



AI 在推進 營建產業數位轉型 之角色與挑戰

林之謙* / 國立臺灣大學土木工程學系營建工程與管理組 副教授

黎芳玲 / 國立臺灣大學土木工程學系 博士生

本研究探討人工智慧 (AI) 技術在推進營建產業數位轉型中的角色及挑戰，聚焦於 AI 的潛在應用及其破壞性創新特性。營建產業長期面臨碎片化、不可複製性、團隊化及去中心化等數位轉型障礙，而 AI 技術中的電腦視覺和大型語言模型 (LLM)，有機會在營建生產過程之進度管理、品質監控、安全管理及生產力監測等領域提供解決方案。研究指出，AI 的互動性、創造性和多模態分析能力能有效應對現有挑戰，例如自動化施工進度分析和品質檢測。此外，文章強調 AI 技術的長期應用對提升產業韌性的重要性，並提出未來成功導入 AI 的關鍵在於選擇適合的技術應用場景。本文認為，AI 有望引領營建產業的全面數位轉型，為解決人才短缺和提升專案效率提供切實可行的方向。

營建產業數位轉型歷程

營建產業在過去幾十年來經歷多次新科技的引進及數位轉型，包括工法的模組化、文件的數位化、圖紙的模型化、管理的敏捷化等等^[1]，然而即使在這些新科技的驅使下，營建產業似乎總有方式保持原有的步調，套用既有的邏輯、方法將需要執行的工程完成。當然也有另一條支線，希望能夠應用這些新的數位技術，改善原本的處理流程，更有效的達成目標結束工程。在某些情況下，從表面上來看，似乎用土法煉鋼跟新技術導入的方式，都可以達到類似的成果。

土法煉鋼主要藉由過去的經驗彙整，應用原有的資訊及方法，轉換至新的工程專案中，從表面上看，並沒有太多額外的學習成本支出。在另一方面，新技術的導入卻需要在前期投入高昂的成本，並同時有著陡峭的學習曲線^[2]。若在成果類似的印象下，必須要有更大的動機或者鼓勵措施才能誘使整個產業願意導入新技術轉型。然而確實是類似的成果嗎？往往新技術導入的成果

並不會單單呈現在專案的成功與否，例如完工時間、工程成本或者施工品質，故也不能夠僅由單一專案的成效來評估其效益^[3]。一般而言，新技術的導入必須要由其對整體組織的影響，以及長期的效果作為參考依據，並在整體產業遇到全面性的挑戰時，才能夠體現其韌性。另一方面，原始的方式雖能完成工程，但仍然在多數時間，面臨工期嚴重展延以及成本超支相關問題。

以目前世界產業現況來看，營建產業持續面對 缺工缺料 的挑戰，整體情況在短時間並不容易改善。而這其中也並不只是缺乏藍領階級的工人，同樣也面臨到工程師的缺乏^[4]。現今土木相關人才正在不斷的流失，若要留住相關的人才，必須改善整體產業形象。其中刻板印象包括土木相關行業的落後，以及工地的環境。

另一方面，即使人才能夠保留，在有限的基礎建設工程需求下，過去大型工程的經驗傳承，技術的銜接問題也逐漸顯現。而一般工程的經驗養成以及工程師的培養，也常需經過多項專案的歷練，工程師才能夠逐漸獨當一面。在人才不足的情況下，工程師培養的時間壓縮，也同樣可能造成工程執行面上的問題。

