

中|華|技|術|120

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2018. 10. 31 出版

設計4.0 —設計自動化與防災—



國內郵資已付
台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／

前行政院長張善政

桃園市副市長王明德

中央大學太空及遙測研究中心特聘教授陳良健

新世代地工擋土開挖工程3D設計之AI化挑戰

捷運潛盾隧道參數化設計之挑戰與突破

建築設計4.0自動化之應用

以地理空間資訊技術開發橋梁災害管理平台

InSAR技術於工程結構形變分析之應用



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



設計4.0 設計自動化與防災

CONTENTS

中華技術 120

目錄

專輯前言

1 | 人物專訪

6. 訪前行政院長張善政談「善用資訊科技，提昇工程產業之加值與創新」

..... 整理：賴鈺蒨・攝影：詹朝陽

14. 訪桃園市副市長王明德談「軌道工程自動化應用與前瞻」.....

..... 整理：蘇瑞育・攝影：詹朝陽

24. 訪中央大學太空及遙測研究中心特聘教授陳良健談「臺灣遙測基礎建設的佈局與整合」.....

..... 整理：姜興華・攝影：詹朝陽

2 | 工程論著

34. 群力角度下防救災資訊平台上之區塊鏈技術特徵與導入適宜性探討...

..... 林庠序



發行人 吳盟分
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.cec.org.tw>

編審工作小組
總召集人 周禮良
副總召集人 王炤烈
120期召集人 林曜滄
120期審查委員 陳幼華、吳文隆、劉大慶、林信忠
周昌典、鄭宏達

總編輯 吳淑惠
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、劉彥男、季竺貞
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.cec.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎

3 | 專題報導

48. 新世代地工擋土開挖工程3D設計之AI化挑戰.....

.....吳文隆、周永川、陳聰海、邱志榮、陳嫻雯

58. 土木工程設計自動化—以擋土工程設計為例.....

.....劉大慶、王永誠、趙宜峯、洪銘澤、陳韋廷

66. 捷運潛盾隧道參數化設計之挑戰與突破.....

.....張育承、許琍婷、王維毓、劉人豪、張永漢、蔡百桐

76. 捷運建築輔助設計自動化之應用及展望.....

.....陳幼華、陳世任、黃碩儒

84. 建築設計4.0自動化之應用.....

.....林信忠、辛銀松、林明宗

96. 由自動化檢料算量無縫接軌智慧化估價應用.....

.....李逸凡、賴鈺蒨、賴建中、周昌典

106. 以地理空間資訊技術開發橋梁災害管理平台.....

.....劉新達、張廷華、宋裕祺、林曜滄

122. InSAR技術於工程結構形變分析之應用.....

.....戴于恒、蔡富安、林立哲、李新卉、吳錫賢

編後語



專輯前言

工業4.0／智慧製造的趨勢勢不可擋，運用數位力驅動企業競爭力演化昇級已成趨勢，該如何掌握導入工程設計4.0的正確演化之路並非一蹴可及，目前營建工程產業尚未追趕上智慧製造的發展腳步，但是基於其是未來保持競爭優勢所不可或缺，則勢必得因應做出調整。而自動化設計是邁向智慧化設計的先決條件，自動化能夠為企業帶來的好處非常多，特別是在提升運作效率和生產力兩大方面，而如今設計4.0可望讓自動化邁入另一個更高的境界，主要是因為能夠對設計工具及流程進行整合優化，不同工具軟體彼此直接資料拋轉，結合數據資料庫及案例資料庫的建立，不但可以使設計協作過程變得更聰明，同時還能幫助工程師在資料取得、需求確認、方案溝通、設計檢核等方面快速做出決策與針對問題立即作出反應，進而降低人力成本，讓企業取得更大競爭優勢。可以大幅減少目前因為仰賴人力所必須投入的許多工作時間與成本，從而大幅推升生產力。除生產力最大化，也能產出最佳化的設計方案。

傳統產業升級智慧建造本就不易，因此更需有完善的前期規劃，不可盲目謀求快速升級。台灣世曦專注於智慧化設計的未來，歸納出工程設計的脫胎換骨轉型計畫，包括以專業實際工作經驗與業務需求為主要考量，並以3D設計協同作業為基礎，突破部門的框架、強調合作發展共同的標準軟體、標準流程、資料串接API程式及資料庫，並由資訊支援單位協助搭建共享平台及提供技術支援。以資料庫的蒐集、整理再應用為競爭力的基礎，運用大數據分析發展「自動化設計」，驅動設計觀念與工作方法的轉型與創新。

營建產業升級轉型重點應著眼於如何有效地來運用資訊科技技術，使工程相關角色能各盡其力共同透過資訊整合與價值再利用進而朝向更有附加價值的產業鏈上活動，進一步形成一個完整延續的營建業電子化發展環境。本期專輯很榮幸專訪張善政前行政院長談「善用資通訊科技，提昇工程產業之加值與創新」，闡述如何借助資訊技術的加值運用，驅動工程服務創新及工程產業昇級發展；專

訪桃園市王明德副市長談「軌道工程自動化應用與前瞻」，暢談如何導入新的科技應用於工程案中，藉此提升營建產業發展及公共工程的水準；專訪中央大學太空及遙測研究中心陳良健特聘教授談「臺灣遙測基礎建設的佈局與整合」，分享對於臺灣遙測基礎建設的前瞻看法，未來如何精進遙測服務及空間資訊應用的發展建議。

有鑑於全球氣候變遷導致颱風及豪大雨頻仍、強烈地震亦趨活躍與震後引發海嘯、核災之複合型災害，造成巨大的傷亡與損害，如何強化災害預警科技研究，以儘早獲知災害情勢，對潛勢地區發出預警，降低傷害，已成為極重要課題。本期主題將透過科技精進防災的整合思維，介紹本公司橋梁災害管理地理資訊平台在災害風險預測及預警的應用與發展，提供工程先進參考。

防救災資訊的整合是災害應變體系有效運作的重要基礎，而區塊鏈之技術特色在讓資訊更加透明、安全且有效率地進行資訊傳遞交換，有助提昇災情資訊的管理與研判，可使災害之發生，有較好的決策參考。本期邀請市民永續股份有限公司林庠序執行長撰稿「群力角度下防救災資訊平台上之區塊鏈技術特徵與導入適宜性探討」，探討以區塊鏈(Blockchain)的技術性和社會價值性兩方向進行區塊鏈技術的智能合約(Smart Contract)應用於防救災平台上之適宜性，並提出政府和工程顧問應扮演之角色建議。

配合本次主題，選擇本公司以脫胎換骨為目標，運用最新資通訊科技，佈建工程設計自動化與防災的資訊應用推動經驗與發展成果，透過本期刊能與業界分享及擴大交流，期能拋磚引玉為工程營建產業踏上工業4.0正確的演化創新道路。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

總工程師 林 曜 滄



訪前行政院長

張善政

談

善用資通訊科技，提昇
工程產業之加值與創新

整理：賴鈺蓁 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

張善政前院長係美國康乃爾大學土木工程博士，曾任國立臺灣大學土木工程學系教授、行政院國家科學委員會國家高速電腦中心主任、行政院國家科學委員會企劃考核處處長、宏碁股份有限公司電子化事業群副總經理、美商 Google公司亞洲營運總監、行政院科技政務委員、首任科技部部長、行政院副院長及行政院長，目前擔任台灣大哥大基金會董事長。

張前院長學養俱優、實務經驗豐富，可以說是橫跨產、官、學三界。於1981年返國於台大任教，首創國內電腦圖學與電腦輔助設計課程，對推展國內電腦繪圖在工程與動畫模擬方面之應用有啟蒙之效。擔任國科會企劃考核處處長期間，撰寫國內第一部「科技白皮書」，奠定臺灣科技發展之藍圖。在任職美商 Google期間，則協助Google爭取在臺灣設立首座資料中心，奠定Google 在台灣長遠發展之基礎。

擔任行政院科技政務委員任內，大力推動資通訊相關之雲端、開放資料等跨部會計畫。擔任首任科技部部長期間，積極協助學界將豐沛的創新能量導向產業，帶動創新創業的風潮，提升我國學術與產業的國際競爭力。行政院院長任內，決定有條件開放ApplePay來臺。回顧細數相關政績皆與科技政策推動與應用脫離不了關係。除改善政府資訊服務採購流程外，包括政府雲和開放資料的推動，及4G執照開放等，都是張前院長任內最重要的成就。

本期很榮幸於民國107年8月13日專訪前行政院長張善政，以下是訪談紀要：

貳、訪談紀要

問：今日工程設計須考量的因素及層面相較過去更為繁複，包含技術、文化、環保、生態各個面向之衝擊皆應同時評估，但業主則期待縮短設計工作完成的時間。因此台灣世曦正在推動

「設計4.0」的理念，利用3D設計來加強溝通及研發設計自動化來提升設計速度，請問院長對我們的推動方向有什麼建議。

答：「設計4.0」時代利用GIS及BIM模組化技術的優勢，將工程實境預先整合在電腦的虛擬



1

人物專訪

空間內分析模擬，藉由此視覺化模型可獲得準確度較高的協調溝通，省去2D作圖時代圖紙夾帶資料不足、溝通費時及準確度不足的缺點。而設計自動化除了透過工具軟體及API程式開發讓設計流程最速化及優化，更重要的是工程案例資料庫的整理及循環再利用，讓經驗變成知識，將知識轉化為服務創新及業務提升的能量。

「設計4.0」除了講求技術革新及自動化，更應追求工程與環保、美感及生態的多贏融合發展，建議可參考歐美國家對於工程環境生態保育的作法，適當提高工程環境保護的預算比例，始有可能創造多贏的局面。未來應可朝向發起工程業界整理工程與環境和諧發展的成功案例，例如蘇花改工程的生態廊道設計、橋梁設計，甚或將設計美感的案例也納入，透過學協會辦理研討會的方式，建立與民眾友善互動的溝通管道，邀集工程主辦機關一同參與，透過代言人及工程案例展示說明工程團隊對於環境生態保護的用心及努力，柔性行銷爭取業主及民眾的有感支持。

問：2016年院長任內發生美濃地震，造成台南維冠大樓倒塌，導致人員傷亡慘重。2018年花蓮地震，也造成花蓮四棟大樓嚴重損壞及人員傷亡，您以民間人士身分協助花蓮之相關災害復原



(左1)賴鈺蓓副理 (左2)林曜滄總工程師 (左3)周禮良董事長

重建事宜。院長應可深切體會，對於工程企業單位而言，可協助發展哪方面之防災、減災工作？

答：物聯網之發展在此時即可有效與工程應用結合，例如邊坡穩定及雨量監測等防災措施應用，透過導入IoT技術，將可迅速蒐集回報時雨量資訊提供土石流預警，降低災害影響。此外，世曦與中央大學合作發展的InSAR衛星影像比對地形地貌及觀測變化趨勢的技術應用，除可應用於橋梁監測，未來應可結合GIS國土



(右4)曾榮川協理 (右3)劉大慶協理 (右2)賴建中經理 (右1)張善政院長

資訊等政府公開資訊做更深入多元的應用，進一步應用於其他的設施如建物安全機制評估，應可對於防災工作提供更多元的幫助。

問：台灣世曦2017年成立防災工程技術整備中心(簡稱防災中心)，希望幫助政府在防災與減災方面有所貢獻，首先我們聚焦在橋梁設施，因橋梁平時為交通重要孔道，災時為搶救災生命線之重要環節，目前我們與橋管單位合作，取得部分橋梁基本資料，進行快篩提供減災措施建議。但全台有2萬

8仟座橋梁，部分機關以機密文件為由，不願提供最基本之資料，造成無法全面協助提供全台橋梁減災措施建議。請問院長認為政府該如何改變作法。

答：防災工作之範圍廣大，相關工作之推動須整合多方資源，以日本為例，其防災指揮系統主要由官方組成推動，始可有效調度資源應用。政府機關在心態上應抱持更開放的格局，或許透過前項提及之案例研討會議，提供機關



可以參考過去成功之推動案例，並彼此交換發展經驗，以調整其保守之心態，提高主動參與研發及提供資料的意願。

問：台灣世曦目前正全力推動3D設計及設計自動化作業，期能透過高科技引入工程設計以加速溝通效率。目前3D設計工具已臻成熟，各項作業亦逐步推動模組化及標準化，對於政府應扮演之角色而言，是否仍應維持一主辦機關推動跨單位間資料交換標準之維護作業。

答：工程電子化環境係一長期性不斷發展之工作，目前確實因組織改造，各項任務分派及主管權責都將異動，標準化之推動如因組織改造而中斷將相當可惜，透過各計畫之執行適時的給予機關對於3D設計及資料交換應用之訓練，將可提升各機關對於資訊標準化之重要性認知，或可使資料交換作業應用持續推進。建構安全完善的電子化資訊基礎建設，制訂整合化的公共工程資訊交換標準，鼓勵營建業廠商與工程單位能積極運用資料標準的自然相容性，推動電子化流程再造，觸發新的作業模式及增值應用，建立價值鏈協同合作之示範體系，指引電子化之深度及廣度應用，整合各工程相關機構電子化資訊發展經驗與資源，按部就班落

實所有的規劃，引導工程產業朝向電子化高效率運作的方向。

問：資訊安全事件時有所聞，不論業主或廠商，工程業對於資安之重視也與日俱增，工程顧問公司該如何拿捏資安之尺度，並且如何避免資訊安全變成公司進步之障礙？

答：建議先對公司內部之資料及系統進行盤點，並進行保密分級管理，依保密需求等級，訂定可接觸機密資料之人員權限，針對資料下載使用情形，應存有紀錄並加以分析管控。針對不可開放資訊之保護方式，則可參考國際標準(例如ISO)之保護機制，提供較為強制之保密措施。為維護系統軟體和資訊之安全性，應落實網路基礎環境的安全管制，包括資安檢測、防駭攻防演練、漏洞修補作業、病毒碼更新及定時掃毒等措施，以降低遭受攻擊的風險。強化資安管理機制可能造成某種程度的不便利，透過加強宣導及教育訓練的方式讓員工了解其重要性，始可在方便操作與安全性要求間取得平衡。



1

人物專訪

張善政院長



問：請院長給予建議，如何培養年輕工程師的專業表達與論述能力。

答：建議公司可藉由「技術交流研討會議」及「鼓勵創新提案制度」來培養年輕工程師的論述表達能力，公司可嘗試將相同技術課題的工作交由不同的工程師辦理，給予工具選擇及邊界條件設定的彈性，並舉辦工作成果發表的技術觀摩workshop會議，透過同儕的經驗交流分享，提昇工程師的專業技能與論述能力。建立適切的員工提案管道與制度，鼓勵員工與外界保持互動以隨時取得最新技術趨勢及先進案例資訊，並樂於主動向公司提出建設性的建言，除可訓練年輕工程師的提案及論述能力，亦有機會讓自己的提案受到公司長官的重視，激勵其對於工作的積極創新，對於公司也會更有向心力。

問：請教院長在百忙之中，如何有效的持續學習，培養接收新知的習慣。

答：除了經由在工作中的經驗學習，充實自己的專業知識及技能，另外新聞事件也是很好的新知學習題材，針對已曝光的焦點新聞，網路上會有相當多的評論及相關報導，透過主題式



(左1)賴鈺蓓副理 (左2)周昌典協理

搜尋，快速掌握事件的緣由始末及相關背景資料，並進一步往下挖掘及整理分析，即可轉化成學習之經驗，同時因新聞事件往往是大家關注的焦點，也是很好案例說明的素材。

後記

當工業4.0的旋風襲來，利用資通訊科技來提昇競爭優勢已被各產業視為轉型升級的加速跑道。台灣工程業界該如何透過科技的進步，跳脫既定模式加速提昇競爭優勢？鑑於過

1

人物專訪



(右6)林曜滄總工程師 (右5)張善政院長 (右4)周禮良董事長 (右3)曾榮川協理 (右2)劉大慶協理 (右1)賴建中經理

渡到4.0的複雜性，導入數位轉型存在著哪些問題？未來的路又該往哪裡走？本期承蒙曾在產、官、學界服務並擔任要職，專長橫跨土木工程及資通訊科技領域的張善政前行政院長在百忙中接受本公司專訪，分享見解如何藉助設計4.0資訊技術的加值運用，驅動工程產業昇級與創新。

在採訪過程中，張前院長對於資訊科技導入工程設計、防災應用侃侃而談，除了指引以設計4.0的整合思維，運用實境模擬及BIM 3D

技術及來優化設計、加強溝通。呼籲結合工程各界的力量整理工程案例資料庫，共同推動工程與環境、生態、美感融合的四贏發展理念。並為工程界導入設計4.0數位轉型過程中，可能遭遇的資安及資料整合應用等議題提供解方。也期勉年輕工程師應與時俱進有系統的學習新知，並培養提昇提案及論述的能力。

透過本次專訪提供台灣世曦許多啟發，張前院長充滿新思維的見解，很值得提供各界參考。



訪桃園市副市長

王明德

談

軌道工程自動化
應用與前瞻

整理：蘇瑞育 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

桃園市副市長王明德，國立台灣大學土木所碩士、美國麻省理工學院營建管理博士。在學界曾擔任台大土木系副教授、中華大學副校長，在公務機關曾擔任升格前桃園縣政府工務局長、桃園縣副縣長、台灣營建研究院院長、行政院公共工程委員會委員等職務，在產官學的經歷相當豐富。

王副市長在營建管理、BIM及智慧城市等多項專業上，具有實務且深刻的見解。在市政建設上，無論是公營住宅、捷運工程、圖書館等重大建設，都充分發揮副市長的專長，且不斷帶領團隊導入新科技、新技術，引領公共建設進步發展，讓市政建設能發揮更大的綜效。

本期很榮幸於民國107年8月14日專訪王副市長，以下是訪談紀要：

貳、訪談紀要

問：依據政府組織改造規劃，公共工程委員會將被裁撤，其主管業務：工程政策、採購、管考、爭議處理、技師、顧問公司管理、產業及技術整合等業務將分散至各機關，並無統籌單位管理。在各國政府工程主管機關都是中央一級部會，如鄰國日本有國土交通省專職管理工程建設產業發展。副市長曾擔任行政院公共工程委員會委員，請副市長談談對於現況發展有何建議？

答：「徒法不足以自行」，面對新的趨勢、新的產業環境，若沒有一個機關來主導帶領及管

理，很有可能讓這個產業發展萎縮，對於產業未來的興衰有重大的影響。

現在台灣的農業產值雖然只佔全國GDP 1.3%，仍有農委會這個主管機關來管理，解決農民生產等等問題，甚至編列了科技預算來協助農業生產改善。營造業佔全國GDP 2.3%是農業近兩倍的產值，目前公共工程執行遇到很多的問題都需要主管機關去帶領，並能提前看見產業的問題與發展需要，尤其目前工程在發展BIM等新技術，需要適當的政策及資源，才有機會讓整個產業環境、制度有所改善，發揮使用效益。



1

人物專訪

營造業的產值中其中有5%~15%是Rework(重工)，因為沒有好的工具、制度與程序，使工程營造活動中產生了浪費，若在5%-15%取中數是10%，對一個工程案而言是非常可觀的數字。

依據GDP的統計，營造業的附加價值率可帶動2/3其他產業的投入，如機器設備製造業、水泥等，所以我們常常會說營造業是火車頭，只要一個工程啟動，就能帶動其他產業的投入。以2017年營造業GDP統計是3,735億元，再乘附加價值率3倍，這整個營建活動的費用約略是1兆元，其中10%的浪費就是1千億元的規模。這些浪費大多來自於施工安排不順暢、施工過程的重作、變更設計、溝通不當……等等，若我們能使用好的工具、適當的安排，我們就能把這些不必要的浪費降到很低，那BIM的投資及使用價值就出現了。從國家角度來看推動BIM是產業發展必要的，讓產官學透過政府方建立一個平台來落實BIM將是未來的重點推動工作。

目前產業推動BIM遭遇很多的困難，若設計方有足夠的設計費用與經費來導入BIM，自然很多問題就能解決，但前提是業主方及主管機關要有這樣的價值認知，了解推動的目標及提供適當的資源。



(左1)蘇瑞育副理 (左2)賴建中經理 (左3)周昌典協理

目前桃園市政府的重大的工程都要求要執行BIM，各局處都慢慢能理解BIM是什麼，並持續的深化學習。

問：目前桃園綠線在邀標文件已要求統包商要全面導入BIM，請問是否有考量將此延續至營運階段，做為資產管理之一部分？又因桃園綠線分為數個施工標，營運單位只有一個，如延續至營運階段的資產管理，有否規定各標提供資訊的統一性(包括格式、資訊內容)，以方便整合匯入資產管理，為



(左4)王明德副市長 (右3)李元唐副總 (右2)林曜滄總工程師 (右1)陳幼華資深協理

營運／維修「自動化或智慧化」作準備？是否有考量亦導入才通車不久之機場捷運？

答：目前桃園捷運公司在維護管理的經驗已放到設計、施工的要求中，並要求各標的統包商在成果交付上都必須遵循 Construction Operations Building Information Exchange(COBie)的資訊格式，但是新的嘗試，導入的過程一定會遇到問題，各家廠商的資訊能力也不盡相同，透過重大工程來推動執行，可以彼此學習往前進步，這是很重要的。

未來維護管理，一定要從下游提供需求及問題給上游設計單位，如此設計才能符合實際需求，但是目前工程產業從來就沒有建立這樣的經驗回饋機制 (Lessons Learned)，進步國家必須要有這樣的系統化思維。

工程管理只是一個階段過程，更重要的是永續的管理，所以政府單位能認知這個價值，建立一個永續的管理平台，從設計、生產、施工到維運都透過這個平台來管理是非常有必要的，但是若末端的管理單位不能接續使用這個平台，反而是一種浪費。我們必須思考到捷



運並不是僅僅是一個工程，而是需要持續營運的，以一個捷運工程80-90年，運用BIM到維護管理更能發揮它的價值。

業主的管理平台無論是採購或是自行開發，都是需要經費的，這需要由捷運局來籌編預算，後續移轉到捷運公司來運作，這需要預先通盤整合各方的維運管理需求。台灣世曦在馬來西亞地鐵項目的經驗中，由業主端提供平台給各標使用，這樣有統一的規範讓廠商遵循，是值得我們來借鏡。目前桃園捷運有3個土建統包標及1個系統機電標，各標工作界面、參與單位人員、執行的流程及如何統合，若能透過這個平台來管理這是很重要的。

我最近成立一個台灣人居環境全生命週期管理學會(BLM)，希望能讓產業的上下游之間的資訊互通交流，並且以循環經濟的概念來執行。成立這樣的交流平台，協助政府依據這樣的理念來建立標準，未來會有越來越多的廠商在這樣的平台提供產品元件庫，建立共通的資訊交換標準，且能接續到維護管理使用，不須由各單位個別來建置。

台灣世曦與台大BIM中心共同研發捷運的COBie標準，並提供業界來使用，我想這是很好的開始，但是各顧問公司立場不同，若由政府單位來統籌及推動就會比較有公信力，各顧



問公司及廠商都來參加建立共同的標準。地方政府有專案實際計畫在執行比較容易來推動，但是需要中央政府或科技部協助提供資源。目前科技部推動ICT技術來改善生產力，營建產業也需要這樣的扶植資源，來改善營建產業生產力，這樣產業才有改變的機會。

我們都很清楚BIM對維護管理的重要性，所以設施管理的資訊需求必須納入BIM的資訊要求，但營建管理所需的資訊與維護管理的資訊是不同的，在BIM的各階段發展程度也不同，所以不僅僅是要討論BIM，甚至應該確認BLM(Building Lifecycle Management)



王明德副市長



1

人物專訪

的需求，思維須從模型(Model)轉換到管理(Management)，這都必須從招標規範去下手，後面才有機會收到這些成果。桃園捷運綠線的優勢在於營運單位桃園捷運公司在設計、施工階段便可進場提供營運意見，故在COBie建構期間，會邀請桃園捷運公司一起討論，讓效益最大化。

問：最近交通部擬推動「軌道運輸智慧化」，不知桃園市是否趁目前即將展開的捷運綠線興建，同時導入「軌道運輸智慧化」並引領國內軌道運輸到新的里程碑？

答：以前BIM的應用面向多著重於設計施工，BIM如何結合ICT/IoT技術則是未來的方向。比如人臉辨識等ICT設備要如何安裝，從旅客服務面要去收集什麼數據，這些數據要如何分析判讀，要提供什麼服務，這都是需要思考的。若設計單位沒有考慮到這些使用情境的技術需要，竣工之後才要追加就很困難，再往更上層來看，業主若沒有將這些需求納入規範，設計單位自然也不會執行，所以土木工程在這個科技高速發展的時代，更需要的是能跨界整合的人才。

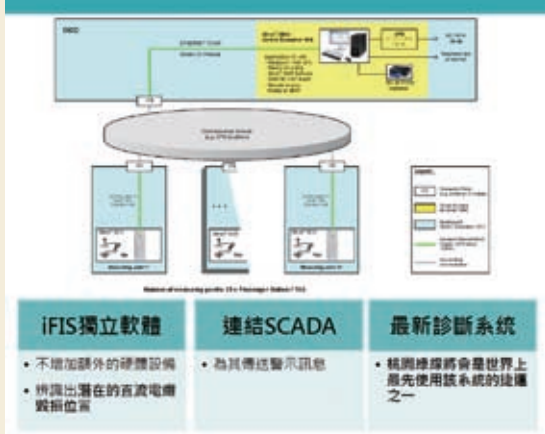
我在30年前MIT修過很多的AI相關課程，所以我很清楚智慧系統(Smart System)有很多分類及層次，以前IoT技術還沒盛行以前，各家公司都為自己的需要建立自己的系統，這是屬於煙囪式的系統，但是隨著新科技發展，在智慧城市的架構中，資料一定是多元的、跨領域的、即時的及大量的，這些資料要進一步分析及模擬，提供服務，才能達到智慧化。例如最近新莊發生的醫院火災，若有一套智慧城市系統能提供建管處的3D資料，讓救災單位馬上知道哪裡有樓梯，能馬上提供這棟醫院現況有多少病人，救出來之後要送到哪一個能提供燒燙傷處理且有病床的醫院，這些都是來自跨局處不同領域的資料，有大量的即時資訊需要被整合與傳遞，所以智慧城市是需要建構具有系統整合(SI)能力的平台。

目前IoT的廠商很多都在談智慧城市，但缺乏好的應用情境，若無法完整的陳述這些需求及價值，當然很難說服業主進一步去推動，IoT廠商需要跟顧問公司合作，整合出有價值的營運服務模式及拓展市場。初期可能需要資金，需由中央單位或地方政府提供實驗場域，若這種營運模式成功，未來更可向海外輸出，我們必須從這個角度來思考發展，才能形成產業化。這就像以前交通部在推ETC一樣，初期是為了解決收費的問題，但這種營運模式一旦獲得成功後，便可進軍海外市場。

桃園捷運綠線在「軌道運輸智慧化」上將採用最新的科技，從興建、營運到維修各階段，採用4大軌道運輸智慧化功能：

1.智慧偵測：結合IoT物聯網及大數據等智慧化科技，提供轉轍器診斷、直流電纜故障辨識，以及車輛零件組件汰換狀態預警系統等，除現有的即時監控功能外，更進一步防患於未然，在前述各項機電設備出現微小異常徵兆時，即預先採行各種因應維護措施。

智慧型故障辨識系統(iFIS)



智慧LED燈光 (車載／號誌)



2.智慧節能：利用大數據分析，採用不同路段及尖離峰時段等參數，自動計算並採用最節能的行車模式，且可依據周遭環境亮度調整車內燈光明暗。

「好孕到」感應磁扣



3.智慧服務：採用國內首創的舒適友善「好孕到」讓座系統，孕婦可領取「好孕到」感應磁扣，藉由RFID無線通訊技術，自動偵測有孕婦上車，並提醒附近乘客讓座。

4.智慧維修：利用「AR擴增實境」技術，讓維修人員透過模擬影像增加練習機會，既可提升故障排除能力，也可節省維修成本。

問：桃園市自辦10處公營住宅從設計、施工及運營階段都已導入BIM技術，請副市長分享BIM導入經驗中對業主最大效益與阻礙在什麼地方？對於整個營建產業應用BIM有何期許？可供業界努力發展的方向。



答：目前桃園市自辦社會住宅工程中，為鼓勵設計單位及營造廠商能導入BIM技術，在工程預算有特別編列BIM費用，讓廠商能有經費確實執行BIM。目前執行上設計單位及施工廠商皆能導入BIM技術，在執行過程中，業主端也能利用3D模型與設計單位溝通，利用碰撞檢討減少設計與施工界面上衝突，施工品質能更加提升。利用BIM竣工模型資訊取代竣工圖，後續物管公司能即時查詢電子圖資，無須重新輸入相關設備資料。

桃園市未來推行公共工程時，考量導入BIM技術軟體及人力成本增加，以及建置模型時間較長，將會給予合理的契約工期以及BIM費用。在BIM應用項目及建模的要求也應該合理，讓廠商清楚每一項要求的目的，而更有意願從前期就導入BIM技術設計，避免流於形式，並且期望設計及施工廠商能整體提升BIM技術，有效應用在各公共工程案，提升工程品質。

目前的設計方法及管理模式並未因為執行BIM而改變，這代表我們尚未完全應用到BIM的好處，這是值得我們去思考的。真正用BIM設計的方法、協作的模式、溝通的機制一定會跟以往方式不同，業主也是要學習的。若設計師真的應用BIM設計，因該在設計過程就能避免衝突的錯誤，而不是最後提出一個衝突檢討

報告。錯的事情就不應該設計出來，這也是循環經濟在談的事情，我們不能再用舊的思維套用在BIM上面，應該有更進步的方法去做妥適調整。

像荷蘭的循環經濟做得很好，建築有99%可以回收循環利用，從設計就必須思考未來的循環回收需求。甚至在商業模式上必須從以往產品銷售思維轉換為賣服務的概念，例如以前飛利浦是賣燈泡產品的，但是現在賣的是50年的照明服務，這讓廠商在設計上就必須考慮製造不容易壞掉的產品，所以在公司創新研發上也必須從這個角度思考，產業才會有競爭力，讓業主與使用者都受益，對環境也更友善。



桃園中路公寓外觀 (BIM技術製作)

問：王副市長是台灣BIM工程應用的領航推手，對於如何將BIM 3D技術進一步用來提昇工程自動化應用與智慧城市發展？請教副市長的期許及建議。



(左1)蘇瑞育副理 (左2)周昌典協理 (左3)林曜滄總工程師 (中)王明德副市長 (右3)李元唐副總 (右2)陳幼華資深協理 (右1)賴建中經理

答：BIM導入要成功，10%為技術性，90%是社會性(組織及管理)。BIM發展大部分是從技術開始，在組織由下往上傳遞時可能就會遭遇到困難，這勢必要從管理面去下手，在甲方對乙方的關係也是如此，雙方必須要有共同的價值觀，才能繼續往下走。

目前桃園市政府除了先加強於業主方的BIM教育訓練，並且針對BIM契約的責任義務做深入探討。另外，桃園市自104年起就開始辦理BIM研討會，探討自動化智慧化以及BIM應用相關課題。以今年7月2日舉辦的BIM研討會為例，早上議題先針對BIM願景及業界應用面課題，下午聚焦BIM在桃園市府業主端需求

面向的智慧物聯網、永續智慧綠城市規劃、維護管理的應用等。這些都是桃園市發展智慧城市的核心概念，也將持續推動相關工作。

後記

承蒙王明德副市長在公忙中撥冗接受本公司專訪，在採訪王副市長的過程中，我們深刻感受到王副市長在公務職場中仍不忘學者本性，對於新科技、新技術仍是時時刻刻的學習與精進，並從產業方向思考如何引入新技術於工程案中，藉此提升營建產業發展及公共工程的水準，為桃園市政建設發展擘劃了完整的科技發展藍圖及智慧城市的願景。



訪中央大學太空及遙測研究中心特聘教授

陳良健

談

臺灣遙測基礎建設的
佈局與整合

整理：姜興華 • 攝影：詹朝陽

壹、前言

陳良健教授1972年畢業於成功大學土木工程系，1974年取得土木研究所碩士。服役後於1976年進入中華顧問工程司(台灣世曦前身)服務，1978年轉赴交通大學土木工程系擔任講師，後於1981年赴美國伊利諾大學(University of Illinois)，獲得土木工程博士學位後1985年回國於成功大學航空測量研究所任教，1986年轉任中央大學太空及遙測研究中心(以下簡稱太遙中心)服務，先後擔任副教授、教授，以及二任(1995-1998、2010-2013)太遙中心主任，以遙測幾何處理及數位攝影測量為專長教導30餘年，培育人才無數。陳教授曾任中華民國航空測量及遙感探測學會理事長、多項國內外期刊編輯委員、國家實驗研究院諮詢委員、及內政部多項工作推動委員，於學術領域及臺灣遙測基礎建設貢獻良多，並於2018年獲頒ACRS(Asian Conference on Remote Sensing)最高榮譽陳述彭院士獎殊榮，特表彰其於國際遙測學術上之貢獻。

陳良健教授專注三維數位城市之研發及近景、航照及衛星影像之幾何校正與三維重建，其研發團隊成功開發數位仿真模型技術，發表近百篇國內外期刊論文，獲得國內外十餘項專利，並屢獲國內外獎項。本期刊很榮幸專訪陳良健教授，並以「臺灣遙測基礎建設的佈局與整合」為主題，以其中大太遙中心超過30年的學術研究經驗，談臺灣在遙測基礎建設之前瞻看法。

貳、訪談紀要

問：陳教授您成功大學土木研究所畢業後的第一份工作在中華顧問(台灣世曦前身)服務，可否談談當時的工作經歷對於您後續的生涯發展有什麼樣的啟發？

答：1976年退伍後進入中華顧問工程司，派駐中山高速公路西新段(西螺至新營)監工計畫的西螺工務所監造中沙大橋，那是我職業生涯

的起點。當時的工務所主任黃凌槎是一個很有遠見的長官，他要求我們每一個人除了自己本職工作外，必須參與其他專業工作，例如我負責測量隊，但其它監工的工作從基樁作業到材料試驗都必須參與。深刻體驗每一項工地作業的經驗對我而言極為寶貴，它讓我深切瞭解土木工程在第一線工作的重要性，尤其在工地現場許多事情都必須立刻作決策，甚麼是可以接受的、不能接受的、有條件接受的、或是要如何改善的，都必須立刻決定，而且要承擔決策的責任。那種壓力及跨組間的合作訓練使我後



來的教學生涯少了些紙上談兵，多了些印證與自信。非常感謝黃凌樑主任。

問：您自美國伊利諾大學取得博士學位後，回國任教於成功大學測量系，是什麼樣的機緣讓您轉進中央大學太空及遙測研究中心任教？

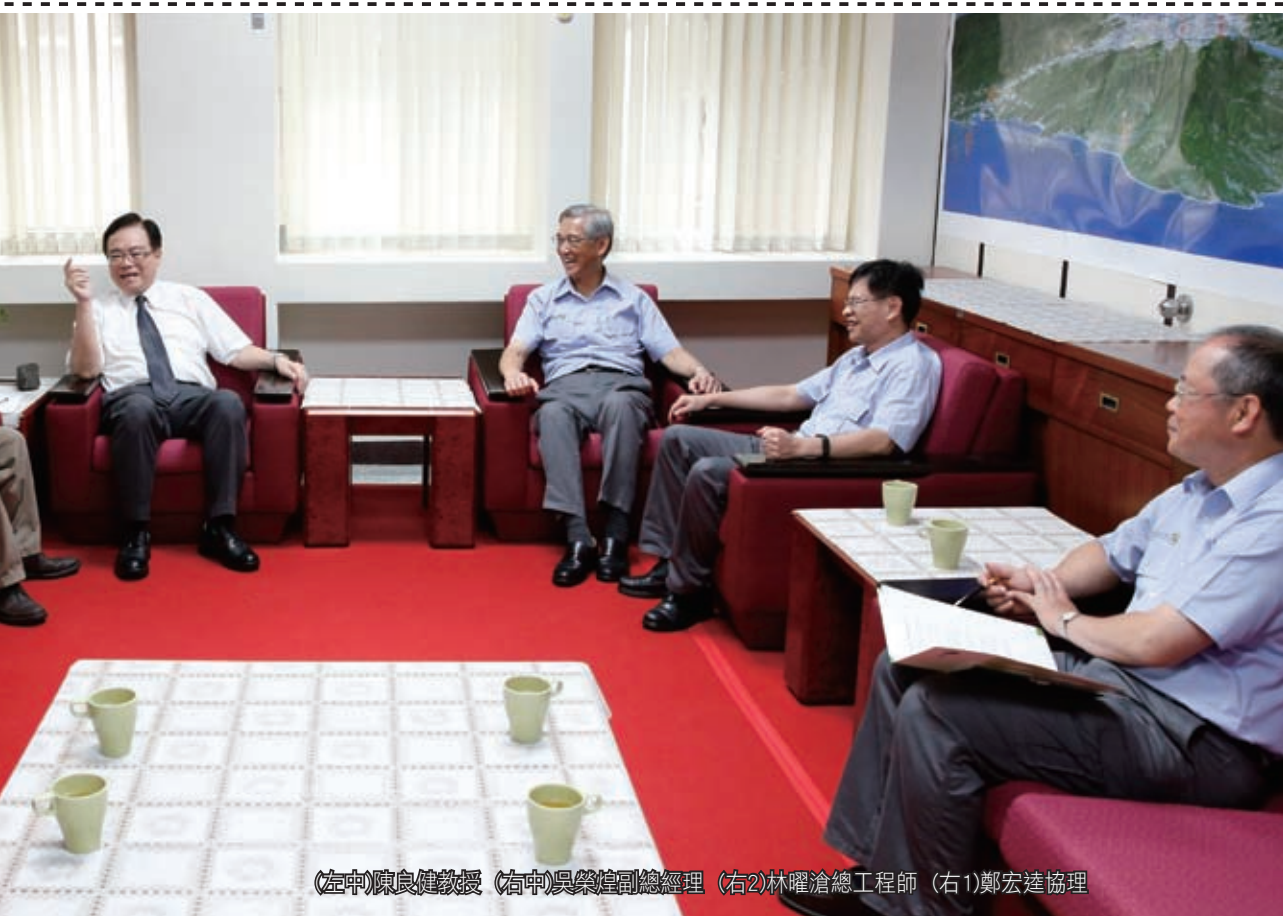
答：1978年離開中華顧問到交通大學任教，當時交通工程系(土木工程系前身)主任是姚家圻博士。1980年初某一天，姚主任拿了一份報紙給我看，提及中央大學的教授利用空照相片來數化量測農地，作為農地轉作面積的估算，以前農地面積是農民自己提報，提供的數據有超報的現象，經過他們利用空照圖數化量測所得的面積，發現有些地區浮報達50%。後來我瞭解，是由中大三位創立太遙中心的老師所建立的遙測系統，協助農委會應用於農地調查。當時姚主任提示：此方向的研究對測量專業非常重要。後來我赴美取得博士學位，回國後進入成功大學任教，那時中大剛成立的太遙中心徵教師，應徵後開啟了在中大任教的職涯。當時我的專長是近距離攝影測量，與太遙中心專注的遠距離人造衛星遙測有些差別，但基礎理論是相近的。想到當年交大姚主任的提示，與我的職涯聯結，深感緣份！



(左1)姜興華副理 (左2)蔡富安主任

問：您曾擔任過二任的太遙中心主任(1995~1998、2010~2013)，對於太遙中心的發展歷程對您有什麼樣的感想，又對於未來的發展是否有更多的期待？

答：太遙中心的發展約略可以十年為期分為四個階段，第一個階段是1984年太遙中心成立時，社會大眾對遙測感覺好奇，是國內在遙測應用上的萌芽期。雖然在1980年的時候就已經有幾位老師開始在研究航空及衛星遙測，但較著重於資料處理技術。1993年設立衛星接收



(左中)陳良健教授 (右中)吳榮煌副總經理 (右2)林曜滄總工程師 (右1)鄭宏達協理

站後，格局就變大了而且開啟了衛星遙測的應用，來中心參訪的人數一年曾超過四千人。此第二個階段可稱為快速發展期。2004年國家太空中心福爾摩沙衛星二號順利運轉，這段時間遙測資料使用者甚多，屬第三階段應用普及期。現在第四階段是特色發展期，也就是在遙測應用日益普及後，需進化自己的特色以強化競爭力。過去競爭的是系統，現在競爭的是細節，細節的特色發展後將成為升級的系統，如此良性循環，太遙中心長期的榮景可期。發展特色非常艱難，所幸已有多位新老師加入，可望開創新局。

問：太遙中心為國內最主要的衛星資料接收及供應單位，擁有最先進的處理技術，而這些衛星資料對於國內環境的監測也提供了很大的幫助，除了這些，您認為太遙中心還擔負了那些重要任務？

答：以太遙中心衛星接收站可算是國家空間資訊基礎建設的一環，科技部(前國科會)對接收站的經費支持已發揮最大效用。如果沒有這個接收站，所有使用者自行申請購置衛星資料，所花的整體成本，不論是時間與經費或是



1

人物專訪

加值處理的設備與人力，必然遠超過現在。接收站同時也提供了可以發揮研發的平台，舉一個我個人的經驗。衛星接收站接收的影像資料必須完成幾何校正處理後方可應用。太遙中心衛星接收站在1993年啟用時，採用加拿大MDA(MacDonald Dettwiler and Associates)的系統，六年後開始更新，因為當時接收的影像以法國SPOT衛星為主，所以需向法商馬特拉公司採購，當時大約花了一千萬新臺幣引進了一套幾何校正系統，非常昂貴而且操作不便。2000年我負責接收站研發，我要求研發組建立自己的多元衛星幾何處理系統。當時，同仁們壓力很大，但是我堅信在我們的研究基礎上一定可以達成目標。果然，我們大概花了一年半的時間讓這個系統上線運作並成為製程的重要部分，此後不斷更新，並擴展到福衛二號及其他衛星之資料處理。技術能力因此在這平台上持續累積。國家太空中心即將開始供應的福衛五號衛星影像，其處理亦將借重這個系統，目前已完成測試及量產準備。如果問我在研發上可有什麼可以安慰自己的，我想主要就是這件事吧！除了我個人經驗外，也有一些教授以接收站為基礎，開發國土監測的系統，因應營建署要求定期且全面的監測臺灣的土地違規開發。這個監測系統亦已常態地運用於我國數個友邦。所以這個衛星接收站對於累積本土技術是非常有幫助的。

問：就您的經驗，過去在國內所發生的重大天然災害中，太遙中心對於災害復建上提供了哪些重要的資源協助？臺灣天然災害頻傳，您期許太遙中心未來如何精進服務範疇？

答：衛星接收站目前已有三千個以上的資料使用者。除學界的研究外，實際應用亦甚多元，約可歸納得兩個特別重要的應用：國土監測及災害防治。國土監測部份，國內已建立一套監測系統，並可用於國外。太遙中心有長時間的接收資料，從這些資料中可以分析環境變化。



中央大學 太空及遙測研究中心資源衛星接收站（太遙中心提供）

在災害防治方面，於災後調查災損固然是遙測的重要任務，災前的防治及預警亦是遙測的重要應用。當然，這些應用必須與相關資料於地理資訊系統中結合。然而，遙測資料仍有應用上的限制，例如光學影像在雲雨天就受限，雷達在三度空間的精細房屋建模有所不足，但



