

中 | 華 | 技 | 術 | 144

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

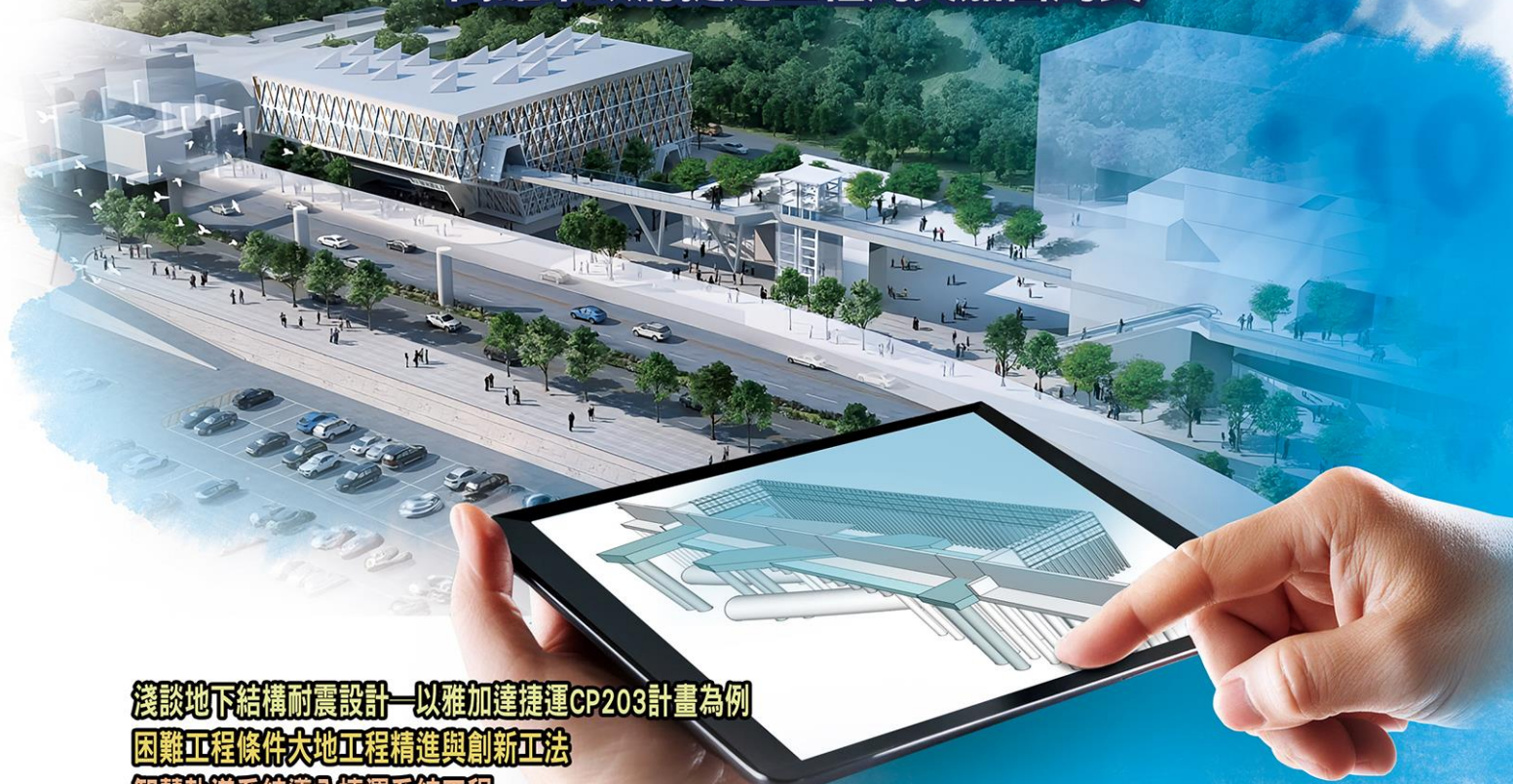
2024. 10. 31 出版

捷運建設新紀元 - 挑戰與突破



國內
郵資已付
台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／ 臺北市政府捷運工程局鄭德發局長
高雄市政府捷運工程局吳嘉昌局長



淺談地下結構耐震設計—以雅加達捷運CP203計畫為例
困難工程條件大地工程精進與創新工法
智慧軌道系統導入捷運系統工程
車頭攝影機應用於自動巡軌方案
城市共好的地標型特色車站—臺北捷運東環段Y32站設計



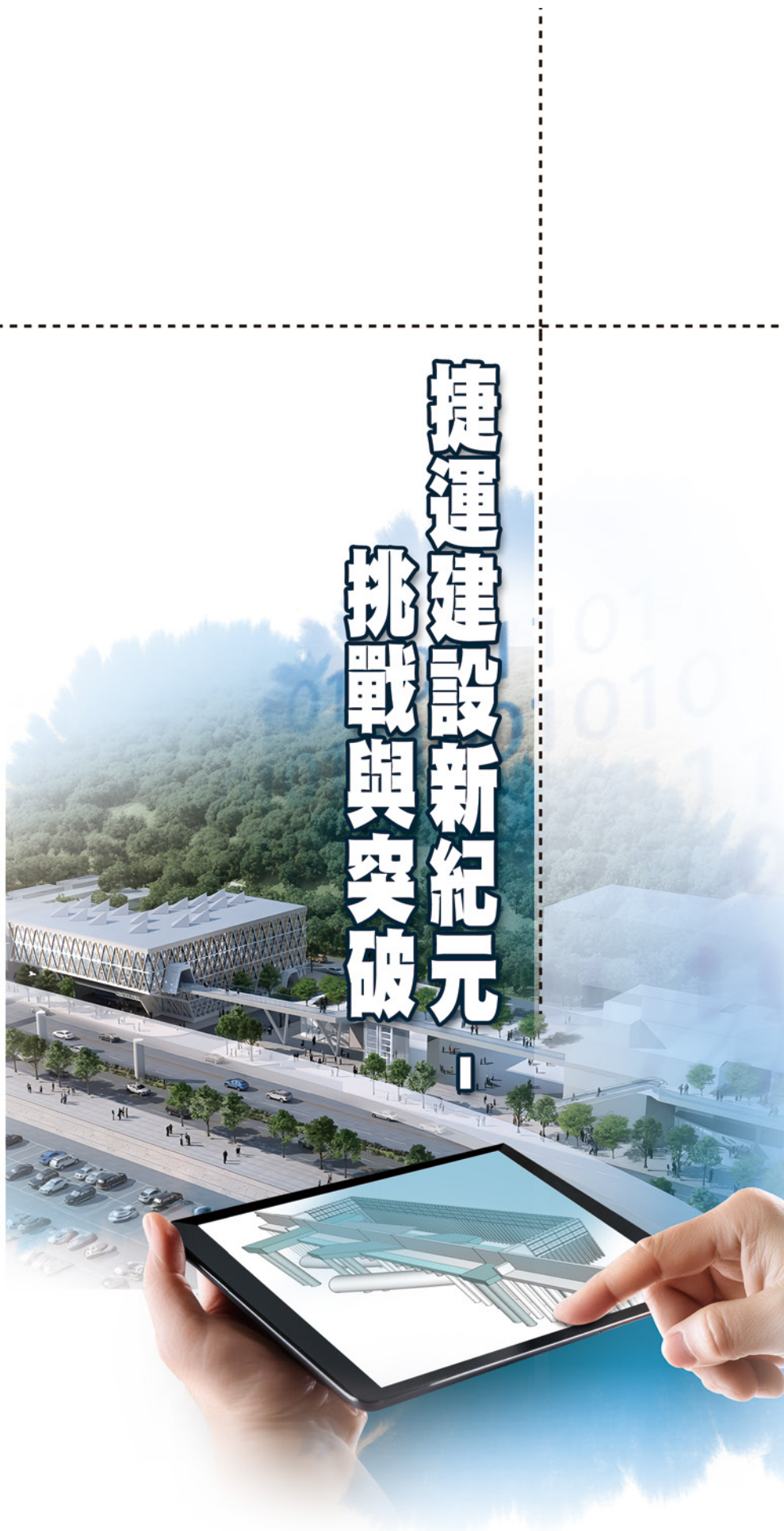
財團法人中華顧問工程司 發行

CECI



台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製

捷運建設新紀元 挑戰與突破



CONTENTS

中華技術 144

目錄



發行人 盧維屏
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 施義芳
副總召集人 廖學瑞
144期召集人 黃炳勳
144期審查委員 倪睿謙
總編輯 張鈺輝
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、吳妍瑱、李綺馨
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 ◎

專輯前言

1 | 人物專訪

8. 訪臺北市政府捷運工程局局長鄭德發
談「捷運建設新紀元 - 臺北捷運六線
動工2.0計畫」.....
..... 整理：譚家瑞・攝影：詹朝陽
24. 訪高雄市政府捷運工程局局長吳嘉昌
談「高雄捷運路網建設願景」.....
..... 整理：譚家瑞・攝影：詹朝陽

2 | 工程論著

34. 優化與精進輕軌與路面交通整合與
管制措施之研究
..... 許添本、張太乙、林承平、方庭恩

3 | 專題報導

54. 淺談地下結構耐震設計—以雅加達
捷運CP203計畫為例 賴宜群、
蔡淵堯、譚家瑞、李奕霆、許琍婷、王聖傑



74. 困難工程條件大地工程精進與創新工法

..... 李奕霆、宋上平、
蔡淵堯、賴宜群、許琍婷、林恒次

94. 智慧軌道系統導入捷運系統工程

..... 黃國星、黃柏元、郭維佳、賴奕亘、邱俊嘉

110. 車頭攝影機應用於自動巡軌方案

..... 李政安、李文浩、詹宏義、賴曙綾

122. 城市共好的地標型特色車站—臺北捷運東環段Y32站設計

..... 莊建忠、莊仁彰、黃迺棟、闕河彬

138. 參數化設計導入捷運工程之應用

..... 王彥清、
呂文儒、黃怡超、史訓璋、蕭瑋廷、馮興亞

152. 臺北捷運環狀線東環段DF119設計標之重大管線調查、衝突檢核與3D BIM模型建置

..... 呂文儒、黃怡超、楊家豪、余詩敏、黃資庭

164. 大區域重大管線系統之遷移、保護與特殊拆除工法設計

呂文儒、
黃怡超、楊家豪、余詩敏、陳勳融、許琍婷

178. 臺中捷運藍線通過地震斷層帶之橋梁監測及預警系統規劃

.. 趙振宇、黃介鴻、余志鵬、宋欣泰、黃謝恭

194. 海外軌道工程計畫經驗分享（以菲律賓NSCR-N1為例）

..... 詹宏義、鍾熙煜、林先鋒



4 | 特稿

206. 自動駕駛車輛和智慧先進車輛相關技術對國內大客車駕駛安全之意涵

..... 陳怡君、劉又升、張建彥

編後語



專輯前言

國內捷運建設歷經三十年的努力，打造的舒適便利搭乘環境，形塑優質的捷運文化，一直廣受國內外乘客稱讚。配合國家的「前瞻基礎建設-軌道建設」政策，全面推動「無接縫」優質軌道運輸服務，提升都會區交通運輸樞紐功能及服務品質，帶動捷運沿線產業發展，引入複合式軌道運輸系統，擴大軌道運輸服務範圍。

從北到南五大都會區均進入捷運建設的高峰期，一方面成為捷運專業工程師大展所長的黃金時期，一方面也遭遇營建業缺工缺料、市場飽和、民眾對於施工中降低環境衝擊的要求高以及節能減碳等課題的重大挑戰，必須跳脫傳統思維，採取精進創新的態度，導入最新的技術與工法，才能順利推動相關的重大捷運建設。

本期刊特別專訪北高捷運局鄭德發局長及吳嘉昌局長分享臺北捷運六線動工2.0計畫及高雄捷運四線齊發的推動與執行心得，訪談內容包括：將營運思維融入工程設計、海外捷運技術輸出、淨零排放的策略與目標、智慧鐵道的發展、工程招標的困難及突破的關鍵、聯合開發招商策略、建設與自然環境的共存共榮等重大突破與成就，非常豐富的寶貴經驗可作為其他都會區推動捷運建設的參考。

輕軌系統為低建設成本的綠色軌道建設，但由於輕軌列車使用平面道路，必須滿足用路人和輕軌運輸系統的特殊需求，本期邀請許董事長添本先生發表「優化與精進輕軌與路面交通整合與管制措施之研究」，研究分析各誤闖及用路人與輕軌列車之間的

事故，提出肇事及闖入改善具體管制措施建議。

本期期刊另收錄了有關捷運建設規劃、設計、施工及營運等面向的專題報導論文10篇供各界參酌，重點摘錄如下：

「淺談地下結構耐震設計—以雅加達捷運CP203計畫為例」：因應神戶大地震的歷時紀錄及嚴重災情，日本地震研究單位大幅提升設計地震力，工程主管機關亦將性能設計納入耐震設計考量，傳統之強制變位法已被取代，改採應答變位法與純動態歷時分析。本文介紹日本最新的地下結構耐震設計方法，並利用雅加達捷運二期CP203計畫分享地下車站耐震設計成果。

「困難工程條件大地工程精進與創新工法」：臺北捷運環狀線南環段路線位於臺北盆地外緣高度開發且人口密集路段，地質條件變化大、岩盤深度淺且強度高、車站所在路廊狹窄，整體施工困難度非常高。本文將針對深開挖工程緊鄰營運中高架捷運橋墩保護工程、既有堤防破除及基樁拔除與置換工程、複合地層柵狀擋土排樁工法，及狹窄道路施工之工程困難，說明如何以大地工程之精進與創新工法完成挑戰。

「智慧軌道系統導入捷運系統工程」：配合資訊科技與IoT技術的成熟與普及，大量蒐集捷運系統車站運行即時資訊、環境監測、旅客服務等數據，並將其整合進行捷運智慧監控管理，進而實現即時精準的決策，來提升運營效率、改善旅客的乘車體驗。本文說明智慧設備應用於捷運系統，推動智慧化與數位轉型應用服務，促進整體捷運系統營運、服務與維修的效益更上一層樓。

「車頭攝影機應用於自動巡軌方案」：為節省巡軌人力作業時間及提升品質效能，探討運用車頭障礙物偵測攝影機進行自動巡軌，配合行控中心即時車頭影



專輯前言

像遠端監看功能，研析通訊系統傳輸頻寬並考量實際巡軌時之號誌速限、攝影距離及夜視功能等條件，提出具體可行方案。

「**城市共好的地標型特色車站-臺北捷運東環段Y32站設計**」：臺北捷運東環段路線行經內湖科技園區，其中Y32站位於大港墘公園，設置下凹式廣場以延續綠意、引入人流；廣場採「分時共享」的設計概念：週間提供內科上班通勤族休憩、放鬆心情的場所；週末公園內的綠地與共融式遊具，成為吸引親子與社區市民休憩的綠洲。

「**參數化設計導入捷運工程之應用**」：參數化設計之數位模型由參數驅動，通過參數的改變，工程師可以快速輕鬆地創建不同的設計方案。本文探討參數化設計在捷運工程中的應用，透過跨專業整合性的工作流程，能在早期設計階段提供更多創意的可能性，還能在後續工程過程中，提供更精確的模型和快速的調整能力，提升了設計靈活性及優化跨專業協作。

「**臺北捷運環狀線東環段DF119設計標之重大管線調查、衝突檢核與3D BIM模型建置**」：都會區捷運工程路線為避免侵入私有土地，主要沿著既有道路佈設，無法避免與大量地下管線衝突。傳統透過2D CAD/GIS技術將地下管線與車站、隧道相對位置套繪模式，無立體概念，很難進行有效的衝突檢核及整合設計。本文說明利用BIM (Building Information Modeling, 建築資訊模型)技術建置3D管線立體空間位置，以便精確掌握與車站及隧道位置的衝突情況，納入管線遷移保護及車站配置設計之重要考量。

「大區域重大管線系統之遷移、保護與特殊拆除工法設計」：過去地下捷運建設管線衝突遷建範圍主要以地下車站或明挖覆蓋段範圍為主，管線遷建亦為單一管線遷建較多，尚無潛盾隧道沿管線路徑大範圍衝突造成大區域整體管網配合遷建案例，本文以臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段DF119標之汙水區域管網改建為例，說明大區域重大管線的系統之遷移、保護與特殊拆除工法設計構想。

「臺中捷運藍線通過地震斷層帶之橋梁監測及預警系統規劃」：臺中捷運藍線路線B4與B5兩車站間高架橋穿越，大甲-彰化斷層(逆衝斷層)，為評估捷運受地震之危害並提出管理維護規劃，本計畫依據沿線區域地質條件與地震紀錄特性，針對結構監測、液化評估與橋址監測、結構分析等三個面向進行基礎研究，藉以規劃地震斷層帶之捷運橋梁的震害監測對策及預警系統，以提升災害監測與預警的整體技術水平，也可有效減少地震造成的相關災害。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

黃炳勳

「海外軌道工程計畫經驗分享-以菲律賓NSCR-N1計畫為例」：本文分享有關菲律賓南北線通勤鐵路(Malolos - Tutuban段)之軌道設計服務計畫執行經驗，包括國內與國外計畫「階段」性設計成果發展程度的差異、自行開發設計工具智慧財產權的維護、要求合理審查機制避免作業期程延宕，及提升外語溝通協調能力等，以作為日後海外計畫執行的借鏡。



訪臺北市政府捷運工程局局長

鄭德發

談

捷運建設新紀元—
臺北捷運六線動工2.0計畫

整理：譚家瑞・攝影：詹朝陽

壹、前言

鄭德發局長為國立臺北科技大學機電整合研究所碩士，長期服務於臺北捷運公司，曾任系統處長、技術服務辦公室協理、副總經理等各項職務，並受邀擔任桃園捷運股份有限公司總經理，對於捷運系統的營運管理經歷俱豐。於106年籌組團隊至新加坡，協助新加坡地鐵之整體營運問題診斷，獲得新加坡地鐵很高的評價與肯定。111年12月獲蔣萬安市長邀請領導捷運工程局，接下臺北捷運六線動工2.0計畫的建設使命。

本期中華技術很榮幸於113年8月12日下午專訪鄭德發局長，就捷運建設新紀元所面臨的挑戰與機會，如何將營運思維融入工程設計，給予專業見解及經驗分享，專訪內容整理如後。

貳、訪談紀要

問：鄭局長在臺北捷運公司從維修部基層一路做到副總經理，再到桃園捷運公司擔任總經理，有非常豐富的捷運系統營運維護經驗。111年12月25日鄭局長接任臺北捷運工程局局長職務，轉換角色接下捷運系統規劃與興建的重任，能否分享一下到任滿一年的心得與感想。

答：臺北捷運公司經營的使命「提供安全、可靠、親切的運輸服務，追求永續發展」，服務旅客以及系統穩定就是兩個首要的目標。我在大學畢業後就進入臺北捷運公司工作，前輩們個個都很優秀，洞悉力、執行力及果斷力皆

強，我們就在這樣的工作環境下耳濡目染並養成。捷運公司主要是負責營運，營運過程中追求的就是嚴謹，有問題要面對並徹底了解，再來思考解決方法。所以在營運過程中，不管是在營運或是技術，只要發生問題，第一個就是找到問題源頭，思考解決方法，自己規劃改善方式。我們每一位員工都被訓練這三步驟，最後都能自己辨識判斷問題、分析問題、規劃解決方案。不管在車站旅客服務、行控控制或是在後勤的技術設備支援等單位，都是依這樣態度及方式來處理的。

為了實現這些目標，公司建立了一套獨特的培訓體系，旨在培養員工解決問題的能力。注重實務經驗和解決問題的能力：在臺北捷運



公司，新進員工會在經驗豐富的前輩指導下接受培訓。這種師徒制強調嚴謹和徹底性，要求員工深入理解問題的根源。培養員工解決問題的三個步驟：1.找出問題根源。2.思考解決方案。3.規劃改進措施。透過這三個步驟，員工逐步培養識別、分析和解決問題的能力。這種方法不僅應用於乘客服務和營運控制，也延伸至後勤技術支援。

鼓勵創新思維和驗證：鼓勵員工在解決問題時發揮創意，並將其付諸實踐。重要的是，所有提出的解決方案都必須經過嚴格的邏輯驗證和實驗測試，才能最終獲得批准並實施。經驗傳承和產業影響力：培訓理念和方法不僅影響著公司內部，也擴展到整個軌道運輸行業。現今許多臺灣軌道運輸公司的主管都曾在臺北捷運公司接受培訓，並將其嚴謹的思維方式和解決問題的能力帶到其他公司。

因緣際會接下蔣市長團隊的捷運工程局局長，這是一個奇妙的轉換，之前，我在臺北捷運公司負責過維修、營運、運務和工程等多個部門的工作，累積了豐富的實務經驗。這些經歷促使我能夠從營運的角度出發，思考如何優化工程設計，例如在土城線、新蘆線和信義松山線的建設過程中，我主導了接收測試、規劃營運前測試，並制定了軌道驗證的標準作業流程。

從營運的觀點進行捷運建設是一種奇秒的轉換；進入捷運局後，雖然工作規模從 "一兩億元" 擴大到 "幾十億上百億元"，很多人問我是否壓力變大，但其實我並沒有感到很大的改變，一樣是延續了在捷運公司養成的 "三步驟" 解決問題的思維模式，我的工作從營運的角色轉變到工程思考，從公司的系統測試等具體執行層面，轉變為關注都市發展和交通需求，如何將都市環境、城市發展和交通需求等因素納入捷運興建的考量。



(左)倪睿謙協理

(前左1)吳依儒計畫工程師 (前左2)黃國星副理

我和捷運局的同事們都認同，應該將營運經驗應用回饋於工程設計，才可以打造更安全、可靠、便捷的捷運系統。

問：鄭局長任職臺北捷運公司期間，於106年曾獲邀組團隊至新加坡，進行新加坡地鐵之整體營運問題診斷，獲得新加坡政府非常高的評價，112年臺北捷運、新加坡SMRT地鐵公司更締結姊妹

妹地鐵，深化合作關係。請問鄭局長如何克服文化、語言及制度的差異，協助新加坡地鐵，改善整體營運維護的可靠度。

答：新加坡地鐵(SMRT)在106年1月15日南北線(North South Line)上發生了一起由電力系統故障引起的事故，這次故障發生在早高峰時段，導致列車服務中斷，並對乘客造成了不便。4月23日東西線(East West Line)發生了



(中左)廖學瑞總經理 (中右)鄭德發局長 (右2)于新源專案協理 (右1)譚家瑞經理



1

人物專訪

一起大規模的服務中斷，原因是電力故障。6月28日南北線（North South Line）再次發生了系統故障，這次事故涉及到列車運行的電力系統，造成了服務中斷和延誤。10月15日東西線（East West Line）發生了重大事故，這次事故起因地下水滲漏引起的，水滲漏造成了電力設施受損，而導致了列車服務的中斷。這些事故影響了早高峰時段的乘客，造成大規模的交通混亂。於是新加坡地鐵邀請北捷團隊前往進行整體營運問題診斷。除了語言文化稍有不同外，新加坡是屬於精英領導，制度上也與我

5年內、導致捷運停駛5分鐘以上事故資料，可惜資料不完整無法分析。後來再請他們提供近3年的No Fault Found事故，資料相對完整足以進行分析探討。因此我們在出發前對新加坡地鐵的狀況已有初步概念及了解，依此，規劃了一個菁英團隊八位成員及訪問行程表(9天)，希望透過訪談了解所有部門狀況的需求，進行面對面的問題討論，以便反饋問題現況。



們有些差異。當時接獲重任，一剛開始我請教幾位前輩，他們提醒「你要去新加坡沒這麼容易，新加坡自視很高，不會隨便聽你的，你要能夠很清楚很精準地抓到他的問題」。在訪問前我先做足功課，先請新加坡地鐵(SMRT)提供

前往新加坡地鐵的第一天，是由一位承辦人出面接待及解釋問題所在，會後我立即跟陪同接待的部門表示，下一場presentation，部門主管如不親自參予的話，恐怕我們也幫不上忙，因為我們沒辦法了解你的真因，也就無法

給出建議。接下來從電聯車、號誌、供電等核心機電部門主管紛紛加入，我們



鄭德發局長於專訪中表示，任職臺北捷運公司期間，於106年曾獲邀組團隊至新加坡，進行新加坡地鐵之整體營運問題診斷，獲得新加坡政府非常高的評價，112年臺北捷運、新加坡SMRT地鐵公司更締結姊妹地鐵，深化合作關係。(左圖／臺北捷運公司提供)



1

人物專訪

從這些專業部門一個個討論，抽絲剝繭，問題逐一浮現，並告知對方目前狀況及可能會面對的問題。另外我特別針對No Fault Found跟他們討論，並不是沒有問題就代表沒事，這樣心態不是一個捷運系統的營運管理者應該有的，否則只要捷運一出事，整個都市的廊道就癱瘓了。

在探究問題過程中，我們發現到糾正性維護(CM)的不足，機廠因為下大雨，pump沒有正常啟用，導致機廠發生淹水，當時新加坡的交通部長非常震驚。這個問題其實可以用大數據解決，作業單位沒辦法去監督每一個員工是否確實執行作業，但是設計的時候，pump的抽水時間，抽水次數及抽水量都知道，結構滲漏水是一個標準定量，超過這個叫做非定量，用數據管理確認這些alarm是不是正常？有時候測試中的維護忘了把Manual放回Auto，把Manual狀態訂為Fault，假如沒有回到Auto的話 他的Fault就回去了，採用人管理人是比較沒有效率，因此在北捷，我們會思考怎麼訂立制度去管理，而非採人盯人方式。北捷員工有一千多人，外包人員有兩千人，唯一就是訂立制度去管理；比如：人員的進出場時間、核心設備測試的時候要跟行控中心對測，各單位完成各單位的作業。預防性維護(PM)及糾正性維護(CM)表單全部數位化，測試數據利用電腦，進行統計及分析，讓這些Data提供管理者判讀。

在與新加坡地鐵診斷最後一天，我們對董事會做一個Final Presentation，告訴對方現況是什麼？可能的解決方法是什麼？並逐一給予建議。

一年之後我再回訪新加坡地鐵，他們依我們建議做了大約有八~九成的改變，有部分因為硬體或環境不同而不適用，新加坡地鐵經費充裕，可以投入大量資金進行改正，硬體面從修正設備開始，軟體面從管理人員並要求配合。像號誌跟電聯車太多No Fault Found，代表元件上有很多問題沒辦法測試出來。你一定要把80% Routine的故障消除，不能讓問題重複出現，把力量集中在10~20%的疑難雜症去找真因，用合理的儀器跟邏輯程序去量測出來問題在哪項步驟，再回溯追查哪個動作元件



故障。診斷過程中，清楚的瞭解問題才能確實的判斷處理方式，診斷期間還為了避免媒體困擾，我們一行人低調的入住三級酒店。我們誠懇的解決方式也促成後續2023年新加坡地鐵(SMRT)與臺北捷運締結姊妹地鐵，也算是美事一樁。

善用制度思維，用管理手法消除80%的常態性問題。

面對新加坡地鐵(SMRT)當時面臨的眾多事故和挑戰，鄭局長採取了一系列策略來協助他們改善營運維護的可靠度。

一、務實且具針對性的準備工作

鄭局長了解到新加坡地鐵事故頻傳，例如電聯車淹水、集電靴故障等問題，顯示出其營運維護存在不足。在前往新加坡之前，鄭局長做了充分的準備工作，包括事先收集SMRT的事故資料，特別是"No Fault Found"的案例，以便更精準地掌握問題。

二、克服文化差異，積極溝通

鄭局長意識到新加坡與臺灣存在文化差異，包括精英領導文化和不同的制度。為了

(後)廖學瑞總經理 (前)鄭德發局長



克服這些差異，他堅持直接與SMRT高層主管對話，確保能夠了解問題的真相，而非僅僅聽取承辦人員可能較為保守的說法。

三、組建專業團隊，展現技術實力

鄭局長深知技術實力是取得信任的關鍵，因此他慎重地挑選了在捷運系統，各專業領域有豐富經驗的8名專家組成堅強的團隊。

這個團隊能夠直接指出問題所在，並根據豐富的經驗提出可行的解決方案，從而贏得SMRT的認可。

四、強調制度化管理，而非僅僅依靠"人盯人"

針對新加坡的種族問題，鄭局長建議SMRT採用制度化管理，避免過度依賴"人盯人"的方式，因為這種方式難以有效監督每一個員工。他以臺北捷運為例，說明如何透過數位化表單、數據統計等方式，建立一套完善的制度，有效提高維護效率。

五、真誠溝通，建立互信關係

鄭局長和團隊展現出專業和真誠的態度，他們並非"來看笑話"或"指責問題"，而是真心誠意地幫助新加坡地鐵解決問題。這種真誠的

態度有助於建立互信關係，為後續的合作奠定了基礎。總之，鄭局長透過務實的準備、有效的溝通、專業的技術團隊、強調制度化管理以及真誠的態度，成功地協助新加坡地鐵改善了營運維護的可靠度，最終促成了臺北捷運和SMRT締結姊妹地鐵的友好合作關係。

問：針對臺灣2050淨零排放的目標，請問鄭局長目前規劃捷運工程設計與興建，推動淨零排放的策略與目標。

答：在捷運工程淨零排放的推動，我們目前是分成「設計階段」、「興建施工」、「碳盤查」等三個階段。核心機電最主要就是節能，現有的設備如何可提高節能，從需求及規格的要求檢討，回饋到起初的設計。土建設計亦是，由廠商提供綠色計畫，對淨零碳排的綠色供應鏈，碳足跡皆須以書面提出說明，設計階段列入要求廠商能夠提供更節能的組件、設備



及施工方式。未來就是從設計到施工到盤查去檢驗。碳盤查完才知道跟以前的差距多大，施工過程中我們必須要確認這些東西是可行的，還有檢查是否有確實執行，再做一個確認，並檢討施工過程中是否有進一步的改善與優化空間。最後一件事就是去做整體的碳盤查，把前面這兩個步驟做一個盤查，跟以前相比較。2050是一個指標，2030是一個階段，我們現在從這個角度做開展，我們也還在學習探索。

興建中的計畫加入設計必須要的要求，現在審查階段就要求。捷運還沒做過，將來東環會導入。現階段我們先從規範設計對節能做要求，以主要供應商可以提供的土建材料原料、機電組件設備等加入我們的節能設計要求，這樣做會比較務實。再透過大數據回饋檢討設計需求與標準，一個計畫一個計畫走下去。有更好的建議我們就採納，跟業界進行廣泛的交流，把可行的再放進來。目前先做可執行的項目，或許還不夠，我們再慢慢把必要的項目納進來。

配合國家2050淨零排放的大型轉型工程，鄭局長提出臺北捷運工程局階段性目標與實際可行的做法，分別應用於規劃設計、興建施工、碳盤查及檢討與改善，提供更高效、更低碳、更智慧的軌道建設。

一、設計階段

需求與規格檢討：在設計階段，深入了解現有設備的能效，並根據最先進的技術和標準進行需求和規格的優化。可以考慮引入行業最佳實踐和標準，如ISO 50001（能源管理系統）來指導設計。

綠色設計標準：制定具體的綠色設計標準，要求所有供應商和承包商在提交方案時必須遵循這些標準。這些標準可以包括材料的環保性、能效等級以及施工工藝的綠色指導。





二、興建施工

綠色施工計畫：確保所有承包商和供應商提供的施工計畫中包含綠色建築的要求，包括減少碳排放、節能減排措施和可持續材料的使用。

施工過程中的優化：在施工過程中，進行定期的檢查與監督，確保承包商遵循已制定的綠色施工計畫。對於發現的問題或不足之處，及時進行改進和優化。

數據收集與回饋：建立有效的數據收集系統，追蹤施工過程中的能耗數據和碳排放數據，以便後續進行回饋和改進。

三、碳盤查

全面盤查：配合施工過程，進行全面的碳盤查，評估整體項目的碳足跡。包括對設計階段和施工過程中實施的節能措施進行綜合評估。

比較與改進：將碳盤查結果與過去的項目進行比較，識別改進的空間。根據比較結果調整未來的設計和施工策略。

四、長期規劃

2030與2050目標：將短期目標（2030）和長期目標（2050）納入整體規劃中。確保所有計畫和措施都能支持達成這些目標。

持續學習與改進：保持對軌道捷運專業新技術和最佳實踐方法的學習，並將其納入未來的設計和施工中。定期與業界進行交流，分享經驗並吸取新知識。

五、具體實施

可行性評估：在引入新技術或措施前，進行詳細的可行性評估。這樣能夠確保在現有條件下能夠實施，避免因技術不成熟而影響工程進度。

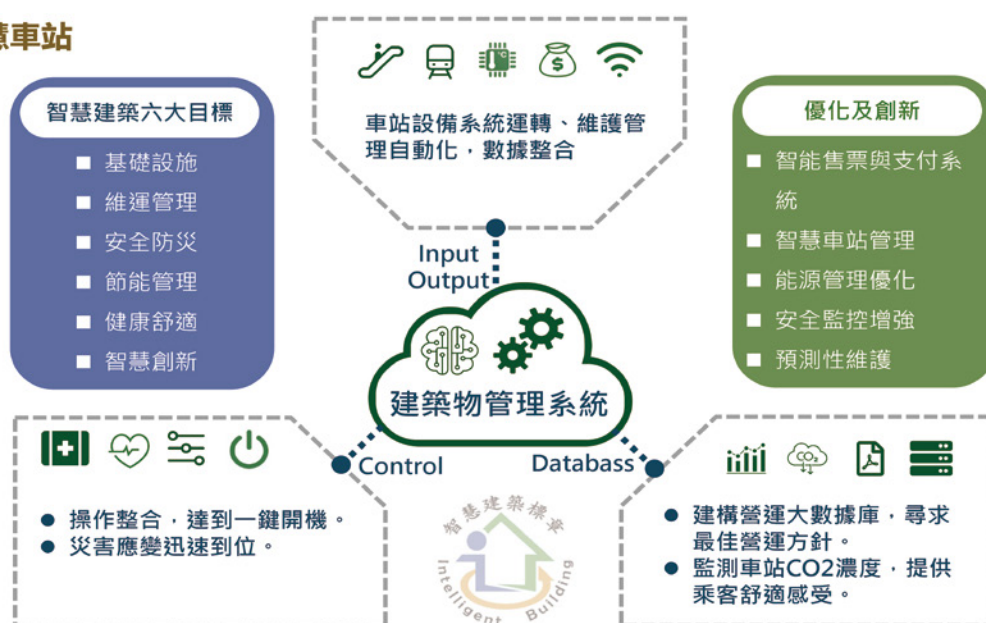
階段性推進：可以分階段推進節能措施的實施，從較小範圍的項目開始，逐步擴展到更大規模的項目，這樣可以更靈活地進行調整和改進。

問：鄭局長到任後強調要導入「智慧鐵道」概念，「不是只會蓋捷運，要蓋出聰明的捷運」，麻煩鄭局長分享目前的做法與預期的效益。

答：智慧鐵道不是只是自動駕駛的運輸系統而已，那只是智慧鐵道的一部分。真正的智慧鐵道還要能自動顯示或告知潛在的問題是什麼？或者是經過檢測蒐集的大數據能辨識關鍵的問題。要做智慧鐵道要先確認目標，包括被動的資訊跟主動的監控(Condition Monitor)。

有什麼Condition才會發生？在這個Data Flow過程中我可以Monitor他什麼時候發出剎車的指令，我就可以知道他的等級順序是什麼，我就知道哪一個地方有問題才會讓這個列車緊急剎車。所以我們現在就必須要把這個Data Flow拉出來做加值應用，可以把這些訊息丟給行控中

智慧車站



首先智慧鐵道在興建的部分，要能主動的監控，舉例來說列車有本身控制的佇列 (Queues)，比如說加速及剎車，這些是屬於列車本身的物理特性佇列，加了車載號誌上來，變成所謂的鐵道號誌佇列，這兩個控制佇列基本上是一個邏輯控制，有很多控制資料在跑，第一件事就是希望這些資料能夠邏輯化的被監控，怎麼去分析、理解及使用這些資料。例如：這輛列車為什麼一直緊急剎車，緊急剎車一定

心及維修廠。行控中心隨時有人在看這個列車跑到哪裡？也知道這列車目前的狀況是什麼？把這些資訊組成一個Dash Board，列車、動力狀態可控的東西都抓出來讓行控中心可以看到，可以知道列車是不是需要更換？或是需不需要通知下一站的站長上車做一個手動駕駛？不會因為突然間一個什麼問題就掛點了。



1

人物專訪

把系統操控變成可顯示可掌控的操控，避免面臨自動駕駛的不可知，出什麼問題都不知道。所以營運單位鼓勵從需求面提出問題來，設計面把Data Flow串接出來，這些都是必須要然後利用軟體做加值設計，將必須要的監控項目做顯示跟加值判斷。

有數據的監控值就給他加一個判斷，這個判斷值第一次是廠商建議，第二次是經驗累積。這個判斷值會改變，隨著營運會放大，在生命週期的階段要合理增加。由營運單位去設定這個參數。

正在設計的計畫從規範面去要求，直接提出我們的需求，國際廠商也需要配合。只要不是綁標就大膽地去做，這是國際上都有的需求。公開說明需求，公開徵求意見，要告訴廠商為什麼要這樣做，不是竊取廠商的Know How 我只需要我要知道的Data Flow，不能被廠商綁住。我希望每一個系統主設備都有一個邊緣運算Server可以做為Data Filter，不必要的資訊把他濾掉，變成未來可以做儀表板(Dashboard)。

不是今天把所有訊息丟在一個螢幕上就是智慧化，這個叫資訊化，達不到營運者的需求一對這個系統有掌控性。其他的就是監測，比如說軌道車檢測完之後這些Data(裂縫

或瑕疵線型)進入加值程式去跑，再給他一個Address去定義是哪個路段，去找出來是什麼問題(軌道瑕疵、髮絲細紋、斷軌、應力或線型跑掉)，再把它放到高階監控，所有東西可以變成可視可看。

智慧是可視可看，營運者需要增加的是預防式維修/矯正式維修(PM/CM)全部數位化，利用加值程式來輔助判斷這兩個match起來對不對。興建階段要做到未來列車對營運單位來說是可控的，甚至平常的這些維護、故障要查原因要靠這些來做。

鄭局長在臺北捷運公司即投入智慧鐵道的研究與推動，任職桃園捷運公司期間並將之落實在機場捷運系統的營運與維護優化專案，透過蒐集大數據、建立分析模型並預測未來趨勢等應用方法，提供鐵道環境安全監控、預警維修、列車巡檢與旅運服務等服務，營運機構間可共享相關成果，藉以提升鐵道行車安全與營運效能，滿足鐵道營運機構提昇營運效能、旅客服務品質、營運安全。

問：近期捷運工程招標受到俄烏戰爭、缺工缺料及營建市場飽和等大環境影響，導致工程流標與延宕。鄭局長曾親自拜訪國內營造大廠老闆，了解施工廠商的疑慮，希望能提高廠商的投

標意願，目前已有標段陸續成功決標。請鄭局長分享所遭遇的困難及突破的關鍵。

答：我問過學校的教授，現在土木工程領域的新鮮人都跑去哪裡？據說約三分之一進了電子業、三分之一唸研究所、三分之一在家裡(網路行銷、Uber)，營建行業裡看不到年輕人，公務員福利條件也不好，以前公務員最多是商調，現在開始出現直接辭職轉考技師，或被營造業、顧問公司挖角。

我就任後第一個要面對的就是南北環還有很多標都沒有發包出去，something wrong。去年2月，國內十幾個檯面上的營造廠，我一家一家拜訪，先了解我們的環境到底出了什麼事，這三年疫情對整個環境都產生了質變，整個大環境從物料需求到技術人力需求都產生大變化，有很多資深員工在這段期間消失，沒有新的工程師。原來的工地是50幾歲的工地，很多工班都退休，沒有工班+原物料的問題，第一個衝擊就是工程費用出問題了，施工環境條件也越來越差(臺北路廊太小、新北地下管線複雜)。

廠商就提出來了他們面臨到工期跟價金的問題 所以要從政府面幫他們解決，因為捷運局是機關，單價或費用不足還是得跟公共工程

委員會協商，辦理市場訪察，請設計顧問重新評估調整，再辦理廉政平台。解決這些工期及費用不足的問題，同仁會擔心圖利的問題，所以程序需符合法規。這樣整個弄下來後，最後做一件事，重新安排合理的招標策略。不能因為哪個標案容易就拿出來標。在整個標案的過程中應思考現況及未來，我們應該是從環狀線一期未來銜接口開始做，必須從680A、B標開始做。這樣做可以分段通車，如果從中間做，做完也沒用。

最後再把費用、工期這些困難納入修正契約或修正條件，另外廠商可以針對施工風險，提出書面建議並納入契約，由政府跟廠商共同承擔，否則沒人敢投標。所以我們把這些契約工期與費用問題處理完，再進行招標作業。目前就是按照這個順序，剩下就是士林及中山區CF690A，CF690B和南環段最難做的CF670標。希望在今年9月能夠把這些標順利招標完，我們就可以進入東環，我預計在明年要全力處理東環的工程。

施工廠商願意留在臺北承攬捷運工程，最重要是我們有完成細部設計，我們的先期調查及大地工程分析可以做得比較徹底，而採統包模式僅完成基本設計的完整程度及成熟度比較低。廠商希望的是合理的標案環境、可控的風險，最重要的關鍵是風險。



面對近期缺工缺料及營建市場飽和等大環境影響，鄭局長實際拜訪主要施工廠商，了解問題的核心，除了檢討契約條款與改善設計成果的施工性，展現業主與廠商共同承擔風險的誠意外，也鼓勵施工廠商擴大投資自己的工程團隊與施工資源，降低外在因素對工程推動的影響，目前已有初步的成果，預計113年完成南北環招標，114年衝刺東環段招標。

問：由於臺北捷運興建與營運的成功經驗，造成各縣市政府均大量投資捷運系統的建設，形成捷運工程興建高峰期，請鄭局長勉勵捷運工程師，面對新世代捷運工程應具備的思維與能力。

答：

一、保持初心與韌性，耐心與新業主溝通

要有耐心面對各縣市初來乍到，用一般的公務思維應對千變萬化且介面複雜的捷運工程建設、必須要有耐心去說服他

二、工程師應保持創意，設計保持彈性解決現況問題

工程師要保持創意不要固執，設計要能解決現況問題。我們的環境現況不斷改變，若不改變設計方式問題就來了。像現在CF670標想改變工法，因為用地條件的限制，時程上也來不及。鼓勵工程師創新思維 要換另外一個思維(例如縮小站體、管線繞道、半半施工等)

考驗現場施工的應變。

CF690A跟CF670標都滿困難的，要從過去服務性思維改成施工性思維。例如東環段隧道路線調整避開長虹大樓，大幅降低民眾抗爭及施工風險，雖然局部區段營運速度達不到預期，但是其實全環重新分析營運速度的影響有限。

三、全面性鐵路系統認知，拉大格局

工程師對鐵路系統要有更全面的認知，不要一直侷限在單一的領域，未來整合成跨系統部門，要用有限的人力去發揮。鼓勵工程師去學習鐵道整體的系統型態，從設計、軌道系統需求，甚至營運需求，都要有計畫地去訓練工程師，未來才能簡省人力。一個工程師需要cover兩個型態的工作，至少team leader要做



(左1) 謝家瑞經理



(左2)廖學瑞總經理 (左3)鄭德發局長 (中)倪睿謙協理 (右3)于新源專案協理 (右2)黃國星副理 (右1)吳依儒計畫工程師

到，甚至參與國際性的工程計畫，所面對的通常都是跨專業的問題，不可能每次會議出差都能把整個專業團隊都帶出去。

比如說捷運工程的估價應該依照計畫的條件與需求歸納成不同的packages，當機關或業主想要瞭解初步的估算時，設計顧問可以很快地估算出造價可能會落在哪個區間，提供機關或業主作為判斷或決策的依據。專業工程師在面對不同的問題時，可以迅速且正確的提出研判與建議，這樣才是新世代捷運工程應具備的思維與能力。

面對國內未來10年捷運工程興建高峰期，鄭局長勉勵新世代捷運工程師要拉大格局，面

對環境現況不斷改變，應具備全新的思維與能力，培養跨領域的專業知識與能力，保持創意解決問題，達成全新的捷運系統建設任務。

後記

鄭德發局長撥冗接受本次專訪，讓我們有幸聆聽了一場引人入勝的談話，使我們充分瞭解將營運思維融入工程設計的重要性，專業和真誠的態度有助於建立互信關係，藉由節能減碳與智慧鐵道的研究與推動，引領後端的工程設計，循序推動，提供更高效、更低碳、更智慧的軌道建設。



訪高雄市政府捷運工程局局長

吳嘉昌

談

**高雄捷運路網
建設願景**

整理：謹家瑞・攝影：詹朝陽

壹、前言

吳嘉昌局長為美國田納西州孟菲斯州立大學都市及區域計畫碩士，從籌備處時期即在高雄捷運工程局服務，由基層承辦、科長、主任秘書到副局長，並擔任捷運聯開專案辦公室執行長，負責推動捷運工程及沿線相關聯開工作，資歷、學經歷俱豐。113年6月21日擔任高雄市捷運工程局局長，負責推動及實現高雄捷運路網建設願景。

本期中華技術很榮幸於113年8月28日下午專訪吳嘉昌局長，就高雄捷運工程局如何在有限的人力編制下，帶領同仁發揮最大的工作效率，在聯合開發招商有豐碩的成果、高雄輕軌建設突破困境達成與自然環境的共存共榮、順利全環通車且運量大增，短短的3年又4個月期間完成高雄捷運四線齊發成的重大成就，給予專業說明及經驗分享。

貳、訪談紀要

問：為增加市府財源，減少財政負擔，「高雄捷運聯合開發專案辦公室(KJDO)」111年01月27日揭牌，吳局長擔任首任聯開專案辦公室負責人，請局長分享一下聯合開發專案辦公室的理念及成立兩年多以來的心得與收穫。

答：

一、「捷運聯合開發專案辦公室」於2022年1月成立，全面性盤點全市捷運及輕軌路網沿線具開發潛力基地，現階段評估標

的計約40餘處潛力點。

二、聯合開發專案辦公室積極徵求優秀的招商顧問，力求規劃出既符合市府政策又滿足市場需求的招商策略，將捷運站周邊所需公共服務例如地區行政中心、日照、公托等納入招商文件，並試算合理的地主最低分收比，提報高雄促參推動委員會審議，並成立廉政平台後，始辦理公告招商，同時積極爭取投資人踴躍參與。

三、雖然推動過程不容易，但也獲得豐碩的成果。首處聯開案O4站於2022年3月11日動工，2024年O13、Y10、RK1(西基

地)簽約、R20即將簽約，Y15辦理評選、O10辦理決標、O9-A、RK1(東基地)等標中，以上各案的民間投資金額合計預估將逾663億元，市府分回332億元挹注捷運建設。

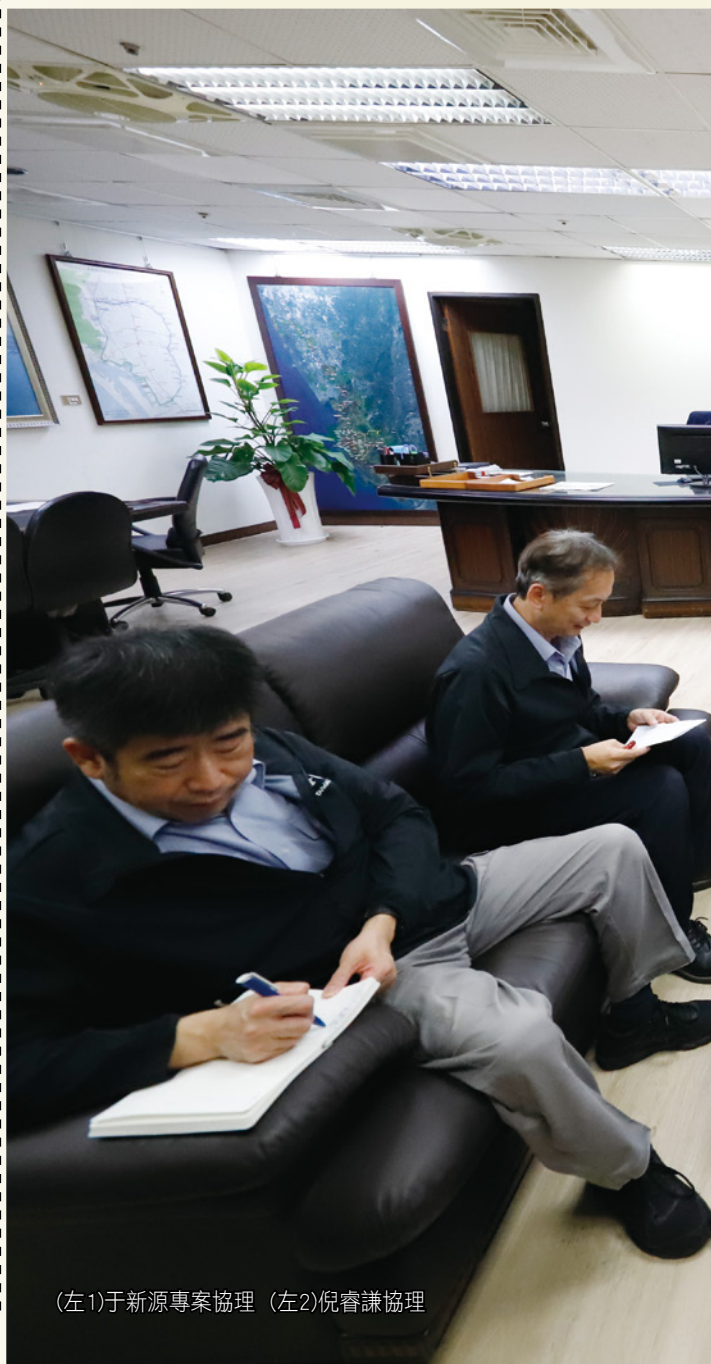
問：高雄輕軌於2024年1月1日全環成圓通車，今年上半年高雄輕軌總計服務658萬人次，相較去年上半年375萬人次，增加約75%。請問捷運局採取了哪些積極的作為及高雄輕軌未來的發展目標。

答：輕軌於113年元旦成圓試營運，今年(113年)上半年高雄輕軌總計服務658萬人次，相較去年(112年)上半年375萬人次，增加約75%，採取作為：

- 一、強化轉乘服務：提升輕軌與其他運具（捷運、臺鐵、公車、公共腳踏車）之間的轉乘服務，方便乘客進行多元交通選擇，增加整體運輸網絡的便利性。
- 二、與觀光業者合作：與其他觀光業者合作發行套票，讓遊客能夠輕鬆享受多種旅遊體驗，吸引更多旅客搭乘輕軌。

三、結合行銷活動：通過各種行銷活動宣傳輕軌，例如向下扎根校園推廣、利用高捷蜜柑吉祥物和龍貓隧道等特色景點，吸引更多遊客的關注與喜愛。

四、結合公部門資源推廣：與公部門資源緊



(左1)于新源專案協理 (左2)倪睿謙協理

密合作，推廣輕軌服務，例如針對郵輪旅客進行行銷（觀光局）、在公車路線上宣傳（交通局）、向加工區企業推廣（經發局）等，擴大輕軌的影響力和使用範圍。

未來，輕軌將不僅是觀光和通勤的運輸骨幹，更將成為串聯高雄市府大型活動與行銷觀光的重要動脈。藉由便捷的大眾運輸系統，將吸引更多來自外縣市及國際的遊客前來高雄，帶動旅宿業、商圈、夜市、觀光工廠及百貨公司等各行各業的繁榮。隨著觀光產值的顯著提



(中)吳嘉昌局長 (右3)廖學瑞總經理 (右2)黃炳勳副總經理 (右1)蕭秋安副總經理

升，高雄的經濟將實現翻倍成長。伴隨著更多旅客湧入，高雄輕軌的運量勢必同步增長，形成一個相互促進的良性循環，讓這座城市的發展更加蓬勃。

問：高雄輕軌於大順路段的工程，在設計階段就融入了護樹概念，透過調整車站頂棚，保留雨豆樹的生長空間，創造了龍貓隧道的熱門景點，實踐輕軌與自然環境的共存共榮。請局長分享一下從施工到營運，團隊所付出的努力及目前的效益與收穫。

答：輕軌是移動地標、象徵城市的進步與發展。其最大的特色之一，就是與周遭城市景觀的完美融合，我們在設計施作美術館、大順路段時，就已將護樹理念融入其中，讓輕軌能與小葉欖仁和雨豆樹共生，將公眾運具化作生動的城市畫面。乘坐輕軌時，不僅是一段旅程，更是一場視覺盛宴。

很高興，在輕軌團隊的努力下，成就了「龍貓隧道」和「綠巨人隧道」這兩個打卡景點。在這背後，凝聚著團隊成員的無數巧思與辛勤付出。我們將小葉欖仁並列在軌道兩旁，讓樹葉交織成如同動畫場景般的樹洞隧道，再結合輕軌列車的獨特設計，將這幅美麗的畫卷

帶入現實。

大順路的雨豆樹，樹齡逾20年，茂密的樹蔭是大順路既有的特色，為了讓輕軌與這片茂密的綠蔭共存，我們採取了就地保護、「以站就樹」的方式，將移植降至最低，並聘請專家學者實地勘察，指導樹幹包覆保護工作，除原地保留206顆外，再補植112株，以確保大順路段依舊綠意盎然，樹蔭龍蔥。這些細節，不僅展現了我們對城市景觀的尊重，更突顯了輕軌與自然的和諧共生。



高雄輕軌進入大順路段雨豆樹群區域，採「以站就樹」設計理念，幾乎保留既有雨豆樹，造就都市景觀新風貌，更有「綠巨人隧道」別名之稱。



蜜柑號行駛在高雄輕軌上，就像是移動地標，象徵城市的進步與發展，搭乘輕軌不僅是一段旅程，更是一場幸福的視覺盛宴。



高雄輕軌最美路段「龍貓隧道」，其中「以站就樹」的設計，將軌道巧妙的安置在大型小葉欖仁樹叢中，讓乘客置身綠色隧道中。

問：高雄市府捷運局編制僅110人，但是在短短的3年又4個月期間，完成高雄捷運四線齊發的重大成就，請局長分享一下過程中所遭遇的困難及成功突破的契機。

答：

一、3年4個月內，本局同步進行輕軌工程、岡山路竹延伸線、黃線、小港林園線，亦完成輕軌成圓、RK1岡山站如期通車營運的目標，我也特別感謝這段期間內市府長官指導支持，同仁、顧問團隊不辭辛勞。

二、在四線齊發時，本局編制內的110人當中，直接從事工程的人員還只有一半左右。期間還因為大環境缺工缺料，業界薪資大幅高漲，局內工程人員工作負擔極大。因此在工程執行期間，內部面臨許多與外單位的介面問題，例如岡山路竹延伸線第一階段RK1的跨站天橋與站前廣場，在進入臺鐵公司的營運軌道場域與其所屬土地，皆須辦理許多協調工作，以及台電、自來水等管線單位管線遷移時程配合上的協調，都相當不容易，需要一再的拜會、協調及請求協助、不斷地辦理會勘取得共識，才能在

預定的時程上順利推進，過程中工作量十分龐大，所幸在同仁、捷運工程團隊同心協力下，最終使命必達。

問：高雄市捷運局目前在建工程包括岡山路竹延伸線第2A階段、捷運黃線、小港林園線等共約42公里35座車站，工作量及工程金額都是國內最大的，請局長分享一下，如何在有限的人力編制下，帶領同仁發揮最大的工作效率，朝向如期如質完工通車的目標前進。

答：

一、明確的目標設定：讓同仁明確知道目標在哪，無論工程施作、聯合開發、路線規劃等，各個能在各自的工作崗位上發揮不可或缺的巨大力量。

二、有效的分工：因本局人力資源有限，因此本局依各個同仁不同的背景及專長，各別在工務管理、交通規劃及聯合開發作適當工作分配，以發揮最大效率。

三、技術提升與工具應用：提升同仁的技術能力、本職學能是關鍵，鼓勵同仁多多參加局內外之各項技能提升的培訓課程。

四、風險管理與應變計畫：在工程進行中，風險常常不可避免，需事先進行風險評估，制定應變計畫，當事件發生時，可以迅速做出決策，重新安排人力資源，確保工程進度不受到過度影響。

問：捷運建設除中央經費挹注，地方政府同時須自籌部分經費，高雄市捷運建設經費龐大，捷運局在協助市府籌設建設經費中扮演了什麼樣的角色，與市府各單位合作模式是否可以分享。

答：

一、高雄捷運建設爭取中央補助同時，地方財務自償率必須達到至少25%，因此除了票箱收入外，捷運局也非常努力增加場站租金、增額容積、聯合開發等收入，挹注捷運建設。

二、目前已動工、已簽約、等標中的聯開案件共9案，民間投資金額合計預估將逾663億元，市府將分回332億元挹注捷運建設。

三、透過增額容積，有條件提高環狀輕軌、捷運周邊地區的容積率，鼓勵場站周圍地區朝高密度土地使用發展，自107年執行至今，已核發79案，總計挹注捷運建



高雄輕軌系統成圓通車，帶來更加便捷的鐵道運輸路網服務及都市的繁榮（圖／高雄市政府捷運工程局提供）

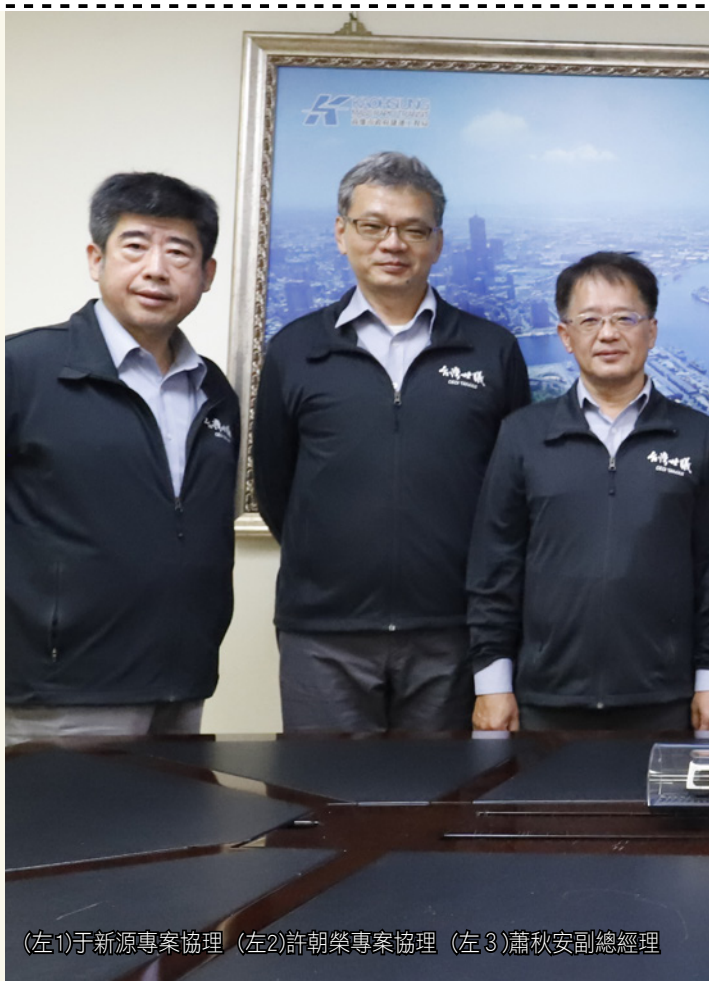
設47.2億元。

四、此外，捷運建設經費的籌資管道不只侷限於票箱收入及場站開發，在淨零政策的發展主軸下，市府財政局攜手捷運局率全國之先，向證券櫃檯買賣中心申請通過發行綠色債券，籌措資源落實在低碳交通建設，亦可減輕政府借款的利息負擔。

問：近期有許多知名企業宣布來高雄深耕發展，對高雄都市未來繁榮發展充滿期待性，請問局長後續都市軌道路網是否持續規劃，主要的規劃目標及方向如何。

答：

一、後續都市軌道路網會持續規劃，近幾年來科技大廠相繼進駐高雄，因應城市升級轉型，捷運局同步啟動高雄市整體捷運系統路網評估，檢討過去10年產業發展與人口遷移對運輸走廊之改變，並依據未來新興重大建設之分布區位與交通服務需求，將可能之運輸走廊納入捷運潛力路廊，綜合考量運輸效能、都市發展、投資效率、路網整合、推動阻力



(左1)于新源專案協理 (左2)許朝榮專案協理 (左3)蕭秋安副總經理

等，評估各捷運路線推動優先順序，使高雄軌道路網更臻完備。

二、高雄捷運路網目前除了營運中的捷運紅橘線及環狀輕軌外，岡山路竹延伸線、黃線及小港林園線陸續開工。捷運路線規劃將串聯科技園區外，亦連接港區亞洲新灣區、都會核心等行政區重要旅次據點，民眾在各運具間之轉乘、旅行更加便利，並打造大高雄地區30分鐘生活圈的優質大眾運輸環境。



(中左)廖學瑞總經理 (中右)吳嘉昌局長 (右3)黃炳勳副總經理 (右2)倪睿謙協理 (右1)江明珊專案協理

三、除了已動工的路線外，捷運局仍在積極評估高雄市內具潛力的捷運路廊，其中以紫線為重點。目前，紫線正處於可行性研究階段，計劃中的路線將貫穿7所大專院校、3所醫學中心、2處產業園區，並連接沿線多個新興發展的都市計畫區。這條路線將服務三民、左營、楠梓、橋頭、燕巢、大樹等6大行政區，涵蓋約83萬人口，成為都市計畫區和各重要據點的大眾運輸骨幹。此外，紫線將串連高雄學園與南部半導體S廊帶產業園

區，成為聯繫大學城與半導體S廊帶生活圈的關鍵路線，為高雄市未來的都市發展與產業布局提供強有力的交通支撐。

後記

承蒙高雄市捷運工程局吳嘉昌局長接受本次專訪，讓我們受益非淺，充分感受高雄市捷運工程局用心提供優質的大眾運輸系統，塑造以人為本的都市，推動高雄成為宜居智慧與永續交通城市，提升生活環境品質的努力。

優化與精進輕軌與路面交通整合與管制措施之研究

Optimization and refinement of light rail transit and road traffic integration and control measures

關鍵詞(Key Words)：交通工程 (Traffic Engineering)、輕軌交通(Light Rail Transit)、衝突分析 (Conflict Analysis)、碰撞構圖(Collision Diagram)

國立台灣大學／土木工程學系／退休教授／亞聯工程顧問股份有限公司／董事長／許添本 (Hsu, Tien-Pen) ❶

國立台灣大學／土木工程學系／計畫研究專員／張太乙 (Zhang, Tai-Yi) ❷

國立台灣大學／土木工程學系／研究助理／林承平 (Lin, Cheng-Ping) ❸

國立台灣大學／土木工程學系／研究助理／方庭恩 (Fang, Ting-En) ❹

摘 要

近年來臺灣陸續通車輕軌運輸系統。輕軌運輸系統設置於平面道路上，除了產生佔用道路面積及交叉口車道而影響交通效率之外，特別是會因為輕軌車輛的運行產生新的衝突，也因為道路環境的改變，駕駛人的適應問題等，引發新的衝突及肇事，故而影響沿線交叉口之安全。本研究透過蒐集肇事資料及誤闖軌道的事件資料，分析輕軌與其他交通的肇事及衝突特性，據此研擬優化與精進輕軌與路面交通整合與管制措施。



Abstract

In recent years, light rail transit systems have developed and opened in Taiwan. The light rail transit system is usually constructed on roads. In addition to affecting traffic flows by occupying road area and lanes at intersections, it will also create new conflicts due to the operation of light rail vehicles. It will also cause driver adaptation issues due to changes in road environments, etc., causing new conflicts and accidents, thus affecting the safety of intersections along the lines of light rail transit. This study analyzes the characteristics of accidents and conflicts between light rail transit and other modes by collecting accident data and data of events that road traffic vehicles run onto railway tracks, and accordingly develops optimization and refinement of light rail transit and road traffic integration and control measures.

2

工程論著

壹、前言

近年來臺灣陸續通車輕軌運輸系統。輕軌運輸系統設置於平面道路上，除了產生佔用道路面積及交叉口車道而影響交通效率之外，特別是會因為輕軌車輛的運行產生新的衝突，也因為道路環境的改變，駕駛人的適應問題等，引發新的衝突及肇事，故而影響沿線交叉口安全。另一方面，因為平面輕軌與其他道路交通會有交會或同在一個道路平面上，而會出現其他車輛誤闖輕軌軌道的情形出現。其中，高雄輕軌[2]為臺灣第一條營運的輕軌路線，已發生多起交通事故而一直受到關注，近日更有不少誤闖軌道的事件。有鑑於此，本研究透過蒐集肇事資料及誤闖軌道的事件資料，分析輕軌與其他交通的肇事及衝突特性，據此研擬優化與精進輕軌與路面交通整合與管制措施。

為了能避免輕軌與車輛及行人肇事的重複發生，或者防止車輛或行人誤闖入輕軌的行駛空間而引發效率與安全問題，應針對其可能發生的肇事及實際發生的肇事，進行分析其可能的解決方案。

透過本計畫，預期將了解輕軌實際發生的肇事的特性及原因，了解會引發誤闖的設計上的問題，進行針對機動車輛及行人研擬相關之道路工程與交通工程措施及交通管制策略。

貳、輕軌列車涉入肇事特性分析

肇事特性分析包括分析輕軌交通與路面交通之衝突，及蒐集目前為止所實際發生過的車禍，就碰撞型態、碰撞車種、碰撞位置、管制類型及影響因子進行分析。由此檢討肇事地點的道路幾何配置與交通管制特性分析，作為依據來研擬相關的優化及精進措施。

一、衝突點分析

為了解高雄輕軌交通與路面交通之潛在衝突，本研究首先就高雄輕軌常見的路型佈設型式進行衝突點分析[4, 5, 6]。高雄輕軌常見的路型佈設型式為中央佈設及路側佈設，所對應的衝突點分別如圖1及圖2所示。

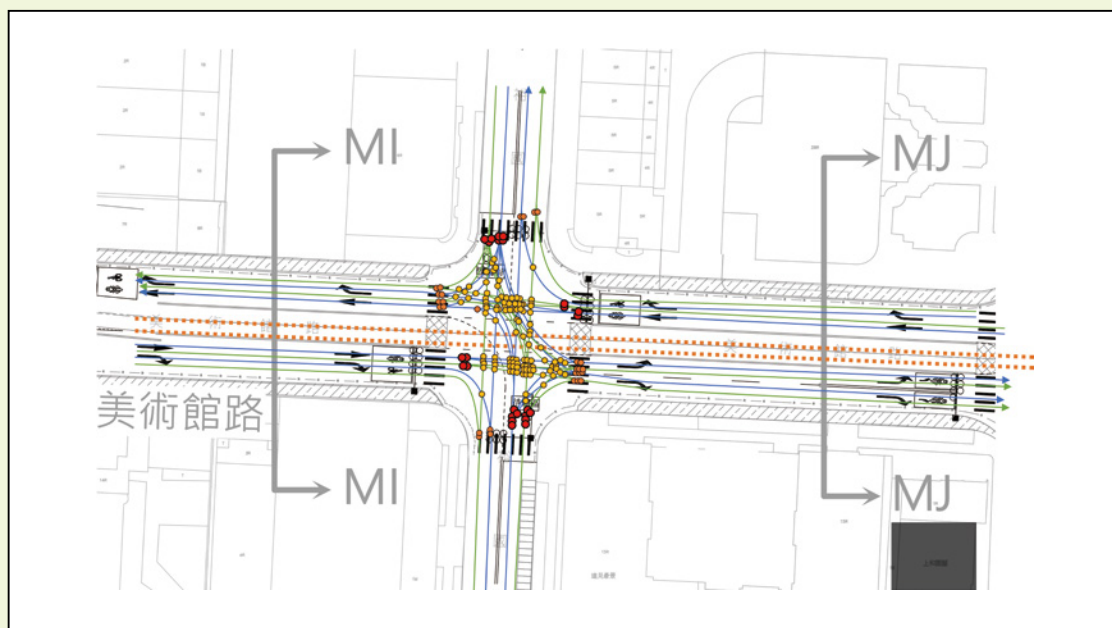


圖1 中央佈設（美術館路／裕國路）

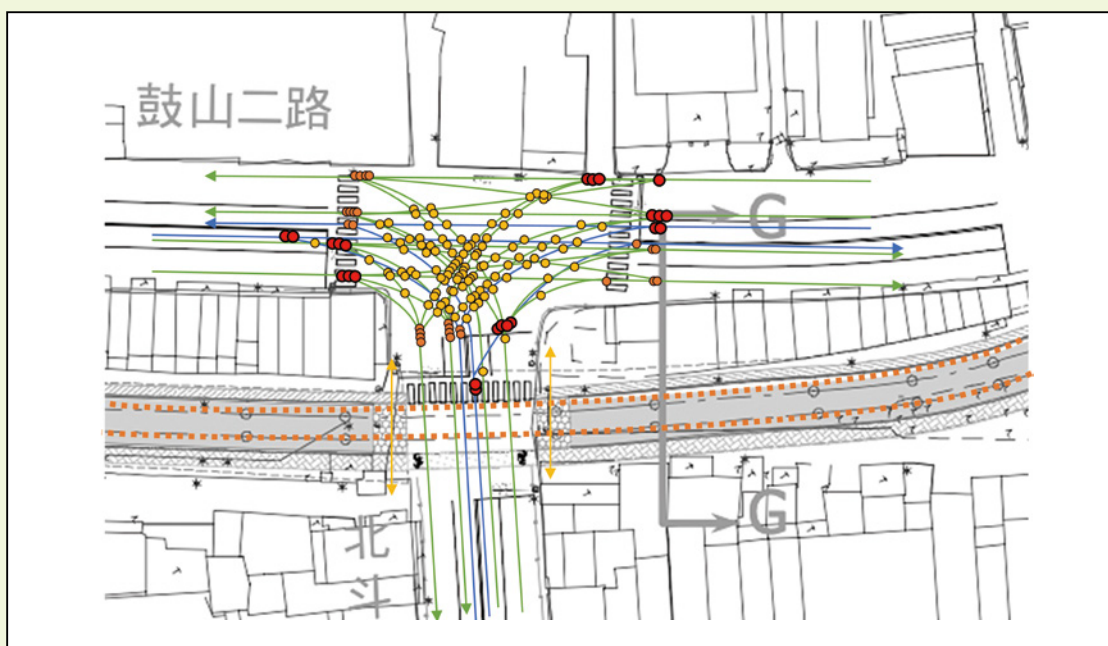


圖2 路外單側佈設（北端街7巷／北斗街）

此處之衝突點分析考慮所有車種之衝突，包括本研究主要探討輕軌交通與路面交通之衝突，及路面交通間之衝突，如此除了可用以研擬避免輕軌交通與路面交通衝突之措施外，亦可研擬避免路面交通間衝突之措施；進而提高整體交通之安全程度，不限於輕軌交通與路面交通者。

此處之衝突點分析不加以考慮號誌管制，此係為了進一步了解在路面交通駕駛人不遵守號誌管制時之潛在衝突，進一步研擬於此情況下之衝突避免之道路交通工程精進優化措施。

圖1輕軌車道中央佈設之衝突類型及數量，以美術館路與裕國路之輕軌交叉口為例，如下：

- 匯出衝突：24
- 匯入衝突：28
- 交叉衝突：110

由此圖可知，在未來適當的空間（幾何設計與動線管制）及時間（號誌管制）的區隔之下，其衝突點之多，再加上汽車與機車兩股不同的行駛動線，都會使得交叉口出現很複雜的衝突及動線問題。

圖2輕軌車道路側佈設之衝突類型及數量，以北端街7巷與北斗街之丁字路口為例，如下：

- 匯出衝突：22
- 匯入衝突：26
- 交叉衝突：114

雖是丁字路口，但因為輕軌車道為路側配置，故其衝突數量會比中央配置多。

二、輕軌沿線肇事概況

高雄輕軌沿線地點之輕軌與路面交通肇事數量於通車至今的排名，共計55件肇事。主要

發生地點可分為交叉口、軌道區。於本研究中，將行穿道視為交叉口。

三、碰撞構圖

本研究依肇事現場圖資料，繪製路口肇事碰撞構圖，提供路口總和各種肇事之碰撞類型、肇事傷亡、當事者類別、道路狀況、光線情形等，其所對應的碰撞位置資訊。並可由肇事碰撞構圖，發現路口主要的碰撞型態與對應之空間位置，能較精準的掌握目前碰撞問題之所在，藉以研擬避免衝突之改善方案[3]。構圖中所使用的圖示如圖3及圖4所示。所繪製之輕軌列車涉入肇事碰撞構圖如圖5所示。

四、整體肇事特性

整體肇事特性如圖6所示，可以發現：

- 假日較平日多
- 夜間較日間多
- 機車涉入最多，汽車次之
- 直行（與輕軌車輛垂直）最多，右轉次之
- 大部分為交叉撞（含行人）、右轉側撞
- 大部分位於交叉口
- 均為違規類型

