

中華技術 CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

146

April/2025

2025.04.30 出版

智慧永續、淨零排碳 建構新世代建築工程

《人物專訪》

以人為本、深耕智慧永續，陳世凱擘劃臺灣運輸新藍圖
專訪交通部陳世凱部長

《專題報導》

新北頂福低碳建築工法，引領社宅永續未來
高雄新航廈全流程 BIM，實現淨零國門藍圖
智慧永續、淨零碳排—中部地區三件案例之精進作為
亞灣公宅淨零減污—ESG導向與科技防制
構建沙崙綠能科學城C區節能減碳智慧建築
運用數位雙生技術，實踐社宅遠端管理
臺北廣慈結合全週期BIM及物管，打造智慧生活



財團法人中華顧問工程司 發行

CECI



台灣世曦工程顧問股份有限公司 企劃

April/2025

146

智慧永續、淨零排碳
建構新世代建築工程

中華
技術
CECI

ENGINEERING
TECHNOLOGY



中華技術 CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

No.146
April/2025

目錄

Contents

匠心獨運

- 004 以人為本，綠意共生
公共建築工程的永續轉型

人物專訪

- 008 以人為本、深耕智慧永續
陳世凱擘劃臺灣運輸新藍圖
專訪交通部陳世凱部長



中華顧問
中華技術電子書平台



台灣世曦
中華技術電子書平台

本刊文章為作者提供，內容正確性及法律
責任概由作者自行負責

發行人 鄭運鵬
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段 185 號 28 樓
電話 (02)8732-5567
網址 <http://www.ceci.org.tw>
ISSN 1818-4464

編審工作小組

總召集人 施義芳
副總召集人 廖學瑞

146 期召集人 何泰源
146 期審查委員 林聰能、江秉修、鄧建華、
莊明哲、張曜洲、周昌典
總編輯 林聰能
副總編輯 黃寶翰
企劃 台灣世曦工程顧問股份有限公司
設計編輯 天下雜誌股份有限公司
地址 台北市內湖區陽光街 323 號
電話 (02)8797-3567
網址 <http://www.ceci.com.tw>



封面故事

面對全球淨零碳排趨勢，智慧化轉型已成為營建產業的新契機。本期封面故事以臺北市「廣慈博愛園區」為例，深度探討建築資訊模型（BIM）如何貫穿社會住宅的規劃設計、施工整合到智慧物業管理各階段，發揮節能減碳效益，展現數位技術如何從概念落實到具體成果，引領臺灣公共建築工程邁向智慧永續新標竿。

專題報導

- 016 社宅建築低碳工法應用與營建管理——以新北市土城區「頂福安居」統包工程為例
 - 040 為下一世代打造一個智慧永續的綠色航廈——以高雄國際機場新航廈工程規劃設計為例
 - 058 以中部地區建築案場為例，達成智慧永續、淨零碳排之精進作為
 - 082 ESG 導向與智慧科技防制運用，連結 2050 淨零共利減污——以亞灣智慧公宅（第一期）新建統包工程為例
 - 098 節能減碳、智慧建築——構建「沙崙智慧綠能科學城 C 區（第二期）資安暨智慧科技研發大樓」
 - 116 V3DM 數位雙生平台於社會住宅之實踐與展望
 - 132 從營管角度探討智慧型社宅全生命週期導入 BIM 及物管效益——以廣慈博愛園區為例
-

以人為本，綠意共生

公共建築工程的永續轉型

建築，作為取之於土地，用之於土地的產物，與環境永續發展息息相關。根據聯合國環境規劃署 2022 年的研究數據，建築業的碳排放量占全球碳排放量創下历史新高，光是營運階段與材料生產，就占了全球碳排 37%。

儘管臺灣不是聯合國會員，仍積極履行環境責任，提出「2050 淨零排放路徑及策略」，並設立四大目標：能源轉型、產業轉型、社會轉型及生活轉型。其中，產業轉型明確指出建築部門，需在 2050 年 100% 新建築與 85% 既有建築轉型為淨零建築。為此，臺灣已提出應對措施。在此過程中，公共建設工程扮演關鍵角色，不僅要積極參與轉型，還需透過綠色低碳轉型提升長期價值，進而增強政府在推動永續發展中的領導力，吸引更多社會投資與人才。

然而，公共建設工程的上下游產業鏈龐大且複雜，涵蓋多家中小型企業，亦有部分大型企業參與，因此，推動淨零轉型面臨不小的挑戰。建築物的碳排主要來自兩大階段，一是興建階段，包括建材的生產與廢棄處理等；二是完工後的營運階段，包括能源消耗和設備運行等。目前國內已落實推動或執行多個務實且創新的減碳解決方案。

例如，在興建階段，透過設計減少鋼筋用量、選用低碳和在地建材，輔以有利減碳的創新工法，能有效減少碳足跡。營建過程中，積極監測噪音、水、空氣等污染，同時導入建築資訊模型（Building Information Modeling，簡稱 BIM）系統，提升設計與施工的協調性，從而更有效率地利用建材，減少資源浪費。

在建築物的營運階段，可以透過高效能建築節能設計和智慧化設備來降低能耗，實現減碳。智慧管理系統可以隨時監測能源消耗情況，並進行優化。這樣便能針對碳排放熱點進行精準的減碳策略規劃，進一步提升公共建設的環保效益。

本期特別專訪行政院交通部陳世凱部長，瞭解政府也同樣把永續轉型納入施政重心。在「臺灣 2050 淨零轉型排放路徑及策略總說明」以及「12 項關鍵戰略行動計畫」兩大政策綱領引導下，一方面致力運具電動化、無碳化，促進智慧科技與低碳運輸融合，推動大眾運輸與共享交通、發展綠色觀光，另一方面也積極著手提升基礎建設韌性，以應對極端氣候。

這些永續意識，同樣反映在建材使用、營建過程、創新工法、循環設計、智慧管理等層面，本期專題報導更以新北市土城區頂福安居社會住宅、高雄國際機場新航廈與亞灣智慧公宅（第一期）新建統包工程、臺中市國安一期社會住宅與武嶺營區新建統包工程、臺南市沙崙智慧綠能科學城 C 區（第二期）資安暨智慧科技研發大樓、臺北市廣慈博愛園區、V3DM 數位雙生平台技術等實證案例進行具體呈現。

建材使用》低碳、節能、在地，避免產生碳足跡

許多大型工程已選用低碳、節能建材，並儘量選擇在地供應商，以避免長途運送帶來的碳排放。例如，高雄國際機場就導入低碳、在地生產的各類建材。

在臺中市武嶺營區，即使處於海拔 3,123 公尺的高山環境，仍選用了康尼蜂巢板等節能建材，具備防火、隔熱、減碳等特性，並有效降低能耗。這些建材經過氣密、水密和抗風壓測試，確保建築耐候性，輔以創新技術實踐淨零碳排，確保軍事設施可持續發展。

營建過程》新科技、智慧化，全方位減少污染

在營建過程中，注重與當地環境和社區的和諧共生，並導入新科技即時監測噪音、溫度、濕度，減少揚塵與水污染。以高雄亞灣智慧公宅（第一期）為例，該建案透過即時監測 PM2.5、噪音、溫度、濕度等數據，一旦超標，即會自動通報並啟動應對措施，更透過 CCTV 閉路電視系統記錄污染發生時段，進行分析與改善。

BIM 技術應用愈發普遍，能有效提高施工精度、減少錯誤和不必要的建材浪費。這項技術的應用範圍不僅涵蓋設計階段，還延伸至施工和營運階段。臺北市最大智慧社會住宅社區——廣慈園區，在設計階段充分運用 BIM 進行能

耗模擬與低碳建材選擇，而臺中市西屯區國安社會住宅與新北市頂福安居社會住宅，也運用 BIM 進行全方位設施維運管理，提升精準度，有效減少施工錯誤及建材浪費。

創新工法》高拉力及模矩化鋼筋、鋁合金模板，都有利減碳

除了在建材選用與營建過程中大幅減碳，選擇適當的工法同樣有助永續發展。例如，新北市土城區的頂福安居社會住宅主要採用兩種低碳工法：高拉力及模矩化鋼筋配置工法，以及鋁合金模板工法。

高拉力鋼筋（如 SD550W、SD690）能有效減少用鋼量，而模矩化鋼筋配置則透過標準化間距和用鋼量，不僅提升施工效率，還能降低損耗。

至於鋁合金模板工法，則應用於樓板、牆板、梁、柱、樓梯等結構。相較於傳統木模板，鋁模板可重複使用約 100 次，大幅降低材料浪費。

循環設計》引風遮陽、善用每一滴水，不浪費自然資源

在設計方面，「取之於自然，用之於自然」的循環經濟概念受到重視。例如，高雄國際機場的航廈設計採用被動式設計，包括隔熱玻璃與遮陽設計，以降低能源需求，並導入高效能空調系統（HVAC），提升能源使用效率。

臺中西屯區國安社區住宅亦採用綠建築與節能設計，透過綠化有效降低都市熱島效應，並透過建築配置與風場模擬優化通風和採光，自然減少電力與能源耗費。

臺南市沙崙綠能科學城核心區—C 區開發工程（第二期）則運用熱環境與動態風環境模擬，分析建築物的熱能分布與自然通風狀況，並透過內退立面、陽台突出與水平遮陽措施，有效降低室內熱能。

智慧管理》整合能源、即時偵測結構變異，讓建築物更節能、更有韌性

當建築物落成後，透過智慧管理機制，不僅能提升能源效率，也能增強建築面對各種災害的韌性。例如，臺南市沙崙綠能科學城核心區—C 區開發工程（第二期）導入智慧監控系統，整合各再生能源子系統，實現集中管理與分散控制，達到安全與節能目的。



為提升社會住宅從規劃到營運的智慧管理，並解決安全與環境永續問題，台灣世曦開發 V3DM 數位雙生平台，運用數位雙生技術提供虛擬、實體深度整合，實現即時監測與分析，有助於提升建築物的耐震能力、施工安全及應急管理水準，實現全生命週期的智慧化營運。

廣慈社宅導入 V3DM 平台地震監測系統後，能進行結構健康分析、設置結構健康監測平台，運用強震儀、數據分析，確保建築物地震後安全。

桃園龜山的樂善安居社宅則運用 V3DM 平台進行地下開挖監測，即時監測地下水水位等數據，避免潛在施工風險。

種種努力，也呼應面臨極端氣候籠罩的挑戰，交通部積極提升基礎建設韌性的作為。交通部長陳世凱表示，透過高風險邊坡採用明隧道、建置雨量與橋梁監測系統、安裝落石與土石流告警系統，並運用無人機和數位孿生技術提高防災效能，確實有效強化公路、國道、軌道和港口的氣候調適能力。

另外，交通部轄管之臺鐵、高鐵積極導入「智慧無人機橋檢維運系統」，並在桃園機場引進電子巡檢、24 小時監控，確保即時應變能力。同時要求所屬各單位訂定「工程減碳指引」，確保基礎建設符合淨零目標。

公共建築工程的淨零轉型已不再是選擇，而是必然的發展方向。未來，公共建築唯有積極擁抱低碳科技與智慧管理，才能提升永續競爭力、強化韌性，並吸引更多資源投入。綠色建築不僅是政府推動淨零政策的重要支柱，更是城市發展與社會進步的關鍵動力。透過打造兼顧環境、經濟與社會發展的永續建築，公共工程將引領建築產業向低碳、智慧、永續的未來邁進。

以人為本、深耕智慧永續 陳世凱擘劃臺灣運輸新藍圖



專訪交通部 陳世凱部長

「2050 淨零轉型」已成為重要的國家政策之一，交通部積極響應，從運具電動化及無碳化、淨零綠生活、海空運減碳到基礎設施韌性提升，交通部全方位布局永續低碳工作，期望結合臺灣既有資通訊優勢，打造智慧交通系統，實現以安全、效率與永續為核心的未來交通願景。

隨著淨零排放成為不可逆的趨勢，各國政府、企業無不積極因應。2021 年世界地球日，前總統蔡英文便宣示「2050 淨零轉型」目標，隔年，政府緊接著公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」和「12 項關鍵戰略行動計畫」。2024 年，總統賴清德再直接於就職典禮上，指出面對氣候危機，臺灣必須堅定落實 2050 淨零轉型，直接定錨淨零政策的重要性。

而交通部做為主理國家重大基礎建設、公共運輸、觀光休閒等業務的機關，又在淨零排放策略中，扮演什麼角色？「交通部積極配合行政院『國家希望工程』的『綠色成長與 2050 淨零轉型』施政目標，持續推動『形塑淨零永續的綠生活』相關運輸部門的淨零轉型工作。」交通部部長陳世凱點出關鍵。

其中，包含淨零關鍵戰略七「運具電動化及無碳化」、關鍵戰略十「淨零綠生活——低碳運輸網絡」和海空運減碳等，都是交通部投入的重要工作。



電動大客車智慧充電管理系統

推動運具電動化，完善友善配套環境

首先，現今走上街頭，眼見愈來愈多的電動公車、電動小客車與電動機車在路上跑，便是交通部在「運具電動化及無碳化」方面的努力成果。陳部長指出，我國運輸部門溫室氣體排放主要來自於道路上行駛的汽機車，交通部綜觀國際先進國家的電動車技術發展與趨勢，以及考量臺灣的產業發展特性、社會環境後，決定在國內運具電動化路徑的推動上，採政府帶頭示範與公共運輸先行策略，達到 2030 年市區公車及公務車全面電動化，私人運具則優先聚焦國內技術成熟且完全商業化的電動小客車及機車，目標 2040 年電動小客車、電動機車新車市售比達 100%。

而為了達到目標，交通部一方面擬定提高電動運具數量、完善使用環境配套和產業技術升級轉型三大策略，同時亦已偕同經濟部、環境部、內政部等部會，於 2023 至 2030 年間編列約新臺幣 917 億元的預算，做為推動「運具電動化及無碳化」之用。

以「2040 年電動小客車、電動機車市售比達 100%」的目標來說，陳部長強調，政府不會採禁售、禁買燃油車的強制手段，相反的，政府會透過補貼與稅費優惠，讓外部成本內部化；同時加速公共充電樁的建置、修訂與新增法規標準，建構完善且方便的電動車使用環境，「目的是協助降低民眾轉換使用電動運具的門檻，讓民眾主動汰換與新購電動車。」

截至 2024 年底，臺灣電動小客車累計新車近 3 萬 8 千輛，市售比 9.3%；電動機車累計新車近 7 萬 9 千輛，市售比則達 10.5%；「交通部將持續與經濟部、環境部等各部會，輔導推出平價國產電動小客車，以及加碼機車行補助、稅費減免等經濟誘因，鼓勵民眾主動轉換使用電動小客車與機車。」

在 2030 年市區公車全面電動化部分，交通部與環境部共同規劃、執行總經費達 643 億元的「2030 年客運車輛電動化推動計畫」，透過提供電動大客車車輛補助、維運補助、路網優化和建置維修保養體系，協助各縣市政府及客運業者採用電動大客車；此外，針對未來大量電動公車充電可能遭遇的困境，也規劃補助場站導入智慧充電管理系統，協助客運業者優化充電作業程序，提升能源使用效率。交通部預計於 2030 年完成 1 萬 1,700 輛市區公車全面電動化，2024 年累計推動 3,300 輛的目標。令人興奮的是，2024 年底，電動大客車已領牌營運數量為 1,905 輛，核定打造中車輛則有 1,414 輛，合計 3,319 輛，等於超前達標；藉由公車客運電動化的推動，大幅降低車輛行駛道路上所產生的有害氣體（PM2.5），讓民眾於通勤生活的每一哩路中，享有更潔淨的空氣品質，帶給民眾淨零暢行、身心舒暢的移動體驗。

策略目標	推動路徑	行動計畫
1 提高電動運具數量	1-1 電動運具數量提升及使用示範	57 項 各部會協力執行 
	1-2 研訂車輛進口製造規範	
	1-3 強化車輛碳排管理規範及機制	
	1-4 稅費優惠及貸款協助	
2 完善使用環境配套	2-1 充電設施數量提升	
	2-2 研訂充電設施規範	
	2-3 建立用電配套	
3 產業技術升級轉型	3-1 關鍵技術研發與產業技術升級	
	3-2 保養維修技術人員轉型	
	3-3 國營事業轉型	

運具電動化及無碳化推動策略及路徑

融合科技 臺灣資通訊優勢助力永續交通

對於臺灣邁向「運具電動化及無碳化」，「我們有機會做到低（無）碳化與智慧化並行！」陳部長特別提到，多年來，臺灣已發展出完整的資通訊產業生態系，只要善用臺灣在電子與資通訊領域的優勢，善用物聯網、5G、雲端運算等技術，並整合政府跨部會的資通訊與智慧型運輸系統產業資源，建立起共通產業標準，從電動車、充電站、車商等三大面向，建構友善使用環境，便能讓民眾有更好的使用體驗、減少交通事故，甚至能有效提升產業競爭力，促進技術輸出海外，與國際市場接軌。

此外，陳部長說明，在燃油車轉向電動車過程中，勢必會遭遇「公正轉型」問題，包括車輛製造維修業者、修護保養技術人員、加油站等產業、勞工都可能遭受衝擊。對此，交通部持續與經濟部透過各種輔導措施，協助國內業者升級關鍵零組件國產化等技術與能力，讓電動車在國內成為平價的主流商品；至於產業及勞工轉型面，則藉由教育訓練、產業碳盤查與轉型輔導交流座談，促進產業營業行為、從業人員的轉型，「交通部、經濟部等部會會在推動運具電動化及無碳化過程中，強化社會溝通，落實『盡力不遺落任何人』的公正轉型核心價值。」

綠色出行普及，多元低碳網絡構築新生活

其次，在關鍵戰略十「淨零綠生活—低碳運輸網絡」方面，交通部則持續透過推廣公共運輸、完備步行和自行車環境、管理私人運具的使用、推動共享汽機車、公共運輸導向的土地使用（Transit Oriented Development, TOD）、減少非必要運輸需求、推廣綠色貨運和綠色觀光、旅遊等多元路徑，建構低碳運輸網路。

例如現今許多搭乘大眾運輸上下班的民眾，是人手一張「TPASS」，民眾只要持公共運輸通勤月票 TPASS 搭乘公共運輸通勤，平均支出僅要過往的 3 到 5 折。根據交通部統計，2024 年鐵公路公共運輸運量（不含高鐵），相較 2022 年月票實施前成長約 27%。邁入 2025 年，交通部為了擴大 TPASS 的受惠群眾，又加碼推出 TPASS 2.0 常客優惠回饋。

隨著「綠色旅遊」風氣漸起，觀光署也致力推動綠色觀光與低碳交通的結合，陳部長解釋，觀光署是以「低碳運具」為觀光主軸，藉由「台灣好行」與「台灣觀巴」等觀光景點運輸服務，以及無碳個人交通工具甚至步行，來深入體

驗地方旅遊特色；包括縱谷處的「八通關生態人文自行車遊程」、北觀處的「觀音觀鷹生態導覽」、東管處的「富岡地質公園小旅行」和馬管處的「馬祖綠色生態慢活三日遊」，都在遊程中融入生態、永續知識，體現綠色旅遊的精神。另外，因應國際供應鏈對於綠色貨運的需求，公路局亦啟動「貨運三業、公路汽車客運業、遊覽車客運業——碳足跡及碳標籤綠色運輸先期規劃」計畫，已提出分年推動規劃，引導相關運輸業者強化減碳作為。



「台灣好行／台灣觀巴」觀光景點運輸服務

打造基礎設施韌性，應對極端氣候風險

有鑑於極端氣候事件頻傳，交通基礎設施需要具備更強的韌性，以應對災害風險並滿足多元族群的需求。因此對於公路、國道、軌道和港埠系統的維護與建置，交通部也在規劃、設計、營運階段，便納入調適的思維。於 2022 年完成「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」，於 2024 年起分 3 年期研議國內首部之「鐵道系統全生命週期氣候變遷調適指引」，後續亦將擴充至運輸系統通用之調適指引。

以公路設施來說，交通部除了在高風險邊坡採用明隧道方案、強化排水系統，還打造了科技監測與預警系統，進行雨量、邊坡或橋梁的智慧位移監測，以提高即時監測能力。同時，在易發生落石、土石流路段，亦安裝告警系統，透過自動警報機制，發送預警資訊提醒路人，以減少用路人傷亡。公路局甚

至運用無人機搭配數位孿生技術，建立易致災公路邊坡的數位模型，以進行落石模擬分析，提高災前風險評估與決策能力，並設置相關防護設施，維護行車安全。

在軌道設施部分，交通部全面檢視臺鐵全線危險性邊坡路段，於 2024 年 12 月 18 日訂頒「鐵路邊坡維護與管理規範」，推動邊坡建置「告警及維護管理系統」及擴大「維護管理關注範圍」，並辦理邊坡巡查、維護管理作業，以及提升鐵路沿線積淹、邊坡災害預警能力。針對高鐵，交通部亦責成台灣高鐵公司於去年與工研院合作開發「高鐵智慧無人機橋檢運維系統之應用」，能輔助執行較高難度場域的巡檢，強化橋梁巡檢效率，提升檢測效能與品質，並保存數位化資料。至於在雨天會看到「漏水」新聞的桃園國際機場，則強化防汛應變演練程序、定期辦理演練，並透過電子巡檢落實預防巡查，再搭配 24 小時監測，隨時監控機場設施及水位，只要達到警戒標準，隨即啟動應變，以掌握救災先機。其他包括國道、港口，交通部持續加強設施的調適能力與韌性。

值得注意的是，不論是為了推動運具電動化及無碳化進行的充電樁建置、優化路網，還是強化高風險區域工程或是基礎設施等防災韌性提升，交通部向來肩負眾多建置公共工程的責任；而公共工程在國家建設中扮演重要角色，卻也是碳排放的重要來源。如今，隨著淨零浪潮來襲，為了建立系統性工程減碳作法，交通部已要求公路局、高公局、鐵道局和臺灣港務公司等單位，分別就公路、國道、軌道、港埠工程訂定減碳指引，預計於今年底完成。



利用 UAV 檢視坡面現況 (台 11 線 34k+155 ~ 34k+822)

落石告警系統介紹
圖形化雲端監控



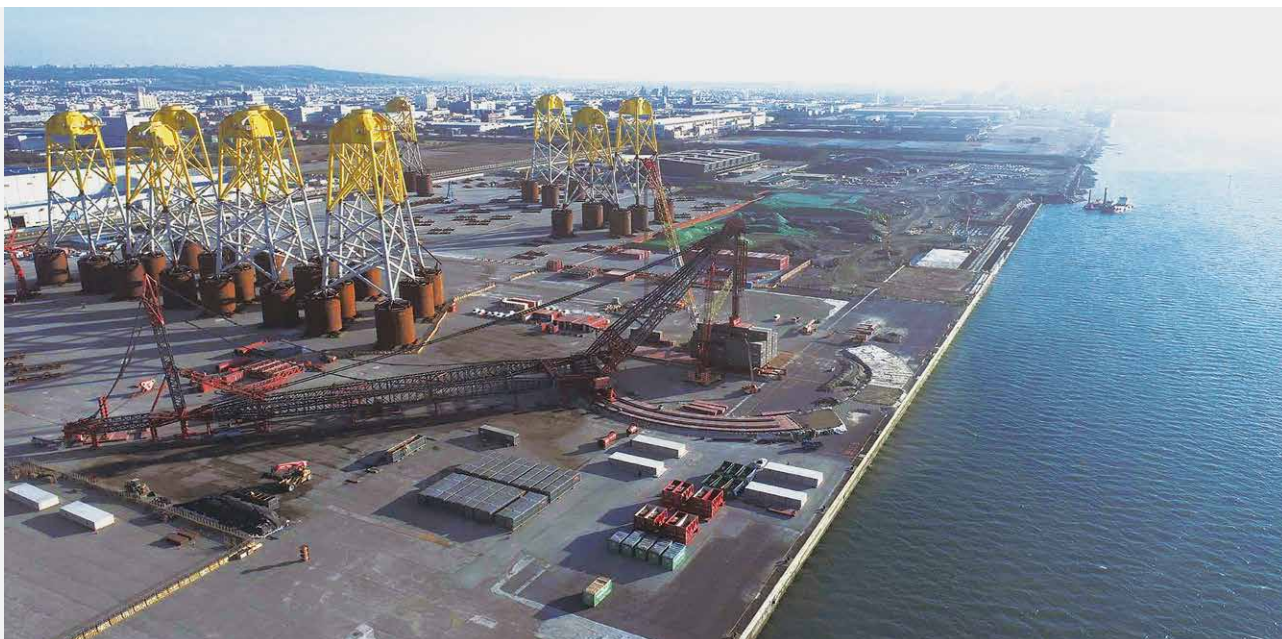
落石告警系統圖形化雲端監控

以人為本，創建智慧運輸新未來

展望未來，陳部長強調：「臺灣交通運輸發展最重要的目標，是以安全、效率與永續為三大核心。」接下來，交通部將善用 AI、5G 等科技的力量，持續以政策創新引導產業發展，建構「以人為本」的交通運輸系統，將運輸環境推展到更安全、整合、友善、方便、效能的層次。

事實上，陳部長非交通本科出身，但做任何事都秉持著「以人為本」的理念，讓他在去年底《網路溫度計 DailyView》公布的內閣閣員好感度中，勇奪第一。他認為，臺灣雖然不大，但不同城市、地區的民眾都有各自的需求，對此，交通部積極連結人與科技，致力以因地制宜的不同方式解決問題。像是過去幾年，交通部補助了地方政府辦理自駕公車規劃評估及試運行計畫，並完善試驗場域的路側環境建置；也協助高雄市辦理緊急車輛優先通行號誌、路口防碰撞系統計畫，以及補助新竹縣政府針對視障者設置智慧行人號誌系統，「身為政策制定者，目標要遠大，執行過程卻要細膩，還必須隨時關注國際間最新技術，不斷滾動檢討修正。」

陳部長期待，交通部能在以創造低碳交通及友善環境的目標下，帶動運輸產業發展，共創智慧移動（Smart Mobility）的新生活願景。



新建「臺中港 37、38 號碼頭」，提升臺灣離岸風場建置量能



高雄港第 7 貨櫃中心運用 5G 打造全自動化櫃場，提高櫃場運作效率及降低碳排

社宅建築低碳工法應用與營建管理—— 以新北市土城區「頂福安居」 統包工程為例

關鍵詞 Keywords

- # 低蘊含碳建築 Low Embodied-Carbon Building
- # 低蘊含碳工法 Low Embodied-Carbon Construction Method
- # 高拉力鋼筋 High-Tensile Strength Steel Rebar
- # 模矩化鋼筋工法 Module Rebar Construction Method
- # 鋁合金系統模板 Aluminum Alloy Engineered Formwork System

國家住宅及都市更新中心 社會住宅部

副執行長

董世寧

組長

葉韋呈

資深規劃師

許澄潔

隨著全球氣候變遷問題日益嚴重，建築產業作為碳排放的重要來源之一，如何在建築施工中實現低碳化成為亟待解決的課題。本文以臺灣國家住宅及都市更新中心的「頂福安居」社會住宅為例，探討在建築物低碳應用及其優勢，並分享減少碳排放的具體貢獻。

台灣世曦工程顧問股份有限公司 營建工程部

協理

林聰能

技術經理

黃寶翰

計畫工程師

王道平

正工程師

余思翰

正工程師

林峻緯



壹、前言

我國政府倡議興建社會住宅政策旨係弱勢群體、青年及國民提供經濟可負擔的居住選擇，隨著政府推動「八年 20 萬戶」的社會住宅目標，如何在大規模建設過程實現低碳化成為重要議題。藉由本工程運用低蘊含碳工法 (low embodied-carbon construction method) 的創新及推廣應用，期望引導更多再利用、再循環及再生等低碳循環建材或構件，使其建造成果促進營建產業呼應國家淨零建築政策。近年來，政府亦極力推動營造業營造四化（設

計標準化、構件預鑄化、施工機械化、人員專業化）導入從業市場，期望源頭除能進行品質管理提升外，進而在建築物全生命週期對風險控管、作業危害阻斷，能更有效達到防災、減災目的。

貳、工程概述

本案「頂福安居」社會住宅新建工程基地位於新北市土城區中央路四段旁，基地北側鄰頂埔國小，南側鄰頂新公園及由新北市政府新工處主辦開闢之 12 米計畫道路，東、西皆緊鄰既有集合住宅社區；距離臺

北捷運板南線頂埔站約 10 分鐘路程，距離未來捷運三鶯線媽祖田站（暫定）約 3 分鐘路程，具備完整生活機能，位置如圖 1 所示。

本工程涵蓋 A、B 兩處基地及基地間 8 米寬新闢計畫道路，基地、道路面積分別為 13,037.27m²、7,929.52m²、3,240m²。合計新建 8 棟鋼筋混凝土構造建築物，使用用途包含社會住宅及市府衛

生局、社會局的社福設施，總樓地板面積 119,932.11m²，主要工程項目包括混凝土結構工程、水電機空消工程、計畫道路、出流管制排水設施工程。預定取得綠建築、智慧建築、耐震等標章，提供社會住宅 1,294 戶、鄰里商業空間、老人福利及身障福利機構、汽車停車位 591 席、機車停車位 1,339 席，兩處基地建築物配置示意圖如圖 2 所示。



圖 1 本案基地及周邊環境位置圖



圖 2 本案全區開發示意圖

參、建築低碳工法推廣應用實例

本工程採用建築低碳工法主要有 1. 高拉力及模矩化鋼筋配置；2. 鋁合金模板等二項，分述如後。

一、高拉力及模矩化鋼筋配置工法

(一) 高拉力及模矩化鋼筋配置工法介紹

高拉力鋼筋係指鋼筋降伏強度超過 550N/mm² 以上，我國國家標準 CNS560 已納入高拉力鋼筋 SD550W、SD690，利用其高拉力特性減少用鋼量，以達減碳目的；而模矩化鋼筋配置工法採用定尺料，鋼筋間距採用模矩化訂定標準尺寸，及版配筋避免傳統長短向系統，除可避免主筋不易連續性，且可減低損耗，並提高工班施工性。

(二) 高拉力及模矩化鋼筋配置工法技術特點

本工程所採用之高拉力鋼筋工法獲得內政部建築新工法審核認可通知書如圖 3 所示，根據核准內容主要構件規格，梁斷面尺寸為 40x60~125x150 公分；柱斷面尺寸為 50x50~150x150 公分，以鋼筋降伏強

度 550N/mm² 作為梁柱構件主筋或搭配鋼筋降伏強度達 550N/mm² 之 SD550W 鋼筋續接器，梁、柱實際配置情形分別如圖 4(a~b) 所示。

建材	
內政部建築新技術、新工法、新設備及新材料審核認可通知書	
發文日期：中華民國 109 年 4 月 6 日 核准文號：內授營建字第 1090805683 號	
受文者：建國工程股份有限公司（臺北市大安區敦化南路二段 67 號 20 樓）、東鋼營造工程股份有限公司（臺北市中山區長安東路一段 9 號 9 樓）	
副本收受者：中華民國全國建築師公會、中華民國土木技師公會全國聯合會、中華民國結構工程技師公會全國聯合會、臺灣區綜合營造業同業公會（以上請轉知全體會員）、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、財團法人台灣建築中心、社團法人臺灣混凝土學會、社團法人中國土木水利工程學會、臺北市政府、新北市政府、桃園市政府、臺中市政府、臺南市政府、高雄市政府、基隆市政府、新竹縣政府、新竹市政府、苗栗縣政府、南投縣政府、彰化縣政府、雲林縣政府、嘉義縣政府、嘉義市政府、屏東縣政府、宜蘭縣政府、花蓮縣政府、臺東縣政府、澎湖縣政府、金門縣政府、連江縣政府、行政院農業委員會屏東農業生物技術園區籌備處、經濟部標準檢驗局、科技部新竹科學園區管理局、科技部中部科學園區管理局、科技部南部科學園區管理局、經濟部水利署臺北水源特定區管理局、經濟部加工出口區管理處、交通部國道高速公路局、墾丁國家公園管理處、玉山國家公園管理處、陽明山國家公園管理處、雪霸國家公園管理處、太魯閣國家公園管理處、金門國家公園管理處、海洋國家公園管理處、台江國家公園管理處、內政部建築研究所、營建署	
主旨：貴公司申請審核認可事項准依下列所載內容認可使用，請查照。	
一、核准內容：	
產品名稱(型號)	「採用 SD550W 鋼筋之鋼筋混凝土建築物」建築新工法
產品種類	建築新工法
主要材料或構件	1、系統概述： 本工法係採用 SD550W 鋼筋應用於建築結構物的梁、柱、接頭及剪力牆邊界構件上。所謂 SD550W 鋼筋係指鋼筋降伏強度超過 550N/mm ² 以上，混凝土係指齡期 28 天抗壓強度超過 42N/mm ² 以上之混凝土。本工法之鋼筋與模板施作與傳統鋼筋混凝土工法相同。 2、主要構件材料： (1)用於梁、柱主筋之 SD550W 鋼筋，其降伏強度達 550N/mm ² 。 (2)用於 SD550W 鋼筋續接之 SD550W 鋼筋續接器。 (3)所配之混凝土抗壓強度超過 42N/mm ² 以上。 3、主要構件規格： (1)採用前述材料之梁規格，其斷面尺寸為 40x60~125x150 公分。 (2)採用前述材料之柱規格，其斷面尺寸為 50x50~150x150 公分。 (3)本工法以鋼筋降伏強度 550N/mm ² 作為梁柱構件主筋或搭配鋼筋降伏強度達 550N/mm ² 之 SD550W 鋼筋續接器，其搭配之混凝土抗壓強度超過 42N/mm ² 以上。

圖 3 本工程使用內政部建築新工法審核認可通知書



圖 4(a) 模矩化配筋工法梁配筋



圖 4(b) 模矩化配筋工法柱配筋

本工法之模版施作與傳統鋼筋混凝土工序雷同，為達減碳目的，本案採用鋁合金系統模版，運用其再利用特性達到減碳效益。根據核准內容應就個案設計、施工細節與續接器位置等內容作結構預審，審查項目包含混凝土裂縫服務性評估等 10 項如圖 5 所示，本案通過國立臺灣大學工學院地震工程研究中心嚴謹審查。

項目	採用 SD550W 鋼筋之鋼筋混凝土造建築物之結構主要審查項目
1	混凝土彈性模數
2	混凝土裂縫服務性評估
3	最少設計鋼筋量評估
4	柱構件圍束箍筋評估
5	梁柱接頭剪力強度評估
6	鋼筋錨碇長度評估
7	鋼筋發展長度評估
8	設計細則
9	分析方法（靜力非線性側推分析）
10	施工品質計畫

圖 5 結構主要審查項目

鋼筋間距依據規範限制平行併排鋼筋之淨間距配置原則，梁構材不得小於 1.0db、柱構材不得小於 1.5db，傳統上柱筋設計與配置採均勻分布，兩向主筋間距未必一致；另矩形柱兩向主筋根數不一定相同，因此間距可能不同，鋼筋複雜處如梁柱接頭，或柱斷面變化如縮柱等情形，主筋連續性不佳有出現偏折的可能，甚至主筋集中穿過同一空隙而致間距不足之疑慮。

本工法結合高拉力鋼筋所使用鋼筋量減少特性，加以模矩化工法配筋將間距尺寸模矩化，藉此決定耐震構件標準尺寸，而後擬定梁柱接合及錯位原則，設計配置如圖 6 所示。

除可提升設計效率亦可確保主筋連續性，在施工面則減少衝突且因鋼筋維持適當間距，混凝土澆灌時避免粒料分離，提升施工性。

在版配筋方面，傳統版筋配置主筋有方向性且不易維持連續性，版配筋方向性示意如圖 7 所示。本工程版配筋採 X、Y 向系統，主筋統一方向性不需分區檢討設計，主筋可維持連續性，實際用鋼量也因而減少以達減碳目的。

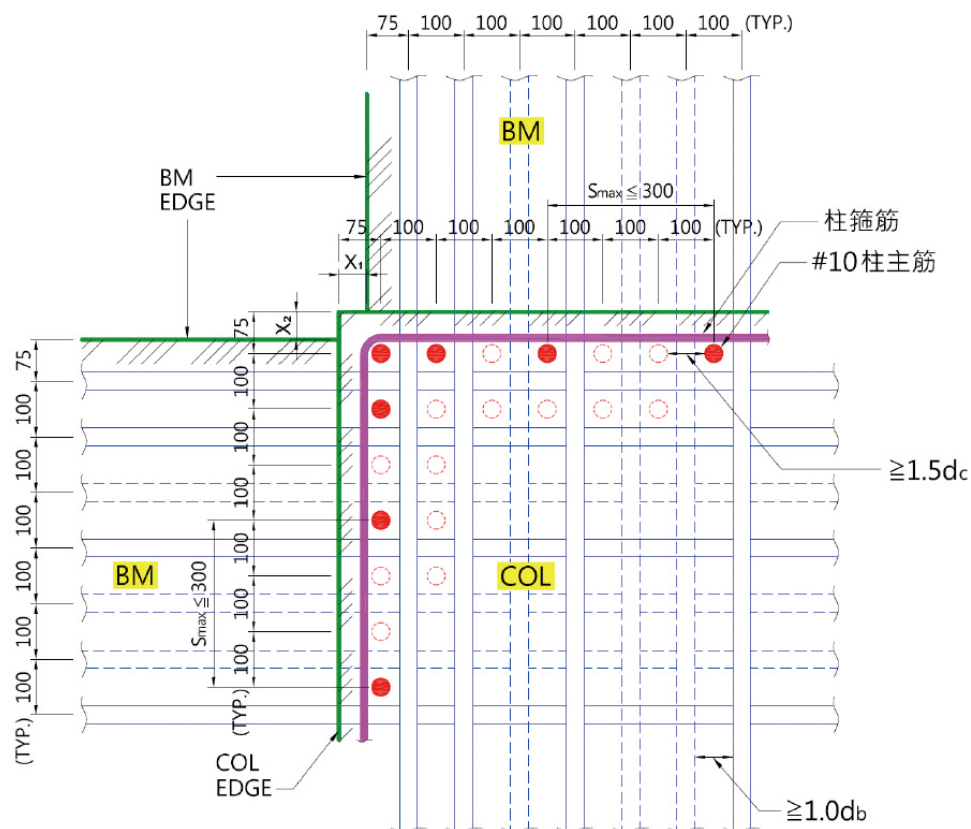


圖 6 模矩化配筋工法梁柱接頭設計配置圖

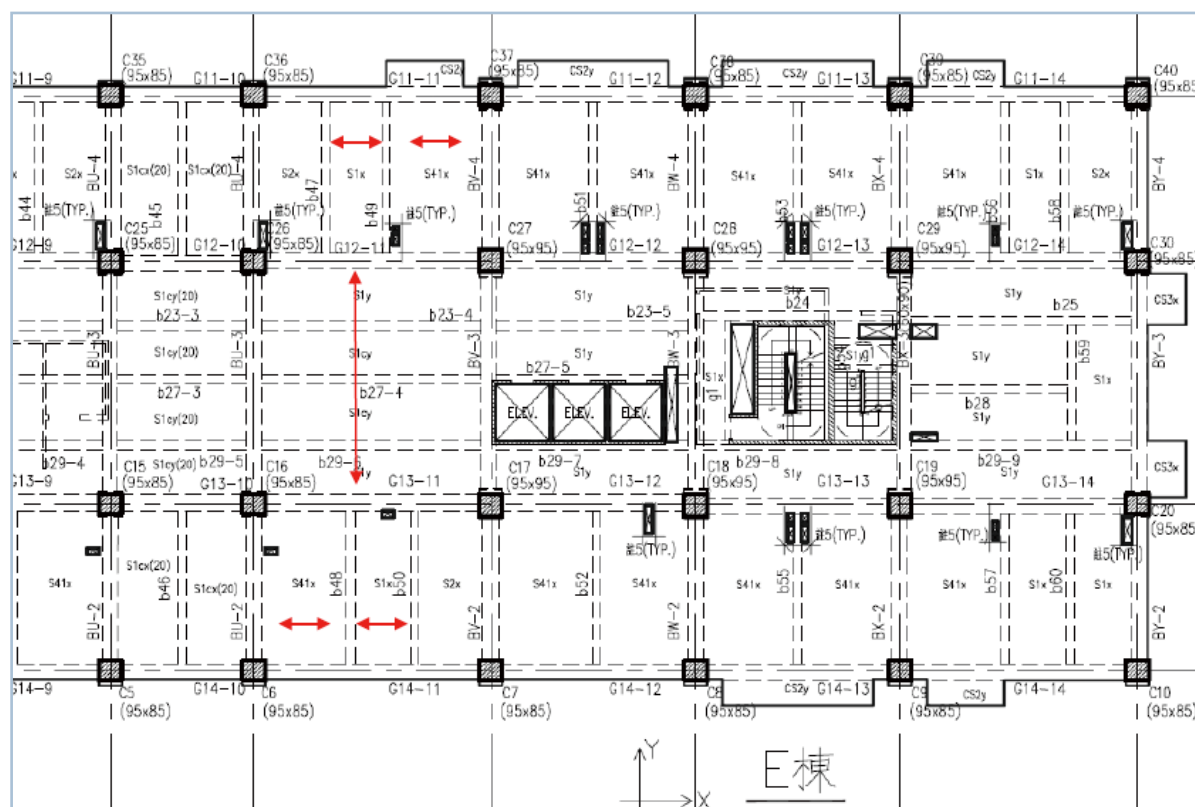


圖 7 版配筋方向性示意圖

二、鋁合金模板

本工程所採鋁合金模板(下稱:鋁模)主要應用於樓板、牆板、梁、柱及樓梯等多種結構,鋁模系統主要由鋁面板、支架系統、緊固系統和附件系統組成,如圖8所示,具體施工過程如圖9所示,及其特性說明如後。

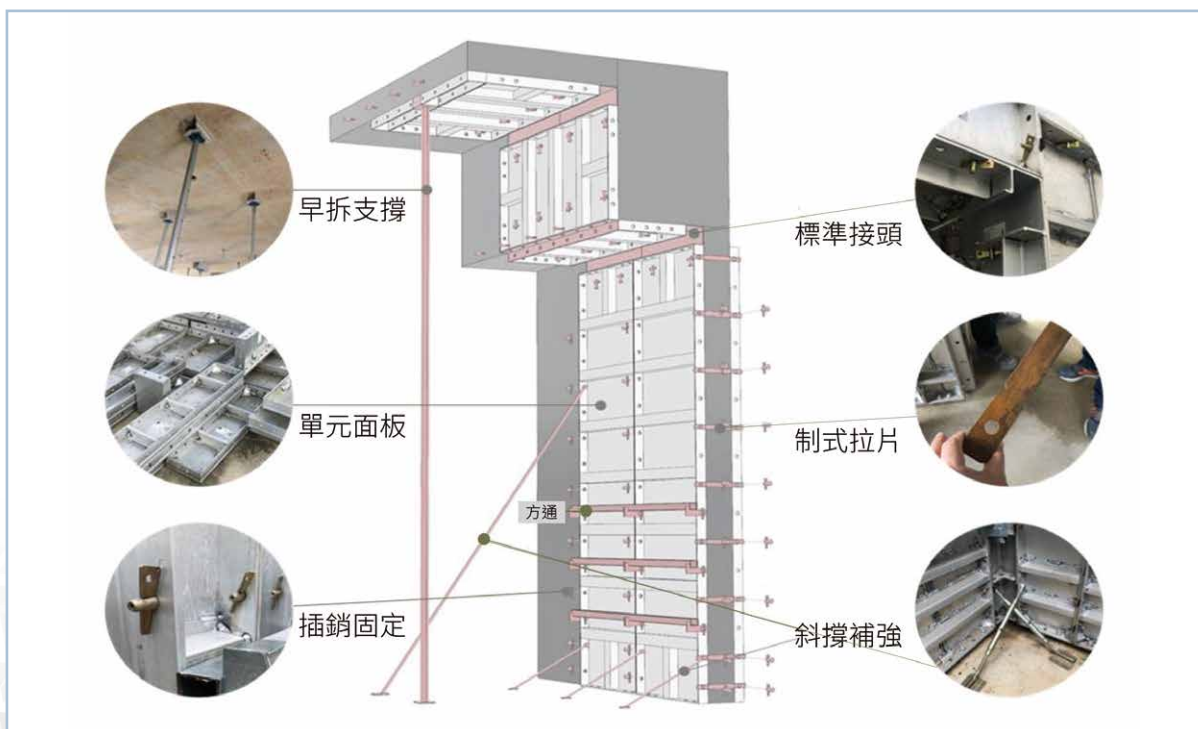


圖 8 鋁模系統組成圖

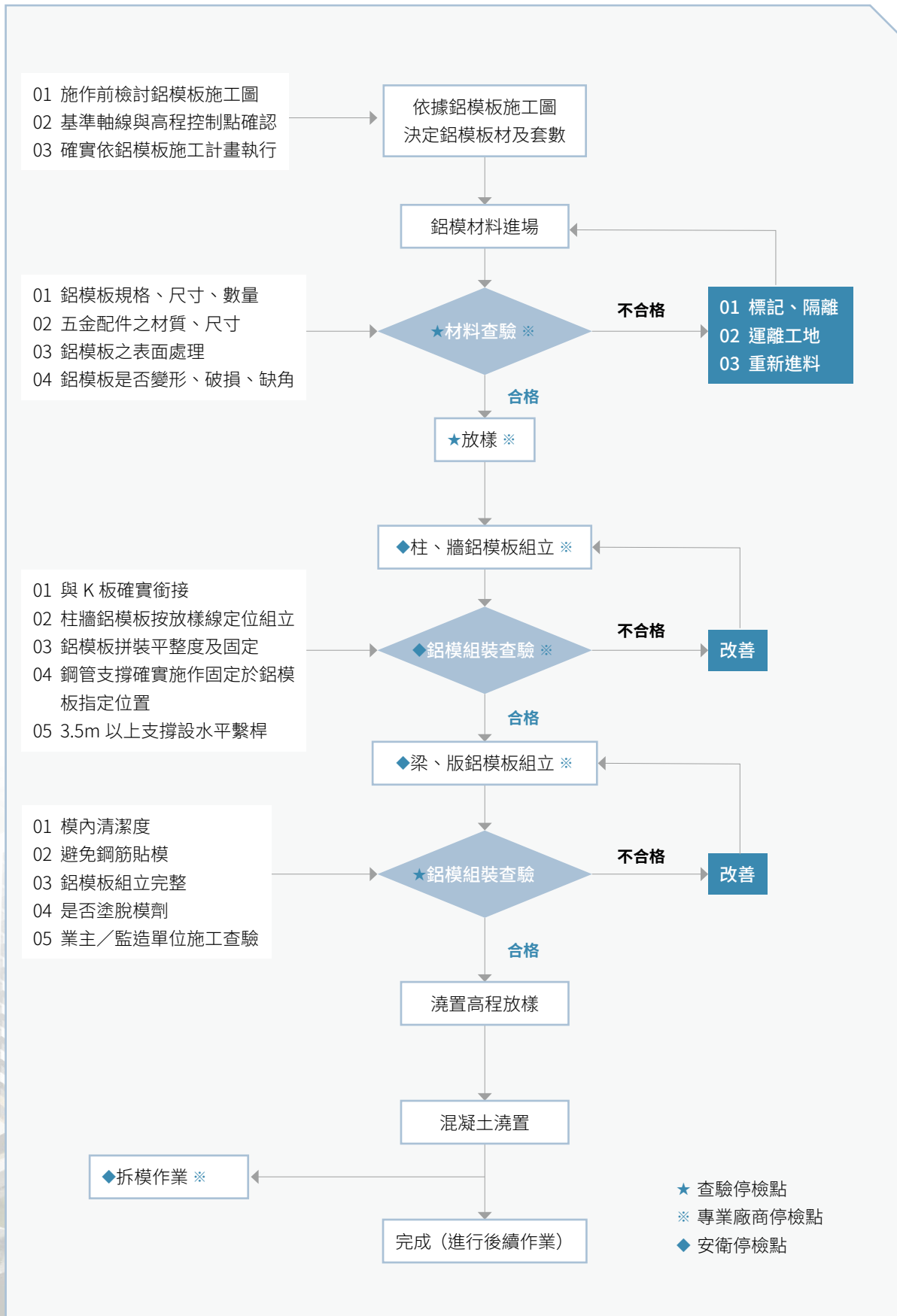


圖 9 鋁模施工查驗流程圖

(一) 分區 (組拆) 規劃

於結構量體依據組、拆施工行為，規劃分成 3~6 個小組，每組預定 4~8 人 (含組長)；規劃輪流 (2~4 組) 版上組立、(1~2 組) 版下拆模等作業。滾動檢視實際執行現況後，依據施工效率判斷調動人數、分組執行之狀況。未來結構體進度大幅推進時，從中吸取相關實際有效管理經驗，預估使用 56~80 人作為常駐鋁模外籍移工訓練納入分享推廣，可望優化學習曲線以提升施工效率，如圖 10 所示。



圖 10 分區規劃圖

(二) 鋁模放樣 / 測量

放樣作業比照傳統木模板方式，設計階段將版底模預留設制式放樣孔設施，並依據施工規範要求於放樣後、組裝後實行測量檢測，有效掌握安裝精準度，如圖 11 所示。

(三) 起始步驟升層

本案以 2FL 作為傳統木模與鋁模交界轉換

樓層，稱為鋁模起步樓層，其作法為木模板正常施做完成至 2FL 樓版標準高程。於拆除木模板後，外牆使用木角材與木模板釘於混凝土面或採用金屬角鋼鎖固膨脹螺栓使得固定後，將鋁模牆板直接站立於該點之上，後續向上樓層外牆側重複使用定位端板（俗稱 K 板），利用螺絲對鎖加以固定即可，達到定位容易垂直度較佳效益，如圖 12 所示。



圖 11 鋁模放樣施工



圖 12 K 板柱昇層鋁模施工

(四) 牆板階段 – 組裝柱牆模

內牆模板照圖面編號組裝，由定位角鐵、定位鋼筋配合調整螺絲，針對模板片定位、高程與樣線的精準度要求微調，約 3～5 片模板塊；使用雷射儀器照準垂直度與水平高程，採用大小斜撐系統調整，逐步將單面牆板組立完成；再同樣施作雙面模板，最後會同二級查證單位配合抽檢，以達鋁模之目標精度，如圖 13 所示。



圖 13 牆體鋁模施工

(五) 梁體階段 – 組裝梁側及梁底模

梁模組裝階段，按編號依序組裝轉角板、梁底板、梁側板，需注重梁底板的高程精度；要點在於每塊支撐板塊完成後需立即使用雷射儀器校正高程，以防走位歪斜進而影響樓底板安裝速率。於梁鋼筋綁紮完成，最後將拉片、螺桿等內部繫件與金屬背撐系統安裝固結完成，如圖 14 所示。



圖 14 梁牆接合鋁模施工

(六) 版體階段 – 組裝版底模

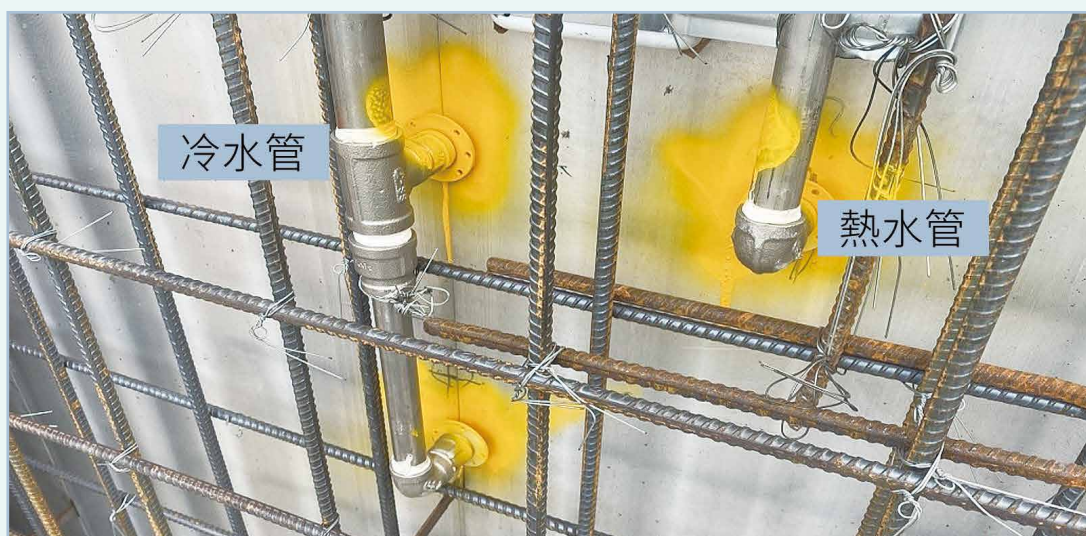
版底板階段，需按照編號及標記方向組立，板塊方向性關係到機電配置，需留意方向是否正確；頂板安裝非使用蠻力，須有技巧性的填入式安裝；針對安裝技巧、密合度與編號方向性需按部就班施作，並配合隨裝隨測，最後達到高程、接縫之組裝標準。每塊板塊都會標示編號及方向，機電需配合第一層放樣後標記安裝；後續樓層可不用重新開孔；僅需複測位置是否正確，如圖 15 所示。



圖 15 底板鋁模施工

(七) 機電系統安裝階段

鋁合金模板可多使用機電系統固定制式金屬配件較為簡易，且安裝成果不易凌亂，依據分區規劃可下階段重複使用安裝記號以減省二次機電放樣工作時間，如圖 16 所示。



＊依本案規定，冷熱水管皆採PE保溫被覆
冷水管：厚度 0.8mm 以上 採SUS 304 PE披覆
熱水管：厚度 6mm 以上 採發泡PE被覆保溫



預埋套管綁紮於鋼筋，並黏貼膠布，緊貼於鋁模板面。

＊牆面結構穿牆，依細設規範原則鋼筋補強

圖 16 機電鋁模施工

(八) 組拆模階段

本案拆模時間依據計畫書送審內容實施，梁、版底支撐拆除時間與傳統木模類似，但梁、版底模支撐的構件可做單獨拆除，拆版底模可單獨拆除板塊可直接保留支撐構件，無續回撐之情形極有效減省施工時間，鋁模板塊可迅速翻用到下一樓層。本案於標準層鋁模板施工範圍澆置時，可於預拌混凝土試體取樣（每組增做試體顆數）採早齡抗壓強度測試，作為提前拆模時機參考依據。

(九) 資訊化輔助工具查證

使用 BIM 工具查證主要應用重點為利用設計模型確認現場之可施工性，以視覺化方式協助現場施作人員進行溝通，降低認知誤差，並透過模型協助現場管理與施作，且利用 BIM 工具進行教育訓練使其學習曲線提供標準化、專業化與施工方法改進，亦可避免重複性缺失發生，如圖 17 所示。

