

中 | 華 | 技 | 術 | 124

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2019. 10. 31 出版

蛻變中的當代營建管理



國內
郵資已付

台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／
勤美集團董事長林廷芳



新北市三鶯大橋第一階段改建工程施工階段BIM技術之應用
高雄鐵路地下化鳳山站施工階段導入BIM技術之經驗
沙崙綠能科技聯合研究中心永續建築設計及資訊化施工管理
蘇花公路改善工程觀音隧道之施工管理與困難案例處理之經驗
隧道變位監測之變革—光達(LIDAR)全斷面掃瞄技術之導入與應用
運用BIM技術於專案管理及貢獻度調查分析—以瑞光社宅為例



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 編製

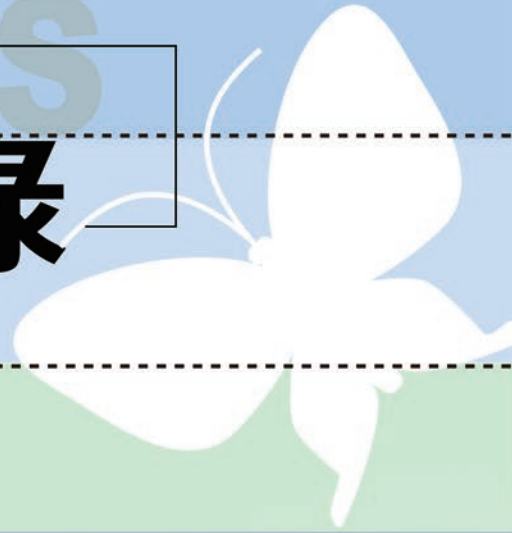


蛻變中的
當代營建管理

CONTENTS

中華技術 124

目錄



專輯前言

1 | 人物專訪

6. 訪勤美集團董事長林廷芳談「勤美集團的蛻變及高科技在新建築的管理應用」.....
....整理：黃雯琳、王冠文·攝影：詹朝陽

2 | 政策精進

16. 政府採購營建管理新措施... 吳澤成
28. 把握安全營造的新契機—瞭解營造安全衛生管理導入BIM技術之可能性..... 鄒子廉、藍福良、周慧瑜

3 | 專題報導

36. 新北市三鶯大橋第一階段改建工程施工階段BIM技術之應用.....
..... 陳泓德、林聰能、林建男、呂傳豪



發行人 林陵三
主任委員 陳茂南
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>

編審工作小組
總召集人 周禮良
副總召集人 李順敏
124期召集人 李順敏
124期審查委員 李正剛、陳泓德、彭國源、邱水碧、鄧建華、周允文、陳志鴻、周高生

總編輯 張鈺輝
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、吳妍瑋
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司
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>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎





50. 營建工地安全智慧化管理平台先期建置..... 連惠邦、呂政義

60. 高雄鐵路地下化鳳山站施工階段導入BIM技術之經驗..... 謝立德、吳宇宙、彭國源、江明珊、鍾增煌、李怡姍

70. 大區域整地作業之營建自動化(以高雄港洲際二期計畫新生地填築工程為例)..... 吳少君、李崑裕、蔡同宏、謝政璋

80. 高雄國際機場保持單跑道營運狀況之整建施工管理..... 傅耀南、陳增邦、彭國源、謝政璋、洪偉傑、吳政翰

88. 沙崙綠能科技聯合研究中心永續建築設計及資訊化施工管理..... 賴秧楨、吳佩儒、蔡宏達、周允文、李振榮

100. 隧道襯砌混凝土養護環境之監測—以蘇花改谷風隧道為例..... 周高生、王復漢、陳明宏

108. 蘇花公路改善工程觀音隧道之施工管理與困難案例處理之經驗..... 邵厚潔、黃金田、周高生、吳慶輝

118. 隧道變位監測之變革—光達(LiDAR)全斷面掃描技術之導入與應用..... 江金璋、陳志鴻、廖嘉安、劉振維

130. 運用BIM技術於專案管理及貢獻度調查分析—以臺北市內湖區瑞光社會住宅為標的案例..... 魏國忠、趙紹錚、范承志、邱水碧、江秉修、黃寶翰、江炳祈

148. 臺灣飛機維修公司新二機棚設計與施工技術經驗分享..... 楊攸碩、邱水碧、黃寶翰、鄭達鈞

158. 醫院工程專案管理—以臺北榮民總醫院新建醫療大樓為例..... 邱水碧、江秉修、李晏平、彭子斌

4 | 特稿

168. 工程估驗計價共通資訊平台..... 范揚材、吳嘉昌、林秀宜

180. 自駕車時代的車聯網概念與第五代(5G)行動通訊技術..... 詹博帆、孫士勝、陳茂南

190. 感潮河段橋梁基礎深度探測技術..... 王鶴翔、胡志昕、蔡欣局、王仲宇、謝盛雄、蔡耀竹

編後語



專輯前言

營建管理，簡言之，就是營建過程的管理。營建管理範圍涉及的層面十分廣泛，最宏觀的就是營建業的管理，亦即從國家的法規制度面來看營建業的管理，例如政府採購法、營造業法、技師法、建築法等都是對營建相關產業與人員管理的重要法令。其次，是營建事業的管理，事業體在追求利潤之際，須強化體質增加競爭力，制度化、效率化及提高生產力皆是管理的標的。範圍最小的就是工程專案管理，包括單一工程階段的管理，例如工地管理；亦可擴展到生命週期從規劃、設計、招標、施工、驗收、甚至維護管理等一系列過程的全盤性工程管理。無論從何角度看營建管理，國家的體制、社會的成本、企業的興隆、工程的效益、安全的維度等都仰靠其正確的運作；加以營建業素有火車頭工業之稱，相關的上下游行業十分眾多，其榮枯對國家經濟發展影響甚鉅，更彰顯了營建管理的重要性。

面臨工業4.0時代的到來及政府的建設政策，創新、效率、整合及大數據應用是必然持續的走向。就營建管理而言，營建及採購法令政策變得益加重視前期階段執行風險評估之預防性策略；另外發包策略上應用統包工程制度的比例大幅提升，而工法的創新、BIM的導入及應用、龐大工程資料的有效儲存及應用、技術服務範圍變得更廣、週期更延伸(例如：智慧建築、綠建築、規劃階段導入物業管理及服務項目延伸到維護管理等)等，在在都展現出營建業界的轉變，亦點出營建管理從業者須因應此一快速轉變的課題。故本期中華技術以「蛻變中的當代營建管理」為主題，以契合當代營建管理環境的氛圍。

為使本期刊探討之面向更為多元，特別邀請勤美集團璞真建設公司董事長林廷芳，從民間建設業者的角度暢談營建管理的應用績效與期許。

此外，公共工程委員會主任委員吳澤成政務委員賜稿闡述近期在政府採購營建管理之新措施，包括政府採購法令制度、公共工程審議制度及公共建設管理措施之精進及成效，以建構優質之公共工程環境；勞動部職業安全衛生署署長鄒子廉亦賜稿闡述營造安全衛生管理導入BIM技術之可能性。高雄市政府捷運工程局局長范揚材亦執筆分享「工程估驗計價共通資訊平台」，以加速跨組織間估驗計價程序之流程與審核機制，俾利系統化、制度化、整合性控管。

另為呼應本期主題，擇定本公司近期執行之橋樑、車站、土木、機場、建築、隧道、棚廠等相關實務工程計畫，提出監造資訊化、智慧化營建管理平台、設計及施工階段之BIM應用、GPS定位等科技工程應用，與隧道襯砌高流動性混凝土之澆注養護、施工防災、變位監測、大跨距棚廠施工、永續建築等新技術及工法，以及醫院專案管理和機場施工管理等實務案例，分享多篇專文，期能在「蛻變中」的營建環境，提供適當的「當代營建管理」模式予工程業界參考。

展望未來，在既有的營建管理實務及技術研發的基礎上，面對政府法令及政策的更新、服務範圍增廣、新材料及新工法之因應、智慧化管理工具BIM及工程管理資訊系統之應用趨勢，勢必是當代營建管理努力往前邁進的方向。但始終不變的是，營建管理最終須達成對利害關係人的承諾，亦即服務團隊皆須以良好之規劃、組織、協調、推動及控制來達成營建管理目標。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

總經理

李煥敏



訪勤美集團董事長

林廷芳

談

勤美集團的蛻變及高科技
在新建築的管理應用

整理：黃雯琳、王冠文 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

林廷芳董事長的父親林榮渠先生是跟著前台電董事長孫運璿先生一起建立台灣電力系統的工程師，後來創立三聯科技公司，引進國外的電力、工程、工廠設備。林廷芳董事長接任三聯科技總經理後，公司跨足土木工程品質監測及自動化機械、半導體製程設備的代理、規劃和安裝施工。並在三聯科技內推動工程主管參加企業經營學程提供一半學費方式，鼓勵公司主管提升管理領域知識。

四年前林廷芳董事長接掌勤美集團，勤美自1972年創立至今，已是大中華區最大的專業民營鑄造集團之一。近年來更轉型成控股公司的型態，追求人文美善的多角化經營，跨足不動產開發與零售商場的領域；現今的勤美集團由金屬成型部門、建設住宅部門、生活休閒部門共三大事業群組成勤美大家庭，在不同的領域中多元發展、穩健成長。

集團在2002年10月14日創立了「璞真建設」，正式跨入不動產開發事業，2007年於台北市大安森林公園所推出的「勤美璞真」建案成為台灣住宅建築的新標竿。接下來的泰然璞真、璞真一一與碧湖畔等建案，皆刷新區域銷售紀錄，得到消費者與市場的熱烈反應，並獲得建築金石獎及建築美學獎榮耀。

本期刊很榮幸於2019年8月26日專訪林董事長，以下是訪談紀要。

貳、訪談紀要

問：勤美集團事業版圖跨足兩岸鑄造事業、住宅、商場、飯店，董事長可否分享您在初任龐大事業經營者時，首要著手事務之重點？

答：勤美集團走過47個年頭，外在環境的快速變化、激烈的市場競爭、中國對製造業強勁的環保力度、集團事業的開拓與展望，樣樣都

是不容小覷的挑戰。四年前接任董事長一職，首要工作就是盤點公司制度、規章、人力、文化，隨著外部環境變化，必須時常重新檢視、定義公司的作法，與時俱進。新增/修正/廢除不合時宜的制度、規章、公司使命(Mission Statement)，盤點人脈等無形資產，使集團得以穩定成長。



勤美集團的規章盤點方法，縱軸為辦法規章變動的版次，橫軸為硬法規或軟福利，並用雲狀大小標示使用人數多寡，從兩象限中了解哪些辦法對公司相對重要或受法規影響需予檢討。勤美集團的人力盤點，公司人力檔案中紀錄每位同仁每半年評鑑考核及各類別專案經驗，並藉由長假職務代理之關聯資料庫做為後續精進之參考。

問：勤美集團是中國最大的剎車卡鉗鑄造商，勤美事業版圖如何從鑄造業橫跨至建設開發業？

答：勤美集團以鑄造起家，原為巴西最大礦場公司在台灣的總代理，台灣最大生鐵進口商，過去皆由亞馬遜森林開採礦，但會破壞原始森林，順應循環經濟”每一噸城市垃圾中提取黃金，比一噸礦土中黃金多”的理念，勤美集團重新定位為循環經濟的實踐者，調整過往執行模式，包含廢除鋼筋事業部門，原生鐵製作產品之用料，改使用回收廢鋼，目前天津工廠回收廢鋼比例達98%之高，台灣使用比例也達92-93%。

勤美集團對於傳統產業體認較深，投資產業也偏向傳統的建設業，過往房地產景氣時，建設公司似為土地代工業，每年從零開始，取

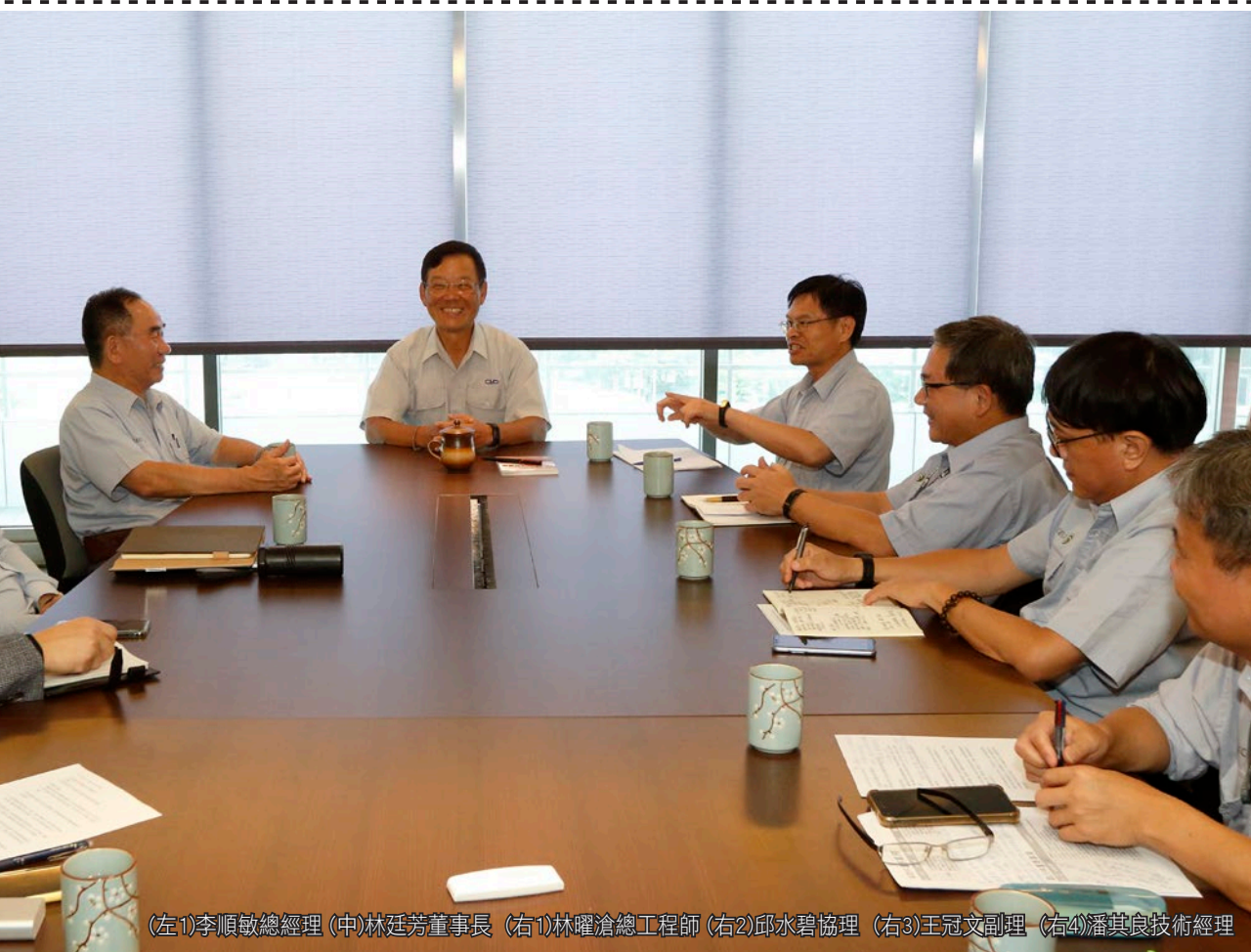


(左4)陳協良計畫經理 (左3)郭光宜副總經理 (左2)麥聖偉副總經理

得土地、合建、交屋至保固結束，勤美集團2002年10月14日成立璞真建設正式跨入不動產開發事業，創始日取一人一樹之諧音，璞真



(左)李順敏總經理 (右)林廷芳董事長



(左1)李順敏總經理 (中)林廷芳董事長 (右1)林曜滄總工程師 (右2)邱水碧協理 (右3)王冠文副理 (右4)潘其良技術經理

建設追求的不是快速獲利，而是要慢工細活營造出讓人住一輩子的好屋，將土地、建築、美學、自然環境相互結合。

問：勤美集團事業版圖涵蓋住宅、酒店、商場、零售百貨、觀光休閒及美術館、基金會，董事長有豐富成功案例經驗，可否分享您所重視之課題及做法？

答：勤美集團事業版圖相當多元，由不動產

事業衍生避免受房地產景氣影響，緩和短期和長期利益之衝突，開始拓展具長期穩定收入來源的飯店商場經營事業。近年從勤美集團企業社會責任報告書中可發現，各事業處共通點：「回收舊的，創造新的價值」，如：金屬成型部門以廢鋼製作精密機械零件，建設住宅部門合建、都更創造新街區，生活休閒部門蛻變為全球最大室內植生牆的勤美誠品，目前正在進行的改建小學打造勤美之森等。

以開發商角度致力於開發土地的最高價



值，建立如同中國2010年上海世界博覽會口號” Better City Better Life”、日本中城、紐約Uptown及Downtown，璞真建設以小區/里為概念，符合國務院公告城鎮規劃約3平方公里(2*1.5公里)，約兩個捷運站間10-15分鐘距離(800公尺)，規劃具溫度、有質感的生活圈，醫療、食衣住行育樂完備，不以商圈導向，不設置夾娃娃機、販售手機殼等，如同基金會營造的草悟道人文生活美學街區、勤美術館藝術生活圈、金典與全國大飯店等，後續將打造台中獨一無二的CMP.MIDTOWN 勤美之森。

問：建設開發市場競爭激烈，勤美集團璞真建設的豪宅建案，卻能在生活美學、建築理念上獨佔鰲頭，銷售亮眼，董事長是如何精準預測未來的市場趨勢？

答：璞真建設將邁入第18個年頭，至今共推出17棟作品，依循成立初心，不求大量推案快速獲利，但求以扎實的步調，為客戶用心打造一個能夠安心居住一辈子的家。璞真建設房屋客源不以投資客為主，迄至目前為止，對第一間成屋仍在售後服務範圍。

從1997年減量化原則(reduce)到最近幾年興起的循環經濟(recycle)、減塑概念，歸納為



璞真慶城建案 (圖片／璞真建設官網)



璞真永吉建案 (圖片／璞真建設官網)

生活休閒事業，勤美集團各事業處經營理念一致，延續產品週期及價值，不做一次性產品。建設開發市場競爭激烈，我們重視生態環保永續，持續於設計中納入耐震標章，導入綠建築



1
人物專訪

林廷芳董事長



/智慧建築、熟齡好宅等應用，堅持體貼入微的客服精神，冀望創造生活型態新價值。

問：三聯科技聚焦於營建工程施工的感測監控技術服務，在勤美集團璞真建設建案上也應用了雲端、移動終端、物連網、AI、大數據、虛擬擴增實境等新科技，可否與我們分享？

答：Nokia的廣告詞「科技始終來自於人性」，近年地震頻傳，除政府於2016年啟用地震預警警報，璞真建設自2013年即導入地震儀Palert，提供住戶更精準的地震預警，使電梯停靠至最近樓層，避免發生住戶受困。

以勤美璞真碧湖畔案為例，非破壞檢測設備包含58顆三聯科技的Palert地震儀、136組新日鐵的制震壁，並設置4組OSMOS光纖應變計，除進行實際量測提供住戶地震預警外，亦持續進行建築結構健康監測，量測結構受外力作用所產生的加速度或變位，以評估其健康狀態、損壞程度及損壞位置。蒐集到的大數據資料，可反饋後續公司建案在結構規劃或減振設計時參考。璞真建設建案以住宅性質居多，未來可推薦旅館、工廠、辦公大樓類建築也納入監測科技以便於維護管理。

科技設備操作要容易、友善、人性化，人員培養才會快。民間豪宅設備多採德製或義大利製等廚具、日本免治馬桶等設備，卻因等級較高、功能過於強大複雜、不易操作、說明書艱深等因素，女主人、傭人皆不會設定或使用，科技淪為擺設。三聯所設計的地震儀外銷上千台，曾在住宅案的建築物安全檢查發現設備或系統異常，結果是物管人員認為異常設備發出聲響太吵，自行關掉開關，後來儀器程式中皆寫入每隔一段時間自發訊號予物管人回覆。台灣中部可接受監視的用途是避免公共設施被破壞和遭竊，但北部極重隱私，曾有大樓管委會要求拆除電梯及梯廳中CCTV、車牌識別等，從拆除40%科技設施的經驗中學習到，科技進步與隱私間仍須取得平衡點。



勤美璞真碧湖畔建案 (圖片/璞真建設官網)

璞真建設於2013年碧湖畔案開始導入BIM設施管理，當時BIM竣工模執行維運管理尚未普及，物管公司人員多無法了解應用，但公共建築則是非常必須的。公司近五年開始建立房



台中勤美之森建案

1 人物專訪



屋售後服務平台，售服人員僅須拍照回傳即可將資料轉傳廠商備貨，還能留存設計方式、建材等大數據資料供日後採購參考，大幅縮短維修時間。

問：新世代有著不同的價值觀，勤美公司如何培養人才、留住人才，與公司一同奮鬥成長？

答：公司所有員工的薪資架構會自動與中華民國基本薪資調漲連動，公司另編列學習津貼提供終身學習制度，員工可用於進修、買書、受訓、出國看展覽等不限任何方式，但員工需填寫專案計畫並納入考績。公司也鼓勵員工休假，員工上半年規劃長假，並填寫交接工作內容，公司補助休假每日1,000元。公司可藉此彙整職務工作說明書，並省下依照勞基法員工未休特別休假依實際薪資所計算每日應給的薪資。

勤美集團過往員工年資分布也曾出現過斷層，如何讓新進1-3年年資的員工願意留在公司，以及6-10年員工持續為公司奮鬥，因應不同年齡員工所面對生活、家庭的需求，公司由員工立場思考，例如5年以下年資(30歲以下)員工，身分多為剛入社會或剛結婚不久，痛苦指數在於薪資少、休假少，同儕比較福利也是其一，公司設計端午及中秋禮金不分階級，每

位員工都有12,000元，員工未滿6歲子女，每月給社福津貼1,200元，鼓勵員工參與公司活動，給予積點、累積休假等。3年以上年資(含30歲至40歲)員工，給予擔任主管機會，但相對提高工作責任，且必須將自我終身學習當作是責任，公司獎金與績效聯動關聯加深。藉由多元的配套制度，培養人才，留住和公司一同成長打拼的夥伴。



台中勤美之森建案 (圖片/璞真建設官網)

問：2022年勤美集團將成立50周年，「台中勤美之森」複合式開發案是勤美集團50周年的代表作，也是璞真建設南下台中的第一個建設開發案，台灣世曦公司有幸參與本案服務，董事長可否分享對於本案營建管理之應用與期許？

答：營建業產品週期長，建築生命週期大約50年，人在一生中，在同一塊土地僅有加工



前排：(左1)麥聖偉副總經理 (左2)郭光宜副總經理 (左中)林廷芳董事長 (右中)李順敏總經理 (右2)林曜滄總工程師 (右1)黃雯琳工程師
後排：(左1)王冠文副理 (左2)邱水碧協理 (右2)潘其良技術經理 (右1)莊曜聰工務經理

一次機會，「台中勤美之森」土地取得至今已12年，第一期酒店基地在2年前才獲得教會同意，如同BOT地上權開發方式，土地租期40年，扣除規劃興建4年，實際經營時間僅剩36年。考量璞真建設過往執行一般開發建案件時程約4-5年完工，後續維管、營運風險及成本管控、資料紀錄留存等考量，都期許本案工程經驗能傳承下來。

針對營建管理蛻變為當代管理之新做法，每一次蛻變都為永續奠定扎實的基礎，唯有運用新工具及扮演新角色，唯有面對，而非逃避科技；本案早在設計未完成即尋找專案管理協

助；促進參與專案的合作夥伴共同完成目標。因此邀集專案管理單位參與，希望借重台灣世曦大型工程經驗，讓有共同理想的工作夥伴同在一條船上努力。

後記

感謝林董事長在百忙中撥冗接受專訪，訪談過程中，我們也深刻感受勤美的成長轉變及民間企業重人文環境與美學的經營理念，在林董事長領導下，公司展現人才培育、文化塑造、研發投入的遠瞻先見，相信勤美集團下一個50年，將繼續帶領業界風潮。

政府採購營建管理 新措施

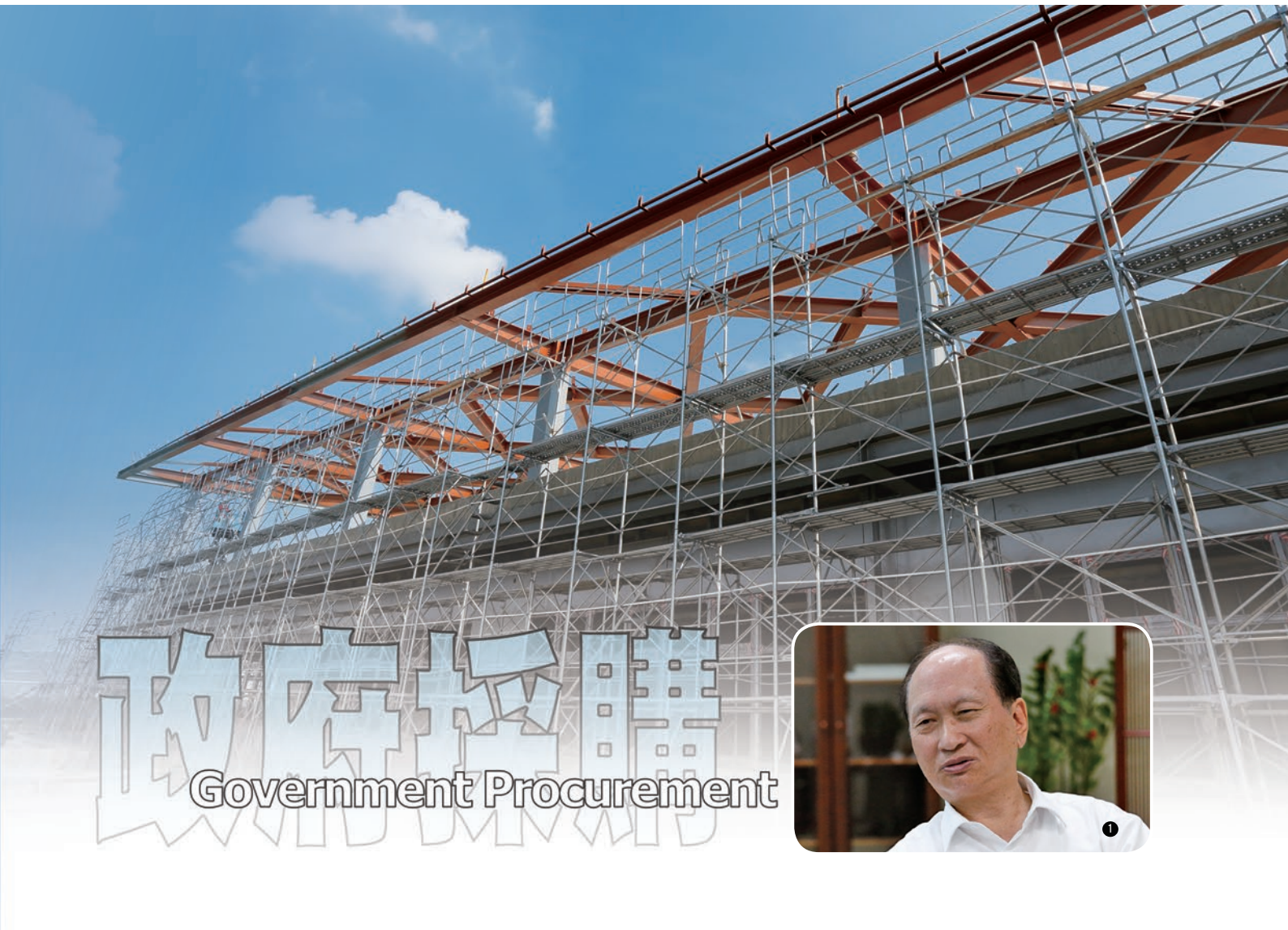
New Measures for Government Procurement and Construction Management

關鍵字(Key Words)：政府採購 (Government Procurement)、停權機制 (Debarment System)、爭議處理 (Dispute Settlement)、全生命週期 (Life-cycling)、替代方案 (Alternatives)、生態檢核 (Ecology Monitoring)、循環經濟 (Circular Economy)

行政院政務委員兼公共工程委員會主任委員／吳澤成 (Wu, Tse-Cheng) ❶

摘要 ABSTRACT

本文旨在說明工程會近期在政府採購營建管理之新措施，包括政府採購法令制度、公共工程審議制度及公共建設管理措施之精進及成效，期透過與機關及業界共同努力，建構優質之公共工程環境。



政府採購

Government Procurement



Abstract

In this article, the recent measures for government procurement and construction management implemented by the Public Construction Commission (PCC) are introduced, including improvements of the Government Procurement Act and its related regulations, mechanism of reviewing and management of public construction. PCC wishes to work with the procuring entities and the business sector in order to establish a high quality environment for public construction.

2

政策精進

壹、前言

政府採購為國家施政計畫之具體執行，採購制度之良窳，和政策推動之成敗息息相關；又公共工程的興辦，以全生命週期的概念，透過營建管理措施的協調、整合與控制，可讓公共工程計畫的推動更為順遂。

本文旨在說明工程會近期在政府採購營建管理之新措施，包括政府採購法令制度、公共工程審議制度及公共建設管理措施之精進與成效，期與各工程主辦機關及業界共同努力，建構優質之公共工程環境。

貳、政府採購法令制度精進與成效

一、政府採購法修法

政府採購法(下稱採購法)自88年5月27日施行迄今逾20年，歷經6次修法，最近一次為總統108年5月22日公布修正部分條文，計修正18條、增訂3條，合計21條，除改善採購作業程序，並針對停權制度加以檢討，避免寬濫裁罰；另對於圍標、綁標、借牌、行賄等犯罪行為，亦強化防弊機制，在兼顧目的性、適當性及比例原則前提下，適當斟酌修法之寬嚴尺度。主要修正重點說明如下：

(一) 在改善採購作業程序方面，主要有：

1. 增訂「採購工作及審查小組」運作機制(第11條之1)：

為落實源頭管理，以利後續採購作業嚴謹周延，增訂機關辦理巨額(新臺幣2億元以上)之工程，應依個案特性及實際需要，成立「採購工作及審查小組」，協助審查採購需求與經費、採購策略、招標文件等事項，及提供與採購有關事務之諮詢。巨額工程以外之採購，亦得準

用該機制。

2. 簡化最有利標之適用條件(第52條)：

為鼓勵機關因案制宜，選擇適當招標及決標方式辦好採購，刪除採最有利標須為「異質採購」及「不宜採最低標辦理」之條件，以利機關靈活運用採購策略，提升採購品質。

3. 強化職業安全衛生管理機制(第70條之1)：

以預防勝於處罰之概念，強化源頭管理，於規劃設計階段即分析風險預為因應編製所須安衛圖說並編列預算，要求招標機關納入招標文件，於履約階段要求廠商做好職業安全衛生措施，以降低發生職業災害的風險，並加強查核機制，保障勞工安全。

- (二) 加重行賄行為之處罰(第31條、第59條、第101條及第103條)：

將行賄行為明列為不發還或追繳押標金之情形；對於支付前金後謝促成採購契約之成立，加重契約罰款由行賄金額的1倍提高為2倍；增列為不良廠商停權事由，刊登政府採購公報停權3年。

- (三) 修正不良廠商停權制度(第101條及第103條)：

增訂機關通知廠商刊登政府採購公報前應予廠商陳述意見機會，並應成立「採購工作及審查小組」認定廠商是否構成停權要件；增訂機關考量「情節重大」之審酌因素，包括應考量機關所受損害之輕重、廠商可歸責之程度、廠商之實際補救或賠償措施等情形；另對於第101條第1項第7款至第12款違約情形之停權期間採累計加重處罰方式，第1次停權3個月；第2次6個月；第3次以後為1年。

二、善用替代方案

工程會為協助機關從工程全生命週期面向，採行可縮減計畫工期、減省經費或提高效率之措施，研擬訂定「工程生命週期運用價值管理概念之辦理原則」，所稱價值管理概念，包括各作業階段採用之方案比較、價值工程、替代方案、契約變更等，不限於採購法第35條所定替代方案：

(一) 可行性研究及規劃階段之運用

1. 依預算法第34條規定，重要公共工程建設及重大施政計畫，應先行製作選擇方案及替代方案之成本效益分析報告等，始得編列概算及預算案。
2. 依中央政府中程計畫預算編製辦法規定，重要公共工程建設應先徵詢民間投資意願，並製作替代方案，俾供選擇。
3. 依機關委託技術服務廠商評選及計費辦法（下稱技服辦法）規定，委託之服務項目得包括「方案研擬及比較評估」、「構造物型式及施工法（含特殊構造物方案及比較）」、「價值工程分析」、「方案之比較研究或評估、材料及設備系統選擇」。

(二) 設計階段之運用

1. 「政府公共工程計畫與經費審議作業要點基本設計階段之必要圖說」第2點載明工程建造經費達新臺幣10億元以上者，應辦理替選方案評估，並將替選方案評估報告納為必要圖說文件。
2. 依技服辦法規定，委託之服務項目得包括「基本設計圖文資料：工程材料方案評估比較、構造物型式及工法方案評估

比較、特殊構造物方案評估比較」、「價值工程分析」、「方案之比較研究或評估、材料及設備系統選擇」。

(三) 招標階段之運用

1. 依採購法第35條規定，機關得於招標文件中載明允許規劃設計以外之投標或得標廠商在不降低原有功能條件下，得就技術、工法、材料或設備，提出可縮減工期、減省經費或提高效率之替代方案。
2. 廠商提出之替代方案，與主方案比較結果，對機關有利及不利之情形併存者（例如可大幅縮減工期但小幅增加經費），經綜合評估各有利不利情形，其總體效益更有利於機關者，仍可採用。
3. 運用統包方式由廠商自行決定技術工法。
4. 採最有利標或評分及格最低標決標，評選(審)項目得載明允許廠商就技術規範、商業條款(例如設計規格、施工方法、履約期限、付款條件)，提出有別於招標文件記載之內容，以供評選(審)。另附有工程評選項目範例。
5. 機關得於招標文件就技術、工法、材料或設備，預先載明二個以上可行方案，供廠商選擇採用。

(四) 履約及營運維護階段之運用

1. 招標文件可預先載明獎勵措施，以鼓勵廠商於得標後提出有利於機關之替代方案。
2. 營運維護階段，主動研究可節省營運維

護費用、增加營運維護效能之方法，並回饋至未來新案件之規劃、設計。

三、流廢標協處

工程會自107年以來對中央機關5,000萬元以上工程採購流廢標2次以上案件，召開專案檢討會議，協助機關解決流廢標問題，經深入個案瞭解情形後，從工程生命週期各階段計畫需求、預算編列、規劃設計內容、發包策略等，逐項務實檢討找出關鍵問題並提出處理對策如下：

(一)未就實際需求合理編列預算方面：機關於編列預算階段，應先掌握本身需求，瞭解建設計畫的設定目標與定位、功能、建造標準，根據需求編列合理預算，供設計依循。

(二)設計內容及標準未完全切合機關需求並與編列預算連結方面：評選技術服務廠商及於設計階段，設計標準及規格應符合原設定目標與定位、功能、建造標準，並與原編列預算連結，設計之材料、設備、工法、工期、現場施工條件環境等並應合理可行。

(三)未訂定合理可行之工期方面：設計者要詳實核算所需工期，且要與施工預算結合，不宜僅隨機關要求訂定。

(四)採購策略未盡妥適或過於僵化方面：考量傳統完成細部設計後再進行工程招標之方式，常降低工程廠商提出其他可行技術工法之空間，所以對於技術性高或複雜之工程，可採用統包方式辦理招標，由得標團隊整合設計與施工，使施工更能與設計相結合，有利未來執行；亦可就部分項目由機關預先提出可行之建議方案，並允許投標廠商在不增加經

費下，提出其他可行方式。

(五)契約條件未盡合理與明確方面：工作項目暨其進度及計量計價方式務求明確；物價調整機制應考量允許依個別項目及中分類項目、總指數予以調整；工期展延條件、違約處罰之計算基準亦應明確合理，以增加廠商投標意願。

工程會曾協處並已決標之案例，列舉如下：

(一)臺東縣政府「富岡漁港災後復建工程」：工程會107年3月19日召開專案會議、同年12月12日訪視現地，發現多次流標關鍵因素係限制沉箱製作及舊有沉箱底版之處理方式，建議招標文件應敘明可行方式，並以最可行合理方式做為預算編列之基礎，同時允許投標廠商提出其他可行方式，經機關審查同意後施作，惟不得追加費用。本案於108年4月24日決標。

(二)基隆市政府「基隆轉運站暨周邊環境改善工程」：本案之技術服務案載明工程經費為2.65億元，惟多次流標後調整至6.16億元，工程會108年4月22日召開專案會議，建議設計廠商應配合機關需求，避免超量設計；機關應釐清設計成果之材料規格有無逾機關需求，勿僅一味調高預算因應。本案於108年5月10日決標。

工程流標因素很多，但設計考量是否周延是關鍵，各機關應務實注意設計之合理性，而非一味歸責非主要因素，僅以追加預算或刪減工項因應。此外，工程規模達一定金額以上者，鼓勵機關採用統包方式招標，以利細部設計成果更能落實於工程中。

四、履約爭議之多元處理管道

工程會近期推動履約爭議之多元精進措施(詳圖1),希望藉由從源頭減少爭議、縮短辦理時程,以期提升政府採購履約爭議處理之效能,並加速公共建設之推展。

工程會105年9月23日訂定「機關採購審查小組設置及作業要點」,各機關可視個案或通案需要成立採購審查小組,落實源頭管理,以利後續採購作業嚴謹周延,並可善用採購審查小組機制,協助審查履約爭議之解決方案。本次採購法修法,增訂第11條之1,將「採購工作及審查小組」機制,提升至法律位階。

工程會於107年2月1日通函各機關,善用多元之履約爭議處理機制,包括調解、仲裁或雙方合意之其他方式。工程會並訂定「公共建設諮詢小組設置要點」,協助釐清解決契約條款認知歧異,避免履約爭議。

工程會自107年7月起陸續修訂各類採購契約範本,於「爭議處理」條款增列「爭議處理小組」機制,載明爭議處理小組之成立、小組委員之選定方式、運作機制、小組協調成立具契約之

拘束力、小組運作所需經費之負擔等。

工程會採購申訴審議委員會亦簡化採購履約爭議調解程序之審議流程,採取具體之處理措施以加速案件處理期程,並兼顧爭議案件之處理品質。

五、政府採購法使用手冊

部分機關人員及廠商對採購法規及契約規定不熟悉、誤解法規或擔心觸法,致使心態保守,時而發生不必要之爭議,不但影響工程進度及品質,也影響設計、施工廠商權益,為此,工程會於97年出版「工程採購契約管理」手冊,希望可做為從事政府採購從業人員的指路明燈。

該手冊於107年啟動更新作業,並配合總統108年5月22日公布採購法部分修正條文,工程會再次修正該手冊,以深入淺出的方式,從政府採購行為概說、契約之成立、一般採購契約、工程相關契約、履約管理及爭議處理之特性與管理等事項分章說明,除工程相關契約外,其餘各章均屬一般採購會涉及之觀念或程序,爰將本手冊名



圖1 多元爭議處理機制示意圖

稱修正為「政府採購法使用手冊」，以符實際，除公開於工程會網站外，近期將印製分送機關，並提供政府出版品展售及本會訓練使用。

參、公共工程審議精進與成效

一、精進工程技術、經費及工期審議

行政院於108年7月26日召開「行政院109年度計畫及預算審查會議」，依工程會建議，要求各部會「為利各項工程順利進行，各機關應依預算編列時所設定之工程定位、功能及建造標準，落實於後續的設計及施工階段，避免因預算編列與設計施工的建造標準不一，造成工程流廢標或延宕工進，而以預算不足或工期不足等因素再行爭取預算或展延工期的不當情形發生」。

工程會進行審查時，要求主辦機關應於計畫階段即妥予考量各面向事宜，包括：工程技術可掌握性、工程內容有無超量設計、工項單價是否合理、施工排程是否妥當及用地取得之難易度等。另工程會於107年8月22日訂定基本設計審議要項表，使工程會與各主管機關審議標準一致，均依「經費合理性」、「技術可行性」、「期程妥適性」及「內容與院核定建設計畫之符合度」等面向辦理審查，提供主辦機關及主管機關於提送基本設計前先自行檢視，大幅減少錯漏須補件情形，進而加速審議作業，使各項建設計畫推展順遂。

工程會亦與各機關達成精進補助型計畫基本設計審議作業之共識，包括「中央主管機關宜整併所屬單位，以一次審議為原則」、「審查天數妥予管控，以1個月內完成為原則」、「參考工程會作法，訂定各主管部會類別之『審議要項表』」、「補件之審查時間以5個工作天內完成為原則」等，期可使計畫執行順遂，減少不必要之退補件或重複審查情形。

工程會108年8月15日訂定「公共工程訂定工期參考原則」，內容包括訂定目的及工期之定義、訂定工期應考量之事項、常見工程類別工期、依預定每月執行經費檢討委託規劃設計廠商及施工廠商所提工期合理性之審查等，期可協助機關辦理公共工程時，妥適訂定合理工期，避免因工期估算不合理，影響廠商投標意願，或發生施工中需辦理展延工期衍生爭議之情形，以利工程順利執行。

二、檢討公共工程造价基準

在公有建築工程的規劃階段，工程主辦機關多以行政院主計總處(下稱主計總處)訂頒之總預算編製作業手冊中「共同性費用編列基準表」所列一般房屋建築編列標準做為匡列工程預算之參據。而過去「共同性費用編列基準表」之一般房屋建築編列標準，適用範圍僅涵括辦公大樓、教室、住宅與宿舍、路外停車場之功能類別，編列標準係考慮達可使用程度之一般條件基本需求所需直接工程成本，其內涵不包括執行期間物價調整費、規劃設計監造等成本，且其餘如挑高、大跨度空間、地質改良、水土保持相關設施、特殊外牆及設備、智慧綠建築相關設施等需求，則由工程主辦機關研析後另列相關費用。

工程會歷年來協助主計總處編修「共同性費用編列基準表」一般房屋建築編列標準，為提供109年度正確編列標準，以近年實際決標之195件公有建築工程案例預算資料進行統計分析，務實進行合理造價之檢討，歷經半年多的資料蒐集、統計分析及與各專業團體訪談溝通，並邀請中央及地方機關、建築師與工程技術服務公會等業界代表共同討論確認，提出「109年度共同性費用編列基準表之一般房屋建築費及辦公室翻修費」之調整建議，較107年度基準調高約3%-23%。目前主計總處已將該基準納入109年度的預算編列手冊，以利各機關編列合理預算。

工程會已委託專業機構編修「公共建設工程經費估算編列手冊-建築工程篇」，將擴增其他特殊功能類別，如：醫院及長照大樓、演藝廳、標準廠房、運動中心及學生活動中心等編列標準，說明共同性費用編列基準之應用時機及使用注意事項，及辦理分區講習宣導。

三、推動生態檢核及循環經濟

為減輕公共工程對生態環境造成影響，工程會於106年4月25日訂定「公共工程生態檢核機制」，請公共工程計畫各中央目的事業主管機關配合生態檢核機制外，並要求公民參與、資訊公開及加強進行推廣與教育訓練，於同年7月修正「工程施工查核小組查核品質缺失扣點紀錄表」，將生態檢核列為施工查核重點項目之一。

工程會持續滾動檢討作業機制，於108年5月10日修正名稱為「公共工程生態檢核注意事項」，透過三級把關制度之建立、納入基本設計階段審議要項及工程執行施工查核項目等作法，加強落實生態檢核，並辦理說明會及講習會，進行跨機關之經驗及案例分享。工程會訂定之「公共工程技術服務契約範本」，分別於規劃、設計階段，納入生態環境調查、生態保育措施、依「公共工程生態檢核注意事項」辦理等選項，由機關視個案特性及實際需要於個案契約約定。

為配合國家循環經濟政策，工程會與環保署、經濟部及各部會共同推動於公共工程中合理運用焚化再生粒料及煉鋼爐渣，成立跨部會之推動小組，訂定「產出單位自產出到使用全程參與，落實品質與流向管理」及「工程機關優先應用於環保爭議小之工程項目」二大主要策略，要求產出單位及供料廠商於每批再生粒料出廠時出具檢驗合格證明，確保供料廠商提供合格之材料。

工程會已配合完成公共工程施工綱要規範之

修訂，將再生粒料納入可用範疇，同時環保署及經濟部也已編訂完成焚化再生粒料運用於道路底層及控制性低強度回填材料、轉爐石運用於瀝青混凝土及海事工程、氧化碓運用於瀝青混凝土及控制性低強度回填材料等使用手冊，讓機關運用上有所依循及參考。

依環保署統計資料，107年焚化再生粒料總使用量約70.3萬公噸，較106年使用量49.3萬公噸成長，且已回歸105年底渣去化尚未發生重大困難時使用水準；轉爐石107年除作為道路鋪面材料的使用量達近20萬公噸外，於海事工程試辦工程中使用約6萬公噸，政府的協助量較106年運用於瀝青混凝土的使用量13.6萬公噸，亦有成長；而氧化碓自107年中完成相關的使用手冊後，經濟部及桃園市政府已協助辦理道路鋪面的試辦工程及相關應用推廣，未來政府相關部會也將持續合作，在兼顧工程品質及環境永續的前提下，達成資源妥善利用的目標。

肆、公共建設管理措施精進與成效

一、公共建設計畫之管理新措施

(一) 計畫管理及協處

工程會108年度列管計畫，包含「一般公共建設計畫」及「前瞻基礎建設公共建設類計畫」，其中一般公共建設計畫計有224項，年計畫經費3,368.01億元，截至108年6月底，已執行1,303.43億元，年分配經費執行率111.19%、年計畫經費達成率38.70%(詳圖2)。

另前瞻基礎建設計畫共8大類建設(詳圖3)，其中有7大類屬公共建設類由工程會列管(數位建設由科技部列管)，包括軌道、水環境、綠能、城鄉、因應少子化友善育兒空間、食品安全及人才培育促進就

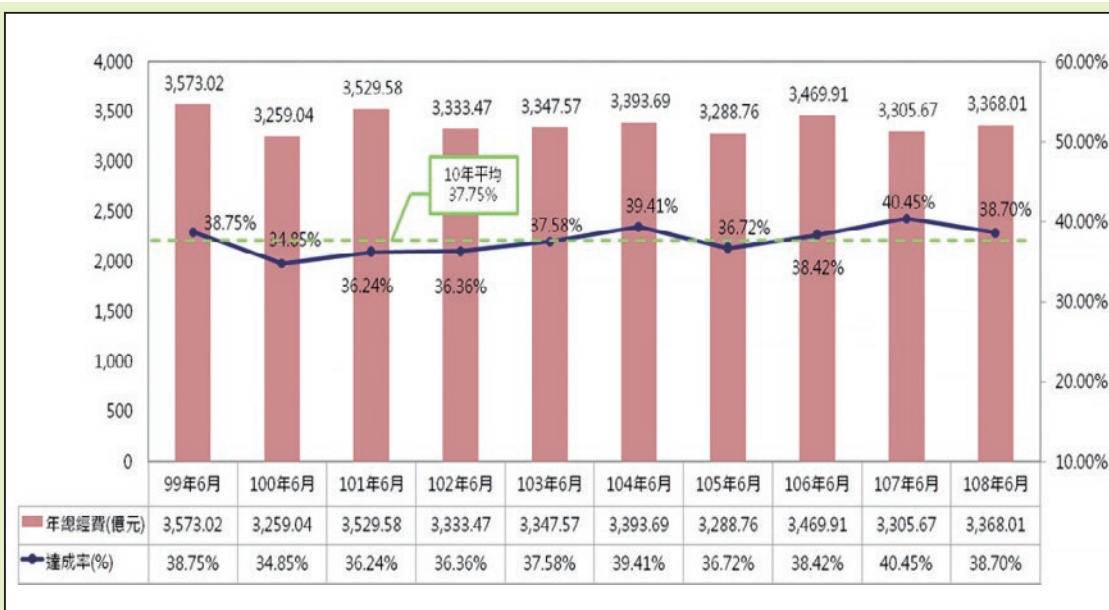


圖2 99-108各年度截至6月底經費與經費達成率比較圖

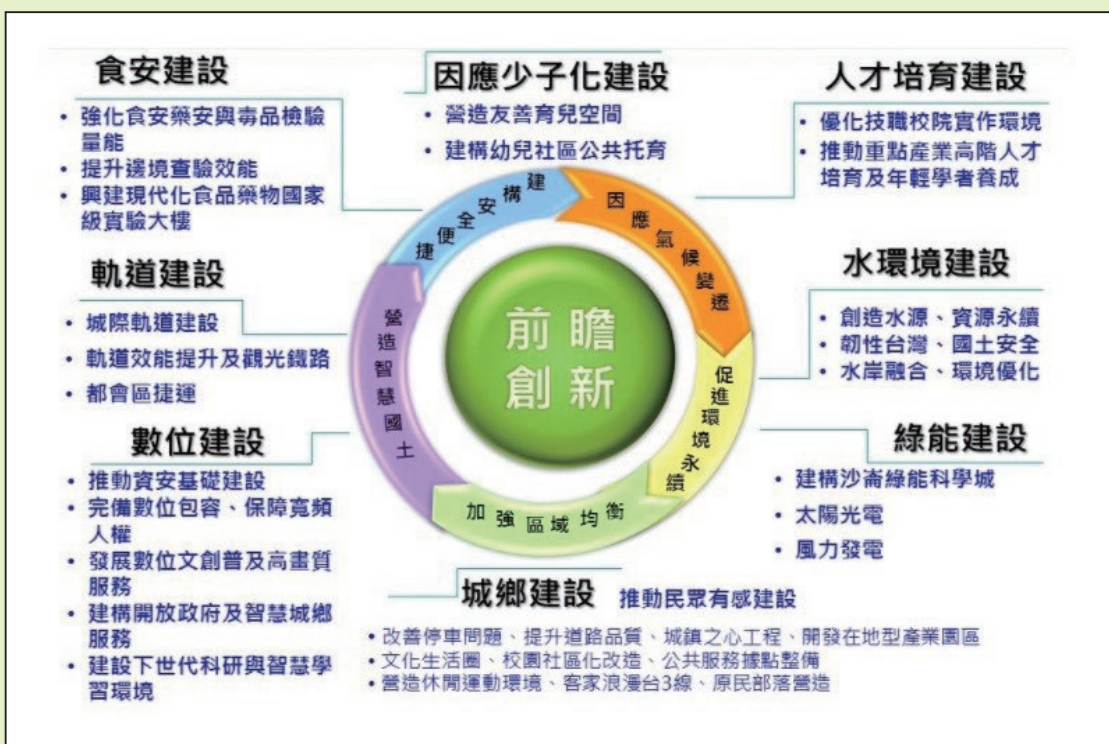


圖3 前瞻基礎建設計畫8大類建設

業建設，計有75項計畫，第二期(108-109年)108年特別預算865.74億元，截至108年6月底，已執行258.72億元，特別預算執行

率92.55%、特別預算達成率29.88%。

為實際掌握一般公共建設計畫及前瞻

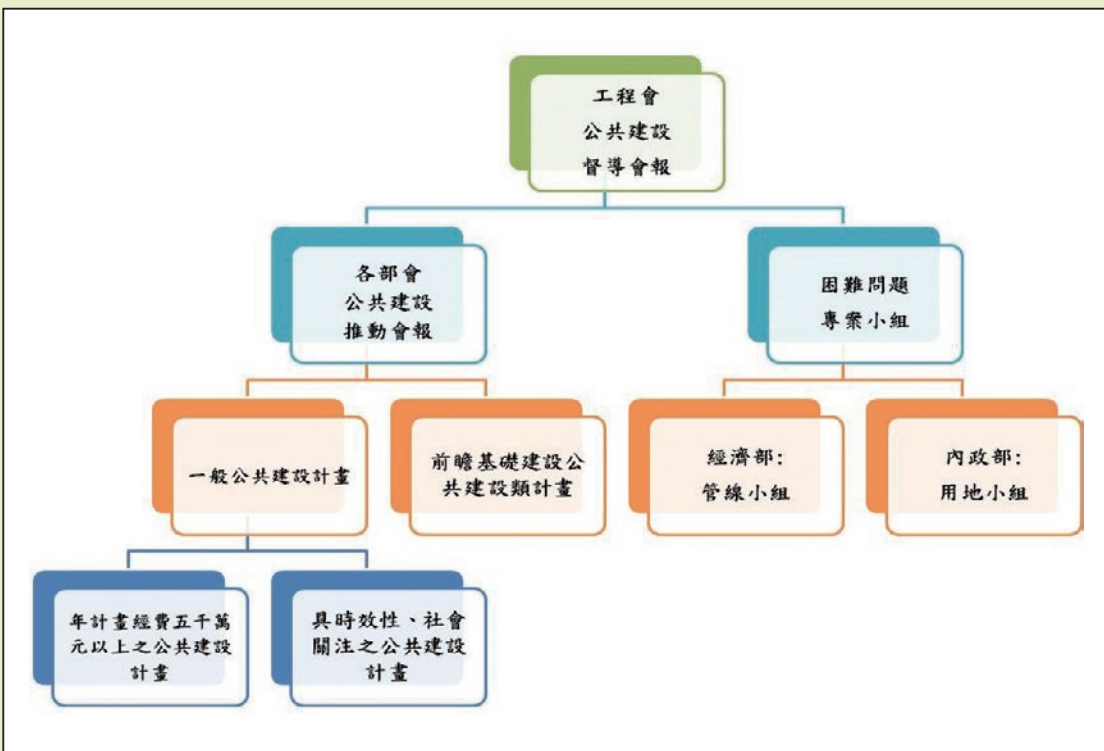


圖4 公共建設督導會報推動機制

基礎建設公共建設類計畫之執行績效，工程會成立「公共建設督導會報」每月召開會議追蹤協處，各部會並成立推動會報，每月管控重大公共建設計畫及所屬工程標案進度、經費支用情形(如圖4)。工程會針對列管公共建設計畫採取分類專案管控方式，就部會、計畫、工程標案逐級管控，並依照狀況、原因、對策之層次架構，進行每日檢視、週週盤點公共建設執行異常案件，每月召開督導會報會議、不定期提報行政院院會督導及追蹤執行情形。

透過工程全生命週期自計畫審議、規劃設計、採購發包及施工階段加強列管，亦運用預算達成率預估值、重要里程碑、完工啟用等指標建立相關預警機制，全程進行管控，確實掌握推動情形，預為研訂因應措施或加速執行方案，以提前發現問題並即時解決。必要時召開專案會議，亦採取走動式管理方式，實地訪查瞭解辦理

情形，協助解決相關困難，使各項計畫順利推動。

(二) 營建資源管理砂石供需協處

107年底南部砂石短缺，主要係因107年度下半年高屏溪流域疏濬作業遲延，導致砂石料源供不應求。為協助解決南部砂石供需失衡問題，工程會自108年1月4日起多次邀集相關機關及各產業公會開會協處，經經濟部水利署專案協助屏東縣政府加速高屏溪流域疏濬砂石作業，並採取多管齊下因應措施，南部砂石料源於108年3月已逐漸恢復穩定，目前砂石料源穩定供應且充足。

為解決砂石及預拌混凝土供需遭遇問題及價格不合理上漲問題，工程會於108年3月22日邀集相關公會及機關召開研商會議，採取三管齊下措施，由源頭掌握料源供需，並查緝非法囤積、聯合哄抬等不

法行為，必要時由機關自行購料等因應措施，以防價格波動。另為確保全國砂石料源穩定供應，工程會已請經濟部確實掌握砂石、預拌混凝土的供需情形及市場價格，於每月公共建設督導會報，提出「全國整體砂石供需情形」報告，俾利及早預警因應砂石供需問題。

北部地區近期因受大陸進口砂石緊縮影響，工程會已要求交通部基於公共利益及配合國家砂石政策為優先考量，針對臺北港落實東砂北運政策之港務規劃，臺灣港務公司已研擬「提升臺北港東砂北運量短期振興專案」，並於108年5月1日開始受理相關業者申請，東砂業者已可向港務公司申請執行該短期振興專案。同時，工程會亦要求經濟部礦務局積極推動陸上砂石開發，並請經濟部水利署基於河防安全及民眾觀感，檢討增加宜蘭及花蓮地區河川砂石疏濬量，共同努力增加國內砂石之供應，以降低及避免對大陸進口砂石之依賴。

二、公共工程標案之管理新措施

(一) 停工終解約管控

工程會自98年3月起列管追蹤，每季召開督導會議加強列管各部會署院及各縣市政府所屬尚未執行金額逾五千萬元之停工、終止契約（含解約）案件，協調解決困難問題，加速推動。另每月篩選執行異常案件（發包金額1千萬元以上停工、終止契約及解約標案、100萬元以上進度落後20%以上標案）函送主管機關列為督導重點，督促落後機關積極辦理。

藉由上開措施，108年度截至6月底，已使42件未執行金額5千萬元以上案件加速復工或完成重新發包，金額共計58.41億元；另未達5千萬元案件強化管控加速復工部分，亦促使1,553件加速復工或完成重

新發包，金額共計73.67億元。合計共約132.08億元政府預算重新投入經濟活動，活絡經濟。

(二) 機關不當延遲付款管控

工程會自101年11月1日啟動「不當延遲付款廠商通報機制」，受理廠商透過網路、傳真及信件等多元方式進行通報，並由工程會追蹤至機關付款為止。截至108年7月底止，廠商通報案件共656件，除71件已進行調解、仲裁或訴訟，或廠商自行撤案之案件外，機關已付款結案564件，付款金額合計63.94億元。另為進一步達到提前示警功效，工程會強化工程標案管理系統功能，每月定期主動篩選付款情形異常案件，併同上開廠商通報案件統計資料函送各主管機關查處列管。近期更研議擴大廠商通報延遲付款案件之適用案件範圍，並研析調整主動篩選機制之管制條件，俾能精準掌握機關延遲付款案件，減少機關延遲付款之情形發生。此外，工程會訂定之「工程採購契約範本」已納入機關延遲付款之契約責任，包括廠商得向機關請求給付遲延利息；延遲付款達一定期間，廠商得通知機關終止或解除部分或全部契約，並向機關請求損害賠償，另亦明定廠商投訴管道。

(三) 公共工程施工品質提升

為確保公共工程施工品質，工程會於89年推動公共工程三級品質管理制度，建立工程主管機關、主辦機關、監造單位及施工廠商之三層級履約品管權責分工重點與事項，並將該制度納入採購法、相關規定及契約範本，要求公共工程團隊據以執行。

透過工程施工查核機制驗證推動成效，經查全國歷年施工查核結果，列甲等

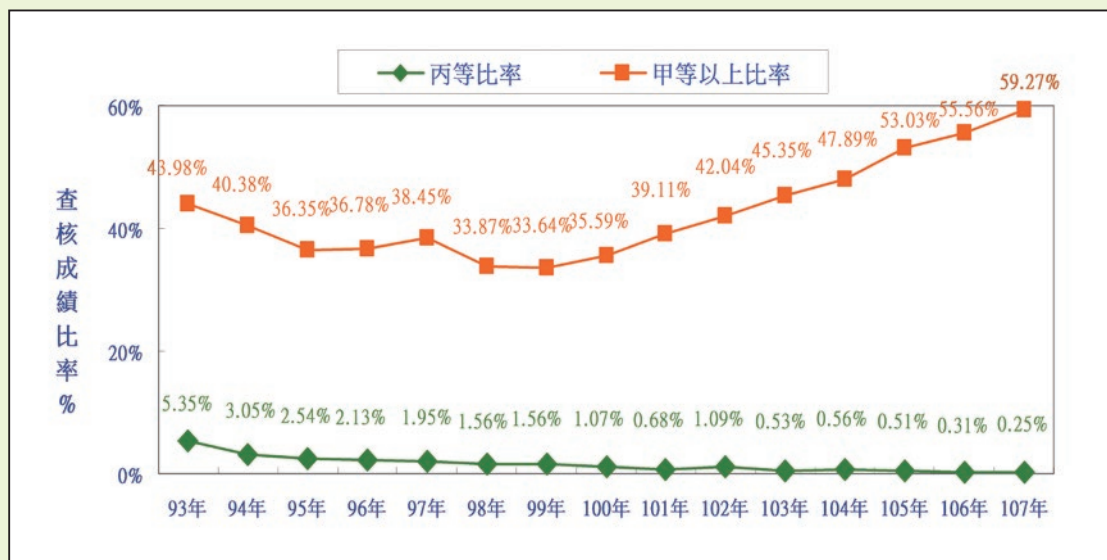


圖5 全國歷年施工查核結果

以上工程比率，由98年之33.91%逐年提升至107年之59.27%；列丙等工程比率亦由93年之5.35%逐年下降至107年之0.25%，顯示全國公共工程施工品質已逐年且明顯提升(詳圖5)。

(四)檢驗停留點管控

為確保公共工程施工品質及落實各項安全衛生管理措施，工程會加強對於監造單位「檢驗停留點」之管控機制，包括：明確歸納工地相關人員應負責之簽認權責、法源及對應罰則；明訂監造單位建築師、技師或其他依法令、契約應到場查證施工廠商履約品質及各項重要施工作業監造檢驗停留點之檢查、簽認、督導(複核)等規定，以及相關懲處機制。

伍、結語

公共工程建設計畫，攸關公共利益與民眾福祉，為期順利推動，需以全生命週期概念，從源頭管理，並落實在後續各個階段每一環節之作業。工程會透過採購法之修法，讓各機關之採購策略更靈活彈性，另透過營建管理新措施，包括協處輔導工程流廢標案件、落實循環經濟、加強標案管控機制等，協助解決機關及廠商遭遇之問題，以提升公共工程之執行績效與品質，促進產業發展，活絡經濟，造福全民。

把握安全營造的新契機 ——瞭解營造安全衛生管理 導入BIM技術之可能性

Seize the New Opportunity to Construct More Safely
- Understand the Feasibility of Using BIM to Manage
Occupational Safety and Health

關鍵字 (Key Words) : 建築資訊模型化技術 (Building Information Modeling, BIM)、職業安全衛生 (Occupational Safety and Health)、丁類危險性工作場所 (Category D Hazardous Workplace)、風險評估 (Risk Assessment)

勞動部職業安全衛生署／署長／鄒子廉 (Tzou, Tzu-Lien) ❶

社團法人中華民國工業安全衛生協會／理事長／藍福良 (Lan, Fwu-Liang) ❷

育沛研創設股份有限公司／總經理／周慧瑜 (Chou, Hui-Yu) ❸

摘要 ABSTRACT

營造工程專案因為基地條件、工程參與者、施工計劃、工項間的網狀工序關聯等因素，在任一專案都有其獨特性、複雜性及不確定性，因此施工風險能否有效掌握與管控，取決於管理者對於各類潛在主要危害風險作業的情境辨識與評估能否正確而完整。

勞動部職業安全衛生署於今(108)年度啟動了營造安全衛生導入BIM技術的政策研究與基礎建置工作，為使業界對於相關推動工作能有充分的背景認知並促進理解與共同參與。

本文以BIM技術的3D視覺化特性與物件導向資料庫特性為主軸，說明BIM能如何輔助營造安全衛生管理成效的強化，期望透過BIM導入前後作業模式與效果的差異比較，能更清楚闡述職安署的政策研究動機，以及第一年度基礎建置工作的預期目標。



Abstract

Each Construction Project is unique, complex and full of uncertainties because of its individual site conditions, project participants, working plans, and precedence relationships among activities in the form of a network. Therefore, whether the construction risks can be effectively controlled depend on project manager's capability to fully understand the work environment and to evaluate the potential construction hazards.

The Occupational Safety and Health Administration, Ministry of Labor (OSHA) has launched the policy research and fundamental works for introducing BIM technology into construction safety and hygiene in this year (2019). Hoping the construction industry understand the background information and participate the relevant works.

This paper use 3D visual characteristics and object-oriented database of BIM technology as spindle to explain how BIM can strength the safety and hygiene management results. By comparing the difference and effectiveness before and after introduced the BIM technology, it is expected that OSHA research policy can be more cleared to public and achieved the expected target of the first year of fundamental works.

壹、前言

營造業屬重大職災風險發生率較高之行業，勞動部職業安全衛生署(以下簡稱職安署)為協助業者依職業安全衛生法第5條第2項規定「工程之設計或施工者，應於設計或施工規劃階段實施風險評估，致力防止工程施工時發生職業災害」，落實施工風險評估，降低施工風險，已訂定「營造工程施工風險評估技術指引」，提供風險評估的實施原則、方法、流程及表格等。

鑑於傳統風險評估憑藉2D圖說與文字描述的方法，較不易察覺個案特有的作業情境與風險，且參與風險評估人員的專業背景不同，亦容易造成溝通上的障礙，長期下來逐漸有評估內容通案化甚至流於形式的隱憂，職安署為提升施工風險評估成效，於今(108)年委託專業單位辦理「營造業職業安全衛生管理制度促進計畫」，工作項目包括「研究BIM技術於營造安全衛生管理之運用，提升營造業施工風險評估技術」，期藉由建築資訊模型化(Building Information Modeling，以下簡稱BIM)技術的視覺化表達方式，有效溝通協調施工安全規劃，以強化安全衛生管理之成效。

貳、計畫概述

為提供更好的視覺化表達方式，以有效溝通協調施工安全規劃，本計畫項目規劃發展營造業安全衛生BIM元件，提供業者免費下載使用外，並擇一丁類危險性工作場所之實際建築工程案，於施工風險評估過程導入BIM技術，產出安全衛生設施數量表單及模擬施工風險評估案例範本，再與原施工風險評估方式進行效益評估。有關工作內容如下：

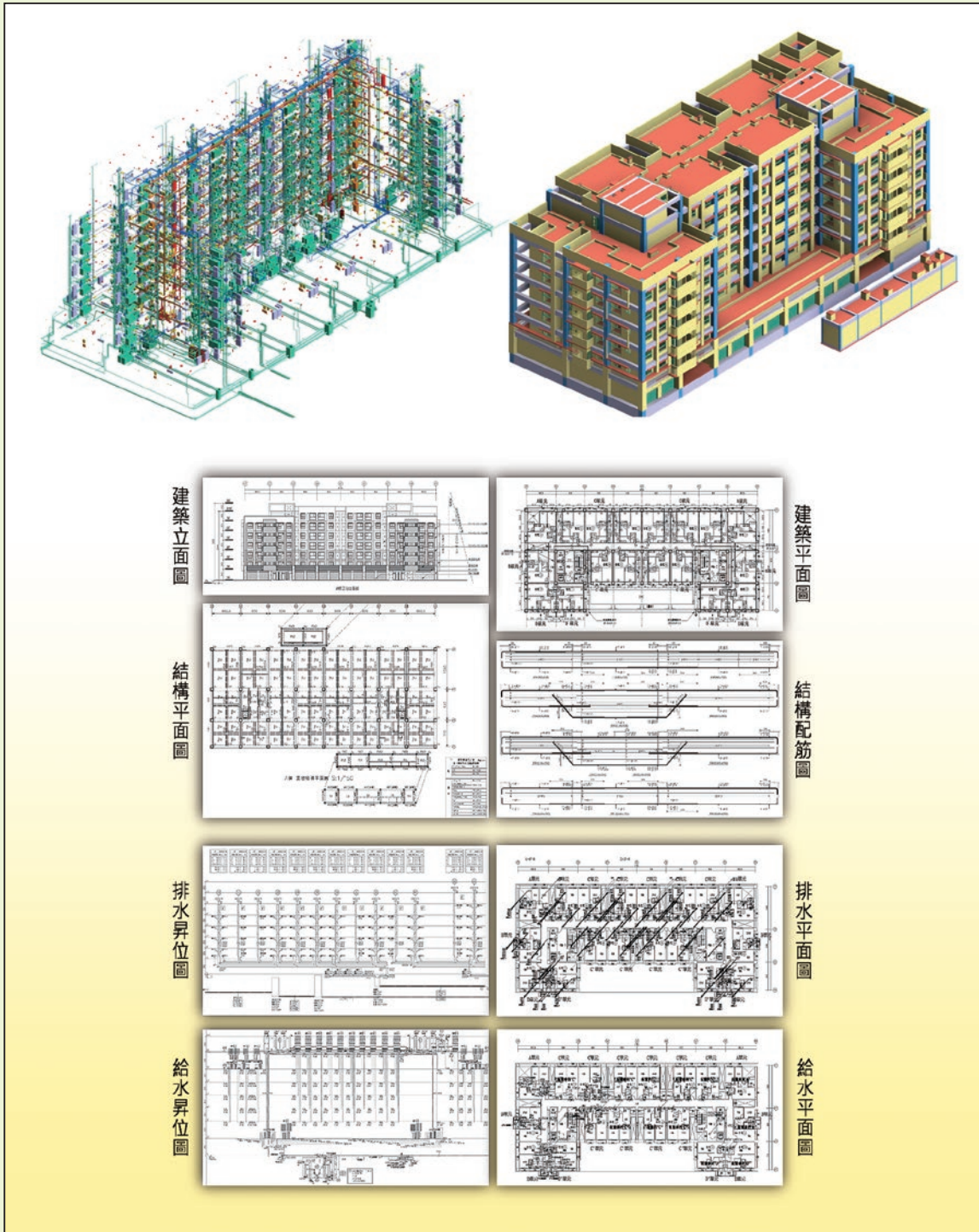
- 一、研議適用發展營造業安全衛生BIM元件之軟體與BIM運用宣導展示之軟體。
- 二、依據職業安全衛生法規相關規定及蒐集常見之營造業安全衛生設施詳細資料，編列營造業安全衛生BIM元件清單。
- 三、訂定營造業安全衛生BIM元件規格，建置營造業安全衛生BIM元件及樣版。
- 四、建立營造業安全衛生BIM元件編碼原則與營造業安全衛生BIM元件編碼。
- 五、建築工程施工風險評估導入BIM技術案例範本模擬。
- 六、編撰營造業安全衛生BIM軟體操作手冊。
- 七、辦理營造業安全衛生BIM元件運用宣導說明會。
- 八、辦理BIM導入建築工程施工風險評估案例相關議題研討會。

參、建築資訊模型化(BIM)技術之基本觀念介紹

營建業長期以來使用2D形式說明設計成果與發展施工圖說，當3D的實體設施設備必須被分層、分向、分系統解構為大量的平面、立面與剖面圖，且基於2D視角的侷限性，再將實體轉化為抽象的圖形、圖例與標註之下，所有專案參與者包含業主、設計者、施工者、監造者、專案管理者、設施使用維護者乃至各層面利害關係人等，如果要理解設計或施工內容，進而作為工作執行、溝通、管控與檢核上的依據，能否將2D資訊正確而完整的轉譯重組為3D圖像，便成為關鍵的障礙門檻。

不過，BIM技術的出現，為營建業帶來了降低上述門檻的嶄新契機。首先，BIM讓設計成果與施工規劃，回歸到3D擬真表達的模式。如圖

1所示，因為從抽象回到具象，大幅改善了所有專案參與者與利害關係人的溝通基礎；因為從片面回到全面，顯著強化了各系統專業介面整



資料來源：育沛研創設股份有限公司

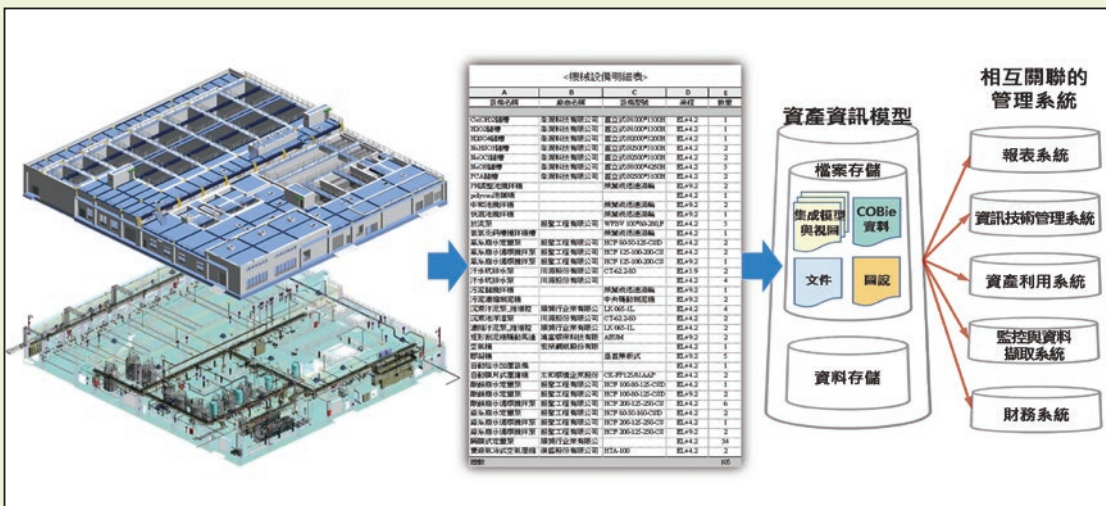
圖1 BIM技術的3D視覺化特性示意圖

合的容易度與可檢核性。於是過程中的相互理解與資訊透明化，讓設計與施工成果，更容易符合業主與使用者的需求與期望。

再者，BIM的3D視覺化，並不同於以AutoCAD®3D、SketchUp®、3ds Max®、Maya®等3D設計軟體所產出的立體模型。關鍵差別在於BIM軟體背後的物件導向資料庫本質，使模型建置不只是一種繪圖加上圖塊或圖層定義，而是在建構出所有設施設備構件的同時，賦予其各自所有的屬性參數，同時將彼此間的空間定位與接合關係也清楚定義的3D資訊模型。不僅如此，模型中所包含的資訊，還可與其他應用軟體進行連結或傳遞(如圖2)，使3D再伸展出4D、5D等更多維度的資訊意涵與用途，應用縱深甚至可以貫穿全生命週期，為實現數位管理與智能或智慧化發展鋪設了一條大有可為的道路。

害預防目標，於招標文件中訂定安全設施設置基準與施工建議圖說，並據以量化編列安衛費用。進入施工階段時，則要求施工廠商於提出施工計畫書的同時，同步訂定職業安全衛生管理計畫、墜落災害防止計畫等，且應依計畫落實執行。如工程專案符合丁類危險性工作場所的條件定義，則要求施工廠商針對主要危害作業另行提出施工安全評估報告，並於使勞工作業三十日前，向當地勞動檢查機構申請審查。

然而，上述所有安全衛生管理措施，在危害辨識、風險分析、風險評估、改善對策研擬、以及施工計畫基於危害預防目的之回饋調整等過程中，目前同樣在憑藉2D圖說與文字描述的作業環境中，存在下列各方面的侷限與問題：



資料來源：育沛研創設股份有限公司

圖2 BIM模型的物件導向特性示意圖

肆、現行營造安全衛生管理作業的局限與問題

現行工程專案安全衛生管理工作的制度規劃，從設計階段開始要求設計單位應於工法選擇時納入施工安全衛生考量，奠定工程的本質性安全衛生基礎；同時應基於風險評估與災

一、在確認各作業節點因人、機、料、方法、環境所形成的作業情境，以及該情境下存在何種可能誘發災害的因素時，評估人員僅能憑經驗與想像在腦中建構出情境與作業的動態性，不易察覺作業間潛在的空間與時間重疊，以及因此所衍生的危害風險。

二、風險分析與評估用表格雖有標準化的優點，卻也因2D作業不易察覺個案特有的作業情境與風險，長期下來逐漸有評估內容通案化甚至流於形式的隱憂。

三、分項作業災害預防對策的研擬，遵循現行相關法令規範本是必然；但受到前階段未能針對個案個別情境分析與評估風險的影響，風險對策也同樣存在以法規彙整替代個案分析的問題。

四、缺乏前述各風險分析評估階段的個案資訊做為參考依據，導致個案不易掌握職安衛設施設備的實際需求量，當然也無法進一步考量許多臨時性安衛設備的動態調度與流用的可行性，結果便是安全衛生費用的預算編列合理性不足，以及施工單位在安全衛生管理上需承擔較高的成本變異風險。

伍、BIM能如何輔助安全衛生管理成效的強化

BIM基於其3D視覺化特性，在安全衛生管理程序中具有多方面的輔助功效。以一空橋型鋼構露臺的鋼梁吊裝作業為例，圖3是分項工程作業計畫中常見的吊裝機具平面配置圖(左)及

吊裝機具立面配置圖(右)；圖4則是鋼構吊裝作業的作業流程及各階段安全衛生設施的規劃內容。兩圖所呈現的全區平、立面配置與選單化文字等表達形式，呈現了起重機作業位置、機具荷重能力評估結果、基於機具位置與機種所圈出的吊臂最大作業範圍、各作業流程所牽涉職災類型的安全衛生管理對策等內容。

然而，就吊裝作業的實際操作而言，吊臂需要三維向度的轉動與伸縮，加上吊鍊的上下收放來帶動吊放物(此例主要為鋼梁)的移動與轉動。而吊放路線上，吊臂與鋼梁的周遭，圍繞有結構體與施工架，且施工架上可能會出現若干施工人員，正進行與鋼梁吊裝平行作業的其他工項(例如外牆磁磚等)。究竟此情境需要參照施工計畫中的哪些資訊才能正確而完整地呈現出來？此情境下的吊放過程中潛在著哪些危害？又應採取何種危害預防措施？若在僅能憑藉2D圖說與文字描述的情況下，就必須倚賴風險評估者的專業與經驗。不過，在藉助BIM技術後，施工情境可擬真呈現如圖5所示。當評估者可如臨實境地觀察施工作業的分解動作與情境元素後，風險辨識與分析、風險致災程度評估與職災預防對策等課題的研討，即使在評估者專業角色與背景各異的情況下，也得以在共同的認知上明確聚焦，並且增進介面溝通與協同效率。

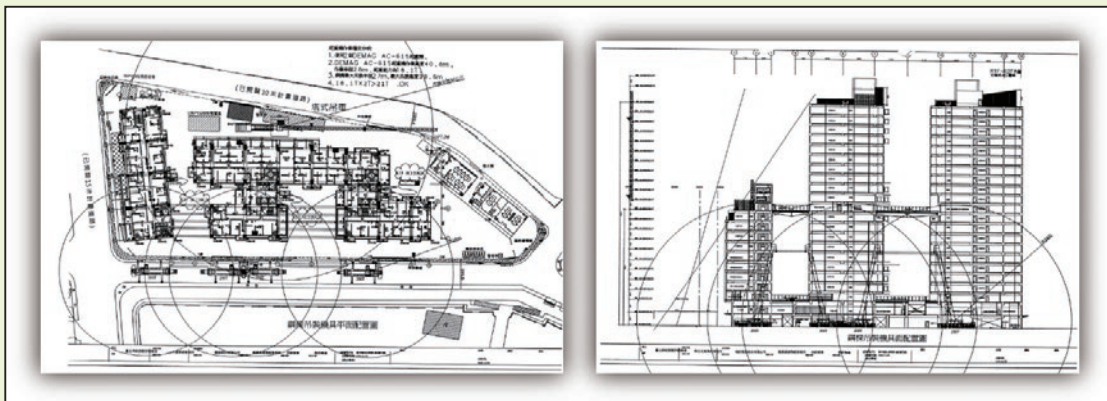


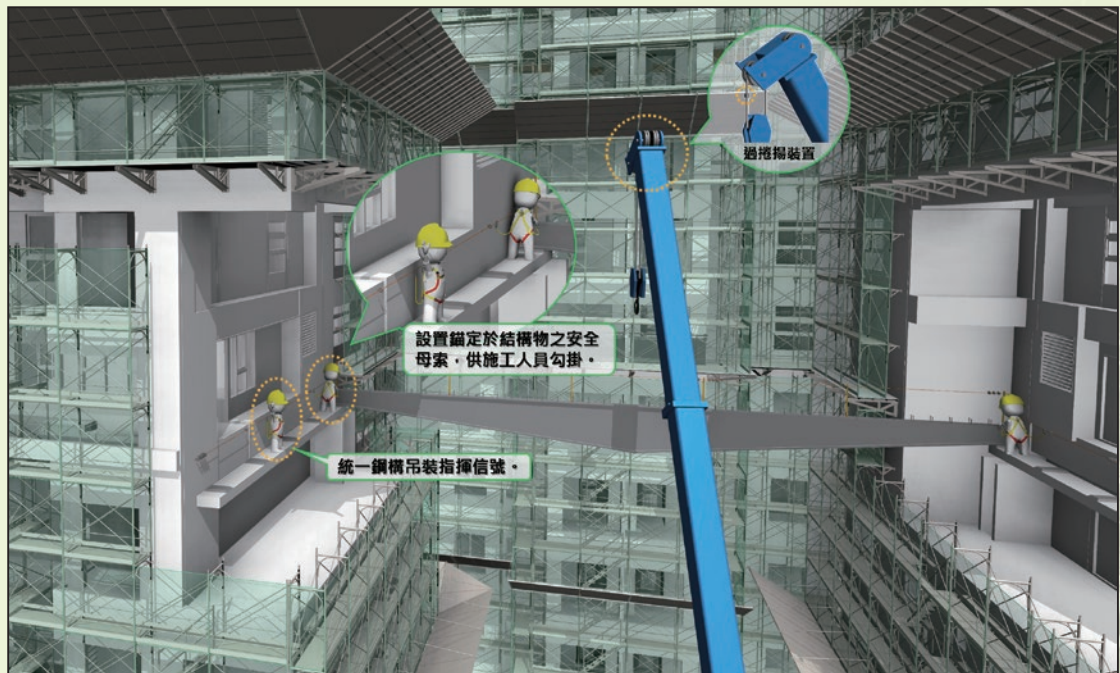
圖3 鋼梁吊裝機具平面配置圖(左)及立面配置圖(右)例示

鋼構工程：鋼樑以2部200T輪吊於鋪面上吊裝，最大吊裝作業半徑28m，最大吊裝作業高度39.6m，最大吊裝鋼樑重21噸。鋼樑吊裝完成後鋪設鋼承板。



資料來源：安康市場公營住宅統包工程【分項工程作業計畫】

圖4 鋼梁吊裝作業流程及各階段安全衛生設施規劃例示



資料來源：108年度「營造業職業安全衛生管理制度促進計畫」建築工程施工風險評估導入BIM技術示範案例

圖5 鋼梁吊裝作業施工情境及風險預防對策運用BIM擬真效果例示

除此之外，BIM模型所具備的物件導向資料庫特性，使得任何如同圖5的情境模擬與施工風險預防措施研擬，都能同步掌握各類設施構件、機具與所佈設安衛設備的規格明細與數量，並可進一步評估不同施工方案、不同災害預防措施的成本效益。無論從評估作業的完整性還是方案決策的經濟效率而言，BIM的導入都能成為強而有力的輔助工具。

陸、職安署啟動BIM導入營造安全衛生管理第一步

為強化營造工程專案的安全衛生管理，職安署於今年啟動BIM導入的可行性驗證計畫與基礎建置工作。可行性驗證從施工風險相對較大的丁類危險性工作場所的施工安全評估作業開始，以一項符合丁類危險性工作場所條件的建築工程案例，示範如何運用BIM技術找出潛在於主要危害作業施工過程中的特有災害，以及研討出危害預防措施的適宜方案。至於基礎建置工作，則是以降低營造業界運用BIM模擬施工風險情境時所需的人力時間成本負擔為目的，一

方面建立國內營造業常用安全衛生設備的BIM元件庫及供情境模擬使用的BIM建模樣板，另一方面分別依循國內現行「公共工程綱要及細目編碼」與國際通用度高的「OmniClass編碼」，為所有安衛元件庫中的BIM元件研訂出有助於識別與統整的兩套編碼。

上述所有成果，將呈現於今(108)年底正式上線的「營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台」上，免費供業界下載使用，再搭配示範案例操作手冊的出版，以及今(108)年11月份即將於北、中、南三區舉辦的宣導說明會與專題研討會議，期望BIM技術對營造產業帶來的革新契機，透過認識、學習、運用與分享，能夠在營造安全衛生管理工作的推動上，同樣激發出向上改變的能量。



新北市三鶯大橋 第一階段改建工 程施工階段BIM 技術之應用

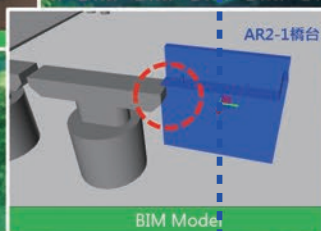
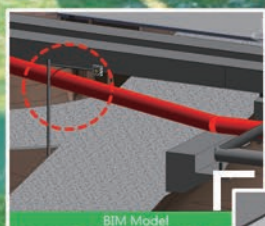
關鍵詞(Key Words)：鋼橋施工階段(Construction stage of steel bridge)、
建築資訊塑模(BIM/Building Information Modeling)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／資深協理／陳泓德 (Chen, Hong-De) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／經理／林聰能 (Lin, Cong-Neng) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／工務所主任／林建男 (Lin, Jian-Nan) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／工程師／呂傳豪 (Lyu, Chuan-Hao) ❹



摘要

台灣世曦工程顧問股份有限公司承辦新北市三鶯大橋第一階段改建工程之設計及監造服務工作(簡稱本工程)，於規劃設計階段即導入建築資訊塑模BIM(Building Information Modeling)，隨著工程生命週期各階段之需求，持續深化BIM模型，有利於本工程各參與單位之溝通與協調，達到設計端、業主需求端、施工端等三方之認知及減少工作落差，確保有效管控本工程之時程、成本及品質。

本文說明施工階段導入BIM之過程，探討BIM於鋼橋施工階段之應用，從執行之過程與階段性成果，了解BIM現有軟體之效益，期可提供未來相關工程導入BIM技術之指引參考。



Application of BIM Technology in the Construction Stage of Sanying Bridge Reconstruction Project Phase I in New Taipei City

Abstract

The design and construction supervision of Sanying Bridge Reconstruction Project Phase I in New Taipei City was undertaken by CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan. The BIM (Building Information Modeling) was instantly introduced at the planning design stage, and was continuously deepened along with both the development of the project life cycle as well as different needs at each stage in order to not only facilitate the communication and coordination among units of this project, but reduce the gap between the awareness of the design end, the client's demand end, and the construction end from the design as well as the construction so that the effective control of the project schedule, cost and quality could be ensured.

This paper takes the process of importing BIM into the construction stage as an example to explore the application of BIM in the construction stage of steel bridge. From the implementation process and the phased results, to gain deeper insights into the benefits of existing BIM software, in the hope of serving as a policy reference for importing BIM into related projects in the future.

壹、前言

本工程主要內容如下：

一、專用機車道及人行道橋

於既有三鶯大橋之上游(匝道一)、下游(匝道二)各新建專用機車、人行道橋及其引道工程，橋梁配置如圖1。匝道一全長764m，共配置6個橋梁單元；匝道二全長618m，共配置5個橋梁單元。橋體之結構型式為：下部結構及帽梁為鋼筋混凝土(簡稱“RC”)、上部結構為鋼箱型梁加RC橋面板。

二、代辦自來水管橋

本工程代辦一座獨立之自來水管橋，位於匝道一之上游側，總長度600.9m計12個單元。橋梁上部結構型式第U02-U11單元採桁架式鋼拱橋，下部結構均為RC單柱橋墩，墩柱P4-P10基礎與匝道一橋墩基礎共構，以減少基礎開挖範圍，結構斷面配置如圖2。橋梁兩端U01及U12單元採管梁式鋼管橋與鶯歌端及三峽端之既有水管銜接，新建橋梁與周遭地物整體3D外觀如圖2。

貳、BIM應用與軟體架構及元件深化程度

一、建模程序及使用軟體



圖1 橋梁平面配置圖

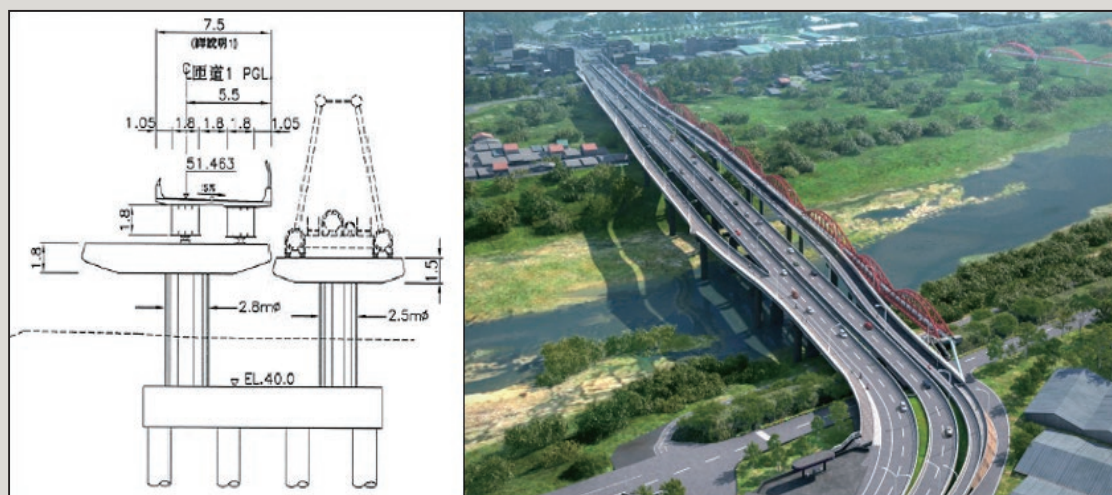


圖2 匝道一與水管橋配置圖與3D外觀示意圖

為符合本工程導入BIM的預期目標，BIM模型之建置係採用Trimble與Autodesk兩家公司之軟體。BIM應用與對應軟體說明如下：

(一) 鋼箱梁鋼板數量計算

本工程採用Tekla Structures(建模軟體)以2D圖面為依據，建置鋼箱梁BIM模型如圖3；搭配Tekla BIMsight(瀏覽軟體)進行模型瀏覽與審查，此可與鋼梁製造圖比對兩者是否有不一致的情形發生。若兩者間存有不一致，則由監造單位提出審查釋疑單後，上傳至雲端共同作業平台，或於每月BIM月會中提出，檢討該釋疑是源於鋼梁施工圖亦或是Tekla模型，以達成鋼梁施工圖、Tekla模型雙向檢核的成效。

完成模型審查作業後，再由Tekla Structures產出鋼板材料數量清單如圖4，匯入MS-Excel進行整理並與製造圖數量比較是否符合10%誤差之要求，作業流程如圖5。

(二) 鋼橋吊裝4D模擬

以Revit建置完成之3D BIM模型，結合作業排程軟體(MS-Project)及BIM軟體(Navisworks)進行鋼梁吊裝模擬，從MS-Project軟體匯入工項、時間和其它資訊，以動態方式連結明細表與專案模型如圖6。

(三) 施工衝突檢查

新建橋梁及原有橋梁構造、汙水管線模型運用Revit軟體進行建置；現地地形、引道道路、鄰近構造物等，則運用Civil 3D建置；以Navisworks整合上述模型，以進行鋼橋整體施工性衝突檢查，衝突檢查結果詳如參、四所述。

(四) 施工動畫輔助危評審查

另因本工程屬丁類危險性工作場所，故本工程也以Enscape軟體針對工序及相關安全衛生設施製作動畫以輔助丁類危險評估辦理下部結構、上部結構之審查作業，

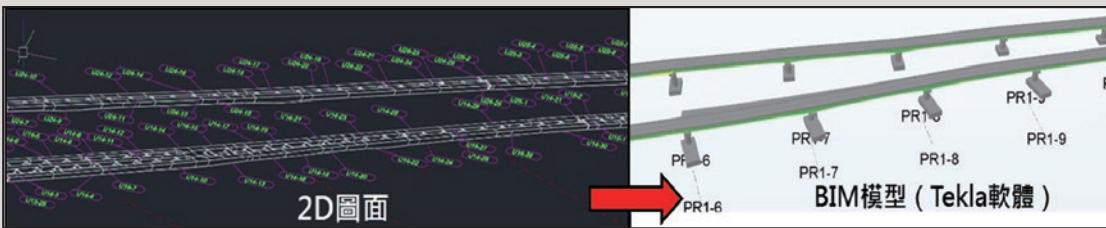


圖3 鋼箱梁BIM模型建模程序示意圖

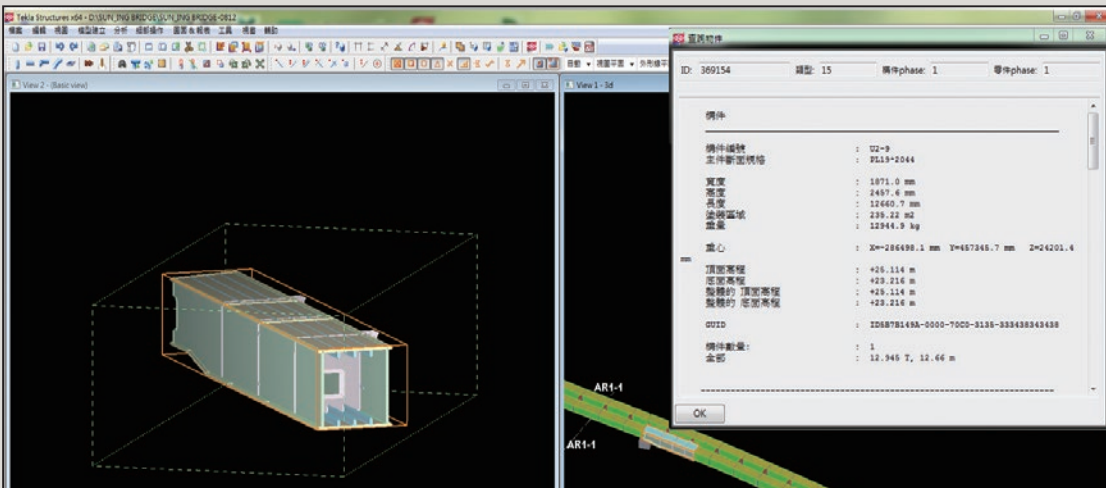


圖4 以Tekla Structures產出鋼板材料數量示意圖

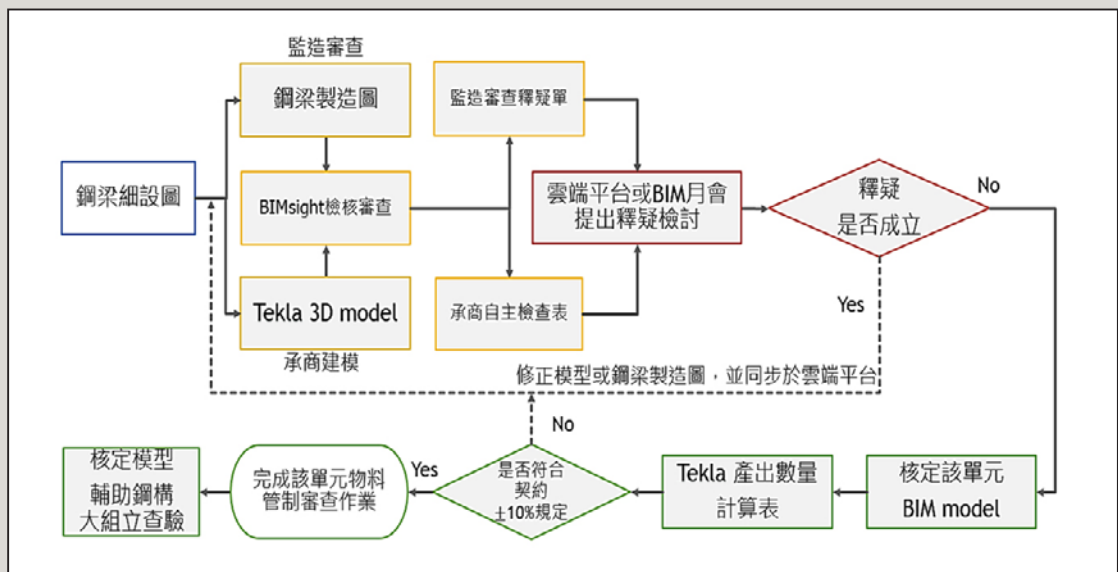


圖5 鋼梁鋼板數量計算作業流程圖

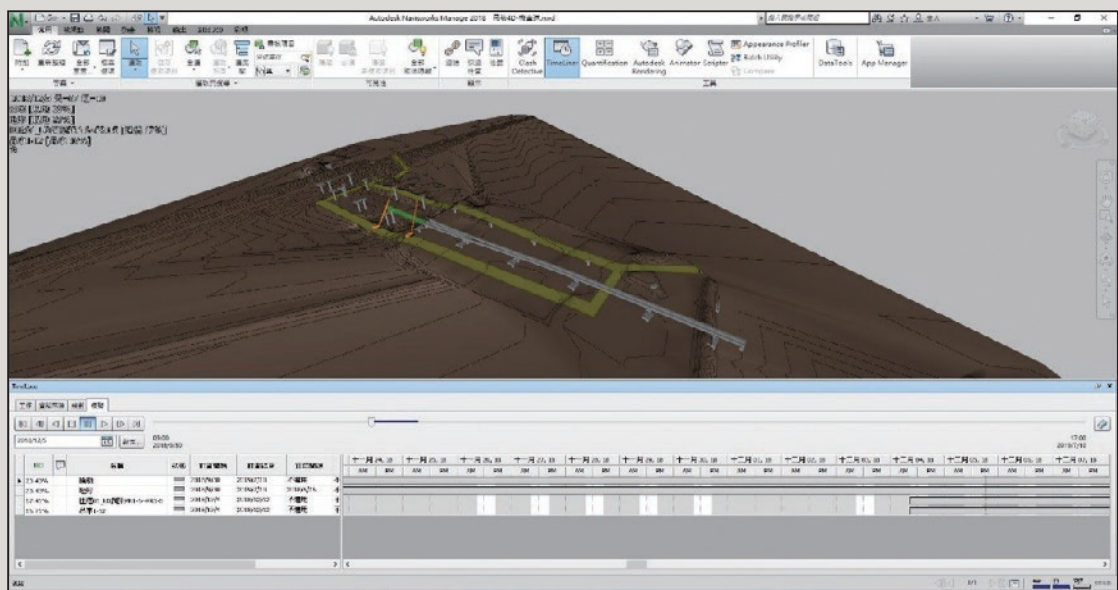


圖6 Navisworks 4D鋼橋吊裝模擬示意圖

3

專題報導

可加速審查過程，有助於工程進度之推展，施工動畫建置成果如參、五所述。

綜整上述項目，本工程BIM建模軟體架構如圖7。

二、BIM模型元件深化程度

元件深化程度將依據各別BIM應用之需求來

發展，並藉由元件深化表將元件資訊欄位預先註冊，以做為建模時輸入資訊之基本依據。本工程以「鋼箱梁元件」及「路燈」做為BIM元件深化之主要項目。其中鋼橋建模配合鋼梁之細部設計圖，據以深化為施工模型；上述元件待竣工階段再輸入維護管理之相關參數，以供後續工程生命週期模型之延續使用，參如表1。

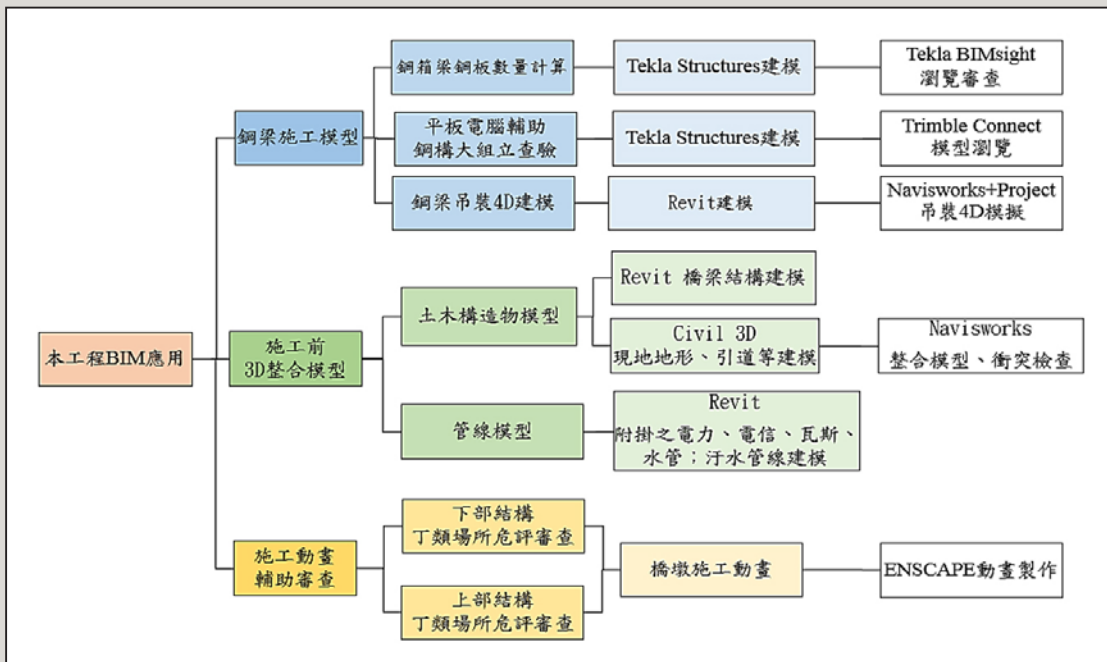


圖7 BIM應用與建模軟體架構圖

表 1本工程BIM元件深化表-鋼梁元件(左)；路燈元件(右)

品類	鋼橋	設計階段模型	施工階段模型	竣工階段	品類	路燈	施工階段	竣工提交階段	備註	
族群	鋼箱梁				族群	LED 路燈				
幾何資訊	參考模型				幾何資訊	參考模型				
	主要外形量體	●	●	●		主要外形量體	●	●	●	可輸入族群
	內部關鍵元件	●	●	●		內部關鍵元件	●	●	●	
	細部組成構造	●	●	●		細部組成構造	●	●	●	
非幾何資訊	構件結點	●	●	●	非幾何資訊	構件結點	●	●		
	材質	●	●	●		材質	●	●	●	
	重量	●	●	●		重量	●	●	●	
	規範	●	●	●		規範	●	●	●	
	編號	●	●	●		用途	●	●	●	
	施工製造商	●	●	●		電壓	●	●	●	
	價格	●	●	●		編號	●	●	●	
	圖號	●	●	●		廠牌	●	●	●	
	驗收日期			●		製造商	●	●	●	
	保固日期			●		價格	●	●	●	
保養廠商			●	圖號	●	●	●			
其他			●	現圖	●	●	●			
				照片	●	●	●			
				型錄	●	●	●			
				其他						

參、BIM應用之主要項目說明

BIM於本工程施工階應用之主要項目分別為：「鋼箱梁鋼板數量計算」、「平板電腦輔助鋼構大組立查驗」、「鋼橋吊裝4D模擬」、「施工衝突檢討」及「施工動畫輔助危評審

查」等項目。

一、鋼箱梁鋼板數量計算

以匝道一鋼梁單元U11為例說明，其BIM模型以Tekla BIMsight瀏覽審查後，發現箱梁內部

隔板及橫梁與鋼梁施工圖不一致，如圖8，以BIMsight軟體在模型上標註並提出儲存視圖，由監造單位提出審查釋疑單交付承商修正模型如圖9。

鋼梁U11單元依工地現場接頭劃分，按上述作業流程完成BIM模型審查作業後，結果如表2，均符合10%誤差範圍內。

二、平板電腦輔助鋼構大組立查驗

經審核通過之鋼橋BIM施工模型，除了用以計算鋼板材料數量外，本工程亦使用平板電腦

來輔助鋼箱梁大組立查驗，透過Trimble Connect電腦版軟體量測鋼箱梁3D模型之構件尺寸如圖10及同步應用平板電腦於鋼構大組立時，以Trimble Connect行動版進行鋼箱梁外部及內部構件如：隔板、加勁板、人孔等之尺寸、位置、個數及型式之查驗，作業流程如圖11，平板電腦輔助查驗情形如圖12及圖13。

三、鋼橋吊裝4D模擬

如貳、一、(二)所述，以整體吊裝進度每25%為劃分，本工程鋼橋4D吊裝動畫截圖如圖14，可呈現4D視覺化模擬現場施工情形，有助

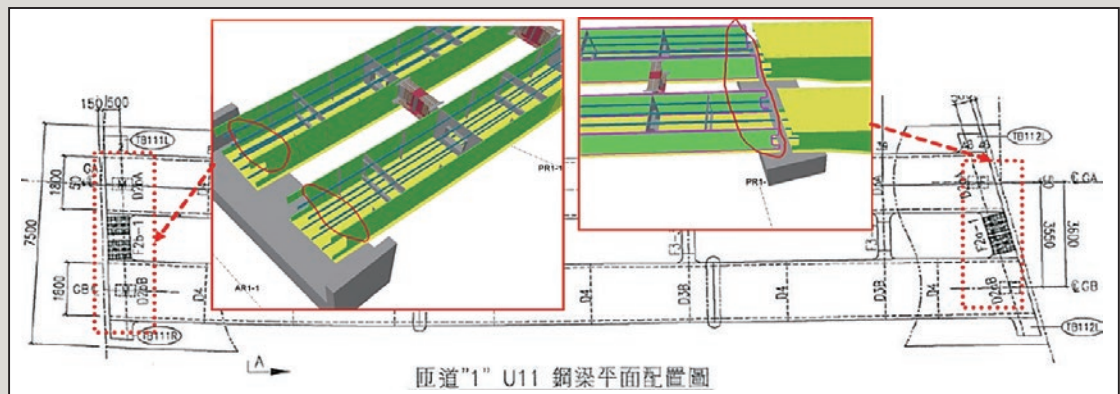



圖8 箱梁內部隔板及橫梁與鋼梁施工圖不一致

新北市三鶯大橋第一階段改建工程-委託監造技術服務		模型座次: SUN_LING BRIDGE-092R. (請註明圖面數量)
監造 BIM 檢核報告表		
審查日期: 民國 107 年 10 月 13 日	審查者: 呂傳豪	待辦工作代號: 06199-1071013.
審查意見主旨: 橫梁與U11之隔板, 與設計圖不符之情形。		Tekla BIMsight 註解編號: 003.
審查意見說明:		備註:
1. U11GA 鋼梁, D2b 隔板應有 1 組, Tekla 模型無		請說明或修正
2. U11GB 鋼梁, D2b 隔板應有 1 組, Tekla 模型無		請說明或修正
3. U11GA 鋼梁, D2a 隔板應有 1 組, Tekla 模型無		請說明或修正
平面圖位置: S1-B:		
<p>疑難回覆: (請回覆單位將疑難回覆之作法或解決方式填寫於此欄)</p>		
<p>回覆者名稱: (請回覆者留下姓名)</p>		<p>回覆日期: (請回覆者留下回覆日期)</p>

圖9 監造單位提出之審查釋疑單

表2 鋼梁U11單元鋼板材料數量比較表

1	A	B	C	D	E	F	G	H
2	單元	BIM產出數量(a)		工作圖數量(b)		MATERIAL (2)	差異	
3	編號	位置	無連接板總重(kg)	位置	無連接板重(kg)	總重(kg)	重量 [b-a]	比率 [(b-a)/b]
4	1	U11-1	9614.7	*U11B01	10006.8	10603.0	392.1	3.92%
5	2	U11-2	9645.1	*U11A01	10070.3	10666.5	425.2	4.22%
6	3	U11-3	9503.3	*U11B02	9530.4	10126.6	27.1	0.28%
7	4	U11-4	9383.4	*U11A02	9464.6	10060.8	81.2	0.86%
8	5	U11-5	9818.4	*U11B03	10416.5	10416.5	598.1	5.74%
9	6	U11-6	9015.9	*U11A03	9556.3	9556.3	540.4	5.66%



鋼梁製造圖
數量

符合契約
±10%規定

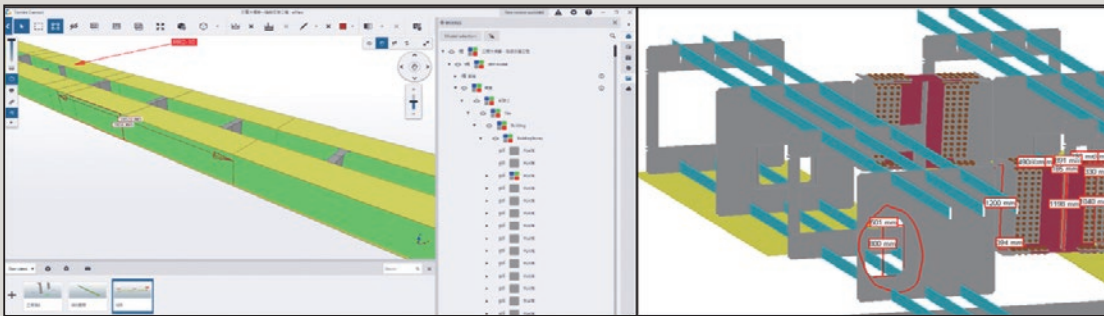


圖10 Trimble Connect電腦版操作示意圖

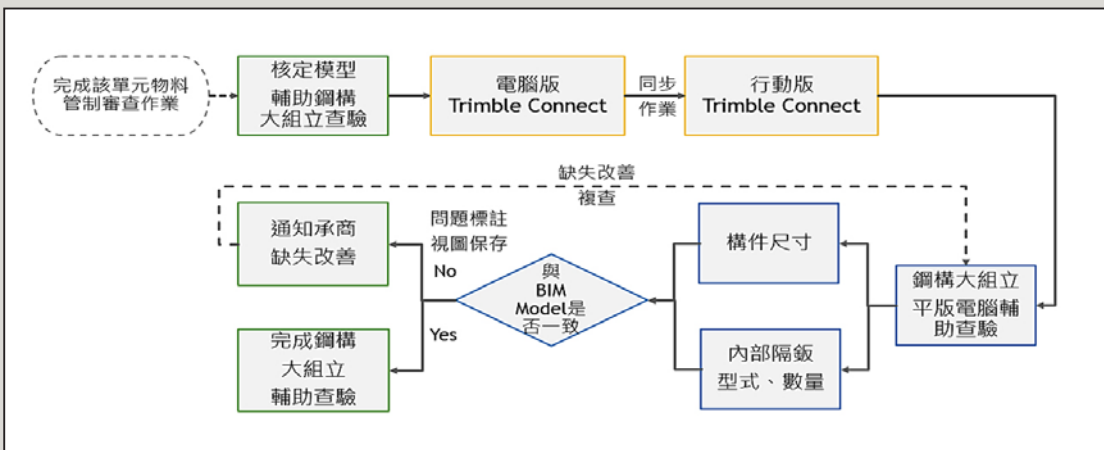


圖11 平板電腦輔助鋼構大組立查驗-作業流程圖

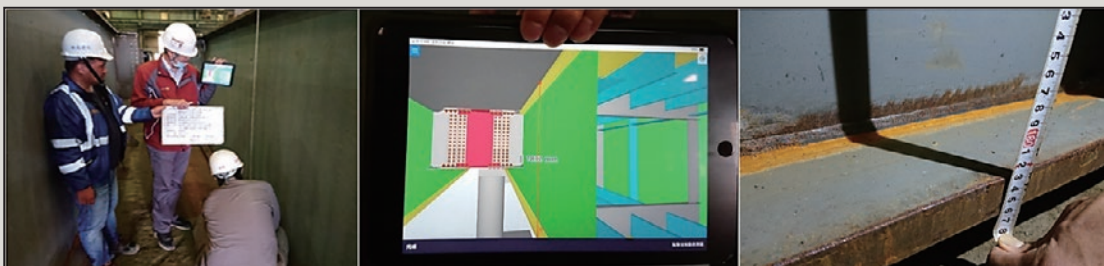


圖12 鋼箱梁大組立以平板電腦輔助查驗情形-腹板尺寸

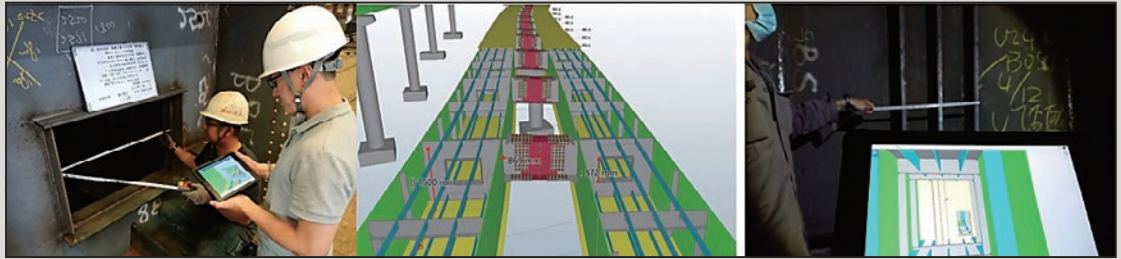


圖13 鋼箱梁大組立以平板電腦輔助查驗情形-內部構件

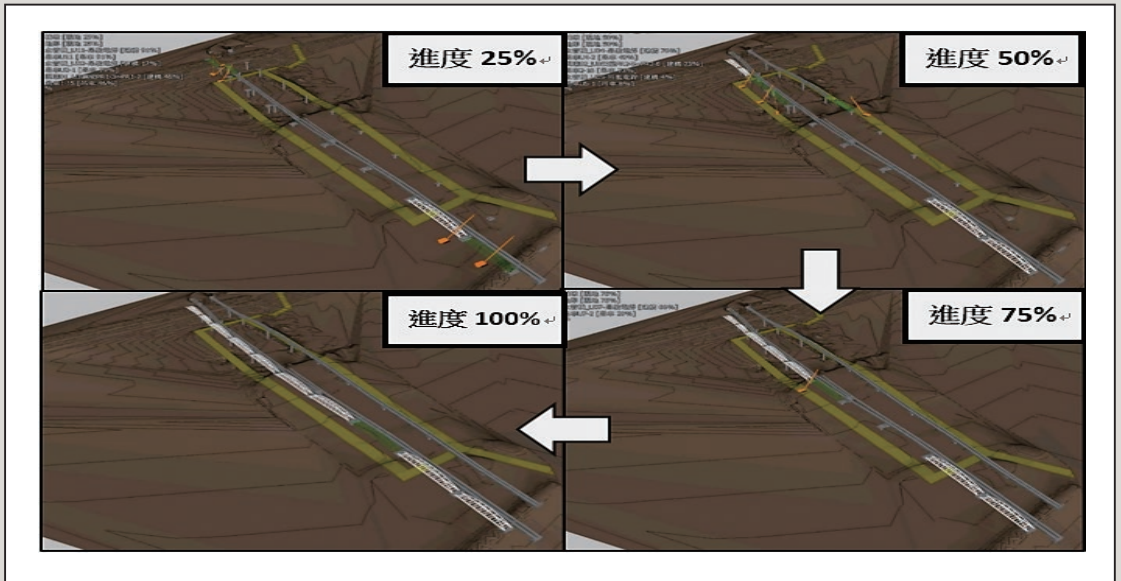


圖14 Navisworks鋼梁吊裝進度模擬視圖

於施工介面協調會議時進行多方的溝通及分析吊裝程序，使監造單位和業主預先檢視工序之可行性，確保作業順利及工程進行。

四、施工衝突檢討

施工衝突檢查係以Revit建置本工程BIM模型，以Navisworks進行衝突檢核，說明如下：

(一) 新設橋墩、既有堤防衝突檢查

於BIM模型檢討時，發現既有三鶯大橋下方淨高不足，大型鋼梁吊車無法通過施工便道進入工區。為克服此施工性問題，於鋼梁吊裝前，先行降挖橋下施工便道高程至大型吊車可通行，解決淨高不足之衝突，其施工過程如圖15。

(二) 既有三鶯大橋之帽梁，與新建橋梁於Navisworks衝突檢核時，發現有2處既有帽梁與未來新建橋台發生衝突，如圖16。據此，工地現場於實際施作前，將既有三鶯大橋帽梁之側邊打除如圖17，事先解決施工衝突問題。

(三) 本工程水管橋之自來水管，在鶯歌端與既有號誌燈發生衝突，如圖18；未來在進行水管橋管梁吊裝前，須將號誌燈先行移設以排除本項衝突。

(四) 匝道一與水管橋之橋墩有多處採用共構基礎，二者帽梁雖無直接衝突，但在施工過程如系統鋼模組立等，因施工位置接近，故仍須針對兩者帽梁進行施工時可能衝突之檢查。其中匝道



圖15 Navisworks檢核解決既有三鶯大橋下方淨高不足問題



圖16 新建橋台與既有帽梁衝突檢查



圖17 既有帽梁側邊打除

一橋墩PR1-6及水管橋橋墩P6帽梁間距僅11公分，將使鋼模施工空間不足；因此參考其它可施工墩柱之帽梁間距，修改水管橋P6帽梁截角尺寸，增加施工空間至70公分如圖19。

綜上所述，本工程透過BIM模型進行施工衝突檢核成果彙整如表3。

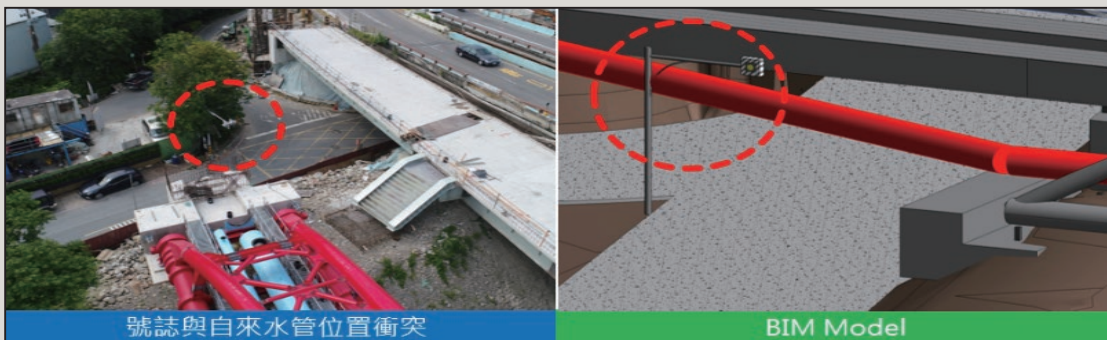


圖18 既有號誌燈與新設水管衝突

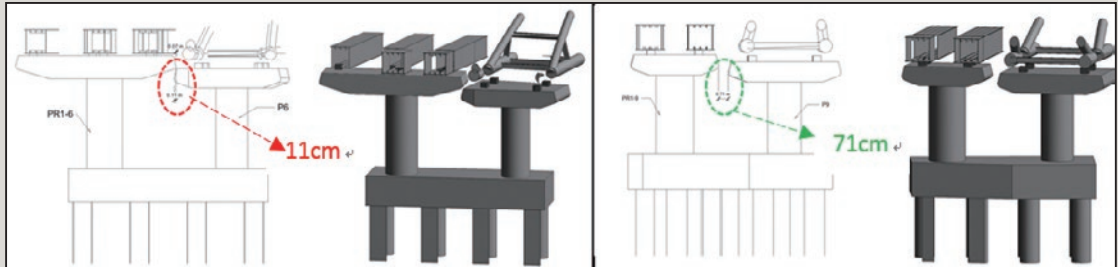


圖19 匝道一PR1-6及水管橋P6帽梁施工性衝突檢查

表3 衝突檢核結果彙整表

項次	干涉碰撞問題	解決對策
1	三峽端之施工便道，既有三鶯大橋下淨高3.28公尺，吊車高度與主橋干涉碰撞，無法通行橋下	先行降挖施工便道至大型吊車可通行之淨高
2	AR2-1橋台與既有三鶯大橋帽梁側邊衝突	將既有三鶯大橋帽梁側邊敲除
3	AR2-2橋台與既有三鶯大橋帽梁側邊衝突	將既有三鶯大橋帽梁側邊敲除
4	鶯歌端環河路既有號誌與新設水管衝突	環河路既有號誌燈拆除及移設
5	匝道一PR1-6及水管橋P6帽梁間距僅11公分，致使鋼模施工空間不足	修改水管橋P6帽梁截角尺寸，增加施工空間至70公分，讓鋼模有拆除及組立空間

五、施工動畫輔助危評審查

以Enscape製作橋墩施工動畫，除了將工序以3D動畫方式呈現，亦透過3D動畫呈現各工序階段之安全衛生設施如：鄰水作業區之救生圈及救生艇、臨時安全欄杆、護籠爬梯、施工架等，個人防護具如：安全帽及反光背心等，鋼梁吊裝施工模擬動畫如圖20、橋墩施工模擬動畫如圖21。

肆、導入BIM項目成果之回顧檢討

回顧檢討本工程鋼橋施工階段BIM之應用及經驗，歸納有下述四項應可作為相關單位及類似工作之參考及借鏡：

一、鋼箱梁鋼板材料數量計算

本工程於設計階段及施工階段皆導入BIM建

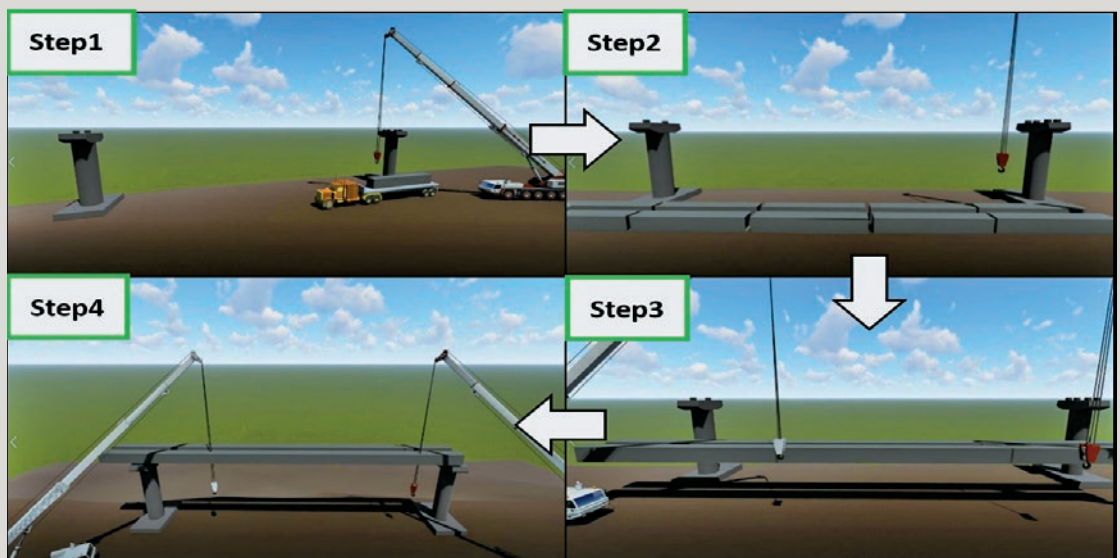


圖20 鋼構地組模擬動畫截圖

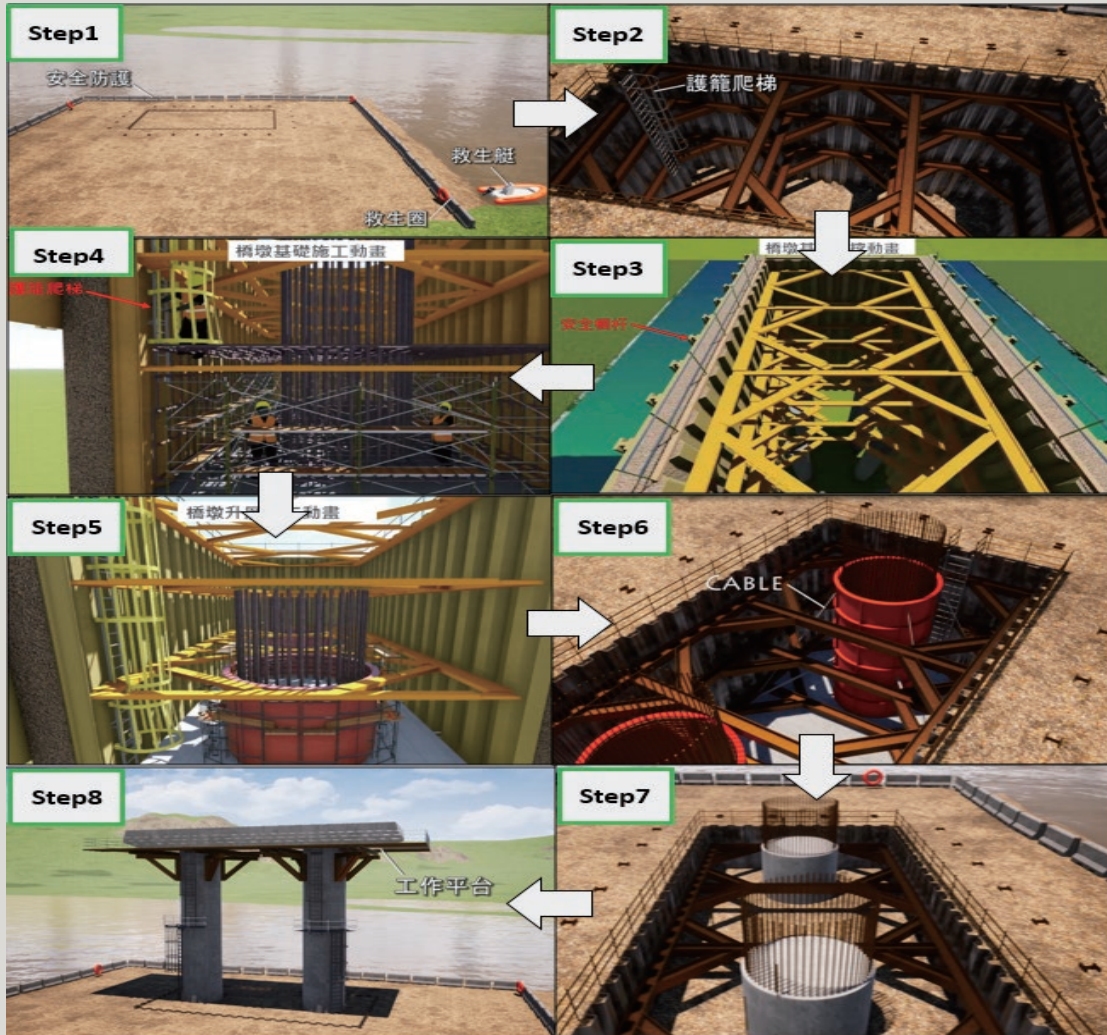


圖21 橋墩施工模擬動畫截圖

置鋼箱樑3D模型；並於施工階段針對鋼箱樑建立細部構造之BIM模型，以BIM模型產出鋼板材料數量，與鋼樑製造圖數量比對結果如表4，兩者之數量皆在10%容許誤差範圍內，做為輔助計價應屬可行。

未來隨著應用案例累積，應可針對鋼樑之不同構件，於BIM數量與製造圖數量兩者間之差異，歸納整理出經驗公式，以加速BIM模型審查之效率與數量計算結果之輔助驗證。

表4 鋼箱樑鋼板數量比較表

工程階段	BIM 模型 產出數量(a) (單位: t)	傳統方法 數量(b) (單位: t)	重量差異 b-a (單位: t)	重量差異百分 比(b-a/h)
設計階段 (無連接板)	4,185,097	4,242,934 (細設圖)	57,837	1.36%
施工階段 (無連接板)	4,251,650.6	4,312,220.5 (製造圖)	60,570	1.40%
(施工-設計) 差異	66553.60	69286.50	2732.90	0.04%

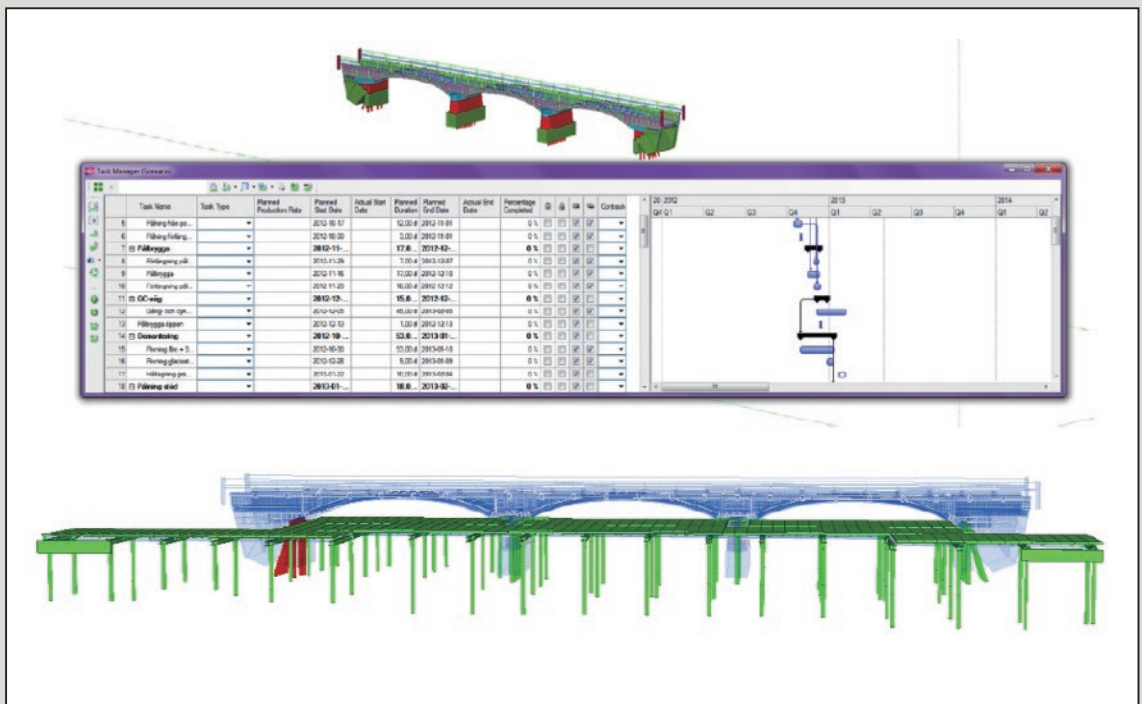


圖22 施工構台BIM建模示意圖

二、平板電腦輔助鋼箱梁大組立查驗

本工程透過平板電腦於鋼構廠進行輔助大組立查驗應屬可行，利用BIM模型除了可直接瀏覽，亦可針對細部構件尺寸進行量測，有助於鋼構廠輔助查驗；惟在查驗前須針對鋼梁節塊之3D模型，以平板電腦BIM瀏覽程式預先標註與量測相關構件之尺寸，如此在鋼構廠操作平板

時，即可點選已儲存之相關視圖，可快速連結至該視圖位置，提升輔助查驗之效率。

因此，藉由本工程執行之經驗，建議鋼箱梁之BIM元件資訊內容，於元件深化表應配合鋼梁製造圖之編碼，加入註冊之資訊欄位包括：鋼梁單元編號、梁線編號、工地接頭結塊編號、構件類型編碼等，如此可省略查驗前之標



註作業，直接透過平板電腦BIM App搜尋欲查驗之構件編號進行輔助查驗。

三、假設工程(如施工構台、便橋等)BIM 4D 建模

橋梁之位置其周邊地理環境如較為複雜，且臨時假設工程如便橋、構台較多，傳統的二維施工圖不能完整地表達假設工程隨工進推展之變化，不易直覺了解可能面對的問題；而BIM模型可以呈現橋梁結構與周邊地貌情況，可根據實際情況建立假設工程模型，再加上施工時程資訊(4D)，應可有效解決因假設工程設置所衍生之施工問題，如圖22所示之案例，謹供參考。

四、3D GIS與BIM地下管線衝突分析

位處都市之橋梁工程其引道路段構造物常有緊鄰住宅、或結構物基礎遭遇密集地下管線等情況，導致施工困難而衍生變更設計等事宜，阻礙工程進展。

故若能將管線納入BIM建模範圍，結合GIS檢討新建橋梁構造與地下管線之施工衝突、或施工過程對鄰房之影響程度(如噪音、震動等)以調整結構配置或選擇合適工法，應有助於提早解決施工問題而利於工程進度推展。

參考文獻

1. Oscar Simey；2013；BIM in Bridge Construction, Improving Production Phase Performance in Bridge Construction Through the Use of 3D BIM.
2. 王亭惟等著；2016；淺談橋梁工程設計階段之BIM模型建置與應用；技師期刊；73；台北市土木技師公會。
3. BIM工作執行計畫書；新北市三鶯大橋第一階段改建工程。



營建工地安全智慧化管理平台先期建置

關鍵詞(Key Words)：物聯網(Internet of Things)、智慧手錶(Smart watches)、感測器(Sensor)、地理圍籬(Geofence)

逢甲大學／營建及防災研究中心／主任／連惠邦 (Lien, Hui-Pang) ①

逢甲大學／營建及防災研究中心／技師／呂政義 (Lu, Zheng-Yi) ②



摘要

基於現有勞檢規定，利用物聯網IOT(Internet of Things)技術，將感測器、網路傳輸及雲端資料庫等有效結合，開發人機料管理、工地影像監控、特殊設備安全監管之平台，主要利用人員配戴具有定位、軌跡監測之智慧手錶，即時對後台發出警告，並以「臺中捷運烏日文心北屯線G03站出入口與行政大樓共構區段標工程」進行試辦，施工中之現場提供即時工地現場狀況，安衛人員可有效掌握現場最即時之狀態。最重要的是，遠端監控與儲存之功能，可適用的區域範圍更為廣泛。



Pre-establishment of Construction Site Safety and Intelligent Management Platform

Abstract

The IOT (Internet of Things) technology is being utilized to effectively combine sensors, network transmission and cloud database on the basis of existing regulations for labor inspection, to develop a platform for not only human-machine-material management, site image monitoring, but also safety supervision on special equipment. The mode of operation mainly uses personnel to wear smart watches with positioning and trajectory monitoring so that prompt warnings can be issued without delay to the backstage, together with the “Co-construction Section of the G03 Station Entrance-Exit and the Administrative Building of the Taichung MRT Green Line Wuri-Beitun” for trial run, in which real-time site conditions could be provided at the site during construction, and safety & health management personnel could also effectively grasp the most immediate status on site. Most importantly, remote monitoring and storage capabilities could be available in a wider range of areas.

3

專題報導

壹、緣起

營建工地為開放性及動態性之作業環境，其安全衛生管理實屬不易，除需事前擬定施工安全衛生管理計畫外，尚需配合現場之工地自主安全檢查，惟受限於參與不同專業工作項目眾多之特性、人員素質、職安意識及管理機制等因素，使安全衛生狀況難以掌握，導致營建工地因不安全行為所造成之職災意外頻傳。

為有效降低職災意外發生，運用物聯網 IOT(Internet of Things)技術，將感測器、網路傳輸及雲端資料庫等有機結合，開發人機料管理、工地影像監控、特種設備安全監管及環境監管等四大平台，配合即時聲光警報、簡訊警報等預警功能，達成營建工地之「安全第一、預防為主」管理目標。

物聯網(Internet of Things, IOT)主要是由網際網路、傳統電信網等資訊承載體，讓所有能行使獨立功能的物體實現互聯互通的網路，其主要架構分為感知層、網路層與應用層。感知層主要是利用感測器測得環境參數，透過嵌入式技術進行數據整理、分析與判斷，再以無線

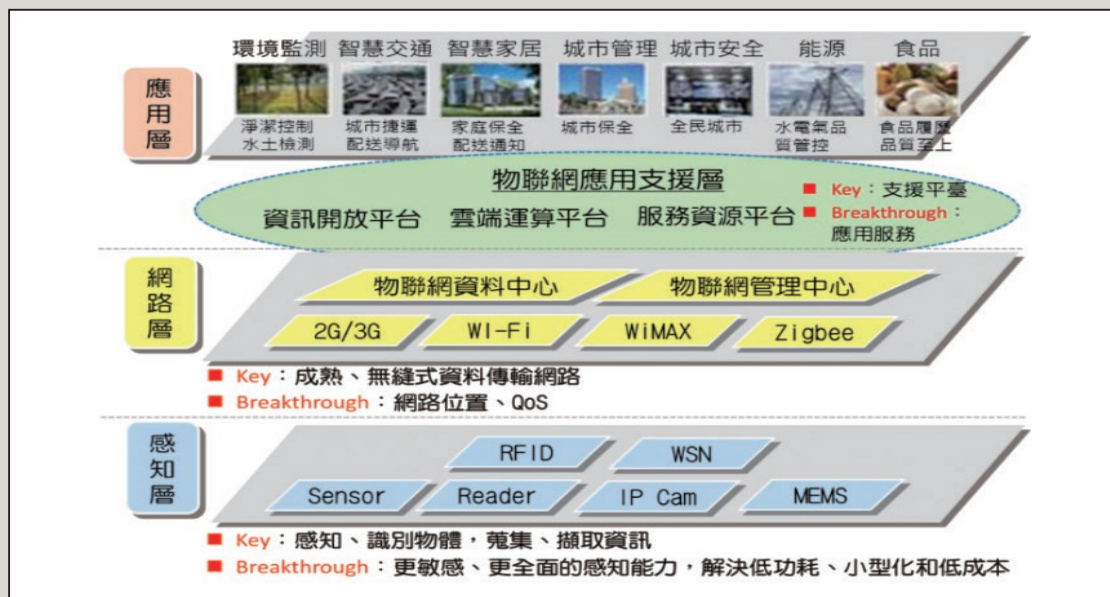
通訊技術將數據傳至基地台並接上雲端，進行大數據資料庫建立與分析，最後進入應用層提供全面性之整合與應用；應用範圍十分廣泛，包含運輸和物流領域、健康醫療領域範圍、智慧型環境(居家、辦公、工廠)領域、個人和社會領域…等(如圖1)。

貳、營建工地安全智慧化管理平台開發

一、營建工地安全管理機制

依據營建工程之現場作業及法令規定，如「營造業安全衛生自主管理作業手冊」、「工程契約書」、「營造安全衛生設施標準」及「風險評估技術指引要點」等，並運用現行科技設備建置科技化之安全衛生管理機制，藉以保障勞工作業之安全。其中，安全管理機制之「科技化」主要是為了解決以下營建工地常面臨之問題：

(一) 針對較不明確的工區範圍，人員管制不易。



資料來源：資策會(2010)

圖1 物聯網架構圖

(二) 工區內警戒區域經常變動，安全管制不易落實。

(三) 不同類型工程之工區性質差異大，安全管理較難有統一的操作模式。

(四) 自然及人為危險因子多。

二、系統作業環境

操作介面採用市面上常見的瀏覽器如IE、Firefox、Chrome，以易維護之C#程式語言及ASP.NET架構開發、執行，並使用安全性高之商用Windows Server作業系統及MS SQL Server資料庫管理系統(如圖2)。方便管理者可線上即時操

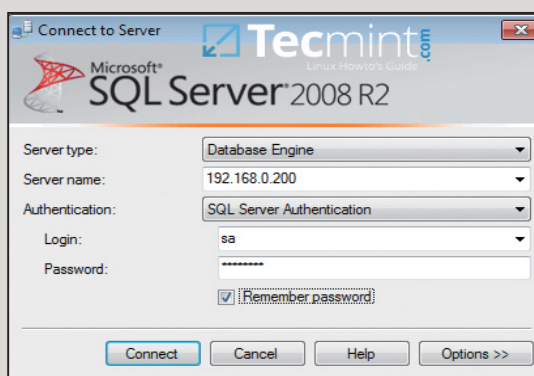


圖2 MS SQL Server資料庫管理系統

作使用介面，匯入、匯出相關資料進行分析。

三、系統運作架構及使用情境規劃

(一) 系統架構

使用內建 Android 之穿戴裝置，內建GPS定位功能及重力感測器(G sensor)，GPS功能紀錄穿戴者之移動軌跡，一旦進入工區內劃定之危險區域時，將立即通知安衛管理員及後台管理員；G sensor功能可提供速度及位移資訊，紀錄穿戴者之活動度，當活動度太低、位置有異常，立即發出警告通知安衛管理員及後台管理員(如圖3)。

(二) 使用情境規劃

1. 施工人員警示功能

藉由整合智慧手環可即時顯示現場施工人員位置及移動軌跡監控，包括即時監測人員的位置，進入警戒區域(可能墜落區域、危險性機械作業範圍)，或是離開工區範圍警示、定時回報活動度等(如圖4)。

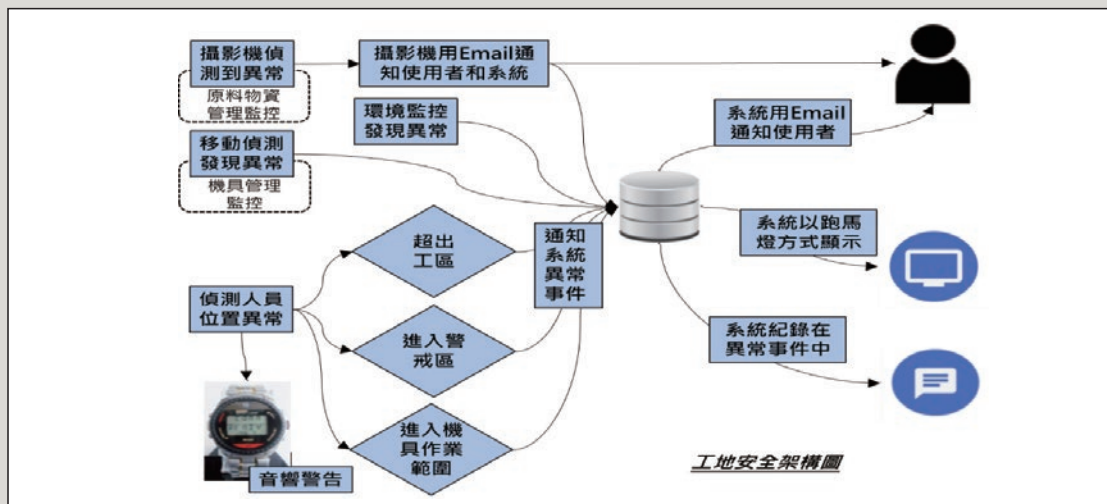


圖3 系統運作架構圖

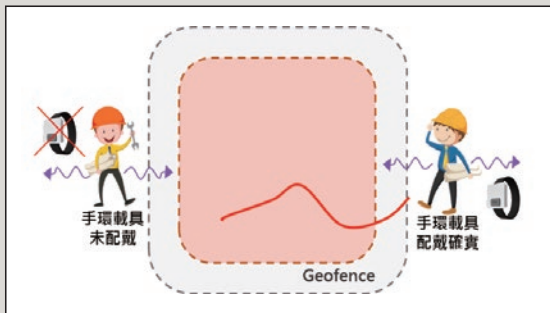


圖4 施工人員設備功能示意圖

2. 原料物資管理功能

運用地理圍籬(Geofence)概念，建立工區物料堆置範圍，搭配WIFI通訊、CCD結合閃爍燈等裝置，進行物料堆置區管制，若非施工人員進入則產生聲響及閃燈，並立即通知後台管理人員，設備(如圖5)。



圖5 原料物資管理閃爍燈

3. 施工場域與機具施工範圍警示功能

(1) 施工場域

使用地理圍籬(Geofence)警告方式架構，可於系統線上劃定多個管制區域(如圖6)，判斷人車位置是否在管制範圍內，若是則發出警告；系統可依需求設定距離，並發出不同頻度之警告，並在發出警告聲響之同時，由系統傳送警告通知相關人員，如 E-mail 等。

(2) 機具施工範圍

於危險性機械(如挖土機、起重機等)上安裝WIFI接收器及平板，由平台設定危險半徑(偵測誤差範圍1.5m)。可藉由WIFI訊號及地理圍籬(Geofence)警戒範圍進行監測警告，如偵測到施工人員進入危險半徑內時，立刻對該施工人員及危險性機械操作員發出警告(聲響、燈光)，並依SOP令操作員停止操作機具(如圖7)。

4. 影像監控警示功能

主要銜接原物料區位、環境等各項監控，提供視覺化監控效果，以系統平台方式表達。



(a) 設定Geofence範圍警戒等級

(b) 偵測人員的軌跡

圖6 施工場域警示功能界面圖



圖7 施工場域與施工機具警示功能示意圖

四、營建工地現場測試情形

本案運用物聯網IOT技術，將感測器、網路傳輸及雲端資料庫等有效結合，完成開發「營建工地安全智慧化管理平台」(或稱營建平台)，提供人員管理監控、機具管理監控、原料物資管理監控、環境監控及影像監控五大功能，另加上工程資訊之「基本資料」共計六大項目，平台操作畫面如圖8。茲選定「臺中捷運烏日文心北屯線G03站出入口與行政大樓共構區段標工程」(如圖9)進行現場測試及調整(如圖10)。

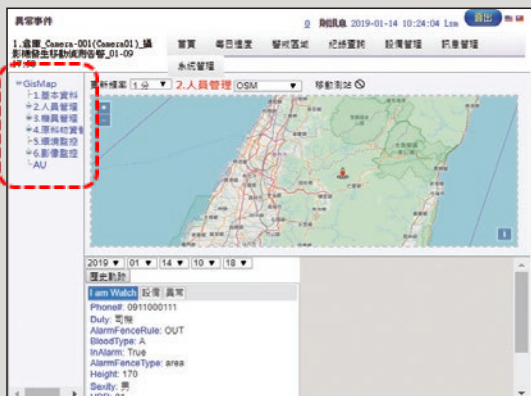


圖8 營建平台智慧管理配置圖



圖9 試辦工程地理位置

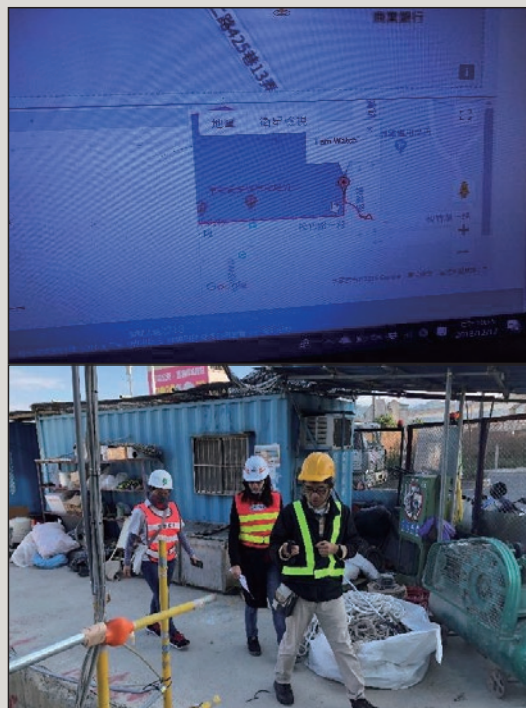


圖10 人員定位及軌跡現場測試

(一) 人員管理監控

在操作平台畫面之地圖上點選「人員」可呈現配戴人員之基本資料，包含國籍、身高、體重、性別、血型、心律、連絡電話、負責工作等(如圖11)。因施工人員配戴內建GPS功能之手環，可即時監控人員位置及基本生理狀態，另藉由地理圍籬(Geofence)之偵測，對於即將進入管制區域之人員提出警告，並回傳到後台顯示目前所在位置及移動軌跡(如圖12)。

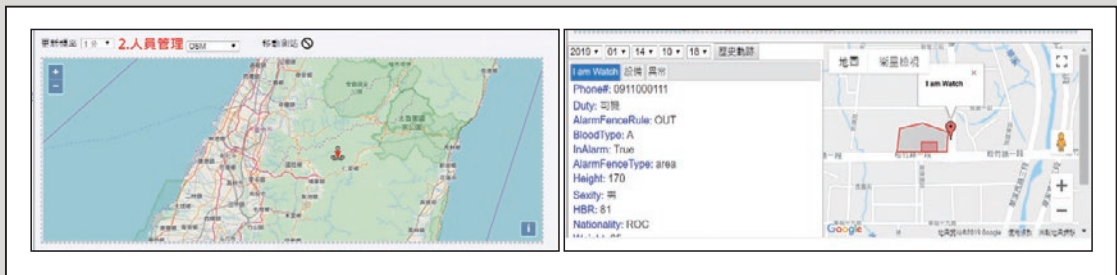


圖11 營建平台人員管理監控配置圖



圖12 人員與警戒區域監測圖例

(二) 機具管理監控

在操作平台畫面之地圖上點選「機具」時可呈現機具之型號、噸數、操作者、警戒範圍，並顯示目前所在位置與移動軌跡(如圖13)。

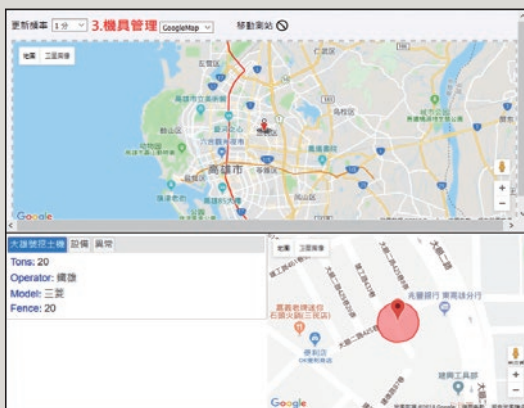


圖13 營建平台機具管理監控配置圖

開啟代表挖土機的裝置，挖土機會自動顯示操作半徑(代表危險區域)，當人員裝置進入挖土機操作半徑時，人員裝置和挖土機裝置都會響起警告聲(如圖14、15)。



圖14 人員與挖土機區域監測圖例



圖15 人員手錶、挖土機與主機區域監測情況

(三) 原料物資管理監控

圖16紅色區域矩形代表原料物資放置區域，也是攝影機動作偵測(Motion



圖16 營建平台原料物資管理監控配置圖

Detection)範圍；多邊形右側位置符號表示可辨識的對象(施工人員)；紀錄內容為區域名稱、時間、區域內的施工人員代號；或偵測到區域內有移動，而區域內同一時間並沒有任何可辨識施工人員時，則視為異常並發出警報。

(四) 環境監控

環境監控可視工地環境需求增設感知器，包含工區周遭環境，如噪音、揚塵、邊坡穩定等，例如：建立各項自然環境危害預警機制，提供現場施工人員相關資訊，減低並迴避自然環境危害對施工人員的風險。

(五) 影像監控

運用CCD、影像位置偵測及網路傳輸等進行營建工地之影像監控，主要利用CCTV攝影機所提供之Motion Detection功能，在存放資材的區域，畫出警戒區域；當警戒區域有異常時，同時比對當時的人員位置資料；若警戒區域內，有可辨識的人員，則判斷為正常作業，不發出警報。若比對結果，當時無可辨識的人員，則判斷為入侵，並發出警報(如圖17~19)。

五、營建工地現場測試結果

藉由「臺中捷運烏日文心北屯線G03站出



圖17 影像監測觸發影像通知畫面

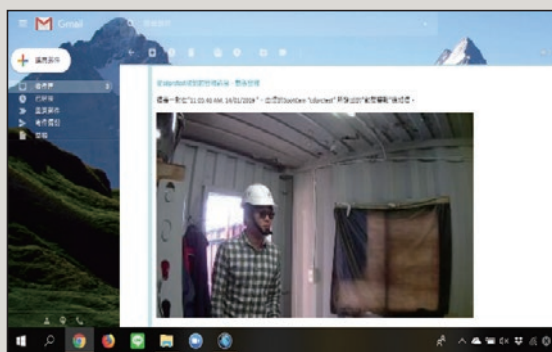


圖18 拍攝影像動態畫面



圖19 影像監測平台歷史資訊紀錄畫面

入口與行政大樓共構區段標工程」進行試辦，對於施工人員配戴之智慧型手錶裝置雖提供定位、警告聲響及偵測人體活動狀況，但仍存在以下問題，須予以克服：

- (一) 定位誤差及範圍：由於智慧型手錶內建之GPS定位功能是藉由工區內佈設WIFI區域網路，透過手錶掃描WIFI基地台訊號，再由手錶端演算定位，其接收訊號強弱將影響定位之精準度，經測試誤差值仍存在4~7m間，若工區隔間遮蔽多誤差值將會更高；此外，定位區域也僅能針對單一高程進行監

控，若需多樓層監控則須設定多處區域網路，各區域網代表各樓層，方能對樓層推進完整的監控。

(二) 警告聲響精進：單音是最傳統最簡單的警報聲響，會因現場工人施工環境噪音而影響，較難得知警報狀況，未來設備發展上應以無線耳機連接，透過無線對講(Walki Talki)功能，能即時告知瞭解。

(三) 人體活動徵測：試辦工程測試智慧手環僅能判別動與不動間的差別，本測試以不動狀況10秒後立即通知，這樣狀況存在一個隱憂，代表施工人員發生意外後才發出警告，所以未來應針對配戴裝置內建有3軸加速器，透過撰寫軟體，分析動作訊號，而完成施工人員意外前的活動狀態偵測。

參、營建工地安全智慧化管理平台之後續發展評估

一、技術面

(一) 設備裝置之適用性

1. WIFI 基地台視所使用的產品規格不同，會有不同的涵蓋範圍。建議未來施行時還應針對訊號做佈設前的強弱檢測。
2. 所使用的手環裝置及系統建議進行壓力測試，惟在設備上做為雙向聲響及對話，勢必增加電源容量、喇叭等體積，反而造成配戴人員不小的攜帶負擔。所以技術上，可由後台主機對工人手環、管理者手機裝置，以提供文字訊息、警告聲等通知。

3. 平面定位時，基本上是以地面為基準點，惟未來如需在不同高差平面上定其位置及狀態。或在不同樓層間定位，可以每個樓層實施平面三角定位。

(二) 施工人員安全設施

工區勞工安全的保證是主要目的，故設想施工人員在工區的行為特徵，規劃其人身安全之基本配備，考量施工人員的習慣及作業方便，除了手腕穿戴裝置外，無須再額外攜帶任何電子設備。

(三) 機具作業危險範圍劃定

在技術層面擬於重機具上安裝WIFI接收器，通過連續偵測附近施工人員的WIFI訊號(手錶上)，當偵測到小於安全距離的訊號時，適時對施工人員及重機具操作人員發出警告(聲響、燈光)，以提醒人員注意。

二、執行面

所配置之設備及功能具有電子偵測，其偵測特點是具有「隨時性及即時性」之功能；換言之，只要電力供給不中斷的情況下，規劃之偵測設備均能8小時全天候進行即時偵測，並在通訊傳輸的有效範圍內進行通報及警告，隨時掌握工區之安全狀況，為配合後續實際執行，需於契約文件中擬定相關規範及需求，如檢查時機與頻率、狀況回報層級解除、完整通報處理與解除流程。

三、經濟面

為營建工地安全智慧化管理平台先期研究，屬初期推動研究性質，除了在技術面及執行面的考量外，經濟面則是左右推廣應用之主要關鍵之一。因此，考量其性能及實效，亦將所需經費盡量降低，實際費用會在系統進行詳細的估算，其估算內容如表1所示。

表1 本案管理平台設備估算計價內容表

使用	設備項目	功能	價格區間(元)
施工人員	智慧手錶(手環)	GPS、G-sensor、Alarm、Healthy care Watch	5,000-8,000
施工機具	智慧平板	GPS、Alarm	10,000-15,000
工區內固定攝影機	Fixed cam	PUSH DATA 720P 30FPG/SEC	8,000-12,000
系統整合平台	Windows Server作業系統	整合顯示、人員機具編定、全限設定及警告通知設立	需客製研議
其餘監測設備	溫度、噪音等	-	-

註：107年12月訪價。

四、實效面

由於營建工區環境，不僅具有多種樣貌且相當複雜，不容易統一的標準去管理勞工安全。以經濟面與技術面最為影響勞工作業安全智慧化管理主要因素，若要求監控內容項目(技術面)多寡也會導致經費大量提高；建議若需針對工地勞安建立物聯網管理，應先行探討監控項目，如人員定位、軌跡、心跳、傾倒等是否滿足全部需求。

肆、結論

本案開發之營建工地安全智慧化管理之平台，雖可透過現場人員配戴具有定位、軌跡監測之智慧手環，達成人員管制、安全管理之目的，但營建工區仍存在不同類型之工程性質差異大、無線通訊條件差，以及有無供電等問題，故建議於施行前檢測訊號佈設之強弱並針對設備進行系統臨界承載量測試等；另基於經濟面之考量，可將現行設備予以多樣化客製以適合勞工安全監測使用；未來可先行研擬科技化監控標準(包含檢查時機與頻率、列管事項狀況回報、處理及解除)，以因應物聯網發展上法規面之不足，建議未來可進一步發展如下：

一、提升人員管控：如施工人員之體溫及心跳監控等。

二、加強機具管控：開發重型機具危險範圍與

施工人員間之接近告警以及重型機具與危險區域(如陷坑、高壓電等)間之接近告警。

三、擴大環境監控：由於營建工地環境監控類型較廣，應著重於營建工地內危險區域之監控，包括基礎開挖及邊坡穩定、高架(處)施工、揚塵及噪音等。

參考文獻

1. 余蔚莉，「建築物結構狀態之自動監測與監測資料之應用」，碩士論文，中國文化大學建築及都市計畫研究所，台北(2003)。
2. 林楨中、王鵬堯、余家均，「營造工地主動式RFID快速勞工定位及警示技術開發」，行政院勞工安全衛生研究院，(2010)。
3. 林楨中、曾惠斌，「智慧型施工安全檢查即時資訊系統」，行政院勞工安全衛生研究院，(2013)。
4. 張承明、賈台寶，「職業安全檢查提升技術研究」，行政院勞工安全衛生研究院，(2013)。
5. 林桂儀、黃育平，「固定式警告聲響辨識度研究」，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，(2016)。

高雄鐵路地下化 鳳山站施工階段 導入BIM技術之 經驗

關鍵詞(Key Words)：鐵路地下化 (Underground Railway)、建築資訊模型 (BIM)、視覺化 (VR)、
施工營運建築資訊交換標準 (COBie)

交通部鐵道局／南部工程處／處長／謝立德 (Shieh, Li-Der) ❶

交通部鐵道局／南部工程處／第五工務段／段長／吳宇宙 (Wu, Yu-Chou) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／資深協理／彭國源 (Peng, Kou-Yuan) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／副理／江明珊 (Chiang, Ming-Shan) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／正工程師／鍾增煌 (Chung, Tseng-Huang) ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／規劃師／李怡珊 (Lee, Yi-Shan) ❻

摘要

近年在政府單位積極的推動下，許多公共工程建設於施工階段導入BIM技術，期能在BIM技術的輔助下提升施工品質及營建管理效率。本工程(鳳山車站)於開工三年後以維管角度於施工階段導入BIM技術，利用程式化建置列車動態包絡線模型、以BIM模型於施工前完成衝突檢核、透過VR視覺化確認裝修材質及旅運指標系統可適性，並以COBie(施工營運建築資訊交換標準)格式製作營運維護管理系統所需資料，以全生命週期應用BIM技術為目標。



BIM Application of Construction Stage for Underground Taiwan Railway Station

Abstract

In recent years, with the active promotion of government, many public construction projects plan to improve construction quality and management efficiency with BIM technology. The Fengshan Station Project started to apply BIM technology on maintenance management after three years of construction. This paper shows the results of using dynamo for Revit to establish dynamic envelope curve of train, conflict detection before construction, checking decoration and railway station sign system by rendering and VR technology. The goal is to establish BIM maintenance database with COBie standard in full life cycle.

3

專題報導

壹、前言

建築資訊建模(Building Information Modeling, BIM)技術具有視覺化及整合的特性，減少施工衝突及重工發生，發揮溝通協調特性，並將生命週期相關資訊有效率整合有助於專案管理及營運管理的資訊應用。

本工程為台灣鐵路管理局(簡稱台鐵局)之地下化車站於施工階段導入BIM技術，車站設備複雜且具多樣性及專業性，參與者眾多，利用BIM檢核衝突軟體，檢視機電管線碰撞位置，並透過視覺化溝通以減少變更設計與施工界面整合問題，另以Dynamo軟體依軌道設計線型及高程資料建置包絡線，並套入BIM模型檢核碰撞。

車站主要為服務旅客，設計符合民眾需求為依歸，本工程透過VR視覺化技術協助設計者在車站裝修材質選色選樣；將其車站指標系統(旅客動線燈箱、列車資訊系統及消防逃生指標等)納入BIM模型中，利用VR擬真情境協助施工前多方審視確認及台鐵局驗證旅運指標系統是否符合旅運需求。

本案以COBie(施工營運建築資訊交換標準)格式建置BIM竣工屬性資料，期望可完整保留車

站營運維護管理所需資料，作為後續車站啟用後設施維護管理之應用。

貳、建模程序及使用軟體與限制

本案以Autodesk BIM軟體中Revit(2016版本)建置模型，因工期緊迫故於結構BIM模型完成後，其建築及機電模型同步進行建置，並於整合後以Navisworks執行自動碰撞檢查並進行施工圖及BIM模型修正，另列車動態包絡線模型則以Dynamo軟體建置。本案軟體使用清單詳圖1。

周邊道路街廓採用BIM軟體中之樓板元件進行建模，故無法完整呈現鋪面、道路洩水坡度及超高，但周邊模型於本案之功能僅為輔助呈現整體完成狀況不須進行碰撞檢核，因而不影響模型建置成果。

參、施工階段導入BIM之應用項目

一、視覺化程式建置列車動態包絡線

為維持台鐵列車通過車站能保持在安全淨空，車站結構、裝修、機電設備及其它附屬設



圖1 本案使用軟體一覽表

備皆不得進入列車包絡線，故於施工前完成碰撞檢討以避免重工發生之風險。然而，包絡線為一虛擬量體，不若其它實體碰撞於施工期間產生衝突時可隨時調整避免影響擴大，往往發現時已是通車在即，對於期程緊迫之公共工程影響極大。

本案為發揮BIM技術之效益，依據軌道設計線型建置列車動態包絡線，為求取精確之量體，曲線段欲以每10公分作為掃掠之長度(詳圖2)，因屬重複性作業遂利用Dynamo視覺化程式將計算得出列車之座標、高程及傾角以自動化方式進行建模(詳圖3)；掃掠所採用之斷面則利用貨車列車包絡線及旅客列車包絡線聯集部分作為依據(詳圖4)。

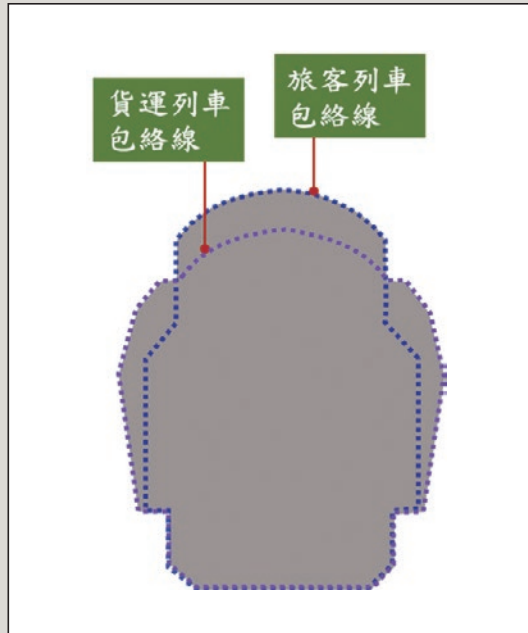


圖4 貨運、旅客列車動態包絡線

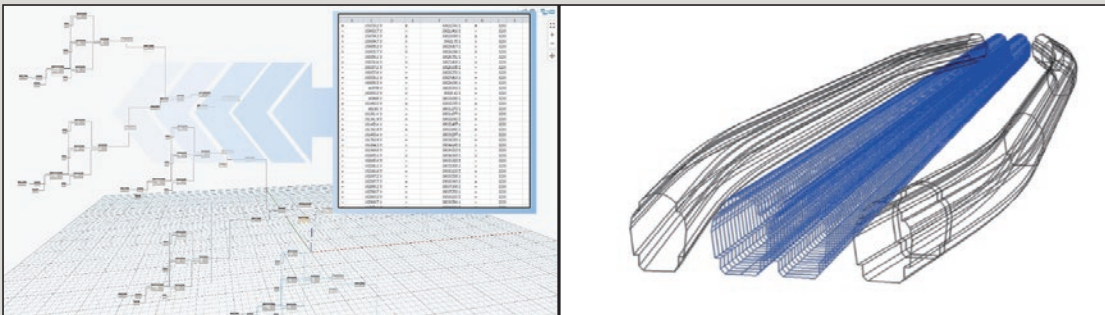


圖2 Dynamo建置列車動態包絡線

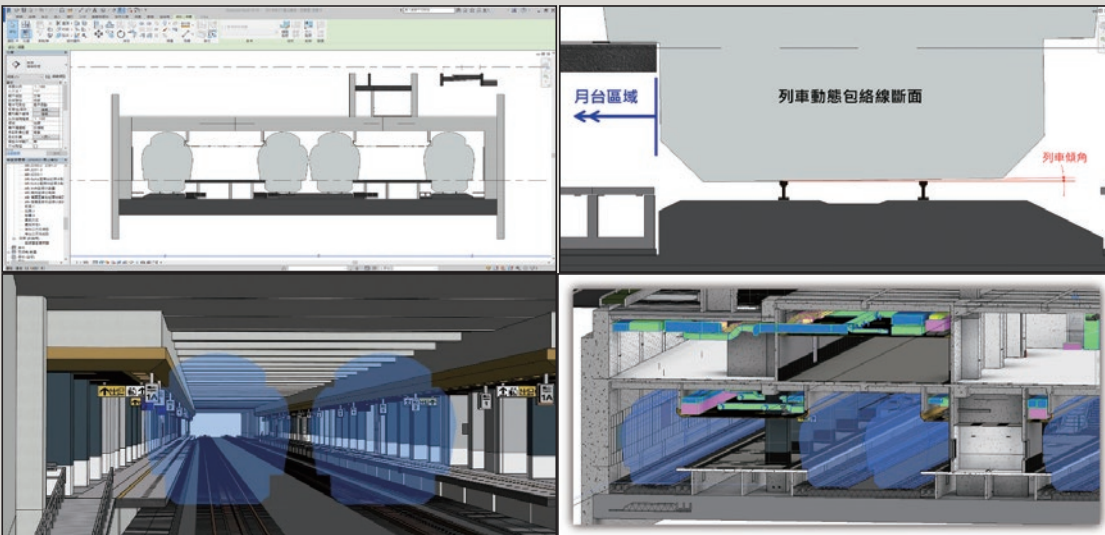


圖3 檢核車站列車動態包絡線斷面圖

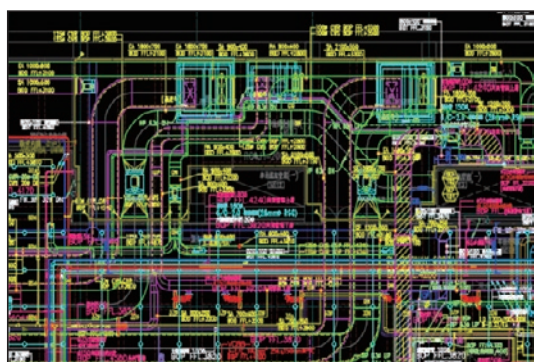
二、機房空間機電管線及設備衝突檢核

鐵路地下化車站機房層空間配置多，機電管線及設備系統錯綜複雜，藉由BIM模型可視化特性及建置整合機電CSD/SEM模型，充分呈現空間與設備管線剖面透視資訊之3D視覺化，經由軟體進行碰撞檢核，將碰撞檢討資訊整合產出結果回饋機電承商解決衝突，減少現場施工變更設計及重工發生，執行模型碰撞檢查流程(詳圖5)。

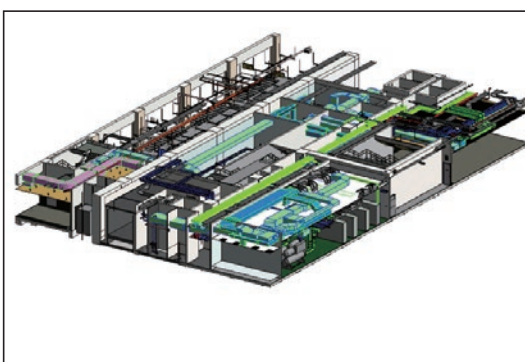
車站月台層及地面層天花板上方空間狹窄，且分佈消防、排煙、空調、給排水及動力

等多種系統管線，在施工前建置BIM模型可有效執行界面衝突檢核，並將衝突疑義回饋施工承商進行施工圖修正(詳圖6)，將BIM模型傳送至雲端平台，可透過行動裝置瀏覽線上模型並至施工現場比對已施作機電管線是否按圖施工。

月台層主要為旅客搭乘列車空間，為維持列車進出站區之安全，所有設施皆不得侵入列車包絡線內，故以Dynamo建置之列車動態包絡線依台鐵規定於站體、隧道段軌道完成後進行淨空檢核，其檢核結果月台末端轉彎段地磚鋪設完成面與列車動態包絡線發生衝突，經檢討設計圖面後為月台末端轉彎段之超高造成列車傾斜所產



傳統2D圖機電管線



BIM模型建置機電管線

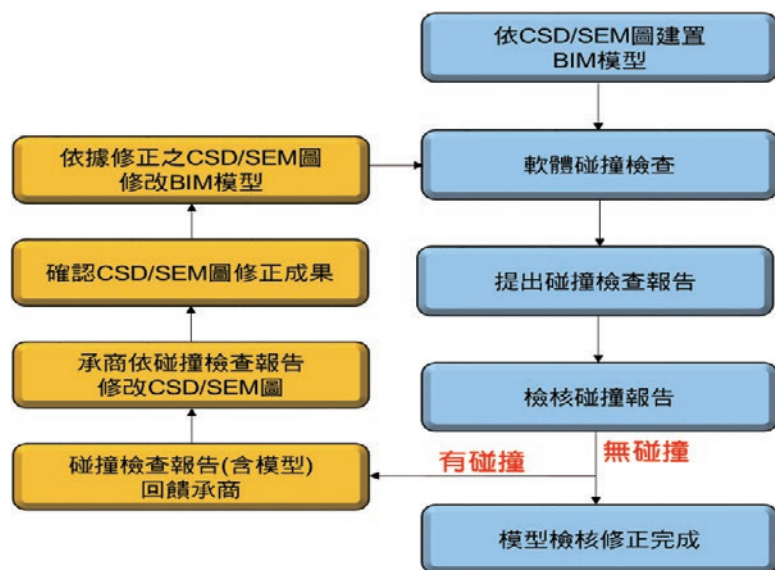


圖5 BIM模型碰撞檢查執行流程圖

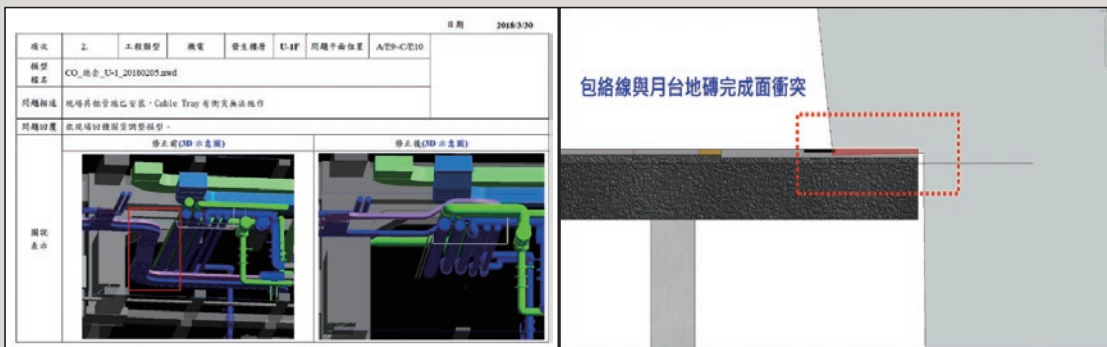


圖6 BIM模型衝突檢核表

生，施工現場依照台鐵局規章修正月台寬度及高程後，於施工前解決衝突碰撞之問題。

三、行動裝置檢視3D模型進行施工成果確認

鐵路地下化車站為維持室內空氣品質及符合緊急逃生需求，較一般地面式車站有更複雜之通風管線及消防管線，為能確實掌控工進符合通車需求，安排管線安裝適當工序及定期施工成果確認為營建管理重要手段。

管線現場工作成果確認並作為審查土建、裝修圖說機電介面預留開口之依據。

在BIM模型空間衝突碰撞檢討可分為硬碰撞(實體間交叉碰撞)及軟碰撞(間隙碰撞)兩種，為能快速準確且有效率解決衝突問題，本工程利用VR漫遊走動功能進行管線、設備碰撞檢查，對於安裝或維修人員進入管道間施工時，管道並排架設是否符合所需之空間要求能及時檢核及評估，解決傳統施工圖面無法可視性之盲點。

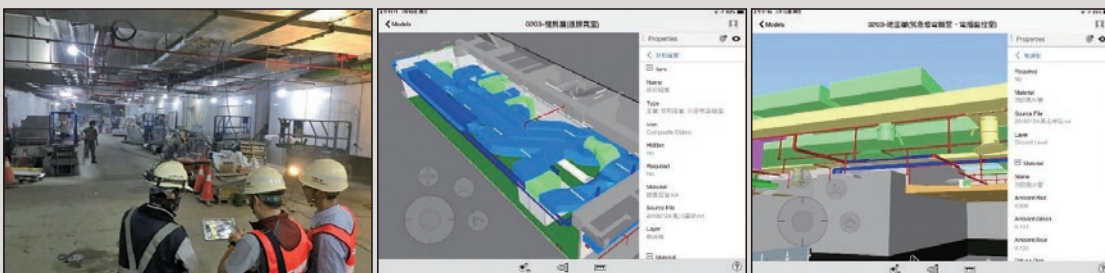


圖7 行動裝置現場查詢機電管線

BIM模型之3D可視化特性，對於檢討工序安排及確認現場施工成果為極有效之工具，可於現場立即查詢管線性質、相對距離及相互關係(詳圖7、圖8)。本案將完成衝突檢核及修正之施工BIM模型依據欲檢討或檢查之範圍進行分割後轉檔、傳輸至行動裝置以BIM 360 Glue進行開啟，作為輔助監造單位同仁之營管工具。

依據實際執行經驗，BIM技術確實能有效提升工作效率，土建監造同仁亦能協助辦理機電

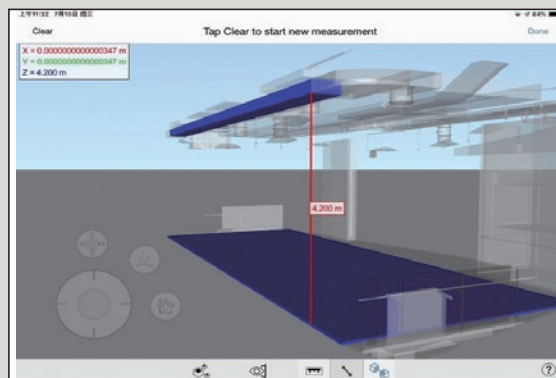


圖8 行動裝置查詢機電管線與樓版之距離

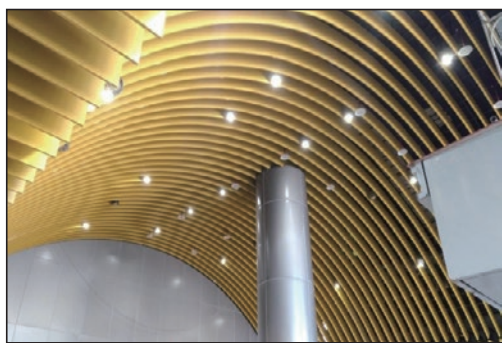
四、模型匯入真實材質擬真模擬，作為選色參考

鳳山車站旅客大廳挑高區天花板型式為弧形設計且裝修材料樣式眾多，若僅使用材料樣品、色卡或是2D圖面來進行溝通檢討難以判斷整體感覺是否符合期待，因此除了運用BIM建置結構地、板、牆、柱及門、窗等基礎元件模型，亦將建築物實際裝修材質納入模型內，從牆面的色彩、地磚鋪設樣式選色選樣等，利用擬真彩現技術模擬車站裝修完成成果，彌補傳統方式易造成實際完工現況和預期的落差。在建置裝修材質模型時，為能達到現場與模型相似度落差不會太大，將選色之樣本石材利用掃描器抓取石材樣本紋路、色彩，再以影像軟體處理校色後將其匯入BIM模型建置材質，材質若是烤漆、油漆則以用色樣比對色卡相近色後以RGB色號匯入模型建置材質，裝修材質模型建置前處理程序(詳圖9)

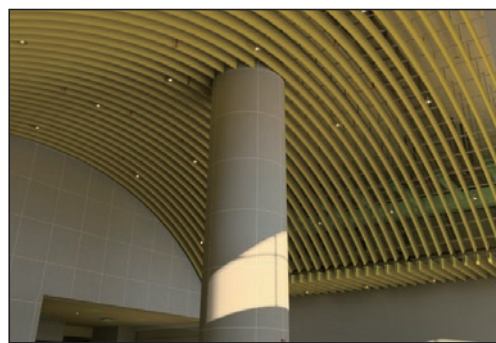
五、全面建置旅運指標系統，以VR技術進行適用性檢討

車站建築中旅運指標之內容、大小、數量是否符合首次到訪旅客需求，達到順利引導至目的地之功能，為通車前須完成確認之工作，亦可避免民怨及成為新聞話題；然而，於指標系統施工完成後再進行確認仍有重工之問題。

本案BIM模型旅運指標為依據「台鐵最新指標(示)系統設計參考手冊」修正之施工圖完整建置，文字內容、指標尺寸、安裝高度皆符合BIM模型依比例尺建置之原則(詳圖10)，搭配VR技術於指標系統施工前模擬完工後之高度、距離及視角，再依據操作人員回饋意見檢討指標系統之適用性並據以修改施工圖說及BIM模型(詳圖11)。



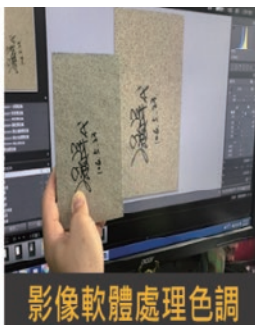
車站大廳完工圖



車站大廳擬真模擬圖



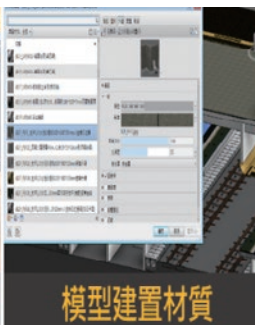
地磚樣本掃描



影像軟體處理色調



烤漆、油漆比對色卡



模型建置材質

圖9 裝修材質模型建置前處理程序

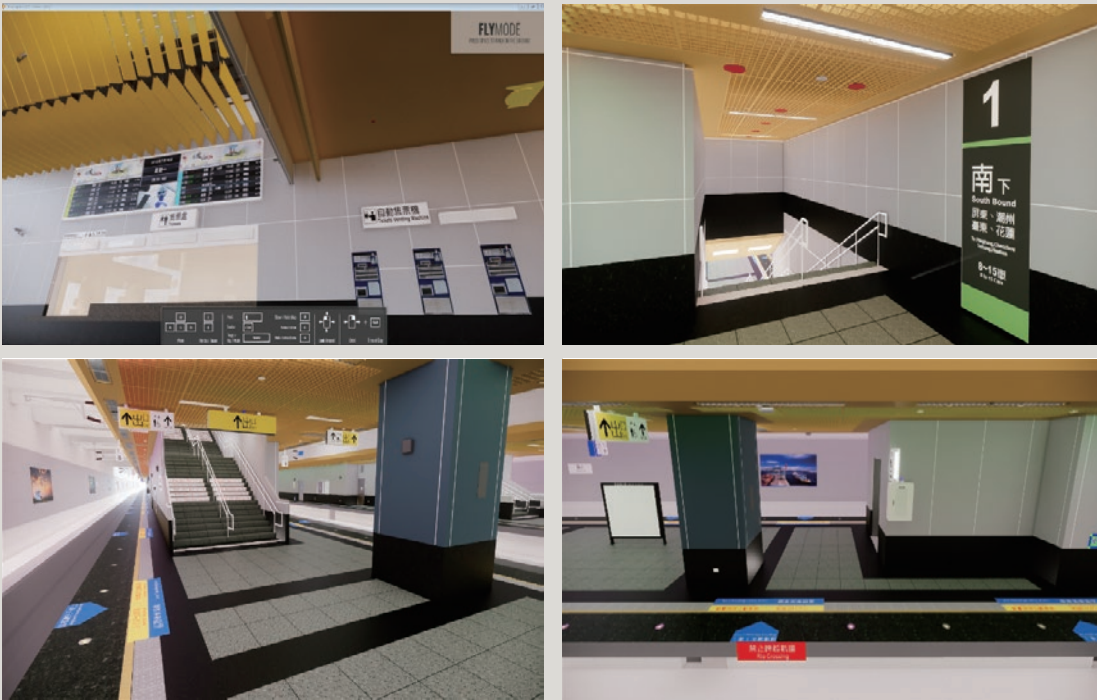


圖10 車站旅運指標系統BIM模型



圖11 VR系統操作

六、以COBie格式建置維護管理資料，將BIM模型導入營運階段

為落實BIM模型全生命週期之應用，本案收

存施工階段、竣工階段到營運階段之重要資訊集中管理並以COBie標準化格式資料交付給車站營運單位，作為維護管理使用。本案於BIM模型建置初期即透過訪談營運單位(臺灣鐵路管理局)之人員(高雄車站、鳳山車站長)確認後續維護管理需求欄位資訊，利用Revit 之COBie Extension 將主要交換資訊整合至BIM模型中，將其模型空間、設備、圖說、維修保養及型錄文件等符合營運單位之資訊需求欄位轉換導入維護管理資訊系統(詳圖12)，後續移交系統平台時可讓營運維護管理單位在3D模型與維護資訊雙向查詢之效益。



圖12 維護管理資訊系統前置作業執行流程圖

肆、導入BIM項目之成果說明

本案已完成BIM項目之主要成果，臚列如下：

- 一、施工前鳳山舊有車站、街廓；施工中臨時站、臨時軌及地景街廓。
- 二、施工階段土建、機電、列車系統機電BIM模型及碰撞衝突報告。
- 三、竣工階段土建、機電、列車系統機電BIM模型及碰撞衝突報告。
- 四、依據「台鐵最新指標(示)系統設計參考手冊」及消防法規建置之旅運指標及逃生指標。
- 五、以COBie格式建置之維管資訊(以COBie Extension完整置入REVIT模型)。
- 六、3D BIM維管系統(V3DM, CECI BIM中心開發)

伍、結語與建議

一、結語

本文主要說明由交通部鐵道局主導於施工階段導入BIM技術之執行應用，並以實際案例闡明具體作法。

實際案例及作法包含了建立視覺化之列車動態包絡線檢核碰撞避免列車與結構體之衝突，機房機電管線之衝突檢核，行動裝置在工地進行施工成果確認以及車站擬真模擬而確定裝修材質顏色之適當性，並且將BIM模型導入營運階段之維護管理，獲得非常良好的效益。

未來導入BIM技術能考量工程之全生命週期及工程各有關參與單位之角色分工更為加強，應更會有效益。

二、建議

BIM技術目前正以等比級數之速度跳躍式竄起，關於AR(Augmented Reality, 擴充實境)、MR(Mixed Reality, 混合實境)、VR(Virtual Reality, 虛擬實境)、點雲之功能應用，市面上每個月都有新產品出現，本案於VR及點雲(現況紀錄及土資場容留量估算)已初步導入應用，相較於傳統營造業審查模式，BIM技術可提供更直覺及快速之確認方式，對於減少重工有相當助益。

未來可嘗試導入MR做為施工查驗時之輔助工具，並利用空拍機或雷射掃描建置之點雲實體模型與BIM模型整合，作為碰撞檢查、工程完成狀態展示及竣工查驗之工具；以充分利用BIM模型之方式將BIM技術之效益極大化。

參考文獻

1. 康思敏、楊濃代、江碩濤、張仕明、林逸樺，2012，「BIM在高架車站設計之應用-以環狀線Y19車站為例」，捷運技術半年刊，第47期。
2. 江英二、李萬利、蘇瑞育，2011，「BIM於商旅大樓興建工程之施工應用實務與效益」，中華技術專題報導，第91期。
3. 李萬利、陳昭惠、蘇瑞育、盧祥偉，2010，「以裝修工程塑造CECI大樓的BIM新內涵」，中華技術專題報導，第88期。

4. 劉以晨、謝尚賢，2016，「COBie應用於智慧建築之設施管理」，營建資訊，405期。

5. 廖柏舜、吳翌禎，2016，「BIM技術導入與成效分析-以小型室內設計公司為例」，第20屆營建工程與管理學術研討會論文集，七月一日，成功大學，台南，台灣。



3

專題報導

大區域整地作業之營建自動化(以高雄港洲際二期計畫新生地填築工程為例)

關鍵詞(Key Words)：全球定位系統(GPS)、全球衛星導航系統(GNSS)、推土機(Dozers)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／工程師／吳少君 (Wu, Shao-Chun) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／工務所主任／李崑裕 (Li, Kun-Yu) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／副理／蔡同宏 (Tsai, Tung-Hung) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／技術經理／謝政璋 (Hsieh, Cheng-Chang) ❹



摘要

推土機為土方整地作業中主要施工機械，傳統施工方式常需憑借操作手實務經驗及陸上測量作業輔助、並需投入大量人力配合，方能完成作業。傳統工法除施工效率低，勞力用度高，相關設備、材料消耗較大外，施工成本亦相對較高。

當全球定位系統/全球導航衛星系統亮相推廣後，營建界將其應用內載於土方整平機具(推土機、平路機)操作系統上，操作室建置精確的衛星數據和三維地形圖，操作手就可以在螢幕上即時確認目前施工所在地形高度現況，並據憑整平作業至設計高程，精確操控鏟板位置對準目標施作，同時亦可晝夜施工，迅速如質完成作業。

高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫中所屬新生地填築工程(約232公頃)浚填整地作業施工期間，導入營建自動化作業理念，在推土機上搭載RTK(全球衛星即時動態定位系統)，應用於整地作業量測，即時記錄整地高程，除可避免錯誤施工造成重複作業外，亦可提升推土機工作效率，實為土木營建自動化實務之成功應用案例。



Construction Automation for Large Area Land Preparation Operations(Taking the Reclamation Work for Kaohsiung Port Intercontinental Phase II Project as an Example)

Abstract

The bulldozers are usually served as major grading equipment in earth-moving preparation. The traditional construction methods are inevitably often found to be heavily dependent on the practical experience of the operator and the aid of land measurement, together with a large number of manpower required for coordination to complete the operation. In addition to low construction efficiency, high labor utilization, and large consumption of related equipment as well as materials, the cost of traditional construction methods is also relatively high.

Nevertheless, as the Global Positioning System/Global Navigation Satellite System being unveiled and promoted, the construction industry also puts its application on the operating system of the earth leveling machinery (bulldozer, grader), so that accurate satellite data and 3D topographic maps could be built in the operating room. Therefore, the operator can not only instantly confirm the current status of the terrain at which the construction is located on the screen, and subsequently conduct the leveling operation to the design elevation accordingly, but precisely control the position of the blade to aim at the target, simultaneously work day and night in order to complete the work expeditiously and qualitatively.

The operation concept of construction automation was introduced during the filling in land preparation period of the reclamation work (about 232 hectares) for Kaohsiung Port Intercontinental Container Center Project Phase II, in which the RTK (Real-Time Kinematic) is installed on the bulldozer and applied to the measurement of the land preparation that the elevation of the land preparation could be recorded instantaneously. In addition to the fact that repeated operations caused by incorrect construction can be thus avoided, the work efficiency of the bulldozer can also be substantially improved, which is indeed a successful application case for civil construction automation.

壹、前言

「高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫新生地填築工程」為廣域抽砂浚填整地工程計畫(詳圖1)，工址位於高雄港二港口南防波堤南側水域，造地總面積達232公頃，為國內近年來最大填海造地工程。

本工程契約工期約32個月，扣除船機動員時間(一般約需6個月)，實際浚填作業時間約26個月，故於短暫工期內須克服外海取沙區之惡劣海、氣象(105~107年每年汛期(5月~11月))影響作業時間，以及避讓二港口航道船舶往來頻繁等施工困難條件，若無專業浚填船機及高效能整平造地機具，恐無法如期如質完成此一浚填造地任務(浚填整地面積232公頃、浚填土沙量4,052萬方)，各項規劃及實際作業起迄時間詳如表1。

爰此，工程主辦機關臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司以國際標採購招商，希望可引進國際優越之浚填船機及先進整平造地機具，於整體計畫期限內完成標的物。本案經公開招標評選，最後由荷蘭商凡諾德國際股份有限公司得標承攬，該公司為世界知名浚渫施工廠商，擁有數十艘超大型自航自載耙吸式挖泥船，配合施工團隊優異之營建管理，解決相關施工界面與疑難，順利提前約8個月完工報竣(詳圖2)。

利用GPS/GNSS數據控制之營建機械精度可達到1-2公分，無需測量人員於作業場所隨時佈設修面樁，測量人員亦無需隨時在作業場所內檢測整平後之地面高程(詳圖3)，整個作業區域，只有整平機具，無人員徒手作業，免除大量人力資源消耗，並較傳統工法提升約8倍工率，充分展現大區域整地作業之營建自動化應用效益(詳圖4)。

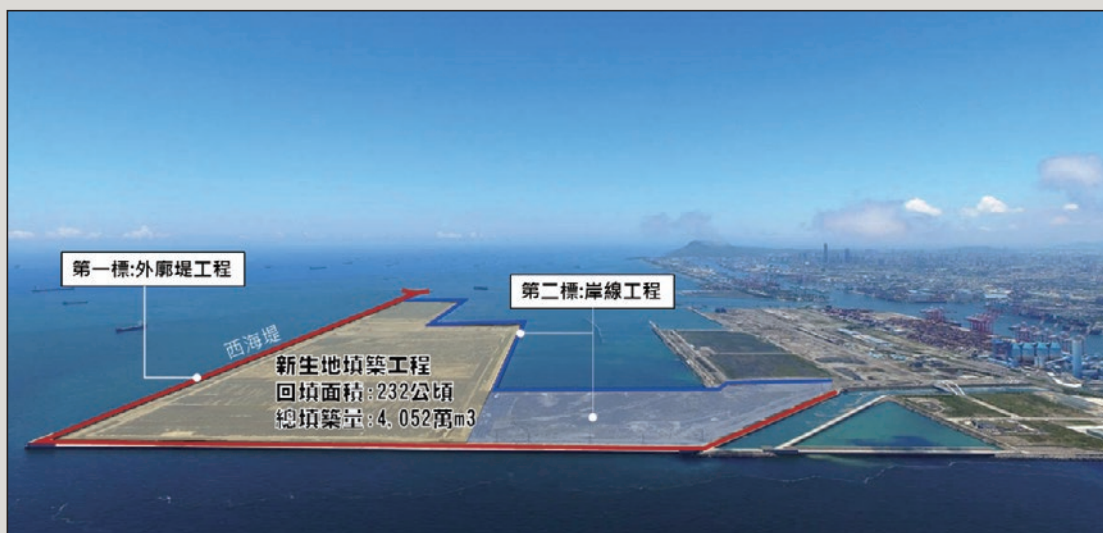


圖1 高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫配置示意圖

表1 各項作業規劃及實際作業起迄時間

項目	原規劃起迄時程	實際施工起迄時程	節省施工時間
浚挖填築作業	104.12.23~107.06.18	105.03.04~106.10.23	約10個月
整地整平作業	105.02.23~107.06.18	105.10.01~106.10.23	約15個月
防塵網覆蓋作業	105.03.23~107.07.18	105.10.14~106.11.22	約15個月
新生地填築工程	104.11.23~107.07.18	104.11.23~106.11.22	約8個月



成功協調施工界面同時動用2艘浚挖船進場作業

國內單一工程最大造地面積232公頃

規劃三條浚填路線降低海象氣候影響施工作業

接管排填、船吹填築配合作業提高造地效率

圖2 二艘超大型自航自載耙吸式船機(總泥艙量53,000方)同時作業



圖3 機具整平作業中自主控制成果



圖4 作業區域內全機械自動化作業

貳、推土機自動控制系統介紹

自動控制系統為採用RTK全球衛星即時動態定位控制技術，可即時準確獲知推土板三維位置和姿態，此系統可通過比較數位化三維設計

基準模型與當前推土機三維位置及姿態訊息，以圖形、數值和聲音信號等多種方式指示實際推土機鏟板與目標工作面的相對位置，引導操作手據以進行推土整平作業，相關控制系統(詳圖5)介紹如次：



圖5 推土機配置GPS控制系統位置無缺失、合格率100%

一、控制器

控制器配備強大之系統應用軟件，清晰的液晶螢幕、多視圖界面，以圖形、數值、和聲音信號等多種方式，即時顯示實際推土板與實際工作面相對位置的三維訊號，引導操作手精確施工。

二、無線電傳輸器

無線電傳輸器安裝在推土機、平路機上，將推土機GPS接收儀和基地站GPS接收儀兩者數據，通過相同頻率進行數據整合及傳輸，使即時動態的定位資料，精準展現於控制器系統螢幕上。

三、GPS接收儀

它集成了接收GPS、GLONASS雙衛星系統信號的接收儀和天線於一體，RTK 初始化時間約需10秒，施工中時每秒可收取並檢算數十組資料，具有機動快速辨識地貌形狀的優良性能，以達推土機、平路機快速作業需求。

四、支桿

須穩固安裝在推土機的鏟板上，並垂直支撐GPS接收儀，確保施工中晃動量小，降低收得定位訊號之錯誤性。

參、運作

使用RTK全球衛星即時動態定位系統，進行大區域整地作業及測量作業，相關設備設置及控制應用如下所述(詳圖6)，除解決目前營建技術人員缺乏、工資上揚問題，在整體效益上亦能成功建立安全作業環境、提升施工質量及減少施工成本。

將推土機和整平機上的GPS/GNSS接收儀固定在鏟斗上，傳輸接收天線所得資料至無線電傳輸器，系統整合計算鏟板的位置，再傳輸至控制螢幕上。經由GPS接收器天線安裝在推土機械固定位置座標，斗桿、動臂和斗桿油缸上的角度傳感器以及天線和斗桿之間的距離校準，推土機操控室電腦可精確計算出斗桿切割邊緣的準確位置。平路機與推土機之GPS/GNSS系統從施工現場設置的基站獲取修正的RTK(即時動態)定位數據，操作手將現場須增填或降挖的數位訊號載入控制器螢幕，可同時切換控制器上顯示的線路(詳圖7)，作為手動操作機械使用



圖6 RTK相關設備設置及控制應用



圖7 推土機螢幕控制操作系統

數據，或是將系統設置全自動模式，並讓GPS/GNSS定位數據將鏟斗引導至設計坡度的準確輪廓。具有GPS/GNSS系統運行之推土機或平路機，可以同時使用同一基地站和無線電發射器來引導操作整平機具。

肆、效益與優勢

一、避免重工

由控制器螢幕即時顯示機械鏟斗之確切位置導引下，操作手能即時修正鏟斗高度，精確整地作業。同時可避免因操作手誤判整治坡度，衍生測量員重新量佈測高程樁及重複施工之虞，並可節省施工作業時程。土方作業採數位自動化控制，無須搭配傳統佈設高程控制基準線及修面樁作業，以圖形、數值、和聲音信號等簡易方式(詳圖8)，快速掌握實際鏟板與目標工作面的相對位置，進而引導操作手精確施工，施工中無須暫時停止作業，俟測量人員初核後始可進行細整作業，充分發揮機械工作效率。

整體施工作業除可晝夜施工縮短工期外，精確施工品質亦符合契約規定(實際誤差約10cm，契約規定誤差20cm)，更無需測量人員和地面人員輔助整平施工作業，大幅節省人力資



圖8 挖土機操作室螢幕顯示各部位動作高程

源用度、施工機具數量及簡化品質管制程序提高施工效能，降低施工成本(詳圖9)。

二、提高工率、節省成本

本工程造地面積約232公頃，整地時程僅約13個月(105年10月~106年11月)，粗估每月約需完成18公頃整地。本案如採傳統作業方式(佈放控制樁→粗整→佈放修面樁→細整)，每公頃需4工作天始可完成，且雨天無法進行放樣測量，粗步估算每公頃配合人機數量統計，挖土機2台次、平路機2台次、現場測量人員6人次，總



無需測量人員輔助，機具可24小時施工



竣工驗收成果無缺失、合格率100%

圖9 RTK 簡化品質管制程序

配合人機數量為挖土機464台次、平路機464台次、現場測量人員1392人次，工期估需約28個月(=232×4/30×0.9)，如此將無法如期完成整地作業。

為符合抽砂造地完成後，推土整平時程需求，施工廠商於整平機具(推土機、平路機)建置RTK全球衛星即時動態定位系統，施工中除避免土方多次修整，可一次連續精確快速達到設計高程，每公頃僅需0.5日曆天即可完成(不受雨天影響)，又因免除大量人力資源，將整體工程提前約8個月完工(詳圖10)。每公頃配合人機數量統計，挖土機0.5台次、平路機0.5台次、現場測量人員0人次，總配合人機數量為挖土機116台次、平路機116台次、現場測量人員0人次，實際僅使用13個月工期。

綜上採用建置RTK全球衛星即時動態定位系統整地作業，可節省挖土機348台次(=464-

116)、平路機348台次(=464-116)、現場測量人員1392人次(=1392-0)，節省整地時間約15個月(=28-13)。

伍、結論

本工程每年汛期間(5月-11月)因外海取沙區惡劣海、氣象條件下取沙困難，為如期完成工程，須於非汛期間增加浚挖船機浚填造地，以致於短時間大量增加陸地面積，若未及時配合推土整平作業，除影響浚挖船機作業效能，另土沙面積未及時整平覆蓋防塵網，易遭海風吹襲產生嚴重揚塵污染影響周邊環境。因此如何改進傳統推土施工方式、簡化整平作業流程與提高施工品質，為大區域整地作業工程成敗重要之課題。



圖10 整平機具配備RTK整平作業流程

施工期間考量每日約有10萬餘方之浚填土沙量，傳統推土整平機具作業方式效能無法配合，遂引進配備「RTK全球衛星即時動態定位系統」之推土整平機具，其自動化作業可一次性完成推土整平至設計高程，較傳統作業方式提高8倍效率，又可日夜24小時積極趕工進，不受傳統測量作業束縛，且精確控制施工品質，以創新方式減少推土機及人員數量，降低施工成本，相對提升作業安全。

由於RTK受限基準站設置之準確性，以及太陽活動周期對RTK初始化時間和RTK可用性均有顯著影響，因此實務操作應用時，仍需專業監造人員隨時監控並即時回饋訊息給施工現場人員進行必要之修正或律定。推土整平機械操

作手對於整地高程之精準度控制亦取決操作手之實地經驗掌握，並非配置RTK即能百分百精準完成工作需求。另外，施工過程中推土整平機械之震動亦將影響RTK儀器即時收測解算之精準度，故建議此項技術較適合應用於浚填基地之初整階段，以發揮節省人力及時間效益，最終仍需施工或監造人員於現地複測造地高程是否確切達到設計要求為宜。

本文以「高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫新生地填築工程」為例，探討「大規模土方整地作業」施工實務重點，希望可提供國內後續土方作業自動化研進參酌。



參考文獻

1. <https://www.equipmentworld.com/> 「How to set up and operate a dozer using GPS blade control」。
2. 麥斯泰格(北京)工程技術發展有限公司 GCS900-推土機GPS 智能控制系 。
3. 謝政璋、葉錦璋、盧志宏、陳奕劭，「港灣浚挖(填)工程實務探討」，中華技術No.108，2015年。
4. 管長青、張嘉強、吳永源、蘇承強，「經天緯地端始測量_工程測量發展歷程與展望」，中華技術No.98，2013年。



高雄國際機場保持 單跑道營運狀況之 整建施工管理

關鍵詞(Key Words)：跑道整建(Runway Renovation)、施工管理(Construction Management)、
高雄國際機場(Kaohsiung International Airport)

- 交通部民用航空局高雄國際航空站／主任／傅耀南 (Fu, Yuar-Nan) ❶
交通部民用航空局高雄國際航空站／組長／陳增邦 (Chen, Tseng-Pang) ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／資深協理／彭國源 (Peng, Kou-Yuan) ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／經理／謝政璋 (Hsieh, Cheng-Chang) ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／副理／洪偉傑 (Hung, Wei-Chief) ❺
台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／工務所主任／吳政翰 (Wu, Jeng-Han) ❻



摘要

高雄國際機場為單跑道機場，原有09-27跑道長度3,150公尺、寬度60公尺，為混凝土之剛性道面，自民國76年7月啟用至今已超過30年，已屆混凝土結構物使用年限。高雄國際航空站為提升飛航服務及飛航安全，辦理跑道整建施工，並採用柔性加鋪方式進行修繕。

本工程為首次國內國際機場採日間營運、夜間施工方式辦理整建，於每日機場夜間關場時間2330-0650進場施工，每日可供施工作業時間遠低於國際民航組織ICAO建議之8.5小時施工作業時間，於有限作業時間內需妥適規劃及管理各項施工作業，並兼顧維持施工品質、飛航安全及航站營運。

施工前藉由辦理瀝青混凝土試鋪作業，確認工地現場施工能量、供料生產及運輸作業時間，檢討回饋確認每日最適鋪築施工推展長度；施工期間每日依據氣象預報資料判斷是否進場施工，並建置施工通報機制通知航空公司施工資訊；進場施工時掌控瀝青混凝土廠拌合生產作業時間及運輸到場時間等，施工團隊精確管控各項施工作業完成道整作業，107年3月~108年3月底道面鋪築施工期間，鋪築道面服務旅客達709萬人次並經61,000架次起降考驗，道面施工品質優良，達成兼顧維持施工品質、飛航安全及航站營運之目標。



Repair Management of Single Runway Operation at Kaohsiung International Airport

Abstract

Kaohsiung International Airport is a single runway operation airport. Its original 09-27 runway has a length of 3,150 meters, a width of 60 meters, and uses a rigid pavement type of concrete. It has been in use for more than 30 years since July 1987, and the age of the concrete structures has reached its limit. In order to make improvements to flight service and flight safety, the airport runway is being renovated and repaired with flexible overlay.

This project is the first case where one of the nation's international airports will carry out daytime operations in conjunction with nighttime construction. The runway construction work will take place after the closing of airport operations from 1130pm to 650am each day. The duration of the daily construction time is much less than the 8.5 hours construction time recommended by the ICAO, but it is necessary in order to be able to properly plan and manage all of the construction activities within a limited time window, and to maintain the construction quality, flight safety and terminal operations.

Before the construction work begins, an asphalt concrete trial operation will be carried out to confirm the site construction capacity, supply material production rate and transportation time. Each day after reviewing the information fed back to confirm the most appropriate and optimal length for daily paving, a decision as to whether or not to enter the construction site will be made according to the weather forecast data, and a construction notification mechanism will notify related information to airline companies. While construction takes place, the asphalt concrete plant mixing production operation time and transportation arrival time are controlled, and the construction team accurately controls each construction activity for carrying out the runway renovation work. During renovation from March 2018 to March 2019, the runway has already served 7.09 million passengers and has accommodated 61,000 takeoffs and landings. Furthermore, the construction quality of the pavement has proven to be excellent, thereby achieving the goals of maintaining construction quality, flight safety and terminal operations.

3

專題報導

壹、前言

高雄機場為我國南部地區之主要國際機場，現有09-27單一跑道長度3,150公尺(含緩衝區長度3,270公尺)、寬度60公尺，為混凝土之剛性道面，兩側各設置寬6.5公尺柔性道面道肩，道面總寬度為73公尺。機場跑道自民國76年7月完工啟用至今，已屆道面服務年限，近年來於跑道使用頻率較密集區段已陸續產生粒料剝離、磨耗及線性裂縫等損壞現象。

基於高雄國際航空運量持續成長，及航空器大型化之趨勢，為提升跑道服務水準及飛航服務品質，以及延長道面使用壽年與提升道面整體強度，交通部民用航空局高雄國際航空站推動跑道整建，並就空側部份設施依國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)標準進行改善，俾高雄機場之空側設施能因應南部地區未來之發展需用，並提高機場安全性。

貳、工程內容

一、跑道現況及整建方式

高雄機場原有剛性道面跑道自民國76年7月完工啟用至今，因道面服務年限屆齡及道面航機胎屑清洗磨耗等影響，於使用頻率較密集區段已陸續產生粒料剝離、磨耗及線性裂縫等損壞現象，尤以09跑道降落區及A滑行道連接09跑道處之損壞狀況較為嚴重，另存有大量因道面老化而產生之縱、橫向裂縫與表面龜裂。此外，小部分道面存有接縫損壞、接縫剝裂、補綻乾縮及沉陷等問題。

為維持高雄機場之正常營運，考量機場於宵禁時間進場施工時間有限、緊迫，設計採用道面柔性加鋪方式辦理整建，參照美國聯邦航

空總署(Federal Aviation Administration, FAA)及國際民用航空組織ICAO最新機場設計規範採最佳化加鋪設計，以最經濟厚度滿足使用需求，功能滿足未來20年交通量(運量)及機隊組成。

本工程道面整建及相關設施之改善後滿足E類航機(B747、B777、B787、A330、A340、A350等)起降運作需求，增進機場運作效率。

二、工程內容

本工程包括既有跑道整建(含道面銜接處理)、跑道及滑行道地帶整修與植草、跑道燈光設施與管線配合抬升及更換工程、增設27跑道進場燈、既有空側設施配合國際民航組織(ICAO)規範改善等，茲分述如下。

(一) 既有跑道整建(含道面銜接處理)

既有09-27跑道含緩衝區全長3,270公尺、主跑道道面寬度60公尺及兩側道肩寬度各7.5公尺，以柔性加鋪方式辦理整建，於原PCC跑道面層上鋪設約20cm改質密級配瀝青混凝土(PMA)及5cm石膠泥瀝青混凝土(SMA)，標準斷面圖如圖1。

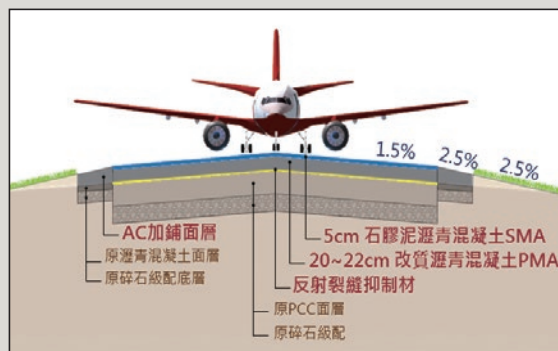


圖1 跑道加鋪標準斷面示意圖

(二) 增設27跑道進場燈：

27跑道依國際民航組織(ICAO)規範增設跑道進場燈整組，包含嵌入式燈筒固定座(L868淺筒)、立式燈桿及RC基座、順序閃光燈及控制盤等。

(三) 跑道燈光設施與管線配合抬升及更換工程

於原PCC跑道先行辦理跑道燈光設施之管線預埋，俾跑道燈具於跑道AC鋪設完成後安裝。施工中採用可遷移之臨時跑道邊燈配合施工每日臨時遷移，跑道頭燈及進場燈以昇桶環片隨加鋪施工分層抬昇，施工期間維持跑道助航燈光系統正常運作。

於跑道AC鋪設完成後採後裝法進行跑道進場燈、跑道頭燈、中心線燈、降落區燈等永久助導航燈光之燈筒燈具安裝，辦理跑道助導航燈光及線路更新汰換。

(四) 既有空側設施配合ICAO規範改善

配合道面AC加鋪後之跑道高程，新設09跑道及27跑道精確進場滑降指示燈(PAPI)，既有千呎牌、滑行道指示牌面等依ICAO規範改善。

參、工程特色

一、國內國際機場首次無封閉跑道進行整建

國內國際機場首次無封閉跑道進行整建，於機場夜間宵禁關場時間進場施工，每日施工離場即開放航機起降，每日夜間扣除進場離場作業後實際可供施工時間僅5.5小時，遠低於ICAO建議之8.5小時施工時間，限時施工且須確保施工品質、飛航安全及航站營運。

因施工時間受限，需精確管制各項作業施工時間，如夜間施工造成航站日間延遲開場，將影響旅客權益及航空公司航班調度；道面瀝青混凝土鋪築後需冷卻達表面溫度 $\leq 50^{\circ}\text{C}$ ，始可開放航機起降，需兼顧維持施工品質、飛航安全及航站營運。

二、國內機場跑道整建最大全斷面熱接鋪築

主跑道(不含道肩)寬度60公尺，採全斷面一次鋪築，分層逐層鋪築施工。於跑道鋪築全範圍採熱接鋪築施工，以2部鋪築寬度7.5公尺鋪裝機同時鋪築，熱接鋪築施工無鋪築縱向接縫，提升道面鋪築品質。

另主跑道全斷面一次鋪築時，每日施工全斷面設置轉接段銜接前後道面，並依ICAO跑道最小縱坡規定以 $S=0.8\%$ 為轉接段坡度，以增加航機跑道滾行起飛、滾行減速之安全性，圖2為跑道全斷面瀝青混凝土鋪築施工照片。



圖2 跑道全斷面瀝青混凝土鋪築

三、助航燈光系統施工期間不降等，維持飛航安全

利用跑道地帶舊有管道辦理原道肩位置助航燈光迴路系統遷改，維持助航燈光雙迴路運作。新設跑道頭燈、進場燈等嵌入式燈具以昇桶環片配合跑道鋪築逐層抬高，維持正常運作。

固定式跑道邊燈、末端燈等直立式燈具更改為可移動式臨時邊燈，配合AC鋪築每日臨時遷移。助航燈光系統分階段切換施工，施工期間保持航機之儀器降落系統維持CAT I等級不受施工影響，圖3為跑道進場燈昇筒環片安裝照片。



圖3 跑道進場燈昇筒環片安裝

肆、施工期間之管理及作為

一、研擬最適跑道鋪築方案

於跑道AC鋪築前先行於滑行道辦理試鋪作業，藉由試鋪確認鋪築能量、滾壓成效後，始正式展開跑道鋪築作業，參圖4。

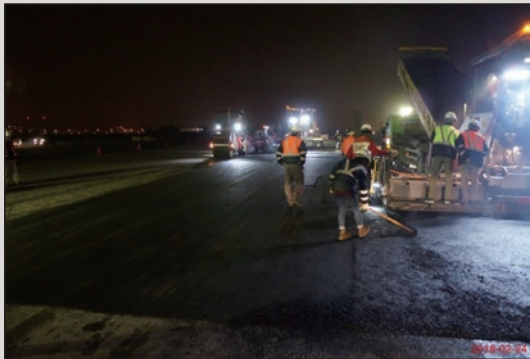


圖4 滑行道AC試鋪

本工程施工廠商原規劃以3部10公尺寬鋪築機同時鋪築，經辦理試鋪，鋪築厚度、平整度均無法有效控制，經監造專業建議施工廠商改採7.5公尺寬鋪築機，經試鋪施工廠商調整鋪築配置，道面鋪築採2部寬度7.5公尺鋪裝機同步施作、道肩鋪築採1部6.5公尺寬鋪裝機。

本工程夜間由2家瀝青混凝土拌合廠同時供料施工，試鋪階段建議施工廠商對於供料品質不穩定之設備進行改善，如儲油槽、冷料輸送設備、粉塵回收布管等，經汰換設備後材料品質穩定供應，每日2廠合計供應改質瀝青混凝土

(PMA)約800~1000噸。另增設石粉供料槽、自動木纖投料設備等，石膠泥瀝青混凝土(SMA)單廠每日供應約400~600噸，穩定生產供應後提升鋪築工率、施工進度大幅超前。

於滑行道辦理試鋪作業驗證施工能量及施工品質後，正式展開跑道AC鋪築時採逐步增加鋪築推進長度方式，初期每日全斷面鋪築前進25公尺，於施工人員熟練瞭解機場管制區域施工作業模式後再逐步增加鋪築長度，審慎因應施工確保飛行安全。

經研擬最適鋪築方案、瀝青混凝土穩定生產供應、施工人員熟捻作業後，穩定控制跑道改質瀝青混凝土(PMA)第1層每日鋪築前進50~60公尺，第2~4層每日鋪築前進80~100公尺，第5層石膠泥瀝青混凝土(SMA)每日鋪築前進60~80公尺，實際施工功率均大於設計預估功率，參表1。

表1 設計施工功率與實際施工功率比較表

鋪築層數	設計預估施工工率	實際施工工率
第1層(PMA)	45 m/日	50-60 m/日
第2~4層(PMA)	60 m/日	80-100 m/日
第5層(SMA)	60 m/日	60~80 m/日

註：第1層需於原PCC道面鋪貼反射裂縫抑制材

二、建立施工進場通報及離場檢查機制

本工程施工條件受天候影響甚鉅，且施工過程中倘遇降雨除可能造成開場延誤而影響航站營運外，AC材料遇雨後溫度降低、黏結性不佳影響滾壓品質，如產生粒料脫離現象將嚴重影響飛行安全；每日依中央氣象局1500、1800、2100更新之夜間降雨機率決定是否施工，於夜間降雨機率大於30%、突然降雨等無法施工狀況，以施工通報單即時簽認通知航站，施工與否訊息立即通知機場航務組公告予各駐站單位了解，並立即發佈飛行公告取消當

天施工作業，將當天機場關場時間調整為0000-0630，以利航空公司彈性調整有效調度航機，參圖5。



圖5 航站航務組公告是否施工

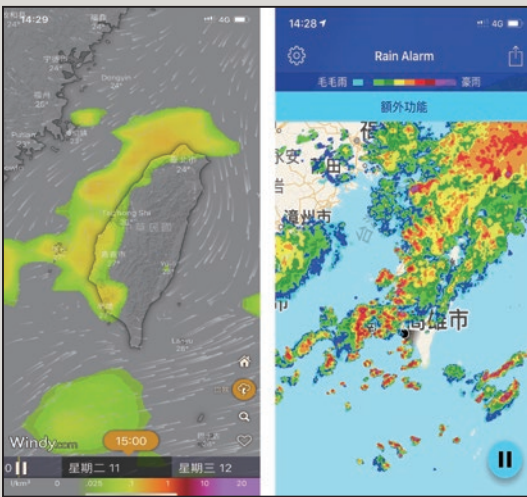


圖6 氣象APP軟體評估是否施工

施工期間施工團隊每日施工前依據中央氣象局氣象預報決定是否施工外，對於夜間降雨機率為30%以下仍有降雨之可能時，輔以多種氣象預報APP軟體審慎評估決定是否進場施工，並就施工鋪築突遇降雨等情形預先規劃因應處置辦法，參圖6。

每日施工完成離場前，施工廠商於施工離場前辦理道面巡檢自主檢查、監造單位複查，經飛航服務總台確認助航燈光系統測試正常運作、航站航務組巡檢施工區域道面無FOD後，收工離場並經航務組通知塔台開放航機起降。

三、管控每日瀝青混凝土鋪築施工時程

監造單位依鋪築工率、拌合廠產能等計算擬定每日鋪築施工作業所需時間，工程執行階段施工廠商確認供料拌合廠後，實際踏勘確認供料拌合廠運輸時間、拌合產能並依現場鋪築設備能量修正作業管制時程，本工程每日進場施工作業時間管制如表2。第1層瀝青混凝土鋪築需於原有PCC道面上鋪貼玻璃纖維加勁格網作為反射裂縫抑制材，故實際管控AC鋪築作業時間為0200~0430，第2~5層瀝青混凝土加鋪施工已無反射裂縫抑制材鋪貼作業之需求，鋪築時間控制為0100~0430。

表2 瀝青混凝土鋪築施工作業時間管制表

時間	作業項目	備註
22:00-23:20	施工人員集結及勤前教育	
23:30-00:00	通報塔台進場與交維設施擺設	
00:00-02:00	<ul style="list-style-type: none"> 標線磨除、施工區域臨時邊燈移除 鋪築位置前後轉接段刨除 反射裂縫抑制材鋪設 噴灑黏層(RC70) 鋪築分刀放樣 	第一層採2部刨除機前後漸變轉接段刨除
02:00-04:30	全斷面AC鋪築及滾壓	2部7.5m寬鋪裝機同時鋪築
04:30-05:30	<ul style="list-style-type: none"> 鋪築滾壓及新鋪道面冷卻降溫 燈光復舊及標線劃設 施工機具撤離及FOD清掃 	
05:30-06:50	<ul style="list-style-type: none"> 會同航務組道面FOD檢查 會同區臺辦理離場前助航燈光檢查 檢查合格後人員離場 	

施工前完善規劃作業管制時程，施工中鋪築作業分時段管制，道面瀝青混凝土鋪築期間計246工作天，均無延誤開場情形。

四、監造瀝青混凝土廠駐廠作為

有別於一般工程瀝青混凝土廠駐廠管控材料品質，本工程監造駐廠人員除督促拌合廠商每日辦理熱料篩分析等試驗，確保粒料組合符合配合設計比例外，並需管控相關前置作業、拌合生產時間。

監造人員於拌合廠每日拌合生產作業前，需先確認砂石粒料及油品之備存量、運輸車輛數量等，如有變動即時回報，於進場施工前進行施工長度(數量)調整；拌合生產作業管控於0230前完成，確保運輸車輛最晚於0400前抵達工地完成鋪築。

五、採用自動控制鋪築系統

原有剛性道面經使用30年後已非平整道面，道面整建需調整道面之縱橫坡符合ICAO之規範，故本工程瀝青混凝土鋪築時需進行高程放樣調整控制鋪築厚度，鋪築高程控制傳統採鋼線施工，需現場高程放樣，為縮短作業時間、提升鋪築能量，施工廠商提出引進自動控制鋪築系統(Leica PaveSmart 3D system)，參圖7。



圖7 自動控制鋪築系統

建議施工廠商於第二層跑道鋪築時先行試用，驗證鋪築成效鋪築速率、鋪築鬆實控制可穩定控制。協助施工廠商規劃鋪築配置，採本系統進行跑道第三、四層鋪築，鋪築成果經依FAA、ICAO規定辦理機場跑道平坦度係數BBI檢測(Boeing Bump Index, BBI)，於涵蓋大部分航機起降路徑範圍之跑道中心線、距離中心線二側5公尺及10公尺共5條測線進行檢測，鋪築道面每100M區間之平坦度係數BBI值均於0.4以下，遠低於規範BBI值小於1.0內之平坦度可接受範圍規定，驗證檢驗成效良好，參圖8。

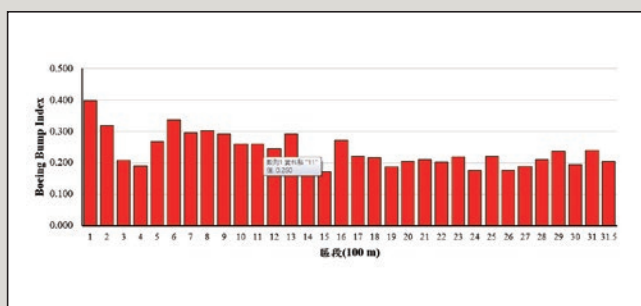


圖8 跑道中心線平坦係數BBI檢測成果

六、建立臨時狀況處理機制

施工期間如遇緊急狀況無法即時予以處置，恐將造成航站延遲開場，影響旅客及航空公司航機調度，故本工程對於瀝青混凝土拌合生產時設備故障或鋪築突遇降雨等情形，預先建立臨時狀況處理機制。

瀝青拌合廠設備故障時，駐廠人員需即時回報通知，拌合生產設備於2330進場前故障當日將不進行跑道AC鋪築，已拌合生產之AC材料調整至道肩鋪築。拌合生產設備於0000~0100發生故障，因現場已完成施工前後轉接段區域之刨除施工，轉接段區域重新刨除至全深度5cm，轉接段AC鋪築收頭。如駐廠人員於0100~0200回報通知拌合設備故障，現場將縮減當日施工長度，重新刨除施工後轉接段。

鋪築作業突遇降雨，瀝青混凝土溫度降低將影響滾壓品質，理應停止鋪築施工作業，惟因現場已進行轉接段之刨除施工及部分道面鋪築作業，暫停施工作業道面將具高低段差不平整之情形，將影響飛航安全致跑道封閉無法開放航機起降。故鋪築作業突遇降雨時仍持續施工至完成鋪築作業，施工區域並於次日辦理鑽心試驗驗證壓實度品質，降雨前已鋪築區域檢驗不合格、降雨期間鋪築範圍將辦理刨除重鋪改善。

本工程施工期間遭遇臨時狀況時，施工團隊均依預先建立之處理機制，現場依處理機制進行處置，無延遲開場情形。

伍、結語

本工程為國內國際機場首次無封閉跑道進行整建，維持航站正常營運，於機場關場時間進場施工，每日施工離場即開放航機起降。需精確管制各項作業施工時間，夜間施工造成航站日間延遲開場，將影響旅客權益及航空公司航班調度；道面瀝青混凝土鋪築後需冷卻達表面溫度 $\leq 50^{\circ}\text{C}$ 以下始可開放航機起降，需兼顧維持施工品質、飛航安全及航站營運。

施工團隊精確管控各項施工作業，成功克服可供工作時間嚴重不足挑戰，道面瀝青混凝土鋪築期間計246工作天，均無延誤開場情形。施工期間高雄機場運量持續成長，107年3月～108年3月底鋪築道面服務旅客達709萬人次，經61,000架次起降考驗，道面施工品質優良。因次，由於詳細計畫及精確管控各項施工作業，本工程於兼顧飛航安全營運、施工品質成本與工期，建立了僅利用有限夜間機場關場時間完成跑道整建優良的範例。

參考文獻

1. FAA AC 150/5370-10F, Standards for Specifying Construction of Airports.
2. ICAO Annex 14, Volume I, Aerodrome Design and Operations, Eighth Edition Amendment 14(2018).
2. 交通部民用航空局，民用機場設計暨運作規範，108年4月。
3. 交通部民用航空局，民用機場空側作業應注意事項，92年7月。
4. 高雄國際航空站，高雄國際機場105年年報。

沙崙綠能科技聯合研究中心永續建築設計及資訊化施工管理

關鍵詞 (Key Words)：永續建築 (Sustainable Building)、綠建築 (Green Building)、智慧建築 (Intelligent Building)、建築資訊模型 (BIM)、專案管理資訊系統 (PMIS)

科技部南部科學工業園區管理局／建管組建築科／科長／賴袂棋 (LAI, YUNG-CHI) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／吳佩儒 (WU, PEI-RU) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工務所主任／蔡宏達 (TSAI, HUNG-TA) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／協理／周允文 (JOU, YEUN-WEN) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／計畫經理／李振榮 (LEE, JEN-RONG) ⑤

摘要

配合政府推展之環境永續建設，並帶動綠能技術研發及綠能產業發展，「綠能科技聯合研究中心」於規劃設計階段應用多項技術，整合生態、節能、減廢、健康、創能、系統整合等面向，確保環境永續與使用者舒適性。

施工階段則應用BIM及PMIS提升施工管理效率，透過BIM進行工項界面整合、衝突碰撞檢討、解決方案研擬、室內裝修材質展示、提供3D視圖等施工管理應用，提前發現及解決問題，以減少資源浪費。另以PMIS作為資訊傳遞的平台與資料庫，輔助各參與單位進行工程管理與及溝通之用。本工程以取得鑽石級綠建築標章及鑽石級智慧建築標章為目標，過程中相關經驗期望提供永續建築實踐與管理的參考案例。



Sustainable Architectural Design and Information Construction Management of Shalun Green Energy Technology Joint Research Center

Abstract

In order to harmony with the concept of sustainable construction that has been constantly promoted by the government, and give impetus to not only green technology research & development but also advancement of green energy industry as to be converted into eco-friendly and low-carbon homes, a number of technologies, whose orientations toward ecological integration, energy conservation, waste reduction, health, energy creation, system integration, etc. were applied by the “Joint Research Center for Green Energy Technologies” for planning design to ensure environmental sustainability and user comfort.

BIM and PMIS were applied during the construction phase for the purpose of improving the efficiency of construction management. The interface integration of work items, the review of conflict collisions, the resolutions to be investigated and planned forward, the display of interior decoration materials, the provision of 3D views and other applications in construction management were able to be carried out through BIM. PMIS was furthermore put to use acting as a platform and database for information transmission in order to assist the participating units in project management and communication. This project aims to obtain both the diamond-level green building label and the diamond-level intelligent building label, in the hope of serving as a reference case for the practice and management of sustainable building with relevant experience in the process.

3

專題報導

壹、前言

隨著都市發展之大量能源耗用，節能減碳工作已成為各國重要課題。為配合「前瞻基礎建設計畫」推展之環境永續綠能建設，及2025年綠能發電比例提升至20%之能源政策目標，政府於2016年宣佈推動「台南沙崙綠能科學城」之建置，建立核心樞紐：「綠能科技聯合研究中心」，協助國內綠能研究，並帶動新興綠能產業發展，落實創能、節能、儲能和系統整合四大技術[1]。

貳、規劃設計

一、工程概述

依據2017年行政院核定之「綠能科技聯合研究中心公共建設計畫」係以打造全國綠能產業技術研發、綠能人才培育的研究基地。本工程位於高速鐵路臺南車站特定區計畫之產業專用區（編號C），基地面積5.33公頃，由科技部主辦(科技部南部科學工業園區管理局代辦)，採分期開發，第一期為綠能科技聯合研究中心與景觀工程，第二期為創新育成中心(如圖1)。

本文所述工程屬第一期，主體建築為地下二層、地上六層之鋼筋混凝土及鋼骨構造建築，建築面積6,802.2平方公尺，總樓地板面積為44,340.97平方公尺，空間多為產學研發單位之實驗室及辦公室使用。目前已取得鑽石級綠建築與鑽石級智慧建築候選證書(如圖2)，本工程於107年4月11日開工，工期690日曆天，將以取得鑽石級雙標章為目標，達成節能減碳及智慧健康之效益。



圖2 本工程第一期建築物候選綠建築證書及候選智慧建築證書

二、綠建築與永續環境

本工程採用設計手法貫徹綠建築「生態、節能、減廢、健康」四大主軸：基地內規劃景

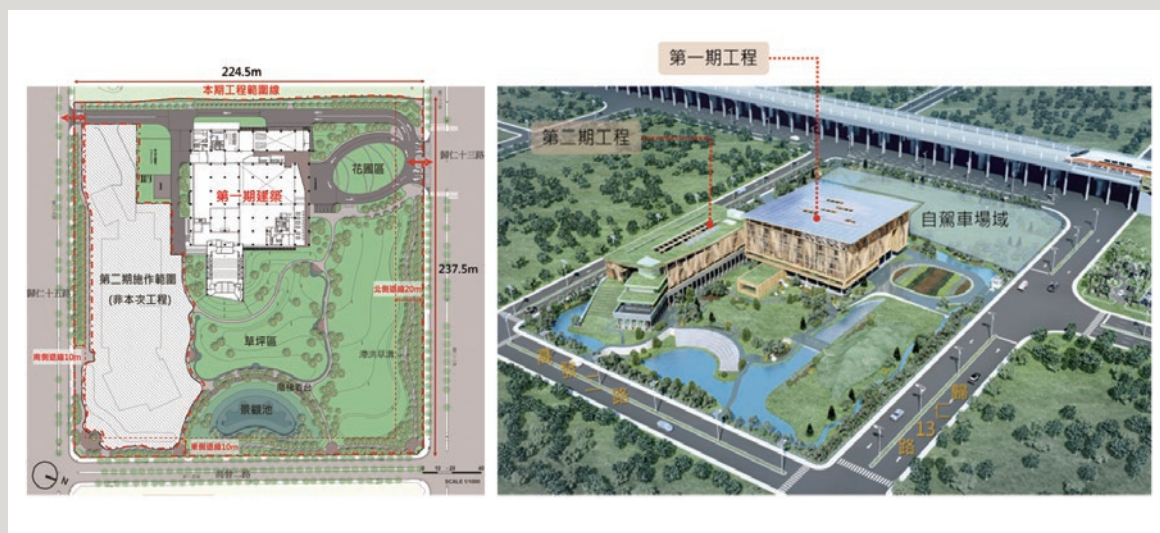
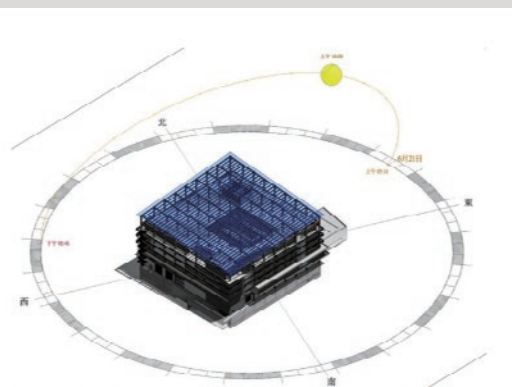


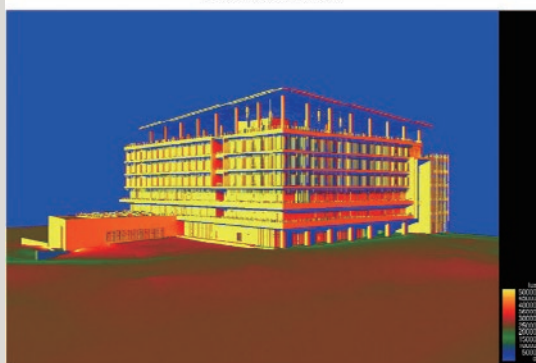
圖1 整體配置圖

表 1 綠建築九大指標得分說明

綠建築 指標名稱	配分	具體設計手法		本案 得分
1.生物多樣性	9	1.以喬灌木混種綠化之方式，達到生態複層。 2.植物物種之選擇，以原生或誘鳥誘蟲植物為主。 3.基地內配置除建築體、道路及景觀池外，大部分規劃為綠地，以提高基地綠地面積。 4.基地內喬木物種選擇，以多樣化為原則，提高喬木歧異度。		無申請此 項目
2.綠化量	9	基地內景觀之規劃，朝向綠地、喬灌木、草花花圃、水生植物及生態複層等之栽種原則，以提高CO2固定量。		7.41
3.基地保水	9	以綠地、被覆地、草溝、花園土壤、透水鋪面設計及景觀滯洪池，有效維持基地保水效能。		8.10
4.日常節能	14	建築外殼節能指標EEV	設置合理之外遮陽設施及規劃適當之開口率，減少外部熱能進入。	7.02
	12	空調節能指標EAC	1.高效能之可變頻空調系統。 2.空調冷凝水回收 3.室內空間分層空調。	8.94
	6	照明節能指標EL	1.採LED燈具模組。 2.採DALI控制系統，整合建築物內之燈光系統實現智慧燈控。 3.晝光調節照度。 4.人員感知系統。	6.00
5.CO2減量	8	1.結構輕量化：鋼骨結構、輕量乾式隔間、輕量化金屬帷幕外牆。 2.耐久化：管路採明管設計。 3.戶外面磚採用再生建材，減少CO2排放量。		8.00
6.廢棄物減量	8	1.採鋼骨結構，減少水泥用量。 2.採乾式隔間，減少現場廢棄物。 3.戶外面磚使用再生建材。 4.施工現場設置相關防制措施，防止營建污染。 5.BIM營建管理。		7.47
7.室內環境	12	1.人工照明光源設有防止眩光之設施。 2.空調型空間盡量採外氣空調系統。 3.盡量採用綠建材，且少量室內裝修。 4.居室空間盡量採用自然採光。		4.77
8.水資源	8	1.採用節水器具。 2.雨水回收再利用。		8.00
9.污水垃圾改善	5	1.生活雜排水管確實接管至污水處理設施或污水下水道。 2.執行資源垃圾分類回收系統。		3.56
總分	100	(黃金級：53-64分；鑽石級：64分以上)		69.27

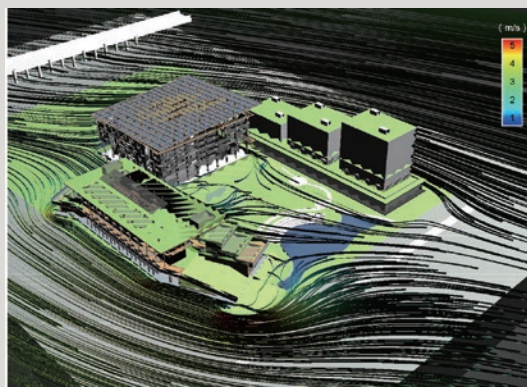


夏至日照模擬

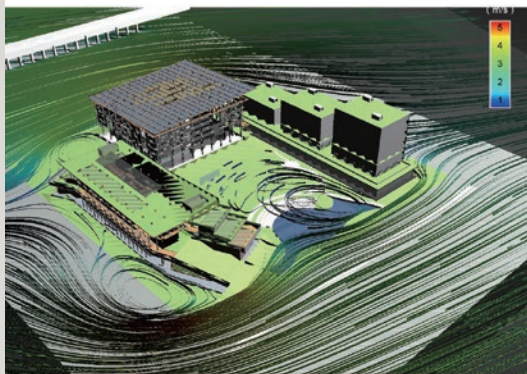


建築北向外殼熱負荷模擬

圖3日照及熱環境模擬圖[2]



夏季



冬季

圖4 風環境CFD模擬圖[2]

觀滯洪池及大面積綠地，創造生態友善的環境並達到綠化及基地保水的效益。建築本體則以人為本，注重通風採光情況，輔以智慧化燈控系統及高效能空調系統設計，兼顧室內環境舒適性及減少能源浪費。結構採地下層鋼筋混凝土及鋼骨構造建築，並使用輕量化乾式外牆，達到二氧化碳減量及廢棄物減量之目標。本工程九大指標得分數如表1，總得分為69.27分，依綠建築評估分級為鑽石級(64分以上)。

(一) 風環境、熱環境、日照模擬

為達到良好室內環境品質及回應環境，本工程於規劃設計階段採用電腦模擬日照情況、風環境、熱環境等微氣候情境(如圖3及圖4)，藉由調整量體配置及創造中庭開放空間，達到通風採光之節能效益。

(二) 多層次綠化，水資源回收再利用

基地設置生態景觀滯洪池及大面積綠地，並採用綠屋頂及植生牆創造垂直綠化，擴大生物活動範圍、延伸生態移動路徑及提高生物多樣性。

水資源回收再利用系統設計，以環繞基地周圍的草溝、建築側溝與集水井收集雨水，引導至水撲滿暫存，最後流入景觀池(如圖5)；景觀池可作為暫時滯洪池，當水位超過滿水位，則溢流至地下雨水貯留池，再排入公共排水系統。透過此系統設計，提供澆灌及涵養土壤水分之應用，達到基地保水效益。

(三) 降低能源耗損，創造產能的建築

本棟建築立面上以塑木格柵作為第一

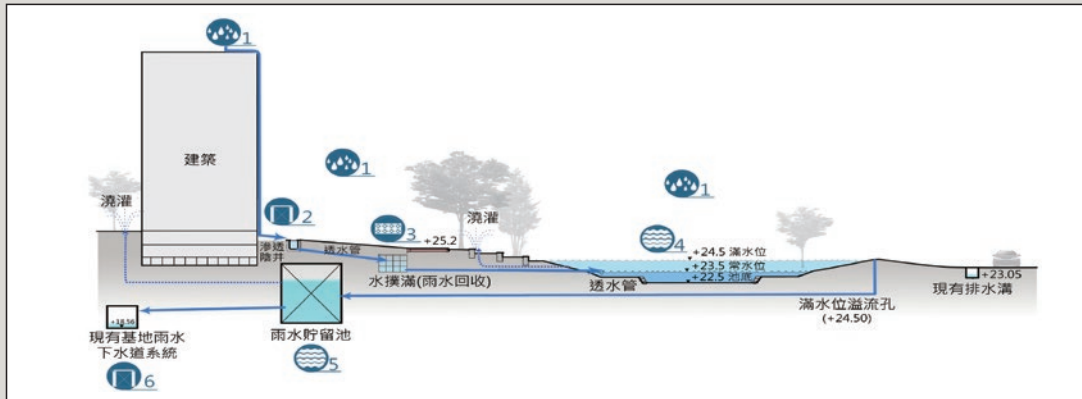


圖5 水資源回收再利用系統設計[2]

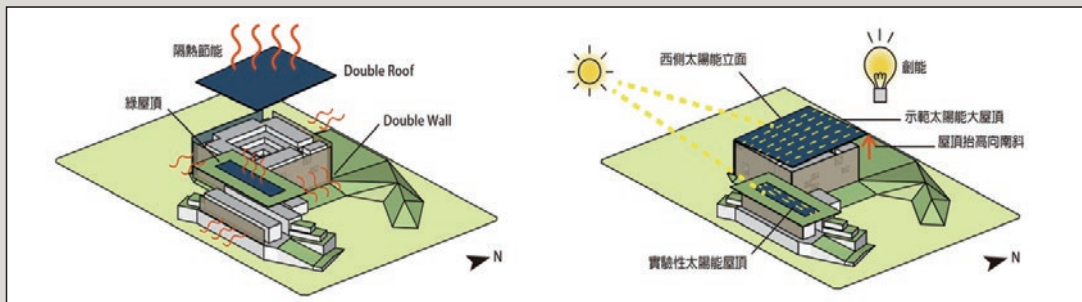


圖6 屋頂隔熱節能示意圖[2]

層牆，提供遮陽作用，第二層牆則作為室內空間分隔及防水處理的分界，而雙層牆中介空間大多規劃為陽台使用，提供半戶外活動空間亦增加對流效益。屋頂層則利用太陽能光電板組成之大屋頂，減少太陽直射，同時隔熱及中庭採光。透過雙層牆（Double Wall）、雙層屋頂（Double Roof）之外殼設計，提升遮陽隔熱與節能效果。並藉由屋頂太陽能光電系統之展示，期望作為「節能、創能」的最佳標竿(如圖6)。

三、智慧建築與綠色能源產業發展

本工程整合應用多項智慧化工程技術，配合建築機能及人員使用行為特性，事先考量使用者服務及維護管理，進行各系統整合及連動，強調建築之舒適、節能、防災、管理系統化及最佳化，進而提升生活效能及建築永續性，本工程八大指標得分數如表2，總得分為143分，依智慧建築評估分級為鑽石級(140分以上)

表2 智慧建築八大指標得分說明

指標名稱	配分	評估內容	本案得分
1. 綜合佈線	30	評估各項資訊控管系統之基礎管線與網路對各項系統之支援性、涵蓋率及維管便利性等。	27
2. 資訊通信	30	各項有線、無線、固定或無線通信，或是以語音、文圖、影像等各種型態之資通訊服務是否符合使用者需求以及其服務可靠性與方便性。	19
3. 系統整合	40	主要針對建築物內導入之各項系統之整合作為，主要在於中央監控系統的導入、監控界面的留設、web化操作管理的性能評估。	38
4. 設施管理	30	評估管理建物各種設備所採取的各種電腦化、科學化、系統化管理作為，如決策支援系統、維護規範、長期修繕計畫等。	17

指標名稱	配分	評估內容	本案得分
5. 安全防災	17	運用科技手法預防災害或降低損失，如防災中心、預警裝置、門禁辨識系統、停車管理與車位顯示系統、監視與求助系統連動等。	10
6. 節能管理	30	運用節能設備與技術降低建築耗能，如能源監視系統、採用高效能設備、環境感知與調控系統、太陽光電再生能源設備等。	22
7. 健康舒適	10	透過智慧建築規劃設計創造舒適便利環境，包括空間尺度、溫溼度與空氣品質調控系統等。	7
8. 智慧創新	13	鼓勵採用智慧建築標準符號，並提出創新技術與做法提升建築物智慧化程度。	3
總分	200	(黃金級：120-140分；鑽石級：140分以上)	143

(一) 太陽能光電及風力發電

回應全球能源轉型之進行，發展再生能源是國際的主流，也是因應減碳承諾的最佳選項[3]，本棟「綠能科技聯合研究中心」規劃有太陽能光電及風力發電系統，作為綠色再生能源的示範場域。太陽能光電發電系統分別設置於屋頂層及西南立面牆，屋頂層考量中庭自然採光之效果，採用透光型及不透光型光電板之特殊排列組合配置。初估年發電量約748,375度，每年減碳量約等同1座大安森林公園減碳排量。而具宣示性質之屋頂層小型風力發電系統，初估年發電量約400度電。

(二) 智能監控系統

為達到使用者便利性及智慧控制管

理，智能監控管理系統整合電力設備、照明控制、空調控制、智慧停車管理、門禁管理等21項子系統設備，提高集中管理、分散控制、設施安全、節省人力及節約能源的功能效益(如圖7)。另結合建築物能源管理系統(BEMS)，視電能需求情況，考量最佳排程策略，並記錄各個用電單位、公共用電及再生能源的即時與歷史發(用)電資訊，控管建築物電能使用量，期望達成用電成本最小化之目標。

參、施工管理

施工階段應用資訊化管理可對施工品質進行全面性管理，提升協調組織效率，本

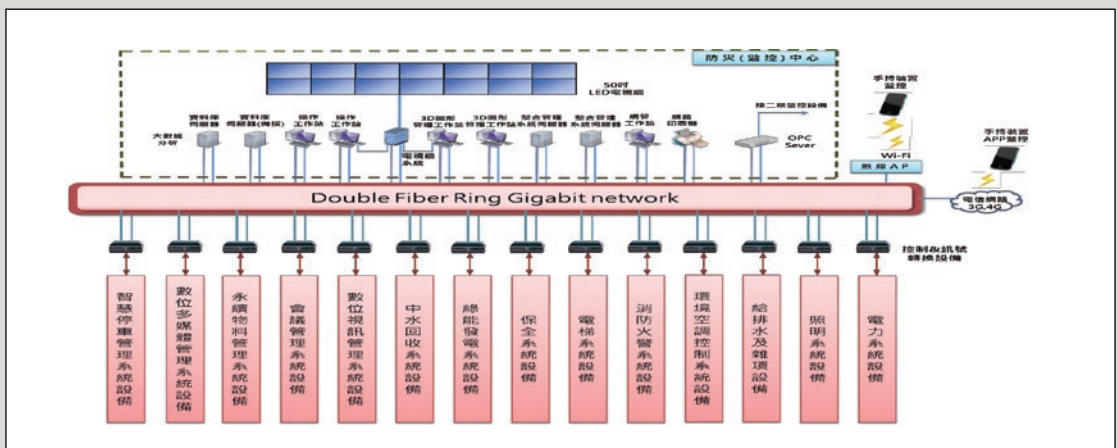


圖7 智能監控系統架構圖

工程運用建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)及專案管理資訊系統(Professional Management Information System, PMIS)確保資訊的即時更新傳遞及準確性,以預防為原則提前進行界面整合、檢討與解決衝突,確保工程順利進行,並建立施工過程紀錄資料庫,避免資訊之遺漏。

一、BIM於施工管理上之應用

本工程自規劃設計階段即建置建築資訊模型(BIM),輔助設計整合、圖說產製及數量計算。進入施工階段後,BIM模型檢核流程為依契約要求施工廠商接續發展與細化BIM模型,進行工項界面整合、衝突碰撞檢討、解決方案研擬、室內裝修材質展示、提供3D視圖等施工管理應用,召開檢討會議並定期提出階段成果報告;如有疑義則進一步回饋設計單位進行澄清釋疑,以利後續施工推動。

(一) 衝突檢討及碰撞分析

1. 結構體工程

結構體工程依施工廠商所提之BIM建置計畫,分為基礎結構(RC)、地下2層(RC)、地下1層(SRC)、1-2層(SC)、3層至屋突層(SC)五階段,建置結構構件之工

程資訊,包含構件尺寸、材料類型等,並檢視結構構件接頭之配筋碰撞。

於接頭處提前進行碰撞分析與排除,減少現場疏失,如圖8呈現的B1層鋼骨鋼筋梁柱接頭,為較複雜的情況,BIM可達到預警作為,現場則有賴具實務經驗的工程師,協調鋼構工班及鋼筋工班之施作工序與作業空間配合方式。

而結構體階段亦著重於樓板高低差與開口位置的合理性與施工性檢視,如圖9,要求施工廠商進行降版位置及多處剖面關係檢核,發現問題並提供建議解決方案(如圖10案例),供各方討論確認方案後,回饋修正BIM模型。

2. 機電工程

機電工程則配合結構體施作期程,整合給排水、電力、消防、空調等各系統,依樓層進行BIM建置與檢討,建置各設備、管件、連接至結構體之構架等,提供尺寸、長度、數量等工程資訊,並檢核管線連通性。

機電工程過去常以2D機電整合配置圖說(Combined Service Drawing, CSD)

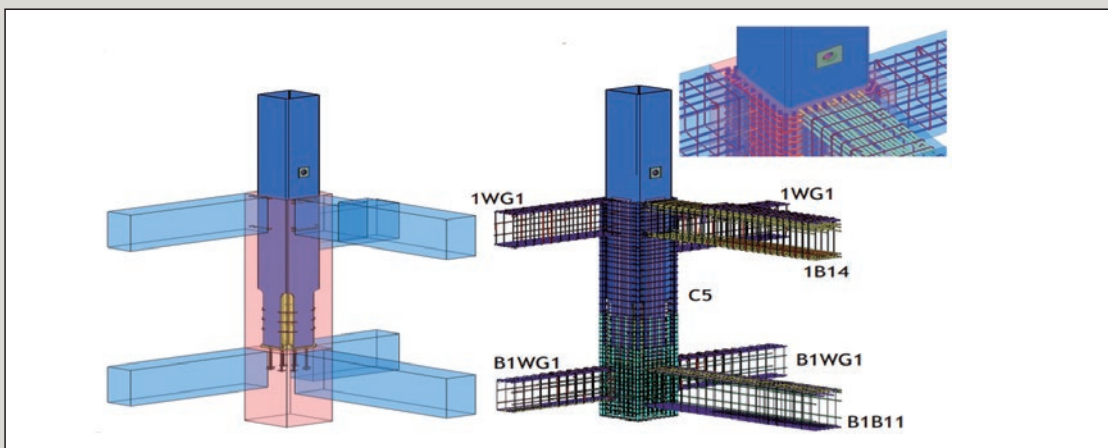


圖8 B1層鋼骨鋼筋梁柱接頭檢核(BIM模型由瑞助營造建置提供)

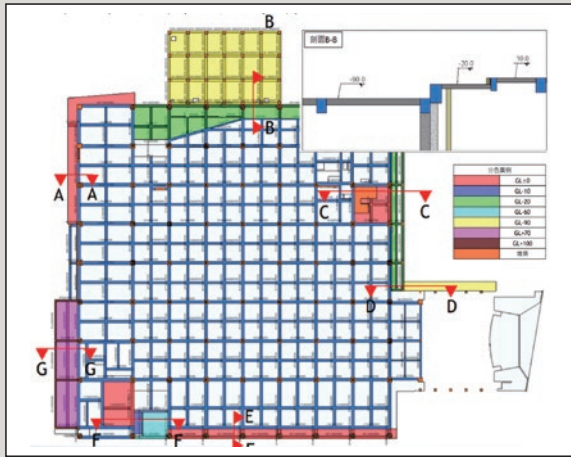


圖9 1FL降版位置及剖面關係檢核

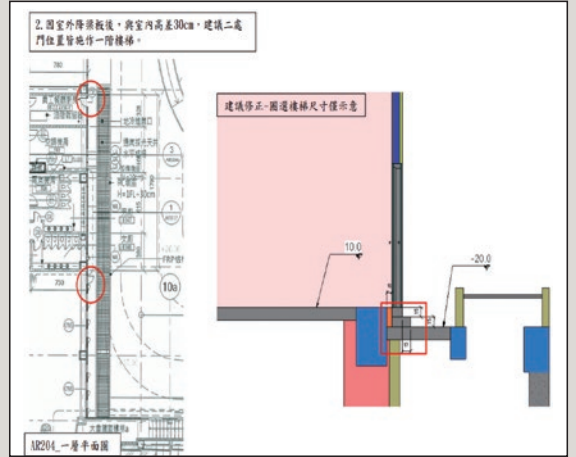


圖10 降板高程衝突檢討之建議調整方案

及結構機電圖說(Structural, Electrical, Mechanical, SEM)檢討。導入BIM應用後，如圖11，利用3D視覺化，易於檢查相關設備、管線與結構體的高程關係及衝突碰撞，提升界面管理整合的效率及正確性。



圖11 排水管衝突碰撞檢查並提出解決方案

3. 疑義類型分析

近年工程市場擴大、工程整體時程緊湊，面臨產業環境帶來之影響，規劃設計時程壓縮進而增加橫向整合之困難性，更有賴BIM模型發展細部檢討找出未完備處。本工程檢核所提出之釋疑類別包含圖資相關、碰撞、施工性、機能不足、界面衝突、結構等議題，透過提前提出衝突解決方案，協調各單位意見，

找出設計實踐及施工執行之平衡點。

(二) 強化施工安全管理

1. 施工動線及工序模擬

如圖12，本工程於鋼構吊裝作業前，預先採用BIM加入施作期程進行排程動畫檢核各階段吊車預定站立位置、吊臂範圍與結構穩定安全性，並提前檢討吊裝作業與其他工項之工序配合。

2. 施工架搭設規劃

透過施工架搭設模型，預先模擬其構築方式及法規面向檢討。考量自重及風壓風險，施工廠商提出分三階段組立搭設之方式，並檢核施工架與結構體之界面，如圖13，配合外伸結構牆而調整施工架位置及增加水平踏板及交叉拉桿。

(三) 施工執行成果對照及工程查驗

有關BIM的進階應用為加入時間維度，將3D模型結合施工進度排程，作為工序調整及工程進度追蹤的參考，本工程於開工至108年7月底止，已完成基礎、地下層RC結構體、鋼構吊裝組立、地上2-6層樓版施作，如表3，透過BIM結合預定施作時程模

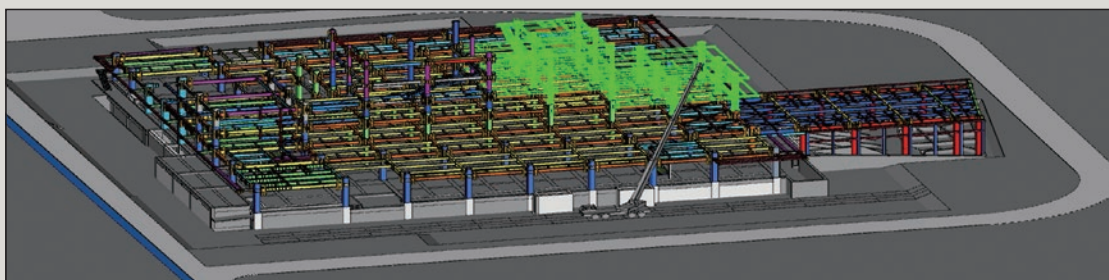


圖12 鋼構吊裝排程模擬檢核(BIM模型由瑞助營造建置提供)

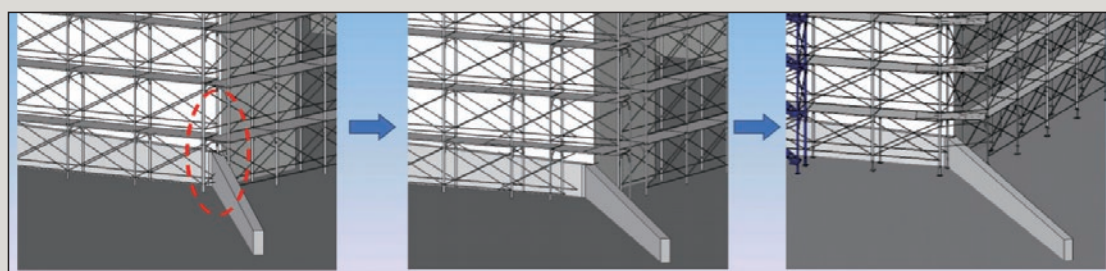
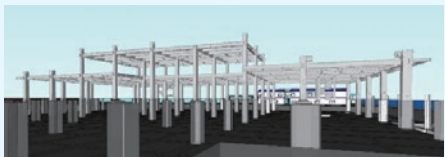

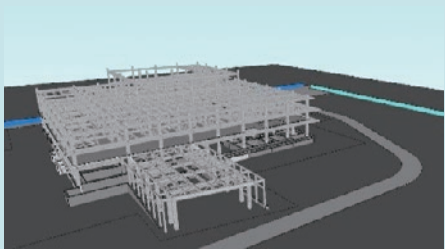

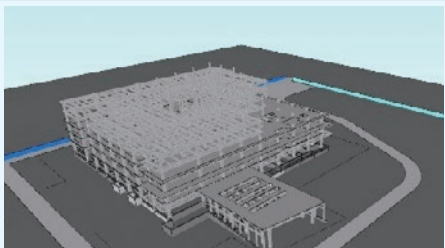

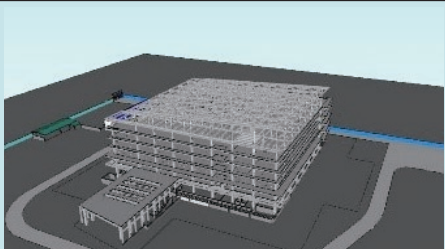

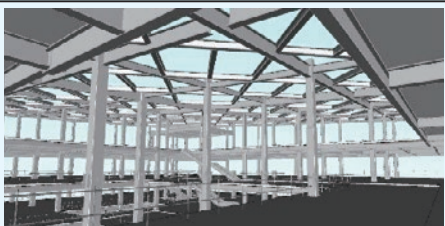



圖13 施工架與結構牆衝突檢討改善(BIM模型由瑞助營造建置提供)

表3 施工執行成果與BIM模型建置對照表(BIM模型由瑞助營造建置提供)

BIM模型預定進度	施工執行成果	說明
		基礎開挖
		筏基層結構施作
		B2層結構施作
		B1層結構施作

接下頁↓

BIM模型預定進度	施工執行成果	說明
	 2019.02.12	第一節次 鋼構吊裝
	 2019.03.25	第二節次及國際會 議廳鋼構吊裝
	 2019.04.23	第三節次 鋼構吊裝
	 2019.06.19	鋼構吊裝完成
	 2019.07.15	2-6F樓版 澆置完成

擬，有利於監造單位及業主更加視覺化的追蹤目前工程進度及了解預定施作進展。

二、PMIS於施工管理上之應用

本公司所開發之PMIS，為架構於網際網路上之專案管理資訊系統，提供資訊傳遞及溝通平台，輔助專案各參與單位進行工程管理之用[4]。本工程所採用之重點項目有四項：

(一) 會議行事曆管理

透過PMIS平台建立團隊行事曆，即時傳遞資訊通知與會人員，並可上傳會議討論資料預先檢核，提高管理溝通效率，並於會議後存查會議紀錄以追蹤辦理情形。

(二) 計畫圖文管理

施工階段的圖文數量龐大，PMIS可提供圖文資料及版次管理，包含契約圖說、變更設計、施工圖說進版等，亦可建立施

工廠商送審資料與施工查驗資料存查機制，利於記錄討論歷程及資料檢索，如圖14。另外，運用管理系統追蹤疑義歷程，能確保施工過程之疑義能有效受到管制及解決，有利推展後續工項進行。



圖14 疑義歷程紀錄管控及施工查驗資料存查

(三) 工程影像資料庫

建立影像資訊儲存共享平台，施工廠商每日上傳施工照片、監造單位查驗照片存查、工程重要事件照片等，作為施工過程紀錄，如圖15。

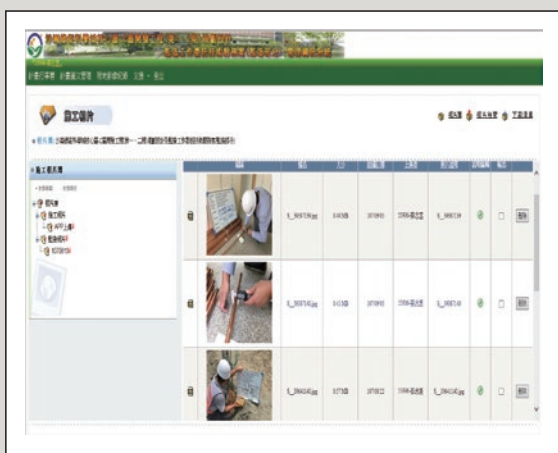


圖15 工程影像資料庫

(四) LINE訊息管理及備份

LINE為現今常用之工作聯繫及即時追蹤控管之通訊軟體之一，PMIS的LINE訊息管理功能，可記錄每日龐大的訊息量，並同步備份工作群組中的照片及檔案資料，避免訊息與資料之遺漏。

肆、結語

「永續建築」的實踐包含減碳、節能、再利用、永續建材、低環境負荷等多面向思考，並確保建築之舒適性、健康性、實用性。沙崙綠能科技聯合研究中心作為綠能研究之示範建築，採用多項前瞻規劃設計手法，達成創能、節能、儲能和系統整合的目標。施工階段則落實永續思考，應用BIM及PMIS進行有效施工管理，提前發現及解決問題，持續溝通協調，減少現場施工錯誤以降低成本浪費，並強化施工安全管理，完工後也將取得鑽石級綠建築標章及鑽石級智慧建築標章，期望作為國內永續建築的標竿案例。

參考文獻

1. 「科學城低碳智慧環境基礎建置-公共建設部分」，交通部、內政部(2019)
2. 都市設計審議報告書(定稿版)，台灣世曦工程顧問股份有限公司、九典聯合建築師事務所(2018)
3. 張素美、洪嘉業、楊秉純，「WEO2018 強調：靈活調度、加速減碳將是未來挑戰」，經濟部能源局-能源報導(2019)
4. 戴期甦、彭子斌，「專案管理資訊系統」(PMIS)，營建管理季刊，第38-45頁(2002)

隧道襯砌混凝土 養護環境之監測 —以蘇花改谷風 隧道為例

關鍵詞 (Key Words)：泌水率 (Bleeding Rate)、蒸發率 (Evaporation Rate)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／蘇花改監造專案／專案經理／周高生 (Chou, Kao-Sheng) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／蘇花改監造專案／專案經理／王復漢 (Wang, Fu-Han) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／蘇花改監造專案／專案工程師／陳明宏 (Chen, Ming Hung) ❸



摘要

依據台9線蘇花公路谷風隧道新建工程補充施工說明書第02425章隧道襯砌混凝土第3.2施工方法之3.2.2(7)襯砌混凝土:「養護方法應依第03053章水泥混凝土之一般要求中噴水規定辦理。若混凝土澆置之環境條件符合ACI 308之條件時，則可不採行養護工作」。

鑑此，本文以蘇花改谷風隧道為例，依據ACI 308 第四章混凝土澆置之環境監測，於現場量測混凝土溫度、環境溫度、環境濕度、環境風速再由ACI 308 經驗列圖尋得混凝土之蒸發率，進而監測混凝土不採行養護工作之符合性，以供工程界參酌。



Monitoring of Curing Conditions for Tunnel Lining Concrete - Taking the Gufeng Tunnel in the Suhua Highway Improvement Project as an Example

Abstract

According to Section 3.2.2 (7) Construction Methods for Lining Concrete in Chapter 02425 of the Supplementary Construction Specifications for the New Gufeng Tunnelling Works on the Suhua Highway of Provincial Highway 9, the content of which is quoted as: "The curing method shall be handled in accordance with the spray rules in the General Requirements for Cement Concrete in Chapter 03053. Should the environmental conditions for concrete placement meet the requirements prescribed in ACI 308, curing work nonetheless may not be carried out."

In view of the above, this paper thus takes the Gufeng Tunnel in the Suhua Highway Improvement Project as an example to measure concrete temperature, ambient temperature, ambient humidity and ambient wind speed on site based on Chapter 4 Environmental Monitoring of Concrete Placing specified in ACI 308, the evaporation rate of concrete may subsequently be acquired by means of experience chart in ACI 308 to further have the conformity of the concrete without curing work monitored for future consideration by the engineering field.

壹、前言

隧道工程襯砌混凝土一般不進行混凝土養護原因探討：「隧道工程襯砌構造大部份成圓拱弧形及其上端面緊貼原開挖隧道面無法蓄水覆蓋養護，且下端面鋼模包覆無法執行養護，依據各階段養護方式包括噴霧、液狀防止蒸發劑、飽和粗麻布，蓄水池等不易實施；若用規定噴水噴霧方法，該噴霧法應指向混凝土表面的上方(上方緊貼原開挖隧道面)，其目的是增加空氣濕度並降低蒸發速率而不是逕向混凝土表面噴水，且此噴水行為亦易造成隧道通道泥濘增加施工難度、鋼模生鏽且養護效果不佳」。

綜此，本蘇花改工程隧道襯砌施工時執行養護環境監測方案，確認成果其結果符合ACI 308混凝土環境條件規定，故可不採用養護工作，混凝土亦如質無收縮裂縫情境發生，工進亦如期完成且彰顯降低養護成本等效益。

貳、混凝土養護規定

一般混凝土養護需歷時7天，大致分兩種養護情境：一種是具連續性或固定頻繁的蓄水池，霧狀，蒸汽或飽和的覆蓋物(如粗麻布、棉墊，地毯，沙子、稻草或乾草)；另一種是減少混凝土水分流失所採用液膜養護劑；養護時機及方法又需備有①噴霧、液狀防止蒸發劑之初始養護，②噴塗、液膜養護劑之中間養護以及③濕覆蓋物、粗麻布、蓄水池、噴霧及液態膜養護劑之最終養護等規定。諸如上述養護規定嚴謹且耗時，然養護不當對混凝土強度、滲透性、耐磨性、體積穩定性、抗凍與解凍性等性能有顯著影響。

參、ACI 308養護環境監測

目前工程界很少引用此ACI 308養護環境之監測。今依據施工說明書隧道襯砌混凝土養護規定以及ACI308條件執行養護環境之監測，進而判定可不採用養護工作之符合性驗證。影響新拌混凝土表面水蒸發率之因素為混凝土拌和溫度、施工特性、表面結構和周圍環境等。本文引用國際預拌混凝土協會(NMRCA 1960)重組模式化諾模圖(Nomograph)(詳圖1)，監測塑性

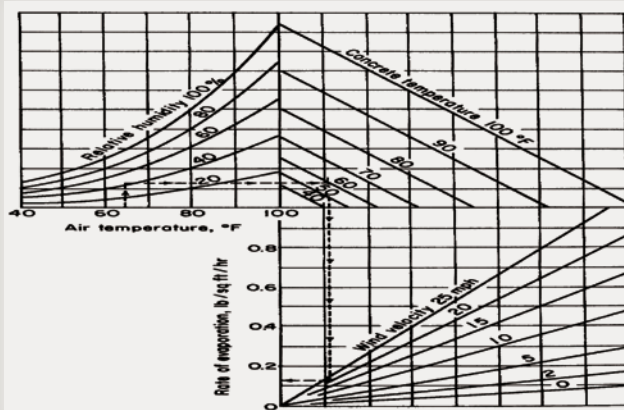


圖1 國際預拌混凝土協會重組模式化諾模圖
(Menzel 1954; NMRCA 1960)

收縮裂縫且假設乾燥表面開始蒸發速率會大於泌水率。於19世紀初[Brutsaert 1982; Veihmeyer 1964; Uno 1998]就提出蒸發率近似法。1954年和1955年初工作報告[Menzel 1954; Lerch 1957]泌水率值1.0 kg/m²/hr常設成臨界蒸發速率。對於摻矽灰高性能混凝土之臨界蒸發率值為0.25 kg/m²/hr[Virginia DOT 1997]。而一般混凝土臨界蒸發率從0.50到0.75 kg/m²/hr[Krauss和Rogalla 1996]。ACI 308 NMRCA諾模圖環境監測是指環境蒸發特徵，並非實際估計水從混凝土表面流失的速度，其經驗式監測量測範圍最高混凝土溫為100°F(37.8°C)、最大風速為25mph(11.2m/s)。諾模圖最常見錯誤是測量蒸發表面風速，高於混凝土蒸發表面上方0.5m以外的風速因而所造成誤差，因蒸發環境空氣具有高度變異性、風速剖面、測量高度導致高估蒸發率、且混凝土澆置在很短時間所得的平均風速起伏變異很

大等。因此，風速現場測量監測蒸發率可能會產生誤差，故諾模圖產生之估計值會與結構物實際蒸發率可能存在25%之不確定度。

一、養護環境監測方式：

依ACI 308 NMRCA諾模圖環境監測計有①混凝土表面的空氣溫度②混凝土表面養護水的溫度(以混凝土中心溫度及表面溫度替代) ③混凝土表面的相對濕度④混凝土表面的風速等項目。養護環境監測方式如下：

- (一) 空氣溫度：在陰涼處量測，應取自在混凝土蒸發表面上方1.2m至1.8m處。
- (二) 混凝土表面養護水：等同於混凝土中心溫度及表面溫度替代。
- (三) 相對濕度：在陰涼處測量，應迎風(逆風)在蒸發表面上方1.2m至1.8m處。
- (四) 風速：應在混凝土表面上方0.5m的高度測量。

二、尋求推估蒸發率步驟

依據ACI 308 NMRCA Nomo-graph尋求推估蒸發率步驟(詳圖2、圖3執行照片)，步驟如下：

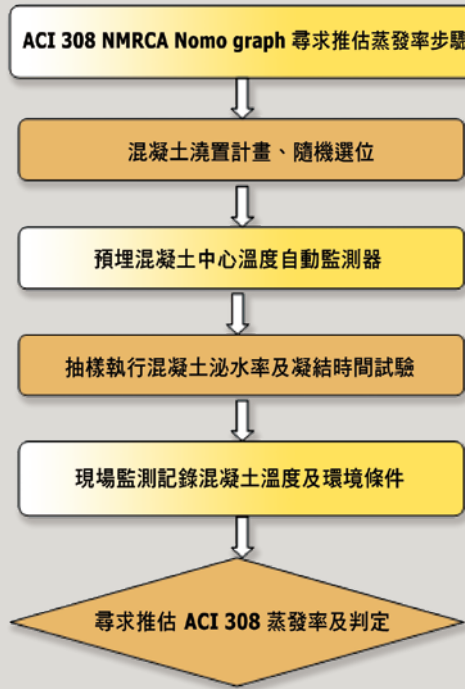


圖 2 ACI 308 NMRCA Nomo graph 尋求推估蒸發率步驟圖

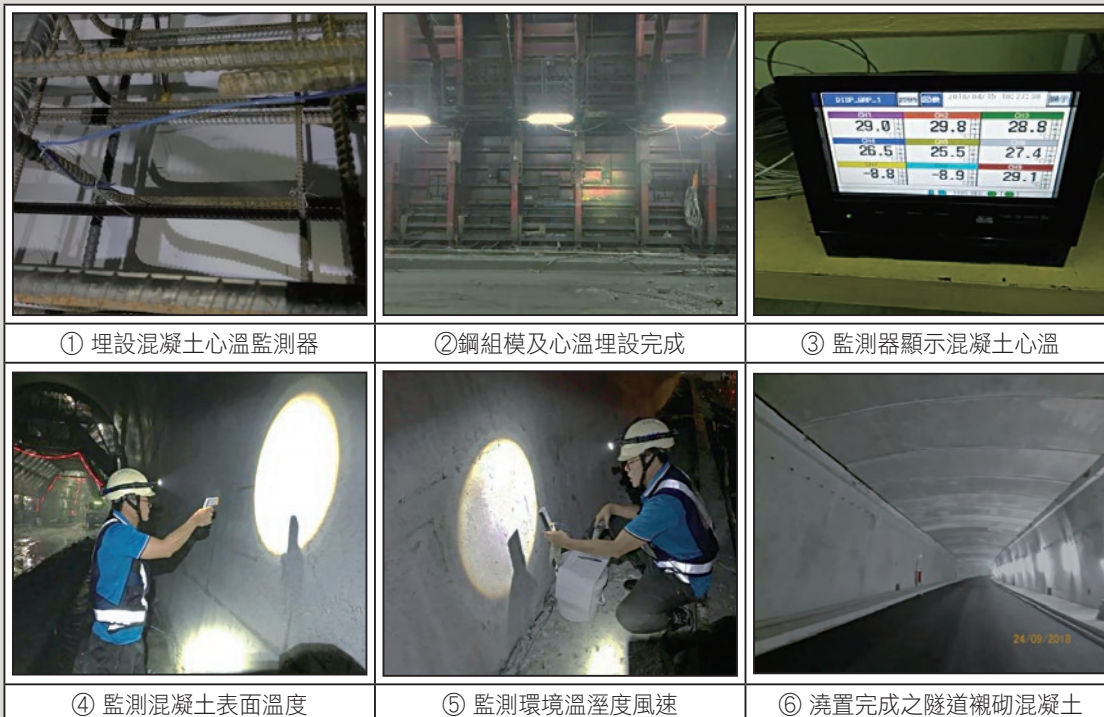


圖3 現場環境溫溼度風速及混凝土心溫表面溫度監測照片

(一) 步驟一、混凝土凝結時間試驗：

依據CNS 14220混凝土凝結時間試驗測試混凝土之初、終凝結時間，經各3次凝結時間試驗結果平均值，第①組的初凝時間為06時：55分，終凝的時間為10時：10分、第②組的初凝時間為06時：40分，終凝的時間為09時：15分。

(二) 步驟二、混凝土泌水試驗：

依據CNS 1235混凝土泌水試驗，經隨機抽選結構位置SN2 S290-2(13K+313~13K+301)隧道襯砌混凝土，執行檢測3次泌水率試驗，其結果分別為0.22(kg/m²/hr)、0.21(kg/m²/hr)、0.24(kg/m²/hr)(詳圖4)。本隧道襯砌混凝土非隸

屬高性能自充填自流的混凝土，是具較高膠結材及高坍流度混凝土，其蒸發率介0.45-0.65 kg/m²/hr間，泌水試驗因①受限於試驗環境溫度21°C與結構現場平均環境溫度29°C有所差異、②試驗混凝土亦侷限暴露面積0.0707m²與現場隧道襯砌混凝土實際面積差異頗大、③且現場環境風速等條件不同、④以及抽選代表數量不足等因素，造成泌水試驗不確定度誤差存在。

(三) 步驟三、監測混凝土之蒸發率：

監測隧道襯砌混凝土蒸發率，監測結果與選定位置(詳表1)，監測混凝土之蒸發率步驟如下：

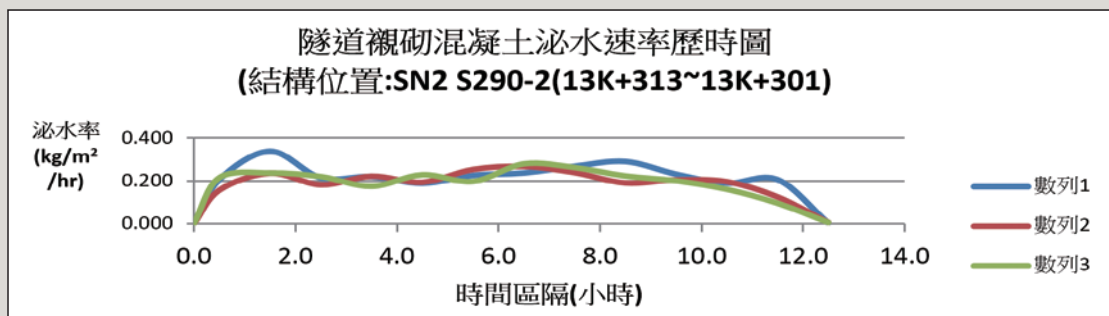


圖4 混凝土泌水率歷時圖

表1 監測隧道襯砌混凝土蒸發率結果與選定位置

編號	結構位置	蒸發率(kg/m ² /hr.)					
		依ACI 308現場推估			通常混凝土 臨界值	一般混凝土 臨界值	高性能混 凝土臨界 值
		平均值	最大值	最小值			
①	隧道北上線NS7襯砌 N213-2 (10k+366.6~378.6)	0.32	0.39	0.24	≤ 1.0	0.50-0.75	≤ 0.25
②	隧道北上線NN1襯砌 N300-1 (13k+662-650)	0.27	0.49	0.15			
③	隧道南下線SN2襯砌 S305- 2 (13k+843-835)	0.31	0.49	0.20			
④	隧道南下線SN2襯砌 S291- 2 (13k+349-337)	0.29	0.49	0.20			
⑤	隧道南下線SN2襯砌 S305- 1 (13k+835-823)	0.23	0.49	0.20			
⑥	隧道北上線NN1襯砌 N299-3 (13k+650-638)	0.25	0.49	0.15			
⑦	隧道北上線NN1襯砌 N299-2 (13k+638-626)含 消防凹槽A614	0.21	0.34	0.15			

1. 機隨抽選正進行工進隧道北上線4處及隧道南下線3處共7處。
2. 於每處隧道襯砌之左、右邊各預埋設3條共6條混凝土內心溫度監測器。
3. 規劃混凝土澆置計畫。

4. 於澆置完成逐一依據上述ACI 308養護環境監測量方式執行監測。
5. 紀錄並繪製各監測分析圖表(詳圖5-8)。
6. 依據ACI 308 經驗圖，尋求推估混凝土之蒸發率。

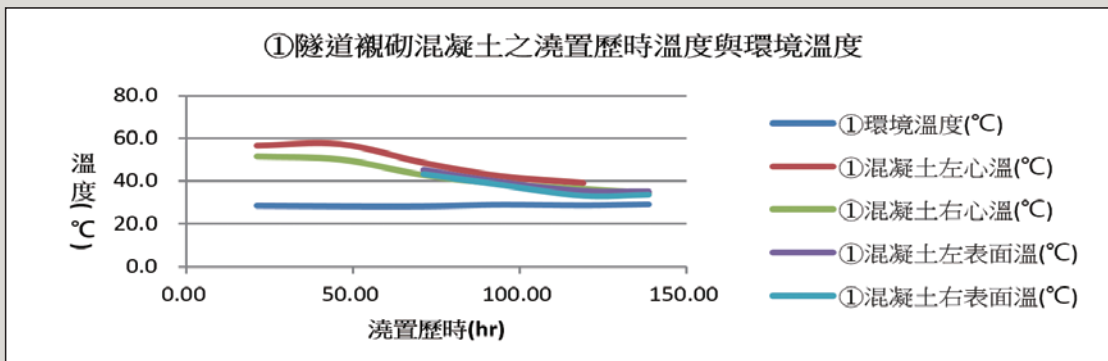


圖5 隧道襯砌混凝土之澆置歷時溫度與環境溫度圖

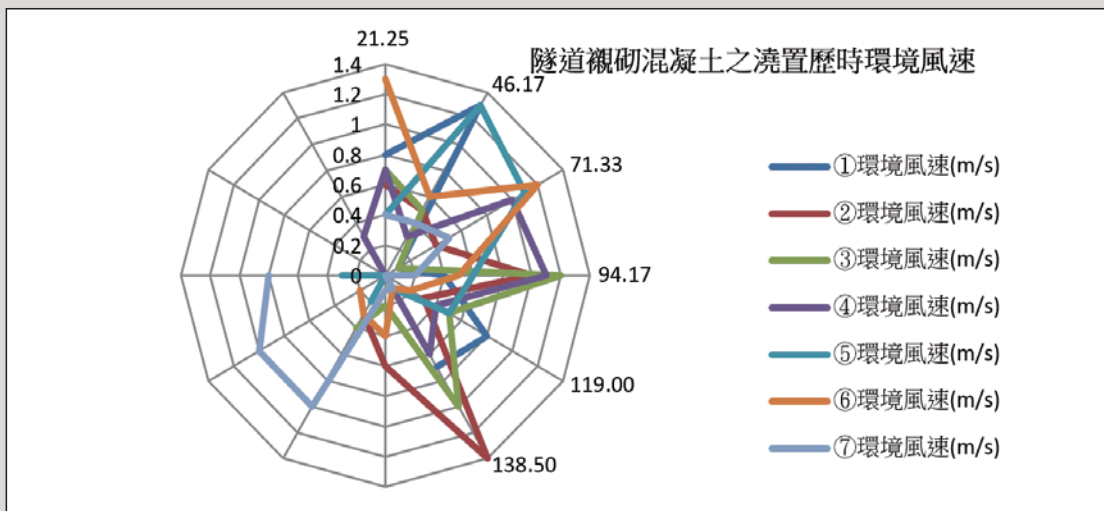


圖6 隧道襯砌混凝土之澆置歷時環境風速圖

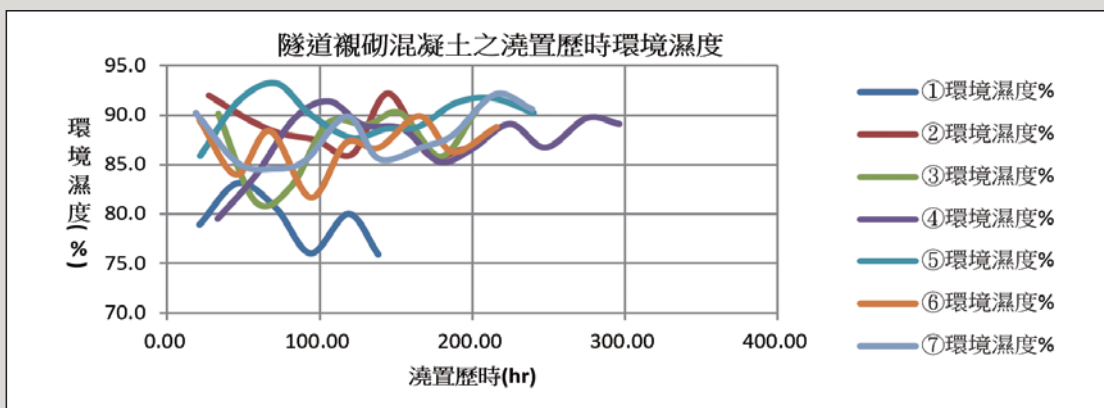


圖7 隧道襯砌混凝土之澆置歷時環境濕度圖

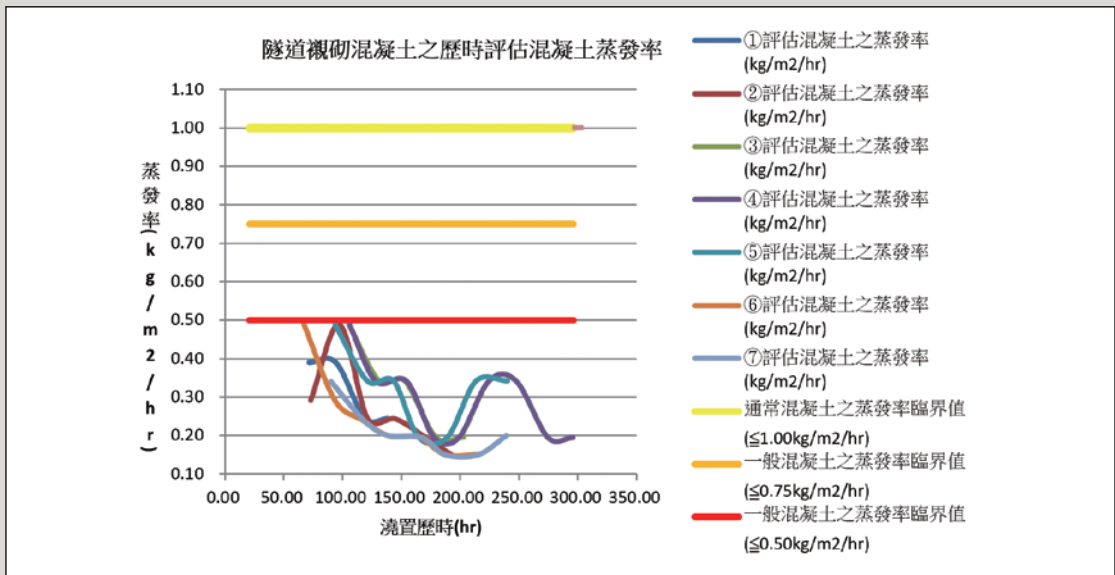


圖8 監測隧道襯砌混凝土之歷時蒸發率圖

肆、結語與建議

一、結語

- (一) 由步驟二、混凝土泌水試驗得知，泌水率分別為0.22(kg/m²/hr)、0.21(kg/m²/hr)、0.24(kg/m²/hr)，試驗泌水率小於一般混凝土之規定泌水率 0.50 ~ 0.75 kg/m²/hr，且相近於與含有矽灰高性能混凝土臨界值蒸發率0.25 kg / m² / hr。
- (二) 由表1、圖8得知，ACI 308諾模圖監測之隧道襯砌混凝土蒸發率最小值0.15 kg/m²/hr，最大值0.49 kg/m²/hr。小於通常混凝土臨界值泌水率1.0 kg/m²/hr，亦小於一般混凝土臨界值0.50 kg/m²/hr~ 0.75 kg/m²/hr；又由圖6、7得知，平均相對濕度在80%-90%間及風速在1.5m/s以下，隧道混凝土處在溼度高且風速小之情境下，確認混凝土不致產生塑性龜裂，經監測結果符合ACI308條件規定得免需進行養護工作。

- (三) 本工程隧道襯砌混凝土依據ACI 308執行養護環境監測，結果符合ACI 308環境條件規定，故可不採行養護工作，排除未進行養護而產生縮收裂縫之疑慮，更遑論工程品質如期如質，且降低工程預算養護成本效益是謂精進作為，盼引工程界參酌。

二、建議

- (一) 建議混凝土澆置前預埋溫度監測器，若養護水溫與混凝土溫度差異超過11℃，可能導致溫度梯度之應力開裂風險。(See also discussion in Mather 1987)
- (二) 建議依ACI 308建置臨界蒸發率之監測(即是一般混凝土規定泌水率臨界值0.50 to 0.75 kg/m²/hr)，以茲更準確判定是否隸屬非需養護工作之依據。
- (三) 諾模圖監測源自經驗式，其最高混凝土溫度100°F(37.8°C)、最大風速為25mph(11.2m/s)之監測受限範圍，以及

風速監測產生誤差等因素，致諾模圖產生之估計值與結構物實際蒸發率有25%不確定度存在，引用仍需謹慎。

參考文獻

1. ACI 308R-01 Guide to Curing Concrete Reported by ACI Committee 308。
2. ACI 211.1-91(Reapproved 1997)Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete。
3. CNS14891(2005)混凝土及混凝土用粒料詞彙。
4. CNS14220(1998)混凝土凝結時間試驗法。
5. CNS12891(1998)混凝土配比設計準則。
6. CNS1235(1998)混凝土泌水試驗法。
7. 行政院公共工程施工綱要第03050章(v11) 混凝土基本材料及施工一般要求。
8. 行政院公共工程施工綱要第03390章(v5)混凝土養護。



蘇花公路改善工程觀音隧道之施工管理與困難案例處理之經驗

關鍵詞(Key Words)：蘇花公路改善工程(The Su-Hua Highway Improvement Project)、南澳至和平(Nan'ao to Heping Section)、隧道(Tunnel)

交通部公路總局／蘇花公路改善工程處／處長／邵厚潔 (Shau, How-Jei) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／T3監造專案／專案協理／黃金田 (Huang, Jin-Tien) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／蘇花改監造專案／專案經理／周高生 (Chou, Kao-Sheng) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／蘇花改監造專案／工務所主任／吳慶輝 (Wu, Ching-Hui) ❹

摘要

蘇花公路改善工程針對路段災損阻斷及交通肇事頻率高之路段進行改善，採雙向雙車道規劃為原則。其中蘇花改南澳至和平段工程共20公里，主要係改善易坍方阻斷路段，重要關鍵路段為觀音及谷風隧道佔12.6公里，沿線之工程地質性質複雜，除有主要的岩性為片岩及大理岩外，其中夾雜有許多小型斷層破碎帶以及沿葉理發育之剪裂帶，施工不易須很謹慎，係為整體計畫成敗的關鍵。本文主要敘述觀音隧道工程之施工管理與實際遭遇施工困難處理案例之經驗，以分享地質複雜之長隧道施工經驗，做為日後施工之參考。



Experience in Construction Management and Difficult Case Handling of Guanyin Tunnel in Suhua Highway Improvement Project

Abstract

The Suhua Highway Improvement Project is principally aimed at improving and bypassing dangerous road sections where are often closed due to natural disasters and with high-frequency traffic accidents by means of adopting two-way two-lane planning as the principle. Of those sections, Nan'ao-Heping has a total length of 20 kilometers, mainly to improve road sections that are easily blocked by collapse. The key road sections in which are Guanyin Tunnel and Gufong Tunnel, which account for 12.6 kilometers in total. The engineering geological properties along the said line are complex, in addition to the predominant lithology composed of schist and marble, in which are also interspersed with many small fault fracture zones and shear zones along the development of the foliation. Not only does the construction within is consequently extra troublesome that redoubled caution becomes necessary, but what counts as the key to the success of this overall project.

This paper mainly describes practical experience in construction management and case handling of actual construction difficulties encountered over Guanyin Tunnelling Works, for the purpose of sharing the construction experience in a long tunnel with geological complexity, and is expected to serve as a reference for future construction.

壹、前言

蘇花公路改善工程先行推動蘇澳至東澳、南澳至和平及和中至大清水等三個路段(詳圖1)，改善總長度為38.8公里。蘇花公路改善工程之要徑為最長之觀音隧道與相鄰之谷風隧道工程，由60公尺長之鼓音橋(詳圖2)將兩座隧道連結成相當於12.6公里的長隧道，完工後將是國內僅次於雪山隧道之第二長公路隧道，為整體計畫之關鍵工程。

本觀音隧道及谷風隧道工程路段係位於變質岩區，地質複雜且多變，施工困難度高，工程於2011年11月開工，施工期間利用舊北迴隧道開挖橫坑打設至主線，以增加工作面縮短施工工期，目前觀音隧道(詳圖3)施工進度已進行隧道內AC鋪築及標線施工完成。

貳、施工管理

一、施工限制條件及風險評估

依據台灣世曦工程顧問(股)公司設計單位所提供武塔至谷風隧道的地質狀況圖，顯示主要為片岩及大理岩並有許多斷層破碎帶、剪裂帶與可能湧水之路段，皆為施工須特別注意之區域(詳圖4)；事實上圖5表示了觀音隧道旁沿線的鐵路隧道重要施工災害紀錄位置，可見施工確實相當困難。觀音隧道路段亦遭遇觀音斷層、樟樹山斷層等地質弱帶(詳圖6及7)。綜上隧道施工時皆為高風險作業項目，需預先擬定處理流程小心施工，隨時處理緊急狀況以完成通過。

(一) 隧道高風險評估管控及施工準備

本標路線需穿越樟樹山斷層、觀音斷層及其破碎帶，開挖面將會遭遇湧水坍塌等問題，為降低施工風險需進行高風險作業項目管制。經提報高風險施工計畫書與業主召開管制會議討論隧道施工中安全，斷層區請承商施作RIP地電阻、TSP隧道內震測探查及施作長距離不取岩心探查及高風險管控期間請承商準備好高風險備品，監造單位配合承商進行管控及備品檢查，以利工地遭遇危害時使用。



圖1 蘇花改工程範圍



圖2 谷風觀音隧道間鼓音橋施工空拍照



圖3 觀音隧道北洞口施工完成空拍照

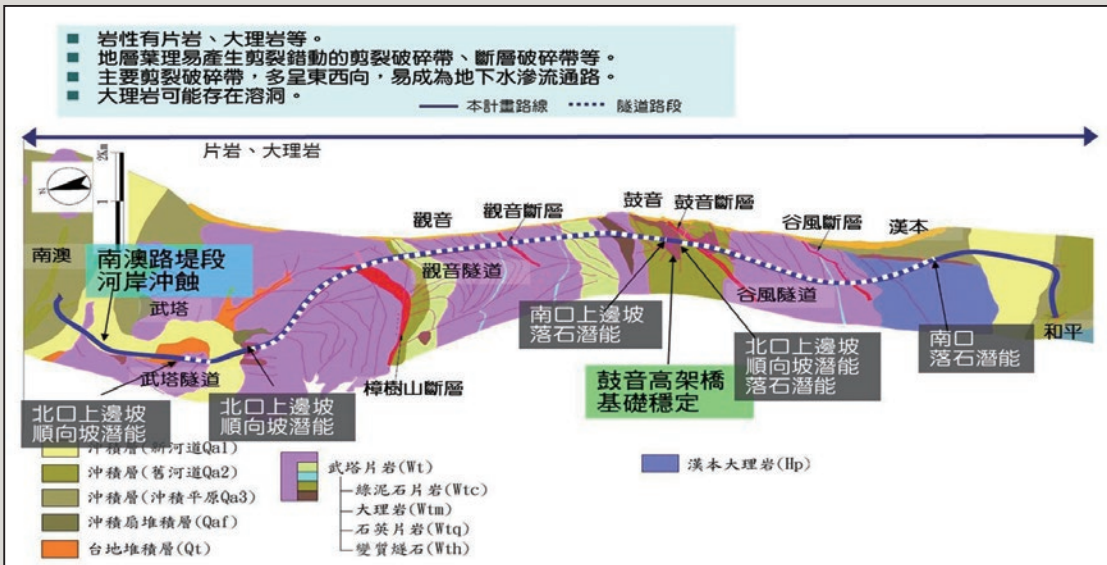


圖4 武塔至谷風隧道地質狀況圖

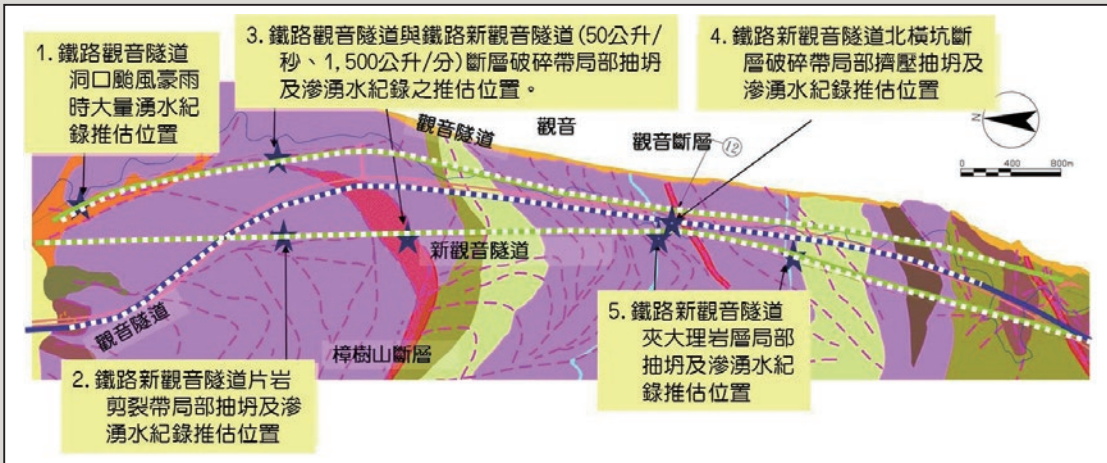


圖5 設計單位整理B區觀音隧道旁沿線的鐵路隧道重要施工災害紀錄位置



圖6 現場近似觀音斷層地質光滑面



圖7 地質師現場評估與工程處長巡查

(二) 觀音隧道B2標施工高風險管控項目

1. 北上線4k+060、南下線4k+150跨越東改鐵路隧道淨距約31m。

2. 北上線7k+440、南下線7k+415穿過東改鐵路北橫坑淨距約2m。
3. 經過樟樹山(4k+232~4k+592)及觀音斷層(7k+630~7k+700)之施工階段。
4. 北上線里程6k+100出水量達1300L/min。
5. 南下線里程6k+158~6k+190通過湧水破碎帶。
6. 北上線里程約3k+652.2出水量大於1800L/min。
7. 新增7k+890通風管道豎井施工等。以上均順利通過完成才解除管制。

二、施工管理機制

基於全方位的思考，本案之規劃設計隧道須兼顧高風險作業與環境保護，施工亦須配合，以下說明觀音隧道施工管理一些特點。

(一) 利用舊有台鐵北迴鐵路觀音隧道開闢橫坑，加快上半開挖速率及運輸

將舊北迴鐵路觀音隧道改善為混凝土隧道運輸便道，並增加四個擴挖段與設置紅綠燈及秒數燈管制運輸及人員車輛通行，利用台鐵舊北迴觀音隧道開闢施工橫坑至主隧道後增加隧道工作面同時施工。有別一般隧道僅能採用雙向工作面開挖，本標利用施工橫坑打設至主線，由車行聯絡道延伸到南下線可多處工作面同時施工，可加速隧道上半施工貫通，使工作面有效展開加快隧道開挖完成速率，以利隧道可提早貫通。

(二) 做好觀音北口崩積層邊坡格樑、地錨保護及監測施工，確保安全

1. 觀音隧道北口屬崩積層，故先行試錨確認後進行邊坡格樑、地錨保護，並作隧道監測儀器設置及監測，保障施工期間

隧道洞口安全。

2. 掌握施工過程中颱風豪雨或地震可能造成的邊坡滑動、主體結構變化、土壤中變化、地表沉陷、水位變化與地錨錨碇荷重變化等安全監測系統觀測工作，以利日後進行施工安全分析。

(三) 推行隧道全能作業班與管控隧道炸藥使用、運輸與鑽炸施工

為提升隧道開挖效率，推行隧道全能作業班，由工程處舉辦實務教育訓練，使開挖及支撐作業工作均可由同一工班執行，並且亦嚴格管控炸藥庫及炸藥運輸、使用經由礦務局專業受訓合格之火藥庫管理員及爆破專業人員執行。

(四) 隧道開挖面之前進地質探查作業及地質師評估

由地質師依地質開挖面實際施工情形(詳圖7)及不取心探查資料研判提出地質風險評估建議，提醒工班施工時注意將面臨之施工風險，增加施工安全保護措施，確保施工輪進開挖時施工人員安全。

(五) 隧道施工山形圖及預定工作面排程及每週施工進度檢討會

利用隧道施工山形圖及貫通時程管制表配合承商所掌握的人、機、料充分支配運用，排出各工作面預定工期及週進度與月進度，採PDCA方式每週由業主主持經費檢討、進度會議及監造月施工檢討會討論輪進執行情形，管控承商施工至完成目標。若承商現有人、機、料無法達成目標，則請承商提出改善措施並追蹤檢討，排出下兩週預定進度以利執行管控。

三、執行成效

如前項所述之施工管理機制確實施行，另

觀音隧道執行成效

Happiness of Highways

利用舊北迴通道打設橫坑至主線，以縮短主線貫通期程

觀音隧道進度圖

日期：105.05.03



B2標觀音隧道 北上線上半斷面(全線)104年11月14日貫通。
南下線上半斷面(全線)105年05月03日貫通。

圖8 觀音隧道上半斷面貫通執行進度圖

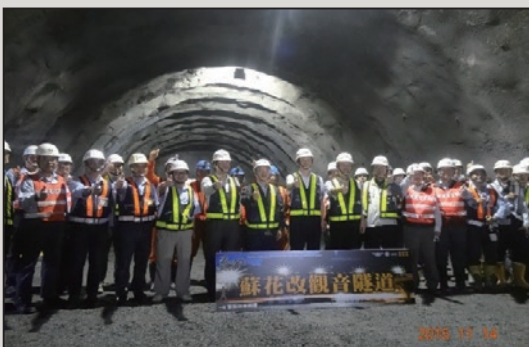


圖9 觀音隧道北上線全線貫通相片



圖10 觀音隧道全線(南下線)貫通相片

外補充了主線提早處理高風險之樟樹山斷層區，增加主線隧道上半部開挖工作面，終能確使觀音隧道如期如質如度完成貫通(詳圖8~10)。

參、遭遇施工困難案例處理

一、觀音隧道上半開挖遭遇較大湧水及抽坍施工案例

觀音隧道施工時遭遇地質弱帶與湧水較大的施工案例彙總統計表如表1及圖11所示。

二、表1之特別抽坍及湧水案例說明

(一) 表1序號3通過觀音斷層區於NS5第T124~129輪 7k+757.9處發生抽坍案例

1. 地質狀況：岩性為黑色片岩為主，偶夾石英脈，不連續面發達，片理摺曲，岩體破碎夾泥，開挖面剪裂帶，寬約5-15cm。

2. 發生原因及現象：第一次抽坍災害發生原因說明如下：T124~T129開挖時，

表1 觀音隧道較大湧水及抽坍統計表

序號	里程位置	發生抽坍時間	湧水及抽坍情形說明	處理天數
1	舊北迴觀音隧道E區 E12.E13修挖側壁時發生抽坍	第一次101.5.28 23:50 第二次101.5.31 22:40	第一次抽坍約45立方，巨石最大者高2米長寬1.5米。 第二次抽坍8*5*6M，約240立方。無出水	5天
2	SS2工作面T204~T209 輪(2K+850)	102.4.10. 00:10	T204~T209(2K+850.3~861.3)LT側約09~12點鐘方向發生半球型抽坍(抽坍範圍約長11M*深7M*高10M)	15天
3	NS5工作面T124~T129 輪(7K+752)	第一次102.4.20 20:00 第二次102.4.25 07:50	第一次抽坍約350立方。有湧水 第二次抽坍約 63立方。	22天
4	7k+890通風機房 NN7T174-T185坍落	102.07.27 17:30	NN7_T174-T185(sta:7K+898.2~881.6)長16.6m 寬8.0m;深度約6~8m呈錐狀坍落，土方量約400m ³ ， 整體微滲水約小於10 L/min。	54天
5	NN3-T374~375輪 (6K+112.9-6K+111.7)	102.12.12~102.12.27發生大湧水 (1141L/min~1300L/min) 102.12.20達1395L/min	102.12.25由工程處召開湧水、抽坍及水平探查檢討會議列為高風險管控至103.2.21開挖面水量已下降至329 L/M，建議解除R2風險管控。	72天
6	NS1-T653~T654輪 (3K+600)	第一次103.04.05 10:00 第二次103.04.05 10:30 第三次103.04.06 05:30 第四次103.04.07.15:30	第一次抽坍約10.8立方。 第三次抽坍約150~200立方。 第四次抽坍出現湧水，造成抽坍面再發生持續坍落。地盤改良及小開挖方式配合管幕方式施工	85天
7	SS2-T133~T143海側 抽坍(2K+750)	103.04.29 09:50	長約15.0m、寬約15.4m、深度約6~7m，呈錐狀 坍落，土方量約200~250m ³ ，現場無人員及機具 災損	29天

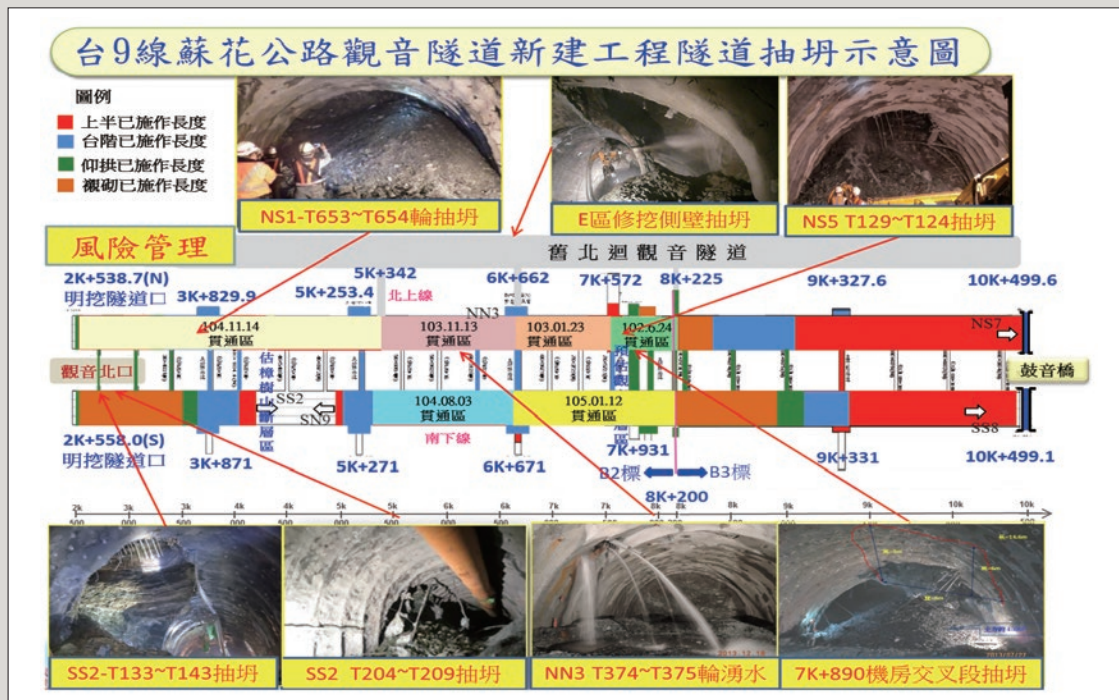


圖11 台9線蘇花公路觀音隧道新建工程隧道抽坍示意圖

開挖面滲水<10L/min，先撐鋼管及岩栓打設時均無湧水現象；且抽坍區上方恰為一山谷地形，覆蓋深度由100餘公尺陡降至60餘公尺，雨水逐漸滲入地下，造成水壓增大並浸潤岩體弱面，以致隧道圍壓增加，形成支保挫曲，支撐力下降，導致隧道抽坍。1.觀音隧道NS5工作

面(詳圖12)於2013.04.20晚上20:00發生抽坍(詳圖13)，無人員受傷。2.災害發生經過：15:00開炸後出碴。19:10查驗T129輪鋼支保時發現T124輪有裂縫及聲響，20:00時發生抽坍。3.20:15辦理現場會勘時發現T129輪至T124輪中央頂拱已全部抽坍，第一次量水堰

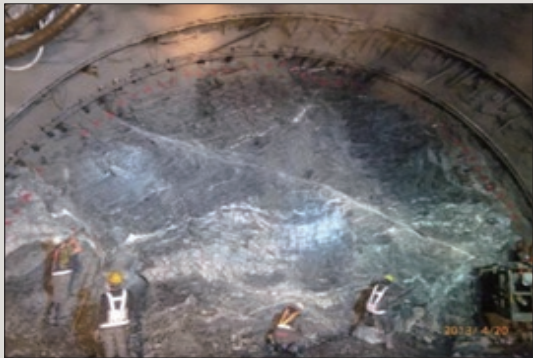


圖12 NS5-T128輪完成，T129輪抽坍前

20:30量測水量約2,800L/min(淤泥尚未清理)，第二次量水堰(先清理淤泥)量測水量約1,236L/min，現場仍有岩屑持續坍落，人員及機具無法靠近進行噴凝土封面。估計抽坍土石方約長7.5m*深7m*寬7.5m=393.75m³。4.另經現場檢查於坍落面前已完成開支撐區段，於T124輪至T94輪之噴凝土有龜裂及局部區域鋼支保有變形。NS5 T129~T124抽坍災害處理過程：發現T129輪至T124輪中央頂拱已全部抽坍及湧水，坍落面靠海側約10至11點鐘位置人員及機具無法靠近噴凝土封面。

3.施工處理方式：20:15辦理現場會勘現勘結論：

- (1) T124輪~T112輪先補強鋼纖維噴凝土5~10cm。
- (2) 進行抽坍面封面噴凝土，儘量進行噴凝土封面，另T112輪至T94輪噴凝土有龜裂之區域補強鋼纖維噴凝土5~10cm。
- (3) T124~T112進行系統性6米非預力補強岩栓施作
- (4) 計測斷面須加強頻率量測，並即時



圖13 NS5 T124至T129輪抽坍出水照片

提送量測結果。

- (5) 緊急處理補強施作時，隨時注意人員安全，如有異常狀況須將人員緊急撤離。

4.處理成效：依3完成後，2013.04.24 09:00辦理現場會勘後持續施工。

(二) 表1序號3通過觀音斷層區於NS5第T124~129輪發生第二次抽坍案例

1. 地質狀況：2013.04.25再次抽坍：於4/24於T122打設排水孔2孔，分別位於左右肩部附近，山側排水孔於約11.1m附近出水，水量約30L/min。海側排水孔鑽進約10m仍無出水。因海側排水孔距離崩坍孔洞小於3m，但仍無出水，因此研判此區段湧水應是沿高角度節理裂隙由上方流入。
2. 發生原因及現象：本次抽坍位於原抽坍區山側T124~T129區段。
因前次抽坍後地層鬆弛區擴大，致使地下水滲入岩體裂隙，進一步弱化岩體；以及前次崩坍搶修作業之補強岩栓打設和局部噴凝土面敲除時之震動累積影響，造成周邊地層高角度節理鬆動，致前次抽坍區山側12點至1點鐘區域再

次抽坍。

3. 施工處理方式：2013.04.25 07：50第二次抽坍詳如圖14，經開會會勘結論：

- (1) 將抽坍土方清理後，進行抽坍區域噴凝土補強加固施工。
- (2) 為避免過度擾動再次造成抽坍及同時考量減少入侵，依現地狀況於原支保間架設 H125鋼支保補強，並對原噴凝土面稍微修挖以可架立鋼支保方式施工，惟繫桿仍應確實施作以加強穩固前後鋼支保。
- (3) 對抽坍處進行混凝土背填及化學藥液灌漿(PU)止水施作與打設自鑽式岩栓鑽設 (L=12m)加固後再往前輪進施工。



圖14 2013.04.25第二次抽坍現場相片



圖15 2013.05.11 NS5-T133輪進完成

4. 處理成效：依3完成後，加固後再往前輪進施工詳如圖15。

三、7k+890通風管道因施工抽坍辦理變更線形施工案例：

- (一) 地質狀況：通風管道地質構造(片理急折帶)岩體本身局部破碎夾泥地質。
- (二) 發生原因及現象：7k+890通風管道於106年3月29日進行第1M輪開挖作業時，造成頂拱抽坍事件。
- (三) 施工處理方式：106年3月30日由處長召開討論會及現勘研議後，建議由承商擬訂隧道開挖線形調整，經監造及設計審查後避開與中斜坑原有結構交叉共構方式，以避免可能抽坍之風險，俾利施工安全。既有斜橫坑上方，恰巧上方地質不佳造成抽坍(詳圖



圖16 7k+890通風管道3/27施工正常



圖17 7k+890通風管道3/30處長現勘

16-17)，故變更設計往北移設地質較佳且可與運輸動線錯開，使人員避開在隧道施工中下方穿越之危害風險，且可順利安全施工。

(四) 處理成效：經設計單位檢視後尚不影響原有通風功能及經本處測量隊檢視其線形已避開中斜坑上方應尚符實需。避開與中斜坑原有結構交叉共構方式，以避免可能抽坍之風險發生，已順利施工安全完成(詳圖 18-19)。



圖 18 7k+890通風管道向北轉彎施工



圖 19 7k+890通風管道施工完成

肆、結論與建議

蘇花改觀音隧道開挖克服觀音與樟樹山斷層之挑戰，同時兼顧最好的施工品質及施工安全環境，穩紮穩打藉由蘇花改觀音隧道施工管理機制，針對地質弱帶已建立施工因應與處理機制，對於非預期狀況現場預先進行前進探

查工作，地質師在遭遇潛在困難路段前提出預警，讓施工人員有充裕的時間應對潛在困難路段，謹慎通過斷層帶或湧水路段，在重視安全第一與生命無價的前提下，順利完成蘇花改工程，儘早提供東部民眾一條安全回家的路。本文將觀音隧道施工管理及防災對策施工及特殊施工困難處理案例經驗分享，可以做為地質複雜之長隧道施工之參考。

參考文獻

1. 交通部公路總局臺9線蘇花公路山區路段改善計畫設計計畫，2010年。
2. 中華民國隧道協會隧道全能作業班作業理念訓練課程教材，2012年4月。
3. 夏明勝、邵厚潔、周允文、吳慶輝--蘇花改觀音及谷風隧道施工管理機制-中國工程師學會會刊-2013年12月-工程Vol.86 No.6。
4. 周允文、吳慶輝、郭育安--蘇花改觀音隧道遭遇地質弱帶施工案例探討-中華技術2014年10月份第104期。
5. 邵厚潔、黃金田、吳慶輝、郭育安--蘇花改觀音隧道遭遇變質岩地質弱帶處理及施工管理機制探討-中國土木工程學會隧道及地下工程分會2016年8月11日-2016年第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會。
6. 黃金田、吳慶輝、郭育安--淺談蘇花改觀音隧道遭遇地質弱帶類型-交通部公路總局蘇花公路改善工程處2016年9月8日-第3屆蘇花改工程技術論壇論文集。

隧道變位監測之變革—光達(LiDAR)全斷面掃描技術之導入與應用

關鍵詞(Key Words)：光達(LiDAR)、變位監測(Deformation monitoring)、全斷面開挖(Full face excavation)、隧道工程(Tunnel engineering)、前期變位(Pre-deformation)

公路總局／西部濱海公路南區臨時工程處／處長／江金璋 (Chiang, Chin-Chang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／專案協理／陳志鴻 (Chen, Chin-Hung) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／專案經理／廖嘉安 (Liao, Chia-An) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／主辦工程師／劉振維 (Liu, Jenn-Wei) ❹

摘要

隧道開挖工作面及其鄰近圍岩變位屬於三維問題，然傳統岩石隧道工程受分析理論限制，開挖支撐設計常以二維分析為主，假設隧道為軸對稱均質且平面應變，難以評估掘進的影響，施工控制亦受限於量測設備與作業技術，故關注隧道開挖面附近的行為，其評估仍仰賴地質師或工程師經驗為之，而隧道開挖支撐後圍岩變位行為可能非傳統二維分析所能精準預測，故需輔以較全面之監測技術。



Transformation of Tunnel Deformation Monitoring - Introduction and Application of LiDAR Full-Section Scanning Technology

Abstract

Tunnel excavation face and surrounding rock deformation are three-dimensional problems, however constrained by conventional tunnel rock theory, the design of excavation support mainly use two-dimensional analysis and using axisymmetric tunnel and homogenous deformation assumptions, and it is very difficult to evaluate the real excavation influence. Even on the site due to the limitation of past monitoring instrument and excavation construction technical, tunnel rock deformation after implementing the excavation support cannot be accurately predicted by traditional two-dimensional theory, and strongly rely on geologist and experienced engineers, so the implementation of more comprehensive monitoring technology is urgently needed.

3

專題報導

壹、前言

台9線南迴公路為台灣東部花東地區與南部高屏地區之主要通行運輸幹線，惟受限於地形條件，既有道路設計標準偏低、線形不佳、縱坡起伏大且路寬不足，加上高路堤及陡峭邊坡多，易因災害受損而致交通中斷，除人命財產損失外，亦對區域經濟及產業運輸造成重大影響，故而地方民眾對此路段多次提出改善要求。交通部公路總局有鑑於民意殷殷期盼，並配合國內產業東移、平衡區域發展等政策，遂積極推動台9線南迴公路拓寬改善後續計畫，進行安朔至草埔部分路段以隧道方式截彎取直(四車道)拓寬。

本工程起自台東縣達仁鄉安朔村，止於屏東縣獅子鄉草埔村，詳圖1，工作範圍為台9線

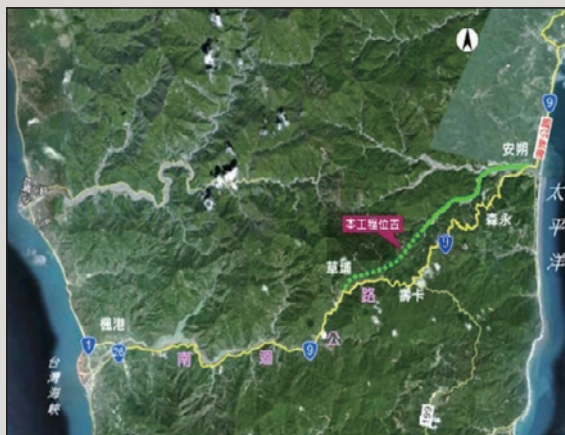


圖1 台9線南迴公路安朔至草埔段新建工程路線圖

安朔至草埔路段，總長11.02公里，隧道長約4.6公里(6k+300~11k+006)。

掌握圍岩變位數值，於必要時及早強化支撐或補強圍岩，適時掌握圍岩變位，抑制擾動範圍以穩定開挖面，提供後續施作襯砌前強固的圍岩條件，實為隧道工程成功之要件。

貳、隧道計測施工概述

傳統隧道計測斷面係針對重要特定位置分別在隧道左右側壁及頂拱處裝設規標，量測AB、AC、BC三直線間距離，定期比對AB、AC、BC距離差值可繪製隧道圍岩淨空變位歷程曲線，如圖2。但傳統隧道計測斷面僅取得少數幾個測點，當有其中一個規標發生人為變動位移或量測造成誤差時，易造成誤判，釐清錯誤後，即須重新量測取得AB、AC、BC之間距離，且計測斷面量測淨空變位為隧道環向二維平面狀態，就一般隧道而言或許足夠，但對長隧道深開挖或交叉段等較為複雜的幾何構造，其所提供的變位資訊不足以完整反映圍岩斷面變形行為；另外由於隧道開挖面輪進施工影響，計測規標無法在開挖完成後，立即裝設與進行監測作業，所以獲得圍岩變位為岩體開挖變形行為部分折減數值(前期變位不易測得)，亦無法完整掌握開挖後岩體行為。

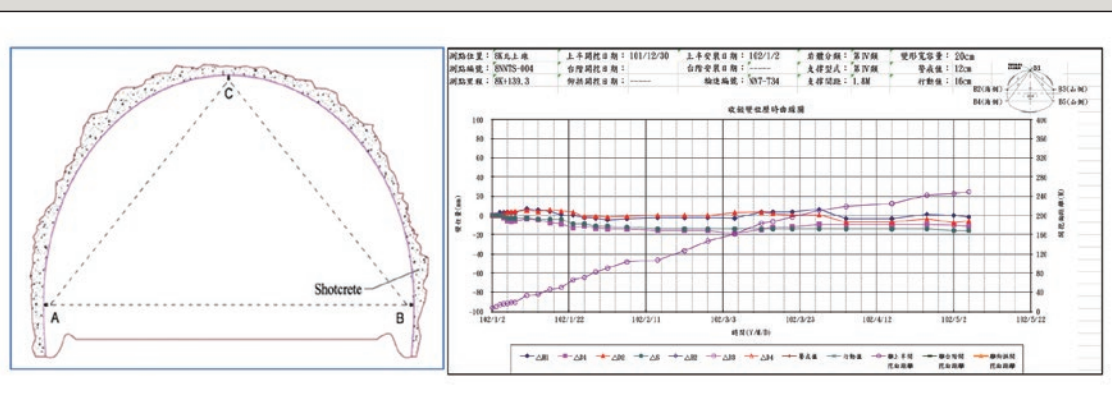


圖2 傳統隧道計測斷面圍岩淨空變位歷時曲線

三維雷射掃瞄技術(Light Detection And Ranging, LiDAR)簡稱光達，為新興的測量技術，具有快速、自動、高精度收集三維空間資料特性。地面型光達可應用於邊坡露頭不連續面調查、岩石隧道工程描述岩體特性、量化不連續面空間分布並評估可能滑動岩楔位置、以及營運中隧道監測剖面變形等案例(Decker and Dove, 2008; Fekete and Diederrichs, 2013; 王泰典等, 2013; 楊濟豪等, 2014)。

本文將說明應用地面型光達進行隧道工程開挖面3D掃瞄，取得開挖面及其附近隧道周壁精密點雲資料的特性，量化分析開挖面附近圍岩變位，以補傳統計測量測結果不足之處，當開挖後圍岩發生較大位移或異常變位時，可以利用三維點雲資料進行整體比對，以了解圍岩變位情況，提供全斷面圍岩動態分析結果，並針對特定位置持續監測，且三維雷射掃瞄技術在隧道開挖輪進施工循環完成一半時，可立即進行掃瞄作業，不受計測規標在開挖輪進完成才可進行裝設與紀錄限制，獲得更為完整岩體行為，供作後續維護及安全評估之參考。

參、光達掃描技術原理介紹概述

3D掃瞄所產製的點雲資料為相對的測站座標系統，為轉換成絕對坐標系統，則需額外的絕對坐標資訊，導線測量部分則提供平面與高程資料來作為後續坐標轉換之用。由於隧道開挖現場環境不適合於地面佈設控制點，本計畫將控制點規標佈設於隧道側壁上，並使用雷射經緯儀進行量測，控制點規標佈設，如圖3所示。

由附近已知控制點，利用全測站經緯儀採「測角」、「測距」實施導線點座標測量，並同時施測間接高程。「測角」以Trimble601經緯儀正倒鏡觀測一測回，較差不得超過10"，「距



圖3 規標佈設示意照片

離」使用光波測距儀量測，導線測量作業示意見圖4所示。

3D雷射掃瞄(3D Laser Scanner)技術自1970年代即開始萌芽(Jennifer and Jeff, 1999)，其施測原理主要藉由連續波在空間中行進時，相位隨著時間一直不斷的在發生變化，而利用此波動的特性，只要知道在固定時間相對固定距離的相位變化，即可以求得距離，頻率為 f_0 的弦



圖4 導線測量現場施作照片

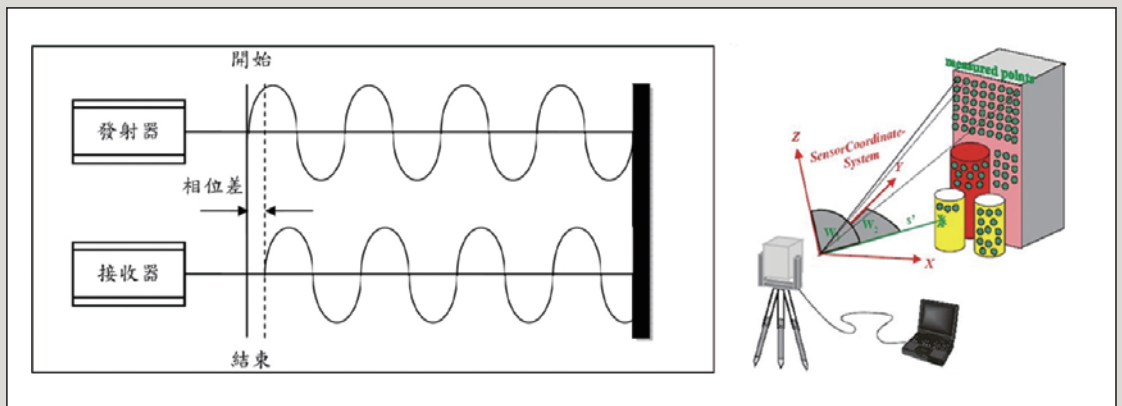


圖5 連續波相位式測距訊號相位差示意圖

波在空間中傳遞時可寫成式(1)公式；圖5所示為其量測的示意圖。

$$S(t) = \cos(2\pi f_0 t) = \cos \phi \quad (1)$$

圖6為一般脈衝式3D雷射掃描儀掃描完成後的管線點雲資訊，雷射儀掃描速度為2000 pts/

sec、雷射測距精度為8mm。由圖中可看出因為掃描的雷射點雲密度與精度不足，雖然可呈現管線的形態，但是後續欲將不同時期的共軌點雲資訊進行變異分析時，會因點雲過於稀疏及雜訊過大(即測距精度不足)，造成變異分析之不確定性，尤其是精度要求愈高時，此種變異分析的結果愈不可靠。右邊圖7為使用Z+F IMAGER

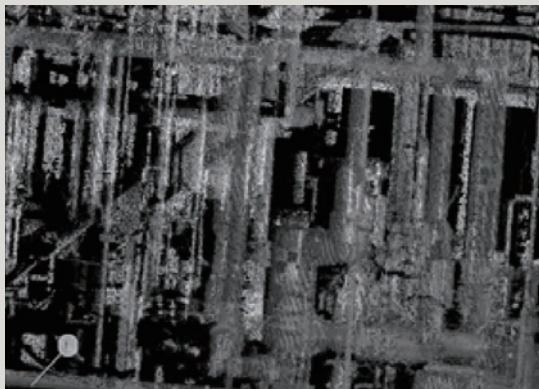


圖6 一般雷射掃描儀成果



圖7 Z+F Imager 5010成果

5010 3D雷射掃瞄儀掃瞄完成後的管線點雲資訊，雷射儀掃瞄速度為1,000,000 pts/sec、雷射測距解析力為0.1mm。由圖中可看出掃瞄完後的雷射點雲可輸出高密度與高精度成果，如此的三維空間資訊將提供工程沉陷監測完整、合理之高精度變異分析。

肆、隧道開挖面光達執行情形

近年來3D雷射掃瞄技術發展成熟，可直接獲得高密度的掃瞄點之三維坐標，此種快速獲得物空間三維資訊運用於南迴草埔隧道，於每個月針對隧道異常變位區域、避車彎擴大斷面、橫坑銜接段及貫通前閉合銜接段完成測距1600公尺掃瞄，為國內長隧道納入契約工項之首例。

本計畫有關控制測量部分採用Trimble 601全測站經緯儀，3D雷射掃瞄部分為德國Zoller+Fröhlich 公司所製造之 Z+F IMAGER 5010 相位式3D雷射掃瞄儀，設備規格如表1說明。

前置準備工作經勘察現場，主要配合隧道開挖施工輪進作業，於出渣作業結束後完成掃瞄作業，原則上於隧道開挖完成後，架設支保、桁架現場查驗期間進行掃瞄，或靈活配合現場作業狀況，於架設支保前後進行掃瞄。

掃瞄時依據各站所需點雲密度與精度設定參數，為確保後續相鄰兩站點雲資料能順利接合，兩站間須至少共同掃瞄到4顆相同共軛球，為保持各站資料拼接精度品質，掃瞄時使用4顆以上拼接共軛球增加多餘觀測量，圖8為不同測站共軛點佈置示意圖，圖9為現場掃瞄照片。與磁北關係、掃瞄時間、作業人員等。

表1 主要儀器規格表

【光達儀器】			
設備名稱	廠牌/型式	儀器照片	說明
3D雷射掃瞄儀	Z+F IMAGER 5010		<ul style="list-style-type: none"> · 測距能力 最長187 m最短0.3 m · 雷射測距精度 0.1~1 mm · 資料獲取點數 1,000,000 pts/sec · 解析力 水平方向 0.0002° 垂直方向 0.0004° · 測角精度 ± 0.007° rms (水平與垂直) · 雷射等級 一級安全雷射 (眼睛可直視) · 回波數 單一回波 · 測距方式 相位式
【傳統量測儀器】			
設備名稱	廠牌/型式	儀器照片	說明
全測站電子經緯儀	Trimble 601		<ul style="list-style-type: none"> · 測距精度2mm+2ppm · 測角精度1" · 測距距離1500m(單稜鏡) · 作業用途：導線測量、斷面測量、構造物測量



圖8 共軛球佈設示意照片



圖9 現場3D掃瞄作業照片

伍、3D掃描點雲資料處理及分析原理

各站點雲拼接軟體是使用德國Z+F Lasercontrol軟體進行作業。因各站掃描點雲資料是建立於測站相對坐標系統上，每一站的坐標系統是不一致的，故於拼接作業時，站與站之間需至少有總4個以上之共同共軛球與共軛規標，才能進行三維空間點雲拼接，圖10及圖11為拼接軟體作業操作示意圖。而經由共軛點依序將各站點雲資料拼接後，可得到一完整之隧道點雲資料。

現場作業同一輪進掃描取得點雲資料，

經共軛點擬合拼接處理，並濾除隧道內粉塵、滲漏水等因素造成的雜訊，抑低分析誤差的來源後，即為該輪進之圍岩經3D掃描後所得之精密座標位置。假設欲分析輪進的隧道剖面位於第55輪進(T55)，則於第55輪進開挖後進行光達掃描，取得點雲經資料處理後可得 PL_{55}^{55} 與 PM_{55}^{55} (圖12之(a), $j=55$)，於後續2個輪進(T56及T57)取得第55輪進的隧道剖面坐標分別為 PL_{56}^{55} 、 PM_{56}^{55} (圖12之(b), $j=55, n=1$) 與 PL_{57}^{55} 、 PM_{57}^{55} (圖12之(c), $j=55, n=2$)。將 PL_{56}^{55} 減去 PL_{55}^{55} 、 PM_{56}^{55} 減去 PM_{55}^{55} ，即可得到第55輪支保位置以及支保之間位置，開挖面前進1輪進後發生的圍岩變位量。同理將 PL_{57}^{55} 減去 PL_{55}^{55} 、 PM_{57}^{55} 減去 PM_{55}^{55} ，可得到第55輪

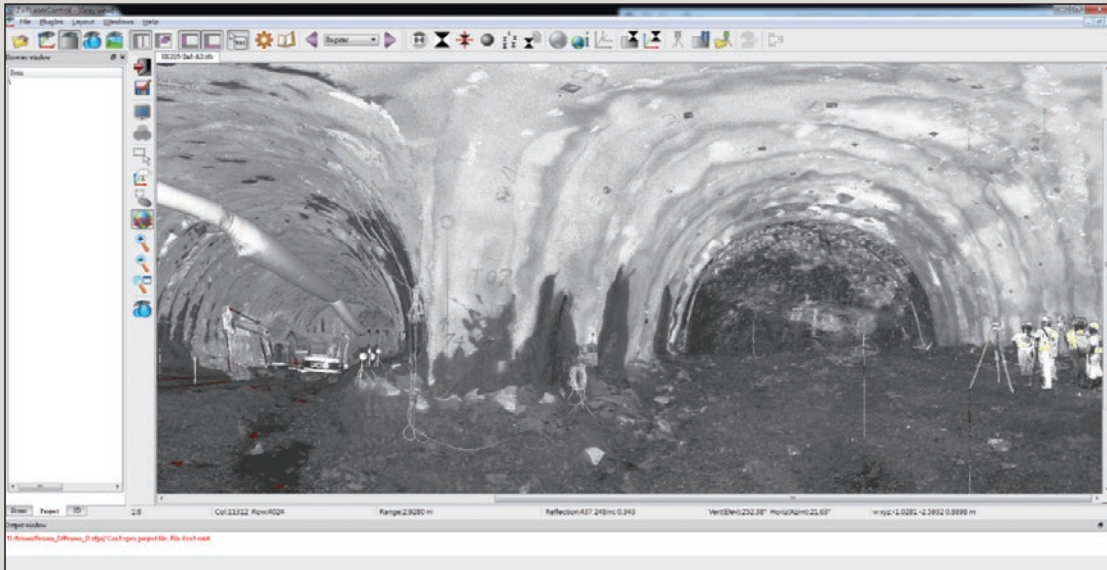


圖10 拼接軟體操作示意圖

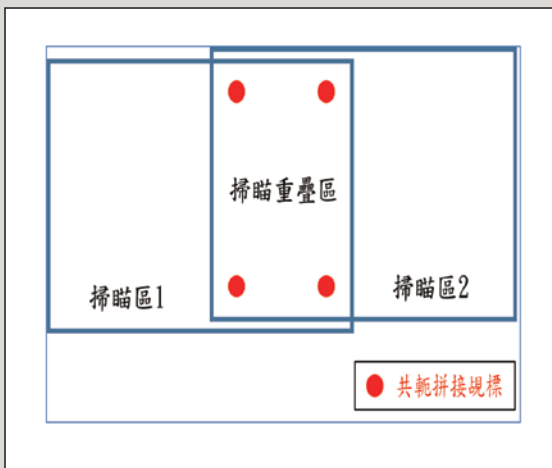


圖11 拼接示意圖

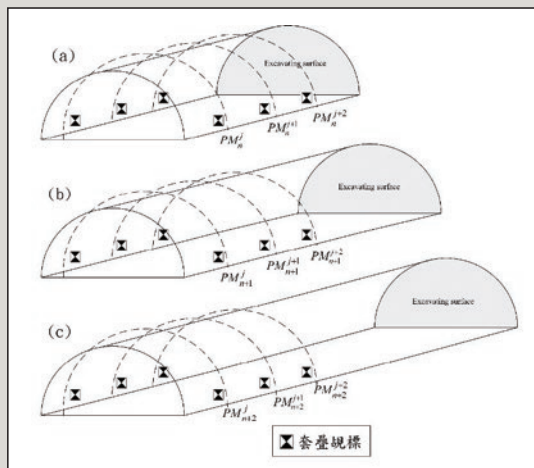


圖12 點雲分析剖面位置示意圖

(a)第j輪 (b)第j+1輪 (c)第j+2輪

進支保位置以及支保之間位置，開挖面前進2輪進後發生的圍岩變位量。

前述圍岩變位量將於取得兩次開挖輪進掃描結果後完成。若開挖支撐後第一輪進圍岩變位超過變形寬容量設計值1/5部分，後續嚴密觀察開挖面附近圍岩行為，針對此處持續追蹤，假如變位收斂，在距離開挖面1D（1倍隧道直徑長度）處提交的變位分析報告註明，假如無收斂需即刻書面通報工程司進行必要後續處理。

開挖支撐後第一輪進圍岩變位超過變形寬容量設計值1/10部分，則標示其空間分佈範圍（臨時仰拱部分除外），並於下一開挖輪進成果報告分析圍岩變位變化量，直至變位量連續2輪進小於前輪之1/5為止。相關掃描範圍變位分析結果將整理於隧道開挖面附近變形3D掃描評估報告，以及時因應，評估作業流程如圖13。

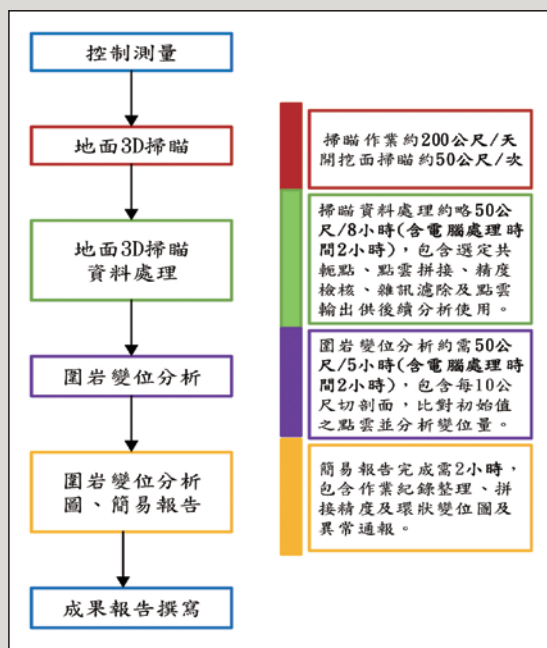


圖13 3D掃瞄及開挖支撐評估作業流程圖

陸、3D掃瞄監測成果資料分析研判實例

選取草埔隧道豎井北上線往北貫通段附近異常變位區域(VNN-T5 16-655輪)進行案例說明, 本區於貫通後現地勘查仍持續有局部明顯裂縫及滲水狀況情事產生, 顯示上述區段地層仍持續遭遇擠壓致支撐承受增額外應力產生噴凝土塊剝落、支保挫曲及系統性裂縫產生, 由於本區段位處因地質狀況明顯轉差劣化, 支撐系統亟需補強, 考量隧道安全及後續加固措施, 避免產生不預期災害, 故辦理光達掃描監控(詳圖14)。

經光達掃描成果顯示(詳圖15), VNN-T5 16-655輪自106年05月開始掃瞄, 期間



圖14 VNN-T5 16-655輪局部支撐裂縫異狀照片

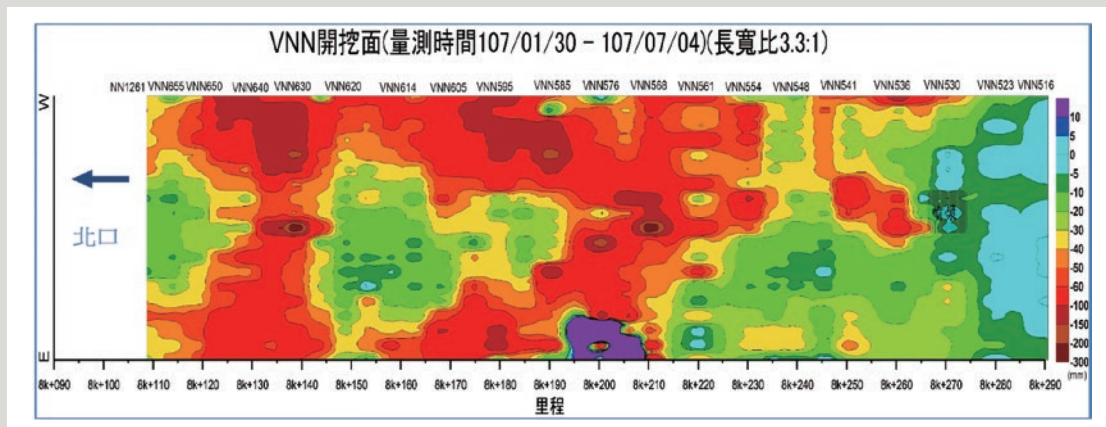


圖15 VNN-T5 16-655輪光達掃描累積變位圖

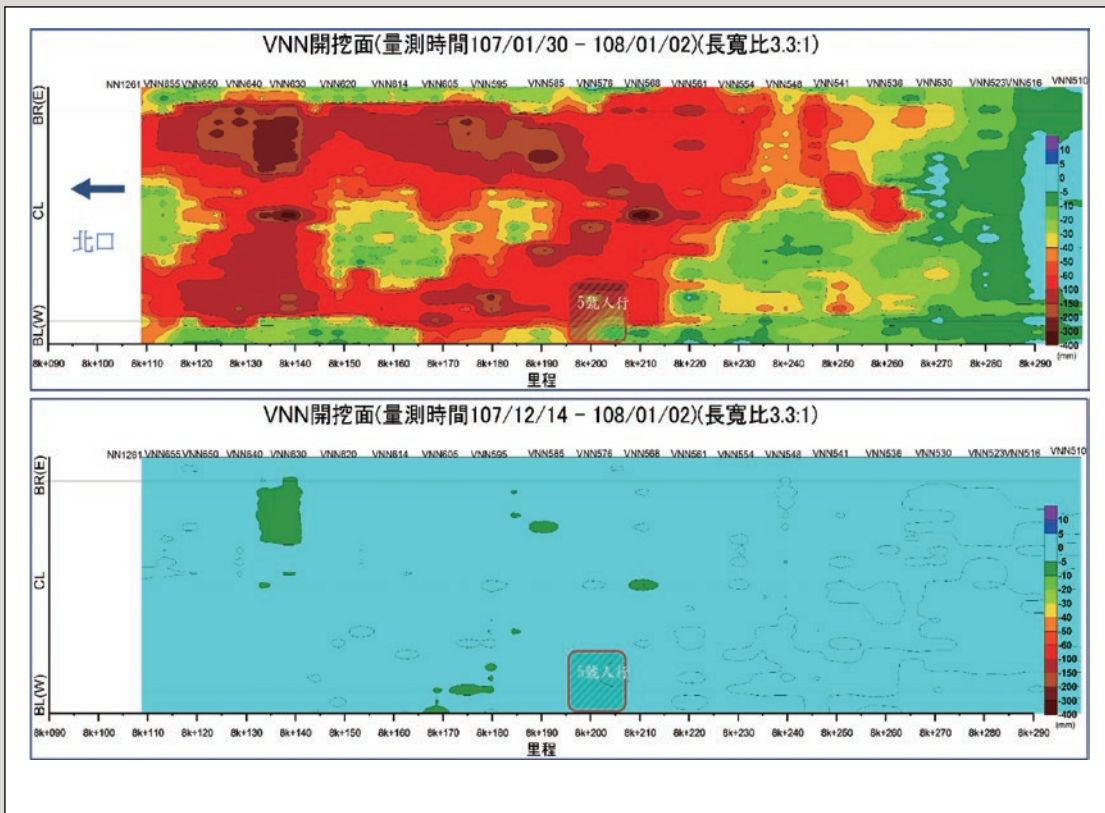


圖16 VNN-T516-655輪光達掃瞄累積變位及補強後變位圖

上半近支保腳側向變位明顯持續變化，迄107年4月24日開始本區進行台階開挖，經觀測台階開挖變位速率於107年5月1日開始有明顯變位產生，經現場會勘進行第一次地盤補強，經持續觀測於107年5月14日已抑制持續變位。惟107年5月24日至107年7月4日期間，因氣候持續降雨，地盤裂隙水滲入致地下水壓提升，於VNN-T510至VNN-T655輪頂拱及側壁因隧道內水量增加再次有擠壓應變(約4-15cm) (詳圖16深紅變位區塊)。

經緊急進行第二次地盤補強現場會勘，導入止水化學灌漿及側向長尺度岩栓補強措施(詳圖17)，經107年12月至108年01月持續嚴密監測，隧道地盤開挖淨空掃瞄已無持續變化產生(詳圖16)

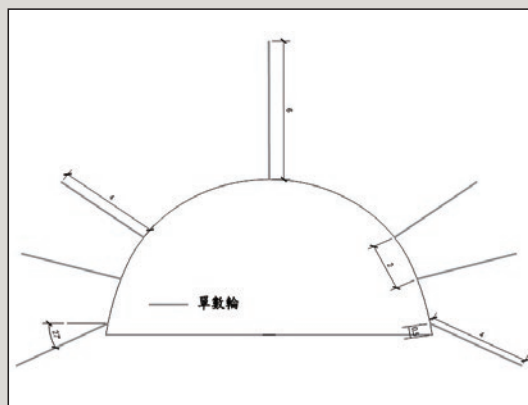


圖17 VNN-T563至VNN-T655單數輪預灌漿(PU)岩栓補強措施

柒、結語

為掌握隧道周圍岩盤因開挖所引起之圍岩位移及可能的應力行為，定期進行掃瞄作業取得現場隧道三維空間資訊，經必要處理後套疊不同時期點雲資料，分析隧道周壁圍岩變位情

況，提供後續數值模擬、反算分析，可做為回饋設計及後續施工參考依據。

若隧道圍岩變位分析評估有異常狀況或人為因素，如噴漿補強、降挖作業及入侵修改作業等等，造成之誤差可於下次掃瞄時做確認檢查，確認後註記異常之位置並將該誤差歸零，不計入圍岩變位分析結果內；若無法確認誤差來源，將持續追蹤變位情形。

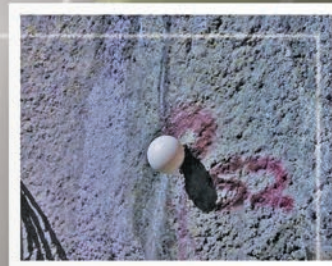
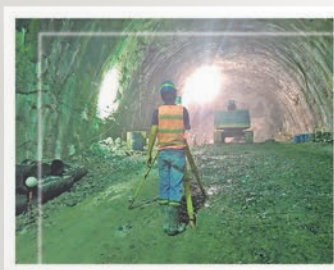
本工程自103年初開始掘進，隧道遭遇地質之剪裂破碎帶多，岩體強度低且自立時間短，又因地下水因素，造成岩盤遇水弱化，水壓力及湧水量增加等，若無法適時監測並妥善調整施工輪距及增加開挖面加固措施，容易造成隧道抽坍，本施工技術於105年09月導入施作前，透過傳統計測斷面約20~30m設置副計測斷面乙組(視狀況縮短)進行變位評估，其間有發生非計測斷面處局部變位，抑或測點間相對變位無變化，但有實際變位發生狀況，而錯失補強時機。經由隧道發生近四十次大小規模不一之抽坍、擠壓裂縫等異常狀況後，透過3D掃瞄技術導入，配合具體變位警示及預先支撐補強措施，後續僅於107年10月及108年01月各發生一次抽坍災害，已大幅抑制抽坍災害產生。

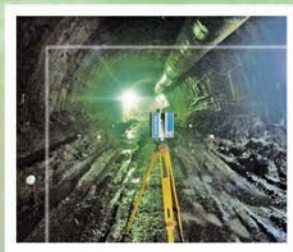
參考文獻

1. 安朔草埔隧道3D雷射掃瞄工作計畫、淨空光達3D掃瞄總報告書(2019)
2. 安朔草埔隧道計測施工計畫(2014)
3. 安朔草埔隧道異常變位區段預灌漿地盤改良施工計畫(2015)

4. 營運中隧道監測剖面變形等案例(Decker and Dove, 2008; Fekete and Diederrichs, 2013; 王泰典等, 2013; 楊濟豪等, 2014)

5. 台9線南迴公路拓寬改善後續計畫「初步設計報告」(2012)





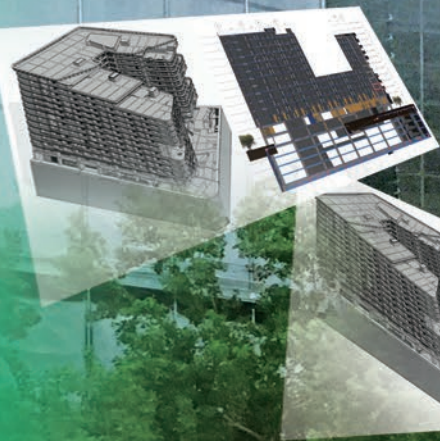
3

專題報導

運用BIM技術於專案管理及貢獻度調查分析—以臺北市內湖區瑞光社會住宅為標的的案例

關鍵詞(Key Words)：社會住宅(Social Housing)、建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)、專案管理(Professional Construction Management, PCM)、貢獻度調查(Contribution Survey)

- 臺北市都市發展局／住宅工程科／科長／魏國忠 (Wei, Kuo-Chung) ❶
 國立宜蘭大學土木工程學系／教授／趙紹錚 (Chao, Sao-Jeng) ❷
 國立宜蘭大學土木工程學系／助理教授／范承志 (Fan, Cheng-Chih) ❸
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／協理／邱水碧 (Chiu, Shuei-Bi) ❹
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／經理／江秉修 (Chiang, Ping-Hsiu) ❺
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／副理／黃寶翰 (Huang, Pao-Han) ❻
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／專案經理／江炳祈 (Chiang, Ping-Chi) ❼



摘要

建築物的生命週期係指建築物從規劃、設計、施工、使用及維護直到最終拆除的整個過程。在設計及施工階段，專案管理團隊主要工作係針對工程品質、成本、時程、安全及環境等風險進行有效的控管，並做為工程團隊各單位間的溝通橋樑。本文係以「臺北市內湖區瑞光社會住宅」為案例，在採用統包制度及最有利標的操作模式下，應用建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)做為專案管理(Professional Construction Management, PCM)的管控工具，並藉由專家問卷的調查及統計分析，探討使用BIM於設計及施工階段的專案管理效益，期許本文成果可提供後續專案管理應用BIM技術的參考。



Application of BIM Technology in Project Management and Contribution Analysis - A Case Study of Ruiguang Social Housing in Neihu District, Taipei City

Abstract

The life cycle of a building is the entire process from planning, design, construction, use and maintenance to final demolition. In the design and construction phase, the project management team's main work is to effectively control the risks of engineering quality, cost, time, safety and environment, and become a communication bridge between the various units of the engineering team. This article takes "Ruiguang Social Housing in Neihu District, Taipei City" as an example. Under the unified turnkey package system and the most favorable operating mode, Building Information Modeling (BIM) is used as the management tool of Professional Construction Management (PCM). Exploring project management benefits by using BIM in the design and construction phase through survey and statistical analysis of expert questionnaires, the results of this article is expected to provide the references of PCM that had used BIM techniques.

壹、標的案例說明

標的案例為臺北市內湖區瑞光社會住宅統包工程，全名為「臺北市社會住宅新建工程第1標(第1-3項內湖區瑞光市場基地)委託專案管理(含監造)技術服務」因此主要是辦理專案管理(含監造)的工作。

基地位置位於臺北市內湖區如圖1所示，土地使用分區為市場用地(公共設施用地)，西側多為科技工業用地，東北及東南側多為住宅區及公園用地。



圖1 基地位置圖

本案興建389戶社會住宅之住戶單元，總樓地板面積約45,385平方公尺，構造型式為鋼筋混凝土，地上14層、地下4層，建築物高度48公尺。樓層規劃用途如圖2所示，B1F~B4F除提供參建單位辦公外，主要為停車及機電空間；1F為出入口大廳及智慧超市、2F為參建單位使用空間、3F為無障礙戶及社區公設、4F至14F為住宅區、RF為屋頂花園。

貳、專案管理主要服務內容

本案例專案管理團隊的角色定位為擔任業主『諮詢顧問』、『代理人』、『技術幕僚』及工程專案的『溝通協調者』，協助業主有效率的推動工程，並做好進度、成本、品質管控及提供各種風險預警與因應對策，透過各階段有系統整合的管理工作，以期達成如期、如質、如度的管理目標。

專案管理團隊依照契約規定，在工程過程中辦理協調、整合、督導及審查等相關事務，提供優良專業服務，相關專案管理工作項目如下所示：

一、綜整及督導計畫執行過程的技術服務工作，於設計、施工、驗收及移交等階段性作



圖2 瑞光社會住宅願景透視及樓層規劃圖

業，執行品質、進度、成本之審核及管控。

二、統包工程招標文件製作及審查，並協助辦理招標文件公開閱覽、修正、公告及疑義處理工作，以順利徵得具能力、專業的統包團隊進場服務。

三、設計諮詢及審查，另負責督導、整合、協調、管制各專業設計作業，並提供設計專業諮詢建議及審查設計單位估驗計價作業。

四、施工督導與履約管理之諮詢與審查，且督導、協助監造及統包團隊辦理估驗計價、變更設計、驗收移交等相關事宜，以利全案進度管制計畫推動。

綜觀整體服務內容，遴選優質統包團隊，並進行有效管理，是本案的成功關鍵，專案管理工作的核心價值為「確保工程如期如質如度」。

參、BIM技術於專案管理工作項目的內容及成果說明

BIM技術應用於本專案管理工作依前列之主要服務內容可分為規劃、統包設計及統包施工等三階段，說明如下。

一、規劃作業階段導入BIM之應用

(一) 編製「BIM建置準則與工作執行計畫書」

本專案管理團隊依據本案統包工程屬性編製「BIM建置準則與工作執行計畫書」，界定各階段BIM作業準則，作為專案管理執行規劃，以及編製統包需求書，其中BIM規範據以督導統包團隊於設計及施工階段BIM執行內容。BIM建置準則與工作執行計畫書內容，分為下列六大要項：

1. 服務範圍
2. 各階段組織架構與作業流程
3. 規劃作業階段BIM作業準則(含BIM擬應用的作業軟體與版本)
4. 統包階段BIM管理作業要點
5. 作業期程及交付項目(附計畫綱要進度表)
6. 提交給業主的書面報告、文件清單

(二) BIM輔助敷地配置方案選擇及建築規劃

本團隊於規劃階段為建築敷地配置及建築規劃，利用Green BIM進行綠能分析，如圖3所示，分析的項目包括都市風環境分

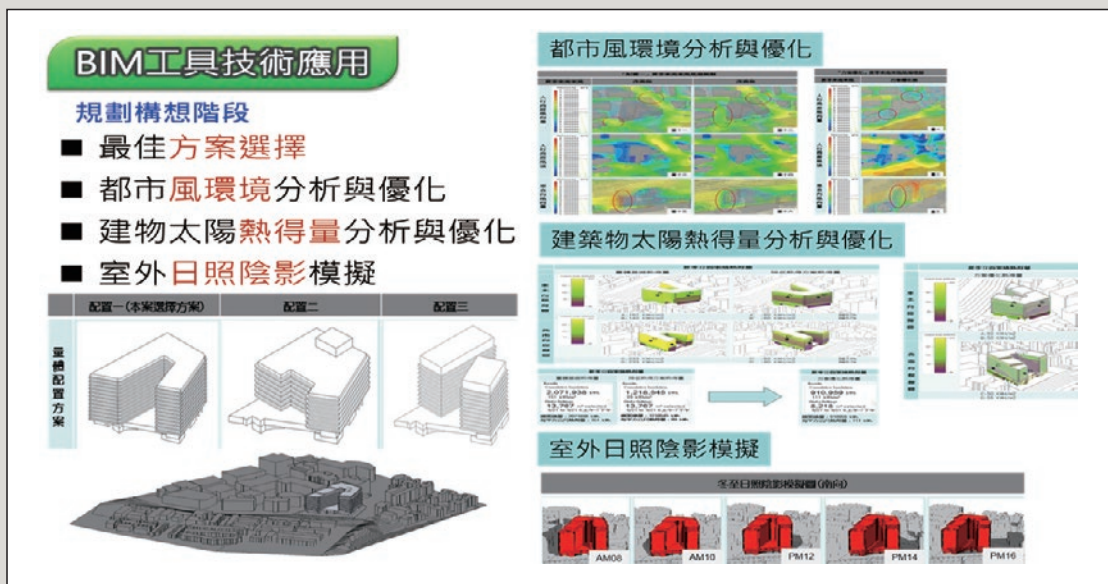


圖3 Green BIM輔助本案例敷地配置方案選擇及建築規劃

析與優化、建物太陽熱得量分析與優化、室外日照陰影模擬等，以分析結果擇選最佳方案，並轉化為統包需求書的設計準則，作為審查統包設計成果的依據。

二、統包設計階段導入BIM之應用

(一) 審查設計衝突檢核報告

利用BIM進行各機電設備及管路間、結構與機電設備及管路等衝突檢核，並審查檢核報告例如表1所示。為增強管控定期與不定期召開專業技術會議討論，並同步上線電腦平台找出問題，每月亦審查統包商提送的BIM月工作成果報告。

(二) 督導進行空間淨高檢討

空間淨高與使用機能及舒適度息息相關，進而影響生活品質。藉由BIM空間淨高檢討，如圖4所示，將天花板內所有管線全

部規劃佈設，經衝突檢討回饋調整設計，以獲得既符合契約規定又滿足使用機能的適當天花板高度。

(三) 督導由3D模型產出必要時之2D補充圖面

督導統包廠商將衝突檢討後的3D模型直接產出2D各專業系統的平面、立面、剖面圖說等提送審查，如圖5-7所示，因模型與圖說有連動關係，可發揮衝突檢核後的圖說正確性及縮短審查時程等成效。惟受限於軟體功能及作業時效方便，必要時部份圖說統包商仍須再補充2D圖面。

(四) 督導建置連續壁3D視覺化入岩深度

連續壁深度由基地地質鑽探資料及大地技師計算分析而定，藉由BIM建置連續壁入岩深度，如圖8所示，使統包商應用3D視覺化效果進行連續壁施工可行性檢討，有

表1 設計階段衝突檢核表例

臺北市內湖區瑞光社會住宅統包工程					
BIM界面協調會議圖面疑義事項追蹤表					
編號	圖疑編號	疑義事項	責任單位	完成日期	處理情形
108年2月13日/20180213建照版圖說					
20180301-1	CA20-A01	2F平面與立面不相符	建築師	20180301	設計圖說修正
20180301-2	CA20-A02	2F-1/A平面與立面不相符，倒吊牆無法連續	建築師	20180301	設計圖說修正
20180301-3	CA20-A03	2F西向立面圖平面與立面不相符	建築師	20180301	設計圖說修正
20180301-4	CA20-A04	2F東向立面圖平面與立面有誤	建築師	20180301	設計圖說修正
20180301-5	CA20-A05	1F對應台電配電場所上方不種植喬木	建築師	20180301	設計圖說修正

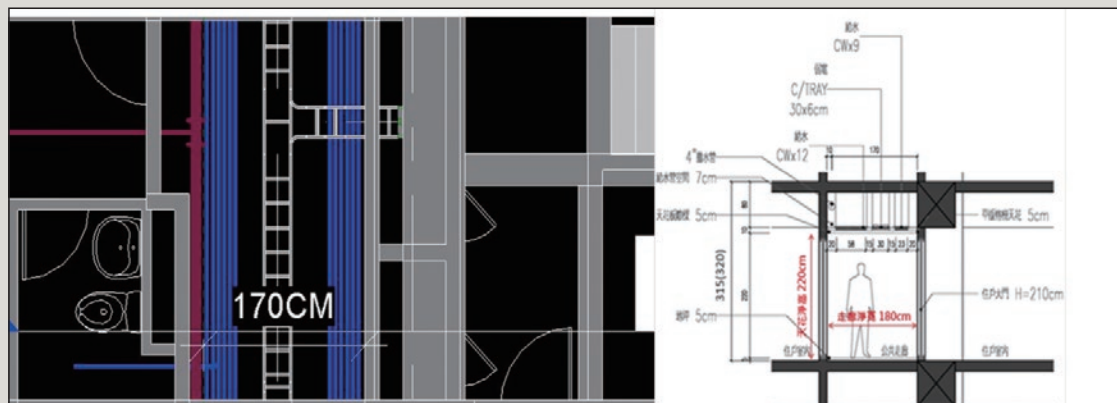


圖4 本案例淨高檢討圖例

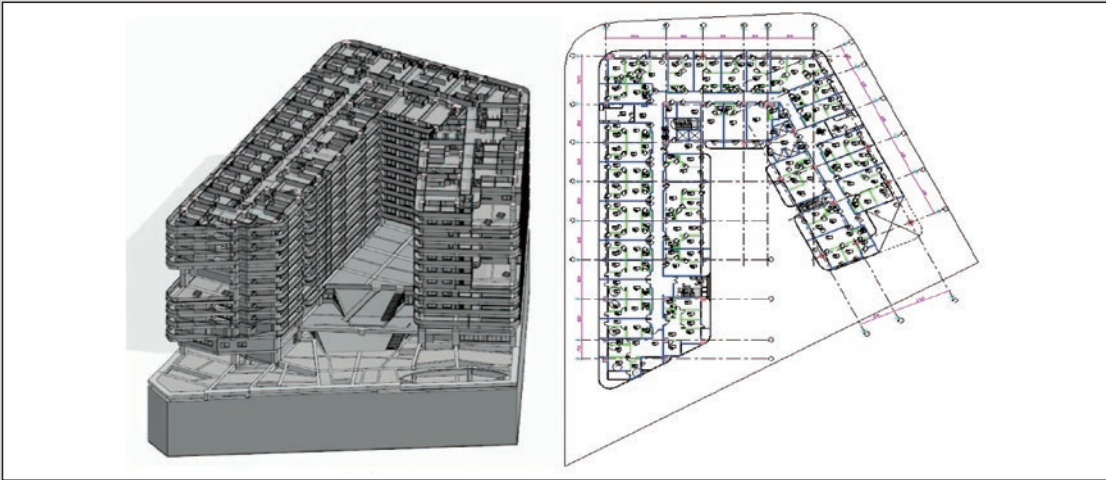


圖5 3D BIM模型產出平面圖例

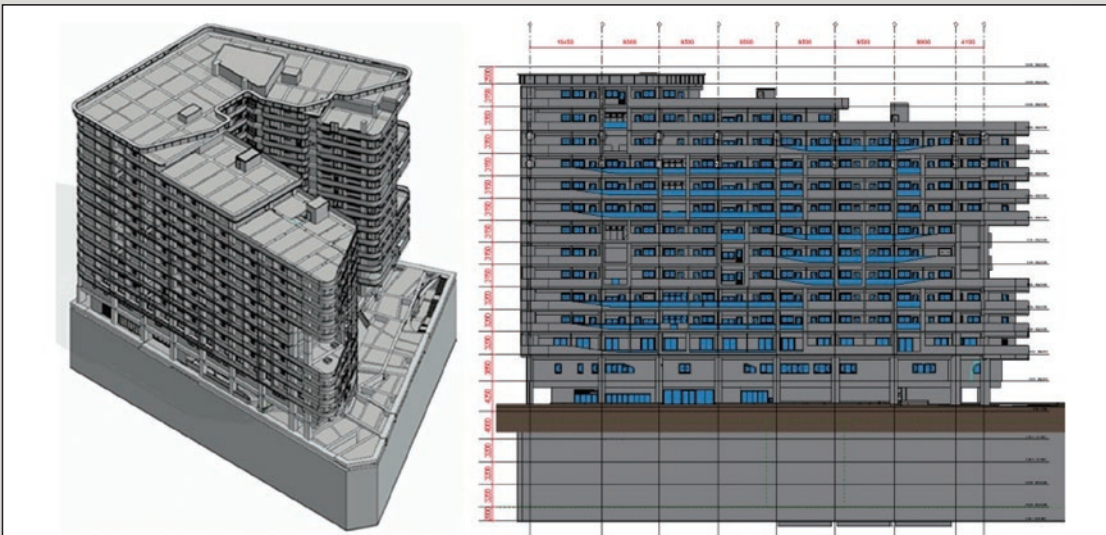


圖6 3D BIM模型產出立面圖例

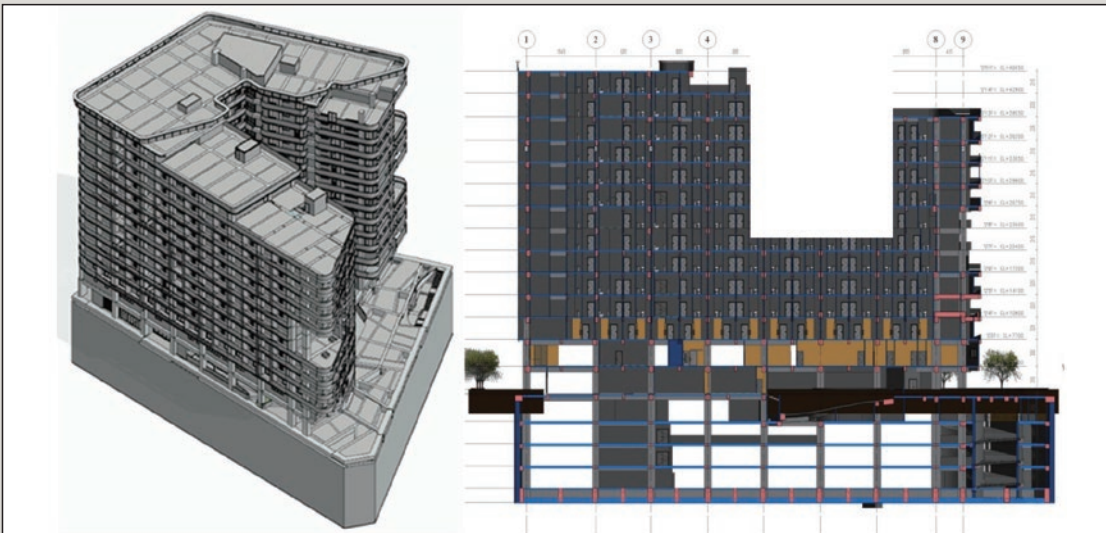


圖7 3D BIM模型產出剖面圖例

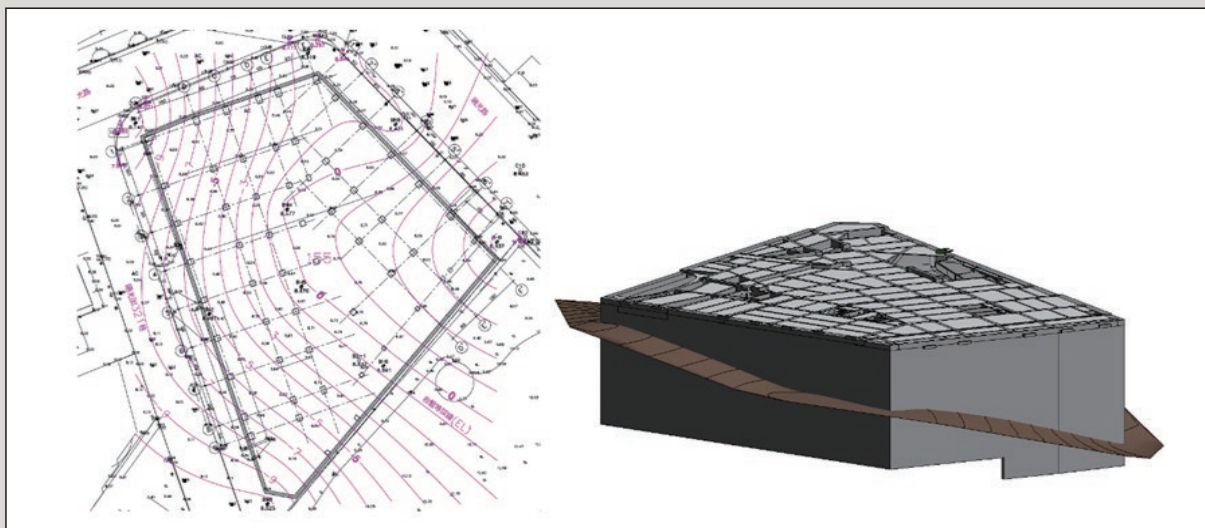


圖8 利用BIM建置連續壁入深度例

利於後續施工規劃及管控。

三、統包施工階段導入BIM之應用

(一) 督導以BIM建置機電管線施工圖

利用BIM所建置的各類機電管線施工圖，檢核管線配置順序、各空間管線高度、樓板洩水坡度，以及機房、廁所、廚房等管線路徑及相關位置，如圖9、圖10所示，增加施工準確性，避免重工。

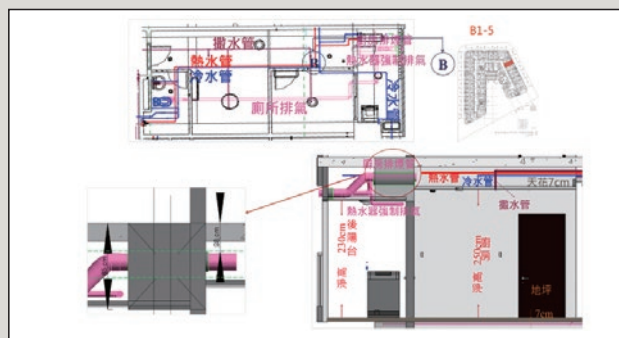


圖9 廚房、廁所管線路徑及相關位置檢討例

(二) 督導以BIM進行施工界面整合疑義事項

要求各專業系統的模型須進行整合，執行介面衝突、施工性及空間合理性檢討，以發現介面疑義與提出解決方案，如圖11所示，統包團隊須於各次施工圖面審查提送時，合併提送空間自主檢查確認報告(含介面協調整合紀錄，豎向淨空(高)檢核報告)，說明各專業協調過程及成果，確認施工規劃合理性。

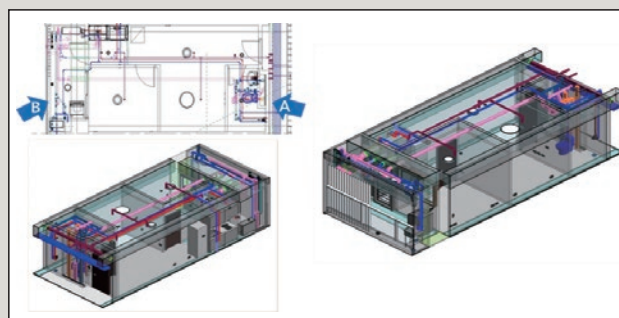


圖10 天花板管線高度檢討例

(三) 督導以互動式動態環景協助選材選色選樣

透過BIM模型3D模擬顏色、光線、樣品及其佈設後的空間，協助業主進行精確

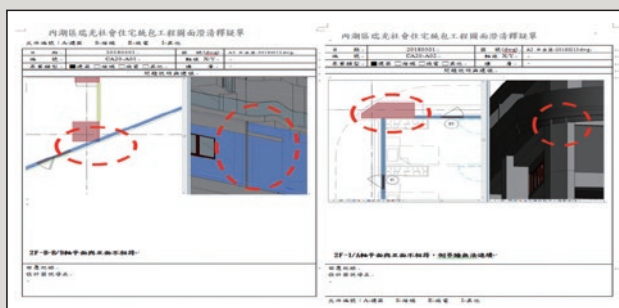


圖11 施工界面疑義整合例



圖12 互動式動態環景建材選色選樣

的選材選色選樣，如圖12所示，再經由實品屋實體呈現，統一施作標準，加速後續施工效率。

(四) 督導模擬大型設備定位

結構體施工前，督導統包廠商以BIM模擬大型設備定位及運送動線，如圖13所示，避免因為設備無法定位造成重工困擾，甚至須拆除牆面致工期延宕。

(五) 督導以BIM模型進行放樣複校

統包商於各樓層混凝土澆置完成隔日進行測量放樣，本團隊運用BIM模型複校現場放樣位置與模型相對位置是否一致，如

圖14所示。

(六) 督導以BIM模擬梁柱接頭鋼筋綁紮

本案例耐震委員審查時，特別提醒本工程上部結構平面呈口字型不規則結構，梁柱接頭鋼筋現場施工較為困難。為提昇施工品質，本團隊督導統包商先行以BIM模擬多梁入柱的梁柱接頭鋼筋綁紮情形，如圖15所示，同時於工地現場施作比例1:1鋼筋梁柱接頭MOCK UP，使施工人員了解接頭鋼筋綁紮之情形及品質標準，確保施工品質。

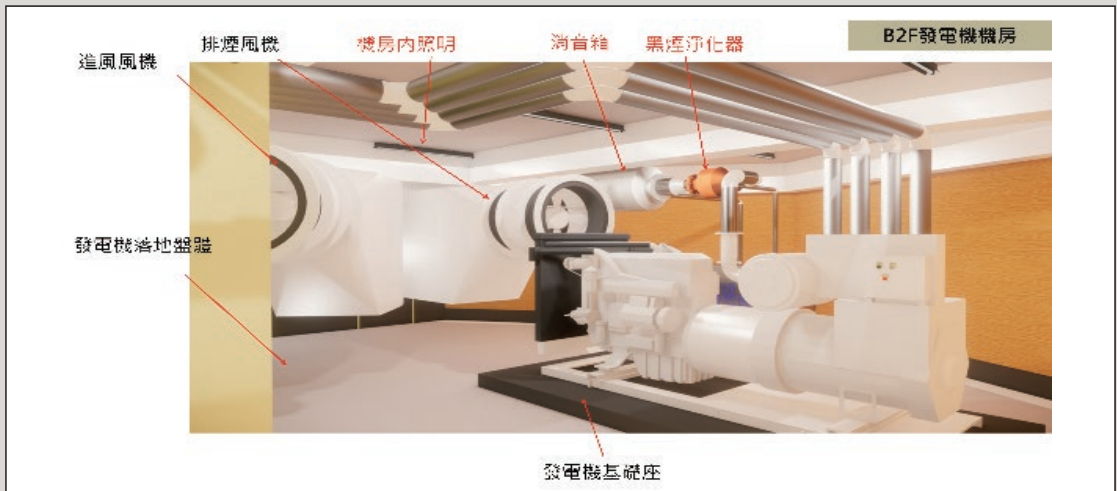


圖13 發電機設備模擬圖



圖14 以BIM模型放樣複校圖例

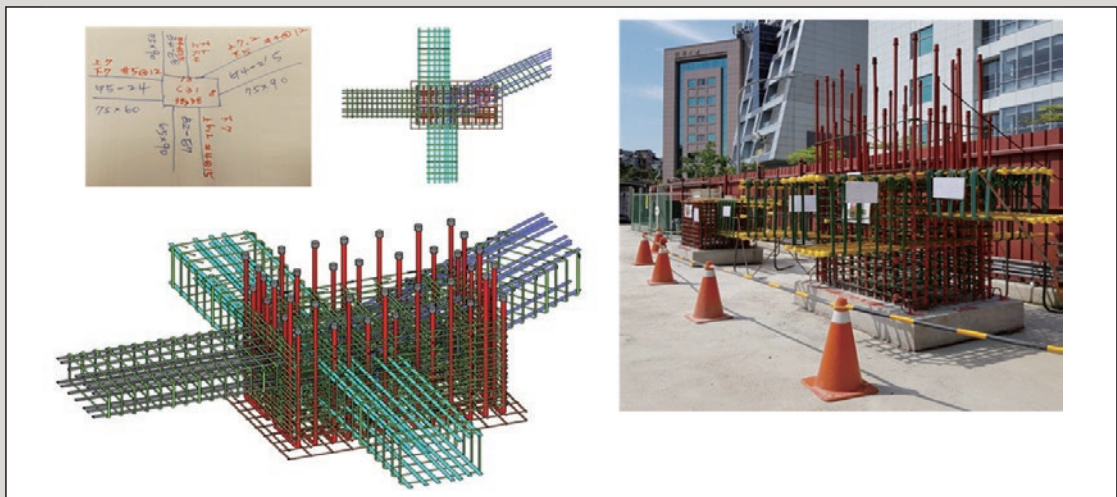


圖15 以BIM模擬梁柱接頭鋼筋綁紮及MOCK UP

肆、BIM技術貢獻度專家問卷調查之對象與程序

一、問卷調查對象

為了解專案對本案例採用BIM貢獻度的看法，本案例採專家問卷調查的方式辦理結論驗證，問卷發放對象鎖定為參與臺北市內湖區瑞光社會住宅統包工程的業主、專案管理暨監造、設計建築師、統包商、物業管理等單位專業人員，以從各工程角色來檢視BIM技術應用於專案管理的貢獻度，力求問卷的客觀及可參考性。

二、問卷調查程序

問卷調查係參考本案BIM工作執行書內容編製，利用Google表單建立問卷調查內容，最後以通訊軟體Line傳送問卷連結給調查對象，其程序如下：

- (一) 擬定問卷調查內容。
- (二) 製作Google表單。
- (三) 製作表單標題：第一部分「基本資料」、第二部分「導入BIM對設計階段貢獻度調查」、第三部分「導入BIM對施工階段貢獻度調查」、第四部分「導入BIM整體專案管理貢獻度調查」。
- (四) 製作問卷題目及答題方式。
- (五) 利用通訊軟體Line傳問卷調查連結給調查對象。
- (六) 文件填寫完回收並將調查結果建立相關圖表。

伍、BIM技術貢獻度問卷調查結果與分析

本案例共發放57份專家問卷，回收57份。以下針對各項調查結果以圖、表方式進行分析與討論，貢獻度調查結果則以李克特量表，將非常不同意、不同意、普通、同意及非常同意分別計分1、2、3、4及5分，計算平均分數(即貢獻度分數)進行分析，其計算方式如下：

$$x = \frac{(1*n1) + (2*n2) + (3*n3) + (4*n4) + (5*n5)}{(n1+n2+n3+n4+n5)}$$

式中：x：平均分數(即貢獻度分數)、n1：選擇非常不同意(1分)的人數、n2：選擇不同意(2分)的人數、n3：選擇普通(3分)的人數、n4：選擇同意(4分)的人數、n5：選擇非常同意(5分)的人數

一、基本資料調查結果與分析

基本資料調查結果如圖16所示，調查內容包含BIM專案工作年資、BIM專案經驗、承攬工程類型及服務單位規模等多面向的考量，整體而言並未過於偏向任一調查性質，這使得調查結果分析能夠更具意義。

其中，調查對象的服務單位參與過BIM專案在1-2件的比例最多，顯示目前業界仍未廣泛使用BIM技術，可說BIM技術仍值推廣期。調查對象的服務單位所承攬工程以公共工程最多，此說明公共工程政策引導民間工程技術發展的現況；調查對象的服務單位規模50人以上最多，說明目前主要BIM的使用群集中於規模較大的公司，較重視新型工具的應用發展及效益，並視有能力為長遠BIM的發展效益做投資。

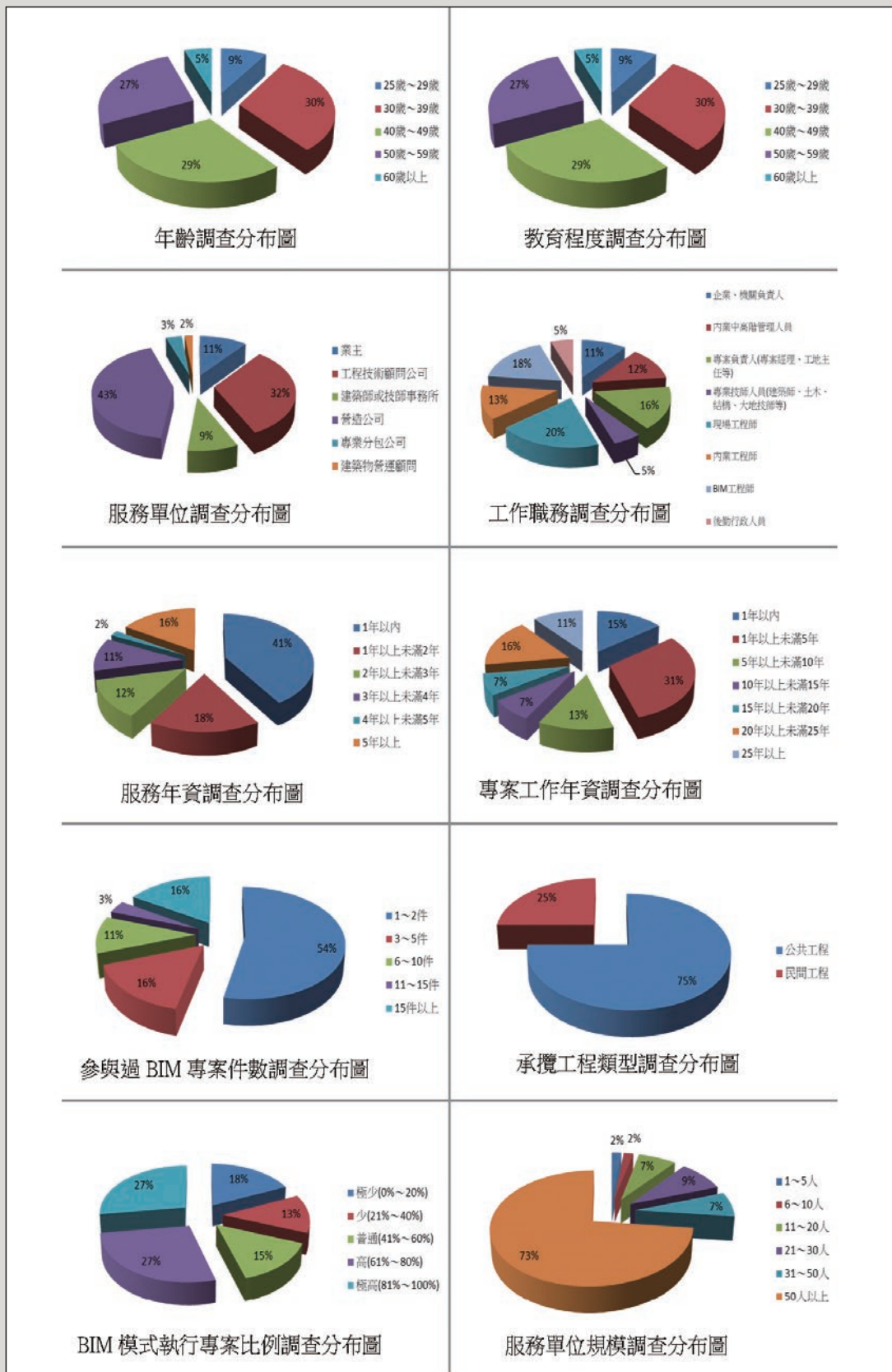


圖 16 基本資料調查成果圖

二、導入BIM對設計階段專案管理作業貢獻度調查結果與分析

調查結果如表2所示，貢獻度分數最高的前三項，1.BIM的衝突檢查報告有助於本案例的專案管理：此與專案管理須執行界面整合、溝通協調及圖說審查的主要任務有關；2.有助於專案管理釐清現場工作界面與確認施工品質管理標準：應用BIM於施工可行性檢討，以及早發現施工問題及回饋設計以預防問題，並執行風險管

控；尤其應用於具邊設計邊施工特性的統包工程，更具管理效益；3.有助於整體規劃工作：藉由Green BIM及3D模擬可視化的應用，在規劃方案的分析擇選、設計準則訂定等規劃作業能更加契合實際。

調查項目貢獻度分數最低者為導入BIM的工程進度模擬差異分析，此應與設計階段BIM模型建置的主要目的有關，目前設計階段，業界多以P6或Project軟體進行排程規劃。

表2 專案管理工作導入BIM對設計階段貢獻度調查結果統計表

問題	選項	人數	百分比	貢獻度分數
設計階段導入BIM的衝突檢查報告，有助於本案的專案管理？	非常不同意	0	0.00%	4.43
	不同意	1	1.85%	
	普通	1	1.85%	
	同意	26	48.15%	
	非常同意	26	48.15%	
設計階段建置BIM 施工模型，有助於釐清現場工作界面及確認施工品質管理標準？	非常不同意	0	0.00%	4.34
	不同意	0	0.00%	
	普通	3	5.66%	
	同意	29	54.72%	
	非常同意	21	39.62%	
設計階段導入BIM的作業模式，有助整體規劃工作？	非常不同意	0	0.00%	4.28
	不同意	0	0.00%	
	普通	7	12.96%	
	同意	25	46.30%	
	非常同意	22	40.74%	
設計階段導入BIM的視覺模擬差異分析，有助於設計成果？	非常不同意	0	0.00%	4.24
	不同意	1	1.82%	
	普通	5	9.09%	
	同意	29	52.73%	
	非常同意	20	36.36%	
整體來說，設計階段導入BIM，有助於本案的專案管理？	非常不同意	0	0.00%	4.24
	不同意	0	0.00%	
	普通	5	9.09%	
	同意	32	58.18%	
	非常同意	18	32.73%	
設計階段導入BIM的工程數量差異分析，有助於本案的專案管理？	非常不同意	0	0.00%	4.06
	不同意	1	1.92%	
	普通	9	17.31%	
	同意	28	53.85%	
	非常同意	14	26.92%	

接下頁 ↓

問題	選項	人數	百分比	貢獻度分數
設計階段辦理BIM的教育訓練，有助專案管理工作？	非常不同意	0	0.00%	4.06
	不同意	1	1.85%	
	普通	8	14.81%	
	同意	32	59.26%	
	非常同意	13	24.07%	
設計階段導入BIM的綠能差異分析，有助於設計成果？	非常不同意	1	1.82%	4.05
	不同意	0	0.00%	
	普通	6	10.91%	
	同意	36	65.45%	
	非常同意	12	21.82%	
設計階段導入BIM的工程進度模擬差異分析，有助於本案的專案管理？	非常不同意	0	0.00%	3.85
	不同意	6	10.91%	
	普通	10	18.18%	
	同意	25	45.45%	
	非常同意	14	25.45%	

三、導入BIM對施工階段專案管理作業貢獻度調查結果與分析

調查結果如表3所示，貢獻度分數最高的前三名，1.導入BIM的機電管線建模，有助現場施工管理；2.導入BIM的界面整合疑義事項討論，有助於現場施工管理；3.導入BIM的模擬大型設備定位，有助於現場施工管理。此顯示衝突檢討及3D模擬可視化於BIM應用的範圍較廣，亦與專案管理須執行界面整合、溝通協調、圖說審

查，以排除施工障礙促進工程工期、品質及成本有關。

調查項目貢獻度分數最低者為導入BIM有助於連續壁的檢核，經再深入訪談受訪者表示，無論在連續壁單元分割、工序及外管穿孔等檢討，目前以現有2D圖說應已足夠。

表3 專案管理工作導入BIM對施工階段貢獻度調查結果統計表

問題	選項	人數	百分比	貢獻度分數
施工階段導入BIM的機電管線建模，有助現場施工管理？	非常不同意	0	0.00%	4.39
	不同意	0	0.00%	
	普通	5	8.93%	
	同意	24	42.86%	
	非常同意	27	48.21%	
施工階段導入BIM的界面整合疑義事項討論，有助於現場施工管理？	非常不同意	0	0.00%	4.38
	不同意	0	0.00%	
	普通	4	7.14%	
	同意	27	48.21%	
	非常同意	25	44.64%	

問題	選項	人數	百分比	貢獻度分數
施工階段導入BIM的模擬大型設備定位，有助於現場施工管理？	非常不同意	0	0.00%	4.2
	不同意	1	1.79%	
	普通	5	8.93%	
	同意	32	57.14%	
	非常同意	18	32.14%	
施工階段BIM的模型輸出，有助於數量計算參考？	非常不同意	0	0.00%	4.19
	不同意	1	2.13%	
	普通	1	2.13%	
	同意	33	70.21%	
	非常同意	12	25.53%	
施工階段導入BIM，有助於地面、牆面開孔的檢核？	非常不同意	0	0.00%	4.18
	不同意	2	3.57%	
	普通	3	5.36%	
	同意	34	60.71%	
	非常同意	17	30.36%	
施工階段導入BIM作業模式，有助於專案管理工作？	非常不同意	0	0.00%	4.18
	不同意	0	0.00%	
	普通	7	12.50%	
	同意	32	57.14%	
	非常同意	17	30.36%	
施工階段導入BIM的作業模式，有助於監造單位工作？	非常不同意	0	0.00%	4.13
	不同意	0	0.00%	
	普通	7	13.21%	
	同意	32	60.38%	
	非常同意	14	26.42%	
施工階段導入BIM的模型檢視，有助於提升現場施工品質？	非常不同意	0	0.00%	4.11
	不同意	0	0.00%	
	普通	9	16.07%	
	同意	32	57.14%	
	非常同意	15	26.79%	
施工階段導入BIM的4D施工排程，有助於本案的專案管理？	非常不同意	0	0.00%	4.02
	不同意	1	1.79%	
	普通	9	16.07%	
	同意	34	60.71%	
	非常同意	12	21.43%	
施工階段辦理BIM的教育訓練，有助於監造單位工作？	非常不同意	0	0.00%	4.02
	不同意	2	3.57%	
	普通	7	12.50%	
	同意	35	62.50%	
	非常同意	12	21.43%	

接下頁↓

問題	選項	人數	百分比	貢獻度分數
施工階段，使用 Revit 建模所產生的圖面、數量表，有助於申請執照的工作？	非常不同意	0	0.00%	3.79
	不同意	2	3.57%	
	普通	17	30.36%	
	同意	28	50.00%	
	非常同意	9	16.07%	
施工階段，每位現場工程師提供 10 個可能發生的問題予 BIM 平台管理者處理，有助於專案衝突檢討？	非常不同意	0	0.00%	3.7
	不同意	3	5.36%	
	普通	17	30.36%	
	同意	30	53.57%	
	非常同意	6	10.71%	
施工階段導入 BIM，有助於連續壁的檢核？	非常不同意	0	0.00%	3.68
	不同意	2	3.57%	
	普通	20	35.71%	
	同意	28	50.00%	
	非常同意	6	10.71%	

四、導入 BIM 對整體專案管理作業貢獻度調查結果與分析

調查結果如表 4 所示，貢獻度分數最高的前三名，1. 工程越是複雜越是需要 3D 模型的呈現；本案例雖為社會住宅，惟因兼具住宅及參建單位等不同使用機能，且為銀級智慧建築，

各系統界面整合相形複雜，BIM 3D 模擬可視化應用於管理之實效獲本工程各單位稱許；2. BIM 模型中機電管線的建置，可以確保空間尺寸及淨高符合需求；應用 BIM 衝突檢討，克服傳統專案管理以 2D 圖面檢討不易詳實的困境，並降低常發生於驗收時空間尺寸及淨高與圖說不符的窘況；3. 利用 BIM 建立模型，可完全配合建照無

表 4 專案管理工作導入 BIM 之整體貢獻度調查結果統計表

問題	選項	人數	百分比	貢獻度分數
工程越是複雜越是需要 3D 模型的呈現，有助於專案管理？	非常不同意	0	0.00%	4.41
	不同意	0	0.00%	
	普通	1	1.79%	
	同意	31	55.36%	
	非常同意	24	42.86%	
BIM 模型中機電管線的建置，可以確保空間尺寸及淨高符合需求？	非常不同意	0	0.00%	4.33
	不同意	0	0.00%	
	普通	3	5.56%	
	同意	30	55.56%	
	非常同意	21	38.89%	
利用 BIM 建立模型，可完全配合建照無紙化的申請？	非常不同意	0	0.00%	4.31
	不同意	0	0.00%	
	普通	4	9.52%	
	同意	21	50.00%	
	非常同意	17	40.48%	

問題	選項	人數	百分比	貢獻度分數
BIM模型中裝修的建置，有於檢討結構體及完成面尺寸？	非常不同意	0	0.00%	4.25
	不同意	0	0.00%	
	普通	4	7.14%	
	同意	34	60.71%	
	非常同意	18	32.14%	
利用BIM建立模型，可展現房型天花版高度並調整順遂？	非常不同意	0	0.00%	4.16
	不同意	4	7.14%	
	普通	0	0.00%	
	同意	35	62.50%	
	非常同意	17	30.36%	
導入BIM對專案管理的貢獻價值高？	非常不同意	0	0.00%	4
	不同意	1	1.82%	
	普通	7	12.73%	
	同意	38	69.09%	
	非常同意	9	16.36%	
BIM模型中工程數量的產出，是重要的參考數據？	非常不同意	0	0.00%	3.93
	不同意	2	3.57%	
	普通	12	21.43%	
	同意	30	53.57%	
	非常同意	12	21.43%	
提升 BIM 技術價值由業主要求使用？	非常不同意	0	0.00%	3.82
	不同意	4	7.14%	
	普通	9	16.07%	
	同意	36	64.29%	
	非常同意	7	12.50%	
導入BIM對專案的投資報酬率高？	非常不同意	0	0.00%	3.71
	不同意	3	5.36%	
	普通	19	33.93%	
	同意	25	44.64%	
	非常同意	9	16.07%	
導入BIM對專案的利潤成效顯著？	非常不同意	0	0.00%	3.54
	不同意	5	8.93%	
	普通	23	41.07%	
	同意	21	37.50%	
	非常同意	7	12.50%	

紙化的申請：此可加速建管行政時程，有助整體工進。

調查項目貢獻度分數最低者為導入BIM對專案的利潤成效顯著，此與被調查者須投入相當成本執行BIM，以及目前BIM尚在發展中有關。

陸、結語

近10年來BIM應用在國內業界正逐漸地展開，可應用於建築物生命週期各階段，專案管理依專案需求訂定的BIM規範是督商辦理的重要管理依據。由本標的案例顯示BIM技術的應

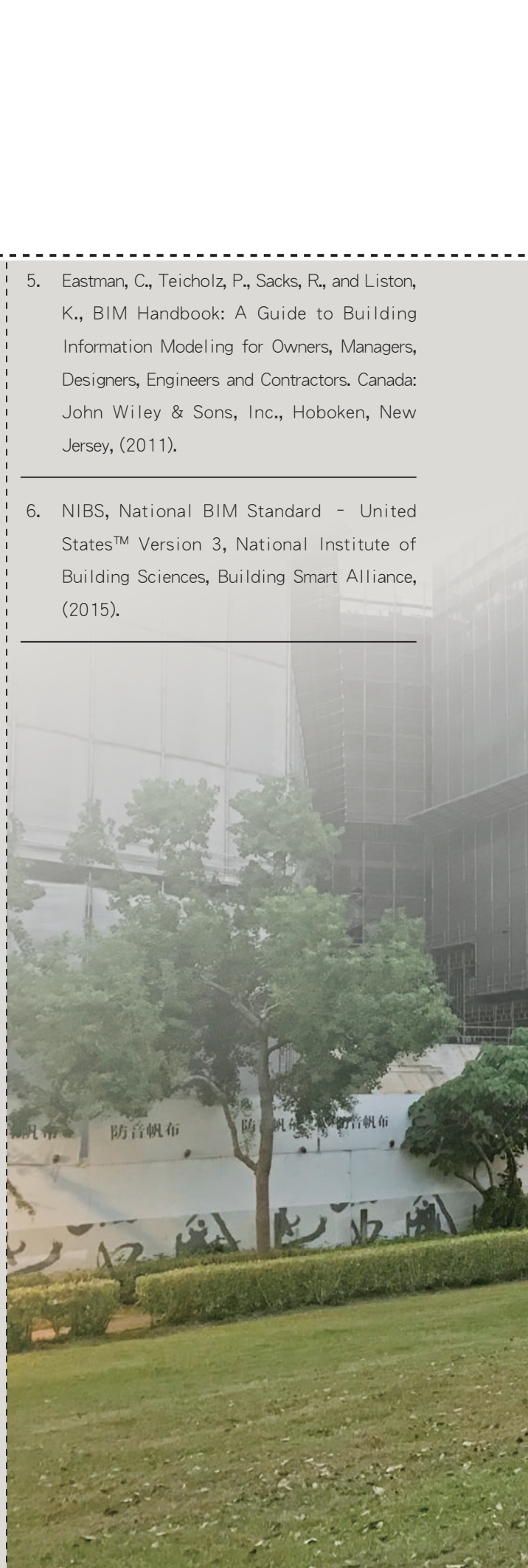
用在規劃設計階段的主要應用在於辦理綠能檢討、空間展示及佈設檢討、衝突檢討、數量計算、建管行政及技術檢討等，以及圖說成果審查；在施工階段BIM的主要應用，包括辦理3D轉2D施工圖紙、施工模擬及檢討優化、4D時程檢討、工序檢討、現場品質查證、數量比對、竣工模型等。當然未來仍要建立營運管理應用成果。依據本案例之經驗，已可深入了解BIM技術在工程應用的價值。

藉由本案例所進行專家之間卷調查，充份了解專家們對運用BIM技術於專案管理(含設計及施工階段)貢獻度的主要意見及效果，因此隨著BIM技術的發展及應用，其成效將更具有實質價值。

參考文獻

1. 林星岳，「建築資訊模型(BIM)於專案管理之應用-以新北市三重、蘆洲、淡水運動中心為例」，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文，臺北(2014)。
2. 李怡青，「國內營建產業應用BIM技術現況調查與分析」，國立中央大學營建管理研究所碩士論文，臺北(2014)。
3. 林利國，「營建工程品質管制」，全華圖書股份有限公司，(2008)。
4. 臺北市都市發展局，「臺北市內湖區瑞光公共住宅BIM作業規範」，(2017)。

5. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K., BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, (2011).
6. NIBS, National BIM Standard - United States™ Version 3, National Institute of Building Sciences, Building Smart Alliance, (2015).





3

專題報導

臺灣飛機維修公司 新二機棚設計與施 工技術經驗分享

關鍵詞(Key Words)：新二機棚(New Second Hangar)、桁架提升(Truss lifting)

臺灣飛機維修股份有限公司／經理／楊攸碩 (Daniel Yang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／協理／邱水碧 (Chiu, Shui Pi) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／副理／黃寶翰 (Huang, Pao Han) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／主任／鄭達鈞 (Cheng, Ta Chun) ❹

摘要

隨著國際航空客運業務大幅成長，因應飛機修護需求大增，及爭取亞太飛機修護市場，華航公司於2014年成立「臺灣飛機修護公司」，並在現有三機棚廠旁另興建『新二機棚』廠。自2019年7月啟用後，除可增加自有機隊維修事業的營運彈性，更能擴大爭取亞太鄰近地區修護業務，藉此拓展修護市場，同時也有助於提升修護品質。

本文以新二機棚廠興建工程為例，探討鋼構棚廠摒棄傳統吊裝工法，而以現地組裝後提升、閉合鋼柱方式施作，透過施工過程應注意之組裝及提升重點及作法經驗回饋，作為日後鋼構棚廠引進新施工技術之參考。



Technical Experience Sharing of Hoisting Methods for Steel Truss in the New Second Hangar by Taiwan Aircraft Maintenance Company

Abstract

With the substantial growth of the international aviation passenger business, the “Taiwan Aircraft Maintenance Company” was consequently established in 2014 by China Airlines in order to actively strive for the Asia-Pacific aircraft repair market, together with the second hangar factory newly built next to the existing third hangar factory. It is expected to increase the operational flexibility of the maintenance business, expand not only the repair business in the vicinity of the Asia-Pacific region but the scope of the repair market, and simultaneously facilitate the improvement in repair quality after the opening in July 2019.

This paper thus takes the new second hangar construction as an example to discuss the application of hoisting closed steel column after site-assembly adopted by the steel shed factory instead of traditional hoisting methods. Through its construction process, additional attention shall be paid to the key points as well as practices of assembly and hoisting, with a view to serving as a reference for the construction technology of the steel shed factory in the future.

3

專題報導

壹、緒言

新二機棚廠工程位於桃園國際機場南跑道尾端旁，鋼構施工吊裝高度應受航高限制，傳統吊裝工法之吊裝易超過機場塔台雷達掃描允許高度，影響飛航安全，故本工程鋼構桁架改以現地組裝，完成後以提升方式與鋼柱對接，以減少吊裝高度對飛航安全影響，並合理縮短吊裝施工時程。

貳、維修棚廠鋼構桁架說明

考量維修機棚需能容納5架飛機同時維

修之空間及動線，棚廠建物機棚區面積為177m×65m，頂棚採鋼桁架結構系統，屬中間無落柱之量體空間。(詳圖1、圖2)

設計階段即評估採用鋼桁架之結構系統，其優點除鋼材屬環保綠建材，上部頂棚重量較輕，可減輕建物基礎負荷，並可避免或減省施工架之搭設，具施工快速、工期較短之效益，亦易於加設或拆移維修相關設備。

惟其鋼構頂棚自重較輕，結構安全分析易受風力影響，且棚廠基地靠近海邊，鋼構桿件亟需有完善之防蝕措施，設計工作主要檢核結構安全及考量建材耐久性。

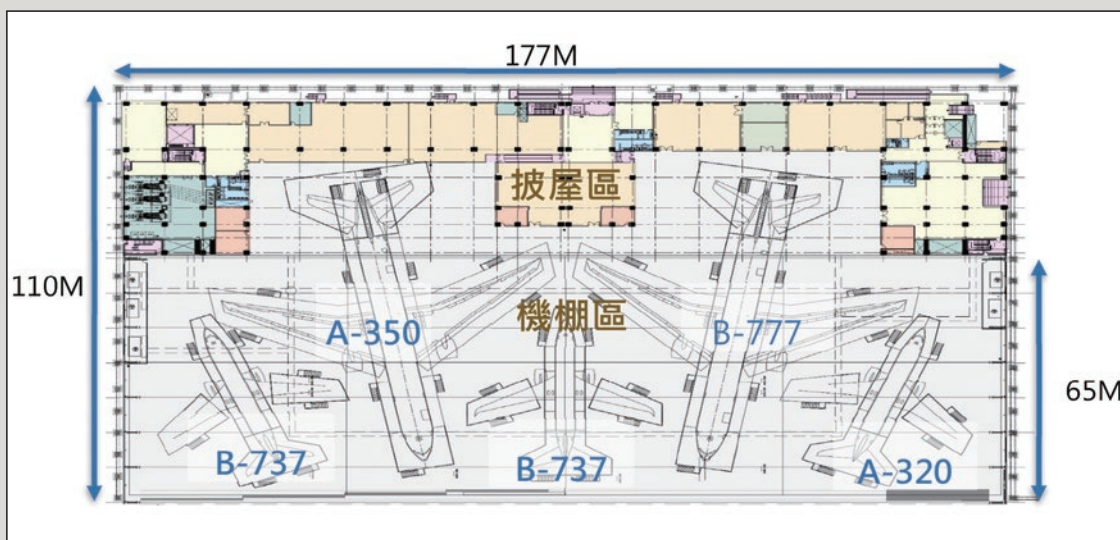


圖1 維修棚廠平面圖

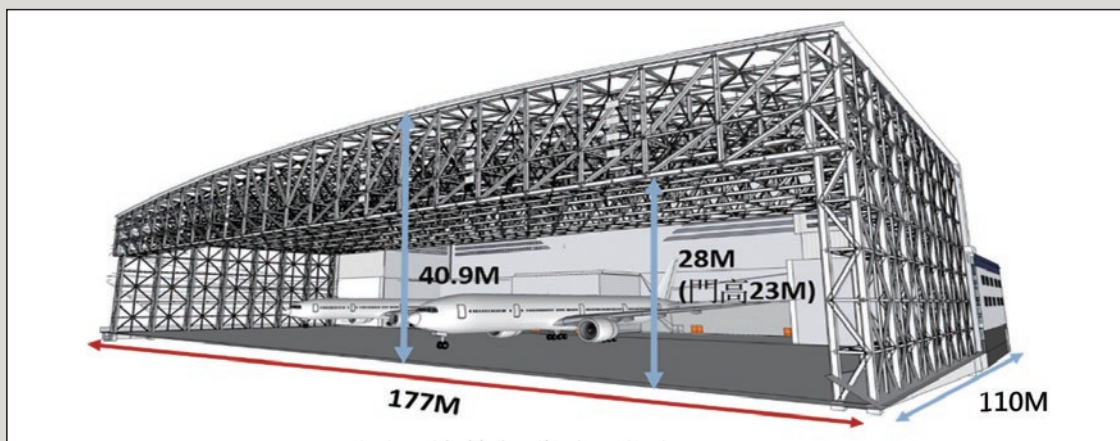


圖2 維修棚廠立面圖

參、鋼構桁架提升工法考量及評估比較

一、傳統鋼構桁架吊裝工法評估

新二機棚廠機棚區頂棚面積為 $177\text{m}\times 65\text{m}$ ，屬無柱之空間鋼桁架結構系統，倘以傳統吊裝工法施工，需設置許多臨時支撐架逐步吊裝，桁架完成後水電工程尚需在 $28\sim 41\text{m}$ 高空進行配管作業，須設置臨時支撐架、大型施工機械等施工設施，增加施工之費用成本，並且增加施工工期及可能之風險。

二、本工程採用之鋼構桁架提升工法評估

鋼構桁架提升工法係利用原有鋼柱頂部設置三角架及安裝千斤頂，側邊設置被拉系統，俟鋼構桁架現地組裝完成，以千斤頂配合鋼絞線將鋼構桁架提升至定點。

施工過程係鋼構桁架先行現地組裝及機電配管施工，完成後以千斤頂將鋼構桁架用提升方

式於高空中與鋼柱對接，具有減少高空作業，保障施工安全，減省臨時支撐架、臨時設施、大型施工機械費用及縮短施工工期之優勢。

考量基地四個端點高程為 $22.53\sim 25.35\text{m}$ ，機場限建高程為 $73.26\sim 77.50\text{m}$ ，淨高為 $47.91\sim 55.01\text{m}$ ，而建築設計高度為 39m ，所需吊車操作高度約為 42m ，相較機場塔臺雷達掃描高度為 32m ，現場施工高度將超過限高規定，詳圖3。依規定超過限高之施工，必須於施工前一週向機場公司申請，並配合航班起降時程施工。另考量機場相關規定，鋼構吊裝時程需以夜間施工為主。

肆、提升工法設備簡介

一、本工程之鋼構桁架提升工法主要機具設備計有

- (一) 提升千斤頂 3500kn 14台及配合安裝棚廠大門處3500kn 4台(設置於N軸)

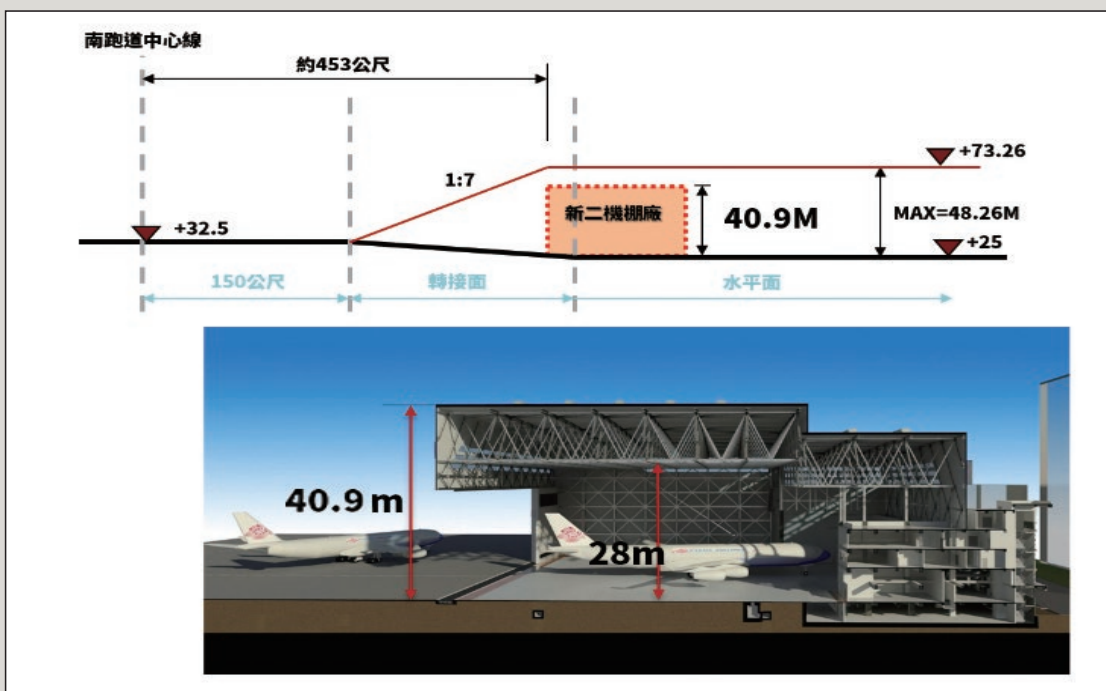


圖3 建築物與航高限制比較

- (二) ϕ 17.8mm鋼絞線約 28 ton
- (三) 液壓泵站系統60kw級 6部
- (四) 電腦主控系統1部
- (五) 各類傳感器16套
- (六) 油管及各類耗材乙批
- (七) 提升支架及下吊點地錨各16組

二、主要設備系統

(一) 提升設備

提升千斤頂結構、導向夾持器/天錨、上夾持器/上錨、主頂、下夾持器/下錨、安全夾持器/安全錨、構件夾持器/地錨，詳圖4。



圖4 提升千斤頂照片

(二) 液壓泵浦

- 1.1 台泵浦驅動3~4台提升頂，速度約4~8m/hr。
2. 液壓泵浦：負載回饋變數泵、多路換向閥組、比例閥組等，詳圖5。
3. 油壓均可通多路閥限壓設定保護系統。

(三) 控制系統

包含控制盤及電腦螢幕，主要控制油壓千斤頂壓力及高度，詳圖6。



圖6 控制系統操作介面

項目	泵站
理論排量(L/min)	2X56
額定壓力(Mpa)	31.5
電動機功率(kW)	2×30
電動機轉速(r/min)	1480
整機品質(kg)	1800
液壓油種類	32# (冬天) /46# (夏天)
外形尺寸(mm)	1200×1600×1900(長寬高)



圖5 液壓泵浦

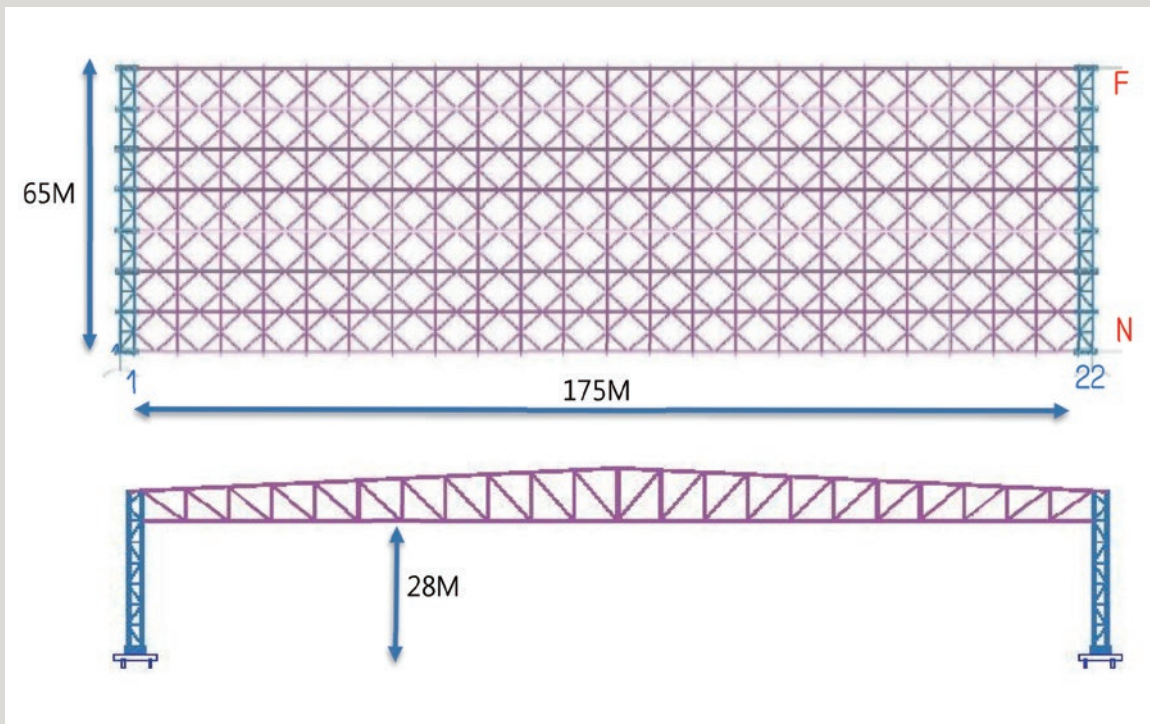


圖7 鋼構桁架平立面圖

伍、鋼構桁架提升工法步驟

機棚頂鋼桁架結構平面投影尺寸為175m×65m，由8榀主桁架和其間聯繫結構組成，主桁架跨度175m，高度6.7m~12m，總重約4200噸。

提升作業物件為機棚頂鋼桁架結構，支撐體為雙排鋼構柱，棚頂結構採單向立面鋼構架體系，跨度約為175m，主桁架為上、下弦梁及腹梁組成的平面桁架(除大門處，大門處為上中下弦的三層平面桁架)，平面投影位於1-22軸／F-N軸範圍內提升高度約28m，平立面圖詳圖7。

本工程鋼構現場安裝方式採桁架現場組裝完成後，以提升方式與東西兩側鋼柱上下拱頭對接，桁架提升工法工序如下所述。

一、第一階段

在原規劃構造物正下方位置組裝完成屋頂桁架結構，安裝加固桿件、提升下吊具和提升支架，在設計位置安裝液壓提升器、鋼絞線、提升專用地錨，連接液壓油管、布設通訊訊號線等液壓提升設備設施。

二、第二階段

各項工作確認無誤後進行油壓壓力分級載入40%、50%、60%、70%、80%，再次檢查各項工作，期間注意結構柱的垂直度；繼續進行分級載入90%、100%直至結構離地約100mm，鎖緊液壓提升器；複測結構柱頂垂直度；測量各吊點實際提升高度，利用同步控制系統進行“單點動”操作，確保所有提升吊點提升高度一致，懸停24小時以確保各千斤頂持壓穩定，詳圖8。

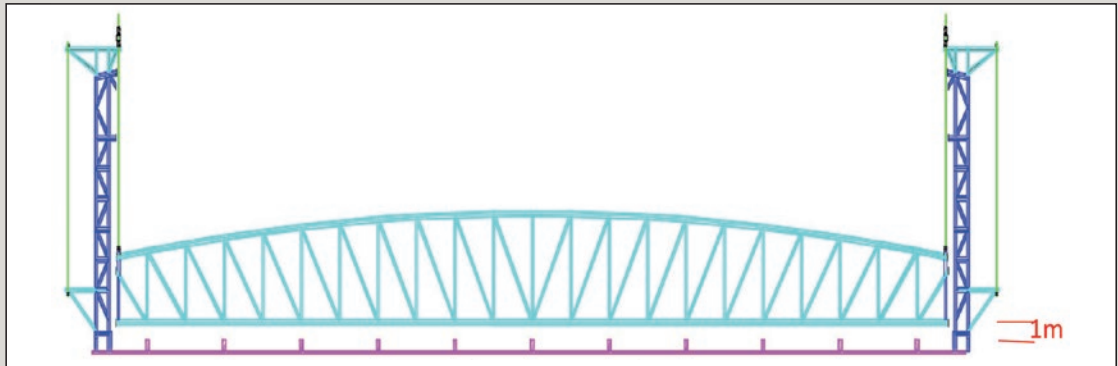


圖8 鋼構桁架提升示意圖



圖9 鋼構桁架提升至1M處(第一階段)照片



圖10 背拉鋼絞線補施拉預力照片

三、第三階段

收測鋼柱變位，再依實際狀況補拉背拉鋼絞預力，以控制鋼柱變位再容許值範圍，詳圖9、圖10。

四、第四階段

背拉鋼絞線補施拉預力完成，測收鋼柱變形量後，再次進行第二階段提升工作(實做提升速度 4m/hr)，進行整體提升作業期間每間隔5m進行資料測量，視需要進行單吊點調整保證桁架結構提升的一定同步性；提升過程的資料測量建議在吊點處懸掛卷尺，詳圖11、圖12，



圖11 鋼構提升(第二階段)照片



圖12 吊點懸掛鋼尺照片

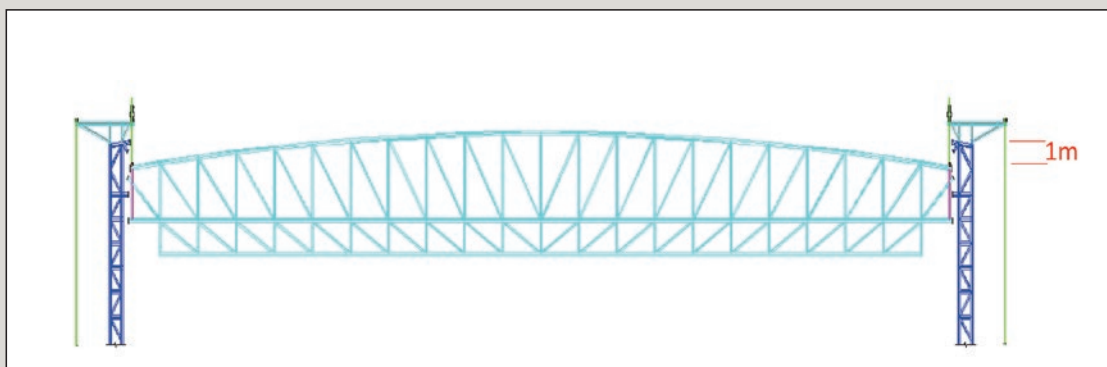


圖13 桁架提升至設計位置1m處



圖14 上下拱頭銜接情形照片(一)



圖15 上下拱頭銜接情形照片(二)

五、第五階段

桁架結構提升至離設計位置1m附近，放慢提升速度，進行各吊點提升高度的資料測量，保證提升一定同步性；另鎖緊液壓提升器使之由液壓制鎖轉換為機械制鎖。當提升到設計位置，量測各銜接點位置距離(視情況修正各銜接

點連接版)，詳圖13~15。

六、第六階段

提升到定位，鎖定油壓千斤頂，進行位置校正，完成後進行螺栓鎖斷及焊接作業。詳圖16、圖17。



圖16 上下拱頭閉合情形照片(一)



圖17 上下拱頭閉合情形照片(二)

七、提升完成後接續安裝大門底層桁架(N軸構件)，安裝過程中視需要設置組裝支

撐架，避免上層桁架不均勻承載。詳圖18~22。

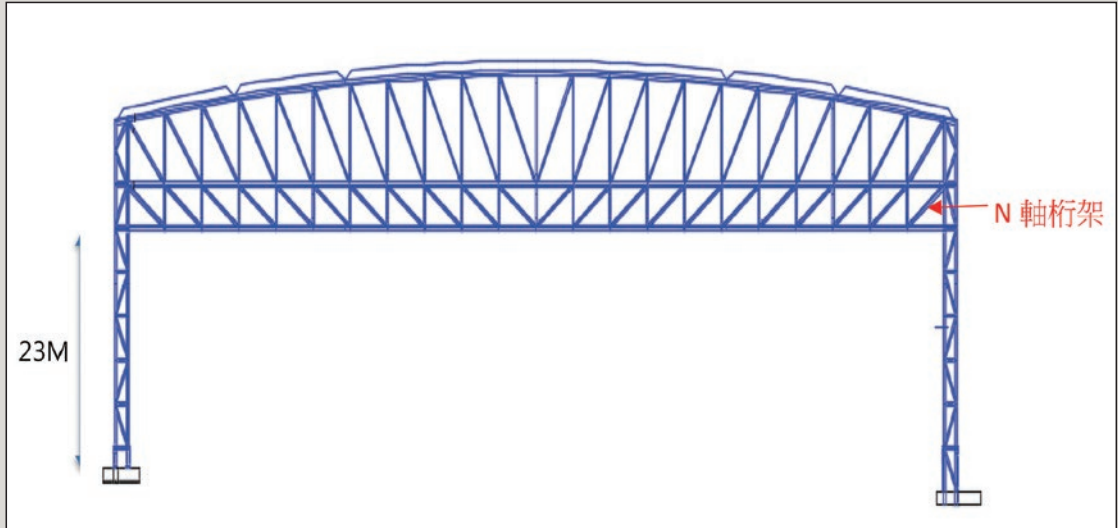


圖18 鋼構桁架提升至定位及N軸構件之桁架安裝示意圖



圖19 上接合點銲接照片



圖20 下接合點銲接照片



圖21 N軸構件桁架安裝照片



圖22 N軸構件桁架安裝完成照片

八、提升器分級卸載(張拉索卸載工作交替進行)，結構荷載平穩轉移。

九、拆除鋼絞線、提升設備等。

十、各主要工項實做施工時程

- (一) 提升器(含背拉系統)安裝-14天
- (二) 提升泵浦系統安裝-2天
- (三) 鋼絞線、底錨安裝-5天
- (四) 提升設備系統調試-1天
- (五) 鋼結構試提升-1天
- (六) 鋼結構第一次正式提升-1天
- (七) 鋼結構第二次正式提升-1天
- (八) 鋼結構接合處焊接-7天
- (九) 大門桁架安裝及焊接-6天
- (十) 提升設備拆除-7天

陸、提升工法執行之重要經驗說明

一、鋼構桁架組裝過程需考量溫度變化及預拱值，提升過程需考量風力及地震時對於鋼構桁架之影響。為防止突發大風天氣的影響，保證桁架結構整體提升過程的絕對安全性，在提升過程中應隨時觀測桁架結構的偏移量，當鋼絞線的斜度大於1度(1°)時，需暫停提升，並利用鋼繩將桁架結構四角與鄰近主體結構臨時連接，以防止桁架擺動。

二、在提升過程中，基於結構吊裝安全要求，各提升吊點的液壓提升設備配置係數需一致，以確保提升結構穩定性，以利提升結構能正確就位，落實各個吊點在上升過程中能夠保持一定的同步性(±10mm)。

三、鋼構桁架採提升工法桁架可就地組裝(含預拱度、螺栓扭斷、電銲)，擺脫傳統工法施工時之機場飛航高度限制，仍得於日間施工。

四、現場以每個柱軸線組立數座支撐架分段施工組裝，再將整體鋼構桁架吊裝至約40M高度。若未能預為在地面組立，後續配合之相關消防水電分項工程將須進行高空作業，困難度增加，工率降低且易發生工安問題。

五、鋼構提升工法採用就地組裝方式，每個LINE線上設立1M高支撐架，分段組裝桁架(淨高約8~13M)，完成後進行後續消防水電作業，高度較低，容易施工。

六、提升工法於鋼柱兩側設置背拉系統，西側因受制進出動線影響，背拉支架錨定點設置於鋼柱1/3處，施拉預力時對於鋼柱與上下弦(拱頭)產生變位較小，影響提升過程上下弦(拱頭)與桁架閉合結果。倘將錨定點設置地面上，施拉預力對於鋼柱與上下弦(拱頭)會產生較大變位量。

七、鋼構桁架吊裝方式採提升工法施工，東、西柱上下弦(拱頭)可採後裝方式施工，即俟現場丈量寬度，工廠製造後再安裝，可提高準確度及縮短修改時程。

柒、結語

鋼構桁架提升工法於中國大陸已有數十起施工案例，國內台北市大巨蛋亦曾導入技術應用施工，但相關案例經驗仍偏少。本文說明「新二機棚」廠鋼構桁架採用此一工法，其實際執行的經驗，應具有未來國內專業廠商採用時之重要參考價值。

醫院工程專案管理——以臺北榮民總醫院新建醫療大樓為例

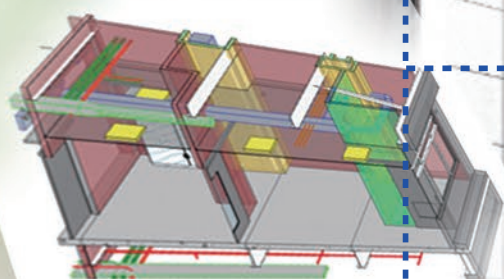
關鍵詞(Key Words)：醫院工程(Hospital Engineering)、專案管理(Project Management)、醫療需求(Medical demand)、拆除重建(Demolition and Reconstruction)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／協理／邱水碧 (Chiu, Shui Pi) ❶

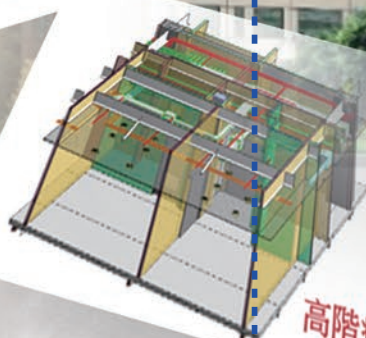
台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／經理／江秉修 (Chiang, Ping Hsiu) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／副理／李晏平 (Lee, Yan Ping) ❸

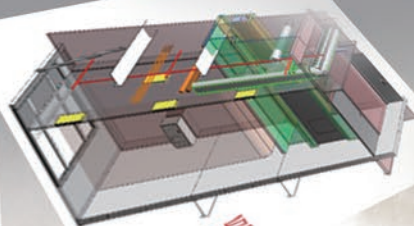
台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／計畫經理／彭子斌 (Peng, Tzu Pin) ❹



負壓病房



高階病房



單人病房

摘要

為因應社會結構發展與日漸成長的需求，國內多數醫療院所皆面臨部分建築物之空間量及品質早已無法滿足現代化醫療需求，且維修不合乎成本效益的問題，故重新檢討院區整體規劃進行拆除重建即為當務之急，重建計畫之專案管理服務需求便應運而生。

本文將以臺北榮民總醫院新建醫療大樓為例，探討醫院工程於需求確認、設計審查、進度管控、施工督導等專案管理工作，有別於一般建築工程應注意之管理重點及作法，並探討BIM技術於醫院設計之應用模式，以作為後續醫院工程專案管理技術服務精進參考。



Engineering Project Management - Take Taipei Veterans General Hospital's New Medical Building as Example

Abstract

In response to the development of social structure and the growing demand, most medical institutions in domestic area are facing the problems of building space quantity and quality, which can no longer meet the needs of modern medical treatment, and the maintenance is not cost-effective. Thus, it is imperative to re-examine the overall planning of the district to carry out the demolition and reconstruction. The demand for project management services for the reconstruction project will come into being.

This article will take the new medical building of Taipei Veterans General Hospital as an example to discuss the project management of hospital engineering in demand confirmation, design review, schedule management, construction supervision, etc. It is different from the management focus and practice that should be paid attention to in general construction projects, and discuss the application mode of BIM technology in hospital design as a follow-up reference for hospital engineering project management technical services.

3

專題報導

壹、前言

臺北榮民總醫院成立於民國四十八年，隸屬於國軍退除役官兵輔導委員會所屬之公立醫療機構，經過多年之努力經營及發展，今天已成為臺灣地區主要醫學中心之一，肩負醫療服務、教學訓練與醫學研究等任務。

院區內長青樓與護理宿舍D、E棟等3棟建物經結構耐震能力評估，其結構強度不足不具補強效益，且護理宿舍D、E棟將屆年限需拆除重建。經檢討評估，計畫先拆除護理宿舍D、E棟及臨近電荷中心A，於該址興建一棟地下三層，地上十二層，總樓地板面積45,302.41m²之新醫療大樓(圖1)，以因應未來院區長期發展及滿足地區醫療中心需求[1]。



圖1 新建醫療大樓正面透視圖
(資料來源：統包商/洪清安建築師事務所)

臺北榮民總醫院於105年4月25日經準用最有利標評選決標予台灣世曦工程顧問股份有限公司及譚俊彥建築師事務所組成之共同投標團隊，委託辦理新建醫療大樓統包工程之專案管理(含基本設計)暨監造技術服務；本文將就新建醫療大樓計畫(下稱本案例)執行過程之需求確認、設計審查、進度管控、施工督導等專案管理面向工作，在一般建築工程生命週期例行專案管理執行工作之外，針對醫院工程應特別注意之管理重點及作法，以及BIM技術於醫院設計之應用模式進行探討。

貳、醫院工程專案管理管理重點及作法

一、需求確認

(一) 設計需求明確與具體化，替統包工程細部設計奠定良好基礎

在基設階段指派專業人員與使用單位溝通，使各空間的定性定量明確、使用者需求具體化且量化，並將結論書面化(如圖2)，讓使用者瞭解且簽署接受，以降低未來統包工程細部設計產生變更設計的機率；如若無法避免之變更設計，亦可借由原已量化的結論辦理差異分析，使契約執行合理化，避免履約爭議。

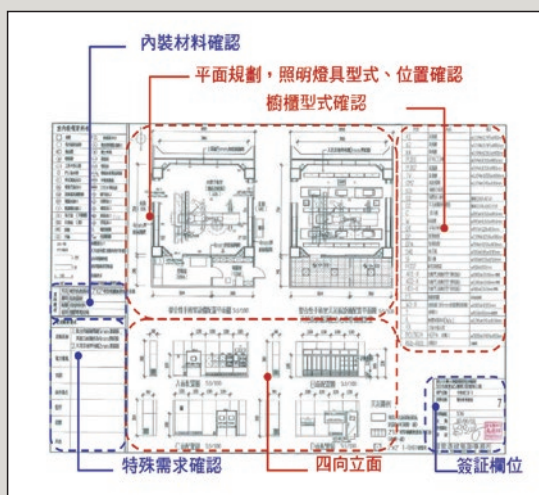


圖2 醫院空間室內設備資料表

(二) 建立醫院設計需求確認方式及流程

為確保設計成果能落實各科室使用者需求，透過建立妥善之設計需求確認方式及流程(如圖3)作為專案管理團隊基本設計階段之執行流程[2]，亦於統包廠商進場後要求據以辦理，並於各階段彙整需求時皆要求詳實紀錄(如空間面積需求表、空間設計需求彙整表等)，以落實於未來統包設計審查執行過程。

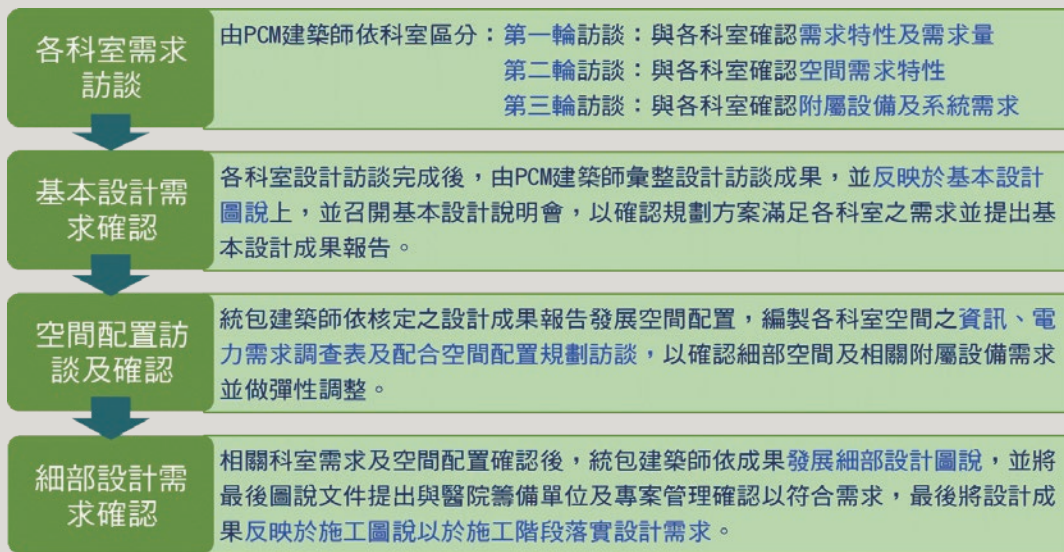


圖3 醫院工程設計需求確認方式及流程建議

二、設計審查

(一) 醫院工程設計審查要點

除透過P.D.C.A品管流程建立送審制度及應用80/20法則，針對細設階段送審文件摘要各項查核重點之外，更應針對醫院工程彙整設計審查之要點[2](如圖4)，以確保未來統包設計審查工作之完整性及正確性。

(二) 醫院設置及評鑑要求

醫院工程設計審查除需符合一般建

築技術規則等相關建築法規之外，針對醫院規劃定位需考量之「醫療機構設置標準」、「醫院評鑑制度」，甚或若需國際化，涉及之「JCI國際醫院評鑑標準」(源自於美國系統的醫院評鑑暨醫療品質策進會(Joint Commission of Taiwan, JCT)認證)，皆需於設計審查過程予以注意，並應隨時留意醫院新制設置標準及評鑑制度之頒布，以落實設計審查作業。若因應新制規定而產生之變更設計，亦應立即針對需求變更進行檢討，以影響工期及成本最小之建議方案督導統包設計及與使用單位(科



圖4 醫院工程設計審查要點

室)協調，加速需求變更設計之成案、設計作業、需求確認所需時程及整合協調施工工序。

三、進度管控

(一) 建立需求確認及決策流程

醫院工程涉及眾多使用單位，需求訪談、溝通及詳實記錄已屬不易，惟整合各使用單位之分配資源更是困難，若未能有效管控需求確認、決策及定案，將會大幅延長設計時程。

故於計畫起始，專案管理單位即應協助業主成立功能定位小組，並建立完善即時之需求訪談管道及流程(如圖5)。

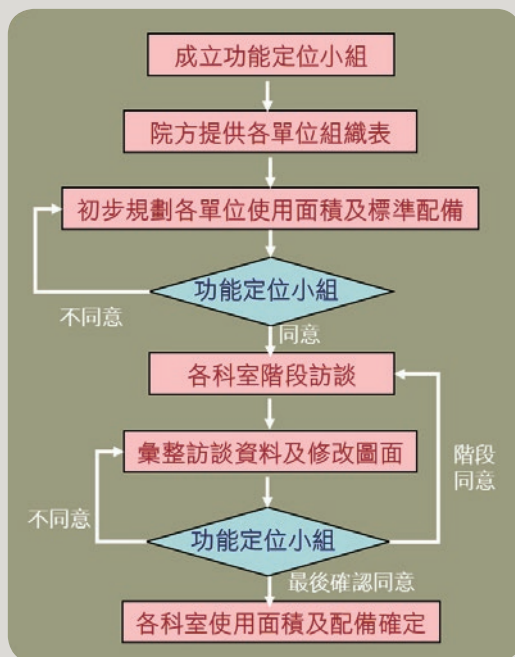


圖5 需求確認及決策流程建議

並搭配具體書面化之圖表(如空間資料調查表等)，加速確認包括面積、機電、傢俱、醫療設備、特殊工項或設備等各科室使用者需求以及量體之研擬，若能獲得業主高層的全力支持，將可有效縮短基本設計時程，並於後續統包工程設計執行階

段，若因應不可避免之需求變更，亦可透過此決策流程，快速完成需求變更定案，降低對工期影響之衝擊。

(二) 醫療設備採購時程規劃

醫療設備雖多屬業主自辦採購及安裝，但因與建築工程本身存有諸多施工介面及時程搭配問題，故除了設計及施工进度管控外，醫院工程專案管理亦需協助業主針對主要醫療設備採購，如急診診療設備、病房設備(一般、加護、隔離)、手術室設備、精密檢查及重要治療設備(CT、LA、MRI..)等，進行需求調查，並配合施工进度之預定排程，給予業主正確採購及設備進場安裝之時程資訊建議，方能於工程驗收及試營運時同時完成，如期配合醫院開幕營運。

醫療設備採購之考量原則包括採用最優化先進設備、更方便的自動化設備、數位化資訊化設備及最大邊際效益的財務運用等，而採購時程則因醫療設備多為進口品，需經採購製作、進口、安裝試機等程序方能供臨床使用，故採購時機宜於營運前至少一年開始作業，並盡早進場配合機電預埋裝修施工。

(三) 專題式管控表

除擬訂「總體綱要進度表」或「管制里程碑」作為計畫進度管控之最高檢核依據，另要求統包據以發展「施工进度詳細表或網圖」，施工執行過程再要求細化為每週管控之「三週進度表」之外，針對醫院工程管報中具複雜工序及施工耗時之特殊空間，如手術室、負壓隔離病室等，宜以「專題式管控表」單獨進行專題化管控(如圖6)，以確保所有工項能配合竣工目標期程同時完成。

表2 動力系統拆建工序及督導重點

動力系統拆、建工序	督導重點
設備容量及管、線路徑現況調查	1.參照原設計圖說及既有動力盤一、二次側迴路配置清查及標示。 2.新設管線路徑檢討(含管道間、管線佈設空間及防火區劃)。
設備、材料及施工計畫送審	1.設備、材料送審是否與既有相符或優於，以免影響後續系統銜接。 2.動力盤體製造需進行電力廠驗。 3.施工計畫詳述切換程序步驟及緊急應變處置。
新設動力建置及管線佈設	1.需檢討與既設管線銜接開口位置，避免與後續新設大樓管線銜接衝突及影響設備維護空間。 2.需完成設備監控點、接地及迴路相序、絕緣電阻等功能檢測。
現有發電機移設及備援	1.確保供電正常，應租用足夠容量之發電機及線路銜接備援並檢討臨時設置位置。
系統管線切換銜接	1.協調台電斷電及系統設備銜接時機(假日夜間)及切換所需時間、人力、機具。 2.需與院內操作維護單位模擬切換銜接及緊急供電程序之確認。
既有動力系統拆除	1.帶電設備檢測避免殘餘電力感電。 2.變壓器及管線回收處理規定。

參、BIM技術於醫院設計之應用模式

醫院建築在設計上較住宅、辦公大樓等一般建築為複雜，在智慧醫院裡的智能櫃台/就診/病房、能源管理、智慧中控、室內空氣品質、機電綜合佈線、消防等工程，因醫療設施水準提升也越趨繁複。基此，BIM技術於醫院設計之應用更顯重要。

BIM在規劃設計常用之應用模式包括有建築及結構設計(圖紙模型化；如圖8)、碰撞分析、數量計算、能源分析、日照分析、風流分析、方案選擇、視覺化分析等[3]，針對醫院具有複雜不同系統管線及醫療空間之動線、配置等特殊需求，設計階段更應著重於管線碰撞分析及視覺化分析溝通，以避免管線衝突及施工結果不符使用單位(科室)之需求與期待，導致辦理變更設計或拆除重工。



圖8 本案例醫療大樓BIM模型
(資料來源：統包商/根基營造股份有限公司)

透過管線碰撞分析應用，可於設計階段將所有複雜之醫院系統管線包括強弱電、空調、給排水、消防、監控、醫療氣體、護士呼叫、

氣送系統等，發揮介面整合功效，確保空間淨高皆可符合醫院設置及評鑑標準以及智慧建築標章等需求(如圖9及圖10)。

空間名稱	統需書淨高要求 B3F-B1F, 3F-12F	實際淨高B3F- B1F, 3F-12F	統需書淨高要求 1F&2F	實際淨高 1F&2F	檢核結果
辦公、護理站及庫房空間	不得小於2.4m	2.7m	2.7m	2.7m	符合
病室	不得小於2.7m	2.7m	2.7m	2.7m	符合
公共走廊	不得小於2.5m	2.5m	2.7m	2.7m	符合
其他醫療空間	不得小於3m	3.0m	3.0m	3.0m	符合
濕式空間	不得小於2.4m	2.4m	2.4m	2.4m	符合
1F&2F門廳空間			3.3m	3.3m	符合
垃圾車行徑路線	3.2m	3.2m			符合

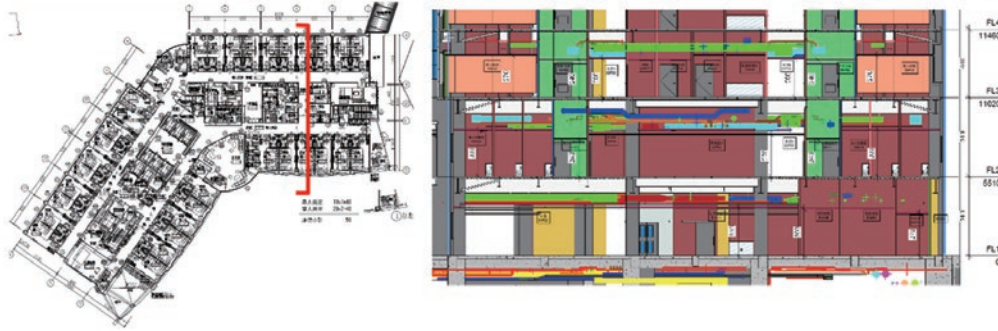


圖9 本案例空間淨高檢討
(資料來源：統包商/根基營造股份有限公司)

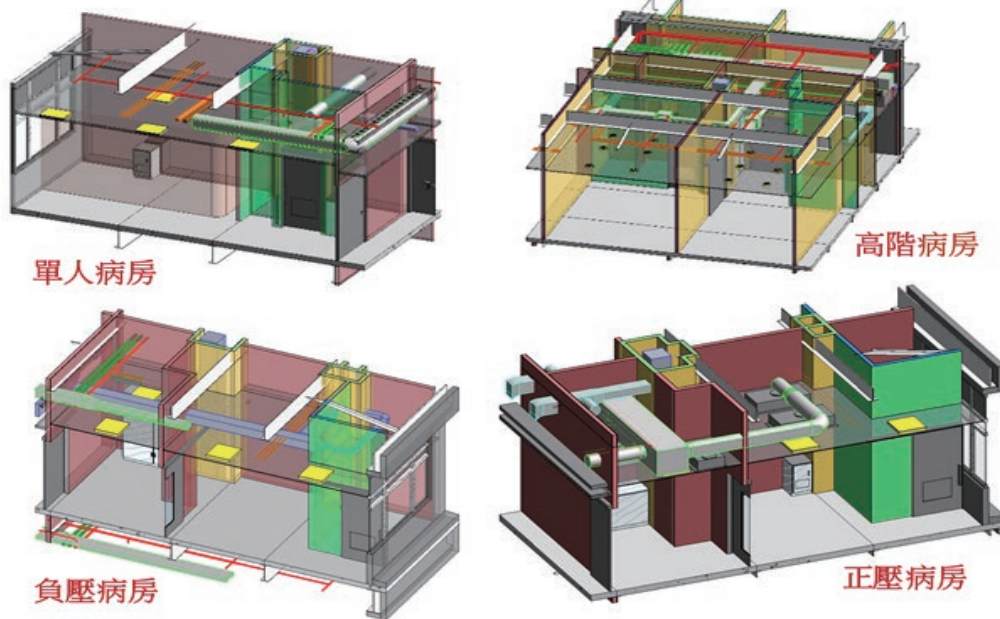


圖10 本案例病房空間TYPE模型展示
(資料來源：統包商/根基營造股份有限公司)

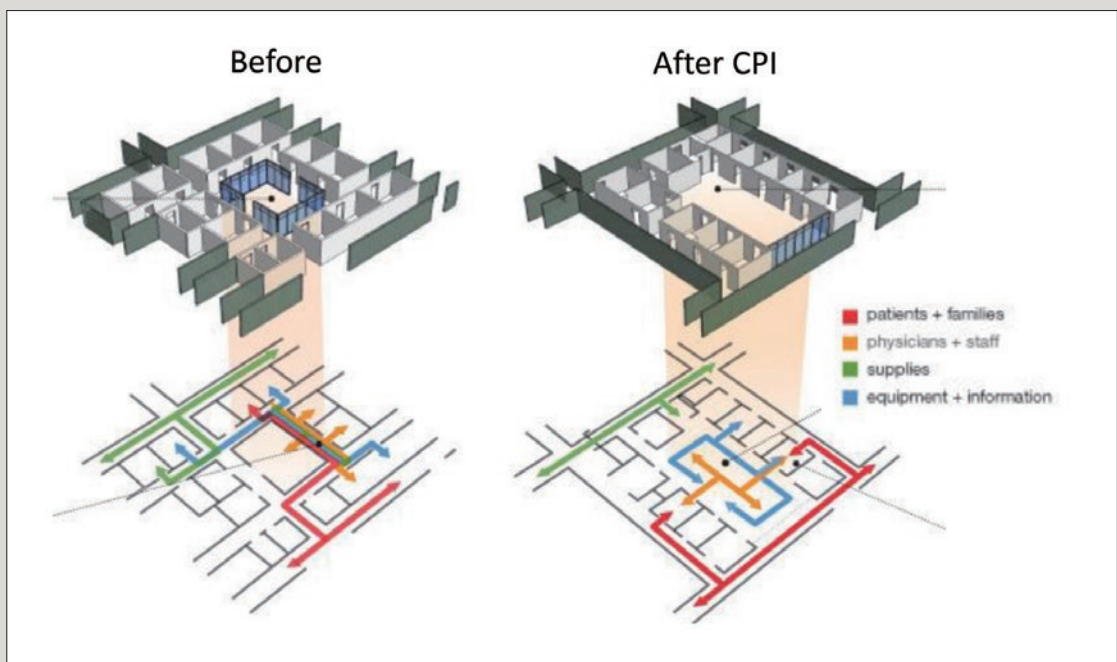


圖11 醫院動線檢討分析

(資料來源：Seattle Children's Bellevue Clinic and Surgery Center)

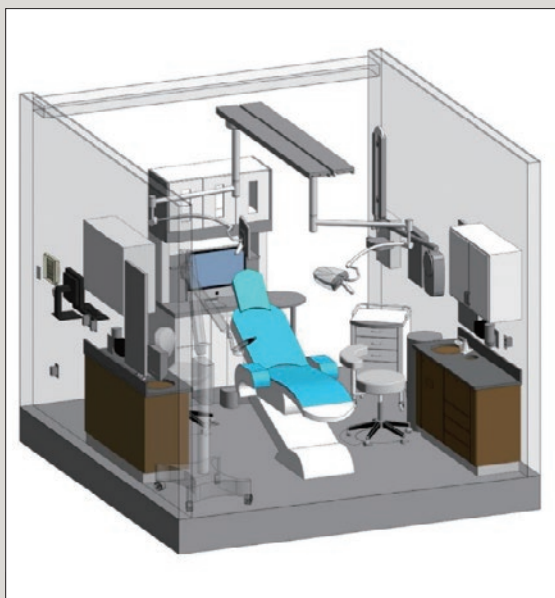


圖12 醫療設備儀器配置視覺化檢討

(資料來源：<http://SEPSTOBIM>)

另透過視覺化分析溝通應用提供建築師與醫療人員溝通的平台，對於業主而言，可以協助視覺化檢討、易於了解設計內容、加速需求確認及決策，更能確保設計成果符合各使用單位(科室)不同醫療空間之特殊需求，例如動線規

劃(人流、物流、污物及潔淨分流)(如圖11)及醫療設備、儀器配置(如圖12)等[3]。

肆、結語及展望

一、本案例經上述專案管理作法，執行至今具體成效包括：

- (一) 協助業主訂定快速有效之需求確認流程及方式，並將使用需求具體量化及記錄，並彙整醫院設計審查要點，落實於統包細設審查，確保設計審查工作之完整性及正確性。
- (二) 訂定「總體綱要進度表」及「主要工項管制里程碑」作為計畫進度控管最高檢核依據，並據以審查核定統包商之「施工進度詳細表及網圖」以及細化為每週管控之「三週進度表」逐週檢討及管控，整體進度管控良好。

(三) 已提前針對醫院特殊醫療空間或機能需求，訂定施工督導重點要項，將據以審查後續提送之分項施工計畫，並落實於施工過程之監督。

(四) 透過建立動力系統拆建工序及督導重點，在院區營運不中斷之前提下，已順利完成舊有建物電荷中心A(即動力系統)拆除及動力系統無縫轉換。

(五) 透過BIM技術管線碰撞分析及淨高檢討，已解決98項介面衝突及協調與22次RFI釋疑，並完成20次干涉分析報告，確保空間皆可符合醫院設置及評鑑標準以及智慧建築標章等需求。

二、醫院工程之展望

(一) 醫療產業的完善、整合、升級、輸出是我國發展價值鏈中非常重要的一環[4]，目前台灣醫療體系中的各個公私立醫療院所，無不迫切需要擴建及整建以提升既有建築物之空間量及品質，以滿足現代化醫療各項需求。

(二) 醫院工程之專案管理技術服務將扮演建設或整建現代化醫院的重要角色，但有別於一般建築工程，醫院工程不僅工項繁多、機能複雜、使用單位(科室)需求難以確認，更涉及特殊之醫院設置及評鑑法令、感控流程及動線、醫療儀器設置環境與防輻要求等專業知識，因此專精於醫院工程之專案管理技術團隊確實須具備相當專業能力。

(三) 未來，新一代的智能醫院，包含以「病人為中心」、「智能」及「綠色節能」等三大核心輔以智慧化節能控制而建構之「智慧綠色醫院」，將是醫院工程專案管理服務工作要精進之領域。

參考文獻

1. 蔡達寬建築師事務所，「臺北榮民總醫院新建醫療大樓先期規劃構想報告書」，第5頁(2015)。
2. 彭子斌，「國立陽明大學附設醫院興建工程專案管理實務」，PMI台灣專案管理國際論壇(2016)。
3. 林祐正，「BIM在醫院規劃設計之應用及趨勢」，永齡健康基金會-看見醫院的變與不變研討會(2016)。
4. 許常吉建築師事務所，「臺北醫院急重症大樓擴建工程新建計畫」，第7頁(2017)

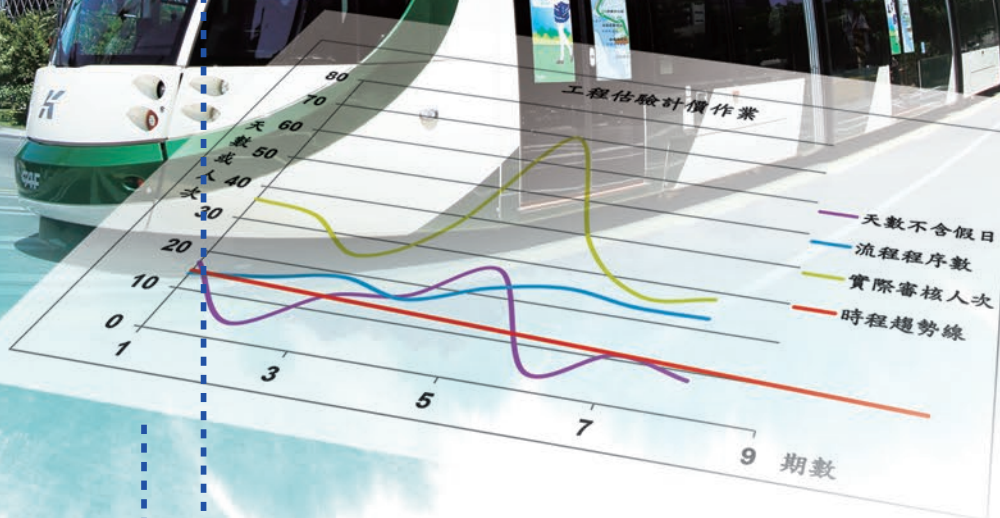
工程估驗計價 共通資訊平台

關鍵詞(Key Words)：估驗計價系統(Valuation Verification System)、工程資訊管理(Engineering Information Management)、公共工程建設(Public Construction)

高雄市政府／捷運工程局／局長／范揚材 (Fan, Yang-Tsai) ❶

高雄市政府／捷運工程局／副局長／吳嘉昌 (Wu, Jia-Chang) ❷

高雄市政府／捷運工程局／設計師／林秀宜 (Lin, Hsiu-Yi) ❸



摘要

公共工程建設之廣續推展與維運，為國家建設與經濟發展之重要磐石。然政府部門面對有限資源之考驗，與積極提升工程建設管理效率，落實工程品質與推動計畫目標，提升國家整體競爭力，業已成為極大挑戰。本文期以運用新技術及資訊應用軟體建置的系統性思維，提出公共工程估驗計價解決方案，並在實務上建置完成估驗計價共通資訊平台。本資訊平台為配合「高雄環狀輕軌捷運建設(第二階段)統包工程」，建設高雄輕軌工程估驗計價作業正確且有效率進行，加速政府部門、專案管理單位、監造單位、承包商等跨組織間估驗計價程序之流程與審核機制，期能透過運用本整合性共通資訊平台，俾利做系統化、制度化、整合性控管，並數位化保存工程相關估驗計價與付款等歷史資料，進而助以提升工程建設品質，供後續其他政府部門工程單位參考。



The Collaboration Information Platform for Public Construction Valuation and Verification

Abstract

The continuous promotion and maintenance of public construction is an important foundation for national construction and economic development. However, the government departments have faced great challenges by facing the breakthrough of limited resources, actively improving the efficiency of public construction management, implementing policy goals and promoting construction quality, and enhancing the overall competitiveness of the country. In this paper, we use the systematic thinking of new technology and information application software to propose a public construction valuation and verification solution, and build a collaboration information platform for speeding up the schedule of the valuation verification in practice. This information platform is used to apply the “Kaohsiung Light Rail Transit Turnkey Project (Phase II)”, constructs the Kaohsiung LRT Project of valuation verification to be correctly and efficiently operated. Accelerate the inter-organization valuation verification procedures and audit mechanism among government departments, project managers, supervisors, and contractors. Through the use of this integrated collaboration information platform, enables the advantage to systematically, institutionalize, integrated control, and digitally preservation historical data related to project valuation verification, thereby helping to improve the public construction quality, provide the reference to other government engineering departments.

壹、前言

一、高雄環狀輕軌捷運建設工程

高雄環狀輕軌捷運建設為國內興建之第一條輕軌運輸系統，銜接現有捷運紅、橘線與台鐵鐵路地下化，實現國際化都會交通無縫接軌，打造幸福宜居城市的軌道路網，如圖1。核定總經費約新台幣165.37億元，路線全長約22.1公里，分為兩階段施工，如表1所示。其中，C1~C14路段(含機廠)長8.7公里為第一階段，已於106年9月26日完成階段通車。第二階段為接續第一階段C14尾軌往北、最後接回第一階段之C1車站，路段長13.4公里，已於106年3月開工。

本計畫為亞洲首次採用無架空線系統技術之輕軌建設，全線採用無架空線供電的百分之百低底盤輕軌車輛，保留城市藍天天際線，並可減少雜物誤觸電纜線之意外發生。輕軌車輛以電力驅動，採超級電容及蓄電池系統，全程零空氣汙染，到站20秒內即能完成快速充電，同時使用再生煞車，可回收電力再使用，節能效率達30%，為永續都市之未來趨勢[1]。

表1 高雄環狀輕軌兩階段施工概要表

輕軌統包工程	說明	
總建設經費	165.37億元	
路線全長	22.1公里	
執行方式	政府自辦興建	
候車站	37處	
機廠	前鎮機廠(第一階段興建)	
通車營運	2階段	
項目	第一階段	第二階段
建設金費	83.71億元	81.66億元
路線全長	8.7公里	13.4公里
候車站	14處	23處
輕軌設備室	6座	6座

二、背景

隨著時代演進與環境變遷，現今公共建設計畫屬性變得相當多元，跨組織間介面亟需即時且複雜的協同作業(Collaborative Work)，以因應服務民眾為導向的多元需求。發展建置協同作業系統，正是現今資訊科技特性之擅場。換言之，如何善用資訊科技，利用以功能性跨組織之共通性資訊平台為政府部門與契約私部門間協調交流媒介，期使加速行政效率，與行政處理流程透明化之資訊共享理念，儼然成為政府推動施政的重要轉型輔助趨勢。

依據台灣經濟研究院景氣動向調查新聞稿(2015年12月25日發行)指出[2]，2015年11月營造業景氣為下滑態勢，主要是部分公共工程估驗作業不順，主辦機關未能付款，致使收入認列時程遞延。顯示公共工程預算之執行常因工程估驗計價行政程序作業時間的緩慢，而造成付款延誤，致使預算執行落後的情況時有發生。是以，為加速辦理工程估驗計價行政作業時間，期以新資訊技術開發建置整合性之估驗計價共通資訊平台，實有其必要性與迫切性。



圖1 高雄環狀輕軌路線圖

貳、工程估驗計價作業現況

一、問題瓶頸分析

經由田野調查法(Field Research)與使用者訪談分析法(User Interview)，透過實務作業流程與程序處理等公文暨相關文件與電子檔，在工作流程(Workflow)與使用者行為模式(Pattern)中，輕軌建設工程因內容獨特、專業領域界面多、金額龐大、複雜性高等特性，迥異於一般傳統工程建設，促使其在估驗計價作業之複雜、組織人員界面與困難度皆更高。

基此，以系統化目標改善工程估驗計價作業問題之瓶頸，經由「高雄環狀輕軌捷運建設第一階段工程」估驗程序現況分析後，爰揭露出下列議題應予以解決：

(一) 承包商內部作業流程與資料傳遞不能落實正確性、完整性與一致性，造成前期、後期之間提送工程估驗計價資料的矛盾與延誤。此除要求承包商需統整內部工程管理、專案管理顧問、監造顧問之間資料傳遞與資料版本一致性的問題，以提升估驗資料品質外，透過網路資訊科技媒介，以加速跨組織間之即時溝通協調，並且以雲端訊息數位化保存相關溝通與文件往返歷程，將能有效促使工程估驗計價經驗之累積與共享，進而達到正確完整、高品質資料之順利無誤的快速傳遞。

(二) 採Excel試算表製表，多人使用同一個檔案，為因應工程估驗計價審核流程機制，經常做檔案分散式分享與傳遞，此動作極易產生資料重複、格式無一致性、公式加總計算錯誤等問題。由於目

前Excel軟體普及率相當高且辦公室工作者操作熟悉度亦甚高，所以經常被用來作為估驗計價工具。然因該工具之公式運算設定較為彈性以致提送之估驗詳細表文件資料，常會因些微數字錯誤或申請之估驗計價資料，被試算表工作列隱藏或儲存格人為不慎複製或搬移的疏失，而受政府主計單位要求調整與修改，多次行政程序往返而影響承包商估驗請款期程，同時造成工程預算執行延誤之情形[3]。

(三) 對政府部門而言，工程估驗計價能順利審核進行，其承包商提送之相關估驗計價佐證文件的正確完整，具有同等重要性。然在重大公共工程建設中，由於每期承包商申請估驗計價之完成施工範圍與金額皆龐大，需檢附之佐證資料相對量大且繁雜，所以常見文件未完整或簽章未完全的情形，例如未檢附試驗檢驗文件檢核表、施工日誌與現場照片、估驗數量無法勾稽等，或是估驗數量錯誤，例如工作未完成卻提出申請、現場數量計算錯誤、重複估驗、估驗數量超過施工日誌累計完成數量等。針對此現象，建立資料運算與文件內容標準化機制，實為改善對策。例如，傳統估驗文件編制作業模式常因為數學運算過程在進位、捨位或含小數位數上的差異，產生估驗金額些微錯誤，此可藉由訂定合理之資料運算規則，包含估驗數量與契約單價之取位標準、金額計算公式之檢核、當期累計估驗金額與直接及間接工程費之計算方式加以改善。另對於估驗計價相關佐證文件之項目與內容等，亦能整合建立一套標準作業程序(Standard Operating Procedures, SOP)，據以作為後續契約

承包商提送整備文件之依據與準則，甚是重要。

二、軟體開發技術

綜合前述問題瓶頸分析結果，為有效提升工程估驗計價作業之行政效率，善用資訊科技成為解決瓶頸之利器，是以，能夠因應跨組織間介面更即時且複雜的協同作業估驗計價共通資訊平台乃孕育而生。本資訊平台在軟體開發技術上，依據實務上需求與規劃系統規模性質，主要引用如下三項技術特性：

(一) 系統發展與設計

本資訊平台開發，係以「高雄市政府捷運工程局工程估驗計價作業程序SOP」[4]作為系統分析與設計準則，且為能快速掌握使用者對本資訊平台的系統架構與功能，在系統發展方法論上採用快速應用程式開發(Rapid Application Development, RAD)技術[5]，以疊代式開發(Iterative Development)與建立軟體原型(Software Prototyping)的技術完成本系統開發生命週期(System Development Life Cycle, SDLC)。過程中經由多次原型修改以逐步確認系統細項功能而完成發展建置。

(二) 回應式網頁設計(Responsive Web Design, RWD)

實務考量審核者經常需在工地進行監督與查驗等現場作業，為利工程估驗計價作業時效，本資訊平台能夠跨越電腦和行動裝置的網站，實現從一個裝置到另一個裝置的無縫使用，是以，本資訊平台援用回應式網頁設計新技術，為視覺化Web-based網頁使用者介面設計，以Java為系統開發工具，所有網頁設計以符合HTML5與CSS3的規範來設計，且適用於Microsoft IE、Google Chrome、Mozilla Firefox與

Apple Safari之主要瀏覽器使用，並且能適用於Windows 10/8.1/7 64-bit與Windows 7/XP 32-bit之作業系統，不因使用不同瀏覽器與不同作業系統，而有不同呈現與使用結果，可由各種機型個人電腦、行動裝置包含平板電腦與手機裝置操作使用，皆有適合的呈現。

(三) 資訊安全規範

以使用帳號與相關角色權限屬性，設定控管使用者個別功能與操作畫面，並於撰寫程式時即符合安全程式設計規範。本資訊平台通過資訊安全檢測掃描，確保通過涵蓋資料隱碼(SQL Injection)、跨網站攻擊(Cross-Site Scripting)、惡意程式、病毒、蠕蟲等資訊安全安檢措施，以防止造成資安漏洞。亦對系統使用異常事件包含資料庫異常紀錄、使用者登出入紀錄、操作紀錄等加以保留，同步儲存資料庫中，提供Web-based網頁查詢管理介面，俾利系統管理者維運管理。

參、系統功能建置

一、系統架構

本資訊平台系統架構如圖2所示。

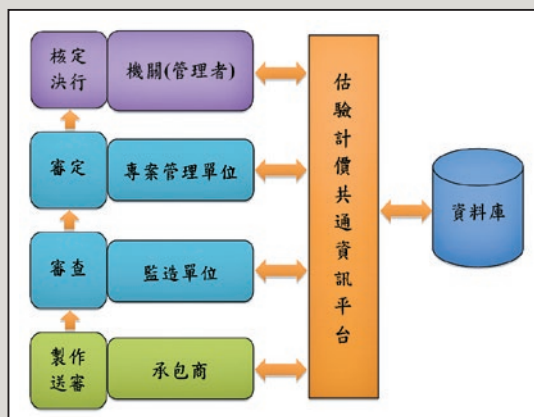


圖2 系統架構圖

二、系統功能特性

(一) SOP工程估驗計價作業程序

依據「高雄市政府捷運工程局工程估驗計價作業程序SOP」作為系統規劃主要功能架構，能適用於所有統包工程暨其他傳統工程之工程估驗計價作業。系統功能主要包含契約資料管理、承包商計價請款、計價歷史資料檢索、系統公告管理、使用者帳號管理、系統異常事件紀錄查詢等功能。所有工程契約相關單位能以行動裝置，雲端即時掌握工程估驗計價程序最新進度，並於系統畫面顯示該工程契約之歷期估驗計價金額與完成進度彙總表，俾利正確即時掌握現況一目了然。

(二) 跨科室同步線上審核

本資訊平台以工程項目計價為導向，對每筆工程項目之明細計價皆即時紀錄實際審核人員。並特別在審核流程設計上，將所有跨科室承辦人與所有跨科室股長列為同一個審核點，後依估驗計價流程簽呈，亦以所有跨科室正工程師列為同一個審核點，所有跨科室科長列為同一個審核點，利用此跨科室多人同步線上審核特性，以加速估驗計價時效，如圖3所示。當該審核點被啟動時，系統以email即時通知審核點中所有審核者審核流程業已到達，以即時提醒審核者登入平台進行線上審核，期使審核時程不會因疏漏

通知而延誤。

(三) 系統化計價完整檢核與彙計

於契約起始時，系統即設定總量與工程項目詳細價目，俾利後續依計價資訊流與金流完整檢核與彙計。由於工程項目金額與數量龐大，單就工程估驗明細表(乙表)約1,200筆工程項目，每筆工程項目計價含千億元至12位數與小數至6位數，是以透過系統使用者介面設計與設定公式計算並檢核，有效降低使用者輸入或運算錯誤情形。並且，面對跨專業領域的工程建設，系統能依各工程項目之不同性質，自動判斷以百分比或數量計價，此功能特性更能大幅降低使用者判斷或運算錯誤情形。同時提供線上PDF報表功能，俾利審核者隨時於線上檢視與確認報表內容。

(四) 佐證資料附件檔

應用目前影像掃描技術，承包商可將相關估驗計價佐證文件掃描為電子檔，透過線上上傳佐證資料功能，包含現場報表、施工圖說、照片、材料檢驗證明等，讓審核者能夠於雲端即時檢視檔案內容，如圖4所示。並對於承包商如有誤上傳或是估驗文件內容有誤，系統提供線上退回機制，承包商可藉由線上修正後重傳，大幅縮短過去紙本送件之時程與路程時間。

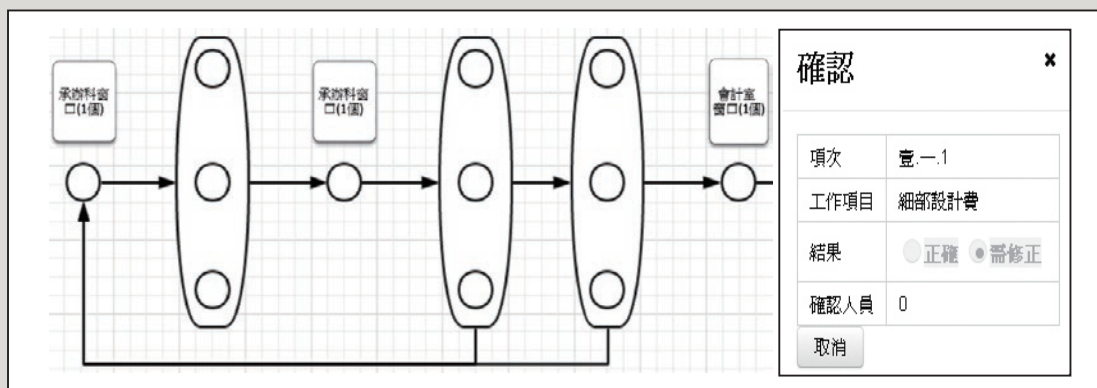


圖3 跨科室多人同步線上審核



圖4 線上上傳佐證資料檔



圖5 每期計價彈性調整審核流程

(五) 彈性調整審核流程

由於跨專業領域與階段性工程進程作業，系統能依據每期估驗計價性質不同，提供系統管理者彈性調整該期審核流程，增減相關使用者帳號，讓每期估驗計價針對實際的所有相關審核者進行設定，如圖5所示，藉由此橫向之估驗計價作業與縱向之使用者權限交叉管理功能，能有效控管估驗計價資料安全性、審核流程正確性與縮短審核時效。

(六) 審核意見知識庫

在審核流程中提供輸入審核意見文字區，藉由承包商歷期工程估驗計價提送審核經驗的累積，本資訊平台能夠數位化保存歷期估驗計價實際審核流程與時效進度、各單位審核意見，俾利寶貴工程經驗的傳承，如圖6所示。有鑑於重大公共工程金額龐大、涵蓋專業領域極廣、且工期歷時數年，過程中當面對人員職務異動或是新進人員，透過該寶貴的知識庫，能夠快速掌握其契約工程估驗計價現況之注意事項與特性等，更有助於工程估驗計價經驗的累積，俾利後續其他工程契約參考。



圖6 審核意見文字區

(七) 系統匯入現場工地估驗計價資料Excel試算表

考量承包商現場施工與工地管理實務現況，本資訊平台將各工程項目之總項與明細等資料先予以規格化，提供線上工程估驗計價Excel格式範本，俾利承包商下載於工地管理使用，進而於各期估驗計價申請作業時，直接將該現場工地估驗計價資料以該Excel試算表匯入本系統，不用重複輸入資料，即可於執行本系統之資料公式檢核無誤後，逕行送出啟動申請審核流程機制。

(八) 包含契約變更設計、物價指數調整等功能

在工程估驗計價作業中，經常會遇到契約變更設計後對應的相關資料與明細亦需隨之異動，包括數量增減與新增單價議定等，本資訊平台提供歷次契約資料變更之版本儲存管理功能，以整數位數控管公文核定的版本數、3位小數控管契約變更執行細節；需線上自動擷取各期物價指數彙計物價指數調整款、系統自動彙計預付款扣回等處理功能，提高估驗計價作業複雜度，本資訊平台皆已納入各項功能，俾利工程估驗計價作業可完善於系統中完整運作，期能確實掌握工程契約實際執行的全貌。

(九) 結案浮水印報表陳核付款

當期估驗計價作業於本資訊平台線上完成審核程序後，由該契約之政府部門承辦窗口執行結案功能，系統即將該期估驗計價所有相關資料，包含已上傳之佐證資料檔皆鎖定為歷史資料，不允許再做任何異動。同時提供線上通知承包商開立發票申請付款作業，如圖7所示，並且於結案後列印PDF報表時，系統自動於每頁報表加入浮水印辨識，俾利後續主計單位識別出陳核報表是由本資訊平台在結案後方產製輸出，以確認報表正確性。本資訊平台功能亦含括線上教育訓練教材，提供使用者登

入後隨時下載參考，以及提供唯讀帳號俾利長官隨時上線查核與掌握契約最新與完整之估驗計價現況。

肆、具體的成效

一、系統實務應用性

本資訊平台係考量完成之高雄環狀輕軌第一階段統包工程，在工程估驗計價程序上寶貴的經驗與遇到的瓶頸問題，暨後續緊接著啟動之高雄環狀輕軌第二階段統包工程，與陸續即將啟動之多項工程諸如高雄捷運岡山路竹延伸線、高雄捷運黃線等皆為國家重大公共工程建設所需，以系統功能完整性並符合實際需求為首要考量，為工程估驗計價程序整合提出一套可行解決方案，發展之估驗計價共通資訊平台，可移轉至其他政府部門工程單位運用。

藉由本資訊平台各項功能性作業機制的落實與系統性規範，能夠促成工程契約相關單位對估驗計價制度化與系統性控管，同時數位化保存工程相關估驗計價與付款等歷史資料。此跨組織之整合性共通資訊平台，亦為知識管理系統，未來能夠進一步利用大數據分析，對系統內資訊加以研析，期使對工程管理能力呈現更大效益。

廠商計價請款	簽核流程	匯出報表PDF	上一期估驗	通知承辦科發票開完了	通知承包商開發票	通知承包商開始紙本流程
估驗計價資料		審核/審定/簽核				
表單選擇： 1. 承包商估驗單審核查對表(監造單位用)						
工程名稱	高雄環狀輕軌捷運建設(第二階段)統包工程			契約編號	A160-150-FIC-02	
承包商	中國鋼鐵股份有限公司			估驗期別	5	
審核日期	2018/08/31					

圖7 結案線上通知承包商開立發票

二、實際效益說明

本資訊平台於上線後，業已歷經8期高雄環狀輕軌第二階段統包工程估驗計價作業，在實務上，藉由落實雲端數位化線上同步審核機制、取代紙本審核作業流程、審核意見知識庫經驗傳承、系統化計價減少人工計算錯誤、解決Excel製表導致多版本疏失、資料傳遞品質無一致性等嚴重問題、提升工程估驗計價佐證資料文件品質、以email通知即時提醒審核者、線上審核流程透明即時傳遞、少紙化、以線上檢索快速比較資料正確性、解決人工紙本資料比對困難等，實已有效縮短過去紙本之工程估驗計價時程與路程。

舉例而言，過去紙本估驗計價進度經常需歷時數月，以高雄環狀輕軌第一階段統包工程某期工程估驗計價請款為例，從承包商請款至提送發票，期間達70餘天，公文往返達9次以上；然現行以本資訊平台線上執行工程估驗計價作業，在承包商將其現場工地估驗計價資料以Excel表匯入本系統後，系統即刻啟動雲端多人線上同步審核機制，平均而言，目前實際審核期間已縮短至4~27天，平均12.75天，如表2

所示，且系統結案後公文提送只需1次。

更且，經由統計分析，隨著逐期使用者累積系統操作經驗，雖然逐期之審核流程程序數與實際審核人次皆有增加，但整體系統審核時程趨勢線是呈現逐期縮短現象，如圖8所示，顯示未來藉由審核者與承包商對本資訊平台更加熟悉操作，與承包商對相關佐證資料文件更完善數位化後上傳系統，期使更加縮短審核時程，俾利本資訊平台實際效益更加彰顯，減輕同仁繁瑣費時費力的紙本工程估驗計價作業負擔，提升工程管理品質。

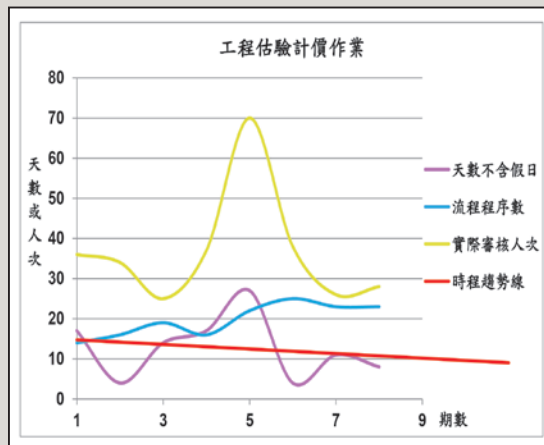


圖8 系統審核天數人次趨勢圖

表2 實際審核期間縮短平均12.75天

廠商計價請款作業	天數不含假日	當期計價完成%	流程序數	實際審核人次
第1期	17	0.53	14	36
第2期	4	6.17	16	34
第3期	14	1.38	19	25
第4期	17	0.21	16	37
第5期	27	3.82	22	70
第6期	4	2.98	25	38
第7期	11	3.89	23	26
第8期	8	3.76	23	28
總計	平均12.75天	22.74%	158個	294人次

再者，透過佐證資料附件檔的功能，俾利將所有承包商需提送之相關資料於線上完整點收與檢視。例如某期估驗計價申請作業中，主計單位發現缺少現場施工混凝土澆置28天相關文件，線上審核流程退回承包商補件，俟承包商於現場蒐集彙整，發現該文件上相關人員簽名不足，所以承包商管理要求加強落實文件需與現場施工作業一致且簽名清楚完備，此相較於過去厚厚的附件紙本文件卻不利審閱，實有助於爾後工程文件品質之提升。

伍、結語

高雄環狀輕軌工程為全國第一條輕軌，總建設經費165.37億元，為亞洲首次採用世界先進無架空線系統、工程界面複雜且需限期完工之時程壓力，同時承包商需募集大量資金在工期內克服技術與環境的挑戰，以完成工程之興建任務。爰此，當政府部門能對複雜的估驗計價作業審慎檢核，並順利完成階段性付款，除有利於承包商之資金調節，對後續工程的推動其相關資源統籌運用管理亦大有助益，將能創造雙贏的圓滿局面。

落實運用本估驗計價共通資訊平台，加速高雄環狀輕軌工程估驗計價審核效率，以應用管理方法與新資訊科技，整合並有效利用有限資源，達成工期、成本、品質、契約要求、安全衛生、環保、完工、順利營運等目標，同時對國家重大工程建設之相關廠商與顧問的技術與專案履約能力予以輔導，整合工程專業複雜的內外部資源與界面，有利促進國內軌道與營建工程產業的蓬勃發展，並進而提升政府部門的施政服務效能，期能於既定預算內，如期、如質完工，創造人本之安全、便利、永續的生活願景。

參考文獻

1. 洪政豐、謝政璋、江明珊、許朝榮，「統包工程之專案營建管理—以高雄環狀輕軌第一階段為例」，中華技術，第116期，第152-173頁，2017年。
2. 「景氣動向調查新聞稿—民國104年12月」，台灣經濟研究院，2015年，<http://www.tier.org.tw/forecast/201512.pdf>
3. 王孝宇，「工程估驗計價文件編製提效縮時方案」，myMKC.com知識管理中心，2016年，<https://mymkc.com/article/content/22434>
4. 「工程估驗計價作業程序SOP」，高雄市政府捷運工程局，2018年。
5. Whitten, J. L., Bentley, L. D., Dittman, K. C., "Systems Analysis and Design Methods," 6th Ed., McGraw-Hill, Boston (2004).



4
特
稿

自駕車時代的車聯網概念與第五代(5G)行動通訊技術

關鍵詞(Key Words)：自駕車(Autonomous Driving Car)、自駕車聯網(Internet of Autonomous Driving Cars)、載具聯網(IoV)(Internet of Vehicles)、座艙聯網(IoC)(Internet of Cabnets)、第五代(5G)行動通訊(5G Mobile Communication)

財團法人中華顧問工程司／智慧運輸中心／專案計畫研究員／詹博帆 (Chan, Po-Fan) ❶

財團法人中華顧問工程司／智慧運輸中心／專案計畫研究員／孫士勝 (Sun, Shi-Sheng) ❷

財團法人中華顧問工程司／執行長／陳茂南 (Chen, Mao-Nan) ❸

摘要

我們嘗試打破現有的視覺框架，構建一個智慧運輸時代的城市樣貌，自駕車將不再侷限於現今汽車的外觀，也不再侷限於一個個座位的概念，它將是一台載具，載著一個座艙。載具是執行自動駕駛的機械，座艙是未來人類生活的空間，它可能是一間智慧辦公室(Smart Office)、可能是一間智慧診所(eHealth)、可能是一間全自動澡堂或太空艙旅社。我們必須把載具與座艙的通訊系統分開來定義，因為它們的用途有非常大的不同。在載具的部分，必須確保通訊能夠使自駕車順暢地在道路上運行以及能夠避免一定程度的交通危險；在座艙的部分，必須確保通訊能使座艙內各行各業工作、各類家庭的休閒、以及種種的娛樂項目順暢的進行。我們分別對載具及座艙的通訊，定義出車聯網的九種通訊型式，分別是V2V載具對載具、V2R載具對路側設備、V2I載具對基礎設施、V2P載具對人、C2C座艙對座艙、C2R座艙對路側設備、C2I座艙對基礎設施、C2P座艙對人以及C2V座艙對載具之九種通訊型式。第五代(5G)行動通訊提供讓大量物件都能連上網的物聯網架構，不但可串連起各式穿戴裝置、感應器、家電、機器人以及本文所提的智慧載具與座艙，也可讓裝置在靜態或是各類行動中透過網路通訊進行操作，自駕車時代車聯網的發展，第五代(5G)行動通訊是不可或缺的技术。



The Concept of Internet of Vehicles (IoV) in The Autonomous Driving Era and The 5G Mobile Communication Technology

Abstract

In this paper, we try to break the existing framework and build a concept of the autonomous driving car for future cities. Autonomous driving cars will no longer be limited by today's cars' appearance, nor will it be limited by the concept of the fixed seat. It will be a combination of a vehicle and a cabinet. The vehicle is a machine that performs autonomous driving, and the cabinet is the space for future human living that it may be a smart office, an intelligent clinic (eHealth), a fully automatic bathhouse or a high-tech hotel. The communication system for the autonomous driving car must be separately discussed because their uses are very different. In the part of the vehicle, we must ensure that the communication enables the autonomous driving to run smoothly on the road and to avoid a certain degree of traffic hazard. In the part of the cabinet, we must ensure that the communication can make the various works and entertainments go smoothly. Therefore, 9 communication types for Internet of autonomous driving cars was proposed and defined in this study, including the communication of vehicle to vehicle (V2V), vehicle to roadside (V2R), vehicle to infrastructure (V2I), vehicle to person (V2P), cabinet to cabinet (C2C), cabinet to roadside (C2R), cabinet to infrastructure (C2I), cabinet to person (C2P), and cabinet to vehicle (C2V). The fifth-generation (5G) mobile communication provides an Internet of things (IoT) architecture that allows a large number of devices to be connected to the Internet. It does not only connect various types of mobile devices, sensors, appliances, robots, and the vehicles/cabinets that are mentioned in this paper, but also allows the devices to operate through network communication. To develop the Internet of autonomous driving car, the fifth-generation (5G) mobile communication will be an indispensable technology.

壹、自駕車時代的車聯網

車聯網以現今的車輛型式定義，為汽車對不同運輸實體間之通信連線以及訊息傳輸，包含V2V汽車對汽車、V2R汽車對路側設備、V2I汽車對基礎設施、V2P汽車對行人、V2M汽車對機車、以及V2T汽車對公共運輸車輛[1]。本文將以自駕車時代的車輛來重新定義車聯網，首先我們必須思考什麼是自駕車時代的車輛？我們嘗試打破現有的視覺框架，構建一個智慧運輸時代的城市樣貌，自駕車將不再侷限於現今汽車的外觀，也不再侷限於一個個座位的概念，它將是一台載具，載著一個座艙(圖 1)。

載具是執行自動駕駛的機械，座艙是未來人類生活的空間，它可能是一間智慧辦公室(Smart Office)、可能是一間智慧診所(eHealth)、可能是一間全自動澡堂或太空艙旅社。我們必須把載具與座艙的通訊系統分開來定義，因為它們的用途有非常大的不同。在載具的部分，我們必須確保通訊能夠使自駕車順暢地在道路上運行以及能夠避免一定程度的交通危險；在座艙的部分，我們必須確保通訊能使座艙內各行各業工作、各類家庭的休閒、以及種種的娛樂項目順暢的進行。

因此，我們分別對載具及座艙的通訊，定義出車聯網的九種通訊型式，分別是V2V載具對載具、V2R載具對路側設備、V2I載具對基礎設施、V2P載具對人、C2C座艙對座艙、C2R座艙對路側設備、C2I座艙對基礎設施、C2P座艙對人以及C2V座艙對載具之九種通訊型式，如圖 2 所示。

自駕載具的行駛模式與現今汽車的行駛模式有什麼樣的差異？我們試著思考如果車不再是人駕駛，路上的交通會是什麼樣子？在過去，我們依賴人的眼睛、耳朵、手腳再加上邏輯判斷進行車輛駕駛，在未來，機器依賴影像、通訊訊息再加上邏輯運算控制載具運行。我們知道，號誌燈是設計給人看的，但當滿街的汽車都變成自駕載具，還需要號誌燈嗎？號誌燈階段通行式路口是現今交通遇上道路交錯時主要的交通運作方式，這樣的方式不僅可以大幅避免交通危險發生，還可以藉由號誌燈控制車流。智慧運輸時代的到來，我們在此提出連續通行式路口的概念，藉由自駕載具與路側設施的通訊(V2R，這邊特別指的是路口的路側設施)，達到連續式通行，沒有任何的載具需要在路口處做停等動作，路側設施就如一個指揮官，他與所有的載具通訊，指揮載具以適當的速度進入、移動與離開路口。

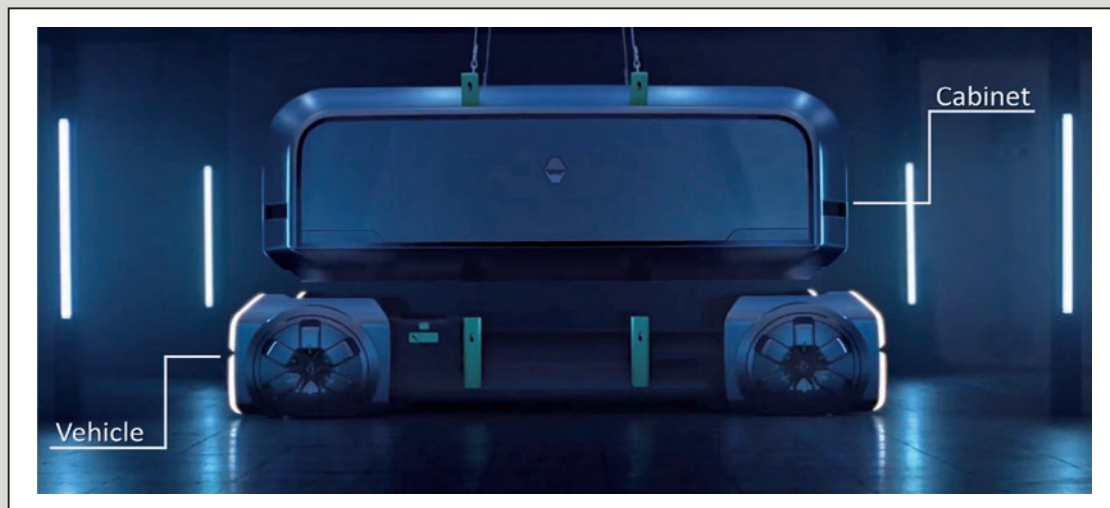


圖 1 自駕車時代的車輛，將是一個載具，載著一個座艙。概念車圖片來源為法國車輛製造商雷諾汽車(Renault)。

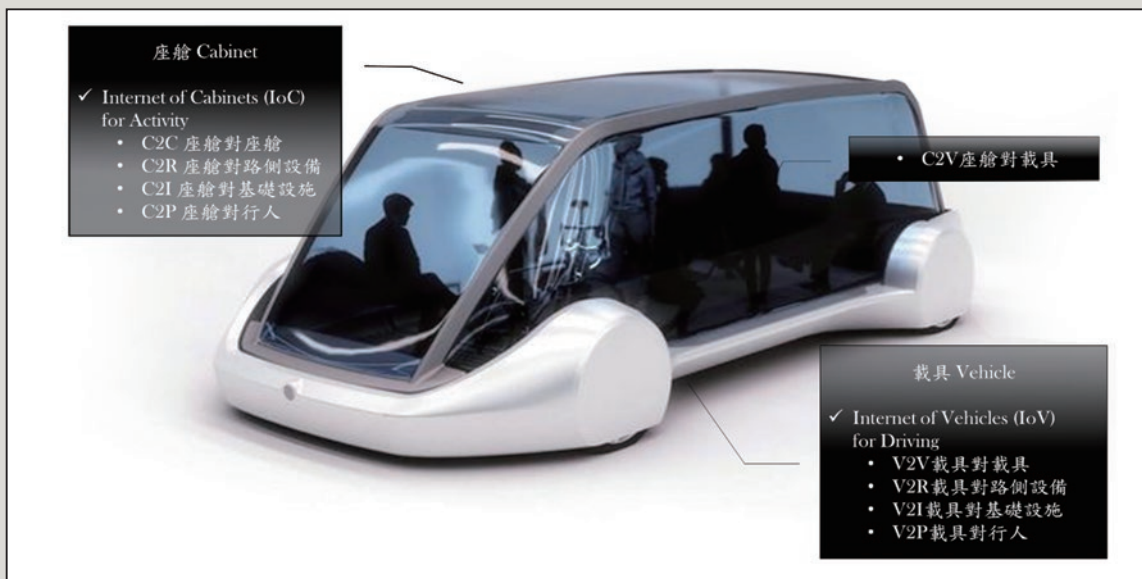


圖 2 自駕車時代車聯網的九種通訊型式，將車聯網分成兩大類：生活空間的座艙聯網(Internet of Cabinets for Activity)以及自動駕駛的載具聯網(Internet of Vehicles for Driving)。概念車圖片來源為伊隆馬斯克的高速真空隧道計畫 (Elon Musk's high-speed tunnel project)。

如果車輛由人來駕駛，在前後車輛間，我們必須保持一定的安全距離，這個安全距離的長短，依「高速公路及快速公路交通管制規則」第6、16條規定，在高、快速公路行車時，於正常天候狀況下：小型車安全距離必須保持於車輛速率之每小時公里數值除以2；大型車安全距離必須保持於車輛速率之每小時公里數值減20，單位皆為公尺。人類駕駛藉由眼睛接受道路資訊到用腳去採煞車的反應時間約為0.6-1秒，所以需要一定的安全距離避免撞擊前方車輛。在單車運動有個名詞叫做「破風」，意思是前方的單車為後方的單車擋風，讓後方的單車選手保留體力以利最後衝向終點線，所以在單車賽事中，可以觀察到大部分的單車與前方單車的距離，大約為半個輪距至一個輪距，單車間如此短的距離，為的就是減少風阻、保留體力。自駕載具也有這個「破風」的概念，如圖 3，載具與載具之間的距離縮小可降低長途旅程的能源消耗，但要讓自駕載具在非常短的安全距離下行駛，除了依賴影像辨識與光達辨識，必須使用載具與載具的通訊(V2V)才能達成，想像以下情境：前方第三台車因落石緊急

煞車，我方車輛接受該車輛之訊息立即煞停，如果單純使用影像辨識或光達辨識，車輛的訊息來源侷限於該行駛車道前方的那一輛車，不可能在如此短的安全距離下行駛。每一輛載具都跟周圍一定距離內的載具相互通訊，當事故發生時，做立即的應變，這是超越人類以視覺思考的駕駛模式，將是自駕車時代載具運作的普遍方式。

在交通領域，除了交通安全，最重要的就是處理交通壅塞的問題，智慧運輸時代的到來，滿街的自駕車，總不能塞車吧！我們需要一個方式去了解每個地方的車流量，載具對基礎設施的通訊(V2I)就可以完成這項任務，這邊的基礎設施就是我們所知的基地台，基地台與一定半徑範圍內的所有載具進行通訊，得知所有載具之位置資料，因此可以計算出哪些地區現在是交通壅塞區？哪些地區是交通順暢區？基地台將車流密度狀況更新給自駕載具，因此，自駕載具將有效率更高、更節能的旅途路徑選擇。

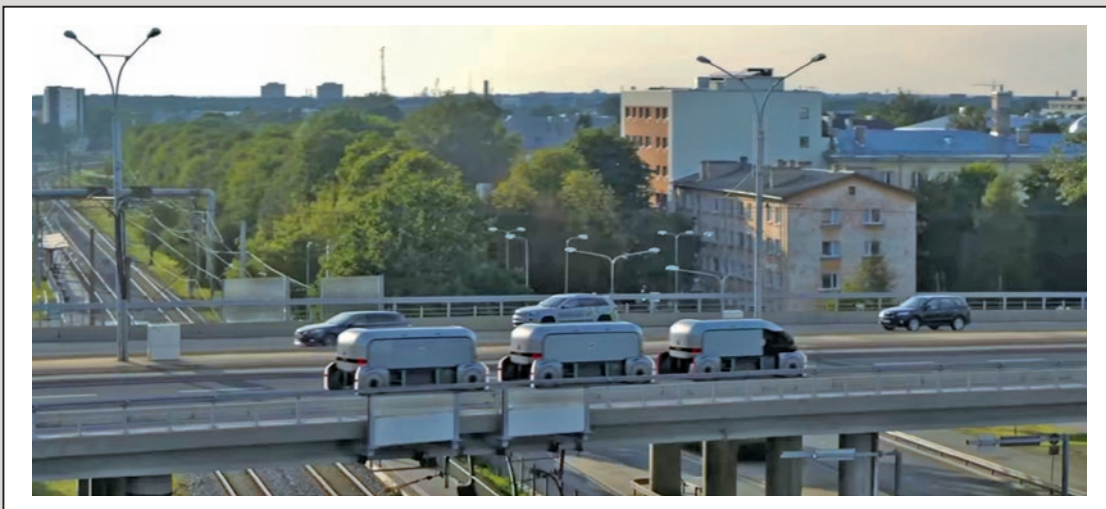


圖 3 自駕載具在非常短的安全距離下行駛，除了依賴影像辨識與光達辨識，必須使用載具與載具的通訊(V2V)才能達成。概念車圖片來源為法國車輛製造商雷諾汽車(Renault)。

現在人要開車，基本上是要自行走到車旁、打開車門、坐上去再發動車子、開出車庫，未來人要駕車，自駕載具是自行從停車場駛到門口接送主人的，所以我們需要載具與人的通訊(V2P)來達成這項任務，而載具與人的通訊(V2P)則是必須藉由載具與人所配戴之智慧型裝置來完成。

想像你正要走上一台未來的自駕車，你會認為在上車的那瞬間有舒適的溫溼度、燈光以及乾淨的環境是理所當然的事情，乾淨的環境是依賴座艙內打掃機器人定時的清掃，舒適的溫溼度及燈光則是座艙在您上車前，提前為您做的準備。座艙必須隨時與主人保持通訊(C2P)，如果今天我們不透過V2P叫自駕載具開來我們面前，而是無預警的去打開座艙車門上車(其實就是現今去開車的方式)，我們可以透過C2P讓座艙得知我們的位置，當我們靠近時提前為我們準備好舒適的乘車環境，當進入座艙的那瞬間，打掃機器人一定是停止清掃動作且回歸原位的狀態，且環境一定是舒適的溫溼度與燈光。C2P不僅僅用於主人與座艙間的互動，如果這是一輛載著商店的自駕車，我們可以透過行動裝置與無人商店溝通，如圖 4所示，在繁忙的城市中來一杯放鬆的涼飲。

接下來，我將描述如何度過自駕車時代的一天，早上起床我搭乘我的自駕車去辦公室，在途中有小型送貨自駕載具幫我送來早餐，我上班的環境是一個智慧辦公室(Smart Office)，它是有著自駕載具的智慧座艙，辦公室有四個人，自駕載具依照每個人的業務依序移動到各地去辦理各種業務事項，我們是家國際化的公司，一天至少有3-4個視訊會議，這部分需要座艙與基礎設施的通訊(C2I)來達成，在會議中我們相互展示各自的產品與成果，使用的方式是高畫質的影像(8K影像)，甚至是3D的影像。中午我們至江蘇餐館用餐，這餐館也是一輛自駕車，在兩輛自駕車靠近，乘客由辦公室座艙轉移到餐館座艙之前，座艙與座艙必須通訊(C2C)，進行艙門對位，同時打開艙門讓乘客於座艙間移動，接著在乘客於艙內就位後關閉艙門。在江蘇餐館內，於座艙中用餐的同時載具乘著我們行駛於淡水河岸邊，可口的江南佳餚搭配著水岸風光是平日午間就能有的生活體驗。午後回到辦公室，開始專心於我的研究案，座艙調整為獨立間模式，座艙的電致變色玻璃轉變為不透明的深色，讓我擁有一個與外界隔絕的環境可以安靜的思考。下班我搭乘自駕車與家人會合後，到城鎮中心去看一場電影，我們在座艙內以舒適的仰躺方式看著投影



圖 4 透過行動裝置與無人商店(座艙)溝通。概念車圖片來源為義大利建築師Carlo Ratti。

在城鎮中心上空巨大的3D電影，小型送貨自駕載具幫我送來今晚要送給孩子的生日禮物，如此舒適電影環境，必須依賴座艙與路側設施的通訊(C2R)，由路側設施傳遞訊息給電影撥放場區中的每個座艙，限制座艙內的燈光亮度，使電影可不被光害干擾順利進行。

貳、車聯網的基底-第五代(5G)行動通訊

第五代(5G)行動通訊提供讓大量物件都能連上網的物聯網(IoT)架構，不但可串連起各式穿戴裝置、感應器、家電、機器人以及本文所

提的智慧載具與座艙，也可讓裝置在靜態或是各類行動中透過網路進行操作。[2-3]

2015年，為制定全球統一的5G標準，聯合國旗下的國際電信聯盟(ITU)發布ITU-RM.2083「IMT願景：2020年及之後IMT未來發展的框架和總體目標 (IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond)」，簡稱「IMT-2020」[4]，定義增強型行動寬頻(eMBB)、大規模機器型通訊(mMTC)、超可靠度和低延遲通訊(URLLC)三大業務場景，以及峰值速率、用戶體驗速率、延遲時間、移動力、連接密度、能源效率、區域通訊容量以及頻譜效率八大關鍵指標，如圖 5

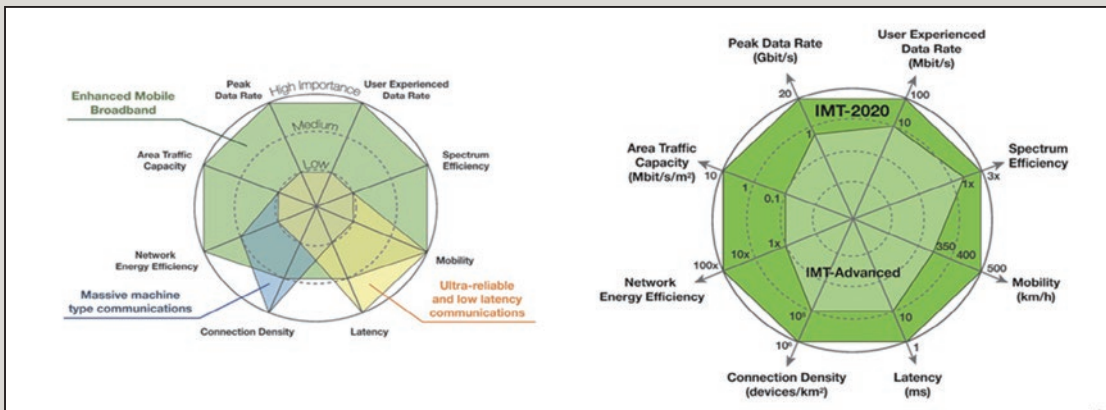


圖 5 IMT-2020三大業務場景及八大關鍵指標。[4]

所示。透過六項主要技術來達成增強型行動寬頻(eMBB)，包括擴增使用頻段(尤其是高頻頻段的取用)、大規模多天線無線通訊系統(Massive MIMO)、正交震幅調變、波束成型、小型基地台布建、雙連線技術；二項主要技術來達成大規模機器型通訊(mMTC)，包括電子設備布建與大數據分析技術；四項主要技術來達成超可靠度和低延遲通訊(URLLC)，包括小型基地台布建、行動邊緣計算、雙連線技術、通訊連接轉換技術。可見不論增強型行動寬頻(eMBB)或超可靠度和低延遲通訊(URLLC)，都需要進行小型基地台布建，這裡所指的基地台在外觀、尺寸、功率、位置上與現今有所不同，它可能裝置於街燈上，也可能裝置於路側電箱中，這些小型基地台就是第一章中所描述的路側設施。

我們現今生活在第四代(4G)行動通訊的世界裡，我想大部分人使用行動裝置時，會在4G、Wi-Fi間作切換，有時還會用到藍芽或Airdrop，多種通訊模式並存，在此，我們若將每一種通訊模式比擬成一種人類語言，現今就是多種語言並存的通訊時代，而彼此之間難以溝通。第五代(5G)行動通訊，不只針對裝置與基地台之通訊科技的提升，也涵蓋裝置與裝置間的直接通訊協定，應用的範圍更廣泛了，也就是說，在5G時代，大部分的裝置與基地台，將會說著同樣的語言，且這種通訊語言更先進了。

通訊科技的進步，使自駕車有更突破性的前景，載具與路側設施的通訊(V2R)以及載具與載具的通訊(V2V)是自駕車在道路行駛所憑藉的工具之一，這兩種通訊型式屬於超可靠度和低延遲通訊(URLLC)，在IMT-2020所定義之第五代(5G)行動通訊的目標為延遲時間小於1ms，這樣的水準可確保自駕車在遇到危險事件時，有足夠快的反應速度去應變。現今一般小型汽車於高速公路行駛之最高速限為110km/hr，未來，智慧運輸時代的到來，高速運輸的速限將有所突

破，想像自駕車以500km/hr的速度在高速公路上行駛，面對這樣的場景，我們確實需要5G的通訊水準來確保自駕載具行駛的順暢與安全。

載具對基礎設施的通訊(V2I)，主要的技術難度在於一個基礎設施(基地台)必須收集上千或上萬台的載具資訊，這種通訊的型式屬於大規模機器型通訊(mMTC)，基礎設施必須將收集來的大量資料，進行大數據分析，然後把運算的結果對應到處理方式傳回給自駕載具。大規模機器型通訊(mMTC)不需要在非常密集的時間區間內收集載具的資訊，而是採用每隔5-10分鐘收集一次資訊，這樣的作法可以降低能源消耗以及提升每次收集到的資訊的差異性。基礎設施收集載具的位置、速度、能源消耗以及胎壓等資訊，注重這些收集來的巨量資料有沒有齊全、正確不正確，資料必須齊全、正確在後續加以應用才有價值，所以在大規模機器型通訊(mMTC)這樣的業務場景，資料的品質非常依賴電子設備(電子偵測器)的管理與維護。

載具與人的通訊(V2P)，其應用的場景是藉由載具與人所配戴之智慧型裝置通訊，達成「自駕載具自行從停車場駛到門口接送主人」這項任務，這樣的通訊型式是現今藍芽通訊就可以達到的技術水準，只是藍芽通訊有距離的限制(1-100公尺)，載具與人的通訊(V2P)一樣有距離的限制，當人與載具的距離超過通訊距離限制，這時可藉由「載具-基礎設施-人(V2I2P)」或「載具-路側設備-人(V2R2P)」的通訊來達成「自駕載具自行從停車場駛到門口接送主人」這項任務。

座艙與人的通訊(C2P)，是為了讓人類在進入座艙前，座艙提前做好環境的布置與準備，座艙需要每1-5秒掃描一次周圍環境，如果相關人士踏入座艙就需要立即應變，這就像現今擺在家中的Wi-Fi基地台一樣，當我們進入Wi-Fi可運作的半徑內，手機就會自動連上家中的Wi-

Fi，座艙與人的通訊(C2P)只是多了一些步驟，就是在人與座艙通訊連接後，座艙會把空調開啟、燈光打亮、打掃機器人歸位以及將座位調整到適合入座的角度。

座艙與基礎設施的通訊(C2I)在智慧辦公室中用來進行「視訊會議、大量資料傳輸、高品質影片撥放」等任務，屬於增強型行動寬頻(eMBB)，第一章所提到的場景，高畫質且流暢的視訊會議進行，需要占掉通訊一部分的流量，而高畫質產品影片的播放又需要一部分的通訊流量，在IMT-2020所定義之第五代(5G)行動通訊的目標，針對通訊流量部分，定出峰值速率(Peak Data Rate)為20Gbit/s、用戶體驗速率(User Experienced Data Rate)為1Gbit/s。座艙與基礎設施的通訊(C2I)不僅需要通訊流量的大幅提升，還需要通訊在車輛高速移動下維持一定水準，減少通訊流量抖動(Jitter)，就如現今搭乘高速鐵路，也必須擁有看高畫質影片流暢的品質。

座艙與座艙的通訊(C2C)，在兩座艙需要進行同步動作時使用，如第一章所描述，兩座艙必須同時打開車門讓乘客通行，這樣的通訊型式如現今的台北捷運，當捷運到站時，捷運車廂的門會與月台的門對位且同時開啟，兩邊的門會同時開啟是因為兩方都在連線且接受同一個指令，使用的是列車自動監督(ATS)系統，是一種介於列車和道旁之間的雙向通訊連結。

座艙與路側設施的通訊(C2R)，如同座艙與人的通訊(C2P)的模式，C2R換成是路側設施每1-5秒掃描一次周圍環境，當座艙進入路側設施設定之半徑範圍內，路側設施會強制改變座艙之環境設定，如第一章描述的座艙燈光亮度。這個通訊模式也應用到危險路段，使用路側設施去控制自駕車的速度上限，但是對於自駕車的行駛與涉及交通安全的問題，通訊的品質就需要更嚴苛的規範，這屬於載具與路側設施的

通訊(V2R)，不要忘了，我們特地把載具的通訊和座艙的通訊分開來探討，V2R可是要達5G所描述的超可靠度和低延遲通訊(uRLLC)水準，乘客的安全才有保障。

對於發展自駕車的車聯網，對應到第五代(5G)行動通訊的三大業務場景分類如圖 6所示，其中四項通訊(C2I、V2I、V2R、V2V)是現今還達不到的水準，是第五代(5G)行動通訊於2020預計達到的目標，另外五項通訊(V2P、C2C、C2R、C2P、C2V)是現有的通訊科技就已經能夠駕馭的項目，但使用的是不同的通訊協定，第五代(5G)行動通訊也嘗試將各種通訊協定整合於它之中。

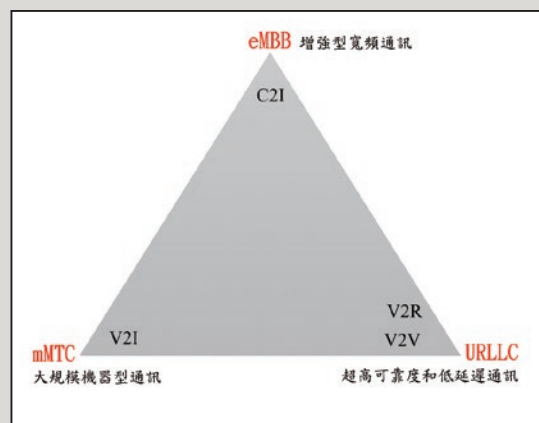


圖 6 自駕車時代車聯網對應到第五代(5G)行動通訊的三大業務場景。

參、從人駕車的現代城到自駕車的智慧城

在大部分的國家，在法律上對一台車的定義，是有幾個座位，一個座位是駕駛的，其他則是乘客的。透過第一章的描述，車的定義將會有大的改變，因為在自駕車的時代，我們可能不會有駕駛在車上，在這種情況下，如果發生交通事故，肇事刑責該由誰來負責？舉例來說，我們將會面對這樣的情景：一個十歲小

孩就有辦法獨自搭乘自駕車活動於城市中。

在車的課稅方面，我們知道台灣現今是以汽機車的排氣量大小來進行稅收，這樣的收稅方式在將來一定不適用，舉例來說，電動車沒有引擎，排氣量為0，這種方式沒有辦法對電動車進行課稅。不過可見目前國內政策趨勢，大致上對車的課稅方向是：從排氣量計費走到燃料計費，最後走到里程計費。本文最重要的概念是我們把自駕車分成載具跟座艙兩個部分來探討，是一個動產載著一個不動產，這樣算是動產？還是不動產？座艙可能就是一個人的家，而這個家搭著載具在城市中移動，現今的法律還不認識這樣的畫面，但未來的法律必須規範這樣的世界。

車廂，會是辦公室，會是診所，會是商店，會是住家，不再只有座位的概念；移動，不再只是目的地性移動，它將存在於無時無刻；移動力將是城市基礎的能力，如同當今的電力，賦予城市運作的特性。

參考文獻

1. S. Chen et al., "LTE-V: A TD-LTE-Based V2X Solution for Future Vehicular Network," IEEE Internet Things J., vol. 3, no. 6, pp. 997 - 1005, 2016.
2. S. Muthuramalingam et al., "IoT Based Intelligent Transportation System (IoT-ITS) for Global Perspective: A Case Study," in Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation, pp. 279 - 300, 2019.
3. N. Raza et al., "Social Vehicle-to-everything (V2X) Communication Model for Intelligent Transportation Systems Based on 5G Scenario," in Proceedings of the 2nd International Conference on Future Networks and Distributed Systems, New York, NY, USA, p. 54:1 - 54:8, 2018.
4. ITU-R M.2083, "IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," 2015.



4
特
稿

感潮河段橋梁 基礎深度探測 技術

關鍵詞(Key Words)：地電阻影像(Electrical Resistivity Tomography)、超震法檢測(Ultra-Seismic Inspection)、水上基礎檢測(Overwater Foundation Inspection)、感潮河段(Tidal Reach River)

新中光物理探測公司／顧問／王鶴翔 (Wang, Helsin) ①

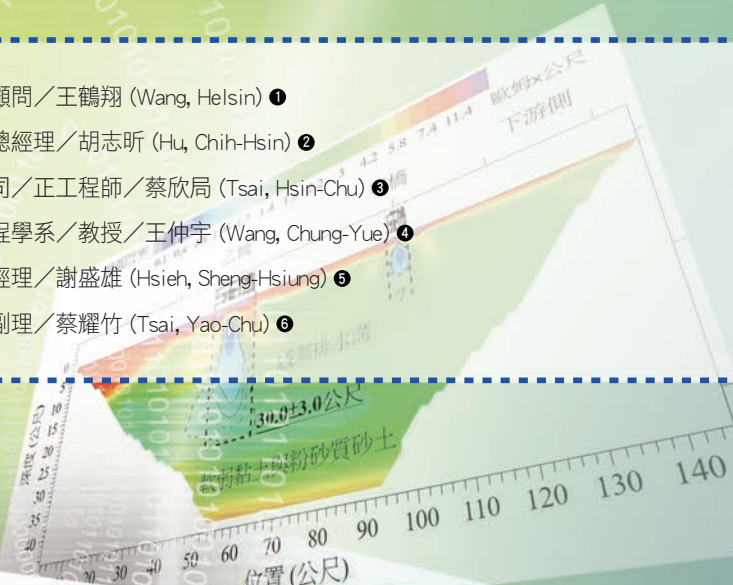
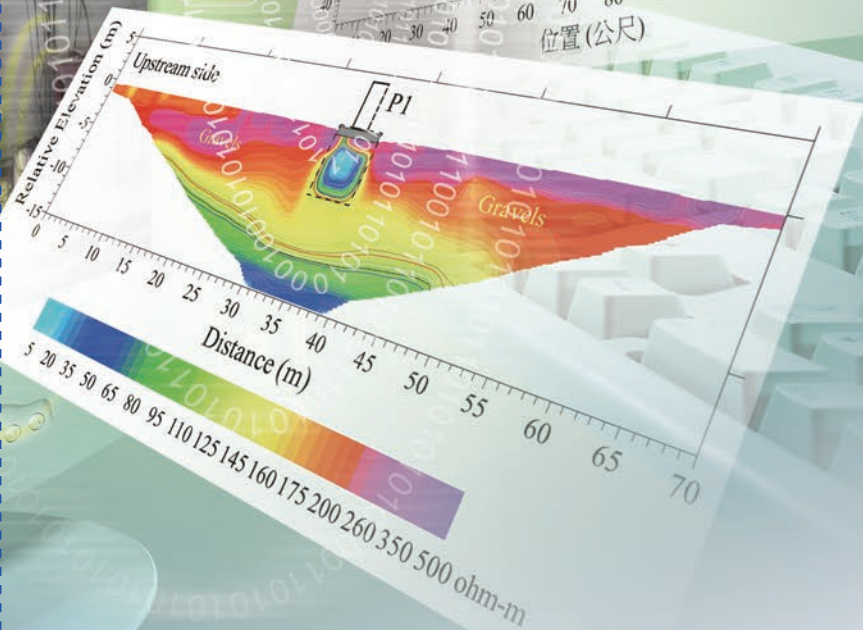
新中光物理探測公司／總經理／胡志昕 (Hu, Chih-Hsin) ②

財團法人中華顧問工程司／正工程師／蔡欣局 (Tsai, Hsin-Chu) ③

國立中央大學／土木工程學系／教授／王仲宇 (Wang, Chung-Yue) ④

新中光物理探測公司／經理／謝盛雄 (Hsieh, Sheng-Hsiung) ⑤

新中光物理探測公司／副理／蔡耀竹 (Tsai, Yao-Chu) ⑥



摘要

對於橋梁工程師，承包商和橋管單位而言，發展未知橋梁下部結構的合適且有效檢測模式，是當前橋梁維護管理的關鍵議題。在本文中，引入基礎檢測策略，檢測感潮河段橋梁基礎深度，地電阻影像可先提供廣域之地質與基礎電阻分布資料，接續使用超震法檢測較精確估算基礎深度，當該兩種檢測技術協力應用於橋梁基礎檢測，利用個別檢測的特性與優勢，可達成截長補短之功效。感潮河段河床土壤中鹽度相對較高，削弱水上地電阻影像判釋能力，對於橋幅較窄的橋梁影響明顯，需審慎使用水上地電阻影像技術。



Depth Inspection of Bridge Foundations in a Tidal Reach River

Abstract

Developing an appropriate and efficient inspection pattern on the unknown bridge substructure information is a critical issue for bridge engineers, contractors, and bridge agencies. In this paper, an inspection strategy was introduced to determine the foundation depths of two in-service bridges crossing a tidal reach river. The electrical resistivity tomography inspection provided the overall interface between bridge substructure and surrounding soft soils. The ultra-seismic inspection provided more information in determining the depths of the substructures. The entire set of investigations presented demonstrates the strong conclusiveness in determining the foundation depths when the results from these two testing methods are corroborated with appropriate analysis. The ability of the electrical resistivity tomography is significantly influenced with salinity in the riverbed on narrow bridge widths.

壹、前言

橋梁安全與管理和維護狀況密切相關。臺灣橋梁管理資訊系統(Taiwan Bridge Management System, TBMS)提供橋管單位橋梁管理系統，納入橋梁基本資料，目視檢測評估，維修紀錄等橋梁資訊。中央單位因經費、人力與素質較為充裕，轄屬橋梁資料在橋梁管理資訊系統中較為完備，而依據「107年度縣市政府橋梁維護管理作業評鑑報告」統計[1]，地方政府所屬橋梁計有2萬1千餘座，橋數佔全國總橋數達7成以上，然地方政府轄管橋梁年代多較久遠、設計資料遺失或未存檔，橋梁基本資料並不完善，橋梁上部結構系統可由定期或特別檢測補齊，然而下部結構系統基礎資料卻常呈現空缺狀態；亦以橋梁設計標準與施工品質參差不齊，可預期老舊橋梁在耐震或耐洪之安全疑慮較高；政府對於橋梁改善的預算分配決策，與了解橋梁現況密切相關，故橋梁下部結構調查與資料補齊有其必要性。

數種非破壞檢測或地球物理方法可用於調查未知橋梁基礎[2-5]，相關技術包括：音波回波法，脈衝反應法，跨孔音波斷面影像法，超震法，平行地震法，井下透地雷達和地電阻影像等方式。人們可使用不同的檢測方法取得完整的下部結構資料，然而可能付出極大的成本、人力需求，以及耗時工作量。美國土木工程師學會大地深基礎委員會(2000)[6]建議：針對基礎進行二次檢測，且兩種檢測方法也獲得相同的結果，即可確認基礎深度。

基於此一概念，在實務上已發展出兼顧效率和經濟的檢測策略，並實際應用於臺灣淺基礎和沈箱基礎橋梁的深度探測，此一基礎檢測策略包括：(1)第一階段應用地電阻影像描繪橋址周遭的地質與基礎電阻分布資料，用以估定大範圍地層特性，再利用地質材料與橋梁基礎之材料差異，應用電阻率與材料對應關係、幾

何形狀與分布等配搭技術，分辨基礎與地層(黏土/砂土/礫石/岩石等材質)兩類，可初步辨識基礎型式與深度，取得基礎深度粗估資料；(2)第二階段集中鎖定於橋梁基礎本身，引入較精細超震法檢測技術，有效提升基礎深度判釋精度。本文係應用於感潮河段的橋柱式橋梁基礎檢測，需考慮淡鹹水對地電阻影像判釋結果的影響。

貳、檢測技術概述

一、地電阻影像

地電阻影像通常用於識別地層、斷層、地下污染物、洞穴、礦藏、埋藏層或滑坡滑動面。探測方式係由一對電流電極在目標區域周圍形成人工電場，另一對電極用於測量地電位差。由黏土、砂土和岩石組成的沉積物，相對具較高的電阻率；水、污染物或金屬通常形成低電阻率區域。最常用的陣列配置是三極法或雙偶極法。

圖1顯示典型的地電阻影像圖，其電阻率值在未知橋基礎周圍從500變化至小於1歐姆×公尺，由礫石和岩石組成的沉積物對應於較高的電阻率值(大於150歐姆×公尺)，通常以暖色系的粉紅色，紅色，橙色或黃色區域呈現；橋梁基礎內含鋼筋，通常形成相對低電阻率區域，通常以寒色系的淺藍色和灰色陰影呈現。在該二維地電阻影像剖面中，基礎類型被識別為淺基礎，其深度達至地表下6.5公尺。

表1為岩石、土壤和水的典型電阻率範圍，其中岩石通常具有相對較高的電阻率，土壤隨含水量的變化有較寬的電阻率範圍，淡水的電阻率範圍通常與土壤的電阻率範圍重疊。而海水為一更良好的傳導介質，與土壤和岩石的電阻率相比，顯示出更低的電阻率。此外，現地

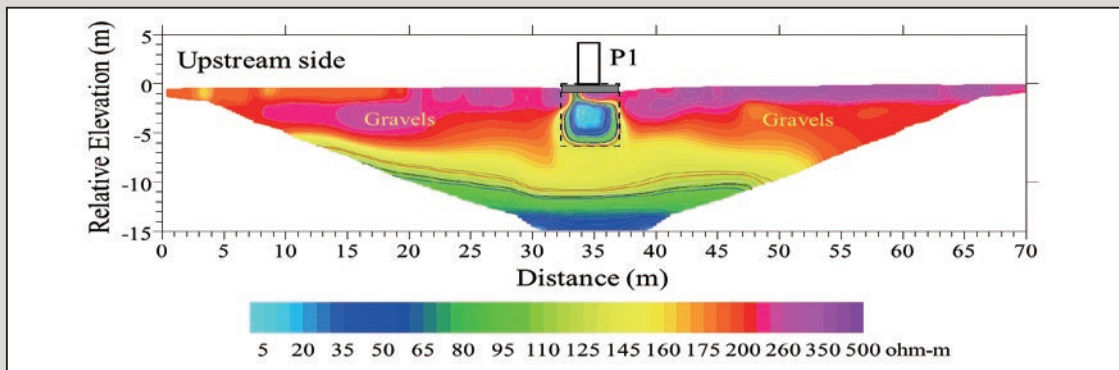


圖1 未知橋梁基礎檢測的地電阻影像圖

表1 一般岩石、土壤和水的典型電阻率範圍[7]

材料	電阻率 (歐姆×公尺)
岩石	
花崗岩	$5 \times 10^3 - 10^6$
板岩	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
大理岩	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
砂岩	$8 - 4 \times 10^3$
頁岩	$20 - 2 \times 10^3$
石灰岩	$50 - 4 \times 10^2$
土壤	
黏土	$5 \times 10^3 - 2 \times 10^4$
砂土(乾)	$2 \times 10^2 - 10^3$
砂土(飽和)	$2 \times 10^4 - 8 \times 10^4$
礫石(乾)	1 - 100
礫石(飽和)	$10^3 - 5 \times 10^3$
沉積層	10 - 800
水	
地下水(淡水)	10 - 100
海水	0.2

視電阻率受礦物組成、粒度、礦物型式、含水量、離子濃度，以及異狀(例如：管線，地下結構，橋梁基礎或空洞)[7]影響甚鉅。

地電阻影像的探測深度和解析度取決於電極間距和佈線長度。電極間距越小，影像解析度越高，但探測深度越淺；反之，電極間距越大，影像解析度越低，但探測深度更深。探測深度和現場特性決定可選擇的電極間距。若是現場狀況許可，建議最佳佈線長度為基礎深度的1.5-2倍。

對比其他相關檢測技術在水上檢測的不便與限制，地電阻影像技術可進行水下結構探測，調查者透過水面擺設電極棒，所涉及的工作量相對較小，可更靈活地取得水下結構物狀態。有兩種水上地電阻影像檢測方式，第一種方式為調查者將電極棒依間距綁於電纜線上，一端由橋面版下懸至水面，並將電纜線一端固定於河岸或河道的竹竿，地電阻設備置放於橋面版上，進行水上地電阻影像的量測；第二種方式為調查者和地電阻設備置放於檢測船上，並在上游側拖曳裝設電極棒的電纜線，進行水上地電阻影像的量測。

二、超震法檢測

超震法檢測通常於外露橋墩或橋台側邊，依線型垂直佈設多個等間距的接收器，通常擺設間距多在0.2-0.5公尺之間，再利用重錘錘擊於橋墩表面(圖2)，錘擊震源點可選擇於待測基礎的頂部或底部，產生小型的人造震波，震波集錄系統以多波道、三個方向(垂直及二個水平方向)受波器為佳，可同時集錄縱波、剪力波，以及表面波等波列；當震波向外傳遞，應力波於橋梁基礎材料(通常為鋼筋混凝土)與地層(砂土/黏土/礫石/岩盤等)界面，因材料音阻抗不同，產生反射波列計算傳遞波速，並辨識直達波列與反射波列，以推算反射波列起始位置，藉此推估橋梁基礎深度。與地電阻影像方法相比，超震法檢測顯示相對較好的基礎深度解析度。

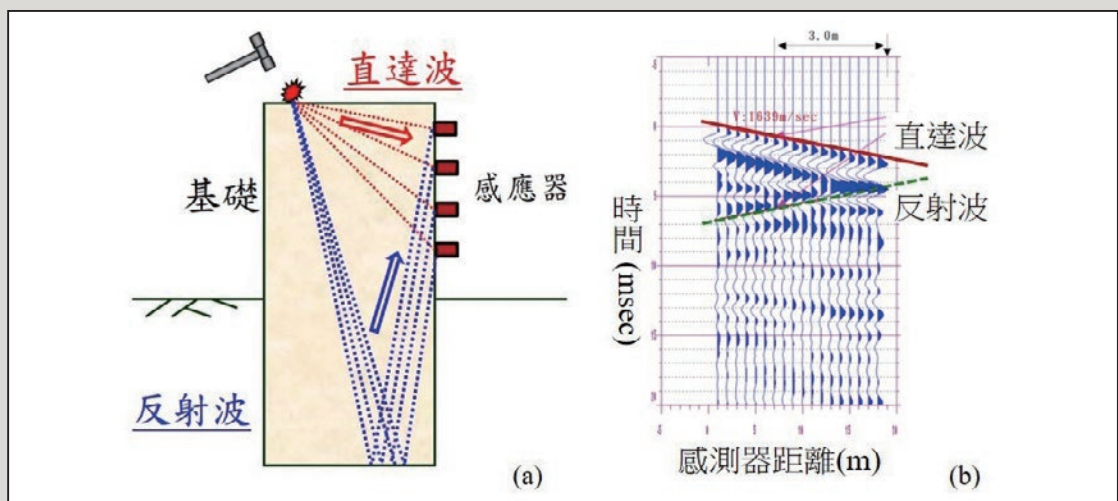


圖2 超震法檢測基礎深度示意圖

參、案例分析

一、雙橋概述

本案例包括兩座預力混凝土橋(分別稱為甲橋與乙橋)，雙橋皆斜跨於45公尺寬的感潮帶的排水溝，雙橋位置距離出海口約2公里，其中甲橋位於下游側，為一雙車道雙跨的產業道路橋，平均橋長51公尺，平均橋寬約8公尺，單墩落於排水溝中央(如圖3所示)；乙橋位於上游側

距甲橋約35公尺，為四車道雙跨的公路橋，平均橋寬約34公尺，平均橋長53公尺，亦單墩落於河道中央(如圖4所示)，因河床地層為軟弱黏土與粉砂質砂土，故雙橋落墩係採用樁柱式基礎設計，墩柱位於感潮河段，多數時間墩柱本體均沒於水面下，滿潮位僅餘墩帽於水面上，低潮位墩柱僅些微出露於水面上，為避免墩柱基礎受到潮水沖刷，於墩柱四周堆放施工棄石。



圖3 甲橋上游側全景照片



圖4 乙橋下游側全景照片

甲橋橋墩為兩根直徑1.5公尺長度31.8公尺的場鑄樁組成，墩帽高度1.8公尺、厚度2.2公尺；乙橋橋墩設計尺寸：由7根直徑1.5公尺、長度32.32公尺的場鑄混凝土樁組成，墩帽高度亦為1.8公尺、厚度2.2公尺。實驗當日潮位接近低潮位，樁柱出露水面高度約0.6公尺。

二、水上地電阻影像

圖5與圖6為水上地電阻影像量測照片，測線平行於水流方向安放，並儘量與樁柱距離保持0.5公尺，總測量長度為150公尺長，該測線係由兩段電纜線構成，一條綁附電極棒的電纜線從甲橋橋面版垂放至河道面，以漁船拖至河道下游側，並將電纜線端固定於竹子上，另一條綁附電極棒的電纜線，亦由甲橋橋面版垂放至河道面，以漁船穿越乙橋，拖至河道上游側，並將電纜線端固定於竹子上。所有電極棒均以空塑膠瓶繫住，以保持漂浮在水面附近，電極間距為3公尺，兩段電纜線均連接於甲橋上的地電阻儀器。

圖7為雙橋水上地電阻三極模式檢測影像，圖中標示雙橋位置，可探測深度達45公尺，

影像中可見兩個相當低電阻率的等值線封閉區間，以灰色、深藍色和淺藍色呈現，位於兩座過河橋正下方，並標記為虛線矩形，這代表存在相對高含量的鋼筋位置。從理論上而言，虛線矩形的底部可視為基樁底部。甲橋基樁深度判釋成10公尺，遠短於其設計長度31.8公尺，此一現象可能受到流動感潮河段鹽分影響，反覆沖刷和沈積削弱了感潮河道中鹽水，土壤和基樁的界面。在較淺層河道上含鹽材料，掩蓋了相對較深基樁的電阻特性的探測，導致未能識別甲橋的基樁深度。乙橋基樁深度判釋為 30.0 ± 3.0 公尺，與設計長度32.32公尺相近，水上地電阻影像可明確判釋出基樁深度。

綜合水上地電阻影像結果：在感潮河段，甲橋與乙橋的基樁長度約莫相近，橋址距海口位置亦相仿，甲橋的橋幅約為乙橋的橋幅的25%，此一變化即造成水上地電阻影像的失真，使得橋幅較窄的橋，因其基樁地電阻特性容易受淺層含鹽材料所遮蔽，以致電場被侷限於淺層含鹽材料上，無法反映深層低電阻特性，故在感潮河段，對於橋幅較窄的橋，需審慎考量水上地電阻影像的效能。

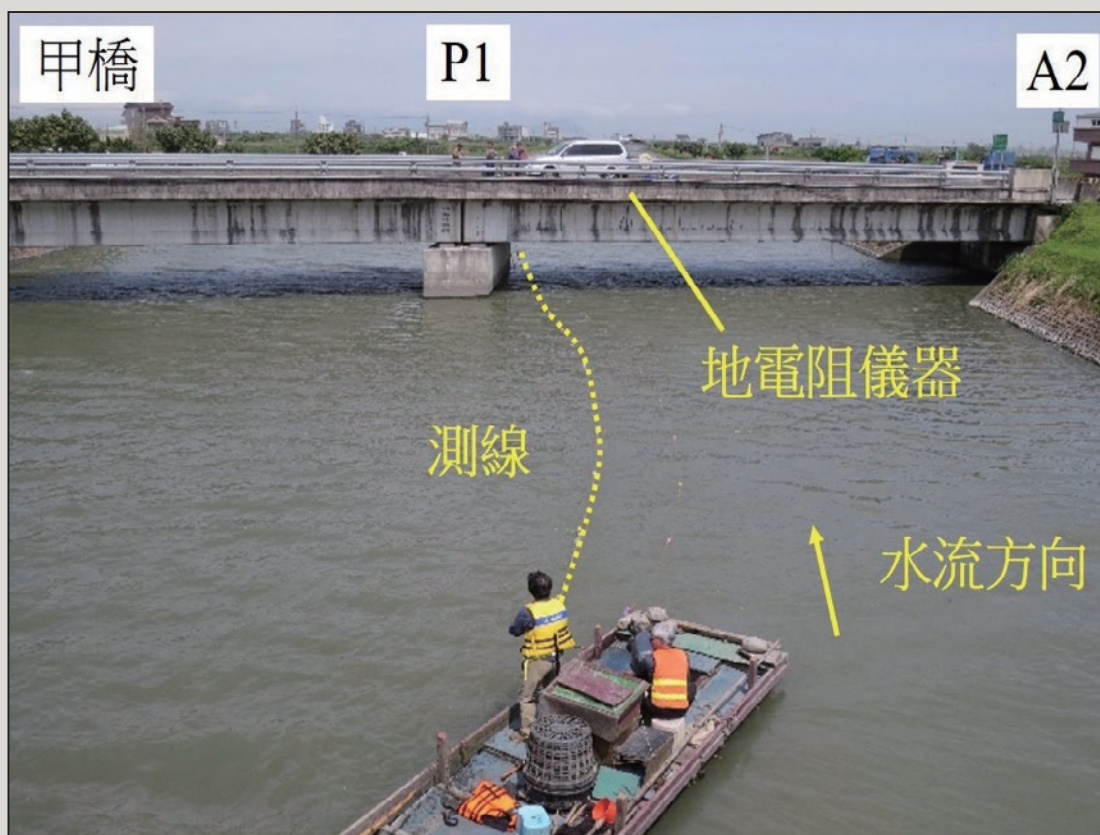


圖5 水上地電阻影像測線穿越甲橋

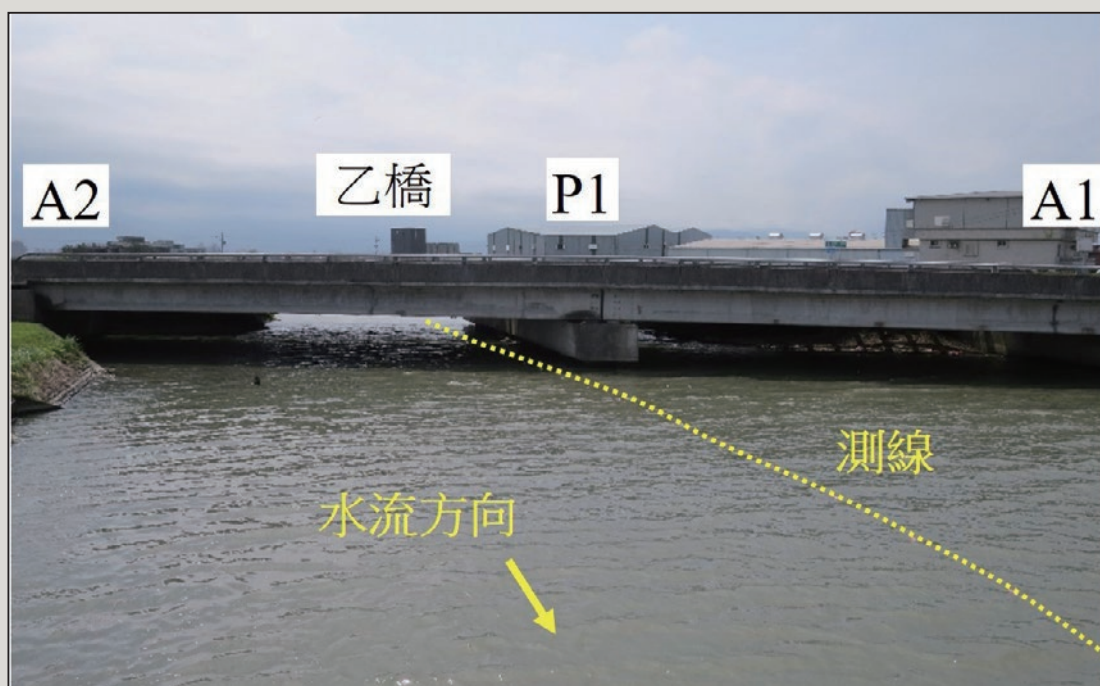


圖6 水上地電阻影像測線穿越乙橋

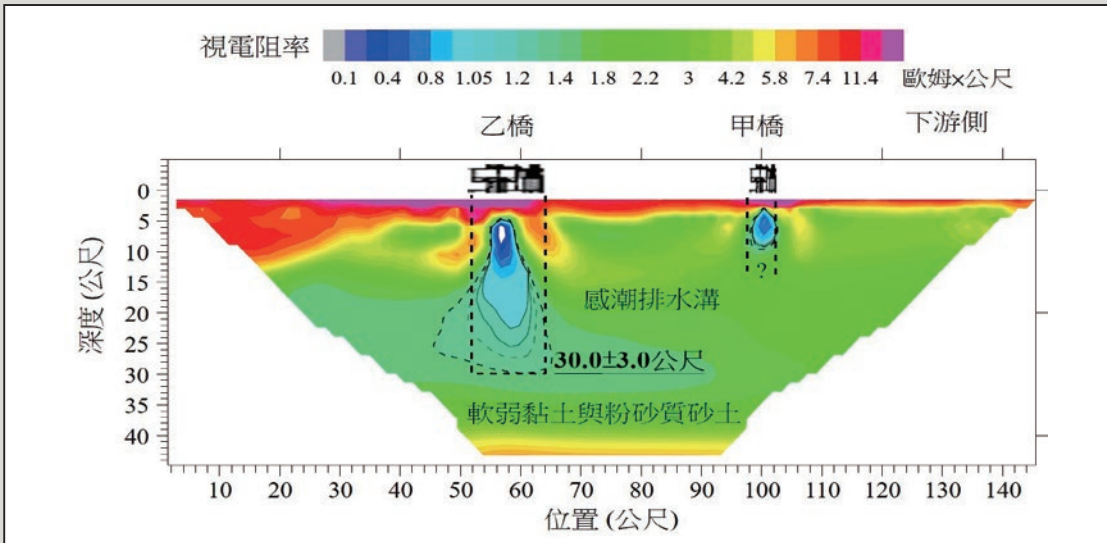


圖7 雙橋水上地電阻影像剖面

三、超震法檢測

如圖8與圖9所示，以墩帽頂部為參考原點，採用互易原理施作改良式超震法探測，將不同類型之地音器裝設於墩帽頂部，多顆地音器採三軸向量測擺設，然受限於墩帽頂部作業空間過狹，僅能於墩帽側邊，採垂直向每隔20公分逐點側向敲擊墩帽，直至水面處附近，再利用多波道震波集錄系統加以紀錄敲擊反應。

甲橋P1墩柱的現地超震法檢測結果，繪成圖10的震波序列記錄圖，側向敲擊於高度1.8公尺的墩帽上，每隔20公分敲擊一下，計敲擊10次，有10筆波形紀錄，其視波速為1,818 m/sec，由波形序列影像推算，扣除掉墩帽高度，墩柱長度(含沒水段和入埋段之深度)為 29.9 ± 0.4 公尺，其探知樁柱長度範圍與設計長度31.8公尺相接近。



圖8 甲橋超震法檢測照片

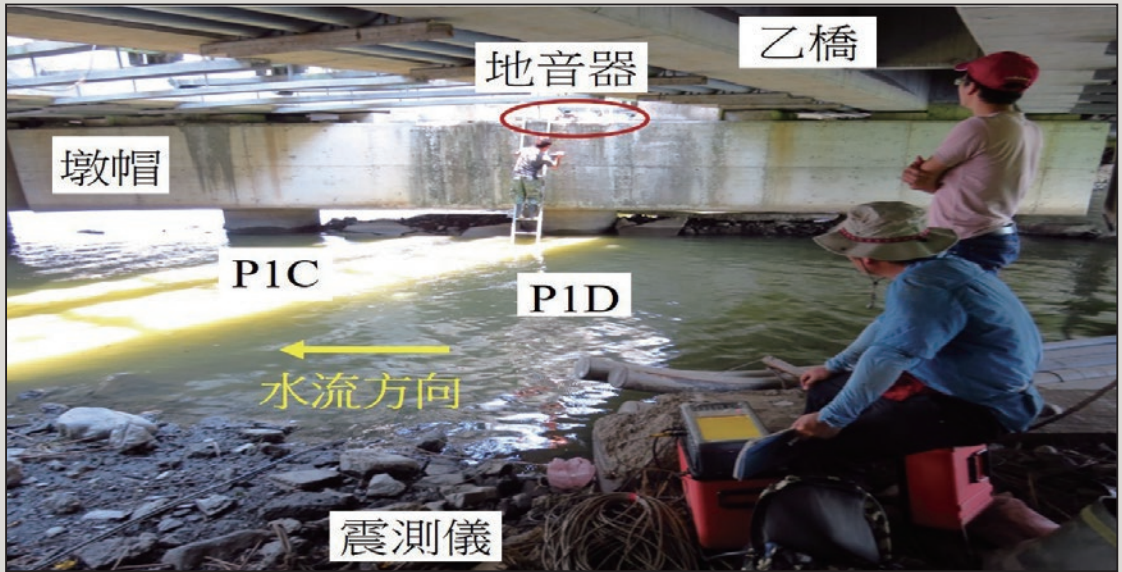


圖9 乙橋超震法檢測照片

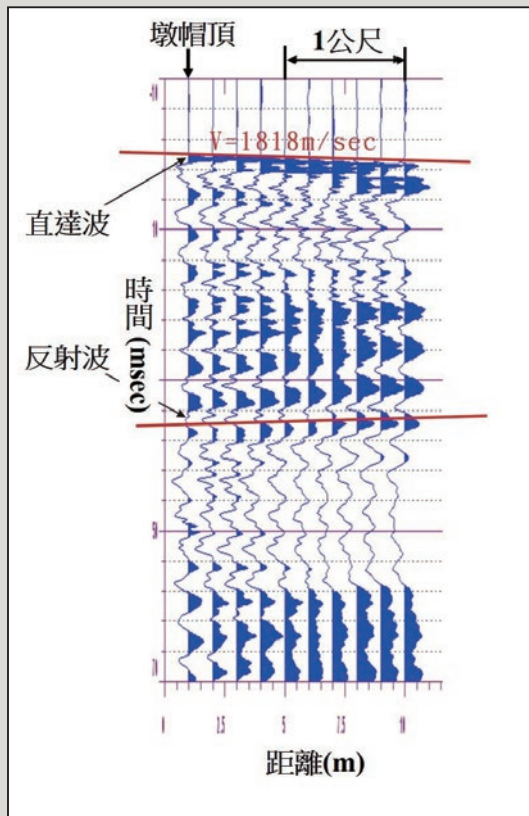


圖10 甲橋超震法震波序列記錄圖

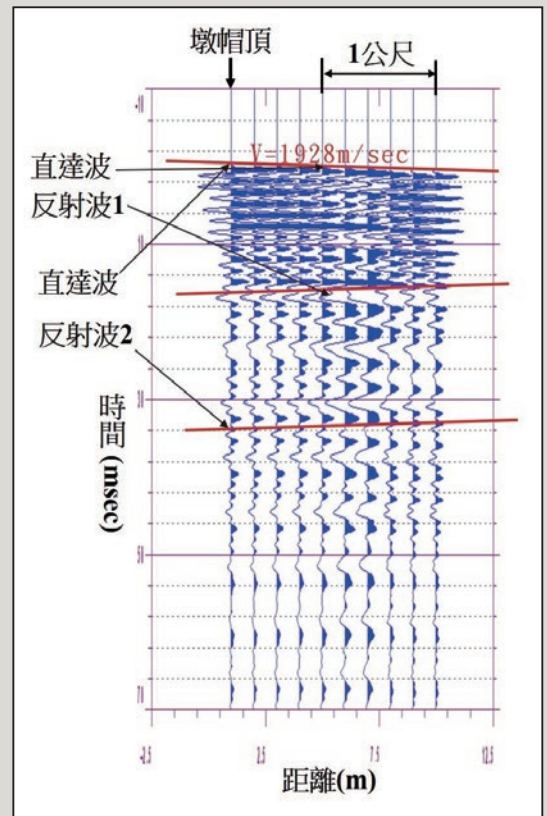


圖11 乙橋超震法震波序列記錄圖

乙橋P1墩柱現地超震法檢測結果，繪成圖11的震波序列記錄圖，側向敲擊於高度1.8公尺的墩帽上，每隔20公分敲擊一下，計敲擊10次，有10筆波形紀錄，其視波速為1,928 m/

sec，由波形序列影像推算(即直達波與反射波2)，扣除掉墩帽高度1.8公尺，墩柱長度(含沒水段和入埋段之深度)為 31.4 ± 0.4 公尺，其探知樁柱長度範圍與設計長度32.32公尺相接近。再

者，另有一較強反射源(反射波1)，由波形序列影像推算，其反射深度為15.3公尺，若考慮感測器安裝於墩帽，墩帽長度約15.5公尺，極可能為墩帽塊體所造成之共振效應。

四、綜合研判

甲橋P1墩柱長度之檢測綜合結果如表2所示，水上地電阻影像因地層受潮汐海水低電阻率影響，僅能判釋樁長為10公尺，無法分辨樁柱與地層之分界，基礎與地層間電性特徵差異不明顯；超震法檢測結果顯示樁長預測平均誤差為6%。

表2 甲橋墩柱長度之判釋成果表

檢測方法	檢測深度(m)	與設計樁長相比
水上地電阻影像	<10±3.0 正確深度無法判釋	地層受海水低電阻率影響，基礎與地層間電性特徵差異不明顯
超震法檢測	29.9±0.4	平均誤差為6.0%

表3 乙橋墩柱長度之判釋成果表

檢測方法	檢測深度(m)	與設計樁長相比
水上地電阻影像	30.0±3.0	地層受海水低電阻率影響，基礎與地層間電性特徵差異小(墩帽底部高於水面0.6公尺)，平均誤差為3.8%
超震法檢測	31.4±0.4	平均誤差為3.0%

乙橋P1墩柱長度之檢測綜合結果如表3所示，水上地電阻影像與超震法檢測結果相仿；水上地電阻影像因地層受潮汐海水低電阻率影響，應用等值視電阻線分辨樁柱與地層之分界，勉為估算樁柱長度，樁長預測平均誤差為3.8%；超震法檢測結果顯示樁長預測平均誤差為3%，略優於水上地電阻影像檢測。

肆、結論

應用實務上發展的基礎檢測策略，包括：
(1)地電阻影像初步辨識基礎型式與深度，以及
(2)超震法檢測提供相對較好的基礎深度解析度，進行感潮河段的樁柱式橋梁基礎檢測，並考慮鹹水對地電阻影像判釋結果之影響。檢測結論如下：(1)整體調查顯示：使用基礎檢測策略，當適當地綜合使用此兩種檢測方法，可有效地確認基礎深度。(2)感潮河段河床土壤中鹽度相對較高，削弱水上地電阻影像判釋能力，橋幅較窄的基樁，因其地電阻特性容易受淺層含鹽材料所遮蔽，無法反映較深層低電阻特

性，估計深度短於設計長度，故在感潮河段，對於橋幅較窄的橋，需審慎使用水上地電阻影像技術。

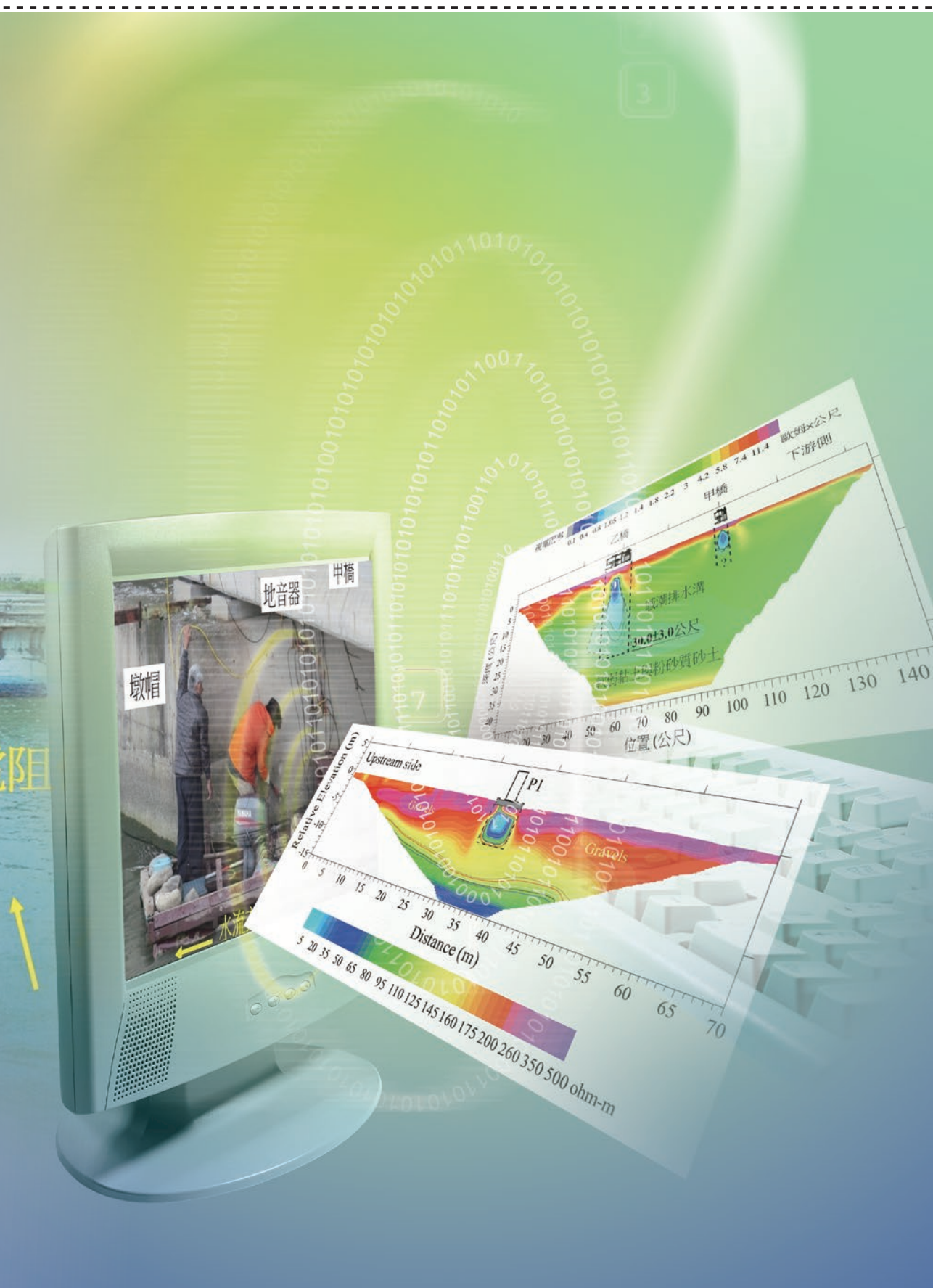
伍、誌謝

本研究係為財團法人中華顧問工程司「基礎深度探測技術於樁柱式橋梁之驗證研究」案部分成果，作者在此表達由衷的謝意。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，「107年度縣市政府橋梁維護管理作業評鑑報告」，(2019)。
2. Olson, L.D., Jalinoos, F., and Aouad, M.F., Determination of Unknown Subsurface Bridge Foundations, NCHRP Project No. E21-5, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. (1998).
3. Wightman, W.E., Jalinoos, F., Sirls, P., and Hanna, K., Application of Geophysical Methods to Highway Related Problems, Report No. DTFH68-02-P-00083, Central Federal Lands Highway Division, Lakewood, Colorado, U.S.A. (2003).
4. Hertlein, B.H. and Davis, A.G., Nondestructive Testing of Deep Foundations, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, United Kingdom (2006).
5. 中國土木水利工程學會，「橋梁檢測方法與應用」，科技圖書公司，臺北，臺灣，337頁 (2010)。
6. Geo-Institute Deep Foundation Committee, “Nondestructive evaluation of drilled shafts,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 92-95 (2000).
7. Loke, M.H., *Electric Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies—A Practical Guide for 2-D and 3-D Surveys*, ABEM Instrument AB, Sunbyberg, Sweden (2000).





4
特
稿

稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目/作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1, 2, 3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977).

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木水利工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973).

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984).

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963).




編後語

本期(124)期主題為「蛻變中的當代營建管理」，營建管理不僅要前瞻規劃，呼應政府建設政策及現代科技進步，營建管理的從業者更應善用科技工具及熟悉新工法，以開創出新型的管理模式，成就更有效率及精緻的營建管理成果，達成對利害關係人的承諾。

十分感謝勤美集團璞真建設公司林廷芳董事長，於公務繁忙之中，撥冗接受本刊專訪，以及行政院政務委員兼公共工程委員會主任委員吳澤成、勞動部職業安全衛生署署長鄒子廉等撥冗賜稿，高雄市政府捷運工程局局長范揚材亦執筆專文，他們的精闢見解及寶貴資訊，特予整理報導以饗工程專業讀者。本期主編也感謝各專題技術論文作者整理執行計畫的成果，利用公忙之餘，費心撰寫當代營建管理相關實務專文，不吝將寶貴的實務經驗做分享，值得提供各界參考，在此一併致上謝忱。

附記：

本刊於每年一、四、七、十月份以季刊方式發行，來稿請備紙本稿件一式三份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。

 財團中華顧問工程司
法人 CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

台北市10637辛亥路二段185號28樓
28F., No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>

來去

Li_k_e_y_ 逗陣行

一道

跑出精彩。



中華郵政



metropia



來去
看更多

12月底起跑！

中華顧問工程司與美商美副實通攜手合作，結合台灣圖資，運用大數據、機器學習、行為分析等技術，以公益法人的角色，致力於旅行時間預測、路徑最佳化、社群共乘及改善偏鄉交通運輸等功能服務，試圖打造一個更適合台灣環境的Maas全方位移動服務平台