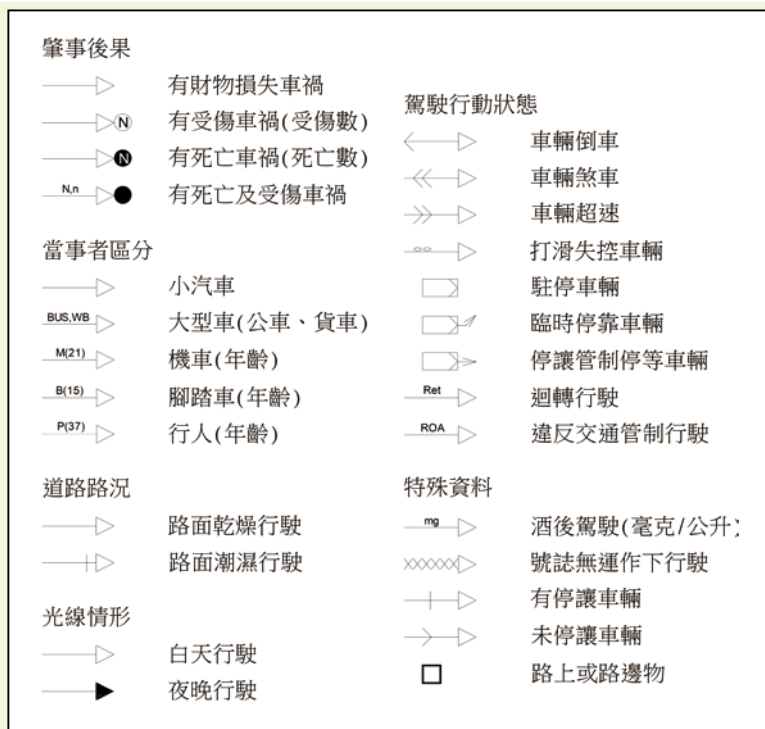


圖3 肇事碰撞構圖箭標——當事者特性



圖4 肇事碰撞構圖箭標——碰撞類型

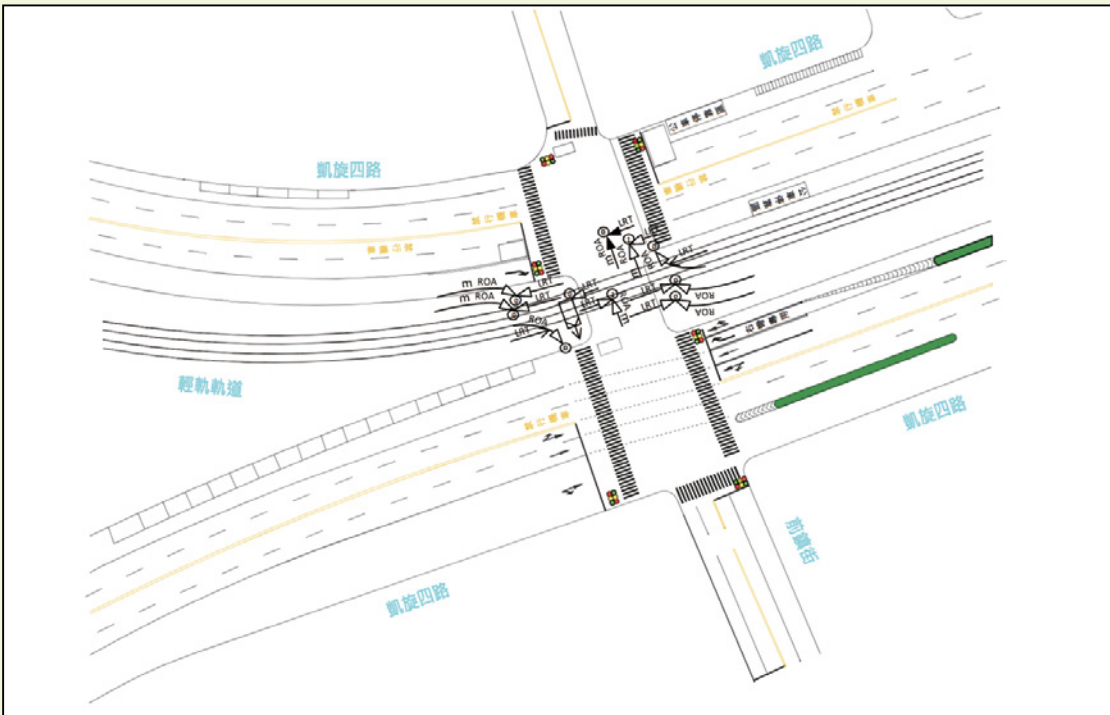


圖5 輕軌列車涉入肇事碰撞構圖示例

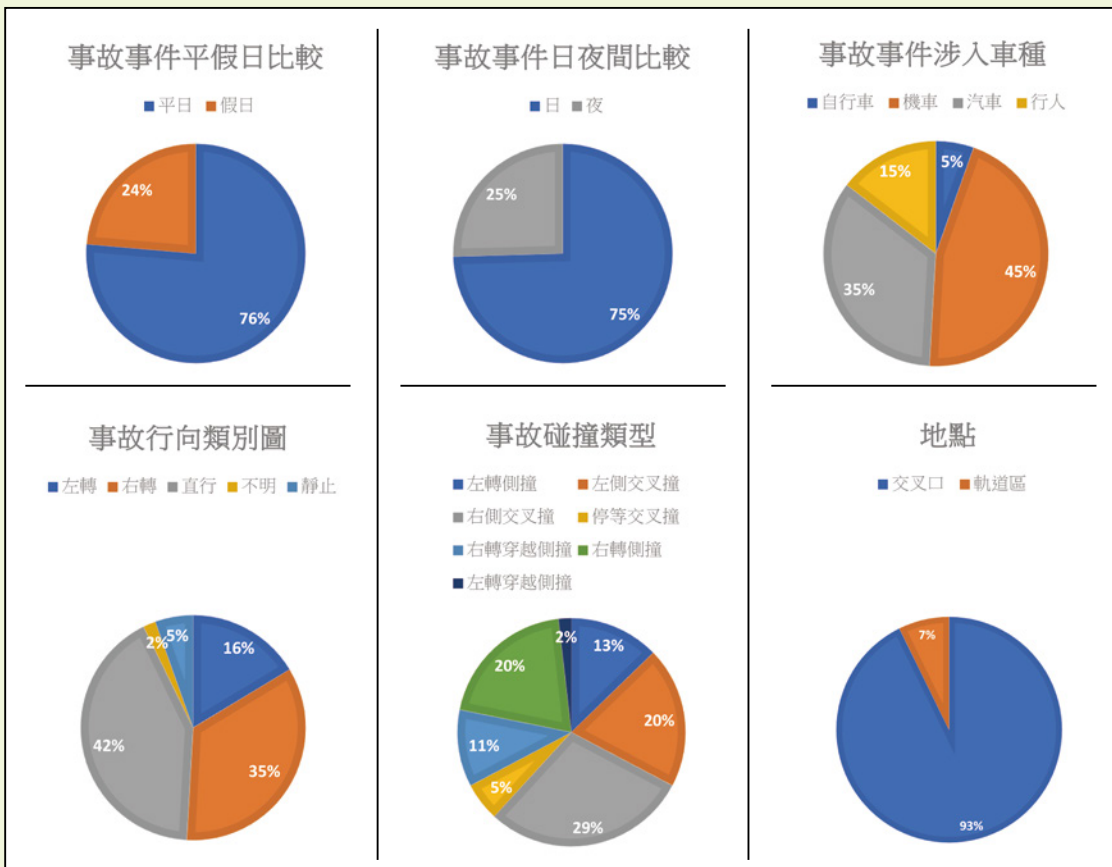


圖6 整體肇事特性

五、肇事原因統整

茲統整肇因及對應之細因以利後續解決方案之研擬，如表1所示。

表1 肇事原因統整及對應之細因

肇因	細因
行人未能依號誌行走	● 行人號誌燈頭位置不當
直行車未能依號誌行駛	● 號誌燈頭位置不當 ● 街廓太短
左轉車未能依左轉號誌行駛	● 左轉號誌燈頭位置不當 ● 號誌燈頭缺少左轉紅燈設計
右轉車未能依右轉號誌行駛	● 右轉號誌燈頭位置不當 ● 號誌燈頭缺少右轉紅燈設計
左轉保護時相未使用箭頭燈	● 左轉車會較為猶豫進而需要較長之適用左轉車之綠燈介間時間
誤看號誌	● 鄰近交叉口號誌未與輕軌交通連動
行人未能及時察覺到達路口之輕軌列車	● 行人方向之聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲 ● 視距不良
行人未能及時察覺到達之輕軌列車	● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲
直行車未能及時察覺到達路口之輕軌列車	● 直行車方向之聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲 ● 視距不良
左轉車未能及時察覺到達路口之輕軌列車	● 左轉車方向之聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲 ● 視距不良
右轉車未能及時察覺到達路口之輕軌列車	● 右轉車方向之聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲 ● 視距不良
待轉機車未能及時察覺到達路口之輕軌列車	● 待轉機車方向之聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲 ● 視距不良

肇因	細因
行駛人行道之電動自行車未能及時察覺到達路口之輕軌列車	● 直行電動自行車方向之聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲 ● 視距不良
行駛人行道之機車未能及時察覺到達路口之輕軌	● 聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲
未能及時察覺到達路口之輕軌	● 聲光號誌不明顯 ● 聲光號誌警示音太小 ● 列車警鈴音色不明顯 ● 列車警鈴太小聲
行人未能維持輕軌列車行駛空間淨空	● 缺庇護島等行人停等空間 ● 行人停等空間標示不明確
直行車未能維持輕軌列車行駛空間淨空	● 交叉口過大導致直行車誤以為需要在交叉口中輕軌軌道附近停等紅燈 ● 適用直行車之綠燈介間時間不足 ● 適用直行車之停等空間標示不明確
左轉車未能維持輕軌列車行駛空間淨空	● 交叉口過大導致左轉車誤以為需要在交叉口中輕軌軌道附近停等原橫向道路下游路口之紅燈 ● 適用左轉車之綠燈介間時間不足 ● 適用左轉車之停等空間標示不明確
右轉車未能維持輕軌列車行駛空間淨空	● 交叉口過大導致右轉車誤以為需要在交叉口中輕軌軌道附近停等原橫向道路下游路口之紅燈 ● 適用右轉車之綠燈介間時間不足 ● 適用右轉車之停等空間標示不明確
待轉機車未能維持輕軌列車行駛空間淨空	● 適用待轉機車之停等空間標示不明確
行駛人行道之電動自行車未能維持輕軌列車行駛空間淨空	● 電動自行車停等空間標示不明確 ● 輕軌行駛空間標示不明確
行駛人行道之機車未能維持輕軌列車行駛空間淨空	● 缺庇護島等行人停等空間 ● 行人停等空間標示不明確 ● 輕軌行駛空間標示不明確
左轉車未能依標誌行駛（禁止左轉）	● 禁止左轉標誌不明顯
行人未能依照行人導引設施行走	● 行人導引設施不良
軌道區停車	● 輕軌行駛空間標示不明確

參、路面交通闖入輕軌系統特性分析

目前在高雄已有多起車輛衝進軌道的誤闖事件，本研究會加以蒐集，並進行原因分析，再結合道路工程與交通工程的設計，加上阻隔及警示設施的研擬，納入優化及精進作為之中，由此來避免誤闖情形出現，妨礙輕軌的正常運作及影響安全。高雄輕軌通車至今沿線地點輕軌與路面闖入輕軌的事件數量共計45件。

一、闖入構圖

各地點（交叉口、行穿道及路廊）之闖入事件分析將條列出紀錄在案之闖入事件，並繪製闖入構圖，配合實際勘查，以提出各種可能的解決方案。

闖入構圖中（圖7），叉號代表該處曾發現輪胎痕跡；實線代表車輛行駛於路面交通之動線，虛線代表行駛於輕軌軌道區之動線，惟闖

入事件不一定會記錄到車輛或行人之行向，此時行向僅能推測。橘色及紅色分別代表闖入事件發生時間為日間及夜間。構圖中使用的車種代號同碰撞構圖者。

二、整體闖入特性

整體闖入特性如圖8所示，可以發現：

- 夜間較日間多
- 平日比假日多
- 汽車最多，機車次之
- 行向不明最多，左轉次之
- 位於交叉口較軌道區多

經由本研究分析，闖入事件多半是由導引不佳或警示不足所致，並且多發生於夜間。

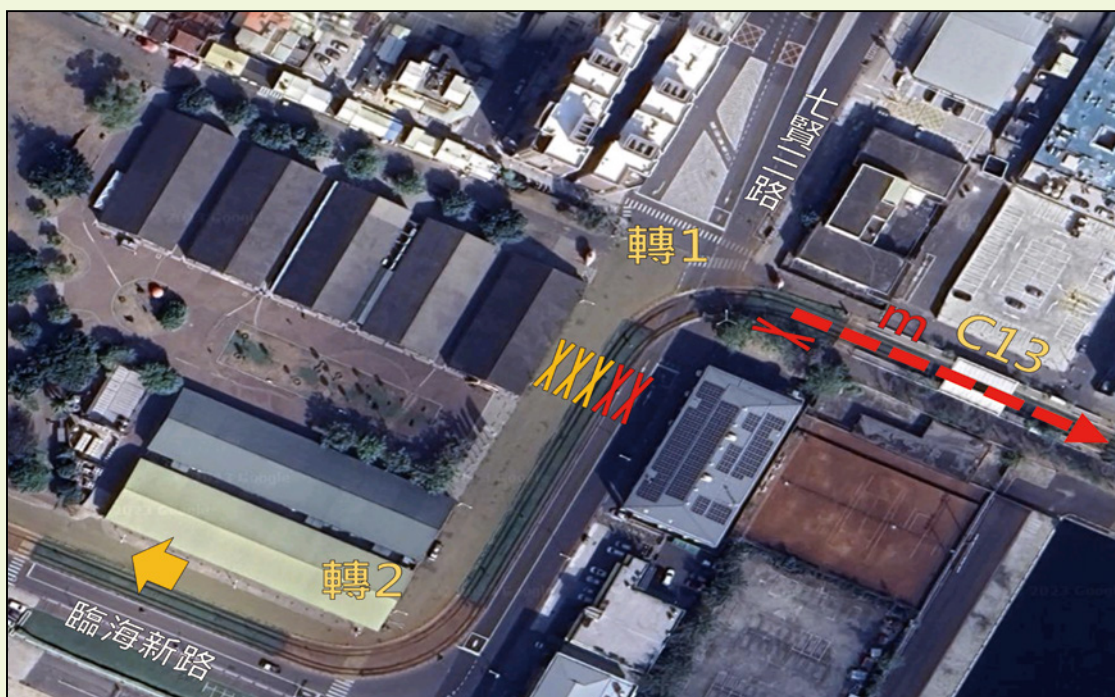


圖7 闖入構圖示例

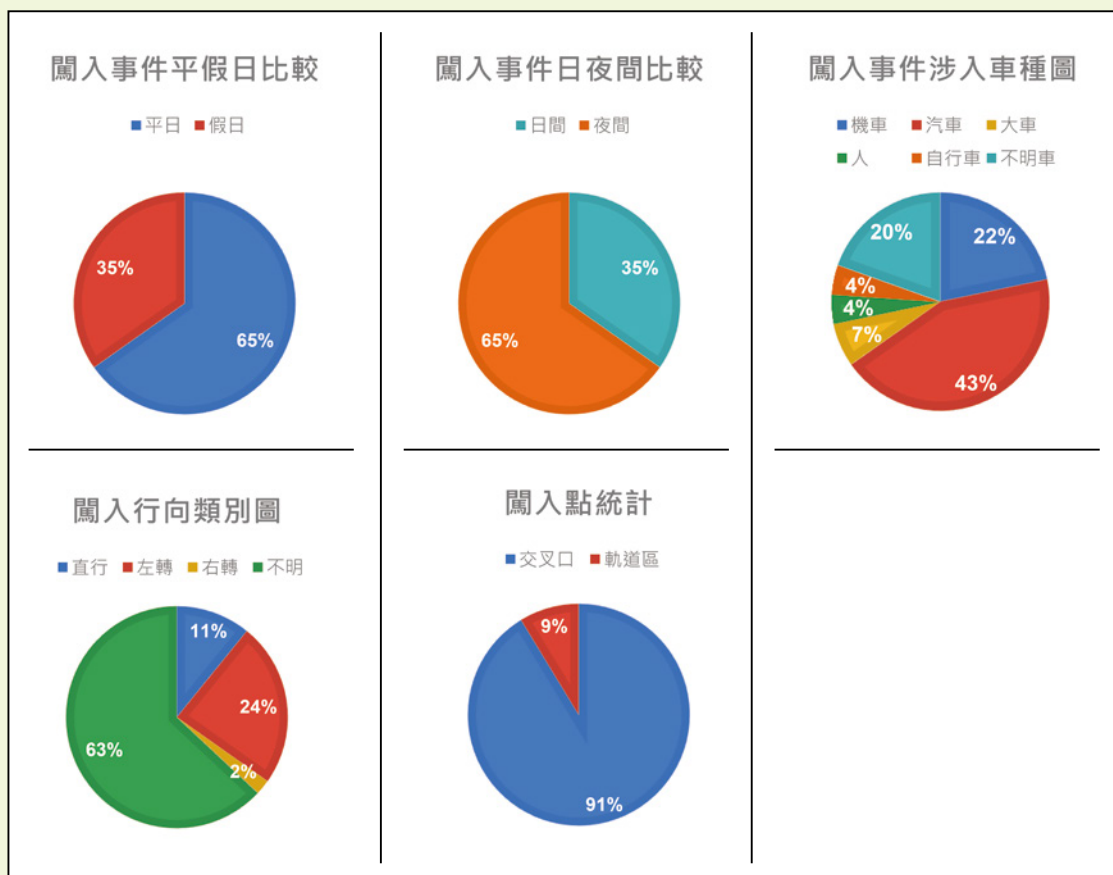


圖8 整體闖入特性

肆、改善方案研擬

根據肇事及闖入資料分析及實際勘查，本研究提出涉及輕軌之肇事及誤闖之改善方案外，並加以彙整成為整體優化與精進輕軌與路面交通整合與管制措施，以供未來改善或新設計之參考。

一、當心輕軌標誌及聲光號誌設計

我國目前當心輕軌標誌僅為警告標誌之紅框三角形形式（警51[1]），其警示性較為不足。建議可以以危險標誌（警50[1]）下方配合輕軌列車圖示（）附牌之分離型當心輕軌標誌來呈現[7]，以加強警示效果。又現行當心輕軌標誌未能指示輕軌所處方位，如此可能導致駕駛人無從注意輕軌進而形成安全風險，此

可藉由引進箭頭附牌達成。除原有設置於道路右側之聲光號誌外，建議另外增設於左側或門架上，以提高警示性。聲光號誌應標註輕軌列車來向，並且聲光號誌上方或旁邊並建議增設當心輕軌標誌。各種標誌及其與聲光號誌之組合如圖9所示。

二、行車管制號誌設計

現行我國以號誌管制車輛於某時相不得轉向之方式是以熄滅左或右箭頭綠燈達成，惟此種熄滅之表達方式其明確性恐較為不足；相對而言，若引進箭頭紅黃燈，則箭頭紅燈可更明確表示箭頭綠燈未亮時不得轉向，進一步避免路面交通與輕軌交通衝突，箭頭黃燈則可針對個別轉向交通提示號誌即將由綠燈轉變回紅燈，而不與其他方向交通之黃燈共用，進一步



圖9 改良之當心輕軌標誌及聲光號誌組合



圖10 右轉時當心輕軌標誌範例——德國

避免其他用路人誤解。當號誌時相要求路面交通須於輕軌軌道前停等號誌時，輕軌軌道前之臨近路口建議設置高度適當之豎立式號誌（不宜過高，以停止線前第一輛車可見為原則），

以提升號誌明視性，如圖10。懸臂號誌燈頭建議設置背板避免因背景（日間天空及夜間招牌燈光等因素）影響明視性。如圖11及圖12所示[9]。

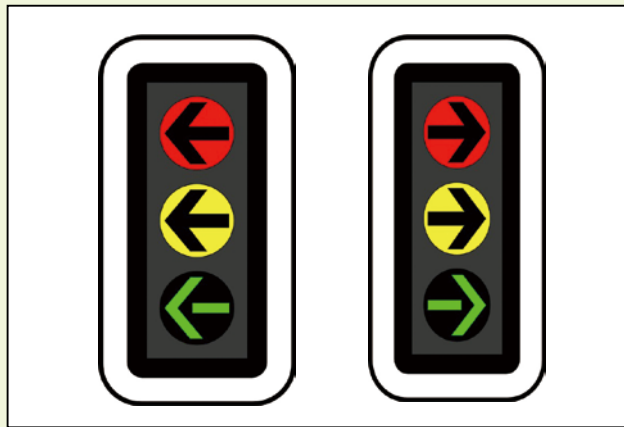


圖 11 左右轉號誌燈頭



圖 12 左轉箭頭紅燈號範例——德國

三、行人專用號誌設計

於號誌化交叉口，輕軌軌道之行人穿越道端點建議增設行人專用號誌，並與輕軌連動。此外，一般行人庇護島間之穿越道端點亦建議增設行人專用號誌，惟不必與輕軌連動。範例

如圖 13 所示，圖中庇護島及人行道上與行人穿越道銜接處之白色長條狀紋理為導盲磚兼行人停止線（通用設計）。若道路中央無實質庇護區域，則不予設置行人專用號誌，以避免行人誤解可於輕軌列車動態包絡線內區域臨停。



圖13 行人穿越道端點號誌——德國

四、行人穿越道設計

軌道之行人穿越道建議採用Z字形穿越道之設計，範例如圖14所示[8]。Z字形穿越道之設計可使行人易於察覺接近之輕軌列車進而降低衝突風險。其可為非號誌化或號誌化者，圖中左圖為非號誌化者，中圖及右圖則為號誌化者。號誌化者其軌道區穿越道可使用交通替閃光號誌。號誌

化與否依現地條件而定，例如上下游是否為號誌化穿越道或與號誌化穿越道之距離等。

若因現地條件而無法設置號誌化穿越道或Z字形穿越道，則可設置注意輕軌之交替閃光號誌（圖15），提醒行人及自行車交通。惟在設置號誌化穿越道或Z字形穿越道的情況下，仍可加設交替閃光號誌，進一步強化提醒效果。

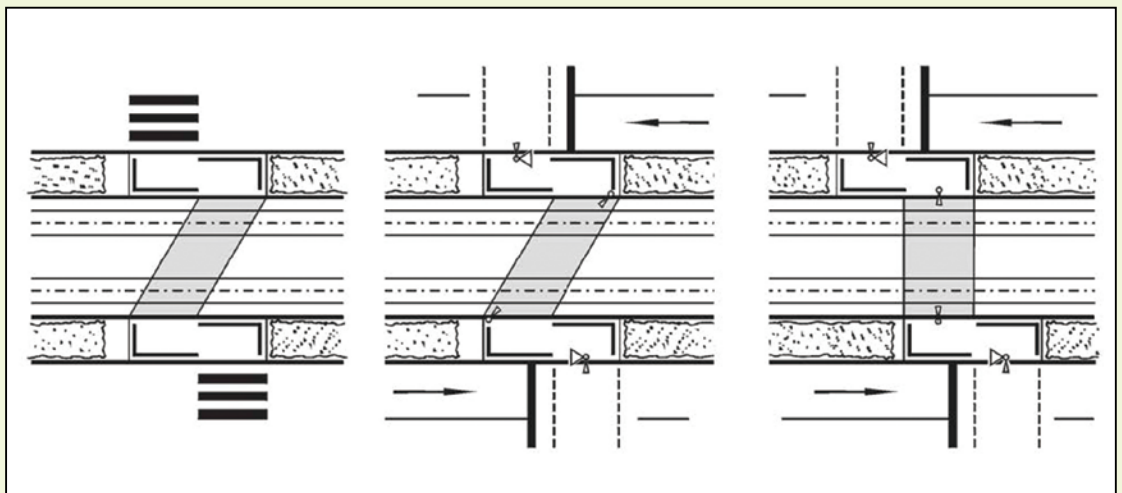


圖14 Z字形穿越道



圖15 行人穿越道之交替閃光號誌——德國

五、禁止進入標誌

於輕軌交叉口增設禁止進入標誌於軌道區兩側，並得依現地道路路型配合增設靠右或靠左行駛之遵行標誌（遵18或遵19標誌[1]）。二

股軌道間得視情況再增設禁止進入標誌（如第3、4面等）。禁止進入標誌下方可增設「輕軌交通除外」或以輕軌列車圖示呈現之「 除外」附牌。範例如圖16所示。



圖16 交叉口禁止進入（ 除外）標誌——德國

六、庇護島、導引線

於中央佈設之路段，可於輕軌二股軌道間增設行人庇護島，除可保護行人外，亦可避免車輛左轉時路線過於直截進而闖入輕軌軌道。

增設交叉口導引線以避免車輛未能預期下游離去路口路型進而導致其闖入輕軌軌道區。

七、地面警示燈

輕軌沿線之路面交通潛在闖入方向之地面建議增設地面警示燈，以避免路面交通誤闖(圖17)。

伍、改善示意圖

本研究根據碰撞類型及闖入類型對應之改善方案呈現改善示意圖。

一、右轉側撞及右轉穿越側撞

右轉側撞及右轉穿越側撞之可能改善方式如下：

- 增設分離型當心輕軌標誌(含方向指示附牌)
- 增設右轉紅黃燈號誌燈頭(有右轉時相時)
- 增設豎立式號誌
- 懸臂號誌增設背板
- 加強禁止右轉之標示(若適用)

改善示意圖如圖18所示。

二、左轉側撞及左轉穿越側撞

左轉側撞及左轉穿越側撞之可能改善方式如下：

- 增設分離型當心輕軌標誌(含方向指示附牌)
- 增設左轉紅黃燈號誌燈頭(有右轉時相時)



圖17 恆亮之地面警示燈——德國



圖18 右轉側撞及右轉穿越側撞之改善示意圖——凱旋四路／前鎮街北側西往東右轉方向

- 增設豎立式號誌
- 懸臂號誌增設背板
- 加強禁止左轉之標示（若適用）

改善示意圖如圖19所示。

三、交叉撞

交叉撞之可能改善方式如下：

- 增設分離型當心輕軌標誌
- 增設聲光號誌



圖19 左轉側撞及左轉穿越側撞之改善示意圖——凱旋三路／二聖路北往南左轉方向

- 輕軌軌道前增設停等標線
- 輕軌軌道前增設停止線（車輛須於軌道前停等號誌時）
- 增設豎立式號誌
- 懸臂號誌增設背板
- 車道瘦身

改善示意圖如圖20所示。

四、撞軌道區穿越道上之行人及自行車

撞軌道區穿越道上之行人及自行車之可能改善方式如下：

- 行人穿越道增設號誌，並與輕軌連動。
- 增設Z字形穿越道
- 增設交替閃光號誌

改善示意圖如圖21所示，其中Z字形穿越道



圖20 右交叉撞之改善示意圖——北端街7巷／北斗街西往東方向



圖21 撞軌道區穿越道上之行人及自行車之行人穿越道增設號誌改善示意圖——海邊路／四維四路北側行穿



圖22 撞軌道區穿越道上之行人及自行車之Z字形穿越道改善示意圖——美術館路／美術南二路東側輕軌行穿越道

除以欄杆設置外，亦可以紅龍柱或角椎等類似物件之佈設來達成，如圖22所示。

五、撞軌道區非穿越道上之行人

撞軌道區非穿越道上之行人之可能改善方式如下：

- 加密植栽或回彈導桿

六、自交叉口闖入

自交叉口闖入之可能改善方式如下：

- 增設禁止進入標誌
- 增設庇護島
- 增設導引線及路緣延伸線
- 增設反光導標

改善示意圖如圖23所示。

七、自軌道穿越道闖入

自軌道穿越道闖入之可能改善方式如下：

- 增設禁止進入標誌

改善示意圖如圖24所示。

陸、結論與建議

經由分析各誤闖及用路人與輕軌列車之間的事務的問題分析及配合現場勘查之後，得到以下結論與建議。



圖23 自交叉口闖入之改善示意圖——凱旋四路／前鎮街西側軌道區



圖24 自軌道穿越道闖入之改善示意圖——馬卡道路／美術館南三路南側行穿西往東方向

一、肇事改善建議

肇事改善建議如下：

- (一) 輕軌電車接近時，對於鄰近路口之車輛的聲光警示性不足，對於轉彎車不易清楚電車到達，目前的動態警示標誌應雙向設置，對於路口寬度雙向四車道以上，應於路口處設置中央分隔島。
- (二) 輕軌電車接近時，對於行人及汽車的車道，在動態包絡線皆可設置動態警示標鈕。
- (三) 目前的動態警示標誌是LED燈箱方式。應在其中加上警示的燈號，以強示其自明性。
- (四) 目前的動態警示標誌缺乏方向指示，不易知輕軌電車是由那一側過來，若須用路人自行判定由那方向來，易造成分心及誤判，應增加輕軌電車來車方向的顯示。
- (五) 對於行人或自行車部分，在行人穿越道或自行車穿越道亦可附加設置動態警示標誌。在附了目前對應汽車車道有較大型之針對車輛的警示之外，亦應增加行人穿越道部分之警示。
- (六) 對於輕軌電車時相與車輛的時相相同，而

有汽機車會與輕軌電車衝突時，應優先將時相區隔，選免有轉彎之汽機車或用路人與輕軌電車同一時相。若考慮到效率及交通量，而不得已有相同時相時，應在號誌燈頭及轉彎動線，明確提示衝突及停讓規定及標誌標線的配合設計。

二、闖入改善建議

肇事改善建議如下：

- (一) 路口整體自我明確性（自明性）不足，應容易在臨近路口前即可以清楚辨識區別是輕軌交叉口或非輕軌交叉口。此一清楚辨識的明視距離，應達150公尺前。可強化警示標誌及路口雙向的警示標誌，及路口的各標線增設反光標鈕。
- (二) 路口動線的幾何特性與行車動線不順暢，在於直進車道偏移及左右轉的轉彎曲線不符轉彎車輛的軌跡。在直進車道上應以車道延伸線（或稱車道導引線）在穿越路口速度下的偏移漸變方式相符合。在轉彎的軌跡上，應以轉彎線（或稱轉彎車道）導引線，再配合大型車、小型車、機車在轉彎速率上能符合轉彎軌跡。若車道偏移及轉彎軌跡無法滿足正常速率通過，則應進行減速之警示或管制，作為配套。

(三) 車輛車道之使用方式應避免左直或右直共用車道，減少因為停讓而阻礙視距及動線。此一方式可在輕軌交叉口的上游路段採用車道瘦身，來促使路口部分可以設置左轉或右轉附加車道。

(四) 對於行人或自行車誤闖的部分，則應增設相關之阻隔設施，同時明確化輕軌車道與行人或自行車道之間的視覺的區別性。

(五) 目前部分路口多車道且有轉彎車道，加上路口幾何並非正交，車道數及寬度也不一致，以致車輛穿過路口過程混亂，故應在輕軌交叉口的所有車輛動線應充分利用車道導引線，明確規範所有車輛穿過交叉口的車道及軌跡。

三、未來建議

本研究已將改善措施加以彙整成為整體優化與精進輕軌與路面交通整合與管制措施，以供未來改善或新設計之參考。

故建議

- 具體落實實施本研究所建議之措施
- 實施措施後進行事前事後比較分析
- 使相關措施成為全國性的規範

致謝

本文感謝台灣世曦工程顧問股份有限公司研究經費的贊助，及高雄市捷運工程局及高雄捷運公司協助提供資料，同時感謝台灣世曦捷運部同仁協助研究之進行及提供研究意見。

參考文獻

1. 交通部。道路交通標誌標線號誌設置規則。2023年。
2. 高雄市政府捷運工程局。路線說明。<https://mtbu.kcg.gov.tw/KaohsiungMetro/CompletedRoutes/LightRail/LightRail01.html>
3. 許添本、李明聰、溫谷琳等。事故型態導向之路口交通工程設計範例之研究。交通部運輸研究所。2021年7月。
4. 許添本等。輕軌與公車捷運系統納管之研析。交通部運輸研究所。2005年。
5. 許添本等。輕軌與公車捷運系統納管之研析（II）。交通部運輸研究所。2006年。
6. 許添本、林俊良。2006年12月。我國引入輕軌電車的工程衝擊與改善措施之研究。中華民國運輸學會95年學術論文國際研討會。
7. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. *Straßenverkehrs-Ordnung*. 2023. https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/index.html
8. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen*. 2006.
9. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. *Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr*. 2015.

淺談地下結構耐震設計——以雅加達捷運CP203計畫為例

關鍵詞(Key Words)：地下結構耐震設計(Underground Structures Seismic Design)、動態歷時分析(Dynamic Time History Analysis)、應答變位法(Response Displacement Method)、性能設計(Performance-Based Design)、液化分析(Liquefaction Assessment)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／賴宜群 (Lai, Yi-Chun) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／蔡淵堯 (Tsai, Yuan-Yao) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／技術經理／譚家瑞 (Seng, Chia-Ray) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／李奕霆 (Lee, Yi-Ting) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／許琍婷 (Hsu, Li-Ting) ⑤

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／王聖傑 (Wang, Sheng-Chieh) ⑥

Indonesia

摘要

隨著考古地震學的研究成果愈趨豐富，許多國家已大幅提高設計地震力，捷運部於日銀貸款之印尼雅加達捷運南北線一期CP106及二期CP203計畫中即注意到此現象，於地震力之提升同時如未適時更新設計方法，則極有可能出現過度保守或無法設計之情況。隨著日本規範與歐洲規範將性能設計納入耐震設計考量，日本規範亦將傳統之強制變位法取代成應答變位法與動態歷時分析，此兩種方法在國內地下結構設計上屬較新穎之方式，本文初步介紹各地下結構耐震設計方法，再利用雅加達捷運二期CP203計畫分享有關地下車站耐震設計成果及考量。



Seismic Design Considerations for Underground Metro Structures in the Jakarta Metro Phase-2 CP203 Project

Abstract

With advancements in geological research and archaeoseismology, many countries have significantly increased their design seismic forces. This trend is evident when comparing the synthetic motions in the seismic hazard reports for the Jakarta Metro Phase-1 and Phase-2 projects. It is important to note the growing need for adopting more advanced methods for underground structure seismic design, such as the response displacement method or dynamic time history analysis, rather than relying solely on the traditional racking method. This paper aims to share seismic design considerations, including performance-based design, in accordance with the latest Japanese seismic design code, as applied in the CP203 project, which is funded by a loan from the Japan International Cooperation Agency (JICA).

3

專題報導

壹、前言

地震狀態下由於地上結構與地下結構之受震反應差異，進而導致兩者不同之安全性與設計考量方式，綜整全球鐵路與公路等交通系統受震案例相關災害統計顯示（圖1）（詳表1），地下結構受地震之破壞程度與發生機率遠小於地上結構，有關高架結構交通建設分別於1989年美國加州洛馬普列塔地震、1994年美國加州洛北嶺地震與1995年日本阪神大地震等大規模地震發生後有全面性崩塌之情形（圖2）。相較於地上結構，地下型式之結構於受震後多為結構局部變形產生之漏水情形或電力系統中斷，甚至許多案例無任何損壞情形發生，唯獨大開車站於1995年日本阪神大地震後有發生大規模站體崩塌情形（圖3），此亦成為後續許多研究探討其破壞原因與機制之著名案例〔20；31〕，許多專家與學者也對當時之設計考量與規範進行檢討與修訂。

捷運運輸系統由於受限於都會區發展與空間限制，近年來地下型式結構與隧道比例大

幅提升，有鑑於地下結構耐震設計之重要性，近期設計亦參考歐洲與日本規範納入性能設計〔29〕，以更明確且量化之方式於各種設計條件下說明結構物是否仍具備原始目標性能及其安全餘裕〔21〕，此設計理念已納入可靠度及設計成果對於功能維持情形之檢視。於日銀貸款之印尼雅加達捷運南北線一期CP106計畫已配合日本規範之更新，採應答變位法（亦稱之為非線性側推法或反應位移法）進行地下車站之性能設計〔33；35〕，另外於雅加達捷運南北線二期CP203計畫，受到日本規範以及業主需求書中要求地下結構設計須考量動態歷時分析〔18〕，上述兩種方法（應答變位法與動態歷時分析）皆為國內捷運地下車站耐震設計首度應用之實例。

本主題將先從國內傳統地下車站耐震設計方法作說明，再以CP203計畫地下車站應答變位法及動態歷時分析之應用為主軸進行探討，並就設計過程中之耐震相關議題與未來應用作分享，期望作為後續進階耐震設計之參考。



圖1 全球著名規模M_w>6.7之強震紀錄與分佈

表1 全球捷運等交通系統受震案例相關災害統計

項次	地震事件	鄰近捷運線	年份	規模(M _w)	地震對於捷運與其他重要交通系統之衝擊
1	墨西哥城大地震 (Mexico City)	墨西哥城地鐵	1985	M8.0	· 隧道及地下結構僅輕微損害 · 部分高架段車站於震後受救援行動及清理倒塌鄰房而關閉 · 相關人員順利疏散，震後局部電力中斷 · 部分路線於震後幾天內經修復恢復營運
2	洛馬普列塔地震 (Loma Prieta)	舊金山灣區捷運	1989	M6.9	· 地震發生時暫停服務 · 地上結構產生較明顯之裂縫與錯位 · 隧道及地下結構僅輕微損害 · 部分隧道接頭在地震後發現了輕微滲水 · 震後仍然為舊金山灣區之重要運輸工具
3	北嶺地震 (Northridge)	洛杉磯地鐵	1994	M6.7	· 公路橋梁產生嚴重之倒塌 · 捷運系統採用新耐震設計規範，即使於地震當下上在建造中，地震對其破壞極有限，僅影響其後續完工工期
4	阪神大地震 (Kobe)	神戶高速鐵道	1995	M6.9	· 鐵、公路系統造成嚴重破壞 · 1970年後建造之結構物因採用較新耐震設計規範，多為輕微甚至無破壞 · 大開車站為少數大規模崩塌之地下車站
5	集集大地震 (Chi-chi)	台北捷運	1999	M7.3	· 臺灣中部公路系統造成嚴重破壞 · 台北捷運系統無任何損害
6	台北大地震 (331)	台北捷運	2002	M6.8	· 車站與隧道皆無任何損壞 · 檢視相關場站及系統設備正常後，全線恢復正常營運
7	智利大地震 (Maule, Chile)	聖地牙哥地鐵	2010	M8.8	· 地下車站及隧道無任何損壞 · 僅零星破壞發生於車站出入口，於震後隔天全線通車營運 · 有地盤改良之區域相關建物及基礎未受地震液化影響
8	東日本大地震 (311)	東京地鐵	2011	M9.0	· 部分地區受海嘯襲擊並摧毀數個城鎮，部分地區亦有土壤液化情形 · 許多公路及橋樑遭受破壞 · 多條鐵路系統受震後因海嘯警報停駛，但多數於一周內恢復通車 · 東京地鐵因地震停駛，但在震後數小時內部分服務恢復
9	花蓮大地震 (0403)	新北捷運	2024	M7.2	· 花蓮地區部分公路受落石阻斷 · 花蓮地區部分民宅崩塌 · 捷運環狀線橋梁產生橫向滑移，其餘捷運線則無任何損害



(a) 1989年洛馬普列塔地震—880號州際公路
(摘自Paul Sakuma, AP)



(b) 1994年北嶺地震—10號州際公路
(摘自Jorge Villalba, IStock)



(c) 1995年阪神地震—阪神高速道路 (摘自AP)

圖2 高架結構於地震發生後全面性崩塌之案例



圖3 大開地下車站於1995年阪神大地震後崩塌情形〔37〕

貳、捷運地下結構耐震設計之發展

有關地下結構與地上結構耐震設計之考慮理念之差異在於地上結構著重於地震對於結構體產生之慣性力（總橫力）；而地下結構

耐震設計著重地盤受震反應與變形〔9；24；40〕。本章節將分別就國內目前有關地下車站之耐震設計方法（強制變位法）與日本耐震設計規範（應答變位法）作初步討論與比較，兩種設計方法雖然皆屬擬靜力分析法，均以各自

之方式決定震時土壤-結構互制關係，但兩種設計方法仍然有個別之優劣勢，本章最後一部份亦會進一步說明較新穎之動態歷時分析於設計上之優勢。

一、強制變位法 (Racking Method)

國內目前有關捷運地下車站之耐震設計方法主要係依據臺北市政府捷運工程局頒佈之「土木工程設計手冊 (CEDM)」〔1〕，若欲求得地盤受震後之自由場變形態樣，可根據相關規範、學者建議及文獻之建議方法，以規範中訂定之場址最大地表速度 (PGV 或 $V_{s, \max}$) 與地盤加權之平均剪力波速 (C_s) 之比值簡易估算求得自由場土壤變形角 (γ_{ff})。

有關地下結構耐震設計中關鍵因素，在於如何合理求得震時土壤-結構互制關係，以作為後續耐震設計及配筋考量。目前有關此部分常有賴於有限元素數值軟體分析以求得自由場變形中土壤變形角 (γ_{ff}) 作用後之結構體本身產生之變形角 (γ_{str})，進而掌握受震條件下結構體之橫向相對變形 (Δ_{str}) 與地盤之橫向相對變形 (Δ_{ff}) 之比值 R (Racking Ratio) (圖4)，然而不同設計單位針對此設計方法必有其各自之見解及設定條件〔1〕，例如：土壤組成律之選用、自由場變形邊界範圍及設定等，上述設定之差異性在於未有明確之分析模式及流程作規範，往往須由工程師藉由對地盤條件之理解、土壤-結構之勁度關係與相關經驗，並配合其專業之判斷，

方能建議合理之土壤-結構互制參數 R 。

一般正常條件下，此 R 值於軟弱地層中會較堅硬地層中來得低，然而實際情況仍需以結構整體勁度與地盤勁度兩者相對關係作調整〔10；11；30；36〕，而有關於上述模型設定之差異便不在此主題多作贅述。後續有關結構耐震設計便藉由考慮土壤-結構互制之結構變形於結構分析模型中給定強制側推變形值，最終根據此變形作用下各結構元素之受力結果進行設計。

由上述之說明可凸顯出強制變位法為利用簡易之經驗公式為出發點，決定地盤受震變位，再輔以數值軟體分析求得土壤-結構互制參數，最終以強制變位手段進行結構設計，此方法整體而言涵蓋一定程度之假設與經驗判定，此方法土壤變形與結構變形之考慮於設計層面雖然為相關聯，卻是各自獨立之流程，較難反應真實震時土壤-結構互制之行為，此方法之優勢則在於分析程序上較為簡易，且設計成果亦保有一定之安全餘裕。

二、應答變位法 (Response Displacement Method, RDM)

有別於強制變位法於耐震設計過程中，將土壤與結構受震反應分開考量，日本鐵路橋樑設計規範 (RTRI)〔29〕則將土壤與結構受震反應於應答變位法一併考慮 (圖5)，相關文

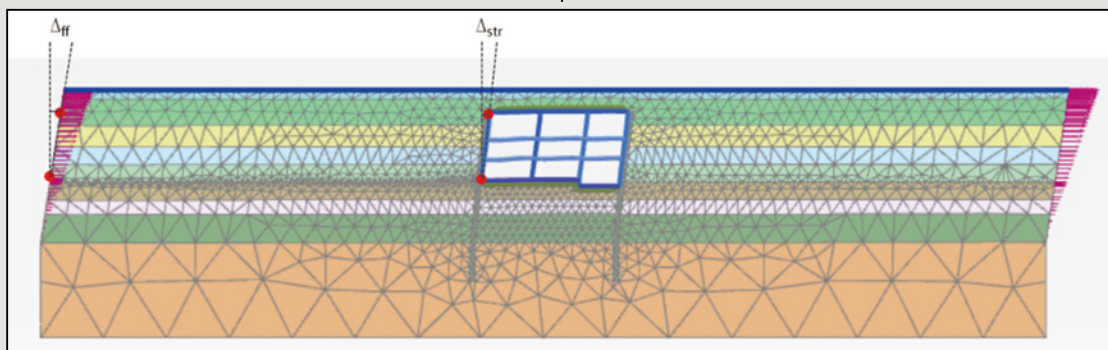


圖4 有限元素數值軟體震時擬靜態土壤-結構互制模擬

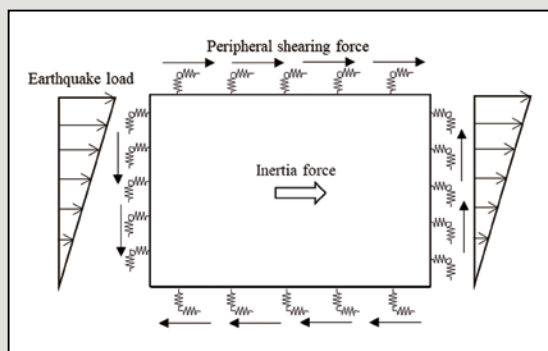


圖5 應答變位法示意圖

獻亦稱此方法為非線性側推或兩階段耐震設計法〔21；35〕，其顧名思義為考慮受震狀態下土壤與結構兩者之非線性行為，而兩階段之目的則在於分別以地盤反應分析（Site Response Analysis, SRA）與應答變位法分析分別獲得土壤自由場與結構受震後之力學行為。

應答變位法於土壤-結構互制考量過程之關聯性較佳之原因如下：

- （一）藉由時域地盤反應分析更精準理解地下結構耐震設計之要素—地盤最大相對變形〔5；17；27〕，此變形較強制變位法中以經驗公式定義之簡易地盤自由場變形貼近實際情形。
- （二）獲取該地盤最大相對變形當下之土壤加速度反應、剪應力、剪應變、剪力模數與楊氏模數，這些資訊為定義應答變位法震時動態土壤彈簧、慣性力與周邊剪力之依據。
- （三）應答變位法模型中藉由地盤反應分析成果，能較精準考慮土壤與結構於受震反應最關鍵之時刻之互制關係〔18；35〕。

對比於強制變位法之簡易性，應答變位法確實較合理反映震時土壤-結構互制情形，然而其設計流程之複雜度及時間成本亦較高，另外相較於強制變位法決定地盤自由場公式通常已

適度納入地震危害度分析成果，適當建議各工址之最大地表速度，然而應答變位法通常則需就特定工址執行地震危害度分析，方可獲得符合工址特性之地震歷時。

三、動態歷時分析（Dynamic Analysis Method, DAM）

動態歷時分析相比強制變位法與應答變位法，其著重於與時間相依之地震力循環荷載情況下結構體之受力及變形情形，有利於設計者掌握整個地震歷時之土壤與結構反應，更能展現較真實之受震反應，並藉由分析成果辨識潛在待補強之結構部分〔7；31〕，動態歷時分析亦可同應答變位法納入性能設計考量，以作為設計優化之依據。

然而實務上如採大地工程常用之有限分析軟體執行，雖然能採用更高階之土壤動態組成律以掌握土壤動態特性〔4〕，但結構體之動態反應或者非線性特性之行為仍尚待實務設計或監測回饋加以驗證，且相關數值分析之複雜性對於電腦運算之效能需求較高，此費時分析成本對於如何選取具工址代表性及符合設計目標性之地震歷時則變得格外重要。另外有關地質調查試驗，仍建議輔以動態力學試驗相關規劃，方能作為工程師決定動態參數之依據。

綜觀上述有關動態歷時分析說明，考量此方法對於地下結構耐震設計仍屬較前衛之設計方法，於本主題之第參章節將介紹如何將此設計方法引入CP203計畫，以合理應用並使設計團隊對於設計成果安全餘裕有一定自信，統包商立場則能以符合設計規範和業主需求書之前提，順利將設計成果獲業主及外審團隊審核同意，且同時兼具設計經濟性。

四、性能設計之結合（Performance-Based Design, PBD）

結合上述應答變位法，CP203計畫中地下結構參數定義，則根據配筋成果採用非線性彎矩-曲率關係（M- κ ），並依照業主需求書中對於結構性能之要求，以及各結構元件滿足性能要求前提下之容許破壞狀態進行檢核。

有關CP203計畫地下車站性能設計原則說明如下：於一般設計地震力（ODE）情況下，結構體須維持相關功能，且毋須於震後進行任何維修；於最大考量地震力（MDE）情況下，結構體需保有必要之承載力，且需於震後短暫時間即可完成修復並營運。此考量原則著重於針對不同等級之抗震成效與其結構功能之保持性及可修復性（表2、圖6）。

表3整理此章節提及之地下車站結構耐震設計方法之原則與構想，並表列其優點及缺點。

表3 地下車站結構耐震設計方法綜整與比較

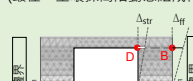
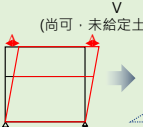
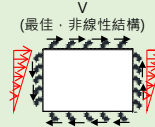
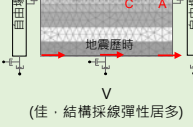
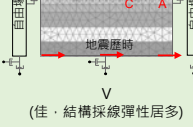
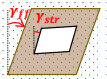
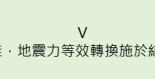
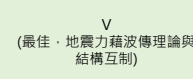
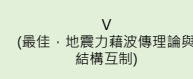
耐震設計方法		二階段分析(Two-Stage Analysis) —日本鐵道綜合研究所(RTRI)主編之鐵道構造物等設計準則			
		強制變位法 (Racking Method) —北捷土木工程設計準則		Stage 2 結構應答變位分析	
		Stage 1 地盤受震分析	Stage 2 結構應答變位分析		
土壤-結構關係		地盤反應分析 (Site Response Analysis, SRA)	非線性側推 (Response Displacement Method, RDM)	動態歷時分析 (Dynamic Analysis Method, DAM)	
土壤	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (尚可，以規範或經驗公式簡化考慮) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (最佳，土壤非線性程度高) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (佳，以彈簧考慮) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (最佳，土壤採高階動態組成律) 	
結構	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (尚可，未給定土壤彈簧) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (最佳，非線性結構) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (佳，結構採線彈性居多) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (最佳，土壤採高階動態組成律) 	
土壤-結構互制	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (尚可，兩者獨立考量) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (佳，地震力等效轉換施於結構) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (最佳，地震力藉波傳理論與結構互制) 	$\gamma_{ff} = \frac{V_{s,max}}{C_s}$ (最佳，地震力藉波傳理論與結構互制) 	
優缺點	優	1. 簡易、運算快速 2. 設計安全餘裕高 3. 相關自由場角變量易決定 4. 通常對場址地震危害度已有一定程度了解，並完善納入設計規範	1. 土壤受震考量非線性反應 2. 自由場變位貼近實際情形 3. 可作為反應位移法之地盤反應及結構慣性力等設定依據 4. 可作為動態歷時分析合理性確認依據	1. 可考量非線性結構受震反應及其性能檢核 2. 土壤彈簧已根據地盤反應分析考量非線性狀態受震反應 3. 土壤-結構互制概念已合理之過度簡化，但仍維持一定之設計餘裕	1. 可同時考量土壤與結構受震反應，其結果應較貼近現實 2. 土壤非線性程度較高，並可藉高階組成律探討超額孔隙水壓激發等液化課題 3. 設計成果應較經濟
	缺	1. 可能面臨設計過度保守 2. 地盤受震反應僅為線性變形，與實際情形有落差 3. 土壤-結構互制之考量兩者獨立，且R值未有明確分析原則與設定，常需藉由設計者經驗作合理判斷 4. 若未來地震力提升，極可能面臨設計窒礙難行課題	1. 場址需有完善地震測站及地震危害度分析 2. 土壤動態性質及參數常需藉由進階動態試驗取得 3. 場址現地剪力波速成果準確度要求高	1. 相較於強制變位法，設計複雜度及時間成本較高 2. 需藉由地盤反應分析，視設計議題選取合適且具代表性之地震歷時與設計考量 3. 土壤彈簧之線彈性設定是否合理反映實際受震情形	1. 設計繁雜且耗時 2. 相關動態土壤參數訂定較困難 3. 對於地震歷時之篩選須藉地盤反應分析有一定程度判斷 4. 模型邊界條件設定及動態反應結果合理性須有完善之程序進行判斷 5. 缺乏實地監測回饋

表2 CP203計畫地下車站結構震時容許損傷狀態

Seismic performance	SP I (ODE)	SP II (MDE)
Top slab	1	1
Middle slab	1	2
Side wall	1	1
Column	1	2
Base slab	1	1

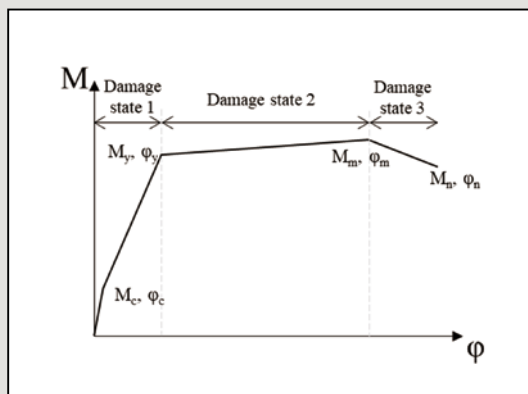


圖6 結構體損傷狀態定義

參、土壤—結構動態互制歷時分析引進

一、緣由

於CP106計畫已成功將應答變位法應用於地下結構耐震設計中，並使本標成為雅加達第一期捷運計畫中首位通過外審單位審查之標段。然而隨著近幾年地質與考古地震學之研究成果愈趨豐富，許多國家已大幅將設計地震力提高，且由於傳統耐震設計方法已無法滿足新的規範要求，或可能出現不合理之配筋情形，取而代之者為性能設計法甚至動態歷時分析。本團隊於執行CP203計畫時，意識到相同迴歸週期之地震歷時加速度已較CP106計畫有所提升，其對於明挖覆蓋段甚至要求以迴歸週期2500年為最大考量地震進行設計（CP106計畫為1000年），另此計畫亦跟隨日本相關規範〔29〕，明訂納入動態歷時分析法於設計考量中。

二、案例驗證

考量耐震設計須考慮動態歷時分析，本

團隊為了對於此新方法有一定之熟稔程度及自信，設計前先就國際知名地下車站破壞案例—1995年日本阪神大地震大開車站破壞案例進行驗證。圖7為大開車站官方調查報告之破壞紀錄〔9；13；40〕，圖中呈現車站之橫向及縱向斷面破壞型態，其中於區域A有23支中柱完全破壞，此案例直至近幾年仍為許多國際學者積極投入研究之標的，從廣泛應用之二維有限元素動態歷時分析〔12〕及有限差分法結合擬靜力分析〔19〕，再到三維有限元素動態歷時分析與反覆側推分析，以理解車站結構破壞機制〔16；32〕，更有學者以複雜度更高之多物理與多演算法軟體模擬其受震後之破壞歷程與崩塌情形〔22〕，此外亦有採振動台執行縮尺物理模型試驗重現其破壞情形。

本團隊係採二維有限元素動態歷時分析驗證大開車站破壞機制，並採取下述內容為執行依據：

（一）檢核地表加速度歷時反應，確認分析模型之輸入地震波、地層參數與整體土體自由場反應是否符合日本震度7級之紀錄。

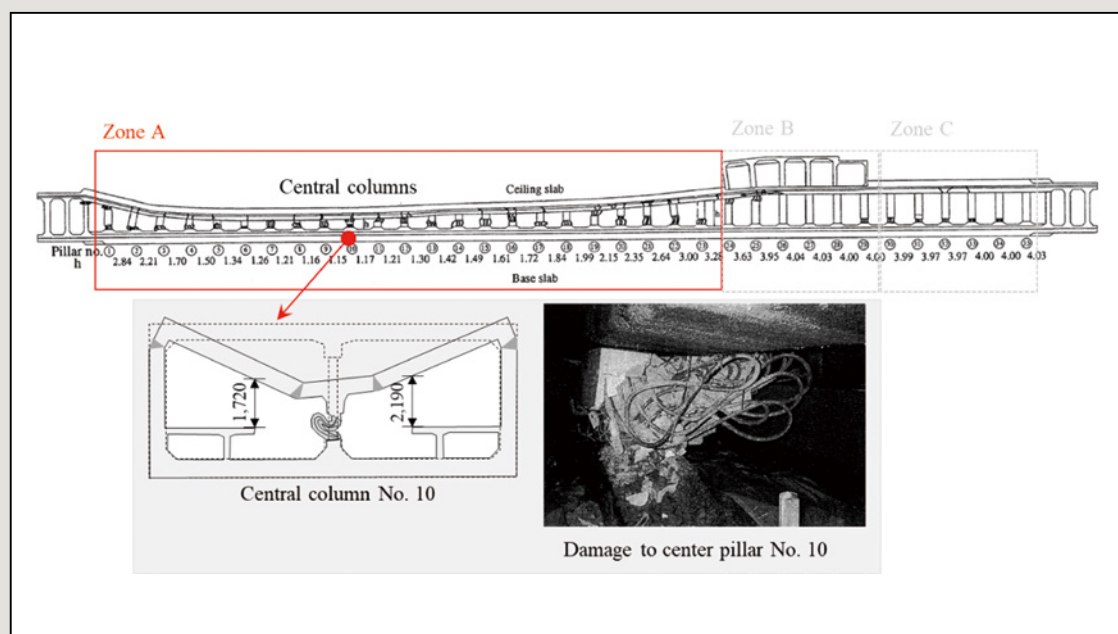


圖7 大開車站官方調查報告之破壞紀錄（修改自〔13〕）

(二) 自由場土體於結構周圍深度之相對變形與結構變形是否與相關文獻〔20；41〕有類似趨勢，並初步確認土壤-結構互制之合理性。

(三) 檢核結構體受力情形是否已超越其原配筋設計，並根據官方調查報告及許多研究之結論，確認結構模型之破壞機制為車站中柱受剪力破壞。

此驗證對於地震波歷時篩選考量，係採距離大開車站最近之Port Island垂直陣列測站紀錄為輸入歷時〔14；19；22；42〕，分析結果有關地表反應歷時比較地盤反應分析與動態歷時分析顯示具有趨勢上之一致性，兩者符合震度7級之紀錄（圖8）；圖9參考Nakamura et al.（1996）〔20〕及Yamato et al.（1996）〔41〕成果，說明結構深度範圍之自由場及結

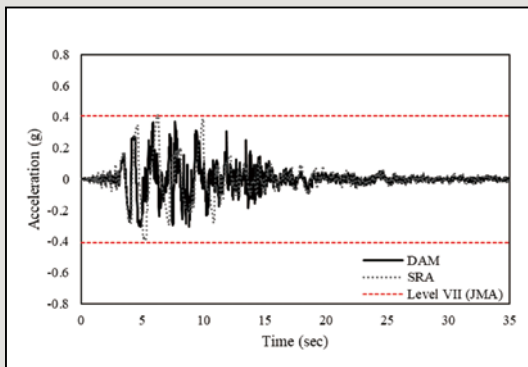


圖8 大開車站地盤反應分析、動態歷時分析與JMA震度7級自由場比較

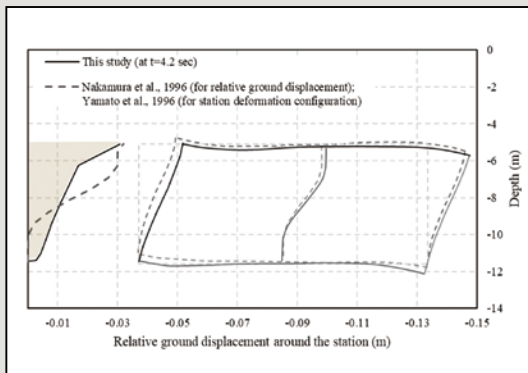


圖9 大開車站動態歷時分析破壞前結構與自由場變形情形

構變形反應，於數值與形態上有類似之結果；圖10參考Nguyen et al.（2020）〔22〕成果，輸出結構體中柱之剪力-彎矩相對之歷時關係，其於地震後4.2秒產生破壞，亦證明原中柱設計之抗剪強度不足，此結果與文獻〔22〕之分析結果吻合。有關剪力及彎矩歷時與文獻〔22〕之些微差異，研判為本驗證分析並未如同文獻〔22〕考量垂直地震力耦合效應。

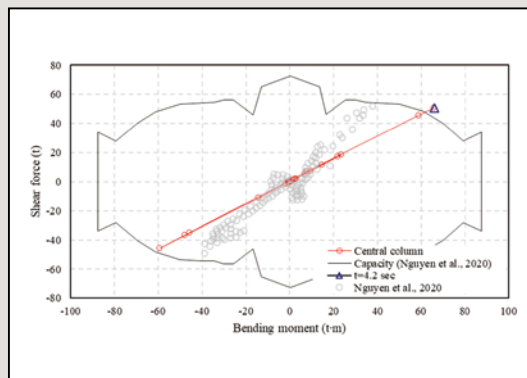


圖10 結構體中柱之剪力-彎矩相對之歷時關係

三、CP203計畫地盤反應分析之基盤深度考量

為了執行應答變位法及耐震性能設計，雅加達捷運局委託CP201計畫統包團隊，請當地學術機構執行南北向二期捷運線之地震危害度分析，該分析成果分別提供100、1000及2500年迴歸週期各9條之人工合成地震歷時，地震歷時來源則蒐集了不同類型之地震波〔34〕。透過地盤反應分析發現基盤定義深度差異將對應答變位法之側推量有一定程度之影響，擷取本計畫2500年迴歸週期控制耐震設計的地震歷時為例，如岩盤深度定義位處地表下350公尺，相比定義於地表下500公尺，歷時過程中結構周圍土體自由場最大相對變形約增加近30%（圖11），此差異對於統包商之設計成本即有一定程度之影響。

綜整上述之成果，本團隊於設計前參考雅加達地區岩盤深度調查圖〔3；35〕，並確認本標場址岩盤深度達600公尺，故合理建議岩盤深

度採地表下500公尺，以保有地質條件不確定性之設計餘裕，且亦能站在統包商之立場達到經濟設計之目標。

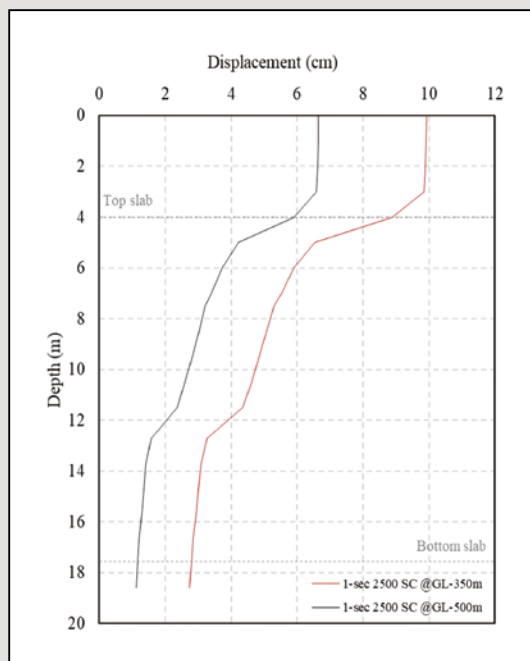


圖11 地盤反應分析基盤深度之於結構體範圍相對自由場變位之影響

四、CP203計畫車站耐震設計成果

考量前述之案例驗證原則及決定合理之岩

盤深度後，本節將以2500年迴歸週期之控制地震歷時分享相關車站耐震設計成果。首先於地盤反應分析，目標除了提供應答變位法有關之地盤受震反應情形，以模擬受震最大相對變形情境下之土壤彈簧勁度、結構周邊剪力及慣性力，此外地盤反應分析成果亦可用於動態歷時分析自由場反應之分析與驗證依據，相關分析關鍵點在於地盤反應分析模型基盤位處地下500公尺深，然而於動態歷時分析中要建立同樣深度之模型，電腦運算成本過高，實務及學術上亦鮮少以此方式執行，故動態歷時分析參考Hashash et al. (2010) [10] 與Doan et al. (2020) [6] 等學者提出之方式，成功藉由地盤反應分析獲得動態歷時分析所需之特定深度地震反應歷時，以延續傳遞該歷時，並確認結構體深度範圍中之地盤自由場最大相對變位時刻之相關反應合理性（圖12），另外有關地盤反應分析與動態歷時分析之地表反應歷時比較亦可詳圖13。

確立自由場受震反應之合理性後，本計畫於加入車站結構係針對受震R-F關係進行一系列結構勁度之調整分析（F即土壤與結構勁度之比值，且考慮結構幾何因素，圖14為本計畫

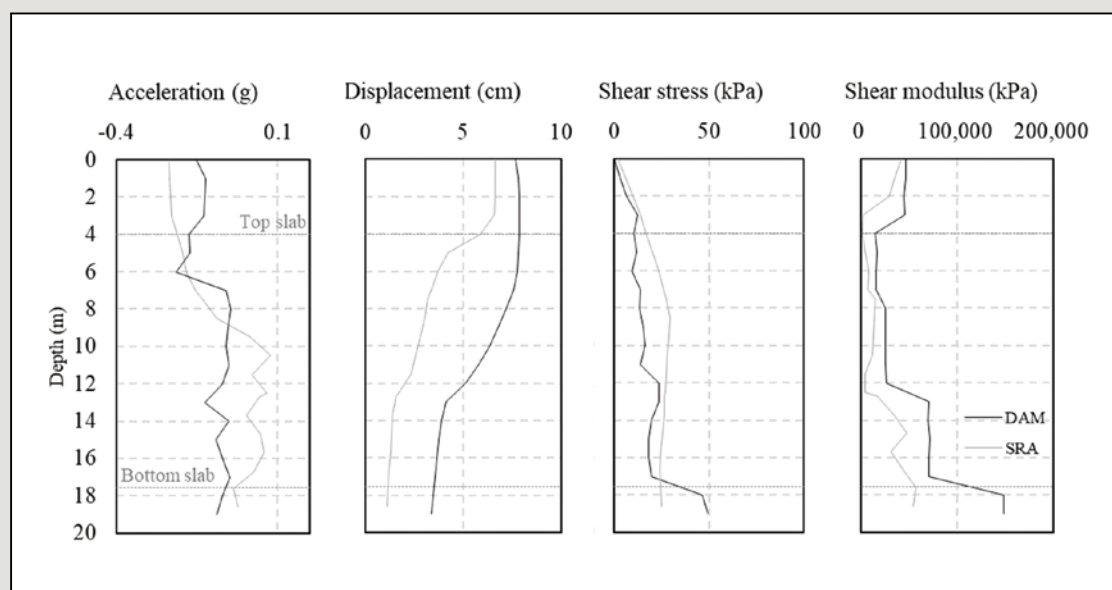


圖12 CP203計畫地盤反應與動態歷時分析自由場比較

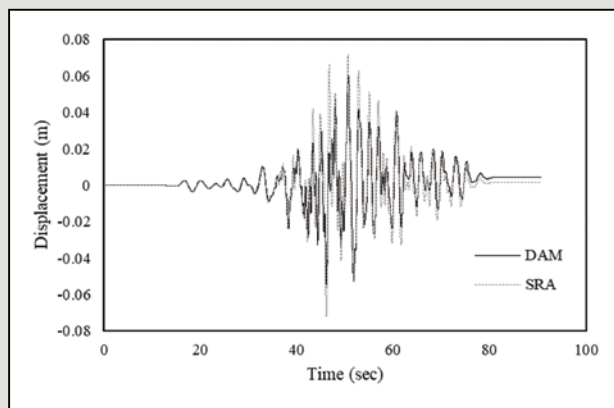


圖13 CP203計畫地盤反應與動態歷時分析地表自由場比較

設計車站標準斷面與BIM模型示意圖〔31；43〕，藉由圖15說明此R-F趨勢與許多學者採解析解〔2；25；26；38；39〕、數值分析〔23；30〕或物理模型試驗相近〔8〕，確立場址R-F關係有助於未來於同樣區域類似地層執行地下結構耐震設計土壤-結構互制之結構體側推量估算，以省去繁雜之土壤-結構互制分析。

另外於車站耐震設計上為了比較動態歷時分析與應答變位法成果，於動態歷時分析中結構體塑鉸處，比照應答變位法參考配筋結果給定非線性彎矩-曲率關係，以研析兩種設計方法土壤-結構互制參數R，亦可進一步檢視兩方法受力成果並確定其性能狀態。

設計成果顯示動態歷時分析模型，由於地震力藉由波傳理論以較貼近實際地震情況考量結構體之受震變形及受力，其結構變形融合土體變形之合理性，相比應答變位法將地震力根據規範等效轉換施於結構體上所涵蓋之假設情境有所差異，CP203計畫範圍內兩座車站分析結果皆顯示動態歷時分析之R小於應答變位法結果（圖15），Hashash et al., 2010〔10〕等研究亦說明於軟弱地盤（F小於1之情況）應答變位法獲得之R相較於動態歷時分析高，研判應答變位法於設計上仍較保守。

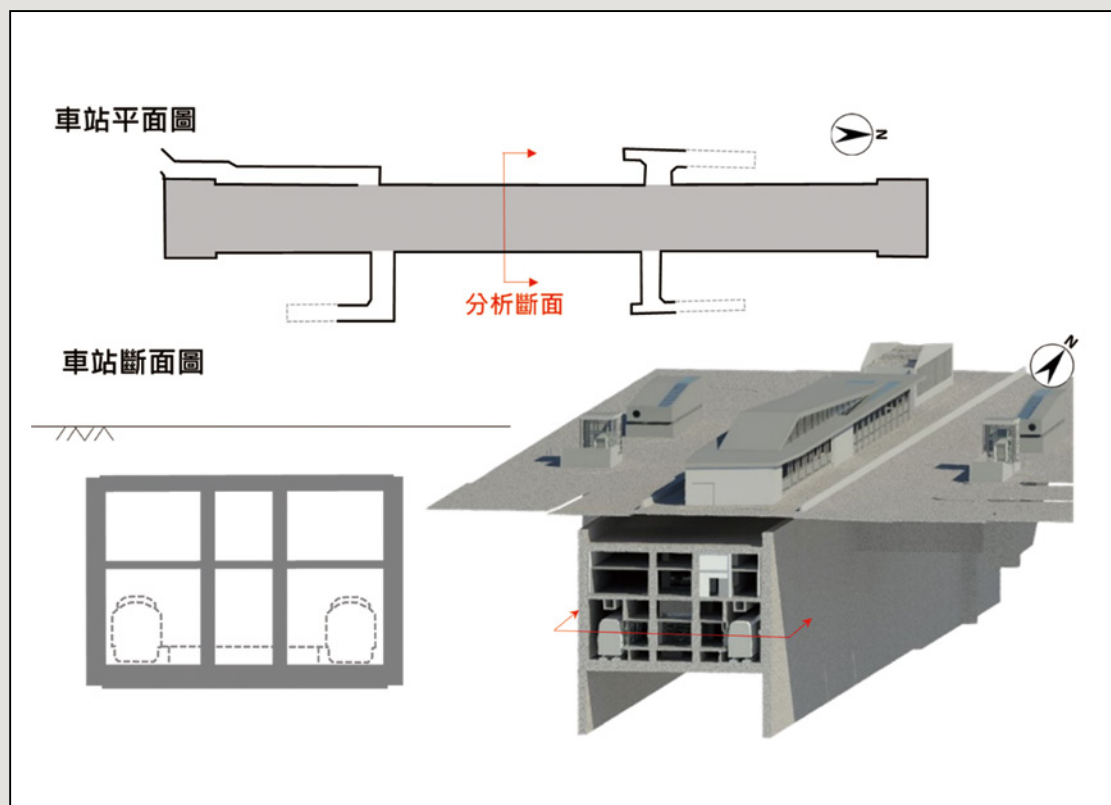


圖14 CP203計畫設計車站標準斷面與BIM模型示意圖

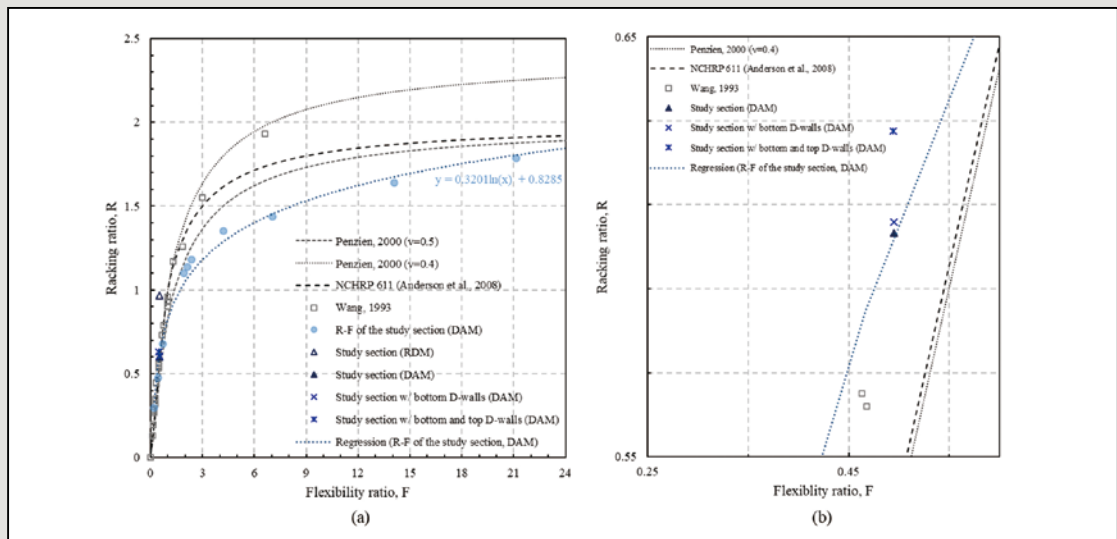


圖15 CP203計畫地下車站R-F關係圖

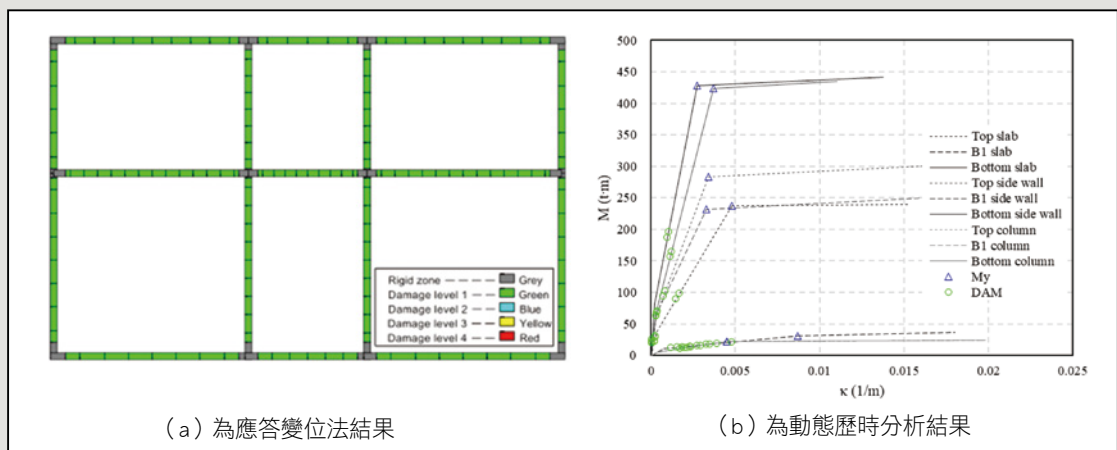
延伸上述分析，CP203計畫之車站體採單牆結構，倘若於動態歷時分析模型中將臨時階段深開挖所保有之連續壁貫入深度考慮於模型中，受到壁體所包覆之土體於受震過程中產生更大之慣性力， R 亦會隨之提升近7%（圖15）〔10〕，研判臨時階段連續壁之適度省略不會造成設計成果太多差異。

於性能設計檢核階段，應答變位法中所有結構元件與動態歷時分析法之塑鉸區於最大考量地震下皆為地震損害程度1（圖16），即構件全數未達降伏彎矩，並滿足業主需求書規定，其說明於最大考量地震情境下尚有一定程

度之安全餘裕，研判本計畫車站配筋設計主要受到施工階段之開挖、淹水情境或長期之壓密條件所控制。

五、車站頂板之局部液化土層之設計對策

CP203計畫北側更靠近沿海之車站，其頂板深度附近含有局部軟弱且具液化潛能之砂土層，初步以地盤反應分析研析其液化情形。不同於耐震設計以土體相對最大變形決定控制地震歷時，引致液化之控制地震歷時為隱沒帶地震，其無須採定比係數（Scaling Factor, SF）作震幅放大，即可使該砂層出現液化之情形，相



(a) 為應答變位法結果

(b) 為動態歷時分析結果

圖16 CP203計畫地下車站MDE條件之性能設計檢核

關液化分析以超額孔隙水壓達土壤有效應力之90%為基準（ r_u 大於等於0.9），分析成果如圖17所示，值得一提之處在於液化狀態通常發生

於歷時末期，其原因在於超額孔隙水壓激發與累積須具備足夠能量，此與許多知名液化事件觀察相互呼應，Kramer et al.（2016）〔15〕亦指出液化發生於地震歷時之早或晚將對於液化評估及預測扮演重要之角色。以本計畫最大考量地震為例，視需求放大地震歷時，以強制每條地震波皆能造成場址液化之情況，液化當下之加速度為歷時最大加速度之1~50%不等，該差異性視不同震源地震波能量累積特質而異。

本設計屬統包型式，受限於設計與施工工期急迫性，欲說服外審單位同意液化考量之設計方法，液化情境之應答變位法考量如圖18所示。基於前段論述，如液化層之考量持續以地下結構耐震之變位原則為出發點將不符實際情形，故將結構頂板周圍於液化時移除土壤彈簧束制，並根據日本鐵路橋樑耐震設計規範〔28〕公式定義液化狀態動態土水壓力，而非液化層之土壤狀態仍根據無液化之地盤最大相對變位時之地盤反應分析成果訂定並側推，當中亦包含加速度決定之慣性力。

上述解套方法雖然仍有其不合理性，包含液化發生時位處歷時末段，非液化層地盤相對變位與加速度理當降低多，然而此方法已適度保守考量，故仍受外審委員之同意，仍可算是一種雙贏之局面。