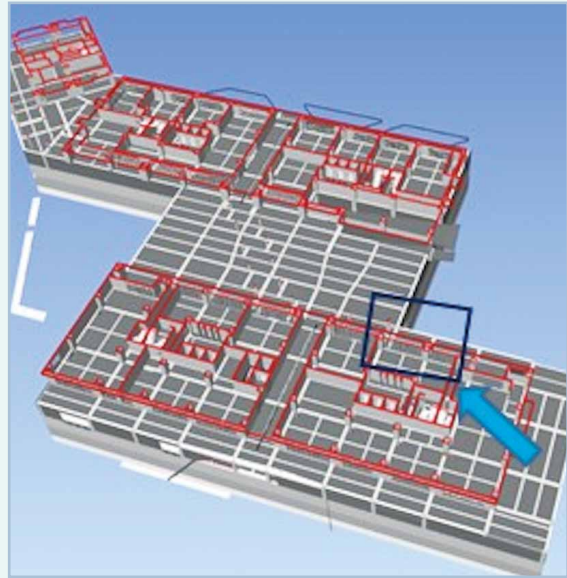


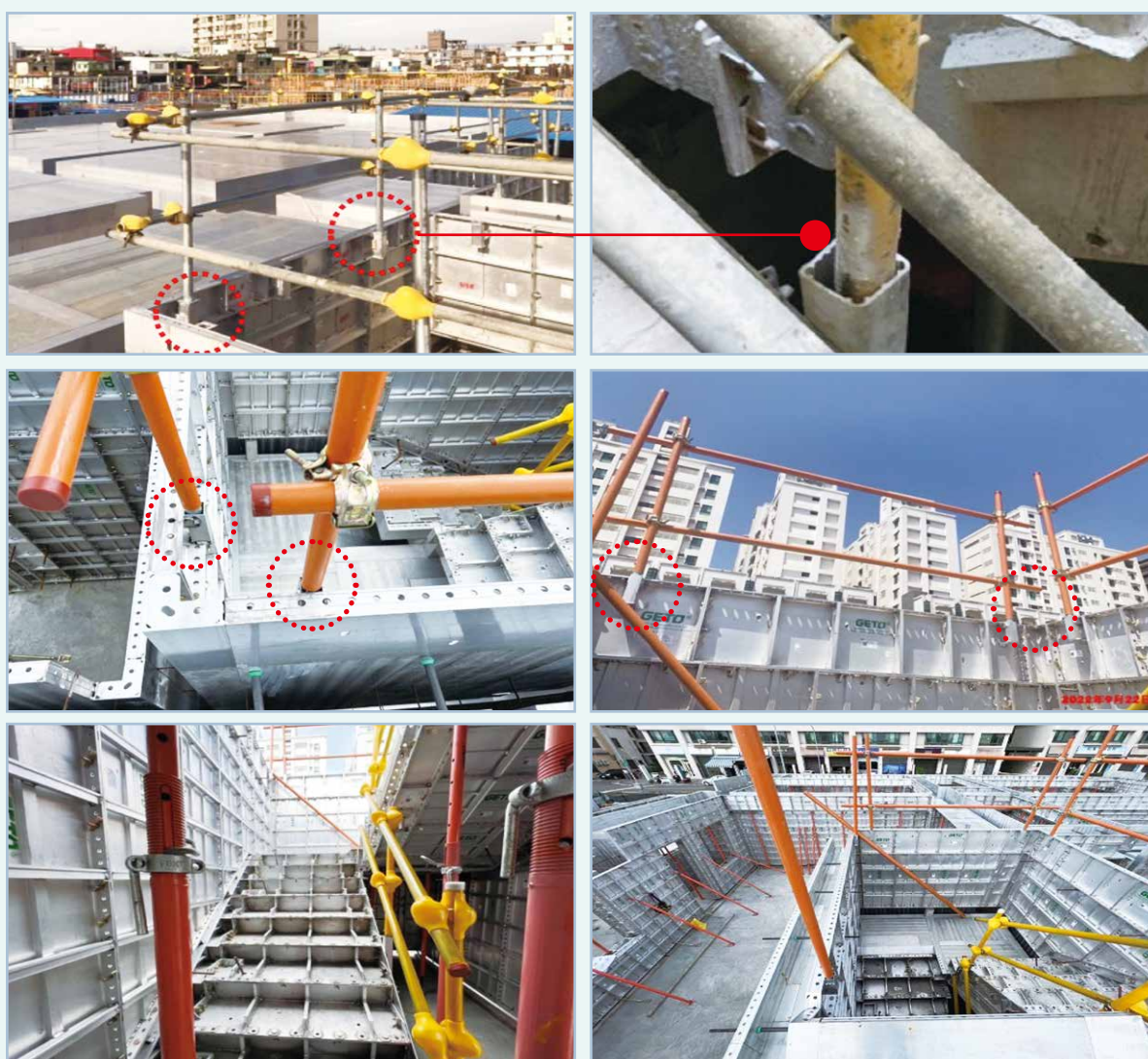
圖 17 運用 BIM 工具進行鋁模施工查證

然而，在本工程使用鋁模工法提升工地之職安衛管理措施具體精進方面：

(一) 開口處設置模組式安全護欄設施

於製模規劃期間依據風險評估報告清點結構體開口處確認位置，且在製造階段就加

入預留模組式扣件套筒，在施工階段亦可提供職安衛管理人員便於清點及購置，在梁、版鋁模組立作業即時提供施工人員輕易引導就位先行安裝，以達減少高空作業降低墜落危害，如圖 18 所示。



安全欄杆配合套筒拆卸安裝簡單，整組搬運無須重組，並於梁版組立時期即可安裝

圖 18 鋁模防護欄杆優化

(二) 電梯直井施工平台

本案鋁模在電梯井位置因同樣配置 K 板 (K 板會位於樓板完成面下約 25cm)，也顧慮到安全性問題，所以捨棄傳統模版常用的 3 支 10 分鋼筋平台方法，專業廠商構想新式施工平台，日後該平台升降時，以小金剛機具吊掛，且平台滿鋪無墜落之慮，如圖 19 所示。

(三) 外牆施工架組裝優化

一般工程使用木製模板工法往往於拆模後使用後鑽埋入鋼筋替代，不僅對木製模板損耗較快，且鋼筋彎折多次後容易有拉力疲乏之情形，本案協請施工架廠商研擬制式拉桿系統，統一採用後裝制式膨脹螺栓作業，其計算符合拉力效益；且未來壁拉桿的拆卸、安裝可以降低施工與機具危險性，如圖 20 所示。



圖 19 鋁模電梯直井施工平台優化



圖 20 鋁模外牆施工架優化

肆、建築低碳工法品質管理實施成效

一、高拉力及模矩化鋼筋配置工法

本工法採用高拉力 (SD550W) 鋼筋作為結構構件主筋，配合模矩化配筋方法，達到總使用鋼筋量減少之減碳效益，並取得 LCBA 低碳工法標章證書。

(一) 傳統工法與高拉力鋼筋及模矩化工法比較

傳統鋼筋施工，配置間距需依實際施工現況由工班調整，需要大量現場加工、彎曲、切割等工作，精準度較低且材料損耗高。而高拉力鋼筋及模矩化工法，因使用高拉力鋼筋整體使用鋼筋量減低，配合定尺料將部分加工過程轉至工廠內進行，可

更有效利用能源，避免現場操作中大量使用的機械設備（如電焊機、彎曲機等）長時間運行。

傳統方法中，鋼筋集中處或柱斷面調整處，例如梁柱接頭或柱斷面縮小，因工班受限實際排筋與綁紮現況，可能出現主筋尋找空隙插入配置或偏折情形。為避免該等施工條件較差之情形，在鋼筋模矩化工法中，鋼筋的加工和模組化製造可根據設計要求更精確完成，透過更精準的檢料作業有效避免現場施工過程材料耗損。透過模矩化設計錯位原則，輔以建築資訊模型模擬，在鋼筋複雜如梁柱接頭處將提高施工性，工班學習曲線較低且容易為工班接受。

(二) 高拉力鋼筋及模矩化工法的低碳效益

本工法結合高拉力鋼筋使用鋼筋量減少特性，加以模矩化工法配筋將設計尺寸模矩化，首先鋼筋間距訂定子模矩及倍模矩，以本案為例子模矩為 100mm，且間距皆為子模矩的倍數例如 200mm，規劃配置位置考量保護層及箍筋定出耐震構材標準尺寸，構件標準尺寸柱為 $(N-1) \times 100 + 150$ ，梁為 $(M-1) \times 100 + 150$ 。

接續確立梁柱接合及錯位原則，以滿足梁構材不得小於 1.0db、柱構材不得小於 1.5db 前提下，當遇到梁柱接合處、梁柱接合及錯位原則，除可提升設計效率亦可確保主筋連續性，在施工面則減少衝突且因鋼筋維持適當間距，混凝土澆灌時避免粒料分離。

配合耐震構件標準尺寸，避免工班自行找尋梁柱主筋空隙插入配置，主筋連續性有出現偏折疑慮，甚至規範要求會有無法滿足情況，例如主筋間距大於 15 公分配置繫筋，若傳統工法間距均布分布經常有間距不一之情形而難以認定。耐震構件標準尺寸以本案 D32(#10) 鋼筋實際案例，應用子模矩概念本案以 100mm 訂為標準尺寸，間距採用倍模矩概念均為 100mm 倍數，梁柱接合及錯位相差 75mm 配置，即可確保梁筋直通進入梁柱接頭位置，而整體梁柱構件尺寸因而確認。以此原則工班施工性亦較高，且可設計階段透過建築資訊塑模 (BIM) 模擬施工階段加以應證，實際縮柱案例以 BIM 模擬如圖 21 所示，實際梁柱接頭施作案例如圖 22 所示。

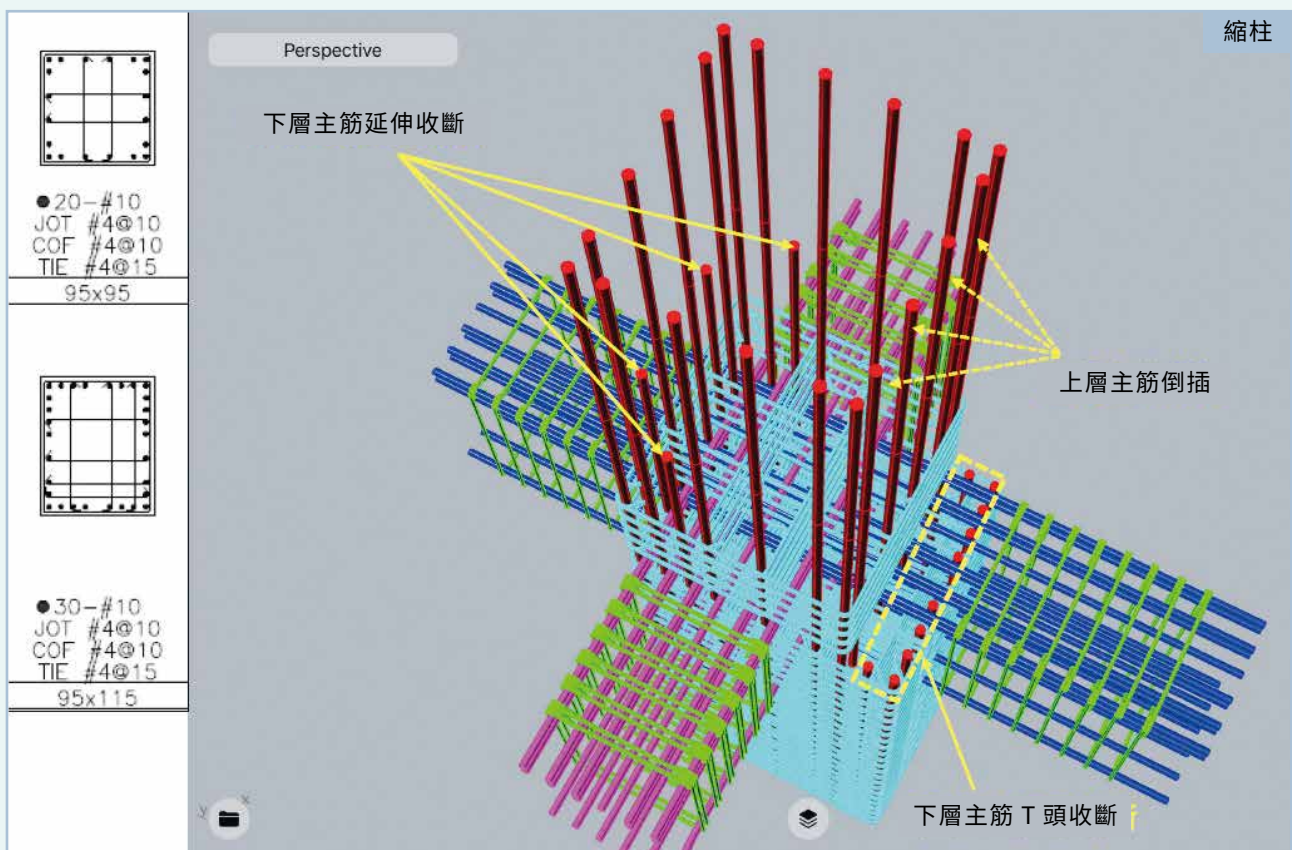


圖 21 模矩化配筋工法縮柱案例以 BIM 工具模擬



圖 22 模矩化配筋工法梁柱接頭實際案例

如此在鋼筋模矩化工法中減少材料浪費和重工，鋼筋組立精度較高，避免現場重工和不必要的材料浪費。這不僅提高了施工效率，也降低了材料的消耗，而材料消耗正是建築工程中碳排放的重要來源之一。減少鋼筋材料的浪費，也有助於減少因鋼筋生產過程中的能源消耗所帶來的間接碳排放。鋼筋材料本身具有較高的再利用價值，鋼筋模矩化工法的精確切割和標準化加工可以使得材料的回收再利用變得更加高效。當鋼筋模塊的使用壽命結束時，這些鋼筋材料可以進行回收、重熔後再生產，進一步減少新鋼筋生產過程中的碳排放。

在版配筋方面，傳統版筋配置主筋有方向性且不易維持連續性，本案版配筋 XY 向系統，主筋統一方向性主筋可維持連續性，實際用鋼量也因而減少以達減碳目的，實際版配筋案例如圖 23 所示。

本案採用高拉力 (SD550W) 鋼筋作為結構構件主筋，主要用於柱縱向配筋，整體用鋼量可以減少，加上模矩化工法提高施工精確度，版配筋 XY 向系統皆有助於減少資源消耗，減少能源浪費有助於降低施工過程的碳排放，且因適當間距配置使後續混凝土澆灌作業施工性提高，本工法經認證減碳效益 9.78% 如圖 24 所示。

二、鋁模工法

本工法對本案建築物之施工效率及低碳效益確有提升現象，主要體現優勢包括：

(一) 材料重複使用

鋁合金模板可以重複使用多次，鋁合金模板顧名思義就是以鋁取代木頭製成的建築用模板，本案採用的鋁材為 6060-T6 等級鋁材，此等級鋁材抗拉強度 $\geq 260\text{Mpa}$ ，韋氏硬度 >15 度，生產製程皆以自動機械機具攪拌摩擦銲接工法，確保產品使用次數達 100 次以上，以達減少了模板材料耗損及浪費情形，相比傳統木製模板更為環保成效。

(二) 減省建材倉儲空間

鋁合金模板為模組化的產品，為求產品的通用率高，必須限制過多的尺寸及規格，專案組同仁與供應商討論後，將牆板的規



圖 23 模矩化配筋工法版配筋實際案例



圖 24 模矩化鋼筋工法低碳工法標章證書

格設定最小以 5 公分為倍數的級距，目前牆板尺寸寬度有 60 公分、50 公分、40 公分、30 公分、20 公分、10 公分、5 公分，高度則為 224 公分，及接高板（同樣以 5 公分為倍數的級距），圖面規劃時以此規格設計不但可提高產品通用率達 85%，亦可提高倉儲管理的效率。鋁合金模板的生產和使用過程中，碳排放量相對較低。鋁材的回收利用率高，能有效減少建築過程中的碳足跡。

（三）施工效率提高

鋁合金模板重量輕，易於安裝和拆卸，能顯著縮短施工時間，減少施工機械和設備的使用，從而降低能源消耗，不論是產品的生產製程或拆模後完成面的誤差控制都需精準計算，且鋁合金模板不同於傳統木模板可任意裁切修改，也因為跟過往施工方式不同，未使用過者初期容易產生抗性，這也是鋁合金模板無法廣泛推廣原因之一。

（四）模板設計與製作

鋁合金模板為模組化的產品，為求產品的通用率高，必須限制過多的尺寸及規格，專案組同仁與供應商討論後，將牆板的規格設定最小以 5 公分為倍數的級距，目前牆板尺寸寬度有 60 公分、50 公分、40 公分、30 公分、20 公分、10 公分、5 公分，高度則為 224 公分，及接高板（同樣以 5 公分為倍數的級距），圖面規劃時以此規格設計不但可提高產品通用率達 85%，亦可提高倉儲管理的效率。

（五）減少二次施工符合 ESG 趨勢

鋁模工法於拆模較易脫模，其混凝土表面平整光潔，減少了後續的泥作打底和修補工作，進一步降低了材料和能源的消耗，有效符合環境、社會和治理（ESG）標準，能夠減少對森林資源的依賴，並且有助於實現可持續發展目標，故本工法經認證減碳效益 48.72%，如圖 25 所示。



圖 25 鋁合金模板系統低碳工法標章證書

三、為落實本案減碳工法研擬並增進成效，先行擬訂鋼筋配置及鋁模工法施工前實體工法（mock-up）展示進行驗證，作為施工人員實施先期觀摩及教育訓練之用，如圖 26 所示。

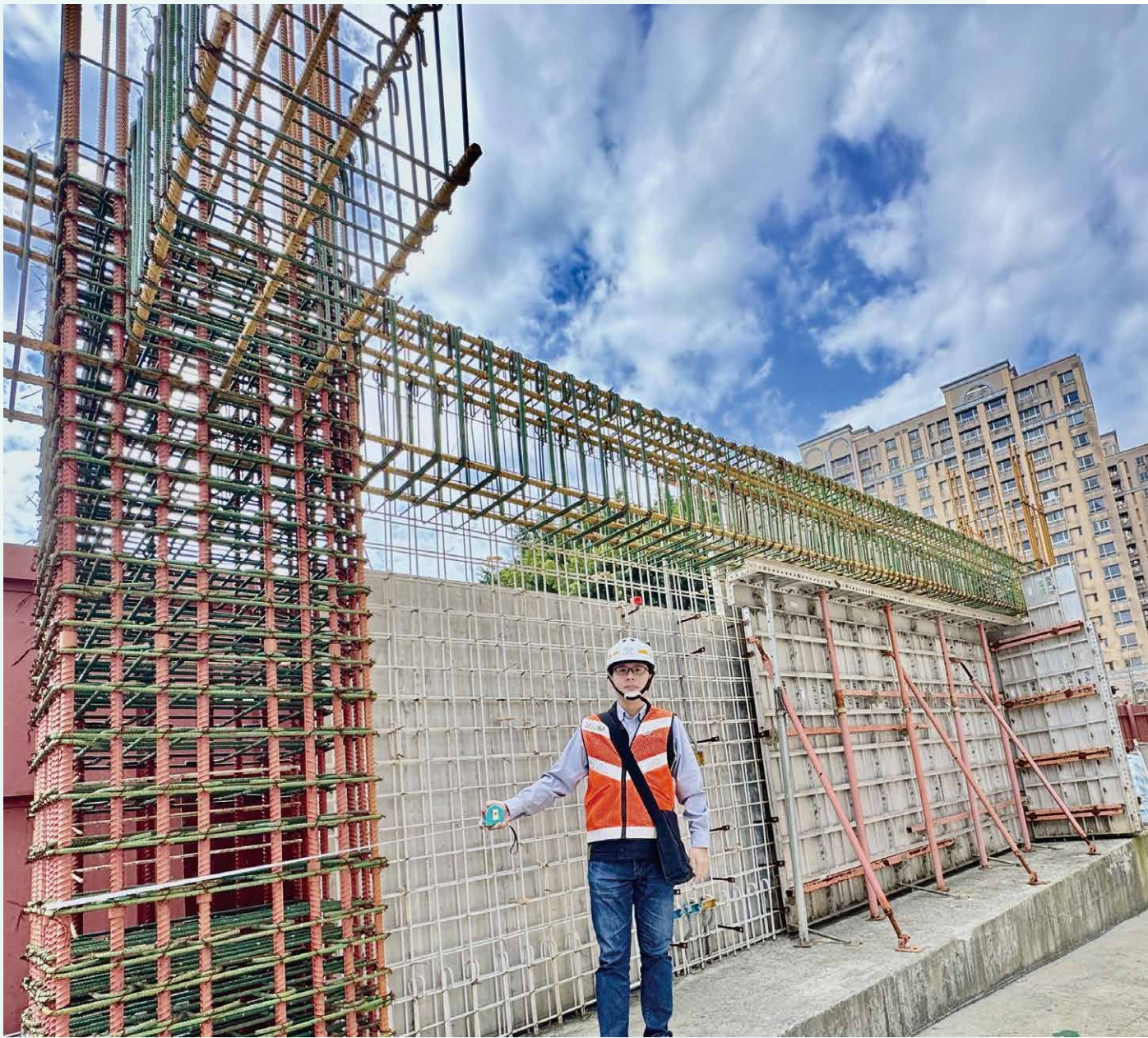


圖 26 鋼筋模矩化配置及鋁模工法施工前實體工法 (mock-up) 展示驗證

伍、結語

一、高拉力及模矩化鋼筋配置工法

(一) 本工法採用高拉力 (SD550W) 鋼筋作為結構構件主筋，配合模矩化配筋方法，藉由總使用鋼筋量減少達到減碳效益。

(二) 模矩化鋼筋配置方法，設計階段有助精準的撿料作業，施工階段簡化施工規則，工班學習曲線較平緩施工性較高。鋼筋排列位置明確，尤其轉換層主筋可直通維持連續性、梁柱接頭主筋排列位置、繫筋排列位置明確。鋼筋間距較為等分固定，混凝土澆置較為容易不易產生粒料分離。

(三) 版配筋無主、副筋區別，無須個別區塊檢討，主筋可直通維持連續性，並因而減少整體用鋼量。

(四) 本工法取得 LCBA 低碳工法標章證書，經認證有實質減碳效益。

(五) 鋼筋模矩化工法從材料利用、施工效率、能源消耗等方面都對減少建築過程中的碳排放具有積極的影響。雖然其本身也面臨一些挑戰，但整體而言，這一工法在提升建築施工效率、降低資源浪費和促進循環經濟方面經認證具有實質減碳效益。因此，可以說鋼筋模矩化工法屬於低碳工法，並且在未來的建築業中有望成為推動綠色建築和可持續發展的重要技術。

二、鋁模工法

(一) 鋁模在本案建築物工法應用，以 1 套標準層數量同樣完成工時情境之從業技術

工用量與傳統工法比較約略減少，並應用自動化工具輔助管理，減少過往未使用過者初期容易產生抗拒性，其效益不僅提高施工效率及簡化品質管理，亦助於降低建築過程中的碳排放及學習曲線，對環境保護和可持續發展具有積極意義。「頂福安居」社宅工程作為一個成功案例，展示了鋁合金模板在低碳建築中的潛力和優勢，亦為未來社會住宅建築業者提供寶貴經驗參考而引導發展。

(二) 臺灣地處亞熱氣候帶因鋁模材質具有吸熱現象，應慎重考量預拌混凝土澆置工作性能，建議在設計階段納入低碳思維決策，使用可替代低碳循環原料於設計拌合配比，亦達落實碳排減量目的。

參考文獻

1. 建國工程股份有限公司 / 蕭力仁建築師事務所聯合承攬之頂福安居社會住宅新建統包工程之設計工作專業技術會議簡報。
2. 內政部建築研究所，2023 年版「低碳 (低蘊含碳) 建築評估手冊」，民國 113 年。
3. 內政部建築研究所，建築減碳工法創新及推廣應用輔導計畫 (一)，民國 112 年 12 月。
4. 採用 SD550W 鋼筋之鋼筋混凝土造建築物工程規範。

為下一世代打造一個智慧 永續的綠色航廈—— 以高雄國際機場新航廈工 程規劃設計為例

關鍵詞 Keywords

綠色航廈 Green Terminal

淨零排放 Net Zero Carbon Emissions

**台灣世曦工程顧問股份有限公司
建築部**

副理

王德琳

工程師

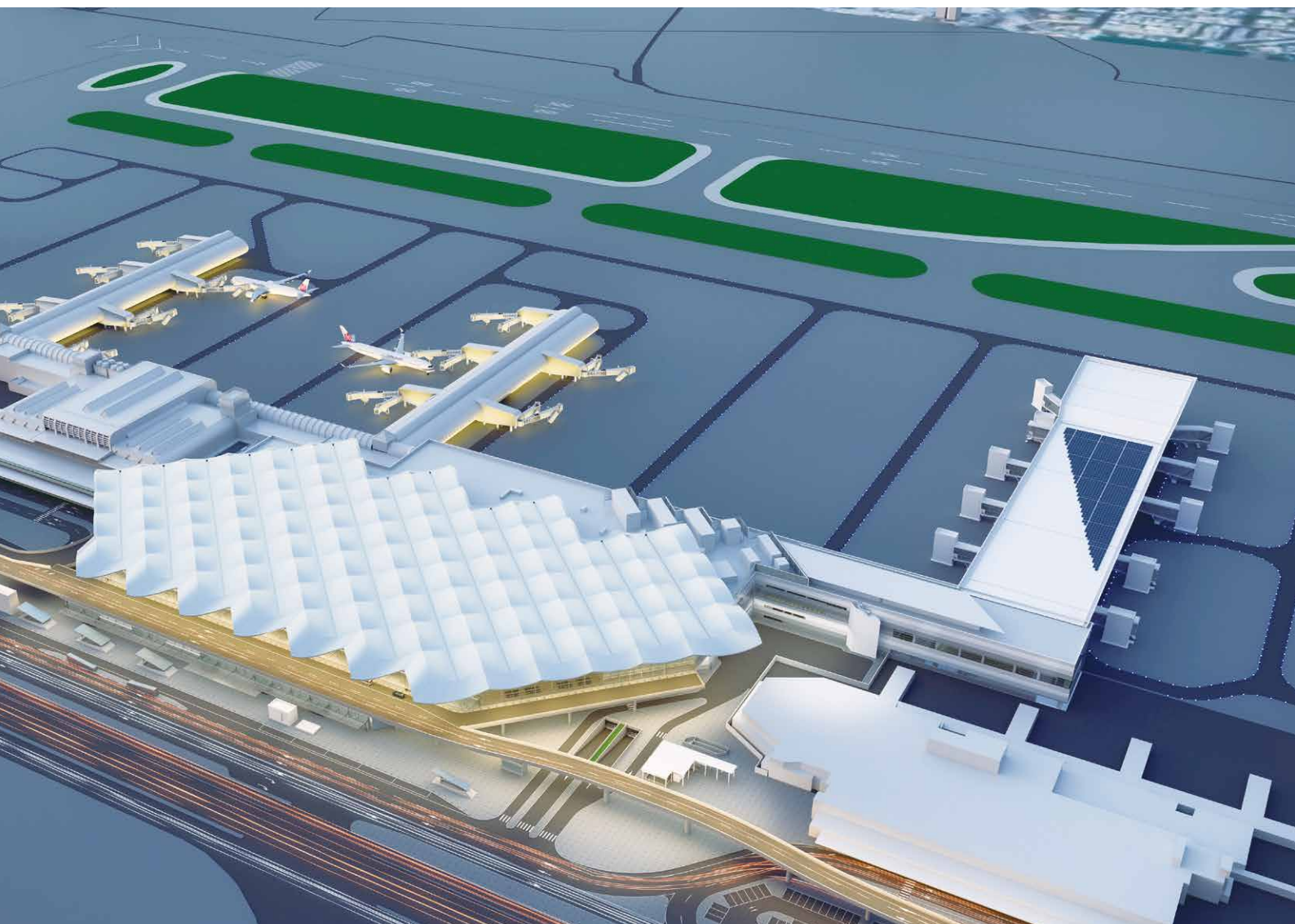
杜承翰

隨著氣候變遷問題日益嚴峻，已成為全球關注的重要議題，航運業也面臨減碳與轉型的挑戰，打造智慧永續綠色航廈（Smart Sustainable Green Terminals）不僅是航空業未來方向，更是面對環境的挑戰。作為我國「南部區域國際航線門戶機場」，高雄國際機場（Kaohsiung International Airport, KIA）不僅承擔著航空運輸的使命，更應在永續發展的浪潮中引領智慧綠色機場建設的未來方向。



我國因應國際淨零減碳目標，擬定了 2050 淨零排放路徑規劃，階段目標 2030 年公有新建建築達建築能效 1 級或近零碳建築，2040 年 50% 既有建築物更新為建築能效 1 級或近零碳建築，到了 2050 年整體目標 100% 新建建築物及超過 85% 既有建築物達到近零碳建築。要達到這樣的策略目標，涉及了能源、產業、生活、社會的轉型及科技研發、氣候法制等治理的基礎的建置，及十二項關鍵戰略跨部會整合以制定行動計畫；其中關鍵戰略中的節能、淨零綠生活，與建築營建有重要關聯。

因此對於興建機場這樣的大型公共建築設施，該如何考量其建築生命週期中，自設計規劃、營建、營運各使用階段的節能減碳策略，而有利於未來營運碳（BERS）及蘊含碳（LEBR）的管制是本文重點，本文以高雄國際機場為例，透過建築資訊模型 BIM 及數位軟體技術探討如何結合國際淨零排放趨勢、政策支持與技術創新，打造適應下一世代需求的智慧永續綠色航廈。



壹、緣起概述：淨零減碳運動與全球倡議

一、國際淨零排放趨勢

因應地球氣候變遷趨勢，造成生活環境急速改變，如二氧化碳濃度屢創新高，格陵蘭冰融造成全球海平面上升，海洋熱浪和強降雨頻率和強度增加，極端氣候愈來愈明顯等因素。因此，自 1988 年聯合國氣候變化專門委員會 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 成立後，在 1992 年制定聯合氣候變化綱要公約 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)，1997 COP3 京都議定書 (Kyoto Protocol) 要求工業化國家及主要溫室氣體排放國承諾在一定時期內減少溫室氣體排放。2015

COP21 巴黎協定書 (Paris Agreement) 則延續 2020 年之後的氣候行動並將開發中國家納入，同年聯合國亦通過了「2030 永續發展議程」提出 17 項全球邁向永續發展的核心目標制定了 SDGs (Sustainable Development Goals)；到了 2021 COP26 格拉斯哥氣候協議 (Glasgow Climate Pact) 要求維持巴黎協定把全球氣溫升高幅度控制在 1.5 攝氏度以內並逐步減少煤炭使用，以達成「2030 年減碳 50% 及 2050 年達到淨零排放目標」；2023 COP28 杜拜舉行的氣候峰會，則做出了要在公正、有順序及平等的方式下逐步能源轉型終結化石燃料使用，提高再生能源使用及效能；同時摩洛哥倡議的建築突破 (Buildings Breakthrough) 行動，也彰顯了建築脫碳是必要的行動，並加強永續金融的作用力，要加速建築去碳化的進程，達到近零



圖 1 因應氣候變遷國際重要協議歷程



排放且韌性的建築為目標（氣候變遷國際重要協議歷程如圖 1）。

在面對節能減碳的浪潮，航空產業也採取多方面的措施達成減碳目標，包括國際航空運輸協會（IATA）透過可持續航空燃料（SAF）、新型飛機技術與碳捕捉技術推動減碳進程，承諾到 2050 年實現淨零排放；國際民航組織（ICAO）則提出「CORSIA 計畫」以減少國際航班的碳排放，並推動全球航運採取低碳行動。

二、我國減碳政策方向與高雄國際機場的機遇

高雄國際機場上位計畫以「南部區域國際航線門戶機場」、「南部區域國內航線樞紐機場」、「新南向政策發展基地」、「低成本航空發展基地」等定位發展。未來運量預測至目標年（2040 年）年客運量 1,427 萬人次（國際航線 1,222 萬人次、國內航線 205 萬人次）、貨運量 9 萬噸。樂觀發展情境年客運量將達 1,602 萬人次（國際航線 1,357 萬人次、國內航線 245 萬人次）、貨運量將達 13 萬噸；目前高雄國際航空站是國際機場協會（ACI）的成員，經過近年來的

努力亦獲得 ACA 碳認證等級三之認證，在全球環境倡議及國家政策目標下（2050 年 100% 新建建築物達到近零碳建築），新建高雄國際機場該如何在整體建築生命週期中，因應未來將節能減碳思維規劃進去，使新航廈在規劃、營建、營運、維護等各階段，可達到淨零碳排預計之目標，將於文後進一步說明。

貳、航廈建築減碳方法概論

依據國際能源署「2050 淨零路徑」報告書，全球建築營建部門的能源消耗與溫室氣體排放約占全球 37%，而這 37% 的溫室氣體排放比例中，有 28% 是建築能源使用部分的溫室氣體排放（使用碳排 OC），另有 9% 是建築物興建過程中鋼筋、水泥、玻璃等建材的製造運輸與施工的溫室氣體排放（蘊含碳排 EC），由碳排比例可知，使用碳的減碳規劃更重於蘊含碳。

而針對機場航廈規劃而言，營運使用需求除了影響節能減碳評估的空調、照明、外殼外，還包含維持營運重要的系統如：電力系統、防災及消防系統、行李運輸系統、安檢系統、資訊通訊 ICT 系統、飛航

顯示系統 (FIDS) 等，以及空側機坪相關設施 (空橋系統、航油系統) 及陸側交通運輸規劃。以智慧永續機場策略而言，可著眼在綠建築、減碳營運、公共環境 (水資源管理、廢棄物處理、噪音防制)，及空陸側的相關設施如：機坪照明設備、橋氣橋電、服務車輛電氣化，以及再生能源來進行；透過智慧監控如精實用電、營運策略、智慧供電、環境監控 (污排水、水資源管理、噪音監控) 及營建材料 (蘊含碳) 等策略，達到淨零碳排、智慧永續及安全防災的總體計畫目標，如圖 2。

就航廈建築減碳策略而言，規劃設計階段宜採被動設計，如航廈朝向的優化、使用隔熱玻璃與遮陽設計手法降低能源需求。航廈空間營運階段較為耗能的空調系統，可採高效空氣調節系統 (HVAC) 以降低空

調的能源消耗。營建階段則採低碳或再生建材；高雄國際機場新航廈可採用本地生產的建材，降低運輸所造成的碳排放。透過模組化建築技術 (預製構件) 可減少施工過程中的能源浪費與廢棄物產生。利用雨水收集系統將回收後之雨水用於航廈的清潔與灌溉，減少對水資源的依賴，有利水資源利用及管理；以下就分別對機場航廈建築減碳方法具體說明：

一、機場環境的減碳策略

(一) 機場噪音監測

機場設置噪音監測站，每季依風向、季節、地面噪音、航空噪音等資料進行分析，製作噪音監控報告，以掌握機場噪音源，以制定噪音防制費及回饋金。



圖 2 智慧永續綠色航廈總體計畫目標

(二) 機場水資源管理

機場自來水、污排水等水資源設施，除利用智慧化管理外，未來應透過定期巡檢（污水處理廠、給水加壓站、飲用水系統設備）以提升機場用水效能。機場航廈及服務設施規劃省水設備如：廁所衛生設備採省水器材（水龍頭、馬桶、給水汞等），依據實際使用需求調節用水量減少資源浪費。在污水廠污染物排放量管制方面，則透過監測淨化（過濾、淨水……）及人工檢測，以確保排放標準降低環境負擔，淨化後的水回收再利用（植栽澆灌）。

二、空測機坪設施的減碳策略

(一) 機場航廈及空測機坪照明設備

機場航廈室內外照明設備、候機室及空側機坪照明採 LED 燈具設備，利用 LED 燈具演色性佳照度均勻壽命長之特點，據統計機場照明用電節電率達 50%，除兼顧照明、安全功能外亦可達節電效益。

(二) 橋氣、橋電設備電氣化

橋氣、橋電是旅客上下飛機空橋的空調及供電設備，電氣化後取代柴油引擎驅動的電源車及氣源車，可降低燃油消耗及碳氫氧化物排放，有效降低碳排。

(三) 服務車輛電動化

機場服務車輛是機場服務效能重要設備之一，空側行李托車、作業車等電動化，可降低一氧化碳、總懸浮微粒（TSD）及氮氧化物（NOx）降低對環境影響。

三、興建機場航廈建築的減碳策略

就從能源的角度來看，要達到淨零碳建築

本身就是一種能源管理的政策；因此設計階段就要進行減碳及能效評估，有利施工營建及使用營運階段有更趨近於實際的減碳方向（圖 3），而節能評估的三個重要參數是：空調 EAC、照明 EL、外殼 EEV，透過查表可形構整體建築的耗能密度（EUI*），以決定建築每平方有多少耗能密度（須結合建築日常節能指標分析）；再依建築不同使用空間類別資料庫，建立能耗評估耗能密度，排除不可計的分區，透過統計決定耗能曲線（評分尺度），將耗能密度指標對比評分尺度落點，若能在 50% 區間，則認定為取得能耗一級標示；透過設計評估的方法，可以找到未來建築物構成能耗的基準，並以滾動式檢討達成節能目標。

(一) 綠建築計畫

高雄機場機在規劃設計將以符合黃金級綠建築目標，透過日常節能、水資源、污水垃圾改善、CO2 減量、廢棄物減量級室內環境指標，達到黃金級綠建築標準（EEWH）其計畫手法如下：

1. 日常節能指標策略

(1) 外殼節能：機場航廈（出、入境大廳）大面帷幕玻璃採節能玻璃或遮陽板使日透射率 ≤ 0.25 ，可見光反射率 <0.2 ，平均熱傳透率 $<2.7W/(m^2 \cdot K)$ ，屋頂採隔熱材使平均熱傳透率 $<0.8W/(m^2 \cdot K)$ ，外牆利用屋頂深出簷的設計手法使平均熱傳透率 $<0.2W/(m^2 \cdot K)$ ，以達外殼節能之目標。

(2) 空調節能：空調系統採冰水主機需使用超高效率馬達，且熱源、送風、送水、冷卻皆採節能系統，以利該項獲得高分（該項指標會因節能設備之性能高低而有所

變動)， $EAC < 0.65$ ；空調分區及使用性能管制，並採用高性能主機以利節能。

(3) 照明節能：採用高效率燈具，機場航廈居室空間照明，配合作業模式或窗邊晝光利用，規劃迴路分區或自動點滅控制功能；部分空間燈具採用自動調光控制；並透過再生能源太陽能光電板設置（空調與照明可重複計分），可降低不必要之照明耗電。

2. 水資源指標策略

(1) 建置省水設備：採用一級省水標章的兩段式馬桶、自動感應小便斗、自動感應龍頭，及自動偵濕澆灌系統。

(2) 設置空調冷凝水回收系統。

(3) 透過智慧水表設置以監測用水效能。

(4) 另規劃雨水回收再利用，有利水資源循環再利用。

3. 污水垃圾改善策略

(1) 預留垃圾清運空間、垃圾集中場綠美化、資源垃圾分類管理及廚餘收集設施並定期委外處理。

(2) 設置冷藏、冷凍或壓縮垃圾之前置處理設施，以利該指標取得滿分。

4. CO₂ 減量策略

CO₂ 減量直接影響碳排評估，也是規劃淨零碳排重要指標。

(1) 建築物輕量化：玻璃帷幕外牆設計，降低 RC 外牆之 CO₂ 排放；室內隔間採輕隔間牆設計。

(2) 提升建築設備維修性，如給排水管線、空調設備及電氣通信線路採明管及開放式維修設計、設備更新時不傷及結構。

(3) 再生建材使用：採用高爐水泥（使用

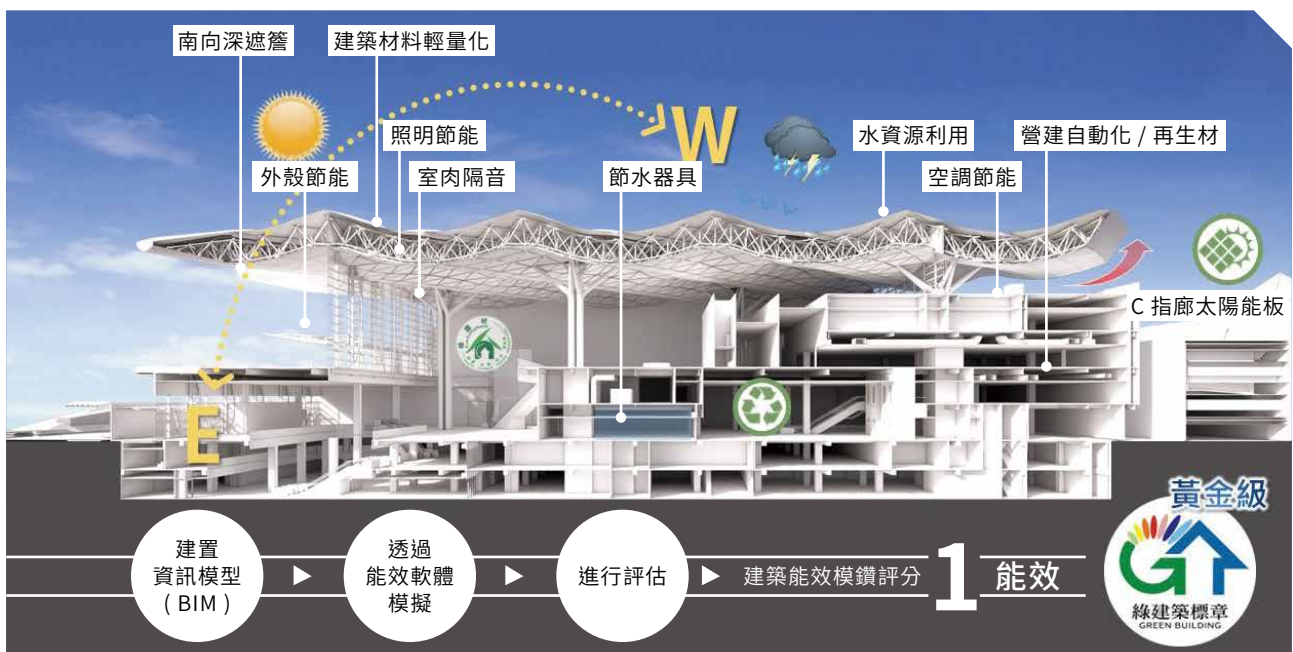


圖 3 高雄國際機場綠建築計畫

率達 20% 以上) 及高性能混凝土 (使用率達 50% 以上)，以增進建材再利用及建築韌性。

5. 廢棄物減量策略

透過營建自動化、再生材使用及工程汙染防制措施，如施工空氣汙染防制，設置防塵罩網、防塵覆被、施工車輛與土石機具專用洗滌措施、汙泥沉澱過濾處理設施以及土石運輸車離工地前覆蓋不透氣防塵塑膠布，以達到營建過程廢棄物減量之目標。

6. 室內環境指標

(1) 部分空間增加建築物單層牆厚度 (Rc 牆含粉刷厚度 >20cm) 或具隔音性能證明 $\geq 55\text{dB}$ 之隔板；玻璃的氣密性達 2 等級且玻璃厚度 $\geq 10\text{mm}$ ，以確保隔音性能。

(2) 空間照明設置防止眩光燈罩或隔柵，以利舒適的室內光環境。

(3) 航廈居室空間設置外氣供應系統，以利健康舒適的通風換氣。

(4) 室內裝修採用綠建材標章之裝修材 (使用率達 75% 以上)，50% 以上管線以非 PVC 材料。

(二) 營運減碳策略

機場航廈營運階段與建築能效評估標示 (BERS) 息息相關，機場航廈為交通運輸量龐大的空間，因此將依下列目標執行：

1. 利用營運策略調整達成節能目標

依機場人流尖峰及離峰期調整營運進出口及範圍、候機室、商業服務空間，以減少硬體運轉耗能。

2. 新建機場時較大耗電設備採能效 1 級之設備；另機場室內外照明設備：候機室、空側機坪照明採 LED 燈具，可大幅節電並兼顧照明、安全功能。空調設備則採中央空調 (冷卻水塔、冰水主機採節電變頻設備)，依照不同空間使用用途，採離散式配置 (分區配置)，可有效管控空調設備服務效能，並結合智慧建築輔以空調監控，以提升能源使用效率級用電精準度 (詳表 1 及圖 4 之空調節能 CFD 模擬)。

3. 電扶梯採智慧怠速裝置，利用尖離峰時序管制，減少離峰時能源耗損，強化用電效率。

4. 逐步汰換傳統燃油地勤車輛採電動地勤設備，減少機場地面運行的碳排放。

5. 利用先進導航技術縮短飛機滑行距離與等候時間，減少燃油消耗，優化滑行與空中交通管理。

(三) 再生能源利用 (太陽能發電設備)

高雄國際機場規劃設計屋頂裝設太陽能板，並依「高雄機場新航廈工程計畫環境影響說明書」所載，面積覆蓋率至少 50%。同時也考量不影響塔臺視線，C 指廊屋頂可設置太陽能板包含維修通道面積為 2,810 平方公尺，設置 1,178 片。

太陽光電設備總裝置容量 (C 指廊)：每片太陽能板約 450W，即 $450\text{W} \times 1178 \text{ 片} = \text{約 } 530.1\text{kWp}$ ，如圖 5。

綜合以上航廈建築減碳策略方針可瞭解，高雄機場航廈因空間使用性及交通營運量的因素，必須透過建築生命週期各階段的妥適計畫及整合，才可達成預計標，發揮降低碳排的效益。

表 1 高雄國際機場空調節能措施

空調系統節能措施	
	採用高能效等級之中央空調主機，符合經濟部能源局公告自 109 年 7 月 1 日起，實施「蒸氣壓縮式冰水機組容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項方法及檢查方式」之能源效率標示等級第二級以上。
冰水機	每一期設置大、小容量各一組冰水機為變頻式，小容量冰機採用磁浮離心式冰水主機並於部分負載或夜間負載時作使用，作最佳化節能運轉以達節能效益。 採送、回水溫差及流量進行台數控制，以及採冰水系統變流量控制，進行空調部分負載之節能運轉，提高綠建築日常節能得分。 適度加大送／回冰水溫差至 7°C（溫度各為 6、13°C），以節省泵之水量及耗電量，並可減小水管之管徑及成本。
冷卻水塔	考量冰水機部分負載效率、冷卻水塔效率、系統負載率及環境濕球溫度等，最佳節能控制。當外氣溫度低時（如 14°C），調節旁通比例控制閥之開度，維持冷卻水供應之混合出水溫度。
水泵	一次、二次冰水泵採變頻式，依照空調負荷變化供應對應之冰水量，並以多組二次冰水泵組分別將冰水分送至各期航廈及指廊，並可避免以一次冰水泵直接供應冰水之長管路壓損能耗及承受水壓問題。
分離式冷氣機 窗型冷氣機	符合經濟部最新「無風管空氣調節機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」，並取得能源效率 1 級，並提供型錄等證明文件。
空調箱及其風管	較低溫季節利用外氣冷房節能運轉；空調箱依 CO ₂ 偵側濃度提供滿足需求之最少外氣量；大空間之出、入境大廳考量溫度梯度，空調出風口設於大廳下層之旅客活動區域，並輔以計算流體力學 (CFD) 模擬適溫區域，予以有效節能。
機櫃空調箱	配合資訊中心之較佳能源使用效率 PUE（如不高於 1.43）；採用熱通道圍阻、獨立回風設計或採用符合 ASHRAE 液體冷卻指南的機櫃；增加外氣或液體等自然冷卻之可使用時間；予以降低整體空調冷卻之能源消耗。
風機	風機節能標章認證依 AMCA 211 產品認證，以 ISO 5801 或 AMCA 210 測試方法之能源效率實測值，並依 ISO 12759 計算風機 FEG 值之節能標章能源效率標示。

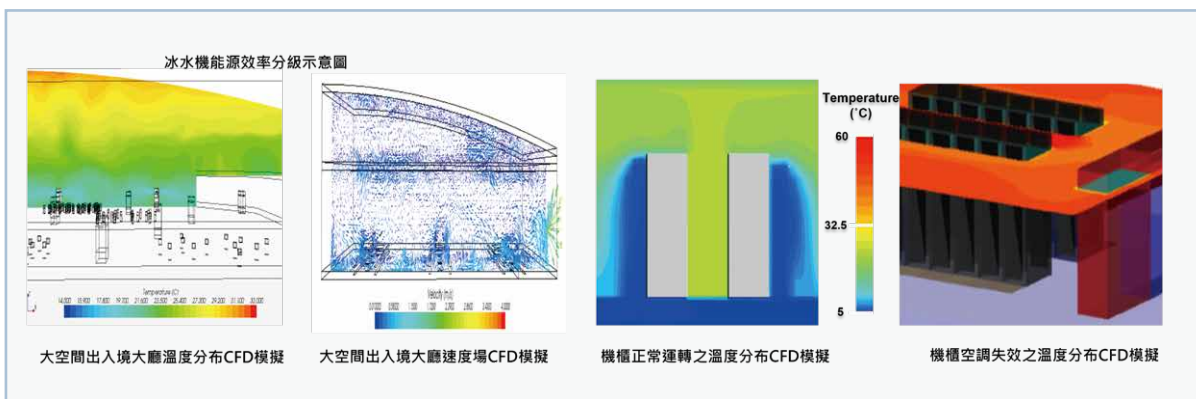


圖 4 高雄國際機場空調節能 CFD 模擬 (本案計畫)

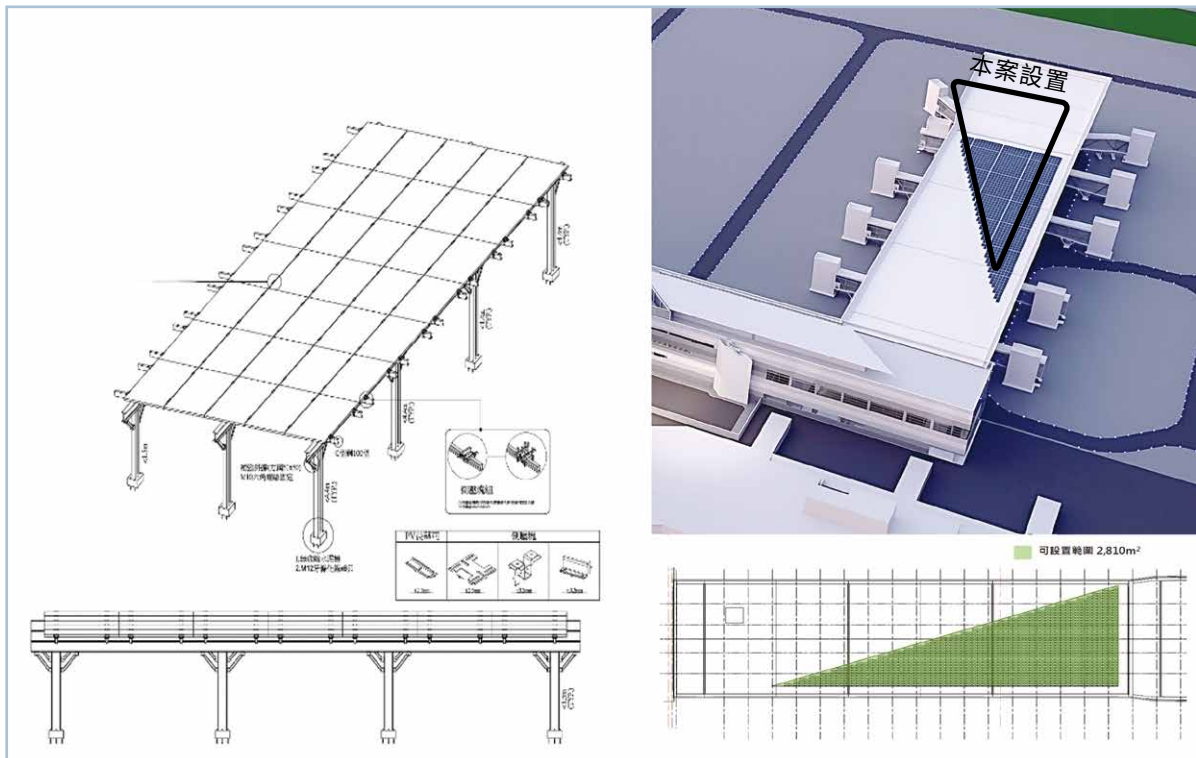


圖 5 太陽能板光電模組規劃圖

參、建築數位化工具在淨零減碳的應用

由於高雄機場航廈規模大且因應航運不中斷採分階段施工，若能於設計階段利用數位軟體整合（BIM），將有助於建築蘊含碳（EC）的計算及營運碳（OC）的推估。

建築數位化可在規劃設計階段利用 BIM 及 ISO19650BIM 建築資訊模型（塑模標準），預測建材營建時的碳排（EC），以高雄國際機場為例，資訊模型於規劃設計階段建置後導入基地鄰近之中央氣象局高雄氣象站（67440）標準氣象年資料（統計年份：1998/01/01～2021/09/30）進行環境及微氣候模擬。從風場環境、入射輻射等面向進行建築物理綠能分析，數據經規劃整理後以美國能源部（DOE）所開發之

EnergyPlus 建築能效模擬軟體為核心，再進行能效模擬、建築舒適度及再生能源效益等評估，作為後續設計調整之參考依據。

一、風場環境

依據高雄氣象標準年資料，本案區域全年午後盛行西—西北風，其餘時段則為北風盛行。經比對四季風花圖及風剖線判讀，全年基地位置以北風為最大頻率，距地面層 10m 高度之風速為 2.83m/s，故以此作為分析條件進行建物量體風場模擬。（如圖 6）

