



從模型到現場： HDEC 工程管理的新日常

褚月桂*／欣達環工股份有限公司 高級工程師

當 BIM/AR 的檢核成為工地的日常，是否意謂著營建產業虛擬設計與施工（Virtual Design and Construction, VDC）^[1] 技術發展已進入至精實營建（Lean Construction）^[2] 的管理模式？亦或是營建產業在邁入 AI 自動化的起手式？

營建產業隨著科技創新，帶動了許多施工方面的數位轉型，結合資通訊技術及各式感測設備，大幅提高了施工期間的安全管理的效能，也在即時性、數據化與自動化等各種優勢條件下，智慧工地就應運而生了。然而要建立真正的智慧工地，得先具備數位孿生（Digital Twin）的數位基礎環境，因此可能運用 BIM 模型來與實際的營造過程相結合^[3]。建築資訊模型（Building Information Modelling, BIM）與擴增實境（Augmented Reality, AR）兩項技術的融合即是一例，運用 AR 技術將 BIM 的 3D 模型以真實尺度套疊於施工現場，讓現場有擴增實境虛實的疊合效果，施工人員便可以更直觀地來進行施工查驗以及品質檢核等相關作業，這項技術改變了許多現場施工人員查閱圖紙的習慣，由原本採用傳統 2D 工程圖說查找，轉而以 BIM 的 3D 模型來進行更直觀的比對，而在運用這項創新技術的前題，BIM 模型的準確度要求以及前置作業，對於 BIM 團隊人員都是不容小覷的考驗，然而也唯有逐步的深入現場，才能讓 BIM 更接地氣的在施工端發揮其真實的應用價值和目的。

這是以執行再生水廠興建工程 BIM 專業人員的角度，對於工程專案設計階段即導入 BIM 技術，並且在工地端應用 AR 技術執行模型檢核的經驗分享。

前言

近年來由於全球面臨氣候變遷的挑戰，各地區降雨型態驟變，地方政府為力拼產業轉型，皆以爭取高科技產業進駐為首要目標，而在不影響民生用水的前提下，又必須滿足產業的高度用水需求，即藉由再生水產製技術讓水資源循環再利用，故政府單位積極展開公共污水處理廠再生水推動計畫^[4]。在兼具「提供產業穩定用水」與「水資源循環再利用」的兩項重要議題下，再生水廠的興建工程肩負起這項重責大任，然

而近幾年營建產業面臨嚴峻的缺工缺料問題，不僅影響工程進度，同時也墊高許多營建成本，在時間和成本雙重考驗下，即以避免施工錯誤或降低施工風險為首要目標，最終將智慧安全工地奉為圭臬。

建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）之應用已列為大型公共工程專案必備技術^[5]，設計階段即以 BIM 模型進行各類工程設計，也針對各類工程衝突或是具有職安高風險設計加以檢討，確保施工期間之安全與順利，甚至在施工階段運用擴增實境（Augmented Reality, AR）技術，讓 BIM 模型套疊至現場，融合虛擬模型與真實施工現場，視覺化地進行現場的查核比對工作。

* 通訊作者，archu@hdec-corp.com

BIM / AR 技術與應用介紹

BIM 它是結合營建與科技產業的技術，以物件為導向的參數式建模工具，同時也是工程各階段的一種流程，BIM 資訊為標準化且機器可讀取^[6]，BIM 構件包含參數化及屬性資訊，而這類資訊都可被自動化管理，且其物件導向資料結構具有與實體物件對應一致的特性，故 BIM 資訊管理層面靈活度高^[7]。現今許多指標性工程在設計階段即先行於電腦平台上完成 3D 虛擬建造，以便模擬分析施工過程及竣工後營運階段可能產生的問題及早規劃解決。

AR 它是透過裝置可以將虛擬的資訊、圖像、物件或影音疊加至真實環境中的一種技術，讓使用者能在真實環境中體驗到附加的數位資訊，它同時也能提供互動式情境的體驗，因此自從 2016 年《Pokémon GO》遊戲風潮以後，AR 技術已成為家喻戶曉一項平民化的實用科技了。

