



資訊化 智慧營造 模擬與工程規劃 在 智慧工地 之應用

李孟崇*／衛武資訊股份有限公司 總經理

本文探討了智慧工地在智慧營造中的重要性、現況、應用重點及關鍵技術。智慧工地透過物聯網、大數據、人工智慧及 BIM 等技術，提升施工效率、安全管理、成本控制與永續發展。

目前台灣智慧工地的應用現況，主要集中在工地安全、環境、人員管理與監控，BIM 的應用，以及專案資料雲端化管理；智慧工地的應用正在從單點試驗逐步邁向更廣泛的導入與實踐，然而，相較於其他先進國家，台灣的智慧工地應用仍處於發展初期，許多核心要素（例如智慧營造模擬與工程規劃的各種工程資訊整合、自動化等）尚未達到全面性整合。

智慧工地由被動管理轉向主動模擬與優化，核心在於資訊化智慧營造模擬與工程規劃應用，利用 BIM 與數位孿生進行施工前模擬與動態優化。衝突檢測可提前發現設計問題，動態模擬優化吊掛路徑、複雜工序與安全設施規劃。4D 施工模擬整合時間維度，提升時程管理的空間感與溝通效率；5D 成本管理則將成本動態連結至模型，實現即時成本追蹤與變動分析。數位化供應鏈與物料管理則透過 RFID 與 AI 自動化提升物流與倉儲效率。所有應用皆依賴強大的共同資料環境（CDE）實現跨專業協同。此外，智慧工地的推動也面臨許多的挑戰，如產業分工與制度問題、成本與效益評估、技術整合不足及人才培育與觀念轉變。

未來智慧工地將轉變為具自主學習與決策能力的生態系統，AI 將從輔助工具轉為協作者，實現自動化排程、預防性維護與品質管理自動化。資訊系統將深度整合於工地現場，透過 AR/VR 提升施工精度與安全訓練，即時數據可視化提高應變能力，機器人與自動化設備將與資訊系統協同作業。此外，跨領域整合將打破產業壁壘，實現設計與施工無縫接軌，營建與製造業融合，以及低碳永續管理納入智慧系統。整體而言，智慧工地將成為安全、高效、永續的智慧生態系統，推動營建業數位轉型與產業升級。

前言

全球營建產業正迎來一場深刻的智慧營造浪潮，其中工地現場扮演著核心主場域的角色，智慧工地，作為推動智慧營造轉型的關鍵驅動力，是一個極具潛力且快速發展的領域。智慧工地的概念在當前建築行業中逐漸受到重視，尤其是在大型建設項目中。隨著 ICT 技術的迅速發展，建築工地的管理模式也在不斷演變。本文將深入探討智慧工地的現況挑戰、關鍵技術應用、未來發展趨勢，並著重闡述資訊化的智慧營造模擬與工程規劃如何應用於此。

* 通訊作者，marklee@webim.com.tw

這是一個智慧工地的模板工項工程師的日常情境：

邁克是超快鋁模公司的施工部經理，昨天傍晚收工會議，營造廠工務所的王大副所長交辦：丹娜絲颱風下周將襲台，需要調整變更工進，提前完成 12 樓鋁模組裝。邁克昨晚已在公司的智能鋁模管理系統「速配」上，由系統在 BIM 模型配模模組上，依提前 2 天的工進自動化劃分區塊，「速配系統」也已在鋁模配模模型上自動化建立區塊視圖，並上傳到進度管理系統。

今天一大早，邁克先到堆貨區用手機掃 RFID，確認昨晚新變更的模板工作範圍的物料是否都有進場，因為之前有批較舊的 RFID 在鋁模上有些遮蔽問題，幸好跟物料管理部及現場再核對沒有問題，都到現場了（圖 1）。

工程師小丁在平板上下載了施工分區的模型資訊，帶工班施作趕工中，鋁模師傅雖然一天可以組裝 30M²，但是要達到工進，還是得分 2 個工班，從相鄰的 2 個分區平行作業（圖 2）。下班前邁克拿著 Ipad mini 在 3D 模型上掃描標示安裝進度，並完成品質檢查表。邁克把「速配系統」的進度資訊、自主檢查表回報到工地的專案資訊平台，這樣王副所也可以視覺化的看到完成進度的模型狀態顯示，順便通知王副所模型中 A7 區的預組機電管線尚未看到平行廠商來裝配（圖 3）。