二、入射輻射分析

以氣象標準年資料判讀，冬夏二季日平均全天空輻射分別為 335.76 及 455.29Wh/m²；最大太陽高度角則分別為 59.79°及

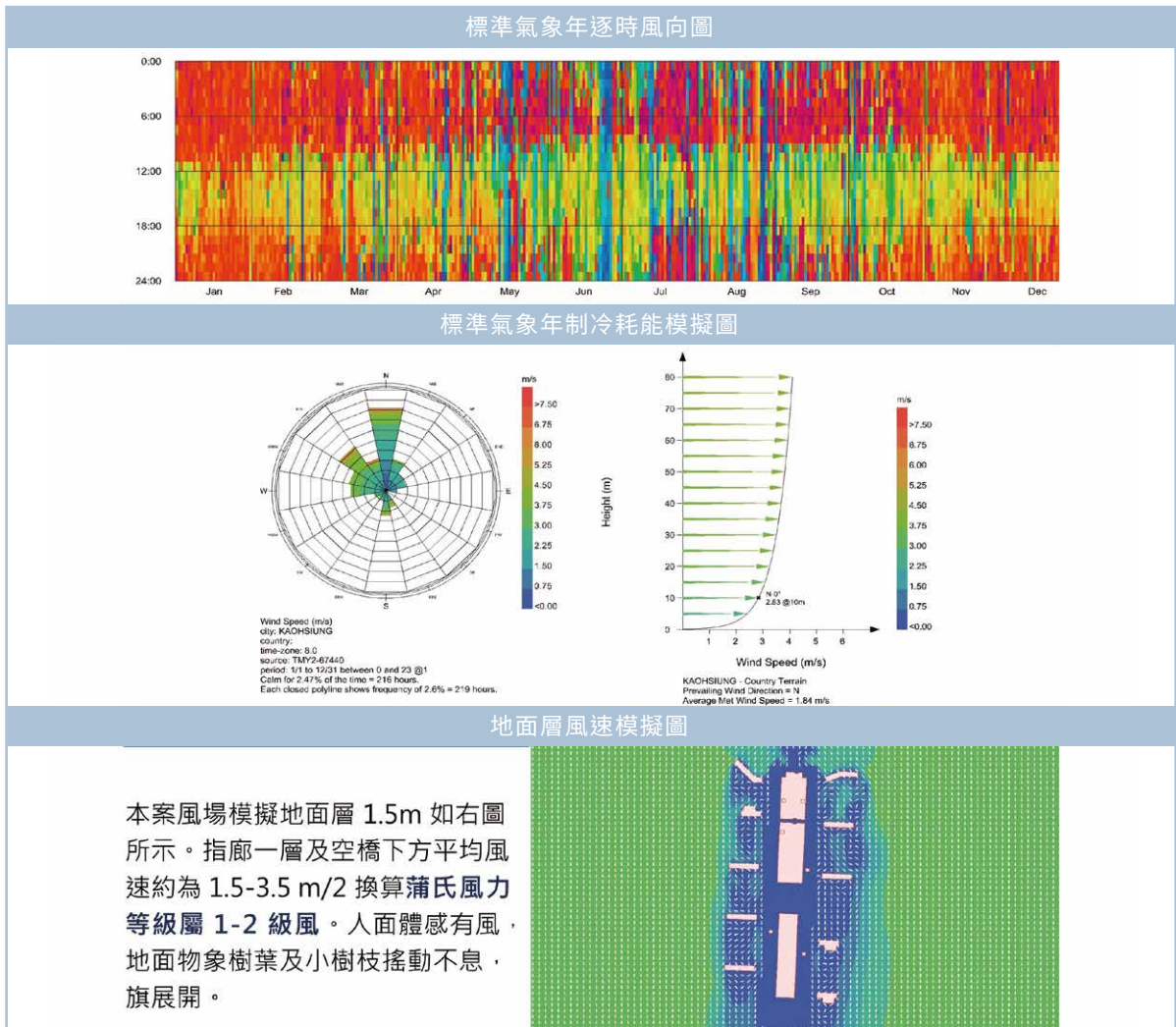


圖 6 高雄機場風場模擬圖

89.41°，數據經規整後以本案規劃區域最高溫週次（7/2～7/8）進行建物量體入射輻射模擬（如圖 7）。

三、建築能效模擬

導入實際物理環境數據、中央氣象局高雄氣象站（67440）資料，並結合 BIM 建築資訊模型，進行建築能效模擬。對規劃方案進行全年 8,760 小時的建築能效模擬。為提高數據精確度，可模擬建築空間在不同情境下的能耗，進而為建築設計提供可靠的數據支援。此模擬之耗能分區、空間用

電密度、營運時程及排程情境則參照內政部建築研究所「綠建築評估手冊—建築能效評估系統」之數據設定，使之獲得詳細的能效數值，不僅有助於建築設計和規劃，亦能在建築運營和管理過程中協助，從而提升整體建築能效（如圖 8）。

四、舒適度模擬

建築能效模擬還可進一步針對高雄機場航廈主要空間，進行舒適度及自然照明等指標進行模擬，以確保公共空間之健康與舒適。

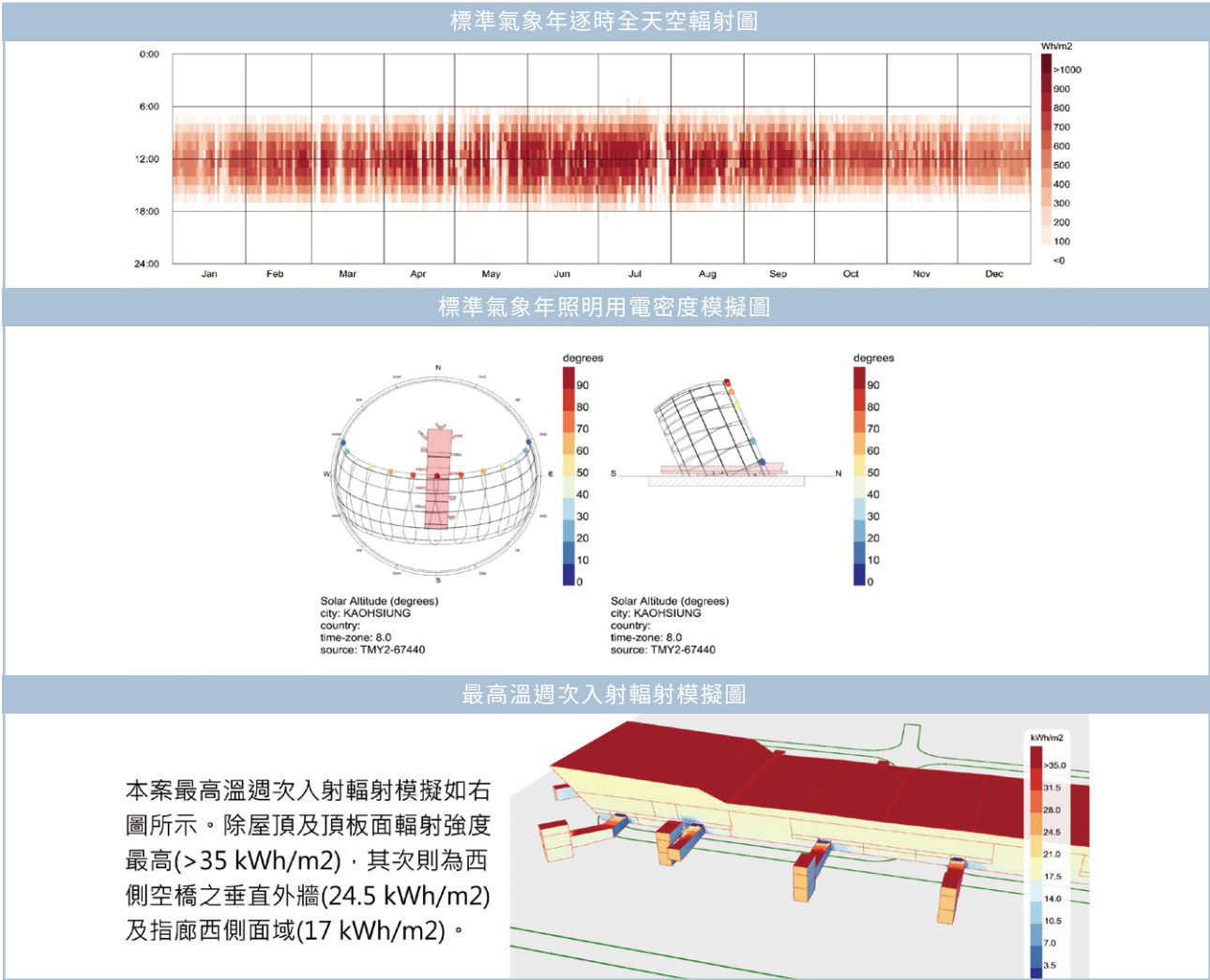


圖 7 高雄機場熱輻射分析圖

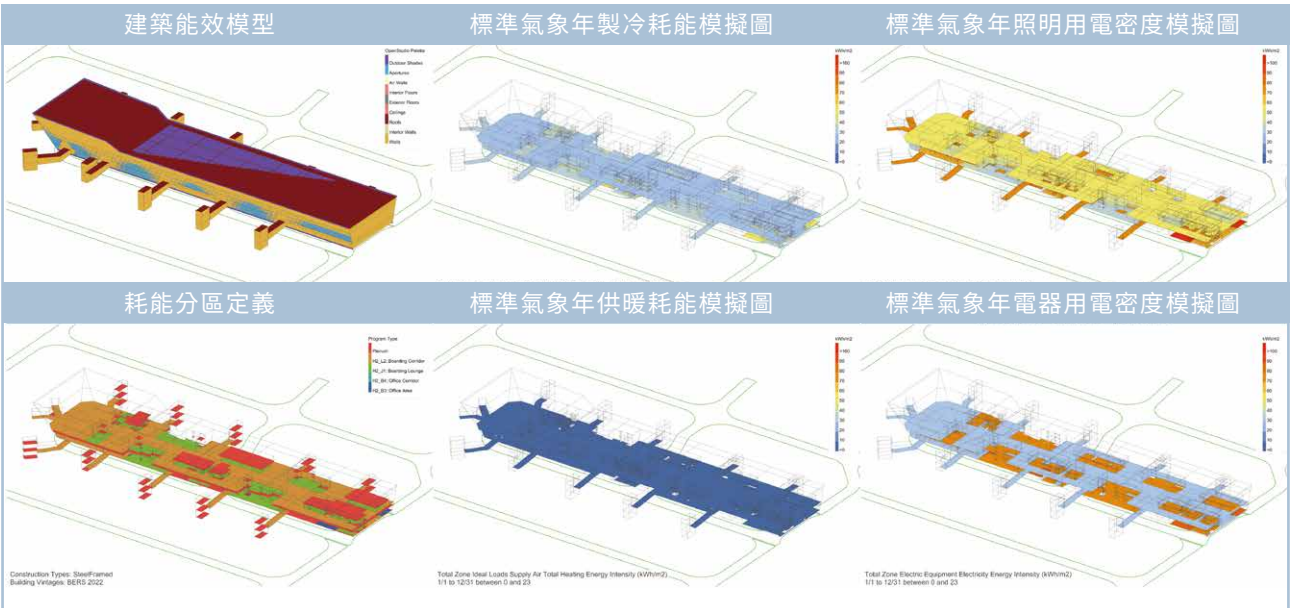


圖 8 高雄機場能效模擬圖

3F 出境廊道 SET 模擬如圖 9 所示，全年平均體感溫度約為 27.6°C。

預期熱感覺指標 (PMV)：參照 ASHRAE 55 及 ISO 7730，該指標係由 P.O. Fanger 於舒適調查中使用的七點量表，Fanger 基於此於 1969 年開發了 PMV 舒適度模型，是一種用於配備供暖或冷卻系統的建築物舒適度指標。基於人體熱平衡模型，考慮以下六項環境及個人因素：空氣溫度、相對濕度、空氣流速、平均輻射溫度 (MRT)、服裝熱阻 (Clo) 以及新陳代謝率 (Met)。PMV 的七點量表範圍從 -3 (冷) 至 +3 (熱)，中間 0 代表熱中性。PMV 結合這些參數來預測大多數人對環境的熱感受，並用來設計和調整空調系統，以達到最佳舒適度。3F 出境廊道 PMV 模擬，全年平均 PMV 指標為中性 (舒適)。

照度 (Illuminance)：是衡量某一表面上光照強度的物理量，其單位為勒克斯 (lux)。1 勒克斯等於每平方米接收到 1 流明的光通量。

照度測量與控制是建構舒適且功能性照明系統的關鍵。在航廈大廳，室內照度設計對確保旅客舒適度與安全至關重要。根據國家標準 CNS 12112《室內照明設計規範》，不同功能區域的照度皆有明確規範。本團隊為營造舒適的航廈環境，將人工照明與自然採光進行整合。其中，有效日光照度為衡量自然光對室內照明貢獻度的重要指標，為全年營運時程中達設定最低閥值 (300lux) 之時數占比。透過模擬分析廊廳室內全年有效日照時間，並結合建築設計與窗戶配置，最大化引入自然光。此舉不僅能減少對人工照明之依賴，達到節能

效益，更能提升旅客的視覺舒適度，創造更優質的候機體驗。

五、再生能源效益模擬

規劃設計階段以高雄氣象站標準氣象年資料，規劃整合太陽角度、輻射率、輻照度及雲覆蓋率等資料後模擬，輔助並強化設計檢討。配合本案太陽能設施設置高度運算得出，於基地地理位置方位角 195° (約南南西方位) 及高度角 70° 為全年平均輻射率最強位置。

然經機場塔台視線檢討，太陽能設施以平放方式於子廊屋頂區域並規劃 1,178 片如圖 10 所示。

模擬設施規格 (按標準測試條件 (STC))：額定效率 = 0.15 (標準單晶矽或多晶矽)，光電模組有效比例 = 0.9，光電模組額定效率 = 標準 (12% ~ 18%)，安裝方式類型 = 與屋頂齊平安裝，空氣流動有限。

電力輸出損失比例 = 0.14，地面覆蓋率 (GCR) [模塊表面積與陣列下方區域面積之比率] = 1.0，逆變器額定直流 (DC) 至交流 (AC) 轉換效率 = 0.96，逆變器直流 (DC) 額定容量與交流 (AC) 額定容量比例 = 1.1，太陽能設施逐月發電級建築使用電量 EnergyPlus 模擬結果如圖 11 所示。經逆變器轉換後約平均日發電量約為 1,055.89 kWh (單片 0.90 kWh)，全年發電量則為 385,400.56 kWh (單片 327.17 kWh)，占全年建築使用電量之 15.16%，等同全年減少 163,409.84 kgCO₂ (經濟部 2025 電力碳排係數 = 0.424 kgCO₂/kWh)。

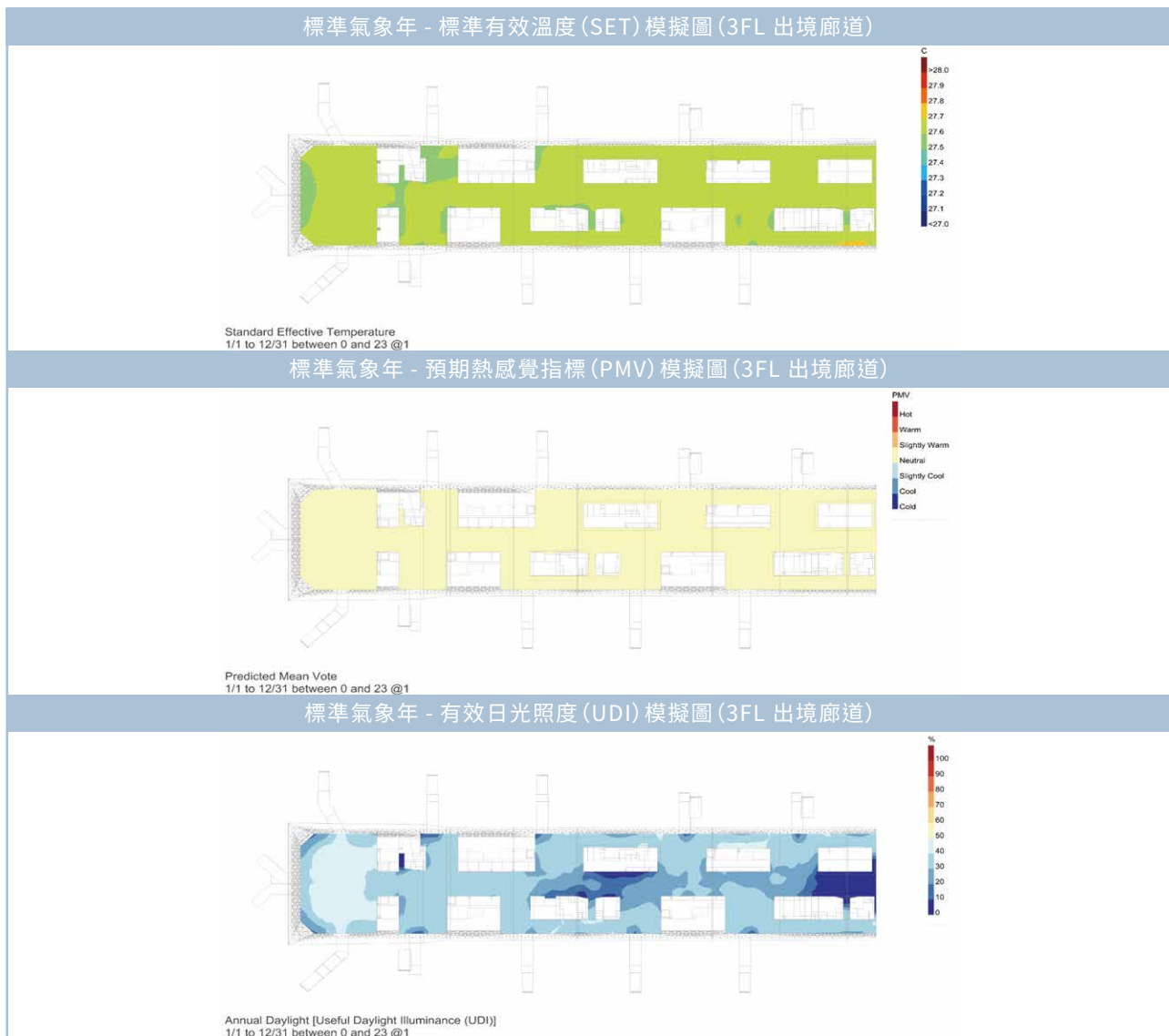


圖 9 高雄機場 3F 出境廊道舒適度模擬圖

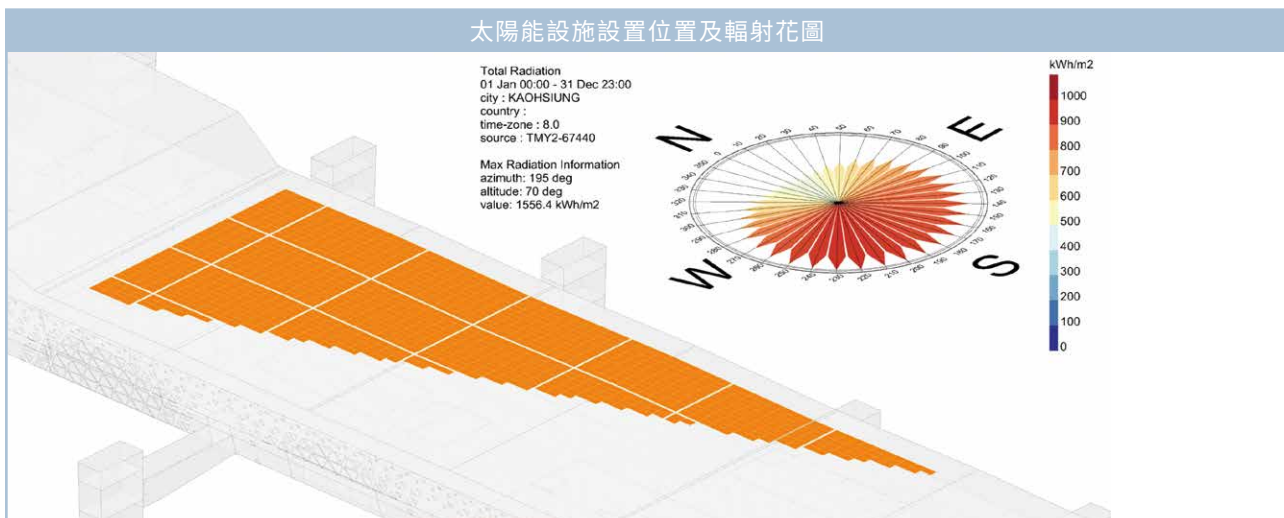


圖 10 太陽能效益模擬圖



圖 11 太陽能設施逐月發電級建築使用電量模擬

透過設計方案能效模擬 (LED 人工照明結合自然採光、一級能效空調設備性能係數 COP) 綜合數據如下圖所示。全年耗能密度 (EUI) 數據為 126.76 kWh/m² (製冷耗能 = 26.85、供暖耗能 = 0.02、照明耗能 = 56.66、電器耗能 = 43.23)，依經濟部 2025 電力碳排係數 (0.424 kgCO₂/kWh) 換算全年碳排密度 (CEI) 數據為 53.75kgCO₂/m²。本次設計耗能分區及評估樓地板面積製作評分尺度，配合再生能源優惠計分辦法，評分結果 84.06 = 1 級建築能效 (如圖 12)。

六、低碳建築 (建築蘊含碳) 模擬

規劃設計階段採用 BIM 模型作為數量基準，並依內政部建築研究所「低碳 (低蘊含碳) 建築評估手冊」(2024.1.1) 計算，其中參照國際全生命週期建築碳足跡評估標準 EN15978 情境模擬計算：地上層主結構、傳統 RC 外牆外裝、透光及帷幕外窗、不透光帷幕外牆、內隔間、室內地坪及戶外地坪等七項目，作為後續辦理建築物蘊含碳排評估基準 (如圖 13)。

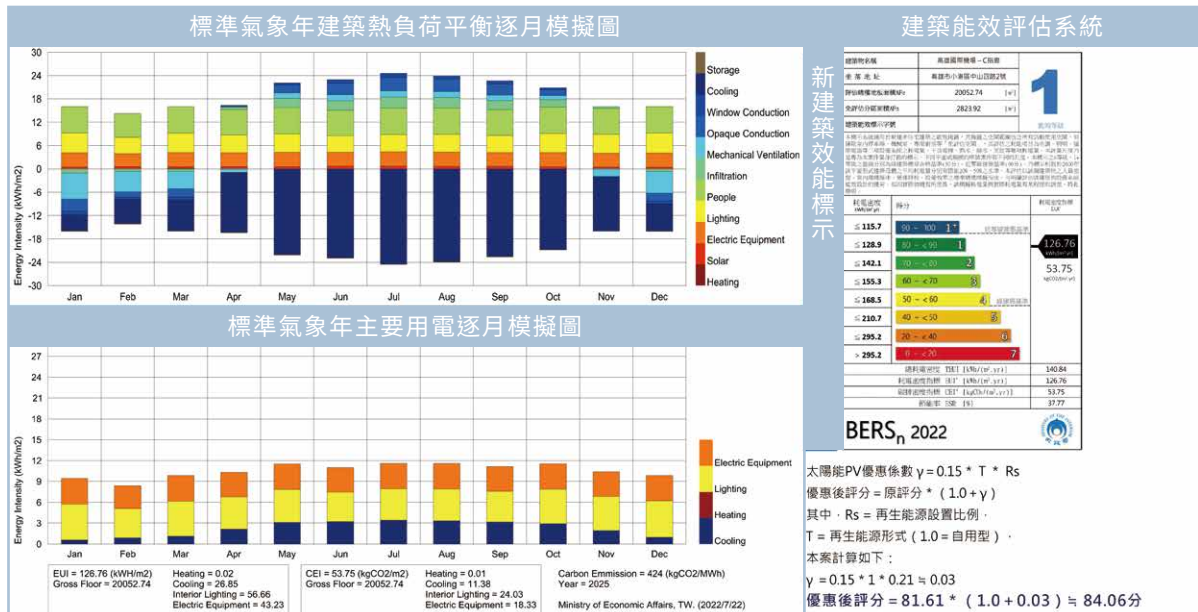


圖 12 高雄機場建築能效模擬

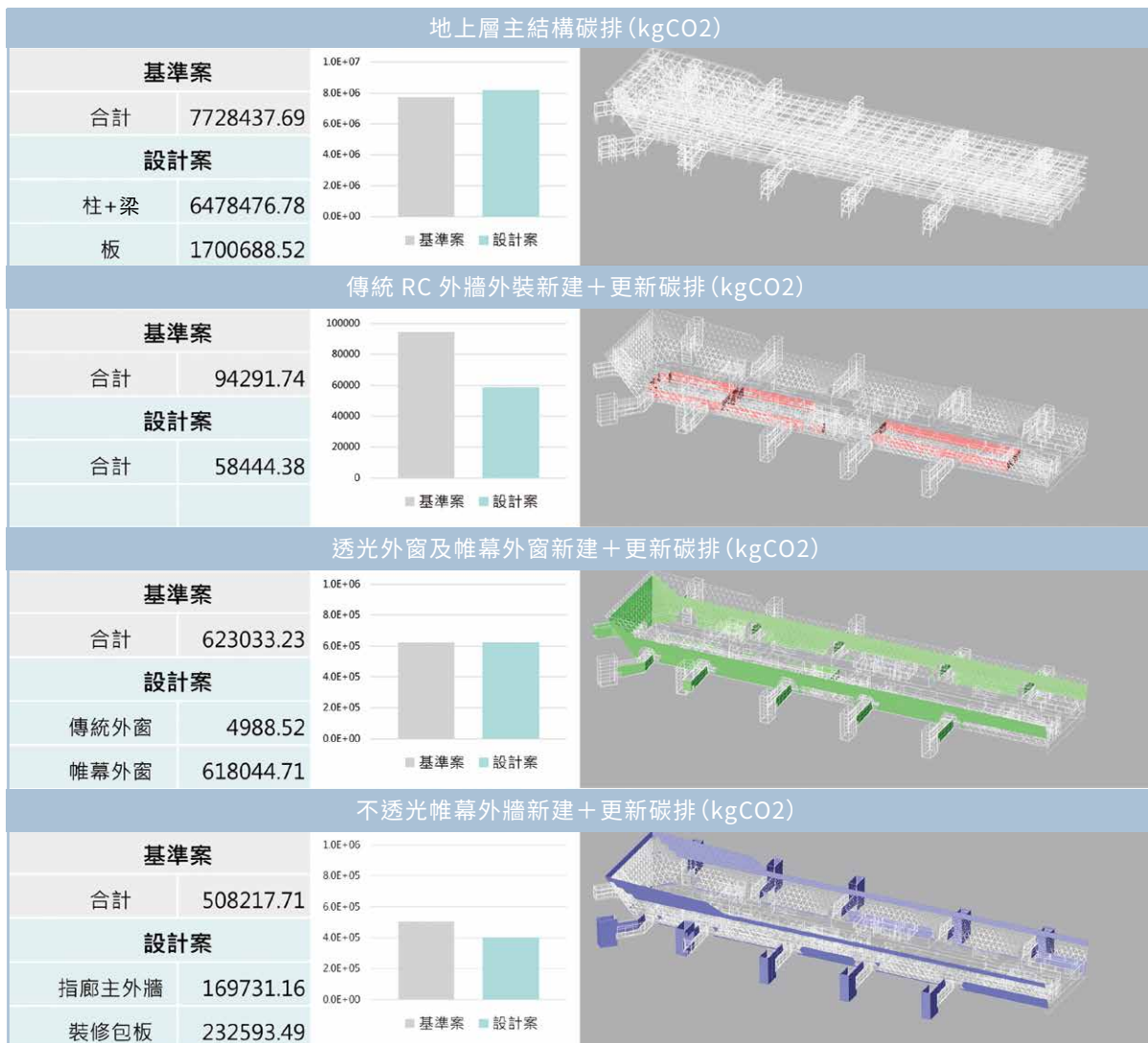


圖 13 高雄機場建築能效模擬

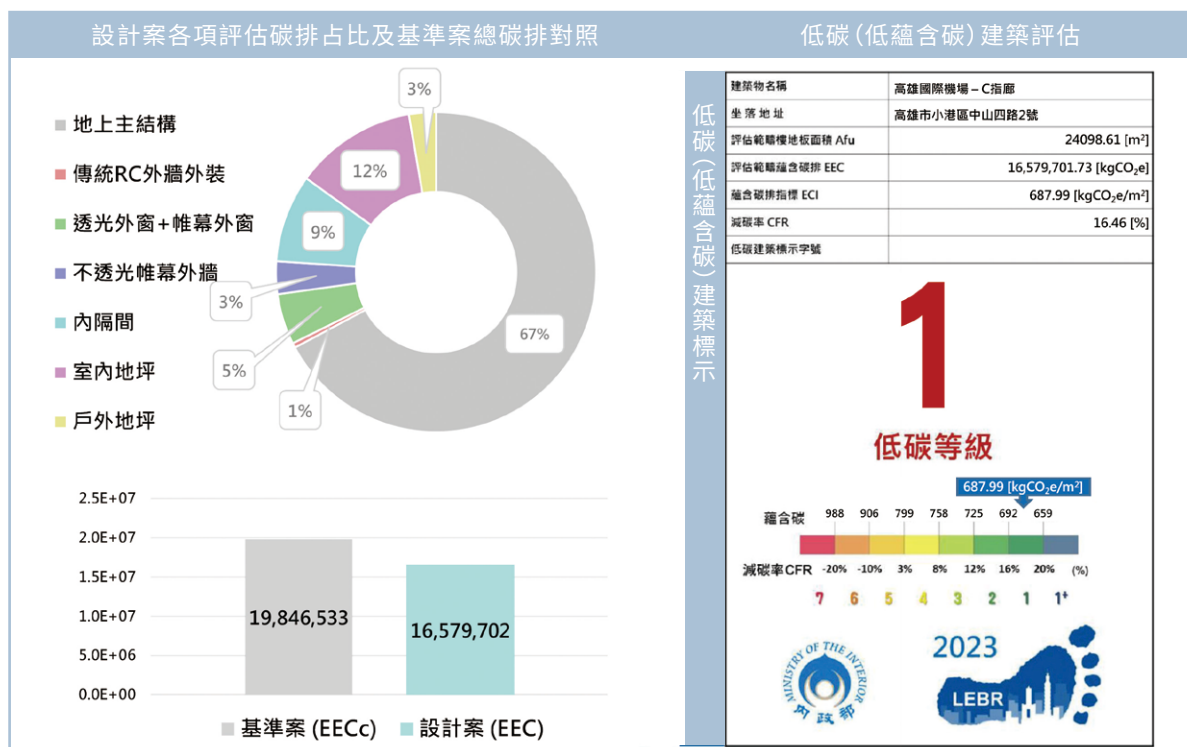


圖 14 太陽能設施逐月發電級建築使用電量模擬

經檢討就 C 指廊部分進行建築蘊含碳排計算如下圖所示，與基準案比較預估減碳 3,266,831 kgCO₂，約略 12 ~ 16%，最佳化可達 1 級低碳等級（如圖 14）。

綜合以上高雄國際機場規劃設計階段利用 BIM 及 ISO19650BIM 建築資訊模型（塑模標準）預測碳排，有利於初期階段執行快速評估，透過模擬規劃設計階段可事前預測建築的能源表現，及早採取減碳措施，最大限度地減少營運碳排。可實現高效節能設計、降低碳排放以及確保建築的可持續性。不僅如此，數位模擬還能幫助精準地量化各項設計決策對能源消耗的影響，例如不同建材、設備、系統的選擇，以及建築朝向、遮陽設計等因素。藉由模擬結果，同時可以比較多種設計方案，做出最具能源效率且符合成本效益的決策。不僅有助於環保，亦能提升建築的經濟效益和

可持續性、降低變更設計及預算追加風險；充分利用能效模擬技術，在設計階段就擇定出最佳的節能策略，確保建築在其生命週期內都能維持高效節能的運作，從而創造出高效、可持續的建築環境。

肆、航廈建築與 ESG 標章

高雄國際機場的 ESG 標章上可以從環境 (Environmental)、社會 (Social) 和公司治理 (Governance) 三個方面來探討，特別是在永續經營和減碳政策上的具體措施。這樣的應用不僅能提升機場的形象，還能符合全球航空業對永續發展的需求。

一、環境 (Environmental)

降低環境衝擊及永續是 ESG 很重要的指標，高雄機場規劃設計透過減少碳排措施，如：太陽能板、引進電動地勤車輛，

以及使用 LED 節能照明等措施，達到減碳效果。透過綠建築設計和碳中和計畫，減少建築能耗和排放。導入智慧化空氣品質監控系統，降低空氣污染影響。及水資源與廢棄物管理減少機場對環境的衝擊。

二、社會 (Social)

為機場營運對乘客與員工福祉，如：確保機場的設施無障礙，為老年人和行動不便者提供友善服務。建立安全的旅客服務系統，確保所有旅客的安全和隱私。強化員工培訓，提高員工對 ESG 概念的認知，並建立更好的工作環境。並加強社區參與與責任，與地方政府和社區合作，減少機場對周邊居民的噪音和污染影響。

三、公司治理 (Governance)

則是機場營運永續的政策與目標，設立專責的 ESG 委員會，負責推動永續發展計畫。公開機場的永續報告，確保經營透明度與責任承諾。並針對機場供應鏈管理；要求供應商遵循 ESG 標準，確保機場在物資採購和營運中符合永續要求。

高雄國際機場未來可申請國際認證的綠色機場標章，如 ACI (國際機場協會) 碳認證計畫；並發行 ESG 報告書，讓利害關係人了解機場的永續發展成果，機場航廈設置

數位看板，即時展示機場的碳排放量、節能數據等資訊，讓乘客參與永續行動。這樣的措施不僅可幫助高雄國際機場有更好實現 ESG 的目標，更能提升在機場在國際間的競爭力和聲譽。

伍、結論

高雄國際機場未來將成為南臺灣的重要航空運輸樞紐，在國際節能減碳的趨勢及國家政策的引領下，新航廈規劃設計將融入智慧、永續的理念，並積極回應氣候變遷與能源挑戰。因此機場航廈在節能減碳的建築生命週期計畫中，不論是規劃設計階段、施工營建段或是使用管理階段，都應結合航廈實際使用需求並且在規劃設計時，充分利用數位軟體 (BIM) 及建築能效分析軟體進行預先模擬規劃，將可有效掌握未來各階段的能源管理，同時也能預估能源管理的效率並優化設備的效益；達到降低能源消耗與碳排放實現淨零排放願景；提升機場運營效率與乘客體驗創造經濟與社會價值；使高雄國際新航廈引領區域永續建築的發展。

未來的高雄國際機場，不僅提升航空運輸量能，更是一個結合智慧科技與環境保護的綠色象徵，將為下一世代樹立智慧永續的標竿。



以中部地區建築案場為例 達成智慧永續、淨零碳排 之精進作為

關鍵詞 Keywords

社會住宅 Social Housing

綠建築 Green Building

固碳 Carbon Fixation

BIM Building Information Modeling

專案整合交付模式 Integrated Project Delivery (IPD)

智慧建築 Intelligent Building

台灣世曦工程顧問股份有限公司
中區工程處

資深協理

鄧建華

建築師

施盈甄

正工程師

林芳儀

工務所主任

羅志仁

臺中市政府
住宅發展工程處

處長

陳煒王



本文探討中部地區建築案場如何透過智慧技術與永續策略，實現淨零碳排目標。重點包括：

一、智慧建築管理

應用物聯網、數據分析及人工智慧等技術，即時監測能耗，優化能源使用效率。

二、綠建材與設計

採用低碳環保建材，結合被動式設計（如自然通風、遮陽）以降低建築全生命週期的碳足跡。

三、智慧工地作業

利用建築資訊模型（BIM）與數位孿生技術，提升工地施工效率並減少浪費。

四、資源循環與減廢

推動建築廢棄物回收再利用，減少資源消耗及垃圾產生。

五、碳排管理與補償

建立碳排數據盤點機制，探索碳交易與植樹計畫等補償手段，實現淨零碳排。

透過以上措施，冀望中部地區建築案場能逐步邁向智慧永續化，並在建築產業轉型中發揮引領作用，助力臺灣邁向 2050 淨零碳排目標。



中部地區近年發展快速，人口成長迅速，以臺中市為例，2011 年至 2021 年之間成長了 5.6%，而 2022 年至 2023 年間更是成長了 1.1%。臺中市政府為滿足租屋需求且減輕市民居住負擔，於全市交通便利之新興開發區優先興辦社會住宅，並推動雲端平台，以 BIM 搭配 IoT 物聯網等大數據資訊技術落實了數位科技應用於建築工程全生命週期，從前期的規劃設計到智慧工地作業及完工後的維護管理階段全面數位化管理；再搭配被動式設計及系統化營建工法，讓社宅成為市民永續的生活空間。

另配合國軍兵力部署調整及「募兵制」政策，政府推動「興安專案」用以提升營區生活品質及環境，讓國軍更有力量保衛國家；興建現代化並結合國軍設施標準化作業的新建築，使營區各項設施切合官兵實需；由於多數營區位處偏遠或高海拔且氣

候條件不佳區域，妥善應用綠建材搭配節能設計降低碳排量或基地綠化增進生態系統完整性等措施，達到機能完整、安全實用、健康舒適、維護經濟、節能環保等多功能目標，俾符未來單位駐用及任務需求。

本文針對本公司中區工程處近年來執行臺中市政府社會住宅及國防部興安專案建築工程，臚列以下精進作為逐一說明，供日後相關工程參考。

壹、國安一期社會住宅

國安好宅（國安社會住宅）基地位於臺中市西屯區永安里，北臨 20m 國安二路，南面國安一路，西接玉門路，周邊為住商混和，鄰近兩所大型醫院，生活機能方便；北側近鄰中部科學園區臺中園區，乃為臺中市一新興的宜居區域（圖 1）。



圖 1 國安好宅基地位置

本計畫分三期規劃、兩階段施工，2020 年～2024 年為國安一期社宅，2023～2030 年則為國安二、三期社宅；其中國安一期基地面積 9,889.46m²，新建地下 3 層地上 14 層共 508 戶社會住宅，並且規劃店鋪、大型商場及社福單位進駐，總樓地板面積為 53,037m²；基地南側建築高度為減少沿街面壓迫感調整為地上 8 層。

國安一期社會住宅作為一個高密度的居住形態，秉持著「創造都市友善空間、構築綠色生態環境、建置健全生活照顧、創新智慧生活管理」四大原則，對於響應政府達成 2025 淨零排放，落實了以下的具體對策。

一、BIM 於建築物生命週期各階段之應用

（一）智慧工地作業

隨著建築營造業數位化轉型，建築資訊模型 BIM (Building Information Modeling) 成為建築物生命週期各階段 3D 可視化及數位整合的重要工具，從設計到施工、營運維護等各環節提供全面性管理。國安一期社會住宅為臺中市政府住宅發展工程處近年來社宅新建工程第一個統包工程案；統包工程可視為專案整合交付模式 IPD (Integrated Project Delivery)，即本建築工程全生命週期各階段專業團隊皆於工程規劃初期便開始全程參與直到後續維護使用階段。國安社宅工程初始便採設計施工並進，團隊於設計階段 BIM 模型深化至 LOD300 時會一併進行數量計算，精準掌控材料數量，避免浪費；另外每雙週召開至少一次 BIM 協調會議直至工程進度 60% 後改為每月舉行。

協調會議中主要以 BIM 施工模型檢討結構體及機電管線等各項衝突，整個工期統計

共檢討出 605 項衝突點，如屋頂層水錶牆位置與維修門衝突（圖 2）或樓梯間過梁位置偏移造成樓梯淨寬不足等議題都在協調會議中解決；相關衝突檢討平均於項目施作前 30 天完成釋疑。工程進度到中後階段時，統包團隊須配合機關頒定之 BIM 建置準則將施工模型編列模型性質轉化成竣工模型，以利後續維運平台使用。

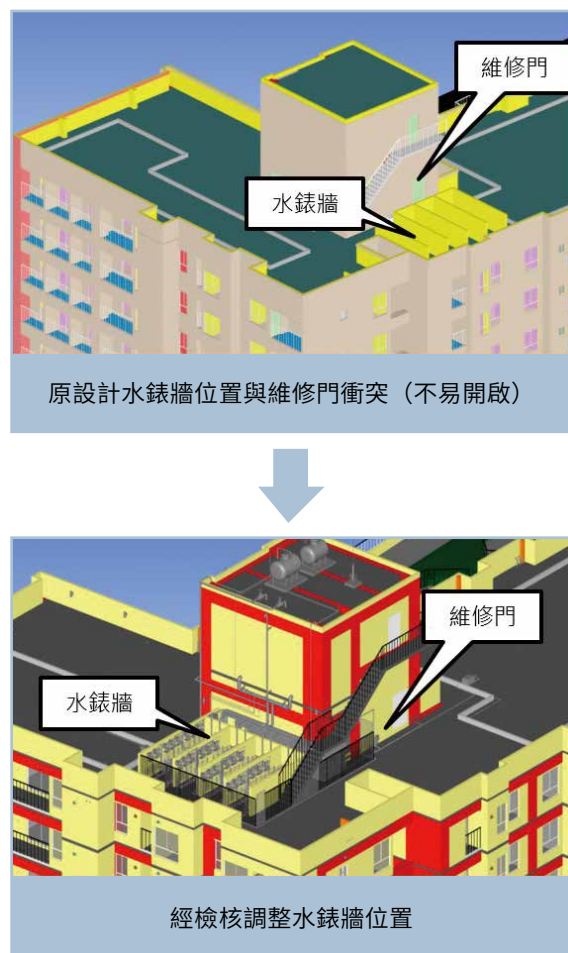


圖 2 BIM 於施工階段檢討實例

（二）智慧好宅管理 4D-BIM 雲端平台

進入竣工階段時，BIM 轉換成整合管理的角色，藉由既有的靜態資訊、配合各項實質設置設備及設施回饋的動態數據，幫助管理人員適時地了解建築物的運行狀態。

臺中市政府住宅發展工程處於國安一期社會住宅興建時期間完成了 4D-BIM 雲端平台的建置，其平台主要目的除記錄設計施工階段的書圖資料及 BIM 衝突檢討疑義外，最重要乃為竣工後將 BIM 模型介接至平台進行社會住宅營運的 FM 設施管理。前述竣工模型之編碼需與市府後端資料庫編碼完全吻合，編碼系統編列原則為由大到小，從各居住單元（房間）編號至房間內部物件編碼及設備編碼，精準管理每一個模型物件能夠與現實建築物內部所有設備對應，進而讓社宅居民可以經由簡易的 UI 介面報修。

此雲端平台可視為 BIM、物聯網（IoT）及大數據（Big Data）彼此關聯結合的最佳示範，在社宅竣工時即納入各項設施設備之使用年限及維養頻率；再藉由居民進住後的各項資訊回饋建立成有效參數，提升建築的運行效能，包括進行能源監控與優

化、故障檢測及預測性維護，從而實現建築運營的最佳化（圖 3）。

二、綠建築、被動式設計與碳排管理

本工程在設計過程中，充分考量了永續性及能效控制，雖然因應預算限制採用了傳統 RC 結構，仍致力於使用綠建築材料及被動式設計，在資源利用、環境友好各方面達到最優平衡並預計取得綠建築銀級標章。

（一）生態綠廊規劃

國安社會住宅整體基地於開發前部分為停車場使用，其餘空地原生植被並無大型喬木（圖 4）；設計團隊將國安二路北側之原生綠林藉由基地新增植栽建立綠色廊道串聯東南側國安一號公園，將綠帶帶入國安商圈側，同時於沿國安一路側退縮 15m 步道側設置寬 8m 之景觀步道，創造出都市裡的生態跳島空間，不僅達到環境永續更

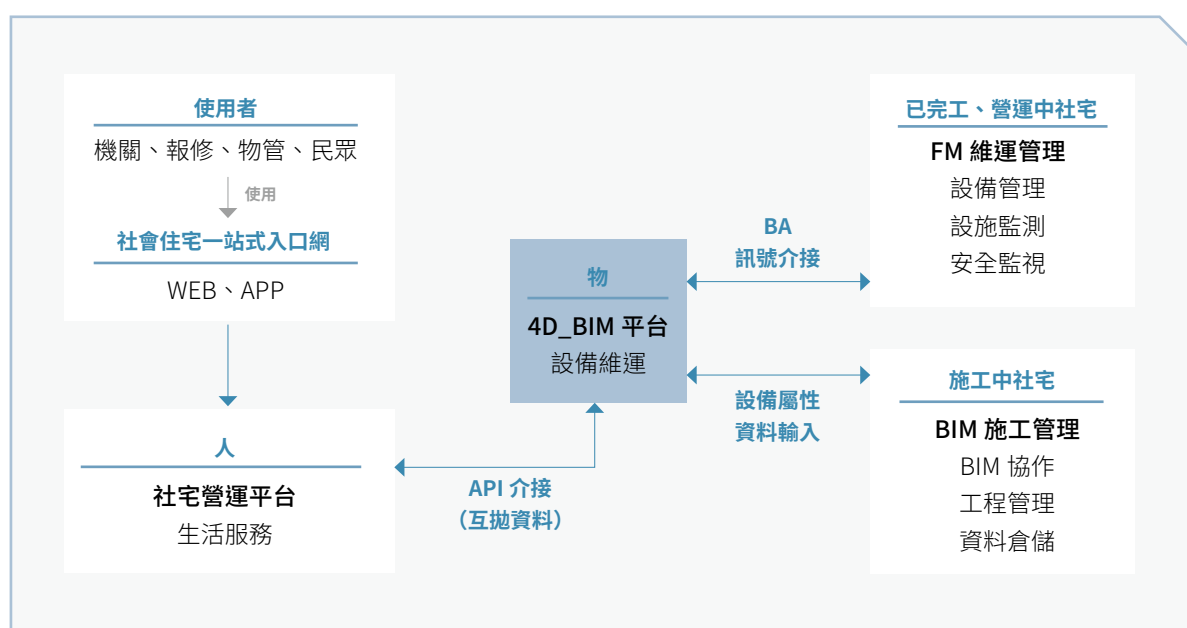


圖 3 臺中市政府住宅發展處 4D-BIM 雲端平台營運架構



圖 4 國安社會住宅基地開發前實景圖

讓物種延續（圖 5）；一期基地外環遍植喬木共 139 棵，其中超過半數的大型喬木樹種為茄苳、樟木、光蠟樹、烏心石，皆屬農業部林業及自然保育署「台灣常見 24 種造林樹種之絕乾比重、碳含量百分比及轉換係數」內重點固碳之樹種，大大提升原基地之總固碳量及基地保水量。

屋頂景觀設計則採用「第二地面層」的概念，除增加整體基地綠化面積外，同時亦達成良好屋頂隔熱並同時提供住戶更多開放空間；8 樓屋頂植栽選擇則是在分析日照



圖 5 基地綠帶串創造都市生物跳島空間

及風場模擬後分區種植適合的灌木（圖 6），而 14 樓屋頂則規劃為居民種植可食用植物區。屋頂層綠化面積總計達 1,157.3m²。

本基地沒有因為社宅開發造成熱能累積，根據「2023 臺中都市熱島效應空間策略計畫報告」估算，國安一期社會住宅整體溫度體感降低 1.64°C；綠化總固碳當量為 3,905,551KG，約 3 倍綠化設計值（1,285,629KG），將原先可能的「都市熱島」轉化成「都市綠島」。



圖 6 八樓屋頂層完工照

（二）建築量體配置及設計

秋冬兩季本基地北風甚強，加上基地北側有廣大的空地，因此在規劃初期即做了整體基地量體模擬風場（圖 7）；最後配置採東西長向量體

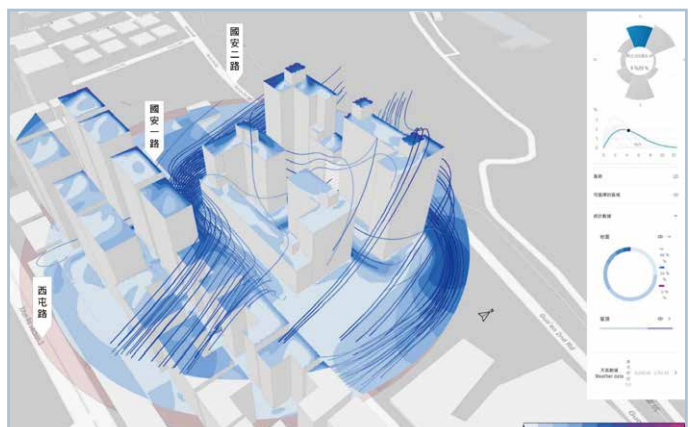


圖 7 國安一二三期整體風模擬(冬季)

規劃，且於地面層遍植防風樹種，以阻擋強烈北風，維持社區良好的物理環境，同時又創造出都市中風的走廊（圖 8）。

建築設計方面，雖然國安一期社會住宅整體採 RC 構造，但整體配置採取平面規則性以及層高均等之基本原則避免建築材料的浪費；局部挖空及公共走廊角隅大面積開窗，引入自然通風，提升室內空氣品質且降低室內溫度，並可增加更多的自然光線，降低人工光照補充之需求；此舉降低熱負荷及減少能源消耗以達成節能目標（圖 9）。



圖 8 南北貫穿 都市風廊



圖 9 居住樓層設計採光通風低耗能

另一項特色則是地上層住宅區之室內隔間（含分戶牆）皆採用雙層石膏板輕隔間施作，降低了整體水泥用量且達成結構輕量化，有效減少興建過程中的碳排量。

三、設備效能控制

除了被動式設計來減少能耗量，本案亦從公用空間之燈光控制以及電梯系統來實施節能控制；公用樓梯使用紅外線感應及壁式三路暗開關，而公用走廊及地下室停車空間則採用二線控分時段跳盞開啟的設計，可達成燈光減量且於必要時能提供足夠照明的人性化節能設計（圖 10）。

而電梯則採用連動節能，避免同時呼叫，只有離呼叫者最近的電梯才會啟動並且抵達；同時為了確保被呼叫的電梯能滿足無障礙使用的需求，因此梯廳內至少兩部電梯採無障礙設計。

貳、武嶺營區新建統包工程

武嶺營區新建統包工程位處於海拔高達 3,123 公尺氣候條件嚴苛地區，因此於結構、建材及建築外觀的選擇，需充分考量此環境因素，與融入地域性及生態性，減少對自然景觀的破壞，並與高山環境和諧共生。利用全面整合自動化及資訊化設備，提升軍事訓練及救援任務的效率。並設有現代化的停機坪，成為國軍寒訓及民間山難救援的樞紐。

在智慧技術與永續策略，實現淨零碳排目標。武嶺營區執行重點說明如下：

一、康尼蜂巢板（節能蜂巢預製混凝土 IHPC）



圖 10 燈光節能系統設置示意圖

康尼蜂巢板，屬於新材料、新工法的建築材料，其組成為預製混凝土，內部含有 EPS（發泡聚苯乙烯）及絕緣的玻璃纖維網格布作為填充材料，EPS 是一種具有熱阻隔及抗衝擊性的材料，且可回收再利用，以減少對環境污染；絕緣的玻璃纖維網格布融合於康尼蜂巢板表面，可增加牆體韌性，整體而言，康尼蜂巢板具抗鹼、耐酸、高強度、重量輕、防火、隔音等特性（詳表 1、圖 11、圖 12）。

（一）防火效能（詳圖 13 至圖 16）

以 CNS 12514-1 進行試驗，經過 1,000 度防火測試、火焰燒灼 2 小時，牆體背

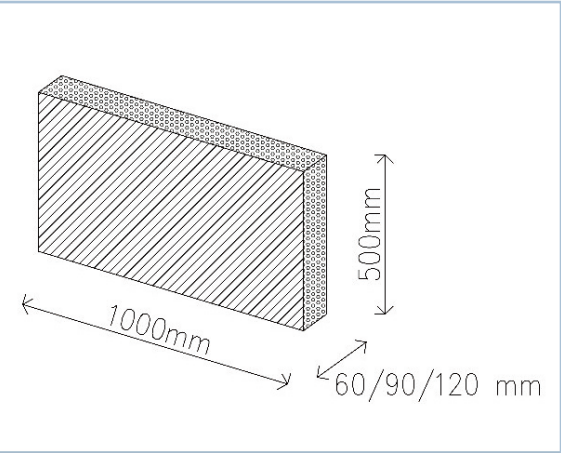
面溫度僅 73℃，康尼蜂巢板具 2 小時防火時效，以下為試體牆體構造說明牆厚 90mm*1200mm*600mm，重 39.72kg，密度 0.7g/cm³，含水率 3.7%，牆面表層透批一層黏著劑（厚度 1mm）。

（二）防風效能

氣密性能試驗以 CNS 11527（2004）進行試驗，且依據 CNS 3092（2005）作為判定標準，試驗結果氣密性等級曲線符合 2 等級線氣密性能；水密性能試驗以 CNS 11528（2004）進行試驗，且依據 CNS 3092（2005）「鋁合金製窗」之規定判定標準，試驗結果水密性能試驗符合 1000Pa 壓

表 1 康尼蜂巢板構件名稱及規格表

產品名稱：康尼蜂巢板（節能蜂巢預製混凝土 IHPC）		
編號	構件名稱	規格
A	康尼蜂巢板單元	1. 單元板尺寸：1000mm*500mm*90mm，重量 39.72kg，密度 0.7g/cm ³ ，含水率 3.7% 2. 牆面表層透批一層無收縮水泥（厚度 1～2mm）
1	鋼釘	尺寸：平頭 Ø2.2mm，L = 18mm，材質：不鏽鋼
2	輕鋼片	尺寸：100mm*50mm，h = 0.8mm，材質：鍍鋅板／不鏽鋼
3	U 型鋼	尺寸：100mm*90mm*30mm，h = 0.8mm，材質：不鏽鋼



