



整合 BIM 與 AI 技術 應用於 智慧工地 安全管理系統 之建構與研究 —— 以某巨額採購統包工程為例

莊坤諺* / 國立臺灣大學土木工程學系 博士

曾惠斌 / 國立臺灣大學土木工程學系 教授

近年來隨著營建產業邁向數位轉型，智慧安全工地成為結合物聯網 (IoT)、建築資訊模型 (BIM)、人工智慧 (AI)、地理資訊系統 (GIS) 等技術的核心應用場域。本研究以桃園市某巨額採購統包工程為例，探討如何建構一套模組化、具延展性的智慧工地安全管理系統，以提升工程之安全性、效率與資訊整合程度。系統涵蓋人員與車輛進出管制、工地環境與結構監測、AI 視覺辨識安全管理、雲端協作與文件控管等四大技術及八大功能子系統，透過資料整合平台與即時決策輔助機制，有效提升施工場域的管理反應力與風險預警能力。本文除分析系統實施效益外，並參考國際智慧營建文獻與理論模型，探討精實營建資訊管理在臺灣營建環境中的在地化發展潛力與挑戰。

關鍵詞：物聯網、BIM、智慧工地安全管理系統、AI 視覺辨識、精實營建資訊管理

研究背景與動機

根據世界經濟論壇 (World Economic Forum) 報告，營建業的生產力在過去二十年增幅有限，主要受限於資訊不透明、工地管理碎片化與人力依賴性高^[1]。為因應第四次工業革命趨勢，全球各國相繼提出智慧營建 (Smart Construction) 架構，強調 ICT (Information and Communication Technologies) 與 BIM、IoT、AI 等技術整合，建構自動化、數位化與智慧化的營建生產模式，詳圖 1 所示。本研究以桃園市某巨額採購統包工程為平台，規劃一套具體的智慧工地管理架構，

透過功能模組分層設計與跨系統數據整合，驗證其在實務中的可行性與效益值^[2,3]。

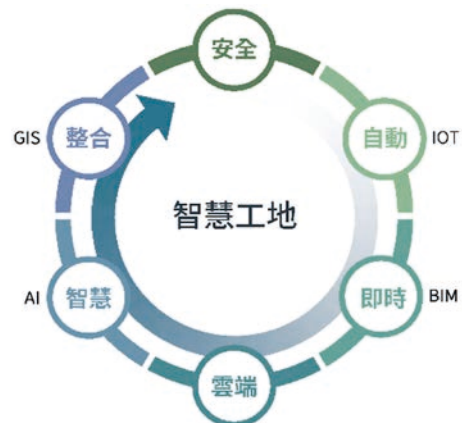


圖 1 智慧工地架構圖

* 通訊作者，d09521015@ntu.edu.tw

智慧工地相關研究

智慧工地的核心架構

智慧工地係指將感測、運算、通訊與數據平台整合應用於工地場域，涵蓋人、機、料、法、環之監測與管理，並具備即時預警與數據驅動決策能力。其核心包含三個層級：感知層（Perception Layer）、網路傳輸層（Network Layer）、應用層（Application Layer），分別對應感測器部署、無線通訊技術，以及後端 AI 與 BIM 平台之整合應用^[4]。

BIM 與 AI 於施工安全管理應用

BIM 提供三維構件關聯性資訊，有助於施工排程與空間衝突分析^[5]，結合 AI 後更可進行行為辨識、自動檢核與風險預警，成為近年智慧工地安全應用的主要研究方向。AI 演算法如：You Only Look Once (YOLO)、Fast Region-based Convolutional Network method (Fast R-CNN) 等，已廣泛應用於施工現場之個體偵測與行為判讀，形成人機協作安全治理架構^[4]。

系統設計與功能模組

系統整體架構

本系統採模組化設計架構，具備高度擴充性與互通性，各子系統可依照工地場域條件獨立部署，亦可透過雲端平台進行整合^[4]。系統設計以三大原則為核心：即時性、可擴展性與使用者導向。其中，即時性確保所有感測與影像資料於 5 秒內完成雲端回傳；可擴展性則來自模組化子系統架構，可因應不同專案需求調整感測密度與設備組合；使用者導向則強調平台介面簡潔、行動化與多端支援，便於現場使用者快速操作與掌握資訊。

各子系統功能與技術原理

智慧人車管制子系統

結合 AI 人臉辨識、車牌辨識與 RFID 無線射頻識別技術，提供工地人員與車輛進出之自動化身分驗證與紀錄。AI 影像辨識部分多採用卷積神經網路 (convolutional neural network, CNN)，透過深層特徵提取與比對進行高準確率的臉部與車牌辨識，詳圖 2 所示；而 RFID (Radio-frequency identification) 則利用無線電波與標籤裝置間的非接觸式通訊，快速完成個體辨識與進出紀錄整合，詳圖 3 所示。



圖 2 AI 影像辨識子系統示意圖



圖 3 RFID 無線射頻識別技術子系統示意圖

人員定位與健康監測子系統

透過 UWB (Ultra-wideband)、GPS (Global Positioning System) 與藍芽等混合定位技術，即時掌握工地人員動態位置，詳圖 4 所示；輔以智慧手環，持續監控心率、體溫等生理參數，詳圖 5 所示。UWB 為高頻低功耗的無線傳輸技術，具備十公分等級的定位精度；智慧手環搭載光體積變化描記法 (Photoplethysmography, PPG) 感測器，偵測血流變化以估算心率，並結合體溫感測模組即時傳回健康狀態資訊。

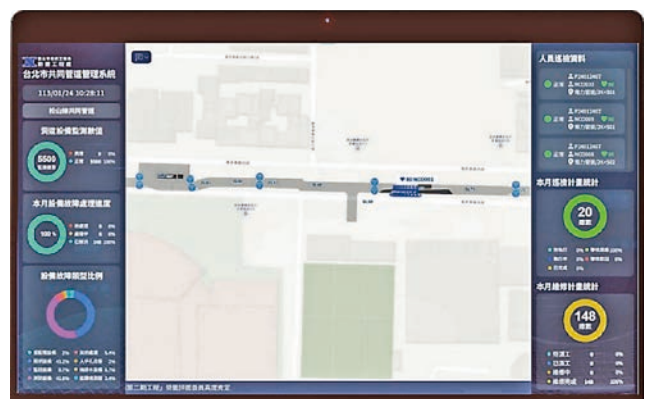


圖 4 人員定位子系統示意圖



圖 5 人員健康監測子系統

自動化環境監測子系統

部署多項感測元件，針對 PM2.5、溫溼度、CO、O₂、H₂S 等有害氣體與熱危害指標進行即時監測與預警。氣體濃度監測多採用電化學感測器或金屬氧化物半導體 (MOS) 感測元件，詳圖 6 所示，其電壓變化對應氣體濃度；PM2.5 感測多採雷射光散射法，量測空氣中微粒之光學密度；所得數據輸入環境危害評估模型，推估相關風險，提供作業指引，並上傳智慧工地管理平台，詳圖 7 所示。



圖 6 環境監測子系統元件示意圖



圖 7 智慧工地管理平台示意圖

AI 施工安全監控子系統

透過 CCTV 影像整合 AI 辨識模型，如 YOLO v5，辨識人員是否配戴安全帽、穿著反光背心等工安裝備，詳圖 8 所示。系統並設置虛擬電子圍籬，偵測人員是否進入危險作業區域，當接近重機具作業邊界時即自動觸發聲光警示，有效防止重大事故發生，詳圖 9 所示。



圖 8 AI 視覺辨識監控子系統示意圖



圖 9 電子圍籬偵測子系統示意圖

智慧巡檢子系統

提供行動裝置操作介面，工地人員可利用手機或平板即時填報環安衛與品質稽核表單。系統採用 HTML5 與 JavaScript 為核心之 Web App，支援 RWD (Responsive Web Design) 設計，並透過 HTTPS 協定將數據傳輸至雲端資料庫，實現資訊即時更新與管理同步，如圖 10 所示。