很無奈的，公司採購的客制化組裝機器還沒到，這個協同式的組裝機器，是公司請自動化公司規劃客製的機器人，含有輕型搬運車及一個協作機器手臂，可以協同搬運、抬高及固定，每個人每日可以增加組裝面積到 90M²，這次只得加工班及加班來完成任務了。



圖 1 RFID 物料管理



圖 2 視覺化分派工作

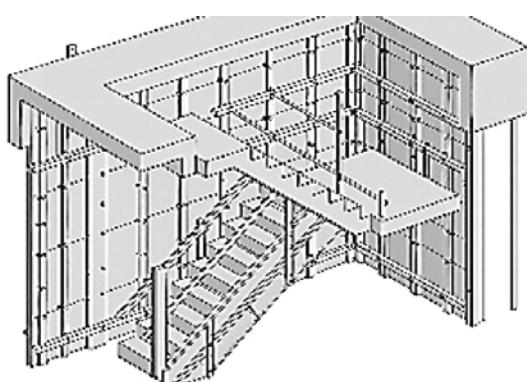


圖 3 視覺化的工進狀態

智慧工地之於智慧營造的重要性

全球營建業正處於從根本上改變傳統運作模式的智慧營造浪潮中。過往的營建專案高度依賴人工經驗、紙本文件與勞力作業，導致效率低下、安全風險高且成本難以控制。隨著科技進步，營建業正加速擁抱數位化，而智慧工地正是這場轉型的核心驅動力量。它不僅是單純的技術應用，更是一種整合性解決方案。透過將物聯網、大數據、人工智慧、機器人與建築資訊模型（BIM）等技術導入工地現場，智慧工地實現了以下關鍵變革：

1. 提升效率與精準度：透過數位化的規劃與模擬（如 3D/4D/5D 模擬），能在施工前預見並解決潛在問題，減少現場返工與延誤。
2. 強化安全管理：智慧穿戴設備與 AI 監控系統能即時偵測危險狀況，大幅降低工安意外發生的機率。
3. 優化成本與資源：數位化管理能精確追蹤物料、設備與人力，有效控制預算，減少資源浪費。
4. 實現永續發展：智慧系統有助於監控能源使用與廢棄物產生，推動綠色營建與低碳建築的目標。

智慧工地是實現智慧營造願景的具體實踐場域，亦是將智慧營造宏觀概念轉化為具體行動的「前線戰場」。圖 4 說明智慧工地整合各種解決方案，其重要性體現在：

1. 數據收集與分析的基石：智慧工地透過物聯網裝置、感測器、無人機等，即時且全面地收集施工進度、人員位置、設備狀態、環境參數等現場數據。這些數據是智慧營造進行大數據分析和決策優化的基礎。
2. 實現即時監控與決策管理：智慧工地系統能將現場數據視覺化，管理人員可透過儀表板即時監控工地情況，並基於即時客觀數據做出決策，提升管理效率與問題解決速度。
3. 優化施工流程與效率：透過與 BIM 整合，智慧工地能模擬施工流程，提前發現設計衝突並優化排程。機器人與自動化設備的應用則能取代高風險或重複性工作，提升施工精度和效率，縮短工期。
4. 提升工地安全與環保：利用 AI 影像辨識、穿戴式裝置等技術，能即時偵測工地風險（如未戴安全帽、進入危險區域）並自動發出警報，大幅降低工安事故。同時透過監測空氣品質、噪音、廢棄



圖 4 智慧工地整合各種解決方案

物等數據，協助營造更環保的施工環境，符合永續發展目標^[1,2]。

5. 培育未來營建人才的訓練場：智慧工地的發展促使傳統營建人才學習新的數位工具與技術，如 BIM 軟體操作、數據分析、無人機應用等，為智慧營造的長期發展奠定人才基礎。

智慧工地之現況、應用重點及關鍵技術

綜觀台灣營建產業，智慧工地的應用正在從單點試驗逐步邁向更廣泛的導入與實踐，特別是在大型公共工程和社會住宅建案中，智慧安全工地規劃實施已富有成效。然而，相較於其他先進國家，台灣的智慧工地應用仍處於發展初期。目前主要以部分技術導入為主，許多核心要素（例如智慧營造模擬與工程規劃的各種工程資訊整合、自動化等）尚未達到全面性整合。

台灣現階段的應用重點^[1-4]

1. 工地安全、環境、人員管理與監控：這是台灣智慧工地目前最主要的應用領域。許多工地運用物聯網（IoT）感測器進行環境監測（如空氣品質、噪音），並搭配 AI 影像辨識系統，除了透過臉部辨識系統進行人員進出及勞安受訓資格管理外，也能即時監控工人的安全帽佩戴、區域闖入、車輛與物料防竊等違規行為，有效降低工安意外風險。例如，台北市的社會住宅智慧工地計畫便是透過物聯網技術來進行安全即時監控。

2. BIM（建築資訊模型）的應用：BIM 已逐漸成為公共工程及大型建案的標準作業流程。其主要應用於工程的初期規劃與設計階段，進行 3D 模型協作、衝突檢測與施工模擬，以優化設計並減少現場變更。
3. 專案資料雲端化管理：為應對傳統紙本作業的痛點，越來越多營建公司導入專案資料雲端管理系統與協作平台。依照 ISO 19650 建置 CDE（共同資料環境），使專案相關人員、工地與辦公室之間的資料能夠即時同步，提升溝通效率，並實現更便捷的門禁管理與資料數位化。

其他關鍵技術現況^[3]

1. BIM（建築資訊模型）與數位孿生（Digital Twin）：這兩項技術是智慧工地最基礎的數位骨幹。BIM 不僅是傳統的 3D 模型，它更是一個包含建築所有資訊的數位資料庫，涵蓋從設計、施工到營運維護的全生命週期所有環節。在智慧工地的應用上，BIM 的深化運用在初期規劃與模擬階段扮演了關鍵角色。
 - 虛擬建造（Virtual Construction）：在實際動工前，可透過 BIM 模型進行精密的施工模擬，預先發現結構衝突、管線碰撞等問題，有效避免現場返工，節省大量時間與成本。
 - 數位孿生（Digital Twin）：可視為 BIM 的進化版。它在 BIM 模型基礎上，加入感測器數據的即時更新，形成一個與實體工地完全同步的虛

擬模型。這個數位孿生能即時反映工地的真實狀況，如設備運作狀態、人員位置、環境參數等，使管理者能遠端監控並做出即時決策。

2. 物聯網（IoT）與感測技術^[4]：

物聯網與感測技術是將實體工地與數位世界連結的橋樑。這些技術透過在工地現場部署各種感測器，實現了數據的即時採集。

- 環境監測：工地感測器可即時監測空氣品質（PM2.5、CO₂）、噪音、溫度和濕度，確保施工環境符合法規並保障工人健康。
- 設備追蹤與管理：感測器安裝於大型設備上，可追蹤其位置、使用時間與維護狀況，有助於優化設備調度，並實施預防性維護，避免設備故障導致工程延宕。
- 人員定位與安全管理：透過在安全帽或背心嵌入 RFID 或 GPS 感測器，可即時追蹤工人位置，有助於緊急情況下快速定位人員，並監測工人是否進入危險區域，自動發出警告^[2]。

3. AI（人工智慧）與機器學習^[2]：

AI 是智慧工地的大腦，能分析 IoT 感測器收集的海量數據，並將其轉化為有價值的洞見與自動化決策。

- 影像辨識：利用 AI 影像辨識技術，可透過工地攝影機自動偵測工安違規行為（如工人未戴安全帽、未穿反光背心等）。此外，AI 也能辨識工程進度，例如判斷模板是否已安裝完成。
- 風險預測：機器學習模型可分析過往工安事故數據、天氣預報、人員疲勞狀況等，預測潛在危險時刻，使管理者能提前採取預防措施，從被動應對轉為主動預防。
- 進度優化：AI 演算法可分析施工進度、資源使用與天氣變化等數據，自動優化施工排程，確保工程以最有效率的方式進行。

