永續發展，以及加強社會責任和社區參與，可以達成更高的安全標準，提升員工福祉，並促進社會和環境的永續發展。

表 1 職業安全衛生的社會責任

社會責任	說明	執行內容
提供安全的工作環境	營造業涉及高風險的工作環境，企業必須確保提供安全的工作場所，以保護員工免受職業傷害和疾病的影響。	• 安裝並維護安全設備，如防護網、安全帶和防護頭盔。 • 確保工地符合當地的安全標準和法規^[4]。 • 定期進行安全檢查和風險評估^[3]。
推動員工安全培訓和教育	為了提升員工的安全意識和技能，企業應該定期提供培訓和教育計劃。	• 安排安全演習和應急演練，讓員工熟悉如何在危險情況下保護自己。 • 使用虛擬現實（VR）和增強現實（AR）技術進行模擬培訓，使員工在安全環境中學習應對危機^[3,7]。
使用創新技術改善安全	引入創新技術可以顯著提高施工現場的安全性和效率。	• 物聯網（IoT）傳感器可實時監控空氣質量、噪音水平和機械運行狀態，預防潛在的安全風險^[3,4]。 • 區塊鏈技術可以提供透明且不可篡改的數據記錄，確保供應鏈的合規性和環保標準^[6]。
確保環境保護及永續發展	營造業在施工過程中應注重環境保護，使用永續建材和節能設備。	• 採用低揮發性有機化合物（VOC）材料和回收建材，減少對環境的污染^[7]。 • 使用太陽能電池板和風力發電設備，降低建築物的碳足跡^[7]。
強化社會責任和社區參與	營造業應該積極參與社區建設，實踐推動社會責任的義務。	• 支持地方經濟發展，提供就業機會和技術培訓^[7]。 • 確保施工過程不對當地社區造成負面影響，並積極參與社區的環保和安全活動。

結論與建議

結論

在 ESG 驅動下，營造業的職業安全衛生面臨著新的機遇與挑戰。從環境（E）角度，營造業在減少能源消耗、降低排放和推廣綠色建築及材料方面有顯著的進展；社會（S）層面上，營造業越來越重視勞工的健康、安全和福利，透過提供良好的工作條件和全面的教育訓練，有效提升勞工的滿意度和生產力。在治理（G）方面，良好的公司治理結構和公開透明的報告制度有助於提升職業安全衛生標準，確保公私運營的合規性和永續性。

然而，營造業依然面臨諸多挑戰，如工地環境的變數、高風險作業、勞工教育訓練不足及安全設備的缺乏等。這些問題需要企業和政府的共同努力來解決。隨著技術的進步，物聯網、大數據分析、虛擬現實和擴增實境、自動化和機器人技術等創新技術正在改變營造業的工作模式和安全管理方式。這些技術的應用，有助於提高施工安全性，減少工傷事故的發生。

建議

本文期望透過相關建議的實施，提供營造業有更好的環境來應對 ESG 驅動下的挑戰，並達成永續發展的目標，勞工提供一個更加安全和健康的工作環境。

1. 推廣數位化及智慧管理：強化物聯網和大數據分析在工地安全管理中的應用，實時監控施工現場的環境變化，及時預警和干預。擴大虛擬現實和擴增實境技術在安全培訓中的使用，透過沉浸式體驗提高勞工的安全意識和操作技能。

2. 發展自動化和機器人技術：推動無人機技術在工地巡檢和監測中的應用，減少勞工進入高風險區域的需求。鼓勵營造業發展建築機器人，執行高危險性工作，降低勞工受傷風險。

3. 推動利害關係人參與：定期與各國勞工、社區和其他利害關係人溝通，了解他們的關切和需求，並根據反饋改進安全衛生措施。鼓勵企業參與產、官、學界的標準制定，分享最佳實務，推動行業整體安全水平的提升。

參考文獻

1. 內政部國土管理署主計室 (2022), 「營建統計年報」。

2. 勞動部職業安全衛生署 (2022), 「111 年勞動檢查統計年報」。

3. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2023). “2023 Report on Non-Fatal Injuries and Illnesses in the Construction Industry.”

4. Health and Safety Executive (HSE). (2023). “2023 Revisions to Safety Regulations in the Construction Industry.”

5. Bureau of Labor Statistics (BLS). (2023). “2023 Occupational Safety and Health Data Report for the Construction Industry.”