康尼蜂巢板實體 ▲ 示意圖 ▲ 常規尺寸

圖 11 康尼蜂巢板尺寸及示意圖

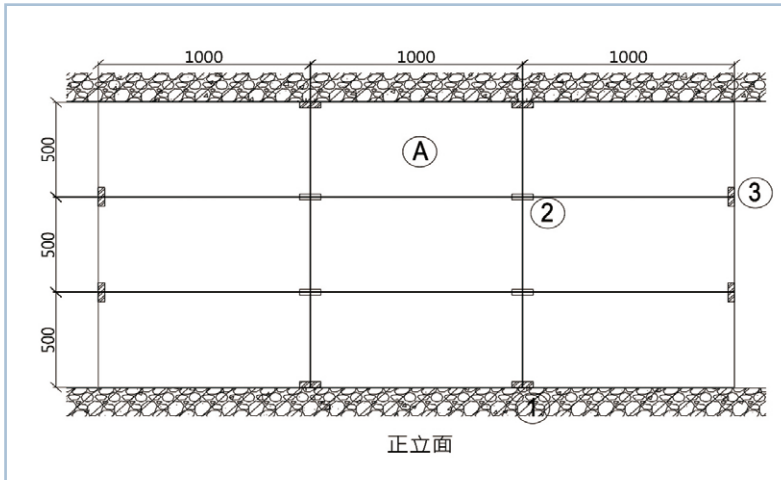


圖 12 康尼蜂巢板正立圖

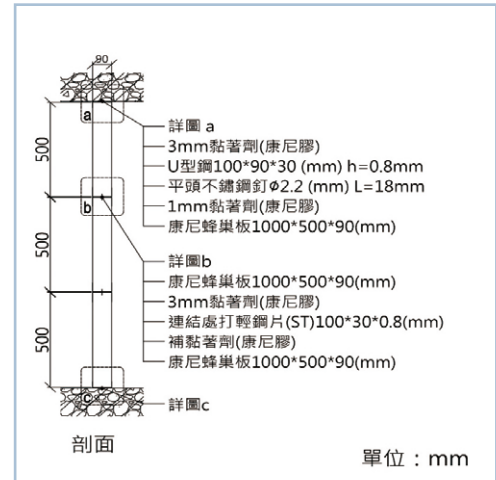


圖 13 康尼蜂巢板剖面

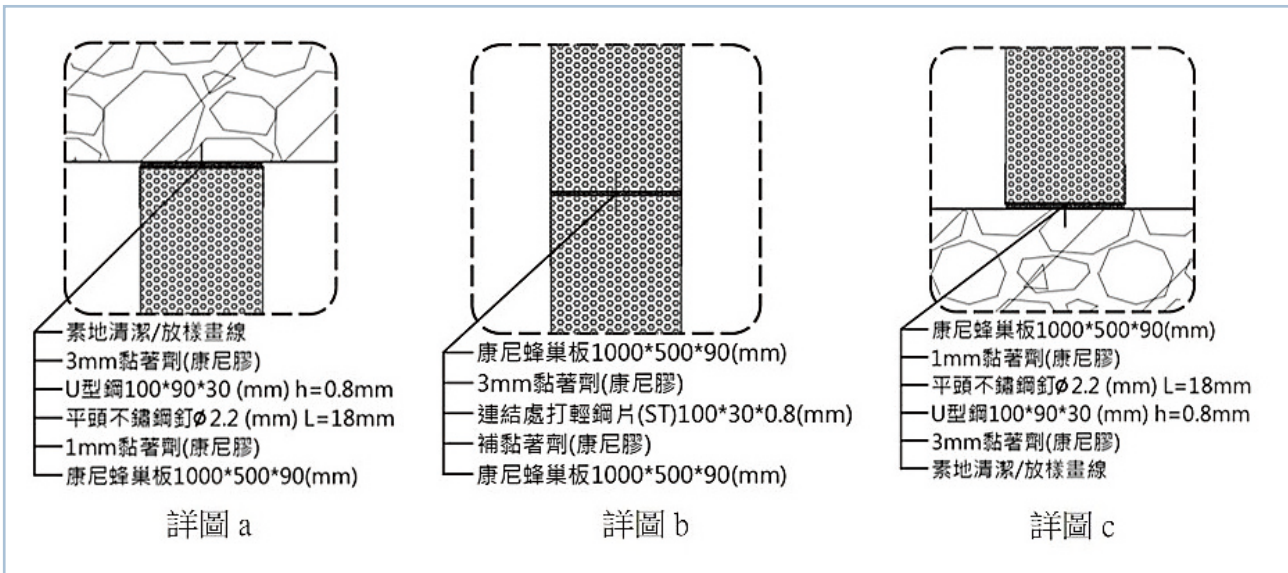


圖 14 康尼蜂巢板接合詳圖

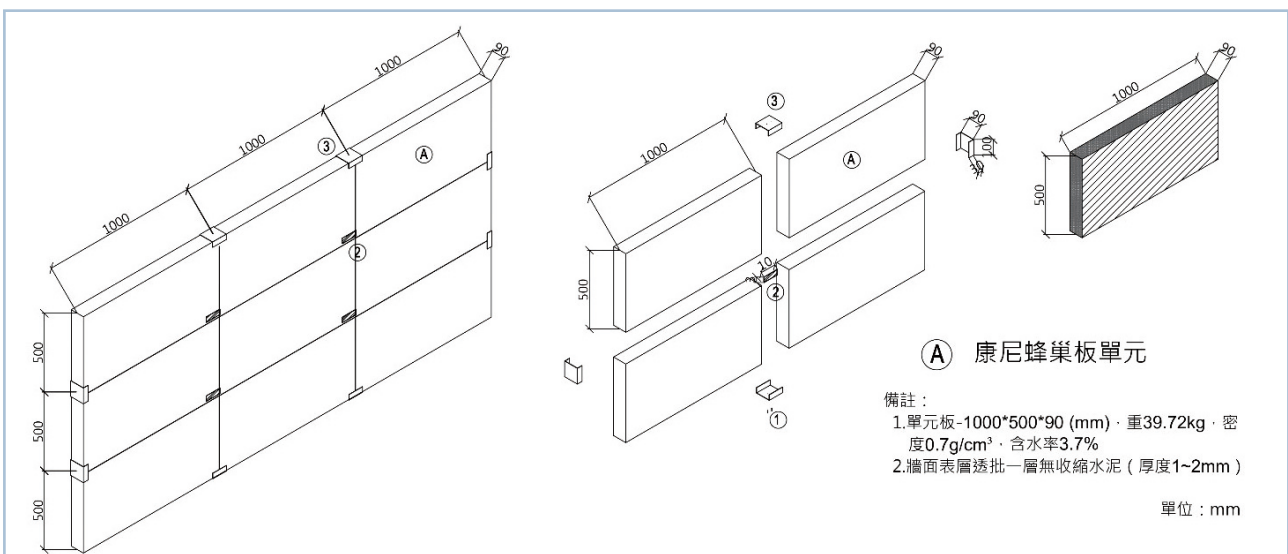


圖 15 康尼蜂巢板單元及組立示意圖

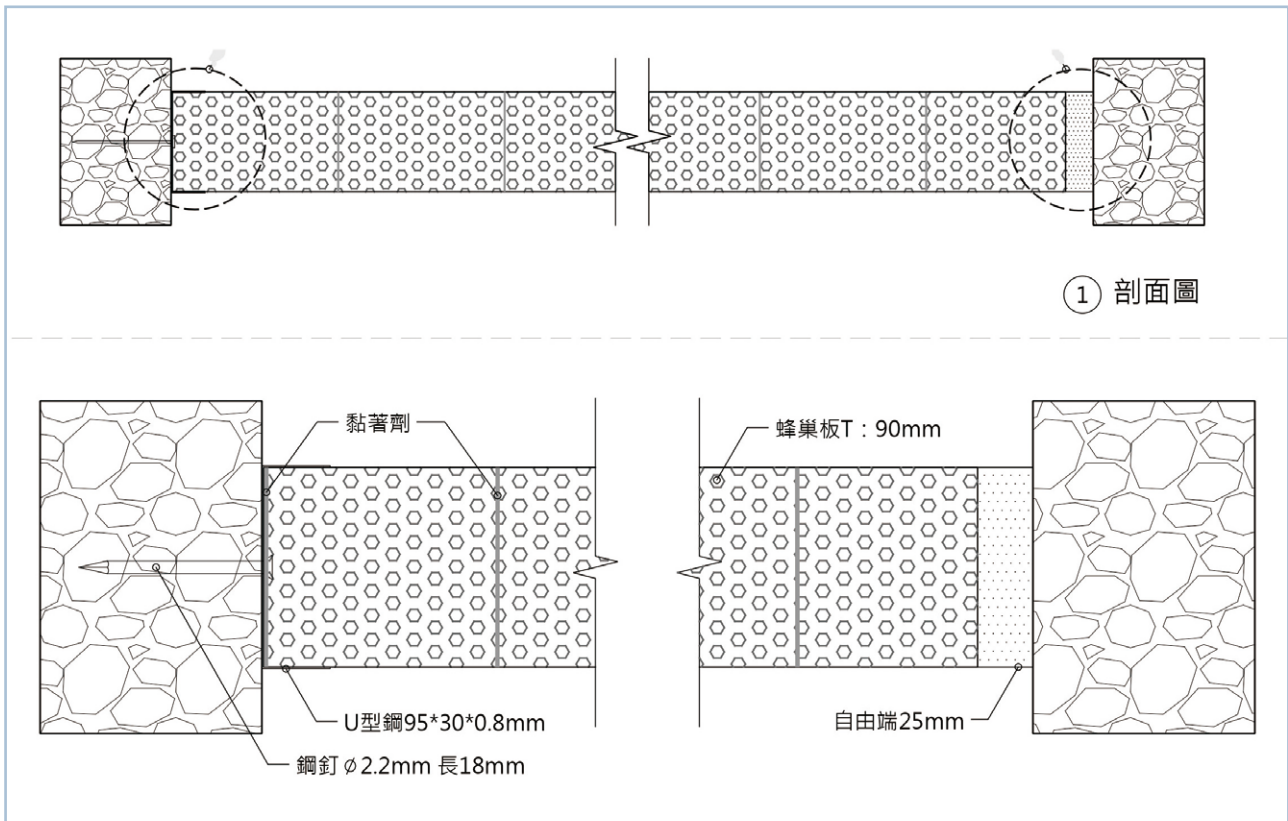


圖 16 康尼蜂巢板水平剖面圖

力差（中央值）水密性能；抗風壓性能試驗以 CNS 11526（2003）進行試驗，牆體以正風壓 3600Pa 為最高壓力，試驗結果牆體之變形量仍在容許誤差範圍內。

（三）熱導係數比較

以 ASTM C518-17 進行試驗，康尼蜂巢板熱傳透率 U_{ar} 為 $0.729 \text{ (W/(m}^2\cdot\text{K))}$ ，與傳統鋼筋混凝土熱傳透率 $U_{ar} = 3.775 \text{ (W/(m}^2\cdot\text{K))}$ 相比，大幅減少 80.45%，換言之，室內所需移除熱能變少，室內空調耗能也隨之減少。

（四）節能減碳

應對高山氣候特性，「保溫」成了最重要的課題，武嶺營區新建工程廣泛使用綠建

材，其中選擇康尼蜂巢板作為建築物牆體，康尼蜂巢板具備良好的保溫效果，節能 50～65% 以上，牆體本身導熱係數約在 $0.093 \sim 0.5 \text{ (W/(m}^2\cdot\text{K))}$ ，用於外牆填充不必再加以保溫，減少外牆需加保溫的考量（詳表 2）。

表 2 康尼蜂巢板及 RC 牆空調負荷比較

	康尼蜂巢板	RC 牆
熱傳導係數 $(\text{W/(m}^2\cdot\text{K)})$	0.093～0.5	2.0～2.8
保溫效果	優	普通
空調所需熱量 (kcal/hr)	128916	395948

除了保溫功能，康尼蜂巢板也兼具高強、耐衝、抗風壓、抗震等特性，臺灣每年 7～11 月為颱風季節，武嶺營區位居海拔 3,000 公尺以上，經常扮演首當其衝的角色，選擇康尼蜂巢板作為外牆是因為強度高，抗彎破壞荷載能達到板牆自重的三倍以上，抗風壓可達 7.5 MPa；另外臺灣位於環太平洋地震帶，地震相當頻繁，抗震能力也十分重要，康尼蜂巢板材料本身輕質，抗震性能好，具備優良的強度和柔度（抗壓、抗彎），對結構本身有 10% 的延展

性，減少建築結構的傷害。施工方面，因相同面積的牆板重量僅為 240 磚牆的 1／5，降低建築結構重量與厚度方面的優勢，增加了建築物的室內使用面積，有助於實際使用效果，且康尼蜂巢板為節能蜂巢預製混凝土，可鋸、可釘、可開槽等加工性能好，安裝過程採單元組立，高效高速，其兩面為纖維增強水泥板與有機和無機黏著劑均能良好的結合，牆面平整可直接刷塗料、貼壁紙、壁磚（詳圖 17、圖 18）。



圖 17、18 武嶺營區康尼蜂巢板施工照片

除此之外，使用康尼蜂巢板，大幅減少混凝土的使用量，以武嶺營區為例計算碳排差值，公式如下。

康尼板與 RC 外牆碳排差值：

$$3930\text{m}^2 \times (73.67 - 31.83\text{kg}/\text{m}^2) = 164,431.2\text{kg} \div 164.43 \text{ 公噸}$$

濕式灌漿牆與 RC 內牆碳排差值：

$$6996\text{m}^2 \times (70.31 - 31.83\text{kg}/\text{m}^2) = 269,206.08\text{kg} \div 269.21 \text{ 公噸}$$

碳排合計約 434 公噸，相當於 1.5 座大安森林公園一年碳吸附量。

綜合以上特性，康尼蜂巢板除了兼具綠建築材料的特性，也非常適合用於高海拔環境使用，未來綠建築材料的新趨勢。

二、中空複層玻璃

因應武嶺營區的高山氣候，使用中空複層玻璃也能達到良好的保溫效果。除了有保溫的功效，中空乾燥空氣層能夠防止窗戶起霧結霜，且能夠阻隔 70% 以上的紫外線，這對於地處高山氣候的武嶺營區，兼顧保暖及保護的功能（詳圖 19）。

正值夏天的武嶺營區，紫外線相對於平地較為強烈，中空複層玻璃能夠阻絕 70% 以上的紫外線；冬天作為雪訓中心的武嶺營區，中空複層玻璃能夠隔絕室外冷空氣，以達保暖功能，以上特性能夠降低空調的使用，有效節能。

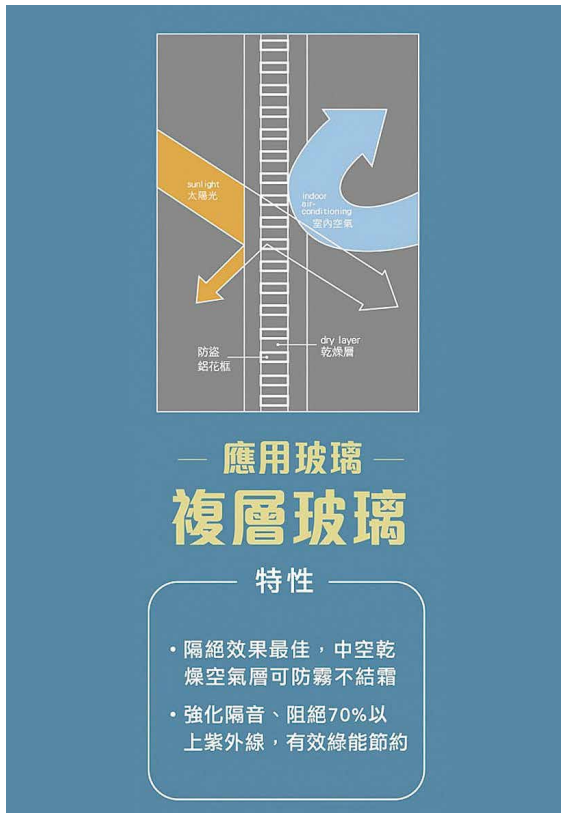


圖 19 中空複層玻璃特性

三、吸氣閥

依《建築技術規則》排水管須施作通氣管，本案優化增設吸氣閥，其卓越的進氣與排水性能對於提升排水系統的效率和環境友善性具有顯著貢獻。

排水系統運作導致管內產生負壓時，吸氣閥閥門會因內外壓力不同而自動開啟，導引氣流進入管內，待排水動作完成後，管內外壓力回復平衡，閥門將自動閉鎖，完整保護水封層及防止管內臭氣溢出，並可有效抑制病毒與細菌進入生活環境內。這一效果能降低居民對化學滅蟲劑或抗菌劑的依賴，間接減少化學藥劑的生產與使用，而這些藥劑的製造過程通常是高能耗且高污染的。吸氣閥的應用，實現了從源頭抑制污染物的擴散，為環境健康提供了更自然且低碳的解決方案（詳圖 20）。

吸氣閥的使用能簡化排水系統設計，減少建材用量，從源頭降低建築過程中的碳排放。同時，由於吸氣閥大幅提升排水效率，污水處理廠的排水泵運行負荷也能隨之降低，進一步減少用電需求，有效減少排水系統的資源浪費與運行負擔（詳圖 21）。

此外，臭氣的防止還有助於降低室內空調和空氣淨化設備的運行頻率，進一步節約能源。特別是在高溫濕熱地區，這種節能效果更加明顯。

四、外牆空拍紅外線檢測

本工程採用了最先進的紅外線檢測空拍機進行加強檢測（詳圖 22），不同於傳統的紅外線檢測方法，結合空拍技術使檢測範圍更廣，且數據更加準確。

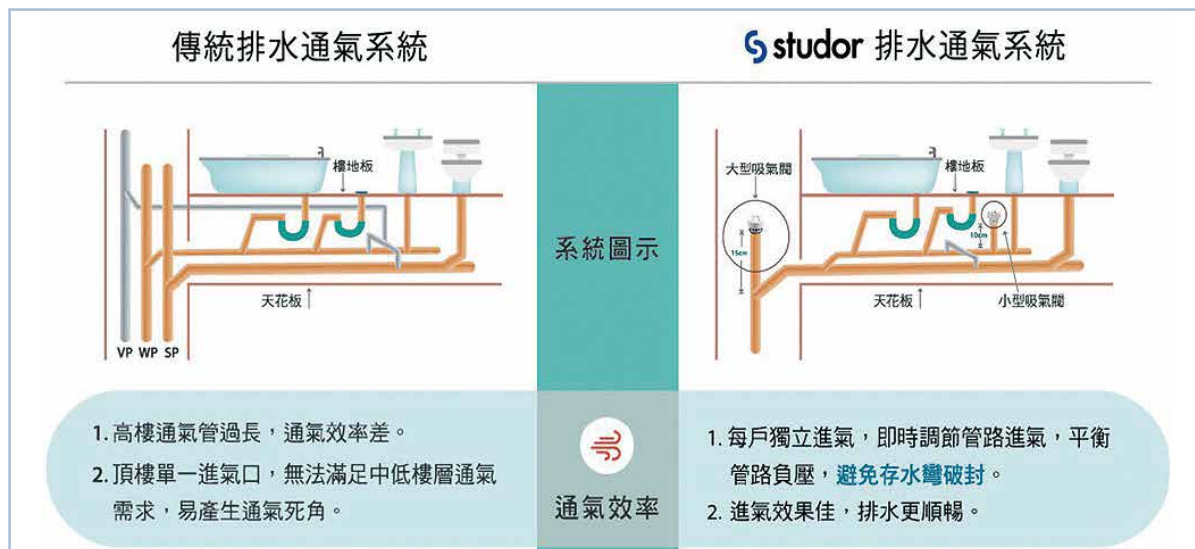


圖 20 排水通氣系統比較圖

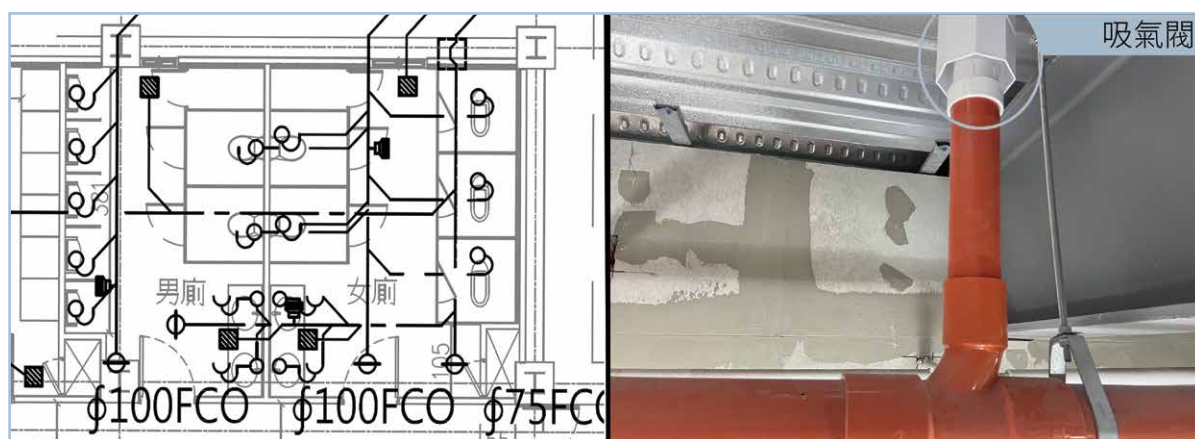


圖 21 武嶺營區吸氣閥裝設完成圖

(一) 優勢

透過全景拍攝和熱影像分析，快速掌握建築外牆可能存在的熱損失、裂縫或滲水問題，大幅提高問題檢測效率，也減少了人力成本。

(二) 人員安全保障

檢測過程中，人員無需進行高空作業，有效避免了因攀爬鷹架或高空設備操作帶來的安全風險，顯著提升作業安全性。

傳統戶外鷹架搭建涉及大量金屬、木材與機械設備的製造與運輸，而本案中利用紅外線空拍技術，完全免去其需求，從源頭上減少施工相關的碳排放。



圖 22 無人機示意圖

由於檢測數據精確，維修施工可以做到「精準拆補」，避免不必要的牆體拆除與浪費，實現資源的高效利用。

於圖 23 展示了紅外線空拍檢測的具體應用案例，通過顯示建築表面的熱分布圖，能清晰定位問題區域，如熱損失點與滲水風險點。應用範圍可在高層建築外牆檢測、屋頂隔熱狀況調查、防水層滲漏問題診斷等。

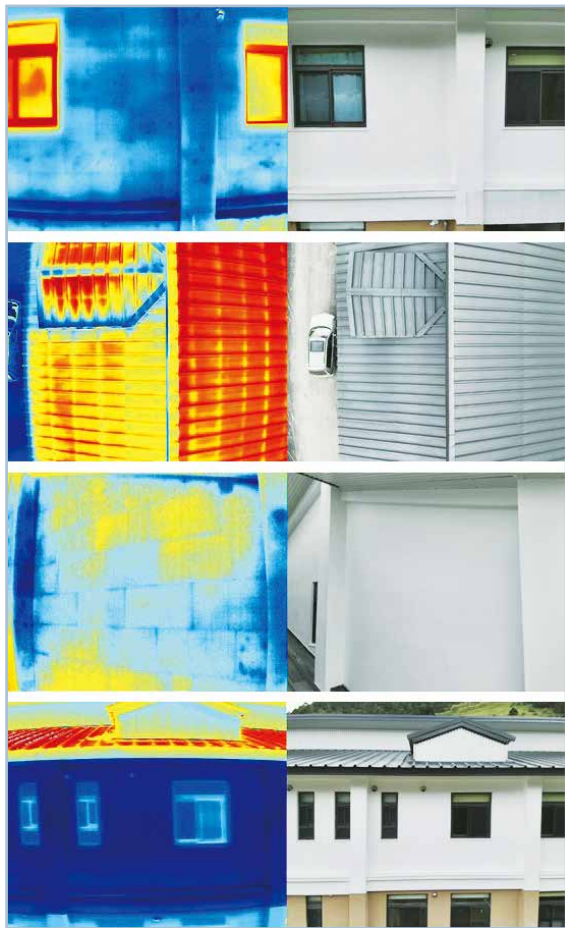


圖 23 現場紅外線檢測比較圖

而後續空拍檢測過程中所收集的數據可以存儲為可視化報告，便於後續工程追蹤與維護管理，此技術的應用，成功實現了高效、低成本、環保且安全的建築檢測與維修流程，展現了現代建築管理在科技與永續發展上的雙重進步。

參、烏日新榮和社會住宅

本工程位於烏日區新榮和段，基地面積 5,716.12m²，建築面積 2,854.78m²，為地上 14 層、地下 3 層之鋼筋混凝土建築。

近年來，中部地區因極端氣候造成水資源短缺，節電、護水與地基安全成為主要議題。此外，少子化導致勞動力不足，影響施工效率、安全與成本控制。因此，本工程採用智慧祛水節能智控系統，以有效管理地下水資源並達成循環再利用，同時運用組裝式系統模板施工，以應對缺工問題並降低建造成本。

一、智慧祛水節能智控

根據本工程鑽探資料，基地地下水位約 -5 ~ -5.3m，周邊排水路徑為深 70* 寬 40cm 矩形溝，經計算邊溝承容量充足且排水餘裕量可預防遭遇汛期或暴雨產生地表溢流情形，故規劃開挖期間地下水祛排水由邊溝排出，再由聯外水路流入烏溪。

實際挖掘顯示，地下水位約 -6.3m，地質為卵礫石層，透水性良好，最終挖掘深度達 -12.1m，依抽取地下水位涵蓋半徑約為 15m，理論降水坡度約為 70 度；由此推算以鑽掘 6 口 20HP、深度 22m 的抽水井，以達降水目標。因應抽水量大，響應環保政策，本案設置取水點以再利用地下水，並於地下結構施工期間回填劣質混凝土，以增加結構荷重、提升抗浮安全性並縮短抽水井使用期。

為優化抽水作業，本案引進「深開挖祛水節能智控系統」，詳圖 24、25，利用自動化控制精準監測地下水位，詳圖 26，避免過度抽水、降低耗電並減少碳排放，同時

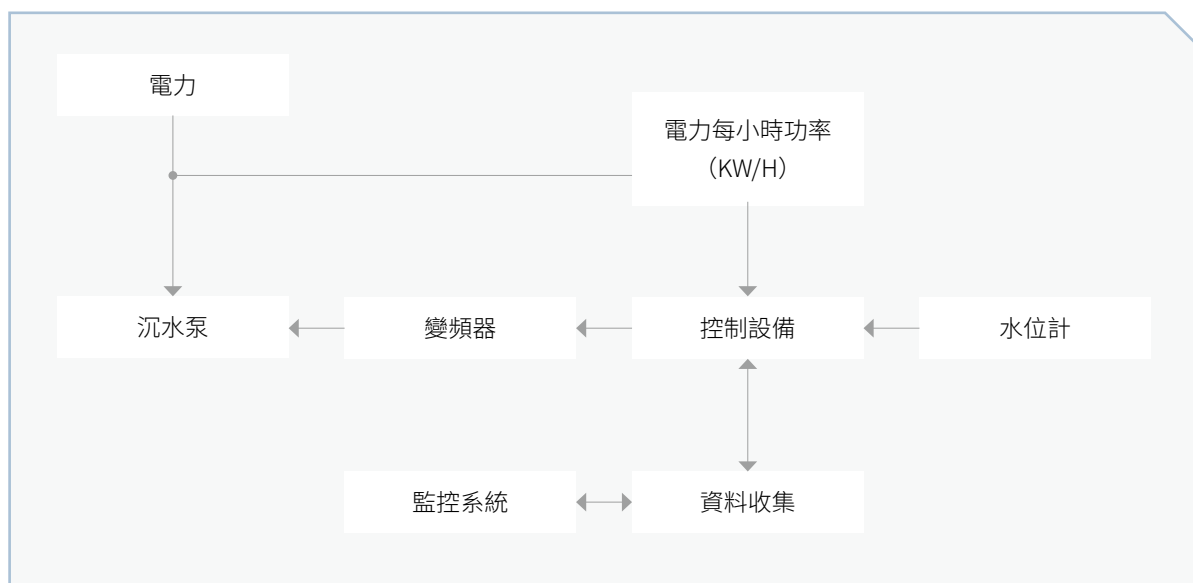


圖 24 祛水工程電力節能系統架構圖



圖 25 智能祛水節能設備

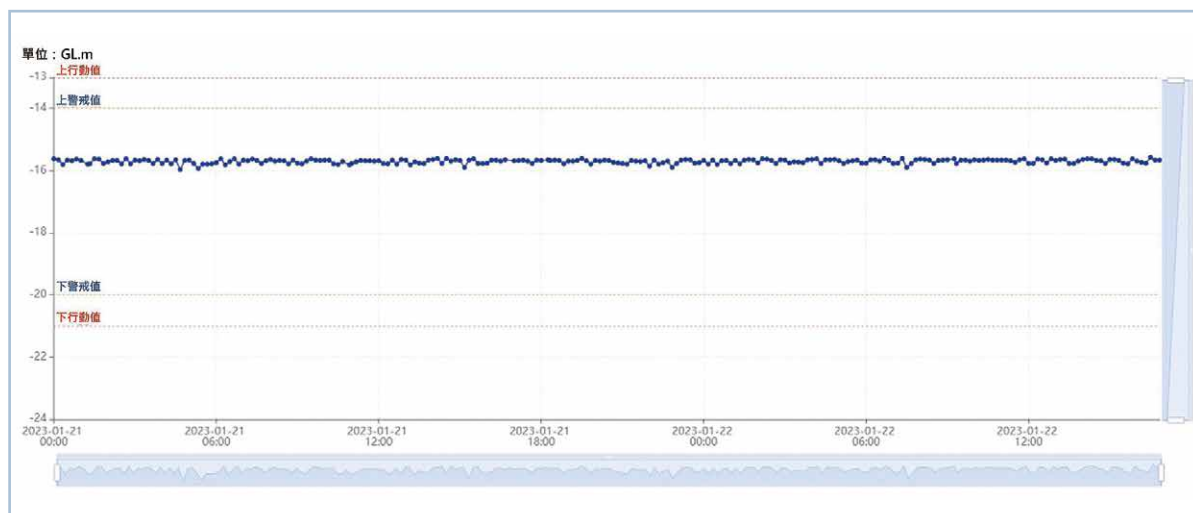


圖 26 雲端即時監視地下水面的高低變化

保護地層結構，減少地基沉陷風險。該系統亦能數位化監控工地，提高管理便利性與安全性。

系統自 2022 年 10 月 18 日啟用以來，累計節電 54,218 度，月均節能率約 25.02%，減少二氧化碳排放 27,597 公斤，並降低地下水抽取量約 10～15%，詳圖 27。



圖 27 節能統計

二、系統模板施工

因應高樓建築增加及環境保護需求，本案導入系統模板施工，以提升施工效率、降低環境負擔並確保結構安全。傳統模板施工受工人素質、作業規劃與材料堆放等因素影響，易造成施工效益低落、安全風險增加及成本上升。

系統模板具備輕量化、可重複使用、施工簡易等優勢，無需裁切或拔釘，減少廢棄物料產生。精準模板控制可降低混凝土打石與泥作需求，縮短工期。此外，舊損模板可回收再製，進一步降低材料成本。

本工程採用德國 RERI 公司的 DUO 系統模板及 GRIDFLEX 鋁格柵樓板支撐系統，以達結構合理化、建築輕量化及耐久性目標。

(一) DUO 系統模板適用條件及特點

牆模最高 5.4m，厚度 15～40cm，最大混凝土側壓力 50kN/m²，柱模最大側壓力 80kN/m²，樓板厚度可達 30cm，詳圖 28。

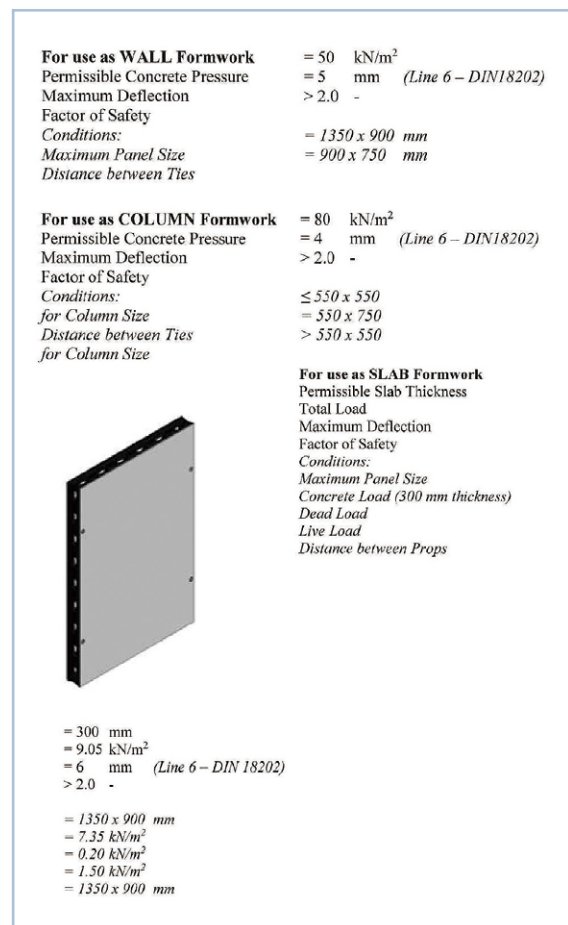


圖 28 系統模板基本結構資料

其主要構成單元如下詳圖 29 ～圖 31：

1. $H = 0.15\text{m}$

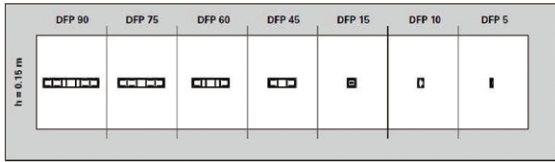


圖 29 $H = 0.15\text{m}$ 構成單元

2. $H = 0.6\text{m}$

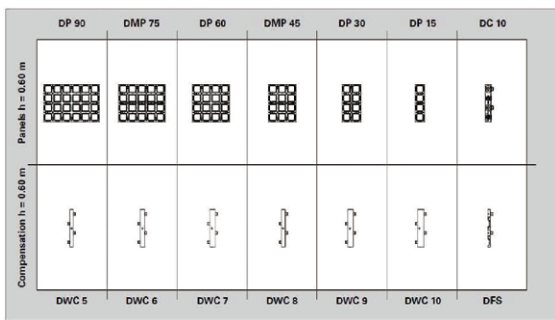


圖 30 $H = 0.6\text{m}$ 構成單元

3. $H = 1.35\text{m}$

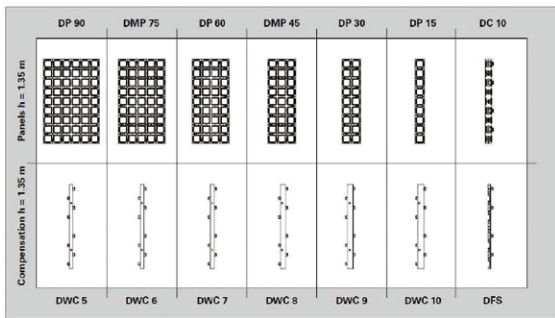


圖 31 $H = 1.35\text{m}$ 構成單元

DUO 模板特點如下：

1. 新型專利聚合物複合材料

重量輕 (20kg/m^2)、防水防腐、可 100% 回收，詳圖 32。

2. 多功能性

適用於牆體、樓板、柱模，提高施工效率，詳圖 33。

聚合物塗層維是生產 DUO 構件的原料。



圖 32 新型專利聚合物複合材料

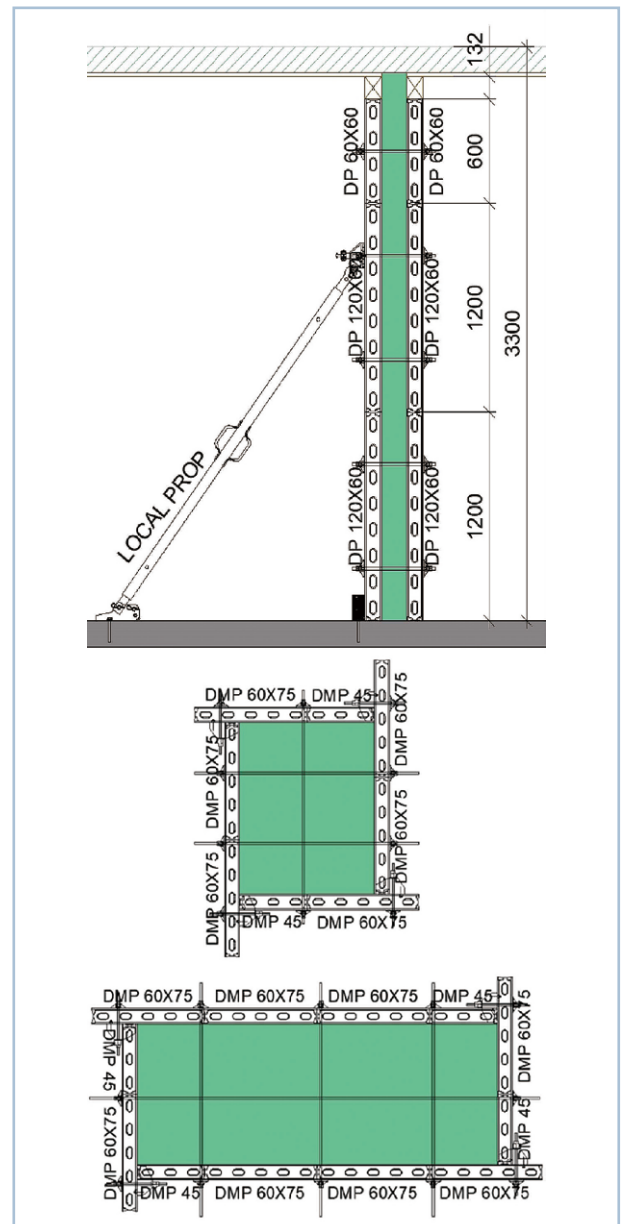


圖 33 模板規劃



圖 34 模板結合

3. 快速組裝

組件少、施工簡單，降低噪音污染，詳圖 34。

4. 無需起重機

適用於市中心建築工地。

5. 易維修、節省空間

可快速維修或更換模板，延長使用壽命，詳圖 35。



圖 35 快速維修快捷行整體更換

系統模板先組立單面模板。模板片間須調整平整度，並以鎖扣固定，確保平整度與防止水泥砂漿漏失。組立斜撐調整模板垂直度，鋼筋綁紮後須確認預留孔與機電配管完成，再進行封模。系統模板組立時模板緊結件之盤帽或葉片須確實覆蓋於板片交界處，且間距不得超過模板支撐結構計算書內之設計間距，緊結件須確實旋緊。其施工步驟如下：

1. 確認 DUO 系統模板鎖扣配置，詳圖 36。

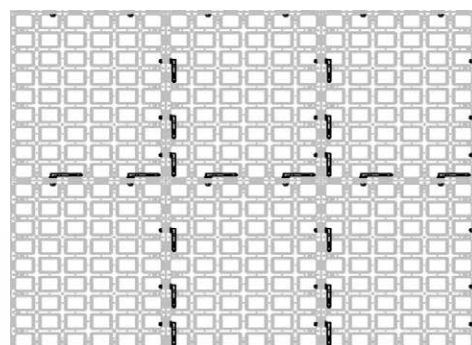


圖 36 鎖扣配置



2. 將鎖扣定位到槽孔詳圖 37

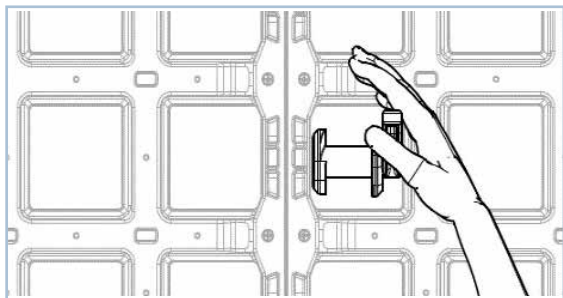


圖 37 定位到槽孔

3. 將鎖扣放入槽孔詳圖 38

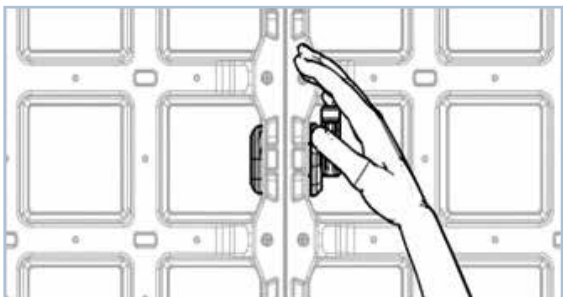


圖 38 放入槽孔

4. 將鎖扣選轉 90 度鎖實詳圖 39

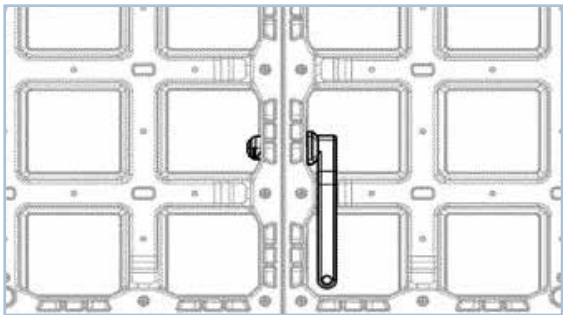


圖 39 鎖扣鎖實

5. 緊結件鎖固詳圖 40

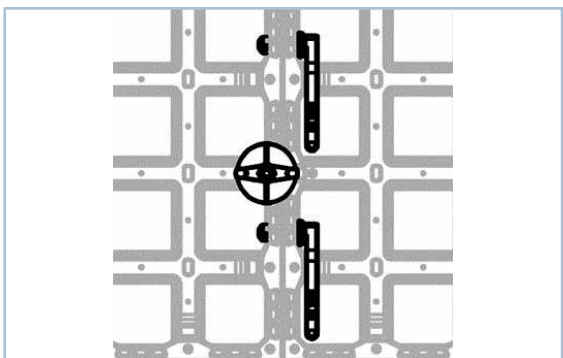


圖 40 緊結件鎖固

(二) GRIDFLEX 鋁格柵樓板支撐系統

GRIDFLEX 系統適用於住宅與多層建築，支撐樓板厚度可達 33cm，標準面板僅重 20kg，施工安全且高效。

特點如下：

1. 施工安全

透過旋轉安裝，工人可站在安全區域內作業。

2. 操作簡單

僅需標準面板與補償面板，即可完成組裝。

3. 快速填補區域

可靈活調整面板方向，適應不同施工需求。

垂直支撐採用鋼管支撐，鋼管支撐不得有任何彎曲、破損、或其他足以影響支撐強度之瑕疵。且支撐應垂直固立於堅實之基腳上，梁底模施作留適當之預拱量，避免結構體誤差超過施工規範要求。其施工步驟如下：

1. 將支撐頭安裝至鋼管支撐頂端，詳圖 41。

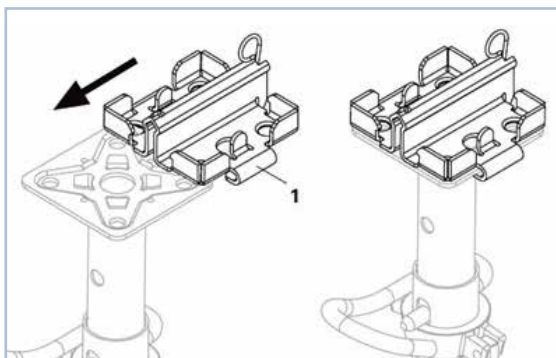


圖 41 支撐頭安裝

2. 以三角支架輔助鋼管支撐，將鋁格柵掛上支撐頭，詳圖 42。

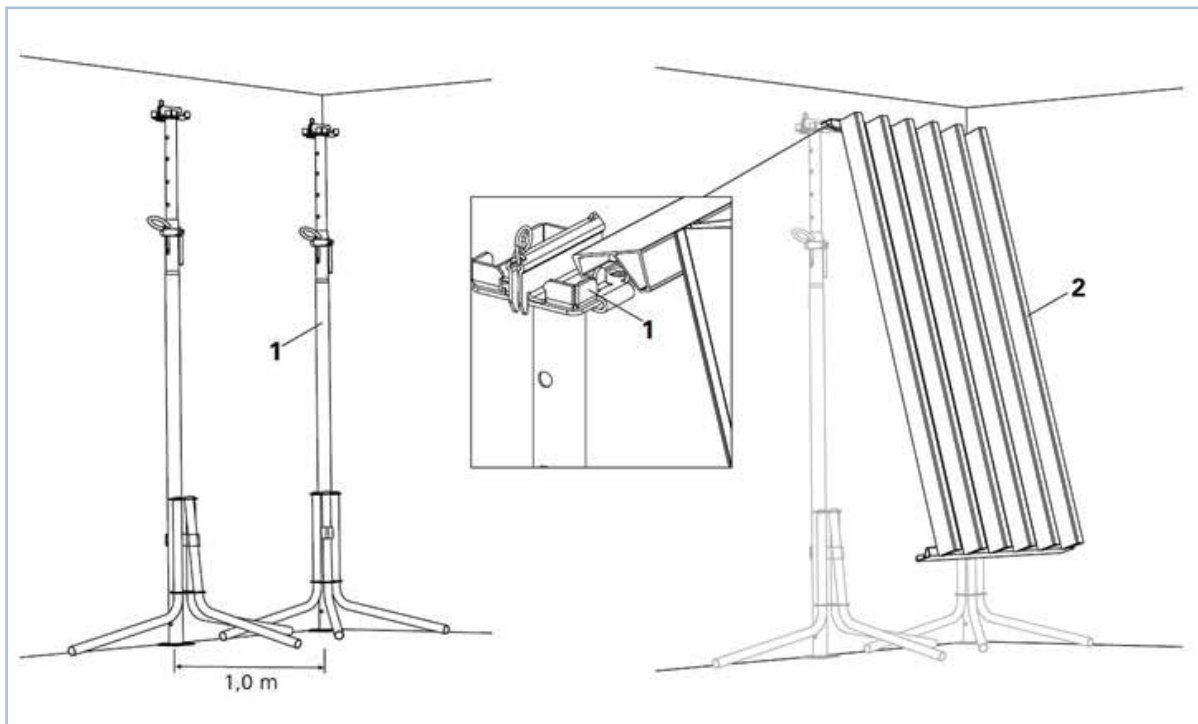


圖 42 鋁格柵掛上支撐頭

3. 使用輔助叉將鋁格柵旋轉 90 度，並立鋼管支撐固定，詳圖 43。

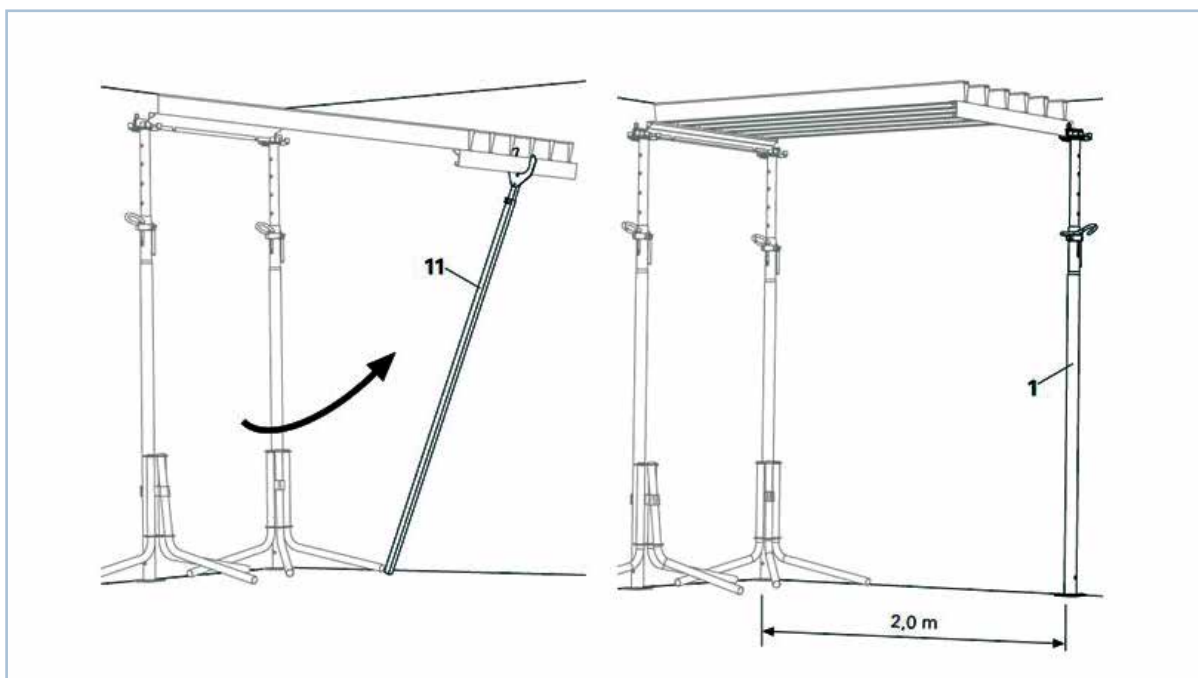


圖 43 旋轉並立支撐固定

4. 依順序完成其他鋁格柵板片之組立詳圖 44

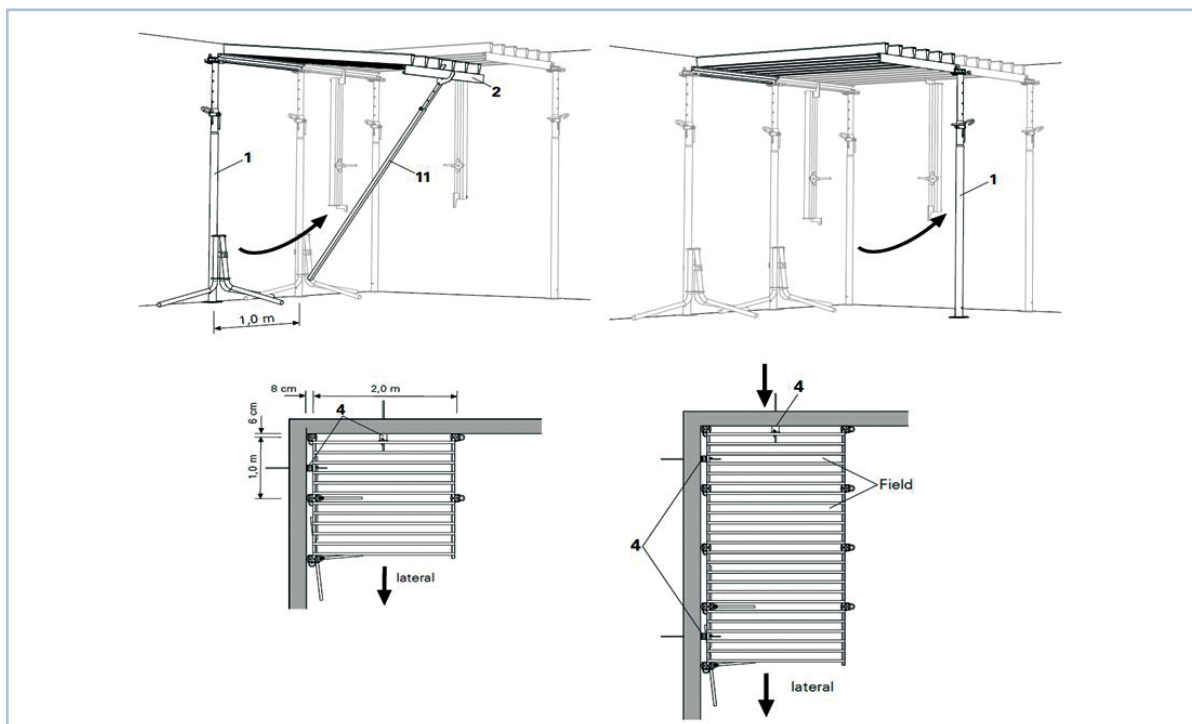


圖 44 完成組立

5. 組立鋁格柵之補償板片，完成滿鋪詳圖 45

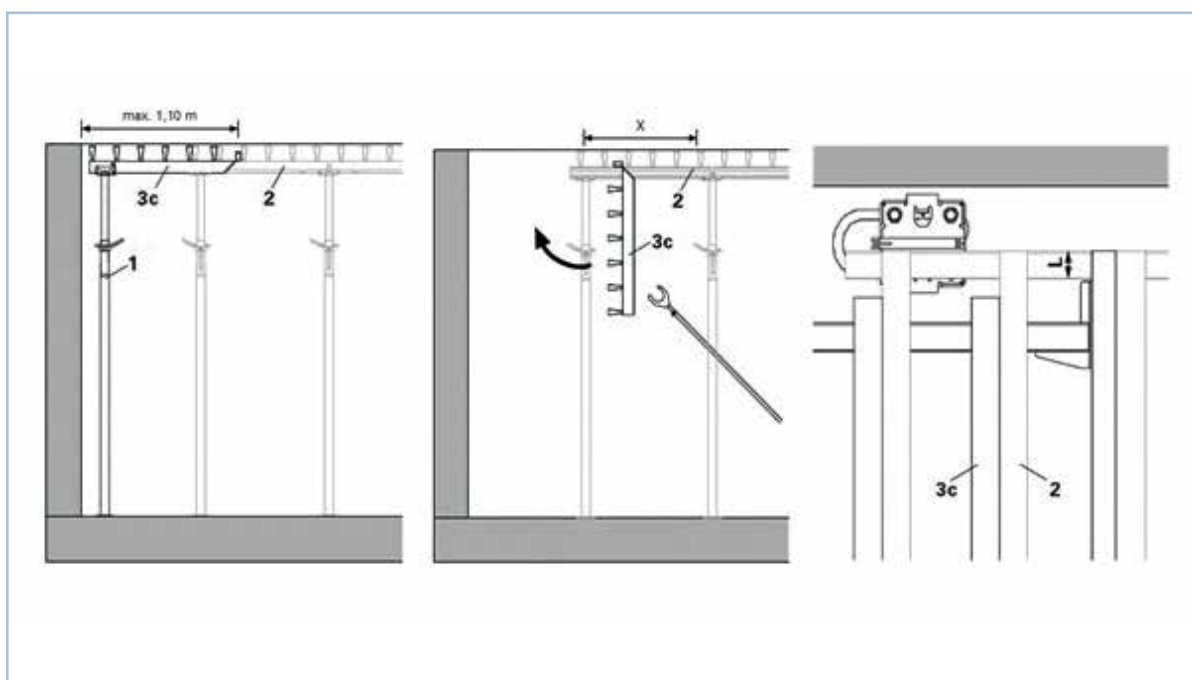


圖 45 鋁格柵補償板片

（三）使用成效

本工程採用 DUO 系統模板與 GRIDFLEX 鋁格柵樓板支撐系統，標準樓層組模速率為 12-20m²/天，較傳統 7-9m²/天提升約 1.7 ~ 2.2 倍；經評估柱牆（外模）組立縮短 4 天，柱牆（內模）封模縮短 3 天，梁板組模節省 7 天。

隨工程進行，標準樓層模板組立總費時約 14 ~ 16 天，較傳統模板施工，每樓層總工期可縮短 7 ~ 14 天，另採系統模板拆模後表面平整詳圖 46，得加速後續作業推展。此外，系統模板可重複使用，減少泥作作業及營建木材廢棄物，有效提升施工效率並減少環境影響。



圖 46 拆模後表面平整

肆、結論

智慧科技應用與建築物全生命週期的結合，代表了現代建築發展中對環境、能源和生活品質的深刻關注：使用 BIM 模型資訊系統整合建築物生命週期各階段之管理或以智慧祛水工法及系統模板提升施工效率、減少材料浪費、降低碳足跡；而面對不同環境及氣候條件妥善利用被動式設計或綠建材來進行降溫或保溫以減少建築

物對能源的需求，如集合住宅大面積開窗引入風來整體降溫，而在高海拔地區使用特定建材如康尼板及複層玻璃減少熱能損失。上述的各項應用使得建築在生命週期各階段不僅降低了碳排，還為使用者提供了更舒適、健康的居住環境，並為整體國家的永續發展奠定基礎，以實踐政府 2050 淨零碳排之目標。

ESG 導向與智慧科技防制運用 連結 2050 淨零共利減污—— 以亞灣智慧公宅（第一期） 新建統包工程為例

關鍵詞 Keywords

環境、社會及治理 Environmental, social, and governance (ESG)