4. 自動化設備與機器人：

這類技術旨在取代部分人力，提升施工精度與效率，並降低人員在高風險環境中的暴露。

- 無人機：搭載高解析度攝影機或 LiDAR 感測器，可進行空拍測量與地形繪製。它也能執行定時巡檢，監控工程進度，並提供即時影像給遠端管理人員。

- 施工機器人：雖仍處於發展階段，但部分機器人已應用於重複性高的工作，例如自動砌磚、焊接、噴漆等。這不僅大幅提升施工精度，也使工人能從繁重與危險的工作中解放出來。
- 自動駕駛工程車輛：在大型工地，自動駕駛的運輸車輛或推土機可按照預設路徑自主作業，優化物料運輸效率並減少人為操作失誤。

資訊化的智慧營造模擬與工程規劃

資訊化的智慧營造模擬與工程規劃是智慧工地從「被動管理」走向「主動預防與優化」的關鍵核心，也是數位轉型最能展現價值之處。

1. 施工模擬（Virtual Pre-construction）與動態優化：將衝突化解於無形其核心價值在於運用 BIM 與數位孿生技術，在施工前進行虛擬模擬，發現潛在問題並優化施工流程，實現「先在虛擬世界中發現錯誤，避免在真實工地中犯錯」。

- (1) 衝突檢測（Clash Detection）：傳統上，管線與結構的衝突常在施工現場才被發現，導致停工、修改，耗費大量時間與成本。透過 BIM 模型，可在施工前精確檢測出所有碰撞點，並在設計階段進行優化，避免現場管線衝突、停工、延誤、返工與成本超支。

- 自動化檢測：軟體會自動掃描模型中所有構件的幾何關係，精確標示出所有碰撞點，並產生詳細的衝突報告。
- 協同解決：專案團隊可共同檢視衝突報告，並在虛擬模型上直接討論解決方案，例如調整管線路徑、修改構件尺寸等，所有變更都會在模型中即時更新。

- (2) 工法優化：提升效率與安全的最佳化路徑：除了靜態的衝突檢測，動態的施工模擬則能幫助優化施工流程與工法，確保效率與安全。

- 吊掛路徑模擬：針對大型設備或預鑄構件的吊掛作業，可利用 BIM 模型與動態模擬軟體，預先規劃吊車的設置位置、臂長、以及構件的吊掛路徑。這能確保吊掛過程中不會碰撞到建築物或其他障礙物，並驗證作業的可行性與安全性。
- 複雜工序預演：對於高難度的施工工序，例如模板系統架設、鋼筋綁紮順序、臨時支撐

移除，皆可透過動態模擬進行預演。這不僅幫助施工人員直觀理解作業步驟，也能讓專案經理提早發現潛在的時程瓶頸，進行更合理的資源調配。

- 安全設施規劃：透過模擬，可將高空作業平台、安全護欄、臨時通道等安全設施整合到模型中，確認其佈設是否合理、是否能有效保護施工人員。這將安全管理從被動的事後檢查，提升為主動的事前規劃。

(3) 動態的數位孿生（Digital Twin）：透過 BIM 模型與工地的即時數據（例如天氣、人員位置、施工進度狀態、機具狀態、物料供應等）結合，形成一個動態的數位孿生。這使得我們不僅能看到「規劃中的工地」，更能即時掌握「真實的工地狀況」，為後續決策提供依據（圖 5）。

2. 4D/5D 施工模擬：考慮時間變化與成本的精實管理
將時間（4D）與成本（5D）的維度加入 BIM 模型，是未來實現精實管理的重要手段。

(1) 4D 施工時程模擬：傳統施工時程管理通常依賴於甘特圖或網狀圖，這些 2D 圖表雖能呈現任務順序與時程，但缺乏空間感，使專案團隊難以直觀理解施工實體進程。例如，很難從甘特圖判斷同一工項兩個不同工班在同一時間是否會在同一空間範圍內進行作業，產生潛在衝突。4D 施工模擬正是為了解決此問題而生，其核心

