

中 | 華 | 技 | 術 | 118

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2018. 4. 30 出版

軌道新契機 —— 前瞻與南向



台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物 /
交通部部長賀陳旦
高速鐵路工程局局長胡湘麟



吉隆坡地鐵二號線 (KV MRT2) DDC7標細部設計
開放式營建資訊交換標準 (COBie) 於捷運系統
全生命週期之應用
臺鐵車輛維修基地之整體規劃及運用
安坑輕軌跨新店溪高架橋之設計及施工規劃
基礎建設的多元籌資管道與民參投資

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

軌道新契機 —— 前瞻與南向



CONTENTS

中華技術 118

目錄

專輯前言

1 | 人物專訪

6. 訪交通部部長賀陳旦談
「推動前瞻軌道建設與新南向政策之挑戰與展望」.....
..... 整理：王慶麟·攝影：詹朝陽

22. 訪高速鐵路工程局局長胡湘麟談
「前瞻軌道建設與新南向政策」
..... 整理：王慶麟·攝影：詹朝陽

2 | 工程論著

34. 推動軌道技術研究暨驗證中心計畫
..... 楊正君



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.ceci.org.tw>

編審工作小組
總召集人 周禮良
副總召集人 王昭烈
118期召集人 李元唐
118期審查委員 陳幼華、魏雲魯、何泰源、
林信忠、林貴貞、黃文鑑

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.ceci.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎



3 | 專題報導

46. 吉隆坡地鐵二號線 (KV MRT2) DDC7標細部設計.....
.....李曲原、劉政雄、洪立平、邱奕哲、王銘傳

90. 開放式營建資訊交換標準 (COBie) 於捷運系統全生命週期之應用.....
.....郭榮欽、謝尚賢、李銘祥、黃伯凱、古如巧、呂衍緯、吳依儒、譚家瑞、王慶麟

104. 臺鐵車輛維修基地之整體規劃及運用.....
.....何泰源、韓光曙

116. 安坑輕軌跨新店溪高架橋之設計及施工規劃.....
.....張志斌、任萬山、張容慈、林旭翎、謝慶和、劉文瑞

134. 建築設計4.0之新思維.....
.....林信忠、林明宗、劉家璋

146. 桃園機場第三航廈設計BIM前瞻作為.....
.....盧祥偉、蕭富慈、涂根寶、張婉華

158. 基礎建設的多元籌資管道與民參投資.....
.....林貴貞、蕭孟玫、吳巧麗、林依潔



170. 吉隆坡捷運工程項目交付夥伴 (Project Delivery Partner) 所面臨的挑戰.....
.....陳高仕

編後語



專輯前言

目前政府正積極推動前瞻基礎建設計畫，其中的一項重頭戲是軌道建設，約佔總經費的48%。就全國鐵路網之建置，包括骨幹、城際、都會內鐵道建設做全面性規劃，以打造臺灣的軌道系統，成為友善無縫、安全可靠、悠遊易行、永續營運、以及具有觀光魅力的運輸服務。並藉此提升軌道產業自主化，促進經濟成長。此外，東南亞各國軌道建設方興未艾，鼓勵產業南向，開創新商機，也是政府的重要政策之一。本期出刊躬逢其盛，乃定名為軌道新契機—前瞻與南向。

本期專訪人物，很榮幸邀請到交通部賀陳旦部長及高鐵局胡湘麟局長接受訪談，兩位長官都是前瞻軌道建設的主事者，分別負責決策的制定與執行。面對「捷運蓋得起養不起」這樣的質疑聲浪，賀陳部長在訪談中，為我們作了完整而詳細的解說，從捷運系統的規劃到營運，交通部在審查過程中如何層層把關，都有精闢的論述。胡局長則特別提到若軌道的全生命週期成本要合理化，必須提高軌道產業的自主比例，揭櫫了未來軌道產業發展的方向，並對即將成立的鐵道局所負責之業務，也有一番介紹。本期刊儘可能保持完整的訪談內容供讀者閱讀，以避免造成斷章取義的困擾。

本期刊的專題報導，收錄了有關軌道的工程規設與促參投資的相關論文，讓讀者了解國內軌道重大建設的工作成果。海外捷運也有兩篇，都是派駐馬來西亞的同仁，為吉隆坡二號線捷運工程提供服務一年多來的經驗談，對有心進軍馬國市場的同業，是很有價值的參考資料。此外，高鐵局楊副局長也特別相助，為讀者們報導軌道技術研究暨驗證中心之設立願景與規劃，這是發展軌道產業自主非常重要的環節。值得一提的是，「開放式營建資訊交換標準(C O B i e)於捷運系統全生命週期的應用」研究計畫歷經兩年，終於有些重要的成果，可以跟讀者來分享，請讀者莫錯過，務必進來挖寶。

前瞻基礎建設計畫的成功與否，取決於專業的堅持與運量的培養。本期刊基於工程顧問的角色，對軌道技術及研發成果作專業報導，除與產官學界進行交流外，也期能拋磚引玉，引來更多的迴響，共同關心國家的重大交通建設及產業的發展。最後我們衷心的期盼，前瞻基礎建設計畫成功點亮台灣，讓台灣再次偉大(Make Taiwan Great Again)。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

李元章



訪交通部部長

賀陳旦

談

推動前瞻軌道建設與
新南向政策之挑戰與展望

整理：王慶麟 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

現任交通部長賀陳旦先生，62年畢業於國立中興大學土木工程系，隨後赴美進修取得維吉尼亞理工學院暨州立大學都市計畫碩士學位。學成歸國後，歷任臺北市政府捷運工程局副處長、臺北市政府交通局長、中華民國交通部政務次長、中華民國總統府「國土保育與開發諮詢委員會」委員兼執行長。92年接掌中華電信董事長一職，為強化市場競爭力，持續推動原本為國營事業的電信局走向民營化釋股、組織改造，並引進光世代、MOD等應用科技。惟改革期間，遭遇工會罷工抗議公司釋股的決策。幸處理得宜，使民營化、組織精進等改革進展順利，獲外界高度肯定。97年8月卸任離開中華電信後，擔任「臺灣生態工法發展基金會」董事長；104年1月復接任臺北捷運公司董事長。

部長閱歷豐富，博學多聞。專業領域橫跨土木、交通、都市計畫、環保、電信等，是國內極少數具有多重背景的交通專家，能以全方位的角度，思維交通建設的策略。加以辯才無礙，論理清晰，深得層峰賞識，屢屢委以重任。自105年5月起接任交通部長職務，以其學養俱佳，勇於任事與創新思維，領導交通部同仁，擘劃國內重大交通建設。最近政府積極推動前瞻計畫，其中交通建設預算比例高達48%，部長將再展長才運籌帷幄，開創臺灣交通建設之新猷，讓前瞻計畫成功點亮台灣。本期很榮幸於民國107年3月30日專訪賀陳部長，以下是訪談紀要：

貳、訪談紀要

107年3月30日由周董事長率隊訪談交通部長賀陳旦先生，訪談之前先向部長介紹中華技術期刊，作為開場白。

本期刊創刊於78年1月，至今邁入第30年，每逢一、四、七、十月出刊，已出刊117期，今年四月將發行第118期。從中華顧問工程司至台灣世曦工程顧問公司，本期刊除了紙本外

還有電子化期刊，每期發行約二千本，發送給官方、同業、產業、學校等機構，目的除了公司內部的技術傳承外，亦希望與各界交流，分享各項工程建設及研發的成果，非常受到各界的肯定，期望中華技術期刊能對國內土木、結構、環境、機電…等工程專業技術的提昇盡綿薄之力。今天特別帶第100期，期刊內有產官學界對世曦的期許及祝福。

期刊內容主要二方向，一為人物專訪，二



為專業技術分享，雖專業技術在期刊內非常精簡，但其更專業的細節可進入網路閱讀，目前以QR code電子方式可下載專業技術，除了節省紙本的環保考慮外，也因電子攜帶更為便利。

去年政府推動兩大重要政策，一為前瞻建設、二為新南向政策，其中軌道經費佔前瞻建設的48%，政策的走向會影響到軌道工程的方向，本期的專訪將針對前瞻建設軌道工程及新南向政策向部長請教，以下開始進行訪談：

問：

1. 一個都市的捷運系統只蓋一條線是不行的，因為沒有經濟規模，像臺北捷運當時就六線齊發才有今天的成果。而現今各地方政府各自提出捷運路線，若無整體的規劃而隨興的一條一條蓋，蓋可能容易，將來要養它卻很困難，交通部針對這問題將採取何種策略來規劃與因應，以避免未來營運上的虧損。
2. 與臺北捷運運量比較，各地方捷運運量明顯不足，所以目前朝向輕運量規劃，但輕軌系統很多是有專利的，若各地方政府各作各的，將來營運、維修保養會造成很大困擾，不知部長對

系統採用方式有何方法以免造成零亂。

3. 國人關心軌道工業發展已久，都知道國內車輛自主性比較低，是否藉這次重大建設來逐漸提高國內軌道工業的自主性？

答：先不管捷運一條線是不是足夠，但確實前瞻建設約有三分之二項目是偏向地方，但也有些項目是國家路網的結合、或是觀光路線等屬於國家政策要推動的，期望軌道的服務更多元。而比較屬於地方(約占2/3)的可分二類，一部份是立體化，另一部份是廣義的捷運系統。雖不見得地方或區域需很多條捷運路線，但應從地方上仍須靠交通建設與公共運輸的營運，以提昇居民生活品質及創造特色等，作整體的思考。這個整體可以顯現在捷運網路、公車網路、主要公路、停車場安排…等，即所謂的整體運輸計畫。城市夠大、財力充裕且有決心者，比較願意以密集工程投資來改善，而這密集投資可以是軌道、快速道路系統等，其基礎是整體運輸計畫。臺北市約在30年前，整體運輸計畫是採用大電腦、程序性的模式去推估運量或訂定票價，合理票價相對於其它交通工具具有競爭力，才會產生運量。而現今電腦運算能力遠超過過去的幾百倍，以前一個禮拜才可出來的答案，現在可能2個小時即可計算出



(左)周禮良董事長 (右)賀陳旦部長



結果，提供給決策者做判斷。這代表交通部會要求各地方政府做整體運輸計畫已不是龐大且遙遠的事，因為所有工具上都已成熟，且不需花太多經費及時間，各地方政府應該都可以做到。

有了整體運輸計畫後，再來談軌道規劃及建設。經過長期經驗的累積，包括CECI等顧問公司都已有成熟技術。對於一條新開發路線，從人口密度、道路環境的資料，即可快速做一個分析，得出大致上的建設經費與工期，也就是整體運輸計畫是提供模擬性的需求，而軌道規劃則是提供工程的代價，包括費用與工期，很快的可以做初步決策，來判斷要不要進行後續工程上的作為。在經費時間有限的條件下，也可考慮採不同策略，例如：捨地下而改高架、或採公車專用道、或做快速道路等等，由於現在決策資源的環境比以前更加成熟也更dynamic，所以我一直期望各地方政府能提出整體運輸計畫。

去年部裡花半年時間在審查辦法中作一些檢討及修訂，並與各地方政府溝通。在今年2月9日交通部頒定新的捷運審查要點中，就有要求各地方政府要提整體運輸計畫，但迄今各地方政府仍有疑慮，質疑提出後交通部是否就要核定及執行？其實地方建設是地方自治事項，交通部對地方的整體運輸計畫只是備查性



(左1)湯儒彥研究員 (左2)陳幼華資深協理 (左3)王慶麟經理

質，主要還是要了解地方政府對整體建設的構想。

藉助成熟的分析工具來理解軌道建設。第一，當整體運輸上不只有一條線時，整個網路有多大的規模，準備在財務上做多大的投資等，以此做為基礎，探討未來將選用何種系統技術，而不是每條路線各有自己主張的系統。其次，進一步來思考營運維修部分，包含主要機廠、維修設備，以及維修所須的過軌配置等，在一開始就要規劃好，例如：車輛之間的



(右3)李元唐副總經理 (右2)周禮良董事長 (右1)賀陳旦部長

整合、維修過軌的路徑等。第二，判斷投資這樣的系統技術及車站配置之下，所能達到的服務水準，思考用何種費率政策、何種發車班距以及服務水準會達到多少運量，由運量推估收入，與營運所需的成本比較，才知道養不養得起？若會有虧損，再思考如何開發業外收入，項目如：廣告、停車費等，但這些隨著都市客觀環境會有它的限制，例如臺北捷運路網長度略遜於香港地鐵，但廣告收入卻遠不如香港，其原因是台灣與香港之國民所得及商業化程度不同，所以廣告收入有它的先天限制。然而在

土地開發上，卻往往代表當時首長的企圖心，譬如對用地變更上有積極的作為，或提高聯合開發的獎勵容積率。經成本效益分析後，再評估財務上還有那些開發的可能性。

另一個關鍵為服務水準，其中一項是旅客轉乘的方便性，譬如臺北捷運在很多車站，下車後可在對面月台轉乘，非常方便很值得稱許。要做到這一點，必須就整體路網事先做好轉乘規劃。若車站因建設期程相差太遠，未預先把基礎鋪陳好，日後就會造成轉乘效率



降低。以整體路網來看，包含車班安排、服務水準與費率三者之間，可以作一些動態的情境(scenario)估計需求，再據以進行財務分析。

路網問題還有一部分是所謂的分期建設，以往為了尋找機廠(位在郊區)，通常路線會拉得很長，從郊外一路拉到至市中心，因而一開始就要負擔很重的系統成本，包括機廠設備、車輛等。其實應該考慮做適當的分期建設，即使在一條最繁忙的路廊，也無需在第一期就將整條路廊完成；或者可以用分段區間營運的方式來安排班距，中間熱鬧地段班次加密，兩端郊區班次可較疏等。藉由路網理解整體運輸的需求分佈，才能提出分段區間營運策略，安排區間車的調度。以捷運新店線為例，為何把分段車站放在台電大樓，致後面的車站班次較少？必須從整體路網來回答這問題，不管它的答案是需求上的門檻、路線上的工程條件、車輛的營運調度等，都須根據路網圖才能做決策，納入整體運輸計畫。

所以我們要求地方政府要提整體網圖，納入審查的必要條件，地方政府或審查人員也許無法體會網圖的代表意義，但至少先利用專業的軟體工具做出一個邏輯，將來才可與交通部溝通，尤其系統選擇部分，整體網圖勢將成為重要決策的依據。



桃園國際機場聯外捷運系統/青埔機廠

有了路網後，要請地方政府做兩件事：一為控制成本，二為培養運量。

就控制成本而言，首先地方政府應有捷運規劃、營運的幕僚專業人員，而不是只有彙整招標文件、開會、紀錄的行政人員，將專業技術及決策性的討論全部仰賴顧問公司，過程中完全沒有地方政府的專業幕僚參與。總之，控制成本應本於自己同仁專業上的認知，包括路網中路線的選擇。路網規劃係基於專業考量，不要被政治牽著走。



另外，控制成本中還有一部分是車站太多，某些地方其人口密度遠疏於台北，但要求車站的設置密度可不疏，只要是大路口就要設，未考量服務人口。須知車站的設置成本遠大於路線段，除成本外也包含工期、長期營運等等，這些都要列入考慮。

第二個控制成本在於建造型式，通常地方政府對佔用道路面積較多的平面交通建設，多有所忌諱而不敢碰，就連高架柱子、車站出入口等，也不予考慮，動輒要求要地下化。應該讓地方充分理解選擇地下化造成成本增加，須

要付出多少代價。如果系統選擇在路網規劃時就納入思考，到了個別路線的建設時，透過專業評估來控制成本，包括：車站位置、建造長度、建造型式等，相信會對經營失控(所謂養不起)達到有效的節制。

再來談到培養運量的作法，最傳統的培養方式是，在預定建設的路線上，先透過公共運輸工具的服務，例如公車、計程車等，讓地方民眾習慣於搭乘公共運輸，將來只換個交通運輸車種，其行為已具有公共運輸的導向。



台北捷運文湖線／大湖公園站

常常有人說臺北與高雄捷運的每公里運量有相當差距，固然在人口密度上臺北市比較高，但很大原因是台北搭乘公共交通工具的人口很多。大台北地區受到地形限制影響，三面為河所包圍，舉凡對外發展，不管工業區、國民住宅、大學、上班等皆須跨橋過河來往，靠公車通過這些隧道或橋樑的狹隘瓶頸來運輸，



橋面上收集了多少公車路線的運量，就是收集了多少潛在的捷運乘客。反觀高雄沒有這些交通瓶頸，幾條南北向主要道路(如中華路、中山路等)的南端，均屬於中鋼、中油、台鋁等產業的工業用地，當初成立院轄市時，是以人為方式併進來，並非商業集中的已開發地區，其都市計畫比較原始，尚未規劃都市道路、住宅區等，未形成運輸走廊型態，提供通勤通學搭乘公共運輸的乘客來源。相對於台北有20年公車走廊的培養，公車乘客已習慣於搭車的行為模式：從家走路至公車站、等車、認路線、買票上車，這些行為比起騎機車複雜很多，但與搭捷運相似，習慣養成後自然就成為捷運的乘客。高雄捷運營運初期也是在培養運量，讓乘客改變用車習慣後，運量才逐漸增多，現在也達到了預期水準。培養運量最簡單方式在於把公車路線上集中某一交會站，或將來幾個可能設站的地方，除平行路線外，以樹枝狀、非字形、魚骨形等橫向路線，匯集到捷運車站，捷運廊道上有密集的公車路線，吸引更多的乘客來搭乘，捷運站即成為旅客轉運的集散地。

第二培養運量為限制私人交通工具，在台灣一般性的限制路旁停車，可能會造成反彈，若於商業密集地區或主要公車站之前後，嚴格限制停車，民眾發現不易停車後，就會慢慢調整習慣，改搭乘公共運輸工具。除了這些必然的運輸使用者外，再來就是慣性運輸使用者，

大部分是通勤、通學的乘客，是為第一波運輸運量。還有非慣性運輸使用者(如餐飲、購物的消費者)也是運量的來源，必須在車站附近創造吸引人潮的商業活動，譬如：補習班、百貨公司、電影院等。商圈初步形成後，再來調整及提高商業活動層次，例如設立銀行或分行及興建商業大樓等，房地產業者願意蓋高樓投資門面，辦公室租金才會拉高，吸引更多且更高檔的商業進駐，不斷的增強商業集中度，造就第二波都市計畫的運量來源。

另外還有一部分運量來源是非商業但公共服務性質高，目前台灣做的還不夠多，例如：社會住宅、長期照顧中心、補習班、圖書館等，將來應該有意的引進來。社會住宅對年輕人、長期照顧中心對老人而言，都是屬於短暫居留，最多5至7年就離開，住客替換率高，算是政府資產中，能提供比較廉價且完整照顧的都市灘頭堡，吸引需要協助創業的年輕人或需要照顧的老人家短期進駐。因為這些設施的引進，從財務觀點看並不具經濟效益，目前政府做的不夠多，即使聯合開發也不會做。有機會可專訪臺北市柯市長，他認為臺北捷運有三大失敗，其中之一為商業行為太少，建議捷運應跟商業做緊密的結合，這我一部分同意，但有時候又在思考結合的意義為何？是要幫助一些人投資？還是營運者能增加業外收入以提高服務品質，而不用提高票價？如果後者都沒有



高雄捷運／油廠國小站

做到，只是給投資人作更多的商業利用而不回饋，且地方首長又不敢合理的調整票價，如何鼓舞營運人員服務升級？

所以第二波都市計畫人員上場，希望不只是增加運量與商業廣告收入外，也期望都市的風貌可以因為捷運的加入而有所改善。

對於系統選擇與是否養得起也有所關聯，除了台北外，大部份地方其運量確實不能達到重運量的規模，可能會選擇其它系統型式，地

方政府各自選擇系統時，除從審查要點上要求提出整體路網外，也要引導地方政府需配合軌道產業本土化的政策，來扶植國內軌道產業。大致上有以下三個策略：

第一、Top-Down。於跨部會間成立軌道推動小組，由經濟部負責軌道產業技術的提昇、整合性能力的開發，包括製造能力、驗證能力等；公共工程委員會則在採購法上，讓產品及規格於招商時可以有更多彈性，提供發包的誘因。例如新北市捷運繼淡水輕軌後，在安坑線



就以擴充條款方式，於未來繼續採購車輛；交通部的角色則從審查要點、控制成本的議題上，與地方溝通，引導他們在異中求同中選擇系統，讓技術零組件可以相通，以創造更多規模化的零組件，及整合性的系統技術等，這些都在審查開始時就要引導地方來做。

第二、Bottom-Up。類似高鐵公司去年舉辦open house，今年5月份臺鐵也將舉辦，邀請臺北捷運局、高雄捷運局參展，針對消耗率高的零組件或備品等，提供規格、採購數量與價格，看國內廠商有沒有能力，或有沒有興趣與國外廠商合作，甚至代理等等，希望能幫國內軌道產業提升技術與能力。

第三、介於二者之間，由top-down執行下來，有些目標性零組件與系統想在台灣擴充，也許他們缺資金或者缺技術支撐，更可能是缺乏品質的驗證認證，導致國外無法接受他們的產品，因此前瞻計畫就有規劃成立軌道技術研究暨驗證中心。

倘若運量不夠大時，系統選擇性還有多少異中求同的機會？坦白說，地方的決策首長也常會被廠商包圍，推銷他們的科技產品，確實在某些領域有比較先進，譬如：更省能、更安全、更智慧等。若地方首長很重視又有心想超越前人，top-down的策略就會面臨挑戰，憑

甚麼認為那些產品要列入top-down？是因在擴充採購中被當作必然選項？或在國際產業被認同，因它是reliable, universal,維修沒有零組件的困擾？或是cost-effective？當然不可能排除廠商來台灣推銷更先進的產品，但當運量不足時，在沒有辦法用傳統證明top-down產品的性能(performance)之前，如何選擇異中求同的技術？如中華技術期刊中提到捷運工程三鶯線、萬大線、高雄輕軌，尤其輕軌有很多先進技術的結合。目前我們尚無法清楚的界定那些圖像(picture)或那些功能(function)就是我們異中求同中，想要追求規模化的軌道廠商，來作為top-down的延伸；只能大略的說，基本硬體結構(hardware structure)是wheel on rail，在wheel以下之組件比較universal，它可能不是多先進的技術，但這些技術有適度的universal，就代表各種技術零組件有機會規模化，可以支撐台灣某一部分的軌道產業。大部分的土木領域，沒有軌道產業障礙；較有挑戰性的是wheel 以上的轉向架、車廂設計、加速馬達、控制馬達能力、車廂間的連結、控制系統等，可能有專利問題，目前無法界定。假設讓廠商願意在標案上互相爭辯及檢討，從台灣已有的營運做基礎，回頭檢視這些爭辯的項目，它的全球性趨勢如何？找出幾種可能性後，再來進行第二、第三回合，然後逐漸收斂，找到異中求同的可能性，這是我目前從wheel on rail開始，逐漸往上收斂的想法。



賀陳旦部長



問：感謝部長給予三個重要政策的指標。

對於路網的興建往往有擴充條款，把第二期條款放入第一期中，讓系統都一樣。倘若新首長上任要編第三期，不再採納擴充條款，這些政治性的路網，若交通部對其採用的系統先予制訂，就不會有大的變更，可以簡省不必要的問題。

再來，若將最先端的技術首次引入國內的公共運輸系統，會有被當成白老鼠來試驗的疑慮，同時日後維修也有問題。通常引進一定是成熟的捷運系統，才會開放使用，請教部長這方面的看法。

答：恐怕很多首長都排除不了這誘惑，我們還在討論中。交通部有一些潛規則，希望慢慢來建立，以陽春麵加滷蛋來做比喻。如果地方政府要做公共運輸的軌道建設，中央單位願意支出最基礎的項目經費，也就是只給陽春麵的錢。倘若地方政府有更高檔的要求(加滷蛋或更多東西)，則由地方政府自行支付。在最近交通部的業務會報中，有請高鐵局將一本書中提到Berkeley案例，與部會的同仁分享。這案例在原規劃時經過議會投票通過，確定建造型式為高架結構，但地方政府要更改為地下結構，最後結果就是由地方自行負擔。

其次，工具上既然有dynamic運輸計畫分析模式，應好好利用。假設某路線原來10公里長，要再延伸8公里，應分析檢視延伸後的運量有沒有增加？是否能提供更大的貢獻度？若延伸後的運量，是低於原來路線運量的平均值，亦即成本效益反而差，則不需要蓋。當然到最後可能還考慮其他因素，以致這個潛規則還不太敢用。

問：交通部是否可以先行制定一些遊戲規則，譬如系統於全世界使用十年以上者，才將之納入考慮？

答：中國大陸三線城市以推動地鐵計畫，來擴大內部需求，客觀上在運量及財務均不足，因此就各自選擇既有的國外系統自己加以改良，並透過國家有意培養的北車或南車來發展，用國家資源在推動這件事情，五年就可以生產。

問：建議系統不要太多，用列車長度與調整班距來因應運量，可先行制定由2至3種車型的標準規範，將來供各都市系統採用，若運量增加可以增加車輛節數因應。將車輛標準化使全國通用，城市間即可互相支援，有助於國內產業的提升及方便營運維修。

補充：

這規定在工程會可能沒有辦法，但若有制定條例，公家單位即可遵循，然而目前尚未實施。

答：臺北捷運車輛為重軌系統，而各地方運輸量不同，難以臺北捷運作為標準。但以淡海輕軌車輛作prototype，是否合適？或者提供2-3個車種，用wheel on rail的原則找出異中求同，提供其他運量不足的城市來選擇，友善輕軌若能被接納，是一個不錯的選項。期望輕軌慢慢被大家接受，它的運輸類似Bus，對都市景觀也有很大的改善。只是地方上深厚的汽機車文化，讓平面輕軌在執行上遭遇到不少的阻力。



高雄輕軌捷運／真愛碼頭站

問：就南向政策對工程界、技師及營造廠如何配合政策？目前CECI已經建立海外據點，吉隆坡設立子公司，及雅加達設立辦事處，未來將再繼續擴充以拓展業務。尤其在吉隆坡，已完成MRT2三個車站工程設計，也因CECI表現良好，當MRT3工程推出時，業主再度邀請CECI能夠來投標。由於之前已打下良好名聲，未來當地高鐵高架段及車站部份，CECI亦有機會標案。又最近向雅加達推廣捷運業務，結果當下50萬美金的案子就簽約。目前台灣規模目前仍太小，應以何種模式走出去？

答：CECI國外經驗很多，不管推動南向多久，目前觀察仍侷限在公共工程。公共工程由政府發動，會面臨其制度是否開放？相關官員的專業知識與是否遵守法令制度？以及環境不確定等風險，但更大的的是外交問題。

目前可能有二種方式：

1. 形成團隊。團隊的leading firm須沒有政府色彩，以減少障礙。臺北市柯市長提出要將捷運局的人力移至交通部成立總局的政策，協助各都市的捷運規劃、興建與營運。其實現在地方捷運路線幾乎都已有所決定，沒有空間再讓中央規劃；更何況長期營運碰到很多事情，包括路線要走哪、要選用哪一種系統與技術、哪些站要做聯合開發、費率要如何訂定，這對地方發展與經濟利益關係重大，地方政府不會想



交給別人代勞。應該將捷運公司的人從其工作經驗的累積，培養成為專業人士，再以公司名義走出去，leading firm不管CECI或是廠商，不是以公家色彩，而應拿給業主看的是公司團隊的表現，如營運可靠度等，代表團隊有好的品質，才有機會爭取工作。

2. 有一些公共工程的項目，應以商業目的及財務投資作為敲門的開始。碼頭的建設、堆棧及物流中心建設廠商在這一波中也有機會，有時船公司/貨主願意帶著公共工程的單位出去做，因不必擔心政府色彩；也可能是自帶資金與當地合夥來興建工程。最近15年來國際航運有變化，一部分是因應油價，另一部分是因科技進步，使各種交通工具變得更好，例如現今的飛機引擎製造更省能、安靜、耐用。同樣船務也是如此，大船為世界趨勢及資金雄厚的表徵，然而也因此而改變地區的運輸模式，造成很大的威脅。最近10年航運界的大事，包括韓國最大航運公司前年倒閉，及去年日本3家航運公司合併成1家。大船化的結果，造成很多港口不符使用，需以龐大資金建立港口大船，或是由當地政府來興建港口，所以大船化在東南亞重新建港是很常見，且具有很大的工程能量與商機。

問：目前我們大概有三種方式爭取工作：

1. 大財團為大統包，CECI作統包商的下包。
2. 直接承包亞銀的業務，如寮國永珍、印尼等業務。
3. 與日本公司合作，長期建立關係慢慢拓展。

答：這模式航空界也有。廉價航空通常將不重要機場重新整頓，或主要機場需要新的航廈，代表Carrier轉變後，seaport, airport也要做改變。以貨來說，不可能剛好有停靠大船的碼頭，其它港口也需重新改變習慣，改以轉乘方式，所以會形成中小型的村莊，小船也會有市場，代表貨有另外的物流中心安排；而大船到了大港，還需要由更多小船進進出出來支援大港。可能要開始注意物流，現在有電商、跨境支付，其實是代表有更多的to see business出現。以前有批發商、中盤商，如今透過網購跟物流的洗牌，包括郵政、貨轉郵，大宗貨到了某些地區不再用原來通路，改與郵政合作，直接送到consumer。代表貨流與以往不同，需要物流系統、倉儲及相關建設包含建築或交通等。



台灣世曦同仁於馬來西亞吉隆坡捷運監造現場

問：由物流聯想到車聯網及無人車發展，會不會影響大眾運輸型態的改變？

答：這應該是兩回事。不太可能用個別車輛的運送，就可以取代高運量的運具，來滿足高人口密度都市的運輸需求，畢竟運輸能力相差太大，且受都市道路面積的限制。車聯網目前還只在安全上面的突破，但效率性與公共性的功能尚有待提升。Uber事件發生，最大困擾在於自駕車的技術部分，需排除人的因素到甚麼程度？要不要維持有駕駛功能的存在？或共乘人

之間的相處，要如何管理？這些人的因素與社會價值大有關係。

後記

承蒙賀陳部長在百忙之中撥冗接受專訪，訪談過程中，我們像是在聆聽一場精彩的演講，部長把過去社會大眾對前瞻軌道建設的疑慮，藉由這次專訪，做一個完整而詳細的解說，軌道建設從規劃到營運，如何層層把關，都有多元的論述。

1

人物專訪

| 中 | 華 | 技 | 術 |

INTERVIEW



訪高速鐵路工程局局長

胡湘麟

談

前瞻軌道建設與
新南向政策

整理：王慶麟 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

高鐵局局長胡湘麟，畢業於國立交通大學運輸管理學系，歷任交通部運輸研究所工程司、高鐵局科長、副組長、組長等職務，自96年1月起擔任高鐵局副局長，並自102年6月起兼代局長職務，多年來領導高鐵局同仁，積極推展高鐵及各項捷運工程建設，以及鐵路營運監理業務等，始終秉持優良的工程專業精神，如期如質完成各項使命。

局長從高鐵成立籌備處就全程參與推動高鐵建設計畫，包括催生辦理BOT的法源依據—獎參條例之立法作業、辦理各項先期規劃作業、徵求民間投資招商作業、招標甄審作業、興建營運合約之議約、融資協助、簽訂合約等，直到監督興建完成，通車營運，局長無役不與，見證高鐵從無到有，完成歷史性的任務。而在代理局長期間則領導全體同仁，全心全力投入處理機場捷運機電系統進度落後的艱鉅任務，於歷經一年餘的努力，獲致突破性進展，讓國外各家關連廠商更緊密結合，以辦理各項測試作業，使機場捷運得以朝既定完工通車之目標繼續前進。

胡局長於103年9月25日升任交通部高速鐵路工程局局長並代理鐵路改建工程局局長，以其學養俱佳，積極任事與創新思維，帶領全局同仁，賡續推動交通部交付的各項政策，將機場捷運建設工程完工通車，提供國內外旅客優質「無接縫」公共運輸服務，再創臺灣交通建設的新紀元。目前正擔負起鐵道局成立的任務，並為前瞻軌道建設的展開繼續貢獻心力。本期刊很榮幸於民國107年3月23日專訪胡局長，以下是訪談紀要。

貳、訪談紀要

問：由於鐵道局今年即將成立，而局長目前身兼高鐵路局長及鐵工局長職務，於今年初即忙於鐵道局成立的相關作業，是否請局長說明未來鐵道局業務的方向及對鐵路建設的期許。

答：有關成立鐵道局早已被提出，當時大方向是為了行政院組織整併，最近一年多，因前瞻軌道建設及軌道產業發展需要，成立鐵道局之議再被重提。鐵工局先於72年成立，進行鐵路地下化工程，之後接著做立體化，範圍也從台北市擴及到除南投等少數幾個縣市以外的地區，工作重點基本上是地下化、高架化土建工



程，雖也有一些核心機電，但只限於某些路線段上。

高鐵局於79年成立，以BOT方式執行高鐵建設計畫，高鐵完工營運後，接下來的工作範疇都是在機場捷運工程，它的領域相對於鐵工局而言是不相同的，尤其在核心機電系統的車輛及號誌領域上，彼此差別更大。由於二個局過去專職方向不太一樣，單純整併二個局，大概都已把軌道相關工程都涵蓋了，賀陳部長根據過去發展的歷程，深刻了解其間的變化後，更積極推動兩局合併，並賦予未來鐵道局重要的任務包括鐵路監理及軌道產業發展二大範疇。



胡局長陪同交通部王國材次長視察
機場捷運預辦登機作業

在監理業務方面，高鐵局原本由高鐵興建營運合約上的監督角色，慢慢演變成鐵路監理單位(交通部鐵路營運監理小組)，從合約的監督擴充到法律上的監理，把鐵路法規定的鐵路包括民營的高鐵、國營的臺鐵、專用的林鐵及糖鐵等全部納入。以高鐵局發展的過程，除了



(左1)鄧楚樑經理 (左2)歐文爵經理 (左3)何泰源協理

原有的站區開發業務外，監理也逐漸成為重要業務。另外，為配合前瞻軌道建設計畫，扶植國內軌道產業技術發展，提升國際競爭力，也是鐵道局新的任務。

因此，鐵道局未來工作：路網規劃、工程推動、站區開發、鐵路監理、產業發展五大領域，過去以前三項為主，後面二項雖然是較慢才加進來，但現在看起來鐵道局業務發展反而以監理、產業為重。所以若鐵道局將來要繼續發展下去，除了組織、功能仍維持既有方向外，應在相關職能及專業上，慢慢由工程擴及



(右4)李元唐副總經理 (右3)胡湘麟局長 (右2)陳幼華資深協理 (右1)王慶麟經理

法財，以及我們比較陌生的區塊-產業發展，這是二局同仁未來要面對新增業務帶來的挑戰。

問：未來臺鐵的監理將由鐵道局辦理，所以在人員組織上可能會擴編人數。不過就以新的業務來看，再請教局長有關服務與監理問題，以及對未來提升施工性是否有改善方法？

答：監理業務是以安全為首要，現在資通訊技術應該能夠運用到鐵路方向上，例如影像辨

識系統，主要運用在車站的安全管理上比較成熟。高鐵公司與中科院合作在新增的苗栗、彰化、雲林三站建立場站智慧型CCTV系統，運用智慧影像分析技術，監視站內旅客的動態，未來相關的運用也可逐漸由高鐵擴大到臺鐵。目前臺鐵豐原車站也正建置智慧型CCTV系統，並訂定相關作業的SOP。其它部份的高鐵經驗，如沿線災害監測告警系統，也可以提供臺鐵參考運用；另外核心機電方面像車輛、號誌屬行車部分也有機會相互運用。



問：鐵道局幾乎掌握台灣未來軌道的發展方向，以您運輸管理專業及本身高度的理想性，台灣未來的軌道運輸要如何與國際發展做聯結？

答：如果過去待過營運單位，我的想法會更多元；對規畫面我覺得在於平常多觀察，並透過工程的執行去了解。目前在南迴鐵路工程施工的一家廠商，就願自己多花錢佈設監視系統，以提升工地周邊施工環境之安全管理及沿線的通訊。若從業主角度，這樣的案例，就工程監督立場，業主實應在發包文件上就直接要求廠商辦理，來提升日後興建及營運階段之安全。

我曾經去德國柏林的一個鐵路車站考察，在中央控制室恰巧目睹站內速食商店失火，一時警鈴大作，中央控制室人員的螢幕數十個切割畫面，突然跳出現場的影像，並提出警訊，未經人工通報程序，5分鐘內警車就趕到車站進行交管，再過不久消防車也到達現場救火，警鈴運作直接連到警察通報系統，大幅縮短救援時間。國內花蓮壽豐車站高架化後設有逃生通道，平時禁止一般旅客進入，臺鐵在不增加人力的情況下，要同時處理地面及高架上的旅客進出管理，於是要求在車站加裝監視器，監視畫面則拉到站務員辦公室；若有緊急事件發生，站務員看到時，再以電話通知相關警消單

位來處理。但問題是站務員人力少，恐怕無法全程監視，風險還是存在，那為什麼不直接將監視系統連線，一併通知相關單位來支援？這種系統建置成本不高，但重要的是相關單位的運作如果能夠取得共識，資源就能夠整合加以充分利用，達到預期的功能。

另外有關軌道產業要如何與國際發展做連結，我們應該主動去思考到底能投入到何種程度？我覺得產業發展並沒有充分正視這部分。在機場捷運興建過程中，號誌問題引起我的重視。去年我在日本軌道交通展覽會上，看到國內廠商也展示了號誌系統的設備，才知道國內也有號誌廠商自己投入研發技術，但轉向國外直接參與國外的工程，為什麼國內沒有這類的產業資訊？記得當時軌道車輛協會蔡董事長還在展覽現場邀請廠商加入，表示我們的產業發展資訊不完整，我們應該主動去挖掘有此製造技術與能力的國內廠商，結合起來投入國內軌道產業。

問：如何從國土規劃的角度來推動全國鐵路網？

答：這議題還有些問題要跟相關單位釐清，全國鐵道路網中鐵路的定義是否涵蓋捷運？從鐵



1
人物專訪

胡湘麟局長



路法定義是有包括捷運鐵路，但目前又有大眾捷運法，而這二個法是否衝突？這只是法律上的名稱定義，但實務上權責在於交通部及地方政府，規劃面及服務面仍有所區隔，且需與地方大眾捷運路網劃清一條界限。例如：公路局權限是主管省道／公路系統，但道路進入市區則歸為都市道路，在執行面可能產生不同主管機關，且權限有可能重疊，鐵路與大眾捷運在路網銜接處，實務面也會有類似維管問題，其實在規劃面就會產生機關單位的權責衝突。所以於鐵路與都市捷運將來要不要做區分，區分到哪一界限？機關權責如何劃分？這些都有待釐清。

第二點談到高速鐵路和傳統鐵路的路網規劃，會有點複雜，執行及實務面上要做整體思考，這樣議題需要交通部出來協調，協調過程中要從國土規劃角度來思考，協調的細節不太容易；高鐵延伸屏東是否以這個角度看待，這議題可以參考其它國家的經驗。依鐵路法規定，交通部是鐵路主管機關，必須把全國鐵路網公告分期實施，就像共同管道，它有共同管道法也要公告，但公告出來的效果代表甚麼？就需要釐清。

提問者補充：

一般來說是公告沒什麼期限，就有各自解

釋的空間。問題是公告鐵路網到底是高鐵、鐵路或是捷運？何時實現？其實環島鐵路網(花東部分)早已串連起來了，而且只要基地乘載量足夠、有發展潛力及符合國土規劃者都可以規劃路網，問題是何時實施取決於運量。

答(續)：

這就是我剛剛提到的，公告的目的與效果是甚麼？需要再釐清。希望地方之路網在通過整體規劃之後，能思考路網選擇什麼系統，在哪些地方可以朝向轉運站來配置，以及釐清路網中整體資源上的分配，這樣公告才有意義，而不是將數十年前公告的路線，就照本宣科的執行下去。

問：軌道產業在國內市場小，所以作業上常受限於人，例如系統機電找不到包商、常無法購買適合規範的車輛，以及維修成本高，對扶植產業升級，鐵道局未來是否有具體的作法？

答：國內的軌道建設一路走下來，先後完成鐵路地下化、高架化，再來是都市捷運。回顧30年來國內推動軌道建設的成果，到底為台灣軌道產業留下甚麼？工程完成後，廠商有機會留下來的就留，沒機會的就往外發展另尋商機，像我剛剛提到在國外看到國內號誌廠商，自己

投入研發去國外參展，然後參與國外工程，這是從公司的發展角度來看是有利的，但是整個國內產業就沒有辦法生根，或許大家會說去國外買就好了，為何要提升國內產業？可是我在3,4年前，為了高鐵延長特許期35年估算成本之事，有特別深的感觸。相對土建成本來說，機電成本截然不同，必須考慮全生命週期的

適的系統。

通常新建工程完成後交給營運單位，營運單位為永續經營所付出的成本，可能遠超出當初的興建成本。所以考慮系統時就應加入營運期因素，以及廣義的維修成本。如果只談採購，當捷運蓋完後，後續的採購部分才發現更



胡局長進行機場捷運路網簡報

營運維修費用，若以延長35年營運來計算機電成本，是原來興建成本的2.5倍(亦即增加1.5倍)，例如原來投資3千億，現在要再延長35年營運，則需再投入4千5百億資金用於機電系統上，土建則幾乎沒有變化。因此，軌道建設投資必須要把全生命週期的成本納入計算，以能夠永續經營及維持營運功能的要求，來選擇合

大的問題，導致為維持營運而不得不付出更多的維修成本。所以若要控制整個系統的營運維修成本在合理的程度，就應思考把國內產業納入後續維修的支援供應，再擴大到興建時，將國內產業可以支援設備系統納入，並提高國產化產品的採用比例。交通部處理鐵路發展及審議程序的作業上，會要求採購國產品的規模盡



量放大，把國內產業資源納入後續的營運維修上。個別城市的捷運可以有它自己的考量，同時也要兼顧國內產業的支援達到最大化，並有利技術上的提昇，完工後廠商也可以跟國外合作，或有機會它也可自成一個系統，支援後續的維修。

若臺鐵車輛車種能予以簡化二至三種(自強號與電聯車)，讓國內產業維修的支援能力達最大化，其中電聯車未來以國車國造為目標；臺鐵電聯車現今是國內產品化比例最高的車種，依工業局提供資料，電聯車國產化的比例目前是52%，希望未來8年能提昇到70%。轉向架部分，目前在國內還沒有製造能力，但於某些關鍵零組件項目，若民間廠商願意投入研發時，政府政策面應予以補助並扶植，讓其研發技術在國內發揚光大，推動產業形成；就像我們談台積電半導體一樣，工研院投入基本研發，使這個產業在國內發展生根。

高鐵的零組件於去年8月舉辦的維修商源說明會之後，廠商提出約86項議題，希望能跟高鐵公司進一步研商，提供可能之技術服務。舉一個例子，高鐵維修時，發現集電弓與電車線接觸造成之磨損，必須經常更換日製之接觸片零件，經尋找廠商與中科院共同研發，終於成功的開發出替代原有日本製品，使得後續維修成本降低，得到很大的效益。



桃園鐵路地下化與機場捷運延伸線於中壢站共構示意圖



軌道產業本土化因涉及不同部會的業務，為了順利推動，已由交通部、經濟部及工程會等籌組「軌道產業推動會報」，於今年3月5日召開起始會議，分別從需求面(交通部)、供給面(經濟部)及採購程序面(工程會)組成跨部會平台，藉以媒合國內產業與前瞻計畫採購需求，排除障礙，期望儘速達成軌道產業本土化的目標。

問：「鐵路立體化建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」於今年已修正為「鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點」，請教局長該要點之修正考量重點及後續推動注意事項。

答：作業要點名稱修正之主要考量是希望能擴大適用範圍，例如新竹市政府提出的新竹車站大平台計畫，就有別於其他縣市所提的鐵路高架化。另依據過去執行鐵路立體化工程之實務經驗，整體計畫之成敗，取決於地方政府與鐵路營運單位的配合。回顧鐵工局辦理的高雄鐵路地下化工程，地方基於財務分擔考量，引入臺鐵捷運化概念，增設許多通勤車站，而影響到臺鐵路線容量；再看目前彰化市評估中的鐵路高架化工程，營運單位要求將原有二股軌道改為高架四股道，並保存地面一股道銜接原



有扇形車庫。所以修正作業要點特別規定於綜合規劃階段，地方政府需配合提出「變更都市計畫書圖草案」、「土地開發及周邊整合規劃計畫」、「車站聯外及周邊交通整體計畫」、「財務計畫」及「地方政府承諾事項」等，而鐵路營運單位則需配合提出「管有土地開發計畫書及多目標使用計畫書」、「行車營運計畫」、「因鐵路立體化所增加或減少之營運收支差額分析」、「因鐵路立體化對整體路線容量及行車效率之影響分析」等。

本要點於今年2月才修正公告，而第一個適用的綜合規劃案是貴公司辦理的桃園鐵路地下化案，期望貴公司能於作業過程中回饋寶貴經驗，俾使日後修正內容能更臻完善。

問：軌道產業要落實本土化，將會面臨驗證與認證的問題，交通部有要建置軌道技術研究暨驗證中心(簡稱軌道中心)來解決，請問局長該中心目前的執行概況。

答：國內廠商生產軌道零組件或設備除了產品要符合國家標準，更要有一套檢驗及認證的機制，不管是供應國內或要輸出到國外，都要通過檢測驗證的程序與標準，藉以提升國內產業技術、加速軌道產業國產化，降低對國外的依

賴。此外，對於人員之教育訓練，軌道中心並不排除，有一次我去韓國考察，參觀他們的軌道學院(Rail College)，韓國火車司機員、行控中心的調度員等，統一由軌道學院來訓練，他們必須通過體格檢查、適性測驗(針對個人的特質，測驗是否適合在密閉空間執行業務)及技能檢定(要通過模擬機的測試)，才能拿到學習執照，再分派到現場實習一段時間，經考核合格後，始得成為正式的司機員或行車調度工程師。

台灣高鐵採用日本新幹線車輛，在日本規定列車是不准外國人開的，但當時高鐵公司經協調仍無法排除此禁令，遂改由在國外有10年以上高鐵駕駛經驗者即可換發執照來受聘；當時高鐵公司同時在國內招考並自己訓練司機員，歷經三年才慢慢由外國駕駛轉移給本國駕駛。除高鐵外，目前國內軌道營運機構行車人員之培訓，大都由營運機構自行辦理，再提報主管機關核備，此做法缺乏一套訓練及檢定的標準。

軌道中心已納入前瞻基礎建設計畫編列特別預算推動，預計8年投入41億元建設，但8年後設置完成軌道中心，前瞻計畫裡的軌道建設計畫也完成了，恐來不及配合軌道產業的進度。因此，軌道中心需加速法制作業程序，設定目標希望年底成立。

整體的大方向就是國內軌道產業本土化所需要的資源，包括標準與規範的制定、關鍵性零組件產品的檢測試驗作業等，未來將交由軌道中心來執行。但軌道中心如果把所有的項目全攬下來做，則組織規模會很龐大，因此它必須盤點國內相關檢測試驗機構的能量，決定如何利用現有的單位來分工，避免重複投資，並結合國家相關學術研究機構如：工研院、金屬工業發展中心、車輛研究測試中心、中科院等，共同研究開發。

問：請問鐵道局跟鐵路局間的組織性質差異及專業人才的人事會做怎樣的調整？

答：鐵道局是交通部所屬單位，依據鐵路法及大眾捷運法執行業務，基本上不是營運單位，所以鐵路局不會與鐵道局合併，但不代表人力不會相互交流。而軌道中心也能吸引捷運局、鐵路局或標準檢驗局等專業人才，過去鐵道局的經驗是執行工程，若以監理與協助產業發展的執行角度，未來會再強化相關專業人才的進用。

問：軌關南向政策的軌道業務拓展，請問局長有何看法？

答：南向軌道業務要從政策面妥慎思考，目前主要有二個方向，第一是高鐵方面，高鐵公司以營運單位的經驗與角色結合日本新幹線爭取馬來西亞等市場，因為台灣高鐵是新幹線輸出海外成功的案例，我們已向行政院陳報將高鐵納為政府南向政策推動重點之一，但這部分尚需與日方協商合作事宜。

第二是捷運方面，部長希望能將國內捷運營運實績整合輸出，但如果沒有擁有屬於自己的捷運系統，將很難實現，國內產業如果能務實的先從輕軌系統逐步發展，建立一套完整系統，都會捷運的輸出也將是一個重要指標。

後記

感謝胡局長在百忙之中撥冗接受專訪，在近二個小時專訪中，指出了台灣軌道產業未來的發展方向，讓我們獲益良多，我們深信在胡局長的領導下，台灣軌道產業本土化的目標指日可待。

推動軌道技術研究 暨驗證中心計畫

Promote Railway technology research and verification center project

關鍵字(Key Words)：

軌道技術(Railway Technology)、驗證(Certification)、軌道運輸系統(Railway Transport System)

交通部高速鐵路工程局／副局長／楊正君 (YOUNG, Cheng-Chung) ❶

摘要 ABSTRACT

軌道技術研究暨驗證中心，將作為交通部在軌道產業領域之技術幕僚及國內技術資源整合平台，並依業務發展需要或接受政府機關或其他機構委託，從事軌道系統技術規範、標準及安全檢驗基準之研擬，軌道系統技術研發、產品測試、檢驗及驗證服務，軌道設備與零組件分析改善及維護解決方案之提供、協助辦理軌道事故調查、安全檢查、人員訓練與檢定及其所需之相關技術支援，國內外軌道技術之資訊蒐集及交流合作，以協助提升軌道產業自主技術能力與品質，確保軌道系統之安全及穩定，並與國際接軌。



Abstract

The Railway Technical Research and Certification Institute will serve as a technical role for the Ministry of Transportation & Communications in the field of railway industry and an integration platform for domestic technology resources. It will also be entrusted by government organizations or other agencies to engage in compilation of railway technical specifications, standards and safety inspection criterions, service of product test, inspection and certification, providing the analysis, improvement and maintenance solutions for railway equipment and component, assistance in railway accident investigation, safety inspection, personnel training and certification and its technical supports, and information collection and exchange cooperation of domestic and international railway technologies to assist in enhancing the autonomous technical capabilities and quality of the rail industry, ensuring the safety and stability of the rail system, and joining with international standards.

壹、前言

在面臨全球暖化與氣候變遷的挑戰下，各國政府無不以發展公共運輸、減少私人運具使用為當前最重要的交通政策，其中又以具備安全、大量、準確、低耗能優勢的綠色運具－「軌道運輸系統」，廣為全世界主要城市採用並持續積極建設。

軌道科技日新月異，車輛、供電、號誌等系統持續朝輕量化、模組化、小型化發展，且應用技術更是不斷推陳出新，復以國內軌道建設漸成規模，長期使用外國技術，絕非永續營運之良策。另一方面，臺北捷運及台灣高鐵長年累積之優異營運績效及經驗，已在國際軌道社會建立優良品牌，目前正是整合國內產業，積極參與前瞻基礎建設各項軌道計畫，並向東南亞及其他海外市場爭取軌道建設及營運之契機。

交通部刻正積極推動軌道技術研究暨驗證中心計畫(下稱本計畫)，以期成立專責機構，作為國內軌道設備檢測驗證與技術研發平台，除提升國內產業關鍵技術自主能力，將合格產品提供營運機構使用，克服原廠零組件供應箝制外，並尋求拓展海外商機。

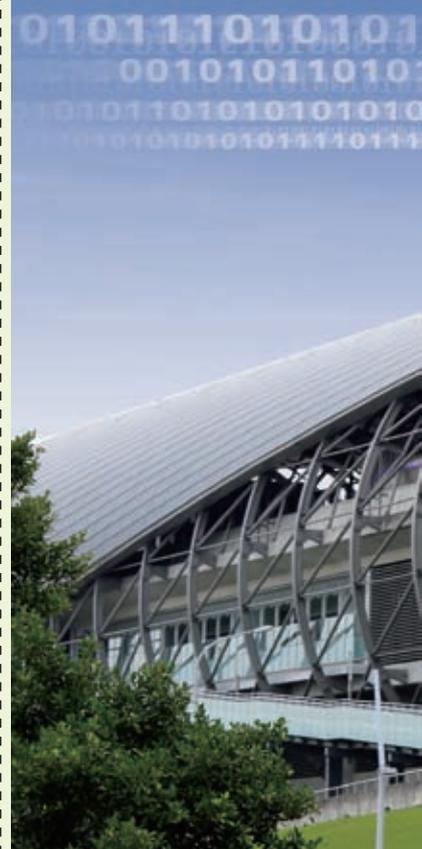
貳、國內軌道工業現況

一、軌道產業現況及發展

經濟部88年起推動工業合作計畫(ICP)，藉軌道車輛及重要機電設備採購案執行工業合作互惠協定，截至99年，臺鐵通勤電聯車EMU800由台車公司得標承作，國產化比例52%；重要移轉技術包括車體加工(台車)、內裝與照明(大億照明)、充電系統(亞力電機)、空調系統(國祥冷凍)、牽引馬達加工(大同電機)、轉向架加工組裝(中鋼機械)等。此外。中鋼集團103年起投入淡海輕軌、安坑輕軌、高雄輕軌第二階段等，取得統包標主包商資格並自國外引進設計整合技術，輕軌車輛國產化比例約22%。

參酌經濟部工業局對我國軌道產業之現況調查與分析資料，未來軌道產業將聚焦在車輛系統，並以臺鐵通勤電聯車及輕軌車輛為發展重點；至高鐵及捷運宜優先著重在維修備品國產化。

(一) 臺鐵：以EMU 800型通勤電聯車為例，在車體製造與組裝、內裝、照明、空調、聯結器等非關鍵項目已有國產實績，國產化比例達52%；未來將持續朝車門系統、電氣系統、轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計等關鍵項目發展。





2

工程論著

(二) 輕軌：淡海輕軌在車體製造與組裝、轉向架框、轉向架組裝測試等項目，已逐步累積國產化經驗，國產化比例達23%；後續在安坑輕軌將延伸到內裝、座椅、照明、空調、玻璃、電纜、配電盤等項目，未來再進一步朝轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計、供電系統、號誌通訊系統等關鍵項目發展。

(三) 高鐵及捷運：為克服原廠設備停產或維修成本過高之課題，各營運機構持續針對車輛、通訊、號誌、軌道、電力等系統，開發國產替代性物料。以高鐵車輛系統為例，近6年來已計開發3,437項國產維修物料，較國外備品可節省73%之採購成本，已初見成效。

為擴大維修備品市場規模，交通部督導台灣高鐵公司於106年8月24日舉辦「台灣軌道工業本土化商機說明會」，並要求高鐵、臺鐵、捷運盤點需求，合計釋出未來10年總金額約498億元之採購需求(包含高鐵166億元、臺鐵284億元、臺北捷運48億元)。說明會共吸引逾百家廠商參與，會後持續洽詢及表達有意參與之廠商逾20家，顯見類似活動有助於促進軌道產業及營運機構間之供需媒合。臺鐵局、臺北捷運公司及高雄捷運公司亦將規劃於107年聯合舉辦商源說明會。

另為充分瞭解軌道產業、研發機構及興建營運機構等各方意見，交通部高鐵局、鐵工局及經濟部工業局於107年1月30、31日共同辦理「軌道產業關鍵議題座談會」，邀集33家廠商、逾200位產官學研代表與會，共同針對輕軌及臺鐵之車輛、號誌通訊、供電、軌道、機廠設備等領域進行座談，藉以瞭解國內軌道產業技術能量及未來發展投資意願。經盤點目前輕軌及臺鐵在國內已具製造能力之項目合作159項，具發展潛力項目共46項(詳表1)。

二、軌道檢測驗證現況及能量

(一) 檢測驗證標準

目前國內軌道工業缺乏完善之檢測驗證標準，廠商需依據業主開立之需求或設計規範進行檢測，其並無一致性標準，端視個案而定，廠商難以適從。鑑於檢測驗證之目的，在於確保產品在設計、製造、測試過程符合一致性之標準，故制定國家標準將可作為業主研擬採購需求及廠商生產製造之依循，並有助於確保廠商技術能力、產品品質及推動軌道設備零組件規格標準化，帶動國內軌道產業發展。

在推動軌道國產化之過程中，國內設備零組件之品質是否與國外原廠物料一致，檢測驗證標準為重要關鍵。以高鐵車廂座椅國產化為例，其座椅結構、椅套布及椅墊必須通過靜態/動態強度、疲勞耐久、防火耐燃等30餘項安全測試規範標準，始得取代原廠物料，安裝在高鐵列車上。

軌道國家標準須與國際標準銜接與調和，以滿足國內及國外市場需求，減少貿易障礙並提升競爭力，故本計畫應參酌國內專業機構之建置經驗，先蒐集國際標準(如ISO、IEC、UIC)、區域標準(如歐盟EN)及國家標準(如日本JIS、德國DIN等)並進行研究分析，進而制定軌道國家標準。

(二) 檢測驗證現有能量

經初步盤點車測中心、中科院、工研院、電檢中心等國內專業機構之既有軌道檢測驗證與研發能量(詳表2)，發現在電磁相容/干擾、材料疲勞耐久、結構強度、防火耐燃、環境、衝擊振動之檢驗或測試，已具備技術能力，雖大部分運用在航空、

表1 國內軌道產業技術能量盤點

領域類別	已具製造能力(159項)		具發展潛力(46項)	
	輕軌(84項)	臺鐵(75項)	輕軌(26項)	臺鐵(20項)
車輛	整車設計、轉向架系統(部分)、懸吊裝置、牽引桿、空氣彈簧、車頭(FRP)、齒輪箱、剎車裝置、空調系統、照明系統、座椅、玻璃、FRP及內裝材料,計13項	通勤電聯車之整車設計、車體鋼材(不鏽鋼)、轉向架系統(部分)、齒輪箱、剎車裝置、空調系統、照明系統、充電系統、座椅、玻璃、FRP及內裝材料,計11項	集電弓總成、車門系統、牽引動力變流器設備VVVF、輔助動力變流器設備SIV、車間走道總成、牽引馬達,計6項	同左,計6項
號誌通訊	自動收費、廣播、優先號誌管理、旅客及列車資訊顯示、通訊網路、列車對地無線電、閉路電視、子母鐘系統等10項	自動收費、廣播、旅客及列車資訊顯示、通訊網路、閉路電視、子母鐘系統,計6項	網路型有聲及無聲廣播系統、號誌系統等9項	號誌電子聯鎖、自動車輛定位監視、列車時刻表管理、車載通訊設備、自動列車停止及速度監控,計5項
供電	變壓器、開關設備、電纜、不斷電系統、電池/充電組(不含超級電容)等17項	變壓器、開關設備、電纜、不斷電系統、電池/充電組等14項	煞車能量回收設備、車載儲電系統,計2項	無
軌道	鋼軌、扣件、混凝土軌枕、鋼軌普通接頭、減振墊材、平交道版等10項	同左,計10項	軌道檢測/量測設備、鋼軌研磨設備,計2項	同左,計2項
機廠設備	起重/搬運設備、檢修設備、工作平台及移轉平台、拆卸/組立工具、加工機具、清洗設備、維修車輛、維修管理系統等34項	同左,計34項	車輪壓床、車輪車床、車軸車床、車輪組測量設備、電子及電氣診斷和測試設備、軌道式養護車輛、車輪磨耗偵測系統,計7項	同左,計7項

表2 國內專業研究機構軌道技術能量盤點

專業機構	具備能力	參與軌道專案
工業技術研究院	具備環境測試、動力測試、電子負載、空調設備性能、電磁場量測、振動量測、電光計量等技術能量及儀器設備,並有檢測儀器校正能力(設有國家度量衡標準實驗室),及具輔導實驗室通過TAF認證實績	電磁波檢測、振動及噪音量測分析、地層下陷量測分析、車輛設備測試機台等
國家中山科學研究院	具備結構與材料、電磁波量測、機械性能、電子零組件、電磁相容、防潮防火、材料性能、環境可靠度等技術能量及儀器設備	輕軌車輛開發、集電弓接觸片模組、車輪固定螺栓螺母及墊圈、車輛橡膠件、車輪踏面磨光器測試平台、電磁干擾防治、螺栓防鏽等
車輛研究測試中心	具備結構動/靜態強度、疲勞耐久、噪音振動量測分析、環境可靠度、碰撞安全、電磁相容等驗證能量及儀器設備	車輛座椅強度與乘適性、工程車結構強度、車輛水箱支架強度分析等
台灣電子檢驗中心	具備電磁相容測試、安規測試、可靠度測試、通信測試、噪音振動測試等驗證能量及儀器設備	車輛電子設備電磁相容量測及可靠度測試等

智慧車輛或電子產品，然倘經補強局部差異，將可延用在軌道系統。

各專業機構均樂見未來軌道技術研究暨驗證中心(下稱軌道中心)成立後，能作為國內軌道產業檢測驗證平台，以統整各機構既有技術能量，提供國內廠商相關檢測驗證及研發技術服務；並建議應優先補足軌道產業特有之檢測驗證儀器設備為宜，例如國內尚缺乏高電壓、大電流、高強度、高速度之檢測驗證儀器設備與技術能力，未來軌道中心可視產業需要朝此類型技術發展。

參、軌道技術研究暨驗證中心

一、急迫性與必要性

舉凡日本、韓國、大陸、歐洲等軌道先進國家均設有軌道研究專責機構，作為產業發展後盾，泰國、印度亦積極推動建置。國內公路有車輛測試中心、安審中心，航運有中國驗船中心協助政府辦理標準制定、法定檢測、技術研發等業務，唯獨軌道仍欠缺類似機構，產業、營運機構及學界均大聲疾呼政府應儘速建置，晚做總比不做好。

觀察韓國在1990年以前軌道系統皆仰賴國外進口，當時韓國政府因系統不穩定且影響安全而備受困擾，並察覺長此以往將面臨國外廠商壟斷市場，採購及維護成本高漲，爰1996年毅然決定投資成立鐵路研究所，建立自主技術。經歷20年努力，不僅帶動產業發展，更使韓國躍升軌道車輛輸出國。而我國面臨相同窘境，是以本計畫顯有其必要。

我國軌道建設過去長期仰賴進口，投入大量成本卻無法掌握關鍵技術自主能力，亦未

能建立完善之軌道系統規範標準與檢測驗證機制，無法形成產業供應鏈，致使軌道建設形同消費行為，而不具投資性質。若未能藉由目前推動中之多項前瞻軌道建設及車輛購置計畫，引導國內產業積極參與並提升自主技術，恐將難以擺脫國外廠商壟斷市場之困境。

二、規劃業務

- (一) 受託研擬軌道系統技術規範、標準及安全檢驗基準，以利產業本土化及國際接軌。
- (二) 提供軌道技術研發、產品測試、檢驗與驗證服務。
- (三) 提供軌道設備零組件分析改善及維護技術解決方案，提升系統安全與穩定。
- (四) 受託辦理軌道事故調查、安全檢查、人員訓練與檢定及其所需之相關技術支援。
- (五) 國內外軌道技術之資訊蒐集及交流合作。
- (六) 其他與軌道中心設立目的相關之事項。

三、功能定位

鑑於國內軌道檢測驗證及研發技術能量，分散在產官學研各界及營運機構，缺乏專責機構予以整合，且過去未建立完善軌道工業標準，難以形成產業供應鏈。因此，本計畫仿效軌道先進國家作法，期企藉由成立國家級軌道技術專責機構，擔任扮演下列角色，負責研擬軌道系統技術規範與標準，建立軌道產品研發、測試、檢驗與驗證等技術，並整合國內既有技術能量，協助國內軌道產業逐步提升關鍵

技術自主能力，確保國產設備零組件之安全、品質及標準化，及提供營運機構所需設備改善與維護支援，提升系統安全與穩定，進而促成我國軌道產業及軌道運輸長遠發展。

(一) 第三方公正機構

軌道中心將擔任交通部在軌道產業發展之技術幕僚，對產業政策提供技術建議、協助草擬部頒軌道系統技術規範及軌道產業國家標準，並在事故調查及安全檢查等監理業務，以公正第三方立場就事故肇因及安全關鍵事項提供專業技術分析。

(二) 與國內檢驗研究機構合作協助軌道產業發展

國內如中科院、工研院、金屬中心、電檢中心、車測中心及各大專院校學術機構，已具備部分軌道設備零組件之實驗、檢測及研發技術與儀器設備，惟欠缺軌道技術整體發展策略與規劃，軌道中心將整合國內技術資源，建立合作機制，扮演我

國軌道技術發展之主導角色。

透過技術研發並提供軌道產品檢測驗證服務，搭配軌道規範標準之建立，可確保國產設備零組件之安全、品質及標準化，帶動產業發展。

(三) 支援軌道營運安全及維修技術

倘能提升軌道設備零組件自製率且符合安全品質規範標準，必可減少維修備品進口需求，進而降低營運維修成本。另利用軌道中心檢驗技術與研發測試能力，將提供鐵路、捷運及輕軌營運機構在維修過程及備料開發方面所需之技術支援。

(四) 與國際接軌

藉由軌道先進國家持續發展軌道工業標準規範之契機，軌道中心可做為我國軌道系統與國際接軌之重要平台，並協助產業拓展海外商機，將合格商品外銷其他國家。



圖1 軌道中心功能定位

四、發展重點

綜合前述軌道產業及專業研究機構之技術能量調查結果，並配合前瞻基礎軌道建設及車輛購置計畫，初步歸納國內各軌道系統之未來國產化發展項目如表3；再針對「軌道產業關鍵議題座談會」所建議之具發展潛力項目，考量國內廠商技術能量及投資意願，並評估軌道系統技術發展之關鍵產品、技術層次、附加價值等因素，將以轉向架、集電弓、車門、轉轍器、自動列車防撞等5項系統作為未來優先發展項目及推動軌道產業發展各種資源投入之參據，並邀集相關專業機構共同組成研發團隊申請科專或法專計畫推動研發。

此外，本計畫將以「不重複投資」、「不需一次到位，分階段建設」之原則辦理，即不重複建置國內專業機構既有儀器設備，並與各機構建立合作機制，整合資源共同發展軌道檢測驗證及研發業務。因此，本計畫將亦將優先針對上述5項優先發展項目，建置未來營運初期所需檢測驗證及研發、但國內尚缺乏之儀器設備，並再視計畫執行成效及初期技術能量滾動檢討後續發展。

五、籌備執行現況

(一) 計畫經費

本計畫奉行政院核定經費41.76億元，配合前瞻基礎建設計畫編列特別預算辦理，其中第一期(106-107年)特別預算並於

表3 國內軌道未來國產化發展項目

系統別	國產化發展項目
臺鐵	車門系統、電氣系統、轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計等項目。
輕軌	轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計、供電系統、號誌通訊系統等項目。
高鐵及捷運	車輛、通訊、號誌、軌道、電力等系統維修零組件備品。

106年8月經立法院審議同意編列2.57億元，餘36.79億元將編列於第二期(108-109年)特別預算。該二期預算將作為軌道中心各項硬體建設、營運業務規劃與籌設等作業使用，包含前述軌道產業優先發展項目之檢測驗證及研發所需廠房、儀器設備建置。

(二) 工程執行現況

高鐵局刻正辦理技術顧問服務招標作業，以期未來協助辦理土建與設備廠房設計與監造、檢測驗證設備規劃與採購、營運業務規劃與籌設、國內外軌道標準蒐集與研析等作業。

(三) 組織籌備情形

未來營運組織將採設立公設財團法人方式辦理，以兼顧適法性、用人彈性及業務長遠發展。高鐵局已完成「財團法人軌道技術研究及驗證中心設置條例」草案研擬，後續將持續進行相關法制作業，並著手展開軌道中心籌備處成立準備事宜。

肆、未來工作重點

一、推動軌道產業發展策略

為提升軌道技術，帶動產業發展，交通部從軌道系統規劃、興建、營運維修、重(增)置之全生命週期角度，提出全面性軌道產業發展3大策略：

(一) 策略1—籌組跨機關「軌道產業推動會報」

交通部會同經濟部、工程會共同籌組「軌道產業推動會報」並自107年開始

運作，未來該會報將擬定軌道產業發展策略、研訂「軌道系統採購作業指引」、促進產業供給需求媒合。

(二) 策略2－提升維修零組件國產化比例

由營運機構盤點維修備品在地生產需求，並辦理商源說明會釋放商機，以吸引國內產業參與，媒合供需。

(三) 策略3－建置「軌道技術研究暨驗證中心」

軌道中心將負責擬議軌道產業國家標準與規範、提供檢測驗證服務與整合國內資源，並從事軌道技術研究發展。

二、落實軌道產業發展行動方案，達成KPI目標

行政院在加速投資臺灣專案會議中，要求交通部、經濟部、工程會組成跨部會平臺，主

動協助建立供應鏈及媒合業者合作，並設定關鍵績效指標(KPI)及訂定期程落實執行，因此未來將在「軌道產業推動會報」之架構下，分別就興建(系統建置)及維修(營運階段)2大區塊，提出軌道產業發展關鍵績效指標，並將積極辦理下列軌道產業發展6大行動方案，以期達成目標：

- (一) 選定國產化關鍵項目，並舉辦產業座談會凝聚共識。
- (二) 研訂軌道系統採購作業指引，制定通用規格及解決國內廠商投標資格問題。
- (三) 制定軌道產業國家標準。
- (四) 整合技術研發及檢測驗證能量，加強軌道人才培育。
- (五) 推動軌道技術研究暨驗證中心計畫。
- (六) 定期釋出維修商機。

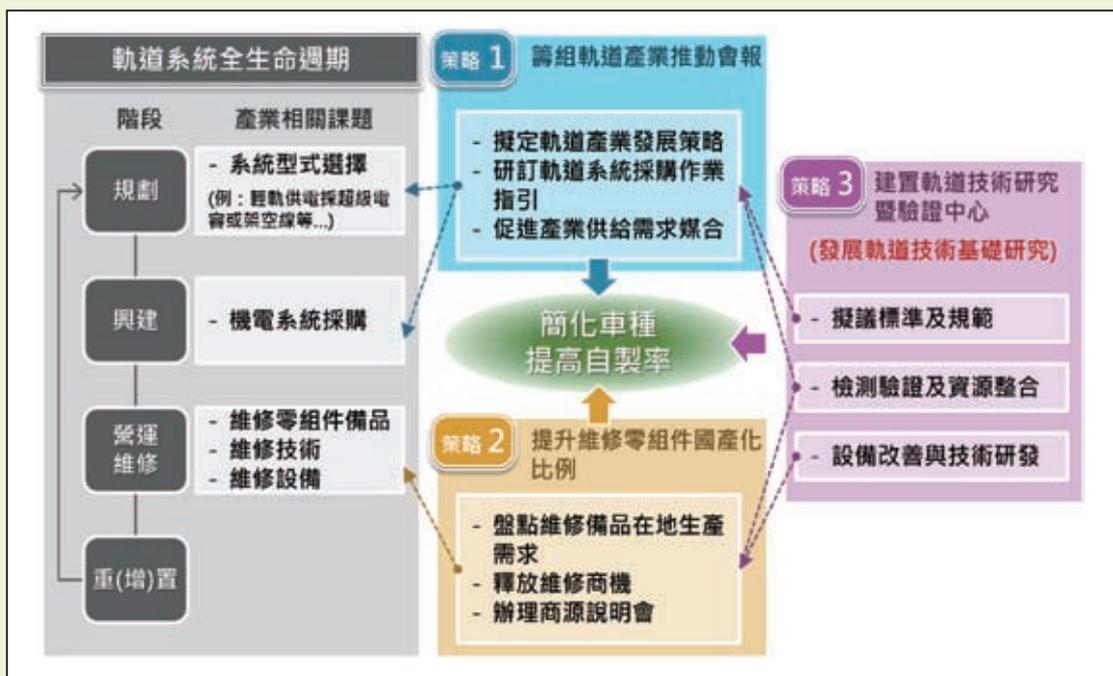


圖2 軌道產業發展策略

表4 軌道產業發展6大行動方案

行動方案		內容
1	選定國產化關鍵項目	✓ 舉辦軌道產業座談會，並選定臺鐵及輕軌系統「國產化關鍵項目」
2	研訂軌道系統採購作業指引 (制定通用規格)	✓ 制定通用規格 ✓ 解決國內廠商參與投標資格問題
3	制定國家標準	✓ 草擬國家標準(草案) ✓ 制定發布
4	整合技術研發及檢測驗證能量	✓ 鼓勵經濟部研究單位協助國產化關鍵項目所需技術；透過科專計畫提供關鍵項目研發資源；媒合尚存工業合作額度之國外廠商，與國內廠商進行技術合作 ✓ 協助重點院校軌道人才培育
5	推動軌道技術研究暨驗證中心計畫	✓ 工程建設及取得檢測能力認證 ✓ 財團法人籌組 ✓ 財團法人成立前，盤點國內既有技術能量提供業者所需產品驗證服務
6	定期釋出維修商機	✓ 辦理維修需求商機說明會 ✓ 提出維修國產化KPI達成情形



三、持續辦理軌道中心工程建設及組織籌備事宜

高鐵局將儘速完成技術顧問招標及簽約，並協同具工業技術與實驗室規劃能力之專業機構，期於107年起著手辦理工程設計與發包等作業，109年底順利完工。

高鐵局亦將積極辦理「財團法人軌道技術研究及驗證中心設置條例」相關法制作業，以期在107年6月前完成立法、107年底前完成財團法人申請設立相關作業。

本計畫除由高鐵局會同技術顧問進行前述各項作業外，初期擬借重國內專業機構、營運機構、大專院校及政府機關之資源人力，成立軌道中心籌備處，共同參與軌道中心建設工程、檢測驗證業務規劃、國際標準研析、人才培育等前置準備工作，並視需要聘請國外專業顧問團隊協助，以汲取各方技術及經驗，順利完成軌道中心建置，並輔導財團法人接手營運。

伍、結語

發展軌道運輸無疑是政府在全球暖化及氣候變遷下必要的交通政策，政府推動軌道建設時同步建立自主技術能力及產業，不僅有助經濟發展亦是確保未來軌道系統營運穩定及控制維修成本的重要策略；此外軌道產業更可與國際接軌，在新南向政策指導下，結合政府開發協助計畫(ODA) 爭取海外商機。

前瞻基礎建設將陸續投資38項軌道計畫，期能透過軌道產業3大策略及6項行動方案，逐步實現國產化關鍵項目的選定、制定銜接國際的通用規格及標準、整合研發技術及檢測驗證能量及採購作業指引等措施，軌道中心之設立，將可整合國內技術資源，共同推動軌道系統技術研發及檢測驗證，帶動國內軌道產業轉型與升級，使我國軌道工業發展日益蓬勃。



吉隆坡地鐵二號線 (KV MRT2) DDC7標 細部設計

關鍵詞(Key Words)：捷運地下車站(MRT Under Ground Station)、馬來西亞吉隆坡(Malaysia Kuala Lumpur)、結構設計(Structural Design)、BIM

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫經理／李曲原 (Lee, Chu-Yuan) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／劉政雄 (Liu, Cheng-Hsiung) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／洪立平 (Hung, Li-Ping) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／邱奕哲 (Leon Chiou) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／王銘傳 (Ong, Ming-Chuan) ❺

摘要

巴生谷捷運二號線位於馬來西亞首都吉隆坡，其全名為Klang Valley MRT Sungai Buloh-Serdang-Putrajaya Line (SSP Line)，簡稱KV MRT2，土木工程範疇包含捷運高架段、捷運地下段和一座捷運機廠，全線總長度約為52.2公里。其中「地下段工程」Underground Works Packages (UGW)，總長度約為13.5公里，包含雙孔地下隧道，獨立通風/逃生豎井，新建十座地下車站，以及連接一座一號線營運中的地下車站等。

DDC7標細部設計合約工作範圍包含Chan Sow Lin車站，Conlay車站兩個地下車站之土木、地工、結構等設計工作，既有Tun Razak Exchange交會車站配合機電開口補強之結構設計工作，以及派駐現地執行重點監造工作等。本文將介紹Chan Sow Lin車站及Conlay車站之結構設計(Permanent Works)工作內容以及建築資訊模型BIM在設計過程中的應用經驗提供給大家參考。



Detailed Design of Klang Valley MRT Sungai Buloh-Serdang-Putrajaya Line in Kuala Lumpur

Abstract

The proposed Klang Valley MRT Sungai Buloh-Serdang-Putrajaya Line (SSP Line) is approximately 52.2km in length comprising the Elevated Works, Underground Works and 1 Depots of the Mass Rapid Transit (MRT) System. The Underground Works Packages (UGW) of the SSP Line is approximately 13.5km of twin bored tunnel with 10 new underground stations, an existing station, Tun Razak Exchange station, one cripple track siding & crossover box structure, one crossover box structure, three intermediate ventilation shafts, three escape shafts and one at grade cut & cover structure.

DDC7 Detailed Design Works Packages of the SSP Line are including the design of Civil Works, Temporary Works and Permanent Works for the two new underground stations, Chan Sow Lin Station and Conlay Station. DDC7 Packages also incorporate the structural enhancement works due to E&M opening of existing Tun Razak Exchange station and the supervision in chief works. The experiences of structural design for MRT underground station and application of Building Information Model (BIM) during design phase for Chan Sow Lin Station and Conlay Station will be elaborated and introduced for everyone's reference.

3

專題報導

壹、吉隆坡巴生谷捷運二號線概述

巴生谷捷運二號線位於馬來西亞首都吉隆坡，其全名為Klang Valley MRT Sungai Buloh-Serdang-Putrajaya Line (SSP Line)，簡稱KV MRT2，工程範疇包含捷運高架段、捷運地下段和一座捷運機場，總長度約為52.2公里，如圖1所示。

其中巴生谷捷運二號線「地下段工程」Underground Works Packages (UGW)，總長度約為13.5公里，包含雙孔地下隧道，兩處橫渡線結構，三處獨立通風/逃生豎井，一處出土段明挖覆蓋結構，新建十座地下車站，以及連接一座一號線營運中的地下車站等等，如圖2所示。



圖1 吉隆坡巴生谷捷運二號線路線圖

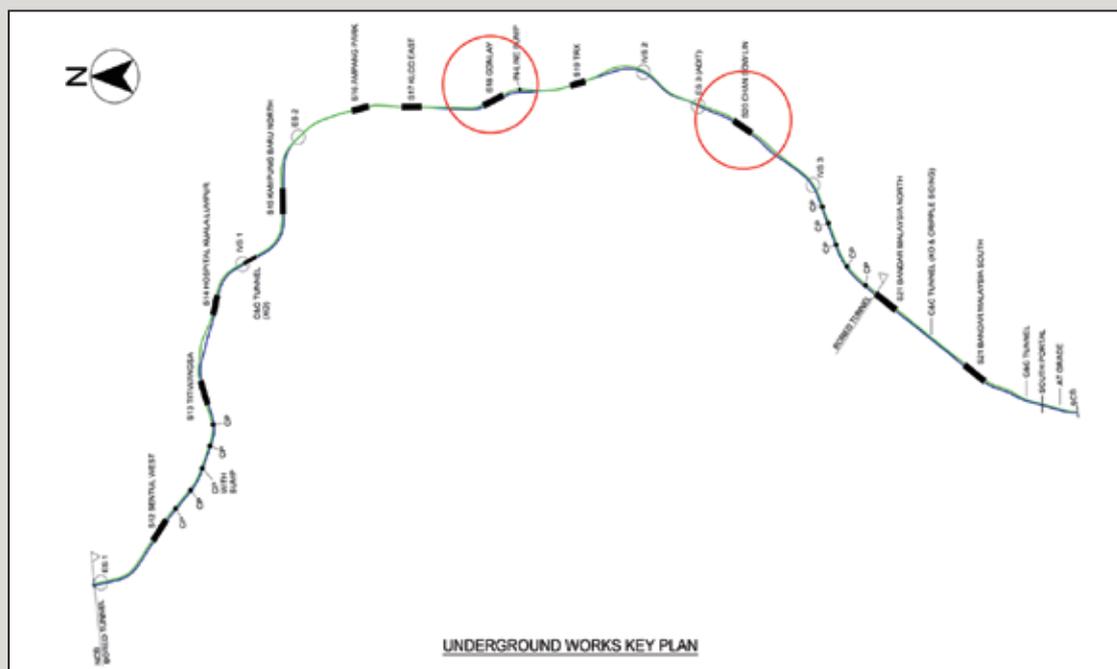


圖2 吉隆坡巴生谷捷運二號線「地下段」工程範圍

MGKT (MMC-GAMUDA)金務大營造公司於2016年3月31日獲得巴生谷捷運二號線地下段統包工程(Design & Construction)合約，並指定AECOM公司為本專案計畫領銜設計顧問(Lead Design Consultant)，負責基本設計以及協調整合工作。本公司於2016年4月接獲邀請參與地下車站土木、地工和結構的細部設計服務工作，經過為期4個多月的備標準備作業，期間並派員多次前往吉隆坡與當地協力廠商密集討論工作範圍與分工，7月中完成投標文件，8月中向業主提出服務工作簡報，9月中統包商金務大(GAMUDA)公司逕邀我方直接議價，10月21日正式函知我方獲選參與DDC7標(Detailed Design Consultant)C&S(Civil and Structure)細部設計工作，11月份首日CECI正式派員進駐吉隆坡計畫辦公室與業主合署上班。

DDC7標細部設計合約工作範圍包含Chan Sow Lin車站，Conlay車站兩個地下車站之土

木、地工、結構等設計工作，既有Tun Razak Exchange交會車站配合機電開口補強之結構設計工作，以及派駐現地執行重點監造工作等。DDC7標以本公司領銜負責結構設計(Permanent Works)工作，結合當地G&P Geotechnics Sdn Bhd公司負責地工、臨時擋土及假設工程設計(Temporary Works)工作，以及當地Zaidun-Leeng Sdn Bhd公司負責土木工程、交通維持和管線遷移送審等工作。本文以下將針對Chan Sow Lin車站及Conlay車站之結構設計以及建築資訊模型BIM的應用部份做說明。

貳、設計規範與載重說明

本計畫採用之材料設計強度，依當地施工規範混凝土強度為40N/mm²，鋼筋強度為500N/mm²，詳表1和表2所述。

表1 混凝土材料性質

Material	(Grade - Aggregate size) / Min or Max Cement Content (kg/m ³) / Max w/c ratio	Elements	Strength (N/mm ²)	Partial Material Safety Factor, γ_m
Concrete	(C32/40-20)/400(min)/0.45	Secant Bored Pile Walls	40	1.5 (Flexural & Axial); 1.25 (Shear); 1.4 (Bond); 1.5 (others, e.g. bearing)
	(C32/40-20)/380(min)/0.45	Bored Piles	40	
	(C25/30-20)/340(min)/0.45	Micro Piles	30	
	(C32/40-20)/360(min)/0.4	Underground structural members including: 1. Roof and Base Slab in contact with earth and water 2. Internal slabs, walls and staircases 3. Capping beams 4. External Walls	40	
	(C32/40-20)/360(min)/0.4	Non-loadbearing walls. (Underground structure)	40	
	(C32/40-20)/360(min)/0.45	All above ground structural elements including: 1. Internal loadbearing walls, columns. 2. Internal beams, slabs. 3. Staircase, stairwell slabs	40	
	(C28/35-20)/340(min)/0.5	Non-loadbearing walls. (above ground structure)	35	
	(C25/30-20)/340(min)/0.5	Mass Concrete Fill	30	
	(C8/10-20)/180(min)/0.55	Lean or Blinding Concrete	10	

表2 鋼筋材料性質

Material	Specifications	Description	Strength (N/mm ²)	Partial Material Safety Factor, γ_m
Reinforcement Steel	High Yield Type 2	Preferred bar sizes are 10, 12, 16, 20, 25, 32 and 40mm	500	1.15
	Hot Rolled Mild Steel bars	Preferred bar sizes are 10, 12, 16, 20, 25, 32 and 40mm	250	1.15

本計畫所採用之設計規範，除合約規定之 KV MRT設計規範(Design Criteria)、特定條款(Particular Specifications)、材料規範(Materials & Workmanship Specification)之外，主要參考英國規範(British Standards)及本地馬來西亞相關規範，詳表3。

本計畫結構設計所考量之主要設計載重如下：

- 一、地面超載25kN/m²
- 二、土水壓(依相關高程計算，石灰岩單位重：24kN/m³；沉積土單位重：19kN/m³)
- 三、自重和附屬設施自重(混凝土單位重：24kN/m³)

- 四、活載重5.0kN/m²(特殊空間依其所放置設備或使用需求加載)
- 五、列車載重，詳圖3
- 六、機電設備運輸及吊裝載重(依機電設計顧問提供需求加載)
- 七、潛盾機發進支撐架反力座載重，詳圖4
- 八、未來聯合開發大樓載重(依合約規定或業主指示之需求考量)
- 九、地震力 設計地表加速度0.03g

並須在極限狀態Ultimate Limit State (ULS)、服務狀態Serviceability Limit State (SLS)等兩種狀態之下，考量下述四種載重組合，分別檢核，詳圖5~8。

表3 相關設計規範

Standards	Subject
BS 8110	Structural Use of Concrete Part 1 (1997): Code of Practice for Design and Construction (Amendment 4, 2007) Part 2 (1995): Code of Practice for Special Circumstances Part 3 (1985): Design Charts for Singly Reinforced Beams, Doubly Reinforced Beams and Rectangular Columns
BD31/01	The Design of Buried Concrete Box and Portal Frame Structures
CIRIA C660	Early-age thermal crack control in concrete

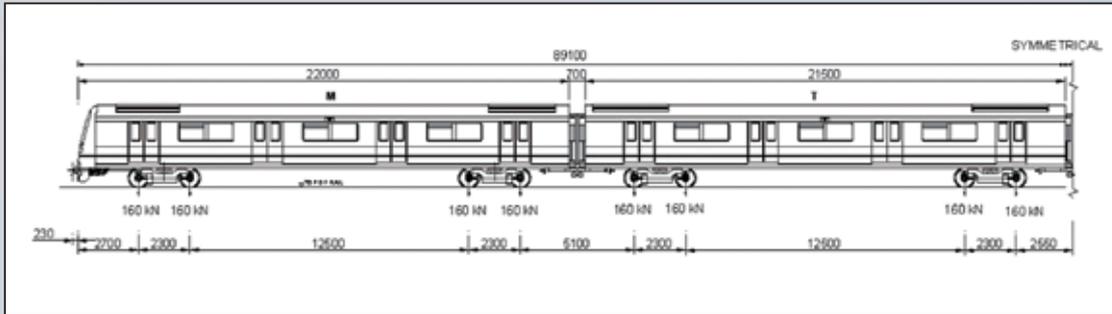


圖3 EMU列車載重

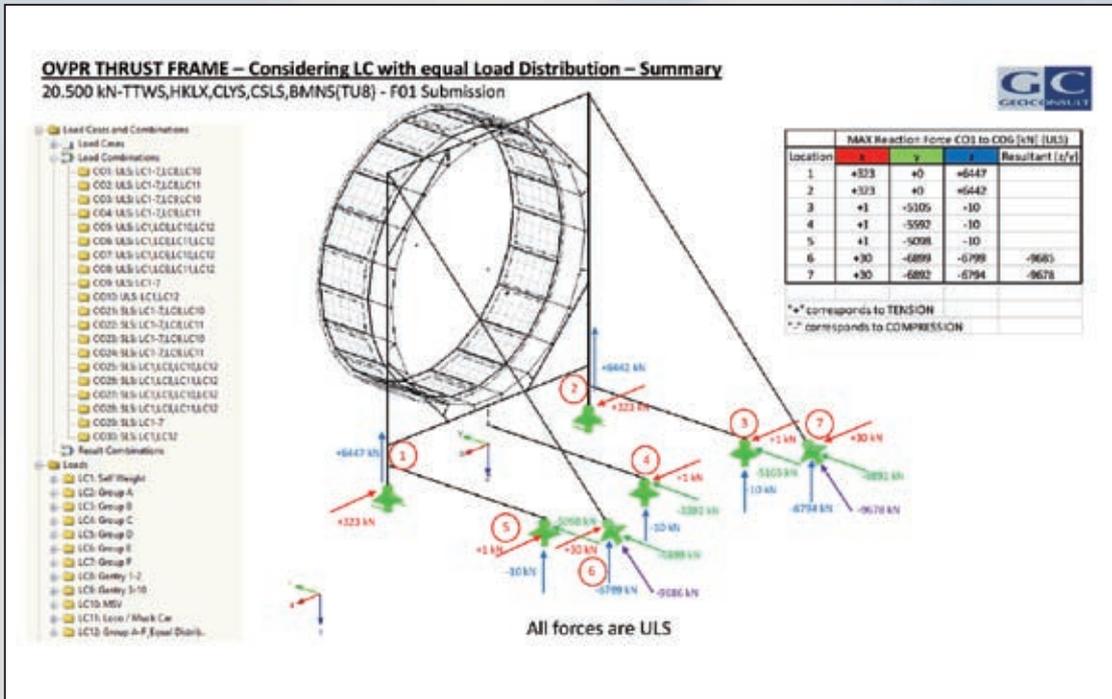


圖4 TBM支撐架反力座載重

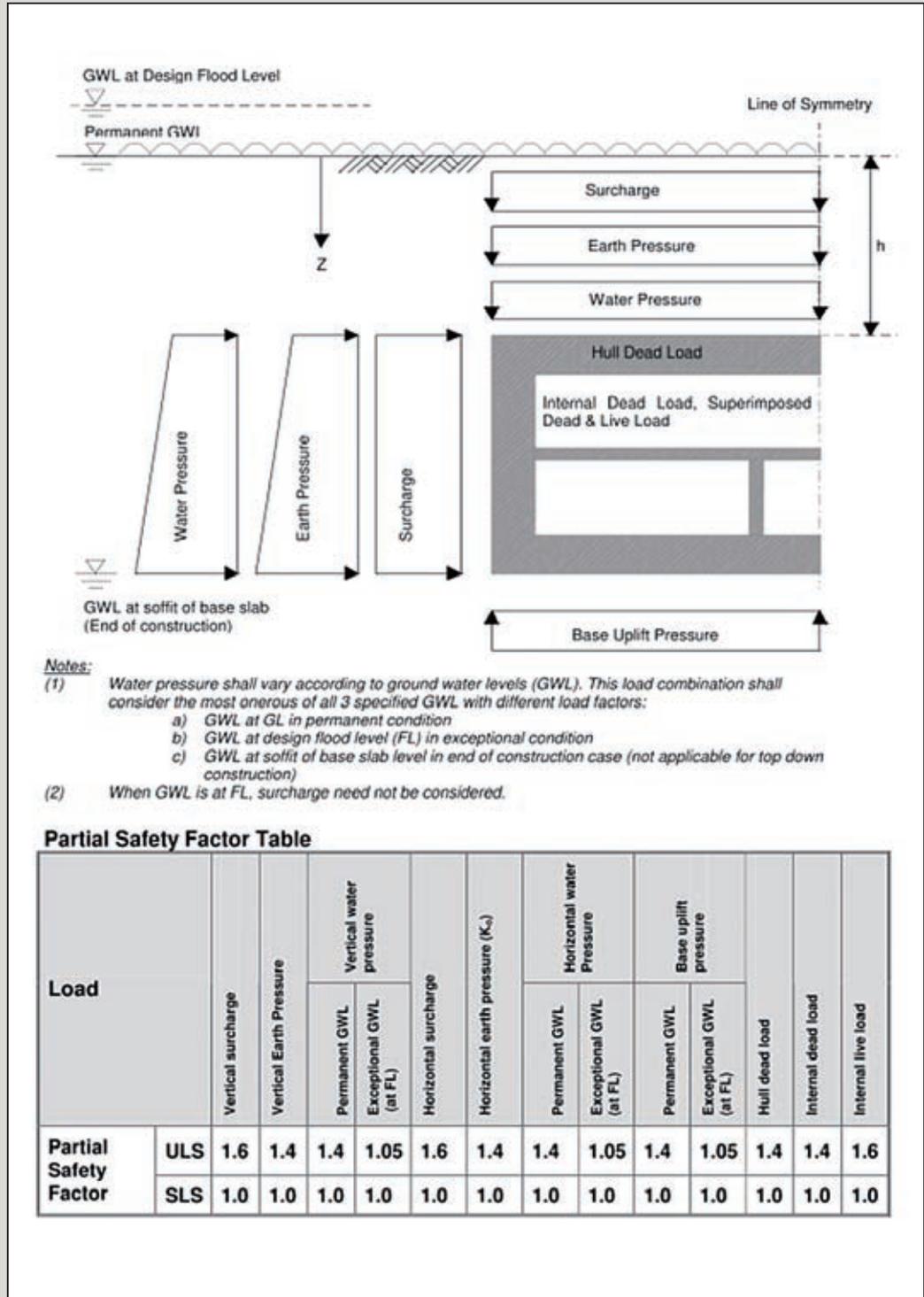
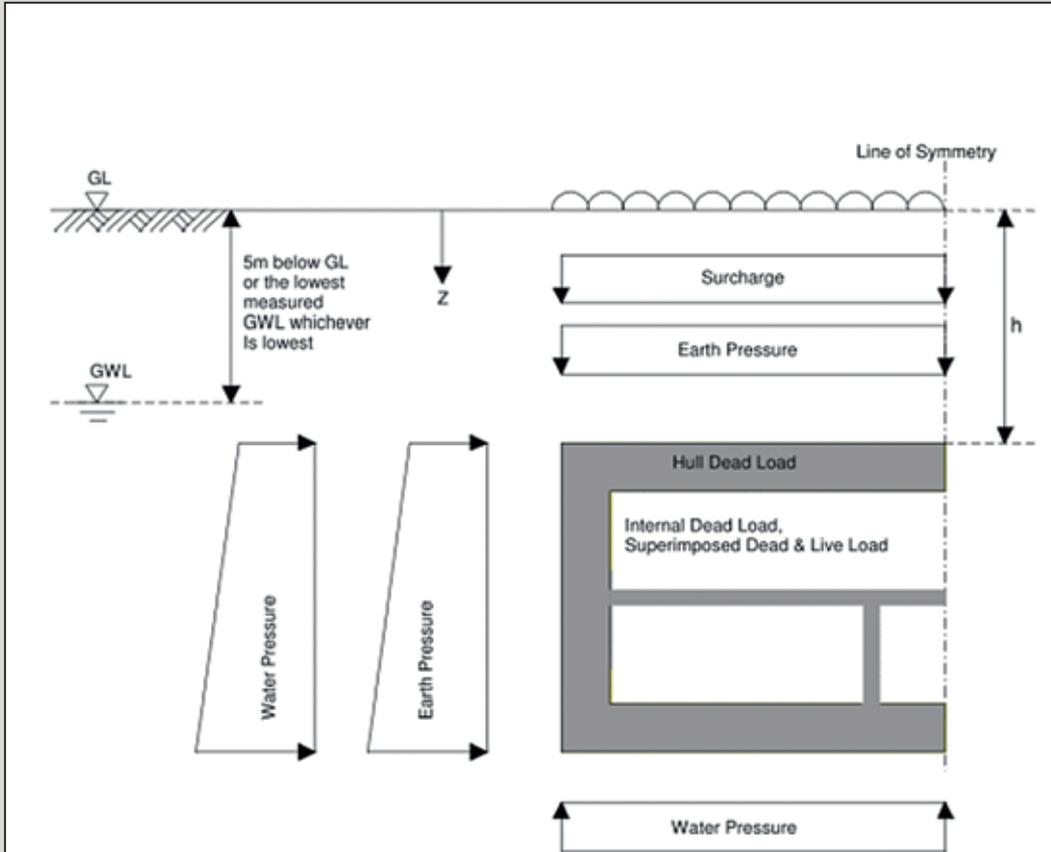


圖5 最大垂直力與最大水平力(Load Combination 1)



Notes:

- (1) The active pressure (K_a) is used for minimum horizontal load.
- (2) If GWL is above roof slab level then water pressure should be applied to the roof slab.

Partial Safety Factor Table

Load		Vertical surcharge	Vertical Earth Pressure	Vertical water pressure	Horizontal earth pressure (K_a)	Horizontal water Pressure	Base uplift pressure	Hull dead load	Internal dead load	Internal live load
		Partial Safety Factor	ULS	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.2	1.4
	SLS	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

圖6 最大垂直力與最小水平力(Load Combination 2)

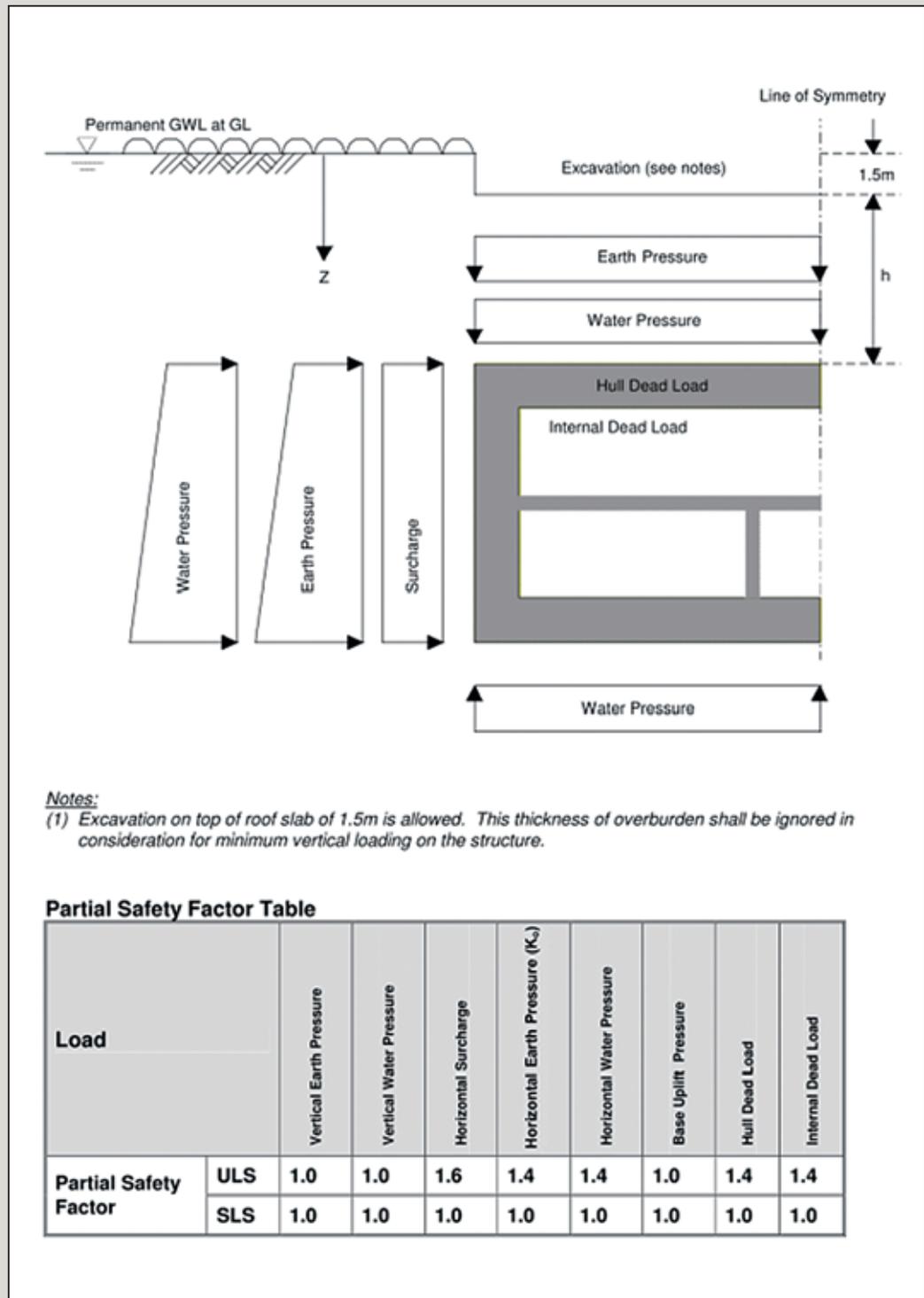
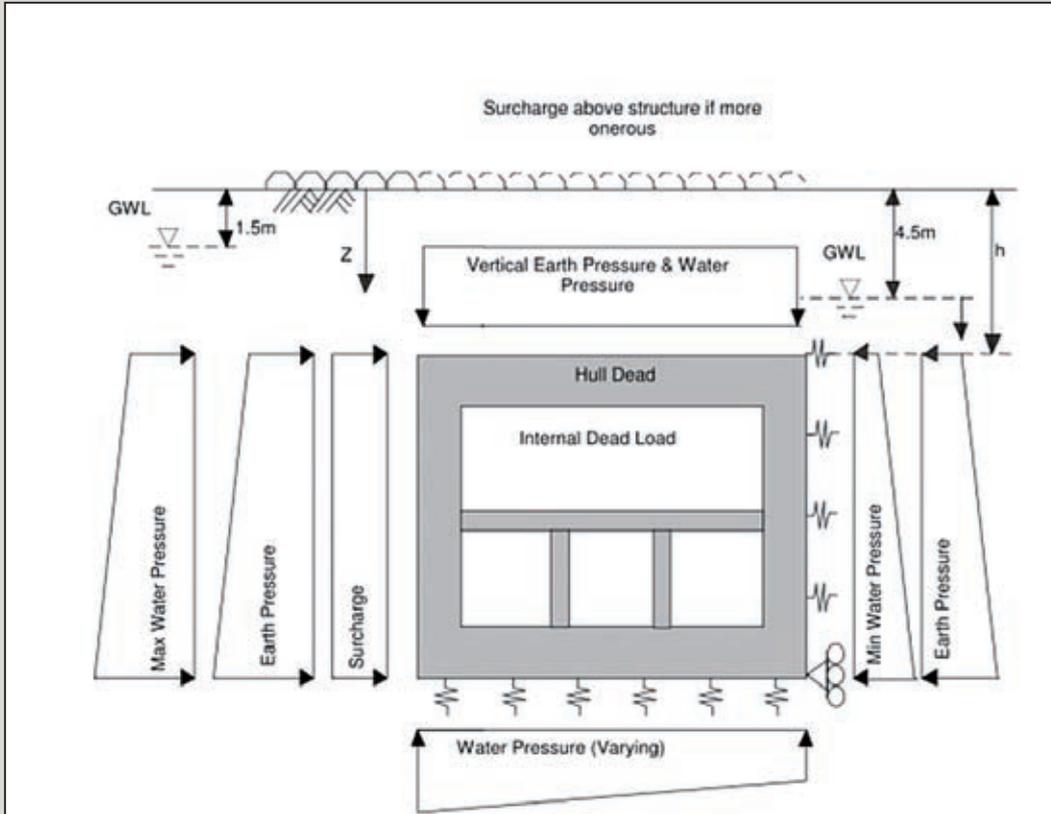


圖7 最小垂直力與最大水平力(Load Combination 3)



Notes:

(1) The earth pressure shall be in accordance with ground level or the lowest excavation level as stated in the Particular Specification.

Partial Safety Factor Table

Load	Partial Safety Factor	Vertical Surcharge	Vertical Earth Pressure	Vertical Water pressure	Horizontal Surcharge	Horizontal Earth Pressure	Horizontal Water Pressure	Base Uplift Pressure	Hull Dead Load	Internal Dead Load
		ULS	1.6	1.4	1.2	1.6	1.4	1.2	1.2	1.4
SLS	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

圖8 不平衡載重(Load Combination 4)

參、Chan Sow Lin Station (S20) 陳秀蓮車站

一、現地概況

陳秀蓮車站工址位於原JKR辦公室(註：JKR為政府公共工程部門)位置，車站長度約181m，寬度約22m。鄰近設施及建物，將影響及限制車站之施作，主要有以下三者：

- (一) 東側既有JKR辦公室
- (二) 鄰近未來DUKE3高架橋道路
- (三) 與既有陳秀蓮輕軌(LRT)車站相連

與陳秀蓮車站衝突的JKR辦公室將先行拆除；陳秀蓮車站的開挖擋土設計需考量避開未來DUKE3高架橋之基礎；陳秀蓮車站亦將透過新建連接橋(A&A Works)與既有陳秀蓮輕軌(LRT)車站相連接。相關位置如圖9。

二、地下車站結構規劃

陳秀蓮車站規劃為地下五層之島式月台站，開挖總深度約38~39m。車站淨寬度在中間標準段為21.6m，於車站兩側端部加寬至23.8m，車站平面詳圖10。車站底板被視為筏式基礎，底板外凸嵌入石灰岩的剪力樁(shear key)則作為抵抗浮力的機制；混凝土外牆作為永久的擋土系統，並提供車站垂直支撐；中間樓板依據其所屬分區及功能，而有不同的開口，並能承受不同之載重；頂板需承受上方回填土之重量，並有預留柱頭提供未來上方興建聯合開發大樓。車站由六層的結構樓板所組成，與結構外牆構成板牆系統，標準斷面詳圖11。

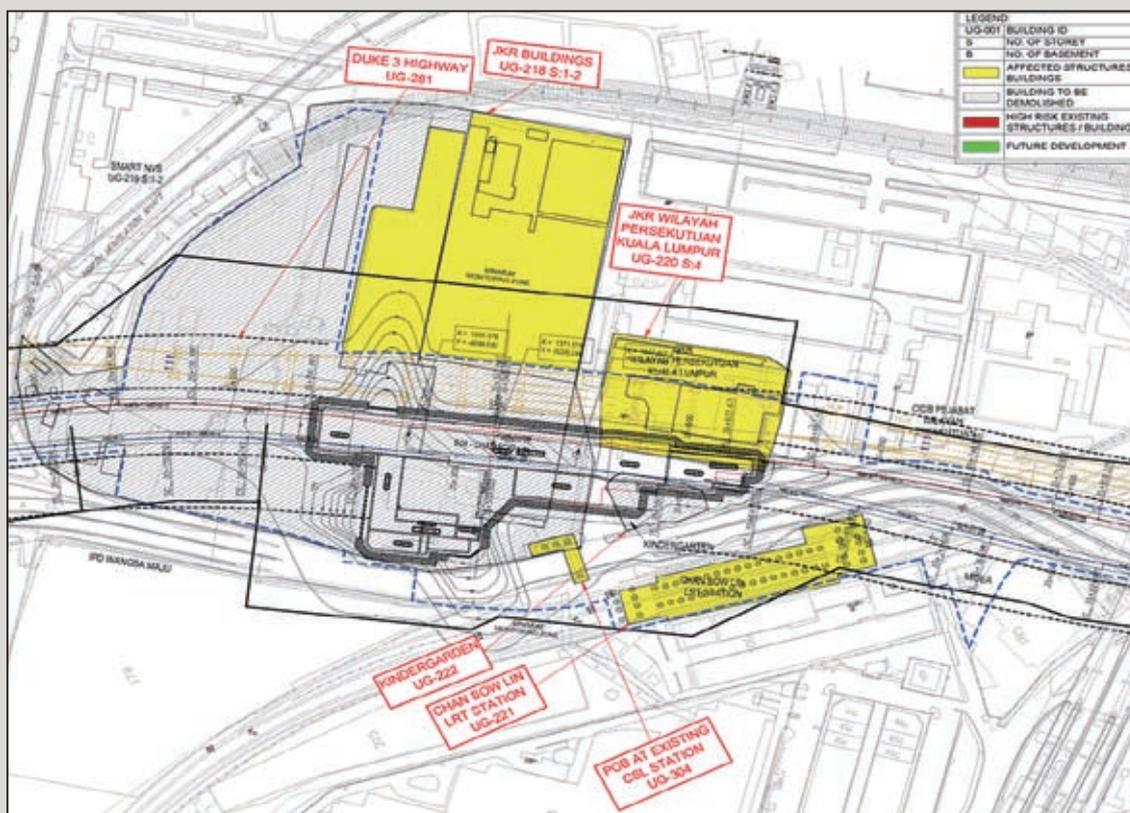


圖9 陳秀蓮站及鄰近建物位置圖

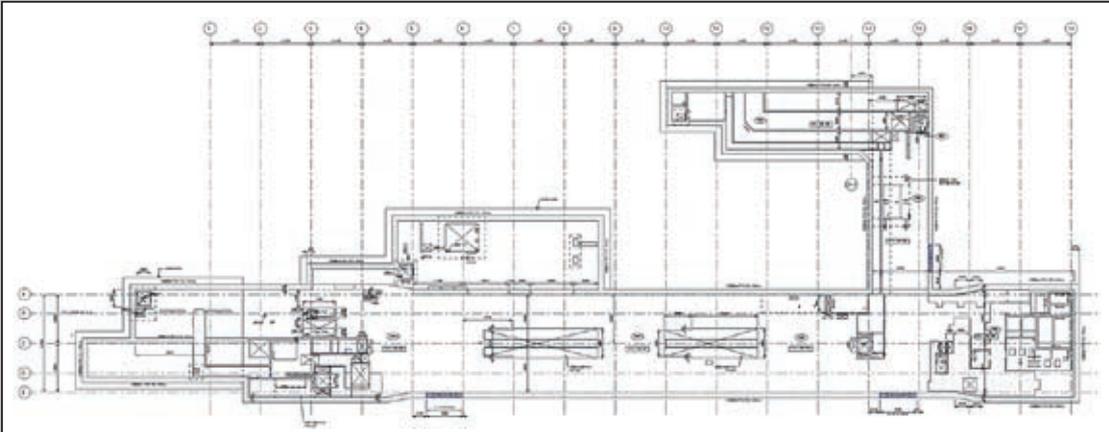


圖10 陳秀蓮車站平面圖

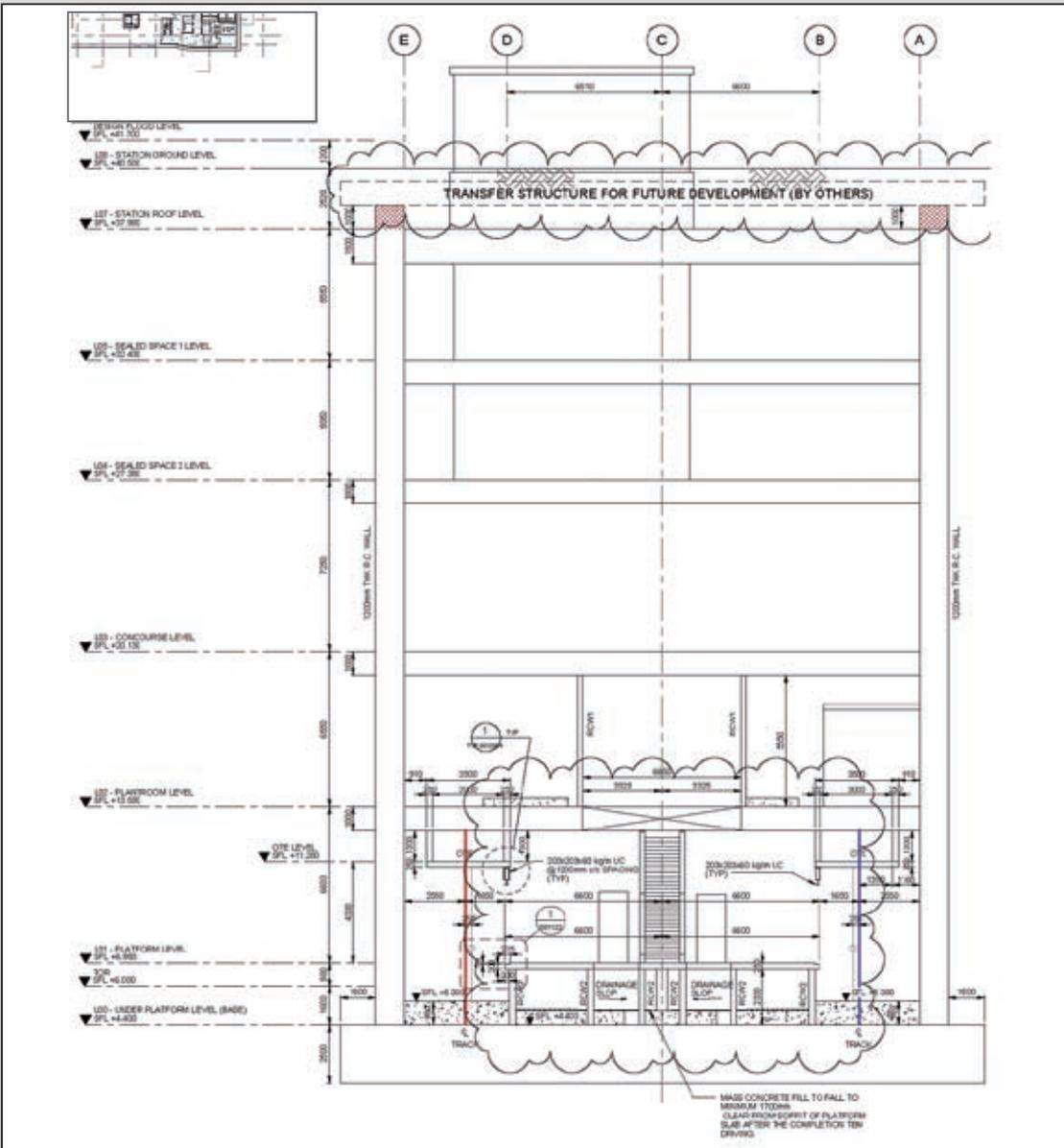


圖11 陳秀蓮車站標準斷面圖

車站底板在兩側端部做降板，提供潛盾機 (TBM)發進和接收，當潛盾機完成出發和到達

後，將採二次混凝土澆置至底板設計高程。詳圖12~13所示。

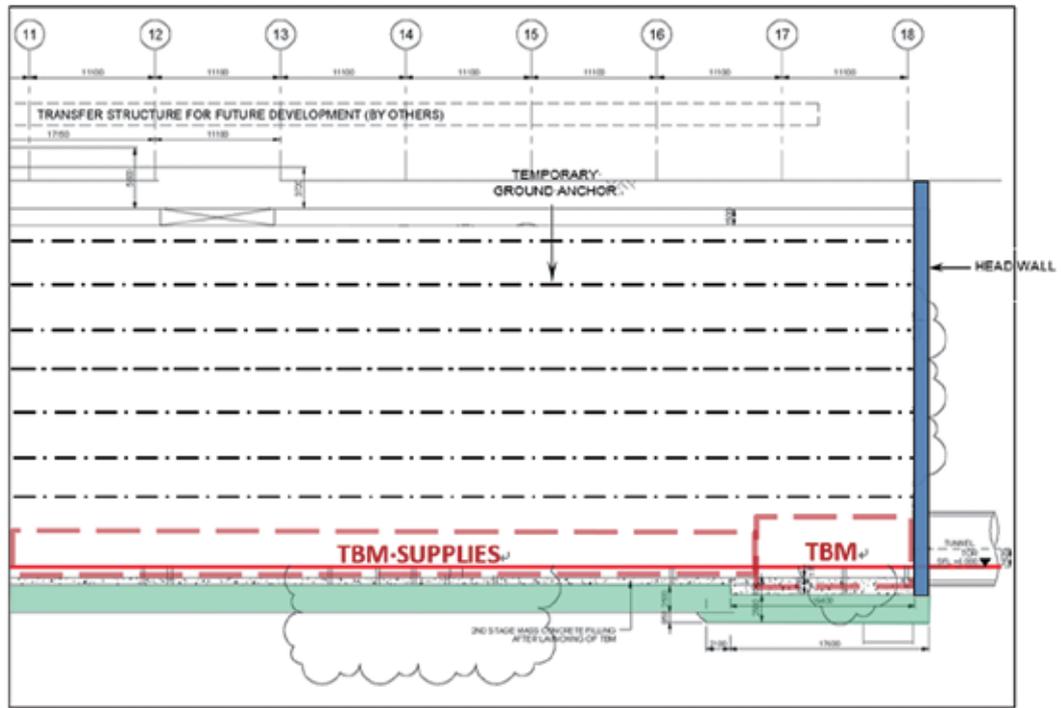


圖12 陳秀蓮站底板降板立面圖

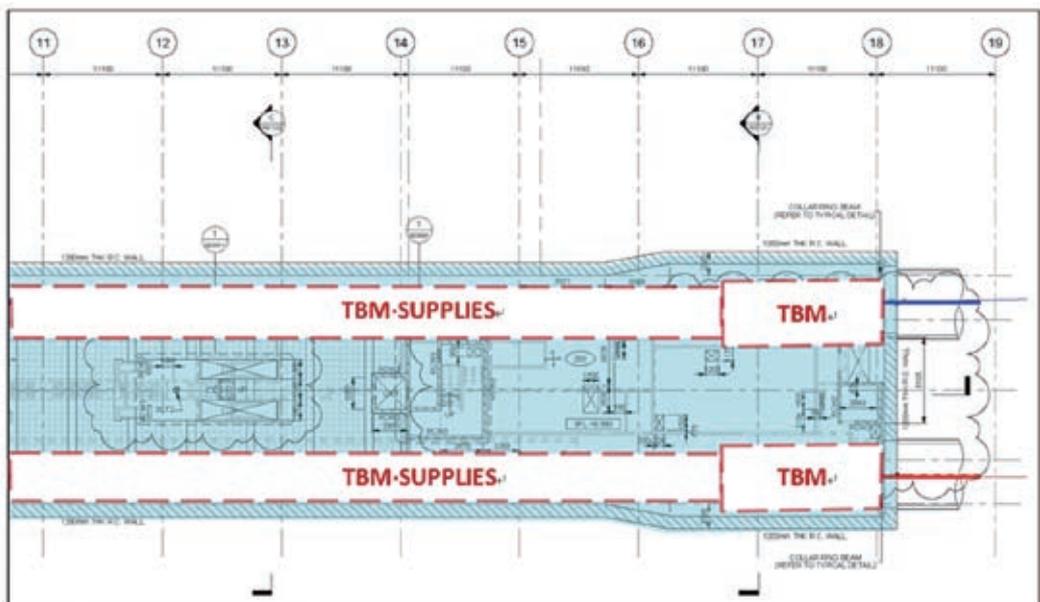


圖13 陳秀蓮站底板降板平面圖

三、出入口及聯合開發規劃

陳秀蓮車站於地下一層、地下二層及穿堂層，設有未來敲除牆面(Knock-out panels)，預留於與未來聯合開發大樓相通。陳秀蓮車站設有兩處出入口，出入口A及通風井A於車站西北側，出入口B、通風井B及冷卻水塔於車站西側，與既有陳秀蓮輕軌(LRT)車站相連。

陳秀蓮車站於站體上方及兩側，皆有未來聯合開發建物Transport Oriented Development (TOD)，依據特定條款所述，站體上方將有一五層建物，該建物之重量將由合約提供之面載重，透過轉換結構傳遞至地下車站外牆上方之預留牆墩；站體兩側亦將有未來聯合開發建物，其開挖深度至地下車站地下二層位置。在有限的資訊之下，另有兩項與聯開大樓相關，需特殊考量：

(一) 浮力檢核：

由於站體上方及兩側，將來會有聯合開發建物，其開挖時會將覆土挖除，因此在浮力檢核需考量兩種最嚴重情形。情況1

為站體上方開挖至預留牆墩；情況2為兩側聯開大樓開挖其底部(車站地下二層位置)，此時相應之土層已被挖除，其覆土重量將不納入抗浮貢獻，詳圖14所示。

(二) 聯開建物地震力考量：

站體上方之聯合開發建物，將來完成後若受地震力作用，將會影響地下車站。因此假定其五層建物受地震力作用，將所得之橫向剪力和傾覆彎矩，轉化成垂直力和水平力，作用於預留牆墩上，詳圖15所示。由於馬來西亞地震力很小(設計地表加速度僅0.03g)，結果並不控制。

四、工址地質及施工步驟

陳秀蓮車站工址的土層主要為石灰岩(Limestone)，車站大部份座落於良好的石灰岩之上，僅有一小部份座落在沉積土(Alluvium)之上。根據陳秀蓮站之地質調查資料，岩盤/土壤設計參數將可分為四區，如圖16和表4所示。

陳秀蓮車站採用傳統順打工法(Bottom-

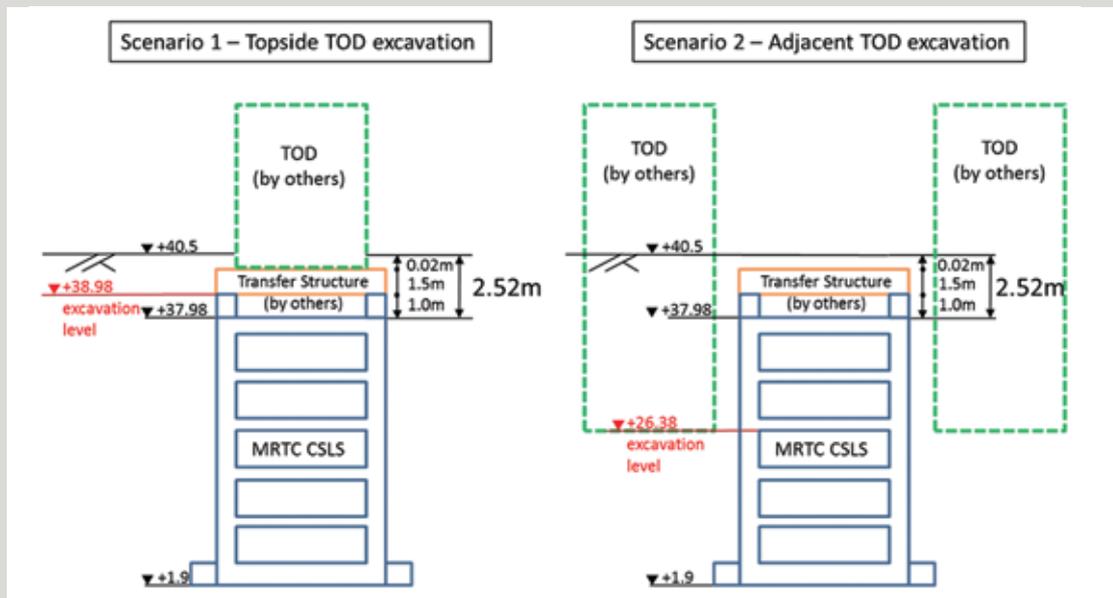


圖14 陳秀蓮站聯開大樓開挖時浮力之考量

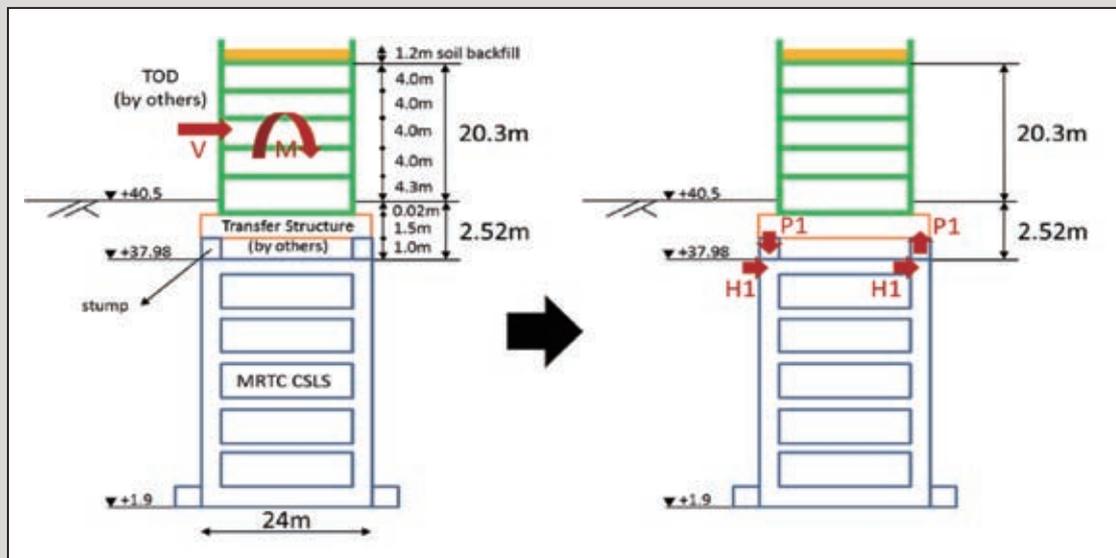


圖15 陳秀蓮站聯開大樓地震力之考量

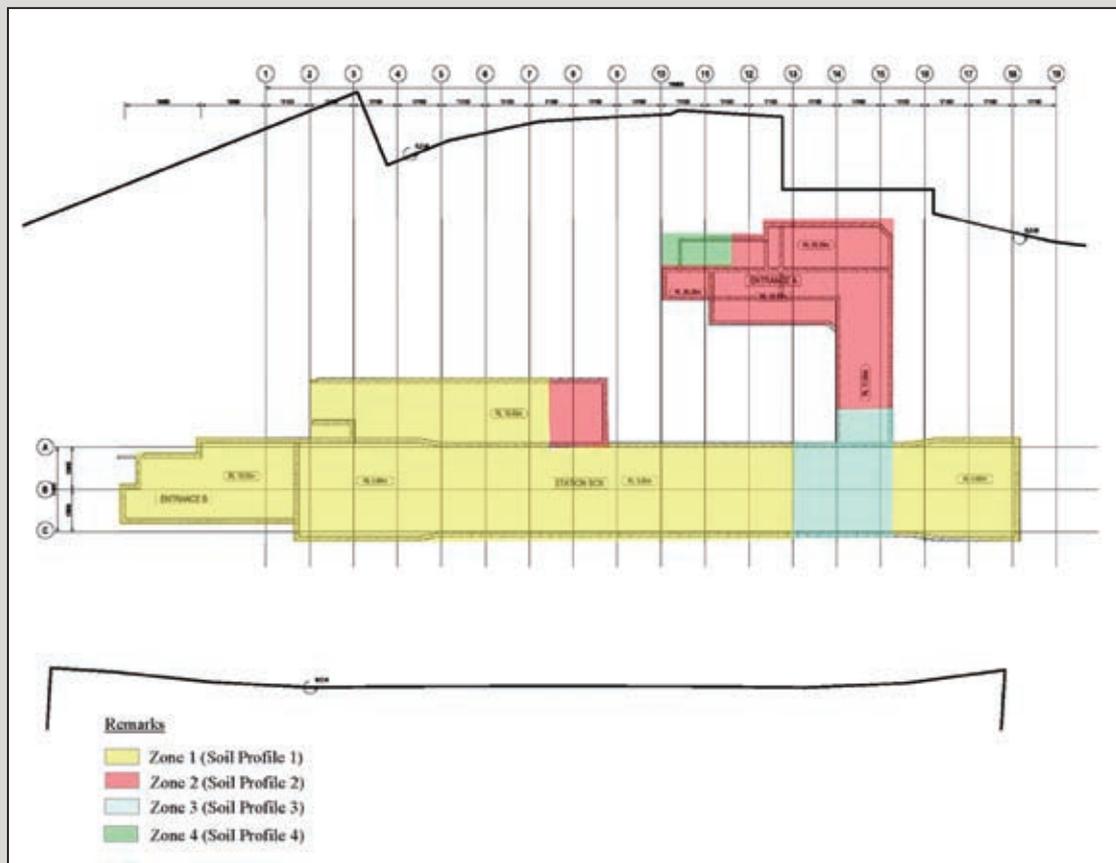


圖16 陳秀蓮站工址設計地質參數分區

表4 陳秀蓮站工址設計地質參數數值

Geological Formation	Soil Layer						Shear Strength Parameters							Permeability (m/sec)	Groundwater Table (mbgl)
	Zone	Profile	Existing Ground Level (RLm)	Depth below Ground (mbgl)	Rationalised SPT-N Value	Unit Weight, γ (kN/m ³)	Subsoil Stiffness, E_s (kPa)	Subsoil Stiffness, E_{ur} (kPa)	Soil/Rock At Rest Pressure Coefficient, K_0	Soil/Rock Active Pressure Coefficient, K_a	Soil/Rock Passive Pressure Coefficient, K_p	Effective Cohesion, c' (kPa)	Effective Frictional Angle, ϕ' (°)		
CSLS Alluvium/Limestone	1	a	40.5	≤10	7	19	21,000	63,000	0.52	0.35	2.88	1	29	1.0E-5	1.0
				10.0 m and below	Limestone	24	1.00E+06	0.50	0.31	3.25	400	32	1.0E-6		
	2	b	40.5	≤15	7	19	21,000	63,000	0.52	0.35	2.88	1	29	1.0E-5	
				≤20	25	19.5	62,500	187,500	0.47	0.31	3.25	3	32	1.0E-5	
				20.0 m and below	Limestone	24	1.00E+06	0.50	0.31	3.25	400	32	1.0E-6		
	3	c	40.5	≤10.5	2	19	6,000	18,000	0.52	0.35	2.88	1	29	1.0E-5	
				≤24.5	11	19	27,500	82,500	0.49	0.32	3.12	1	31	1.0E-5	
				≤32.5	20	19	90,000	150,000	0.49	0.32	3.12	1	31	1.0E-5	
				≤35.0	15	19	37,500	112,500	0.49	0.32	3.12	1	31	1.0E-6	
				35.0 m and below	Limestone	24	1.00E+06	0.50	0.31	3.25	400	32	1.0E-6		
	4	d	40.5	≤15	7	19	21,000	63,000	0.52	0.35	2.88	1	29	1.0E-5	
				≤25	25	19.5	62,500	187,500	0.47	0.31	3.25	3	32	1.0E-5	
				25.0 m and below	Limestone	24	1.00E+06	0.50	0.31	3.25	400	32	1.0E-6		

Up), 先開挖至底, 再往上逐層施築, 其施工步驟如下, 詳圖17。

- (一) 施作deep soil mixing (DSM)做為擋土
- (二) 施作止水灌漿(fissure grouting/curtain grouting)
- (三) 開挖至岩層頂部, 並施作岩錨(rock anchor)

(四) 進一步開挖岩層至完成面, 並適需要施作岩釘(rock bolts)

(五) 設置臨時洩壓井及底板下方排水管

(六) 綁紮底板(包含剪力樺)鋼筋, 澆置底板(包含剪力樺)混凝土

(七) 綁紮外牆鋼筋, 澆置外牆混凝土, 至機房層

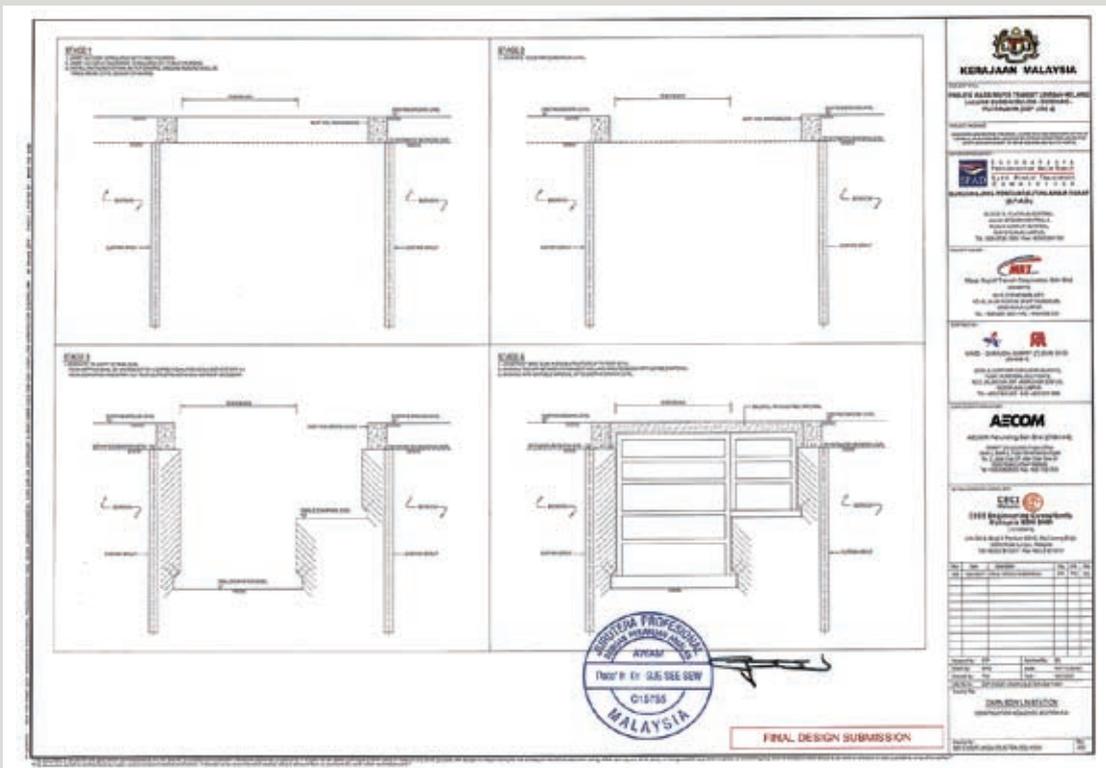


圖17 陳秀蓮站施工步驟圖

- (八) 綁紮機房層樓板鋼筋，澆置機房層樓板混凝土
- (九) 回填土至外牆與岩盤間之空隙
- (十) 於機房層樓板處與岩盤間之空隙，施作一層無筋混凝土
- (十一) 重覆步驟7~10，直到頂板完成
- (十二) 頂板上方回填土至地面完成高程
- (十三) 密封底板臨時洩壓井

五、結構分析與設計成果

陳秀蓮車站結構分析與設計，採用MIDAS GEN商用軟體建模，分別進行2D斷面分析設計(2D frame analysis and design)以及3D全車站有限元素分析設計(3D plate analysis and design)。

分析模型的邊界條件，乃於車站底部兩端設定為鉸接，再於底板及側牆上設置壓力彈簧(不承受拉力作用)，其勁度值依所在土層性質計算。如圖18所示。

關於地震力的計算，模型邊界條件比照RACKING方式，於車站底部兩端設定為鉸接，地震力的擬靜力分析，採用加載定值反應譜模擬，再利用振態疊加法得到結構分析結果。如圖19所示。

地下車站結構分析，會依據第貳章所述之各種載重情形，進行加載和分析計算，再將所得到的結構桿件內力(包含彎矩、剪力、軸力)，分別照極限狀態和服務狀態組合得到控制之設計力，

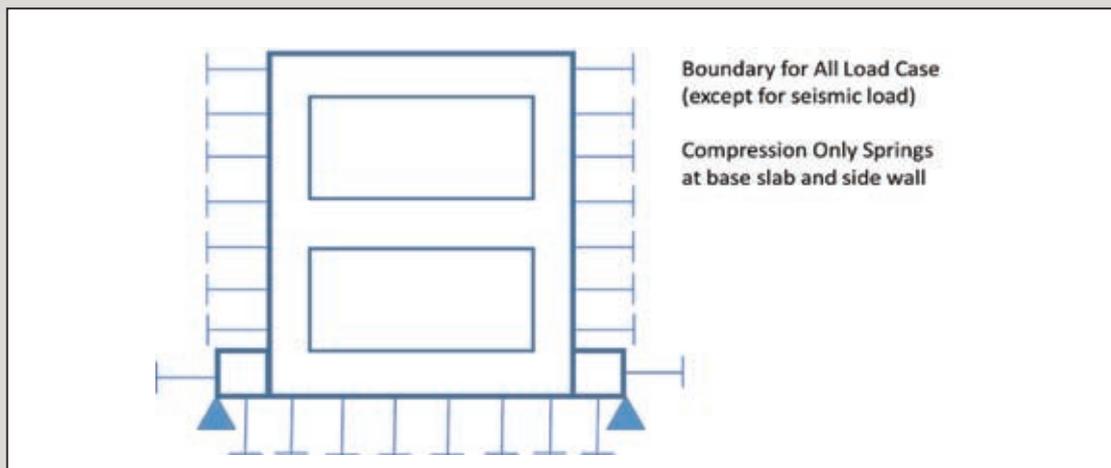


圖18 陳秀蓮站分析模型邊界條件示意圖

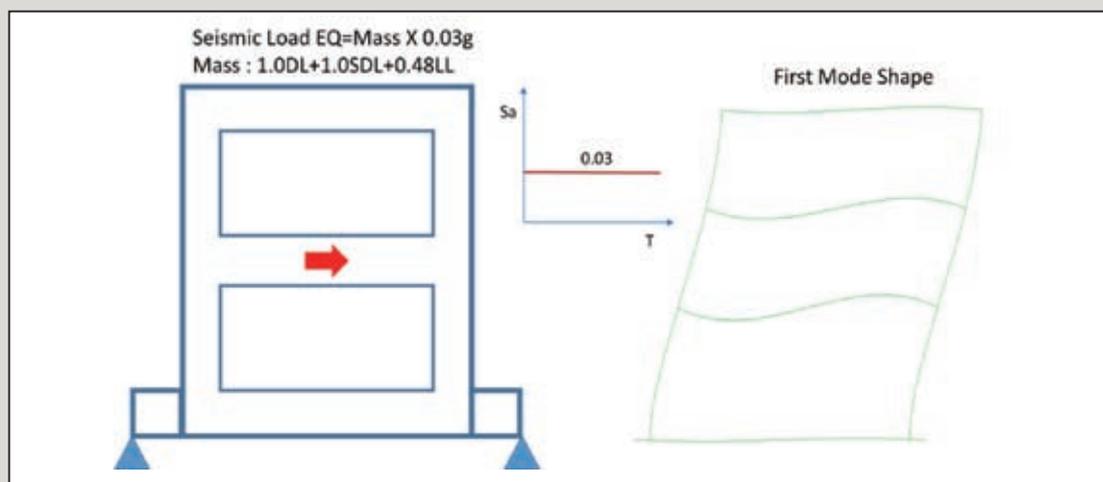


圖19 陳秀蓮站地震分析示意圖

再進行後續強度性設計(ULS)和使用性檢核(SLS)。

依車站本體結構特性，配合地質岩盤/土壤設計參數分區，選定四處標準斷面A~D詳圖20，先行施作2D完整斷面分析設計(不考慮開口效應)，設計成果將做為車站橫斷面初步配筋依據，並可做為鋼筋數量估計之參考。2D斷面分析的模型如圖21，2D斷面分析的結果如圖22。

完成車站標準2D斷面分析之後，接著再建

立全車站3D有限元素分析模型，納入建築、機電等專業提供之開口，並依所屬空間功能和放置設備施加载重，進行完整開口補強結構分析和設計，3D設計成果將與2D設計成果比較，採大者進行配筋。

陳秀蓮地下車站3D有限元素分析模型如圖23，3D有限元素分析結果如圖24。利用後處理程式進行版元素設計，樓板及外牆設計成果如圖25，配筋結果如圖26。

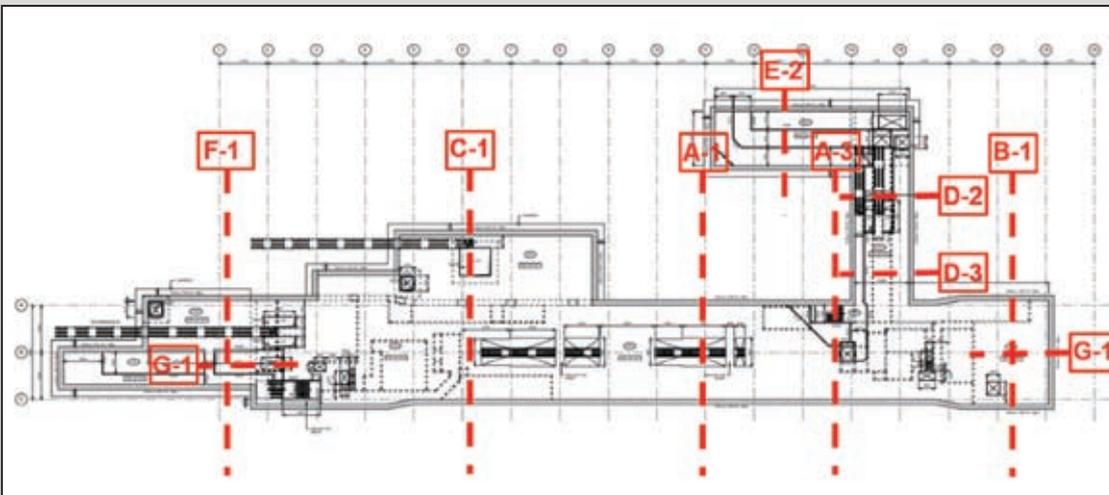


圖20 陳秀蓮站選定主要分析斷面

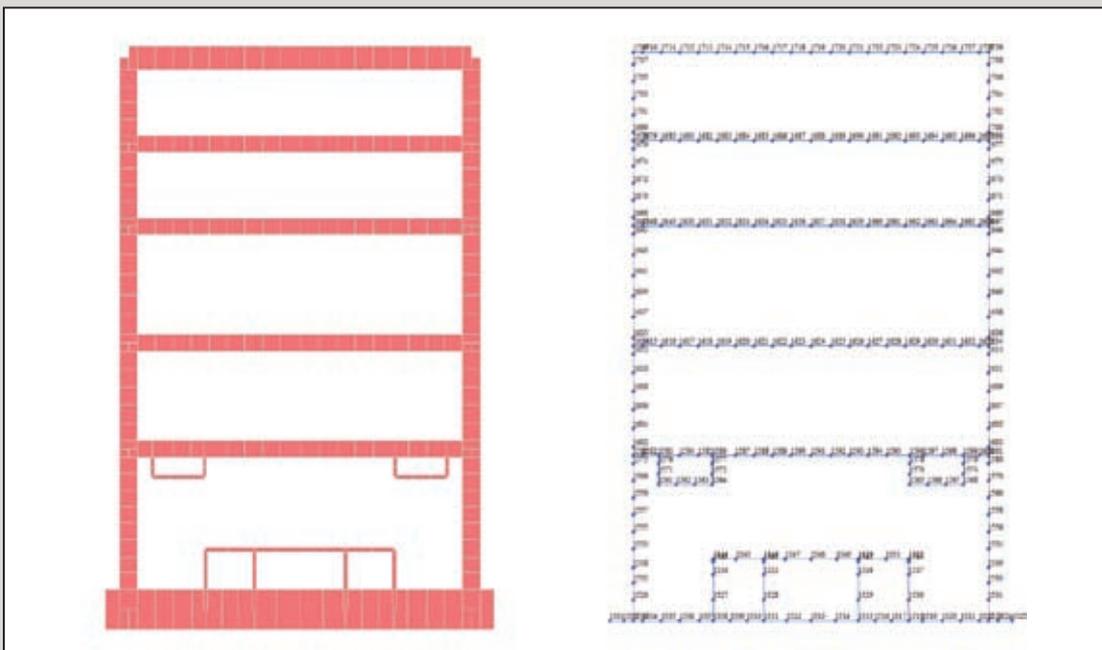


圖21 陳秀蓮站-2D FRAME分析模型

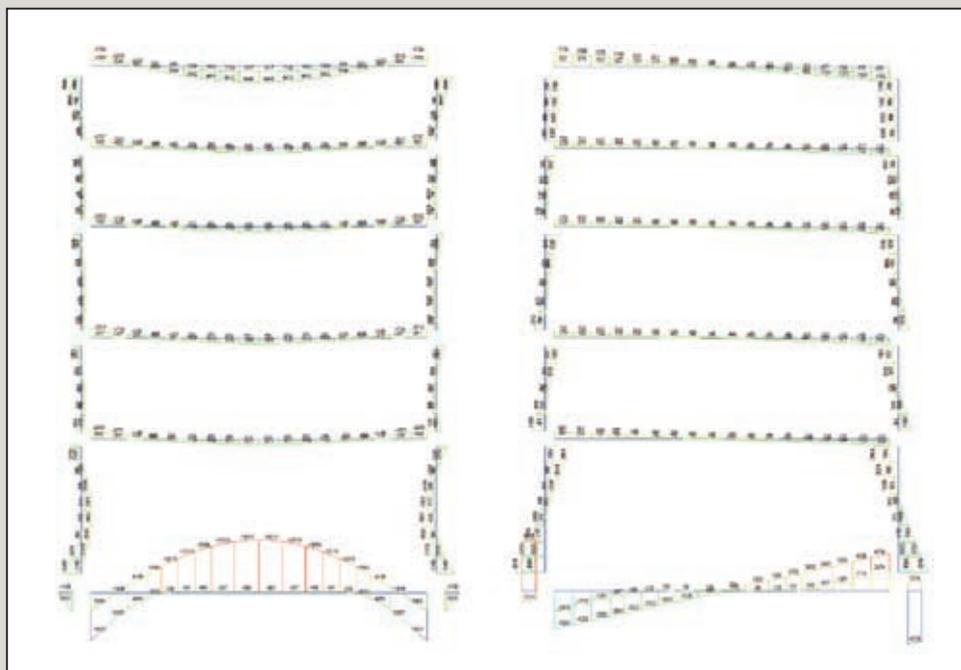


圖22 陳秀蓮-2D FRAME分析結果

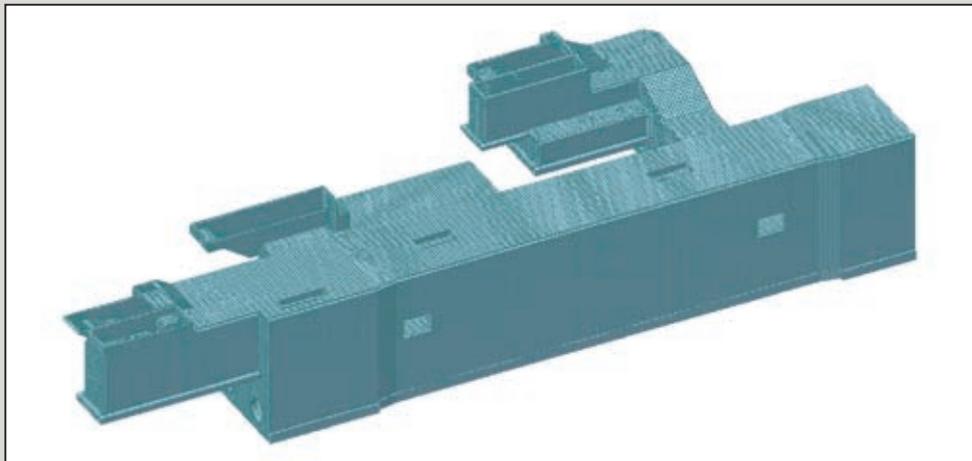


圖23 陳秀蓮站-3D全車站分析模型

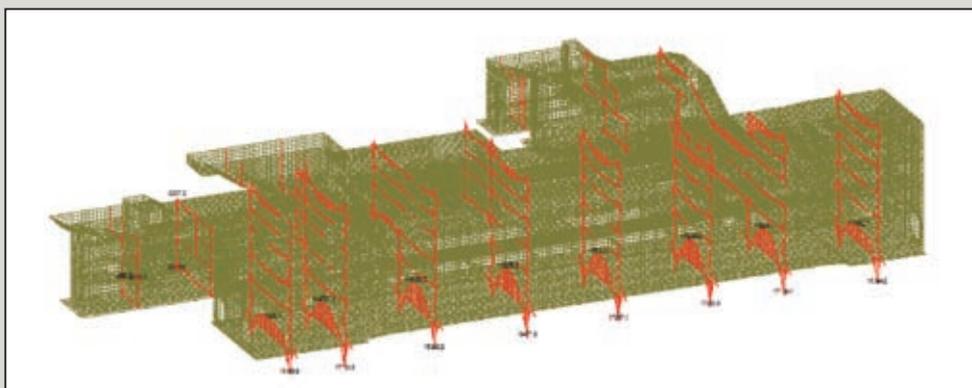


圖24 陳秀蓮站-3D全車站分析結果

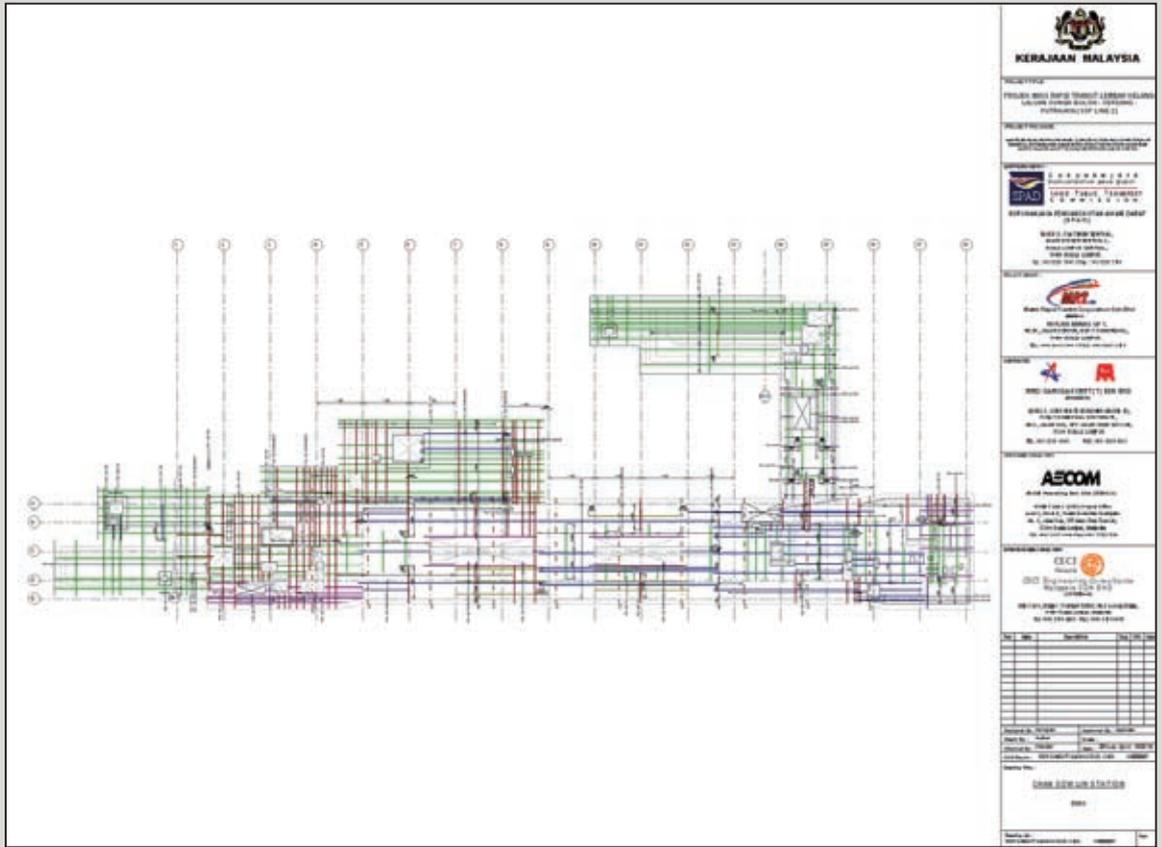


圖26 陳秀蓮站-鋼筋設計成果

肆、Conlay Station (S18)康萊車站

一、現地概況

康萊車站工址位於康萊路(Jalan Conlay)與起亞潘路(Jalan Kia Peng)之間，車站長度約170m，寬度23.9m。鄰近設施及建物，將影響及限制車站之施作，主要有以下三者：

- (一) Ampersand高級公寓
- (二) 1A Stonor高級公寓
- (三) 國家藝品中心

國家藝品中心與康萊車站局部的衝突，將會被先行拆除；國家藝品中心的主要部份，Ampersand高級公寓和1A Stonor高級公寓，在施作康萊車站時，需要防制噪音和振動，並小心

開挖，以減輕鄰損等問題。相關位置如圖27。

二、地下車站結構規劃

康萊車站規劃為地下三層之島式月台站，開挖總深度約29m。車站標準淨寬度為23.8m，於車站兩側端部加寬至24.6m，車站平面圖詳圖28。車站底板被視為筏式基礎，底板下方採用抗浮拉桿(dowel bar)作為抵抗浮力的機制；混凝土外牆作為永久的擋土系統，並提供車站垂直支撐；中間樓板依據其所屬分區及功能，而有不同的開口，並能承受不同之載重；頂板需承受上方回填土之重量，並有預留柱頭提供未來上方興建聯合開發大樓。車站由四層的結構樓板所組成，與結構外牆構成板牆系統，標準斷面詳圖29。

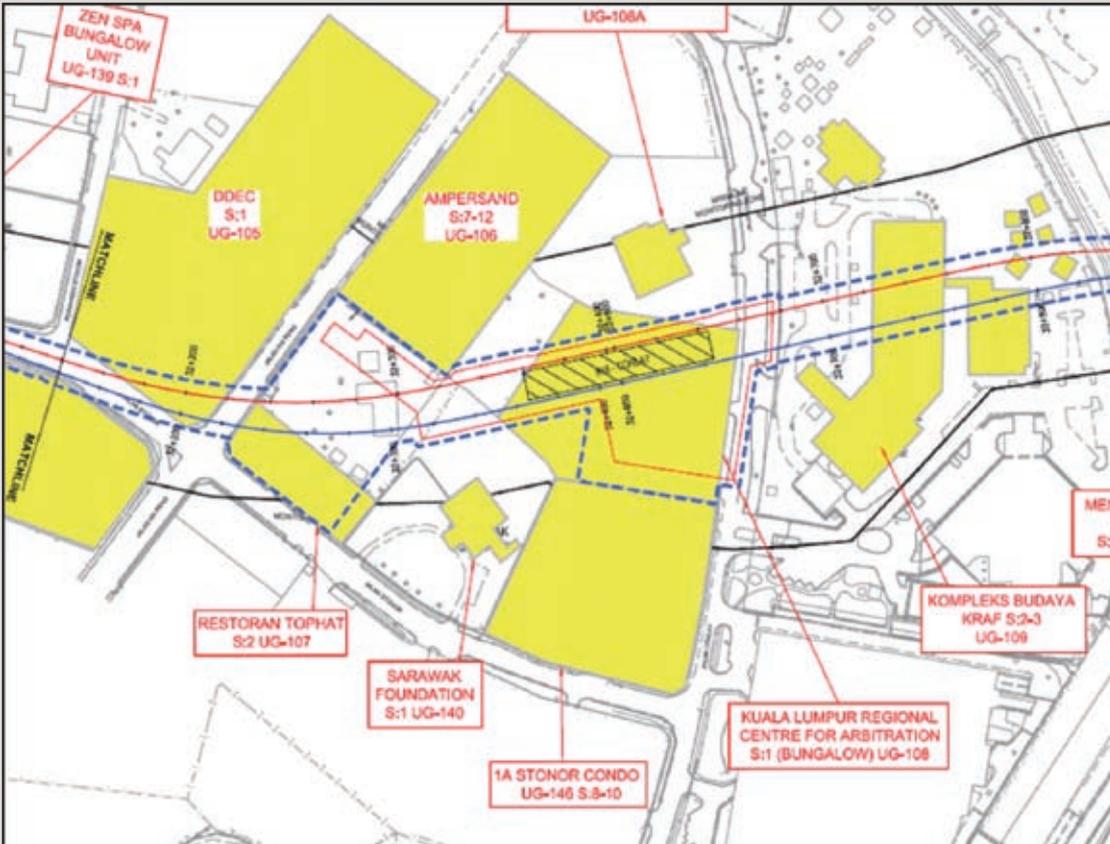


圖27 康萊站及鄰近建物位置圖

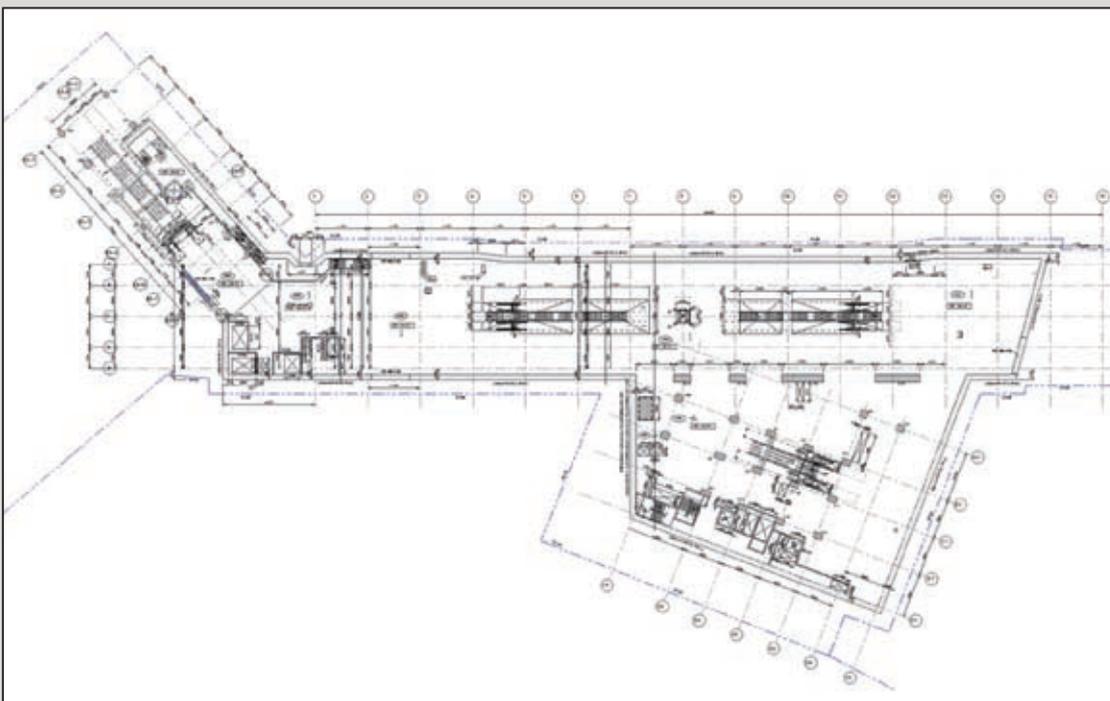


圖28 康萊車站平面圖

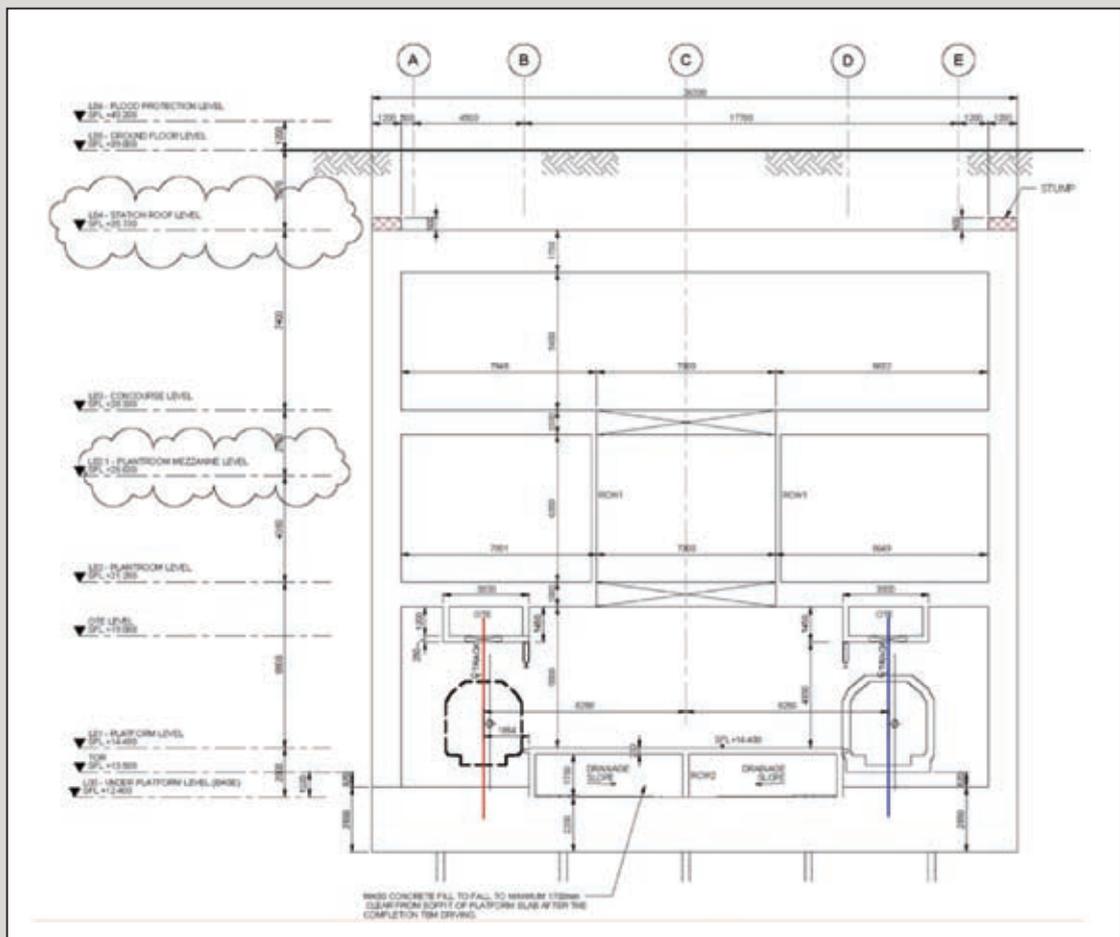


圖29 康萊車站標準斷面圖

車站底板在兩側端部做降板，提供潛盾機（TBM）發進和接收，當潛盾機完成出發和到達後，將採二次混凝土澆置至底板設計高程。如圖30~31所示。

三、出入口及聯合開發規劃

康萊車站於穿堂層和出入口A，設有未來敲除牆面（Knock-out panels），預留於與未來聯合開發大樓相通。康萊車站設有兩處出入口，出入口A及通風井A於車站北側，為地上二層結構物，依據特定條款所述，上方未來將另有五層聯合開發建物；出入口B、通風井B和冷卻水塔於車站南側，亦為地上二層結構物，依據特定條款所述，上方未來將另有八層聯合開發建物。在有

限的資訊之下，另有兩個項目需特殊考量：

（一）聯開大樓載重及開挖：

由於站體上方及兩側（地號301），將來會有聯合開發建物，站體上方八層建物之重量將由發展商所提供之線載重，作用於地下車站外牆上方之預留牆墩，另於出入口B處之墩柱，需承受上方聯開之重量，此外此區域聯開大樓將開挖至高程+25.0m，相關影響評估亦需納入。而於出入口A（地號82&266），上方未來將有五層聯開建物，其重量依捷運公司（MRTC）指示加載，另亦需考量此區域連開未來開挖至高程+26.78m之影響，詳圖32所示。

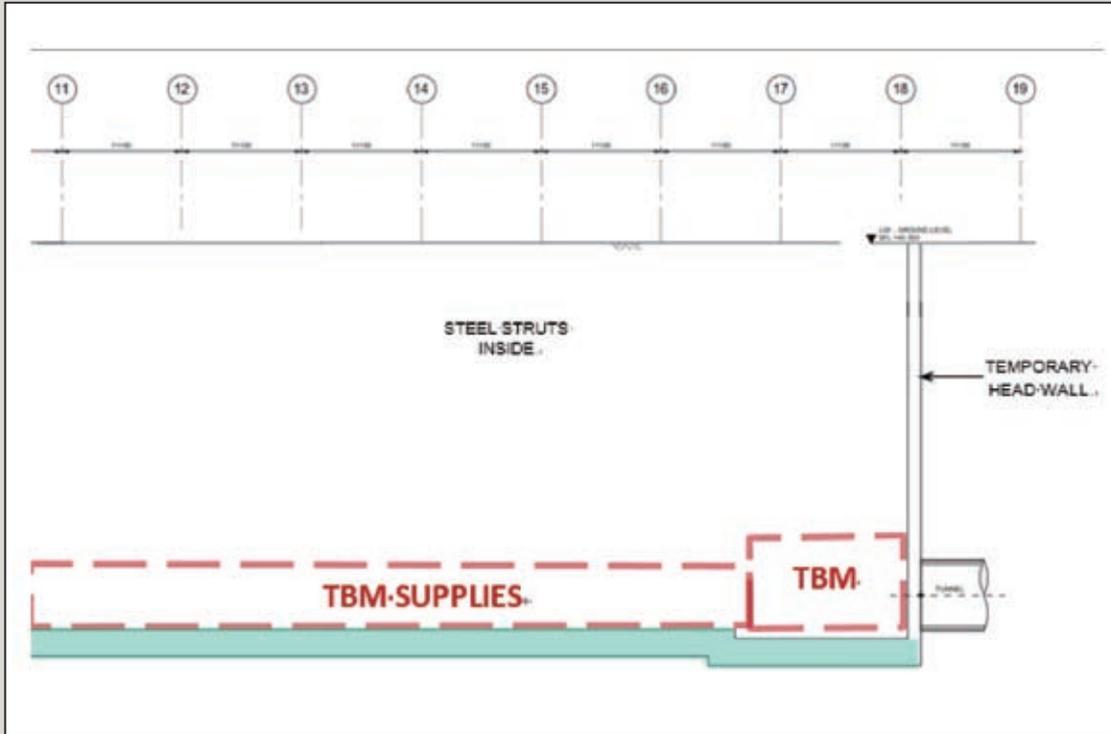


圖30 康萊站底板降板立面圖

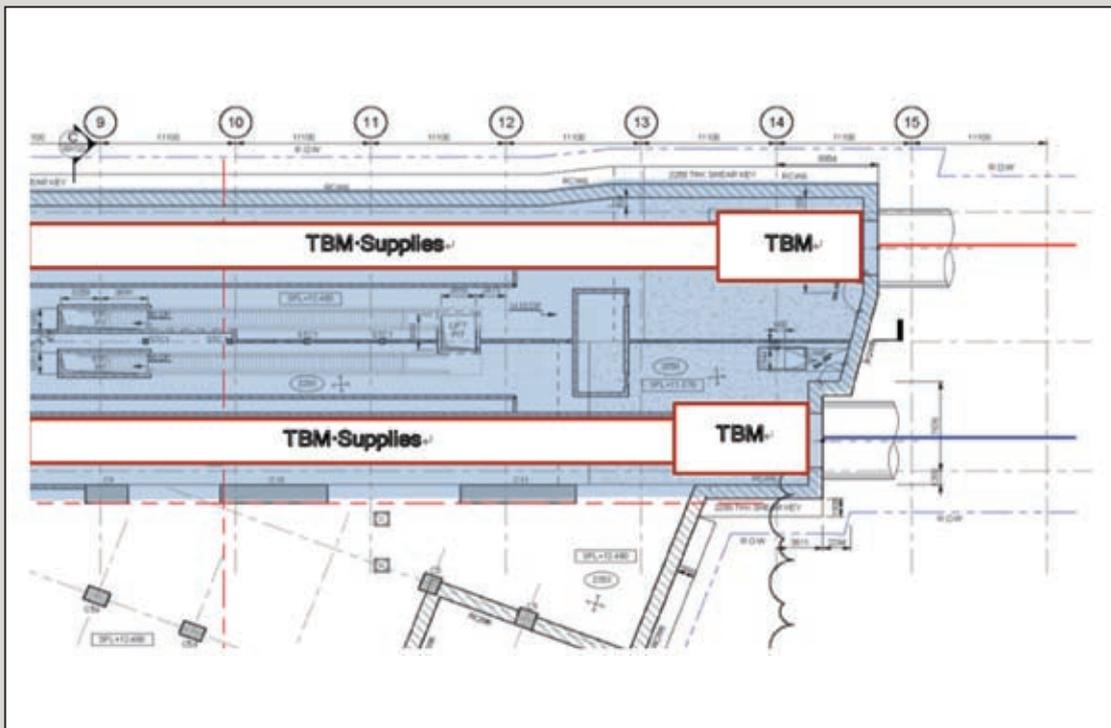


圖31 康萊站底板降板平面圖

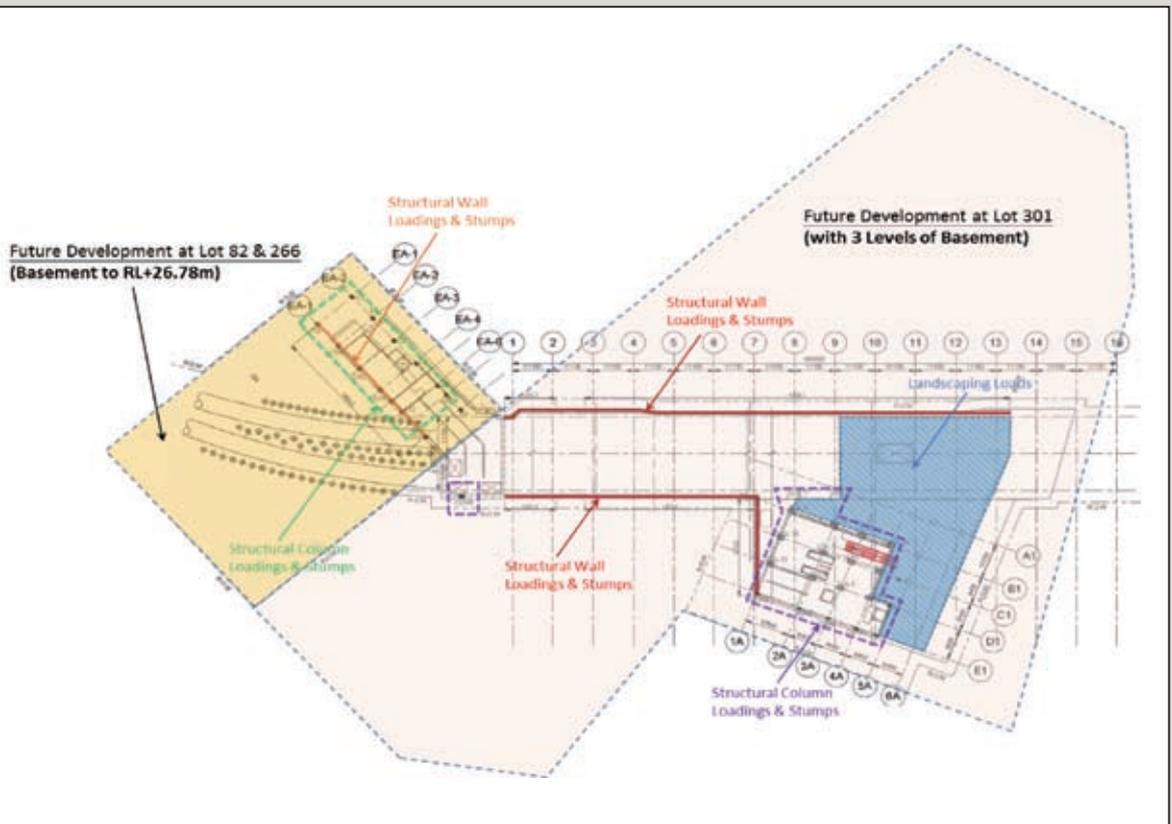


圖32 康萊站聯開大樓載重及開挖之考量

(二) 夾點區域(pinch point area)：

於細部設計階段，站體位置調整移動，導致車站西北側因用地原因，產生一處夾點區域。該區域受限於路權、施工空間、擋土設施、軌道區管線佈設等因素，因此結構外牆由1.2m縮減至0.725m，詳圖33所示。

四、工址地質及施工步驟

康萊車站工址的土層在地表下方10~25m為沉積土(Alluvium)，再往下為石灰岩(Limestone)，因此車站大部份座落於良好的石灰岩之上。根據康萊站之地質調查資料，岩盤/土壤設計參數將可分為七區，如圖34和表5所示。

康萊車站採用傳統順打工法(Bottom-Up)，先開挖至底，再往上逐層施築，其施工步驟如下，詳圖35。

- (一) 設置切削樁(Secant Bored Pile)至足夠深度，並施作帽梁，做為擋土
- (二) 施作止水灌漿(fissure grouting/curtain grouting)
- (三) 開挖至岩層頂部，並施作岩錨(rock anchor)
- (四) 進一步開挖岩層至完成面，並適需要施作岩釘(rock bolts)
- (五) 施作抗浮拉桿
- (六) 設置臨時洩壓井及底板下方排水管
- (七) 綁紮底板鋼筋，澆置底板混凝土
- (八) 綁紮外牆鋼筋，澆置外牆混凝土，至機房層

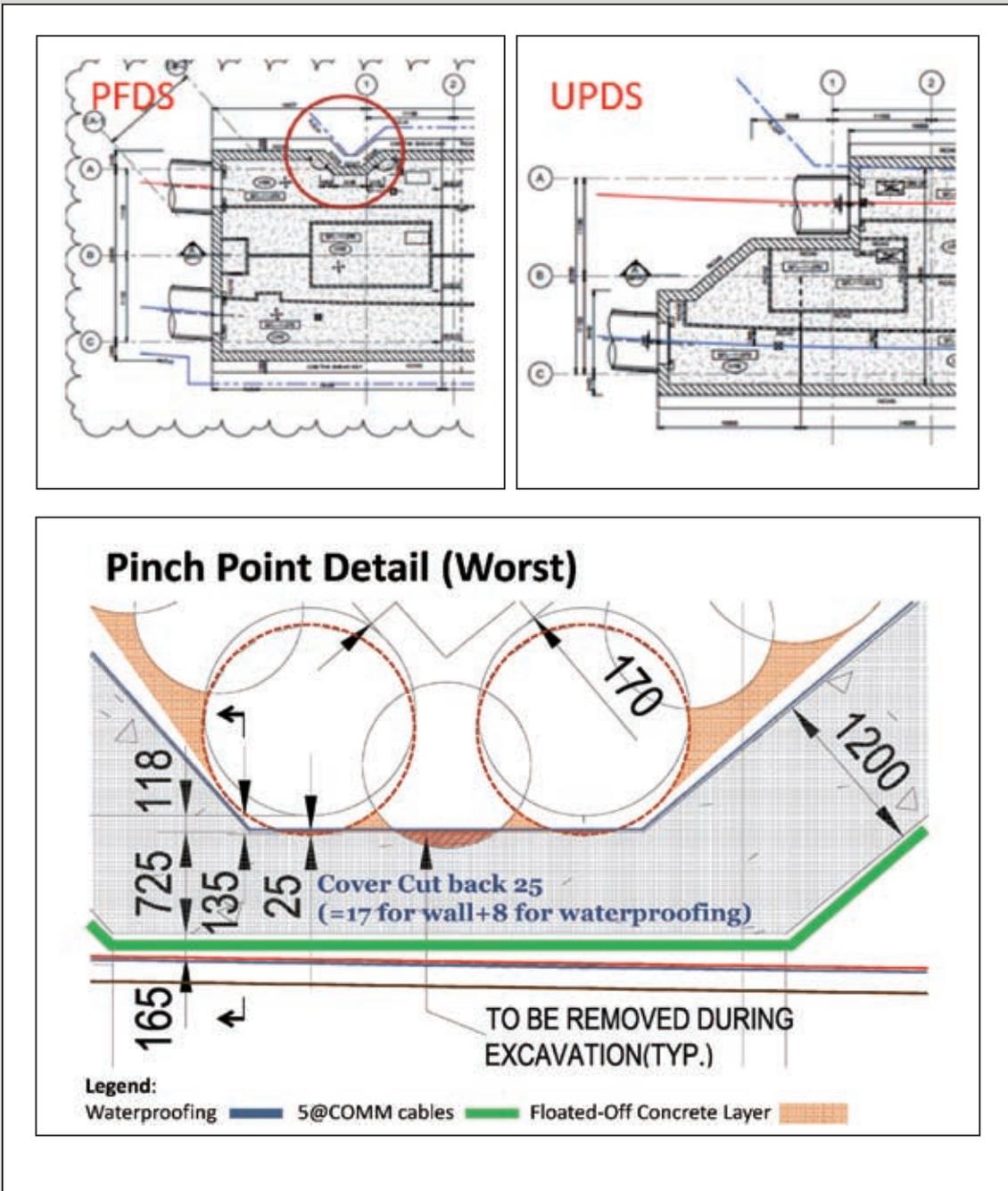


圖33 康萊站夾點區域牆厚之考量

- (九) 綁紮機房層樓板鋼筋，澆置機房層樓板混凝土
- (十) 回填土至外牆與岩盤間之空隙
- (十一) 於機房層樓板處與岩盤間之空隙，施作一層無筋混凝土
- (十二) 重覆步驟8~11，直到頂板完成

- (十三) 敲除切削樁之帽梁至地下2公尺
- (十四) 頂板上方回填土至地面完成高程
- (十五) 密封底板臨時洩壓井

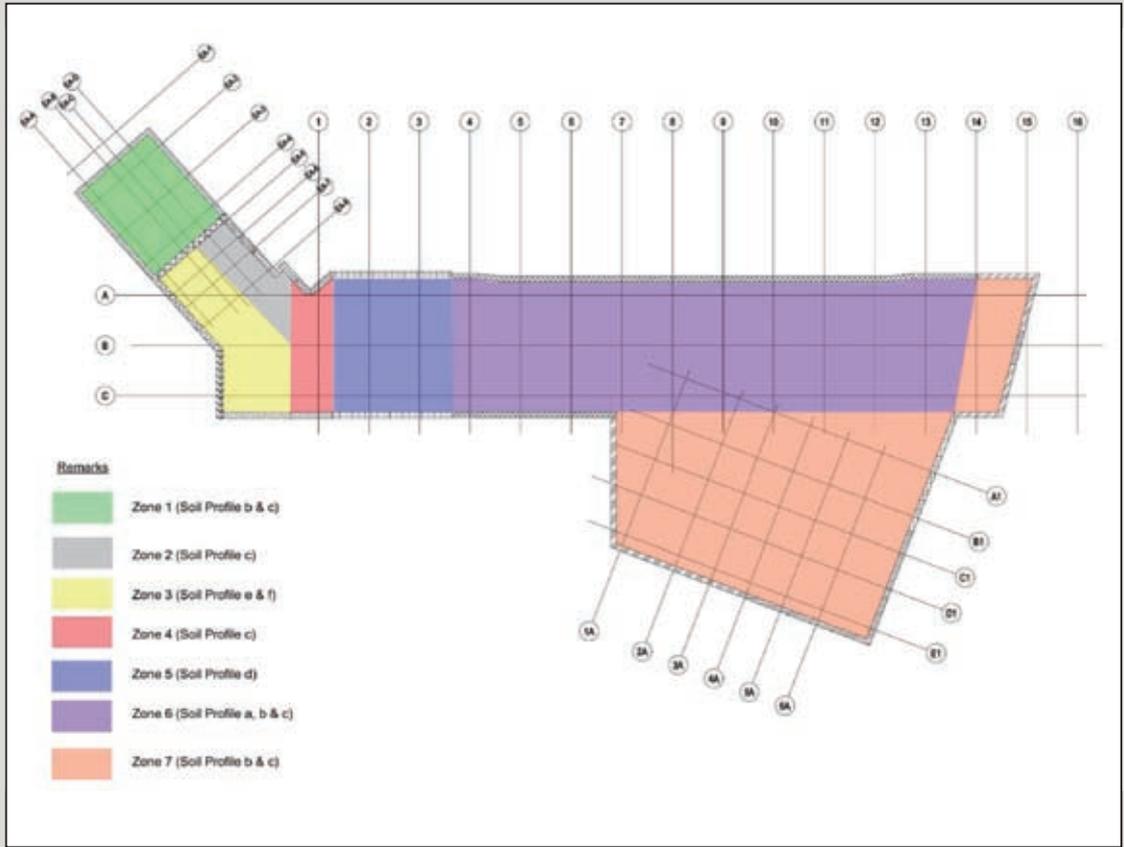


圖34 康萊站工址設計地質參數分區

表5 康萊站工址設計地質參數數值

Geological Formation	Soil Layer						Shear Strength Parameters					Permeability (m/sec)	Groundwater Table (mvg)	
	Zone	Profile	Existing Ground Level (RLm)	Depth below Ground (m)	Rationalised SPT-N Value	Unit Weight, γ (kN/m ³)	Soil/Rock At Rest Pressure Coefficient, K_0	Soil/Rock Active Pressure Coefficient, K_a	Soil/Rock Passive Pressure Coefficient, K_p	Effective Cohesion, c' (kPa)	Effective Frictional Angle, ϕ' (°)			
CLYS Alluvium/Limestone	1	b	39.5	≤ 15.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1	
				15.0m and below	Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6		
	e	39.5	20.0m and below	≤ 20.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1	
				Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6			
	2	c	39.5	20.0m and below	≤ 20.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1
					Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6		
	3	e	39.5	30.0m and below	≤ 30.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1
					Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6		
	f	39.5	38.0m and below	≤ 38.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1	
				Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6			
	4	c	39.5	20.0m and below	≤ 20.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1
					Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6		
	5	d	39.5	25.0m and below	≤ 25.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1
					Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6		
	6	a	39.5	10.0m and below	≤ 10.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1
					Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6		
	b	39.5	15.0m and below	≤ 15.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1	
				Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6			
	c	39.5	20.0m and below	≤ 20.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1	
				Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6			
	7	b	39.5	15.0m and below	≤ 15.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1
Limestone					24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6			
c	39.5	20.0m and below	≤ 20.0	5	19	0.52	0.35	2.88	1	29	1E-6	1		
			Limestone	24	0.5	0.31	3.25	400	32	1E-6				

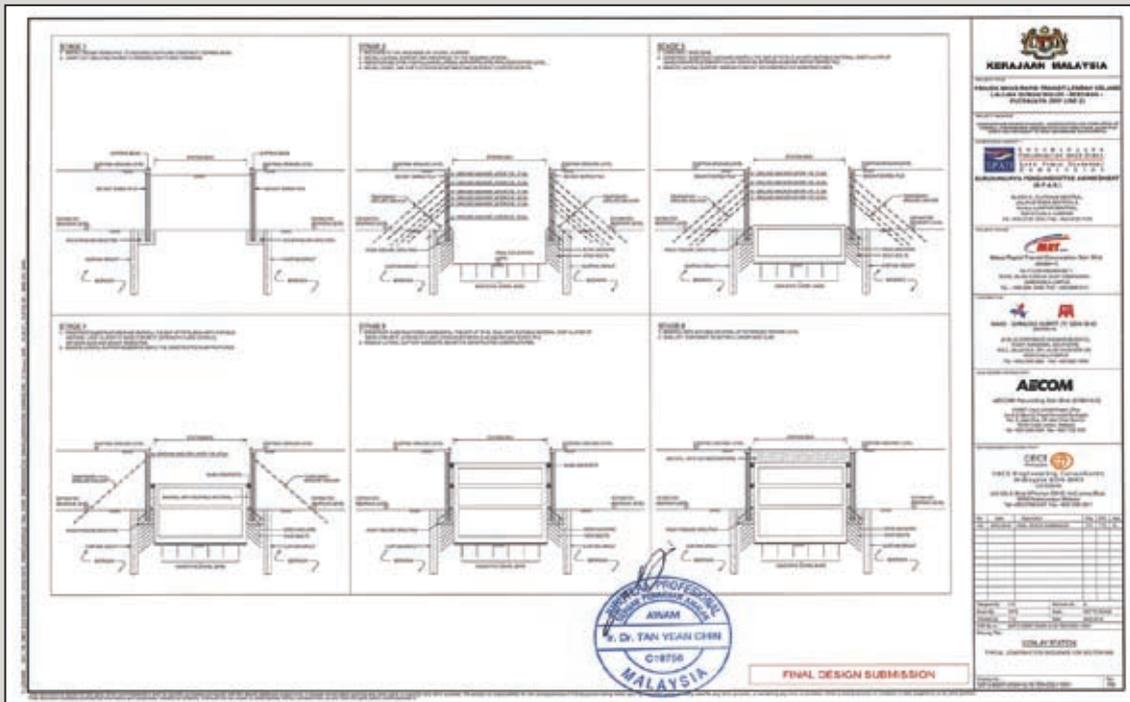


圖35 康萊站施工步驟圖

五、結構分析與設計成果

康萊車站結構分析與設計，採用MIDAS GEN商用軟體建模，分別進行2D斷面分析設計(2D frame analysis and design)以及3D全車站有限元素分析設計(3D plate analysis and design)。分析模型的邊界條件，乃於車站底部兩端設定為鉸接，於側牆上設置壓力彈簧(不承受拉力作用)，於底板上則設置可受拉力及壓力作用的

彈簧，其勁度值依所在土層性質計算。如圖36所示。

關於地震力的計算，模型邊界條件比照RACKING方式，於車站底部兩端設定為鉸接，地震力的擬靜力分析，採用加載定值反應譜模擬，再利用振態疊加法得到結構分析結果。如圖37所示。

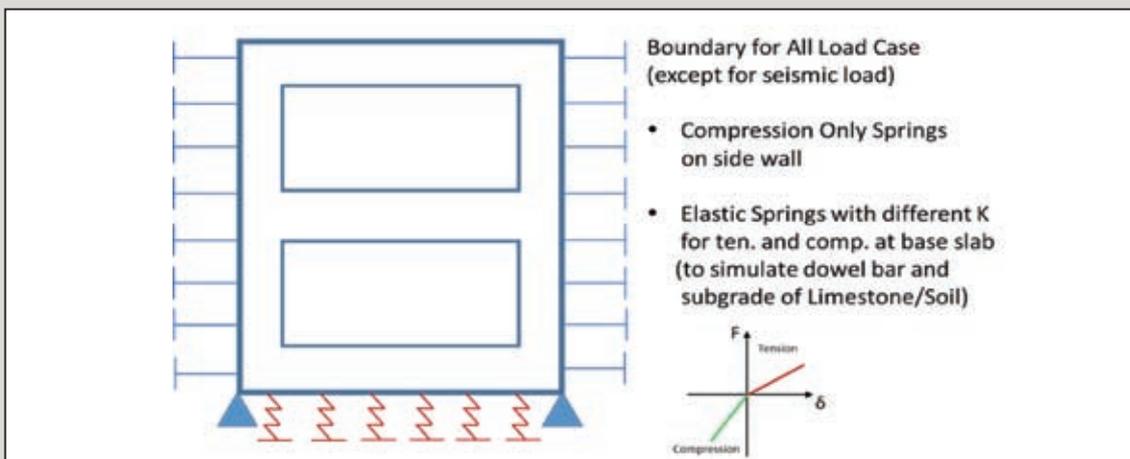


圖36 康萊站分析模型邊界條件示意圖

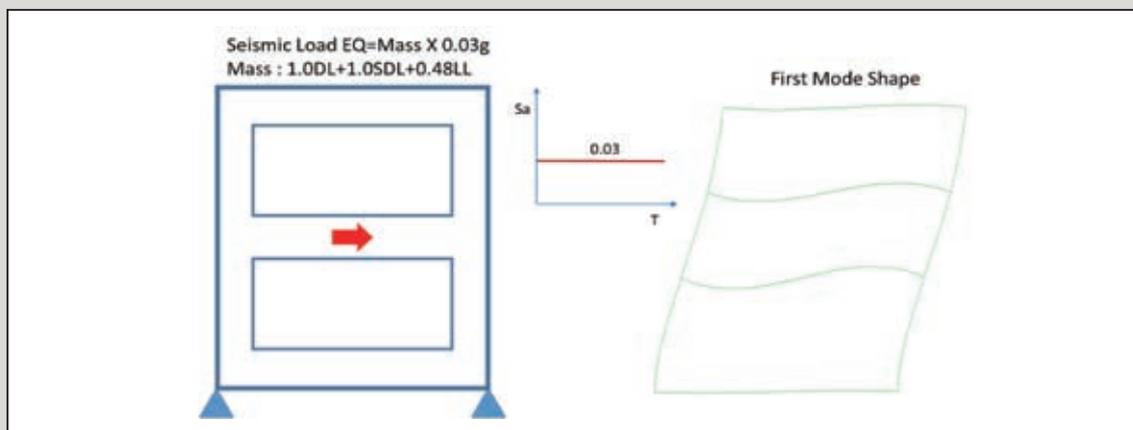


圖37 康萊站地震分析示意圖

地下車站結構分析，會依據第貳章所述之各種載重情形，進行加載和分析計算，再將所得到的結構桿件內力(包含彎矩、剪力、軸力)，分別照極限狀態和服務狀態組合得到控制之設計力，再進行後續強度性設計(ULS)和使用性檢核(SLS)。

依車站本體結構特性，配合地質岩盤/土壤設計參數分區，選定四處標準斷面A~D詳圖38，先行施作2D完整斷面分析設計(不考慮開口效應)，設計成果將做為車站橫斷面初步配筋依據，並可做為鋼筋數量估計之參考。2D斷面分析的模型如圖39，2D斷面分析的結果如圖40。

完成車站標準2D斷面分析之後，接著再建立全車站3D有限元素分析模型，納入建築、機電等專業提供之開口，並依所屬空間功能和放置設備施加载重，進行完整開口補強結構分析和設計，3D設計成果將與2D設計成果比較，採大者進行配筋。

康萊地下車站3D有限元素分析模型如圖41，3D有限元素分析結果如圖42。利用後處理程式進行版元素設計，樓板及外牆設計成果如圖43，配筋結果如圖44。

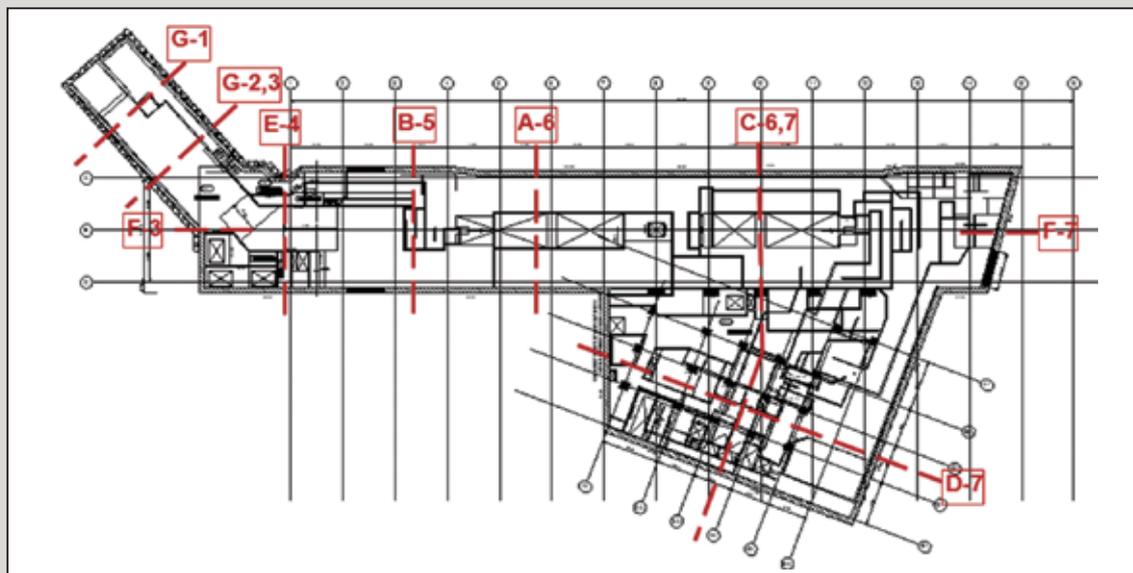


圖38 康萊站選定主要分析斷面

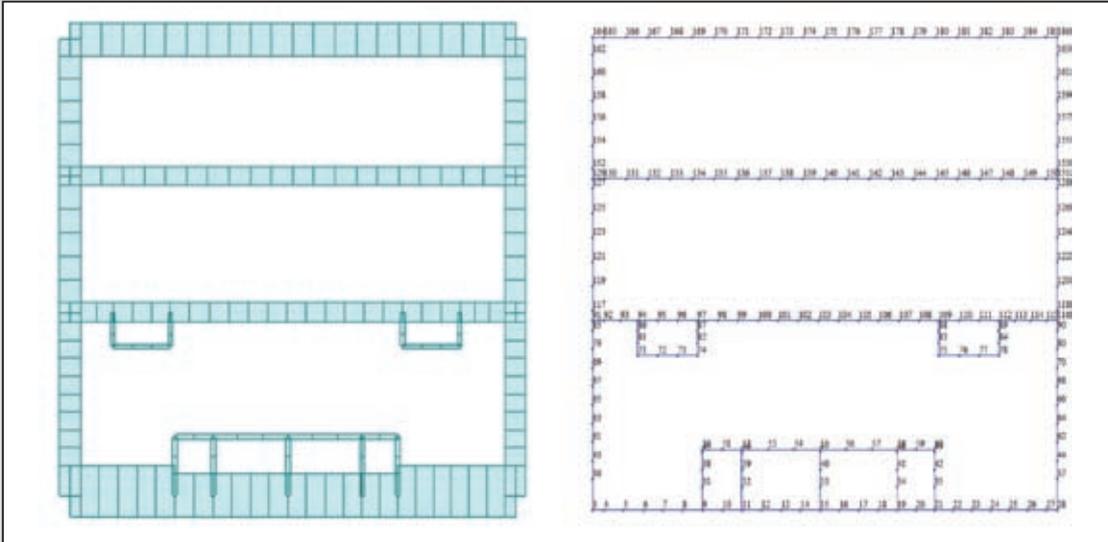


圖39 康萊站-2D FRAME分析模型

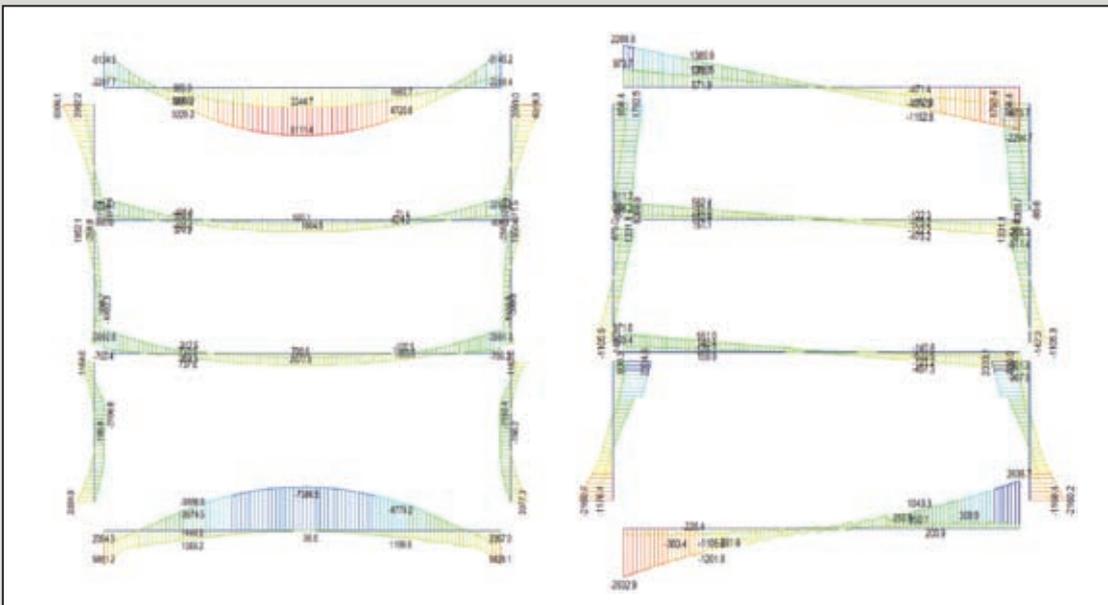


圖40 康萊站-2D FRAME分析結果

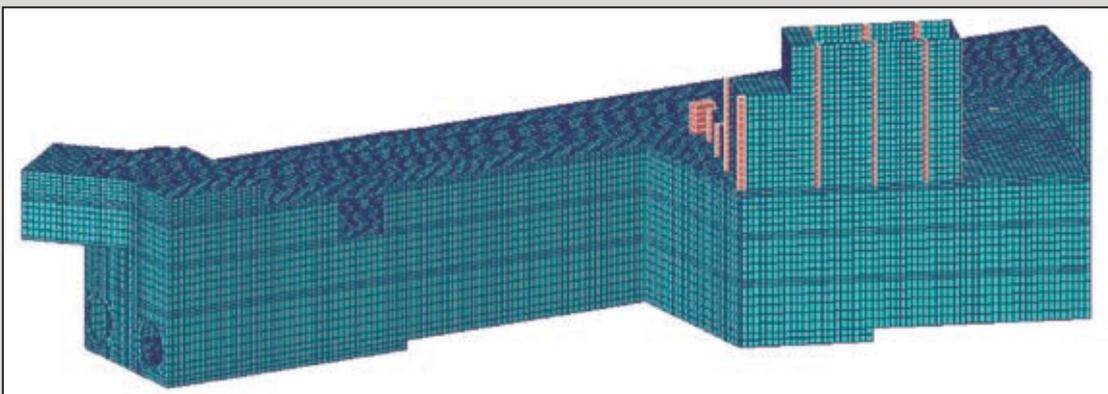


圖41 康萊站-3D全車站分析模型

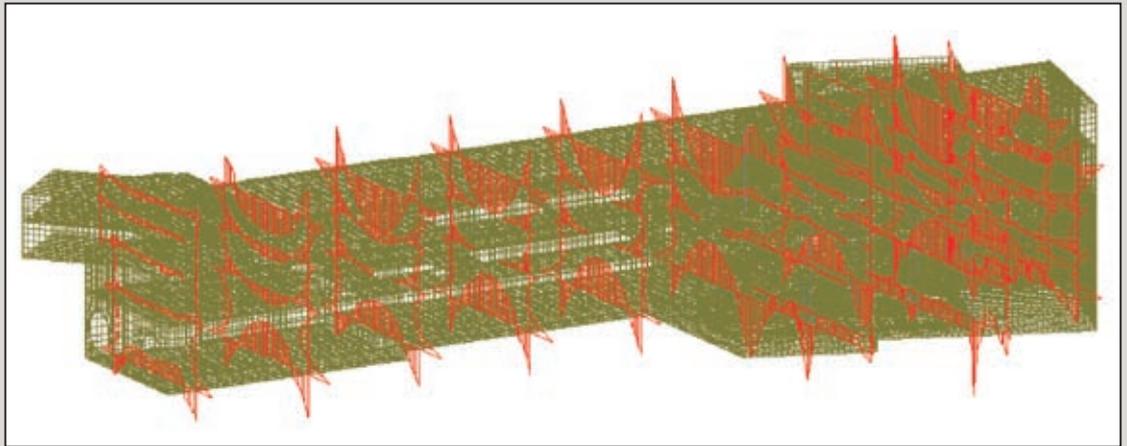


圖42 康萊站-3D全車站分析結果



圖43 康萊站-板牆設計成果

伍、BIM設計之應用

一、全生命週期BIM作業

MGKT(MMC-GAMUDA)鑒於巴生谷捷運一號線經驗，因應捷運設計專業間設計整合複雜性高，如仍以傳統2D設計方式常存在專業間設計整合不易，易造成施工及安裝階段施工困難，以致變更設計頻繁、增加工程經費、延長施工工期等困擾。因此MGKT(MMC-GAMUDA)要求細部設計顧問須導入BIM技術設計，並於設計階段即以BIM技術進行設計整合工作。

一般計畫如要導入BIM技術，通常並不進行全面性設計整合。多採重點導入或局部導入BIM技術，抑或是待設計完成後再建置BIM模型做檢核、管理或展示之用。而本計畫BIM執行係根據契約BIM Execution Plan(BEP)規畫，希望全面性的導入BIM技術，要求從規劃，細部設計，乃至於施工、安裝階段，皆須持續維護BIM模型。不

僅設計階段以BIM為設計整合溝通的平台，所有專業之設計成果，如建築設計圖、結構設計圖，機電設計圖乃至於CSD/SEM設計圖，皆由BIM模型完成設計。

因此計畫在設計階段，即因成功地達到BIM Level 2.0目標，於GeoSmart Asia 2017 Conference，獲得數位工程類獎項(Digital Engineering Category) Asia Geospatial Excellence Awards 2017。詳圖45。

二、建立BIM進行設計界面整合

本計畫規定所有DDC包括建築(DDC1,ARC)、土木結構(DDC7,CnS)、機電(DDC2,EnM)、其他工作承商(OWC)皆要建立各自專業的BIM模型，再由土木結構(DDC7,CnS)進行3D設計整合套匯工作。本計畫陳秀蓮車站及康萊車站的BIM整體模型，詳圖46及圖47。

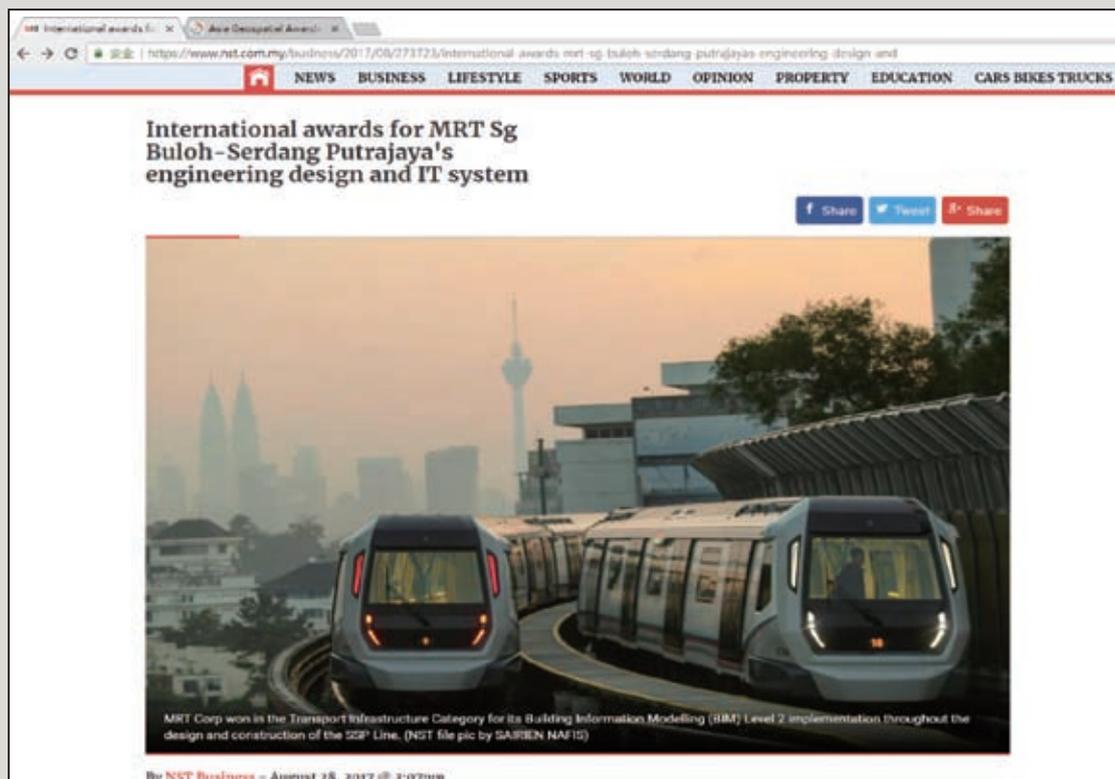


圖45 計畫獲ASIA GEOSPATIAL EXCELLENCE AWARDS 2017新聞網頁



圖46 陳秀蓮站整體模型



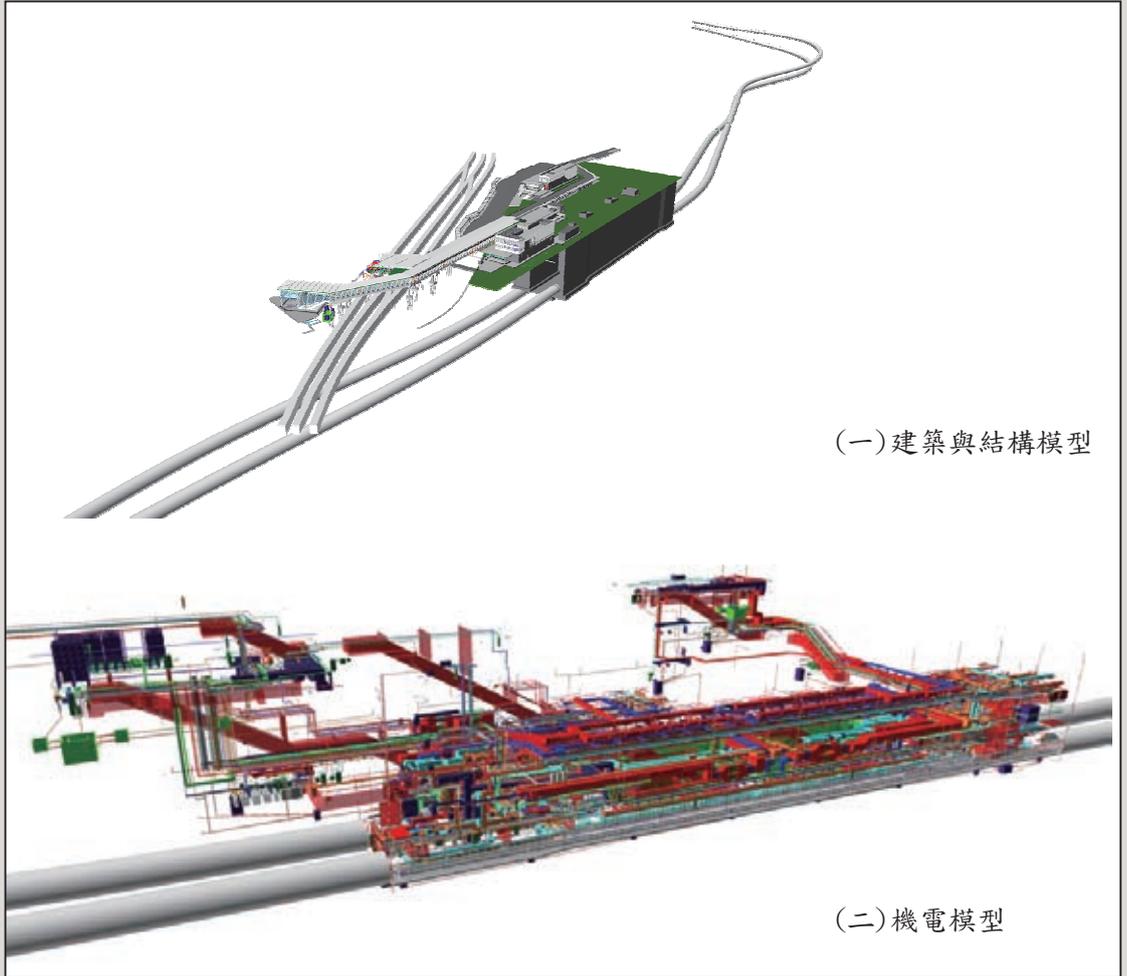
圖47 康萊站整體模型

三、建置BIM模型鉅細靡遺

為了達到專業整合目的，要求BIM模型依各個專業皆須詳細且正確的建置。除建置一般常見的建築、結構、機電有建立BIM模型外，其他如系統設施、運送路徑、隧道、軌道、未來道路、現有地形建物、檔土設施、未來地下管線…等皆要求詳細建立。詳圖48~圖51。原則上只要與整合有關的部分，皆要求建立BIM模型以方便進行設計整合工作。

四、不間斷的設計整合

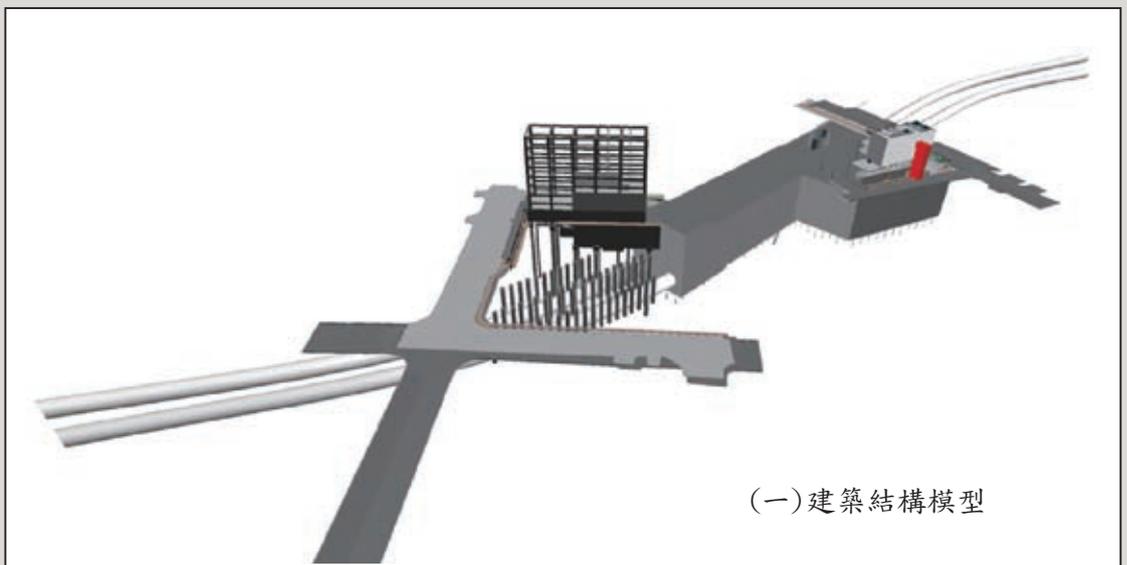
計畫規劃一須持續進行的視覺設計整合會議(Visual Design/Construction Reviews)進行設計整合工作，簡稱為VDR會議。VDR會議從計畫開始即不間斷的每雙周進行一次。如下圖所示為星期五舉行VDR會議，會前的準備工作及會後修正BIM模型的工作流程範例。會議時，業主、LDC、各專業DDC及系統標相關人員與會。會議中則逐項依所發現的議題逐項討論，確認議題處理進度，指定新議題的負責人，詳圖52。



(一) 建築與結構模型

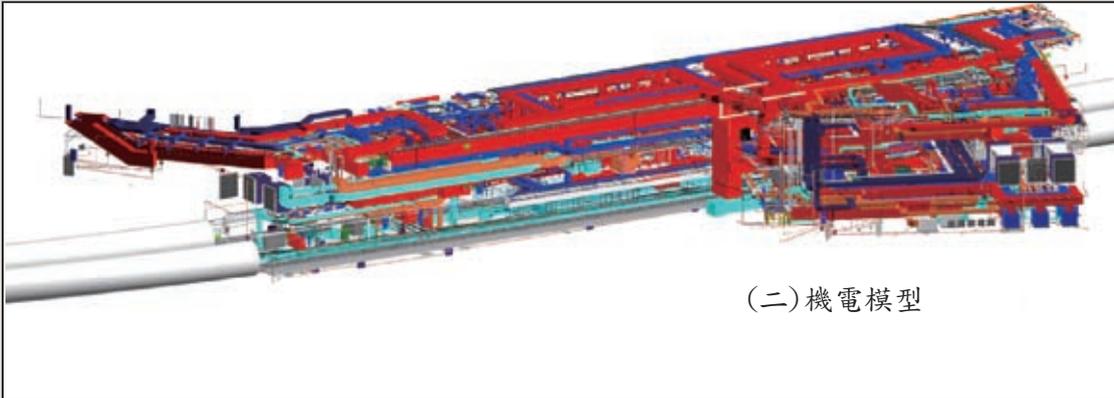
(二) 機電模型

圖48 陳秀蓮站建築、結構、機電模型



(一) 建築結構模型

圖49 (接下頁) ↓



(二) 機電模型

圖49 康萊站建築、結構、機電模型

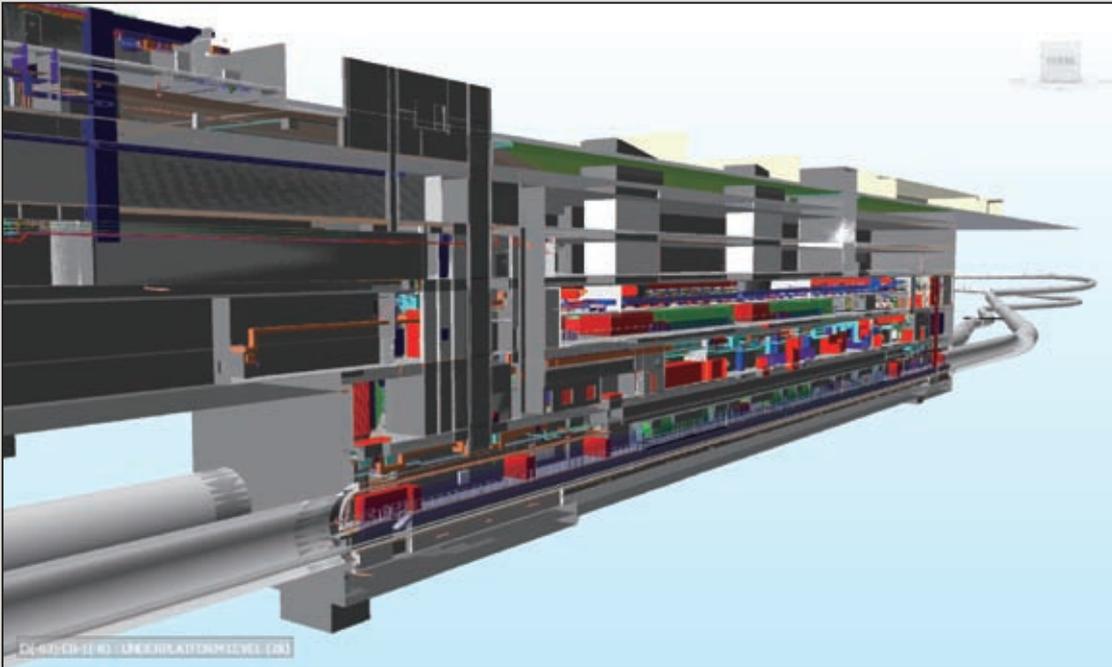


圖50 車站剖面

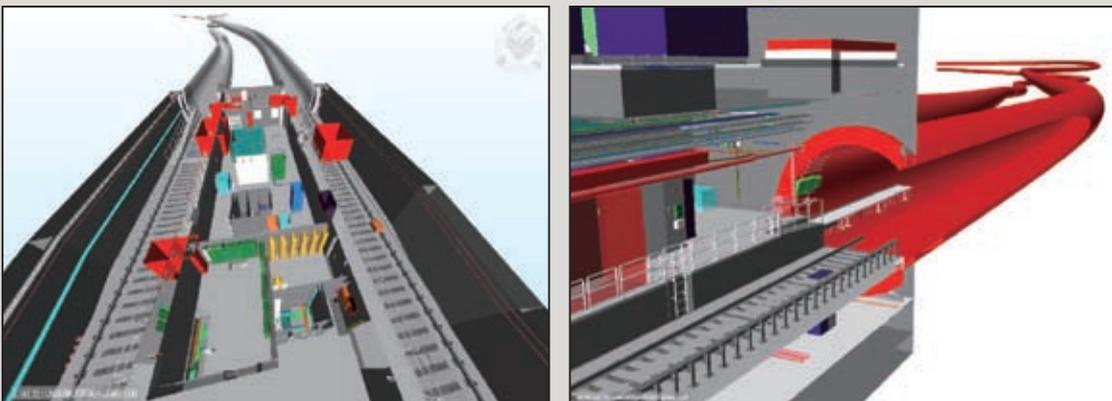


圖51 車站軌道與隧道

Day	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F
2a. Discipline BIM Coordinators shall Share ALL discipline Revit models internally on CDE by COB.			X											
2b. Discipline BIM Coordinators shall upload ALL discipline Navisworks .NWC files onto CDE by COB.			X											
3. Location Lead BIM Coordinator will create federated Navisworks .NWD and update CDE.				X										
4. BIM Coordinator to review federated model and identify design coordination issues				X	X	X								
5. BIM Coordinator Uploads VDR NWD to CDE and notify all VDR attendees to review model by COB.						X								
6. VDR Meeting held to discuss issues and resolve conflicts at Southgate & via web conference.							VDR							
7. BIM Coordinator to record all comments in Navisworks and share VDR NWD on CDE by COB.							X							
1. Designers to amend models & address identified issues.			X							X	X	X	X	X

圖52 VDR雙週會議流程(BY AECOM)

VDR Meeting 為本計畫重要的BIM整合會議，詳圖53，契約規定每雙週由指定DDC的 BIM Coordinator 執行。本計畫DDC7即須負責VDR會相關工作，主要工作為VDR會議前，將各DDC的各專業BIM模型套疊成一個完整模型，詳圖54，由各DDC檢視BIM模型是否有碰撞或不符合設計要求之議題，如發現便記錄並列入討論議題，每一議題設有編號，必須被追蹤紀錄於Naviswork中，如需要加註詳細說明使容易明瞭，若已處理議題，則由BIM Coordinator歸入 Resolved and Closed目錄中，此造成DDC7之BIM

Coordinator工作十分繁重。

所有DDC之BIM Coordinator須了解VDR會議流程，BIM設計整合方式，於預定時間提供整合NWC檔。負責整合的DDC要將所有DDC的BIM模型合併，並且熟悉Naviswork操作技巧，如檔案匯入整合、物件顯示開關操作、模型檢視、建立剖面、碰撞檢查、衝突問題標示、衝突問題儲存、衝突議題管理…等，若有延誤亦造成本計畫之BIM Coordinator工作。



圖53 進行中的VDR會議

五、進行BIM設計整合的影響

本計畫BIM 設計整合工作是一個刻意執行的技術方法。要求各DDC在特定時間，使用特定檔案，按照特定流程進行，VDR會議討論的議題，透過3D視覺模型，與會者可快速理解設計內容及問題，可快速發現設計錯誤的議題提出討論，且任何人皆可提出他所關心的議題。

本計畫經驗是透過VDR會議，可容易發現

考量不足的設計環節，很容易發現問題及找出解決方案。充分展現 BIM 設計優於採2D設計，凸顯2D作業在設計整合工作上的限制。

有建立BIM模型仍不一定有進行BIM設計整合工作。如僅建立各自專業的BIM模型，但專業間設計是否有衝突，是否影響其他專業的設計，常因限於設計時程不足而未確實檢討，而使得BIM設計整合不足。對一有進行BIM設計整合的計畫，參考圖55 MacLeamy Curve的描述。

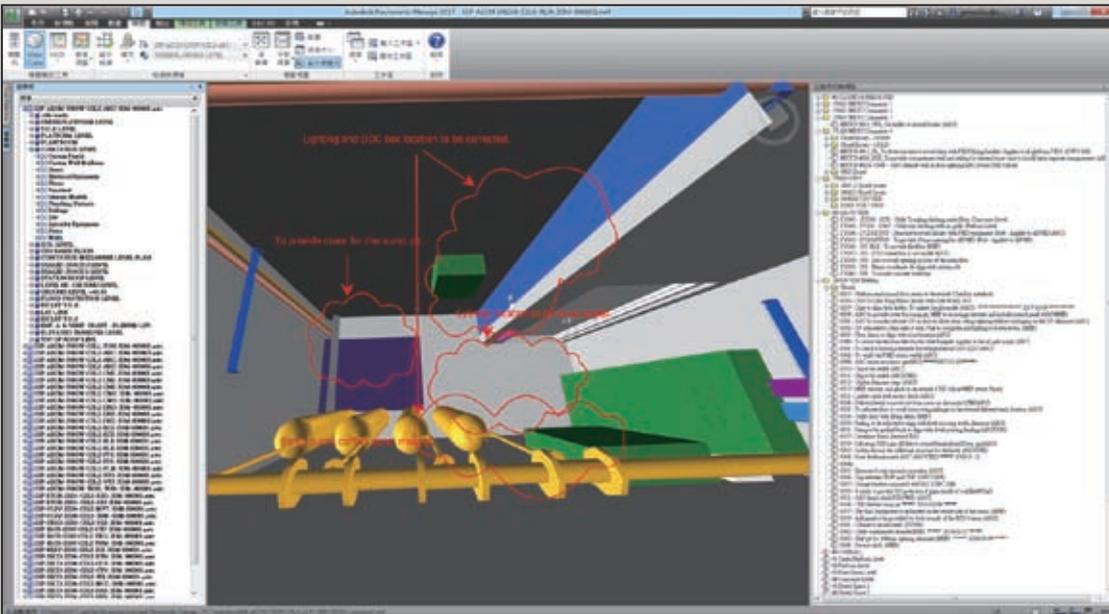


圖54 以NAVISWORK進行議題討論例

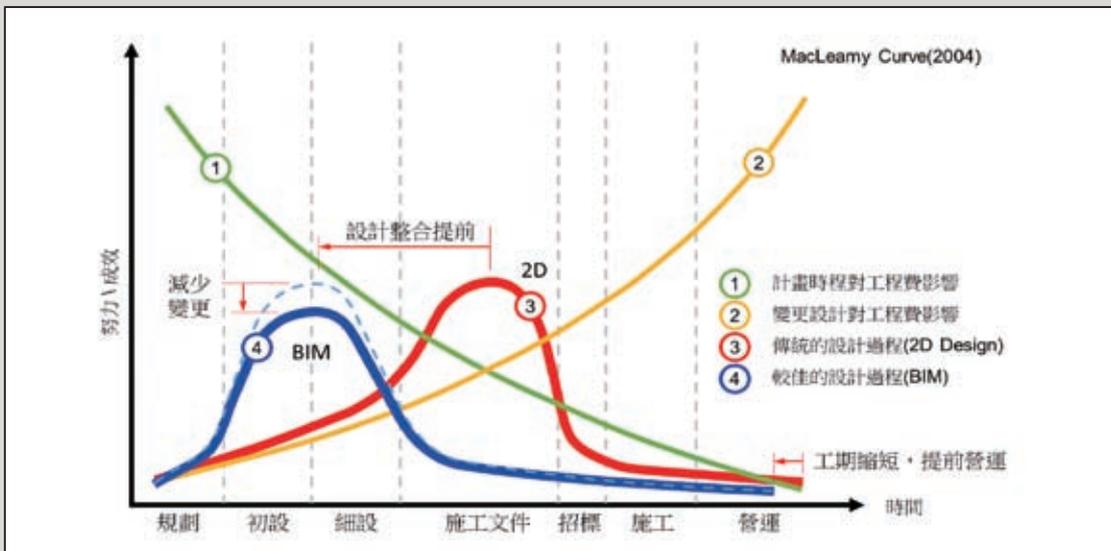


圖55 MACLEAMY CURVE

規劃越前期，對工程費影響越大，越後期影響越小(線①)。而變更設計的發生越早期影響工程費越小，越後期則影響越大(線②)。一個採傳統2D作業計畫，投入人的人力與資源如所做線③所示，常為一鐘形曲線。如因設計階段如整合不足，常於施工階段才發現設計不良而進行檢討與變更。常因此而增加不必要的高額的變更工程費用。而以BIM進行設計整合的計畫，如線④所示，即希望能提前於設計階段即進行詳實的檢討與專業間的整合，以期能減少施工階段的變更。此不僅減少工程費的浪費，亦可能縮短工期。

因此，良好的設計整合進行對業主是有利的，因如能提早發現線設計盲點早期修正，就能減少施工階段的調整與變更。但是現階段實務上，因業主不了解即使導入BIM技術，要進行進行設計整合，必將增加細部設計顧問DDC細部整合工作，且壓縮設計時程，因此執行BIM設計整合工作，實對DDC會有不利之影響。

六、計畫以BIM為設計平台

為達 BIM Level 2.0的目標，觀察到其他DDC的細部繪圖工作，多以Autodesk Revit為主，使用AutoCAD為輔。各DDC的2D設計圖平面配置圖、剖面圖、詳圖，都是直接於Revit 3D模型產生製作。即使是設計鋼筋剖面圖，亦是於Revit的2D視圖內，以2D線條方式繪製鋼筋剖面圖及鋼筋平面圖。

而本計畫陳秀蓮站及康萊站的鋼筋圖，則是先於Revit內建置3D鋼筋，詳圖56，再直接由Revit內2D視圖產出設計鋼筋剖面圖及鋼筋平面圖，見圖57。然因後期變更調整過於頻繁，平面鋼筋圖的部分才採AutoCAD繪製，以避免因變更使鋼筋自動調整而需耗費人力重新標示鋼筋之工作。然待最後設計定案後，仍會修正於3D鋼筋模型以計算鋼筋數量。

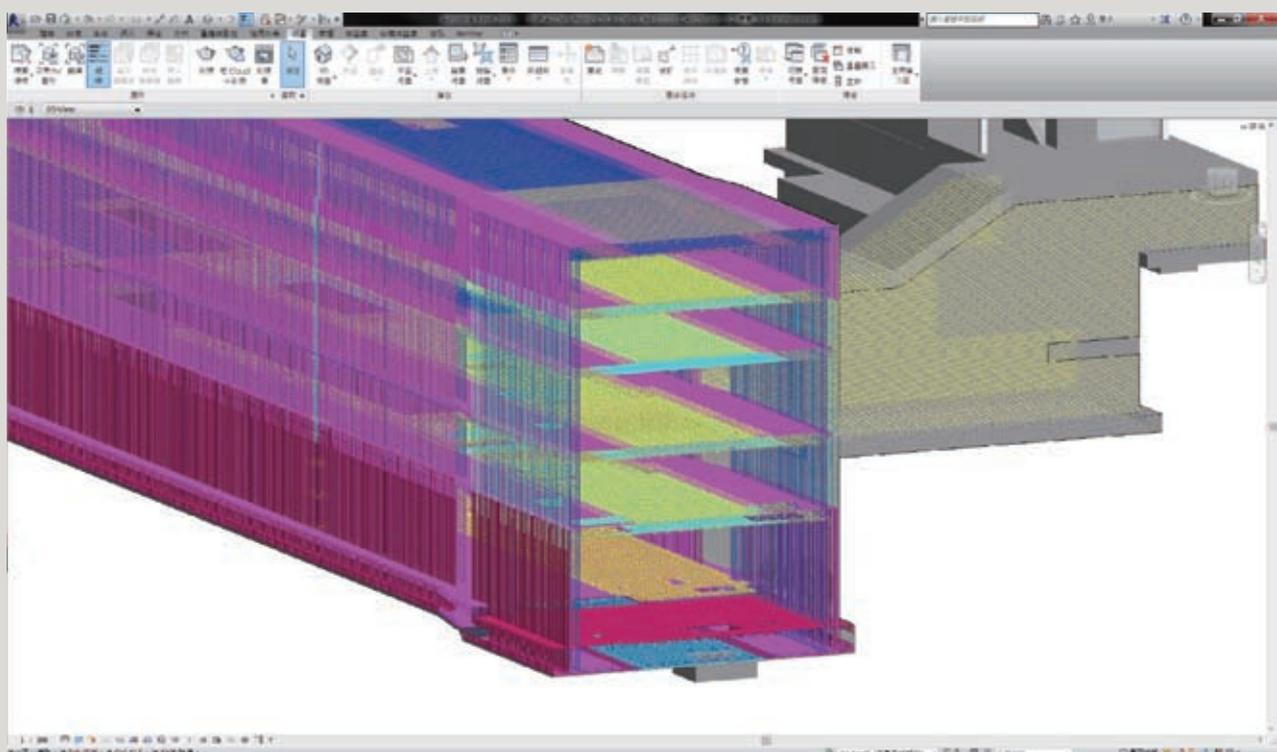


圖56 陳秀蓮車站3D鋼筋模型

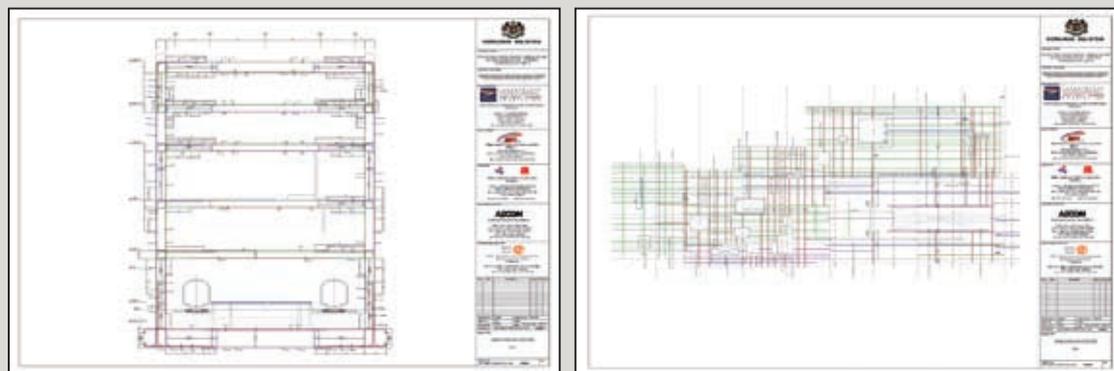


圖57 以3D鋼筋產出設計鋼筋剖面圖及鋼筋平面圖範例

七、其他應用

(一) 座標管理

軌道計劃的線形及座標管理極為重要，當套疊各專業的模型時，必須正確定位於空間中的座標及方位，因此座標管理工作是整合協調的重要基礎。

本計畫所有BIM模型的座標，設有專人管理BIM定位座標，並建立全線的BIM線形模型，使所有BIM模型都可套入全線BIM線

形模型，詳圖58，即可檢核是否正確定位於大地座標上。除模型中任一點之大地座標節可直接查詢，使用Naviswork連結其他專業的模型時，亦不用費心插入點座標、高程及方位角是否正確。而當設計線形改變時，由專人負責管理修正、通知及校核，避免人為設定錯誤。

(二) BIMcollab 的應用

VDR整合議題管理除使用Naviswork以人工方式管理外，MGKT提供BIMCollab



圖58 計畫全線 BIM 線形模型

帳號，供各DDC將各整合議題，透過Naviswork插件軟體與雲端同步。使MGKT與計畫相關人員隨時透過網頁即可了解各整合議題處理情形，查詢議題處理進度、所屬專業、負責人員、處理到期日…等。因每一檢討的議題只能上傳而無法刪除，使每一議題皆被記錄，且不易因人為因素忽略而不處理，確保每一議題不漏失。詳圖59~60。

(三) 點雲的應用

傳統測量資料常可能細節不足，利用點雲資料則可補傳統測量資訊不足缺點。計畫之初各車站基地，MGKT即建立大規模的基地現況的點雲資料，如有需要則可調閱查詢。以下利用為既有車站點雲與新建人行陸橋套疊後，確認結構配置跨越人行陸橋下方有斜度的路面，淨空是否足夠之設計應用例，詳圖61。

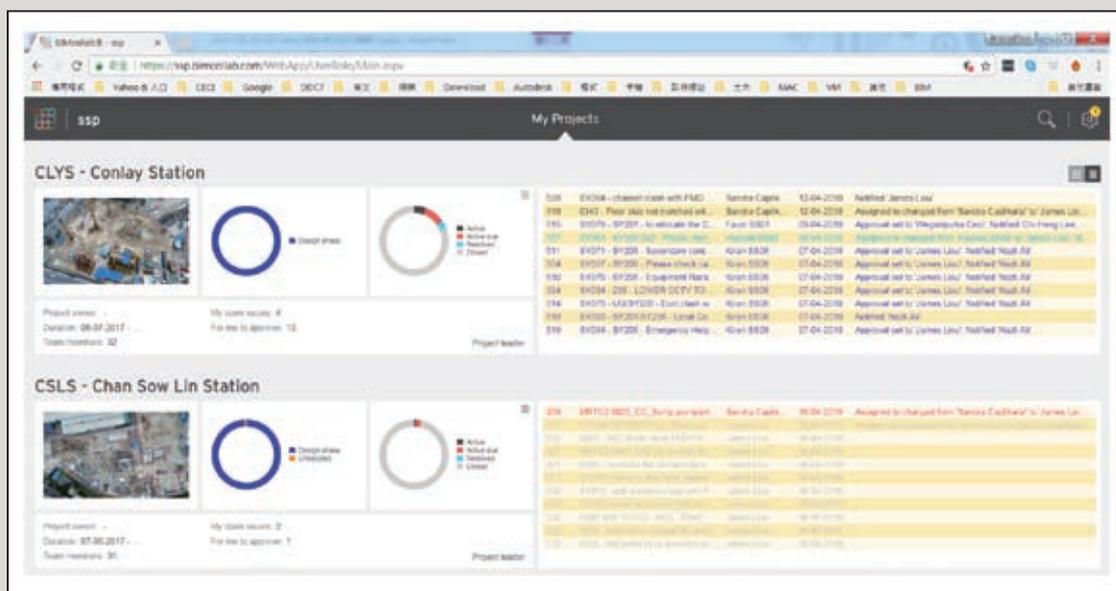


圖59 相關人員可透過BIMCOLLAB 網頁檢視議題處理進度

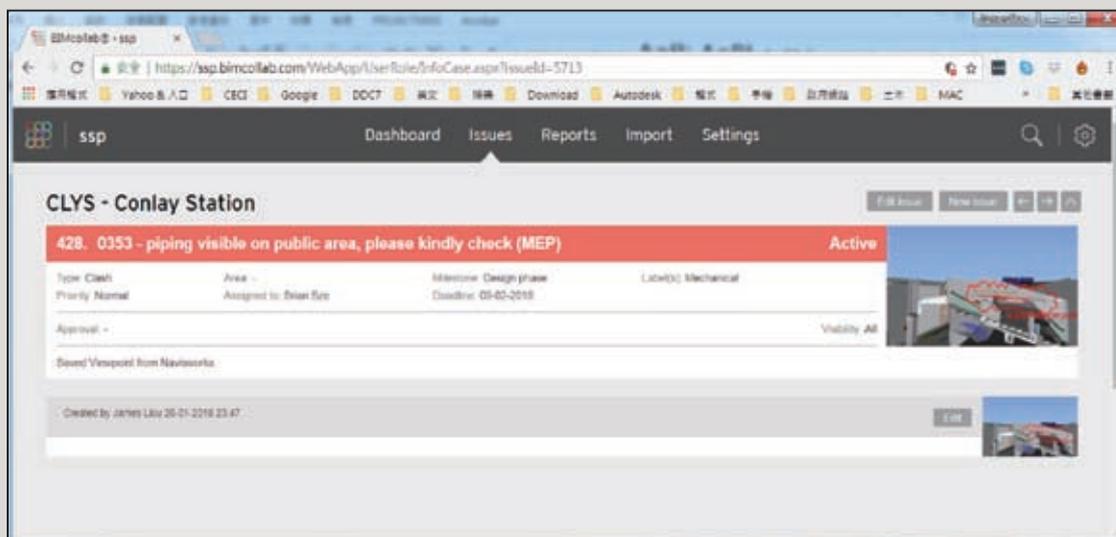


圖60 BIMCOLLAB 中查詢每一議題管理資訊

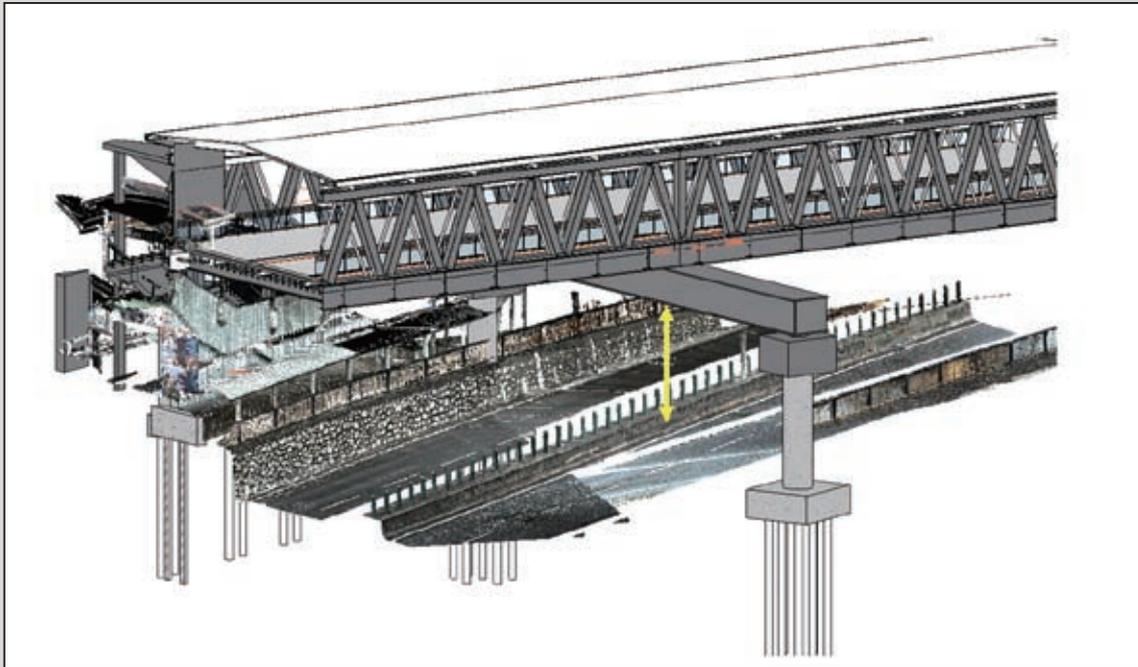


圖61 以REVIT 套匯點雲資料檢核淨空需求

八、BIM作業檢討與建議

本計畫採BIM進行設計界面整合，常因LDC(AECOM)未依設計整合需求主導及整合議題，使各DDC僅管理各自專業BIM模型建置，於VDR整合會議發現經設計整合套繪後模型衝突不斷，致設計整合時程過長效率不佳，造成本計畫結構設計工作不斷修改重作，此還被主導LDC之AECOM抱怨本計畫設計品質不佳，而AECOM自己執行之建築標(DDC1,ARC)反而是完美(perfect)。

因而向MGKT提出後續MRT3計畫執行BIM之建議：

- (一) MRT2計畫是採不同專業先建立各自的BIM模型，再合併成一整體BIM模型後進行設計整合工作，詳圖62，此造成重複建置，增加過多與設計整合無關的3D套圖工作，例如當ARC改變，CnS須比照重複建置而增加建模工作。

建議MRT3應由建築主導設計整合，亦即建築先與機電標、系統標，先進行設計

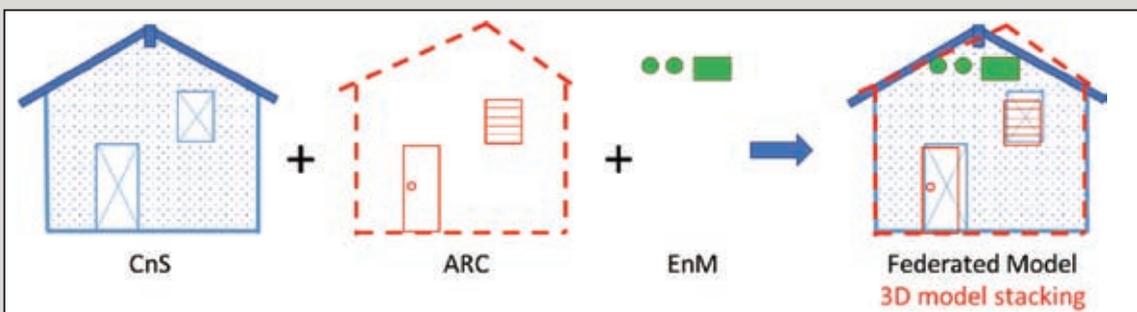


圖62 MRT2計畫採各專業建立BIM模型後再合併整合示意圖

整合於單一BIM模型(Real-Time BIM)，詳圖63。

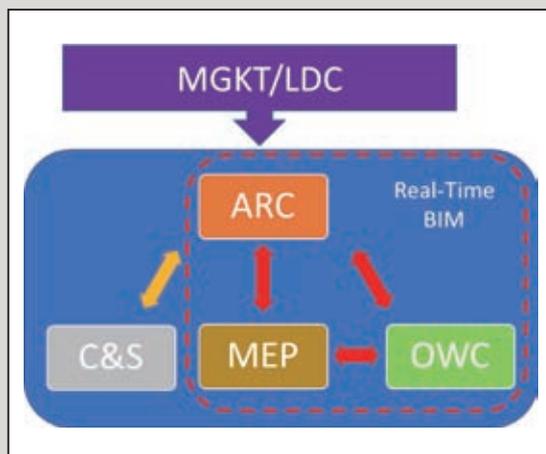


圖63 建築主導設計整合

陸、結論與展望

東南亞國家正在快速發展，基礎建設的需求非常迫切，以馬來西亞為例，即將可預見就有「馬新高鐵計畫」、「吉隆坡地鐵三號線計畫」等兩項重大工程。本文針對馬來西亞吉隆坡地鐵二號線之結構設計以及BIM應用經驗做案例分享，拋磚引玉，期能吸引更多有志青年，投入海外工作。

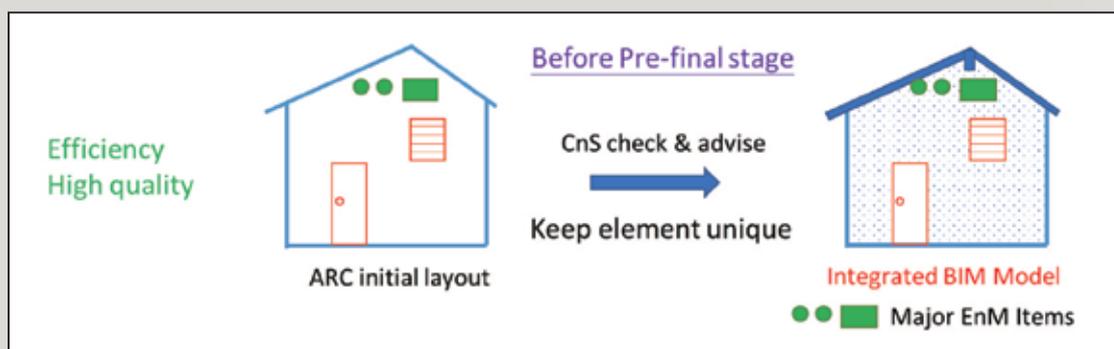


圖64 建議後續計畫整合方式示意圖

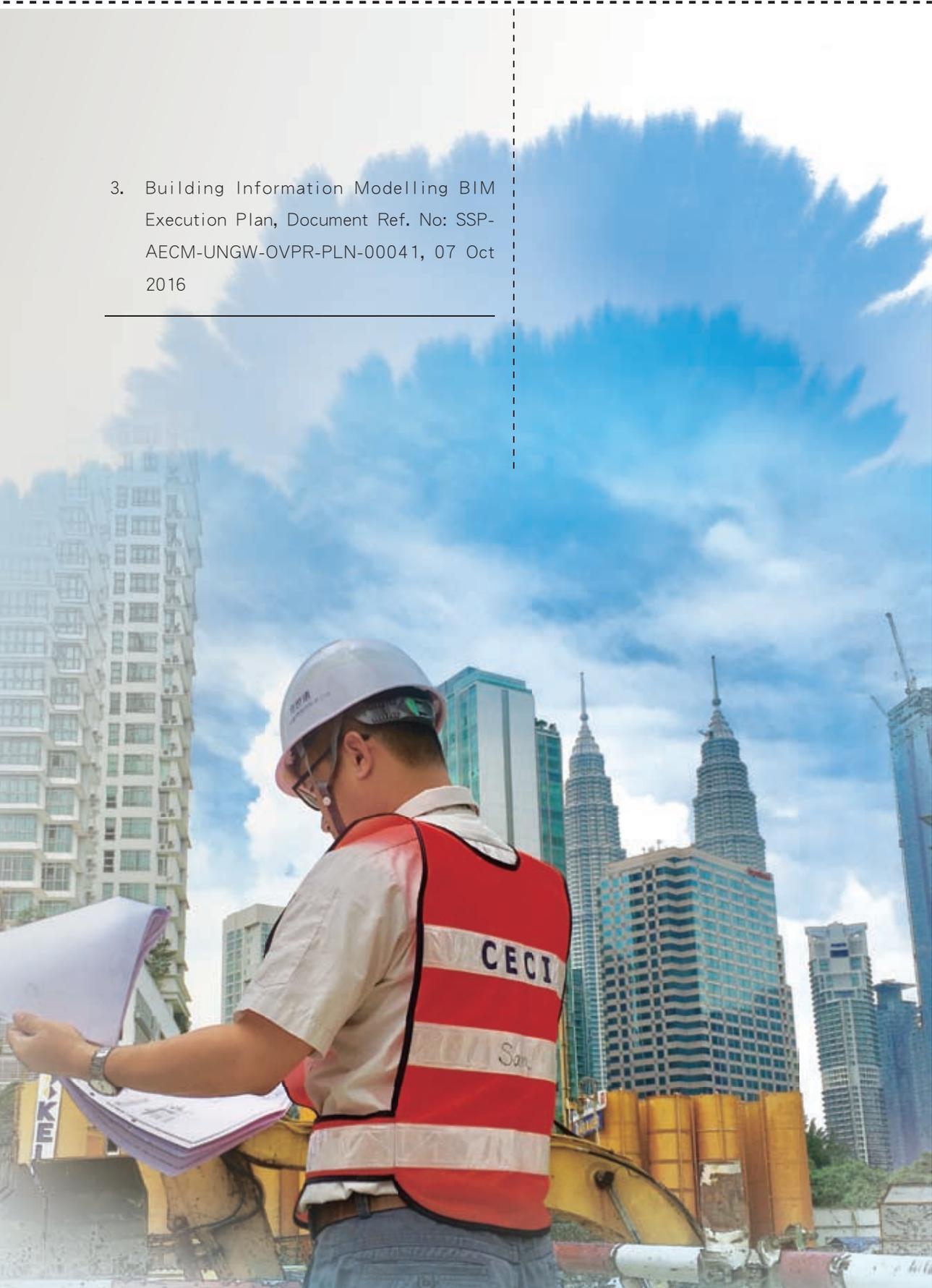
此單一BIM模型(Real-Time BIM)詳圖64並於Per-Final階段完成度達60%~70%，於Final階段再將BIM模型依不同專業進行拆分。

(二) 有進行BIM設計的計畫，不一定會進行BIM設計整合，與傳統2D設計作業比較，進行BIM設計整合工作，需投入更多的人力與整合時間，因此會大幅增加細部設計顧問整合工作，此須向業主爭取合理設計費與合約設計時程。

參考文獻

1. FDS: CSLS: APPROVAL-IN-PRINCIPLE (AIP) A1-ABOVE AND UNDERGROUND STRUCTURES, Document Ref. No: SSP-AECM-UNGW-CSLS-REP-00001, 22 Nov 2017
2. FDS: CLYS: APPROVAL-IN-PRINCIPLE (AIP) A1-ABOVE AND UNDERGROUND STRUCTURES, Document Ref. No: SSP-AECM-UNGW-CLYS-REP-00004, 21 Dec 2017

3. Building Information Modelling BIM Execution Plan, Document Ref. No: SSP-AECM-UNGW-OVPR-PLN-00041, 07 Oct 2016



開放式營建資訊 交換標準(COBie) 於捷運系統全生命 週期之應用

關鍵詞(Key Words)：捷運系統、COBie、BIM、設施管理、全生命週期、分類編碼、COBie Calculator、映對(mapping)

國立臺灣大學土木工程學系／工程資訊模擬與管理研究中心／執行長／郭榮欽 (Guo, Rong-Chin) ❶

國立臺灣大學土木工程學系／教授兼系主任／謝尚賢 (Hsieh, Shang-Hsien) ❷

國立臺灣大學土木工程學系／研究助理／李銘祥 (Li, Ming-Hsiang) ❸

國立臺灣大學土木工程學系／研究助理／黃伯凱 (Huang, Bo-Kai) ❹

國立臺灣科技大學營建工程系／研究助理／古如巧 (Gu, Ru-Ciao) ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／工程師／呂衍緯 (Lu, Heng-Wei) ❻

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／工程師／吳依儒 (Wu, Yi-Ru) ❼

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／副理／譚家瑞 (Seng, Chia-Ray) ❽

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／技術經理／王慶麟 (Wang, Chin-Lin) ❾



COBie

摘要

本文探討開放式營建資訊交換標準(COBie)於捷運系統全生命週期之應用與預期效益。首先介紹COBie標準與資訊交換工具程式的發展，並導入國際主流分類編碼系統與國內常用工程或財物編碼系統，成功建立與COBie空間設施屬性之映對。為處理捷運工程所產生的龐大非幾何資訊，運用自動化的規則檢測技術，驗證BIM模型中相關屬性類別與參數的完整性與正確性。規劃正規化資料庫架構儲存不同生命週期BIM模型所匯出COBie資料，以強化其管理與運用。最後根據COBie Calculator架構，針對捷運工程主要設計與施工階段作業流程與內容，進行傳統紙本作業模式與電子化COBie作業模式流程之比較與分析，以掌握因為採用標準化格式、電子化平台及優化作業流程所創造的成本節省與效益。



Life Cycle Application of Construction Operations Building Information Exchange (COBie) in MRT

Abstract

This paper presents the studies of life cycle application of Construction Operations Building Information Exchange (COBie) standard for Mass Transit systems. Development of the COBie standard and supplementary tools for data interoperability are introduced. Various classification systems proposed by major international standards and domestic regulations have been successfully implemented for data mapping between BIM and COBie. Automatic rule checking systems have been applied to evaluate the completeness and correctness of non-geometrical data embedded in a BIM model. Relational data base application platform has been utilized for managing COBie data for life cycle information exchange. Business processes in life cycle activities of Mass Transit system design and construction have been analyzed and compared between the paper-based and COBie-based approaches. Tremendous saving and benefits can be achieved through COBie-based approach with the help of standard format, electrical coordination and optimization processes.

3

專題報導

壹、緒論

捷運工程涉及土建、機械、電機與核心系統等多種專業，界面多且複雜，設計與施工階段所產出的龐大工程資訊與營運階段的資產管理、設施管理、維護管理、空間管理、能源管理與防災規劃習習相關。由於捷運工程資訊的產生來自許多不同專業工項，資訊分散各處，如果沒有適當的資訊交換標準，等到工程竣工時才開始蒐集與整理，除了必須耗費大量人力物力外，更可能遺漏重要的資料，影響營運管理系統建置的完整性。(圖1)

近幾年BIM技術在大型捷運計畫中被廣泛運用，其強大的空間解析與資訊承載能力，成功地提昇設計與施工階段的界面協調整合效率，減少重工與浪費，增加總體產業的生產力與價值。隨著計畫的進程與發展，BIM模型所承載的非幾何資訊逐漸增加，其數量與重要性甚至超過幾何資訊，如圖2所示。美國陸軍聯邦總務署為了將BIM技術推展到竣工移交與設施管理應用，透過COBie開放式資訊交換標準的公布實施，達成竣工移交資訊格式的標準化。英國政府亦制定了BS 1192系列標準，落實 BIM與COBie的實作，要求凡政府公共工程，到2016年使用BIM的成熟度需達Level 2的標準(圖3)，

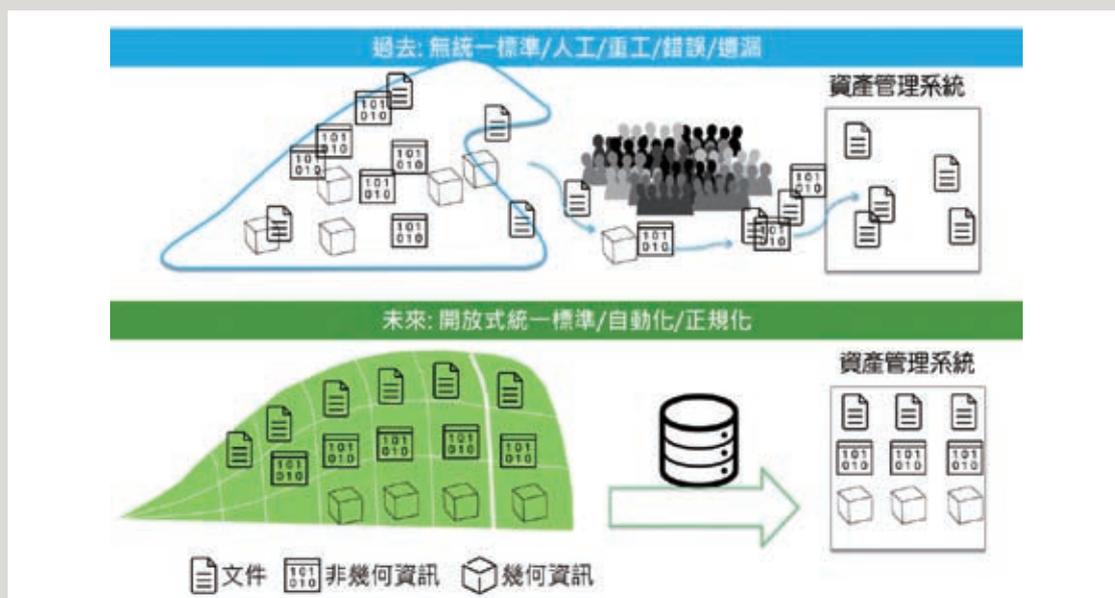


圖1 捷連工程全生命週期資訊管理之過去與未來

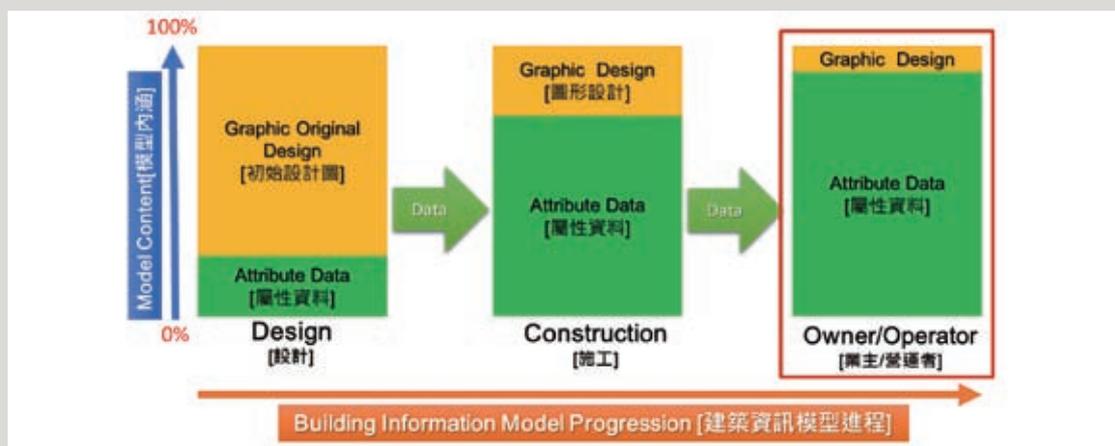


圖2 建築資訊模型進程

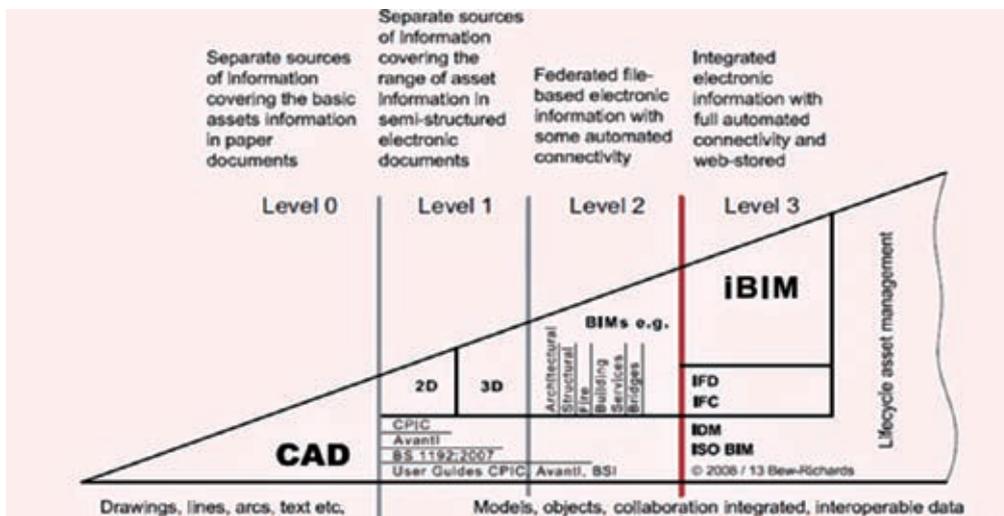


圖3 英國BIM成熟等級暨資產資訊管理略圖
資料來源：PAS 1192-3:2014

在工程竣工時，必須交付COBie資訊交換標準格式的檔案。目前已知的韓國、新加坡、澳洲、紐西蘭、瑞士等國家都會緊隨英美之後，導入COBie的標準於其營建產業中。

COBie標準是由美國陸軍工兵單位於2007年率先公布，做為工程竣工交付到設施營運管理資訊交換格式的重要標準，目前最新的版本為2015/07/22公布之NBIMS-US V.3的COBie 2.4版。COBie資料模型是IFC(產業基礎類別)的子集合，也是一套特定的MVD(Model View Definition，譯為：模型視域定義)，COBie檔案格式基本架構如圖4所示，它最常見的表達格式是COBie的電子試算表(Excel檔)圖5。

貳、COBie標準與相關軟體技術發展

一、COBie標準

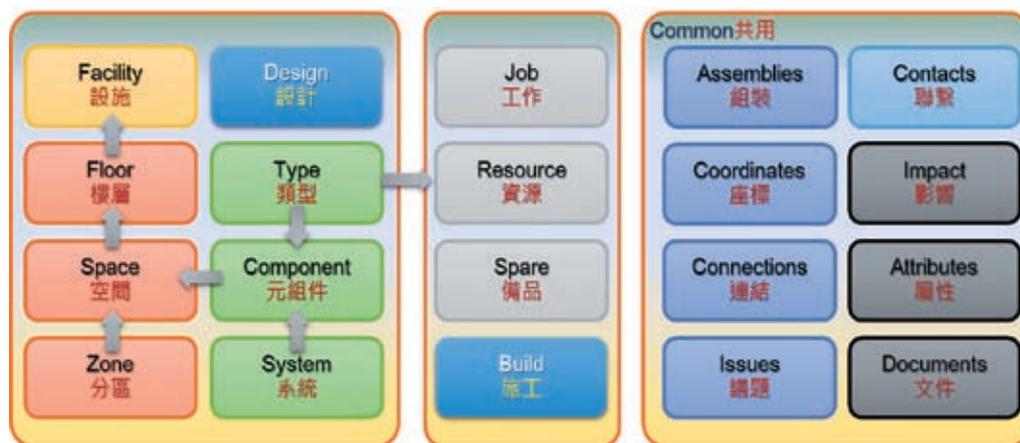


圖4 COBie檔案格式基本架構

Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	Discipline	Description	EndSystem	EndObject
1	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
2	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
3	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
4	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
5	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
6	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
7	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
8	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
9	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
10	jhm@demosite.com	10/11/18 11:32 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 Room	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
11	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-85-31-14	Entry Lobby	LEVEL 1 LOBBY	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
12	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-85-31-17	Entry Vestibule	LEVEL 1 VESTIBULE	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
13	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-85-31-17	Elevator Lobby	LEVEL 1 ELEV LOBBY	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
14	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-21-17	Conference Room	LEVEL 1 BREAKOUT	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
15	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-81-21-24	Telecommunications Room	LEVEL 1 TELE	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
16	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM			LEVEL 1 TELE	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
17	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-74-11-44	Recycling Storage Space	LEVEL 1 RECYCLERS	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
18	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-81-21-21	Electrical Room	LEVEL 1 ELEC	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
19	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-81-21-21	Electrical Room	LEVEL 1 ELEC	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
20	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM			LEVEL 1 ELEC	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
21	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-21-17	Conference Room	LEVEL 1 BREAKOUT	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
22	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-21-17	Conference Room	LEVEL 1 BREAKOUT	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
23	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-21-17	Conference Room	LEVEL 1 BREAKOUT	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
24	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-85-11-11	Corridor	LEVEL 1 CORRIDOR	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
25	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-19	Food and Beverage Spaces	LEVEL 1 CAFE	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
26	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-21-21	Training Space	LEVEL 1 HANGAR	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
27	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-11-11	Corridor	LEVEL 1 CORRIDOR	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
28	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-74-11-14	Corridor	LEVEL 1 CORRIDOR	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
29	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-85-11-11	Corridor	LEVEL 1 CORRIDOR	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
30	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-85-21-11	Stairway	LEVEL 1 STAIR #1	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
31	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-81-21-21	Electrical Room	LEVEL 1 ELEC	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
32	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM			LEVEL 1 LAB GREENHOUSE	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
33	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 SERVER ROOM	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
34	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-15-00-00	Web Spaces	LEVEL 1 SERVER ROOM	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room
35	jhm@demosite.com	10/26/18 7:51 AM	13-11-19-11	Kitchen	LEVEL 1 REC/GRUP KITCHEN	Autodesk Revit Architecture 2010	Autodesk Revit Elements Room

圖5 COBie匯出電子試算表架構

二、COBie相關軟體技術發展

由於英美兩大工業國家大力推動COBie標準，許多軟體廠商均全力配合發展IFC與COBie工具程式，以提升專案協同作業之成效。以下分別說明目前市場上主要支援COBie標準軟體的發展情形：

(一) Autodesk之Revit與Navisworks

Autodesk Revit塑模軟體目前有兩個方式支援COBie格式轉換，其一為外掛程式，並用Add-In方式外掛到Revit軟體中進行COBie相關資訊處理，再匯出COBie電子試算表檔案；另一種則為利用IFC格式匯出模型(含幾何與非幾何資訊)，再透過IFC Viewer (如：xBIM、Solibri、BIMserver)的附加功能匯出COBie 電子試算表檔案。

Autodesk在Navisworks平台上開發

COBie Extension增益程式來支援COBie資訊的修改以及匯出等相關功能，以對應模型物件屬性至COBie標準，這項增益程式支援從SQLite資料庫讀取以及寫入資料，以及將COBie資訊以電子試算表方式匯出。

(二) Bentley之AECOSim Building Designer

Bentley之AECOSim Building Designer提供COBie的樣版檔供專案初始化設定，完成各專業BIM模型與COBie屬性建置後，可以匯出COBie試算表，其Model View定義可選擇IFC2*3或設施管理系統移交兩種途徑。

(三) ArchiCAD與COBie之相容性與整合性

ArchiCAD轉化COBie格式使用的工具軟體為COBie Toolkit與Xbim Xplorer。COBie Toolkit對於中文的支援度較不友善，無論

使用ArchiCAD 18版中文或英文版，以及修改Unicode平台及獨立語言的設定，中文訊息將直接被忽略，無法在COBie試算表內紀錄資訊。使用Xbim Explorer轉換IFC檔案成COBie試算表穩定性較高，此外，讀取的IFC檔案還能被瀏覽模型及資訊，點選「COBie」>「Export」即可打開COBie Excel試算表，只要再另存檔案即可。

三、資產管理系統之整合

(一) IBM Maximo Asset Management System

IBM Maximo Asset Management System為許多大型軌道運輸系統所採用的資產管理系統，其平台所提供之BIM MAXIMO® Extension可以直接匯入BIM資料到Maximo，以及在Maximo應用程式背景下對BIM資料提供完全3D顯示的支援。資料的匯入功能並能執行COBie標準的一個子集。

(二) EcoDomus

EcoDomus是維護設施階段所使用的中介軟體，提供PM及FM兩個獨立的系統，EcoDomus (PM)是協助以COBie電子表格格式來收集驗證專案交接時所需的維護管理資訊，並於完工後將前面階段所存取的資訊以資料庫的方式交接至EcoDomus(FM)平台上進行為維護管理及分析。

(三) ArchiBus

ArchiBus是一套電腦維護管理系統，專門用於設施與房地產管理上，提供多項模組包含：空間管理、資產管理、預防性維護及租賃管理等模組。ArchiBus可以直接與Revit進行幾何資訊的連結，BIM模型中COBie欄位的屬性資料亦可匯入各功能模組對應之欄位，導入維護管理系統。

參、BIM模型非幾何資訊之管理與應用

一、編碼與命名系統

國內外主流編碼系統如圖6所示。美英兩國採用同樣COBie架構，但採取不同的編碼系統。美國總務署採用OmniClass分類標準(包括Master Format及Unifomat)來進行BIM模型物件分類編碼，而英國採用UniClass編碼系統。主流的商用軟體如Autodesk Revit已將上述兩套編碼系統納入其平台。針對其他地區或系統的需要，則開放客製化分類編碼的功能，經測試可以成功將國內的「PCCES工程綱要編碼」和行政院主計總處「財物標準分類」導入BIM模型之編碼系統，與元件及COBie屬性產生關連(如圖7)。

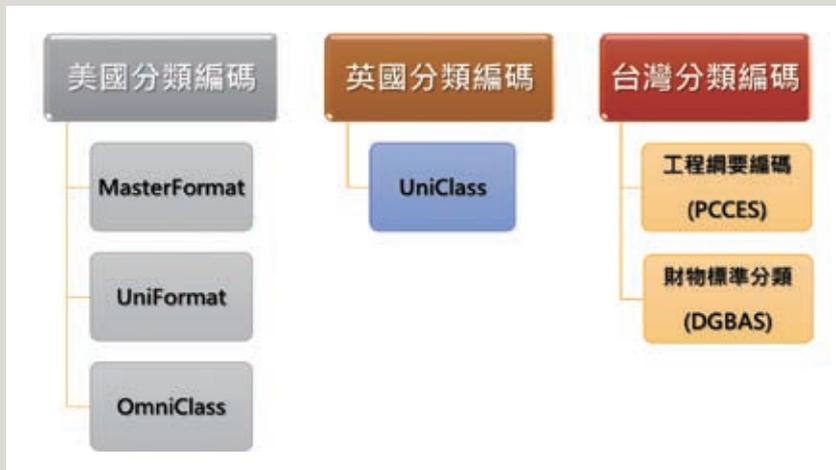


圖6 國內外主流編碼系統



圖7 客製化分類編碼導入「PCCES工程綱要編碼」和行政院「財物標準分類」

二、BIM模型資訊檢測技術

BIM模型的空間碰撞檢測技術在設計與施工階段的應用已經大量運用多年，此技術對設計資訊的釐清與討論發揮極大的功效，大幅減少重工與縮短工期，對工程界貢獻很大，但它主要應用在幾何資訊方面。然而，BIM模型帶有幾何與非幾何資訊，碰撞檢測僅為BIM模型檢測技術的其中一環。BIM模型元件所繫接之非幾何資訊，包括空間、設施、功能需求及元件屬性，以及它們之間關聯關係的資訊，若能適當運用，不但對設計與施工階段有貢獻，對長期營運，意義更大。但在運用這些非幾何資訊之前，必須先確認此模型元件是否帶有所需之屬性項目，或屬性項目已填入資料，以及所填入資料是否在預期範圍內，都需先進行檢測，此為BIM模型非幾何資訊檢測之範疇。

一個捷運計畫從設計、施工到竣工移交所產出的非幾何資訊可能

高達數個Terabytes，資訊過於龐大與複雜，無法仰賴人工進行完整的檢測。非幾何資訊檢測除可應用在營運維護所需之COBie資訊檢測外，其Rule Set的機制及通用的xml組態檔，可進一步將模型檢測擴大應用在法規檢測及施工安全檢測等設計與施工階段的加值應用。

模型檢測技術包括1.建築模型準備、2.規則解釋、3.規則執行、4.規則檢測報告等四大要素，如圖8所示。茲說明如下：

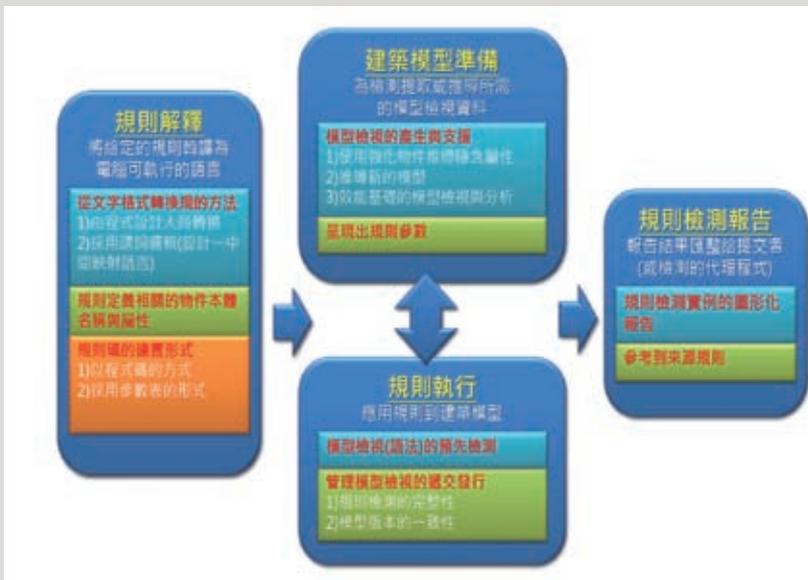


圖8 BIM模型資訊檢測架構

(一) 規則解釋

將要檢測的條件，透過Model Checker Configurator建立設備及空間之檢測規則(圖9)。除了各種設施與元件COBie的基本屬性要求，可以針對捷運工程功能需求規範，例如公共區的淨高限制、防火區劃、電梯/電扶梯緩衝空間要求等(圖10)。檢測規則完成後，並將組態器另存成Model Checker XML格式，可供未來規則執行階段之Model Checker使用。

(二) BIM模型準備

進行COBie資訊檢測時，被檢測模型必須配合能檢測的映對資料。因此，在建立模型的階段，必須規定COBie參數之建置需求，透過COBie Extension 將COBie參數寫入設備之類型參數及實作元件參數之中，以引導設計者可以設計出符合規則驗證的模型。

電扶梯設施						
序號	中文名稱	參數範圍	資料類型 型別	重要性		範例
				竣工	維運	
1	設備名稱	類型	文數字	●	-	電扶梯設施A
2	設備規格	類型	文數字	△	△	XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
3	描述	實作元件	文數字	△	△	電扶梯設施
4	資產識別碼	實作元件	文數字	△	△	XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
5	使用年限	類型	數值	△	△	3.0
6	採購日期	類型	ISO 日期 格式	△	△	1900-12-31-T23 : 59 : 59
7	保養頻率	類型	文數字	△	△	每季
8	供應商	類型	文數字	●	-	Supplier@corp.com.tw
9	供應商合約	類型	文數字	●	-	xx合約.pdf
10	供應商電話	類型	文數字	●	-	886 2-xxxxxxx

圖9 電扶梯設施COBie屬性建置規範

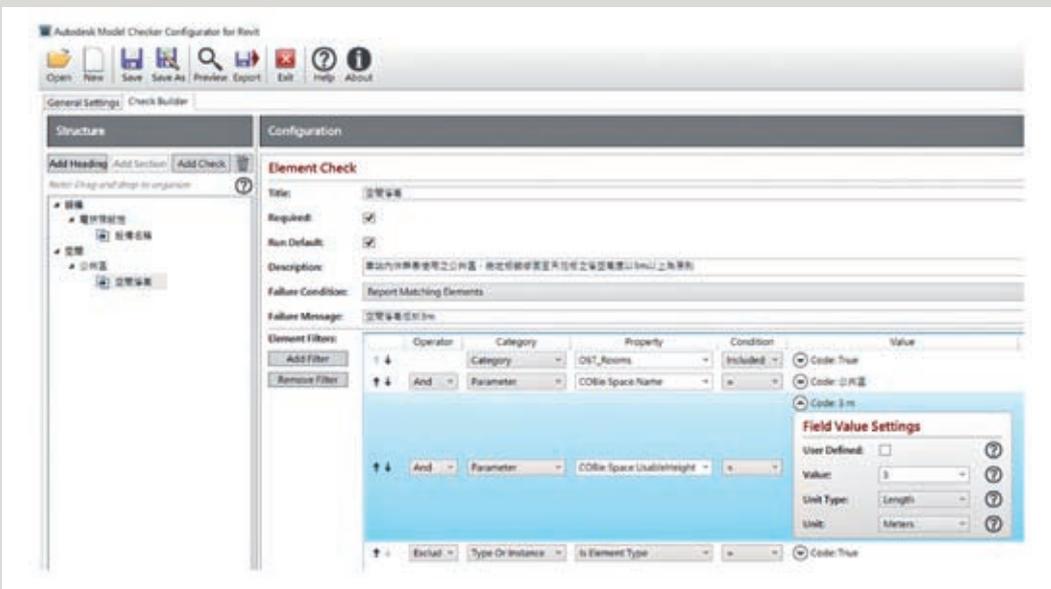


圖10 空間規則設定(Model Checker Configurator)

(三) 規則執行

載入.xml的組態檔執行Model Checker的檢測工作，再進行自動檢測作業。

(四) 規則檢測報告

規則檢測報告在Model Checker工具中產生，如果所有條件組態都通過，此模型就能符合交付要求，並匯出相關資訊，若有些條件未通過，則可以馬上在BIM模型中進行修補作業。

三、COBie管理系統與資產資訊模型規劃

目前市場上主流的BIM塑模軟體所匯出COBie檔案格式均採最通用的Excel試算表格式，其最大優點是使用與編輯方便。但是捷運系統規模龐大，空間與設施最產生的巨量資料並不適合使用一般試算表管理。特別針對捷運系統全生命週期的需要，開發Web base資料庫應用程式，將設計與施工階段所產出的COBie資料，轉換為正規化關連資料庫的格式，以便管理與運用捷運系統工程全生命週期的每一筆COBie資訊，如圖11所示。此資料庫架構包括三大主要功能：

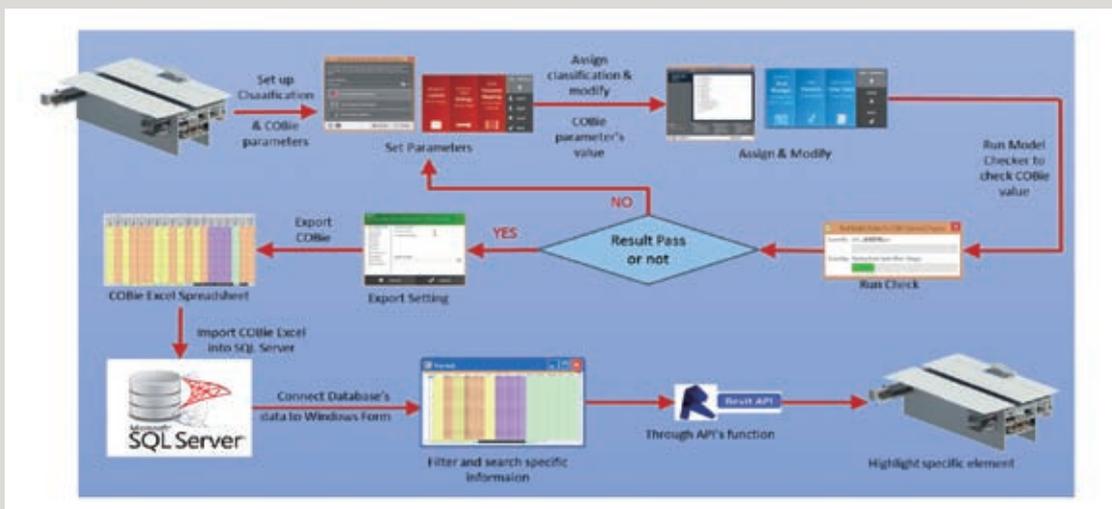


圖11 COBie資料庫管理架構



圖12 專案資訊設定

(一) 專案基本資訊定義

專案啟動前必須由系統管理員先定義專案相關基本參數，包括專案階段、專業類別、模型類型、切分原則等協定，如圖12所示，完成初始設定後在資料庫產生新的定義資訊記錄。

(二) COBie資料檔案提交

於每個送審里程碑前，先根據業主需

求所制定的模型檢測規則，完成模型資訊檢核作業，確認COBie相關的空間與設施屬性建置符合要求後，提交COBie資料，上傳到資料庫。

(三) COBie資訊查詢與整合管理

使用統一的名稱、編碼與標準格式，將COBie資訊在正規化的資訊庫完成資訊定位後，讓每一筆COBie表單皆可藉由標準SQL指令進行查詢與管理，如圖13所示。

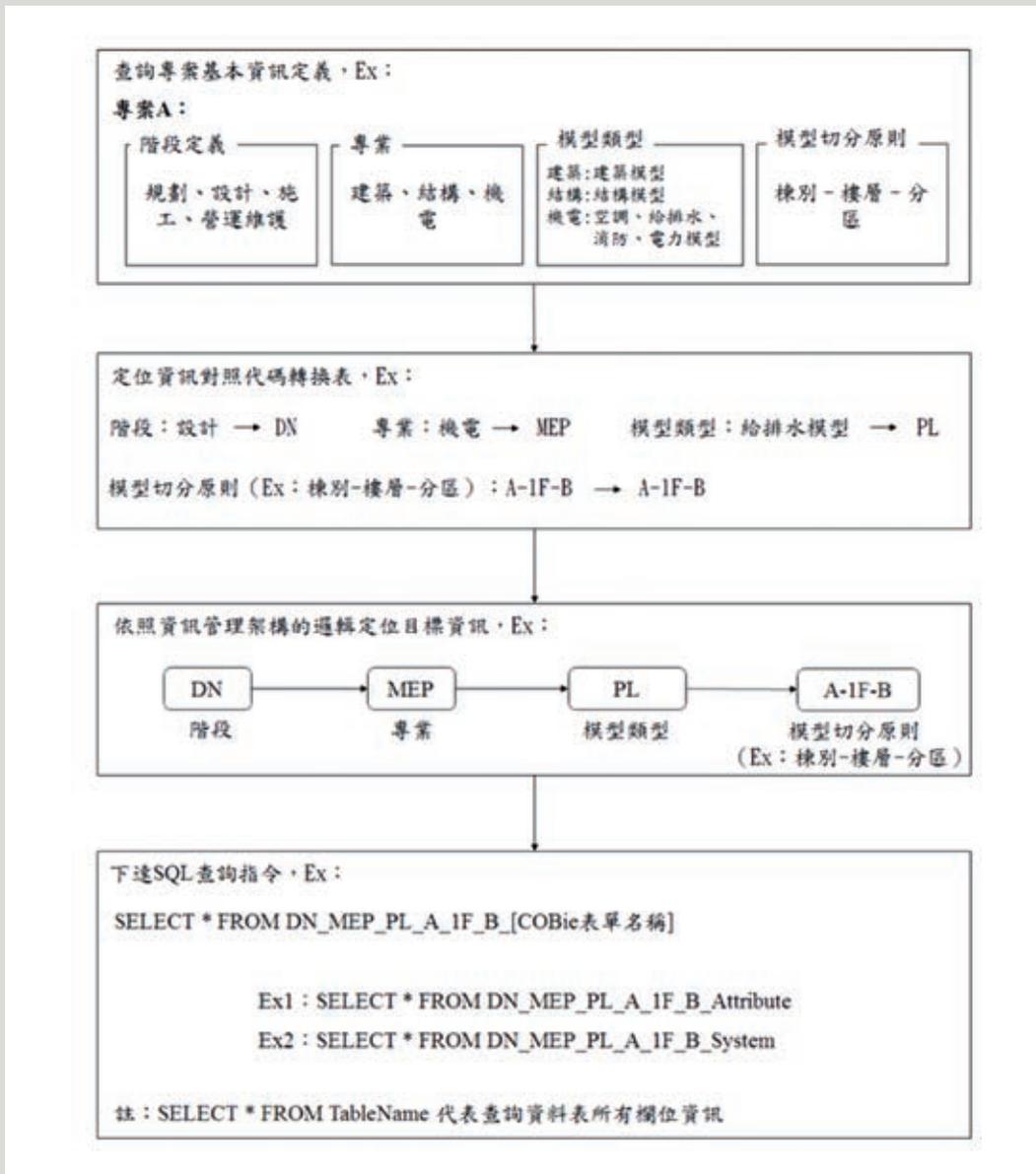


圖13 資料庫COBie資訊的查詢功能

肆、導入COBie之成本模型與效益評估

一、COBie Calculator

採用BIM設計流程並導入COBie標準格式進行捷運工程全生命週期資訊交換，可大幅改善專案資訊的互操作性(Interoperability)。有鑑於此，美國國家建築研究所(NIBS)及工兵署(2013)提出一套評估資訊交換作業成本效益的方法，稱之為COBie Calculator。

COBie Calculator主要在比較傳統紙本資訊交換流程與電子化COBie作業模式，所可能產生的成本效益差異，包括：

- (一) 透過統一的編碼與命名系統，以程式自動化檢核空間與設施資訊完整性與正確性的流程，大幅減少人工驗證的直接人力成本。
- (二) 採用電子化發佈與交換系統需求或重要參數，取代或改善傳統紙本作業、審批、複製、版次更新維護、重整格式及分發的作業。
- (三) 使用標準的結構化資料格式(COBie)，將營運所需的重要空間與設施屬性，

移轉到資產管理或設施維護系統，以減少人工處理所耗費的大量資源。

透過不同階段作業流程的研析，找出具有節約成本潛力的作業項目，提煉出每一階段中可刪除(Eliminated Tasks)、可自動化(Automated Tasks)或可簡化(Streamlined Tasks)的任務。

二、捷運工程導入COBie之潛在效益

NBIS將規劃、設計到施工等三個階段，細分為25個資訊交換的階段，針對捷運工程興建的特性，選擇其中最主要的8個資訊交換階段(如圖14)進行詳細的評估與分析。比較傳統紙本資訊交換流程與電子化COBie作業模式最主要的成本節約在：

(一) 無紙化作業

電子化作業模式可以大幅降低印刷及文件管理與傳遞的成本。近年來國外大型捷運計畫多採用電子文件管理系統(EDMIS)，做為資訊交換與設計送審的平台，單就印刷成本的節省，即非常可觀。圖15比較採用傳統紙本作業與EDMIS送審作業，印刷成本的差異高達98.3%至99.1%。

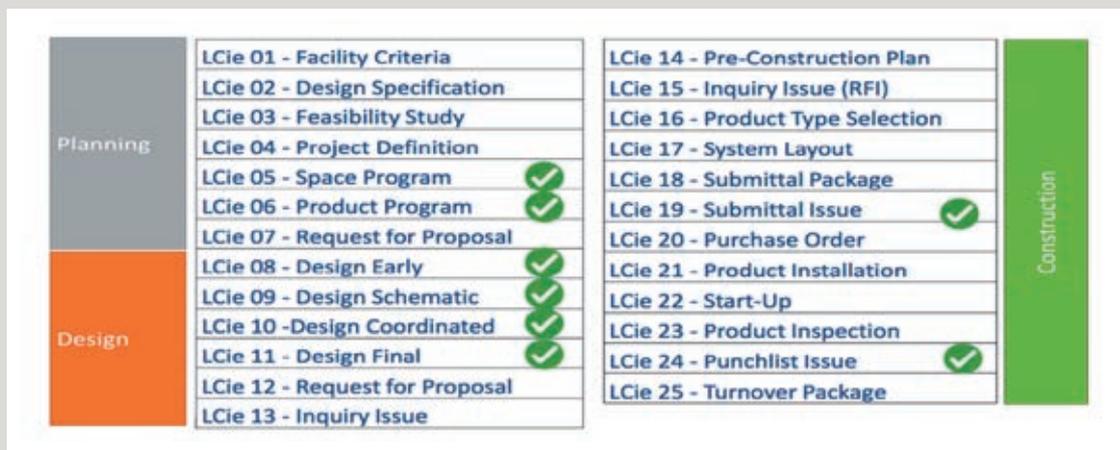


圖14 NBIS建議之資訊交換階段

98.3%~99.1%

計畫名稱	工程規模	服務期間	無紙化設計送審	影印費用
「臺灣桃園國際機場聯外捷運系統建設計畫」三重站至臺北車站特定專用區路段DA115設計標	130億	94年迄今	否	425萬
桃園國際機場聯外捷運系統延伸至中壢火車站工程細部設計DU02標	40億	99年迄今	否	298萬
臺北都會區大眾捷運系統萬大-中和-樹林線(第一期)DQ123設計標	90億	100年迄今	否	225萬
印尼雅加達捷運CP106標細部設計服務工作	60億	101年迄今	是 - Aconex	4萬

圖15 傳統紙本作業與EDMIS送審作業

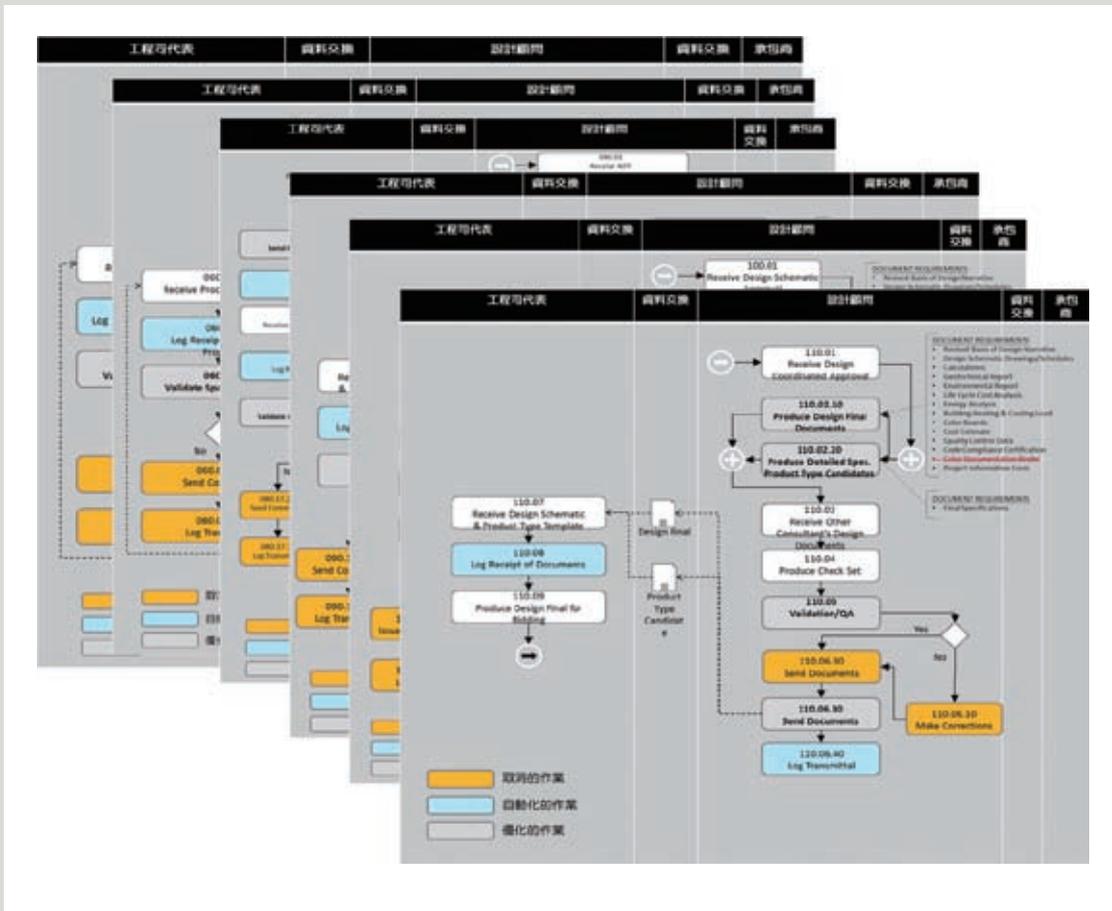


圖16 電子化COBie資訊交換可優化作業流程分析

3
專題報導

(二) 標準的結構化資料格式(COBie)

透過統一的編碼與結構化資料格式，大幅減少人工進行資料搜尋與比對、檢核與驗證及修改與重工的直接人力成本。比較傳統作業，各主要資訊交換流程中可刪除、可自動化或可簡化的任務，可以被清楚的辨識出來(圖16)，作為流程改造與優化的參考。

伍、結論與建議

- 一、COBie資訊交換標準導入捷運工程全生命週期的資訊交換與管理，將可大幅改善竣工移交營運相關資訊的完整性與正確性。
- 二、為了與國際主流標準接軌及兼顧本土化與在地化的應用，特別導入國際上主流的分類編碼系統(OmniClass & UniClass)進行BIM模型設定的實作。同時運用軟體客製化樣板的設定，成功導入公共工程綱要編碼及行政院主計總處的財物標準分類編碼，完成BIM模型元件映對之實作，可作為國內公共工程的參考範例。
- 三、捷運工程固定設施屬於特種建物，其空間及設施屬性欄位在軟體平台中並無統一的標準，必須根據專案的需求客製化定義元件屬性的統一格式，以確保未來匯出COBie資訊之映對不會產生困難。
- 四、BIM技術優異的3D空間整合能力，對於跨專業幾何資訊的檢核發揮了極大的效益，成功的降低傳統2D作業經常發生的錯、漏與衝突碰撞的缺失，減少重工與延誤。BIM模型所承載的非幾何資訊內容非常豐富，經過嚴謹的規則設定與檢核，除了可以確保COBie資訊傳遞的完整性與正確性，並可進

一步擴展其應用在法規檢核或施工安全驗證，發揮更大的效益。

- 五、一般專案BIM模型透過COBie格式直接匯出通用的試算表的格式，因為軟體的普遍性與易於使用，有利於資料的交換與編輯。惟捷運工程設計與施工過程所累計的巨量空間與設施屬性資料，轉換為試算表的格式將過於龐大不利管理與維護。規劃COBie資料庫平台架構，將COBie資料轉換為正規化的資料庫格式，以改善管理與應用的效益，並順利與後端的資產管理系統銜接。
- 六、運用COBie標準化格式與電子化交換的互操作性，研析捷運工程全生命週期各階段流程中主要任務是否可藉由新的作業方式，刪除、自動化或者簡化，以提昇作業的效率，擴大導入COBie的效益。

參考文獻

1. East, B. (2016, October 6), "CONSTRUCTION-OPERATIONS BUILDING INFORMATION EXCHANGE (COBIE)", Retrieved from <http://www.wbdg.org/resources/construction-operations-building-information-exchange-cobie>
2. 郭榮欽，謝尚賢(2010)，"BIM概觀與國內推行策略"，土木水利，第三十七卷，第五期。
3. 郭榮欽(2017)，"BIM 非幾何資訊"，土木水利，第四十四卷，第四期。
4. buildingSMART Alliance (2015), "National Building Information Modeling Standard - US V.3", NIBS, bSa.

5. East, E. W., Bogen, A. C.,(2016), “Construction Operations Building information exchange (COBie) Quality Control”, Prairie Sky Consulting.

6. Fallon, K., Fadojutimi, O., Williams, G., Crawford, N., & Gran, D. (2013). Assessment of Life Cycle Information Exchanges (LCie): Understanding the Value-Added Benefit of a COBie Process. KRISTINE FALLON ASSOCIATES INC CHICAGO IL.

7. NIST(2004), “Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry.”, NIST GCR 04-867

8. East, E. W., Love, D., & Nisbet, N. (2010). A life-cycle model for contracted information exchange. Virginia Tech, Department of Building Construction.

9. East, E. W., and Love, D. (2011). “Value-added Analysis of the Construction Submittal Process.” Automation in Construction, 20(8), 1070-1078.

10. East, E. W., & Nisbet, N. (2010, June). Analysis of life-cycle information exchange. In Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Nottingham University Press, Paper (No. 75, p. 149).

11. Aghazarian, G. (2013). A Comparative Analysis of Construction Operation Information Exchange Via Paper-based Systems and COBie Format: A Case Study of The First COBie Pilot Project at University of Washington (Doctoral dissertation).



臺鐵車輛維修 基地之整體規 劃及運用

關鍵詞(Key Words)：臺鐵(TRA)、車輛維修(rolling stock maintenance)、檢修流程(repair process flow)、機廠(Railway Workshop)、機務段(Rolling Stock Branch)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道工程部／協理／何泰源 (Ho, Tai-Yuan) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道工程部／副理／韓光曙 (Han, Kuang-Shu) ❷

摘要

臺鐵局所屬的營運車輛是由不同時期分批採購，且由不同國家及車廠製造組裝，故車型眾多。在車輛維修基地的規劃及運用上，需同時考量能提供不同運轉轄區之車輛編組的維修工作，還要能支援列車故障時的緊急救援作業。本文乃探討在臺鐵目前的檢修分級及檢修流程構架下，其不同機廠及機務段的維修車種及負責的運轉轄區。對於臺鐵未來動力一元化後的維修基地配置，也提出功能調整的分析評估說明。



The planning and application of TRA's rolling stock maintenance base depot

Abstract

The railway vehicles in the Taiwan Railway Bureau are purchased in batches at different times. Those are manufactured and assembled by different countries. Therefore, many models of car type are available in the railway operating route. In the planning and application of rolling stock base depot, it is necessary to consider the repair and maintenance work that can provide in different train formation and operating area route, and to support emergency rescue work in train failure.

This article explores the type of rolling stocks repaired and related operating area route in different railway depot under the current maintenance levels and process flow. For the depot location setting after railway electrification network completed across Taiwan, it also proposes analysis and evaluation for functional adjustment.

3

專題報導

臺、前言

為維持鐵路運輸安全及舒適運行狀態，車輛的預防性維護檢修保養為臺鐵局機務工作重要項目之一。目前軌道運輸的維修制度可概分二大體系，即為計畫性預防維護保養及可靠性維護保養，而臺鐵局的車輛檢修原則即參考計畫性預防維護保養制度精神，而計畫性預防維護檢修制度是瞭解各項機件設備的磨損規律制訂車輛的進廠檢修週期。臺鐵局的組織架構分為廠段兩系統，機廠負責三、四級檢修工作及機務段負責一、二級檢修作業，如圖1。目前的維修車輛型式如表1。

依行政院「交通及運輸設備分類明細表」規定臺鐵局各式客車最低使用年限為30年。其城際客車、區間客車及機車的目前及未來(113年)之車輛需求數量及車齡統計，如表2。而臺鐵局也依此需求辦理「臺鐵整體購置及汰換車輛計畫(104~113年)」作業，未來在600輛城際客車及520輛區間客車陸續分批交車投入營運時，其臺鐵局的維修車種將由繁化簡的單一化，所以未來的車輛維修基地也勢必需適時的整調其作用功能。



圖1 廠段各級檢修工作內容

表1 機車、車輛型式彙整表

機車	客貨兩用型機車：電力機車、柴電機車
	客用型機車：推拉式機車
	調車型機車：柴液機車
客車	城際客車：自強號-太魯閣號、普悠瑪號、PP電車組、柴聯車組及莒光/復興號
	區間客車：區間電聯車、支線柴油客車
貨車	平車、篷車、篷斗車、敞車、煤斗車、石碴車、石斗車等

表2 車輛數量及車齡統計表 (資料整理：臺鐵整體購置及汰換車輛計畫)

車種	目前	到113年逾齡	預估需求	需新購置
城際客車	1309	744	1165	600
區間客車	900	48	1372	520
機車	284	198	213	127

到113年逾齡：

744輛城際客車：1200型/300型自強號、莒光/復興號、柴聯車
 48輛區間客車：400型通勤電聯車
 198輛機車：R20-180型柴電機車、E200-400型電力機車

貳、車輛檢修分級概述

依據「鐵路機車車輛檢修規則」其機車檢修分定期檢修和臨時檢修，定期檢修區分四級，其各級工作重點及檢修週期詳表3。

臨時檢修實施的時機有三種：1.發生異常事件、行車事故。2.發生故障或有故障之虞。3.其他認有檢修之必要。

參、車輛檢修流程

臺鐵局車輛檢修單位概分為廠及段，機廠負責三、四級檢修，主要工作是車輛大修，對於主件需拆卸檢修，其檢修流程詳圖2，檢修作業現況詳圖3。

機務(檢車)段負責一、二級動力車輛(客貨車)檢修，列車進入機務段後，利用留置時間施行排放污水、清掃、給水等整備工作，並視需要進行車身清洗等工作，再實施一、二級檢查、局部檢修等工作，作業流程如下，進廠流程動線如圖4：

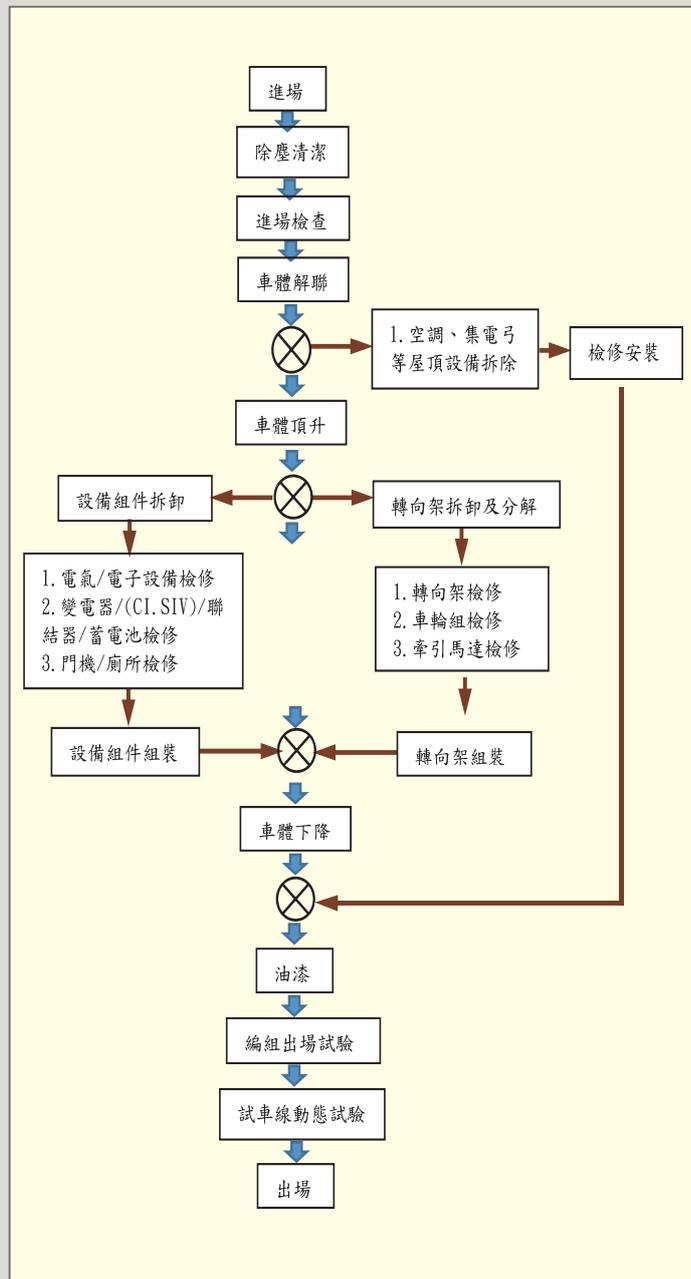


圖2 機廠檢修流程示意圖

表3 機車檢修週期及工作重點

級別	工作重點	檢修週期	
		使用期間	公里數
一級	以視覺、聽覺、觸覺、嗅覺，就有關行車主要機件之狀態及作用施行檢修。	三日	
二級	以清洗、注油、測量、調整、校正、試驗，用以保持動力、傳動、行走、軋機、集電設備、儀錶等裝置動作圓滑、運用狀態正常之檢修或局部拆卸檢修。	90,000	
		三個月	
三級	對動力、傳動、行走(含轉向架)、軋機、儀錶、車身、連結器、控制、電氣、輔助等裝置主要機件之特定部分施行拆卸並作細部分解之檢修。	1,000,000	
		三年	
四級	對一般機件施行全盤檢修，各重要機件施行重整之檢修。	4,000,000	
		十二年	



集電弓



牽引馬達



車輪組



轉向架



整備除塵



油漆作業



蓄電池充電



軀機試驗台



聯結器拆卸

圖3 機廠檢修作業現況示意圖

肆、全台各廠、段的檢修功能及配置

目前臺鐵局計有3座機廠-臺北機廠、高雄機廠、花蓮機廠，7個機務段-七堵機務段、臺北機務段、新竹機務段、彰化機務段、嘉義機務段、高雄機務段、花蓮機務段，2個檢車段-臺北檢車段、高雄檢車段，3個機務分段-新左營機務分段、臺東機務分段、宜蘭機務分段，2個機務分駐所，共計17個單位(位置圖詳圖5)。

三座機廠工作內容分別為如下，機廠作業現況如圖6：

- 一、臺北機廠：電力機車、柴電機車、通勤電聯車、傾斜式電聯車三、四級檢修業務。
- 二、高雄機廠：目前負責推拉式、莒光號傳統客車及貨車三、四級檢修業務。
- 三、花蓮機廠：負責各型柴油客車及柴液機車三、四級檢修業務。

對於機務(檢車)段其功能至少需包含有1.車輛停放及日常保養整備工作。2.車輛的一、二級檢修作業。3.乘務人員(司機、車長等)執行中的休息場所。4.運轉路線的救援功能。其目前維修車種與運轉區間之現況，詳表4。機務段作業現況如圖7。

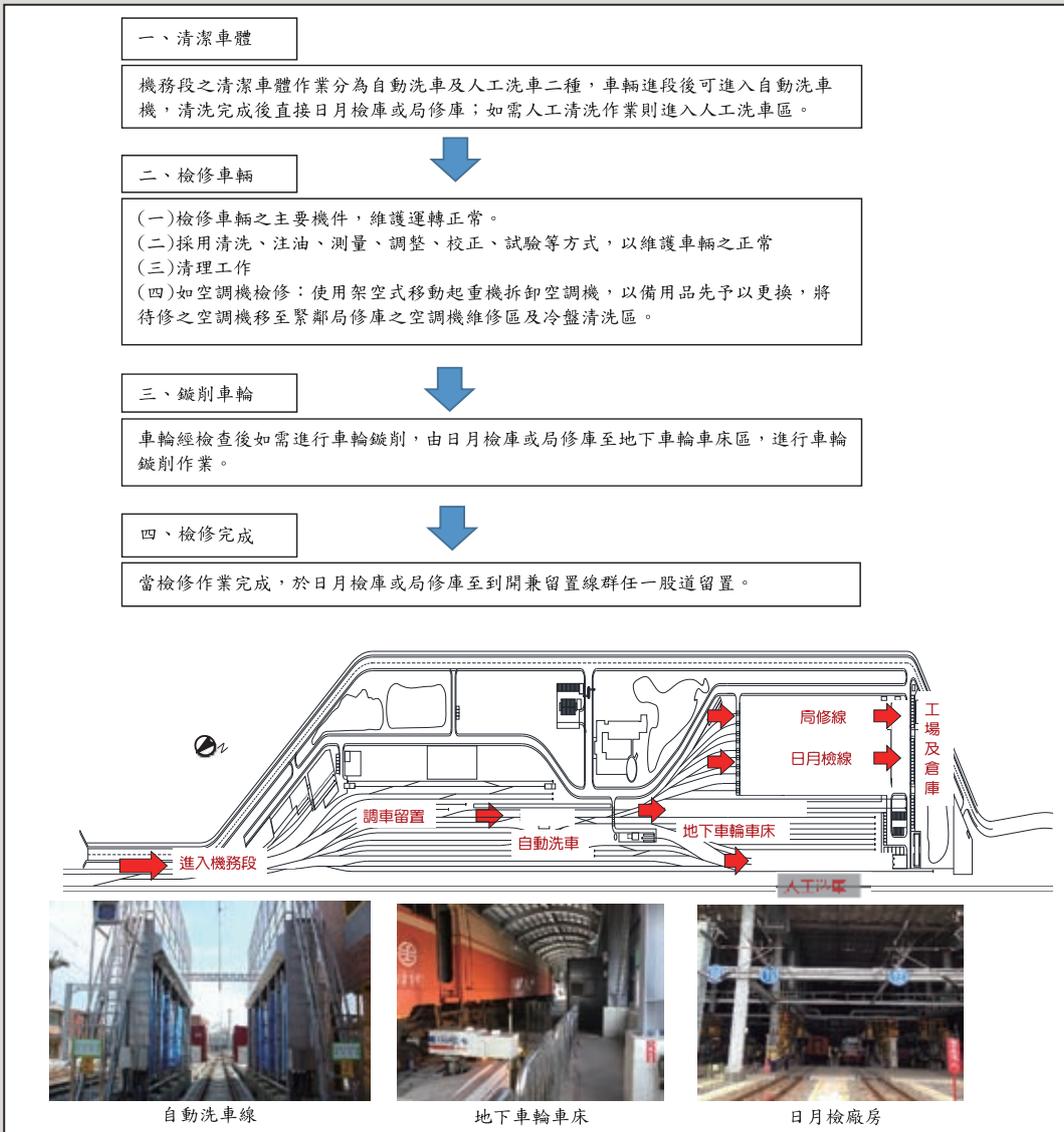


圖4 機務段進廠流程動線示意圖





台北機廠



高雄機廠



花蓮機廠

圖6 北南東三機廠作業現況

表4 車輛基地檢修車種及運轉區間 (資料整理：臺南計畫增設車輛基地適宜性評估報告書)

單位	維修車種	運行區間
七堵維修場 (七堵機務段、 臺北檢車段)	1.電力機車(E200、300、400、1000型) 2.電車組(EMU300型) 3.柴液機車、柴油客車(DR1000型) 4.推拉式、莒光號傳統客車	城際列車：彰化-七堵-花蓮間。 區間列車：苗栗-基隆、七堵-蘇澳間、平溪線及深澳線。 貨物列車：新竹-東澳間貨物列車。
臺北機務段	1.通勤電車組(EMU500型) 2.傾斜式電聯車(TEMU1000型、TEMU2000型)	城際列車：新竹-樹林-花蓮間。 區間列車：苗栗-基隆、樹林-蘇澳間。
新竹機務段 (含苗栗機務 分駐所)	1.通勤電車組(EMU600、700、800型) 2.貨車檢修。	城際列車：嘉義-新竹-宜蘭間。 區間列車：斗六-新竹-福隆間、六家線及內灣線。 貨物列車：富岡-彰化間貨物列車。
彰化機務段 (含二水機務 分駐所)	1.電力機車(E300型) 2.電車組(EMU500型) 3.柴電機車、柴油客車(DR1000型) 4.貨車	城際列車：潮州-彰化-七堵間。 區間列車：嘉義-彰化-北湖間、集集線及臺中港線。 貨物列車：新竹-彰化間貨物列車。
嘉義機務段	通勤電車組(EMU500、600、800型)	城際列車：潮州-嘉義-彰化間。 區間列車：屏東-嘉義-銅鑼間、沙崙線。
新左營機務 分段	-	城際列車：臺東-新左營-彰化間。 區間列車：枋寮-新左營-嘉義間、沙崙線。 貨物列車：嘉義-枋寮間貨物列車。
潮州維修場 (含高雄機務、 檢車段)	1.電力機車(E200、300、E1000型) 2.電車組(EMU1200型) 3.柴電機車 4.推拉式、莒光號傳統客車	城際列車：彰化-潮州-臺東間。 區間列車：嘉義-潮州-枋寮間。 貨物列車：嘉義-枋寮間貨物列車。
臺東機務分段	1.柴電機車、柴油客車(DR2500、2700、 2900、3000型) 2.貨車	城際列車：新左營-臺東-花蓮間。 區間列車：枋寮-臺東-玉里間。 貨物列車：新左營-臺東-花蓮間貨物列車。
花蓮機務段	1.通勤電車組(EMU500型) 2.柴電機車、柴油客車(DR2800、 DR3100型) 3.傾斜式電聯車(TEMU2000型) 4.貨車	城際列車：臺東-花蓮-樹林間。 區間列車：玉里-花蓮-蘇澳間、花蓮港線。 貨物列車：臺東-花蓮-宜蘭間貨物列車。
宜蘭機務分段	貨車	貨物列車：花蓮-宜蘭-五堵貨場間貨物列車。

伍、未來機廠、機務段配置規劃構想

南迴鐵路電氣化完成後，臺鐵主幹線車輛全數動力一元化，加上「臺鐵整體購置及汰換車輛計畫(104-113年)」的陸續交車，臺鐵局未來的營運策略將是簡化營運車種，將目前多類型的車輛改以電聯車為主力，另外營運區間規劃也將配合車輛基地位置調整而修正。

一、機廠調整構想

臺鐵局原北南東三座機廠-北部臺北機廠負責電聯車、機車、南部高雄機廠負責客貨車、東部花蓮機廠負責柴油客機車，當以電聯車為

主力車種時，可調簡化成南北二座電聯車維修機廠，分別為高雄機廠(詳圖8)及台北機廠(詳圖9)。高雄機廠目前正進行遷至潮州作業中，在廠區規劃分為一、二期，一期初期仍維持既有客貨車的檢修作業，將來可轉換成10節車輛的通勤電聯車，二期則預留將來擴充12節城際列車的檢修廠房。

二、機務段調整構想

機務段的位置規劃主要考量有二點1.營運上為最有利位置2.救援範圍可適當涵蓋及快速到達。在營運上需能最接近到開站以縮短車輛迴送及減少對正線的干擾；在救援方面，考量機車、車輛故障時，可就近調度救援措施，避免



圖7 機務段作業現況

全區配置圖

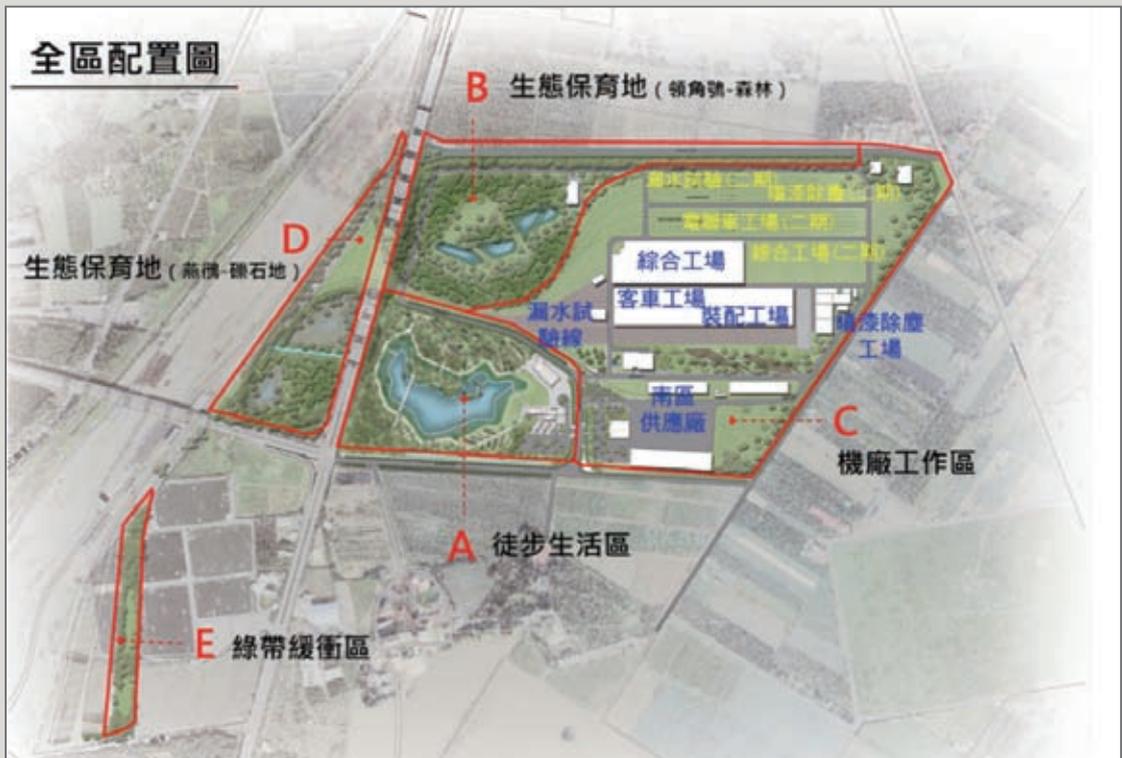


圖8 潮州機廠(高雄機廠)全區配置圖



圖9 富岡基地全區配置圖

阻斷正線，影響列車運行；基於上述緊急調度之機動性考量，各機務段或基地之間距採100公里左右為最適間隔。未來機務段的調整構想需

納入下列因素來評估檢討：1.南迴電氣化工程完成、2.車輛動力一元化，汰除傳統PP、莒光客車及柴電列車，不辦理貨車檢修工作、3.彰化鐵



圖10 未來機務段運轉轄區圖

表5 未來機務段維修車種及運轉區間 (資料整理：臺南計畫增設車輛基地適宜性評估報告書)

單位	維修車種	運行區間	說明
七堵機務段	1.原電力機車(E200、400型)，增加新購機車。 2.原電車組(EMU300型)，增加新購城際列車(12輛編組)。 3.柴油機車。 4.柴油客車(DR1000型)。	配合彰化機務段評估遷移花壇，調整運轉區間 1.城際列車：彰化(花壇)-七堵-花蓮間。 2.區間列車：苗栗-基隆、七堵-蘇澳間、平溪線及深澳線。	西部幹線北高城際列車維修基地
臺北機務段	1.原電車組(TEMU1000型、TEMU2000型)。 2.柴電機車。	1.城際列車：新竹-樹林-花蓮間。 2.區間列車：苗栗-基隆、樹林-蘇澳間。	基地用地範圍限制，維持現行維修業務量及運轉任務規劃
新竹機務段	原電車組(EMU600型)，增加新購區間列車(8輛及10輛編組)。	配合富岡基地搬遷及因應研議新增宜蘭蘇新、檢討嘉義機務段評估遷移至善化，調整運轉轄區 1.城際列車：臺南善化-新竹-蘇新間。 2.區間列車：彰化(花壇)-富岡-宜蘭間、六家線、內灣線	原新竹機務段保留機班人員站交、接班業務及六家線使用車輛維修人員
彰化機務段	1.電力機車(E300型)。 2.電車組(EMU500、700、800型)及新購區間列車(8輛編組)。 3.柴電(液)機車、柴油客車(DR1000型)。	配合富岡基地啟用及因應研議新增臺南善化維修基地，調整區間列車運轉轄區。 1.城際列車：潮州-彰化(花壇)-七堵間。 2.區間列車：臺南善化-彰化(花壇)-富岡基地間、集集線、臺中港線。	彰化鐵路高架化計畫若順利推動，將研議遷移至花壇
嘉義機務段	電車組(EMU500、600、800型)	因應嘉義機務段遷移至善化，配合南迴鐵路電氣化工程完工，南迴線列車間調整為善化-臺東，柴油客車組(DMU)以電力列車替駛。 1.城際列車：臺東-嘉義-新竹。 2.區間列車：潮州-善化-彰化(花壇)、沙崙線。	
高雄機務段	1.電力機車(E200、300、E1000型)，增加新購機車。 2.原電車組(EMU1200型)，增加新購城際列車(12輛編組)。 3.柴電(液)機車。	配合臺中鐵路高架化工程竣工啟用，調整運轉轄區 1.城際列車：豐原-潮州-臺東間。 2.區間列車：臺南善化-潮州-枋寮間。	配合新購車輛投入，整合高雄機廠業務，轉移專責推拉式電車組與南部區間運轉車輛維修基地

接下頁 ↓

單位	維修車種	運行區間	說明
臺東 機務段	1.柴電機車、柴油客車(DR2500、2700、2900、3000型) 2.電車組(EMU500型)。	配合嘉義機務段遷移至臺南善化，南迴線旅客列車延長行駛至臺南善化，調整運轉轄區	
		1.城際列車：臺南善化-臺東-花蓮間。 2.區間列車：枋寮-臺東-玉里間。	
花蓮 機務段	1.電車組(EMU500型、TEMU2000型)，增加新購城際列車。 2.柴電機車、柴油客車(DR2800、3100型)。	1.城際列車：臺東-花蓮-樹林間 2.區間列車：玉里-花蓮-蘇澳間、花蓮港線。	考量新購車輛投入，整合花蓮機廠維修業務，另於花蓮站南邊(干城)規劃建置維修基地，提升維修業務能量。
宜蘭 機務段	電車組(EMU500型)及新購區間列車(10輛編組)。	原宜蘭機務分段保留機班人員站交、接業務，因應未來花東鐵路雙軌化及南迴鐵路電氣化完工後電力列車環島運用，調整運轉轄區	考量未來新購車輛投入營運，另於蘇澳新站北邊(新馬)規劃建置維修基地提升區間列車維修業務能量。
		1.城際列車：樹林-蘇澳新站-臺東間。 2.區間列車：樹林-宜蘭-花蓮間。	

路高架計畫推動，彰化機務段研議遷移、4.嘉義鐵路高架計畫推動，嘉義機務段正研議遷移至水上或善化作業中、5.花蓮機務段整合花蓮機廠業務、6.提升東部區間車維修能量，新增宜蘭機務段。相關機務段的維修車種與運轉區間之調整，詳圖10及表5。

陸、結語

臺鐵整體購置及汰換車輛計畫(104-113年)刻正辦理作業中，後續新購車輛將陸續交車。同時南迴鐵路電氣化也預計於民國110竣工，在完工通車後，臺鐵主幹線車輛將全面邁向動力一元化目標。而臺鐵局目前的車輛維修基地配置及功能將無法符合滿足未來車輛編組的營運及維修需求，故需以鐵路營運角度來探討調整維修基地配置及功能定位，以能符合經濟性及安全性並可達到預期服務水準，使未來營運更順暢穩定。

參考文獻

1. 臺灣鐵路管理局，臺鐵整體購置及汰換車輛計畫(104-113年)，2015。
2. 鐵路改建工程局，臺南計畫增設車輛基地適宜性評估報告書，2017。
2. 交通部，鐵路機車車輛檢修規則，2017。
3. 臺灣鐵路管理局，高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫—綜合規劃報告，2013。
4. 林文雄，軌道配置之原理與實務，臺灣鐵路管理局，2011。

5. 王連森、連蘇寧，動車組維護與檢修，西南交通大學，2014。

6. 陸雲，現代有軌電車工程，西南交通大學，2015。

7. 施亮輝、周振發、王德民，「機廠規劃及先進維修設備應用探討」，中華技術 107 期，2015

8. 林治平、李瑞欽、韓光曙，「臺鐵潮州機廠之規劃設計」，土木水利第四十五卷，2018。



安坑輕軌跨新店溪 高架橋之設計及 施工規劃

關鍵詞(Key Words)：安坑輕軌(Ankeng Light Rail Transit)、斜張橋(Cable-stayed Bridge)、桁架橋(Truss Bridge)

- 台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／副理／張志斌 (CHANG, CHIH-PIN) ①
台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／計畫副理／任萬山 (JEN, WAN-SHAN) ②
台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／工程師／張容慈 (CHANG, JUNG-TZU) ③
台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／計畫工程師／林旭翎 (LIN, HSU-LING) ④
台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處(原鐵道部)／計畫經理／謝慶和 (CHING-HE, HO) ⑤
新亞建設開發股份有限公司／計畫副理／劉文瑞 (LIU, WEN-JUI) ⑥

摘要

新北市政府為積極推動三環三線，採用設計施工平行作業方式，推出安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程，其中位於跨越新店溪河川路段，因跨越行水區路線長度達約500公尺，且受限堤防內僅能設置2處橋墩之限制，針對此大跨距軌道橋梁，綜合考量後採取國內首見且國外亦少有案例之斜張桁架複合橋型式。

本案因統包特性，於設計階段即與施工團隊密切商討，並配合施工需求回饋於設計內容，本文針對該橋設計與施工規劃構想及考量作重點說明，期可供國內日後類似案例之參考。



The Design and Construction Planning of a Viaduct over the Xindian River for Ankeng LRT

Abstract

The New Taipei City Government has actively promoted “3 rings and 3 lines” and adopted the parallel method of design and construction to launch the Turnkey Project of Ankeng LRT System. The routes across the Xindian River, and the length reaches approximately 500 meters. In addition, there are only two piers within the limited embankment. For the large-span bridge, after comprehensive consideration, we use the Cable-stayed and truss composite bridges, it is the first time in Taiwan, and there are few cases in foreign.

Because of the characteristics of Turnkey. Design team is closely discussed with the construction team in the design stage, and the construction requirements are Feedback in the design. This paper outlines the conception of the Design and Construction Planning, and can be used as a reference for similar future cases.

壹、前言

軌道建設是國內目前因應綠色交通運輸之趨勢，隨著各縣市對軌道交通需求不斷增加，而輕軌工程有施作工期較短及興建經費較低之優勢，預期將為國內軌道系統未來選用主要標的之一，新北市政府為積極推動三環三線，爰採用設計施工平行作業統包方式，推出「安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程」，總計畫經費約166億元(含土建及系統機電工程)，預定完工年期為110年12月。台灣世曦工程顧問股份有限公司在本計畫中係土建統包商之主要細設分包商，扮演設計及施工諮詢之角色。

本文內容主要以其中跨越新店溪路段橋梁為例，分享大跨度軌道橋梁之設計考量及施工規劃經驗供各界參考。

貳、計畫概要與路線範圍

安坑輕軌計畫位於新店區及安坑地區，路線自安泰路與安一路交會處之機廠起，採平面方式沿著安一路北行，續沿安一路安和支線轉至安和路，並改採高架方式沿安和路一、二段北行，在跨越國道三及五重溪後，於安和路三段水利署新店辦公區轉向東行，隨後跨越新北環快道路、新店溪至新店十四張地區，以轉乘大臺北都會區捷運環狀線路網，全線長約7.5公里，共設置K1、K3、K4及K5等4座平面車站；K2、K6、K7、K8及K9等5座高架車站，以及1座機廠，計畫路線如圖1所示。

計畫路線行經新店溪河流域前，為避開尖山遺址保護區，採斜交方式跨越新店溪，跨越行水區路線長度達約500公尺，如圖2所示，

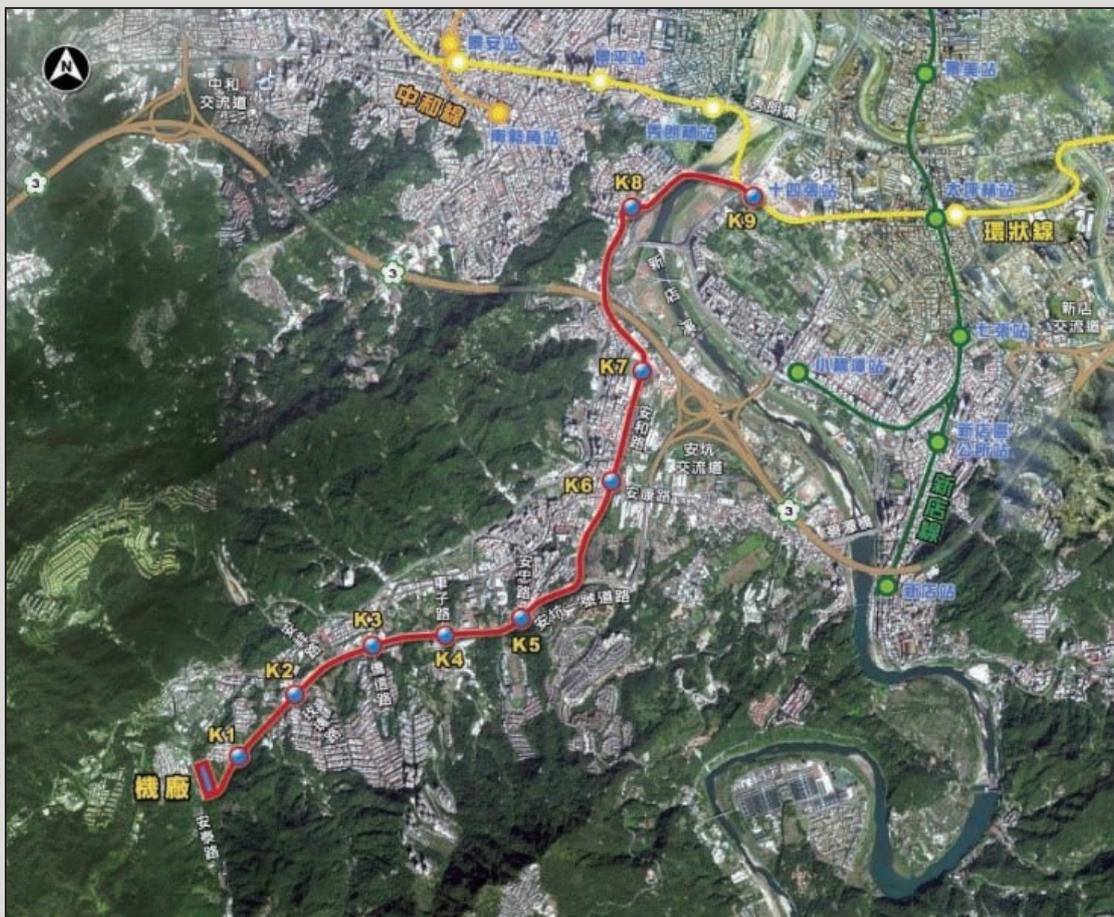


圖1 安坑輕軌計畫路線示意圖



圖2 安坑輕軌計畫跨新店路段路線示意圖

另因前期規劃單位已與水利單位協調堤防內僅設置2處橋墩之限制，故相較於工址下游捷運環狀線橋梁採7處橋墩配置，不論是規模、跨距、量體、工程難度等，均屬國內軌道橋梁首見，因此如何能兼顧河川水理、橋梁及軌道安全、景觀、營運、施工性及維護成本等條件，為設計及施工規劃時需面臨之挑戰。

參、橋梁型式與造型方案構想

一、橋梁型式構想

橋址位於跨新店溪河道內，堤防總寬約310公尺，其中新店端為寬幅約240公尺之高灘地，而安坑端為寬幅約70公尺之深槽區(如圖3)，另依前期基本設計路線規劃，已與經濟部水利署協議安坑輕軌跨越新店溪之跨河構造物僅能設置2處橋墩，基於上述限制，橋梁型式之選擇需考慮以下重點：

- (一) 跨新店溪路段斜交長度約500公尺，堤防內限制2處落墩跨距及高度皆須符合200年洪水位之水利需求。
- (二) 軌道橋橋面寬幅窄，應考量高寬比過大所產生之不穩定情況。
- (三) 橋柱需避開偏向安坑端寬約70公尺深槽區，並採圓形橋墩，以減少阻水面積。
- (四) 兩側環河快速道路及K9站下方計畫道路淨高須維持5.1公尺。
- (五) 軌道變位折角限制嚴格，需妥適加強橋梁勁度。

綜合前述考量，針對大跨距軌道橋梁，除應具備足夠承載強度，確保橋梁結構安全外，亦需控制其撓度變位，確保列車運轉與乘客舒適性要求，故優先採用鋼桁架以增加水平及垂直方向勁度；另考慮加強整體穩定，故採用複合式橋型。依此原則，設計初期研擬2種橋型方案，包括鋼拱桁架複合橋(如圖4)以及斜張桁架複合橋(如圖5)。經後續評估後，因鋼拱橋河中

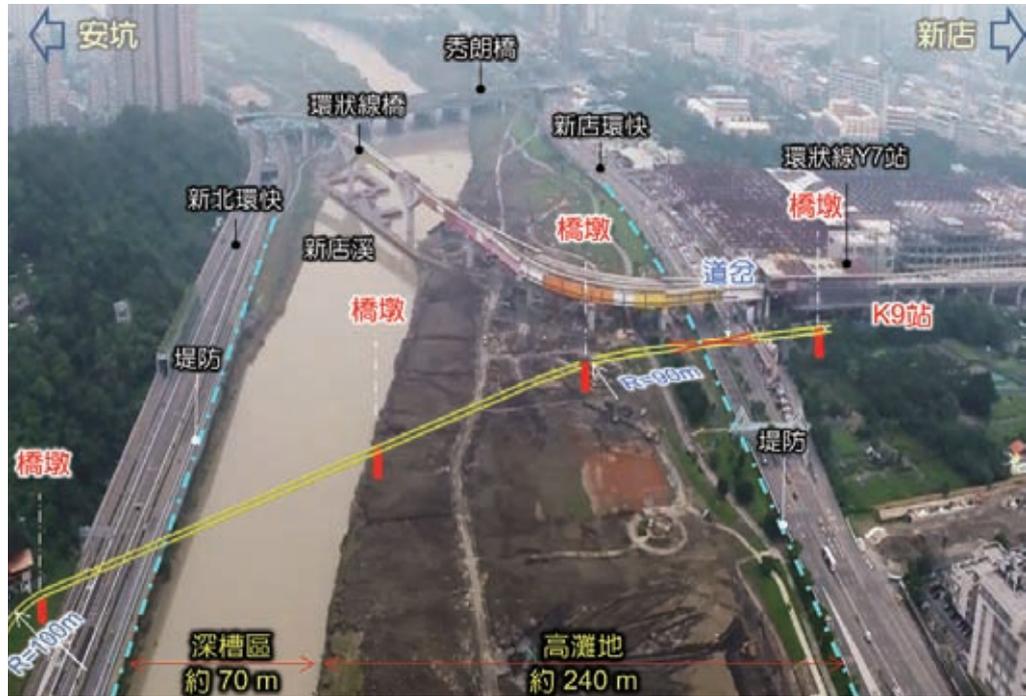


圖3 跨新店溪路段示意圖

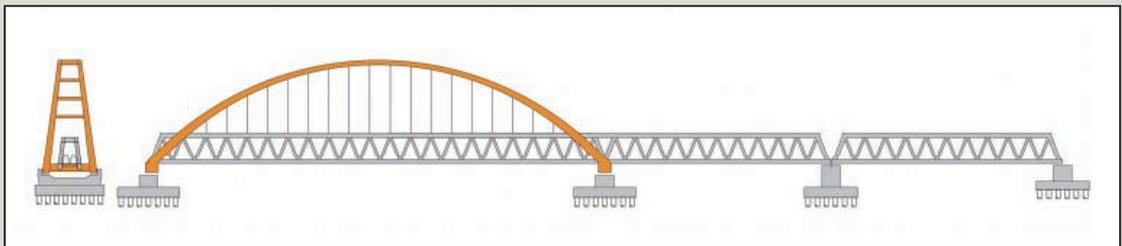


圖4 鋼拱桁架複合橋

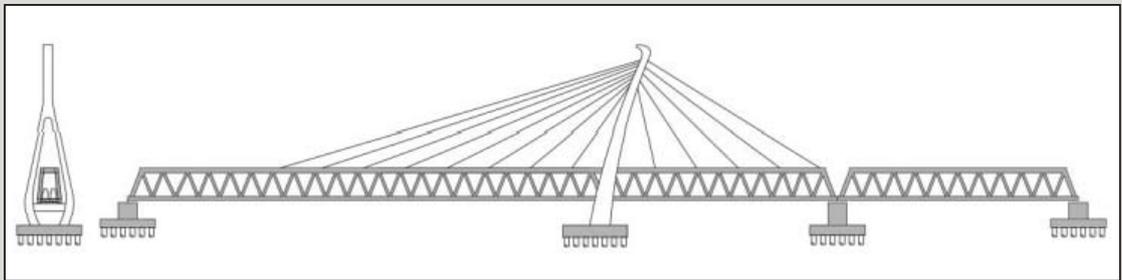


圖5 斜張桁架複合橋

作業多，臨時支撐架高且多，施工風險高；斜張橋橋塔可採自動系統化施作，工期及品質容易掌握，故最後決定採用斜張橋橋型。本橋型不僅為國內首見，在國外亦少有案例，主要結構特色包括：

- (一) 採非對稱斜張橋設計。
- (二) 複合式鋼斜張橋塔搭配鋼桁架橋組成。
- (三) 主跨及邊跨之斜張鋼纜採雙索面扇形設置。

二、造型方案構想

橋體型態以鳥展翅沐浴為造型發想，鳥只在令牠“安心”的地方洗澡，並以其微微展開翅膀享受沐浴的樣子，藉喻著把新店溪兩岸當成安全安心的家，因此主橋結構採斜張型式(如圖6)，藉由主跨及邊跨之雙索面扇形設置，轉化為展翅之意象，塔身結合吊索力學之美，化身為飛鳥，取名「安心橋」，象徵每天都能平安順心，

也指往來“安”坑“新”店“安心”的意思。

夜間加上燈光照明效果，正面以色光將橋塔打亮，在橋體外的暖色點燈光，使橋體在黑夜中呈現弧形光影，纜繩則以白色光從底部往上發射，光源由強漸弱，如同一隻水鳥在水面洗澡，河水飛濺，波光淋漓，照明計畫透視模擬如圖7。



圖7 跨新店溪照明計畫透視模擬圖

肆、橋梁設計考量及施工規劃

一、橋梁配置與設計

(一) 橋梁配置概要

本處路線線型在跨越河道後即大轉彎進入K9車站，因此特別將跨越新店溪橋之深槽區及高灘地均納入同一橋梁單元，因若於轉折處如圖8 P9-17處設置橋梁伸縮縫，兩端不同橋梁單元間之相對移動量恐造成鋼軌錯動及影響列車運轉安全。

在綜合考量防洪水利要求、路線線形、軌道需求及結構型式後，新店溪橋在轉彎段設置一構架式橋墩，主橋橋塔則為避開靠近安坑端之新店溪深槽區，採不對稱配置，主跨跨徑達225公尺，斜張橋側跨為150公尺，轉彎段後之副跨則為127公尺。

新店溪橋為一座採用支承體系之斜張橋，主跨及側跨分別配置有6對鋼纜，橋塔帽梁以上高度110公尺，橋塔軸身沿里程增加方向傾斜10度，主梁部分則配合結構需求及K9車站整體景觀和諧，採用桁高10公尺之鋼桁架系統。本橋之平面、立面與斷面如圖8、圖9及圖10，橋塔立面及斷面如圖11所示。

在斷面配置方面，靠近安坑端之直線段軌道中心距為安坑輕軌之標準4公尺配置，而靠近新店端，由於接近採用島式月台之K9車站，因此軌道中心距增加為8.75公尺，且於127公尺長之副跨直線段設有一套橫渡線菱形道岔供進站使用。新店溪橋採用勁度較大之桁架型式以符合軌道之變形限制需求，為配合軌道中心距之變化及曲線線形，桁架主梁主要以直線型式配置，利用兩種斷面配置進行設計，標準直線段及進站前直線段之桁架中心距分別為

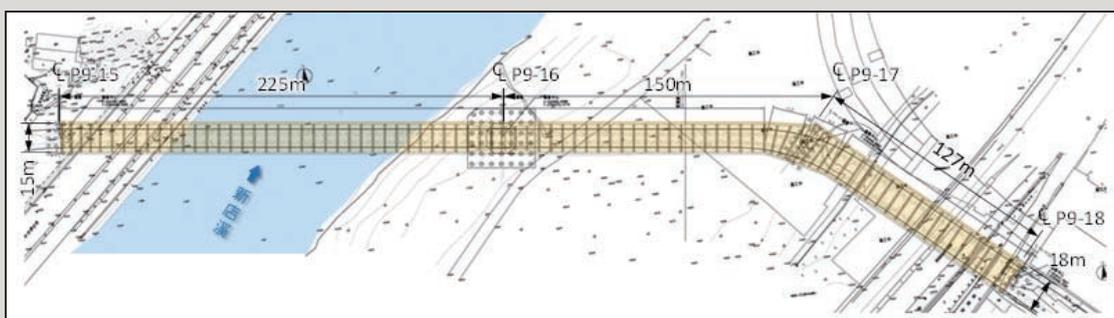


圖8 新店溪橋平面圖

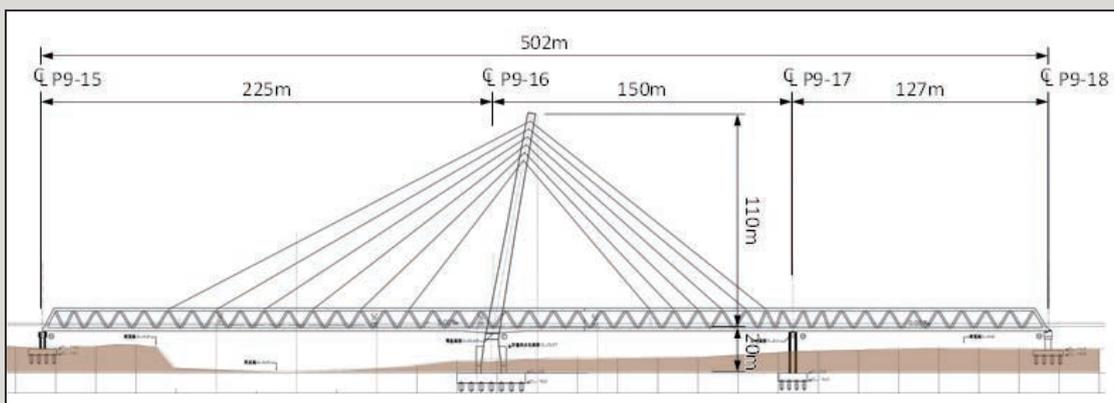


圖9 新店溪橋立面圖

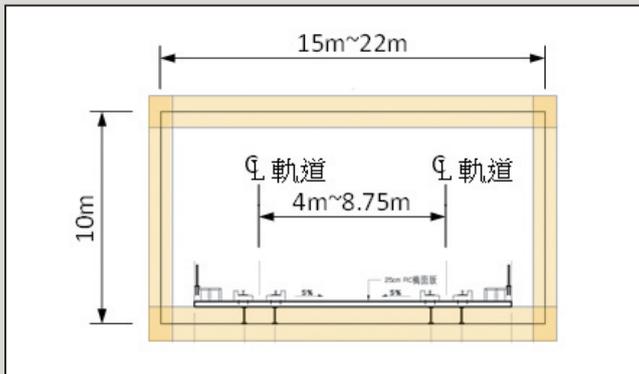


圖10 新店溪橋斷面圖

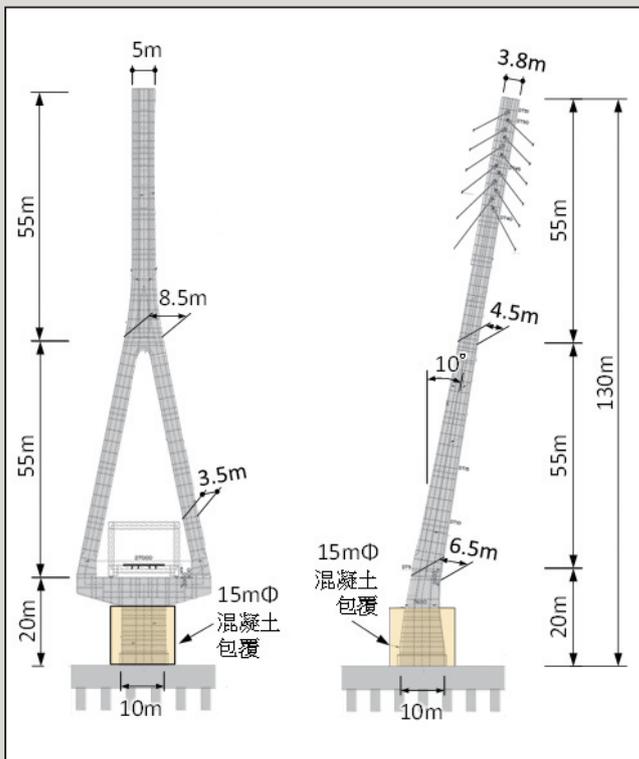


圖11 橋塔立面斷面圖

15公尺及18公尺，並利用轉彎段配合軌道中心距變化進行橋面及桁架中心距漸變，各橋墩處之斷面如圖12所示。

在下部結構方面，由於路線線形與新店溪斜交，P9-16橋塔處採用A型橋塔搭配帽梁之單柱式橋墩，帽梁以下更以混凝土包覆成圓形，提升耐洪能力外亦可作為河中橋柱之碰撞防護措施。轉彎處之P9-17橋墩，則設置於鄰近環狀線構架式橋墩沿線上，並以順水流方向配置圓

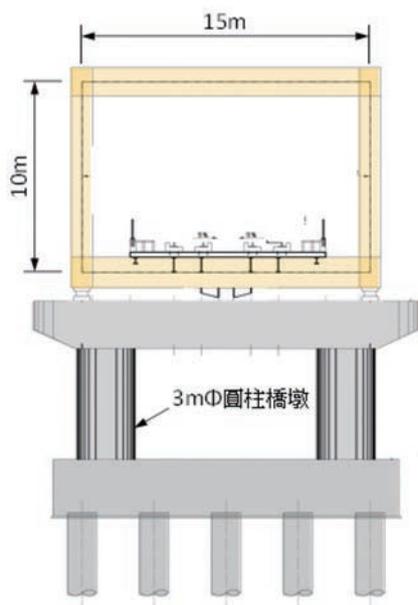
形橋墩，以降低阻水面積。堤外之橋墩則垂直於路線配置，靠近安坑端之P9-15橋墩採雙柱構架式混凝土橋墩；而靠近K9車站之P9-18橋墩，考量橋下計畫道路及車站位置，則採用單柱式混凝土橋墩搭配預力懸臂帽梁。

(二) 結構系統

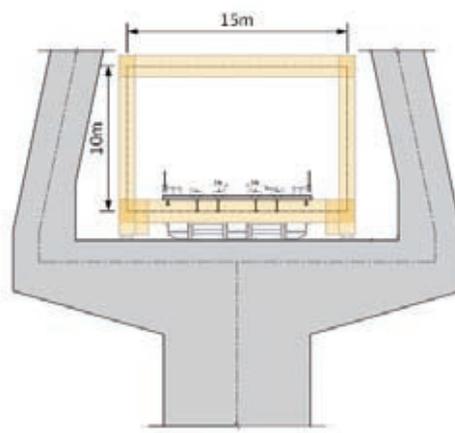
斜張橋的結構系統一般可分為懸浮體系、支承體系、剛架體系以及塔梁固接體系，各結構體系之採用，除須配合當地條件及需求外，工程師的設計理念也是重要因素。新店溪橋為採用支承體系之斜張橋系統，主梁於橋塔處採支承方式，水平剪力可經由支承傳遞至橋柱。

考量防洪水利要求、堤防位置、路線線形、軌道需求等限制，新店溪橋採用了不對稱的跨徑配置。為減少上部結構承受載重作用下引致的不平衡力，採用傾斜式的橋塔配置來減少此不平衡效應，而高灘地段副跨的引入亦增加了轉彎段上部結構的自重，在側跨不壓重的情況下即可達到常時支承無拉拔力的要求，並經由吊索力量的調整，降低橋塔頂部位移及底部彎矩，使橋塔受力以軸力為主，並提供主梁必要的垂直向支撐，使受力更為均衡，以達到經濟的結構設計。

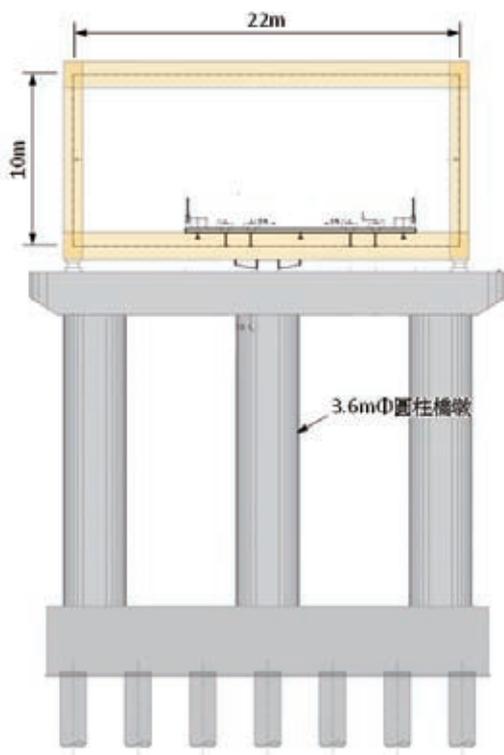
本橋結構系統與一般傳統地錨式對稱型斜張橋截然不同，結構支承系統如圖13所示，除P9-16橋塔底部為固定支承外，其餘均為沿行車方向縱向活動支承，此外，考量軌道之連續性，橋梁伸縮縫處有嚴格之不連續變位限制，因此本橋端部之支承移動方向均平行於軌道線形，並於四處橋墩設有橫向制動裝置，各橋墩可分散橫向地震力，而縱向地震力則由P9-16及P9-17、P9-18之斜交部分分擔。由於本橋採用



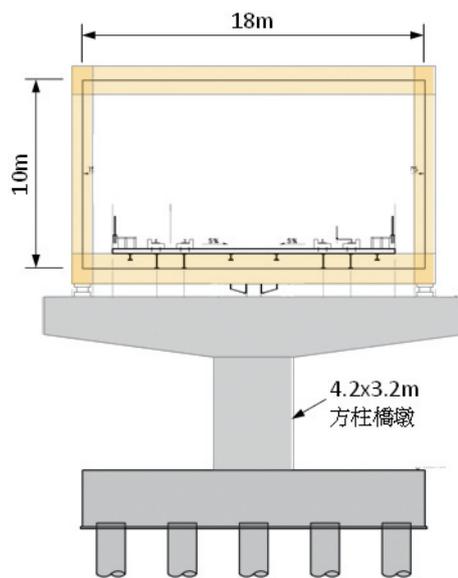
P9-15 橋墩處斷面



P9-16 橋塔處斷面



P9-17 橋墩處斷面



P9-18 橋墩處斷面

圖12 橋墩處斷面圖

支承體系，水平剪力將經由支承傳遞，因此P9-16橋墩處之支承會有相當大之縱向水平力，故將此處之固定支承改以三處不同方向之支承取代，使縱向、橫向與垂直向支承各自獨立。

(三) 結構分析與設計

新店溪橋為一座不對稱跨徑、配置傾斜橋塔之鋼桁架複合斜張橋，斜張橋屬高度靜不定的複雜結構，加上本橋採用鋼桁架主梁並配合路線線形設置轉彎段，其結構行為較為複雜，因此本橋分析時採用3D結構模式，以下將就分析設計檢核結果及各設計細節分別說明。

1. 耐震分析與設計

本橋於結構分析時依照規範規定進行了反應譜分析及動力歷時分析。依照規範規定，取動力分析所得之總基底剪力與靜力分析所得者之90%，兩者之較

大值作為耐震設計之基準。

在歷時分析中，本橋使用了3組橋址附近的地震歷時資料，測站編號分別為TAP033大豐國小、TAP034新店國小以及TAP053氣象儀器檢校中心，動力分析時，利用所蒐集得到的歷時資料，調整原始地震波使其成為與設計反應譜相諧和之歷時反應，擬合後之歷時紀錄如圖14所示。

本橋為軌道橋梁，在靜載重、一股道活載重及地震力作用下，主梁上下弦桿軸力包絡線如圖15及圖16所示，橋塔軸力包絡線如圖17所示，結果顯示所設計構材具有足夠之耐震能力。

2. 橋墩、基礎與橋塔錨碇構件

新店溪橋位於新北市新店區安坑地區，地層屬於第三紀中新世沖積層，本處地質主要可區分為兩大層，地表下

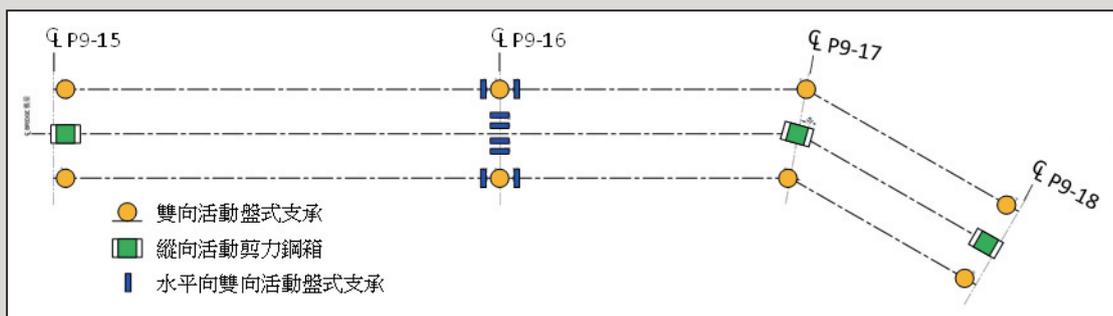


圖13 結構支承系統

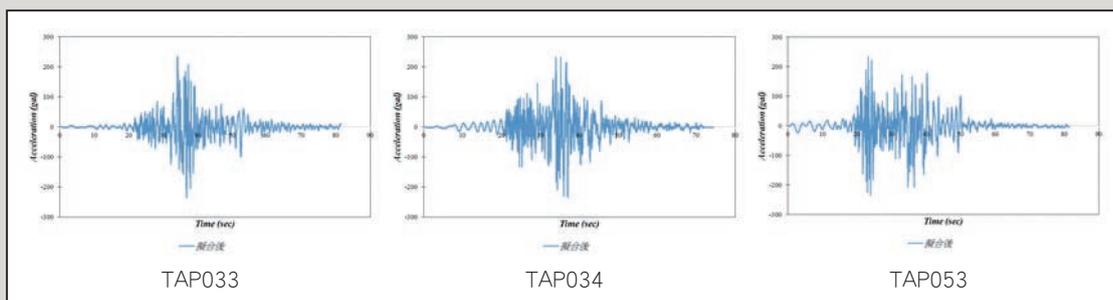


圖14 擬合後之歷時資料

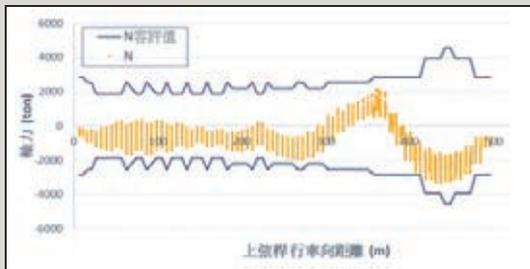


圖15 上弦桿軸力包絡線

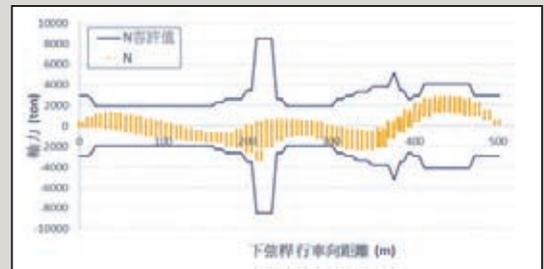


圖16 下弦桿軸力包絡線

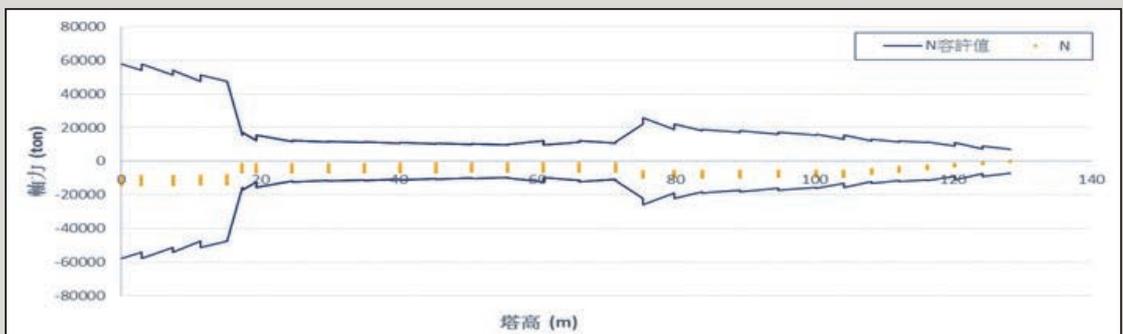


圖17 橋塔軸力包絡線

0~25公尺主要以砂土層為主偶夾砂礫石層，地表下25~40公尺則主要為卵礫石層。由地質鑽探資料可得知，橋址地層在安坑端於地表19公尺處、在新店端於地表30公尺處有承載層。

橋塔處P9-16橋墩位於高灘地，配合載重需求，基礎採用42支2公尺直徑、長35公尺之全套管基樁，基礎版深度5公尺並配合設置橋塔錨碇構件。橋塔底部為一10x10公尺之鋼箱形斷面，以82支M130錨碇螺栓配合錨碇構件與基礎版結合，並配合水理需求以混凝土包覆成15公尺直徑圓柱。

9-15、P9-17及P9-18橋墩採樁基礎型式，以1.5公尺直徑、長19~30公尺之全套管基樁施作。在下部結構方面，P9-15及P9-17橋墩分別採用雙柱及三柱之構架式混凝土橋墩，橋墩採用3公尺及3.6公尺直徑圓形斷面，河道中之P9-17橋墩排列及帽梁方向與鄰近環狀線橋墩

平行，可符合水理需求。P9-18橋墩位於堤防外，配合橋下計畫道路設置3.2x4.2公尺方型單柱橋墩，考量上部結構弦桿支承垂直力及其中心距離18公尺，在懸臂長度達8.9公尺之帽梁配置有16支19股之預力鋼腱。

3. 橋塔

新店溪橋橋塔為A型塔柱，採用鋼箱型結構，並沿里程增加方向傾斜10度，整體橋塔高度達130公尺，帽梁以上高度為110m，結構配置如圖11所示。鋼帽梁以下為寬度10公尺之單柱鋼橋墩，深度由10公尺漸變至7.6公尺，上方鋼帽梁深度由6.5公尺漸變至3.5公尺，寬度由7.6公尺再漸變至6.5公尺。由於主梁採用桁架斷面，配合桁架高度淨高需求，A型橋塔於高度55公尺位置合為一體，單一塔柱寬度3.5公尺，合併後再由8.5公尺漸變至5公尺，深度則從帽梁頂部之6.5公尺漸變至3.8公尺。

塔柱斷面角隅部分採切角處理以防止受風引致之渦激振動，於斷面四個角隅處作60x60公分之切角，其斷面型式如圖18所示，可提升橋塔之耐風性，並藉由切角來塑造橋塔造型變化，強化視覺美感。

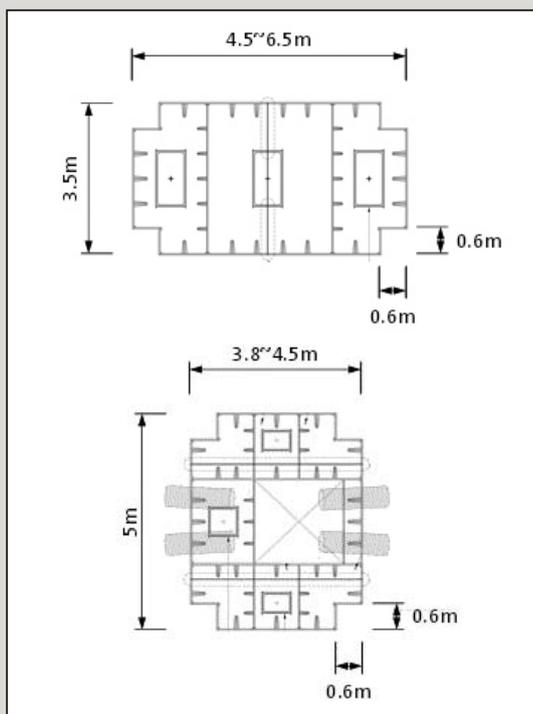


圖18 塔柱斷面型式及尺寸示意圖

4. 鋼索

鋼索採扇形配置，雙面共配置24根鋼索，主跨及側跨分別採用6對鋼索，股數55~73股不等，錨碇於主梁上弦桿節點處。每股鋼索採低鬆弛7線預力鋼絞索，具有高抗疲勞強度，易施工及可提供個別鋼絞線抽換作業之平行鋼絞線系統。

新店溪橋為斜張橋，上部結構的力量主要利用鋼索傳遞給橋塔，再經由橋塔經帽梁傳遞至錨碇構件及基礎，因此塔柱將承擔相當高比例的橋梁載重，其軸力通常非常大，為使塔柱具有較佳的結構行為，設計時進行鋼索預力施加的調整，使塔柱在斜張橋完成後儘量以不

產生面外彎矩為原則，以減少P- Δ 效應引致二次彎矩之影響，此外經由預力的調整，也可改善靜載重造成之不平衡效應，以及降低主梁上下弦桿之軸壓及軸拉力差異。

5. 桁架主梁

斜張橋主梁為桁高10公尺之華倫式桁架，桁架配置如圖19所示，上下弦桿斷面分別為1.1x1.5公尺與1.1x1.6公尺，斜桿為I形斷面，除支承處及轉彎段採剛接型式外，其餘與弦桿接合處採用鉸接型式。下弦桿橫向以箱形斷面橫梁連接，內部澆置15公分制震混凝土以降低鋼梁造成之軌道振動噪音。橫梁上半部設有縱梁支撐上方橋面版及軌道設施，下半部則設置I形斷面水平斜撐增加橫向

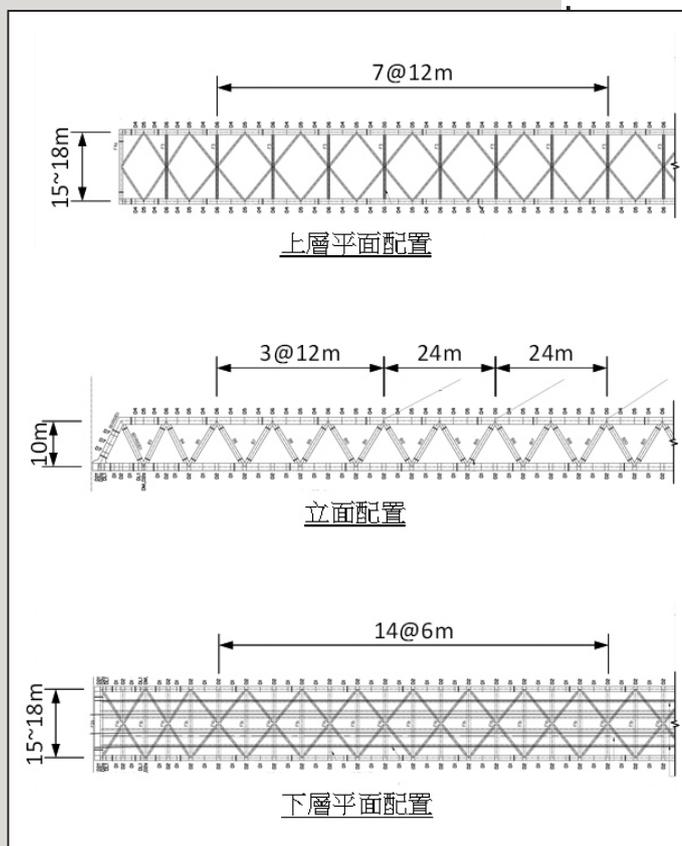


圖19 標準段桁架配置圖

勁度；上弦桿橫向則以I形斷面橫梁及水平斜撐相連。

主梁斷面以具優越耐風穩定性為主要設計考量，並考量軌道之垂直變位要求，採用勁度較大之桁架型式，桁架中央透空並採用開放式之鋼製欄杆，風阻小，可降低風力對主梁結構的影響，提升其耐風性。

二、軌道配置

軌道橋梁設計另應考慮軌道與橋梁結構間之互制作用影響，以確保於地震、剎車力及加速力、溫度效應等作用下，軌道之應力及位移可符合需求限制，俾確保列車營運安全。與軌道結構互制有關之檢核可依據交通部鐵路橋梁耐震設計規範、台灣高鐵土建設計規範、國內捷運系統等規範或國際公認規範進行(如UIC、EN)。

本路段之軌道配置，除需考量一般橋梁與

軌道之互制行為外，另因該路段橋梁跨徑大，於縱向力作用下將產生較大之縱向變位，且臨近末端K9車站及剪型道岔，故尚需特別考量下列事項：

(一) 鋼軌伸縮接頭設置檢討：

本案橋上鋪設無道碴軌道及長銲鋼軌，故隨著溫度變化，鋼軌與橋梁間會有軌道縱向力作用，當橋梁跨度大時易造成縱向阻力累積，使鋼軌產生異常軸力超過容許限度，故須妥適規劃橋梁跨距及支承配置，並適當考量橋軌互制及橋上長軌影響。根據一般規定，當橋梁伸縮長度超過150公尺時，需詳細評估設置鋼軌伸縮接頭之需求，應檢討高溫下之鋼軌軸力，以及低溫下之鋼軌裂斷開口量，必要時設置鋼軌伸縮接頭。

經檢討橋跨配置，於上下行線適當位置各設置一套鋼軌伸縮接頭(如圖20)，以期降低鋼軌軸力，說明如后：

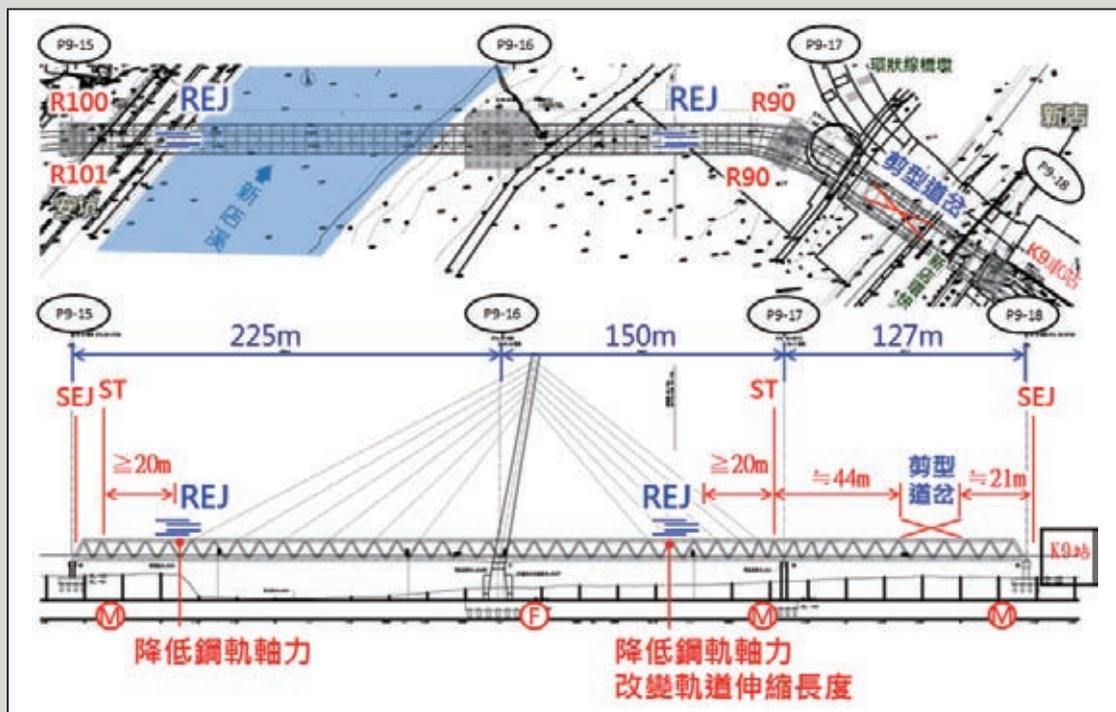


圖20 跨新店溪橋鋼軌伸縮接頭配置示意圖

1. 第一跨橋(P9-15-P9-16)前端：

橋墩P9-15前方橋梁單元為三跨連續鋼橋，因該路段位於曲線彎道，故選擇於跨新店溪橋第一跨橋內於距曲線ST點至少20公尺以上之直線段佈設。

2. 第二跨橋(P9-16-P9-17)後端：

由於第三跨橋剪型道岔前方直線段長度不足佈設需求，須再避開橫渡線前方R90m曲線段，故於第二跨橋中距曲線TS點至少20m以上之直線段佈設。

(二) 橫渡線道岔位置檢討：

道岔位於高架橋段，應以連續梁跨越不設置結構伸縮縫為原則，使整組道岔位於完整平面。另考量橋梁伸縮縫之伸縮可能造成道岔之位移或額外之應力故橋梁伸縮縫須與整組道岔端點維持如表1之最小距離。

表1 道岔端點距橋梁伸縮縫最小距離

橋梁伸縮長度L	最小距離
$L \leq 60\text{m}$	$\geq 7\text{m}$
$60\text{m} < L \leq 90\text{m}$	$\geq 17\text{m}$
$90\text{m} < L$	$\geq 27\text{m}$

本路段橋梁邊跨設置有橫渡線剪型道岔，該邊跨橋梁伸縮方式為縱向活動，依此配置，道岔端點距離橋梁伸縮縫約21公尺。若橋梁邊跨上方不考量設置鋼軌伸縮接頭，因橋梁伸縮長度約為277公尺，無法滿足道岔端點距車站端橋梁伸縮縫最小27公尺距離之規定。後經本案橋梁橋軌互制分析結果，有設置鋼軌伸接頭之必要，再依設置鋼軌伸縮接頭後計算橋梁伸縮長度(實際軌道伸縮區間)可小於90公尺，經查表1，可滿足道岔端點距車站端橋梁伸縮縫不小於17公尺之規定。

三、風洞試驗

本案橋型特殊且塔高超過100公尺，橋梁結構系統與空氣動力之互制效應，甚難於設計分析時完全掌握，須藉由風洞試驗所得空氣動力參數作為設計檢核之用，並利用風洞試驗瞭解在風動力作用下之橋梁結構振動反應，評估橋梁在設計風速下之顫振穩定性、抖振及渦致振動現象。

新店溪橋之風洞試驗主要分成斷面模型試驗及全橋模型試驗兩大部分，用以檢核橋梁受風之安全性與舒適性，由淡江大學風工程研究中心負責試體製作及實驗之執行，概述如下：

(一) 斷面模型風洞試驗

斷面模型風洞試驗於斷面風洞進行，選用跨河段標準斷面，縮尺為1/60，模型以鋁骨材作為結構主構件之剛架系統，再使用珍珠板作為內部軌道面版之製作，如圖21。



圖21 斷面模型風洞試驗

斷面試驗主要實驗內容如表2所示，根據試驗結果的各項動力參數，以數值方法進行顫振臨界風速的數值推估結果，橋梁發生顫振之風速已大於顫振檢核風速，初判橋梁不會有顫振之情形發生。

表2 斷面模型風洞試驗內容

項目	流場特性	風攻角	內容
風力係數	平滑流場	+10°至-10°之間 間距為1°	利用拉壓力應變計量測拖曳向、垂直向與扭轉向三方向之風力係數。
顫振導數	平滑流場	+3°、0°、-3°	利用雷射測距儀量測斷面模型受風作用下之垂直向與扭轉向位移反應，藉由位移反應識別出主梁斷面之扭轉向與垂直向顫振導數。

(二) 全橋模型風洞試驗

全橋模型的設計製作縮尺係根據橋體之基本振態頻率、質量、慣性矩縮尺與風洞性能搭配之可行性，選定縮尺為1/170。模型在製作上係以一連續之核心鐵架模擬橋體基本振態，並將正確的質量分佈在橋面上，最後再使用3D列印鋼架形狀，做出橋塔之正確造型，如圖22。完成之全橋模型首先將進行基本振態之頻率、振態等參數之識別與率定，以確認模型性能符合原有之實驗設計規劃。



圖22 全橋模型風洞試驗

全橋模型風洞試驗內容如表3所示，在平滑流場主要檢核各風攻角下之顫振及渦致振動的評估檢核。全橋模型於紊流邊界場之試驗如圖23所示，其主要觀測橋面板與橋塔振動，檢核抖振反應是否有太大的位移量，並檢核是否會發生結構體的渦致共振現象。



圖23 紊流邊界層流場風場試驗圖

平滑流場風洞試驗結果顯示主跨及側跨橋面版處之垂直、水平與扭轉向擾動反應皆隨風速增加而穩定增加，其反應均無急速放大之現象出現，顯示新店溪橋在設計風速內無顫振發生之虞，在低風速下亦無極速竄升，無渦致振動現象出現，在橋

表3 全橋模型風洞試驗內容

項目	流場特性	風向角	風攻角	實驗風速
顫振臨界風速	平滑流場	0°	+3°、0°、-3°	500年回歸期之設計風速
渦致振動	平滑流場	0°	0°	根據結構特性而定
	紊流邊界場			
抖振反應	紊流邊界場	北側及南側來風， +30°至-30°之間， 間隔15°	0°	100年回歸期設計風速

塔方面，擾動反應亦隨風速增加而穩定遞增。另於現實狀況較接近之邊界層流場試驗中，考慮實際大氣條件下之紊流影響，所有測點均無明顯竄升，顯示無渦致振動現象出現。

四、施工規劃

橋梁工址位於新店溪河道中，需妥適規劃及因應施工中汛期之防制，並充分利用河堤內高灘地搭設施工便橋與施工構台方式，進行橋梁施工。

由於橋塔位置已避開新店溪行水區塊設置在高灘地上，故規劃使用塔式吊車以自動化、模組化及周期化之方式，藉以達到精減工期掌握品質之目標，橋塔鋼構考量吊重共拆分為17個單元，其中第1單元至第3單元以履帶式吊車於地面施工構台吊裝，第4單元以後則於地面組裝完成後以塔式吊車循環吊裝至定位，如圖24所示。

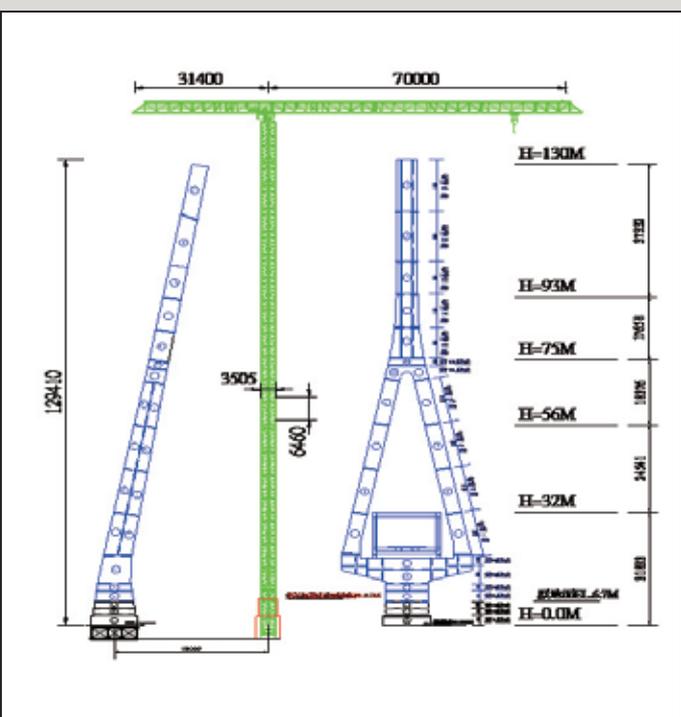


圖24 橋塔塔式吊裝示意圖

因鋼桁架橫跨過主河道及高灘地，於橋塔兩側高灘地位置以就地支撐工法採輪式吊車安裝，而跨越新店溪主河道路段則為避免於行水區設置臨時支撐，影響河道通水面積，故使用懸臂工作車工法亦採自動循環方式施工，有助於縮短施工時程，施工步驟如圖25~圖28所示。



圖25 步驟1-橋塔側以輪式吊車安裝



圖26 步驟2-安裝懸臂工作車

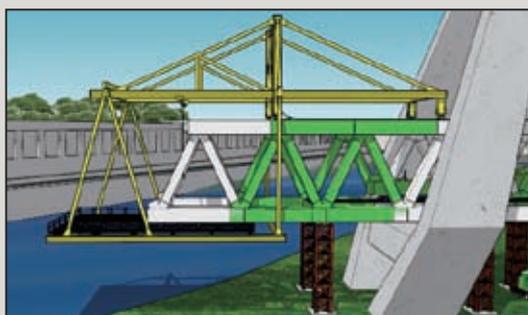


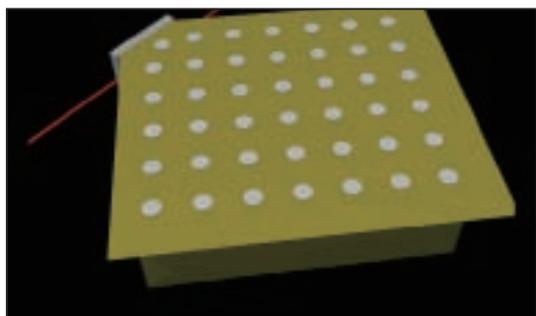
圖27 步驟3-單元完成後推進



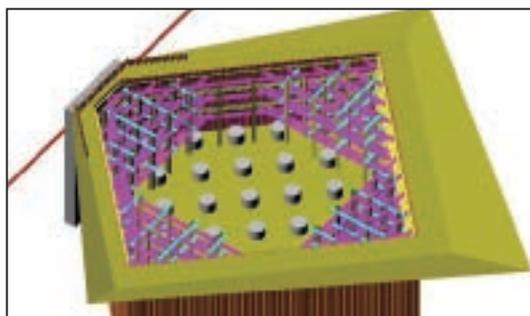
圖28 步驟4-配合推進同步拉設鋼索

另本案於設計施工階段同步導入BIM技術，以優化協同作業藉以達到輔助設計及施工之功

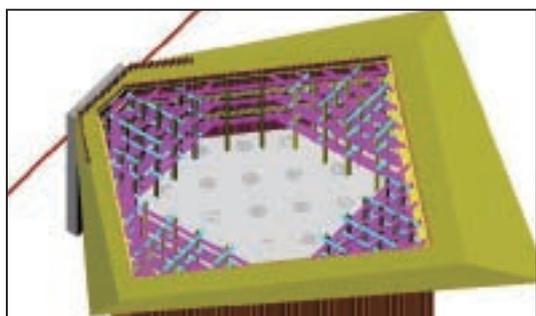
效，以P9-16橋柱施工模擬為例(如圖29)，可有效提升施工階段時的效率與品質。



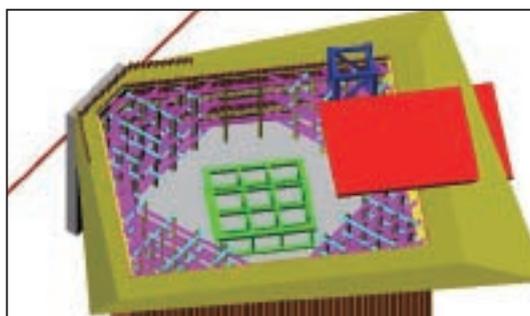
1.基樁施作



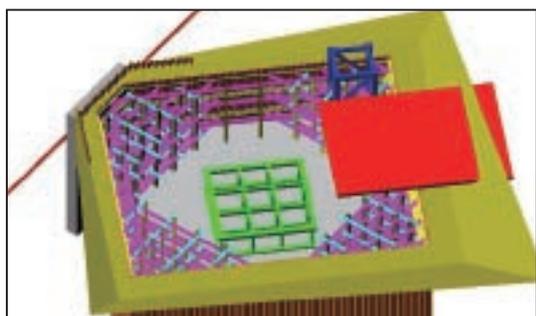
2.開挖、擋土支撐施作



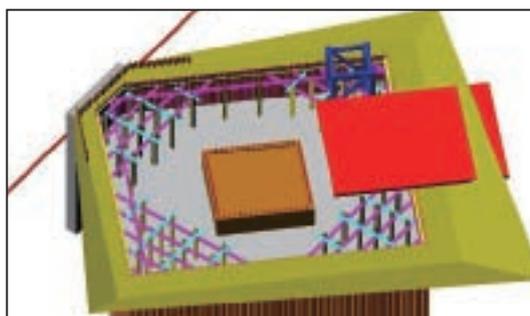
3.樁頭處理及PC澆置



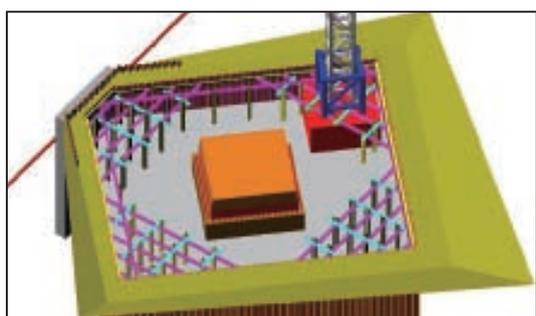
4.錨碇座安裝



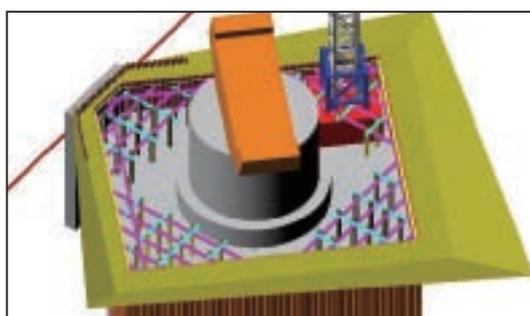
5.混凝土澆置



6.基座底板安裝



7.鋼柱構件節塊吊裝



8.帽梁鋼構件吊裝

圖29 橋塔P9-16 施工模擬

肆、結語

配合新北市三環三線政策，建置安坑輕軌後，將可連結轉乘捷運環線，有利推動安坑發展，提供運輸新走廊，打造大台北一小時生活圈。

跨新店溪高架橋橋型不僅為國內首見，在國外亦少有案例，本案因統包特性，於設計階段即與施工團隊密切商討，並配合施工需求回饋於設計內容，且利用BIM技術進行3D施工模擬，可有效降低後續施工中所產生之困難，並掌握非防汛期施工項目之工進。

期待本座跨越新店溪，連結“安”坑-“新”店的“安心橋”能順利施作完成，以型塑新地標，實現幸福安坑美麗願景。

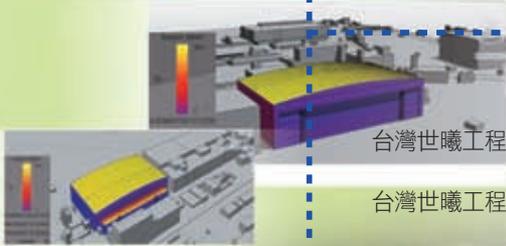
參考文獻

1. 「安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程-企劃書」，新亞建設&台灣世曦，105年02月。
2. 新北市都市設計審議報告書/安坑輕軌運輸系統計畫/K1-K9輕軌候車站、高架橋造型、機廠，十匯建築師事務所，106年06月。
3. 安坑輕軌橋風洞試驗評估報告(委託單位：新亞建設)，106年08月。
4. 安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程-大跨徑橋梁專案檢討報告，台灣世曦，106年06月。
5. 謝慶和、歐文爵、何泰源、陳嘉芸、劉文瑞「實現幸福安坑美麗願景—安坑輕軌建設設計理念」，中華技術113期，106年。



建築設計4.0 之新思維

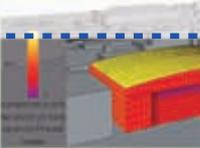
關鍵詞(Key Words)：建築設計(Architecture design 4.0)、自動化(new thought)



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／計畫經理／林明宗 (LIN,MING-TSUNG) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／工程師／劉家瑋 (LIU,CHIA-WEI) ❸



摘要

本文主要介紹建築設計近來發展轉變，特別是在資訊網際網路盛行及有別於前三次工業革命背景下，影響建築設計轉變與實務操作上可行做法，暫且稱為建築設計4.0，並嘗試提出幾個不同向度來闡述其主要思維概念，包括：大數據資料庫、設計自動化、智慧節能環境、跨領域溝通及建築生命週期等不同面向，說明建築設計轉變之新思維與本公司目前建築設計自動化發展情形。



The new thought of Architecture design 4.0

Abstract

This article mainly introduces the recent development and transfer of architectural design, Especially in the context of the prevalence of information networks and different contexts from the previous three industrial revolutions, it is feasible to influence architectural design changes and practical operations. Temporarily referred to as Architectural Design 4.0, and try to put forward several different directions to elaborate its main thinking concept. Including: big data database, design automation, smart energy-saving environment, cross-domain communication and the cycle of Architecture life and other different aspects, to illustrate the new thinking of architectural design transformation and the company's current development of architectural design automation.

3

專題報導

壹、前言

人類文明演化已經過三次工業革命目前正邁入第四次工業革命：第一次工業革命是利用水力及蒸汽的力量作為動力源突破了以往人力與獸力的限制，第二次工業革命則使用電力為大量生產提供動力與支援，也讓機器生產機器的目標實現，第三次工業革命則是使用電子裝置及資訊技術(IT)來降低人為影響以增進工業製造的精準化、自動化。而來到21世紀工業4.0的核心是智慧型整合感控系統，而且是高度自動化，並可以主動排除生產障礙(詳圖1)。

建築設計在過去因科技技術的限制往往需由專業人員將現實3D建物轉為平面圖面並藉由受過專業訓練之人員進行圖面判讀、溝通、施

作往往因此耗費大量的時間、人力、成本，甚至是限制了創意的實現；上一世紀末Frank O. Gehry已經藉由畢爾包古根漢美術館(Guggenheim Museum Bilbao/Frank Gehry) (詳圖2)為我們展示了電腦對於設計的幫助，以往難以由2D平面圖表達的特殊造型藉由電腦3D模型來作為溝通、預演的新方法，並且將過去人工繪圖作業模式改變為電腦作業標準化，以上可視作為設計3.0的核心。

進入21世紀後由於網路的發展與電腦、各式攜帶式裝置的革新對於各行各業的影響已造成既廣且深的影響，電腦的效能已能讓一棟建築的生命週期完整的在數位空間內建置完成，規劃時設計人員可藉由實際基地週遭地理資訊設計出符合當地氣候的智慧綠建築，並藉由大

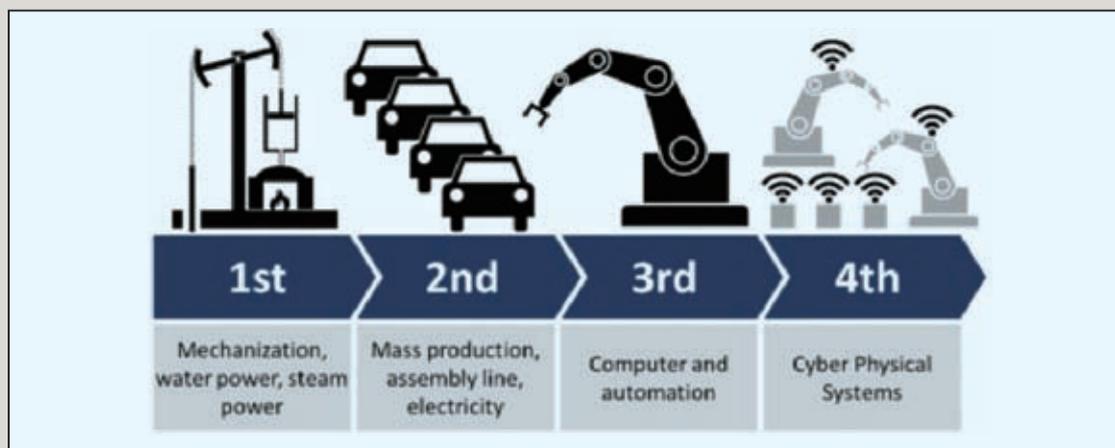


圖1 不同工業革命階段發展概念

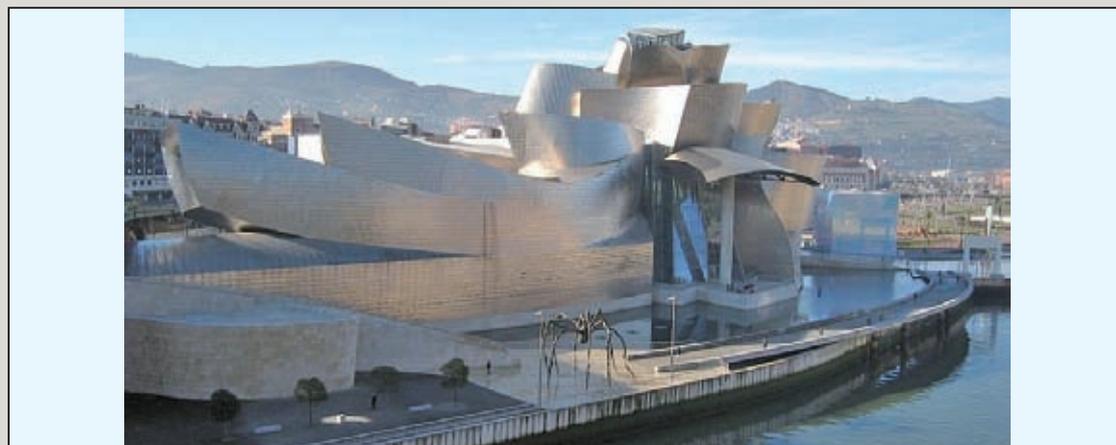


圖2 畢爾包古根漢美術館

數據資料庫去推估使用者組成、所需空間組成、相關特殊要求空間……等，更因規劃及施工時因不同專業者可在同一BIM模型上得到所需最新資訊並且在相同平台內做有效率的溝通，而過去需耗費大量人力的重複性工作皆可藉由電腦程式自動化大幅提升效率，交付使用者後使用者更可藉由該BIM模型據以維護並回饋資料；換而言之，當一棟建築物的規劃、施作、使用、拆除在「設計4.0」的時代都可藉由網絡資訊空間達成，以達成節省營建成本、時間、人力、環境耗能等目的。

貳、大數據資料庫

日本著名管理學家大前研一針對科技4.0提出的主要經濟要素內其中一點為「網路新大陸」，表示網路世界形成了一個看不見的新大陸，無論是發生在網路世界的資訊革命(大數據Big Data)、金流革命(第三方支付、比特幣)、或是物流革命(線上購物線下取物)，只有稱霸這個看不見的經濟新大陸的企業，才會是未來的贏家。

BIM(Building Information Modeling)作業正是建築業目前的轉型的重點項目，而全名內的Information便是藉由各式各樣的大數據資料庫(詳圖3及表1)去取得所需的相關資訊在夾帶於數

表1 設計4.0大數據資料庫內容

項次	專業項目	執行內容
一	地理環境資訊及都市計畫資料庫	1.地形圖、地質圖、影像圖(含福衛二號影像)、電子地圖 2.地籍圖、都市計畫圖(含土地使用分區)
二	法規資料庫	1.營建法規 2.營建法規、解釋函
三	空間尺寸需求資料庫	1.建築空間尺寸需求(停車位、辦公室、宿舍…等) 2.機電設備空間尺寸需求(台電機房、電信機房、水箱、電梯、電扶梯…等)
四	特殊空間需求資料庫	機場航站、車站、醫院…等
五	新工法、新材料資料庫	依建築技術規則總則編第四條第四項規定之材料及設備
六	成本估算資料庫	1.PQRS工程預算自主檢查(含案例預算資料上傳) 2.工程概算專家系統 3.商品行情網
七	施工規範資料庫	1.工程會標準規範 2.CNS國家標準規範 2.已完成或結案計畫施工規範
八	施工詳圖資料庫	細部設計成果標準詳圖
九	BIM設計案例資料庫	1.已完成BIM設計案例 2.BIM竣工案例

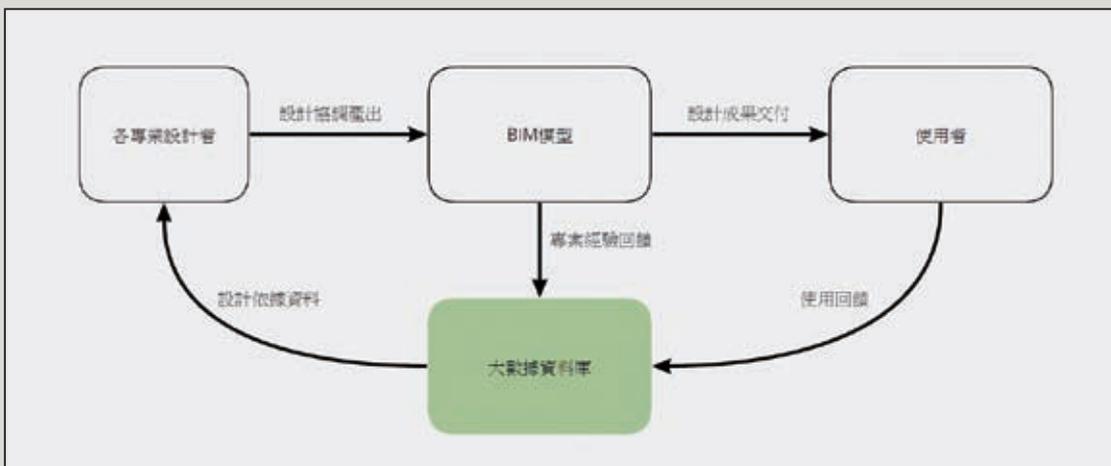


圖3 設計4.0大數據資料庫運作流程

位設計模型內以供設計者參考調整設計，也由資訊的夾帶來達成跨專業的協調整合，並一路傳遞到最終使用者手上，而使用者的體驗回饋則會再回到大數據資料庫內以供下次設計者的設計參考依據，所有的現實知識藉由電腦網路科技轉換為網路上的虛擬資訊並串聯提供網路內的使用者共通使用，設計也由過去個體作業模型變成一個網絡群體的聯合作業模式，無論專業度、精準度、效率都是過去單獨作業所無法達成的新境界。

參、設計自動化

很多在90年代時因科技限制而無法避免耗費人力的作業在「設計4.0」的時代因網路科技、行動技術、電腦效能的大幅提升、程式語言的普及性由於上述原因，無論是藉由程式語言所撰寫的外掛程式、或是新軟體本身的優化皆可大幅度的提升工作效率節省人力及縮短時程，以下列舉本公司目前依據REVIT作業環境所開發的設計自動化研發計畫加以說明。

一、法規檢討輔助程式

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，在建照審查前透過輔助程式自動檢核(詳圖4)，避免不必要之錯誤，縮短建照審查時間。

二、規格元件

於設計初期即運用參數化之及採用可檢討之元件(詳圖5)，以確保設計成果確實可行並避免衝突。

三、圖說自動化

於設計完成後產出圖面、數量及預算等相關成果時，將大量機械化及重複工作交由電腦執行，可節省大量時間及提高正確率(詳圖6-7)。

樓別	戶名	固定	非固定	樓地板面積	陽台深度伸超過2m部分(A)	挑臺寬度大於2m部分(B)	(A)+(B)	該樓層	容積樓地板面積	檢討結果
A樓	A8樓	0	0	0	0	0	0	0	24.91	免計容積樓地板面積: 24.91 得應: OK! 免計容積樓地板面積: OK!
A樓	A1	86.31	0	86.31	8.63	0	8.63	0	87.05	免計容積樓地板面積: 0.74 得應: OK! 免計容積樓地板面積: OK!
A樓	A2	77.6	0	77.6	7.76	0	7.76	0	78.71	免計容積樓地板面積: 1.11 得應: OK! 免計容積樓地板面積: OK!
A樓	A3	68.85	0	68.85	5.03	0	5.03	0	68.85	免計容積樓地板面積: OK! 得應: OK! 免計容積樓地板面積: OK!
A樓	A樓	0	0	53.29	0	3.33	3.33	24.11	40.18	免計容積樓地板面積: OK! 得應計入容積: 16.11 免計容積樓地板面積: OK!
B樓	B1	66.75	0	66.75	5.03	0	5.03	0	66.75	免計容積樓地板面積: OK! 得應: OK! 免計容積樓地板面積: OK!
B樓	B2	79.35	0	79.35	7.6	0	7.6	0	79.35	免計容積樓地板面積: OK! 得應: OK! 免計容積樓地板面積: OK!

圖4 法規檢討輔助程式運用

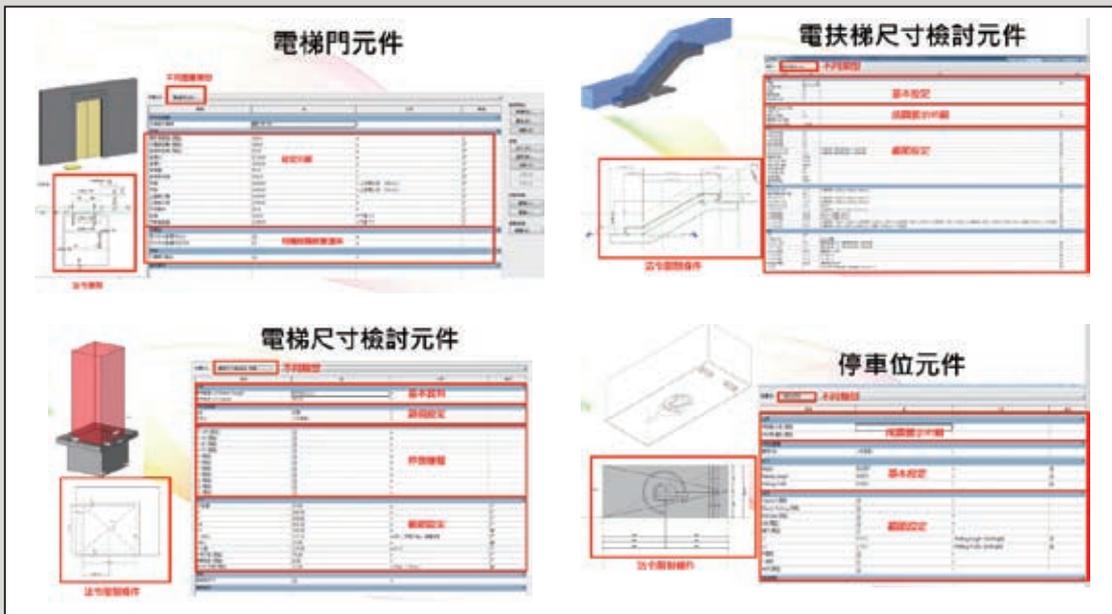
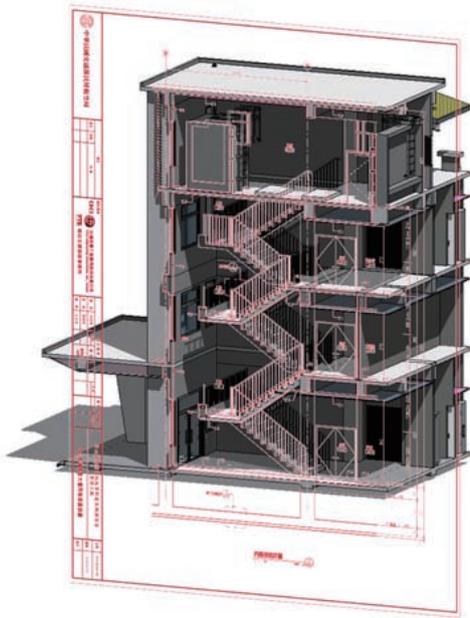


圖5 電梯電扶梯及停車位檢討元件

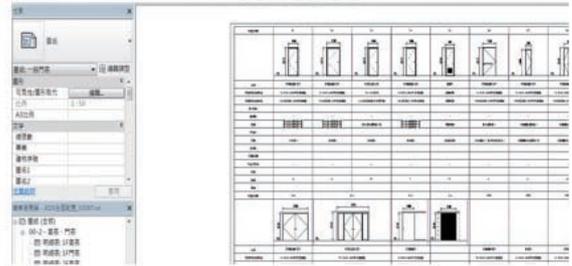


圖6 面積自動列式計算面積與停車格自動編號

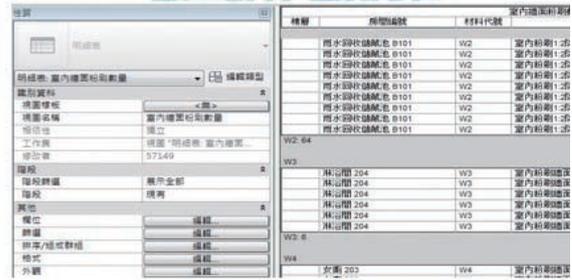
直接轉換2D圖紙



門窗材料



數量計算明細列表



房間粉刷表

材料編號	材料名稱
B1	木紋塑膠地板 + H=10cm
B2	磁磚地坪鋪設 + H=10cm
B3	1.3米光面光面米色(黃色) + H=10cm
F1	機房粉刷粉光 + 電氣配線管止漆地坪5mm厚
F2	1:1.3米光面粉刷粉光 + 水泥基面防水塗料 + 30x40cm磁磚鋪 + 磁磚
F3	1:1.3米光面粉刷粉光 + 10x10cm電氣配線管止漆(含止漆層)
F4	1:1.3米光面粉刷粉光 + 30x30cm花磚石地磚
F5	1:1.3米光面粉刷粉光 + 30x30cm花磚石地磚
F6	高壓地盤 + H=30cm
W1	RC/磚牆 + 1:3米光面粉刷粉光上刷乳膠漆一層(色底打)
W2	1:1.2米光面粉刷粉光
W3	1:1.3米光面粉刷粉光 + 水泥基面防水塗料200cm高 + 30x40cm磁

材料表

空間編號	空間名稱	地坪	牆壁	牆面	天花
B101	機房粉刷粉光	F2	W2	C2	
B104	地下室防水	F2	W2	C2	
1:1 房間粉刷表					
空間編號	空間名稱	地坪	牆壁	牆面	天花
101	機房	F1	W1	C1	
102	機房	F1	W1	C1	
103	機房	F1	W1	C1	
104	機房	F1	W1	C1	
105	機房	F1	W1	C1	
106	機房	F1	W1	C1	
107	機房	F1	W1	C1	
108	機房	F1	W1	C1	
109	機房	F1	W1	C1	
110	機房	F1	W1	C1	
1:1 房間粉刷表					
空間編號	空間名稱	地坪	牆壁	牆面	天花

圖面材料標示

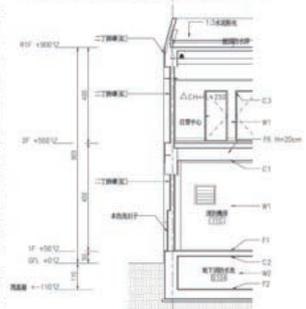


圖7 藉由Revit及輔助程式自動產出設計成果

肆、智慧節能環境

以符合建築環境品質規範的評估標準，搭配電腦模擬計算方式，以設計圖說搭建三維模型並核算如：CFD氣流模擬分析、外殼耗能、碳排放、採光、照明等，已成為目前建築規劃初期必備之基本作業(詳圖8)。但展示完之後，仍需進一步的回饋與提供設計調整，才能真正反應實質環境與優化設計。如運用IES VE軟體之日照可顯示建築表面在全年各個月份、一天當中太陽照射的面積、或者照射面積百分比；也可以顯示該面牆內表面的太陽照射面積或百分比

(詳圖9)，使設計者可進一步調整立面，使設計更符合節能要求與降低外殼耗能。

伍、跨領域溝通

「設計4.0」時代利用網路科技的發達、及BIM技術的優勢讓各專業領域的設計整合於同一BIM模型內，可讓不同地點、不同時間、不同使用者獲得相同的設計成果，並依據此成果作為討論決策之依據，且由於該模型是依據真實世界狀況所建置非過去只求外觀之模型，可以說

將建築實際狀況預先在電腦的虛擬空間內預先建置，藉由此共通模型可獲得準確度較高的協調成果，同時省去2D作圖時代圖紙夾帶資料不足溝通費時準確度不足的缺點。以下以本公司執行的案例說明：

一、模型內自帶資訊

所建置的模型內帶有各種資訊(詳圖10)，提供不同專業領域溝通使用。

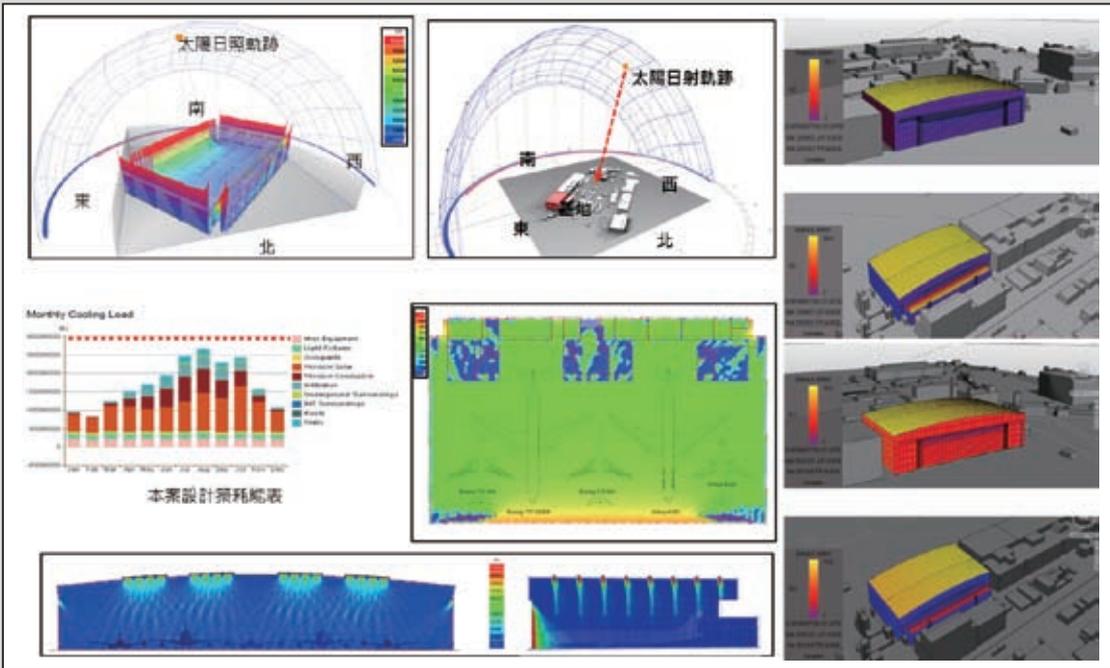


圖8 不同物理環境模擬及能耗分析展示(本公司案例)

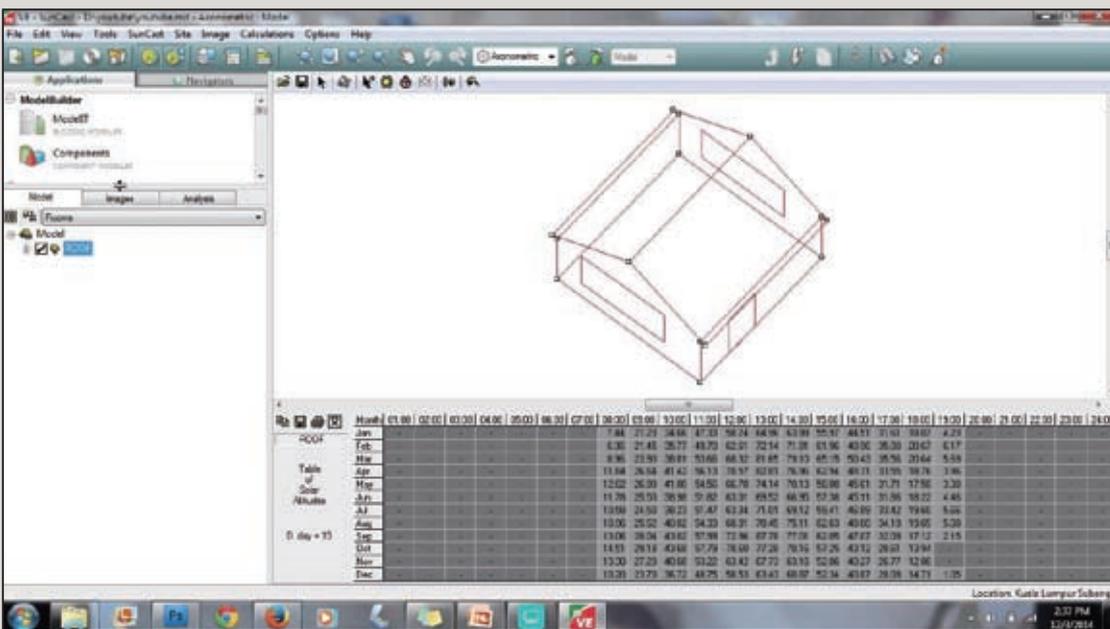


圖9 IES VE日照分析數據



圖10 元件附帶之屬性與資訊

二、衝突點協調平台

不同專業、不同團隊、不同時間可共同協作追蹤衝突平台(詳圖11)。

三、實時設計成果檢視

不同專業設計成果可在同一BIM模型(詳圖12)內共同檢視，除有利於設計者之設計協調外，亦有助於與業主或使用者之溝通。

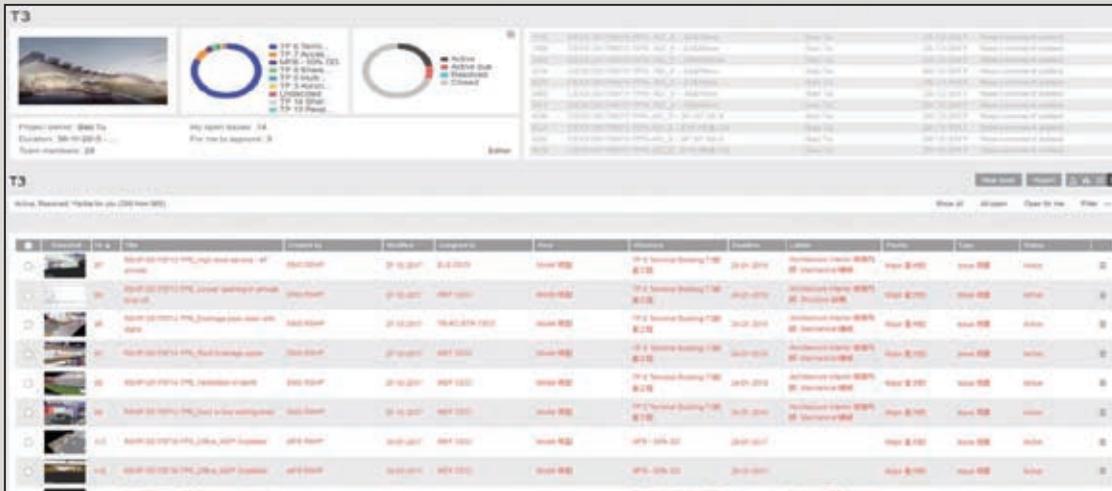


圖11 協作追蹤衝突平台



圖12 彙集不同專業設計成果之模型

四、實際作業時間差

跟傳統2D模式比較作業時間集中於前端溝通協調，但節省下反覆試誤的過程(詳圖13)，以本公司設計航廈之APM/PMS月台協調實例測試，就設計規劃與舊作業模式至少節省了一個月以上的作業時程。

陸、建築生命週期

扣除設計完成進入施工階段到實際使用階段，以建築生命週期而言，通常仍有50至60年時間，所以碳足跡的研究報告需包括產品生命週期分析(LCA)中的四個階段：目標與範圍的確定、生命週期清單(LCI)分析、生命週期影響評估(LCIA)，以及生命週期之解釋說明。一般而言，使用階段佔耗能約佔60%以上(詳圖14)，因

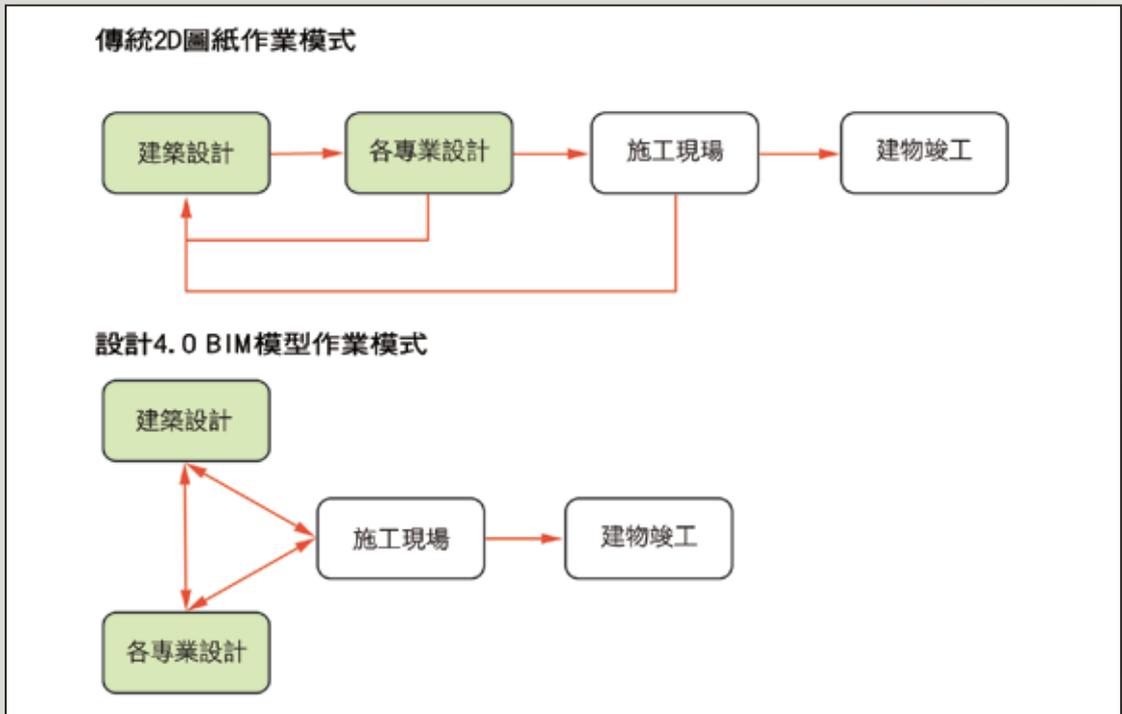


圖13 建築設計4.0與傳統作業模式作業流程

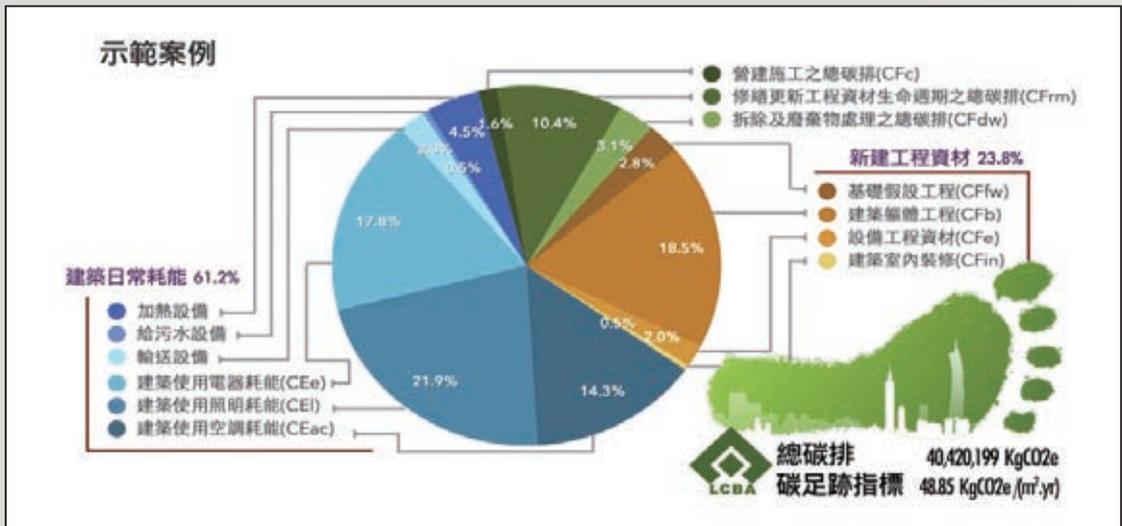


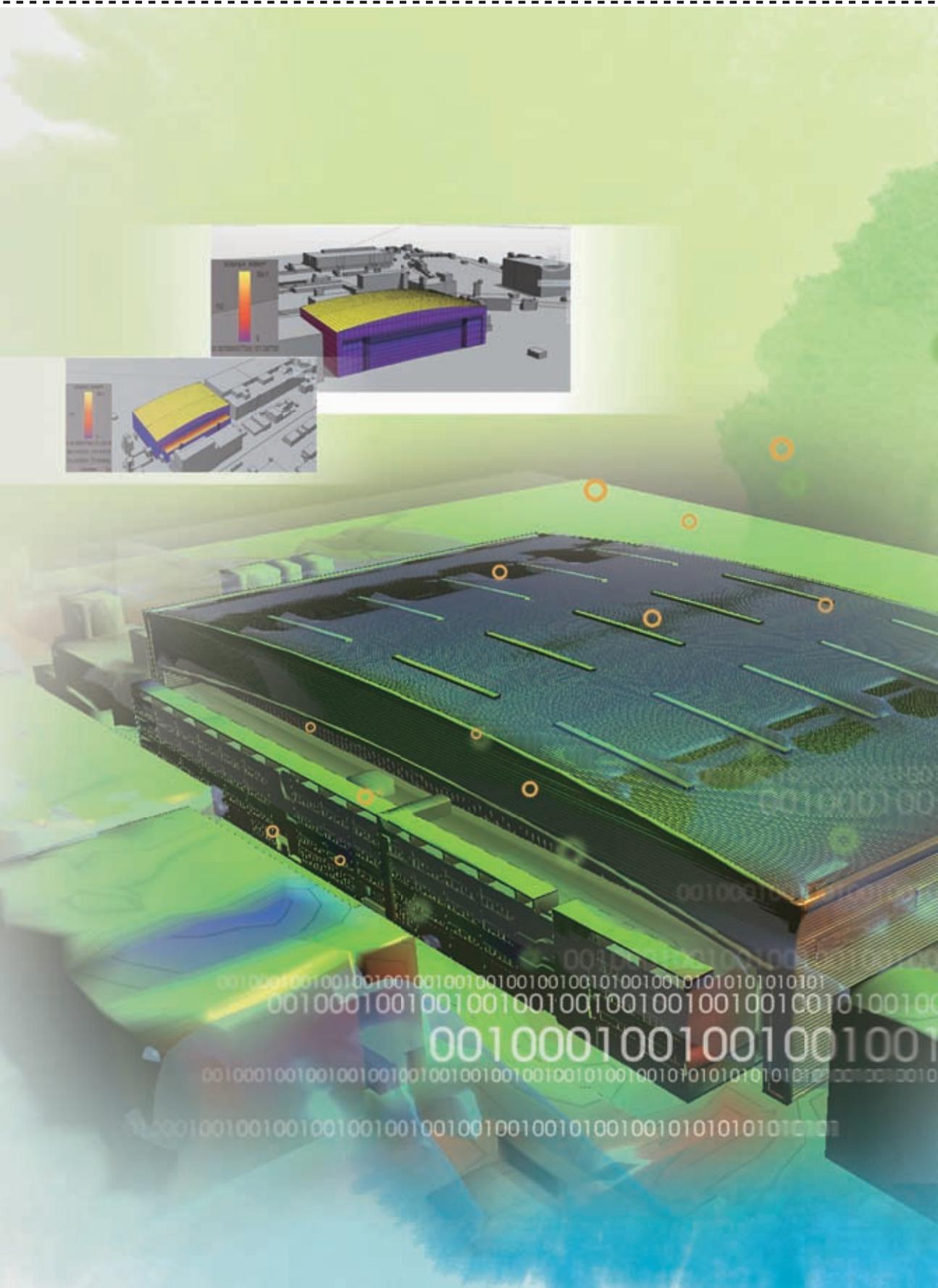
圖14 建築生命周期建築排碳比例 (資料來源：低碳建築聯盟)

此，設計階段即應考慮降低使用階段之日常耗能，才是真正負責任之設計態度。

柒、結論

回應工業4.0的核心概念，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。所以在設計階段，跨領域之協調與溝通以及大數據資料庫之運用，使設計過程可充分得到專業支援，加速自動化以提高之效率及效度，並確實反映周遭環境，朝永續環境之路邁進，實為建築設計4.0最重要之課題。



3

專題報導

桃園機場 第三航廈設計 BIM前瞻作為

關鍵詞(Key Words)：BIM技術(BIM technology)、BIM協同整合(BIM coordination)、桃園機場(Taoyuan Airport)、T3計畫(T3 project)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／副理／盧祥偉 (Lu, Hsiang-Wei) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／正工程師／蕭富慈 (Siao, Fu-Cih) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／T3專案／正工程師／涂根寶 (Tu, Gen-Bao) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／工程師／張婉婷 (Chang, Wan-Ting) ❹

摘要

桃園機場啟用至今已踏入第39年，因應航空時代旅客激增，擴建航廈為前瞻而有效率的問題解決手段。第三航站區建設計畫為目前國內最大規模，同時亦為台灣的重要工程標竿。從而，身為全新國家門戶，如何讓工程更快、更好、更安全，引入建築資訊建模BIM，似乎是在千頭萬緒的工作中，能有效解決複雜問題的重要管理手段。惟T3計畫龐大的工程在工作分組上分為：機場功能規劃、建築造型與請照及景觀、土建及交通工程、建築結構工程、環評作業及永續工程、機電與公共設施、資訊通訊系統、特殊系統、專案管理資訊系統、建築資訊模型、投標策略及計畫控管等11個專業分組，專業間的整合議題不計其數，如何能真正的落實BIM方法以改善乃至全面優化工程的各專業，本文將簡述桃園機場第三航廈主體工程於設計階段如何實踐BIM應用。



The Advance Design of BIM Implementation in Taoyuan Airport Terminal 3 Project

Abstract

Taoyuan airport had operated thirty-nine years since 1979. The amount of passengers are growing up year by year. Building a new terminal is the most effective way to fulfill the requirement of the airport operation. The project of airport terminal 3 area development is currently the largest scale project and a benchmark for the AEC industry in Taiwan. As a new gate of the country, optimizing schedule, quality and safety with application of BIM technology would be the good way to success. There are 11 disciplines are involved in this project means that the great among of coordination works. How to apply real BIM for the project? This paper describes that how we use BIM to assist the collaboration and coordination during design stage of this project.

3

專題報導

壹、前言

桃園機場因應航空時代旅客激增，必須擴建第三航廈，本工程既是繼十大建設後，國內最大單一公共建築，同時亦為國家門戶，備受國人矚目與期待。由於氣候變遷及管理工具的不完善，第一及第二航廈曾發生過管線漏水、停電及淹水等事件，新航廈的興建，正好引入全新的工程全生命管理思維搭上BIM的浪潮。不諱言，本公司自國外引進BIM(Building Information Modeling)觀念並大力推動雖已逾十載，但是業主及施工承包商對BIM的實務操作，大致仍處於摸索階段，BIM落實應用成功的關鍵，有賴設計顧問機構的應用及管理經驗。工程能有系統地應用BIM並非一蹴可幾，對於T3計畫，本公司除了應用了十多年的BIM在地經驗外，復融入國際團隊成員的作業方法與經驗，創造一個全BIM應用的設計氛圍，BIM的應用在設計過程無處不在，其中，設計團隊間協同作業的方

法務實而有效率，希望透過本篇文章介紹第三航廈設計的BIM前瞻作為，俾有需要的讀者以及BIM設計精進的應用參考。

貳、工程簡介

桃園機場第三航廈設計成為最新世代的航站大廈，為旅客提供兼具效率與美觀的空間體驗，並發揮最高的營運彈性、功能性及舒適性。其區位設置於西側新建的WC滑行道與現有第二航廈之間，航站區的主要建物包括每年處理容量為4,500萬名旅客的航站大廈，另尚有航站大廈南北兩側之登機廊廳、與登機廊廳連接的固定連結式空橋、連接多功能大樓的通廊、多功能大樓，以及多處公共設施等。航廈主體總樓地板面積約549,000平方公尺，其中包括二層地下停車場，工程經費約為新台幣400億元；涉及的工程專業包括道路、橋梁、地下箱涵、

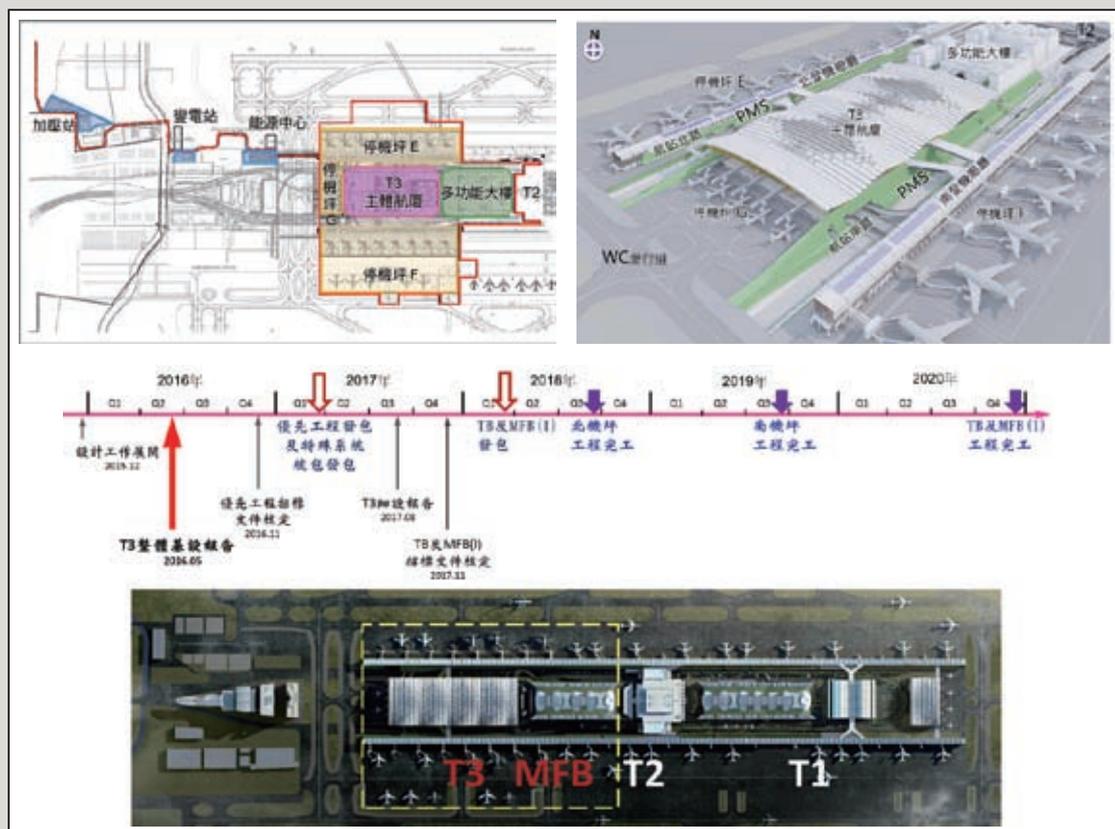


圖1 工程內容及計畫期程

共同管道、建築、機械、電機、建築結構、排水、景觀、藝術、綠能等，工程規模龐大，界面複雜。以T3航站區整體計畫而言，迄今(2018年第二季)已有五個施工標發包施工，包含二個土建標(第一標土方及基礎、第三標機坪與滑行道及機坪設施)及四個統包標(第九標航空地面燈光系統、第十標行李處理系統、第十一標資通訊系統、第十二標空橋系統)，後續尚有十個施工標將陸續招標施工(包括第六標航廈主體工程)，按原建設計畫，以2020年底為完工目標(如圖1所示，另按：目前T3計畫刻正檢討建設計畫整體時程)。

參、工作框架

一、BIM執行計畫(BIM Execution Plan, BEP)

BIM執行計畫係依招標公告所示業主需求資訊之架構原則，進行BIM工作流程描述，依據工程全生命週期規範及描述工程計畫的BIM通用語、BIM作業目標、資訊環境、BIM管理人員的組織、BIM所介入的工作流程、共用軟體及其版本、產出成果之命名方法、計畫各階段的模型資訊需求及相關資訊之品質要求等，作為本計畫BIM執行的依據。此外，BEP並應隨著設計

階段成果精進及作業需求，與時俱進，適時更新，讓BIM在可執行的狀況下永續發展，因此，需要在業主、總顧問及設計顧問的共識下進行版次的更新，以達到理想目標。完善地BEP應闡述之重點內容如下：

(一) BIM模型整合

為了加速整合模型作業流程，能即時提供予各專業檢討相關界面問題。因此本計畫針對BIM模型基本樣版之設定要求，包含各專業應依本計畫訂定座標原點、單位、網格及色彩計畫等規則，進行模型設定，同時要求使用相同軟體版次建置BIM模型(如圖2所示)。唯有工作團隊遵守以上作業規則，提供正確的檔案交換格式，才能完成本計畫週期性的協同循環作業。

(二) 檔案命名原則

T3計畫預期產生的圖資、文件量非常龐大，若無一致且具可讀性之命名原則，將造成文檔管理困難，故提交的文件及圖資皆須編碼(如圖3所示)，包括正式提送業主的2D、3D模型之相關設計圖資和報告、凡業主或外單位提供之參考文件、各單位

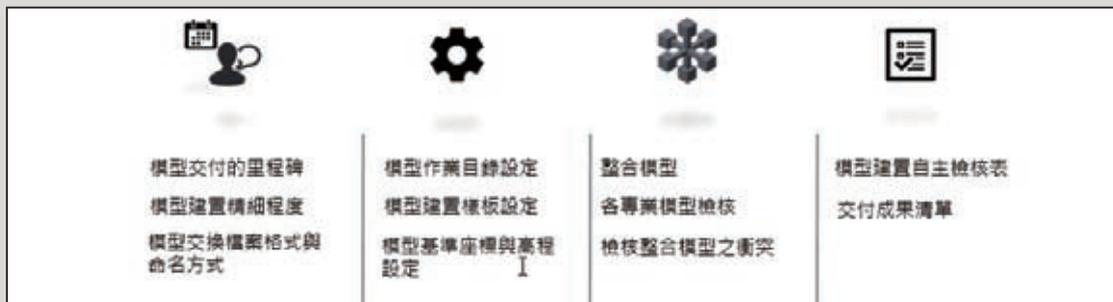


圖2 模型整合



圖3 檔案命名規則

為計畫執行而訂定或產製之技術文件，以及工作小組會議資料等，皆須依循此編碼原則。編碼原則係依據BS1192-2:2007之規

則用於命名檔案之名稱，共區分為九個欄位進行分類命名。

屋頂
Roof



屋頂結構
Roof Structure



屋頂吊燈
Petal



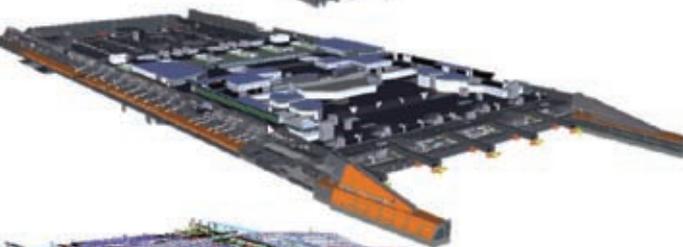
帷幕牆
Curtain Wall



主體結構
Structure



主體建築
Building



主體機電系統
MEP System



站區道路與景觀
Road & Landscape



圖4 T3主體BIM模型拆分

(三) 模型拆分原則

考量電腦運作效能，也為提升計畫協同作業及各專業整合檢討之效率，復考量工程及專業涵蓋範圍之條件下，模型拆分原則需能滿足提供多方使用者進行存取，並可兼顧檔案大小之操作效率、不同專業、不同建物及工項等確認符合拆分原則目的。圖4為T3航廈綱要性的設計模型拆分，事實上模型因隨著設計進程演進變得過大，造成協作效率降低，故為實務操作

及專業分工的需要，目前更細化拆分為200多個模型。

二、PMIS

T3設計是一個國際性的團隊合作，要共同合作就必須使用一套國際標準，團隊一致認為英國標準PAS1192:2的流程及資訊處理的方式相當適用於本計畫。圖5即為英國標準PAS1192:2的流程及資訊處理的方式，先經業主需求確認後擬定符合期待的BIM執行計畫，並嚴格地追

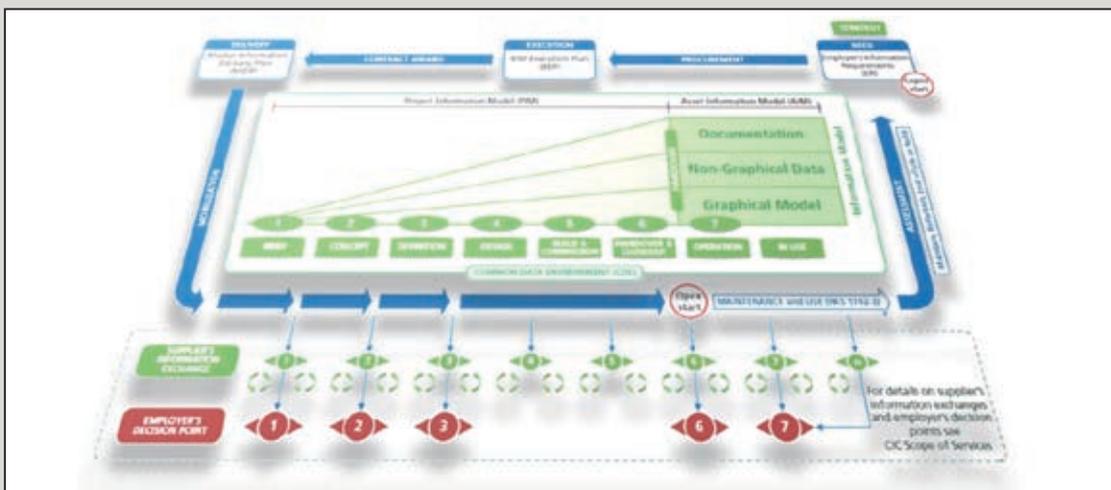


圖5 英國標準PAS1192:2的BIM流程及資訊處理 [1]



圖6 PMIS系統畫面

縱管控專案執行過程中所有應該被產製的圖文資料 (Master information delivery plan)，讓專案隨著時間往前推動的過程中，將全部資料逐步累積起來，包括模型、非圖像資料(如：元件屬性)、相關專案文件等。上述的過程、資料、守則，皆需依附於通用資料環境(Common Data Environment, CDE)中運行，CDE包括工作進行中、共享、提交、發布、歸檔等資料環境。

然而，T3計畫規模龐大，相關資料量極為可觀，絕非傳統常見的檔案伺服器儲存架構可以有效管理。因此，團隊為T3計畫量身打造了一個專案管理資訊系統(PMIS)，並且將CDE整合至系統架構內。PMIS系統共有計畫資料、會議管理、契約管理、費用管理、設計作業、工程管理、高風險作業管理、三級品管等數個模組供使用者應用。從會議的安排與簡報資料上載及查詢、BIM模型文件的分享傳送、正式文件的提送審查，到施工廠商的施工資料、施工照片等，皆完整儲存於PMIS系統中，倘若日後有任何履約爭議時，PMIS將是一個完整的履歷調閱庫(如圖6所示)。

肆、協同作業

協同原則為有效溝通、資源再利用、資訊分享及版本控制，本計畫以CDE架構為基礎，發展協同作業資料結構。協同作業基本模式如圖7，安排為四大步階運行。為達到協同作業機制之精確耦合與加速整合應用，BIM工作團隊建立明確之共享內容管理機制，除共享內容之確認發布通知外，計畫應能有明確資訊隨時提供共享內容之發展狀態。

儘管BIM可以帶來好處，但團隊亦意識到在多方進行BIM資訊交換時，仍有很多阻礙需要克服。例如本計畫需要考量來自不同時區專業合作夥伴，為了克服距離影響資訊傳遞效率問

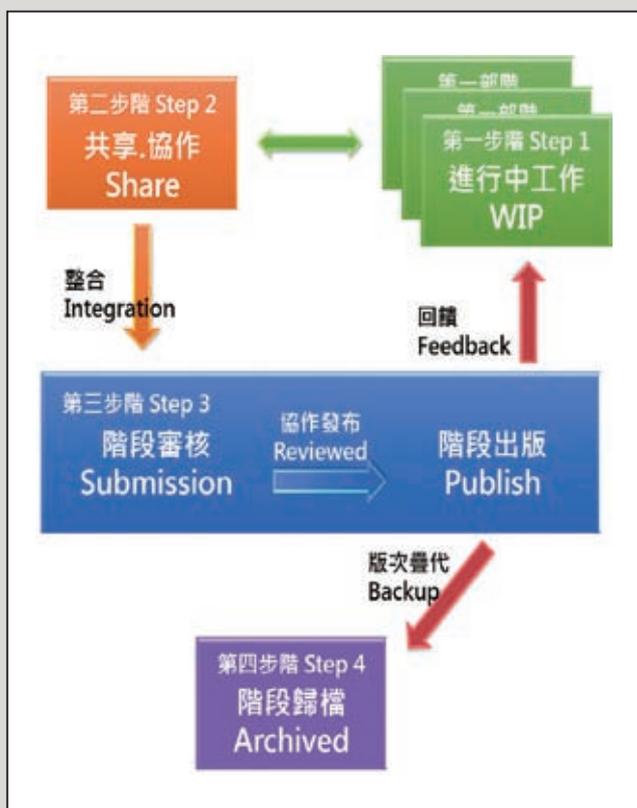


圖7 協同作業基本作業模式

題，團隊運用CDE傳遞工作外，再加上共同建立交換資訊結構(如圖8所示)，讓團隊夥伴能有效地進行設計資訊交換，並整合最新設計議題供檢討，以週期性的交換作業流程來降低距離與時差造成的潛在整合效率不佳的問題，同時確保工作團隊成員能即時參與最新設計議題，使BIM應用更具價值。

BIM是個具有資訊的3D模型，有效運用3D是重要的溝通協調方式，本計畫設計過程使用3D整合平台(Navisworks)找出設計問題，並利用3D視覺化分析專業之間的衝突。本計畫的目標是在施工階段之前能有系統性的消除衝突問題，因此利用整合模型分析出設計衝突，並將議題上傳至雲端議題追蹤管理平台(如圖9所示)，能夠聯合設計單位進行設計檢討與修正，過程中不斷的收斂與追蹤問題，提高資訊傳遞的準確性，期能減少施工期間的設計變更。

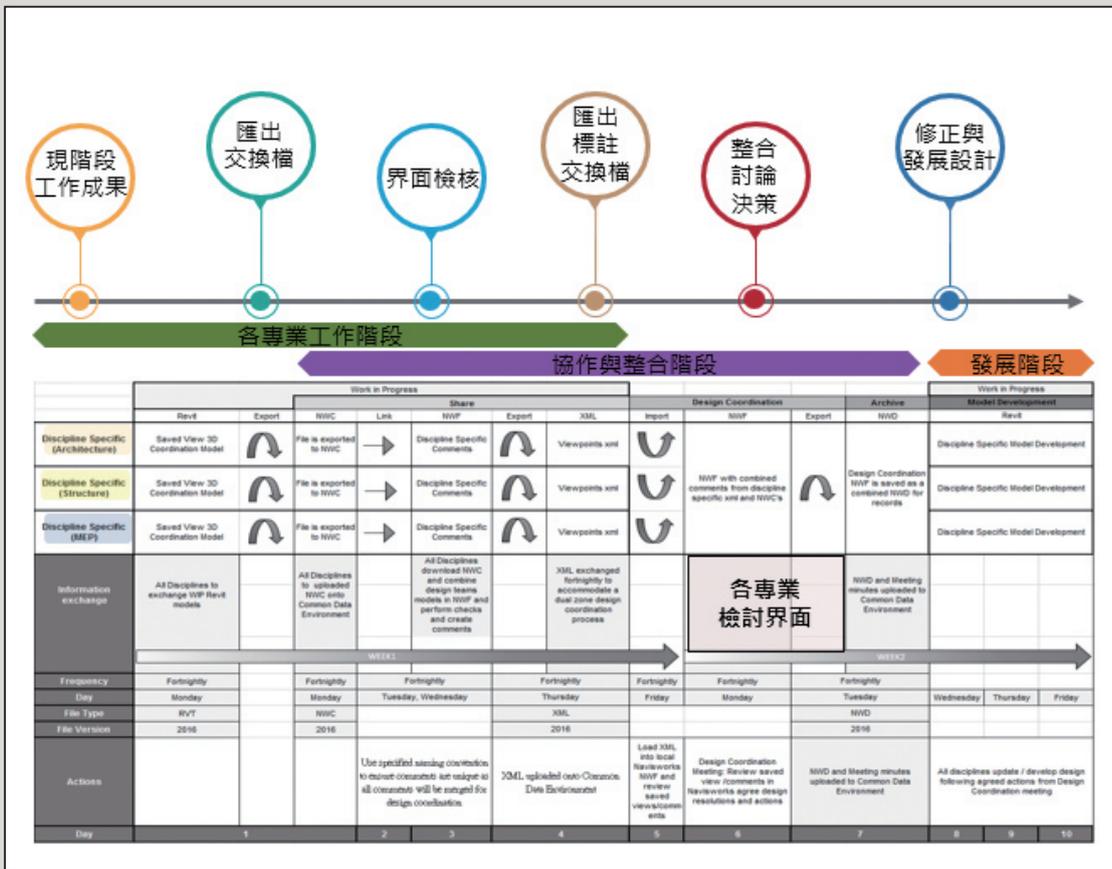


圖8 建築3D資訊之BIM模型交換流程圖

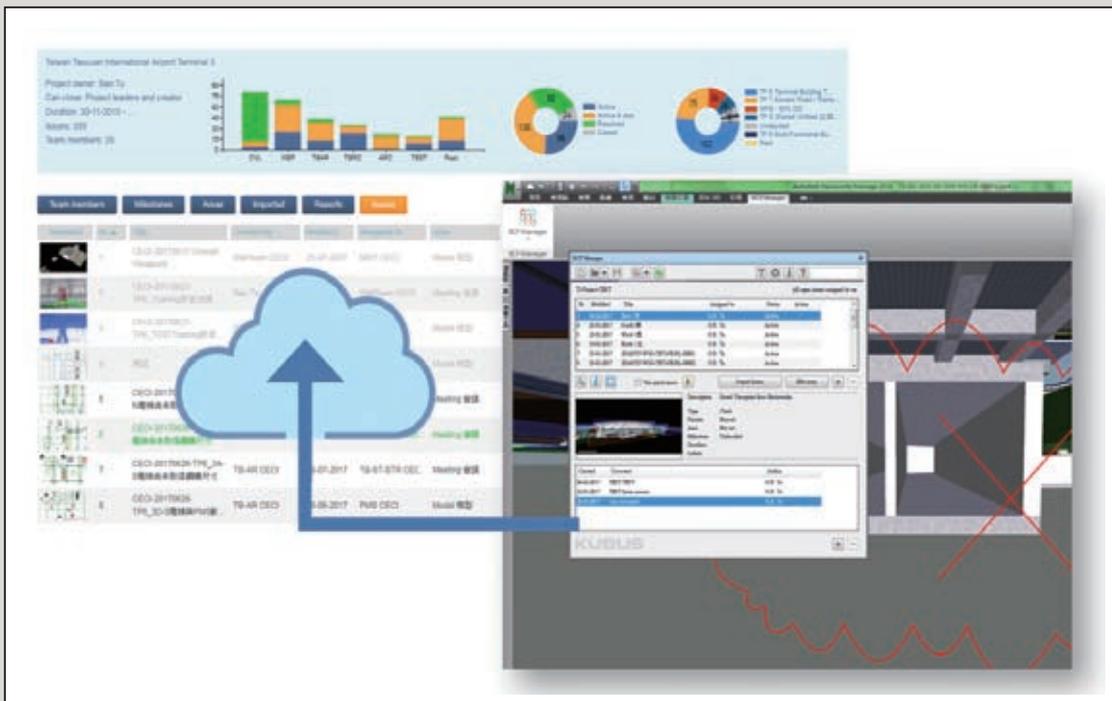


圖9 雲端議題追蹤管理平台

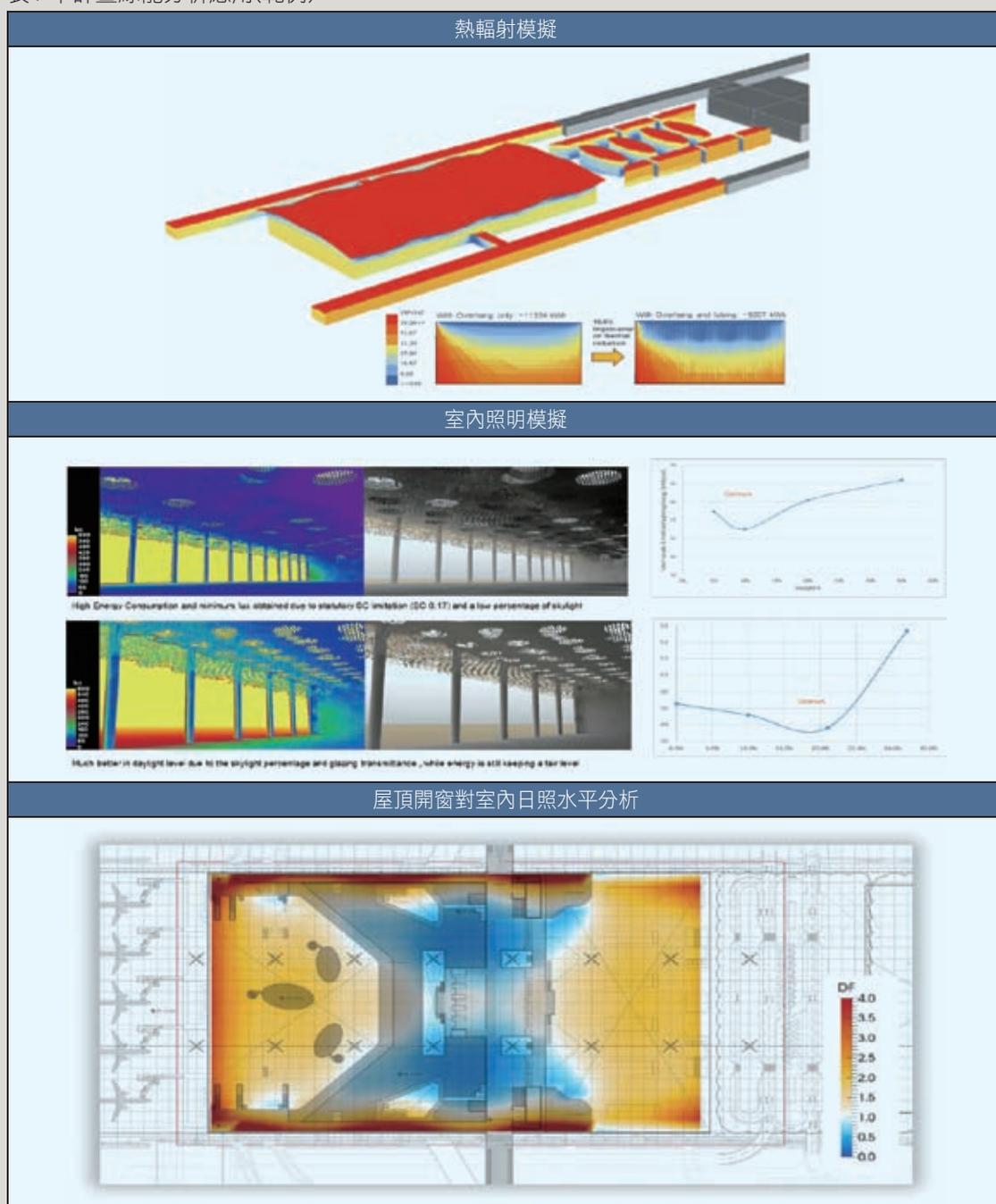
伍、前瞻應用

一、綠能分析

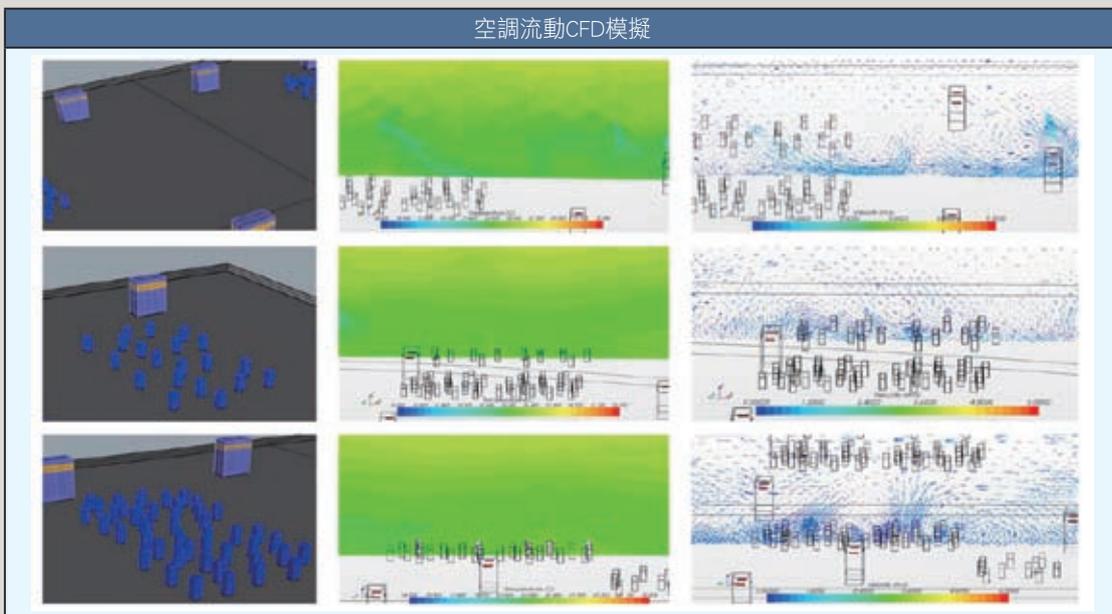
綠能分析是BIM技術常見的應用內容，T3計畫更是被要求須達到綠能認證黃金級(目標鑽石級)，因此本計畫從規劃、基本設計階段便進

行各種不同的綠能方案分析，用以優化設計品質。表1為本計畫綠能分析應用(範例)。從外殼(envelope)設計到室內燈光照明，從屋頂開窗對室內的日照水平到空調出風口配置的人流舒適度，甚至連同再生能源(太陽能板)的配置皆考量在設計內容中，目的即在提供一個具有最佳旅客體驗的國際性航廈。

表1 本計畫綠能分析應用(範例)



空調流動CFD模擬



二、參數化設計

T3航廈在外觀上予人矚目的特徵即是兼顧力與美的波浪形屋頂造型，造型係團隊JV夥伴羅傑斯史達克哈伯建築師事務所(Rogers Stirk Harbour+Partners)由水鳥於水面舞動振翅所成漣漪波動作為設計概念發想而成(如圖10所示)。視覺上的美觀也使得設計建模作業顯得困難，原因在於面積龐大、各處坡度曲度不等，加上設計過程勢必會因業主意見參與而修改多次，如沿用傳統BIM人工設計建模方式於T3計畫，將顯得效率不彰。

因此，設計團隊採用參數化設計以提升設計效率。採用Rhino Grasshopper作為參數化設計的工具，透過編撰完成的“自動化”程式，設計者只需藉由相關參數的輸入，相對應的模型便能隨之產出，而非人工一根一根地調整、建模。此參數化設計大幅降低錯誤、提高設計團隊因應業主需求更改的變動效率。事實上，不僅屋頂部分使用參數化設計，站區複雜的立體化道路系統亦使用此一參數化設計方式，使原本無法建置的二次曲線、具超高參數之模型(軟體限制)獲得解決。圖11即為參數化設計之範例。



圖10 本工程屋頂造型意象

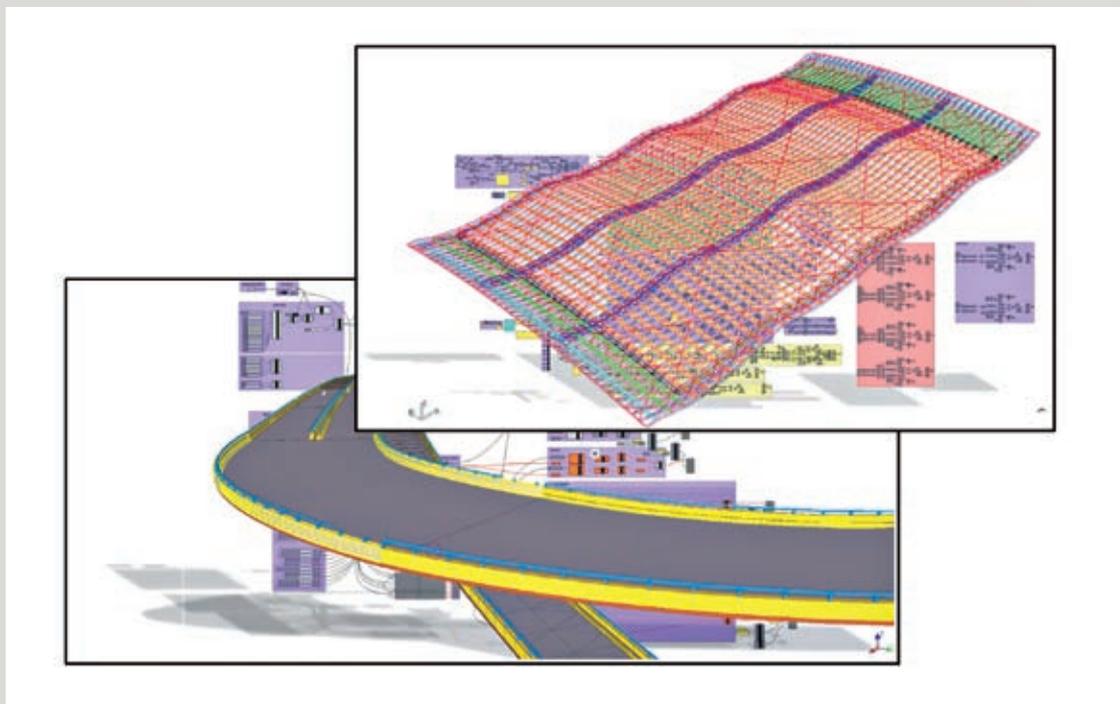


圖11 參數化設計實例

陸、付出代價

BIM技術可以有效率地協助完成許多應用(如：衝突檢討、綠能分析、3D漫遊檢視)輔助專案設計品質提升，然而要達成較佳的BIM應用是需要付出相當代價的。

一、軟、硬體成本：工欲善其事，必先利其器，要培養 BIM 人才的成本，企業必須投入軟、硬體的提升。軟體方面，BIM設計軟體非常多元且「應用」軟體更是百家爭鳴，迄今並無一個BIM軟體能涵蓋各種應用需求，故要因應不同業主的各式需求，勢需採購運作功能可相匹配的軟體。再者，功能越強大、產製成果越精緻的軟體，其所需相對應的使用者電腦硬體即需更高階，高階電腦硬體所需成本相當高。

二、培訓成本：CAD 已經是眾多工程師熟悉的設計工具，要推動BIM設計需全體動員，方能達到事半功倍的效果。依國際趨勢而

言，BIM是未來AEC產業工程師的必備工具，就像當今的CAD，因此企業營運成本中的培訓費用絕對是必須估算在內的。

三、業主的觀念必須改變：現今業主辦理技術服務採購，多因循陋舊，設計費用常框限於「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」附表所示建造費用百分比上限參考表，卻又曲解誤用，不斷新增服務範疇而未依採購法相關條旨給予合理的服務費用，BIM設計就是一例。進到 3D 設計的世代，以往施工階段才會發現的問題提前到了設計階段就必須處理，最明顯的工作項目即 CSD/SEM，然而設計費用仍未能公平合理相對提升。再者，既然要求全面導入BIM技術，業主便需改變對圖說之要求，必須了解BIM設計軟體所產製的 2D 圖說與傳統圖說是不同的，長期而言，設計成果交付及審查應為BIM模型，而非繼續要求2D圖紙，增加工作負擔，亦失採行BIM設計的原意。

四、估量計價：數量計算是常見的BIM應用，再進一步即是檢視預算書，然而設計專業不等於估價專業，如此造成了設計者使用BIM技術完成設計但是卻產生一個問題，即設計模型建置方式並非依預算書估量計價方式進行建置，造成模型產出的數量僅能部分使用，而多數預算書所需數量仍需藉人工閱圖重新計算。然而，若欲從設計起點開始BIM設計，便應預為考慮後續工程數量的計算方式，但依現今作業方式而言，改變甚鉅。

柒、結語

T3計畫於104年11月得標迄今已執行2年4個月，細部設計階段已近完成，部分標別並已進入施工。本案是國內第一個大型且完全導入BIM技術進行設計、施工應用的計畫。過程中，BIM帶給團隊許多益處(如：降低衝突，提升設計品質)，但也遭遇許多困難(如：業主極端要求設計零衝突)，團隊與業主及總顧問不斷溝通目前BIM技術的可行與不可行，協調出一個有助於專案往前推進的方向，而團隊也確實磨練了BIM技術於複雜專案之執行經驗，惟後續各標別施工廠商進駐後，想必又是另一項BIM應用的挑戰，期許未來本案能廣續順利推展。

另外，交通部於105年3月17日訂頒「交通部所屬各機關(構)工程建置建築資訊模型(BIM)作業推動原則」，要求所屬各機關(構)於辦理工程相關採購，應考量建置BIM模型，藉以提升工程效率及品質，並強化營運管理維護效能，原則上招標新台幣10億元以上(建築、軌道機電系統、統包)工程或新台幣20億元以上土木工程皆應考量建置BIM模型；內政部建築研究所亦在發展BIM編碼及與PCCES整合介接。由此可知，BIM技術於國內工程界大力推展已為趨勢，本公司以T3計畫試金淬勵，已有完整地所謂

「前BIM」的大型專案執行經驗，勢必更具競爭優勢。

最後，BIM是個強而有力的工具，如何善用且在龐大又複雜的專案中落實執行，是個嚴峻的挑戰，不容易，但我們做到了。

參考文獻

1. BSI, PAS1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling, ISBN: 978-0-580-82666-5, 2013.

基礎建設的 多元籌資管道 與民參投資

關鍵詞(Key Words)：PPP、籌資(Finance)、基礎建設(Infrastructure)、民參投資(Investment In PPP project)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／協理／林貴貞 (Lin, Kuei-Chen) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／副理／蕭孟玫 (Hsiao, Meng-Mei) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／財經分析師／吳巧麗 (Wu, Chiao-Li) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／規劃師／林依潔 (Lin, Yi-Chieh) ❹

摘要

國內PPP案件推動至今，多以財務自償為誘因，故民間機構在多元籌資運用經驗較少，PPP案件之籌資方式大多依賴民間機構本身之債信能力，故風險主要由民間機構承擔。

綜觀印尼及馬來西亞等國，推動民生所必須之基礎建設，多採用PPP方式推動，以帶動經濟成長，且政府運用多項機制，增加計畫之籌資能力、風險承擔能力等。為提高台灣PPP案件之多元性，本文以印尼及馬來西亞PPP案為例，說明各該國家採用之不同籌資方法及風險減輕策略。期望藉由他國經驗，提供我國可供參考之借鏡，以提高我國推動基礎建設PPP之可行性。



Investment In Infrastructure By Different Financing Ways And Public Private Partnership

Abstract

Taiwan's PPP projects have been proceeded with self-financing. The private sector have limited experiences in financing arrangements. The financing arrangements of PPP projects mostly rely on the private sector's own credibility. However, the financing risk of domestic PPP projects is taken by the private sector.

With regard to Indonesia and Malaysia, the government promoted public infrastructure by using PPP to increase economic growth. The government uses a number of mechanisms to increase the financing channels and risk bearing capacity of the project. In order to improve the feasibility of the PPP projects in Taiwan, this paper researched the Indonesia and Malaysia PPP projects as examples to explain the different financing arrangements and risk mitigation strategies adopted by each country. With the experience of other countries, we can rethink a suitable way for Taiwan the future PPP infrastructure projects.

壹、前言

近年亞太經濟合作(Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)財政部長程序相關會議持續將政府運用公私部門夥伴(Public-Private Partnership, PPP)模式，吸引私部門資金投入基礎建設列為重要議題。2017年APEC會議將基礎建設PPP多元籌資及風險配置列為財長程序會議討論重點。環顧各APEC經濟體在推動基礎建設的籌資方式非常多元，多透過引入民間參與的方式達成，經濟體中的印尼、馬來西亞等國，

近年來積極推動大型之基礎建設；分析其PPP制度及推動案例，提出可供我國參考的機制或執行重點，期能助益我國推動前瞻基礎建設並與國際推動PPP作法接軌。

貳、印尼及馬來西亞PPP推動現況

基礎建設興建較多之國家多為開發中國家，本次分析之APEC經濟體印尼與馬來西亞，近年來推動許多大型之基礎建設，如馬來西亞

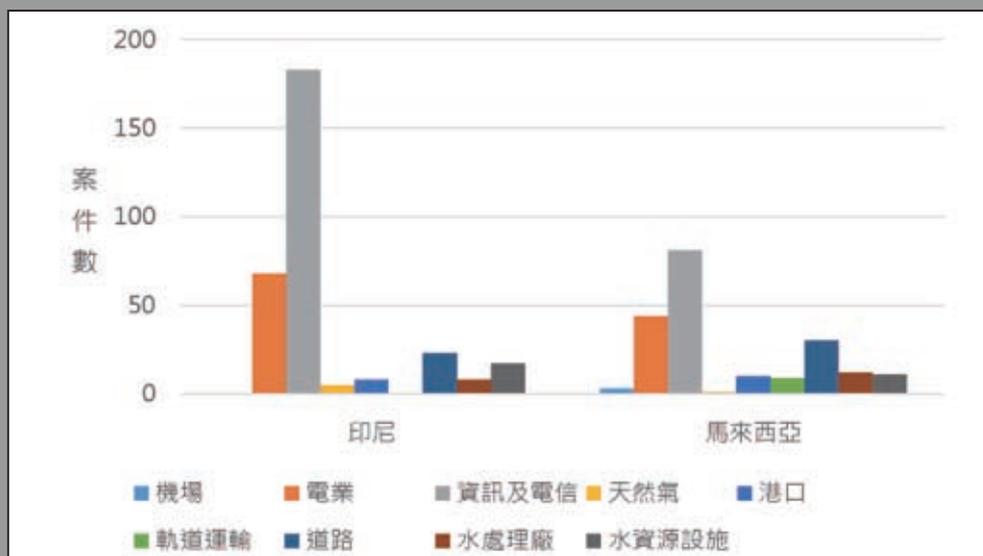


圖1 印尼與馬來西亞PPP案件數統計圖

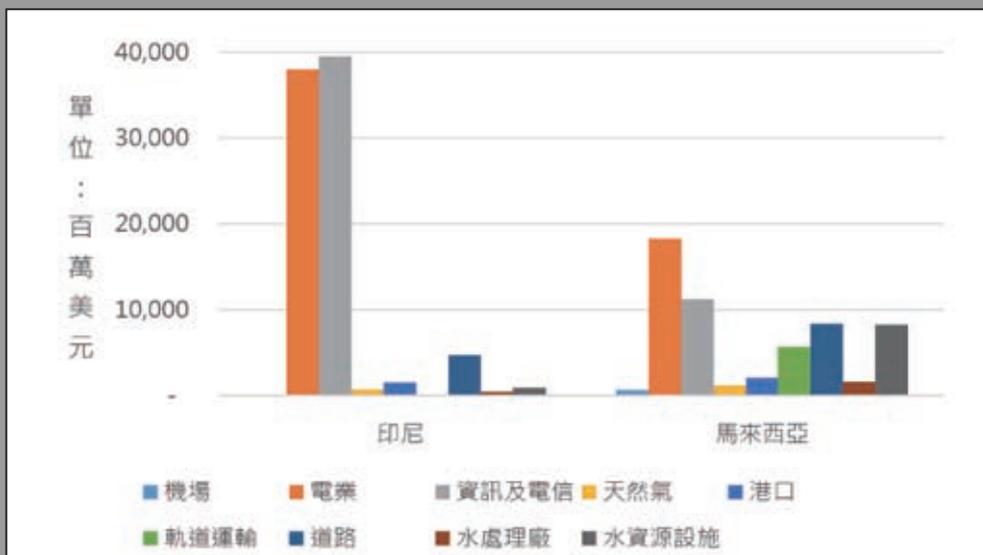


圖2 印尼與馬來西亞PPP案件投資金額統計圖

之隆新高鐵、吉隆坡捷運3號線等，印尼三寶瓏之收費公路、翁布蘭供水設施等，其PPP制度及計畫籌資與風險規劃有許可值得學習之處，茲就印尼及馬來西亞PPP推動現況說明如下。

根據世銀統計資料顯示(詳圖1及圖2)，截至2017年第1季，印尼之PPP案件數量合計約為300餘件，PPP案件投資金額合計約為86,000百萬美元，馬來西亞之PPP案件數量合計約為200餘件，PPP案件投資金額合計約為57,000百萬美元，由此可知印尼與馬來西亞相比，印尼之PPP案件

數量較多，合計PPP案件投資金額也較高，表示基礎建設以PPP方式推動於印尼較為應用。

以印尼及馬來西亞之PPP案件投資類型之案件數而言，印尼以資訊及電信設施案件數為最多(59%)，電業設施(22%)及道路設施(7%)分別居其第2位及第3位(詳圖3)。就馬來西亞PPP案件投資類型之案件數而言，案件數前3名亦為資訊及電信設施(40%)、電業設施(22%)及道路設施(15%)(詳圖5)；以PPP案件投資類型之累計金額而言，印尼以資訊及電信設施累計金額為最

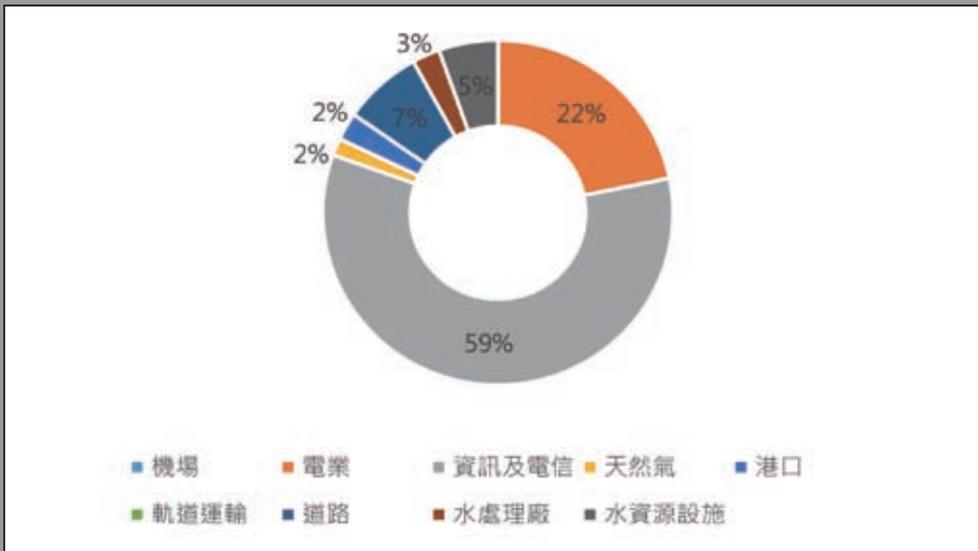


圖3 印尼各類別PPP案件數百分比統計圖

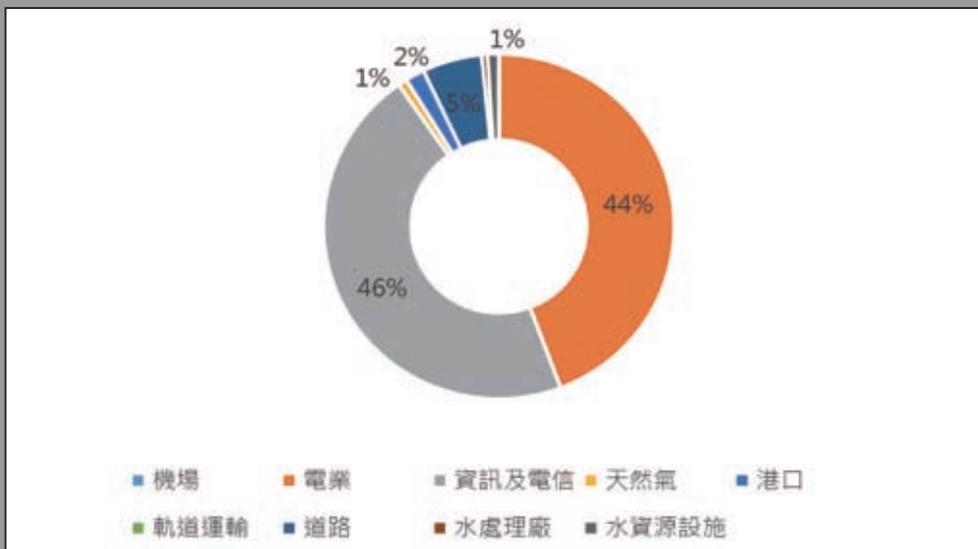


圖4 印尼各類別PPP案件投資金額百分比統計圖

多(46%)，電業設施(44%)及道路設施(5%)分別居其第2位及第3位(詳圖4)，就馬來西亞PPP案件投資類型之累計金額而言，累計金額前3名分別為電業設施(32%)、資訊及電信設施(19%)及道路設施(15%)(詳圖6)。

綜上而言，印尼及馬來西亞主要推動之PPP案件類型均為資訊及電信設施、電業設施及道路設施，PPP案件累計金額亦以此三種設施類別為最高。經分析，印尼及馬來西亞由於基礎建設較不足，以及幅員廣大，配合國家發展政策

及全球資通訊趨勢，以建設資訊及電信設施及其配套之電業設施，提升人民之生活水準為優先考量。

對照行政院於106年4月公佈之前瞻基礎建設計畫，推動期程以8年(106-113年)為期，分期編列特別預算支應。依106年7月總統公布施行之前瞻基礎建設特別條例第4條規定，其中數位建設、綠能建設、城鄉建設，雖與印尼與馬來西亞大力推動之案件類型(資訊及電信設施、電業設施、道路設施)相仿，但臺灣即將從開發

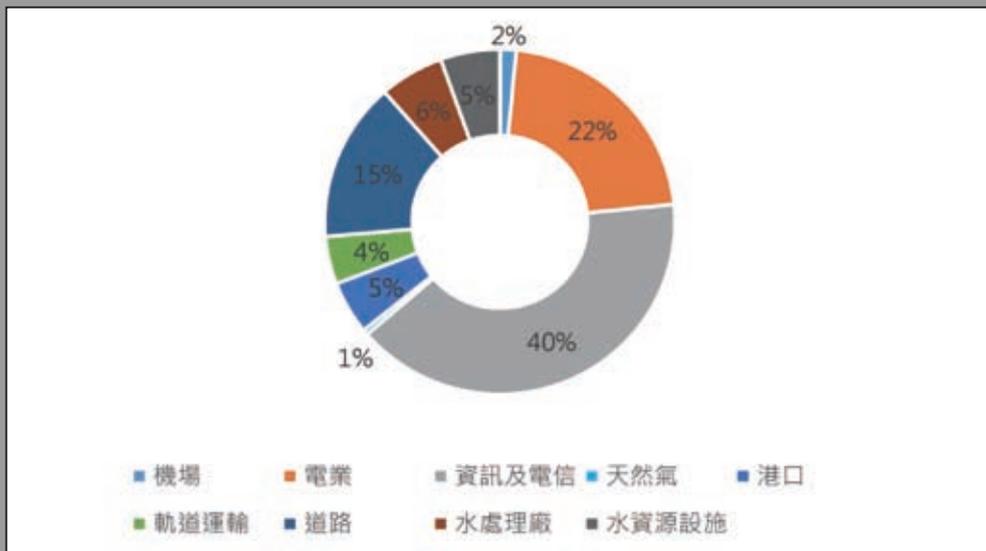


圖5 馬來西亞各類別PPP案件數百分比統計圖

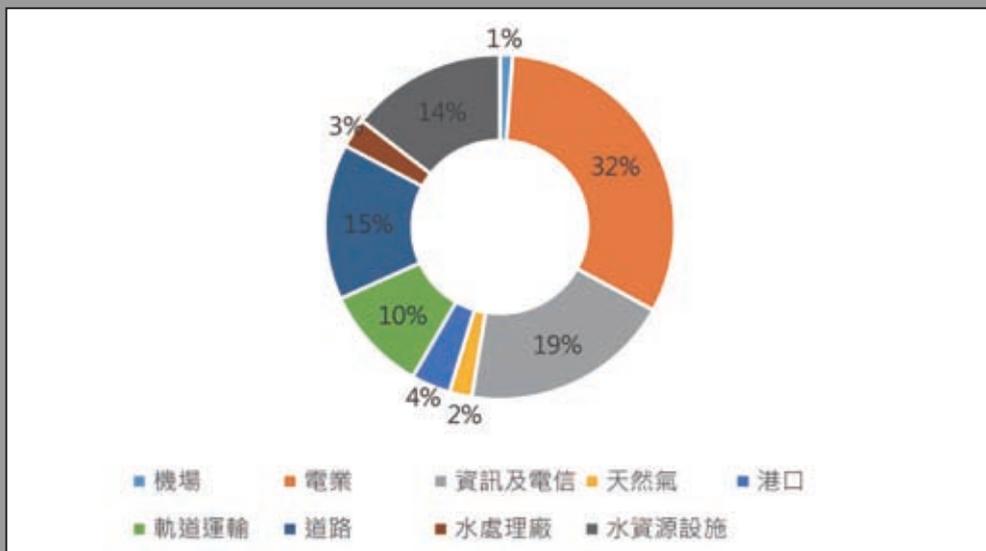


圖6 馬來西亞各類別PPP案件投資金額百分比統計圖

中國家邁入已開發國家，基礎建設較印尼及馬來西亞完備，因此推動重點不同。臺灣著重在既有基礎建設下在提升公共建設質量並刺激經濟成長動能，而印尼及馬來西亞則著重在「完成」基礎建設之廣度。

因該2個經濟體推動基礎建設時間點為近幾年，相較過去，投資環境及國際組織投資機制已大幅改善。故，為了解印尼與馬來西亞於PPP計畫之制度面、籌資面等相關措施，是否有可供國內借鏡之處，以下主要就各該國家之PPP制度、個案背景及執行方式作案例分析說明，以期提供國內PPP制度可供參考之處。

參、印尼PPP制度與案例分析

一、印尼PPP制度

印尼政府為提供足夠之基礎建設，以推動經濟發展，而基礎建設需要龐大資金投入，故引入私部門之資金，採PPP方式推動各項基礎建設。印尼政府已發布各種PPP法案及相關立法，以促進公私協力推動基礎建設發展，並成立如印尼薩拉納多基礎建設有限公司(PT Sarana Multi Infrastructure，以下簡稱SMI公司)、印尼基礎建設融資有限公司(PT Indonesia Infrastructure Finance，以下簡稱IIF公司)及印尼基礎建設保障基金(Indonesia Infrastructure Guarantee Fund，以下簡稱IIGF)，以促進PPP之推動。

SMI公司實質為基礎建設融資公司，主要任務為協助融資活動、提供對投資者之支援，為基礎建設發展提供催化劑。並與亞洲開發銀行(Asia Development Bank，ADB)、國際金融公司及德國投資與開發公司共同出資成立IIF公司。IIF公司雖非銀行融資機構，但透過對於基礎設計計畫之長期融資，透過股本及中長期融資之增加，提高基礎建設之可行性。

IIGF主要協助政府進行PPP計畫之工程技術與財政之可行性評估，且為PPP基礎建設案件提供擔保。可有效吸引融資機構提供融資。透過此種架構保證，使印尼政府對於其未來可能面臨之財政風險有更好之管理。

為了協助各PPP案件進行適當風險識別和分配，IIGF已發布各類型基礎設計畫風險分配之指引，以供於各計畫於前期規劃時遵循。以下以印尼之東爪省翁布蘭用水計畫作案例分析。

二、東爪省翁布蘭用水計畫

(一) 計畫背景

為使印尼東爪省(East Java)5個縣市的130萬名居民獲得清潔水和飲用水供應，翁布蘭飲用水供應系統計畫(Umbulan Water Project，以下簡稱翁布蘭用水計畫)自1980年代開始籌劃，翁布蘭飲用水管理系統之原水水源來自翁布蘭水源，是世界上水質最好的水源之一，俟供應系統建置完成，水流量每秒達4,000公升，可滿足東爪省31萬個家庭用戶或130萬名居民的需求。

翁布蘭用水計畫經過將近40年的努力，終以PPP模式中BOT(Build-Operate-Transfer)方式，於2016年11月9日由東爪省長與Meta Adhy Tirta公司簽約，許可年期為25年，並於2017年7月21日正式開始動工，按計畫將於2019年興建完成並開始營運。

PT Meta Adhya Tirta Umbulan公司(專案公司)將提供用水予省級自來水企業Perusahaan Daerah Air Bersih(PDAB)，再由PDAB分配用水至各縣市級自來水企業Perusahaan Daerah Air Minum(PDAM)，最後由PDAM配送用水到泗水市、岩望縣、岩望市、詩都阿佐市和錦石市等5個縣市。

(二) 計畫籌資作法

印尼政府對於以PPP方式推動之基礎建設，提供多元之支援如財源挹注、擔保基金、政府保證、籌資基金、長期融資等，如圖7及圖8。翁布蘭用水計畫建設工程投資額約2.05兆盾，政府由預算出資8,180億盾。其它投資額分別由融資與專案公司自有資金支應，比例約為7：3。

政府出資部分為印尼財政部(MOF)所提

供的Viability Gap Fund (VGF)，財源來自於政府預算，主要是補助經濟上合理，惟財務上不可行的計畫，補助金額以年度為基礎，總額最高不得超過投資金額之20%。另外，印尼工務與住宅部(Ministry of Public Works and Housing, PUPR)，亦配合計畫支援岩望縣市配水管線建置，其2,560億印尼盾(簡稱「盾」，以下同)之興建費，則分別由PUPR分擔620億盾、省政府分擔420億盾、社區分擔590億盾、PDAM分擔110億盾，剩餘之820億盾則由岩望縣市政府透過

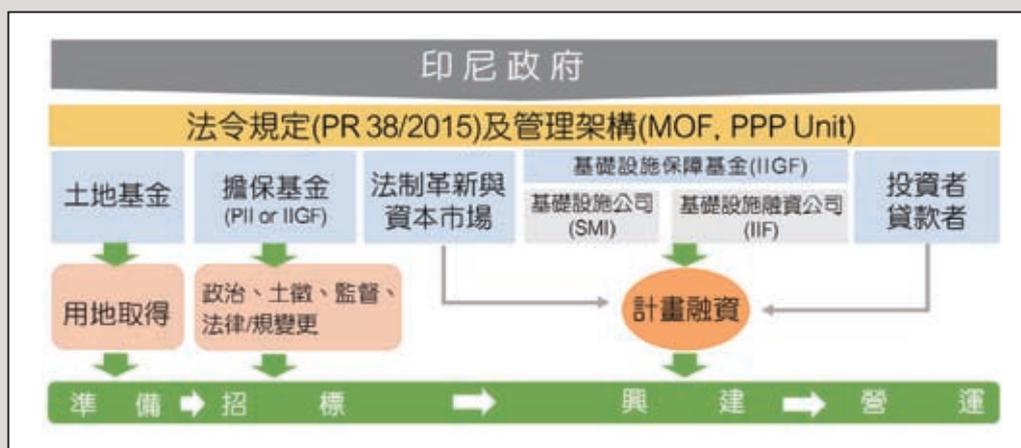


圖7 印尼政府支援PPP基礎建設計畫架構

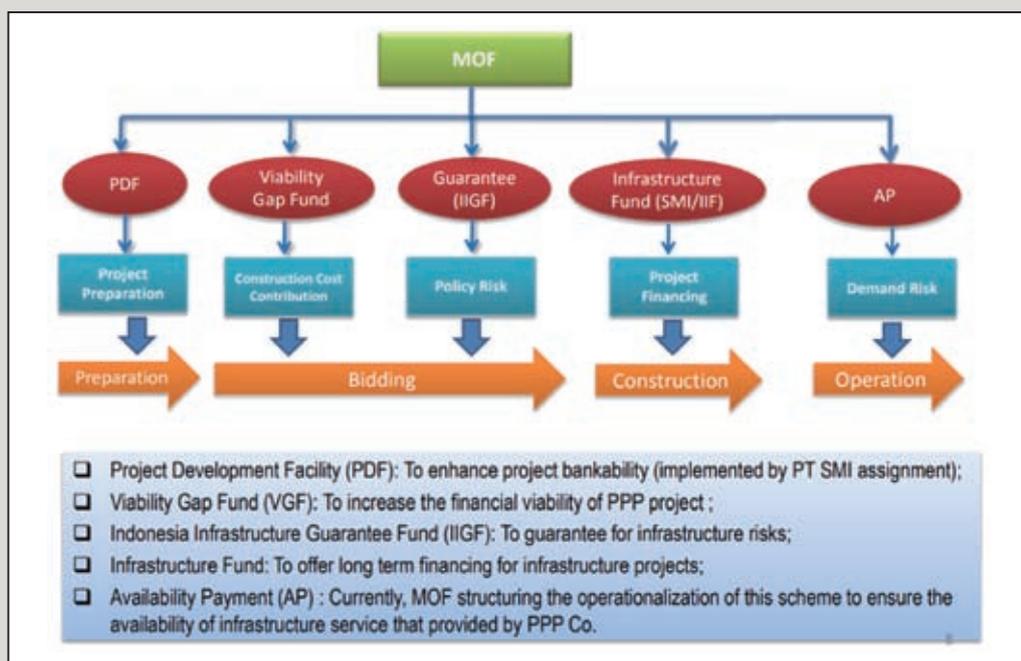


圖8 印尼財政部對PPP基礎建設計畫之財政支援

DAK(Special Allocation Fund)來支付。

(三) 計畫風險減輕措施

1. 風險配置及減輕措施

翁布蘭用水計畫主要風險及分配方式如表1，簽約之政府機構對於水質與水量、用地取得、許可申請(含環評)、融資取得、需求風險等，皆負全部或部分風險承擔責任，且透過印尼基礎建設保障基金(Indonesia Infrastructure Guarantee Fund, IIGF)提供15年之保證，提高對計畫之風險承擔，亦可自行購買保險以分散風險，其運作模式詳如圖9，以降低投

資門檻並減輕專案公司於許可期間可能遭遇之障礙與風險。

2. 投資契約規範

翁布蘭用水計畫之投資契約並無公開，但從相關的資料介紹與研究中可知，透過各項PPP協議、供水協議、擔保協議等，對於投資金額、許可年期、每秒供水量、供應戶數、資費、補助金額、支援項目、擔保項目等均有所約定，確認各方對計畫項目之認知一致，並降低可能產生之風險，以利後續許可期間內各項作業之進行(詳圖10)。

表1 翁布蘭用水計畫風險配置表

階段	計畫風險	風險承擔		
		簽約機構(Government Contracting Agency, GCA)	保障基金(IIGF)	專案公司(Project Company)
-	用地取得	√	√	
興建/營運	含水層補給&集水區破壞	√		
營運	水質&水量	√	√	
興建/營運	法規變更	√	√	
興建/營運	政治風險(含終止)	√	√	
營運	需求風險	√	√	
興建/營運	不可抗力	√	√	√
興建前	取得融資、完成資金到位	√		√
興建前	其它用地取得			√
興建前	許可申請(含環評)	√		√
興建前	技術設計			√
興建前	融資風險			√
興建	興建風險			√
興建	興建進度落後			√
興建	利率波動			√
興建	測試、試營運、成本超支			√
營運	一般法規變更			√
營運	營運與維護			√
營運	通貨膨脹			√
營運	移轉予政府風險			√

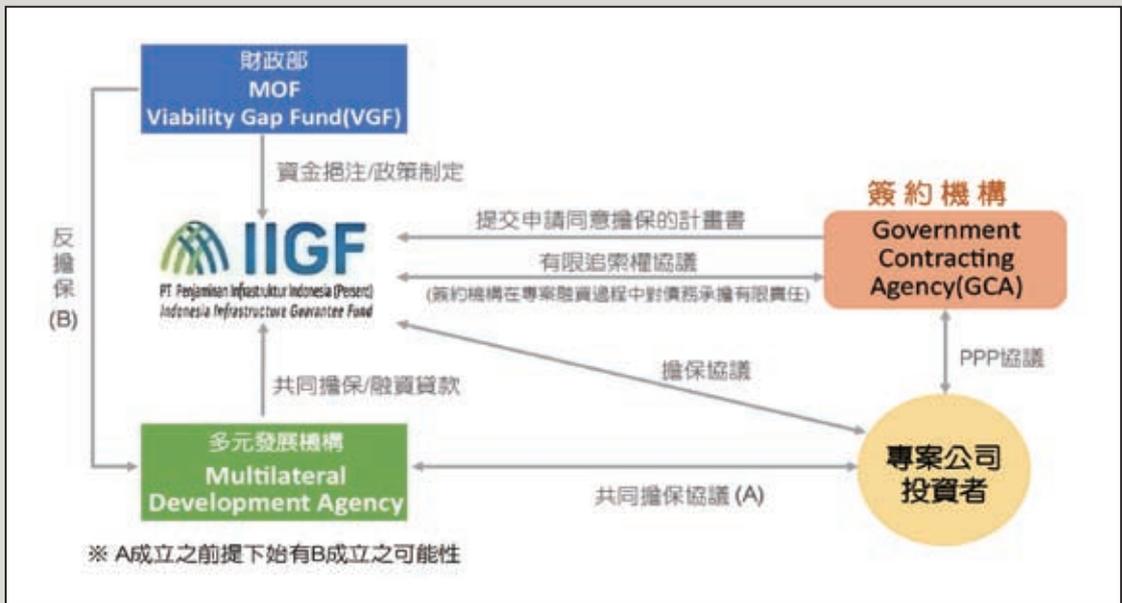


圖9 印尼財政部對PPP基礎建設計畫擔保制度(IIGF運作模式)

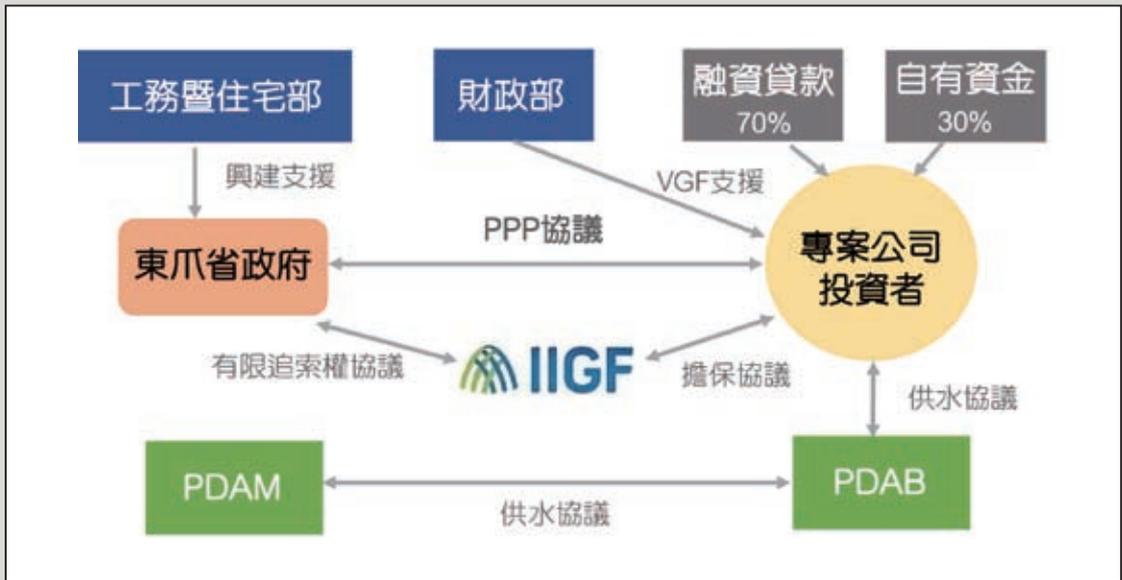


圖10 翁布蘭用水計畫各方協議架構

肆、馬來西亞PPP制度與案例分析

一、馬來西亞PPP制度

馬來西亞推動PPP之歷史可追溯至1981年，當時馬來西亞政府大力推行本土企業政策，呼籲公部門與私部門加強協調與合作。爾後，馬來西亞私有化之發展隨著1991年「私有

化總體規劃」之發布達到顛峰。政策成果包括南北高速公路、吉隆坡國際機場等重大基礎設計畫。

2009年4月，馬來西亞政府成立PPP中心-首相府PPP部門UKAS(Unit Kerjasama Awam Swasta，以下簡稱UKAS)，並啟動一系列計畫，顯示了推動PPP發展之決心。且在一系列相關政

策的刺激下，私部門實際投資金額遠超過預定之目標。同時，政府還宣佈投資成立公共與私營部門合作輔助基金，以支持PPP專案實施，鼓勵私部門投資，該基金由UKAS管理。

馬來西亞政府更成立PPP委員會-JKAS與高級PPP委員會-JTAS。JKAS與JTAS委員會促進UKAS與其他相關部會間之協調，並提出計畫建議，提交給各相關部會，包括：財政部、經濟規劃部、總理事務部，檢察總長辦公室、司法部、土地和礦業部(主管土地)，估價部及執行機關等。

UKAS亦發布許多PPP準則，包括PPP概念框架之解釋、付款原則、計畫評估標準、計畫實施結構，並發布法律面之處理和實施程序。以下以馬來西亞成功推動之南北高速公路計畫作案例分析。

二、馬來西亞南北高速公路計畫

(一) 計畫背景

馬來西亞南北高速公路計畫係依照馬來西亞「聯邦公路民營化條例」提出，規劃沿馬來半島西部銜接南北主要城市，南臨新加坡，北接泰國，總長度約為847.7公里，初期係由馬來西亞高速公路局(MHA)建造了334公里，後續因馬來西亞政府面臨財政困境，改採PPP方式推動，於1988年由United Engineer公司成立之特許公司-Plus公司，負責該高速公路的籌資、設計、興建與營運，並接續興建剩下的513公里路段(詳圖11)。

該公路於1994年完工並全線通車，目前部分路段為收費道路，該計畫總投資金額約21億美元，特許經營期30年。

(二) 計畫籌資作法

該計畫興建成本所需資金由Plus公司之股本支應20%(股本計3.39億美元，其中發起人出資約0.59億美元，其他股東出資2.80億美元)，其他部分(80%)則由各項籌資管道支應，政府提供援助性貸款為6.5億美元，作為對該計畫的信用支持，寬限期為15年，年利率為固定利率8%。Plus公司另從香港、新加坡、倫敦及當地金融機構籌集到9.21億美元，占總興建成本約44.5%，



圖11 馬來西亞南北高速公路地圖

其中5.81億美元來自馬來西亞及其他機構，為當時該國國內銀行所提供的最大一筆專案融資貸款，另外3.4億美元則由數十家外商銀行提供融資。

在股權面的籌資，Plus公司則向其工程承包商提出以現金支付契約工程價款之87%，另外13%部分作為承包商入股Plus公司之資金，而該股份資金僅能在高速公路完工(約7年)後才能轉讓，此一措施將股本募資的風險有效地轉移給了工程承包商。

(三) 計畫風險減輕措施

1. 風險配置及減輕措施

- (1) 政府將原興建完成之334公里路段一併移轉給特許公司經營，特許公司可依照其需求加以改進。
- (2) 政府給予Plus公司最低營業收入擔保，若在營運期前17年因交通量不如預期而影響預期營收，政府將另行提供資金補貼。
- (3) 政府亦讓Plus公司經營現有別條高速公路，長約309 km，該公司經營之部分通行費收入，將用於新建南北高速公路。
- (4) 在外匯方面，若匯率貶值幅度超過15%，政府將補足其差額。
- (5) 如果貸款利率上升幅度超過20%，政府將補足其還貸差額。
- (6) 特許公司可經營周邊汽車旅館等項目，以增加收入來源。

2. 投資契約規範

該計畫之契約並無公開，但從相關的資料介紹與研究中可知。馬來西亞政府與Plus公司簽訂了固定總價格契約，另由Plus公司與各承包商分別簽訂固定總價契約，可有效降低因興建成本變動

造成之風險。高速公路通行費率由政府 and Plus公司共同議定。將來物價指數若有上升，通行費率將隨之調整。

該高速公路可分段建設，分期營運，減少完工風險的影響，完工部分即可收取通行費以挹注未興建路段之興建成本。

陸、結論與建議

由印尼東爪省翁布蘭用水計畫可知，印尼財政部針對計畫上經濟可行但資金籌措能力不佳之計畫，直接提供部分資金出資，並透過投資契約機制，由政府承擔部分風險，再由IIGF提供保證，以增強計畫整體的風險承擔，使計畫得以順利推動。

由馬來西亞南北高速公路計畫可知，該計畫由政府提供多項強力之保證，如：營收保證、利率、匯率補償、開放附屬事業、通行費率調整，使該計畫籌資能力大幅增加，順利募集到興建所需之資金，且可分期完工分期營運，使完工部分路段收取之通行費挹注興建成本，有效降低完工風險，使該計畫可順利營運。

依據以上國外案例研析，可知國際之成功PPP案件，政府涉入程度極高。如印尼案例由政府出資及提供保證，馬來西亞案例則由政府大力涉入PPP案件，提供各項強力保證，環顧國內PPP案件推動至今，均多以財務自償為目標，此2種案例均少見於國內類似之PPP案件上。

印尼及馬來西亞政府大力推動民生所必須之基礎建設，以帶動經濟成長，改善人民生活，而於政府財源不足時採用PPP方式推動此類民生所必須之基礎建設，且政府運用多項機制

以增強PPP案件之籌資能力，或由政府直接出資專案計畫，或給予專案計畫保證，以減輕PPP案件承擔之風險，並增加籌資能力。可知由政府對計畫提供強力之保證，可使資金籌措之風險大為降低，完工風險亦隨之降低，亦為一可行之作法。

雖印尼及馬來西亞之國情、PPP案件政經環境、推動背景及法令制度均與國內不甚相同，對照目前國內正大力推動之前瞻基礎建設亦以民生所必須之設施為主，若能參採上述國家之案例，採PPP方式推動成功，亦為一可行之作法。

參考文獻

1. Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC), 2017 APEC Finance Ministers' Meeting Joint Ministerial Statement(2017)。
1. World Bank, Private Participation in Infrastructure Database, <https://ppi.worldbank.org/data>。
2. Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC), Infrastructure Public-Private Partnership Case Studies of APEC Member Economies(2014)。
3. Indonesia Infrastructure Guarantee Fund, Experiences on Risk Allocation of Infrastructure Project with Public-Private Partnership Scheme(2017)。
4. 邱美鈴，「印尼政府協助民間參與基礎建設概況」，當代財政第028期，第88-93頁(2013)。
5. 走出去信息與服務平台，在印尼的基礎建設的規管架構概述，<http://www.chinagoabroad.com/zh/article/overview-on-infrastructure-regulatory-framework-in-indonesia>。
6. 何依栖，民間機構參與交通建設個案融資安排考察報告書，第27-29頁(2002年3月)。
7. 張極井，項目融資，第294-297頁(2003年9月)。
8. 馬來西亞觀光局在台辦事處，南北大道(North South Expressway)地圖，http://www.promotemalaysia.com.tw/info_detail.aspx?class_id=8&data_id=80。

摘要

交付合作夥伴Project Delivery Partner (PDP)之定義係指計畫競標成功後，由計畫業主(如政府或指定國營公司)授予PDP承攬相關承攬之特定項目，承攬商須承擔預算、工期及成果之交付風險。PDP承攬商亦須向業主保證在合約規定之目標成本內，在完成日期前交付完整之委託項目，同時承攬商須管理所有分包商，以及承擔與計畫相關之設計、施工、整合、調整及測試風險。

馬來西亞商金務大公司(Gamuda)成立於1976年，憑藉其大型計畫管理之優良業績，以及應用各種民用基礎設施及隧道工程方面之豐富經驗與知識，結合MMC Corporation成立50:50之合資公司 MMC-Gamuda，並在成功後，繼續將PDP模式應用於KV-MRT2捷運計畫上。該KV-MRT2計畫於2016年9月15日舉行動土典禮，在累積KV-MRT1捷運計畫執行經驗下，計畫業主馬來西亞捷運公司(MRTC)同意任何超支15%以內的成本支出，並將計畫延遲視為PDP之基本常見風險，故此MMC-Gamuda獲選為本地唯一PDP承攬商，其豐富PDP經驗被政府公開肯定，並具有能力在時程、成本內交付計畫成果，完成履約責任。



The Challenges Faced by the Project Delivery Partner (PDP) of the Klang Valley Mass Rapid Transit (KVMRT) Project

Abstract

A role of a Project Delivery Partner (PDP) is well known in Project Management. After a PDP has been successful selected, a project owner such as the government or a designated state-owned company grants a PDP the control power over the project. A PDP shall be responsible within the budget and time schedule to deliver a good quality of the project. Meanwhile, a PDP also needs to assure the project is within the targeted cost, and hands over a completed project before the commissioned deadline, as well as, at the same time, manages all the subcontractors, including undertaking design, construction, integration, adjustment and test run of project.

Gamuda Berhad (Gamuda) was founded in 1976. Based on its outstanding performance in management of large-scale projects and its extensive experience and knowledge in various civil infrastructure and tunnel projects, Gamuda has established a 50:50 joint venture with MMC Corporation Berhad (MMC) to form MMC-Gamuda consortium, and successfully applies the PDP model into KV-MRT2 project. The groundbreaking ceremony of KV-MRT2 project was on September 15, 2016. After accumulating experience in the implementation from the KV-MRT1 project, the project owner, Mass Rapid Transit Corporation Sdn Bhd (MRTC), agreed that the project or contingency cost can be slightly over the budget but is kept under 15%, while the delay risk of the project shall be borne by the PDP. Hence, MMC-Gamuda was ranked the top PDP contractor by its abundant experience that been much recognized by the government, and the company has ability and capacity to deliver PDP projects under the requirements of the schedule and budget, fulfilling the performance promises.

3

專題報導

壹、前言

所謂交付合作夥伴Project Delivery Partner (PDP)係指計畫競標成功後，由計畫業主(如政府或指定國營公司)授予PDP承商相關承攬之特定項目，承商須承擔預算、工期及成果之交付風險。PDP承商亦須向業主保證在合約規定之目標成本內，完成期限內必須交付之完整委託項目，同時承商尚須管理所有分包商，以及承擔計畫相關之設計、施工、整合、調整及測試風險。

貳、統包商Gamuda及其PDP業績概述

馬來西亞商金務大公司(Gamuda)成立於1976年，為基礎建設之龍頭集團，並曾與新亞建設合作承攬台灣高雄捷運工程。Gamuda憑

2017年7月17日全線通車(詳見圖1說明)。MMC-Gamuda工程總領導Dato' Ubuli Din Om，曾接受馬國詩華日報訪問時，定義PDP之價值與屬性如下：

- 規劃方面：進行計畫初步概念化、管理與執行整體項目、協助徵地。
- 設計方面：進行設計優化、達成可建構性、提高工程價值。
- 採購方面：提供透明採購流程、評估投標及合約配套、向業主提出建議，決定合約與授予。
- 施工方面：承擔所有施工風險、管理及監督承包商之品質和安全。
- 系統整合方面：承擔所有系統與整合風險、管理及整合承包商。
- 測試及試運轉方面：進行計畫測試及試運轉、確保取得許可證。
- 確保完成合約目標。

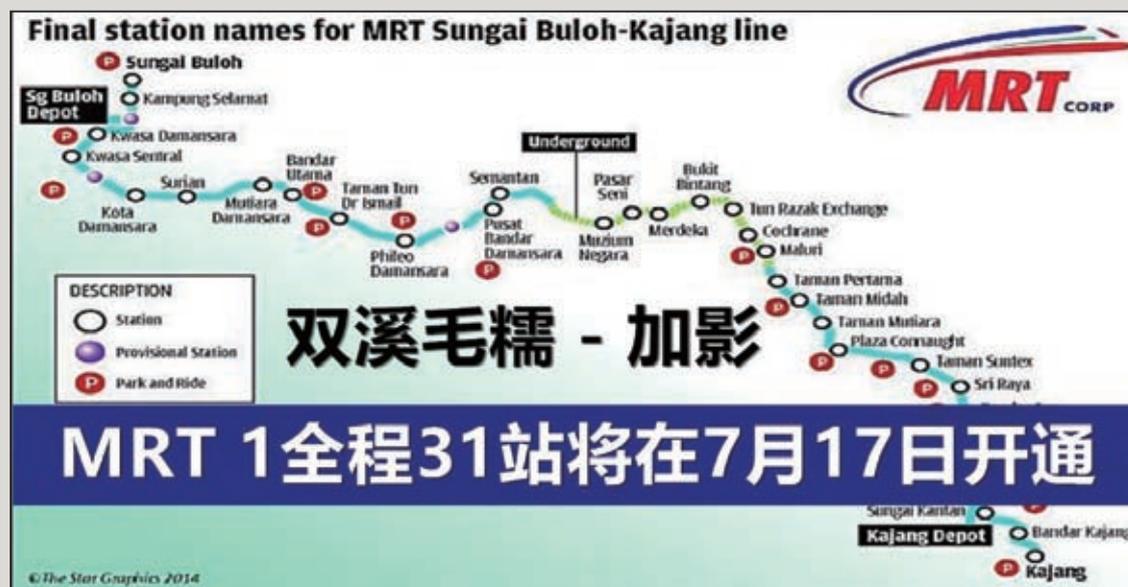


圖1 KV-MRT1捷運之31個站點(照片來源The Star Graphics)

藉其大型計畫管理之優良業績，以及應用各種民用基礎設施及隧道工程方面之豐富經驗與知識，結合MMC Corporation成立50：50之合資公司 MMC-Gamuda，並於2011年1月由馬來西亞政府委託擔任其大型捷運項目：吉隆坡捷運一號線(KV-MRT1)之PDP承商角色，該捷運線於

Dato' Ubuli 補充，PDP承商還須承擔各種非技術性障礙，例如在施工期間之公眾請願及投訴管理，又例如捷運工程常在有限之空間下進行，難免引起民眾對公共安全憂慮，或造成出入交通不便，除此PDP承商還需處理路線與動線之調整，以及協助土地徵收問題。故MMC-

Gamuda須兼顧政府單位要求之相關執照核准，並設立專屬公關部門及執照部門負責處理各項申請。簡言之，擔任KV-MRT1之PDP承商不是一項簡單任務，而決勝之關鍵係擁有經驗豐富之工程設計團隊，管理及審查組織內15家工程顧問公司所提送之設計成果，並在業主批准及發包施工標前，完成設計之優化工作。

參、馬國政府對PDP的信賴

目前，捷運工程仍是各開發中國家最大之公共基礎建設投資，政府不得不設法確保其巨大而複雜的計畫，盡可能低於預算成本，且於期限內交付，同時產生最大週邊開發利益，其中政府所依賴之扎實治理架構也須落實，以利監督計畫之順利進行，最明顯之成果即KV-MRT1在如期通車後，馬來西亞政府對PDP之運作模式信心大增，並持續以此模式全力推動後續軌道建設。

考量巴生谷(大吉隆坡)地區交通壅塞問題日益嚴重，以及政府需要一個嶄新、可持續之公共交通運輸骨幹，特別KV-MRT1系統已連結現有輕軌及鐵路(KTM, Keretapi Tanah Melayu)等現有軌道網絡，加上轉乘站建立及統一票務系統整合完成，吉隆坡捷運2號線(KV-MRT2)及未來吉隆坡捷運3號線KV-MRT3(環狀線)將陸續建置連結，以滿足巴生谷地區無縫轉乘之目標。

而在KV-MRT1艱鉅計畫中，擔任PDP工程總監Mr. Glenn Gittoes即擁有39年軌道建設經驗，服務過倫敦、巴爾的摩、曼谷、哥本哈根、香港及新加坡捷運，以及吉隆坡輕軌二號線等大型計畫。Mr. Gittoes表示，本案PDP兩項關鍵為「準時交付」及「合作夥伴」，並確保計畫贏得大眾關注。他表示，作為PDP承商，我們主要職能係確保在目標成本及合約期內，完成KV-MRT1計畫。而透過PDP承商適當管理，政府能

確保大型計畫之順利實施，並通過與捷運公司合作，以確保在技術、技能及計畫管理之經驗與資源整合能順利完成。以下他總結PDP承商於大型計畫中之作用(詳見圖2說明)：

- 監督所有設計顧問及承包商之整體表現。
- 偕同馬來西亞政府共同管理所有計畫之採購過程。
- 若承包商或分包商不符合預先確定之工作要求，PDP將直接接手，有效降低項目交付成本及時間增加之風險。
- 承擔所有準備工作、提交批准文件。
- 政府將項目之交付時程壓力及風險轉移予PDP承商，同時將整體計畫委託PDP承商管理，使得分包作業具透明性，且具有競爭力，而政府在此模式得到保護，免於爭議和索賠。

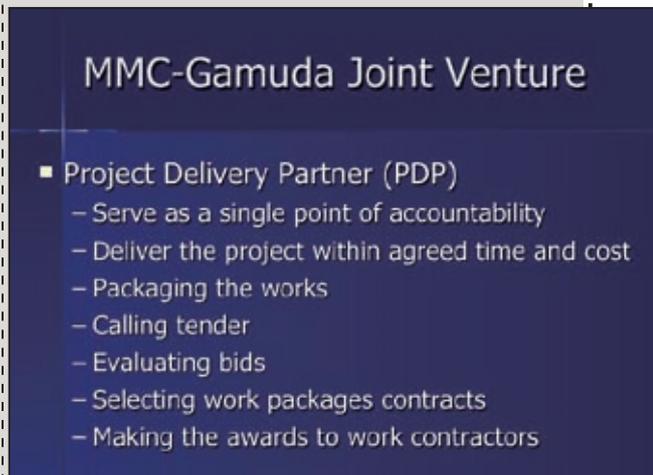


圖2 Gamuda公司之2017年新進人員訓練簡報內容(PDP責任)

肆、KV-MRT2 PDP模式特性

馬來西亞政府於KV-MRT1計畫首次採用PDP模式，並成功後，繼續將PDP模式應用於KV-MRT2上(詳見圖3與圖4說明)。該KV-MRT2計畫於2016年9月15日舉行動土典禮，在累積KV-MRT1計畫執行經驗後，計畫業主馬來西亞捷運公司(MRTC)允許超支15%以內之成本增加，並將計畫延遲歸屬於PDP之常見基本風險，故此



圖3 MRT公佈MMC-Gamuda為KV-MRT2 PDP



圖4 KV-MRT2 PDP簽約儀式：MRT Corp（馬來西亞捷運公司）首席執行官Dato'Sri Shahrii Mokhtar(左二)與MMC-Gamuda董事Dato'Paul Ha(右二)交換合約文件後握手。

MMC-Gamuda獲選為本地唯一PDP承商，其豐富經驗被政府公開肯定，並具有能力在時程、成本內交付計畫，完成履約責任。

惟MMC-Gamuda不以此自滿，在KV-MRT2計

畫中再次制定符合政府要求之工程技術規格，並在期程壓力下，完成跨領域之專業整合，以確保如期、如質及在預算內，完成業主所交付任務。由於業主未具完整大型且複雜之計畫專業經驗，因此聘用PDP管理團隊尤其重要，需

有經驗的承包商擔任，並需具備關鍵技術，才能有效地完成複雜計畫，其中關鍵包含採購策略、整合與協調分包商。

依KV-MRT2之PDP合約規定：除隧道工程之外，MMC-Gamuda不得承攬計畫中任何分包工程，因PDP承商不被允許成為任何分標之投標商，以避免利益衝突。其實PDP重視計畫經理之角色，其中設置激勵措施和處罰方式，旨在使計畫實施過程中，PDP承商與政府利益能保持一致。PDP承商收取KV-MRT2計畫預算之6%費用（不包括隧道工程費），該費用在工程開始後，每6個月為一期支付PDP承商；另有13.9%的可報銷費用，最高限額為28億令吉，可用於捷運設計(5.3%)，場地調查和地形測量(2.9%)，以及工程諮詢、測量和系統整合(5.7%)等工作。

伍、結語

綜合以上，MMC-Gamuda在KV-MRT2項目中為了減低自身PDP風險，多引用KV-MRT1經驗，重新制定統一標準並嚴格執行。雖KV-MRT2現階段處於設計工作尾聲及基礎、臨時工程施工階段，未來4年KV-MRT2可能遭遇之困難及挑戰如下：

- 項目沒有出現錯誤之些微機會，因超支或應急上限為15%之預算。若計畫超出此門檻，部分資源不得不從Gamuda自身來調度。
- 由於政府免受所有爭議和索賠的威脅，此為PDP隱含最大承擔風險：如預算超支、工作範圍變更，以及如KV-MRT1中最大爭議點：分包商因變更設計而求償或追加預算，此風險全由PDP承商承擔，僅排除金融危機發生時，政府可免除其衍生責任。
- 鑒於法律糾紛在KV-MRT1計畫層出不窮，部份國際承包商在KV-MRT1通車後，放棄KV-

MRT2之投標，因此MMC-Gamuda接觸了更多國際下包商，新的合約朝著公平原則方向修訂，以減少未來KV-MRT2可能發生之工程爭議及仲裁。

- 由於工程事故經常造成延誤，PDP承商需用更可靠及更透明的方式，來評估施工人員績效，因此要求現場承包商提供「安全護照」。新員工在工作前必須先接受兩個月培訓及安衛教育，以降低死亡事故數為零。
- 由於馬國政界或民意影響，徵地一直是造成成本超支之最大原因。
- 為使KV-MRT 2之PDP承商服務費用維持在工程預算6%以內，雖與KV-MRT1相似，但是業主(MRTC)加碼引進三項額外KPI指標(安全、質量和公眾參與)，並對PDP承商提出更嚴格之達標要求。
- 根據MMC-Gamuda公開財報指出，由於MRTC變更主要設計，KV-MRT 2地下段工程延遲了6個月啟動，進而影響工程用地取得，以及租借土地之手續與時程，最後導致計畫之要徑，推遲至少9個月以上。雖MMC-Gamuda已提出解決方案，但MRTC需再審查MMC-Gamuda之新提案。
- 本計畫受眾多輿論及政府壓力要求加速培養本地人才，同時帶動本地技術價值鏈向上發展，以創造工程從業人員有更高收入與就業機會，避免被國際公司長期壟斷業務及外流新技術。
- 鑒於前期馬來西亞輕軌建設，政府委託之統包商，經常將合約以大標案捆綁小標案進行，其結果並不符合成本效益，因每個系統所需之技術與技能不盡相同，而這些系統均需由不同專業團隊完成，所以MMC-Gamuda將

發包流程分解成為11個基本系統，效法新加坡及香港國際統包商，以加速完成大型公共投資計畫。

- 在KV-MRT1線計畫中，MMC-Gamuda管理之工程顧問公司約有30家，營造商約有90家，非得將採購流程變得完全透明。因為簽訂數量可觀之合約，造成分包商介面繁多，而介面連結問題往往造成進度延誤，需重新補強及制定了新的規格。另外匯率浮動，亦造成進口設備價格於簽約前後明顯波動，爭議接踵而來，至今尚未完全平息。
- PDP承商若具綜合技能，可提供更多附加價值，包含集中採購及批量訂購工程材料等，即能提高議價能力，惟需工程協調及界面整合之專業知識。在KV-MRT2中，設備採購統一由MRTC下單，以期採購能達到經濟規模，並降低對原材料之定價風險。而本計畫，業主MRTC已認定15%以下之成本超支係屬PDP合約合理範圍。
- 捷運建設常造成當地施工及工程顧問業人力短缺，以及設備供應鏈與資源吃緊，PDP承商需及時判斷本地廠商之承攬能力，能立即改發國際包來因應。由於KV-MRT2之整體建造費用龐大(約馬幣450億令吉)，若非以跨國廠商供貨因應，雖技術及物資不致短缺，但供應鏈拉長，所造成計畫時程延宕，將是一大挑戰。
- PDP承商可對所有分包商進行資格預審，亦可推薦優質承包商來承攬工作，但最終得標名單仍是政府(業主MRTC)之決定。為避免超額投標案例再現，PDP承商需不斷地與合格承商接觸，並指導及建議投標者最符合成本之價格。

- PDP承商必須能夠即時追蹤及管理工程，因此PDP需快速動員，如PDP承商須熟悉軌道計畫、了解徵地與政府審查流程。另PDP承商必須有靈活反應，能正確及專業處理所有涉外事務。MMC-Gamuda已向政府提出保證，KV-MRT2將不會有任何延誤，若有延遲，MMC-Gamuda將降低管理費用，故此MMC-Gamuda強調 KV-MRT2的核心係重視價值工程(Value Engineering)，即能降低成本，加速施工進度，同時MMC-Gamuda對外說明，在KV-MRT2計畫中，所引用之價值工程，其所節省之費用，將足以抵消計畫超支，亦即是能保障PDP承商獲利之重要關鍵。

3

專題報導





3

專題報導

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

猶記去年前瞻計畫剛公佈時，各方的質疑聲浪紛至沓來，官方的答覆與說帖也不斷推出，散之於各報章雜誌及網站，但如此龐大的計畫，想藉由三言兩語窺其全貌，恐非易事。本期的人物專訪，特邀請交通部 賀陳部長與高鐵局 胡局長兩位長官撥冗接受訪談，周董事長也特別全程參與部長的問答對談，從整體路網的決策思維、審查程序、工程興建、營運安全、養護維修到產業發展方向等層面，藉由兩場各兩個小時的訪談，做一個清楚而完整的整體論述，詳實的記錄在本期刊中，以供各界關心此議題的讀者們深入閱讀，希望有助於解答來自各方的疑惑。

本公司在周董事長上任後，配合政府新南向政策，積極鼓勵同仁走出去，在國際舞台上與世界知名的各大顧問公司較量，讓世界看見台灣世曦，也藉機拓展視野，增強國際觀。目前已有吉隆坡捷運、雅加達捷運等計畫之服務正在進行，其中吉隆坡捷運二號線的設計已進行一年半，有請同仁將其工作經驗，發表在本期的專題報導中，與讀者分享。雅加達一期捷運包括：CP106標、CP101&102標及輕軌，則礙於篇幅限制，希望能排在下次的專輯，再與讀者見面，在此深感抱歉。由於世曦工程師們的優越表現，吉隆坡捷運三號線計畫，業主也再度發函邀請世曦投標；而吉隆坡到新加坡的隆新高鐵，世曦也有機會參與其中的設計工作。期待海外計畫捷報連連，讓我們有更多的經驗在期刊中回饋讀者。

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。



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>

CECI



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



桃園國際機場捷運·A1車站竹林流瀑



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

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

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

用心
做好每一件事情

匠心，才得以淬煉「專業」品質
誠心，才足以貫徹「人本」信念
悉心，才可以恢宏「關懷」情操
台灣世曦永遠以「心」為出發
持續履行對土地、對人民不變的承諾
一個環境永續的生態樂園
一個幸福溫馨的生活家園