然而營建業施工階段要採用 AR 技術，其前題為必須具備完整的 BIM 3D 模型，其它工具尚包含：

1. 硬體（平板裝置、智慧型手機或頭戴式裝置）
2. 軟體（AR 應用程式、雲端平台）

執行 AR 技術的工作程序^[8]可概分為：

1. 環境捕捉：AR 裝置使用其攝影機和感測器來捕捉真實世界的環境。
2. 資料處理：捕獲的資料由裝置的處理器進行處理。
3. 數位內容產生：依據處理後的數據，AR 系統產生適當的數位內容以涵蓋真實世界。
4. 追蹤和對齊：當使用者移動時，AR 系統會持續追蹤他們的位置並調整數位內容，以確保其與真實世界環境保持一致。
5. 顯示：增強內容顯示於裝置螢幕上或透過 AR 眼鏡顯示，與使用者對真實世界的看法無縫結合。

AR 技術的應用重點包括：虛實整合、觸發啟動及呈現方式，其中在觸發啟動部分，亦即是定位的精確度，對於營建施工未來應用這項技術影響甚大^[9]，目前仍以

圖像辨識為主，AR 圖像辨識方法區分為以下三種^[10]：

標記的辨識

採用標記的辨識方法是最常見的 AR 圖像辨識方法之一。它透過在真實場域中放置特定的標記（如：二維碼、QR code 等），利用攝影鏡頭掃瞄標記圖像，透過圖像識別技術確認標記的位置和方向。

視覺 SLAM 的辨識

視覺 SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）是一種利用視覺即時定位技術。它透過分析攝影鏡頭採集的圖像序列，對於動態環境進行定位。

深度學習的辨識

深度學習技術在 AR 圖像辨識領域也有廣泛的應用，透過訓練神經網路模型，也可針對圖像進行識別、分類和辨識。

依據上述三種方法又可將其區分為「標記式 AR」與「無標記式 AR」二類^[11]，其綜合比較（表 1）。

綜整上述各式 AR 圖像辨識方法，視覺 SLAM 的辨識與深度學習的辨識方法皆屬「無標記式 AR」，由於深度學習的辨識方法技術門檻較高，以現階段營建產業自動化尚未成熟故難以施行，而視覺 SLAM 的辨識方法於施工期間也可能因複雜環境而難以運作，故「無標記式 AR」的辨識方法較適用於工程竣工後或營運階段較完整的場域，「標記式 AR」的辨識方法應可適用於施工階段尚未完備之現場環境。

AR 檢核的需求探討

以往傳統施工查核比對多半借助於 2D 圖說以獲取相關資訊，然而零散的圖說版次經常造成控管疑慮，再者施工現場環境危機四伏，工程人員攜帶大量圖紙與相關資料往返於施工現場，於現場費時翻找之際也徒增曝露於危險場域的風險。由於專案在執行現況查核時需要依據不同專案需求以及不同的情境，所採取的查核比

表 1 AR 圖像辨識方法的比較表

分類	AR 圖像辨識方法	優點	缺點
標記式 AR	標記的辨識	不需要進行物件辨識和追蹤，簡單快速，穩定性高	需要預先放置標記，適用場景有限
無標記式 AR	視覺 SLAM 的辨識	無需預先放置標記，適用場景廣泛	在複雜環境中，定位精度和即時性將受影響
	深度學習的辨識	能夠自動學習圖像特徵，適應性強	訓練資料需求量大，計算複雜度高

參考來源：[10,11]

對方式也略有不同。一般大型的公共工程專案，業主契約可能會要求施工期間或竣工後查驗要採行影像模型的比對，而採行 BIM 模型查驗通常是與工程實體來做比較，以確認模型的擬真程度符合正確與完整性，因此需要應用 3D 雷射掃描儀器將實體設施轉換成點雲模型，再與 BIM 模型來進行套疊比對，以檢核影像模型與 BIM 模型的幾何位置與形狀大小是否正確^[12]。

運用 BIM/AR 查核針對現場錯誤問題可即時顯示，且透過 AR 技術可將 BIM 模型與 2D 圖紙做疊合可更精準的確認現場設備基座或預留開孔是否正確，進而確認現場防護措施是否到位，即可讓現場同仁理解問題並及早修正改善。

案例導入說明

本案例是一座位於高雄市橋頭區，為擴建中的再生水廠（預計 2025 年底完工），全廠包括一期及二期污水處理單元，佔地面積約 6.64 公頃，專案類型為污水廠 BTO 興建移轉營運案，處理容量為污水處理量約 6 萬 CMD、再生水的產水量約 3.5 萬 CMD。

本案例在設計階段即導入 BIM 的設計應用，主要係為本案屬二期工程與既有一期污水廠之間，預期將有許

多界面協調的需求，如：廠區地下連絡管新舊系統需要銜接。再者，再生水廠屬科技產水，設備空間需求也需要更精確地規劃，並整合各專業模型，藉由 BIM 視覺化優勢以進行工序的優化。施工階段則定期將全廠區整合模型上傳至 BIM 雲端平台，以提供相關單位進行界面整合、工程釋疑或變更設計等溝通之用，運用 AR 技術係由於此為 BTO 案，對於特許公司而言，未來也將面臨營運維護階段冗長的建築物生命週期，施作的正確與否對將來的影響重大，因此在施工品質檢核管理，需要採取更具成效、務實的管理方法，故以試辦的方式於施工期間導入 AR 技術，將 BIM 的 3D 模型疊合至實體場域，以供施工團隊進行施工查驗比對作業，藉由專案施工 BIM 模型的滾動式修正，再搭配專業廠商所開發的 AR 應用程式（圖 1），即可將 BIM 模型定期更新儲存於雲端，可更快速且便捷地檢核現場實體是否正確（圖 2）。

再生水廠的管線有別於以往的傳統污水處理廠，廠內各類系統管線的複雜度並不亞於高科技業廠房，其涵蓋各類大型機組設備以及密集的各類管群，只要一小處稍有錯誤終將影響後續的整體配置，正所謂的牽一髮而動全身，因此施工期間的查核比對需要更頻繁，才能及早協調整合現場的各項失誤，以降低現場施作錯誤的成本損失。

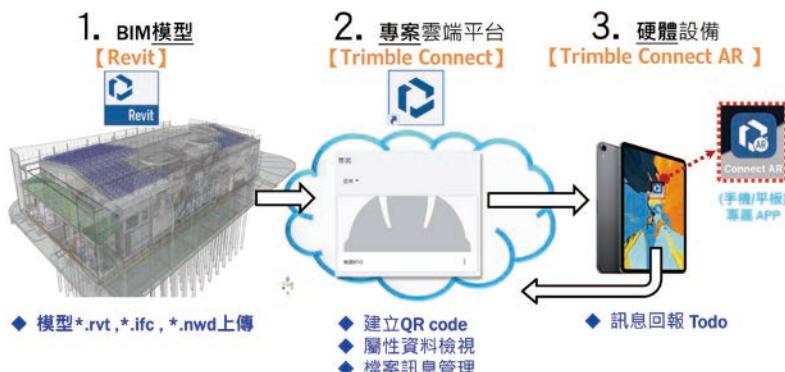


圖 1 專案 AR 工具說明（資料來源：欣達環工公司）



圖 2 BIM/AR 在工地操作程序（資料來源：欣達環工公司）

施工階段檢核程序與管理方式

施工期間的時程管控為每一工地的核心要務，然而在執行 BIM/AR 的檢核比對過程往往又會發現一些相互抵觸問題，而這些問題究竟是圖說的問題？還是模型沒建好？亦或者是現場施作的錯誤呢？因此經常要掌握時效並且追根究柢的釐清問題癥結原因，與土建及機電人員進行協調討論，快速解決或尋求變通之道。

因此，也針對施工查核擬定 BIM/AR 現場標準作業程序，以供施工端駐點 BIM 工程師執行時瞭解相關的作業內容，掌握作業時效及作業要點（圖 3），並且將現場查核記錄進行系統化的管控（圖 4 和圖 5）。

BIM / AR 檢核的問題探討

執行施工階段的 BIM/AR 檢核過程中，及早解決了許多現場問題，同時也累積不少的檢核經驗（例如：過牆管預留開孔、設備基座位置等），獲得不少實質的效益，然而運用這項技術也仍存在著部分的問題，綜整如下：

- 為符合現場套疊模型的需求，設備系統及基座甚至是管線支撐吊架等，必須依實際採購的設備規格尺寸，建置相同比例且精度較高的實體元件。
- 現場已施作完成，若在不影響功能情況下，通常專案會選擇以 BIM 模型來配合進行修正，無形中增加建模人員的修模次數。
- AR 查核前置作業較繁瑣，包括：模型轉檔為 IFC（或 NWD）、QR code 位置選擇、QR code 印製以及現場位置的測量張貼 需要有駐點 BIM 工程師配合。
- BIM 模型轉檔為 NWD 於 AR 應用程式內顯示可能產生部分缺件模型元件不完整的現象。
- AR 工具若採用頭戴式裝置可能將有無法察覺週遭環境的問題，而使用平板裝置又可能因戶外光線而導致影像不清楚比對困難現象。
- 施工現場受限的環境，例如：地下室的空間容易產生訊號延遲問題，影響比對的即時及準確性。
- 施工現場安全問題，為提早瞭解是否有預留開孔是否正確，通常會在假設工程未拆的情況下進入案場，檢核人員自身安全防護也是一項重要課題。

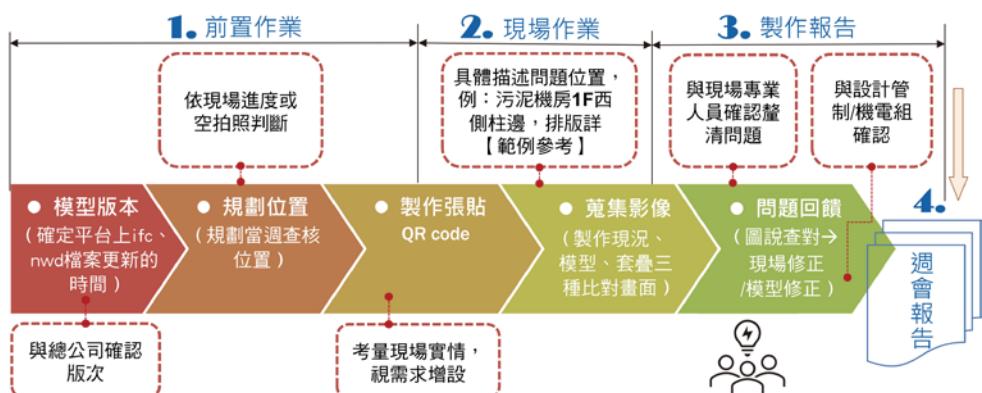


圖 3 BIM/AR 現場標準作業程序（資料來源：欣達環工公司）

查核編號：20240605-01
查核位置：前處理及初沉池
查核內容：屋頂層百葉預留開孔位置確認，確認無誤。
問題釐清：N/A

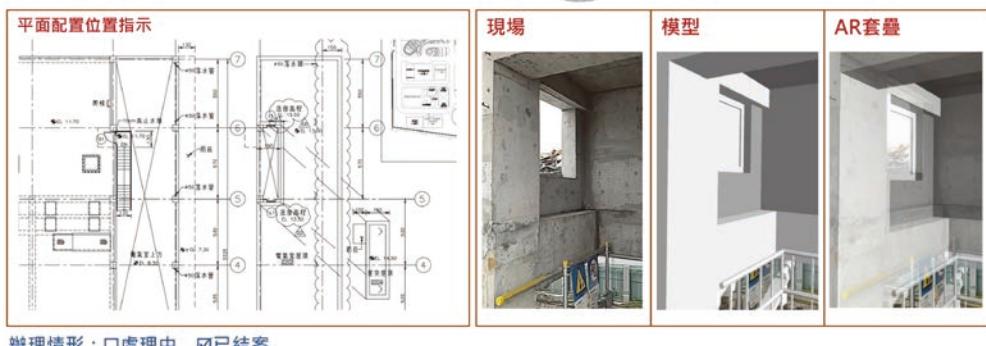


圖 4 BIM/AR 施工查核記錄（資料來源：欣達環工公司）

圖 5 BIM/AR 施工檢核管控表（資料來源：欣達環工公司）

結論與建議

專案要在施工端推行這項技術，首先得先評估專案的預算條件、想要達成的應用目的與效益在哪裡？執行 BIM/AR 過程中，工具的導入基本上都不致於產生問題，而最具挑戰的部分應該是如何貫徹施行，需要搭配 BIM 人員的積極投入、擬定標準作業程序、整備人力與控管議題等，這些才是影響專案執行 BIM/AR 成果的關鍵要素，而這也是當前許多工程專案在施工端應用這項技術時，面臨窒礙難行的首要因素。

以橋頭案再生水廠為例，在設計階段採行 BIM 檢核工程中的各類衝突，以及具有職安疑慮的高風險設計，並且在施工階段採行 AR 技術，使現場錯誤問題得以早確知並立即改善，降低失誤的成本損失。再者，由於本案例污水處理廠單元，施工期間預留開孔或開放式池槽，皆具有潛在的墜落高風險，也藉由 AR 檢核確認現場相關安全防護措施是否符合要求。

BIM/AR 的巧妙融合使得先進科技趨於實用化，而要在施工階段執行這項技術，則需要 BIM 團隊更積極投入，與時俱進地更修模型才能提高 BIM 模型的完整性、正確性與一致性，亦才能獲得施工人員對於模型資訊的信賴感，也期望未來 AR 應用能和 AI、5G 等技術更深度的融合，使 AR 技術在環境的可變性及定位技術方面能更加地精進，為營建產業帶來更多創新應用。

參考文獻

1. John Kunz and Martin Fischer (2012), "Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions", CIFE

Working Paper, #97, Stanford University, America.

2. Lean Construction Institute The Best Way to Build. Lean Construction Institute. <https://leanconstruction.org/>
 3. 高宇、周子祥、呂斌豪（2024），以推動智慧工地反思人本初衷—專訪臺大土木系謝尚賢教授，現代營建雜誌社。<http://www.arch.net.tw/modern/month/537/537-1.htm>
 4. 林于衡（2024, July 10），高科技產業用水渴 國土署拚 2026 年再生水日供 28.5 萬噐，工商時報。<https://www.ctee.com.tw/news/20240710701276-430104>
 5. 審計部 _ 第五廳（2018, April 30），工程會為提升我國公共工程技術、效率及品質，成立公共工程運用建築資訊建模（BIM）推動平台，該推動策略應如何運作以提升公共工程執行效能，審計部歡迎各界提供建言！公共政策網路參與平臺。<https://cy.join.gov.tw/policies/detail/8e95c8d6-ce87-4e05-afce-c46a33eb6f89>
 6. National BIM Standard (NBIMS), “Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States™”, 2024/02, <https://www.nationalbimstandard.org/faqs>
 7. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (2nd Edition) John Wiley and Sons, Inc.
 8. Trevor jackins. (2024, August 28)，什麼是擴增實境（AR）？Splashtop Inc. <https://www.splashtop.com/tw/blog/what-is-augmented-reality>
 9. 王榮進、馮重偉（2020），擴增實境（AR）結合虛擬施工及設計（VDC）於營建施工應用研究。內政部建研所。
 10. 揭秘 AR 圖像跟蹤技術：如何讓虛擬與現實無縫對接？（2025, April 11），2025 雲原生實踐。<https://www.oryoy.com/news/jie-mi-ar-tu-xiang-gen-zong-ji-shu-ru-he-rang-xu-ni-yu-xian-shi-wu-feng-dui-jie.html>
 11. 什麼是擴增實境（AR）？ANSYS, Inc. <https://www.ansys.com/zh-tw/simulation-topics/what-is-augmented-reality>
 12. 謝尚賢（2013），淺談 BIM 應用工具（五）：模型檢核與管理，營建知訊，第 363 期，第 63-65 頁。