是將「時間」這個第四個維度整合到「3D 建築資訊模型」中。

- 整合時程資料：將專案的施工時程表（通常為 Microsoft Project 或 Primavera P6 等排程軟體的數據）與 BIM 模型中的每個構件進行連結。
- 視覺化時程衝突：透過模擬影片，專案團隊能直觀地看到施工實體進程。例如，當吊車吊掛作業與模板拆除作業在同一區域、同一時間點發生時，影片會清楚呈現出空間與時間上的衝突，使專案經理能在施工前發現並調整時程，避免現場混亂與延誤。
- 溝通與協作：4D 模擬影片亦是極佳的溝通工具，能讓不懂工程圖的非專業人士（如業主或投資方）清晰理解整個專案的施工計畫與進度，提升專案溝通效率與透明度。簡而言之，4D 施工模擬將施工計畫從抽象的數字與文字，轉化為具體的視覺呈現，將「計畫」與「現實」進行橋接。儘管目前因動態進度規劃變動頻繁，維護 4D 資料成本較高，但隨著 AI 技術發展，預計此問題將很快解決。

(2) 5D 成本管理系統：在營建專案中，成本管理一直是最具挑戰性的環節。傳統模式下，成本估算與追蹤通常基於 2D 圖紙，依賴人工計算工程數量，不僅耗時費力，且易因設計變更而

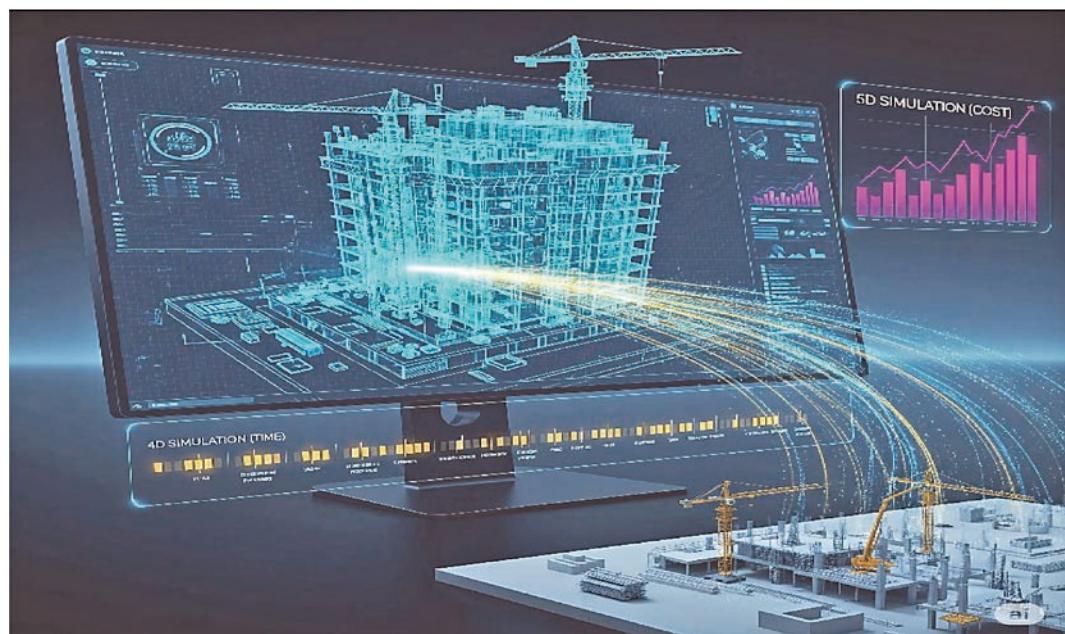


圖 5 資訊化的智慧營造模擬應用

產生錯誤。將「成本」這個第五個維度整合到 BIM 模型中，徹底顛覆了傳統成本管理方式。

- **自動化工程數量清單 (Quantity Take-off) :** BIM 模型中的每個構件都包含詳細的參數資訊 (如尺寸、材質、數量等)。5D 系統能直接從模型中提取這些資訊，自動產生精確的工程數量清單。這大大減少了人工計算錯誤，並大幅提升估算效率。
- **即時成本追蹤與更新 :** 5D 系統會將工程數量與預設的單位成本進行連結。當設計師在模型中進行任何變更時 (例如調整牆體厚度或增加窗戶數量)，系統會自動更新工程數量與成本估算，使專案團隊能隨時掌握最新成本狀況。
- **成本變動分析 :** 5D 系統不僅提供成本總額，還能針對不同專業 (如結構、機電) 或不同工種 (如混凝土、鋼筋) 進行詳細的成本分析。當成本發生變動時，專案經理可精確追溯是哪個構件或哪個環節產生變化，從而做出更精準的決策。透過 5D 模擬，成本管理從被動的事後審核，轉變為主動的事中監控與預測。這使得專案的財務狀況變得更加透明與可控，也為專案的利潤管理提供了強大的數據支持。

4D/5D 施工模擬的核心價值在於，將傳統上相互獨立的設計、時程與成本三者緊密整合在一個動態的 BIM 模型及資訊系統中。這使得營建專案的規劃不再是單純的紙上談兵，而是一個可以被模擬、預測、分析與優化的智慧資產，為整個專案的順利執行提供了強大的技術基石。

3. 數位化供應鏈與物料管理

智慧營造的規劃與模擬，未來也將延伸到智慧工地人、機、料供應鏈的數位化。

- (1) **人、機、料追蹤與可視化 :** 利用 RFID 或 QR Code 技術，可從物料出廠便開始追蹤其位置與狀態，並將這些資訊同步到 BIM 模型中。例如，追蹤混凝土車何時抵達工地，預鑄板目前在哪個倉庫等。這不僅優化了物流，也減少了因物料延遲導致的工期延誤。
- (2) **自動化進場與倉儲管理 :** 結合 AI 影像辨識與自動化設備，可實現物料自動點收與智慧倉儲

管理，解決傳統工地物料堆放混亂、盤點困難的問題。

4. **數據整合與協同作業平台**為進行智慧營造，智慧工地的所有應用都離不開一個強大的數據整合平台^[5]。
 - (1) **共同資料環境 (CDE, Common Data Environment) :** 這是所有專案成員共享資訊的中心。BIM 模型、施工圖、進度表、合約文件等所有資訊都儲存在此平台上，確保每個人都使用最新、最準確的資料。
 - (2) **跨專業協同 :** CDE 打破了傳統各專業獨立作業的壁壘，智慧工地的各方專案關係人等都能在 CDE 環境的資訊系統上協同工作，減少溝通上的誤解與資訊落差。

簡而言之，資訊化的智慧營造模擬與工程規劃在智慧工地中的核心價值，在於將營建專案從不確定性高的「經驗導向」轉變為可精準預測與優化的「數據導向」。它將傳統營建智慧從紙本與人腦中釋放出來，儲存為可數位化、可重複利用的資產，為營建產業的永續發展奠定基石。

從「經驗」到「數據」：營建思維的根本轉變傳統營建專案管理高度依賴資深工頭、專案經理的個人經驗。他們憑藉過往工地經歷判斷工期、成本與風險。這種模式在簡單專案或許可行，但面對複雜、大型或創新設計的專案時，其局限性顯而易見：

1. **人為錯誤風險高 :** 人的記憶與判斷力有限，尤其是在資訊量龐大時，難免產生疏漏。
2. **決策缺乏依據 :** 決策往往基於「經驗與感覺」而非具體數據，難以被量化與驗證。
3. **知識無法傳承 :** 資深專家的經驗難以系統化地儲存與傳承，一旦人員異動，知識資產便隨之流失。

運作模式改變 : 資訊化的智慧營造則徹底改變了這一局面。它將整個專案生命週期中的所有資訊，從設計圖、材料規格、施工時程、成本預算，到現場的即時數據，全部數位化並整合在一個 CDE 環境中。這使得營建專案的運作模式從「經驗導向」轉變為：

1. **數據驅動的決策 :** 透過 BIM 模型與各種感測器收集的數據，專案經理可獲得具體、可量化的資訊來做出決策。例如，透過 4D 模擬，可精準預測不同施工方案對工期的影響，而非憑感覺判斷。
2. **知識資產化 :** 過去存在於人腦中的經驗，現在被

轉化為 BIM 模型、施工模擬影片、歷史數據等數位資產。這些資產可被儲存、檢索、分析，並應用於未來專案，實現知識的永續傳承。

3. 可預測與可優化：藉由數據分析與模擬，專案的未來發展不再是未知。可預測潛在衝突、成本超支風險以及工期延誤可能性，並在問題發生前進行優化與調整。

具體應用：工程管理中的變動管理，從不確定性走向可控性這種思維轉變在實際應用中體現在以下關鍵環節：

1. 設計階段的優化：傳統模式下，設計錯誤常在現場施工時才被發現。透過 BIM 衝突檢測，可在虛擬世界中精準預測並解決這些問題，將錯誤從「現場問題」提前轉化為「設計階段的數據問題」。
2. 施工階段的風險預測：過去，專案工期延誤原因往往複雜且難以追溯。但透過資訊化的智慧營造模擬和 BIM 模型，可將實際進度與計畫進度進行即時數據對比。當發現某環節進度落後時，系統能立即發出警報，並分析其對後續工序的影響，幫助專案經理提早介入，而非等到專案失控才亡羊補牢。
3. 成本管理的精準化：傳統成本估算與控制常依賴人工計算與 Excel 表格，效率低且易出錯。未來施工模擬則將成本數據與模型中的構件數量動態連結。當設計變更時，系統會自動更新物料清單與成本預算，使成本管理從被動的事後審核，變為主動的事中監控。

智慧工地所面臨的挑戰

總體而言，台灣的智慧工地正處於從工地安全單點應用，邁向工程規劃、施工效能管理系統性整合的過渡期。未來，隨著技術成熟與政府政策推動，可預期將有更多企業積極投入，將智慧工地應用範圍擴展到更全面的工程管理、品質檢測與永續營建，最終實現產業生產力的整體升級。

儘管已有許多智慧工地安全運用的成功案例，但台灣營建業在智慧工地的推廣上仍面臨諸多挑戰：

1. 產業分工與制度問題：智慧工地的主要執行方為營造業者。目前台灣的產業分工與制度，除了少部分包含開發、營造的集團企業外，大部分營造業採投標承攬工程，依公共、私人業主需求接單

建造。然而，目前智慧工地的各種運用皆不在付費的工程項目中，對營造業者缺乏積極正向的推動助力。

2. 成本與效益評估：導入智慧工地的各種應用與工程規劃及施工管理息息相關，需要長期導入及深化運用。加上初期投資成本高，如何明確評估長期效益與投資回報，是企業決策者主要顧慮。
3. 技術整合不足：智慧工地的各類應用常因不同資訊系統與設備間缺乏統一標準，導致數據孤島，難以實現全面的資訊整合。
4. 人才培育與觀念轉變：產業鏈普遍缺乏具備產業專業及數位技能的複合型人才，且傳統營建思維的轉變仍需時間。

展望未來：智慧工地的新篇章

從當前的技術發展軌跡來看，未來的智慧工地將不再只是被動的工具，而是具備自主學習與決策能力的生態系統。這也是為什麼說，資訊化的智慧營造規劃與模擬是實現智慧工地的第一步，也是關鍵的第一步。它為整個專案的工程規劃、施工管理，從進度、品質、勞安到永續發展，都提供了堅實的數據基礎。未來智慧工地可能呈現以下圖景：

1. AI 協助及自主決策能力：從輔助者到協作者

目前，AI 在工地上的應用多半是輔助性的，例如影像辨識用於安全監控、數據分析用於進度預測。然而，未來的趨勢是讓 AI 具備更強大的自主決策能力，使其能從單純的「工具」轉變為與人類「協作」的夥伴。

- **自動化排程與資源調度：**AI 系統能即時監控工地的天氣、材料到貨狀況、人員出勤等數據。當它預測到某環節可能延誤時，不再只是發出警報，而是能主動提出最佳解決方案，例如自動調整後續工序的排程，依調整建議最佳物料採購時間與數量，並生成相關作業工作分派，發送提醒通知及 email。
- **預防性維護與故障排除：**透過對機具感測數據的深度學習，AI 能精準預測設備何時可能發生故障，並在故障發生前通知維修人員進行保養。這將維修從事後補救轉為事前預防，大幅提升工地的運作效率。

- 品質管理的自動化：未來，AI 影像辨識系統將不僅限於監控，更能自主進行品質檢測。例如，透過無人機拍攝影像，AI 能自動比對 BIM 模型，檢查施工是否符合設計規範，並生成詳細的品質報告，減少人工檢查的誤差與時間。

2. 資訊系統在現場的深度應用：虛擬與現實的無縫整合

目前許多資訊系統仍侷限在辦公室電腦上。未來的趨勢是將資訊系統直接深度整合到工地現場各類行動裝置上或新世代裝置（例如 AI 眼鏡）運用，模糊虛擬與現實的界線^[6]。

- AR（擴增實境）與 VR（虛擬實境）應用：施工人員透過 AR 頭盔，可直接在現實場景中看到 BIM 模型的虛擬投影。例如，機電人員安裝管線時，可戴上 AR 頭盔看到管線在牆體內的精確位置與走向，避免錯誤安裝。VR 則可應用於高風險工序的虛擬訓練，讓新進人員在安全環境下熟悉作業流程^[7]。
- 即時數據可視化：透過智慧穿戴裝置與大型數位螢幕，工地現場的即時數據（如環境溫度、空氣品質、人員位置、機具狀態）將被可視化，使所有人員一目了然地掌握工地狀況，提升應變能力。
- 機器人與自動化設備的協作：資訊系統將作為機器人的「大腦」，指揮無人機進行巡檢、自動化設備進行重複性作業，並將其產生的數據回傳到系統中，實現人機協同的高效作業模式。

3. 跨領域的緊密整合：打破產業壁壘

智慧工地的未來，不僅是單一技術的進步，更是不同領域之間的緊密整合。

- 設計與施工的無縫接軌：未來，BIM 模型將不再只是設計階段的工具，而是貫穿專案全生命週期的數位資產。設計師在模型中的任何變更，都將即時同步到施工現場，實現設計與施工的零時差協同。
- 營建與製造業的融合：隨著預鑄工法（Prefabrication）的普及，營建業將與製造業更加融合。智慧工廠會根據 BIM 模型自動生產建築、機電、裝修構件，並透過數位化供應鏈系統，精

準地將構件運送到工地，實現「像造車一樣蓋房子」的願景。

- 低碳與永續的整合：未來的智慧工地將把能源管理、廢棄物監控等綠色指標直接納入資訊系統中。系統會自動監測碳排放、分析能源使用效率，並提供優化建議，使綠色建築從設計概念走向實際的數據化管理。

從「經驗導向」轉變為「數據導向」，不僅僅是工具上的升級，更是營建產業思維與工作流程的根本性變革。這使得營建專案不再是充滿不確定性和風險的場域，而是一個可以被精準預測、即時監控、持續優化的透明系統。

總結來說，未來的智慧工地將是一個由 AI 驅動、資訊深度整合、跨領域協作的智慧生態系統。它將從根本上改變營建產業的運作模式，使其變得更安全、更高效、更具永續性；承載並推動智能和裝配式作業，堅持標準化設計、工廠化生產、裝配化施工、一體化裝修、資訊化管理、智慧化應用，營建產業應積極擁抱數位轉型，以智慧工地為核心，共同擘劃營建業的數位新篇章。

參考文獻

1. 臺灣 BIM 聯盟，民國 114 年 2 月 11 日，SMART CONSTRUCTION SAFETY MANAGEMENT IMPLEMENTATION WHITE PAPER 智慧工地安全管理白皮書，出版品。
2. 蔡明修、張傳育、許輝煌、盧祥偉、陳炳宏（2025），「營建工地影像生成文字摘要系統之開發與應用：以工地安全缺失摘要生成為例」，土木水利，第五十二卷第一期，第 41-47 頁，台灣，中國土木水利工程學會。
3. 郭武勳（2022），「前瞻技術應用於智慧工地之研究」，碩士論文，國立陽明交通大學。
4. 簡奉順、姜振中、黃德孝、陳哲仲（2024），「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」，土木水利，第五十一卷第三期，第 22-27 頁，台灣，中國土木水利工程學會。
5. 林芳輝、呂斌豪、林之謙（2025），「以 PMIS 為核心的工程資訊管理新典範：從資訊爆量到智慧工地整合」，土木水利，第五十二卷第一期，第 5-12 頁，台灣，中國土木水利工程學會。
6. 邱上峻（2012），智慧型手持裝置於施工管理應用之研究，碩士論文，臺北科技大學。
7. 李秉展、程金龍、羅紫萍、張玉萍（2025），「利用環景 VR 提高工作者的危害辨識能力與安全意識」，技師期刊，108 期，第 69-73 頁，臺北市土木技師公會。