淨零 Net Zero

淨零排放 Net Zero Emissions

空氣污染防治 Air Pollution Control

**台灣世曦工程顧問股份有限公司
高雄工程處**

資深協理

莊明哲

業務經理

洪偉傑

專案副理

蔡濬宇

監造主任

陳壯梁

正工程師

謝佳陵

**永青營造工程股份有限公司
南一工程處**

工程處長

陳其豐

元科科技股份有限公司

副理

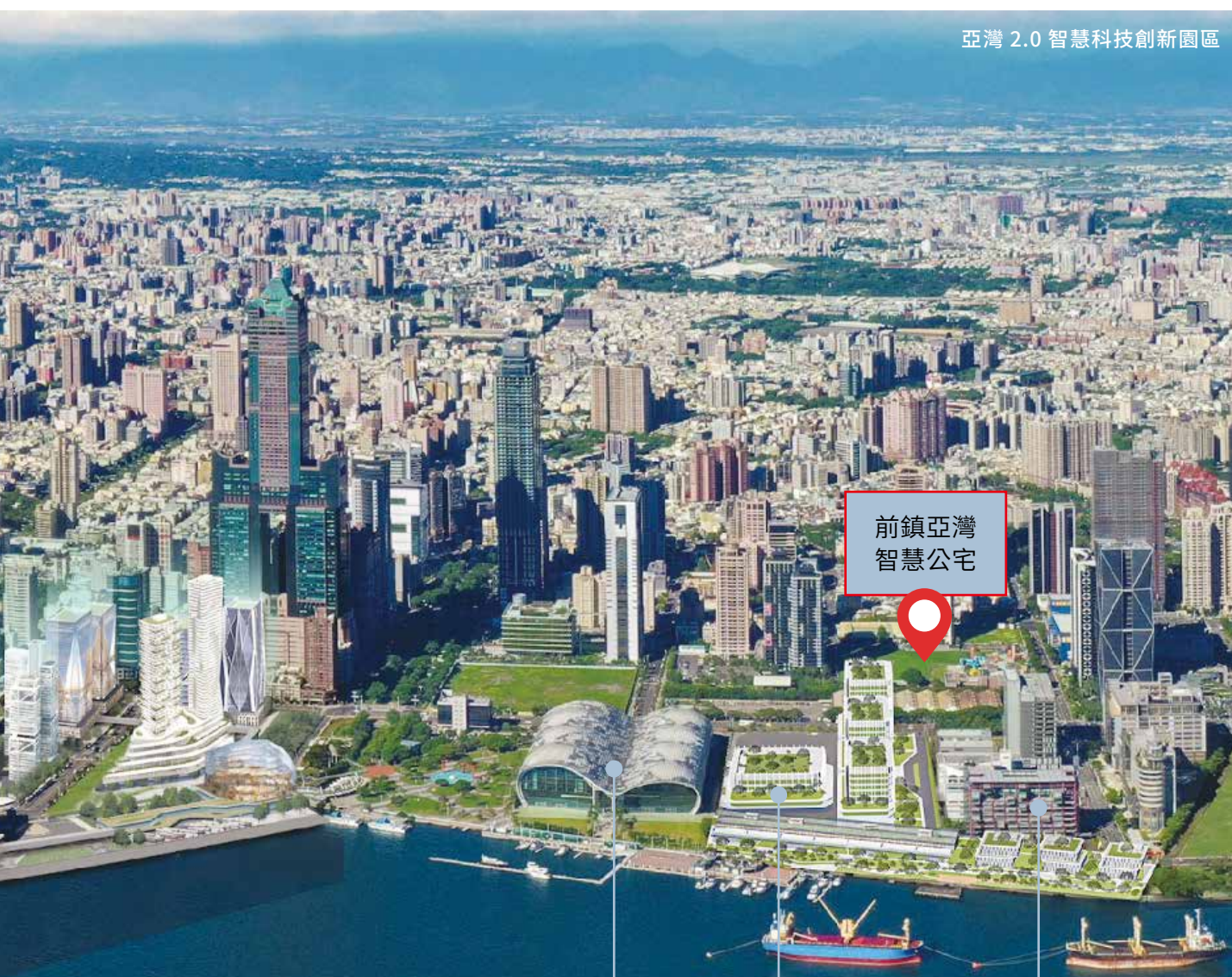
謝濤帆



5G 互動娛樂實驗場域
高雄電競館

5G 國門示範場域
高雄港埠旅運中心

因應行政院「2050 淨零政策」、環境部「113 ～ 116 年空氣污染防制方案」以及高雄市政府陳市長政策推動「空污防治」及「智慧城市」，由高雄市政府環保局輔導、高雄市都市發展局、專管監造團隊與統包廠商團隊共同成立亞灣智宅永續小組。為達成「營建逸散減量及智能管理」目標，本工程建構 ESG（環境永續、企業責任、工地治理）三面向與智慧科技防制運用，妥善管制空氣、噪音、水、廢棄物、碳管理等各項環保事務，將智慧科技設備結合自主查核與監督機制，讓本工程榮獲 112 年及 113 年高市環保優良工地獎項、113 年環境部好空氣優良行動公共工程類銀獎之肯定。



亞灣 2.0 智慧科技創新園區

前鎮亞灣
智慧公宅

底圖來源：高雄市政府經濟發展局

5G 會展示範場域
高雄展覽館5G AIOT 產業聚落
軟科二期5G 軟體科技應用場域
高雄軟體園區

壹、前言

應行政院「2050 淨零政策」、環境部「113～116 年空氣污染防制方案」，高雄市陳其邁市長推動政策「四大優先—產業轉型、就業機會、交通建設、空污防治」及「智慧城市」亦為高雄市邁向淨零減碳的重要路徑，亞灣智慧公宅（第一期）以其中「空污防治」與「智慧城市」為辦理重點，並將 ESG 納入統包工程需求書之計畫目標，期許本案能成為推動營建空污防制的典範與智慧城市淨零減碳的指標，達成智慧城市治理與願景（圖 1）。



圖 1 智慧城市治理與願景

貳、亞灣智慧公宅（第一期）概述

一、計畫概要

高雄市政府為實踐居住正義、配合國家推動 8 年 20 萬戶社會住宅政策目標，以平衡區域發展、大眾運輸導向、因應產業需求等作為選址策略，擇定前鎮區獅甲段二小段 580、586 地號興辦前鎮亞灣智慧公宅計畫，約可提供 1,600 餘戶，以因應 5G、AIoT 創新園區發展的居住需求。

本計畫配合推動「以人為本」的 5G AIoT 智慧住宅應用與規範，滿足產業發展與住居需求，提供有租屋需求的民眾居住，並結合社福設施，如托嬰中心、幼兒園、日間照顧社區、照顧關懷據點、社區全齡運動中心，讓老幼均能獲得妥善照顧。

二、工程概要

高雄市前鎮亞灣智慧公宅位於亞洲新灣區（高雄多功能經貿園區），基地臨啟聖街與修成南街交叉口（圖 2、3），本案為第一期（580 地號）開發面積 8,960 m²，由高雄市政府都市發展局採統包工程方式發包興建。

工程規模為 1 幢、地下 2 層、3 棟地上 14 層（R.C）、1 棟地上 1 層（S.R.C），總樓地板面積：58,657m²（圖 4、5）。

本案設置社福設施等空間外，其餘樓層配置住宅 634 戶（1 房：2 房：3 房=475:147:12），以實現社會住宅作為更多元、公益性之使用目標。



圖 2 亞洲新灣區計畫圖



圖 3 基地區位空拍圖



圖 4 配置模擬圖



圖 5 BIM 截圖

參、亞灣智慧公宅 ESG 科技化減污、減碳之辦理情形

環境部頒布「空氣污染防制方案（113 年至 116 年）」，作為防制上位政策，內容包含結合淨零排放路徑之能源、產業、生活轉型等，並搭配綠運輸及循環經濟推動改善，環境部等九大部會與國營事業共同合作，打破傳統固定源、移動源、逸散源面向思考，改以專案管理方式，由中央與地方政府合作推動八大面向 37 項管制策略（圖 6），其面向 3「建構跨部會專案管理」之第 3 項管制策略「營建逸散減量及智能管理」為本工程之依循要點。

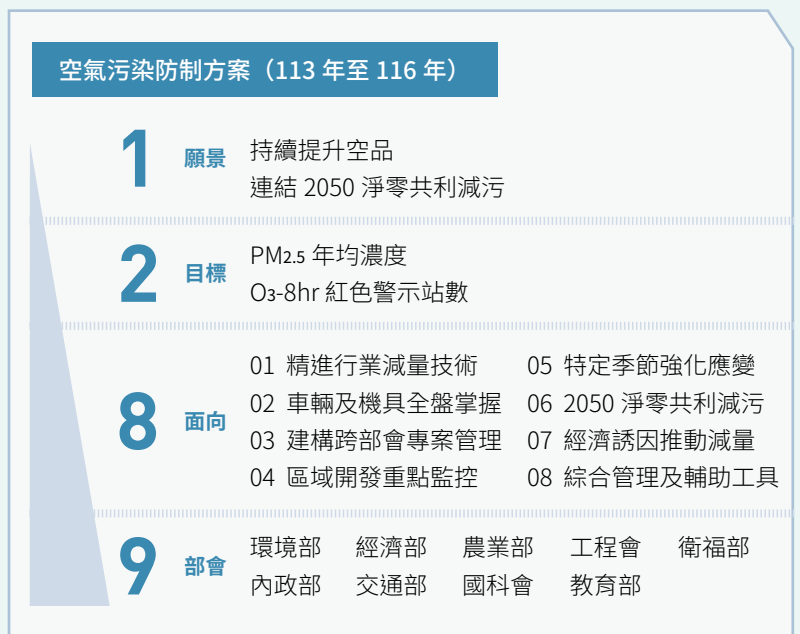


圖 6 環境部空氣污染防制方案（參考：環境部官網）

為達成「營建逸散減量及智能管理」目標，本工程建置 ESG 三面向，E 代表環境保護 (Environmental)、S 代表社會責任 (Social)、G 代表公司治理 (Governance)，對象以本工程為主體，即工地治理，相關辦理情形說明如下：

一、E 環境永續

(一) 營建管辦

1. 工地工程告示牌

載明營建工程空氣污染防治費徵收管制編號、工地負責人姓名、電話及當地環保機關公害檢舉電話號碼 (圖 7)。

【告示牌】

工程告示牌
設置在啟聖街西北側

營建工程空污費徵收管制編號：
E112E91011-1

工地負責人：林登維
工地負責人電話：0903539908

當地環保機關公害檢舉電話號碼：
(07)7317600(高雄市環保局報案中心)
高雄萬事通：1999(高雄市政府報案中心)

圖 7 工地工程告示牌

2. 工地周界圍籬

本工程屬於高雄市粒狀物三級管制區與第一級營建工程，採用高度 2.4 公尺全阻隔式圍籬並設置防溢座 (圖 8)；於啟聖街及修成南街轉角處設置半阻隔式圍籬，其上方網狀處增加透明帆布達安全視角亦加強空污防制成效；另本工程基地北側修成南街經評估臨住宅大樓，增加隔音帆布圍籬高度 1.5 公尺。

施工區部分新增綠圍籬 (圖 9) 及水圍籬 (搭配智慧電箱聯動噴水霧系統) 進行噴水霧作業 (圖 10) 防制措施，以提高空污防制效果。

3. 工地車行路徑

本工程設計規劃參考環境部「營建工程空氣污染防治設施管理辦法執行手冊」，車行路徑 100% 採硬鋪面，避免裸露地揚塵，需考量施工過程因破碎產生粉塵逸散導致污染情事發生，構造採點焊鋼絲網及混凝土鋪設 (圖 11)，其強度 $\geq 140\text{kg/cm}^2$ 、厚度 $\geq 100\text{mm}$ 以符合抗壓抗損強度，並對路徑進行灑掃與維護，另於部分路徑增設固定型霧砲機加強抑制揚塵，提升防制效果 (圖 12)。



圖 8 工地周界圍籬



圖 9 綠圍籬



圖 10 水圍籬噴水霧模式



圖 11 車行路徑 100% 混凝土鋪面



圖 12 固定型霧砲機抑制揚塵

4. 智能洗車台運用

本工程規劃依「營建工程空氣污染防制設施管理辦法執行手冊」及「環境保護局標準洗車台設計圖說」，設計採平面式鋼板震動洗車台（圖 13）、廢水收集坑與沉砂池（圖

14）、搭配建置智能洗台車系統，以供駕駛員依紅綠燈指示進行洗車與放行；若駕駛員未依指示完成洗車，智能系統將自動拍照並推播通知管理人員，進行追蹤改善措施。



標準洗車台設計圖說明

新設置洗車台告示牌

圖 13 智能洗車台跳動鋼板式



圖 14 沉砂池／廢水收集坑

5. 結構體施工規劃與措施

依「營建工程空氣污染防治設施管理辦法」規定，營建工程進行期間，應於結構體上或施工架外緣設置可抑制粉塵設施之一：(1) 防塵網、(2) 防塵布、(3) 自動灑水設備，灑水範圍應涵蓋結構體。鑑此，本工程對於地下與地上結構體，分別研擬作法如下：

(1) 地下結構體

- a. 未開挖區域覆蓋防塵布。
- b. 土方車輛運輸時覆蓋防塵網（圖 15）。
- c. 開挖區域達工作高度後，開口設置防塵帆布（圖 16），可引導音源同時具有空污防制效果。



圖 15 土方運輸覆蓋防塵網



圖 16 開口設置防塵帆布

(2) 地上結構體

規劃於地上結構體 1 至 14 樓施工架外側採防塵（布）網（圖 17），並規劃採用高雄獨創塔吊噴淋系統（圖 18- 高雄市政府環保局提供），納入營建管辦執行。



圖 17 設置防塵網(布)抑制粉塵



圖 18 塔吊設置噴淋系統

(二) 噪音防制管理

本案基地西側有敏感受體「高雄市成功特殊學校」，東側緊靠住宅「一品花園」、南側為公園與中鋼大樓、北側為住宅「大船入港」與「百立帝堡社區」，基地位屬噪音第三級管制區域且距離學校 50 公尺內，噪音標準限值需再降低 5dB 為日間 67dB、晚間 62dB。本工程施工時間為早上 8 點至

下午 5 點，中午 12 點至下午 1 點為休息時間，加班時間最晚不超過晚上 10 點（灌漿澆置作業需連貫，屆時依規定至環保局進行夜間作業申請）。

工地施工階段噪音防制作為：

1. 立體式隔音帆布於圍籬上+ 150cm 總高度 390cm（圖 19）—各施工階段
2. 連續壁及開挖採用低噪音施工機具施工—基礎工程階段
3. 灌漿作業—移動隔音屏（圖 20）—結構體施工階段
4. 平面式折音帆布（圖 21）—基礎、地下結構體階段
5. 噪音監控系統（圖 22）—戶外顯示面板、即時監控顯示

工地首創平面式帆布防制工法，此工法主要並非降低噪音分貝，而是透過阻體折射改變音源方向，將音源盡量引導到較空曠處，避免影響到住宅與學校作息。

（三）科技化污染管理—智慧工地

本工程建置智能樣態工地管理系統，包含如環境監控、AI 揚塵辨識、智能洗車台、機具怠速監控、查核數位化、人員出勤監控等含跨環保與職安各類系統（圖 23）。

延伸智慧電箱智能排程功能，運用於工務所能源管理，設定非 24 小時運轉設備關閉時間，減少不必要的電力耗費，達到節能減碳的功效，並以「環境污染」及「環境預報」作為啟動模式。



圖 19 圍籬上加裝隔音帆布



圖 20 移動隔音屏降低 5 dB



圖 21 平面式折音帆布



圖 22 噪音量管制顯示板

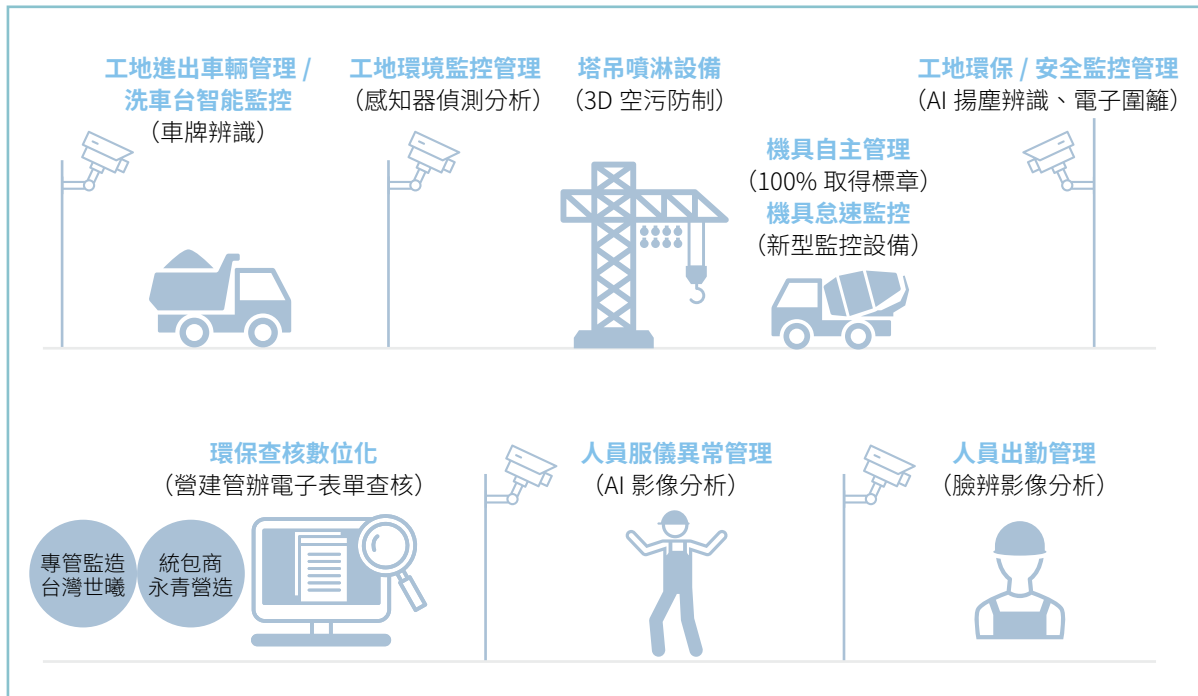


圖 23 各類智能樣態管理系統

本案所使用數位平台涵蓋職安與環保二方面，本文就環保科技化智能系統，簡要說明：

1. 即時監測

全自動模式環境感測器監控 PM2.5、PM10、噪音、溫度、濕度、熱危害，當監控數值達設定值，隨即透過 LINE 群組通報。監測數值係參考環境部 AQI 指數橙色數值與營建工地噪音管制再降 10% 訂定。PM2.5 設定 32、PM10 設定 90、噪音設定 56dB 且連續 2 分鐘、溫度設定 35 度或熱危害三級等執行示警設定（圖 24）。依營建空污新制有效降低懸浮微粒 PM 的管制 24hr 平均值標準不會對人體健康造成影響，使本工程能達預期效益及善盡社會責任，避免環境空品惡化。

2. 聯動噴霧－智慧電箱

透過連結各項噴水霧設備（圖 25），如圍籬噴霧系統、霧砲機以及後續設置的塔吊噴淋系統。防制措施連結智慧電箱後可成為智慧設備，將環境微感器聯動噴霧設施進行噴水霧，同時智慧電箱之智能排程可因應工地安全與碳管理作動。

3. 環境影像系統

環境影像系統即為 CCTV，透過環境感測器連結環境影像系統，進行智能管控的模式（圖 26）。當環境感測器監測到高值時，環境影像系統隨即將該時段區間影片擷取存於後台，進行事件檢討管理使用。

4. 智能洗車台

此功能於（一）營建管辦說明，不重複贅述。



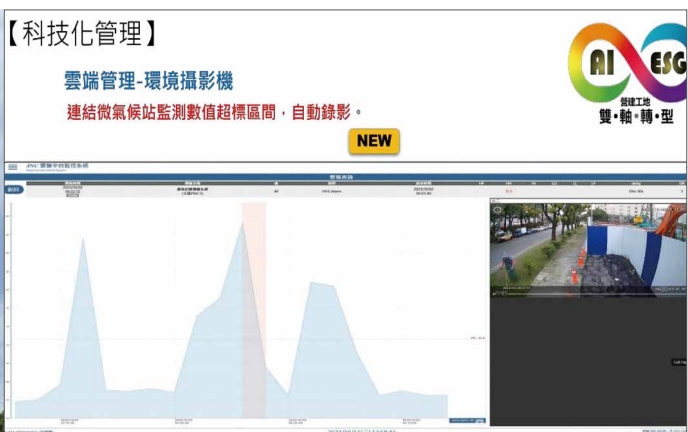
圖 24 即時監測系統畫面



圖 25 空氣品質監測低於設定警報值，水圍籬自動灑水



圖 26 環保科技化環境感測器及雲端監視設備



(四) 碳管理

臺灣「2050 年溫室氣體淨零排放」宣示後，於 2022 年 3 月公布「2050 淨零排放路徑及策略總說明」，強調政府將透過科技研發及氣候法制兩大基礎，逐步推動能源、產業、生活、社會等轉型策略及十二項關鍵戰略，2022 年 2 月 15 日布達「氣候變遷因應法」，更明訂「國家溫室氣體長期減量目標為中華民國 139 年溫室氣體淨零排放」。

2018 年 8 月公告「ISO14067:2018」制定碳足跡量化方式，以 CO₂e 作單位計算，

讓溫室氣體生命週期，包含原料、製造、運輸、使用與處置／回收等階段之排放情況完整被量化紀錄。ISO14067 可有效找出各階段溫室氣體排放熱點，更可優先評估減碳項目與減碳潛力。然而，受限於營造產業特性，每建案規模、工法、業主選材、建案期程皆相差甚異，且不同於其它製造業或服務業為固定地點、人員、設備、產線進行重複性生產或勞務之提供，營建工程屬「一次性」特殊產品，受地形、地質、開發單位、專管監造單位、統包商、資源、環境與天候等多重因素影響，不易將營建工程納入溫室氣體排放計

算，本工程為克服上述問題，積極嘗試執行下列碳管理作業。

1. 建築物碳足跡

公共工程領域尚未具體規範，本工程前於 2023 年進行內部討論與評估，2024 年 1 月進行亞灣智宅碳足跡會前會，討論作業模式與資料提供模式，確認依據環境部建築物 PCR 進行碳足跡作業，碳足跡盤查邊界範圍分為：「工地辦公處所」、「施工工地現場」

(1) 排放源鑑別及活動數據蒐集

組織型溫室氣體盤查應界定邊界、排放源鑑別、排放量量化、數據品質管理、不確定性量化評估、文件化與紀錄等步驟；以工地辦公處所為例，所需盤查資訊統整如表 1。

表 1 盤查資訊統整

活動 / 設施	排放源	排放源類別
運輸作業車輛	汽油	1. 直接溫室氣體排放和移除
其它未歸類設施	外購電力	2. 輸入能源的間接溫室氣體排放
	間接電力	4. 使用產品的間接溫室氣體排放
	自來水	4. 使用產品的間接溫室氣體排放

表 2 碳排放量總表

盤查範圍	活動 / 設施	排放源	類別	碳排放量 (kgCO ₂ e)
工務所	運輸作業車輛	汽油	類別 1	2,337.9708
	其它未歸類設施	外購電力	類別 2	47,580.3900
		間接電力	類別 4	9,352.6706
	用水	自來水	類別 4	445.4960
	合計			59,7527.527

(2) 排放係數引用與計算階段

為完整推估工地辦公處所碳排放量，故須量化為二氧化碳排放當量 (CO₂e)。

因現階段依循 ISO14064-1:2018 標準，故類別 1 及類別 2 係數引用主要參考環境部及能源署公告資料，下階段碳足跡盤查時則需改用全生命週期的碳足跡係數。

重要項目計算方法說明如下，並可視現場情況調整。

a. 溫室氣體排放量 = 活動數據 × 排放係數 × GWP 值

• GWP 值依 IPCC 第六次評估報告 (Sixth Assessment Report, AR6) 公告之數值，如 CO₂：1、CH₄：27.9、N₂O：273 等。

b. 車用汽油（移動源）溫室氣體排放量 = 車汽油使用量 × 車汽油排放係數 × GWP 值

c. 外購電力溫室氣體排放量 = 用電度數 × 電力排碳係數

- 外購電力之排碳係數引用經濟部能源署公告 111 年度電力排碳係數 0.495 公斤 CO₂e/ 度。

- 電力活動數據蒐集日期需確保涵蓋整個施工階段的工程期間至竣工，需提供相關佐證資料，並隨實際施工工期調整。

d. 外購電力產生的間接溫室氣體排放量 = 用電度數 × 電力間接碳足跡係數

- 外購電力間接溫室氣體排放之排碳係數引用產品碳足跡資訊網公告 110 年度電力間接碳足跡係數 0.0973 公斤 CO₂e/ 度。

e. 自來水使用碳排放量 = 自來水使用量 × 自來水碳足跡係數

- 外購自來水之排碳係數引用產品碳足跡資訊網公告之 109 年度臺灣自來水碳足跡係數 0.233 公斤 CO₂e/m³。

經階段性成果本工程開工截至 2024 年止，工地辦公處所之溫室氣體排放量約為 59.72tonCO₂e，參照表 2 碳排放量總表。

2. 本工程其它碳減量作為

(1) DECK 低碳工法

本工程採 DECK 工法施作樓板層作業，考量傳統板模工法完成後需拆除模板，耗人時又增加板模廢棄物，採 DECK 工法本工程相較傳統板模工法（圖 27），預計減少木

板模拆模工時至少 128 小時，減少約 2,009 公噸廢棄板模，減少運輸板模廢棄物運輸車輛，評估減少約 725.674 公噸碳排放。

(2) 工務所節能設備

工務所及會議室建材可重覆使用，全面採用 LED 燈、節能標章冰箱、冷氣，並利用智慧電箱智能排程功能，將除了主機系統（如 CCTV、雲端系統）需持續運作設備，餘均可設定凌晨切斷電源，隔日七點恢復。

(3) 調整建材運輸路線

建材採購運送地點，選擇本工程所在縣市為優先，例如鋼材採購選用高雄市區海光鋼鐵，水泥選用國產、環球水泥，土方與營建混合物運輸地均選擇本工程所在為優先。



圖 27 平頂模板改用 (DECK) 及施工說明研討會議

(4) 建置智慧進場貨櫃

工地人員進場處為再利用貨櫃，人員進入工地透過 AI 智能管控系統，記錄工人施工時間，櫃體上方建置太陽能供電系統，提供 AI 智能管控系統電源使用。

(5) 智能工區設備

本工程採用多種智能設備，包含感測器聯動、AI 辨識聯動、空品站聯動、人員車輛管控，各項聯動以 LINE 托播進行警示。

(6) 建置智慧水質監控系統

本工程透過智慧水質監控系統，進行生態池即時監控水質中水溫、DO、PH，各項監控項目達預警值，以 LINE 托播進行警示。

(7) 建置智能洗車台

為維護本工程出入口整潔之跳動路面型洗車台；協力廠商若不遵照施工計畫之車輛進出管理要求規定者（如洗車秒數、不經洗車台出工區），透過監控系統將違規車輛畫面以 LINE 推播模式即時告警，減少管理人耗。

(8) 建置施工機具智能怠速監控

施工機具怠速問題，以創新作為進行監控，其原理係施工機具啟動後，機體會產生震動，特過震動感測器判斷低速運行（怠速）或高速運行（操作）或是停止狀態，精準判定施工機具為怠速／操作中／停止三種樣態與操作時間，管控施工機具怠速減少碳排。

(9) 建置自主查核數位化

本工程自主查核營建管辦，以數位化形式進行無紙化查核，減少紙張用量減碳。

(10) 資源循環

資源循環概念，貨櫃再利用改裝成「貨櫃員工休憩區」圖 28、「AI 及太陽能板貨櫃通道」圖 29、「氧氣乙炔放置貨櫃」圖 30，另利用廢棄與剩餘材料組成休憩區裝設（圖 31）。



圖 28 貨櫃員工休憩區

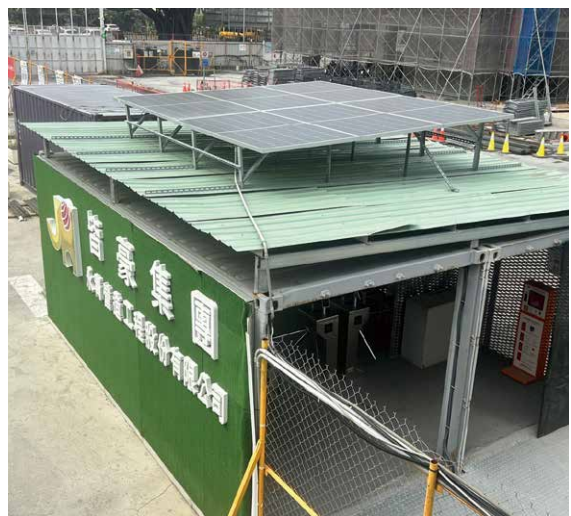


圖 29 AI 及太陽能板貨櫃通道



圖 30 氧氣乙炔放置貨櫃



圖 31 剩餘材料組成休憩區

二、S 企業責任

(一) 社區回饋—高雄市立成功特殊教育學校

高雄市成功特殊教育學校與本工區毗鄰，為降低鄰里志工清掃負擔與增加生活環境品質，本工程於 2024 年 6 月 26 日於都發局常宏志副處長、建隆里林得祿里長及台灣世曦高工處莊明哲資深協理共同見證，簽訂通學人行道 3 年認養合作協議書（圖 32）協助特殊教育學校周邊清潔，2024 年期間 7 月（凱米）及 10 月（山陀兒）颱風重創後，團隊也立即協助特殊學校復舊與環境整理等，並獲特殊教育學校楊校長頒發感謝狀。



圖 32 簽訂通學人行道 3 年認養合作協議書

(二) 環境教育

邀請高雄市環境教育人員協會鄭前理事長裕財擔任講師，曾擔任高市環保局環教基金審議委員、環保基金委員及環境部淨零綠生活種子講師。亞灣智慧公宅透過 ESG 概念進行工地文化改變，特別以環境教育模式規劃特教生課材，另於 2024 年 4 月 12 日進行以空氣為主題的課程講習。

(三) 認養作業

本工程認養啟聖街 187 公尺及修成南街 133 公尺進行道路認養（圖 33）及南側復興三路之公園地，執行養護與除草相關作業（圖 34）。





圖 33 道路認養灑水作業

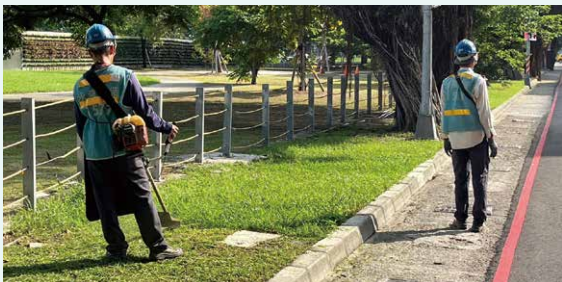


圖 34 執行公園養護與除草

三、G 工地治理

(一) 自主管理

1. 契約文件納入空氣污染防制設施規範及經費量化編列情形

本工程參考「行政院公共工程委員會之施工規範綱要第 01572 章環境保護」，納入工程施工規範內，據依「加強公共工程空氣污染及噪音防制管理要點」，以按圖說設置空污與噪音設施，並規範廠商環保經費編列與項目施作。

2. 契約文件納入監督查核空氣污染防制事項

工程契約附錄一環境保護執行計畫，總則已詳列本工程監造單位應依據「加強公共工程空氣污染及噪音防制管理要點」及「營建工程空氣污染防制管理辦法」訂定監督規範。監造單位據以於監造計畫第 11 章要求環境保護事項，內容涵蓋空氣污染及噪音管制等相關要求，作為主軸去延伸相關管制規定及進行監督查核機制。

3. 空品不良期自主作業規劃

監督與施工之自主查核頻率，係配合地方政府空氣品質不良時期進行設計，提升空品不良期間之查核頻率。

4 至 9 月空品較佳時期：督察頻率為每月至少 1 次，施工單位自主查核至少每雙週 1 次。

10 至 3 月空品不良期：督察頻率為每雙週至少 1 次，施工單位自主查核至少每週 1 次。

4. 自主查核數位化

本工程需進行監督與施工自主查核營建管辦，考量減碳作為規劃查核改以數位化進行無紙化查核。

(二) 空品應變

依據高雄市政府環保局資料，本工程非高雄市營建工地粒狀物排放量達前 30 大工程，惟考量工程周邊鄰里環境負荷，自主配合進行空品應變作業，進行相對應的空品應變作業。設置環保專責人員、環境即時通 App，設定即時告警通知，依據「環境部 AQI 指數」與「高雄市區域空氣品質惡化防制措施」，進行空氣品質惡化相對應之應變作業，如加強工程周邊認養道路洗掃降塵作業。

肆、亞灣智慧公宅未來 2 年永續發展工作規劃

一、提升防制設備

(一) 結構體階段 - 空污防制塔吊噴淋

高雄市獨創塔吊噴淋降塵系統（圖 18）係利用水泵、噴頭等裝置，依附房屋建築類別常見設備塔吊，通過起重臂旋轉使加壓水霧從

高空噴灑至工地，由平面到立體有效擴大噴淋範圍，成為全新 3D 空氣污染防制措施，其水霧覆蓋面廣，且可對揚塵重點部位進行加強型噴霧灑水降塵，達到防制新建大樓營建工地揚塵的效用，並針對高雄夏季高溫，亦可通過該項裝置降低工地高溫。

依據高雄市環保局推估削減率原防塵網防制 55%，採複合式防制措施（結構體採用防塵網＋高雄噴淋系統）防制效率將提升至 86.5%，削減率提升約為 1.57 倍。

（二）研擬「智能洗車台」聯動「小型鼓風機」

由現場檢視工區出入口地面，有些微非逸散性污染的水漬痕跡，研議加裝小型鼓風機的可行性，概念如同，民間自動洗車機、洗完後用風吹乾。同理，運用在營建工地時，當工程車輛經智能洗車台，剛沖洗完成的車輛輪胎跟車身尚在滴水，研擬於洗車台前端側面裝上鼓風機進行吹風，使輪胎跟車身滴水快速落下，並於該設置導溝將水引回洗車台內，降低出入口路面水漬殘留。

二、建置 5G AIoT 數治大平台

配合主辦機關高雄市都發局未來將整合智能管理作業，研擬建置 5G AIoT 數治中心，包含營建工程環境資訊、空地監管資訊、建築系統資訊、碳盤查資訊。

伍、結語

「環保殊榮」

本工程榮獲 112 年高市環保優良工地，特優獎。

本工程榮獲 113 年高市環保優良工地，卓越獎。

本工程榮獲 113 年環境部好空氣優良行動，公共工程類銀獎。

「創新作為」

平面式折音帆布噪音防制工法、施工機具怠速監控、塔吊噴淋降塵降暑設備、智能洗車台、AI 揚塵辨識系統、自主查核數位化。

本工程防制措施考量「防制效率」與「永續減碳」雙重因素規劃設置空污防制設備，空污防制規範均依照環境部規定執行，甚至部分防制措施略優於環境部營建管辦執行手冊建議，周邊居民亦能感受本工程積極辦理污染防制與睦鄰措施，使亞灣工地位處高級住宅大樓林立之市中心區，能與社區鄰里共融共生。

願本案所推行之營建工地文化，能成為推動營建空污防制的典範與智慧城市淨零減碳的指標，達成智慧城市治理與願景。

參考文獻

1. 環境部及經濟部能源署公告資料
2. 環境部，「營建工程空污管制辦理執行手冊」
3. 環境部，頒布「加強公共工程空氣污染及噪音防制管理要點」
4. 公共工程施工綱要規範「第 01572 章環境保護」
5. 環境部，「營建工程空氣污染防制措施管理辦法」
6. 謝濤帆，高雄市環保局委辦元科科技股份有限公司合作指導書面報告
7. 陳其豐，亞灣智慧公宅新建工程「企業優良好空氣企業行動成果報告書」，(2024)
8. 台灣世曦亞灣工地專管／監造工務所，環境保護計畫執行及施工現場執行簡報

節能減碳、智慧建築—— 構建「沙崙智慧綠能科學城 C區（第二期）資安暨智慧科 技研發大樓」

關鍵詞 Keywords

- # 淨零碳排 Net Zero Carbon Emission
- # 節能減碳 Energy Conservation and Carbon Reduction
- # 智慧建築 Intelligent Building
- # 建築物能源管理系統 Building Energy Management System (BEMS)
- # 建築資訊模型 Building Information Modeling (BIM)
- # 全鈦氧化還原液流電池 Vanadium Redox Battery

台灣世曦工程顧問股份有限公司
嘉南工程處

協理

張曜洲

副理

李振榮

主任

林明坤

工程師

馮伯軒

工程師

吳孟潔



配合政府 2025 年綠能發電比例提升至 20%、碳排放回到 2000 年水準的能源政策，國科會於沙崙科學城興建「資安暨智慧科技研發大樓」，採分期開發新建，第一期工程已於 2020 年 5 月 12 日竣工，目前新建中即為本案二期工程，以創能儲能、節能減碳、智慧監控系統整合為主軸，強化產業研究聚落特色，結合綠能科技示範場域、大學研究機構及會展商業區域，建立綠能產業網絡中心，培育綠能實作與經濟人才，透過前瞻綠能研發平台的技術精進，與產官學各界以合作計畫或委託方式開發產業技術，以推動技術移轉或專利授權。



壹、工程概述

本案「沙崙綠能科學城核心區 -C 區開發工程（第二期）」為地上五層、地下二層之鋼構及鋼筋混凝土建築物，基地面積 53,273.05 平方公尺，建築面積 7,344.87 平方公尺，總樓地板面積 39,931.62 平方公尺，外牆採牆面內退陽台突出之帷幕牆，屋頂建造太陽光電板，除可發電創能亦兼具遮蔭降溫功能，地下室設置發電機及儲能電池，透過建築物能源管理系

統（BEMS）進行整合管理，以提高用電效率，全棟建築設置智慧監控系統，除了一般門禁管控外，可對空調、燈光照明、電力等依需求調控，本案自 2022 年 2 月 11 日開工，預計將於 2025 年 3 月 17 日竣工（二期竣工模擬圖如圖 1），目標為取得黃金級智慧建築、鑽石級綠建築標章，以達成智慧永續、節能減碳之效益。



圖 1 二期竣工模擬圖

貳、規劃設計概要說明

一、隔熱節能降低能源耗損

本案建築物長向為東西向，設計階段採用熱環境模擬與動態風環境模擬（詳圖 2），來了解熱能分布及自然風流動狀態，經由熱環境模擬可得知，本建築物主要熱輻射吸收之立面為南向及西向立面，為減緩南面及西面之日輻射，本案透過立面內退及陽台突出，配合水平遮陽及 Low-E 鍍膜複層玻璃，有效降低室內熱能，並於屋頂設置太陽能板及綠花園平台來達到隔熱節能、增加工作環境的舒適性。

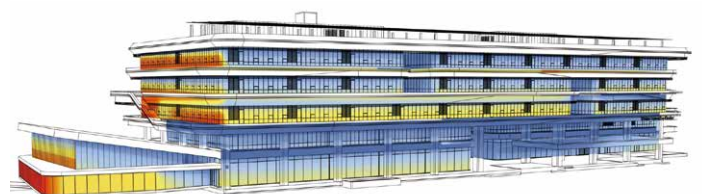


圖 2 熱環境模擬建築南向與西向外殼熱負荷

本案基地所在位置具有良好的通風條件，藉由 1F 挑高區中庭與第一期之廊道結合為 20m 之風廊，有效引導自然風流入創造舒適的通風環境（詳圖 3）。

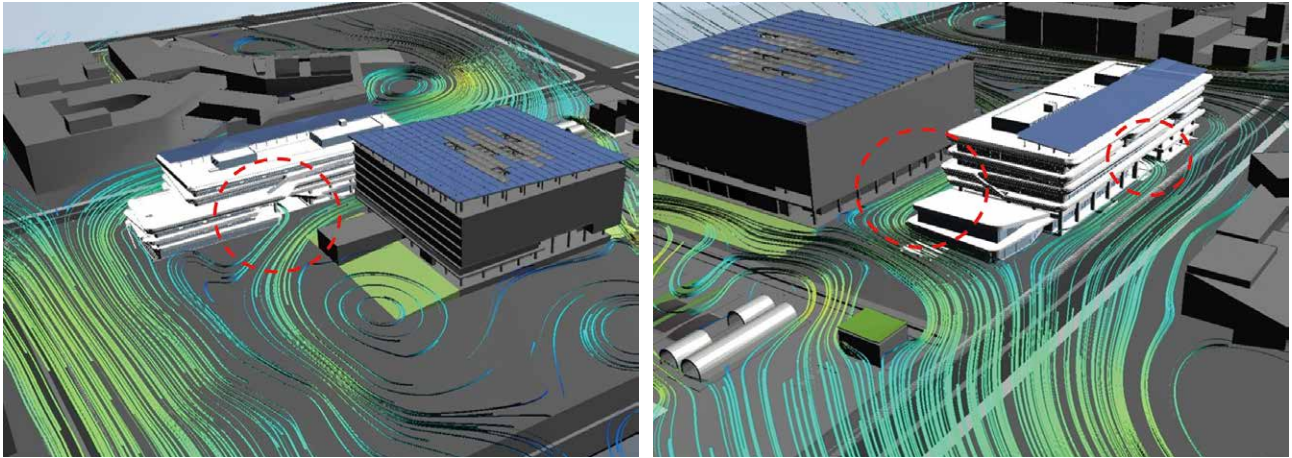


圖 3 動態風環境模擬圖

二、能源系統

為配合國家推動綠能政策及臺南市低碳自治發展方向，本案二期工程於屋頂設置太陽光電發電系統創造電能產出，並於地下室配置全鈳液流電池儲能系統，及設有至少能運轉 2 小時緊急發電機組，在台電停電時，可透過能源管理系統即時啟動切換動作並送至負載端，能持續供電給大樓之維生負載及必要性負載（詳圖 4）。

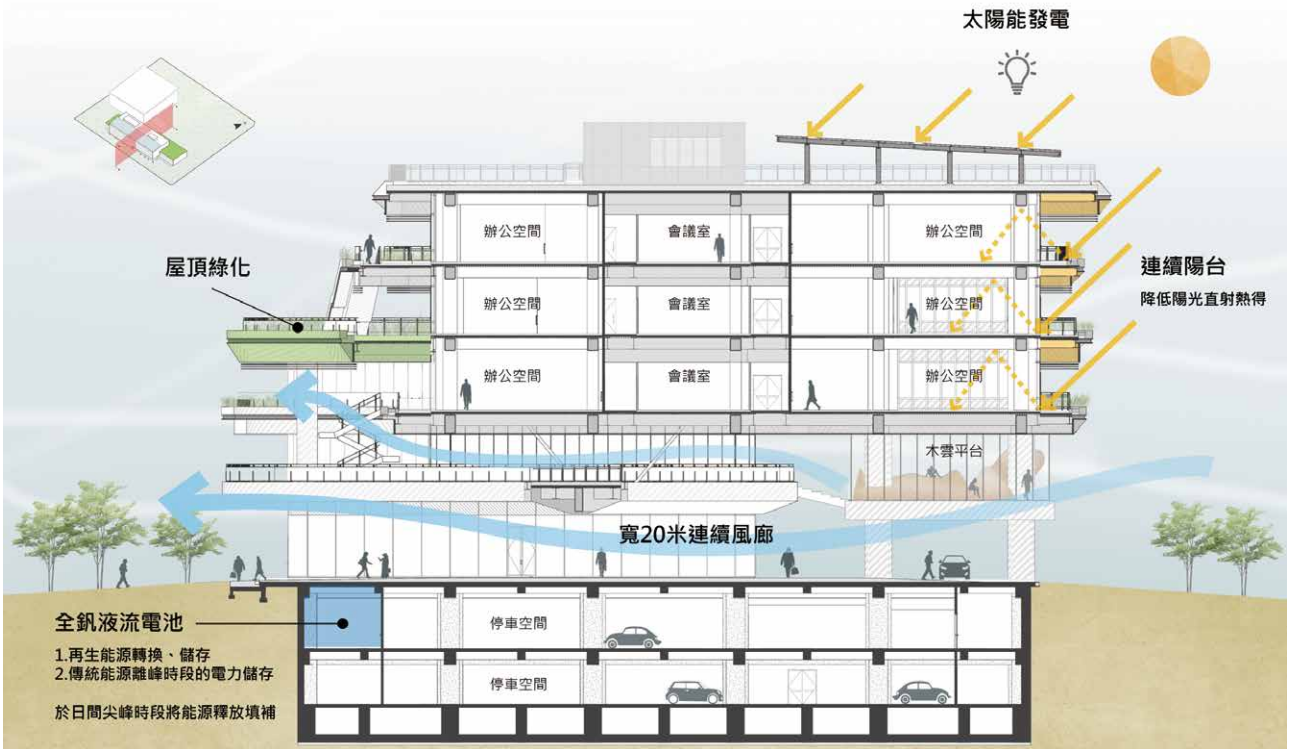


圖 4 建築設計概念圖

(一) 創能

二期基地位置鄰近臺南高鐵站，位於北回歸線以南，屬副熱帶季風氣候，全年溫差不大、溫和少雨且日照充足。依據臺南市政府經濟發展局資料，每瓩日平均發電量 3.38 度，本案於建築物樓頂設置太陽光電發電系統 (PV System) (詳圖 5)，採用 108 片半切型 M10 PERC 單晶矽模組，轉換效率 20.9%，設備總設置容量 364.9kW，推估年均發電量約為 407,410 度，減少碳排放量 201.26 公噸。

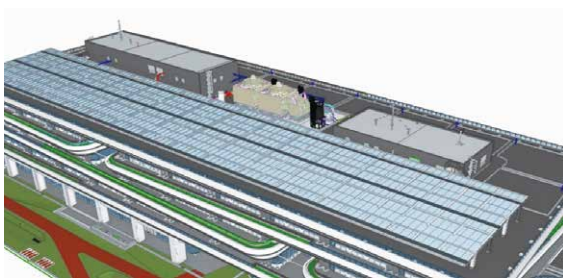


圖 5 太陽光電發電系統配置圖



圖 6 全鈦液流電池組

(二) 儲能

設置有 30 組模組式全鈦液流電池 (Vanadium Redox Battery, VRB) 儲能系統設備 (詳圖 6)，搭配 3 台 125kW 電力調節設備 (Power Control System, PCS)，併聯台電電網狀態時可參與台電自動頻率控制調頻備轉輔助服務；亦可由系統預測隔日用電量，進行需量反應減少電網負擔及用電成本。孤島電網 (台電停電) 運行狀態時，可提供最高 250kW 輸出 4 小時發電量，白天可根據太陽光電即時發電量調控電池輸出，當處於低用電量時，可由最多 1 組電力調節設備提供電源，另外 2 組電力調節設備對電池組進行充電，以延長電池使用時間。

(三) 節能

本建築物辦公區域利用設置陽台，可有較深之遮陽遮擋夏季與春秋分之直接日照及有效減少眩光，但不阻擋冬季斜射之自然光進入室內，增加冬季之自然採光，自然採光較多的外側及自然採光較低的內側，分別設置兩套電力迴路系統，照明設備使用 DALI (Digital Addressable Lighting Interface, DALI) 智慧化照明 LED 燈具，經由燈控系統控制亮度。

走道區域及會議室設置人員感應器，照明燈具設備可預設為瞬時開燈模式，偵測到有人經過並使用時開啟，且於人員通過或偵測到無人使用時將照明燈具設備緩慢降至 10% 光輸出，以維持基本亮度，模擬圖詳圖 7。

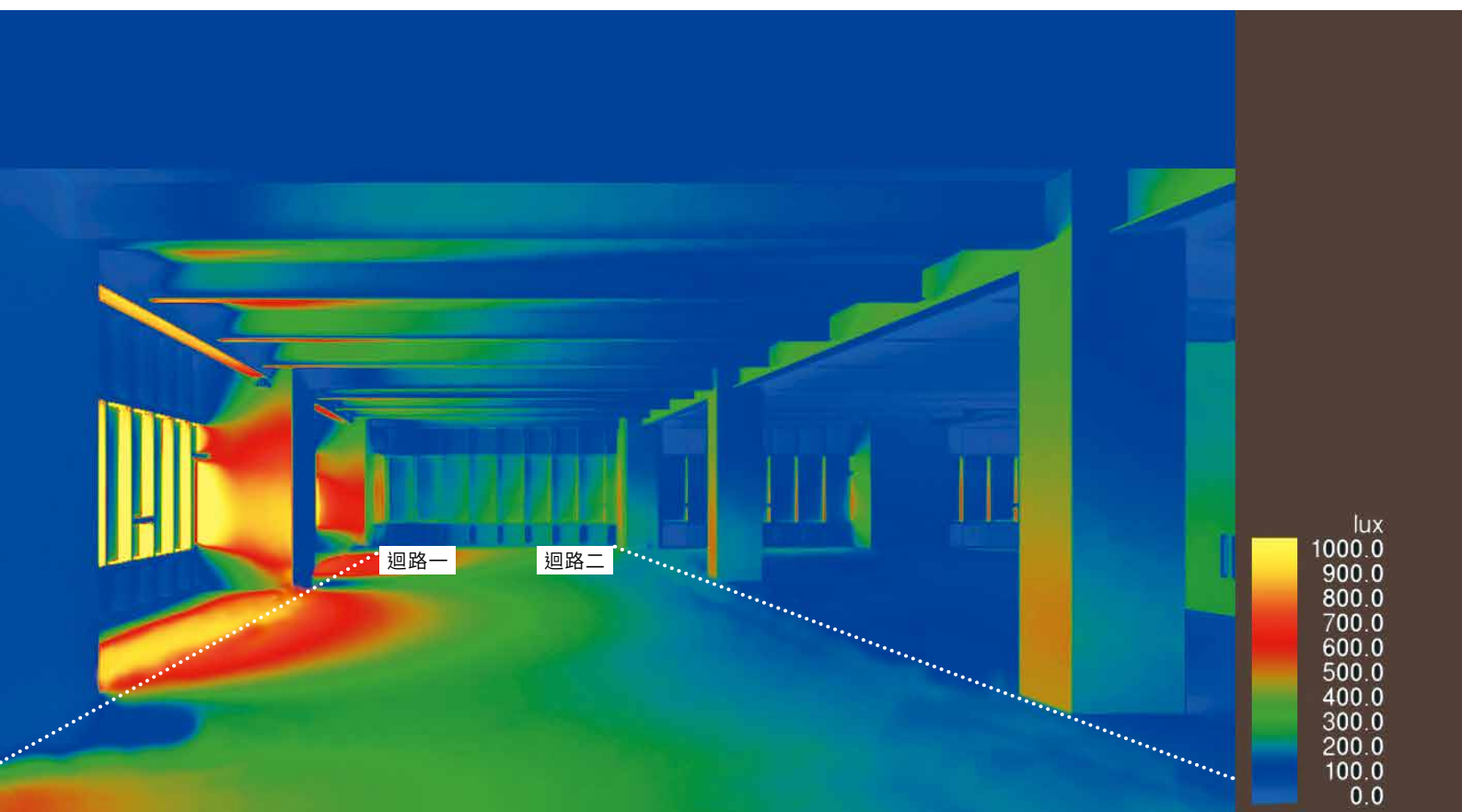


圖 7 光環境模擬圖

參、智慧管理精準用電

一、智慧能源管理有效運用

(一) 供電系統

本案規劃太陽光電系統結合模組式全鈦液流電池儲能系統建立微電網 (Microgrid)，並搭配建築物能源管理系統 (Building Energy Management System, BEMS)，為日常用電節能及與電網脫離時滿足緊急民生供電的需求。當意外或災難發生時，太陽光電發電系統依據台電「再生能源發電系統併聯技術要點」在缺少市電作為參考電源情況下，系統必須停止運轉。本案建築物可透過智慧監控微電網控制主動與台電電網脫離，防止電力逆送回

台電電網。再經由模組式全鈦液流電池系統提供啟動太陽光電發電系統參考電源，使孤島電網電源供應不再單獨依靠全鈦液流電池內部儲存之電力，實現在白天的時候將多餘的電儲存，延長電池使用時間，確保基本民生需求不中斷（詳圖 8）。

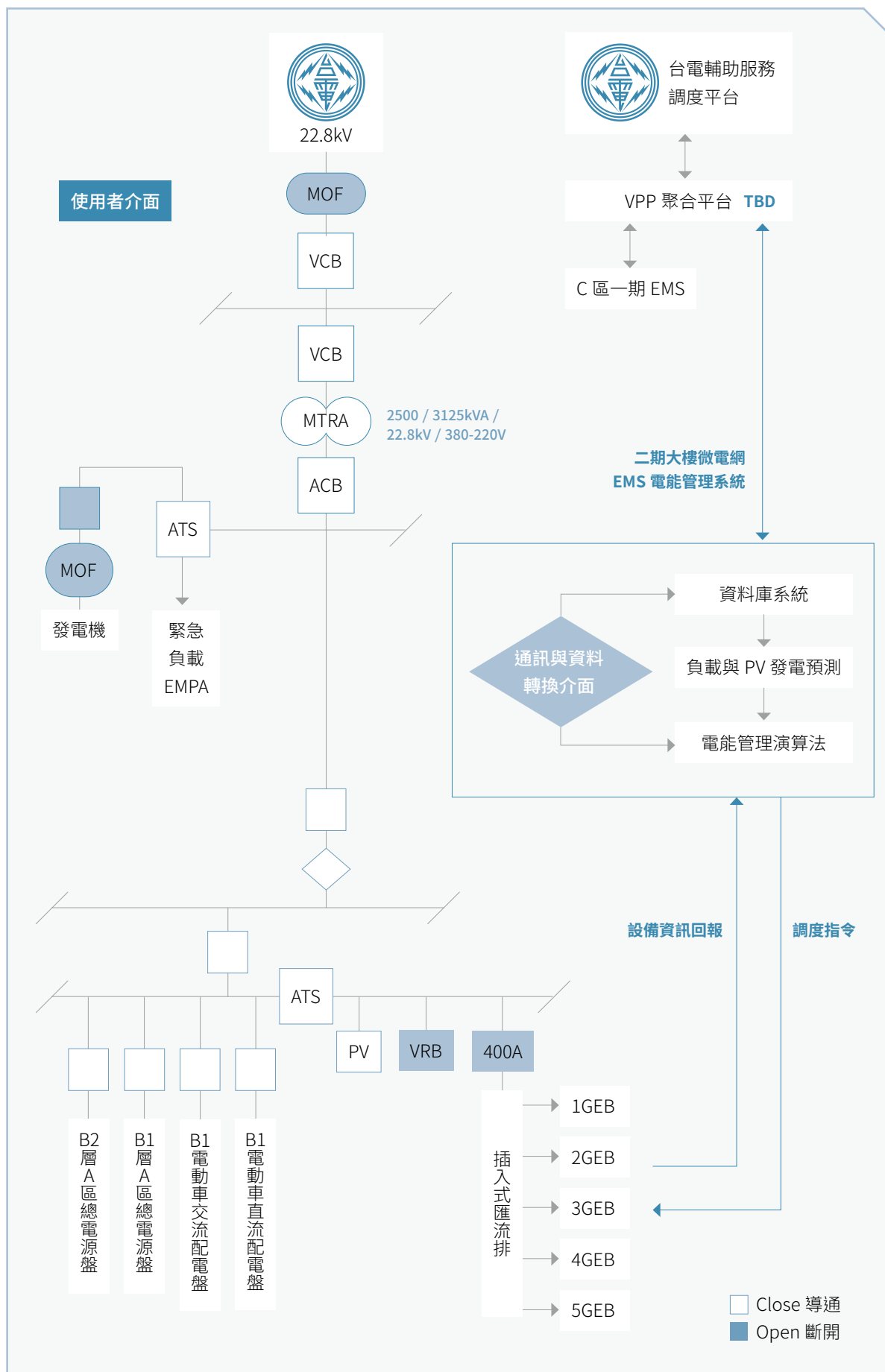


圖 8 能源管理架構圖

(二) 照明系統

本案使用 LUTRON 公司通過 IEC-62386 DALI-2 認證之 Athena 燈控系統，並使用 LUTRON 公司 Clear Connect RF 無線技術 Pico 無線開關，簡化建築物布線降低安裝成本，即便日後因應管理單位重新規劃空間使用，也不須重新布線。燈控系統可在手機或平板電腦上操作，並可提供不同帳號不同權限的設定，透過燈控系統了解所