* 通訊作者，jacoblin@ntu.edu.tw

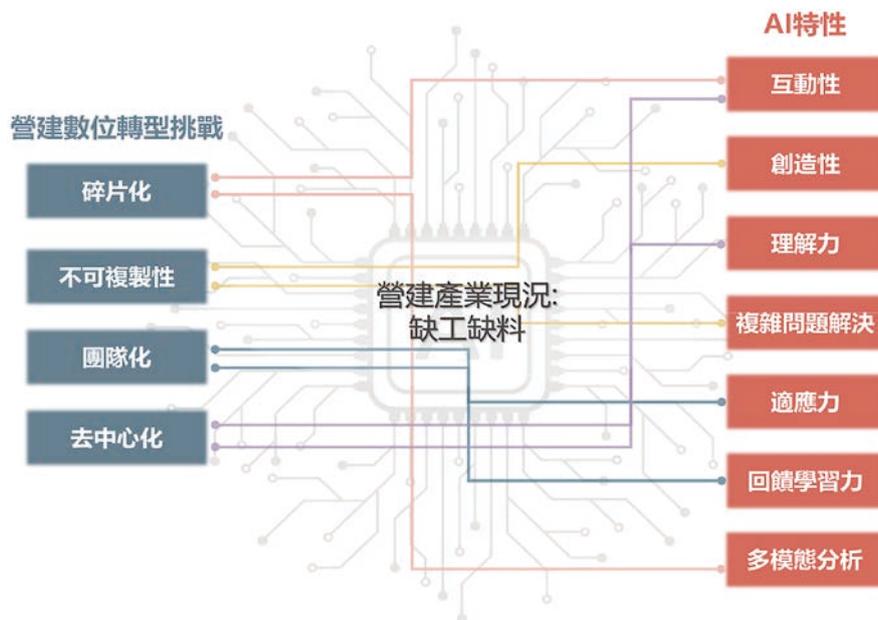


圖 1 營建產業與 AI 之特性

綜合而言，營建產業持續面臨挑戰，雖持續有各種的技術導入及轉型，然而並沒有直接破壞性的技術或事件，可以讓整個產業全面性的變革。但在現今產業所遭遇的人力資源問題，加上實際具破壞性的人工智慧（Artificial Intelligence, AI）技術，很有可能真正開始全面性的數位轉型。

在瞭解 AI 是否為具有破壞性前，可以先來瞭解過去數位轉型之主要挑戰。營建產業有幾項特性是與一般製造業有直接的差異的：(1) 碎片化：工程專案通常由許多不同廠商進行，過程又有許多的分包，造成在數位技術的導入需要在不同層級、單位進行溝通，也難以在短時間達成；(2) 不可複製性：工程專案每一案皆有其特殊性，幾乎很難找到一模一樣的專案具有同樣的設計和交付模式，故難以標準化執行流程進行改變；(3) 團隊化：專案團隊較少會由完全同一組人馬進行許多專案，團隊短暫的合作過程中，新工具的導入與訓練皆須系統化，否則較難建立可重現的新技術流程以及 (4) 去中心化：各專案主管皆可進行各自的執行方式，較難由公司全面性推動各專案一體執行。這些問題皆造成數位轉型技術常以點為單位在各專案導入，無法系統性在多專案共同持續進行。

而新的 AI 技術是否可克服上述的困難，答案也仍在持續進行解答中。但這次 AI 的導入確實有幾個面向，是在以往的數位轉型導入中並不可見的：**互動性**、

創造性、**理解力**、**複雜問題解決**、**適應力**、**回饋學習力**以及**多模態分析**^[5,6]。這之中如果對應至前述之問題，可以看到幾個關鍵，前述問題許多是需要在不同介面進行溝通協調才可進行，這些溝通也多需透過多模態的圖紙、文字、模型同時進行說明。在現今 AI 的發展下，開始可以進行**互動**並且理解多模態的輸入，並且透過**互動**中的**回饋**做出更準確的分析。另外，則是在**創造性**以及**複雜問題**的解決力開始可以對營建工程專案的特殊性進行拆解，標準化不同專案執行的方式。以工程中每日需產製的施工日誌為例，其內容必須包含不同承包商出工量、工項、執行進度、材料使用情況等相關資料，這之中相關文件包括排程、成本料單、影像記錄、圖紙所劃分之工區等多模態，並且必須與多家承包商推算、溝通工程的進度，最後產製施工日誌的表單。這裡面所牽涉到對問題的理解以及解決能力牽涉層面已相當廣泛，但在此一階段的 AI 發展之下，確實有機會達成。

這些 AI 的技術包含在近十年來已趨成熟的物件辨識電腦視覺，以及在近兩三年來造成轟動的大型語言模型（Large Language Models, LLM）。電腦視覺相關研究範圍廣闊，其中在物件辨識上，在具亮資料集的完整化以及電腦算力和深度學習的發展下，其精準度以漸漸達到商業用途可接受的程度。另外包括姿態辨識、三維重建、語意分割等也在相關技術、資源等驅使下有長足的進步。另外一放面，大型語言模型在繪圖處理器（Graphical