6. Work Injury Source. (2021). “Construction Industry Work Injury and Fatality Statistics.”

7. Occupational Health & Safety. “Green Building Techniques and Safety Innovations.”

8. 林志文、陳嘉玲 (2021), ESG 對台灣建築業職業安全衛生的影響,《台灣建築安全期刊》,第 34 卷第 2 期,第 45-60 頁。

9. 王志強、李佳穎 (2022), 物聯網技術在台灣建築工地安全管理中的應用,《工業安全與衛生期刊》,第 29 卷第 1 期,第 75-89 頁。

10. 張明哲、吳佩珊 (2023), 區塊鏈技術在台灣建築業供應鏈管理中的應用研究,《科技與管理期刊》,第 41 卷第 3 期,第 102-115 頁。

11. 李國華、林怡君 (2022), 台灣建築業綠建築技術與安全管理探討,《永續發展與環境保護期刊》,第 28 卷第 4 期,第 58-72 頁。

12. 黃子軒、陳怡萱 (2023), 虛擬現實技術在台灣建築工地安全培訓中的應用效果評估,《教育與培訓期刊》,第 19 卷第 1 期,第 33-47 頁。



羅東大排水工程施工紀實

黃世傑／吉興工程顧問股份有限公司 董事長退休

1951 年政府因為財政拮据，乃決定將若干交通水利亟待辦理、已編列預算、技術程度較低之工程交由兵工協建。其中水利較大規模者為「羅東大排水工程」，由水利局三星工程處主辦，駐宜蘭縣之陸軍第十八軍四十三師派遣兵工 1,500 人辦理。因工程費龐大且用地未能解決，當時僅能辦理第一期土方工程，主要為開挖排水道及兩岸築堤。

宜蘭縣羅東、冬山、五結三鄉鎮地勢平坦而低窪，標高在 2 公尺以下，以冬山河及其支流為天然排水道。由於冬山河道彎曲，斷面狹小，河口又受潮位及蘭陽溪迴流頂托，每逢豪雨，低地即遭淹水，若加上山洪下瀉，冬山河無法宣洩則泛濫成災，農田因浸水鹽害不能耕種者達 2,000 公頃之多。

該工程係將冬山河中段拓寬並截彎取直，兩旁興建堤防，來防止每年颱風期間海水倒灌之害，工地均屬黏性甚大之黑色黏土，需要消耗畚箕甚多，當地市場無法供應，又因施工單位並無任何抽水機械，故由兵工單位增派 300 人負責編製畚箕及製造木製腳踏水車，在稻田中分小區塊以人力開挖施工（如圖 1 至圖 3），極其辛勞。

所有兵工之居住問題均由主辦單位協調河岸沿線農民同意在農戶門前曬穀場旁的竹叢間，分別搭建帳篷 2 至 3 座，每座可容納 1 班約 12 人。在施工兩年間，軍民關係如水乳交融，從未發生重大不愉快之事件。

冬山河排水問題經本次兵工協建整治後，獲得初步改善，嗣後復經多年分期實施治標與治本的排水計畫，終於 1982 年全部完工，徹底解決長年的水患夢魘。宜蘭縣府自 80 年代起進行美化建設，現已成為該縣最吸引遊客之景點，每年在此舉辦國際划船競賽及童玩節，遠近馳名。



圖 1 截彎取直河道在積水的農田中開挖（黃世傑提供）



圖 2 兵工用自製的腳踏水車分區抽水排出（黃世傑提供）



圖 3 黏土切塊以人力傳遞方式堆成土堤（黃世傑提供）



軍工協建

李文彬／台灣電力公司再生能源處 副處長退休

陸軍的兵科中以工兵與土木工程最有關係，許多土木系學生畢業後第一次土木實務經驗都是在工兵部隊服役時獲得－如碉堡監造、營舍設計及工程發包，甚至動手砌磚、拌混凝土、搬運砂石等。工兵為陸軍戰鬥支援部隊，戰時支援作戰，負責防禦阻絕與攻擊爆破，平時步炮兵操練戰技，工兵則常被派去執行建造營舍哨所等任務。