有燈具、感測器及開關狀態，並包含調光控制、情境調控及時程控制等功能，將各種控制方法及感測元件混和搭配，即時量測現場實際照度值，並自動調控室內燈光明暗度進行照明燈具節能控制，營造最適當的照明環境，大規模簡化大樓管理並可達到節約能源的效果，照明控制架構圖詳圖 9。

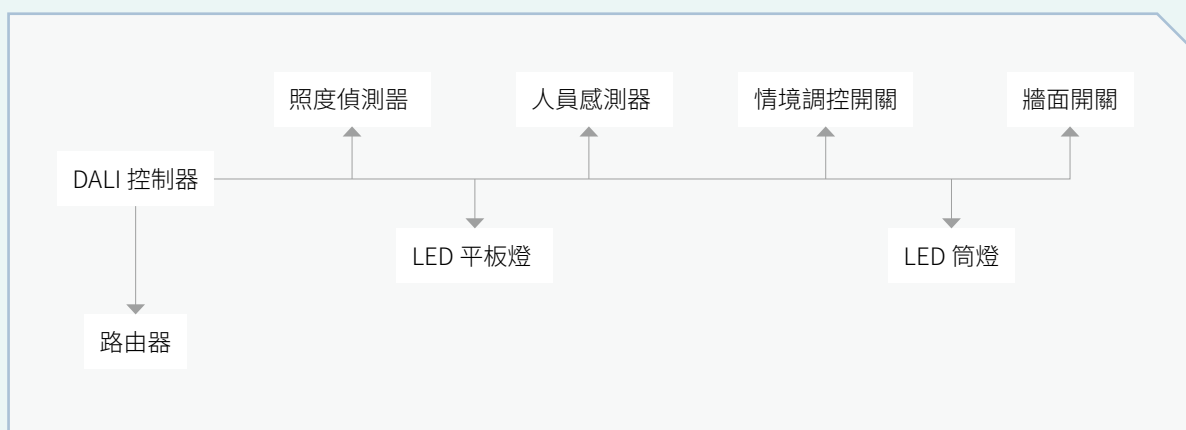
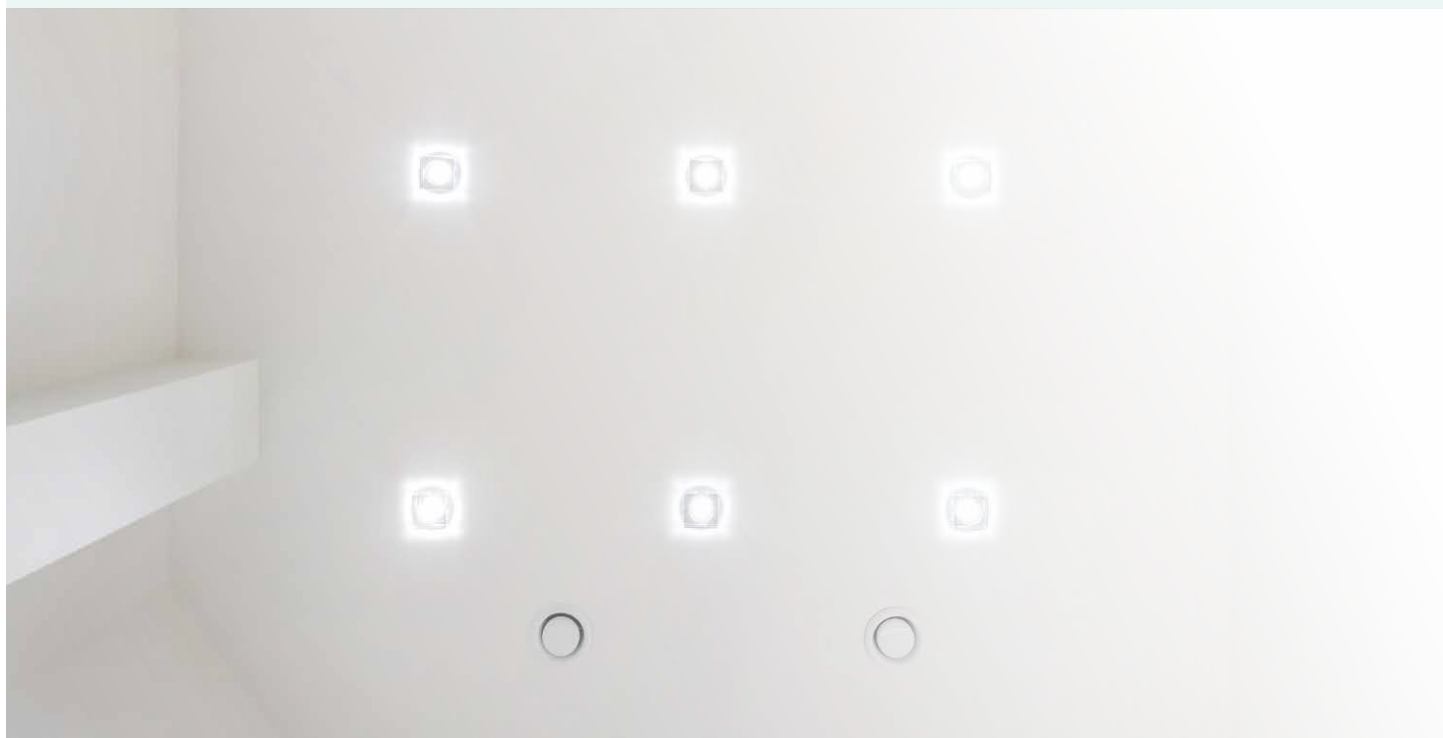


圖 9 照明控制架構圖



二、智慧電網控制與虛擬電廠聚合平台

本案建構可參與電力交易與輔助服務聚合平台之功能，在參與台電的需量反應 (Demand Response, DR)，及自動頻率控制調頻備轉輔助服務 (Automatic Frequency Control, AFC) 時，系統可以自動推薦投標參數，使操作人員可以快速且精準的進行投標、媒合與結算。

聚合平台 (詳圖 10) 的自動需量反應功能可執行契約容量管理與即時備轉控制，結合即時調度功能調控儲能充放電量，強化即時調控備轉調度與再生能源占比，強化離網孤島控制，延長孤島運作時間，建議最適化契約容量以降低用電成本。

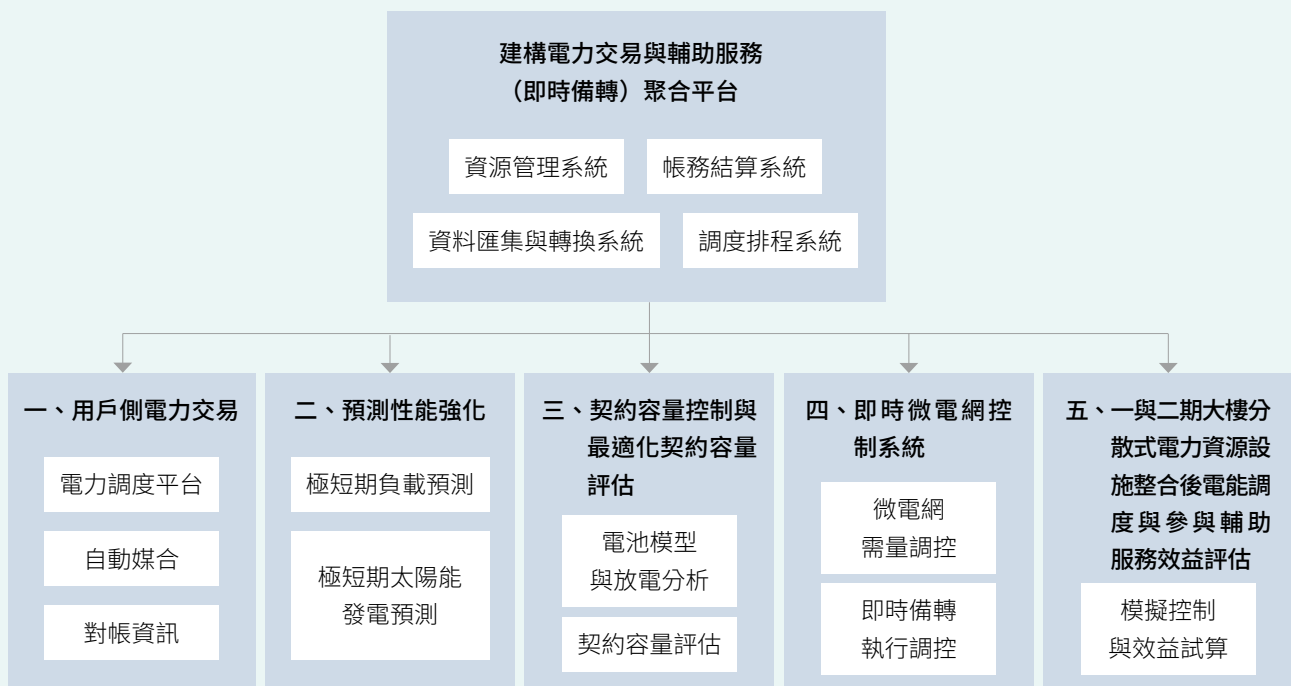


圖 10 電力聚合平台架構圖

三、智慧監控與管理

(一) 高速、安全、親和及穩定之設施自動化管理系统

本案二期工程以符合智慧建築黃金級的需求，將設置具備高速、安全、親和及穩定之先進智慧監控設備，提供建築物最有效、可靠的控制管理，智能监控系统架構詳圖 11。

(二) 自動、節能、開放整合之智慧監控設備

智慧監控管理系统整合各子系统，透過自動化監控設備及全棟光纖骨幹的建置，自動連結各子系统設備主要功能（詳表 1），以達到集中管理、分散控制、設施安全、節省人力及節約能源的功能。



圖 11 智能监控系统架構圖

表 1 智慧監控管理系統主要功能表

子系統設備	主要功能
電力設備管理子系統	開關設備監控、電力品質監測、需量連動控制、節能控制。
智慧電網系統	智慧電錶監測、電能管理，整合市電、太陽能及電力儲存電池，電壓、頻率變化控制，穩定輸出之電力品質。
照明控制系統	日照節能燈控、用電節能燈控。
智能空調控制系統	節能空調控制、節能空調排程，包括溫濕度二氧化碳、空調通風連動、警報連動。
智慧停車管理系統	停車資訊發布、入口車位顯示、場內樓層車位顯示、自動尋車系統、車牌辨識系統，防脅迫功能，緊急對講功能。
給排水設備管理子系統	給排水設備運轉監控、用電需量連動控制。
消防及火警管理子系統	消防設備、撒水設備、排煙設備及火警設備監控連動。
電梯管理子系統	停靠樓層監視、故障監視、連動控制。
保安全管理子系統	利用侵入感應偵測器、門位偵測器及緊急求救按鈕，將進出和通往重要區域的門戶和通道納入監視，並配合閉路電視連動。
門禁管理子系統	於重要之大門、辦公室及實驗室等，設置門禁讀卡機，與警報及閉路電視系統連動。
網路管理子系統	提供本系統所有網路交換器之監控、效能流量、組態及故障管理等功能，提供多重使用者安全密碼管理。
維護管理子系統	可監視全區之設備監視與維護狀況。大數據分析將各系統運作數據儲存、運算、分析，提供系統優化報告、系統趨勢報告、系統改善建議報告。
中水回收管理子系統	中水設備運轉監控。
智能澆灌管理子系統	澆灌設備運轉監控、時間連動控制、天候連動控制。
閉路電視管理子系統	閉路電視監視系統主機狀況監視，閉路監視系統影像與警報連動，與自動火警系統連動、智能影像監控。
會議管理子系統	會議室預約、情境控制、環境控制。
永續物料管理子系統	包含資產、預算、設備、庫存、人力、採購、排程、定期保養、工作、工作委託、工單之管理。
數位多媒體管理子系統	包含數位看板、電視牆。
污水處理子系統	流量監視、水位監視、運轉狀態監控、放流水質監視。
遠端監控子系統	提供 APP 應用軟體，可於手機、平板電腦等，經由網際網路監控各子系統。

肆、智慧建築施工管理

導入建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）技術，本工程在各工項施工前即採用設計階段模型，以可視化方式展示的 3D 視覺化環境，進而模擬檢討建築、結構、機電等介面施工可行性（詳圖

12），可有效快速了解施工衝突問題所在，以降低衝突風險，並改善設計準確性與施工效率，有效整合及管理工程內容，從而提高建築的資源使用效率、縮短建築周期、減少浪費和碳排放。

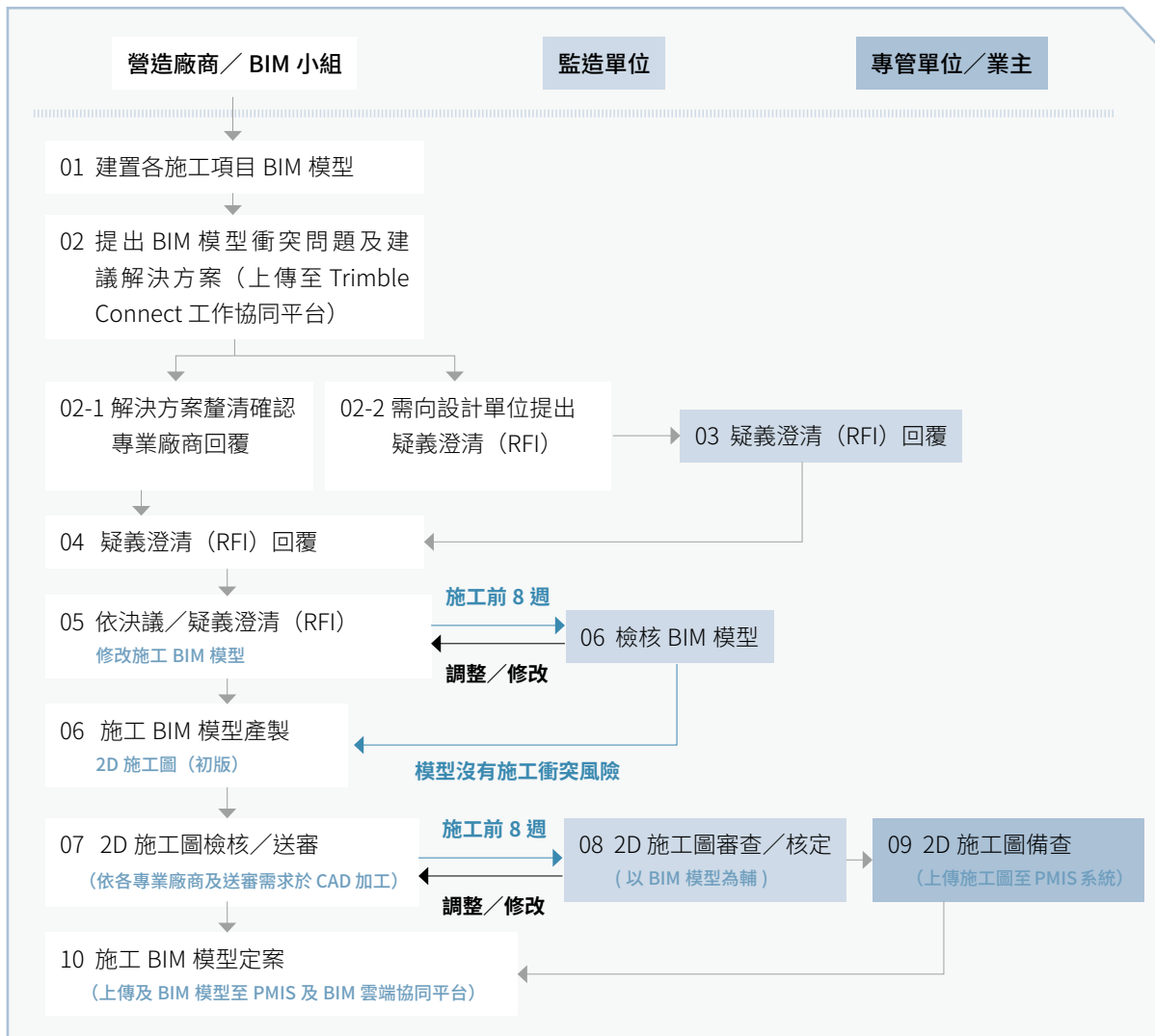


圖 12 BIM 施工模型檢討流程圖

一、施工前模型衝突碰撞檢討

模型衝突檢討於施工過程中是不可或缺的必經程序，為確保 BIM 模型的準確性及施工可行性，並避免後續施工階段各構件介面衝突問題延宕施工期程，本案每週定期辦理 BIM 衝突碰撞檢討，藉由軟體偵測碰撞可有效識別及檢驗衝突問題（詳圖 13），以減少人為錯誤，有助於事前解決施工階段的衝突問題，本案採用 Revit 2020 版建模程式，審查及討論使用 Navisworks 程

式檔，由 BIM 施工規劃者、監造、設計共同參與問題點的協調與溝通，藉由討論解決工程上的潛在衝突，並於各工項施工前一個月完成衝突解決方案修正模型（詳圖 14～圖 17），由模型檔案產出繪圖檔進行後續施工圖繪製，可有效提升工作效率減少工程延誤風險，以達到最終節省成本和提高工程品質的目標。

Clash Detective

4F弱電與機電 上次執行: 2024年9月3日 下午 03:40:37

衝突 - 總數: 7 (開啟: 0 已關閉: 7)

名稱	狀態	衝突	新建	作用中	已審閱	已核准	已解決
2F弱電與機電	完成	0	0	0	0	0	0
3F弱電與機電	完成	5	0	0	0	0	5
4F弱電與機電	完成	7	0	0	0	0	7

名稱	狀態	層級	格線相交	找到	核准
衝突1	已解決	4FL (1)	D(2)-4(1)	15:15:37 03-09-2024	
衝突2	已解決	4FL	C(-3)-6	15:15:37 03-09-2024	
衝突3	已解決	4FL	C(4)-4(-2)	15:15:37 03-09-2024	
衝突4	已解決	4FL (2)	C(4)-9(-1)	15:15:37 03-09-2024	
衝突5	已解決	4FL	C(-3)-6	15:15:37 03-09-2024	
衝突6	已解決	4FL (1)	D(2)-6(3)	15:15:37 03-09-2024	
衝突7	已解決	4FL (2)	C(-2)-10...	15:15:37 03-09-2024	

亮顯

項目 1 ■ 項目 2 ■

使用項目顏色

☒ 亮顯所有衝突

隔離

☒ 暗顯透明化

☐ 自動顯示

視點

自動更新

☐ 動畫轉場

圖 13 模型軟體偵測碰撞衝突

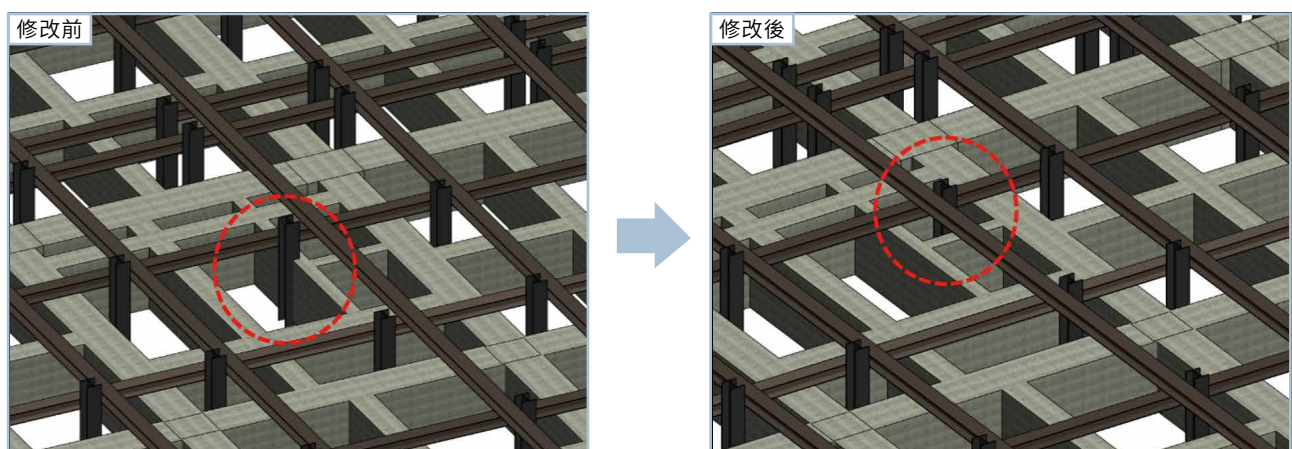


圖 14 中間樁與筏基結構牆衝突檢討

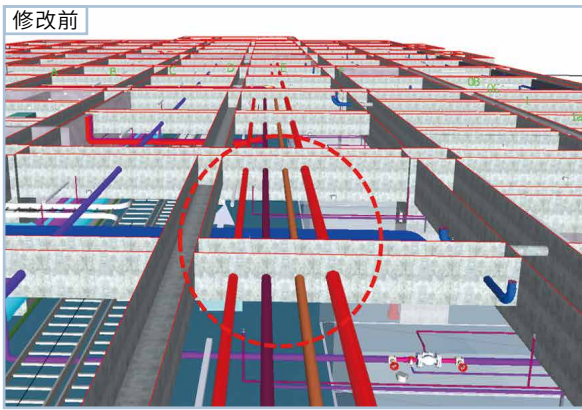


圖 15 管線與梁衝突檢討

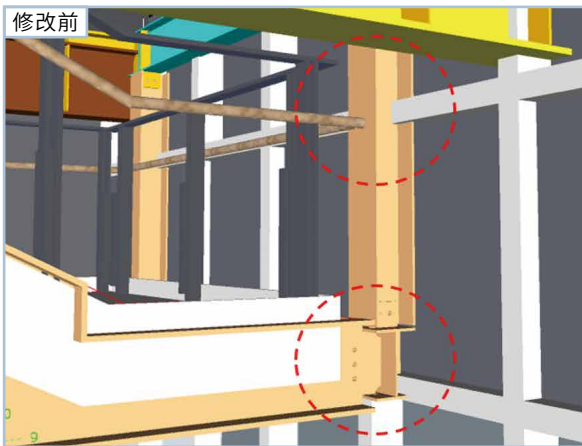
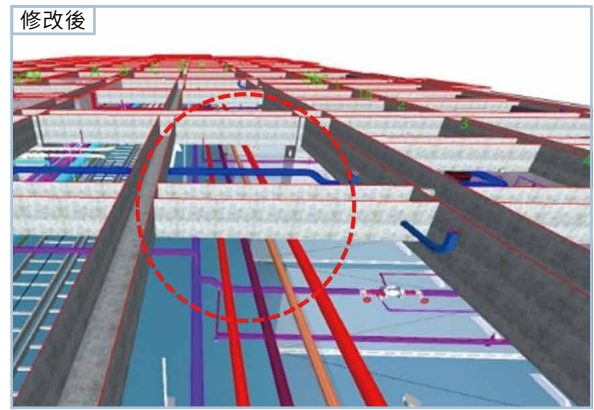


圖 16 鋼構樓梯與帷幕骨架衝突檢討

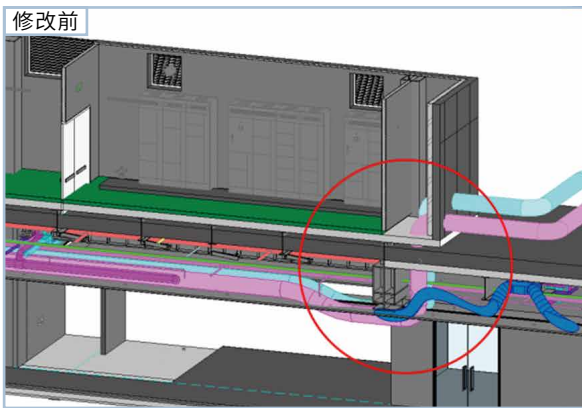
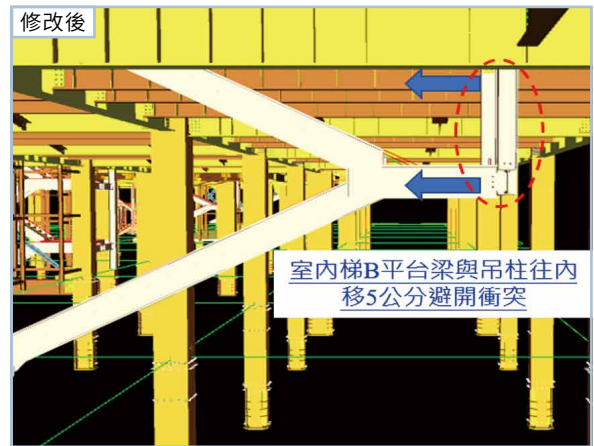
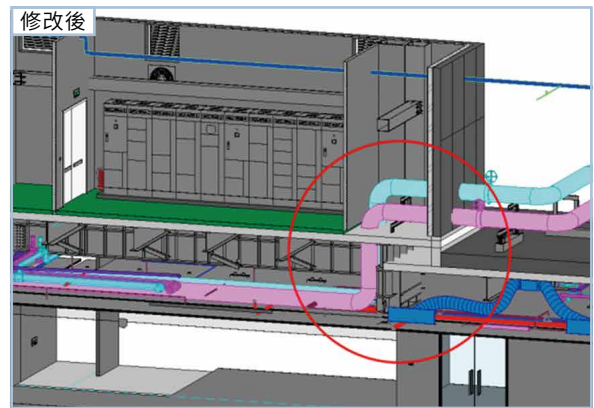


圖 17 鋼構大梁與空調水管衝突檢討



二、施工後現場比對

在施工過程中定期比對 BIM 模型與現場施工情況，確認構件的位置、尺寸、形狀、材質等是否符合設計要求，本工程比對方式採用人員現場比對為主（詳圖 18～圖 19），現場 3D 光達掃描技術為輔（詳圖 20），由 3D 掃描捕捉現場施工狀況，生成精確的點雲數據與 BIM 模型進行比對分

析，比對的關鍵點包含構件的位置、元件的尺寸、材質、安裝角度及形狀是否與模型一致等，發現偏差後，施工團隊能夠即時採取行動，重新調整構件位置、修正加工物件或更新 BIM 模型，以確保施工成果符合設計原意及使用需求。

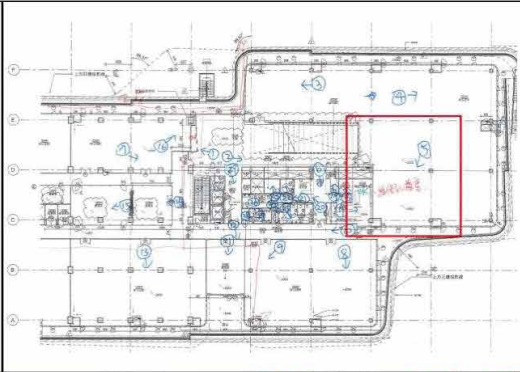
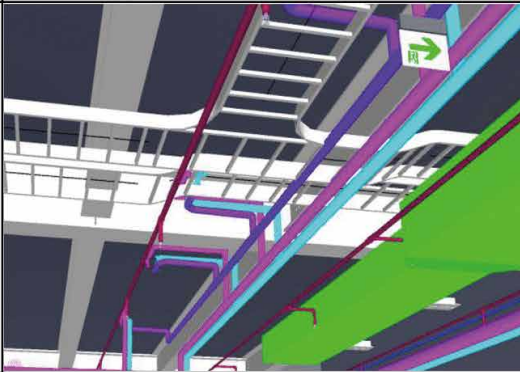
沙崙綠能科學城核心區—C區開發工程（第二期）BIM 現場模型檢核表			
表格編號	291	檢核日期	113/11/29
樓層	3FL LINE：12-13/C-D	空間編號名稱	A319 辦公空間
檢核項目	3F 線架、消防管、雨水管修正		
現場照片		平面位置	
模型同視角（修改前）		模型同視角（修改後）	
狀況說明：依 20241024 現場查驗			

圖 18 BIM 模型現場檢核（一）

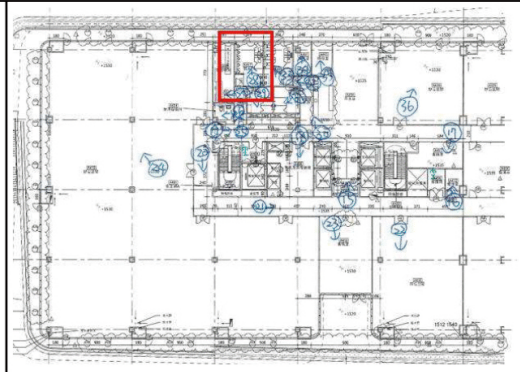
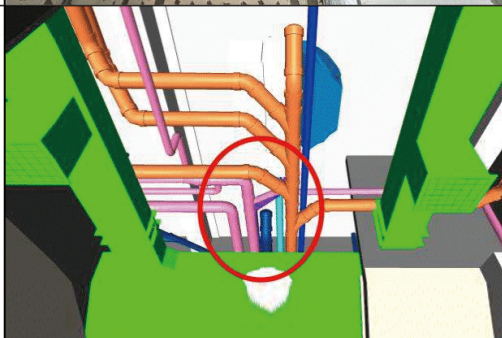
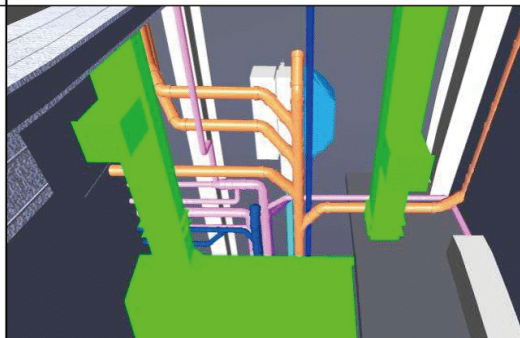
沙崙綠能科學城核心區—C區開發工程（第二期）BIM 現場模型檢核表			
表格編號	298	檢核日期	113/12/6
樓層	4FL LINE：4-5/D-E	空間編號名稱	A447 男廁
檢核項目	4F 給排水修正		
現場照片		平面位置	
模型同視角（修改前）		模型同視角（修改後）	
狀況說明：依 20241202 現場查驗修正			

圖 19 BIM 模型現場檢核（二）

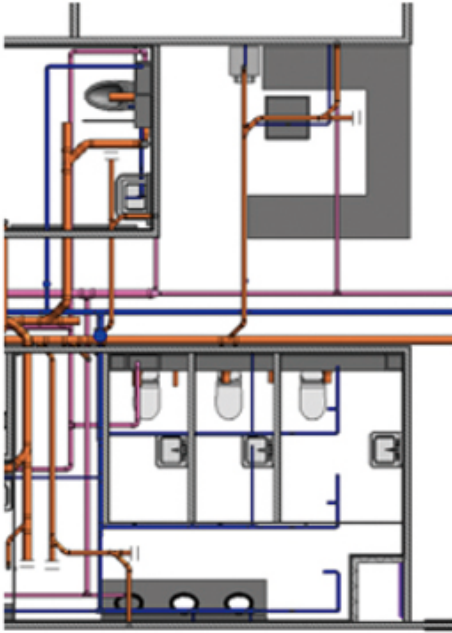
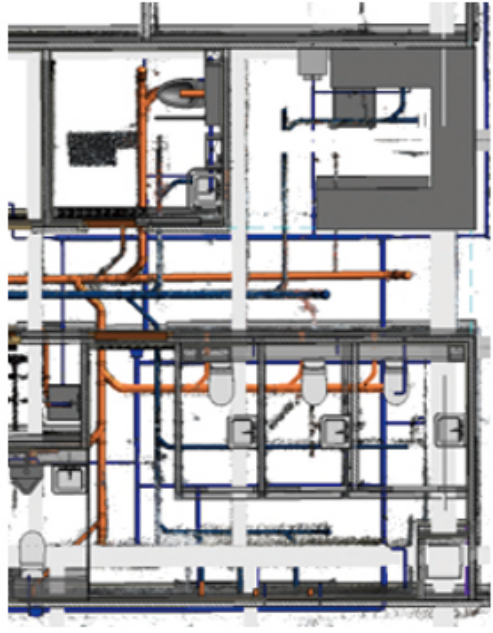
沙崙綠能科學城核心區—C 區開發工程（第二期）BIM 現場模型檢核表			
表格編號	151	檢核日期	113/09/20
樓層	3FL LINE:10-11/C-D	空間編號名稱	A359 廁所、A326 走道
檢核項目	3F 排水路徑修正		
BIM 施工 模型			
點雲 模型			

圖 20 3D 光達掃描點雲模型與 BIM 模型檢核

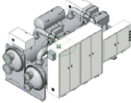
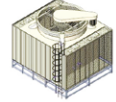
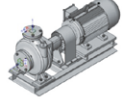
三、資訊建立元件深化

竣工模型元件需配合業主營運管理需求進行附加資訊之深化，本工程以設備圖塊配合現場實體圖片，作為最基本需深化建置之元件類別，其各設備元件附載資訊參考規格表，於竣工前根據業主公共空間資產管理需求，將設備資訊建置於竣工模型。

元件深化表（詳表 2）能顯示記錄元件的幾何形狀、材質、規格及參數，有助於現場施工人員更容易理解設計意圖，避免因資

訊不明而導致的施工錯誤，所記錄的元件資訊，為建築物的長期管理提供完整的基礎資料，元件深化表中的數據亦可直接導入設施管理系統，實現對建築物設備與設施的數位化管理，提升營運維護管理效率。

表 2 設備資訊元件表

標單項次	標單名稱	裝置類別 (英文代碼)	深化完成日期	模型截圖	實際設備圖片/圖說	元件分類	元件名稱	廠牌	單位	數量	單價
壹-2.1.1.1.1	冰水機組，水冷螺旋式主機，冷卻能力1758kW，雙壓定頻	WCH	113/04/30			空調系統	冰水機組，水冷螺旋式主機，冷卻能力1758kW	力菱	組	1	8,067,012
壹-2.1.1.1.4	冷卻水塔，方型低噪音，冷卻能力2098kW，含配件，橫流式(直交流式) CROSS FLOW	CT	113/04/30			空調系統	冷卻水塔，方型低噪音，冷卻能力2098kW	金日	組	2	2,862,674
壹-2.1.1.1.8	空調用泵，端吸臥式聯軸離心(渦卷)泵，電動機容量7.5kW，出水12.0LPS，全揚程300.0kPa	CHP	113/04/30			空調系統	空調用泵，端吸臥式聯軸離心(渦卷)泵，電動機容量7.5kW	EBARA	組	1	196,410
壹-2.1.1.1.13	冷卻水塔，含配件，補給用水箱，FRP製，壓力0bar，淨容積6.0m ³	MWT	113/04/30			空調系統	冷卻水塔，含配件，補給用水箱	金日	組	1	147,821
壹-2.1.1.1.14	水化學處理，水化學處理設備，冷卻水用，加藥控制系統控制箱	ST	113/06/19			空調系統	水化學處理，水化學處理設備，冷卻水用，加藥控制系統控制箱	水清	組	1	-
壹-2.1.1.1.14	水化學處理，水化學處理設備，冷卻水用，循環水量221.3L/S，藥劑補充槽材質PE	ST	113/04/30			空調系統	水化學處理，水化學處理設備，冷卻水用	水清	組	1	682,196

四、效益分析

傳統設計、施工溝通多以平面圖進行意見交流，對立體空間的理解則需要依賴個人的知識與經驗累積，雖然在討論階段達成共識，但實際執行時經常因認知差異導致問題，若施工完成後不符使用需求，還需重新修改，採用 BIM 模型後，各專業角色可透過 3D 模型進行溝通，並透過虛擬實境功能直觀地瀏覽空間設計，能快速準確地找出問題點，藉由軟體功能有效發現視覺盲點，BIM 模型在本案中已成為工務溝通的核心，讓工程團隊各方提供更多建設性意見，明確了解空間使用需求，並減少施

工錯誤，透過資訊整、3D 視覺化與協同工作，提升建築專案在設計、施工、運營管理等各階段的效率，控制施工進度、縮短工期、預估成本、減少重工與材料浪費，且提供後期設施維護管理需求，實現節約成本、縮短工期與提升品質的目標，為此奠定了穩固的基礎，本案施工階段透過執行 BIM 施工模型檢討，採量化的方式評估在本案中的投入與效益，經效益評估分析統計，可減少人力、工期及節省成本（詳表 3）。

表 3 BIM 效益分析表

項次	項目	人	天	成本預估(元)
1	一樓門口防水與排水檢討	1	2	865,591.6
2	集會堂門高檢討	2	4	153,370.4
3	柱鋁包板檢討確保外觀	4	8	2,367,349.3
4	BRB 與空調水管衝突檢討	8	4	198,094.4
5	中間裝位置檢討	4	4	97,104.6
6	截油沉沙槽衝突檢討	2	1	290,087
7	鋼構、天花板及帷幕牆	4	2	175,105.6
8	鋼構、鋼梯及帷幕牆	4	8	1,612,507.3
9	鋼構及帷幕牆	4	2	76,386.3
10	鋼構及帷幕牆檢討	4	2	103,187.3
11	鋼構、天花板及帷幕牆	8	4	6,096,056.3
12	天花板高度與防煙垂壁	2	2	72,966.2
13	設備天花維修口位置檢討	4	8	314,390.5
14	廚餘冷藏機位置	2	1	14,414.8
15	全鈹液電池及風管衝突	2	1	228,906
16	全鈹液電池室排氣散熱檢討	2	1	1,136,147.8
合計		57	54	13,801,665.4 元

伍、結語

本案設計理念結合綠建築設計及綠能方案整合應用為主要設計思維，以創能、儲能與節能的全面性策略，透過基地永續設計，以實現節能減碳與智慧建築技術為核心，藉由綠色能源技術與智慧監控系統的應用，充分展現未來建築的可持續發展潛力，監造單位於施工階段整合管理單位未來管理需求，提出建議並協調設計單位及廠商，採用較優規格之無線照明設備，與協助檢討現行法規下能源管理系統架構，方能建置高效的智慧能源管理系統，再運

用 BIM 技術於施工中解決各構件間之衝突及構件材質、設備規格尺寸資訊的建立，提升建築施工與運營管理的效率，有效降低碳排放並減少資源浪費。

V3DM 數位雙生平台於社會住宅之實踐與展望

關鍵詞 Keywords

建築資訊模型 Building Information Modeling (BIM)

視覺化設施管理平台 Visual 3D Facility Management Platform (V3DM)

數位雙生 Digital Twin

台灣世曦工程顧問股份有限公司 BIM 整合中心

副理

蘇瑞育

正工程師

林志全

正工程師

許瑋真

正工程師

李怡瑤

近年臺灣社會住宅的蓬勃發展，為城市榮光注入了新的活力，也為 ICT 技術和數位轉型提供了絕佳的實踐場域，為未來數位城市治理打下基礎，因此必要透本次數位雙生實踐重新定義新世代的社會住宅。

台灣世曦工程顧問公司致力於社會住宅全生命週期專案管理服務，並積極整合資訊通訊技術 (ICT) 建構數位雙生平台 — V3DM (Visual 3D Facility Management Platform)，以提升社會住宅的安全性、舒適性、節能性及永續性。台灣世曦專案管理導入新技術於專案管理，將智慧化管理系統融入社會住宅的各個環節，以實現全生命週期的智慧化管理目標。



透過 V3DM 平台，台灣世曦工程顧問公司已成功將數位雙生技術應用於多個社會住宅等專案，包括：

案例一：廣慈社宅地震監測預警的建築安全評估系統

案例二：樂善安居社宅的工程開挖監測安全管理系統

案例三：BIM 整合室內定位協助消防逃生避難應用

然而，社會住宅在導入智慧化管理的過程中，仍面臨一些挑戰，例如初期成本投入較高、部分住戶對智慧化設備的接受度與操作性較低、物業管理公司在智慧化設備的經驗不足等。為克服這些挑戰，台灣世曦工程顧問公司積極探討解決方案。



壹、引言

一、發展背景與動機

臺灣的社會住宅發展正面臨多重挑戰，包括建設成本攀升、土地資源有限，以及人口老齡化與少子化帶來的多元居住需求。自 2011 年臺北市推出第一處「大龍峒公營住宅」後，社會住宅政策開始從制度研擬、資源統籌、規劃設計、施工興辦，後續六都及中央住都中心積極擴大辦理社會住宅興建。

台灣世曦亦積極參與過程多個社宅的專案管理與監造工作，傳統工程管理模式在面對複雜專案時往往效率不彰，難以即時回應工程安全與環境永續的要求。因此，台灣世曦欲導入資訊通信技術（ICT）以提升社會住宅專案的智慧化管理，成為當前亟待解決的關鍵課題。

數位雙生技術（Digital Twin）通過虛擬與實體的深度整合，提供即時監測、分析與管理能力，為智慧建築與基礎設施提供創新解決方案。在此背景下，台灣世曦工程顧問公司作為專案管理與監造的領先企業，致力於運用自主開發的 V3DM 數位雙生平台，提升社會住宅從規劃到運營全生命週期的智慧化管理水平。本研究聚焦於台灣世曦如何結合 V3DM 平台解決社會住宅面臨的關鍵挑戰，並探索其應用於智慧建築的效益與潛力。

故本文選取台灣世曦參與的社會住宅案例作為分析對象：廣慈社宅的地震監測預警與建築安全評估系統、樂善安居社宅的工程開挖監測與安全管理系統，以及室內定位與消防逃生輔助系統。通過這些案例，本研究分析 V3DM 平台在實踐中的效益與挑戰，並提出未來在社會住宅推廣應用的建議。

二、數位雙生平台發展階段

數位雙生技術的發展可以分為多個階段，從基本的數據收集到全面的智慧化管理，每一階段都對應不同的技術應用與價值創造。台灣世曦工程顧問公司開發的 V3DM 平台，成功將數位雙生技術應用於社會住宅專案，以下說明從基礎到高階應用的發展歷程：

（一）初步探索與試點應用

在早期階段，數位雙生的核心是收集基礎數據，建立數位模型以模擬實體資產的基本性能。例如，廣慈社宅利用地震監測系統進行結構健康分析，初步探索如何運用即時數據提升建築物耐震能力。這一階段的重點在於驗證技術可行性，為後續的全域應用奠定基礎。

（二）數據整合與運營優化

隨著技術的進一步成熟，數位雙生進入數據整合與運營優化階段。此時，平台不僅整合來自 BIM、IoT 和其他系統的數據，還利用實時監測提升施工安全與效率。例如，樂善安居社宅的工程開挖監測系統結合視覺化分析與警報功能，實現了精準的風險管理，顯著降低了施工中的安全隱患。

（三）智慧化與預測性管理

在高階應用階段，數位雙生結合 AI 和機器學習技術，提供預測性維護與智慧化管理。例如，室內導定位助消防逃生導航系統，運用數據模擬與分析優化住戶的應急路徑，提升了整體安全管理水平。這一階段的技術核心在於實現全生命週期的智能化運營，支持即時決策與風險預測。

貳、廣慈社宅地震監測預警的建築安全評估系統

一、背景介紹

臺灣位於地震帶，每年約發生超過兩百次有感地震，對建築物安全構成威脅。歷史經驗顯示，老舊建築的耐震設計難以滿足現代標準，因此，透過感測器與數據分析進行持續監測，確保建築結構安全，已成為必要措施。

台灣世曦工程顧問公司多年來投入智慧城市發展的研發，除了將成果導入正在進行的專案外，更積極參與臺北智慧城市專案辦公室主導的「智慧城市驗證計畫」。該計畫促進創新技術於實際環境中的應用，整合公私部門資源，推動城市智慧化，選定廣慈博愛園區社會住宅，安裝與驗證「結構健康監測系統」的實際成效。

二、系統設計與開發

結構健康監測平台的開發與部署由多個專業團隊共同合作，涵蓋以下領域：

（一）硬體支援

由三聯科技股份有限公司提供強震儀與數據採集設備，確保數據收集的精準度與穩定性。

（二）地震專業分析與演算法開發

由國立陽明交通大學研究團隊負責，專注於地震行為分析模型與結構狀態預測演算法的開發。

（三）系統整合與視覺化呈現

由台灣世曦工程顧問公司負責，開發整合平台，包括數據處理、3D BIM 視覺化呈

現，以及提供直觀的管理介面。系統的設計機制流程如圖 1，數據監測、計算及通知時序如圖 2：

1. 數據收集模組

感測器安裝於建築結構關鍵位置，實時監測加速度數據，確保數據的完整與正確。

2. 分析演算法整合

採用卡爾曼濾波器與層間變位角計算模型，進行結構健康狀態評估與預測。

3. 視覺化呈現介面

開發友善的操作儀表板，直覺式的呈現地震事件與結構健康狀態。

4. 即時通知系統

當檢測到異常數據時，系統自動通知相關單位與住戶，並提供應變建議。



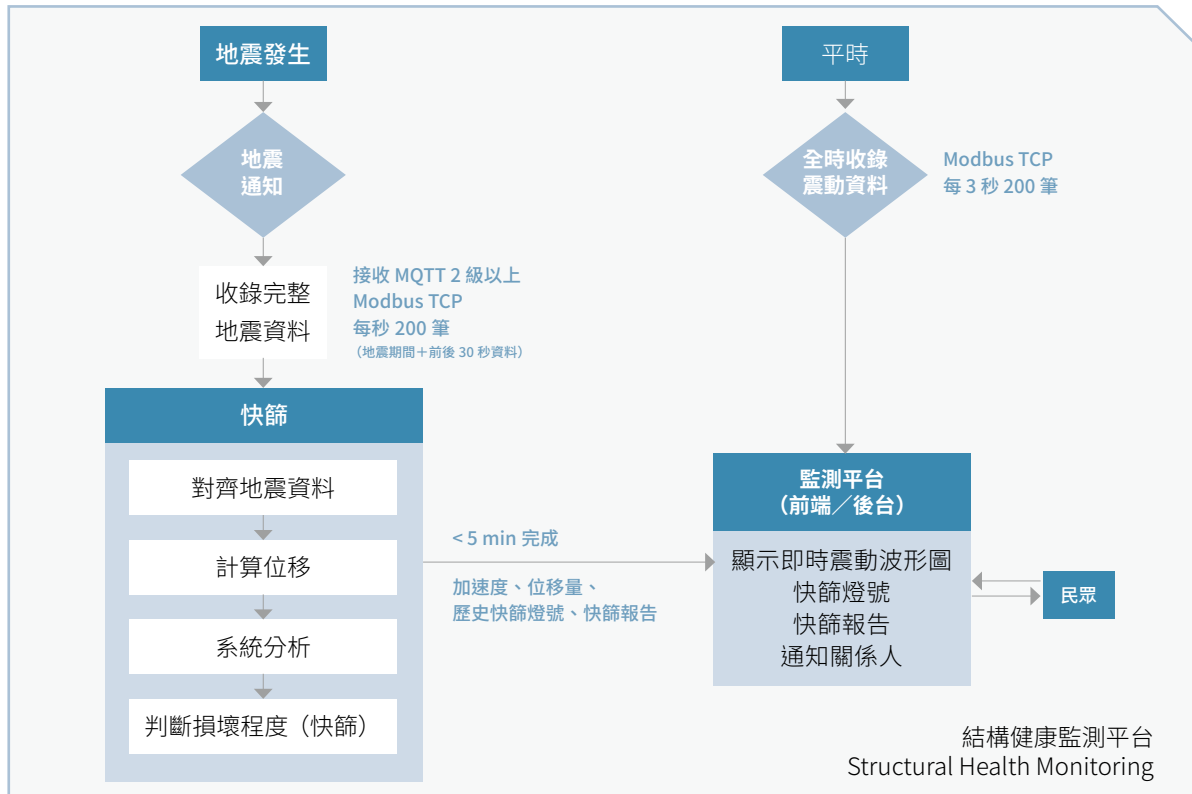


圖 1 結構監測平台監測機制

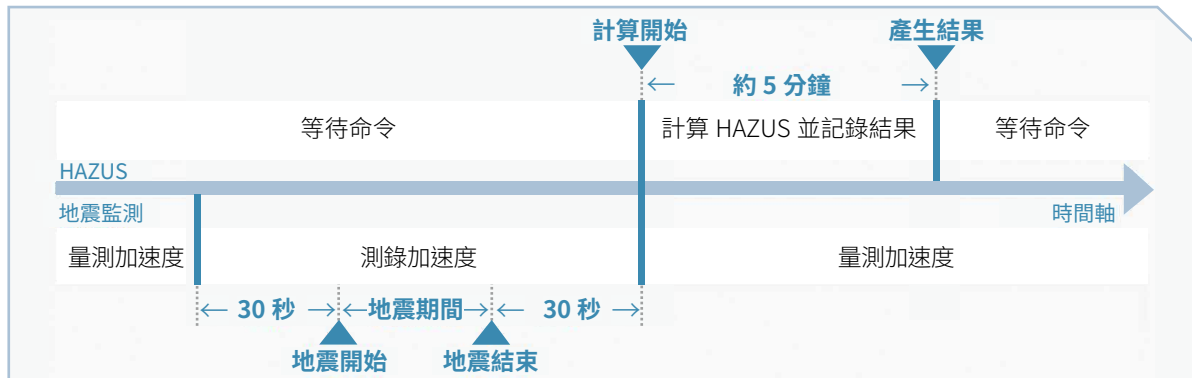


圖 2 地震監測及快篩時序圖

三、平台運作模式

結構健康監測平台依照地震發生前後的不同需求，設計了三個主要運作階段：

（一）平時監測

持續收集建築物結構數據，記錄正常狀態下的加速度、位移與層間變位角，建立基線資料，系統的監測介面如下圖 3。

（二）震後分析

地震發生後，系統即時啟動數據分析，計算樓層間的變位角，評估建築整體結構健康狀態，快速識別損壞程度。系統整合中央氣象局資訊，同步將資訊呈現在管理系統中，如下圖 4。

（三）通知與應變

分析結果自動轉換為視覺化報告，並透過 LINE 通知用戶與管理單位，提供應變建議，確保建築安全管理（如下圖 5）。

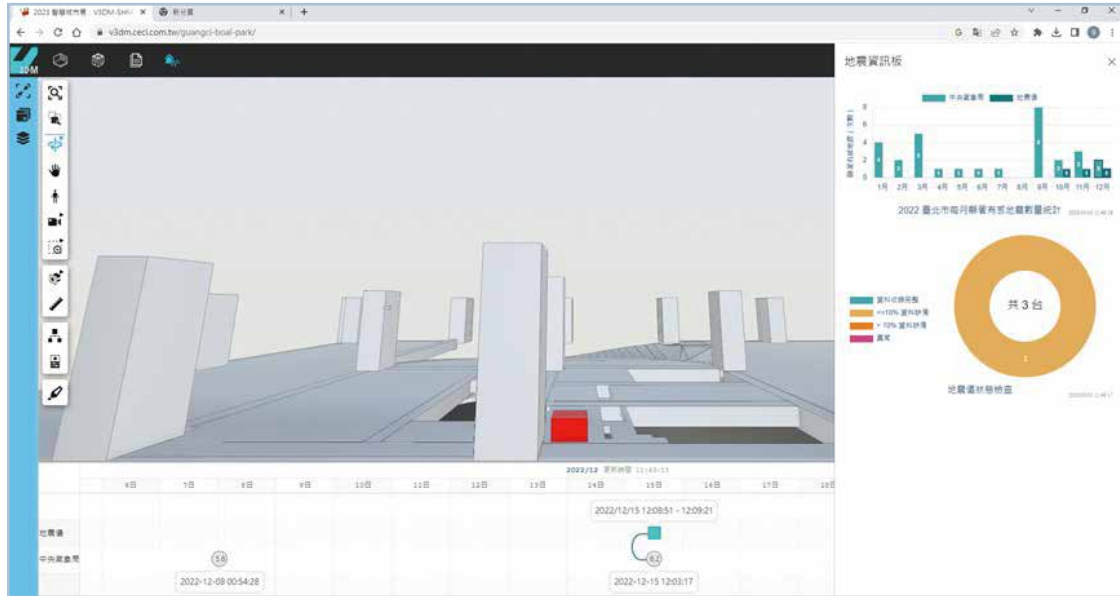


圖 3 平時監測系統運作狀態

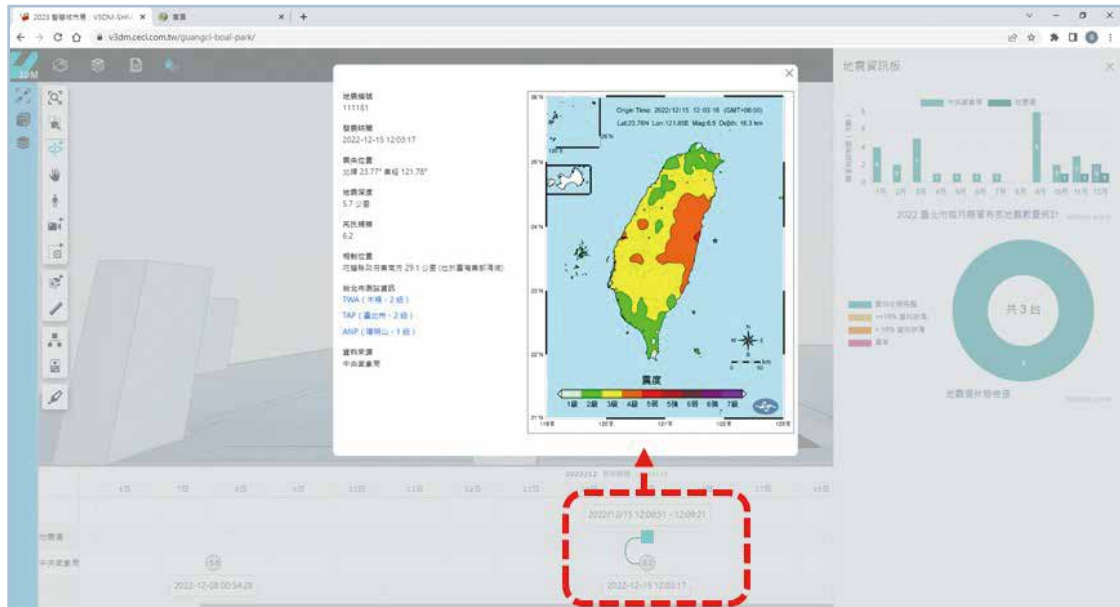


圖 4 震後分析並整合中央氣象局資料



圖 5 模擬地震發生後即時透過 LINE 通知評估結果

四、平台驗證與應用成效

為了驗證結構健康監測平台的實用性，本計畫進行了實地安裝、實驗室測試與技術展示，取得以下成果

(一) 廣慈博愛園區強震儀安裝

1. 在 D 棟社會住宅安裝強震儀，涵蓋 B1（地下一層）、14 樓（中層）與 27 樓（頂層），如下圖 6。

2. 強震儀持續收集建築結構數據，提供震後分析與平台測試的實際資料。

(二) 國立陽明交通大學結構實驗室參訪與測試

1. 參訪陽明交通大學結構實驗室，並進行振動台測試，如下圖 7。

2. 模擬不同地震情境，驗證平台即時分析與預測功能，確保數據精確性與穩定性。

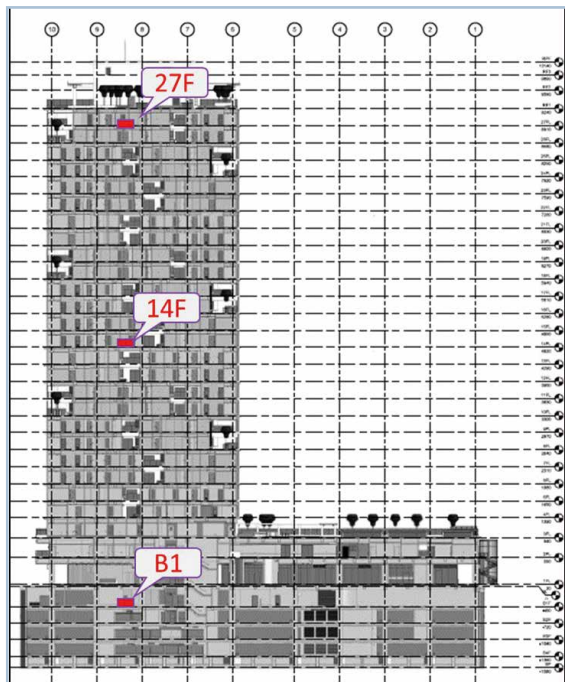


圖 6 設備布設位置圖



圖 7 陽明交通大學結構實驗室參訪參訪活動照片

(三) 2023 年智慧程式展參展與技術展示

1. 參與臺北智慧城市專案辦公室主辦的 2023 年智慧城市展，如下圖 8。

2. 向參觀者展示結構健康監測平台的技術成果與應用潛力，如下圖 9。

3. 平台的創新應用與實際效益獲得高度關注與正面回饋。



圖 8 2023 智慧城市展



圖 9 2023 智慧城市展臺北市市長與副市長蒞臨參觀

五、未來發展目標

本平台已通過臺北智慧城市專案辦公室的驗證，證明即時監測與數據分析在建築耐震管理中的可行性與重要性。透過強震儀、演算法與視覺化技術的結合，該平台展現了高度可靠性，能有效輔助建築安全管理與災害應變決策。因此，未來發展應朝以下方向推進：

（一）擴展應用範圍

除住宅建築外，擴展至橋梁、工業設施與其他公共基礎建設，特別針對高風險區域提供安全監測。

（二）技術升級與創新開發

整合 3D BIM 與 GIS 資訊系統，提升動態視覺化分析與決策支援能力。

（三）系統整合與智慧城市建設

與災害管理平台、緊急應變系統及公共安全網絡整合，實現多建築物的即時監測與區域化預警，如下圖 10。

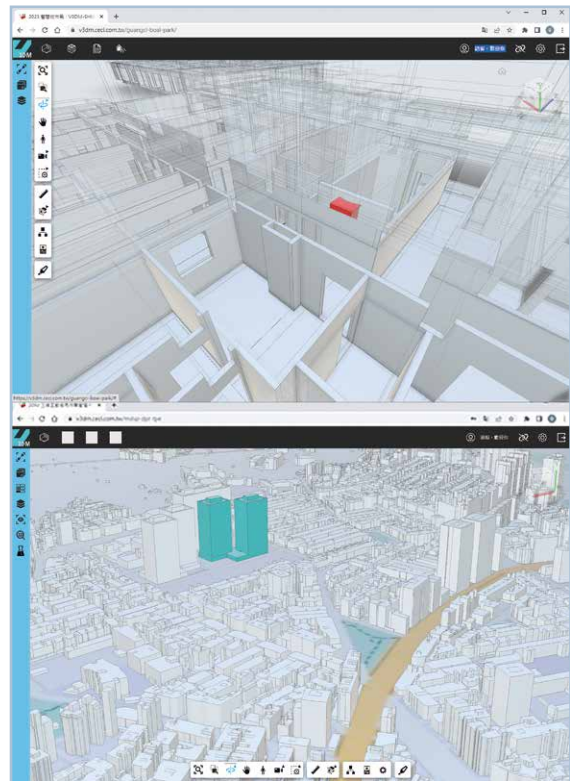


圖 10 平台整合 3D BIM 模型及套用 GIS 圖資等示範

透過持續的技術創新與應用推廣，結構健康監測平台將成為智慧城市建設的重要基礎，提升基礎設施的安全管理能力，並促進城市永續發展。

參、工程開挖安全監測資訊整合平台應用於樂善安居社宅

近年全臺新建工程基礎開挖期間頻繁發生道路塌陷、天坑、鄰房基礎掏空傾斜等重大工安與公共安全事故，凸顯地下室開挖過程即時安全監測的重要性。臺灣地震頻繁，極端氣候成為常態，地震與劇烈降雨時更是高風險時期。此時，相關機關需快速了解工地狀況，監造同仁需掌握即時監測數據，以判斷風險層級，監督施工廠商採取行動並向業主回報。

桃園市龜山區「樂善安居」社會住宅新建統包工程為國家住宅與都市更新中心在龜山推動的首案社宅，預計 2028 年完工。社宅基地面積達 1 公頃，位於龜山區文南路林口起點路段，基地西側緊鄰空地現作為建材堆置場，北側鄰接道路後接續山坡地形、南側接滯洪池後持續向溪谷傾斜。本案地下工程為三層 RC 結構筏式基礎，深度約 12.1 ~ 14.1m，採用排樁、H 型鋼加內支撐工法。由於基地位於斜坡地，內部高差約 2 米，如何於地下室開挖階段確保基地高差、道路及鄰近建物不受損壞成為一大挑戰。

為協助監造人員管理基礎開挖安全，本案將運用 V3DM 數位雙生平台，規劃導入工程開挖安全監測平台整合資訊，來應對開挖過程中的安全監控管理。

一、應用情境

當監測數據超出安全管理值時，通常被視為顯著的警示信號。然而，數據未達閾值前的異常趨勢特徵往往需依賴經驗豐富的人員觀察判斷。為提升判斷效率與準確性，V3DM 旨在提供一個基於 3D 視覺化的數據整合平台（如圖 11），支持監造人員進行安全趨勢判讀，預期在兩個情境下使用：

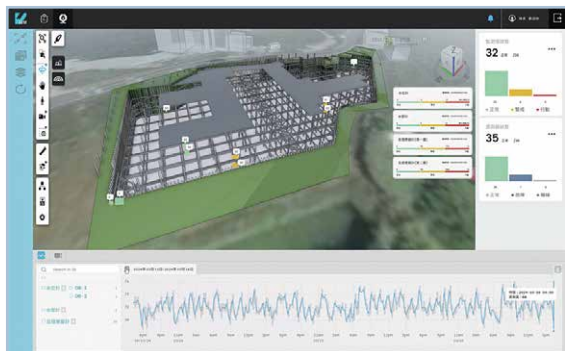


圖 11 工程開挖安全監測資訊整合平台主要畫面

（一）定期會議

在定期會議上經由瀏覽數據折線圖分析常態監控數據，追蹤長期趨勢。

（二）高風險時期

在颱風、劇烈降雨、地震…等緊急情況下，快速檢閱關鍵數據，評估當前風險。

二、功能特點

針對工程施工中的實際需求，本平台設計聚焦四大核心任務：（一）即時監測數據的快速獲取、（二）數據的空間化呈現、（三）數據整合與隨選調閱、（四）高效管理工具。

（一）即時監測數據的快速獲取

地下開挖最常造成災害發生之時機點為地下水抽取與土方開挖。設置監測系統主要功能是量測並記錄施工中所發生的各種變量，以防範各種潛在危險發生。為了達到取得即時監測數據的目標，台灣世曦專案管理團隊從統包契約即著手訂定，逐步引導統包廠商建立一套完整、自動化的安全監測系統，時刻監控邊坡滑動情形。

本案監測團隊包含統包廠商三民營造、第三方安全監測廠商鼎祐工程顧問公司以及數據收存整合廠商隼星科技，在各方專業的協力合作下，本案安全監測系統的配置，在地下水及擋土支撐系統因應即時監測需求選用數位式感測器（表 1），計有地下水位計 2 個、水壓計 2 個及支撐應變計於水平支撐每層 8 處、單層支撐每處 2 個，二層共 32 個（圖 12），建立可自動量測、自動輸入資料擷取設備並上傳至後端伺服器的自動化連續監測系統，該系統是取得即時監測數據的基礎，系統蒐集並儲存，V3DM 再向該系統取得監測紀錄資料。

表 1 本案數位感測器量測頻率

監測項目	使用儀器	量測頻率		
		擋土施工或地改或基樁期間	地下室開挖期間	地下室平時施工期間
1 地下水壓	水壓計	1 次／1 時	1 次／1 時	1 次／1 時
2 地下水位	水位觀測井	1 次／1 時	1 次／1 時	1 次／1 時
3 水平支撐應力	支撐應變計		1 次／1 時	1 次／1 時

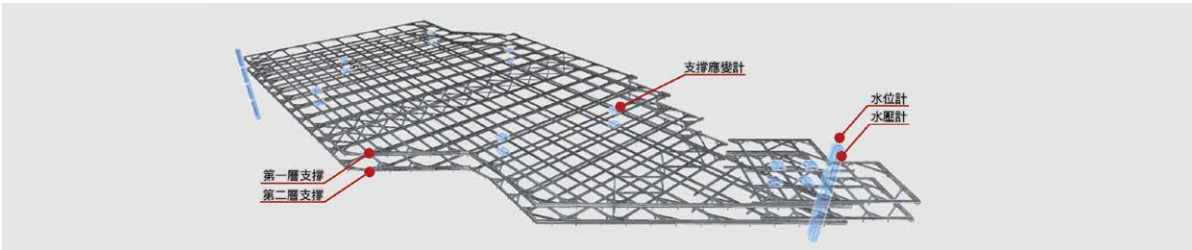


圖 12 本案數位感測器分布

(二) 數據的空間化呈現

在 3D BIM 模型上醒目展示數位感測器模型及監測數據（圖 13），使用者可直覺對應感測器在基地中的立體空間關係以及地理方位。其中包含兩個視覺化重點：

1. 監測值數據標籤：將即時監測數據以標

籤方式標示於感測器模型上方，在模型畫面中一目了然當前所有監測數值。

2. 監測管理值顏色標示：將感測器模型依據監測管理值顯示顏色，在安全範圍時顯示為綠色，當超過警戒值或行動值時顯示為黃色或紅色。



圖 13 3D BIM 模型監測值標籤及顏色標示

(三) 數據整合與隨選調閱

使用者可指定時間區間，搜尋並勾選要調閱的感測器，來調閱指定條件下的單一或多個監測數據歷史資料，多項監測數據並可疊合在同一個折線圖中（圖 14），以便比較與綜合分析，協助進行專業判斷。

後續規劃整合進氣象資料，將地震報告、天氣警特報、颱風、每日累計雨量…等資

料，以標籤形式呈現在監測數據折線圖內（圖 15），監造同仁可以比對在地震或劇烈天氣發生時監測數值的變化，揭示環境因素與監測數據的關聯性。未來可將歷史數據用於 AI 模型的訓練，進一步開發監測預警和警戒分析功能。

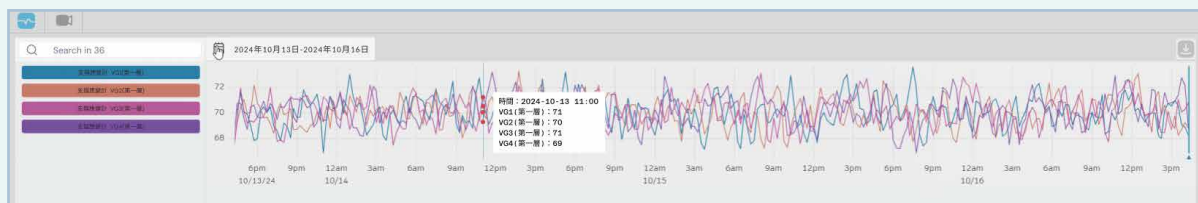


圖 14 感測器監測數據顯示

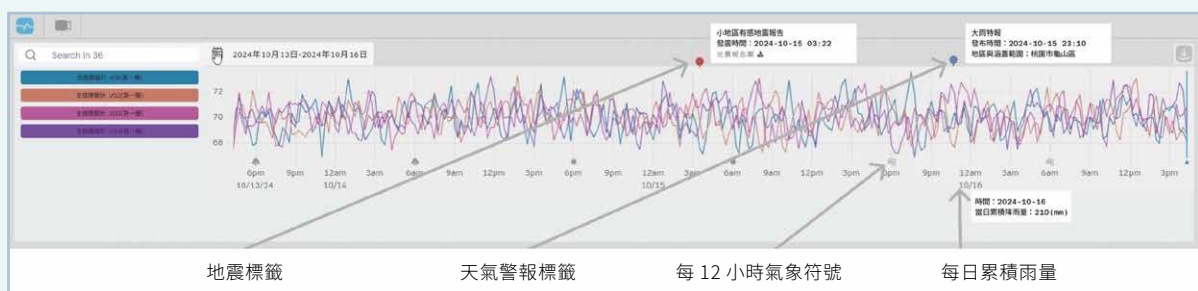


圖 15 結合氣象資料

(四) 高效管理工具

1. 警示事件主動通知

提供監測值異常示警及主動通知功能。根據監造同仁需求，異常值區分為「常時監控標準」及「劇烈氣候高風險時期監控標準」，常時監控標準是與初始值的差量，劇烈氣候高風險時期監控標準則是與前 24 小時監控值的差量，當監測值超過警戒值或行動值時，系統會進行警示事件標記，在警示清單中可查閱（圖 16）。也可開啟主

動通知功能，當監測值達到監測單位設定的發布警示標準時，主動以 LINE 訊息推播相關人士，即時掌握工地最新監測數據。

2. 監測儀錶板

設置監測管理值狀態及感測器運作狀態儀表板，即使面對海量感測器，也可立即掌握目前監測動態（圖 17）。

3. 聚焦監測數據模型

使用者所調閱的串流數據，包含感測器監

圖 16 警示事件歷史紀錄

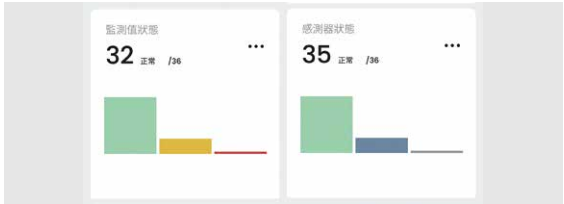


圖 17 監測儀錶板

測值、工地監視攝影機影像等，皆可在模型顯示區域將畫面聚焦至該模型元件（圖 18），使用者能夠快速定位數據來源，辨識該數據在基地或構造物的哪一個方位。

肆、整合 BIM、數位雙生與無基礎設施定位技術的創新應用

一、背景介紹

在全球建築產業迅速數位化的浪潮中，建築資訊建模（BIM）和數位雙生（Digital Twin）技術已成為提升設計、施工與營運效率的關鍵工具。然而，這些技術的應用仍面臨數據整合與現場動態監測的挑戰。隨著無基礎設施定位（Infrastructure-Free Positioning, IFP）技術的成熟，提供了一種可在複雜環境中實現高精度即時定位的解決方案，使得數位模型與現實空間的動態同步成為可能。透過整合 BIM、數位雙生與 IFP 技術，實現建築產業全生命週期的智慧化管理。

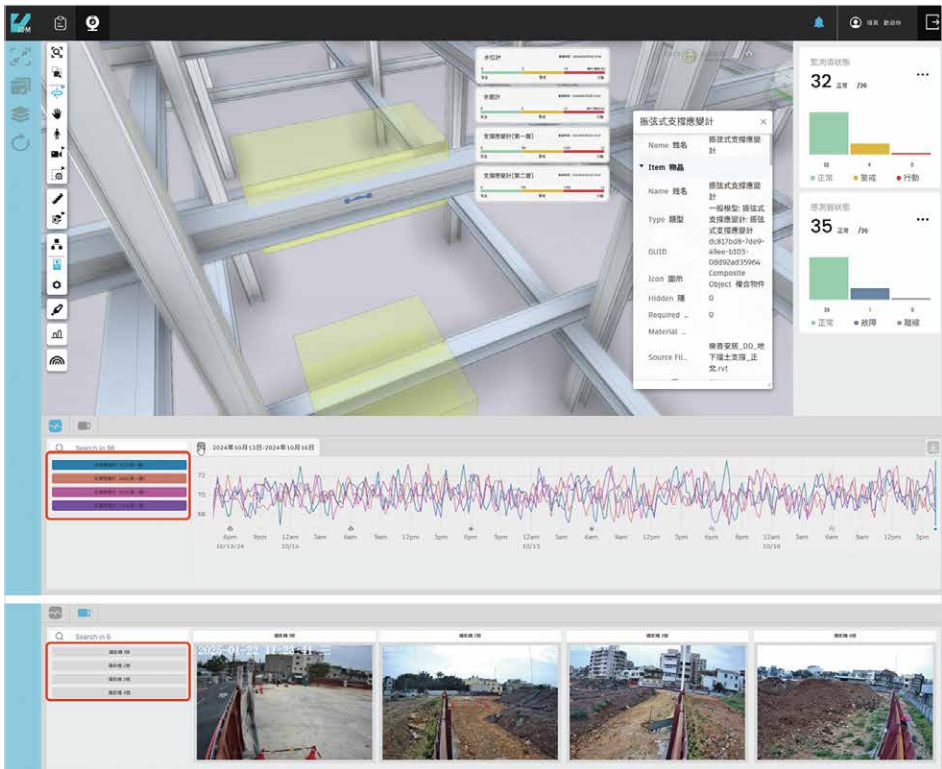


圖 18 元件聚焦顯示按鈕

二、技術概述

無基礎設施定位技術（IFP）：IFP 技術利用光學、聲波或無線電等信號源，無需傳統定位基礎設施即可實現高精度定位。它的優勢在於能夠適應動態或複雜環境，並且降低傳統定位系統的成本。在建築與施工現場，IFP 可以提供即時的空間定位，增強數位模型與現實場景的互動性與同步性。

三、整合 BIM、數位雙生與無基礎設施定位技術的必要性

（一）複雜工程管理需求

現代建築與基礎設施的複雜度愈來愈高，我們需要更高效的工具來提升效率並降低風險。

（二）BIM 的限制

雖然 BIM 提供了精確的數位模型，但缺乏即時回饋能力，無法應對實時需求。

（三）無基礎設施定位技術的限制

IFP 技術雖然能提供動態場景的高精度定位，但單獨使用時難以形成系統性的解決方案。

（四）整合優勢

整合這三項技術，可以實現靜態與動態數據的無縫連接，提升模型與現實的交互能力。

（五）智慧化決策

從設計到運營，整合後的技術能夠提供即時數據支持，幫助營運單位做出更優化的管理決策。

（六）推動數位化轉型

高效且可持續的管理需求，使得數位化轉型成為未來發展的必然趨勢。

四、創新應用

（一）工地管理應用 – 提升工地管理的效率與安全性

BIM 提供施工所需的詳細數位模型，包括建築設計、施工進度與設備配置資訊，作為全生命週期管理的數據基礎。數位雙生則結合實時數據，監控設備運行、材料消耗與進度異常。而無基礎設施定位技術則能追蹤工人、機械與安全設備的位置，防止事故發生。例如，在高層建築施工中，數位雙生可以即時監控吊車運行，定位技術則確保工人遠離危險區域，實現智慧化施工管理。

（二）資產管理應用 – 提升效率與精準度

BIM 建立詳細的數位模型，包含設施設備、管線系統與結構資訊，確保維護期間資訊的正確性。數位雙生技術則是將設備運行數據與數位模型結合，進行狀態監測與性能預測，幫助管理者及時發現問題並採取行動。無基礎設施定位技術則支持快速定位資產與人員，例如縮短醫療設備尋找時間。整合這三項技術，實現可視化管理、快速決策與降低運營成本。

（三）防救災應用 – 提升應對效率與資源調配

BIM 提供建築結構、避難路線與設備位置等數據，協助緊急動線規劃與資源配置。數位雙生技術結合實時監控，動態更新災害場景資訊，如建築損壞、火勢蔓延與

坍塌情況，幫助快速評估風險並制定行動方案。無基礎設施定位技術則在基礎設施受損或通信中斷時提供即時定位，追蹤救援人員與受困者位置，增強行動協調性。例如，在地震中，我們可以快速定位受困者、規劃安全路徑，並即時更新危險區域資訊，縮短救援時間，降低損失與傷亡，實現更高效的防救災行動。

五、台灣世曦內湖總部大樓導入

台灣世曦內湖總部大樓在規劃與施工期間，我們已經建立了完整的 BIM 模型。包

括建築結構、機電管線與空間配置，還整合了各項設施的詳細資訊。營運過程 BIM 中心陸續整合了物聯網（IoT）設備，將大樓的空調、照明、電力等系統的運行數據即時回饋到 V3DM 系統平台（如下圖 19）。

近期我們更進一步導入了無基礎設施定位技術（IFP），在現有環境中無需額外配置設備便實現高精度室內定位。透過手機或平板設備可以協助引導同仁需要前往開會地點（如圖 20 所示），也嘗試在移動的設備上安裝追蹤裝置，即時追蹤這些設備的位置（如圖 21 所示）。

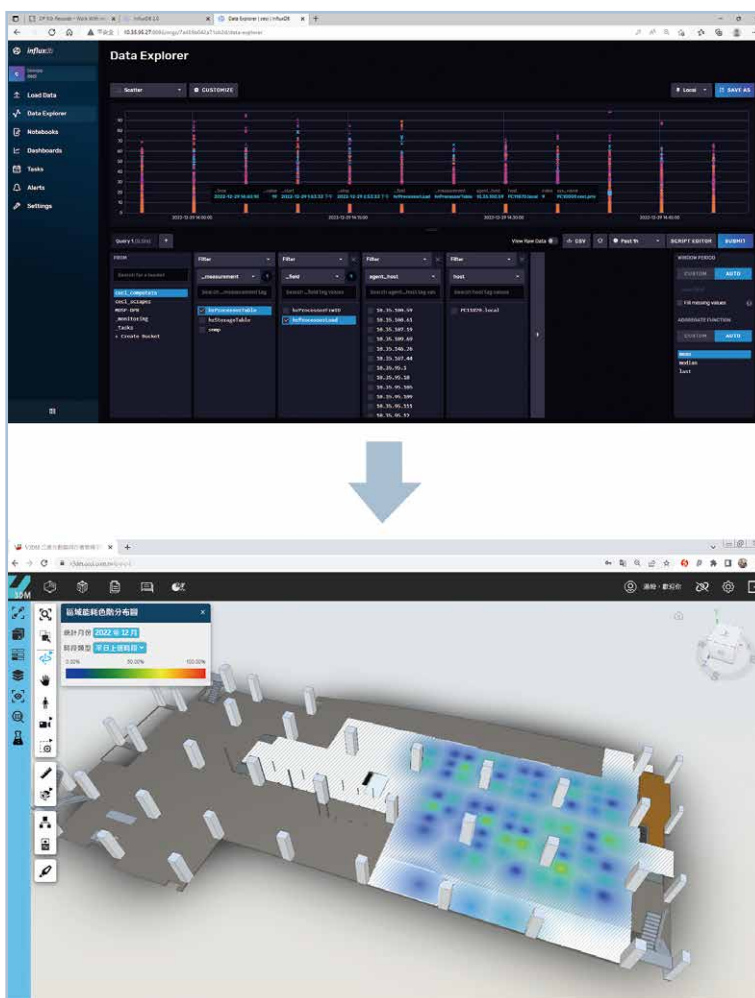


圖 19 數位雙生即時視覺化檢視環境狀態

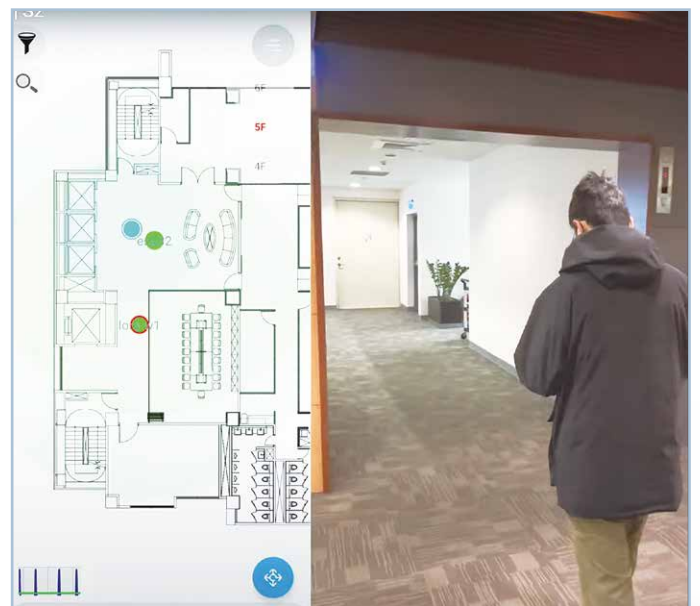


圖 20 導入室內定位技術協助引導目的地



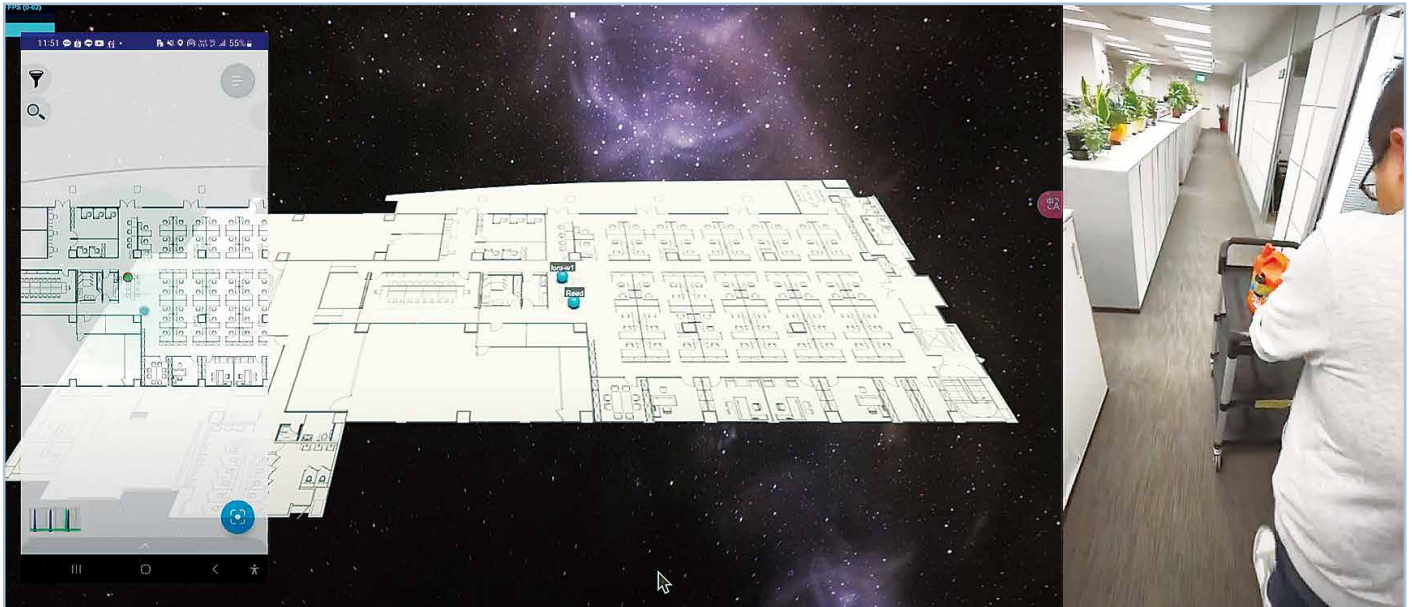


圖 21 導入室內定位技術追蹤設備移動狀態

上述的整合技術導入到工地，預期可大幅提升作業效率與安全性。例如透過手機或平板，工人能快速導航至施工區域或材料存放點。此外，追蹤裝置應用於移動設備，如推車或吊運機具，即時監控其位置與使用狀態，有助於優化調度並降低遺失風險，提升整體工地管理效能與安全性。

伍、V3DM 數位雙生發展效益與展望

一、效益評估

數位雙生技術在社會住宅中的應用，不僅能顯著提升建築、工程與施工（AEC）領域的運營效率，還能帶來多方面的經濟與永續效益。綜合整理 V3DM 平台在專案管理及工程專案導入的應用案例，並結合國際研究與實證數據進行以下效益評估：

（一）降低專案成本

數位雙生通過整合 BIM 與 IoT 技術，改善設計流程與多專業協同，有效減少設計錯誤和施工返工。根據麥肯錫公司研究，數位雙生技術可為建築專案節省 15-25% 的成本。以樂善安居社宅為例，V3DM 平台的工程開挖監測系統幫助即時預警潛在施工風險，減少因延誤造成的額外支出。

（二）改善專案交付效率

透過即時監控和數據模擬，數位雙生技術能優化排程與風險管理。美國 NIST 的研究表明，數位雙生可將專案交付時間縮短 20-30%。台灣世曦將 V3DM 平台應用於多項工程竣工交付案例中，實現了竣工文件與 BIM 模型整合的視覺化便利性，相較傳統模式大幅提升交付效率。

(三) 增強決策能力

V3DM 平台的視覺化分析工具與即時數據支持，幫助管理者在建築全生命週期中做出精準決策。例如，在廣慈社宅，地震監測系統結合實時數據與分析模型，有效識別結構弱點並提供補強建議。

(四) 提升永續性與資產利用率

數位雙生模擬建築性能，幫助發現能源優化與減少浪費的機會。V3DM 平台在台灣世曦內湖大樓案例中，通過能源管理架構 ISO 50001，成功降低了能源消耗並達到碳排放減少目標。同時，設備的預測性維護技術延長了設施壽命，提升了資產效益。

(五) 減少維護成本

數位雙生技術的預測性維護功能顯著降低了維修費用與計畫外停機時間。例如，在八卦山隧道的應用中，巡檢人員利用 V3DM 平台自動派工及電子化巡檢應用，減少了約 10 ~ 20% 的工時，並優化了隧道巡檢的工作流程。

(六) 改善用戶體驗與系統整合

數位雙生技術促進專案團隊的協作與用戶參與，減少溝通錯誤與協作成本。室內定位輔助逃生系統進一步提升了住戶的安全感與應急效率，成為智慧建築服務的亮點。

二、展望未來發展

隨著技術的不斷演進，數位雙生技術在社會住宅中的應用有以下幾個重要發展方向：

(一) 全生命週期智慧化管理

數位雙生將涵蓋從規劃設計到營運維護的全生命週期管理，並進一步結合碳排放追蹤與能源優化技術，助力達成更高的永續目標。

(二) 預測性與自主性功能升級

隨著 AI 與機器學習技術的融合，數位雙生將能夠自動識別潛在風險並實施優化措施，實現完全自主化的運營與維護決策，降低成本並提升安全性。

(三) 跨系統整合與數據流動

未來的數位雙生技術將支持更多跨部門數據流動，例如與 CMMS、BMS 和 ERP 的深度整合，形成智能化數位生態系統。

V3DM 平台在社會住宅中的實踐，充分展示了數位雙生技術的潛力與價值。未來，隨著技術進一步升級與國際化推廣，數位雙生將成為智慧建築管理的核心支柱，助力社會住宅實現安全、舒適、永續與智慧化的全新里程碑。

從營管角度探討智慧型社宅全生命週期導入 BIM 及物管效益—以廣慈博愛園區為例

關鍵詞 Keywords

- # 智慧型社會住宅 Smart Social Housing
- # 建築資訊模型 Building Information Modeling (BIM)
- # 全生命週期管理 Lifecycle Management
- # 物業管理 Property Management
- # 淨零碳排 Net Zero Carbon Emissions
- # 智慧能源管理 Smart Energy Management

臺北市政府都市發展局 住宅工程科

科長

張裕隆

正工程司

何家偉

工務所主任

閻瑞莉

幫工程司

周建至

台灣世曦工程顧問股份有限公司 營建工程部

協理

林聰能

技術經理

黃寶翰

工程師

王瑄如

營建專案管理單位致力於為主辦機關提供專業管理技術，並在工程規劃初期即介入，協調規劃、設計、施工及驗收，以確保建築全生命週期效益。面對全球淨零碳排趨勢，營建管理須納入減碳策略，如優化能源使用、應用低碳建材與提升建築效能，以確保社會住宅的永續發展。

建築資訊模型（BIM）技術已成為工程管理的重要工具，其應用涵蓋設計優化、施工協調及營運管理。BIM 技術有助於降低碳排放，透過建築能耗模擬、減少材料浪費及強化智慧管理，提高建築永續性。



本文以臺北市廣慈博愛園區為例，探討 BIM 在工程全生命週期的應用，並分析 ICT 廠商建置的 BIM 雲端系統對營運管理的效益。透過訪談主辦機關、ICT 廠商及物業管理單位，評估統包模式導入 BIM 的優劣及對物業管理的影響。最終，以營建專案管理視角，提出智慧型社會住宅導入 BIM 的策略，並結合淨零碳排目標，提供未來發展參考。



壹、前言

隨著時代進步，營建工程面臨少子化與勞工資源短缺問題，逐步推動自動化與工法創新，如模組化預鑄工法、機械化施工及建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）的應用。其中，BIM 已成為最廣泛使用的技術，不僅提升施工效率，更能促進建築業邁向淨零碳排目標。

早期 BIM 主要作為設計雛形工具，透過視覺化模擬協助理解設計概念與特色。現今，BIM 應用涵蓋設計與施工全過程，如利用 BIM 工具進行基地配置分析、建築能耗模擬、綠能方案評估及與主辦機關溝通最佳規劃。施工階段則通過 3D 模型進行滾動式衝突檢討，或以 4D 模擬分析施工工序，

確保興建過程符合空間環境限制，並降低材料浪費與碳排放。透過 BIM 協作平台取代典型協同作業方式，不僅提高施工精準度，也有助於提升建築的環境永續性。

因此，BIM 已逐漸成為建築業的重要核心，未來將聚焦於設施管理與智慧化應用，以支援建築碳足跡監測、能耗優化與低碳營運。本文以臺北市最大型智慧型社會住宅社區—廣慈園區為案例，從專案管理角度探討 BIM 在全生命週期的應用，並評估其於物業管理階段的效益。亦關注 BIM 結合智慧系統的可能性，以提升運營效率，並推動建築永續發展與淨零碳排目標，如圖 1 所示。



圖 1 廣慈園區社宅導入 BIM 期望效益

貳、工程概述

臺北市政府為活化土地資源並保障弱勢族群權益，推動社會住宅政策，目標在 2018 年完成兩萬戶社會住宅。廣慈博愛園區開發案為 2016 年推出的政策之一，採整體規劃及開發方式，由市府自籌經費興建，定位為示範性智慧與永續社區，並積極落實淨零碳排理念。

廣慈博愛園區社會住宅（以下稱廣慈社宅）作為指標工程，在規劃時同步考量都市發展、社會福利及環境永續需求，延續「廣慈博愛院」安老扶弱的精神，並結合捷運交通、社會福利、托育服務及公共設施，構建一個綜合性、複合式公共服務園區。此外，建築設計導入低碳建材、綠建築標準與節能設備，透過智慧能源管理系統優化社區能耗，減少碳排放，提升整體環境效益。

廣慈社宅不僅促進周邊都市更新與發展，更作為淨零碳排示範社區，引領未來社會

住宅邁向智慧化與永續發展，為都市住宅政策提供具前瞻性的實踐範例。

本案基地位於信義區福德段二小段 319 地號等 27 筆地號土地，基地南臨 25m 福德街，西臨 15m 福德街 84 巷，北臨 8m 林口街 80 巷，東臨 15m 大道路。25m 福德街及 15m 大道路為主要聯外道路，並可經 25m 福德街銜接信義路六段接信義快速道路。基地西北側 650m 處為捷運後山埤站，於基地東南角福德街為公車站牌可通達其他地區，如圖 2 所示。基地涵蓋六個統包工程標案，包括行政大樓 A 標（地上 13 層、地下 4 層）、社福大樓 B 標（地上 8 層、地下 4 層）、社會住宅 C 標（地上 28 層、地下 4 層）以及 D 標、E 標（地上 27 層、地下 4 層）及 ICT 智慧科技應用工程（南、北側），其各分標範圍如圖 3 與細節如圖 4 所示，展現了其作為智慧型社會住宅的開發規模與潛力。



圖 2 廣慈園區基地周邊位置圖

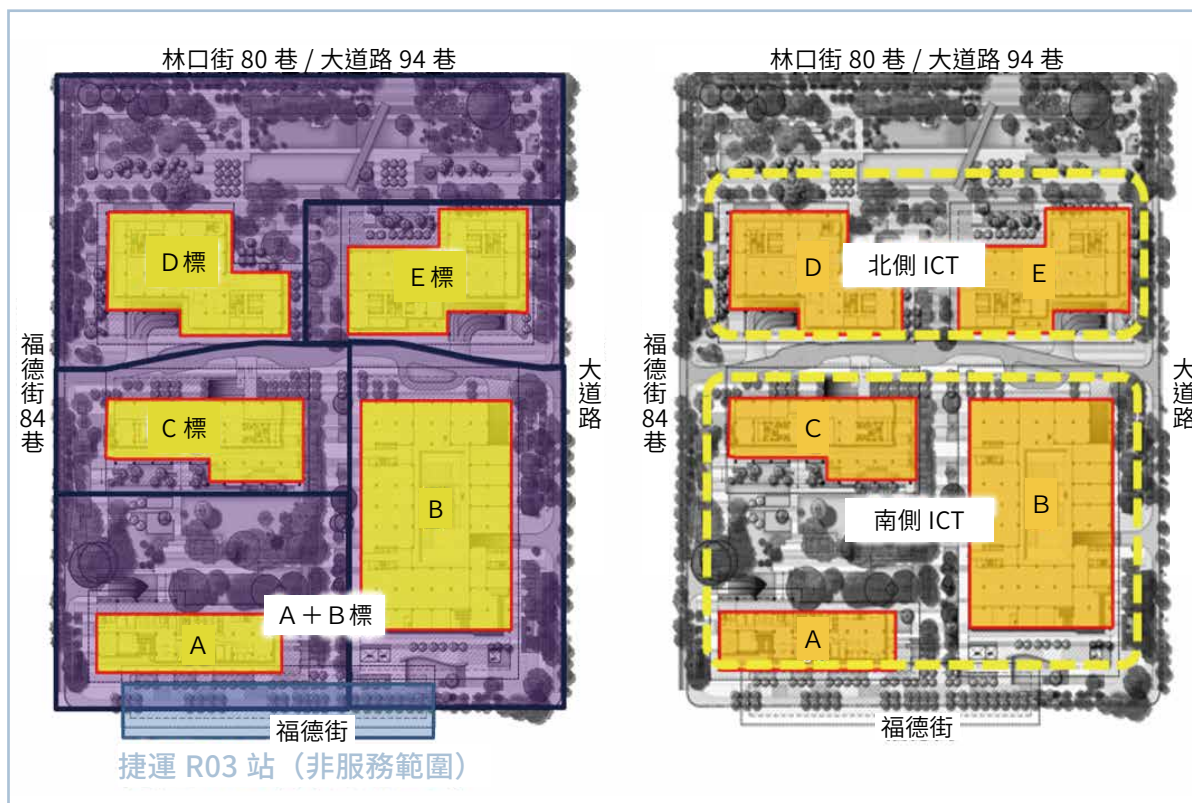


圖 3 廣慈園區各分標範圍圖



圖 4 廣慈園區全區模擬圖

參、計畫特性及營管智慧建築創新應用

本案在專案全生命週期中全面導入 BIM 技術，首先在規劃階段，如圖 5 所示，結合 BIM 技術進行智慧社區設計，將「綠建築」與「智慧建築」的核心理念融入其中，如節能管理、安全防災、健康舒適等。不僅應用於建築空間設計，還進一步拓展至整體社區層級。在現有綠建築的基礎上，加入多層次能源管理系統和先進 ICT 資通訊技術方案，作為未來發展目標，實現社會住宅生活品質與服務水準的提升。

本案在專案全生命週期中全面導入 BIM 技術，首先在規劃階段（如圖 5 所示），結合 BIM 進行智慧社區設計，將「淨零碳排」、

「綠建築」與「智慧建築」核心理念融入其中，包括節能管理、安全防災及健康舒適等。不僅應用於建築空間設計，還進一步拓展至社區層級，確保環境永續發展。

在現有綠建築基礎上，本案導入多層次能源管理系統與先進 ICT 資通訊技術，如智慧電網、太陽能光電整合及建築能耗模擬，以提升能源使用效率並減少碳排放。此外，透過 BIM 數據分析，優化建築全生命週期內的能源消耗，進一步推動社會住宅向低碳化、智慧化與永續發展邁進，確保居民享有高品質、環保且具前瞻性的生活環境。

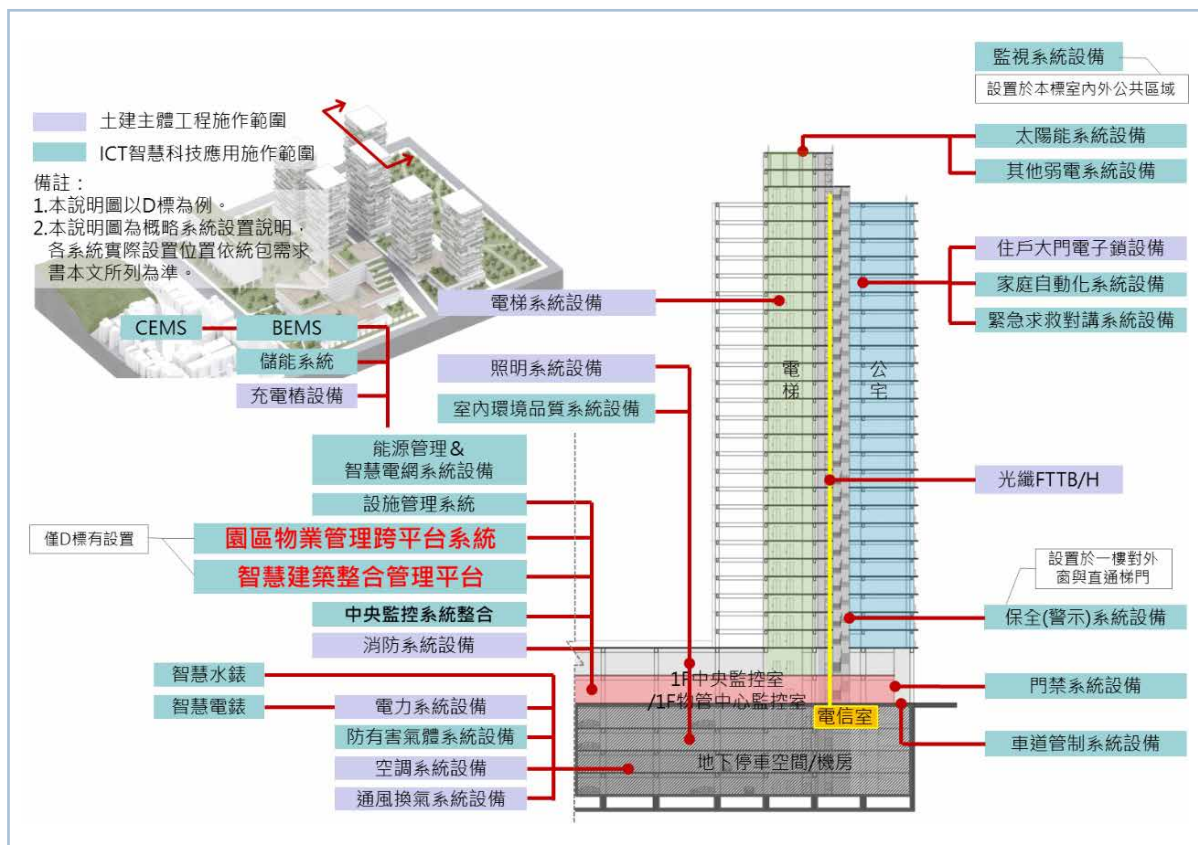


圖 5 導入 BIM 進行規劃智慧型社區

一、導入 BIM 目標與策略

根據本案特性，從社會住宅全生命週期總成本的觀點切入，營建專案管理單位與主辦機關共同確認需求，減少不同階段對 BIM 應用項目的理解差異。同時，制定各單位執行 BIM 相關工作的流程及權責分配，從而降低工程各階段可能出現的衝突，進一步提升 BIM 應用的效能與效益。

根據本案特性，從社會住宅全生命週期總成本與碳排管理角度切入，營建專案管理單位與主辦機關共同確認需求，確保 BIM 技術應用同時提升效益並減少環境影響。透過低碳建材選擇，在規劃階段優化能源配置，降低 BIM 應用理解差異。同時，制定各單位 BIM 執行流程與權責分配，並降低工程衝突，確保 BIM 在施工、營運及維

護階段發揮最大效能，推動社會住宅朝向智慧管理與淨零碳排發展。

(一) BIM 於各階段應用及流程說明

為滿足未來物業管理需求，採用最具效益且符合淨零碳排目標的方式檢討設計與施工可行性，透過 BIM 技術進行能耗模擬與低碳建材選擇，確保建築全生命週期內的能源效率最優化，並減少施工過程中的資源浪費與碳排放，推動社會住宅向智慧化與永續發展邁進。針對本案 BIM 的應用與交付內容，詳情可參考圖 6 對各階段 BIM 應用的說明及圖 7 對各階段應用成果的具體項目來展示成果。於本工程進行 BIM 技術導入應用總共可分為四個階段來執行，詳如以下說明：

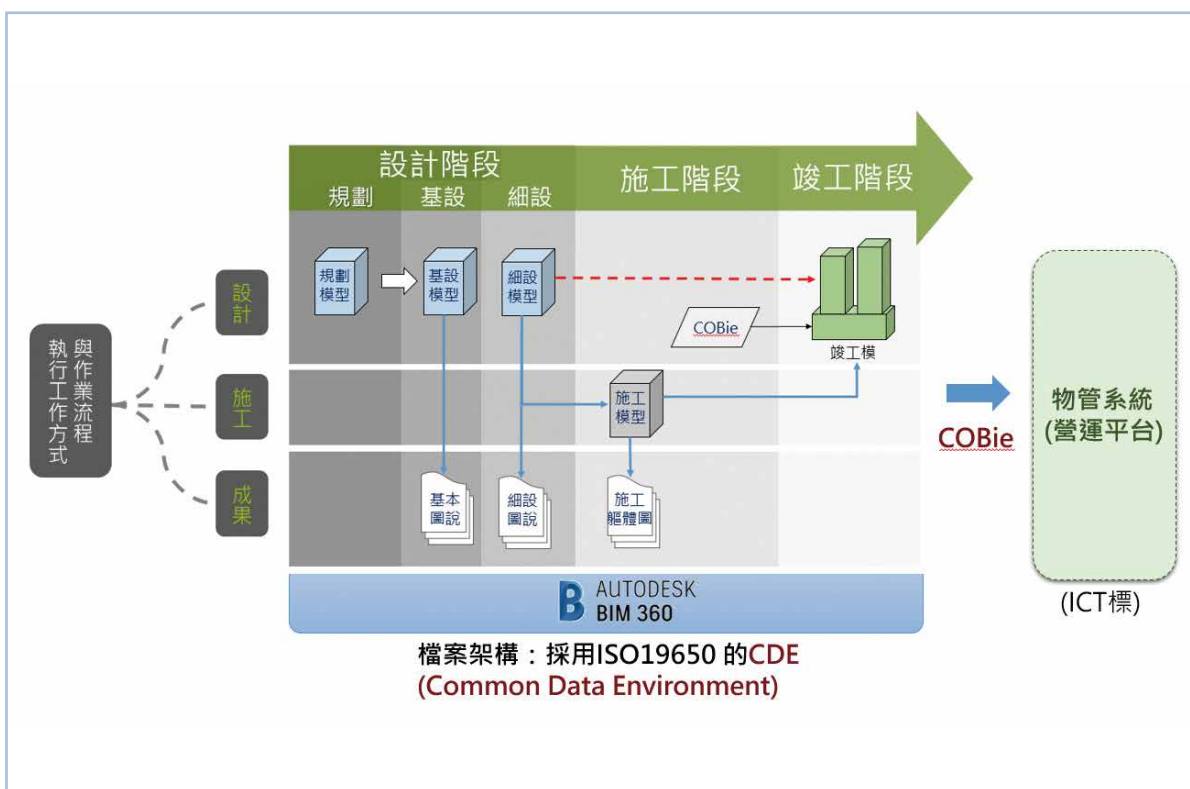


圖 6 BIM 應用於各階段說明



圖 7 BIM 應用於各階段說明

1. 規劃階段

營建專案管理單位進行 BIM 塑模並加以分析，納入低碳建材選擇及能耗模擬，優化早期規劃設計，以降低環境影響並提升能源效率。

2. 設計階段

統包廠商根據 BIM 模擬分析成果進一步建置設計模型，並整合綠建築標準及減碳策略，確保設計符合淨零碳排目標。

3. 施工階段

營建專案管理單位督導統包廠商，透過 BIM 依實際狀況滾動式調整設計，減少資

源浪費與碳排負荷。

4. 竣工與維管階段

統包廠商將施工模型轉為竣工模型，納入物業管理所需資料（如 COBie 運維資產信息交換標準），並進一步生成智慧能源管理模型，優化建築運維，確保長期低碳運行。

BIM 作業流程如圖 8 所示。

(二) BIM 於物業管理規劃

物業管理在前期規劃設計中的需求考量，直接影響社會住宅的管理費用及不動產價值增長潛力，是本案成功與否的關鍵。因此，規劃設計時即納入物業管理需求，並

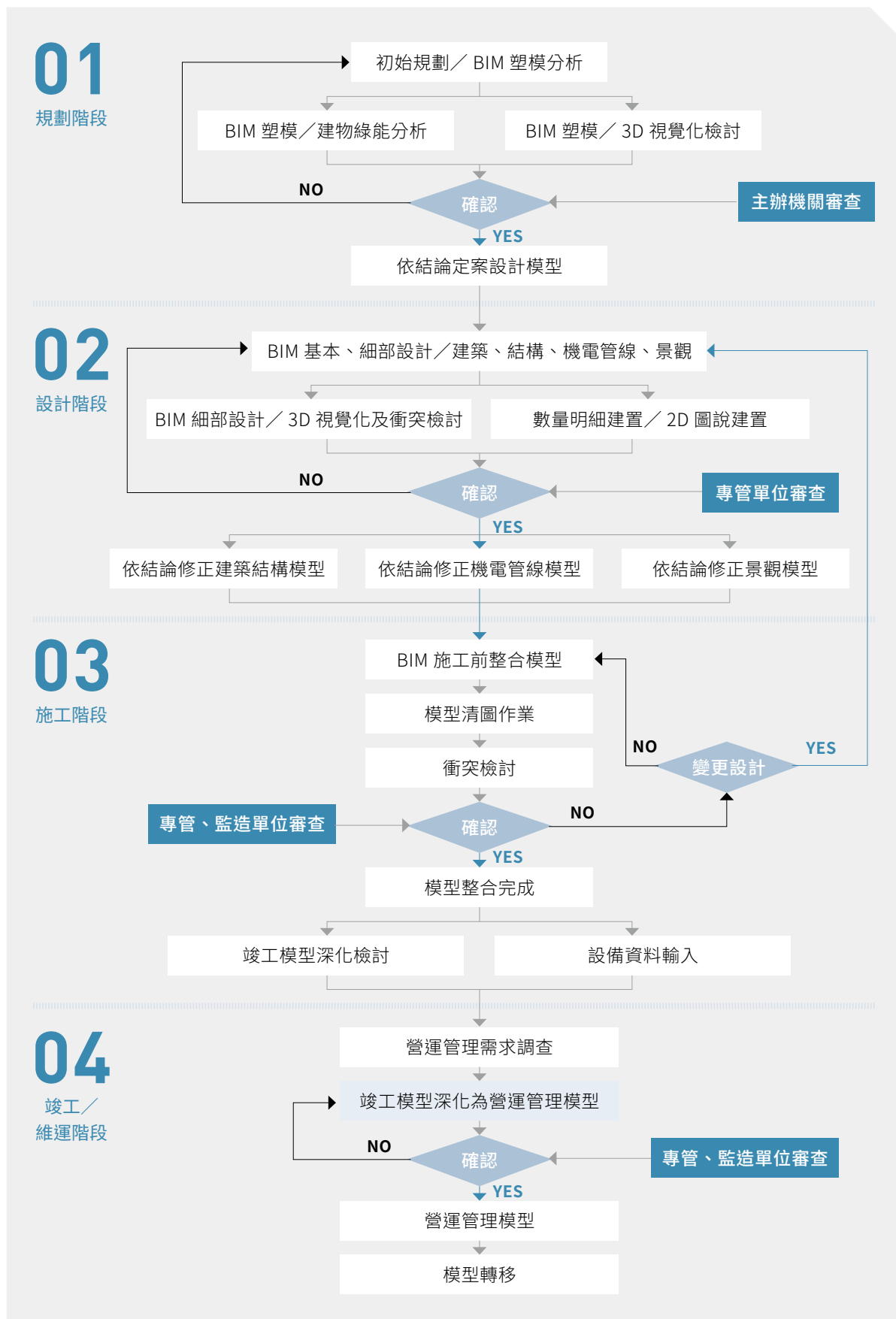


圖 8 BIM 作業流程



導入淨零碳排策略於智慧綠建築的軟硬體設施中，以降低建築全生命週期的碳足跡。

物業管理負責智慧綠建築在營運階段的核心工作，透過智慧能源管理、再生資源回收等措施，最大限度減少資源消耗與廢棄物，並遵循生態（Ecology）、節能（Energy Saving）、減廢（Waste Reduction）與健康（Health）原則。此外，本案前期導入 BIM 技術，應用於規劃、設計、施工及營運管理等階段，提供建築碳足跡分析與能耗評估，作為未來建築更新、長期修繕計畫與物業管理優化的依據，進一步實現全面化、智慧化與低碳永續管理，如圖 9 所示。