1
人物專訪

陳良健特聘教授



差分干涉雷達技術可以觀測地盤的變化。遙測發展三部曲：第一階段，當新的探測技術出現時，人們常被引導到該科技無所不能。因為不明瞭該科技的物理限制以致期望太高而失望越高的第二階段，常使該科技被認為一無是處。到了第三階段，科技發展及公民認知程度比較成熟後，大家才會體認真實的應用性。學術界有責任以客觀公允的態度教育遙測資料的使用者，縮短第三階段前的熟成期。

太遙中心未來接收的衛星資料在空間與時間的解析度將越來越高。此外，無人飛機的發展，空間資訊從2D、3D到4D，自動化的變遷偵測是重要的任務。太遙中心在大尺度上的工程應用著墨較少，過去主要致力於前端的資料處理技術開發，對於後端的應用比較不足，未來應該要投入更多工程應用研究。太遙中心已有25年持續接收的衛星資料，未來仍將不斷累積，這些時序的大數據，經整合分析，應該可以得到很多更有價值的新資訊。

問：台灣世曦目前正積極推動工程3D化政策，包括設計3D化、設計自動化及營管資訊化，您認為在空間資訊的技術範疇中對於工程設計上可以提供什麼樣的幫助？



臺北市千分之一3D數位城市地形圖 內科園區
(台灣世曦推動3D自動化技術)

答：BIM工程設計中，專業技術與利害關係人溝通是非常重要的，建構3D實境平台運用空間資訊技術，整合環境與工程BIM(Building Information Modeling)的可視化，提供身歷其境的規劃與設計，並以自動化及大數據縮短溝通與設計的時間，是未來必然的發展。此外，滿足工程體全生命週期的空間資訊系統，提升維護與營運之效率，以及利用物聯網、人工智慧等在工程體的影像辨識監測，對工程體快速有效監測與維護，均該投入。



問：因應國家地理資訊系統發展，雖然政府過去推動過幾次中長程計劃，展望未來發展趨勢，您認為臺灣應如何強化基礎資料的建置，以及相關技術的整合？

答：政府的角色應是提供一個健康的環境和肥沃的土壤，讓產業能夠成長茁壯。就目前而言仍有改善空間，例如不合理的管制太多；又例如國土資料的時序連續性，不論是空拍影像，或是人造衛星資料，仍嫌不足。智能化的社會

若無優質的空間資訊為基礎，將寸步難行。各級政府對基礎圖資的投資遠不足實際所需。將就的勉強應付導致低落的決策品質。就時間序列而言，歷史無法回溯，如果當時沒有紀錄，其後就無法回到從前。個人曾經歷的一個案例，某個都市計畫區內的農舍興建，政府要農民提出最重要的歷史佐證資料：空照影像，方予核定。然而各級政府本身卻沒有這些歷史影像資料，要農民如何舉證？地方政府如何查證？這類的問題最後就演變成糾紛，導致政府的威信喪失及公信力降低。



1

人物專訪

圖資更新的制度化與系統化亦需政府有計畫地支持。台灣世曦參與中的國家基本圖及通用電子地圖建置等工作，這些作業所使用的航空影像都是一年或二年前的，並不是當下最新的。事實上，為政的執行單位很想把事做好，但礙於經費不足只好退而求其次。還有，公共設施管線3D資料庫之質與量均甚不足，此資料庫對於都市經營管理及防災均極為重要。前面所述不能只靠單一技術，需要管理機制配合並持續精進。新加坡花了五千萬美元建立數位城市空間資訊模型，而臺灣在這方面投資就明顯不足。一個數位城市建設(Cyber City)，從規劃、設計、建設、營運、管理等階段任務，應該建立一套依據上位目標制定智慧城市所需的國家級空間資訊系統並徹底落實且持續更新。

問：在空間資訊的技術及應用發展上，臺灣應如何與國際接軌？對於台灣世曦身為國內重要的工程顧問公司，可否提供一些建議，或應做好哪些準備？

答：評定一個國家空間資訊技術發展之績效或可觀察其產業化的程度。這一點臺灣尚需努力。對於台灣世曦空間資訊技術的發展，可用一個同心圓來比擬，其內圈為空資部的核心技術，以提升效能及品質為本職；第二圈則為與世曦的規設部門的互動與瞭解。諸如數位

城市、自駕車用高精度地圖(HD Map)、設計4.0、地盤下陷等議題，空資部應該深入瞭解其核心需求，從中確立新的應用，建立新的價值，以一個示範案例讓人們感受其價值。最外圈則是與民生相關的適地性服務(Location-Based Service, LBS)，其與資訊及通信科技密切相關，包括AR、VR、AI、Big data、5G等，這些發展需多加關注，因為那是創新的機會。中央大學認知神經科學研究所洪蘭教授曾說過：創意是人類腦部的神經迴路碰撞所產生的新迴路，所以要將神經迴路密度提升後碰撞機會才會增加。以此出發，從創意的想法到創新的具體落實要有足夠的知識，以及對人文、美學、社會學的能力。

問：目前國內、外大學已有很多空間資訊相關學程，您認為對於產業的發展是否仍有不足的地方？而對於產業界的人才培訓有哪方面須要再加強的建議？

答：國內的空間資訊教育環境的量是足夠的，質的部份則可持續精進。目前環境變化快速，師生關係也在變。過去的老師常教他想教的，現在的老師則應該教學生需要的，包括教育內容與教學型式。許多老師的研究是論文導向，論文數量多但實用不足，這方面須改善以面對



(右4)陳良健特聘教授 (右3)吳榮煌副總經理 (右2)鄭宏達協理 (右1)吳錫賢副理
(左1)姜興華副理 (左2)林曜滄總工程師 (左3)蔡富安主任

許多來自領域外的競爭。在評鑑制度方面也需調整。老師應引領學生建立願景，學生也應該自我培養對有價值主題的定義能力，對價值的評判能力，確立核心問題，尋求解決之道，完成整合並提出解決方案。現在學生的程式能力常有不足，空間資訊的專案需要用到程式，所以應該要加強程式的能力。學生的知識面也要增強，有了豐富知識以後才会有更多的思維連結，激發出更多的新意，以面對無窮的挑戰與機會。國內學生的表達能力也需加強，美歐許多大學設有專為簡報訓練的正式課程，或可供我們參考。期望產業界能夠主動在大學探覓有潛力的學生提供誘因，例如豐厚的獎學金、好的就業規劃及優質的產學合作。人才為本，聚集優秀的人才方能共創空間資訊產業新契機。

後記

承蒙 陳良健教授於百忙之中撥冗接受專訪，分享他長期在遙測技術及空間資訊應用上的推動經驗，並對於產、官、學界上提出建議及期許。陳教授於訪談中提出對於空間資訊的重要性看法，包括公共設施管線3D資料庫、數位城市、自駕車用高精度地圖、大數據等應用，以及有關時序的歷史資料紀錄，不僅在國土環境變遷佐證應用上，或是智慧防災支援決策的分析上，對於臺灣環境資源的保護及永續經營都有很大的參考價值。

群力角度下防救災資訊 平台上之區塊鏈技術特徵 與導入適宜性探討

Under perspective of crowd contribution,
discussion on technical and suitability of
blockchain for disaster prevention system

關鍵字(Key Words)：防救災資訊平台(Disaster Rescue System)、區塊鏈技術(Blockchain)、
災防法(Disaster Prevention and Relief Act)、社會價值性(Social Value)

市民永續股份有限公司／執行長／林庠序 (Lin, Hsiang-Hsu) ①

摘 要

當災難發生時，政府單位力量有限，需要民間組織和人民提供助力，但從過去幾次的大型災害發現，這些助力，如物資的捐獻，雖可以彌補政府不足，卻間接造成管理與信賴問題；主因在於民間結構鬆散，無規律管理和運作，且災害需求需透過多層的資訊傳遞，容易失真，因此要如何快速、有效地且符合法規地傳遞災需並做資源配給，就成為重要的議題；區塊鏈(Blockchain)技術在智能合約(Smart Contract)的運作下，可依循制定方式運行交易和永久保存紀錄，且記錄不可竄改，因此將災防法與智能合約整合，在防救災資訊平台上導入區塊鏈技術，不僅可以遵循法制，另一方面也能產生點對點(peer-to-peer)的訊息傳遞，建構微中心化的災需供給決策平台；多數研究僅採用技術力分析，本文將以災防法為基礎，分別以區塊鏈的技術性和社會價值性兩方向進行區塊鏈技術應用於防救災平台上之適宜性探討，並提出政府和工程顧問應扮演之角色建議。



Abstract

While disaster occurred, the information system played very important role for transmitting info and decision making. The power provided by government is not enough for disaster relief so that the resource from social is necessary. With the experience, this kind of assistance can help government, but also lead to the problem of management and trust. The major reason is the organization or citizen don't have the complete management and structure so that it's very hard to fit for the system of government. The issue for rapidly, effectively and legally transmit correct information is needed to discuss and solve. The Blockchain technology with Smart Contract can allow the process working under the rules, permanently save records and no changeable. Translating Disaster prevention and rescue methods into Smart Contract and adding Blockchain technology on disaster rescue system can build the "Small-centralization" platform with peer-to-peer structure. Until now, most research based on technical analysis, not the public value. According to Disaster prevention and rescue methods, this research will discuss suitability for Blockchain in disaster rescue system from technical and social aspect and give government suggestion for new technology.

壹、前言

2008年Satoshi Nakamoto提出比特幣(Bitcoin)概念後，區塊鏈(Blockchain)作為底層重要核心技術，蔚為風行(Swan 2015)；區塊鏈為分散式資料庫技術(DLT)，其精神在於去中心化和分散式帳本，透過網路參與節點(peer)，共同針對交易訊息進行驗證，並採多數人同意的共識決做出驗證為真或為假的最終決策成果，在權力上，所有的節點都是享有均等的權力，因此能在沒有代理人/中介商的情況下，做出公正的判斷(Satoshi 2008)。

代理人係指工程顧問業者、政府單位等具有公權力，或在體制上被賦予決定權的組織，政府為滿足多元需求，成立眾多部門，建立各種制度，委由民間營利單位執行並建立契約關係，政府扮演最終管理或記錄保存者；當面對複合性問題時，不同單位間的體制限制決策的程序，導致效益低落，尤以防救災勤務更為顯著(陳秋政, Chen et al. 2012, 李長晏, 馬彥彬 et al. 2014)。

防救災組織架構如圖1，民眾參與為重要的外部支援，而民眾參與分為民間組織或個體，目前尚無適宜的協商制度，導致資源整合效率低(劉麗雯, 邱瑜瑾 et al. 2003, 陳秋政 and 梁筑雅 2009, Yates and Paquette 2011)，雖已有多次公私協作救災的經驗，但在近年的災害中，公私協力間仍存有協商、資源整合、管理等問題(黃忠發, 曾政勇 et al. 2012, 台南市政府 2016, 李宗勳 2016, 杜福威 and 林貝珊 2016, 李心平, 蔡秀芝 et al. 2017)。

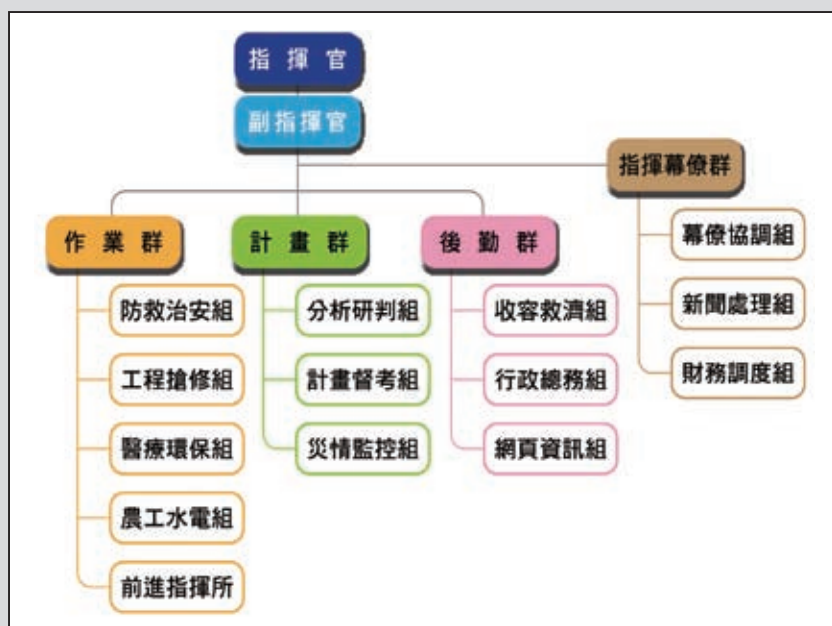


圖1 台北市政府防救災組織架構 (台北市, 2017)



2

工程論著

資源的管理及合理分配是防救災勤務中重要的因素，過去是由負責組織做決策，當資訊彙整不完整時，容易淪為片面性的決策(Oosterom, Zlatanova et al. 2005)，而在臺灣，專業工程顧問更是協助政府的重要夥伴，但於緊急情況時多以口頭交辦方式，容易在短時間內資源不易整合，且資訊恐有遺漏之虞，尼伯特風災事件就發現跨縣市委託廠商支援卻發生資源重覆支付(Double Spending)的問題(臺北市消防局 2016)，而區塊鏈的時間戳章(Time-Stamp)和智能合約技術正可解決重覆支付問題。

從2016年開始，區塊鏈的相關研究多數都從技術角度來探究，卻忽略既有體制改變的必要性，喪失客觀性(ØInes, Ubacht et al. 2017)，因此本研究就防救災勤務的體制和程序，分析現況，進而探討是否適宜導入區塊鏈與微中心管理機制，整合工程顧問民間專業角色，提升平台成效。

貳、區塊鏈技術介紹

比特幣為去信賴化的虛擬貨幣系統，交易(Transaction)是由節點(peer)將交易的內容廣播至網絡上，網絡係指由眾多節點所共同組成的一個訊息流通的網路環境，區塊鏈建構的交易程序如圖2所示，交易方將交易內容打包後傳送至網絡上，節點進行解題，當節點解題成功並將結果廣播至網絡後，其餘節點將該區塊內之內容與節點自有的帳本(Ledger)進行比對，若與之前紀錄無差異則寫入帳本，並在主鏈上掛上該區塊，完成此次的交易請求。

整個過程包含幾個重要的技術，包含雜湊數列、公開金鑰與私有金鑰、工作證明共識決、時間戳章和分散式帳本，整套機制能杜絕雙重支付(Double Spent)，建立去中心化的交易環境；交易的內容為一數位簽章(Digital Signature)，每次交易會擁有上一次交易的數列和下一位擁有者，或可稱為交易對象的公開金鑰(Public Key)，將兩者打包為一雜湊數列，如圖3所示，並廣播至網絡上。

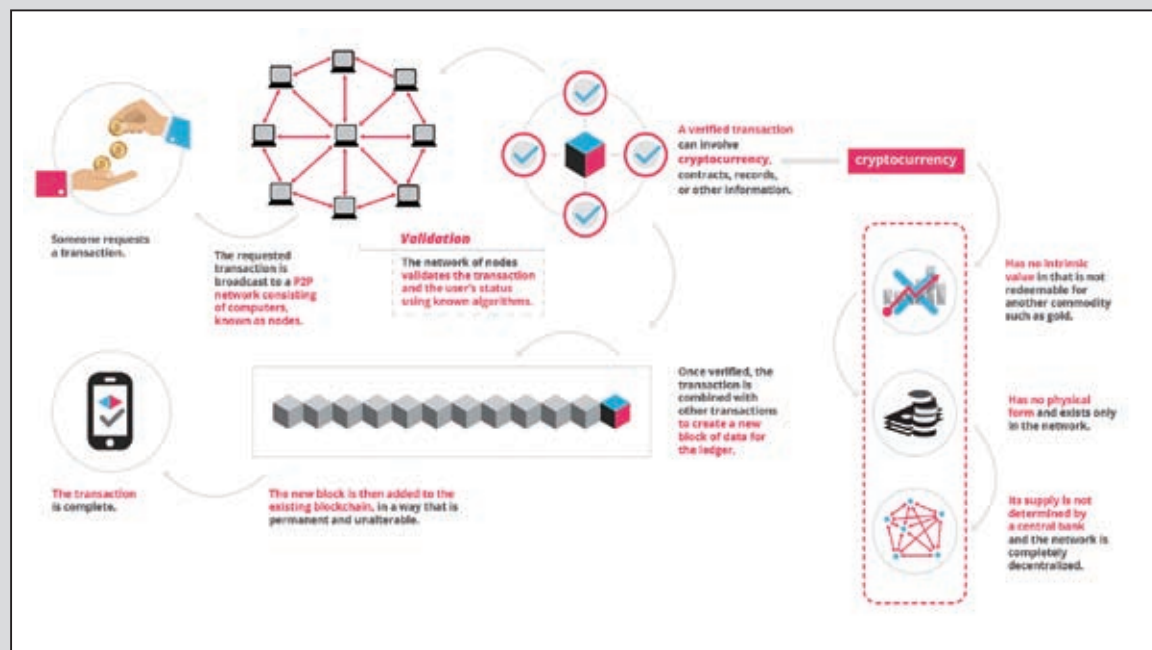


圖2 區塊鏈交易流程 (<https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>)

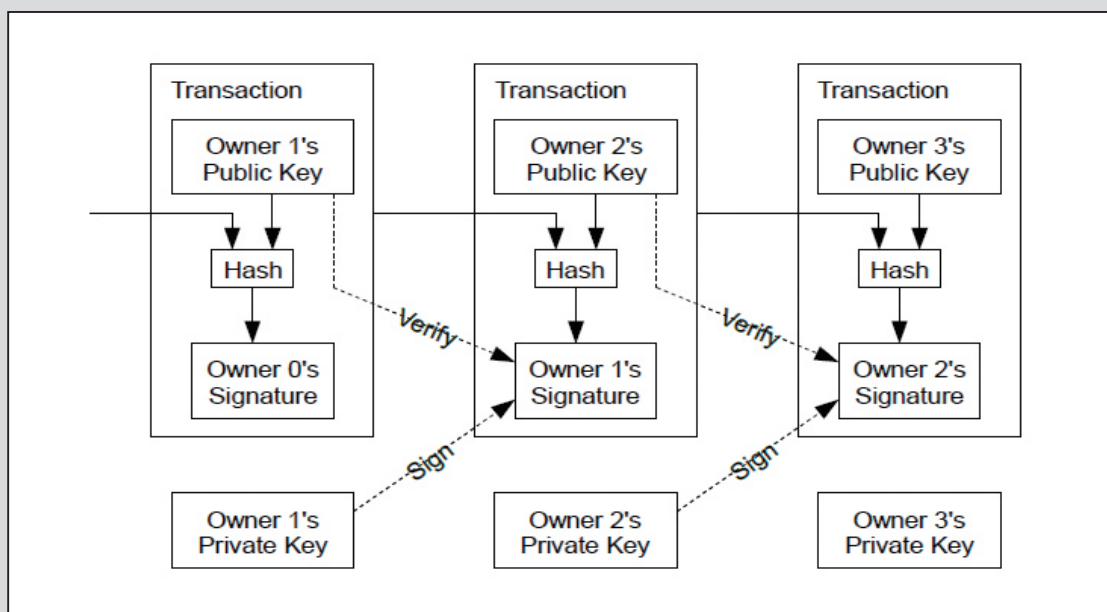


圖3 交易內容示意圖 (Satoshi 2008)

而為避免雙重支付的疑慮，區塊鏈導入時間戳章(Timestamp)，每次交易該雜湊數列必須含有鏈上前一個已成立的交易區塊的時間戳章資訊，當解算時就能確認是否為已存在資訊，若和主鏈上前一區塊的時間戳章相異，則拒絕該次交易，戳章內容記錄在區塊頭裡(Blockheader)。

工作證明(proof-of-work)是允許參與節點應用設備算力進行解算，工作證明允許每一節點有公平投票權，而解算被稱為挖礦(Mining)，成功解算的節點可獲得該筆獎勵。帳本資料保存於每一節點上，且每一分帳本完全相同，此一架構為分散式帳本，帳本內容為該區塊鏈上之主鏈，或稱為最長鏈，整個網絡共同維運該條最長鏈，若某一節點發現自有帳本異常時，會自行更新。區塊鏈架構讓已寫入帳本的區塊內容很難竄改，若要竄改，意味著算力要大過半數，搶先制定接續的區塊，在制度上並不容易執行，且在竄改行為背後行為成本過高，降低誘因，這也成為區塊鏈技術中所宣稱的「不可竄改」的特質。

比特幣下的區塊鏈技術交易描述卻僅限於單圈式的交易動作描述，限縮了比特幣的應用(Wood 2014)。為應付更多元需求，技術人員導入智能合約的應用，智能合約於1993年由Nick Szabo學者提出，其概念在於“在機械上可自行運作，並遵守人類社會中合約的法律精神”，但在當時的電腦設備和人類社會環境並不適合發展(Omohundro 2014)，因此直到區塊鏈技術盛行時廣被使用在各交易平台上，其中又以以太坊發展最為廣泛接受。

以太坊之智能合約具有圖靈完備(Turing-complete)的特性，圖靈完備賦予智能合約的程式碼能有循環判斷的條件性和確保其正確性，可創建複雜的條件狀態，進而允許合約執行時可以有更多元的交易內容與行為，如：滿足階段條件領取部分款項的交易需求(Wood 2014)。智能合約可以是一個可被呼叫或接收訊息的端點，當合約帳戶接收到交易消息時，就會啟動合約內的程式碼進行執行動作，同時合約可以和其他合約互動或將結果傳遞至外部帳戶，因此以太坊能執行多元的交易應用。

區塊鏈應用私鑰/公鑰組機制，避免擁有者身分的揭露，進而達到隱私性的保護，比特幣區塊鏈技術透過分散式帳本和挖礦及付費機制，建立平等權和不可竄改的特性，但較侷限於金融交易的應用，而以太坊與智能合約則建立了合約帳戶制度，讓區塊鏈應用不受限於金融資產的交易，能多元化地協助各領域，是否適合導入區塊鏈，可以從業務特徵進行系統性評估(Peck 2017)。

參、既有區塊鏈應用

區塊鏈透過時間戳章與共識決，解決了數位貨幣的雙重支付問題(Double Spending Problem)(Kuo, Kim et al. 2017)，讓交易雙方不在需要透過專任第三方來協助確認，達到了去中心化的可行性。在金融交易程序上，意味著不再需要銀行擔任中介者，協助交易雙方，也代表著手續費用可降低，而在跨國操作時，也能節省交易等待時間，因此促使金融科技(Fintech)議題的熱絡，尤其是跨國轉帳、線上

購物、基金/股票/証卷購買等相關應用，最為熱門，區塊鏈和比特幣將對金融產業帶來明顯的影響(Vigna and Casey 2015)。

區塊鏈智能合約的應用，已讓物聯網(IoT)產業相關人員高度關注(Christidis and Devetsikiotis 2016)。在傳統物聯網的架構下，當裝置已在使用者端時，製造商必須提供完整商品支援，意味著將會耗費大量的成本(P. Brody and V. Pureswaran 2014, Zhang and Wen 2017)。葉小榕等人(葉小榕, 邵晴, 肖蓉 2017)指出物聯網的設備間普遍存在(1)信任不足；(2)監管難以追溯；(3)數據透明和隱私權保護的衝突，三項潛在問題，物聯網涉及機器相互交換資料(Machine-to-Machine, M2M)的程序，而上述三項問題技術上可歸咎在連線(Access)和身份辨識(Identity)的管理是很重要的關鍵，而區塊鏈之技術特色能強化管理，降低風險，提升資訊安全(Dorri, Kanhere et al. 2016, Kshetri 2017)，區塊鏈能在物聯網中所扮演的角色或強化的部分整理如下表3.1。物聯網將進入機器自動消費的模式，不論是購買/交換必要的資訊做為決策判

表1 與物聯網中之區塊鏈潛在應用

挑戰	說明	區塊鏈潛在的解決方式
成本與容量限制	處理物聯網設備的指數增長是一項挑戰：到2020年，網絡容量至少要達到2016年水平的1000倍。	不需要集中式管理的相關數位設備：設備可以安全地進行溝通，彼此交換價值，並通過智能合約自動執行操作。
體系不健全	物聯網的每一個節點/伺服器/終端，都扮演特定角色，容易受到網路攻擊，而導致系統的癱瘓。	設備間的指令或訊息的傳遞，可透過區塊鏈的公私鑰加密和驗證制度，強化資訊安全，進而提升體系的健全。
雲伺服器停機並且服務不可用	各種的攻擊或設備或電力供應等問題，都有可能造成中央管理的雲端環境停止作業導致網絡潰散。	區塊鏈的分散節點特性，縱使有單一設備/節點異常時，仍不會影響整體的運作。
易受影響的操作程序	駭客攻擊可針對特定程序或節點進行程序的篡改或變更執行指令，導致網絡執行程序異常。	區塊鏈的共識決與帳本一致性，可有效杜絕駭客攻擊。
資訊或物件購買等交易過程	設備間若要達成最佳的服務往往需要不同的應用設備提供專有的資訊來做判斷，而資訊需要授權被使用，授權就涉及到付費過程，傳統付費需要進行協商在支付後取得授權，在物聯網中速度已顯不足。	訊息採購的啟動可以透過智能合約進行交易管理，並透過虛擬貨幣的支付來解決付費問題。

定使用，或購買真實物件/服務來滿足消費者/設備，都涉及到購買程序(Purchase Order)(Zhang and Wen 2017)，透過智能合約的條件設定和虛擬貨幣進行支付，則可讓程序有效率地自動化地執行。

以綠能交易為例，分散式綠色能源為永續發展的重點，但必須克服小額單位發電的儲存和販售，在傳統的能源網管理架構下，是難以用合理的成本達成目標(沈煒翔 2017)，借重區塊鏈的技術則可能達成能源互聯網中的消費者及生產者的核心概念，且可直接透過機器進行交易(張甯, 王毅 et al. 2016)，Esther Mengelkamp等人(Mengelkamp, Notheisen et al. 2018)提出新的能源互聯網的架構，由區域化的市場內透過區塊鏈平台，自由地進行交易，無須由電力公司執行，旨在讓能源互聯網能真正落實自由貿易的願景。

上述說明區塊鏈營利應用，金融交易是透過數位貨幣與網路資訊流通，應用區塊鏈的去中心化和帳本共識，達到降低手續和時間成本，而物聯網與能源互聯網則是透過區塊鏈分散式架構，降低單一雲端營運的風險，同時透過智能合約滿足各種交易的需求，實現機器對機器自動運作的作業模式，可歸納出透過區塊鏈的去中心化、分散式和智能合約能打造機器自動交易運作的環境，如圖4。

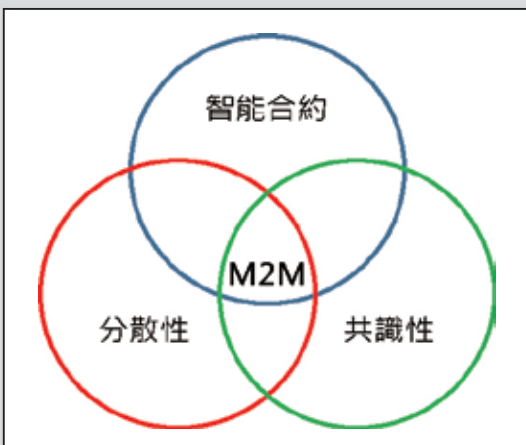


圖4 區塊鏈於機器自動運作模型上之優點

區塊鏈不僅可以在產業上發揮技術特質，替企業降低成本或提升成效，也能在非營利目的行為上提供協助，尤其是協助難民/災民的跨國際捐款，能降低手續費，更讓資金透明。另一方面，區塊鏈也可在政府治理的議題上發揮效用，如：土地管理、投票等，確保每一位國民的平等權。

捐款須透過特定組織協助，且多數為非營利組織，但非營利組織的營運會耗損捐款的金額，且非營利組織管理並不完全透明，讓大眾產生質疑(郭瑞坤, 張玲瑜 et al. 2013, 賈宏偉 and 鄧修權 2018)。應用區塊鏈技術建立捐款平台，讓捐獻者可捐贈虛擬貨幣，減少匯損，也能追蹤捐款是被如何使用。聯合國糧食計畫署(WFP)，於2017年成功地使用區塊鏈技術發放約值140萬美元的食物卷予約旦難民，同時可追蹤救難金使用結果。

而災民的身份識別也是一項重大議題，根據Anna Irrera參與ID2020會議的報導，合法的身份識別是聯合國2030永續發展目標之一，為達成此目標，應用區塊鏈的技術來建立身份識別已是重要的發展方向之一；Arun Kumar Krishnakumar的報導則指出，芬蘭新創公司MONI正致力於應用區塊鏈協助政府救濟難民，應用帳戶的惟一性，配合領用數據的追蹤，來達到個人身份的識別，追蹤政府救濟的成效。

從上述非營利性質的案例，區塊鏈降低使用者端進入障礙，達到「普惠」與「平權」的價值，另一方面，讓資訊更加透明，卻不失隱私性，而不可竄改也讓可信度提升，即是強化權利的歸屬與義務的追溯管理效果。評估區塊鏈能提供之各項優點，可如圖5之程序進行。

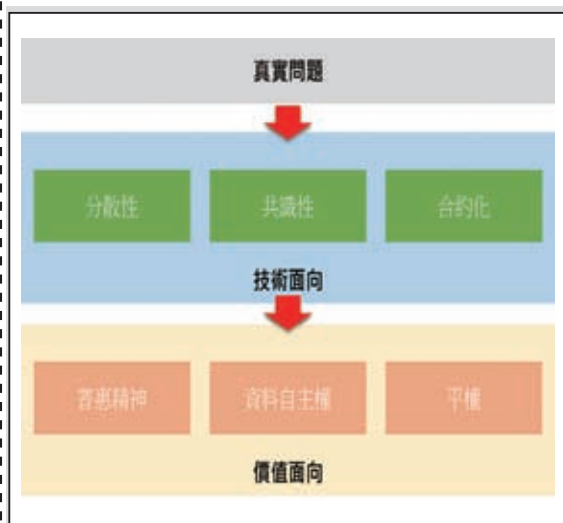


圖5 區塊鏈技術面和價值面

肆、防救災業務之現狀與區塊鏈導入探討

災害管理可分為「整備」、「應變」、「復原」和「減災」四個階段(Baird 2010)。本研究針對「整備」、「應變」和「復原」三個階段進行討論，而關係對象則聚焦於「災民」、「一般民眾與組織」和「政府單位」三

個方向，「一般民眾與組織」中所謂一般民眾是指在災害中可貢獻的民眾，於平日中並無歸屬於特定組織進行活動或行為，而組織則包含非營利組織和營利組織。在救災過程中，國家災害防救法為最高準則，依法執行，民間所提供之協助則屬輔助性質，而本研究為針對防救災資訊系統框架的改善計畫，分析根據災防法作為基礎，探討「資訊交流及管理」和「公私協力」下的防救災業務。

整備階段：災防法第22條，為減少災害發生或防止災害擴大，應於平常實施，如表2。應變階段：根據第31條，各級政府應視災害狀況實施，整理如表3。復原階段：明文指出鼓勵民間團體及企業協助辦理，17項措施整理如表4。

從整備階段第9和12項即指出政府必須和民間建立溝通管道，且資訊交換非常重要，目前我國災害防救科技中心(NCDR)為負責資訊整合的單位，並建有防救災資訊整合平台，但第9項目前僅只能和有組織管理的民間單位合作，無法擴及民眾個人。在應變階段，災防法第32條指出，政府在救災過程中可隨時額外爭取民間

表2 災害預防措施(整備)

編號	措施項目	災民	一般民眾與組織	政府單位
1	災害防救計畫之擬定、經費編制、執行及檢討			√
2	災害防救教育、訓練及觀念宣導			√
3	災害防救科技之研發或應用			√
4	治山、防洪及其他國土保全			√
5	老舊建築物、重要公共建築物與災害防救設施、設備之檢查、補強、維護及都市災害防救機能之改善			√
6	災害防救上必要之氣象、地質、水文與其他相關資料之觀測、蒐集、分析及建置			√
7	災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估之調查分析，及適時公布其結果			√
8	地方政府及公共事業有關災害防救相互支援協定之訂定			√
9	災害防救團體、災害防救志願組織之促進、輔導、協助及獎勵		√	√
10	災害保險之規劃及推動			√
11	有關弱勢族群災害防救援助必要事項			√
12	災害防救資訊網路之建立、交流及國際合作		√	√
13	其他減災相關事項			√

表3 應變措施項目

編號	措施項目	災民	一般民眾與組織	政府單位
1	災害警報之發布、傳遞、應變戒備、人員疏散、搶救、避難之勸告、災情蒐集及損失查報	√	√	√
2	警戒區域劃設、交通管制、秩序維持及犯罪防治			√
3	消防、防汛及其他應變措施			√
4	受災民眾臨時收容、社會救助及弱勢族群特殊保護措施	√	√	√
5	受災兒童及少年、學生之應急照顧	√	√	√
6	危險物品設施及設備之應變處理			√
7	傳染病防治、廢棄物處理、環境消毒、食品衛生檢驗及其他衛生事項			√
8	搜救、緊急醫療救護及運送	√	√	√
9	協助相驗、處理罹難者屍體、遺物		√	√
10	民生物資與飲用水之供應及分配	√	√	√
11	水利、農業設施等災害防備及搶修		√	√
12	鐵路、道路、橋梁、大眾運輸、航空站、港埠、公用氣體與油料管線、輸電線路、電信、自來水及農漁業等公共設施之搶修		√	√
13	危險建築物之緊急評估			√
14	漂流物、沉沒品及其他救出物品之保管、處理			√
15	災害應變過程完整記錄			√
16	其他災害應變及防止擴大事項			√

表4 災後復原重建措施

編號	措施項目	災民	一般民眾與組織	政府單位
1	災情、災區民眾需求之調查、統計、評估及分析	√		√
2	災後復原重建綱領與計畫之訂定及實施			√
3	志工之登記及分配		√	√
4	捐贈物資、款項之分配與管理及救助金之發放	√	√	√
5	傷亡者之善後照料、災區民眾之安置及災區秩序之維持	√	√	√
6	衛生醫療、防疫及心理輔導	√	√	√
7	學校廳舍及其附屬公共設施之復原重建			√
8	受災學生之就學及寄讀			√
9	古蹟、歷史建築搶修、修復計畫之核准或協助擬訂			√
10	古蹟、歷史建築受災情形調查、緊急搶救、加固等應變處理措施		√	√
11	受損建築物之安全評估及處理		√	√
12	住宅、公共建築物之復原重建、都市更新及地權處理		√	√
13	水利、水土保持、環境保護、電信、電力、自來水油料、氣體等設施之修復及民生物資供需之調節			√
14	鐵路、道路、橋梁、大眾運輸、航空站、港埠及農漁業之復原重建		√	√
15	環境消毒與廢棄物之清除及處理		√	√
16	受災民眾之就業服務及產業重建	√	√	√
17	其他有關災後復原重建事項			√

助力，從過去的國際重大災害事件中，民間投入大量能量，災防法其中8項措施都和民間協助極其相關。復原期間更需要民間的投入，而在此階段多屬於投入志工工作協助各項事情，多為專業性服務，如：心理輔導、衛教，而營利型組織則可志願性協助，如：就業輔導，也能與政府簽訂契約，提供專業服務。

針對三個階段下的災防法，在整備過程中，政府與民間單位的互動是較少的，且接觸的對象是有條件性的限制，但在應變階段民間組織提供協助的項目卻大幅增加，且此時已擴大到更多的自主運作的單位或個人或由個人臨時所組成的團體，顯然災害管理架構已產生缺口，且災防法要求政府單位必須完整記錄應變過程，在喪失民間組織的管理和統籌，多數情況下政府單位已無法紀錄；而在復原階段可發現措施多屬於長期性作業，此時資源都必須合理的紀錄及分配，但在救災階段的資訊已遺失，導致漏洞產生。從上述分析，並參考區塊鏈應用案例的成效，可以確認既有的防救災問題和區塊鏈提供的改善，說明如下：

➤ 物資與應變措施的追溯，尚無法完全列管

區塊鏈平台每一筆捐獻和由哪位災民使用，由哪個政府單位執行智能合約，都可透過追溯，透明呈現，而帳本不可竄改的特徵，足以作為正式報告的內容，相關應用可參考金融科技應用的案例和技術架構。

➤ 非特定團體/個人貢獻能量在應變時，政府不容易掌握

政府須透過契約和民間訂定協議，且當協助者為個人時，單元過小；然而區塊鏈的平台則可提供地址和智能合約發佈的介面，地址具有唯一性，可確保組織或個人的身份，而智能合約執行能由機器自動執行，亦

即能協助政府在應變時，提供一個數位管道，自動媒合，相關應用可行性可參考互聯網和能源互聯網的案例和技術架構。

➤ 需要法律性文件與上述之民間能量進行協議

智能合約被賦予契約的法律執行精神，經過政府立法和訂定相關技術應用規定後，智能合約也能在數位環境中達成現實生活上之法律性文件的角色，相關應用案例可參考非營利性區塊鏈應用。

因此，災防法下所建置的災害資訊與決策平台導入區塊鏈框架確實能解決體制和程序上的缺陷。

整體而言，區塊鏈提供之輔助可歸為兩項目的：「減少災害的損傷」和「有依法執行的過程」，另一方面，政府建構系統時須確保個人隱私，且政務之執行成果，無機密疑慮下，需可公開檢視，達到開放政府。系統設計時必須考量要有擴充可能性，必須兼具包容性，讓民間可隨時進入系統體制，根據技術面和需求面之因子，本研究將各面向之政府角色考量因素整理如表5。政府在防救災體制中所扮演之角色，是體制的制度建立者、執行者和管理者，因此政府在系統上必須扮演主管(Administrator)角色，並以授權(Authorization)同意單位執行措施，並針對體制的運作加以維運，確保系統可以穩定且正確地運作。

從防救災勤務的需求面驅使技術面因子，政府在防救災體制下，最適合扮演基礎平台與提供原則之角色，除依循既有法律條款所建置之主要系統外，政府應在平台上提供符合法律之原則性共用程式(共通API)，讓民間團體可自主建構支援系統並可和主系統進行互動，此外，政府系統同時也必須建構開放參與機制功

表5 政府角色技術因子和需求因子

技術面 \ 需求面	制度管理	平等權	透明性	隱私性
可執行性	政府具有系統的主管權，可依法辦理業務	系統應讓災民或協助救災之民間團體可均等獲取權益	措施之執行成果可被公開且正確的揭露	資訊的傳遞必須確保個人或單位資訊
擴充性	系統可確保穩定執行，邏輯基礎不得有異常	系統可在反應時間內接受大量的使用者加入	擴充之範圍，仍需可被追蹤和管理	擴充之範圍，仍必須確保資訊傳遞時的保密
包容性	系統應可容納以共通法律為基礎所建構之(民間)支援系統	經過法律邏輯檢核為真之支援系統必須等同權利使用之	支援系統之成果紀錄格式必須可被接受並追蹤	支援系統必須遵守保密原則維護使用者隱私權

能，讓民眾可不受資訊技術差異性之限制，以個人方式參與；從區塊鏈技術之角度演繹，政府應該建立聯盟鏈且扮演主要管理者，建構授權制度和智能合約標準內容，開放民間團體依授權機制可加入節點，提供側鏈支援，同時也須建構民眾個人「交易機制」，讓民眾將可貢獻之資源建檔於區塊鏈上，協助救災應變措施。

伍、工程顧問介入角色定義

防救災業務是一套縱向和橫向，跨領域的勤務體制，大型工程顧問業者是整合民間專業資源的重要關鍵組織，不僅可提供專業資料庫，更能在第一時間整合下游工程相關廠商，台灣世曦工程顧問正妥適地扮演此角色；台灣世曦為工程顧問先驅者，設計大量基礎設施工程，且協助政府監督下游廠商，40餘年累積巨量的工程資料與實務經驗，並已積極建構基礎工程資料庫，提供服務給予政府或其他相關

單位，成為資料網的基礎。

台灣世曦於2017年所建置之「公路橋梁防災管理系統」，目前已針對高速公路局、公路總局、臺北市政府、新北市政府、桃園市政府、宜蘭縣政府等單位所轄之橋梁，建置約8000餘座橋梁工程資訊，包含工程設計圖稿、物料管理、施工/維運單位等多項重要性屬性，資料的完整度如圖6～8所示；此外，台灣世曦更將橋梁維運的力學和檢測等科學方法逐一建立於平台上，並提供資訊讓決策者可參考，這代表著區塊鏈上的外部參考資料供應者，同時也成為各項專業資料庫流通的通用定義，當災難發生時，即可透過台灣世曦於區塊鏈上協議，取得必要資訊，還原現場，且從內部的廠商管理資料庫，也能於第一時間掌握最合適之廠商，發揮平台的最大效率。



圖6 橋梁資料展示



圖7 橋樑篩選功能



圖8 地質資料能展示

結論

區塊鏈能在整個體制上扮演協助者的角色，在平台上導入區塊鏈有其價值和重要性，尤其是民眾個人資訊的授權和救災物資分派上，區塊鏈不僅在技術上可提供解決方案，讓政府的體制可嚴謹執行，且個人資訊的授權得以在必要條件下，開放政府或救災組織取得並加以應用與流通，不僅能提供身份識別，更能確保民眾隱私權。政府在應扮演「基礎平台提供者」和「原則制定者」，而平台基礎操作需提供給救災人員、政府救災單位和一般民眾使用，要有易於操作的介面；而專業組織或民眾個人的投入，政府應建立清楚、可遵循的體制原則及技術規範，可讓專業者延伸應用，由外提供更多的協助。

建議政府針對既有法規體制，研擬「防救災民間組織協力智能合約」範本，實務上與工程顧問業有深刻的關聯性，如台灣世曦工程顧問，是上層組織，從工程的設計、施工、原物料供應與管理到基礎設施的全生命週期系統維運，工程業者掌握相關的專業能量，極度適合擔任區塊鏈微中化心化的角色，可快速且有程

序化的統整，提供更佳效率，因此整體的防救災區塊鏈平台可以成為三點式架構，由政府、工程顧問聯盟與社會群眾共同落實防救災之勤務。

參考文獻：

1. Ahlgren, B., et al. (2016). "Internet of Things for Smart Cities: Interoperability and Open Data." IEEE Internet Computing 20(6): 52-56.
2. Baird, M. E. (2010). The "phases" of emergency management.
3. Christidis, K. and M. Devetsikiotis (2016). "Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things." IEEE Access 4: 2292-2303.
4. Dorri, A., et al. (2016). "Blockchain in internet of things: Challenges and Solutions." eprint arXiv:1608.05187.
5. Kshetri, N. (2017). "Can Blockchain Strengthen the Internet of Things?" IT Professional 19(4): 68-72.
6. Ølne, S., et al. (2017). "Blockchain in government: Benefits and implications of

distributed ledger technology for information sharing." Government Information Quarterly 34(3): 355-364.

7. P. Brody and V. Pureswaran (2014). "Device democracy: Saving the future of the Internet of Things." IBM Institute for Business Value, Technology Report.

8. Peck, M. E. (2017). "Blockchain world - Do you need a blockchain? This chart will tell you if the technology can solve your problem." IEEE Spectrum 54(10): 38-60.

9. Satoshi, N. (2008). "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.

10. Swan, M. (2015). Blockchain: Blueprint for a New Economy.

11. Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger.

12. Zhang, Y. and J. Wen (2017). "The IoT electric business model: Using blockchain technology for the internet of things." Peer-to-Peer Networking and Applications 10(4): 983-994.

13. 台北市消防局 (2016). "臺北市府因應尼伯特(NEPARTAK)颱風應變處置作為暨支援臺東縣救災及復原重建工作報告". from

14. 台南市政府 (2016). "0206地震專案報告." from

15. 李心平, et al. (2017). "0206美濃地震臺南市政府災害應變與體系探討." 中華防災學刊 9(1).

16. 李宗勳 (2016). "公務跨域協力的系統韌性之初探 - 以八仙樂園粉塵暴燃事件為例." T&D飛訊 223.

17. 李長晏, et al. (2014). "從府際協力治理觀點探析我國地方政府二、三級災害防救運作問題及對策." 中國地方自治 67(2): 5-35.

18. 杜福威 and 林貝珊 (2016). 聯合國災害現場作業協調中心概念之應用：以0206美濃地震臺南維冠金龍大樓搜救為例. 台灣災害管理學會十周年年會.

19. 沈煒翔 (2017). 全球應用區塊鏈技術建構分散式能源交易之實例與效益探討. 工研院.

20. 張甯, et al. (2016). "能源互聯網中的區塊鏈技術：研究框架與典型應用初探." 中國電機工程學報 36(15).

21. 陳秋政, et al. (2012). 我國災難管理機制之運作現況與問題. 2012TASPAA國際研討會--永續治理：新環境、新願景. 臺南市.

22. 陳秋政 and 梁筑雅 (2009). 八八水災之跨部門治理網絡與問題分析：以六龜災區為例. 行政民主與都會永續治理研討會.

23. 黃忠發, et al. (2012). "政府與非政府組織於災害防救互動關係之分析 - 從非政府組織觀點." 中華建築技術學刊 9(1): 33-48.

24. 葉小榕, 邵晴, 肖蓉 (2017). "基於區塊鏈、智慧合約和物聯網的供應鏈原型系統." 科技導報 35(23): 62-69.

25. 劉麗雯, et al. (2003). "九二一震災的救災組織動員與資源連結." 中國行政評論 12(3): 139-178.

新世代土工擋土 開挖工程3D設計 之AI化挑戰

關鍵詞(Key Words)：擋土開挖(Excavation Engineering)、AI (Artificial Intelligence)、設計模組(Design Module)、參數化元件(Parametric Component)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／協理／吳文隆 (Wu, Wen-Long) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／經理／周永川 (Chou, Yung-Chuan) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／副理／陳聰海 (Chen, Tsung-Hai) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／計畫經理／邱志榮 (Chiu, Chih-Jung) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／工程師／陳佩雯 (Chen, Pei-Wen) ❺

摘要

大地工程環境複雜變異性高，且設計過程需進行多道安全檢驗，其執行除須釐清環境限制條件、需求、原理、規範、守則外，尚需活用施工經驗實務、與既存狀態等多元因子，始利專家判斷，其過程複雜繁瑣且分析建置耗時，故藉助人工智慧AI(Artificial Intelligence)技術及理論程式化之輔助，將需大量演算檢核之步驟進行程式系統化，藉以輔助設計過程中之人工檢核部分，降低執行過程之人力耗費與人為疏漏錯誤；另於大地擋土工程設計，亦考量結合3D設計技術進行視覺化成果整合，期將大地擋土開挖工程進行革命性地創新，茲將目前進行此部分之AI化雛型建立為例進行說明介紹



AI Challenge for 3D Geotechnical Excavation Design in the Coming New Era

Abstract

The geotechnical engineering environment has complex variability, and the design process requires multiple safety evaluation. The process needs to clarify environmental constraints, requirements, principles, norms, and design codes, and it is also necessary to use various factors such as construction experience and existing environment conditions to provide expert judgment. The process is complicated, repeatedly, and the analysis of model is time-consuming. Therefore, with the help of AI (Artificial Intelligence) technology and theoretical stylization, the program can integrate procedures that require a large number of calculation checks for the design process. It can also reduce manpower costs and human error in the implementation process. Hereby, the design process of excavation also adopt the visualized 3D technology to improve the efficiency of the project execution. This paper will present the AI prototype in excavation engineering as an example for reference.

3

專題報導

壹、大地工程設計趨勢

土木工程領域種類多，如橋梁、道路、鐵路、捷運、航空、建築、水利、機電、自來水、下水道等等，而大地工程(Geotechnical Engineering)涵蓋專業範疇包括基礎（含淺基礎、深基礎及特殊基礎）、擋土深開挖、邊坡（土石流）、隧道（含山岳隧道、潛盾隧道、維生洞道等）、地盤改良、環境地工、地震工程、地工材料、生態、現地調查實驗等等，因地質環境非一均質單純材料，且形成過程複雜且變異性高，故大地工程設計往往需依設計需求掌握合宜之地工特性，利用適合之力學組成模式進行分析檢討（詳圖1），以確保施工過程及完工營運後之品質及安全掌握。

然隨經濟發展，各類新創工程蓬勃發展，如都會地區之土木建築設計發展不僅深層化且與鄰近結構發展共構情形蔚為趨勢，平面鐵路系統亦朝地下化演進，此使深開挖工程在都會地區之發展愈顯重要，而工程挑戰不僅開挖深，另亦須考量用地受限、緊鄰既有建物或交通設施之近接或穿越困難地層的問題，而使大地問題檢核愈趨多樣複雜，若設計不當、檢核品質不佳往往易造成無法挽救之災害與損失，故都會區擋土深開挖工程設計趨勢於細緻性、立體化、多樣化與標準化之快速執行品質需求愈顯重要。

曾任美國Aerojet公司品保經理的利曼博士（Dr.M. Liebman）曾說：「品質的本身不是問題，只有設計發生問題、製造發生問題、或者其他相關因素發生問題，才會產生品質問題。」這句話說明了「品質是步驟品管所產生出來的」說法，故大地工程設計品質之提升包括有標準的調查步驟、合理的設計條件輸入、整體安全架構掌握、可靠的經驗解析模式建立及周全的作業管理，始利最佳品質的掌握。大地工程困難性及變異性高，而須做專業之檢核始利安全，以下就大地工程擋土深開挖工程藉助人工智慧AI(Artificial Intelligence)技術程式化輔助之執行與開發整合過程進行說明介紹。

貳、擋土開挖設計

一、傳統設計考量與方式探討

國內一般大樓之地下室開挖多採用挖支撐工法，但地下工程所採用之擋土方式，往往需考量基地形狀、地質、地下水位、開挖深度等因素採擇適當工法，而所進行之擋土開挖分析則主要涉及擋土壁型式及內支撐尺寸型式研選等；於施工部分之明挖支撐工法依施作順序則可區分為順打工法(Bottom Up)、逆打工法(Top Down)及半逆打工法(Semi-Top Down)等三類，一般最常使用者為順打工法，係在構築擋土壁後才由地表輔以必要之支撐措施往下開挖

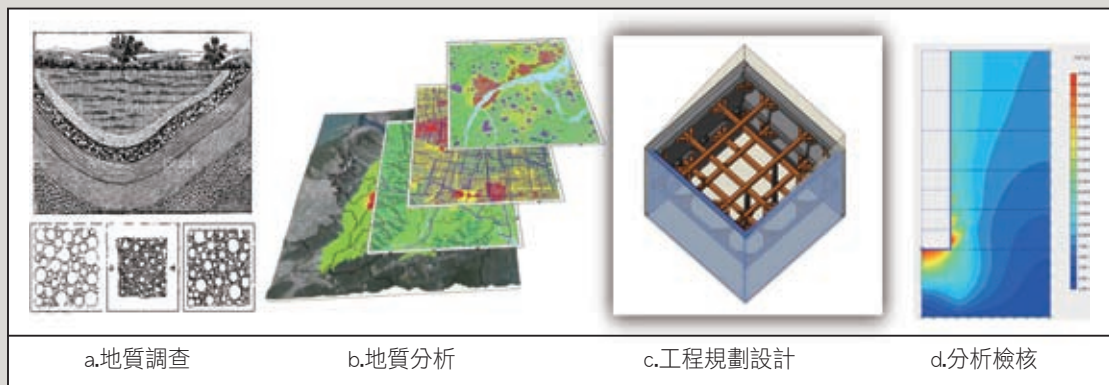


圖1 工程位置圖

至底部後，再由底部往上構築所需結構物，而大地工程擋土壁型式之抉擇條件除需依地層條件選擇施工可行之擋土壁種類外，一般壁體勁度與周遭環境允許之地盤變位，亦是影響深開挖擋土壁種類之主要決定因素。如都會密集人口區，常遭遇近接建物施工，連續壁因具勁度高、止水性佳等優點，為目前工程界於都會區15m以上深開挖土質地盤，最常採用之擋土壁型式，開挖深度較淺者則採排樁或鋼板樁作為擋土措施，若遭遇卵礫石地層採切削樁、鋼軌樁、人工擋土柱或特殊H型鋼等方式。

而擋土壁分析整體安全檢核則須根據工址地質與地下水情況，使擋土結構之貫入深度能抵抗向內屈伏、砂湧、隆起、上舉等所造成之基礎破壞，並依「建築物基礎構造設計規範」之規定，進行安全係數與分析檢核，說明如下：

(一) 擋土結構物貫入深度分析：為使擋土結構物受側向土壓力作用時，有足夠的穩定性，擋土措施需有適宜之貫入深度。依據Coulomb側向土壓力公式求得擋土結構物內外兩側所受之側向土壓力，於塑性穩定平衡狀況，以最下階支撐位置點視為假設之旋轉支點，選用適當之安全係數(依「建築物基礎構造設計規範」之規定最小容許安全係數1.5)，而求得擋土壁所需之貫入深度。

(二) 開挖底部穩定分析：深開挖基地底面安全性分析包括砂湧(Piping)、上舉(Blow-in)、隆起(Heaving)等。

國內一般擋土壁的分析計算係以RIDO 或TORSO程式進行，兩程式均依據現場的土層分佈、土壤參數、牆體勁度、各階段的土層開挖深度、降水高度、支撐架設高程、預力施加及支撐拆除、結構體版梁構築等施工過程分析計算。經分析運算，以獲擋土壁體之彎矩、剪應

力、水平變位及各階段支撐荷重，據以做為擋土壁之鋼筋配置、支撐系統設計及進一步評估周遭建物保護之施設檢討。

其中擋土支撐分析，須分別就開挖支撐特性與需求進行分析考量，就支撐所需之型鋼尺寸及預壓應力大小，依設計準則要求進行分析評估，並以最大載重(Max. Loading)作為支撐、橫擋等尺寸選擇及應力設計之基本考量。

二、設計3D化

工程技術服務的範圍已因時代需求而漸次接續延伸，從設計、施工到營運管理而達設施的全生命週期，並須連貫其中的工程資訊漸為整合服務的核心；因視覺化3D模型呈現設計，有利於多重角色的溝通，而BIM建築資訊模型(Building Information Modeling，以下簡稱BIM)在3D CAD應用方面已達成熟階段，目前2D CAD繪圖軟體雖為國內工程設計人員普遍所採用之基本作業平台，但3D BIM設計軟體則兼具2D圖面整合與產出之能力，方便2D與3D搭配解決整體工程過程的需求，BIM建築資訊模型中的資訊架構，實可用來發展各類工程延伸應用的基礎資訊架構。

考量目前國內土木工程의未來設計係以三度空間為發展趨勢，而大地工程設計亦宜配合採3D之視覺化處理，視覺化之軟體種類甚多，但可兼顧3D溝通、分析整合與3D設計之主要使用軟體目前可互相整合相容者甚是有限，往往需另開發程式做界接處理(如API，Application Programming Interface)。故擋土開挖自動化設計之基本塑模執行以BIM軟體為架構，而依需求就幾何配置、造型外觀等需求進行快速化整合建置，再配合軟體分析進行檢核，不同程式間針對介接、相容、資料讀取及演算等問題，於自動化執行確實存有相當程度之整合及資料擷取困難度，各階段執行就所使用主要專業軟體均

須就下列項目進行介接處理檢討：

- (一) 塑模及資料庫軟體介接
- (二) 定線及環境建置軟體介接
- (三) 力學分析檢核軟體介接
- (四) 設計圖說及預算軟體介接

三、AI化設計雛型架構

擋土工程之自動化執行理念，初步架構構想如圖2所示，各工程項目依願景、虛擬構思、初步設計、細部設計等階段就幾何配置、造型外觀、分析檢核、設計圖說等過程，配合五項資料庫逐項進行自動化處理。利用Web API介面，將擋土設計於貫入深度、程式輸入、支撐型號選取、擋土壁配筋及建物沉陷計算等之繁

複計算，進行自動化拋轉介接而達分析檢核需求，以減少人力成本及人為錯誤。擋土工程設計成果透過API可分別產製設計計算書、數量計算書、工程設計圖及預算書。

參、擋土設計之視覺化與AI化

擋土設計若採自動化方式執行，各項設計過程執行需能運用現有商業軟體及API資訊系統進行自動化串接，始能提升分析檢核執行效益，以下就相關之主要模組建立成果進行說明：

一、地質資訊建立與模組

現階段資料庫內容主要為地質鑽孔資料庫(圖3)，並透過資料庫快速搜尋可靠之參考地質鑽孔提供區域地層供初步檢討(集中建置於GIS平台)，鑽孔輸入資訊需求後，資料庫可展現鑽孔

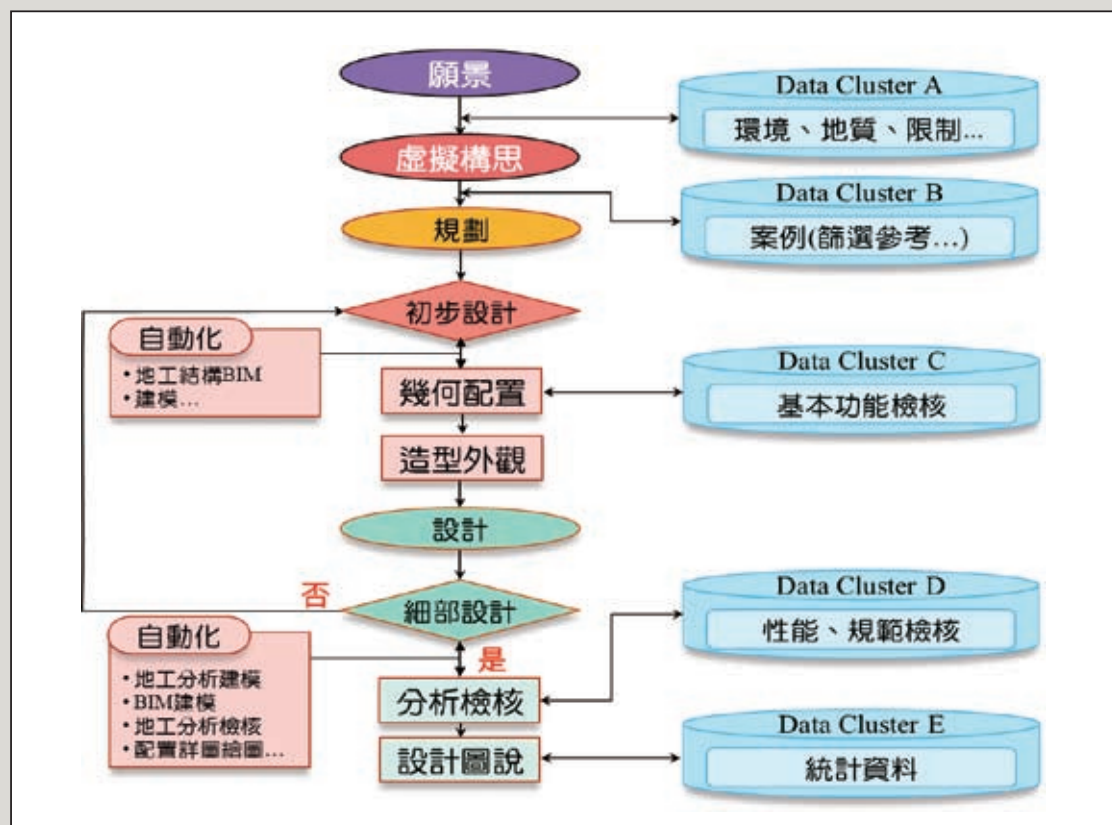


圖2 擋土工程執行構想



圖3 地質資料庫系統概念圖

並就需求剖面進行2D、3D剖面圖繪製，並可納入GIS、斷層、敏感地質潛勢區等資訊，供設計評估資料採用，另可與鑽孔圖進行繪製、並納入分析參數統計程式，就各區所查詢之區域鑽孔，繪製單孔柱狀圖及就各項涉及大地工程設計與分析檢核之鑽孔背景資料輸入所需參考引用。本資料庫區分有定位操作、地質展示及產製簡化土層表等模組。此地質鑽孔資料庫之鑽孔可隨日後之個別資訊數量增加，藉深度學習及大數據概念進行深化發展，快速取得區域目前地質狀態與關鍵資訊，而做快速專家評估與決策。

二、設計模組及功能

(一) 執行項目與模組資訊界面

擋土工程設計自動化將依幾何配置、造型外觀、分析檢核及設計圖說等項目，進行設計自動化之作業流程分析，簡化設計工作，俾更有效率地執行擋土開挖設計作業，執行項目與模組資訊如圖4。

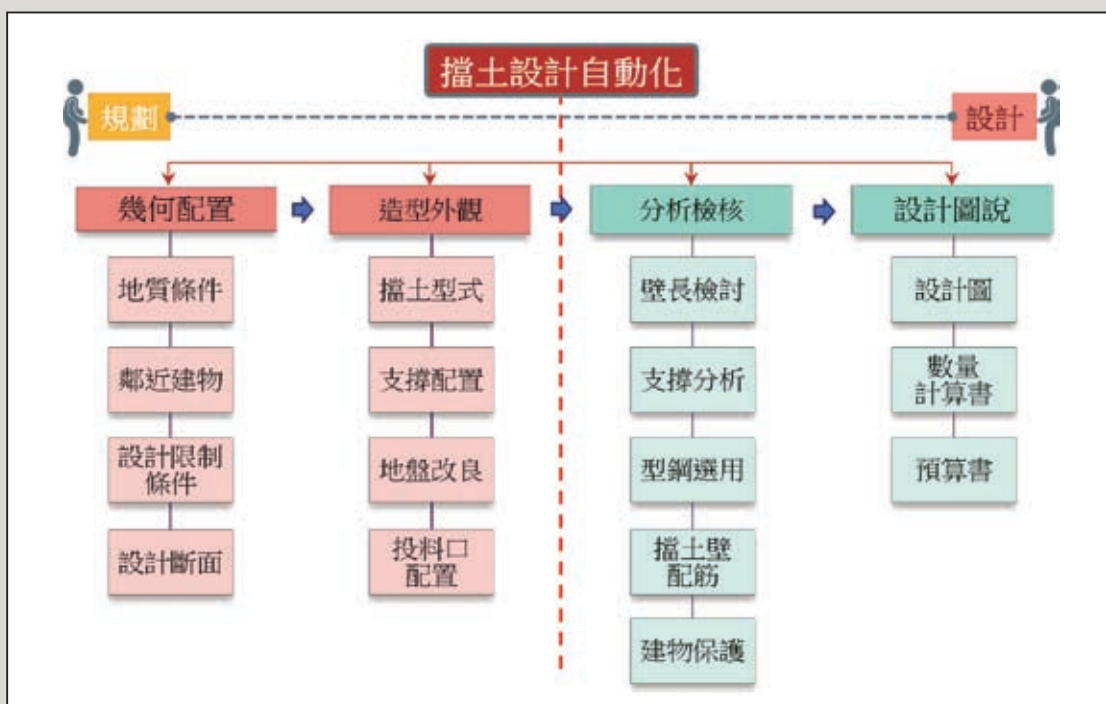


圖4 地質資料庫系統概念圖

表1 參數化元件

元件建置評估項目		
擋土工程	連續壁	H型鋼
	鋼板樁	斜撐
	H型鋼樁	角撐
	排樁	拉桿
	切削樁	中間柱
	預疊樁	拉桿
	擋土柱	高耐索
	鋼板樁與鋼纜及橫擋連結示意圖	背拉地錨
	鋼管樁與支撐結合示意圖	支撐構材組合詳圖

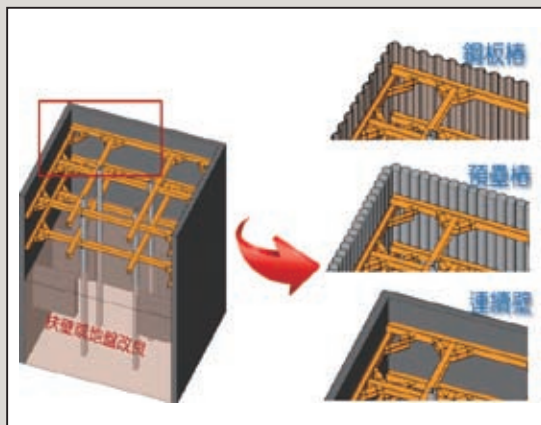


圖5 擋土工程3D建模與元件資訊(例)

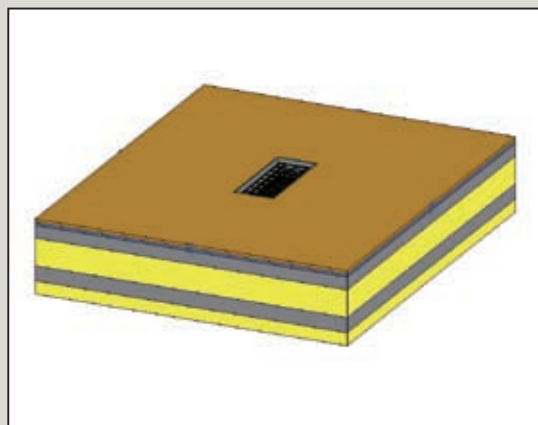


圖6 擋土開挖之3D幾何配置

(二) 參數化元件

為兼顧視覺化呈現，設計發展採Revit作業平台進行設計建模、塑模，故配合自動化快速化而製作帶屬性的參數化元件，以利分析、設計、成圖及算量。擋土工程初步預期製作之參數化元件如表1及圖5。

(三) 設計模組

依願景、虛擬構思、初步設計、細部設計等設計過程階段，進行幾何配置、造型外觀、分析檢核、設計圖說之自動化及標準化功能。

1. 幾何配置模組

依地質資料庫系統提供之工址地質條

件、地下水位，並參考擋土工程資料庫案例經驗，考量鄰近建物狀況、設計限制條件及設計斷面等資訊，自動整合設計條件，並在Revit作業平台建置擋土開挖之3D幾何配置(如圖6)，輸入項目包括土層參數及地下水位、鄰近結構、設計斷面、開挖深度、開挖寬度、結構形狀等。

2. 造型外觀模組

根據擋土壁型式、支撐系統配置、地盤改良範圍、扶壁、地中壁設置，建置擋土開挖之3D視覺化造型外觀，以提供業主初步之設計成果，並作為後續細部設計方案檢討使用。包括有擋土壁型式、環境條件、土層種類及地下水、支撐配

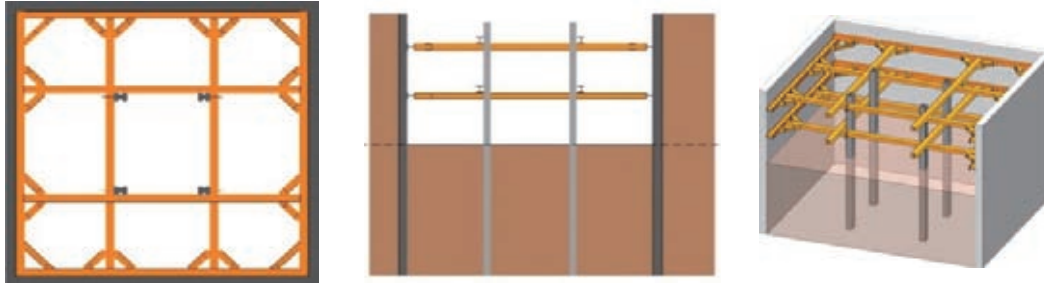


圖7 擋土開挖之3D視覺化造型外觀

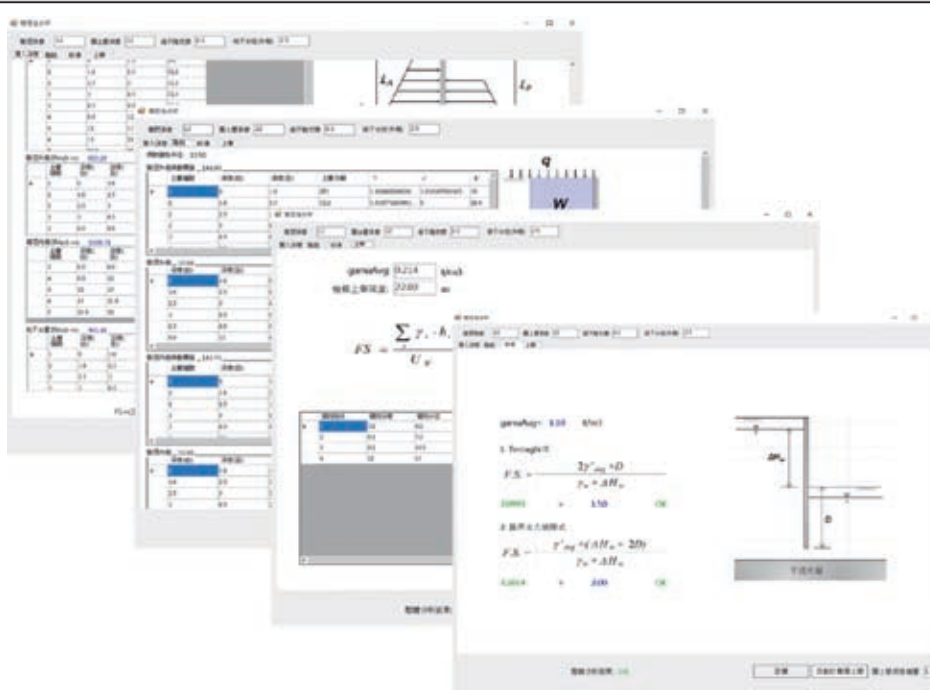


圖8 擋土開挖穩定性分析

置、中間樁配置、投料口配置、地盤改良等項目，如圖7所示。

3. 分析檢核模組

將地層參數、地下水位、擋土壁深度、勁度、支撐系統配置、分階開挖深度等資料，透過API採命令列方式自動建置輸入檔，經程式分析運算以獲得支撐軸力、擋土壁應力、擋土壁變位。

(1) 擋土開挖穩定性分析：擋土壁貫入深度除滿足力平衡檢核外，須視開

挖工址地質狀況，進行隆起、砂湧、上舉檢核(如圖8)，穩定性分析安全係數滿足：

- (a) 貫入深度安全係數：1.5
- (b) 隆起安全係數：1.2
- (c) 砂湧安全係數：1.5~2.0
- (d) 上舉安全係數：1.2

(2) 擋土開挖分析：大地工程擋土開挖之分析軟體以商用程式為主，現階段並以一維RIDO程式為輔進行檢核。依建置之基本資料表自動產生

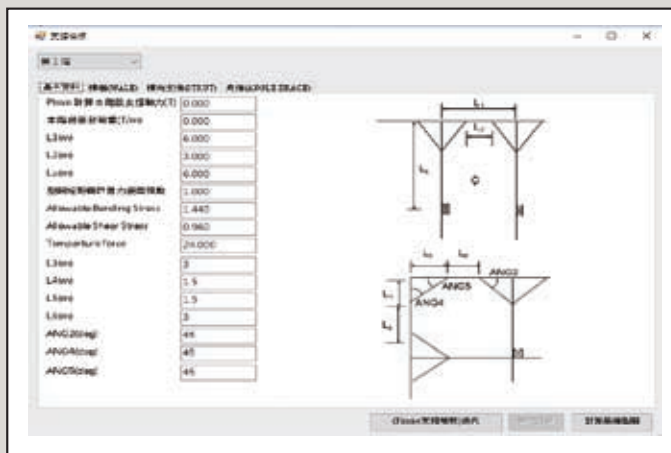


圖9 支撐系統設計

輸入檔，經程式運算後，利用API擷取輸出檔支撐軸力後，自動匯入進行支撐系統檢核(圖9)，再依檢核成果視需要調整型鋼尺寸後，自動修改輸入檔並進行分析軟體之重複運算。完成後可得到壁體彎矩、剪力、變位及地表沉陷槽等資料進行擋土壁結構配筋、建物保護設計。

(3) 擋土壁結構分析：考慮未來營運及整合的便利性，利用系統架構配合網頁應用程式及桌面應用程式進行開發。並在自動繪圖部分，與AutoCAD緊密結合，開發讀寫*.dxf和*.dwg之程式，直接將分析結果輸出成相對應之格式，以弱化系統對AutoCAD的相依性。依據所蒐集之文獻、案例及相關設計規範建立結構分析模組，預期執行項目包括連續壁、排樁、鋼板樁、H型鋼等檢核分析模組、鋼筋數量計算模組、檢核計算書輸出模組及基本斷面配筋圖輸出模組(先期優先執行連續壁)。模組資料參考「混凝土結構設計規範」列出檢核方法與公式，以目前完成應用於開挖擋土工程中之連續壁進行說明，由於連續壁幾乎都是承受剪力、彎矩作用，軸力小，因此以梁構件來進行連續壁分析。由分析得到連續壁基本條件與

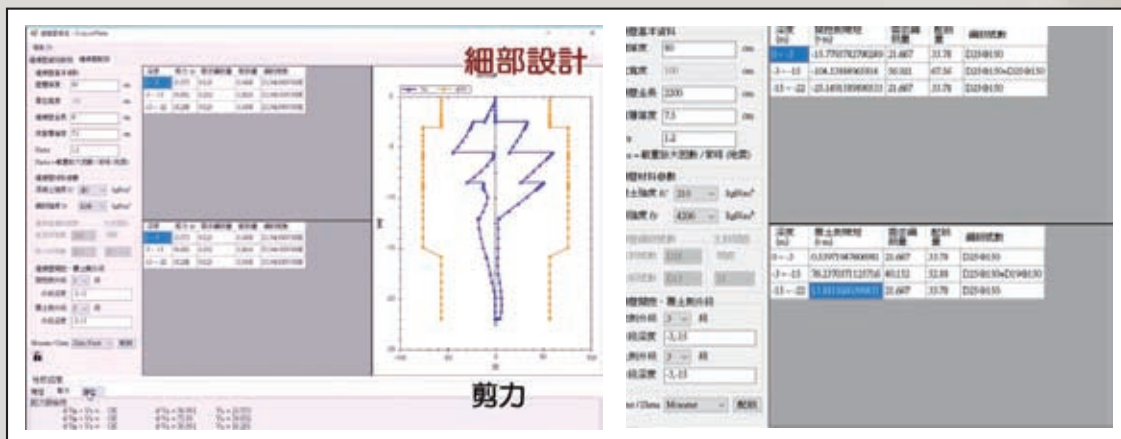


圖10 擋土壁配筋自動化解析

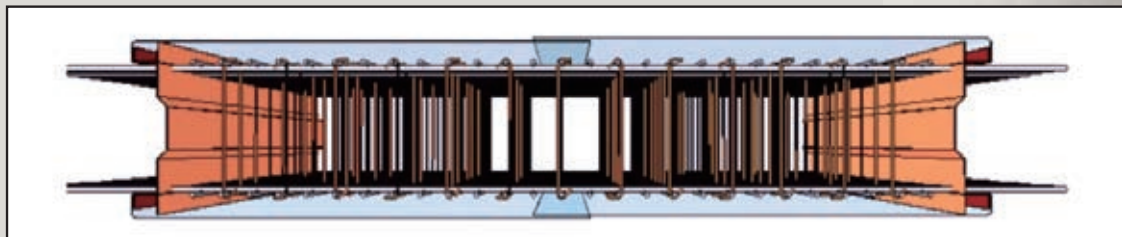


圖11 擋土壁單元鋼筋配置之視覺化呈現

各深度分析所得之資料，包括剪力、正負彎矩與連續壁基本條件(詳圖10)，藉由這些資料分別進行結構檢核、繪製CAD圖並輸出報告書及作擋土壁單元鋼筋配置之視覺化呈現(詳圖11)。

4. 設計圖說模組

綜整幾何配置模組、造型外觀模組並依分析檢核模組分析設計結果，修改Revit作業平台3D工程模型，期藉以自動產製2D設計圖、數量計算書及工程預算。

(四) 自動化效益

傳統之分析檢核常以須做多次演算，並依演算成果進行相關設計修正調整，若工程量體有變化且尺寸、大小、深度、斷面不一情形，往往耗費人力與時間，若計算過程有訛誤檢核相對困難。地工擋土開挖採自動化3D設計方式後，其效益可列舉如下：

1. 減省重複計算時間，降低人為錯誤並提升正確率。
2. 整合設計分析、數量估算及圖說製作，提高效率。
3. 縮短年輕工程師地工開挖分析與設計之學習曲線。
4. 標準斷面開挖設計縮減50%以上時間，可專注解決特殊斷面。
5. 作業及修改迅速、展現專業，增進與業主溝通並提高信任。
6. 降低設計作業成本，提高公司競爭力。

肆、結語

未來的時代，AI技術應用於生活已成為必然趨勢，隨國內工程日益多樣化、複雜化與需求之成長，傳統之大地工程設計實可利用人工智慧來改善與提升效益品質，使執行過程甚至是後續之維護管理更趨精緻化，從而提升競爭力及產能效率。目前大地工程之自動化發展配合3D技術進行雖屬萌芽階段，但後續仍需加強API之串接開發及利用人工智慧之深度學習，以為後續普及應用及品質提升，本文探討供國內地工發展參考。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2008)，高雄計畫西段工程細部設計技術服務(DL01標)-地質調查報告。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2008)，高雄計畫西段工程細部設計技術服務(DL01標)-大地工程設計報告。

土木工程設計 自動化——以擋土 工程設計為例

關鍵詞(Key Words): 深開挖(Depth Excavation)、擋土工程(Retaining Wall Design)、設計自動化(Automation of Design Process)、BIM、Autodesk Revit、Python、C#、JSON

台灣世曦工程顧問股份有限公司／資訊系統部／協理／劉大慶 (Ta-Ching Liu) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／資訊系統部／副理／王永誠 (Yung-Cheng Wang) ❷

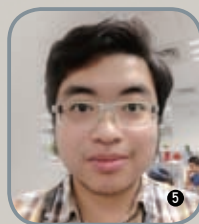
台灣世曦工程顧問股份有限公司／資訊系統部／正工程師／趙宜峯 (Yi-Feng Chao) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／資訊系統部／工程師／洪銘澤 (Ming-Tse Hung) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／資訊系統部／工程師／陳韋廷 (Wei-Ting Chen) ❺

摘要

近年來受到工業4.0之啟發，3D化、自動化與程式化在土木工程的重要性與日俱增，不論是設計創新、預算管控、成果品質及施工績效，皆有賴資訊技術以取得快速之進展。爰此，本公司資訊系統部、BIM中心與大地工程部合作規劃與開發了「擋土工程設計自動化系統」，將原先需要大量人工作業及不同工具軟體間繁複切換之擋土工程設計流程，整合於Autodesk Revit平台上，提供使用者快速地進行參數建模、分析、設計、檢核與結果輸出等功能，有效地縮短工作期程，提升工程設計品質。



The Automation of Design Process in Civil Engineering — A Case Study of Retaining Wall Design

Abstract

Due to the inspiration of Industry 4.0, the importance of three-dimensional modeling, automation and programmability in Civil Engineering has been rising steadily during these years. Almost every aspect of this industry, such as design innovation, budget control, construction quality and performance, relies on information technique for rapid development and growth. On the basis of the above, Department of Information Technology and Systems, BIM Center and Department of Geotechnical Engineering from CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan have cooperatively planned and developed a system called Retaining Wall Design Automation System. The System is built on Autodesk Revit platform and provides functions including modeling by parameters, analyzing, design, results output, checking and evaluation. The benefit of the System is that it could shorten effectively the whole design process and improve the quality of final results.

3

專題報導

壹、前言

20世紀尾聲，隨著資訊科技的蓬勃發展，帶動了各種產業在結構與服務上的變革與創新，許多國家也相繼提出與資訊技術相關的綱領性策略，如西元2011年美國提出之先進製造業伙伴關係(Advanced Manufacturing Partnership, AMP)、西元2013年德國所提出之工業4.0以及西元2016年的台灣生產力4.0等，這些策略多從資訊數位化與流程自動化著手，並將蒐集到的大量資訊進行統計分析，以作為智能化之依據。因此，資訊數位化、作業流程自動化與智能化已然成為各個企業甚至國家刻不容緩之課題。

土木工程雖然是傳統產業，但一直以來扮演著國家經濟發展火車頭的角色，其技術的演進與世界文明進程亦息息相關，隨著資訊科技的開展，工程設計方法已從早期人工二維製圖與分析設計，發展成採用BIM(Building Information Model)建模技術作為塑模與設計之基礎，而各種通用與專精領域之工程分析軟體也快速蓬勃發展中，這為土木工程之前景開創了一個新的契機。

然而，土木工程所使用的各種商業軟體雖已具備強大的功能，但仍有難以滿足不同使用者作業流程上之特殊需求，以及不同商業軟體間資料拋轉的相容性問題，而隨著BIM建模技術的導入，如何將業主的意見快速回饋至3D模型並產生修訂方案，亦難以透過單一商業軟體來實現。基於前述問題，本公司於數年前即先後推動3D化設計與設計自動化策略，由各專業部門全力並行開展，冀望能藉此突破現況，提升公司競爭力。

「擋土工程設計自動化系統」(以下簡稱自動化系統)為本公司在此精進過程中之一項成果，其由本公司大地工程部、資訊系統部及BIM

整合中心共同研發而成。本文將敘述該系統之架構與開發環境，並從實際工作流程展示如何達到自動化作業之目標。

貳、動機與目的

土木工程設計工作經常是設計與檢核不斷迭代的過程，且各個作業階段常需使用到各類商業軟體或輔助工具，由於部分軟體預設採用交談式資料輸入方式之限制，以及不同軟體間資料交換或功能介接之隔閡，使得工作過程中常需由人工進行大量且繁瑣之資料輸入，或者不斷進行軟體間資料轉換或前後期處理，此不但形成效率瓶頸，更容易造成設計成果之瑕疵。

以深開挖擋土工程設計為例，工程師需先取得開挖工址地質資料，依工址現況進行擋土壁及支撐系統初步規劃與設計後，再使用專業軟體或輔助工具進行諸如穩定性分析、擋土壁體力學分析、支撐檢核等相關分析與檢核，倘分析結果未達設計安全係數，則須修正原有設計再重新分析，如此重覆作業，直至結果符合安全規範，而後再依力學分析結果進行支撐設計與擋土壁體鋼筋配置，最後依據設計結果產製相關報表、計算書與圖說。

在傳統作業模式下，前述擋土工程設計之各個階段，都需以人工方式進行諸如基本設計、資料正規化、結果匯入匯出或圖說報表輸出，導致作業成本難以降低，以及成果品質難以精進之窘境。

本文所述自動化系統即為解決前述問題而生，其以既有設計作業流程為基礎，整合BIM技術與各種分析設計軟體API技術，以實作BIM建模、分析檢核與設計、以及報表輸出等自動化功能。

參、擋土工程設計自動化系統之架構與實作

本自動化系統係參考現有之擋土工程設計流程，並歸類為「規劃階段」、「分析與設計」與「圖說與報表輸出」三個階段，以作為本自動化系統之設計基礎，其系統流程與架構如圖1所示；工程師先輸入初步設計參數，由系統自動建置擋土壁及支撐BIM，再利用模型中所儲存之設計參數，進行相關分析檢核與設計，同時自動修訂設計參數，直至符合安全係數為

止，最後將檢核之結果回饋至模型以產生最終設計成果，並依使用者需求產出相關圖說及報表。

考量日後的維護性與發展性，本自動化系統先以矩形規則開挖基地為應用標的，並以Autodesk Revit(BIM建模軟體)作為整合平台，平台實作功能選項如圖2所示，程式語言則使用C#及Python，資料交換一律採用JSON格式，每個階段涵蓋的工作、開發工具及資料交換的方式詳見表1。

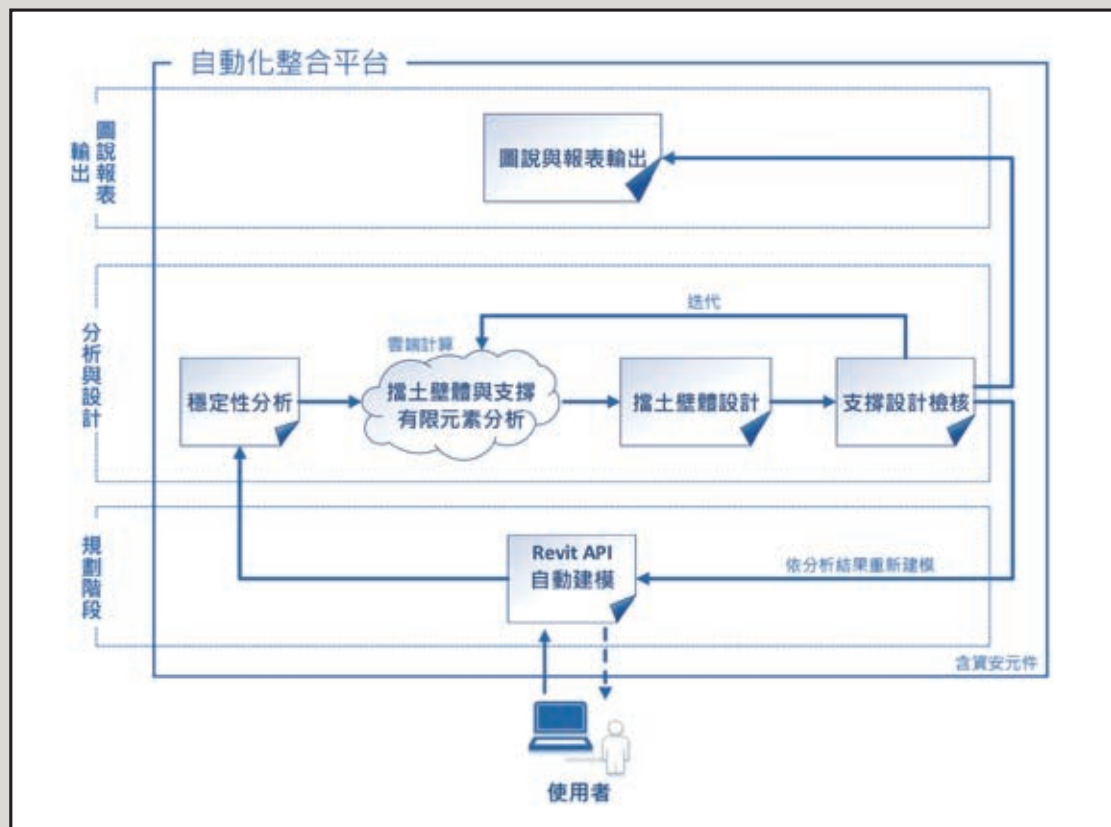


圖1 擋土工程設計自動化系統流程與架構圖

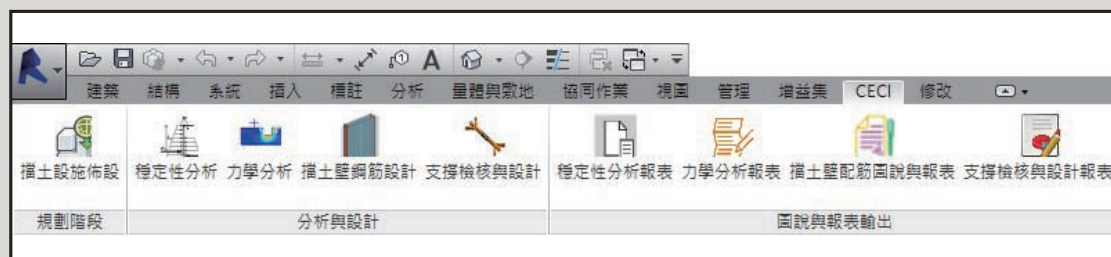


圖2 自動化整合系統平台(Autodesk Revit)

表1 擋土工程設計自動化系統各階段涵蓋的工作與開發工具

階段	工作項目	開發工具	資料交換
規劃階段	擋土設施佈設(BIM)	.NET Framework Windows Forms C# Autodesk Revit Autodesk Revit API	API回寫 重建BIM
分析與設計	穩定性分析 擋土壁體與支撐力學分析 支撐檢核與設計 擋土壁體鋼筋設計	.NET Framework Windows Forms C# Autodesk Revit Autodesk Revit API Plaxis Python JSON	API取值
圖說與報表輸出	穩定性分析報表 擋土壁體力學分析報表 支撐檢核與設計報表 擋土壁體鋼筋設計圖說 其它相關數量報表	.NET Framework Windows Forms C# JSON	JSON取值

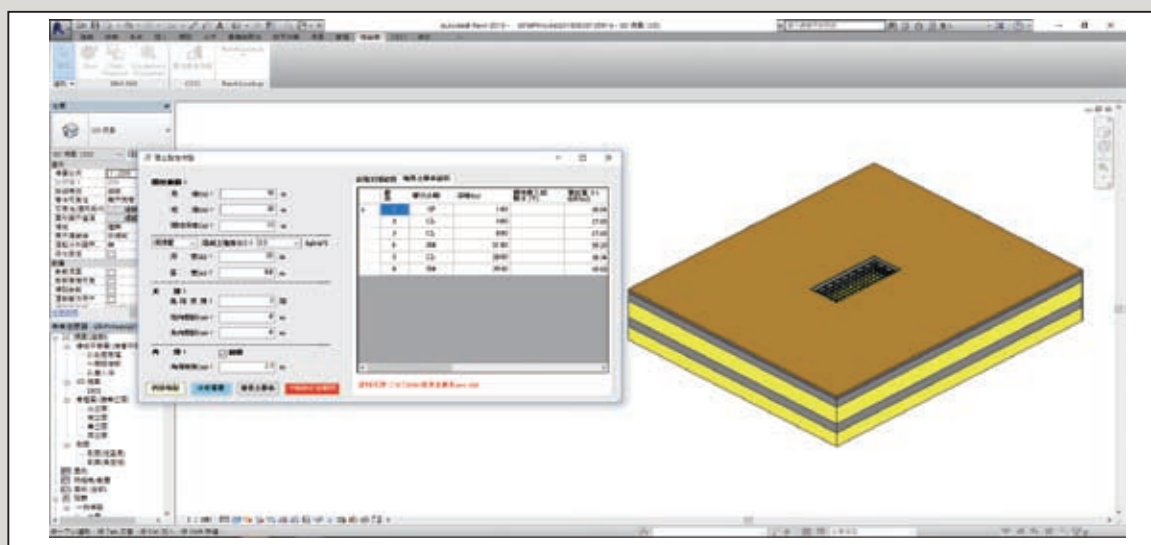


圖3 擋土設施佈設互動介面

一、規劃階段

本系統於規劃階段提供了Autodesk Revit 參數化自動建模功能，並結合Autodesk Revit API及 Windows Forms C# 設計了互動介面如圖3所示；使用者於輸入開挖基地之幾何參數、支撐類型與間距及工址之土層等相關參數後，系統將自動建置擋土設施模型。此外，「分析與設計」階段後之結果，亦可經由自動建模功能模組，自動修訂工作模型，以產製符合最終設計成果之擋土工程BIM。

二、分析與設計

「分析與設計」階段係以大地工程專業知識為基礎，透過資訊技術來實現分析設計自動化以及前後作業之自動串接。由於各類設計規範之符合性要求，本階段之系統功能必須滿足工程專業之嚴謹性，而繁複的運算邏輯也要求系統能夠提供足夠的執行效能。以下將分別說明各個分析與設計階段之系統功能：

(一) 穩定性分析

為了確保開挖土層之穩定性，擋土工程設計首要的分析作業便是穩定性分析，其中包含貫入深度分析、隆起分析、砂湧檢核及上舉破壞檢核等多個面向。本系統將所需的分析項目全部整合進Revit平台，利用Windows Forms C# 結合API取得模型中分析所需之相關屬性資訊後，進一步自動進行穩定性分析；在操作上，使用者先在BIM上選取所欲分析之擋土壁及支撐系統元件，系統將自動取得BIM中之相關參數，並傳入穩定性分析模組進行分析，再透過其功能視窗呈現分析結果如圖4所示，並提供設計建議給工程師參考，其中穩定性分析結果將以JSON格式儲存，以作為資料交換使用。

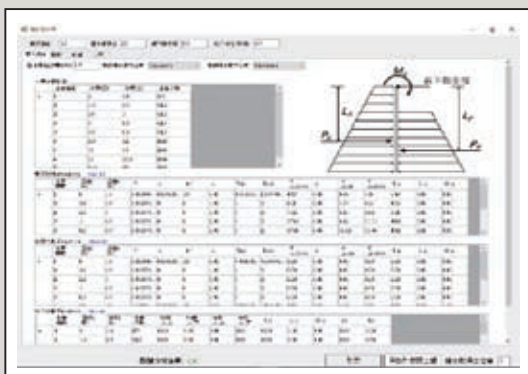


圖4 穩定性分析實作介面

(二) 擋土壁體與支撐力學分析

在穩定性分析後，需模擬開挖過程各階段擋土支撐之荷重，並計算所承受之彎矩、剪力及變位，以作為設計擋土壁體與支撐之參考依據。本階段力學分析軟體係選擇具有雲端計算功能的二維力學分析軟體Plaxis，在取得BIM所儲存之設計參數及穩定性分析之結果後，系統將自動產生Python程式碼，且用該程式碼之執行緒函數，呼叫雲端伺服器之Plaxis進行擋土壁體與支撐力學分析，如圖5所示，而分析所得擋土壁體與支撐所承受之彎矩、剪力及變位結果，將自動以報表形式儲存，以供後續支撐檢核與壁體鋼筋設計使用。

(三) 擋土壁體鋼筋檢核與設計

擋土壁體鋼筋檢核與設計功能係將大地工程部之研發計畫成果，整合於本自動化系統中，使用者執行擋土壁體設計功能選項後，平台便會依據擋土壁體力學分析結果與RC設計規範，並結合工程師的實務設計經驗，自動進行擋土壁體鋼筋檢核設計及輸出，包含彎矩、剪力檢核功能、結構計算書輸出、數量計算表輸出及基本斷面配筋圖輸出等功能，如圖6所示。

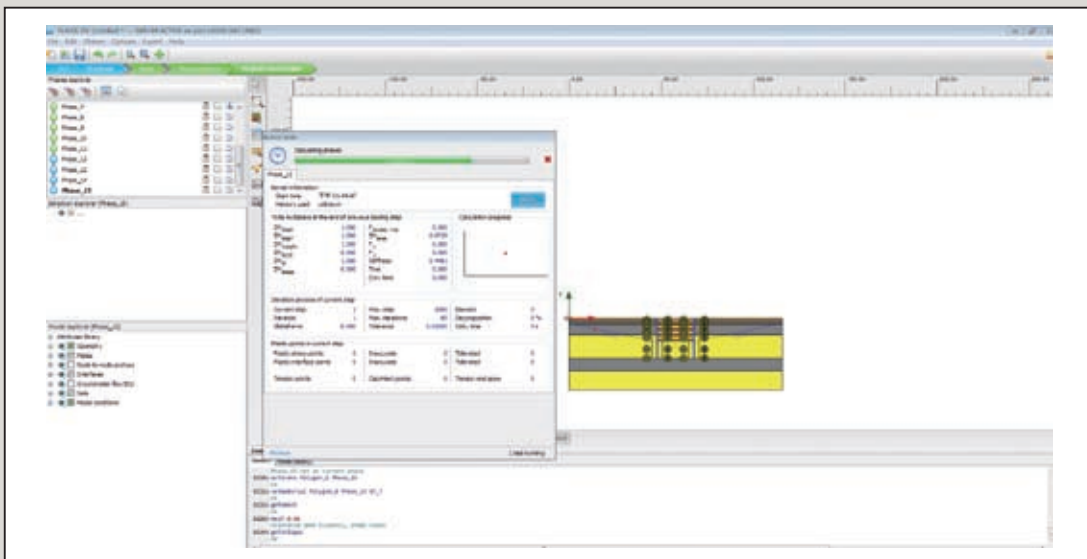


圖5 雲端計算之力學分析

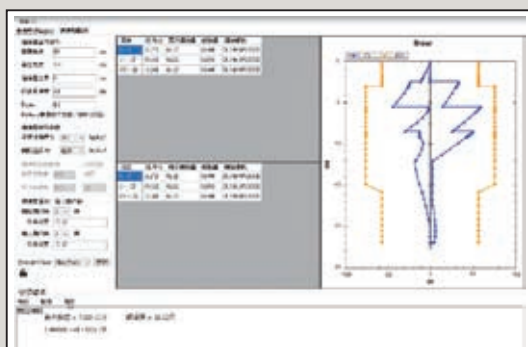


圖6 擋土壁體鋼筋設計實作介面

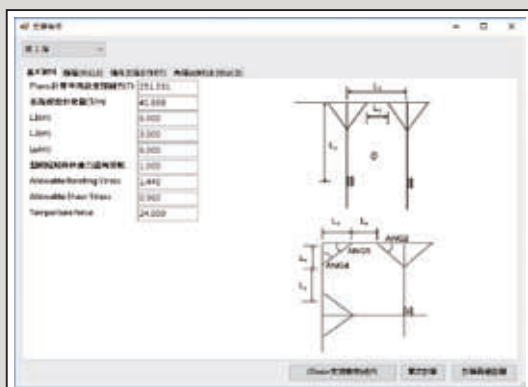


圖7 支撐檢核與設計實作介面

(四) 支撐檢核與設計

擋土工程開挖時，需進行外側土體之側壓作用對擋土壁體與支撐之變位影響分析。本系統在支撐檢核與設計作業之程式開發，主要先取得支撐之力學分析結果，再藉由Windows Forms C# 所撰寫之支撐檢核與設計程式，針對不同階之圍令(Wale)、橫向支撐(Strut)及角撐(Angle Brace)分別進行檢核，最後再根據計算結果，自動提供最佳化支撐設計建議，如圖7所示。

三、圖說與報表輸出

由於擋土工程設計相關報告中，常需要附上分析設計之Excel計算報表與相關圖說，故「圖說與報表輸出」階段主要以輸出分析設計與檢核後之相關圖說與報表為主，包含穩定性分析報表、擋土壁體力學分析總表、支撐檢

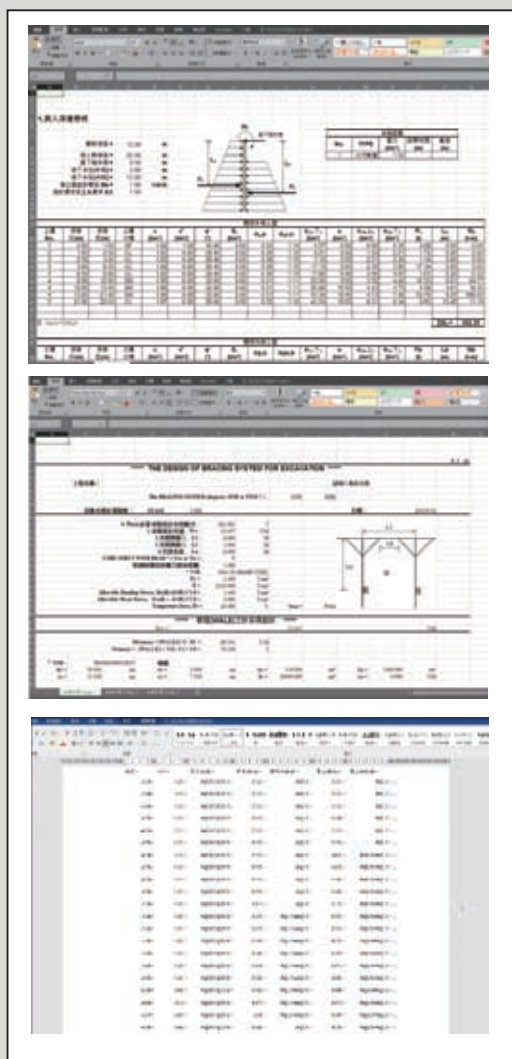


圖8 圖說與報表輸出階段

核設計表、擋土壁體鋼筋設計圖說與相關數量報表等，輸出格式為Excel及Word檔，如圖8所示。

肆、結語

土木工程乃與土、水、文化有關之基礎建設，結合不同專業領域再搭配不同工具軟體或程式進行規劃、設計、建造與維護。為了加快不同階段之作業流程，設計自動化與模型數位化的工作將會從過去的「選配」進展到「必備」，因此本文以擋土工程設計自動化為例，

從模型數位化BIM開始，運用API技術，將原本耗時的BIM建模工作改變成自動建模，並運用各種不同的資訊技術與雲端計算技術，將原本繁複的分析設計過程與檢核工作自動化，再利用JSON串聯技術與檔案輸出技術，將所有的分析結果輸出成電子檔報表與圖面檔案，並統一整合於單一系統平台上，以達到規劃數位化、設計自動化與輸出完整化之目的。

由於本專案目前仍處於開發階段，未來期望可從矩形規則開挖基地強化成為不規則開挖基地之擋土工程分析與設計，並提供更多樣的土層及擋土牆模擬模式，再讓雲端力學分析計算支援多執行緒分散式處理，如此一來，可更有效地縮短工作期程，提升工程設計品質，邁向土木工程3D設計化、營管自動化及設計自動化之未來。

參考文獻

1. President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST). (2011). Report to The President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing. USA.
2. Industry 4.0 Platform, <https://www.platform-i40.de/140/Navigation/EN/Home/home.html>
3. 中華民國行政院(2016)，行政院生產力4.0發展方案-民國105年至民國113年(核定本)。

4. 歐章煜(2018)，基礎開挖工程實務。
5. 歐章煜(2017)，進階深開挖工程分析與設計。
6. 中華民國結構工程學會(2018)，地工構造物之設計輔助分析系統之建置-台灣世曦研發計畫期中報告書。
7. Autodesk Revit, <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>
8. Autodesk Revit API Docs, <http://www.revitapidocs.com/>
9. Plaxis 2D, <https://www.plaxis.com/product/plaxis-2d/>
10. Python, <https://www.python.org/>
11. JSON, <http://www.json.org/>
12. 維基百科

捷運潛盾隧道 參數化設計之 挑戰與突破

關鍵詞(Key Words)：捷運工程(MRT Engineering)、潛盾隧道(Shield Tunnel)、
參數化元件(Parametric Object)、地理資訊系統(GIS)、
建築資訊模型(BIM)、有限元素法(FEM)

淡江大學土木工程系／2018暑期實習生／張育承 (Chang, Yu-Cheng) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／許琍婷 (Hsu, Liting) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／王維毓 (Wang, Wei-Yu) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／劉人豪 (Liu, Jen-Hau) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫工程師／張永漢 (Chang, Yung-Han) ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫工程師／蔡百桐 (Tsai, Pai-Tung) ❻

摘要

捷運潛盾隧道的主要設計課題可分為內部主體結構系統與外部環境影響兩大類，潛盾隧道主體結構由環片系統組合而成，其規律性高，非常適合建置為參數化元件，發展完整的設計、出圖與數量計算自動化流程，不僅改善設計效率，更可降低人為的錯誤，提昇品質。捷運潛盾隧道路線穿越都會區的核心區域，受到外部環境影響，如用地、地形、水系、地質與地下障礙物等複雜因素控制，必須透過地理資訊系統的協助，整合所有影響因子進行評估與分析，以決定最佳化的線形。此外，完工後的潛盾隧道容易受到鄰近工程的影響，損壞隧道環片結構，甚至危及捷運正常營運。藉助高品質的調查與試驗，配合高階的數值分析工具，決定安全與經濟的保護工法，確保捷運營運安全與鄰近工程的推動。



Challenges and Breakthroughs of Parametric Design of MRT Shielded Tunnel

Abstract

Designs of MRT Shielded Tunnel are governed by two major topics: interior structural systems and external environmental factors. Segmental lining and detailed components, which made up the whole shield tunnel structural system, exhibit high regularity. They are very suitable for implementation of parametric objects which could be further involved in the design, plotting and quantity calculation automation process to raise design efficiency, and thus human errors could be reduced and design quality could be much improved. The MRT shield tunnel route usually goes across the downtown area and would be affected by several external environment factors, such as land delivery, terrain, river system, geological condition, underground obstacles, etc. All the factors should be carefully studied, evaluated and integrated together with the assistance of geographic information system (GIS) to determine the optimal alignment. In addition, construction activities of projects nearby might have unfavorable impacts on the built tunnels. Tunnel segmental rings might be damaged and even the MRT operation might be compromised because of uncontrolled excavation or additional loads adjacent to the built tunnels. High-quality geotechnical investigations and tests must be adopted along with sophisticated numerical analyses to study feasible and economic protection measures which would ensure both MRT operation safety and project promotion nearby.

3

專題報導

壹、前言

捷運潛盾隧道主體結構的幾何形狀與組合模式具有高度的規律性，每一組環片單元所需的螺栓元件與鋼筋配置亦有明確的空間幾何參數與材料屬性，因此非常適合導入3D參數化設計流程，透過樣版與參數化元件的建置，可以達成高度自動化的分析、設計、成圖與數量計算等一貫作業，不僅可以改善效率，降低成本，更可減少人為錯誤，提昇設計品質。

捷運潛盾隧道與外部環境的界面相對非常複雜，除了多變的地形、水文與地質條件外，國內捷運後期路網建設受到民意高漲用地取得困難、穿越狹窄道路區段與高度開發的地下結構物與公共管線的阻礙，規律性與重覆性低，必須針對不同計畫的特殊條件，量身訂做。

以台北捷運環狀線二期計畫的路廊為例，因為用地限制條件所產生之隧道急彎段($R=50m$)即高達9處，5次穿越主要河川、30%路線通過寬度20m的狹窄道路，60%以上車站與深層污水管衝突。潛盾隧道的線形規劃，必須藉助最新的BIM與地理資訊系統的結合，以克服外部複製環境的嚴苛挑戰，在狹縫中找到一條出路。

完工後的潛盾隧道因為位於主要的道路下方，非常容易受到周邊開發工程而影響，除了國家頒佈的兩側禁限建法令作為第一道的保護措施外，周邊開發計畫的主辦機構更需要負責確保捷運設施的安全。因此，高品質的地質調查與高階的數值分析成為最重要的第二道防線，配合嚴謹的施工管理與安全監測落實最後一道防線，才能兼顧都市的永續開發與捷運系統的穩定安全營運。

為因應上述工程的挑戰與困難，本文將探討捷運潛盾隧道參數化設計的三大課題與初步的成果，包括隧道環片參數化元件開發與加質

應用、地理資訊系統輔助隧道設計及營運中捷運隧道安全評估。

貳、隧道環片參數化元件開發與加質應用

國內捷運工程潛盾隧道環片一般以數個A型環片，2個B型環片及1個K型環片組合而成(如圖1)，類型與幾何形狀相對單純，複雜度與變異性不高，建置通用的3D元件效益非常高。為確保設計圖及數量計算的正確性與精確性，除了量體模型外，並將環片的接合模式、螺栓型式、鋼筋配置及標註與標示等完整屬性依參數化元件方式建置，以便經過簡單的屬性參數定義後，即可以廣泛應用在類似的工程計畫中。

環片參數化元件的設計量體模型與鋼筋模型如圖2及3所示，配合樣板與視圖的設定，可以迅速產生3D的設計圖、2D的剖面圖與鋼筋表等設計成果(圖4)。因為所有的重要屬性都是可調整參數，一旦修改設計模型中的任何幾何或非幾何參數，設計圖(包括3D/2D)及所有的標示與標註也會同步更新，大幅降低人工修改與檢核的資源，減少人為錯誤。



圖1 環片之組成

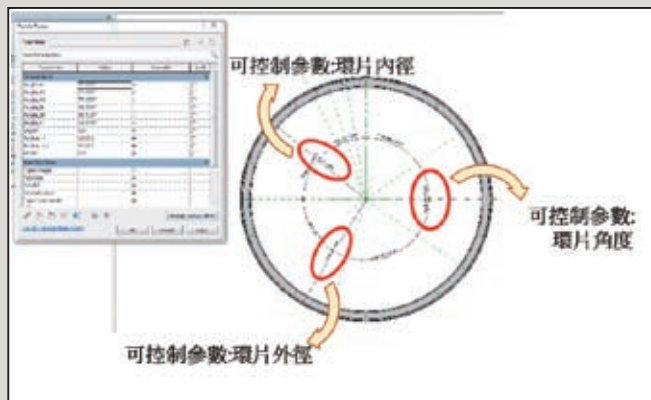


圖2 環片參數化元件



圖3 環片3D鋼筋模型

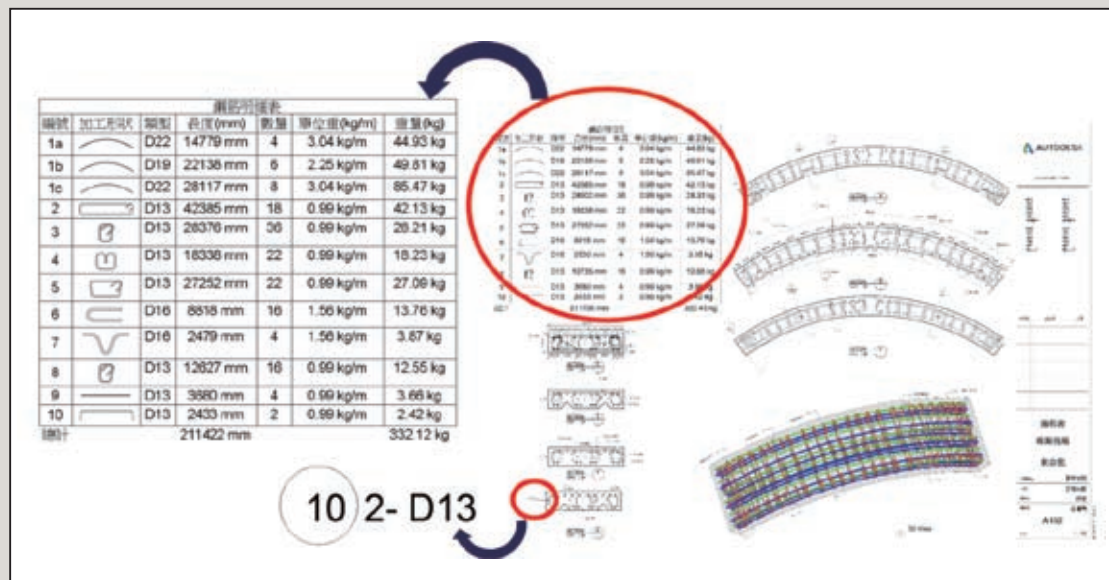


圖4 鋼筋設計圖面

參、地理資訊系統輔助隧道設計

捷運路線動輒長達數十公里，穿越都會區的核心區域，沿線人口密集，地面以上及以下均高度開發，外部界面非常複雜，必須考量的不確定因素非常多。一般捷運隧道線形的決定必須同時滿足都市發展需求與工程技術兩大類課題：

一、都市發展需求

- (一) 區域發展
- (二) 既有道路系統
- (三) 用地取得
- (四) 地下穿越
- (五) 交通運輸

二、工程技術

- (一) 機電系統參數
- (二) 地形與水系
- (三) 地質條件
- (四) 地下障礙物
- (五) 施工限制條件

傳統2D設計作業在平面上發展平面線形後再檢討縱剖面，無法即時檢核3D的空間相對位置，必須不斷疊代與試誤，逐步收斂至較佳的路線，經常需要耗費長時間的溝通與大量的資源進行整合與協調。更重要的是設計過程中所接收各專業的資訊與參數並無統一的格式，分散在各專業的圖面或報告中，隨著設計發展不斷的變動，龐大分散各處的資訊造成界面整合與管理困難。經常發生錯誤、不一致或遺漏的缺失，影響線形設計的精確性與品質。

地理資訊系統(GIS)強大的幾何與資料承載與整合能力，非常適合用來整合捷運隧道線形設計過程中必須考量的複雜因素與限制條件。藉由地理資訊系統的豐富地形與地物的圖資，設計者可以快速地檢視大範圍之路線、車站與周遭環境(都市計畫)的相對關係，根據系統參數初步擬定隧道的線形。再進一步根據地形、水系與地質條件，配合所蒐集的地下結構與重大管線資料，調整線形與縱坡，決定最佳化的方案，詳如圖5所示。

近年來BIM與GIS整合技術的突破，可將完整的3D 隧道線形結構量體與地形、地下障礙物等重要資訊整合在一的平台進行視覺化的呈現(如圖6及7所示)，更進一步縮短各專業間的隔閡，改善捷運隧道線形設計協調與決策的效率，達成隧道線形最佳化設計的目標。



圖5 地理資訊系統輔助隧道線形設計

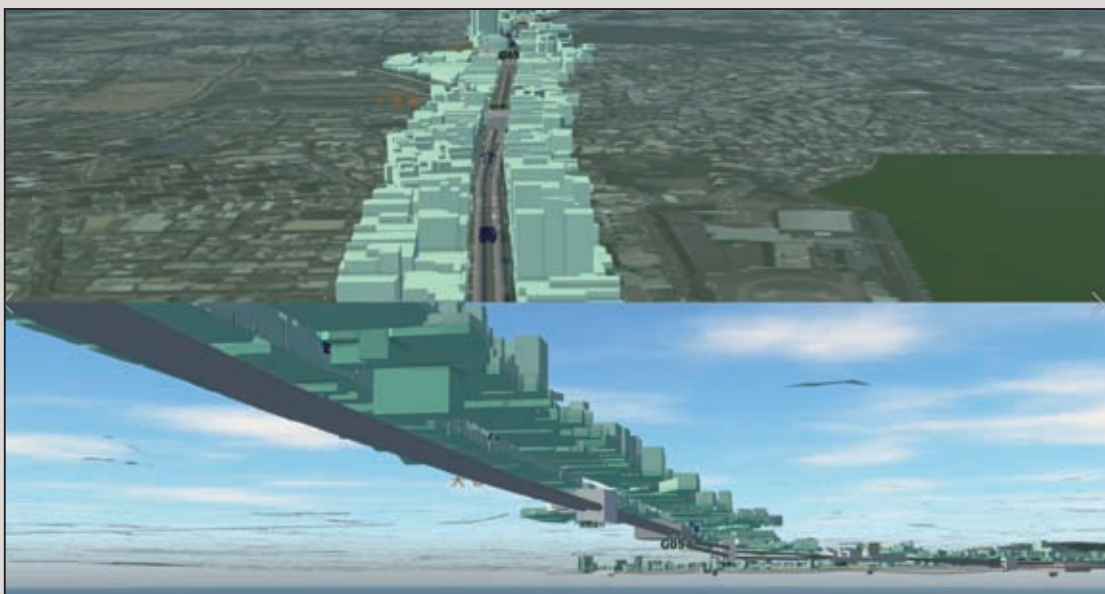


圖6 捷運系統與周邊地形地物之整合模型

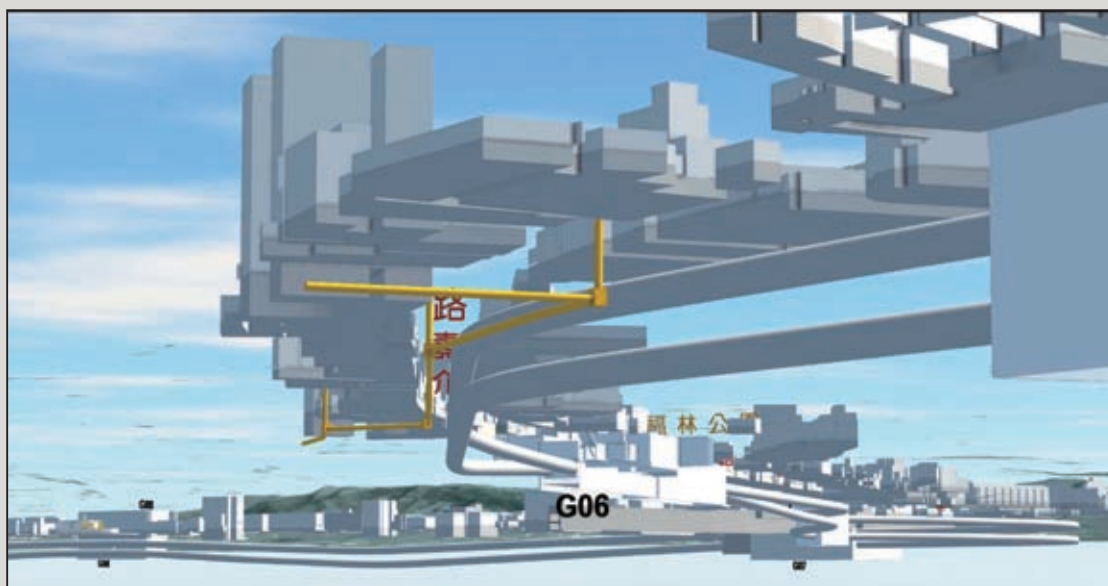


圖7 捷運系統與地下障礙物之整合模型

肆、營運中捷運隧道安全評估

捷運構造多位於入口密集區域，潛盾隧道主要穿越市區道路下方，營運期間容易受到鄰近工程開發的影響，造成地盤中應力的變化，損壞隧道環片結構，甚至危及捷運正常營運。有鑑於此，國家特別頒訂了「大眾捷運系統兩側禁建限建辦法」限制捷運路線範圍週邊的開

發行為與規模，做為第一道保護線。各縣市政府捷運主管機關，另根據捷運系統需求與地質條件，制定大眾捷運系統禁建限建範圍內列管案件管理及審核基準，以桃園市政府捷運工程局為例（桃園市政府，2018），主要的監測項目與監測管理值如表1所示，表中部分捷運結構變位規範值與捷運結構型式有關，已規定於「大眾捷運系統兩側禁建限建辦法」附件四

表1列管案件及捷運設施變位監測項目及管理值（桃園市政府，2018）

監測項目		監測儀器	監測管理值		
			警戒值	行動值	危險值
列管案件	地下水壓變化	水位計	± 1m	± 2m	-
	地層變形	地表沉陷點、伸縮桿、隆起桿	設計值(分析值)之80%	設計值(分析值)之90%	設計值(分析值)之100%
		壁中或土中傾度管	分析變位值之80%	分析變位值或容許界限值80%之小值	依環境容許狀況訂定容許界限值
	開挖支撐系統	鋼筋應變計	分析應力值80%或設計值80%之小值	分析應力值或設計值之小值	容許應力
		支撐應變計(支撐軸力)	分析軸力80%或設計值80%之小值	分析軸力或設計值之小值	容許應力125%所換算之容許軸力值
		支撐應變計(地錨拉力)	分析拉力80%或設計值80%之小值	分析拉力或設計值之小值	容許拉力
		支撐應變計(橫擋應力)	分析應力80%或設計值80%之小值	分析應力或設計值之小值	容許應力
捷運設施	結構裂縫	裂縫計	肉眼看得見之裂縫(山岳隧道除外)	0.25mm	0.3mm
			2mm(山岳隧道)	2.5mm	3mm
	結構沉陷	結構物沉陷點(量測總沉陷量)	規範標準值80%或設計值(分析值)80%之小值	規範標準值90%或設計值(分析值)100%之小值	規範標準值100%
	結構傾斜	傾斜儀或經緯儀(量測傾斜量)			
	隧道內空變位	收斂釘(量測徑向變形)			
	軌道沉陷	軌道沉陷點	軌道容許垂直變位或水平總位移量80%或設計值(分析值)80%之小值	軌道容許垂直變位或水平總位移量90%或設計值(分析值)100%之小值	軌道容許垂直變位或水平總位移量100%
			軌道容許垂直方向或水平方向扭曲之80%	軌道容許垂直方向或水平方向扭曲之90%	軌道容許垂直方向或水平方向扭曲之100%

中。其中，最關鍵的管理值即為軌道位移量，因軌道容許位移量與軌道構造型式及系統營運特性有關，「大眾捷運系統兩側禁建限建辦法」附件四亦未明訂其值，本文初步建議暫依臺北市政府捷運工程局訂定之容許值辦理（臺北市政府，2016）。此外，依捷運土建設計規範，捷運潛盾隧道結構設計考量之徑向變形多為隧道直徑之0.33%，換算絕對量約為2cm，然因潛盾隧道脫離盾殼承受現地土水壓後已發生部分變形，故徑向變形之監測管理值建議應保

留部分餘裕。本文建議之潛盾隧道徑向變形及軌道沉陷監測管理值如表2所示。

為確保設計成果能確保營運中潛盾隧道的安全，又不至於過度保守造成經費暴增，必須要能夠成功控制開發工程的變位量達到mm的精度，唯有仰賴可靠與高品質的地質調查與試驗，配合高階的三維數值分析，以決定最佳的擋土與開挖保護工法。

表2 潛盾隧道徑向變形及軌道沉陷監測管理值

監測項目		監測儀器	監測管理值		
			警戒值	行動值	危險值
捷運設施	隧道內空變位	收斂釘 (量測徑向變形)	5mm	10mm	20mm
	軌道沉陷	軌道沉陷點	5m內有2.4mm之垂直 或側向扭曲	5m內有2.7mm之垂直 或側向扭曲	5m內有3mm之垂直或 側向扭曲
	地下水位	水壓計或水位計	捷運抗浮安全係數 1.07對應之水位高程 減1m	捷運抗浮安全係數 1.07對應之水位高程	捷運抗浮安全係數 1.04對應之水位高程

以目前國內最大規模的開發計畫T3航廈工程為例，其位置座落在營運中的機場捷運正上方，基礎開挖分為三期施工，總開挖範圍長620公尺、寬240公尺，深在15公尺至20公尺之間，總挖方量超過170萬立方公尺。基礎開挖不僅範圍龐大，且影響機場捷運的明挖覆蓋隧道、車站與潛盾隧道段，幾何關係複雜，應力影響範圍重疊，必須採用3D數值分析工具模擬完整的分期開挖解壓與後續航廈結構加載行為。而進行三維有限元素分析首要面臨的問題就是模型的建立，BIM技術發展的可讓資料有效重覆運用（Interoperability），避免重複投入建模資源的浪費。利用已建置之T3航廈BIM模型的幾何資訊，透過跨平台的轉換，匯入有限元素分析軟體，不僅可以解決分析軟體建模困難的問題，節省人力資源，更可避免重複在不同平台上建模，可能產生版次落差與人為錯誤的機率，以確保設計與分析模型幾何資訊的一致性，如圖8所示。圖9為T3開挖造成之捷運變位分佈，透過3D有限元素法，可研析施工對營運中之機場捷運構造成之影響，藉以檢討工程配置、施工順序並設置必要之保護措施。

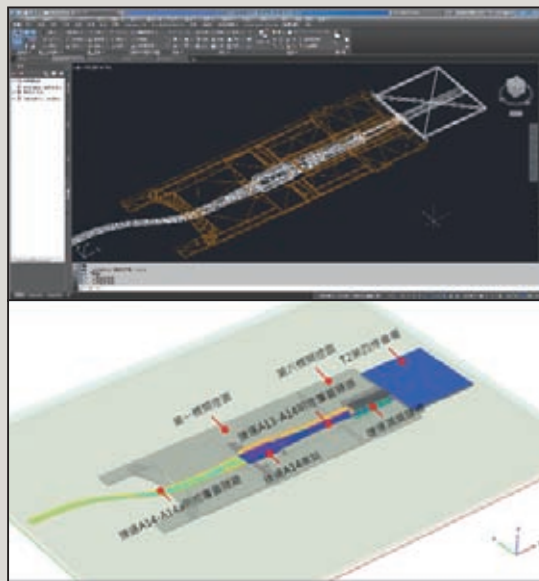


圖8 T3計畫設計模型轉換為三維FEM模型
進行捷運安全評估

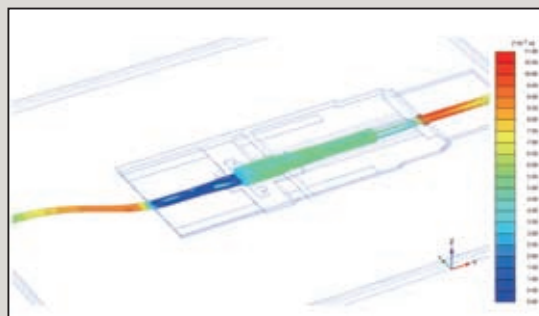


圖9 開挖後捷運構造之變位分佈

伍、結論與建議

潛盾隧道工程之施工與設計須考量(1)地質變異性、(2)地中障礙物、(3)環片內淨空需求、(4)隧道線形以及(5)沿線建物保護等主要項目，本研究透過參數化之數值模型達到下列成果：

1. 隧道環片與鋼筋配置最佳化：預鑄環片內之灌漿孔、螺栓孔及其開孔補強鋼筋等數量繁多，藉由3D環片鋼筋展示圖，使環片鋼筋與灌漿孔、螺栓孔及補強鋼筋等之配置最佳化。
2. 精確的數量計算：預鑄環片所採用之數量除環片本體材料外，其餘之止水條(吸水膨脹材)、螺栓、灌漿孔及其孔蓋等，均可利用隧道環片參數化模型計算。
3. 全面檢視潛盾隧道線形所面對之工程與非工程議題：透過地理資訊系統的資料整合與視覺化的展現，協助設計者快速掌握潛盾隧道全線遭遇之議題，例如用地條件、道路寬度限制、複合地層之區



間與特性、沿線污水人孔之殘餘擋土設施、地下管線與潛盾隧道之相對關係及其保護措施之規畫、沿線建築物類型與其保護策略擬定…等。

4. 潛盾隧道遭遇地中障礙物時，透過3D視覺模型，使設計者可以充分了解潛盾隧道之地中障礙物之相對關係，協助設計者採用線形調整、障礙物破除等因應措施之決策，加速設計工程之推展。

參考文獻

1. 桃園市政府，(2018)，「桃園市辦理大眾捷運系統禁建限建範圍內列管案件管理及審核基準」。
2. 臺北市政府，(2016)，「臺北市辦理臺北都會區大眾捷運系統禁建限建範圍內列管案件管理及審核基準」。

捷運建築輔助 設計自動化之 應用及展望

關鍵詞(Key Words)：建築資訊模型(Building information model)、
捷運車站(MRT station)、輔助設計(auxiliary design)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／資深協理／陳幼華 (Chen, Yu-Hwa) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／副理／陳世任 (Chen, Shih-jen) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／正工程師／黃碩儒 (Huang, Shuo-Ju) ❸

摘要

近年來，建築資訊模型(Building Information Modeling)協助建築設計及工程的工作模式，在世界各國公部門的強力推廣下，已漸成為主要的工作模式。建築資訊模型具有圖面一致性、跨專業整合、全生命周期運用等特質，有效的協助包含捷運車站、出入口及土開建築三部份的捷運建築設計及周邊專業的整合工作。而在導入建築資訊模型協助捷運車站建築設計後，為提高工作效率並提升整體設計品質及成果，擬藉由軟體及程式的協助，從設計初期的檢核標準計算、設計中期的建模及圖說整合，到設計末期的成果檢核及數量計算等工作，運用自動化輔助的工具，針對建築模型資訊化及三維化的特質，達成數值資訊整合、輔助建模、協助衝突檢查、資訊自動修正等目標，讓建築資訊模型可發揮最大的功能。



Application and Prospect of MRT Building Auxiliary Design Automation

Abstract

In recent years, Building Information Modeling has helped the architectural design and engineering work mode, and has become the main working mode under the strong promotion of the public sector in the world. The building information model has the characteristics of consistency of drawing, cross-professional integration, and full life cycle application. It effectively assists the MRT building design and the integration of surrounding professional departments including the MRT station, entrance and exit and the soil building. After the introduction of the building information model to assist the MRT station building design, in order to improve work efficiency and improve the overall design quality and results, it is proposed to use the software and the program to assist in the calculation of the initial design standards and the design of the medium-term modeling and Figure integration, to the end of the design of the results of the inspection and quantitative calculations, the use of automated tools, for the building model information and three-dimensional characteristics, to achieve numerical information integration, assisted modeling, assist conflict detection, automatic information correction, etc. The goal is to make the building information model the most functional.

3

專題報導

壹、緣起

近年來，建築資訊模型工作模式興起，藉由程式與電腦的協助，在虛擬環境中建構如同實體建築一般的虛擬建築模型已經漸漸成為建築工程的常態，捷運車站建築因為具有多項工程整合的需求，更是早於業界數年已經導入相關的設計工作。雖然建築資訊模型具有可前期進行整體設計整合、數量計算、圖面整合的功能，但是要讓建築資訊模型足以滿足以上需求，完整度及精細度缺一不可，但是相對得花費不少時間琢磨，這對於時間緊迫的工作而言，無法讓設計者達到期望的設計成果。

考量建築資訊模型設計流程導入設計工作後，設計者總會困在設計過程中重複與繁雜的工作，包括各空間的裝修、各元件間的資料綜整、後續資訊的整合與運用等與原有設計模式中新增的工作內容，造成莫大的困擾。所以擬藉由輔助設計自動化的相關功能，除協助減少因建築資訊模型導入後所新增的繁雜工作外，更要提出因其具有資訊及三維量體的特質，來建立自動建構的展示及評估元件。期望藉由輔助設計自動化的各種模組，充份運用建築資訊模型導入後的功能，在設計的前、中、後期提供全方位的協助，達成降低建模繁複工作、提高設計整體完整性的目標。

貳、工作內容

以捷運車站建築工程為例，全生命周期的工作包括可行性、規劃、基本設計、細部設計、施工及營運，本部主要工作仍集中在基本設計與細部設計，約佔70%的人時。

而綜整這兩個階段內主要的工作包括設計圖說、數量計算書、施工規範與設計報告書，而檢視車站建築的設計流程，概可分為設計前

期的資料收集與研析、確立設計目標與問題澄清，設計中期的設計發展及設計後期的設計成果產出四個階段。資料收集與研析階段主要是針對業主提供的文件進行法規與基地勘查等工作，設計目標確立與問題澄清階段則是依據委約圖說及旅運數量等資訊，計算逃生時間與距離、旅運設施數量、月台寬度等結果，作為設計的依據。而設計中期的設計發展，則是依據設計目標及空間需求、系統機電需求及結構型式，進行車站建築的整體設計，最後再依整體設計完成設計成果，包括設計圖、數量計算及報告書。

綜整捷運車站的設計流程及工作，從設計初期的數值資訊綜整與分析、設計中期配合設計者需求的快速建模、設計後期的設計圖說及元件間的資訊整合與數量計算，至圖說交付後各式的送審文件及報告書，除去設計中期時設計者依據設計目標及空間需求進行車站配置整合外，都可見重複的建模工作或是繁雜的資訊輸入，均會花費設計者過多的精力，宜採用電腦輔助設計自動化來降低設計者在這些階段的工作量。

參、輔助建築設計自動化模組

輔助建築設計自動化模組，顧名思義就是針對建築設計流程中可以藉由程式提供協助，以使降低設計工作所需花費的時間，或是減少與設計專業無關的重複性工作，以使設計者可以把時間與精力集中整合設計需求，提高設計品質。是故以下整合數點條件作為評估輔助建築設計自動化模組開發的依據。

一、大量重複性的工作

在建置建築資訊模型時，無特殊設計需求的重複工作仍需藉由設計者來完成，這類工作

會花費大量的時間建置及修正，進而影響設計工作時程，例如機房空間裝修元件的建立、樑裝修元件的建立等等。

二、資料輸入與修正

原有的建築資訊模型軟體並無法提供資料的對應與連結，例如房間與裝修元件、房間與門元件、門元件與裝修元件及各式專屬元件間，若要設計者在建立各元件時依據狀態填入相對資訊，不僅是個大量的工作，也容易有造成錯誤。而許多的資訊，包含門、窗、房間編號等，均會因設計修正而有所調整，若是逐一修正也將花費大量的時間。

三、貫穿全案數值資料的整合運用

捷運車站自設計開始的資訊整合與計算，包括月台寬度、驗票閘門數量、廁所數量、樓梯寬度等資訊，這類的資訊從設計初始的配置考量至設計終期的設計檢核，這類資訊的利用有時甚至會跨平台的整合，藉由輔助自動化模組可有效的整合與再運用相關的資料。

四、多專案相同標準

當自動化的工具太過專門針對某一個專案，因為無法重複提供設計協助，就失去了自動化的意義，所以當一個輔助自動化的機能可以多個專案均有共通的標準時，便可針對該需求擬定自動化工具。

肆、輔助設計自動化模組說明

依據輔助設計自動化模組切入的點大概可區分為四個部份，包括設計資訊的計算分析、協助建立建築資訊模型、設計檢核及設計資訊

的整合與套用。

一、設計資訊的計算分析

藉由數值資料綜整的輔助設計自動化模組，將專案的數值資料輸入後，依照設計規範所要求的標準，綜整計算包含月台寬度、電扶梯數量、自動收費機數量、公共廁所數量及緊急疏散數量等資訊，提供設計者作為設計時的參考依據，後續更可先依據計算的數量將專案所需元件置放於專案檔案中，以供設計者選取及確認目標的達成。



圖1 設計資訊輸入及整合頁面

二、協助建立建築資訊模型

(一)建築車站繪圖輔助

藉由輔助建置裝修元件建立的功能，設計者點選空間設定的牆、地板及踢腳等裝修屬性後，程式會協助建立房間裝修元件，並將房間名稱、房間編號等對應的資訊填入指定參數欄位，以利後續整合。

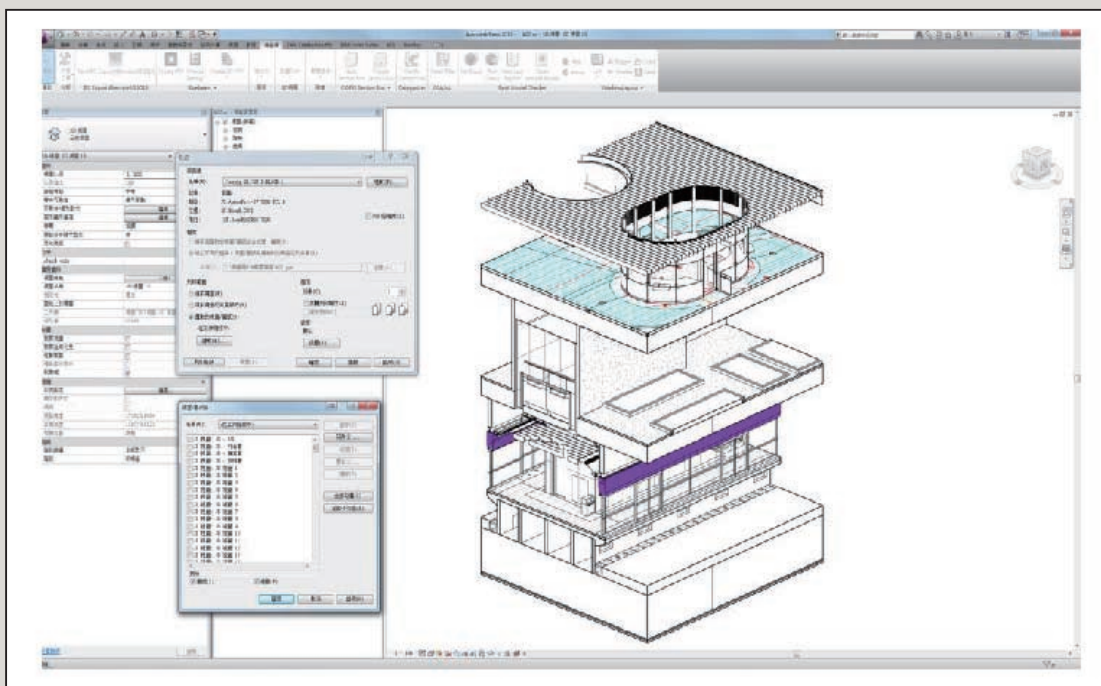


圖2 各項元件協助建構建築資訊模型

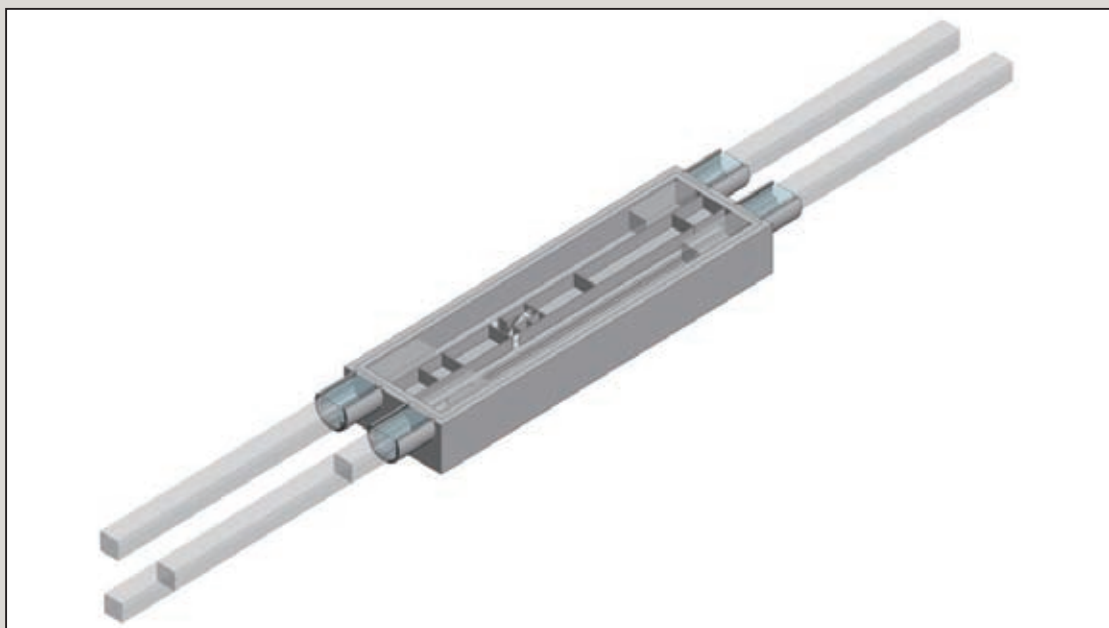


圖3 自動定位及軌道結構包絡線的檢核量體

(二)上下游界面自動連結

藉由輔助程式協助車站的定位，經由讀取車站資訊的資料表格，自動將車站位置、座向、高程依據軌道定線資料加以調整，以利全線整合。並可將車站一定範圍的軌道建置於模型上，作為後續車站設計

及軌道結構包絡線的衝突檢查(詳見圖3)。

(三)無障礙廁所自動設計

捷運車站建築內的無障礙廁所是依據「建築物無障礙設施設計規範」與「公共建築物衛生設備設計手冊」所設計，但考

量無障礙廁所內附屬設施眾多，若逐一放置恐有遺漏造成困擾，採用群組方式放置元件卻仍得依設計成果逐一調整位置。藉由自動化輔助配置無障礙廁所，在已規劃完成的車站平面中，自動尋找畫定區域後，配置無障礙廁所的相關元件，及法規規定之衝突檢核空間量體，以供後續設計檢核使用(詳見圖4)。

三、設計檢核

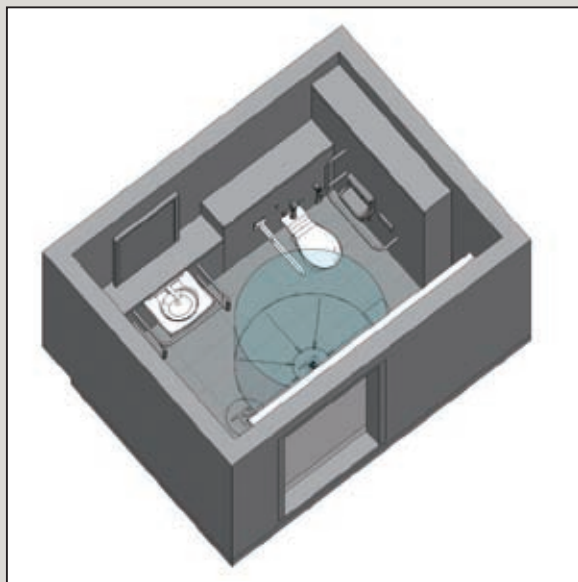


圖 4 無障礙廁所自動配置成果

在淨空衝突檢查的部份，提供兩種方式來檢核設計成果，一是依據設計規範需求放置衝突檢查量體，以電扶梯及驗票閘門為例，電扶梯在不同樓層時，緩衝空間分別為9500mm與7500mm，並要求有2500mm的淨高，而驗票閘門進出兩側則分別需有6000mm的淨空，而在建立電扶梯與驗票閘門元件時，自動產生檢查量體，後續僅需針對量體進行檢核。二是讓輔助檢核程式，藉由設計成果自動產生檢核量體，以運用該檢核量體來查核空間是否有衝突(詳見圖5)。

四、設計資訊的整合與套用

(一)圖表自動輸出

捷運建築的門、窗及百葉窗，需依據設計成果分別標示出所處的房間、所需的五金、對應的詳圖等資訊，有些資訊是在元件上可以註記，但是有更多的資訊是視門、窗及百葉窗依據設計需求及成果來判讀，在原有工作流程中需要工程師逐一檢視並填寫。藉由輔助自動化程式來判讀門、窗元件相對位置並得到相關資訊後，填入指定欄位(詳見圖6)。

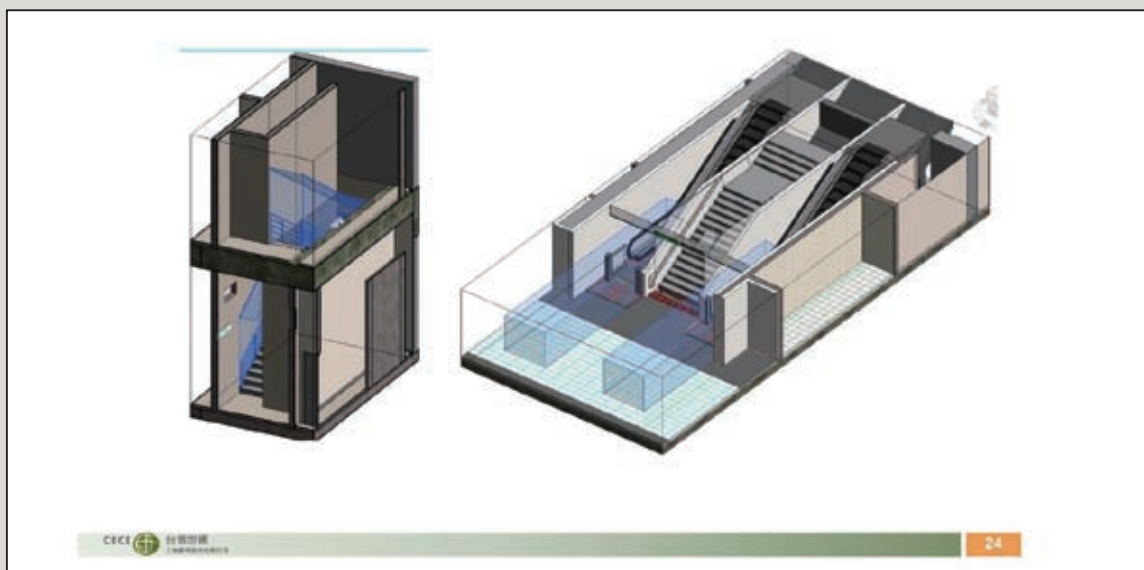


圖 5 自動產生淨高及淨空檢核量體

[illegible]

圖 6 門表的整合與輸出

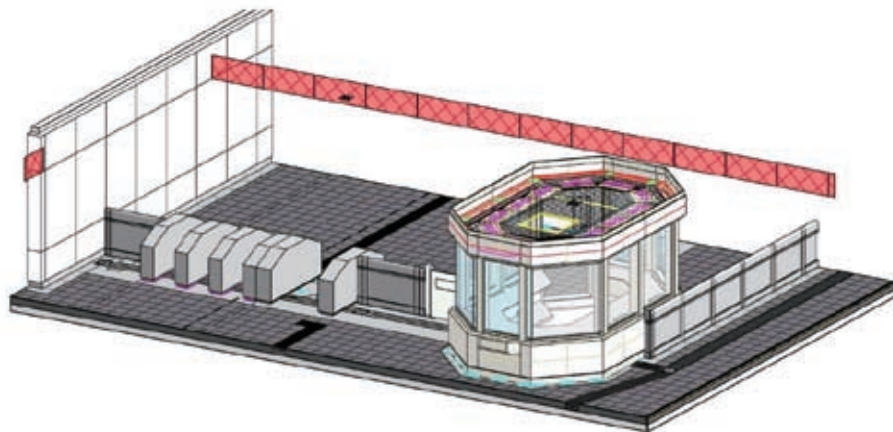


圖 7 專用捷運元件的制作及數量整合

(二)數量自動化計算

在原有的工作流程中，在設計後期會切出約莫一個星期的時間作數量計算，而雖然建築資訊模型提供了數量計算的功能，但如何有效的綜整出設計數量，第一步是依據捷運車站設計需求，建立各式專屬元件(詳見圖7)，並綜整明細表以達成設計數量計算的目標。第二步則是藉由輔助程式的編寫，以期達到將設計數量的資訊

一併整合至數量計算書。

伍、未來展望

建築設計完成後的圖面整合與數量計算的完整性，是目前輔助建築設計的主要工作，但是若檢核現在的工作內容，佔30%的報告書內容，卻仍得花費大量的人時在整理相關報表，而檢核

的內容有時又會回頭影響設計，現在檢核報告書內容及再修正設計曠日廢時，所以未來在輔助設計自動化的方向大概分為設計檢核的自動化及報告書協作兩個方向，試分述如下：

一、設計檢核自動化

以綠建築為例，依現有的時程規劃，候選綠建築報告書的送審，約莫與提送建造執照同時，往往也是此時才真正細算各項綠建築的設計成果，倘若計算結果無法達成綠建築標準時，此時再調整設計影響甚深。若在設計中期當各空間與外牆的開窗及遮陽確定時，可以藉由輔助設計工具預作計算，得出可供設計參考的數值，便可提送於設計中期進行設計調整，將更有效率的達成設計目標。

二、報告書協作

報告書的製作很容易被設計工作給忽略，但依照過去經驗往往會花費不少於百分之三十的細部設計人時，外審報告書包括都市設計審

議報告、防災計畫書、行動不便使用設施計畫書、特種建築執照及候選綠建築報告書。而未來輔助設計自動化工具的發展可先從報告書內容的圖面開始，藉由建築資訊模型中切出說明圖說並依相關需求上色，減少圖面整合的工作量，後續再從報告書的內容及部份對應的計算書著手，將報告書內文中藉由讀取設計成果資訊自動產生，除可減少數值來回填寫所可能發生的錯誤外，更可提高製作報告書的效率。

總結來說，時間的調配是設計自動化最重要的工作，藉由在重複工作、資訊填寫及修正、依據設計成果產生細部建模及後續圖說、數量計算和報告書中，降低設計者的工作量，讓設計者得以將注意力集中至真正影響設計至鉅的設計整合工作上，提高捷運車站設計核心的品質，創造更高品質的捷運車站設計。

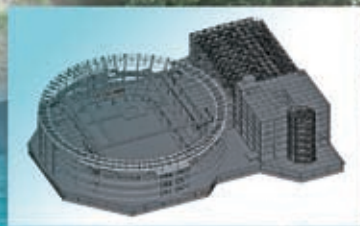
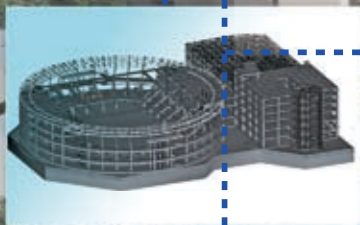
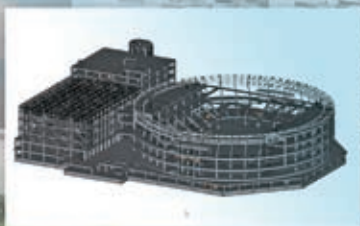
建築設計4.0 自動化之應用

關鍵詞(Key Words)：建築設計4.0(Architectural design 4.0)、自動化 (Automation)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／協理／林信忠 (LIN,HSIN-CHUNG) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／技術經理／辛銀松 (HSIN,YIN-SUNG) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／副理／林明宗 (LIN,MING-TSUNG) ❸



摘要

本文主要介紹本公司一般建築在設計自動化應用之發展及進化，因BIM之應用成效，改善過去以2D圖紙化作為溝通思考之舊思維模式。在建築的領域裡建築設計為各專業之火車頭，攸關工程成敗之關鍵，於進入「設計4.0」的時代，設計已不再是一成不變的作業模式，又現今資訊網際網路盛行的環境下，透過大數據資料庫、設計自動化程式的研發應用，利用視覺化3D模型、4D動畫及VR技術的應用來進行專案設計已是必然之趨勢，加以元件參數化之靈活運用，讓工程之設計進度能像堆積木一樣快速，節省了很多人力及成本。以下將說明本公司目前建築設計4.0自動化之應用發展情形及成效。



The application of Architectural design 4.0 automation

Abstract

This paper mainly introduces the development and the evolution of CECI design automation in general architecture. Due to the application of BIM, the thinking and the communication in design practice are not confined in 2D anymore. Within the field of construction, architecture design takes on the role of bellwether, determining success or failure of all engineering activities. In the era of "Design 4.0", design is no longer a constant operation. The applications of visual 3D models, 4D animation, and VR technology have been common in design projects, for the development of information technology. Furthermore, by using Big Data and design automation programs, the flexibility of parametric design improves the work efficiency, saving a lot of manpower and costs. At last, the following will explain the development and the achievements of CECI's architectural design automation.

3

專題報導

壹、前言

早在二十幾年前，機械與製造相關行業便開始應用電腦3D技術於產品設計、分析與製造。營建產業則因產業特性之不同，在3D資訊模型及其相關應用軟體工具的發展與應用上，雖持續地有些進展，但速度相對較為遲緩。近年來，由於擬真模擬技術與相關軟體工具的蓬勃研發，使得3D建築資訊模型為核心的BIM（Building Information Modeling）技術與工具又更加成熟；加上現在許多建築物的造型與空間安排之複雜度已達到了不使用3D模擬技術則難以設計、施工的地步，另為了達到節能減碳與永續發展上的要求，也必須使用3D模型來進行相關分析設計才能達成。因此近年來，營建產業也漸邁入工業4.0的科技自動化時代，「設計4.0」已蔚然成為一股不可忽視的趨勢，逐漸被納入公共工程的要求中。

本公司在2010年即成立BIM中心，負責全公司BIM技術推動、標準訂定及各種BIM應用軟體整合與API工具開發，除整合公司內部建築、結構及機電(MEP)之專業技術介面外，亦提供BIM客戶專業技術服務。建築部配合公司推動設計自動化之目標，早已導入BIM，並且有諸多利用BIM進行設計、施工及營運之成功案例(圖1)。今年度更以「建築設計4.0」為藍圖全面導入BIM建築設計自動化，並建立完善之SOP規劃設計作業流程(圖2及圖3)，使同仁設計工作更加簡化且更有效率。因BIM之應用，設計階段已可為建築、結構、機電等各專業人員提供有效率的設計溝通及衝突檢查平台，有效減少設計錯誤及衝突發生，以提升設計品質及正確性，並能自動計算核對施工材料數量，確保業主預算能夠獲得精確控制，順利完成發包。

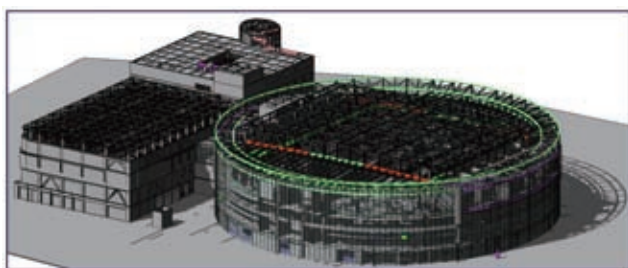


圖1 和平國小籃球場運動場館BIM模型及完工後照片

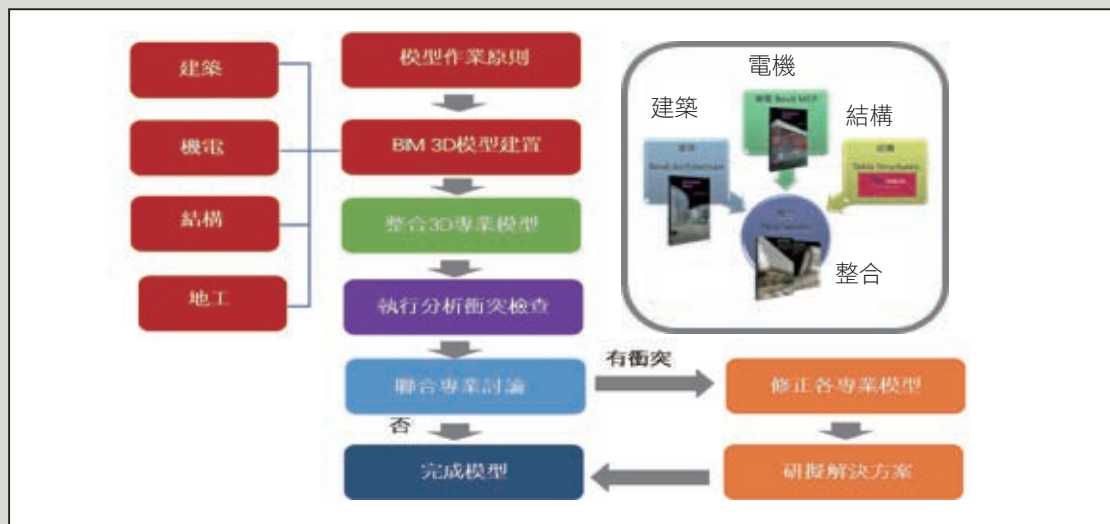


圖2 BIM設計作業流程

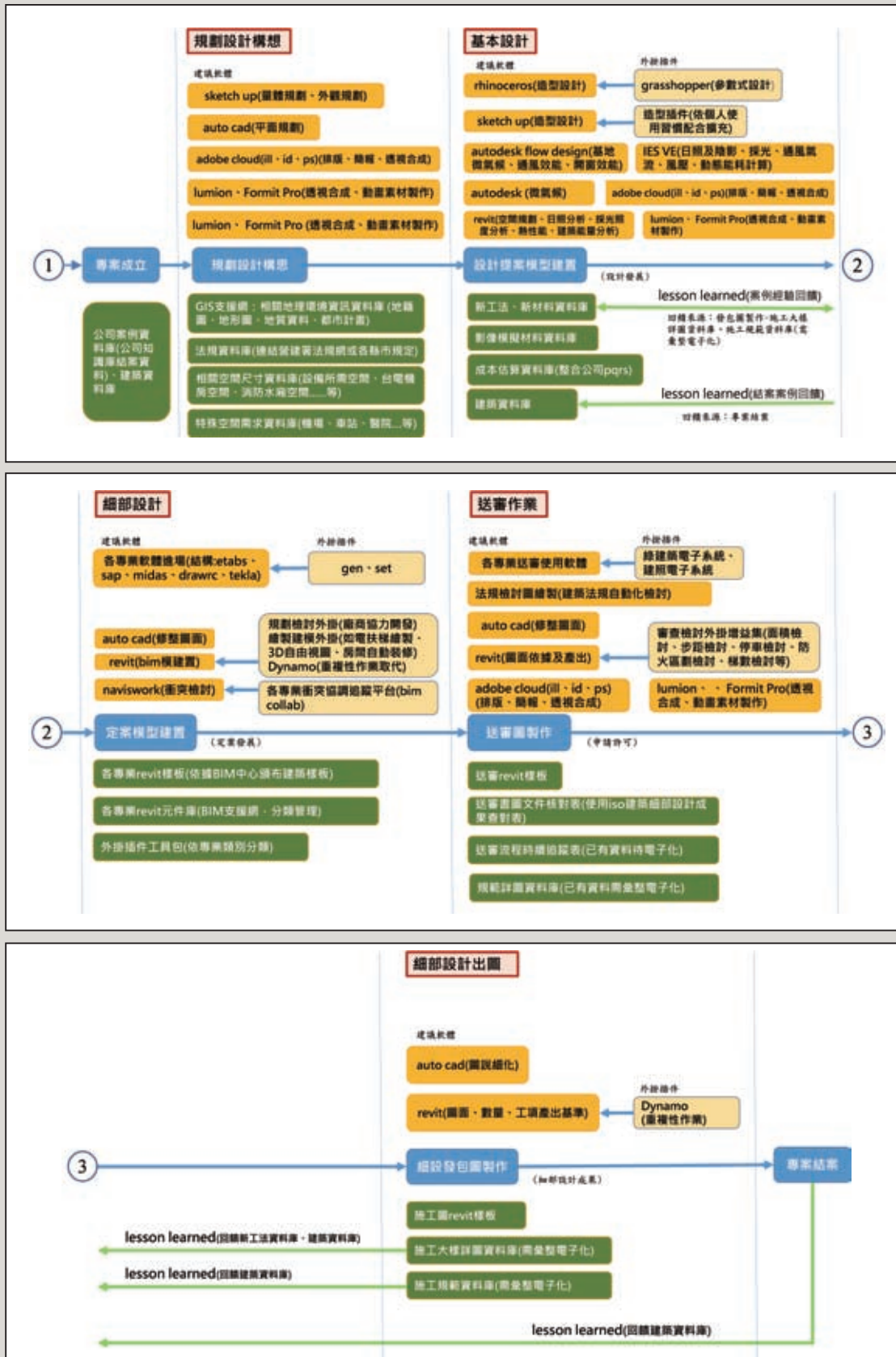


圖3 BIM建築規劃設計自動化流程圖及軟體應用需求

貳、建築設計自動化

一、規劃設計自動化作業流程

一般建築規劃設計作業階段通常從專案計畫成立到完成細部設計工作成果交付，包括：規劃設計構想(可行性研究)、基本設計、細部設計、送審作業(含建照申請)及細部設計成果出圖(工程發包圖)等，後續之施工、監造、營運管理等將為另一課題，不在本文論述。規劃設計各階段作業BIM所需應用之資料庫、軟體或分析程式，以及成果回饋關係詳如圖3。

(一) 先期作業階段(規劃設計構想)

BIM主要應用目標：(1)BIM工作執行計畫；(2)蒐集BIM設計輸入資料；(3)基地環境分析及(4)規劃方案評估分析等。

從本公司案例知識庫及建築資料庫中，擷取或查詢與計畫案相關之設計參數資料，以建構專案計畫之基本資料，做為BIM設計輸入資料來源。本階段工作一般為規劃方案之可行性評估，常需大數據資料作為決定方案之策略，建築設計4.0大數據資料庫內容如表1，存放於本公司IE之建築資料庫。針對各專業項目，例如GIS支援網可查詢地理環境及都市計畫資料，BIM支援網之BIM GO可下載各類之Revit參數化元件等，如圖4、圖5。

表1 建築設計4.0大數據資料庫內容

項次	專業項目	資料庫內容
一	BIM資料庫	1.外掛程式、2.材料資料庫、3.族群元件、4.模型樣板 5.BIM設計案例資料庫
二	CAD資料庫	1.出圖形式、2.字型
三	法規解釋函令資料庫	1.建築技術規則解釋函令彙編 2.建築法解釋函令彙編
四	特殊空間尺寸需求資料庫	1.機場航站、2.醫院建築、3.車站建築
五	施工規範資料庫	1.設計案例施工規範、2.建築部施工規範、 3.工程會施工規範
六	施工詳圖資料庫	1.設計案例施工詳圖、2.建築詳圖集成
七	新工法、材料資料庫	1.依建築技術規則總則編第四條第四項規定之材料 2.中空水泥板、鈦鋅版…等
八	連結公司內網站資料庫	1.GIS支援網(地形圖、地質圖、影像圖及電子地圖等) 2.BIM支援網(BIM GO平台，樣板、元件及美編素材等) 3.估價中心(PQRS系統、工程概算專家、商品行情網)
九	連結公司外網站資料庫	1.全國法規資料庫查詢 2.各縣市使用分區查詢 3.地籍圖系統查詢 4.各縣市公共設施管線資料查詢

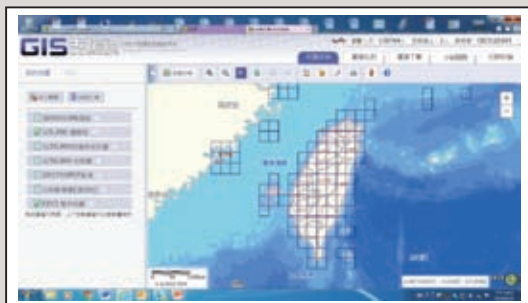


圖4 本公司GIS支援網

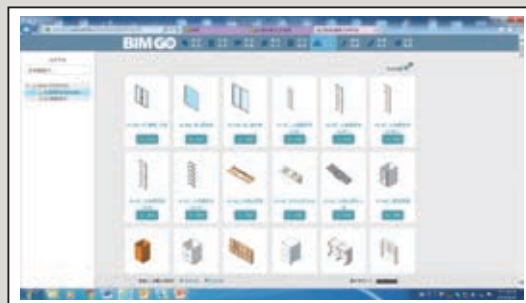


圖5 本公司BIM支援網

(二) 基本設計階段

BIM主要應用目標：(1)建築量體及方案規劃；(2)地形環境整合；(3)綠能節能分析；(4)耗能分析及(5)輔助法規檢討等。模型發展程度LOD200。

在本階段作業全面以3D BIM為核心發揮概念設計構想，同時建立周邊3D建物及

環境。自基地分析即開始應用Autodesk、Revit或IES VE等BIM相關軟體分析基地相關自然環境及綠能評估資料，運用三維環境進行建築量體與周邊環境之物理環境分析，包含日照角度、陰影遮蔽、眩光影響、外殼熱輻射、風環境、自然採光及空調負荷之影響等，尋求設計最佳使用及最低耗能方案，如圖6。

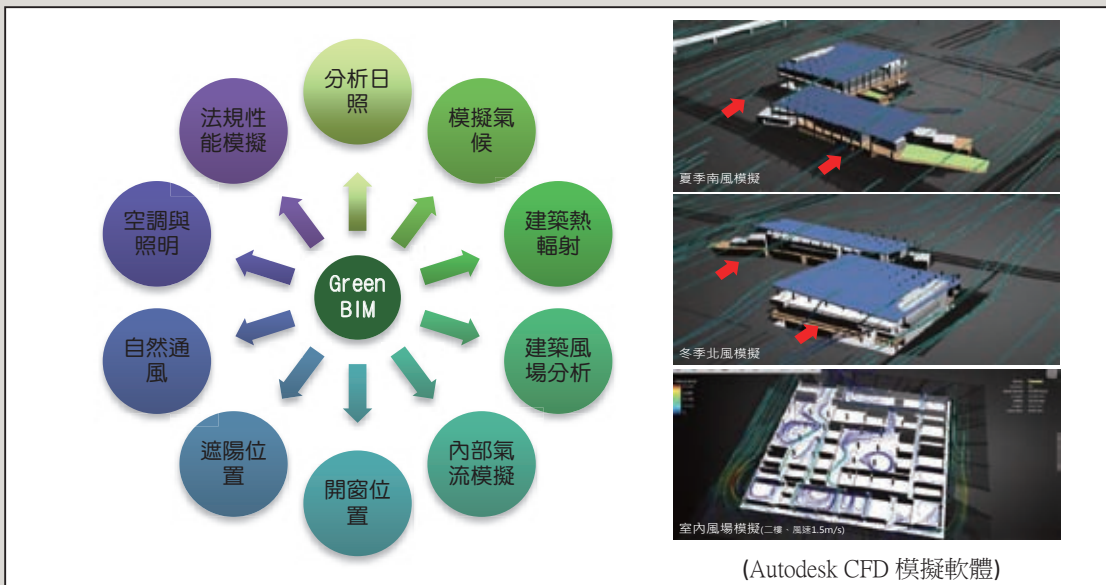


圖6 應用BIM進行基地自然環境及綠能分析

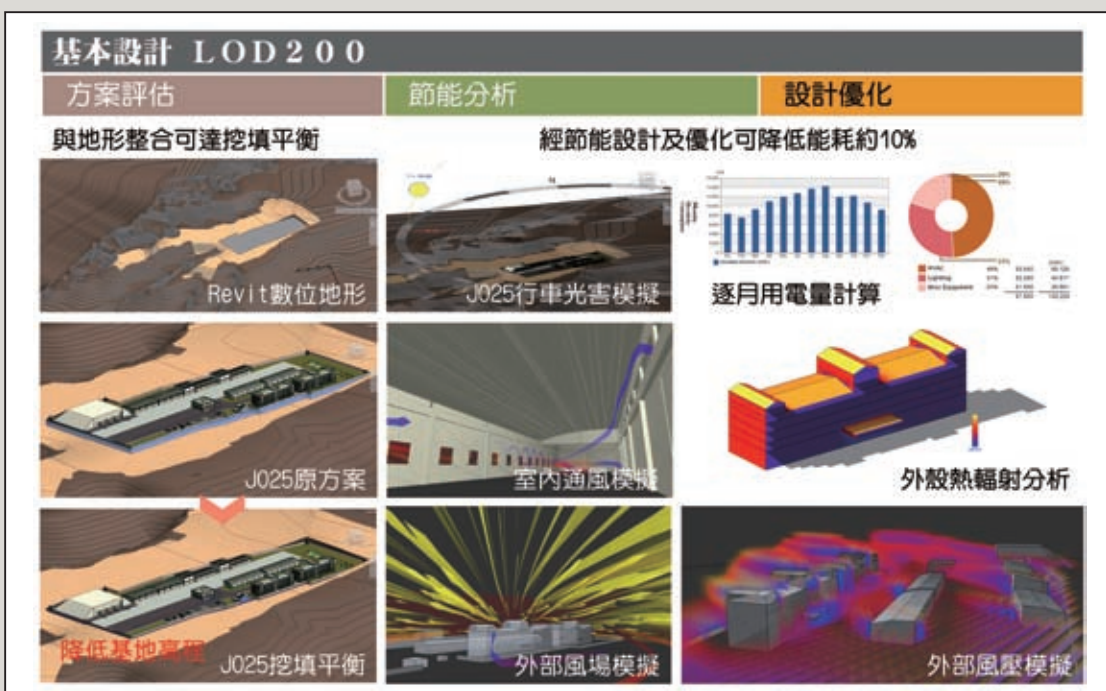


圖7 基本設計階段應用BIM進行方案評估節能分析及設計優化

經基地自然環境分析後，同時考慮基地地質、高程及地形之變化，例如在土方平衡原則下，研擬最佳配置方案。建築物於初步量體分析及法規檢討後，隨即採BIM技術進行空間機能規劃，可即時快速提供空間量化資訊，並且藉由可視化的3D模型與業主進行造型與空間架構的確認。於空間佈置架構、面積確認後，結構及機電工程師立即進行初步的系統規劃，並應用綠建築性能模擬軟體分析方案之綠建築效益，有效提升及優化設計方案。如圖7。

2. BIM設計自動化應用

本階段全面使用BIM軟體進行細部設計。建築資訊模型建置，包含建築、結構、各機電系統(MEP)等相關設備，從設計、協調、整合，甚至對業主溝通皆採用BIM 3D模型，確保設計成果符合業主需求。BIM模型建置內容及運用如下：

(1) 依結構、建築、水電、環控、機電、管線、空調及消防等原則分類，再依其



圖8 細部設計階段應用BIM進行設計整合及自動輸出設計成

(三)、細部設計階段

1. BIM主要應用目標：(1)建築、結構、機電項目設計作業；(2)跨專業協同設計；(3)設計介面整合；(4)細部設計成果2D圖紙輸出；(5)3D電腦模擬彩現圖(透視圖)及(6)導出工項數量估算等。模型發展程度LOD300。(圖8)

組成構件再細分類別與各種構件編碼建置BIM模型。(圖9)

(2) 進行協同作業，各專業設計間之干涉、碰撞檢查。(圖10、圖11)

(3) 利用3D建築資訊模型產出平面、剖面、立面等2D工程圖說，精確呈現設計資訊。(圖12、表2)

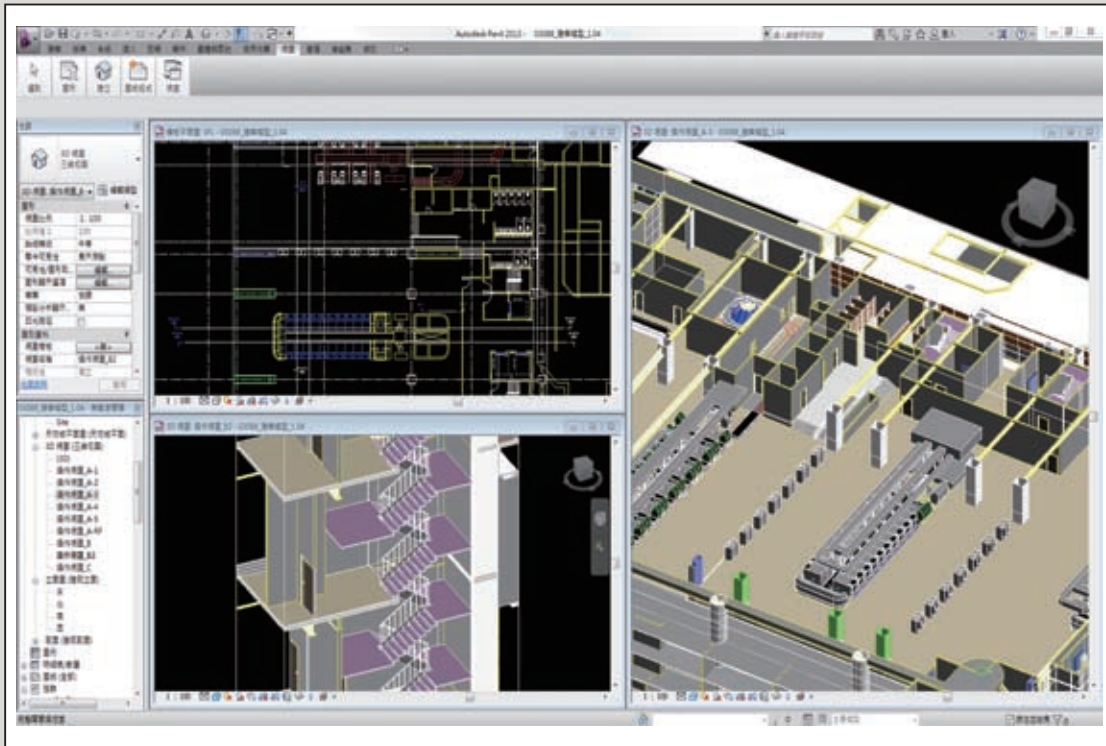


圖9 BIM各專業模型建置



圖10 BIM各專業協同作業機制

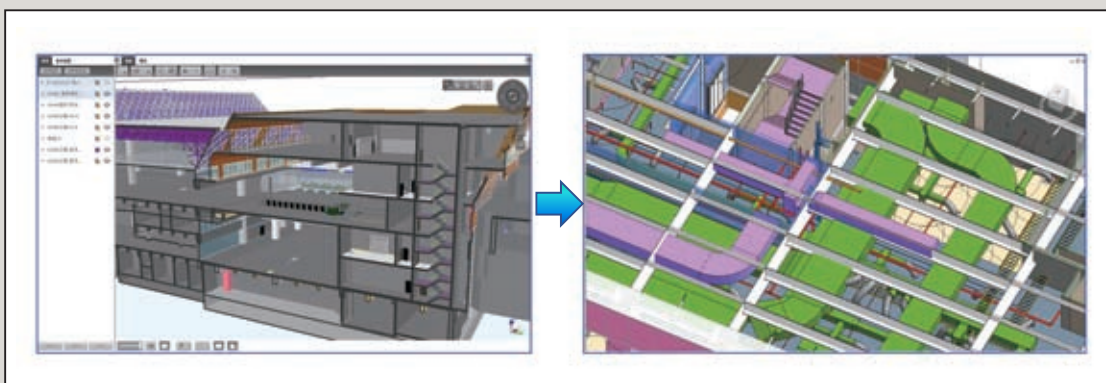


圖11 BIM 介面衝突檢查及處置

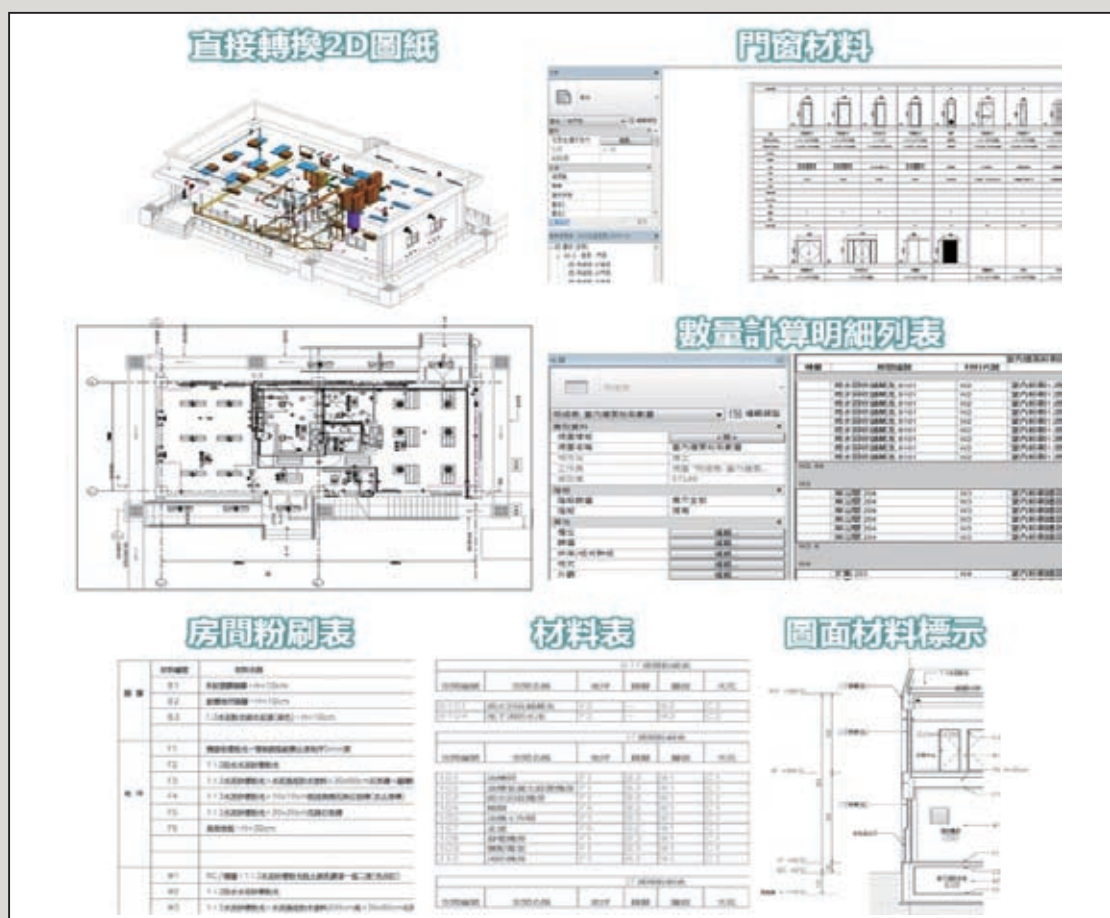


圖12 Revit及輔助程式自動產出設計成果

表2 細設圖說繪製自動化功能說明

設計圖分類	內 容	自動化製圖功能說明
A0	圖目錄	可依不同專案需求設定格式，自動產出。
A1	配置圖	連結各棟建築產出2D圖面，變更時同步調整。
A2	各層平面圖	3D模型自動轉換2D圖面，空間資訊同時完成。
A3	各向立面圖	3D模型自動轉換2D圖面，立面材料自動標註。
A4	總剖面圖	3D模型自動轉換2D圖面，索引符號自動標註。
	牆剖面圖	3D模型自動轉換2D圖面，裝修符號自動標註。
	樓梯平面及剖面圖	3D模型自動轉換2D圖面，變更時同步調整。
	室內裝修表	連結空間裝修設定材料，自動產出。
A5	廁所平面及剖面圖	自由切換不同比例圖面，變更時同步調整。
A6	門窗表	依設計數量及五金類別自動調整並產出圖面。
A7	詳圖	若有不同檔案型式可連結併入圖目錄。

(4) 精確產製項目及數量，作為估價預算編制基礎資料。(圖13)

(5) 依設計構想上彩，並可進行漫遊呈現建築場景，並產製室內外透視圖檔，提供業主及施工廠商施工階段參考。(圖14)

(6) 將3D模型配合擬訂之工程進度，建立4D工程進度模擬，輔助施工可行性分析以供施工廠商擬定施工計畫參考。(圖15)

參、法規自動化檢核

建築規劃設計成果必須符合相關法律規定，一般建築法令規範主要遵循為都市計畫法

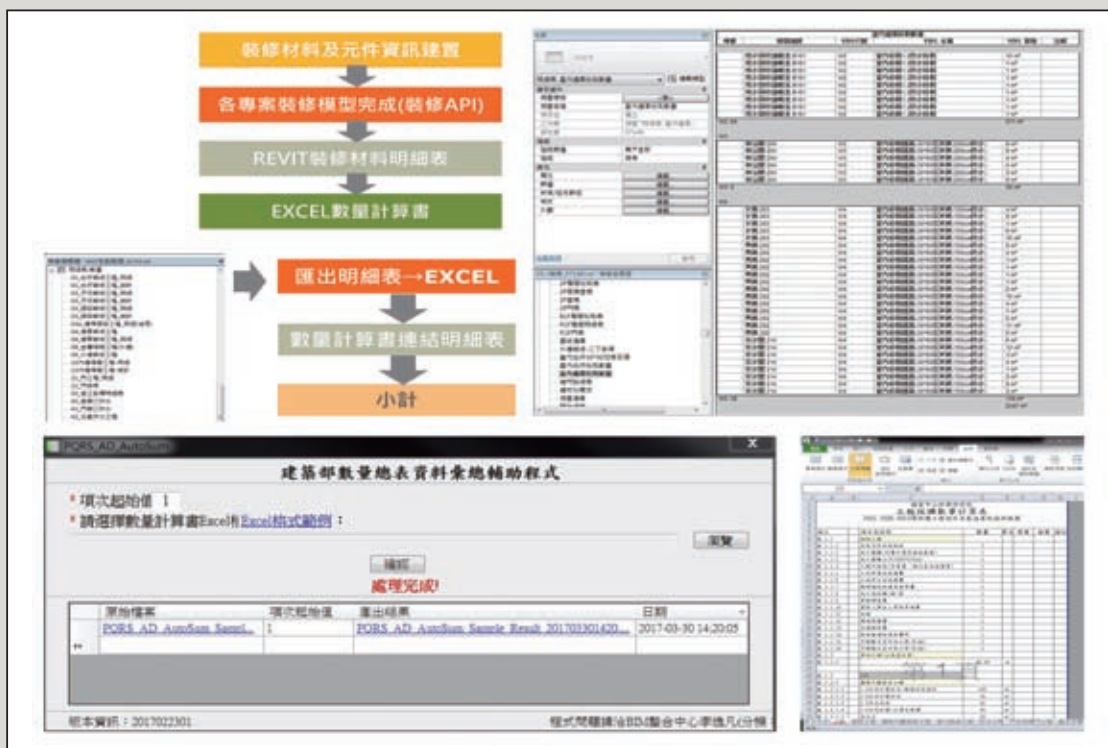


圖13 BIM數量計算書輸出流程及預算總表



圖14 由Revit設計成果模型發展為施工模型

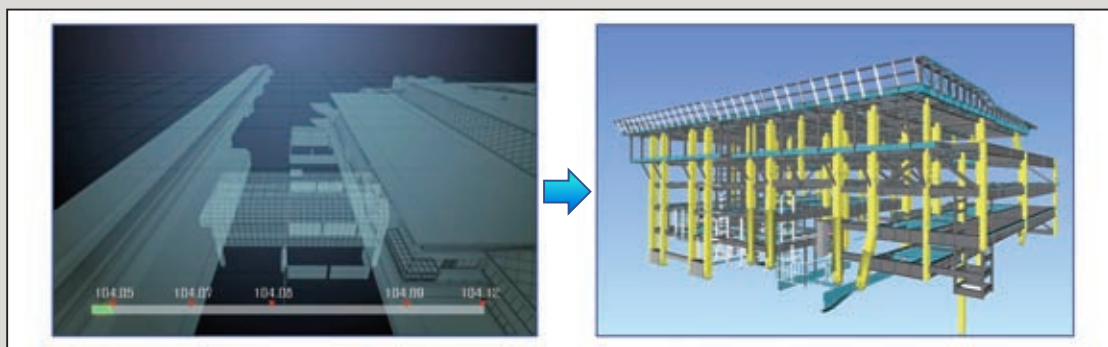


圖15 以BIM 4D排程模擬工序、鋼構吊裝工序模擬

(含相關土地使用規定)、建築法及建築技術規則等。設計自動化的目的除增加效能外，更重要的是可檢核錯誤，並進一步除錯以增加設計準確率，因此，本公司特別研發相關法規自動化檢核API，期能在基本設計及建照審查前透過輔助程式自動檢核，避免不必要之錯誤，縮短建照審查時間。

研發軟體架構主要項目著重於前端法規檢討，結合建築大數據資料庫系統及藉由Excel運算能力建置外掛，運作方式為資料庫內整理好的法規資料撈出後寫入法規檢討Excel表單，再由開發外掛將Revit內實際設計帶入Excel內運算後，將檢核成果展示在開發外掛內並依此修正Revit模型。

法規自動檢核API目前已完成五個選項，包括：法規檢討、詳圖更新、計算公式、步行距離及自動編號等，Revit程式介面如圖16。

法規自動化檢核功能要項：(1)依不同個案所需檢討法規代入之API欄位或Excel表單；(2)樣板檔相關法條檢核項目參數設定；(3)即時設計成果檢核欄位及警示資訊。相關法規計算驗證警示、面積計算列式及物件自動編號等，操作說明及成果如下。

一、法規檢討：按下法規檢討輸入預設的EXECL樣板即可得出相關法規數值。(圖17)。

二、面積計算：透過預設的房間資料，可帶出計算式。

三、步行距離：透過畫出來的路徑，列出計算式。(圖18)

四、自動編號：停車格或房間透過程式辨別，自動帶出編號。(圖19)



圖16 Revit程式介面

法規檢討					
總表		樓層明細表		基地使用面 12000 m ²	
法規規定內容	實際設計值	計算	判別式	法定數量	驗證
法定建蔽率	$(3321.30 / 12000) * 100\%$	27.68%	<	30%	OK
法定容積率	$(1895.09 / 12000) * 100\%$	15.79%	<	100%	OK
法定空地	$(12000 - 3321.30) / 12000 * 100\%$	72.32%	>	60%	OK
法定車位	2	2	>	38	NO OK

圖17 法規檢討結果總表

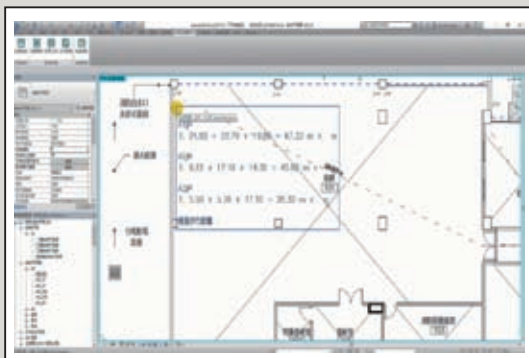


圖18 步行距離檢核

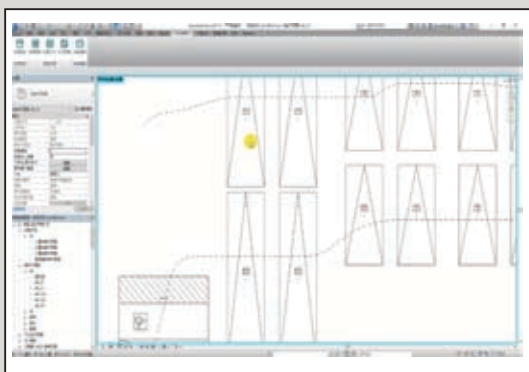


圖19 停車格自動產出編號

肆、設計自動化之效益

建築設計4.0自動化之執行，配合建置工程設計資料庫、參數化之元件庫及Revit標準樣板，依各階段設計作業流程選用適當軟體及API外掛插件。由BIM自動產出綠能分析資料、細部設計圖說、數量計算書等，並透過本公司Qtop估價作業系統及PCCES軟體產出工程預算書，從規範資料庫編訂工程施工規範等發包文件。此外利用法規自動化檢核API，可確保設計成果之正確性，大為減少人力成本及人為錯誤。

有關設計自動化之效益說明如下：

一、提升工作效率、設計整合及溝通

- (一) 設計介面整合：不同專業藉由同一平台同時作業，節省等待時間且資料傳遞可一致性，並可檢視結構、建築及機電等之設計衝突，有效進行介面整合。

- (二) 溝通協調：可視性衝突檢查，提前排除施工障礙以減少後續設計釋疑。3D環境空間模擬，業主易於掌握需求。

- (三) 工作效率：圖說標準一致，調整及修正更有效率。圖面及數量計算自動產出，快速精準，透過API輔助程式，更能將工程項目及數量轉換成工程預算書之表格型式，減省PCCES之作業成本及時間。

二、自動檢核深化設計

- (一) 法規自動檢核：透過法規自動化檢核API，可減少人力成本及人為錯誤。

- (二) 資訊連結：以3D視覺空間整合及優化設計內涵，並提供建築物資訊連結、資料運算分析，有利於全生命週期BIM之運用。

伍、結論

建築設計4.0目標即為專業整合與自動化，更重要的是可偵測並主動排除障礙。本公司有完善之規劃設計作業流程及分析軟體工具箱，在設計階段即進行跨領域之協同作業、介面衝突檢討及整合，能達到有效率之協調與溝通，並將專案結案資料回饋充實大數據案例資料庫，加以透過法規自動檢核API運用，可減少設計錯誤，大幅提升設計品質、工作效率及精簡成本。為達到環境永續目標，本公司設計初始即運用IES-VE綠能等分析軟體，進行建案基地周遭環境及建築物效能分析，積極朝向節能減碳之鑽石級綠建築目標邁進。此外，搭配VR虛擬實境之技術應用，增加參與者視覺之體驗，讓設計4.0自動化之推動不再僅是口號。

由自動化檢料算 量無縫接軌智慧 化估價應用

關鍵詞(Key Words)：設計4.0 (Design 4.0)、3D設計(3D Design)、

設計自動化(Design Automation)、工程估價(Construction Cost Estimation)、
數量計算 (Quantity Takeoff)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／正工程師／李逸凡 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／副理／賴鈺蒨 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／經理／賴建中 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／協理／周昌典 ❹

摘要

台灣世曦自2017年起推動設計4.0，利用資通訊科技加速設計作業技術轉型昇級，用「3D化設計」來優化設計、加強溝通，用「設計自動化」來提升設計速度，以提昇公司設計人力活化運用及確保高品質服務。而由各專業部門所提出的設計自動化工作規劃，均將算量與估價的自動化與整合列為重要的發展項目，並希望能將BIM模型中自動提取的工項數量和規格屬性，可直接提供工程預算估價使用。但是，目前台灣工程業界慣用的BIM商用軟體，無一可以將數量計算資料直接轉換作為PCCES公共工程預算編製估價軟體使用，故台灣工程業界BIM的實務應用多僅止於數量計算，間接阻礙了BIM的效用發揮及進一步深化應用的潛在機會。

為了有效支援工程設計4.0推動，台灣世曦開發「算量估價資料串接整合資訊平台」PQRS (Price & Quantity Relay & Review System)，以下簡稱 PQRS資訊平台，可支援自動算量檢料、自動編定符合工程會編碼規則表的工項代碼，並預帶工料、安裝另料IR雜項比例及價格資訊，一步到位轉到工程會PCCES預算編製軟體，接續產出預算書及標單。透過算量與估價資料的自動化串接整合，減少重複的作業人力和時間，提升預算書編製效率與正確率。



Seamless integration of automated quantitative survey and intelligent cost estimate

Abstract

Since 2017, CECI proposed "Design 4.0" concept to accelerate the transformation and upgrading of engineering design operations, which includes "3D Design" to optimize design and collaborative communication, and "Design Automation" to enhance design productivity and ensure high quality service. The development plans of various professional departments all emphasize the importance of automation of quantity survey and cost estimation operations, and hope automatically extracting the quantity of pay items and specification attributes from the BIM model to provide cost estimate software for further use. However, at present, popular BIM softwares used by the Taiwan engineering industry are all unable to convert directly the quantity calculation into the data that can be used by PCCES (Public Construction Cost Estimate System). Therefore, the practical application of BIM in Taiwan's engineering industry only ends with quantity takeoff, which indirectly hinders the utility of BIM and potential opportunities for further application.

In order to effectively support the promotion of Engineering Design 4.0, CECI has developed an information platform PQRS (Price & Quantity Relay & Review System), which can assist the quantity summation, set standard code of pay item, and pre-load the inquiry price automatically. With PQRS, we achieve one-step transfer of quantitative data to cost estimate software and improve the efficiency and accuracy of construction budget compilation.

3

專題報導

壹、前言

相對於提供3D設計輔助軟體之多元性及便利性，在編製預算書階段，目前尚無較為成熟且自動將設計數量銜接至經費電腦估價系統(以下簡稱PCCES)之應用軟體可供使用。因此，時常遭遇包括3D設計工具所產生的數量計算書不含工項代碼且工項名稱與工程會所規定之工項名稱不同、數量計算書不含下層單價分析及間接費用等，須再由人工進行後製處理之問題。

台灣世曦工程顧問股份有限公司(以下簡稱台灣世曦)冀從規劃、設計到發包施工，都能藉由自動化工具輔助以提升生產力及服務品質。因應設計成果銜接預算書製作階段的自動化作業需求，自行開發俱備算量與估價整合功能的PQRS資訊平台，提供更便捷之資料處理服務，減少耗費於工項編碼與工項名稱編輯的人力與時間，而使工程師們能更專注於最佳化方案的設計及詢訪價作業，提昇工程數量計算及預算估價的作業效率及品質。

貳、BIM算量估價整合應用之困難

理論上，BIM 3D設計直接以物件概念進行精確尺寸模型配置，一旦有了參數化模型，即可依據設計單元設定進行物件數量計算及自動提取；惟實務上並不會把預算書的所有成本工項、工料及價格資訊都建立在模型之中，BIM模型僅能提供成本估算所需一小部分資訊，其餘仍須結合傳統的編輯輸入於估價軟體進行預算書編製。

國內公共工程主要使用工程會PCCES軟體作為預算書編製的工具軟體，成本工項的細目編碼是PCCES軟體運算的基礎，工程會長期宣導及要求PCCES製作工程預算書，成本工項細目碼正確率及綱要編碼正確率至少須達到50%及80%，

這一點在BIM的作業模式是很難達成實現的，因為元件參數化是BIM的主要特色之一，同一個元件可依實際設計需要，動態改變其規格尺寸的參數，同一元件因不同尺寸規格可對應多個成本細目編碼，故無法預先鎖定唯一的正確細目編碼及名稱，並預置於元件中，BIM模型中自動產出的數量資料，自然無法預帶有完整正確的工項細目編碼。

設計顧問公司的既有估價資料庫均已長期使用，其工項名稱必須與業主契約、規範工項、使用習慣或既有資料庫一致，如遇有工程會頒定之編碼規則表尚未涵蓋的工項，數量計算書工項的編碼及工項名稱也須與估價工程師慣用的資料庫工項對應一致，始能達成算量與估價資料自動串接快速整合之目的。

參、BIM設計數量與估價整合模式

國內公共工程多使用PCCES估算軟體編製工程預算書，而目前業界慣用的BIM商用套裝軟體多僅支援數量統計功能，無一可提供估價軟體必須具備的完整功能，勢需透過建立資料自動化整合串接機制，方能讓BIM算量與估價作業過程能有最佳工作效能，經評估國內外BIM相關軟體，歸納有四個主要的整合模式選項為(如圖1所示)：

整合模式一：於BIM軟體開發具備估價功能的API外掛程式。

整合模式二：於估價軟體開發具備BIM功能的API外掛程式。

整合模式三：於估價軟體開發BIM模型檔案資料讀取的API外掛程式。

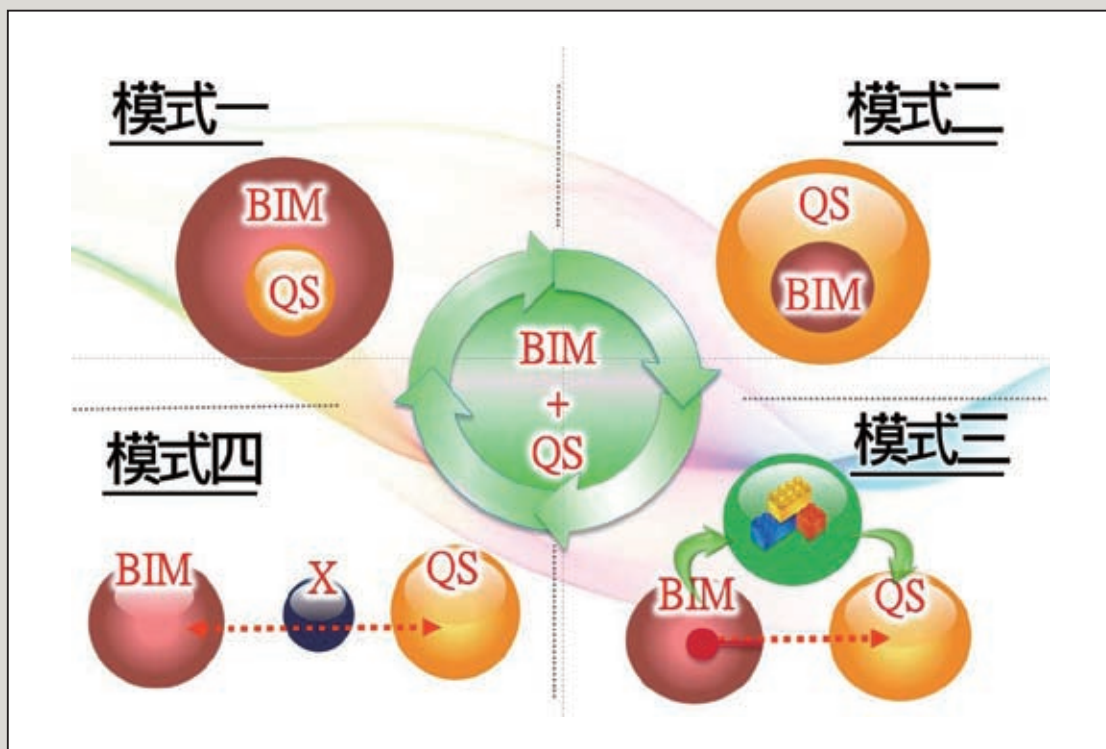


圖1 BIM設計數量與估價整合模式

整合模式四：透過中介程式提供BIM軟體與估價軟體間資料交換拋轉。

因國內公共工程已規定限定使用PCCES估算軟體，台灣世曦採整合模式四，運用人工智慧技術，結合台灣世曦多年來已累存的大量工程預算資料庫，發展PQRS工程算量與估價資訊整合平台，除了支援各家BIM軟體產出的數量表，皆可直接匯轉入PCCES產製工程預算書，甚至傳統手算或2D CAD檢料作業，也可以同樣利用PQRS資訊平台的功能，進行自動化檢料、編製工程會工項細目標準編碼，自動轉置產出可供PCCES估價軟體直接使用的XML預算檔案。

肆、數量與估價整合自動化的關鍵議題

除了工程數量計算的自動化作業，估價工程師須藉由檢閱圖說、施工計畫、施工規範以了解施工細節，並同時進行工率分析、詢價及工項編碼作業，才能編製成一份完整的預算書，作業細節繁多，但設計作業過程中留給預算編製的時間卻往往相對有限，如何透過資訊技術之應用，輔助工程師有效且快速的完成檢料及預算編製作業即為設計自動化的重點發展工作。

台灣世曦長期承辦各項工程建設，提供規劃、設計、工程估價、營管及監造等整體服務，相當瞭解施工規範、出圖算量及估價之工程實務需求，並結合資訊開發技術與工程實務需求，基於估價作業方式與原則，規劃數量計算及估價作業整合的自動化應用情境如圖2所示，實際作業的關鍵議題分項說明如後。



圖2 數量計算與預算估價的整合應用架構

一、BIM模型物件與預算工項之對應

本項議題主要之處理需求即為將3D模型的物件名稱與規格，整合成為預算書之工項名稱。對於3D模型而言，其物件名稱與尺寸規格等物理屬性，分屬在不同欄位，但對應目前工程會要求之預算書工項名稱檢核邏輯，則須同時包含名稱與規格。因此需要抽出模型中的物件名稱屬性與預算書所需要的規格屬性先加以整併，再轉而產出數量計算書，才能成為後續編列預算書可以使用的工項名稱。

二、符合工程會編碼正確率之要求

由於工程會推動預算書之細目編碼正確率須達50%，綱要編碼正確率80%，對於慣用歷史案例及經驗編製預算之工程師而言，逐筆檢視及重編符合工程會要求之工項名稱編碼實為繁瑣，如可藉由輔助編碼的自動化程式，檢查數

量計算書工項名稱與工項代碼是否符合工程會規定，甚至給予正確的編碼，自動生成符合工程會PCCES電腦估價系統適用的預算檔案資料，將可節省可觀的人力及時間耗用。

三、自動產出工項工料分析及價格資料

台灣世曦累存大量工程標案預算案例資料及訪價資料，經整理依適用不同業主及專業部門別，分類建立PQRS估價資料庫及詢訪價共用資料庫，可依數量表項目從PQRS估價資料庫篩選預帶對應的下層工料分析及最新的價格資料，自動組裝成可供匯入PCCES 使用的XML檔。

四、依工項特性及材料屬性自動選用對應的 雜項另料工項及安裝比例(IR項目)

單價分析工項組成之中的雜項另料項目，
可依該位置之以上複價加總後所設定之小計及

IR百分比%，計算雜項IR項目金額，尤其機械及電機類工程安裝工資、安裝另料、運雜費等項目，更有多種IR項比例選用對應的規則，為了減省人工選用作業之不便，PQRS內建有不同特定工項/材質IR項目比例計算規則，可依數量表項目自動帶出其應有的IR項目及單價計算百分比列於預算書中，以降低人為漏列IR項目或百分比誤植之可能性。

伍、3D設計接軌預算彙整自動化重點工作

本節將依循數量計算及預算書編製的資料流程，說明台灣世曦PQRS平台針對數量與估價作業整合，所提供的各項自動化程式功能。

一、自動化始於標準化

為了讓傳統手算/2D CAD或不同廠家BIM工具軟體所產出的數量計算書，都能一體適用PQRS資訊平台的算量估價整合程式，台灣世曦參研各類型工程使用的數量計算書及PCCES軟體預算編製的欄位需求，制定標準化的數量表彙整格式(如圖3所示)，其所涵蓋之屬性內容中「預算書層級」欄位用以設定匯出元件所屬項目未來將對應為預算書的詳細表層級或應隸屬的單價分析層級。同時將工項名稱與工項規格分為2個欄位輸出，透過自動檢料程式合併成為預算書中之工項名稱，並據以編訂工項代碼。不管數量項目清單的來源軟體為何，只要輸出或編製成符合數量表彙整標準格式的EXCEL資料檔案，就能透過PQRS平台產生PCCES估價作業使用的資料。

1	預算書層級	項目	本項單位	工項名稱	工項規格	工項單位	數量	工程會編碼
2	D	機械設備及設備安裝	式	離心式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量3.5m³/s，電動機容量5.5kW	組	3	15831	
3	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量3.5m³/s，電動機容量5.5kW	組	2	15832	
4	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量3.7m³/s，電動機容量5.5kW	組	2	15833	
5	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量3.7m³/s，電動機容量5.5kW	組	2	15834	
6	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量3.4m³/s，電動機容量2.2kW	組	2	15835	
7	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量3.4m³/s，電動機容量2.2kW	組	1	15836	
8	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量2.8m³/s，電動機容量2.2kW	組	1	15837	
9	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量2.8m³/s，電動機容量2.2kW	組	54	15838	
10	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量2.8m³/s，電動機容量2.2kW	組	2	15839	
11	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量1.4m³/s，電動機容量2.2kW	組	4	15840	
12	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量0.90m³/s，電動機容量0.37kW	組	2	15841	
13	D	機械設備及設備安裝	式	軸流式風機，(管軸式，熱帶設計)，風壓400Pa，風量0.9m³/s，電動機容量0.37kW	組	1	15842	
14	D	機械設備及設備安裝	式	空氣調節機，(掛式或窗式，水冷)，空調容量3500W，風量10m³/s，電動機容量9.00kW，風壓1400Pa	機	1	15723	
15	D	機械設備及設備安裝	式	空氣調節機，(掛式或窗式，水冷)，空調容量2450W，風量7.4m³/s，電動機容量9.00kW，風壓1400Pa	機	1	15724	

圖3 數量計算書格式標準化圖例

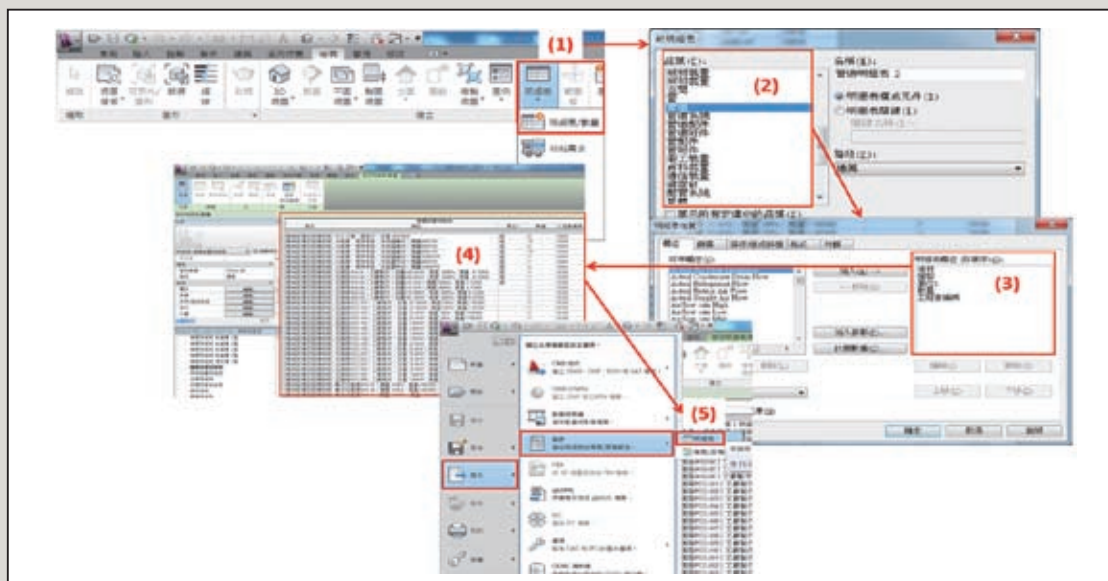


圖4 Revit軟體數量計算書樣板圖例

二、建立3D模型數量計算書樣版

目前BIM設計工具多有提供基礎匯出數量明細表之功能(如圖4)，可透過3D模型元件對應欄位匯出數量計算書的工項清單，同時可將數量計算書所需之格式欄位儲存成樣板，後續可重複使用、快速產生檔案。

三、自動化編訂工項名稱及細目編碼

前兩項工作主要為運用智慧化程式的預備作業，自動串接由3D設計模型匯出標準格式的數量計算表，透過PQRS平台的智慧化分析程式，自動查對工程會工項編碼規則表(如圖5)，編訂符合規則表的工項代碼及名稱，如果規則

表中並無相符之代碼，另會查對PQRS平台的估價歷史資料庫，選用最符合相近的工項代碼，如果由上述兩種機制，皆無法找到對應的合適代碼，則保留數量表工項的原有工項名稱，由PQRS平台編給流水號的臨時編碼。除了可以大幅減省估價人員作業時間及人力，並可提高編碼正確率逐漸汰換不符合工程會標準的工項代碼。

四、整理工料分析與IR項標準資料庫

除了協助檢核並建議正確之工項代碼及工項名稱，台灣世曦PQRS平台亦同時會依數量工項的名稱及計價單位，由台灣世曦歷史估價資料庫，查對找到最似匹配的下層工料分析資料架構及雜項安裝IR比例，並由全公司共用的

工項代碼	工項名稱	單位	數量	估價日期	備註	估價修改者	估價修改日期	廠商名稱	估價單	估價單號	估價單日期	估價單狀態	估價單備註
02150130	電燈、870mm長式吊燈	只	36,200.00	2018-01-04	100	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈、870mm長式吊燈
02150131	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	126,500.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150132	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	108,300.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150133	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	48,800.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150134	電燈、870mm長式吊燈	只	21,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈、870mm長式吊燈
02150135	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	240,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150136	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	130,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150137	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	32,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150138	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	18,800.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm

圖5 工程會定義之工項編碼規則表

工項代碼	工項名稱	單位	數量	估價日期	備註	估價修改者	估價修改日期	廠商名稱	估價單	估價單號	估價單日期	估價單狀態	估價單備註
02150130	電燈、870mm長式吊燈	只	36,200.00	2018-01-04	100	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈、870mm長式吊燈
02150131	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	126,500.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150132	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	108,300.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150133	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	48,800.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150134	電燈、870mm長式吊燈	只	21,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈、870mm長式吊燈
02150135	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	240,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150136	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	130,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150137	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	32,000.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm
02150138	電燈、電燈罩性密封網，規格口徑150mm	套	18,800.00	2018-01-04	0130	林南輝	2018-01-04	廣益士建築師事務所	01781334				電燈罩性密封網，規格口徑150mm

圖6 台灣世曦公司共用的詢訪報價資料庫示圖

詢訪報價資料庫(圖6)，查詢引用最新的參考單價，自動將該工項的下層單價分析及單價資料預帶產生於預算書檔案中。

五、產生預算書XML檔案與檢核表

透過工項代碼及名稱檢核、工料分析及IR項自動產生作業，自動檢料智慧化程式將產出一符合PCCES預算書格式之XML檔案，提供估價人員匯入PCCES中進行預算彙編作業。以圖7「壹.一」項為例，原圖3中的第一項「預算書層級」欄位代碼為D(Detail sheet)，因此這個項目

即帶入預算書成為詳細表的計價項目。經比對標準資料庫，該項目具下層單價分析資料群，程式便自動帶入預算書結構中，匯入PCCES後連結產生下層單價分析資料如圖8所示。

此外，檢料程式執行完成，系統會同時提供一個轉檔結果的檢誤對照表Excel檔(如圖9)。透過此一檢核表提供複核檢查使用，原數量計算書檔案經過程式自動產出前/後的工項代碼名稱對照表，依不同顏色符號標示轉檔結果，方便預算編製人員比對及複核檢查。

項次	項目及說明	單位	分析	數量	確定	單價	複價	工項代碼
壹.一	離心式風機，箱型後吸式，風壓600Pa，風量3.8cms，電動機容量5.5kW	組	✓	1.000	□			
壹.二	離心式風機，(管軸式，熱風送排)，風壓400Pa，風量5.5cms，電動機容量7.5kW	組	✓	3.000	□	82,403		1583160878
壹.三	離心式風機，(管軸式，熱風送排)，風壓400Pa，風量3.7cms，電動機容量5.5kW	組	✓	2.000	□	82,403		1583251838
壹.四	離心式風機，(管軸式，熱風送排)，風壓400Pa，風量3.1cms，電動機容量5.5kW	組	✓	2.000	□	82,403		1583251878
壹.五	離心式風機，(管軸式，熱風送排)，風壓400Pa，風量1.4cms，電動機容量2.2kW	組	✓	2.000	□	82,403		1583251858
壹.六	離心式風機，(管軸式，熱風送排)，風壓300Pa，風量3.4cms，電動機容量5.5kW	組	✓	1.000	□	82,403		1583251808

圖7 XML檔匯入PCCES後之詳細表畫面

序號	組項名稱	單位	分析	數量	單價	複價	組項代碼	百分比	工項代碼
1	產品：離心式風機，箱型後吸式，風壓600Pa，風量3.8cms，電動機容量5.5kW	組		1.000	69,200.00	69,200.00	1583160878	0.00	
2	安裝費	組		1.000	6,781.60	6,782.00	01271900040X	9.80	
3	安裝材料	組		1.000	759.82	760.00	01271C00040X	1.00	
4	運費費	組		1.000	997.84	998.00	01271300040X	1.30	
5	試運轉	組		1.000	4,563.84	4,564.00	01820100040X	6.00	

圖8 PCCES之單價分析畫面

序號	組項名稱	單位	分析	數量	單價	複價	組項代碼	百分比	工項代碼
1	產品：離心式風機，箱型後吸式，風壓600Pa，風量3.8cms，電動機容量5.5kW	組		1.000	69,200.00	69,200.00	1583160878	0.00	
2	安裝費	組		1.000	6,781.60	6,782.00	01271900040X	9.80	
3	安裝材料	組		1.000	759.82	760.00	01271C00040X	1.00	
4	運費費	組		1.000	997.84	998.00	01271300040X	1.30	
5	試運轉	組		1.000	4,563.84	4,564.00	01820100040X	6.00	

圖9 自動轉檔結果檢誤對照表

陸、預算書檢核自動化

為提昇工程估價作業品質，配合公司設計4.0推動，台灣世曦蒐集長期累存的工程預算案例歷史資料，整理可供快速檢核工程預算錯漏應用的知識庫，建立預算成果校核複審的標準化作業程序，並提供工程預算書自動化檢核功能，包括(一)依計算書自動帶出工項對應規範篇章連結，以檢查規範、圖說、計算書、預算書的資料一致性。(二)透過同質性工程預算檔案的相互比對，進行缺漏項的檢查。(三)透過關聯工項數量相對比例及金額相對比例，檢查數量是否有誤計的風險。(四)透過市場行情蒐集反饋與詢報價共用資料庫的價格比對，自動比對檢查單價的合理性(概念詳如圖10)。

藉由歷史案例資料庫的整理分析及循環再利用，讓數據變成經驗知識庫，將知識轉化發展為智慧化的創新服務，以減省算量及估價複核審檢查的人力及時間花費，降低數量及估價疏漏誤計的風險，確保設計成果整合的品質。

只有極少數的設計顧問公司能真正將BIM工具導入工程估價的實務應用。本文旨在說明導入過程可能面臨到的瓶頸，如何最有效和最具成本效益的方式導入實現BIM 5D為基礎的算量估價自動化作業。

本文介紹BIM數量計算與成本估算的自動化整合流程，台灣世曦利用多年累存的工程預算書案例資料庫，結合人工智慧技術研發數量與估價資料串接的自動化程式，可將由各種BIM工具軟體匯出的數量計算書銜接轉製為可被PCCES估價軟體使用的預算書，實現工程設計全自動化的最後一哩路，讓設計算量到成本估算成果交付的流程可以更快速精確，並搭配開發工程預算數量正確性及金額合理性的智慧化自動檢核程式，可用來快速複核工程預算編製成果的品質及可靠性，未來將進階朝BIM 5D與4D整合應用方向發展，將PCCES編製完成的工項預算金額及人機料資源統計，透過PQRS平台反向與BIM 3D模型的元件正確關聯，發展為具備數量、金額、人機料工率資料的BIM 5D模型，結



圖10 工程數量正確性及預算合理性的智慧化自動檢核程式

柒、結語

BIM由於提供大量可以與模型元件連動的信息，幾何尺寸變更均可以同步調整圖面及數量統計，多數BIM軟體都可以提供設計模型數量計算及提取輸出到EXCEL或外部資料庫的功能。基於BIM的成本估算有很多潛在好處，雖已在業界熱議多時，但也存在許多待克服的挑戰，目前

合排程資訊便能應用於BIM 4D應用模型之自動生成，以達工程數量計算、預算估價、檢核及資源規劃等作業流程全自動化之最佳成效。



3

專題報導

以地理空間資訊 技術開發橋梁災 害管理平台

關鍵詞(Key Words)：地理空間資訊技術(GIS Technology)、易損性曲線(Fragility Curve)、快篩分析(Quick-screening analysis)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／空間地理資訊部／副理／劉新達(Liu, Hsin-Da) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／防災工程技術整備中心／正工程師／張廷榮(Chang, Tyng-Lo) ❷

國立臺北科技大學／工學院院長／宋裕祺(Sung, Yu-Chi) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／經理部／總工程師／林曜滄(Lin, Yew-Tsang) ❹



摘要

台灣位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交界，屬環太平洋地震帶，地震頻繁，交通設施面臨強烈地震侵襲的威脅。數十年來的國內外地震災害，均顯示震災對社會造成的衝擊與經濟損失，是相當嚴重而深遠，遠超過其他天然災害。此外，全球性極端氣候帶來暴雨，引發洪水、土石流、山崩之複合型連鎖式天然災害，加上強烈地震侵襲，威脅人民生命財產與橋梁安全，間接影響國家競爭力。

災害總在遺忘的時候來臨，有鑑於此，台灣世曦以『認知風險、嚴陣以待（Know the risk, be prepared）』順應自然的防災思維，成立「防災工程技術整備中心」（簡稱防災中心）。橋梁平時是維生基礎設施與經濟命脈，災時是防救災道路系統之重要一環，因此，應用GIS技術開發「公路橋梁災害管理平台」。此一災害管理平台中已蒐集橋梁基本資料庫、防災資源資料庫、自然環境資料庫、社經環境資料庫、地形資料庫、航照影像資料庫等資訊，可用以快速利用關鍵字、橋梁結構、跨度、竣工年份等條件檢索橋梁資訊，以輔助支援決策。另建置橋梁快篩功能，主要是利用橋梁之易損性曲線、危害度曲線，及其重要度，進行快篩作業，可以在既有之橋梁管理系統之基本資料，運用GIS技術，計算出其重要度權重，再進行快篩作業，可將隸屬橋梁管理單位龐大數量之橋梁，篩選出危險及老舊橋梁，並進行分級管理，提供各橋管單位做為橋梁管理聚焦及進行下一階段優先詳細評估與加固補強之參考，當危險及老舊橋梁經過加固補強後，可提升其抗災能力，降低災害損失，以保障人民行的安全，營造永續發展的生活環境。



Development of Highway Bridge Disaster Management Platform with GIS Technology

Abstract

Taiwan is located at the junction of the Eurasia plate and the Philippine Sea plate. It belongs to the Pacific Rim earthquake zone and has frequent earthquakes. The traffic facilities are threatened by strong earthquakes. Earthquake disasters at Taiwan and abroad for decades have shown that the impact of earthquake disasters on society and economic losses is quite serious and far-reaching, far exceeding other natural disasters. In addition, the global extreme climate brings heavy rain, a complex chain of natural disasters that cause floods, mud flow, and landslides. Moreover, strong earthquakes threaten people's lives, property, and bridges, and indirectly affect national competitiveness.

In view of the fact that disasters are always forgotten, CECI has established the "Center for Integration and Preparation of Disaster Mitigation Engineering Technology" (referred to as the Disaster Prevention Center) with the "Know the risk, be prepared" to comply with the natural disaster prevention thinking. Bridges are not only the life-saving infrastructure and economic lifeline but also an important part of disaster prevention road systems. Therefore, GIS technology is used to develop the "Highway Bridge Disaster Management Platform". This disaster management platform has collected information such as basic bridge database, disaster prevention resource database, natural environment database, social economic database, terrain database, and aerial image database, which keywords can be used to search for bridge information by conditions such as span, completion year, etc. to assist decision support. In addition, the bridge quick-screening function is mainly used of the bridge's fragility curve and hazard curve, and its importance, to carry out quick-screening operations. The importance of weight can be calculated based on the basic data of the existing bridge management system using GIS technology, and then the quick-screening operation can be used for the bridge management unit to select dangerous and old bridges under the huge number of bridges, and carry out hierarchical management, providing the reference of priority focusing and the next stage detailed assessment and reinforcement for each bridge management unit. When the dangerous and old bridges are retrofitted and strengthened, they can improve their resilience and reduce disaster losses to ensure the safety of the people and create a sustainable living environment.

壹、前言

臺灣位處環太平洋地震帶，居於歐亞大陸板塊與菲律賓海洋板塊的交界處，地震發生頻繁，近二十年規模M6以上的地震如1999年921集集大地震(M7.3)及嘉義地震(M6.4)、2002年331大地震(M6.8)、2006年恆春地震(M7.0)、2009年南投地震(M6.2)及花蓮地震(M6.9)、2010年高雄地震(M6.4)、2013年南投地震(M6.5)、2015年花蓮地震(M6.4)、2016年高雄美濃地震(M6.6)、2018年花蓮地震(M6.26)等災害；另因位於北回歸線附近的地理位置及特殊的地形，每年5-11月易遭受到颱風侵襲，如1996年賀伯、2001年桃芝及納莉、2004年敏督利、2008年辛樂克、2009年莫拉克、2010年梅姬、2012年蘇拉、2013年蘇力、2015年杜鵑、2016年尼伯特及莫蘭蒂等，所引發的坡地崩塌、水害、土石流災害造成許多人員的傷亡、民間與國家財務的嚴重損失。

聯合國「政府間氣候變化專業委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change，以下簡稱IPCC)於2014年3月31日發布之《氣候變遷 2014：衝擊、調適和脆弱度》報告指出：氣候變遷的風險來自於脆弱度〈缺乏準備〉和暴露

度〈處於危險狀態的人或資產〉與各種危害〈觸發氣候事件或趨勢〉疊加在一起。在為降低風險，而採取明智行動時，這三個要素都需要納入考慮。氣候變遷災害風險影響要因有危害度、暴露度、脆弱度三項，此三項交互影響經評估台灣為全球災害風險最高的國家(如圖1所示)。

政府為因應防災、減災工作的重要性，於2001年7月頒布施行「災害防救法」，並於2003年7月正式成立「國家災害防救科技中心」。本公司基於對社會責任的承擔，及回饋國家社會的服務初衷，以『認知風險、嚴陣以待(Know the risk, be prepared)』順應自然的防災思維，於2017年4月21日(1935年4月21日新竹台中烈震後82周年)正式成立「防災工程技術整備中心」，其成立宗旨為：(1)於平時，針對災害類型之成因進行研析，並研究防災與減災工程技術外，並進行防災教育訓練與救災演練；(2)於災害發生緊急應變期間，協助機關參與勘災，並提供救災技術支援，以及作為災害應變作業支援之窗口；(3)於災害復原重建期間，提供緊急復舊及永久重建相關工程技術支援等。希望在工程防災方面能為國家社會盡一份心力，善盡企業社會責任。



圖1 氣候變遷災害風險影響要因

貳、公路橋梁災害管理系統

橋梁可以跨越河川、山谷、港口與道路，克服地形阻隔障礙，是交通路網之關鍵環節，更是災害發生時最重要之維生線。臺灣本島因地狹人稠，綿密之交通路網遂成為島內區域聯繫及經濟發展之磐石。此外，臺灣本島河川密布，常須藉由橋梁來串連二岸路網，因此橋梁功能的維持更是確保交通運轉及經濟活動之主要關鍵。

臺灣在1999年9月21日發生芮氏規模7.3之集集大地震，除造成生命財產重大損失外，更造成多處橋梁損毀、道路中斷，部分地區的搶救災工作更因此受到嚴重的影響，使得災情持續擴大，其所產生後續之損失更倍數於地震發生瞬間產生的災損。另2011年日本311大地震，雖然災情相當嚴重，災損成因主要是因地震引發大海嘯及核災造成，直接由地震所造成的災害則較為輕微，尤其耐震補強後之橋梁更未見有明顯受損情形，顯見耐震補強的有效性與必要性。因此，吾人應思考如何汲取災害經驗及教訓，及早針對耐震能力不足之橋梁進行有效

之耐震補強作業，期能於未來地震發生時，降低橋梁因耐震能力不足而損毀，導致交通運輸中斷，社會經濟衝擊之機率，且災後如能保持道路橋梁之功能，將能大幅減少地震後所導致之生命、財產損失，同時亦能加速災後工商業社經活動之恢復腳步。工程設施之防災，範圍甚廣，第一階段先聚焦在橋梁設施，作為標的。

災害管理包括四個階段，包括減災、整備、應變、復建，為了將有限人力資源，投入系統開發工作，先鎖定減災階段之快篩分析，以篩選出危險及老舊橋梁，進行分級管理，讓有限資源發揮最大功效。經調查資料顯示，各橋梁管理單位均管轄龐大數量之橋梁，要在有限人力經費進行檢查維護工作，相當困難，即使如歐美日等先進國家也同樣面臨相同之困境。今年(2018)8月14日義大利莫蘭迪橋在暴風雨中瞬間倒塌，造成43人死亡，14人受傷之慘劇，震驚全世界，國人亦更加體認橋梁安全之重要性。本系統採二階段篩選，提供各橋管單位做為橋梁管理聚焦及進行下一階段優先詳細評估與加固補強之參考，橋梁災害管理減災流程如圖2所示。

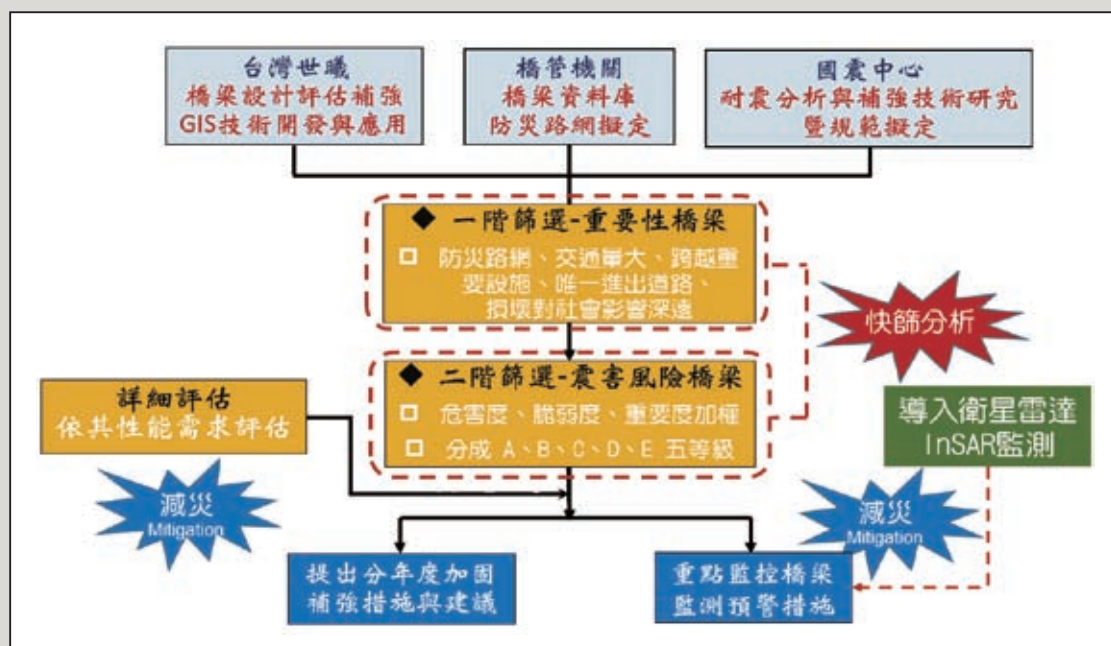


圖2 橋梁災害管理減災流程

參、橋梁震損評估快篩機制

橋梁震損評估快篩機制主要包含一套橋梁震害風險評估的演算方法，此方法主要由「易損性曲線」、「危害度曲線」及「橋梁重要度」組成，其演算過程需依賴橋梁基本資料與耐震詳評之評估資料，但由於大部份橋梁均未進行過耐震詳評分析，無法取得結構達降伏時之地表加速度(A_y)與達極限時之崩場地表加速度(A_C)之資料，做為建立易損性曲線之基礎，所以本研究將使用橋梁基本資料與「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」[1]之研究成果，做為未經耐震詳評橋梁 A_y 與 A_C 之假定，以讓橋梁震害風險評估演算得以執行，其各分項說明如下：

一、易損性曲線

結構物震損評估經常使用易損性曲線(Fragility Curve)作為依據，而易損性曲線係指各類結構物在不同最大地表加速度或頻譜位移或最大位移反應下，所產生不同損壞狀況的機率值，本研究在橋梁震損評估方面使用最大地表加速度(PGA)作為結構物損壞曲線之地動參數。

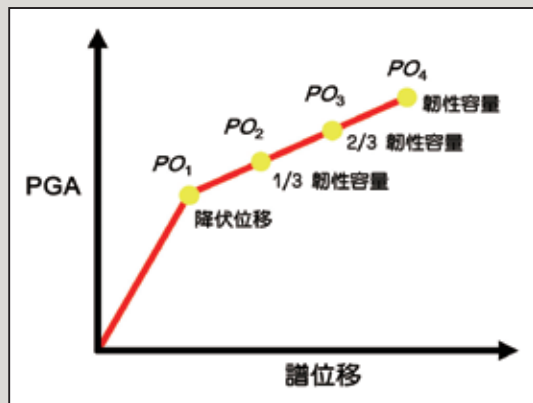


圖3 結構物之耐震能力

結構物耐震能力通常係以整體結構在各耐震性能等級下所能承受的地表加速度表示之。該地表加速度可由側推分析所得之容量震譜，依據工址地震水平譜加速度係數等規定配

合容量震譜法以及改良式耐震能力評估方法求得，本文參考文獻[2,3,4,5]，將結構物之耐震能力以圖3所示之PGA與結構譜位移(Spectral Displacement)之雙線性關係表示之。

橋梁震損評估參考現行耐震設計規範及台灣地震損失評估系統TELES[6]之建議，採用以下四種結構性能等級作為地震損壞評估之依據：

1. 結構性能一(PO_1)：當結構物之位移達到降伏位移時。
2. 結構性能二(PO_2)：當結構物之位移達到韌性容量之1/3時。
3. 結構性能三(PO_3)：當結構物之位移達到韌性容量之2/3時。
4. 結構性能四(PO_4)：當結構物之位移達到韌性容量時。

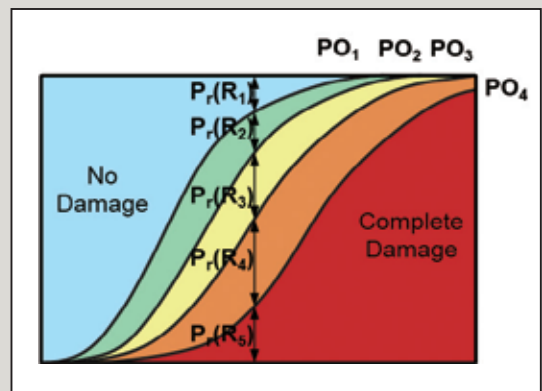


圖4 結構物易損性曲線

依據此四種結構性能之定義，結構之損壞狀態可訂為五階段(參考式1)，分別為無損壞機率 $P_r(R_1)$ 、輕微損壞機率 $P_r(R_2)$ 、中度損壞機率 $P_r(R_3)$ 、嚴重損壞機率 $P_r(R_4)$ 與幾近崩塌機率 $P_r(R_5)$ ，如圖4所示。其對應之發生機率 $P_r(R_i)$ 可表示為：

$$\begin{aligned} P_r(R_1) &= 1 - P_1 \\ P_r(R_i) &= P_{i-1} - P_i, i = 2 \sim 4 \\ P_r(R_5) &= P_4 \end{aligned} \quad (1)$$

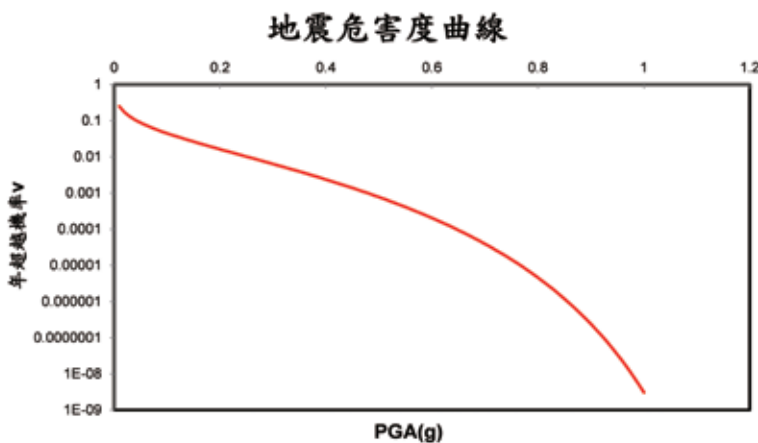


圖5 地震危害度曲線

以30年回歸期對應之設計地震地表加速度 $0.4S_S^D/3.25$ 、475年回歸期對應之設計地震地表加速度 $0.4S_S^D$ 及2500年回歸期對應之設計地震地表加速度 $0.4S_S^M$ 進行曲線擬和(Curve Fitting)(參考公式2)，建立符合該行政區之地震危害度曲線(如圖5)，其計算方式為將該地區之 $0.4S_S^D/3.25$ 及 $0.4S_S^M$ 與其對應之回歸期分別代入式2，求解 a_0 及 a_1 。

$$\frac{x}{0.4S_S^D} = \left[\frac{T_r}{475} \right]^{a_0 + a_1 x^{0.1}} \quad (2)$$

式中， x 為有效最大地表加速度， S_S^D 為震區短週期設計水平譜加速度係數， T_r 為對應有效最大地表加速度 x 之回歸期， a_0 及 a_1 為待定係數。待求解 a_0 及 a_1 後，即可代入地震之 PGA 求解其回歸期 T_r ，再將 T_r 代入式3計算該 PGA 之年超越機率。

$$P = 1 - e^{-\left(\frac{1}{T_r}\right) \times t} \quad (3)$$

其中， T_r 為對應有效最大地表加速度 PGA 之回歸期； t 為橋梁設計年限。

三、重要度權重

橋梁重要度是一個權重之係數，不同橋管單位可以依據資源調配的策略，設計不同橋梁重要度之計算方式，一般橋梁重要度是依交通流量、區域環境、搶救災影響、是否為唯一聯外道路及距離大型醫院或防救災指揮中心等因子決定橋梁重要度權重。

橋梁是否要進行耐震補強，主要取決於補強效益，橋梁地震災害風險成本取決於震損風險及脆弱度等兩大因子，而脆弱度又與橋梁規模、交通流量、區域環境、搶救災影響、二次災害及地震危害度等多項因素息息相關。具體量化脆弱度實務上並不容易，亦費時費力。因此，本系統擬採用「權重式重要度簡易決定法」，以利大量橋梁進行重要度篩選分級，提供後續進行詳細評估之依據。其權重計算如式4所示。

$$W_T = W_{LN} \cdot \beta + W_R + W_I + W_{HC} + W_{CR} \quad (4)$$

其中， W_T ：總權重，其它各符號之意義參考表1所示。

表1 橋梁重要度權重

橋梁權重因子	值	說明
W_{LN} (總車道數因子)	1	橋梁車道數: 2以內
	1.5	橋梁車道數: 3~4
	2	橋梁車道數: 5以上
β (道路重要網補正因子)	1	重要道路(國道、省道)
	2	一般道路
W_R (區域屬性因子)	1	郊區(都市計畫區之外)
	1.5	縣轄市鎮
	2	直轄都會區
W_I (防災路網因子)	0	橋梁位於防災路網外
	6	橋梁位於防災路網上
W_{HC} (醫院區位因子)	0	橋梁周邊2公里內無大型醫院
	3	橋梁周邊2公里內有大型醫院
W_{CR} (跨越性因子)	0	橋梁未跨越河川、國道、省道、鐵路及道路車道數為4以上
	3	橋梁跨越河川、國道、省道、鐵路及道路車道數為4以上

四、橋梁震災損失評估

結合前述「易損性曲線」、「危害度曲線」及「橋梁重要度」之估算，再以式5估算震害損失率(Seismic Loss Ratio)：

$$\frac{\int_0^{PGA_{max}} [\sum_{i=1}^5 Loss_i \times P_r(R_i)] f(PGA) dPGA}{\int_0^{0.4S_S^M} [\sum_{i=1}^5 Loss_i \times P_{r.ref}(R_i)] f(PGA) dPGA} \times (Weight \times \frac{1.5}{18}) \quad (5)$$

式5其組成可以區分成三個部份：橋梁年平均地震損失(分子的部份)、橋梁考量最新規範要求之年平均地震損失(分母的部份)及權重與比例調整係數。

橋梁年平均地震損失的計算方式，若橋梁有耐震詳評之 A_y 與 A_c 資料則採用此資料建立易損性曲線；反之則使用回歸統計公式，估算 A_c 與 A_y 後，代入並建立易損性曲線。由於橋梁基本資料缺少橋梁建構之成本資料，所以在 $Loss_i$ 之估算，僅考量單位成本下，不同損壞程度維修之成本比例代替分別為0%，2%，10%，70%，100%。

橋梁考量最新規範要求之年平均地震損失的部份亦參考相同公式計算之，但其 A_c 與 A_y 之假定，則考量該型式橋梁在最新設計規範所要求之設計係數。參考圖6，考量PGA與結構譜位移之雙線性關係，並分別以 $(A_c=0.4S_S^M, S_d=4\Delta y)$ 與 $(A=0.4S_S^D, S_d=2\Delta y)$ 之線性關係代入，反推求解 $(A_y, S_d=\Delta y)$ ，由此求得 A_y 與 A_c 。並以此 A_y 與 A_c 建立易損性曲線後，進一步求得各種損壞程度發生之機率為 $P_{r.ref}(R_i), i=1\sim5$ 。

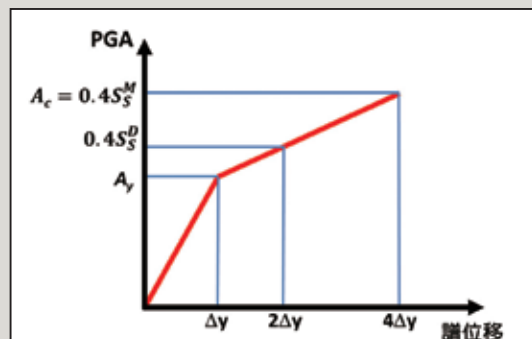


圖6 新規範要求之橋梁耐震能力需求

權重與比例調整係數的部份為橋梁重要性權重乘 $\frac{1.5}{18}$ ，所乘之係數為放大比例調整係數，可依分級之需要予以調整。

由式5所求得之結果可做為排序或分級之應用，本研究目前採用1.5/18為放大比例調整係數，並參考表2之級距做為分級之依據，各級管

表2 震害損失率級距分級參考值

分級	判定值	建議
A	1.5 以上	應立即處理
B	1.2 ~ 1.5	應處理
C	0.8 ~ 1.2	宜處理
D	0.5 ~ 0.8	可緩處理
E	0.5 以下	可暫不處理

理單位可以依單位之成本考量，調整級距定義之方式。

五、案例分析

現以臺北市政府、新北市政府、桃園市政府與宜蘭縣政府等四個橋管單位之轄管橋梁進行案例分析，用以評量橋梁震損評估模組發展之成果，各橋管單位快篩分析成果彙整如表3及圖7所示。

表3 橋管單位橋梁快篩分析統計成果

橋梁管理單位	橋梁數量	一階快篩	二階快篩				
		重要度指數≤6	A	B	C	D	E
臺北市政府	324	179	11	8	12	9	139
新北市政府	1404	807	34	59	56	52	606
桃園市政府	1066	357	11	18	23	27	278
宜蘭縣政府	643	93	9	7	0	1	76

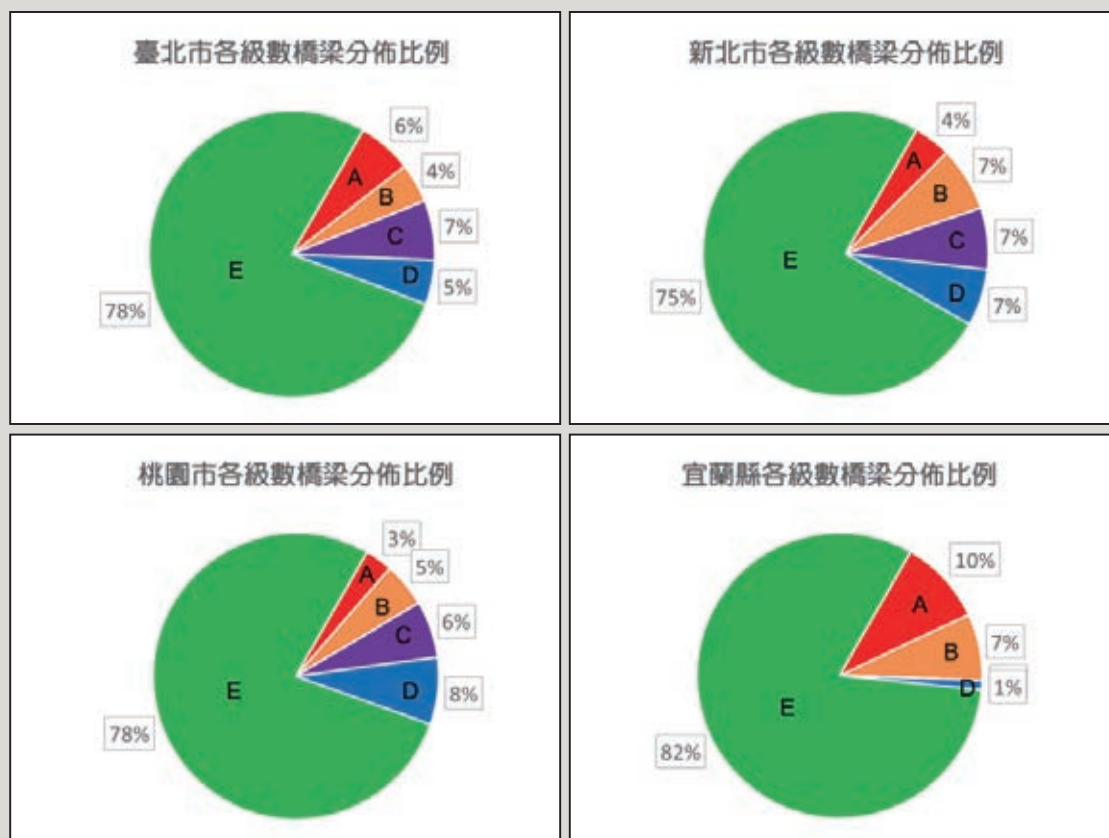


圖7 橋梁快篩分析百分比統計

肆、系統功能開發與建置

一、系統環境架構

系統環境採用虛擬主機（VM）方式提供AP及GIS、DB Server，對於管理、資料備份及資源運用等，提供相當大的彈性及優勢，系統環境架構如圖8所示。

（一）網際網路地理資訊軟體：採用ESRI ArcGIS Server 10.5地圖服務平台，支援影像、圖磚、向量的地理資料庫，提供GIS圖台服務發佈，如Map Services、Feature Services、OGC WMS、OGC WFS等；另透過應用程式API與AJAX或HTML技術進行整合開發，可提供網頁GIS分析及展示服務。

（二）資料庫軟體：採用Microsoft SQL Server作為系統資料庫軟體，其具備安全與穩定性高之優勢外，更有易於操作、查詢語法便捷，相容性高等優點，所設計之資料庫格式可被多種開發平台所使用，可提供最迅速、安全的資訊服務。

二、系統版型規劃

考量使用者在操作系統之直覺性，將視窗畫分為四大區，以「地圖操作區」為基礎，另依系統功能屬性將功能畫分為「主選單功能列」、「資訊區」、「地圖工具區」等，如圖9所示。另考量使用者常需要在地圖與功能視窗之間相互切換或互相查詢，故功能區均以「可收合」之理念進行設計，可隨時切換，以兼顧「地圖畫面最大化」及「功能操作方便性」。

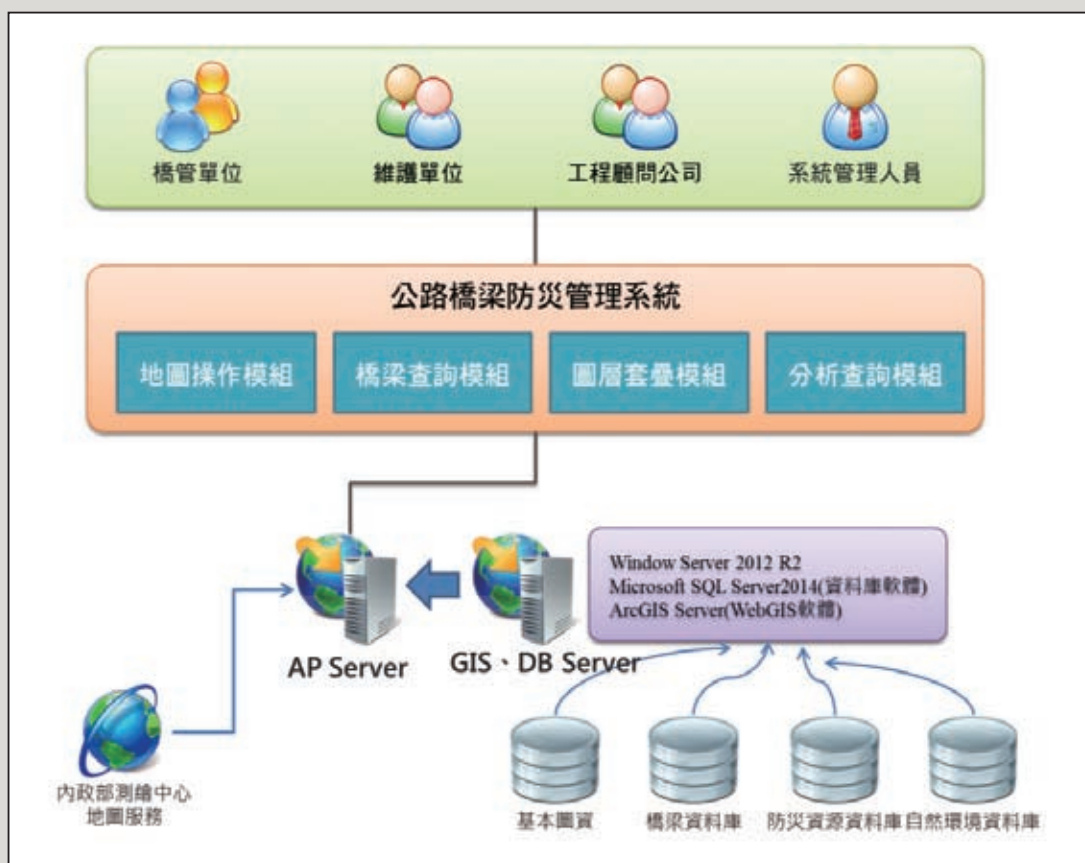


圖8 系統環境架構圖



圖9 系統版型規劃及功能區說明圖

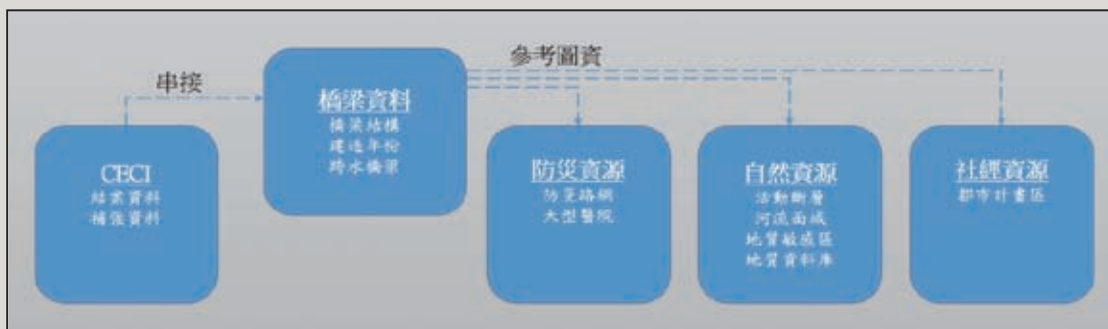


圖10 資料庫架構

三、空間資料庫蒐集及建置成果

依據四大類別整理所需資料，四大類別包括：橋梁資料、防災資源、自然資源、社經資源，整體架構如圖10。系統呈現以橋梁為主軸，防災、自然、社經資源作為參考圖資，在平台上呈現為各別圖層，便於使用者套疊參照。同時整理本公司結案資料庫中橋梁案件編號，以提供橋梁防災平台串聯查詢公司內部專案。

(一) 資料庫建置

以下針對各資料庫內容之建置方式、資料來源及建置成果進行說明：

1. 橋梁資料：由各橋管單位提供管轄橋梁資料，整併為GIS格式，橋梁資料包含使用情況、建造年月、維護年月、所屬機關、橋梁結構、位置等各細項記錄於屬性欄位中。相關資料如下圖11及圖12。橋梁資料庫中，以橋管單位分類，總筆



圖11 橋梁建造年份展示圖



圖13活動斷層圖資展示圖



圖12 橋梁結構展示圖



圖14 台北市防災路網展示圖

數現有8011筆，俟完成台中市橋管資料建置後，將再加入2000多筆。

2. 防災資源：蒐集各縣市防災路網、大型醫院位置，如圖13及圖14。

3. 自然資源：蒐集全台活動斷層、地質敏感區、河川面域資料。

4. 社經資源：蒐集各縣市之都市計畫區範圍。

5. 橋梁設計資料資料：整合本公司結案資料庫，針對本公司曾參與專案之橋梁，可在本平台上連結至公司內部結案資料庫進行查詢，如圖15所示。

6. 底圖資料：介接通用版電子地圖、正射影像、OpenStreetMap、地質圖、國土利用調查成果、福衛二號影像等Open Data。



圖15 台北市防災路網展示圖

(二) 橋梁重要度計算

訂定橋梁權重因子公式：在防災系統中與橋梁重要度相關的因素有：路網、所在區位、醫院距離，將上述因子納入橋梁重要度計算公式之中。橋梁重要度權重以公式4計算之，式中WR為區域屬性，以都市計畫區範圍進行空間分析進行權值計算，計算成果如圖16所示；WH_c為醫院區位因子，橋梁周邊2公里內有大型醫院，WH_c=3，以醫院點位進行環域分析進行權值計算，計算成果如圖17所示。本系統依權重因子公式計算出各橋梁的總權重值，作為系統篩選條件及快篩評估依據。

四、系統功能規劃及開發成果

公路橋梁防災管理系統之功能架構圖，如圖18所示，包含四大模組，分別為地圖操作、橋梁查詢、圖層套疊及分析屬性查詢等。以下說明各項功能之內容。



圖16 權重因子(區域屬性)



圖17 權重因子(醫院區位)



圖18 系統功能架構圖

(一) 地圖操作模組

1. 縮放拖移視景：利用游標與滾輪來移動地圖畫面及調整比例尺，以顯示不同細緻程度之畫面。
2. 繪圖工具：可於圖面上加入點、線、面等圖示及文字註記。
3. 測量工具：可於圖面上繪製線段或範圍，量測實際距離或面積。
4. 列印工具：將目前地圖範圍以設定之比例尺及紙張大小匯出PDF或PNG格式之檔案。

(二) 橋梁查詢模組

1. 橋梁查詢：利用關鍵字、縣市、結構型式、竣工年份等參數，篩選符合條件之

橋梁，顯示於地圖上，如圖19所示。

2. 快篩分析：以管理機關、結構型式、竣工年份、最大跨度、總權重為篩選條件。
3. 篩選等級查詢：以管理機關和震害篩選等級為篩選條件。

(三) 圖層套疊模組

1. 背景圖資切換：使用者可利用本功能切換背景圖資，如圖20所示，含電子地圖、正射影像、衛星影像、土地利用圖、地質圖，可調整透明度。圖資套疊如圖20右所示，各圖層可獨立開關、調整透明度、調整順序、調整圖例、移除圖層。圖資主題分下列幾項：
2. 地質圖資套疊：包含鑽孔點位、多種主題地質敏感區、全台活動斷層、土層網格。

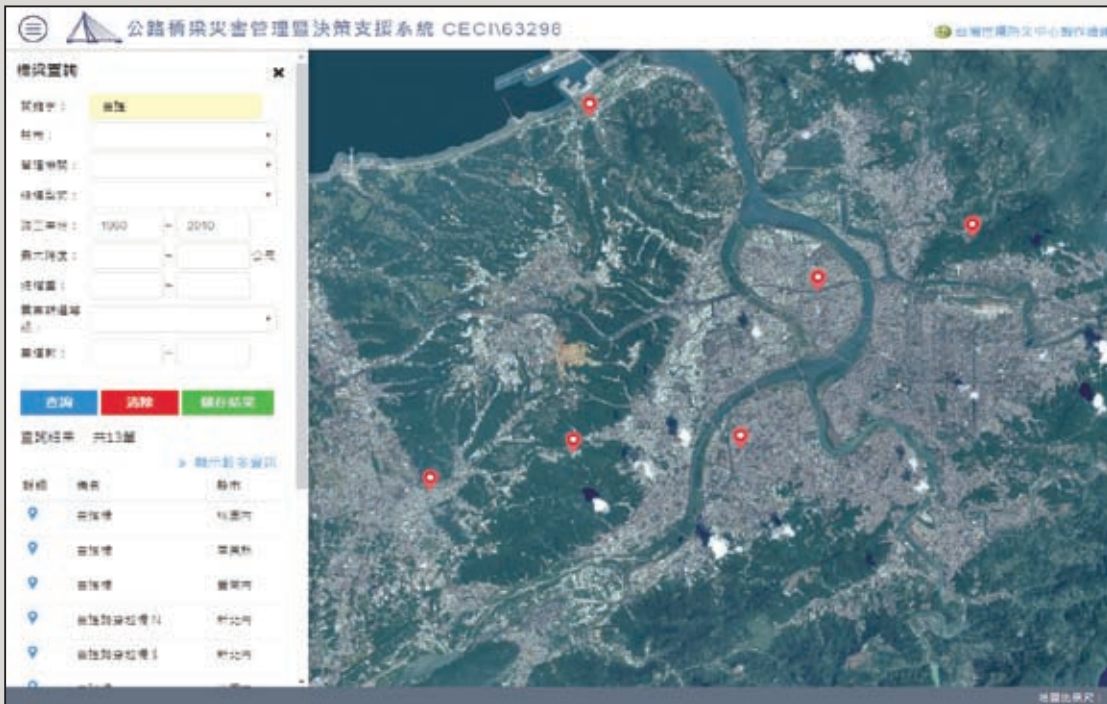


圖19 橋梁查詢功能展示圖



圖20 底圖切換與圖層套疊功能展示圖

3. 正射影像套疊：正射影像圖層為臺北市地區自民國34年至106年之多時期航測正射影像。
4. 防災資源套疊：含臺北市防災路網、醫院2公里環域範圍等。
5. 管線資料套疊：含桃園電力、自來水、雨汙水等管線資料。

6. 橋樑資料套疊：將橋樑以跨水橋、建造成年、結構、中央管河川橋樑、重要度因子、結案資料等主題分成多個橋樑圖層。

(四) 屬性查詢模組

當點選橋樑點位，將展開下方屬性欄，共有四個頁籤可供切換。

1. 橋樑基礎資料：於地圖上點選橋樑點位，可查詢橋樑基礎資料，包含名稱、管理機關、里程、年份、設計標準與參數及多種結構型式與結構尺寸等，如圖21所示。
2. 橋樑篩選：含重要度統計、震害篩選等級統計、重要度分析及快篩分析，如圖22所示。
3. 地質資料：可查詢距橋樑最近的地質鑽孔資料，及查詢橋樑是否位在各種主題之地質敏感區，如圖23所示。
4. 街景：使用Google服務，查看橋樑之街景，可任意移動，瞭解實地狀況，如圖24所示。

伍、結語

臺灣地區地震與颱風等天災頻傳，近年來發生頻率與強度更有加重的趨勢，對於人民生命財產安全及相關產業發展，造成極大之傷害與影響，亦對企業經營競爭力及台灣的經濟產業造成衝擊，不利國家競爭力之提升。所以，必須嚴肅面對此一衝擊與挑戰，亟需將防災戰略思維「大震不倒、中震可修、小震不壞」的觀念延伸，再進一步追求降低經濟損失之「震後功能性之維持」，最終以追求災後快速的應變與「強化國家震後恢復力」，俾達成建立永續的家園為目標。

未來我們面對的是複合型連鎖式天然災害，災害類型更多樣難逆料，防救災環境條件愈來愈嚴苛，須要更多民間組織投入技術開發，強化防救災技術能力。本公司多年來在災



圖21 橋樑基礎資料頁籤功能展示圖



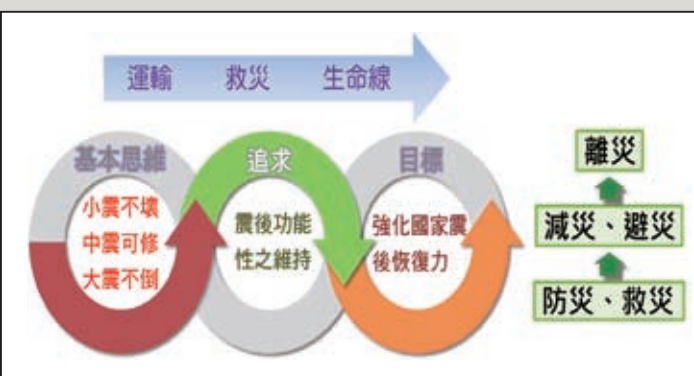
圖22 橋樑篩選頁籤功能展示圖



圖23 地質資料頁籤功能展示圖



圖24 街景頁籤功能展示圖



害防救相關之工程規劃設計、檢測、災損評估、補強技術、監測、預警技術研發等方面蓄積了豐富的經驗，乃期許以災防技術應用之落實行動，協助政府與民間建置全生命週期之防救災體系，將災害衝擊降至最低，進而提升國家整體之抗災能量。民眾防災意識要覺醒，先要自救，才有他救。因此，台灣世曦率先成立民間企業防災組織與投入防災技術開發，利用既有之專精技術與人力資源，投入橋梁防災技術開發，回饋社會，善盡企業社會責任，希望作到人人作防災、達成家固而國強之目標。

參考文獻

1. 交通部公路總局，公路橋梁耐震能力評估

及補強工程可行性研究，2009。

2. 何明錦、蔡益超、宋裕祺，鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊—視窗化輔助分析系統 SERCB Win2012，內政部建築研究所，2012。
3. Sung, Y.C., Hsu, C.C., Hung, H.H., Chang, Y.J., "Seismic Risk Assessment System of Existing Bridges in Taiwan", Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 9, No. 9, 2013, p.p. 903-917。
4. Lee, C.A., Sung, Y.C., Hsu, C.C., Lu, M.D., Chou, K.W. "Earthquake Damage Assessment System for New Taipei City", Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol.41, 2018, p.p.168-180。
5. 張永勳，施邦築，張寬勇，宋裕祺，"簡易型橋樑災損評估系統之建立與應用"，結構工程，第二十三卷，第三期，民國九十七年九月，第69-84頁。
5. 葉錦勳，台灣地震損失評估系統—TELES，國家地震工程研究中心，2003。

InSAR技術於工程結構形變分析之應用

關鍵詞(Key Words)：合成孔徑雷達干涉(InSAR)、合成孔徑雷達差分干涉(D-InSAR)、永久散射體差分干涉(PS-InSAR)

國立中央大學太空及遙測研究中心／專任助理／戴于恒(Tai, Yu-Heng) ①

國立中央大學太空及遙測研究中心／主任／蔡富安(Tsai, Fuan) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／林立哲(Lin, Li-Jer) ③

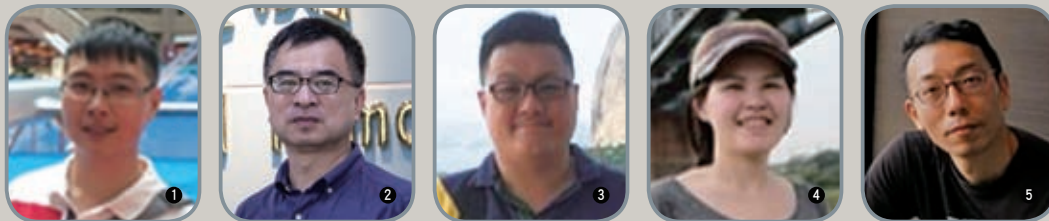
台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／李訢卉(Li, Shin-Hui) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／吳錫賢(Wu, Hsi-Hsien) ⑤

摘要

台灣歷經光復後超過70年的建設，逐步建構便捷的生活環境，同時帶動產業發展，累積成當前經濟榮景，公共工程所扮演之重要性不言而喻。然而國內許多早期公共工程，例如橋梁、電塔、水庫等基礎設施，受到自然環境因素諸如地震、颱風、豪雨、地層下陷、土壤液化等影響，加上工程材料變質老化等綜合因素，已逐步邁向生命週期之衰退期。政府近年來重視公共工程的維護與監測，以期延長使用年限，保障使用人之安全，因此如何有效監測重要工程結構是一項必要的工作。

雷達影像技術發展於1950年代，2000年後商用及科學使用之雷達影像設備陸續投入運作，開啟各式推廣應用。合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR)是使用微波進行成像，可搭載於飛機或衛星上，因不受日夜天候影響，已廣泛應用於環境與災害之觀測。本文主要說明目前工程結構形變監測之需求，並嘗試以合成孔徑雷達干涉(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)技術進行幾個工程結構體案例之形變分析，以評估此技術應用在大區域公共工程快速監測之潛力。



InSAR Applications for Deformation Analysis of Civil Engineering Structures

Abstract

After more than 70 years of construction, Taiwan has gradually built a convenient living environment, and at the same time, it has driven the development of the industry and accumulated into the current economic prosperity. The importance of public construction is self-evident. However, many early infrastructures such as bridges, electric towers and reservoirs have been gradually affect by natural environmental factors such as earthquakes, typhoons, heavy rains, land subsidence, soil liquefaction and materials deterioration. Those infrastructures are going to the recession of the life cycle. The government has attached great importance to the maintenance and monitoring of public construction in recent years, with goals to extend the construction life and also to ensure the safety of users. Therefore, it's essential to monitor the significant engineering structures.

Radar imaging technology was developed in the 1950s. After 2000, radar imaging equipment for commercial and scientific use was put into operation, and various applications were launched. Synthetic Aperture Radar (SAR) is a microwave-based imaging system that can be mount on the aircraft or satellite. Because SAR technology is not affected by sunshine, it has been widely used in environmental and disaster observations. This paper mainly describes the current needs of structural deformation monitoring, and try to analyze the deformation of several engineering structures using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) technology. Furthermore, this paper attempts to evaluate the potential of using InSAR technology in large-area public construction monitoring.

Keywords: Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), Differential InSAR (D-InSAR), Persistent Scatterer InSAR (PS-InSAR)

壹、前言——工程結構形變之監測需求

受到全球氣候變遷影響，極端氣候出現之頻率日增，以2018年7月上旬之西日本豪雨為例，本州西部及九州11天內平均累積雨量均超過500毫米，最大累積雨量甚至超過1800毫米，造成大區域淹水、土石流等嚴重災情。而台灣近期在2018年8月23日至24日間，因低氣壓長期滯留，造成台灣西南部豪大雨，有80個測站累積雨量超過500毫米，最大累積雨量高達772毫米，最大時雨量超過110毫米，在平地可見大範圍淹水，而在山坡地帶雖未見顯著土石流或崩塌等災害，也潛藏了地層含水量上升而誘發地質敏感區發生潛勢滑移的可能性。此外因居民超抽地下水之故，造成彰化、雲林、嘉義、屏東四縣部分地區地層下陷情況嚴重。以雲林地區為例，透過經濟部水利署長期地面監測資料的分析成果，整體評估雲林地區近20年的總下陷量發現，土庫鎮及元長鄉附近地區已累積超過160公分的下陷量，最大年下陷速率達5.6公分/年，顯著下陷面積約104.9平方公里（如圖1），而高速鐵路（以下簡稱高鐵）正經過下陷較顯著的區域[1]。目前主管機關主要採用之監

測方法以精密水準測量、GPS固定追蹤站、深層水準樁、磁環分層式地層下陷監測井等方式為主，利用觀測水準線與獨立監測點資料推估面狀之下陷趨勢。目前影響高鐵安全主要的差異沉陷墩柱之角變量為0.415/1500，尚在高鐵設計規範規定之容許值1/1500範圍內，高鐵結構及營運安全無虞[2]，但仍需持續關注。

然而，極端氣候與人為環境之破壞，使得公共工程所面對的挑戰日益嚴峻。以橋梁為例，受到地震、颱風、豪雨、地層下陷、土壤液化等複合性環境影響，加上工程材料變質老化等綜合因素，已逐步邁向生命週期之衰退期。政府近年來重視公共工程的維護與養護，積極辦理主要橋梁之檢測作業，亦陸續發現部分橋梁有沉陷及形變之現象。例如，國道一號圓山橋自1978年即出現鉸接處伸縮縫拉伸、擠壓，及鉸接處沉陷等劣化異狀，1992年鉸接處最大下垂量達62.9公分[3]，因此，交通部高速公路局已辦理長期監測作業。然各地方政府因受限於財政，無法全面採用各式地面檢測方式辦理定期主管橋梁監測作業，如橋梁受環境或結構老化影響，無法全面得知而即時採取必要的因應措施。

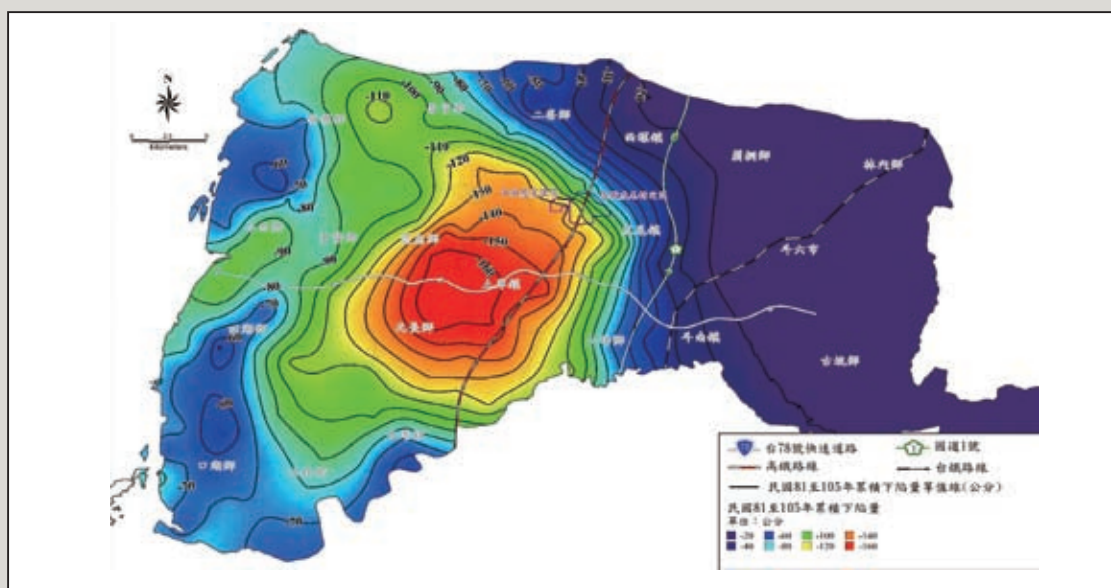


圖1 雲林地區1992年至2016年累積下陷量圖（資料來源：經濟部水利署[1]）

綜合上述環境條件之描述，隨著科技之發展，應評估導入廣域、精度高，且可長期應用之技術以增進公共工程結構物之監測效率。本文將介紹合成孔徑雷達干涉(Interferometric Synthetic Aperture Radar，以下簡稱InSAR)技術進行公共工程案例之應用及分析。

貳、衛載雷達影像技術發展現況

遙感探測(以下簡稱遙測)衛星根據其接收電磁波的能量源分為被動式與主動式兩類。被動式遙測接收太陽輻射能量為影像訊號來源，如一般經常使用的光學影像為一常見應用代表。光學衛星遙測的缺點之一是易受制於拍攝時間（僅能白天拍攝）、天氣（無法穿透雲層）等條件限制。而本文所探討的雷達衛星屬於主動式遙測，感測器接受目標物反射衛星本體酬載自身發射的雷達波，且雷達的波長較長，可輕易穿透雲霧煙塵，因此日夜晴雨皆可進行觀測，可提供相當規律且高品質的地表資訊。雷達衛星不受天候影響，並且可進行大範圍的面狀觀測，使得雷達影像長期以來成為科學研究、環境監測及變遷分析等應用重要的資料來源。

民用雷達衛星可追溯至1991年7月，歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)發射的ERS-1衛星揭開序幕。而後加拿大航空局與美國合作的RadarSat、日本ALOS、義大利Cosmo-SkyMed、德國（現由AIRBUS營運）TerraSAR-X也針對不同的應用需求，發展出不同再訪周期及波段的商用雷達衛星，如表1所列。不同波長的雷達波穿透性也不同，L波段其長波長訊號對地物穿透性較佳，對於植被覆蓋區的地表監測能有較好較完整的資訊；而X波段其短波長訊號的特性，在都會區或植被稀少區域可處理出解析度高且資料點多的InSAR成果。

過去雷達衛星影像給人單價昂貴、技術門檻高的印象，應用和普及程度不及光學影像。在近30多年的發展進程中，雷達衛星的精度、解析度已有所提升，ESA哥白尼(Copernicus)計畫的Sentinel-1雷達衛星資料提供免費下載，且再訪周期縮短有助於資料品質，讓雷達訊號相位同調性(coherence)大幅提升。基於上述優點，使得各界紛紛展開各式雷達影像相關應用(如表1)。

以雷達資料進行形變監測，合成孔徑雷達差分干涉(Differential Interferometric Synthetic

表1 常見雷達衛星資訊一覽表

衛星	發射時間	波長(cm)	波段	再訪周期(天)
ERS-1	1991	5.6	C	35
RadarSat-1	1995	5.6	C	24
Envisat	2002	5.6	C	35
ALOS	2006	19	L	46
Cosmo-SkyMed	2007	3.1	X	16
TerraSAR-X	2007	3.1	X	11
RadarSat-2	2007	5.6	C	24
Sentinel-1 A/B	2014	5.4	C	12
ALOS-2	2014	22.9	L	14

Aperture Radar, D-InSAR) 為最常見的方法之一。其原理主要是根據地表(目標物)與衛星之間距離的改變會造成雷達回波相位(phase)的差異,因此使用同一地區、不同時間、同軌道之兩或多幅雷達影像進行差分干涉,得到兩(多)幅影像之相位變化後,再經由相位回復取得沿衛星觀測方向(Line of Sight, LOS)的地表形變量。

而後發展出的永久散射體差分干涉法(Persistent Scatterers InSAR, 以下簡稱PS-InSAR)是基於多張雷達影像差分干涉之成果,分析影像中訊雜比(Signal Noise Ratio, SNR)較高的像素,將這些像素的相位值進行相位解纏(Unwrap),得到地表變形量。永久散射體(Permanent Scatterers, PS)的概念由Ferretti 於2000 年提出,其概念是找尋地表具有穩定雷達波散射特性之地表特徵物。在多時序雷達影像中萃取相位變化穩定的永久散射體(PS點),透過影像對之基線資訊,進行大氣及地形效應誤差校正,解算出時間段之地表平均變動量[4]。

在現實世界中,這些特徵物通常是人造建築物、電塔、橋墩、裸露岩石等物體。這些

物體長時間存在且表面特性使得雷達散射回波較強,因此這些永久散射體可以提供高訊雜比且高相關的訊號。圖2為永久散射體之雷達回波示意圖。圖中的方框代表雷達影像中的一個像素,若是該像素中不具有永久散射體,則如圖2(a)所示,其回波之相位較不一致;若是該像素中具有永久散射體,則如圖2(b)所示,其雷達回波訊號穩定且回波相位一致。因此具有永久散射體之像素(PS點),可以降低受環境干擾等因素所產生之隨機相位的影響,進而得到該點之變形資訊。PS-InSAR因其地表變異分析法穩定且成熟,國際間認為該技術具有較高的可靠性。而其他相關分析技術,如:最小二乘法(Least Squares, LS)、小基線集法(Small Baseline Subset algorithm, SBAS)、TCP-InSAR (Temporarily Coherent Point InSAR)等技術也蓬勃發展。

參、PS-InSAR案例實作

本文將PS-InSAR技術應用於三個工程結構體之形變分析,三組案例分別為高鐵雲林段、花蓮山區電塔、國道一號圓山橋。

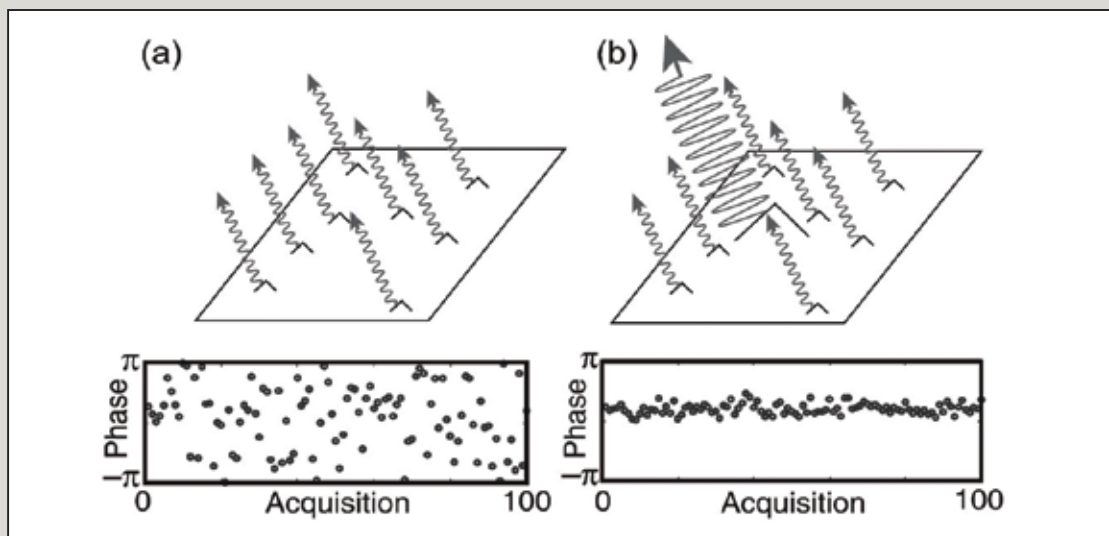


圖2 永久散射體雷達回波示意圖 (Hooper et al., 2007[5])

(a)非永久散射體於一像素內之雷達回波訊號分佈

(b)永久散射體於一像素內之雷達回波訊號分佈

一、高鐵雲林段案例

高鐵雲林段實作案例使用之影像為 TerraSAR-X，解析度為2.2公尺，雷達波段為X波段。影像時間從2014年8月7日至2016年3月1日，共使用24張影像，軌道方向為降軌（由北至南掃描）。

圖3為高鐵雲林段實作案例之PS-InSAR成果，其成果為衛星視線方向(Line of Sight, LOS)年均變化速度，正值代表變化量向衛星靠近，也就是說地表向上變化；而負值代表變化量遠離衛星，也就是說地表向下沉陷。圖中的白色線段為高鐵路線，紅色方框處則為高鐵雲林站。從圖3中可以觀察到高鐵雲林站周邊有向下沉陷的變化。沿著高鐵路線的結構體，分別於雲林站以及前後各取一處觀察PS-InSAR成果時間序列的累積變化量，共三處的成果如圖4所示。

從圖4中可以觀察到這三處皆有向下沉陷的趨勢，而且最大變化量約為30-35公厘。除此之外，

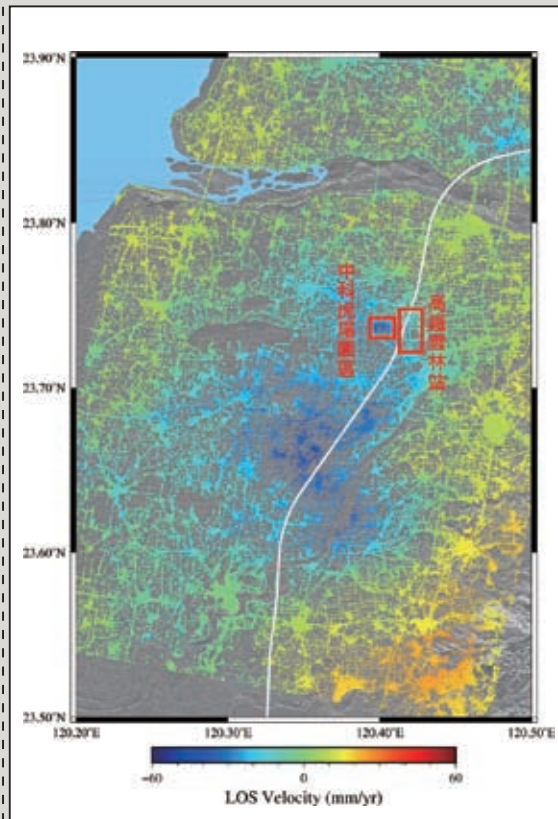


圖3 高鐵雲林段PS-InSAR衛星視線方向年均變化速度成果

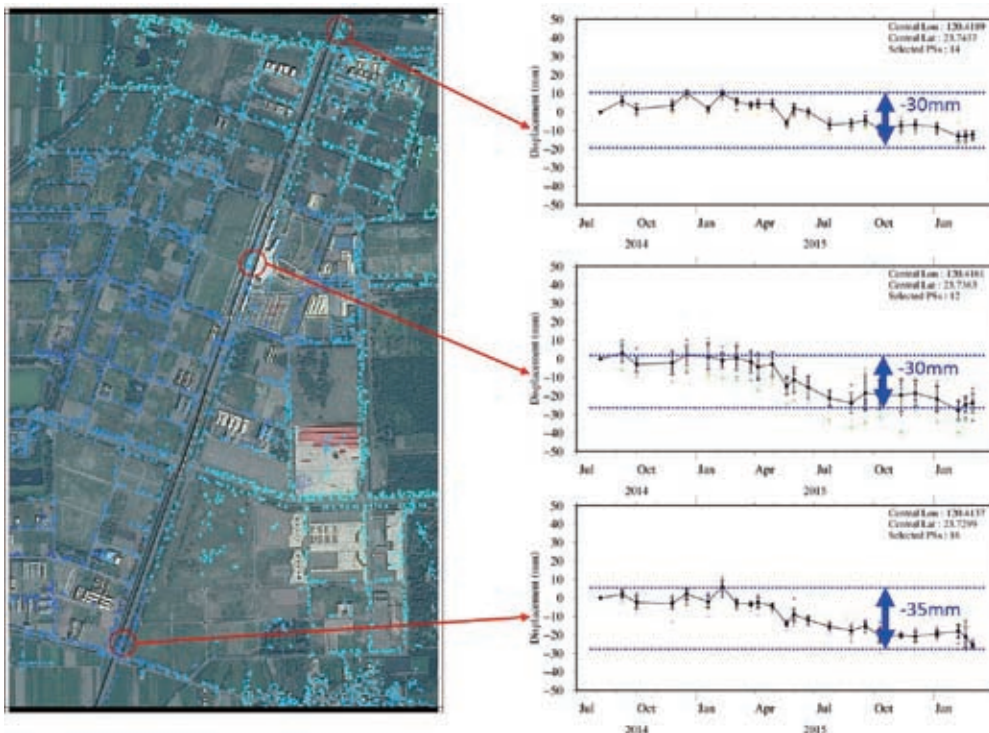


圖4 高鐵沿線三處之時間序列累積變化量

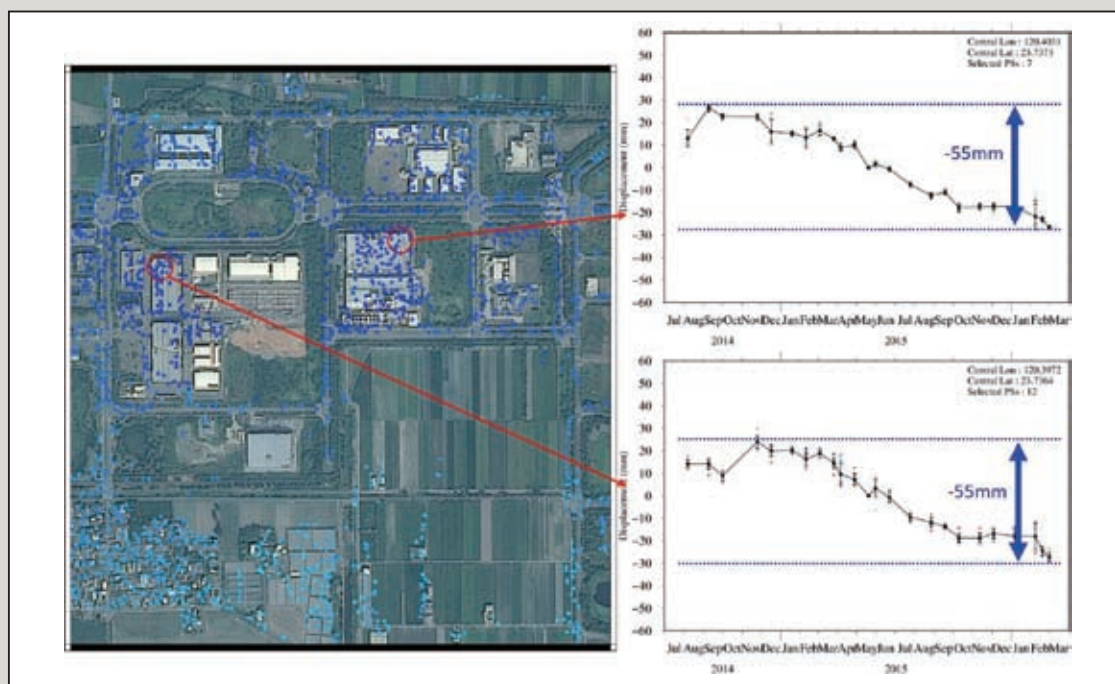


圖5 中科虎尾園區二處建築物結構體之時間序列累積變化量

從圖3中也可以觀察到鄰近高鐵雲林站的中科虎尾園區同樣也有向下沉陷的變化，因此取園區內二處建築物結構體觀察其PS-InSAR成果時間序列的累積變化量，成果如圖5所示。從圖5中可以觀察到中科虎尾園區同樣有向下沉陷的趨勢，而且最大變化量較高鐵沿線三處的最大變化量還大，達到-55公厘。從高鐵雲林段的實作案例分析，可以發現雲林區域的地表有向下沉陷的變化，而使用X波段的TerraSAR-X影像，其PS-InSAR成果可以有效的針對結構體觀察其時間序列的變化量，進而掌握其變化趨勢以及變化量，做為後續評估之考量。

二、花蓮山區電塔案例

花蓮山區電塔實作案例使用之影像為ALOS-PALSAR，解析度為7公尺，雷達波段為L波段。影像時間從2007年1月12日至2011年3月10日，共使用19張影像，軌道方向為升軌（由南至北掃描）。

圖6為花蓮山區電塔實作案例之PS-InSAR

成果，其成果為衛星視線方向年均變化速度，正值同樣代表變化量向衛星靠近（地表向上隆起）；而負值同樣代表變化量遠離衛星（地表向下沉陷）。圖中的白色點位為花蓮山區電塔位置。從圖6中可以觀察到整體而言，電塔周邊似乎並無明顯的地表變化趨勢，大部分的永久散射體年均變化速度皆在10公厘到-10公厘之間。然而，為瞭解個別電塔的變化情形，仍挑選六座電塔觀察其時間序列的變化量，如圖6中的紅圈所示，從西至東分別為電塔編號#171至#176。

由圖7可以觀察到電塔#171及電塔#172呈現沉陷趨勢，4年累積之變化量已經將近-200公厘，值得注意。由圖8可以觀察到電塔#173及電塔#174無顯著變形趨勢，時間序列之變化量較為平穩，累積變化量皆在40公厘到-40公厘及0至-70公厘之間。由圖9可以觀察到電塔#175及電塔#176同樣呈現沉陷趨勢，4年累積之變化量將近-100至-120公厘，雖然沉陷情況較電塔#171及電塔#172不顯著，但仍值得持續關注其後續變化。

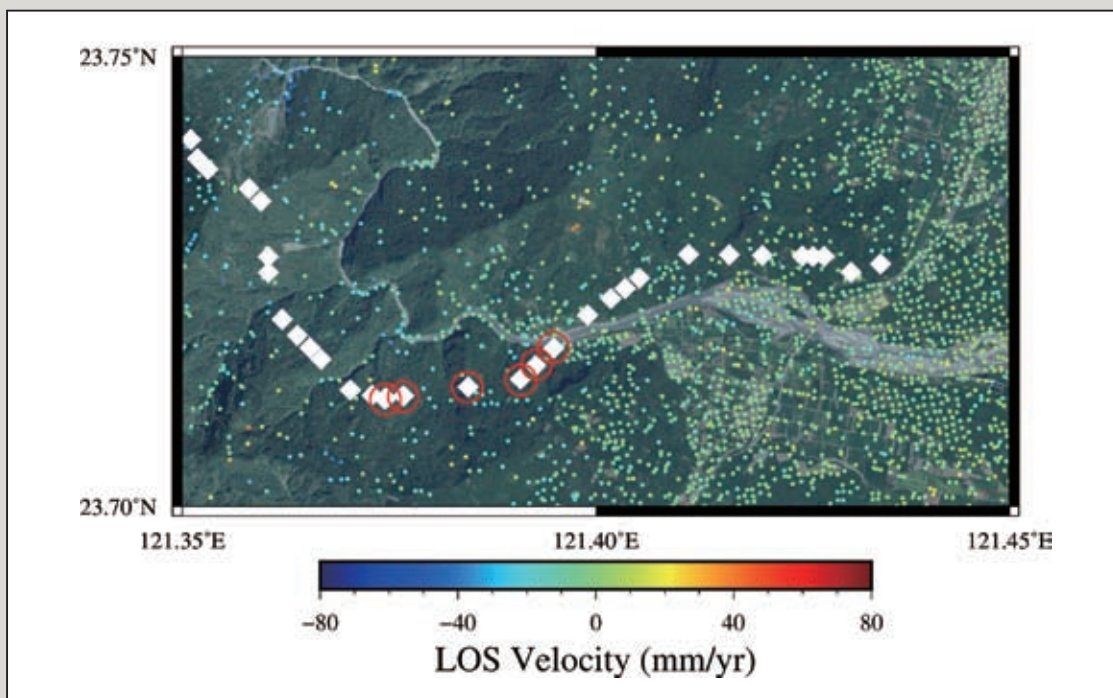


圖6 花蓮山區電塔PS-InSAR衛星視線方向年均變化速度成果

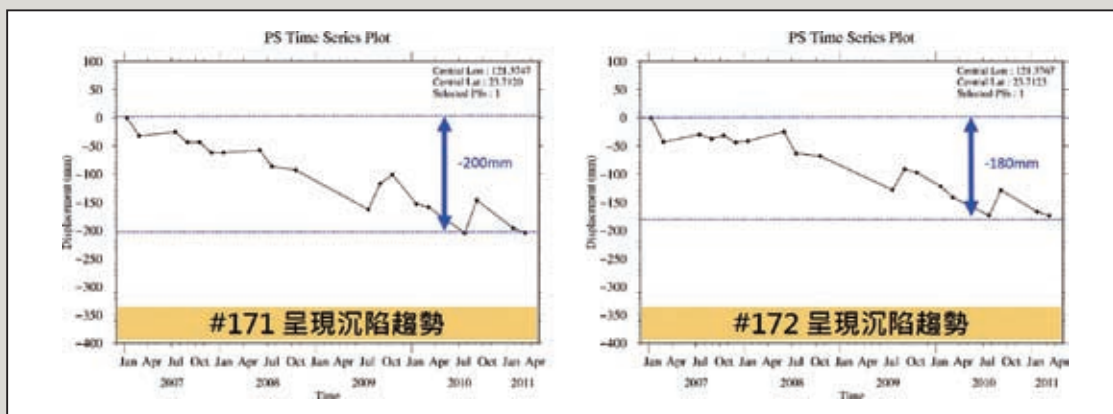


圖7 花蓮山區電塔#171及電塔#172之時間序列累積變化量

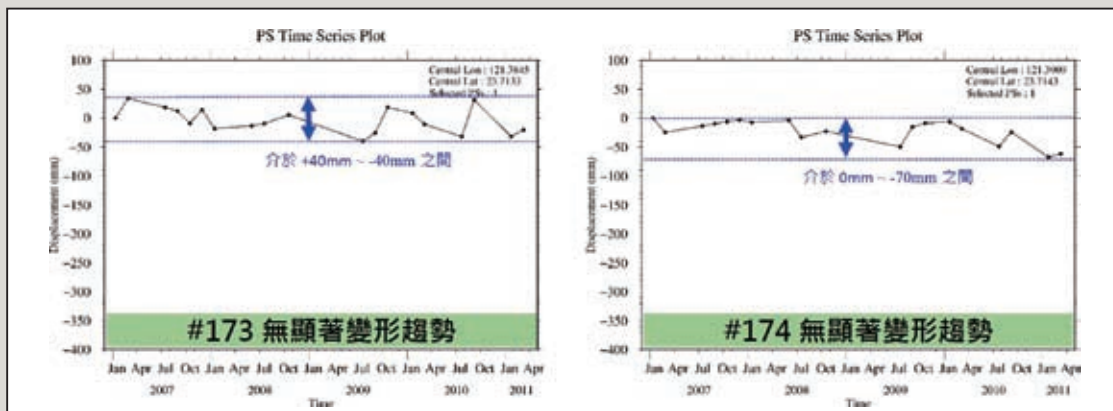


圖8 花蓮山區電塔#175及電塔#176之時間序列累積變化量

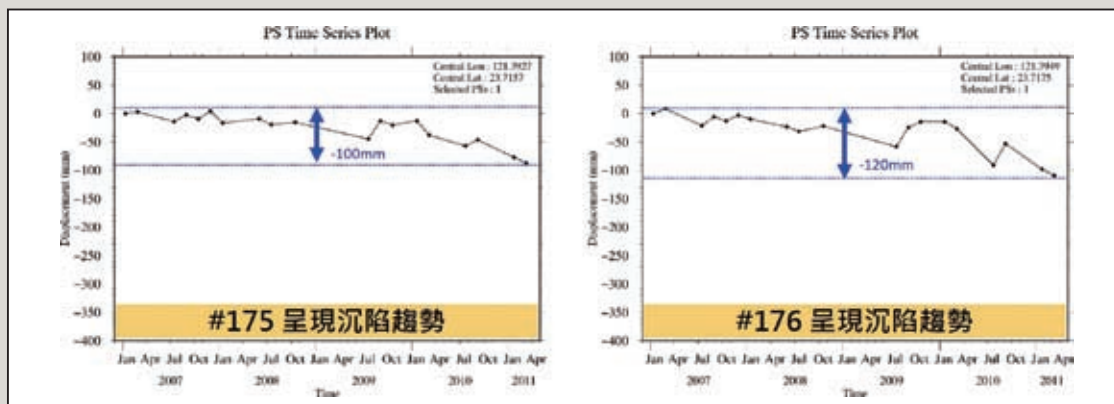


圖9 花蓮山區電塔#175及電塔#176之時間序列累積變化量

三、國道一號圓山橋案例

圓山橋實作案例使用之影像為Sentinel-1，解析度為20公尺，雷達波段為C波段，軌道方向為降軌。影像時間從2015年4月至2018年3月，共使用43張影像。圖10為圓山橋實作案例之PS-InSAR成果，其成果為衛星視線方向年均變化速度，正值代表變化量向衛星靠近（地表向上隆起）；而負值代表變化量遠離衛星（地表向下沉陷）。從圖10中可以觀察到圓山橋實作案例中，無明顯的地表變化趨勢，大部分的永久散射體年均變化速度皆在5公厘到-5公厘之間。本文之重點為工程結構體之形變分析，因此針對圓山橋結構體的部分挑選六處(編號A-F)觀察PS-InSAR成果時間序列的變化量，其成果如圖11至圖13所示。

由圖11可以觀察到觀測處A及觀測處B無顯著變形趨勢，觀測處A取二PS點之平均值，觀測處B同樣取二PS點之平均值。兩處時間序列之累積變化量約在10公厘到-10公厘之間。

由圖12可以觀察到觀測處C及觀測處D同樣無顯著變形趨勢，觀測處C為單一PS點之值，觀測處D取二PS點之平均值。觀測處C之累積變化量約在5公厘到-20公厘之間變化，觀測處D之累積變化量約在15公厘到-5公厘之間變化。由圖13可以觀察到觀測處E及觀測處F同樣無顯著變

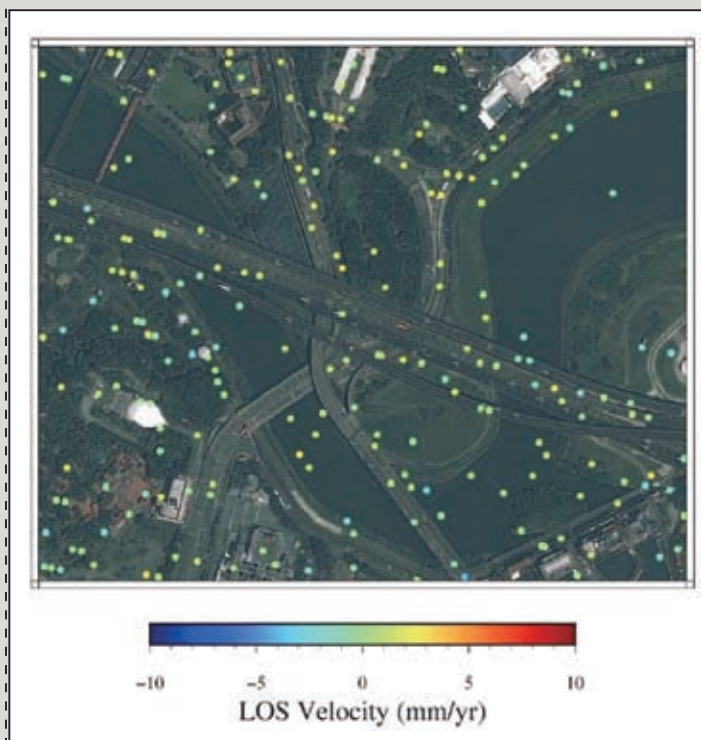


圖10 圓山橋PS-InSAR衛星視線方向年均變化速度成果

形趨勢，觀測處E為單一PS點之值，觀測處F取二PS點之平均值。時間序列之累積變化量約在10公厘到-10公厘之間變化。

檢視圓山橋實作案例成果，可以發現六處觀測處皆無顯著變形趨勢，但受影像解析度因

素，觀測處僅能初步判定為橋面，無法確定鉸接處之變形，其橋面變形可能已達穩定狀態，未來可與高速公路局地面監測成果做進一步之比對。除此之外，Sentinel-1影像為開放資料，使用影像毋須額外費用，且影像數量充足，可以提供較佳之時間解析度，但其空間解析度較

低，所以於橋梁結構體上獲得的觀測數較為有限，若期望於結構體上獲得較多之觀測數，未來可以進一步考慮使用解析度較高之X波段影像，較有機會判斷鉸接處之變形。

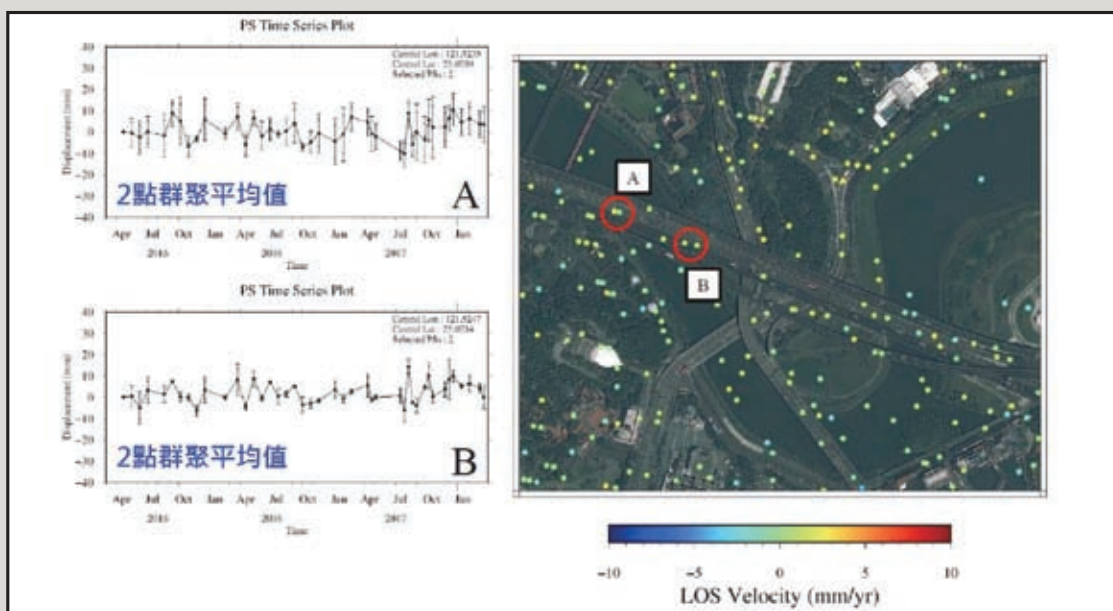


圖11 圓山橋觀測處A及觀測處B之時間序列累積變化量

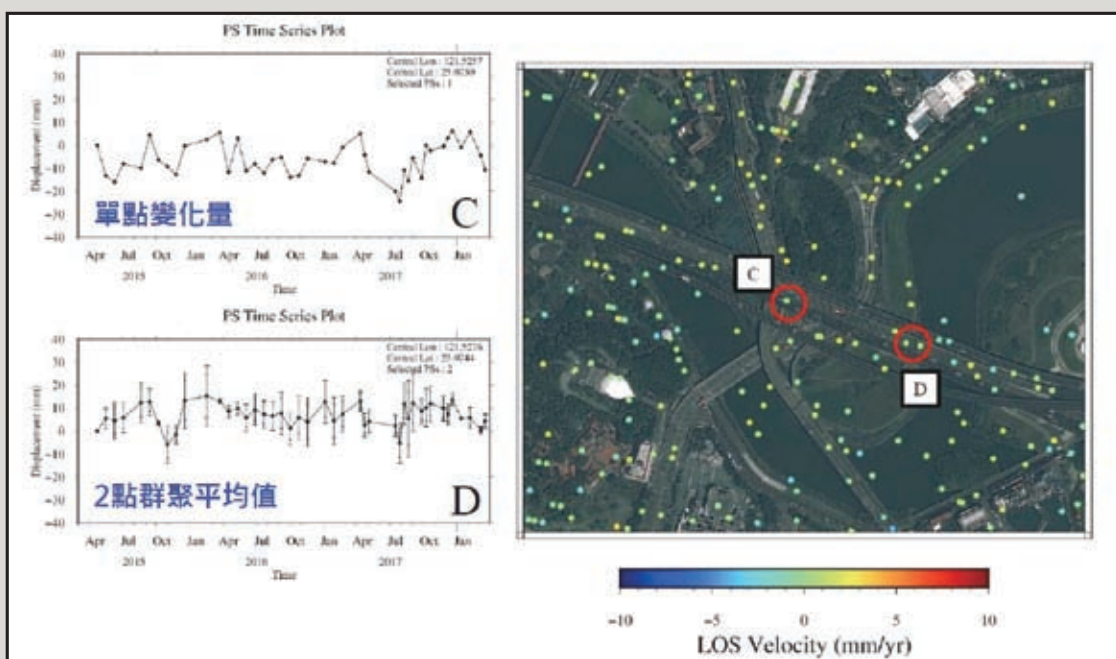


圖12 圓山橋觀測處C及觀測處D之時間序列累積變化量

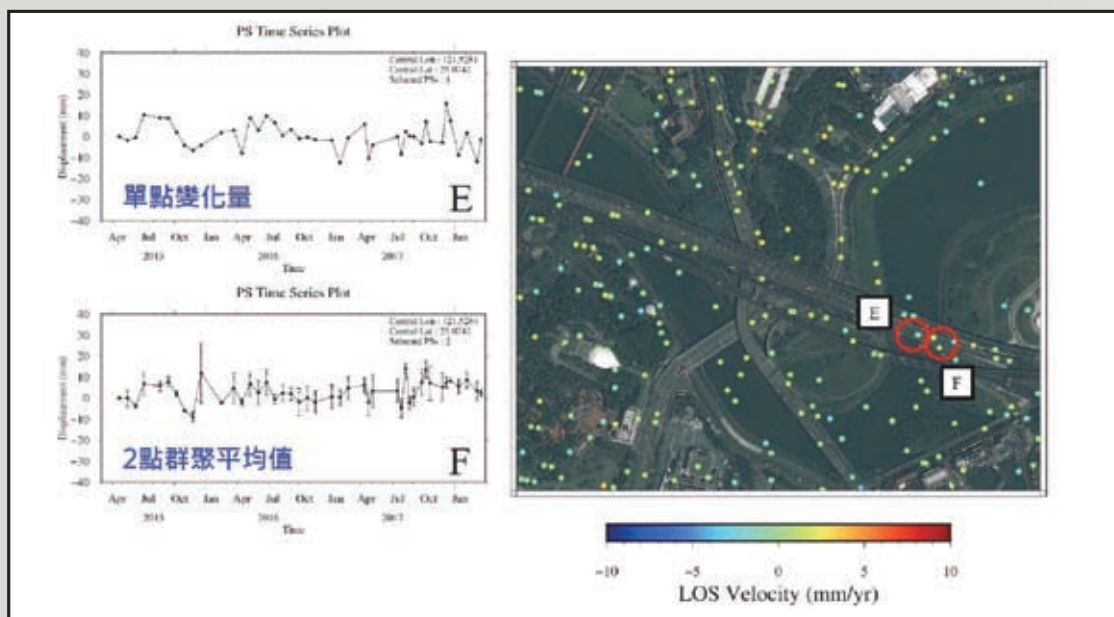


圖13 圓山橋觀測處E及觀測處F之時間序列累積變化量

肆、結論與建議

本文使用衛載雷達影像，並採用PS-InSAR技術進行三個工程結構體變形(沉陷)分析，展現雷達遙測技術應用於高鐵、廠房、電塔、及橋梁等工程結構物監測之能力。綜合上文所述，簡單歸納數點結論及未來建議如下：

- 一、InSAR技術運用於結構體變形分析，可以藉由時間序列之累積變化量掌握結構體變形之趨勢。
- 二、利用InSAR技術進行結構體變形分析，可以發揮遙測技術之優勢，相對於實地監測，其成本較低、涵蓋範圍較大且監測點密度通常較高。
- 三、若監測目標為如案例二位於不易到達之區域之花蓮山區電塔，利用InSAR技術可以克服交通不便的困難。
- 四、圓山橋為東西向的橋梁結構體，因衛星軌道及雷達波之特性，相較於南北向的高鐵

雲林段，較不利於雷達衛星之觀測。針對東西向的結構體，建議未來可以嘗試使用不同波段或是不同解析度之影像，或者利用新一代雷達衛星的Spotlight取像模式，以獲得較佳之成果。

- 五、為推廣InSAR技術應用於橋梁等結構體之長期監測，建議於既有及新建橋梁設置高反射強度之金屬角反射器，以提供良好的雷達反射訊號，以利在較長的時序中進行有效率的分析。
- 六、政府或是相關單位可統合資源，定期下載或購置衛載雷達影像，建置影像資料庫並進行長期監測分析，一旦發現有變形趨勢之位置，再搭配其它地面監測技術進行驗證及採取改善措施，以確保公共工程結構之安全。

參考文獻

1. 經濟部水利署地層下陷防治網：<http://www.lsprc.ncku.edu.tw/>
2. 交通部2018/5/6交通新聞稿：<https://www.motc.gov.tw/>
3. 交通部高速公路局國道1號圓山橋監測系統建置說明：<https://www.freeway.gov.tw/>
4. Ferretti, A., C. Prati, and F. Rocca (2000), Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE transactions on*, 38(5), 2202-2212.
5. Hooper, A., P. Segall, and H. Zebker (2007), Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos, *Journal of Geophysical Research*, 112(B7).

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

從工業時代到資訊時代，工程產業經歷了多波變化。從紙和筆的手動繪圖，到2D電腦繪圖，到3D BIM設計整合協同作業。本期中華技術內容聚焦蘊涵設計4.0概念的設計自動化及科技防災的應用實作案例介紹。我們希望能夠幫助專業工程師了解可運用資通訊最新科技來優化設計，引領我們了解所處的位置，並為運用資通訊科技來提昇工程產業之加值與創新提供更好的視角。

謹此特別感謝 前行政院長張善政、桃園市副市長王明德及中央大學太空及遙測研究中心陳良健特聘教授，能在百忙之中接受專訪，指引工程的科技創新應用與未來方向，以及撰寫專題報導的諸位作者貢獻心力，提供寶貴資料並分享實務經驗。



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
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>



第十六屆亞洲區土壤力學與大地工程學術會議

The 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 16ARC

會議主題：大地工程之新興市場及永續發展

台北國際會議中心 (Taipei Int. Convention Center)

2019年10月14日至18日

16ARC贊助機會如火如荼展開！

自1960年至今舉辦已近一甲子，為亞洲區土壤力學及大地工程領域重要指標的第16屆亞洲區土壤力學與大地工程學術會議 (The 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 16ARC)，首次由ISSMGE授權台灣大地工程學會主辦。此次活動為期5天，預計收錄論文數超過500篇，30個參展廠商，與會人數突破700人以上。

贊助方案

	項目	單項贊助金額
套裝贊助	鑽石級	NT\$400,000
	黃金級	NT\$200,000
	銀 級	NT\$100,000
	銅 級	NT\$30,000
單項贊助	標準展示攤位	NT\$100,000
	午餐研討會 (共3時段)	NT\$130,000 / 時段
	大會織帶 (獨家贊助)	NT\$80,000
	大會資料袋 (獨家贊助)	NT\$120,000
	大會工作人員制服 (獨家贊助)	NT\$100,000
	充電站 (獨家贊助)	NT\$100,000
	茶點 (共7時段)	NT\$60,000 / 時段
	大會手冊內頁廣告	NT\$30,000
	歡迎酒會	NT\$150,000
	亞洲理事晚宴 (獨家贊助)	NT\$200,000

另設有銅級個人贊助 (新台幣6,000元整)，贊助權益：感謝狀、大會手冊致謝。

*套裝贊助項目的選擇順位將依贊助款項入帳先後順序而定。

*請先聯繫大會秘書處確認您意願的贊助套裝 / 項目尚可選擇，若該項目已無餘額則大會將無法提供相關服務。

*為提供更多元的參展內容及資訊，贊助廠商可向大會提出特殊需求規劃，由大會評估後決定。

如蒙贊助請與大會秘書處聯絡：

林先生

電話：02-2798-8329 #40

Email: sponsorship@16arc.org

<http://www.16arc.org/>





財團法人中華顧問工程司

CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

since 1969

一同邁向五十 一道跑出精彩

10637台北市大安區辛亥路二段185號28樓
28F., No.185, Sec. 2, Shinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN
TEL : (02)-8732-5567, FAX : (02)8732-8967
www.ceci.org.tw

更多中華顧問
交通大數據
智慧交安
MaaS
智慧交控
設施維護管理



智慧 × 連結 × 合作 × 創新