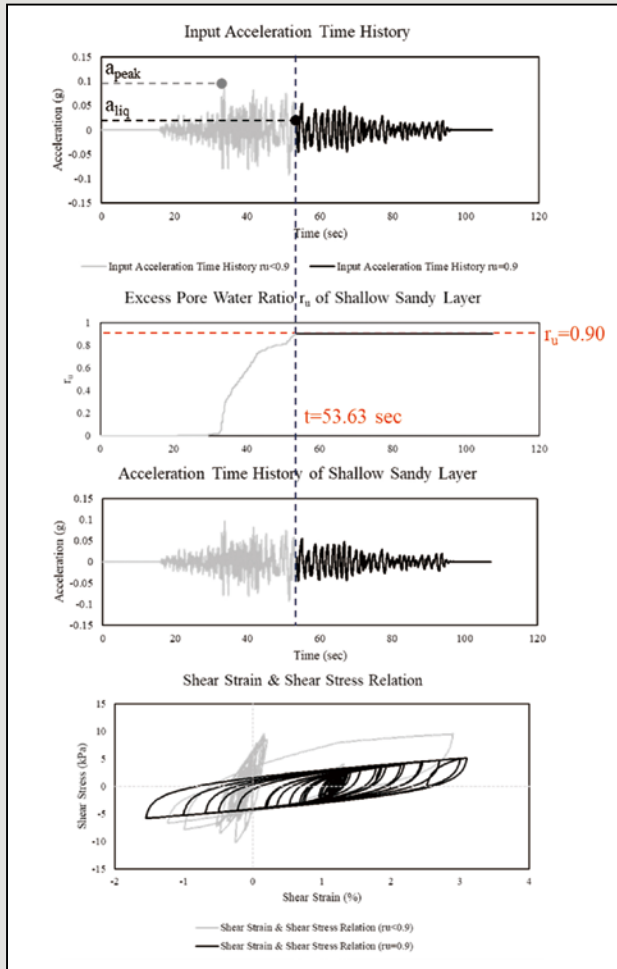


圖17 CP203計畫液化控制地震歷時於地盤反應分析之成果

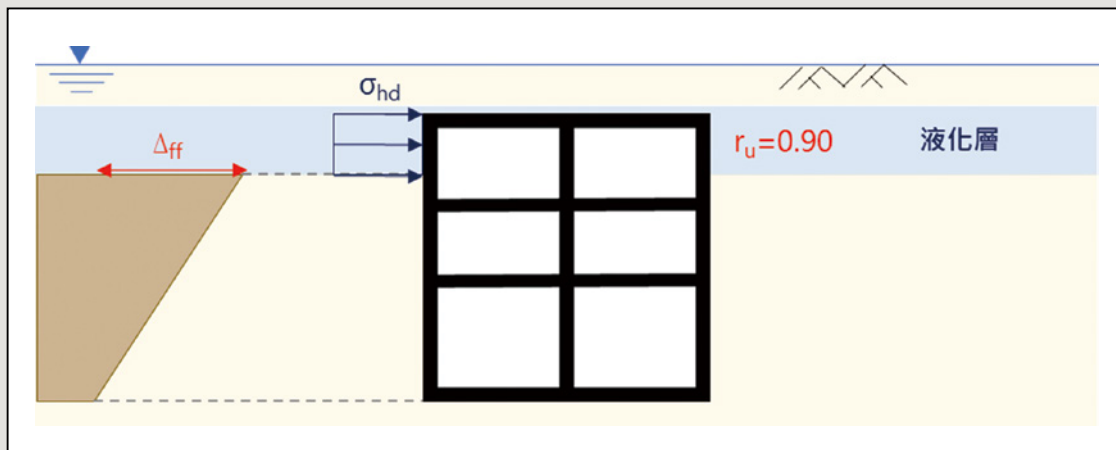


圖18 CP203計畫頂板薄液化層於應答變位法之考量原則

肆、結論建議與未來發展

有關地震設計課題，由於鮮少有完整之監測成果回饋於實務設計上，故多以災害案例或縮尺試驗去作為後續設計之調整及省思，本課題藉由耐震設計方法之進展與優勢比較，再以大開車站破壞案例為出發點，研析有關實務設

計層面採動態歷時分析之流程及分析合理性之確認方式，最終將動態歷時分析成功導入CP203計畫車站耐震設計，此設計考量應屬國內地下車站納入動態歷時分析之首例，相關設計成果亦獲得雅加達捷運外審單位同意，相關現場施工仍尚在進行中，如圖19。

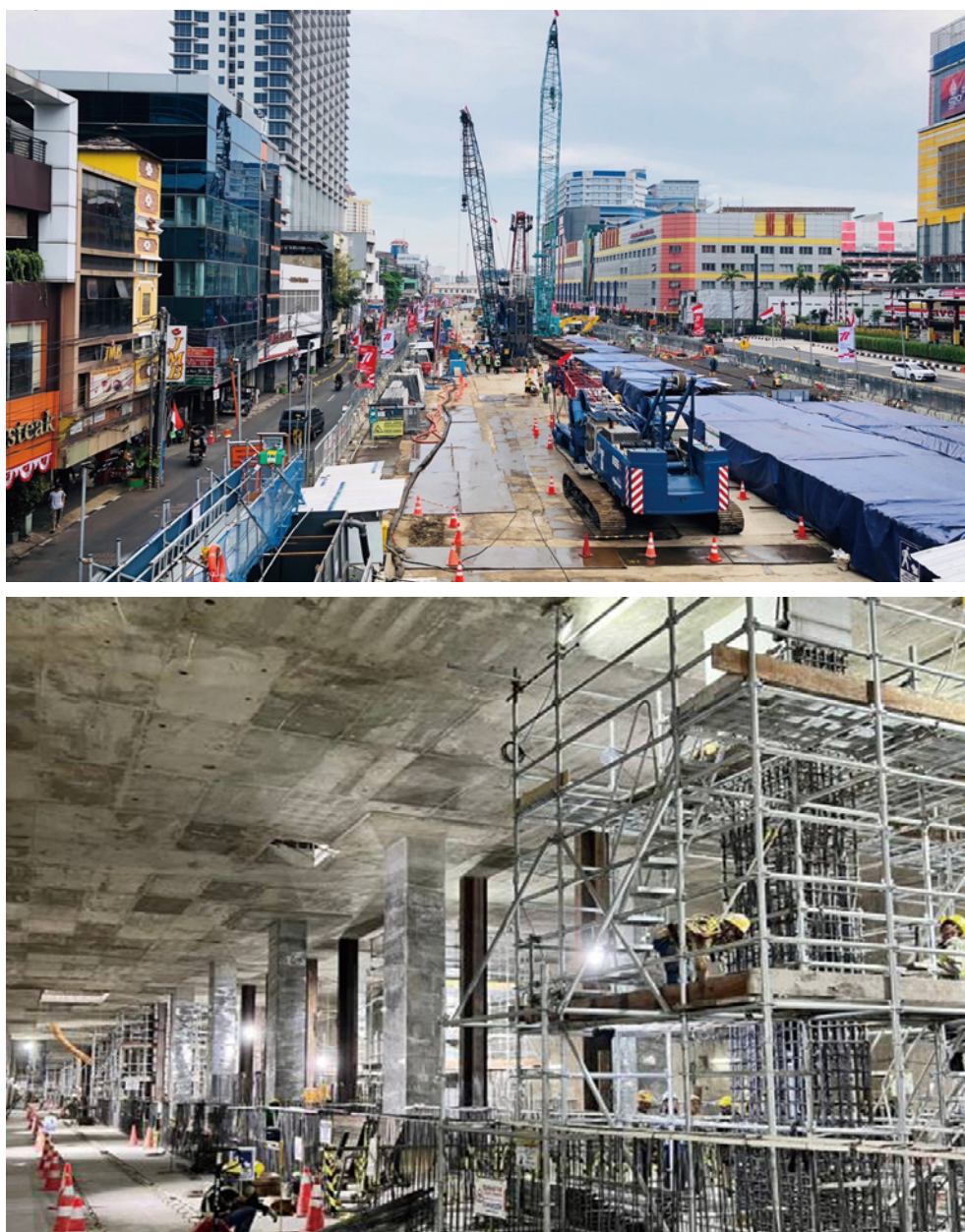


圖19 CP203計畫車站施工情形（分別攝於2022年10月與2023年11月）

於文章尾聲引入之液化情形考量與耐震設計息息相關，透過上述建議方式及液化情境說明，期以作為後續相關設計發展之原則與參考。針對液化課題，目前相關實務設計仍注重於選定合適基礎型式及地盤改良為原則，然而就設計規劃完成後之預期成效仍較無法明確評估。

臺灣目前規劃中、設計中、施工中以及營運中之地下捷運系統，大多位處沖積層中，其中又以臺北捷運及高雄捷運多座落於飽和砂土層中，以高雄捷運小港林園案為例，此計畫根據經濟部地質調查及礦業管理中心公告資料顯示屬中度至高度液化潛勢範圍，然而潛盾隧道受限於線形爬升條件與地下管線多屬大管徑之油氣管，其遷移性或垂直地改施工性差，另

伴隨一定之施工風險，若採明挖覆蓋段亦勢必造成工程經費之提升。針對液化狀態造成淺覆土潛盾隧道之變形或上浮議題，甚至環片受力情形，便可應用動態歷時分析，以利探討地盤改良型式、配置、需求強度及滲透性之最佳效益，圖20為以動態歷時分析模擬常見捷運抗液化地盤改良之成果。

綜觀本文章針對各耐震設計方法之介紹及適用性，工程師於應用時需瞭解相關設計方法之特性與限制性。考量地震之不確定性，設計方法之差異亦會影響設計趨向保守或不保守，從簡易之強制變位法到應答變位法，最後為複雜之動態歷時分析，通常簡易之方法提供較保守之設計，然而複雜之方法則提供設計經濟

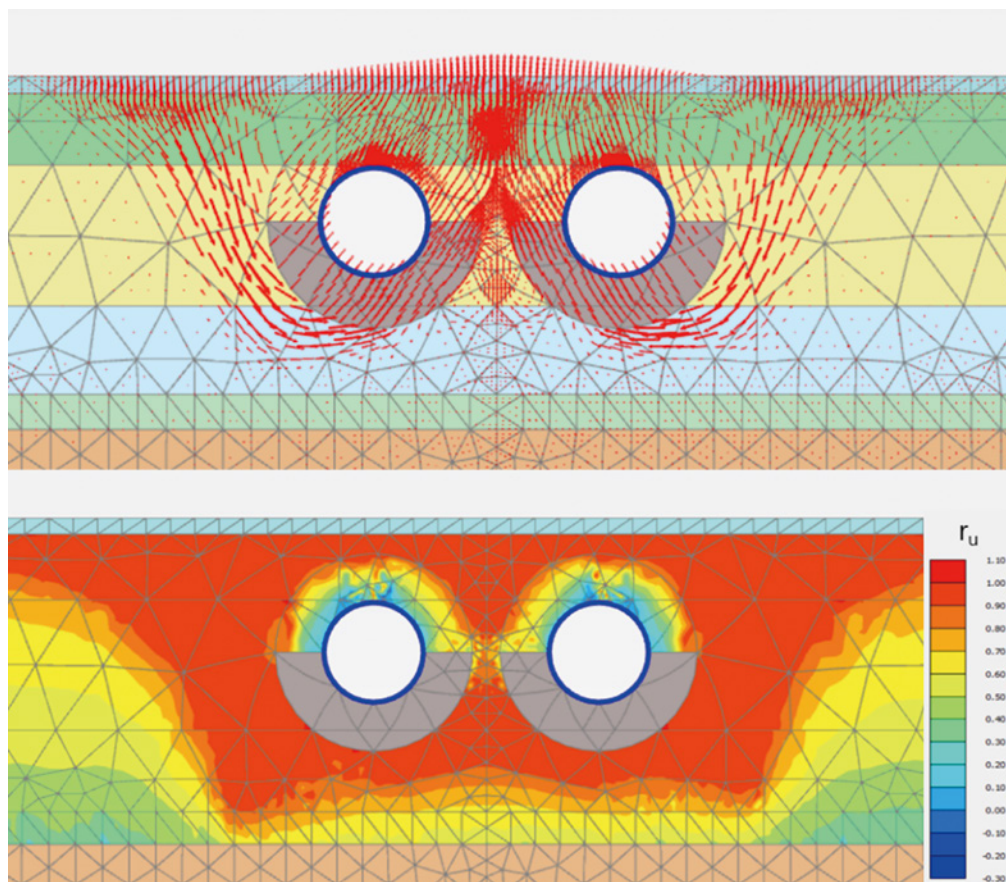


圖20 淺覆土潛盾隧道受震液化抗浮地盤改良工法分析與評估

性，設計方法之選擇除規範規定外，其餘則取決於設計者對各設計案之設計目標、想法及預期保有之餘裕。CP203計畫採應答變位法，雖然結構與土壤皆採非線性概念執行，然而土壤受震反應為根據非線性地盤反應分析之成果定義，應答變位法之土壤實質設定仍為線彈性彈簧，須留意於側推量過大之情況下理應發展成非線性行為，線彈性土壤彈簧對於設計成果之影響為何？此外，若按照耐震設計規範可針對地震歷時三條取大、七條取平均進行設計，然而根據不同設計議題，例如耐震設計在意地盤最大變形，該控制地震歷時與最容易產生液化之歷時便有很大之機會為不同歷時，這也考驗著設計者針對不同設計課題，該如何選取合適地震歷時納入設計考量之經驗與判斷。

參考文獻

1. 許書銘、黃怡超，2005，捷運工程地下結構牆系統之耐震設計—以信義線及既有設計例研析，捷運技術半年刊，第33期，59 - 64。
2. Anderson, D.G., Martin, G.R., Lam, I.P., Wang, J.N.J., 2008. NCHRP report 611: Seismic analysis and design of retaining walls, buried structures, slopes, and embankments.
3. Asrurifak, M., Irsyam, M., Hutapea., B. M., Ridwan. M., Prammatya, A. V., and Dharmawansyah., D., 2013. Pengembangan Peta Klasifikasi Tanah dan Kedalaman Batuan Dasar untuk Menunjang Pembuatan Peta Mikrozonasi Jakarta Dengan Menggunakan Mikrotremor Array, 67 - 72. (in Bahasa)
4. Brinkgreve, R.B.J., Kappert, M.H., Bonnier, P.G., 2007. Hysteretic damping in a small-strain stiffness model, in: Numerical Models in Geomechanics. Taylor & Francis Group, London, pp. 737 - 742.
5. Chang, Y.H., Tsai, C.C., Ge, L., Park, D., 2022. Influence of horizontally variable soil properties on nonlinear seismic site response and ground motion coherency. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 51, 704 - 722. <https://doi.org/10.1002/eqe.3587>
6. Doan, N.P., Park, S.S., Lee, D.E., 2020. Assessment of Pohang earthquake-induced liquefaction at Youngil-man port using the UBCSAND2 model. Applied Sciences (Switzerland) 10. <https://doi.org/10.3390/APP10165424>
7. Fabozzi, S., Licata, V., Autuori, S., Bilotta, E., Russo, G., Silvestri, F., 2017. Prediction of the seismic behavior of an underground railway station and a tunnel in Napoli (Italy). Underground Space (China) 2, 88 - 105. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2017.03.005>
8. Gillis, K.M., 2015. Seismic response of shallow underground structures in dense urban environments. University of Colorado Boulder.
9. Hashash, Y.M.A., Hook, J.J., Schmidt, B., I-Chiang Yao, J., 2001. Seismic design and analysis of underground structures. Tunnelling and Underground Space Technology 16, 247 - 293. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7)
10. Hashash, Y.M.A., Karina, K., Koutsoftas, D., Riordan, N.O., 2010. Seismic design

considerations for underground box structures.

11. Hashash, Y.M.A., Park, D., Yao, J.I.C., 2005. Ovaling deformations of circular tunnels under seismic loading, an update on seismic design and analysis of underground structures. *Tunnelling and Underground Space Technology* 20, 435 - 441. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.02.004>
12. Huo, H., Bobet, A., Fernández, G., Ramírez, J., 2005. Load transfer mechanisms between underground structure and surrounding ground: Evaluation of the failure of the Daikai station. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 131, 1522 - 1533. <https://doi.org/10.1061/ASCE1090-02412005131:121522>
13. Iida, H., Hiroto, T., Yoshida, N., Iwafuji, M., 1996. Damage to Daikai subway station. *Soils and Foundations* 283 - 300.
14. Iwasaki, Y., Tai, M., 1996. Strong motion records at Kobe Port Island. *Soils and Foundations* 36, 29 - 40.
15. Kramer, S.L., Sideras, S.S., Greenfield, M.W., 2016. The Timing of Liquefaction and Its Utility in Liquefaction Hazard Evaluation.
16. Kishi, N., Sonoda, K., Komuro, M., Kawai, T., 2021. Numerical simulation of the Daikai station subway structure collapse due to sudden uplift during earthquake. *Journal of Engineering Mechanics* 147. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)em.1943-7889.0001895](https://doi.org/10.1061/(asce)em.1943-7889.0001895)
17. Kwok, A.O.L., Stewart, J.P., Hashash, Y.M.A., Matasovic, N., Pyke, R., Wang, Z.L., Yang, Z.H., 2007. Use of exact solutions of wave propagation problems to guide implementation of nonlinear seismic ground response analysis procedures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 1385 - 1398. <https://doi.org/10.1061/ASCE1090-02412007133:111385>
18. Lai, Y.C., Wang, S.C., Chan, Y.H., Paramosa, L.S., Lee, Y.T., Zhang, C.Y., Hsu, L.T., Tsai, Y.Y., Seng, C.R., Tsai, J.C., Lin, C.H., 2022. Application of dynamic analysis method in performance-based seismic design for underground structure, in: *Proceedings of the 19th Conference on Current Researches in Geotechnical Engineering*. New Taipei City.
19. Lu, C.C., Hwang, J.H., 2019. Nonlinear collapse simulation of Daikai Subway in the 1995 Kobe earthquake: Necessity of dynamic analysis for a shallow tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology* 87, 78 - 90. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.02.007>
20. Nakamura, S., Yoshida, N., Iwatate, T., 1996. Damage to Daikai subway station during the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake and its investigation. *Japan Society of Civil Engineers* 287 - 295.
21. Nguyen, D.D., Lee, T.H., Nguyen, V.Q., Park, D., 2019. Seismic damage analysis of box metro tunnels accounting for aspect ratio and shear failure. *Applied Sciences (Switzerland)* 9. <https://doi.org/10.3390/app9163207>
22. Nguyen, V.Q., Nizamani, Z.A., Park, D.,

Kwon, O.S., 2020. Numerical simulation of damage evolution of Daikai station during the 1995 Kobe earthquake. *Engineering Structures* 206. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110180>

23. Nguyen, V.Q., Tran, V.L., Nguyen, D.D., Sadiq, S., Park, D., 2022. Novel hybrid MFO-XGBoost model for predicting the racking ratio of the rectangular tunnels subjected to seismic loading. *Transportation Geotechnics* 37. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100878>

24. Park, D., Sagong, M., Kwak, D.Y., Jeong, C.G., 2009. Simulation of tunnel response under spatially varying ground motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29, 1417 - 1424. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2009.05.005>

25. Peck, R.B., Hendron, A. J., Mohraz, B., 1972. State of the art of soft ground tunneling, in: *Proceedings of 1st Rapid Excavation and Tunneling Conference*, AIME Chicago, 259 - 285.

26. Penzien, J., 2000. Seismically induced racking of tunnel linings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 29, 683 - 691.

27. Phillips, C., Hashash, Y.M.A., 2009. Damping formulation for nonlinear 1D site response analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29, 1143 - 1158. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2009.01.004>

28. Railway Technical Research Institute, 2012. *The Design Standards for Railway Structures*

and Commentary (Seismic Design).

29. Railway Technical Research Institute, 2021. *The Design Standards for Railway Structures and Commentary (Cut & Cover)*.

30. Sadiq, S., VanNguyen, Q., Jung, H., Park, D., 2019. Effect of Flexibility Ratio on Seismic Response of Cut-and-Cover Box Tunnel. *Advances in Civil Engineering* 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4905329>

31. Sandoval, E., Bobet, A., 2020. The undrained seismic response of the Daikai station. *Tunnelling and Underground Space Technology* 103. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103474>

32. Sayed, M.A., Kwon, O.S., Park, D., Nguyen, V.Q., 2019. Multi-platform soil-structure interaction simulation of Daikai subway tunnel during the 1995 Kobe earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 125. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.04.017>

33. Seng, C.R., Lai, Y.C., Wang, W.Y., Wang, S.C., Hsu, L.T., Tsai, Y.Y., Lin, H.T., Wang, C.L., Chen, Y.H., 2021. Experiences of technical services of deep excavation and shield tunnel engineering from overseas transit system projects. *Sino-Geotechnics* 169, 67 - 80.

34. Shimizu, Adhi Karya, 2020. *Seismic Hazard Assessment for Jakarta MRT Project, Phase-2*.

35. Tsai, Y.Y., Lin, H.T., Hsu, L.T., Wu, J.C., Seng, C.R., Wang, C.L., 2019. Application of Japanese performance-based design codes on underground structure—Case study of Jakarta

MRT project. Sino-Geotechnics 160, 15 - 24.

j.enggeo.2021.106090

36. Tsinidis, G., 2017. Response characteristics of rectangular tunnels in soft soil subjected to transversal ground shaking. *Tunnelling and Underground Space Technology* 62, 1 - 22. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.11.003>

41. Yamato, T., Umehara, T., Aoki, H., Nakamura, S., Ezaki, J., Suetomi, I., 1996. Damage to Daikai subway station of Kobe rapid transit system and estimation of its reason during the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake, in: *JSCE*. pp. 303 - 320.

37. Uenishi, K., Sakurai, S., 2000. EARTHQUAKE ESTIMATED FROM THE FAILURE OF THE DAIKAI UNDERGROUND STATION, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*.

42. Yoshida, N., Nakamura, S., 1996. Damage to Daikai subway station during the 1995 Hyogoken-Nunbu earthquake and its investigation, in: *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*. Elsevier Science Ltd.

38. Wang, J.N., Munfakh, G.A., 2001. Seismic design of tunnels. *Advances in Earthquake Engineering* 9, 589 - 598.

43. Zhu, T., Wang, R., Zhang, J.M., 2021. Evaluation of various seismic response analysis methods for underground structures in saturated sand. *Tunnelling and Underground Space Technology* 110. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103803>

39. Wang, J.N., 1993. Seismic design of tunnels: A simple state-of-the-art design approach.

40. Wang, T.T., Kwok, O.L.A., Jeng, F.S., 2021. Seismic response of tunnels revealed in two decades following the 1999 Chi-Chi earthquake (Mw 7.6) in Taiwan: A review. *Engineering Geology*. <https://doi.org/10.1016/>



Indonesia

困難工程條件 大地工程精進 與創新工法

關鍵詞(Key Words)：墩柱保護(Pier Protection)、破堤除樁(Demolition of Existing Piles)、柵狀擋土排樁(Retaining Piles)、簡易式活動圍籬(Flexible Construction Fencing)、鋼製擋土樁(SRC Retaining Piles)、潛盾環片儲存地下化(Underground Tunnel Segment Storage)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／李奕霆 (Lee, Yi-Ting) ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／宋上平 (Sung, Shang-Ping) ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫經理／蔡淵堯 (Tsai, Yuan-Yao) ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／賴宜群 (Lai, Yi-Chun) ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／許琍婷 (Hsu, Li-Ting) ❺
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／林恒次 (Lin, Heng-Tzu) ❻

摘要

臺北捷運環狀線南環段路線位於臺北盆地外緣高度開發且人口密集路段，地質條件變化大、岩盤深度淺且强度高、車站所在路廊狹窄，整體施工困難度非常高，如何在充滿困難的施工條件中完成符合需求的經濟設計，充滿了挑戰，本文將針對本計畫Y01站深開挖工程緊鄰營運中高架捷運橋墩保護工程、Y2A站之既有堤防破除及基樁拔除與置換工程、Y03及Y04站之複合地層柵狀擋土排樁工法、及Y04站於狹窄道路施工之因應對策等設計階段面臨的工程困難，並說明如何以大地工程之精進與創新工法完成挑戰。



Optimization and Innovations in Geotechnical Engineering under Challenging Conditions

Abstract

The southern section of the Circular Line of the Taipei Metro passes through densely populated, highly developed areas along the edge of the Taipei Basin. Due to variable soil conditions, construction sites often encounter shallow bedrock. Additionally, most stations will be located beneath narrow roadways, creating significant construction challenges and necessitating optimized design solutions under these complex conditions. This paper focuses on the breakthroughs in geotechnical engineering design required to address these challenges. Key topics include design considerations for pier protection of the operating Brown Line at Y01 Station, tunnel boring machine (TBM) penetration through existing dike piles at Y2A Station, retention methods for complex strata at Y03 and Y04 Stations, and the design challenges and countermeasures for Y04 Station beneath a narrow roadway.

3

專題報導

壹、前言

臺北都會區大眾捷運系統環狀線南環段(以下簡稱本計畫)工程範圍起自文湖線木柵動物園站，採地下潛盾方式沿新光路二段南轉穿越告尖山山區，沿秀明路二段經政治大學校園內四維路，穿越景美溪後行經木柵新路、秀明路一段再接木柵路、穿越景美溪沿遠東工業區旁之防汛道路，續西行於民權路至環狀線第一階段路線大坪林站(Y6站)東側銜接，並可轉乘松山新店線，全長約5.9公里，規劃設置6座車站，如圖1所示。全線除地下車站採用挖覆蓋工法施築外，其餘以潛盾工法施作。

圖如圖2所示，為保障深開挖工程施工時營運中捷運之安全，設計階段以Plaxis 3D數值分析軟體進行施工影響及相關保護方案評估，並採最佳化方案進行設計。

一、工程範圍及內容

Y01車站區域之地層大致可分為五層，表土之回填層厚度約6公尺，其下為厚度約3公尺之粉質黏土層及厚度約5公尺之粉質砂土層，緊接著是厚度約3公尺的卵礫石層，最下層為砂頁岩層，簡化地層參數詳表1。岩盤面約在地表下17m，RQD約在30至95之間，大多為50左右，



圖1 本計畫路線圖

貳、緊鄰Y01站深開挖工程之營運中高架捷運橋墩保護工程

本計畫之Y01車站位於木柵新光路二段道路南側及文湖線動物園站出入口處西側之開放空間，為南環段起始站，站體型式為地下二層島式月台車站，開挖深度約24公尺，車站總長約230公尺，平行於臺北捷運文湖線高架段及文湖線動物園站，與捷運設施之最短距離約為2公尺。根據大眾捷運系統兩側禁建限建辦法附錄二-大眾捷運系統兩側限建範圍，本計畫開挖分區位於規定之第I區、第II區、及第III區，剖面

屬較破碎岩盤，大致呈現水平均勻分布，唯靠山側岩盤面有驟然升高至地表的情況。

本計畫Y01車站與文湖線墩柱位置及動物園站第二出入口基礎之相對關係如圖3所示，其中文湖線路線段墩柱(圖3之12012、12013、12014墩柱)及文湖線動物園站墩柱(圖3之130D3墩柱)鄰近Y01車站開挖之區域，依竣工資料顯示，文湖線動物園站及其路線段所採用之基礎型式為樁基礎，樁徑1.2m，樁長約13.5m至16.0m，樁帽厚度1.2m，樁帽覆土深度約2.0m如圖4所示。

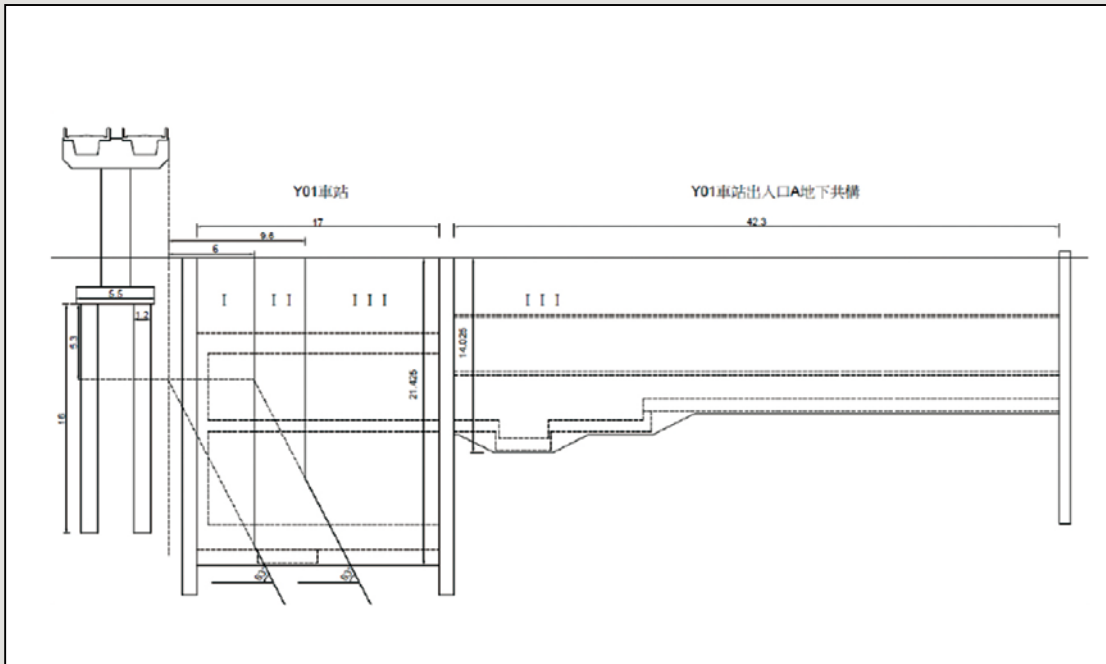


圖2 Y01車站之分級規範界線圖

表1 Y01車站簡化地層參數表

地層	土層分類	深度 (m)	N (平均)	rt (t/m ³)	Su (t/m ²)	C' (t/m ²)	ϕ' (degree)	E (kN/m ²)	備註
1	SF	6	10	2	-	2	30	15385	
2	CL	9	5	1.85	3.0	-	-	15000	
3	SM	14	10	1.9	-	0	30	15385	
4	GM	17	50	2	-	0	33	76923	
5	SS/SH	40	50	2.47	-	5.6	35	104710	

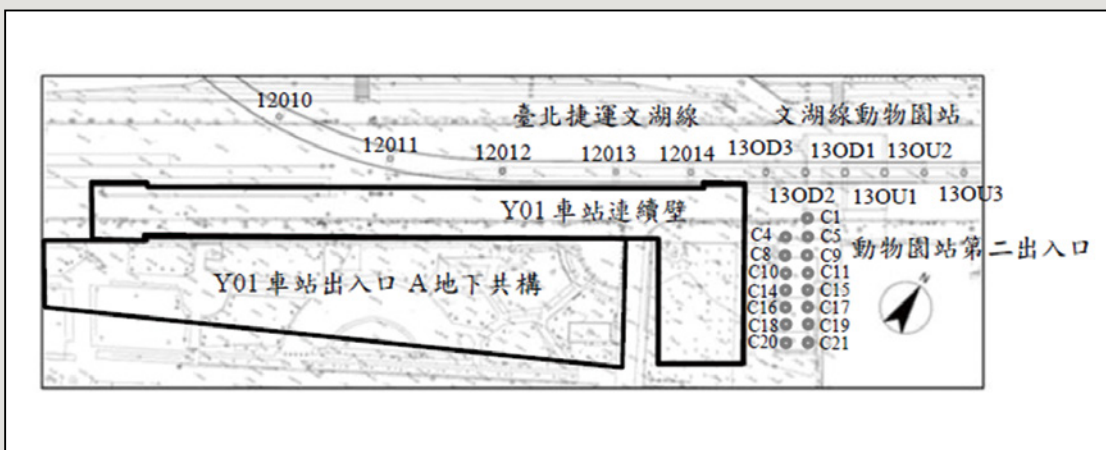


圖3 Y01車站與文湖線墩柱相對位置

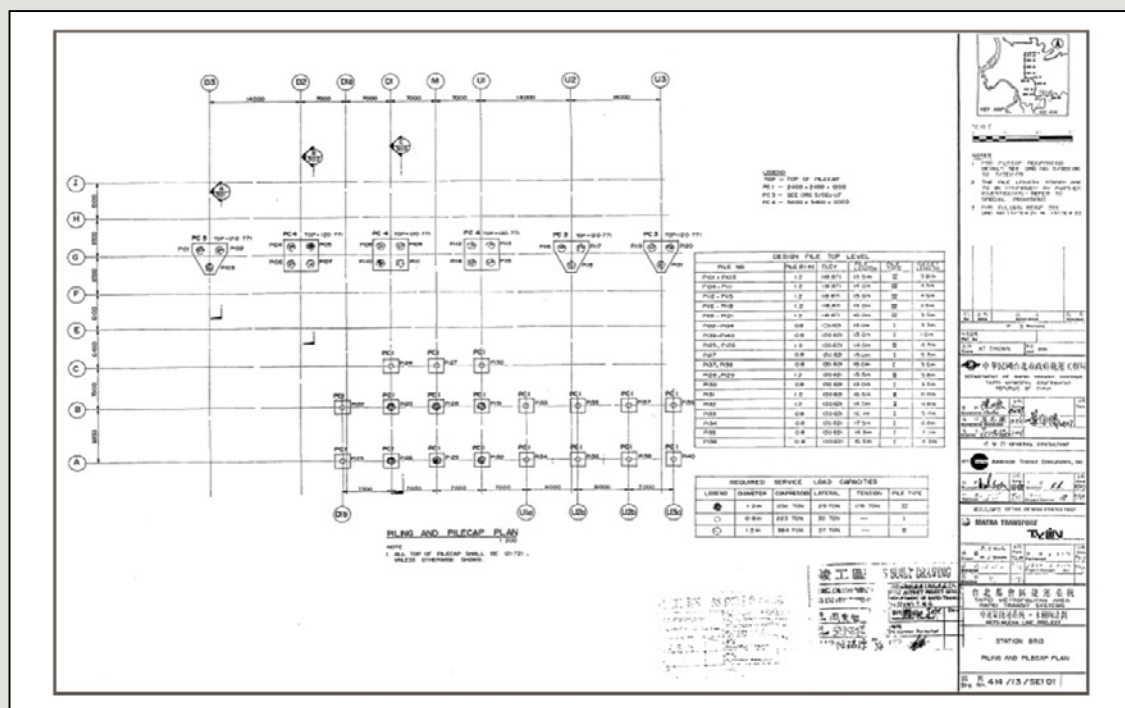


圖4 文湖線動物園站基礎配置圖

二、工程遭遇之困難與解決方法

依照大眾捷運兩側禁建限建辦法，高架段結構部分之容許變形值為：

- (一) 不得造成高架橋之相鄰二橋墩基礎間之差異沉陷量與跨距比超過千分之一。
- (二) 不得造成橋墩之傾斜量超過七百五十分之一。
- (三) 不得造成橋墩柱底之水平位移超過一·五公分。

經評估車站開挖擋土壁入岩之深度、擋土工法於岩盤之施工性，及考量深開挖施工對捷運文湖線基礎之影響，Y01車站深開挖之擋土設施採用厚度1公尺之連續壁較為適當，整體壁體剛性高且變形小，同時水密性較佳，所引致開挖面周圍地盤之沉陷較小，並搭配引孔機具以提高岩盤中槽溝抓掘之施工性。

為能準確分析Y01車站開挖時對文湖線墩柱之影響，分析模型根據前述Y01車站與文湖線路線段墩柱、動物園站墩柱及動物園站第二出入口基樁之相對關係，於PLAXIS 3D建立三維數值分析模型，如圖5所示，整體使用Hardening Soil為分析模式，連續壁、樁帽及地梁採用Plate元素模擬，支撐採用Anchor元素模擬，樁基礎採用Embedded Pile元素模擬。分析步驟則按照施工步驟，從地面開挖至大底完成進行分析，其詳細步驟如表2所示。其中為減少文湖線路線段墩柱因開挖造成之影響，對於文湖線基礎之保護措施為在Y01車站施作連續壁前，於墩柱四周(除鄰近連續壁之面)施作直徑60公分、樁長15.8公尺之預疊排樁將墩柱圍束，並將既有墩柱之樁帽擴大至7.2m乘7.2m，與圍束預疊樁之頂部相連接，以提高文湖線基礎之整體勁度，並於鄰近墩柱之連續壁外側，施作直徑60公分、樁長16公尺之預疊排樁，進一步減少Y01車站開挖造成之影響。

表2 分析步驟

步驟	項目	備註	步驟	項目	備註
1	初始狀態	計算大地初始應力	9	架設第 3 階支撐	施加預力
2	設置文湖線墩柱 設置出入口基樁	施加载重	10	第 4 階開挖至 GL 11.2m	降水至開挖面下 1m
3	設置預疊樁 設置連續壁		11	架設第 4 階支撐	施加預力
4	第 1 階開挖至 GL 2.7m		12	第 5 階開挖至 GL 14.7m	降水至開挖面下 1m
5	架設第 1 階支撐	施加預力	13	架設第 5 階支撐	施加預力
6	第 2 階開挖至 GL 5.2m		14	第 6 階開挖至 GL 18.45m	降水至開挖面下 1m
7	架設第 2 階支撐	施加預力	15	架設第 6 階支撐	施加預力
8	第 3 階開挖至 GL 8.2m		16	開挖至大底 GL 19.8m	降水至開挖面下 1m

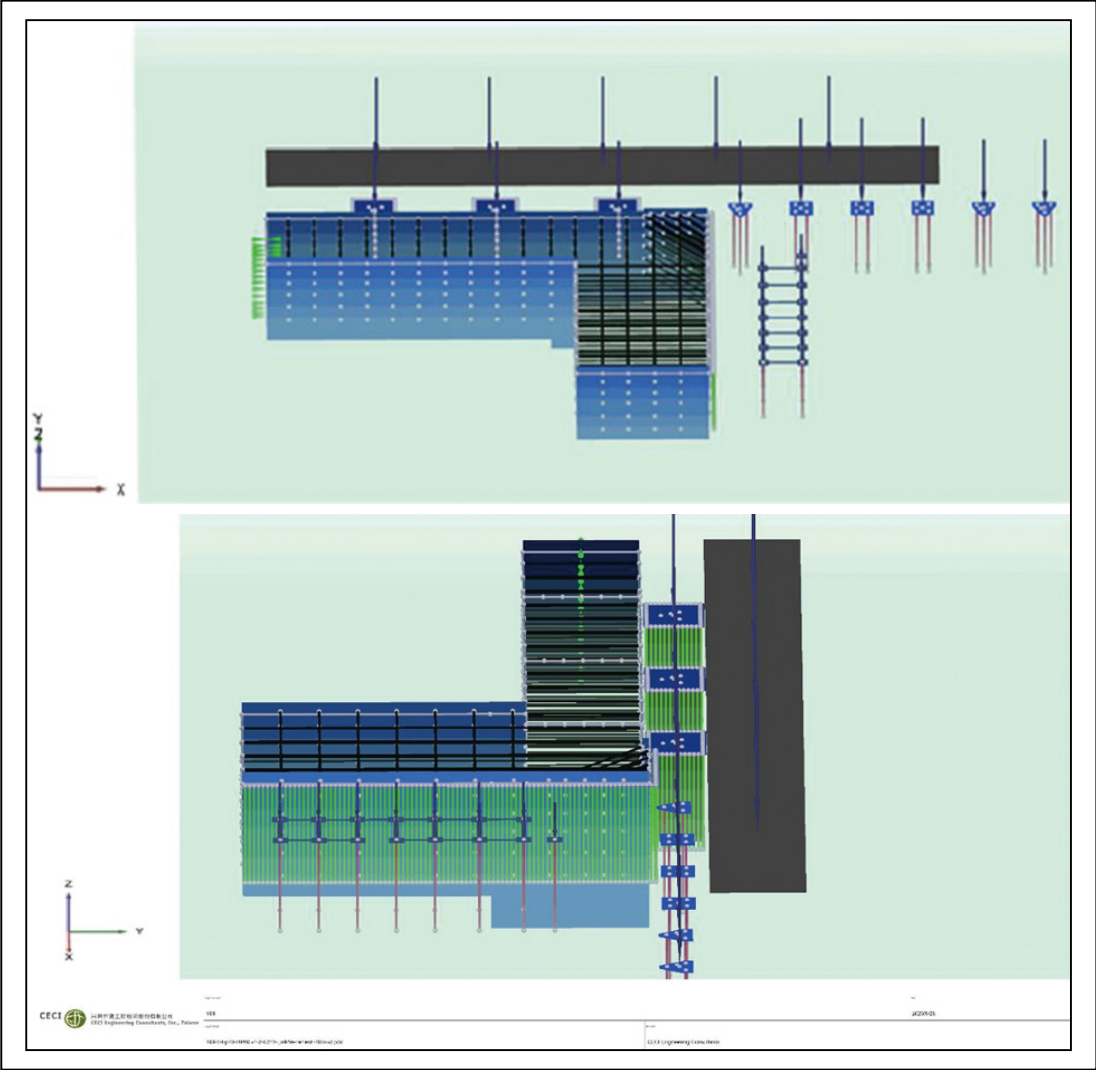


圖5 Y01車站與文湖線墩柱之三維模型

三、小結

依據前述PLAXIS 3D之數值分析成果，Y01車站開挖完成後，各墩柱樁帽之x向水平位移如圖6所示，x向水平位移之最大值為0.9476公分，各墩柱樁帽之y向水平位移如圖7所示，y向

水平位移之最大值為0.7911公分。各墩柱樁帽之檢核如表3所示，水平位移皆小於容許之水平位移1.5cm，各墩柱之傾斜量均小於容許值1/750，各墩柱間之差異沉陷與跨距比均小於容許值1/1000，符合兩側禁建限建辦法之規定。

表3 文湖線各墩柱檢核結果

變位分析項目	12012 墩柱		12013 墩柱		規範容許值
	分析結果	檢核結果	分析結果	檢核結果	
捷運墩柱水平位移	0.73 cm	OK	0.79 cm	OK	1.5cm
捷運墩柱傾斜量	1/1005	OK	1/896	OK	1/750
捷運墩柱差異沉陷與跨距比	1/7616	OK	1/2318	OK	1/1000

變位分析項目	12014 墩柱		130D3 墩柱		規範容許值
	分析結果	檢核結果	分析結果	檢核結果	
捷運墩柱水平位移	0.64 cm	OK	0.92 cm	OK	1.5cm
捷運墩柱傾斜量	1/793	OK	1/2203	OK	1/750
捷運墩柱差異沉陷與跨距比	1/4634	OK	1/4370	OK	1/1000

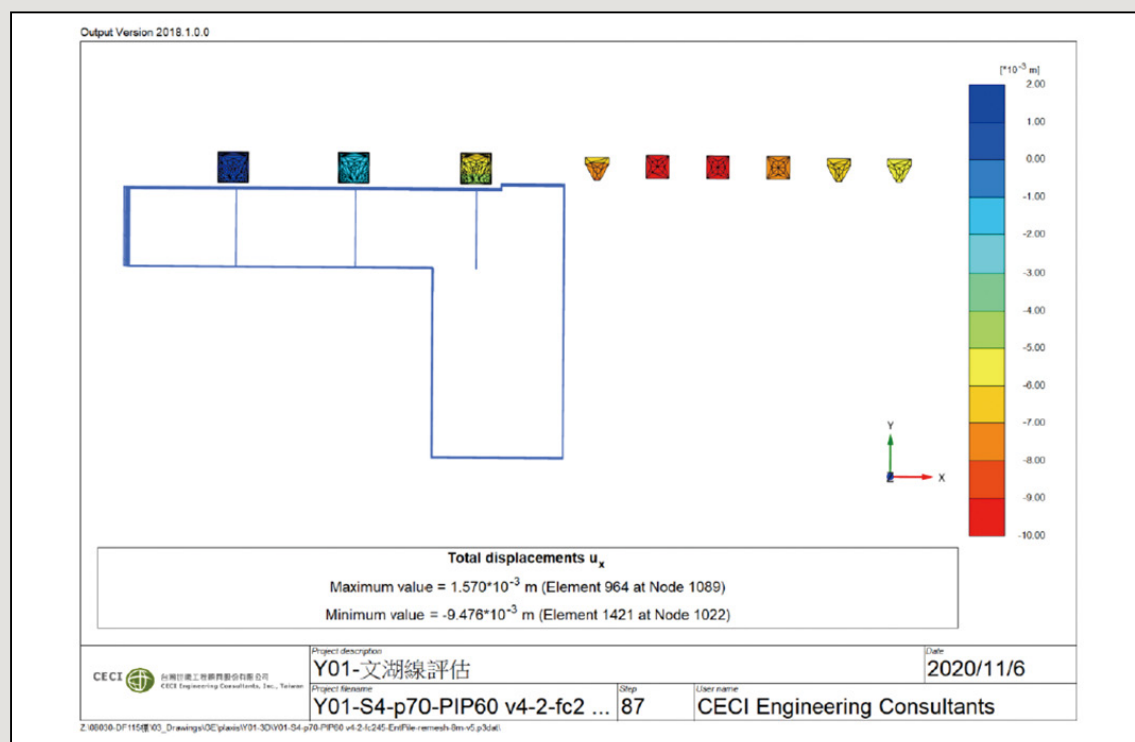


圖6 Y01車站深開挖完成後墩柱樁帽x向水平位移圖

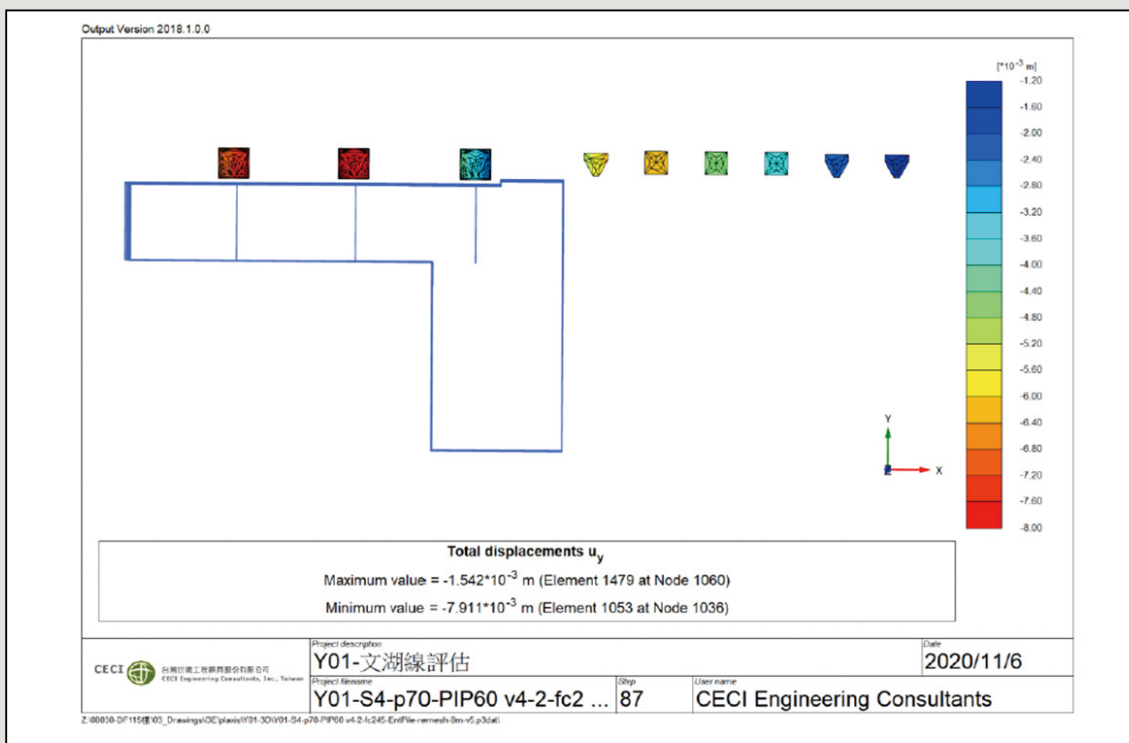


圖7 Y01車站深開挖完成後墩柱樁帽y向水平位移圖

參、Y2A站之既有堤防破除及基樁拔除與置換工程

本計畫之Y2A車站位於木柵路三段，原本新陸橋拆除工程原址之景美溪堤防外側，為地下二層之島式車站，開挖深度約19公尺。由於Y2A車站南側緊鄰景美溪堤防，故潛盾隧道由Y1A車站掘進到達Y2A車站前須穿越景美溪堤防下方，經套匯景美溪堤防之竣工資料，潛盾

隧道將與既有堤防之部分基樁產生衝突，如圖8所示，與潛盾隧道產生衝突之基樁數量約為22支，為避免影響捷運主體工程之施作進度，故須預作處理將潛盾隧道與基樁衝突之問題排除。

一、工程範圍及內容

本案由於潛盾隧道線形與景美溪堤防並非

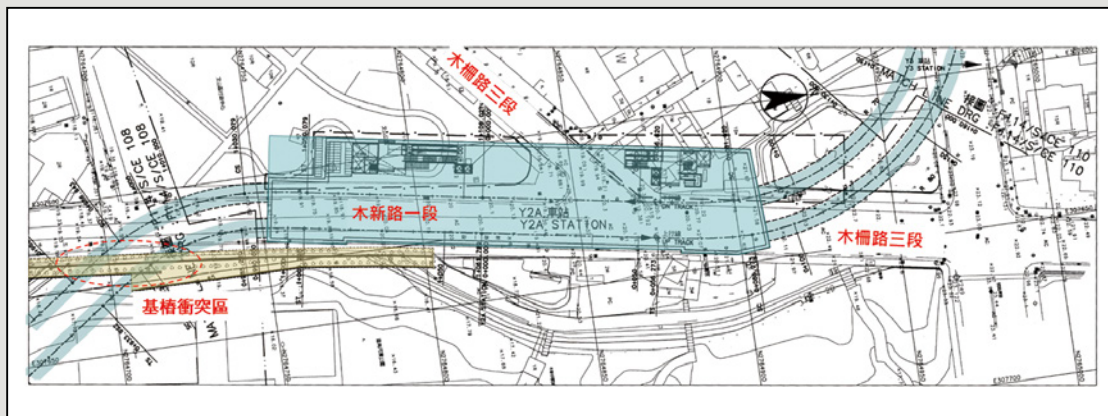


圖8 Y2A車站與景美溪堤防基樁衝突平面圖

正交而是斜交，故潛盾隧道與基樁衝突之數量高達22支，同時經細部設計階段時詳細評估，因Y2A車站位置距離潛盾隧道與堤防基樁發生衝突之位置相距過近，僅以潛盾隧道線形調整之方式無法取得有效的衝突改善，故設計以施作臨時圍堰進既有堤防破除之方式，位於行水區臨時圍堰尺寸約54.5公尺乘以16公尺，如圖9所示，將潛盾隧道衝突區之既有長樁拔除置換成不產生衝突之短樁，並於潛盾隧道之非衝突區新建基樁大口徑之長樁，彌補既有長樁置換成短樁後整體承載力下降的部分，同時配合施作地盤改良，加強受擾動土體傳遞給基樁之承

載能力。

二、工程遭遇之困難與解決方法

為確保破堤期間之施工安全，臨時圍堰設計比照原本新陸橋拆除工程之作法，如圖10所示，採用間距0.9公尺之H300x300x11x12型鋼柱雙排，雙排型鋼柱之寬度約1公尺，並以 $F_c' > 140\text{kgf/cm}^2$ 之混凝土進行填充。型鋼與混凝土交界面則以防水布包覆，並於表面使用厚度1.2公分之鋼襯版包覆深入開挖面下50cm，及使用槽型鋼200x90x7x14與繫桿固定。

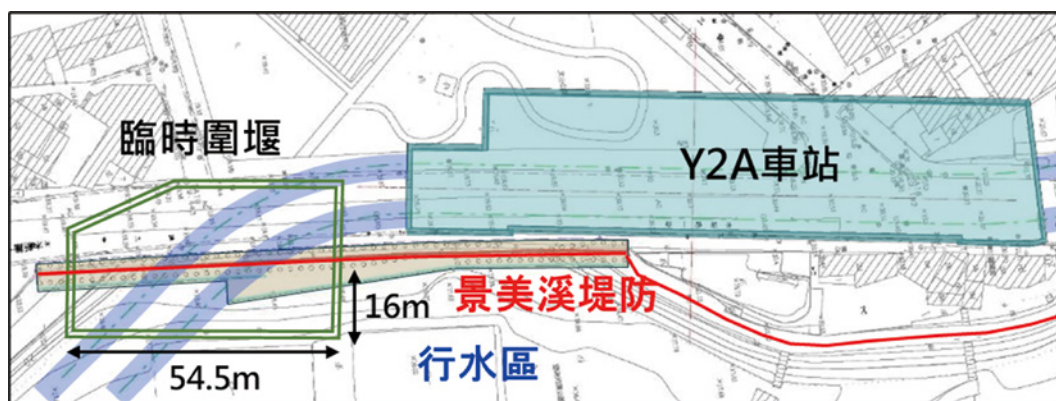


圖9 破堤計畫之臨時圍堰配置平面圖



圖10 原本新陸橋拆除河堤之雙層圍堰

原景美溪堤防為典型之河堤堤防結構如圖11所示，基樁採用樁徑1公尺、樁長20公尺、樁間距2.5公尺、排數2排之全套管基樁，並於全套管樁前方以樁徑0.4公尺、樁長8公尺、樁間距0.35公尺之預疊樁作為截水樁。

為補足22支衝突基樁之拔除與置換後下降之乘載力，故先於潛盾隧道非衝突區增做14支直徑1.2公尺的補強梁基樁，緊接著將既有堤防

之部分牆面及基礎版進行敲除，以利補強梁及補強圍梁之施作，將增做之基樁與既有堤防進行連結，後續再將衝突基樁上方之堤防牆面及基礎版敲除，並以搖管機將衝突長樁逐一拔除置換成短樁，同時搭配地盤改良的施作提高受擾動土層之承載能力，衝突基樁逐一置換完成後，最後進行堤防之復舊及臨時圍堰拆除，潛盾機即可順利的穿越景美溪堤防下方，施工流程如圖12所示。

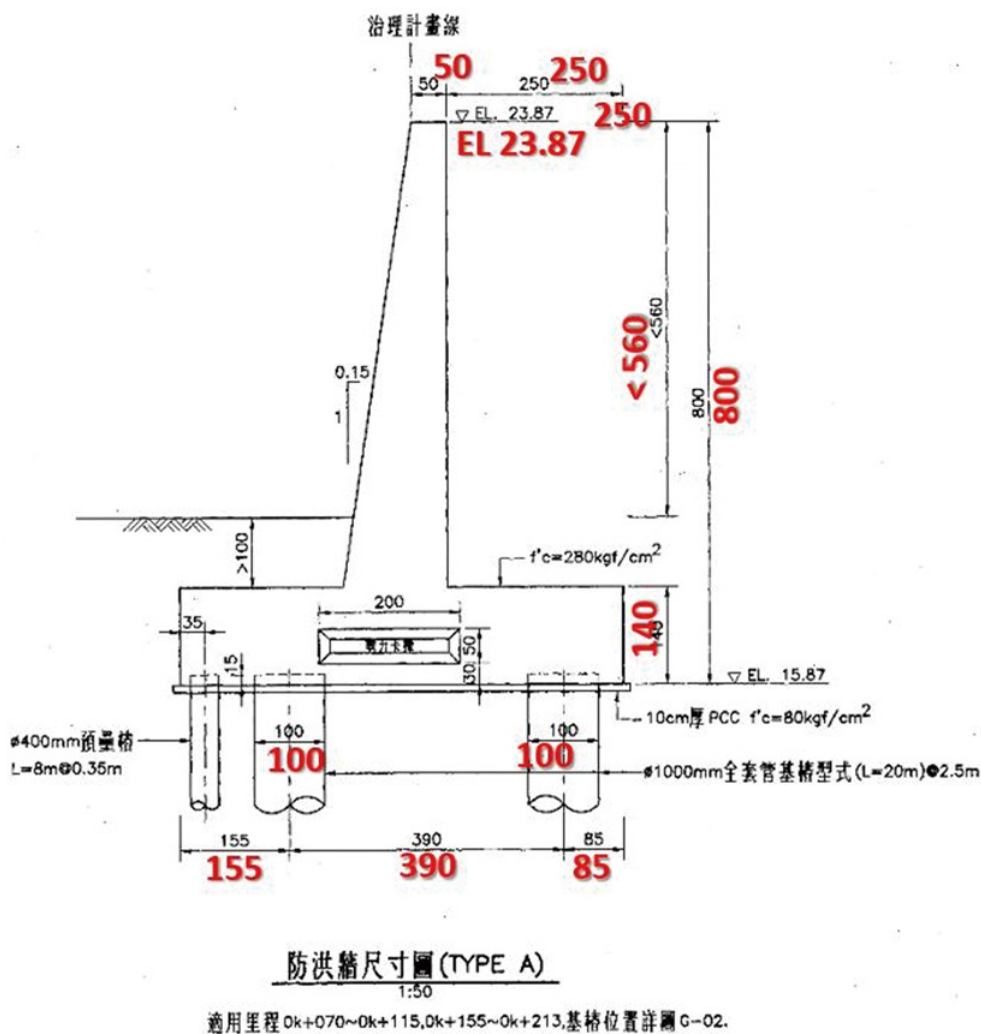
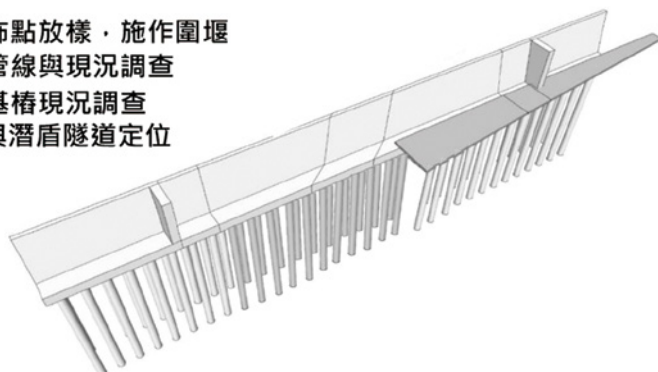


圖11 景美溪堤防竣工圖

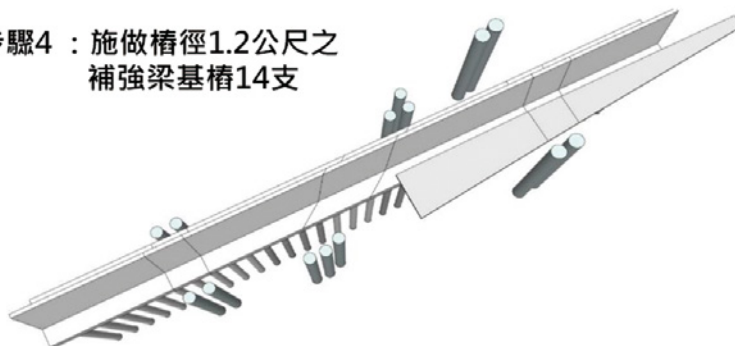
步驟1：佈點放樣・施作圍堰

步驟2：管線與現況調查

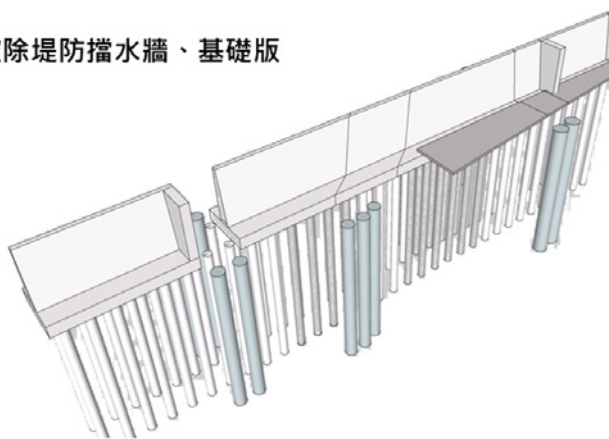
步驟3：基樁現況調查
與潛盾隧道定位



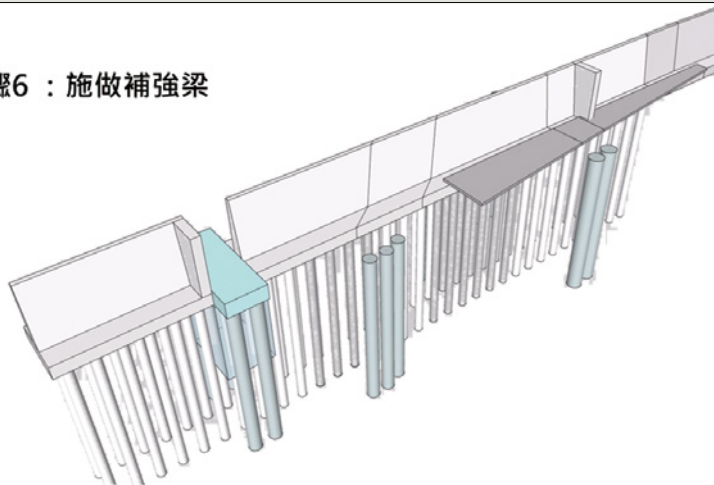
步驟4：施做樁徑1.2公尺之
補強梁基樁14支



步驟5：破除堤防擋水牆、基礎版

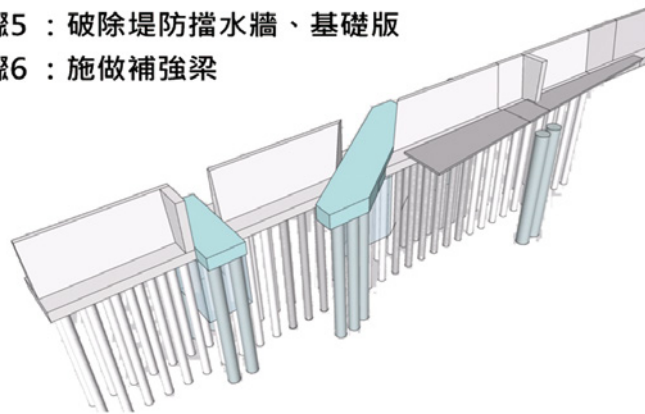


步驟6：施做補強梁

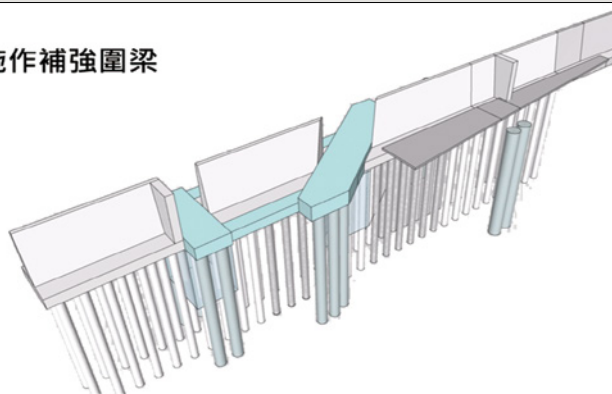


重複步驟5：破除堤防擋水牆、基礎版

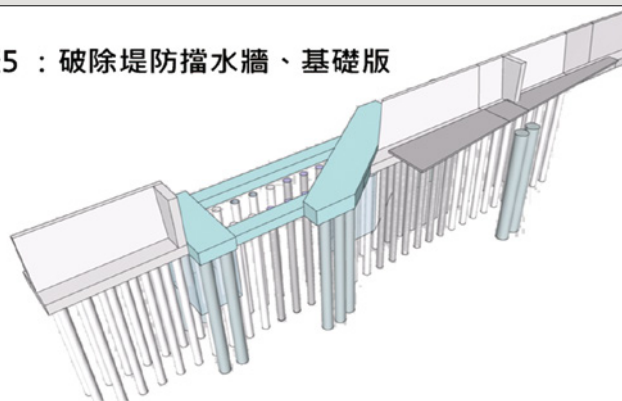
重複步驟6：施做補強梁



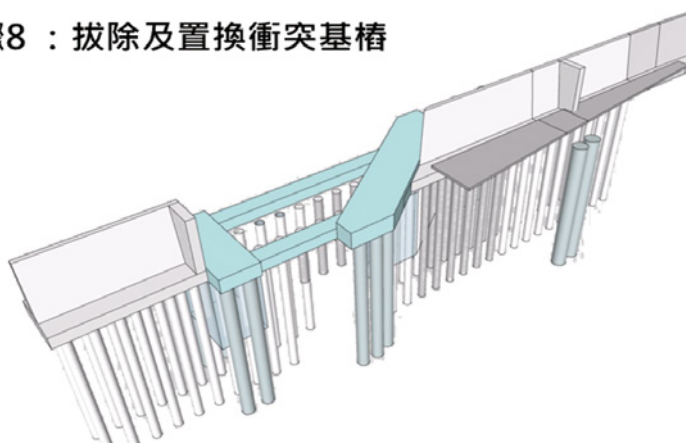
步驟7：施作補強圍梁



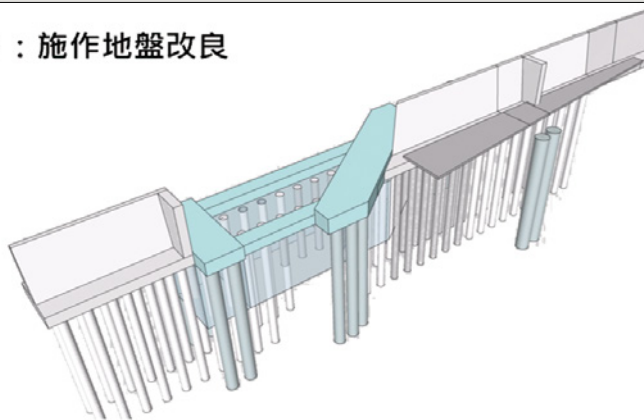
重複步驟5：破除堤防擋水牆、基礎版



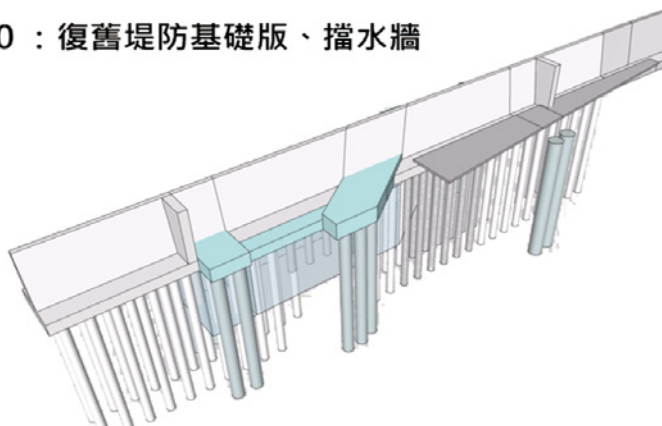
步驟8：拔除及置換衝突基樁



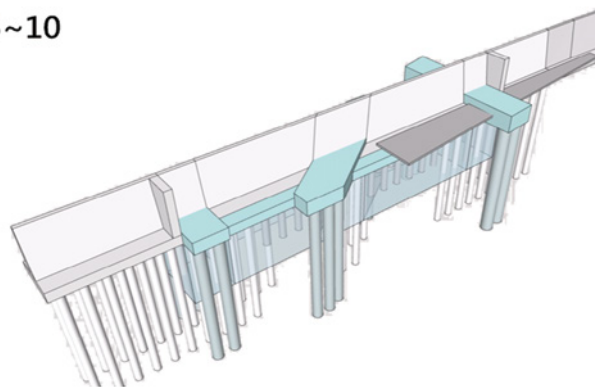
步驟9：施作地盤改良



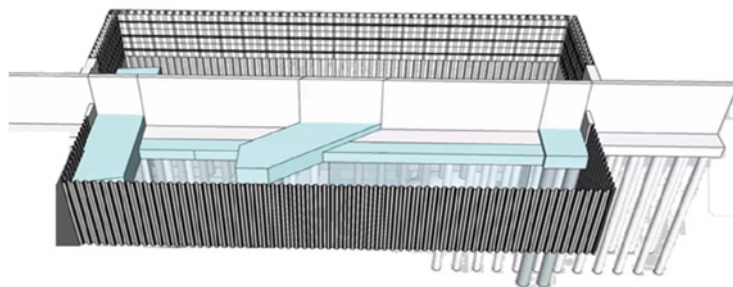
步驟10：復舊堤防基礎版、擋水牆



重複步驟5~10



完工示意圖



潛盾穿越堤防示意圖

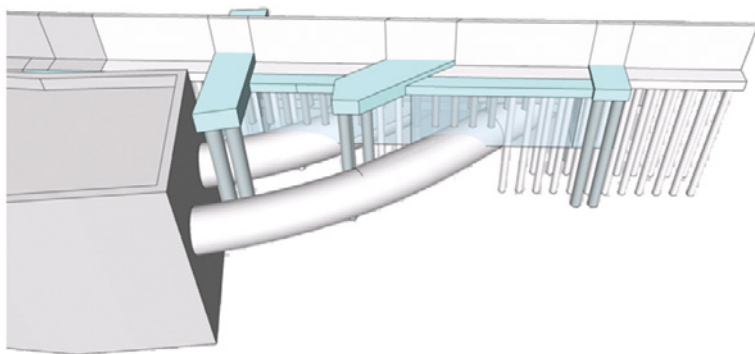


圖12 Y2A破堤基樁置換施工流程圖

三、小結

針對本計畫Y2A車站潛盾隧道與景美溪堤防基樁衝突一案，設計採用破堤除樁之方式將衝突之長樁置換成直徑較大之短樁，同時於非衝突區新設大口徑之基樁補足承載力，並透過有限元素分析軟體MIDAS GEN針對改建後之堤防進行3D建模及三維的結構分析，考量新建堤防實際之受力行爲，進行補強梁、圍梁、基礎版、擋水牆之配筋設計，整體之設計及分析結果尚屬於安全可接受之範圍。

肆、Y03及Y04站之複合地層柵狀擋土排樁工法

本計畫之Y03車站及Y04車站位於臺北盆地邊緣，不同於大臺北都會區中心之厚層沉積土層，本區域之岩盤深度較淺。參考信義線東延段遭遇堅硬岩盤導致整體工程施工困難之經驗回饋，為克服深開挖工程於複合地層及堅硬岩盤所遭遇之施工困難，並考量擋土工法於堅硬岩盤之經濟性與必要性，本案發展並分析設計出國內首見的複合地層柵狀擋土排樁工法，大幅減少整體之工程經費及施工工期，並大幅降低擋土工法於堅硬岩盤施工之困難度。

一、工程範圍及內容

Y03車站位於秀明路一段，站體形式為地下三層島式月台車站，開挖深度約30公尺，本區域之岩盤深度約在地表下10公尺，岩盤深度較最終開挖深度高出約20公尺。考量國內常用擋土工法機具之入岩能力，擋土樁之入岩能力較佳、連續壁之入岩能力較差，本站之深開挖擋土設施規劃以樁徑0.8公尺、樁間距0.9公尺之密排樁設計，樁長部分則配合現地岩盤深度較淺之特性，設計採用一支長樁間隔兩支短樁之柵狀擋土設計，如圖13所示，長樁長度設計至開挖面以下之預定貫入深度，短樁長度則縮短到至少入岩3公尺及能保持開挖支撐之穩定為原則。

Y04車站之站體形式同為地下三層島式月台車站，開挖深度約27公尺，本區域之岩盤深度變化較大，西側岩盤面較深約24.5公尺、東側岩盤面較淺約17公尺。考量車站緊鄰該區既有建物及區域地質特性，Y04站西側之深開挖擋土設施規劃以樁徑1公尺及1.2公尺之全長樁密排樁設計；東側岩盤較淺之區域則採用樁徑1公尺之密排樁設計，樁長部分則配合現地岩盤深度較淺之特性，設計採用一支長樁間隔一支短樁之柵狀擋土設計。

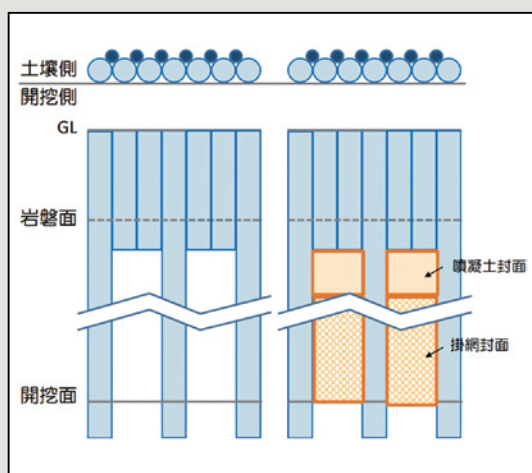


圖 13 Y03站柵狀擋土排樁工法示意圖

二、工程遭遇之困難與解決方法

本計畫參考信義線東延段遭遇堅硬岩盤之施工經驗回饋，MASAGO油壓抓斗於堅硬岩盤抓掘困難，抓斗牙齒耗損嚴重，整體抓掘功率大幅下降，須搭配鑽堡事先進行引孔破碎岩盤，方能些微降低岩盤抓掘之難度，導致整體擋土壁之施工工期大幅增加。

為降低堅硬岩盤對擋土壁施作之影響，本計畫之擋土壁工法除選用入岩能力較佳之排樁外，更進一步發展及設計出柵狀擋土排樁之

工法，以一長樁搭配一短樁或兩短樁的方式，有別於傳統擋土樁樁長均固定為同一長度之情況，利用Y03站及Y04站岩盤面較淺且高於開挖面、岩盤强度高、岩盤RQD高、岩性完整等特性，採用類似NATM工法即挖即撐的工法理念，以岩盤良好之自立性取代岩盤面下局部擋土樁的施作，在不影響擋土開挖安全性的前提下，大幅減少擋土樁於堅硬岩盤內的施作，有效減少擋土樁所需施作的數量及施工工期，同時亦大幅節省整體之工程經費。

短樁長度之設計以至少入岩3公尺及能保持開挖支撐之穩定為原則，為避免短樁於深開挖階段發生下沉或上浮等不穩定情形，本計畫設計於擋土樁樁頂部分施作RC繫梁，於樁頂將所有長短樁串聯起來，提高整體之穩定性。另針對短樁下方岩盤裸露的區域，經PLAXIS 2D之數值分析檢核，因本區去岩盤强度高、自立性佳等特性，設計採用噴凝土及掛網噴凝土工法，以開挖後即挖即撐的方式避免塑性區之擴大，能有效控制裸露岩盤面之穩定性，如圖14所示。

三、小結

本計畫於Y03站及Y04站摒棄傳統不論土

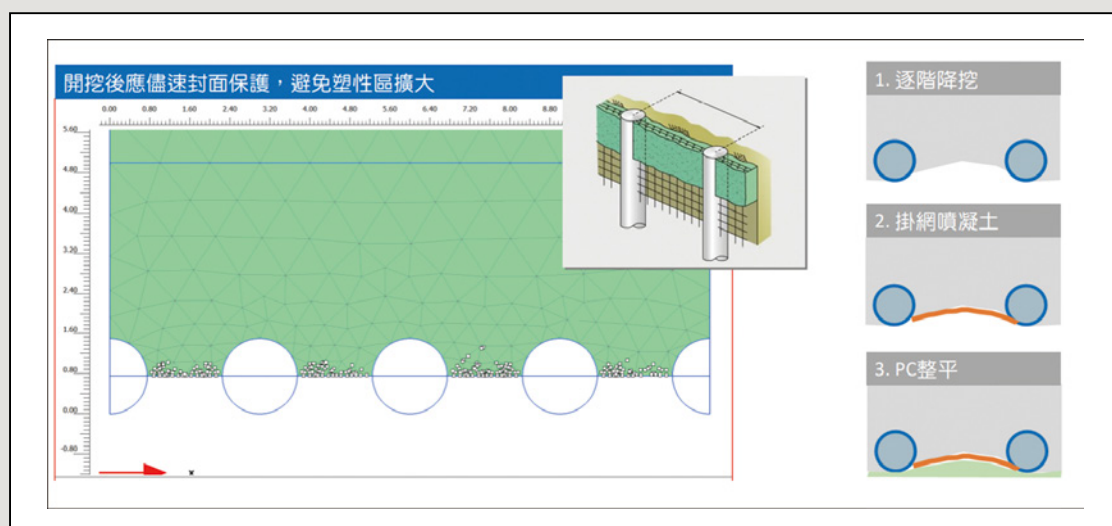


圖 14 柵狀擋土排樁之掛網噴凝土封面示意圖

層、岩層均置換成擋土壁之設計方式，改以利用岩盤深度淺、岩盤强度高、岩盤自立性佳等特性，以類似NATM工法即挖即撐的施工方式，以噴凝土及掛網噴凝土工法穩定裸露之岩盤面，取代局部擋土樁於深開挖工程之功能，故發展出柵狀擋土排樁工法，大幅減少擋土樁於岩盤施作之數量，進而大幅減少堅硬岩盤對擋土工程施作之影響。

伍、Y04站於狹窄道路施工之因應對策

一、工程範圍及內容

本計畫之Y04車站位於木柵路一段鄰近考選部國家考場及考試院，站體形式為地下三層島式車站，然而因木柵路一段整體之路廊寬度狹窄僅約20公尺，故Y04站之擋土樁外緣與鄰近建物之淨距只能保留約0.7公尺至1公尺，同時路廊兩側之既有建物均為無騎樓式的結構，因此在擋土工程施作時，必須額外充分的考量民眾進出動線的問題。