開挖支撐自動化監測子系統

整合傾斜計、應變計、水壓計等儀器，即時監測支撐構件與土壤穩定性。傾斜計採 MEMS 微機電加速度感測元件偵測微小角度變化；應變計以應變電阻原理測得構件變形，推算型鋼支撐應力數據；水壓計以壓力感測膜片監測孔隙水壓力，透過上開儀器數據監控，以確保開挖安全，如圖 11 所示 [6]。

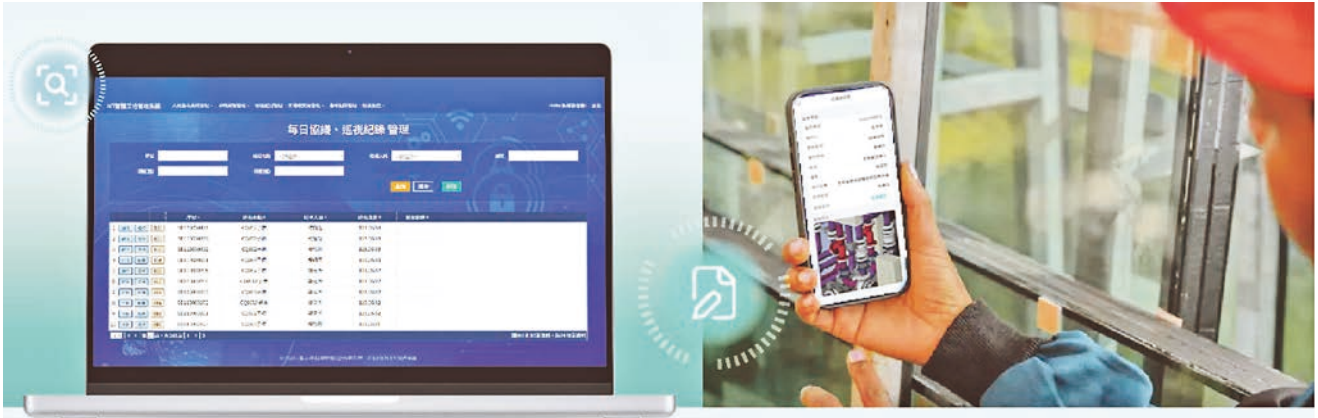


圖 10 智慧巡檢子系統示意圖

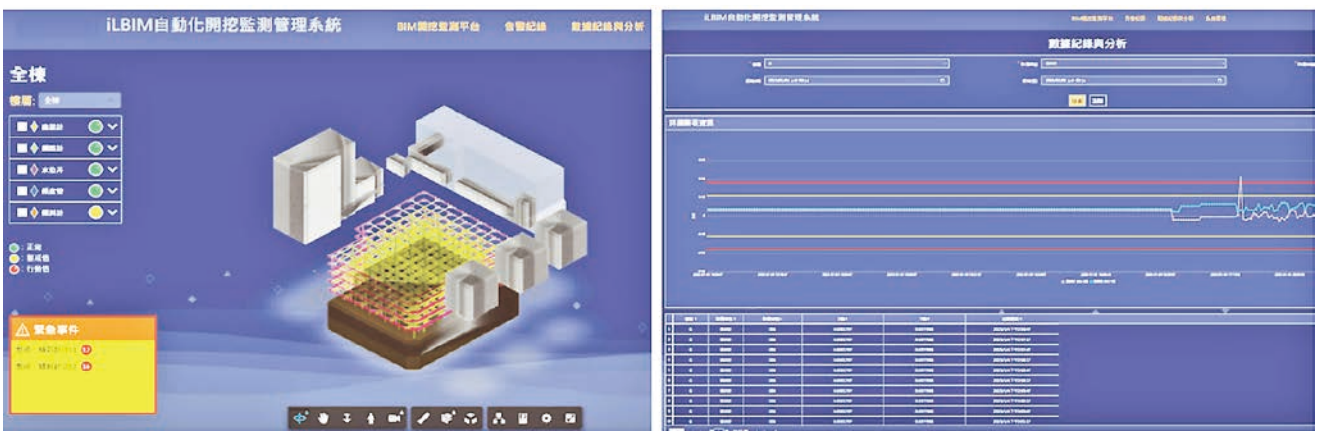


圖 11 iLBIM 自動化開挖監測管理系統示意圖

雲端戰情整合子系統

將 BIM 三維模型與 GIS 地理空間資料進行資料疊合，整合人員定位、環境數據與警示事件等資訊於視覺化平台中。系統採用 WebGL 視覺化框架，進行三維場景渲染，協助決策者進行即時派工與應變調度，如圖 12 所示。