戰後早年民間營造業規模小，無意願承攬利潤低的公共工程，而隨中華民國政府撤退來台的大軍是最佳的建設人力資源，每遭逢天災常派軍人搶救，災後復建也由軍隊協助，這就是所謂的「軍工協建」。早期軍中工兵數量不多，因此軍工不限於工兵，人數最多的步兵亦為最常調用的兵科，所做的工程包括開闢道路、興建公共設施及堤防等。直到 1970 年以後隨著軍隊現代化，工兵部隊逐漸備有施工機械及專業能力後，才由工兵部隊獨挑大梁。

軍工協建的交通工程中以中部橫貫公路最為浩大，名氣最響。從 1956 年 7 月開工，到 1960 年 4 月竣工，除利用美援外，並以安頓大量退除役官兵（即榮民）為號召，由省公路局籌劃選線，並由新成立的「榮民工程事業管理處」（簡稱榮工處，1954～1998）負責工程管理。該公路西起台中東勢，東達花蓮太魯閣，全長約 189 公里，另外還有宜蘭支線，主支線共長 348 公里，其中新闢公路有 234 公里。所經地區為高山峻嶺斷崖深谷，故橋梁隧道多，共計橋梁 112 座、隧道 85 座。這條公路最高點在大禹嶺（舊稱合歡埡口），海拔約 2,570 公尺，高低落差超過 2,000 公尺。當年開闢時受到天然環境的阻礙，僅有少數施工機具勉強發揮功能，土石方高達 750 萬方，幾乎都靠人力一鑿一錘開挖出來（如圖 1、圖 2），期間並多次遭逢颱風與地震，施工過程備嘗艱辛。工程最高峰期投入

人力達 11,000 人，內含榮民 5,000 人、陸軍步兵 2,200 人、軍刑犯 1,200 人等，由於施工主力為退除役官兵，因此不幸因公殉職的 212 人中半數為榮民。

1959 年八七水災後，復建需要大量人力支援，國軍受命動員協助，國防部正式成立軍工協建處。其後中山高速公路的施工，除了榮工處扛起大梁外，亦有兩標道路工程直接由軍方派出兵工協建。1975 年行政院頒布「國軍特種協建人員協助國家建設作業」規定，並改稱協建工程處，台灣省政府即據此與國防部會商決定每年度申請協建工數，並由交通處分配予各



圖 1 榮工弟兄在岩壁上以手工鑽鑿^[1]



圖 2 榮工弟兄在岩壁上以繩索垂降施工^[1]

有關機關，如省公路局即與協建工程處議價訂約施作道路。協建工程遇有特殊結構者，仍需與廠商技術合作始完成，當民間營造業者逐漸茁壯後，公共工程若逕交由軍工協建，往往引起民間業者提出異議，且藉由民意代表反映施壓，導致申請軍工協建的條件日趨嚴格，自 1979 年起省級機關即停止申請。

1991 年台北市政府主辦「基隆河中山橋至成美橋段河道整治計畫」，重點為曲流河段的截彎取直，鑑於工區遼闊，而河道開挖作業須配合防汛，工期緊迫，加上當時國內營造業勞動力嚴重缺乏，因此市政府以救災名義向軍方申請支援工兵協助新河槽開挖、土堤施築、舊河道回填等工程。當年 10 月陸軍第六軍團工程兵群工兵營派出 216 員，攜帶施工機具 46 部進駐工區，工程尖峰時兵力達到 400 員，終於在 1993 年 10、11 月間使新河槽金泰段、舊宗段分別通水，順利轉換新舊河道，達成整治工程第一階段目標。在二年內共完成長 2,100 公尺、寬 100 ~ 120 公尺的新河槽開挖，及整理 224 公頃的河川高灘地。此次軍工協建以土方工作為主，使用挖土機、推土機及大卡車，故能以約 1/3 人力完成比 40 年前的「羅東大排水」更為浩大的工程。

二次大戰後澎湖、金門、馬祖等外島交通不便也沒有營造廠，基礎設施苦於無人可設計施工的窘況。幸好駐軍中有土木人才及施工機具，多年來藉由軍工協建完成了多所學校（金門並以部隊長官來命名，如柏村國小、安瀾國小等）、宿舍、辦公廳房、市場、水庫、跨海大橋及道路等公共設施，對外島的民生建設貢獻很大，直到 1992 年撤廢戰地政務為止。

其實兵工協建不是從民國時期才有，早在 300 多年前明鄭時期實施屯田政策，鎮營屯兵為灌溉農田，就曾挖築小型陂塘，如位於今高雄縣路竹鄉的蘇左協陂、北領旗陂即為一例。

清領初期不重視路政，台灣的道路多因墾拓而形成，由地方士紳及墾戶集資獻工辦理。官方若有造橋鋪路之需，常徵用當地平埔族服勞役；直到 1874 年（同治 13 年）為開發後山（花東地區），台灣道夏獻綸率鎮海一營及招募壯勇與工匠，自噶瑪蘭廳的蘇澳往南開闢至東澳的道路。所開山路都是盤旋曲折的泥土階梯，以橫木攔住，左右各訂木樁固定，惟修建的土階一遇大雨常即坍塌。

同年欽差大臣沈葆楨為了開山撫番，派兵開闢北、中、南三條越山道路，道路規格平地寬 1 丈、山地路寬 6 尺，共投入 19 營約 1 萬人兵力，耗時 1 年。

北路由福建陸路提督羅大春於 7 月接管夏獻綸的部隊，由蘇澳出發，沿海岸山脈開鑿一條長達 120 公里的步道，抵達奇萊與花蓮港。當時由大南澳至大濁水溪（今和平溪）一帶叢林疊嶂、溪澗急湍，且充斥兇猛的太魯閣族番人，往來行人常遭狙擊，某日兵勇正在挖鑿開路之際，突有生番埋伏於隱蔽處放槍攻擊，兵士死傷 10 名，其後又有多次衝突，清軍亦曾派遣敢死隊突襲番社，雙方互有勝負。至 1875 年北路築成，總計陣亡及病故官兵超過百人。

中路由福建福寧總兵吳光亮率領粵勇 3,000 餘人（號飛虎軍）兩營由南投林圯埔（今竹山）出發，經鳳凰山（今鹿谷）、茅埔（今信義鄉愛國村）、和社、東埔、八通關、越秀姑巒山後沿拉庫拉庫溪北岸下抵璞石閣（今花蓮玉里），開鑿一條長達 152 公里的步道，歷時十個多月完成，整個工程從標高約 200 公尺的平地推展到 3,000 公尺的高山，此即今所稱一級古蹟「八通關古道」。

南路由海防同知袁聞柝率領綏靖軍自鳳山縣內的赤山（今屏東萬巒）入山，開闢由雙溪口抵達卑南（今台東）的步道，全長約 40 公里，今稱崑崙坳古道；總兵張其光則負責開築射寮（今屏東枋寮）至卑南的步道。築路期間亦遭逢原住民的連續不斷的攻擊，官兵多人死傷。

這三條道路均穿過原住民山區，沿途平地鋪石板，遇陡坡則砌石階，遇水架橋，重要地點設有營壘，派兵駐紮。除了面對自然環境的嚴厲考驗，還需防範隨時來襲的原住民，極具危險性，而這群軍人藉著簡陋的工具，竟然在 1 年內完成數百公里的山路。此後至台灣割讓前夕約 20 年間，清朝還以軍人開闢了三條崙道（屏東枋寮至台東大武）、丹大越嶺道（集集至水尾（今花蓮瑞穗））等多條橫越中央山脈的道路，後來這些古道部分經日人整修為警備道路，甚至成為今天蘇花公路、新中橫公路、南迴公路的部分路徑，對於東部的拓殖的貢獻遠勝過當初開路的目的。

清代台灣第一段鐵路—台北基隆段也有軍人的貢獻（如圖 3），其中最艱難的工程也是台灣首座隧道—獅球嶺隧道就是動用兵工開鑿的。該隧道位於今基隆市自強隧道的上方與空軍八堵油庫之間，隧道全長



圖3 清末兵工建造台灣第1條鐵路^[2]

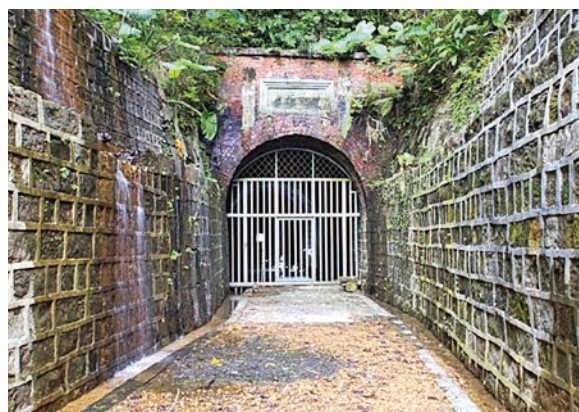


圖4 獅球嶺隧道南口^[3]



圖5 兵工建設紀念碑^[4]

235 公尺，當年由淮軍余德昌部隊編成昌字四營以兵勇七八百人參加築路，又聘請了數位英、德工程師為顧問，負責設計與監督。從 1888 年春天起開鑿，直到 1890 年夏才完工，費時約 30 個月，所通過的獅球嶺地質複雜，北段為堅硬的岩石，開鑿極為困難；南段為潮濕的軟土，挖開的坡坎如碰上陰雨，很容易崩塌而將路基覆蓋，經多次重新挖掘，耗費很長的時間施作南口引道。隧道中以磚或石塊砌成半圓拱，直徑約 4 公尺，內部路線略呈弧形。因兵勇無施工經驗，又流行疫癘，許多人病死，工程時作時停。統領余德昌時常與外籍工程師發生齟齬，拒受他們的技術建議。為求縮短工期，隧道係自山嶺兩端同時鑿進，採用挖掘煤坑的土法，沒想到因高程測量發生錯誤，導致北口較南口高出 1.5 公尺，洋工程師怪罪於兵工，兵工士氣受挫，英德工程師亦不知所措，工程幾乎半途而廢。巡撫劉銘傳據報，除趕緊加派兵工支援外，還親自坐鎮督工。隧道南口以紅磚砌成，劉銘傳特別親題「曠宇天開」4 個大字以誌工程偉大（如圖 4）。

北基鐵路通車後，由於過嶺段坡度過大，載運受到限制，日人於 1898 年局部改線，於獅球嶺隧道東 1 公里處另鑿「竹仔寮」隧道，本隧道則轉供輕便鐵路與行人使用，後來更封堵廢棄，目前僅餘兩端洞口供後人憑弔，這座台灣歷史上第一個鐵路隧道已由內政部列為國家三級古蹟，2023 年底經基隆市政府修護後開放民眾參觀，團體預約導覽。

1961 年北基二路（後改稱麥帥公路）開工，亦以隧道通過獅球嶺，更巧的是也由軍工出身的榮工處承建。

這條隧道後來命名為「中興隧道」，全長 430 公尺、高 8 公尺、寬 10 公尺，在當時是遠東最大且施工標準最高的公路隧道，由兩個榮工分隊自南北兩端採用傳統的坑道開挖法掘進，先作引道，次挖導坑，坑內架設軌道，用台車出碴，在多雨的基隆山區，坑外下雨、坑內亦滴水如雨，工地經常泥濘，榮工弟兄卻能在 1 年內如期完工，比起 70 年前的晚清兵工前輩確實不可同日而語。

1985 年日軍登台順利進佔台北城後，即沿著清代南北官道南下掃蕩抗日義軍。工兵部隊趕修速成軍用道路，後來成為省道台一線的基礎；而日治時期普用於鄉間山區的輕便鐵路，最初也是日本陸軍補給廠在 1895 年引進鋪設於台南與高雄間，而後民間仿效沿用成為 20 世紀前期台灣相當重要的交通工具。

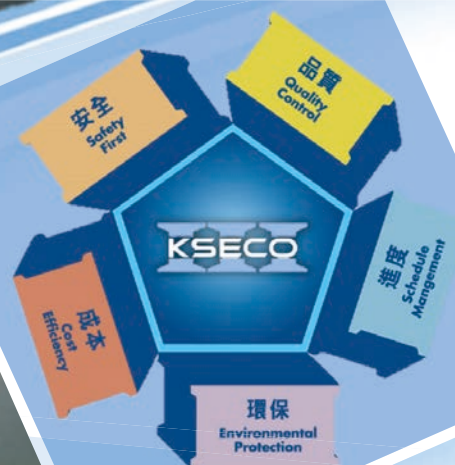
軍工是土木家族中一支奇特的隊伍，他們不是土木工程師，但沒有他們，土木工程師恐亦無法完成上述那些艱鉅要命的工程。他們很多來自大陸異鄉，為台灣本土建設餐風露宿流血流汗，甚至死於意外事故、疫病或與原住民的爭戰，所完成的戰備道路固然是基於作戰需要，但戰後往往轉供民用，至於所興建的水庫、堤防更成為當地民眾常年生活依賴，因此除了在工地豎立兵工建設紀念碑外（如圖 5），台灣土木史更要特別撰文記載這群無名英雄的偉大事蹟。

參考文獻

1. 「榮民工程事業三十年」，榮民工程事業管理處，1986 年 5 月。
2. 清末兵工建造台灣第 1 條鐵路圖片，南天書局提供。
3. 獅球嶺隧道南口，照片來源為自由時報電子報記者盧賢秀。
4. 兵工建設紀念碑照片，林炳炎提供。



淡江大橋完工示意圖



營業項目：

橋梁工程、道路工程、
捷運工程、隧道工程、
建築工程、機場工程、
海事工程



淡江大橋主橋塔工程進行中



完工-臺北港南碼頭 S07~S08 護岸暨
後線圍堤造地工程(22 屆金質獎)



臺北港南碼頭 C 填區公共設施
及永久護岸壁 S04~S05 碼頭
工程 施工進行中

TEL : (02)2751-4188 FAX : (02)2721-8027

URL: www.kseco.com.tw//tc/index.aspx



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 | 澳門 | 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



Tel: (886-2) 2696-1555 Fax: (886-2) 2696-1166 Website: www.maaconsultants.com E-mail: maagroup@maaconsultants.com

NOVA



華光工程顧問股份有限公司
CECI Nova Technology Co., Ltd.
[HTTP://WWW.CECI-NOVA.COM.TW](http://WWW.CECI-NOVA.COM.TW)

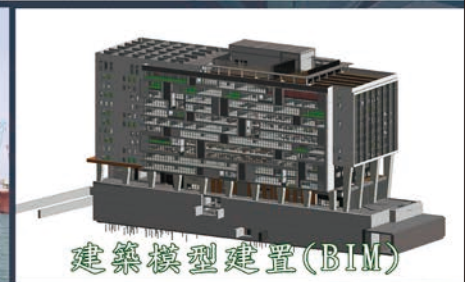
測務善驗
檢服改驗
設術析驗
規技分試
程工測料
工施監材
共商境建
公廠環營



工程規劃設計



施工技術服務



建築模型建置(BIM)



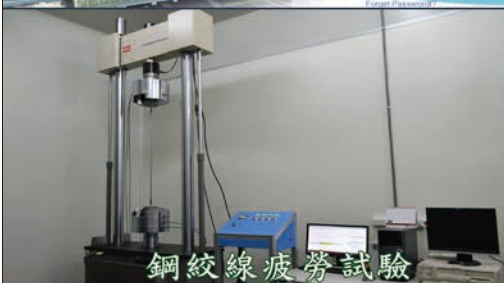
專案管理資訊系統(PMIS)



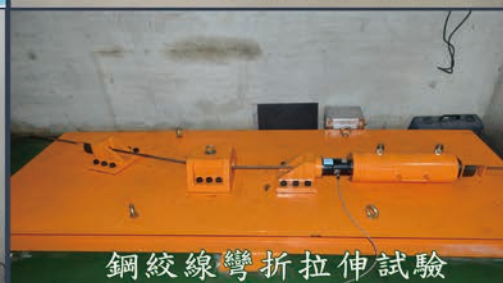
1000噸端錨靜載試驗



2000噸端錨動態疲勞試驗



鋼絞線疲勞試驗



鋼絞線彎折拉伸試驗



環境監測



山林水環境工程股份有限公司

FOREST WATER ENVIRONMENTAL ENGINEERING CO., LTD.

山林水服務專案

股票代號：8473



彰化市水資源回收中心



竹科城南基地污水處理廠



楠梓污水處理廠



台中外埔廚餘處理廠



水滴水資源回收中心



台中潭子科技產業園區污水處理廠



永康水資源回收中心及再生水廠



中科七星園區污水處理廠



竹科銅鑼園區污水處理廠



羅東水資源回收中心



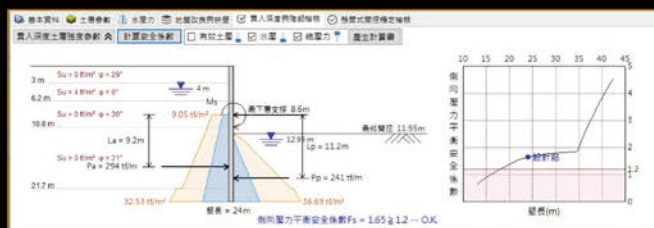
總公司：台北市中山區吉林路99號3樓
台北辦公室：台北市中山區長安東路二段112號12樓
Email：mfw@mfw.ccom.tw

TEL：(02)2100-2195 / FAX：(02)2100-2196
TEL：(02)2516-8358 / FAX：(02)2516-8480



T3-STONE2.0 開挖穩定性檢核工具程式

- 內擠檢核採用新規範進行分析
- 可採用公制或國際SI制單位~不用自己換算
- 新增垂直及水平超載任意分佈輸入
- 新增土層排水與不排水設定



內擠分析介面圖 (依據新規範)



程式介紹



程式購買



TORSAs
Taiwan Originated Retaining
Structure Analysis

TORSAs 3.0
深開挖工程擋土結構一維分析程式



- 神似R1D0的功能
- 友善的視窗介面
- 親民的程式售價
- 快捷的在地服務

合購 (T3+T3-STONE2.0)

110,500 (原價121,500)

TORSAs3 99,000 (原價120,000)

T3-STONE2.0 22,500 (原價 25,000)



地工技術



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
社團法人中國土木工程學會

「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	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏／封底裏 全頁彩色	40,000	
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	

刊登月份：

○ 51.4 ○ 51.5 ○ 51.6 ○ 52.1 ○ 52.2 ○ 52.3 共 次
(8月) (10月) (12月) (2月) (4月) (6月)

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

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)
商號

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	社團法人中國土木工程學會	
寄 款 人	主管：	
姓 名		
地 址	□□□—□□	
電 話	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	

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓 名		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， <u>入會費一人僅需繳交一次</u>	繳納會費 ☐ 常年會員年費 1,200 元 ☐ 初級會員年費 300 元
會員證號碼			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
身分證號碼			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
卡 別 ☐ VISA ☐ MASTER CARD ☐ JCB			白天聯絡電話
信用卡卡號			通訊地址
信用卡末三碼			
信用卡有效期限 (月 / 年)			
信用卡簽名			
繳 費 金 額			

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)

機電消防空調工程設計專管統包 燈光綠能資訊監控節能智慧建築 甲級機電消防空調承包商 專業工程技術顧問公司



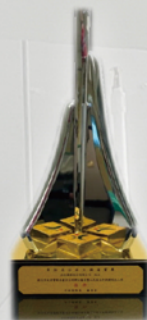
94年台北市
政府優良商號



國家級優良智慧型
建築自動化獎及建築
節約能源特殊技術獎



105 / 109 / 110 年
新北市政府
公共工程優質獎



第 16 / 20 屆
行政院公共工程
金質獎 佳作



第 21 屆
行政院公共工程
金質獎 特優



貴和安居社宅



食藥署實驗大樓



慶仁安居社宅

規劃設計

專案管理

施工監造

工程統包



正弦工程顧問有限公司
兆弘機電股份有限公司



官方網站

www.sine1977.com.tw

地址: 台北市復興南路2段293-3號4F-1

電話: (02)2732-2519

傳真: (02)2735-6022

信箱: sine@sine1977.com.tw



大地工程

萬聳山嶺剝地質紋理 掌握大地記錄的奧秘

> 湖山水庫由湖山主壩、湖山副壩及湖南壩組成
其中主壩為高 75 公尺之中央心牆分區型土壩
其基礎採用塑性混凝土處理為其特色，總蓄水量為 5,347 萬立方公尺
中興公司負責大壩、溢洪道、取水路等設施之詳細設計
與施工諮詢，完工後不僅可滿足雲林地區之民生與工業用水
並可減少地下水之超抽情況。

湖山水庫工程・設計與施工諮詢

SINOTECH