二、工程遭遇之困難與解決方法

擋土樁施作時，擋土樁外緣除須向外預留擋土樁施工機具所需之施工空間外，傳統固定式圍籬底部之斜向腳撐將額外佔據約0.5公尺之寬度，進一步壓縮民眾進出動線之寬度。針對此問題，設計了簡易式的可活動圍籬取代傳統式的固定圍籬，以垂直式的腳撐插入預埋於地面的鋼套管取代傳統式底部的斜向腳撐，節省斜向腳撐所需佔據的寬度0.5公尺，同時利用擋土樁工程採局部施作的特性，於擋土樁內緣及外緣位置分別埋設供垂直式腳撐固定之鋼套管，如此便可在擋土樁未施作前，將簡易式的可活動圍籬架設於擋土樁預計施作位置之內緣，如此民眾進出動線之最小寬度即為最小淨距0.7公尺加上擋土樁直徑1公尺，共1.7公尺。當局部擋土樁工程開始施作時，則將局部之簡易式活動圍籬外推至擋土樁外緣位置，民眾進出動線之最小寬度仍可保留最小淨距0.7公尺，其餘為施作擋土樁或擋土樁已施工完成之區域，仍保留1.7公尺供民眾進出，如圖15所示，將民眾進出動線之影響降至最低。

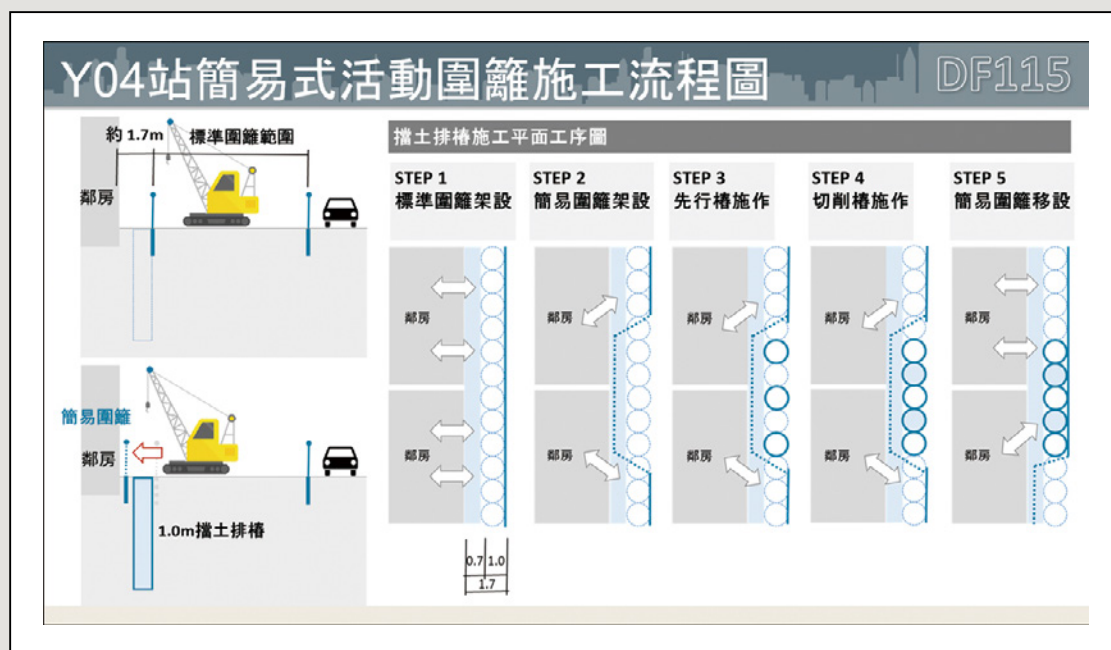


圖15 Y04站簡易式活動圍籬施工流程示意圖

三、鋼製擋土樁工法研析

針對Y04站擋土樁緊鄰既有建物影響民眾進出動線之議題，本計畫亦曾研析精進方案以同尺寸下SRC擋土樁結構勁度大於RC擋土樁結構勁度的特性，在不改變原設計擋土樁勁度之原則下，以樁徑0.8公尺之SRC擋土樁取代原設計樁徑1公尺之RC擋土樁，不僅避免擋土樁樁徑縮小造成整體擋土樁勁度下降進而衝擊原擋土支撐及建物保護之設計，更大幅增加了Y04站與鄰近建物之最小淨距及民眾進出動線之寬度。

SRC擋土樁係以基樁內埋設中空圓柱鋼管取代原RC擋土樁之鋼筋籠，如圖16所示，透過中空鋼管表面額外銲接之剪力釘，及中空鋼管表面預留之孔洞供混凝土順暢流動，使圓柱鋼管與混凝土柱形成鋼骨鋼筋複合式結構斷面，大幅提升結構斷面之勁度，進而達到以縮小樁徑之SRC擋土樁取代原RC擋土樁且結構勁度維持不變之成果。

四、潛盾環片儲存地下化研析

關於Y04站路面寬度狹窄導致交維用地較傳統條件狹窄之問題，本計畫亦曾針對潛盾工程於狹窄交維範圍內之施工動線進行精進方案之研析，研析過程中參考了信義線東延段之垂直出土設備、及日本潛盾施工儲存空間地下化之案例，如圖17所示。

研析之精進方案結合前述方案之工法，以坑下最底層之車站月台層設置臨時底板作為環片儲存之區域，並於上、下行線各設置一台小型天車供環片搬運使用，如圖18所示，取代傳統將環片置放於路面交維範圍內，以減少路面交維所需之空間；潛盾機掘進出土方面，則輔以連續輸送帶、垂直出土設備、架高土方儲存槽等，增加隧道內、坑下、及路面狹窄交維範圍內之施工動線靈活性，如圖19及圖20所示。

六、小結

本計畫針對Y04站路廊寬度狹窄、擋土樁緊鄰既有鄰房、路面交維寬度狹窄等問題，設計簡易式活動圍籬優化傳統式圍籬，於擋土樁與鄰房淨距有限的情況下，大幅降低民眾進出動線受影響的時間，同時於不改變原擋土樁結構勁度的條件下，研析以SRC擋土樁縮小擋土樁樁徑，可進一步增加擋土樁與鄰房之淨距，並參考國內外相關案例，研析精進方案以垂直出土設備搭配坑下儲存作業，提升路面狹小交維範圍內之動線靈活性。

結論

本文首先論述關於南環段設計遭遇之困難條件及挑戰，緊接著針對各站遭遇之困難及大地工程之精進與創新工法進行說明。

Y01站之深開挖工程緊鄰營運中捷運文湖線之高架路線段及動物園站，依大眾捷運兩側禁建限建辦法，限建範圍內之工程不得使高架段結構產生超過容許之變形值，故本計畫以PLAXIS 3D建立三維數值分析模型，研析出以預疊樁圍束既有橋墩基礎，並以植筋方式將橋墩既有樁帽擴大與預疊樁結合，能有效降低Y01站深開挖造成之擾動，使其變形量符合規範容許值。

Y2A站之潛盾隧道與既有堤防基樁衝突，參考過往國內相關潛盾隧道遭遇地下障礙物之破除案例，設計採用雙層臨時圍堰搭配破除樁置換法，事先排除與潛盾隧道衝突之基樁，並以樁徑較大、長度較短之基樁進行置換，同時於非衝突區新建大口徑基樁，以補足堤防基礎下降之乘載力，並透過MIDAS GEN建立三維結構分析模型，確保堤防結構整體之受力行為尚屬於安全可接受之範圍。

Y04站擋土樁尺寸縮減研析

DF115

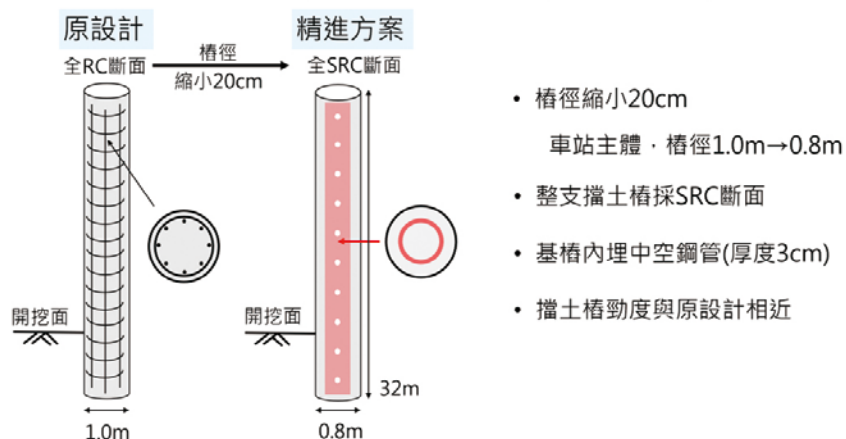


圖16 SRC擋土樁示意圖

■ 大阪市高速電氣軌道第8號線地下線路

■ $\Phi 5.44\text{m}$ 泥土壓式潛盾機

■ 2001/8~2004/12

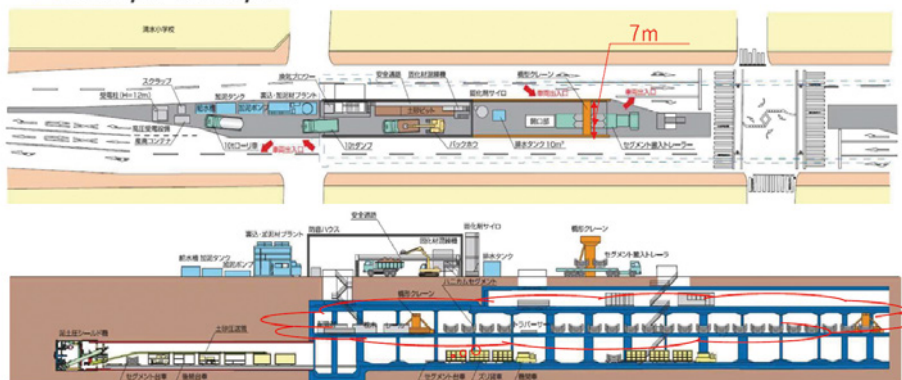


圖17 日本潛盾施工儲存空間地下化之案例

上下行線-小天車搬運環片



月台層臨時底板存放環片

圖18 日本月台層儲存環片及小型天車搬運施工照片

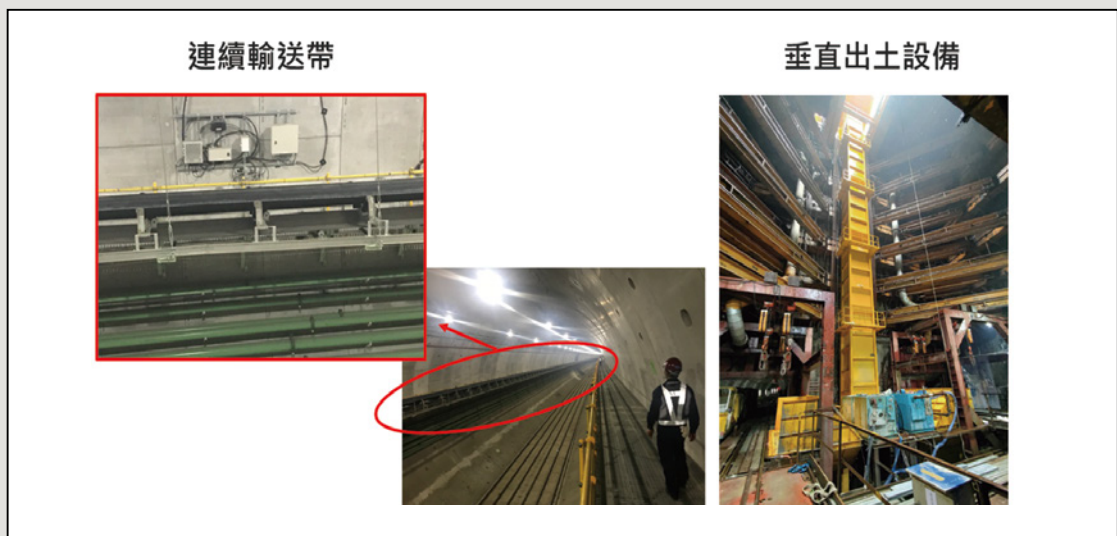


圖19 連續輸送帶及垂直出土設備施工照片

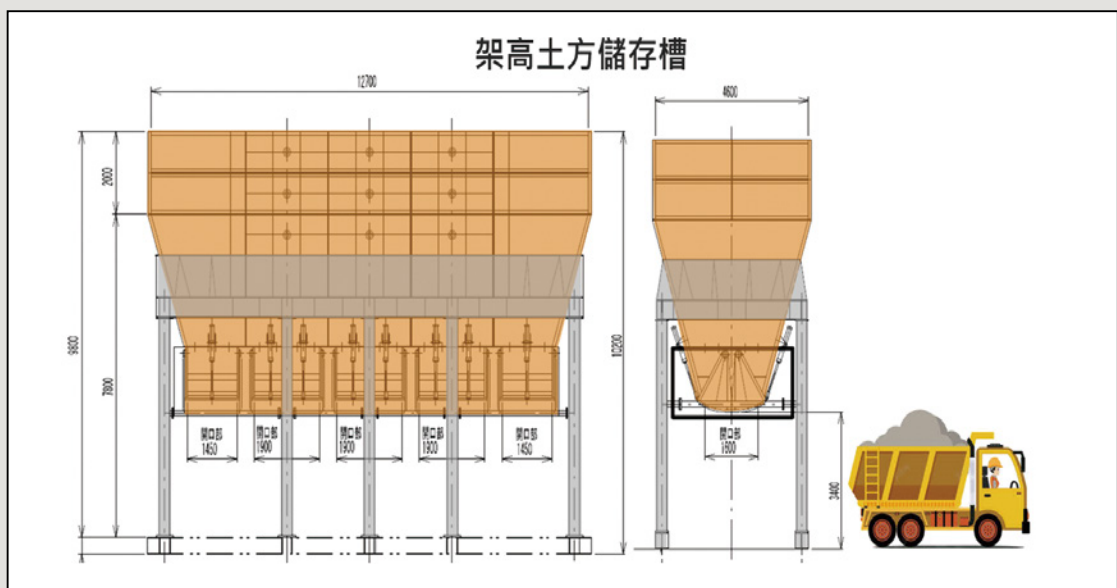


圖20 架高土方儲存槽示意圖

Y03及Y04站遭遇岩盤深度淺及強度高之岩層，參考信義線東延段於堅硬岩層遭遇之施工困難經驗，堅硬岩層將使擋土壁施工難度大幅增加，故本計畫之擋土壁選用入岩能力相對較佳之擋土樁工法，並分析設計出一長樁搭配一短樁或兩短樁之柵狀擋土排樁工法，利用本區域岩盤強度高、自立性佳等特性，以裸露岩盤即挖即撐的方式，縮短局部擋土樁之長度，作為深開挖擋土壁之一部分，大幅減少擋土樁所

需入岩的數量，並合理節省大量之工程經費及施作工期。

Y04站於狹窄道路施工遭遇擋土樁外緣與鄰近建物淨距狹小，及路面交維寬度較傳統交維寬度狹窄等問題，本計畫設計利用簡易式活動圍籬取代傳統式固定圍籬，大幅增加民眾進出動線之寬度，同時研析以SRC鋼製擋土樁在不改變原擋土樁結構勁度的條件下，有效縮小原

擋土樁之樁徑，進一步增加擋土壁外緣與鄰近建物之淨距，並研析國內採垂直出土設備之案例，及國外採坑下儲存環片之施工方式，搭配路面交維範圍內之架高土方儲存槽，大幅增加狹窄交維範圍內之動線靈活性。

大地工程從過往至今皆無法避免須克服許多不確定性因素，如地層條件之不確定性、地下障礙物之不確定性等，如今於高度開發且人口密集之都會區更須面對許多施工條件困難之挑戰，唯有透過既有施工工法之精進與創新，方能克服重重困難與挑戰，達成合理且經濟之設計。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，Y01車站施工與文湖線捷運設施影響評估報告，2020年11月。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，Y2A堤防建造物開挖暨復建計畫書，2020年11月。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「環狀線南環段及北環段工程細部設計精進作為」，捷運年刊(2020年)，第9~25頁，2021年7月。
4. 中國工程師學會會刊，「台北捷運南北環計畫的挑戰與突破」，Vol.97 No.2，2024年6月。

智慧軌道系統導入捷運系統工程

關鍵詞(Key Words)：智慧軌道(Smart Rail)、建築物管理系統(Building Management System)、環境監測(Environmental Monitoring)、即時數據收集(Real-Time Data Collection)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／黃國星 (Huang, Kuo-Hsing) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／黃柏元 (Huang, Po-Yuan) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／郭維佳 (Guo, Wei-Jia) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／賴奕巨 (Lai, Yi-Hsuan) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／邱俊嘉 (Chiu, Chun-Chia) ⑤



摘要

國內捷運經歷多年的營運及發展，從中運量木柵線開始通車營運，到各縣市高運量捷運線通車投入服務，捷運工程已累積豐富經驗，並在捷運建設及營運管理方面，展現出顯著的成果與特色。配合政策推動及國際發展趨勢，捷運系統應用蒐集車站運行即時資訊、環境監測、旅客服務等數據，並將其整合進行捷運智慧監控管理，進而實現即時精準的決策，來提升運營效率、改善旅客的乘車體驗。隨著智慧設備的應用與推動，捷運系統引領相關業者積極推動智慧化與數位轉型應用服務，吸引國內資通訊及物聯網產業技術投入，促進整體捷運工程的進步。



Introduction of Smart Rail Systems in Metro (MRT) Projects

Abstract

Mass Rapid Transit (MRT) have accumulated years of experience from the operation and development, starting with the operation of the medium-capacity Muzha Line and expanding to the subsequent opening of high-capacity lines in various counties and cities. This extensive experience has led to notable and distinctive achievements in metro construction and operational management.

In alignment with policy initiatives and international development trends, metro systems are applying real-time data collection for station operations, environmental monitoring, and passenger services. This data is integrated into a smart monitoring and management system, enabling precise, real-time decision-making to enhance operational efficiency and improve the passenger experience.

With the advancement of smart technologies, metro system is driving industry-wide efforts towards smart and digital transformation, attracting investments from the domestic Information and Communication Technology (ICT) and Internet of Things (IoT) sectors, thereby advancing overall progress in metro projects.

3

專題報導

壹、前言

隨著科技不斷進步，智慧車站將作為捷運軌道系統的規劃趨勢。國際鐵路聯盟(UIC)因應智慧城市時代來臨，提出智慧車站概念，結合科技應用提供更便捷的交通服務，同時車站也連結著城市文化與生活，應透過設計充分展現城市的魅力。

智慧車站的概念可包含智慧管理與智慧基礎設施，用以改善基礎設施與整體系統功能，擴大設備監控範圍，結合通訊傳輸、即時資訊與整合服務來進行高效的處理與控制，提高運營效率和服務質量。

配合「臺北捷運再設計」計畫，於淡水信義線中山站(R11)先行試辦智慧車站改造。改善人員作業效率與設備使用便利性，簡化各系統設備操作界面，達成遠端控制、數據監控及智能提升的預期目標。

台灣的智慧車站改造工作自2022年1月正式啟動，引進物聯網(IoT)、人工智慧(AI)及新穎顯示等技術，建築物管理系統共整合3,997個監控點，方完成智慧車站改造之多項智慧化功能，提供旅客便利的服務及滿足多元的視覺體驗，同時改善營運單位工作環境及提升工作效率。

貳、智慧軌道現狀

捷運系統(圖1)是現代化都市的重要標誌之一，提供民眾人性化的交通運輸環境。相較於傳統的汽車交通，捷運系統減少碳排放，改善空氣質量，對於城市規劃和土地使用也有正面的影響。

捷運系統在水電、環控及消防設計上符合國際水準的設計規劃。水電工程主要以服務旅

客及機電系統設備之用水、用電需求，而環控工程則提供旅客等候搭車環境及車站設施工作環境之空調、通風。水電、環控設施作為一般建築物之基本配備，也是建築物內與使用者最息息相關的設施。車站消防設計則作為保障旅客的生命安全，依使用場所進行設計規劃、著重於火警偵測、滅火、控制及排煙規劃。



圖1 捷運系統^[1]

捷運系統設置建築物管理系統(Building Management system, BMS)(圖2)，將多個子系統整合於平台上，透過圖形化功能顯示車站的整體設備運作狀態，直觀了解故障發生、負載變動、空調模式切換等訊號。

全線各車站可管理現場各系統設備運轉，亦將訊號透過通訊系統上傳至行控中心做遠端監控(圖3)，並同時執行監控端所下達之指令。建築物管理系統平時維持站內環境舒適之通風需求；緊急火災時控制煙霧擴散，提供人員逃生路徑，並整合各捷運系統信號達到集中監控功能。

目前由行控中心、備援行控中心、維修總部、捷運各廠站、主變電站及附屬建築物等設施，組成一可獨立運作之建築物管理系統(圖4)。

營運單位可透過人機介面操作，監控各系統設備之運轉狀態，執行遠端控制、資料擷取與顯示功能，操作站電腦亦設有警報管理、歷史數據及趨勢分析功能。透過警報管理程序，

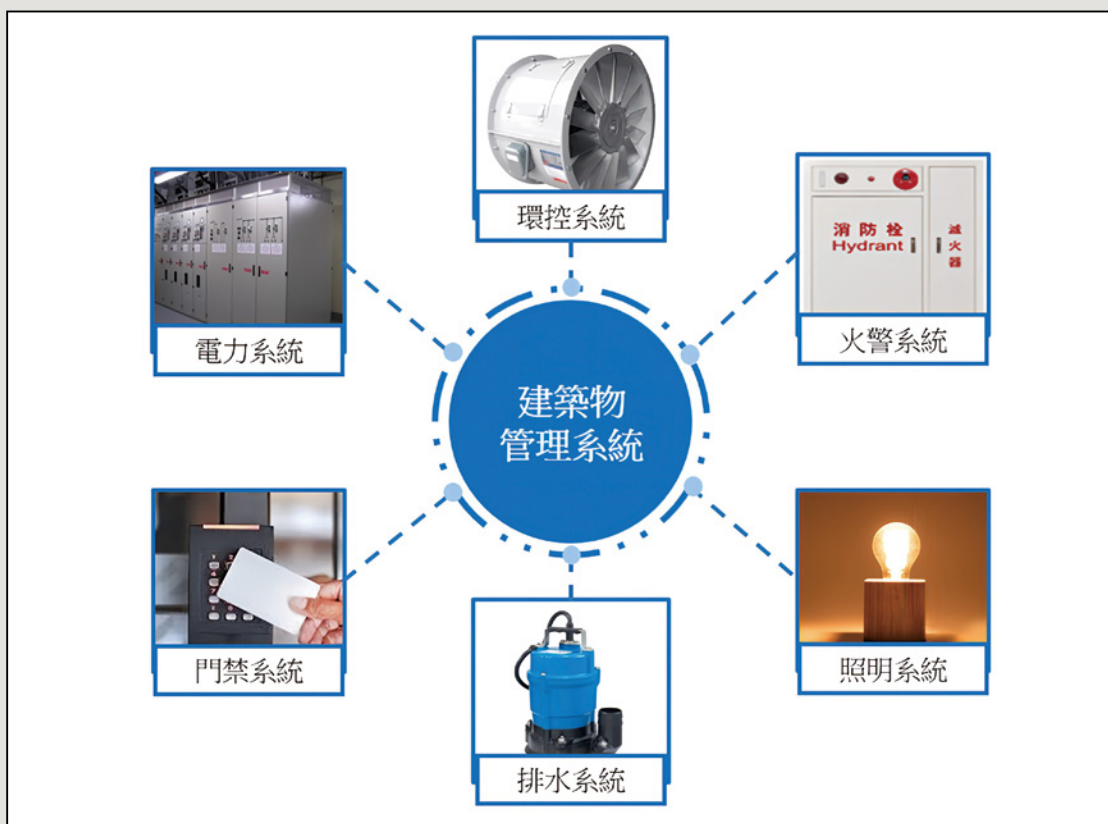


圖2 建築物管理系示意圖

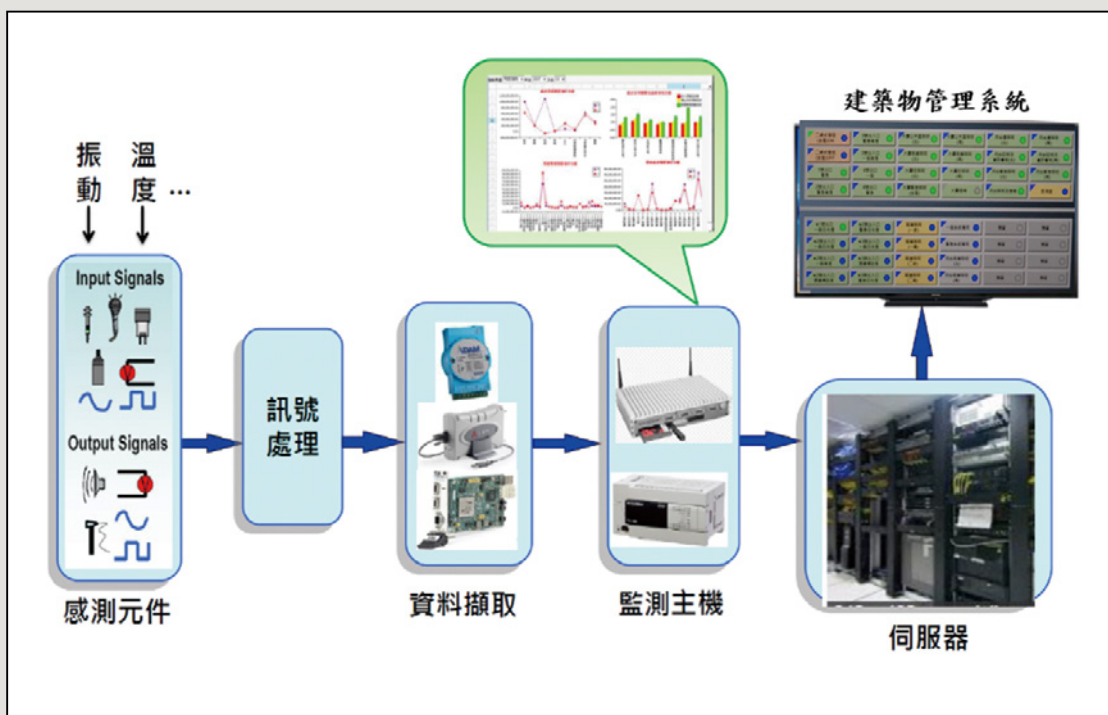


圖3 車站設備監視回傳

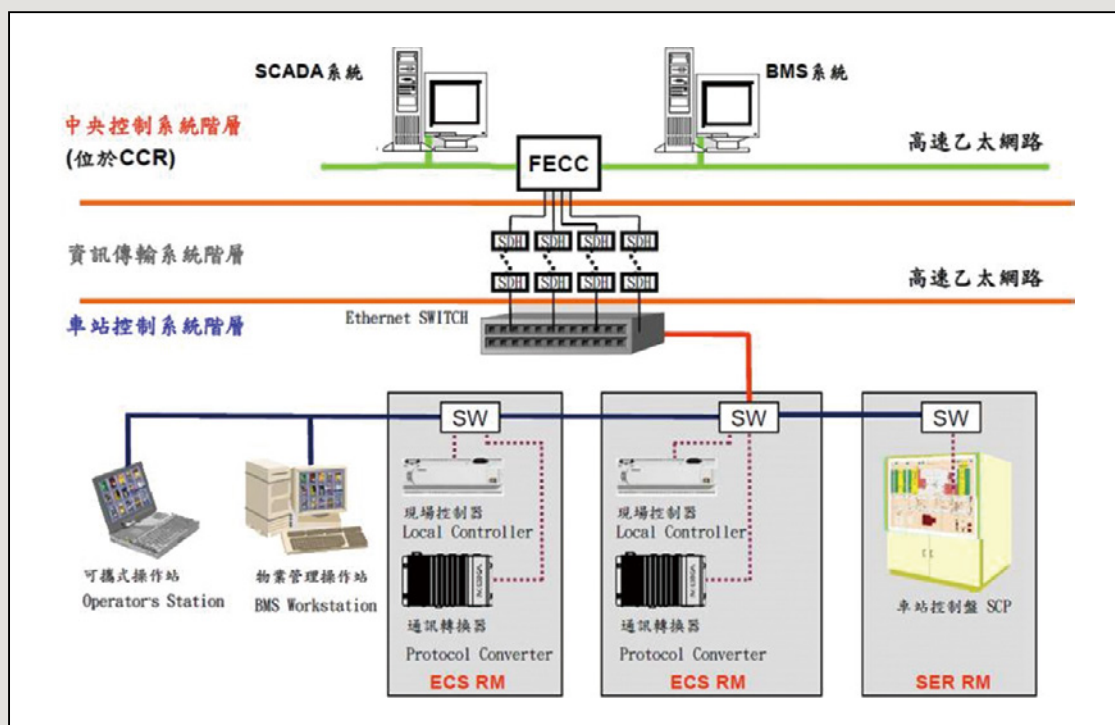


圖4 建築物管理系統架構圖

操作員可及時注意到故障或異常狀況，通過螢幕上專用的系統警報區及音響來通知操作員警報狀況。

參、智慧軌道推動時程

為發展智慧軌道，同時提高服務品質，主動導入新科技及大數據應用，輔助廠商於系統建置階段即考慮智慧軌道需求，以達到加強捷運系統的整體效能，展示智慧化管理和數位

轉型方面的潛力。捷運系統的進步將作為交通運輸智慧化發展的典範，對國內相關產業技術進步與應用推廣具有重要的作用，致力於提供「安全、可靠、優質的捷運服務」，持續加強智慧化的軌道管理/設備可靠度及行車安全，提供旅客優質的運輸體驗。

時程規劃流程圖(圖5)，可瞭解於各階段需考量不同的需求問題，以智慧管理方式(以下章節做說明)處理相關議題，降低成本與提高服務品質。

6月

- 捷運車站由各項系統進行管理維護，該如何提升捷運各系統的管理效率？
- 環境溫度會直接影響設備使用，為避免造成過熱等問題，常以空調維持環境溫度，空調維持的溫度越低，所需的電費則相對增高，該如何進行節能？又不影響維護管理是一項重要議題。
- 二氧化碳對人員健康有一定程度的影響，尤其是車站突然湧入大量人潮，如何因應處理，且因人體本身難以察覺，需找出解決方法有效保證人身安全。
- 車站內大量用水的空調設備，如何察覺空調用水量是否合理？
- 水箱、集水坑位置屬人員難以進入地區，該如何節省至水箱、集水坑察看之人力及時間？

(未完，接下頁)

8
月

- 水箱及污/排水集水坑之數位水位計，經廠商回饋若使用超音波型式，有水位不準確且無法正常使用之情形，需重新考量其他適用捷運之設備。
- 捷運系統設備眾多，若由站務人員逐一啟動或關閉，將耗費一定的時間成本，車站該如何透過智慧管理來減少不必要的時間花費？
- 因應未來大數據時代，需設法收集車站各用電、用水情形，以利進行數據分析。

9
月

- 不斷電系統主要功能為台電停電時，避免監控電腦瞬間停電而遺失資料，以及確保緊急設備能正常運作，需隨時注意不斷電系統狀態，如何因應系統發生問題時能即時發出示警，使人員能及時處理。
- 因電容溫度過高時，易造成電解液流出燒毀電路板，產生煙霧影響消防安全，如何避免這類重大問題發生，設法能讓設備過熱時能發出示警，使人員能及時進行維修處理。
- 如何更精進達成電扶梯及電梯預防性維修，延長設備使用壽命？

11
月

- 納入智慧軌道相關設計後，應增加那些相關需求？達成管理效率的提升。
- 如何將監控功能整合至建築物管理系統之運用，並提供給營運單位使用？

圖5 時程規劃流程圖

肆、智慧軌道導入方式

由傳統軌道走向智慧軌道是未來發展趨勢，積極發展數位轉型，以達成朝向預測性維修、減少突發事故的終極目標。期盼透過軌道智慧化逐步提升系統穩定及營運安全。

瞭解營運單位於「旅客服務」及「營運維修」面之經驗回饋，發掘現行設計規劃不足部分，作為精進設計基礎。本節將依捷運電氣系統、機械系統、環控系統及建築物管理系統，

說明營運單位對各系統智慧軌道需求，並闡述各項功能及其便利性。

一、電子式螢幕

電子式螢幕(圖6)是一種常見的資訊顯示設備，廣泛應用於各場合，目前交通場站陸續導入，取代佔地廣闊的公佈欄或告示架，減省更換公告的時間成本，即時更新最新資訊顯示於螢幕上。

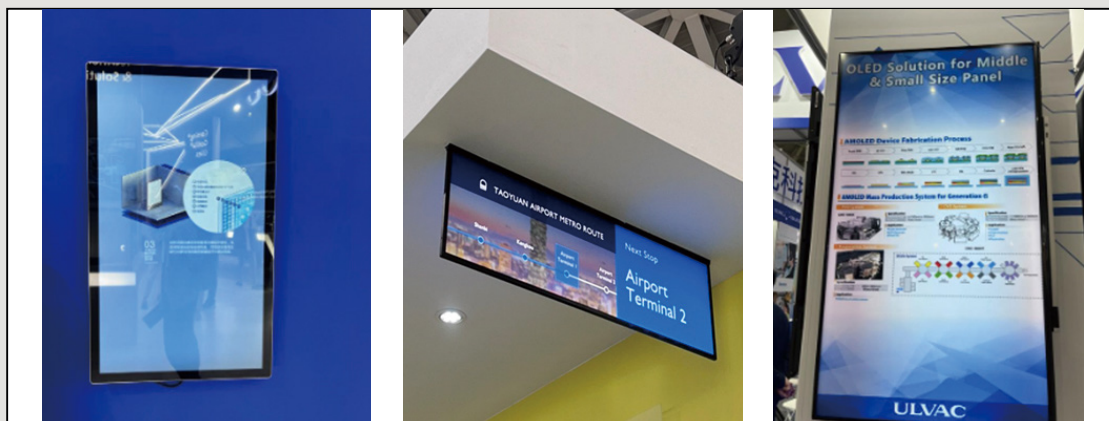


圖6 電子式螢幕

傳統公布欄因張貼物過多，不易快速判定服務窗口，且常以敲玻璃吸引站務人員注意。電子公布欄可透過雲端更新即時資訊，無須再置換印刷海報，達到車站智慧化及節能減碳的永續經營，亦可提升營運單位的工作效率。

交通場站考量旅客進出站關鍵節點與空間分區，於必要的地點設置資訊板，提供旅客車站及轉乘資訊，提高運輸效率和乘車體驗，並提供旅客周邊景點與服務設施資訊。旅客與資訊板的互動又以「路網圖」、「車站位置圖」與「出口資訊」居多。導入電子式螢幕可將多樣的資訊圖整併，以立體透視圖整合呈現，如：轉乘資訊、平面圖及剖面圖，並改善現有多樣的紙本文宣，提升溝通效率及服務體驗。

因營運單位常增設臨時性告示架補充關鍵資訊，透過電子式螢幕可提升資訊更新效率，不僅可減少站務人員手動更換的時間，更提供旅客即時且清晰的資訊。

國際趨勢上公告資訊多為電子式螢幕，透過數位看板輪播方式呈現，能夠更有效掌握多樣化的資訊，並可解決目前照明及本體材料易反光的問題。同時也能節省車站空間、減少替換成本。

二、數位電表

捷運車站的電力系統，於主電源迴路之低壓配電盤上安裝的多功能集合式電表(圖7)，監測電流、電壓、功因、功率和瓦時等信號，回傳多功能集合式電表數據至建築物管理系統，透過大數據分析用電狀況，有助於營運單位進行負荷預測、能效分析和故障診斷功能。

相對於多功能集合式電表，多迴路電表(圖8)適用於多迴路監測使用。若於低壓配電盤內安裝多迴路電表，可同時監測盤內各迴路之電流、

電壓、功因、功率和瓦時等信號，提供營運單位對車站電力系統的全面瞭解，各項設備之用電資訊，即時視覺化顯示於建築物管理系統。



圖7 多功能集合式電表^[2]



圖8 多迴路電表^[3]

全面安裝多迴路電表並搭搭建築物管理系統，能實現即時、精準的負載管理及大數據分析，達成智慧化能源管理，從而進行更細緻的用電監測，提供營運單位進行營運節能之大數據分析需求。

三、APFR 溫度警報

自動功率因數控制器(APFR)為透過微處理機操作，自動偵測電壓與電流相角及各段電容器容量，並依負載情況自動投入所需段數之電容量，以維持或校正電氣系統，達到預設的功率因數值。

低壓配電盤內電容器常因溫度過高造成設備受損以致供電異常，為確保電容器組可正常運作，利用APFR警報功能(圖9)，當溫度過高時系統即發出警報，通知維護人員進行切離。低壓配電盤內則外接排熱風扇進行輔助通風保



圖9 APFR警報流程示意圖

護，配合溫度警報功能來避免車站服務中斷或設備損失。

四、UPS 綜合警報

不斷電系統設備(UPS)由變流器、整流器/充電器、靜態切換開關、旁路開關等相關設施組成。不斷電系統提供狀態顯示設備及系統控制設備，以控制及監視不斷電系統的運作狀況，並將儀錶顯示信號、狀態指示燈號信號及異常指示傳送至建築物管理系統，供營運單位檢視。

當不斷電系統發生故障或任何狀況發生時，則營運單位可依異常指示及警報功能做出反應，參閱UPS綜合警報流程(圖10)。不斷電系統之電容、整流/逆變器常因溫度過高造成設備受損以致供電異常，若針對UPS機內溫度異

常、逆變器溫度異常、整流器溫度異常進行監測告警，當溫度過高時，迅速將設備轉為旁通(Bypass)狀態進行檢修，可有效降低故障率及節省維修成本。這些額外的監控預防措施可避免UPS發生故障，提高不斷電系統的可靠性，加強車站電力系統穩定度。

五、壓力式液位監測

傳統日用水箱及集水坑採用浮球或電極棒來回傳水位之高/低訊號，由泵浦控制盤整合高/低水位警報來啟動/停止對應泵浦，為改善以往浮球開關常受異物卡住導致泵浦無法運作之缺點，增設壓力式水位計及可程式數位顯示控制器(圖11)，傳送高/低水位警報至泵浦控制盤，以壓力式液位計為主浮球為輔的控制模式，確保泵浦控制盤能依實際狀況作出啟動/停止控

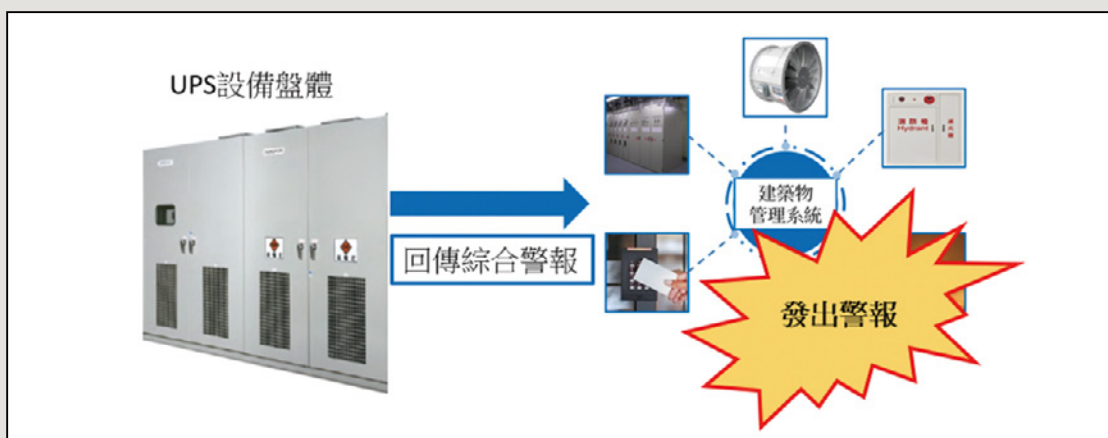


圖10 UPS 綜合警報流程示意圖

制；並將水箱或集水坑之液位高度回傳至建築物管理系統以確認泵浦動作是否異常，可節省至現場察看之人力及時間。期望經由趨勢分析從關聯泵浦間發現隱性故障原因。



圖11 壓力式液位器(左)^[4]與可程式數位顯示控制器(右)^[5]

六、水量監測

車站於重要管路如自來水供應點、空調給水點等用水量大的位置，設置智慧水表來監控用水量，並傳送總水量、瞬間水量、漏水時間…等記錄至建築物管理系統，供營運單位管理水資源使用，即時檢測水流量的異常狀況，及時進行維修和調整，避免導致設備損壞、服務中斷及資源浪費，確保車站整體用水可正常運作。參閱智慧水表回傳數據應用(圖12)。

二氧化碳濃度感測器(圖13)，所監測之數據除連動公共區空調箱控制及調節外，並傳送到建築物管理系統進行實時監測，幫助營運單位瞭解空氣品質狀況並作為空調外氣量調控之參考。



圖13 二氧化碳監測器^[6]

依據行政院環境部室內空氣品質良好級標準(表1)，設定車站內二氧化碳濃度上限為

表1 室內空氣品質良好級標準^[11]

室內空氣汙染物項目	單位	優良級標章	良好級標章	監測時間
二氧化碳	ppm	800	1,000	8小時
一氧化碳	ppm	2	9	8小時
甲醛	ppm	0.03	0.08	1小時
PM10	μm	50	75	24小時
細菌	CFU/m3	800	1500	最高值

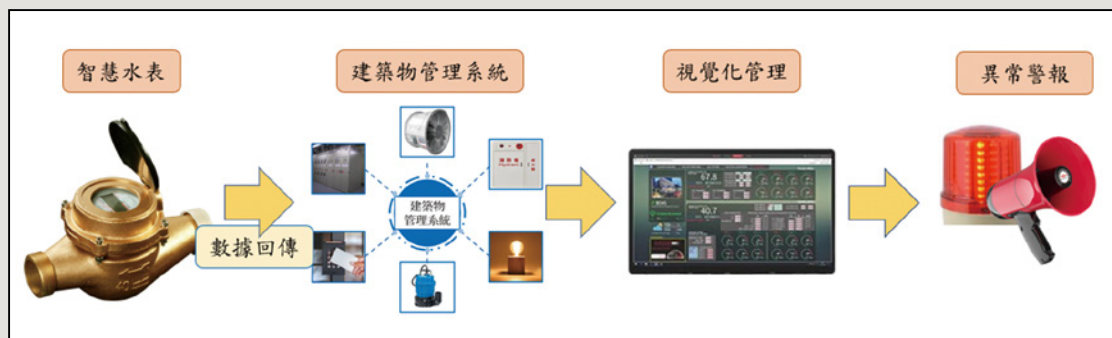


圖12 智慧水表回傳數據應用

七、二氧化碳濃度監測

當車站內二氧化碳濃度超過正常範圍時，使旅客感到不適，為提供旅客舒適感受並因應空氣品質法規，於車站公共區域(穿堂及月台)增設

1000ppm，當二氧化碳達800ppm警戒值即調整空調箱運轉頻率及風門開啟閾度，引進更多外氣來避免車站內二氧化碳濃度超過1000ppm，確保車站維持較佳的空氣質量，提供旅客舒適空間。

八、溫度監測

車站設有完善的空調通風系統，在正常營運期間調節月臺、穿堂及辦公區的溫度，為旅客及站務人員提供舒適的環境；重要機房區則設有獨立的空調及通風系統，以維持適宜的工作條件，確保設備可正常運轉並延長其使用壽命。

環控系統於重要機房設置溫度感測器(圖14)，將各區域溫度數值回傳建築物管理系統進行監測。當溫度超過設定範圍時，會觸發警報並自動調整空調和通風系統。透過建築物管理系統來持續監測溫度，可提供營運單位分析溫度趨勢、調控空調運轉參數，兼顧節能與空調需求。



圖14 室內二合一顯示型環境感測器(溫/溼)^[7]

九、振動監測

振動監測的功能主要用於環控設備，考

量車站內常態運轉之風機，例如新鮮空氣送風機、補充外氣送風機、回風機、公共區空調箱及軌道排氣風機，於風機安裝振動感測器(圖15)，對風機軸承的三個軸向(X、Y、Z)分別進行振動量測，並整合至振動感測接收器(圖16)。透過接收器設定紀錄間隔周期，自動記錄設備運轉之振動值及頻譜數據(FFT)，並將即時振動數據傳送到建築物管理系統。

建築物管理系統提供營運單位風機軸承的振動數據，透過數據分析可分析各項運轉數據，提出參考之警戒值及危險值，並針對各項運轉數據進行趨勢分析，建立異常分析模型，達成提前預警能力，輔助營運單位的設備維護決策，以利設備穩定運轉，延長設備使用壽命。參閱振動偵測架構圖(圖17)。



圖15 振動感測器^[8]



圖16 振動訊號接收器^[9]

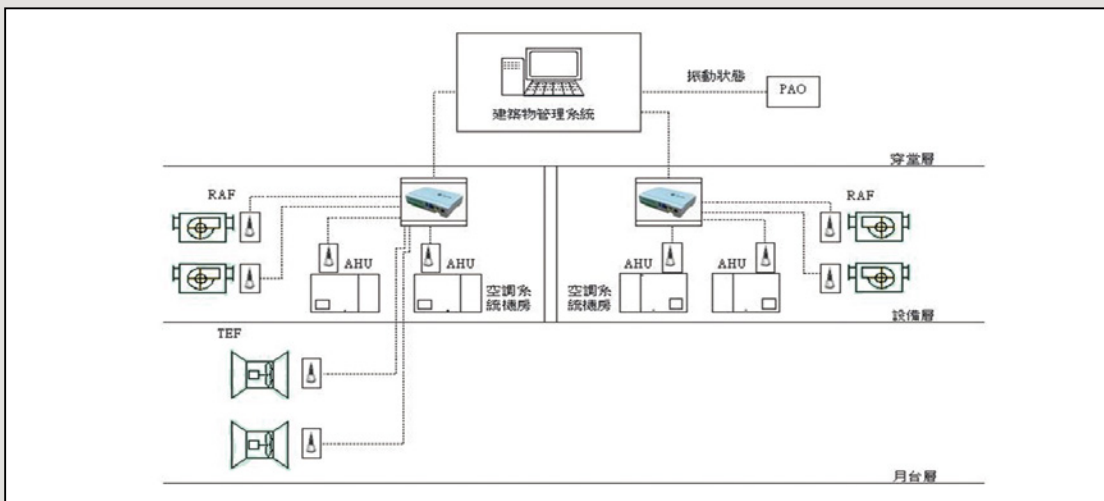


圖17 振動偵測架構圖

十、電梯/電扶梯保護

由於捷運系統的便利性吸引大量旅客進出車站，電扶梯是紓解人潮、引導旅客進出車站；而電梯則提供行動不便者的垂直通行服務，亦作為車站無障礙設施之重要環節。因此電扶梯與電梯已被廣泛地使用於捷運系統，並於交通運輸上扮演著重要的角色。

除了提供捷運旅客行的便利外，為確保電扶梯與電梯之可靠性及安全性，電扶梯與電梯格外地注重其功能、品質、可靠性及安全性，以提供捷運旅客高品質的服務及安全保障，電梯及電扶梯為維持正常運轉，與建築物管理系統間設有大量監視及控制功能(圖18)，包含上行指示、下行指示、故障指示、車廂位置指示、

緊急停止/機指示、故障診斷系統、地震（高、低）指示等訊號。

除上述外，捷運電扶梯/電梯特別考量其維修保養(圖19)，以維持高品質的服務，透過監測電扶梯之驅動裝置之振動，以利建築物管理系統透過振動數據進行異常分析，達到預防性維修，延長設備使用壽命；監測電扶梯之操作式剎車之釋放感測及溫度感測、輔助剎車釋放感測及電梯之安全機械釋放訊號之狀態，監測煞車是否完全釋放，確保電梯或電扶梯能夠平穩地運行，避免因剎車未完全釋放而導致運轉問題或影響旅客安全，並幫助營運單位進行預防性維修，延長設備使用壽命，配合建築物管理系統提升整體營運效能及營運安全。



圖18 電(扶)梯監控系統介面



圖19 電扶梯維修保養^[10]

十一、一鍵開關

車站建築物管理系統整合照明系統群組控制、出入口鐵捲門、電梯、電扶梯之開關控制，僅設定「開」與「關」兩種指令來操作設備，供站務人員執行「一鍵開關」的功能，用以節省早上開始營運及晚上結束營運，設備開機/關機之人力及時間，從而提升管理效率。人機介面(圖20)的圖控



圖20 一鍵開關人機介面

軟體配合一鍵開關功能增設獨立視窗，並設置密碼確認或防止誤按情形發生的「再次確認動作」。

伍、智慧軌道導入後的優點

智慧軌道導入係以尋找有助於交通運輸發展之新技術及應用方式，結合營運單位經驗回饋，將先進科技和大數據分析概念融入智慧車站的規劃。隨著科技不斷進步，營運維修需求可藉由設置感測元件來蒐集各類設備狀態參數資料。有助於建立故障預警機制，減少設備重大損壞，並藉由大數據分析提供營運單位進行維護管理，通過監控數據來調整運轉參數實施節能管理，並有效監測空調及空氣品質確保旅客服務品質，減緩營運單位之維修困擾、降低人力操作來提升營運效能。透過數據轉型、視覺化呈現及精準的決策分析，達成智慧車站目標。參閱智慧管理優化架構圖(圖21)。

停機及故障，並由營運單位定期對設備進行養護，藉由各種感測元件將設備運轉之數據傳送至建築物管理系統，由營運單位分析運轉數據，來達成節省人力/時間成本，提高監控效率的目標。

智慧車站對於設備維修養護項目如下：

- (一) 利用自動功因調整器之溫度偵測功能回傳高溫警報，避免配電盤內電容器因溫度過高，而造成設備受損導致供電異常，達成設備預警功能，以避免引起機房內低污染氣體系統誤動作。
- (二) 利用不斷電系統之溫度偵測功能回傳高溫警報，避免不斷電系統盤內電容、整流/逆變器常因溫度過高，而造成設備受損導致供電異常，以避免引起機房內低污染氣體系統誤動作。

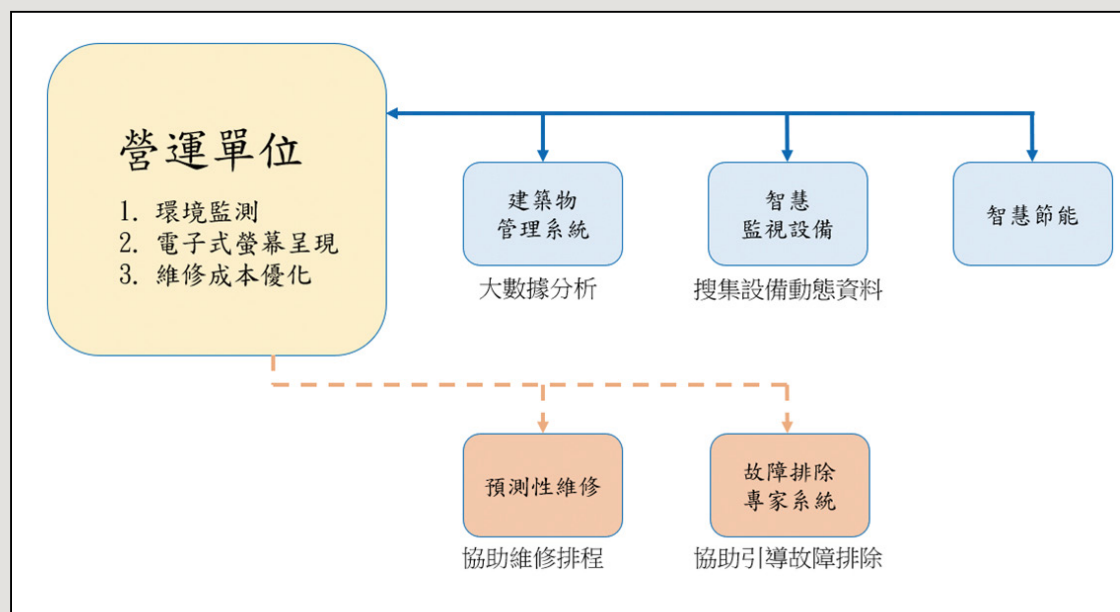


圖21 智慧管理優化架構圖

一、設備維修養護

因捷運對設備狀態監測，主要為運轉、

- (三) 於日用水箱及集水坑增設壓力式液位計及可程式數位顯示控制器，以壓力式液位計為主而浮球為輔來控制泵浦啟停，改善以

往浮球開關常受異物卡住導致泵浦無法運作之缺點。

(四) 偵測常態運轉之風機軸承之振動，透過趨勢分析建立異常分析模型，達成設備預警功能，以利維修管理。

(五) 監測電扶梯之驅動裝置之振動，透過趨勢分析建立異常分析模型，達成設備預警功能，以利維修管理。

(六) 監測電扶梯之操作式剎車之釋放感測及溫度感測、輔助剎車釋放感測及電梯之安全機械釋放訊號之狀態，以利進行預防性維修，延長設備使用壽命，並提升營運安全。

二、能源管理

蒐集各類設備能源消耗即時數據，包括空調、低壓設備等用電、用水。即時分析能源使用狀況，並產出各類數據報表供營運單位評估，另於能源消耗異常時及時進行告警。參閱智慧管理系統目標(圖22)。

智慧車站對於能源管理項目如下：

(一) 除目前主電源迴路之低壓配電盤已設置多功能集合式電表外，因應營運節能之大數據分析，於車站電力系統各低壓配電盤增設多迴路電表，以利對各迴路用電數據進行監測分析。

(二) 除目前自來水公司供水主幹管已設置水量計外，並對大量用水之空調補給水設置水量計，以利對車站用水量數據進行監測分析。

三、旅客搭車及設備運作之環境監測

捷運車站可分為公共區及非公共區，在客流高峰期間造成公共區人潮擁塞，可能使車站內部空氣擴散不易，導致車站空氣品質不佳，因此如何營造旅客搭車良好環境須納入規劃考量；另非公共區因設置許多營運所需之機電設備，如何避免設備處於異常環境溫度下運作須納入規劃考量。

智慧車站對於旅客搭車及設備運作之環境

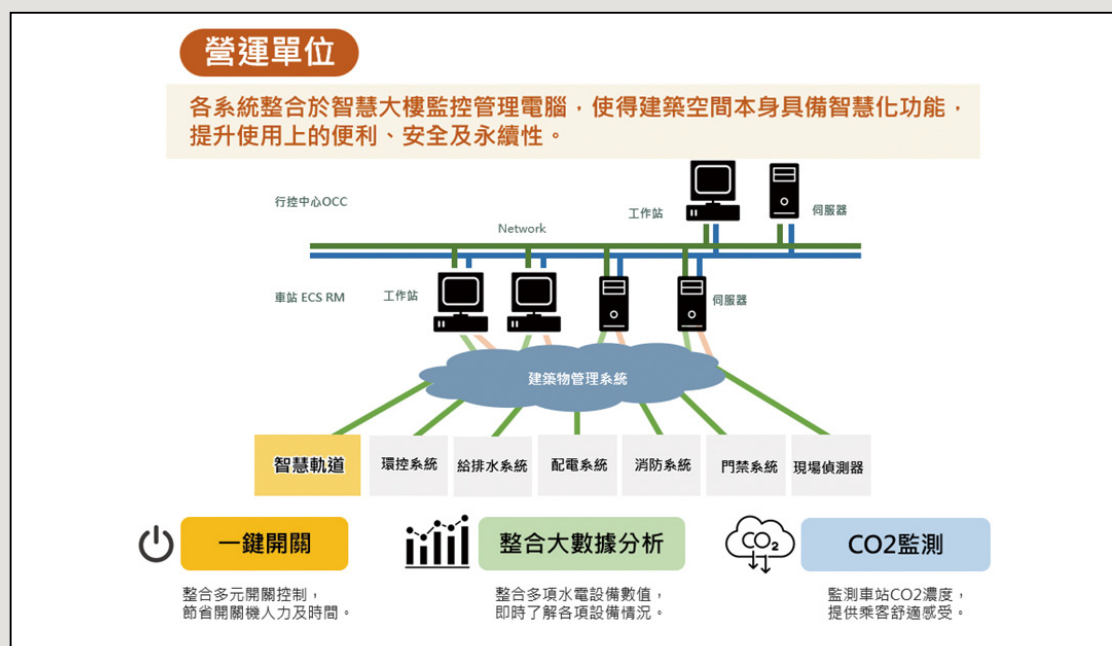


圖22 智慧管理系統目標

監測項目如下：

- (一) 因應空氣品質法規，設置二氧化碳濃度感測器，以瞭解空氣品質狀況，並連動空調風機引入外部空氣。
- (二) 對於PAO、哺集乳室、電信室、電池室、辦公室及重要機房等設置空調區域納入溫度監測，以確認空調系統是否正常運行。

四、固定設施優化

隨著時代潮流演進，尤以車站固定設施設計，因需服務多元的旅客、使用需求增加、美學價值改變及現代科技進步。已有布告欄造型過時、資訊板不敷使用、廣告板無法滿足現代商業模式等狀況，期透過固定設施設計精進，達到完備營運需求、提升車站空間設計美學目標，並結合以人為本的設計思維，藉由固定設施優化，達成滿足營運需求及提升車站空間設計美感。

智慧車站對於固定設施優化項目如下：

- (一) 隨著國際化趨勢及車站發展，規劃美感與實用兼具的電子公布欄，優化旅客及站務員的使用體驗、增進服務效率。
- (二) 因應數位轉型，導入電子式螢幕可將多樣的資訊圖整併，並強化資訊更新效率、降低訊息傳遞落差。

五、人力成本控制

軌道運輸的發展從過去傳統機械人力控制，逐步發展為現在電腦自動控制，因此藉由科技進步的發展，藉由設備的監控管理以節省營運人力成本，亦為智慧車站考量之重點：

- (一) 設置數位電表、智慧水表及各式數位液位計，除可作為能源分析管理之大數據分析外，亦可減少人員至現場抄表人力及時間，提升營運管理之效能。
- (二) 針對照明系統群組控制、出入口鐵捲門、電梯、電扶梯之開關控制納入監控，達成「一鍵開/關」的功能，以節省早上開始營運及晚上結束營運，對設備開機/關機之人力及時間，係提升營運管理之效能及設備操作之方便。

陸、後續展望及推動方向

針對「智慧軌道」規劃，涉及大量系統間資料擷取及設備作動數據之蒐集，供營運單位納入維修考量。管理系統和監測技術能夠實時監控車站內的安全狀況，迅速發現站內異常並通知營運單位進行處理。

通過智慧管理及智慧基礎設施的改善，車站可自行檢視/調節環境，及因應營運單位維護管理需求，監測電梯/電扶梯、風機、不斷電系統等設備的異常數據，整合至建築物管理系統，儲存即時數據資料以利做出決策及故障預測，並進行耗能分析，有效降低損耗、避免資源浪費。透過實時掌控車站現況並做出調整，從而提升旅客服務品質。

隨著技術的不斷進步，智慧化車站將會在各方面展現更大的潛力和優勢，藉由即時資訊與歷史資訊進行大數據分析，建立捷運系統專屬資料庫，供營運單位了解設備運轉情況，以安排預防性檢修、降低維修和維護成本。未來透過與國家鐵道業者的平台連接，實現資源、數據、運算的共享，發展系統整合之智慧應用，為軌道交通系統的可持續發展做出更大的貢獻。參閱智慧車站優化、創新與目標(圖23)。



圖23 智慧車站優化、創新與目標

參考文獻

1. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%87%BA%E7%81%A3%E6%8D%B7%E9%81%8B%E7%B3%BB%E7%B5%B1>
2. https://www.taik.com.tw/zh-tw/products/detail/51?category_id=16
3. <https://www.adtek.com.tw/web/product/product.jsp?lang=tw&dmid=DM1485158910186&sdmid=DM1499765539459>
4. <http://level-meter.com/yw500-2.asp>
5. <https://www.tbt2u.com.tw/TBMD%E5%8F%A%E7%A8%8B%E5%BC%8F%E6%95%B8%E4%BD%8D%E9%A1%AF%E7%A4%BA%E6%8E%A7%E5%88%B6%E5%99%A8>
6. https://m.momoshop.com.tw/goods.momo?i_code=10764246
7. <https://insynerger.com/product/%E5%AE%A4%E5%85%A7%E9%A1%AF%E7%A4%BA%E5%9E%8B%E6%BA%AB%E6%BA%BC%E5%BA%A6%E6%84%9F%E6%B8%AC%E5%99%A8/>
8. <https://www.tecom.com.tw/tw/product/vb-420scb/>

9. https://www.futuremate.com/productdetail_tw.php?id=262

10. <https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/986093>

11. <https://www.fusionnet.io/post/ltcairpurifier>



3

專題報導

車頭攝影機應用 於自動巡軌方案

關鍵詞(Key Words)：捷運(MRT)、車輛攝影機(EMU CCTV)、自動巡軌(Automatic Track Patrol)

新北市政府捷運工程局／局長／李政安 (Lee, Cheng-An) ❶

新北市政府捷運工程局／主任／李文浩 (Lee, Wen-Hao) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／經理／詹宏義 (Chan, Hung-I) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫工程師／賴嗎綾 (Lai, Huei-Ling) ❹



摘要

為節省巡軌人力及作業時間，本文研討三鶯線捷運設計，確認現行車頭障礙物偵測攝影機是否能應用於自動巡軌，並於行控中心具備即時車頭影像遠端監看功能，針對通訊系統傳輸頻寬並考量實際巡軌時之號誌速限、攝影距離及夜視功能等條件，提出具體方案。



Application of Front-End Cameras for Automatic Track Patrol Scheme

Abstract

This article examines the design of the Sanying Line MRT to determine whether the current front-end obstacle detection cameras can be utilized for automatic track patrol. It also explores the implementation of real-time remote monitoring of front-end images in the CCTV. A specific plan is proposed, taking into account factors such as communication system transmission bandwidth, signal speed limits, photography distance, and night vision capabilities during actual patrols.

3

專題報導

壹、前言

為節省巡軌人力及作業時間，捷運公司提出需求，針對三鶯線捷運，確認現行車頭障礙物偵測攝影機是否能應用於自動巡軌，並於行控中心具備即時車頭影像遠端監看功能，爰針對通訊系統傳輸頻寬，並考量實際巡軌時之號誌速限、攝影距離及夜視功能等條件，提出具體方案。本案經檢視三鶯線車輛、通訊及號誌系統設計，提出設計修改方案。

貳、三鶯線配置

一、三鶯線車頭攝影機配置

三鶯線契約列車兩端設置攝影機，路軌障礙物裝置之訊號與閉路電視(Closed-Circuit Television, CCTV)系統連動，當車輛障礙物偵測器偵測到障礙物時，車輛應啟動緊急剎車，同時將相關資訊傳至列車管理系統，並可於行控中心監視器鎖定障礙物畫面且予以監控。

二、列車儲存影像設備需求

電聯車(列車)上閉路電視系統能供行控中心人員監看列車上狀況，每一攝影機影像須全時錄影，列車上另需提供防震功能之數位錄影機(DVR)，影像儲存基本容量至少須達7日(每日24小時全時錄影)，依序自動覆蓋且應易於拆裝，錄影機設備須預留錄影擴充容量及攝影機界接擴充埠。

參、捷運三鶯線通訊、號誌及車輛系統配置設計檢核

一、三鶯線列車閉路電視系統配置說明概述

目前列車CCTV系統以IP為基礎，總共有8個IP攝影機安裝在列車上，每節車廂將安裝3個內部攝影機，1個前端攝影機將安裝在列車前端。每節車廂也將安裝一台具備防震功能的網路錄影機(NVR)，所有的影像將儲存在NVR，至少保留一週7天，一天24小時全時錄影。錄影每幅畫面解析度為1280(H)x720(V)，每一攝影機每秒鐘被錄影張數為5FPS。如錄影的天數超過7天，NVR會依據先進先出的原則自動覆蓋最舊的錄影檔案。該NVR也將會提供同時記錄和傳輸影像之功能。

行控中心設置2台彩色監視器提供列車影像監控使用，其螢幕可顯示列車及攝影機編號。列車通訊設備的連接都透過安裝在每節車廂的網路交換機。行控中心控制員能夠透過通訊多功能操作台選擇任何列車上的攝影機，以執行即時影像直播。列車上之無線用戶端收到影像資料流需求後，將此需求傳送至列車影像管理界面(TVSS Agent)，TVSS Agent將從NVR擷取指定攝影機之影像畫面並將該畫面透過軌旁無線AP傳回行控中心(OCC)。前端攝影機將和路軌障礙物裝置訊號連動，當車輛偵測到障礙物時，可於行控中心監視器鎖定障礙物畫面且予以監控。監看影像時將會有約3秒鐘的延遲時間。

行控中心操作員可選擇欲監看之列車CCTV攝影機，以便從OCC進行監看。此系統將能夠允許操作員從OCC同時監看每一列運行中的列車至少2個CCTV影像即時影像串流；每一個即時影像串流為10FPS，一支攝影機所佔頻寬約為1~1.5Mbps。三鶯線列車影像管理系統架構如圖1所示。

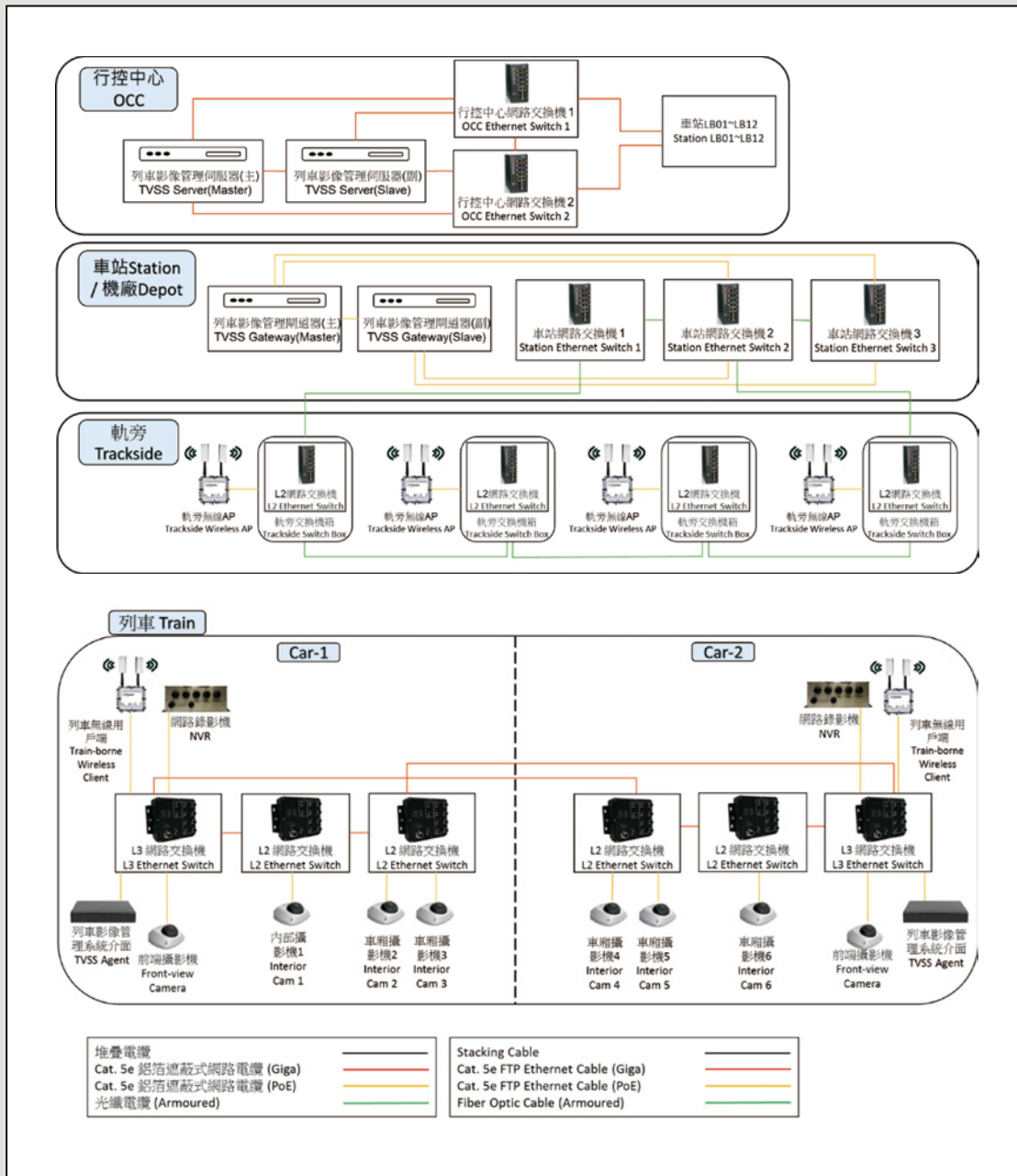


圖1 列車影像管理系統架構圖

二、行控中心列車影像管理

列車影像管理伺服器透過行控中心與所有車站之間的骨幹網路，列車影像管理伺服器(TVSS Server)監控並管理所有登入到列車影像管理閘道器(TVSS Gateway)的影像管理系統介面(TVSS Agent)。

行控中心操作員能夠選擇列車的影像，此命令將會被發送至TVSS伺服器(TVSS Server)，TVSS Server會將該指令發送到專用的TVSS閘道器(TVSS Gateway)，接著TVSS Gateway將會透過軌旁無線AP和列車無線用戶端(Train-borne Wireless Client)之間的無線連結命令所請求的列車影像管理系統介面(TVSS Agent)。最後，TVSS

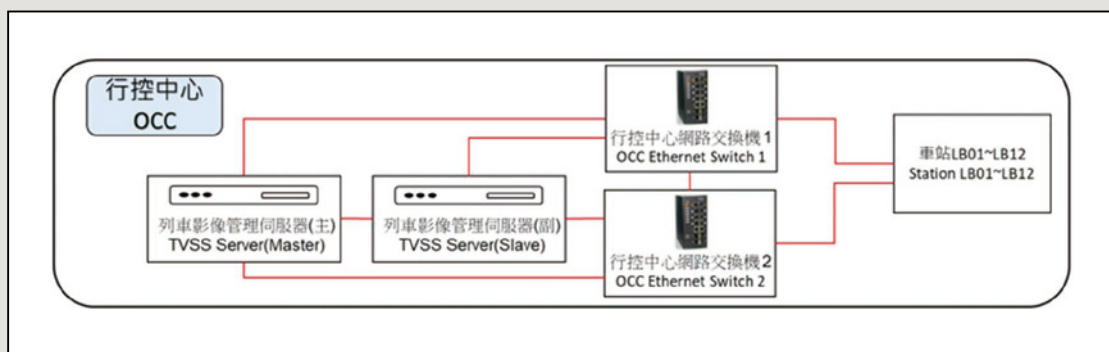


圖2 行控中心列車影像管理架構圖

Agent將從NVR中取回影像，並透過無線連結傳送回OCC。這兩台列車影像管理伺服器互相是完全複聯的，在Master和Slave配置下運行。（圖2）

三、車站、機廠及軌旁網路交換機配置

來自軌旁的列車攝影機影像透過車站/機廠的網路交換機回傳至行控中心。網路交換機提供1GB傳輸埠，提供所有的交換機與交換機之間連線，建構起1GB的骨幹傳輸頻寬。（圖3）

在軌道上提供WLAN覆蓋的軌旁無線AP，將透過光纖電纜和軌旁網路交換機連接到車站內列車管理影像閘道器（TVSS Gateway）。每個軌旁無線AP將通過光纖電纜和軌旁網交換機連接起來，形成一個環形結構，將所有的無線AP連接到TVSS閘道器（TVSS Gateway）。這確保了所需數據速率的高可用性和可靠性以支持即時影像流和信息傳輸。

軌旁無線AP在5.8GHz ISM頻道內運行，並

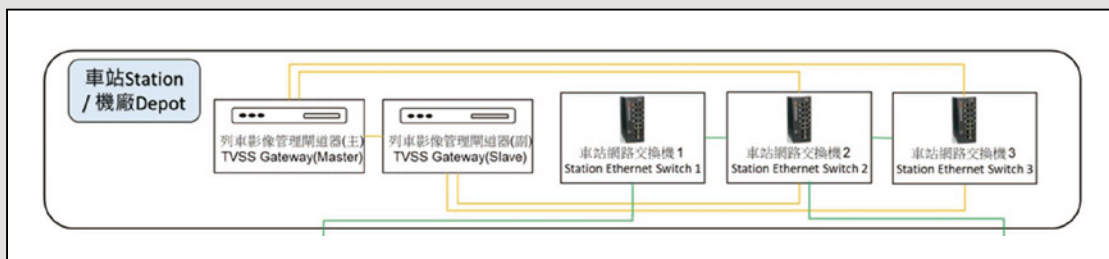


圖3 車站/機廠網路交換機架構圖

車站/機廠的無線網路是由軌旁無線AP及軌旁網路交換機所組成。軌旁系統每個車站被分成兩段，一段延伸到前一車站，另一段延伸到下一車站。每個分段的覆蓋範圍一直延伸到兩個車站之間的軌道中間點。每段的設備包括一連串間距約150公尺的軌旁無線AP。其設計可以同時支援雙向移動中的列車。

依照802.11n標準。軌旁無線AP配有指向型天線，以提供最大的覆蓋範圍。為了提高無線連接的可靠性和吞吐量，系統亦將支援802.11n標準的2x2MIMO。軌旁無線AP及天線的安裝方式是天線的輻射模式將覆蓋列車的駛近及駛離方向。當列車於建議巡軌速度的情況下行進，軌旁無線網路的可提供30Mbps的吞吐量（Throughput），足夠應付巡軌需求。（圖4）

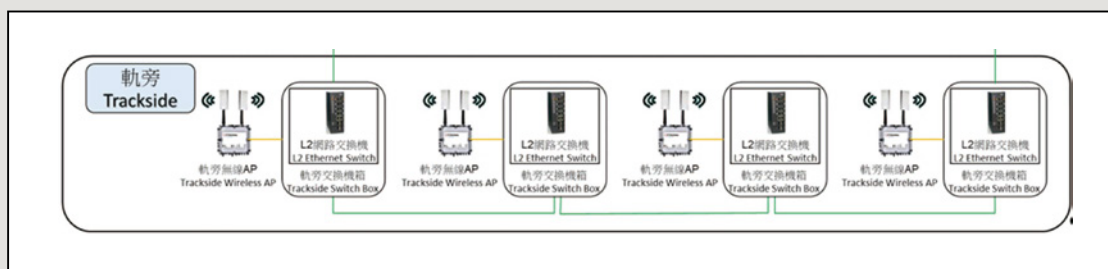


圖4 軌旁網路交換機架構圖

四、列車影像管理系統配置

每個列車無線用戶端將連接2個天線。該天線將與列車無線用戶端一起運行，工作頻率為5GHz。列車無線用戶端提供列車及軌旁網路的媒體鏈結。

列車前端攝影機安裝在每個駕駛室前方，將用於監控列車軌道狀況。車前攝影機將和路軌障礙物裝置訊號連動，當車輛偵測到障礙物時，可於行控中心監視器鎖定畫面且予以監控。拍攝的影像將儲存在相應的NVR中。

網路錄影機(NVR)用來錄下車廂內每個內部攝影機拍攝的影像串流。NVR可儲存7天、每天24小時的錄影。如需要儲存超過7天的錄影，NVR會以先入先出的方式自動覆蓋影像檔案。列車的每節車廂將會安裝1個NVR。

列車影像管理介面是列車無線用戶端和NVR之間的介面。它處理OCC送出的指令以即時直播影像。接收到OCC傳出的指令後，指令會被送到TVSS Agent，然後它會指示NVR擷取所要的攝影機影像，並傳回到OCC。列車的每節車廂將會安裝1個TVSS Agent。（圖5）

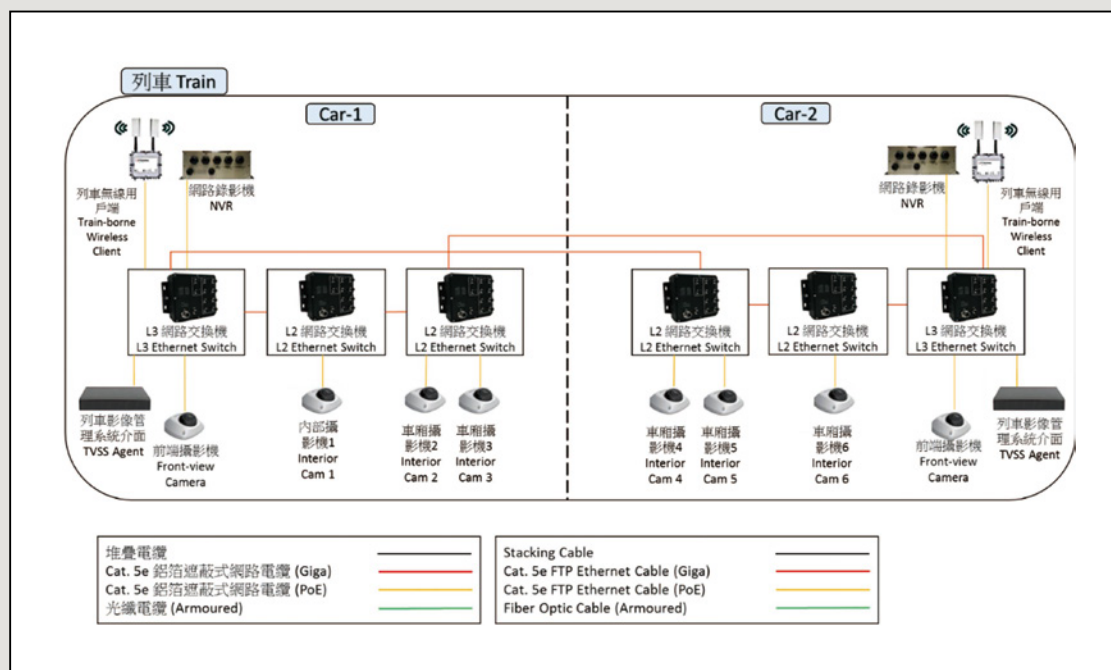


圖5 列車影像管理系統架構圖

肆、攝影機模擬現場實測

一、既有車頭攝影機日間測試

依據夜間施工場景，除惡意民眾投擲各種物品至軌道狀況之外，現場工作人員最常遺漏在軌道上的物品大部分為各種工具，目前三峽機廠內停靠T01及T02兩部列車，廠商在113年1月11日至機廠，於列車前方擺設幾樣常用工具，針對車頭攝影機可辨識距離進行量測，測試參數如下：

- 測試車輛：T02車頭攝影機
- 測試儀器：秣業LY9800-IPALL工程測試器
- 測試物件樣品：螺絲起子、三用電表、老虎鉗、捲尺

■ 人工目視效果：模糊、可視、可鑑別、清晰等4級

依據目標物螺絲起子、三用電表、老虎鉗、捲尺等4件樣品成像，距離車頭5公尺即可發現物體，距離車頭3~1公尺區間可清晰辨識出螺絲起子、三用電表、老虎鉗、捲尺等4物件，距離車頭0.5公尺即已超出攝影機可視範圍。以現場實際勘驗的影像來看，車頭攝影機的安裝角度，最遠可視距離是在離車頭連結器(Coupler)末端5公尺。在自動巡軌的狀況下，所需的可視距離需要更遠(最遠可照射至15至20公尺)。

圖6列出各距離在工程測試器所看到之影像。

車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
0.5 公尺		螺絲起子	超出視角
		三用電表	超出視角
		老虎鉗	超出視角
		捲尺	超出視角

車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
1 公尺		螺絲起子	清晰
		三用電表	清晰
		老虎鉗	清晰
		捲尺	清晰

(請接下頁↓)

車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
3 公尺		螺絲起子	清晰
		三用電表	清晰
		老虎鉗	清晰
		捲尺	清晰

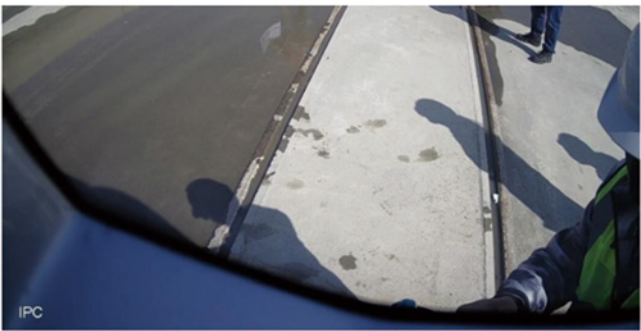
車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
5 公尺		螺絲起子	可視
		三用電表	可視
		老虎鉗	可視
		捲尺	可視

圖6 既有車頭攝影機日間測試結果

二、使用更高規格攝影機日間測試

為配合巡軌時的可視距離達到18公尺，廠商選用高規光圈為F2.0規格之攝影機，並依據車頭攝影機安裝於列車前頭的高度，於三峽機廠進出廠軌道區域進行實際的量測。

測試參數如下：

- 測試地點：三峽機廠進出廠軌道區域
- 測試儀器：秣業LY9800-IPALL工程測試器

- 測試物件樣品：螺絲起子、寶特瓶、老虎鉗、安全帽、電表、三角錐。

- 人工目視效果：模糊、可視、可鑑別、清晰等4級

以現場實際勘驗狀況，新攝影機在白天的環境下，可在距離車頭連結器18公尺處判斷出安全帽及三角錐之物體，體積再小的物件就會有判斷上的誤差。但也因為攝影機需照射更遠的距離，所以距離車頭連結器的可照射最短距離也會加長。(圖7)

車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
20公尺		螺絲起子	無法辨識
		寶特瓶	可視
		老虎鉗	無法辨識
		安全帽	清晰
		電表	無法辨識
		三角錐	清晰

車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
18公尺		螺絲起子	無法辨識
		寶特瓶	可辨識
		老虎鉗	無法辨識
		安全帽	清晰
		電表	無法辨識
		三角錐	清晰

車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
16公尺		螺絲起子	無法辨識
		寶特瓶	可辨識
		老虎鉗	無法辨識
		安全帽	清晰
		電表	無法辨識
		三角錐	清晰

圖7 使用更高規格攝影機日間測試結果

三、使用更高規格攝影機夜間測試(模擬車燈)

夜間實測的地點與白天一樣地點，也在三峽機廠進出廠軌道區域。除使用與白天測試時相同的攝影機之外，也模擬列車頭燈開啟的情境。模擬的車頭燈亦採用LED燈，於距離車頭連結器3公尺的照度約為102.9lux，於距離20公尺處的照度約為3.3lux；測試參數如下：

- 測試地點：三峽機廠進出廠軌道區域
- 測試儀器：秣業LY9800-IPALL工程測試器

- 測試物件樣品：螺絲起子、寶特瓶、老虎鉗、安全帽、電表、三角錐。
- 燈光照度：3公尺約102.9lux，20公尺約3.3lux
- 人工目視效果：模糊、可視、可鑑別、清晰等4級

以現場實際勘驗狀況，在約3.3lux照度的狀況之下，在距離車頭連結器18公尺處可判斷出安全帽及三角錐之物件，體積再小的物件就亦無法辨識。(圖8)

車頭距離	呈現影像	物件	成像效果
20公尺		螺絲起子	無法辨識
		寶特瓶	無法辨識
		老虎鉗	無法辨識
		安全帽	可視
		電表	無法辨識
		三角錐	可視
18公尺		螺絲起子	無法辨識
		寶特瓶	無法辨識
		老虎鉗	無法辨識
		安全帽	可鑑別
		電表	無法辨識
		三角錐	可鑑別

(圖8未完，請接下頁)



圖8 使用更高規格攝影機夜間測試(模擬車燈)結果

四、列車行進速度與行駛距離關係

列車在單位時間內所行駛的距離與列車行進速度成正比，巡軌時因為需要同時確認軌道的狀況，所以無論是在有人巡軌或無人巡軌的狀況下，列車都採用低速行進，表1列出不同行進速度時與每秒行駛距離之相對關係。

考量攝影機畫面傳遞延遲約2秒，人員反映時間約1秒列車，依據前一節測試結果，攝影機可清楚辨識物體之範圍約18公尺，故建議巡軌速度應於10km/h以下，才能於發現障礙物時，及時執行緊急停車動作。

表1 列車行駛速度與行駛距離相對關係

列車行駛速度	列車行駛距離
40km / hour	11.1 公尺 / 秒
30km / hour	8.3 公尺 / 秒
20km / hour	5.5 公尺 / 秒
10km / hour	2.7 公尺 / 秒
5km / hour	1.3公尺 / 秒

伍、建議方案

依據測試結果並考量整體架構，此無人巡軌方案，透過每秒25 ~ 30fps影像畫面，以及車頭攝影機可視距離達到18公尺的功能，行控中心之監控人員可以預判前方是否有可疑的障礙物出現(安全帽、三角錐大小之物件)，進而啟動內部標準作業流程，進行判別或是排除作業。

以不影響既有系統功能並更換最少零件為考量，在可達到以上巡軌需求之情境，建議更換更高規格車頭攝影機，調整車頭攝影機安裝角度，可視軌道物品在外部光線足夠的情況下距離可達到18公尺。目前車頭攝影機安裝在車頭攝影機艙裡，攝影機前有一個防水罩，列車須依新攝影機的體積重新安裝配置。更換下來的既有車頭攝影機其產品規格可與車內攝影機相容，建議納入備品使用。

行控中心將不另增加席位，行控中心操作員可透過系統選取巡軌列車車號的攝影機，將影像顯示在螢幕上進行巡軌工作。

參考文獻

1. 新北市政府捷運工程局(105年) 捷運三鶯線業主需求書(二)
2. 新北市政府捷運工程局 三鶯線捷運系統計畫監造顧問委託技術服務案契約書
3. 日立軌道交通號誌系統(股)有限公司/榮工工程股份有限公司/株式會社日立製作所共同承攬SYL-TK01-TS-ECM-0920 列車通訊(含車載旅客資訊系統) - 期末設計



城市共好的地標型特色車站—臺北捷運東環段Y32站設計

關鍵詞(Key Words)：臺北捷運環狀線東環段(East Section of Taipei MRT Circular Line)、內湖科技園區(Neihu Science and Technology Park)、特色站(Featured Station)、都市景觀(Urban Landscape)、都市設計(Urban Design)、共好(Gung-Ho)

臺北市府捷運工程局／土建設計處／課長／莊建忠 (Chuang, Chien-Chung) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫副理／莊仁彰 (Chuang, Jen-Chang) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫工程師／黃迺棣 (Huanh, Nai-Di) ③

闕河彬建築師事務所／主持建築師／闕河彬 (Chueh, Ho-Ping) ④

摘要

臺北捷運東環段DF119標路線行經內湖科技園區，其中Y32站為特色車站。車站設計結合大港墘公園，設置下凹式廣場以延續綠意、引入人流；廣場採「分時共享」的設計概念：週間提供內科上班通勤族休憩、放鬆心情的場所；週末公園內的綠地與共融式遊具，成為吸引親子與社區市民休憩的綠洲。期待獨特的車站及廣場設計，使Y32站成為「城市共好」的特色車站。



A City's Common Good Landmark Station : Case of Taipei MRT Circular Line Project East Section Y32 Station Design

Abstract

The East Section of Taipei MRT Circular Line, Contract No. DF119, passing through Neihu Science and Technology Park has six stations. Y32 is one of the stations. It will be designed as the featured station since it is closed to Dagangqian Park which is the most significant open space of the area. The station entrance is located in a sunken plaza with the stairs and greenery to attract people flow. The design of the plaza adopts the concept of "Time Sharing": provides a place for the commuters to rest and relax during the week day, and an oasis and playground for the community during the weekend. All together make Y32 station a unique station to achieve the goal of "City Gung-Ho" (the common goods).