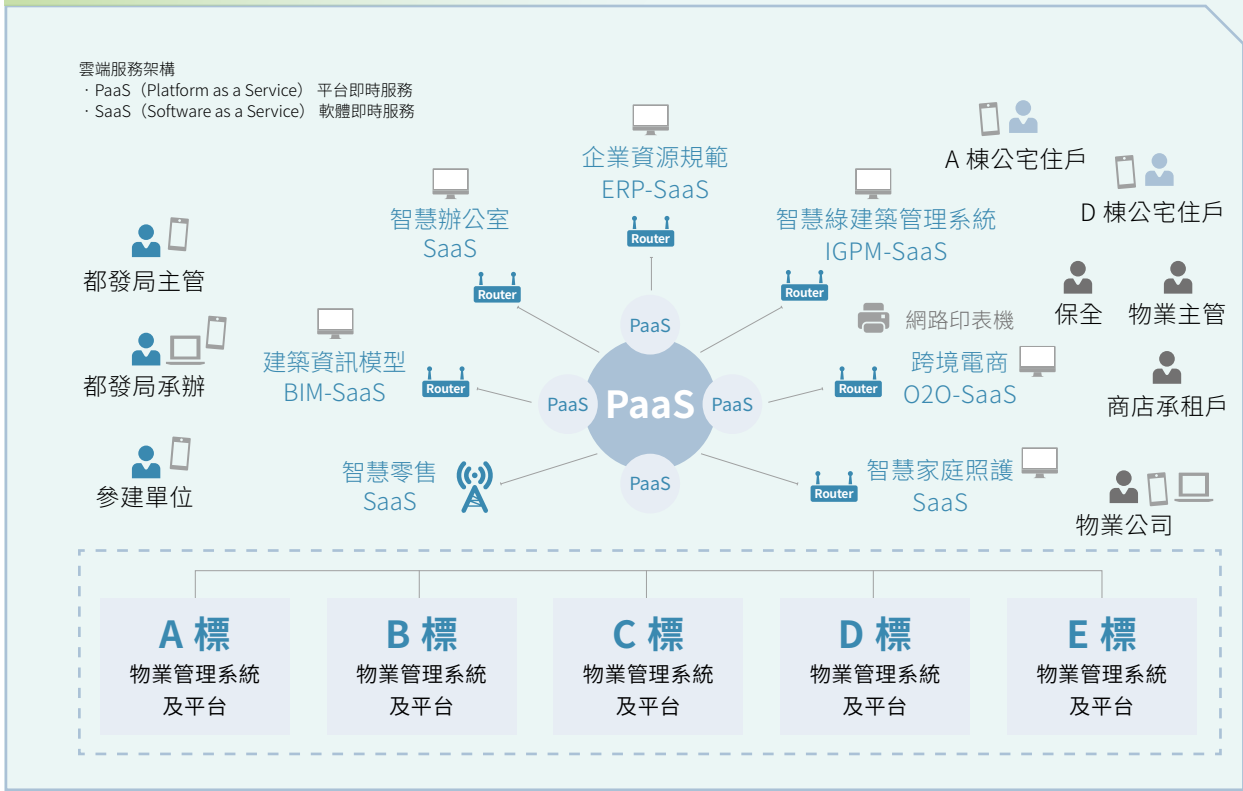


圖 9 廣慈博愛園區物業管理跨平台系統

(三) BIM 應用交付權責

為落實國際 ISO 19650 標準中的 CDE (Common Data Environment) 概念應用，本案針對各階段的相關資料（如報告書、圖說等文件以及 BIM 模型）進行資料夾的定義與分類管理，並針對主辦機關、營建專案管理單位、監造單位，以及統包

廠商（包含設計、施工及各專業分包），明確規範 BIM 作業的階段性分工與權責。這包括 BIM 模型的建置、資訊交付、能耗優化分析、審查、存檔，以及交付歷程的記錄與歸檔等操作，相關架構如圖 10 所示。

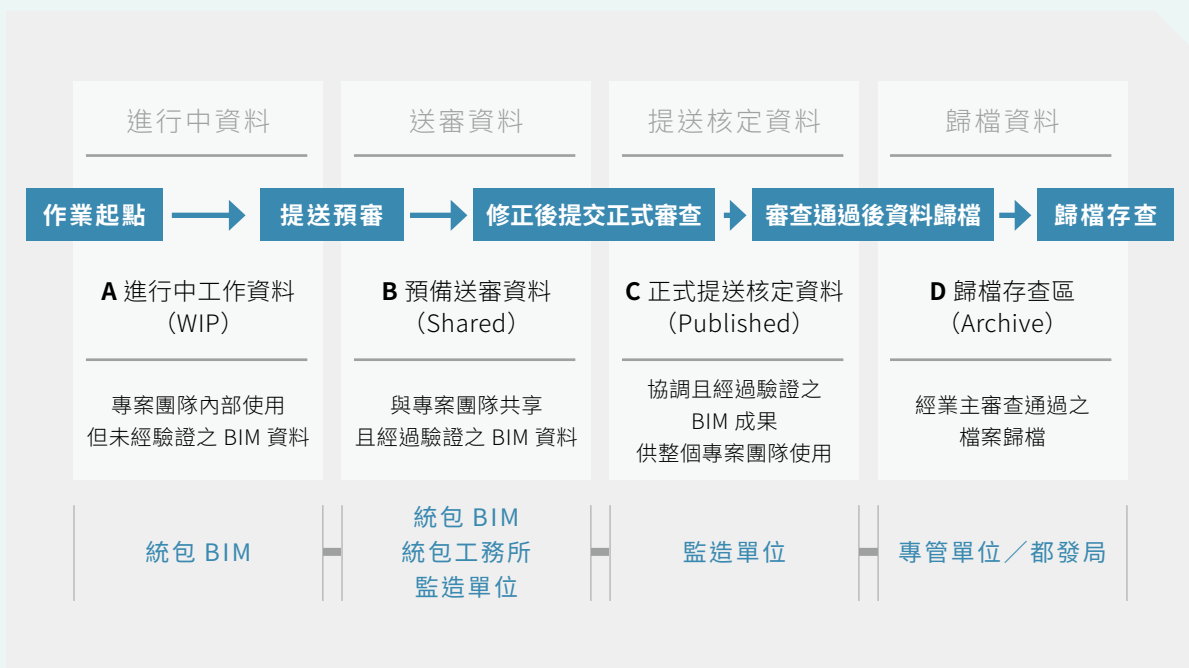


圖 10 CDE 協同作業架構

(四) BIM 模型品質控管

依據三級品管制度落實 BIM 模型檢核之權責，建立 BIM 模型品質控管、具體檢核之工作內容，並確認營建專案管理單位、監造單位與統包廠商 BIM 團隊人員之權責（如圖 11）與執行方式，包括各專業項目之介面視覺化滾動式檢討並納入建築能耗

模擬及低碳建材選用，以提升整體環境效益，並確保統包廠商履約符合低碳營建標準。亦系統化記錄 BIM 應用成果，並同步至專案管理資訊系統（PMIS）與 BIM 雲端平台（如圖 12），確保建築全生命週期的能源優化，進一步推動智慧化與永續營運。

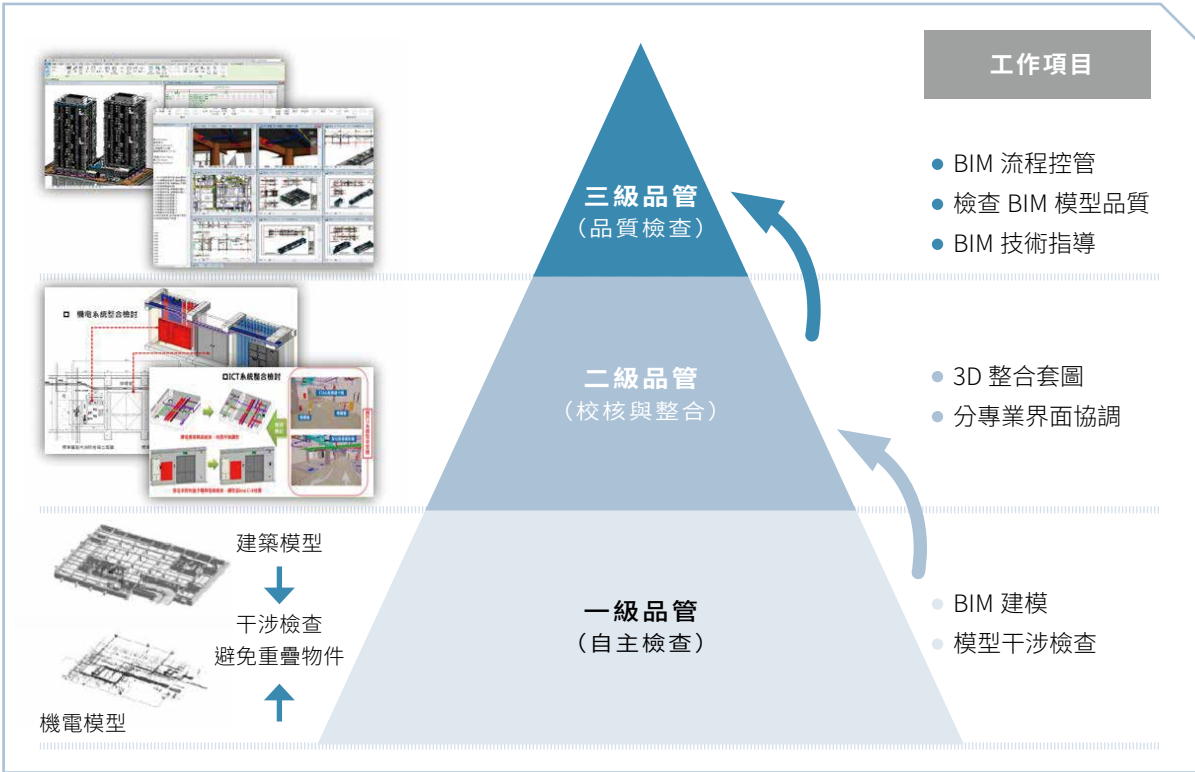


圖 11 BIM 模型品質確認之三級品管



圖 12 BIM 模型平台品質確認

(五) BIM 模型整合管理

各統包廠商須整合主體標與 ICT 標，確保設施配置符合營運需求與淨零碳排目標，並透過 BIM 優化建築能效。於第一次細部設計圖審查時，統包廠商應提送空間確認報告（含介面協調整合紀錄），說明設計協調成果，並檢核空間淨高、豎向空間衝突及特定檢查點的合理性（如圖 13）。視介面衝突程度，藉由廠商召開 BIM 介面整合會議，並納入低碳建材選用與能耗模擬，確保建築資訊模型（BIM）管理提升能源效益與永續發展，減少重工與資源浪費，達成智慧化與低碳營建目標。

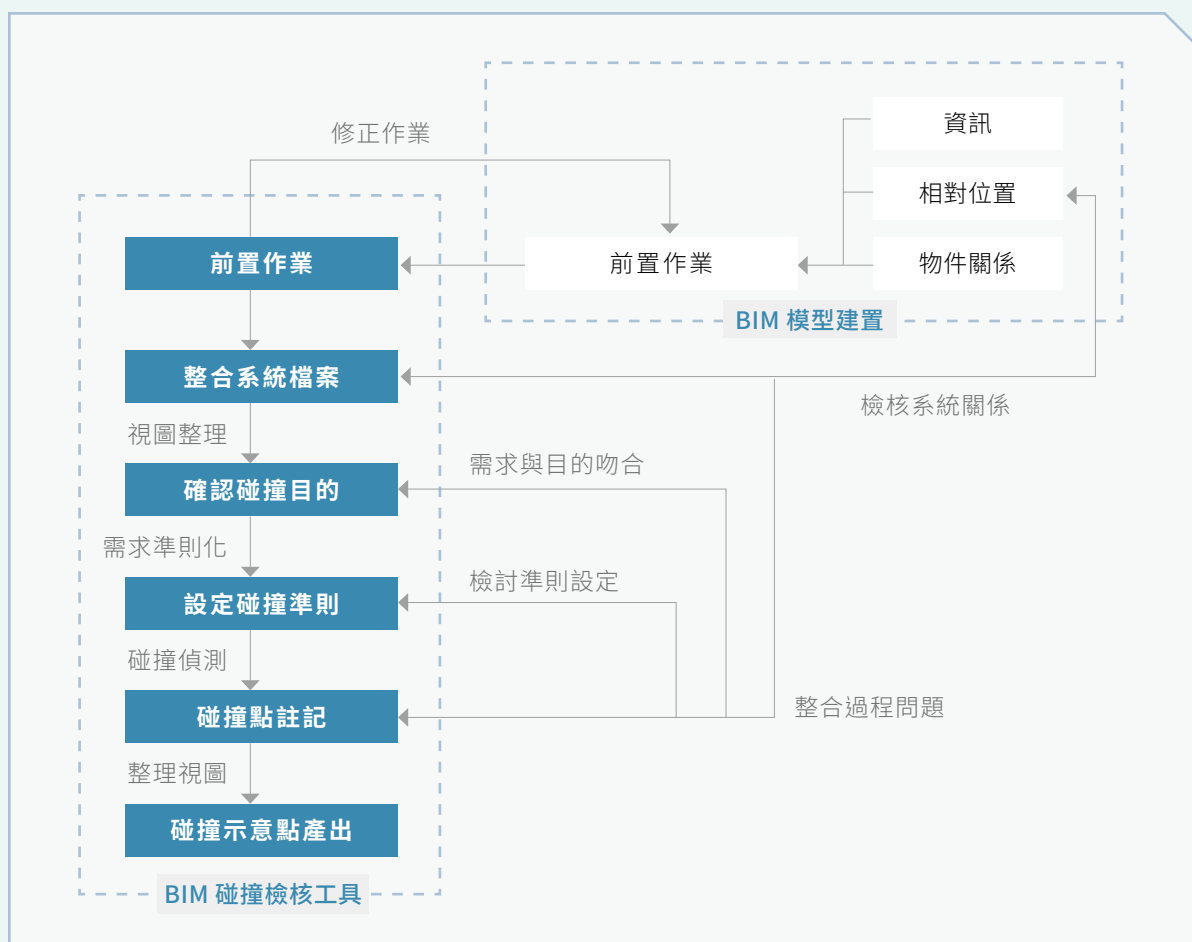


圖 13 BIM 整合檢討作業流程

二、BIM 於各階段應用成果

(一) 規劃／設計階段應用

1. 初始規劃 BIM 塑模分析

營建專案管理單位於規劃階段運用 BIM 工具建模分析基地及周邊環境（如圖 14），掌握基地配置及建築限制範圍，確保規劃符合淨零碳排目標。利用 Revit、Ecotect 等軟體結合氣象數據，模擬日照陰影、太陽熱得量與都市風環境，進行低碳配置優劣評估，並提供設計調整參考。透過建築

物理模擬，優化建築形體與朝向，降低能源需求、提升自然採光與通風，減少對鄰近建築影響，並納入太陽能利用、綠化設計與節能策略，確保建物竣工後具備高效能、低碳排的居住環境，同時實現智慧與永續發展。

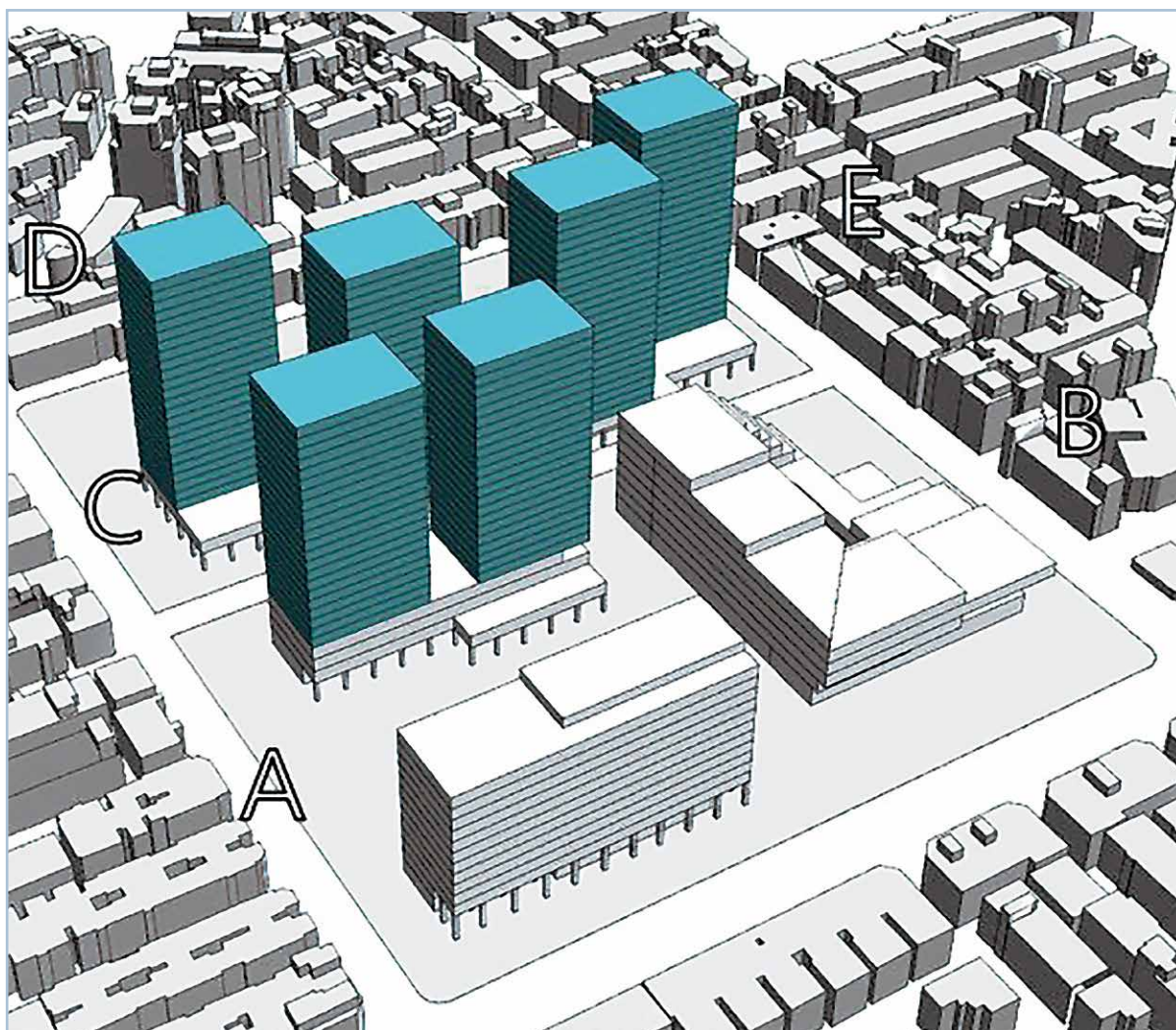


圖 14 BIM 工具塑模

2. 綠能分析

統包廠商依據營建專案管理單位提供的前期規劃與模擬分析成果，在設計階段進行建築配置、行人活動與空間使用影響評估，並納入淨零碳排策略。同時，針對植栽與景觀設計調整，充分利用自然條件，強化碳吸存與微氣候調節，打造優質戶外環境。透過數據分析，結合主動式節能設計，如高效外殼隔熱、自然通風與太陽能利用，降低建築能耗，確保符合綠建築與淨零碳排標準。BIM 綠能模擬軟體應用（如圖 15）有助於優化建築能效、減少碳排放，推動社會住宅向智慧永續發展。

3. 設計整合

營建專案管理單位於設計檢討、介面衝突解決、施工可行性及空間合理性評估階段，運用 BIM 技術提升設計效率，確保建築能效最佳化。BIM 整合建築、機電及 ICT，透過碰撞檢查避免物件重疊，並減少材料浪費與碳排放。在營建專案管理單位的指導下，統包廠商需整合建築、結構與機電模型（如圖 16），透過 BIM 數據分析進行能耗模擬。此外，直接導出的模型數量與間接推算的數據，有助於設計階段初步估算整體工程量（如圖 17），確保建築全生命週期內的低碳營建與永續發展。

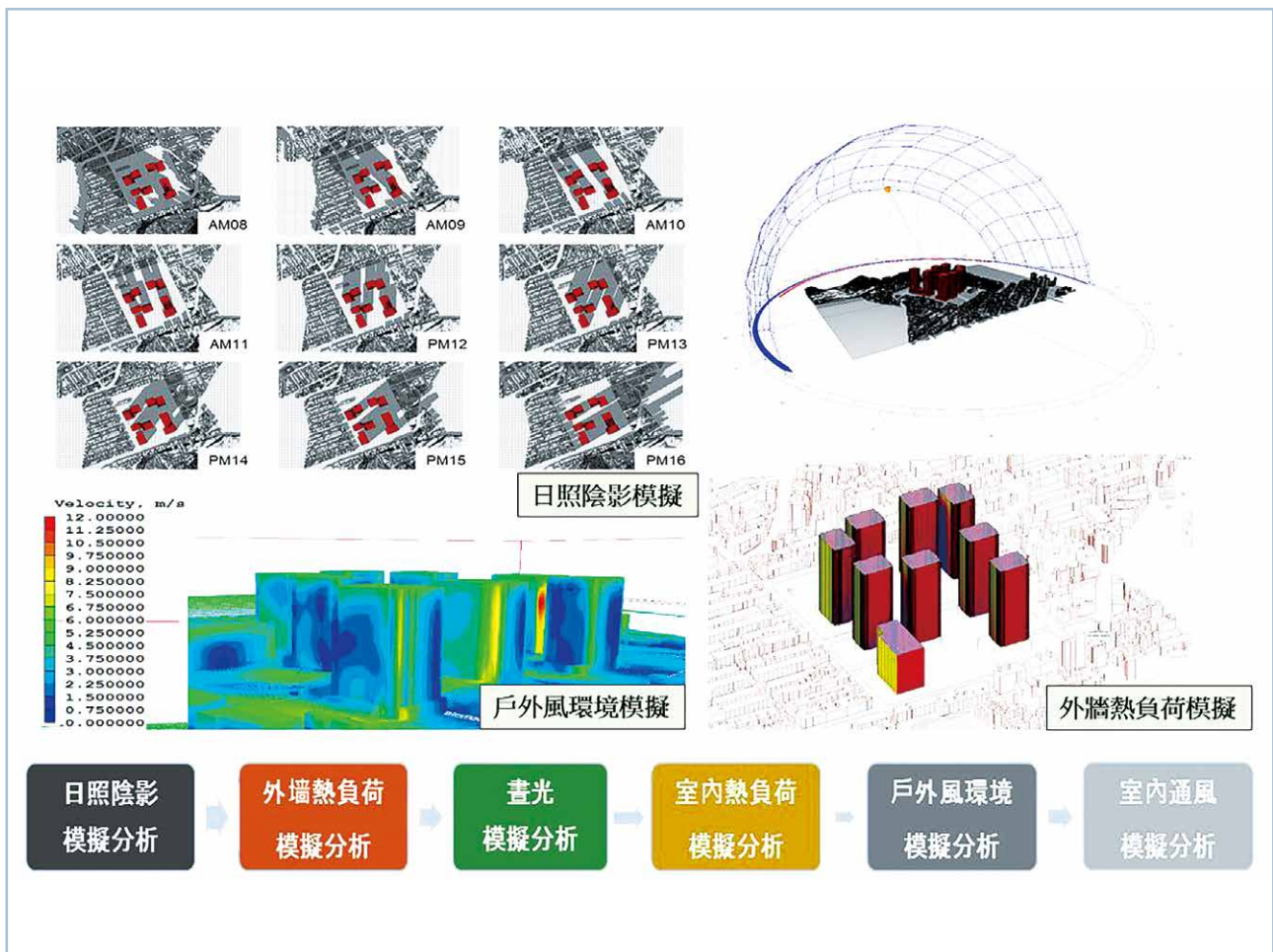


圖 15 BIM 綠能模擬軟體相關應用

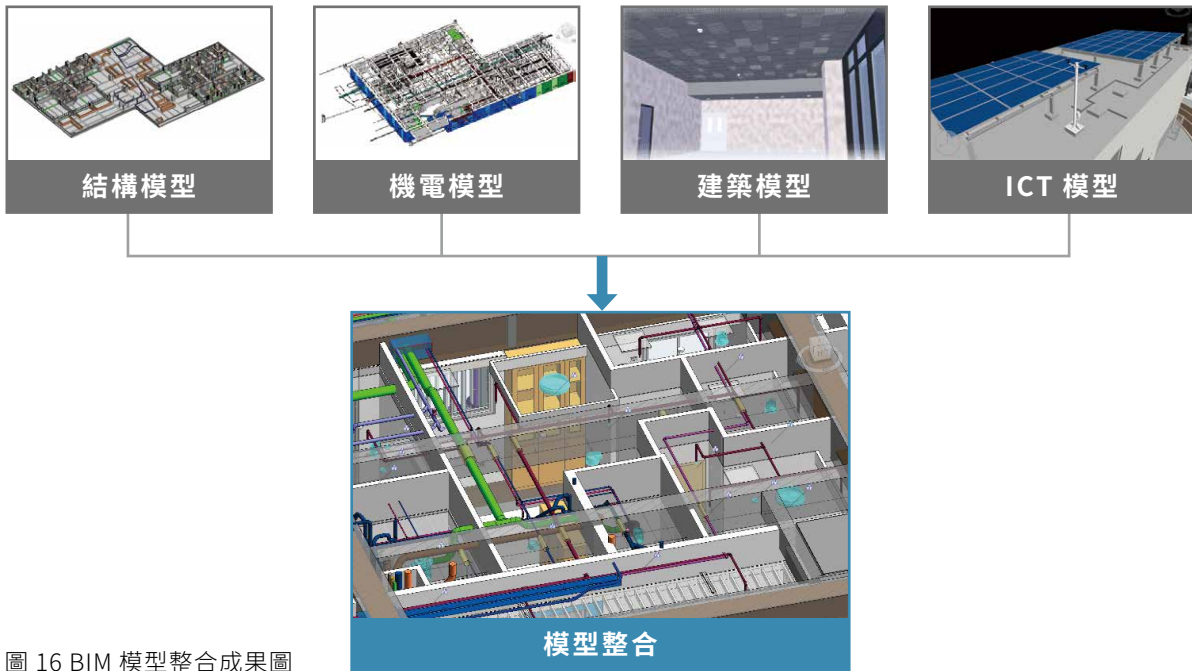


圖 16 BIM 模型整合成果圖

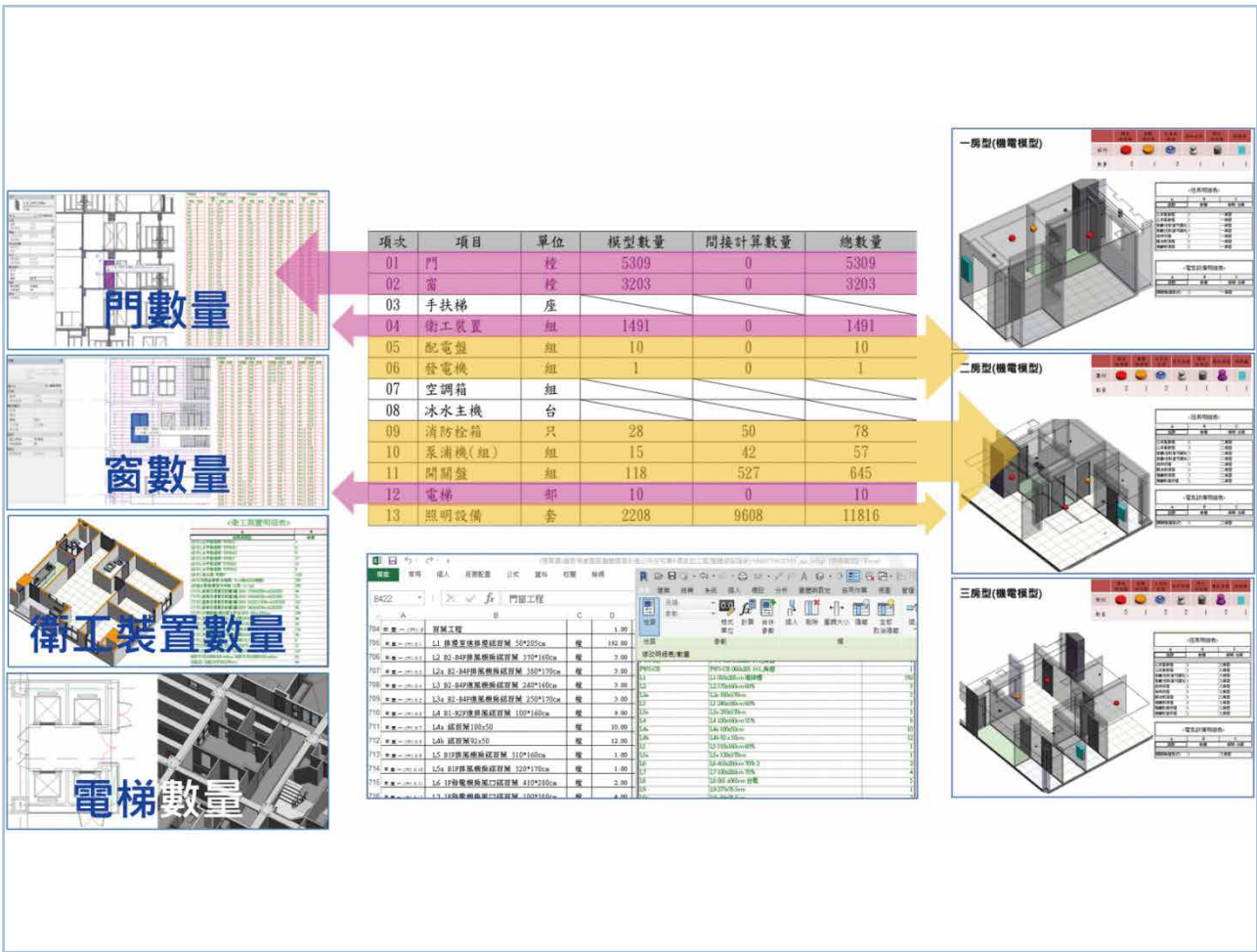


圖 17 BIM 數量輸出



(二) 施工階段應用

1. BIM 介面協調會議整合

各專業模型在整合過程中，進行介面衝突檢查、CSD/SEM 協同整合、施工可行性評估及空間合理性檢討，針對重大問題或可能導致工程困難的項目，透過 BIM 碰撞檢討與能耗模擬優化設計，降低施工過程的資源浪費與碳排放。為配合結構施工進

度，每雙週召開一次 BIM 介面協調會議，統包廠商需在會議前將需討論的各介面議題及模型上傳至 BIM 協作平台，供各單位檢視並做好相關資料及與會人員準備，以提升會議效率，並提前預防潛在衝突。具體流程如圖 18 所示。



圖 18 BIM 介面協調會議流程

2. BIM 重點項目抽查驗證

營建專案管理單位指導監造單位定期使用數位行動設備進行 BIM 抽查，包括核對 BIM 模型與現場實況及施工圖，驗證施工模型是否符合現場進度和一致性，並確認是否符合 BIM 工作執行計畫書之要求，如管線色彩及元件命名等。此外，營建專案管理單位不定期督導監造單位與統包廠

商，核對 BIM 模型與現場施工的一致性，檢查紀錄須包括抽查位置、圖說與模型的核定日期及核對結果。抽查項目涵蓋穿梁開孔、結構降板、樓梯尺寸、機電管路、預留盒數量與高程等，詳細流程見圖 19 所示。

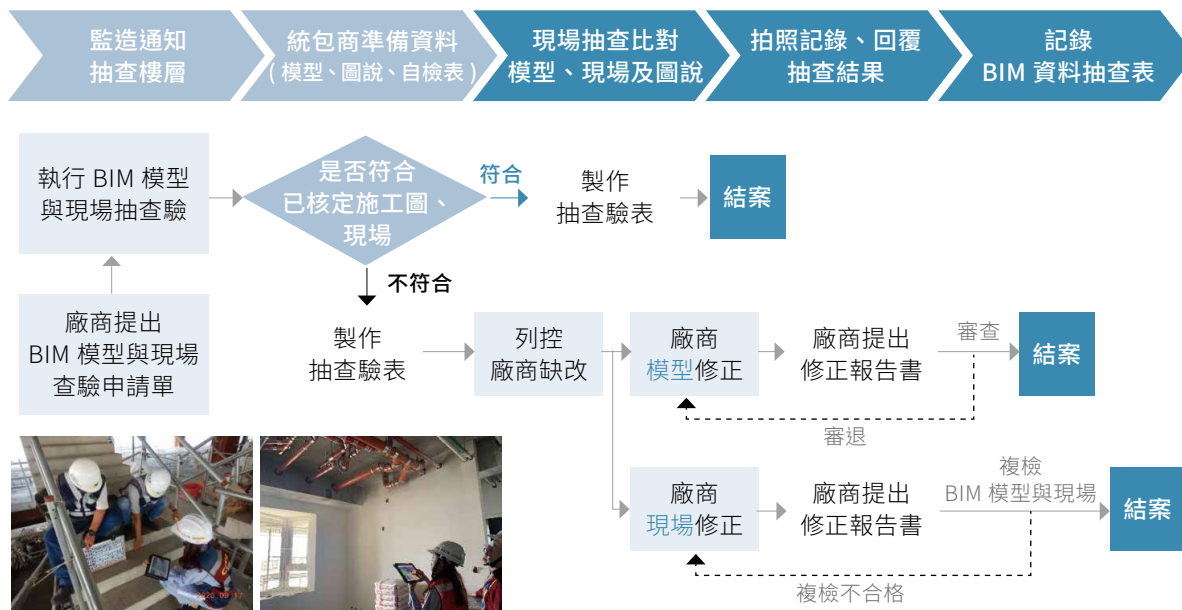


圖 19 BIM 抽查流程

3. 竣工模型交付標準 (COBie)

營建專案管理單位在與主辦機關確認未來維護管理項目後，指導統包廠商依據淨零碳排原則，提出 COBie 資料欄位需求，並統整設備能效及節能參數等關鍵數據，確保資料結構清晰且符合永續管理需求。同時，營建專案管理單位檢閱統包廠商是否依據既定欄位需求，準確輸入 COBie 資

訊至竣工模型 (如圖 20)。輸入資料涵蓋設備屬性、能耗數據、維護紀錄與低碳技術應用，確保建築長期營運的節能成效。完成建置後，統包廠商需進行物業管理平台測試，驗證數據完整性與實用性，並確保 COBie 資訊可有效應用於能源管理、減碳規劃及智慧物業維護。此流程不僅提升 BIM 模型的實用價值，也為未來智慧低碳物業管理奠定基礎。

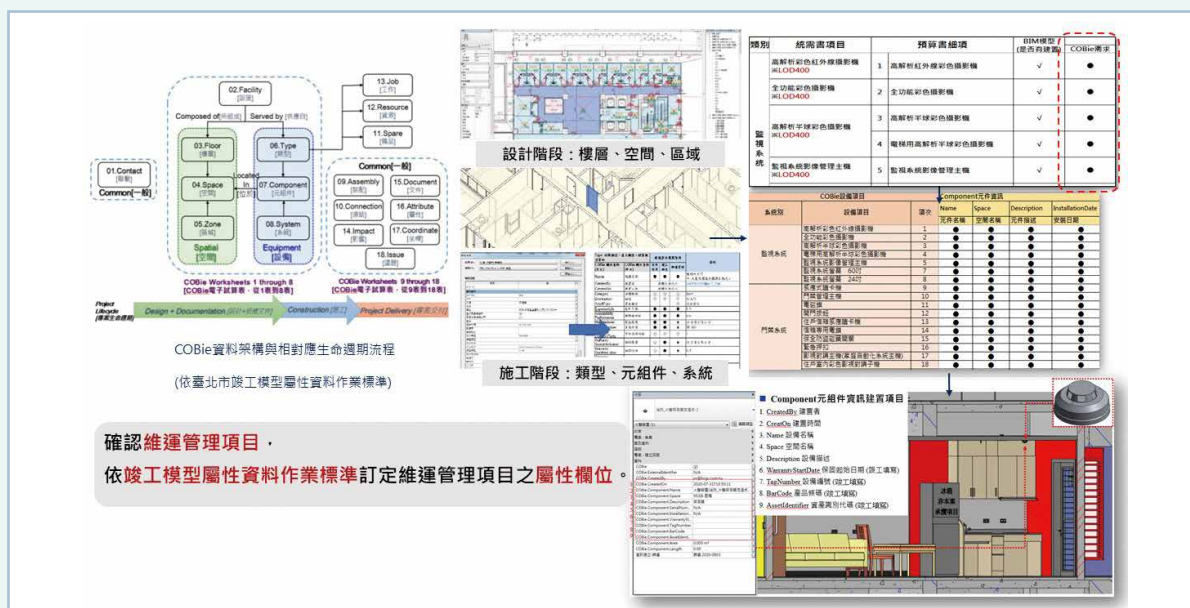


圖 20 COBie 交付流程與管理方式

(三) 竣工階段應用

1. BIM 驗收啟始會議

在驗收前，營建專案管理單位召開 BIM 驗收啟始會議，提供統包廠商參考過往案例中常見的 BIM 驗收之缺失及分析常見缺失的成因，並提出相應改善建議。同時，針對 BIM 工作執行計畫書與統包廠商進行詳細討論，進一步明確竣工模型的驗收屬性、驗收標準，包括模型深化程度的認知、數據完整性及可操作性等，以確保竣工模型能準確反映實際竣工階段。驗收會議還包括第三方驗收之模型驗收流程及驗收時程安排，旨在提升驗收效率，縮短驗收時程，本案辦理 BIM 驗收啟始會議及驗證情形詳圖 21 所示。

2. BIM 驗收

本案的 BIM 竣工驗收由主辦機關委託第三方專業單位協助完成，其驗收方式與以往社會住宅案例略有不同。驗收流程中，統包廠商需準備以下表單作為驗收依據，如圖 22 所示：

- (1) 圖文資料自主檢查表：確認所有圖面與文件資料的完整性及準確性。
- (2) 竣工交付表：表列竣工交付之具體項目，供驗收參考。
- (3) BIM 模型與現場對應表：檢查 BIM 模型與現場竣工階段之對應一致性，確保無偏差。
- (4) BIM 元件與材料設備需求比對表：核對 BIM 元件 COBie 資訊與實際材料及設備需求的一致性。



圖 21 BIM 驗收啟始會議案例分享

完成這些表單後，驗收成果將進行詳細記錄並呈現，展示驗收階段的具體結果與模型狀態。此過程不僅確保了 BIM 模型的完整性與準確性，並為後續的營運管理提供了可靠依據。

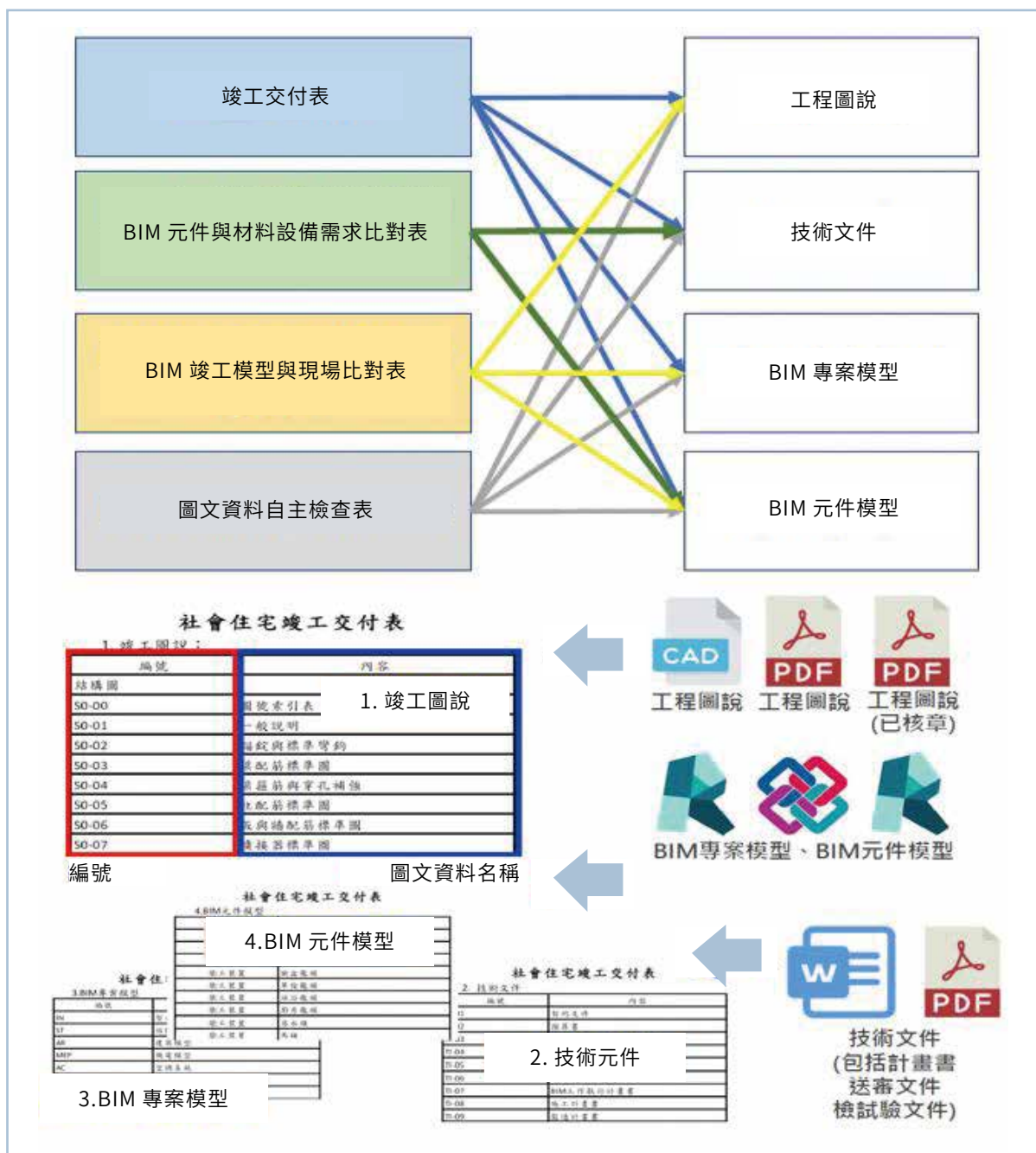


圖 22 BIM 竣工驗收交付表

肆、物業管理應用效益探討

當社會住宅進入營運階段，需面對維護管理計劃、物業管理、保固修繕及設備改建等問題。然而，目前臺灣在規劃、設計、施工階段投入較多，對完工後的維護與減碳管理考量相對不足。為此，主辦機關導入智慧科技與淨零碳排策略，確保社會住宅能維持 50 年低碳營運與高效維護管理。

臺北市政府為解決智慧科技應用標準不一的問題，結合多方合作制定「臺北市社會住宅智慧社區建置規範手冊」，推動智慧社區發展，提供防災安全、健康舒適與節能永續的居住空間。透過智慧科技，社區整合托嬰、托老及就業公益服務，並導入智慧物業管理、雲端管理系統與智慧能源管理，建立智慧三錶系統，整合門禁、安全與能源監控，確保碳排減量與能源最佳化。智慧社會住宅自規劃設計階段即導入智慧設備與低碳系統，如停車管制、社區安全與能源管理系統，不僅降低管理與維護成本，還透過中央監控與預防性維護功能，及早發現並解決問題，減少高額修繕成本與不必要的碳排放。

物業管理單位在營運維護中發揮關鍵作用，利用智慧能源監測平台與 AI 分析，優化能耗調控、設備維修與低碳管理，確保住宅長期運行時的能源效率與舒適度，同時提升居民居住體驗與生活滿意度，使社會住宅真正達到永續發展與淨零碳排的目標。

一、質性分析架構及內容

本案採用質性分析方法，探討 BIM 在營運維護中的效益、問題與限制，並納入淨零碳排策略的影響。設計問卷架構與訪談

題目時，考量受訪者回應的主觀性，涵蓋不同角色，包括主辦機關與物業管理單位（管理使用者代表）及 ICT 統包廠商（建置廠商代表），確保分析的全面性與客觀性。

訪談形式以面談為主，受訪者依照設定問題進行回答（如表 1 訪談對象資料表）。依據問題性質分類訪談內容，區分共同問題與角色特定問題，並進行比對與分析，以歸納 BIM 在低碳管理與智慧營運中的具體應用。且從主辦機關導入智慧科技應用的營運維護目標、ICT 廠商建構低碳管理平台，到物業管理單位的智慧化維護策略，探討 BIM 如何在全生命週期內優化能源管理、減少碳排放與提升建築效益。其結論強調，BIM 不僅滿足多方需求，更促進物業管理與設施智慧化的突破性發展，進一步推動淨零碳排與永續建築管理。

表 1 訪談對象資料表

項次	受訪單位	職稱	工作年資
1	業主	工程員	10 年
2	ICT 廠商 1	專案經理	15 年
3	ICT 廠商 2	專案經理	18 年
4	物管單位 1	總幹事	13 年
5	物管單位 2	總幹事	20 年

二、質性分析與結果

（一）共同問題

訪談內容為目標願景、實現過程中的差異及未達成目標的原因，並提供改進建議，展望 BIM 應用於物業管理的未來趨勢。

智慧型社會住宅竣工階段的 BIM 模型在營運維護與淨零碳排管理中發揮關鍵作用。BIM 不僅是建模工具，更是整合性平台，連結建築全生命週期需求，並提供設備、管線、材料屬性與碳足跡數據，奠定低碳營運基礎。

在營運維護中，BIM 模型結合智慧系統與能源管理，實現全面監控。它可快速定位

維修點，縮短檢修時間；透過設備運行數據進行預測性維護，避免設備故障與不必要的能源浪費；同時，透過歷史數據分析耗能模式，優化資源配置與碳排策略。此外，BIM 支援智慧能源管理、智慧門禁與社區安全監控，提升社會住宅的能源效能與永續發展，訪談彙整詳如圖 23。



圖 23 BIM 共同問題彙整結論

(二) 執行角色專類問題

1. 訪談內容為探討 BIM 技術在營建專案管理單位的導入，如何協助主辦機關與 ICT 統包廠商實現後續物業管理的智慧化與高效化：

在營建專案管理單位導入 BIM 技術，有助於實現建築全生命週期的高效管理，並推動淨零碳排目標。施工階段，BIM 整合建築、結構及機電模型，確保設計與施工一致性，並記錄碳足跡、能耗數據與低碳建材使用資訊，為後續物業管理與碳排監測奠定基礎。

對主辦機關而言，BIM 模型提供詳細設施資訊（設備、管線位置、材料屬性及碳排數據），支持資產管理與營運維護計畫，減少維修成本並延長建築壽命。對 ICT 統包廠商而言，BIM 模型與智慧門禁、能源管

理及安全監控系統無縫結合，透過數據共享與優化分析，設計更符合低碳管理需求的解決方案，提升智慧化與永續發展效能。BIM 技術不僅提高施工效率，更推動主辦機關與 ICT 廠商在物業管理中的智慧營運、節能減碳與可持續發展，訪談彙整如圖 24 所示。



業主

- ✓ 應於 BIM 執行計畫書訂定符合專案特性之標準。
- ✓ 提供導入 BIM 於全生命週期之應用規劃。
- ✓ 督導廠商依照訂定之目標建置 BIM 模型。
- ✓ 確保 BIM 模型之相關資訊完整性、正確性。

ICT 廠商

- ✓ 須具備 BIM 技術之專業。
- ✓ 具體規範於 BIM 模型各階段之應用。
- ✓ 全程參與工程執行過程之 BIM 協調會。
- ✓ 提供對於業主之 BIM 需求之諮詢。
- ✓ 協助確認在 BIM 模型內已提供有完整的物業維運功能。

營建專案管理

小結：

- 具備 BIM 技術專業知識可強化專案導入效益。
- 協助規劃及制定 BIM 全生命週期之各階段應用目標。
- 確保 BIM 模型資訊之完整性、正確性符合維運需求。

圖 24 BIM 專業問題彙整結論 (1)

2. 為探討營建專案管理單位如何協助 ICT 統包廠商達成 BIM 資訊串接之流程與確立 BIM 雲端系統，以達全生命資訊之整合：

營建專案管理單位在協助 ICT 統包廠商完成 BIM 模型資訊串接與 BIM 雲端系統建立中，扮演關鍵角色，確保全生命週期資訊管理符合淨零碳排目標。首先，營建專案管理單位需訂定統一的 BIM 數據標準，確保碳排數據、能耗監測與低碳建材資訊的一致性，以支持永續管理。

施工階段，營建專案管理單位負責整合建築、結構及機電 BIM 模型，並串接 ICT 統包廠商的智慧系統，如能源管理、門禁與安全監控，確保建築運營階段的碳足跡監測與節能策略。此外，協助 BIM 模型串接至雲端平台，實現數據即時更新與跨專案共享，支援長期智慧維護與能耗優化。

雲端系統需具備高兼容性與可擴展性，支持未來技術升級，整合設計、施工及營運維護階段數據。ICT 統包廠商可透過平台進行設備監控、維護計畫制定與碳排績效分析，實現全生命週期的高效低碳管理。這一流程促進 BIM 與智慧系統融合，推動智慧建築運營與可持續發展，訪談彙整如圖 25。



ICT 廠商 1

- ✓ 使用共同系統，或是律定統一格式。
- ✓ 應充分討論後續營運階段所需之資訊，並以 BIM 雲端系統操作物管功能，以避免 BIM 原始模型檔案過大不易使用及模型輕量化導致資訊不完整之情況。

ICT 廠商 2

- ✓ BIM 雲端系統開發單位應與後續使用單位橫向溝通，完整系統整合。
- ✓ 應培訓物管單位獨立在 BIM 雲端系統完成多數主要物管功能操作，即時留存維管在 BIM 雲端系統之紀錄，進而達成團隊之間的資訊整合目的。

營建專案管理

小結：

- 落實 BIM 全生命週期應用，應於專案起始階段納入規劃資訊整合模式及資訊格式標準。
- 以 BIM 雲端系統作為後續主要維管平台，應可有效解決 BIM 原始模型使用問題並便於留存維修保固之紀錄。

圖 25 BIM 專業問題彙整結論 (2)

3. 為探討對於物業管理單位人員在操作 BIM 相關應用上是否有困難及建議如何改善：

為解決這些問題，建議加強物業管理單位人員的專業培訓，涵蓋 BIM 基礎操作與高階應用，提升技術熟練度。同時，優化 BIM 系統介面，設計簡單直觀的功能模塊，便於快速檢索與數據更新。最後，加強 BIM 模型與智慧管理系統的整合，確保數據同步與流程簡化，提升操作效率。這些改進將促進 BIM 技術的有效應用，推動物業管理的智慧化發展，其訪談彙整如圖 26。

物業管理單位在操作 BIM 應用時，常面臨技術門檻與操作熟悉度的挑戰。傳統物業管理偏重現場經驗，對 BIM 與淨零碳排放技術理解有限，尤其在檢索設備數據、更新模型與分析低碳維護計畫時較為困難。此

外，BIM 數據量大，若無有效篩選機制，可能導致數據過載影響效率。

另一挑戰為軟硬體整合不足，當 BIM 與智慧管理系統（如能源管理、碳足跡監測或門禁系統）未完善連接，將增加操作複雜度，影響工作效率。為解決這些問題，建議加強物業管理人員的 BIM 與低碳技術培訓，提升對節能減碳管理的理解與應用能力。同時，優化 BIM 介面，設計簡單直觀的功能模塊，便於快速檢索設備碳排數據與即時維護更新。最後，強化 BIM 與智慧管理系統的整合，確保數據同步、碳排監測與流程簡化，提升操作效率。這些改進將促進 BIM 在物業管理中的低碳應用，推動智慧與永續發展，訪談彙整如圖 26。

物管單位 1

- ✓ 人員素質不均。
- ✓ 相關教育訓練不足。
- ✓ 物管合約未載明須使用 BIM 相關系統。

物管單位 2

- ✓ 相關教育訓練不足。
- ✓ 現場提供之硬體設備在執行程式會有效能不足。
- ✓ 物管合約未載明須使用 BIM 相關系統。

營建專案管理

小結：

- 強化 BIM 平台硬體規格及人員教育訓練，可提升物管單位專業程度及執行效率。
- 物管合約建議明定 BIM 輔助營運之範疇，以達成 BIM 全生命週期應用目標。

圖 26 BIM 專業問題彙整結論 (3)

伍、結語與建議

本文以智慧型社會住宅全生命週期導入 BIM 技術為核心，從營建專案管理單位在規劃、設計、施工、竣工及營運維護階段的角色出發，分析 BIM 在物業管理與淨零碳排中的應用效益與挑戰。結果發現，BIM 技術不僅能提升工程效率，還能透過智慧化管理系統與碳排監測，推動長期永續營運。歸納五項主要結論如下：

(一) BIM 各階段的重要性

本文展示 BIM 技術從規劃設計到竣工交付的有效應用。透過綠能模擬、碳足跡分析及建材優化，可降低建築能耗與碳排放，並透過衝突分析與模型優化，實現工程資源最佳化，減少施工損耗與廢棄物排放，最大化 BIM 技術的環境與經濟效益。

(二) 全生命週期資訊整合

BIM 透過全生命週期資訊管理，保存建築歷程資訊，並結合智慧物業管理系統與低碳技術，提供診斷、維修、報修及能耗監測，有效延長建築壽命，提升能源效率，確保建築運行 50 年內的碳足跡最小化，並保障居民的生活品質。

(三) 智慧化管理現況的改進建議

訪談結果顯示，目前社會住宅的智慧化管理與低碳策略仍有提升空間。建議臺北市政府進一步強化 BIM 與智慧系統的整合，如智慧能源管理、再生能源應用與碳排監測平台，確保建築在全生命週期內達成淨零碳排目標，提高管理效率與可持續發展性。

(四) 物業管理模式的拓展

透過 ICT 統包廠商提供的環境感測技術，BIM 模型可與能源管理、設備狀態監測及遠端控制等系統整合，實現低碳社區管理。此外，透過智慧電表、能耗分析與 AI 優化模型，即時監測建築能耗數據，推動主動式節能策略與減碳規劃。

(五) 物業管理需求的前期納入

營建專案管理單位應在規劃階段即納入物業管理需求，如人員培訓、碳排數據可視化與簡化操作介面，確保 BIM 模型的完整性與資訊可延續至營運維護階段，提高全生命週期管理效益，並確保建築符合淨零碳排標準。

建議未來可針對更多指標性智慧型社會住宅案例，進行全生命週期管理模式與低碳物業管理效益的深入探討，並長期追蹤 BIM 在 50 年建築運營中的節能減碳效益。此外，亦可探索 BIM 在建築拆除與資源回收階段的應用價值，以提升全生命週期的循環經濟效益。這些成果將有助於推動智慧型社會住宅的長期發展，提升管理效率，並確保建築業向淨零碳排與永續發展邁進。

參考文獻

1. 王瑄如，「PCM 角度探討智慧型社會住宅全生命週期導入 BIM 之模式及其物業管理效益 - 以廣慈博愛園區為例」，國立灣科技大學，(2023)
2. 台灣世曦「建築資訊模型 (BIM) 設計施工檢核成果暨維護管理準則報告書」，(2024)
3. 財團法人台灣營建研究院，「圖資驗收說明簡報」，(2022)
4. 臺北市政府都市發展局，「臺北市信義區廣慈博愛園區 (北側) 智慧科技應用統包工程 _ 統包需求計畫書」，(2018)
5. 臺北市政府都市發展局，「臺北市公共住宅智慧社區建置規範手冊 (2.0 版)」，(2017)。



投稿本刊之稿約格式說明，請參考：

https://www.cec.com.tw/page/book/ceciet_submit_format.html

夢想和幸福

零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號

Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568

<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw