



中國工程師學會會刊

中華民國112年3月 Vol.96 No.1

<http://www.cie.org.tw> ISSN:1015-0773

工程

- ▶ 本學會第72屆、73屆理事長完成交接
- ▶ 2022女科技人大會—邁向工作與生活共榮的新職場
- ▶ 台北捷運南北環計畫的挑戰與突破
- ▶ 高雄捷運四線齊發，綠色運輸時代啟動
- ▶ 臺中地區交通噪音與地層振動特性之探討
- ▶ 捷運深開挖自動化之發展
- ▶ 以大眾運輸導向發展高雄捷運黃線-加減法則的都市治理



捷運 新世紀

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



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



捷運新世紀

國內各都會區大眾捷運系統對於民衆交通的便利性及都會的發展性，都產生相當重大的效益與影響，捷運營運多年形塑出獨特的：禁止飲食、排隊乘車、禮讓博愛座、電扶梯靠右、車廂內輕聲細語等捷運文化，也自然而然的影響了國內其他都市捷運的風貌，讓台灣特色的捷運文化，深為國外旅客驚豔與讚賞，成為國人的驕傲。除了一般民衆直接感受捷運建設的豐富成果外，捷運工程從規劃設計、施工及營運全生命週期，都對於台灣的工程產業發展有很大的影響，不僅建立了完全自主的捷運建設能力與資源，近10年已經成功地將捷運工程技術輸出到東南亞地區的捷運工程建設計畫，打響台灣隊高品質捷運工程的名號。

特別報導

- 02 本學會第72屆、73屆理事長完成交接
- 04 楊理事長正宏簡介
- 05 楊理事長正宏的話

活動報導

- 06 第21屆公共工程金質獎專案管理得獎專案分享研討會
- 08 2022女科技人大會—邁向工作與生活共榮的新職場

捷運新世紀

客座主編：林建華 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司副總經理

- 13 高雄捷運四線齊發，綠色運輸時代啟動 / 吳義隆、林永盛、蔡榮禎、倪睿謙、管啟旭、朱傳熙、張尚瑜
- 43 台北捷運南北環計畫的挑戰與突破 / 廖純璋、莊建忠、張荐宇、李奕霆、黃迺棟、宋上平、蔡淵堯、黃碩儒、張永漢、史訓璋
- 64 以大衆運輸導向發展高雄捷運黃線-加減法則的都市治理 / 王然興、黃俊翰、蔡榮禎、陳世任、許以奇
- 81 捷運深開挖自動化之發展 / 謝君毅、張正憲、曾紀緯、賴建名
- 95 探討工程採購契約範本之法律概念 / 許建裕、莊志維
- 110 捷運系統驗證與監理制度探討 / 劉觀生、于新源
- 134 臺中地區交通噪音與地層振動特性之探討 / 伍勝民、蔡佩勳、賴俊仁、李奕霆、張永漢

工程與技術

- 158 基隆中山一二路拓寬暨共同管道工程建設經驗分享 / 魯成俊、徐適康、許柏謙

理事長：楊正宏

常務理事：李順欽 胡湘麟 陳仲賢 楊宗興
鄭光遠 賴建信

理事：王宇睿 王錫福 伍勝園 江秀丹
余信遠 宋裕祺 李政安 李偉賢
周永暉 林聰利 莫仁維 許泰文
許鈺漳 陳守道 陳哲生 陳國隆
黃維焄 楊正君 楊慶煜 廖學瑞

常務監事：施義芳

監事：高宗正 陳玫英 歐善惠 蘇玫心

秘書長：劉國慶

副秘書長：李瑋聆

發行所：中國工程師學會出版委員會

主任委員：黃炳勳

委員：方振仁 王子安 王宇睿 余信遠
林建華 洪文玲 徐強 張人懿
莫仁維 陳守道 陳哲生 劉國慶
賴建信

總編輯：張鈺輝

客座主編：林建華

編輯：李宥萱 李綺馨 林秀琴 袁雅玲
梁愛倫 許舜雅 蔣雪芬

聯絡地址：114710 臺北市內湖區陽光街323號

電話：(02)8797-3567轉8200、8225、8234

傳真：(02)8797-4585

會址：100026 臺北市仁愛路二段1號3樓

電話：(02)2392-5128

傳真：(02)2397-3003

網址：<http://www.cie.org.tw>

郵政劃撥：00059892

戶名：社團法人中國工程師學會

編印：英杰企業有限公司

地址：106411 臺北市大安區復興南路二段
293-3號10樓之1

電話：(02)2732-1234

行政院新聞處出版事業登記證局版臺誌0765號

中華郵政臺北誌字第721號執照登記為雜誌交寄

入會申請手續請上本會網站查詢



本學會第72屆、73屆理事長完成交接

中國工程師學會第73屆理監事選舉已於111年11月3日舉行，會中經各會員代表投票選出27位理事、5位監事。學會續於11月18日召開第73屆第1次理監事聯席會議，在各理事的推舉下，由臺南應用科技大學楊正宏校長當選為本學會第73屆理事長。

第72屆、73屆理事長交接典禮於12月19日舉辦完成，交接當天，在廖慶榮常務監事的監交之下，施義芳前理事長將學會印信交付到新任的楊正宏理事長手中，儀式簡單隆重，現場計有前後任理監事及各委員會主任委員計45人與會。



▲ 第72屆施義芳理事長（左）將印信交接給第73屆楊正宏理事長（右），由廖慶榮常務監事監交

施前理事長於致詞時特別感謝理監事以及各委員會主任委員們過往的支持、協助與



▲ 第72屆施義芳理事長致贈李元唐秘書長感謝牌



▲ 出席理監事、主任委員及貴賓合影

督導，並簡要說明學會在這兩年的具體進展，包括會員人數及互動交流的增長、編印「創會110年紀念專刊」以及完成「中工會120年發展策略白皮書」的修訂，規劃了學會未來10年發展的方向，希望可協助達成聯合國永續發展與工程領域相關的目標，同時加快推動組成「工程國家隊」，協助業界爭取更多海外商機，使臺灣在快速變遷的環境中，有更堅強的實力和競爭力因應各項挑戰。

楊校長亦以新任理事長身分致詞，表示很高興有機會為中工會服務，期盼未來在各位理監事及主任委員的支持與指教之下，將學會的精神更加發揚光大。楊理事長表示近年我國政府積極推動下個世代所需的基礎建設，此乃是國家硬實力的一部分，尤其在經濟轉型過程中，是創造經濟成長的重要關鍵，因此未來學會在公共政策的制定過程及我國工程人才培育上，更應扮演重要角色。另也將鼓勵學術與實務有更多的交流，促進以實證為基礎的政策



▲ 楊正宏理事長頒發榮譽會員證書予施義芳理事長

制定。同時，也將更積極拓展與國際相關團體之連結，建立跨國互動網絡，以提升我國工程在國際上之曝光度與影響力，讓臺灣工程人員能踏上世界舞台。

楊理事長接著代表學會頒贈施前理事長榮譽會員證書及紀念品，感謝施前理事長對學會的傑出貢獻。禮成後，新舊任理監事及主任委員齊聚一堂相互交流，所有出席與會貴賓於典禮後共同拍攝團體照留念。



楊理事長正宏簡介

學歷：

美國北達科塔州州立大學資訊科學系博士
美國北達科塔州州立大學資訊科學碩士

經歷：

台南應用科技大學資訊管理系講座教授
國立高雄科技大學講座教授
國立高雄應用科技大學講座教授
國立高雄應用科技大學校長
國立高雄應用科技大學特聘教授
稻江科技暨管理學院院長
教育部顧問室顧問
教育部電算中心主任
國立高雄應用科技大學電算中心主任
教育部南部產學合作中心兼高應大電腦與通訊中心主任
教育部南部產學合作中心兼高應大副執行長
國立高雄應用科技大學電子工程系主任



現職：

台南應用科技大學校長
台南應用科技大學資訊管理學系講座教授

研究領域：

人工智慧、智慧計算、機器學習、巨量資料分析、醫療資訊、影像辨識

楊理事長正宏的話

親愛的中國工程師學會會員朋友們，大家好：

衷心感謝各位長久以來對中國工程師學會的支持與鼓勵，也非常謝謝歷任理監事以及秘書處同仁過去對於學會的奉獻，使學會得以持續進步。承蒙各位厚愛，個人很榮幸接任中國工程師學會第73屆理事長，未來2年，正宏將善盡理事長之責，戮力為中國工程師學會全體會員服務。

這兩年來，在施前理事長與歷屆理事長帶領下，大家有目共睹中國工程師學會的活力，且在疫情的影響下，仍能持續發揮學會的影響力，著實不易。而歷任理事長及理監事們為學會努力的精神，也為工程人立下了優良典範，未來正宏也會承接各位前輩的精神，持續帶領學會前進成長。

學會創會以來，致力於推動我國工程領域之研究與發展。在學術上，除持續舉辦研討會，更邀請國內外工程領域相關之重磅級學者演講，分享工程之最新應用與發展，並將最新研究成果提供政府與相關團體參考，未來學會也會持續努力以貢獻國家社會。

近年來，我國政府積極推動下個世代所需的基礎建設，提升人民生活之福祉。基礎建設乃是國家硬實力的一部分，在我國經濟轉型過程中，無論是營建、資訊、能源等相關大型工程，均是創造經濟成長的重要關鍵，也都在打造我國國力的硬實力。因此，學會在公共政策的制定過程及我國工程人才培育上，更應扮演重要角色。

學會未來除持續推動工程在學術領域的發展，也將鼓勵學術與實務有更多的交流，促進以實證為基礎的政策制定。在此同時，學會也將積極拓展與國際相關團體之連結，建立跨國互動網絡，以提升台灣工程在國際上之曝光度與影響力，讓台灣工程人員能踏上世界舞台。

此外，未來學會將舉辦涵蓋學術與實務的各類研討會及活動，屆時期盼各位會員能共襄盛舉，共同努力使中國工程師學會能更加茁壯。最後，再次感謝各位會員的支持與厚愛，所有會員對中工會的支持與無私的付出，也請不吝提供任何建議，讓本屆服務團隊的服務品質更加精進，再次謝謝大家的支持。



第21屆公共工程金質獎專案管理 得獎專案分享研討會

「第21屆公共工程金質獎專案管理得獎專案分享研討會」於111年12月9日假國立臺灣科技大學舉辦，由本學會、國際專案管理學會台灣分會（PMI）及國立臺灣科技大學營建工程系共同主辦，本學會專案管理認證委員會及台灣世曦工程顧問股份有限公司共同承辦。



▲ 李元唐秘書長致詞

公共工程金質獎為國內公共工程施工品質最高榮譽，良好專案管理可提昇工程品質、掌握工程進度、降低工程成本，促進工程創新發展。為協助業界提升專案管理實務

能力，專案管理認證委員會特邀第21屆金質獎專案管理得獎專案進行寶貴之經驗分享，期許共同推動承辦工程邁向取得金質獎之目標。



▲ 李元唐秘書長致贈演講者感謝狀



▲ 台灣世曦工程顧問股份有限公司黃寶翰副理演講

活動開始由本學會李元唐秘書長代表施義芳理事長致詞，李秘書長表示活動原訂於5月舉辦，但因為疫情影響一直延期，特別感謝專案管理認證委員會廖學瑞主委、PMI及臺科大營建系持續努力促成，也謝謝台灣世曦的同仁以及4位演講者的全力支持和配合，使活動得以順利舉辦。

本次活動邀請中興工程顧問股份有限公司吳純櫻專案經理主講「臺灣電影文化園區-國家電影中心裝修及設備統包工程」、亞新工程顧問股份有限公司徐朝聲專案經理主講「教學研究綜合大樓和第三學生宿舍大樓新建工程」、美商傑明工程顧問台灣分公司劉穎川協理主講「桃園市龜山區桃園機場捷運A7站地區水資源回收中心第一期統包工程」、台灣世曦工程顧問股份有限公司黃寶翰副理

主講「新北市新店區寶高智慧產業園區統包工程」，是日有超過100位出席，迴響熱烈，活動順利成功。



2022女科技人大會—— 邁向工作與生活共榮的新職場

本學會與台灣女科技人學會、中華民國光電學會、國際電機電子工程師學會中華民國分會、國立陽明交通大學於2022年12月9日，假台大醫院國際會議中心聯合主辦「2022女科技人大會——邁向工作與生活共榮的新職場」。有別於2021年女科技人大會以經驗分享為主，本次活動奠基於女性工程師委員會4年來的調查研究，聚焦於邀請業界與學界發現問題與解決問題，首次邀請男性擔任業界論壇講者及分組討論桌長，展現聯合國HeForShe精神，議題為兩性共同關心。

53家學、協、公會組成「女科技人聯絡網」共同參與，國科會計畫補助。台灣



▲（左起）清大通識教育中心謝小苓教授、國科會林敏聰副主委、女科技人學會林滿玉理事長、陽交大周倩倫理長、臺大周家蓓副校長、胡心卉主持人

女科技人學會林滿玉理事長擔任召集人，施義芳理事長因公無法出席，改由陽交大林奇宏校長代表主辦單位致詞，並邀請總統錄影致詞、國科會吳政忠主委現場出席致詞，



▲ 2022 女科技人大會開幕大合照



▲ 2022 女科技人大會現場合影

范雲立法委員報名現場致意，她因為我們的訴願，針對大學女性教師懷孕生產能有更加友善作法向教育部質詢，並得到積極回應與做法，為2021大會最實質的成果之一。

本次現場參與者約190人，跨產、官、學、研之多元專業背景。政府部門去年以國科會及行政院性平處為主，今年增加立法院、勞動部、交通部、國防部與外交部。贊助企業出席踴躍，包括台積電、國泰金控、輝瑞大藥廠、聯發科技、東生華製藥，其他業界亦包括台灣微軟、台灣惠普、英業達、台灣美光、聯揚半導體、中華電信、永豐餘集團、中鼎集團、中興工程、世曦工程、鼎漢國際、建國工程、長虹建設、美商默沙東藥廠、國光生技等，以及執業建築師、技師、律師及教師參與。線上更為多元，約680人次透過Webex或YouTube參加。本學會李元唐秘書長代表理事長出席，對外關係委員會王子安主委亦親自出席支持。



▲ (左起) 陽交大林奇宏校長、光電學會洪瑞華副理事長、女科技人學會林滿玉理事長、范雲立委、國科會吳政忠主委、中工會女工委會薛文珍主委、IEEE 冉曉雯總幹事

本學會未來將持續支持大會的舉辦，更以身作則實踐多元、平權與包容，落實女性的參與，並帶動理監事所屬的合作學協公會共同參與，以實際行動回應聯合國永續發展目標，將兩性優秀人才吸引並留駐在工程與科技界。



捷運新世紀 - 專輯序言

台灣世曦工程顧問股份有限公司副總經理 / 林建華

台北捷運建設初期引進許多國外的專業人才，協助建立完善的管理組織與制度，透過聯合承攬與技術轉移，國內的產官學界在短短的八年期間就完成了技術自主的任務，除了將捷運建設的效果擴大到五大都會區，更將累積的專業經驗及技術輸出至海外。受到台灣捷運系統高服務品質與高系統穩定性的口碑影響，台灣的工程團隊於2000年左右受邀參與東南亞地區的捷運工程建設計畫，在印度、越南、印尼、馬來西亞與菲律賓等國家，與國際的工程團隊合作完成許多困難的捷運工程計畫，打響台灣隊的名號。本期「捷運工程新世紀」主題共收錄7篇有關捷運工程專題論文，透過實際案例或研究，分享捷運工程的規劃與研究團隊面對新世紀的挑戰，如何發揮的智慧與創意，成功克服困難達成目標的寶貴經驗。

第一篇論文是高雄市政府捷運工程局吳義隆等人所撰寫的「高雄捷運四線齊發，綠色運輸時代啟動」，說明高雄捷運路網建設

目標「輕軌成圓，捷運成網」的高效實踐，高雄捷運克服重重挑戰，成功達成全國第一條無架空線輕軌分段通車成環，紅線岡山路竹延伸線進入施工高峰期、高雄黃線及紅線小港林園線展開招標動工四線齊發，同時將進入施工階段，將使高雄都會區軌道路路網更為綿密與完善，提升綠能運輸的覆蓋率、便利性及使用性，同時配合高雄市府相關大眾運輸導向發展（Transit-Oriented Development, TOD）潛力之場站發展策略，將帶動新一階段高雄都會區的都市發展。

第二篇論文是臺北市政府捷運工程局廖純璋等人所撰寫的「台北捷運南北環計畫的挑戰與突破」，本文說明南北環路線經過臺北盆地外緣人口密集路段，地質條件複雜變化大、道路狹窄、地下管線與障礙物密佈，施工困難度非常高，且由於都市的高度開發，各車站用地條件不同，如何在狹小的用地空間中設計符合需求的車站充滿了挑戰。為了達到良好的設計品質，透過3D BIM技

術做為設計整合的平台，並且導入ISO19650 BIM國際標準程序，落實協同作業資訊分享的各步驟與架構，希望國內捷運建設的高品質成果持續與國際最新標準接軌。

第三篇論文是高雄市政府捷運工程局王然興等人所撰寫的「高雄捷運黃線沿線都市發展治理-以TOD戰略的加減法則」，TOD係以高效率的大眾運輸系統為主幹，透過捷運車站周邊土地將使用強度提升、提高都市機能的融合，強化土地開發及公共設施配置之效益，以形塑具宜居性、可及性及高效能的永續都市型態與土地利用模式之城市治理。為促進高雄市採大眾運輸導向之都市發展，評估捷運黃線沿線都市發展現況，研擬具大眾運輸導向發展（Transit-Oriented Development，TOD）潛力之場站定位，並透過不同面向之都市發展策略，來引導場站周邊具有TOD潛力的公、私有土地朝高強度、高效率之土地使用發展，配合回饋部分公益設施，同步提升改善都市開發整體效益，最終達成市民生活與大眾運輸密不可分的永續人本都市發展目標。

第四篇論文是中興工程顧問股份有限公司謝君毅等人所撰寫的「捷運深開挖自動化之發展」，有鑑於國內捷運工程已發展三十餘年，隨著第一批專業人才功成身退，如何有效傳承設計經驗為一項重要課題，以面對數位轉型趨勢之挑戰。中興公司透過開發設計自動化網頁平台，整合各項Excel工作表、連動地工分析

軟體，自動迭代計算將分析結果上傳更新於網頁平台，提升設計效率及品質，並於平台資料庫上有系統性的保存與傳承設計資料與經驗。過去人工利用施工端監測值回饋至設計端，而後有中興社研發之最佳化程序及類神經網路預測後續施工階段壁體變形量，同時研發施工階段設計參數回饋自動化程式，預期連結設計及施工平台，自動回饋相關參數，並預測施工階段壁體變形量。

第五篇論文是中興工程顧問股份有限公司許建裕等人所撰寫的「探討工程採購契約範本之法律概念」，工程會訂定工程採購契約範本以作為機關與廠商間執行公共工程履約之參考依據，得讓工程契約條文統一，機關得按個案酌以增訂或修改範本條文內容。惟機關與廠商在履約過程中對於契約條文解釋居於己身較為不利情形下，此時常各執己見且以對己身有利之解釋，主要原因在於執行契約者並未真正熟稔工程契約條文之真意。本文說明工程採購契約範本部分條文內容涉及法律概念，可讓未接觸過法律之機關採購人員或廠商先進能真正瞭解工程會訂定該法律條文之原委與其目的，讓機關與廠商雙方在履約過程執行工程契約時減少履約爭議，得讓工程順利完工，創造雙方共贏目標。

第六篇論文是台灣世曦工程顧問公司劉觀生等人所撰寫的「捷運系統驗證與監理制度探討」，本文介紹歐盟的鐵道標準體系制訂的互操作性技術規範、共同安全目標、共



同安全指標、共同安全方法，發展全歐盟統一的鐵道系統與產品技術標準、鐵道認證與安全管理體系和鐵道市場監督機制，三十年來歐盟鐵道管理體系已經成為國際間鐵道系統興建、營運與監理所普遍採用的參考依據。我國的捷運機電系統所採用的也大多是歐盟鐵道設備，因此捷運建設過程與成果的驗證及營運的監理如果能參考歐盟鐵道體系的作法，完備我國相關法規、標準、規範、管理制度與作業模式，有效落實我國的捷運系統全生命週期管理，就能加速建設腳步、節約建設成本、提高經營效益，同時促使我國鐵道產品國產化與國際化雙向同步到位，對產業經濟發展形成向上提升螺旋，融入國際鐵道產業體系，以搏國際市場之利。

第七篇論文是朝陽科技大學營建工程系伍勝民等人所撰寫的「臺中地區交通噪音與地層振動特性之探討」，由於國人對於生活品質之要求日漸提升，故捷運施工、營運期間導致之振動與噪音對於周圍環境影響及解決方案為捷運系統規劃設計之重要考量因素。本文針對規劃中之臺中捷運藍線沿線進行背景振動與噪音、地層傳遞動性、以及已通車之捷運綠線進行列車力密度頻譜調查，求得臺中都會區三種（卵礫石、紅土礫石與砂質沉泥）主要地質材料之振動特性，提供將來臺中地區捷運列車營運之地傳振動與地傳噪音分析設計之參考。



高雄捷運四線齊發， 綠色運輸時代啟動

高雄市政府捷運工程局局長 / 吳義隆

高雄市政府捷運工程局科長 / 林永盛

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部協理 / 蔡榮禎

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部經理 / 倪睿謙

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部計畫經理 / 管啟旭

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部計畫經理 / 朱傳熙

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部計畫經理 / 張尚瑜

關鍵字：高雄環狀輕軌、高雄岡山路竹延伸線、高雄小港林園線、高雄捷運黃線

前言

「輕軌成圓，捷運成網」，自紅、橘線通車之後，就成為高雄捷運路網建設積極的目標。經過高雄市政府不斷的努力，國內第一條輕軌的高雄環狀輕軌，給予民眾對輕軌嶄新的概念與感受，目前已陸續分段通車，正朝向成環的最後一哩路；紅線岡山路竹延伸線已按興建計畫步驟，逐漸進入施工階段高峰期；高雄黃線及紅線小港林園線的綜合規劃報告於111年間陸續核定，高雄黃線機電系統及機廠土建統包工程已於111年決標，軌道標、土建標亦陸續招標中，紅線小港林

園線各統包標亦邁入招標階段。高雄捷運已克服重重挑戰，四線齊發，同時將進入施工階段，未來四線完工後，將使高雄都會區軌道路網更為綿密與完善，提升綠能運輸的覆蓋率、便利性及使用性，同時配合高雄市府相關大眾運輸導向發展（Transit-Oriented Development, TOD）潛力之場站發展策略，將帶動新一階段高雄都會區的都市發展。

一、高雄四線齊發，軌道運輸時代來臨

民國97年3月高雄捷運紅、橘線捷運投入營運，高雄為第二個臺灣營運的都會區，



紅橘線的建設是採獎勵民間參與交通建設條例，以民間投資興建，構築了高雄捷運路網的十字路線，紅線長28.3公里設24站，橘線長14.4公里設14站。

捷運系統路網的運輸效益，遠大於單一路線之營運成效，此一成效亦反映在整體的都市發展上，故於紅、橘線已營運下，高雄市政府續向中央爭取以政府投資興建模式，以構築高雄路網。除目前興建中的高雄環狀輕軌，紅線的岡山路竹延伸線外，高雄黃線綜合規劃於111年3月以及紅線的小港林園線綜合規劃於111年9月皆獲行政院核定，陸續投入發包興建。

高雄111年已投入營運的捷運路線共69

站，59.8公里，112年起高雄環狀輕軌、高雄岡山路竹延伸線、高雄小港林園線及高雄捷運黃線將四線齊發（圖1），未來工程通車後的捷運路網將大幅增加至112.38公里，車站數增加至114站，相較於現況，車站數增加65.22%，路線長度增加88.24%，高雄的軌道運輸路網將更為綿密與便利，市區捷運覆蓋率也大幅提升。

二、高雄環狀輕軌

（一）路線說明與執行現況

高雄輕軌計畫以「高雄都會區輕軌運輸系統高雄臨港輕軌建設」規劃報告於93年1月經行政院核定，原採民間參與興建營



圖 1 高雄四線：環狀輕軌、岡山路竹延伸線、小港林園線及黃線示意圖

運（BOT）方式辦理。惟歷經2次BOT公告（98年5月及99年1月）招商不成，嗣經評估，續辦恐受限廠商參與意願，流標風險高，延宕推動時程，為加速推動，辦理模式改以政府自辦興建。

輕軌計畫路線自凱旋二路旁台鐵臨港線路廊往南佈設至凱旋四路後，右轉進入成功二路西側台鐵路廊續往北行，至新光路口，

進入高雄港區腹地，沿海邊路、第三船渠旁計畫道路、蓬萊路、臨海新路、西臨港線鐵路廊帶、美術館路、大順一～三路後，再銜接凱旋二路，形成一環狀路線，全長22.1公里，設置38座候車站（含新增C21A站）、12座變電站（TSS1~TSS12）及1座機廠，除真愛碼頭（C11）站為高架車站外，其餘皆採平面型式設置。（路線詳圖2）



圖 2 「高雄環狀輕軌捷運設計畫」路線示意圖（車站中文名稱僅供參考）



環狀輕軌分為兩階段興建並分階段通車（表1），目前合計已營運路線總長達17.1公里，31座車站營運，僅於博愛路以東至中正路之C25-C31大順路最後一塊拼圖，朝向112年全線通車輕軌成圓的目標努力。

111年10月輕軌C21-C24美術館路路段通車，輕軌龍貓電聯車於小葉橄欖仁綠樹成蔭的「龍貓隧道」運行（圖3），吸引了無數遊客拍照打卡，並成為高雄網紅景點。

表 1 環狀輕軌分階段通車

兩階段興建	動工	通車範圍		著名景點	備註
第一階段路線 (C1-C14 站)	102 年 6 月	104 年 10 月 16 日	C1-C4 站	籬仔內商圈、金鑽及凱旋夜市商圈	
		105 年 6 月 26 日	C4-C8 站	夢時代、經貿園區、MLD 台鋁生活商場、軟體園區、高雄展覽館、新光碼頭、市立圖書館總館	
		105 年 6 月 30 日	C8-C12 站	高雄港埠旅運中心、海洋文化及流行音樂中心、真愛碼頭、駁二藝術特區	
		106 年 9 月 26 日	C12-C14 站	高雄漁人碼頭、駁二蓬萊倉庫群、西子灣	
第二階段路線 (C15-C37 站)	106 年 3 月	110 年 1 月 12 日	C15-C17 站 C32-C37 站	壽山國家自然公園、壽山動物園 武廟商圈、文化中心商圈	完成輕軌大南環段營運 (C32 凱旋公園站經 C1 籬仔內站至 C17 站鼓山區公所站)
		110 年 12 月 16 日	C17-C20 站	愛河溼地公園、唐榮磚窯廠、田町倉庫舊址、中都濕地公園	
		111 年 10 月 5 日	C20-C24 站	美術館園區	含新增 C21A 站
		預計通車目標 112 年	C25-C31 站	Costco、義大亞洲廣場、悅誠廣場、科學工藝博物館、特力屋、環球影城	

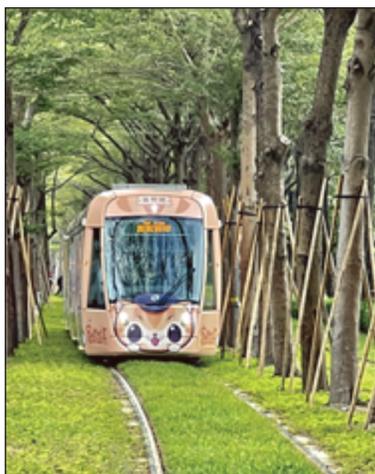


圖 3 龍貓列車穿梭於美術館路段綠色隧道（來源為高雄捷運局網站）



圖 4 高雄輕軌 C20-C24 路段試營運當日陳其邁市長致詞（來源為高雄捷運局網站）

（二）與民眾溝通優化精進作為

輕軌於美術館路及大順路因接獲民眾陳情，民眾對輕軌施作於既有道路產生疑慮：道路路幅因輕軌引入造成縮減後更容易塞車且影響救災安全、人行道削減及停車格位取消影響原周邊住戶生活習慣、大順路街廓短橫交路口多左轉不易配置、軌道磨軌及聲光號誌造成噪音等影響生活品質。

高雄市政府團隊因應民眾對輕軌將造成生活環境種種負面影響的疑慮，故而針對美術館路及大順路段，經廣納民意並敦聘各領域之府外專家學者共9人提出優化精進對策，後續更是透過公聽會、區里長說明會及里民說明會，讓地區民眾了解相關優化內容同時

再度傾聽民意。經市府團隊努力已獲民眾支持，美術館路（C20~C24）於111年10月5日順利完工通車（圖4）。

美術館及大順路段，沿線民眾最關切之交通及噪音問題。經專家學者會議，建議於原路線導入人本環境造街計畫以解決民眾訴求，高雄市政府對於沿線地物實際建模後進行動態模擬分析，經過客觀及科學化的數據佐證，評估提出9項優化調整措施以解決民眾疑慮，相關方案如下：

1. 北移至美術館園區內之優化路型：加大轉彎半徑（R30 加大為 50），維持既有美術館路車道數，不影響交通（圖5）。



圖5 輕軌北移至美術館園區內之優化路型



2. 最窄路段單線雙向：美術館中華一路至裕誠路（143 m）採單線雙向維持雙向4車道（圖6）。
3. C24、R13 站區轉乘總合因應策略：臨大順路及龍文街開發基地建築退縮增加車道空間

間，另規劃5分鐘內步行轉乘（圖7）。

4. 輕軌路權瘦身：輕軌路幅原 10.8 m（圖8）縮小至車站段 9.6 m（圖9）、路線段 9.0 m（圖10）。



圖6 美術館中華一路至裕誠路（143 m）採單線雙向維持雙向4車道

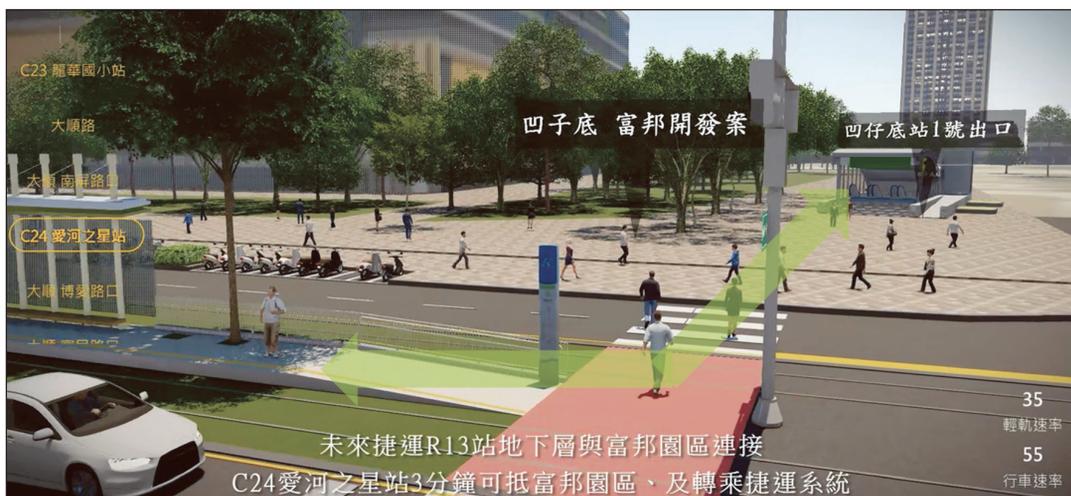


圖7 臨大順路及龍文街開發基地建築退縮增加車道空間

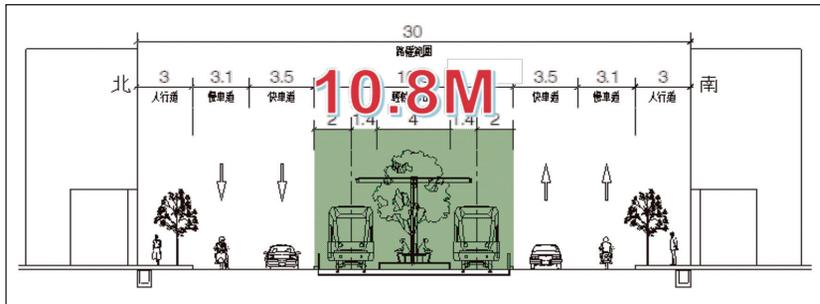


圖 8 原規劃輕軌路權 10.8 m

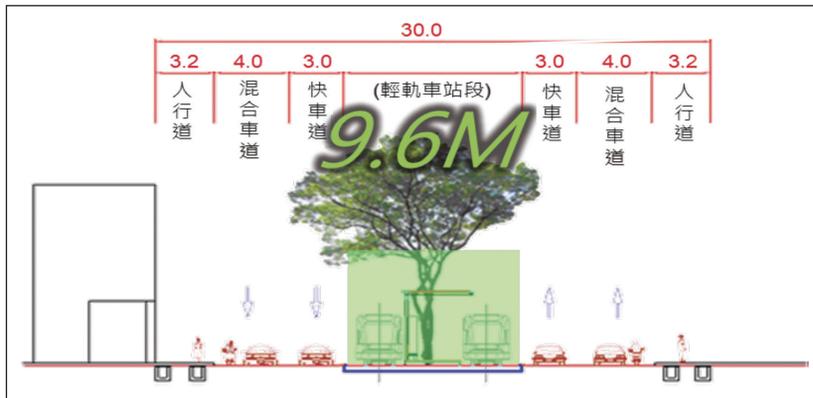


圖 9 車站段輕軌路權瘦身後為 9.6m

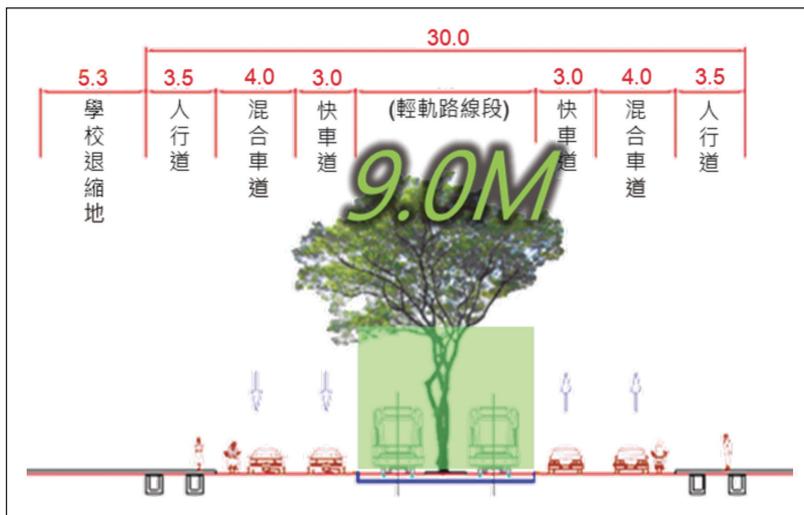


圖 10 路線段輕軌路權瘦身後為 9.0 m

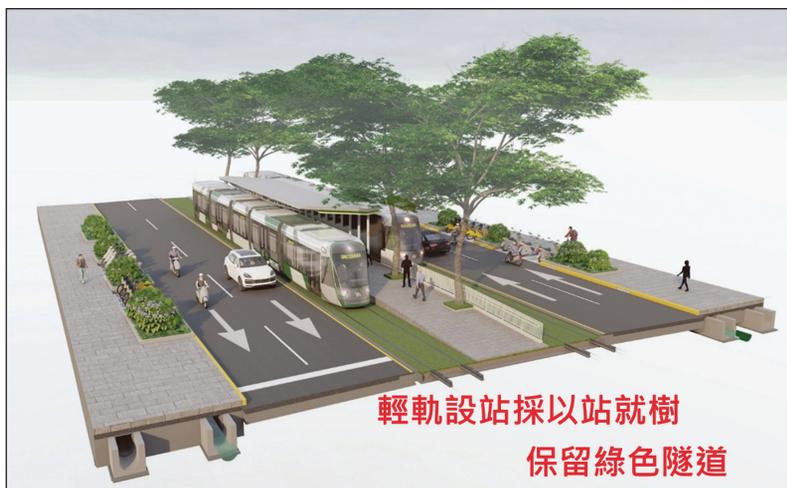


圖 11 大順路雨豆樹就地保留原則及全面造街

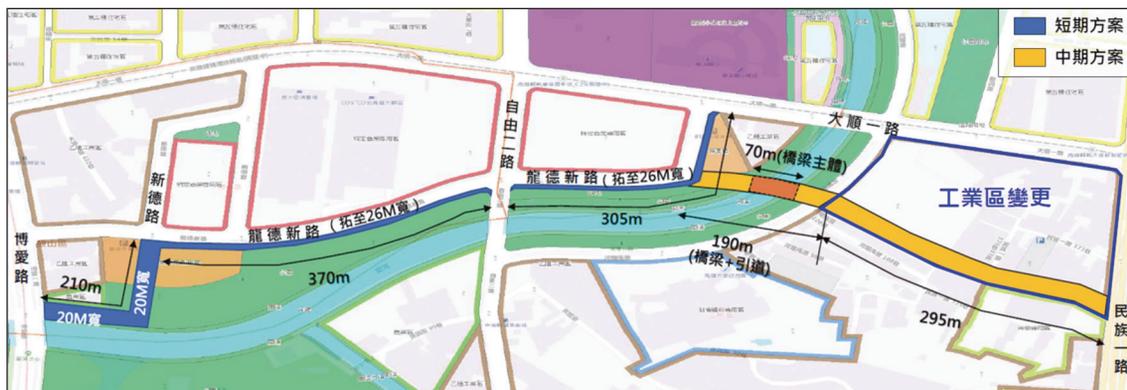


圖 12 龍德新路拓寬及東延

5. 大順路雨豆樹就地保留原則及全面造街：
206 棵雨豆樹就地保留，整理沿線設施帶
及排水，友善人行環境（圖 11）。

6. 龍德新路拓寬及東延（圖 12）：龍德新路
寬度 20 公尺拓寬至 26 公尺，未來更將東
向延伸至民族一路，全長 1370 公尺，成為
大順一路替代道路，預估移轉大順路交通

量 28%，可提高該路段交通服務水準。

7. 島式月台（圖 13）改為側式月台（圖 14）：
月台拆分為上、下行，寬度自 4 m 縮為
2.5 m，多出空間回饋車道。

8. 沿線停車供給對策：沿線 7.3 公里共取消
路邊停車格 345 格，市府協調學校釋出及

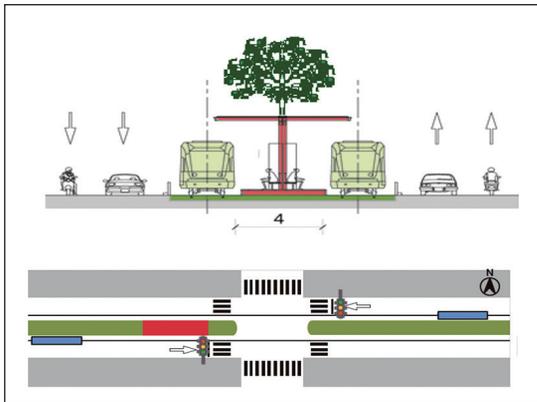


圖 13 大順路段島式月台車站平斷面示意圖

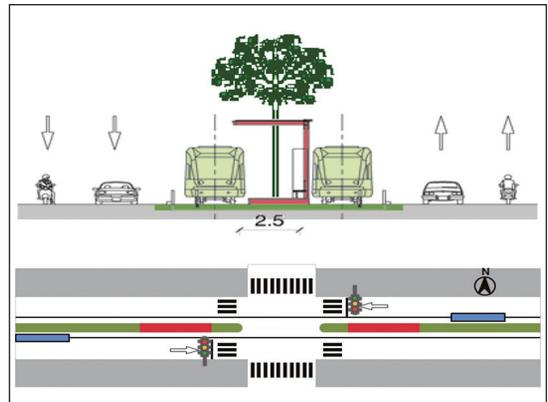


圖 14 大順路段中央側式月台車站平斷面示意圖



圖 15 大順路段臨時停車示意圖

檢討新增公、私有路外停車格（圖 16）共 3,024 格，沿線並有新增 48 格臨時卸貨彎（圖 15），可補足民眾停車及卸貨需求。

9. 交通環境 Vissim 模擬，作為交通號誌管控對策：沿線 41 處號誌路口模擬，17 個路口轉向管制及號誌管控，輕軌上路後道路維持既有服務水準甚至更優。

輕軌二階沿線根據原路線優化方案，高雄市政府同時並進行民意調查，超過七成民眾對原路型優化方案表示支持，足以顯示民眾對於輕軌建設仍是充滿期待並樂觀其成；透過本文對高雄輕軌二階美術館路及大順路段民眾陳情抗爭與溝通歷程之回顧與檢討，也審視輕軌建設之相應精進作為，展望未來輕軌建設需面對之興建營運，以及民眾關切及期盼達成之日



圖 16 檢討沿線可釋出之停車供給

標包括交通、停車、輕軌路型、噪音問題、路樹保留、人行通道、鄰近景觀品質維護，以及輕軌進入住宅區等，對各項議題之應對處理經驗，在與民眾互動溝通、交通專業之改善措

施反覆思慮精進，所建立之各項評估機制及模範，促成後續輕軌興建或其他類型之軌道建設引為基礎，對軌道運輸與民眾生活認知兼顧之開發模式邁進。

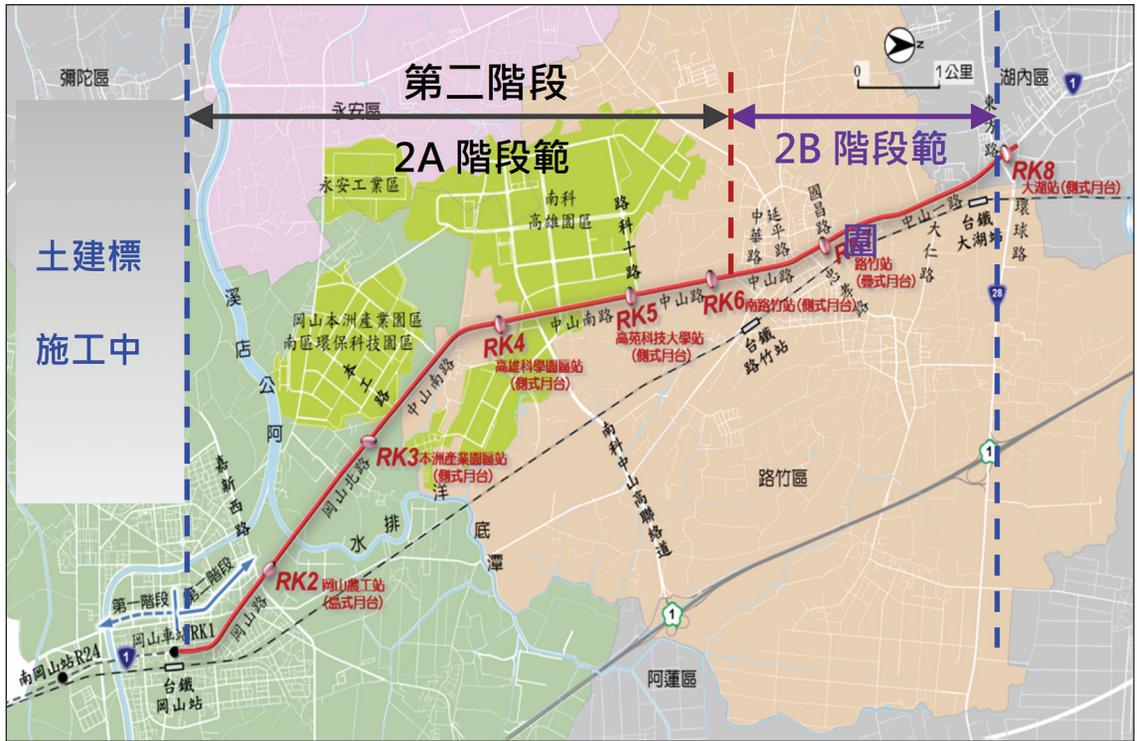


圖 17 岡山路竹延伸線路線示意圖（中文站名暫定）

三、紅線岡山路竹延伸線

（一）路線說明與執行現況

岡山路竹延伸線（圖17）全線起於捷運南岡山R24站（不含），銜接R24車站北側路線再續往北延伸，行經台鐵岡網站、岡山農工、本洲產業園區、南科高雄園區、高苑科技大學、路竹市區，止於湖內區之台鐵大湖車站附近，全長約13.08公里，共設8座高架車站及1座主變電站（高雄捷運北機廠區內）。本計畫分為第一階段與第二階段，第一階段範圍起點由南岡山R24站（不含）尾

軌至RK1站長約1.46公里，設置1座車站；第二階段計畫範圍由起點銜接第一階段岡山路竹延伸線，止於湖內區之台鐵大湖車站附近（台1線與台28線交叉口），長約11.62公里，設置7座車站（含1座島式車站、1座疊式車站及5座一般側式車站）。

岡山路竹延伸線（第一階段工程RKC01標）目前施工中，預定113/01完工，第一階段僅包含土建標及軌道標（系統標劃分至第二階段）。岡山路竹延伸線（第二階段工程）分2A及2B兩階段施工，其中由第一階段尾端至RK6站後方留設尾軌，路線長約7.75公里



為第2A階段範圍，其餘自2A階段尾端至RK8站後方留設尾軌，路線長約3.87公里為第2B階段範圍，第2B階段是採後續擴充方式辦理。土建及軌道工程合併以統包方式辦理為RKC02標，第一階段及第二階段之機電系統合併以統包方式辦理為RKM01標，由得標廠商辦理設計並施工，預定116年完工。

第一階段使用既有紅、橘線電聯車營運，運行至RK1車站。第二A階段將投入新購8列電聯車營運，第二B階段後續擴充2列電聯車營運。於正常情況，電聯車由ATO控制，每列電聯車並設置駕駛員。軌道配置的設計可允許每個軌道的雙向行車。使用鋼輪鋼軌技術，軌距須為1435 mm，均為雙軌。線上最高營運速率為80公里/小時、車站停靠時間為25秒。號誌系統及供電系統之設計必須滿足2分鐘之最小班距。所有車站皆配置月台門（PSD）。

（二）工程技術挑戰

岡山路竹延伸線因屬紅線延伸線，故關鍵技術挑戰為須考量既有高雄捷運紅橘線及岡山路竹延伸線之機電系統相容性需求及後續紅線繼續延伸機電系統的需求。

因此，如何規劃與執行岡山路竹延伸線工程之系統設計、驗證與操作，以達成岡山路竹延伸線與既有紅、橘線路網銜接及相容性之機電系統整合成一完整且相容的捷運系統，實屬重要課題。而相容之範圍包括車輛系統、號誌系統、供電系統、通訊系統、中央監控及資料擷取系統、自動收費系統及月台門系統設備等，茲列舉較重要部分說明如下。

1. 車輛系統之相容性：

- (1) 電聯車尺寸最大編組營運時，其列車長度符合岡山路竹延伸線及既有紅橘線月台長度。
- (2) 車門與既有月台門系統相容。車輛編組以三節車廂組合而成，可以用GoA2方式駕駛。編組為兩節動力車廂加上一節無動力車廂，即DM-T-DM編組（圖18）。
- (3) 車輛系統之設計滿足高雄捷運紅橘線系統R3至RK8一車到底及共用既有維修機廠設備之營運與維修（含救援）要求。
- (4) 車輛應能和既有路線土建及軌道設施相容，不致侵入建築界限。
- (5) 電聯車之設計須考量後續保養維修應與既有機廠維修設備相容。
- (6) 集電設備應具有商業運轉實績之成熟驗證

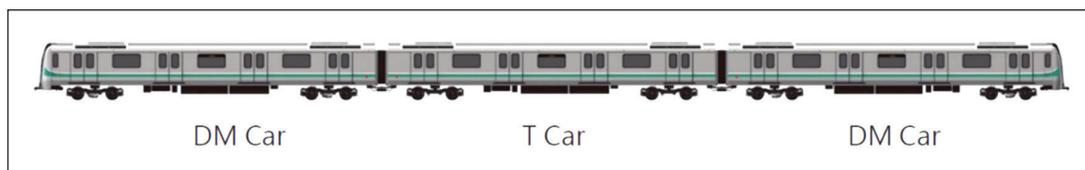


圖 18 車輛編組 EMU group



設計，位置應與全線導電軌位置相容。

- (7) 電聯車具備主線200公尺；機廠段140公尺之循彎能力。電聯車爬坡能力至少4%以上（S4）。
- (8) 每列車乘載750人以上（以座位坐滿且立位5人/m²計算）。

2. 號誌系統之相容性：

- (1) 號誌系統應確保所有新購之軌道車輛與原高雄捷運紅橘線之軌道車輛（含工程車）安全行駛於新建RK1至RK8及既有高雄捷運紅橘線捷運全路網，且R3至RK8一車到底之營運需求。
- (2) 應維持與既有紅、橘線號誌系統之軟體、硬體（包含硬體複置）、韌體、系統架構和監視/操作等界面設計的銜接與相容性。
- (3) 新購電聯車的車載ATP號誌系統設備，功能將與既有紅橘線電聯車一致，與既有橘線路網防洪閘門（Flooding Gate）之相互聯鎖功能（interlocking）完全相容與整合。
- (4) 新購電聯車的「人機顯示螢幕」，亦將依既有紅橘線的設計，顯示功能之原則與既有紅、橘線一致。

3. 供電系統之相容性：

- (1) 供電系統設計與運轉能與既有高雄紅橘線捷運供電系統設備相容。包含與現有行控中心的中央監控及資料擷取系統之相容，並考量未來系統及路網延伸之擴

充性。

- (2) 為能提供R24站到RK1站之間的牽引電力，R24站到RK1站之間的導電軌將透過電纜連接至R24站現有已通電的導電軌，另外，為了RK1車站的運作，將會安裝輔助變電站（SSS），並且從既有的北機廠以電纜連接提供電力。

4. 通訊系統之相容性：

- (1) 公共廣播系統 Public Address System（PA）須整合及相容既有行控中心廣播之功能，相關修改之軟體/硬體及韌體。
- (2) 閉路電視系統CCTV system（CCTV）須將CCTV相容或整合至行控中心背投影電視牆上及各控制員席位上之監視器。
- (3) 所提供之子母鐘系統設備須與既有高雄捷運路網行控中心母鐘系統相容或整合，以作為所有機電系統設備時間同步之用。
- (4) 無線電系統 Radio system（Radio）須與既有高雄捷運路網之無線電系統設備相容或整合。
- (5) 須更新行控中心及機廠控制中心無線電派遣台之設備，並須相容及整合於既有高雄捷運路網系統設備。
- (6) 乘客資訊顯示系統Passenger Information Display System（PIDS）須與既有高雄捷運路網乘客資訊顯示系統相容及整合。

5. 自動收費系統之相容性：

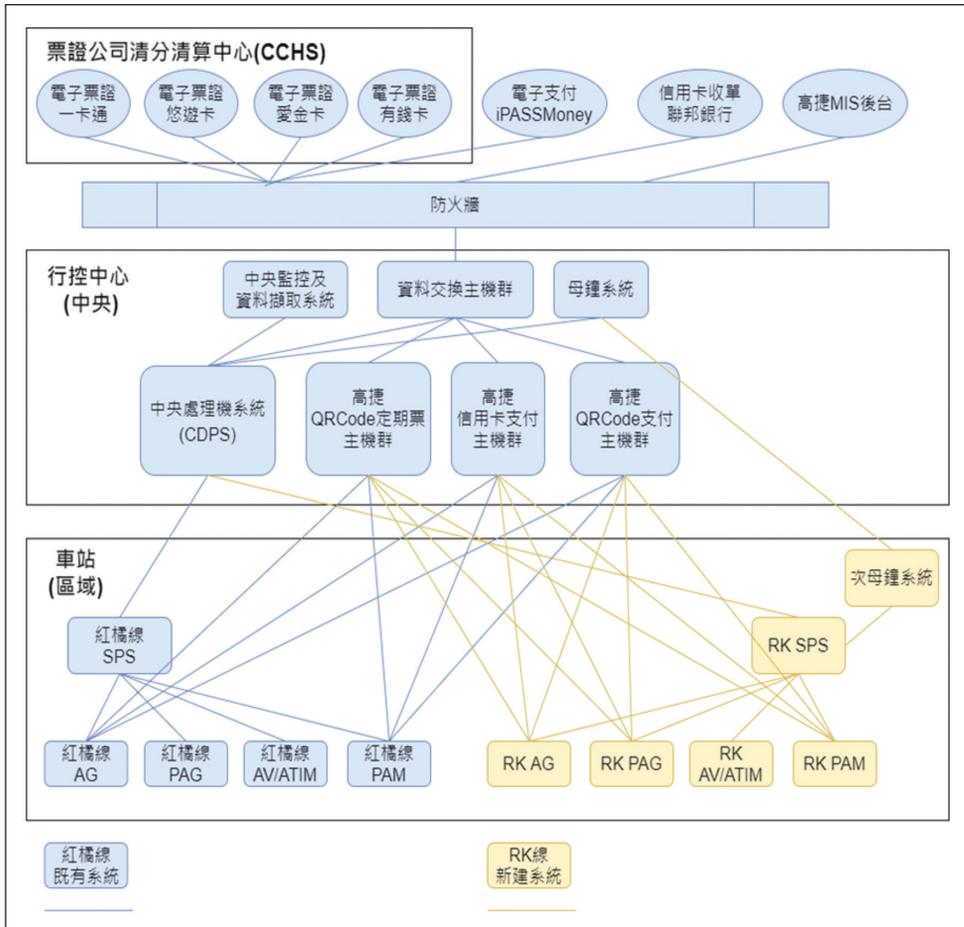


圖 19 岡山路竹延伸線各車站自動收費系統配置架構

- (1) 自動收費系統設備須與目前營運中之既有高雄捷運紅橘線自動收費系統軟硬體設備相容，可確保營運中之各種票證包含QR Code支付及信用卡支付通行無阻。針對岡山路竹延伸線所規劃的自動收費系統整體架構如圖19所示，其中包含中央電腦系統層、車站電腦系統層以及車站設備層。
- (2) 車站處理機系統（SPS）相關功能、作

業程序、傳輸方式，上傳或下載資料的內容應與營運中既有之紅橘線捷運系統自動收費系統系統相同或相容。

- (3) 營運使用中之票證須確保其依本契約提供之自動閘門具備與高雄捷運目前營運使用中之CST及CSC處理單元以及QRCode支付系統、信用卡支付系統完全相容。

總之，岡山路竹延伸線機電系統設備須採與現有紅線相同功能或向下相容之設備型式，並與現有之紅橘線共用行控中心與機廠。

系統相容性指的是，能夠讓岡山路竹延伸線機電系統融入既有捷運紅、橘線機電系統之可能性，使岡山路竹延伸線機電系統與既有捷運紅、橘線機電系統在系統運作上可視為一整個系統。

另外，除確保與既有系統銜接相容外，也強調不得影響既有系統之正常營運之運轉、維修作業及設備與人員安全。

四、紅線小港林園線

(一) 路線說明與執行現況

為促進大高雄都會區大眾捷運系統長遠發展，打造大高雄地區30分鐘生活圈的優質大眾運輸環境。高雄市與屏東縣每日往返旅次約34萬人次，省道台1線、台17線、台88線等主要道路尖峰時段交通負荷大，軌道運輸目前僅有臺鐵屏東線提供服務。鑒於小港、林園地區之市民十分關心捷運推動狀況，乃於105年5月邀請中央與地方相關機關共同研商小港林園線之推動方向，期望透過捷運建設帶動地方繁榮，同時解決居民長久以來僅能藉由台17往返市區的塞車與危險問題，除提供便捷密集大眾運輸服務亦可提昇整體軌道運輸效益。

小港林園線（詳圖20）起點銜接高雄紅線小港R3地下站後尾軌，續採地下隧道往南延伸，隨沿海二路於茂大街前由道路西側轉入道路中央並在中鋼東門前道路範圍設置RL1地下車站；路線續接沿海二路往南，於沿海二路與東林路口北側之道路範圍唐榮公司前設置RL2地下車站；之後接入沿海三路往南，於沿海三路與鳳鳴路相交處路外公兒用地設置RL3地下車站；路線過南星路口後接入中門路，於中門路與中門路32巷西北側路外農業區用地設置RL4地下車站；一路往東依序續接沿海路四段～二段，於沿海路四段南側與沿海路四段265巷西側路外農業區用地設置RL5地下車站；於沿海路二段南側路外林園11號公園用地內設置RL6地下車站；站後爬升出土後以高架型式跨中芸排水，在高值化產業園區前設置終點RL7高架車站。

計畫路線行經高雄市小港及林園區等2個行政區域，主要工程內容包含高架橋梁、高架車站、地下車站及隧道等工程，全長約11.59公里，共設置7座車站、1座能源調度中心，機廠則與高雄捷運紅線既有機廠共用。

目前綜合規劃報告已於111年9月23日經行政院核定；基本設計階段審議報告已於112年1月13日獲公共工程委員會同意，已進入機電系統統包標、軌道工程統包標及土建工程統包標之招標階段。

小港林園線之建設目標主要為透過捷運



圖 20 高雄捷運小港林園線路線示意圖

建設帶動地方繁榮，同時解決居民長久以來僅能藉由台17往返市區的塞車與危險問題，除提供便捷密集大眾運輸服務亦可提昇整體軌道運輸效益。

本計畫捷運路線行經小港區及林園區之沿海二路、沿海三路、中門路、沿海路等，

周邊道路系統包含國道7號（規劃中）、省道台88線、三國通道及省道台17線等，受各年期社經總量上升、各方案運輸政策實施力度增強之影響，軌道路線運量隨年期及政策強度成長，而新增之小港林園線更可為既有軌道路網增添運量。

表 2 各年期小港林園線全日軌道路線運量

路線名稱	年期	基礎情境運量 (人次/日)	積極情境運量 (人次/日)
小港林園線	120年	12,740	36,850
	130年	14,490	43,130
	140年	14,670	43,290
	年平均成長率	0.71%	0.81%

路線運量在基礎情境方面，小港林園線在各目標年期之全日運量分別為1.27萬人次/日（民國120年）、1.45萬人次/日（民國130年）、1.47萬人次/日（民國140年），120至140年平均成長率約為0.71%；在積極情境方面，小港林園線在各目標年期之全日運量分別為3.69萬人次/日（民國120年）、4.43萬人次/日（民國130年）、4.33萬人次/日（民國140年），120至140年平均成長率約為0.81%，可知未來幾年小港林園線受TOD導向發展及大眾運輸使用率上升的影響，運量約維持小幅成長趨勢，但130年以後受總體人口減少影響，整體成長趨勢已大幅趨緩，如表2說明。

（二）路線規劃及興建之挑戰

小港林園線，面臨三大挑戰：

挑戰一：小港林園線定位為供給型導向之捷運建設，須結合大眾運輸導向（TOD）發展策略同時提升運量。

挑戰二：小港林園線路廊之管線眾多，且行經工業區，須確保後續施工及營運

期間，捷運及廠區之人員及設備安全無虞。

挑戰三：小港林園線與國道7號於台17共線，工程界面複雜，須確保後續施工及營運期間之公共工程安全。

面臨如上三大挑戰之解決策略說明如下：

策略一、提升運量策略

小港林園線定位為供給型導向之捷運建設，因此須配合國家產業園區發展、整合都市規劃及大眾運輸需求，並結合大眾運輸導向（TOD）發展策略以提升運量。

1. 小港林園線通車後，可服務新材料循環產業園區、林園產業園區、高值化產業園區三大產業園區及臨海工業區、臨於工業區二大工業區通勤人口，帶動都市發展，提升捷運運量（圖 21）。

2. 以 TOD（大眾運輸導向）方式辦理捷運站周邊 180 公頃農業區區段徵收，變更為住

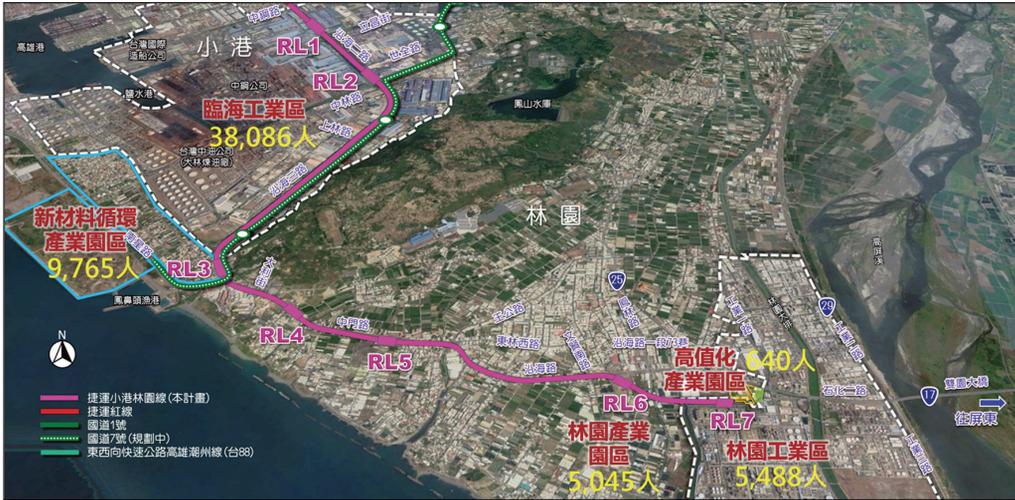
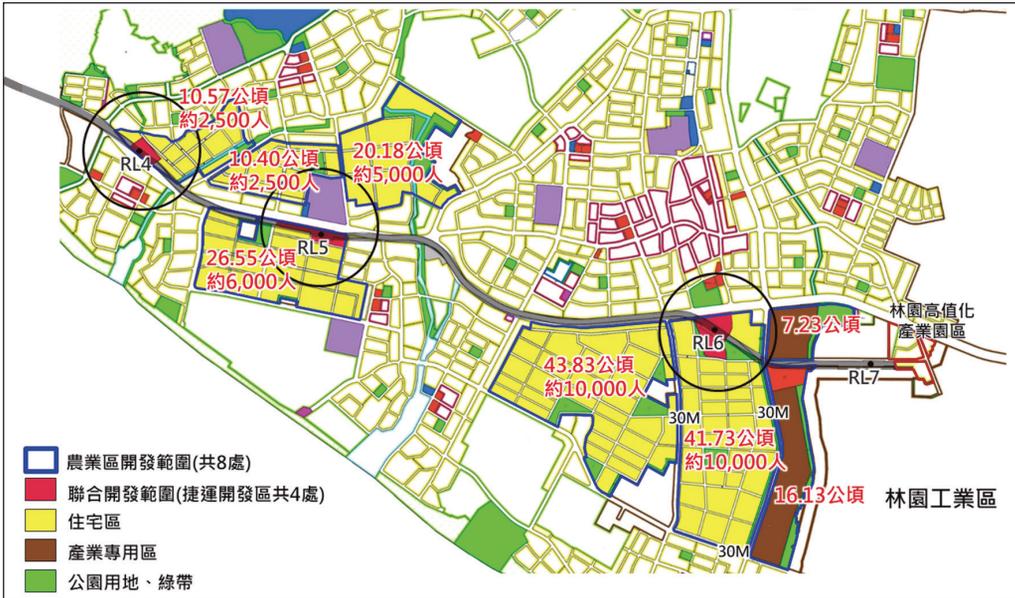


圖 21 小港林園線與周邊產業區及工業區位置示意圖



註：a. 各基地留設公設比皆假設為 25%，b. 住宅區基礎容積率為 200%，並加計 1.3 倍容積獎勵，c. 住宅區人口 = 可建地最大樓地板面積 / 每人居住樓地板面積 80 m²

圖 22 小港林園線捷運站周邊區段徵收策略

宅區及商業區，預計增加 3.6 萬居住人口及 1.2 萬及業人口使用捷運（圖 22）。

3. 小港林園線配合國家住宅政策，於 RL4（圖 23）、RL5（圖 24），辦理 TOD 及土地



圖 23 RL4 辦理 TOD 及土地開發時，擬納入社會住宅規劃及考量



圖 24 RL5 辦理 TOD 及土地開發時，擬納入社會住宅規劃及考量

RL1/RL2_明挖車站 (沿海二路) 石化管群 對策：永久遷移	與車站走向	平行
	管線尺寸	Φ0.1m~Φ0.3m
	管線數量	共10支，4支停用
	管線深度	1.41m~1.68m

圖 25 小港林園線 RL1~RL2 路段石化管群處置規劃

開發時，擬納入社會住宅規劃及考量，以利周邊產業園區之員工可以就近居住及工作。

策略二、管線眾多，且行經工業區，本計畫管線眾多，已透過工程手段避開管線確保捷運及廠區之人員及設備安全無虞策略，分 4 個區段說明：

1. RL1~RL2 路段，主要障礙為石化管群，已透過管線調查及試挖，掌握管線尺寸、埋設深度及分布情形，管線處理對策說明如圖 25：

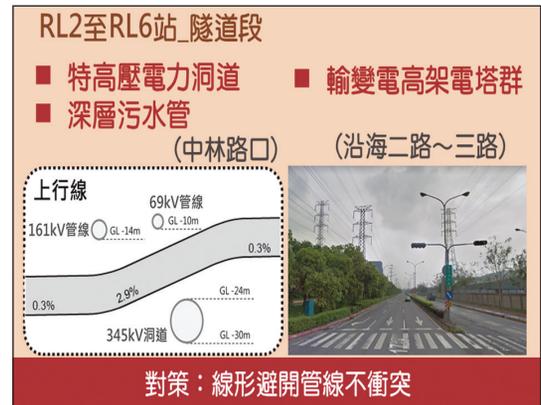


圖 26 小港林園線 RL2~RL6 路段特高壓電力隧道及深層污水管處置規劃

2. RL2~RL6 路段，於中林路口有特高壓電力隧道及深層污水管；於沿海二路~三路有輸變電高架電塔群，管線處理對策說明如圖 26：

3. RL3~RL6 路段，於中門路~沿海路，最大障礙為有 40 支石化管群，管線處理對策說明如圖 27：



圖 27 小港林園線 RL3~RL6 路段石化管線處置規劃

4. 小港林園線於高架路線（含高架車站）鄰近中油廠區，皆設置全罩式防爆牆，確保捷運經過中油廠區安全，處理對策說明如圖 28：

策略三、本計畫與國道 7 號於台 17 共線，確保後續施工及營運期間之公共工程安全策略說明如圖 29：

（三）本計畫推動必要性及預期效益

捷運小港林園線可服務南高雄地區，對

地區發展、交通安全提昇及綠色運具提供有其重要性，本計畫有六大推動必要性及效益：

1. 延伸捷運紅線服務範圍，提供小港、林園地區便捷大眾運輸服務，並使沿線居民透過捷運系統快速連結高鐵左營站及高雄空港，帶動觀光發展。
2. 提供更好的大眾運輸系統服務，以減輕小港、林園區居民長期承受經濟發展所造成工業環境影響。
3. 藉由舒適安全軌道系統，鼓勵汽、機車使用大眾運輸，以減少台 17 重車混流肇事機率，降低客貨混流的行車風險，提供小港、林園區保障安全平安回家的路。
4. 提升大高雄大眾運輸服務路網，均衡區域之發展。
5. 服務三大國家產業園區（臨海、林園工業

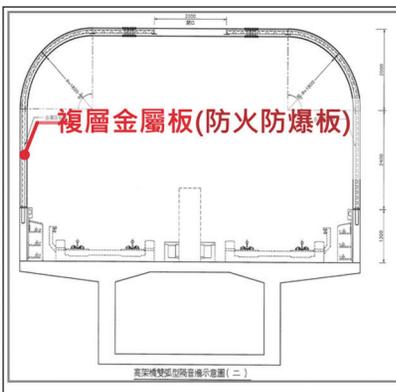


圖 28 小港林園線高架路線安全防爆規劃



圖 29 小港林園線與國道七號共線之公共工程安全策略

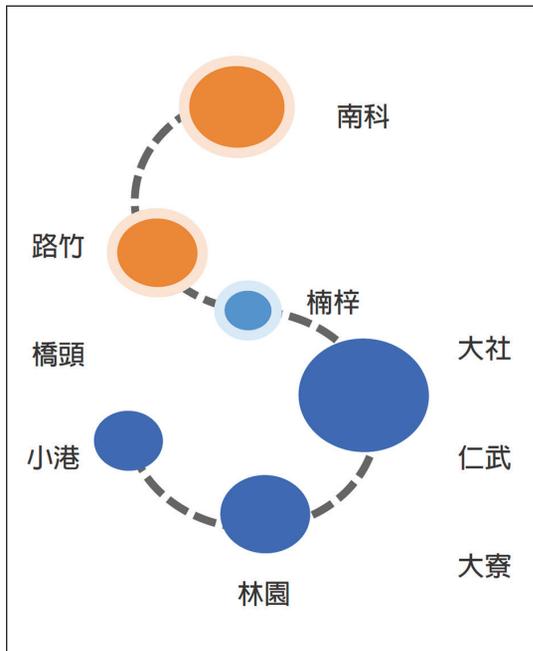


圖 30 南高雄科技半導體材料 S 廊帶示意圖

區、新材料循環經濟產業園區)之通勤人口，以軌道系統帶領新興產業及創造就業機會，提升小港、林園地區發展潛力。

6. 串聯台積電等半導體廠區，為南高雄科技半導體材料 S 廊帶的最後一哩路，啟動鋼鐵石化產業轉型，產業升級邁向高值化發展契機，銜接東延屏東(圖 30)。

捷運小港林園線有其推動必要性及其預期效益，亦是地區民眾引頸期盼的重大交通建設，市府更是配合捷運建設，致力於將交通建設、土地開發、生活機能及產業發展一次到位，透過多次說明會，場場吸引民眾到場聆聽了解，顯見民眾高度的關心期待並



圖 31 小港林園線地方說明會（高雄市長及副市長親自出席向民眾說明，地方民眾、民代參與踴躍）

具參與感（圖31），市府用心要讓林園區隨著軌道建設一起發展，共享生活機能及軌道運輸的城市發展效益；市府更是積極要讓捷運駛入林園，林園華麗轉身美夢成真。

五、高雄黃線

（一）路線說明與執行現況

高雄都會區大眾捷運系統都會線（黃線）計畫路線為一Y字形，可分為建工民族路段及澄清五甲路段，路線行經高雄市鳥松、三民、鳳山、苓雅、新興及前鎮區等6個行政區域，路線如（圖32），路線全長22.91km，設置1座五級廠、3座主變電站、22座地下車站及1座高架車站。

建工民族路段起於國道7號規劃路廊東側

之神農路（機廠），路線往西沿神農路穿越國道7號，再沿大埤路（澄清湖風景區、長庚醫院、棒球場）至澄清路後南行轉本館路，續往西至建工路（高雄科技大學、高雄高工）再南轉往民族路、民生路及民權路（四維行政中心），再西轉三多路至亞洲新灣區，路線總長約14.52公里，共設置15個車站及一座平面主維修機廠，其中，路線於Y8站、Y10站、Y11站、Y14站及Y15站分別與環狀輕軌C28站、臺鐵民族站、捷運橘線O6站、捷運紅線R8站及環狀輕軌C9站轉乘。

澄清五甲路段起於神農路，於神農路、大埤路及澄清路部分路段與建工民族線共線共站，本路線至澄清路/本館路路口後，續沿澄清路（鳳山行政中心）南下再銜接國泰路（市議會、衛武營國家藝術文化中心）、南京路後西轉五甲路，再往南至鎮中路（前鎮區

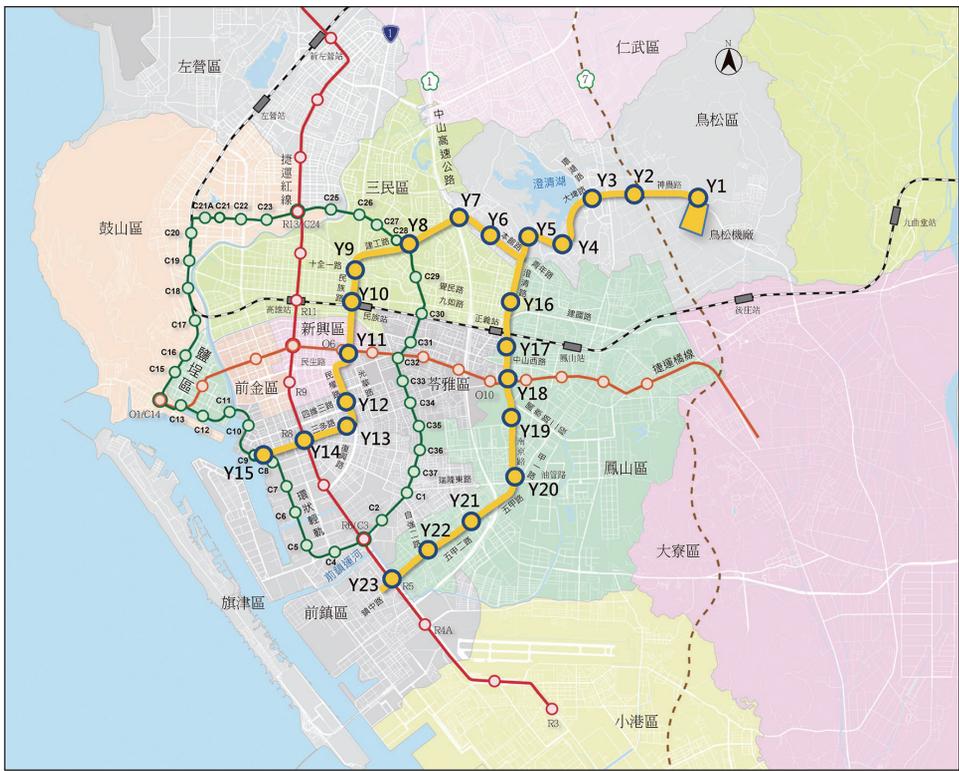


圖 32 高雄捷運黃線路線示意圖

公所)，路線總長約13.03公里，共設置13個車站，其中與建工民族線共5個車站共站，路線於Y17站、Y18站及Y23站分別與臺鐵正義站、捷運橘線O10站及捷運紅線R5站轉乘。

高雄黃線捷運系統，可連接亞洲新灣區、都會核心區、澄清湖地區，以及鳥松、三民、鳳山、苓雅、新興、前鎮等行政區重要旅次據點，提供都會核心區間之便捷密集大眾運輸服務，提昇整體軌道運輸效益。

高雄黃線為高雄都會區捷運系統第一條

中運量系統，有別於現有高雄捷運紅、橘線重運量系統及高雄環狀輕軌系統，車輛於現有環境限制條件下提供高性能表現，車輛須能配合以適當列車編組營運，設計特性則須符合低噪音、高可靠度、高可用率。目前車輛參數如表3：

路線運量受各年期社經總量上升、各方案運輸政策實施力度增強之影響，軌道路線運量隨年期及政策強度成長，在基礎情境方面，都會線（黃線）在各年期之全日運量分別為16.6萬人次/日（民國120年）、18.2萬人



表 3 列車性能參數

項次	項目	規格
1	列車長度	≤ 60 公尺
2	列車編組	一列車至少由三節車廂組成 每節車廂 寬度 2.65~2.8 公尺 高度 ≤ 3.8 公尺
3	列車載客容量	440 人以上 (立位 5 人 /m ²)
4	最大營運速度	≥ 80 km/hr
5	牽引電力	750 VDC 標稱電壓，第三軌供電系統
6	列車控制	通訊式列車控制 (CBTC)，全自動無人駕駛
7	最小運轉曲率半徑	主線 ≤ 60 公尺，機廠 ≤ 50 公尺
8	爬坡能力	≥ 5.5% (S4 = 7 人 /m ²)

表 4 各年期都會線 (黃線) 全日軌道路線運量

路線名稱	年期	基礎情境運量 (人次 / 日)	樂觀情境運量 (人次 / 日)
都會線 (黃線)	120 年	165,720	207,530
	130 年	181,590	242,060
	140 年	185,730	249,090
	年平均成長率	0.57%	0.92%

次/日 (民國130年)、18.6萬人次/日 (民國140年)，年平均成長率約0.57%；在樂觀情境方面，都會線 (黃線) 在各目標年期之全日運量分別為20.8萬人次/日 (民國120年)、24.2萬人次/日 (民國130年)、24.9萬人次/日 (民國140年)，年平均成長率約0.92%，詳表4。

目前綜合規劃報告已於111年3月經行政院核定，目前基本設計完成，機電系統統包標 (含機廠及主變電站土建工程) 已於111年8月決標，軌道工程統包標及土建工程統包標亦已陸續招標中。

(二) 路線規劃興建之挑戰

高雄黃線分別與台鐵、橘線、紅線各有兩個車站轉乘，由於路線交會，黃線隧道須穿越線有台鐵、紅橘線現有地下結構及五甲二路跨越前鎮運河的馬祖港橋基礎下方，針對穿越施工面臨三項挑戰：

挑戰一：黃線潛盾隧道穿越既有台鐵民族站、台鐵正義站及捷運紅線前甄高中 (R5) 站地下車站連續壁

挑戰二：黃線潛盾隧道穿越媽祖港橋基礎下方介面處理及保護

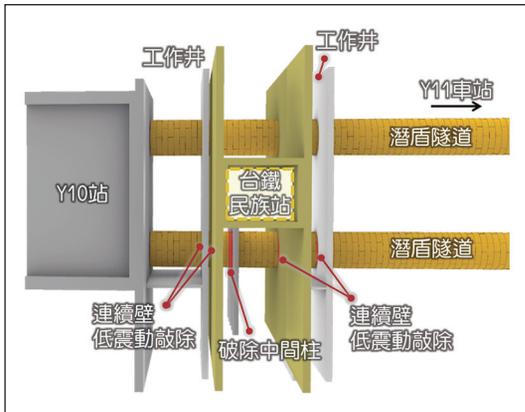


圖 33 黃線潛盾隧道穿越台鐵民族站連續壁示意圖

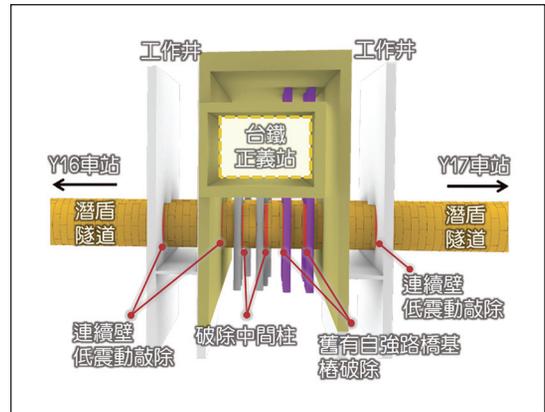


圖 34 黃線潛盾隧道穿越台鐵正義站連續壁示意圖

挑戰三：黃線 Y18 地下連通道穿越營運中橘線潛盾隧道上方施工

面臨如上三大挑戰之解決策略說明如下：

對策一：潛盾隧道穿越台鐵民族站、台鐵正義站及 R5 捷運站，以下分別對於三站於潛盾穿越時之保護措施及施工方法說明：

1. 黃線潛盾隧道穿越台鐵民族站上方及下方連續壁（詳圖 33）：台鐵民族站位於三民區南部、民族陸橋東側下方，其站體橫跨越民族路下方，介於本計畫 Y10 及 Y11 站間，其距離 Y10 站約 12 m。Y10 站採疊式配置，深度約為 33.8 m，故本計畫潛盾隧道穿越台鐵民族站須分別從台鐵隧道結構上方及下方通過，其下行隧道底部深度達 32 m，頂部距離台鐵隧道結構底部僅 1.8 m。

2. 黃線潛盾隧道穿越台鐵正義站下方連續壁（詳圖 34）：台鐵正義車站位於苓雅區正義路，其站體橫跨澄清路下方，介於本計畫 Y16 及 Y17 站間。Y16 及 Y17 站皆採島式配置，故潛盾隧道為水平配置行經台鐵隧道下方，其隧道底部深度約 25.7m，頂部距離台鐵隧道結構底部約 2.7m。

3. 黃線潛盾隧道穿越捷運紅線前鎮高中（R5）站下方連續壁（詳圖 35）：捷運前鎮高中（R5）站位於前鎮區中山四路、五甲三路及鎮中路口，本計畫 Y23 站與 R5 站距離約 7 m，潛盾隧道以水平方式穿越 R5 站體下方連續壁結構，其隧道底部深度約 31 m，頂部距離 R5 站結構底部約 5.5 m。

由於潛盾機無法直接穿越現有之上述各地下車站連續壁，故均以先行於既有車站結構體連續壁外側構築工作井，開挖以低震動

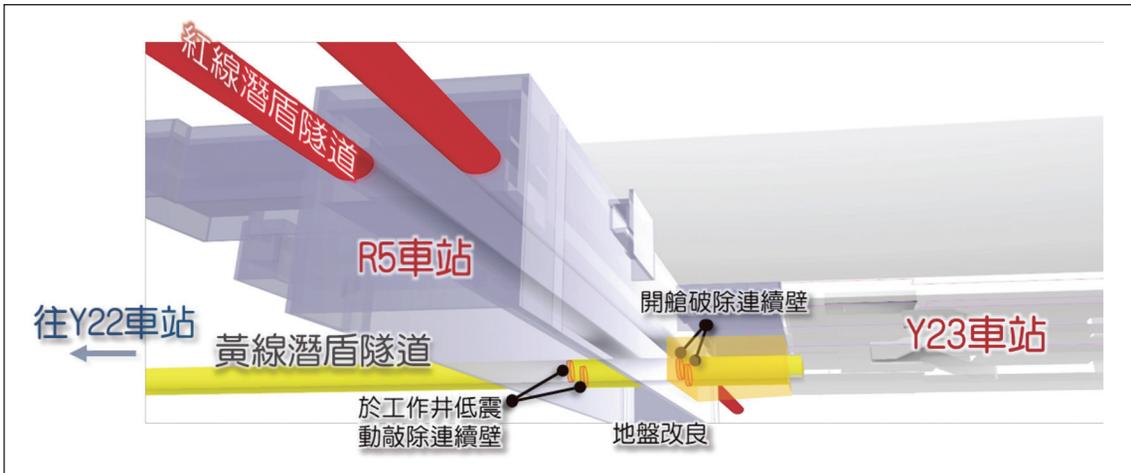


圖 35 黃線潛盾隧道穿越捷運紅線前鎮高中（R5）站連續壁示意圖

機具破除既有連續壁後，回填復原，潛盾機再行通過之工法；至於R5西側因其出入口無法設置工作井，及部分台鐵車站遺留之中間樁僅能以潛盾機開艙人工移除。故施工廠商潛盾機選用時須考量具遮簷可開艙之功能，施作前的良好的止水灌漿地盤改良規劃與施工中的完善監控預警系統，可作為成功穿越的必要要項。

對策二、黃線潛盾隧道穿越媽祖港橋基礎下方介面處理及保護措施及施工方法說明：

黃線於五甲路Y22站往Y23之潛盾隧道須從媽祖港橋下方通過（圖36）後，續穿越紅線前鎮高中（R5）站至Y23站，媽祖港橋改建案已於111年啟動，為未來黃線潛盾隧道通過馬祖港橋之沉陷控制，故協調媽祖港橋改

建考量採用沉箱基礎，橋梁改建並於沉箱基礎下方先行進行地盤改良（圖37），減少隧道鑽掘引致之地盤變位，確保黃線捷運及媽祖港橋兩工程均能達成互利之結果。

對策三、黃線 Y18 地下連通道穿越營運中橘線潛盾隧道上方施工：

Y18站地下連通道穿越高雄國泰路、自由路交叉口，地下連通道（詳圖38）上方有既有排水箱涵，下方為營運中橘線潛盾隧道，地下連通道受限於下方橘線潛盾隧道，此部分無法採連續壁擋土開挖施作，故須採管幕工法施工，從上方排水箱涵及下方橘線潛盾隧道中間施作結構體。規劃排水箱涵配合非汛期進行局部改建及結構強化，避免連通道施工中擾動破損排水箱涵，待排水箱涵結構強化後，管幕推管可近接施工（詳圖39）。

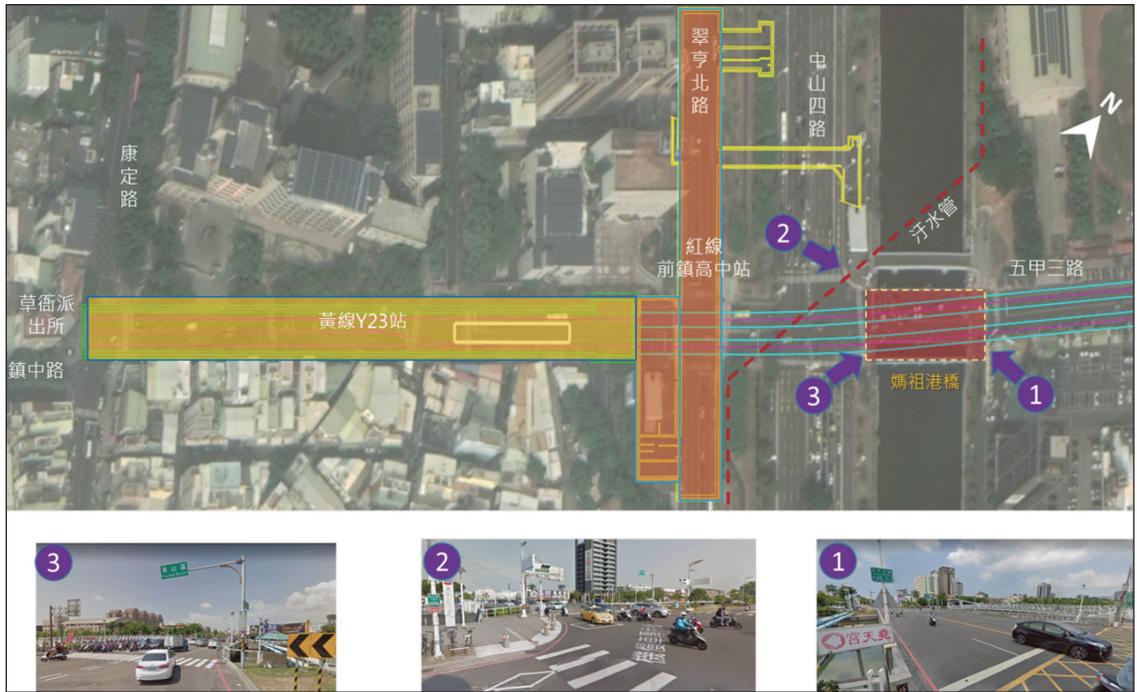


圖 36 捷運黃線與媽祖港橋平面位置圖

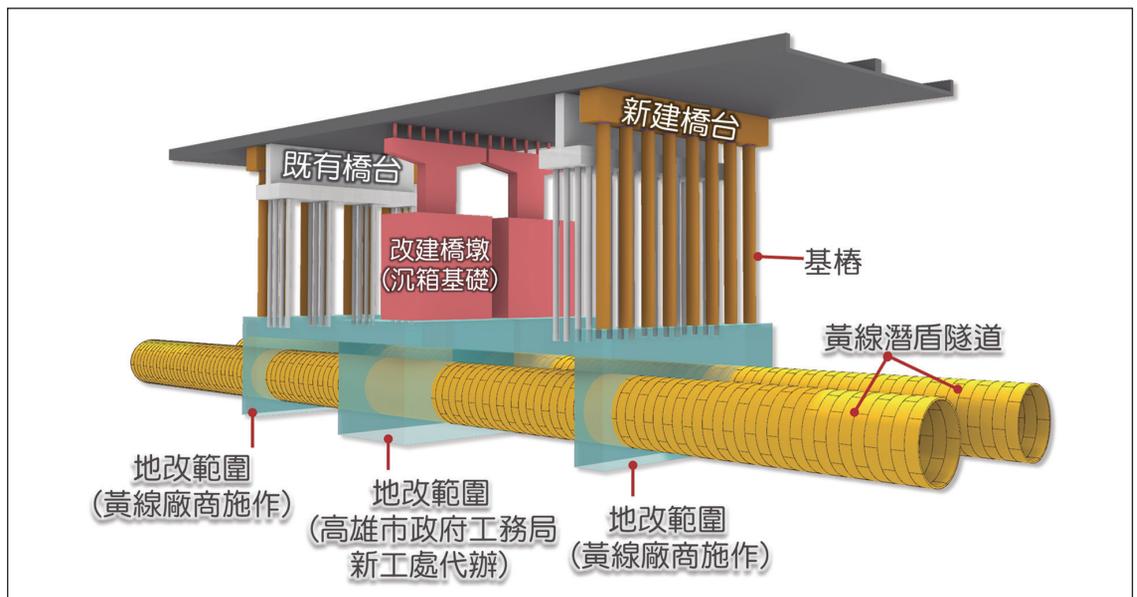


圖 37 捷運黃線與媽祖港橋模擬圖

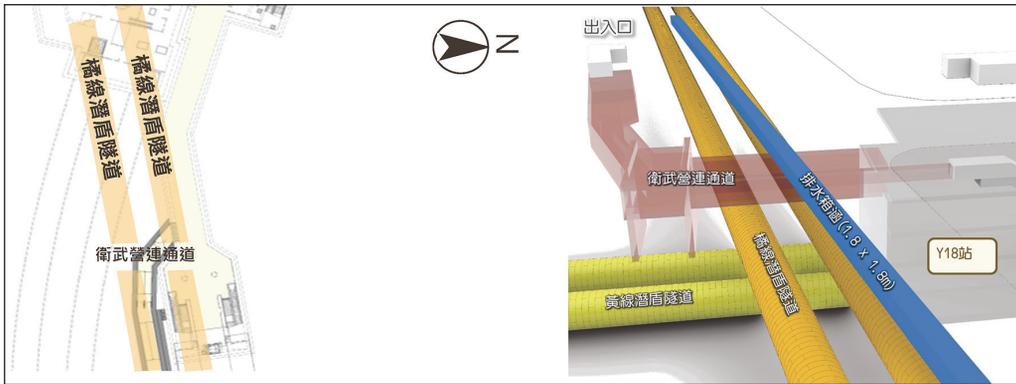


圖 38 Y18 站地下連通道平面圖及模擬圖

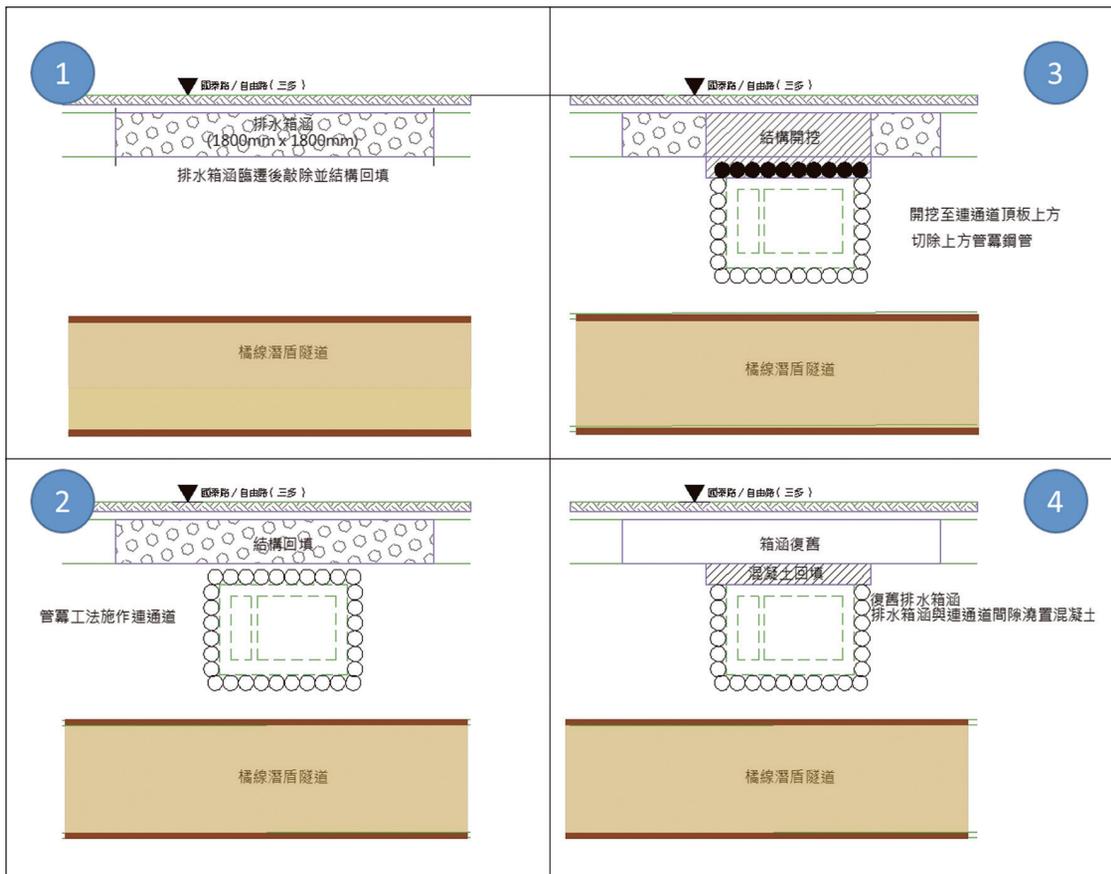


圖 39 Y18 站地下管幕工法施工示意圖

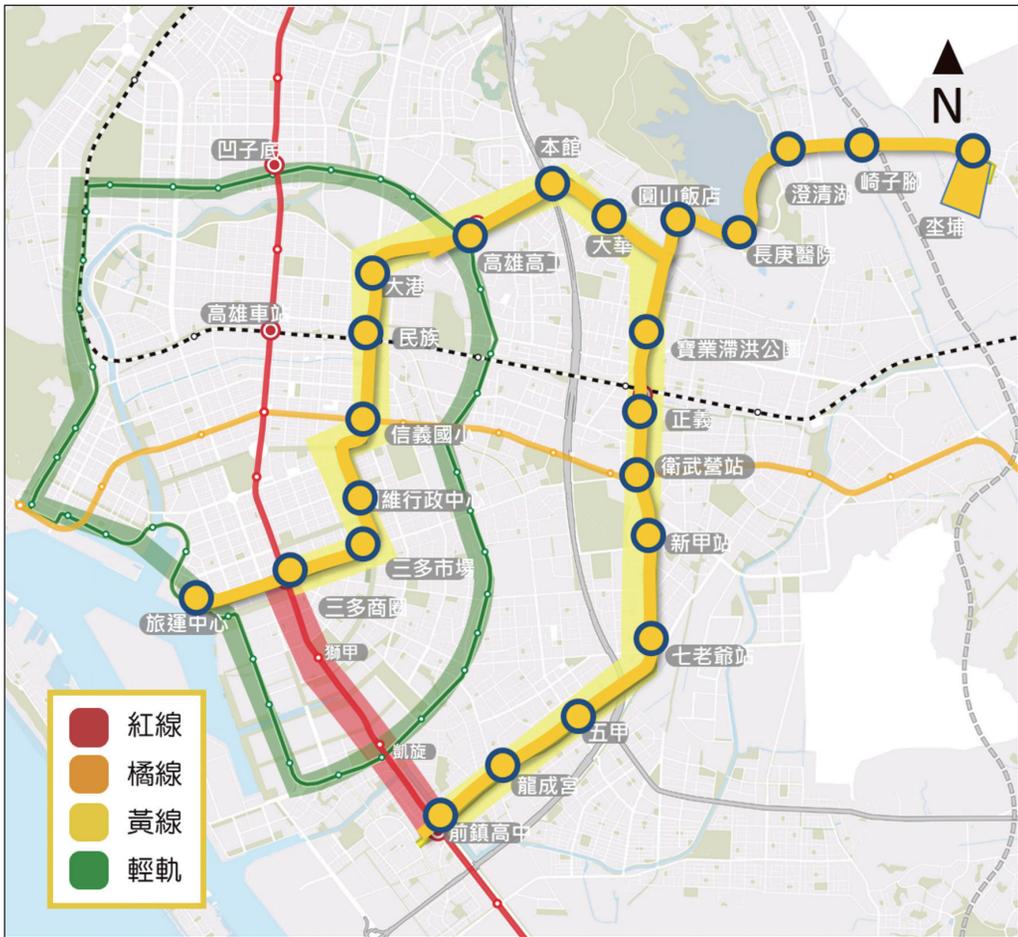


圖 40 高雄捷運「雙環路網」示意圖

(三) 本計畫推動必要性及預期效益

捷運黃線行經高雄都會區6大核心行政區，串連高雄四維行政中心與鳳山行政中心兩大行政中心，三所大學、7所高中、3所大型醫院，以及衛武營文化中心與亞洲新灣區等文化商業匯集之生活圈，與台鐵、捷運紅、橘線及環狀輕軌各路線均有2個站以上的交會。包含高雄黃線分別與台鐵地下民族站

及正義站、橘線地下信義國小（O6）站及衛武營（O10）站轉乘、紅線前鎮高中（R5）站及三多商圈站（R8）站轉乘，環狀輕軌的C28站及C9/C8站轉乘，串聯起高雄都會區的各捷運路線形成格狀路網，亦將高雄捷運路網建構成高雄特有的「雙環路網」（詳圖40），使整體捷運路網服務的範圍、覆蓋率更為綿密與便利，高雄黃線對於高雄路網不論在紓解核心區壅塞車流、提升軌道運輸效



益、都市發展推動都具備關鍵角色。

六、結語

總共耗資2416億元的高雄環狀輕軌、紅線岡山路竹延伸線、紅線小港林園線及高雄黃線四項捷運工程將四線齊發，所有工程於各路線完工後，結合現有的紅、橘線捷運及台鐵路線，將會使高雄都會區進入一個綠色節能的軌道運輸時代，軌道路網亦將帶動整體都市發展，將高雄都會區走向一個永續經營、經濟繁榮的城市。

參考文獻

1. 高雄市政府捷運工程局，工商時報「高雄四線齊發，邁向軌道運輸時代」，2022年11月23日。
2. 高雄市政府捷運工程局，中國時報旺旺福來報「高雄捷運四線齊發，打造全新生活圈」，2023年1月10日。
3. 高雄市政府捷運工程局，高雄都會區大眾捷運系統岡山路竹延伸線 RKM01 標機電系統統包工程，系統相容計畫 C 版，2022年12月。



台北捷運南北環計畫的挑戰與突破

臺北市政府捷運工程局土建處處長 / 廖純璋

臺北市政府捷運工程局土建處正工程司 / 莊建忠

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部工程師 / 張荐宇

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

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部工程師 / 黃迺棟

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部工程師 / 宋上平

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部工程師 / 蔡淵堯

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部工程師 / 黃碩儒

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部工程師 / 張永漢

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部工程師 / 史訓璋

關鍵字：崁腳斷層、地下管線、捷運美學、BIM、ISO19650

摘要

台北捷運環狀線南環段及北環段工程路線經過臺北盆地外緣高度開發且人口密集路段，地質條件複雜變化大、道路狹窄、地下管線與障礙物密佈，施工困難度非常高，且由於都市的高度開發，各車站用地條件不同，如何在狹小的用地空間中設計符合需求的最短車站充滿了挑戰，而車站設計除了機能完善，美學設計亦是重點，如何將車站與當地人文自然環境作結合一直都是一大挑戰，北環段之故宮特色站，其美學設計將帶

領使用者從捷運走入人文山水之中，而前述的設計工作為了達到良好的設計成果，皆需仰賴3D BIM技術做為設計整合的平台，本文亦將介紹將ISO19650BIM國際標準導入細部設計的成功經驗分享，望國內捷運建設的高品質成果持續與國際最新ISO標準接軌。

一、前言

臺北都會區大眾捷運系統捷運環狀線台北市區北環段（以下簡稱北環段）路線自Y23站（不含）起，以潛盾隧道方式穿越淡水河



下方，循重陽橋側經士林社子跨越基隆河、中正路、至善路後，右轉穿越文間山至大直北安路與文湖線劍南路站相交，之後路線轉敬業三路設置尾軌段止。全長約8.38公里，包括：六座地下車站、七段潛盾隧道、二段明挖覆蓋隧道及二座逃生豎井，如圖1所示。

線自文湖線木柵動物園起採地下方式沿新光路穿越告尖山接秀明路二段經政治大學校內四維路，穿越景美溪後行經木新路、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（Y06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2所示。

臺環狀線南環段（以下簡稱南環段）路

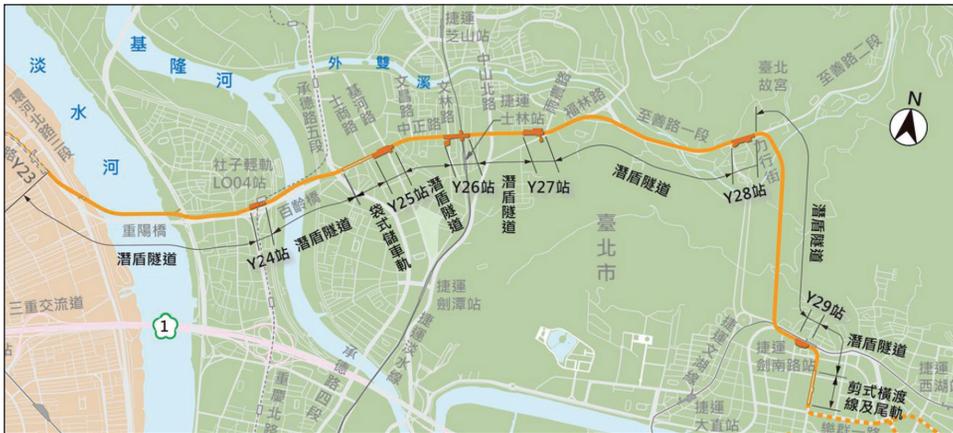


圖 1 北環段（臺北市區）工程範圍



圖 2 南環段工程範圍

二、崁腳斷層對潛盾隧道之施工風險與對策

捷運環狀線北環段Y28（故宮站）至Y29（劍南路站）規劃為地下隧道段，全長約1855 m，其中隧道將穿越文間山，長度約1280 m。因隧道施工將遭遇崁腳斷層[3]，岩盤破碎夾斷層泥，是本標工程能否如期如質且安全完工的關鍵。雖然國內捷運曾有山岳隧道施工完成的案例，例如：木柵線於麟光與辛亥間的山岳隧道及高雄捷運穿越半屏山的隧道，但其長度都沒有本標山岳隧道的距離長，預期本隧道所遭遇之風險將相對較高。為確保將來施工之安全可行，於設計階段針對崁腳斷層進行文獻收集及地表地質調查，於適當地點配置補充地質調查鑽孔，透過全程取樣取得岩心，再由專業地質師及專家學者研判本計畫附近崁腳斷層之分佈，以利針對隧道工法及輔助措施進行評估，說明如下[1]：

（一）崁腳斷層分佈

針對文間山崁腳斷層分佈，經綜合基本設計階段5孔及細部設計階段3孔之鑽心全程取樣，並比對前人研究成果，研判崁腳斷層於本計畫隧道通過之區段可分為主斷層帶與共軛斷層帶，如圖3所示。主要斷層帶分佈於下行線里程0K+703~0K+814以及上行線里程0K+691~0K+803，主斷層帶岩體破碎夾泥，斷層帶上方可能富含地下水，不排除有水包湧水潛能；岩體破碎處常有高角度節理分佈，可能為地下水良好之通路。共軛斷層分佈於下行線里程0K+937~1K+042及上行線里程0K+925~1K+029，推估斷層夾泥量較少，多破碎岩體以及斷層角礫岩，工程特性為破碎岩盤以及湧水，斷層破碎帶可能為地下水流通之良好通路。

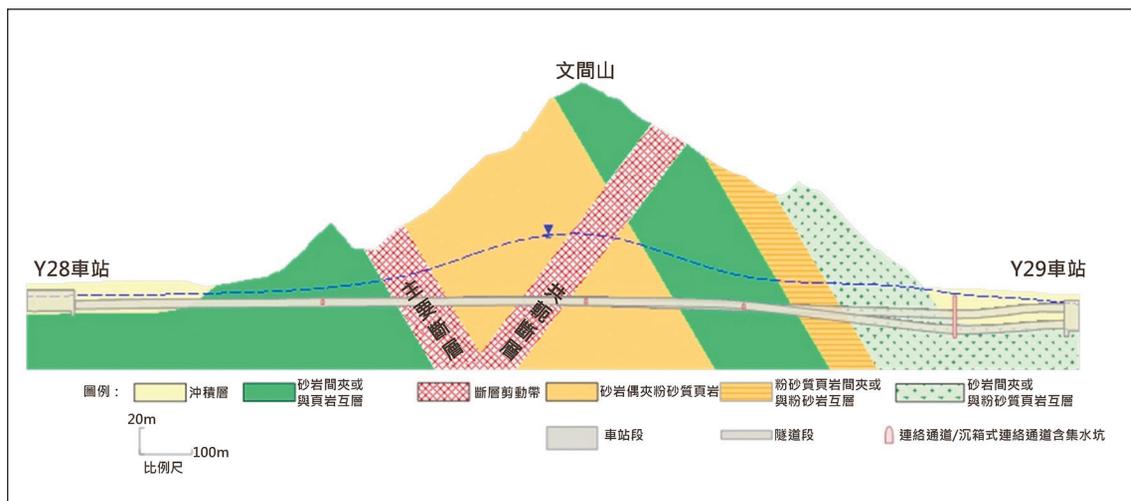


圖3 Y28 站至 Y29 站隧道地質剖面圖



(二) 文間山隧道工法評估

以潛盾隧道及NATM隧道工法進行比較如表1所示，經綜合考量後，以潛盾工法較具優勢，亦較具有彈性，如遇破碎帶或斷層帶，潛盾機可採closed mode挖掘，而遇岩盤佳之路段可改採open mode，如圖4所示，可提高挖掘功率。

(三) 施工風險與對策

本段隧道鑽掘施工，主要的風險來自地質與地下水，前者在於炭腳斷層及破碎帶，後者則在於突發性的湧水，相關之風險與對策如表2所示，潛盾機需具備前進鑽探及灌漿等功能需求，如圖5所示。

表 1 文間山工法評估

項次	議題	工法說明	工期	綜合評估
1	潛盾機 (TBM) 工法	<ul style="list-style-type: none"> • 文間山岩覆不高、水壓不高，有利 TBM 施工 • 岩心單壓 <500kg/cm²，岩盤強度適合機械開挖 • 內湖端軟土層以 TBM 施工對文湖線基礎影響小 • 地質變化不易發現，應變能力較差 • 遇非預期地質狀況，若處理不當恐發生夾埋，但可克服 • 文間山岩覆不深，可考慮於地表預先進行灌漿及監測 • 考量順向坡及斷層帶走向傾角，應由 Y28 往 Y29 鑽掘 	約 36 個月	較佳
2	NATM 工法	<ul style="list-style-type: none"> • 地質狀況一目瞭然 • 斷層破碎帶有湧水抽心風險，NATM 視地質狀況彈性調整工法，應變能力高，經驗豐富 • 內湖端軟弱土地質不適合使用 NATM，對文湖線基礎影響大，風險極高 • 捷運斷面較小，NATM 須設置避車彎工施工機具進出迴旋，增加額外開挖量 • 文間山內湖側為山崩地滑敏感區與劍南蝶園，不適合鑽炸及增開工作面 • 考量順向坡及斷層帶走向傾角，應由 Y28 往 Y29 鑽掘，但隧道坡度不利施工 • 隧道上方為軍事要塞，嚴禁使用爆破開炸，且噪音振動要求嚴格 	約 38 個月 (2 個工作面)	

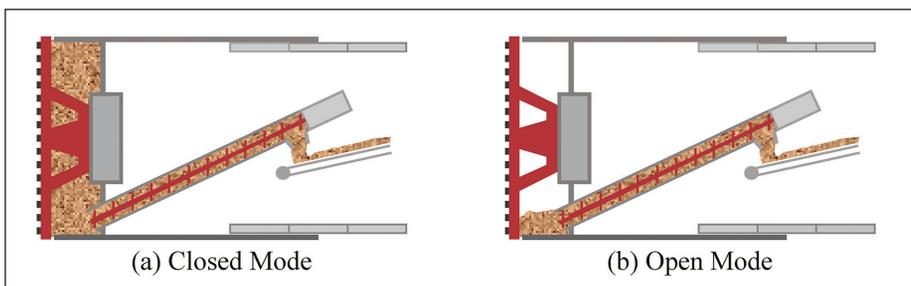


圖 4 TBM 鑽掘模式轉換示意圖

表 2 文間山隧道施工風險與對策

項次	風險	說明	對策
1	擠壓性地盤	<ul style="list-style-type: none"> 文間山岩覆不深，一般而言，擠壓潛能不高 軟弱斷層泥可能發生擠壓 	<ul style="list-style-type: none"> 工程契約要求潛盾隧道由 Y28 往 Y29 鑽掘，並要求潛盾機具備適量超挖、注入滑材之能力，並應配置鑽機，以配合盾殼開孔進行前進探查、排水、灌漿或安裝先稱鋼管（圖 5） 工程契約要求潛盾機於接近或完全通過斷層帶及破碎帶時，應辦理前進探查 避免停機過久，以免盾身受岩體擠壓，摩擦力過大導致潛盾機受困
2	斷層帶及破碎帶		
3	受壓地下水	<ul style="list-style-type: none"> 炭腳斷層及隧道沿線破碎帶地層若有高地下水壓（>5 bar），或鑽掘過程滲水量過大（>5L/min/探查孔），就有發生湧水可能，並可能帶入泥砂，造成岩層崩塌 	<ul style="list-style-type: none"> 本計畫岩覆不高、水壓不高（實測約 3.5 bar），研判高水壓及大量湧水風險不高 透過前進探查進行掘進面前地下水調查，若有高壓水或大量湧水可能性，則配合盾殼開孔進行鑽孔、排水、灌漿
4	湧水		
5	潛盾機夾埋	<ul style="list-style-type: none"> 掘進過程遭遇斷層/破碎帶，因盾前岩盤自立性不足，發生岩盤崩塌導致潛盾機受困 潛盾機推力/扭力不足、切削能力不足、遭遇破碎岩層束制而受困 切刀齒磨損嚴重，無法切削岩盤而受困 	<ul style="list-style-type: none"> 工程契約規定潛盾機扭力及推力下限值，要求潛盾機具備適量超挖、注入滑材之能力 要求廠商擬定應變措施（圖 6），工程契約編列脫困費用，若發生夾埋非可歸責於廠商時，經工程司核可後，按次計價
6	連絡通道 CP28-2	<ul style="list-style-type: none"> 依臺北捷運規劃手冊（2021）及交通部之「捷運系統建設技術標準規範」，連絡通道間距以 400 公尺為原則 按圖 1 所示之炭腳斷層分佈位置，CP28-2 將位於共軛斷層帶中，施工風險高 	<ul style="list-style-type: none"> 考量斷層帶分佈之不確定性，保留 CP28-2 設置位置之彈性，工程契約規定 CP28-2 可設置於上行線里程 0+860 至 0+1060 間，廠商應依補充地質調查、前進探查判讀結果，綜合潛盾機鑽掘回饋參數，提出 CP28-2 位置評估報告，供工程司審核 連絡通道之間距不超過 500 m，且坡度小於 3.239%，可符合本計畫「隧道連絡通道間距性能評估分析」報告之研析結果
7	人員資格	考量地質特性，應設置相當資歷之隧道專家及地質人員，並要求施工人員相關資歷	工程契約規定施工廠商應有岩層或山區潛盾隧道施工經驗之施工負責人（專業組長以上）、工程師、領班及作業手，及具岩層或山區隧道地質研判經驗之地質人員全程參與本項工程。

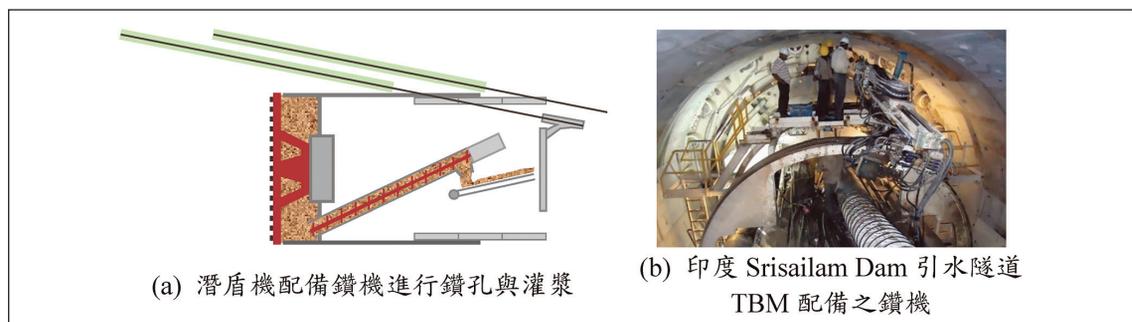


圖 5 潛盾機需具備鑽機及灌漿等功能需求

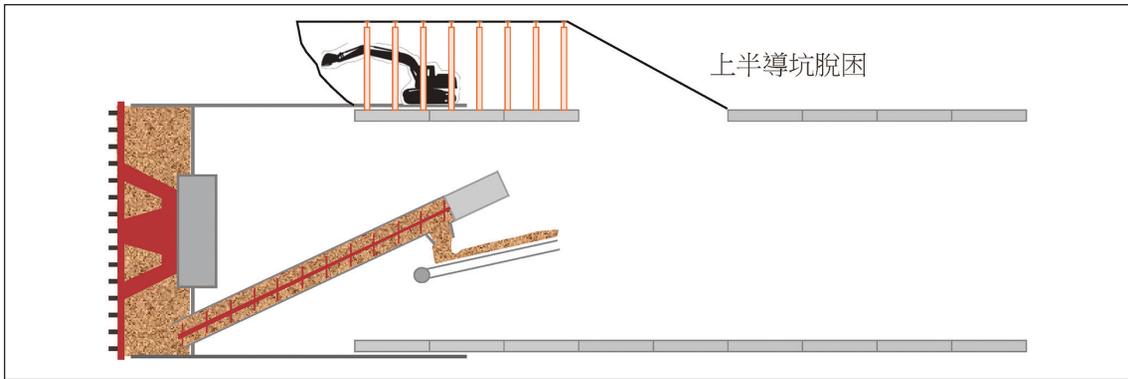


圖 6 潛盾機脫困示意圖

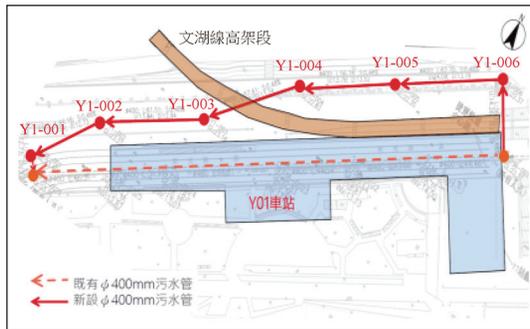


圖 7 Y1 站污水管推進平面位置圖



圖 8 Y2A 站污水管推進平面位置圖

三、污水管先期工程遭遇之困難與解決方法

捷運環狀線南環段鑒於Y1站及Y2A 站與地下污水管線系統衝突，若於主體工程範圍進行改管恐影響整體工進，故將影響較大之污水管線遷移工程納入環狀線南環段污水管遷移先期工程辦理[2]。

(一) 先期工程範圍及內容

Y1站體範圍內既有 $\phi 400$ mm污水幹管與車站穿堂層衝突，且Y1站為潛盾機發進端，

若將該管線列入先期工程，可提前6個月施作連續壁，故有其必要性。主要工作項目為 $\phi 400$ mm一般推進，約318 m，詳圖7。

Y2A站體範圍內既有 $\phi 1000$ mm污水管管底深約為11.51~15.51 m與站體（北）端潛盾隧道及站體穿堂層衝突。考量站體內管線遷移涉及連續壁施工工期，為避免污水管線遷移期程造成捷運興建期程延宕，故於主體工程前辦理先期工程，站體前新設污水管線及沉箱揚水站，主要工作項目如下，詳圖8。

1. $\phi 1000$ mm一般推進，約7 m。
2. $\phi 1000$ mm曲線推進，約155 m。
3. 新設工作井及人孔，8座。
4. 6 m × 4 m沉箱揚水站土建結構，1座。

(二) 工程遭遇之困難與解決方法

本工程於Y2A站之沉箱揚水站施作完成後，於沉箱淺層處進行揚水站操作室外擴之明挖工程。經多次會勘調查確認，揚水站旁存在中國石油 $\phi 200$ mm油氣鋼管，詳圖9。因明挖區緊鄰該油氣鋼管，施工過程中恐有誤損、引發爆炸、火災等可能，本工程以吊掛方式進行保護，詳圖10、圖11，以防油氣鋼管於明挖過程中，因自重導致彎折斷裂發生危險，吊掛作業說明如下。

1. 管線探挖，從油氣管頭尾兩側以布繩將油氣管吊掛於H型鋼。
2. 沿油氣管外側打設一排長5 m之鋼板樁，減少開挖造成之影響。
3. 沿油氣管全面開挖清至GL-2.5 m，並於每3 m處加設一條布繩吊掛於H型鋼。
4. 沉箱揚水站操作室構築。
5. 回填CLSM，並拔除鋼板樁。

另本工程於Y2A站之推管工程，其掘進深度位於黏土/粉質砂土與卵礫石層交界之複合地層，推管沿線之地層變化大，難以透過少數鑽孔事先掌握。廠商依據沉箱揚水站及Y2A-002工作井開挖之地層分佈，研判推管



圖 9 油氣管平面示意圖

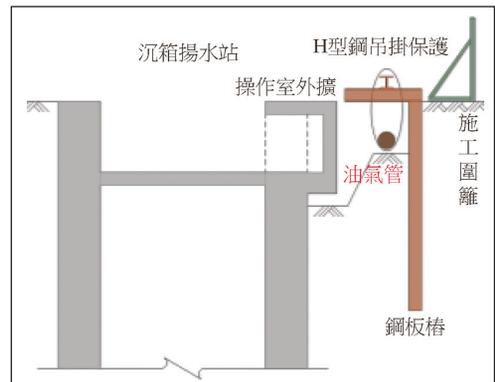


圖 10 油氣管吊掛剖面圖



圖 11 油氣管吊掛施工圖



路徑主要為卵礫石層。因卵礫石硬度高、粒徑大，須透過刃盤上切削齒、切削輪將卵礫石切削成適合出土之尺寸，故廠商原設計之刃盤佈滿充足之切削齒及切削輪，詳圖12。然而，本案推管甫自Y2A-002發進約3公尺，掘進面地層即轉變為黏土層，原適用於堅硬

地層掘進之推管機無法順利排土，同時黏土包覆刃盤導致推進功率大幅下降。檢討後，廠商自機頭注泥，逐步將已推進之污水管及推管機拉回Y2A-002，並對推管機設備及刃盤進行修改。為因應沿線之卵礫石與黏土複合地層，廠商選擇增設高壓水刀沖洗設備，以利出土，詳圖13。重新於黏土層推進後，因推進產出之泥水量劇增，額外增設足夠數量之土桶，以沉澱方式分離泥水，最終成功破鏡到達，詳圖14。



圖 12 原設計之刃盤



圖 13 改良後之刃盤

(三) 小結

本污水管先期工程之施工方式主要以推進工法為主，主要施工風險及困難在於工作井、到達井及推管段之施作。工作井之設置須避開既有管線，搭配適當之開挖擋土設施，對鄰近管線及鄰房進行充足之保護及監測，以利工作井沉設、降低開挖風險。管線推進施工則須注意出發、到達之鏡面防水處



圖 14 破鏡到達施工圖

理，及管線推進過程中超挖、擠壓、超抽及地面沉陷等問題，並針對可能遭遇之地層條件，選用合適之刃盤。以達施作污水管先期工程減少主體工程管線遷移工期之效用。

四、車站用地受限的挑戰 - 最短的車站設計

環狀線Y1A捷運車站位處於現政大莊敬外舍之區域，站址北側臨接萬壽路，南側緊靠指南路二段的民宅，車站用地範圍長度不足100公尺，如圖15所示，以至於Y1A車站的長度受到嚴苛的限制，在細部設計過程中歷經協調與取舍下，最終規劃車站長僅94.1公尺（地下結構體內淨距）的成果方案。

(一) 南環段 Y1A 車站設計背景

台北捷運環狀線屬於中運量路線，月台的長度為74公尺。環狀線第二階段（南北環）路線中的車站均為地下車站，考量到地下車站配合通風、防災等必要的需求，地下型態的車站所需要的設備空間即遠多於一般地面型或高架型車站。因此環狀線二期的車站站體設計長度多達140~180公尺以上，即使部分車站可運用路外用地容納必要的設施空間，但也鮮有車站主體長度低於110公尺的車站。

Y1A車站用地北側緊臨16 m萬壽路，道路幅度與空間皆無法滿足分區施工的交

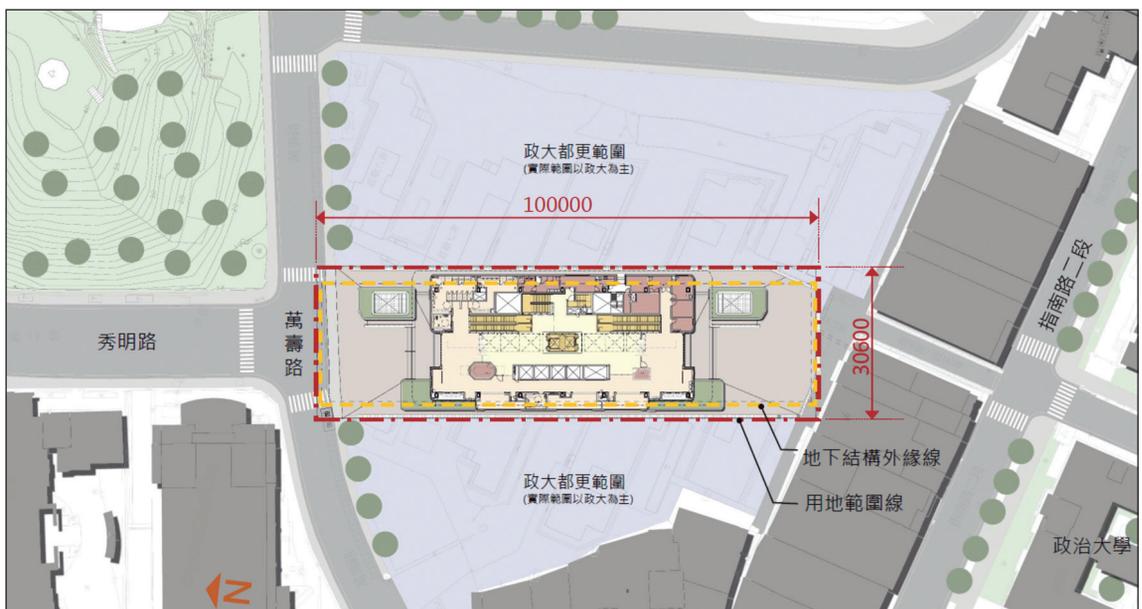


圖 15 Y1A 捷運車站配置圖



圖 16 Y1A 捷運車站基設階段配置圖

維。車站南側緊鄰民宅商家建物，也註定 Y1A 的車站長度被限縮在此短短不到 100 公尺的命運。在基地條件如此侷促的限制下，本站在基本設計時便使用鄰接的政大都更用地以設置車站出入口與機房空間，如圖 16 所示。

(二) 南環段 Y1A 短車站設計

然而在本計畫進入細設階段後，車站可使用的土地範圍牽動到地主機關權益的議題仍舊難解，使得在細部設計階段中不得不思考將全車站設施均收斂於車站主體用地中，捨棄路外用地的設計方向也因此拍板成行。在上述的規畫條件下，設計團隊採用幾種配置手法以滿足各方需求與限制，最終成果如

圖 17 所示。

1. 爭取不同維度空間

鑒於 Y1A 長度已受限制，空間的容納朝向橫向與垂直的方向發展。因而以一般環狀線車站所需 15.4 公尺的車站寬度相比，Y1A 車站的設計寬度為 19.8 公尺，以滿足設備空間的需求。此外原地下三層的空間規劃配合調整為地下四層，並將穿堂層從原先的地下空間移至地面，將原作為穿堂大廳的地下空間騰出來以容納更多的機房空間。

2. 機房設施量簡化

在 Y1A 的車站長度極短，且穿堂空間移至地面規劃下，車站空調與環控的負擔在少了大量的地下公共空間（穿堂大廳）後，單

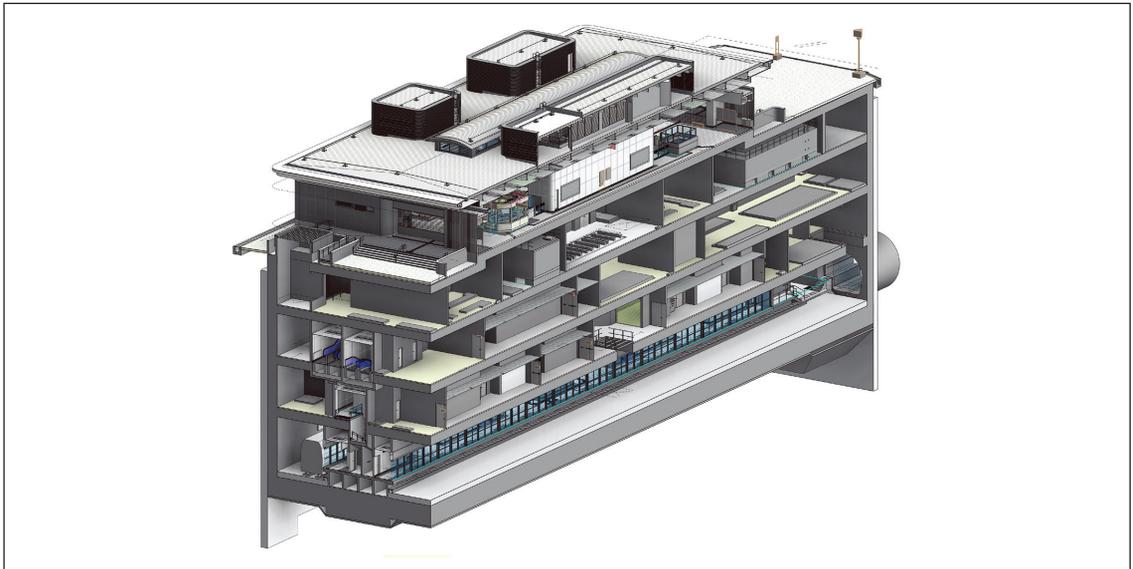


圖 17 Y1A 捷運車站剖透圖

層進排氣的環控設備可比一般地下車站還要更為簡化。因此一般車站均會配置上、下行各層兩套進排氣系統的布設模式下，Y1A車站可在僅有各層一套進排氣系統的運作下滿足通風換氣之需求，得以減少進排氣系統設施空間。

3. 垂直系統錯綜布設

Y1A車站為地面穿堂層車站，月台層又設於地下四層，進出站的垂直動線（電梯+電扶梯）勢必將打破車站空間的完整性。也因此車站的設備空間布設必須採取有效運用各零碎空間的特質配置。例舉說明，一般設置於月台層的隧道空調、軌道排氣等機房配合車站長度較短，往上層移設至地下三層設備層中，而一般位於月台上一層的隧道通

風機房也以風道連通軌道的配置，上移設至地下一層設備層中，為底部設備層騰出更多空間，以放置有連鎖群聚需要的設備空間。

（三）小結

臺北捷運數十年的建設發展下，在臺北地區的路網建置已相當的完善。卻也因而在後期路網中，會頻繁的遭遇到路幅狹小、用地不足的限制挑戰，因而車站設計上亦須有所取捨。Y1A車站歷經多方設想，成就臺灣地下捷運站長度最短之車站，但也無可避免有著機房配置不方整、環控設計餘裕較小、搬運動線迂迴等難以避免的遺憾，僅酌供各方工程師借鏡。

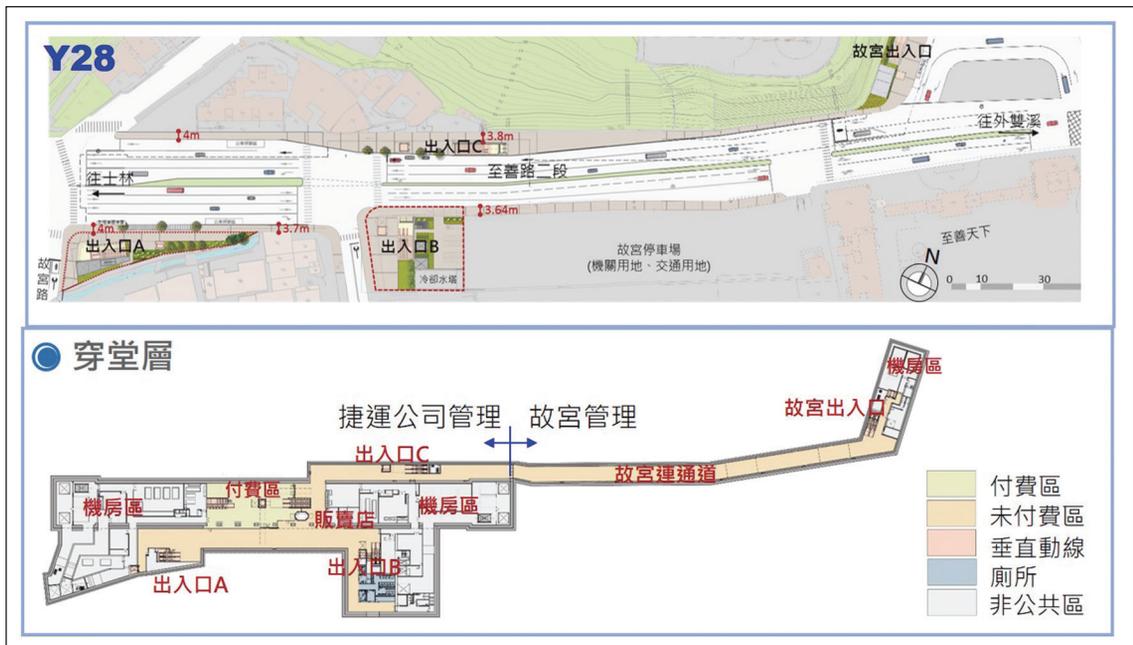


圖 18 Y28 車站地面層及穿堂層平面圖

五、車站美學新挑戰 - 捷運與故宮博物院的連結

環狀線Y28捷運車站位於40米寬的至善路與故宮路口、故宮博物院西南側、至善天下左側基地。因故宮為臺北市重要觀光景點、為國際知名中國文物博物館，如何將車站設計與館內展品意象融合，將人文藝術結合至捷運空間設計，為本站作為北環段特色站之挑戰。

(一) 山水文物展現車站之設計構想

車站為地下二層島式月台車站，設置3個出入口，並於地下穿堂層增設故宮連通道

出入口，延續人行動線並引導故宮方向，如圖18所示。

從出入口進入地下車站的旅程中，以「走入山水」為題，以壁畫呈現書軸及書捲，將牆面空間為故宮展廳的延伸。旅客行走在街道上時，出入口的深色牆面與內側從牆面延伸至天花的米白色印刷鋁板在曲線的設計下如同柔軟的畫軸與畫卷，從地面延伸而出引導來往的旅客。天花延伸至地下的山水紋樣印刷鋁板，讓進入捷運站的旅客如同走入畫中的山巒，進而連結至故宮精彩的文物世界，將以此塑造出入口為都市中的新亮點，請詳圖19及圖20。穿堂層以水墨畫印刷鋁板、饕餮紋拼花地坪，月台層則以青銅器



圖 19 Y28 站地面出入口 A 透視圖



圖 20 Y28 站地面出入口 C 透視圖

顏色之烤漆障板天花設計，將故宮文物意象帶入地下車站空間，並使乘客、遊客以更多元的方式貼近館藏，請詳圖21及圖22。

故宮地下連通道設計以「觀展經驗」出

發，以故宮文物及從其萃取之色彩，以曲折壁面展示：當旅客進入故宮前，在通道內即進入中國文物精彩世界；離開時，漸變的色彩融入隧道的旅程，觀展經驗永留心中，逐漸回到塵世。故宮出入口則以「防空洞」為



設計理念，其內設置電梯/電扶梯，旅客藉此垂直動線直達坡頂之未來圖書文獻大樓（第二展區），將參觀動線完好串聯，如圖23及圖24所示。

（二）融入區域環境之友善設計

大眾運輸的建設結合了交通優勢與地區城市的發展，不僅僅是考量捷運用地範圍內

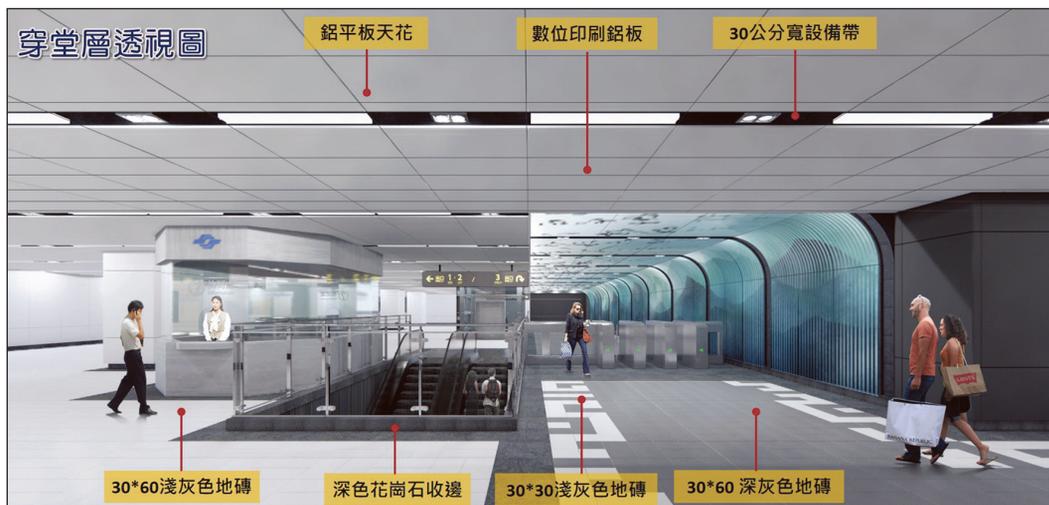


圖 21 Y28 站穿堂層 - 山水畫 + 饕餮紋



圖 22 Y28 站穿堂層 - 青銅器 + 饕餮紋



* 資料來源：宗邁建築師事務所

圖 23 故宮出入口設計

的車站建設，同時須將周邊街廓尺度納入規劃，並提出適度的調整，以最有效的有善大眾使用公共運輸載具。

1. 人行交通動線

人行空間延續性應依基地整體規劃。以 Y28 站為例，原街廓不整齊與人行道狹窄問題，產生人行道不延續與不易行走，在安全考量與跨局整合溝通下，透過捷運車站出入口的退縮與周邊道路整合，將人行通道從車站本體延伸至周邊重要景點，以優化道路通行，如圖 25 所示。

2. 景觀植栽融合

在考量結構安全性、營運維護可行性

下，以景觀綠植栽規劃站體周邊空間。以 Y28 為例，以淡彩留白的方式呈現，以柳樹及保留黑松為背景，點綴梅、蘭、茶、荷等傳統意象作為主要植栽規劃，以配合故宮人文與環境山水意象。

(三) 小結

臺北捷運已成為民眾生活上不可或缺的交通工具，藉由捷運路網的推動過程中，與地區發展結合，考量交通與都市環境串聯，從整體捷運站設計規劃，包含：地面層景觀與空間配置、穿堂層的空間流動性與月台層的運輸功能性，皆需完整仔細的全盤考量。以 Y28 站為例，捷運特色站以基地周邊的人

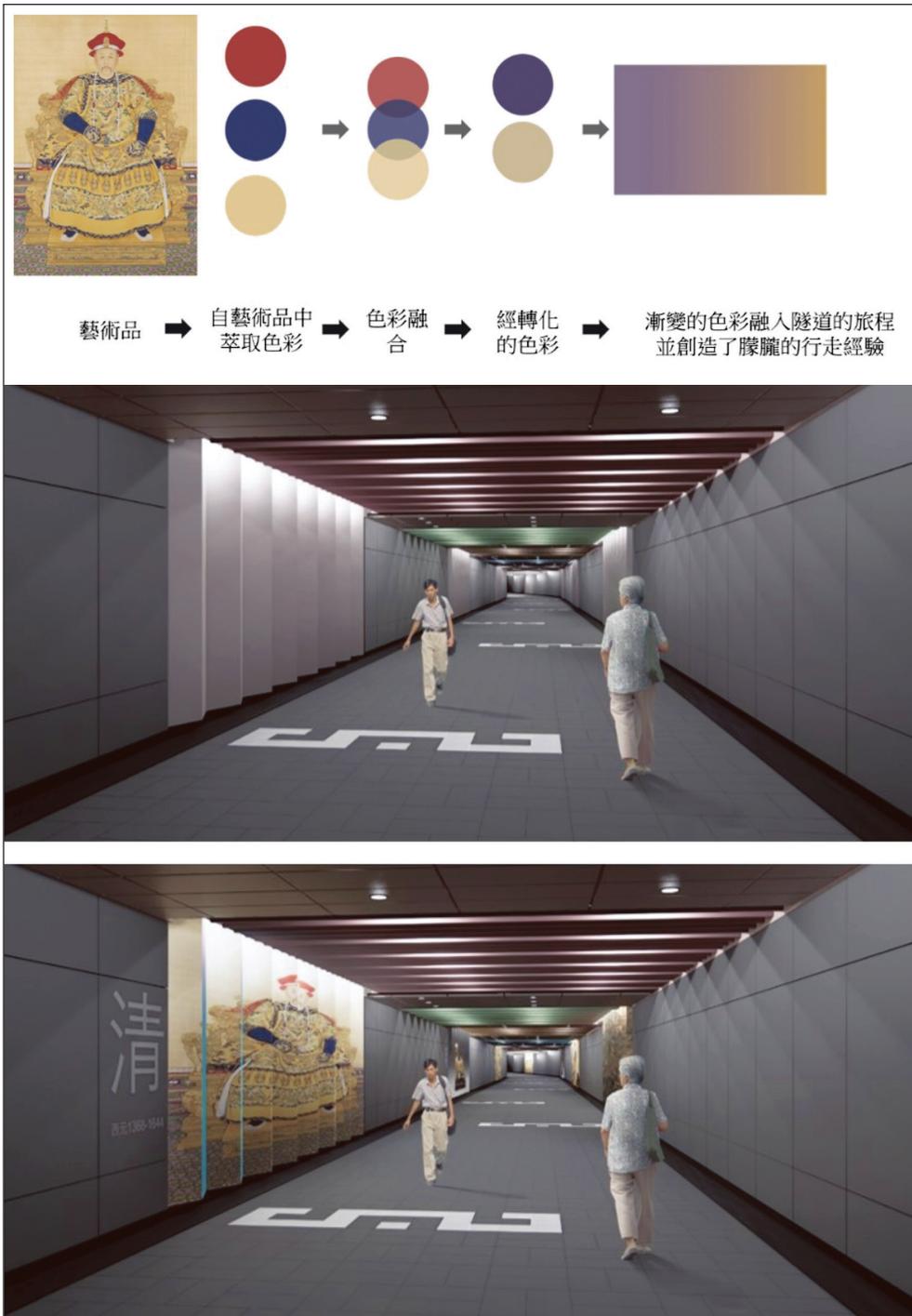


圖 24 Y28 站故宮地下連通道設計



圖 25 人行空間延續規劃

文藝術特色作為設計發想，因此在捷運通用設計的原則下，除了延續統一的視覺美感外，更與周邊環境結合，藉由基地在地特色作為設計元素之一，更加契合都市紋理的風貌方式來建構捷運車站。

捷運站體的建設是城市緩步成長的足跡，在交通愈趨便利的時代裡，捷運設計不僅僅提供功能性，同時在捷運設計美學下，代謝都市整體景觀，並與周邊環境、人文、歷史相互融合。

六、公共工程採用 BIM 國際標準 (ISO 19650) 的挑戰

(一) ISO 標準導入

公共工程導入BIM作為工程執行依據，

各級政府或是各主辦機構均努力擬定可供參考的執行標準，包括交通部105年3月17日函頒「交通部所屬各機關(構)工程建置建築資訊模型(BIM)作業推動原則、交通部高速鐵路工程局鐵道工程BIM作業指引(107年6月)、臺北市府都市發展局主辦建築工程建築資訊建模(BIM)竣工模型屬性資料作業規範等，及國際標準的PAS1192，而2018年CSI公告了BIM執行標準ISO19650-1及ISO19650-2。現階段公共工程的BIM的執行仍依據各級政府所提規範進行，而為讓BIM的執行不僅符合國家標準，導入ISO的國際標準整體檢討執行方式，以利BIM的執行可以符合國際標準。

參考ISO19650-1及ISO19650-2，研擬全生命週期BIM工作目標與應用，計畫導入BIM技術進行細部設計發展與整合，通過參



數化模型整合各種專業的設計資訊，包括車站段、路線段及環境資訊（地中障礙物與主要管線），藉由共同數據環境（CDE），進行3D模型與視覺化的協調工作，使計畫所有人員對各種設計資訊作出正確理解和決策，以提高設計成熟度，提昇設計成果之品質。並將設計階段產出之BIM成果，導入施工階段應用，透過業主資訊需求訪談，研訂施工階段BIM之應用及竣工移交之主要參數定義，將BIM的優點，逐步擴展到捷運建設的全生命週期。

1. PRE-BEP的編寫

為於投標回覆前確認BIM輔助專案執行的動能，並擬定專案進行時的目標與交付團隊的責任矩陣等事項，於投標前所擬定的BIM執行計畫書，係依據ISO19650-2第5.3.2條所述，整理並確認包括交付團隊的交付資訊、聯合策略、責任矩陣、擬定交付資訊產出方式及軟硬體等相關計畫，BIM團隊分別針對專案資訊、資訊交付需求、BIM執行目標、動員計畫、專案實施計畫等內容進行編寫。

(1) 專案資訊

說明專案的基本資訊，以利快速整理專案的基本資訊。

(2) 資訊交付需求

依據一般服務範疇3.13.2節及3.13.4節之規定發展相關內容，以專案需求區分為模型建製、圖面生成、模型整合、協調作業與輔助數量五項。

(3) BIM執行目標

專案BIM執行主要目標、工作項目、里程碑及BIM的作業執行流程。

(4) 動員計畫

依據ISO19650-2第5.3.5條所擬定，主要目的在取得標案前，針對BIM執行所需的人員、工作與溝通環境擬定執行計畫，包括資訊的交換方式與CDE環境的測試工作、IT建置環境、共享資源、技能培訓課程等部份，整體說明在BIM協助專案執行的過程中，資訊的交換方式與環境、資源的共享與人員與培訓。

(5) 專案實施計畫

本專案於備標階段整理BIM導入協助專案執行的實施計畫，以利取得標案後各團隊得以迅速依計畫進行工作推動，計畫主要針對為組織團隊的規劃及責任矩陣、BIM執行作業模式及交付策略三大方向進行計畫，提出包括組織團隊規劃、協力廠商評估、交付策略、交換格式、模型拆分、高階責任矩陣、協同作業模式、設計整合作業及BIM版本管控。

(二) BIM 執行計畫書的編寫

專案起始時所編寫的BIM執行計畫書，主要是依據一般服務範疇第3.13.4條第一項所列之相關內容加以述明，包括服務範圍及工作項目、人員組織、作業軟體及其版本、CDE的執行方式、作業流程及模型發展成果與元件深化、交付時程與進度等範圍。



1. 服務範圍與工作項目

說明專案的基本資訊，以利快速整理專案的基本資訊，並分別說明BIM執行的工作目標、範圍及項目。

2. 計畫及BIM專業人員組織

依一般服務範疇3.13.3規定設置BIM經理、BIM副理、BIM協調人及BIM設計工程師。於計畫書中說明專案BIM執行的組織架構，並說明相關權責，以利專案自BIM設計流程之導入與建置及負責設計整合議題之管理與追蹤等工作的進行。

3. BIM作業標準

為確保及整合各專業間的BIM作業執行標準，分別依據模型架構的拆分、資訊模型檔案命名原則、座標的定義、模型的使用單位、元件的命名原則與分色計畫等訂定及說明標準的設定。

4. 協同作業平台

說明為依據英國PAS1192-2所提出的共通數據平台標準，及對應標準所建立的協同作業平台，並提出配合數據平台所建立的設計整合溝通模式及CDE整體BIM作業的流程。

5. 整合作業與成果交付

為提昇設計品質與效率，透過整合會議管制設計進度、追蹤待辦事項及協調整合主要設計議題，而依照其屬性與介面型態，可區分為：1. 基本參數，2. 外部界面，3. 車站

主體等三大區塊，總共36項關鍵的設計整合議題。並擬定由細設顧問召開之設計整合會議工作程序與作業內容。

6. 整合作業與成果交付

依據一般服務範疇3.13.2節及3.13.4節之規定發展相關內容，以專案需求區分為模型建製、圖面生成、模型整合、協調作業與輔助數量五項，分別針對管理面、商業面及技術面的資訊交付需求分析，並另以章節詳細說明執行的流程與標準。

（三）BIM 執行風險評估

依據ISO19650-2:2018,5.3.6所建議，潛在主要受委任方應根據委任方的交換資訊需求及交付團隊管理風險，建立交付團隊的風險登記。交付團隊就委任方的交換資訊需求、交付里程碑、資訊協議的內容、資訊交付策略、資訊標準及產出的方法和程序、資訊標準的修訂以及動員交付團隊的執行力和資源總量等方向進行風險預估，以利於專案取得後之風險控管。本專案針對交付階段、交付時程、契約內容、交付策略、執行方法及程序及執行能力等項目均提出風險的預估，並分別說明可能遇到的狀況並提出對應的管制措施，並據以整理出相關的風險項目評估表，以利後續BIM協助案執行時的風險控管參考。



(四) 共通數據環境 (CDE) 作業

協同作業模式共通數據環境 (CDE) 定義為「專案的單一資訊源，供參與專案的多專業方有效率地蒐集、管理、區分所有經核可的專案文件與資料」協同作業平台，使團隊各方得以共享資訊，進行高效率的設計整合與協同作業，提昇設計成果的成熟度與正確性。本團隊將依照共通數據環境之建議，配合本計畫設計服務需求，建立協同作業資訊分享的4個步驟與架構，包括：進行中工作 (Work In Progress)、共享/協作 (Shared)、正式送審發佈 (Published) 及階段歸檔 (Archive)。

(五) 檢討與未來發展的方向

1. 設計自動化的整合

導入ISO19650協助BIM執行過程的工作，雖然有效的提高了資訊的傳遞正確性，但在協同會議前的整合與衝突檢查，及後續的上傳與記錄，仍需花費不少人力，所以藉由將ISO19650的資訊整合與發佈的流程與精神，納入工作樣板、設計自動化及標準化工作流程中，以更有效的整合設計成果，並提高工作效能。

2. 各方參與的教育訓練

在專案的進行過程中，不論是協同作業階段的設計檢核，或是設計成果的討論，主辦機關承辦的積極參與，都讓設計的成果可

以提早在進行討論，有利後續設計成果的收斂。而協同作業作為設計整合工作的一環，積極而密切的討論是正常的會議過程，甚至在不同專業間尚未有具體解決方案都是常見的現象，而非僅作為設計已整合完成後的單方面呈現。主辦單位承辦的全力協助，及理解協同作業進行中的困難處將更有利於工程設計協調的討論與設計的推進，所以專案推動前的BIM教育訓練時，可以將協同作業的進行方式與可能的狀況進行說明，將有利於各方瞭解專案執行過程中可能的情況，減少對設計流程的錯誤認知，造成各方的誤會。

3. 工作流程的深化與整合

ISO19650針對BIM專案執行過程中，不論是前期的執行計畫書編寫、中期專案執行中的協同會議作業，或是後期的審查修正及專案成果交付，藉由此次ISO19650認證，BIM中心均分別協助修正執行BIM的標準作業流程。而有鑑於後續專案經常會藉由BIM協助執行，應先檢視標準作業流程與專案執行流程的整合，減少可能產生的不協調或是衝突，以利於專案團隊在執行時的接受度。

雖然ISO19650標準的導入勢必會增加專案執行過程中的工作量，包括專案執行前的委任前BIM執行計畫，或是CDE的運用或是BIM的交付流程與專案執行的規劃，但若能在委任方、被委任方的大力參與，讓BIM得以真正協助設計工作進行，提高設計的成

熟度，更有效率的創造出高品質的成果，將可讓BIM的優點，逐步擴展到建設的全生命週期。

七、結論

本文首先論述關於大地不確定性帶來的挑戰，Y28至Y29之地下隧道將穿越文間山，其中連絡通道CP28-2位於崁腳斷層帶附近，岩盤破碎夾斷層泥導致開環施作連絡通道風險提高，故工程契約將連絡通道位置保留彈性，由地質調查、前進探查判讀結果，綜合潛盾機鑽掘回饋參數，提出最終CP28-2施作位置，以降低CP28-2的工程風險，而Y2A站先期汙水管工程位於黏土/粉質砂土與卵礫石層交界之複合地層，當推管刀盤進入不適合地層導致功率下降則拖出進行改裝後再進行鑽掘，最終成功完成推管段工程，故當廠商遭遇大地不確定性之挑戰時，若能擁有部分施工彈性則更能克服工程困難。

捷運站體設計的挑戰在於如何配合基地在地特色展現捷運美學與空間限制的配置邏輯，Y1A站車站用地範圍長度不足100公尺，天生不利的空間限制使車站設計充滿挑戰，設計單位藉由將穿堂層從原先的地下空間移至地面，以使地下有更多的空間可容納機房，並簡化機房設施，最終完成長度僅94.1公尺的最短車站設計創舉，而Y28站使車站與故宮特色結合，大膽將車站牆面作為故宮展廳的延伸，讓進入捷運站的旅客如同走入

文物中的山水，進而連結至故宮精彩的文物世界，故車站設計除了達到功能性完善外，亦須做到代謝都市整體景觀，與周邊環境、人文、歷史相互融合。

公共工程導入BIM作為工程執行依據已是國際趨勢，各級政府或是各主辦機構均努力擬定可供參考的執行標準，而為讓BIM的執行不僅符合國家標準，導入ISO的國際標準整體檢討執行方式使BIM作業在國際標準下的執行乃一大挑戰，藉由CDE，參與專案的多專業方能有效率地蒐集、管理、區分所有經核可的專案文件與資料，使專案不協調及衝突減少，增加專案團隊在執行時的接受度，提高設計的成熟度，更有效率的創造出高品質的成果，將可讓BIM的優點，逐步擴展到工程的全生命週期，達到資訊交付循環的目標。

參考文獻

1. 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。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，環狀線南環段汙水管遷移先期工程設計階段施工風險評估，2021年2月。
3. 黃鑑水、李錦發、劉桓吉，「臺灣北部崁腳斷層之地質調查與探勘」，經濟部中央地質調查所彙刊，第七號，第23~42頁，1991年12月。



以大眾運輸導向發展高雄捷運黃線 - 加減法則的都市治理

高雄市政府捷運工程局副總工程司 / 王然興

高雄市政府捷運工程局開發路權科科长 / 黃俊翰

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部協理 / 蔡榮禎

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部副理 / 陳世任

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部正工程師、建築師 / 許以奇

關鍵字：大眾運輸導向發展、高雄捷運黃線、加減法則、都市治理

摘要

為促進高雄市成為大眾運輸導向發展之都市，經調查捷運黃線沿線都市發展現況，研擬具大眾運輸導向發展（Transit-Oriented Development, TOD）潛力之場站發展戰略定位，並透過不同面向之都市發展策略，來引導重要捷運場站周邊具有TOD潛力的公、私有土地朝高強度、高效率之土地使用發展，配合回饋部分公益設施以補強捷運車站節點周邊地區性空間與環境公共使用機能，同步提升改善都市景觀之城市治理願景。

TOD，係以高效率的大眾運輸系統為主幹，透過捷運車站周邊土地將使用強度提升、高效都市機能的融合，來提高土地開發及公共設施配置之效益，並以稅收支持大眾運輸營運成本，以形塑具宜居性、可及性及高效能的永續都市型態與土地利用模式之城市治理。

經研究後發現加減法則的都市治理。從加法介入都市脈絡，加強東西向都市廊帶的連結，促使高雄市都市發展再結構，加強捷運本業的服務提升、加強捷運場站開發，加強便捷的轉乘環境緊密地生活連結之四加法。另從減法引進的觀點，在捷運周邊減低私運具的停車位，引進共享運具停車位，減

本文資料節錄自「捷運黃線沿線都市發展及 TOD 戰略總體更新規劃案」

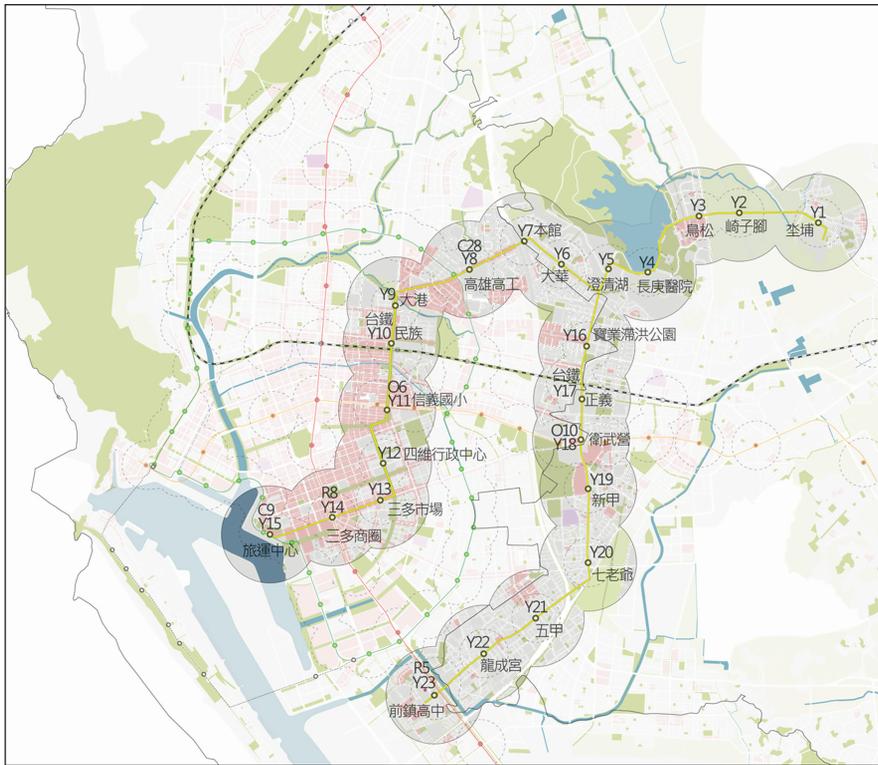


圖 1 高雄捷運黃線沿線場站與周邊 800 公尺地區

低市民使用私運具所帶來的公共利益負擔。捷運場站周邊鼓勵大眾運輸使用，減低法定停車位數量的設置，引導市民選擇更便利便宜的公共運輸之三減法。以此四加三減法則的都市治理將有效地促進高雄市成為大眾運輸導向發展之都市。

一、高雄捷運黃線沿線都市發展現況

(一) 高雄捷運黃線沿線範圍

以高雄捷運黃線沿線場站與周邊地區為

總體規劃標的（如圖1所示），以場站周邊800公尺作為規劃範圍，可服務人口統計為居住人口51萬6千人、就學人口8萬6千人（如表1）。

捷運黃線又稱「捷運都會線」，為高雄繼紅、橘線後第3條地下化捷運。其定位為亞洲新灣區與東高雄核心區間往來的運輸骨幹，串連沿線諸多醫療、大專院校、觀光資源、文創產業等資源，可服務高雄市核心區東側路廊之主要公共運輸旅次，並可透過轉乘捷運、環狀輕軌、公車、臺鐵等既有大眾



表 1 黃線場站周邊 800 公尺可服務人口統計表

場站名稱	居住人口	戶數	就學人口	場站名稱	居住人口	戶數	就學人口
Y1 埤埔	2,477	919	0	Y13 三多市場	31,534	14,041	618
Y2 崎子腳	250	115	0	Y14 三多商圈	26,786	12,746	1,303
Y3 鳥松	2,184	1,034	533	Y15 旅運中心	10,064	4,652	124
Y4 長庚醫院	3,015	1,282	1,468	Y16 寶業滯洪公園	43,091	15,308	2,416
Y5 澄清湖	6,778	2,739	1,333	Y17 正義	26,174	10,318	4,106
Y6 大華	15,022	5,516	2,944	Y18 衛武營	15,780	6,396	1,810
Y7 本館	21,468	8,405	1,974	Y19 新甲	25,464	10,241	6,940
Y8 高雄高工	44,629	18,968	24,662	Y20 七老爺	30,529	14,924	0
Y9 大港	31,543	13,241	12,549	Y21 五甲	39,874	15,451	2,924
Y10 民族	26,417	11,519	231	Y22 龍成宮	34,751	13,303	3,560
Y11 信義國小	34,707	14,992	4,145	Y23 前鎮高中	25,839	11,389	6,379
Y12 四維行政中心	33,458	14,501	6,285	小計	516,812	222,000	86,304

註：800 公尺服務範圍與相鄰車站重疊部分採均分各半方式計算。

運輸系統，達到擴充大眾運輸路網之效果，進而吸引大量居住、就業人口聚集，帶動周邊地區發展。捷運黃線採中運量系統規劃，路線規劃總長度為22.91公里，設置23座車站（1座高架車站，其餘為地下車站）與1座機廠。黃線路線採「人」字型設計，其路線起於鳥松神農路，經大埤路、澄清路後，往西轉進本館路為「建功民族段」，經建工路南轉民族路、民生路、民權路，再西轉三多路至亞洲新灣區；往南直行澄清路則為「澄清五甲段」，經南京路、五甲二/三路至鎮中路與翠亨北路口，與紅線前鎮高中站交會。

捷運黃線分別與紅線、橘線、環狀輕軌、臺鐵各有兩站相鄰，轉乘車站位置、車站付費區位調整與轉乘連通道銜接等規劃上以滿足乘客最大便利及舒適為原則。捷運紅

線R8（三多商圈）車站下方現已預留月台空間，未來黃線Y14車站可與捷運紅線R8車站月台設施與出入口，另外3座與捷運轉乘（Y11/O6、Y18/O10、Y23/R5），2座與臺鐵轉乘（Y10/臺鐵民族站、Y17/臺鐵正義站）及2座與環狀輕軌轉乘（Y8/C28、Y15/C8），則需考量設置適當通道或設施與既有車站連通轉乘銜接。

（二）交通導向主導高雄市都市發展脈絡

1. 明清時期－水陸運傳統步行城市·左營、鳳山及旗后/哨船頭漁村

高雄市舊稱打狗，明清時期即有大量移民前來開墾，清代改制後屬鳳山縣管轄，並陸續於埤仔頭（今左營舊城）、下陂頭（今鳳山舊城）等地陸續設置縣城，於周邊形成

最早的漢人街市與聚落，此時期交通方式主要以步行及人力車為主，透過官道（同今省道級）與北側安平港連繫。旗后、哨船頭（今旗津、哈瑪星）地區則依港灣優勢而形成約四萬人的漁村聚落，並在1863年打狗港開港後正式邁入國際舞台，一躍成為打狗對外貿易運輸的重要樞紐。

2. 日治時期－工業化軌道運輸城市·港鐵建設及都市計畫

日治時期的高雄在太平洋戰爭南進基地的戰略定位之下，特別重視鐵路建設與港口修築。1908年臺灣本島縱貫線鐵路全線通車，建立起串聯高雄市南北的鐵路系統，並與打狗港連結成為重要的客、貨運輸走廊。沿線發展成都市化、現代化的生活街區，各項服務性商業及日常生活服務機能均以港口或車站為中心向周邊拓展，遠距離旅行及貨物流通則仰賴船運及鐵路進行，某種程度上體現出最早的TOD發展概念雛形。

3. 1945-2000－汽車導向發展城市·政策引領公路交通系統發展

此時期都市發展分別以高雄港及高雄車站為核心，向北拓展至三民、左營、楠梓，以及延伸至南側的前鎮、小港等區域。同時闢建臨海工業區、高雄加工出口區（前鎮）及楠梓加工出口區等主要工業區，形塑出「工業港都」鮮明的城市形象。公路系統主要配合重工業衍生的貨運需求而佈設，由港灣地區分別向北、東內陸區域拓展，路幅寬

闊且道路設計上兼具載重能力考量，奠定了今日高雄市寬闊、開敞的都市格局。1970年以降，因以國道高速公路、快速道路等發展健全，本市轉變為以汽車為導向的城市發展，也深深影響了市民的交通選擇，直至今日汽、機車等私人運具為高雄市民出行移動的首選。

4. 2000-2030邁向大眾運輸城市·軌道運輸路網逐漸成形

隨著2007年高鐵與2008年高捷紅、橘線陸續完工通車，本市成為台灣第二個捷運城市。2017年輕軌環狀線第一階段（凱旋中華－哈瑪星）通車，2018年市區鐵路地下化計畫第一階段完工啟用，大幅提升高雄市區軌道運輸系統的便利性，捷運運量也逐年穩定成長。至2019年總運量達6千8百萬人次新高。2020年起YouBike 2.0及共享機車陸續進駐高雄並廣獲好評，至2023年捷運系統營運長度達59.8公里、興建中57.11公里，捷運黃線預計於2028年完工通車，大眾運輸交通便利促使市民以私人運具為主的交通型態已漸進轉變，2030年以TOD導向的都市生活願景儼然成形，詳圖2。

（三）捷運黃線場站周邊地區 TOD 發展潛質

捷運黃線路廊沿線經過7個都市計畫區，路線所經有早期發展、高密度的苓雅、三民區與南側的鳳山五甲與前鎮草衙地區，也有本館、寶來滯洪公園站旁的新興發展區，或

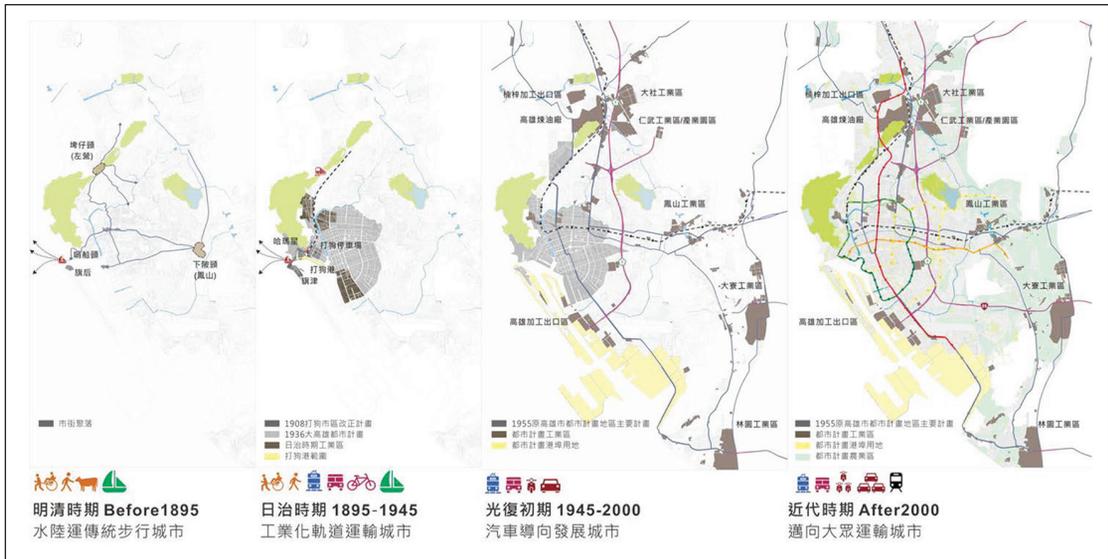


圖 2 高雄市交通與城市發展變遷圖

如衛武營周邊具有大型公共建設投資與開發潛力，同時也有像是鳥松或是七老爺站周邊具備待開發的區域。綜觀黃線場站地區未來TOD發展特性與條件，來作為後續TOD發展策略之依據。

1. 捷運黃線構成環圈，多元串連都市活動節點與人文景觀、旅遊資源

捷運黃線從市中心區連結到外圍的衛武營、五甲到前鎮，形成一個環路，並且向東延伸至澄清湖與鳥松，路線可服務主要廊帶的通勤旅次，且沿線鏈結諸多全市性商業街區、行政核心、學校、醫院、藝文展演與休閒旅遊據點與重大建設/開發計畫（如圖3所示），有機會發展成為兼具工作、就學、生活、消費、遊憩多元特質的運輸廊道。

2. 沿線場站周邊土地利用條件－可開發強度高，具備TOD推動條件

捷運黃線所經地區皆在都市計畫區範圍內，由西向東，分別通過市中心區（Y9-Y15）、市郊區（Y6-Y8, Y16-Y23）、郊區（Y1-Y5），展現三種不同的土地使用潛質。三種潛質為市中心區－高強度之面狀商業區與住宅區分布，可開發強度高、原縣轄區/新興發展區－集中商業核心發展，其餘普遍為住宅使用及場站少數場站周邊為低密度之農業區土地，有待變更調整其可開發強度與使用型態，以支持大眾運輸發展。

3. 沿線場站周邊地區發展現況－以住宅為基底，兼具商業/文教/藝文/休閒多元特質

黃線場站周邊500公尺範圍內之土地使用



圖 3 黃線場站周邊都市活動、人文與景觀資源現況

呈現於市中心區有高比例的商業區，外圍環帶則呈現以住宅區為主，商業區點狀分布，然而從國土利用調查資料觀察黃線沿線土地使用現況，可以發現除了Y1-Y4、Y15站周邊多為尚未完全開發的用地，多數仍為住宅使用或是沿街為底層商業、上層仍為住宅使用的型態，住宅使用上的比例普遍在15-35%間，而Y10-Y14在都市計畫上商業區用地比例雖高，然而實際地區商業使用樓地板也僅在20-24%間，詳圖3。

(四) 小結

高雄市是全台灣第一個將TOD概念納入都市計畫機制並透過聯合開發等方式實現TOD的城市。經過前節爬梳城市交通發展史

及都市發展現況後，有幾點推動TOD的挑戰如列。

1. 面對大城市尺度，透過更健全的路網提升捷運搭乘率
2. 2011年起具TOD理念的容移機制，城市核心尚待成形
3. 運用公有土地辦理促參，帶動都市活動能量往場站周邊移動
4. 突破場站落點限制，提升捷運服務便利性
5. 免費或低費率的汽、機車的停車成本是推動大眾運具的絆腳石
6. 營造安全、舒適、有趣的人本街道，鼓勵市民搭乘大眾運具
7. 整備自行車路網拉長最後一哩路，延伸捷運服務



8. 面對城市轉型，創造多核心的投資環境

二、捷運黃線沿線 TOD 發展願景與策略構想

(一) 以 TOD 啟動城市空間再結構

高雄城市格局大，城市人口與台北相當，加上過往捷運建設未有併同城市再發展的整體擘劃思維，因此都市消費活動外移後，原本扮演都市中心功能的舊市區發展能量漸弱，更新改造動能低，市中心的新崛江、漢神、三多等既有商圈沒落，加上消費型態轉變，使得高雄缺乏明顯的城市中心與商業街區。

高雄市以原本工業城市的基底，市府刻正推動半導體S廊帶帶動城市產業轉型，推動中的科技/製造產業中心或園區，除了5G AIoT新創園區外，橋頭科、路竹科及仁武、林園、小港等既有石化鋼鐵產業聚落皆在城外圍，市中心缺乏吸引年輕人留下居住、生活的工作機會。

(二) 捷運黃線 TOD 空間發展面向與策略

捷運黃線從市中心區向外擴展連結到市郊區，路線所經之場站地區除了市中心毗鄰商業核心外，周邊多為住宅使用，都市活動能量弱，因此目前預測未來旅運量低，應有大幅提升的想像。促進場站地區朝向緊密（Density）、複合發展（Diversity）的土地

使用型態，並補充地區公共服務機能，搭配地區人本街道環境設計（Design）以及多元運具轉乘規劃（Transfer）提升地區公共環境品質以達高雄市TOD總體戰略（圖4）目標所擬策略：

1. 策略一：以既有路廊連結黃線、輕軌雙環線，強化東西向都市空間連結，提高移動性創造運量

七條既有路廊分別為中山、中正、一心、瑞隆、二聖、輜氣、三多、臺鐵、建工本館，搭配輕軌與黃線建設到位，連同紅線於市中心區構成多條相距約1公里的南北向路線，大幅提升市中心的大眾運輸覆蓋率。

2. 策略二、結合公/私有具潛力土地開發形塑策略性場站節點HUB，回應城市空間與產業發展布局

透過盤點黃線沿線場站周邊具一定規模面積的公有閒置或低度利用土地，將這些所盤點出具備區位優勢的開發基地透過公私協力的合作，因應場站所在區位節點之環境特性與發展定位，導入高強度、高複合土地使用機能，進而引導站區周邊都市與空間機能發展方向，創造地區HUB核心。

捷運黃線沿線有7處具備發展為HUB潛力的場站地區（如圖5所示），連同高雄車站、凹子底、亞洲新灣區2.0等全市商業/產業核心，以驅動高雄都市空間再結構，朝向多核心的城市結構，豐富城市風貌發展。

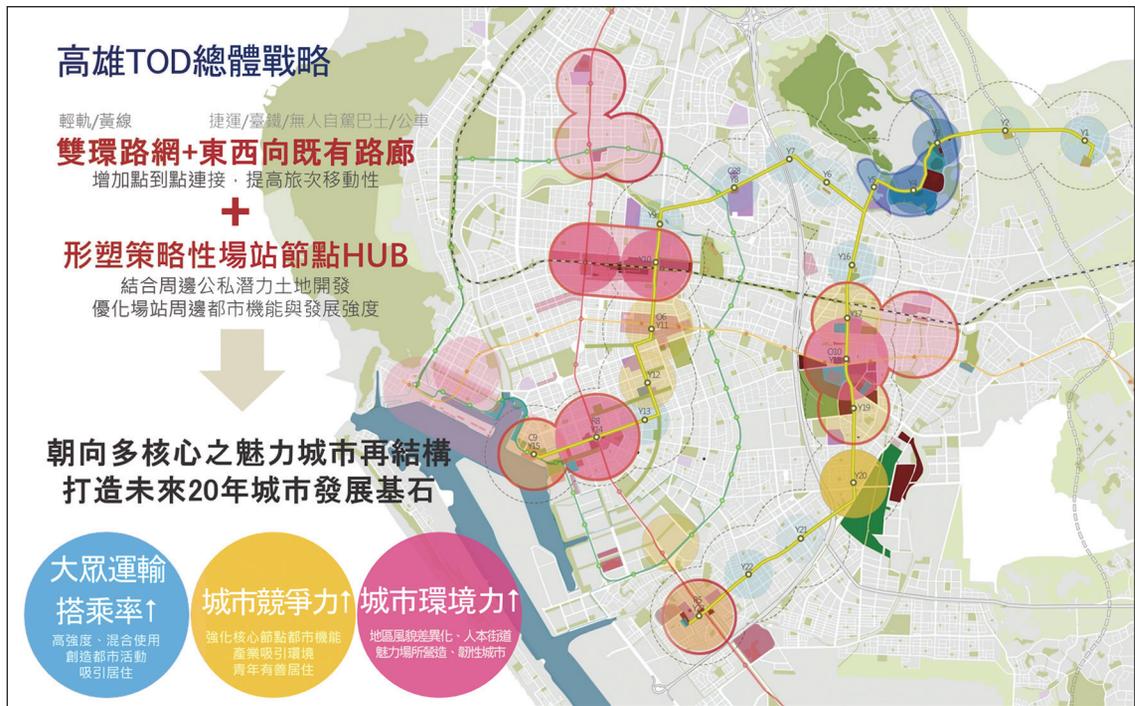


圖 4 高雄 TOD 總體戰略規劃

三多商圈站或是民族站等鄰近全市重要商圈或商務核心，策略用地應優先考量強化其地區商業、商務、休閒觀光、文化交流等多元複合之都市功能，其建築使用應引導優先作為商業、辦公、旅館、休閒娛樂等機能的複合型開發為原則，且商業開發比例較高，來加乘地區開發，強化地區全市性商業/商務活動機能。

衛武營周邊地區立基於南台灣藝文重鎮－衛武營國家藝術文化中心與都會公園，具備豐沛的文創與觀光休閒能量，加上捷運橘、黃線交會帶來的便捷流動，有機會成為

東高雄藝文、觀光休閒、都會生活的新核心。目前場站周邊具備許多大型公共設施與待開發土地，未來應配合地區發展的願景對其整體加以檢討，引導用地朝向都會商務、休閒商業等發展性質，導入文創商業、辦公、社會住宅等機能，建構協助休閒、文創及數位內容產業群聚發展的條件。

Y20七老爺站周邊具備大面積且多違規工業使用的農業區，捷運到位後具備極佳的交通區位條件，應透過區段徵收+都市計畫變更轉變使用型態，成為策略性產業發展用地，創造產業群聚與工作機會，並且補充地

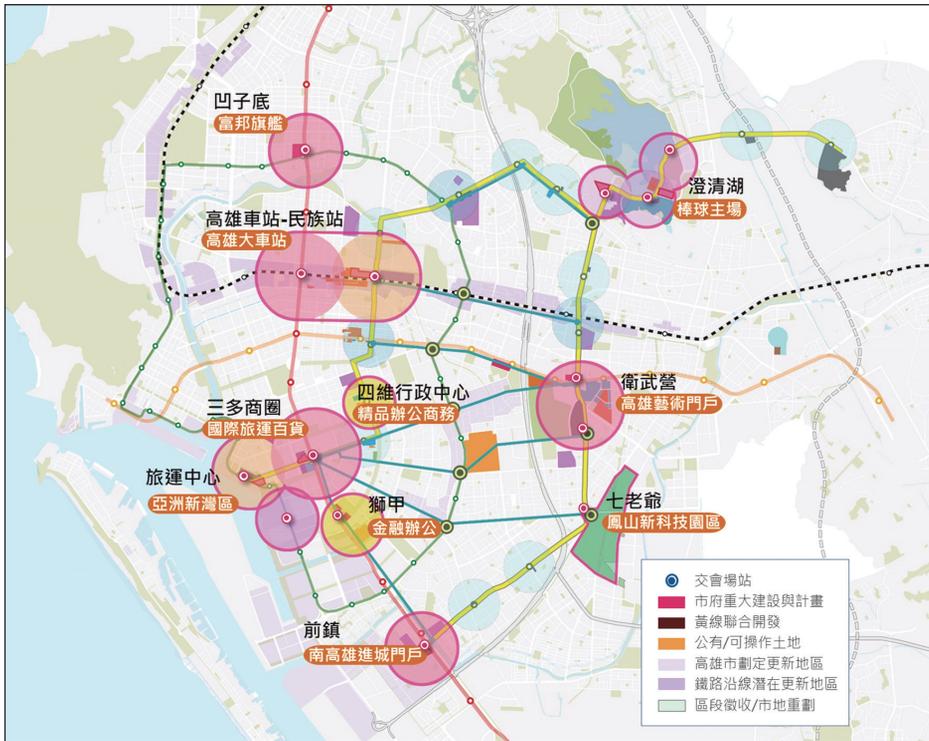


圖 5 高雄市市中心 TOD 多核心 HUB 節點架構

區鄰里生活機能與公共設施服務，成為青年人口在此居住、就業的良好生活場域。

3. 策略三、以TOD增容機制引導TOD緊密城市發展

捷運黃線場站周邊用地普遍皆為私人土地，地籍細分整合難，再加上高雄房地產價格低的情況下，使得場站周邊缺乏都市更新的誘因，難以展現因為捷運公共建設到位所帶來地區發轉的效益。因此透過TOD增額容積機制提高土地使用效益與強度，結合都市更新機制創造緊密發展的都市結構，進而支持捷運運量使用。

以高雄市TOD發展目標與都市發展型態，申請TOD增額容積地區範圍宜從8-10分鐘步行可及範圍來思考，以場站月台中心點500公尺範圍作為增額容積申請範圍，並依照場站的層級，另對於距離重點HUB場站出入口200m範圍（4分鐘步行可及），一般場站出入口150m（3分鐘步行可及）的範圍劃為核心區，如圖6。

4. 策略四、地區人本、魅力街道環境營造，地區生活感建立

黃線沿線場站普遍面對寬廣的道路，具備提供足夠人行與自行車空間的條件，然而



圖6 減縮適用範圍與提高用地規模 - 以三多商團站為例

以車行優先的規劃設計與習慣，沿街往往規劃停車空間而僅留窄小的人行道，或汽機車佔據人行道，而很難提供順暢、好走的人行空間。因此應將街道的調性從「車行」轉換為「人行」為主，提供連續、安全、無障礙的步行空間，同時營造人本、具魅力的街道環境，創造讓人願意行走甚至停留的街道，以使得人們樂於使用大眾運輸出行。

對於捷運路廊沿線主要道路，藉由車道路型調整增加人行空間，或透過交通管理避免汽機車佔據人行道，來使行人得以安全便

利的步行至捷運站。而對於地區主要連結場站之通勤通學路徑缺乏足夠之公有人行道空間，則考量人行與自行車通行等空間需求，透過規範兩側開發基地留設騎樓或人行道空間，如圖7所示。

5. 策略五、優化轉乘連接設計，提升場站進出與轉乘便利性

捷運出入口設置區位需更加精細考量未來場站周邊居民主要出入動線，以便有效服務多數的地居居民及捷運使用者。改善轉乘設施的位置和數量，增進最後一哩路的快



圖 7 人本魅力街道環境設計策略

捷轉乘便利性。另捷運黃線沿線人居密集，500公尺範圍內居住人口達20,000人以上場站達13站場站，具有大量人口服務需求，並不亞於捷運紅線與橘線等重運量路線。未來隨市民使用捷運服務成熟，流通人口增加，將會具有增設出入口之需求，故場站設計上需設計可敲除牆板供未來增設出入口預留工程界面，以供後續增設土地開發出入口擴充提升進出站便利性，如圖8。

(三) 小結

1. 捷運黃線TOD策略的設計原則

以前揭所示的捷運黃線TOD發展策略構想，由捷運黃線、輕軌環狀線的雙環為基礎，加強東西向都市交通廊帶的連結，並藉由公私部門合作，以策略性場站形塑節點HUB，促使高雄市都市發展再結構。從大眾運輸捷運本業的服務提升、公辦聯合開發招商、與私地主合作土地開發使場站更高效住商、休憩、娛樂、照護等混和使用，結合便捷的轉乘環境及人本充滿趣味、魅力的步行環境，輔以增加公共共享綠色運具，達成老、中、青年人輕鬆移動的運具選擇，緊密地與市民社區生活連結。



圖 8 場站周邊規劃良好的轉乘接駁環境

在捷運周邊減少私運具的停車位，轉變為共享運具停車位，減低市民使用私運具所帶來的公共利益負擔。捷運場站周邊鼓勵大眾運輸使用，折減法定停車位數量的設置，如台北市信義計畫區都市計畫中規定板南線通車實設車位降至法定停車85%，而於信義線通車，形成雙捷運服務後降至70%，而臺北市TOD制度與南港通盤檢討亦具有降低法定停車位數量之規範，限制住宅區停車位設置不超過法停等法令措施，引導市民選擇更便利便宜的公共運輸。

三、捷運黃線場站 TOD 地區計畫

捷運重點場站地區計畫研擬之目的，是

為因應各場站地區之發展條件與環境特性，研擬地區之空間發展計畫，來引導各場站地區朝向大眾運輸導向型態發展，並作為未來地區都市計畫檢討變更與訂定都市設計原則之參考。為提供專業者與民眾簡明清晰的指引，地區計畫研擬內容應包含：

1. 場站區位與發展目標，針對場站發展區位條件賦予定位與目標
2. 場站地區TOD發展特性，概述場站周邊地區環境與發展概況
3. TOD地區都市機能引導、人本街道環境營造、地區交通管理及轉乘環境規劃等面向提出發展構想概述

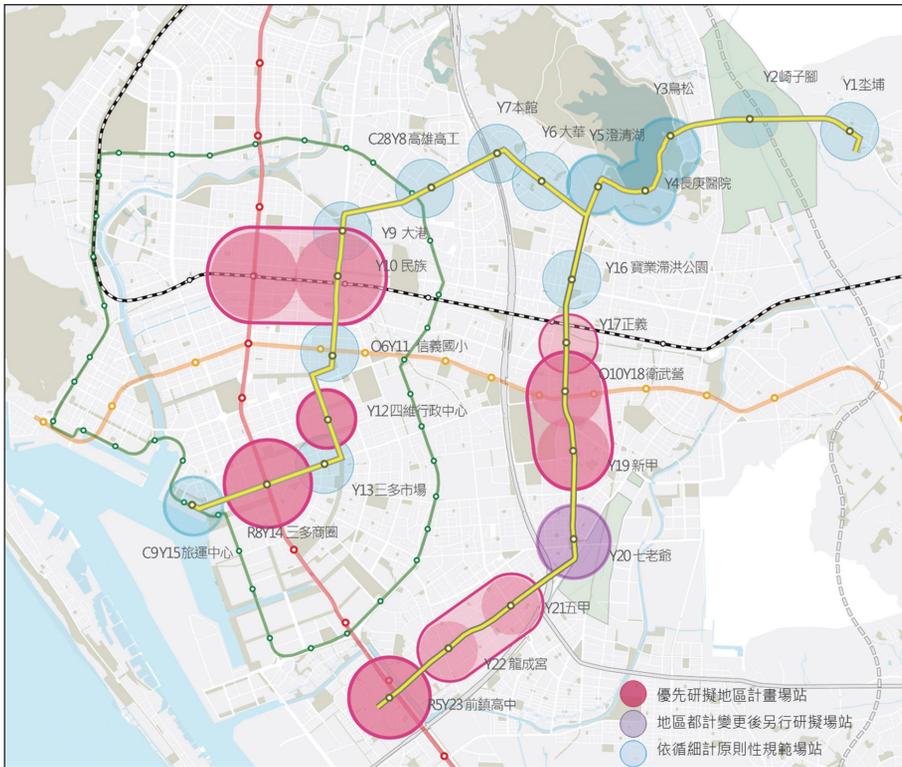


圖 9 捷運黃線重點場站地區計畫突顯環境特質

來作為後續推動各場站地區朝向 TOD 發展規劃及區內基地開發之指導，高雄捷運黃線於市中心重點場站 TOD 地區計畫分類，如圖 9 所示。

(一) 地區 TOD 發展構想研擬

地區 TOD 發展構想內容係從 TOD 規劃所著重的 3D+T：高密度 (Density)、混合使用 (Diversity)、都市設計 (Design) 及良好大眾運輸條件 (Transit) 等原則出發，並從公

共環境－私人開發基地思考，就地區人本街道環境營造、大眾運輸轉乘環境整備、地區都市機能引導及交通管理策略等面向提出發展構想概述。各面向重點內容包含：

1. 地區人本街道環境營造
2. 大眾運輸轉乘環境整備，擴大場站服務範疇
3. 土地利用與都市機能引導，回應城市空間與產業發展佈局
4. 地區交通管理策略



圖 10 捷運黃線 Y10 站 - 高雄車站地區計畫環境特質

(二) 市中心場站 - Y10 民族站地區計畫

捷運黃線行經高雄市市中心與外圍地區，場站地區從土地使用條件與現況發展上差異極大，於地區計畫研擬上，需要因地制宜有不同的著重點。因此本節將優先以 Y10 民族站進行 TOD 地區計畫分析模擬與示範操作，以作為後續市中心 HUB 場站之操作參考。

1. Y10 站區位與 TOD 發展願景

Y10 民族站於 TOD 發展策略上應站在整個車站地區復興的高度，併同高雄車站發展連動思考，透過地區 TOD 發展引導，能將高雄車站至民族站間的地區整體發展能量提升，串聯成為大範圍的商業街區，促使地區

朝向舊城重要的門戶商務 HUB/商業消費發展核心願景發展（詳圖 10）。

2. Y10 民族站地區 TOD 發展策略構想

鐵路騰空後之綠園道為地區東西向之重要綠廊與開放空間，其設計上應於捷運出入口及重要節點處創造供民眾遮陽避雨停留、活動的空間，搭配街道家具，並且加強綠化以提供連續的遮蔭。

因應高雄的氣候特質，綠園道南北兩側開發用地應規範退縮增加人行空間與種植行道樹，擴大園道綠意，並且提供民眾連結高雄車站與科工館間舒適的人行空間，以強化地區東西向的流動，並提升地區休閒觀光能量。



圖 11 捷運黃線 Y10 站 - 高雄車站地區計畫定位為門戶行政商務 HUB

民族路橋橋下灰空間低矮陰暗、阻隔性強，橋下空間應加以改造，配合景觀美化與增加照明設計具有指引路線帶來安全感，同時也有助於削弱上方厚重橋樑帶給人的壓迫感，並且透過空間規畫引入都市或社區活動的可能，讓橋下空間不再是都市的背面而是串聯都市空間的廊帶。

地區南北向串連周邊學校或都市活動據點之街道，應引導退縮留設人行空間形成具良好步行品質的通廊，吸引建國路、九如路的人潮向內流動，同時也將綠園道的綠意向外延伸。沿街留設騎樓及人行道，且道路兩側之建築地面層沿街地面層應作為商業或公共性使用，來強化南北向的連結（詳圖11）。

（三）外圍場站 -Y17 正義站 TOD 地區計畫

外圍場站普遍因其地區環境及場站定位

的關係，與市中心發展條件迥異，本計畫擇定Y17正義站進行TOD地區計畫分析模擬與示範操作，以作為後續外圍區域、鄰里性場站之操作參考。

1. Y17站區位與TOD發展願景

此區具備鮮明的行政與文教機能，加上Y17民族站與臺鐵民族站在此交會，以及綠園道完成後所形成良好的都市公共環境，提升地區再生的誘因。因此應結合 TOD計畫與都市更新推動，進一步優化地區人本步行與空間環境品質，並透過開發引導於場站周邊補充地區日常生活消費與公共服務機能，成為社區生活核心，形塑宜居、樂活的居住生活環境（詳圖12）。

2. Y17正義站地區TOD發展策略構想

臺鐵正義站至澄清路間的綠園道應透過設計創造供民眾停留、活動的廣場空間，搭配街道家具，並且加強綠化以提供連續的遮



點HUB，促使高雄市都市發展再結構。加強大眾運輸捷運本業的服務提升、加強公辦聯合開發招商、與私地主合作土地開發使場站更高效住商、休憩、娛樂、照護等混和使用，結合便捷的轉乘環境及人本充滿趣味、魅力的步行環境，輔以增加公共共享綠色運具，達成老、中、青年人輕鬆移動的運具選擇，加強緊密地與市民社區生活連結。

另從減法引進的觀點，在捷運周邊減少私運具的停車位，轉變成引進共享運具停車位，減低市民使用私運具所帶來的公共利益負擔。捷運場站周邊鼓勵大眾運輸使用，折減法定停車位數量的設置，如台北市信義計畫區都市計畫中規定板南線通車實設車位降至法定停車85%，而於信義線通車，形成雙捷運服務後降至70%，而臺北市TOD制度與南港通盤檢討亦具有降低法定停車位數量之規範，限制住宅區停車位設置不超過法停等法令措施，引導市民選擇更便利便宜的公共運輸。

以TOD戰略訂定高雄市總體規劃後，進行捷運黃線兩種區位車站之都市計畫階段細部計畫前導之地區型計畫，得出Y10民族站發展定位為區域門戶行政商務HUB，而Y17正義站發展定位是青年宜居鄰里生活中心，並建議透過TOD策略的加減法則搭配適宜的政策手段，提供後續都市計畫層級檢討變更之依據，並落實到都市設計原則乃至於細部設計階段的落實，最終達成高雄市民生

活與大眾運輸密不可分的永續人本都市發展目標。

參考文獻

1. 高雄市政府都市發展局，「捷運黃線沿線都市發展及TOD戰略總體更新規劃案」，2022年9月。
2. 臺北市政府都市發展局，「臺北市大眾運輸導向都市發展（TOD）專區」，available on web: <https://www.udd.gov.taipei/events/f3gxcu9-15932>.
3. 財團法人都市更新研究發展基金會，「TOD・都市更新與容積獎勵」，2008年9月12日。available on web: <https://www.ur.org.tw/mynews/view/414>
4. SU Shiliang, ZHAO Chong, LI Bozhao, KANG Mengjun, "Transit Oriented Development (TOD): A Review", April. 1, 2022.
5. 王佳儀，「基於TOD理論的北京地鐵站域綜合體外部空間研究」，北京建築大學碩士學位論文，2021年6月。
6. 周婷，「深圳市地鐵站點片區TOD規劃編制策略研究」，深圳大學碩士學位論文，2019年6月。
7. Anna Ibraeva et al., "Transit-oriented development: A review of research achievements and challenges", 18 November 2019.
8. Yudi Liu, Nabamita Nath, Akito Murayama, Rikutaromanabe, "Transit-oriented development with urban sprawl? Four phases of urban growth and policy intervention in Tokyo", The University of Tokyo, Japan, 13 November 2021.

捷運深開挖自動化之發展

中興工程顧問股份有限公司軌道二部工程師 / 謝君毅
中興工程顧問股份有限公司軌道二部組長 / 張正憲
中興工程顧問股份有限公司軌道二部技術經理 / 曾紀緯
中興工程顧問股份有限公司軌道二部協理 / 賴建名

關鍵字：捷運工程、深開挖設計、自動化設計

摘要

國內捷運工程已發展三十餘年，隨著第一批專業人才功成身退，如何有效傳承設計經驗為一項重要課題，且傳統設計流程耗時費力，成果品質管控不易，亦需要創新精進的作為以面對數位轉型趨勢之挑戰。本文說明傳統深開挖設計流程及過去經驗遇到問題，如何透過開發深開挖設計自動化平台一一突破及解決。

中興工程顧問公司（以下簡稱中興公司）自2016年開始啟動捷運設計數位轉型，從使用者角度出發，思考傳統設計作業遭遇之困難，於2019年開發完成深開挖設計自動化。透過開發設計自動化網頁平台，整合各項Excel工作表、連動地工分析軟體，自動迭

代計算將分析結果上傳更新於網頁平台，提升設計效率及品質，並於平台資料庫上有系統性的保存與傳承設計資料與經驗。

過去人工利用施工端監測值回饋至設計端，而後有中興社研發之最佳化程序及類神經網路預測後續施工階段壁體變形量，然目前中興公司正研發施工階段設計參數回饋自動化程式，預期連結設計及施工平台，自動回饋相關參數，並預測施工階段壁體變形量。

一、前言

中興公司過往執行捷運大地工程深開挖設計作業流程時，工程師需使用數個不同的Excel工作表進行設計、檢核，流程耗時費



力，人工且重複性作業繁多，出錯不易檢查，且各工程師使用之Excel工作表版本可能未更新或遭修改，造成成果品質不易管控。而於施工階段需查閱施工紀錄表單，比對設計成果與施工監測值，並依據監測成果回饋反算調整設計參數。

中興公司於2016年啟動捷運設計數位轉型，提供使用者友善的視窗化網頁平台，整合設計、分析與檢核介面，統一設計流程與工具，並可協助設計參數檢核，降低人為錯誤。中興公司亦將自動化迭代程式寫入平台，透過程式自行運算取得最佳化結果，取代過往人工反覆運算分析再調整設計成果之重複性作業，提升設計效率及品質。

二、傳統深開挖設計作業流程

中興公司傳統捷運大地工程深開挖設計作業流程如圖1，深開挖分析步驟包含訂定地工參數（地層參數、地下水條件等）、擋土壁穩定性檢核（內擠、隆起、砂湧、上舉等）、開挖工序設定、分階降水及水壓力設

定、擋土壁體與支撐系統力學分析、支撐系統材料應力檢核（支撐、圍令、中間樁）及擋土壁體配筋設計檢核（垂直主筋、剪力筋、水平筋），以上分析檢核流程各自有其對應之Excel工作表，大多數表單以儲存格參照及Excel VBA巨集等半自動化方式連結，透過Excel VBA巨集產生RIDO軟體之輸入檔以及擷取分析完成輸出檔之各階變位與支撐軸力，但包括地工參數輸入、RIDO軟體分析、支撐系統材料應力檢核之設計軸力輸入、擋土壁彎矩剪力及其配筋之包絡線圖繪製等仍有多處須手動操作的部分。此外，設計流程中間尚有穿插兩個軟體程式的使用，用於內擠檢核的Inward程式係是中興公司自行研發撰寫，而擋土壁體與支撐系統力學分析採用之RIDO軟體則是商程式，工程師需熟稔設計分析流程及其對應之工作表單與軟體程式依序操作。

在深開挖設計作業過程中，工程師首先以補充地質調查成果相關鑽孔資料訂定簡化地層、地下水位及其地工參數，輸入在對應之Excel工作表內，後續與地工參數相關運

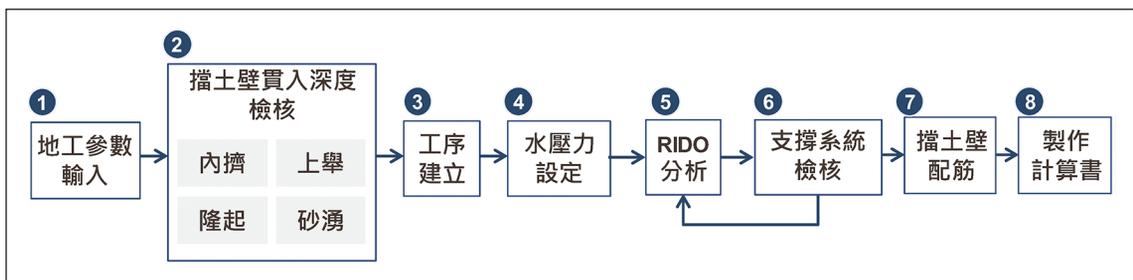


圖1 傳統深開挖設計流程



算會依公式連結自動抓取儲存格數值。接著依開挖深度、地下結構物之頂、底板及樓板位置初步規劃開挖工序，並按照內政部營建署於2001年頒布之「建築物基礎構造設計規範」進行開挖面穩定分析，包含了內擠、

隆起、砂湧及上舉等四項檢核，其中內擠檢核以Inward程式分析（圖2），以計算符合規範要求之擋土壁最小貫入深度，隆起檢核在Excel工作表內以VBA巨集運算及產製剖面圖（圖3），砂湧檢核及上舉檢核則在Excel工作

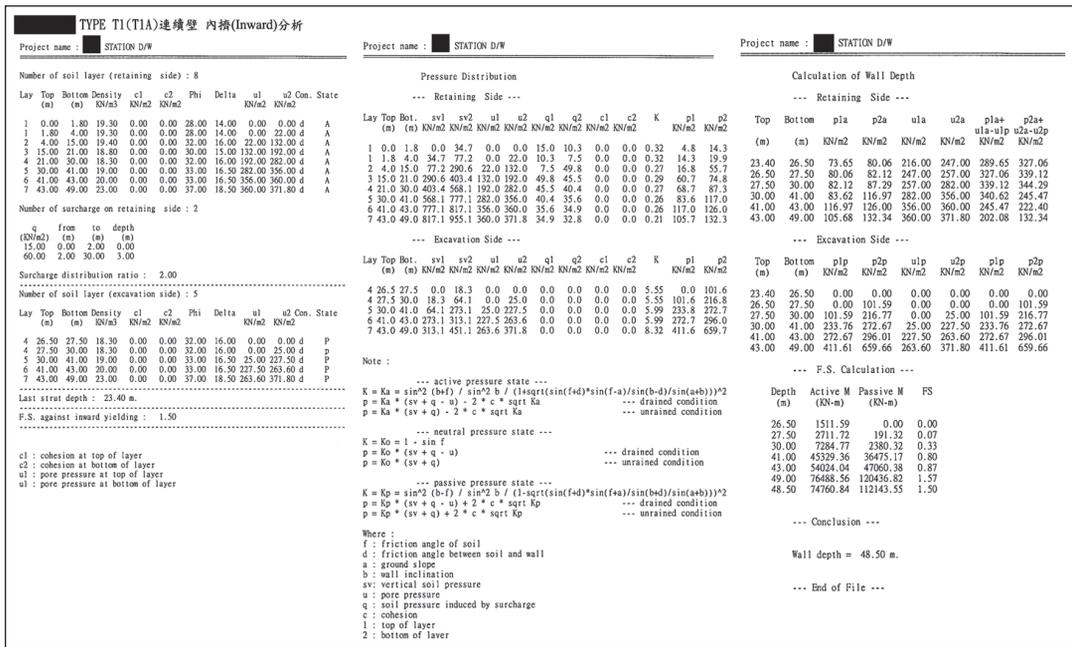


圖 2 以 Inward 程式進行內擠檢核

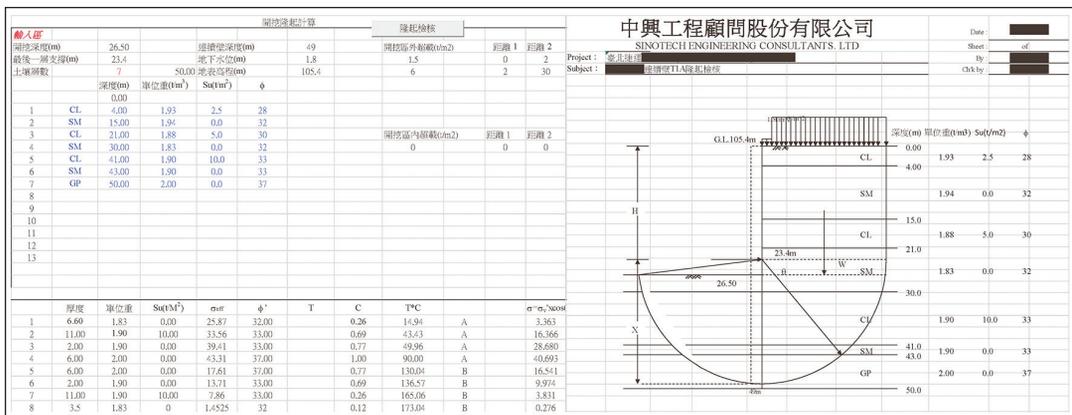


圖 3 隆起檢核及產製剖面圖



入檔，將輸入檔以RIDO軟體進行支撐系統力學分析，軟體分析結果之輸出檔可藉由Excel工作表VBA巨集擷取各階變位與支撐軸力，工程師再將分析結果（支撐軸力）輸入支撐檢核及圍令檢核之Excel工作表進行支撐系統檢核，並視分析檢核結果判斷是否達到設計需求，或須調整支撐尺寸及預力後再次運算，為符合支撐預力比之設計準則規定、型鋼材料強度檢核符合安全需求以及型鋼尺寸之經濟性考量，工程師常需人工針對支撐預力及型鋼尺寸反覆進行修正，以達設計成果最佳化之目標，其過程相當耗時費工。

以上檢核作業完成後方可進行擋土壁體配筋，此時要先將RIDO軟體分析結果產出之

EVP檔貼附於Excel工作表內，透過Excel繪圖功能產出擋土壁深度範圍依開挖工序分析之彎矩圖及剪力圖，工程師依據擋土壁受力需求進行擋土壁垂直主筋及剪力筋之分段配置，其設計成果彙整及展現於擋土壁彎矩剪力及其配筋之包絡線圖（圖6及圖7）。於深開挖設計完成後將各Excel工作表之列印頁面依序產製及彙整成計算書，至此方完成地下結構物數種擋土壁型式之一的設計作業。

中興工程顧問股份有限公司 SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.		Date: [redacted]
Project: 臺北捷運		Sheet: [redacted]
Subject: 連續壁Type-D鋼筋設計		By: [redacted]
		Chk by: [redacted]
1. 設計參數		
連續壁厚 (t)	= 1.2 m	受力狀態
混凝土強度 f_c	= 280 kg/cm ²	I
鋼筋強度 ($\phi \geq D19$) f_s	= 4200 kg/cm ²	
鋼筋強度 ($\phi < D19$) f_s	= 4200 kg/cm ²	
+M max from RIDO (0-11m)	= 98.2 (t-m)	(擋土側)
+M max from RIDO (11-27m)	= 240.8 (t-m)	
+M max from RIDO (27-49m)	= 124.5 (t-m)	
-M max from RIDO (0-16m)	= 120.8 (t-m)	(開挖側)
-M max from RIDO (16-30m)	= 266.7 (t-m)	
-M max from RIDO (30-49m)	= 50.8 (t-m)	
V max from RIDO(0-12m)	= 64.9 (t-m)	V max from RIDO(0-5m) 26.5
V max from RIDO(12-30m)	= 165.9 (t-m)	V max from RIDO(48-49m) 19.0
V max from RIDO(30-49m)	= 44.1 (t-m)	
撓曲係數 ϕ	= 0.9	
剪力係數 ϕ	= 0.85	常時 載重因子(P): 1.7
載重減小係數 (ORF)	= 1.2	常時 CRF=1.2
2. 垂直筋設計		
$m = f_s / (0.85 \times f_c)$	= 17.647	
最大鋼筋比 ρ_{max}	= $0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times f_c / f_s \times 6100 / (6100 + f_s)$	= 0.02139
最小鋼筋比 ρ_{min}	= $14 / f_s$	= 0.00333
2.1 擋土側垂直筋設計		
+M max from RIDO (0-11m)		
+M _{max} = +M _{max} / ORF	= 81.80 (t-m)	
M _u = 1.7 (+M _{max})	= 139.06 (t-m)	
Ty Reinforcing Steel	D 32	
d = (3d/9) - 10.0 (Bar Dia / 2)	= 108.40 (cm)	
$R_u = M_u / (b \times d^2)$	= 13.15	
$\rho_{req} = 1/m (1 - \sqrt{1 - 2R_u / f_c})$	= 0.0032	
所需垂直筋比 < 最小鋼筋比，故採用最小鋼筋比 = 0.00333		
A _s = $\rho_{req} \times b \times d$	= 36.097 (cm ²)	
採用 D 32	根	15 (cm)
- D	根	
D32@15cm D 根 cm A _s	= 54.43 (cm ²)	$\rho = 0.0050 <$ 最大鋼筋比, 'CK
a = $A_s f_s / (0.85 f_c b)$	= 9.61 (cm)	$>$ 最小鋼筋比, 'CK
M _u = $\phi f_s A_s (d - a/2)$	= 213.16 (t-m)	A _s (act) = A _s (req) O.K
M _u / 1.7 x ORF	= 150.47 (t-m)	

圖 6 擋土壁配筋檢核

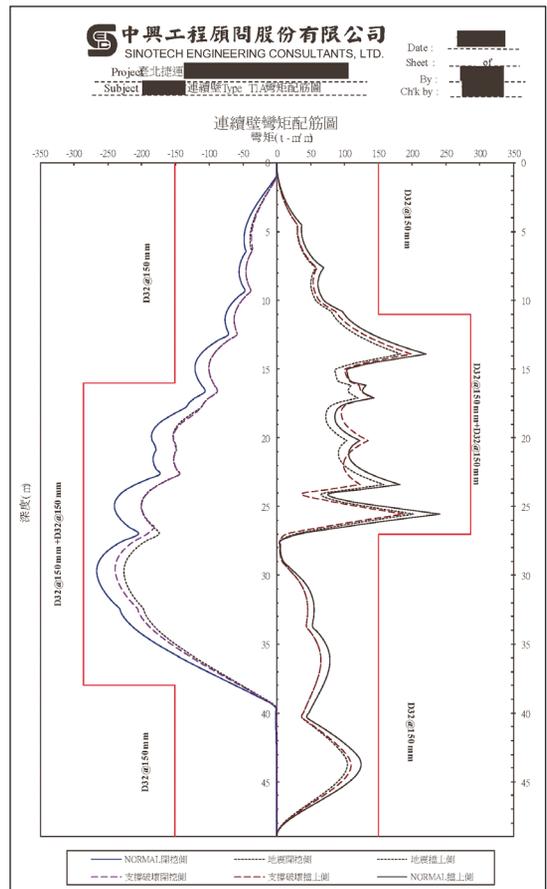


圖 7 擋土壁配筋包絡線圖



依據過去經驗，曾在設計階段時遇到下列問題：(1)為因應不同主管機關設計準則規定差異或Excel版本升級而更新修正VBA巨集，工程師未確認所使用之Excel工作表是否為最新版，造成設計成果品質不易管控；(2)數個Excel工作表中均需輸入相同數值，如支撐檢核及圍令檢核均需輸入RIDO軟體分析結果之支撐軸力，若未達設計需求而須調整支撐尺寸及預力後反覆運算，每次重新分析後之支撐軸力亦需同步更改支撐檢核及圍令檢核Excel工作表內容，作業效率低又相當耗時；(3)在前項反覆運算的過程中，產生大量過程中檔案不易管理，亦可能因反覆又繁複的人工作業造成錯誤而不自知；(4)設計成果檔案分散於紙本文件、公用硬碟或各工程師電腦，難以彙整及回饋應用予後續施工階段或其他設計計畫。

三、深開挖設計自動化內容

為優化及提升深開挖設計之效率與品質，解決過去設計階段遭遇之各項問題，中興公司從使用者角度出發，導入自動化設計流程，建立深開挖自動化設計網頁平台SinoExcavation（以下簡稱SinoExcavation平

台），深開挖設計自動化作業內容主要可分為：（一）深開挖設計與分析自動化、（二）深開挖設計經驗累積與回饋，各階段主要功能說明如後（如圖8）。

（一）深開挖設計與分析自動化

1. 統一化

過去工程師需執行數個Excel工作表，因應不同主管機關設計準則規定差異或Excel版本升級使用不同版本之Excel工作表與VBA巨集，於設計流程可能未確認設計使用之Excel工作表是否為最新版，造成設計成果不一。

SinoExcavation平台將分析、檢核項目整合，彙整設計流程對應之各Excel工作表並將其寫進網頁平台，使設計流程統一且皆為最新版次，工程師可建立不同標案，並依據設計需求於一個標案下建立多個分析斷面，從平台上亦可直觀地掌握目前設計、檢核作業流程與進度，如圖9所示。

2. 平台化

過去工程師在設計檢核流程進行反覆運算，需同步修改對應之Excel工作表內容，但

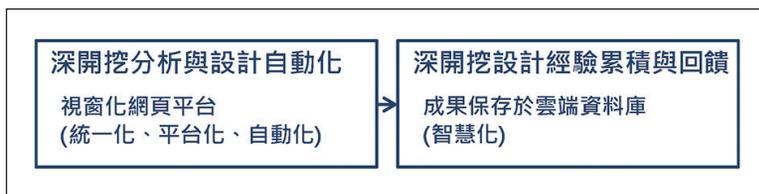


圖 8 中興公司深開挖設計自動化作業內容

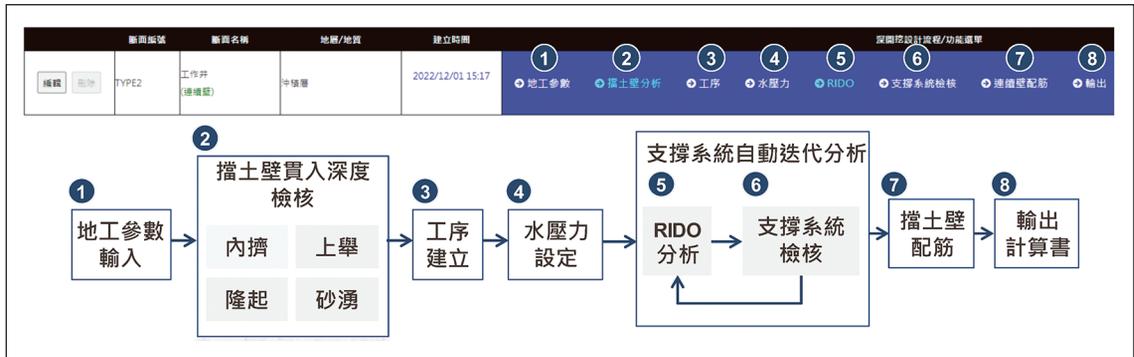


圖 9 SinoExcavation 平台深開挖設計流程



圖 10 匯入已建立斷面之參數 (土工參數、工序資料)

可能在反覆又繁雜的人工作業中造成錯誤而不自知。

SinoExcavation平台以視窗化網頁平台引導工程師進行參數輸入及分析檢核，減少重複輸入參數之繁瑣步驟，亦可透過匯入參數方式帶入其他已建立之斷面參數，可匯入參數包含土工參數、開挖工序等，節省重複輸入時間，如圖10所示。建立地層參數及地下水條件後可於平台進行擋土壁體穩定性檢核（圖11），包含內擠分析、隆起分析、上舉檢核、砂湧檢核，工程師可於平台直觀檢視

各項穩定性檢核計算過程及是否通過，若未通過除將於平台中以紅字提示外，亦將自動調整貫入深度後再進行各項分析，直至檢核完成。穩定性檢核通過即可初步訂定擋土壁體長度，於後續步驟建立開挖工序、設定分階降水之水壓力，平台依據設定之工序或數值自動繪製工序剖面圖及水壓力分布圖（圖12），並自動產出RIDO輸入檔，供RIDO軟體執行後續擋土壁體與支撐系統力學分析。

3. 自動化

過去執行擋土壁體與支撐系統力學分析



圖 11 SinoExcavation 平台擋土壁體穩定性檢核 (內擠、隆起、上舉、砂湧)

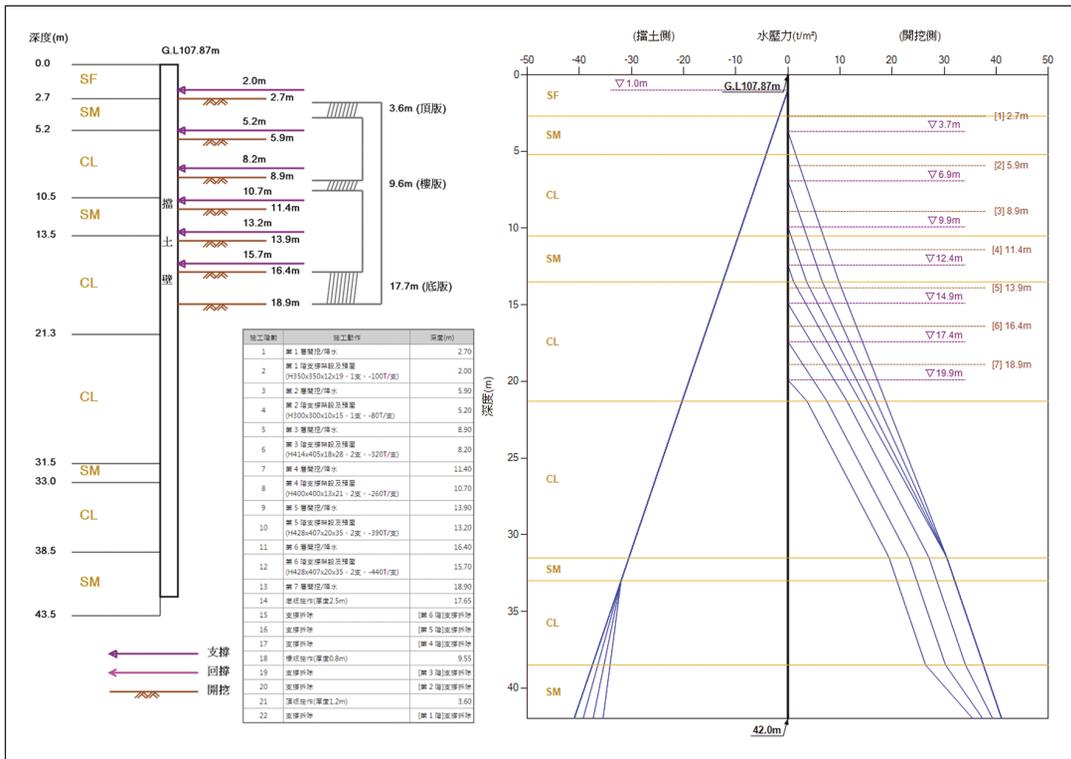


圖 12 SinoExcavation 平台建立開挖工序、設定水壓力

後，欲進行支撐檢核及圍令檢核時，需在 Excel 工作表輸入 RIDO 軟體分析結果之支撐

軸力，若未達設計需求則需調整支撐尺寸及預力後反覆運算，每次重新分析後除需人工



同步確認預力及反力比值是否符合規定外，並需更改支撐檢核及圍令檢核Excel工作表內容，相當耗時且易有人工失誤之風險。

中興公司於SinoExcavation平台上利用自行開發之WinForm介面，自動呼叫RIDO軟體重複執行迭代分析、依據設定之預力比例值自動調整修正支撐尺寸及預力，直至結果收斂，並將分析成果（最大壁體變形量、支撐軸力、擋土壁承受之剪力與彎矩等）自動更新上傳至網頁平台上（如圖13），提供工程師快速檢視結果，並可作為後續支撐檢核、圍令檢核、中間柱檢核及擋土壁體配筋使用，若支撐、圍令、中間柱檢核未通過時可自由於WinForm介面或平台上調整支撐型號或預力，再次執行迭代分析直至檢核通過（圖14）。

而RIDO軟體分析完成後，其各深度分布之彎矩、剪力值亦將自動匯入至平台中，平

台以常使用之配筋方式自動提供最佳之配筋成果，以保持一定程度之設計成果，亦可由使用者針對特殊深度或需求進行調整，以減少設計成果之差異（圖15）。

設計檢核作業完成後可於平台上選擇欲輸出項目，自動產出各項分析檢核計算書（圖16），縮減過去需從多個Excel工作表中彙整製作計畫書之作業時間。

（二）深開挖設計經驗累積與回饋

過去計畫執行完成，將設計資料掃描歸檔結案後，相關設計經驗僅能從海量之技術文獻、案例資料中搜索或由資深工程師口述傳承，不利於資淺工程師學習。

除了將設計流程統一化、平台化及自動化外，中興公司亦透過SinoExcavation平台的建立，將所有輸入參數及分析結果保存於中



圖 13 以 WinForm 介面執行 RIDO 自動迭代分析，並將成果更新於 SinoExcavation 介面



開挖断面 (TYPE1-3 | 車站主體_狀態_建物保護) | 版面總覽 | 土工參數 | 擋土壁分析 | 工序 | 水壓力 | RIDO | 支撐系統檢核 | 連續壁配筋 | 輸出

支撐設計檢核

設計軸力 = 支撐反力(由RIDO分析結果) + 溫度效應增加之軸力
 $M_x = 1/10 \times (\text{支撐自重} + \text{活載重}) \times L^2$
 工作載重 = 設計軸力 / 支撐水平間距
 $F_y = 2500(\text{kg/cm}^2)$, $E_s = 2040000(\text{kg/cm}^2)$
 $L_x = 7.0(\text{m})$, $L_y = 7.0(\text{m})$, $K_x = 1.00$, $K_y = 1.00$
 $C_b = 1.00$, $C_{m_x} = 1.00$

支撐設計之溫度效應
 (1)溫度效應增加之軸力 $\Delta N = 30 \text{ t/strut}$ (第 1 支撐)
 溫度效應增加之軸力 $\Delta N = 18 \text{ t/strut}$ (其他支撐/圍樑)

使用(1)計算溫度效應增加之軸力 ΔN

(2)溫度效應增加之軸力(t)

$$\Delta N = \frac{K_E \cdot A_K \cdot E_K \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot L}{K_E \cdot L + 2 \cdot E_K \cdot A_K}$$
 其中, K_E = 水平支撐勁度(t/m)
 A_K = 水平支撐斷面積(m²)
 E_K = 水平支撐彈性係數(T/m²) = 20400000
 α = 水平支撐熱膨脹係數(°C⁻¹) = 0.000012
 Δt = 溫度變化(°C) = 15
 L = 支撐長度(m) = 28.3

使用(2)計算溫度效應增加之軸力 ΔN

(3)使用者自定義

(一)一般狀態支撐檢核 支撐型別自動選擇

編號	支數	型鋼型號	支撐長度(m)	無支撐長度(m)	K_E (t/m)	支撐反力(t)	ΔN (t)	設計軸力(t)	支撐自重(t/m)	V(t)	Mx(t-m)	預力(t)	預力百分比(%)
編輯	1	H350x350x12x19	28.3	7	17547	133.76	30.00	163.76	0.137	0.830	1.16	100	75%
編輯	2	H300x300x10x15	28.3	7	12088	98.82	18.00	116.82	0.094	0.679	0.95	80	81%

圖 14 SinoExcavation 平台支撐系統檢核 (水平支撐、圍令、中間柱)

開挖断面 (TYPE1-3 | 車站主體_狀態_建物保護) | 版面總覽 | 土工參數 | 擋土壁分析 | 工序 | 水壓力 | RIDO | 支撐系統檢核 | 連續壁配筋 | 輸出

擋土壁垂直筋設計

+新增

擋土側:

編號	刪除	開始深度	結束深度	M max	垂直筋設計	M design
編輯	刪除	0	6	64.51	D32 @ 15 (cm)	148.23
編輯	刪除	6	38	199.85	D32 @ 15 (cm) + D29 @ 15 (cm)	252.09
編輯	刪除	38	42	55.44	D32 @ 15 (cm)	148.23

開挖側:

編號	刪除	開始深度	結束深度	M max	垂直筋設計	M design
編輯	刪除	0	6	38.73	D32 @ 15 (cm)	148.23
編輯	刪除	6	38	244.68	D32 @ 15 (cm) + D29 @ 15 (cm)	252.09
編輯	刪除	38	42	0.00	D32 @ 15 (cm)	148.23

自動配筋 設計檢核

◆ 垂直筋設計檢核

$m = f_y / (0.85 \times f_c) = 23.529$
 最大鋼筋比 $\rho_{max} = 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times f_c' / f_y \times 6120 / (6120 + f_y) = 0.01607$
 最小鋼筋比 $\rho_{min} = 14 / f_y = 0.00333$

• [擋土側] 深度 0m ~ 6m
 +Mmax = +M max from RIDO / ORF = 53.76 (t-m)
 Mu = 1.7 (+Mmax) = 91.39 (t-m)

[設計參數]

擋土壁厚度(m)	1.2
混凝土強度 f_c' (kg/cm ²)	210
鋼筋強度($\geq D19$) f_y (kg/cm ²)	4200
鋼筋強度($< D19$) f_y (kg/cm ²)	4200
鋼筋層厚度d'(cm)	10
擋土筋設計 ϕ	0.9
動重活/係數(ORF)	1.2
動重因子(F)	1.7
彎矩區X軸最大值(t-m/m)	

[鋼筋表]

鋼筋編號	單位重(kg/m)	直徑(mm)	斷面積(cm ²)	周長(cm)
D19	2.24	19.1	2.85	6
D22	3.05	22.2	3.88	7
D25	3.98	25.4	5.07	8
D29	5.06	28.7	6.45	9
D32	6.41	32.2	8.17	10
D36	7.91	35.8	10.08	11.3
D39	9.57	39.4	12.2	12.4
D43	11.4	43	14.52	13.5
D50	15.5	50.2	19.76	15.8

圖 15 SinoExcavation 平台鋼筋設計 (垂直、水平、剪力)



圖 16 SinoExcavation 平台輸出各項分析檢核計算書

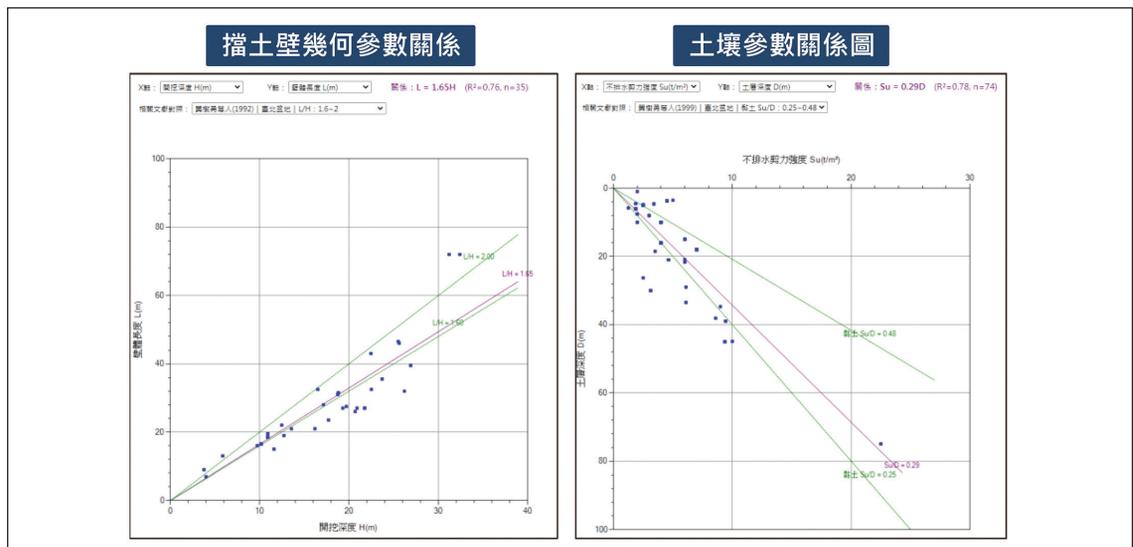


圖 17 設計參數累積與回饋 (如開挖深度、壁體長度、剪力強度等)

與公司雲端資料庫中，透過設計案例參數的累積，可將數據資料反饋給使用者。未來執行計畫時，工程師可進入平台查閱過去其他計畫之設計參數，或依據工程場址或文獻經驗快速篩選相關參數（如圖17），作為設計參考。

四、施工監測壁體變形量回饋及預測

(一) 以深開挖施工訊息化系統預測施工監測壁體變形量

為避免工程災害發生，需依據設計階段



分析之最大壁體變形量及位置訂定安全管理值，並於施工階段監測擋土壁體變形量，如發生較大之非預期變形量時，需採取必要之補強措施。

過去中興公司以人工比對設計壁體變形量及監測壁體變形量，調整設計地層參數以求符合現場工地情形。而後使用中興社研發之深開挖施工訊息化系統，依據施工階段之監測變形資料，考量壁體厚度、開挖深度、樓板勁度、支撐勁度及地層參數等，透過最佳化模式及類神經網路，運算出符合監測壁體變形量之地層參數，並預測下一階開挖之壁體變形量（如圖18），據此計算可能之地表沉陷，提供施工單位作為安全評估之依據，此系統架構共分為五個模組：

1. RIDO：

以視窗化界面引導使用者建立RIDO輸入檔，並可即時將輸出檔內數值繪製成曲線，

如壁體深度—位移曲線、壁體深度—彎矩曲線，方便使用者檢視。

2. RIDO反算：

透過最佳化模式對地層參數進行運算，以最佳化後的參數利用RIDO程式進行反算，得到符合監測數值之地層參數，據此預測下一階開挖之壁體變形量。

3. ANN預測：

包含學習及預測兩項功能，將過去深開挖監測資料輸入資料庫，透過類神經網路進行學習，並預測下一階開挖之壁體變形量。

4. 安全管理：

根據壁體變形量檢核壁體應力、基地周遭地表沉陷、鄰房傾度是否超過安全值。

5. 監測資訊：

匯入現場監測資料轉換成系統可讀取

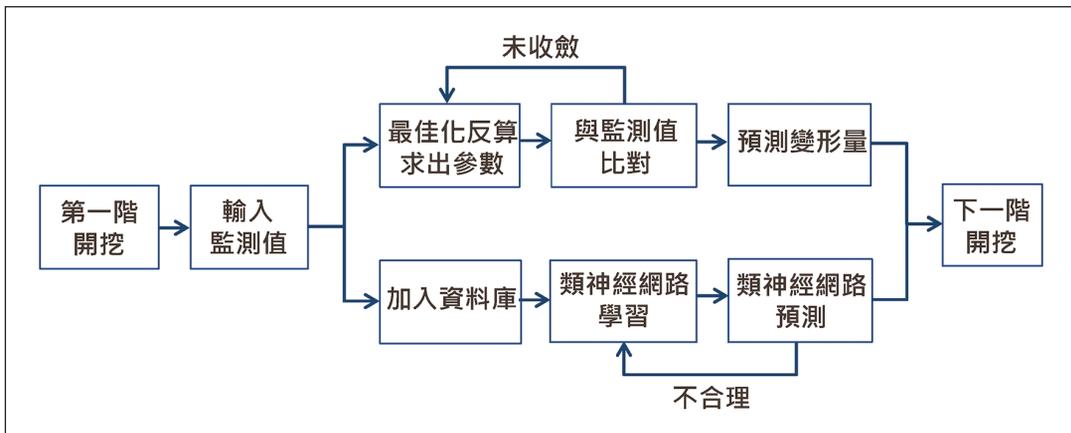


圖 18 中興社深開挖施工訊息化系統運算流程（最佳化模式、類神經網路）

格式，供RIDO反算及ANN預測兩個模組使用。

(二) 連結設計及施工平台，以自動反算程式將施工監測壁體變形量回饋至設計參數

中興公司現正開發施工階段設計參數回饋自動化程式，流程如圖19所示。預期將設計平台及施工平台連結，分別以設計階段之地層參數及支撐系統為基準，開發兩種回饋方式，其一於開挖階段將設計階段之地質

分層更加細分縮小參數影響範圍，設定分析變形量與監測變形量之目標差距（例如小於10%）、欲回饋之施工階段、各地層最小 K_h 值，依據設計平台之分析壁體變形量及施工平台之監測壁體變形量，透過中興公司自行開發之WinForm介面比對兩者最大變形量、發生深度及曲線趨勢，針對差距較大處程式自動調整地層參數之 K_h 值，並呼叫RIDO軟體分析產出調整參數後之壁體變形量。程式透過持續比對及呼叫RIDO軟體進行迭代分析，直至兩者之最大變形量、發生深度差距符合目標需求（圖20），得到符合監測壁體

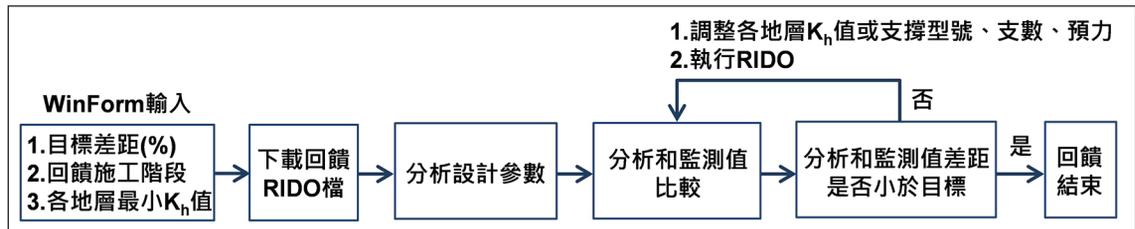


圖 19 中興公司開發施工階段設計參數回饋自動化程式流程

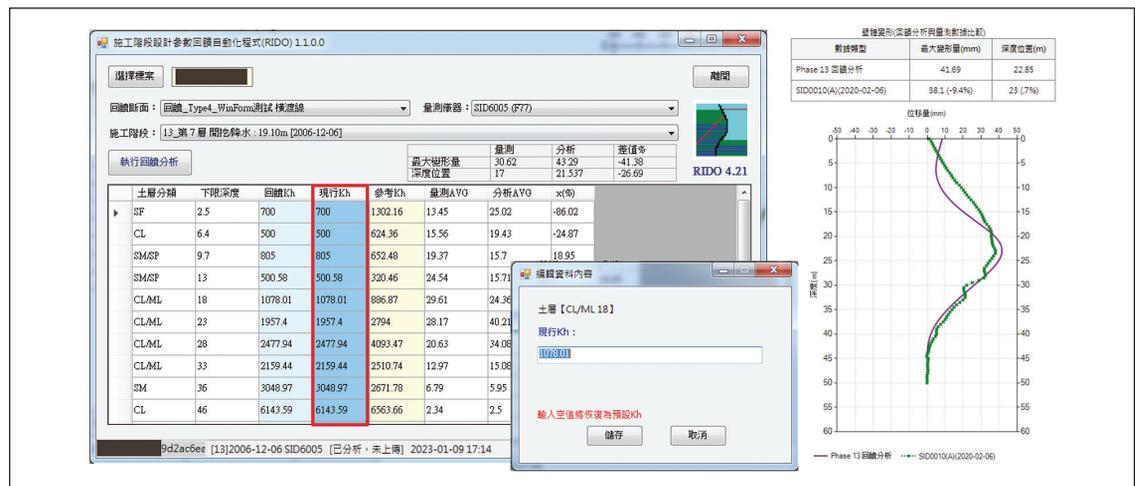


圖 20 以 WinForm 介面調整地層 K_h 值，使壁體最大變形量及發生深度接近實際監測值



變形量之地層參數，並可利用調整後之地層參數直接預測下一階開挖之壁體變形量。其二於架設支撐階段不調整地層Kh值，改為調整各階支撐型號、支數、預力，分析步驟與前述相同，直至分析值與監測值之最大變形量、發生深度之差距符合預定目標值。

五、結論與建議

中興公司透過制定深開挖設計自動化作業流程，建置SinoExcavation網頁平台，將設計作業流程統一化、平台化、自動化及智慧化，整合各項Excel工作表、於平台進行各項分析檢核作業、利用WinForm程式連動分析軟體進行自動迭代分析、由平台自動輸出各項計算書等，節省過去繁複之人工設計作業時間及減少重複性作業產生之錯誤，讓整體設計作業流程更有效率、更可掌握設計品質。

於設計階段，中興公司之深開挖設計自動化平台已取代傳統設計作業方式，並已於數個細部設計案例中實際執行，工程師可節省大量分析、檢核時間，來進行更細部的研析與討論，而設計新手亦可透過網頁平台快速上手深開挖設計作業，且所有設計經驗、設計參數皆儲存於平台資料庫中，可提供未來的使用者參考，或進行後續之應用。

於施工階段，中興公司開發施工階段設計參數回饋自動化程式，透過程式比對施工監測值與設計變形量，自動迭代反算回饋及

調整地層參數或支撐型號、支數、預力，使設計參數更接近實際工址情況，並能預測後續施工階段變形量，除於施工階段可進一步反饋支撐配置外，亦能於未來鄰近基地或類似地層中回饋地層參數，使設計成果更符合實際情形，達到精進設計之目標。

參考文獻

1. 內政部營建署，「建築物基礎構造設計規範」，內政部營建署，臺北，2001。
2. 臺北市政府捷運工程局，「臺北都會區大眾捷運系統土木工程設計準則」，臺北市政府捷運工程局，中文版第02版，2019。
3. 洪晨瑋、張正憲、賴建名、嚴世傑、柳儒錚、謝尚賢，「設計流程自動化平台之開發：以捷運深開挖工程為例」，中國土木工程學刊，第五期，第三十二卷，P.463-P.469，2020。
4. 張正憲、洪晨瑋、賴建名，「深開挖設計自動化及自動建置BIM輔助設計模型」，電子計算機於土木工程應用研討會論文集，臺北，2019。
5. 林承翰、張正憲、賴建名，「大地工程設計的自動化發展」，土工技術，第166期，P.93-97，2020。
6. 張正憲、林承翰、洪晨瑋、賴建名、嚴世傑、柳儒錚、謝尚賢，「BIM輔助設計-捷運深開挖與潛盾隧道工程」，中興工程50周年特刊，2020。
7. 張正憲、劉執敏、曾紀緯、賴建名，「深開挖分析自動化與施工監測平台之結合與運用」，第十九屆大地工程學術研討會暨科技部成果發表會（Geotech 2022）論文集，新北，2021。
8. 謝旭昇、程日晟、蔡宗鎧、楊明洲，「連續壁設計分析之實務考慮」，土工技術，第53期，P.35-P.44，1996。
9. 洪世勳、冀樹勇、陳錦清，「深開挖施工訊息化系統」，第9屆大地工程學術研討會論文集，桃園，2001。
10. 詹君治、冀樹勇、陳錦清，「類神經網路於深開挖壁體變形之預測」，中興工程，第六十九期，P.21-P.38，2000。
11. Ou, C. Y., Hsieh, P. G., and Chiou, D. C. "Characteristics of ground surface settlement during excavation." Canadian Geotechnical Journal, Vol. 30, No. 5, 758-767, 1993



探討工程採購契約範本之法律概念

中興工程顧問股份有限公司工程師 / 許建裕
中興工程顧問股份有限公司技術經理 / 莊志維

關鍵字：工程採購契約、調解、仲裁、訴訟、履約爭議

摘要

行政院公共工程委員會（以下簡稱工程會）依政府採購法（以下簡稱採購法）第63條第1項規定，各類採購契約以採用主管機關（工程會）訂定之範本為原則，工程採購契約範本乃依法訂定，並作為政府機關（以下簡稱機關）辦理公共工程採購案訂定工程契約之參考範本，即機關原則上在辦理工程採購案所訂定之工程契約須將該範本奉為遵循圭臬。其目的應係為避免各機關自訂工程採購契約內容南轅北轍，當得標廠商對各機關辦理採購之工程標案所採用之契約條文諸多不同，機關與廠商間對於契約條文解釋可能無所適從，工程會日後在機關與廠商履約階段時，恐將飽受雙方對於契約條文請求工程會協助釋疑之苦，並可能因契約解釋仍有所爭議致機關與廠商須申請履約爭議調解、仲裁、訴訟案件必定持續增多，實非機關與

廠商所願樂見。基此，工程會訂定工程採購契約範本以作為機關與廠商間執行公共工程之規劃、設計、施工、監造或專案管理履約之參考依據，得讓工程契約條文統一，機關得按個案酌以增訂或修改範本條文內容，原則上各機關援用工程會所訂定之範本係屬有據，機關對於契約條文若有所疑義，可透過工程會之函釋作為各機關執行契約之依據，較無爭議。

然而，機關與廠商在履約過程中對於契約條文解釋居於己身較為不利情形下，此時常各執己見且以對己身有利之解釋，主要原因在於執行契約者並未真正熟稔工程契約條文之真意，尤以最常見履約爭議議題應屬廠商未能如期完工，由於廠商難以提出佐證資料，或佐證資料難以證明與展延工期有相當因果關係，或對於廠商所提展延工期理由在契約解釋上雙方有所分歧，機關為避免同意



廠商展延工期而觸法，而廠商本於逾期罰款係依工程契約總價比例為其罰則依據，處罰至最高上限之罰款相當可觀，堅持主張不可歸責廠商拒絕機關處以逾期罰款，雙方只能走入履約爭議一途。身為機關公務人員因未能瞭解契約條文真意，執行契約條文沒有把握，亦深怕引用錯誤日後恐遭受舉發致檢調偵查並落入圖利廠商之虞，為了明哲保身，則要求廠商依循調解、仲裁、訴訟等相關程序，只要前揭程序得到調解建議、仲裁判斷、法院判決之最終結果，機關將有所據並可安心同意廠商之請求，避免後續遭受追究行政或刑事責任，此乃因雙方對於工程契約條文解釋常未深入瞭解其真意，不細釋契約條文作為履約依據，卻以增加勞力、時間、費用之履約爭議方式作為收尾，甚為可惜。

揆諸工程會訂定之工程採購契約範本條文相當清楚且容易理解，惟部分條文內容係參酌民法承攬章節等相關條文所訂定，本文主要目的係說明工程採購契約範本部分條文內容涉及法律概念，可讓未接觸過法律之機關採購人員或廠商先進能真正瞭解工程會訂定該法律條文之原委與其目的，讓機關與廠商雙方在履約過程執行工程契約時減少履約爭議，得讓工程順利完工，創造雙方共贏目標。

一、前言

我國為了建立政府採購公平、公正、公開的透明程序，提升採購效率與功能，期能

確保採購品質，並可作為政府機關、公立學校、公營事業或受政府機關補助一定金額之法人或團體等相關單位辦理採購得以遵循之基準，遂於民國（以下省略民國）87年5月1日制定政府採購法（以下簡稱採購法），並於同年5月27日公布，於公布1年後施行至今，歷經6次修正，近期一次於108年4月30日修正，並於同年5月22日公布[1]。機關與廠商於招標、開標、審標及決標階段係屬公法關係，廠商若對前揭階段有所異議，須採申訴程序，如訴願與行政訴訟等公法程序；決標後之訂約、履約、驗收及保固，機關與廠商間訂定之契約則屬私法關係，若有爭議須採履約爭議，如調解、仲裁、民事訴訟等私法程序。雙方在履約過程必須遵守所簽定之契約內容，為了避免機關訂定之工程採購契約不夠完備或有所遺漏，及為減少不公平與不合理之契約條文致機關與廠商間產生履約爭議，工程會於100年1月28日以工程企字第10000040880號函釋各機關，要求主辦機關辦理採購時，以採用主管機關工程會所訂定的範本為原則，與廠商簽訂工程採購契約，實務上採購機關以工程會訂定的「工程採購契約範本」，作為與廠商簽定之採購契約[2]。

工程會訂定諸多採購契約範本，當機關訂定採購契約時，以採用工程會訂頒之採購契約範本為原則，並得按實際個案需求作必要之範本相關條文內容修正。基於工程採購契約範本部分條文內文係參酌民法法律相



關條文所訂定，尤以民法承攬章節（參照第490條至514條）為主要參酌依據，本文對於範本條文內文引用法律條文之法律概念及其真意加以探討，輔以淺顯易懂例子加以說明，盼機關與廠商雙方更能掌握工程採購契約範本條文之真意，在履約過程中機關與廠商得據以執行，減少履約爭議，避免雙方走入徒增浪費勞力、時間、費用之訴訟程序，早日解決爭議，遠離訟爭。

二、工程採購契約範本概述

採購法第63條於100年1月10日修正規定：「各類採購契約以採用主管機關訂定之範本為原則，其要項及內容由主管機關參考國際及國內慣例定之。」從而，機關辦理公共工程採購案時，必將工程會訂定之工程採購契約範本奉為圭臬。工程會在訂定工程採購契約範本後，歷經30餘次精進修正，最近一次修正於111年4月29日，範本訂定共計23條契約條文，以作為招標機關及得標廠商雙方同意共同遵守之工程契約準則。

按中央法規標準法第8條第1項前段規定：「法規條文應分條書寫，冠以「第某條」字樣，並得分為項、款、目。」，是以，依中央法規標準法條文編排次序應為「條」、「項」、「款」、「目」。而工程會工程採購契約範本內文之編排，則非依據中央法規標準法之規定編排，其排列方式則為「條」、「款」、「目」、「子目」，例如第5條、第

（二）款、第3目、第（4）子目。藉由以上簡略概述，讓工程先進瞭解工程採購契約條文之編排方式，讓機關與廠商間雙方對於條文內文能順利溝通。

三、契約範本條文之法律概念

諸多工程先進對於法律基本概念未能深入，當解讀工程採購契約範本條文時，遇到有關法律部分僅能藉由網路搜尋或依個人主觀臆測恣意解釋條文，如條文中包含質權、所失利益、瑕疵預防請求權、區分解除契約與終止契約等涉及法律概念可能一知半解，除難以說服廠商，亦讓本可立即處理之爭議，瞬時讓爭議擴大而最終須進入浪費勞力時間成本費用之法院訴訟，未能把握黃金時段解決問題，實屬可惜。工程採購契約範本共計訂定23條契約條文，筆者依工程採購契約範本條文排序逐一檢視涉及有關民法相關法律條文約計9條（類似或重複部分不計），針對該9條加以說明其法律概念，說明過程將機關與廠商直接涵攝於工程採購契約範本與民法法律條文中，並輔以實例，期能以淺顯易懂方式讓工程先進瞭解契約條文涉及法律之概念，若對於筆者淺見有所疏漏或錯誤，盼請工程先進不吝指正，以利修正。

（一）第1條 契約文件及效力

條文第（七）款：「契約所定事項如有違反法令或無法執行之部分，該部分無效。」



但除去該部分，契約亦可成立者，不影響其他部分之有效性。該無效之部分，機關及廠商必要時得依契約原定目的變更之。」本款係參酌民法第111條所訂定，該條文明定：「法律行為之一部分無效者，全部皆為無效。但除去該部分亦可成立者，則其他部分，仍為有效。」其立法理由略以：「法律行為，係屬一體，一部無效，全部亦當然無效。然除無效之一部分外，而法律行為仍成立者，則其他部分，仍屬有效，如是，斯能符當事人之意思。」

本工程契約範本條文之意旨係指在工程契約約定事項若有違反法令規定，或可能自始無法執行之約定，該約定係屬無效，倘將該無效部分除去，契約還是可以執行，則該可執行部分之約定仍屬有效。為避免讓契約動則無效，法律行為儘量讓其有效之前提下，條文後段可透過機關及廠商按契約原訂定之目的協商予以變更，讓其有效。舉例說明，工程契約條文中約定機關與廠商簽定契約10天內須交付廠商倉庫及工地，以利後續廠商置放機具與施工，但交付前夕倉庫卻因地震而倒塌或火災而滅失，構成自始客觀不能（自始客觀不能，指該不能係任何人皆無法完成之情形，如任何人無法摘除天上星星）情事，即該標的物倉庫已在交付前滅失，交付倉庫係屬機關契約責任，故以交付倉庫契約約定之該約定自始無效，但本於誠實信用原則[3]，機關與廠商將交付倉庫之約定除去後，交付土地部分仍然為有效之約

定。從而，為讓機關與廠商間所訂定之契約條文儘量有效，而非輕易使其無效，故將一部無效之約定除去後，其他為有效契約則可繼續執行。若經機關與廠商按原訂定該契約條文目的進行協商加以變更，如交付前倘倉庫因不可抗力因素滅失，致廠商無法置放機具與施工，則機關須另外提供其他地點以供廠商置放使用，讓無效部分透過變更使其有效。

（二）第4條 契約價金之調整

條文第（一）款：「驗收結果與規定不符，而不妨礙安全及使用需求，亦無減少通常效用或契約預定效用，經機關檢討不必拆換、更換或拆換、更換確有困難者，得於必要時減價收受。」本款係參考採購法第72條第2項前段之規定：「驗收結果與規定不符，而不妨礙安全及使用需求，亦無減少通常效用或契約預定效用，經機關檢討不必拆換或拆換確有困難者，得於必要時減價收受。」，而採購法第72條第2項係參酌民法承攬章節第492條規定：「承攬人完成工作，應使其具備約定之品質及無減少或滅失價值或不適於通常或約定使用之瑕疵。」及第494條前段規定：「承攬人不於前條第一項所定期限內修補瑕疵，或依前條第三項之規定拒絕修補或其瑕疵不能修補者，定作人得解除契約或請求減少報酬。」故採購法減價收受應係參考民法之減少報酬法律概念制定，工程採購契約範本再參考採購法訂定之。



本契約條文主要意旨在於廠商須依照施工規範與圖說完成不具瑕疵之工程項目，倘有瑕疵當應在一定期間內完成修補，惟瑕疵可能難以改善或雖可改善但須花費甚鉅之金額與改善後的價值不符比例原則，在不妨礙安全及使用需求，亦無減少通常效用或契約預定效用，經機關檢討不必拆換、更換或拆換、更換確有困難者，得於必要時減價收受，惟查核金額以上之採購，應先報經上級機關核准。

機關辦理採購驗收的過程，經常因為少數工項具有缺失仍待改善，而影響整體驗收作業，造成近乎完成的工程或設備，儘管缺失不妨礙安全及使用需求，亦無減少通常效用或契約預定效用，致因尚未完成驗收，只能任其工程或設備閒置，無法立即使用，或以先行使用致衍生履約爭議，廠商無法請求應得契約價金，民眾亦無法享用已經幾乎完工獨缺臨門一腳的工程或設備，對機關、廠商、民眾，均屬不利[4]。

本工程採購契約範本機關得行使減價收受之契約約定規範，減價收受只適用於驗收程序，初驗程序不適用；檢討「無減少通常效用或契約預定效用」確係兩者擇一；驗收程序確認無法改善才適用採購法第72條規定[5]；機關裁量權，無須廠商同意[6]；工程價目表若無相關工項資料得以扣款，則計算減價金額可參考採購法施行細則第98條第2項規定：「機關依本法第72條第2項辦理減

價收受，其減價計算方式，依契約規定。契約未規定者，得就不符項目，依契約價金、市價、額外費用、所受損害或懲罰性違約金等，計算減價金額。」所列項目係為機關就工作不符項目辦理減價收受時，如契約未約定減價之計算方式，則以「不符部分」工作之契約價金、市價或因此所產生額外費用或損害（如僱工代辦費用）之金額等作為減價之計算。

在「不符項目」係工程具體工項（如：混凝土澆置或鋼筋綁紮工作）時，減價計算項目較易主張與舉證，即契約尚未約定「混凝土澆置或鋼筋綁紮」之契約價金時，可調查市價（如廠商報價、機關詢價、參考他標工程或公共工程價格資料庫之價格等）以審酌「不符項目」工作之價格。涉及未達契約約定部分，並無相對應工項之契約價金，亦非通常工程具體工作項目，故並無他標工程價目表或公共工程資料庫所列價格可供參考，得爰以廠商曾提出進行修繕作業之報價作為市價之主張。

另就「額外費用」或「所受損害」，係指機關因「不符項目」而支出或受有損失之項目與金額，本於「有損害斯有賠償」之法理，「額外費用」與「所受損害」均應實際發生始得據以請求，且請求權人負有證明「額外費用」之支出或「所受損害」之金額與「不符項目」間具相當因果關係之責任。在爭訟實務上廠商施工瑕疵或未達契約要求



時，機關可得主張與舉證之「額外費用」或「所受損害」通常為另行代僱工修繕不符項目之費用。

「懲罰性違約金」計算減價金額部分，可按工程價目表所列相關單價比例（尺寸不合規定時）、或工料差額（工料不合規定時）之約定倍數（如5倍）處罰懲罰性違約金，直至該項工料費扣完為止。懲罰性違約金之規定倘無工程價目表對應之扣款項目，即難以適用該規定計算懲罰性違約金為減價之計算。

舉遊輪船速未達契約規範瑕疵之臺灣高雄地方法院101年度重訴字第372號判決作為減價收受說明案例。本案例係廠商承攬遊輪工程，業主對該遊輪將作為觀光載客使用，遊輪雖有船速未達契約規範瑕疵，然此瑕疵之產生並非完全可歸責於廠商。業主選擇甲、乙、丙線之任何路線作為營運航線，該船速未達契約規範瑕疵，均應不影響以遊輪進行觀光載客之需求，且無妨礙安全之虞，而仍具備通常（平時12節/時）或契約預定效用（最快可達14節/時），足認該項瑕疵之存在實際上並非甚為重要。業主若要求廠商仍須將已安裝完成之900匹馬力主機拆卸重新安裝1,000至1,100匹馬力之主機，以求達到最大船速14節/時，則勢必耗費龐大成本及時間進行諸多繁瑣工程，法院堪認拆換主機於實際上確有困難。參照民法第494條後段（定作人得解除契約或請求減少報酬（減價收受）及

政府採購法第72條第2項前段等規定），於此情形，若得逕行解除契約實有失衡平，法院認為業主不得以此作為解除契約之事由，而僅得請求減價收受。本於造船工程之目的、造船工程慣例及營運範圍與條件等因素，法院審認廠商所完成之新建造船工作固有未達契約文件明定之船速需求，然此項瑕疵並不影響業主之採購目的與需求，法院爰認定已符合契約預定效用，否則就會繞著未符合契約預定效用打轉，難以解決此履約爭議。

（三）第5條 契約價金之給付條件

條文第（五）款：「分包契約依採購法第67條第2項報備於機關，並經廠商就分包部分設定權利質權予分包廠商者，該分包契約所載付款條件應符合前列各款規定（採購法第98條之規定除外），或與機關另行議定。」抵押權是指債權人對於債務人或者第三人不移轉占有而提供擔保的財產，在債務人不履行債務時，依法享有的就擔保的財產變價款並優先受償的權利。對於不動產權利設定擔保係以抵押權為之；而對於動產或權利設定擔保，則以質權或權利質權為之，兩者皆係來自民法之法律概念。按民法第900條規定：「稱權利質權者，謂以可讓與之債權或其他權利為標的物之質權。」故本款之權利質權係指以所有權以外具有財產權性質的民事權利為標的而設定的質權，債務人本人（廠商）或第三人（銀行）作為出質人，將該權利的憑證移交債權人（分包廠商）占有或進

行適當登記，擔保債務人債務的履行，當債務人不履行債務時，債權人有權依據規定以該權利變價所得價款優先受償的權利。採購法第67條第2項明定：「分包契約報備於採購機關，並經得標廠商就分包部分設定權利質權予分包廠商者，民法第513條之抵押權及第816條因添附而生之請求權，及於得標廠商對於機關之價金或報酬請求權。」

未接觸民法物權編相關法律，恐對本款之條文內容甚難理解其條文意義及如何操作，遑論再探究民法第513條之抵押權及第816條有關添附不當得利之請求權法律規定，恐更甚難理解。輔以實例說明，讓工程先進較能理解本條文之真意及其操作方式。例如甲廠商得標承攬某公共工程標案，連續壁工程施工非契約約定之主要部分，甲廠商得將連續壁施工分包給A分包廠商，甲廠商並無違法轉包情事，分包契約報備機關並經核准後，為避免甲廠商於履約過程中萬一財務發生問題致而破產倒閉（是否惡意在所不問）無法繼續承攬得標工程，致無法向機關請領工程款額，因而A分包廠商可能同時難以自甲廠商獲取其連續壁施作之工程款額，為避免此情事發生，契約條文約定，甲廠商則為出質人，須視A分包廠商為質權人，將A分包廠商協助甲廠商施作連續壁工程得以取得該工程款請求權（即A分包廠商對於甲廠商之債權）設定權利質權，當甲廠商發生前述破產倒閉等不利情事時，A分包廠商可直接向機關請領應給付甲廠商連續壁施工部分之工

程款額，從而得以保障A分包廠商之權利。

工程會於96年11月28日以工程企字第09600467210號函釋說明「有關分包廠商依政府採購法第67條第2項規定行使權利質權之執行疑義」，得標廠商就分包部分設定權利質權予分包廠商，並將分包契約報備於採購機關，嗣後如因得標廠商倒閉、他遷不明等情況失聯，致無法取得其統一發票供機關辦理核銷者，其屬應由分包廠商領受之款項，得由採購機關出具足資確認分包廠商得行使權利質權之金額及行使範圍之證明，交由分包廠商持憑向得標廠商所在地國稅局申請核發營業稅核定稅額繳款書，持向公庫繳納，並作為機關支出之憑證，係對分包廠商之保障作為。

（四）第9條 施工管理

條文第（十七）款：「機關於廠商履約中，若可預見其履約瑕疵，或其有其他違反契約之情事者，得通知廠商限期改善。」及第（十八）款：「廠商不於前款期限內，依照改善或履行者，機關得採行下列措施：1. 自行或使第三人改善或繼續其工作，其費用由廠商負擔。2. 終止或解除契約，並得請求損害賠償。3. 通知廠商暫停履約。」

依民法第497條規定：「工作進行中，因承攬人之過失，顯可預見工作有瑕疵或有其他違反契約之情事者，定作人得定相當期



限，請求承攬人改善其工作或依約履行。承攬人不於前項期限內，依照改善或履行者，定作人得使第三人改善或繼續其工作，其危險及費用，均由承攬人負擔。」另依民法第495條明文：「因可歸責於承攬人之事由，致工作發生瑕疵者，定作人除依前二條之規定，請求修補或解除契約，或請求減少報酬外，並得請求損害賠償。前項情形，所承攬之工作為建築物或其他土地上之工作物，而其瑕疵重大致不能達使用之目的者，定作人得解除契約。」顯見工程採購契約範本第（十七）款及第（十八）款係參酌民法承攬章節第497條及第495條之條文訂定。民法第497條之立法理由係屬定作人（機關）對承攬人（廠商）之瑕疵預防請求權，當機關於廠商施工過程中顯見施工瑕疵或未依照施工規範或圖說施工作業，再持續施工將讓瑕疵擴大且無實益，此時機關通知廠商並定相當期限改善瑕疵，若廠商不在機關要求期限內完成改善，機關則可採自行或僱工代辦改善瑕疵並進行後續施工，該施工風險及費用則須由廠商負擔，廠商若拒絕支付改善費用，機關自可由應給付廠商工程估驗款或繳交之履約保證金中扣除；機關除可請求廠商限期改善，當廠商不依期限內改善，機關亦可請求解除契約或減少工程費用，若未改善瑕疵致機關造成損害，機關並可要求廠商負損害賠償責任。

以臺灣高等法院97年度建上易字第9號民事判決為例，某工程於廠商施作過程中，

因工地附近房屋地層下陷，致該等房屋發生傾斜、龜裂等損鄰事故。該事故之發生係因可歸責於廠商事由，然機關已命令廠商停工後，既未曾催告廠商繼續施工或定相當期限請求廠商改善瑕疵，亦未曾表示解除或終止契約，此為機關所自認，則機關依雙方契約之約定，自仍負有將該工程交由廠商繼續施作之義務。惟該工程已由機關另行發包A公司施作完成，機關顯已無法依約將該工程交由廠商繼續施作，是以，廠商主張機關有終止契約之事由，而以書狀向機關為終止契約之意思表示，自屬有據，該契約應自廠商書狀送達機關之日即發生終止之效力。本判決說明可歸責於廠商施工顯而易見之瑕疵，機關非僅便宜行事請求廠商停工，而未以書面催告通知廠商限期改善，也未曾表示與廠商解除或終止契約，逕行僱工代辦將該工程另行發包A公司施作完成；因廠商未接獲機關通知改善，機關自行僱工代辦完成該工程，致廠商已無法再依約辦理工程瑕疵改善及進行後續工程作業，讓廠商得以終止工程契約。據此，因可歸責於廠商施工有瑕疵，當機關已書面通知廠商限期改善該瑕疵，廠商則未按期改善瑕疵，則機關自當得以擇一行使請求廠商修補瑕疵、或解除工程契約，或請求廠商減少工程費用外，亦得再請求致機關損害之賠償。例如廠商承攬橋梁公共工程，於施工過程中廠商於建築橋梁時偷工減料，或施工時未盡到注意義務造成橋梁橋面板龜裂，瑕疵係可歸責廠商之事由所產生，機關除可請求廠商修補瑕疵、減少價金或解



除契約之外，同時也能向廠商請求機關遭受之損害賠償。舉例說明機關所遭受之損害賠償，如機關可能因為廠商施工不良造成橋梁橋面板龜裂，汽機車行駛經過該龜裂橋面產生輪胎跳動或打滑，造成汽機車發生意外，除爆胎或打滑，甚至汽機車發生車禍衝撞路人，導致汽機車爆胎之財產與路人人身健康遭受損害，機關因而遭受用路人請求損害賠償，該損害賠償係因可歸責於廠商所致，則機關可請求廠商須賠償該損害。

但據民法第495條第2項條文規定，縱因可歸責廠商之事由致有瑕疵時，機關仍不得解除契約。係因廠商所承攬的工作若為建築物、橋梁等重要地上結構物，當機關可行始解除契約請求權，則依法（民法第213條第1項得以參照）須回復原狀，但建築物如為大樓，機關得解除契約時，廠商則須拆除回復原狀，實有害公共利益不符比例原則。故法律規定除非瑕疵相當重大致不能達到使用目的時，非不得已始可主張解除契約。例如，廠商利用海砂為建材建築房屋，海砂嚴重腐蝕鋼筋，該房屋成為海砂屋致有倒塌之虞，或採輻射鋼筋為材料建築房屋，造成房屋輻射量過大而危害人體身體健康，皆無法達到居住使用目的，若不可解除契約對於機關即顯失公平，且有礙社會公益[7]。民法第495條之規定實有兼顧機關與廠商之權益及維護社會公益，故原則上重大公共工程僅能以終止契約為原則，解除契約為例外。「終止契約」或「解除契約」，在法律效力上是有所

差別，「終止契約」僅於終止後契約向後失效，終止前的已履行之契約仍為有效，機關仍負給付報酬等義務；而「解除契約」則溯及自始失效，機關不負給付報酬等義務。

析言之，契約解除後，契約所生之工程尚未履行，僅該工程消滅無須施作而已，業已施工完成部分，該受領給付之一方應向他方返還給付，以回復未訂約以前之原狀，故「解除」權之行使較適用一時性之契約，例如土地買賣，解除契約後，一方返還土地，他方返還價金。工程契約屬繼續性契約，當契約之「終止」乃使契約向後歸於消滅之行為，換言之，工程契約因機關行使終止權，廠商終止前已完成的施工，機關須給付廠商工程款額，終止後須完成之施工部分，廠商已因契約終止無須再行履約未完成之工項，機關亦無給付廠商工程款額之義務。

（五）第 11 條 工程品管

條文第（十）款：「對於依採購法第70條規定設立之工程施工查核小組查核結果，廠商品質缺失懲罰性違約金之基準如下：」。依民法第250條第1條規定：「當事人得約定債務人於債務不履行時，應支付違約金。」；次依同條第2項前段規定：「違約金，除當事人另有訂定外，視為因不履行而生損害之賠償總額。」末依同條第2項後段規定：「其約定如債務人不於適當時期（即給付遲延）或不依適當方法履行債務（即不完全給



付)時,即須支付違約金者,債權人除得請求履行債務外,違約金視為因不於適當時期或不依適當方法履行債務所生損害之賠償總額。」稱「違約金」謂當事人為確保債務之履行,約定債務人於債務不履行時應支付債權人之一定金額[8]。換言之,機關為確保廠商能夠依約履行承攬工程工作,倘廠商不依約完成時,廠商需要支付機關契約約定之金額。

違約金之類型可分為「損害賠償總額預定違約金」(民法第250條第2項前段)及「懲罰性違約金」(民法第250條第2項後段)[9]。最高法院83年度台上字第2879號民事判決之裁判要旨謂:「按民法第二百五十條就違約金之性質,區分為損害賠償預定性質之違約金,及懲罰性違約金,前者乃將債務不履行債務人應賠償之數額予以約定,亦即一旦有債務不履行情事發生,債務人即不待舉證證明其所受損害係因債務不履行所致及損害額之多寡,均得按約定違約金請求債務人支付,此種違約金於債權人無損害時,不能請求。後者之違約金係以強制債務之履行為目的,確保債權效力所定之強制罰,故如債務人未依債之關係所定之債務履行時,債權人無論損害有無,皆得請求,且如有損害時,除懲罰性違約金,更得請求其他損害賠償。」

「損害賠償總額預定違約金」與「懲罰性違約金」二者性質及效力各自不同。「損

害賠償總額預定違約金」係指以違約金作為債務不履行所生損害之損害賠償總額,當承攬廠商一旦發生不履行承攬工程之契約責任,機關毋庸舉證證明其係因債務不履行所致及損害額之大小,得直接請求廠商按事先契約約定之違約金支付,機關所受之損害即使超過違約金之數額,因已約定損害賠償總額預定違約金,故機關只能請求廠商支付該預定違約金,不得再依民法第226條第1項規定請求損害賠償(履行利益損害賠償)[10]。「懲罰性違約金」以強制債務之履行為目的,確保債權效力之強制罰,於債務不履行時,債權人除請求違約金外,並得請求履行債務,或不履行之損害賠償[11]。故係強迫廠商履行依照契約約定施作承攬之工程,如廠商不依約施作情事發生,機關即得按約定之違約金請求廠商支付外,並得請求廠商繼續履約完成或若不履約造成機關損失的損害賠償[12]。工程採購契約範本第(十)款之違約金性質應屬「懲罰性違約金」,故廠商經查核若有品質缺失,除須支付機關約定之懲罰性違約金之外,仍須繼續履約改善該工程瑕疵。

(六) 第 15 條 驗收

條文第(一)款:「廠商履約所供應或完成之標的,應符合契約規定,無減少或減失價值或不適於通常或約定使用之瑕疵,且為新品。」;第(十一)款:「廠商不於前款期限內改正、拒絕改正或其瑕疵不能改正,



或改正次數逾__次（由機關於招標時載明；無者免填）仍未能改正者，機關得採行下列措施之一：1.自行或使第三人改正，並得向廠商請求償還改正必要之費用。2.終止或解除契約或減少契約價金。」；第（十二）款約定：「因可歸責於廠商之事由，致履約有瑕疵者，機關除依前2款規定辦理外，並得請求損害賠償。」

依民法第492條規定：「承攬人完成工作，應使其具備約定之品質及無減少或滅失價值或不適於通常或約定使用之瑕疵。」次依民法第493條第2項規定：「承攬人不於前項期限內修補者，定作人得自行修補，並得向承攬人請求償還修補必要之費用。」未依民法第495條第1項規定：「因可歸責於承攬人之事由，致工作發生瑕疵者，定作人除依前二條之規定，請求修補或解除契約，或請求減少報酬外，並得請求損害賠償。」

本條文第（一）、（十一）及（十二）款係參照民法第492條、第493條第2項及第495條第1項規定訂定，第492條立法目的在於廠商承攬工程之義務，應與買賣物品之出賣人相同，應使所承攬施作之標的物品質、價值及使用，負瑕疵擔保之責任。而民法第493條第2項立法理由在於廠商承攬工程施作有瑕疵，機關不得遽行請求解除契約或減少工程報酬費用，應先向廠商請求修補瑕疵，當廠商不為修補瑕疵，機關自行出資修補，若不向廠商請求償還該修補費用，則對機關保護

並未完備，故賦與機關對廠商得行使償還請求權。但實務上可能遭遇雖然可歸責廠商之工作瑕疵，仍要求廠商修補，恐耗時且修補費用過鉅，遑論不能或無法修補之情形。例如房屋建築告竣，經測量房屋位置有誤，小部分因故意（故意：明知並有意使其發生）或重大過失（重大過失：顯然欠缺普通人之注意）逾越地界，若遽欲移動，與重新建築無異，仍要求廠商修補，似覺過酷[13]，依民法第493條第3項規定：「如修補所需費用過鉅者，承攬人得拒絕修補，前項規定，不適用之。」所以廠商依法得行使拒絕修補權利。

雖然廠商得主張拒絕修補權，對於機關實有所不公，按民法第494條規定：「承攬人不於前條第一項所定期限內修補瑕疵，或依前條第三項之規定拒絕修補或其瑕疵不能修補者，定作人得解除契約或請求減少報酬。但瑕疵非重要，或所承攬之工作為建築物或其他土地上之工作物者，定作人不得解除契約。」故修補瑕疵目的既不能達到，則機關得行使解除契約或減少工程費用，二者必居其一，否則機關之利益必受損害。但瑕疵甚微，或廠商所承攬之工作為建築物或其他土地上之工作物，只許請求減少工程費用，不許解除契約，以達公益。

（七）第 16 條 保固

條文第（一）款保固期之認定2.期間約



定：「(1) 非結構物由廠商保固__年(由機關於招標時載明；未載明者，為1年)；(2) 結構物，包括護岸、護坡、駁坎、排水溝、涵管、箱涵、擋土牆、防砂壩、建築物、道路、橋樑等，由廠商保固__年(由機關於招標時視個案特性載明；未載明者，為5年)。」工程自驗收結果符合施工圖說與規範及契約約定之日起算保固期限內，廠商必須對施作完成之工作物負有免費維修之契約責任，而此保固期間之年限於工程採購契約範本中之現行條文已非結構物1年；結構物5年之方式區分[14]。

為何訂定保固期限為1年及5年？依民法第498條規定：「第四百九十三條至第四百九十五條所規定作人之權利，如其瑕疵自工作交付後經過一年始發見者，不得主張。」另依第499條明定：「工作為建築物或其他土地上之工作物或為此等工作物之重大之修繕者，前條所定之期限，延為五年。」民法第493條至第495條規定機關之權利，即請求修補或自行修補請求廠商償還改善瑕疵費用、解除契約或請求減少工程費用、及請求損害賠償等權利。何謂結構物、非結構物於工程採購契約範本實未明確定義，若逕以條文文義解釋，結構物以外之定義則屬非結構物，然條文中並未指明非結構物之範圍，故實務上對於非結構物與結構物實有難以界定之模糊地帶，例如建築物之陽台、露臺及橋梁工程之人行道部分，就容易因工程中某工程項目損壞，機關要求廠商執行保固

責任，在認定保固期限即容易產生看法不一致，造成機關與廠商對於保固期限衍生爭議[15]。第498條規定係因非屬建築物或其他土地上之工作物，均以從速行使為宜，故在應行交付之工作，例如機關向廠商訂製員工制服，若其瑕疵自交付後經過一年始發現，即不得再行主張，因制服不若建築物，其使用壽命可能僅2至3年，而建築物混凝土之齡期，一般至少可達50年以上使用壽命，倘制服保固期限可約定超過1年，係屬制服瑕疵或已達使用壽命可能難以釐清致生爭議，採1年短期保固期限應屬合宜，故工程採購契約乃將非結構物保固期間訂為1年，應係參酌民法第498條之立法理由訂定。工程採購契約範本對於結構物之廠商保固期約定為5年，主要在於廠商承攬工程為建築物、道路、橋梁等土地上之工作物，使用期限壽命較長但瑕疵非短期間即可發現，實務上一般土建工程之保固期限皆訂定5年，廠商尚無異議。

保固期限採1年或5年法律有所支撐，一般機關與廠商對於該保固期限較無爭議。但按民法第501條規定：「第四百九十八條及第四百九十九條所定之期限，得以契約加長，但不得減短。」從而機關之瑕疵發現期間得因當事人之特約而延長，惟得延長若干，民法並未規定，解釋上宜認為不得超過最長消滅時效期間15年(民法第125條參照)；不得減短瑕疵發現期間之規定，民法係為禁止規定，違反減短約定則為無效(民法第七十一條參照)[16]。工程採購契約範本第(一)

款保留機關於招標時載明保固期限可超過1年及5年之裁量權，依法亦有所據，然實務上，工程採購契約範本保固期限仍以1年及5年為原則，主要規範一般承攬及土建工程，而對於機電系統工程則採2年保固期限，目前已成為實務上工程慣例。

（八）第 18 條 權利及責任

條文第（八）款：「因可歸責於一方之事由，致他方遭受損害者，一方應負賠償責任，其認定有爭議者，依照爭議處理條文辦理。

1.損害賠償之範圍，依民法第216條第1項規定，以填補他方所受損害及所失利益為限。但非因故意或重大過失所致之損害，契約雙方所負賠償責任不包括「所失利益」（得由機關於招標時勾選）。3.前目訂有損害賠償金額上限者，於法令另有規定（例如民法第227條第2項之加害給付損害賠償），或一方故意隱瞞工作之瑕疵、故意或重大過失行為，或對第三人發生侵權行為，對他方所造成之損害賠償，不受賠償金額上限之限制。」

按民法第216條規定：「損害賠償，除法律另有規定或契約另有訂定外，應以填補債權人所受損害及所失利益為限。依通常情形，或依已定之計畫、設備或其他特別情事，可得預期之利益，視為所失利益。」所謂所受損害，即現存財產因損害事實之發生而被減少，屬於「積極的損害」。所謂所失利益，即新財產之取得，因損害事實之發生

而受妨害，屬於「消極的損害」。簡單而言，「財產權」、「生命身體健康」損害即所謂的所受損害，而伴隨的經濟損失，屬於所失利益，例如計程車因他人過失被撞毀，導致司機半個月無法營業，該計程車被撞受損及司機住院療傷即財產權與健康權受到侵害之所受損害，而半個月無法營業導致營業損失則屬於所失利益。然而，所失利益範圍頗難確定，故以依通常情形或依已定之計畫、設備或其他特別情事，可得預期之利益為準，以防無益之爭議[17]。舉例說明，廠商得標機關大禮堂建築工程並業已完工，大禮堂早於預定完工後將舉辦歲末演唱會，並已向申請演唱會單位收取租金，惟演唱會前夕，發現大禮堂嚴重漏水，致機關已採購如沙發、地毯等諸多設備因漏水而泡水發霉受損，機關除可向廠商請求漏水部分之瑕疵改善外，並得向廠商請求設備因漏水受損之損害賠償，該損害賠償即所謂之財產權積極所受損害；另機關因預定於大禮堂完成後辦理演唱會，廠商早已得知，且機關已向演唱單位收取租金，卻因可歸責於廠商之情事而無法辦理演唱會，機關依約可向廠商請求該租金即為已預定之利益，即所謂之所失消極利益；反之，依同一法理可歸責於機關，如延遲交付施工場地，造成廠商無法如期完工，廠商若利益受損，機關亦須賠償廠商所受損害與所失利益。

機關亦可於工程採購契約範本勾選非因故意或重大過失所致之損害，契約雙方所負



賠償責任不包括所失利益，勾選此項目之目的在於平衡一方既非故意或重大過失，一方賠償他方僅限於實際發生之積極財產損害，且因所失利益難以估計，若要求賠償恐有過苛，為避免產生爭議，則可不計所失利益之賠償，係可由機關自行裁量，並未禁止。

依民法第227條規定：「因可歸責於債務人之事由，致為不完全給付者，債權人得依關於給付遲延或給付不能之規定行使其權利。因不完全給付而生前項以外之損害者，債權人並得請求賠償。」該漏水造成設備損害亦可歸為民法第227條第2項之加害給付損害賠償，果爾，依工程採購契約範本訂定之條文係無賠償上限。所謂加害給付係指廠商明知防水材料早已裂化，而故意隱瞞仍恣意施工，除發生漏水現象之瑕疵給付，因漏水導致設備損害即屬加害給付損害賠償，外加故意隱瞞，實不可原諒，則該賠償則無上限。再以較簡易例子說明如下，某廠商交付病蟲害喬木一批栽種於運動公園，致機關運動公園先前已栽重之其他喬灌木因受感染蟲害死亡；或機關採購機器一批，廠商未告知恣意隱瞞機關對於該機器之特殊使用方法，致機關人員因使用方法不當引起機器爆炸，傷害機關人員人身或其他財產損害，機關對於廠商自可請求損害賠償，且該賠償並無上限。

（九）第 19 條 連帶保證

條文第（一）款：「廠商如有履約進度

落後達__%（由機關於招標時載明；未載明者為5%）等情形，經機關評估並通知由連帶保證廠商履行連帶保證責任。」依民法第273條規定：「連帶債務之債權人，得對於債務人中的一人或數人或其全體，同時或先後請求全部或一部之給付。連帶債務未全部履行前，全體債務人仍負連帶責任。」

訂定本款目的係制約廠商履約進度落後達一定百分比，機關須先行評估，必要時可通知連帶保證廠商履行連帶保證責任，即廠商可能履約能力不足或財力發生問題，進而人力不足或無法給付下包廠商材料與施工費用，致進度嚴重落後，機關則可要求連帶保證廠商負起該進度落後之趨趕責任。「連帶保證」與「一般保證」主要區別在於連帶保證廠商無法主張先訴抗辯權。所謂先訴抗辯權係指保證人（連帶保證廠商）在債權人（機關）未就主債務人（廠商）之財產為強制執行而無效果之前，可拒絕債權人要求其履行保證債務之權利。故在連帶保證的情況，連帶保證廠商的地位搖身一變，與廠商一起成為連帶債務人，各自對機關有清償所有債務的責任。簡單的說，在廠商嚴重進度落後達契約約定一定程度，機關可以自由選擇先向廠商求償，同時向廠商和連帶保證廠商求償，甚至機關可不先向廠商請求，直接轉向連帶保證廠商請求趨趕進度及履行契約責任，訂定此款主要目的在避免廠商惡意不履行契約時，機關可轉向連帶保證廠商請求其履行契約，實對機關多一層保障。

四、結論與建議

工程會訂定之工程採購契約範本係提供各機關在辦理工程採購時得以據以引用之參考契約範本，所訂定條文部分內容涉及參酌民法承攬章節或相關條文，惟若無法律背景初次乍看涉及法律條文恐不甚明瞭該條文制定之目的及其真意，透過筆者之說明並輔以相關實例解說，對於條文內容應有更深切認識及瞭解該如何使用，盼機關與廠商雙方間在履約過程對於契約解釋有所共識，減少履約爭議，得讓工程順利完工，創造雙方共贏目標。

初步法律概念實有助於解讀工程採購契約範本之訂定目的與其真意，大多工程先進一開始即逕行接觸採購法及採購法相關子法，對於採購法訂定之法律目的與真意僅見樹不見林，筆者拋磚引玉建議機關與廠商雙方對於採購人員及契約工程師能加以培訓相關法律觀念，如加以培訓民法概要及該法之承攬章節工程觀念，具有初步法律概念後實對往後在解讀採購法與相關工程採購契約時亦有相當助益，盼能藉由本文激發工程先進對於工程法律概念之興趣，日後解讀涉及法律概念之工程契約，能運用自如，避免訟爭，讓工程順利進展如期如質完工。

參考文獻

1. 陳錦芳，由法院判決看透政府採購契約 - 工程採購篇，元照出版公司，109年10月，頁1。
2. 陳錦芳，由法院判決看透政府採購契約 - 工程採購

- 篇，元照出版公司，109年10月，頁7。
3. 王澤鑑，民法總則，三民書局，101年8月，頁525。
4. 謝哲勝、李金松，政府採購法實用，元照出版公司，108年7月，頁481。
5. 工程會工程企字第09600064270號函釋。
6. 工程會工程企字第10100383950號函釋。
7. 民法第495條立法理由參照。
8. 林誠二，債法總論新解體系化解說（下），瑞興圖書股份有限公司，99年3月，頁259。
9. 民法第250條第2項：「違約金，除當事人另有訂定外，視為因不履行而生損害之賠償總額。其約定如債務人不於適當時期或不依適當方法履行債務時，即須支付違約金者，債權人除得請求履行債務外，違約金視為因不於適當時期或不依適當方法履行債務所生損害之賠償總額。」
10. 林誠二，債法總論新解體系化解說（下），瑞興圖書股份有限公司，99年3月，頁261及267。
11. 最高法院100年度台上字第532號判決參照。
12. 蔡律凜，賠償總額預定性違約金及懲罰性違約金，道法法訊，109年3月號。
13. 劉春堂，民法債編各論（中），三民書局有限公司，93年3月，頁49及57。
14. 林彥妤，工程契約條款不備不明衍生爭議之探討 - 以工程採購契約範本為中心，朝陽科技大學營建工程系，碩士論文，105年7月，頁82。
15. 林彥妤，工程契約條款不備不明衍生爭議之探討 - 以工程採購契約範本為中心，朝陽科技大學營建工程系，碩士論文，105年7月，頁83。
16. 林誠二，債法總論新解體系化解說（下），瑞興圖書股份有限公司，99年3月，頁57。
17. 民法第216條立法理由參照。



捷運系統驗證與監理制度探討

台灣世曦工程顧問公司顧問 / 劉觀生
台灣世曦工程顧問公司經理 / 于新源

關鍵字：檢驗、確證、查證、符合性、評鑑、驗證、認證、獨立性、監理

一、前言

我國的捷運系統從1996年第一條木柵線通車至今，由於受限於市場規模與管理權由各縣市自治，無論是在研發製造、技術規範、驗收標準與程序、系統全生命週期的監理辦法等方面都有所不足，致令各縣市捷運專案管理做法不盡相同，複雜性與管理難度也差異甚大[1]。近期國家發展前瞻計畫將城市捷運系統列為重要發展對象，此時確有必要全面檢討、統一全國捷運系統的驗證體系與全生命週期的監理制度。

環顧全球鐵道管理體系，歐盟為了達成單一市場經濟體順利運作的目的，各成員國的客、貨運鐵道運輸都必須可以在歐洲大陸上自由跨越國界、暢行無阻，因此歐盟的鐵道標準體系就針對跨國鐵道系統制訂全方

位法令、標準、規範。在運輸服務的功能之外，鐵道系統必須同時保障乘客、員工與大眾生命財產的安全，因此要有常設性組織負責發展適用全歐盟鐵道能夠共同遵守的安全認證系統。策略是召集全歐洲鐵道行業內的參與者，包括政府交通主管部門、基礎設施建設與管理方、產品製造方、系統整合方、鐵道營運方、以及認證體系內的驗證機構等，分門別類成立委員會及工作團隊，制訂全歐洲統一的互操作性技術規範（Technical Specification for Interoperability, TSI）、共同安全目標（Common Safety Target, CST）、共同安全指標（Common Safety Indicator, CSI）、共同安全方法（Common Safety Method, CSM），圍繞這四項主題為核心，發展全歐盟統一的鐵道系統與產品技術標準、鐵道認證與安全管理體系和鐵道市場監督機制。在全球化的浪潮下，三十年來歐盟鐵道

管理體系已經成為國際間鐵道系統興建、營運與監理所普遍採用的參考依據。

我國的捷運機電系統所採用的也大多是歐盟鐵道設備，參照歐盟鐵道運輸管理系統（European Rail Traffic Management System-ERTMS）內的規範與標準的要求，因此捷運建設過程與成果的驗證及營運的監理如果能參考歐盟鐵道體系的作法，完備我國相關法規、標準、規範、管理制度與作業模式，有效落實我國的捷運系統全生命週期管理，就能加速建設腳步、節約建設成本、提高經營效益，同時促使我國鐵道產品國產化與國際化雙向同步到位，對產業經濟發展形成向上提升螺旋，因此引用歐盟鐵道管理體系作為發展我國鐵道安全認證監理制度的藍本確實具備相當的適切性與可行性。

本文以歐盟鐵道認證與驗證相關法規為參考依據，探討並建議我國捷運系統驗證與監理制度及作業模式、符合性評鑑作業流程，供業界先進同好們參考、交流。

二、關鍵名詞及說明

1. Accreditation：認證。認證機構對符合性評鑑機構展現其執行特定符合性評鑑活動中的勝任資格、公正性和運作的一致，所提供的第三方證明。
2. Accreditation Body：認證機構。對符合性評鑑機構執行認證行為的機構。
3. Attestation：證明。根據「決定」Decision發布聲明，表明已展現滿足特定要求。
4. Certification：驗證。符合性評鑑機構對符合性評鑑對象所提供相關的第三方證明，但不包括認證。
5. Claim：主張。由客戶（要求確證或/及查證之組織或個人）宣告（關於符合性評鑑進行確證與查證對象）的資訊。
6. Conformity Assessment：符合性評鑑。展現滿足合約及/或規定所要求的成果。符合性評鑑的行為包括但不限於測試、檢驗、確證、查證、驗證和認證。Conformity符合性的定義則未明確給出 [2]。
7. Conformity Assessment Body, CAB：符合性評鑑機構。執行符合性評鑑的機構，包括管理系統的稽核與驗證機構 [3]、人員資格驗證機構 [4]、產品驗證機構 [5]、檢驗機構 [6]、測試與校正實驗室 [7]、確證與查證機構 [8] 共計六類。
8. Decision：決定。根據審查（Review）的結果，已展現或未展現滿足規定要求。
9. Declaration：宣告。由第一方根據證明（Attestation）提出的符合性（自我）評



鑑證明。

10. Failure Report and Corrective Action System, FRACAS[9]：失效報告及改善行動體系。在歐盟鐵道規範 EN50126-1 所定義鐵道系統生命週期第二階段進行規劃，第七階段「製造」開始實施至第十一階段「營運、維護與性能監督」。另經查全部歐盟鐵道標準及規範，並無 DRACAS 一詞，但卻出現在許多專案文件當中，應屬誤解誤用。
11. Fault Injection：失效注入法。於製造興建成果中注入失效模式，觀察系統反應是否如設計預期。例如提供錯誤號誌訊息，觀察列車是否自動剎車。可用於技術安全測試查證或 / 及系統整合測試確證。
12. Independency：獨立性。個人或組織不受其它個人或組織控制或授權的自由，亦即符合性評鑑機構可以獨立於符合性評鑑對象的人員或組織之外。
13. Independent Safety Assessment, ISA：獨立安全評鑑。為避免所考慮的系統出現可能對安全產生不利影響的系統故障所採取的重要手段，以提供額外的信心。
14. Infrastructure：基礎設施。鐵道營運線、土地及其上全部的固定設施，包括車站、變電站、軌道、道旁號誌及設施、供電系統等，必須獲得鐵道監理機構核發的「安全授權」方得為安全營運的前提 [10]。
15. Infrastructure Manager, IM：鐵道基礎設施經理（機構）。特別負責建立和維護鐵道基礎設施或其一部分，可能包括基礎設施控制和安全系統的管理 [11]。在我國為投資興建方，同時也是資產擁有者。
16. Inspection：檢驗。檢查符合性評鑑對象並確定其是否符合詳細要求，或根據專業判斷是否符合一般要求。
17. Level Of Assurance, LOA：保證等級。在主張（Claim）中的信賴度。
18. National Safety Authority, NSA：國家安全機構 [12]，此處指鐵道安全監理機構。執行以風險為基礎的監理。
19. Object of Conformity Assessment, OCA：符合性評鑑對象。適用規定要求的實體，如產品、流程、服務、系統、安裝、專案、數據、設計、材料、主張、人員、機構或組織，或它們的任何組合。
20. Railway Undertaking, RU：鐵道機構（營運方）。此機構必須確保在牽引動力的基礎上通過鐵道提供貨物和 / 或乘客的運輸；也包括僅提供牽引力的企業 [11]。使用具有安全授權的基礎設施，擁有鐵道監理機關核發的安全證書（Safety



Certificate)、路政機關核發的有效營運許可證 (License)，負責經營鐵道運輸業務的機構。

21. Review：審查。考慮選擇和確定活動的適用性、充分性和有效性，以及這些活動的結果，與符合性評鑑對象滿足規定要求相關。
22. Requirement Capture：需求捕獲。申請人執行的要求的識別、分配、實施和驗證過程，以確保符合相關的聯盟和國家要求 [13]。需求捕獲可以整合到產品開發過程中。
23. Risk Analysis：風險分析。系統地使用可用信息來識別危害和估計風險。
24. Risk Evaluation：風險評估。基於風險分析確定是否已達到可接受的風險水平的程序。
25. Risk Assessment：風險評鑑。評鑑包括風險分析和風險評估的整個過程。
26. Safety Authority, SA：安全權責機構（鐵道監理機關）。
27. Safety Authorization：監理機關對基礎設施（新建及營運中系統）的安全授權 [11]。
28. Safety Case：安全證卷。安全證卷由結構化的安全論證文件組成，它提供了所考慮的系統如何在其要求的使用範圍內符合安全要求規定的證據。
29. Safety Certification：安全驗證。鐵道監理機關對鐵道機構（使用經安全授權的基礎系統進行營運）實施的安全驗證過程 [11]。
30. Safe Integration：安全整合。系統風險評估和風險管理過程的固有部分，也適用於每一個子系統 [14]。
31. Safety Integrity：安全完整度。安全相關系統在所有規定條件下，在規定時間內令人滿意地執行所需安全功能的可能性。
32. Safety Integrity Level, SIL：安全完整度等級。一種將安全完整度分為四個離散級別的方法。
33. Safety Management System, SMS：安全管理系統。基礎設施經理及鐵道機構皆須具備安全管理系統，是鐵道監理機關授權、驗證與監理的基礎條件 [11]。
34. Statement：聲明。對於評鑑結果的描述，包括客觀證據、證明。
35. Supervision：監理。符合性評鑑活動的系統迭代作為維持合格聲明有效性的基礎。



36. Tolerable Functional Failure Rate, TFFR：可容許功能失效率。

37. Validation：確證。通過提供已滿足特定要求的客觀證據來確認特定預期用途或應用的合理性（ISO/IEC 17000:2020 5.1）。通過提供客觀證據確認已滿足特定預期用途或應用的要求（EN50129:2017 3.1.59）。

38. Verification：查證。通過提供已滿足規定要求（ISO/IEC 17000:2020 5.1）的客觀證據來確認真實性。在開發的各個階段進行，檢查系統及其組成部分確定是否符合該階段開始時規定的要求（EN50129:2017 3.1.60）。

39. Validation/Verification, V&V：確證與查證的英文合稱。具備確證與查證兩者能力的機構可合併執行 [8][9]。「確證」註記中說明「在生命週期的第 4 階段提供的確證通常在鐵道責任持有人（基礎設施經理、鐵道機構）的範圍（針對業主需求及統包發展的需求）內，而在生命週期的第 9 階段提供的確證可以在製造商 / 供應商的範圍內。」始於確證需求，終於確證需求的滿足，期間 5 階段到第 8 階段進行的是查證，可見確證在前、查證在後的位置有其正式考量，亦符合 V 模型第 4 階段與第 9 階段的對應位置。必須特別指出，在歐盟甚至全球鐵道規範之中，並

無 I（Independent）V&V 的說法與做法規範。

40. Vertical Slicing：垂直切片法。針對個別關鍵與特定主題深入查驗。可與 Fault Injection 配合使用，增加確證與查證結論的可信程度。

三、鐵道認證制度研究

（一）歐盟鐵道認證制度

歐盟的鐵道認證制度係由其各會員國依國家主權設立認證機構，並且互相承認，具法令強制性質，效力涵蓋整個歐盟市場範圍。圖1為歐盟認證結構，說明如下：

1. 首先是建立歐盟全市場產品及服務認證的上層認證機構，由歐盟各成員國自行授權各自國內具有執行資格的認證機構（Accreditation Body, AB[15]），並相互承認，全歐盟共計 49 家合法認證機構 [16]，以確保歐盟共同體內貨物自由流通的產品為滿足公共利益、提供高水準保護的要求。
2. 執行認證業務時，認證機構（AB）依據 ISO17011 的認證作業要求 [17]，對申請執行符合性評鑑業務的符合性評鑑機構（CAB）執行認證程序。
3. 符合性評鑑機構 CAB 共分六大類（請參閱

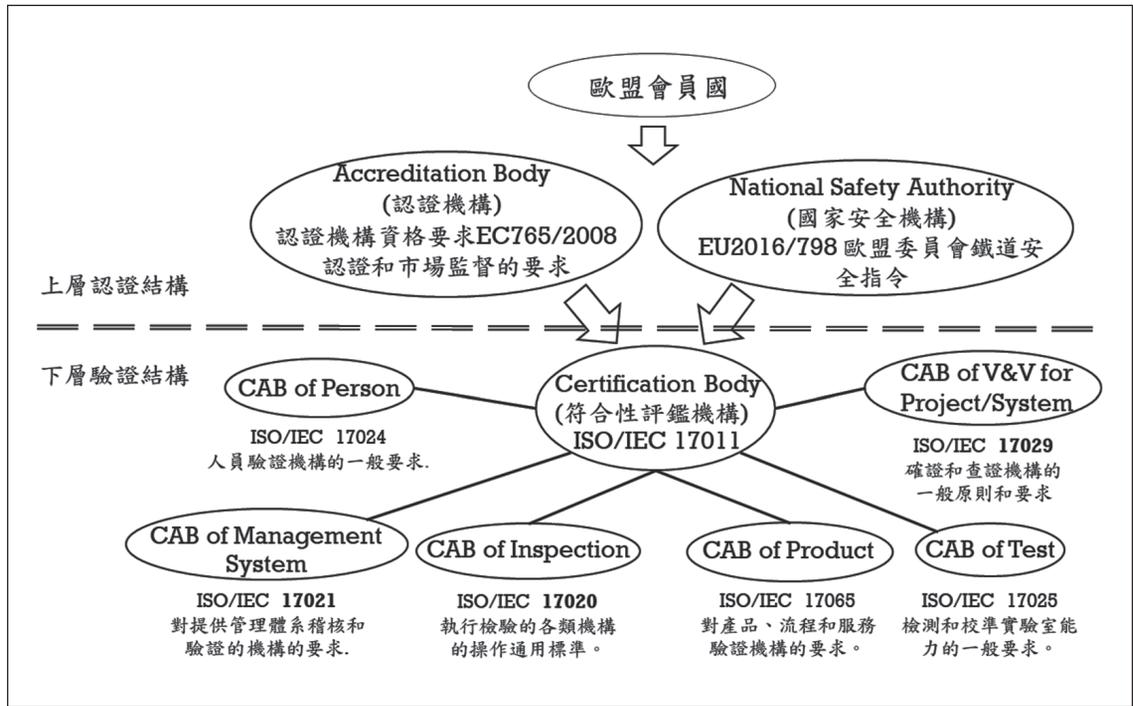


圖 1 歐盟認證結構

二、7.)，每一類 CAB 應該滿足各自所屬類別的資格要求，並由 AB 按其服務行業及專業產品領域認證其能力資格。這些經認證合格的 CABs 構成歐盟認證體系的下層驗證機構。

4. 在二、7. 中所提到的第六類符合性評鑑機構為「確證與查證機構」(Validation/Verification Body)，係針對申請者（通常為第一方製造方或興建方）宣告中主張的訊息的可靠性的確認。確證適用於有關預期的未來用途或預計結果的主張以確認合理性（請參閱二、37.），而查證適用於有

關已經發生的事件或已經獲得的結果的主張以確認真實性（請參閱二、38.）。確證與查證為確證與查證機構的業務。這類機構應為法人機構，對其所確證與查證的結果承擔法律責任。

5. 由於捷運專案系統的建設過程分為多個不同工作性質的階段、產出與技術屬性各異、整合與驗證繁複，無法以單一稽核、檢驗等方式涵蓋全系統驗證，故而採取時程、範圍與方法更加系統化的「確證與查證」作為鐵道系統興建專案的符合性評鑑手段，以保障系統的安全與可靠。



(二) 我國鐵道認證制度基本結構雛形

圖2為我國鐵道認證結構示意圖，比對於歐盟認證體系，在上層認證結構方面，經濟部已成立全國認證基金會（TAF）職司我

國認證業務，交通部亦已成立鐵道局職司鐵道安全監理業務，在下層驗證結構方面，鐵道局已經下設財團法人鐵道技術研發與驗證中心。

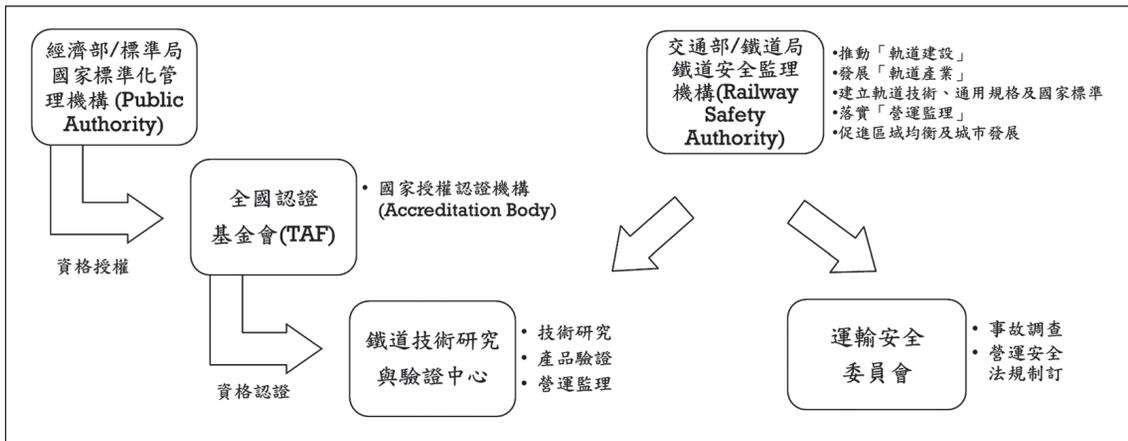


圖 2 我國鐵道上層認證結構示意圖

我國的「財團法人全國認證基金會」（Taiwan Accreditation Foundation, TAF）係為順應符合世界貿易組織（WTO）、亞太經濟合作組織（APEC）符合性評鑑制度之發展環境，經濟部參酌國際認證發展趨勢，整合國內認證資源，將經濟部標準檢驗局中華民國實驗室認證體系（CNLA）及經濟部中華民國認證委員會（CNAB）兩者業務合併，由經濟部、國營事業、公設財團法人及民營機構等單位，於2003年9月17日捐助成立，專司全國各行業的認證業務，意即國家認證體系的上層認證機構已經存在。

全國認證基金會（TAF）為下列國際認證組織之正式會員且代表我國簽署國際相互承認協議（MRA），包括：國際實驗室認證聯盟（International Lab Accreditation Cooperation, ILAC）及國際認證論壇（International Accreditation Foundation, IAF）為全球性的認證組織，亞太認證合作組織（Asia Pacific Accreditation Cooperation Incorporated, APAC）為區域性認證組織。因此TAF在國際上具備合法的認證機構資格，執行本國既有鐵道行業的認證業務之效力可為國際所承認。同理，再往下層設立的驗證體系與驗證合格的鐵道產品亦將為國際市場承認。

在下層驗證結構方面，交通部鐵道局成立鐵道技術研究與驗證中心，其業務包含多類鐵道產品技術研發與驗證，預期在近年內將成為國際鐵道市場承認的綜合式驗證機構。另外鐵道局也在2020年號召國內鐵道產業業界成立臺灣鐵道產業聯盟國家隊[18]，投入國內外鐵道建設，聯盟中「工研院、中科院、車輛測試中心、電檢中心及金屬中心」等國內專業機構之既有軌道檢測驗證與研發能量，我國於電磁相容、電性測試、材料檢驗與分析、機械性測試、防火耐燃、環境等實驗室已具備軌道零組件檢測能量，並取得TAF認證。」

為了能夠快速帶動鐵道產業發展，建議也應鼓勵國內民間相關聯驗證專業機構或有興趣的業者積極投入鐵道產品及系統驗證領域，申請認證成為驗證機構，提供國產廠商多種，快速入市的驗證管道。

上述說明對應圖2，我國鐵道認證體系已經具備上層認證結構，下層驗證結構也將逐步完成，可預期的未來將完全吻合歐盟認證體系的結構，與國際鐵道市場無縫接軌，圖3為歐盟認證體系結構與我國鐵道認證體系結構對應示意圖。

四、捷運系統專案驗證作業研究

如前言中所述，在我國的捷運興建專案當中的驗證過程因為法規、制度及流程未臻完善，以致各地方政府的興建專案作業模式與複雜性不一，其中最主要的因素就是對於捷運系統興建專案的評鑑與驗證的過程權責劃分不清，對V&V及ISA這兩者符合性評鑑立場與內容的不理解、獨立性定義混淆與分工不明、履約管理與統包專案管理界線模糊等問題所造成的困擾，本章針對這幾方面問題，參照歐盟鐵道專案驗證做法進行探討。

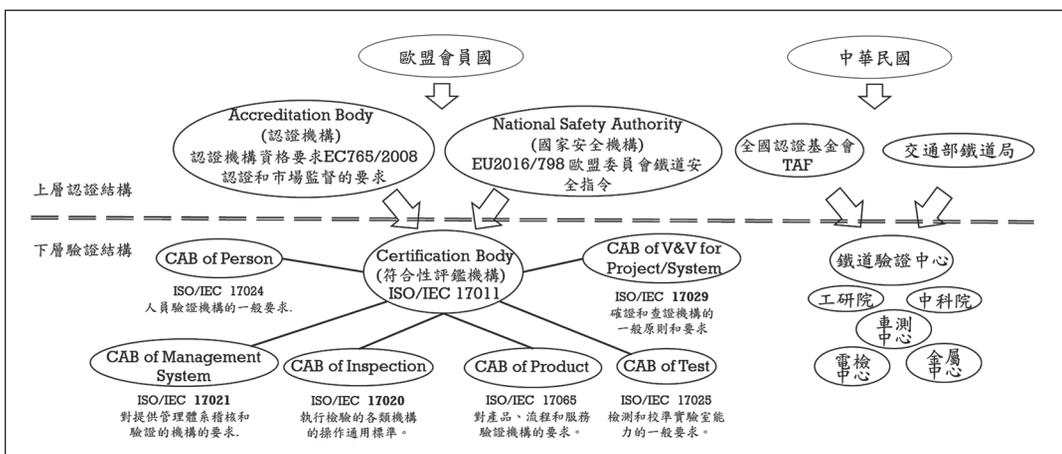


圖3 歐盟認證體系結構與我國鐵道認證體系結構對應示意圖



(一) 確證與查證 (V&V) 及獨立安全評鑑 (ISA) 在符合性評鑑 (驗證作業) 中的區別與運用

1. 確證與查證 (V&V)

根據歐盟2010/713/EU委員會決定，符合性評鑑是在製造商執行的過程中，證明與產品相關的特定要求是否已得到滿足，其中包括品質管理、設計品質審查、製程品管流程、產品查證、形式符合性的製程控制，以及適用性確證[19]。確證與查證 (V&V) 即是符合性評鑑 (Conformity Assessment) 其中的一種，在鐵道興建專案中針對的是合約裡面對全系統各種要求-合約條款及所有關聯法規與標準，以及預期未來的需求是否充分符合。

確證與查證工作內容與其它符合性評鑑的主要區別[8]：

- (1) 不導致表徵 (測試)
- (2) 不提供檢查 (檢驗)
- (3) 不為規定期限提供符合性證明 (驗證)
(確證與查證只對結果提供證明與信心，未及核可 (Approval) 的程度，與驗證「Certification」有所區別，不可取代驗證。)

確證與查證機構應完成的過程步驟：以下文字括弧內數字出自ISO/IEC 17029:2019 符合性評鑑—確證與查證機構的一般原則和要求第9章。

- (4) 約定前 (9.2)：確認標的、範圍、工作方式與產出的實質性與保證等級；
- (5) 約定 (9.3)：根據本文件 (ISO/IEC 17029:2019) 的相關要求與適用的確證與查證方案所規定的要求，為提供確證與查證活動，確證與查證機構應與每一位客戶簽定協議：
 - a. 針對第二方及第三方確證與查證活動，為具法律效力的協議 (例如：合約)；
 - b. 針對第一方確證與查證活動，為內部協議，如：服務等級協議、內部合約、工作聲明、或其它有效力的內部協議。
- (6) 規劃 (9.4)：應進行規劃活動，以考慮適用的確證與查證方案之特定要求。擬定確證與查證計畫，說明活動內容與時程。通知客戶小組成員的姓名與角色，並充份告知提出對小組成員任命之異議。將確證與查證計畫告知客戶；
- (7) 確證與查證實施 (9.5)：按照確證與查證計畫執行確證與查證實施活動，包括：
 - a. 收集充分客觀的原始數據/資訊，以及任何進一步的分析與計算做為佐證。透過數據/資訊的管理過程，以確保所有的佐證都具有可追溯性；
 - b. 鑑別錯誤陳述並考慮這些陳述的實質性；
 - c. 考慮確證與查證方案，評估是否符合特定的要求。



確證與查證結束時準備以下文件：

- a. 有關前述活動結果的結論；
 - b. 草擬確證與查證聲明；
 - c. 確證與查證符合性報告。
- (8) 審查 (Review, 9.6)：必須由未參與確證與查證實施的人員進行審查作業。審查應確認：
- a. 根據協議與方案，確證與查證活動已完成；
 - b. 是否有充分且適當的證據可支持決定；
 - c. 已鑑別、解決並記錄重大發現。
- (9) 決定 (Decision) 與簽發確證與查證聲明 (9.7)：確證與查證審查完成後，確證與查證機構應就是否確認客戶主張 (Claim) 做出決定，必須由未參與確證與查證實施的人員做決定，以這項決定為基礎，根據方案要求簽發或不簽發確證與查證聲明。

確證與查證機構簽發確證與查證聲明 (9.7.1) 時，該聲明應：

- a. 說明客戶名稱；
- b. 鑑別聲明是屬於確證 (Validation) 聲明或是查證 (Verification) 聲明；
- c. 引述主張 (Claim)，包括主張所涵蓋的日期與期間；
- d. 包含與所述聲明有關的確證與查證機構的類型 (亦即第一方、第二方或第三方)；
- e. 包含確證與查證機構的名稱與地址 (如果含有標誌，例如：認證標誌，

則這些標誌不會誤導或模糊不清)；

- f. 描述確證與查證的目標與範圍；
- g. 描述佐證該主張的資料與資訊是否屬於假設、預測及/或歷史性質；
- h. 包含引用的確證與查證方案與相關特定的要求；
- i. 包含關於對該主張的決定，包括履行任何方案相關的要求 (例如：實質性或保證等級)；
- j. 指明聲明日期與唯一的識別號；
- k. 包含任何在簽發確證與查證聲明前尚未解決的發現。

2. 獨立安全評鑑 (ISA)

獨立於專案執行的風險評鑑，評鑑機構應針對所認為最高或關鍵風險的領域應進行徹底的獨立安全評鑑。ISO/IEC 17020:2012 標準和條例 (EU) No 402/2013第6(2)條所指的檢查活動要求評鑑機構從評鑑機構的角度進行更深入的獨立安全評鑑，行使專業判斷和基於風險的方法來確定哪些領域具有最高或關鍵的風險。

獨立安全評鑑可以提供額外的信心，以避免所考慮的系統出現可能對安全產生不利影響的系統性故障。獨立安全評鑑包括評鑑和判斷安全管理過程的特定方面是否已充分開展和/或有關系統或系統部分的特定要求已得到滿足。

根據條例 (EU) No 402/2013第3(14)條



對評鑑機構的定義，評鑑機構的獨立安全評鑑是關於進行調查「…以提供關於系統適用性的判斷、基於證據…」下評鑑「…以滿足其安全要求」。因此，評鑑機構工作方法需要確保提議者的風險管理組織和流程能夠有效地捕捉（即識別）由重大變化引起的所有合理可預見的危險，並將它們記錄在危害記錄/日誌中，了解危險和相關風險，對其進行分析並將其降低到可接受的水平。

執行獨立安全評鑑工作方法包括收集證據（即文件證明），可以是稽核和檢驗的組合，文件審查、觀察、面談、組織和人員能力檢查、安全文化和組織評估、抽樣和/或垂直切片（Vertical Slicing）分析、使用清單、甚至失效注入（Fault Injection）等評鑑方法，進行對於第一方風險分析和實施風險控制措施的程序和方法的評鑑，所執行的安全功能關聯子系統及全系統獨立風險評鑑[20]。

獨立安全評鑑應產生以下主要成果：

- 獨立安全評鑑計劃；
- 獨立安全評鑑結果的記錄；
- 獨立安全評鑑報告。

綜上，在捷運系統興建專案中V&V是針對全系統合約滿足業主全部要求的確證與查證，包含功能、品質、安全、服務、維修保養、後勤支援在內，提供給營運方一個安全、有效、舒適的大眾運輸服務系統，含營

運與維修準備工作完成。營運方在承接這個經確證的系統後，執行穩定性測試及試營運證實可安全營運後，即可申請營運許可執照。V&V在專案的涉入起自生命週期第4階段「系統需求規範」，止於第9階段「系統確證」，以第一方立場執行，但保有獨立性。

ISA是對應於政府鐵道安全主管機關針對鐵道全系統風險管理與安全要求的滿足。ISA在專案的涉入起自生命週期第3階段「風險分析與評估」的獨立安全評鑑計畫建立，止於第10階段系統驗收，以第三方立場執行。ISA的評鑑標的涵蓋V&V的範圍及其成果，且其獨立性、安全性與聲明層級均在V&V之上。

按歐盟認證體系及歐盟鐵道驗證精神，鐵道興建專案的「符合性評鑑」是由V&V和ISA兩重機制把關。V&V對於系統全方位的服務功能與性能由第一方聘請完成確證與查證並向第二方業主宣告，ISA對於公共安全保障的功能由第二方聘請完成第三方ISA評鑑，並向第二方業主提出聲明。鐵道監理機關對於ISA評鑑的結果於第二方業主辦理初勘、履勘合格後給予「安全證書」的認可，最後由路政機關核可並頒發「營運執照，License of Operation」，完成整套鐵道系統興建與營運的驗證程序，詳情如後續說明。

3. V&V機構及ISA機構的資格要求

根據條例(EU)No 402/2013「關於風險



評估和評鑑的通用安全方法」，符合性評鑑機構當中的「檢驗機構」(Inspection Body)明訂為可執行風險評估與評鑑的執行機構，具有擔任V&V機構及ISA機構的當然資格[20]：

- (1) 評鑑機構應滿足ISO/IEC 17020:2012標準及其後續修訂的所有要求。評鑑機構應在執行該標準規定的檢查工作時運用專業判斷。評鑑機構應同時滿足該標準中關於能力和獨立性的一般標準以及以下具體的能力標準：
 - (a) 風險管理能力：標準安全分析技術和相關標準的知識和經驗；
 - (b) 評鑑受變更影響的鐵道系統部分的所有相關能力；
 - (c) 正確應用安全和品質管理體系或稽核管理體系的能力。
- (2) 評鑑機構應獲得認證或承認，以評鑑風險管理的整體一致性，以及將評鑑中的系統「安全整合」到整個鐵道系統中[14]，清楚指明ISA的實施不僅只針對特定等級SIL的子系統，也應該針對全系統整體安全進行獨立評鑑。這應包括評鑑機構檢查以下內容的能力：
 - (a) 組織，即確保以協調的方法實現系統安全所必需的安排，通過對子系統風險控制措施的統一理解和應用；
 - (b) 方法，即評估各利益相關方為支持安全而部署的方法和資源，在子系統和系統級別；和

- (c) 評鑑風險評估的相關性和完整性以及整個系統的安全水平所需的技術。
- (3) 評鑑機構應證明在相應或所有鐵道系統能力領域獲得認證或承認。

「確證與查證」(V&V)及「獨立安全評鑑」(ISA)都屬於符合性評鑑，必須清楚其個別的功能、服務內容以及在專案中的應用與搭配，以免造成專案管理功能重疊、時間與成本浪費、權責不對等以及捷運系統監理上的困擾。正確的運用及對應關係將於後續章節中說明。

4. 關於IV&V的澄清

IV&V的誤用長久以來在捷運系統興建專案實施中造成許多問題，雖然國內期刊上可見多篇文章探討如何在同一專案中融合IV&V與ISA兩項工作，但在實務上至今各縣市捷運系統興建專案仍然沒有一致的作業模式。從四，(一)，1及2的說明已可得知IV&V在國外鐵道業其實是不存在的東西，只是V&V與ISA的觀念混淆運用所致[21]。

經查全世界相關鐵道規範，IV&V並不存在鐵道認證制度之內，因為認證制度的基本要件就是公正、客觀與獨立，在執行任何評鑑活動時另外加一個「獨立」的字眼，實屬畫蛇添足、徒增困擾，只要回到原始的V&V定義就能夠正確規劃專案V&V功能結構與實施。



表 1 安全完整度等級表

可容忍功能失效率 (TFFR) 每小時及每項功能	安全完整度等級 (SIL)
$10^{-9} \leq \text{TFFR} < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq \text{TFFR} < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq \text{TFFR} < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq \text{TFFR} < 10^{-5}$	1

IV&V一詞最早出現於台灣高速鐵道興建專案，當時專案規畫的是ICE/ISE（功能類同第一方獨立設計審查與監造）與第一方IV&V（獨立確證與查證），並未採用獨立第三方ISA，且當時歐盟鐵道相關安全法規尚處於規畫與草案階段，因此實施IV&V有其時空背景的因素。建議未來的捷運系統專案與時俱進，與國際同步採用最新歐盟鐵道法規，採用第一方V&V及第三方ISA結合的結構與機制，就能消除IV&V一詞所帶來的觀念疑惑與諸多執行上的困擾[1]。

至於大眾捷運系統履勘作業要點第三條第（七）款的「提出整體系統之獨立查證與確證報告」規定建議修訂為「獨立安全評鑑報告」，以ISA機構所提出之安全評鑑報告與安全符合性證書即可滿足公部門為公共安全把關之責。

（二）獨立性

「安全」是認證體系的終極目的，符合性評鑑活動的獨立性係對應子系統的安全功能完

整度等級（SIL）所配置，安全完整度等級越高的子系統所配置的評鑑獨立性就越高。

表1為安全完整度等級表，等級可區分為SIL1~SIL4，數字由低到高代表安全完整度要求程度的由低到高。

在EN 501261:2017「鐵道應用-可靠性、可用性、可維護性和安全性（RAMS）的規範和展示」6.8.1節載明「獨立安全評鑑也基於對已經進行的確證與查證的評鑑」，可見ISA是包含、並且獨立性層級更高於V&V，並且可以針對個別子系統或對全系統的安全做組合執行。

圖4為不同SIL等級下的子系統，執行確證與查證V&V的獨立性示意圖，無論是具備SIL的子系統或是整合的全系統，對其所執行的獨立安全評鑑皆完全獨立於專案管理之外[22]。

在EN50129:2018,5.4.3.2節中詳細定義：“專案團隊”定義為一組角色，通常包括：

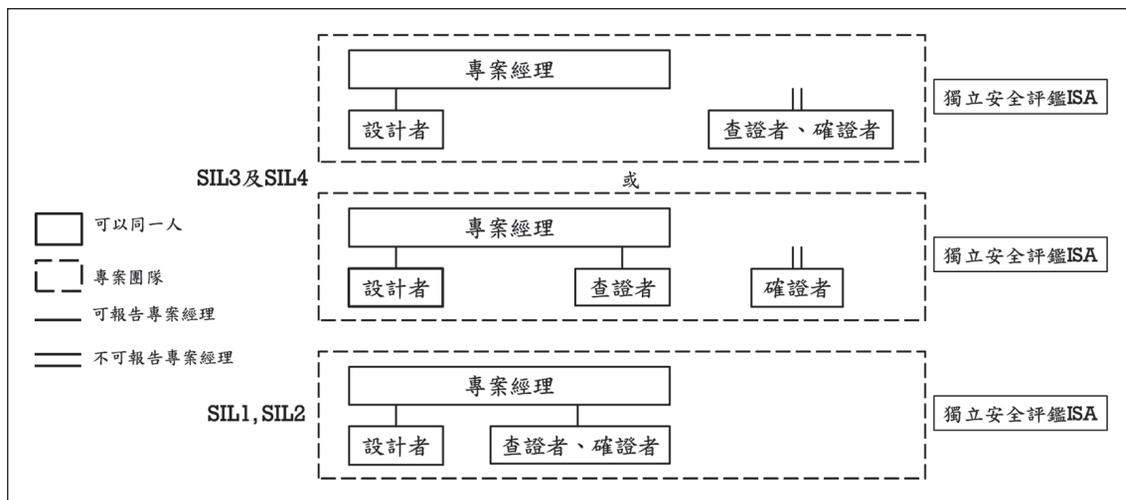


圖 4 不同 SIL 等級下 V&V 角色的獨立性示意圖

專案經理、設計者、查證者 (Verifier) 和確證者 (Validator)。對於從1到4的任何SIL完整性，專案團隊的組織結構應符合以下要求：

1. 設計者不得擔任同一系統、子系統或設備的查證者。
2. 設計者不得為確證者。
3. 確證者應被賦予足夠的自主權和責任，以對安全要求的完整性、充分性和滿足性做出獨立判斷。確證者應將此判斷通知專案經理。
4. 確證者也可以擔任查證者。在這種情況下，與所有其它活動一樣，安全確證與查證的產出成果應由另一名勝任人員審查。

此外，對於 SIL 3 和 SIL 4，專案團隊的組織結構應符合以下要求：

1. 確證者不得向專案經理報告。

專案團隊外部的獨立安全評鑑員不得向專案經理報告，也不得成為專案團隊的一員。

根據圖4與上述EN50129的規定闡明，即使是SIL3與SIL4等級的子系統，也能在專案團隊內執行第一方獨立確證與查證，只要確證者不向專案經理報告，不受專案經理的管制即可發揮其獨立性。個別子系統的ISA評鑑若未單獨聘請ISA，則全系統的ISA評鑑可以合併執行[14]。

因此在實務上可以得出一個綜合結論：全專案（包含SIL1~SIL4的全部子系統）的統包

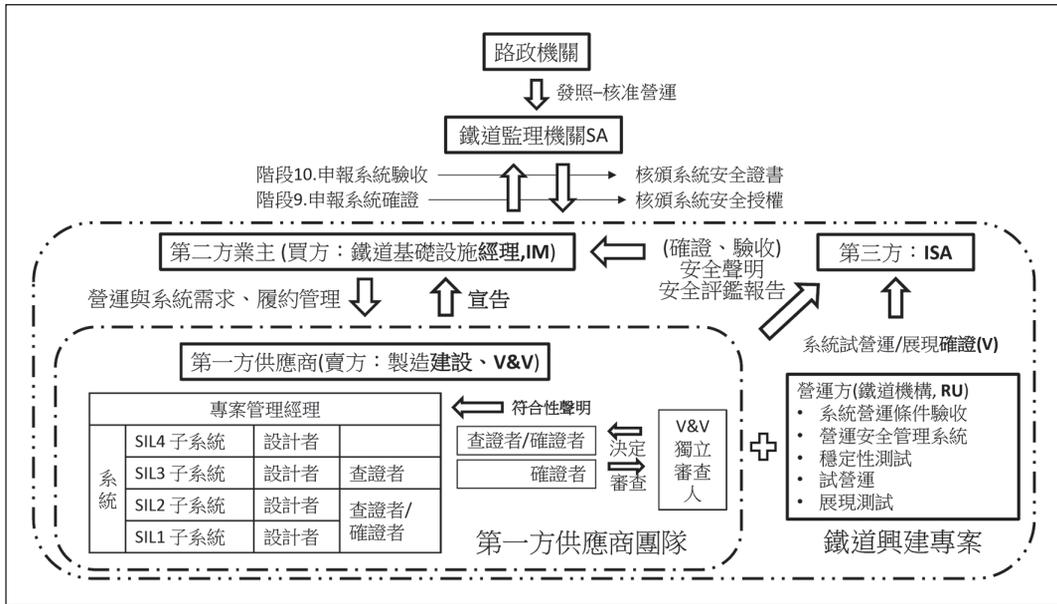


圖 5 鐵道興建專案的驗證結構示意圖

商在專案團隊內（虛線框）只需採用獨立性為 SIL3或SIL4的方案，在專案團隊內指派「確證與查證」團隊或專人（可為1.同專案團隊不同部門；2.同公司不同部門；或3.外部公司）執行全系統確證與查證（V&V）的工作，將「審查」與「決定」（請參閱四，（一），1，（8）及（9））兩項工作指派V&V機構內或外「未參與」專案確證與查證規畫與執行之獨立專家執行，即可滿足專案合約全系統確證與查證的獨立性要求。至於第三方ISA，可以由第一方或第二方聘請，業主可自行決定，並不影響獨立性精神與專案管理作業，惟須特別留意，擔任V&V及ISA的機構皆應以合約律定其法律與商業責任，以保障專案成功的機率。

完整的鐵道興建專案的驗證結構如圖5

鐵道興建專案的驗證結構示意圖所示。

綜上說明，只要回歸歐盟鐵道規範 EN50129的獨立性規定，按照SIL等級採取適當獨立的安排，以第一方（V&V）涵蓋專案全系統符合性評鑑，加上第三方（ISA）安全符合性評鑑，即符合國際法規完整要求，同時可以呈現以下幾個合理性：

1. 因第一方統包商與V&V機構可以同屬一個公司或集團[6]，或為其所聘用之外部檢驗機構擔任，按其分工或合約約定，第一方符合性評鑑更容易在最短的作業時間取得全部第一手專案相關資料進行確證與查證，可以大幅縮短計畫時程與節約興建成本，同時保障專案成果的品質。

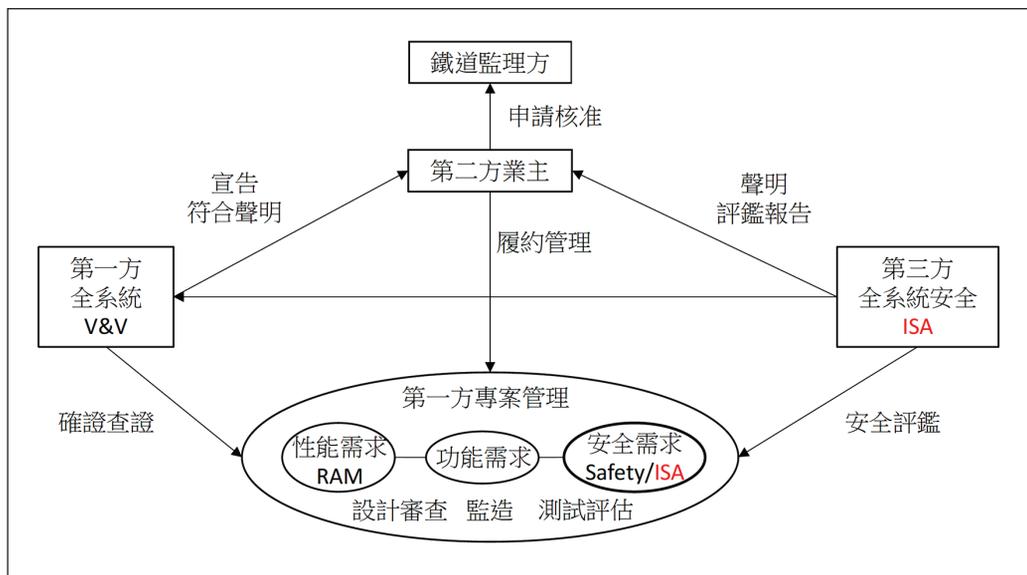


圖 6 全系統 RAMS, V&V 及 ISA 的結構與關係示意圖

另外第一方對應子系統SIL等級聘請ISA機構進行子系統的獨立安全評鑑，與第二方聘請的全系統ISA評鑑可並行不悖。

2. 圖6為全系統RAM/S，V&V及ISA的結構與關係示意圖，由第二方業主聘用外部檢驗機構[6]擔任全系統第三方ISA機構，對第一方V&V的過程及結果進行嚴謹的安全評鑑[9]，並向第二方提出安全符合性聲明，可以同時滿足全專案對於業主合約的完全履約與政府安全監督的雙重要求。在歐盟認證體系法規之中，執行V&V及ISA的獨立機構必須擔負其評鑑後果的法律與賠償責任，形成專案成功的保障機制，因此第二方業主可以退出原屬專案管理的设计審查與監造機制，回到純粹履約管理的

領域，執行針對品質、時程與成本的單純化管理。

3. 釐清「履約管理」與「專案管理」的界線：專案（履約）管理顧問協助業主執行履約管理與核准之權，而非現行涉入專案管理，例如專業技術審查會、設計審查與監造等等，可避免涉入第一方應負之責，也避免審查意見置於第三方評鑑之下，造成立場與權責混淆的情況。

我國捷運系統的第一個興建專案模式為台北捷運，彼時為自主規劃與興建，故設計審查與監造皆自主執行。後來其它縣市政府的捷運系統的興建採取統包專案形式，但未徹底區隔業主採購履約管理與統包



專案管理的分野，加上引用IV&V涵蓋全系統ISA功能，造成原制度設計功能（第一方V&V及第三方ISA）的模糊，導致全國各縣市捷運興建計畫的執行不統一現象。

4. 將第一方的「專案管理」與「宣告權」還給第一方，使第一方的專案管理能夠完全自主掌握、落實，依據確證與查證機構執行所產生的符合性聲明向業主提出自我宣告，擔負專案成果完全的法律與商業責任。
5. 嚴格要求統包商的專案管理引用國際最新法規作法與經驗，例如需求捕獲（Requirement Capture）與管理、系統工程整合與管理（System Engineering

Integration & Management）、安全整合（Safe Integration）與分析等技能，使本國專案及專業人員能夠得到無形的學習機會與國際經驗的成長效益。

6. 避免ISA與IVV兩個獨立第三方同時存在的資源浪費、權力重疊及責任孰輕孰重的模糊困擾[23]。
7. 更符合歐盟認證體系第一方V&V與第三方ISA負評鑑過失責任的精神與可行性[8]。

在整個專案管理方面，釐清系統保障與專案保障的分際，將更能明確劃分系統工程管理及專案履約管理的架構。圖7為系統保障與專案保障的對應結構，將V&V及ISA雙重

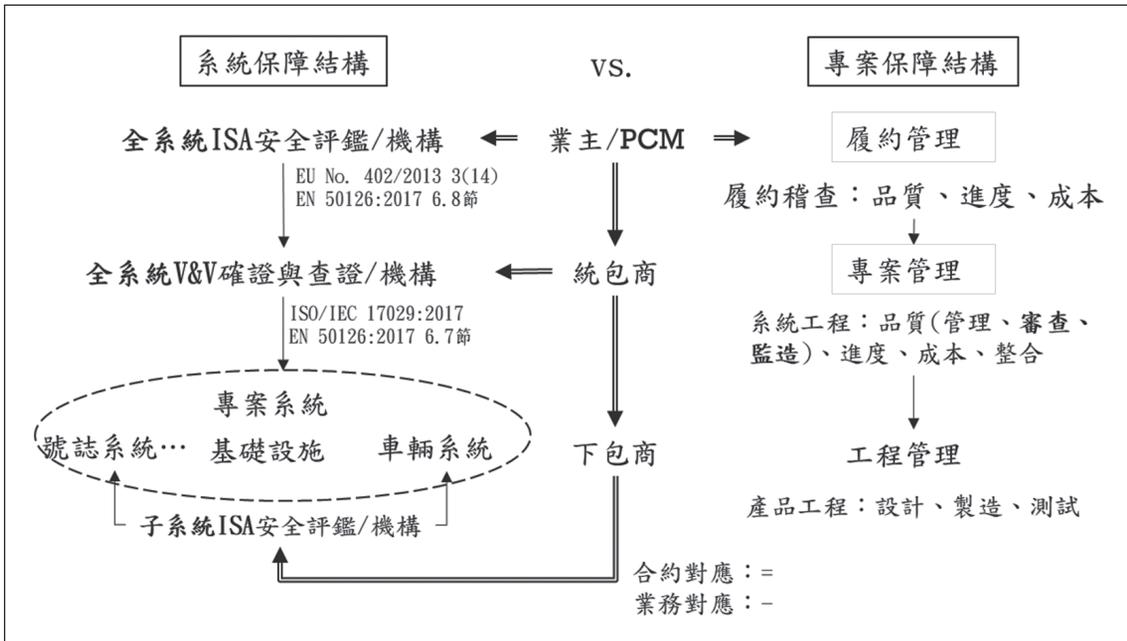


圖 7 系統保障與專案保障的對應結構

符合性評鑑架構作為監督系統達成合約規範目標的保障機制；將履約管理、專案管理、系統工程管理架構作為監督統包商滿足商業條件的履約保障機制。

(三) 鐵道專案團隊中符合性評鑑的分工 - 確證、驗收、發照與監理

在計畫中買、賣雙方有對應的權利義務關係，兩者利益衝突在所難免，為免於買賣雙方對於過程及結果之意見發生歧異或糾紛，遂有獨立的第三方執行中立客觀的「評鑑」需要，這是歐盟及全球公平貿易的六大精神-透明、開放、公正和共識、有效性和相關性、連貫性、發展方向。又根據品質管理的作業精神，賣方亦有自主管理的義務，即自主管理、審查、稽核[2]等等，因此在歐盟的認證體系當中，第一方自我評鑑（確證與

查證）與宣告（Declaration）具有重大的實質意義。可知第一方自證與獨立的第三方他證確實是專案品質保障的重要設計。

從系統獲得的對應關係來分類，供應方為第一方；買方業主為第二方；獨立評鑑方為第三方，圖8為EN50126:2017中描述的鐵道系統生命週期驗證與監理作業流程，其說明如下：

1. 生命週期第1~3階段 概念、系統定義與營運環境、風險分析與評估[9]

業主及營運方的立場都屬於買方，稱為鐵道責任人（Railway Duty Holder），因此都歸類於第二方。在鐵道興建專案核准成立時，由業主諮商將來預定負責營運的營運方，進行環境資料及營運需求收集與制訂營運指標、進行風險評估與制訂安全需求、以

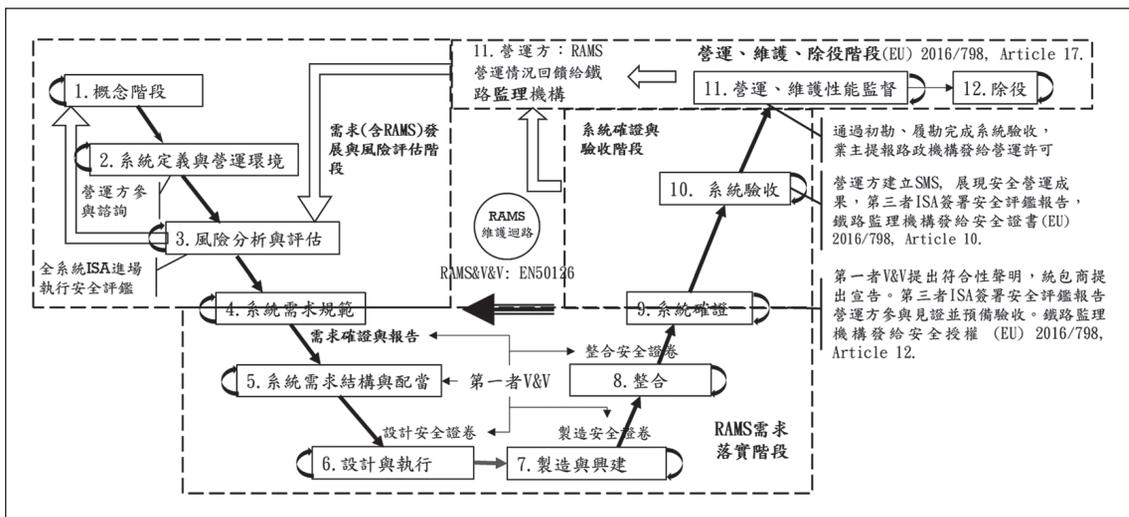


圖 8 鐵道系統生命週期驗證與監理作業流程



及系統功能需求確認，轉化成專案初期的上層需求。在專案期程上這些工作位於鐵道生命週期中的1~3階段。在第3階段時建立全系統的獨立安全評鑑計畫，並由ISA機構評鑑風險分析與評估的結論。

2. 生命週期第4~8階段 系統需求規範、系統需求結構與配當、設計與執行、製造與興建、整合

鐵道生命週期中的第4階段初期是由得標的第一方供應方將第二方買方（業主）在1~3階段發展出來的需求進行理解、捕獲（Requirement Capture），由V&V機構完成對於整體需求的確證（Validation），作為後面每一個階段的具體可信的執行目標。經過確證後的整體需求由第一方供應方針對每一個子系統進行需求發展、轉化與配當，制訂出全系統與每一個子系統的量化與質化需求。透過第4~8階段系統需求規範、系統需求結構與配當、設計與執行、製造與興建、整合（含子系統檢驗與整合測試）等共五個階段，成專案管理要求內容、過程與各子系統在符合性評鑑過程中的查證，最後把全系統製造興建出來。其精髓是在將4~8階段已完成事項的真實性完整呈現，用品質管理的語言來說就是「有沒有按合約要求、衍伸要求、法規、標準執行專案，把事情做到對？」

第三方獨立安全評鑑機構（ISA）也必須在第4~8階段同時實施，按照ISA計畫，對第一方供應方各階段產出的RAMS報告與安全

證卷（Safety Case），及確證與查證機構執行的確證與查證成果，就安全議題進行評鑑。

完成了前4~8階段各子系統的查證（Verification）及獨立安全評鑑（ISA），就進入第9階段的全系統整合的成果確證與安全評鑑。

3. 生命週期第9階段 系統確證

這個階段（系統確證）的工作是呈現預期未來的系統已經具備可以支援安全營運的充分證明與信心，對於大眾捷運法的履勘作業辦法所要求的第三方獨立確證與查證報告，供應方必須完成最終系統安全證卷（Safety Case），包括針對全系統安全應用條件的整合（Safe Integration）[20]，作為V&V在本階段的重要確證文件。用品質管理的語言來說就是「有沒有對達成未來預期營運目標提供本捷運系統的安全證據，做出對的事情？」

V&V在此階段完成全部的符合性評鑑過程、提出最終的確證報告，作為興建系統確證的結束。此階段之產出為（EN 50126-1:2017 7.10.3）：

- (1) RAM確證報告（V&V）
- (2) 安全確證報告（V&V）
- (3) 更新危害日誌（統包商）
- (4) 更新安全計畫（統包商）
- (5) 更新安全證卷（統包商）
- (6) 更新相關安全應用條件（統包商）
- (7) 獲取和評估營運數據的過程（統包商、



營運方)

在本階段，第三方ISA將第二方業主需求及第一方V&V在第4~8階段(含)的確證與查證的全部RAMS報告與安全證卷進行安全評鑑，在第9階段結束前簽署獨立安全聲明與安全符合性證書。鐵道監理機構在審核完成後即授予「安全授權」。

此階段亦應邀請營運方作為觀察及意見提供者，作為深入了解系統成果，進入系統驗收的預備階段。因為「所考慮系統的RAMS要求，包括與安全相關的應用條件，已針對預期用途或應用進行了適當的規定」、「管理源自偏差的條件和約束，以及如何在下一個生命週期任務中考慮它們對未來生命週期任務的影響以及可追溯之偏差」[9]，由此可知在系統確證階段營運方必須參與了解被確證系統對未來營運的影響有哪些。

在此特別指出，第9階段系統確證(System Validation)只是針對捷運系統的「安全授權」(Safety Authorization)[24]，尚未完成安全驗證(Safety Certification)的階段。參見四，(一)，1，(3)之說明。

4. 生命週期第10階段 系統驗收

第10階段為系統驗收(System Acceptance)，也是專案竣工的階段。營運方針對經「安全授權」的捷運系統進行穩定性測試及試營運，V&V對此成果進行確證，ISA機

構針對確證報告進行安全評鑑、出具安全評鑑報告。鐵道監理機構審查核可後授予「安全證書」(Safety Certificate)給鐵道機構，完成系統驗收。

ISA在生命週期第10階段應根據定義的風險接受標準進行評鑑、相關安全應用條件已經滿足，評鑑結果應記錄在驗收報告中。驗收報告應包括對交付的產品、系統或過程，及適合投入使用的確證，提出最終證明文件「獨立安全評鑑報告」[20]。

此階段之產出為(EN 50126-1:2017 7.11.3、EN 50129:2018:8.1)：

- (1) 系統需求規範(供應方)；
- (2) 安全需求規範(供應方、營運方)；
- (3) 相關安全應用條件的副署(ISA)；
- (4) 安全證卷(包括供應方更新前階段報告、營運方的安全管理系統與營運安全計畫)；
- (5) 結案(驗收)報告(供應方、V&V、ISA)；
- (6) 獨立安全評鑑報告(ISA)。應含安全整合成果的呈現已達到必要的安全水平，包含系統及營運的定性分析與定量數據模型及保證等級(LOA)。

系統驗收機構為第二方業主，在此階段應針對第一方及營運方執行：

- (1) 按合約規定的驗收標準評估驗收報告；
- (2) 評估(系統及營運)安全計劃的持續適



用性；

(3) 評估更新的（系統及營運）危害日誌。

安全證書應證明鐵道營運方已建立營運安全管理體系，並能夠遵守相關營運領域的相關安全標準和規則[24]。獲得鐵道監理機構核發的安全證書後，第二方可彙整系統興建成果與試營運成果及安全證書向路政管理機構申請營運許可執照，正式進入第11階段「營運、維護與性能監督」的營運監理。

5. 生命週期第11階段 營運、維護性能監督

在第11階段「營運、維護與性能監督」的工作內容為持續監督鐵道基礎設施及營運安全水準的維持[24]，即表示無論是鐵道系統（含基礎設施、車輛、號誌）及鐵道營運安全都在鐵道監理機關的管理與監督之下安

全運行[25]。無論是系統或是營運與維護管理，兩者的基礎核心都是鐵道「安全管理系統」（SMS）[26]。

第11階段由鐵道機構負責安全營運與全系統維護的雙重目標，在管理作為方面除了日常與節假日的正常營運，就是安全管理系統的持續維持，包括系統與營運安全指標維持與監測、進行失效報告與改善行動（FRACAS）、災害預防措施建置、檢查維護與演練、人員安全教育訓練等等。這些作為都必須遵照鐵道監理手冊的規定向鐵道監理機關提出定期與不定期報告。

綜合上列十一個生命週期流程，圖9為以ISA為核心的捷運系統生命週期的確證、驗證、發照與監理架構。

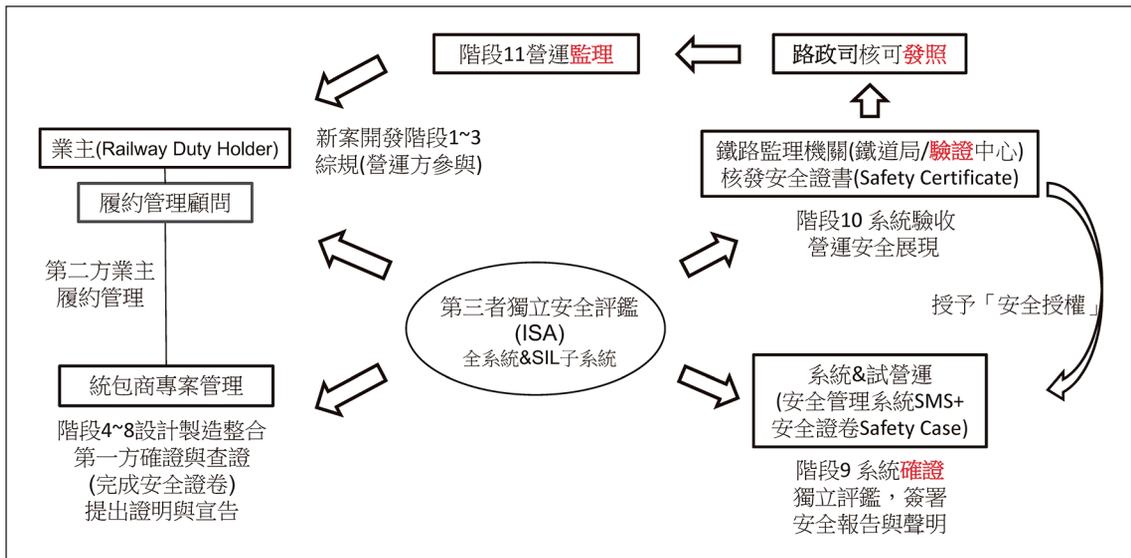


圖9 捷運系統生命週期的確證、驗證、發照與監理架構



(四) 國內、外評鑑機構在本國執行業務的資格

根據國際認證聯盟的互相承認機制及符合性評鑑機構的國際標準普遍准用，國內、外具備相關資格的機構在國內執行業務應按其專業能力與獨立性狀態向台灣認證基金會申請認證、報備承認，並接受中華民國政府的營業監督。

在計畫中無論是執行V&V或是ISA，符合性評鑑機構應在鐵道系統內的不同專業領域或其中存在基本安全要求的部分獲得鐵道監理機構的承認，包括涉及鐵道系統營運和維護的能力領域，並在專案實施過程中監督其業務立場與執行作業是否符合法規及合約要求[20]。

鐵道監理機構也可以自任V&V，ISA的評鑑機構，但須符合所有符合性評鑑機構的資格與執行要求[27]。

五、結論

前面四章澄清了以下幾個重點，期待透過國內各公民營機關與機構討論形成共識並統一共同作法，使捷運建設計畫與營運期的認證與監理作業能夠順利進行、有效管理：

1. V&V 由第一方聘請，對第一方專案內容執

行確證與查證，第一方將確證結果對第二方提出「宣告」。第三方 ISA 由第二方聘請，對第一方專案執行內容及 V&V 確證成果執行獨立安全評鑑，將安全評鑑結果對第二方提出「聲明」；

2. 捷運系統從興建到營運準備完成的關鍵過程為確證與查證（全系統及系統安全符合合約需求）、驗收（評鑑所確證的成果滿足合約及營運安全需求）、發證；

3. 鐵道監理機構在系統驗收階段核發的安全證書（Safety Certification）係依據 ISA 的獨立安全評鑑報告結果，而非 V&V 的確證與查證報告結果；

4. 統包專案系統內容由 V&V 確證及 ISA 評鑑，已經形成兩重符合性評鑑機制，第二方的履約管理可監督但避免直接涉入，以避免干擾第一方與第三方的獨立判斷空間與權責（及後來營運之可能事故責任及賠償的立場）；

5. 營運方應該正式參與第 1~3 階段的需求蒐集與第 4 階段的需求確證、第 9 階段的系統確證與第 10 階段的系統驗收，並且提供營運安全管理系統（Safety Management System）接受專案的確證與驗收，以避免營運安全驗收條件不全，因為營運安全責任在監理制度下將由營運方承擔。



6. 國外相應法規應盡速檢討調適，制訂成為本國法規標準，以便加速達成捷運系統國產化與產品國際化的雙重目標，因為國際相互承認機制可以提供產品外銷的法令通道。

現行各種捷運系統都離不開歐盟標準體系，但我們確實也沒有像歐盟所執行的互通用標準來整合各縣、市的捷運系統，以至於各縣市每一條捷運線的系統都無法確保在一定的標準下進行互通、互換，維修檢查方式與零附件也無法集中統一。有鑑於此，捷運系統應該早日規劃、實施全國統一的捷運技術與規範、驗證與監理制度。

鐵道系統產品與建設的供應是國際性的行業，市場是全球化的。如果現在以至未來的鐵道建設計畫運用得當，不但能提供國民行的方便、為民造福，更可以借鑒國際鐵道專業與經驗之長，提升我國鐵道行業公私部門在國際法規、標準、規範、能力、成果等方面能夠與國際接軌、達到國際水準、融入國際鐵道產業體系，以博國際市場之利。

參考文獻

- 林杜寰、孫千山、鍾志成、李治綱、施佑林、林養、張開國、葉祖宏、吳熙仁、洪憲忠 (2019)。大眾捷運系統獨立驗證與認證 (IV&V) 規範及其報告撰寫規範之研究，第 1 版，2.2.1.8 節、表 2.7、表 2.8 及相關說明。台北市：交通部運輸研究所。
- International Organization for Standardization. 2015. "ISO9001: 2015 Quality management systems—Requirements."
- International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2015. "ISO/IEC 17021-1 Requirements for bodies providing audit and certification of management systems—Part 1: Requirements."
- International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2012. "ISO/IEC 17024 Conformity assessment—General requirements for bodies operating certification of persons."
- International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2012. "ISO/IEC 17065 Conformity assessment—Requirements for bodies certifying products, processes and services."
- International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2012. "ISO/IEC 17020 Conformity assessment—Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection"
- International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2017. "ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories."
- International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2019. "ISO/IEC 17029 General principles and requirements for validation and verification bodies."
- British Standards Institution. 2017. "EN 50126-1 Railway Applications—The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Part 1: Generic RAMS Process."
- European Parliament and of the Council. 2014. "REGULATION 1299/2014 Technical specifications for interoperability relating to the infrastructure subsystem of the rail system in the European Union."
- European Parliament and of the Council. 2004. "DIRECTIVE 2004/49/EC Amending Council Directive 95/18/EC on the licensing of railway undertakings and Directive 2001/14/EC on the allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification."
- European Union Agency for Railway. 2018. "Guidance for safety certification and supervision."
- European Parliament and of the Council. 2018. "Regulation (EU) 2018/545 Practical arrangement for the railway vehicle authorization and railway vehicle type authorization process."
- European Union Agency for Railway. 2020. "ERA 1209/063 V 1.0 Clarification Note on Safe Integration."
- European Parliament and of the Council. 2008. "REGULATION No 765/2008 Setting out the requirements for accreditation and market surveillance relating to the marketing of products and repealing Regulation (EEC) No 339/93."



16. European co-operation for Accreditation. 2022. 歐盟授權認證機構名單。檢自 <https://european-accreditation.org/ea-members/directory-of-ea-members-and-mla-signatories/>
17. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2017. “ISO/IEC 17011:2017 Conformity assessment—Requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies.”
18. 交通部鐵道局 (2020 年 2 月)。行動方案 - 研發及檢測驗證能量。檢自 <https://www.rb.gov.tw/showpage.php?lmenuid=45&smenuid=311&tmenuid=416>。
19. European Parliament and of the Council. 2010. “Decision 2010/713/EU Modules for the procedures for assessment of conformity, suitability for use and EC verification to be used in the technical specifications for interoperability adopted under Directive 2008/57/EC of the European Parliament and of the Council.”
20. European Parliament and of the Council. 2013. REGULATION (EU) No 402/2013 Common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No 352/2009.”
21. 羅雲華、陳志豪 (2014)。國際軌道運輸工程獨立驗證與認證之應用與案例 - 韓國首爾地鐵 ISA 案例考察。新北市，交通部高速鐵路工程局
22. British Standards Institution. 2018. “EN 50129:2018 Railway Applications—Communication, signaling and processing systems. Safety related electronic systems for signaling.”
23. European Railway Agency. 2009. “ERA/GUI/02-2008/SAF, Collection of examples of risk assessment and of some possible tools supporting the CSM Regulation.”
24. European Parliament and of the Council. 2016. “DIRECTIVE (EU) 2016/798 Railway safety(recast).”
25. European Parliament and of the Council. 2018. “REGULATION (EU) 2018/761 “Establishing common safety methods for supervision by national safety authorities after the issue of a single safety certificate or a safety authorization pursuant to Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulation (EU) No 1077/2012.”
26. European Union Agency for Railway. 2018. “ERA Guidance for safety certification and supervision.”
27. European Union Agency for Railway. 2016. “Explanatory note on the CSM Assessment Body referred to in Regulation (EU) No 402/2013(1) and in OTIF UTP GEN-G of 1.1.2016 (2) on the Common Safety Method (CSM) for risk assessment.”



臺中地區交通噪音與地層振動特性之探討

朝陽科技大學營建工程系副教授 / 伍勝民

朝陽科技大學營建工程系副教授 / 蔡佩勳

朝陽科技大學營建工程系副教授 / 賴俊仁

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

台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部正工程師 / 張永漢

關鍵字：台中捷運、振動、噪音、傳遞動性、列車力密度

摘要

本文針對規劃中之臺中捷運藍線沿線進行背景振動與噪音、地層傳遞動性、以及已通車之捷運綠線進行列車力密度頻譜調查，求得臺中都會區三種（卵礫石、紅土礫石與砂質沉泥）主要地質材料之振動特性，提供將來臺中地區捷運列車營運之地傳振動與地傳噪音分析設計之參考。捷運藍線沿線10個測點之背景噪音與振動量測結果發現，其中8個測點之背景噪音量以及5個測點之背景振動量已經超出環保署所制定之管制標準；捷運藍線沿線人造振源之線源傳遞動性試驗結果發現3種地質材料之線源傳遞動性均有隨著距

離之增加而衰減的趨勢，線源傳遞動性最大值約20~40 dB，且產生最大的線源傳遞動性之頻率略有不同；捷運綠線列車所引發地表振動隨距離之衰減分析結果發現，以Bornitz模式求得之地層材料衰減係數 α 約為0.05，以Wiss模式求得之地層材料衰減係數 m 介於0.3~2.0之間。捷運綠線列車力密度頻譜分析結果發現，其平均列車力密度介於15~40 dB之間，最大值發生在12.5 Hz。

一、前言

近年來由於臺中都會區人口快速增加導致市區內交通壅塞日益嚴重，建構捷運系統



可以解決都會區塞車問題，提供市民便捷之交通。但國人對於生活品質之要求日漸提升，故捷運施工、營運期間導致之振動與噪音對於周圍環境影響及解決方案為捷運系統設計規劃之重要考量因素。

如圖1所示，臺中捷運路網除營運中之捷運綠線外，後續規劃有捷運藍線、機場捷運、捷運綠線延伸、捷運藍線延伸、大平霧線、豐科軸線、科工軸線及崇德豐軸線等8條路線[1]，其中捷運藍線已通過綜合規劃、

環境影響評估並進入基本設計階段。機場捷運、綠線延伸、藍線延伸、大平霧線則在可行性評估階段。目前臺中捷運營運中之捷運綠線主要是位在一般土層（砂質沉泥）與卵礫石層上，但臺中的地質除了一般土層外，還有卵礫石層與紅土礫石層等，而且臺中卵礫石層強度與楊氏模數均遠大於一般土層，對於振動傳遞與衰減形式對比一般土壤也不相同，因此有必要對這些地層之地傳振動特性進行初步了解。



圖 1 臺中都會區捷運整體路網願景圖 [1]



台灣世曦工程顧問股份有限公司於2019年取得「捷運藍線綜合規劃（含環境影響評估）暨捷運設備用地土地使用變更案」，並於2022年取得此捷運線之「基本設計」標，為進一步瞭解捷運藍線沿線之工程環境特性，於是偕同朝陽科技大學營建工程系針對規劃中捷運藍線沿線之代表性場址，以麥克風與加速度規進行背景噪音與振動之量測，並利用人造振源進行振動量測，求得臺中都會區三種主要地質材料之振動特性；以及量測營運中之捷運綠線列車之近源振動特性及其力密度頻譜，做為將來臺中捷運路網營運之地傳振動與地傳噪音分析之參考，其主要內容如下：

1. 背景振動與噪音調查 - 針對臺中捷運藍線之沿線各區段較具有代表性或敏感區域，如醫院、社區住宅、學校等選擇 10 個調查點，進行三個時段之三軸向地表振動與聲音源傳播噪音之量測，以求得此 10 個調查點的振動與噪音之背景值，有助於未來進行臺中捷運藍線「噪音與振動對本路線環境影響之分析評估及解決建議方案」之參考。
2. 地層傳遞動性調查 - 選定臺中捷運藍線三種主要地質材料（卵礫石層、紅土礫石層及砂質沉泥層）之代表性場址各 2 處共 6 處，進行人造振源之振動量測，求得各代表地質材料之線源傳遞動性（Line load Transfer Mobility, TM_{line} ），以提供臺中捷運各線列車地傳振動與地傳噪音分析之參考。

3. 列車力密度頻譜調查 - 選擇營運中之臺中捷運綠線 3 處場址（進出站段、轉彎段、直線段）進行列車經過時之地表振動量測，並選擇一條測線進行地層傳遞動性調查，依此決定臺中捷運綠線列車之近源振動特性及其力密度頻譜，以提供將來臺中捷運各線列車對周圍環境產生之振動預測分析之參考。

本文彙整上述計畫[2]之調查內容、位置、方法、以及分析結果，期能提供各界進行臺中都會區捷運列車行進所導致之地傳振動與地傳噪音分析之參考。

二、調查地點與方法

（一）調查地點

1. 捷運藍線沿線背景噪音與振動量測

本研究選定臺中捷運藍線沿線各區段較具代表性或敏感之社區或醫院、學校等10個調查點，進行上午、下午、夜間三個時段之噪音與三軸向振動量測，取得這10個地點的噪音與振動之背景資料，以提供台中捷運藍線地傳振動與噪音分析之參考。各測點之位置、座標與噪音管制區分類如表1所示，其所屬之行政區則如圖2所示。

2. 捷運藍線沿線主要地質材料線源傳遞動性量測

本研究針對規劃中之捷運藍線沿線可能

表 1 捷運藍線沿線背景噪音與振動量測點位概況

編號	測站名稱	噪音管制區分類	座標 (TWD97 二度分帶)
1	臺中火車站	第四類	218256.504,2670307.910
2	第二市場	第三類	217346.032,2670925.251
3	臺中市政府	第三類	214361.761,2673064.375
4	臺中轉運站	第二類	211617.607,2674957.376
5	澄清醫院	第二類	211034.377,2675315.832
6	臺中榮總	第二類	209809.745,2675390.001
7	正英路	第二類	207509.484,2678165.517
8	竹林國小	第二類	206061.125,2681535.604
9	沙鹿陸橋	第三類	205393.378,2681799.193
10	童綜合醫院	第二類	203587.414,2682491.053

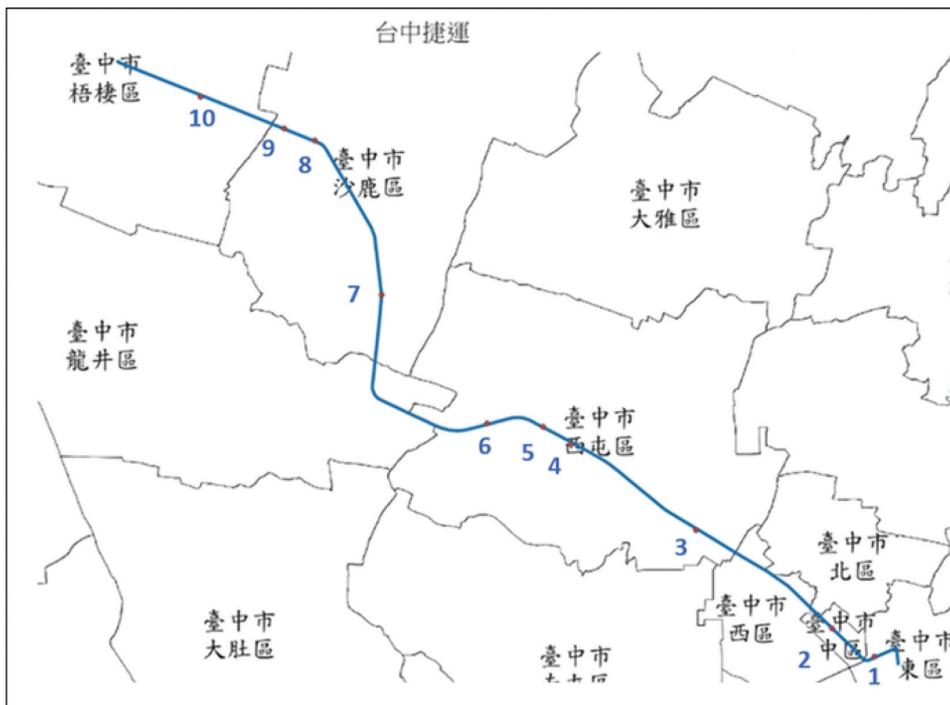


圖 2 捷運藍線沿線背景噪音與振動量測點位分布圖

遭遇的三種主要地質材料（卵礫石、紅土礫石、以及砂質沉泥）之代表性場址各2處，進行人造振源（衝擊錘敲擊）產生地面振動之

量測，以求得此三種地質材料之地層線源傳遞動性 TM_{line} ，提供台中捷運藍線列車地傳振動分析之參考。各測線之位置、座標與地層



種類如表2所示，其所屬之行政區則如圖3所示。

3. 捷運綠線列車近源振動特性及力密度頻譜量測

本研究針對已完工營運之台中捷運綠線選定3處測點及1條測線，量測列車通過時所

引發附近的地表振動，並調查該地點之地層傳遞動性與振動衰減，以分析綠線捷運列車之力密度頻譜，做為將來台中捷運路網營運之地傳振動與地傳噪音分析之參考。各測站之位置、座標與類別如表3所示，其所在位置則如圖4所示。

表 2 捷運藍線沿線主要地質材料線源傳遞動性量測點位概況

編號	測站名稱	地層種類	座標 (TWD97 二度分帶)
測線 1	中興街	卵礫石層	215855.753, 2672226.998
測線 2	市府停車場	卵礫石層	214212.587, 2673233.953
測線 3	1060 巷	紅土礫石層	210893.504, 2675402.359
測線 4	都會南街	紅土礫石層	207685.932, 2675829.948
測線 5	光華街	砂質沉泥層	204300.299, 2682248.768
測線 6	和平街	砂質沉泥層	203325.588, 2682645.739



圖 3 捷運藍線沿線主要地質材料地層傳遞動性量測測線分布圖

表 3 捷運綠線沿線列車近源振動特性及力密度頻譜量測點位概況

編號	測站名稱	測點類別	座標 (TWD97 二度分帶)
測點 1	大慶站	進、出站	214142.771, 2668209.503
測點 2	中山醫大	轉彎段	214258.411, 2668640.145
測點 3	大墩 11 街	直線段	214092.944, 2671548.223
測線 1	中山醫大	轉彎段	214264.279, 2668548.207

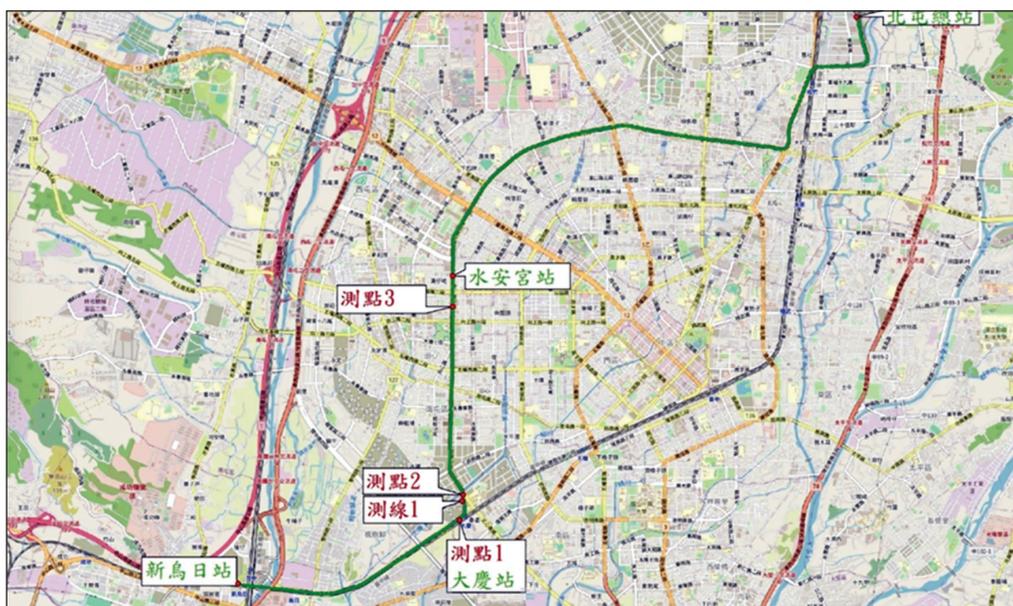


圖 4 捷運綠線列車近源振動特性及力密度頻譜量測點位分布圖

(二) 調查方法

本研究使用如圖 5 所示之設備進行各項現地量測，此系統主要由：高敏感度麥克風（量測音量）、低頻加速度規（量測振動量）、錄影機（記錄車流量）、擷取卡（將麥克風與加速度規之類比訊號轉換成數位訊號）、與筆記型電腦（記錄量測數據）等設備所組成，其量測步驟說明如後：

1. 背景噪音與振動量測

本研究參照行政院環境保護署 2016 年頒佈之「環境噪音量測方法」[3]與 2021 年發函各地方政府之「環境振動管理指引」[4]，進行捷運藍線沿線 10 個調查點之上、下午與夜間 3 個時段的背景噪音與背景振動量測。如圖 6 所示，首先於各測點選定約 5 公尺的範圍擺放安全警示圍欄；接著架設麥克風、加速度規、攝影機、擷取卡、以及筆記型電腦等儀

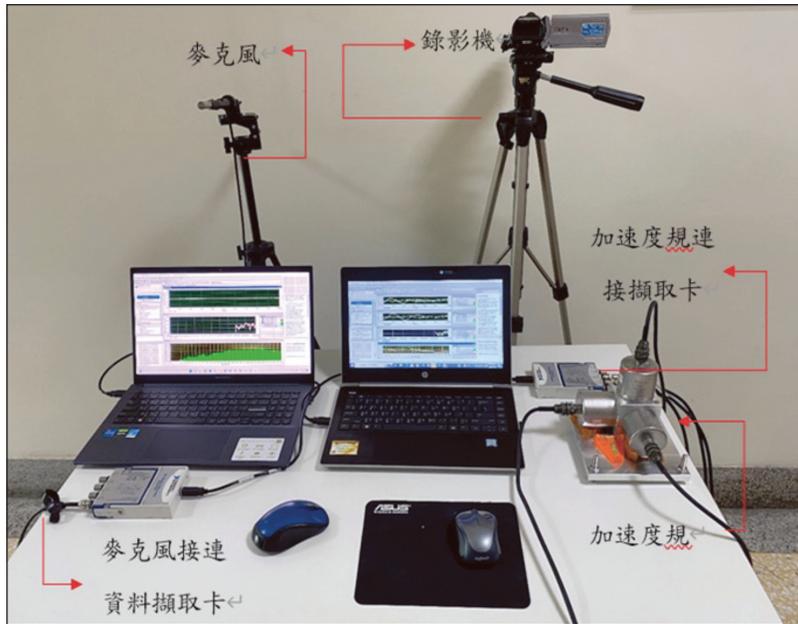


圖 5 本研究使用之現地量測系統照片



圖 6 背景噪音與振動現地量測照片

器；於確認各儀器均正常運作後，即啟動電腦軟體進行連續一小時（夜間為30分鐘）的噪音與振動量測。

除參照上述環保署建議之量測方法外，本研究更將各時段區分成10分鐘之區間，統計每一區間之平均與最大背景噪音量、產生

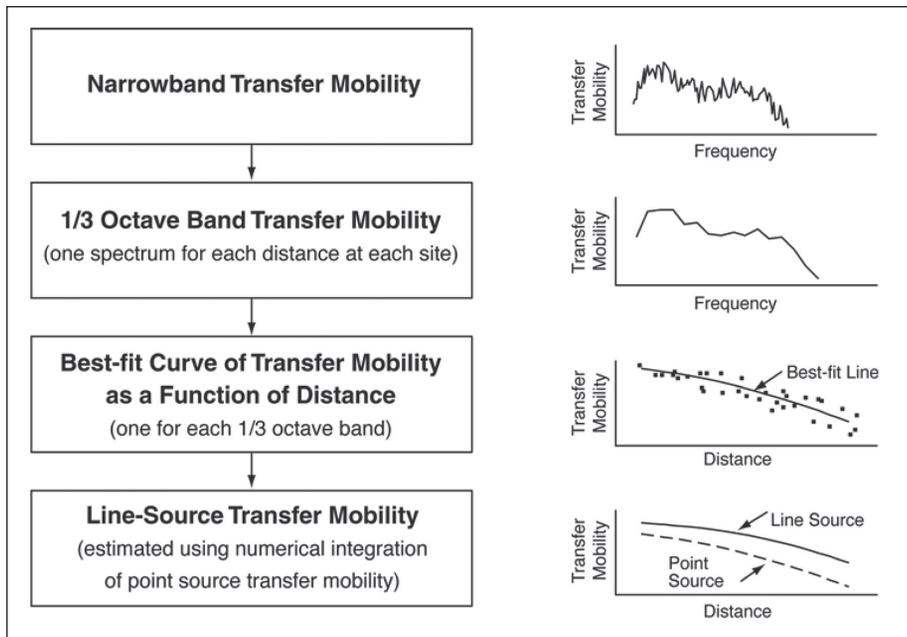


圖 7 地層傳遞動特性量測步驟 [5]

最大背景噪音之主要噪音源；三個軸向之平均背景振動量、最大Z軸振動量及其主要振動源；雙向（同向與逆向）之3種不同大小車輛（大車、小車及機車）之車流量，以進行背景噪音及振動量與車流量間之相關性分析。

2. 地層傳遞動特性量測

本研究參照美國聯邦運輸部（Federal Transit Administration, FTA）[5]建議之方法進行人造振源地層傳遞動性量測，其流程如圖7所示。茲說明如後：如圖8所示，首先選定垂直於捷運預定路線之測線，沿測線設定敲擊點並於距敲擊點數個不同之距離（本研究採用5、7.5、10、12.5、15、20、25與30 m）擺放三軸向加速度規（擺放位置會依

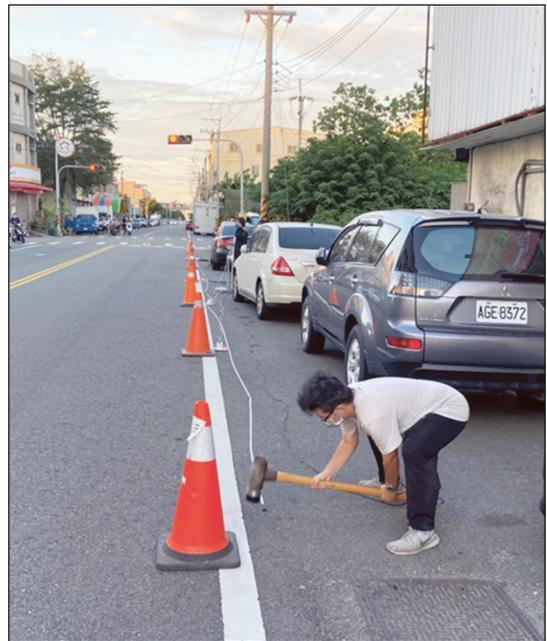


圖 8 線源傳遞動性試驗現地量測照片



現場環境限制因素進行調整)。每條測線進行30次敲擊，每次敲擊皆記錄歷時2秒之衝擊錘敲擊力與加速度規振動訊號。

進行分析時將加速度規記錄的加速度歷時訊號 $a(t)$ 做積分轉換成速度歷時訊號 $v(t)$ ，再將敲擊錘（力規）的施力歷時訊號 $P(t)$ 與速度歷時訊號 $v(t)$ 以快速傅立葉轉換，將時間域訊號轉換至頻率域求得其頻譜 $P(f)$ 與 $v(f)$ 。由衝擊力與速度頻譜計算其相干係數（coherence），相干係數反映此振動反應與衝擊力之相關性。所以，相干係數越高，量測的振動訊號與敲擊力關聯性越大，代表訊號受外部雜訊影響越少。每個測點會敲擊30次，取相干係數較大者做為後續點源傳遞動性分析之用。將不同距離之速度頻譜 $v(f)$ 除以參考速度 v_0 ($=2.54 \times 10^{-8}$ m/s)，得到 $v(f)/v_0$ 。將敲擊力頻譜 $P(f)$ 除以參考衝擊力 P_0 ($=1$ N)，得 $P(f)/P_0$ 。將各頻率的速度頻譜值 $v(f)/v_0$ 與敲擊力頻譜 $P(f)/P_0$ 相除，取對數再乘以20，得到 $20\log(\frac{v/v_0}{P/P_0})$ 之窄帶（narrow band）點源傳遞動性（transfer mobility）頻譜。再以1/3八音階倍頻分析，將窄帶頻譜平滑化得到1/3八音階倍頻點源傳遞動性頻譜。再經由線性迴歸分析，求出所有中心頻率的點源傳遞動性與振源距離之迴歸直線的截距 b 與斜率 m ，以得到其他振源距離之點源傳遞動性估計值，再依此對列車長度進行Simpson數值積分，得到線源傳遞動性。即由迴歸所得之 m 與 b ，代入公式（1），計算軌道上的 (x, y_0) 的點源傳遞動性之平方 $TM_{point}^2(y_0, x)$

$$TM_{point}^2(y_0, x) = TM_{ref}^2 \times 10^{\frac{b+m \log \sqrt{(y_0^2+x^2)}}{10}} \quad (1)$$

其中， $TM_{ref} = 2.54 \times 10^{-8}$ m/s/N，再以公式（2）做積分得距軌道 y_0 的線源傳遞動性函數值， L 為列車長度

$$TM_{line}^2(y_0) = \int_{-L/2}^{L/2} TM_{point}^2(y_0, x) dx \quad (2)$$

最後利用公式（3）將以分貝來表示， TM_{line} 即為線源傳遞動性。

$$TM_{line}(dB) = 10 \log(TM_{line}^2) - 20 \log(TM_{ref}) \quad (3)$$

3. 列車近源振動特性及力密度頻譜量測

本研究參考倪勝火與朱聖浩（2002）[8]有關台北捷運木柵沿線振動量測及影響評估分析方法，針對台中捷運綠線列車通過時所引發鄰近的地表振動進行量測，並調查該地點之地層傳遞動性，以分析營運中之捷運綠線的列車力密度頻譜以及振動衰減特性，做為將來台中捷運路網營運之地傳振動與地傳噪音分析之參考，其分析流程如圖9所示，包含3個主要量測項目：1）以捷運綠線列車為振源量測墩柱下方3軸向地表之振動，進行近源振動特性分析；2）以捷運綠線列車為振源量測距軌道中心線7個不同距離之3軸向地表振動以進行地層振動衰減分析與列車經過所引發之振動頻譜；3）以衝擊錘為振源量測距軌道中心線7個不同距離之3軸向地表振動，結合第2項中列車經過所引發之振動頻譜分析

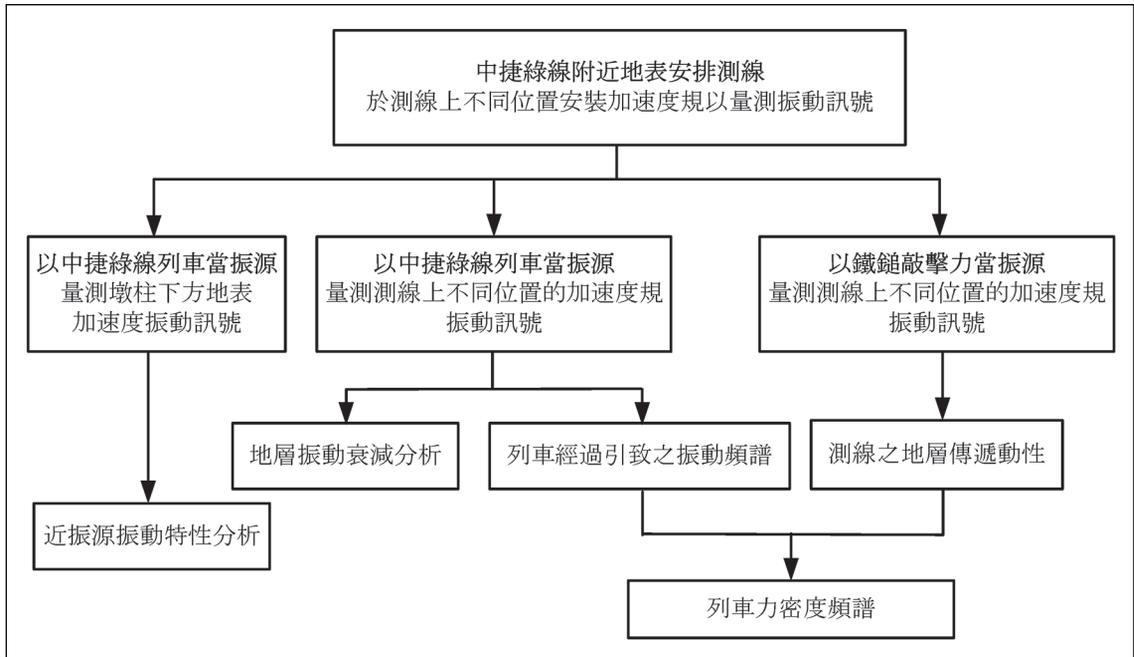


圖 9 列車近源振動特性及力密度頻譜之分析流程

捷運綠線列車之列車力密度頻譜。

近源振動特性量測除針對捷運列車在三種路段（進出車站、轉彎段、直線段）產生之振動進行分析外，亦利用連續小波轉換分析得到此振動訊號之時頻圖，由時頻圖上振動能量較高的部分判斷出列車車輪正好經過加速度規時的時間，由捷運列車最前輪與最後輪位置之時間差及列車長度來計算列車在通過量測點之車速。

地層振動衰減分析採用兩種模式：1) Bornitz (1931) [6]將打樁施工引致之振動透過土層傳遞之行為視為點振源，並假設產生

之地表振動主要以雷利波型式向四周傳遞，所提出之振波衰減經驗公式：

$$A_2 = A_1 \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} e^{-\alpha(r_2-r_1)} \quad (4)$$

其中：

- A_1 ：為測點 1 到振源之振幅
- A_2 ：為測點 2 到振源之振幅
- r_1 ：為測點 1 到振源之距離
- r_2 ：為測點 2 到振源之距離
- α ：為材料阻尼係數

2) Wiss (1967) [7]就各種不同性質之土壤（包括黏土、乾砂、沖積土、濕砂所構成



之不同地盤)，以現場測試的方式研究振波在地盤中傳播及衰減之情形，忽略振波之波傳型式，僅考慮振波隨傳播距離不同而衰減的趨勢，所提出之地盤振波衰減經驗公式：

$$V = k D^{-m} \quad (5)$$

其中：

V：地表振動速度振幅

k：距振源一單位距離之振動速度振幅

D：距振源之距離

m：衰減係數

捷運綠線列車經過所引發之列車力分析則亦參考前述美國FTA之建議分析方法[5]，其計算公式如下：

$$L_F = L_V - TM_{line} \quad (6)$$

其中， L_F 為列車力密度， L_V 為列車產生之振動頻譜， TM_{line} 為線源傳遞動性。FTA提到當運輸軌道採高架方式而以墩柱來支持時，公式(6)的線源傳遞動性應改為點源傳遞動性 TM_{point} ，這是因為列車載重以墩柱傳遞至地面上，墩柱在地面視為只有一個施力點，故列車力密度 L_F 改用公式(7)來計算：

$$L_F = L_V - TM_{point} \quad (7)$$

三、調查結果

(一) 臺中捷運藍線沿線背景噪音與振動

1. 背景噪音

臺中捷運藍線沿線10個測點3個不同時段量測到之背景噪音量($L_{eq,1hr}$)整理於表4中。

表 4 捷運藍線沿線各測點背景噪音量測結果

測站	管制區分類	$L_{eq,1hr}$ [dB _A , ref: 20*10 ⁻⁶ Pa]				
		早上	下午	法規容許值	夜間	法規容許值
臺中火車站	第四類	68.0	68.3	75	64.5	65
第二市場	第三類	74.8	73.6	75	72.2	65
臺中市政府	第三類	76.9	75.5	75	75.7	65
臺中轉運站	第二類	75.0	73.5	70	71.4	60
澄清醫院	第二類	76.8	75.7	70	74.4	60
臺中榮總	第二類	74.2	74.9	70	73.9	60
正英站	第二類	70.5	70.9	70	71.2	60
竹林國小	第二類	72.4	70.6	70	68.0	60
沙鹿陸橋	第三類	74.5	75.0	75	75.9	65
童綜合醫院	第二類	71.8	71.0	70	69.4	60

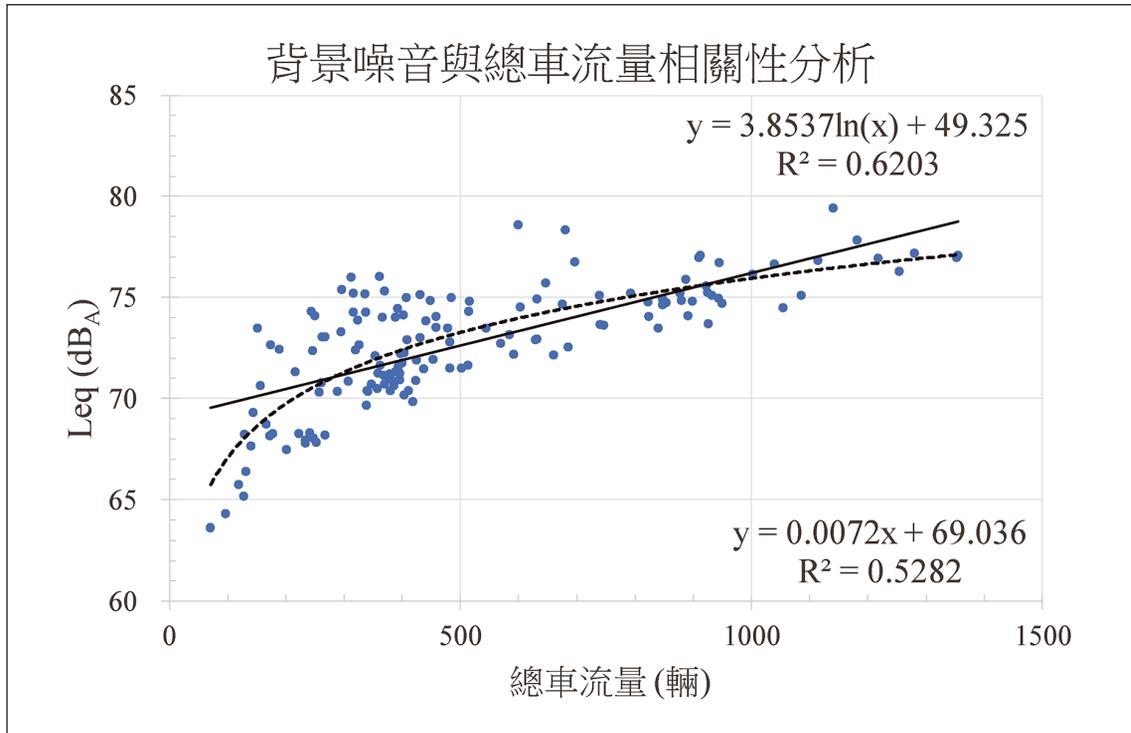


圖 10 捷運藍線沿線 10 個測點之背景噪音與車流量之相關性分析

由表4可以看出：調查之10個測點其平均背景噪音量日間介於68.0~76.9 dB_A ，夜間介於64.5~75.9 dB_A 。除了臺中火車站測點位於大智北路上車流量較少，以及第二市場與沙鹿陸橋測點之日間背景噪音量低於環保署之噪音管制法[9]之容許值外，其餘7個測點之背景噪音量不論是白天或夜間均已超過噪音管制法之容許值。

除了背景噪音之量測外，本研究亦利用攝影機統計3個時段每10分鐘區間經過各個測點之大型（大客車與大貨車）、小型（小客車與小貨車）與機車之車流量。綜合10個

測點3個時段不同區間內之背景噪音量與車流量數據將其彙整於圖10中，由此圖可以看出背景噪音量明顯隨車流量之增加而增加。若以直線迴歸其相關係數 R^2 為0.5282，若改採對數迴歸，則相關係數提高至0.6203。雖然單一測點背景噪音量與車流量間之線性迴歸相關係數因不同環境之影響有明顯的落差，有可能是因為單一測點數據量較小的影響。若將10個測點之所有數據納入考慮時，則可以看出背景噪音量與車流量間有明顯的線性關係。若將圖10中對數迴歸公式中之車流量（ x 值）以0代入，則可得在沒有車流之純背景噪音，約為49分貝，遠低於環保署規定之



表 5 捷運藍線沿線各測點背景振動量測結果

測站	管制區分類	$L_{V,RMS}$ [dB, ref: $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$]				
		早上	下午	法規建議值	夜間	法規建議值
台中火車站	第四類	50.0	53.2	60	48.1	57
第二市場	第三類	62.5	62.1	60	59.3	57
臺中市政府	第三類	61.6	61.1	60	59.6	57
臺中轉運站	第二類	54.5	50.5	55	52.0	52
澄清醫院	第二類	65.5	61.7	55	63.0	52
臺中榮總	第二類	55.6	55.3	55	52.0	52
正英站	第二類	64.1	55.1	55	54.2	52
竹林國小	第二類	57.9	57.4	55	52.0	52
沙鹿陸橋	第三類	52.5	53.3	60	56.7	57
童綜合醫院	第二類	51.5	50.7	55	46.3	52

夜間60分貝容許值。故若能以大眾運輸系統之捷運取代路面行駛之機動車輛，應可有效降低因車流產生之噪音，改善生活品質。

2. 背景振動

台中捷運藍線沿線10個測站以振動加速度基準之背景振動量測結果整理於表5中，由此表可以看出：各測點之總振動量白天介於50~66分貝，夜間則介於46~63分貝。其中澄清醫院測站之總振動量超出環保署之過渡期建議值[4]較多（約10分貝），第二市場、臺中市政府、台中榮總與竹林國小等4個測站總振動量略為超出建議值（約1~2分貝），其餘5個測站其總振動量則均在建議值之內。

綜合10個測點不同時段與區間內之背景振動量與車流量數據，將其彙整於圖11中。由此圖可以看出：背景振動量與車流量間

之關係零散，特別是在低流量（600輛/10分鐘）時，不論是使用那種迴歸方式兩者之間之相關係數明顯偏低（均低於0.1），此乃因各測點之周遭環境如地質條件、地下構造物（如排水溝、管道）等，都會影響到車輛產生震波之傳遞。由此可見，背景噪音量與車流量間之關係受測點周遭環境之影響較低；而背景振動量與車流量間之關係則很容易受測點周遭環境之影響。

（二）臺中捷運藍線沿線主要地質材料線源傳遞動性

本研究針對台中捷運藍線沿線三種主要地質材料（卵礫石、紅土礫石、以及砂質沉泥），各選擇2條測線進行以人造振源進行地層傳遞動性試驗，然後參照2-2節中美國FTA建議之方法計算線源傳遞動性，再將分析結

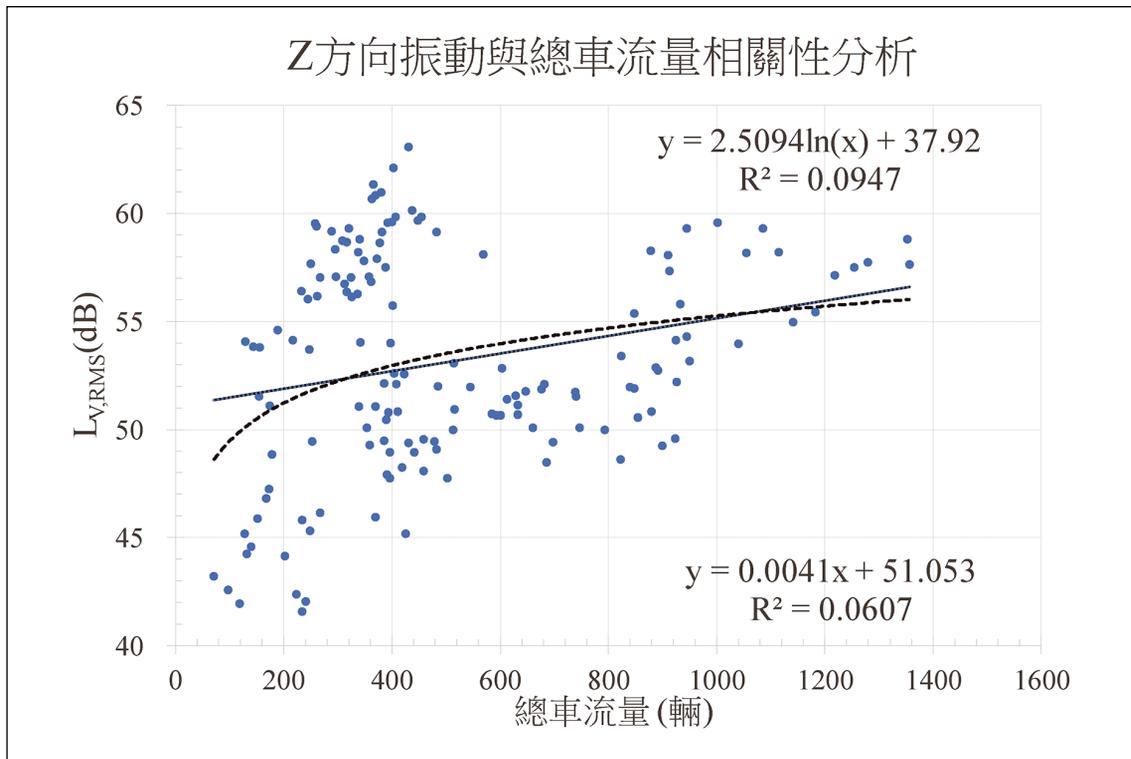


圖 11 捷運藍線沿線 10 個測點之背景振動與車流量之相關性分析

果以1/3八音階倍頻線源傳遞動性頻譜圖表示。由於衝擊錘敲擊地面主要的能量振動是Z軸（垂直地面）方向，所以本文僅呈現Z軸方向之傳遞動性分析結果。各測線距振源8個不同距離在Z軸方向之傳遞動性頻譜圖如圖12~圖17所示。從圖12~圖17之傳遞動性頻譜來看，對於同一振動頻率，距離振源最近之位置（5 m）的傳遞動性值最大，傳遞動性值隨著與振源距離之增加而衰減。由圖12與圖13可看出，測線一與測線二均位於卵礫石層上，其線型相似，在頻率為40~50 Hz時，線源傳遞動性有最大值，約25 dB，然後隨頻率

之增加而遞減。測線三、測線四則都位於紅土礫石層上，其線型亦相似，在頻率為80 Hz時，線源傳遞動性有最大值，約25~40 dB。測線五與測線六則位於砂質沉泥層，在頻率介於40~50 Hz時，線源傳遞動性有最大值，約20~25 dB，然後亦隨頻率之增加而遞減。

（三）臺中捷運綠線列車之近源振動特性及力密度頻譜

1. 列車近源振動特性

本節針對捷運綠線列車在三種路段（進

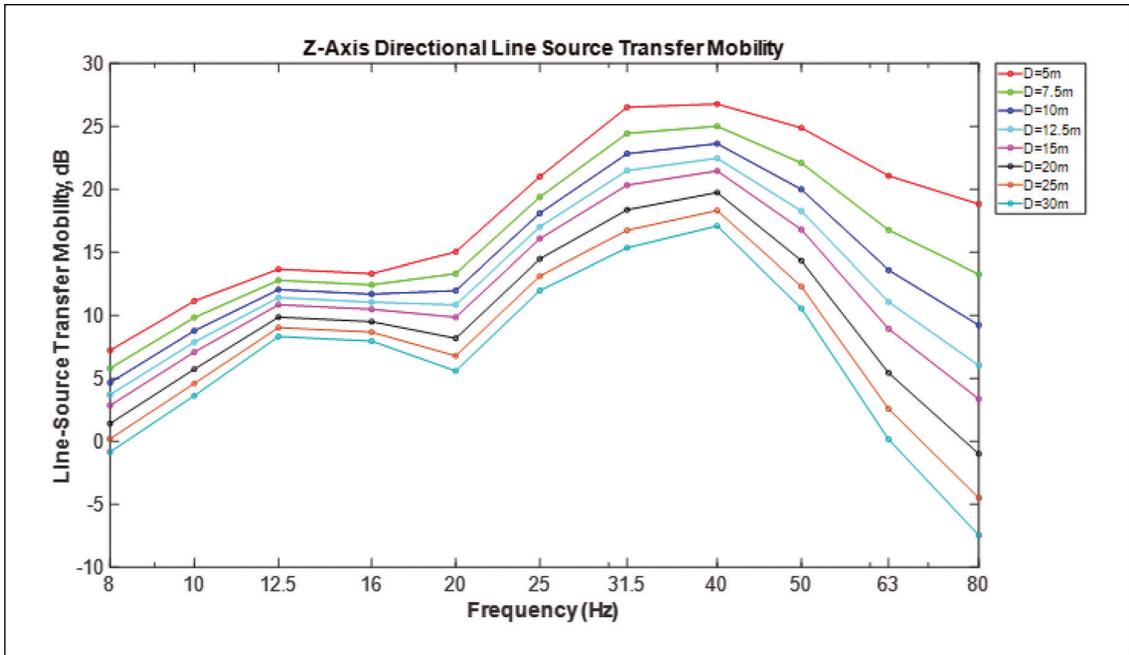


圖 12 測線一（中興街）在 Z 軸方向之線源傳遞動性頻譜圖

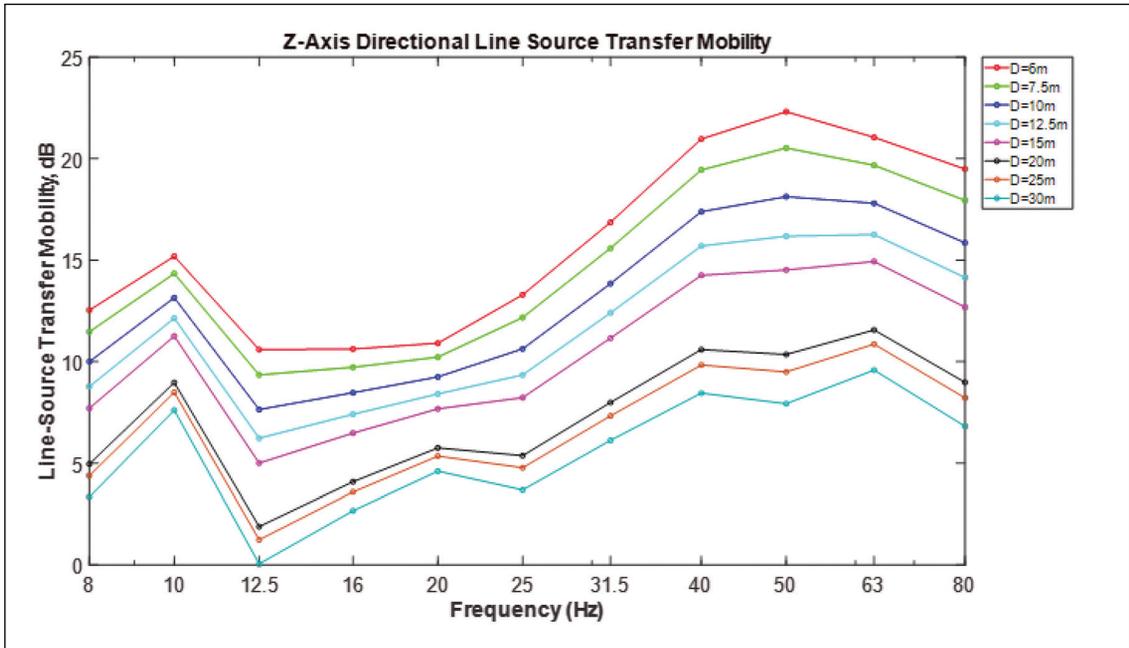


圖 13 測線二（市府停車場）在 Z 軸方向之線源傳遞動性頻譜圖

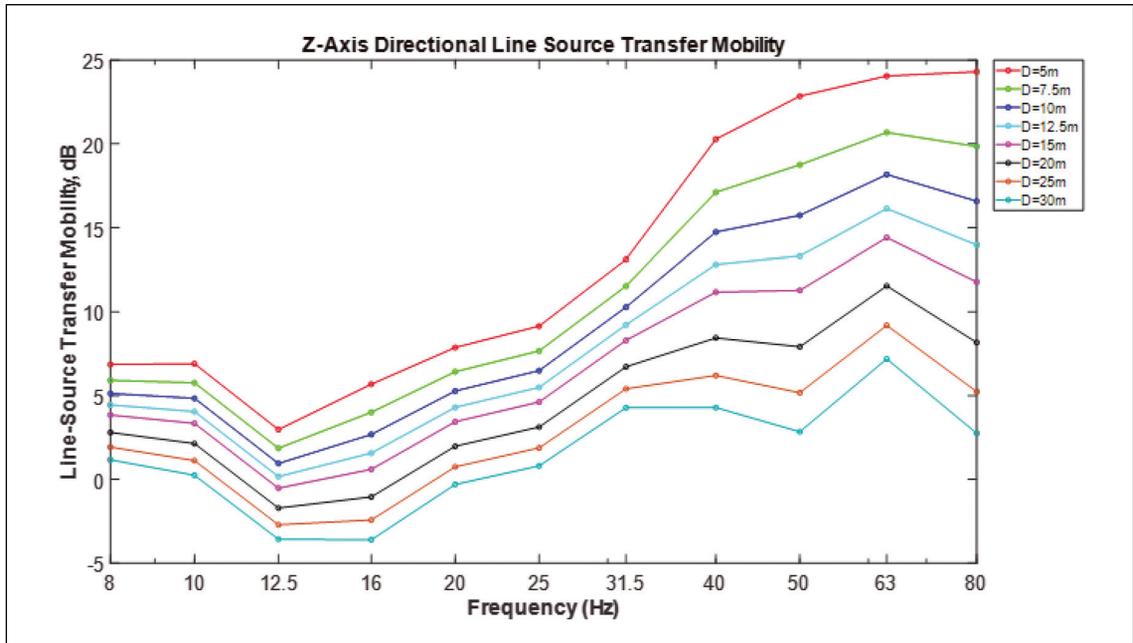


圖 14 測線三（1060巷）在 Z 軸方向之線源傳遞動性頻譜圖

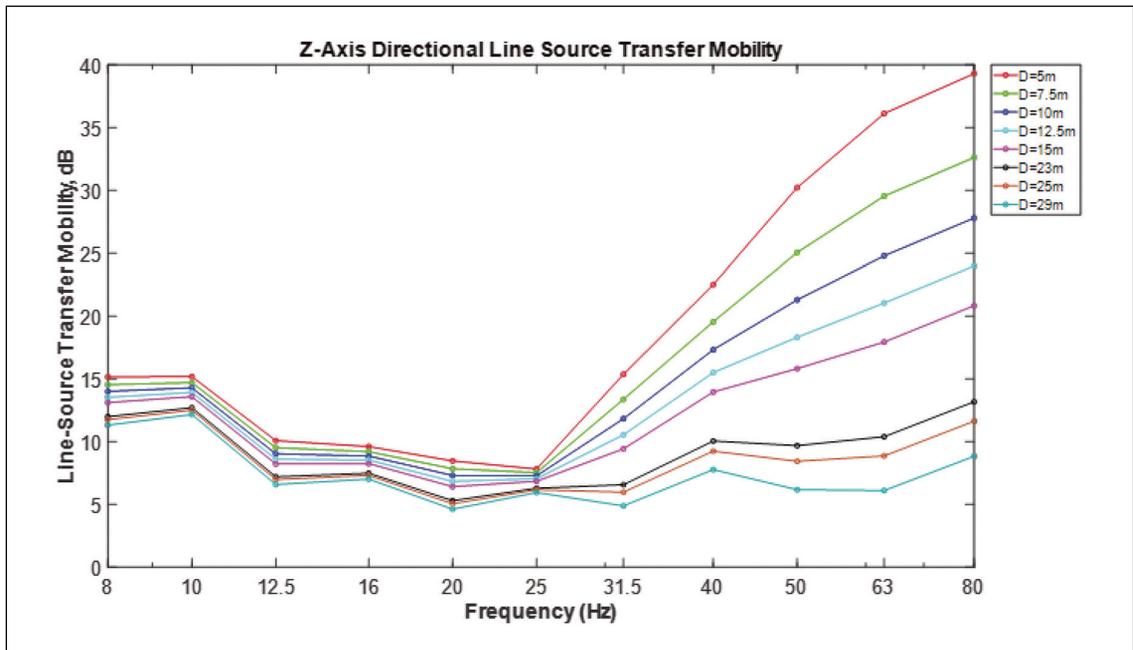


圖 15 測線四（都會南街）在 Z 軸方向之線源傳遞動性頻譜圖

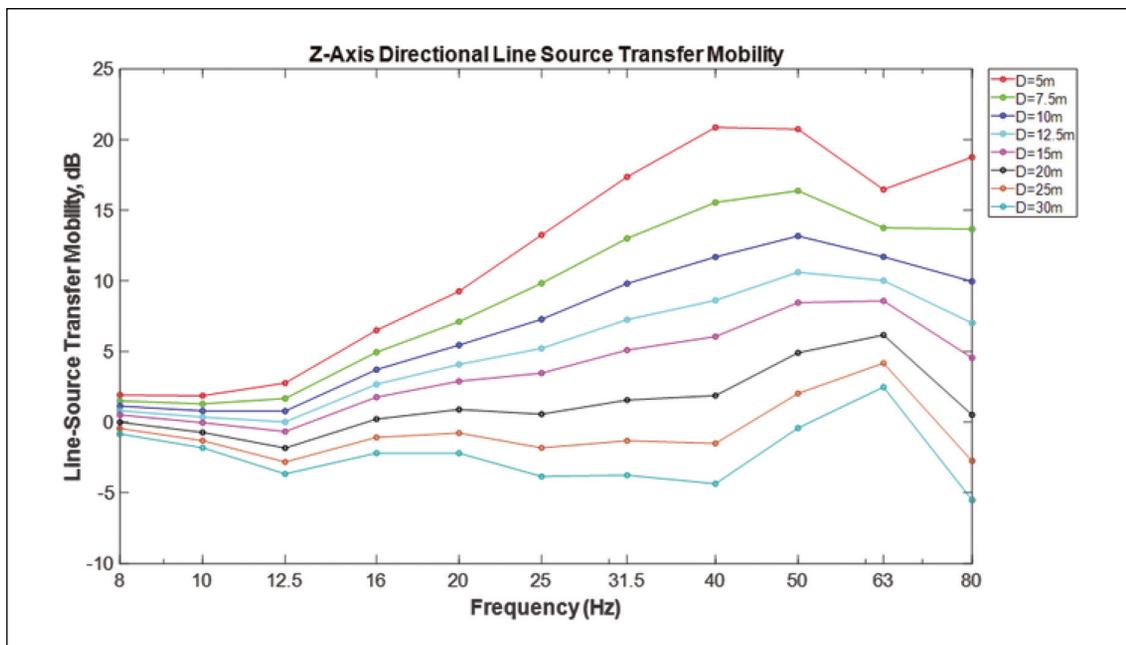


圖 16 測線五（光華街）在 Z 軸方向之線源傳遞動性頻譜圖

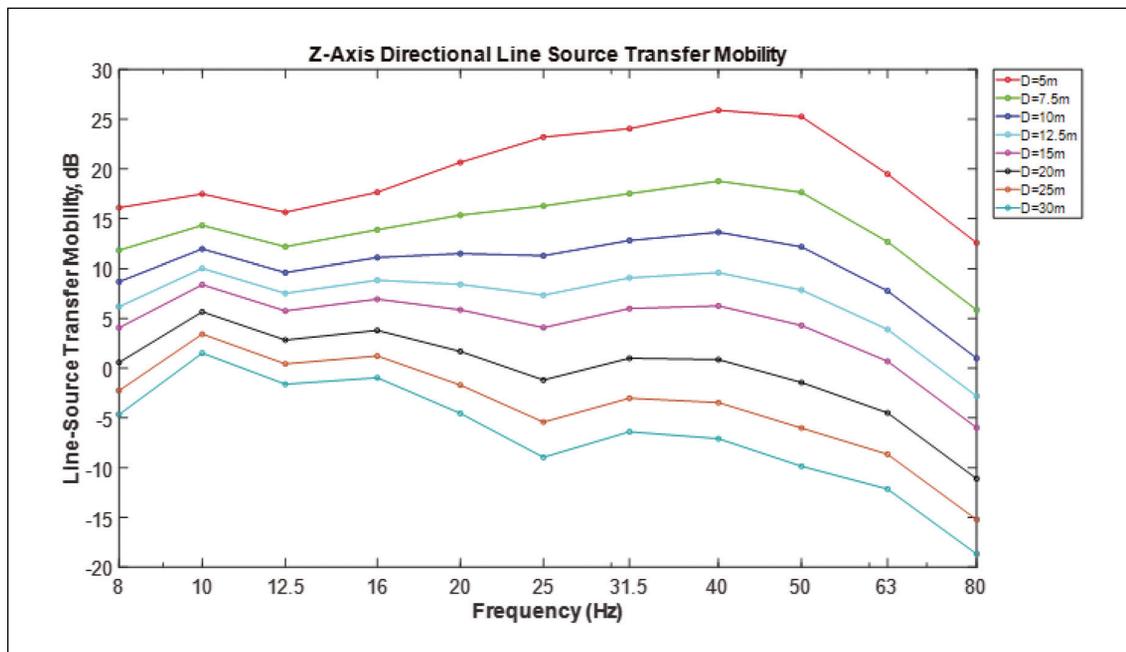


圖 17 測線六（和平街）在 Z 軸方向之線源傳遞動性頻譜圖

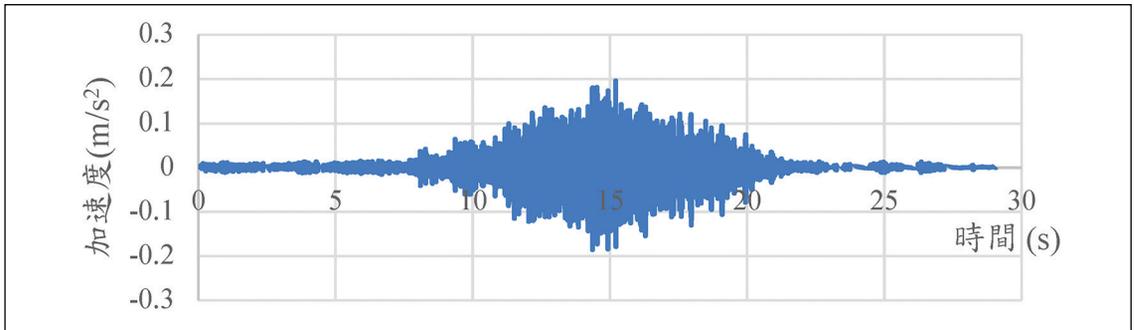


圖 18 捷運列車經過產生之鉛直 (Z) 方向地表加速度歷時

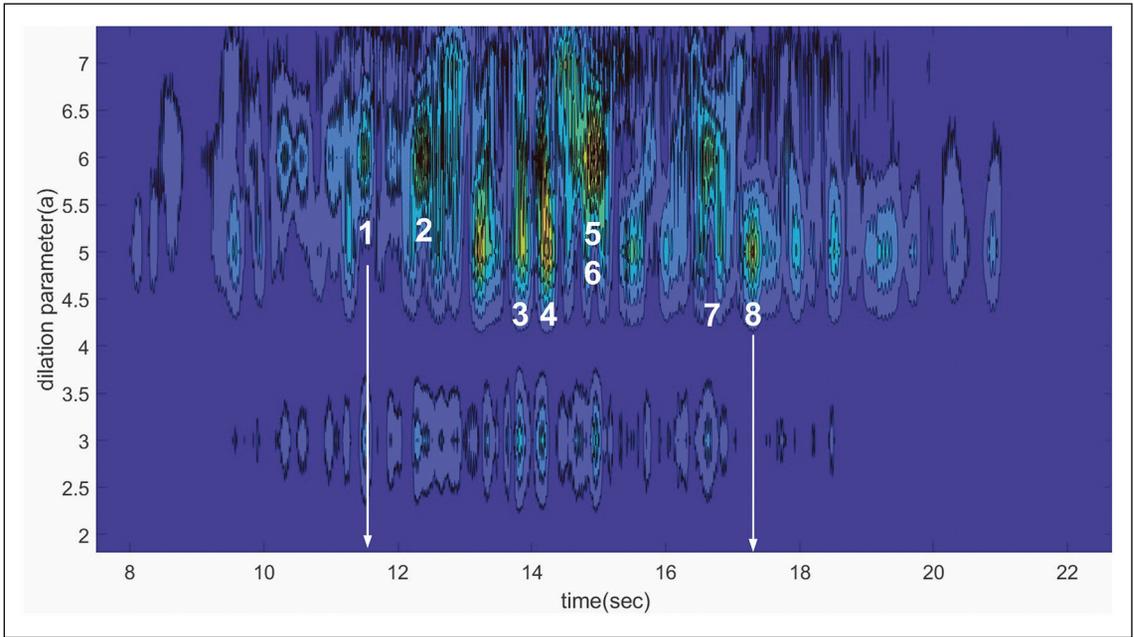


圖 19 連續小波轉換之時頻圖

出車站、轉彎段、直線段) 產生之振動進行分析與討論, 圖18為大慶捷運站南側約30 m 處(測點1)之加速度振動訊號, 經連續小波轉換分析可以得到此振動訊號之時頻圖, 如圖19所示。圖中之橫坐標為時間軸, 縱座標

為小波係數(與頻率相關), 圖上顏色代表振動能量之高低, 藍色部分能量較低, 黃色部分能量較高。由圖19可以看出, 能量較高的部分, 為列車車輪正好經過加速度規附近時所產生(圖上數字的位置), 此與台中捷

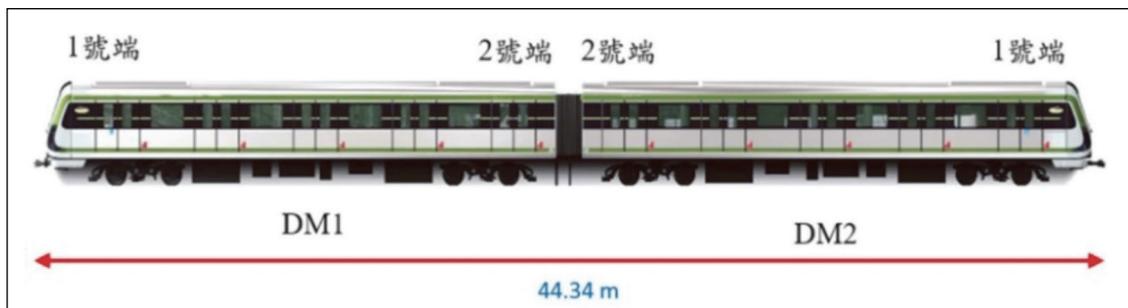


圖 20 台中捷運綠線列車車廂配置圖

表 6 列車通過測站時之車速統計分析

測點	測站	類別	車行方向	平均車速 (km/h)	標準偏差 (km/h)
1	大慶站	進出站	北上	27.3	0.63
			南下	28.1	1.30
2	中山醫大	轉彎段	北上	29.0	0.64
			南下	29.9	1.04
3	大墩 11 街	直線段	北上	60.9	0.42
			南下	60.9	0.42

運列車八組車輪（圖20）相對應。因此，可以由第一輪與第八輪位置之時間差及列車長度來計算列車在通過量測點之車速。列車在進出車站、轉彎段、直線段1小時內雙向各6班次之平均車速分析結果，如表6所示。

分析結果顯示：捷運綠線列車在進出車站之速度約為27.3~28.1公里/小時，在轉彎段之速度約為29.0~29.9公里/小時，在直線段之速度則約為60.9公里/小時。

站、轉彎段、直線段的墩柱下方振動之1/3八音階平均頻譜，黑線是將量測期間所量測的多個車次之振動頻譜值的平均結果。

由於列車進出車站的量測位置在大慶捷運站之南下方向約30 m的墩柱下方地表，所以南下車次為出站車班，北上車次為進站車班。由圖21可以看出，捷運綠線列車在進站或出站之平均頻譜近似，都在50 Hz有較大的振幅。

圖21~23分別為捷運綠線列車在進出車

圖22為綠線列車在轉彎段之振動速度頻

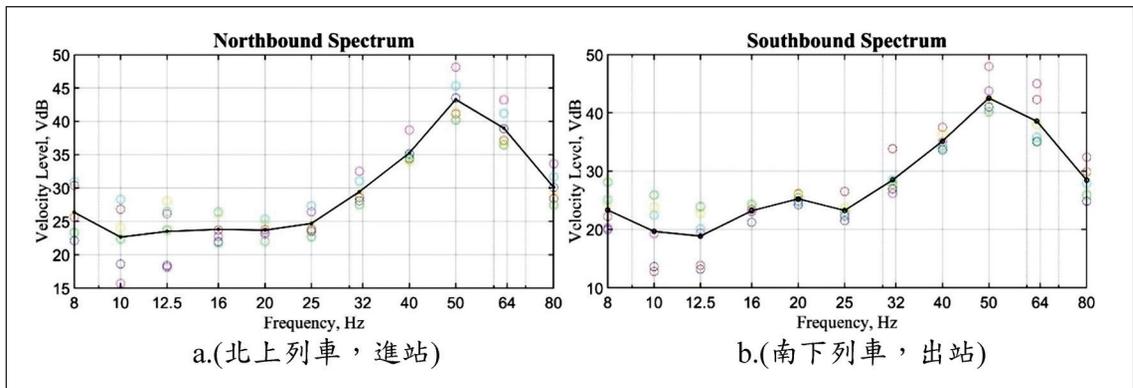


圖 21 捷運綠線列車在進出車站時之振動速度頻譜

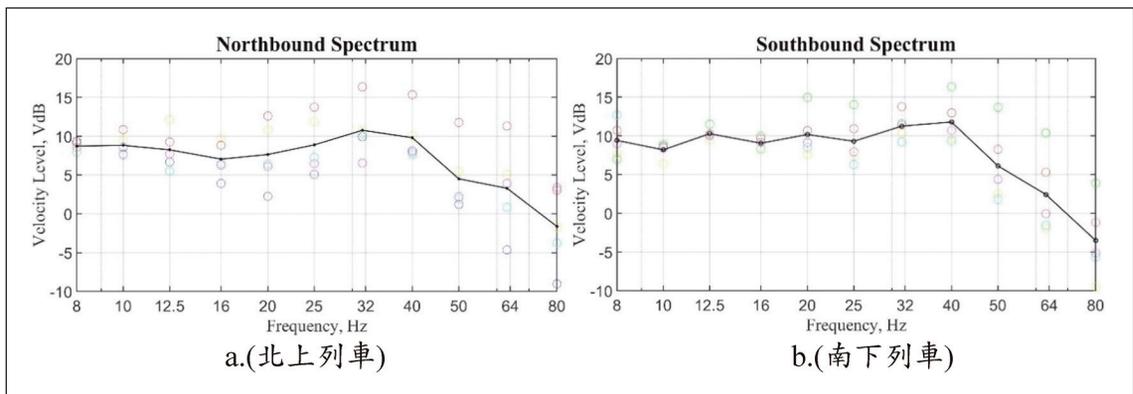


圖 22 捷運綠線列車在轉彎段之振動速度頻譜

譜，由此圖可以看出北上或南下列車在轉彎段墩柱下方地表振動之1/3八音階平均頻譜大致相同，當頻率小於40 Hz，其振幅差異不大，頻率超過40 Hz時振幅有下降趨勢。

圖23則為綠線列車在直線段之振動速度頻譜，由此圖可以看出北上或南下列車在直線段墩柱下方地表振動之1/3八音階平均頻譜亦很相似，都有較明顯的雙峰，在20與50Hz

處有較大的振幅。

2. 捷運綠線列車引發地表振動衰減分析

本研究參照2-2節中的Bornitz與Wiss之衰減模式對捷運綠線列車經過所引發地表振動之衰減分析，於中山醫大附近（測線1）量測距捷運中心線不同距離之振動訊號進行迴歸分析，以得到綠線列車振動振幅隨距離衰減之趨勢，並求取土層衰減係數，其結果整理

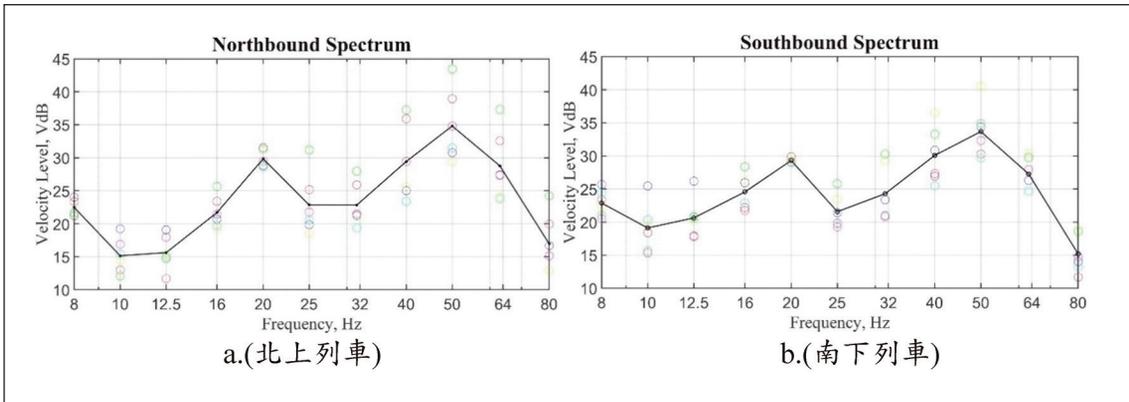


圖 23 捷運綠線列車在直線段之振動速度頻譜

於表7中。分析結果顯示：以Bornitz模式求得土層之材料衰減係數 α 約為0.05，較高的衰減係數 α 發生在頻率等於40 Hz。以Wiss模式分析得到土層之衰減係數 m 約0.3~2.0，較高

的衰減係數 m 發生在頻率等於40或100 Hz。當頻率小於31.5 Hz時，數據點較離散，可能是因為低頻振動需要較長距離才能有明顯衰減。由於Bornitz模式得到之材料衰減係數較

表 7 中山醫大附近測線在 1/3 八音階中心頻率之地層衰減係數

中心頻率 f_c (Hz)	Bornitz Model 衰減係數 α			Wiss Model 衰減係數 m		
	X	Y	Z	X	Y	Z
8	0.047	0.046	0.046	0.931	0.523	0.665
10	0.047	0.047	0.045	0.979	0.508	0.577
12.5	0.046	0.046	0.042	0.750	0.656	0.291
16	0.047	0.046	0.043	1.111	0.774	0.304
20	0.048	0.046	0.043	1.305	0.797	0.308
25	0.048	0.048	0.045	1.467	1.238	0.609
31.5	0.050	0.048	0.049	1.528	1.339	0.990
40	0.053	0.052	0.052	2.074	1.707	1.449
50	0.053	0.052	0.049	1.891	1.785	0.964
63	0.048	0.048	0.046	1.281	1.390	0.712
80	0.050	0.052	0.049	1.746	1.558	1.163
100	0.051	0.050	0.054	1.903	1.556	1.887

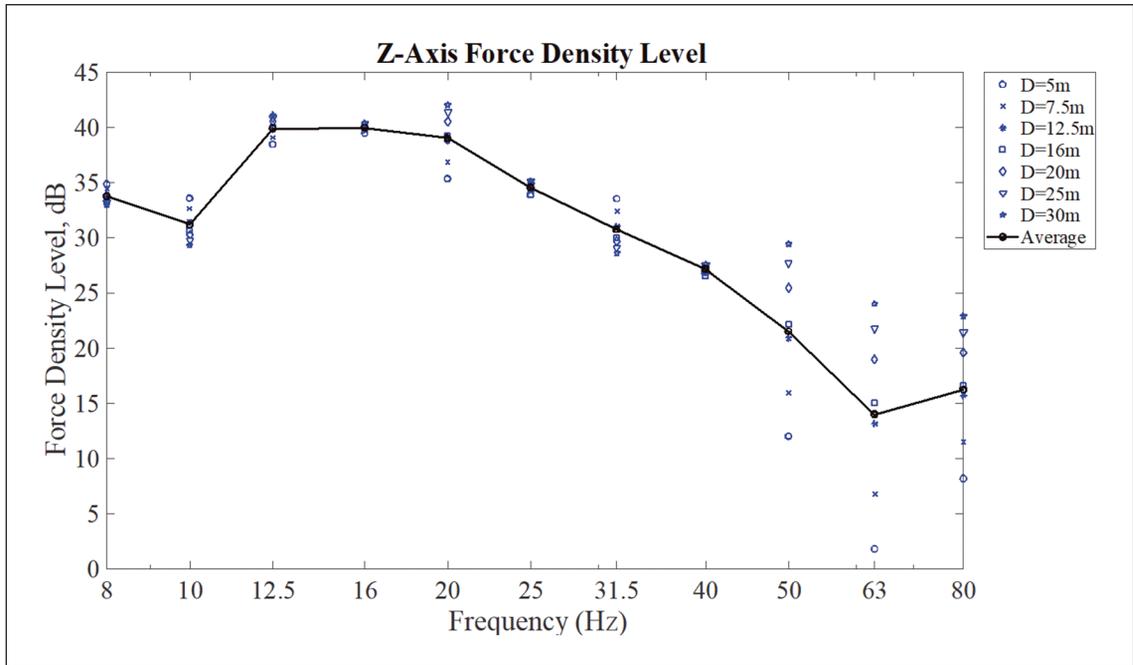


圖 24 中山醫大附近捷運綠線列車之 Z 軸方向列力密度頻譜

穩定，且線性迴歸時數據較集中於迴歸直線附近。因此，Bornitz模式較適合用在台中捷運振動之衰減分析。

3. 列車力密度頻譜

參照美國FTA建議之方法，利用2-2節中公式(7)分析得到捷運綠線Z軸方向之列車力密度頻譜，如圖24所示。利用距捷運中心線不同距離之振動振幅皆可計算其列車力密度頻譜，本文取各距離平均值來代表捷運列車在此量測點之列車力密度，如圖24之粗黑線所示。從此圖可以看出捷運綠線之平均列車力密度介於15 ~40 dB之間，最大值發生在12.5 Hz。

四、結論

本研究量測臺中捷運藍線沿線10個代表性測點之背景噪音與振動、以及此路線之三種主要地質材料之線源傳遞動性 (TM_{line})。此外，本研究亦分析已通車營運之臺中捷運綠線場址之地層振動衰減係數以及列車力密度頻譜，以提供臺中都會區捷運列車地傳振動與噪音分析之參考。綜合各量測結果可以獲致以下之結論：

1. 捷運藍線沿線背景噪音量測結果發現調查之10個測點其平均背景噪音量 ($L_{eq,1hr}$) 日間介於68.0~76.9 dB_A ，夜間介於64.5~75.9



dB_A。除了臺中火車站測點的3個時段、以及第二市場測點的日間時段之背景噪音量低於環保署制定之噪音管制法標準值外，其餘8個測點之平均背景噪音量均已超過噪音管制法的標準值。此外，與車流量相關性分析結果顯示：背景噪音量與車流量間有明顯的線性關係，若將對數迴歸公式中之車流量值以0代入，可得在沒有車流時之純背景噪音約為49~51分貝。

2. 捷運藍線沿線背景振動量測結果發現調查之10個測點其平均背景總振動量($L_{V,RMS}$)日間介於50.0~65.5 dB，夜間介於46.3~63.0 dB。其中澄清醫院測點之總振動量超出環保署之建議值較多(約10分貝)，第二市場、臺中市政府、臺中榮總與竹林國小等4個測點總振動量略為超出建議值(約1~2分貝)，其餘5個測點其總振動量則均在建議值之內。此外，與車流量相關性分析結果顯示：背景振動量與車流量間之關係則很容易受測點周遭環境之影響，單一測點背景振動量與車流量間有明顯的線性關係，綜合不同測點之量測數據則發現線性關係不佳。

3. 捷運藍線沿線人造振源之線源傳遞動性(TM_{line})試驗結果發現：3種地質材料之傳遞動性(Transfer mobility)均有隨著距離之增加而衰減的趨勢。卵礫石層之線振動量最大值約20~25 dB，發生頻率位在20~50 Hz之間；紅土礫石層之發生頻率則

為80 Hz；砂質沉泥層線振動量最大值則約25 dB，發生頻率則位在40~50 Hz。

4. 捷運綠線沿線之3個測點近振源振動試驗結果發現：列車在進出車站之速度約為27.3~28.1公里/小時，在轉彎段之速度約為29.0~29.9公里/小時，在直線段之速度則約為60.9公里/小時。此外，振動頻譜分析結果發現：進出車站處之最大垂直(Z軸)振動量發生在50 Hz，約為40~45 dB；轉彎段之最大垂直振動量發生在32~40 Hz，約為10 dB；直線段之最大垂直振動量則發生在20與50 Hz，分別為30與35 dB。因此列車於不同車速行駛時，皆有40或50Hz的尖峰頻率，此可能是捷運車輛或橋墩距離之影響。

5. 捷運綠線列車經過所引發地表振動之衰減分析果發現：以Bornitz模式求得之地層材料衰減係數約為0.05，較高的衰減係數發生在頻率等於40 Hz；以Wiss模式求得之地層衰減係數m(含幾何阻尼與地層材料阻尼)約0.3~2.0，較高的衰減係數m發生在頻率等於40或100 Hz。由於Bornitz材料衰減係數較穩定，且線性迴歸時數據較集中於迴歸直線附近。因此，Bornitz模式較適合用在台中捷運振動之衰減分析中。

6. 捷運綠線列車力密度頻譜分析結果發現：捷運綠線平均列車力密度介於15~40 dB之間，最大值發生在12.5 Hz。



參考文獻

1. 臺中市政府 (2022), 「台中捷運 4 年推動 6 路線打造完善路網」, <https://www.taichung.gov.tw/2228185/post>。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司 (2022), 「臺中地區地層振動與噪音量測計畫」期末成果報告, 計畫編號: 11936。
3. 行政院環境保護署 (2016), 「環境噪音量測方法」, 公告日: 2016/11/2、實施日: 2017/03/15; 公告字號: 1050095238。
4. 行政院環境保護署 (2021), 「環境振動管理指引」, 2021/12/20 環署空字第 1101142559 號函。
5. Hanson, C. E., Towers, D. A., and Meister, L. D. (2006), "Transit Noise and Vibration Impact Assessment," Report No. FTA-VA-90-1003-06, Federal Transit Administration, pp.11-1~11-23.
6. Bornitz, G. (1931), "Über die Ausbreitung der von Groszkolbenmaschinen erzeugten Bodenschwingungen in die tiefe," Springer (Berlin).
7. Wiss, J. F. (1967), "Damage Effects of Pile-Driving Vibrations," Highway Research Records, Vol. 155, pp. 14-20.
8. 倪勝火與朱聖浩 (2002), 「台北捷運木柵 (內湖延伸) 線 145 標 - 沿線振動量測及影響評估分析」期末報告, 財團法人成大研究發展基金會, 臺南。
9. 行政院環境保護署 (2013), 「陸上運輸系統噪音量管制標準」, 2013/9/11 環署空字第 1020077145 號令。



基隆中山一二路拓寬暨 共同管道工程建設經驗分享

林同棧工程顧問公司計畫經理 / 魯成俊
林同棧工程顧問公司土木技師 / 徐適康
林同棧工程顧問公司工程師 / 許柏謙

關鍵字：共同管道、供給管、幹管、支管、纜線管路、電纜溝、特殊部

摘要

基隆市中山路為港區西側南北向之主要道路，東臨縱貫鐵路與市中心及港區相隔，缺乏橫向聯繫，造成基隆市東西兩側通過性交通必須穿越市區鐵路，且因道路之東西向聯絡點侷限於中山路橋及291巷，致使市區交通更形壅塞紊亂。原有中山路由於路寬不足，街廓路口距離又小，每逢上下午尖峰時段服務品質下降，為因應老舊之港西高架橋梁拆除且配合基隆市環港核心商業區都市更新計畫，故將中山一二路拓寬成30~40米景觀道路以改善市區交通及都市景觀並提供港區貨櫃運輸功能。

由於拓寬後之中山一、二路路幅為市區少數道路幾何條件符合建置共同管道之主要道路，如能藉由此次拓寬機會併案興建共同

管道，除能解決基隆市中山路長久以來管線紊亂之情形外，亦將是基隆市共同管道建設之重要里程碑。如興建共同管道配合火車站更新計畫一併執行，將使本區之生活品質與機能奠定良好根基，亦使基隆港西岸地區環港商圈之交通及景觀獲得極大助益，達到港市雙贏之目標。故本案例在藉由基隆中山一二路之共同管道建設經驗提供未來共同管道規劃設計作業參考，使我國相關建設更加完備。

一、前言

因應基隆市中山一、二路拓寬工程之推展，進行老舊管線更新及新設需求調查及整合，在有限的地下空間新建共同管道。工作內容包含共同管道幹管及供給管之設計工作，其中包括主管道、橫向聯絡管道、特殊



林同棧工程顧問公司，中山一、二路道路拓寬工程（基隆港西岸高架道路拆除替代道路）施工階段簡報，109.8。

圖 2 港區主要交通動線位置圖

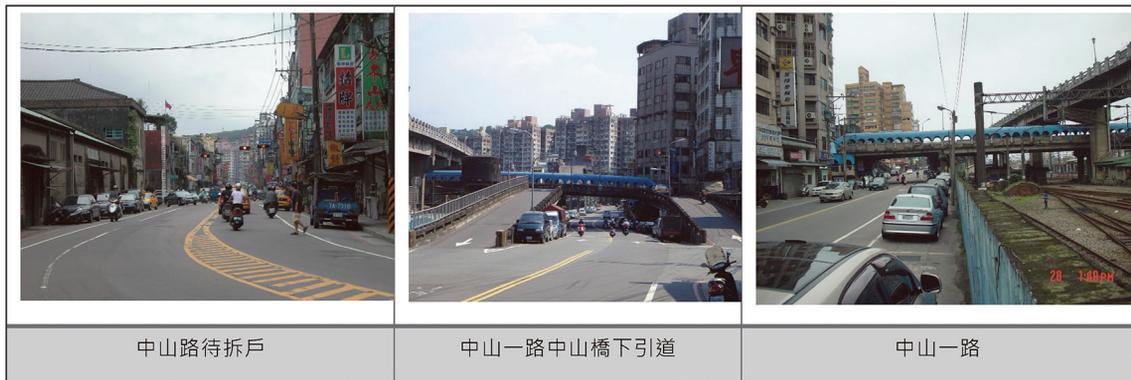


圖 3 中山一、二路沿線舊照

對現有中山路左側沿線密集之民房產生拆遷動作，原則以中山一、二路現有左側街緣為控制條件向右侧港區方向拓寬。至於港西專

用道路部分，設計階段經蒐集高速公路局當初已報部停工之「國道一號基隆端出入口改善工程」設計資料及考量其工程已部分施作

因素，於起點銜接高速公路部份仍依該案之設計資料為藍本予以銜接，其餘路段則以平面實體分隔方式與中山一、二路拓寬道路採共構配置。

而港西專用道路則自起點至台二線跨越陸橋（31號橋）前大致沿用原有港西高架橋原址，之後設置於中山一、二路拓寬道路中央，平面段則以實體分隔與慢車道區隔，終點同拓寬範圍為中山二路與中華路交岔口，全線以中山二路36巷為分界點，以南部分拓寬為40 m道路，以北則拓寬為30 m道路。

（二）主體工程規劃

1. 基隆市中山一、二路拓寬工程（含共構港西高架道路）

中山一、二路為既有道路拓寬，平面線形主要為現況回歸，路幅沿中山一、二路現有左側街緣向右侧港區方向拓寬，縱斷面亦大致與現況高程相去無幾，高程控制因素有安一陸橋、港西專用道重建淨高需求及鄰接道路和民宅之順接等。

中山一、二路在STA.1K+060（中山二路36巷以南）拓寬為40 m景觀道路，佈設雙向四車道，與港西專用道路共構，路段基於市港交通分流之考量，將10 m寬之港西專用道路配置於中山一、二路中央，中山一、二路內側快車道寬3.5 m，外側混合車道寬5.25 m，兩側各設置5.0 m寬之人行道，中央分隔帶12.0 m作為港西專用道路及綠帶設施。在STA.1K+060（中山二路36巷以北）道路全寬縮減為30 m，分隔帶由1.5 m縮減為0.75 m，兩旁快車道縮減為3.25 m，混合車

道縮減為4.25 m，人行道則縮減為2 m。

2. 原港西高架道路拆除工程：

為配合「中山一、二路道路拓寬工程」中新建之港西專用道路，故需拆除原港西高架橋後，再利用其舊有路權來佈設新橋梁結構單元。由於原港西高架道路位於現行之鐵軌上方，是以其拆除期程配合臺鐵之縮軌計畫分為兩個階段拆除。

港西專用道路重建部分平面線形於匯入中山一路前以原地重建為原則，路線自國道一號高速公路現有西岸高架橋起點開始，沿現有西岸高架橋至安一路與中山一路交會處後與中山一、二路拓寬採平面共構方式處理。高架橋梁計跨越中山高主線、成功二路31號橋、安一陸橋及環港核心商業區計畫道路忠一路，依據高速公路局標準，鋼橋結構跨越高速公路應留設6.1 m淨高以利後續維修養護作業，其餘道路淨高採5.1 m為標準，路線最大縱坡6.5%，縱坡長度150 m。

港西專用道路起點東、西行線分離路段在西行線部分車道寬為5.5 m，兩側各設0.55 m護欄，在東行線部分則沿用原有高速公路局設計之路寬。東、西行線合併路段則佈設雙向雙車道，車道寬為3.5 m，兩側各設置1 m寬之路肩及0.55 m護欄。

（三）相關工程界面

1. 「基隆火車站暨西二西三碼頭都市更新計畫」關聯性工程

基隆火車站都市更新計畫開發及環港核心商業區都市更新計畫的推動，預期可適度



引入商業功能設施與基本服務設施，以活化都市機能，改善都市環境。基隆市政府於民國九十七年三月完成「基隆火車站都市更新之站區鐵路高架化可行性研究」，以儘量減少徵收、租用土地及拆遷民房為主要考量，期望能在最小之阻力及衝擊下，研究出最佳可行方案，當時基隆車站規劃將南移至忠一路及忠二路之間，與現在完工狀況大有不同。

2. 軍方營區代建代拆工程

設計階段因中山一、二路拓寬工程拓寬路線預定通過海軍基隆後勤支援指揮部營區，而配合拆除部分圍牆及營舍，並另選擇周邊區域予以遷建，以維持營區原有效能。不過在拓寬工程施工時，軍方營區僅有大門做局部修改及營區內營舍改建，營區範圍並未有大幅度改變。(營區位置詳圖4)

3. 基隆火車站都市更新站區遷移計畫(鐵路地下化位置請參見圖5)

「基隆火車站都市更新站區遷移計畫」經交通部檢討修正後，火車站將向南移，規模大幅縮減為2島式月台、4股軌道，且利用中山一、二路與開發基地高差，軌道下降4公尺，使中山一、二路得以平面連接更新基地，並讓部分股道隱置於拓寬路面下，且配合日後都市計畫變更進度設置簡易進出口，促使更新基地完整規劃使用，大幅提高都市更新開發可行性。本計畫在拓寬工程設計階段尚在規劃階段，但因拓寬工程遭遇抗爭等諸多因素工期遞延甚久，最終完工工期與拓寬工程幾近相當。

4. 臺鐵縮軌計畫

為「中山一、二路道路拓寬」及「基隆



林同棧工程顧問公司，基隆火車站暨西二西三碼頭都市更新計畫都市更新關聯性工程計畫(99-101年)審查會簡報，98.12。

圖4 軍方營區拆除範圍示意圖

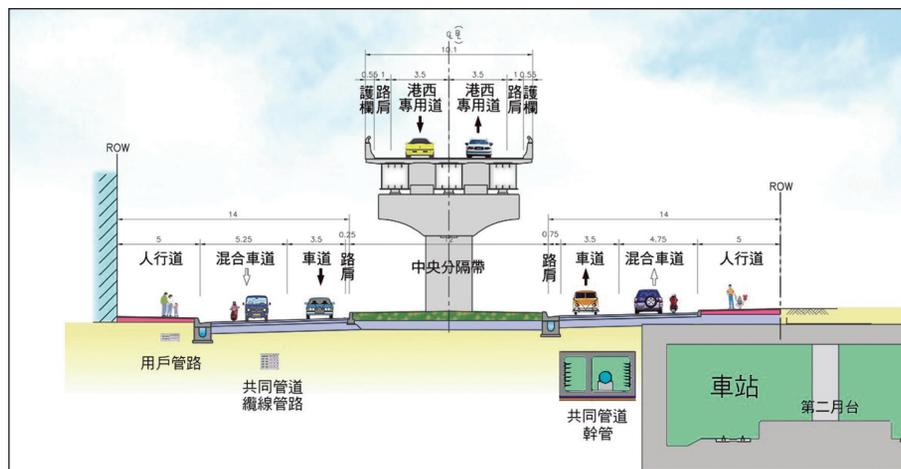


圖 5 鐵路地下化工程與道路拓寬工程相對位置圖



圖 6 新建港西高架道路 & 共同管道與基隆火車站新站工程共同施工現況

火車站都市更新站區遷移計畫」之配合工程，當時預定於99年3月完成8-16股拆軌工程，以利部分舊港西高架道路拆除及中山一、二路道路拓寬工程平面道路施工（施工照片請參見圖6），且在原有車站臨時軌完工啟用後，將用地交予基隆港務局拆除剩餘之舊港西高架道路，讓中山一、二路道路

拓寬工程之新建港西高架道路能順利施工，最後於「基隆火車站都市更新站區遷移計畫」完工通車、新車站亦啟用後，交付都更土地。

5. 基隆市捷運綜合規劃

「基隆市輕軌運輸系統建設計畫優先路



線綜合規劃」案係為滿足基隆市區居民之旅運需求，發揮整體運輸效益。基隆市政府已完成「基隆市輕軌運輸系統建設計畫優先路線綜合規劃」案，併同「基隆市輕軌運輸系統建設計畫優先路線環境影響評估」案，已於98年5月完成，而臺北市政府捷運工程局於98年8月完成「臺北捷運延伸至基隆可行性研究」案，後續期盼建構整合捷運交通路網。

優先路線（以下簡稱海線捷運）規劃建議路線起自基隆火車站，沿忠一路北轉中正路，路線全線以採高架為主。另山線捷運規劃在基隆車站與海線捷運作銜接（詳見圖7），而基隆山線捷運定義為台北捷運的延伸方案，可成為大臺北地區進入基隆最主要之大眾運輸帶。

基隆捷運計畫當時於道路拓寬工程及火車站更新工程設計階段，曾配合考量捷運匯入道路及車站間介面，但最終並未實施。

6. 基隆市中山橋及三十一號橋改建工程

中山橋及三十一號橋之工程範圍，如圖8所示。其中中山橋改建工程，主要包含「既有中山橋及其引道拆除」及「安一路平面化工程」兩部份。該計畫周邊之道路為東西向之成功二路-三十一號橋-忠四路（省道台2線）、安一路-中山橋、忠一路等，南北向之中山一路、孝四路-公園街等，鄰近尚有西定路、忠二路、忠三路與孝二路等。現今除該計畫中山橋及鄰近之三十一號橋跨越鐵路外，尚有距離中山橋約600 m之港西街可供穿越，而忠一路已於107年11月通車連接中山一路，區域交通路網更加完善便捷。

就自然環境而言，基隆由山、河、海構成，屬丘陵地形，全市95%為山坡地，其聯外道路皆以基隆港為起始點作輻射狀，向東西南三個方向延伸，但因鐵路軌道阻隔，長期來往交通需藉由橋梁聯繫，因此橋梁儼然成為基隆市連接交通要道的重要樞紐。中山



圖7 基隆山線捷運與海線捷運作銜接示意圖



圖 8 中山橋及三十一號橋周邊路網示意圖

橋與三十一號橋位於基隆市火車站附近，皆橫跨鐵路，中山橋西側銜接安一路連往台2線，可通往北部濱海公路，東側銜接忠二路右轉後可通往國道1號。三十一號橋原為直接聯繫台2線與國道1號，為北部濱海公路的便捷通道。近年來因台62線完成，舒緩其交通需求，中山橋及三十一號橋不僅是當地居民進出基隆市之重要橋梁，亦為貫通基隆市東西向交通的主脈，但因兩座跨越橋樑齡已高，且隨著忠一路貫通至中山一路及鐵路地下化，已造成區域交通的需求變化，因此中山橋拆除及安一路與中山一路平面相交成為新的工程課題。

三、共同管道設計及施工考量

(一) 沿線管線現況

中山一二路共同管道計畫路線起終點分別(B 0K+049.81~D 1K+866.13)位於中山一路、中山二路，故起始階段先就銜接點現況管線進行調查及資料收集並綜合整理成管線現況圖(如圖9)。既有管線與本工程衝突時，原本預計採先建後拆方式遷移，以維持公共管線服務民生用戶之需，但因原有道路路幅狹小，故電力、電信及寬頻等配線部分，最後以架空臨遷方式辦理，既有瓦斯及

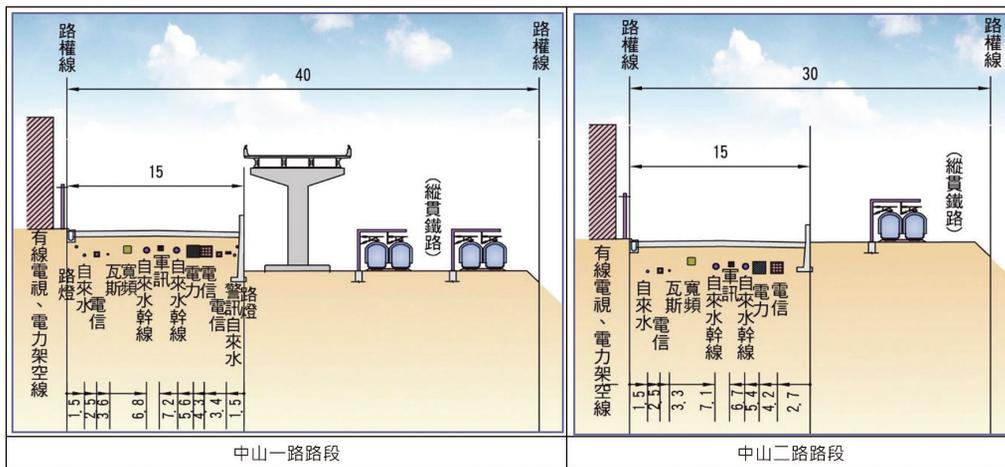


圖 9 道路既有管線佈設示意斷面圖

自來水，則暫置於既有側溝上方內，不但節省臨遷位置，也維持既有排水路暢通。

(二) 管線收納考量及共同管道配置

欲決定共同管道系統收容管線種類，除與各管線單位充份協商，了解其既有及未來需求外，另需將安全及經濟層面納入考量，同時就前述各相關工程配合介面，因此在設計階段做以下之考量：

1. 於拓寬工程設計階段即邀請電力、電信、自來水、中油、警計、軍訊、交通號誌、雨污水、瓦斯、路燈、寬頻、有線電視及固網等各管線事業（主管）機關研商共同管道興建大計與參與意願。
2. 交通、路燈、有線電視、通訊網路等配管為直接服務沿線需求，故僅設置於供給管內即可。

3. 瓦斯不納入共同管道

瓦斯管具有潛在之較高危險性，傳輸物具有溢散性及可燃性，尤其對電力纜線更具敏感及威脅性，就經濟層面考量，瓦斯管納入會大幅增加建設成本，故從安全、心理及經濟等層面考量，不納入共同管道系統。

4. 雨污水系統不納入共同管道

雨污水系統採重力流輸送，必須依循特定坡降設計，與本工程管道縱斷面線形坡度不契合，納入將無形中增加管道建造成本，因此並未納入。

幹管共同管道所收納管線多是大口徑、高電壓或是管線數量較多的通過性管線幹線系統。而供給管主要用來接戶使用，其型式主要有支管、電纜溝及纜線管路（簡稱 C.C.BOX）三種，支管用於有人行道且有收納硬管類管線（如：自來水）時施設，電纜溝適合設置於人行道下方，可配合人行道鋪

面共同施作，纜線管路則適用於一般AC道路下方。本工程在考量各路段道路配置條件及所需收納管線之需求，幹線以矩形雙孔箱體方式設置，藉以收納超高壓電力、電信幹纜及自來水幹管，山側供給管則配合人行道拓寬及考量與既有建物過近不易施工等因素，採纜線管路型式施工，海測則以支管型式施設，以利後續都市更新區接管使用，以期達到完整收納管線，減少挖掘之效。考量管線需求性質與共同管道幹管及供給管之搭配設置，依據各種管線計畫需求量及前述之配置原則，彙整出3種共同管道標準斷面型式，如圖10所示。

(三) 共同管道配置規劃

共同管道幹管特殊部的設計配置，不僅

影響管線安排的便利性，同時攸關共同管道未來操作的實用性，其種類大致計有共同部分的人員出入口、通風口及集水井等，及專屬管線部分的材料搬運口、管線分歧室、電纜接續室等，根據其功能分別有不同型式。

1. 人員出入口（如圖11）

依整合工作孔減少路面開口的原則，人員出入口亦具備材料投入、防災及自然通風的功能，其型式及設置的位置應配合管道斷面變化來決定，設置間距採50~100公尺設置一處作為設計原則。

2. 通風口（如圖12）

支管原則上不設通風設備，以自然通風或採可攜式抽風機抽換氣為主；幹管因管道空間較大，則以200公尺設置一處通風口，

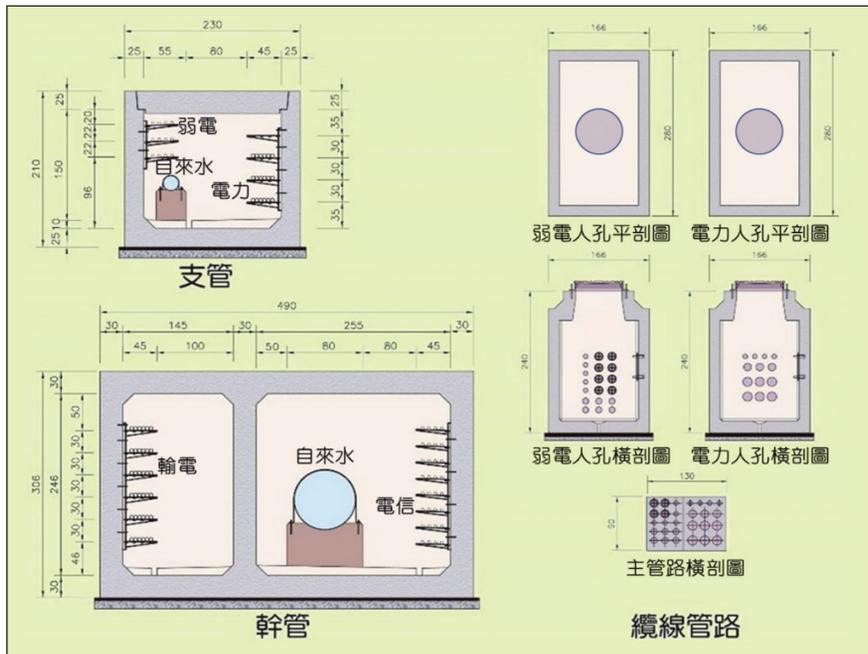


圖 10 共同管道選用型式斷面圖

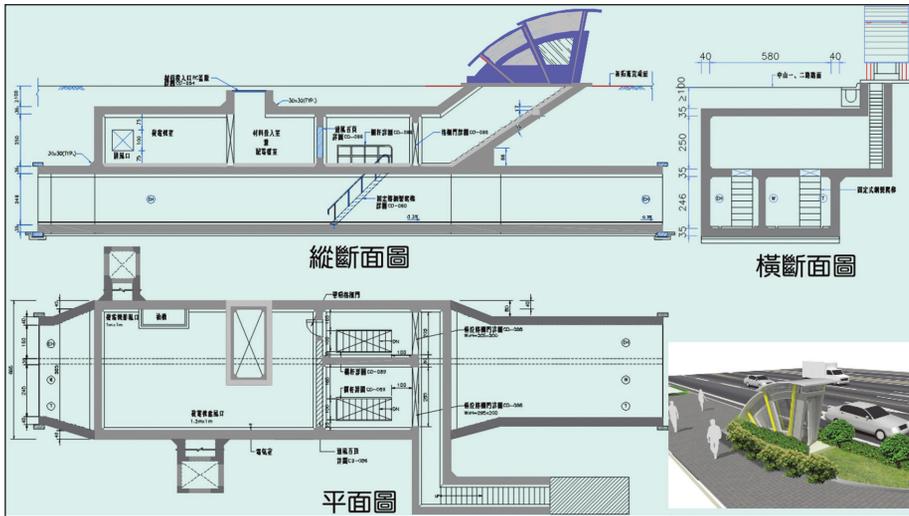


圖 11 共同管道人員出入口、機電室及材料搬運口配置圖

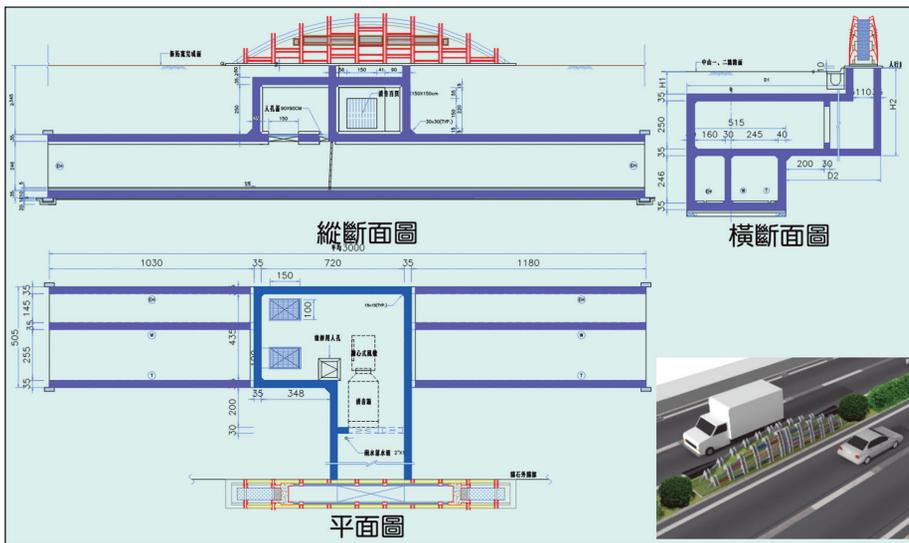


圖 12 共同管道強制抽風口配置圖

其設置需依據管道內部溫度及換氣速度而定，分為自然進氣口及強制抽風口，採交錯設置為原則，強制抽風口下方需考量設置軸流式風機設置空間，進氣口宜設置於綠帶較

無空氣污染處，強制抽風口則宜設置於分隔島或抽風口面向道路側，以避免對行人產生風害。

3. 材料搬運口、分匯部及接續室（如圖13）

管道相交部位的特殊設施空間稱分匯部，其配置完全依管道對外分匯需求而決定其位置，本工程則以供給管分出橫向聯絡管道與幹管相接之位置以及幹管分匯出忠一路方向作設置，以避免實際管線施工時相互干擾，造成佈線（纜）施工上之不便。基於電纜長度之維護安全考慮，接續室之設置不要太過密集，原則上配合材料搬運口平均約200公尺設置一處。

4. 集水井

集水井以收集管道內滲入或清洗水，再由抽水機排至道路上之雨水系統，原則上設置於管道最低滯處，如屬連續上下坡縱斷面線形，設置間距以不超過200~300公尺為原則。

（四）施工介面協調與規劃

本共同管道工程幹管工程及支管海側工程位於中山一、二路道路拓寬工程之北上車

道，此部份之共同管道工程係配合用地徵收及地上物拆除時程分為三個路段施作，由於鐵路地下化工程開工時程較晚及舊港西高架橋拆除騰出施工空間，故本工程於各個路段皆係以明挖擋土半半施工方式施作。因此施工方法及程序除考量施工方法外，並應著重於施工程序之合理安排及交通維持計畫等。經考量現地條件、設計結構型式、經濟性及時效性等相關因素，並配合中山一、二路拓寬工程整體施工步驟，幹管工程及共同管道支管海側工程部份於施作北上車道時配合施作；南下車道之共同管道纜線管路山側工程則於北上車道施作完畢並將車流改道後，於施築南下車道時同時施作；橫向管線連接管因為連接幹管主體及供給管間之管線，此部分管線施作則配合中山一、二路拓寬工程採半半施工方式進行。

（五）共同管道結構體施工

幹管結構體兩側打設鋼板樁，採明挖場

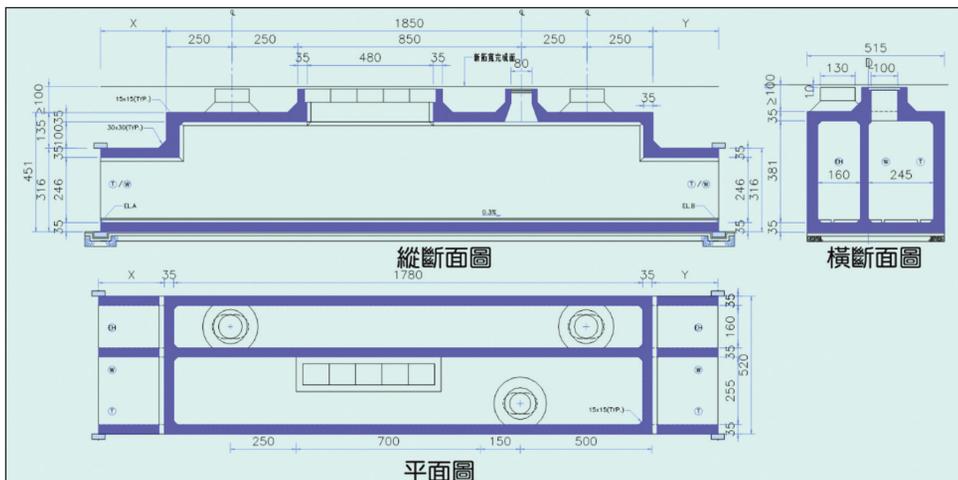


圖 13 共同管道材料搬運口配置圖

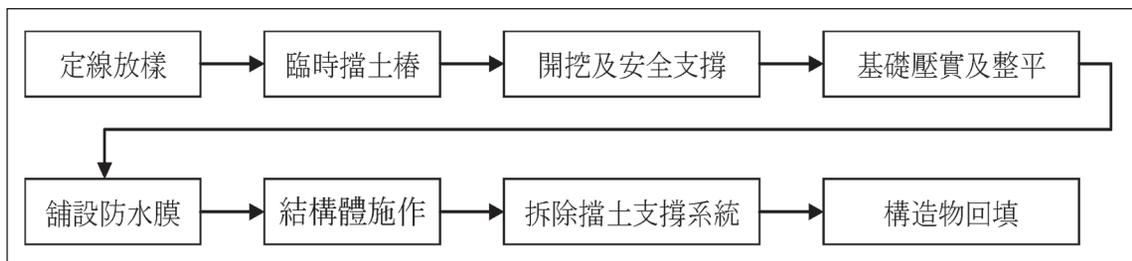


圖 14 共同管道結構體施工程序圖

鑄工法施作，其結構型式以雙孔箱型併排為主；山側纜線管路等小型結構物，則臨民房旁側施作預壘樁，另一側則打設鋼板樁，並採明挖場鑄方式施築，為縮短施工開挖期程及較容易閃避既有地下設施，採施工彈性較大的纜線管路型式。

共同管道幹管及支管為考量內部防滲水要求，其結構體外部將以完全包覆防水膜之方式處理。共同管道結構體施工程序如圖14所示：

四、重點課題說明

(一) 既有管線與管道端點之銜接

1. 設計及施工的考量重點

傳統管路與管道銜接處常因管線眾多，且因各單位管線集中於管道端部，穿纜及接管皆須牽涉到各單位之權益及方便性，管道端部設計及施工應注意以下事項：

- (1) 端部管路之配置位置應分區配置管理以方便管線單位銜接。
- (2) 端部引出管路，不可僅留預留接頭，不同單位之預留管，應引留置至投影面並平行（銜接至傳管平面位置），不應

重疊，以防未來接管施工困難，最好應於工程施工期間一併配合施作管路銜接。

- (3) 管道結構端部應使用清水模板做為組模材料，避免水由固定模板之鐵絲或工作縫滲漏。
- (4) 過牆管使用膨脹性管塞，避免對外銜接管路時因外水滲入造成管道系統淹水。

2. 工序及新舊系統的配套考量

既有管道與新設共同管道端部的銜接，主要重點在防水及施工期間維持其功能兩個主要部分。過牆管防水失敗常常是共同管道漏水的主要原因，因此本工程針對新舊管的銜接細節特別予以注意，在設計上作以下的處理：

- (1) 共同管道端部管口採預留足夠需求+未來擴充需求兩個部分，管道因需施作防水膜，故需避免以後銑孔方式增加穿牆孔，因此穿牆管在管道端部壁面內需增加止水板，並在傳統銜接管路端包覆一層防裂纖維網及液態防水膜，並視土壤側為撓度較大之一側，避免作長距離的CLSM或混凝土回填，而自來水則是在共同管道壁外施作一處可撓管，以避免在地震來時，共同管道端及傳統管路端

因牆面兩端機械性質不同造成接合處防水失敗。

- (2) 因供給管收納管線主要都是使用中之配管，因此在維持民生管線運作的優先考量之下，必須要減少施工中及完工後系統切換的次數及時間，因此先建後拆是最高指導原則。
- (3) 對於較輕巧的纜線，預先在原有中山路建物對向側埋置臨時電桿，將原有低壓電纜、有線電視、光纖網路及電信配線予以架空；自來水及瓦斯則附掛或暫置於原有路側溝內，至於位於舊路權下方的高壓電纜及電信幹線，在不影響施工的原則下則留置於原地，待共同管道纜線管路及自來水與瓦斯新管完成後，將原有傳統管路人孔與共同管道人孔銜接，隨後於纜線管路內佈設新纜，暫掛於架空電桿上的纜線則於系統轉換後進行拆除及拔桿，原有傳統管路內幹纜則依拆除計畫期程依序移除及進行人孔下地作業，並依公告共同管道路段相關規定禁止於原有傳埋管道內埋設新纜。
- (3) 接戶管的更新作業為供給管施作的另一重點，因中山路沿線為緊鄰之既有住宅及商家，接戶點必須遷就原有的引接點逐一重接，但因接點極多且施工廠商會面臨管線公私分界點與管線事業單位的權責區，故讓共同管道施工廠商建立新的施工責任分界點，即在一定距離的道路（人行道）用地上建築物旁設置共用小型手孔作為共同管道的銜接終點，後端則由管線事業單位由手孔分接接戶管路至原有接戶管作系統性切換。

（二）興建共同管道與寬頻管道之去留

中山一二路寬頻管道共計有1917.8公尺，手孔43座，管位位於距西側建築線3.5公尺。未來興建共同管道後，寬頻管道何去何從，應有所規劃安排。因政府近年積極推動「路平專案」，實因導源於傳埋管路人手孔過多，管線事業單位各謀其政，路面挖挖補補，無法充分有效整合，且因地下空間有限，新設管道往上堆疊，故導致道路平整度不佳，交通安全事故頻傳。

基於上述原因，共同管道本應負擔起減少人手孔之首要責任，故經評估後採以下處理原則：

1. 寬頻管道手孔整併至纜線管路人孔，於供給管系統內保留管路系統空間（請詳圖 15 及圖 16），使用費及管理費收費辦法則考量公平原則，依「共同管道建設及管理經費分攤辦法」及「基隆市共同管道管理維護辦法」收取。
2. 寬頻管道內尚有使用中之光纖纜線，於施作共同管道供給管時應先予以臨時架空，待供給管完成後再遷入新設之供給管內。

（三）高地下水及鄰建築構造物之開挖施工方式

因計畫範圍具高地下水位，需選用適當方式降水以利施工；幹管與既有中山一二路高架橋墩基礎衝突段，需選擇合適之擋土工法；供給管鄰近中山一二路側民房，需避免開挖施工對建物的影響。

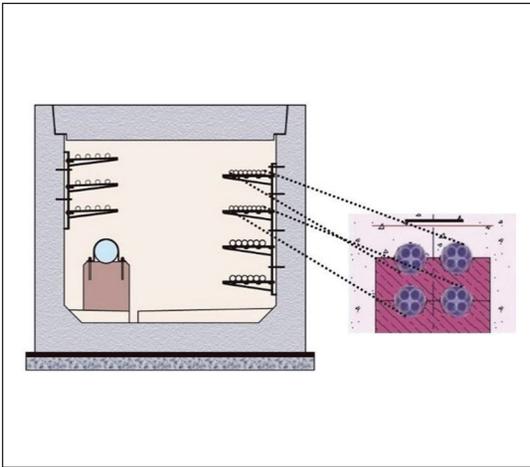


圖 15 寬頻管道佈設支管示意圖

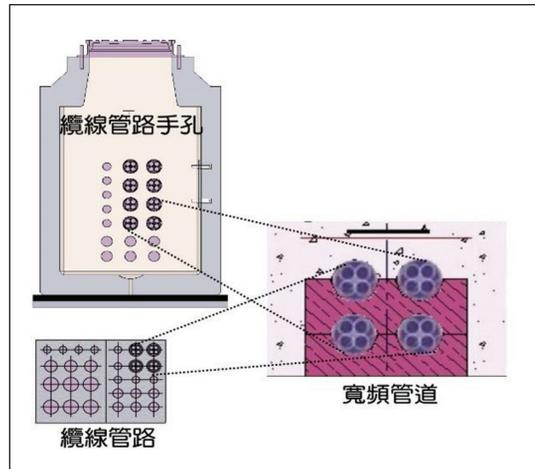


圖 16 寬頻管道佈設纜線管路示意圖



圖 17 舊橋基礎預鑽引孔植入鋼板樁現況



圖 18 預壘排樁施工現況

1. 針對高地下水位問題，場鑄施工前需將地下水降至開挖面以下，考量路線鄰近民房不適宜大規模降水，故於開挖範圍內採點井降水方式處理。
2. 考量開挖深度、區域地質及地下水位等因素，幹管施工開挖可行的擋土工包括鋼板樁、密排排樁等。針對幹管施工與既有橋梁基礎結構衝突段，考量施工性、工程造

價等，採預鑽引孔貫穿原有橋墩基礎，再以鋼板樁進行擋土（如圖 17），另舊有中山路側壁及山壁側則以預壘排樁施作擋土（如圖 18）。

3. 港西高架因原路線重建時，遭遇鄰近舊有建築為海砂屋之情況，因客觀條件的不允許導致無法配合工程期程排除，為考量公共設施及鄰近建物安全，現場以微型樁及



圖 19 鄰近建築旁施作微型樁現況照



圖 20 海砂屋旁採靜壓工法施作臨時擋土

靜壓擋土工法施作橋梁基礎，減小對現場既有條件的干擾，最後終能完成任務。

針對橋梁下部結構施作時，因鄰近民房段施工，鋼板樁施工震動可能導致鄰房龜裂受損，可行的施工方法包括先行施作微型樁（如圖 19），再行施作橋梁下部基礎擋土措施；另鄰近成功市場後方海砂屋旁，因建築對打樁震動敏感，因此採靜壓工法施作鋼板樁擋土（如圖 20），在無法針對鄰近危樓以結構保護方式施工時，盡可能減少可能的施工期間的危害。

（四）臨海共同管道的設計注意事項

近來地球暖化、海平面上升問題日趨嚴重，地下水位升高，共同管道臨海施工及維護之因應應有相當之措施，以避免結構壽年降低，以及滲水及進水等問題。

1. 對共同管道防水之考量：

對於共同管道本身防水處理方式，經參考本公司業已實際設計施做完成之相關工程

實例，其就防水處置設施可採如圖 21 之施作方式，予以進行防水保護。其設計工程主要係於共同管道外壁四周施作防水膜包覆處理，並於防水膜外側再分別加保護板及磚牆或混凝土，以保護防水膜，如此對於共同管道之防水應可達到相當功效。

實則就共同管道施設於於地下水位下方時，其對於施工及維護之因應，除應於規劃設計時即詳加配合考量現地地下水位狀況，研選設計合宜之擋土及排水設施以利工程順利施作外，對於共同管道本身之防水處理方式更應詳加考量，以確保爾後共同管道內不會遭受地下水之侵害而影響各項設施正常之運作。

2. 預留過牆管

一般預留過牆管處常用之管塞，多因功效不彰而發生漏水，此項為造成管道內滲水的主因之一；其改善方式有二，一為使用新型以合成樹脂或合成橡膠材料製成之膨脹性管塞封塞管口（詳圖 22），以做管內止水。另一則為所有過牆管應使用多道（至少三道）



圖 21 幹管防水膜施做現況

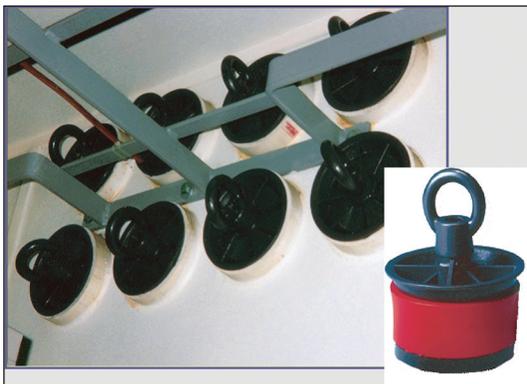


圖 22 膨脹煙管塞封塞管口



圖 23 預埋過牆管施工示意圖

水膨脹性止水條圈繞，防止過牆管管周之滲漏。(詳圖23)。

3. 管道結構體混凝土

一般共同管道地下混凝土結構體之防水除了可使用防水膜作外側全面包覆外，其內部結構體亦可利用加強混凝土之緻密性，使結構體本身之透水深度不超過30 mm，而達成充份防水效果，稱之為「水密性混凝土」。防水結構物的基本要求，是要有高品質的混凝土並且減少裂縫，以提高混凝土本身的水

密性，若僅靠任何可用之防水工法，而無品質良好的混凝土，則此結構物將無法確保長期良好防水性。

4. 本工程範圍內需穿過四條水路，穿越水路下方，另西側為虎仔山，需慎防地下壓力水，故宜特別加強管道之防水措施，以防滲水，尤其在管道段落伸縮縫位置，設計壓梁在外層加強包覆外(如圖 24)，應在管道內側四週加設一道合成橡膠材質之Ω型止水帶及剪力鋼棒(如圖 25)，以徹底



圖 24 管道段落間設計壓梁

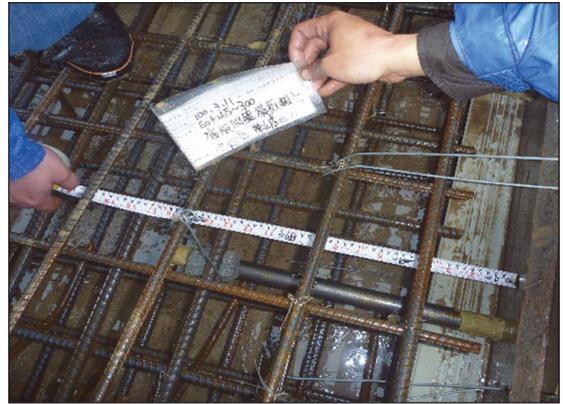


圖 25 伸縮縫四周設置剪力鋼棒及止水帶

杜絕因地震活動造成滲水。

5. 為增加混凝土的耐久性，防止港區混凝土因氯離子侵蝕造成膨脹及孔蝕之劣化現象，危及結構物之耐久性，共同管道結構體的混凝土採用標準卜特蘭水泥第II型「改良水泥」，以增加混凝土的耐久性。

(五) 供給管施工與接戶引入方式

中山一二路既有管線主要都密集在既有西側道路上，因管線眾多且不乏舊有箱涵或廢棄RC結構物留置於地表下，現況甚為複雜，不論是施工期間管線遷移，或是供給管及接戶管施工，皆為施工期間管道工程之重點工作。山側纜線管路設置於新道路外側車道，位於雨水箱涵內側，主要為了施工期間維持既有幹管仍能運作，原本計畫位於原鐵路用地之幹管先行完成後，可將既有幹線遷入，但因進料及系統切換等原因無法配合，導致須先將電信、配電及弱電纜線先行臨時架空，以及暫置於深度頗深的既有道路側溝

中附掛，騰出施工空間，才得以按部就班的施工。

本工程原本將供給管設置於5公尺寬之人行道範圍，但因在施作幹管期間，振動及噪音造成沿線用戶極大反彈，因此才移至外側車道下方，但因纜管人孔距接戶點過遠，因此在人行道用戶旁設置小型手孔，以利管線事業單位自行引出銜接用戶管，此手孔也作為共同管道主管機關與管線事業單位後續維護管理的分界點。

(六) 既有管線遷移

共同管道主要施做在人口密集管線密佈之路段，因此需為共同管道尋覓可用之空間，必須先將慢車道之管線往道路內側移設，然而眾多管線因皆為民生管線，不可一日沒有，因此需將既有管線先行移設，再進行共同管道供給管之施工，然而移設需採用臨遷或永遷，需視管線事業機關於管道內佈纜之期程及政策的配合，既有管線需於新纜

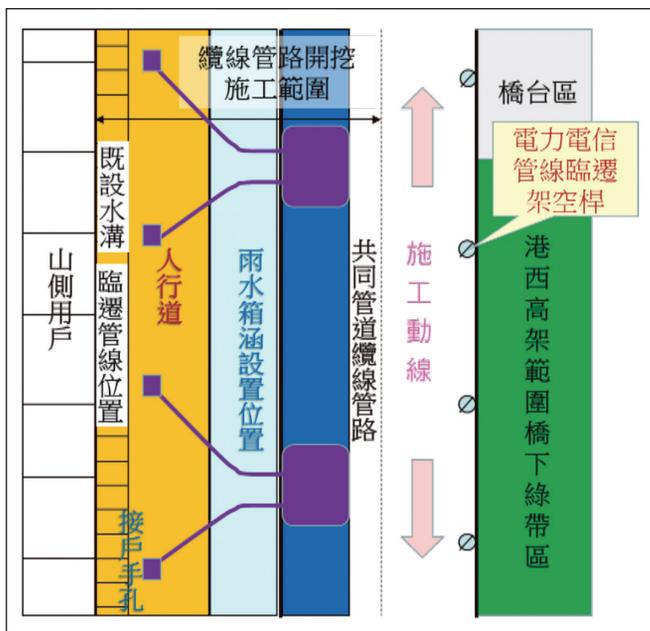


圖 26 管線臨遷方式及用戶接管配置示意圖

佈設後廢棄清除或尚須使用一段期間，皆與施工方式及交維措施相關。

對於在供給管施工範圍內之管線，擬先遷移至範圍之外，完成臨時遷移（或永久遷移），管線功能維持運作，待供給管施做完工後，管線單位佈設新纜（管），廢除之管線即行拆除，避免未來路基壓實困難，造成路面品質不良，若短期內仍須運作之既有管線，分配管路空間，並施做連接管於共同管道手孔，以供管線單位分期佈新纜時與舊有管線連接之用，亦作為內外管線施作權責分界點。（如圖26）

（七）安全監控系統配置及與監控管理中心

本共同管道幹管設有安全監控系統及監

控管理中心，以保持共同管道在監視及可控的方式下進行管理，其中附屬機電設施：包含通風、排水、照明、防災、消防、接地、配電、電訊、標誌設施、監控系統、電力電信干擾防制，設施於幹管內設置位置請詳圖27。

而監控中心機電設施管控功能包含通風、排水、照明、防災、消防、接地、配電、通訊、監控系統等，原本將所有監控功能統一整合於監控中心建築之中，但後來為精簡維護管理人員，並降低維護管理人員常駐於此之成本，故利用無線傳輸技術及自動監測技術將監控中心改設為中控室，並將一些管理功能，作以下調整設置。

1. 遇有異常狀況，現場的狀況將透過預錄方式立即通知現場於管道中工作人員，如氣

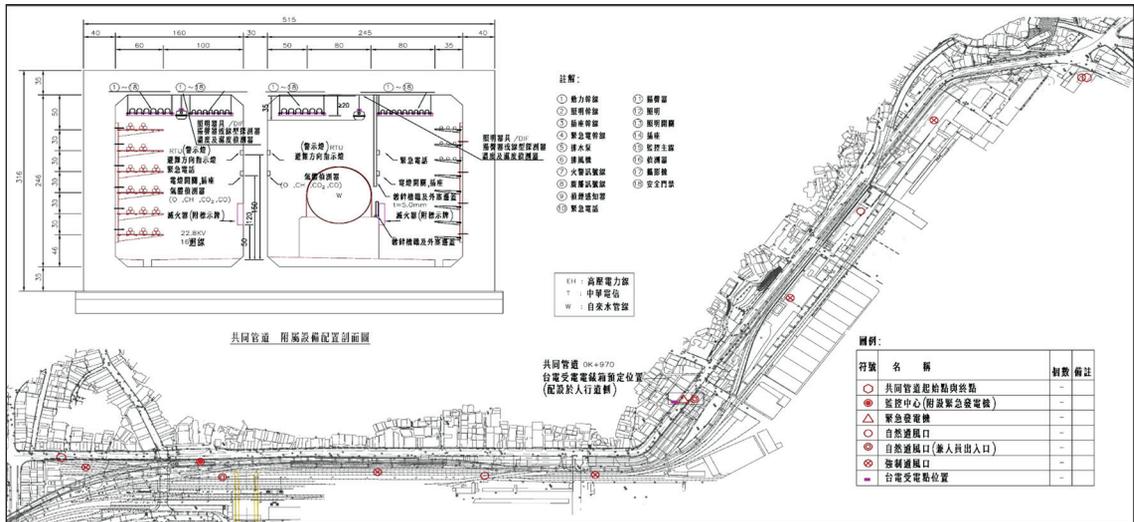


圖 27 共同管道幹管附屬設施配置平面及斷面圖

體偵測異常，現場將語音撥放通知（採預錄式內容，如一氧化碳超標，請速離開……等等）。

2. 遇有異常狀況，監控室電腦會同步跳出視窗顯示地點及狀態。
3. 遇有異常狀況，預先設定的維護管理權責人員手機會先行收到訊息通知，管理人員則進入預設頁面監看警報處所狀態。
4. 當警報產生時可經由警報簡訊裝置，自動撥號傳送中文簡訊至行動電話通知監控人員。傳輸項目內容及互動查詢功能包含：
 - (1) 現場偵測到氣體一氧化碳、二氧化碳及可燃氣體等狀況，如漏氣或超標。
 - (2) 門禁非法侵入破壞位置。
 - (3) 監視直接由權責人員手機點入APP軟體查看。

(4) 發電機、電氣盤體、電表異常及用電量監視查看。

五、結論

中山一、二路道路拓寬工程使基隆港區不再被鐵路所分割，並將中山路拓寬成30~40公尺寬景觀道路以改善市區交通及都市景觀，並提供更新地區及港區貨櫃運輸功能，使港、市交通分離，提供港區內部交通運轉功能，達到港市雙贏、活化都市機能、改善都市環境之目標。此外，本案將配合「基隆火車站暨西二西三碼頭都市更新計畫案」引入商業功能設施與基本服務設施，使基隆港區朝向結合金融、觀光遊憩、辦公及文化等複合式功能發展，進而帶動港區繁榮發展。

同時藉由此道路拓寬之機會，併案興建共同管道，可滿足管線事業單位因需求增



加的擴充或更新外，亦可避免道路重覆挖掘，藉此將可解決基隆市中山路長久以來管線紊亂之情形。

共同管道配合火車站更新計畫順利執行，使本計畫區之道路服務品質奠定良好根基，亦使基隆港西岸地區環港商圈之交通及景觀獲得極大助益，並可提升生活品質，整合公共設施管線配置，加強道路管理，維護交通安全及市容觀瞻，進而達到港市雙贏之目標。

參考文獻

1. 臺灣港務股份有限公司，“基隆港港西聯絡道路興建工程計畫書”，102.2。
2. 基隆市政府，“中山區中山一、二路道路拓寬工程（基隆港西岸高架道路拆除替代道路）結案報告”，101.6。
3. 基隆市政府，“中山區中山一、二路道路拓寬工程—後續計畫新建工程計畫”，99.11。
4. 基隆市政府，“中山區中山一、二路道路拓寬工程（基隆港西岸高架道路拆除替代道路）修正計畫書”，100.7。
5. 基隆市政府，“基隆市火車站暨西二西三碼頭都市更新計畫都市更新關聯性工程工作計畫書”，103.10。
6. 基隆市政府，“中山一、二路道路拓寬工程基隆港西岸高架道路拆除替代道路細部設計報告”，98.11。
7. 內政部營建署，“基隆火車站暨西二西三碼頭-都市更新事業（更新單元一）招商說明會簡報”，98.10。

尊重自然生態
整合創新價值
打造幸福明天



中國工程師學會

Chinese Institute of Engineers

工程永續 百年彌堅

CTCI 中鼎集團

CTCI 中鼎集團 (TWSE: 9933、TPEX: 5209、TPEX: 6803) 為國際級統包工程公司，承攬多元化重大工程。創立於 1979 年，總部位於台灣台北市，致力提供全球最值得信賴的統包工程服務。在全球逾 10 個國家設立約 40 個據點，集團員工總數約 7,000 人，並入選道瓊永續指數 (The Dow Jones Sustainability Indices, DJSI)。



業務領域

- 煉油石化
- 電力
- 環境
- 交通
- 一般工業
- 高科技設施
- 液化天然氣

服務內容

- 專案管理
- 可行性研究及前端工程設計
- 工程設計
- 工程採購
- 設備製造
- 工程建造與維修
- 工廠試車
- 智能解決方案
- 自動化控制
- 無塵室與機電配管工程
- 智能頂進工法
- 地盤冷凍工法
- 操作及維護

產品項目

- 設備製造
- 化學添加劑
- 智慧化能源管理系統

CTCI
中鼎集團

111033 台北市中山北路六段89號
Tel: (886)2-2833-9999
Fax: (886)2-2833-8833

www.ctci.com

CTCI EF

財團法人中鼎教育基金會

112037 台北市北投區福善路16號2樓
Tel: (886)2-2769-8599
Fax: (886)2-2769-9299

www.ctcief.org