3

專題報導

壹、DF119標設計概要及區域環境

一、捷運路線與都市環境

東環段，臺北捷運環狀線最後一塊拼圖，行經臺北市中山、內湖、松山、信義及文山等行政區，與環狀線北環段、南環段以及已通車的環狀線第一階段路線銜接，未來也將與民生汐止線交會轉乘。透過東環段之建置，將完整臺北都會區整體捷運路網，整合沿線周邊地區發展，讓資源相互支援與提升，更有效縮短捷運旅次時間。

東環段DF119標工程範圍，起自敬業三路轉樂群二路，經萬豪酒店及濱江國中後，沿樂群二路穿越台電內湖服務所及洲子一號公園轉瑞光路，沿瑞光路穿過「內湖科技園區」，後轉至舊宗路跨越基隆河往松山、信義區銜接DF120標。本標全長4.75公里，共設置6座地下車站以及一座東機廠與主變電站。(如圖1)

二、城市發展脈絡

基隆河是淡水河的三大支流之一，也是臺灣北部的主要河川；松山(昔稱錫口)、內湖、圓山正位於基隆河轉彎之處，從清乾隆年間福州、泉州人開墾至此，慢慢因為移民聚集而繁榮起來。當時因基隆河水深可行船，船隻往來頻繁、忙碌異常，河、船和人一起創造了基隆河中下游早期的生活和文化。基隆河船運持續了兩百年的流金歲月，

漸漸因河道日漸淤積而逐漸沒落。(如圖2)

1993年基隆河截彎取直後產生的「新生土地」，吸引了輕工業及資訊電子、通訊、生技等高科技產業進駐，「內湖科技園區」成為高科技產業的營運總部，華麗轉身為臺北市的產業重鎮。(如圖3,4)



圖1 臺北捷運環狀線路線圖



圖2 基隆河早期航運



圖3 截彎取直前基隆河河道蜿蜒與東環段DF119標區段套繪圖



圖4 東環段DF119標、「內湖科技園區」與基隆河區位關係

貳、捷運美學概述

一、捷運美學的內涵

須能反映當地獨特的人文歷史、地理景觀等環境特質。為達此目標，美學設計應能融入環境並創造場所感，創造公眾易於進入、到達、親近的場所；設計過程中，需與建築師、景觀設計師、藝術家、車站周邊社區團體等有良好溝通，透過民眾參與的互動過程，讓市民產生歸屬感及認同感。

二、捷運美學之功能有二

(一) 就市民個人體驗而言：因親近交通建設空間，藉由美學增加個人在視覺為主的感官體驗，強化對於場所感及空間感之認知，包括：

1. 體驗都市人文環境內涵，如：都市空間的內涵及特質，都市人文背景、自然環境及歷史價值，及車站鄰近地區環境之獨特性及自明性。
2. 生活環境的想像窗口：美學的表現，可連結市民生活的過去與現在，進而產生

對未來的想像，亦可藉此成為社區之話題及生活之回憶。

3. 民眾參與感：美學之創作及表達方式，均應有公共性之意涵。因此，除了由藝術家(團隊)創作外，部份設計規劃可經由市民參與計畫與製作之方式進行。

(二) 就都市整體而言：藉由捷運車站美學增加都市生活魅力，並累積都市活力及精神內涵，包括：

1. 公共藝術創作應與站體設計結合，創造合於包括營運單位及乘客使用習慣之良好設計，使乘客感受到整體環境之主張，更可自在地融入藝術化的環境中。
2. 提供都市機能之了解，包括：方位及指標、資訊及活動、環境解說及教育等功能。
3. 捷運車站是都市三度空間中重要的中介空間，因此對於車站附近環境特質、地區活動內容及空間形式，必須強調其整體性與連續感，作為決定公共藝術表現主題和傳達媒介的重要元素。

三、東環段捷運美學

(一) 主題發想

延續環狀線北環段的基隆河水系，本標段位於基隆河截彎取直段，基隆河所孕育的文化光采，串起了聚落發展與產業變化的歷程，滄海桑田轉變成今日的內湖科技園區。

(二) 主軸發展

這條捷運路線計畫具有複合性和綜合性的特點，旨在將環狀線第一階段「流水行雲·龍遊千里」捷運藝術主題延續，並將其精神及內涵有機融入本路線的設計與環境中。環狀線東環段以「科技、自然、水岸」三個子題面向來設計捷運藝術，以反映沿線科技產業的特點和周圍環境。(如圖5,6)

DF119標車站多位於公園綠地且鄰近基隆河，將以「科技、自然、水岸」三面向交織出「浮光·捷點」主題內涵。

1. 科技：在車站和站內，強調科技創新和區域的高科技特性。

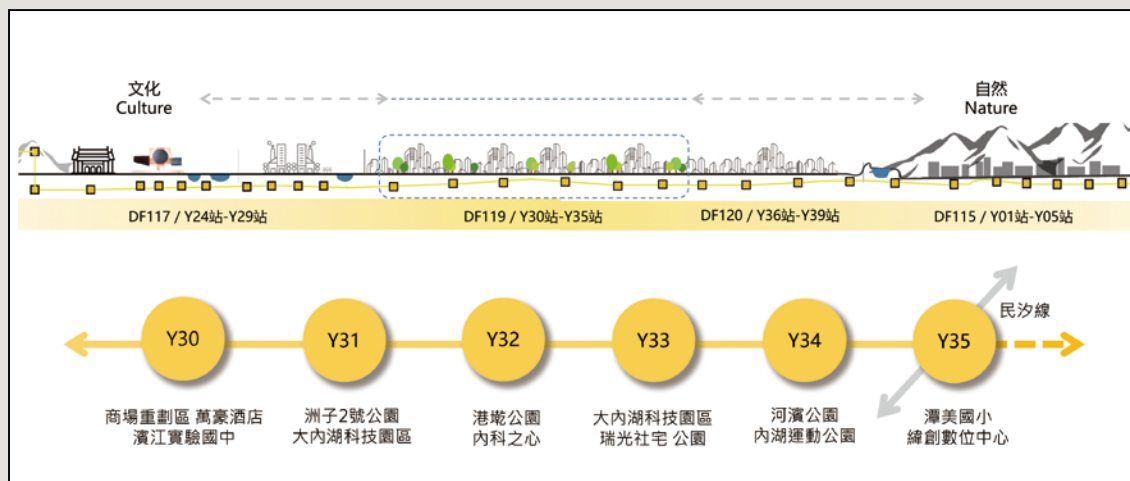


圖5 環狀線南北環及東環段之捷運美學發展主軸



圖6 環狀線南北環段及東環段延續環狀線捷運藝術主題架構

2. 自然：在綠地和公園附近的車站設計，強調生態多樣性和可持續性。
3. 水岸：藉由基隆河的存在，強調水岸主題。

將以上美學概念融入設計及公共藝術，以彰顯沿線的環境涵構及科技能量。(如圖7)

參、捷運通勤族與在地社區共好的特色車站-Y32站

一、捷運特色車站

「地標」是指每個城市的標誌性區域、地點、或者能夠充分體現該城市(地區)風貌及發展建設的區域；「標誌性建築」是意象塑造和認同凝聚的場所，更是地區發展的推力。捷運建



圖7 東環段DF119標捷運美學主題

設也應因應此一概念，將路線的人文、歷史或是自然風貌融入設計以特色站呈現，例如：臺北捷運的劍潭站、大安森林公園站、大湖公園站，以及高雄捷運的美麗島站、中央公園站、世運站等，皆以特殊的造型與環境結合，突顯車站的自明性而成為該路線的亮點。臺北捷運於細部設計階段，由設計顧問提案適合站點，設計路線之特色車站。

二、「內湖科技園區」中心的特色車站

內湖科技園區標誌著臺北市的科技產業發展，未來每天來自各地乃至於世界各國的科技人將在此地進出，是極具世界觀與未來的區塊，在此塑造捷運特色車站的構想因應而生，而Y32站正位於內湖科技園區中心位置。未來站體位於近港墘路之瑞光路上，出入口規劃於瑞光路北側大港墘公園內，周邊為內科辦公大樓群。大港墘公園為本科技園區中面積較大的綠地，為捷運場站提供了良好的發展腹地。

三、設計概念-分時共享、城市共好

內湖科技園區的特性為：平日週間繁忙的上班通勤族穿梭其中，大港墘公園提供內科上班科技人暫歇、放鬆心情的場所；週末公園內的綠地與共融式遊具，吸引親子與社區市民，成為休憩的綠洲。塑造符合市民需求的共享空間環境，為設計的出發點。

Y32站地面層入口廣場，以流動的曲線特殊造型金屬頂棚塑造地標意象，在玻璃帷幕大樓林立的內科，宛如一片雲朵吸引目光焦點；自由曲線的造型，一如科技人思考的自由度。「頂棚」提供的不僅是遮蔭，也滿足了社區里長爭取已久的有頂蓋活動空間。

下凹式廣場以分時共享的概念出發，將車站穿堂與出入口，以下凹式廣場(Sunken Plaza)的設計手法，將公園的綠意、活動引導入地下開放式廣場，提供通勤上班族群歇息及社區居民的活動廣場，可供靜態或展演活動的進行。(如圖8-圖10)

週間 / 科技人的森林驛站

解決交通問題

提供內科園區連接各捷運線便利的交通服務設施

提升園區環境

站點帶動人潮，整合捷運週邊環境公共休憩空間

園區站點風景

具有內湖科學園區自明性的交通設施

週末 / 親子的公園綠洲

公園景觀配置

站體融合現有公園，創造新的都市綠洲

創造獨特量體

流動量體創造獨特空間氛圍及都市焦點

增加活動平台

擴大的平台提供更多的都市活動及休憩空間

引入“分時共用”概念

平日：內科上班族放鬆心情的地方



假日：社區居民活動廣場



圖8 車站下凹式廣場空間分時共享概念

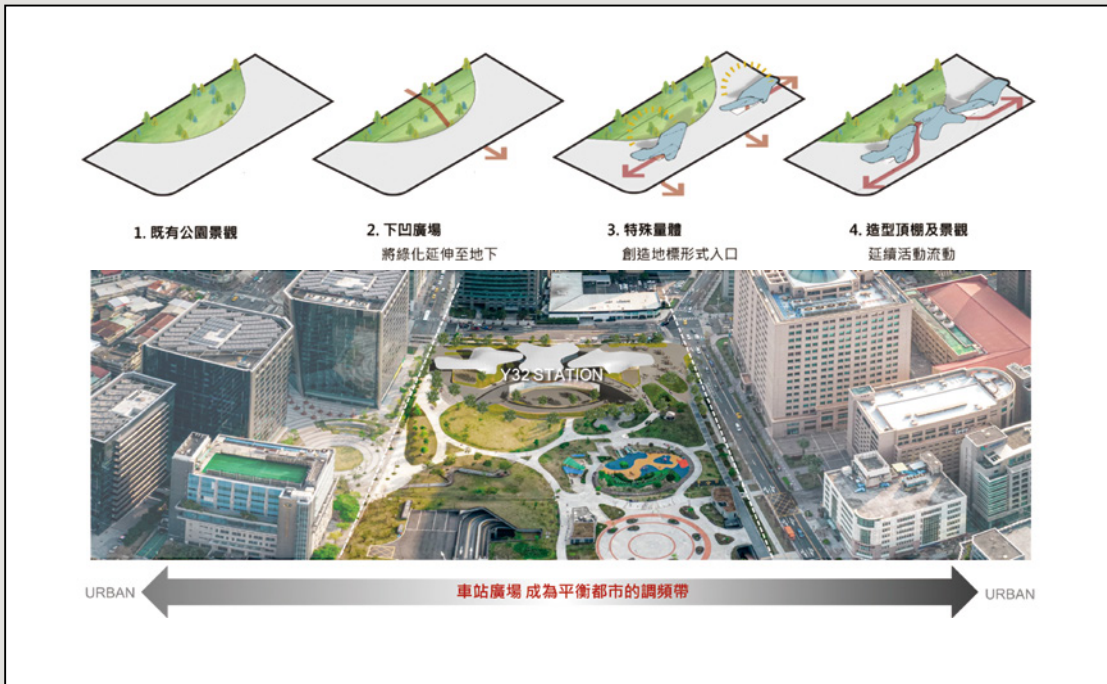


圖9 下凹式廣場與大港墘公園的結合

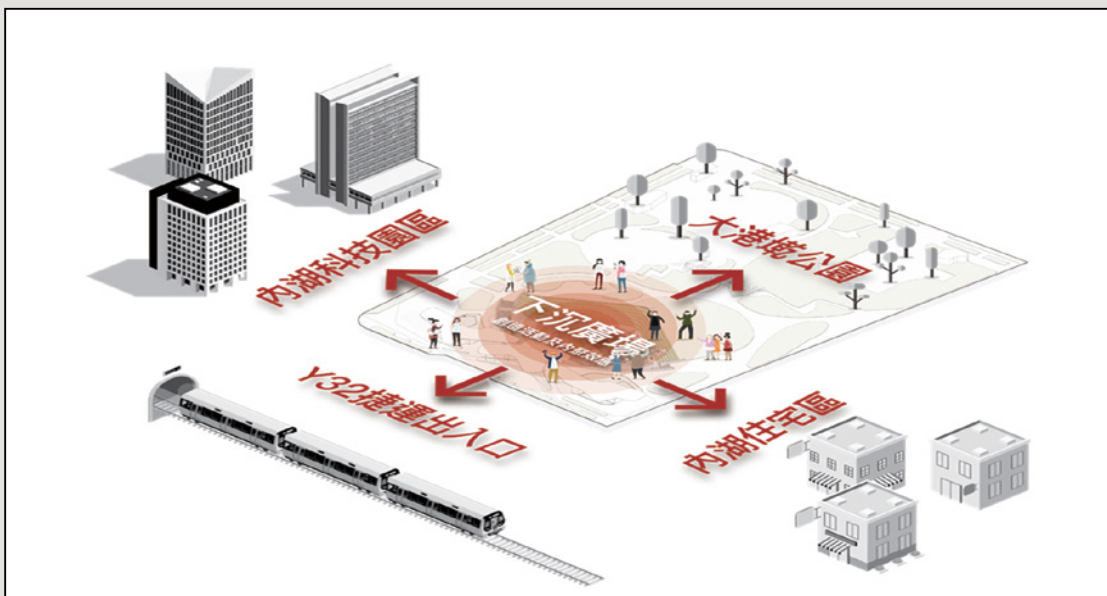


圖10 車站、下凹式廣場與環境的關係

四、手法-下凹式廣場：引入綠意天光、導入活動人流

Y32站出入口位於內科瑞光路大港墘公園內，在既有的公園景觀中，運用較大的腹地空間設計具有科技感連續曲線屋頂，並藉由斜坡

階梯、植栽景觀，創造地下廣場空間，除了讓綠意、光線延伸至露天廣場及車站穿堂外，下凹式廣場的空間形式，提供更多元的空間使用方式，使公園成為凝聚視覺及活動的焦點。(如圖11,12,13)

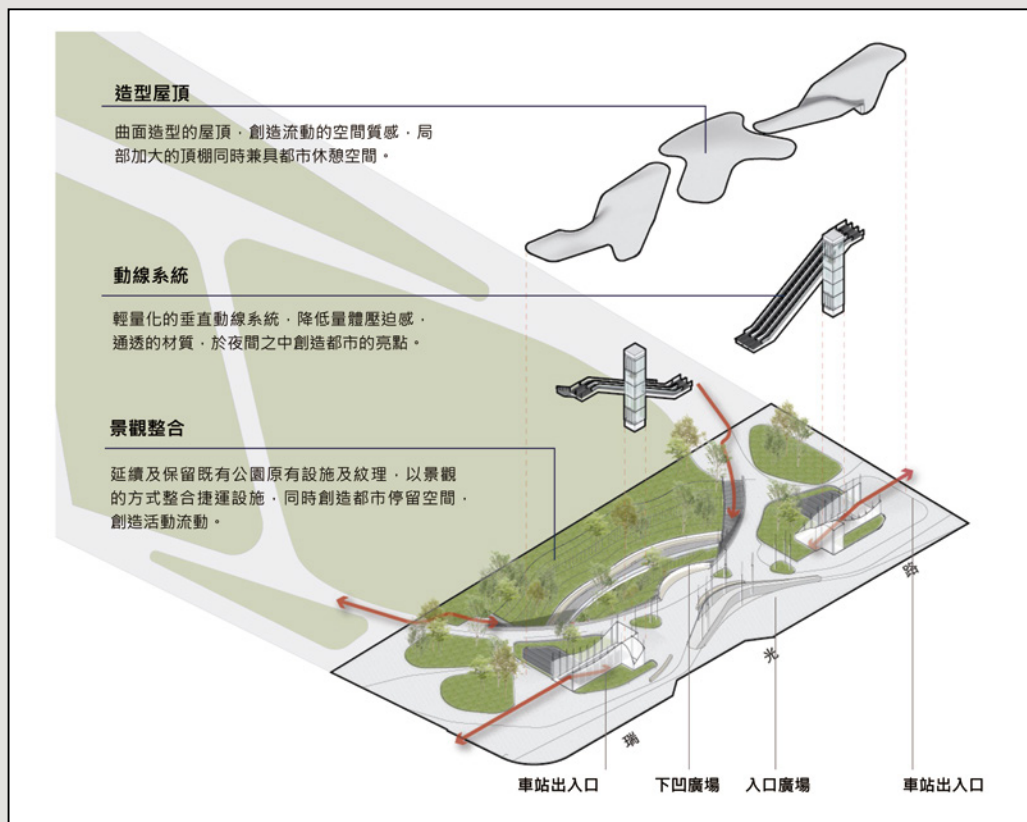


圖11 下凹式廣場的設計元素

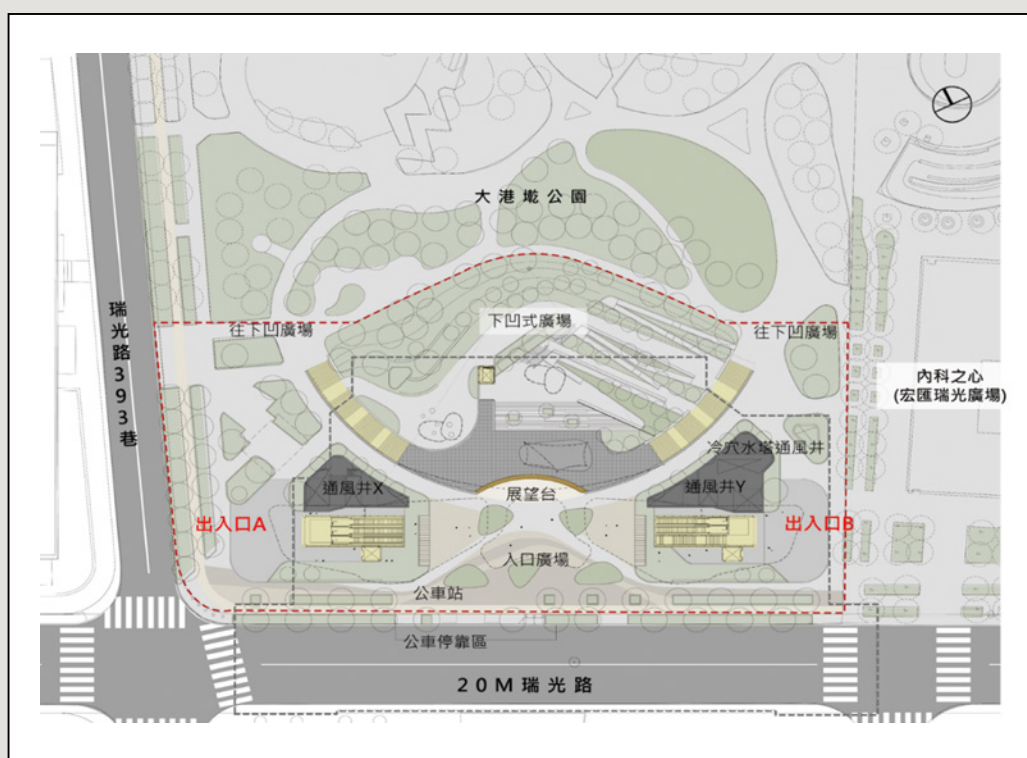


圖12 Y32站全區配置圖



圖13 Y32站全區鳥瞰圖

五、設施減量友善設計、尊重原有都市景觀風貌

通風井採上吹式設計使量體最小化；突出物配合整體建築造型，採圓潤、透明簡潔設計，並與周邊綠帶序列整體搭配設計。出入口以地景式自由造型、連續曲面的屋頂，創造流動的空間質感，屋頂出入口延伸以提供乘客遮蔭、並加大遮雨篷的友善設計，創造了流動且

輕盈的出入口意象與自明性，營造獨特的都市休憩空間。延續及保留既有公園原有設施及紋理，以順接大港墘公園。(如圖14, 15, 16)

六、下凹式廣場-主題式設計

下凹式廣場的設計，將個別設計概念賦予主題式呈現，增添空間趣味。透過不同空間場景設定的導引，讓市民、使用者體驗空間的豐富氛

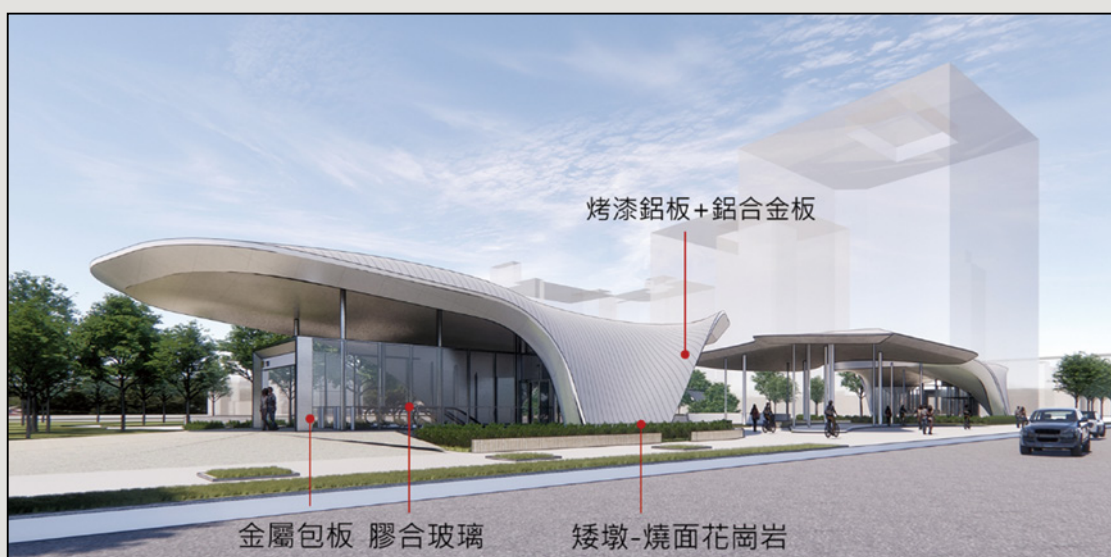


圖14 車站入口廣場-流動的曲線屋頂



圖15 瑞光路側車站入口廣場-屋頂延伸搭配地面景觀，創造市民停留約會的空間



圖16 Y32站出入口廣場大港墘公園側

圍，進而產生共鳴。此外，克服地形限制，設置緩坡、園道及電梯等無障礙設施，提供行動不便者，能輕鬆自公園坡頂到達共樂廣場，達到真正共享、共好的目的。(如圖17)

各主題式空間設計，說明如下：

主題1：陽光綠坡

草坡提供人們休息、放鬆和欣賞周圍環境

的機會。(如圖18)

主題2：光之露臺

創造小型活動的空間，並能提供讓人們俯瞰共樂廣場及造型屋頂的絕佳觀景點。(如圖19)

主題3：林蔭花徑

友善人行坡道，景觀小徑上規劃四季花樹

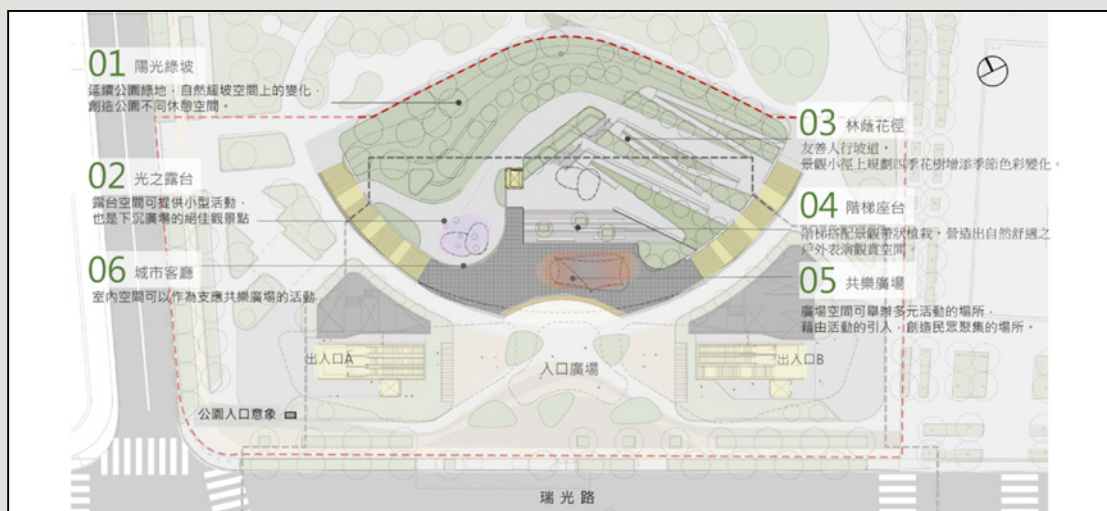


圖17 下凹式廣場設計平面圖



圖18 下凹式廣場-陽光綠坡



圖19 下凹式廣場-光之露台

增添季節色彩變化。(如圖20)

主題4：階梯座台

階梯搭配景觀帶狀灌木，營造出自然舒適之戶外表演觀賞空間。(如圖21)

主題5：都會廣場

廣場空間可舉辦多元活動的場所，並藉由活動的引入，創造民眾聚集的場所。(如圖22)

主題6：城市客廳

(一) 通透的室內空間可作為都會廣場的活動支援空間，挑高的空間可提供商業、展示空間使用。(如圖23)

(二) 地景意象帶入站體內部空間中，在重點區域創造天井光盒回應造型地坪分割，運用科技感在室內空間呈現獨特的樣貌。(如圖24)

(三) 挑高大廳運用弧形堆疊的天花造型與地坪分割，將戶外廣場的地景意象延伸進室內空間；挑空區玻璃帷幕引進自然光線搭配木色系天花，與戶外景觀相互連結呼應。(如圖25)



圖20 下凹式廣場-林蔭小徑



圖21 下凹式廣場-階梯座台



圖22 下凹式廣場-都會廣場



圖23 下凹式廣場-都會廣場與城市客廳



圖24 車站穿堂大廳-1



圖25 車站穿堂大廳-2

結語

在內湖科技園區的中心地帶，以具流動性、科技感的特色建築與公園地景結合，塑造特色的車站，標誌著捷運東環段、內科的中心，這只是Y32特色車站的起點。

每天進出車站的使用者為通勤族和居住在車站周邊社區的居民，他們的共同點在以車站為中心「生活」的所在。塑造一個富有「場所感」的捷運車站，不僅是功能上的需求，更是一種情感與社區歸屬感的表現。內湖科技園區內的捷運車站，應該成為當地居民和通勤族的生活中心，並且激發他們的歸屬感和記憶。因此，Y32站期待能藉由下凹式廣場的陽光綠坡、光之露臺、都會廣場及城市客廳等主題式設計，導入多樣化的活動，提升車站的場所感，創造一個具生活感、凝聚社區的場所，以此賦予車站另一層意義。

場所代表著人們對於周遭空間的認同。如果說建築是硬體，那麼人與活動就是空間的軟體。Y32站未來不僅是一個標誌性建築，更是一

處能喚起人們對於這個城市共同記憶的重要場所。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，(2024)，臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段委託技術服務DF119設計車站建築造型簡報。



參數化設計導入 捷運工程之應用

關鍵詞(Key Words)：參數化設計(Parametric Design)、建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)、Rhino Inside Revit (RIR)、環境模擬(Environmental Simulation)、跨專業協作(Interdisciplinary Collaboration)、視覺化程式設計(Visual Programming)

高雄市政府捷運工程局／總工程司／王彥清 (Wang, Yen-Ching) ①

臺北市政府捷運工程局／土建設計處／處長／呂文儒 (Lu, Wen-Ju) ②

臺北市政府捷運工程局／土建設計處／土木結構課／課長／黃怡超 (Huang, Yi-Chao) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／史訓璋 (Shih, Hsun-wei) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／蕭瑋廷 (Hsiao, Wei-Ting) ⑤

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／馮興亞 (Feng, Hsing-Ya) ⑥

10101101011000101
010110101101011000
01011010

+

CAD

+

Rhino
Grasshopper

+

Revit
rfa

+

BIM Work

摘要

國內捷運工程經過多年發展，已累積豐富經驗並展現顯著成果。隨著科技進步，參數化設計在捷運工程中的應用日益廣泛。本文將探討參數化設計在捷運工程中的應用，如何提高設計效率、促進創新並優化捷運工程。

採用Rhino、Grasshopper、Revit等工具，建立了一個綜合性的工作流程。這種方法不僅能在早期設計階段提供更多設計的可能性，還能在後續工程過程中提供更精確的模型和快速的調整能力。參數化設計與BIM的結合，為捷運工程的設計和管理開闢了新的途徑，提升了設計靈活性、縮短設計周期，並優化了跨專業協作。



Parametric Design Integration in Metro Engineering

Abstract

In Taiwan, the metro engineering sector has accumulated extensive experience and achieved remarkable results over the years. With technological advancements, the application of parametric design in metro engineering has become increasingly widespread. This article explores how the use of parametric design can enhance design efficiency, foster innovation, and optimize metro engineering projects.

The project utilizes tools such as Rhino, Grasshopper, and Revit to establish an integrated workflow. This approach not only offers more design possibilities during the early design stages but also provides more accurate models and rapid adjustment capabilities throughout the subsequent implementation phases. The integration of parametric design with BIM has opened new avenues for metro engineering design and management, significantly enhancing design flexibility, shortening design cycles, and optimizing cross-disciplinary collaboration.

3

專題報導

壹、引言

隨著建築設計技術的持續演進，參數化設計（Parametric Design）和建築資訊模型（BIM：Building Information Model），在複雜的基礎設施營建項目中的應用日益普及。捷運作為集合了多項工程系統的複雜建築類型，其設計過程需要整合大量的資訊和多樣的技術要求；而傳統的設計方法在面對如此複雜的工程時，常常面臨效率和精確度的挑戰。

本文將聚焦於捷運工程中的軟體協作和分工策略，旨在探討如何有效整合各種設計工具特性，探索Rhino和Grasshopper在幾何和參數設計研析方案的應用，以及Revit在建築資訊模型（BIM）方面的功能。通過RIR（Rhino Inside Revit）技術，實現了這些工具之間的整合，使各種軟體能在其專長領域發揮作用，同時應用於各類的參數化模型建立，例如：潛盾機、環片和隧道的建模。

多軟體協作的方法，提高設計靈活性和精確度，為處理複雜幾何形態和大量設計變數，提供新的解決方案。通過自動化設計模組，能減少BIM導入後產生的繁瑣工作，不同軟體的協作處理資訊和三維建模能力，能更好面對捷運工程設計中的各種挑戰，最終促進設計創新和工程效率的提升。不僅提高設計效率，還能為捷運工程創造更多空間，來關注創新性和功能性等核心問題。

貳、參數化設計的導入流程與應用工具

本文透過三個實作案例，漸進式地來闡述參數化設計導入捷運工程中的應用，並累積經驗，來實現捷運工程的參數化設計，主要依靠Rhino、Revit和Python三個核心工具的協同使

用，形成了一個完整的建築資訊模型（BIM）工作流程。每個工具在其專長領域發揮關鍵作用，共同構建一個高效的設計和管理系統，如圖1所示。

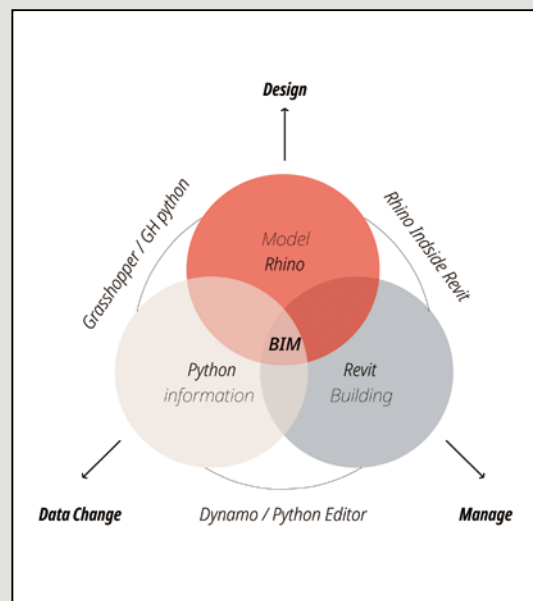


圖1 建築資訊模型（BIM）工作流程

■ Rhino

作為高效的3D建模軟體，主要用於建置參數化設計模型和幾何建模。它能快速建構複雜的模型，通過內部的視覺化程式設計語言（Visual Programming Language）Grasshopper來實現參數化設計，並利用GH Python擴展功能、增強幾何操作的靈活性。在BIM工作流程中，Rhino扮演了「模型」（Model）角色主導設計過程，為後續的BIM模型提供基礎的幾何形態。

■ Revit

作為專業的BIM軟體，主要用於各專業資訊的整合與管理。它能整合建築、結構、機電等各項專業並進行衝突檢測，以確保捷運工程設計的可行性，及管理整個項目資訊，包括：材料、成本等數據。在BIM工作流程中，Revit扮演了「建造」（Building）的角色，負責管理整個項目，

確保各專業之間的協調一致。

■ Python

作為一種高階程式語言，扮演關鍵的橋樑作用。它實現了不同專業軟體間的資料轉換、處理和分析大量的設計數據，並通過自定義腳本呼叫軟體的API（Application Programming Interface：應用程式介面），增強Rhino和Revit的功能。在BIM工作流程中，Python扮演了「資訊」（Information）的角色，負責資訊的傳輸和轉換，確保整個設計過程中，數據的流暢性和一致性。

首先使用Rhino進行前期的參數化設計和幾何建模，再通過Python編寫的腳本，配合協同工具RIR，將幾何資訊轉換為Revit的建築資訊。之後在Revit中進行詳細的BIM建模，包括：添加材料資訊、進行結構機電衝突檢測等；同時，透過RIR將Revit中複雜的資訊模型提取出簡化的幾何模型後，搭配Grasshopper資源豐富的各種套件，進行物理環境、碰撞測試……等分析。

以上建築資訊模型（BIM）工作流程，充分利用每個工具的優勢，形成全面BIM解決方案，能夠處理大量的幾何訊息、多樣的技術要求，以及跨專業的協作需求，從而提高了捷運工程從方案研析、設計到施工的效率 and 準確性。

參、參數化設計導入實作案例

參數化導入捷運工程應用，將透過三個案例做說明：

■ 案例一：壽山動物園纜車案評估

「發現」參數化工具快速分析，並且能夠發展多種設計研擬方案的特性。

■ 案例二：透過參數化流程，輔助地工專業

建立潛盾機及環片模型

將擅長幾何的工具，透過參數化「應用」於東環段地下隧道施工，能夠有效降低重複作業的機率，同時能夠協助建築資訊模型的幾何生成。

■ 案例三：潛盾機元件參數化

協助地工專業應用，利用參數化「延伸」潛盾機元件，進行東環段地下隧道施工上的模擬，透過資訊轉換，擴大模型功能。

一、壽山動物園纜車案評估

由於高雄壽山動物園周邊地勢變化大、基地範圍廣，故研析方案在時程上需要相應的準確性與掌握度。雖以AutoCAD製圖搭配SketchUP建模，或是將AutoCAD底圖導入至Revit進行建模為常規作業方式，然而回顧此種作業方式往往花費相當的時間，中途若還須配合業主進行各種調整時，常導致作業量徒增或甚至無效。因此，本案試圖整合各專業，在傳統研析方案模式下，導入Rhinceros及Grasshopper參數化建模方式，以期在短時間內配合業主不同階段需求，產出完整研析成果。

（一）方案研析步驟

1. 初步判別可落柱位置、檢核用地以及開發須配合辦理事項
 - （1）以輕軌二階專案既有的地形圖規劃路徑，藉由CIVIL 3D匯出KML套匯進「國土測繪圖資服務雲」，以確認可行性。
 - （2）以不同路線研析可行性、進行方案比較，以確認路線。
2. 檢核纜車墩柱設置高度，評估墩柱高度

及基礎形式，確認纜車設計型式，以建置參數模型

(1) 將地形圖匯入RhinoCero。

(2) 將前階段研析出的落柱位置，及纜車

最低高度限制，將文字敘述轉換為Grasshopper的可視化程式語言。

(3) 依照高度限制導入纜車設計參數（如圖2所示），以規劃墩柱及基礎型式。

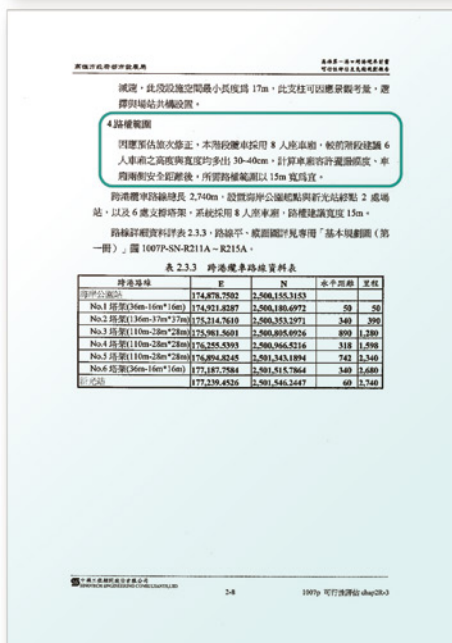
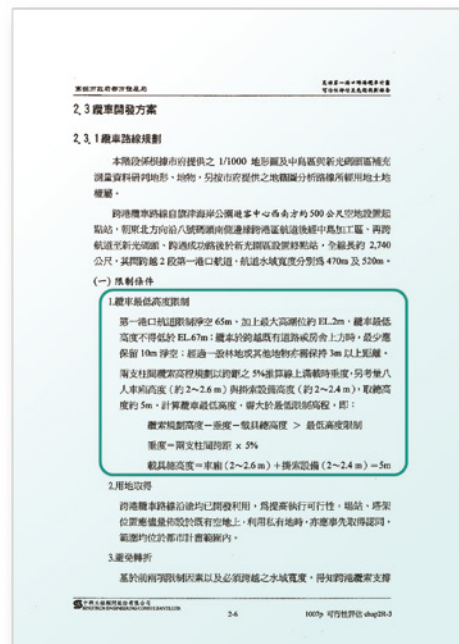
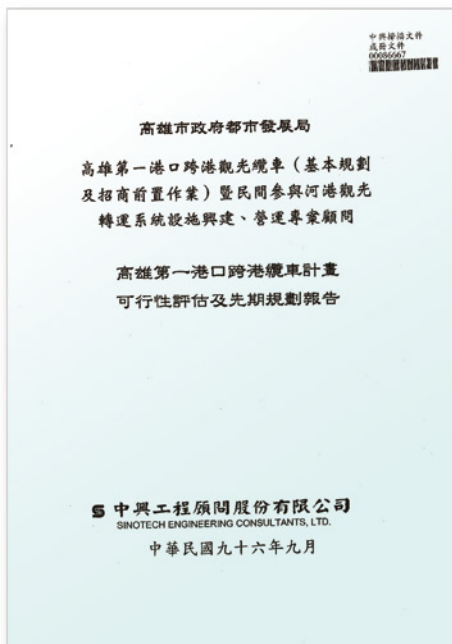


圖2 纜車設計參數

3. 各專業評估

(1) 提出纜車站及路線用地規劃須辦理事項。

(2) 提出整體財務計畫經費分析及開發模式建議。

4. 根據業主需求，快速提出不同方案

(1) 因前階段的模型為參數模型，可以快速的根據業主要求調整，產出不同方案，如圖3所示。

(2) 將路線導入Google Earth Pro檢核剖面高度並可視化，以快速說明方案，如圖4所示。

5. 初步模擬：以空拍機攝影模擬景觀視野，以確認方案，如圖5、6所示。

6. 方案呈現

(1) 纜車站以AutoCAD規劃平面配置+ SketchUP建模 + Photoshop合成之效果

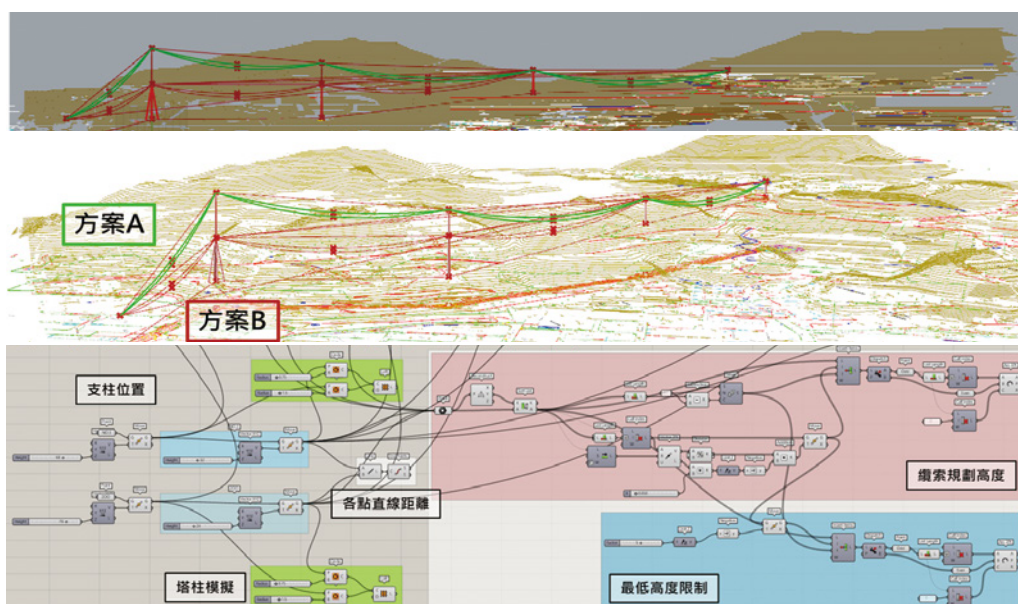


圖3 纜車設計參數建置參數化模型

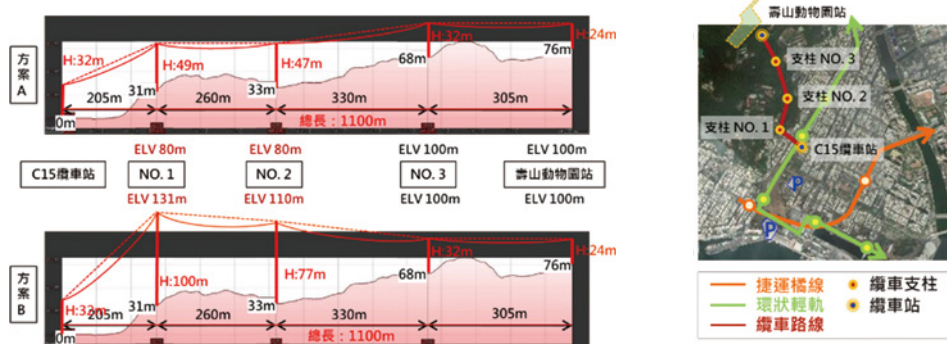


圖4 纜車方案說明



圖5 C15纜車站白天與夜景空拍模擬



圖6 1號塔柱不同高度空拍模擬

圖，如圖7所示。

(2) 塔柱以Rhincero渲染 + Photoshop合成之效果圖，如圖8所示。

(二) 小結

本案藉由Rhino + Grasshopper、Google Earth Pro，以及空拍機攝影，快速呈現不同方案；待業主確認後，再藉由傳統渲染與合成圖片產出成果。未來可應用於方案研析階段，快速產出



圖7 C15纜車站合成圖



圖8 1號塔柱合成圖

可供討論之各式方案，以提供作為業主決策之參考。

二、透過參數化流程，輔助地工專業建立潛盾機與環片模型

捷運隧道工程中，精確的資訊模型有助於提升工程效率。配合DF119標東環段地下隧道施工，模擬特殊潛盾工法的可行性。利用RIR技術流程輔助地工專業，協助建立潛盾機資訊模型元件Revit Family Archive (rfa)，和隧道環片的電腦模型，以實現從參數化設計到BIM模型的無縫轉換。本案利用建模軟體和資訊模型軟體優勢，能精確地完成rfa的建立，包括以下四階段(如圖9所示)：

a. 讀取潛盾機CAD的設計工程圖

- 在Rhino中透過Grasshopper建立參數化的三維模型
- 使用RIR進行資訊轉換，將Rhino模型轉換為rfa
- 在Revit環境中，進行後續的BIM相關工作

(一) 潛盾機參數化模型與rfa元件建立

潛盾機(Tunnel Boring Machine, TBM)作為隧道施工的專業設備，因結構複雜，故對於純粹使用Revit建模要求極高。因此，透過RIR流程的潛盾機建模方法，能有效將擅長幾何造型的Rhino融入BIM的工作流程中。

首先，根據潛盾機的CAD工程圖，了解潛盾機正面圖、側視圖和斷面圖的相關構造，透

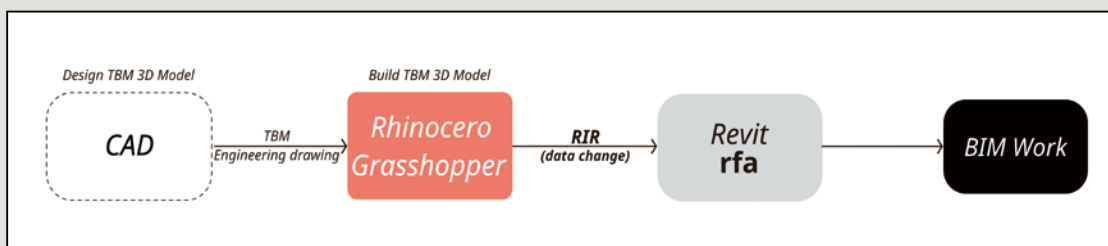


圖9 參數化建立地工專業設備元件流程圖

過Rhino曲線、擠出、旋轉等命令，先放樣圖紙上的尺寸和形狀，繪製出潛盾機各項零件的基本幾何模型，例如：刀盤的結構、外殼大小…等尺寸，以確保模型的準確性，如圖10所示。

接著，使用Grasshopper建立潛盾機的參數化模型，將Rhino中的基本幾何模型，轉化為動態的參數化模型，為潛盾機的各項尺寸和形狀建立參數控制，例如：控制刀盤直徑、機身長

度…等各項參數，使得模型能夠根據不同的工程需求快速調整，並產出相對應的潛盾機三維模型，提高了捷運工程的靈活性和效率，如圖11所示。

有了可調式的潛盾機參數模型之後，通過RIR將Rhino/Grasshopper的模型轉換為rfa。這個過程需要仔細處理潛盾機幾何形狀的轉換，

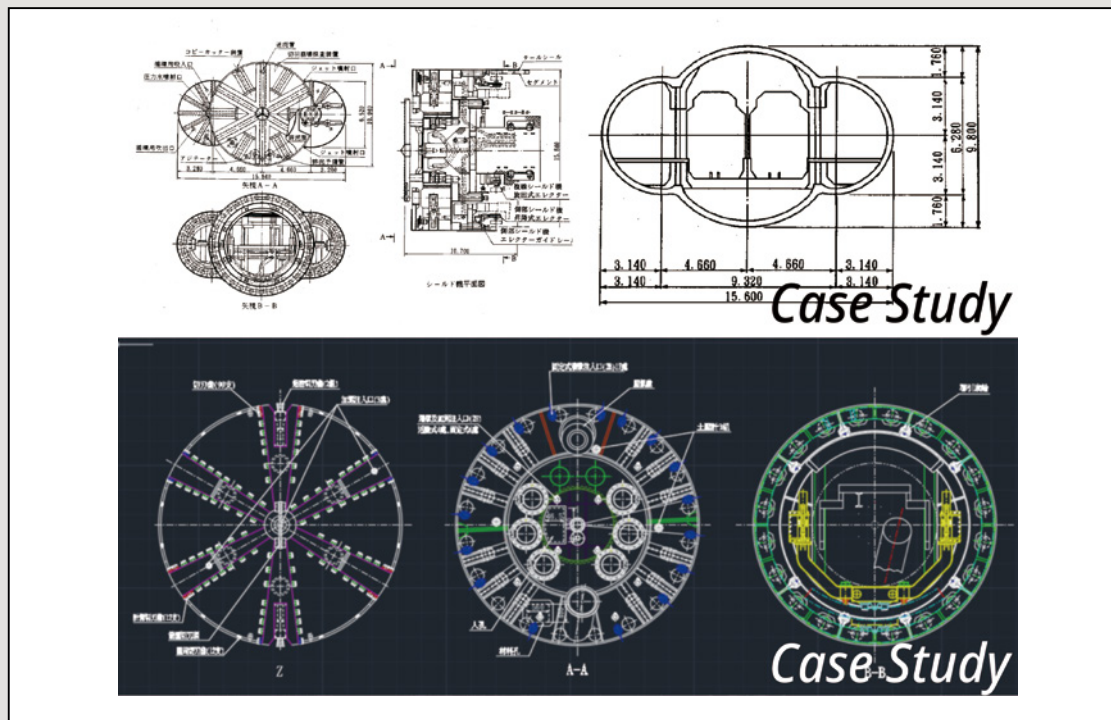


圖10 潛盾機相關資料與工程圖面

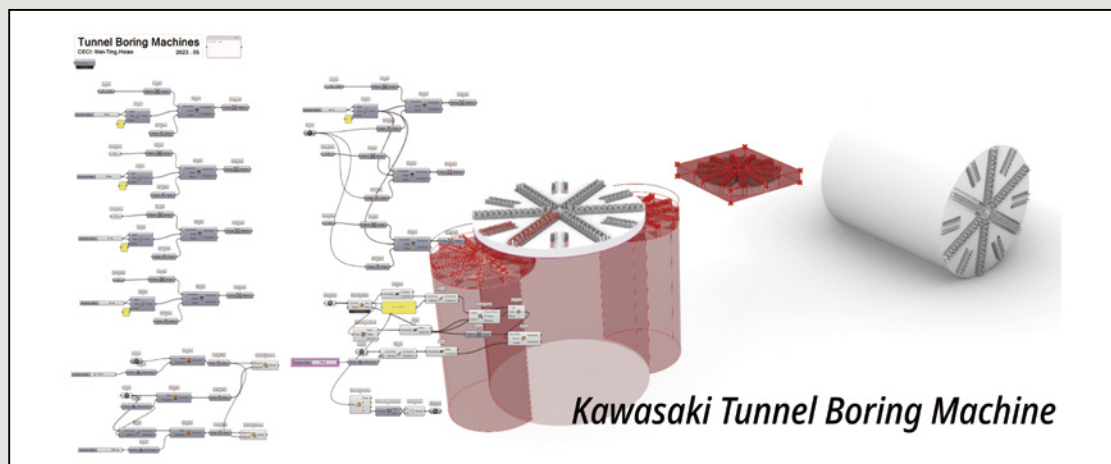


圖11 潛盾機參數化模型建立

確保模型在轉換過程中不丟失精度和細緻型，同時添加必要的Revit參數，使得潛盾機元件在Revit環境中能夠被正確讀取。通過這種工作流程，成功為DF119標東環段捷運工程建立了高度靈活、可調式的潛盾機參數模型與rfa，提高了建模效率，並為後續的工程分析、施工模擬和各專業協調，提供了方便的資訊模型基礎，如圖12所示。

(二) 隧道環片參數化模型設計

隧道環片是構成隧道結構的關鍵構造，其設計直接影響隧道的穩定性和施工效率。本案為配合DF119標東環段地下隧道施工中，特殊的

三心圓潛盾機挖掘，而研析三心圓隧道環片之參數化建模方法。

首先，在Rhino中建立環片的基本幾何形狀，包括：環片外輪廓曲線、內輪廓曲線、縱向剖面等。使用Grasshopper，將基本幾何形狀動態參數化，來定義環片幾何控制參數，包括：環片內徑、外徑、厚度、寬度、樺槽尺寸等，通過這些參數不僅可以靈活調整單個環片的形狀和尺寸，還可以根據軌道線型自動生成完整的隧道段模型，提升複雜隧道段的設計效率，如圖13所示。

參數化輔助環片的設計，可透過調整

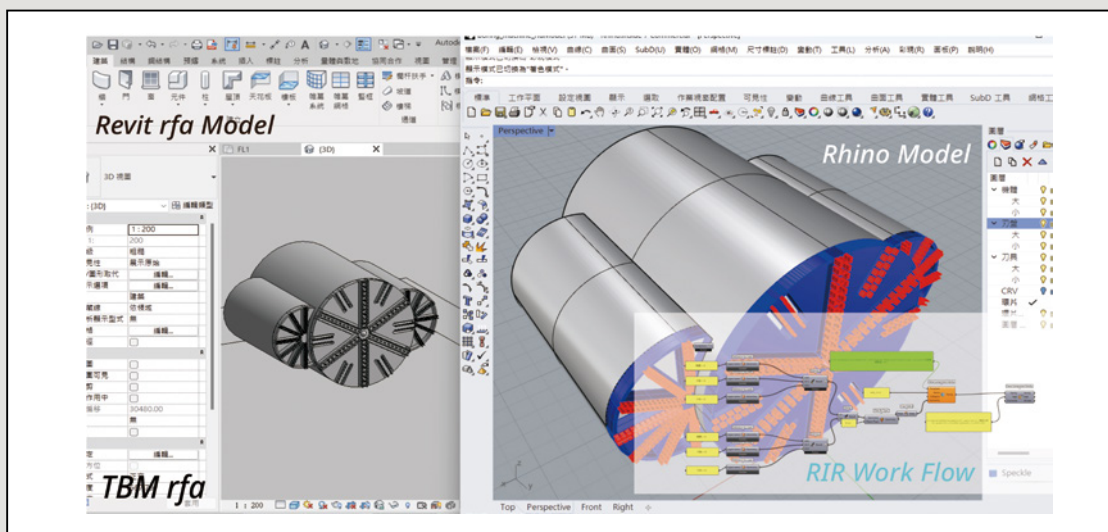


圖12 使用RIR流程構建潛盾機rfa

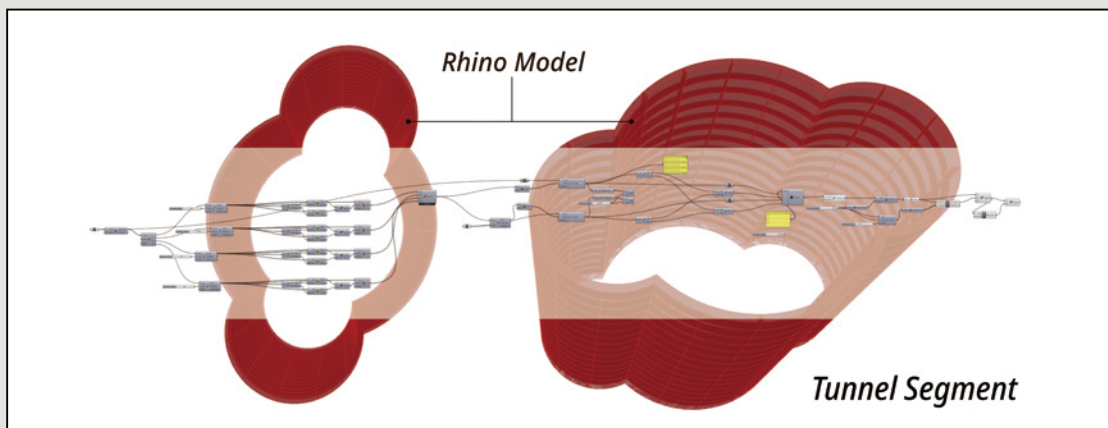


圖13 建立三心圓隧道環片參數化模型

Grasshopper中的參數，即時看到環片模型的變化，協助地工工程師快速評估不同的隧道方案，觀察各種參數變化對整體隧道結構的影響，例如：調整環片的厚度來應對不同的地質條件，或者改變樁槽的設計，以提高環片之間的連接強度等，快速回應施工過程中，可能出現的變化和挑戰。

同時，透過RIR將環片模型轉換為rfa，除可確保環片的幾何造型外，並添加了Revit的材料屬性、重量計算等資訊，這使得環片模型，不僅現階段可以用於可視化的預覽和幾何設計，未來還能夠支持後續的結構分析、材料估算及施工模擬等相關隧道工作。

(三) 小結

透過本案，參數化設計的工作流程不僅顯著提高了建模的效率和精度，未來可以進一步探索此方法在其他複雜工程結構中的應用潛力，以及與其他先進技術如：人工智慧、擴增與虛擬實境等結合可能性。

三、潛盾機元件參數化協助地工專業應用

本案延續前節配合DF119標東環段地下隧道施工，採用了一種輕量化的模擬方法，來實現潛盾機元件參數化應用，主要採用：Rhino、Grasshopper（GH）和RIR三種工具，包括三個階段(如圖14)：

- 使用RIR將潛盾機rfa元件導出至Rhino環境
- 在Rhino中進行進階模擬和測試
- 利用Grasshopper實現更高效率的參數控制和動態模擬

此方法協助大地工程師在Rhino環境中，進行更為便利的測試和模擬，同時不增加Revit裡BIM模型的複雜性。

(一) 潛盾機與基地環境、捷運站體整合模擬

將潛盾機rfa導入Rhino環境，並與基地環境和站體設計進行整合。主要優勢在於操作模型上的靈活性，可以輕鬆將潛盾機模型與建築師事務所提供的站體設計、周邊環境進行結合，避免了在Revit中處理大型環境模型，可能帶來的性能問題和不必要的建築資訊輸入；同時，提供更直觀的視覺效果，有助於早期發現潛在問題。利用Grasshopper進行參數化調整，可協助潛盾機與施工環境的協調，例如：模擬潛盾機挖掘捷運路線，是否有著潛在的空間衝突和施工挑戰，為後續設計和施工決策提供重要考量依據，如圖15所示。

(二) 潛盾機挖掘隧道模擬

利用Rhino和Grasshopper的參數功能，能對潛盾機在隧道中的運動進行視覺化模擬，這種方法允許我們進行在Revit中難以實現的複雜測試，如圖16所示。

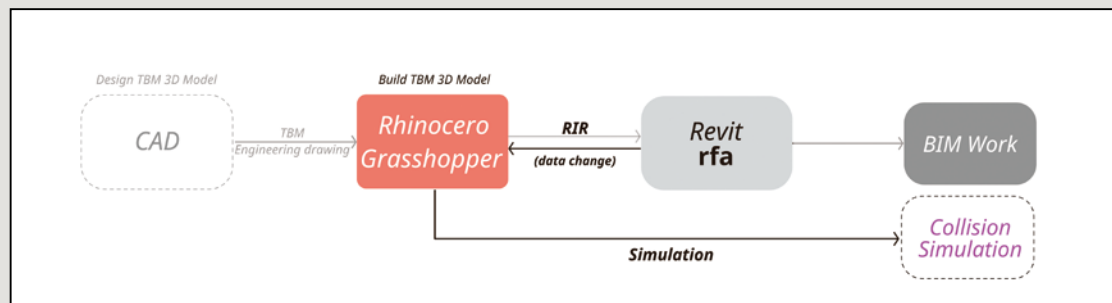


圖14 輕量化模擬潛盾機相關工作流程

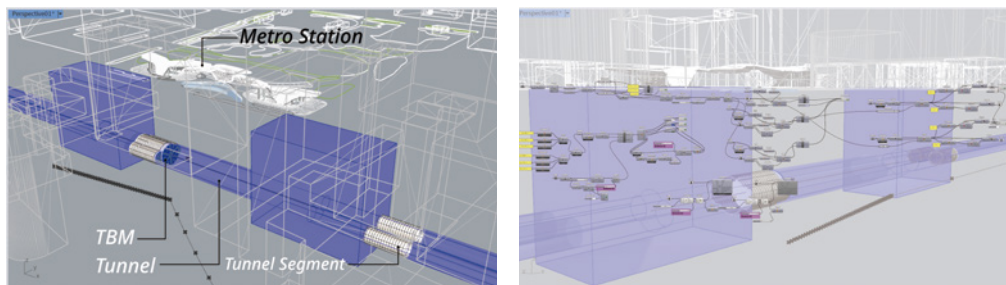


圖 15 潛盾機與基地環境、捷運站體整合模擬

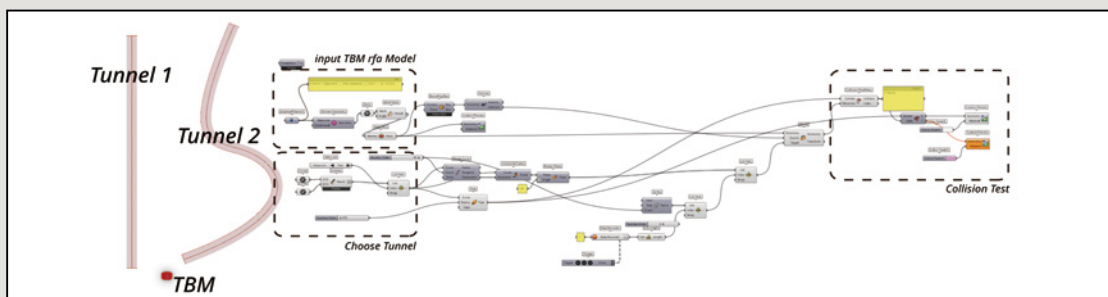


圖 16 潛盾機挖掘隧道參數化模擬

主要步驟：

1. 將潛盾機rfa導入Rhino環境
2. 使用Grasshopper創建各項隧道測試路徑模型
3. 使用Grasshopper電池來模擬潛盾機的運動和隧道之間的碰撞測試

此模擬方法可迅速模擬各種複雜的隧道路徑，即時顯示潛盾機是否超出隧道設計限制，並有助於在實際施工前評估各種潛在問題。藉由Grasshopper定義的碰撞檢測，協助大地工程師透過顏色變化，即時察覺潛盾機是否超出設計彎矩限制，對於隧道設計和施工安全具有重要意義，如圖17所示。

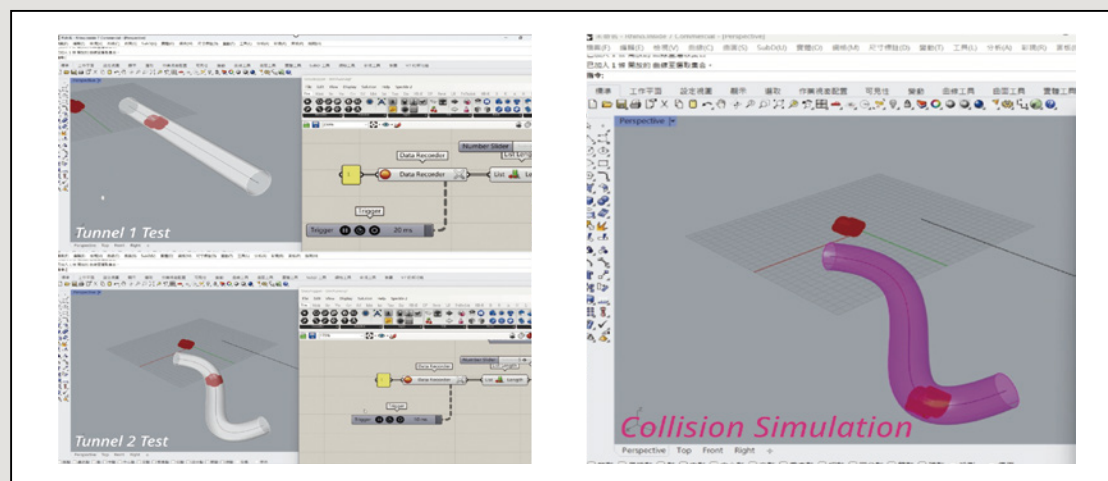


圖 17 參數化碰撞檢測系統

(三) 小結

將Revit、Rhino和Grasshopper結合，能夠快速調整和測試不同的隧道設計方案，並且解決單一使用Revit難以完成的複雜動態模擬。通過RIR的流程，能減少不同軟體間建築資訊轉換需求。使用動態視覺化的呈現，能夠讓捷運工程在早期階段識別和解決潛在問題，並且在跨專業協作部分，為不同專業背景同仁提供了更直觀的交流模式。

結論

參數化設計與BIM結合，為捷運工程設計和管理開闢了新的途徑，能夠在早期設計提供更多可能性，還能在後續的工程實施提供精確的模型和更靈活的調整能力。這種整合工作流程能讓各軟體憑藉自身專業進行分工，從而完成BIM模型，對於提高捷運工程的整體品質和效率具有重要意義。

未來參數化設計可在捷運工程應用中進一步深化，可能的發展方向包括：

- 結合工程資訊與環境模擬技術，輔助捷運工程在設計與施工階段做更準確的評估與優化。
- 虛擬實境（VR）和增強實境（AR）技術與參數化設計結合，為捷運站體的設計評估和公眾參與帶來新的可能性。在虛擬環境中即時體驗和評估不同的設計方案，促進更好的決策制定。
- 參數化設計會進一步擴展到捷運工程其他領域，例如：軌道線型優化、機電系統（MEP）設計等，為捷運系統效能提升提供新的工具和方法。

參數化設計為捷運工程帶來了新的視角和工具，將持續推動向更智能、更高效、更可持續的方向發展。然而，要充分發揮參數化設計的潛力，仍需要各專業持續努力和創新。未來的實作中，可以進一步探索參數化設計與其他新興技術的結合，以及如何將這些創新方法更好地融入到實際的工程實踐中，為建設更優質捷運交通建設做出貢獻。





3

專題報導

臺北捷運環狀線東環段DF119設計標之重大管線調查、衝突檢核與3D BIM模型建置

關鍵詞(Key Words)：重大管線調查(Major Utility Investigation)、衝突檢核(Conflict Detection)

臺北市政府捷運工程局／土建設計處／處長／呂文儒 (Lu, Wen-Ju) ❶

臺北市政府捷運工程局／土建設計處／課長／黃怡超 (Huang, Yi-Chao) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／正工程師／楊家豪 (Yang, Chia-Hao) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／正工程師／余詩敏 (Yu, Shih-Min) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水環部／工程師／黃資庭 (Huang, Tzu-Tin) ❺



摘要

都會區地下潛盾隧道工程主要會沿著既有道路佈設，而地下管線已配合都市發展過程中建置完成，後期的都會區捷運工程路線無可避免的會與部分地下管線衝突。以往利用AutoCAD的平縱面將地下管線與車站、隧道相對關係套繪，無立體概念。本文利用BIM建置(Building Information Modeling，建築資訊模型)建置3D管線位置，檢核車站及隧道位置的衝突情況，同時加入人孔結構體及其臨時擋土設施，以臺北都會區捷運系統環狀線東環段DF119標為例，說明管線及人孔建置步驟與車站隧道檢核結果。



Major Utility Investigation, Conflict Detection, and 3D BIM Modeling for the Taipei Metro Circular Line East Section DF119 Design Contract

Abstract

The construction of shield tunnels in metropolitan areas is predominantly aligned along existing road networks, where underground utilities have been progressively installed to accommodate urban development. Consequently, conflicts between new metro infrastructure and pre-existing pipelines are often unavoidable. In conventional practices, the spatial relationships between underground utilities, stations, and tunnels were mapped using AutoCAD's 2D plan and profile views, which inherently lacked a three-dimensional perspective. This study employs Building Information Modeling (BIM) to establish a 3D representation of pipeline networks, facilitating the identification and analysis of potential conflicts with metro stations and tunnels. Additionally, the modeling incorporates manhole structures and temporary retaining systems. Using the Taipei Metro Circular Line's Eastern Section as a case study, this project outlines the procedures for modeling pipelines and manholes, followed by a comprehensive conflict analysis between these utilities and the proposed station and tunnel alignments.