施工文件雲端管理子系統

建立集中式版本控制與跨設備文件協作平台，支援如 Google Workspace 或 SharePoint 之 API 介接，施工圖說與說明文件可於現場及辦公端即時查閱與同步更新，提升團隊溝通效率與資訊一致性，如圖 13 所示。



圖 12 雲端戰情整合子系統示意圖



圖 13 施工文件雲端管理子系統示意圖

結論與建議

本研究以桃園市某巨額採購統包工程為實證場域，系統性建構並實施一套整合 BIM、AI 與 IoT 智慧工地安全管理系統。透過八大模組化功能子系統之協同運作，實現人員安全監控、施工環境管理、巡檢智慧化與文件雲端協作，展現智慧營建於實務應用的可行性與高效益。系統部署後於現場實測中展現出優異

的即時性與擴充性，並有效提升管理透明度、危險預警反應速度與跨部門協作效率。

綜合研究成果與現場實施經驗，提出以下建議作為後續系統優化與研究方向：

1. 建議擴充與施工進度控制系統（4D BIM）之整合，使工地智慧管理可納入時間維度分析，進一步掌握施工節奏與人力配置效率。
2. 應導入 AI 行為預測與風險模型，結合歷史巡檢紀錄與監控影像資料，建立作業異常預測與事故趨勢評估機制。
3. 強化資料隱私與資安防護機制，針對影像監控、健康數據與文件平台進行分權管理與加密傳輸，因應大規模感測與資訊共享可能帶來的風險。
4. 可進一步評估區塊鏈技術於施工文件與履歷資料之應用潛力，提升數據不可竄改性與驗證性，強化工程紀錄可信度。

參考文獻

1. World Economic Forum. (2016.) The Global Risks Report 2016. Geneva: World Economic Forum.
2. 國家住宅及都市更新中心 (2023), 桃園市八德區白鶯安居社會住宅新建統包工程, 統包需求書。
3. 泛亞工程建設股份有限公司 (2024), 桃園市八德區白鶯安居社會住宅新建統包工程服務建議書。
4. 莊坤諺 (2025), 施工架智能監控及工地安全管理系統, 博士論文, 國立臺灣大學. Doi: 10.6342/NTU202501316。
5. Azhar, S., Khalfan, M., and Maqsood, T. (2012). Building Information Modeling (BIM): Now and beyond. The Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12(4), [15]-28. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.013120167780649>
6. 林高禾 (2024), 建築結構健康監控系統配置之研究—以鋼構廠房為例, 碩士論文, 國立臺灣大學. Doi: 10.6342/NTU202402304。



交廣工程顧問有限公司

誠信 | 創新 | 品質 | 服務 | 永續發展

案例實績

- 桃園捷運綠線GC03現況鑑定
- 高雄捷運黃線YC03、YC02建物調查
- 中壢污水下水道系統興建工程現況鑑定
- 臺大醫學院附設醫院西址院舍等12棟既有建築物耐震能力詳評
- 衛福部桃園醫院本院宿舍大樓結構補強工程委託設計
- 國防部空軍司令部馬公機場停機坪整建工程設計、監造
- 台灣自來水公司苗栗三義潛盾工程現況鑑定

服務項目

01. 公共工程規劃設計

02. 私有建物耐震弱層補強

03. 房屋安檢鑑定

04. 自來水及下水道工程

台北總公司

☎ 02-2709-0716

🌐 www.jgce.com.tw

📍 台北市大安區忠孝東路三段52號2樓

桃園分公司

☎ 03-357-2323

🌐 www.jgce.com.tw

📍 桃園市桃園區莊二街24號7樓