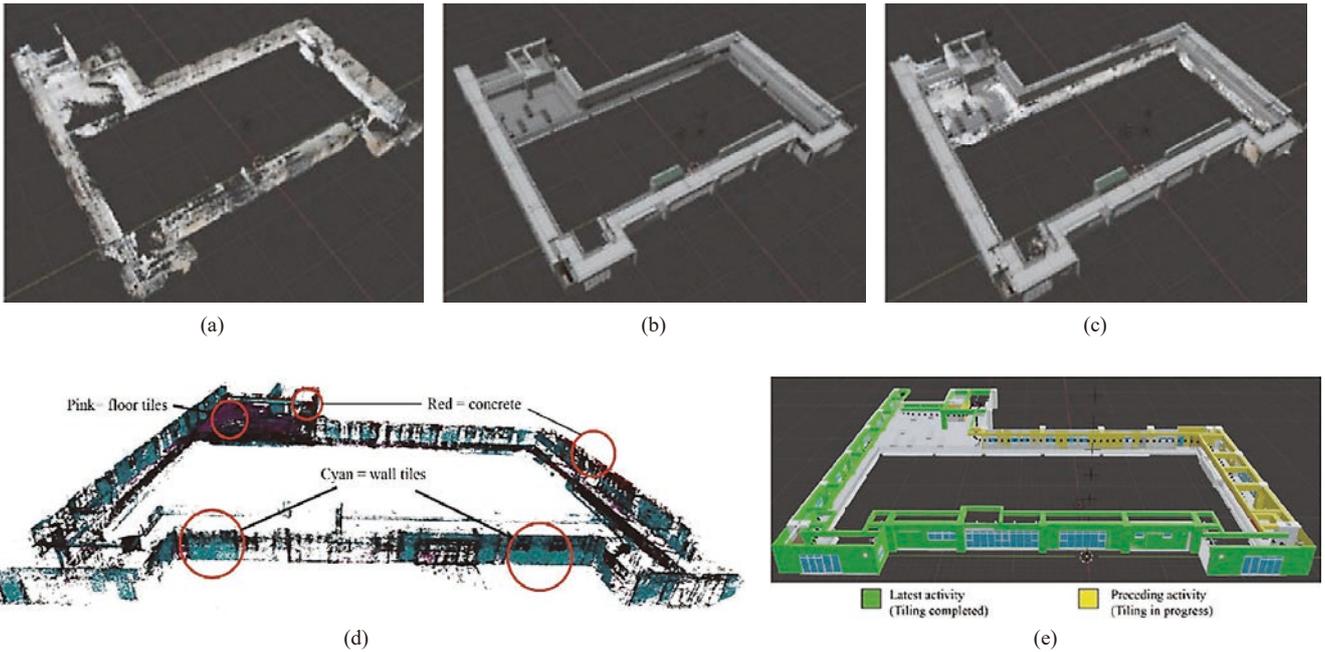


圖 2 4D BIM 與影像分析應用在監控施工進度。(a) 點雲模型、(b) BIM 模型、(c) 整合 BIM-點雲模型、(d) 通過點雲分割可視化施工進度、(e) 通過 BIM 模型可視化施工進度 [8]

Processing Unit, GPU) 算力的支持之下, 成功應用網路之文字資源作為資料集, 訓練成可以具有極高問題解決能力的模型 [7]。在這兩者的發展下, 營建工程的 AI 應用也進入到的下一階段, 並有機會成為具破壞性的數位轉型。以下將針對目前的主要相關應用進行介紹。

自動化進度管理

進度回報一直為營建工程至關重要的一環。若能夠確實掌握進度, 工程能夠準時完工的機會也就越高。故透過自動化的方式分析工程的實際進度, 一直是營建工程研究領域中相當熱門的議題。在不管透過無人機或一般相機進行影像蒐集慢慢在工地普遍後, 加上物件辨識以及語意分割的技術漸趨成熟下, 由影像所

重建的三維模型中, 辨識完工的物件並分析其進度在近年來更加進步。而目前對於結構元件, 基本上已可完整辨識, 並可直接與 4D BIM 比對分析後, 推算各排程工項之進度百分比 [8]。然而受限於 4D BIM 的實務應用仍缺乏, 如何直接透過大型語言模型分析排程並直接與分割後的照片及三維點雲連結分析, 也是目前正在進行的研究。整體而言, 此領域為電腦視覺與大型語言模型的整合應用, 並且已可達到一定的效果。

品質管理

同樣應用影像辨識, 許多營建工程的品質管理已可自動化進行。其中包括安裝準確度的查驗以及施工缺失的檢核。如預鑄構件在安裝上常需即時監控其精



圖 3 (a) 利用彩色影像來辨識 PC 版片間的縫隙；
(b) 使用二維影像辨識測量間隙距離、案場實際量測距離進行比較 (單位: mm) [10]

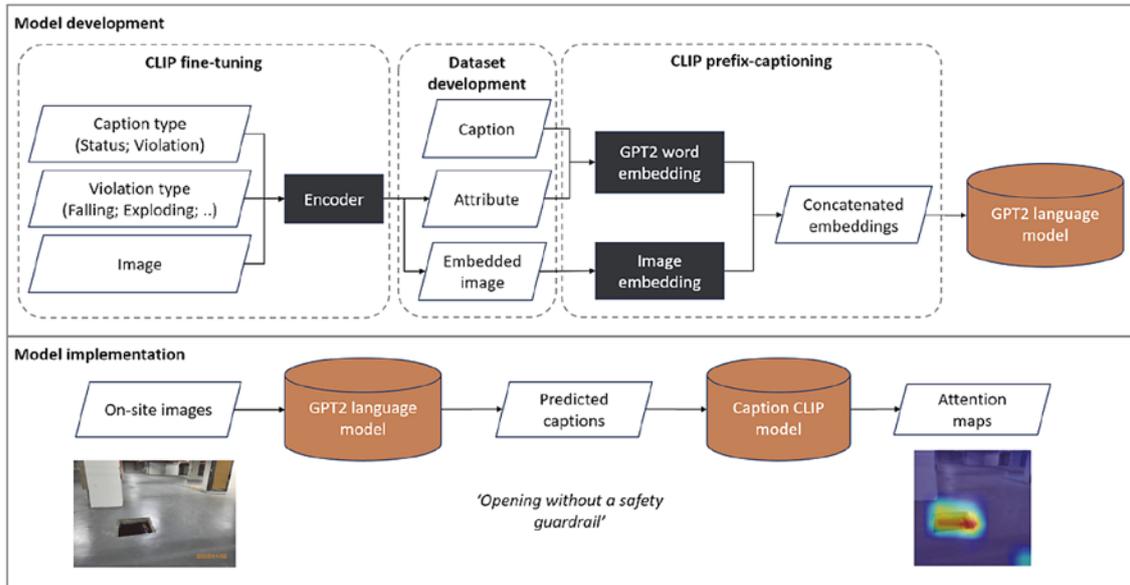


圖 4 自然語言模型及影像處理分析協助施工安全條件檢查^[11]

準度，然而透過一般測量方式進行，往往需要人員之間的溝通，以及等待^[9]。而影像辨識則僅需相關人員拍照後，即可進行相關分析，確保之精準度。另外，品質管理一般皆為需多表單之填寫，與大型語言模型之整合，亦可自動理解表單之內容，並將影像分析之結果填入。最後，在許多表單及資料的彙整之下，也可運用大型語言模型分析理解其內容，並自動生成品質管理所需要的表單模版。

職業安全與衛生管理

在職業安全與衛生管理上，先進 AI 的應用其實相對較早開始。包括一般危害或安全相關的物件辨識，其中最常見的即為是否有配戴工地安全帽。而這些工程安全的相關 AI 技術，也是在營建工程領域裡，最多已有商業化產品的領域。其中許多危害也確實是可以由影像辨識來完成的，但另一方面，也有許多是需要靠多種感測器結果共同分析結果。其中多模態也就包括其他感應設備所蒐集到的資訊，與既有資料的分析。例如，假設工程的負重感測器、變位感測器以及影像，如何交互蒐集資料，並達到互補的效益。另外在工地安全檢核上，一般也需要環安衛人員進行固定的巡察，在巡察過程中必須同時記錄相關危害，透過模型分析註解巡檢影像，並自動填補資料，甚只與法規連結，也是透過語言模型與物件辨識交叉應用^[11]。

生產力 / 工率監控

生產力則一直以來在人力調配上是重要的依據，在缺工的情況下，蒐集工般的生產力資料並且有效的分配人力，也是目前可以克服相關困難的方法。一般而言，也是透過 CCTV 或縮時影像蒐集到連續的影片，在透過辨識人員的姿態分析工作項目，最後連結不同時間點之結果，判斷各工班實際執行工項的時間，以及各元素之時間長短。



圖 5 應用人工智慧分析施工活動以生產力管理^[12]

結論

從上述需多技術的展現，可以看到 AI 確實具有破壞性數位轉型的潛力，雖然不一定能在短時間內看到即刻全面性的成效，但若不及時的導入並開始應用、學習其使用方式，在產業面臨變革時，這些導入及應用的經

驗，將成為是否能保有韌性及面對挑戰之關鍵。另一方面，選擇對的問題應用適合的技術，也是導入成功與否的決定因子。故選擇好的問題，開始實際的導入 AI，並準備好接受破壞性的數位轉型！

參考文獻

1. Parusheva, S. and Aleksandrova, Y., Technologies, tools, and resources-driving forces in construction sector digitalization. In 2021 Tenth international conference on intelligent computing and information systems (ICICIS), 2021, IEEE: pp. 219-223.
2. Ramayah, T., Jantan, M., Roslin, R.M., and Siron, R., Technology readiness of owners/managers of SME's. The International Journal of Knowledge, Culture and Change Management 2003, 3, 475-486.
3. O'Connor, J.T., Yang, L.-R., Project performance versus use of technologies at project and phase levels. Journal of Construction Engineering and Management 2004, 130 (3), 322-329.
4. 行政院主計總處，事業人力僱用狀況調查報告 – 職位空缺概況，年報 2023.
5. de Silva, D., Kaynak, O., El-Ayoubi, M., Mills, N., Alahakoon, D., and Manic, M., Opportunities. Challenges of Generative Artificial Intelligence: Research, Education, Industry Engagement, and Social

- Impact. IEEE Industrial Electronics Magazine 2024.
6. Gozalo-Brizuela, R. and Garrido-Merchán, E.C., A survey of Generative AI Applications. arXiv preprint arXiv:2306.02781 2023.
7. Pal, A. and Hsieh, S.-H. Deep-learning-based visual data analytics for smart construction management. Automation in Construction 2021, 131, 103892.
8. Pal, A., Lin, J.J., Hsieh, S.-H., and Golparvar-Fard, M., Activity-level construction progress monitoring through semantic segmentation of 3D-informed orthographic images. Automation in Construction 2024, 157, 105157.
9. Chang, C.-C., Huang, T.-W., Chen, Y.-H., Lin, J.J., and Chen, C.-S. Autonomous dimensional inspection and issue tracking of rebar using semantically enriched 3D models. Automation in Construction 2024, 160, 105303.
10. 林之謙、曾仁杰、曾惠斌、程懷恩、呂鎮宇、程品鈞，結合 BIM 及 AI 人工智慧開發建築構件安裝即時檢測技術與流程改進 2023.
11. Tsai, W.L., Lin, J.J., and Hsieh, S.-H. Generating construction safety observations via CLIP-based image-language embedding. In European Conference on Computer Vision, 2022, Springer: pp. 366-381.
12. Khosiin, M.W. and Lin, J.J. Worker Accountability in Computer Vision for Construction Productivity Measurement: A Systematic Review. In The International Conference on Construction Engineering and Project Management, Sapporo, Hokkaido, Japan 2024. 

學會資訊看板

113 年 11 月 30 日 參加第三屆臺大土木盃路跑

@ 台大田徑場



四位同仁代表學會參加第三屆臺大土木盃路跑



我們是烏拉呀哈隊～



明年邀請土木水利工程界一起參加優質活動，聯絡感情更促進身體健康！