3

專題報導

壹、前言

捷運工程建設過程中，管線衝突檢討是確保工程順利進行的重要步驟。捷運建設一般位於市區道路下方且涉及複雜的地下管線，包含雨水箱涵、污水幹管、台電特高壓、共同管道、油管及電信等多種管線。這些管線的存在可能與捷運工程的施工範圍發生衝突進而影響工程進度和施工安全，因此管線衝突檢討為工程設計的重要一環。本文以臺北都會區捷運系統環狀線東環段DF119標(以下簡稱臺北捷運東環段DF119標)之舊宗路段為例，說明舊宗路段重大管線的調查與3D BIM模型建置的流程、配合3D可視化模型，可以同步檢核管線資料的正確性與合理性，並且可以有效進行跨專業的管線遷移及保護設計與協調整合工作。

一、臺北捷運東環段DF119標工程說明

臺北捷運東環段DF119標路線自環狀線北環段Y29站尾軌起由敬業三路轉樂群二路，於濱江國中附近敬業四路設置Y30站；後沿樂群二路穿越台電內湖服務所及洲子一號公園轉瑞光路，近洲子二號公園設置Y31站；沿瑞光路直行至大港墘公園設置Y32站；後續沿瑞光路轉瑞光公園內設置Y33站，上下行隧道分別由舊宗路二段171巷及瑞湖街178巷轉至舊宗路二段，穿越國道一號後於民權東路六段11巷設置Y34站；後穿越民權大橋下方，沿舊宗路一段與新湖一路街口附近設置Y35站及環狀線東機廠。計畫路線

全長4.75公里，共設置6座地下車站及1座地下機廠，計畫位置詳圖1。

二、臺北捷運東環段DF119標舊宗路段周邊管線

舊宗路一、二段屬於民國83年「新社區(基隆河截彎取直)共同管道工程」之新建道路，道路下方設有雨水管涵、污水幹管(下游匯入內湖污水處理廠)、共同管道(電信幹管與共同管溝)及其分岐部、台電特高壓管線(161KV)及弱電等管線，排列錯綜複雜。由於地下管線埋設時均配合基隆河截彎取直工程一起施工，各種類管線埋設的空間均有配合調整，互不影響。

臺北捷運東環段DF119標捷運工程是以潛盾隧道方式設置，車站及隧道的位置與高程相對於既有管線是否有衝突，在設計階段管線衝突檢討就變得極為重要。本案利用BIM(Building Information Modeling，建築資訊模型)建置3D管線位置，進行管線與捷運設施之衝突檢討及整合設計。管線衝突檢核相關作業程序將於後續章節內容說明。

貳、設計階段管線調查

一、管線資料蒐集

捷運工程管線衝突檢討是保障工程順利推



圖1 臺北捷運環狀線東環段DF119路線圖

進及施工安全性之重要環節。經由確實地管線調查、詳細地衝突檢討和有效地設計方案可以降低施工危險性，以順利完成捷運系統建設。

管線資料調查首要之務為蒐集各類地下管線之種類、大小、位置、埋設深度及佈設路徑。蒐集方式可分為下列幾種

(一) 竣工圖資料查閱

經由縣市政府所提供之相關管線竣工圖資、施工紀錄，瞭解現有地下管線的基本資料。竣工資料包含臨時擋土設施、結構體尺寸、位置及埋設深度。

(二) 現場調查

進行實地勘查方式包含透地雷達、聲波探測、人孔開孔及管線試挖等，依據調查結果繪製管線斷面圖及人孔展開圖。管線斷面圖上標示管線深度、種類、大小、佈設位置及埋設

深度；人孔展開圖也會標示埋設深度、人孔大小、尺寸及牆上開孔大小，詳圖2及圖3。

(三) 公開管線網站系統及數位資料下載

道路下方管線種類眾多，協調不易，管線遷移及埋設時常無法配合新建工程施作，為此內政部營建署成立公共設施管線資料庫，供各縣市政府使用，同時也作為各縣市政府推動管線資料庫之參考。本案位於臺北市境內，管線資料可線上直接查詢臺北市地下管線3D-GIS平台、臺北市道路挖掘管理系統、臺北市雨水下水道資訊管理系統等取得管線資料，尚有臺北市資料大平臺可下載管線資料以利套繪至CIVIL3D或BIM系統內進行管線衝突檢核作業。

二、確認管線資料正確性

考量管線埋設時間大多已超過10~20年以上，且依照時的技術(手繪造成圖面不清楚等)，管線資料的建置不一定準確，故管線資料正確

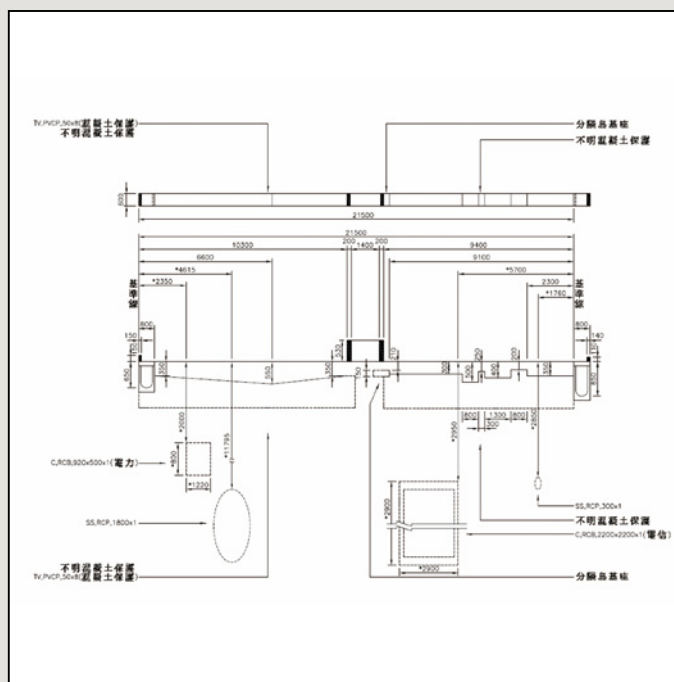


圖2 臺北捷運環狀線東環段DF119標-管線試挖斷面圖

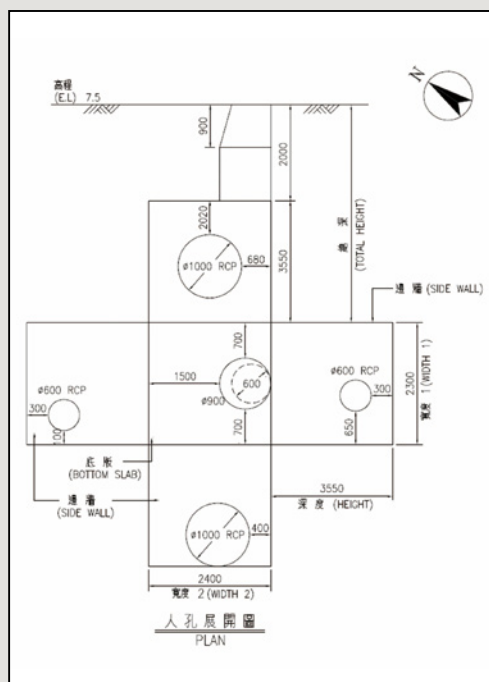


圖3 臺北捷運環狀線東環段DF119標-雨水人孔展開圖

性對於工程設計及工程施工可行性有很大的影響。以舊宗路與新湖三路的污水管(D=1000mm)為例，政府提供的地理資訊系統，該管線高程上下游高程一致，但竣工圖上下游高程不同，應屬較合理。

因此一般取得管線圖資後將相關資訊套繪在CIVIL3D系統內再與公開之管線網站資訊、管線試挖及人孔開孔結果進行比對，採用結構物最大化、最深埋設深度等保守值做為工程設計依據及施工可行性的評估。

參、管線衝突檢討

在進行管線衝突檢討時，BIM是一種強大且有效的技術工具，通過創建建築和基礎設施的三維模型，將設計、施工和運營階段的數據整合在一個平台上，提供更高的視覺化和協作性。BIM在全球基礎設施工程已廣泛應用，特別是建築工程及大型、複雜專案，但在管線設計及衝突檢討中的應用相對較新，近年應用日益增多，已逐漸成為管線衝突檢核的重要工具。

一、BIM建立管線模型

(一) 管線自動化建置

臺北捷運東環段DF119標捷運工程結構體包含車站及隧道，其中車站屬於建築工程，故車站站體使用的BIM軟體將採一般建築工程的方式進行。但整體捷運工程除了車站站體設計之外尚須與既有地下結構物進行衝突檢討，故捷運工程具有更多的界面複雜的特性。為此，管線衝突檢討不同於一般建築工程，必須依據管線特性撰寫輔助程式，藉由輔助程式將數據整理及自動建置，以達到有效的界面整合。數據整理及自動建置作業程序說明如下。

1. 將所蒐集的各類管線座標數據彙整至Excel表格中，並依照管線形式分成圓形管、矩形管及人手孔。
2. 運用Dynamo程式，將Excel中的數據自動生成相應的三維管線模型，詳圖4。
3. 三維管線模型建立後，套匯車站模型，進行管線衝突檢討，詳圖5、圖6。
4. 配合內政部國土管理署公布之公共設施管線資料庫標準制度，針對8大類不同管線系統進行分色標記，詳表1。

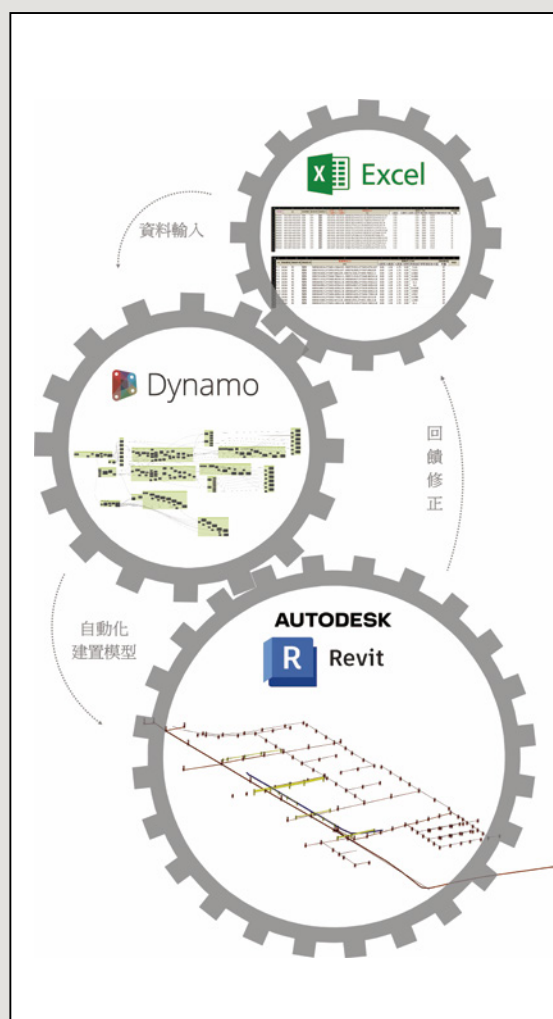


圖4 管線模型自動化建置流程圖

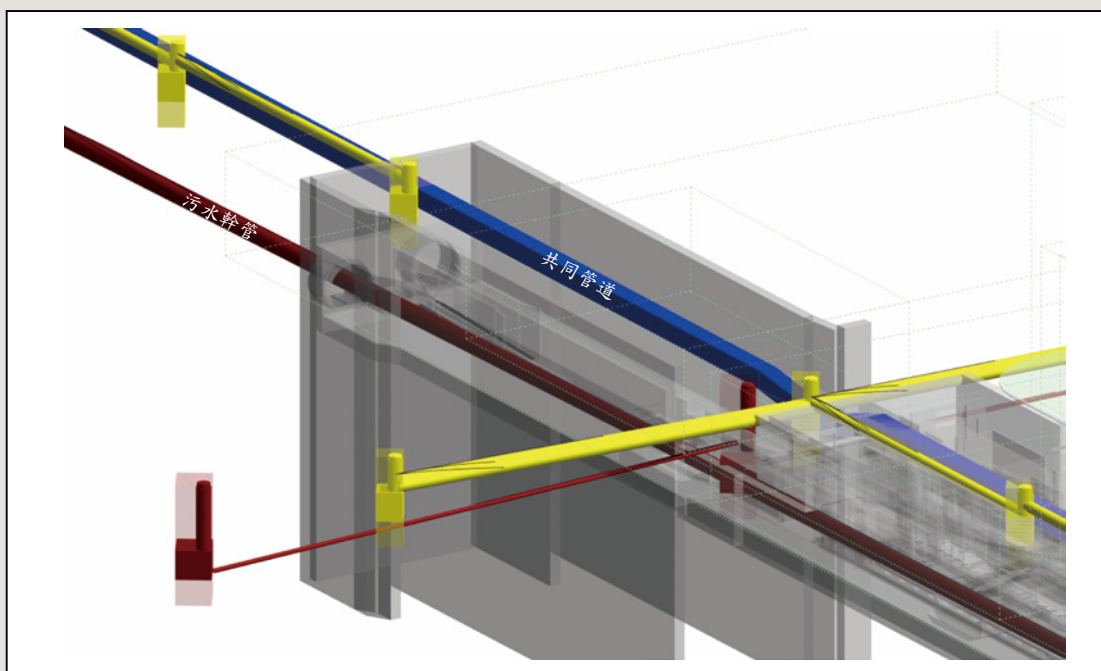


圖5 既有共同管道管及污水管與車站模型衝突檢討圖

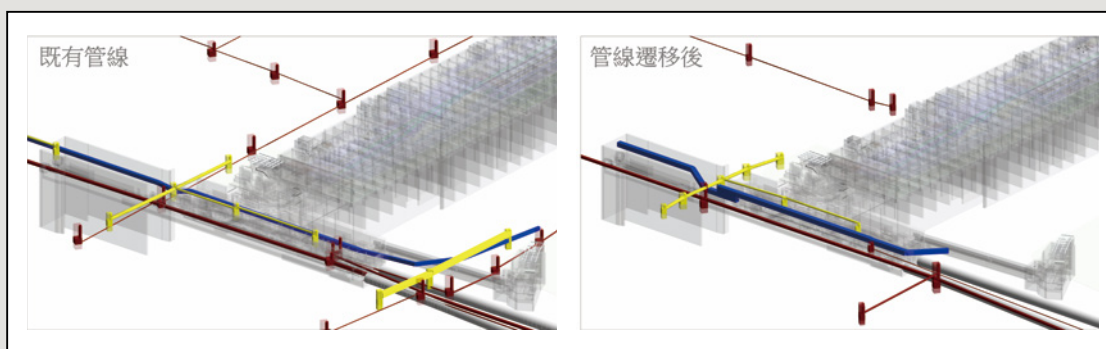


圖6 既有管線模型與遷移後之整合模型圖

表1 各管線之代表顏色

管線	顏色	顏色組成		
		紅	綠	藍
電信	綠色	0	255	0
電力	橘紅色	255	127	0
自來水	水藍色	0	255	255
下水道	棕色	127	0	0
瓦斯	紅色	255	0	0
水利	黃色	255	255	0
輸油	洋紅色	255	0	255
綜合	暗藍色	0	0	255

參考資料來源：中華民國內政部國土管理署，公共設施管線資料庫標準制度

(二) 人孔構造物影響範圍

一般管線設計在固定距離或特殊部會設置人孔作為後續維護的一項設施，如雨水箱涵每100~150公尺必須設置一座人孔，共同管道每200公尺會設置一座維修人孔，方便人員進入維護。目前可利用BIM技術建立了人孔的三維模型，並基於此模型進行地下工程的施工影響範圍檢討，如施工設備進出困難、周圍管線的衝突等問題。

以捷運工程為例，潛盾隧道最怕遇到污水人孔及其當時施作所遺留下的臨時擋土設施。一般污水主幹管的大型人孔施作過程中會施作臨時擋土設施避免開挖過程中工區坍方，完工後則將擋土設施遺留在原地無移除，但竣工圖卻不會呈現臨時擋土設施詳細的尺寸及深度，使得這些臨時擋土設施變成地下障礙物。

新建潛盾隧道工程若經過此區，透過前述資料蒐集，往往僅會得到人孔結構體尺寸、大

小及位置等資料，臨時擋土設施的尺寸及深度無法得知，為避免在潛盾隧道施工過程中與既有人孔的臨時擋土設施衝突，因此在BIM建置人孔模型時，從人孔底部增加適當深度作為影響範圍如圖7所示，人孔周邊的淡紅色矩形外框即為人孔的臨時設施影響範圍。目的是要讓潛盾隧道在設計階段可先調整位置及高程避開這些地下障礙物。

二、管線衝突樣態

進行管線衝突檢核時可利用3D BIM模型導出平立面圖，檢核各管線與捷運設施之關聯位置，並於整合會議時進行跨專業的介面協調，研擬有效的遷建方案。以下茲將管線衝突樣態分為重疊衝突、淨距不足等兩種情況進行說明。

(一) 重疊衝突

地下管線與捷運設施平面位置衝突則可定義為重疊衝突。以圖8為例，此位置為臺北捷

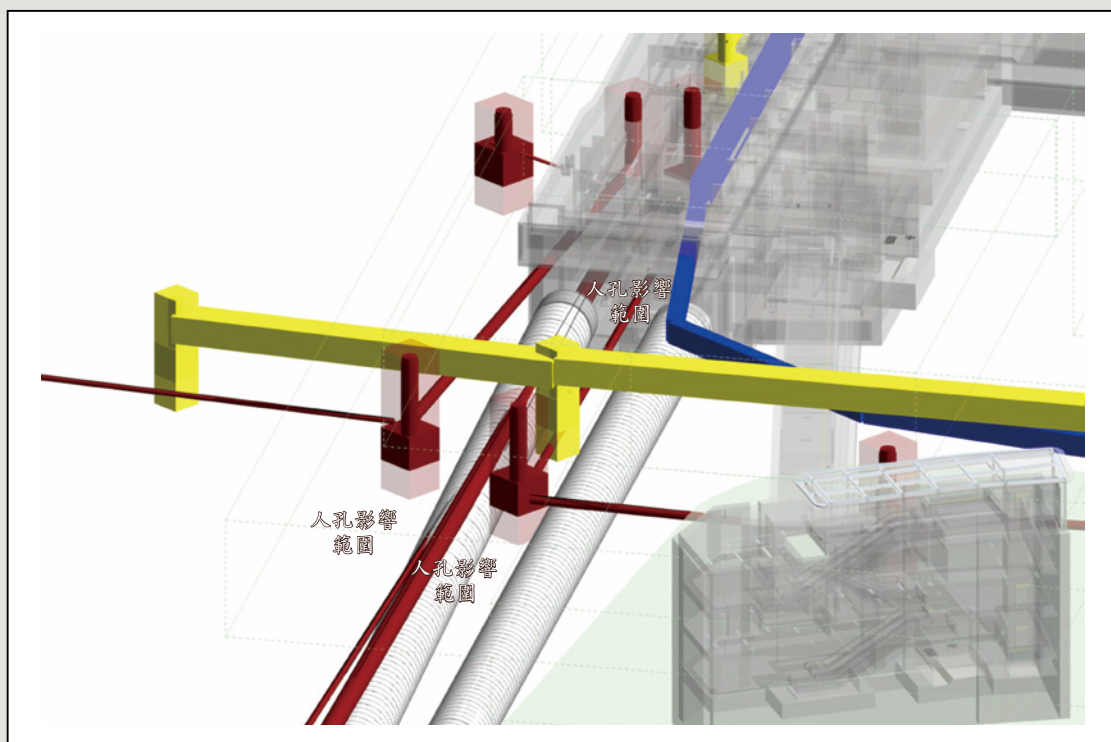


圖7 人孔影響範圍衝突檢討圖



圖8 臺北捷運東環段DF119標管線與車站平面位置衝突

運東環段DF119標Y30車站套繪既有雨水管，檢視後發現雨水管線與車站位置衝突，同時也影響到車站連續壁施工，故表示車站施工空間不足。處理對策則將雨水管線，採先建後拆方式臨時遷移至工區外，完工後再於原位置復舊。若管線設施與捷運設施衝突且工區外無足夠空間，無法採先建後拆方式處理時如大型管線(污水管、共同管道、台電特高壓管線等)，則可選擇調整車站配置，例如調整車站與隧道高程或規劃管道間將既有管線包覆，另一種則是將管線永久遷移至捷運設施外。詳圖9所示。

(二) 淨距不足

捷運永久設施之間距均依照「大眾捷運系統兩側禁建限建辦法」第六條規定：「潛盾隧道之禁建範圍為捷運隧道環片外緣起算，向外1公尺以內環繞之區域；山岳隧道之禁建範圍為自開挖面外緣起算，向外延伸1倍最大內空寬度所形成之八邊形區域。」，潛盾隧道若與既有管線衝突，採取方式有兩種，一為調整隧道線形位置，二為管線遷移，其中以調整隧道線形位置為優先處理方式。除此之外尚須考慮捷運工程施工

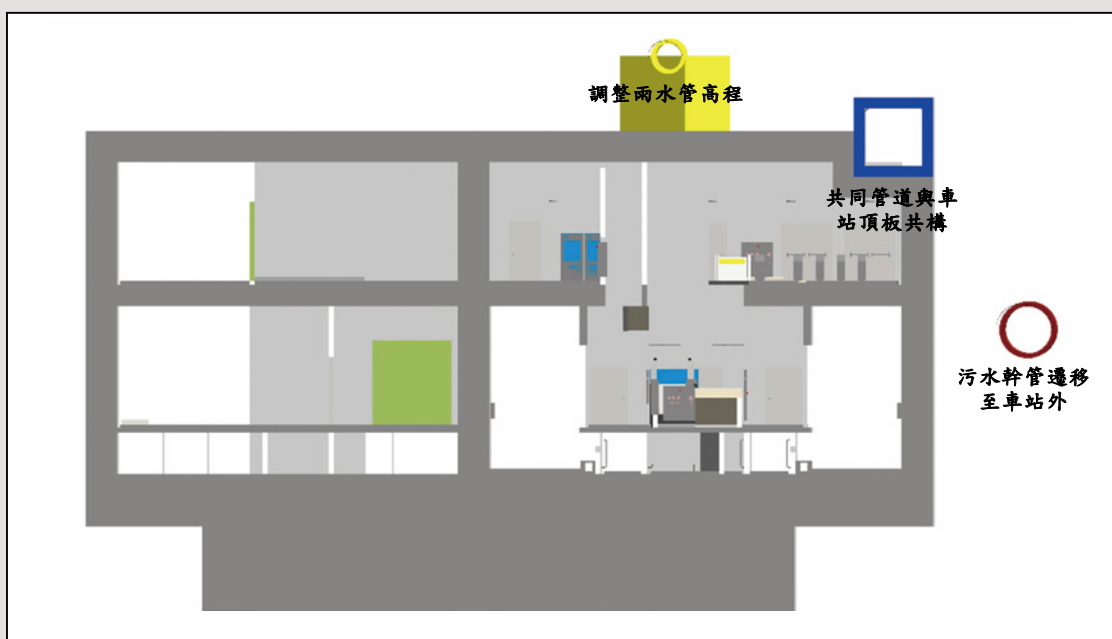


圖9 臺北捷運東環段DF119標管線遷移至車站外並調整車站配置

與受保護之管線的相對空間是否足夠，若發現施工空間不足或無法施工，則表示工程不可行，故需調整工程設計，以確保施工順利。

三、案例說明

以臺北捷運東環段DF119標之Y34~Y35站與東機廠為例，將管線資料與車站、隧道透過BIM系統的套繪，可以直觀的瞭解捷運設施與各管線位置之相對關係。車站、潛盾隧道及東機廠與管線衝突的路段，詳圖10-圖11，說明如下。

- (一) Y34~Y35站隧道位置與舊宗路一段污水幹管有重疊衝突，包含舊宗路污水幹管(D=1800mm)及民權東路六段污水幹管(D=1200mm)與潛盾隧道平面位置及高程完全衝突。
- (二) Y35站站體與雨水管、共同管道及污水管重疊衝突。

(三) 袋式儲車軌受到既有電信洞道的影響，施工空間不足。

(四) 東機廠頂板結構與台電特高壓161KV位置重疊衝突。

臺北捷運東環段DF119標之計畫路段Y34~Y35站與東機廠經由管線衝突檢核後，提出下列解決方案。

- (一) Y34~Y35站潛盾隧道段將有衝突的污水幹管遷移至捷運車站及隧道範圍外，原接入之既有污水用戶管網則一併配合管遷至其他道路上，避開捷運設施，詳圖12。
- (二) Y35站站體頂板與電信洞道共構且調整其平面位置，雨水管因屬於該設施的起始點，無任何橫向連接管接入，故施工階段將既有雨水管廢除，完工後調整雨水管高程，避開捷運設施，詳圖13。

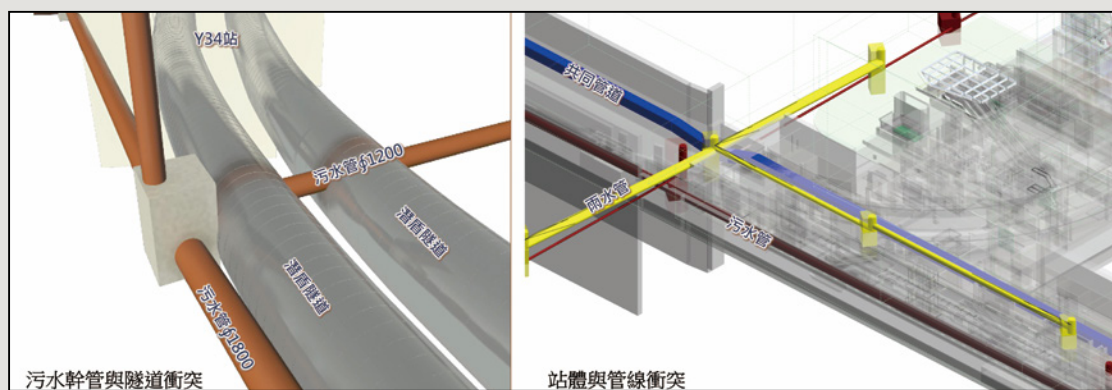


圖10 臺北捷運東環段DF119標管線與潛盾隧道及車站衝突檢核

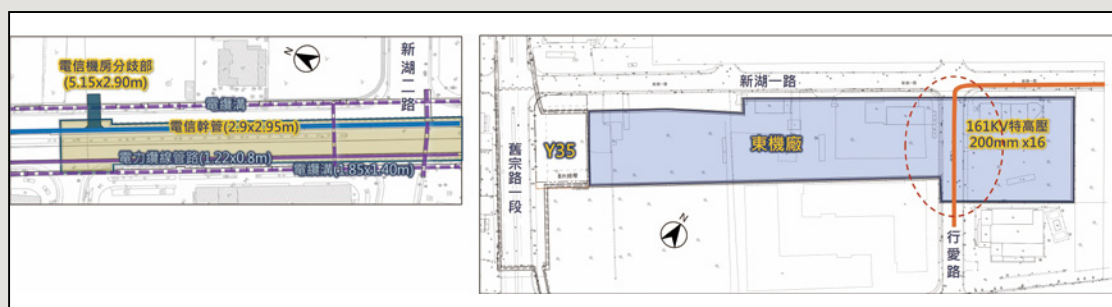


圖11 臺北捷運東環段DF119標管線與袋式儲車軌及東機廠衝突檢核

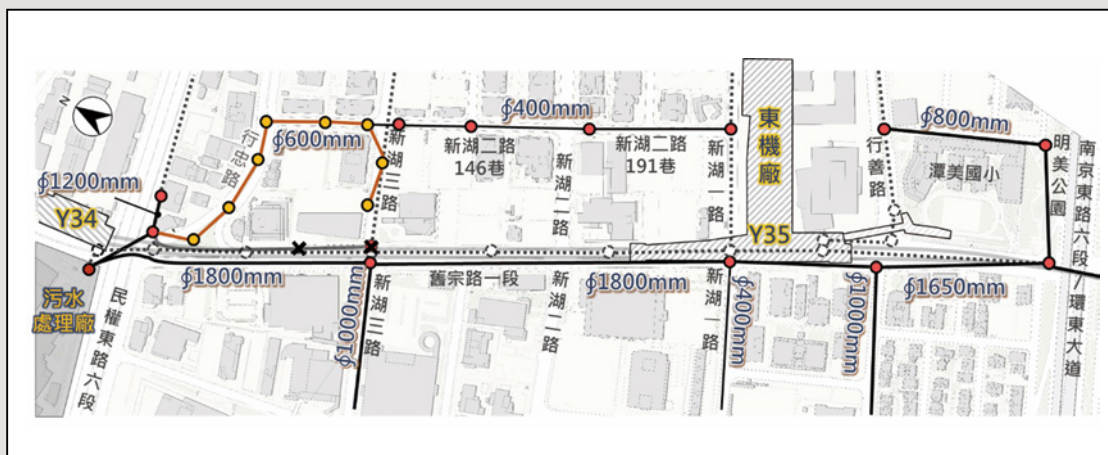


圖12 臺北捷運東環段DF119標舊宗路污水管網改道示意圖

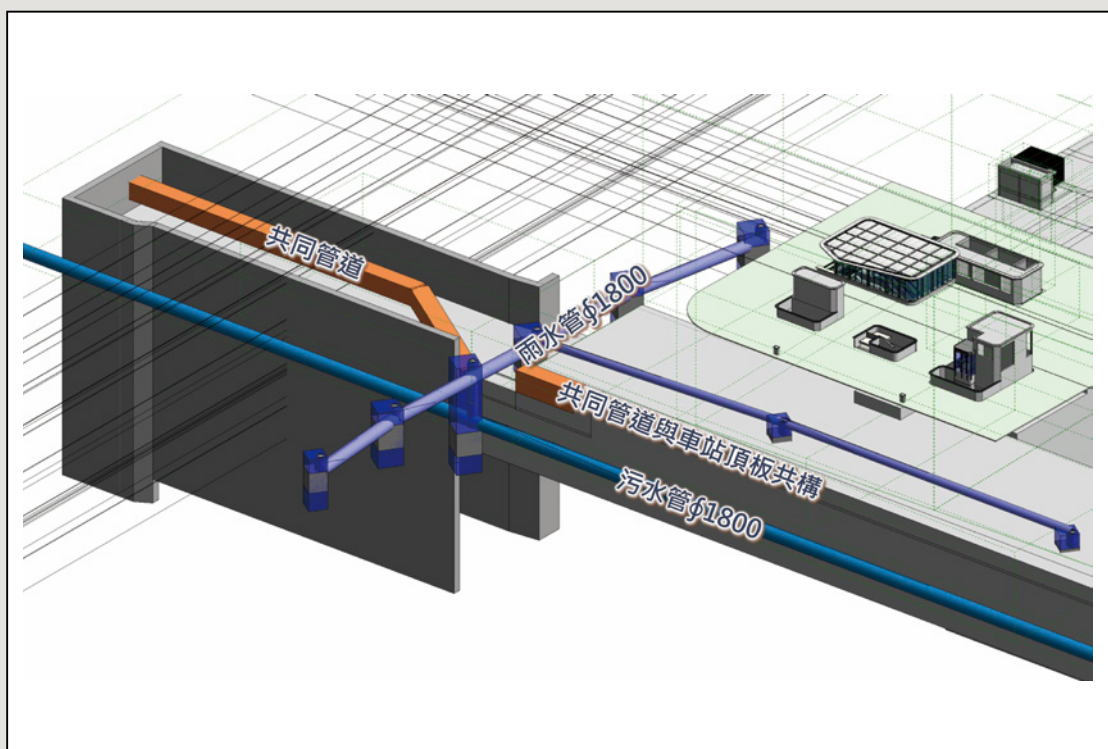


圖13 臺北捷運東環段DF119標污水幹管、雨水管及共同管道遷移後位置

(三) 袋式儲車軌受到既有電信洞道之分歧部的影響使得施工空間不足，設計階段取消袋式儲車軌設計，改採橫渡線替代，縮短車站開挖範圍。

(四) 東機廠頂板結構與台電特高壓161KV位置及高程衝突，由於台電特高壓161KV遷移

涉及整個大內湖地區用電需求，故多次與台電相關單位協調並由臺北捷運工程局召開協調會，最後定案將原特高壓管線排列型式4x4配置，改成排列方式為2x8的排列方式並放置在機廠頂板上方，詳圖14。

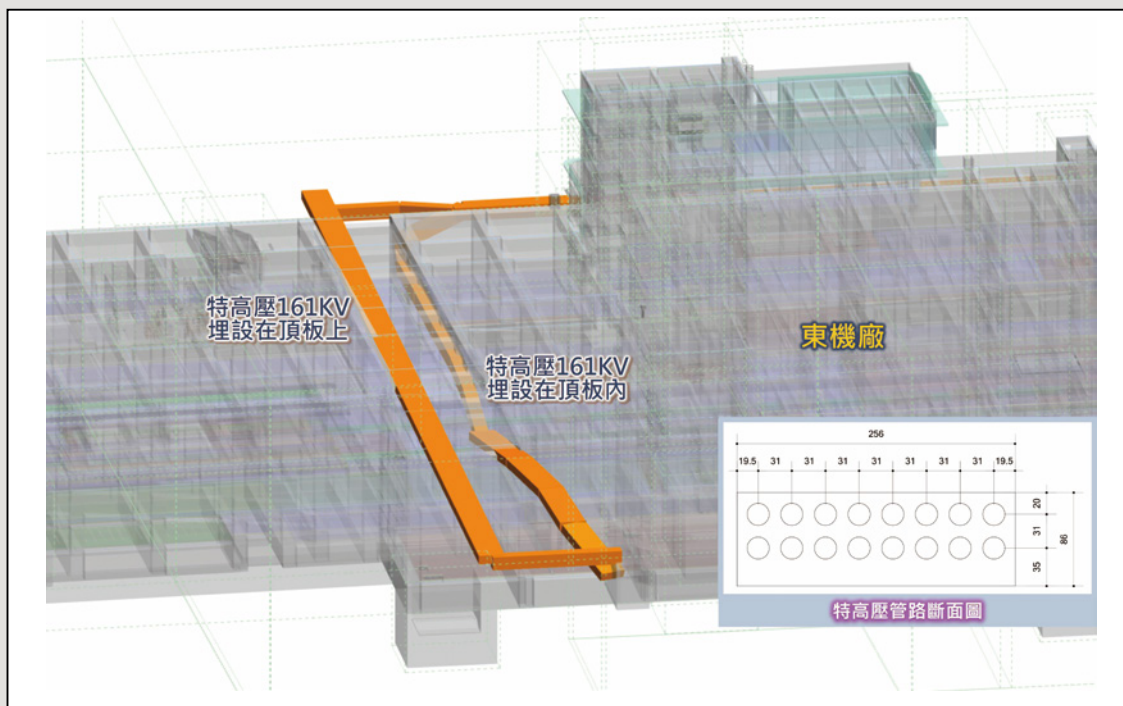


圖14 臺北捷運東環段DF119標特高壓調整配置在車站頂板下方及上方

總結

捷運工程通常設置在都會區內，設置型式不外乎是高架或地下，因此在工程開挖過程中若遇到地下障礙物，不僅影響施工進度，嚴重的狀況會造成工程無法順利完成，故地下障礙物調查就變得很重要，其中管線又是最為重要的。發展完成的市區地下管線相對也是建置非常完整，在既有的道路範圍內要布設如此多的生活管線，想必各管線的空間都是相互配合過的。

對於新建的捷運工程，穿越在既有道路下方，要不影響原管線的功能又要完成捷運施工是一件相當困難的任務。因此利用BIM建置管線並套繪捷運車站及隧道，讓管線衝突檢核視覺化，可提升設計時的精準度，並利用各設施的相對空間配置確認施工可行性。

傳統2D單線的管線圖並未區分一般潛層小管線及深層的大型管線。圖面辨識度不足，也無法作為與捷運設施設計整合的平台。尤其是

發生衝突後遷移及保護施工非常困難的重大管線，包括重力流的排水箱涵與污水管、高危險的油氣管、特高壓電管及量體龐大的共同管道幹管。使得設計階段應投入更多的人力及資料進行完整的檢討與整合。

在管線衝突檢討時，以往僅有將管線大小位置做局部檢核，並無建置人孔及其臨時擋土設施，造成捷運萬大線潛盾隧道施工過程中與既有污水人孔擋土設施碰撞，潛盾機具損傷及工程停工。有了前車之鑑，臺北捷運東環段DF119標改變以往建置管線的方式，除了利用BIM建置管線模型，另外編寫程式將人孔及臨時擋土設施納入管線衝突檢討。

在臺北捷運東環段DF119標管線人孔衝突檢討的過程中，同時也告知各管線單位，未來捷運工程影響的不僅是施工階段也包含永久階段，故經多次與管線單位協調後，提出可行的

管線遷移方案或設計可行的捷運設施。未來若有類似的潛盾隧道工程於地下管線衝突檢核時，可參考本案例將人孔及臨時擋土設施納入檢核，於設計階段即考量未來施工之可行性以配置合理的設計方案，以利後續工程順利進行，減少機具及設施損傷，降低工程風險。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，(2023)，臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段委託技術服務DF119設計標管線遷移計畫。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，(2023)，臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段委託技術服務DF119設計標重大管線遷建構想。



大區域重大管線系統之遷移、保護與特殊拆除工法設計

關鍵詞(Key Words)：環狀線東環段DF119標(Circular Line East Section, DF119 Project)、污水管網改建(Reconstruction of The Sewage Pipe Network)、污水管破除(Dismantling of Sewage Pipe)、特殊障礙處理(Special Obstacle Treatment)

臺北市政府捷運工程局／土建設計處／處長／呂文儒 (Lu, Wen-Ju) ①

臺北市政府捷運工程局／土建設計處／課長／黃怡超 (Huang, Yi-Chao) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／正工程師／楊家豪 (Yang, Chia-Hao) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／正工程師／余詩敏 (Yu, Shih-Min) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水環部／正工程師／陳勳融 (Chen, Hsun-Jung) ⑤

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／正工程師／許琍婷 (Hsu, Li-Ting) ⑥

摘要

都會區地下捷運路線主要均沿市區內道路佈設，捷運建設無可避免與道路下方複雜地下管線，如雨水箱涵、污水幹管、台電特高壓、共同管道等管線衝突，過去地下捷運建設管線衝突遷建範圍主要以地下車站或明挖覆蓋段範圍為主，管線遷建亦為單一管線遷建較多，尚無潛盾隧道沿管線路徑大長度範圍衝突造成大區域整體管網配合遷建案例，本文以臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段DF119標之汗水區域管網改建為例，說明大區域重大管線的系統之遷移、保護與特殊拆除工法設計構想。



Design for the Relocation, Protection, and Special Dismantling Methods of Major Pipe Systems in Large Areas.

Abstract

In metropolitan areas, underground metro routes are primarily laid along urban roads, making it unavoidable for metro construction to intersect with complex underground utilities beneath the roads, such as drainage culverts, sewage mains, high-voltage Taipower lines, and common ducts. In previous metro projects, pipeline relocation conflicts were mainly limited to areas around underground stations or cut-and-cover tunnels, with relocations often focusing on individual pipelines. There has yet to be a case involving large-scale pipeline relocation along an extensive shield tunnel path that requires adjustments to the broader network. This paper uses the DF119 project of the sewage network reconstruction in the Circular Line East Section of Taipei MRT as an example to explain the design concepts for the relocation, protection, and specialized dismantling methods for major pipeline systems in large areas.

3

專題報導

壹、DF119標計畫簡介及重大管線衝突概要

一、DF119標計畫簡介

臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段委託技術服務DF119標設計標(以下簡稱本計畫)，路線自環狀線北環段Y29站尾軌起由敬業三路轉樂群二路，於濱江國中附近敬業四路設置Y30站；後沿樂群二路穿越台電內湖服務所及洲子一號公園轉瑞光路，近洲子二號公園設置Y31站；沿瑞光路直行至大港墘公園設置Y32站；後續沿瑞光路轉瑞光公園內設置Y33站，上下行隧道分別由舊宗路二段171巷及瑞湖街178巷轉至舊宗路二段穿越國道一號後鄰民權東路六段11巷設置Y34站；後穿越民權大橋下方，沿舊宗路一段與新湖一路街口附近設置Y35站及環狀線東機廠。本標路線全長4.75公里，設置6座地下車站、1座東機廠及1座主變電站。計畫沿線結構配置如表1所示，路線圖及分標範圍如圖1。

二、重大管線衝突概要

本標沿線受影響管線計有:電力(EH、EL)、電信(TT)、共同管道(CC)、污水(SS)、雨水(SD)、交通號誌(TR)、自來水(W)、瓦斯(GL)、特高壓(EP)。重大管線定義為雨水、污水、特高壓、共同管道：

- (一) 雨水：管徑大於1m，箱涵尺寸大於WxH=3.5x3.5m以上
- (二) 污水：主要幹管(管徑大於1m以上)及其分支管網(直徑大於300mm)
- (三) 特高壓：161KV、345KV、69KV
- (四) 台灣固網(光纖)：通訊設備
- (五) 共同管道：電信幹管(洞道)及其附屬設施(材料投入口、通風口)
- (六) 自來水：管徑大於500mm

表1 計畫沿線結構配置表

項次	工程範圍	結構型式	長度(M)	覆土深度(M)	開挖或鑽掘深度(M)
1	Y29站尾軌起至Y30站間	雙孔潛盾隧道	355	14±	18.5~19.5±
2	Y30站	明挖覆蓋	180	5.1±	20.4±
3	Y30站至Y31站	雙孔潛盾隧道	767	13.8~26.1±	18.8~31.1±
4	Y31站	明挖覆蓋	125	3.0±	21.5±
5	Y31站至Y32站	雙孔潛盾隧道	416	14.7±	19.7±
6	Y32站	明挖覆蓋	125	3.0±	21.2±
7	Y32站至Y33站	雙孔潛盾隧道	718	12.8±~17.9±	18.9±~24±
8	Y33站(含橫渡線)	明挖覆蓋	282	2.7±	17.2±
9	Y33站至Y34站	雙孔潛盾隧道	721	11.5±~20.7±	17.6±~26.8±
10	Y34站	明挖覆蓋	154	3.06±	18.46±
11	Y34站至Y35站	雙孔潛盾隧道	641	12.1±~14±	19±~20.1±
12	Y35站(交會站)	明挖覆蓋	145	2.6±	25.7±
13	東機廠	明挖覆蓋	340	1.4±	27~33±

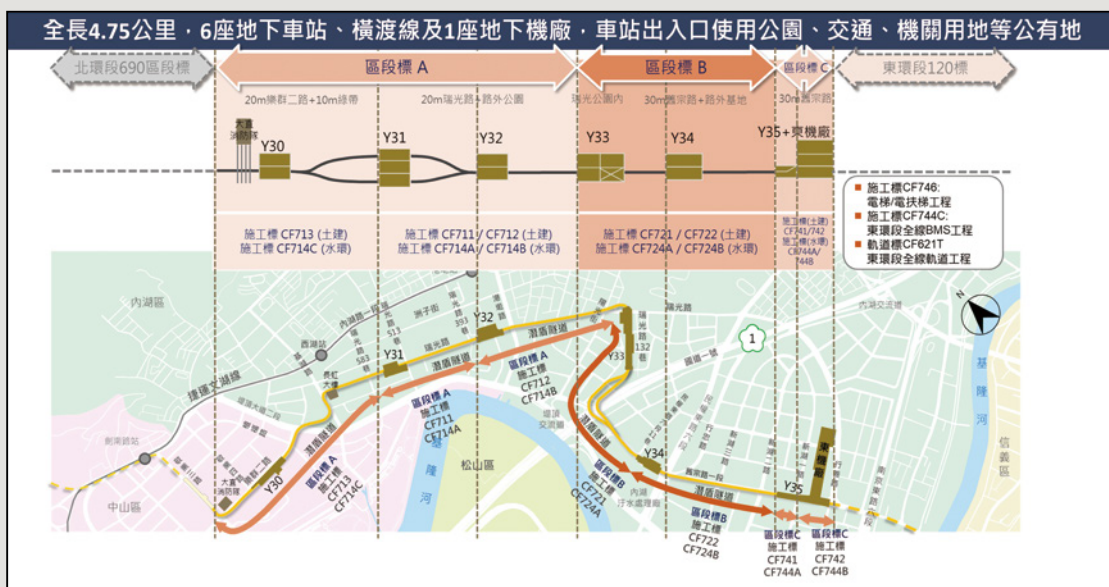


圖1 捷運環狀線東環段DF119設計標工程範圍

對於車站配置、車站結構及潛盾隧道有衝突之重大管線概述如表2，其中Y34~Y35~Y36 污水管網須重新設計遷建，相關遷建說明詳敘沿舊宗路下方之既有污水幹管與捷運潛盾隧道、明挖覆蓋段平行衝突，導致此一範圍內之汙水管網須重新設計遷建，相關遷建說明詳敘如後。

表2 沿線重大管線衝突情形表

車站	種類	管線尺寸	衝突情形
Y30	共同管道	C□1120x720(電信)、C□1200x1640(電力)	平行車站
	雨水下水道	SDØ1500 RCP	平行車站
Y31	雨水下水道	SDØ1500 RCP	平行車站
Y32	雨水下水道	SDØ1000 RCP	平行車站
	污水下水道	SSØ1000 RCP	平行車站
Y33	雨水下水道	SDØ1200 RCP、SDØ1500 RCP	斜交車站
Y33-Y34	污水下水道	SSØ800	斜交/潛盾隧道
Y34	雨水下水道	SDØ2000 RCP	平行車站
	污水下水道	SSØ1200、SSØ2000、SSØ500	平行車站
Y34-Y35	污水下水道	SSØ1800、SSØ1200、SSØ1000、SSØ400	平行/橫交潛盾隧道
Y35	雨水下水道	SDØ1000 RCP、SDØ1650 RCP、SDØ1800 RCP	平行及橫交車站
	污水下水道	SSØ1800、SSØ700、SSØ1000	平行車站
	共同管道	CC□2200x2200(電信)、CC□900x710(電力)	平行車站
Y35-Y36	污水下水道	SSØ1650、SSØ700、SSØ1000、SSØ500	橫交/斜交/平行潛盾隧道
東機廠	台電161kv特高壓	8xØ200	橫交東機廠

貳、Y34~Y35~Y36車站區域污水管網改建

一、既有污水管線現況

Y35站體明挖覆蓋範圍與既有內湖污水主幹管(F)（管徑為 $\phi 1650\text{mm}$ 及 $\phi 1800\text{mm}$ ）集污路線重合，亦沿舊宗路一段與Y34至Y35間潛盾隧道段上行線衝突，沿線另有七處分支管線匯集，如圖2所示。

由縱斷面圖顯示（如圖3），既有內湖污水主幹管(F)覆土深度約14m，與Y35站過軌段、月台層及潛盾隧道皆有抵觸。因內湖污水主幹管(F)流向由舊宗路南側往北銜接至內湖污水處理廠，管遷作業需由污水管線上游Y35至Y36站潛

盾段間開始啟動，故Y35至Y36站潛盾段、Y35站體明挖覆蓋段及Y35至Y34站潛盾段管線衝突遷移計畫須一併整體改建，管線衝突列表如表3所示。

二、與主管機關協調後遷建原則及遷建方案

（一）依據112年6月29日與衛工處召開污水管線衝突相關遷建會議，相關遷建原則如下：

1. 符合節能減碳政策方向
為配合國家節能減碳政策方向，衛工處近年已逐漸減少污水管網內揚水站設置，故Y34~Y35區段捷運設施衝突管段原則採重力方式遷建。



圖2 Y34~Y35~Y36站間既有污水管線平面圖

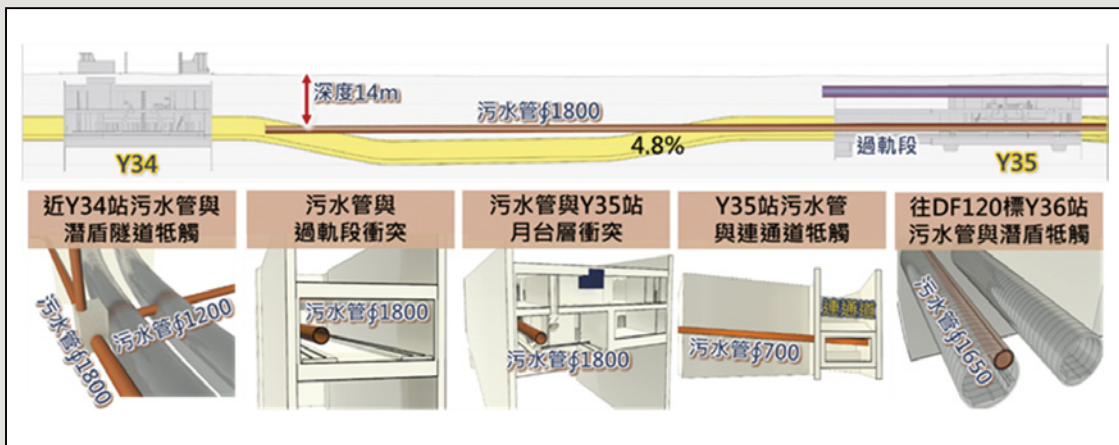


圖3 Y34~Y35~Y36站間與既有污水管線衝突縱斷面圖

表3 Y34~Y35~Y36站間潛盾隧道與污水管線衝突情況

管線尺寸	管線位置	捷運結構型式	衝突情形
SSØ1800mm □1 內湖污水主幹管(F)	舊宗路一段	潛盾段 (Y34至Y35)	平行
SSØ1200mm □1 民權東路污水次幹管(FC)	民權東路六段及 舊宗路一段路口	潛盾段 (Y34至Y35)	垂直
SSØ1000mm □2	新湖三路及 舊宗路一段路口	潛盾段 (Y34至Y35)	垂直
SSØ1800mm □1 內湖污水主幹管(F)	舊宗路一段	Y35站過軌段	平行
SSØ400mm □2	新湖一路及 舊宗路一段路口	Y35站過軌段	垂直
SSØ1800mm □1 內湖污水主幹管(F) SSØ1650mm □1 內湖污水主幹管(F) SSØ1000mm □1 SSØ700mm □1	舊宗路一段	Y35站體月台層	平行
SSØ700mm □1	行善路及 舊宗路一段路口	Y35站出入口C連通道	垂直
SSØ1650mm □1 內湖污水主幹管(F)	舊宗路一段	潛盾段 (Y35至Y36)	平行

2. 避免侵入私地及民汙線二次遷建

衛工處實際私地補償案例多為既成道路補償，未有直接侵入私地之情況，故捷運工程遷建污水管線時應避免侵入私地。另避免民汙線SB07站施工時新湖一路污水管線二次遷建，應評估其他遷建路線。

3. 污水管線遷建後廢棄管線處理方式

與潛盾路徑衝突段需移除既有人孔及管線結構，未衝突段廢棄之人孔及管線結構採混凝土填除。

(二) 內湖污水主幹管(F)遷移計畫

內湖污水主幹管(F)遷移採管線高程不變，

平行遷建至捷運設施西側，由於既有Ø1650mm屬潛盾施工，上游最近人孔位於安康路石潭公園旁，離Y35車站約1.6公里遠，為減少管線遷建影響範圍及工程費用，故規劃於舊宗路一段及南京東路六段路口既有管段上方設置一處工作井及人孔，採長距離推進施工後銜接至新設Ø1800mm污水管再匯入內湖污水處理廠，並配合舊宗路一段分支管網重建，沿線共設置六處人孔設施，遷建平面配置詳圖4所示。

原Y35站基本設計配置，於北側及南側出發工作井擴頭設施將與遷建後管線衝突約0.40m ~ 0.50m。本站經建築結構檢討後，Y35車站連續壁配置向東平移1.0m，與遷移後污水管線可保持0.60m ~ 0.65m之淨距，詳圖5所示。

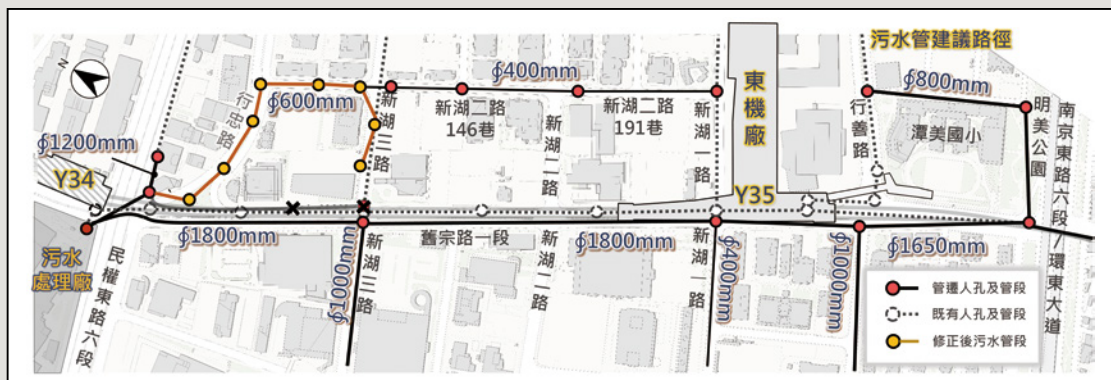


圖4 Y34~Y35站區污水遷建總平面圖

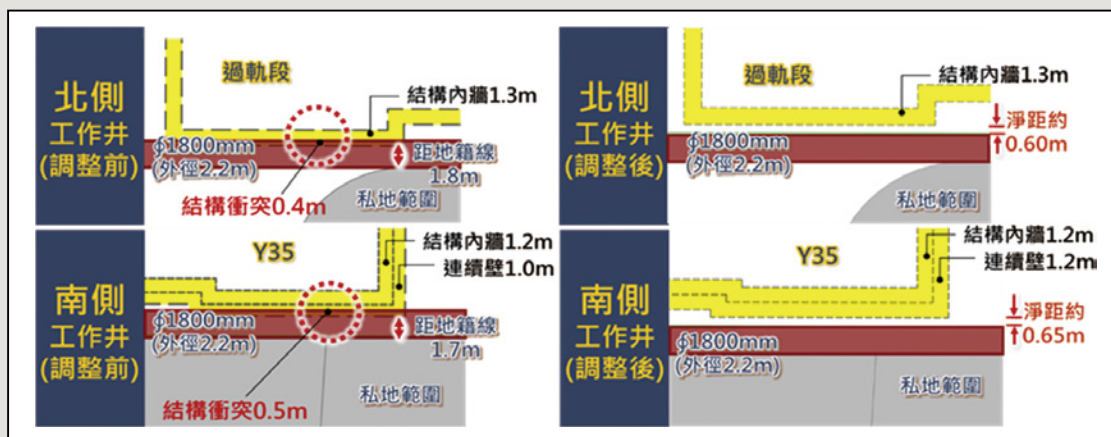


圖5 Y35站南北側工作井調整前後與遷建後污水管線平面圖

(三) 民權東路污水次幹管(FC)遷移計畫

民權東路污水次幹管(FC)Ø1200mm污水管線原於民權東路六段及舊宗路一段路口接入內湖污水主幹管(F)，因與潛盾隧道高程衝突，經查內湖污水處理廠進流井深度尚有跌落空間，故採調降管線高程5m後，由捷運潛盾隧道下方穿越，與內湖污水主幹管(F)分別銜接至內湖污水處理廠進流井，銜接示意詳圖6所示。

(四) 行善路Ø700mm污水管線遷移計畫

行善路口Ø700mm污水管，因高程與出入口C連通道衝突，且過舊宗路一段路口管段亦與潛盾隧道衝突，捷運設施阻隔後無法重力銜接其他污水設施，故研擬往行善路181巷繞行明美公園後，銜接至舊宗路一段及南京東路六段路

口新設人孔，因行善路181巷路寬約5 m，污水推進工作井不易下井，並為減低潭美國小家長接送區之影響，故採Ø800mm長距離推進施工，遷建銜接示意詳圖7所示。

(五) 新湖一路Ø400mm污水管線遷建計畫

新湖一路Ø400mm污水管線需配合民汐線SB07站開挖範圍規劃遷建方式，現階段初擬下列兩方案分別說明如下，經112年9月7日與民汐線SB07站界面工作會議協商後，民汐線SB07站開挖範圍限縮於新湖二路191巷西側，新湖一路及新湖二路191巷路口之既有污水人孔開始往北遷移至新湖三路，遷建管線需由新湖二路既有7.5m 3.0m雨水箱涵下方穿越，經計算後水理高程銜接可行，本方案銜接平面圖詳圖8所示。



圖6 民權東路污水次幹管(FC)遷移銜接示意圖



圖7 行善路 $\phi 700\text{mm}$ 污水管線遷移銜接示意圖



圖8 新湖一路 $\phi 400\text{mm}$ 污水管線遷建銜接示意圖

(六) 其他分支污水管線遷建計畫

配合上述內湖污水幹管(F)改道後，將原舊宗路一段上橫交管包含新湖一路口 $\varnothing 400\text{mm}$ 污水管及新湖三路口 $\varnothing 1000\text{mm}$ 污水管等，其中新湖三路口 $\varnothing 1000\text{mm}$ 污水管經衛工處多次協助檢討調整，改與原新湖一路口 $\varnothing 400\text{mm}$ 污水管改道至新湖二路191巷~新湖二路146巷後合併為 $\varnothing 600\text{mm}$ 往行忠路佈設再接入新設 $\varnothing 1200\text{mm}$ 污水管，新提供污水遷建後總平面圖詳圖4所示。

參、污水管線施工保護

一、 $\varnothing 1800\text{mm}$ 污水管緊鄰連續壁之施工保護

因污水處理廠位於舊宗路西側，為使新建污水管不與潛盾隧道衝突，故將 $\varnothing 1800\text{mm}$ 污水管往西側挪移，但考量不能侵入地界線，整體考量下，將 $\varnothing 1800\text{mm}$ 污水管約挪移6.5公尺(詳圖9)。Y35車站設計之月台寬度為考量人流需求，兩線型之最小寬度需求為11.6公尺，使得車站距離污水管僅0.2m~0.8m(詳圖10)。為減少連續壁與新建污水管之衝突，施工規劃排程為先行施作連續壁土壤側之壁溝保護措施，其作用為減少連續壁坍孔及歪斜影響新建污水管；其次進行污水管人孔推管施工；最後再施作連續壁及車站開挖。

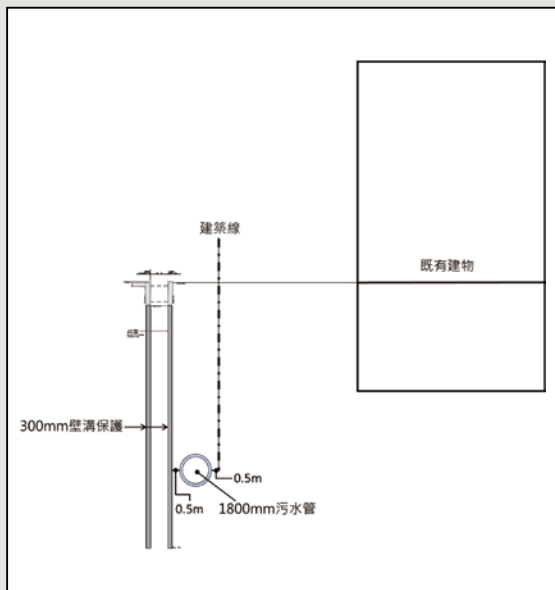


圖10 連續壁壁溝保護與污水管距離示意圖

肆、既有 $\varnothing 1650\text{mm}$ 污水管破除工法構想

上述整體污水管網配合捷運工程遷建通水後，舊有廢棄污水管與捷運工程衝突部分則視衝突位置採取不同方式破除，Y34~Y35間廢棄污水管與捷運明挖覆蓋隧道衝突部份可於捷運開挖施工階段予以破除，Y35~Y36間廢棄污水管與潛盾隧道衝突部份，則依交維管線複雜程度區分為可於地面開挖破除及須採免開挖地下特殊破除工法兩種。依據蒐集之管線圖資顯示， $\varnothing 1650\text{mm}$ 由新明路北轉向舊宗路，並於舊宗路行善路口接入 $\varnothing 1800\text{mm}$ 污水管，以150mm鋼環片及200mm厚度之二次襯砌組成，外徑為2350mm。

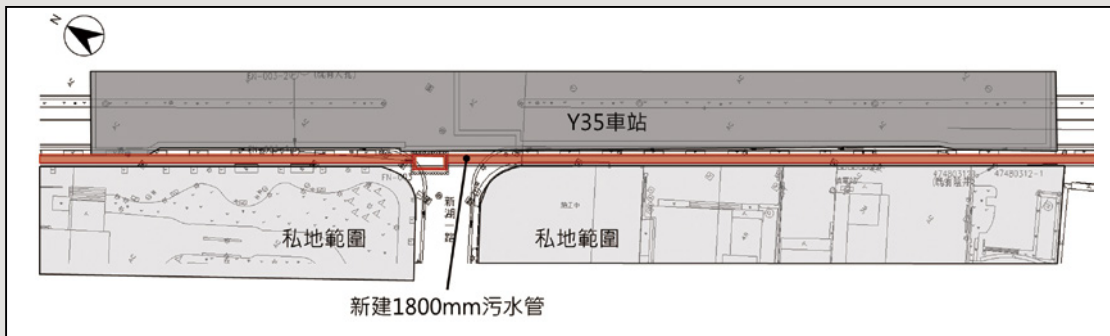


圖9 Y35車站與新建1800mm污水管平面位置圖

因與 $\varnothing 1800\text{mm}$ 同屬末端管線，故覆土達到 $10\text{m}\sim 11\text{m}$ ，與潛盾隧道衝突約 117 公尺。此污水管採潛盾鑽掘及鋼環片配置，無法直接採捷運潛盾機破除，故需研擬特別工法施作。其中 60m 位於行善路舊宗路路口，交通量大，且有台電特高壓及共同管道管線密集，故採地下管內破除，其餘則於地表採 $\varnothing 2500\text{mm}$ 全套管工法破除(詳圖11及圖12)。

一、管內破除

(一) 類似既有案例

目前國內尚無潛盾隧道與大管徑污水管長距離平行衝突且須從地下破除之案例，類似案例為：

1. 信義線CR580B區段標工程於安和路站進

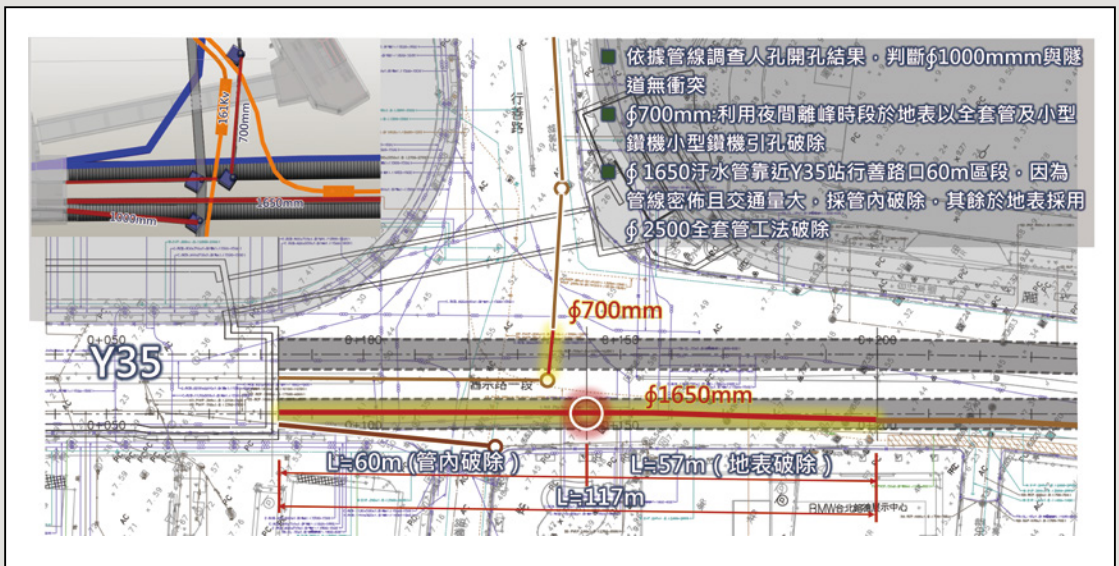


圖 11 Y35~Y36 潛盾隧道與污水管衝突平面圖

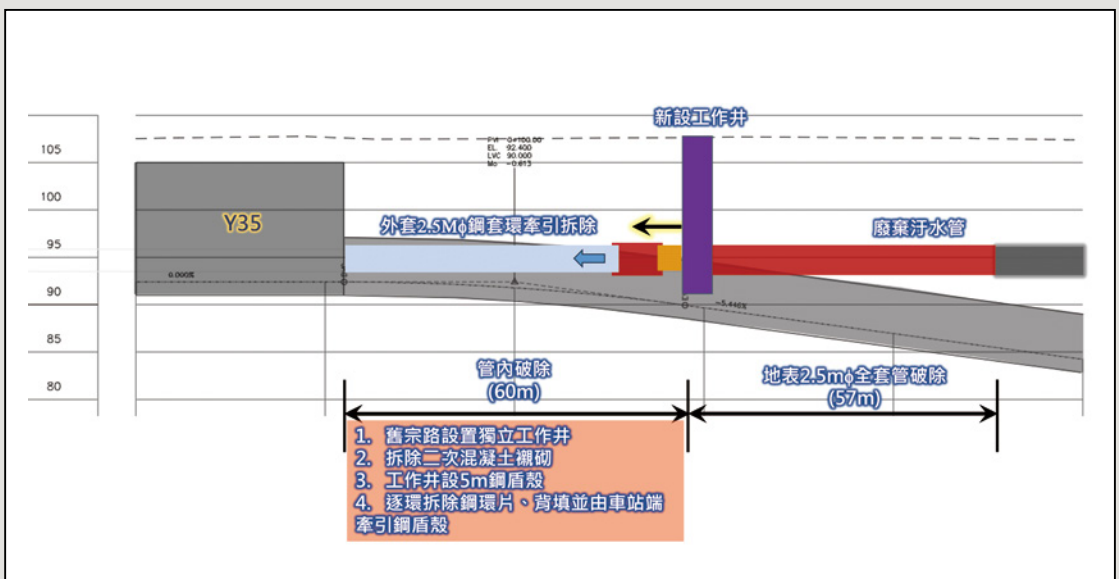


圖 12 Y35~Y36 潛盾隧道與污水管衝突縱面圖

行 $\varnothing 1650\text{mm}$ 污水管推管施工遭遇障礙物之情況，信義線CR580B區段標進行 $\varnothing 1650\text{mm}$ 污水管推管施工時，機頭遭遇障礙物無法推進，於機頭後方約30M處新設工作井包覆剛施工之汙水管，並破除進入作為工作面，從此工作面施作牽引設備將前方機頭連已經完成之汙水管牽引拉回，整段既有汙水管破除處理長度約25M(詳圖13)。

2. 台南縣官田鄉污水下水道系統B幹管及B1分支管工程 $\varnothing 600\text{mm}$ 推進時機頭遭遇地下障礙物之情況，工程施作B27及B28工作井間之 $\varnothing 600\text{mm}$ 推進時，推進至17.5公尺時，遭遇障礙物致使機具無法推進，後於B28工作井往B27工作井方向推入 $\varnothing 1200\text{mm}$ 鋼管約20M後套入卡住之機頭，採大管包小管之保護方式於鋼管內排除障礙物及故障機頭後，由B27工作井繼續於外鋼管保護情況下推進施作汙水管至B28工作井(詳圖14及圖15)。

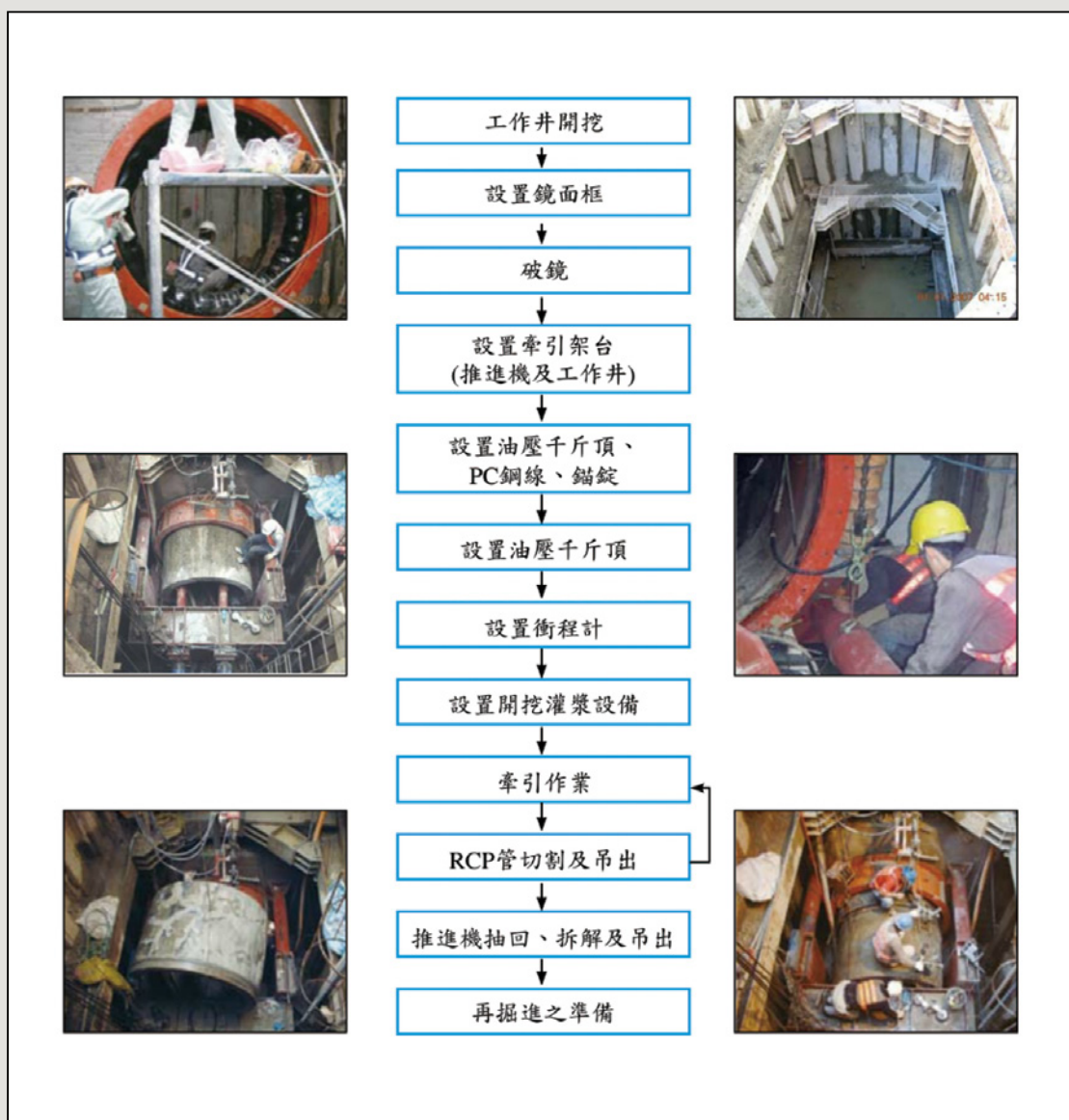


圖13 信義線CR580B $\varnothing 1650\text{mm}$ 污水管破除(捷運技術半年刊第38期)

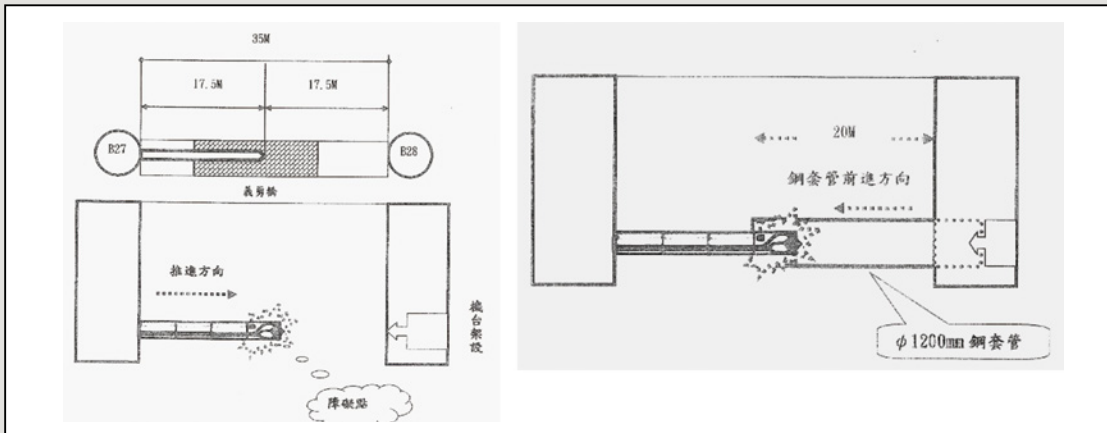


圖 14 台南縣官田鄉污水下水道Ø600mm障礙排除-1
(下水道工程施工遭遇之困難及解決對策案例暨全民督工案件檢討彙編)

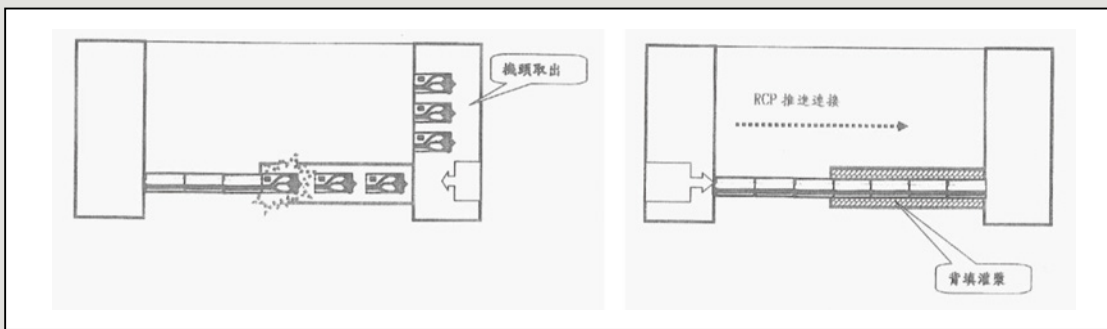


圖 15 台南縣官田鄉污水下水道Ø600mm障礙排除-2
(下水道工程施工遭遇之困難及解決對策案例暨全民督工案件檢討彙編)

(二) Y35-Y36污水管盾殼推拉破除構想

參考上述案例後，研擬拆除構想(1)新設工作井包覆既有污水管(2)於新設工作井推進外鋼套環盾殼套入既有污水管(3)從Y35車站側設置盾殼之牽引設備(4)於盾殼內逐環破除既有污水管(5)牽引盾殼前進並同步背填後方空間；另為確認拆除構想之施工可行性，亦同步請益國內管幕工法及污水管潛盾推管之專業廠商以完善此一破除方案，經請益討論後相關工法施工步驟詳述如下(詳圖16~圖18)：

① 新設工作井

- ① 從新設工作井及Y35工作井向中央水平地改
- ② 人工進入污水管敲除部分二次襯砌(兩側工作井進入)

→ 工作空間由 $\varnothing 1650\text{mm}$ 增加為 $\varnothing 1850\text{mm}$

- ③ 工作井壓入外鋼管盾殼(內徑 2.5m , $L=1.5\text{m} \times 3$)含止水圈及止水材
- ④ 盾殼內預力鋼索/錨定架/鋼管封版組立，背填材灌漿及回漿設備管孔安裝
- ⑤ 盾殼內切除1環污水管環片，向內檢視並清除壓入之土壤(必要時)檢視止水圈及止水材之完整性，必要時補充止水材
- ⑥ 背填材潤滑材灌漿回漿設備安裝(Y35側)
- ⑦ Y35工作井側施拉外鋼管盾殼(停於工作井擋土壁內)
- ⑧ 新設工作井內安裝鋼封板
- ⑨ 外鋼管盾殼內向後灌漿背填材，由回漿孔確認背填材已完全填封
- ⑩ 盾殼內切除1環污水管環片(盾殼保護汗

水管留設長度至少1.2m)

向間隙內檢視並清除壓入之土壤(必要時)，檢視止水圈及止水材之完整性，必要時補充止水材

- ⑪ 灌注潤滑材至外鋼管盾殼外側
- ⑫ Y35工作井側施拉外鋼管盾殼，同步外鋼管盾殼內向後灌漿背填材，並由回漿孔確認背填材已完全填封
- ⑬ 切除1環污水管環片(盾殼保護污水管留設長度至少1.2m)，向間隙內檢視並清除壓入之土壤(必要時)；檢視止水圈及止

水材之完整性，必要時補充止水材

- ⑭ 灌注潤滑材至外鋼管盾殼外側
- ⑮ 重複施作⑫~⑭至到達Y35工作井出坑

二、全套管工法破除

考量污水管外徑為2200mm，選擇 $\varnothing 2500\text{mm}$ 之全套管進行人工破除(詳圖19)。調查並定位出污水管 $\varnothing 1650\text{mm}$ 污水管位置。待新建污水管完工後，於前後人孔進入先行敲除二次襯砌，增加內部工作空間。鋼環片切除則利用全套管之套管

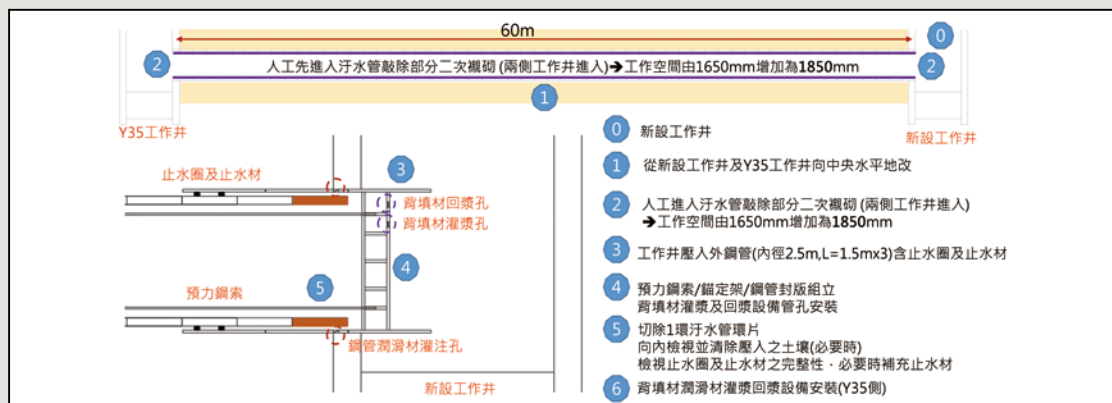


圖16 污水管盾殼推拉破除工法構想-1

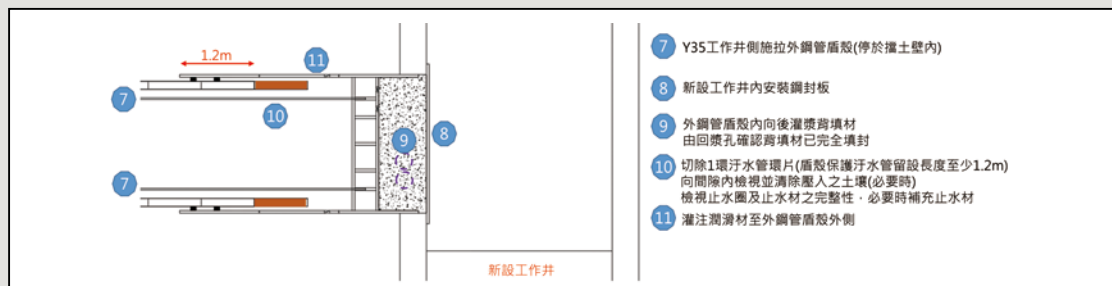


圖17 污水管盾殼推拉破除工法構想-2

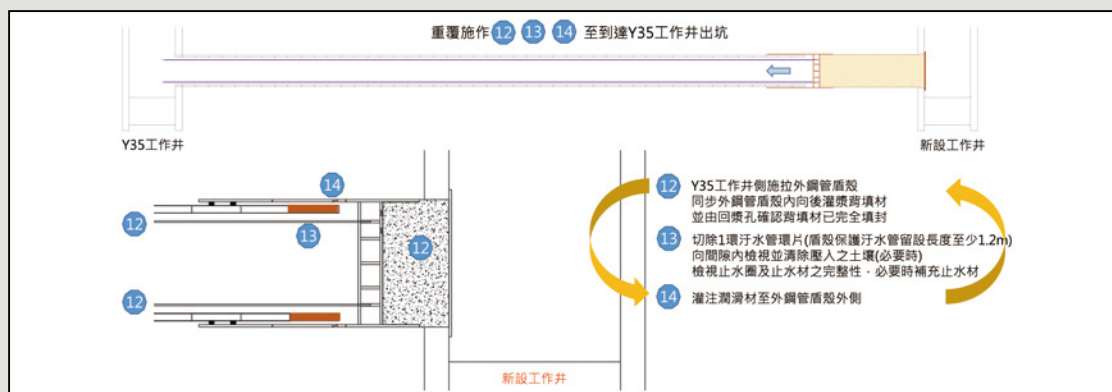


圖18 污水管盾殼推拉破除工法構想-3

搭配抽水井；並以大口徑高壓灌漿固結污水管上方2.0m，下方2.5m之厚度，增加土壤強度(詳圖20)；既有污水管遮蔽部分則以低壓灌漿作為輔助，加強安全性，以人工方式進入套管內切除。

域管線遷移的協作案例，可作為後續類似工程參考。

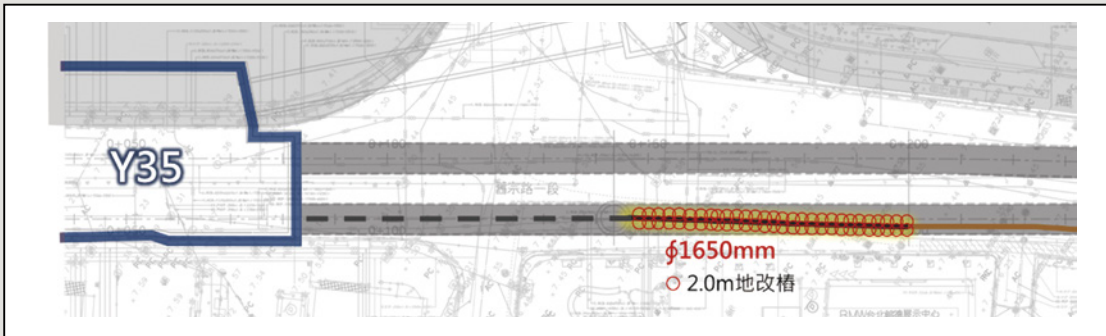


圖19 全套管工法破除及大口徑地改樁平面示意圖

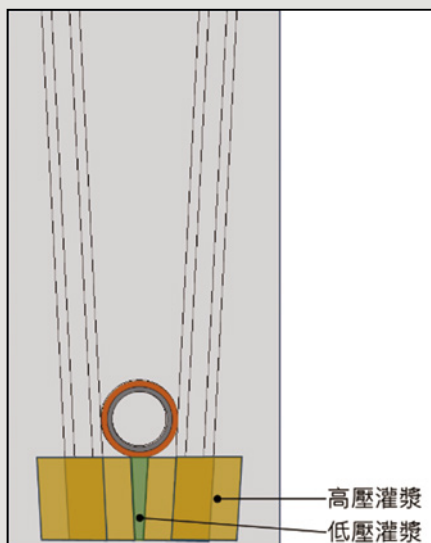


圖20 大口徑地改樁及低壓灌漿剖面示意圖

結論

都會區的捷運工程與地下管線的衝突幾乎是不可避免的，尤其在捷運路線穿越的地區。這些區域的路幅通常較小，且管線施工年代較早，這使得管網衝突的範圍和規模大大增加。為了有效解決這些衝突，管網的改建與重新配置需要管網及捷運主管機關緊密合作，共同制定遷建方案，以確保管網和捷運工程的協調配合。DF119設計標中的Y34~Y35~Y36大區域污水管網協調改建模式，提供了一個成功處理大區

在管網改建後，舊有管線的拆除方式需考量交通維持、道路寬度及地下管線等問題。除了傳統的明挖覆蓋拆除工法外，DF119設計標提出了地面全套管鑽掘破除及地下外套鋼盾殼推拉拆除兩種方案，為未來類似潛盾隧道與地下管線衝突的處理提供了參考構思。

參考文獻

1. 洪顯宗、矢野勝也，(2008)，推管工法特殊障礙處理—牽引工法，捷運技術半年刊，第38期，第59-73頁。
2. 內政部營建署，(2012)，下水道工程施工遭遇之困難及解決對策案例暨全民督工案件檢討彙編，第2-72 - 2-76頁。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，(2023)，臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段委託技術服務DF119設計標管線遷移計畫。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，(2023)，臺北都會區大眾捷運系統環狀線東環段委託技術服務DF119設計標重大管線遷建構想。

臺中捷運藍線通過地震斷層帶之橋梁監測及預警系統規劃

關鍵詞(Key Words)：高架橋(Elevated Bridge)、近斷層地震(Near-Fault Earthquakes)、地表錯動(Surface Displacement)、地震預警(Earthquake Early Warning)、橋梁監測(Bridges Monitoring)、捷運(MRT)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理兼計畫經理／趙振宇 (Chao, Cheng-Yu) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫副理／黃介鴻 (Huang, Chieh-Hung) ②

國立中興大學／土木工程學系／教授兼系主任／余志鵬 (Yu, Chih-Peng) ③

國立中興大學／土木工程學系／副教授兼副系主任／宋欣泰 (Song, Shin-Tai) ④

國立中興大學／土木工程學系／副教授／黃謝恭 (Huang, Shieh-Kung) ⑤



摘要

臺中捷運藍線從臺中港沿臺灣大道穿越大肚山進入臺中市都會核心區，路線總長約24.78公里，共20座車站，其中，高架段路線長約10.35公里，B1-B8為高架車站，大甲-彰化斷層(逆衝斷層)由B4與B5兩車站間穿越，為評估臺中捷運藍線受地震之危害並提出管理維護規劃，本計畫依據沿線區域地質條件與地震紀錄特性，針對結構監測、液化評估與橋址監測、結構分析等三個面向進行基礎研究，藉以規劃地震斷層帶之捷運橋梁的震害監測對策及預警系統。本文結合新式監測概念在土木工程領域的有效技術，尤其針對高架橋梁監測的相關經驗，整合地震預警系統與橋梁監測系統，探討整體實施的可行性與限制，不僅可提升災害監測與預警的整體技術水平，也可有效減少地震造成的相關災害。



Planning for Bridges Monitoring and Early Warning System for the Taichung MRT Blue Line Crossing Earthquake Fault Zones

Abstract

The Taichung MRT Blue Line runs from Taichung Port along Taiwan Boulevard, crossing Dadu Mountain and entering the urban core of Taichung City. The total length of the route is approximately 24.78 kilometers, with 20 stations, of which the elevated section spans about 10.35 kilometers. Stations B1 to B8 are elevated stations. The Dajia-Changhua Fault (a reverse fault) intersects between stations B4 and B5. To assess the seismic hazards facing the Taichung MRT Blue Line and propose management and maintenance plans, this project conducts foundational research on structural monitoring, liquefaction assessment, bridge site monitoring, and structural analysis based on geological conditions and seismic records along the route. This research aims to develop earthquake damage monitoring strategies and early warning systems for the MRT bridges located in earthquake fault zones.

This paper integrates effective technologies based on modern monitoring concepts in the field of civil engineering, particularly focusing on relevant experiences in monitoring elevated bridges. It combines the earthquake early warning system with the bridge monitoring system to explore the feasibility and limitations of overall implementation. This approach not only enhances the overall technical level of disaster monitoring and early warning but also effectively reduces the damages caused by earthquakes.

3

專題報導

壹、高架鐵路監測與預警

軌道運輸系統的事故基本上可分為「天然災害」及「系統災害」兩大類，其中「天然災害」發生的頻率雖然不高，但其結果可能相當嚴重，如臺灣頻繁發生的地震便可能造成軌道錯位、變形，導致列車出軌等事故，故須特別制定措施予以防治，如何整合科技使軌道運輸（尤其是高架橋梁軌道）達到平時可監測、災時可預警、並能協助災後檢測/評估，是現今有效維護管理工作不可或缺的一環。

健康監測是智慧城市與智慧運輸系統的關鍵，軌道運輸的災時預警可以倚靠地震預警（Earthquake Early Warning, EEW）系統，此類系統可在地震到達前幾秒到幾十秒發出預警。由國外的應用經驗看來，地震預警技術首次實際應用始於1965年，當時一場規模6.1的地震促使現在的日本鐵路（Japan Railways, JR）集團沿著新幹線子彈列車軌道每隔20至25公里安裝一個地震儀，以便在觀測到加速度超過40gal時發出警報，使列車減速，此監測方式沿用至今仍提供有效之預警概念。

以國內目前的技術應用現況而言，地震預警系統整合軌道運輸網路的實際預警案例並非可公開查閱的資料，現今美國西岸已經有多個軌道運輸網路整合地震預警系統的案例，例如在舊金山，該市與美國地質調查局（United States Geological Survey, USGS）合作，在灣區的灣區捷運（Bay Area Rapid Transit, BART）系統上安裝了地震預警技術（ShakeAlert），預警系統會向相關機構發出警報，並在關鍵時機觸發自動反應，如減慢BART列車的速度，BART亦在2020年底與美國地質調查局續簽合作。

貳、地震預警可行性評估

臺灣的地震觀測紀錄可以從日據時代開始談起，在1964年白河地震後，政府鑑於臺灣深受地震威脅，在1971年於國科會下成立地震專案小組，後改制於中央研究院底下，氣象局地震儀器於1981年開始使用新一代的三向量感應器，於全臺大量佈點，推動臺灣強地動觀測計畫（Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, TSMIP）。至今全臺已有七百餘個強

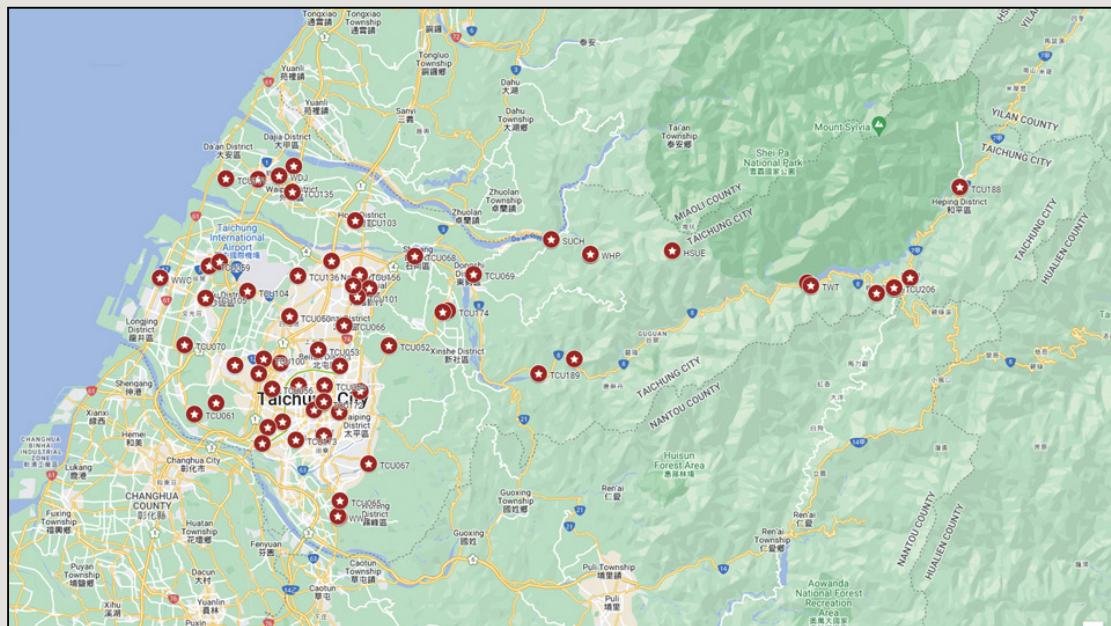


圖1 臺中全部地震觀測站

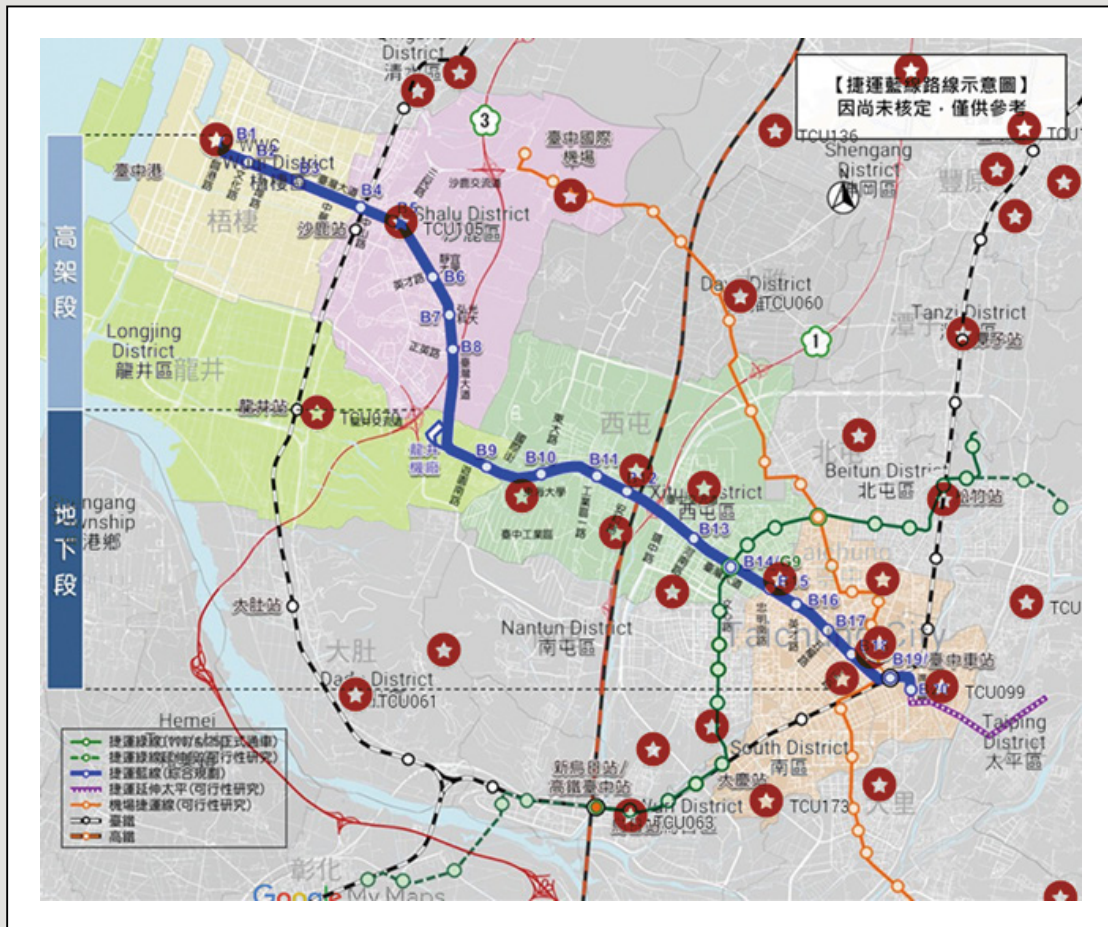


圖2 臺中捷運藍線附近地震觀測站

震測站，百餘個即時測站，五十餘棟監測結構物，這些強震測站都是為了加強臺灣對地震的了解。

本文研究目標對象為臺中捷運藍線，經查，目前中央氣象局的臺灣強地動觀測網在臺中市共設有七十六座地震觀測站，其中以TCU開頭之強震站就有五十座，如圖1所示。經過與臺中捷運藍線目前設計路線疊圖（如圖2所示），鄰近的測站分別為TCU048、TCU050、TCU051、TCU054、TCU055、TCU056、TCU057、TCU070、TCU099、TCU100、TCU105與TCU172共十二座地震觀測站。

經過相關地震資料收集，在1992至2006的15年中，臺中市地震觀測站共有852次有感地震

紀錄，總共收集到3645筆震波。若是僅考慮臺中捷運藍線附近的十二座地震觀測站，總共收集到1086筆震波，如圖3所示。圖中資料顯示相關趨勢大致符合臺中市全地震觀測站之結果，即地震規模與震源距離呈現正相關趨勢，約略符合地震規模越大，傳遞距離越遠的原則，且地表最大加速度小於8(gal)（震度2級）的資料共有527筆（48.5%），小於25(gal)（震度3級）的資料共有923筆（85.0%），大於40(gal)的資料共有103筆（9.5%），顯示地震資料大多是中小地震。

地震預警在即時地震波形處理及地震事件觸發演算上，本文採用STA/LTA的演算法的方式，並且考慮輔以赤池訊息量準則（Akaike Information Criterion, AIC）的演算法，來修正P

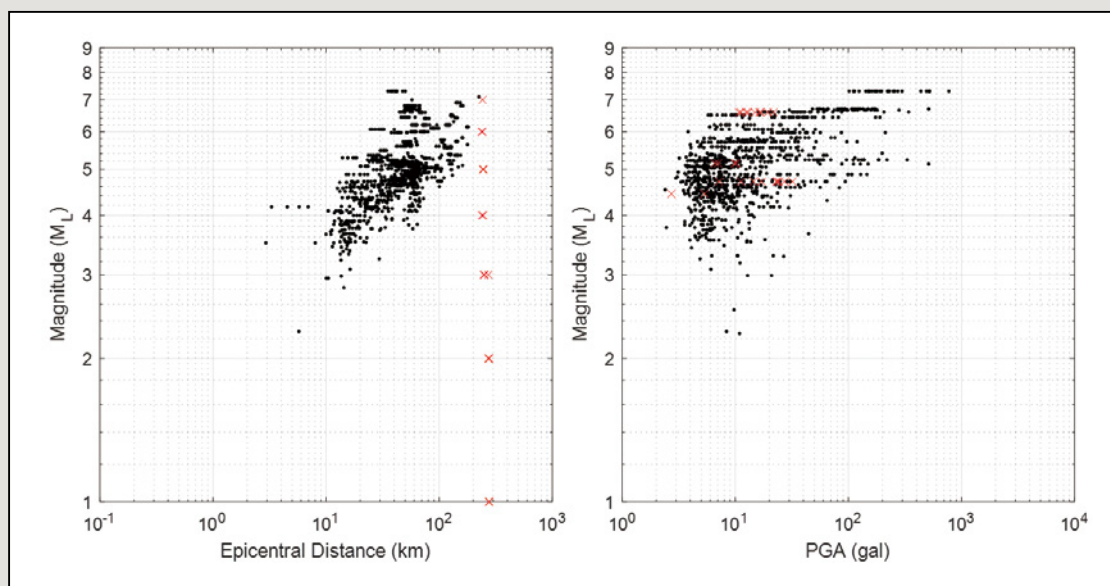


圖3 臺中捷運藍線附近地震觀測收集到所有震波資料

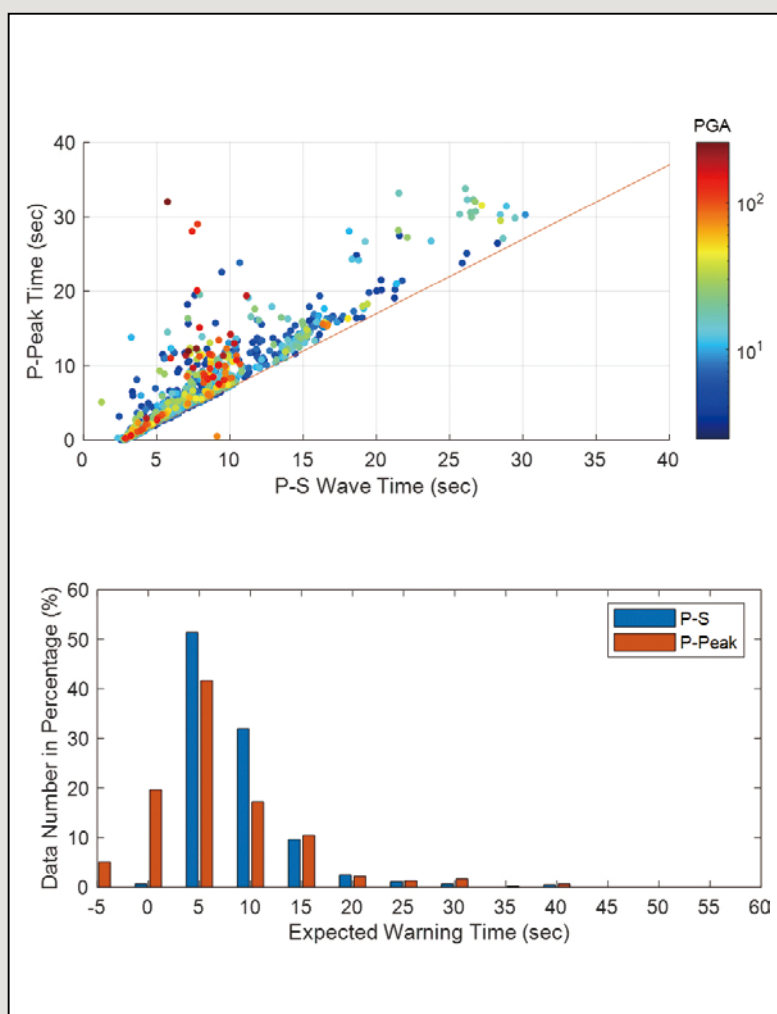


圖4 臺中捷運藍線附近地震觀測收集到所有震波的有效預警時間

波開始點。此類演算法目前已被世界上大多數的地震網資料處理中心及地震儀器廠商當作主要的運算核心，其次是以3秒P波估算S波地表最大加速度，此一演算法是結合目前多項先進的地震研究結果。

以臺中捷運藍線附近地震觀測站所有收集到的震波（1086筆）做為基礎，假設完美觸發地震事件的狀況下，理論上P-S波差是有19筆（1.7%）無法提供預警時間，P波與地表最大加速度差是有55筆（5.1%）無法提供預警時間。大致來說臺中捷運藍線附近的結果略優於臺中市全地震觀測站，推測是因為臺灣東岸至中央山脈地震發生頻率高於西岸，以震央距離而言，臺中捷運藍線座落於臺中市偏西的位

置在有效預警時間上有些微優勢。

其次探討有效預警時間，可發現原則上P波與地表最大加速度差都大於P-S波差。若以臺中捷運藍線附近地震觀測站所有收集到的震波（1062筆）做為基礎，全部地震紀錄中有1007筆應可提供有效預警時間，表示94.8%地震應可有預警時間，提供5~15秒有效預警時間應有相當可行性，如圖4所示。若是僅考慮地表最大加速度高於40(gal)的資料，102筆中有98筆應可有預警時間，為96.1%的比例。兩相比較，結論大致與上述結果類似，臺中捷運藍線的地震預警不僅具有可行性，其座落於臺中市偏西的位置在地震預警的有效預警時間上亦有些微優勢。

參、橋梁之地震歷時分析

為避免營運時受地震侵襲造成結構破壞，招致重大傷害，應於橋梁結構規劃預警系統監測結構受震反應，再透過適當之管理維護計畫，擬定震害監測對策。考慮臺中捷運藍線於B4車站—B5車站區段跨過大甲斷層，故選擇跨越斷層之橋梁振動單元作為分析的結構，透過動力歷時分析以及斷層錯動分析，檢視橋梁受震反應最大之處，作為佈置量測儀器之參考。本文選擇地震歷時的原則並非依照規範的要求，而是考量地震震度與測站至斷層距離，並

搭配選擇臺中捷運藍線附近的測站地震資料。

一、有限元素模型

橋梁計分析模型如圖5所示，橋梁單元涵蓋五個橋跨，各橋跨皆為獨立的簡支梁，除了中跨為雙鋼箱梁組成，其餘跨段由雙U型混凝土梁組成。結構桿件以彈性梁柱桿件模擬。

二、選擇鄰近斷層歷時

目前資料庫尚未有大甲斷層的地震歷時紀錄，因此本文選擇1999年集集地震的主震資料為地震歷時，鄰近震央的近斷層地震紀錄選擇震度7的TCU052 NS(南北向)以及震度6強的TCU102 EW(東西向)的測站紀錄為代表，其加速度歷時與測站位置如圖6、圖7所示。TCU052 NS量測的最大水平加速度為0.45g、TCU102 EW量測的最大水平加速度為0.30g，TCU052測站產生明顯的脈衝特性。此外，亦選擇橋址附近的地震紀錄，由於與震央距離較遠，產生的地震紀錄代表遠域地震的加速度歷時。測站部分選擇震度6弱的TCU070 EW的地震紀錄為代表，其加速度歷時與測站位置圖8所示，最大水平加速度為0.25g，相較於近斷層的地震紀錄來得小。由於測站位於橋址附近，其量測的地震紀錄可一定程度的呈現出橋址的地盤特性。

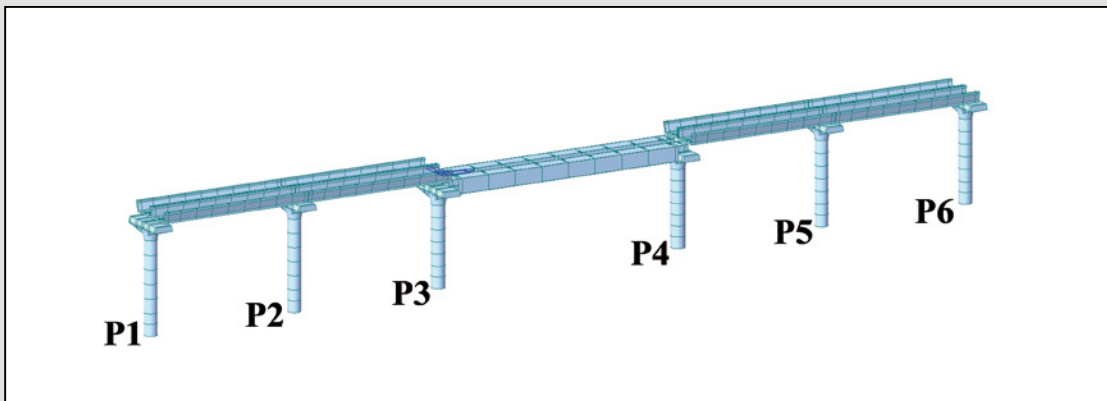


圖5 跨斷層帶之橋梁模型

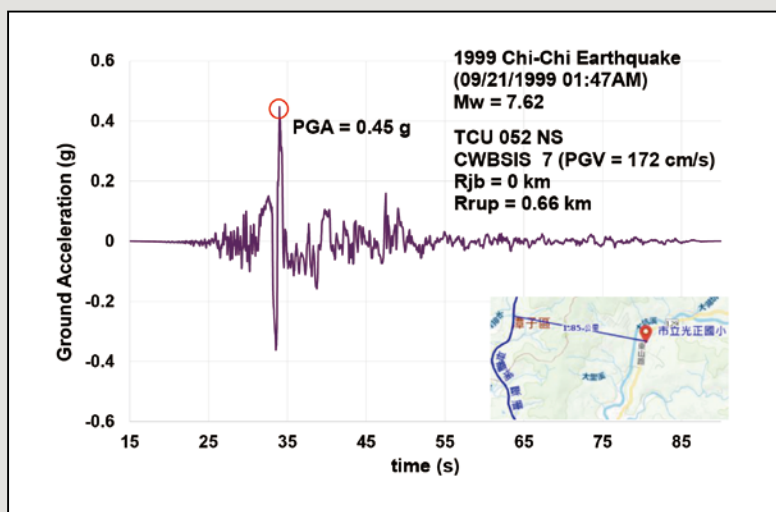


圖6 TCU052 NS之測站位置與加速度歷時

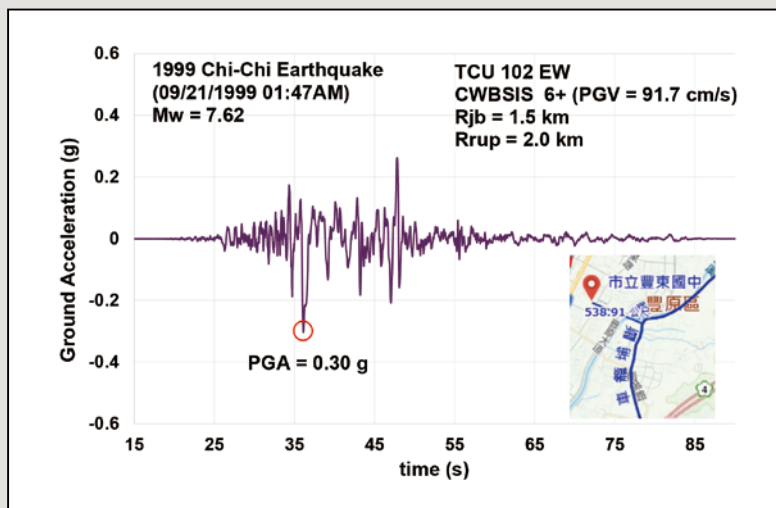


圖7 TCU102 EW之測站位置與加速度歷時

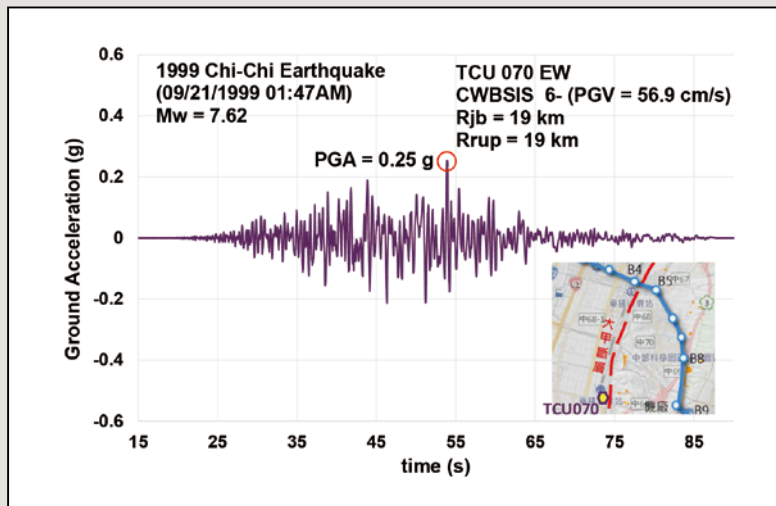


圖8 TCU070 EW之測站位置與加速度歷時

三、推估分析的地表錯動位移

為了探討地表錯動位移對橋梁產生的影響，本文參考洪曉慧等於2021年之跨斷層橋梁之地震反應研究，取地震歷時最大的相對位移作為地表錯動量，以靜力的方式輸入至有限元素模型中，分析橋梁受地表錯動位移產生最大的受力位置。

根據已選擇之地震歷時，本文篩選出近震央的測站TCU102 EW量測的近斷層地表位移歷時，以及遠離斷層的測站TCU070 EW量測的遠域地表位移歷時，如圖9、圖10。由圖9及圖10可以觀察出近斷層的特性，其受震反應產生明顯的脈衝，導致瞬間的相對位移顯著，TCU102 EW量測的最大地表錯動量達156.2 cm；而TCU070 EW與斷層的距離遠，並沒有明顯的脈衝產生，因此最大錯動量為67.2cm，相對較小。

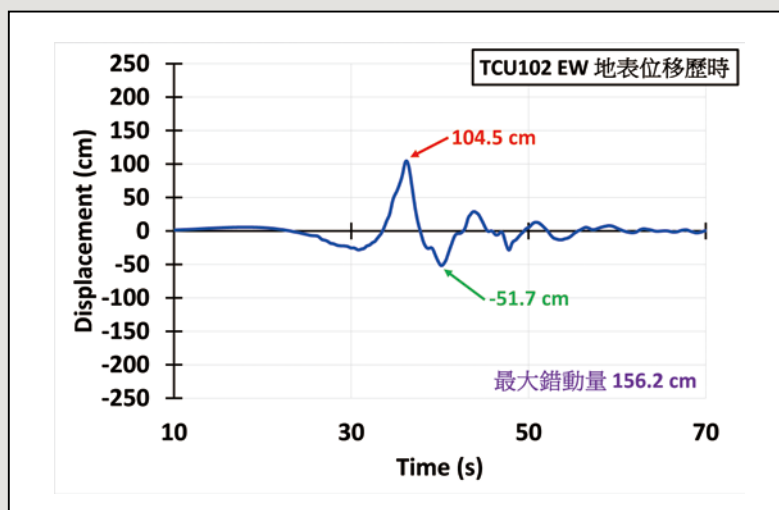


圖9 地表位移歷時TCU102 EW

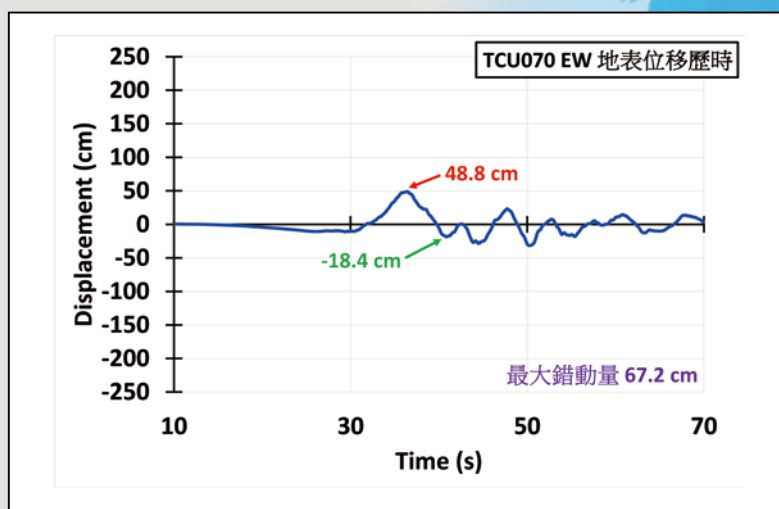


圖10 地表位移歷時TCU070 EW



四、地震歷時分析結果

將TCU052 NS、TCU070 EW及TCU102 EW分別於橋梁軸向與橋梁側向輸入至模型進行動力歷時分析。以P1為例，將不同地震歷時的分析結果整理如表1，表中可知TCU052 NS產生的結構反應最大，故本節以TCU052 NS的受震結果探討受震反應最大的發生位置。

整理TCU052 NS施加於橋梁側向及橋梁軸向的動力歷時分析結果，如表2、表3所示。表

2顯示受震方向於側向時，除了橋柱頂部旋轉最大發生位置發生於P2橋墩，其餘量測的最大反應，包括橋柱底最大應力值、橋柱底部最大彎矩、最大水平支承反力，皆發生於P3橋墩的位置。而表3顯示受震方向於橋梁軸向時，橋柱底最大應力值、橋柱頂最大旋轉量、橋柱底最大彎矩、最大水平支承反力皆發生於P3橋墩的位置；上部結構與滾支承的最大相對位移則發生於P4橋墩上的滾支承處。值得注意的是，表2也顯示P2橋墩與P3橋柱受震造成的柱頂旋轉角十分接近，因此根據分析結果可以推論，受震時

柱頂最大旋轉、最大水平支承反力、橋柱底部最大彎矩、應力皆可針對P3橋墩進行監測；上部結構與滾支承的最大相對位移則會發生於P4橋墩上的滾支承。最大變形位置整理於圖11。

肆、斷層錯動分析

一、斷層錯動分析的結果

本節對橋梁振動單元進行斷層錯動的分析，所假設的地表錯動方向與車行方向垂直，

表1 P1 橋墩承受橋梁側向和橋軸方向地震歷時之反應

橋墩	P1	TCU052 (NS) 側向	TCU070 (EW) 側向	TCU102 (EW) 側向	TCU052 (NS) 橋軸向	TCU070 (EW) 橋軸向	TCU102 (EW) 橋軸向
底部節點	206						
頂部節點	129						
橋墩高度(cm)	1826						
橋柱底部壓應力 (kgf/cm ²)		1053	255	560	1647	459	955
橋柱底部拉應力 (kgf/cm ²)		-1026	-229	-534	-1620	-434	-928
橋柱頂最大旋轉位置 (Node)		123	123	123	129	129	129
橋柱頂部旋轉 (rad)		3.70E-02	8.66E-03	-1.95E-02	-5.67E-02	1.49E-02	-3.29E-02
橋柱底部最大彎矩 (tf-m)		-7407	-1726	3901	-11641	3182	-6709
最大水平支承反力 (tonf)		139.61	32.11	74.40	285.14	74.52	165.20
上部結構與滾支承墊 最大相對位移(cm)		P1橋墩上方僅包含鉸支承，無滾支承					

表2 TCU052 NS施加於橋梁側向之整體橋梁反應

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
橋柱底部壓應力 (kgf/cm ²)	1053	1764	2000	1782	1816	952
橋柱底部拉應力 (kgf/cm ²)	-1026	-1726	-1968	-1751	-1779	-925
橋柱頂部旋轉 (rad)	3.70E-02	6.04E-02	-6.00E-02	-5.28E-02	5.85E-02	3.04E-02
橋柱底部最大彎矩 (tf-m)	-7407	-12435	18352	16344	-12809	-6687
最大水平支承反力 (tonf)	139.61	161.08	307.09	295.36	165.40	140.74

表3 TCU052 NS施加於橋梁軸向之整體橋梁反應

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
橋柱底部壓應力 (kgf/cm ²)	1647	1697	2209	1471	1668	366
橋柱底部拉應力 (kgf/cm ²)	-1620	-1662	-2177	-1436	-1632	-340
橋柱頂部旋轉 (rad)	-5.67E-02	-5.66E-02	-6.20E-02	-4.10E-02	-5.21E-02	-1.02E-02
橋柱底部最大彎矩 (tf-m)	-11641	-11966	-20288	-13445	-11759	-2513
最大水平支承反力 (tonf)	285.14	297.15	569.07	365.80	312.41	
上部結構與滾支承 墊最大相對位移(cm)		24.2	40.3	97.8	64.2	66.7

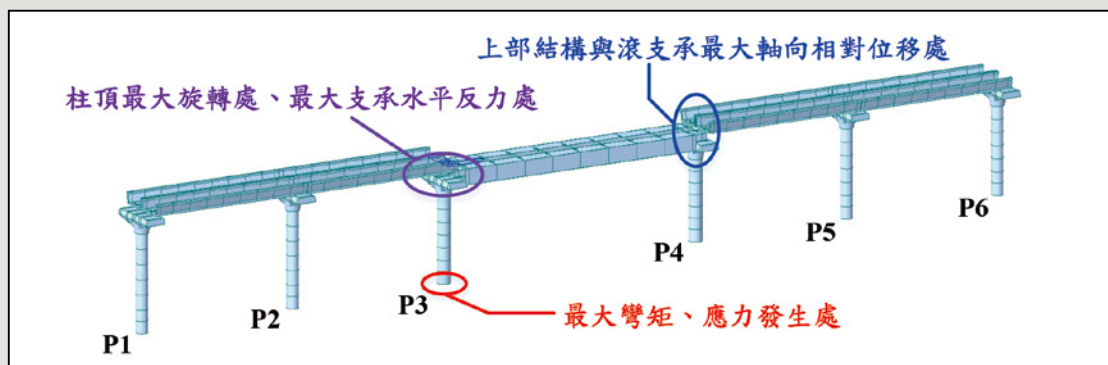


圖11 動力歷時分析結果產生最大反應處

斷層錯動發生相對位移區域假設介於P3和P4之間，發現可獲得較大結構反應。地表錯動施加至橋梁結構方式為將P4~P6橋墩底部平移圖的移

動量，如圖12所示。

(一) 橋墩頂部與橋墩底部之相對位移

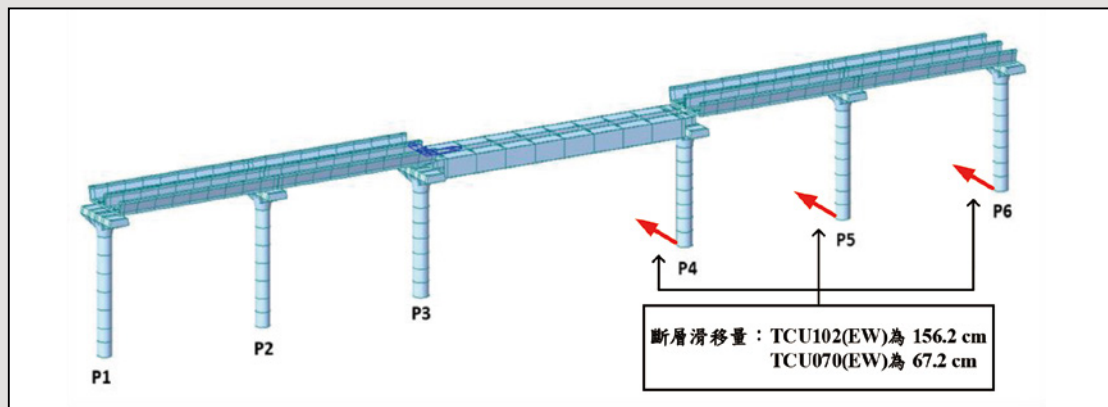


圖12 斷層錯動模型示意圖

將P1~P6橋墩受TCU070 EW與TCU102 EW錯動產生的柱頂相對位移整理於表4，TCU070 EW、TCU102 EW錯動皆會使P3、P4橋柱頂產生較為明顯的相對位移，其餘的橋柱頂相對位移皆未達P3、P4橋柱頂相對位移的10%。可發現橋柱最大相對位移會發生在斷層錯動段的兩側橋墩，再往外側的橋墩反應減少非常多。可進一步推測該類型橋梁受錯動影響時，橋梁產生的反應會集中在錯動段的橋跨，故特別針對P3~P4橋跨的反應進行檢核。

表4 橋墩受斷層錯動影響產生的柱頂與柱底相對位移

	TCU070 (EW) 錯動	TCU102 (EW) 錯動
P1柱頂相對位移(cm)	-0.05	-0.05
P2柱頂相對位移(cm)	-0.04	0.00
P3柱頂相對位移(cm)	0.93	2.21
P4柱頂相對位移(cm)	-0.89	-2.01
P5柱頂相對位移(cm)	-0.09	-0.12
P6柱頂相對位移(cm)	-0.04	-0.04

(二) P3~P4橋跨之簡支鋼箱梁應力分布

箱梁斷面如圖13所示，分析結果將觀測圖13中S1~S8位置的應力值。由於P3~P4橋跨為雙箱梁形式，故各別對左箱梁與右箱梁進行分析，其中左右側的區分以假設車行方向為P3至P4方向來定義。查詢的斷面則選擇P3至P4方向的

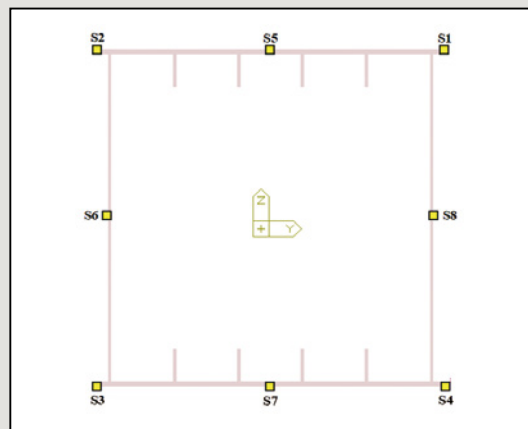


圖13 P3~P4橋跨之箱型梁斷面圖

1/2橋跨處(斷面A)與3/4橋跨處(斷面B)，如圖14所示，以了解沿箱梁軸向的應力變化。

將TCU070 EW、TCU102 EW錯動造成的箱梁應力分布整理於表5、表6，可知1/2橋跨處受力較大，且箱梁受錯動影響產生的最大壓應力皆發生於S2位置(斷面左上角)、最大拉應力發生於S4位置(斷面右下角)。考量兩鋼箱梁之間藉由橫向加勁鋼板組合在一起，且在P3端每個箱梁下方由一個鉸支承與橋柱連接，當斷層錯動造成整體鋼梁於水平向一起旋轉時，P3端的支撐行為等同於兩個鉸支承一同作用，於箱梁軸向產生的支撐反力，限制P3端箱梁的側向旋轉，並對箱梁產生一水平向的扭轉彎矩，如圖15所示。由於同時受到自重以及側向彎矩影響，因此會呈現最大壓力發生於箱梁最左上角、最大拉應力發生於箱梁最右下角的情況。

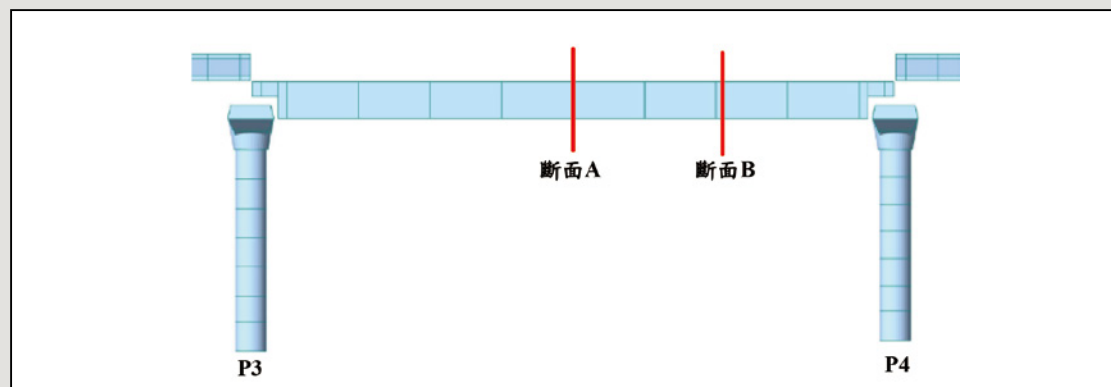


圖14 P3~P4橋跨查詢箱梁之斷面位置

表5 TCU070 EW錯動造成之鋼箱梁應力分布

TCU070 (EW) 錯動	斷面A		斷面B	
	左箱梁	右箱梁	左箱梁	右箱梁
S1應力 (kgf/cm ²)	271.7	219.8	215.4	175.3
S2應力 (kgf/cm ²)	296.2	244.2	202.3	162.2
S3應力 (kgf/cm ²)	-214.2	-277.4	-181.0	-209.6
S4應力 (kgf/cm ²)	-238.6	-301.8	-167.9	-196.6
S5應力 (kgf/cm ²)	283.9	232.0	208.8	168.7
S6應力 (kgf/cm ²)	40.0	-17.5	11.1	-23.2
S7應力 (kgf/cm ²)	-226.4	-289.6	-174.4	-203.1
S8應力 (kgf/cm ²)	17.5	-40.0	23.2	-11.2

表6 TCU102 EW錯動造成之鋼箱梁應力分布

TCU102 (EW) 錯動	斷面A		斷面B	
	左箱梁	右箱梁	左箱梁	右箱梁
S1應力 (kgf/cm ²)	289.9	169.2	250.6	157.4
S2應力 (kgf/cm ²)	346.7	226.0	220.1	127.0
S3應力 (kgf/cm ²)	-156.1	-303.0	-170.7	-237.3
S4應力 (kgf/cm ²)	-212.9	-359.8	-140.2	-206.9
S5應力 (kgf/cm ²)	318.3	197.6	235.4	142.2
S6應力 (kgf/cm ²)	93.1	-40.8	25.9	-53.9
S7應力 (kgf/cm ²)	-184.5	-331.4	-155.5	-222.1
S8應力 (kgf/cm ²)	40.8	-93.0	54.0	-26.0

橋柱產生撓曲變形，TCU070 EW 錯動對P3及P4橋墩造成0.9cm的側向位移，TCU102 EW錯動對P3及P4造成位移約為2cm。以橋柱高度16m，其柱頂相對於柱底的撓曲側移比(Drift Ratio)分別為TCU070 EW造成的0.06%及TCU102 EW造成的0.13%。而橋柱底部最大彎矩在TCU070 EW、TCU102 EW錯動時分別為300 tf-m與700 tf-m。上部結構與滾支承墊的最大相對位移部分，TCU070 EW錯動使P4橋墩上部結構產生2cm的滑移量、TCU102 EW 錯動使P4橋墩上部結構產生3.8cm的滑移量。P4橋墩處支承反力部分，垂直車行向的支承反力在TCU070 EW、TCU102 EW錯動分別為10 tonf與22 tonf。此外，由於P3橋墩的支承處為雙鉸支承的形式連接上方的雙鋼箱梁，鉸支承會各自產生一個車行向的支承反力，其大小相同方向相

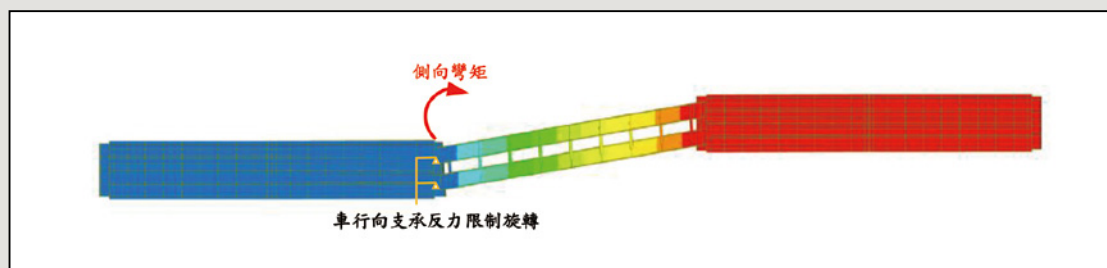


圖15 斷層錯動位於P3-P4橋跨時側向彎矩產生之原因

(三) P3、P4橋墩桿件因斷層錯動的受力反應

P3、P4橋墩受斷層錯動產生的反應如表7與表8所列。因橋柱頂與柱底的相對位移，對

反，限制了該斷面鋼箱梁的側向旋轉，TCU070 EW、TCU102 EW錯動時車行向的支承反力分別為187.6 tonf、436.0 tonf，該力量遠大於垂直車行向的支承反力。此外，由於P3橋墩的雙

表7 P3橋墩受P3-P4橋跨斷層錯動產生的反應

橋墩	P3	TCU070 (EW) 錯動	TCU102 (EW) 錯動
底部節點	210		
頂部節點	153		
橋墩高度(cm)	1623		
橋柱底部壓應力 (kgf/cm ²)		47.1	90.9
橋柱底部拉應力 (kgf/cm ²)		-17.0	-60.8
橋柱頂部旋轉 (rad)		-8.55E-04	-1.92E-03
橋柱扭轉 (tf-m)		849.2	1973.7
橋柱底部最大彎矩 (tf-m)		296.1	700.3
垂直車行向支承反力 (tonf)		10.09	22.84
車行向支承反力 (tonf)		187.59	436.02
橋柱頂相對柱底的水平位移(cm)		0.93	2.21
上部結構與滾支承墊最大相對位移(cm)			

表8 P4橋墩受P3-P4橋跨斷層錯動產生的反應

橋墩	P4	TCU070 (EW) 錯動	TCU102 (EW) 錯動
底部節點	212		
頂部節點	168		
橋墩高度(cm)	1550		
橋柱底部壓應力 (kgf/cm ²)		47.4	89.2
橋柱底部拉應力 (kgf/cm ²)		-17.7	-59.5
橋柱頂部旋轉 (rad)		8.75E-04	1.85E-03
橋柱扭轉 (tf-m)		14.4	33.5
橋柱底部最大彎矩 (tf-m)		-300.8	-686.8
垂直車行向支承反力 (tonf)		10.06	22.77
車行向支承反力 (tonf)		0.00	0.00
橋柱頂相對柱底的水平位移(cm)		-0.89	-2.01
上部結構與滾支承墊最大相對位移(cm)		2.0	3.8

鉸支承會產生一組車行向的支承反力使得橋柱扭轉，從表7中可以發現TCU070 EW及TCU102 EW錯動時，於橋柱產生顯著的扭矩，分別為TCU070 EW的849.2tf-m與TCU102 EW的1973.7 tf-m，兩組扭矩皆相當顯著，須特別留意此扭矩是否會使橋柱產生斜向裂縫。

(四) 橋柱正向應力分布

由於斷層錯動使得P3橋墩承受嚴重的扭矩，加上橋墩受自重軸力、撓曲彎矩、垂直車行向及車行向的支承反力造成扭矩等力量，皆會對橋柱產生正向應力。橋柱上的平面應力狀況如圖16所示。分析之後推估最大應力會發生在橋柱受側向彎矩的外側(撓曲受拉側)與內側(撓曲受壓側)。根據橋柱側向彎曲外側與內側的軸應力、撓曲應力、扭轉剪應力，藉由平面應力轉換計算出主應力方向與正向拉應力值。圖17與18分別為橋梁承受TCU070 EW與TCU102 EW錯動，P3橋墩於不同位置的主拉應力分布。由圖可以發現，接近橋柱頂端因為側向撓曲彎矩接近於0，扭矩造成的主拉應力大約42kgf/cm²，接近橋柱混凝土的開裂應力。受彎矩撓曲的影響，越接近橋柱底端，彎曲外側的主拉應力持續增大。若考慮主拉應力可能產生的破壞的位置，須留意塑性鉸區外開始降低側向鋼筋量的區域，橋柱剪力強度因側向鋼筋間距增加而降低，但是因為主拉應力較大，於此位置產生破壞。

二、結構最大反應位置整理

由數值分析模型之結果，彙整橋梁結構在不同受力反應下需要留意的應力與變形，提出圖19中各種監測器布設的想法，提供將來建構橋梁監測計畫參考。

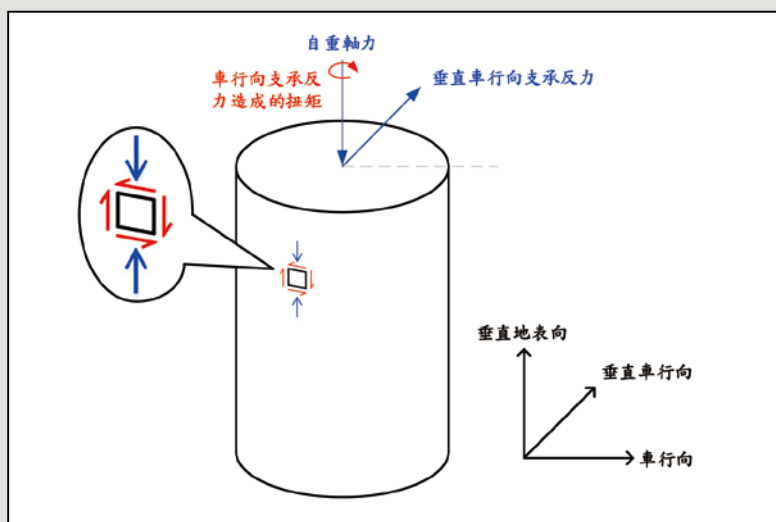


圖 16 P3橋墩受斷層錯動影響之受力圖

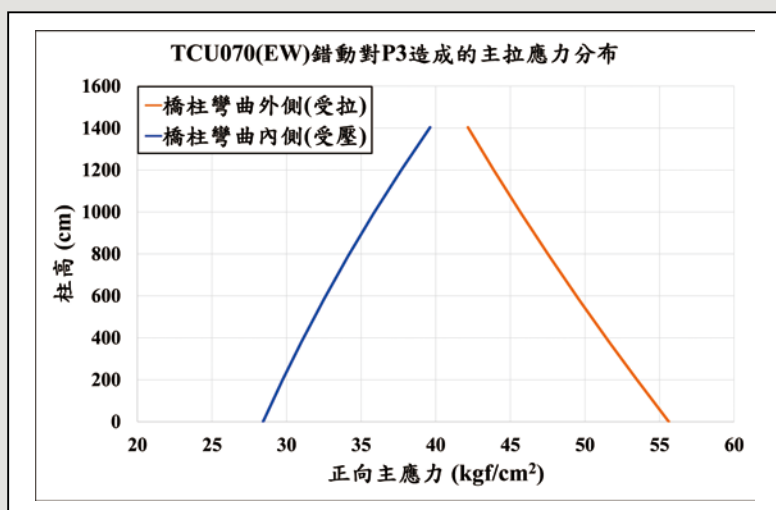


圖 17 TCU070 EW錯動對P3橋墩造成的主拉應力分布

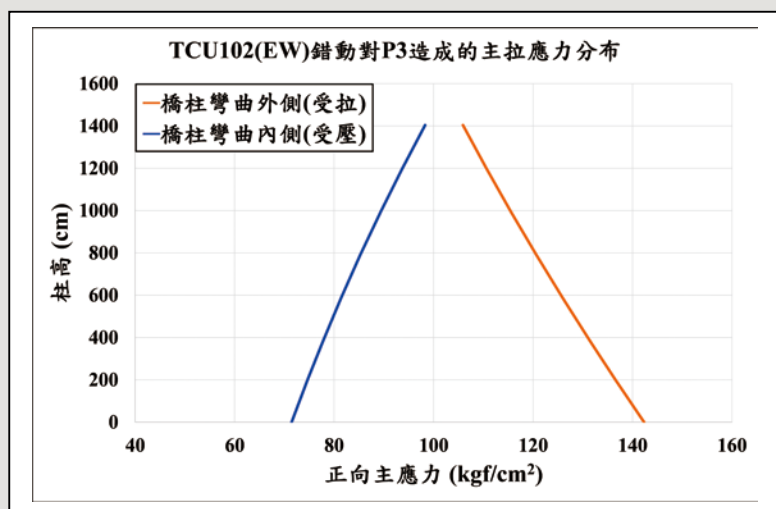


圖 18 TCU102 EW錯動對P3橋墩造成的主拉應力分布

(一) 橋柱底部應力

當簡支梁單元受地震搖晃時，會對橋柱底端產生明顯的彎矩，可能會讓構件產生非線性行為；而受斷層錯動影響時，橋柱底部產生的彎矩並不明顯。可以藉由圖 19 中橋柱底部的應變計，判斷該位置的應力狀況，監測值包括鋼筋、混凝土表層應變，評估鋼筋是否降伏、混凝土表面是否碎裂等應變程度。

(二) 橋柱傾斜

根據分析結果，地震晃動時產生的橋柱傾斜量，會較斷層錯動產生更明顯的橋柱傾斜，因此需留意地震搖晃時橋柱頂部的傾斜程度。藉由圖 19 中橋柱頂部的傾斜儀可以監測該橋柱產生的傾斜量。

(三) 扭矩正向應力

斷層錯動發生時，會對於橋柱會產生相當顯著的扭矩作用。為了防止橋柱因斷層錯動而產生扭轉破壞的斜向開裂，本文建議於圖 19 中柱身的位置設置三軸應變計，監測扭轉造成的斜向應變量，而安裝位置建議設置於橋柱塑鉸區與一般區的交界處，因為橋柱的設計在該位置降低了側向鋼筋量，較

有可能產生裂縫破壞。

(四) 支承墊(橋軸向位移)

地震搖晃方向與橋軸向平行時，會使上部結構與滾支承產生明顯的相對位移量；而斷層錯動產生的上部結構與滾支承相對位移量則不明顯。圖19中可藉由相對位移計來進行落橋監測。

(六) 上部結構

簡支梁橋梁受斷層錯動影響時，最大的壓應力值與拉應力值發生於鋼箱梁的對角處，位於跨段中央的斷面應力值最大。監測器的安裝位置如圖19所示，建議在鋼箱梁的四角處安裝撓曲動態應變計與三軸向剪力動態應變計，以量測不同斷層錯動方向造成的最大應變。

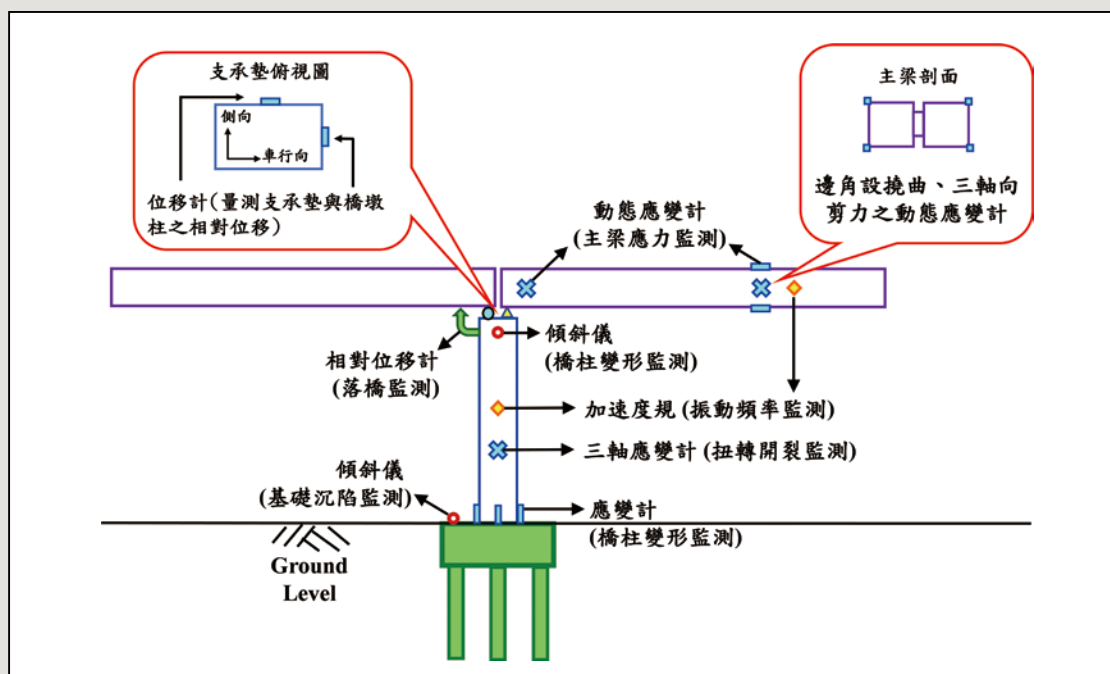


圖19 高架橋跨越斷層之結構安全監測儀器配置示意圖

(五) 支承墊(反力)

斷層錯動會使橋梁產生較大的支承墊反力，最大反力為鉸支承墊的車行向反力。由於支承墊形式眾多，且各個類型的力學特性不同，本節以止震塊或剪力鋼棒為例來說明，可以監測止震塊或剪力鋼棒的應變值，進一步評估該狀態下支承墊的受力情形。而支承墊的監測儀器的安裝位置可以參考圖19所示，在垂直橋軸向與橋軸向各別安裝一個位移計，因應不同方向的地震力與斷層錯動影響，導致支承墊與橋墩產生的相對位移。

結論

透過技術文獻之評析、數值模擬與結構分析等成果，提供捷運系統後續管理養護策略與建議如下：

(一) 日常活載重作用的安全監測

為剖析活載重引起之最大反應，主要監測項目為高架橋主梁結構關鍵位置在日常活載重（軌道車輛）通行引起之撓曲應變與剪力應變反應，藉此可了解肇因於橋梁劣化因素（裂縫、預

力損失等)，由活載重變動引起之橋梁力學反應，此種力學行為的變化就可以直接作為橋梁結構健康狀態改變之量化指標，以確保橋梁之使用安全。

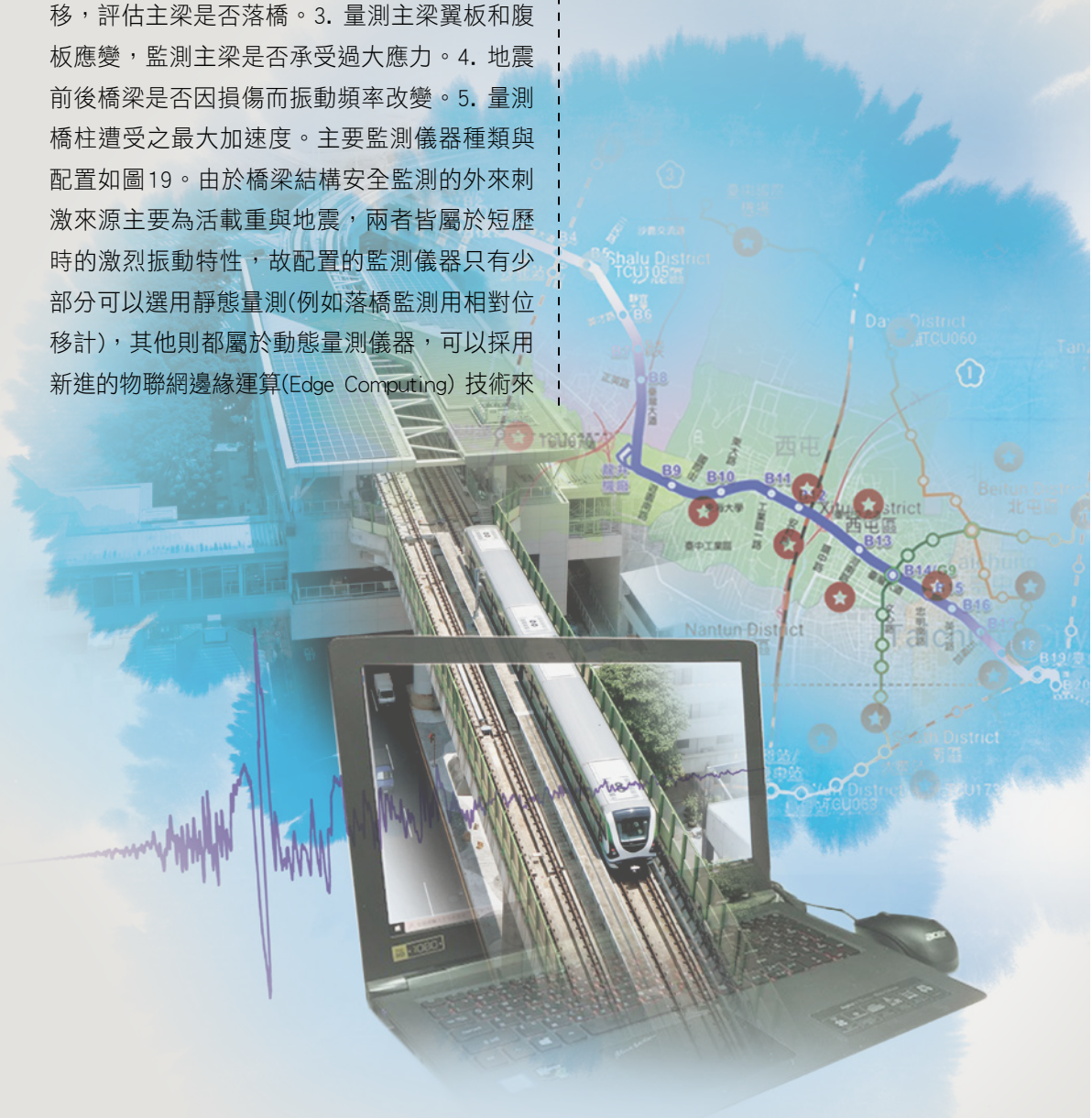
(二) 地震作用的安全監測

為有效掌握地震引起之致災反應，監測項目建議可包含：1. 橋柱傾斜量和柱底位置應變，以評估橋柱之變形是否過大而超過設計考量的性能極限。2. 量測上部結構和帽梁的相對位移，評估主梁是否落橋。3. 量測主梁翼板和腹板應變，監測主梁是否承受過大應力。4. 地震前後橋梁是否因損傷而振動頻率改變。5. 量測橋柱遭受之最大加速度。主要監測儀器種類與配置如圖 19。由於橋梁結構安全監測的外來刺激來源主要為活載重與地震，兩者皆屬於短歷時的激烈振動特性，故配置的監測儀器只有少部分可以選用靜態量測(例如落橋監測用相對位移計)，其他則都屬於動態量測儀器，可以採用新進的物聯網邊緣運算(Edge Computing) 技術來

解決動態資料量過大與分析困難之問題。

(三) 地震預警監測

為獲得即時且有效的地震早期警報，建議可以在現地裝設地表自由場之三軸加速度計，並考慮採用現地型強震即時警報，使能在P波資料收到之3秒內推估後續S波之震度，再透過結構物動態反應快速評估，回饋到捷運系統行動控制中心作為捷運軌道車輛安全減速或緊急停駛之用，達到行車安全預警功能。



海外軌道工程計畫 經驗分享（以菲律賓 NSCR-N1為例）

關鍵詞(Key Words)：海外(Overseas)、軌道工程(Railway Engineering)、經驗分享(Sharing Experiences)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／經理兼計畫主持人／詹宏義 (Chan, Hung-I) ❶

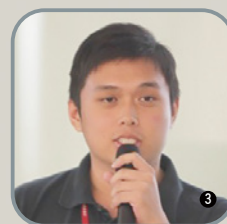
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫經理／鍾熙煜 (Chung, Hsi-I) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫工程師／林先鋒 (Lin, Sian-Fong) ❸



摘要

台灣世曦作為國內目前規模最大的工程顧問公司，從南到北甚至是外島皆有本公司涉足之計畫案。但本公司並不以此成果自滿，積極往海外全方位拓展事業版圖，以產業全球化作為本公司目標。故此，本文章將分享有關捷運工程部於菲律賓南北線通勤鐵路(Malolos - Tutuban段) 之軌道設計服務計畫執行經驗，作為日後國外發展的參考案例。



Sharing Experiences of Overseas Railway Engineering Projects (Based on Philippines NSCR-N1)

Abstract

As the largest engineering consultant in Taiwan, we have projects spanning from the south to the north of the country and even on outlying islands. However, we do not satisfy on these accomplishments. We are actively expanding our business globally with the aim of industrial globalization. Therefore, this article will share the execution experience of the MRT Engineering Department's track design service project for the North-South Commuter Railway (Malolos–Tutuban) in the Philippines, serving as a reference case for future international development.

3

專題報導

壹、前言

一、NSCR背景

於2014年起，菲律賓國家經濟發展局(NEDA)以原北軌計畫重新評估規劃，隨後納入大馬尼拉夢想計畫(Metro Manila Dream Plan)，至此南北鐵路計畫(NSRP)逐漸成案。NSRP總體規劃的其他組成部分包括重建現有的地鐵通勤線，以及重建呂宋島北部和南部的長途服務，所有這些都將透過公私合作夥伴關係(PPP)模式取得資金。NSRP計畫長約709km(2024年資料)，以馬尼拉為中心向北到達呂宋島北部和東北部，向南有通勤線、長途線，一起連接呂宋島2座國際機場、各個城市、直轄市、經濟區和國際海港。菲律賓南北通勤鐵路(North-South Commuter Railway, NSCR)，也稱為克拉克-卡蘭巴鐵路(Clark - Calamba Railway)，屬於NSRP計畫的大馬尼拉區域核心路段。

二、NSCR計畫簡介

菲律賓政府為振興經濟，並讓菲律賓的基礎建設逐步現代化，衍生自大馬尼拉夢想計畫的NSCR，是交通運輸廊道服務的軌道設計計畫，主要以運送人員為目的，連接馬尼拉首都區北部的克拉克市(高科技綠能城)、克拉克市(國際機場門戶/經濟特區/物流中心)、馬尼拉市(政治經濟中樞)到卡蘭巴市(既有外商工業區/新開發高科技工商園區)共147km，服務80,000旅次/日，預估總經費8,700億披索，資金來源為向JICA、亞洲開發銀行(ADB)貸款籌措。(業主：菲律賓交通部)

NSCR路線從北到南依路線段順序，計畫可分為：

(一) NSCR- N2 (Clark - Malolos, 53.4 km)

(二) NSCR- N1 (Malolos - Tutuban, 37.6 km)

(三) NSCR- SC (Tutuban - Calamba, 56.0 km)



圖1 NSCR計畫路線(取自業主招標公告資料)

NSCR為呂宋島上目前規模最大的公共運輸工程計畫，而NSCR N1是最早發包路段，延伸段也發包完成，也是本公司捷運工程部門目前主要參與的部分。(圖1)

貳、計畫組織與計畫架構

一、NSCR計畫組織

- 計畫名稱：南北通勤鐵路計畫(Malolos-Tutuban) North-South Commuter Railway (NSCR) Project
- 業主：菲律賓交通部(DOTr)
- 營運單位：菲律賓國家鐵路公司(PNR)
- 採購代理：菲律賓商務部採購服務處(PS-DBM)
- 資金來源：JICA，編號PH-P262 (27 Nov.)

2015)，973億披索

■ 總顧問：NSTren聯盟 (NSTren Consortium)

■ 計畫綱要：

從Malolos 到Tutuban通勤軌道計畫，主線約37.6km長，初期10個車站(未來增加5個車站)，高架橋梁結構為主，路堤段約1.8km長，設1座維修機廠；主線營運最大速度120km/h，標準軌距1435mm，最大軸重16噸，長焊鋼軌(主線EN60E1鋼軌，維修機廠JIS 50N鋼軌)。主線採無道碴軌床，一般軌道型式為彈性PC軌枕直結軌道(Elastic Sleeper Direct Fasten, ESDF)，機廠內為PC枕道碴軌道。

二、NSCR-N1計畫架構

NSCR-N1計畫目前概分為4個主要子標，相關契約責任範圍概述如下：

■ CP01土建標：日本大成建設株式會社(Taisei)與菲律賓DMCI共同承攬，總長23.6 km，包含7座高架車站，2座平衡懸臂橋，

以及1座維修機廠(14.1公頃)。

■ CP02土建標：日本三井住友建設株式會社(Sumitomo Mitsui Construction) 承攬，總長14.0km，包含3座高架車站。

■ CP03車輛標：日本總合車輛製作所株式會社(J-TREC)承攬，總共採購13列電聯車(8節/列，總共104節)，以及其他相關駕駛艙模型與行車模擬器。皮重270噸/列，每一節車長20m /寬2.95m /高4.15m (集電弓鎖定)，客艙地板高程TR+1130~1150mm，1500V DC架空線供電，採Tc - M - M - T - T - M - M - Tc分散式動力布局。

■ CP04系統機電與軌道標：日立軌道交通號誌系統股份有限公司(Hitachi Rail STS, HRSTS) 承攬，包含NSCR N1計畫之訊號/號誌/供電/OCS/機廠設備/機廠雜項工程等專業子系統與軌道工程；其中CP04標軌道工程專業分包商為森業營造菲律賓公司，並委託台灣世曦顧問股份有限公司為其軌道設計顧問。

三、界面關係 (詳表1、表2)

表1 NSCR-N1計畫界面關聯表

NSCR N1 \ 界面	NSCR-N2計畫	CP01標	CP02標	CP03標	CP04標	NSCR-SC計畫
CP01標	-	-	●	●	●	●
CP02標	●	●	-	●	●	-
CP03標	●	●	●	-	●	●
CP04標	●	●	●	●	◎	●

表2 CP-04標內部界面關聯表

CP04標 \ 內部界面	訊號工程	號誌工程	供電工程	OCS	機廠設備	機廠雜項工程	軌道工程
訊號工程	-	◎	◎	-	-	-	◎
號誌工程	◎	-	◎	-	-	-	◎
供電工程	◎	◎	-	◎	◎	◎	◎
OCS	-	-	◎	-	-	-	-
機廠設備	-	-	◎	-	-	◎	◎
機廠雜項工程	-	-	◎	-	◎	-	◎
軌道工程	◎	◎	◎	-	◎	◎	-

參、計畫執行前階段

於開始執行計畫前或者說簽約前，藉由以下的經驗分享了解國內與國外（NSCR-N1）合約用語差異，避免在簽約前錯估形勢造成不必要的損失。

一、國內與海外「階段」定義區別

（一）「國內」統包工程各階段之定義

1. 設計階段：分為「期中設計」與「期末設計」。
 - （1）期中設計：初步成果的檢視與調整，確保設計方向正確。
 - （2）期末設計：完善所有設計界面與技術文件，準備進入施工階段。
2. 施工階段：根據期末設計文件進行更細一步的發展，如製造圖，及實際建設工作。
3. 竣工階段：施工完成並通過檢驗後，進行項目的最終驗收和交付。
4. 營運階段：正式使用和運營。

（二）「海外」統包工程各階段之定義

1. Preliminary Design：為設計階段，目的如下：
 - （1）確定設計標準，並提出配置方案。
 - （2）確定整體設計中每個系統、設備的功能。
 - （3）驗證設計依據和計算成果（與實驗報告數據比對）。

2. Pre-Final Design：相當於國內的期末階段，以完善界面衝突為主項目。

3. Final Design：相當於國內的施工階段。

深入了解國內與海外計畫在各階段的劃分和定義，能夠幫助計畫管理者更好地應對國際合作中的挑戰，特別是在跨國項目中，理解並適應這些差異至關重要，以確保項目的成功交付及避免不必要的損失。簡單舉個例子，若在合約內發現工作內容包含Final Design，當下應仔細詢問工作內容，切勿貿然認定為期末階段，畢竟「期末設計圖說」及「施工圖說」的工作量及相應的費用截然不同，故對於國外計畫合約的「階段」認知相當重要。

二、部分合約條文之解讀及執行案例

（一）有關知識產權權益

在國內工程中，對於知識產權的保護有著強烈的重視，詳細的設計分析原始檔案被視為公司智慧財產，報告常以說明規範公式、計算過程、分析成果截圖呈現。而本計畫總顧問則以「可審查性」要求提供完整的分析檔案以確保設計成果的正確性，儘管契約未明確提及（如圖2）。為了避免公司權益損失，這部分需要萬分小心。

（二）有關工程材料之規定

在國內，業主通常偏好更耐用和高品質的材料，例如在軌道工程中常使用的耐磨鋼軌，即使這超出了契約的要求。在國內，此作為通常很受業主歡迎，但在本計畫中，即使已多次說明有關耐磨鋼軌在台灣的良好「戰績」以及各方收集的技術文獻，仍然會受到阻擾，也可能被視為違約而遭受懲罰。

6.6

Design Process

The Contractor shall deploy the staff having sufficient experience in the design of similar works at all times to maintain liaison with the Engineer. The principal requirements of the design phase is to undertake the design during this phase in three stages:

- 1) The preparation of the Preliminary Design;
- 2) The preparation of the Pre-final Design; and
- 3) The preparation of the Final Design.

The software used by the Contractor for its alignment and track works design shall to be reviewed by the Engineer. Two (2) copies of the software, licenses and training for same shall be provided to the Engineer for its use in the design review process.

圖2 契約相關條文

肆、計畫執行初期

一、制定合理之內部審查制度

內部審查（本公司與統包商間）是NSCR文件送審過程中不可或缺的一個環節，其作用在於確保文件的品質和準確性，從而避免不必要的低級錯誤。在文件正式送審之前，應通過內部審查來檢視和糾正潛在的錯誤和闕漏，確保文件內容與格式均達到業主的要求。

計畫啟動初期，本團隊原以為照著相關規定製作應能讓內部審查順利進行。然而在內部審查過程中，統包商花費的時間比我們料想的長，意見內容多為格式問題非關鍵之技術意見，且審查意見竟包含統包商原規定之格式變更（說明統包商內部在沒有整合好的情況下給與本團隊錯誤指示），造成整體時程不必要的浪費（前後至少延宕2~3個月的期程）。因此，本團隊建議，若能重來，在專案一開始，本團隊應與統包商（HRSTS）充分說明相關情形，並擬定合理之審查制度（包含流程、期程等），俾利避免經歷不必要的窘境。

伍、設計作業執行過程

NSCR-N1計畫設計作業主要分為高架軌道結構（混凝土道床）、地面軌道結構（道碴道床）、全線段線形設計、機廠雜項結構設計及BIM模型建構。在過去國內的軌道結構設計多以「新世紀鐵路工程學」^{註1}、「鐵路軌道設計與養護實務」^{註2}及其他相關國內參考書籍為依據進行分析設計，然而因地緣關係、國外審查者偏好及計畫背景等因素的影響，本團隊必須改變過去一貫的設計流程，尋找最適執行設計方案。以下將執行經驗大略分為兩部分「主線軌道範圍」及「機廠軌道範圍」進行分享。

一、主線軌道範圍

NSCR-N1的主線軌道範圍包含Malolos到Tutuban站之間的高架車站及機廠聯絡閘道。

（一）設計規範

■ 軌道線形

由於NSCR-N1前行標是由一家日本顧問公司進行基本設計，故本團隊被要求後續設計需沿用該顧問公司使用的規範「Technical

Regulatory Standards on Japanese Railways (Civil Engineering), TRSJR (CE)」^{註3}設計。

■ 軌道結構

本計畫軌道結構分析包含「軌枕結構分析」、「軌床結構分析」、「橋軌互制分析」等。由於軌道結構主要以混凝土構築，故本計畫以「AASHTO LRFDBDS-9」^{註4}規範為設計依據（包含預力混凝土）。

結構外力的部分，以「AREMA」^{註5}規定的外力為主，部分外力如衝擊力與地震力以當地規範「National Structure Code of the Philippines 2015, NSCP 2015」^{註6}，側向飄移力、風壓及列車牽引力（或剎車力）則以「TRSJR (CE)」^{註3}的規定計算。

「橋軌互制分析」以「UIC 774-3R」^{註7}規定為主，再輔以當地地震力規定精進分析成果。

（二）界面整合處理心得

1. 道岔與高架橋梁伸縮縫的界面

因受到疫情影響的關係，CP04標（本團隊）進場的時程相較其餘子標晚，軌道工程與高架土建工程產生了難以處理的界面議題。按照規範規定，道岔應避免設置在土建結構橋梁自由端（伸縮縫）上，並且道岔活動端（Toe of Switch）需與伸縮縫距離5公尺以上。一般情況下，當線形的進場時間與土建差不多，若不幸遇上道岔設置在橋梁伸縮縫上時，該界面議題可以以「更換橋跨自由端為固定端」的方式處理，而本案因進場時間的落差，導致沒有相關的軌道工程承包商即時反應至土建標。後續本團隊建議以「微調線形」及「採購適用之

道岔設備」這兩步驟處理。

因道岔一般設置於軌道線形直線上，故以平移道岔的方式微調線形解決該界面是最簡單的方式，但需另檢討道岔前後線形形式（如圖3）及道岔設備空間限制（圖4）。倘若上述方案不可行，下一步則可嘗試說服業主「採購適用之道岔設備」解決此難題。如圖4，道岔轉撤器在契約圖說中屬於外置式轉撤器，若將其改為內置式轉撤器，可減少微調道岔位置的空間限制。

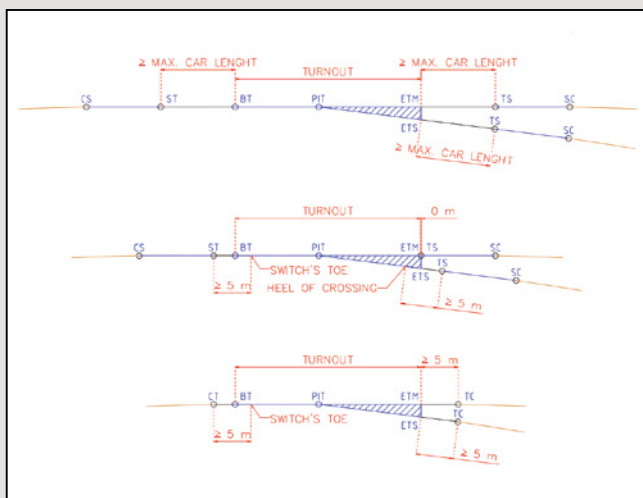


圖3 道岔與曲線規定

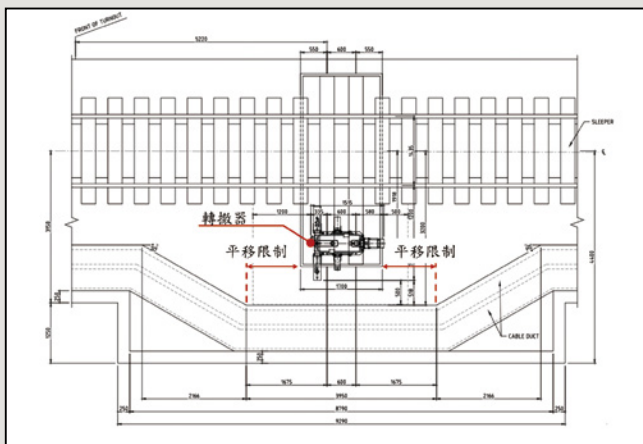


圖4 道岔設備關係圖

2. 主線軌道線形公式與車輛標（CP03）的線形公式不同

原先總顧問（NSTren）規定線形公式應延續基本設計使用的公式執行後續作業，但在不知道具體原因的情況下，本團隊被下了有關「線形公式與車輛標（CP03）的公式不同」的審查意見。

當下若本團隊完全配合更換公式，我們需要在短時間內完成審查意見回覆的同時重新製作計算書及相關圖說。面對如此突發狀況，本團隊首先針對計畫目前執行情形說明因土建橋梁已依照基本設計之線形施作，完全修改線形報告書及相關圖說並不合理也不切實際。然而CP03進場時間與土建廠商相差無幾，所以列車各項參數也在我們進場前已依據CP03業主需求書規定調整，故CP03堅決不再修正。

輾轉球又回到本團隊手裡，本團隊最終決定依CP03的公式在「設計車速」及「調整超高」兩部分進行折衷修正，相關試算表如圖5所示。首先調整超高（Ca），再觀察緩和曲線（L1~3max）有無變化，如果有改變再嘗試降低設計車速，期以讓緩和曲線會道原先的值，

和39組道岔。路線包括留置軌（Storage Track）、洗車軌（Car Washing Track）、測試軌（Test Track）、調車軌（Lead Track）以及修繕軌（Repair Track）。如依據台灣捷運機廠的維修等級劃分，該廠為第五級機廠，具備高度的維修與保養能力。

（一）設計規範

■ 軌道線形

承如上主線所述，機廠的軌道線形由基本設計執行初步設計。本團隊在基本設計的成果基礎上，參照「TRSJR (CE)」進一步發展範疇內的工程文件及圖說。此外，還參考了國內及JR東日本關於道岔配置的相關規定。

■ 軌道結構

機廠的軌道結構分析主要是「軌枕結構」、「登車平台結構」、「瞭望台辦公室結構」及「部分地坪結構」。參照了上述主線所提的規範，包括「AASHTO LRFD BDS-9」、「AREMA」、「NSCP 2015」以及「TRSJR (CE)」。

North Bond		設計車速		超高		緩和曲線		GAUGE: G=		1435		mm	
IP Name.	Radius	Speed	C _m	Cant	C _d	C _d ≤90	L ₁ =600C _a	L ₂ =7.4C _a V	L ₃ =6.7C _d V	L ₁₋₃ max	5m Round		
	R	V											
			C _m =GV ² /127R	C _a ≧0.7C _m 5mm Round	C ₁ ≤125	C _d =C _m -C _a							
	(m)	(km/h)	(mm)	(mm)	Check	(mm)	Check	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
IP.101-N1	800	60	51	30	OK	21	OK	18	13	8	18	20	

圖5 計算書範例

避免因調整平面曲線公式而造成對橋梁結構的影響，而同時能配合列車參數。

二、機廠軌道範圍

此機廠佔地約14.1公頃，共設有36條軌道

（二）界面整合處理心得

1. 軌道與土建設施的界面

由於進場時序較晚，機廠土建工程在設計及施工過程中缺乏軌道專家的專業建議，導致土建廠商未能充分考慮軌道配置

的空間需求，進而產生了多個界面問題。

- (1) 軌枕（及碴肩）與人孔（含管線）的衝突。如圖6所示，較嚴重的人孔衝突就有超過100處，有些甚至直接位於道岔範圍內。在許多土建設施已經施工完成，且線形調整空間有限的情況下，建議土建包商對有重大衝突的部分進行檢討，並遷移或廢除。對於其他部分，軌道包商則建議通過調整軌枕設置來解決問題。例如，在使用原設計的PC軌枕配置下，建議總顧問同意該衝突處的碴肩可以小於技術規範要求的400mm，或在

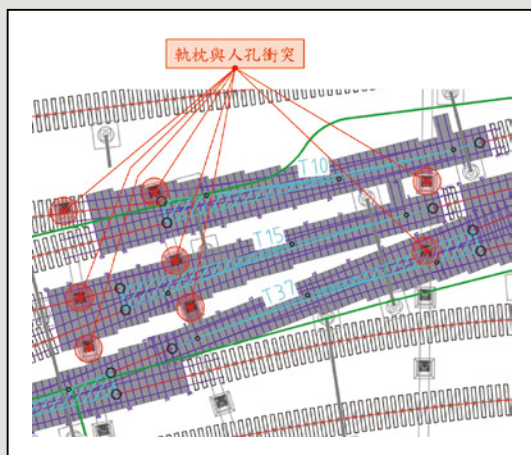


圖6 人孔與線形衝突關係示意

該衝突處使用尺寸較短的合成軌枕來代替PC軌枕。

- (2) 道岔與平交道的衝突。如圖7所示，道岔重疊在平交道範圍內。一般情況下，平交道通常使用嵌埋式軌道，而道岔區域需要安裝可切換位置的尖軌以及驅動切換的轉轍器，因此無法使用嵌埋方式鋪設。如前所述，線形調整空間有限，且原設計的軌道長度已接近極限，再次調整可能導致軌道長度無法滿足需求。因此，建議土建包商敲除重疊部分，留出足夠空間以便於道岔及道碴的鋪設。

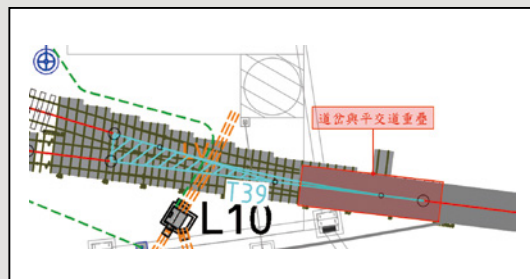


圖7 道岔與平交道衝突示意

2. 軌道長度相關界面

依照契約規定，目前以8節車廂（每節20公尺，總長度160公尺）為基準運行。然而，契約中提及未來可能會增加至10節車廂（總長度200公尺）。經過與訊號子系統界面討論及計算後發現，目前各條路線的軌道長度無法滿足未來10節車廂需求（部分特殊用途的軌道除外，例如僅供軌道維修車輛使用的維修車軌）。

在目前以8節車廂為基準的情況下，建議在條件允許且總顧問（NSTren）同意的前提下，適度調整(延長)軌道線形。若未來確定要增加至10節列車，再由相關單位進行進一步的評估和調整。當然延伸軌道長度必定會影響週邊相關設施，而本團為了能更充分的說服總顧問，也同步研析或微調相關設施。

登車平台（Access Platform），其設置目的是為了方便司機和工作人員在機廠內對列車進行出入和相關作業，如圖8所示。延長軌道仍需同步確認各週邊設施的衝突關係，而尤以登車平台更明顯。見圖8左側，平台明顯侵入綠帶範圍。本團隊為完善界面衝突，將平台之支柱避開綠帶，並說明平台與綠帶存在高程差，解決因「延伸軌道長度」產生的界面。

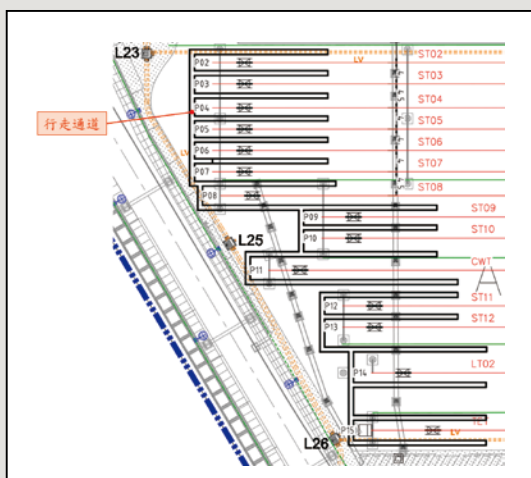


圖8 登車平台平面示意

三、設計審查回覆心得

在軌道與土建標及系統標各子系統界面整合的過程中，我們面臨了許多非預期的挑戰。首先，總顧問（包括外國人和當地工程師）的工作邏輯和作業程序與我們台灣的熟悉模式有很大差異，導致專案初期在非技術層面上耗費了大量時間。其次，本團隊常被要求廠商進行大量的研析及簡報有關在國內視為常識的認知，如材料實驗數據與計算書的材料係數關係，這增加了許多額外的工作量。此外，當總顧問方有新的人員加入時，經常被要求重新解釋過往的「結論」，結論甚至有被推翻的案例，使得之前所有努力都白費。以上種種，更加確信專業技術只是基本，而溝通才是關鍵。

陸、雜項

一、簽證

如果台灣的工程師計劃前往菲律賓駐地，首要任務是辦理簽證。根據停留期限和目的不同，所需的簽證類型及申請過程也會有所變化。

對於短期停留，例如出差或考察，一般可

以選擇以下兩種旅遊簽證：

- (一) 電子旅遊憑證：有效期為30天，申請時間最快可達10分鐘，最慢則需一週，但通常會在兩天內完成。費用為台幣1500元，需列印後持憑入境。
- (二) 短期停留簽證（9A）：有效期為59天，普通件申請需4天，費用為台幣1200元；急件則可在3小時內完成，費用為台幣2000元。

入境後，若需延長停留期限，可在菲律賓當地移民局辦理簽證延期。延期通常可選擇延長一個月或兩個月，費用約在台幣2000至3000元之間，首次辦理延期時的費用會稍高。

若計劃在菲律賓工作較長時間，則需申請工作簽證（9G）。此簽證適用於外國國民在菲律賓從事任何合法職業。申請9G簽證過程較為複雜，需要提交包括聘用合同、公司註冊文件和體檢報告等在內的相關文件。取得此簽證的程序可能需時5至7個月，申辦費用依簽證有效期長短而異，大約在台幣40,000元（1年有效期）至74,000元（3年有效期）之間。

二、住宿衛生治安和交通

(一) 住宿

在菲律賓，特別是馬尼拉這類大城市，選擇居住區域對於短期和長期停留都非常重要。以下是不同停留期限的住宿建議：

1. 短期停留（如出差或短期考察）

考慮到便利性，建議選擇鄰近工作地點的旅館。這些旅館通常提供基本設施與服務，如乾淨的住宿環境和良好的安全措施。此類住宿通常為按日計，能提供

快捷的入住和退房服務。

2. 長期停留（如駐地）

對於長期工作者，選擇長期租賃公寓是一個更合適的選擇。這些公寓通常設有24小時保全、健身房、游泳池等設施，提供更為舒適和安全的生活環境。公寓一般位於商業中心或生活便利的地區，周圍有購物中心、餐廳等生活設施，能夠滿足長期居住的各種需求。

（二）衛生

在菲律賓，衛生問題值得關注。雖然大城市的衛生條件較好，但仍需注意以下幾點：

- 飲用水：
建議使用瓶裝水或經過過濾的水來確保飲水安全。
- 垃圾處理：
垃圾處理系統及垃圾分類可能不夠完善，存在垃圾堆積問題。
- 衛生設施：
公共衛生設施的質量差異較大，某些地方的衛生設施可能不佳。
- 疾病風險：
氣候潮濕促使蚊蟲滋生。建議定期檢查健康狀況。

（三）治安

根據在當地的經驗，工程師聽說過多起當地員工被搶的案例，還有交警假借執法之名要求賄賂的情況。即便是身在大城市，依然不難發現在高樓大廈林立旁可能存有貧民窟，為

了保障自身安全，建議選擇治安較好的居住區域，出門時最好結伴同行，避免顯露大量現金，並隨時保持警惕。

（四）交通

在菲律賓，交通狀況相對混亂，特別是在馬尼拉等大城市，交通擁堵問題非常嚴重。當地交通工具如吉普尼（Jeepney）和三輪車（Tricycle），對外來者來說可能不夠安全。建議使用公司專派的司機或叫車服務（如Grab），這樣更安全且便捷。在日常出行時，提前規劃好路線以避免交通擁堵影響工作安排。如果需要自行駕駛，必須先取得當地駕照，並熟悉當地交通規則和行車習慣。

三、視訊會議

視訊會議在執行海外專案中是必不可少的工具，特別是對於遠程工作和跨地域的團隊協作。

其主要優點包括：

- （一）節省差旅時間和費用：視訊會議使團隊成員無需長途飛行即可參加會議。
- （二）即時交流：能夠實時進行溝通，有助於更有效地解決問題和做出決策。

然而，視訊會議也存在一些局限性：

- （一）網絡基礎設施問題：由於菲律賓的網絡基礎設施不如台灣穩定，有時會遇到網速慢或斷線的情況，導致會議中斷或音質、畫質下降，影響會議的連貫性。
- （二）缺乏現場互動：視訊會議缺乏面對面的交流，特別是在需要詳細技術討論或解釋

時，現場動筆計算或透過白板圖面演示往往會比視訊交流有效。

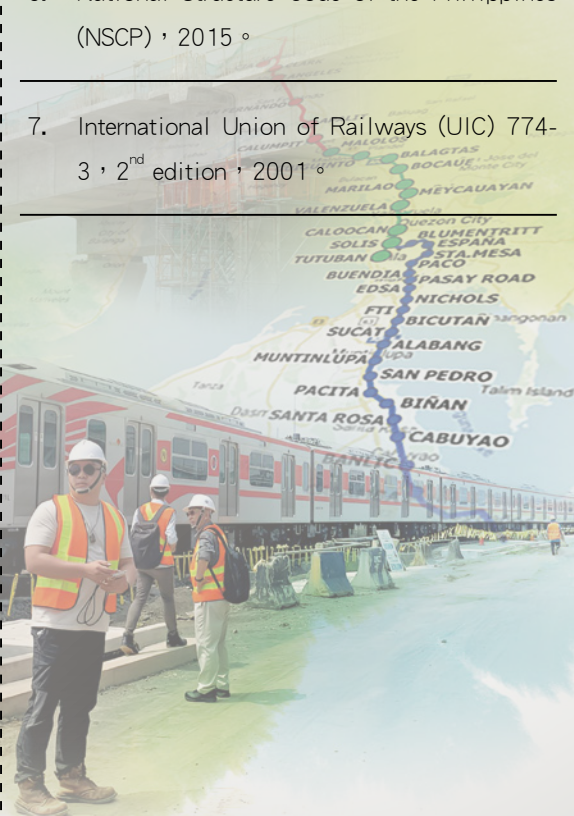
總結來說，視訊會議為跨國專案提供了極大的便利性，特別是在現今後疫情時代更是不可或缺的工具。但在進行視訊會議時，仍需確保良好的網路訊號環境，並根據會議內容選擇合適的會議形式，以保障會議的效果和效率。

總結

- NSCR-N1計畫架構，菲律賓交通部委託 Hitachi Rail STS擔任CP04統包商，其中軌道工程承商為SEN YEH，而CECI捷運部擔任 SENYEH軌道設計顧問。
- 國內與國外計畫「階段」認知區別，Final Design即是施工階段範疇。
- 由於各國民情不同，時刻注意知識產權的維護，避免造成公司權益損失。
- 制定合理內部審查機制，協助引導上游統包商，以避免作業期程耗費。
- 積極學習與接觸國外（原文）規範及權威參考書，有助於國外發展。
- 切記專業知識只是門檻，關鍵仍然是溝通。（提升外語簡報能力）
- 國外土木工程多為發展中國家計畫，故治安、衛生、交通是駐地工程師首要考量，切勿貪小便宜造成無法挽回的後果。

參考文獻

1. 黃民仁，「新世紀鐵路工程學」，2007
2. 溫彩炎，「鐵路軌道設計與養護實務」，2022
3. Technical Regulatory Standards on Japanese Railways(Civil Engineering)，TRSJR (CE)，2002.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) LRFDBDS-9，9th edition，2021。
5. American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA)，2016。
6. National Structure Code of the Philippines (NSCP)，2015。
7. International Union of Railways (UIC) 774-3，2nd edition，2001。



自動駕駛車輛和智慧先進車輛相關技術對國內大客車駕駛安全之意涵

關鍵詞(Key Words)：自動駕駛車輛 (Autonomous Vehicles)、智慧先進車輛 (Advanced Intelligent Vehicles)、車聯網 (Vehicle-to-Everything)、先進駕駛輔助系統 (Advanced Driver Assistance Systems)、大客車安全 (Bus Safety)

逢甲大學／智慧運輸與物流創新中心／副研究員／陳怡君 (Chen, Yi-Chun) ❶

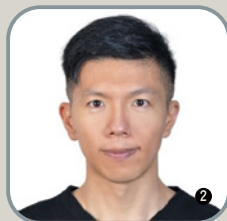
財團法人中華顧問工程司／智慧運輸技術中心／正工程師／劉又升 (Liu, Yu-Sheng) ❷

逢甲大學／智慧運輸與物流創新中心／副主任／張建彥 (Chang, Chien-Yen) ❸



摘要

本文探討自動駕駛車輛和智慧先進車輛技術對國內大客車駕駛安全的影響。隨著科技的進步，自動駕駛技術自1986年第一輛原型車問世以來，已發展到實作測試階段。根據SAE J3016標準，自動駕駛技術被劃分為六個等級，美國更進一步提出了15項安全評估指標。同時，車聯網及先進駕駛輔助系統(ADAS)等技術也在迅速發展。本文簡要回顧了這些技術的發展現況，並初步探討其在大客車上的應用潛力及可能帶來的安全效益。現有的研究表明，ADAS技術的應用已經顯示出改善駕駛行為、降低事故風險的效果。然而，新技術的應用也面臨技術成熟度及法規標準等方面的挑戰。本文建議可以從加強技術研發、完善法規標準、建立駕駛員培訓體系、推動產業協作等多個方面著手，以充分發揮這些新技術對大客車駕駛安全的正面效益。



The Implications of Autonomous Vehicles and Intelligent Advanced Vehicle Technologies for Bus Driving Safety in Taiwan

Abstract

This paper explores the impact of autonomous vehicles and intelligent advanced vehicle technologies on bus driving safety in Taiwan. Since the development of the prototype in 1986, autonomous driving technology has progressed to the practical testing stage. The SAE J3016 standard categorizes autonomous driving into six levels, while the United States has proposed 15 safety assessment criteria. Concurrently, technologies such as vehicle-to-everything and advanced driver assistance systems (ADAS) are rapidly evolving. This paper briefly overviews these technological developments and preliminarily explores their potential applications and bus safety benefits. The implementation of ADAS has improved driving behavior and reduced accident risks. However, the application of new technologies also faces challenges regarding technological maturity and regulatory standards. This paper suggests addressing these issues through enhancing technological research and development, retuning regulatory standards, establishing driver training systems, facilitating the promotion of industry collaboration, and so on, maximizing the positive impact of these new technologies on bus driving safety.

壹、前言

隨著科技的快速進展，自動駕駛車輛和智慧先進車輛技術正迅速發展，為交通運輸帶來革命性的變革。這些創新技術不僅有望改變個人用車模式，對於公共運輸，特別是大客車的營運和安全，也將產生深遠的影響。在臺灣，大客車作為重要的大眾運輸工具，每年承載大量乘客，其安全性一直是社會關注的焦點。

自動駕駛技術的發展歷程可以追溯到1986年卡內基梅隆大學(Carnegie Mellon University, CMU) Navlab實驗室完成的全球第一輛自動駕駛原型車Navlab1，開啟現代自動駕駛車輛時代的序幕。經過數十年的發展，自動駕駛技術已達到實作測試階段。SAE J3016標準將自動駕駛劃分為六個等級，涵蓋完全手動到完全自動的不同階段。美國聯邦政府更提出自駕車應滿足的15項重要安全評估項目，這些項目包括數據紀錄、隱私保護、系統安全、網路安全及人機介面等多方面內容。

同時，智慧先進車輛技術也在迅速發展。車聯網技術的應用為車輛間的通訊和訊息交換則提供新的可能性；而先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)的發展和應用，更是直接提升車輛及駕駛行為的安全性。

另一方面，大客車事故往往造成嚴重的人員傷亡和財產損失，因此提升大客車的駕駛安全至關重要。自動駕駛和智慧先進車輛技術的發展為大客車安全帶來新的機遇，從輔助駕駛到更高級別的自動化，這些技術都有可能應用於大客車，協助駕駛員更安全地操作車輛。

基於此，本文將回顧這些技術的發展現況，分析它們在大客車上的應用潛力，並探討可能帶來的安全效益和挑戰。同時，也將從法規、政策方面，探討如何促進這些新技術在大客車上的應用，以提升駕駛安全。希望本文能為大客車業者、政策制定者和研究人員提供有價值的參考，共同推動大客車安全的提升。

貳、自動駕駛車輛發展趨勢與美國自動駕駛車輛安全評估項目

1986年CMU Navlab實驗室完成全球第一輛自動駕駛原型車Navlab1，時速最快達20英里/小時，開啟現代自動駕駛車輛(簡稱自駕車)時代的序幕。發展至今，重要的歷程整理如表1，表中顯示自駕車技術已達到實作測試階段。SAE J3016標準亦於2016年更新，依據4種主要車輛駕駛功能將自動駕駛分成6個等級，這4種功能分別為：(1)持續性橫向與縱向之移動控制(Sustained Lateral and Longitudinal Vehicle Motion Control)，以速率與轉向操控為主；(2)物體及事件偵測與反應(Object and Event Detection and Response)，當遭遇前方車輛煞停狀況，或標誌、標線、號誌等管制設施，以及行人通過路段或路口等物體或事件時，車輛之偵測與反應；(3)動態駕駛任務之支援(Dynamic Driving Task Fallback)，當系統出錯或超出操作適用範圍時，必須能夠提供緊急操作指令以確保車輛安全；(4)操作適用範圍(Operational Design Domain)，自駕系統能夠正常運作的道路環境狀況與交通狀況；美國聯邦政府也提出自駕車應滿足15項重要的安全評估才能上路，如表2所示。

表1 自動駕駛車輛發展之重要歷程表

年代	重要事件
1986	CMU Navlab實驗室完成全球第一輛自動駕駛原型車Navlab 1。
1995	兩名CMU機器人研究員以改裝龐蒂客休旅自駕車，橫跨美國東西岸2,850英哩。
2005	史丹佛大學車隊以Stanley自駕車橫越沙漠，贏得第二屆DARPA無人車挑戰賽冠軍。
2007	以色列ADAS廠商Mobileye推出先進駕駛輔助系統，將ADAS帶進大眾汽車市場。
2010	Google X實驗室Toyota Prius自駕車，完成在一般道路行駛10萬英哩的階段目標。
2014	特斯拉新款Model S電動車，正式搭載AutoPilot半自動駕駛功能。
2014	Google首輛底層完全採用無人駕駛設計的無人車亮相。
2015	汽車製造商Delphi以改裝Audi Q5休旅車，完成美東西岸3,500英哩自駕遠征。
2016	美國自駕車新創Comma.ai開源自駕車軟體OpenPilot，讓非高階車款具備半自駕功能。
2018	臺灣國產首輛自駕小巴正式在桃園農博試營運，40天載客666趟。
2018	2018年12月19日中華民國總統公布「無人載具科技創新實驗條例」全文24條，並於2019年5月30日由行政院發布定自2019年6月1日施行。
2018	中華民國交通部於2018年12月24日修正發布「道路交通安全規則」，增訂第20條第3項有關自駕車申請試車牌照及行駛之規定，並自2019年1月1日開始施行。
2020	依據「無人載具科技創新實驗條例」，共有9件自駕車試驗計畫申請核准。同年9月自駕公車首次納入公共運輸系統並進行公車載客服務測試。
2020	Alphabet公司(Google母公司)旗下專門研發自動駕駛汽車的子公司Waymo於2020年在亞利桑那州鳳凰城推出美國首項無人駕駛計程車服務，而該項服務的自動駕駛商用營運執照則於2018年取得。其實Google早在2009年就展開無人車計畫，是全球最早開始投入無人車技術的企業之一。Alphabet旗下研發無人車Waymo公司在2012年拿下美國內華達州車輛管理局(DMV)發出的第一張無人駕駛汽車執照、開啟公開道路路測、移除備用駕駛、推出商業收費無人計程車服務。
2021	2021年11月，經濟部與工研院、新竹物流、新竹市政府於新竹市區啟動自駕車物流服務，為國內首次進行物流自駕配送驗證，也是國內物流開放場域自駕駛沙盒實驗首案。
2022	Mercedes Benz於2022年5月取得德國政府Level 3的認證，也是全球首家獲得政府核准的車商。
2022	百度推出自動駕駛開放平台(百度Apollo)，於2022年7月推出Apollo RT6，並於同年8月推出蘿蔔快跑的自動駕駛出行服務，在重慶、武漢兩地進行試點服務。
2022	2022年12月，Waymo於美國鳳凰城天港國際機場推出全自動駕駛汽車服務，為全球第一座提供自動駕駛汽車接駁服務，讓旅客往返鳳凰城市中心和機場。
2023	工研院在2022年5月開始在桃園國際機場導入自動駕駛接駁車輛，經濟部則於2023年5月舉辦「全國中高速自駕技術發表暨機場員工接駁驗證」發表會，在經濟部與工研院的合作下，讓桃園國際機場為全球第二座具備自駕接駁服務的國際機場。

資料來源：張建彥等人(2021)^[1]；本文整理

表2 美國自動駕駛車輛安全評估項目整理表

編號	項目	內容
1	數據紀錄	需具備紀錄自駕系統狀態資訊的能力，並與產業界及政府單位共享。
2	隱私	需遵守「白宮消費者隱私權利法案」與聯邦貿易委員會的隱私指南。
3	系統安全	廠商及研究機構應該以消除自駕系統不合理的安全性風險為目標，基於系統工程上進行驗證，使車輛系統出錯時仍有維持安全之能力。
4	網路安全	需有能力對網路安全威脅進行即時系統漏洞修正，並遵守國家標準技術研究所、SAE協會等機構發布的網路安全相關標準。
5	人機介面	廠商及研究機構需考量自駕系統與駕駛員的相互作用，自駕系統必須能夠通知駕駛員如自駕功能運作狀態、系統偵測故障等資訊。
6	耐撞性能	自駕車必須滿足美國國家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)碰撞性標準，包含對車上人員的保護及延伸至自駕車系統如何降低車輛碰撞所造成的傷害程度。
7	消費者教育	自駕車的製造商、經銷商等單位必須向消費者廣宣自駕車與傳統車輛駕駛之差異、自駕系統之能力與限制、接管和託管方法等資訊。
8	註冊與認證	由NHTSA要求自駕車製造商必須提出具體的產品描述資訊，以確保監管單位及消費者能得知車輛或自駕系統的更新程度及功能限制等。
9	碰撞後表現	廠商及研究機構應該對於自駕系統在車禍後如何恢復正常服務的流程進行評估，如果關鍵安全組件或系統出錯，則該車不允許以自駕車模式繼續行駛。
10	政府法規	廠商及研究機構應該擁有詳細文件，說明如何遵守聯邦政府與州政府法規，且自駕系統必須能夠適應各州不同的交通法規。
11	道德判斷	在如「電車難題」這種道德兩難的情況，廠商及研究機構必須設定自駕系統針對決策衝突的演算邏輯，並將此道德規則公開。
12	操作適用範圍	廠商及研究機構必須鑑定並紀錄自駕系統的操作適用範圍，包括道路類型、地域、天氣和時間等條件。
13	偵測與反應	對於道路行駛過程中所遇到物體或事件，廠商及研究機構應有能力對其決策的反應能力進行評估、偵測與驗證，包括正常行駛及防撞兩大類。
14	退出機制	當自駕系統發生問題時，Level 3自駕車必須通知駕駛員接管車輛；而Level 4至Level 5的自駕車則必須在能夠確保車輛安全的情況下，解決該問題或將車輛停止。
15	驗證方法	廠商及研究機構應建立不同級別自駕功能的測試與驗證方法，並鼓勵廠商與NHTSA或SAE等機關合作發展與升級創新測試方法。

資料來源：張凱喬(2017)^[2]

參、自動駕駛相關文獻回顧之初探

在許多單位(政府、學術界、車廠、汽車零件商、網路或新創公司)紛紛投入自駕車領域的同時，相關研究文獻也如雨後春筍般紛紛提出，本文從技術發展、政策推動、法制化等三方面加以初步整理並說明。

一、技術發展

Aufrère et al.(2003)^[3]說明過去CMU之Navlab在駕駛輔助之自動車與智慧系統之研究，早期主要聚焦在道路跟車、越野駕駛及障礙偵測，最近則以周邊安全駕駛之短距離感應為主，其系統利用影像偵測、雷射技術、相關軟體、圖形過濾系統和機率預測模式，並將完整的系統建置展示於Navlab 11車輛上，該車可以偵測並追蹤車輛周邊的固定物體、移動物體、行人、緣石和道路。Jiménez et al.(2012)^[4]應用車聯網的技術發展縱向防撞警示系統，車輛透過雷射掃描偵測設備偵測數種潛在危險情境，決策演算法則提供因應之最適車輛操控行為，並將相關訊息傳輸予其他周邊車輛，此一系統並經過數項情境測試以確認其可行性。Hamlet & Crane(2015)^[5]亦針對自駕車的防撞功能提出一項認知架構，該認知架構特別適用於自駕車在都市環境中行駛，其演算法則係透過事後機率分佈的應用來更準確地掃描周邊環境並預測相關物體即將發生的行為，以提早感知危險狀況，促使主體採取行動並避免碰撞。Berntorp(2017)^[6]提出自動車之路徑規劃與整合防撞的技術，該研究回顧不同的路徑規劃與軌跡追蹤技術，並列舉在自動車應用的數項案例。Joukhadar et al.(2018)^[7]設計和製造一個可供自駕車應用之低成本機器人系統，該系統可透過自動變速箱安裝在車輛上，提供車輛自駕能力。

基本上，該系統有三項子系統，即(1)設置於車前方之車道辨識電腦視覺系統以提供方

向盤調整角度之參照；(2)控制及防撞系統以提供邏輯判斷並作出適當之決策；(3)機電系統以控制方向盤、煞車器和油門，該研究並針對系統進行數項實地測試以確認其可行性。此外，在人機介面(Human-Machine Interface, HMI)設計上，由於駕駛自動化有6個等級，因此系統在行駛過程中，必須考慮5種人機互動狀況，即：(1)手動：完全由駕駛員操控車輛，系統提供必要之資訊、警示等訊息；(2)自動緊急反應：車輛遇到緊急狀況時，必須採取之緊急煞車、迴避、降低傷害等反應；(3)介入：駕駛員碰觸方向盤、油門、煞車器時，系統將駕駛控制權轉給駕駛員；(4)請求：系統在特定狀況(例如路況或交通狀況認知不明時)，請求駕駛員進行車輛之操控；(5)自駕：由車輛之自駕系統進行一般駕駛任務。Debernard et al.(2016)^[8]、Umachigi(2018)^[9]、Krahling et al.(2018)^[10]之相關研究則提出不同等級或駕駛行為之人機介面設計，以供自駕車發展應用。

張建彥等人(2020)^[11]從交通管理角度出發，分析全自動化自駕車所需的安全功能需求項目，該研究透過德爾菲(Delphi)法與層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)之應用，建立自駕車安全功能需求的三大構面與18項指標之相對權重。研究結果顯示，在第一層之安全功能分類中，構面重要性由高至低排序，依序為「功能安全」、「行為安全」與「防禦駕駛」，其相對權重值分別為0.385、0.333與0.282；在「行為安全」的分類構面中，以「緊急反應」之重要性最高；而在「功能安全」的分類構面中，以「車輛系統感知器失效之偵測反應」為最重要；至於在「防禦駕駛」的分類構面中，則以「對向侵入車道偵測反應」的重要性最高。整體而言，18項安全指標之重要性前五序位分別為「車輛系統感知器失效之偵測反應」、「失控車輛側向偵測反應」、「緊急反應」、「對向侵入車道偵測反應」、「號誌辨識與控制」，研究結果除了可提供作為未來

發展自駕車安全功能選項之優先順序外，亦可作為自駕車安全測試與認證的評量參考。林良泰等人(2020)^[12]則利用自駕車之功能特性，建立基於自駕車的需求反應式運輸系統，藉此解決人力短缺及偏遠地區經營問題。為了將自駕車成功應用於需求反應式運輸服務，除了提出整合乘客端、行控中心端、自駕車端及路側端之資訊系統架構及邏輯外，並建立相關的場域分析模式。

二、政策推動

就政策層面的發展推動而言，2019年初聯合國歐洲經濟委員會世界車輛法規協調論壇(World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) : how it works, how to join it, UN. ECE(2019))^[13]針對自駕車的國際安全基準相關議題草擬政策意見書，要求自動駕駛車輛上路前，必須確保道路交通參與者之安全，並設定發展自動駕駛車輛基礎之核心原則，包括

自動駕駛車輛在失控時必須隨時轉換最低風險狀況，以及駕駛人隨時掌控車輛的行進權，而車輛製造商生產符合此原則之自駕系統，同時教育消費者如何適當地使用自駕車。而在2020年6月WP.29第181次會議上，論壇持續關注自駕車國際架構文件之相關進展，就自駕車功能需求、新評估/測試方法、網路安全與軟體更新、自駕車資料儲存系統、事故資料紀錄器等優先議題，進行工作進展之追蹤討論，如表3所示。而歐盟、美國、德國、英國、日本、新加坡、中國、韓國、臺灣亦訂定重要的自駕車發展政策並持續推動(台灣世曦工程顧問股份有限公司，2023)^[14]。

三、法制化

在法制化研究方面，Winkler(2019)^[15]針對德國與美國之自駕車事故責任法制規定進行比較分析，並審視德國「道路交通法」中有關自駕車規定之最新修訂內容，探討德國是否為

表3 WP.29自駕車優先議題之工作項目整理表

議題	工作內容
自駕車功能需求	工作項目應包括不同駕駛功能組合的要求：縱向控制(加速、煞車制動和車速)、橫向控制(車道保持)、環境監測(前方、側向、後方)、最低風險之操控、過渡需求、人機介面(內部與外部)及駕駛人監控。另外，工作項目還應涵蓋功能性安全之要求。
新評估/測試方法	多元面向之概念，包括特定標準之稽核評估、模擬、電子化系統相容性、數位標籤、測試、實地駕駛評估。本工作專案還應涵蓋功能安全評估等。另外，工作項目也涵蓋功能性安全之評估。
網路安全與軟體更新	網路安全和軟體更新工作小組持續進行相關工作，並根據技術要求草案研擬建議草案。
自駕車資料儲存系統	以自動駕駛之資料儲存系統(Data Storage System for Automated Driving, DSSAD)用於自動駕駛車輛(例如道路交通事故紀錄)。工作項目應考慮到聯網自動駕駛車輛工作小組(Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles, GRVA)及其自動修正轉向功能非正式工作小組(IWG on ACSF)之討論。在進行詳細數據資訊討論之前，應先確認與事故資料紀錄器(Event Data Recorder, EDR)差異化之目的、終止日期及相關認定。
事故資料紀錄器(EDR)	道路安全量測紀錄之系統(例如道路交通事故資料之紀錄)。

資料來源：臺灣世曦工程顧問股份有限公司(2023)[14]

自駕車在經濟、工業、社會和法律制度方面的衝擊影響作好法律準備，提出其自駕車法制方面之競爭力與對汽車工業發展之影響。楊立新(2019)^[16]、汪信君(2019)^[17]、黃銘傑(2019)^[18]、鍾采玲(2020)^[19]、陳淑玲(2020)^[20]亦針對自駕車之事故責任與保險的法律課題進行探討，提出相關的法制策略與建議。林俊宏與王志銘(2020)^[21]認為完善配套措施與友善法治環境才是自駕車在地深耕的關鍵因素，除了自駕車的安全性是否已經達到技術上安全無虞的地步之外，當自駕車發生道路交通事故時之相關責任歸屬亦相當重要，因此，該研究檢視美國、歐盟、日本、中國等主要國家之自駕車政策與相關法規，提供未來自駕車法律課題分析處理之借鏡。洪德欽(2020)^[22]則研究歐盟自駕車的發展策略及法律規範，以了解歐盟自駕車發展過程中所遭遇之問題與因應策略，並可提供自駕車相關法制化發展之參考。另外，張建彥等人(2021)^[1]也以公路監理法規為範疇，深入分析等級3-5之自駕車在開放場域道路行駛的重要課題，包括車輛牌照及檢驗、駕駛執照登記及考驗、自駕巴士審核與監督管理、資訊安全及隱私保護、事故責任賠償與保險、行駛監控管理六大類，並比較分析各種法制化方式，作為主管機關業務執行與法規修訂之參考。

整體而言，自駕車之發展應用，具有安全、移動、經濟與社會、環境、效率與舒適之效益(NHTSA，2024)^[23]，說明如下：

(一) 安全：安全為自駕車的重要優點之一，自駕車可以降低因人為判斷、操作失誤所造成的車禍及用路人傷害，確保駕駛員與乘客之安全，同時也有保護行人和腳踏車使用者的效益。至於目前技術較成熟之先進駕駛員輔助系統，已可提供較低等級之自動化，透過緊急危機事件之預測並避免碰撞發生，將有助於保護駕駛員、行人與乘客。

(二) 移動：當自駕車技術成熟後，將可為更多人提供新的交通移動選擇，例如可增加偏鄉或郊區高齡者與身障者的移動性，也可以創造身障者新的就業機會。NHTSA鼓勵在整個自駕車基礎設施和車輛設計過程中考慮和解決公平問題。

(三) 經濟與社會：自動化技術可以帶來額外的經濟和社會效益，NHTSA的研究指出，每年因車輛碰撞事故所造成的社會成本高達數十億美元的損失，因此若能透過自駕車之發展降低道路交通事故，將可大量減少這些因車禍造成的經濟和社會成本。

(四) 環境：目前車輛技術的發展以自動化及電動化為趨勢，因此以電力為基礎之自駕車有助於改善運輸部門所造成的環境污染問題。另外，車輛自動化可透過共乘接駁的車隊服務，改變個人停車空間與停車場的需求，從而改變土地使用。

(五) 效率與舒適：若道路充滿自駕車，則車輛間可互相協作讓交通更順暢並降低壅塞，美國估計2014年因交通延滯所耗損的時間為69億小時，不僅影響工作、家庭也增加油耗成本和車輛排放。透過自駕車的發展，通勤時間和成本的付出將可獲得改善。

肆、智慧先進車輛相關技術發展趨勢

由於短距通訊、5G、物聯網、雲端運算、大數據分析、人工智慧等先進技術的發展，透過智慧道路基礎設施系統與智慧先進車輛各式偵測器或感應器的結合，可提供用路人智慧化應用服務，由於篇幅有限，本文就主要智慧先進車輛相關技術之發展趨勢與應用狀況進行蒐集與說明。

一、車聯網

車聯網(Vehicle-to-Everything, V2X)目前有兩種主流之通訊技術，一是短距無線通訊技術(Dedicated Short Range Communication, DSRC)，由電機電子工程師協會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)訂定之通訊技術標準；二是蜂巢式車聯網技術(Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X)，由第三代合作夥伴計畫(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)訂定通訊技術標準。二者之比較及各國之發展狀況整

理如表4、表5所示(林良泰等人，2023)^[24]。

就車聯網之國外發展案例而言，美國紐約市曾進行車聯網試驗，主要在都市道路之交叉路口設置車聯網系統以提高行人安全，降低事故頻率與嚴重程度，並管理車輛速率，如表6所示。

日本UTMS駕駛安全輔助系統(Driving Safety Support Systems, DSSS)利用路側設備將道路交通安全訊息提供予駕駛人注意，以防止道路交通事故發生，其相關應用項目，整理如表7所示。

表4 DSRC與C-V2X比較

項目	短距無線通訊技術(DSRC)	蜂巢車聯網技術(C-V2X)
技術進展	較早發展、較成熟	2022年後日漸成熟
支持車廠	GM、JLR、Toyota、Volkswagen	Audi、BMW Group、Ford、Geely、Honda、Lexus、Mercedes Benz、Daimler、PSA Group
頻段	歐美日 5.8-5.9GHz 頻段	相容現行 4G 與未來 5G 頻段
聯網能力	● 支援車速 200 km/hr ● 反應時間低於 100 ms ● 數據傳輸高於 12 Mbps ● 傳輸範圍 1 km	● 支援車速 500 km/hr ● 反應時間低於 50 ms ● 數據傳輸高於 500 Mbps ● 傳輸範圍高於 1 km
優勢	● 標準技術成熟 ● 歐美日均已有產品	● 共用現有 4G (LTE)網路 ● 頻寬大、同步性佳、傳輸距離遠
劣勢	● 不相容現有 4G 基地台 ● 路側端需架設本地基地台	● 標準處於規劃階段 ● 市場經驗不足

資料來源：台灣車聯網產業協會(2021)^[25]

表5 主要國家區域車聯網布局

國家/區域別	車聯網布局	說明
美國	C-V2X	1.美國FCC(Federal Communication Commission，聯邦通信委員會)將C-V2X訂為車聯網通訊標準。 2.重新配置5.9GHz(5,850-5,925MHz)頻段，上緣的20MHz(5.905-5.925GHz)專用於C-V2X。
臺灣		1.目前以發展C-V2X為主。 2.以三大電信業者(中華電信、遠傳及臺灣大哥大)為主，展開與相關車廠的合作規劃。
歐洲	DSRC、C-V2X 併用	多家歐系車廠已展開配套基礎設施，包括C-V2X(Audi、BMW及Volvo等)及DSRC(Volkswagen等)。

資料來源：台灣車聯網產業協會(2021)^[25]

表6 美國紐約市車聯網試驗之應用項目整理

應用項目	道路週邊設施	環境條件	資訊服務裝置
超速示警	行人偵測器、車速偵測器、車輛高度偵測器、DSRC、Wi-Fi、IPC、號誌	市區道路 高速公路	車端裝置
轉彎處超速示警			車端裝置
施工區或學校超速示警			車端裝置
紅燈違規示警			車端裝置
汽車限高示警			車端裝置
緊急事件通知			車端裝置
行人穿越路口警示			車端裝置
可攜式視障行人警示輔助系統			可攜式行動裝置

資料來源：台灣車聯網產業協會(2021)^[25]

表7 日本車聯網應用項目整理

應用案例	道路週邊設施	環境條件	資訊服務裝置
十字路口會車衝突提醒	DSSS感測器、DSRC、IPC	十字路口	車端裝置
追撞提醒			
紅燈提醒			

資料來源：台灣車聯網產業協會(2021)^[25]

二、先進駕駛輔助系統

ADAS是利用安裝在車輛上的各式感測儀器，於車輛行駛過程中隨時偵測外在環境與內部駕駛工作狀況，並結合定位儀器與電子地圖的數據，配合處理器(Processor)與致動器(Actuator)系統的運算與分析，提供駕駛員之危險警示、視覺及操控輔助等，促進行車安全與效率。

基本上，目前發展之ADAS可依其提供之功能大致分為危險警示、視覺輔助及操控輔助三大類(黃章杰，2016^[26]；鄭碩群，2022^[27])。

其中，危險警示系統乃是結合先進感測技術，聽覺(聲響、語音)、視覺(燈號、HUD、LCD)或觸覺(振動座椅、煞車)警示裝置，以及相關的核心演算法則，在車輛啟動或行駛過程中，依據不同的道路交通與周邊環境狀況，適時地對駕駛員提供警訊，以確保車輛駕駛人能及時警覺並提早防範因應，達到安全防護的效果，相關的系統功能包括車道偏離輔助警示系統(Lane Departure Warning System, LDWS)、盲點警示系統(Blind Spot Warning System, BSWS)、車前碰撞警示輔助系統(Forward Collision Warning System, FCWS)、疲勞警示系統(Driver Fatigue Detection System)、行人偵測系統(Pedestrian Detection

System, PDS)、側向來車警示系統(Side Collision Warning System, SCWS)；而在視覺輔助系統部分，由於在車輛駕駛過程中，用路人的四肢五官與駕駛行為績效習習相關，其中尤以眼睛所接收的訊號佔人腦接收訊號的90%以上，因此視覺能力為影響駕駛能力，甚至左右駕駛安全性的重要因素(張建彥等人，2006^[28])，故透過雷達、紅外線、超音波或攝影機的輔助，提供駕駛人更多有用的資訊，有助於駕駛人即時掌握道路交通狀況並加以因應，主要的系統功能包括停車輔助系統(Parking Assistance System)、夜視輔助系統(Automotive Night Vision System)、自動抬頭顯示器(Automotive Head-up Display)、智慧型防眩光頭燈系統(Glare-free High Beam Headlight System)、倒車顯影系統(Backup Camera System)、環景顯影系統(Omni view System)、交通標誌辨識系統(Traffic Sign Recognition System, TSRS)；至於操控輔助系統，主要是透過車輛相關系統的自動化運作，簡化駕駛人之複雜性、及時性操控，或修正補償駕駛人之錯誤性、不足性、過度性操控，提升駕駛過程之安全性與

效率性，相關系統功能包括防鎖死煞車系統(Anti-lock Braking System, ABS)、電子循跡系統(Electronic Tracking Control System, ETCS)或防滑控制系統(Traction Control System, TCS)、電子車身穩定系統(Electronic Stability Control, ESC)、上/下坡輔助系統(Hill Descent Control and Hill-start Assist)、定速車距控制系統(Intelligent Speed Adaptation System or Intelligent Speed Advice System)、智慧型車道保持系統(Lane Keeping System, LKS)或車道變換輔助系統(Lane Changing Assistance System, LCAS)、自動緊急煞車系統(Advanced Emergency Braking System, AEBs)、自動停車系統(Automatic Parking System, APS)、車聯網系統(Vehicular Communication Systems)、適應性巡航控制(Adaptive Cruise Control, ACC)(張建彥等人，2023^[29])。而我國交通部「大型車輛裝設主動預警輔助系統」計畫除危險警示、視覺輔助及操控輔助三大功能外，還新增酒精鎖項目，如圖1所示。



圖片來源：鄭碩群(2022)^[27]

圖1 交通部「大型車輛裝設主動預警輔助系統」計畫之整合系統分類及其整合項目

在ADAS之相關研究與應用部分，Ziebinski et al.(2017)^[30]回顧整理ADAS中最新的可用技術及其應用領域，包括電子車身穩定系統、防鎖死煞車系統、交叉路口防撞系統、車道保持系統、適應性巡航控制、後方交叉警示系統、緊急煞車輔助系統、夜視輔助系統等，其研究提及在許多ADAS逐漸成為車輛標準配備並大量應用以提升道路安全性時，駕駛人應深入了解其作用原理與適用方式，而除了測試單項系統功能之外，製造商亦須進行多元系統之整合應用測試，且在未來考慮與人工智慧技術加以整合，邁向自動駕駛。Jumaa (2019)^[31]回顧ADAS相關子系統與技術，認為具有複雜設備的感測器，即感測器網路(Sensor Network)，是用於實現ADAS技術的重要裝置。

目前已含在許多車輛中以實現ADAS相關技術，包括適應性巡航控制系統、緊急煞車輔助系統、防撞警示系統、車道保持系統及和車道變換輔助系統等。Hasenjager & Wersing (2017)^[32]回顧ADAS系統的個人化方法，可針對駕駛人偏好、駕駛風格、技能和駕駛模式進行調整設計，並指出個人化駕駛設計與執行的相關課題。Panou (2018)^[33]則基於市面上ADAS對所有駕駛人使用同樣的警示參數門檻值，導致ADAS的接受度與有效性不佳，乃嘗試建立智慧個人化演算法以優化防撞警示系統。依據道路縱向行駛之駕駛行為模式動態參數，擷取ADAS之個別化參數作為個別化演算法之基礎，最後以碰撞時間(Time to Collision)和時間車頭距(Time Headway)為參數，建立了個人化演算法。Chen et al.(2018)^[34]透過車輛軌跡資料及皮爾曼相關係數，針對駕駛人反應時間及跟車影響因素進行分析，藉以提升ADAS相關系統發展之駕駛人接受度。Priyadarshini et al.(2019)^[35]則提出一個利用大數據可視化方法所創建之互動式GUI框架來分析車輛和感測器數據，該框架包括各種互動式繪圖結果，以深入分析ADAS所有情境之資料數據，除了可互動式分析車輛在每個時間

軸上的行為外，亦能同時顯現多張圖像在框架中，藉以進行比較分析。余英仕(2020)^[36]則以Mobileye系統為對象，探討其成功之過程，並透過資料證實與二次研究分析，找出Mobileye的關鍵成功要素。

另外，張建彥等人(2023)^[37]以大客車ADAS警示資料為基礎，建立涵蓋事件數與風險權重之駕駛安全績效模式，以及相關參數校估流程，並說明模式之應用。研究結果顯示，現況ADAS警示事件可分為車道偏移、未保持安全距離、車速控制不當三大類，此三大類之正規化風險權重分別為車道偏移0.44、未保持安全距離0.38、車速控制不當0.18。而在模式應用部分，該研究蒐集某國道客運公司之一個月的實際ADAS警示資料進行大數據整合分析後，再應用模式加以計算，則269位駕駛員之駕駛安全績效評分平均數為91.93分，標準差為3.77分，最大值為99分，最小值為76分，分析結果顯示所建立之模式具有鑑別度，可提供作為安全管理系统之風險評估工具。陳怡君等人(2023)^[38]深入了解業者裝設ADAS之需求與應用，設計問卷並進行調查分析，分析結果顯示，駕駛員最常發生之異常駕駛行為，以「與前車未保持安全距離」、「超速」、「不當變換車道」、「車道偏移」、「闖紅燈/搶黃燈」比例較高，分別佔32.1%、22%、15.7%、14.7%、11.9%，可提供作為ADAS重要警示項目開發之參考；在交通安全管理方面，業者認為應搭配相關內部管理配套與外在環境因素調整；在ADAS安裝意願方面，則認為須符合經濟效益。故在後續推動上，除應考量業者在實際營運上所需之系統輔助外，更需注意系統安裝後可對業者帶來之效益，及資料加值應用性。張國鼎等人(2023)^[39]透過國道客運業者所提供之大客車ADAS警示事件及駕駛行為反應資料，利用大數據分析ADAS警示事件、車速、車距、煞車狀況等參數，探討ADAS警示事件對於大客車駕駛行為反應之實用性，並作為ADAS相關參數調校之參考。

結論與建議

自動駕駛車輛和智慧先進車輛相關技術的發展為提升國內大客車駕駛安全帶來新的契機。從上述文獻可知，這些技術在大客車上的應用具有顯著的安全效益潛力，本研究重要結論，具體包括如下：

- 一、自動駕駛技術進步為大客車安全帶來新的可能性：根據SAE J3016標準定義的六個自動化等級，即使是較低等級的自動化技術也能有效輔助大客車駕駛，如車道保持系統和自動緊急煞車系統能顯著減少因駕駛疏忽或反應不及而導致的事故風險。
- 二、車聯網技術應用為大客車安全帶來更廣泛的前景：通過車輛間和路邊設施的通信，提供更全面的交通狀況，協助駕駛員做出更安全的決策。如超速警示、轉彎處超速警示、紅燈違規警示等安全功能，對大客車的安全駕駛同樣至關重要。
- 三、目前ADAS警示事件主要包括車道偏移、未保持安全距離、車速控制不當等，這些恰是大客車駕駛中常見的安全隱患，透過ADAS系統的即時警示和輔助，能有效提升大客車的駕駛安全性。
- 四、在新技術應用上的挑戰，可包括：(1)在複雜的道路環境中下，技術本身的成熟度和可靠性；(2)系統與人的互動，如何確保駕駛員正確理解和使用這些系統，避免過度依賴或誤用；(3)法規和標準的制定，需要權衡創新與安全；(4)新技術的導入也將對駕駛員的技能要求和工作內容產生影響，需要建立相應的教育訓練體系。

至於未來發展部分，若要充分發揮新技術對大客車安全的正面作用，需要政府、業

界和學界的共同努力，建議可以從下列數個方向著手：

- 一、加強技術研發和驗證，強化大客車營運特性的適應性研究。
- 二、融合國內交通特性並完善相關法規標準，為新技術應用提供明確指引。如臺灣地區機車、小客車數佔大宗，交通狀況相對複雜，因此在制定國內的評估標準時，如何適應國內用路特性尤其重要。
- 三、建構大客車駕駛員培訓體系，提升其對新技術的認知、應用能力及接受程度。
- 四、推動跨產業協作，促進車輛技術與客運服務的融合創新。
- 五、提高自駕接駁服務的獎勵誘因，加速填補公共運輸的服務缺口，解決偏鄉交通資源缺乏的問題。
- 六、持續進行大客車駕駛數據分析，利用ADAS警示資料建立駕駛安全績效模式，為大客車安全管理提供科學依據。

自動駕駛和智慧先進車輛技術為大客車駕駛安全的提升開啟新的可能性。通過審慎評估、積極準備和有序推動，國內有望在不久的將來實現更安全、更高效的大客車運輸服務，為乘客提供更佳的移動體驗，同時也為整個公共運輸系統的升級做出貢獻。

參考文獻

1. 張建彥、游上民、張佳雯、陳榮廷，「我國自駕車監理法制化之課題研析」，中華民國運輸學會2021年會暨學術論文國際

研討會論文集，第五冊：智慧運輸與高科技應用、交通工程、高齡與無障礙運輸服務，頁28-52(2021)。

2. 張凱喬，「淺談美國自動駕駛政策」，財團法人車輛研究測試中心。網站：<https://www.artc.org.tw/tw/knowledge/articles/31666>(2017)。

3. Aufrère, R., Gowdy, J., Mertz, C., Thorpe, C., Wang, C.-C., Yata, T., “Perception for collision avoidance and autonomous driving,” *Mechatronics*, 13(10), pp. 1149-1161(2003).

4. Jiménez, F., Naranjo, J. E., Gómez, J., “Autonomous maneuvering systems for collision avoidance on single carriageway roads,” *Sensors*, 12, pp. 16498-16521(2012).

5. Hamlet, A. J., Crane, C. D. “A ‘cognitive driving framework’ for collision avoidance in autonomous vehicles,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 6(5), pp. 117-124(2015),.

6. Berntorp, K., “Path planning and integrated collision avoidance for autonomous vehicles,” 2017 American Control Conference, Seattle, USA(2017).

7. Joukhadar, A., Issa, H., Kalaji, Y., “Design and implementation of auto car driving system with collision avoidance,” *Cogent Engineering*, 5: 1485458. Website: <https://www.cogentoa.com/arti>

[cle/10.1080/23311916.2018.1485458](https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1485458). (2018)

8. Debernard, S., Chauvin, C., Pokam, R., Langlois, S., “Designing human-machine interface for autonomous vehicles,” *IFAC-PapersOnLine*, 49(19), pp. 609-614(2016).

9. Umachigi, A.S., “Human computer interaction (HMI) in autonomous vehicles for alerting driver during overtaking and lane changing. Website: http://www.csl.mtu.edu/classes/cs4760/www/projects/s17/grad10/www/HCI_Topic_Paper.pdf(2018)

10. Krahling, M., Larges, U., Griesche, S., Kathner, D., Rojas, R., “Human-machine cooperation in highly automated driving.” Website: https://www.researchgate.net/publication/280712999_HUMAN-MACHINE_COOPERATION_IN_HIGHLY_AUTOMATED_DRIVING (2018)

11. 張建彥、林良泰、陳珈宇、梁禮恩、范萬笙，「自駕車安全功能需求調查與分析」，2020 企業競爭力與經營管理學術研討會論文集，頁1414-1423(2020)。

12. 林良泰、張建彥、蘇昭銘、何文基、陳榮廷，「自駕車需求反應式運輸系統規劃」，中華民國運輸學會2020年年會暨學術論文國際研討會論文集，第五冊：智慧運輸與高科技應用、其他運輸相關，頁398-422(2020)。

13. UN. ECE, “World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) : how it works, how to join it,” ISBN:9789211171891(2019).
14. 台灣世曦工程顧問股份有限公司, 「『省道公路系統因應自動駕駛汽車之影響分析研究計畫』委託技術服務案(案號 109050)後續擴充(2023)。
15. Winkler, K. C. “Autonomous vehicles regulation in Germany and the US and its impact on the German car industry,” Master Thesis, Department of Business Law, Tilburg Law School, Tilburg University(2019),.
16. 楊立新, 「自動駕駛機動車交通事故責任的規則設計」, 福建師範大學學報, 第三期, (2019)。
17. 汪信君, 「自駕車時代汽車責任保險之應有風貌」, 月旦法學雜誌, 第288期, 頁58-66(2019)。
18. 黃銘傑, 「自駕車對現行汽車事故法律責任之挑戰與回應」, 月旦法學雜誌, 第288期, 頁51-57(2019)。
19. 鍾采玲, 「自動駕駛車之風險與保險需求 - 以責任歸屬為中心」, 碩士論文, 政治大學法律學系, 臺北 (2020)。
20. 陳淑玲, 「探自動駕駛車輛之侵權行為責任」, 司法新聲, 第134期, 頁35-50(2020)。
21. 林俊宏、王志銘, 「人工智慧自動駕駛車之產業發展及其相關法律問題」, 貿易政策論叢, 第32期, 頁307-352(2020)。
22. 洪德欽, 「歐盟自動駕駛車之發展策略與法律規範」, 歐美研究, 第50卷第2期, 頁349-431(2020)。
23. NHTSA, “Automated vehicles for safety,” U.S. Department of Transportation. Website: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>(2024).
24. 林良泰、蘇昭銘、鍾慧諭、張建彥、林繼昌、洪百賢、黃啟倡、吳盟分、張志鴻、吳佳真、林宜靜、盛柏雄、陳其華、蔡欽同, 「智慧公共運輸服務發展策略規劃」, 期末報告, 交通部運輸研究所合作研究計畫報告(2023)。
25. 台灣車聯網產業協會, 「跨域數據治理服務-我國智慧道路數位發展先期研究」, 期末報告, 交通部委託研究計畫(2021)。
26. 黃章杰, 「淺談先進駕駛輔助系統的源起與發展」, 財團法人車輛研究測試中心, 彰化(2016)。
27. 鄭碩群, 「交通部『大型車輛裝設主動預警輔助系統』計畫介紹」, 車安通訊季刊, 第111-01期(2022)。
28. 張建彥、吳繼虹、王世杰, 「視覺能力對安全駕駛之影響分析與換照制度之探討」, 危機管理學刊, 第三卷, 第二期, 頁95-104 (2006)。
29. 張建彥、蘇昭銘、劉霏、張志鴻、謝界田、陳怡君、李明展、林宣諭、葉文健、劉又升, 「大客車駕駛風險管理大數據分析系統研發計畫」, 財團法人中華顧問工程司委託研究計畫, 臺北(2023)。

30. Ziebinski, A., Cupek, R., Grzechca, D., and Chruszczyk, L., "Review of advanced driver assistance systems (ADAS)," AIP Conference Proceedings 1906, 120002. Website: <https://doi.org/10.1063/1.5012394>(2017).

31. Jumaa, B. A., Abdulhassan, A. M., and Abdulhassan, A. M., "Advanced driver assistance system (ADAS): A review of systems and technologies," International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) (2019).

32. Hasenjager, M. and Wersing, H., "Personalization in advanced driver assistance systems and autonomous vehicles: A review," 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (2017).

33. Panou, M. C., "Intelligent personalized ADAS warnings," European Transport Research Review 10, pp.1-10(2018).

34. Chen, H., Zhao, F., Huang, K., and Tian, Y., "Driver behavior analysis for advanced driver assistance system," 2018 IEEE 7th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS), Enshi, Hubei Province, China (2018).

35. Priyadarshini R., Kayalvizhi, S., Geetha, A., and Premkumar T., "Data driven scene classification to analyze ADAS," International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Vol. 8, Issue 2S4 (2019).

36. 余英仕，「MOBILEYE-先進駕駛輔助系統的案例研究」，碩士論文，國立交通大學企業管理碩士學程，新竹(2020)。

37. 張建彥、蘇昭銘、劉霈、葉文健、陳茂南、劉又升、劉維剛，「以ADAS警示資料為基礎之大客車駕駛安全績效模式建立」，中華民國運輸學會2023年會暨學術論文國際研討會論文集，第二冊：運輸安全、永續運輸，頁1-25(2023)。

38. 陳怡君、張建彥、蘇昭銘、葉文健、陳茂南、劉又升、劉維剛，「大客車主動式預警系統於駕駛安全管理之需求調查與分析」，中華民國運輸學會2023年會暨學術論文國際研討會論文集，第五冊：交通工程、智慧運輸與高科技應用、高齡與無障礙運輸服務，頁258-281(2023)。

39. 張國鼎、張建彥、蘇昭銘，「ADAS警示對大客車駕駛行為之影響分析」，中華民國運輸學會2023年會暨學術論文國際研討會論文集，第二冊：運輸安全、永續運輸，頁199-222(2023)。

稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目／作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1，2，3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977)。

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木水利工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973)。

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984)。

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963)。



編後語

本期內容以捷運建設新紀元 挑戰與突破做為專題，藉由北高兩大捷運建設主管機關的大家長鄭局長德發及吳局長嘉昌的人物專訪拉開序幕。兩位局長以他們多年來參與捷運工程建設與營運管理的心得，毫無保留的分享都會捷運的經驗傳承及未來永續發展的策略。

本期專刊非常榮幸邀請到亞聯工程顧問公司許董事長添本先生就輕軌建設與路面交通整合與管制措施發表其研究心得，提供其他都會區推動輕軌建設借鏡。預告下次的專輯主題為AI驅動 工程蛻變，將與各位讀者分享最新的人工智慧技術在工程輔助設計、智慧交通管理及防災及施工安全之應用，內容非常精彩，敬請期待。



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乙份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。

 **財團中華顧問工程司**
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

台北市10637辛亥路二段185號28樓
28F., No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>

夢想和幸福

零距離的接軌

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



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw