道路挖掘管理

Magazine of Road Excavation and Management



- 人物專訪
- 高雄市道路挖掘管理專案執行
- 施工管理與技術
- 工程報導
- 活動花絮

高雄市政府工務局
Public Works Bureau of Kaohsiung City Government

No.03
May 2026

中華民國 113 年 4 月創刊

第 3 期

May 2026

道路挖掘管理

道路挖掘管理

發 行 人：楊欽富

總 編 輯：吳瑞川、林登峰

執行編輯：温日宏

編輯委員：王偉筑、江明珊、吳一民、孫堂霖、林志東、林國良、林家煌、林智強、林庚達、凌江奇、劉中昂、張恭銘、張家瑞、柯添智、陳世晃、陳仙州、陳獻策、梁錦淵、黃志榮、黃明舜、黃國忠、許朝景、趙啟宏、簡孝存

(依姓氏筆畫排序)

助理編輯：姜景龍

發行單位：高雄市政府工務局

聯絡地址：高雄市苓雅區四維三路 2 號 5 樓

聯絡電話：07-336-8333

傳　　真：07-332-8621

網　　址：https://pwb.kcg.gov.tw/Web/

信　　箱：isu.kreac@gmail.com

G P N：2011300004

美編單位：義守大學土木工程學系

地　　址：高雄市大樹區學城路一段 1 號

電　　話：07-657-7744#3302



高雄市橋頭區橋新六路尾端之汽車道

(林聖芸 攝)

高雄市政府工務局道路挖掘管理中心簡介

- 高雄市政府非常重視「路平」，為了讓市民享有更安全舒適的用路環境，特別責成工務局研議具體精進作為。
- 經工務局多方研議，在 106 年 3 月底成立「高雄市道路挖掘管理中心」，以單一窗口、合署辦公、統整協調方式，於同一路段道路挖掘聯合施工，減少道路重複開挖及縮短施工期程，並加強控管施工品質，透過結合智慧城市理念，以達到「安全高雄、宜居城市」的目標。
- 「挖管中心」首要任務，從工程規劃、設計、施工至竣工保固整個工程生命週期進行協調及監控，並配合聯合開挖政策以減少重複挖掘，結合行動攝影技術監控施工品質，若有施工介面衝突則即刻由管理中心人員即時協調解決。

高雄市政府工務局

雄工夫-高雄市政府工務局

高雄市政府工務局道路挖掘管理中心

【本刊文責由作者自負，著作權屬本機關所有，未經本機關同意禁止翻印或轉載。】

道路挖掘管理 第三期

Contents



01 人物專訪

數位孿生技術打造韌性未來開始高雄智慧城市新篇章 — 楊欽富局長 王偉筑 01

02 高雄市道路挖掘管理中心 114 年度執行績效

高雄市寬頻管道委託維修管理服務碳足跡盤查分析 溫日宏/張恭銘/潘子瑜/丁柏豪 04

高雄市與首爾市道路挖掘管理制度之比較研究 溫日宏/柯添智/王偉筑/陳威任/林欣弘 11

試挖報告附件作為圖資補正之範本研究 溫日宏/陳獻策/王詠世/鄭翔宇 17

03 道路挖掘管理與工程相關技術論文

從國營事業道路挖掘考評計畫看管線圖資及申挖管理之提升 趙啟宏/簡孝存/王嘉正 22

臺中市道路挖掘管理機制及執行成效 陳大田/白玨瑛/洪志岳 31

道路挖掘管理資訊系統應用於防止挖損既有管線之實務分享 — 以臺北市道管中心為例 林暉恩/蘇耕立 38

花蓮市及吉安鄉道路人手孔蓋防滑檢測之研究 蔡國松/陳匡仁/卓奮杰/簡孝存/王嘉正/駱宜佑/林韋成 43

結合透地雷達與地電阻剖面影像調查地層掏空之應用 許朝景/吳翊瑄/王建智/李豐凱/潘宏璋 50

疏浚污泥 CLSM 抗壓強度之雙曲線預測模型 林庚達/王和源/蔣宜安 58

論民生用戶接管工程之挖填平衡策略 陳仙州/林登峰 67

04 工程報導

談鳳山鐵路地下化於青年路地下道與中油管群衝突之因應經驗分享 吳宇宙/江明珊/廖敏松/邱浤洧 73

淺談高雄市楠梓再生水廠 BTO 案取水工程設計 梁錦淵/陳柏仰/郭育仁/徐懿蕙 78

05 114 年度高雄市道路挖掘相關活動花絮及資訊

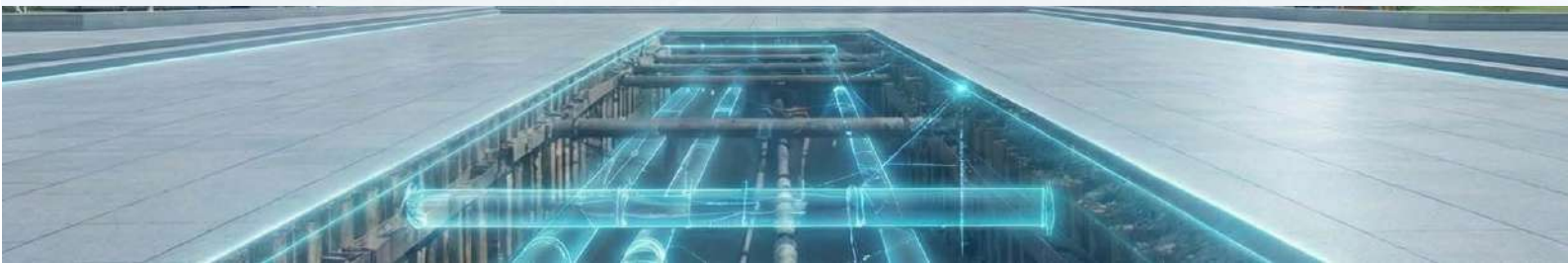
道路挖掘管理與圖資品質管控跨縣市業務交流(第一梯次:桃園市、臺北市) 85

道路挖掘管理與圖資品質管控跨縣市業務交流(第一梯次:新北市、臺中市) 86

114 年高雄市道路挖掘管理實務交流宣導會 87

2025 高雄市道路挖掘管理與工程技術研討會 88

114 年度高雄市優良管挖工程獎頒獎典禮 89





數位孿生技術打造韌性未來 開啟高雄智慧城市新篇章 — 楊欽富局長

義守大學土木工程學系助理教授 王偉筑 整理

高雄市政府工務局楊欽富局長自 110 年 11 月接任工務局長，任內適逢 111 年全球人工智慧(AI)爆發與極端氣候挑戰的關鍵時刻。憑藉過往深厚的治理經驗與敏銳洞察力，楊局長致力於將 AI 與數位孿生技術(Digital Twin)導入工務管理模式，透過科技強化城市防災韌性，以翻轉傳統治理邏輯，正式開啟高雄邁向智慧城市的新篇章。本刊深感榮幸邀請楊局長現身說法，在接受本刊團隊訪談中，楊局長深入淺出地暢談「高雄數位孿生平台建置」、「智慧工務管理應用」、「災害預測技術提升城市韌性」、「國際肯定與未來展望」等核心議題，其專業遠見與實務經驗令人印象深刻，以下為本次專訪精華整理，與讀者共同見證高雄的蛻變。



圖 1 楊欽富局長與本刊專訪團隊訪談
(右三)楊欽富、(右二)張恭銘、(右一)姜景龍
(左三)林登峰、(左二)林智強、(左一)王偉筑

高雄數位孿生平台建置

自 2011 年數位孿生技術在美國問世並應用於戰機維護後，該技術已逐漸成為智慧城市治理模式的突破關鍵。楊欽富局長於訪談中指出，傳統城市管理長期依賴 2D 地圖、靜態衛星影像或 BIM 圖資，而此類工具在呈現真實現場的即時性與空間立體感上存在技術侷限。為協助高雄市突破傳統治理模式與進入智慧城市時代，楊局長主導建置「高雄數位孿生平台」，將高雄市的景觀數位化並導入「5D 數位城市」。5D 係指在 3D 實景模型中融入隨時間變化的動態監測數據(4D)，並導入 AI 演算與智慧決策模組(5D)，以使 5D 數位城市中的萬物皆如同人類具備「能思考、能學習」能力的數位分身。目前高雄市數位孿生平台的建模範圍已包含楠梓、左營、鼓山、旗津、小港、三民、苓雅、新興、前金、鹽埕、前鎮、鳳山等 12 個行政區，並納入亞洲新灣區、仁武產業園區、橋頭科學園區、高雄(路竹)科學園區等 S 廊帶產業園區。未來工務局將逐步實現全覆蓋高雄市主要都市計畫區，為高雄的智慧城市轉型奠定深厚的基礎。圖 2 為高雄市真實影像與數位孿生模型之對照圖。

智慧工務管理應用

為了將工務管理融入數位孿生架構中，高雄市工務局整合建築管理、新建工程、道路養護、公園景觀、地下管線及淨零政策等資訊，並匯入數位平台以完成智慧工務管理的初步建置，使高雄市工務管理從單純資料收集，演進至具備決策



圖 2 高雄市真實影像與數位孿生模型之對照圖

輔助與互動能力之階段。目前高雄數位孿生平台支援的功能，涵蓋建物屋齡地圖、地震道路阻斷模擬分析、公共與共同管線、建管業務、工務常用圖資、工務即時影像、跨機關 IoT 圖資以及 3D 建物模型等。在實際應用上，此平台更結合建管及產權資料庫(如屋齡、建照圖、使用執照等)，可作為老屋改建評估與火災、地震搶救之參考；同時支援全市路燈管理通報(應對大區域停電)，以及地下 3D 管線管理與災害通報機制。以民族路共同管道為例，透過 3D 模型與地下管線系統直接由此平台得知地底龐雜的管線配置，大幅降低道路挖掘風險並提升管理效益。

除工務局業務外，高雄數位孿生平台亦包含跨局處資料應用功能。例如介接水利局的即時水位觀測、都發局的都市發展分析(如建物規模、日照權等)、交通局的即時路口影像、環保局的空氣品質指標偵測，以及消防局的消防設施設置位置等，以提升高雄整體市政管理效能。



圖 3 高雄數位孿生平台之智慧工務管理應用

災害預測技術提升城市韌性

將高雄市打造為「韌性城市」，是因應極端氣候的核心減災策略。透過數位孿生平台強大的預測與應變能力，如「重要道路地震阻斷風險分析」模組，系統能在設定的地震情境下，精準模擬建物震損對道路造成的阻斷機率，並即時回傳最優救援路徑至決策系統，實現智慧化調度與部署，如圖 4。另工務局亦針對指標性防救災建物(如榮總急診大樓、消防局、民生醫院等)佈建加速度計與結構安全監測系統。系統能在震發瞬間即精準偵測現地地表加速度，並主動通報及提出巡檢建議，確保在災後黃金時間內迅速掌握建物狀態，如圖 5。

此外，數位孿生平台亦具備邊坡安全監測與降雨量推估進行聯動分析，以強化高雄市受颱風



圖 4 重要道路地震阻斷風險分析



圖 5 加速度計與結構安全監測系統



圖 6 邊坡安全監測

影響之緊急應變能力。以凱米颱風為例，該系統成功提前 12 小時預判邊坡崩塌風險，有效協助管理單位提前撤離人員、降低傷亡。這種結合物理監測與數值分析的防災模式，正加速推動高雄轉型為兼具智慧與防災之韌性城市，如圖 6。

國際肯定與未來展望

高雄市在智慧與韌性城市的發展深受國際肯定，並榮獲 2025 智慧城市創新應用獎之「智慧治理獎」、2025 亞太資通訊科技應用獎(ASOCIO)之「傑出數位轉型組織獎」，標誌著高雄已成為公認的智慧轉型典範(如圖 7)。除防災與智慧管理外，數位孿生平台亦具備記錄建物碳水足跡之功能，能精準分析能耗並提供減排建議，成為高雄邁向 2050 淨零目標的關鍵助力；此監測流程更已取得歐盟德國(Fraunhofer)認證(如圖 8)。此外，數位孿生平台成果不僅受邀至越南交通大學發表(如圖 9)，更吸引日本中日本高速道路株式會社來台參訪，足見高雄的數位孿生技術具備國際競爭力。

在人工智慧時代，高雄市成功將數位孿生科技導入城市治理，推動傳統工業城市轉型為智慧防災的韌性大城，不僅大幅提升治理效能，更能全方位守護市民安全。期望未來高雄市將持續以建構「智慧與韌性城市」為目標，致力於守護每一位市民。



圖 7 2025 亞太資通訊科技應用獎



圖 8 建物碳水足跡監測及智慧分析



圖 9 越南交通大學邀請楊欽富局長至越南河內發表平台成果



圖 10 楊欽富局長及挖管中心同仁與本刊專訪團隊合影

(中)楊欽富、(右三)張恭銘、(右二)姜景龍、(左三)林登峰、(左二)林智強、(左一)王偉筑

高雄市寬頻管道委託維修管理服務碳足跡盤查分析

溫日宏/高雄市政府工務局道路挖掘管理中心 主任
張恭銘/高雄市政府工務局道路挖掘管理中心 正工程司
潘子瑜/高雄市政府工務局道路挖掘管理中心共同管道課 幫工程司
丁柏豪/山椒魚永續工程股份有限公司 專案經理

摘要

《高雄市寬頻管道委託維修管理服務碳足跡盤查》是由高雄市政府工務局道路挖掘管理中心推動的示範計畫，旨在因應《氣候變遷因應法》與國家淨零政策，建立公共工程的「碳排放基線」並識別減碳熱點，作為未來綠色採購與決策的科學依據。本案盤查範圍遍及高雄市 19 個行政區，依循 ISO 14067:2018 與 PAS 2080 方法學，將系統邊界設定為「營運管理階段」，涵蓋了原料取得(材料製造及運輸)與施工建造(機具能耗、運輸及人員逸散源)等過程。量化結果顯示，本年度工程總碳足跡為 174,531.304 $kgCO_2e$，若依發包金額換算，其工程碳排放強度初步建置為 0.012 $kgCO_2e$/NTD。在碳結構分布上，「原料取得」階段占比最高，達 72.66%(其中材料本身占 72.33%)，而「施工建造」階段則占 27.34%。分析識別三大排放熱點：最大的排放源為「鑄鐵蓋板」，占總量 54.37%；其次為瀝青混凝土(12.21%)與挖土機作業(6.65%)，此三項合計占總排放量逾七成，顯現材料生產是公共工程減碳的關鍵。在數據品質方面，經可靠性、完整性、時間相關性、地理相關性、技術相關性等五項指標評估，本案數據品質得分為 1.38，屬於「高品質」等級，具備高度參考價值。為落實國家淨零政策，於材料面建議應優先採購高廢鋼再生比例之鑄鐵蓋板，並導入瀝青混凝土刨除料應用與低溫拌和技術；施工面則應推動小型機具電動化、減少空轉，並研擬合適的暗挖工法；管理面則建議將低碳表現納入採購評選指標，並計畫於 2030 年前完成全市管挖工程之碳排放基線建置。此示範案不僅樹立了政府機關的領頭角色，更為未來擴展至共同管道等不同工法之工程提供可複製、可驗證的碳盤查範本。

前言

隨著《氣候變遷因應法》完成修正並預定於 2026 年正式開徵碳費，我國氣候治理已由宣示階段邁入制度落實與財務內部化之實踐階段。中央機關要求各級政府率先建構溫室氣體盤查與減量管理機制，公共工程因涵蓋原物料生產、機具燃料使用、運輸調度及現場施工等高排放活動，其碳排放結構具有顯著比例與政策敏感性，成為減碳治理之關鍵部門。

高雄市政府工務局道路挖掘管理中心所轄道路挖掘工程，涉及瀝青與混凝土材料使用、柴油機具運轉及重複性鋪面復舊作業，屬典型高碳排公共工程類型，然目前尚未建立系統化之工程碳排放基準資料。缺乏量化基線將導致減碳策略失焦與資源錯置風險，因此有必要依循 ISO 14067:2018[1]及 PAS 2080[2]等國際方法學，建構工程碳排放基線，辨識排放熱點並提出具成本效益之減量路徑，以作為公共工程永續治理與設備投資決策之科學依據。

基於此背景利用「由點線面、循序擴大」之推動策略，透過代表性道路挖掘示範工程之碳足跡盤查，建立工程碳強度指標體系與標準化量化模式，並逐步擴大盤查覆蓋率，於 2030 年前完成全市管挖工程之公共工程碳排放基線建置。計畫將以單位金額、單位長度與單位面積等指標作為基準化單位，發展工程碳強度管理機制，並導入採購與驗收績效條款，設定年度減量目標，形成制度化之低碳治理架構。同時透過公開示範案例與方法論成果，建立可複製之作業模式，支援碳費申報與減碳投資評估，並與學術研究機構合

作優化在地排放資料庫，強化政府部門於營建產業永續轉型中的領導角色。透過本案之推動成為高雄市 2050 淨零願景奠定具量化基礎與制度支撐之公共工程減碳路徑。

寬頻管道現況

高雄市政府為改善道路重複挖掘、市容觀瞻不佳及地下管線紊亂等問題，自民國 85 年(1996 年)起即積極推動共同管道與寬頻管道的規劃與建設。其中寬頻管道的建置有助於減少纜線附掛影響市容、降低道路申挖次數、提升路面品質並降低維護成本。高雄市的寬頻管道業務由道路挖掘管理中心負責整體規劃與評估，而工程發包與施工則由工務局新建工程處、水利局及道路養護工程處等單位辦理，竣工後的營運管理則由道路挖掘管理中心的共同管道課負責。高雄市寬頻管道的建置原則係配合城市重大建設、景觀造街工程等同步施工，以避免二次開挖造成資源浪費與社會成本增加。根據民國 107 年(2018 年)道路挖掘管理中心系統資料顯示，高雄市已有 18 個行政區建置了寬頻管道系統供寬頻業者租用。此外民國 94 年至 98 年度(2005 年至 2009 年)的「行動高雄(寬頻管道)」建設成果也有詳細記錄。

高雄市共同管道及寬頻管道建設成果

高雄市在共同管道及寬頻管道的建設上已累積一定成果。根據「高雄市共同管道系統第二次通盤檢討」期末規劃報告[3](該報告發布於中華民國 108 年 9 月，即 2019 年 9 月)的數據，截至報告撰寫時點(約為民國 108 年 9 月)，高雄市已完成的共同管道總長度為 776.543 公里，其中包括幹管 2.443 公里、電纜溝 1.386 公里、纜線管路 18.244 公里，以及大量的寬頻管道 754.47 公里。此外，截至報告撰寫時點(約為民國 108 年 9 月)，仍有 20.338 公里的纜線管路及寬頻管道工程正在施工中，另有 10.534 公里的纜線管路已完成設計。報告中具體範例包括民族路(大中路段)的共同管道工程，其幹管採雙孔管道型式，主要收納中油管線及電力管線，長約 800 公尺，而支管則以收納自來水、電力、電信接戶線及交通控制管線為主，長約 1,600 公尺。此外，在報告撰寫時，橋頭新市鎮、鳳山區 77 期、小港區 89 期等市地重劃區也已建置了纜線管路。

盤查邊界設定

宣告單元

參考交通部公路總局碳足跡產品類別規則(CFP-PCR) [4]之定義「產品與服務碳足跡計算指引」標準訂定本案之宣告單位，此 CFP-PCR 適用產品範圍包括各類型之道路建設，並包含其他必要附屬設施。根據該 PCR 定義，如圖 1 所示，本案碳足跡盤查範圍包含營運管理階段之維護，基於本案之工程特性與研究限制，本次碳足跡盤查之宣告單位為「114 年度高雄市寬頻管道委託維修管理服務」中所有工程內容，包含營運管理階段之原料取得及施工建造。

系統邊界

本案「114 年度高雄市寬頻管道委託維修管理服務」，工期自 114 年 1 月 1 日至 114 年 12 月 15 日止。工程項目涵蓋四項主要作業類型，包括：寬頻相關設施道路巡查、寬頻手孔佈纜調查、寬頻手孔屬性調查及配合登革熱防疫措施。截至 114 年 12 月底止，執行範圍遍及高雄市共 19 個行政區，包括：岡山區、路竹區、湖內區、橋頭區、仁武區、楠梓區、鳳山區、左營區、鳥松區、小港區、前鎮區、大寮區、苓雅區、新興區、三民區、鼓山區、鹽埕區、前金區、林園區。施工地點總計約 5931 處，包含水溝佈纜 480 處、佈纜調查 2400 處、派工修繕 639 處及登革熱防治 2412 處。本次碳足跡盤查係依據工程施作內容所涵蓋之生命週期階段投入與產出項目，綜整定義本案盤查範圍，為營運管理階段之材料生產及運輸、施工建造之機具、人力與能資源投入，以及施工過程中可能產生之逸散源排放。

案例分析

量化方法

本案利用「排放係數法」計算各排放源所產生的溫室氣體排放量，由於各類溫室氣體之暖化

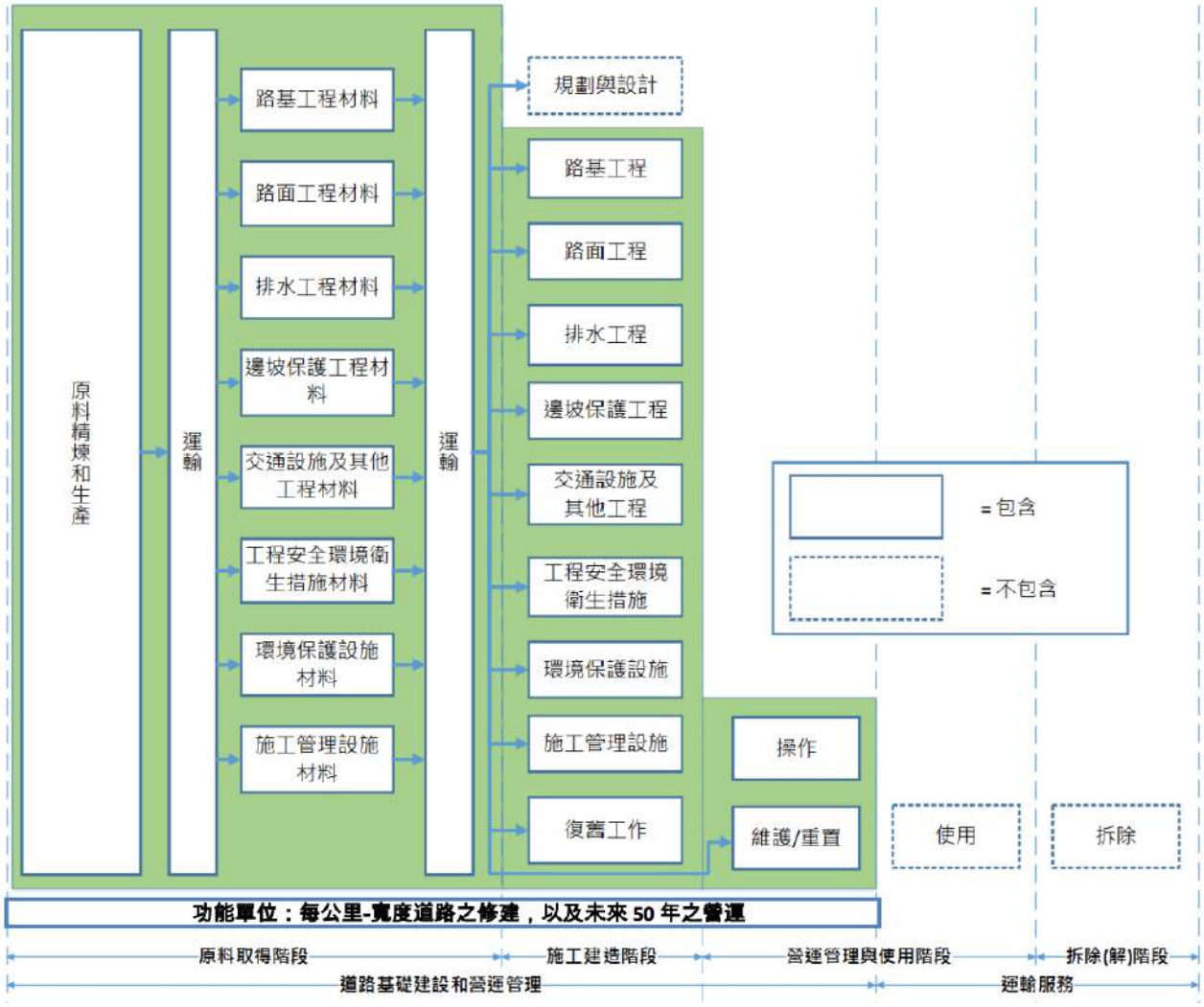


圖 1 基礎建設-道路 CFP-PCR

潛勢對氣候衝擊程度的不同，在完成計算所有排放源之各種溫室氣體排放量後，再乘以暖化潛勢 GWP 值轉換為二氧化碳當量 CO_2e。公式如式(1)：

$$E = AD \times EF \times GWP \quad (1)$$

其中，E：二氧化碳當量(tCO_2e)

AD：活動數據

EF：溫室氣體排放係數

GWP：全球暖化潛勢值

活動數據

於原料取得應蒐集各工項實際使用之材料資訊，包括材料名稱、供應商名稱、材料規格、單位重量，以及其運輸方式與運輸距離等，上述資料將作為後續計算各供應商材料碳排放量及材料運輸碳排之依據；於施工建造則需調查施工機具之種類、規格與使用數量，並蒐集施工過程所使用能源之種類與實際用量，以計算施工期間能源消耗相關之碳排放量；針對逸散源部分，需確認施工過程中是否有廢氣、廢水或冷媒之排放，並據以評估其潛在排放量；同時須掌握施工期間實際出工人數，以計算化糞池之碳排放量。

原料

鑒於部分工程材料於原料生產與運輸階段之碳排放量計算，涉及活動數據與重量單位轉換之需求，故需向材料供應商蒐集其組成成分、產品規格及密度等相關資訊，以確保後續碳排放量計算之準確性與一致性。

機具作業

施工階段之機具種類及使用數量係依據派工單進行統計；機具之馬力數值及部分能源耗用率則參考各項機具之廠商型錄資料；能源耗用係數則引用行政院公共工程委員會委託研究報告《研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計

算規則》作為依據。對於廠商型錄中未載明能源耗用率之機具，則以其額定馬力(kW) 乘以能源耗用係數(L/kW·hr) 進行推估，換算為每小時油耗量(L/hr)，以作為機具能源使用量之計算基礎。

機具運輸

施工機具之運輸碳排放計算，首先需釐清本案需經由運輸之施工機具種類與數量，並蒐集相關佐證資料，包括機具自重(重量)、運輸距離、運輸方式(機具載運車型)及加油單據等，作為碳排放量計算之活動數據依據。

能資源

本案透過資料蒐集清單，向承包商調查施工階段所投入之能源與資源種類及其實際用量。除施工機具所使用之燃油已分別納入機具作業與運輸階段之碳排放計算外，其餘能源與資源之使用情形，主要集中於寬頻相關設施道路巡查工程，該工程於手孔下地修繕作業中需使用水資源，每座手孔平均用水量為 20 公升(L)。截至 12 月底，已完成 562 座手孔的施工，經換算後累計用水量約為 10.82 立方公尺(m^3)。

逸散源

經本案施工過程中之逸散源僅涉及化糞池排放，該部分以承包商提供之實際出工人數及工作時數作為活動數據之依據，並以每日工作 8 小時進行估算。

排放係數

根據排放係數選用原則，本案依據來源之區域適用性、可信度與時間符合性進行等級劃分，初步將數據區分為二級別。依據 ISO 14067 規範，一級數據係指直接自特定廠址或產品系統所蒐集之數據，具備高度代表性與可靠性；而二級數據則指非直接量測所得，而是引用文獻、公開資料庫或政府公告等間接數據，包括國家政府機關公告數據、國內專案或研究報告與論文數據、國際公告資料庫，以及他國研究數據。前者能反映實際運作狀況，後者則多用於無法直接取得一級數據之情境，雖具權威性與廣泛適用性，但需注意其區域代表性與時間效度。針對本案所採用之排放係數資料庫，均依上述原則進行級別判定，本案所用之係數均為二級數據，係數來源包含環境部產品碳足跡資訊網[5]、Simapro 材料碳排放係數資料庫[6]、研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計算規則[7]以及 IPCC AR6 2021 版本之 GWP 值[8]。

碳排放量與減碳方法

碳排放量分析

「114 年度高雄市寬頻管道委託維修管理服務」之碳排放總量為 174,531.304 $kgCO_2e$。其中材料碳排放量為 126,246.921 $kgCO_2e$，占總排放量 72.33%；材料運輸碳排放量為 567.836 $kgCO_2e$，占總排放量 0.33%；機具施工之碳排放量為 35,570.044 $kgCO_2e$，占總排放量 20.38%；機具運輸之碳排放量為 11,900.984 $kgCO_2e$，占總排放量 6.82%；人員碳排放量為 245.520 $kgCO_2e$，占總排放量 0.14%，整體碳排結構如圖 2，可明顯反映出材料與施工機具為主要碳排來源，占比合計達 92.71%。

熱點分析

「114 年度高雄市寬頻管道委託維修管理服務」之工項內容包含寬頻相關設施道路巡查、寬頻手孔佈纜調查、寬頻手孔屬性調查，以及配合登革熱防疫措施等。其中僅「寬頻相關設施道路巡查」屬具備實際施工內容之工程性作業，其餘工項多以人力投入為主，性質上較偏向勞務型作業。本案工程碳足跡分析結果顯示，材料碳足跡占整體工程碳排放量之 72.66%；施工機具碳足跡則占工程碳排放量之 27.34%。

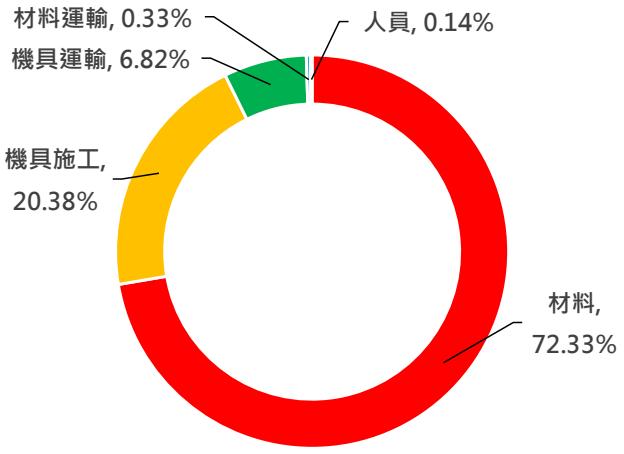


圖 2 各項目碳足跡占比

進一步熱點分析顯示，碳排放來源以鑄鐵蓋板為最大宗，其排放量達 94,889.393 $kgCO_2e$，占總量 54.37%，其次依序為瀝青混凝土與挖土機，分別為 21,303.112 $kgCO_2e$(占總量 12.21%)與 11,597.967 $kgCO_2e$(占總量 6.65%)，如圖 3 與圖 4，上述三項來源合計即占總排放量之 73.22%，為本案主要碳排熱點。

基於上述熱點結構，建議未來如擬定減碳策略，可優先針對鑄鐵蓋板材料之選用與使用量控管，以及高排放施工機具之能源效率管理與調度優化進行改善，以提升整體工程之減碳成效。

減碳方法

材料面減碳方法

鑄鐵蓋板為本案材料端碳排放量最高之項目，主要因其生產過程涉及熔煉、澆鑄與高溫能源使用，且原料結構(廢鋼、生鐵與回收鑄鐵比例)對其生命週期排放具有顯著影響。其次為瀝青混凝土，其碳排放多受拌和溫度、瀝青混凝土刨除料(RAP)比例與鋪面修補面積等因素影響，亦為後續可強化之材料減碳項目。為降低本工程後續年度材料端碳排放量，建議可從原料結構、供應鏈選擇、循環利用及結構減量設計等多面向著手。

針對鑄鐵蓋板於材料端所產生之碳排放，應自原料來源、循環利用與產品設計三個層面同步推動減碳策略[9、10]。

1. 在原料端優先導入以廢鋼為主體之電弧爐煉製系統，於採購規範中明確要求供應商揭露廢鋼、生鐵與回收鑄鐵之投入比例及其煉鋼製程路徑，並逐年設定再生料使用目標，優先採購再生料比例較高且具低碳製程來源之產品，以系統性降低上游材料排放。
2. 強化廢鋼循環利用與回收體系，將拆除之老舊蓋板依規範分類回收，避免混入一般工程廢棄物，並鼓勵供應商建立回收服務機制與循環供應鏈，同時將回收再利用比例納入採購評選指標，以制度化方式提升材料循環效率。
3. 在產品設計層面導入輕量化與結構優化概念，於符合法規與載重安全前提下，透過肋板配置、支撐厚度與構型最佳化降低材料用量，並推動模組化與標準化設計以減少製造浪費，另可透過耐腐蝕塗層提升耐久年限、延長更換週期，進一步從全生命週期角度降低整體碳排強度。

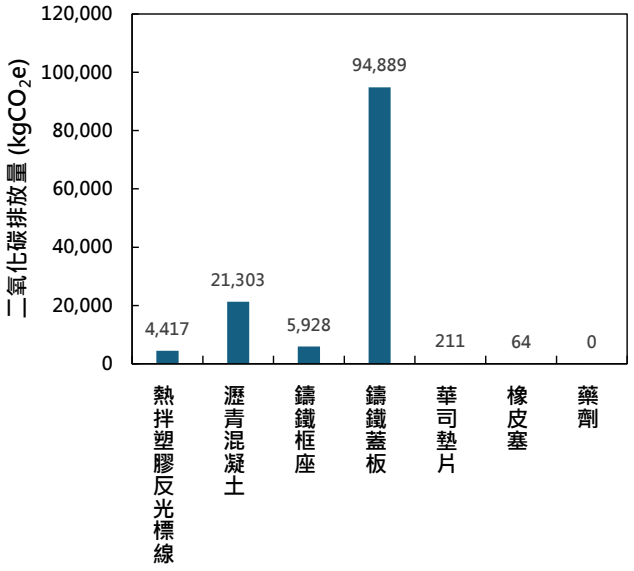


圖 3 材料碳足跡熱點分析

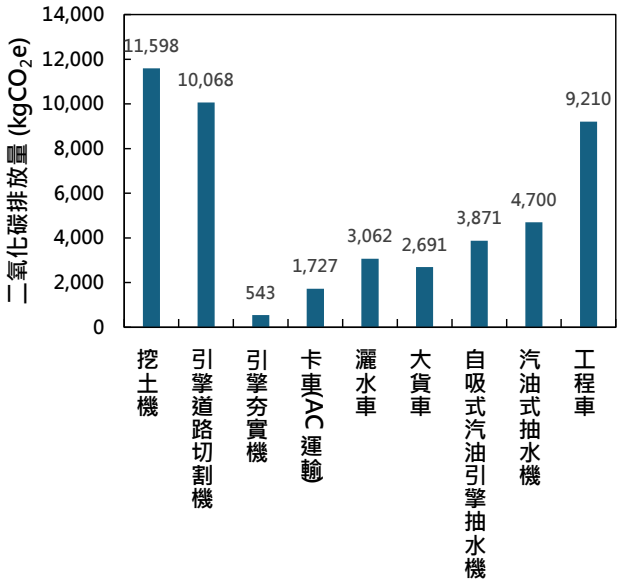


圖 4 機具碳足跡熱點分析

在瀝青混凝土方面，為降低道路維修工程於材料與施工階段之碳排放，應整合再生材料應用、節能製程導入與修補策略優化等多元措施。[11]

1. 逐步提升 RAP 使用比例至 20–30%之成熟範圍，以部分取代新粒料與新瀝青膠結料，在無須大幅調整施工工法之前提下，即可於材料生產階段降低約 10–15%碳排放，並減少 RAP 堆置成本；同時適度添加再生劑以改善老化膠結

料性質，確保鋪面性能與耐久性。而使用30%RAP 於多數研究中展現較佳整體生命週期減碳效益[12]。

2. 導入低溫拌和或節能拌和技術，將拌和溫度由傳統 150–170°C 降低 20–40°C，可使能源消耗下降約 15–30%；可先於常態性或局部修補工程中試行，並要求拌和廠揭露改質劑使用情形與溫度監測紀錄，以確保品質與減碳成效[13、14]。
3. 透過修補範圍與工法優化提升材料使用效率，優先採局部修補避免過度刨除，對小面積破損評估採用薄層鋪面以減少材料厚度，並導入影像辨識技術以精準判斷修補需求，從源頭控制材料用量，進而同步降低生產與運輸階段之碳排強度[15]。

施工機具面減碳方法

施工機具碳排以挖土機與柴油動力設備為主要排放來源。為降低機具端碳排，建議如下：

1. 提升機具能源效率與調度管理，優先調派較新年份、高能效或符合較嚴格排放標準之施工機具。建立機具油耗與空轉時間紀錄，以利掌握排放熱點並進行維護調整。並鼓勵施工時段集中化與工序整合，以減少機具重複進出與待命時間。透過定期保養、引擎調校與液壓系統維護以減少能源消耗並降低排放。
2. 導入低碳或電動化施工設備，如小型施工設備(如小型破碎機、夯實機、切割機等)已有電動化機型可供選擇。並建議優先於都市道路維修、局部開挖等施工範圍較小、作業時間較短之場域試行導入。
3. 優化工法以減少機具作業時數，利用局部修補工法以降低挖除面積。若條件允許，可考慮非開挖工法以減少挖除量、鋪面使用量與機具操作時間。依據國內外管線工程案例與相關研究，非開挖工法相較於傳統全面開挖方式，於相同管線長度條件下，整體碳排放大致可降低約 20%～50%優化工法以減少機具作業時數。

工程管理制度面減碳方法

1. 建立工程碳排基準線與年度績效指標，以 114 年度工程碳足跡成果作為後續年度工程之基準線。設定可量化之減碳 KPI(如再生料使用比例、機具空轉時間、具碳足跡資訊之材料採用率等)。並每年度追蹤改善情形，建立跨年度之減碳績效資料庫。
2. 將低碳要求納入評選項目，鼓勵材料供應商提供基本碳足跡、再生料比例等資訊。並納入碳排影響評估，使低碳材料、機具、工法具評選優勢。
3. 加強施工管理資料的完整性與可追溯性，可導入影像紀錄或 GIS 系統，支援修補範圍判定與材料需求量管理。並建立施工資料標準化格式，以提高各年度工程可比較性。
4. 建立機具能源管理制度，將油耗紀錄、空轉紀錄、維護紀錄制度化，納入廠商管理之要求項目。並推動施工設備定期檢測與保養計畫，逐步汰換高耗能設備，以維持能源效率。
5. 工程人員與施工廠商之減碳教育與訓練，定期辦理講習，使工程管理者與現場人員理解減碳措施的目的與執行方式。建立「施工減碳行為準則」，如工序整合、降低空轉、減少廢料產生等。以促進廠商共同參與減碳管理，形成合作式的永續改善模式。
6. 透過推動材料與設備之低碳採購制度化，制定低碳材料採購指引，作為市政工程標準規範。並逐步提高具碳足跡資訊材料、機具的採用比例。建立材料循環再利用制度，使舊蓋板或道路材料能回收再熔煉或再拌和使用。
7. 建置智慧化工程碳管理系統，整合材料、機具、施工紀錄與碳排放數據至資訊平台。透過自動化資料處理提高工程碳盤查的效率與準確性。並利用數據分析支援決策，如最佳施工排程、材料需求預測及減碳成效評估。

參考文獻

1. International Organization for Standardization. (2018). ISO 14067:2018 – Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. ISO.
2. British Standards Institution. (2016). PAS 2080:2016 – Carbon management in infrastructure. BSI.

3. 高雄市政府工務局(2018)，高雄市共同管道系統第二次通盤檢討。
4. 行政院環境部(2020)，碳足跡產品類別規則訂定、引用及修訂指引。
5. 行政院環境部，環境部產品碳足跡資訊網，截取時間:2025 年 7 月，取自:https://cfp.moenv.gov.tw/WebPage/Index.aspx。
6. PRé Sustainability (2025). SimaPro database.
7. 行政院公共工程委員會(2012)，研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計算規則。
8. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021–2023). Sixth assessment report (AR6). IPCC.
9. World Steel Association. (2023). Steel recycling: Sustainability and environmental benefits.
10. International Energy Agency. (2020). Iron and steel technology roadmap.
11. 徐驊煒(2024)，再生瀝青混凝土減碳效益之研究，碩士論文，國立臺灣科技大學營建工程系。
12. Khan, M., Zhang, Y., and Li, S. (2023). Life cycle assessment of reclaimed asphalt pavement (RAP) in asphalt mixtures. Sustainability, 15(5), 4629.
13. National Asphalt Pavement Association. (2024). The carbon footprint of asphalt pavements: Warm-mix asphalt technologies (SIP109). NAPA Technical Report, 1–45.
14. Zhang, Y., Khan, M., and Chen, L. (2024). Systematic review on environmental benefits of reclaimed asphalt pavement. Cleaner Materials, 7, 100123.
15. Li, H., Wu, J., and Wang, T. (2024). Life cycle assessment of decarbonization strategies for asphalt mixtures. Journal of Cleaner Production, 442, 140123.

高雄市與首爾市道路挖掘管理制度之比較研究

温日宏/高雄市政府工務局道路挖掘管理中心 主任
柯添智/高雄市政府工務局道路挖掘管理中心挖掘管理課 課長
王偉筑/義守大學土木工程學系 助理教授
陳威任/義守大學土木工程學系 研究助理
林欣弘/義守大學土木工程學系 研究生

摘要

為精進高雄市道路挖掘管理制度，本研究以首爾市作為高雄市道路挖掘管理法規之比較對象，並由「道路挖掘施工管理」、「道路挖掘許可與費用」及「道路挖掘基金」等面向進行探討。研究結果得知，高雄市政府規範道路禁挖之目的係為降低挖掘頻率以及維持交通順暢，雖針對新闢或翻修、路平專案、計畫型挖掘、建案聯挖等道路訂有 1~3 年禁挖期，並包含特殊節日與活動，另亦考量天氣因素等；此外高雄市雖有明確道路挖掘許可與費用計算標準，但並未涵蓋因施工導致道路設施損害之延伸費用；而高雄市之基金管理雖設有基金管理委員會負責審議，但基金運算與執行期限係以單一年度為限，使長期發展計畫之推動受限。因此高雄市可參考首爾市政府道路挖掘管理機制，研擬針對道路或設施損害之起因者加收修復費用，並對未經許可占用道路者，增訂處以罰鍰規定。為推動高雄市管挖工程之長遠發展，未來可參考首爾市政府建立基金使用期限延長與跨年度存續運用等機制。

前言

為因應民生及工業需求，道路下方經常需埋設管線；而管線使用年限增加後亦有汰換需求，致使道路挖掘作業日益頻繁。惟道路涉及挖掘許可、施工管理、費用與基金等多面向事項，且實務情況多變，故需建立完善的管理制度，以利有效管控。高雄市政府工務局於民國 106 年成立「高雄市道路挖掘管理中心」(簡稱挖管中心)，並積極訂定及修正道路挖掘管理相關法規，供管線單位與施工承商遵循，包括高雄市道路挖掘管理自治條例、高雄市道路挖掘管理基金收支保管及運用自治條例、高雄市道路挖掘許可費挖補費及修復費收費標準、高雄市政府工務局道路挖掘管理施工維護要點，及高雄市政府工務局道路挖掘管理基金管理會設置要點。

近年我國深受鄰近國家文化影響，其中以韓國文化尤為顯著。韓國首都為首爾市，而高雄市則為我國南部之核心城市，兩者同具高密度人口與產業集聚特性，且同樣面臨舊市區更新與重大交通建設推動等課題，表示城市條件與治理需求上具有相似性。

為精進高雄市道路挖掘管理制度，本研究以首爾市作為與高雄市比較對象，探討道路挖掘管理制度差異，以作為未來高雄市道路挖掘法規參考。

道路挖掘管理相關法規盤點

依高雄市政府工務局所訂道路挖掘管理相關法規，可概分為「道路挖掘施工管理」、「道路挖掘許可與費用」及「道路挖掘基金」三大面向。若以此分類架構對應首爾市政府之道路挖掘管理相關法規(如表 1)，可發現道路挖掘管理方面有「首爾市道路開挖及修復工程處理規則」；挖掘許可與相關費用方面則有「首爾市道路占用許可及占用費徵收條例」、「首爾市道路占用許可及占用費徵收條例施行細則」及「首爾市道路修復費徵收條例」；至於道路挖掘基金方面，則可對應到「首爾市道路挖掘修復基金設立條例」及「首爾

市道路挖掘修復基金設立條例施行細則」。首爾市另有「首爾道路損害舉報等獎勵規定」及「首爾市地下安全管理條例」等其他於道路挖掘管理相關之法規。

道路挖掘施工管理相關法規比較

目的與適用範圍

針對高雄市與首爾市道路挖掘施工管理相關法規之比較如表 2 所示。由表可知，兩市相關法規皆以確保道路品質與安全為核心理念。首爾市政府之規範適用於首爾市內所有道路挖掘工程，而高雄市政府之道路挖掘施工管理相關法規僅適用於高雄市轄區內由市府主管之道路。其原因在於，高雄市內平面道路可區分為省道、產業園區內道路、市(縣)道、區(鄉)道、市區道路，其中省道係由公路局轄管，而產業園區內道路若擬辦理挖掘作業，則須向公路局與產業園區管理單位申請，僅有市(縣)道、區(鄉)道、市區道路屬高雄市政府管理範疇。

申請許可

兩市對於申請道路挖掘許可皆有要求管線單位提交詳細的施工計畫等資料，但另對於緊急搶修、多工區以及禁挖等情況規定則有所差異。對於多工區同時施工之管挖案件，首爾市政府則要求管線單位須辦理協調施工，而高雄市政府則為避免道路頻繁挖掘與修復，則要求新建房屋(建案)進行管線挖掘作業整合以達聯合挖掘效果，稱之為建案聯挖。針對道路禁挖規定，高雄市政府則是從減少挖掘頻率以及交通順暢為導向，規定剛完成新闢或翻修、路平專案、計畫型挖掘、建案聯挖等道路有 1~3 年之禁挖期，以及針對特殊節日與活動(如春節、公民投票等)皆須禁挖，而首爾市政府則是以確保道路挖掘施工品質為導向，規定雨季(7 月左右)及冬季(12 月到隔年 2 月)禁止施工，以避免施工品質受到雨水與氣溫影響而造成道路使用壽命縮短；高雄市政府雖然有考量天氣影響，但並無明確就季節性影響納入規定。首爾市政府另有專設道路管理委員會負責審議和調整道路開挖和修復計畫，以確保道路挖掘與修復計畫品質。

緊急施工

高雄市政府對於緊急搶修案件或遇到緊急情況(如管線損壞)時係要求管線單位需在一小時內通報，並在三日內補辦許可申請，但首爾市則是管線單位得直接進場搶修，但須在施工完成後立即向主管區長提出申請，並說明理由。

施工管理

兩市在施工管理規定上並無明顯差異，皆要求管線單位須依許可內容施作，並設置必要之安

表 1 高雄市與首爾市道路挖掘管理法規之各類別對應表

類別	高雄市	首爾市
道路挖掘施工管理	● 高雄市道路挖掘管理自治條例 ● 高雄市政府工務局道路挖掘管理施工維護要點	● 首爾市道路開挖及修復工程處理規則 (서울특별시도로굴착・복구업무처리규칙)
道路挖掘許可與費用	● 高雄市道路挖掘許可費挖補費及修復費收費標準	● 首爾市道路佔用許可及佔用費徵收條例 (서울특별시도로점용허가 및 점용료등징수조례) ● 首爾市道路佔用許可及佔用費徵收條例實施細則 (서울특별시도로점용허가및점용료등징수조례시행규칙) ● 首爾市道路修復費徵收條例 (서울특별시 도로복구원인자부담금징수조례)
道路挖掘基金	● 高雄市道路挖掘管理基金收支保管及運用自治條例 ● 高雄市政府工務局道路挖掘管理基金管理會設置要點	● 首爾市道路挖掘修復基金設立條例 (서울특별시도로굴착복구기금설치조례) ● 首爾市道路挖掘修復基金設立條例施行細則 (서울특별시도로굴착복구기금설치조례시행규칙)
其他	-	● 首爾道路損害舉報等獎勵規定 (서울특별시도로파손등신고포상금지급규칙) ● 首爾市地下安全管理條例 (서울특별시지하안전관리에관한조례)

全設施。施工期間亦應維持交通順暢，並遵循相關法令規定。另就道路挖掘管理系統，兩市皆透過線上系統進行施工品質管理；惟高雄市政府另設有即時監控設備，首爾市政府則未建置。

維護與管理

高雄市政府與首爾市政府在管線設施之維護與管理方面亦大致相同，管線單位均負有各自管線設施之維護與管理責任；工程竣工後亦須提送竣工文件，供主管機關查驗與確認。

罰則

道路挖掘施工管理之罰則，兩市皆有違規者處以罰款，並要求限期內改善，但針對因施工不善造成損害時，高雄市政府則為主管機關可要求停止施工並修復，而首爾市政府則規定造成損害之管線單位需負擔修復費用。

道路挖掘許可與費用相關法規比較

目的與適用範圍

高雄市政府與首爾市政府對於挖掘許可皆訂有收費標準，並收取許可費、修復費等相關費用。高雄市政府與首爾市政府道路挖掘許可與費用相關法規之比較如表 3 所示。

費用與徵收

兩市對於挖掘許可費、修復費及挖補費均有明確計算標準，並針對未按期繳納相關費用設有後續處理機制。另首爾市政府對造成道路或設施直接或間接損害之起因者，另訂負擔部分修復費用之計算與徵收方式，以提高損害起因者之成本。高雄市政府針對符合特定道路挖掘長度及施工期限之案件，訂有許可費減免 50%之規定，以鼓勵管線單位提升作業效率。

表 2 高雄市與首爾市道路挖掘施工管理相關法規比較表[1-3]

類別	高雄市道路挖掘管理自治條例 高雄市政府工務局道路挖掘管理施工維護要點	首爾市道路開挖及修復工程處理規則
目的與適用範圍	● 確保道路品質，維護公共安全。 ● 適用於高雄市轄區內的道路挖掘管理。	● 管理道路開挖及修復，確保施工安全和道路品質。 ● 適用於首爾市內所有道路開挖的工程
申請許可	● 管線單位需申請許可，提交詳細的施工計畫和相關文件。 ● 道路於新闢或翻修等作業結束後，一段期間內禁止挖掘。 ● 管線單位施工前應落實現場勘查、協調會議、確認管線位置、施工協調等責任	● 需提交道路佔用許可申請書，附上詳細的施工計畫。 ● 兩個或更多工區項目同時進行時，需協調施工。 ● 雨季(7月左右)及冬季(12月到隔年2月)禁止施工。 ● 設有道路管理委員會，負責審議和調整道路開挖和修復計畫。
緊急施工	● 遇到緊急情況（如管線損壞）時，高雄市政府允許申請單位在施工後一小時內通報主管機關，並需在三天內補辦相關許可。	● 管線單位必須在施工完成後立即向主管區長提出申請，並說明理由。
施工管理	● 施工需按許可內容進行，並設置安全設施。 ● 施工期間應保持現場整潔，並遵循交通和環境保護法規。 ● 使用「道路挖掘管理系統」和「遠端即時監控系統」管理施工品質和進行即時監控。 ● 施工時間有明確限制，並規定夜間施工時間與申請程序。 ● 施工完成後須進行品質檢測，並須由認證機構進行試驗，確保施工品質。 ● 詳細規定人口孔蓋設置、下地、提升及齊平施工等要求。	● 施工需符合許可條件，並設置必要的安全設施。 ● 施工期間需保持交通順暢，並遵循相關法令。 ● 使用「道路開挖修復系統」進行管理。
維護與管理	● 管線單位負責設施的巡查和維護。 ● 竣工後需提交竣工文件，並經檢查合格確認。	● 管線單位需負責其設施的維護和管理。 ● 需定期進行道路缺陷檢查、修復，並記錄與管理。 ● 竣工後需提交竣工確認申請，並進行檢查。
罰則	● 違規者處以罰款，並要求限期內改善。 ● 若造成重大損害，主管機關可要求停止施工並修復。	● 違規者處以罰款，並要求限期內改善。 ● 若施工不善造成損害，需負擔修復費用。

管理與罰則

針對道路挖掘管理之相關費用與罰則而言，高雄市政府與首爾市政府皆訂有已繳納費用得退還或可申請退費之規定；惟首爾市政府另針對未經許可占用道路之管線單位，除須繳納補償金外，並將另處相關罰鍰。

分期與調整

由於道路挖掘工程之工期與現況多變，因此高雄市政府與首爾市政府就道路挖掘管理相關費用皆設有調整機制。高雄市政府規定，道路挖掘工程如於費用繳納期限內因不可抗力因素致未能施工者，得申請退費；其餘情形則不予退費。另工程如需展延工期，得申請許可展延；許可證展期達一定期間者，修復費須依規定加價計算，並須由管線單位補繳減收之許可費後始得施工。首爾市政府於道路挖掘管理相關費用則設有分期繳納制度，並針對符合特定條件之業者得免收利息；另對於需長期占用道路之挖掘案件，亦可依其上一年度工程進度調整相關費用，此類機制高雄市政府則未設置。

道路挖掘基金相關法規比較

目的與適用範圍

高雄市政府與首爾市政府對於道路挖掘基金皆訂有管理機制，以促進市區道路修復作業及後續管理為目的，且均設有基金管理委員會。高雄市與首爾市道路挖掘基金相關法規比較如表 4。

基金管理

兩市皆設有基金管理委員會負責管理道路挖掘基金。高雄市之基金屬特別收入基金，由工務局主管並設置專戶存款；首爾市則由市府層級統籌基金管理與運用，並設立專門帳戶存放。基金如需動支，兩市皆須審議經費運用計畫、預算與決算以及會計報告。高雄市政府就基金使用期限係以年度為單位，首爾市政府則可延長使用期限，使基金得跨年度存續運用。

表 3 高雄市與首爾市道路挖掘許可與費用相關法規比較表[4-7]

類別	高雄市道路挖掘許可費挖補費及修復費收費標準	首爾市道路使用許可證及佔用費等徵收條例 首爾市道路佔用許可及佔用費徵收條例實施細則 首爾市道路修復費徵收條例
目的與適用範圍	● 規範道路挖掘之許可費、挖補費、修復費相關收費、減免、退費標準。	● 主要目的是規範道路使用許可、使用費、賠償、罰款等，確保道路使用的合法性和安全性。 ● 使用許可涉及多種設施，強調對道路占用及挖掘修復的規範。
費用與徵收	● 挖掘許可費、修復費和挖補費有明確的計算標準，根據挖掘面積和施工期限計算。 ● 針對符合特定道路挖掘長度與施工期限之道路挖掘案件，設有許可費減免50%之規定。 ● 管線單位需按標準繳交修復費，部分情況可免收。	● 許可費和佔用費依據道路法施行令計算，並有明確的計算標準。 ● 申請人應負擔針對因工程或行為造成的道路損壞，需進行修復的費用。 ● 未按時繳納者會面臨滯納處分。 ● 造成道路或設施直接和間接損害之起因者，需負擔部分修復費用，並有明確計算與徵收方式。
管理與罰則	● 如因故未施工，其許可費不予退費。若因天災、民眾抗爭或其他不可抗力之事由者，則需扣除繳納總額20%的行政作業費後予以退還許可費。 ● 道路挖補費及修復費於繳納後，因故未施工者，得請求全額無息退還。	● 符合一定條件者，可退還全部或部分已繳納的金額 ● 未經許可的道路佔用需支付補償金，將面臨罰款。
分期與調整	● 費用繳納期限內未施工者，除不可抗力因素外，不予退費。 ● 許可證展期一定期間者修復費須加價計算。 ● 申請展期經許可者須補繳減收之許可費始得施工。	● 佔用費可分期繳納，符合條件者可免除利息。 ● 長期佔用的道路費用會根據上一年度進行調整。

表 4 高雄市與首爾市道路挖掘基金相關法規比較表[8-10]

類別	高雄市道路挖掘管理基金收支保管及運用自治條例 高雄市政府工務局道路挖掘管理基金管理會設置要點	首爾市道路挖掘修復基金設立條例
目的與適用範圍	● 依市區道路條例設置，旨在促進道路挖掘整合，減少重複施工。 ● 設立高雄市政府工務局道路挖掘管理基金管理會，負責基金的收支、保管及運用。	● 根據地方自治法第159條設立，目的是促進市政機關管理的道路修復工作和後續管理，並設有基金管理委員會。
基金管理	● 基金為特別收入基金，由工務局主管，設立專戶存款。 ● 管理會審議年度經費運用計畫、預算決算及會計報告。	● 市政機關負責基金的管理與運用，需設立專門帳戶存放基金。 ● 設有運營審議會，負責審議基金管理及運營的重大事項。 ● 基金有跨年度的存續期限，可通過修改條例延長使用。
基金來源與用途	● 來源包括道路挖補費、道路修復費、中央補助、捐贈及其他收入。 ● 用於道路管理維護、行政管理、管線圖資管理及其他相關支出。	● 來源包括施工單位繳納之挖補費等。 ● 用於道路挖掘修復、管理、調查研究等支出。
會計與審議	● 管理會由多名委員組成，負責基金的監督及運用。 ● 委員會議需過半數出席並同意方可決議，遵守利益迴避規定。 ● 高雄市規定基金管理會委員的性別比例不得少於三分之一。	● 基金會計由指定的政府會計官員處理，遵循相關會計管理規則。 ● 審議會由多名委員組成，負責基金運營計劃及決算報告的審議。 ● 基金管理委員會包括市議員及在道路開挖修復或資金管理方面有經驗的人員。

基金來源與用途

高雄市道路挖掘管理基金之來源包括道路挖補費、道路修復費、中央補助、捐贈及其他；首爾市則主要以施工單位繳納挖補費為基金來源，由此可知高雄市之基金來源較多元化。兩市對基金用途皆以道路管理維護及相關管理工作為主，惟首爾市政府另得支應相關研究用途之支出。

會計與審議

高雄市政府規定委員會議須過半數委員出席，並經出席委員過半數同意始得決議，且須遵守利益迴避規定；另委員性別比例不得低於三分之一。首爾市政府則規定基金管理委員會成員包含市議員，並納入具道路開挖修復或資金管理經驗之人員。由此可知，高雄市政府較著重性別平權與程序規範，首爾市政府則強調專業分工與職能配置。

首爾市道路挖掘管理其他法規說明

首爾道路損害舉報等獎勵規定

為提升道路安全管理效率、促進市民參與，首爾市政府訂定「首爾道路損害舉報等獎勵規定」，鼓勵市民主動通報道路及附屬設施損壞情形，以協助政府迅速修復基礎設施、維護公共安全，首爾道路損害舉報等獎勵規定概述如表 5。市民可通報之損壞類型包括交通號誌故障、路面坑洞、人手孔蓋損壞及邊坡崩塌等；經審認符合規定者，有機會獲得最高 50,000 韓元之獎勵金或等值禮券。惟若為損害行為人本人通報、設施管理部門公職人員通報，或屬匿名舉報者，則不予發給獎勵。另獎勵金設有領取上限，每人每月

表 5 首爾道路損害舉報等獎勵規定概述[11]

項目	內容概述
目的	● 鼓勵市民積極參與道路安全，通過舉報道路損壞等問題，協助首爾市政府維護道路安全。
檢舉獎勵支付資格	● 報告道路及其附屬設施損壞、提供有助於確定道路設施損壞原因的事實等情形。 ● 破壞人、設施管理部門的公職人員、匿名檢舉者不予支付獎勵。
故障、損壞處理	● 災害安全擔當室及綜合部門負責處理。 ● 設施管理機構及120茶山呼叫中心應立即通知相關部門。
獎勵支付方式及程序	● 獎勵在次月20日前支付，得每半年支付一次。 ● 需填寫指定表格以完成獎勵支付程序。
保護檢舉人措施	● 未經檢舉人同意，不得洩露其個人資訊，保障其隱私和安全。

最高可領取 200,000 韓元，累積獎勵金額最高為 300,000 韓元。市民所提交之通報由災害安全室負責受理與處理，並確保個人資料不致外洩，以保障檢舉人隱私與安全。

首爾市地下安全管理條例

首爾市政府訂定「首爾市地下安全管理條例」之主要目的在於確保地下開發與利用之安全，預防地盤下陷，進而保障市民生命安全與生活環境。首爾市地下安全管理條例概述如表 6。

依條例規定，首爾市政府應負責訂定並推動地下安全及地盤下陷預防之綜合政策；施工單位則須擬定地下安全管理計畫，其內容應包含安全管理方針、設施檢查作業、重點管理設施與區域，以及與相關廠商之協作關係。地下安全管理計畫、制度精進及技術標準則由地下安全委員會負責審議與供諮詢。施工期間，市府得赴現場就地下設施及地盤狀況進行現場調查，並得要求改善，且調查結果必須公開。必要時，市府得採取共同調查方式辦理，相關費用則與設施管理者協商分擔。

表 6 首爾市地下安全管理條例概述[12]

項目	內容概述
目的	● 確保地下開發和利用的安全，防止地盤下沉，保障市民的安全和生活環境。
市府機關責任	● 制定和實施綜合政策，預防地盤下沉，管理地下安全。
地下安全管理計畫	● 包括安全管理方向、設施檢查、重點管理設施及區域、機構合作等。
地下安全委員會	● 由專家和相關行政人員組成委員會，審議和諮詢管理計劃、制度改進、技術標準等。
現場調查	● 市府機關有權對地下設施和地盤進行調查，並要求整改，且調查結果可予以公開。
共同調查和費用分擔	● 市府機關可實施共同調查，並與設施管理者協商分擔相關費用。

結論

1. 高雄市政府現針對新闢或翻修、路平專案、計畫型挖掘、建案聯挖等道路，以及包含特殊節日與活動訂有禁挖期之規定，另亦考量天氣等因素。
2. 目前高雄市道路挖掘許可與費用計算標準未涵蓋因施工導致道路設施損害之延伸費用，可研擬向道路或設施損害之起因者加收修復費用，以及對未經許可占用道路者，增訂罰鍰等規定。
3. 為減輕管線單位之工程成本負擔，可參考韓國規劃道路挖掘管理相關費用分期、免息以及長期挖掘案件費用調整等制度。
4. 現高雄市之基金運算與執行期限係以單一年度為限，未來可參考韓國建立基金使用期限延長與跨年度存續運用等機制，以利推動高雄市管挖工程之長遠發展。

參考文獻

1. 高雄市政府(2019)，高雄市道路挖掘管理自治條例，高市府工道字第 10804172100 號令修正。
2. 高雄市政府(2023)，高雄市政府工務局道路挖掘管理施工維護要點，高市工務道字第 11237498500 號函修正。
3. 서울특별시(2019)，타법개정(서울특별시 도로굴착·복구업무처리규칙)，[서울특별시규칙제 4283 호, 일부개정]
4. 高雄市政府(2024)，高雄市道路挖掘許可費挖補費及修復費收費標準，高市府工道字第 11300824000 號令修正。
5. 서울특별시(2023)，(서울특별시 도로 점용허가 및 점용료 등 징수 조례)，[서울특별시조례 제 5764 호, 일부개정]
6. 서울특별시(2023)，(서울특별시 도로 점용허가 및 점용료 등 징수 조례 시행규칙)，[서울특별시규칙 제 4606 호, 타법개정]
7. 서울특별시(2023)，(서울특별시 도로복구원인자부담금 징수 조례)，[서울특별시조례 제 6016 호, 타법개정]
8. 高雄市政府(2019)，高雄市道路挖掘管理基金收支保管及運用自治條例，高市府工道字第 10802958400 號令。
9. 高雄市政府(2019)，高雄市政府工務局道路挖掘管理基金管理會設置要點，高市府工道字第 10802958400 號令制定。
10. 서울특별시(2024)，(서울특별시 도로굴착복구기금 설치 조례)，[서울특별시조례 제 9289 호, 타법개정]
11. 서울특별시(2024)，(서울특별시 도로 파손 등신고포상금 지급규칙)，[서울특별시규칙 제 4303 호, 타법개정]
12. 서울특별시(2023)，(서울특별시 지하안전관리에 관한 조례)，[서울특별시조례 제 8862 호, 타법개정]

試挖報告附件作為圖資補正之範本研究

溫日宏/高雄市政府工務局道路挖掘管理中心 主任
陳獻策/高雄市政府工務局道路挖掘管理中心綜合資訊課 課長
王詠世/台鋼科技大學工程系統整合研究中心 組長
鄭翔宇/領航技術開發股份有限公司 經理

摘要

公共管線圖資準確性為降低道路施工誤挖風險及提升道路挖掘管理效率之重要基礎。高雄市近年辦理多件試挖工程，並要求管線單位於試挖完成後繳交試挖成果報告。目前試挖報告之圖資多僅作為施工紀錄使用，尚未充分應用於既有管線資料庫之圖資補正。本研究以高雄市道路挖掘管理中心近年 600 件試挖報告為研究對象，針對試挖報告附件所記錄之現地管線圖資進行分析，以評估其作為管線資料庫圖資補正資料之可行性。藉由 SQL 指令篩選試挖案件，建立試挖圖資與道路挖掘管理系統管線資料比對流程，以分析試挖圖資與既有資料庫圖資之平面位置與埋深之差異，並以國土管理署建議之平面與立面±20 公分誤差為判定標準；另透過 Excel 樞紐分析統計各管線單位試挖成果與系統資料之差異，以評估既有圖資品質。研究結果顯示，若將試挖結果圖資代入管線圖資中，可大幅提升補正現有管線資料庫。為提升試挖圖資實際應用價值，本研究提出試挖圖資作為圖資補正之 SOP 作業流程，並建議試挖報告圖資應包含試挖平面圖、試挖剖面圖及管線埋深照片等標準化資訊，以利圖資完成後續補正作業。建立標準化試挖圖資繪製方式並結合系統輔助工具，試挖圖資可成為提升公共管線資料庫圖資品質重要資料來源。

研究動機

公共管線資料庫圖資品質準確性為道路挖掘減少誤挖之重要因素，114 年度公共設施管線資料庫推動會議中，將管線圖資品質建議分為五個等級[1]，其中第 1 級為管線圖資為實測，與其他資料空間衝突不影響其等級。近年高雄市試挖工程有數百件，高雄市道路挖掘管理中心(以下簡稱挖管中心)亦依高雄市政府工務局道路挖掘管理施工維護要點第四點規定試挖報告內容至少應包含的項目[2]，並提供試挖報告範本[3]，供各管線單位試挖後作為繳交試挖報告之參考。

試挖報告範本共分兩部分。第一部分為試挖工程基本資料；第二部分為記錄試挖現地發現之管線圖資。目前各管線單位均能依試挖報告範本，於系統上繳交試挖後成果報告，若將試挖實際結果作為圖資補正之參考資料，則可使既有圖資等級達第一級，亦符合辦理試挖工程之目的。

研究範圍與目的

本研究擬分析挖管中心近年約 600 件試挖報告之圖資資料，探討其作為未來圖資補正參考之可行性。並就未來圖資補正所需之繪製方式提出具體建議，以利強化試挖成果於圖資更新作業之應用價值。具體目的如下：

1. 評估約 600 件試挖報告作為圖資補正依據之可行性。
2. 建立試挖報告圖資繪製標準範本，以利後續圖資補正作業。
3. 研擬以系統輔助產生試挖竣工圖資之可行方案。

研究方法

本研究研究流程如圖 1 所示，分為在系統中試挖圖資與現有資料庫圖資進行比對分析、統計分析試挖圖資與現有資料庫圖資位置較差之方

法、提出試挖圖資可作為圖資補正的 SOP 及繪製方法，最後再研究系統如何協助試挖圖資繪製，以減少管線單位負擔。

尋找試挖案件

以 SQL 的 Select 指令，找出近年約 600 份試挖報告，共計有 38 個深挖單位。

制定與圖資系統比對 SOP

共分以下步驟[4]。

步驟 1：登入「高雄市道路挖掘管理系統」: (https://pipegis.kcg.gov.tw/webui/pipeline/Account/login)

步驟 2：於系統右上，執行【功能】>【圖層控制】。開啟「圖層控制」與「定位」功能介面。

步驟 3：「圖層控制」功能設定：

(1)「管線設施圖層」: 勾選所有管線設施圖層。

(2)「基本圖」: 勾選「試挖報告圖層」。

步驟 4：「定位」:

(1)執行【試挖案件定位】功能。

(2)輸入【關鍵字搜尋】(路證編號)後執行【搜尋】功能。

(3)於案件清單中，選擇【試挖工區】，並定位。

步驟 5：點選所查詢案件試挖範圍，顯示「試挖案件」相關說明，點擊【下載(本試挖報告由管線單位提供)】連結，完成「試挖報告附件」下載。

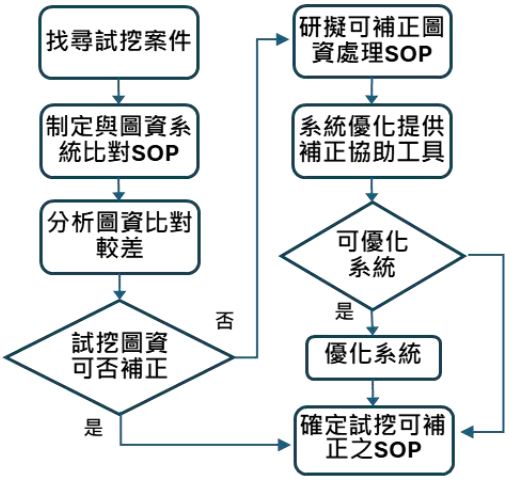


圖 1 研究流程

步驟 6：於記錄表內，記錄【試挖案件】之「施工單位」及「路證編號」，如表 1。

步驟 7：判斷及確認「試挖報告」挖掘範圍，對應「道路掘管理系統」位置。

步驟 8：記錄「試挖報告」中各管線之埋深數據，並與「道路挖掘管理系統」內對應管線圖資之埋深數據進行比對並記錄，如表 2。

步驟 9：對「試挖報告」中各管線的埋深數據，與「道路挖掘管理系統」內對應管線圖資之埋深數據進行比對，建立完整的差異記錄，如表 3。

並以國土署的平面和立面±20 公分為確認試挖報告中的平面位置或深度是否可以作為圖資優化之用。

表 1 試挖案件「施工單位」及「路證編號」之紀錄表

施工單位	路證編號	初判系統狀況 1.有對應圖資 0:無對應圖資	系統管線條數	試挖管線條數	差異管線種類	管線系統識別碼
施工單位	路證編號	1/0	系統管線條數	試挖管線條數	差異管線種類	識別碼
						識別碼
						識別碼

表 2 試挖案件各管線之埋深數據之紀錄表

系統管線條數	試挖管線條數	差異管線種類	管線系統識別碼	管線種類	
				試挖報告	系統圖資
3	4	-1	無	自來水	自來水
			TC8010101202105	中華電信	中華電信
			TC8010101678189	中華電信	中華電信
			W1803010199134	自來水	自來水
			W18030101099134	自來水	自來水

表 3 試挖案件各管線埋深數據之紀錄表

埋設深度(m)			報告平面位置是否可優化用 1:是、0:否	報告深度位置是否可優化用 1:是、0:否
試挖報告	系統圖資			
	起點	終點		
0.65	0.9	1.65	0	0
0.7	0.9	1.65	0	0
0.7	0.9	1.65	0	0

樞紐分析統計比對

以 Excel 樞紐分析統計各管線單位試挖報告管線 3D 位置和高雄市管線資料庫中之位置之差異，以了解各管線單位報告之良莠。

研擬可補正之圖資處理 SOP

試挖報告圖資記錄若欲納為「道路挖掘管理系統」管線資料庫之補正依據。首先需設有空間之對應參考點，現行試挖報告多以 GPS 單點實測作為基準點，但該測點於管線資料庫中則難以準確對應。因此建立能將試挖報告與管線資料庫有效對接之參考基準為落實圖資補正作業首要步驟。其次於確立參考點後，規範由基準點延伸至試挖剖面位置之繪製流程，為確保圖資精確標準化之環節。最後為統一深度量測照片之拍攝方式，建議拍攝時應盡量貼近地面並與尺標保持垂直，且影像須清晰呈現管線頂部，以降低視覺誤差並強化照片之可信度。

系統優化提供補正協助工具

既有道路挖掘管理系統具有可取任一位置道路橫斷面之剖面圖功能，該功能可將道路下方現有管線圖資標示其水平位置及深度位置。此功能可協助管線單位於試挖前，先行概略掌握試挖處下方可能埋設管線之位置，亦可幫助試挖後確認試挖處之管線種類與深度。

優化系統

鑒於上述功能位置並未出現於試挖報告相關位置上，係透過本中心相關承商協助將取剖面功能跟需處理試挖報告位置相互連結，以便試挖單位取得試挖位置之道路橫斷面剖面圖。

研究結果

本研究針對各管線單位之試挖報告進行分析，而樣本數大於4件之管線單位單位詳如表4。

表 4 試挖報告數大於 4 件之管線單位

管線單位	試挖數量
高雄市政府水利局	321
台灣電力股份有限公司高雄區營業處	162
欣雄天然氣股份有限公司	83
台灣電力股份有限公司鳳山區營業處	69
自來水公司第七區管理處	60
高雄市捷運工程局	56
臺電公司輸變電南區施工處	20
中華電信高雄營運處第二客戶網路中心	14
欣高石油氣股份有限公司	12
高雄市政府交通局	11
季銓工程有限公司	10
台灣中油高雄煉油廠	8
交通部高速公路局	6
中華電信高雄營運處第三客戶網路中心	5
交通部鐵路改建工程局南部工程處	5

圖資比對結果

本研究比對 600 份試挖報告中的 3,125 筆試挖管線資訊。其中有 52%之試挖成果與系統圖資能初步吻合，而屬系統圖資溢錄(現地無管線)者以及系統圖資遺漏(現地有管線但無法對應)則分別為 34%、14%。部分比對結果詳附表。

由於試挖成果僅記錄挖掘範圍內之單一處埋深數據，且缺少平面位置資訊，故試挖成果與系統圖資能初步吻合之案件僅能從該點所在管線起迄點深度判斷試挖圖資深度之合理性。比對結果發現，有 42%管線之起迄點管線深度則需調整，或是管線於埋設時遇管障而使實際深度發生不規則變化。

圖資準確性偏低原因分析

由於管線單位試挖報告所填之 GPS 測量點多與系統圖資不符，其肇因在於各管線單位之基準點量測方式不一。現行作業中，常見以道路側溝

內緣、建築線或水表為量測起點，然此類地物邊界模糊，導致空間方位判別困難。另有部分管線單位係以所屬工作井為參考點，或提供缺乏剖面圖對照之座標(GPS 或 TWD97)，甚至僅提供房屋門牌資訊，顯見試挖報告之圖資量測與規格缺乏標準化。在參考點、量測起點及座標系統尚未統一之情況下，試挖成果將難以與既有圖資精確對接，導致其圖資補正之效益大幅受限，進而降低辦理試挖工作之實質價值。

試挖報告圖資範本建置

為能讓試挖報告具體發揮優化既有圖資準確性之效益，本研究建議建置標準化之試挖報告圖資範本，期架構可區分為三大部分，詳細說明分述如下：

1. 試挖平面圖(含試挖測量基準點)：

   試挖平面圖建議截用管挖系統圖資資訊，並將未來挖掘之橫斷面與道路邊界線(排水溝外側)交點坐標取出，以及繪製開挖斷面剖面線，而座標系統則直接採用系統給予之 TWD97 坐標，並標示於平面圖上，如圖 2。

2. 試挖剖面圖(含全路幅或半路幅斷面所有管線)：

   建議開發試挖剖面線小模組，使系統可查詢試挖位置剖面圖及其下方系統現有管線平面及深度資料，以供管線單位參考。以便管線單位再依實際試挖結果反饋於相同剖面圖中，若試挖後發現下方無管線，亦可於剖面圖註明下方無管線，如圖 3。

3. 管線深度現場照片：

   試挖剖面圖應對管線進行編號，並附上相對應之埋深紀錄照片個別呈現，以作為後續圖資補正之關鍵佐證參考，如圖 4。

圖資補正

由於試挖僅能揭露局部管線路徑，難以全面反映整段管線的深度起伏；然若採行本研究建議之標準化圖資繪製方式，將能有效檢核該試挖範圍內管線起訖點深度的空間合理性。若比對結果屬合理範圍，該管線之起訖點深度可歸類為二級圖資；而該試挖段之實測數據，則可比照挖掘竣

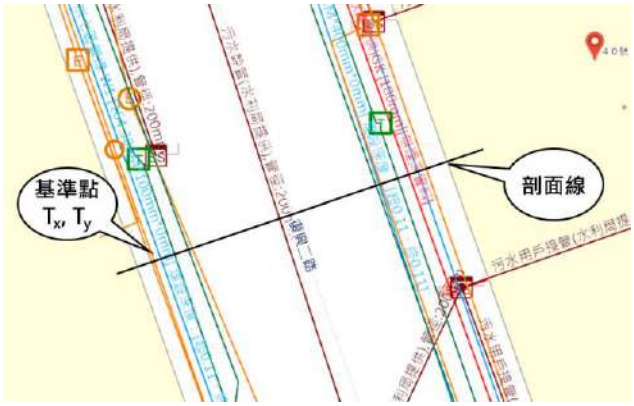


圖 2 試挖平面圖範例

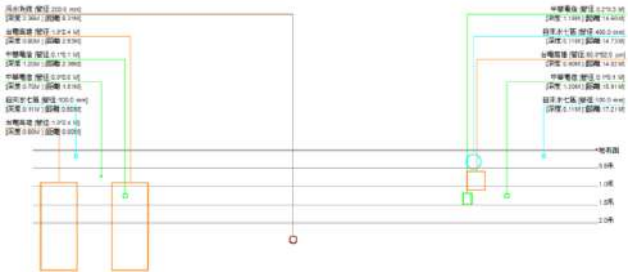


圖 3 試挖剖面圖範例



圖 4 各挖掘到管線的深度照片

工圖之精度進行調整，並將該特定區段之圖資提升為一級圖資。反之，若試挖深度與系統起訖點數據呈現異常(不合理)，則應將該管線列入待確認清單，要求管線單位進行現況核實，並依據實測結果限期修正系統內之管線起訖點深度資料。

結論與建議

結論

本研究透過分析近年 600 件試挖報告，評估其作為圖資補正參考資料之可行性，並提出標準化之試挖圖資記錄 SOP，藉此整合系統既有之剖面圖功能，不僅能降低管線單位產製試挖報告之技術門檻，更可確保試挖紀錄具備回饋至圖資補正作業之實務價值。另為持續優化管線圖資準確

性，其仍需仰賴後續圖資系統功能優化，以大幅簡化圖資補正作業流程，建構自動化且精確之地下管線圖資維護體系。

建議

為落實試挖成果回饋至圖資補正作業，後續應加強對管線單位之教育訓練，以確保各單位均能依循標準化規範產製試挖報告。經統計發現，試挖案件約半數屬高雄市政府水利局，且其對承包商已有特定之圖資要求。為避免管線單位面臨重複製圖之行政負擔，未來可嘗試與高雄市政府水利局進行跨單位協商，整合並統一圖資呈現方式，以利於優化行政效率，亦可確保不同管線單位之試挖報告一致性。

參考文獻

1. 內政部國土管理署(2025)，114 年度公共設施管線資料庫推動會議。
2. 高雄市政府工務局(2023)，高雄市政府工務局道路挖掘管理施工維護要點第四點。
3. 高雄市道路挖掘管理中心，https://pipegis.kcg.gov.tw/wwwpipe/doc/C06-04-道路試挖工程成果報告書範本-ed2.doc。
4. 高雄市政府工務局(2025)，114 年度高雄市竣工文件審查暨圖資管理制度優化勞務承攬採購案，成果報告書。

附表 部分試挖成果報告比對結果

施工單位	路證編號	初判系統狀況 1:有對應圖資 0:無對應圖資填 (系統若無對應圖資，後面項目則不無需比對)	系統管線條數	試挖管線條數	差異管線種類	管線系統識別碼	管線種類		埋設深度(m)			報告平面位置是否可優化用 1:是、0:否	報告深度位置是否可優化用 1:是、0:否
							試挖報告	系統圖資	試挖報告	系統圖資 起點	系統圖資 終點		
中華電信高雄營運處第二客戶網路中心	T1090927	1	3	4	-1	無	自來水	無	0.6	無	無	0	0
						TC8010101202105031 42704247	中華電信	中華電信	0.4	0.65	0.5	0	0
						TC8010101678189	中華電信	中華電信	0.4	1.27	1.27	0	0
						W18030101099134	自來水	自來水	0.7	0.11	0.11	0	0
						W18030101099134	自來水	自來水	0.4	0.11	0.11	0	0
高雄市政府水利局	S1110 0503	1	1	1	0	W18030101131945	自來水	自來水	1.3	0.11	0.11	0	0
高雄市政府水利局	S1110 0501	1	2	6	4	無	中華電信	無	0.7	無	無	0	0
						無	台灣電力	無	0.15	無	無	0	0
						TC8010101680173	中華電信	中華電信	0.7	1.13	1.13	0	0
						GK8050101022325	瓦斯管線	瓦斯管線	0.45	架空	架空	0	0
						GK8050101022325	瓦斯管線	瓦斯管線	0.65	架空	架空	0	0
						無	台灣電力	無	0.6	無	無	0	0
高雄市政府水利局	S1110 0511	1	1	1	0	TC8010101777716	台灣電力	中華電信	1.07	1.2	1.2	0	0
高雄市政府水利局	S1110 0538	1	9	10	1	TC8010101682215	不明管線	中華電信	1.1	0.7	0.7	0	0
						TC8010101770588	不明管線	中華電信	1.1	0.3	0.7	0	0
						EL8020201044067	不明管線	高雄市政府工務局公園處	1.1	1.3	1.3	0	0
						W18030101009671	自來水	自來水	1.8	0.11	0.11	0	0
						E18020101136203	台灣電力	台灣電力	0.75	0.9	1.65	0	0
						TC8010101678092	中華電信	中華電信	1.1	2.27	2.27	0	0
						076200917965062011 F002	自來水	自來水	0.7	0.11	0.11	0	0
						無	路燈電線	無	1.2	無	無	0	0
						W18030101111281	自來水	自來水	1.6	0.11	0.11	0	0
						TC8010101679914	中華電信	中華電信	0.93	1.61	1.61	0	0

從國營事業道路挖掘考評計畫看管線圖資及申挖管理之提升

趙啟宏/內政部國土管理署都市基礎工程組 副組長
簡孝存/國立東華大學 ESG 辦公室 主任
王嘉正/國立宜蘭大學土木工程系 土木材料實驗室主管

摘要

市區道路管線挖掘與回填復舊品質，不僅決定都市基礎設施之生命週期，更是建構人本交通環境與城市韌性關鍵。鑑於國營事業在全國挖掘案件量佔比高達八成，其施工品質之良窳對公共利益影響甚鉅，為落實行政院對於「道路回填品質應回歸國營事業自行掌控」核心政策，內政部國土管理署遂推動「國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評計畫」，透過考評機制敦促管線單位落實自主品管。本研究採用實證數據分析與比較政策研究途徑，探討計畫如何藉由「數位治理」重塑工程體質，研究發現，透過將「GML 標準化圖資更新率」與「RTK-GPS 高精度測量」納入關鍵績效指標(KPI)，有效促使管線單位建立地下空間之數位孿生(Digital Twin)基礎。實證數據顯示，全國管線單位圖資點位抽測合格率由 110 年度 33%大幅躍升至 112 年度 77%，然 112 年度考評數據亦揭示當前結構性挑戰：技術面「異質介面(人手孔蓋)」之平整度仍待突破；管理面則存在城鄉間顯著「區域管理落差」。鑑此，透過分析 113-114 年度採行「分組輪動(A/B 組)」策略，進一步引入國際標竿對照，借鏡英國倫敦交通局(TfL)「季度路網管理計分卡」與新加坡陸路交通管理局(LTA)「熱接縫工法」規範，提出未來朝向「高頻率動態評核」與「預測性維護」轉型之具體建議。本研究論證，考評計畫機制正透過「制度同構化效應(Institutional Isomorphism)」驅動產業升級，引導公共工程從單純土木施工，昇華為符合 ESG 目標之數位資產管理體系，最終實現外部成本內部化之政策目標。

計畫背景

政策緣起

過往市區道路因管線挖掘頻繁且回填品質不一，導致路面不平整，成為民眾怨言的主要來源。行政院中央廉政委員會第 21 次委員會議爰作出關鍵決議，確立「道路回填品質應回歸國營事業自行掌控」之核心政策。於政務委員督導下，政策定調國營事業於各地挖埋管線，必須依據「僅能有色差，不得有高低差」的標準進行回填復舊。嗣後並指定內政部會同相關部會及地方政府辦理事項考評作業。

此政策旨在要求管線機構負起完全施工品質責任，內政部營建署(現改制為內政部國土管理署)遂自民國 108 年起推動「國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評計畫」，透過外部考評機制，敦促管線單位落實自主品管，以提升道路平整度與民眾對於道路品質之印象。

另配合行政院管線資料庫建置及政策推動，內政部國土管理署依據該院中長程公共建設計畫，已陸續執行「國家地理資訊系統十年計畫(95-104)」、「落實智慧國土 - 內政圖資整合應用計畫(105-109)」及「邁向 3D 智慧國土 - 內政地理資訊 3D 化推動計畫(110-114)」等分項計畫之推動。政策方面透過訂定「公共設施管線資料標準」第一、二版規範，促使各管線單位及路權機關執行圖資更新之成果具有一致性。

截至 114 年度國土管理署透過審查、查核及管考機制，已陸續補助 21 個機關進行管線資料建置暨監審作業，建置完成全國約 1,910 萬筆公共設施管線資料。完成行政轄區內都市及非都市計畫區間聯結之縣(鄉、市及區)道公共設施管線資料建置工作，形成都市及非都市計畫區之同一品質管線資料庫，並使整體推動之系統管理與圖資更新作業整合並落實執行，以利未來延續性政策及資料品質提升推動。

關鍵角色與受評對象演進

考評計畫鎖定國營事業為核心對象，係因其在全國道路挖掘案件中佔據絕對多數。根據民國 102 年至 110 年統計資料顯示，5 大管線事業單位(台電、中華電信、中油、台水、北水處)及縣市自來水廠所執行案件量高達 623,923 件，約佔全國挖掘總量 80%[1]，此數據凸顯國營事業在道路管理的關鍵地位。

此考評機制受評對象隨政策推動呈現「由核心向外圍漸進式擴張」之趨勢：

1. 試辦期(108-110 年度)：鎖定台電、中華電信(109 年加入)、中油、台水、北水處、金門及連江縣自來水廠等 7 家核心單位，範圍涵蓋 22 縣市。
2. 深化期(111-112 年度)：為強化都市防災與公共衛生基礎建設，納入「天然氣業者」與「下水道施工單位」進行試辦。至 112 年度，受評單位已擴增至 15 家(含 5 家天然氣業者及 3 家下水道單位)，建構起更完整的地下管線管理網絡。
3. 成熟期(113-114 年度)：延續既有對象，並於考評計畫中持續納入各區域(北北基、桃竹苗、中彰投、雲嘉南、高屏)天然氣業者，以更全面檢核管線挖掘與道路施工回填復舊品質。

執行機制革新

隨考評計畫進入成熟期，為提升考評效率並深化對各縣市輔導，113 至 114 年度採行嶄新的「兩年一週期、分組輪動」機制，打破過去以年度為單位的考評模式。

1. 分組策略：將 22 縣市區分為 A、B 兩組。
   - A 組(114 年重點考評)：包含六都、基隆市、新竹市、嘉義市、南投縣及屏東縣。
   - B 組(115 年重點考評)：其餘縣市及離島地區。
2. 執行方式：輪值組別當年度進行完整的「政策考評」及「現地抽驗」；非輪值組別則仍依各縣市政府要求之申挖管理政策持續精進，維持考評計畫之延續性。

考評指標深化

考評權重與指標演變，反映主管機關對於挖掘管理核心價值的轉移。

1. 權重動態調整：早期(110 年度)採「50%政策、50%現地」，側重現場施工。111-112 年度調整為「60%政策、40%現地」，落實引導圖資數位化。113-114 年度回歸「50%政策、50%現地」，顯示在數位圖資基礎建立後，政策重新聚焦於「源頭管理」與「現場品質」並重的平衡發展。
2. 指標的三大深化方向：
   - 強化 GIS 圖資精度：「管線事業單位點位抽測合格率」配分佔比高達 15%(112 年度數據)，並設定管線圖資更新率須達 85%之目標，要求管線單位從傳統竣工圖轉型為精準坐標管理。
   - 導入「二級品管」機制：113 年度首度試辦「道路平坦度檢測納入管線單位第二級品管抽查」。要求管線單位品管部門(二級)必須主動抽測道路平坦度(如三米直規檢測)，將品質管理從「應付外部考評」內化為「企業內部稽核流程」。
   - 落實淨零與循環經濟：配合政策項目中，列入「配合國家淨零碳排作為」，鼓勵使用再生粒料(如焚化再生粒料、再生瀝青)，將道路挖掘工程與國家永續發展目標(SDGs)進行連結。

綜上所述，此考評機制已不僅是單純工程考評，而是透過制度設計，引導國營事業完成從「傳統土木施工」轉型為「數位化資產管理」與「永續內控治理」的現代化工程管理體系。

數位治理轉型

道路挖掘管理的現代化，核心在於落實「數位治理」。長期以來，地下管線圖資與現地狀況落差，不僅是誤挖頻傳主因，更造成災後搶修的延誤與決策困難。此考評機制透過「政策考評」，將管理重心由末端路面修補，向前延伸至源頭圖資建置與行政流程管控。經過數年推動，國營事業

不僅在數據上呈現跨越式成長，更透過契約規範的制度化，完成一場從「傳統土木施工」邁向「數位資產管理」實質轉型。

圖資精度翻轉

「管線單位點位抽測合格率」是檢驗圖資可信度的關鍵指標，直接反映地下空間資訊真實性。此指標由地方政府依國土管理署年度頒布之抽測比率規定，於各縣市管線挖掘系統中篩選前一年度圖資更新案件進行現地坐標點位抽測作業，並與管線單位原始提報之現地測量坐標進行比對，檢視其是否符合 TWD97 坐標系統± 20cm 精度要求。

陣痛期的困境

回顧 110 年計畫啟動初期，國營事業管線單位對全國推動隨案之管線圖資更新作業，尚存有提報結案圖資之不一性，造成地方政府審查人力沉重負擔，而其對圖資品質主觀認知亦有明顯差距，致標準作業程序落實度於不同區域性有極大落差。依據《110 年度考評成果報告書》統計[1、2]，當年度全國管線單位「點位抽測合格率」平均僅 33%。這揭露一個殘酷事實：不論管線單位品管人員或第一線施工人員，無法正確使用並設定專業測量儀器 RTK-GPS(即時動態定位系統)，如圖 1 所示，導致圖資品質及坐標精度不符規定情形，進而損及各地方政府已建立管線資料庫之整體資料品質。



圖 1 高精度 RTK-GPS 進行管線點位測量

政策引導與數據躍升

面對圖資失準情況，考評計畫採取循序引導策略，將「點位抽測」列為關鍵績效指標(KPI)。數據顯示出此一政策引導的巨大成效：111 年度全國平均合格率攀升至 59.60%[3、4]，至 112 年度進一步突破至 77.00%[5、6]。這項趨勢在最新的 112 年度考評結果中得到更具體驗證，中華電信以總分 92.76 分奪得全國第一[7]，其在「圖資定位」與「施工品質」的雙重高標表現，證明國營或準國營事業已有能力將地下管線圖資更新作業標準化，逐步朝向具有精確定位及品質分級之「數位資產」。

行政透明的紀律重塑

數位治理不僅要求「準」，更要求「快」與「透」。針對過去管線工程常有的「申挖不確實」或「圖資更新滯後」現象，此考評機制透過「道路挖掘管理系統案件完整性檢視」與「管線單位內部資料庫更新」兩大指標進行雙重導正。

1. 消弭管理黑數(系統完整性)：「道路挖掘管理系統案件完整性檢視」指標要求管線單位必須在規定期限內，完成完工照片、結案報告及 GIS 圖資上傳。從數據軌跡可見，行政紀律已逐年內化為管理文化，該項目平均得分率從 110 年度 76%[1、2]，一路成長至 112 年度 87.40%[5]。證明透過外部考評壓力，成功促使國營事業重視「依法申挖」環節，即時的系統更新讓地方政府能隨時掌握挖掘狀態，有效消弭管理盲區。
2. 填補圖資斷層(內部資料庫同步)：為避免發生「政府管挖系統有測繪圖資，但管線單位內部圖資卻不同步」之圖資品質落差，此考評機制自 111 年度起新增「管線單位內部資料庫更新」指標，要求管線單位必須將地方政府回饋圖資，同步更新回自身 GIS 系統。至 112 年度，該項目得分率已達 88.40%[5]，顯示管線單位已逐步開始推動建立「公私部門圖資同步」維護機制，確保資料的一致性與可用性。

數位標準制度化定型(113-114 年度展望)

隨著基礎建設數位化程度提升，考評計畫已從單純「數據檢核」，昇華為對「數位資產管理制

度」全面要求。113-114 年度考評重點，在於將數位治理標準寫入契約與目標管理中，並透過分組輪動機制深化管理。

設定高標門檻

計畫書明確設定，113 年度起「管線圖資更新率」須達 85%、「案件申報完工率」須達 90%。意味著過去被視為「績優」的標準，現在已成為「及格」基本門檻，將過去三年的努力成果轉化為常態性的高標要求。

契約源頭管理：GML 格式的強制導入與制度定型

最具戰略意義變革在於「源頭管理」。113-114 年度考評計畫，主管機關不再僅止於末端抽查，而是要求管線單位必須在與下游施工廠商簽訂的工程契約，明確納入應依據各地方政府「管線圖資更新標準作業規定(含管線定位測量及圖資更新 GML 格式規範)」之強制條款。

GML(Geography Markup Language)規範代表圖資管理從「圖形檔」邁向「空間資料庫」的質變[8]。過去廠商可能繳交 CAD 檔甚至 PDF 檔，難以與 GIS 系統介接；配合目前強制要求定位測量及 GML 標準格式屬性內容的檢核及提交，意味著未來的圖資必須是具備屬性資料、可交換、可流通的標準化數據[9]。

此外，將此規範寫入契約，意味著「精準圖資」不再只是口號，而是成為工程履約必要條件(Prerequisite)。若測量數據不準或格式不符，即視同工程未完工，廠商將無法領取工程款。透過將數位治理標準與商業契約權利義務綁定，此考評機制成功引導國營事業從被動受檢者，轉型為數位化資產的主動管理者。

品管機制之深化與挑戰

若將「數位治理」視為提升挖掘管理「大腦」；則「品管機制」即是確保道路平整「手腳」。回顧過去考評模式，多側重於政府機關「現地抽驗」來發掘缺失，雖具備行政嚇阻力，但本質上仍屬「被動受檢」的外部監理。為求治本，此考評機制於 113 年度啟動關鍵制度變革，將品管責任全面「內化」至國營事業組織文化與標準作業程序(SOP)中，試圖將管理力道從外部「他律(Heteronomy)」，轉化為管線單位內部「自律(Autonomy)」。

從「被動受檢」到「主動內控」

過去管線單位常陷入「應付年度考評計畫」的短期動員模式，導致路面修復品質呈現不穩定的波動。為破除此一窠臼，113-114 年度考評計畫推動結構性革新，首度將「道路平坦度檢測納入管線單位第二級品管抽查」列為政策考評核心指標。

這項新指標確立「賦權與課責」的治理邏輯，要求管線單位不得僅依賴主管機關的外部稽核，而需強化自身二級品管(QA)功能(圖 2)：

1. 自主抽測常態化：規範管線單位須建立內部稽核制度，於工程完工後、報驗前，主動運用品管工具(如三米直規、高低平整儀)進行自主抽測，並留存紀錄以供查核。
2. 數據即時回饋：藉由提升內部抽查比率，管線單位能在施工當下即時發現瀝青壓實度不足或高低差缺失，立即進行改善，而非遲至政府考評或驗收階段才面臨缺失扣分。

此機制導入代表挖掘管理已從單向「政府監管」，進化為雙向的「企業自主治理」。這不僅是制度調整，更是組織文化重塑，迫使國營事業必須將路面平整度視為與工程進度同等重要的內部績效指標，從源頭杜絕施工便宜行事的空間。



圖 2 二級品管查驗：三米直規路面平整度檢測

技術瓶頸

110 至 112 年度連續三年現地抽驗結果顯示，整體道路挖掘品質隨國營事業落實自主品管後呈上升趨勢。然而在數據背後仍隱含兩大結構性挑戰，需在下一階段考評中重點突破：

1. 異質介面技術門檻：

雖然整體平整度合格率逐年攀升，但「人手孔蓋」與路面銜接處(介面)仍是技術難度最高的工項(圖 3)。相較於大面積機械鋪設的瀝青路面能輕易達到高平整度，人手孔蓋(剛性)與周邊路面(柔性)的銜接，極度仰賴施工人員的細部操作工藝。若級配夯實不均或滾壓溫度控制不當，極易在通車後產生微小高低差。參照英國公路管理局與公用事業委員會(HAUC)發布技術通報，明確指出路面切割邊緣的「垂直面封層(Edge Sealing)」是防止水分滲入導致瀝青早期剝離與坑洞關鍵防線[10]。同理，新加坡陸路交通管理局(LTA)於最新版《公共街道工程實務守則(Code of Practice for Works on Public Streets, 2025 Edition)》中，亦嚴格規範路面復舊必須採用「熱接縫(Hot Seaming)」或「階梯式銑刨」等工法，以確保新舊路面密合度[11]。由此可知，孔蓋周邊精細化處理並非苛求，而是國際公認確保道路生命週期的必要工序。

2. 區域管理成效顯著落差：

依據 112 年度考評結果分析(如附圖)[5]，同一管線單位在不同縣市的表現呈現顯著差異。以表現最優的中華電信為例，雖榮獲全國總冠軍，且在臺中、桃園、新北等營運處表現亮眼，但在部分縣市仍有優化空間；同樣地，台電、中油與台水在部分區域(如部分東部或離島縣市)成績與其績優單位相比，存在明顯管理斷層。這直接驗證 113-114 年度改採「分組輪動(A、B 組)」策略必要性——唯有透過集中資源對 B 組區域進行「深度輔導」，將績優單位的標準化作業流程平行複製，才能有效拉齊全國的品質水平。

標竿典範

為具體展現上述「數位治理」與「自主品管」如何落地執行，此考評機制特別深入分析在 111 年度及 112 年度連續兩年奪得全國考評總冠軍的中華電信(圖 4~圖 6)[7]。其 112 年度考評總分高達 92.76 分，旗下臺中、桃園及新北營運處更囊括區處評比前三名，其管理策略係建立在「管理、技術、人才、績效」四大面向。



圖 3 針對人手孔蓋進行平整度量測



圖 4「國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評」獲獎者合影(111 年度)



圖 5「國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評」獲獎者合影(112 年度)

管理架構

不同於過去將挖掘視為單純的土木工程，中華電信統一訂定「道路挖掘復舊與圖資品質管理政策」，建立跨單位的協作機制。從規劃、設計、施工到後端的圖資與維運單位，全部納入同一套管理範圍。這種「全生命週期」的管理視角，打破部門穀倉效應，確保資訊流暢通。

技術升級

中華電信於硬體方面逐年編列預算採購專業級衛星定位量測設備(RTK-GPS)，並制定嚴謹的標準作業程序(SOP)(圖 7)。其規範明確要求：

設備操作

於測量作業時，必須使用腳架並完成水平校正，嚴禁手持草測，以確保數據精確度。

數據品質

數據計算結果必須為「固定解」，PDOP 值(位置精度因子)須低於特定門檻，且 HRMS/VRMS 誤差值須符合規範。

證據保全

為保全測量資訊，測量當下須截圖留存，確保每一筆坐標資料都具備可稽核性，避免資料僅停留於紙本或流失。

工法創新

針對前段技術瓶頸所提之「人手孔蓋與路面銜接處」，中華電信除提升測量精度外，更導入人孔蓋啟閉微創工法(Micro-trenching)。傳統孔蓋升降需進行大面積矩形切割，不僅破壞路面結構，且新舊瀝青介面難以壓實，極易產生高低差與龜裂。相較之下，微創工法採專用圓形切割機具，沿孔蓋外緣進行精準切割。其實證效益展現在三方面：

結構完整性

人孔蓋啟閉微創工法於路面破壞面積僅為傳統工法的六十分之一，且圓形切面能有效分散車輛輾壓應力，避免應力集中導致周邊破損。

施工效率與低碳

單座孔蓋啟閉時間縮短至 25 分鐘，大幅減少交通衝擊；且因廢棄土方與新補瀝青量極少，估算可減少 95%的碳排放，符合綠色工程趨勢。



圖 6「國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評」區處評比獲獎者合影(112 年度)



圖 7 中華電信標準化測量：採腳架固定衛星定位儀，確保精度與 PDOP 值

平整度保證

透過高強度早強混凝土與專用抗滑塗層，完工後能確保孔蓋與路面「零高低差」，並使抗滑值(BPN)達到 50 以上，解決機車騎士最詬病的打滑與跳動問題。

人材賦能

中華電信採「圖資量測內部化」策略以降低對外部人力的依賴，並藉由持續辦理專業培訓與推動「丙級測量技術士」證照制度，厚實內部人員的專業素養 。這項作法提升圖資檢查員的審查能力，且透過現場座談促進與第一線人員的溝通，讓高科技量測工具能順利轉化為實務作業的助力。

績效激勵

在制度面，中華電信將圖資品質及道路復舊考評指標與內部績效評鑑、單位評比進行連動，透過制度化的成果揭露建立明確的獎勵導向。當圖資精度與復舊品質納入考績指標後，企業內部自然形成改善循環，這套從技術到管理的完整機制除體現於優異的考評佳績外，所建立的實測圖資資料庫亦能提供其他單位套繪，降低誤挖風險並履行公共安全的社會責任。

政策外溢效應

此考評機制的實施，在改善實體工程品質之餘，亦對組織行為與國家永續發展層面帶來正向的擴散影響(Spillover Effect)。透過歷年考評分數軌跡的分析，可以觀察到這套由數據驅動的治理機制，逐步優化國營事業的企業文化，並帶動產業鏈的整體升級。

制度同構化的良性競爭

當組織面對相同的環境壓力與法規要求時，往往會逐漸發展出相似的結構與行為[12]。本考評計畫透過規範要求與同業學習的雙重機制，創造實務上的正向循環：

強制性同構(Coercive Isomorphism)

政策將 GML 標準圖資格式與 RTK-GPS 測量列為工程契約的必要條件(Prerequisite)，使數位化成為執行工程的基礎門檻。這項作法讓所有管線單位及其下游承包商採用相同的數位標準，進而解決過去各單位格式互不相通的問題。

模仿性同構(Mimetic Isomorphism)

數據顯示產業內出現良性的學習風氣。回顧歷年的榜首分數，已從 109 年的 84.70 分提升至 112 年度的 92.76 分[5]。隨著標竿單位建立起「全生命週期管理」與「證照內化制度」，其他管線單位也在公開評比的帶動下，陸續導入類似的標準作業程序(SOP)與品管儀器。這種觀摩學習的效應，有效帶動整個產業在工程標準上的整體進步。

接軌 ESG 永續治理目標

將道路挖掘管理與企業重視的 ESG(環境、社會與公司治理)框架相互結合，為此考評機制賦予額外的實務價值，讓傳統土木工程具備現代化治理的基礎：

環境保護(Environmental)

透過「圖資精準化」減少無效的試掘，並落實「二級品管」以降低路面重鋪率，能直接減少瀝青混凝土的重複消耗與工程機具的碳排放。同時，113 年度的考評也鼓勵使用再生粒料，讓道路挖掘工程成為國家循環經濟政策的一部分。

社會責任(Social)

地下管線的之精確定位為維持城市安全重要基礎，而管線圖資則需藉由管線單位落實源頭管理，以提升資料正確性與應用價值。目前全國點位合格率已突破 77%，部分單位亦達成近 100%之盲測正確率，這有助於降低天然氣外洩或挖斷電纜風險，進而保障施工人員與社會大眾生命財產安全，並落實基礎建設之社會責任。

公司治理(Governance)

透過「動態申報系統」與「施工影像履歷」，國營事業對外包廠商的管理變得更為清晰。每筆挖掘作業皆留有具備時間戳記與坐標之數位軌跡(Digital Trail)，有助於落實行政流程透明性與當責性(Accountability)。

結論與未來展望

結論

回顧「國營事業管線挖掘考評計畫」推動歷程，其成效包含道路平整度改善，同時亦促進公共工程數位轉型。而整體管理邏輯則可區分為三階段進程：

試辦期(108-110 年度)

確立「自主品管」權責，釐清過往管線挖掘管理分工，將維護責任確實交由管線單位執行。

深化期(111-112 年度)

導入「數位治理」機制，透過配分之引導，使圖資精度從 33%提升至 77%，逐步建立可靠之地下空間資料庫。

成熟期(113 年度起)

邁向「內控深化」，藉由二級品管與分組輪動機制，逐步處理技術細節與區域落差等議題。實證經驗顯示，這套結合考評標準與榮譽鼓勵的機

制，有助於減少公共工程管理上的資訊落差，將外部的監理壓力轉化為企業內部的管理動力。

未來展望

考量目前數據所反映的實務挑戰，本研究提出三點後續推動的建議：

彌合區域績效落差

即便為整體表現優異之單位，其都會區與偏鄉離島之考評分數仍有一定程度差異(標準差約14至 35 分)，可反映全區一致之管理模式於推行上仍受限制。未來考評策略可將重心從提升全國平均分數，調整為縮小不同區域間之管理落差(Regional Variance)。

為配合 113-114 年度推動的「A/B 組分組輪動」策略，建議主管機關可於非輪值期間增加對 B 組(偏鄉或離島區域)之輔導資源。透過將績優縣市之標準作業程序(SOP)引入非都會區，以促進技術交流與複製，將有助於讓各地的公共設施服務水準更加一致，落實區域發展平衡。

深化數據加值應用

隨著公共設施管線資料標準(GML)及圖資更新作業的落實，加上部分事業單位圖資上傳率漸趨完整，我國地下空間數據已具備進階分析之條件。建議國營事業可嘗試結合建築資訊模型(BIM)、三維地理資訊系統(3D GIS)與人工智慧(AI)技術，對管線與路面之劣化趨勢進行評估。此做法有助於將養護模式由傳統「損壞後修補(Corrective Maintenance)」轉向「預測性維護(Predictive Maintenance)」，於設施損壞前預先處置。此項轉變有助於降低緊急搶修之社會成本，亦為建構智慧城市(Smart City)韌性基礎建設重要環節。

借鏡國際標竿：動態評核與經濟誘因機制

於管理機制發展上，未來可參考英國倫敦交通局(TfL)推行之季度路網管理計分卡(Quarterly Network Management Scorecard)制度[13]。此制度有別於以往著重單一工程品質，則是將「協同施工(Collaborative Working)」與「道路佔用天數(Occupancy)」列為指標(KPI)，藉由較高頻率之季度評核，以更即時地反映管線單位施工對都市交通流動之影響程度。

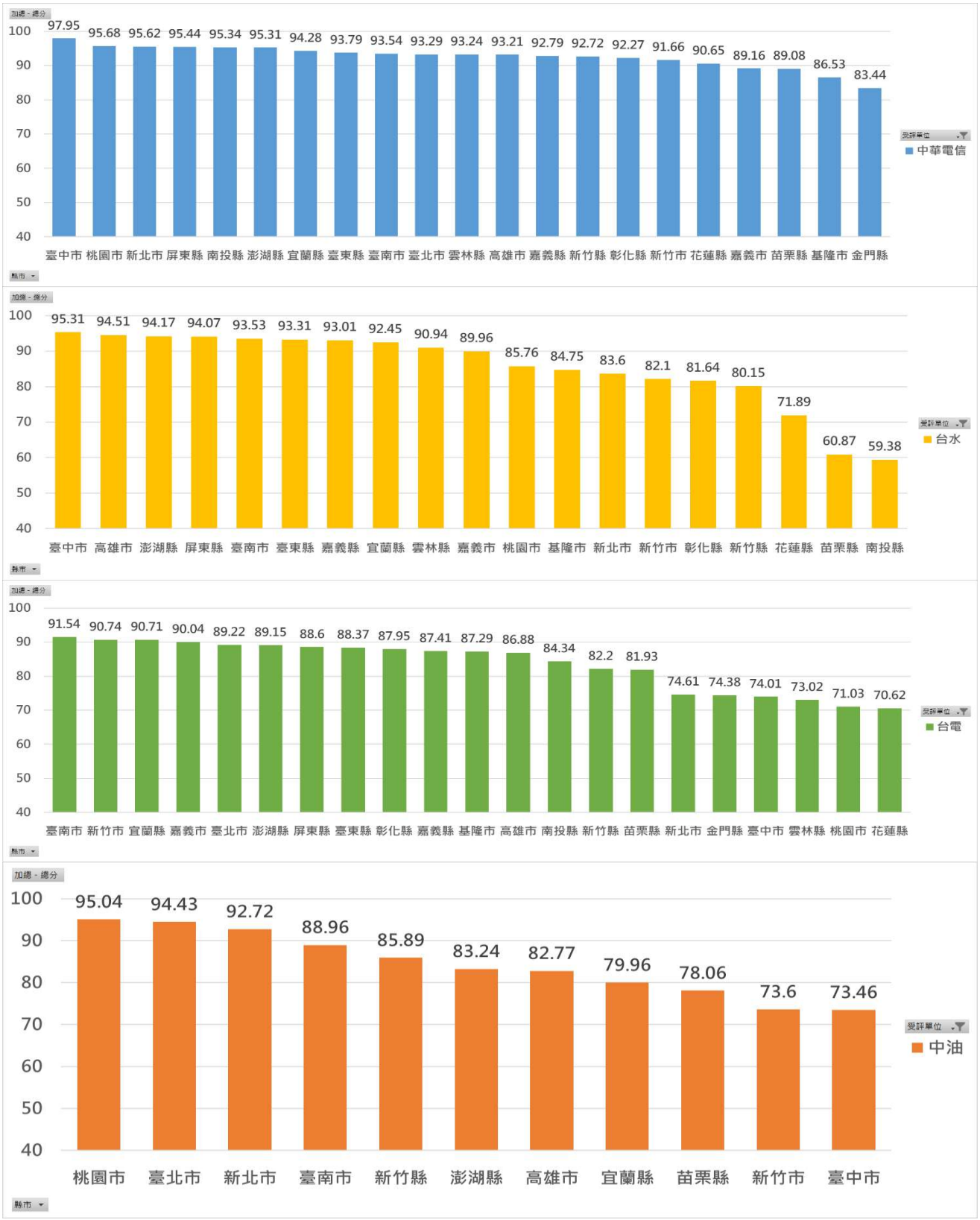
同時，英國運輸部(DfT)於近期道路工程策略中，亦推廣「車道租用計畫(Lane Rental Schemes)」與數位化平台「街道經理(Street Manager)」之應用[14]。該策略針對交通繁忙路段，依據佔用時間與時段收取差別費率，透過費率設計引導管線單位縮短工期或選擇離峰時段施工。這類運用經濟手段的管理方式，呼應將外部成本內部化的理念，可作為我國未來調整考評機制時的實務參考。

參考文獻

1. 內政部營建署(2022)，110 年度國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評成果報告書。
2. 內政部營建署(2022)，110 年度國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評新聞稿，內政部國土管理署全球資訊網。
3. 內政部營建署(2023)，111 年度國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評成果報告書。
4. 內政部國土管理署(2023)，111 年度國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評新聞稿，內政部國土管理署全球資訊網。
5. 內政部國土管理署(2024)，112 年度國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評成果報告書。
6. 內政部國土管理署(2024)，112 年度國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評新聞稿，內政部國土管理署全球資訊網。
7. 中華電信(2024)，中華電信公司榮獲內政部國土管理署 112 年度國營事業管線挖掘市區道路施工回填復舊考評總評比第 1 名，中華電信全球資訊網。
8. Open Geospatial Consortium. (2023). Model for Underground Data Definition and Integration (MUDDI). OGC.
9. American Society of Civil Engineers. (2022). ASCE 75-22: Standard Guideline for Recording and Exchanging Utility Infrastructure Data. ASCE.
10. Highway Authorities and Utilities Committee. (2009). Advice Note No. 2009/05: Edge Sealing of Reinstatement. UK HAUC.
11. Land Transport Authority. (2025). Code of Practice for Works on Public Streets (June 2025 Edition). Singapore Government.
12. DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. American Sociological Review, 48(2), 147-160.

13. Transport for London. (2024). Quarterly Network Management Scorecard. Greater London Authority.

14. Department for Transport. (2024). Road and Street Works Strategy: Summary of Response. UK Government.



附圖 112 年度主要管線事業單位各縣市考評總分分布及極值差異比較圖

臺中市道路挖掘管理機制及執行成效

陳大田/臺中市政府建設局 局長
白玨瑛/臺中市政府養護工程處 處長
洪志岳/臺中市政府養護工程處挖掘管理科 科長

摘要

臺中是全國第二大城市，市政府逐年推動各項重要市政建設，目的乃為打造繁榮富裕的宜居城市。城市的發展有賴各項公共建設與民間建案的管線網路推展，管線路網密布則離不開以道路作為載體的挖掘行為，統計自108年1月迄114年底止，本市道挖系統總計許可施工之管挖長度約2,863公里。因應大量施工需求，臺中市以嚴謹的態度檢視開挖需求，結合挖掘前、中、後的標準管控程序，打造便利的生活環境及道路平整的通行體驗。依據臺中市政府統計，自108年推行統挖代辦聯合挖掘起，至114年底止，共計減少9,352件重複挖掘次數，減少挖掘頻率約31%，成效顯著。道路挖掘原因及需求會因為交通環境及道路配置而有不一樣的施工考量，面對不同的施工環境，建設局以人本及通行安全作為最高考量原則，要求各申挖單位應落實事前環境勘查與圖資套繪，挖掘前即須明確標定施工標的與復舊範圍，從而規範現場的施工行為，降低對用路人的通行影響。讓城市建設的推展朝積極、正向化發展，市府有管、民眾有感。

前言

道路挖掘是民眾最常見到的工程型態，也是影響民生最廣泛、最普遍的工程。從道路施工的類型來看，無論是道路拓寬、路面養護刨封、管線緊急搶修、管線汰換、用戶接管、下水道建設等，都是在既設的道路範圍進行施工，將原本通行的道路一分為二，因此必然會對周邊住家、商號及通行交通造成影響。一般施工廠商最主要的考量是自身工程的進度及俗稱的「咖路(台語)」好壞，交通的影響及修復品質反倒是次要考量因素！故在有限的施工範圍中規範挖掘行為，律定管挖及路修時程，管控完工復舊品質，方為本市道路挖掘管理的主要精神。

本市道路挖掘管理機制係以道路挖掘管理系統(以下簡稱道挖系統)作為智慧化管控平台，透過法令賦予之規範約束施工行為，從路權申請階段進行管控，並輔以統一挖補、共同管道、寬頻管道及禁挖規範等政策，配套降低道路挖掘頻率，多面向的整合可以有效減少挖掘，降低道路施工影響，提升管挖復舊品質。

完善法令與制度規範

道路挖掘施工係依據本市道路挖掘管理自治條例作為基礎法源，路權申請部分輔以「臺中市政府建設局及所屬機關辦理道路挖掘審查原則」及「臺中市道路設置公共設施審查原則」作為申請案件之審查依據；施工過程中以「臺中市道路挖掘安全維護作業規範為準則」，完工後依「臺中市道路挖掘工程竣工查驗抽驗標準作業要點」及「臺中市政府建設局及所屬機關公共設施管線圖資維護管理作業要點」辦理竣工查驗。

管挖生命週期各階段皆有所依循，市府更於113年8月30日完成臺中市道路挖掘管理自治條例之法令檢討與修訂，明確新封層禁挖標準，律定施工告示牌設置規範，完善施工前及撤場後通報模式，強化管線圖資更新頻率等規定，使本市道路管理更加明確且符合市民期盼。

挖掘機制及道挖系統規範

一切挖掘源頭都指向最開始之路權管理。因此明確的申挖機制及系統平台是路權管理不可或

缺的關鍵工具。在申挖機制部分，依據「臺中市道路挖掘管理自治條例」第 4 條規定，道路挖掘分為緊急性挖掘、計畫性挖掘及一般性挖掘三類，各類挖掘案件視屬性差異律定申請內容及許可挖掘期限，而挖掘施工完成後，各申挖單位須依同法第 24 條辦理道路挖掘後之「路面修復」作業，將施工後遺留的管溝，以車道為最小修復範圍，重新進行瀝青路面 5 公分深度之面層刨封，確保管挖完成後能給予民眾一個新封層的完整路面，非歪七扭八的管溝面層。

從申挖長度分析本市挖掘特性，統計自 108 年 1 月迄 114 年底止(如表 1)，本市道挖系統總計許可施工之管挖長度約 2,863 公里，其中計畫性管挖長度佔整體 42.7%，民生管挖長度約佔整體 57.3%。

由表 1 顯見目前申挖群體以一般性民生挖掘為主，民生管挖案件偏向管路引出性質，其施工影響天數約在 1~3 日，計畫性案件如自來水汰管、延管、污下水道建設等則以長管挖及區域性管挖進行規劃，其對於區域民眾之生活影響較大，全區域施工至少約 3~6 個月，甚至管挖期程達 1 年以上，對區域民眾生活及交通造成重大影響。因此本市在兼顧民生需求下，就計畫性挖掘案件著重於分期分階段之施工管理，降低長管挖、長時間影響；每一階段挖掘施工完成後，應依規定於 30 日內辦理挖掘範圍內之車道全寬度銑刨重鋪 5 公分面層厚度之瀝青路面。

為利審查及管理，市府於「臺中市政府建設局及所屬機關辦理道路挖掘審查原則」中將三大類道路挖掘案件細分為 A~J 小類(如表 2)，各類別案件依其分類有所屬申請重點，共通性部分於路權申請前皆須辦理以下調查：

1. 明確挖掘申請標的及箱體、桿件設置需求：要求申挖單位事前應落實管挖路段之路況勘查，評估開挖工作面施工時對交通通行之影響，釐清管路設置是否需設置箱體或桿件，倘有設置需求，應進一步確認該路段是否設有公共設施帶及人行道，於人行道上設置箱體或桿件後之淨通行空間應大於 1.5 公尺(設置規範須符合臺中市道路設置公共設施審查原則)。本市亦於 113 年明訂頒佈「工程美學指引手冊-箱體設置指引」，作為各管線單位箱體設置時規格、顏色及設置標準之統一規範(如圖 1)。
2. 管線圖資查詢與天然氣管線套繪：本市管線圖資皆依據內政部國土管理署公共設施管線資料庫建置標準設置。各申挖單位應事先透過道挖系統查詢申挖路段之管線圖資資訊與分布(如圖 2)，套彙結果回饋設計檢視需求及作為管線協調依據；此外，同時向轄區之天然氣業者提出管線套繪需求(如圖 3)，雙方加強資訊之橫向串聯，互相確認施工地點及圖資資訊，降低天然氣管線挖損機率。
3. 申挖點位之圖台定位與禁挖範圍套疊：針對道路新封層路修路段，於道挖系統進行禁挖管控，申挖案件透過道挖系統圖台定位功能，應確認挖掘路段是否位為禁挖區域(新封層禁挖或共同管道禁挖，如圖 4)，如受禁挖規範，應事先評估施工路徑變更可行性，或考量挖掘急迫性及必要性再提出解禁申請。
4. 規劃分期分階段施工需求：計畫性案件不應長期進行管挖，最後再一次性刨封。各申挖單位以街廓為單元進行區域性之施工規劃，分散工班施工位置，降低巷道因施工封閉造成之通行不便；並於路權申請時即規劃專案施工之分批路修次數及範圍(圖 5 以污水下水道工程為例，分 3 個階段刨封，在系統設定中採顏色進度管

表 1 本市道挖系統管挖案件統計

項次	路權類別	申挖長度 (km)	長度百分比 (%)
1	計畫性挖掘	1,223	42.7%
2	一般性挖掘	1,640	57.3%
3	總計	2,863	100%

表 2 道路挖掘及復舊之路權申請許可期限表

項次	路權類別	路證類別	至多開立許可期限
1	計畫性挖掘	G、H	90 日曆天
2	一般性挖掘	A、B、C、E、F、I	30 日曆天
3	緊急性挖掘	J	3 日曆天
4	管挖復舊	D	30 日曆天

理，各路段管挖及路修進度可一目瞭然)，申挖單位須依據許可之挖掘範圍，於各階段管挖完成後優先進行已完工路段之道路刨封作業，路權機關始核准下一階段之管挖申請，杜絕管挖後放置一整年，等到所有管挖範圍皆完成後始著手路面刨封規劃。

5. 完整之建案需求調查：要求申挖單位於路權申請時即應完成建案是否有管挖需求之調查，避免新封層路段短時間內重複挖掘。市府明確律定出路權申請階段即應完成建案調查之SOP程序(含管線協調對象)及自主檢查項目，如：①查詢建物整合查詢系統明確路修範圍有無已取得建造之建案(含建案分佈及編號)、②實地勘查路修路段沿線建案及空地，查明管挖需求、③逐案辦理管線協調會議，明確各管線單位有無民生管線及汰管需求，路修完成後輔以禁挖規範，透過事先調查減少刨封後新封層禁挖期內之重複開挖疑義。

申挖的管線性質及施工標的、路證審查區分為 9 大類，各類別對應說明如下：

- A：新增建築用户申請。
- B：一般用户申裝。
- C：臨時水、電。
- D：路修工程。
- E：配合道路管線工程（含孔蓋提升、調降）。
- F：管線路遷設維修等。
- G：計畫性道路工程案件。
- H：計畫性管線工程案件。
- I：道路附屬設施人行道、側溝、斜坡道及臨時抽排水施作（包含新設及改建）。
- J：緊急性挖掘。

另針對具有施工期長、工法特殊、施工範圍廣泛之汰管工程、延管工程、推進工程及下水道工程等計畫性案件。規定應於前一年度 11 月底前提出申請，經市府備查後列為次一年度可執行清單中。後續管線單位於計畫性案件進場前 1~2 個月提出挖掘申請，市府將作為整合平台，並與各單位確認分階段施工範圍及期程，確保各計畫性專案循序有續推動。



圖 1 工程美學之箱體設置模擬圖



圖 2 管線圖資範例



圖 3 天然氣管線查線表及管線圖資範例



圖 4 申挖位置套疊禁挖圖層(粉色段禁挖)範例

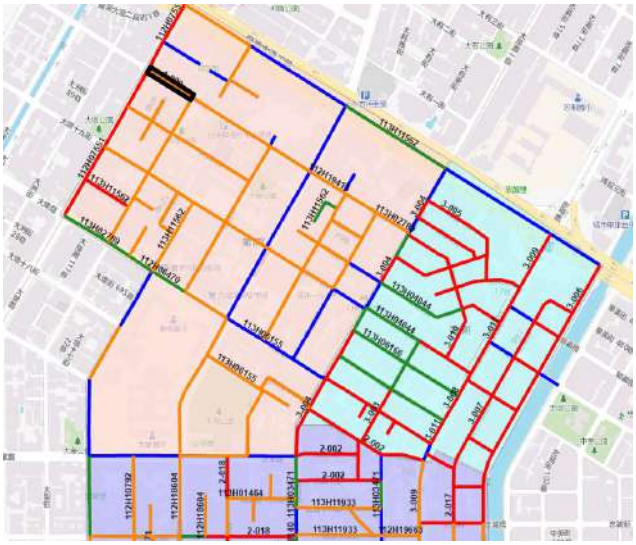


圖 5 計畫性案件系統管控範例



圖 6 聯合挖掘整合施工範圍示意圖

統一挖補推動

臺中市作為全國第二大城市，扎實的基礎建設是城市發展中不可或缺的要素，都會區中密布的管線則屬此基礎建設之一環，確保管道建設通順完善，方能有效降低常態挖補頻率。對於降低道路挖掘頻率方面，臺中市政府從推動聯合挖掘及共同(寬頻)管道二方面來加以落實管理。

對居住環境而言，用電、用水、網路及天然氣等管路安裝與維修作業，是因應民生需求之常態性工作，執行過程中民眾必須面對不同的管線單位，並配合其內部規範的申請程序，在不熟悉對口及相關作業程序下，導致案件執行進度延宕。對申挖需求者而言，行政程序及施工等待期漫長且瑣碎；對用路人而言，同一地點常因無法整合挖掘需求，而有多次重覆施工的不佳觀感；對市政府而言，各管線工班的專業度不同，施工復舊的能力有明顯落差，多次開挖及修補易造成道路品質降低、耐久性不佳等情形，皆常為民眾所垢病，連帶影響市政府施政形象。

基於路權機關權責及整合挖掘需求，為提升執行效率與施工品質，臺中市政府乃推動統一挖補機制。依據建設局統計，自 108 年起，市府總計代辦了46,200件統挖管線案件，工程規模達32億元，因管挖所辦理之路面修復總面積達 345 萬平方公尺，路修規模達 18 億，整體執行量能約 50 億元規模。

表 3 統一挖補聯挖案件統計表

年度	聯挖案件數(件)	協調完成後之聯挖案件數(件)	減少案件數(件)
108 年	3,166	2,659	507
109 年	5,317	4,062	1,255
110 年	4,843	1,881	2,962
111 年	4,650	2,982	1,668
112 年	3,609	2,673	936
113 年	3,938	2,848	1,090
114 年	4,238	3,304	934
合計	29,761	20,409	9,352

臺中市政府依據臺中市道路挖掘管理自治條例第 6 條第 3 項之規範，新建案之自來水、電力、電信網路及天然氣等基礎民生管線，得由路權機關逐案統籌調查管線需求，經釐清確認後，市府透過統一挖補制度完成各類管線工班整合並派工執行，工班可以一次進場，依序開挖佈管及回填。真正落實各管線能一次性挖掘、路修，進而達到減少挖掘目標(聯挖整合如圖 6)。

依據臺中市政府建設局統計(詳表 3)，自 108 年推行統挖代辦聯合挖掘起，至 114 年底止，計有 29,761 件管挖需進行協調，協調完成後施工案整合為 20,409 件管挖案件，共計減少 9,352 件重複挖掘次數，減少挖掘頻率約 31%，成效顯著，民眾有感。

寬頻管道及共同管道

共同管道及寬頻管道都是提供地下管道空間收納各式民生管線(道)的公共建設，管道系統不

只保護都市的維生管線，也同時維護道路永續使用。臺中市政府配合內政部國土管理署之管道政策，建置收納全市有線電視、行動通訊、固網、號誌等纜線需求之寬頻管道；另配合新市鎮開發、市地重劃、道路開闢等重大工程開發，併同建置共同管道收納地區性之電力、電信、自來水、天然氣、路燈、交通號誌等管線。有管線需求時，各管線單位只需要從地下管道內向民宅或標的之內管位置進行管路銜接工程，施工作業原則都在地面以下，可大幅降低路面的開挖行為，提升道路使用延壽，更符合低碳、節能的永續政策。

寬頻管道

臺中市寬頻管道建置長度為全國第一，建置完成管道長度 1,171.007 公里，佔全國(全國建置長度 5,905.765 公里)比例約為 20%；收納管線長度達 4,891.615 公里，年收入使用費達 1 億元以上(詳表 4)。

在寬頻管道使用上，為促進寬頻管道佈纜使用，進而減少道路挖掘，市府建置「臺中市寬頻管道地理資訊收費管理系統(如圖 7)」供各界應用，圖資查詢、申請佈纜其使用費收取等作業皆透過應用系統整合辦理。

共同管道

配合內政部國土署頒布的共同管道法及相關政策，臺中市已建置 17 座共管系統並營運中，包括水湳經貿園區、14 期市地重劃、捷運文心北屯線機廠、豐原大道、烏日高鐵特定區等共管系統，經統計本市共同管道長度合計約 262.6 公里，各管線總佈纜長度約 741.1 公里。

此外，臺中市政府於 114 年度已完成臺中市共同管道整體通盤檢討，並依法完成 28 處之共同管道系統公告(20 處已完成之共管系統+5 處長期規劃尚未建置之共管系統+3 處短期規劃尚未建置之共管系統，詳圖 8)；另為進行挖掘管控，依法辦理禁挖公告(範例如圖 9)，規劃計畫年期採用 50 年為基準，針對已建置完成之 20 處共管系統完成禁挖公告發布，禁挖期間至 163 年 11 月 7 日止。於臺中市共同管道建置完成區域，管道行經路段

表 4 寬頻管道建置及佈纜長度統計表

	管道長度(公里)	佈纜長度(公里)	使用費金額(元)
臺中	1,171.007	4,891.615	105,204,552
全國	5,905.765	22,840.085	437,124,729
臺中占全國比例	19.80%	21.40%	24%



圖 7 臺中市寬頻管道地理資訊收費管理系統圖資

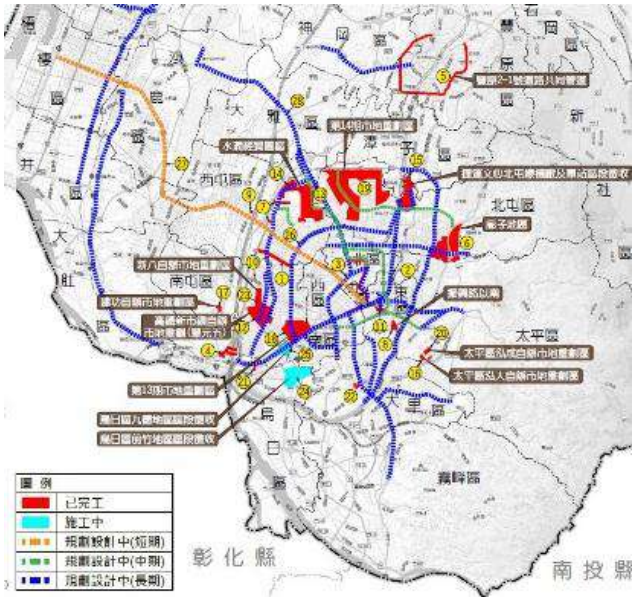


圖 8 共同管道系統公告示意圖



圖 9 水湳經貿園區禁挖範圍路網圖(第 3-2 工區)

除緊急性搶修、經許可之道路養護刨封及孔蓋啟閉外，禁止挖掘道路。在挖掘管理方面，本市共同管道區域採管道行經路段該側全面禁挖，並將禁挖區域套繪於道挖系統圖台，倘有挖掘需求，申挖單位提出路權申請時，系統定位即可第一時間瞭解，後續有施工需求者皆需逐案提出解禁申請，經評估符合管理原則後始核發路權同意挖掘。維護管理上，常態性辦理管道內部及巡查，並導入 24 小時網路智慧化之進、出入管理及保全防護，確保地下管道使用上之安全性。

完工查驗及路面整體修復

為確保管挖完成後路面修復品質恢復道路原服務水準，臺中市道路挖掘管理自治條例規範管挖復舊完工後應逐案辦理查驗作業，並依據挖掘損壞車道數辦理路面刨封作業，以塊狀矩形修復方式提升路面品質及城市街道美觀性。

完工查驗

統計 108 年迄 114 年底之完工查驗作業，總查驗案件數約 119,433 件，查驗後合格比例約 60%~80%之間，針對缺失項目市府要求限期改善，第一次辦理現地複查合格率約可提升至 90%以上，須辦理第二次複驗案件多屬現地環境特殊案件，如人行道復舊材質等，所有案件在第二次複驗可全數合格，顯示各申挖單位普遍瞭解施工標準，如有不合格案件經複驗後皆可如期完成改善。

臺中市之完工查驗除辦理申挖案件之完竣查勘外，亦主動就留設於路面之孔蓋進行防滑稽查。臺中市政府建設局為使管線單位埋設地下管線之人孔、手孔、開關箱等附屬設施之孔蓋具有一定防滑功能，依臺中市道路管理自治條例第十七條第四項之授權，於 113 年訂定頒布臺中市地下管線人手孔蓋防滑標準，要求人手孔蓋面積 900 平方公分以上者，所有檢測點抗滑係數平均值應在 50BPN 以上。

113 年推動孔蓋防滑作業迄今，市府現地抽查 BPN 數值之現地稽查合格率約 65%左右，經限期改善後，已累計完成 8,900 餘孔之防滑作業，有效提升行車安全性。

路面整體修復標準

臺中市要求申挖單位管挖完成後應自行辦理路面修復，該路面修復時應一併整體考量以下原則：

1. 基於人本考量，交叉口行穿線無論是否挖掘施工，皆應現況評估行穿線是否斑駁，針對斑駁行穿線即使未挖掘施工，仍應於路面修復時一併重新繪製(如圖 10)，提供友善行人通行環境。
2. 管挖後之路面修復涉及交叉路口者，應整體性評估，擴大路面修復範圍至一整個路口(如圖 11)。
3. 路修單位應就路修範圍內之孔蓋辦理調平或下地之協調作業，並於施工時一併納入施工，確

表 5 完工查驗統計表

年度	申請查驗總件數	查驗		第一次複驗		第二次複驗	
		合格案件數	合格比例(%)	合格案件數	合格比例(%)	合格案件數	合格比例(%)
108	4,917	2,973	60%	3,987	81%	4,917	100%
109	10,838	7,643	71%	10,366	96%	10,838	100%
110	13,385	10,417	78%	13,001	97%	13,385	100%
111	12,252	9,469	77%	11,322	92%	12,252	100%
112	21,529	18,058	84%	20,774	96%	21,529	100%
113	37,400	31,935	85%	35,621	95%	37,400	100%
114	16,343	10,405	64%	14,640	90%	16,343	100%
115	2,769	1,628	59%	2,769	100%	2,769	100%
總計	119,433	92,528	77%	112,480	94%	119,433	100%

保路修後孔蓋之平整度。完工後一併就孔蓋平整度以三米直規量測是否符合規範。

4. 管挖完成後應於 24 小時內以熱拌方式復舊管溝上之標線，30 日內完成挖掘管理自治條例規範之車道修復作業，路權機關主動辦理現地查勘，追蹤管挖後復舊情形。

公私協力合作與發展願景

因應臺中市轄內 37 家管線機關(構)申挖需求，市府以道挖系統為平台，建構多元化資訊查詢及應用管道，申挖過程中除溝通聯繫外，透過公共管線資料庫及道挖系統使用，進行線上管線圖資查詢、申挖進度確認、施工缺失改善紀錄等作業，申挖管道多元且暢通。

道路作為城市脈動的輸送設施，亦有常態性維護需要，未來以智慧化管理及施工現況掌握作為發展主軸，持續推動路權機關審查正確性，提升管線機關圖資繪製品質、圖資可靠度，提升 3D 系統及科技加值服務與應用，推動現場施工攝影可行性，建構即時施工影像回饋機制，落實國家 2050 年淨零碳排目標。

臺中市持續精進推動挖掘管理政策，兼顧施工需求與道路使用需求，讓市民有更好的用路體驗。市府除堅定做城市發展的推手，也期許在未來能夠有更多的管線單位互相配合，並積極將電力、電信及自來水加以整合，降低道路挖掘，朝向智慧化管理發展，期許能夠打造出更優質的生活環境，落實達成「富市台中、新好建設」目標。

參考文獻

1. 臺中市政府建設局，臺中市道路挖掘管理系統，截取時間:2026 年 2 月，取自:https://tcroad.taichung.gov.tw/TCDIG/home/Main。

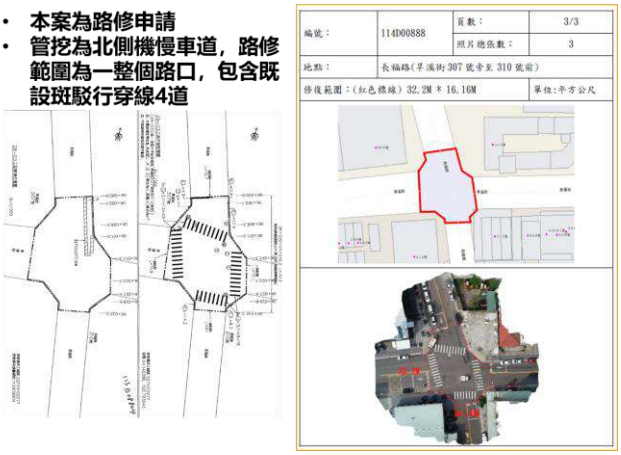


圖 10 路修路證申請時之路面規劃文件



圖 11 路修路證申請時之路面規劃文件

2. 臺中市政府(2024)，臺中市道路挖掘管理自治條例，府授法規字第 1130244975 號令。
3. 臺中市政府(2025)，臺中市政府建設局及所屬機關辦理道路挖掘審查原則，中市建道字第 1140064949 號函。
4. 臺中市政府(2019)，臺中市道路挖掘工程竣工查驗抽驗標準作業要點，中市建道字第 1080033905 號函。
5. 臺中市政府建設局、景觀總顧問，工程美學指引手冊，114 年 1 月。

道路挖掘管理資訊系統應用於防止挖損既有管線之實務分享-以臺北市道管中心為例

林暉恩/台灣電力股份有限公司輸變電工程處 專員
蘇耕立/台灣電力股份有限公司輸變電工程處 課長

摘要

本文主要以臺北市道路挖掘管理資訊系統應用於地下管路工程設計階段及施工階段，討論其使用於防範挖損既有管線之成效，藉由工程生命週期逐步說明各個階段流程如何使用道管系統掌握管線資訊，提升管線單位道路施工專業性及管理制度的落實。由台電公司相關應用案例所得成果顯示，臺北市道路挖掘管理資訊系統之管線圖資與資訊對道路挖掘施工有顯著成效，且資訊公開透明，一般民眾皆可隨時掌握工程情形，除有助於提升管路工程施工品質及防範挖損既有管線外，亦可提供各縣市政府作為道路挖掘管理制度及圖資系統更新之參考。

前言

內政部於民國 87 年公告「國土資訊系統公共設施管線資料庫標準制度」提供公共設施管線資料相關單位使用，並由各管線權責單位各自建置及維護，自民國 99 年起各直轄市、縣(市)政府及各管線單位開始積極推動管線資料建置及交換，後於民國 105 年由國家發展委員會正式發布「公共設施管線資料標準」[1]，據以作為各直轄市及縣(市)政府管線圖資更新維護，以及各管線單位建置管線資料庫之共同參考。

台灣電力股份有限公司(下稱台電公司)為確保供電穩定，於各縣市持續建置電網工程，其中地下電纜管路工程為大宗，為加速電網工程之建置，並避免於施工過程挖損既有公共設施管線，影響民生用電及公共安全，台電公司積極與各縣市政府道路挖掘管理單位建立交流合作管道，並於工程各階段應用各縣市政府所建置之道路挖掘管理資訊系統(下稱道管系統)，充分掌握地下既有管線資訊，進而防止挖損既有公共設施管線。

本文以臺北市政府工務局道路挖掘管理中心系統(下稱臺北市政府道管系統)[2]為例，說明台電公司應用於設計階段及施工階段，為防止挖損既有管線之應用實務，並提出建議供相關單位參考。

道管系統介紹

各縣市政府之道管系統建置架構大致相同，以臺北市政府道管系統為例，網站首頁畫面即可查看臺北市即時道路施工資訊，如圖 1 所示。圖上不同顏色標的為施工類別(綠色-道路挖掘、紫色-道路維護等)並有相關統計資料供查閱，管線單位登入道管系統後則有進階查詢及申請挖掘許可等特定權限之功能可使用。管線單位申請道路挖掘進行施工，申挖案件將於系統上列管，待竣工後，至竣工圖及地下管線數值資料等完成上傳系統資料庫後，方可完工解列。

目前各縣市政府道管系統除軍方所屬機密管線外，其餘單位之管線圖資及挖掘施工資訊皆已逐年更新，並完整建置於道管系統上，供相關單位及一般民眾瀏覽查詢。考量地下管線實際為 3D 布設，2D 圖資於部分情況無法展示各管線走向及



圖 1 道路即時施工資訊畫面

相對位置，故臺北市政府道管系統管線查詢功能提供 2D 管線圖資及 3D 管線圖資。

圖資系統介面

2D 管線圖資系統如圖 2 所示，於圖上選取欲查詢路段後即可展現該路段既設管線及孔蓋資訊(含平面位置圖、種類等)，管線顏色劃分則依照內政部國土管理署「公共設施管線資料標準」規定(如綠色-電信管線、橙色-電力管線、淺藍-自來水管線等)，惟市區內管線密集處因重疊較不易判讀管線相對位置及走向。3D 管線圖資系統如圖 3 所示，於圖上選取欲查詢路段後即可展現該路段既設管線資訊(含不同方向之平縱斷面圖、管線種類及管線數值等)，搭配滑鼠游標操作即能以不同視角直接查看管線分布情形，惟因後台資料運算及使用者電腦規格影響，致操作過程較容易產生停頓、遲緩或不流暢情形，影響使用感受。

應用於工程設計階段

現況與挑戰

都會區民眾對於居住環境生活品質與要求標準的提升，加劇工商業及民生用電需求量，為順應民意，輸電線路乃多朝地下化方式設計規劃。在交通車流頻繁之道路上施工，更需針對施工過程之交維與勞工安衛作業加強管控，在現場施工時間限制之條件下，施工人員更須小心避開既有管路、捷運洞道、涵洞及建物連續壁或基樁等既有結構設施，可見採用地下管路布設電纜是極具挑戰之工程。



圖 2 2D 圖資系統介面

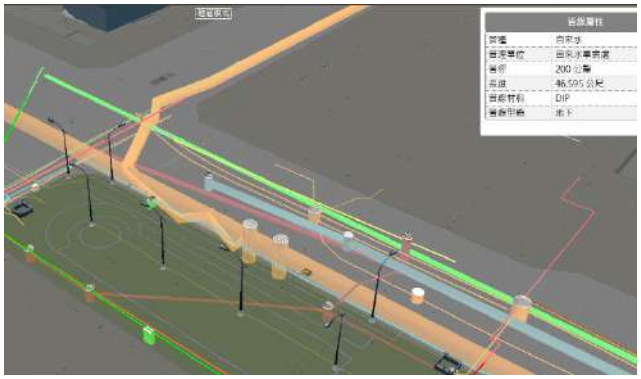


圖 3 3D 圖資系統介面

爰此，藉由道管系統圖資查詢功能，更能在工程設計規劃階段有效地掌握地下管線分布情形，降低未來施工風險。諸以台電公司輸變電工程處於臺北市政府道管系統之應用案例，說明工程設計階段各項作業流程。

設計階段流程

規劃調查

地下電纜線路規劃的前期調查作業目的，乃是找尋最佳路徑，以避免後續施工時變換設計路徑所衍生之額外工程費用及爭議。設計路徑在規劃階段，即須依據台電公司輸變電工程處「防止挖斷(損)管線工作說明書」[3]防止挖斷(損)管線對策規定：於初步規劃階段事先向當地道路主管機關查詢有關所規劃埋設管線路段內之各既設管線單位資料，且須行文各管線單位提供路徑上所屬管線資訊，必要時辦理現場會勘，確保調查正確性及完整性。倘經考量後得另尋路徑則需再次進行前述調查作業。

依據經驗，函詢管線資訊除需耗費公文往返之繁雜行政流程時間外，取得之圖資品質亦參差不齊，導致判讀不易，因此可先使用道管系統查詢所有可能規劃之路徑相關管線資訊及分布狀況，如圖 4 所示。初步篩選出較為妥適之路徑，雖無法取代正式函文之管線調查作業，但可減少規劃前期公文往返行政流程，提高設計效率，且可藉由道管系統圖資再次比對管線單位提供之套繪圖資，若有異常或缺漏時則應再次洽管線單位



圖 4 道管系統查詢管線分布情形擷取畫面

確認，此外亦可利用道管系統檢視路徑上是否有關鍵管線，俾利設計人員考量後續設計採取迴避或保護作為等。

會勘

完成初期規劃設計後，需再正式函文通知相關管線單位至現場會勘，以確認釐清管線位置。惟管線單位眾多，且因各管線單位組織架構不同，管線權屬複雜非外單位能完全掌握，以台電公司電力管線為例，分佈於臺北地區之管線，其所屬單位即達六個以上，倘函詢台電總公司協助釐清，則將層層轉文，耗時費力，當權屬單位接收文件時，會勘作業亦有可能早已結束，致關鍵訊息未傳達到位。故建議利用道管系統之「圈選範圍功能」，查詢預定會勘範圍內所有管線單位資訊清單，如圖 5、圖 6 所示。據以函知相關管線權屬單位，確保時效性。

試挖

部分既設管線因設置年代久遠，管線圖資難以判讀或早已遺失，管線權屬單位亦無法確定實際位置，為確認現場管線位置台電公司於設計階段會規劃進行試挖作業，探挖道路下方管線，並繪製剖面圖，同步設計人員可使用臺北市政府道管系統之「切剖面出圖」功能，產出於同一試挖位置剖面之管線種類、深度及相對位置，比對差異，以圖像化方式再次確保掌握管線分布情形及釐清是否仍有不明管線存在，如圖 7 及圖 8 所示。

細部設計定案

設計圖定案前須將路徑上相關管線資訊套繪於設計圖面，考量設計期間現場管線狀況仍可能存在變數，故可利用前述方式於道管系統內找尋必要通知之管線單位，並進行現場會勘、指認及說明等作業，確認設計無影響相關管線或設計之保護措施已符合管線單位需求，再進行設計定案及工程發包。

使用道管系統雖可協助管線單位完成大部分既有管線調查及確認等作業，但實際上地下管線密集且複雜，甚至年代久遠，無法可考之老舊管線仍佔有一定比例，若全然以道管系統顯示之管線資料為主，仍有誤損管線之風險存在，因此，後續進入施工階段相關管線調查仍需再次執行，避免因時間及資訊落差導致挖損風險。



圖 5 圈選範圍方式擷取畫面



序號	管制編號	施工單位	管制原因	管制日期
1	11102176	新工處	人行道更新	111/10/14-114/10/14
2	11201445	新工處	人行道更新	112/09/02-115/09/02
3	11201709	新工處	人行道更新	112/10/13-115/10/13
4	11300556	新工處	人行道更新	112/11/05-115/11/05
5	11301714	新工處	人行道更新	113/10/01-116/10/01
6	11301963	新工處	道路更新	113/11/20-116/11/20
7	11302046	新工處	道路更新	113/11/30-116/11/30
8	11400200	電信南區	APP復舊完竣	113/11/23-114/11/22
9	11400339	新工處	人行道更新	113/10/30-116/10/30
10	11400447	新工處	道路更新	114/01/07-117/01/07
11	11401073	交工處	APP復舊完竣	113/12/08-114/12/07

圖 6 即時顯示範圍內查詢結果擷取畫面

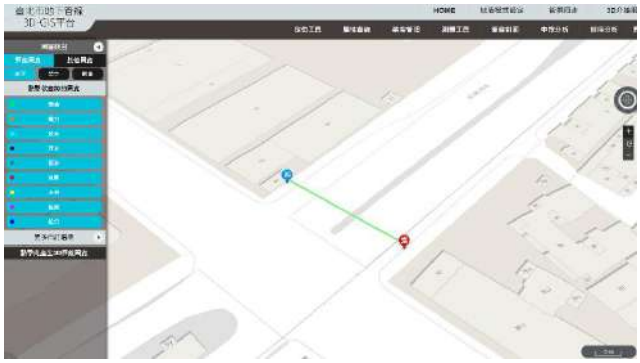


圖 7 使用管線切剖面功能擷取畫面

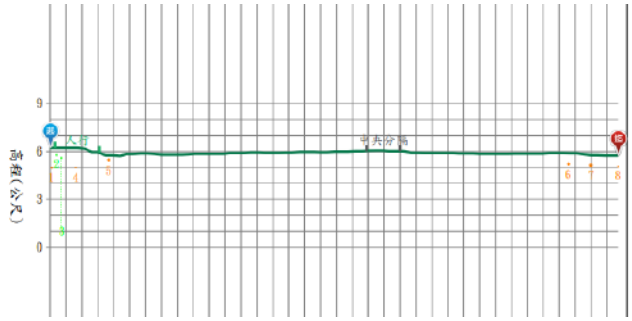


圖 8 剖面處管線分布情形擷取畫面

應用於工程施工階段

施工階段流程

施工前協調

1. 工程正式進場施工前，工程主辦機關應召集設計單位、監造單位及施工廠商等，辦理施工前協調會議，共同協商工程施工事宜及說明工區範圍內應注意之關鍵管線，且施工廠商應再次檢視設計圖說管線資訊及擬定既設線路防護及關鍵管線保護措施計畫書，工程主辦單位亦可協助使用道管系統再次查證設計路徑上管線資訊是否有所變化，達到雙重確認之成效。
2. 考量工程設計圖說完成至工程決標，再至現場正式施工，各個階段時程可能長達數個月，原設計路徑範圍內之管線可能有所增減，故查證比對道管系統圖資及正式發函套繪等工作需於施工階段反覆進行並再三確認，避免因時間差而誤損其他單位管線之情形發生。
3. 施工廠商於施工前須辦理現場會勘，可使用道管系統之「圈選範圍方式」功能查詢設計範圍內管線所屬單位並函文之，俾能加速辦理時效及確保有通知到管線權屬單位。

施工前試挖

考量於設計階段可能無法辦理試挖或試挖位置不足等情況，正式開挖施工前台電公司仍會要求施工廠商視需求辦理試挖作業，其亦可比照設計階段方式，於道管系統之「切剖面出圖」功能，產出於同一試挖位置剖面之管線種類、深度及相對位置，比對差異。

正式開挖施工

1. 施工廠商完成相關前置作業(如管線查證、套繪、比對、會勘及試挖等)確認地下既有管線種類、數量、位置等正確資訊後，便須依照甲方核定之既設線路防護及關鍵管線保護措施施工計畫書進行管線保護措施(如工區內張貼管線套繪圖、開挖剖面噴漆標記、開工前對施工人員進行防挖損宣導等)，完成管線保護措施並經監造單位同意後方可進行道路正式開挖作業，施工過程中應有的交維措施及工安防護措施亦不可少，全程除由作業主管現場監督指揮外，現場應架設閉路監視器(CCTV)由專人遠端協助監控，確保施工過程施工人員皆依照核定之施工計畫書、設計圖說及施工規範進行開挖作業。
2. 道路挖掘許可證(下稱路證)申請階段，管線單位依規定於施工前向各縣市政府申請，部份縣市政府道管系統於此階段會提醒或示警路證申請範圍內之管線資料，其中高雄市政府更會於此階段管制鄰近危安管線之申請，另外，臺北市政府道管系統則可自行於系統內查詢申挖路徑內之可能衝突管線，提供管線進場前預為準備。

完工結案

結案申請文件

管路工程完工後，管線單位(工程主辦單位)應向道路主管機關(縣市政府)申請完工結案，以臺北地區之工程來說，應依臺北市政府工務局「臺北市道路挖掘管理執行要點」[4]規定辦理申請，並需檢附以下電子檔案：

1. 道路挖掘結案申請書。
2. 道路挖掘修復自主檢核表。
3. 竣工平面圖(標示埋設管線長度)。
4. 竣工斷面圖(標示埋設管線深度、數量及管徑、施工中發現之其他管線位置)。
5. 路面銑鋪完成、人行道及標線復舊照片。
6. 地下管線數值資料。
7. 其他經主管機關規定應檢附之文件及電子檔案。

完成申報程序且經道路主管機關審核通過，並辦理歸還路證手續後，即算完工結案。

竣工圖資上傳

竣工圖資須依照規定轉繪成 GML 格式上傳提送道路主管機關，以台電公司輸電線路為例，管路工程完工後會全線以慣性定位方式實測管線位置，再以測量成果轉繪後上傳各縣市政府道管系統，確保管線於道管系統內之圖資正確性，供其他管線單位參考及避免被挖損。

結論與建議

本文主要以臺北市政府道管中心道路挖掘管理資訊系統為例討論如何應用於工程防止挖損地下管路。

結論

1. 依據內政部國土管理署「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」[5]成果驗收機制規定：「於建置單位提送成果後三十天內，採抽驗方式查核，抽驗時至現地檢驗設施物之位置，設施物種類型態，抽驗數量為提送數量百分之五以上(得以圖幅為抽驗單位)，其正確率應達百分之九十五以上方為驗收合格。」，故將各縣市政府道管系統管線資訊當作設計規劃及施工前管線調查之參考依據有其正確性及合理性。
2. 道管系統的完善性、即時性、正確性及可靠性，有助於管線單位在工程施工前的風險評估管控，以提升地下管路工程整體挖掘管理成效，確保公共管線及人民人身安全。
3. 台電公司為強化輸電線網，提供穩定電力，於全台各地施作地下輸電線路。為防範挖損既有管線，台電公司配合各縣市政府道路挖掘管理規定規劃指派人力進駐，加強緊急事件應變處理及訊息傳達效率，並直接與縣市政府相關人員建立即時通訊軟體，以便第一手掌握事件處理及回報。

建議

1. 應「善用」各縣市政府道管系統，但避免過度「仰賴」，系統提供之資料僅能作為管線單位於設計階段或施工階段時調查既有管線的參考，地面下管線錯綜複雜，且既設管線年代久遠，實際情況無法可考，施工時仍應謹慎施工才能避免挖損管線。
2. 以臺北市政府道管系統為例，其查詢功能的優化及提升確實有助管線單位於工程各階段之防止挖損既有管線應用，爰建議各縣市政府間可互相參考相關功能，逐年優化道管系統使用功能性，增加圖資系統可應用性，提升全國道路挖掘管理成效及既有管線安全維護。

參考文獻

1. 內政部國土管理署(2020)，公共設施管線資料標準(第二版)，電子書。
2. 臺北市政府工務局，臺北市道路挖掘管理中心網站，截取時間:2026 年 2 月，取自:https://dig.taipei/Tpdig/。
3. 台灣電力股份有限公司輸變電工程處(2025)，輸變電工程處防止挖斷(損)管線工作說明書，公司內部資料。
4. 臺北市政府(2021)，臺北市道路挖掘管理執行要點，北市工道字第 1103016309 號令修正。
5. 內政部國土管理署(2010)，公共設施管線資料庫系統建置案共通規格，台內營字第 0990808792 號令。

花蓮市及吉安鄉道路人手孔蓋抗滑檢測之研究

蔡國松/花蓮縣政府建設處土木科 科長
陳匡仁/花蓮縣政府建設處土木科 技士
卓奮杰/花蓮縣政府建設處土木科 約用技術人員
簡孝存/國立東華大學 ESG 辦公室 主任
王嘉正/國立宜蘭大學土木材料實驗室 實驗室主管
駱宜佑/國立宜蘭大學土木材料實驗室 技術主管
林韋成/國立宜蘭大學土木材料實驗室 工程師

摘要

人(手)孔蓋長期受交通載重與環境影響，抗滑性能劣化，增加機車行車風險。本研究以大花蓮地區(含花蓮市、吉安鄉及新城鄉)為對象，採用英式擺錘試驗檢測 203 個人(手)孔蓋之抗滑係數(BPN 值)，並運用基因演算法分析影響因子。結果顯示，孔蓋 BPN 不合格率達 50%，其中花紋型式與孔蓋狀況為影響 BPN 值之關鍵變數，尤以陰刻格子紋孔蓋具較高安全風險。本研究提出孔蓋生命週期之初步預測模型，可快速推估抗滑係數，作為花蓮地區孔蓋抗滑標準制定與道路安全管理之參考。

前言

隨著國內民生需求持續提升，城市基礎設施中各類管線系統—包括電信、電力、自來水、污水下水道、瓦斯及寬頻網路等，其建置與維護的重要性愈益凸顯。雖管線地下化與共同管道系統已推動多年，惟為確保日後維修作業之可行性及因應突發性搶修需求，人(手)孔蓋之設置仍不可或缺。然而孔蓋長期暴露於交通載重與環境因子的共同作用下，金屬外蓋常因磨耗、腐蝕或表面紋理遭瀝青與異物填塞而使抗滑性能逐漸衰退，進而增加機車騎士於濕滑環境中發生打滑事故之潛在風險。基於道路交通安全之考量，花蓮縣政府於民國 113 年針對花蓮市及吉安鄉主要道路所設置之人(手)孔蓋進行抗滑係數實測，總計檢測 203 處孔蓋。本研究透過系統化量測與分析，建立科學量化依據，以作為未來道路鋪面改善策略、孔蓋管理機制及交通安全提升之重要參考。

文獻回顧

人手框蓋抗滑係數規範現況

為避免用路人行經人手孔蓋時因打滑而發生交通意外，交通部公路局與各縣市政府道路主管機關近年來積極評估並制定多項抗滑係數規範。例如：臺北市與臺南市等地方政府均已辦理人(手)孔蓋抗滑塗料工法示範並宣導各管線單位納入孔蓋抗滑作業處理，本研究將回顧目前主要人手框蓋抗滑係數訂定之規範。

交通部公路局

於 108 年 6 月 1 日修正「交通部公路局受理挖掘公路作業程序手冊」，新設未下地人(手)孔蓋(面積≧900 平方公分)以英式擺錘抗滑試驗於濕環境下實測抗滑值應在 50BPN 以上[1]。

臺北市政府工務局

依據 109 年 1 月 15 日函號：北市工授新字第 1093005147 號，說明人手框蓋(新設、既有)抗滑標準值訂定為 50BPN 以上。既有孔蓋抗滑能力改善實施範圍，以道路範圍內瀝青混凝土鋪面部分為主，不含人行道範圍，惟人行道附設自行車專用道人手框蓋一併列入抗滑能力改善實施範圍[2]。

臺南市政府工務局

於 111 年 3 月修改「臺南市道路挖掘施工維

護管理辦法」，112 年 3 月要求各管線機構要在一年內，提報孔蓋抗滑能力改善計畫，所有面積大於九百平方公分的孔蓋，任意量測四點，檢驗點位置應均勻分布於人(手)孔蓋上，且各點距離不得少於五公分，並在濕環境下檢測抗滑值須提升至 50BPN 以上，經統計需改善的人手孔蓋約二萬一千個，至 112 年 1 月底已改善完成約一萬兩千多個[3]。

台灣電力公司

台灣電力公司進行孔蓋採購前，相關供應商應依據配電用人、手孔蓋及配件材料標準 E053(108-11)執行各型式檢驗，其中特別納入英式擺錘抗滑試驗作為驗收標準。此試驗需於潮濕環境下量測人(手)孔外蓋表面中心點位置，並任意另選 3 點(共 4 點)，各檢測點之間距離不得少於 5cm 且應均勻分布於外蓋表面。試驗時，每一點須重複測量 4 次並記錄實測值，其平均不得低於 70 BPN。

此外，於後續成品驗收階段，台灣電力公司仍須抽驗人(手)孔蓋之英式擺錘抗滑性能。抽樣數量規定如下：若每批交貨數量未滿 100 只，則每滿 20 只抽樣 1 只，惟總抽樣數至少需達 2 只以上；若交貨數量超過 100 只，則每組抽樣數量為 5 只[4]。

基因演算法

儘管各級政府和相關單位已積極制定並實施人手孔蓋的抗滑規範，但如何高效且經濟地達成這些標準，尤其在材料配方或工法參數選擇上，仍是一項值得深入探討的議題。為此，本研究將探討如何應用基因演算法(Genetic Algorithm, GA)等最佳化技術，為解決此類複雜問題提供新思路[5]。

基因演算法則的基本理論是由約翰·亨利·霍蘭(J. H. Holland)於 1975 年率先提出，為基於自然選擇過程的一種最佳化搜尋演算法。其核心精神在於仿效生物界中物競天擇、優勝劣敗的自然進化法則，透過選擇具有優勢特性的親代，並隨機交換其基因資訊，以產生比親代更為優秀的子代。

基因演算法則三個主要運算子為複製(reproduction)、交配(crossover)、以及突變(mutation)。應用基因演算法則來解最佳化問題的基本流程為：首先，將待搜尋參數編碼成離散或二元字串，譬如用五個位元的字串-11010 來代表參數值；接著，隨機重覆產生 N 個初始物種(字串)，並依據求解之條件設計適應函數(fitness function)。適應函數值高的物種將被挑選至交配池(mating pool)中，此即複製過程。隨後，透過交配及突變運算，產生下一代物種。如此反覆迭代優化，最終可得適應性最強之物種(參數)，即為最佳解。

檢測過程

人孔選取原則

本研究初步針對孔蓋範圍進行選取，重點聚焦於花蓮市及吉安鄉交通流量較高且具有代表性的區域，涵蓋市場、醫院、學校等周邊重要地段，共計檢測 203 顆孔蓋。選取範圍包括吉安鄉的吉安路二段、中山路三段，以及花蓮市的中美路、府前路、中山路、建國路一段與明禮路等主要道路，並輔以少量新城鄉測點，如圖 1。

檢測方式

英式擺錘儀(British Pendulum Tester)為可攜式抗滑係數檢測儀器，由英國道路研究實驗室研發。抗滑係數利用能量不滅原理，以動態擺錘衝擊形式，利用橡膠滑塊通過測試表面後因摩擦力使擺盪能量損失，量測被測試表面止滑能力，圖 2 為英式擺錘儀與人(手)孔蓋檢測。

依據交通部公路局「受理挖掘公路作業程序



圖 1 檢測範圍

手冊對於新設未下地人手孔蓋抗滑能力」之規定，須以「英式擺錘抗滑試驗」於潮濕環境下實測抗滑值。

此試驗係依據交通部於 110 年 9 月頒布「交通工程規範」[6]，附錄『英式擺錘抗滑試驗儀及步驟』辦理。以下將詳細說明試驗步驟與作業方式。

1. 清理試驗面，移除鬆動雜物。
2. 摩擦試驗方向與行車方向平行。
3. 潤濕表面。
4. 使用充分水量潤濕試驗表面。建議在一般情況下，建取 20c.c 水量，於試驗表面上方 20cm 內，均勻灑佈在橡膠滑片磨擦區域內。
5. 將指針旋到垂直位置。進行一次預備試驗，但不記錄數值。
6. 立即重複試驗四次，每次試驗前均須再次潤濕表面，分別記錄四次指針讀數(記錄至個位數)，並計算其平均值，如圖 3。

檢測成果

因清冊中人(手)孔蓋數量依所屬機關數量多寡不一，檢測地點以花蓮市、吉安鄉、新城鄉為主如表 1，其人(手)孔蓋單位共計六個單位分別如下：

1. 台灣電力股份有限公司花蓮營業處(台灣電力)
2. 花蓮縣政府(寬頻)
3. 花蓮縣政府建設處下水道科(污水)
4. 花蓮縣政府建設處下水道科(雨水)
5. 中華電信股份有限公司(中華電信)
6. 台灣自來水公司第九區管理處花蓮服務所(自來水)

此次抽測單位占比分別為：電力 19.70%、寬頻 17.73%、污水 31.53%、雨水 7.39%、電信 21.18%、自來水 2.46%，如表 2 所示。

此次抗滑檢測結果如表 3 所示，針對花蓮市、吉安鄉及新城鄉三個地區進行了檢測，統計各地檢測地點合格與不合格數量，並計算出不合格占比。

此次抗滑檢測針對各單位進行檢測，結果如表 4 所示，統計各單位檢測數量、合格與不合格情況，並計算不合格占比。



圖 2 英式擺錘儀與人(手)孔蓋檢測

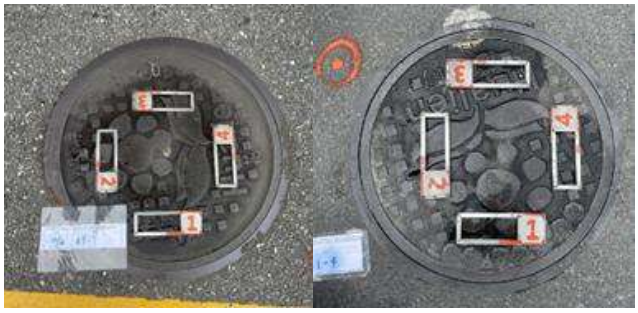


圖 3 人(手)孔蓋檢測方向與位置

表 1 檢測地點數量及占比

縣市	總數量	占比
花蓮市	136	67.00%
吉安鄉	65	32.02%
新城鄉	2	0.99%
總計	203	100.00%

表 2 各單位檢測數量及占比

縣市	總數量	占比
電力	40	19.70%
寬頻	36	17.73%
污水	64	31.53%
雨水	15	7.39%
電信	43	21.18%
自來水	5	2.46%
總計	203	100.00%

表 3 檢測地點數量不合格占比

縣市	總數量	合格	不合格	不合格占比
花蓮市	136	66	70	51.47%
吉安鄉	65	35	30	46.15%
新城鄉	2	0	2	100.00%
總計	203	101	102	50.25%

研究分析

為探討人(手)孔蓋抗滑性能關鍵因素，本研究綜合現場經驗與檢測特性，擬定以下影響變數，詳如表 5。在現場進行孔蓋檢測同時，同步蒐集各項相關數據，最終以各項變數和檢測 BPN 值進行研究分析。

將各自變數(調查特性及其屬性)與應變數(測量指標及其修正後測量值)進行擬合以求其影響及影響係數，即尋求最佳化數值；一般而言，最佳化設計法則可分為兩類，第一類為特定型最佳法則，針對某些特定的函數特性所發展而來，因此目標函數(object function)必須滿足某些特性，如線性、非時變、可微分等，微分法及梯度法皆屬於此；第二類為廣義型最佳化法則，不論目標函數特性為何，皆不用修改設計法則，隨機搜尋及基因演算法皆屬於此。

依問題型態與系統效能之比較，基因演算法則搜尋速度比隨機搜尋更有效率；而就系統效能而言，特定型最佳化法則效率較高但僅能處理特定系統；廣義型最佳化法則應用範圍較廣但效率較低。

本案分析因無特定函數，因此選用廣義型最佳法則中的基因演算法。在進行變數擬合與尋求影響係數的過程中，由於「調查特性」與「測量指標」兩者關係複雜且可能不具備線性、非時變或可微分等特性，使得特定型最佳化法則如微分法或梯度法無法有效應用。相較之下，基因演算法作為廣義型最佳化法則的代表，能夠適應各種函數特性，無需對設計法則進行修改，特別適用於本案此類函數特性不明確情況。

表 4 檢測各單位數量不合格占比

縣市	總數量	合格	不合格	不合格占比
電力	40	29	11	27.50%
寬頻	36	21	15	41.67%
污水	64	17	47	73.44%
雨水	15	4	11	73.33%
電信	43	28	15	34.88%
自來水	5	2	3	60.00%
總計	203	101	102	50.25%

基因演算法得出之分析結果如下表 6 至表 8 所示，模型整體具有統計顯著性($F=12.23$，$p<0.001$)，R 平方值為 0.335，表示模型可解釋約 33.5%目標變數變異。在八個納入分析的變數

表 5 本案擬定影響 BPN 之各項變數

調查特性	特性屬性
單位名稱	下水道(花污)
	下水道(花雨)
	中華電信
	台灣電力
	自來水
	中油(花蓮營業處)
	花蓮縣政府(寬頻)
孔蓋狀況	良好
	鏽蝕
	磨損
花紋	陰刻格子紋
	T 字紋
	陽刻格子紋
	其他
道路寬度	超過 8 公尺
	8 公尺以下
單向車道數	0
	1
	2
位處第幾車道	0
	1
	2
佈設位置	路口/轉彎處
	-
	起步區
輪跡處	是
	否
測量指標	測量值
現地抽測 BPN (修正後)	經計算修正之 BPN 值，計算式如下：修正後 BPN=最低值*0.4+最高值*0.3+中位數*0.3

中，有四個變數達到統計顯著水平(p<0.05)：花紋(t=6.71，p<0.001)、孔蓋狀況(t=4.30，p<0.001)、單向車道數(t=2.92，p=0.004)及單位名稱(t=3.46，p=0.001)，這些變數均對目標變數呈現正向影響。

此外，位處第幾車道(p=0.052)與佈設位置(p=0.072)兩變數接近顯著水平，顯示兩者可能具有一定邊際影響力。相對地，道路寬度與輪跡處則未達統計顯著性(p>0.05)，表明其對目標變數影響較為有限。總體而言，花紋和孔蓋狀況為影響目標變數最為顯著的關鍵因素，未來相關實務工作應優先考慮這些變數影響，同時，由於模型解釋力為中等程度，建議後續研究可考慮納入其他潛在變數，以提高模型預測能力。

交叉分析結果顯示，「陰刻格子紋」孔蓋與「下水道(花污)」兩項變數具備高度共現性，且該組合之 BPN 實測值普遍落於整體樣本之低分位區間(低於第 50 百分位)，顯示此類孔蓋存在顯著之潛在行車風險。探究其抗滑衰退機制，初步研判為該花紋單一幾何圖形之表面積過大，導致輪胎接觸時之有效摩擦邊緣(Macro-texture)減少，進而大幅削弱其抗滑能力；此外，推測該批次孔蓋之服役年限較長，長期承受交通載重反覆作用，已造成表面嚴重磨耗。綜上所述，建議未來道路養護策略應針對此特定組合優先辦理改善，並評估導入具備高耐磨特性之新式材質或長效抗滑塗料，以實質提升孔蓋安全性能並降低事故風險。

由表 8 分析係數表，可得式(1)：

$$\text{現地預測 BPN} = \sum_{i=1}^{8} X_i^{a_i} + C \qquad (1)$$

其中，i：調查特性

a_i：調查特性之係數冪次

C：截距常數 2.02×10^{-7}

上式代入表 8 之對應「代入係數」即可得「預測現地 BPN」，整體「預測 BPN」及「現地抽測 BPN(修正後)」可合併建立「常態機率圖」(Normal Probability Plot)，又稱為「常態分位數-分位數圖」(Normal Q-Q Plot)，如下圖 4，從圖中可知：

- 位於低百分比區域(0-40%左右)，紅線預測 BPN 值高於藍線現地 BPN 值。
- 位於中間百分比區域(約 40-60%)，兩條線較為接近。
- 位於高百分比區域(60-100%)，藍線現地 BPN 值開始超過紅線預測 BPN 值，尤其接近 100%處差距明顯增大。

表 6 迴歸統計摘要

統計量	數值
R 的倍數	0.579
R 平方	0.335
調整的 R 平方	0.308
標準誤	9.570
觀察值個數	203

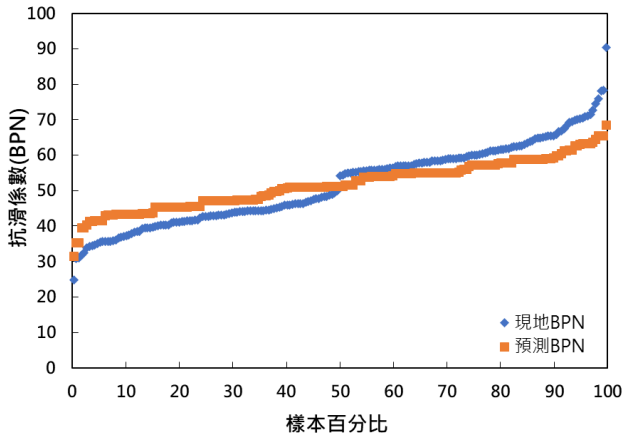


圖 4 常態機率圖(分位數-BPN)

表 7 ANOVA 分析

來源	自由度	SS	MS	F	P(顯著值)
迴歸	8	8959.076	1119.885	12.228	<0.001
殘差	194	17767.184	91.583		
總和	202	26726.252			

表 8 係數分析

調查特性	特性屬性	代入係數	係數冪次
截距		2.02×10^{-7}	1
單位名稱(X_1)	下水道(花污)	18.850	0.759
	下水道(花雨)	1.443	
	中華電信	17.953	
	台灣電力	21.682	
	自來水	20.120	
	中油(花蓮營業處)	6.967	
	花蓮縣政府(寬頻)	10.744	
孔蓋狀況(X_2)	良好	18.925	0.633
	鏽蝕	49.421	
	磨損	4.155	
花紋(X_3)	陰刻格子紋	3.177	0.821
	T 字紋	23.856	
	陽刻格子紋	17.499	
	其他	10.939	
道路寬度(X_4)	超過 8 公尺	0.110	0.933
	8 公尺以下	6.425	
單向車道數(X_5)	0	4.804	1.306
	1	6.629	
	2	0.010	
位處第幾車道(X_6)	0	0.833	0.979
	1	0.002	
	2	8.802	
佈設位置(X_7)	路口/轉彎處	8.563	1.193
	-	9.630	
	起步區	0.004	
輪跡處(X_8)	是	4.479	0.473
	否	5.052	

結論與建議

整體抗滑係數(BPN)不合格率達 50%，凸顯花蓮地區孔蓋的抗滑性能仍有待改善空間。針對檢測不合格孔蓋，改善方式建議可採取更換新孔蓋、塗佈抗滑塗料或將孔蓋下地等措施。此外，未來應建立專屬於花蓮地區的孔蓋抗滑係數標準及驗收查核規範，以確保道路安全。

本研究團隊經研究討論，提出以下建議可提升擬合效果：

1. 加入時間序列分析：若取得時間相關數據，可分析 BPN 值隨時間的變化趨勢，檢視是否存在季節性或週期性模式。
2. 異常值篩選：應特別關注圖表末端的高 BPN

值點(百分位接近 90%的點)與低 BPN 值點(百分位接近 10%的點)，深入分析異常值，以判斷是否代表特殊情況或測量誤差。

3. 建議未來模型可考慮納入指數、三角函數及對數項等非線性數學模型，以有效捕捉數據在不同百分比區域的升降趨勢。
4. 交通負荷累積效應：考量納入累積交通量與抗滑衰減關係之動態模型，藉以更精準地模擬孔蓋抗滑性能的長期變化。

本研究提出孔蓋生命週期之初步預測模型，能快速推估道路孔蓋抗滑係數，可讓各單位即時掌握風險。未來若將上述建議四點進行導入優化，可望同步提升準確度並簡化計算結構。

參考文獻

1. 交通部公路局(2019)，交通部公路局受理挖掘公路作業程序手冊。
2. 臺北市工務局(2020)，北市工授新字第 093005147 號書。
3. 臺南市政府(2022)，臺南市道路挖掘施工維護管理辦法。
4. 台灣電力股份有限公司(2019)，配電用人、手孔蓋及配件材料標準 E053。
5. Holland, J. H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press. (Second edition: MIT Press, 1992).
6. 交通部公路局(2021)，英式擺錘抗滑試驗儀及試驗步驟，交通工程規範-附錄。

結合透地雷達與地電阻剖面影像調查地層掏空之應用

許朝景/正修科技大學土木與空間資訊系 助理教授
吳翊瑄/正修科技大學土木與空間資訊系五專部 學生
王建智/正修科技大學土木與空間資訊系 退休教授 土木/大地技師
李豐凱/永業地質技師事務所 工程師
潘宏璋/永業地質技師事務所 地質技師

摘要

近年來，地下開挖工程引發地層掏空使路面塌陷之案例屢見不鮮，對民眾生命與財產安全產生威脅。當連續壁施工過程中出現包泥、破洞等異常情形時，首要因應措施為立即停工並於連續壁外側進行止水灌漿作業，以降低滲流與地層進一步破壞之風險，防範二次災害發生。後續施工與防治階段，則有必要加強地下環境之監測作業，以避免地表下淺層或深層再次發生塌陷或掏空現象。本研究針對某連續壁施工不慎造成地面凹陷，並於事故後緊急回填之區域，嘗試導入非破壞檢測技術進行調查，採用透地雷達(Ground Penetrating Radar, GPR)與地電阻影像剖面(Electrical Resistivity Tomography, ERT)兩種探測方法。透過 GPR 獲取高解析度之淺層地層雷達影像，並結合 ERT 探測較深層地層之電性差異，以彌補單一技術在探測深度或解析度上的限制。調查結果顯示，兩種非破壞檢測方法之整合應用，有助於於事故發生後迅速掌握地層受影響範圍及緊急灌漿回填之分布情形，進而提供地下工程災害防治與風險評估之重要參考依據。

前言

近來地下開挖工程引發地層掏空使路面塌陷之案例屢見不鮮，對民眾生命與財產安全產生威脅。當連續壁施工過程中出現包泥、破洞等異常情形時，首要因應措施為立即停工，並於連續壁外側持續進行止水灌漿作業，以降低滲流與地層進一步破壞之風險，防範二次災害發生。於後續施工與防治階段，則有必要加強地下環境之監測作業，以避免地表下淺層或深層再次發生塌陷或掏空現象。

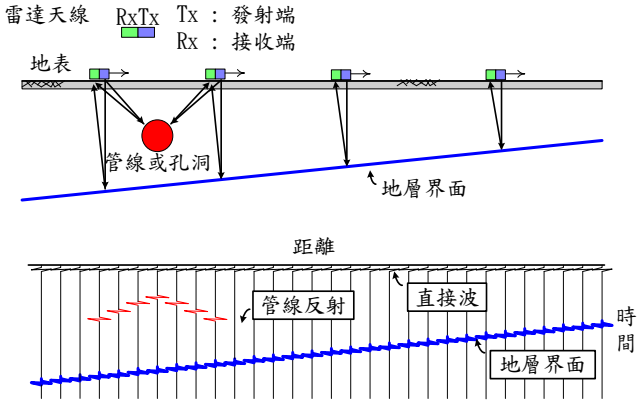


圖 1 透地雷達探測原理[1]

本文即以非破壞檢測技術的透地雷達與地電阻剖面影像，於某連續壁施工不慎造成地面凹陷後緊急回填之區域進行調查作業，於事故發生後快速了解地層受影響範圍與緊急灌漿回填情形，提供相關單位進行災害防範之參考依據。

原理

透地雷達簡介

透地雷達(Ground Penetrating Radar，GPR)是一種非破壞探測技術，是藉由發射天線向探測目標發射高頻電磁波(10~2500 MHz)傳播至探測之物體在折射或反射回接收天線。由於雷達波在傳導過程中是一連串的電場與磁場的交替現象，若遇到介電系數差異的界面，會產生相位與振幅的變化，經由電腦把傳回來的振幅大小與相位變化轉為色階變化。

介電常數為頻率之函數，在不同頻率之電場下材料將呈現不同之介電常數，但均質材料之介

電性質在透地雷達一般常用的天線頻率區間可視為常數(Dielectric constant)，對空氣而言為 1，對大部分之土壤礦物顆粒為 3~5，但對 20℃的水則為 81。由於土壤為水、空氣及土粒所組成之三相體，因此其介電常數視含水量不同使介於1~81之間。表 1 所列為土壤基本成分與組成物之物理性質參考值[2、3]，其中雷達波速、衰減與測深係由下列簡化公式計算而得[4]：

$$\varepsilon_\gamma = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_\gamma}} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{188.5\sigma}{\sqrt{\varepsilon_\gamma}} \quad (4)$$

其中，ε_o：針孔之介電常數

ε：材料之介電常數

ε_γ：相對介電常數

σ：導電度$\left(\frac{S}{m}\right)$

表 1 土壤基本成分與組成物之物理性質參考值[2、3]

介質	介電常數 (F/m)	導電度 (S/m)	雷達波速 (m/ns)	衰減係數 (dB/m)
空氣	1	0	0.3	0
純水	81	0.5	0.033	0.1
海水	81	30000	0.01	1000
乾砂	3-5	0.01	0.15	0.01
濕砂	20-30	0.1-1	0.06	0.03
黏土	5-40	2-1000	0.06	1-300
混凝土	6-11	-	0.10	-
瀝青	3-6	-	0.12	-
PVC	4	-	-	-

介質電性參數為導電度與相對介電常數(Relative dielectric constant，RDP)，將關係到雷達波傳遞的衰減和速度，亦即和探測深度與目標物位置的推算有直接關聯性。在判釋雷達影像圖時經常由不同介質之介面反射強度來考量，而反射強度可以公式(5)量化[5]，由公式可得知兩物質若 RDP 差異越大，則其介面即會有越強之反射強度。因此在雷達影像中會有強烈的色相差異呈現。

$$R = \frac{\left(\sqrt{\varepsilon_{\gamma 1}} - \sqrt{\varepsilon_{\gamma 2}}\right)}{\left(\sqrt{\varepsilon_{\gamma 1}} + \sqrt{\varepsilon_{\gamma 2}}\right)} \quad (5)$$

其中，R：反射係數

$\varepsilon_{\gamma 1}$：上層介質之 RDP

$\varepsilon_{\gamma 2}$：下層介質之 RDP

此外，介質相對介電常數與透地雷達所能解析出之最小厚度有關[6]，雷達波於該介質中波長的 1/4 即為理論上能解析之最小厚度為：

$$D_{min} = \frac{c \times 10^3}{4 \times f \times \sqrt{\varepsilon_\gamma}} \quad (6)$$

其中，D_{min}：可解析之最小厚度(m)

c：光速(0.3m/ns)

f：天線主頻率(Mhz)

ε_r：介質相對介電常數

依照天線的頻率不同(解析度不同)選用於管線調查、空洞調查、地層層位調查、鋼筋位置調查、混凝土裂縫空洞調查、水中沉積物調查與考古調查等等。

地電阻影像剖面法簡介

地電阻影像剖面法(Electrical Resistivity Tomography；ERT) 屬一種非破壞檢測技術，藉由地質材料物理特性-電阻率差異，量測地層電性反應，於量測之電性剖面中尋得地層材料電性差異，進行不同地質地層推判。

物質的電學性質主要分為以下三項，分別為導電度(electric conductivity)或、導磁係數(magnetic permeability)與介電常數(dielectric constant)，而地電阻法所測得地質材料主要為電阻率(resistivity)，則電阻率為導電度倒數。

故以直流電通入地層由一對電流極 A、B 將電流導入地層，建立人為電場，藉由地層中介質不同，具有導電性之差異，將另一對電位極 M、N 量測電流極及電位極間之電位差的電位差，求得該區域地層視電阻率(Apparent Resistivity)，進而估算地層地導電性分布。

$$\rho_\alpha = \mathrm{K}\frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

其中，ρ_α：視電阻率

K：幾何排列因子

ΔV：電位極間之電位差

I：通入地表下之電流

而視電阻率不能代表其地層實際電性，僅代表對應電極排列後所有地層電性之綜合效應。電阻法電極排列方法會由於考慮地質條件地以及探測目的，選擇合適之電極排列方式，每種電極各有其優劣勢及適用性，各施測方式皆可搭配不同電極排列法進行施測一般基本之常用電極排列有：施蘭卜吉排列(Schlumberger Array)、溫奈施蘭卜吉排列法(Wenner-Schlumberger Array)、溫奈排列(Wenner Array)、雙偶極排列(Dipole-dipole Array)及雙極排列(Pole-pole Array)等。本研究採用溫奈施蘭卜吉排列法，如圖 3。

文獻探討

GPR 探測技術隨著儀器設備的發展，精度與解析度不斷提升，該項技術被應用於地層探測及地下埋設物。研究指出該項技術可有效應用於掏空之檢測，獲取位置及深度等資訊。在掏空探測部分如圖 4，許朝景等人[7]使用 900MHz 雷達天線進行沙箱模擬掏空探測，測線 A 為完全砂土層(圖 5a)測線為模擬經過兩個孔洞(圖 5b)可以清楚看到埋設在木箱處有強烈反射訊號，由此方式去判斷地層中介質的改變。在掏空檢測的部分，侯州逸等人[8]地下遺址的調查，以透地雷達圖徵判釋與訊號頻譜分析等方式，判定地下遺構之所在及所用材料的種類，也藉由開挖試掘驗證了透地雷達在初步探測之適用性以及頻譜分析之準確性，並顯示透地雷達對於檢測地層掏空之適用性，如圖 6 與圖 7。黃富郎等人[9]對結構物基礎下方進行檢測，以確認有無掏空或空隙之情形發生，可看到於基礎版下方存在強烈之反射訊號，研判樓板底下應有空隙存在；並發現數處空隙發達區及較為疏鬆之位置，透地雷達影像訊號顯示具有強烈反射且訊號有不連續之情形，研判於上述區域地板底下為空隙發達之區域，如圖 8。以透地雷達與地電阻兩種不同之非破壞性檢測部分，陳亮宇[10] 將掏空位置以及土堤結構確認，而後再將兩者之成果進行比對，以此確定掏空之位置以及土堤結構之樣貌，顯示出兩種非破壞性檢測對地下之地層狀況、地下滲流之方向以及大致位置的了解皆可適用，同時也作為往後相關研究之參考依據，如圖 9。

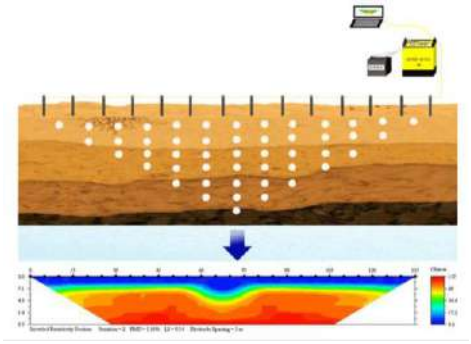


圖 2 地電阻儀器設備及施測示意圖

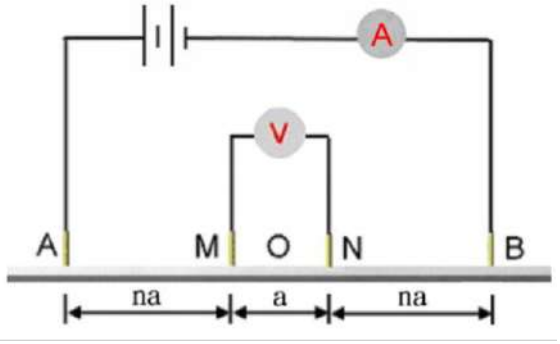
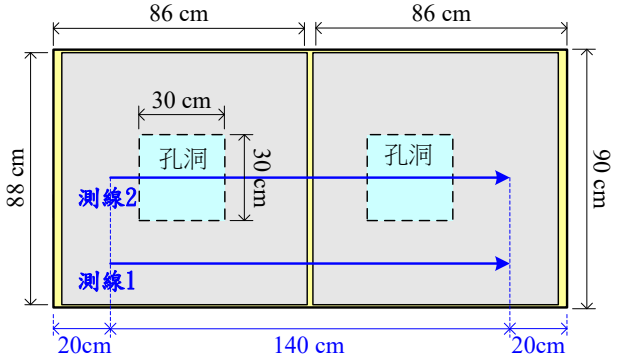
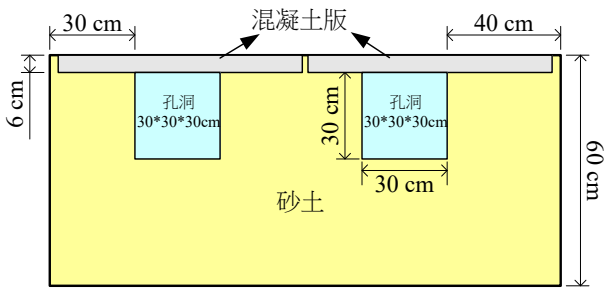


圖 3 溫奈施蘭卜吉排列法示意圖

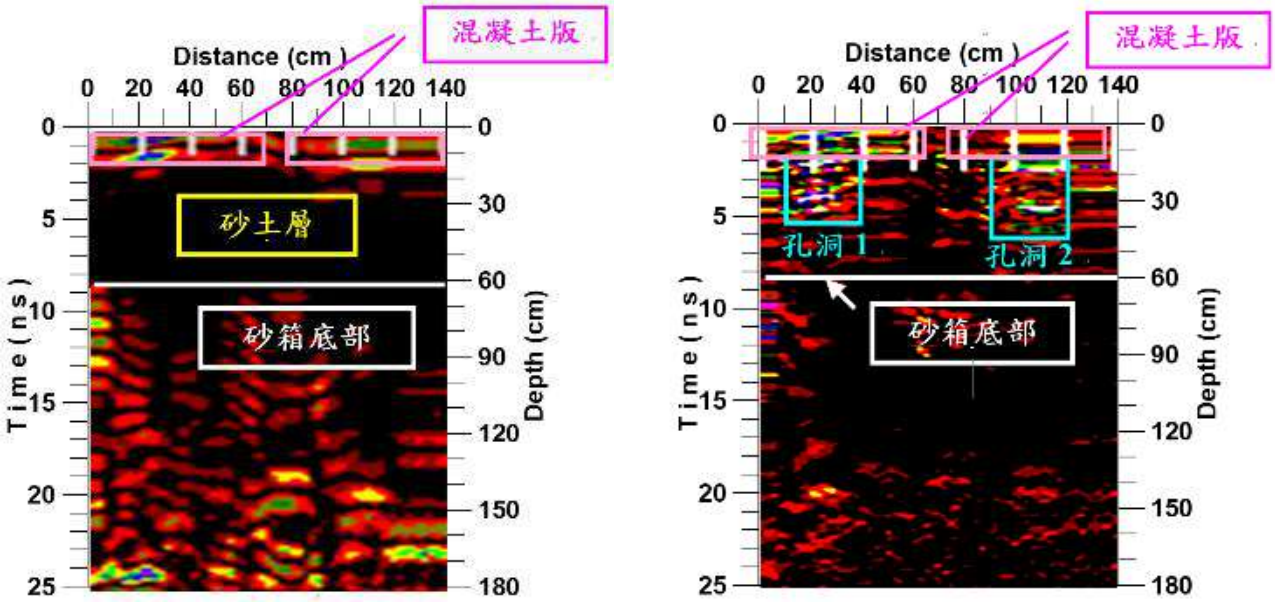


(a)俯視圖



(b)正視圖

圖 4 砂箱模擬孔洞試驗配置[7]



(a)測線 A 完整砂土層　　(b)測線 B 砂層中埋有孔洞

圖 5 砂箱模擬孔洞試驗成果[7]

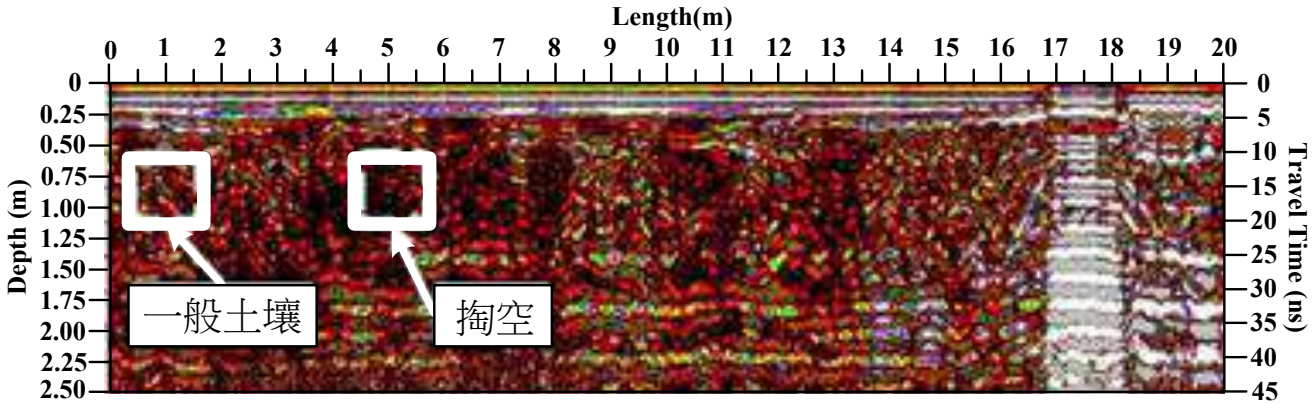


圖 6 測線(3)一般土壤及掏空頻譜分析選取之位置[8]

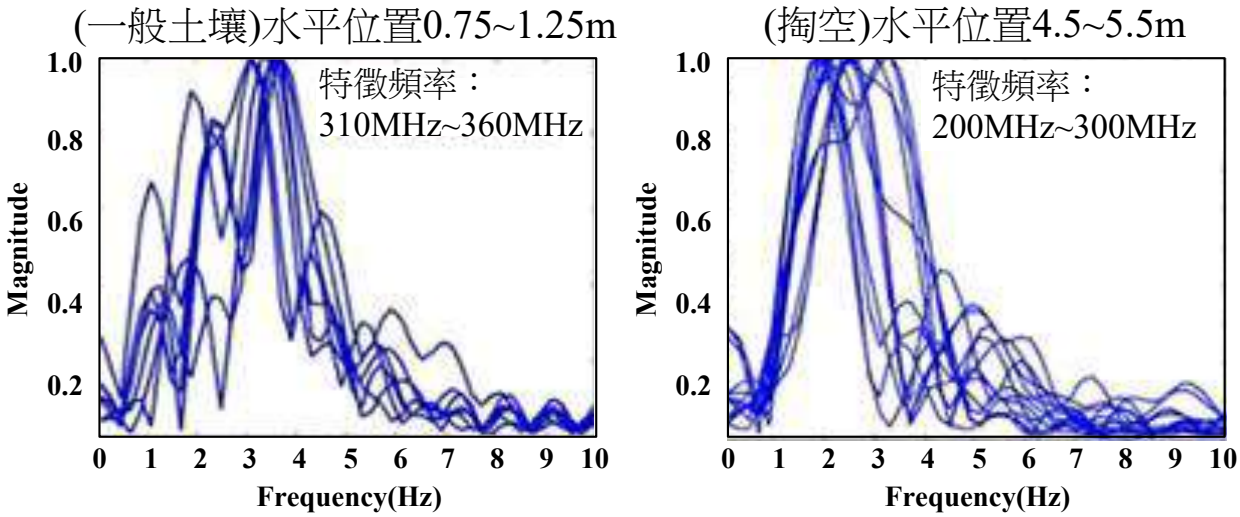


圖 7 一般土壤及掏空頻譜分析之結果[8]

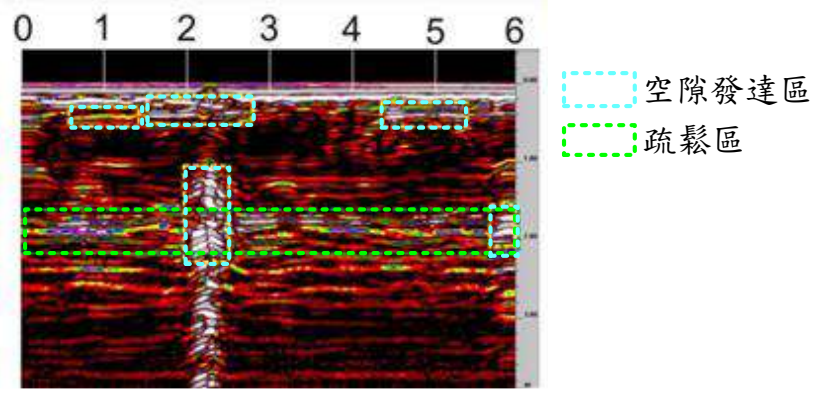


圖 8 透地雷達影像訊號[9]

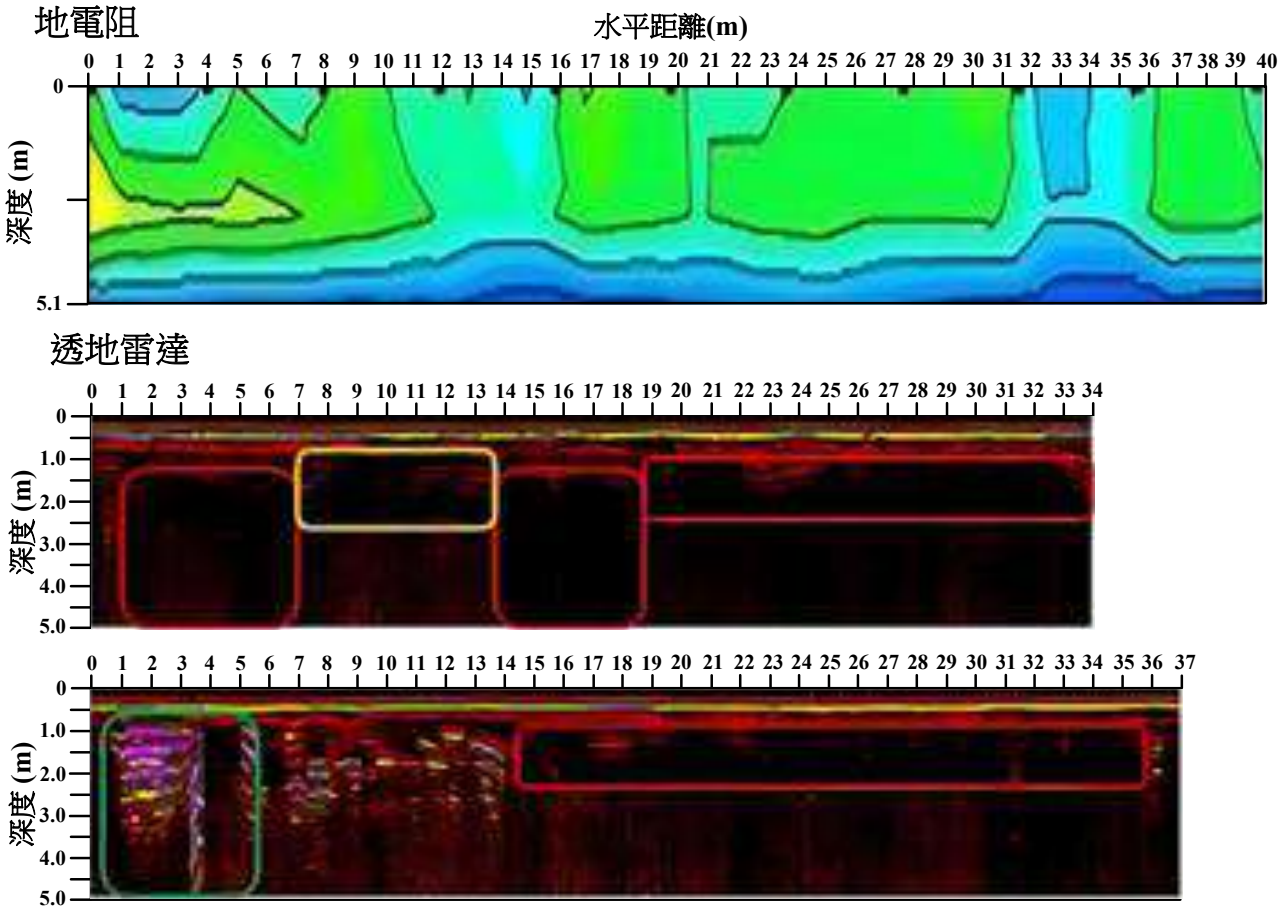


圖 9 地電阻成果與 GPR 測線(3)(4)之相互比對圖 [10]

透地雷達資料收集與成果

儀器設備

探測工作將採用瑞士 Proceq GS8000 透地雷達系統(圖 10)，規格如下：

1.雷達天線：採用混頻技術，頻率範圍 40–3440MHz，可同時獲取地表下 0~2m 之 1cm 解析度的雷達訊號，以及 0~10m 之 4cm 解析度雷達訊號(數據因地質條件而有差異)。

2.定位功能：搭載雙星系 GNSS，可支援實時動態技術(RTK)。

3.載具：人力或推車，用以架設主機、控制器及天線，及測距輪記讀功能。

參數設定

地層探測所設定之雷達雙程走時 120ns，換算探測深度約為 6m (120ns/2x0.1m/ns =6 m)。

現況與測線規劃

本案於工區西側及西南側發生 A、B 兩處地表陷落，其中西側陷落 A 處位於道路，為避免影響交通故已先行灌漿回填；西南側 B 處發生在公

園裸露地表，探測當下刻以砂土進行回填。

為了解陷落處之周圍地層受影響情形，故透地雷達探測主要範圍係以發生陷落之工區西側與南側，配置如圖 11 所示。首先於工區西側配置平行道路長向的 N1~N4 條測線，施測此 4 條測線後旋即觀測雷達影像，就地層存有異常訊號位置再進行 W1~W4 等 4 條垂直道路之測線，以確認其影響範圍。工區南側則先探測 W5~W6 共 2 條測線，經觀察雷達影像發現地層無明顯異常訊號，故未再施測另一方向之測線。

GPR 成果分析

以透地雷達探測地表下 6m 內之地層情況，在各測線之地表下未發現足以影響透地雷達探測之金屬構件、箱涵或人孔等易使雷達波重複反射造成屏蔽效應之干擾物。惟受地下水位影響，地表 2m 以下的訊號有雪花狀的雜訊，對雷達影像判釋略有影響。在圖 12 的 N3 測線透地雷達二維剖面圖可看出地表下灌漿回填最大深度約 3.2m。由於雷達波速在混凝土與一般土壤較為相近，故其同相軸厚度相近，但灌漿回填訊號呈層狀排列，明顯異於周遭地層。回填區下方地層受擾動而呈現些微疏鬆的訊號，其反射強度約強於周圍土壤，且逾探測最大深度 6m。測線後端在地下深度 1.0~2.0m 另有發現兩處的反射強度較大且同相軸增厚之不連續訊號，此現象係反映出該範圍之雷達波速較快。在表 1 提及空氣波速一般約為土壤 3 倍，故推估為地層疏鬆，如圖 13。



圖 10 Proceq GS8000 GPR

電阻影像剖面法資料收集

儀器設備

本案全區採用儀器設備主要以美國 Advanced Geosciences, Inc.製造之 SUPER STING R8/IP 地電測勘儀為主，R8/IP 於電阻率剖面量測時具同時收集八筆資料。該議器不僅能夠

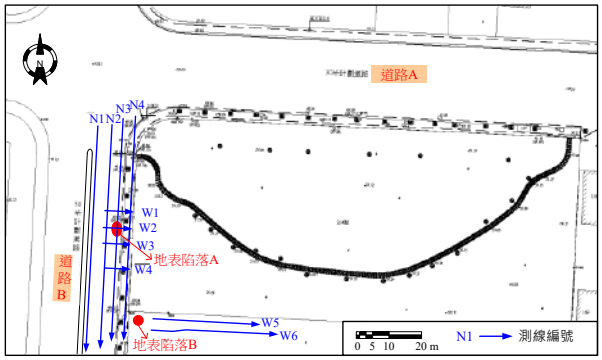


圖 11 透地雷達測線配置示意圖

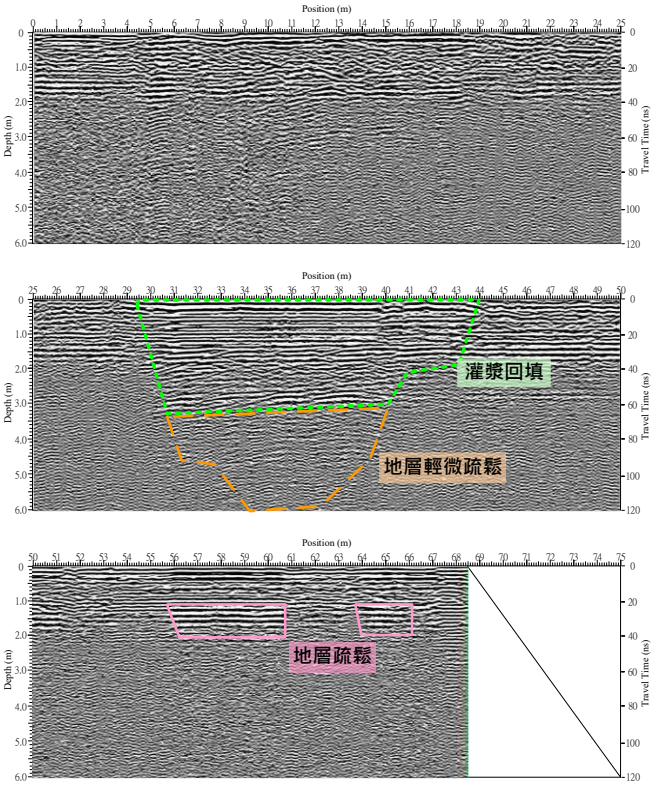


圖 12 N3 測線透地雷達二維剖面圖

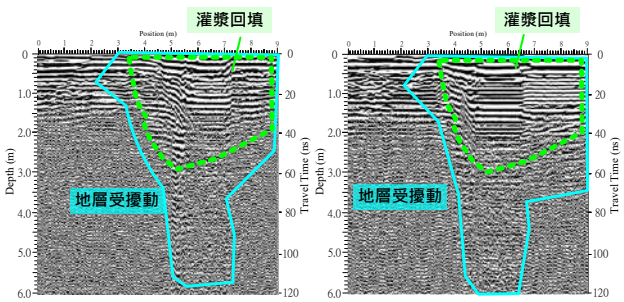


圖 13 W1(左)及 W1(右)測線透地雷達二維剖面圖

快速地獲得地層電性剖面亦可靈活運用誘導極化法進地層調查作業，地電阻儀器設備示意如圖 14 所示。其他相關重要配備如下列所示：

1. 主機、內極電纜線(Cable)及 Switch Box(切換器)
2. 筆記型電腦
3. 電極棒(導電、硬度佳材質)
4. 發電機(輸出功率 800 瓦以上)及穩壓器
5. 遠極花線
6. 灑水器(澆灌鹽水增加地層導電度)
7. 佈線皮尺及硫酸銅(IP 方法使用所需材料)
8. RTK 測量儀器(進行地形修正使用)

現況與測線規劃

於工區發生陷落的西側道路及南側進行地電阻探測以了解更地層較深處受影響情形。基於經濟及時效性，地電組探測僅佈設通過陷落處之 E1 及 E2 測線。

測線電極排列採用 Wenner-Schlumberger Array，電極棒間距採 3 公尺，藉其水平及垂直向高靈敏解析度推估可能之地層有電性異常之掏空範圍，地電阻測線規劃佈設示意如圖 15 所示。

ERT 成果分析

E2 測線施測長度為 141 公尺，測線 E2 佈於道路 B 上，測線 E2 水平距離 12~33 公尺範圍發生塌陷情形， 測線 E2 水平距離 0~45 公尺地層電性呈錐形向下延伸趨勢，地層有擾動不連續情形，需特別注意此範圍；深度需注意地表下 2.5~23m 範圍，如圖 16。

透地雷達與電阻影像剖面法之成果比較

本研究於某連續壁施工不慎造成地面陷落後緊急回填之區域進行調查作業，以非破壞檢測技術的透地雷達與地電阻剖面影像探測地層狀況，結論與建議如下：

1. GPR 獲取解析度較高的淺地層雷達影像，適用於淺層地層異常及灌漿回填範圍之判釋；ERT 探測得較深地層之電性差異，有助於了解深層地層之掏空或地層擾動情形。
2. 在事故應變及重大工程監測中，結合 GPR 與 ERT 進行監測，二者可互補精度與深度方面之不足，以兼顧淺層解析度與深層探測能力。
3. 非破壞檢測技術，以不破壞地表與結構物之方式，節省工程時間與成本，於事故發生後快速了解地層受影響範圍與緊急灌漿回填情形，降低該區域二次災害風險。

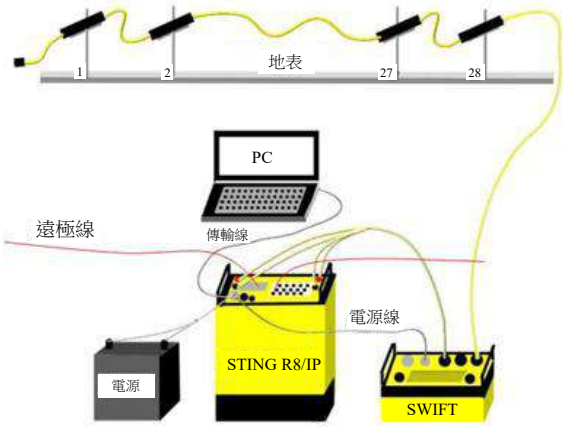


圖 14 地電阻儀器設備示意圖

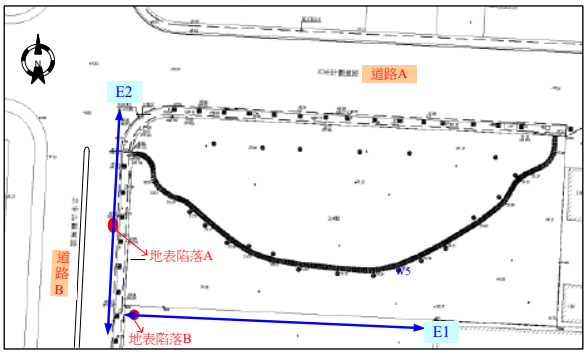


圖 15 地電阻測線佈設示意圖

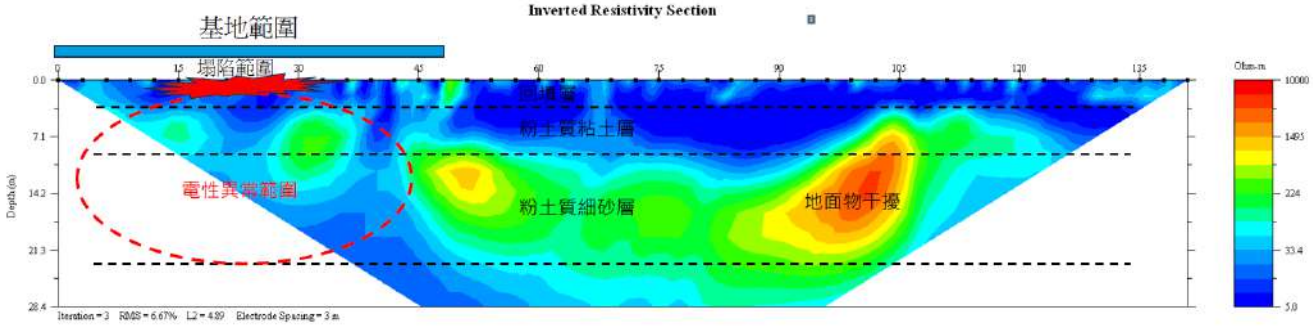


圖 16 地電阻測線 E2 影像剖面圖

參考文獻

1. 許朝景(2000)，透地雷達於大地環境調查之應用，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所。
2. Davis, J. L., and Annan, A. P. (1989). Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy, Geophysical Prospecting, 37, 531–551.
3. Saarenketo, T. (1998). Electrical properties of water in clay and silty soils, Journal of Applied Geophysics, 40, 73–88.
4. Sharma, P. V. (1997). Environmental and engineering geophysics, Cambridge University. Press, Cambridge, UK, 475.
5. Walden, A. T., and Hosken, J. W. J. (1985). An investigation of the spectral properties of primary reflection coefficients, Geophysical Prospecting, 33, 400–435.
6. Sheriff, R. E. and Geldart, L. P. (1982). Exploration seismology: history, theory, and data acquisition, 1, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
7. 許朝景、李德河、黃楷淳(2007)，透地雷達於混凝土版堤防之掏空檢測，中華民國力學學會第三十一屆全國力學會議，義守大學，高雄，C05。
8. 侯州逸(2020)，非破壞檢測法應用於研判土壤液化、地層掏空及地下遺址之研究，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，台南市。
9. 黃富郎(2017)，透地雷達在建築物耐震能力評估與補強上的應用，台灣省土木技師公會-技師報。
10. 陳亮宇(2019)，非破壞性檢測法應用在地下遺址及構造物檢傷之研究，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，台南市。

疏浚污泥 CLSM 抗壓強度之雙曲線預測模型

林庚達/國立嘉義大學土木與水資源工程學系 助理教授
王和源/國立高雄科技大學土木工程系 終身特聘教授
蔣宜安/國立嘉義大學 土木與水資源工程學系 碩士生

摘要

為提升疏浚污泥於控制性低強度混凝土(Controlled Low Strength Material, CLSM)中之工程應用可行性，本研究以既有試驗資料為基礎，探討污泥部分取代細粒料條件下，CLSM 抗壓強度隨齡期與取代比例變化之預測行為。試驗配比於固定水灰比條件下進行，污泥取代天然細粒料比例設定為 0% 至 90%，並區分是否摻入轉爐石作為粗粒料之兩組系列，比較其力學反應差異。依據不同取代率與齡期之抗壓強度發展趨勢，建立適用於 CLSM 之抗壓強度預測關係式，並透過統計指標評估模型與實測結果之符合程度。分析結果顯示，所建構之預測模式能合理描述污泥取代比例對 CLSM 強度發展之影響，且於各齡期範圍內皆具良好之預測一致性。相較於僅依賴試拌試驗之傳統方式，本研究所提出之預測方法可作為配比設計初期之輔助工具，有助於降低試驗成本並提升污泥資源化應用之工程效率。

前言

河川上游集水區之岩石經長期風化、侵蝕與搬運作用後，細顆粒物質逐漸於河口或港灣區域累積，形成大量疏浚污泥。此類沉積物除影響港區航道通行與作業效率外，亦增加港口營運與維護管理之負擔。以高雄港為例，依據《高雄港環境報告書》[1]所示，2021 年該港實際浚挖污泥量約為 11.3 萬立方公尺，年平均污泥棄置量達 12.1 萬立方公尺，而其再利用比例僅約 1.3%。目前港區污泥之處置方式仍以海洋棄置為主，惟隨著國內外環保法規趨於嚴格，且社會大眾對環境議題之關注持續提升，此類處理方式之適用性與發展空間已逐漸受限。另一方面，若污泥中可能含有潛在污染物，亦將進一步限制其採用傳統海拋方式進行處理。因此，發展兼具環境安全性與經濟可行性之污泥資源化利用途徑，已成為港區污泥管理所面臨的重要課題。

在土木工程應用層面，將疏浚污泥作為替代性材料導入非結構性混凝土產品中，被認為具有一定可行性，特別是在控制性低強度材料(Controlled Low Strength Material, CLSM)之應用上，例如作為道路管溝或開挖回填材料。此類應用不僅有助於推動永續材料之開發，亦可提升港區污泥之再利用率，符合循環經濟與環境永續發展之目標。基於此背景，陳圓蓁 [2]針對不同比例疏浚污泥取代細粒料之 CLSM 進行工程性質與適用性評估，為港區污泥資源化應用提供了初步技術依據。在開放性水域環境中，疏浚污泥易受水流與波浪作用產生再懸浮現象，進而可能導致附著於顆粒表面之污染物釋放並進入水體循環，對水質與海洋生態系統造成潛在影響。

相較之下，將疏浚沉積物導入水泥基材料中，作為資源化利用途徑，近年逐漸受到關注。固化/穩定化(solidification/stabilization, S/S)技術已被廣泛應用於污染土壤與沉積物之處理，其主要機制為透過水泥水化產物(如 C-S-H 凝膠)對污染物進行物理包覆與化學固定，有效降低其移動性與溶出性[3-5]。既有研究指出，經水泥固化處理後之沉積物，其重金屬溶出濃度可顯著低於環境管制標準，且固定效率可達 97–99.9%，顯示該技術在污染風險控制上具有良好效果[3,4]。

在工程應用方面，經固化處理之疏浚沉積物

可進一步應用於非結構性材料，例如控制性低強度材料(CLSM)，常用於管溝回填或道路基底等用途[3, 6]。此類應用情境多位於陸域，材料於使用過程中處於相對封閉且穩定之固態環境，有助於限制污染物之傳輸途徑與擴散範圍。其環境安全性通常透過標準溶出試驗(如毒性特性溶出程序，TCLP)進行評估，以確認其符合相關法規要求[7]。然而，若欲進一步促進疏浚污泥於水泥基材料中之實務應用，建立具工程實用性的抗壓強度預測模式，將有助於於配比設計初期即掌握其力學行為趨勢，進而降低試拌次數、人力投入與材料耗損。相較之下，傳統實驗方法雖可獲得實測數據，但其試驗流程耗時且成本較高，對於材料初期可行性評估而言仍具一定限制。

近年來，人工智慧相關方法，如人工類神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)，已廣泛應用於混凝土與水泥基材料之強度預測研究中，具備處理多變數非線性問題之能力，並可有效預測抗壓強度及其他硬固性質[8-11]。惟此類模型多屬黑箱型結構，其內部變數關係不易解析，對工程設計與實務應用之可解釋性相對有限。

相對而言，迴歸分析方法具有模型結構明確、物理意義較易詮釋等優點，對工程人員而言更具實務操作價值。相關文獻中，Wang 等人[12-15]針對摻入廢液晶玻璃之自充填混凝土，分別就抗壓強度、抗彎強度及超音波速率進行試驗，並透過雙曲線、指數與冪次函數等非線性迴歸形式，成功建立材料性質之預測模式。此外，呂政勳等人[16]亦應用雙曲線迴歸函數，預測港灣區土壤改質材料之力學行為；林庚達等人[17]則將該模式延伸應用於再生電視機殼取代細粒料之水泥砂漿研究，皆獲得良好之預測成效。

基於上述研究背景，本研究擬延伸陳圓蓁[2]所完成之 CLSM 試驗資料，進一步探討港區疏浚污泥部分取代細粒料對 CLSM 抗壓強度之影響，並導入雙曲線迴歸模型建構抗壓強度預測公式。透過模型分析與驗證，評估其於疏浚污泥再利用之工程應用潛力，期能作為後續相關材料配比設計與性能預測之參考依據。

材料特性之簡介

控制性低強度混凝土(CLSM)之特性

依據美國混凝土學會(American Concrete Institute, ACI)之定義，控制性低強度混凝土(Controlled Low Strength Material, CLSM)為一種具備高流動性、自充填性與可控制強度之水泥基材料，主要應用於回填工程中以取代傳統夯實材料 [18]。由於 CLSM 在新拌狀態下具有良好工作性，且硬化後可提供足夠承載能力以滿足道路鋪面基底層之需求，因此可有效改善傳統回填砂石因壓實不足所衍生之工程品質問題。自 2001 年起，國內工程實務逐步導入 CLSM 作為管線與管溝工程之回填材料，並已於近年公共工程中廣泛應用。

相較於傳統回填材料，CLSM 具備免壓實、高流動性與施工可控性等優點，特別適用於施工空間受限、機具難以進入，或需以壓送方式進行澆置之工程環境。其施工特性使其成為管線開挖回填工程中具實務優勢之材料選項。

依據行政院公共工程委員會[19]頒布之施工綱要規範第 03377 章 V11.0，CLSM 之工作性主要透過 CNS 14842 坍流度試驗及 CNS 15462 管流度試驗進行評估。其中，坍流度須達 40 cm 以上，以確保材料具備足夠之充填能力；管流度則應落於 15–20 cm 或 20–30 cm 範圍內，以符合施工需求。CLSM 之 28 天抗壓強度依 CNS 15865 試驗方法量測，一般規範建議其強度不宜超過 90 kgf/cm²；若應用於鋪面管溝工程回填，則建議上限控制於 50 kgf/cm² 以下，以兼顧後續可開挖性。此外，材料之落沉強度可依 CNS 15862 規範，透過落沉球試驗判定壓紋直徑是否小於 76 mm，作為施工可行性之判斷依據。氯離子含量則依 CNS 13465 試驗方法檢測，並依 CNS 3090 規定，新拌混凝土中水溶性氯離子含量須不超過 0.30 kg/m³。

污泥特性

陳圓蓁[2]針對高雄港區內船渠及河口等區域歷年浚挖污泥進行系統性分析，涵蓋其物理性

質、粒徑組成及化學成分等特性。以 KH-16 測站於 110 年度之浚挖污泥為例，其粒徑分布主要由坋粒所組成，其中黏粒(< 2 μm)比例約為 8.5–13.3%，坋粒(2–63 μm)約為 63.6–86.9%，砂粒(> 63 μm)則介於 3.0–24.5%。該污泥之比重介於 1.92–2.33，含水率為 43.5–84.0%。就固體組成而言，固定性固體物比例約為 90.8–98.3%，揮發性固體物則為 1.7–9.2%。化學分析結果顯示，其氮含量介於 1756–3025 mg/kg，磷含量為 263–595 mg/kg，總油脂含量約為 186–1456 mg/kg，而總酚濃度均低於 0.1 mg/kg。

此外，於 109 號碼頭現場採樣之污泥，其總固體物含量約為 61.2%，其中固定性固體物與揮發性固體物分別為 93.9% 與 6.1%。其粒徑組成中，黏粒比例為 5.61%，坋粒為 40.11%，砂粒則達 54.28%，細度模數(FM)為 0.57。該污泥之比重約為 2.50，含水率為 45.01%。化學成分分析顯示，其主要氧化物為 SiO_2(62.6%)，CaO 含量為 1.79%，整體成分與一般天然矽質粒料相近，顯示其具備作為再生粒料之潛在可行性 [2]。

建模的基礎數據來源與試驗條件簡述

為建立控制性低強度混凝土之抗壓強度預測模型，本研究以陳圓蓁[2]所進行之疏浚污泥部分取代細粒料試驗資料作為分析基礎，進行後續之模型建構與評估。該研究系統性探討不同比例疏浚污泥取代天然細粒料條件下，CLSM 之工程性質變化，並已完成完整之材料配比設計、試驗變數規劃及標準化試驗程序。

試驗材料

本研究所建構之抗壓強度預測模型，係以陳圓蓁[2]所進行之疏浚污泥部分取代天然細粒料試驗設計為基礎，並沿用其材料配置與基本試驗條件。水泥材料採用 Type I 普通卜特蘭水泥，拌合用水則使用自來水。

粗粒料選用來自大甲溪之碎石(三分石)，其飽和面乾(SSD)比重為 2.58，吸水率為 1.4%，乾搗單位重為 1487 kg/m³，細度模數為 6.46。另於部分配比中引入轉爐石作為輔助粗粒料，其 SSD 比重為 3.14，吸水率為 3.5%，乾搗單位重為 1762 kg/m³，細度模數為 5.94。細粒料則採用大甲溪天然河砂，其 SSD 比重為 2.44，吸水率為 1.2%，細度模數為 3.16。

此外，為確保新拌 CLSM 具備適當之工作性，試驗中依實際拌合需求添加聚羧酸系高效減水劑，所使用之產品為台灣西卡股份有限公司生產之 Polymer R550，其主要功能為調控拌合物之流動性與施工性能。所有試驗材料之物理與化學性質，包括礦物組成與粒徑分布等，已於前述研究中完成詳細量測與說明，相關資料可參考陳圓蓁 [2]。

試驗材料

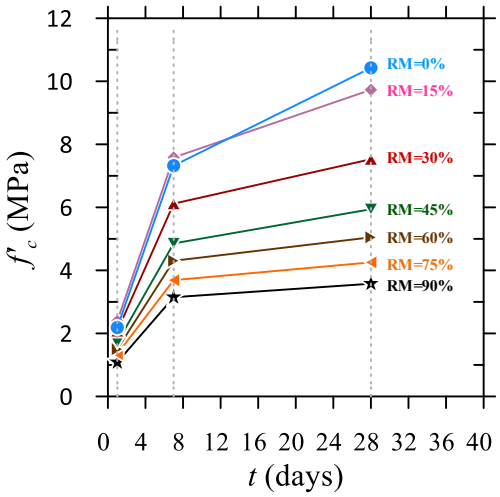
依據陳圓蓁 [2]之試驗設計，該實驗研究共規劃兩組 CLSM 試體系列，以探討疏浚污泥取代天然細粒料對材料力學行為之影響。系列 I 以疏浚污泥取代天然細骨材之重量百分比作為主要變數，設定取代率為 0%(對照組)、15%、30%、45%、60%、75% 及 90%。系列 II 則在相同污泥取代率條件下，進一步固定以 5% 轉爐石(Basic Oxygen Furnace (BOF) slag)取代粗粒料重量，以評估其對抗壓強度發展之影響。

各組配比完成拌合後，立即進行新拌 CLSM 性質試驗，包括坍度、坍流度、氯離子含量、45 分鐘坍度損失及落錘衝擊強度，並完整記錄相關結果。隨後，將拌合完成之材料澆置於圓柱試模中(直徑 150 mm，高度 300 mm)，並依 ASTM D4832 標準製作試體以進行抗壓強度測試。每一試驗條件配置三顆試體作為重複試驗。

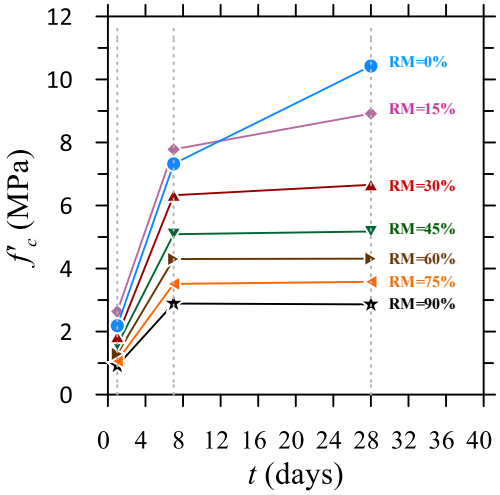
試體脫模後置於飽和石灰水中進行標準養護，並分別於養護齡期 1 天、7 天及 28 天時進行抗壓強度試驗。所有試體均於試驗前一日自養護環境中取出，以確保測試條件一致。其餘詳細試驗流程與原始試驗數據，均可參見陳圓蓁 [2]。

抗壓強度預測模型

圖 1(a) 顯示系列 I CLSM 試體在不同比例疏浚污泥取代細粒料條件下之抗壓強度發展行為。結果顯示，各配比之抗壓強度皆隨齡期增加而提



(a) 第 I 系列 [本文作者重新整理]



(b) 第Ⅱ系列 [本文作者重新整理]

圖 1 抗壓強度與齡期關係曲線

升，且其成長速率隨養護時間延長而逐漸趨緩，呈現典型水泥基材料強度發展特徵。

圖 1(b) 為系列 II CLSM 試體之抗壓強度發展曲線，其污泥取代細粒料比例與系列 I 相同，惟於粗粒料部分另固定以 5% 轉爐石取代天然粗骨材 [2]。相較於系列 I，系列 II 亦呈現相近之強度成長趨勢，顯示在不同材料組合條件下，CLSM 抗壓強度隨齡期之發展行為具有良好的一致性。

綜合兩組試體之強度發展曲線可觀察到，抗壓強度與齡期之關係皆呈現雙曲線函數(hyperbolic function)型態，反映材料強度隨時間增加而逐漸趨近極限值之行為特性。基於此一共同趨勢，本研究進一步導入雙曲線函數形式，建立 CLSM 抗壓強度之預測模式，其推導過程如下所述。

本研究所建立之抗壓強度預測模式係引用過去研究學者所提出的統計方法 [12-15, 20]，並且依據 CLSM 抗壓強度隨齡期演化之整體行為特徵，採用雙曲線函數形式加以描述。為使模型具備較佳之通用性與比較基礎，首先對各齡期之實測抗壓強度進行正規化處理，並進一步建立其與齡期之函數關係，據以推導如式(1)所示之預測公式。

$$\frac{f'_c}{f'_{c,28}} = f(t) = \frac{t}{a_c + b_c t} \tag{1}$$

其中其中t為齡期，f'_c及$f'_{c,28}$分別為混凝土不同齡期及 28 天齡期之抗壓強度，經過適當變數轉換後，可得到雙曲線函數的係數a_c和b_c。雙曲線函數之引入，主要考量其能有效模擬水泥基材料強度隨齡期增加而呈現成長速率逐漸降低，並於長齡期趨近極限強度之漸近行為。此一數學特性與水泥水化反應歷程及材料內部膠結結構隨時間逐步穩定之物理機制相符，因而具備合理之工程意義與解釋性。圖 2 顯示系列 I 中模型參數a_c和b_c相對於污泥取代細粒料比例(以下簡稱取代量 RM)之變化趨勢。隨著取代量增加，參數a_c呈現明顯之二次多項式遞減趨勢。相對地，參數b_c則呈現輕微的二次多項式遞增趨勢，惟其變化幅度相對有限，可視為與取代量關聯性不顯著。

為確保參數建模邏輯一致性，仍採用二次多項式形式對b_c進行迴歸建構，使兩參數皆納入統一迴歸架構進行分析。系列Ⅱ之參數行為亦與系列 I 相符，相關趨勢如圖 3 所示，進一步驗證所建立模式之穩定性與一致性。本研究初步假設雙曲線強度預測模型(式(1))中的參數 ac 及 bc 與污泥取代率(RM)呈線性關係，並依據式(2)與式(3)進行迴歸分析：

$$a_c = m_c + \alpha_c \times RM \tag{2}$$

$$b_c = n_c + \beta_c \times RM \tag{3}$$

其中，α_c、β_c、m_c、n_c為與取代量 RM 相關之回歸係數。此外，m_c 及 n_c 可進一步表示為水灰比(w/c)的函數，即：

$$m_c = m_1 + m_2 \times (w/c) \quad (4)$$

$$n_c = n_1 + n_2 \times (w/c) \quad (5)$$

上述係數 m_1、m_2、n_1 及 n_2 用以描述水灰比對參數行為之影響。然而，由於本研究所有 CLSM 試體之水灰比固定為 1.3，故未進一步探討水灰比變化之影響，僅針對取代率 RM 與強度參數之關係進行分析。圖 2 與圖 3 之迴歸結果顯示，式(2)與(3)所採線性模型難以準確描述 ac 及 bc 隨 RM 變化之非線性趨勢。因此，本研究改採二次多項式形式以模擬兩參數之變化行為，並將所得之參數關係式代入原始強度預測公式(式(1))，建立更具準確性之修正模型，如式(6)所示。

$$\frac{f_c'}{f_{c,28}'} = \frac{t}{(a_0 + a_1 \times RM + a_2 \times RM^2) + (b_0 + b_1 \times RM + b_2 \times RM^2)t} \quad (6)$$

表 1 ac 及 bc 參數之二次多項式係數

Parameter	Coefficient	Series Ⅰ	SeriesⅡ
a_c	a_0	3.8016	3.5430
	a_1	-4.8430	-6.7867
	a_2	3.1944	5.1782
b_c	b_0	0.8639	0.8732
	b_1	0.1677	0.2146
	b_2	-0.1124	-0.1630

表 2 分析模式抗壓強度參數之係數 x 及θ

Parameter	Coefficient	Series Ⅰ	SeriesⅡ
$f_{c,28}'$	x	10.286	9.8207
	θ	-8.0929	-8.5095

為評估各試體 28 天之抗壓強度，本文採用線性迴歸模型進行建模，以描述強度與污泥取代率(RM)之間的關係，如式(7)與式(8)所示：

$$f_{c,28}' = x + \theta \times RM \quad (7)$$

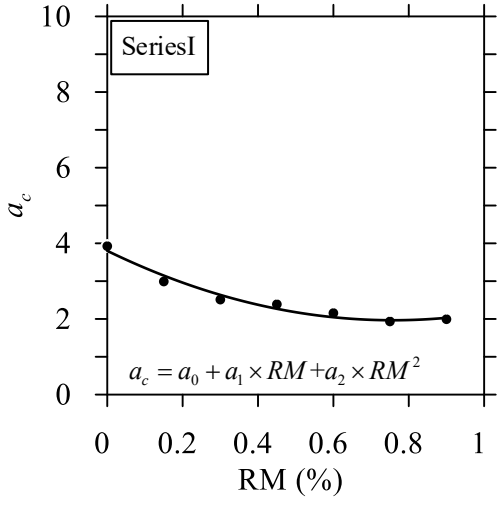
$$x = x_1 + x_2 \times (w/c) \quad (8)$$

其中，x為線性迴歸方程式之截距項，θ為取代量 RM 對抗壓強度變化之斜率參數；而x又進一步定義為水灰比(w/c)的函數，x_1 及 x_2 分別為描述水灰比對抗壓強度影響之迴歸係數。

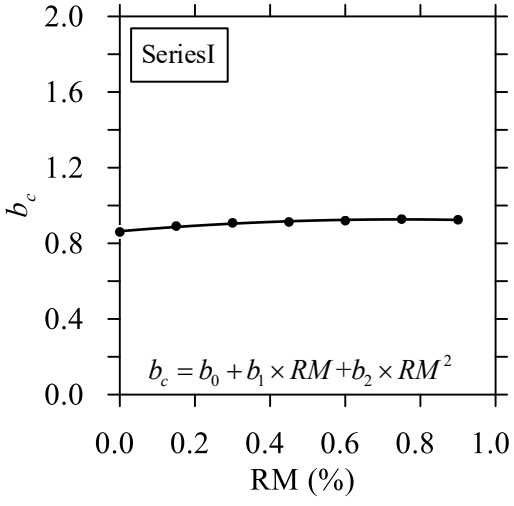
本研究採用之試驗數據[2]均為固定水灰比條件下進行，故本研究分析聚焦於探討污泥取代率對 28 天抗壓強度之影響，並未進一步探討水灰比變動對模型參數的影響。此種簡化分析方式有助於釐清在特定混合設計條件下，RM 對混凝土強度之主導效應。

本研究依據陳圓蓁 [2]所提出之 28 天抗壓強度試驗結果，針對抗壓強度與污泥取代率(RM)進行線性迴歸分析。圖 4 之分析結果顯示，抗壓強度隨取代率增加而呈線性遞減趨勢，顯示以式(7)作為預測模型具有合理性與代表性。

式(7)中之參數 x 與 θ分別對應線性回歸方程之截距與斜率，前者代表基準強度，後者則反映取代率每增加單位所造成之強度減損速率。各項迴歸參數彙整於表 2，作為後續模型預測與工程應用之依據。

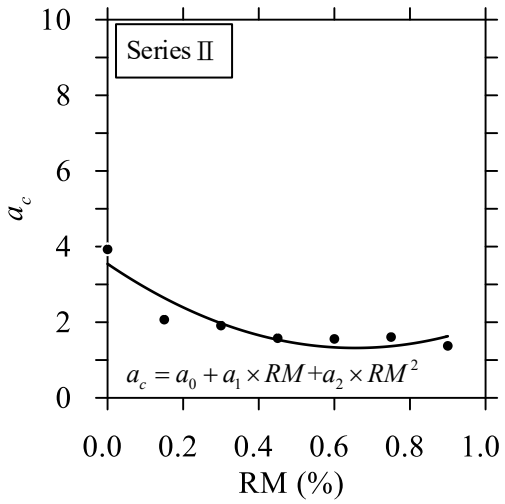


(a) ac 參數與取代量 RM 關係

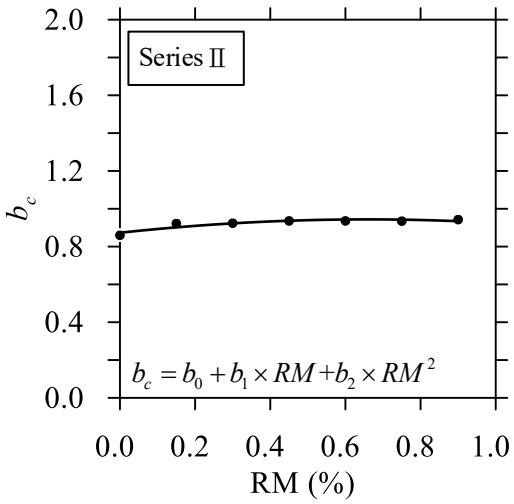


(b) bc 參數與取代量 RM 關係

圖 2 系列Ⅰ之參數 ac 和 bc 與取代量關係

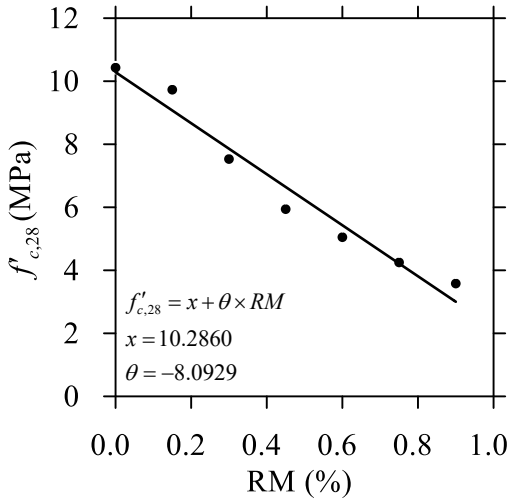


(a) ac 參數與取代量 RM 關係

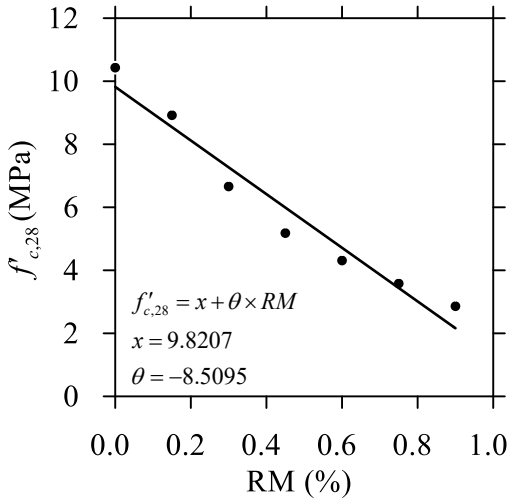


(b) bc 參數與取代量 RM 關係

圖 3 系列Ⅱ之參數 ac 和 bc 與取代量關係



(a)系列 I 之 28 天齡期抗壓強度迴歸分析



(b)系列Ⅱ之 28 天齡期抗壓強度迴歸分析

圖 4 28 天齡期抗壓強度與取代量 RM 關係

預測分析與試驗結果比較

圖 5 與圖 6 分別呈現系列 I 與系列Ⅱ試體在 1、7 及 28 天齡期之抗壓強度試驗結果與預測模型之對應分析。

隨著污泥取代率由 0%提高至 90%，在相同齡期下，試體抗壓強度皆呈遞減趨勢，且預測值與實驗結果相符。此一致性顯示本研究所建立之雙曲線迴歸模型，能合理模擬污泥取代細粒料對早齡期及後期強度發展行為之影響，具備良好之適用性與預測能力。整體分析結果數值，如表 3 及 4 所示。

本研究為評估模型預測值與實際實驗結果之間的準確性與一致性，採用平均絕對百分比誤差(mean absolute percentage error, MAPE)與決定係數(coefficient of determination, R^2)作為誤差分析指標，分別由式(9)計算其數值。

$$MPAE = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \quad (9)$$

根據 Lewis [21]之分類，MAPE 小於 10%表示具極佳預測能力(excellent predictive ability)，10%–20%為良好預測能力(good predictive ability)，20%–50%屬於合理預測範疇(reasonable predictive ability)，若大於 50%則為預測表現不佳(poor predictive ability)。

至於決定係數 R^2，常用於迴歸分析中衡量模型對目標變數變異的解釋能力，其值介於 0 與 1 之間，愈接近 1 代表模型擁有更高的解釋力。此外，Mousavi 等人[22]在高性能混凝土之預測研

表 3 系列 I 之各齡期抗壓強度預測值與分析值

t(days) / RM(%)	Experiment			Predict		
	1	7	28	1	7	28
0	2.19	7.32	2.20	2.20	7.31	10.29
15	2.39	7.58	9.73	2.22	6.75	9.06
30	2.08	6.12	7.53	2.15	6.06	7.84
45	1.71	4.86	5.94	1.98	5.26	6.62
60	1.50	4.30	5.05	1.70	4.35	5.40
75	1.35	3.69	4.25	1.33	3.38	4.19
90	1.08	3.15	3.58	0.92	2.38	2.98

表 4 系列Ⅱ之各齡期抗壓強度預測值與分析值

t(days) / RM(%)	Experiment			Predict		
	1	7	28	1	7	28
0	2.19	7.32	2.20	2.22	7.12	9.82
15	2.64	7.78	8.92	2.41	6.68	8.58
30	1.84	6.33	6.66	2.51	6.03	7.32
45	1.57	5.09	5.18	2.42	5.18	6.04
60	1.29	4.30	4.31	2.07	4.16	4.76
75	1.07	3.51	3.58	1.49	3.02	3.47
90	0.92	2.89	2.86	0.84	1.85	2.18

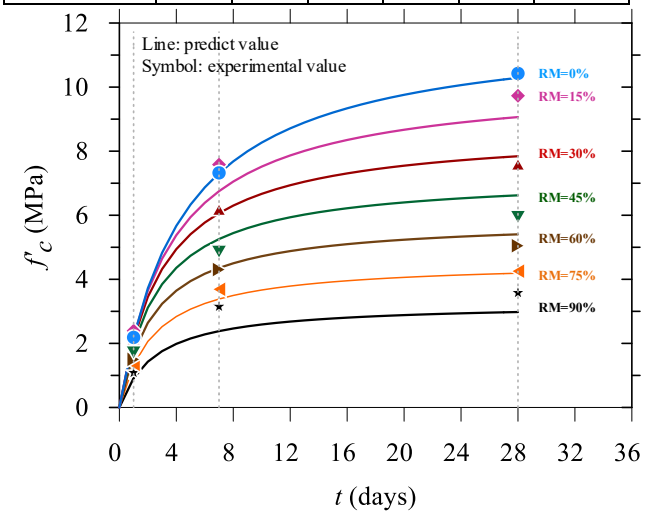


圖 5 系列 I 抗壓強度模式分析值與試驗結果比較

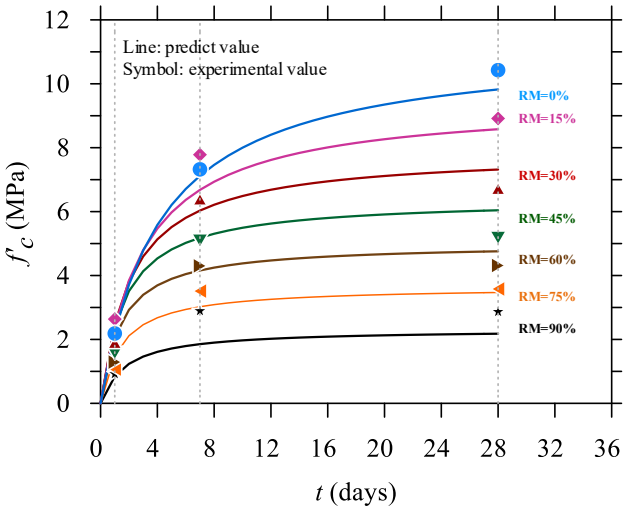


圖 6 系列Ⅱ抗壓強度模式分析值與試驗結果比較

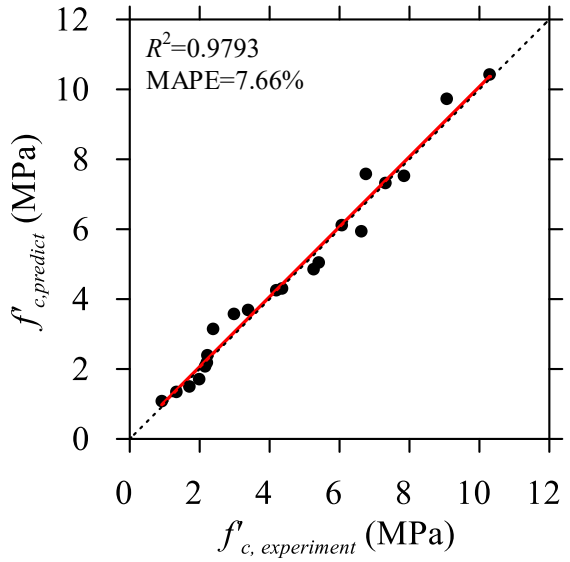


圖 7 系列 I 之抗壓強度試驗值與分析值的比較

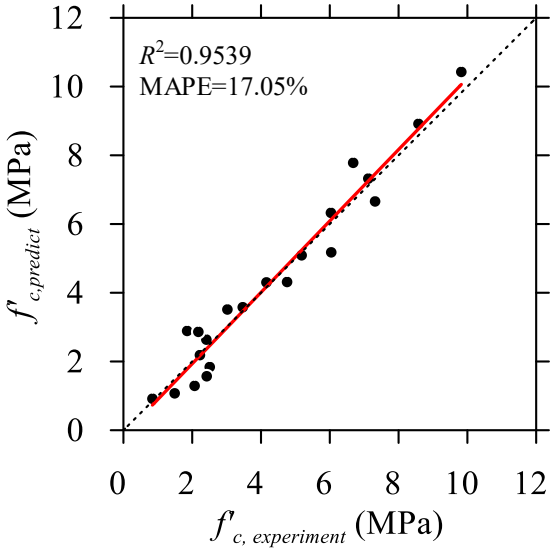


圖 8 系列 II 之抗壓強度試驗值與分析值的比較

究中指出，若 R^2值大於 0.8，則模型結果與實測數據間具高度相關性。

本研究於系列I中，探討不同比例之疏浚污泥取代細粒料對控制性低強度材料(CLSM)抗壓強度之影響，所得 MAPE 值為 7.66%，低於 10%，顯示預測結果具優異準確度；其 R^2值達 0.9793，詳見圖 7，顯示所建立之雙曲線預測模型對試驗結果具有高度解釋力與擬合效果。進一步於系列 II 中，以相同污泥取代率搭配 5% 轉爐石取代部分粗粒料進行驗證，分析所得 MAPE 為 17.05%，屬良好預測範疇，R^2值亦達 0.9539，雖較系列 I 稍降，惟整體仍維持良好預測準確性。

綜上可知，本研究所提出之雙曲線預測模型，能有效模擬疏浚污泥取代細粒料所製 CLSM 之抗壓強度變化趨勢，具良好應用潛力與可靠性。

結論

1. 本研究建立一套以雙曲線函數(hyperbolic function)為基礎之抗壓強度預測模型，於固定水灰比條件下，同步考量疏浚污泥取代細粒料比例(0–90%)、是否摻入 5% 轉爐石作為粗粒料替代，以及齡期(1、7 與 28 天)等關鍵因素。所提出之模型能合理描述 CLSM 抗壓強度之發展行為，並可作為配比設計初期評估材料性能之參考工具，有助於提升疏浚污泥於 CLSM 中再利用之工程可行性。
2. 依據既有試驗結果可知，當港區疏浚污泥取代天然細粒料比例由 0% 提高至 90% 時，CLSM 抗壓強度呈現明顯且一致之遞減趨勢，此現象在是否摻入 5% 轉爐石之兩種系列中皆一致觀察。基於此力學行為特徵，本研究採用雙曲線函數進行迴歸建模，結果顯示該模型能合理反映取代率與齡期對抗壓強度之影響，並具備良好之分析一致性。
3. 就模型預測表現而言，系列 I(未摻轉爐石)之平均絕對百分比誤差(MAPE)為 7.66%，判定係數(R^2)達 0.9793；系列 II(摻入 5% 轉爐石)之 MAPE 為 17.05%，R^2 為 0.9539。上述結果顯示，所建立之雙曲線迴歸模型在不同配比之污泥取代量的組合條件下皆具備良好之預測準確性與穩定性。該模型具潛力應用於工程實務中，以協助減少試拌次數與材料耗損，進而提升 CLSM 配比設計之效率。

參考文獻

1. 臺灣港務股份有限公司(2022)，高雄港環境報告書，第 40~41 頁。
2. 陳圓蓁(2023)，港區污泥應用於控制性低強度混凝土之研究，國立中興大學土木工程學系，碩士論文。
3. Zhang, W. L., Zhao, L. Y., McCabe, B. A., Chen, Y. H., Morrison, L. (2020). Dredged marine sediments stabilized/solidified with cement and GGBS: Factors affecting mechanical behaviour and leachability, Science of Total Environment, 733(138551), 1-16.
4. Yang, Y., Li, M., Sun, Y., Gao, H., Mao, L., Zhang, H., Tao, H. (2022). Optimization of solidification and stabilization efficiency of heavy metal contaminated sediment based on response Surface Methodology. Sustainability, 14, 3306.
5. Zhu, C., Jia, X., Zhang, P., Ye, J., Wang, H. (2017). Cement stabilization/solidification of heavy metal-contaminated sediments aided by coal fly ash, The Global Environmental Engineers, 4, 46-54.
6. Kong, X. H., Zhang, Z. B., Liang, Y. P., Wang, X. K., Zhang, F.R. (2022). Experimental study on solidified dredged sediment with mgo and industrial waste residue, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4257140.
7. USEPA (1992). SW-846 Test Method 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).
8. Asteris, P. G., Skentou, A. D., Bardhan, A., Samui, P., Pilakoutas, K. (2021). Predicting concrete compressive strength using hybrid ensembling of surrogate machine learning models, Cement and Concrete Research, 145, 106449.
9. Hammoudi A., Moussaceb, K., Belebchouche, C., Dahmoune, F. (2019). Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) prediction in compressive strength of recycled concrete aggregates, Construction and Building Materials, 209, 425~436.
10. Naderpour H., Rafiean, A. H. Fakharian, P. (2018). Compressive strength prediction of environmentally friendly concrete using artificial neural networks, Journal of Building Engineering, 16, 213~219.
11. Peng, Y., Unluer, C. (2023). Modeling the mechanical properties of recycled aggregate concrete using hybrid machine learning algorithms, Resources, Conservation & Recycling, 190, 106812.
12. Wang, C. C., Chen, T. T., Wang, H. Y., Huang, C. (2014). A predictive model for compressive strength of waste lcd glass concrete by nonlinear-multivariate regression, Computers and Concrete, 13(4) 531-545.
13. Wang, C. C., Wang, H. Y., Huang, C. (2014). Predictive models of hardened mechanical properties of waste LCD glass concrete, Computers and Concrete, 14(5), 577-597.
14. Wang, C. C., Wang, H. Y., Chen, C. H., Huang, C. (2015). Prediction of compressive strength using ultrasonic pulse velocity for CLSM with waste lcd glass concrete, Journal of Civil Engineering and Architecture, 9(5), 691-700.
15. Wang, C. C., Wang, H. Y., Chen, S. H., Huang, C. (2015). Analytical model of ultrasonic pulse

velocity of waste LCD glass concrete, Journal of Marine Science and Technology, 23(5), 732-740.
16. 呂政勳、王建智、唐琦、張家豪(2020)，高雄近港灣土壤添加水泥材料抗壓強度和超音波速評估，第 18 屆大地工程學術研究討論會論文集，C07。
17. 林庚達、孫宏奇、王和源(2025)，雙曲線函數應用於預測廢棄電視殼取代砂製成水泥砂漿抗壓強度之方法研究，第十二屆都市計畫與空間資訊研討會，F-2-1。
18. ACI Committee (2022), Report on Controlled Low-Strength Materials, ACI 229R-22.
19. 行政院公共工程委員會(2025)，施工規範第 03377 章 V11 控制性低強度回填材。
20. 王建智、王和源、張書銓(2016)，飛灰水泥砂漿抗壓強度和超音波速預測模式，技術學刊，第 31 卷，第四期。
21. Lewis, C. D. (1982), Industrial and business forecasting method. london: butterworth scientific publishers.
22. Mousavi, S. M., Aminian, P., Gandomi, A. H., Alavi, A. H., Bolandi, H. (2012). A new predictive model for compressive strength of hpc using gene expression programming, Advances in Engineering Software, 45(1), 105-114.

論民生用戶接管工程之挖填平衡策略

陳仙州/義守大學土木工程系 兼任助理教授
林登峰/義守大學土木工程系 特聘教授

摘要

本文主要針對市區道路之民生用戶接管工程特性，以工程實務觀點，思考藉回填材料與工法之改良，預期將既設道路之原開挖材料直接作為控制性低強度回填材料(Controlled Low Strength Materials, CLSM)之填充粒料，同時利用簡易拌合及施工機具，於工地現場或鄰近空地拌製 CLSM 並進行鋪填施工，據以解決土石方處理問題並縮短工區開放通行時程。民生用戶管線之管徑通常不超過 8 吋(200mm)，管溝寬度約 60 公分；總開挖深度低於 140 公分，其原有鋪面結構，包括 AC 面層、級配料基底層及路基土壤等，完全可作為 CLSM 之填充粒料無虞。為達到「挖填平衡」並使 CLSM 能有效充填管溝空間，研究利用具土壤改良效能之 HSC 301 水泥處理劑為膠結料，同時提高填充粒料至 2100 kg/m^3 與適度降低水膠比之配比試拌。結果以 180 kg/m^3 以上之 HSC301 膠結料搭配粒料總量 15%之 RAP；50%基底層級配料及 35%路基土壤，且水膠比為 0.9 時，最接近「挖填平衡」目標，且能符合高雄市政府工務局施工規範第 03377 章 CLSM 之目標強度 35 kg f/cm^2 以上之要求。

前言

高雄市道路之管挖工程以非計畫型之零星案件居多，其中又以開挖長度 10 m 以下攸關民眾日常生活之用戶接管工程為主，經調查 111 年~114 年之管挖工程施工案件數統計結果，開挖長度 10 m 以下者約佔年度總案件數之 65~70%(詳表 1)。此類管線工程量小，工程費低，且施工空間往往被限縮在 1~2 個車道內，除難以同時容納高效率施工機具運作外(如圖 1)，更須盡量在最短時間內完成並開放通行，以符大眾期待。

近年來，隨著經濟、人口以及生活水準不斷成長，新建房舍與埋設於道路下方之民生管線需求量大增，加上管線材質老化受損，需辦理經常性維修或汰舊換新，以維持正常供需，故而道路挖補施工作業頻繁，致瀝青混凝土刨除料(Reclaimed Asphalt Pavement ,RAP)於實務環境之積存量無法有效消減。為解決 RAP 去化問題，內政部提出「刨用平衡」作法，此法在工程實務環境中，僅具足夠回填空間之新開闢道路或新開發計畫工程可以執行外，對於一般道路鋪面養護或管挖工程而言，確有執行難度。而今只要有在道路上開挖施工之工程，均需面對大量開挖土石方處理難題，故需於既設道路挖掘之工程，現階段亦只能盡量設法朝「挖填平衡」方向努力了。

表 1 民生用戶管挖工程施工案件數統計

案件長度	10m(含)以下		10m(不含)~20m(含)		年度總數
年度	案件(件)	佔比(%)	案件(件)	佔比(%)	案件(件)
111	5969	66	474	5	9080
112	6678	65	584	6	10256
113	7567	70	280	3	10754
114	6663	70	241	3	9487



圖 1 常見之民生用戶接管工程

民生用戶管線之特性

民生用戶管線工程之規模小，工程費低，工時短且施作空間常受侷限，對施工品質之檢驗又多須比照普通工程之施工規範辦理，因利潤少且風險高，故實務環境中願意承包的廠商非常有限。又此類工程屬於土木工程範疇之工項，包括面層 AC 切割及運處、開挖土石方運處、管溝回填、AC 臨鋪與 AC 永鋪等，大多需委由專業廠商代工或另行購料處理，尤其是挖除之瀝青混凝土塊更須有長期合作之瀝青拌和廠才肯收置。民生用戶管線之管徑通常不超過 8 in(20 cm)，開挖長度多在 10 m 以下，寬度約 60 cm、開挖深度低於 140 cm，更常鄰近用戶進出口，有短時間內開放通行之急迫性，故工程施工單位大多希望盡量能在回填完成 72 小時內鋪設 AC 並開放通行。

既設道路開挖土方性質

高雄市道路，不論是公路局管轄之省道或高雄市政府轄境之市區道路，初建之原始鋪面結構組成材料，大致包括瀝青混凝土(AC)面層 1~4 層、級配料底層與級配料基層(1~2 層)，總厚度約 75 cm (如圖 2)，其中基層與底層級配料，分別依據施工規範第 02722 章級配粒料基層及第 02726 章級配粒料底層之規定。而使用於一般道路之路基土壤，則依據施工規範第 02336 章路基整理之規定[1,2,3,4]，且針對土壤材質，除要求需符合 AASHTO M145 A1~A5 類規定外，通常多要求自基層以下至少應有 30 cm 厚度之 CBR 達 8%以上[5]。又面層挖除之瀝青混凝土塊，經送到瀝青混凝土廠裂解篩分處理後，即為包覆殘留老化瀝青之黑石頭，更屬優質之混凝土再生粒料。綜合上述顯見，一般道路自面層 AC~路基土壤至少應有 105 cm 厚度之材料，完全可作為 CLSM 填充粒料無虞。

用戶接管工程之挖填平衡策略

CLSM 之特性與應用思維

CLSM 自國外引進之原始譯名為「高流動性低強度混凝土」，主要目的乃欲藉其良好流動性質，解決於狹窄管溝中無法充分使用夯實機械之

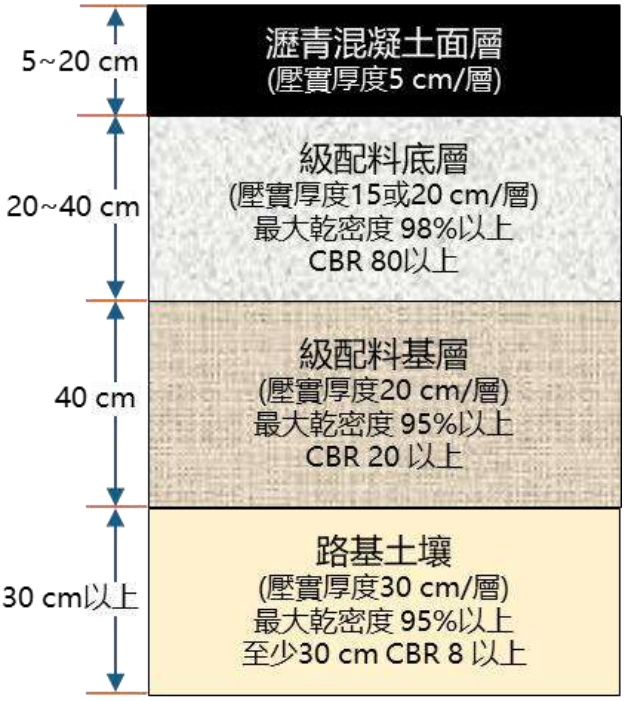


圖 2 一般道路鋪面結構材料

表 2 CLSM 之性質要求[2010 年版] [10]

項目	試驗方法	要求
*註 1 管流度 (cm)	ASTM D6103	[15-20][20-30][　　]
*註 1 坍流度 (cm)	CNS 14842	[40 以上][　　]
落沉強度試驗	ASTM D6024	一般型：[12][24][　　]小時 早強型：[3][4][　　]小時
28 天抗壓強度 (kgf/cm^2)	ASTM D4832	[90 註 2][　　]以下
氯離子含量	CNS 13465	符合 CNS 3090 之規定，如無鋼材腐蝕疑慮時，報請工程司同意後，得免辦理本項試驗

作業問題[6,7,8,9]。CLSM 於國外之作法係用來取代傳統回填工程之級配料，並限定抗壓強度不超過 300 psi(21 kgf/cm^2) [10,11,12,13]。因國內之管線設施大多埋設在主要通行道路上，故引進 CLSM 初期多規定抗壓強度為 20~70 kgf/cm^2 或 10~90 kgf/cm^2，直到工程會施工綱要規範第 03377 章公告後，CLSM 之性質(詳表 2)方有較一致之遵循依據。

管挖工程實務中，除屬於多層重疊管路或單層並排管路等，存在如鋼筋排列般之間隙，需要藉高流動性之 CLSM 充填外，通常只要具備能使用一般混凝土預拌車順利卸料之工作度，均足以

填充管道無虞，故表 2 要求欄才有[　]符號，此符號乃表示由工程主辦單位依工程需求自行設定。因現今國內相關單位，為求 CLSM 之流動性質，皆要求坍流度須達 40 cm 以上，故一般均將水灰比或水膠比提高至 1.5 以上，並以卜作嵐飛灰或爐石粉取代一定比例之水泥，致 CLSM 之早期強度較難符合實務環境需求。

土石方 CLSM 之產製與施工策略

因實務進行中無法在短期內依現今 CLSM 規範要求，實測開挖土方成分中之有機質含量，故研究直接使用含土壤固化劑、高細度爐石粉等具土壤改良與填縫效能之 HSC-301 水泥處理劑作為 CLSM 之膠結材料，藉以提高 CLSM 工作度與強度之穩定性。另為盡量達到「挖填平衡」目標，同時兼顧使 CLSM 之抗壓強度能符合高雄市政府工務局施工規範第 03377 章 CLSM 之目標強度 35 kg f/cm^2 以上之要求，本研究再提出直接利用既設道路開挖材料拌製之 CLSM(簡稱土石方 CLSM)之產製與施工策略如下：

一、前置作業

1. 於工區內或工區附近預先尋覓 CLSM 拌製場地(約 15~20 m^2)，並以小山貓得以運卸之距離為佳。
2. 預先準備材料計量設備 (包括 RAP、級配料、路基土壤及拌合水)，並儲存足夠水量。
3. 委託一般實驗室或研究機構進行 CLSM 配比設計試拌，求得建議配比據以使用。
4. 依建議配比估算各類材料使用量。

二、分層開挖與備料

1. 全厚度 AC 切割，將面層 AC 挖除料運送至合作之瀝青拌合廠，並取得預估 RAP 與級配補充料運回工區堆置。
2. 分兩層開挖基底層級配料與路基土壤，並將開挖材料分堆放置於工區預設之拌製場地。
3. 依建議配比估算 HSC-301 膠結料放置於工區預設之拌製場地。

三、CLSM 試體製作及試驗

1. 利用簡易拌合機具直接於工地拌製 CLSM。
2. 進行新拌混合料坍度或坍流度試驗，並控制坍度大於 10 cm 或坍流度大於 15 cm 。
3. 以每 24hr 為級距，製作邊長約 20 cm 之 CIST 試體，並以 20kg 錘重之 CIST 測試 24、48 及 72 小時之 CIV 值作為工作強度參考依據，CIST 測試方法參照 ASTM D5874[14]。
4. 製作 3 天、7 天及 28 天抗壓試驗試體，並將試體帶回實驗室進行抗壓強度試驗。

土石方 CLSM 之試拌成果分析

CLSM 使用之配比材料及性質如下：

1. 膠結材料:使用 HSC-301 水泥處理劑，比重 2.9。
2. 填充粒料:使用粒徑 9.5~19 mm 之 RAP；平均比重 2.45；粒徑 37.5mm 以下之基底層級配混合粒料，平均比重 2.60；路基土壤，平均比重 2.67。
3. 初期試拌配比參考往年研究成果[15]，試拌配比如表 3.；結果如表 4 與表 5。

由表 4 之坍度或坍流度試驗結果發現，其與常被用於一般護欄、擋土牆、邊溝或箱涵等構造物兩側回填空間之常重混凝土要求坍度值相近，以此坍度之 CLSM 回填溝寬 60 cm 以上之管路空間更無疑慮。另由重錘型(20 kg 錘重)之 CIST 結果顯示，三組配比之 48 小時 CIV 值皆達 20 以上，足堪接續進行 AC 鋪築。惟配比 A-1 之 28 天抗壓強度仍無法滿足高雄市政府工務局施工規範第 03377 章 CLSM 性質要求。

表 3 CLSM 之初期試拌配比

配比編號	使用材料(kg/m^3)				
	HSC-301	RAP 粗料	基底層級配料	路基土壤	拌合水
A-1	160	400	1200	400	160
A-2	180	400	1200	400	180
A-3	200	400	1200	400	200

表 4 CLSM 初期配比之工作度與 CIST 試驗

配比編號	工作度試驗		CIST 試驗		
	坍度 (cm)	坍流度 (cm)	24 hr (CIV)	48hr (CIV)	72hr (CIV)
A-1	12.8	18	15	20	23
A-2	13.2	18	17	22	25
A-3	13.6	20	20	23	27

土石方 CLSM 之建議配比

為使土石方 CLSM 更貼近「挖填平衡」目標，同時能符合相關規範之強度要求，並利實務運作，研究再以一原路面 AC 厚度 10 cm；級配料底層 30 cm 及級配料基層 40 cm；路基土壤 60 cm，開挖長度 10 m、寬度 60 cm 及深度 140 cm 之管挖工程，參照實務常用於估算之設計單位重，分析既設道路鋪面結構各層材料之開挖量，用以調整土石方 CLSM 之配比設計試拌，並依試拌結果提出最佳建議配比。相關材料單位重、開挖量與 CLSM 配比材料用量如表 6 與表 7。

因原鋪面材料工地密度達 98%以上，單位重較大，而 CLSM 配比之填充粒料係使用質量分析，故在實體材料用量方面存在明顯差距。另就材料強度之卵石當量而論，依序為底層級配料優於基層級配料優於 RAP 優於路基土壤。

若以「挖填平衡」為優先目標而大量使用路基土壤，又要確保 CLSM 強度能符合目標需求，除了須提高膠結料用量外，CLSM 之 72 小時內強度亦難控制，故研究乃朝稍微提高填充粒料總量及降低水膠比之策略，以維持回填料體積方向調整初始配比設計如表 8 及表 9，並比照初始配比製作試體及相關試驗如表 10 及表 11。

實務環境中，基底層級配粒料取得容易，RAP 更是屯積量高且急待去化之資源材料，預先準備非常容易。由表 9 顯見二期試拌之配比中，除 RAP 補充率稍高外，級配料及路基土壤部分已非常接近「挖填平衡」目標，又由表 10 之工作度及 CIST 試驗之 48 小時 CIV 表現，結果皆符合目標需求。由表 11 發現，28 天抗壓強度試驗結果，除 B-1 配比仍無法滿足高雄市政府工務局施工規範第 03377 章 CLSM 之性質要求外，其餘配比皆能符合。

又一般用戶接管工程之開挖量小，依上例加倍計算，總回填量小於 20 m^3，膠結料使用 200 kg/ m3 時，依現今市價(含運費)，每公斤約 3.5 元計算，400 kg 之材料成本僅存在 1400 元之差額，故選擇使用易施工之 B-3 為建議配比應更合適。

表 5 CLSM 初期配比之工作度與 CIST 試驗

配比編號	抗壓強度(kgf/cm^2)		
	3 day	7 day	28 day
A-1	14.8	23.4	34.4
A-2	15.7	27.4	39.2
A-3	16.5	30.9	41.3

表 6 原鋪面結構材料單位重與開挖量

使用材料	單位重 (t/m3)	開挖體積 (m3)	開挖重量 (t)
RAP	2.35	0.6	1.41
底層級配	2.20	1.8	3.96
基層級配	2.10	2.4	5.04
路基土壤	2.00	3.6	7.20
小計	-	8.4	17.61

表 7 CLSM 初期試拌之粒料佔比

使用材料	開挖量佔比 (%)	配比量佔比 (%)	較差 (%)
RAP	8	20	-12
基底層級配	51	60	-9
路基土壤	41	20	+21

表 8 CLSM 二期試拌配比

配比編號	使用材料(kg/m^3)				
	HSC-301	RAP 粗料	基底層級配料	路基土壤	拌合水
B-1	160	315	1050	735	144
B-2	180	315	1050	735	162
B-3	200	315	1050	735	180

表 9 CLSM 二期配比之粒料佔比用量比較

使用材料	開挖量佔比 (%)	配比量佔比 (%)	較差 (%)
RAP	8	15	-7
基底層級配	51	50	-1
路基土壤	41	35	+6

表 10 CLSM 二期配比之工作度與 CIST 試驗

配比編號	工作度試驗		CIST 試驗		
	坍度 (cm)	坍流度 (cm)	24 hr (CIV)	48hr (CIV)	72hr (CIV)
B-1	11.5	16	13	20	21
B-2	12.0	17	16	21	23
B-3	12.8	19	20	23	27

表 11 CLSM 二期配比之抗壓強度

配比編號	抗壓強度(kgf/cm^2)		
	3 day	7 day	28 day
B-1	13.8	21.7	32.0
B-2	15.5	25.2	36.5
B-3	17.4	28.2	38.6

土方 CLSM 之施工策略

市區道路之施工要件，除需兼顧施工安全與品質外，縮短施工時程及減少揚塵、噪音污染等皆須特別注意，同時需考慮盡量減少施工車輛與機械之運行，據以降低施工過程之碳排放量。

土方 CLSM 施工策略之選擇，取決於工程規模之大小。在現地以每盤 0.25~0.5 m^3 之小型拌和機具搭配小山貓裝卸 CLSM 之方式(如圖 3)，以最保守每日六小時計算(約 10 分鐘/盤)，一天之最大施工量約 9~18 m^3，故要控制 CLSM 能於回填完成 72 小時內接續鋪築 AC，並於最短時間開放通行，最佳施工步驟乃先完成全案之開挖與埋管作業後，將不必要之施工機械與車輛全部移除，再進行 CLSM 產製與回填作業，同時亦有足夠空間製作試體及養護。至於工程量稍大且需較長工期之案件，得另覓空間以挖土機拌和(如圖 4)或於拌合廠生產 CLSM，並以混凝土預拌車載載運回填。

結論與建議

本文主要以工程實務觀點，藉回填材料與工法之改良，將既設道路之開挖材料作為 CLSM 之填充粒料，用於有急需短時間內開放通行之民生用戶接管工程，使其兼顧抗壓強度符合高雄市政府工務局施工規範第 03377 章 CLSM 之強度要求，並盡量達到「挖填平衡」目標。

結論

1. 研究結果顯示，使用 HSC-301 水泥處理劑作為膠結材料，有助於穩定土石方 CLSM 之工作度與早期強度。
2. 研究發現體積量一定時，藉提高填充粒料使用量並適度降低水膠比之策略，對土石方 CLSM 早期強度之提升具實質成效。
3. 土石方 CLSM 應用於回填量在 18 m^3 以下之民生用戶接管工程，可於回填完成 72 小時內接續鋪築 AC 無虞。



圖 3 利用小型拌和機拌製 CLSM



圖 4 利用挖土機拌製 CLSM

建議

1. 現行 CLSM 施工規範中，對現場開挖土石方應依 ASTM D2487 加以分類，其中泥炭土、高塑性有機質土及低塑性有機質土含量不得大於[10][ ]%之要求，在工程實務上，亟難履行，建議刪除。
2. 有急需於短時間內開放通行路段之道路挖掘施工案件，建議應允許 CLSM 採現場拌和施工方式進行，並不再特別設限。
3. 利用重錘型 CIST 施測之 CIV 值達 20 以上，作為研判 CLSM 續行 AC 鋪築時機之參考指標應屬可行，建議參考使用。

參考文獻

1. 高雄市政府工務局(2008)，施工規範第 02336 章，路基整理。
2. 高雄市政府工務局(2023)，施工規範第 02722 章，

級配粒料基層。
3. 高雄市政府工務局(2023)，施工規範第 02726 章，級配粒料底層。
4. 高雄市政府工務局，施工規範第 03377 章，控制性低強度回填材料。
5. 交通技術標準規範公路類公路工程部(2002)，柔性鋪面設計規範。
6. 沈永年、陳仙州、王聰田(2001)，低強度高流動性混凝土於管道回填工程之應用，第十一屆鋪面工程學術研討會論文集，第 665-672 頁。
7. 陳仙州、黃三哲(2005)，MRC 與 CLSM 應用於道路回填工程之實務探討，中華道路，第 44 卷，第 3 期，第 17-28 頁。
8. 陳仙州、劉英偉(2009)，高屏暨台東區 CLSM 推動十周年之回顧與展望，混凝土科技，第 3 卷，第 4 期，第 56-63 頁。
9. 陳仙州、林登峰、黃三哲、洪明澤(2024)，零星管挖工程之創新施工技術，道路挖掘管理，第一期，第 30-39 頁。
10. 行政院公共工程委員會(2017)，控制性低強度回填材料 V1.0，施工綱要規範，第 03377 章。
11. ACI Committee 229 (1994), Controlled low-strength materials (CLSM) (ACI 229R-94), Concrete International, 16(7), 58~64。
12. Grassman, S. L., Pierce, C. E. and Schroeder, A. J. (2001), Effects of prolonged mixing and retempering on properties of controlled low-strength maternal (CLSM), ACI Material Journal, 98(2), 194~199.
13. Webb, M. C., Mccrath, T. J., and Selig, E. T. (1998), Field test of buried pipe with clsm backfill, the design and application of controlled low-strength materials (Flowable Fill), ASTM STP 1331, A. K. Howard and J. L. Hitch, eds., ASTM, West Conshohocken, Pa., 237-254.
14. ASTM D5874 (2016). Standard test methods for determination of the impact value (IV) of a soil. ASTM International, West Conshohocken, PA.
15. 陳仙州、林登峰、黃三哲、孫百慶(2025)，RAP 應用於零星道路挖掘工程之研究，道路挖掘管理，第二期，第 60-66 頁。

淺談鳳山鐵路地下化於青年路地下道與中油管群衝突之因應經驗分享

吳宇宙/交通部鐵道局南工分局簡任技正兼段長
江明珊/台灣世曦工程顧問股份有限公司高捷專案 專案協理/大地技師
廖敏松/台灣世曦工程顧問股份有限公司嘉南工程處 副理
邱浤洧/台灣世曦工程顧問股份有限公司高捷專案 工程師

摘要

本篇以高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫 C411 標工程為背景，探討都會區施工環境中，隧道結構與中油高壓管群嚴重干涉之因應經驗。青年路地下道段因地下橫亙 14 支包含乙烯、丙烯、汽柴油等高危險管線，且位處交通動脈與營運鐵路旁，施工條件極端受限。為兼顧施工安全、交通維持與市民通行需求，工程採取「先鋼便橋工程、後管遷作業、再隧道工程」之階段性策略，並配置中油管遷空間於鋼便橋下方之特定高程(EL +10.00 至 +10.86)，以騰空後續隧道施工區。特別分析了 103 年因管線實際埋深與竣工圖資嚴重不符(僅 1.25 公尺)導致之損管事件，進而說明了「竣工圖資僅供參考，需以實際探挖方為實據」之方向，並導入透地雷達與二度探挖機制。本案例之經驗分享，可作為未來都會區重大公共建設處理複雜地下障礙物與跨單位界面整合之實務參考。

前言

隨著都市計畫的演進，交通瓶頸的排除往往涉及複雜的地下空間開發。高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫中，「C411 標正義路段隧道工程」扮演其關鍵工程，其中青年路地下道段更是全線最具挑戰性的瓶頸區之一。

青年路地下道不僅是鳳山地區南北交通之動脈，其下方更橫跨 14 支供應南部工業區之重要高壓石化管線，包含乙烯、丙烯、汽柴油及燃油等敏感性管路(圖 1)。由於既有管線與鐵路隧道永久結構之高程發生嚴重衝突，如何在維持營運中鐵路安全、確保都市交通不斷線，並在極限空間內完成高風險石化管線之遷移，成為本工程能否順利推進的關鍵。本文旨在分享該路段於施工界面整合、損管事件應變之實務經驗，提供未來類似都會區深開挖工程參考。

工程背景與管線衝突分析

地理環境與結構限制

本工程隧道區段與青年路地下道衝突，由於青年路車流量極大，為顧及交通，故改採鋼便橋方式供車輛通行，其中施工範圍緊鄰營運中之台鐵東、西正線，施工空間極度狹小。中油高壓管群需遷移上抬橫跨於隧道上方，形成上層為高架橋道路、中層為石化管、下層為鐵路隧道(圖 2)。

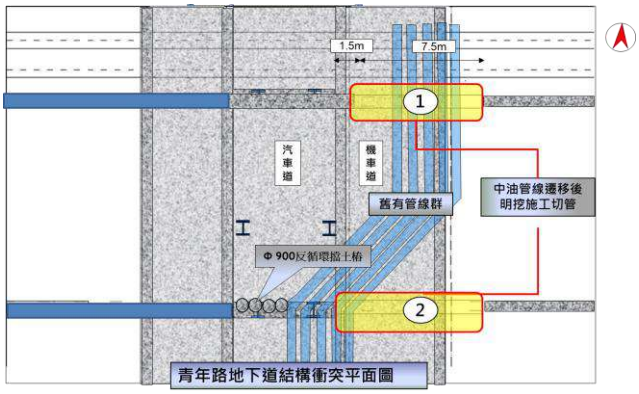


圖 1 既有管線與地下道衝突平面圖[1]

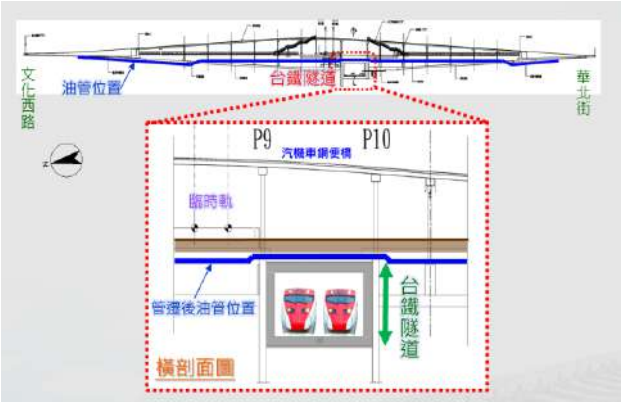


圖 2 台鐵隧道橫剖面圖[2]

設計階段管線衝突解決對策

根據設計階段調查與中油提供之圖資，既有 14 支管線沿青年路地下道下方穿越鐵路，其間於通過地下道最低點後在北側段向外偏出至機車道外之管道間(圖 3)。其與隧道結構高度重疊，為解決高程衝突，經多次與中油單位界面協商，確立了施工方案。主要施工方式包括[2]：

1. 空間整合：將管群移至隧道上方，其中利用封閉快車道維持機慢車道通行方式，於快車道施作鐵路隧道之連續壁作為臨時鋼便橋之基礎。
2. 管群高程配置：於鋼便橋下方施作管架，將中油管線遷移之配管採吊掛保護方式(圖 4)，使管線能遷移至隧道頂版上方位置，待隧道完成後，再行管線回填保護，無須重新管遷。

施工對策與界面整合

青年路地下道作為鳳山地區南北向之交通命脈，其施工難度不僅在於地下管群的遷移，更在於如何在狹窄的施工空間與高密度的車流量之間取得平衡。考量到全面封路將對周邊交通造成衝擊，設計與監造團隊經多方協調，決定透過「臨時鋼便橋」，將結構施作與交通維持併行處理。

階段性交通維持策略略

利用分區施工與結構兼用的方式，將隧道連續壁轉化為鋼便橋基礎，進而創造出管線遷移所需的垂直空間。整體施工計畫依序分為以下四個關鍵階段(圖 5)：

1. 第一階段： 封閉快車道，於原快車道位置施作兩側隧道連續壁，該連續壁同時作為鋼便橋(P9、P10)之基礎樁。
2. 第二階段： 架設跨越式鋼便橋，將原本行駛於地下道的車流引導至鋼便橋通行。
3. 第三階段： 待車流改道後，方能騰空原機車道及人行道下方空間，進行石化管線的遷移與隧道工程。
4. 第四階段：鋼便橋拆除及道路復舊作業進行。

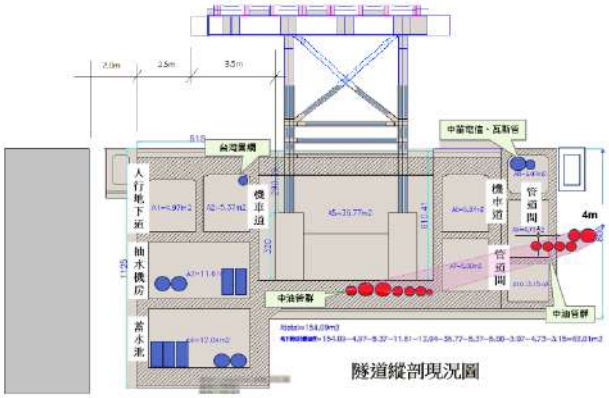


圖 3 青年路地下道橫斷面圖[2]

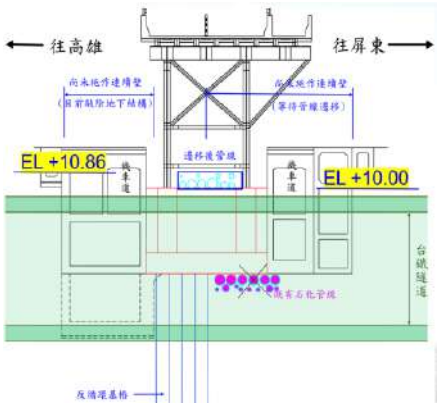


圖 4 高程剖面示意圖[2]

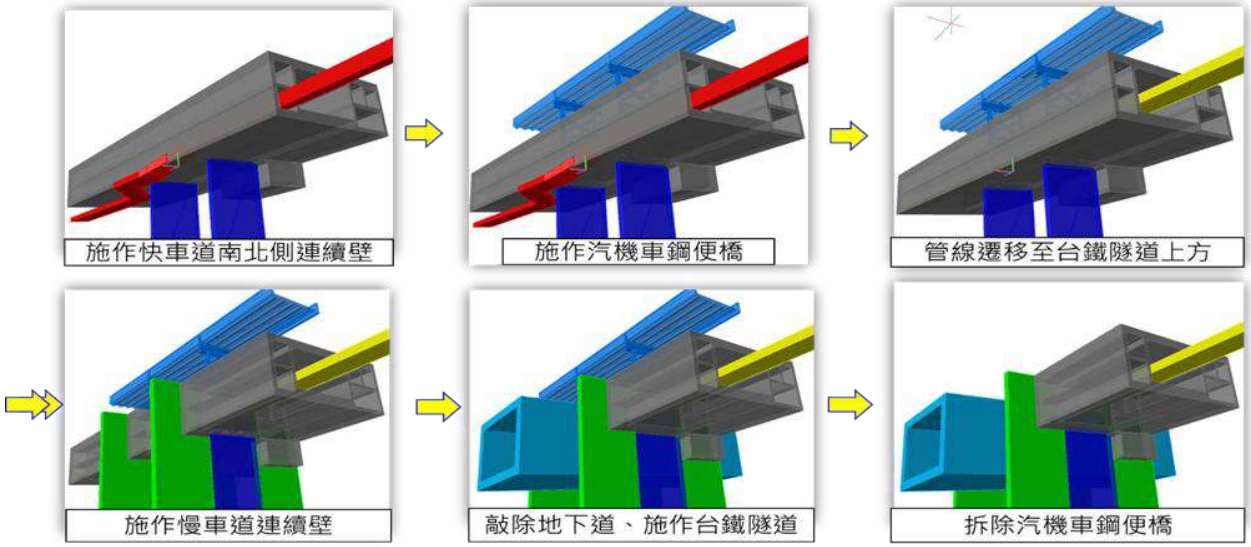


圖 5 本工程施作流程圖[1]

損管事件分析與優化對策

損管油汙事件始末

鑒於地下油管之高風險性，於青年路地下道底板探挖前即進行現場會勘放樣及勤前教育，並邀請管線單位派員現場監看。於 103 年 10 月 28 日，承商在進行青年路南側連續壁之地下道底版破除作業時(圖 6、7)發生油氣外洩，現場伴隨有褐色油汙滲出，經查挖損中油柴油管線。

1. 事發主因：根據調查之管群竣工圖資，該管線應位於機車道下方的管道間中，預期深度較深。然而實測發現，該管線實際埋深僅離底版頂 1.25 公尺且平面位置與圖資標示有顯著偏差(圖 8)。
2. 緊急應變：現場與管線單位判斷挖損油管種類，並立即通報警消單位封閉道路並成立指揮中心(圖 9、10)[3]。
3. 搶修作業：與管線單位進行搶修會勘，並由中油進行抽油搶修，先進行出油孔清理，接著以木楔填補破洞，並由環保局進行氣體採樣，確認環境中皆無可燃氣體後研議開放通車(圖 11-16)[3]。



圖 6 現場地下道底版破除作業[2]



圖 7 現場挖出後之油管佈設位置[2]

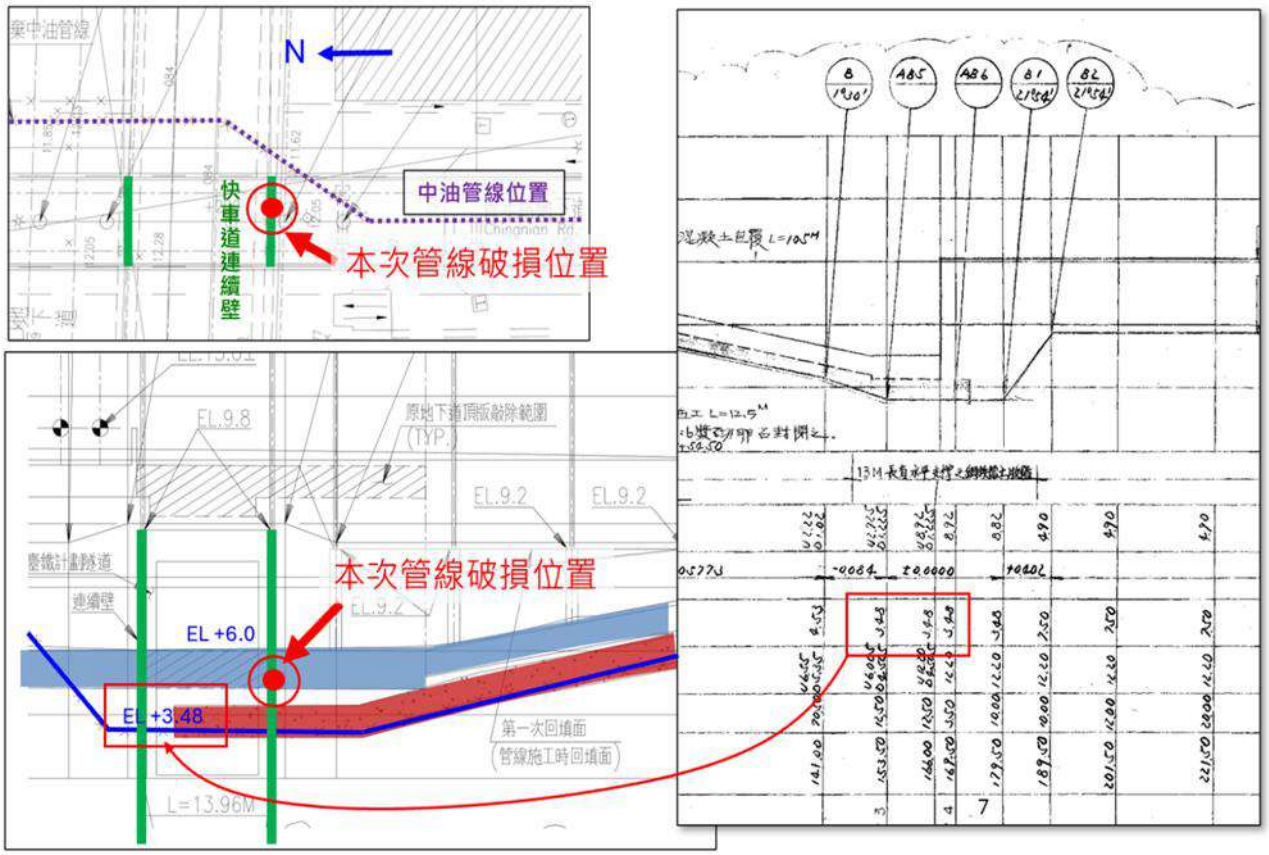


圖 8 竣工圖資與實際破損位置高程差異圖[3]



圖 9 現場量測油管深度[3]



圖 13 抽取漏油管線油汙[3]



圖 10 緊急指揮所成立[3]



圖 14 木楔填補破洞[3]



圖 11 消防人員現場待命[3]



圖 15 環保局檢測氣體取樣分析[3]



圖 12 現場搶修會勘



圖 16 各單位研議開放通車

後續對策與管理機制優化

此事件後，本工程全面檢討地下管線之探測程序，建立三項管線挖掘基礎：

1. 雙重檢測機制：因導入透地雷達(GPR)進行大範圍掃描，確認疑似牴觸點，並且與管線單位持續協商確認正確位置。
2. 二度人工探挖：應在連續壁施作前，先進行人工探挖，並由各管線單位(中油、台電、台水、石化等)派員現場會勘簽認。
3. 圖資疑義原則：由於早期許多地線管線圖資遺失或建置不完全，目前圖資僅供參考，應以探挖方為實據，方可啟動大型機具作業。

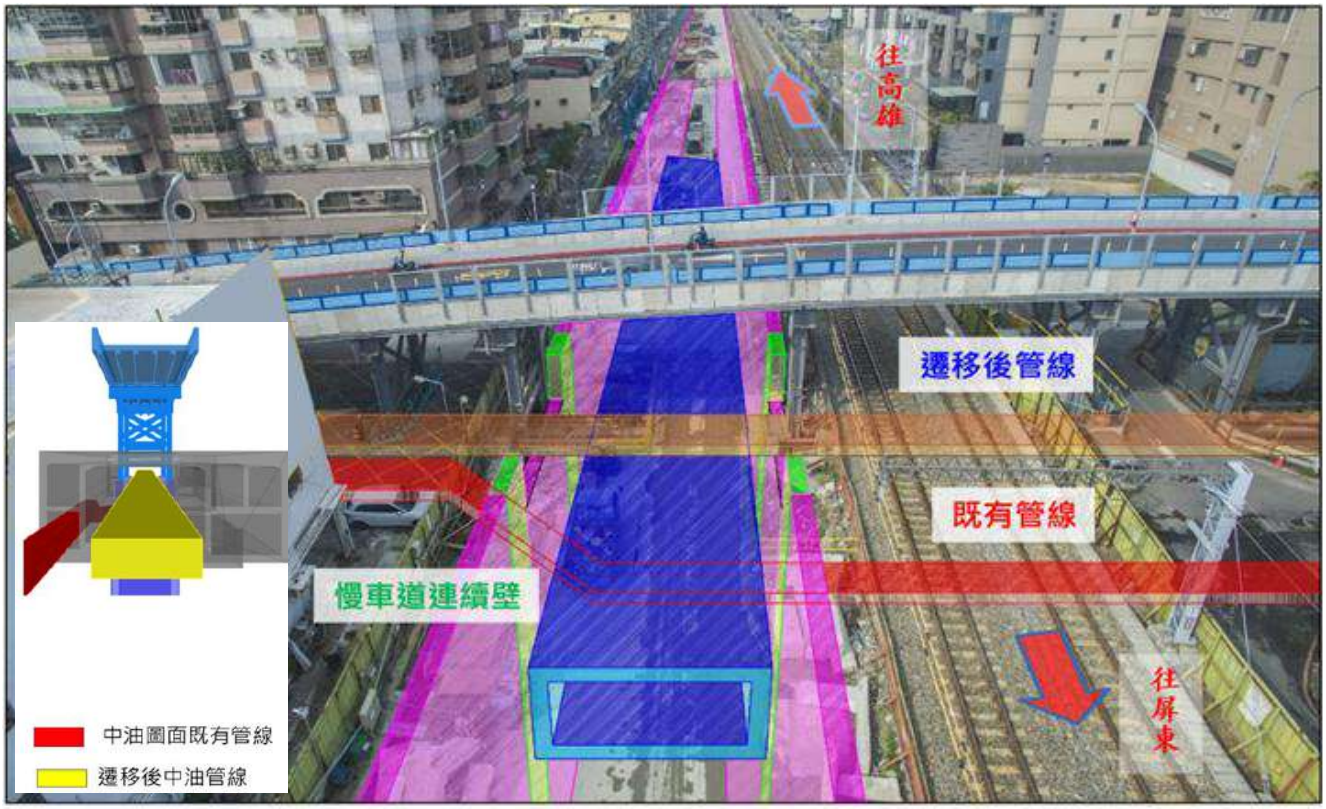
對後續地下化捷運工程之建議

基於本工程青年路處理石化管群的經驗，針對未來行經高敏感管線區的地下隧道工程，提出以下三點關鍵建議：

1. 設計階段的主動確認：鑑於老舊管線圖資的高誤差風險，建議在規劃階段即編列預算進行大規模人工探挖與透地雷達掃描。將探得的高程應於招標圖說進行，避免承商進場後才因圖資不符引發損管意外。
2. 建立高程確認機制：車站與地下管線的空間衝突是必然的。建議預先規劃車站頂版與路面間的「管遷共同管溝」，並定出明確的配置高程。這能統一各管線單位的遷移基準，避免管線與捷運支撐結構發生二次干涉。
3. 產能與施工同步協調：管線切換涉及產業命脈將管遷斷管作業與管線單位之年度歲修計畫掛鉤。透過施工調度，以爭取施工期程。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2016)，青年路中油管遷協商說明簡報。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2015)，高雄鐵路地下化鳳山監造工程處高雄鐵路地下化 C411 標青年路中油會議紀錄。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2015)，1031028 中油管線事件原由簡報。



附圖 管線遷移 3D 示意圖[1]

淺談高雄市楠梓再生水廠 BTO 案取水工程設計

梁錦淵/高雄市政府水利局 副局長
陳柏仰/中興工程顧問股份有限公司 技術經理
郭育仁/環興科技股份有限公司 計畫主任
徐懿蕙/環興科技股份有限公司 工程師

摘要

高雄市政府積極推動建構南部半導體生態系，其中以北高雄為高雄未來產業發展核心，重要據點包含橋頭科學園區、南科高雄園區及楠梓產業園區等，產業用水需求日益攀升。鑒於近年來氣候變化劇烈，造成南臺灣降雨分布極端不均勻，產業用水面臨缺水危機，因此經濟部會同內政部國土管理署及高雄市政府，針對楠梓產業園區辦理「高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案(BTO)」，預計供應其每日 7 萬噸再生水。為穩定楠梓再生水廠之水源，本案分別規劃於青埔溝及愛河上游設置截流設施，並於既設污水主幹管人孔 B15 及 A30 進行取水。過往於既設大口徑污水管線進行分流取水時，由於施工過程無法進行停水作業，進而增加施工難度及職安風險，而本案設計於既設 B15 人孔取水，係利用既設之擋土設施進行開挖，先行完成分流所需之結構設施後，於離峰時間配合關閉上游截流設施減少管內水量後再進行既設人孔之臨時導排水，最後才進行斷管作業。設計以先建後拆的工序期能大幅減少水下作業時間，保障施工安全並能順利銜接。

前言

依據高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案之可行性評估報告，考量高雄地區近年來因氣候變遷，豐枯水季降雨量達到 11：1，降雨時空分布不均且越極端，造成水資源管理艱鉅[1]。枯水期為維持民生與工業用水穩定，僅能透過移撥農業用水或降低供水水壓等方式克服旱災。隨著產業發展趨勢，水資源需求日益增加，預估至民國 125 年高雄地區缺水量每日將達 9.2 萬立方公尺，須預為考量未來缺水問題。公共污水處理廠放流水具流量穩定、不受天候限制的優勢，經妥善處理後即可供應特定用途之產業，已逐漸成為缺水國家開發新水源多元供水的可行選項之一，並促使再生水成為產業用水穩定的替代水源。

高雄市政府為推動產業轉型、擴大就業機會，並強化台灣半導體產業競爭力，積極布局南部半導體 S 廊帶(如圖 1)，藉此提升代工製造優勢、確保關鍵人才供應，並掌握戰略技術與資源。其中，楠梓產業園區為廊帶中的核心據點，市府高效率完成園區整治工程，成功促成台積電設廠高雄，進一步吸引半導體材料供應鏈廠商加碼投資，帶動產業聚落形成，加速南部半導體生態系的建構。

然而隨著台積電先進製程持續發展，楠梓產業園區對再生水的用水需求日益攀升。為因應此需求，經濟部會同內政部國土管理署及高雄市政



圖 1 楠梓產業園區為 S 廊帶重要樞紐

府，規劃推動「高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案(BTO)」(以下簡稱本案)，預計每日供應 7 萬噸再生水，以穩定支應產業用水，強化南部科技產業發展的基礎與韌性。

楠梓再生水廠 BTO 案概述

本案依據興建營運基本需求書預計於高雄市楠梓污水處理廠東側面積約 3.5 公頃用地，設置再生水廠一座及滿足再生水廠營運所需之取水及輸水系統(如圖 2)；工程完工後則接續負責辦理相關設施之操作維護。新建再生水廠設計可處理 3 萬 CMD(Cubic Meter per Day)的污水，加上收受楠梓污水處理廠 7.5 萬 CMD 的放流水，合計 10.5 萬 CMD 之原水，以滿足產製供應 7 萬 CMD 再生水的需求。

由於楠梓污水區用戶接管建設中，全部完成後生活污水量亦不足 10.5 萬 CMD，故需興建截流、取水系統，包含截流設施、分流設施、抽水站與取水管線以補充污水量，而依高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案之投資計畫書，規劃說明如下[2]。

青埔溝截流

青埔溝截流係為楠梓污水廠早期設置之截流設施，本案針對既設截流設施進行修繕後，即可利用既設截流設施及管線將青埔溝排水未納管污水截流至楠梓污水區污水主幹管，截流水量約 1 萬~1.5 萬 CMD，設計截流水量為 1.5 萬 CMD。

愛河上游文藻截流

預計於愛河上游鄰近文藻外語大學河道規劃設置 1m×1m 之截流溝進行截流，並以ϕ600mmRCP 截流管沿愛河渠底埋設，採重力方式將截流水送至獅湖公園之新設抽水站，再採壓力方式以管徑ϕ450mm 之 DIP 管之 HDPE 管輸送，管線長度約 840 公尺，管線接入高雄污水區污水次幹管既設人孔 BDk24a，截流水量約 0.75 萬~1 萬 CMD，設計截流水量為 1 萬 CMD。

高雄污水區 B15 人孔跨區取水

跨區取水係指自高雄污水區凱旋路污水主幹管 B15 人孔分流取水，污水自 B15 人孔分流後以



圖 2 楠梓再生水廠 BTO 案工程項目及位置圖

重力方式引至同盟一路三民公園之新設同盟路抽水站，取水量設計需同時考量高雄污水區污水主幹管韌性備援規劃之凱旋路污水主幹管(B15 人孔)至成功路污水主幹管(C01 人孔)之連絡管工程，以利高雄污水區污水主幹管未來操作維護之污水分流需求。

經整合跨區取水及後續連絡管之水量需求，規劃管徑ϕ2,000mm 之 RCP 管由 B15 人孔進行分流取水，以重力管輸送 24 萬 CMD 污水至新設同盟路抽水站後以壓力方式將其中 6 萬 CMD 污水跨區送入楠梓污水區 A 主幹管 A10 人孔，另 18 萬 CMD 污水則規劃於另案建設之連絡管送至成功路污水主幹管 C01 人孔。

本案之跨區壓力取水管以管徑ϕ900mm 之 DIP 管輸送，管線長度約 10,310 公尺，取水量約 4 萬~6 萬 CMD，設計水量為 6 萬 CMD。

楠梓污水區 A30 人孔取水

楠梓污水區之污水加上青埔溝截流、愛河上游截流及高雄污水區跨區取水，合計污水量可達 9.2 萬~11.8 萬 CMD。其中污水於楠梓污水區污水主幹管 A30 人孔新增分流管送入楠梓再生水廠處理，該分流管採重力方式，以管徑ϕ1000mm 之 DIP 管或 RCP 管輸送，由援港路經再生水廠用地接入再生水廠進抽站，取水量約 3 萬 CMD(以 3.3 萬 CMD 進行設計)，剩餘污水則繼續往下游至楠梓污水處理廠進抽站。

上述取水系統中以自高雄污水區凱旋路污水主幹管 B15 人孔跨區取水之水量最大(如表 1)，工

程最複雜，茲就與道路挖掘相關之分流設施及取水管線工程設計進一步說明。

分流設施與取水管線設計檢討

B15 取水設計考量要點

本案高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案之基本設計報告於既設污水系統進行分流取水，可選擇由管線破管取水或於人孔開孔取水。而當取水量較大，取水點多選擇於系統中下游之主次幹管方可滿足，其多為埋設較深、採推進或潛盾施工之大口徑管線，因管內水量大且無法停水，導排水作業極為困難，一般設計考量結構因素多採人孔開孔取水。以破管取水而言，除需選擇合適開挖擋土設施外，另需依現況地質與管線結構狀況進行土質改良，以確保開挖面之穩定性，並需考量破管之職安風險及污水溢流之污染。

本案規劃於高雄污水下水道系統既設 B15 人孔設置分流設施，採重力方式輸送最大水量 24 萬 CMD 污水至三民公園新設之同盟路污水抽水站，以利高雄污水區內污水紓流及跨區輸送至楠梓污水區，優先以跨區輸送 6 萬 CMD 污水為主，透過新設抽水站以壓力管將污水跨區送入楠梓污水區之主幹管後，流入再生水廠進行處理。

關於既設 B15 人孔跨區取水，除了需評估高雄污水區既設污水主幹管污水量是否足夠、楠梓污水區管線系統是否可以容納該水量外，其既設 B15 人孔分流設施配置、施工安全、管線埋設路徑、重力及壓力管線水理等問題亦需整體進行檢討[3]。

取水點水量調查及系統水理分析

調查現況水量符合取水需求

為確認 B15 人孔可提供跨區取水之水量，需針對 B15 人孔進行流量調查，由於 B15 同時有多支管線銜接，流水面混亂難以監測，故改監測位於上游之 B14 人孔水量作為 B15 人孔可供跨區取水量。本案自 113 年 4 月 19 日佈點辦理監測，B14 管段屬非滿管流之重力管，故以 B14 人孔水位為監測項目，按 B14 管段管徑及坡度計算流量後紀錄分析，每 5 分鐘記錄一次，監測記錄截至 113 年 5 月 7 日為止，分就瞬時最低流量、瞬時最高流量及 24 小時累積流量分析，刪除豪大雨日及異常流量 4 月 25、26、28 日及 5 月 1 日，B14 人孔 24 小時累積流量 360,325 ~ 788,297 CMD；瞬時最高流量 39,418 ~ 45,729 CMH(Cubic Meters per Hour)；瞬時最低流量 7,841 ~ 10,400 CMH，該水量足以提供本案 2,500 CMH 取水需求。

表 1 截流及取水系統設計水量一覽表

項次	截流及取水系統	設計水量
1	青埔溝截流	1.5 萬 CMD
2	愛河上游文藻截流	1.0 萬 CMD
3	高雄污水區 B15 人孔跨區取水	6.0 萬 CMD
4	楠梓污水區 A30 人孔取水	3.3 萬 CMD

楠梓污水區 A 主幹管水理檢核

由高雄污水 B15 人孔跨區取水 6 萬 CMD 污水納入楠梓污水區 A08 人孔，另恢復青埔溝截流取 1 萬 CMD 污水納入楠梓污水區 A04 人孔，後由楠梓污水區 A30 人孔分流 3 萬 CMD 污水進入再生水廠進行處理，其中跨區接入楠梓系統之 6 萬 CMD 非屬楠梓污水區管線系統原規劃收集水量，故針對 A08~A32 管段水理進行水理檢核，確認其水量是否超出系統負荷。依本案之可行性評估報告推估，截至民國 130 年為止，楠梓污水區最大之收集水量約為 6.3 萬 CMD，以此為尖峰污水量進行檢核，則 A 主幹管各管段餘裕水量皆符合需求。經前述分析顯示可行，但系統操作時仍應隨時掌握楠梓污水區主幹管關鍵點之流量，依此調整跨區之進流水量，以避免楠梓污水區 A 污水主幹管水量超出負荷。

分流設施配合現場條件檢討

既設 B15 人孔空間不足，無法設置取水管

B15 主幹管管徑為ϕ2800mm，依據 B15 人孔之竣工圖顯示，B15 管段是以連續壁開設矩形工作井後，外部管段採潛盾施作至連續壁，內部則採場鑄進行施工，以 RCP 管道連接潛盾段管段及 B15 矩形人孔。矩形連續壁工作井內徑空間為 13m×8.0m，而 B15 矩形人孔內部空間則為 3.9m ×3.4m(如圖 3)。

經資料收集與現勘確認，B15 矩形人孔目前四面牆均有大管徑管線銜接，已無空間增設原規劃之ϕ2000mm 取水管，故本案設計採用破管取

水方案。

配合閃避現地設施，採縮小管徑取水

原規劃 B15 人孔取水採管徑ϕ2000mm 推進施工，以重力方式分流 24 萬 CMD 至抽水站進行跨區取水，惟管徑ϕ2000mm 所需之推進井空間為 10m×5m(矩形)，到達井為 5m×5m(矩形)，所需之空間甚大，有鑒於施作之三民公園空間較為侷限(如圖 4)。

同時須閃避 B15 人孔之連續壁、既設之截流管線及地下之雨撲滿設施，經放大坡度、縮小管徑之水理檢討後，跨區重力取水管徑之設計管徑為ϕ1500mm，並利用抽水站開挖擋土空間做為推進工作井，僅需於 B15 人孔之既設連續壁旁設置ϕ3590mm 圓形鋼管到達工作井出坑，另以鋼套管推進施工與 B15 人孔分流設施銜接，可大幅節省施工空間並避免與 B15 人孔之連續壁、既設之截流管線及地下之雨撲滿設施牴觸。

分流設施先建後拆、不斷水施工

B15 人孔係屬於高雄污水區 B 主幹管之既設人孔，尖峰流量達 24 萬 CMD 以上，由於污水下水道管線無法停水，且上游端人孔距離甚遠，不易長時間進行導排水施工。本案設計構想為先完成分流設施與其下游抽水站、管線，再進行破管，流入分水井之污水則利用事前完成之取水系統送至楠梓污水廠，避免排入愛河影響水質。

首先針對既設 B15 人孔外圍之連續壁工作井進行開挖，由於現況既設連續壁上部已敲除，故需先於外側打設鋼板樁擋土設施，並開挖至既設連續壁後，方可利用既設連續壁擋土，開挖至既設主幹管頂部後，於既設主幹管雙側進行小規模開挖施作型鋼支撐設施，配合設置鋼纜吊掛支撐以保護主幹管後，再行完整開挖並施作分水井(如圖 5)。

接下來進行推進施工，以ϕ1500mm 分流管銜接分流設施，並於銜接設施施作分水閘門後，移除既設主幹管型鋼支撐及鋼纜吊掛等。後續 CLSM 回填作業完成後，於離峰時段配合停止上游段截流及既設 B14 人孔進行導排水作業，方才進行既設主幹管截斷或鑽孔作業(如圖 6)，最後以水下作業完成後續施工。

對於既有主幹管內水量大影響施工的對策，經查 B15 人孔上游設有蓮池潭、愛河上游、K 幹線及寶珠溝等截流設施(如圖 7)，截流水為目前主幹管內污水的主要來源，故既設主幹管進行截斷或開孔前，應考量調整上游段截流設施操作。依據施工需求於離峰時段停止截流，上游既設 B14 人孔亦可視情況導排水，降低水量以利進行破管施工。

重力分流管線水理符合標準

B15 重力跨區取水管線管線編號 B15a 位於同盟路一段三民公園內，設計管徑ϕ1500mm、坡度 0.22%，經計算於輸送全期水量 24 萬 CMD 時，流速為 1.85m/sec、水深比為 0.79，均可符合設計準則。

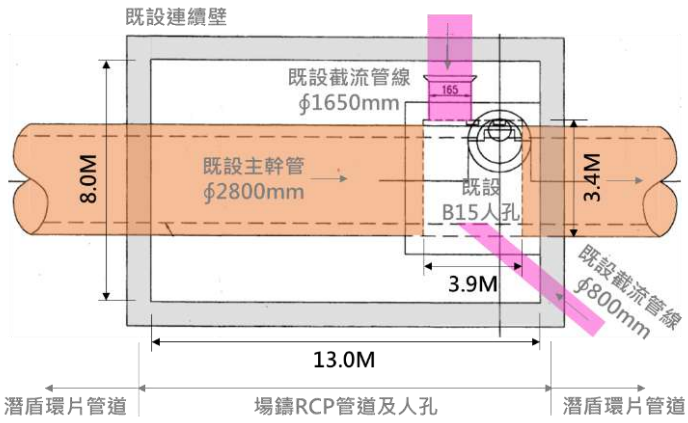


圖 3 既設 B15 人孔平面示意圖

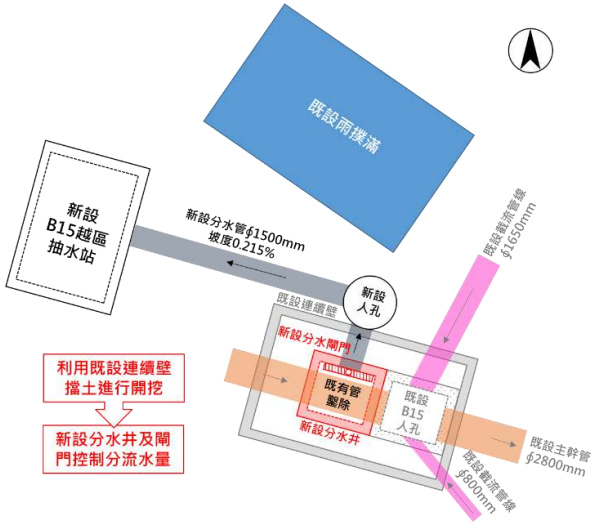


圖 4 新設 B15 分流設施配置檢討平面示意圖

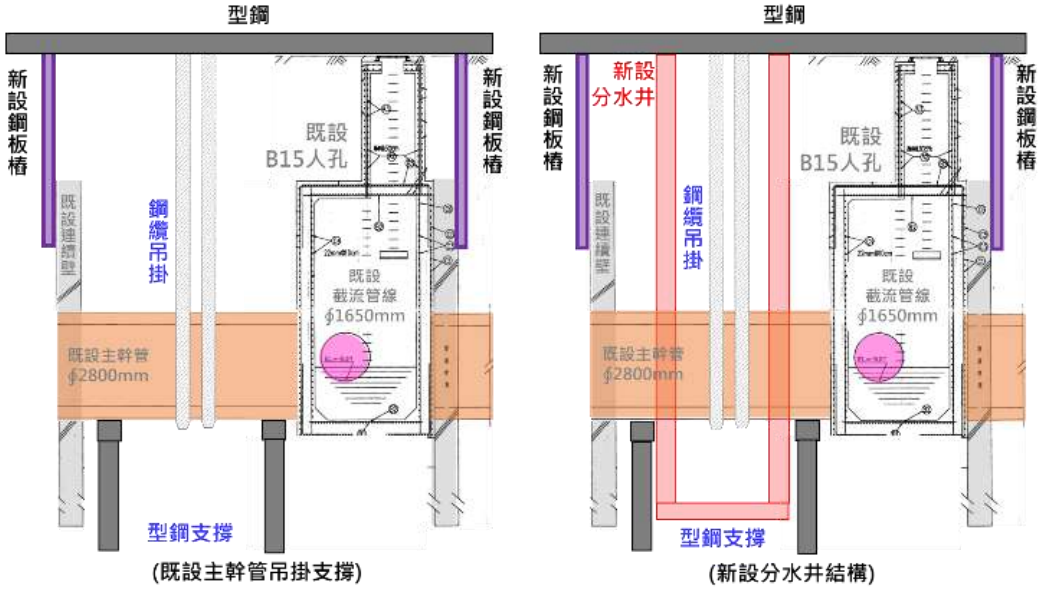


圖 5 型鋼支撐及鋼纜吊掛確保主幹管結構穩定性

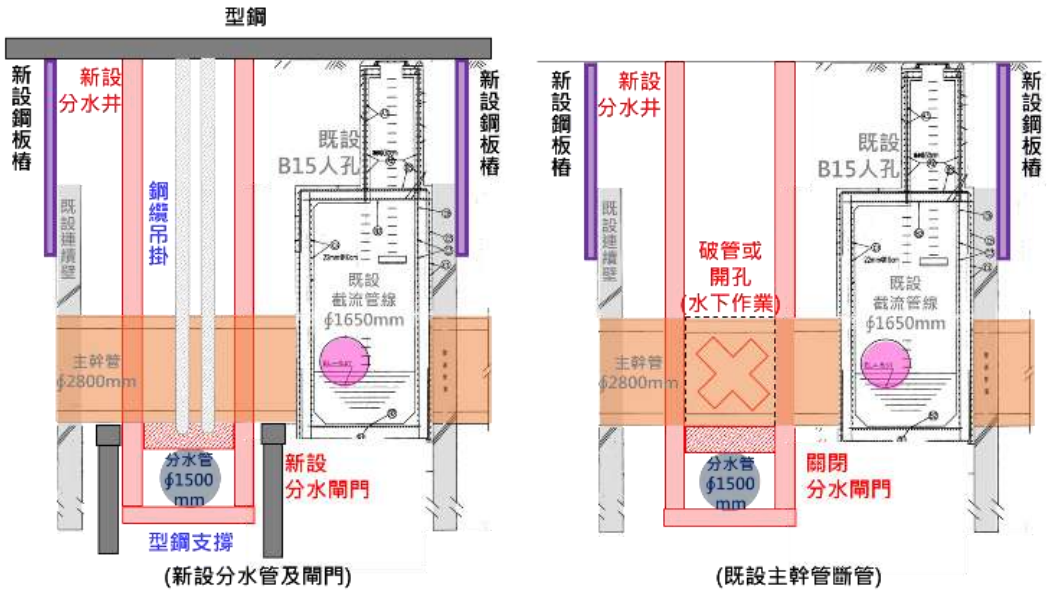


圖 6 分水閘門完成後進行截斷或鑽孔及後續施工

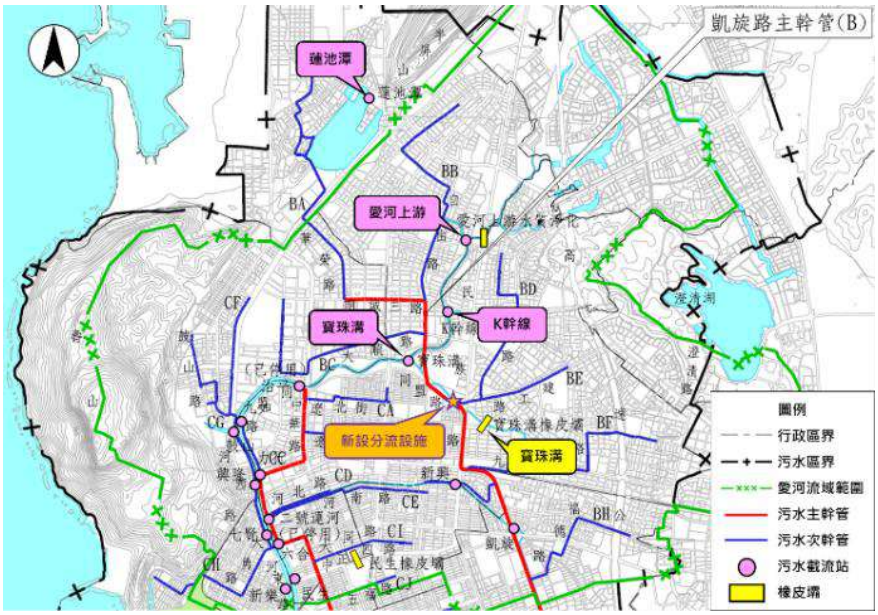


圖 7 分流設施上游截流站分布位置

壓力管線路徑檢討

跨區取水管線原需求書路線係由高雄污水區 B 主幹管 B15 人孔取水後由抽水站採ϕ900mm 壓力管輸送至楠梓污水區之 A 主幹管，原需求路線沿途經同盟一路、孝順街、民族一路、高楠公路、後勁溪防汛道路、穿越楠陽高架、楠陽路、金和街 168 巷、金和街及海專路，接入德民路楠梓污水區 A 主幹管 A10 人孔，管長共計 10,310 公尺，檢討遭遇問題如下：

1. 原需求書路線之由高楠路轉入後勁溪防汛道路將牴觸橋台。
2. 防汛道路僅 2~3 公尺寬屬堤防共構道路，已埋設電力、電信及仁大區 16 英吋(ϕ400mm)壓力放流管不易有施工空間。
3. 防汛道路推進穿越至楠陽路資源回收中心需同時穿越鐵路及車行地下道，並閃避陸橋設施，其施工風險較高。
4. 海專路管線密佈，含油管、瓦斯、污水(ϕ700mm)、雨水(1.35M*1.35M)、仁大放流管(ϕ900mm)、電力、電信，可用之人行道空間已由岡山橋頭水資中心之再生水輸送管線佔用。

經檢討建議路線前段部分維持沿同盟一路、孝順街、民族一路、高楠公路，惟針對原需求書路線高楠路轉後後勁溪防汛道路以後之路段提出替代路線，以避開既設管線密集路段及降低後續施工風險(如圖 8)，該段改沿高楠路穿越後勁溪後轉台 22 線(楠梓新路)至「馳騖寰宇」主燈公園旁，再由台 22 線(楠梓新路)穿越鐵路至「馳騖寰宇」主燈公園，沿「馳騖寰宇」主燈公園北走穿



圖 8 防汛道路後段障礙及風險

越加昌路至加昌路 18 巷，轉惠春街 13 巷接入惠春街，沿惠春街轉惠都路接入主幹管 A08 人孔，管長共計 10,183 公尺。

壓力管線水理檢核

跨區 B15 壓力跨區取水管線管線，明挖段管線採ϕ900mm 之 DIP 管，推進管採ϕ1200mm 之 RCP 管內套ϕ1000mm 之 HDPE 管扣掉管厚 59.7mm(採 SDR17 之 HDPE 管)，管內徑約為 880.6mm。本團隊進行本輸水管的水理分析係依據輸送流量、管徑、管長、管閥配置及現地高程等條件，採用美國環保署國家風險管理研究實驗室發展之 EPANET2 程式依 Hazen-Williams 公式進行檢核，以確保本取水管加壓污水經長距離壓力輸送後，水壓至進水點至少需達到 0.1kgf/cm^2。考量單管輸送 6 萬 CMD 之情形，依據 EPANET2 程式計算結果，B15 加壓抽水機所提供之揚程至少需達到約 39.79m(即 3.98kgf/cm^2)，以此壓力加壓時，壓力取水管線於楠梓污水區主幹管 A08 人孔餘壓可達約 1m(即約 0.1kgf/cm^2)，三民公園同盟路抽水站至楠梓污水區主幹管 A08 人孔，壓力管長度約 10,183m，管損總計為 16.2m，另經以 EPANET2 程式檢核水理分析結果皆可符合需求。

壓力管線水錘分析

當加壓泵停止運轉時，將造成取水管線之流量縮減，因而產生水錘波動。尤其當加壓站瞬間斷電時，加壓泵將因失去動力而瞬間停止運轉，造成管線流量瞬間截斷、水柱分離，其所產生之劇烈水錘波會在輸水管線內來回震盪傳播，並有可能造成輸水管沿線設備損毀。

而有關單泵停止運轉產生管線沿線之暫態水頭極大與極小值。當加壓泵因不可預期之電力中斷而瞬間停止運轉時，泵出口端於第一時間會產生巨大的負壓，且會傳播至整個管線。若在管材承壓強度不足的狀態下，更可能造成輸水管束縮破壞(如圖 9)。因此建議應於泵站出口端裝置複合式排氣閥，於緊急狀態下，適時導入空氣，降低極度負壓產生，以避免管線之損毀。

在正常運轉狀況下，透過調速緩慢停泵之操

作，可有效抑制水錘波動，降低管內壓。當泵浦線性調速關閉時間為 120 秒時，管路沿線仍有可能產生負壓，但約在 1kgf/cm^{2}的範圍內，管路沿線最大暫態水頭約與穩態加壓之水力坡降線相當(如圖 10)。因此建議泵浦線性調速關閉時間為 120 秒，可有效減緩泵浦關閉操作所產生之水錘波動影響。

結論

為穩定供應楠梓產業園區每日供應 7 萬噸再生水，辦理楠梓再生水廠 BTO 案，分別於青埔溝及愛河上游文藻進行截流、跨區 B15 人孔及既設楠梓系統 A30 人孔進行取水，其中以跨區 B15 人孔水之水量為主，工程亦最複雜。本案 B15 取水管線工程將沿同盟一路、孝順街、民族一路、高楠公路、高楠路、台 22 線(楠梓新路)至「馳驁寰宇」主燈公園旁向北進行道路挖掘施工，其考量之設計要點如下：

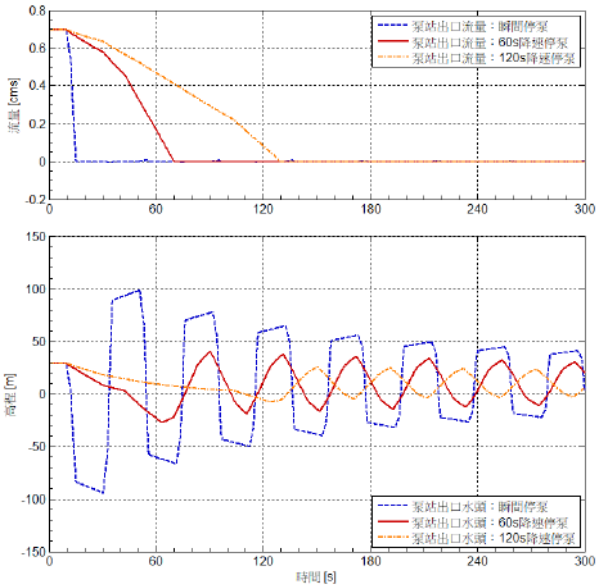


圖 9 泵浦瞬停時產生劇烈水錘波易造成管損

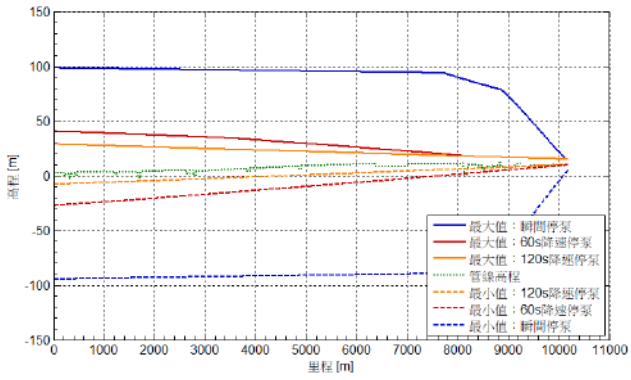


圖 10 調整泵浦關閉時間減緩水錘影響

1. 現況調查水量可符合取水需求，考量納入系統主幹管，其水理於尖峰餘裕水量亦符合，惟系統操作時仍應隨時觀察關鍵節點之流量，以有效調控跨區取水量，避免既設楠梓污水系統超出負荷。
2. 配合閃避三民公園現地設施，檢討縮小管徑取水，利用抽水站開挖擋土空間做為推進工作井，僅需設置ϕ3590mm 圓形鋼管到達作井，不僅可確保施工可行性，同時有效減少開挖面積。
3. 分流設施施工採先行完成分水井結構體，並於離峰時段關閉上游截流，再視需要於上游既設 B14 人孔進行導排水後，針對既設主幹管進行破管，避免污水排入愛河影響水質。
4. 壓力管線合理檢討施工路徑，原規劃由後勁溪南側防汛道路接入既設 A10 人孔；設計調整由沿「馳驁寰宇」主燈公園向北銜接至既設 A08 人孔，可減少穿越鐵路、隧道及陸橋結構，並降低於道路段施工與既設管線牴觸之風險。
5. 壓力管線進行水理及水錘分析，於管線路徑配置排氣閥，同時注意閥件關閉的操作時間，以避免水柱分離現象造成壓力管線於道路爆管之風險。

參考文獻

1. 高雄市政府水利局(2023)，高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案-可行性評估報告。
2. 山林水環境工程股份有限公司(2023)，高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案-投資計畫書。
3. 高雄市政府水利局(2024)，高雄市楠梓再生水廠興建移轉營運案-基本設計報告。



道路挖掘管理與圖資品質管控跨縣市業務交流(第一梯次：桃園市、臺北市)

114 年 9 月 25、26 日

桃園市、臺北市

活動摘要

高雄市政府工務局於 2025 年辦理「道路挖掘管理與圖資品質管控跨縣市業務交流」，第一梯次由道路挖掘管理中心溫日宏主任率隊前往桃園市與臺北市。首日(9/25)赴桃園市政府工務局交流，於交流過程中得知，桃園市政府為整合資科局、交通局、消防局等跨局處平台與各管線單位之資源而成立「道管資訊中心」，並依據「桃園市道路挖掘管理自治條例」全面導入智慧化管理流程。目前施工單位須利用行動 APP 進行各階段進度之即時通報並落實影像打卡，使管理人員能夠經系統遠端稽核現場施工品質。另推動圖資專業人員證照之認證制度，以強化地下管線圖資維護以及精確性，如案件場址位於重劃區，則須利用 BIM 模型套疊、AI 影像辨識及 UAV 建置數位地形模型等先進技術進行高標準管控，而施工與孔蓋調降則配合路平專案辦理與整合，以降低整體道路重複挖掘頻率。

次日(9/26)轉往臺北市政府工務局進行業務交流，了解到臺北市政府為落實「全市納管」的現代化道路維護機制，以及管理透明化，並結合中央法規以及地方自治條例將既有法令體系完善，嚴格規範挖掘案件必須經過系統收件、內外部單位會辦、審核發證至完工結案等標準化程序。另要求管挖工程之監造及施工人員皆須取得管挖相關認證，且認證之識別證須於施工時出示，並於即時攝影畫面中以供查核。目前臺北市透過「臺北市道管+」APP 提供 GPS 定位通報、線上自主檢查及各類施工通報功能，確保施工資訊對市民完全公開透明。近年來臺北市政府藉由辦理天空纜線清整專案於改善天空纜線獲得顯著成效，截至 113 年已剪除逾 245 萬公尺無主廢棄纜線，並推動電箱遷移與電桿拆除地下化。









道路挖掘管理與圖資品質管控跨縣市業務交流(第二梯次：新北市、臺中市)

114 年 11 月 6、7 日

新北市、臺中市

活動摘要

2025 年「道路挖掘管理與圖資品質管控跨縣市業務交流」第二梯次係由高雄市政府工務局吳瑞川副局長率隊前往新北市與臺中市進行交流。首日(11/6)參訪新北市政府養護工程處，了解其「iROAD 智慧道路管理中心」及首創之二階段路證制度，該制度強制管線單位於管溝施工後先行測量並通過圖資審核，才能取得銑鋪路證，藉此強化管線圖資之精確性；圖資系統則結合 AI 自動偵錯、5G 監控攝影即時通報及 GML 自動化檢核等功能，並協助辦理專業人員認證與不定期抽查改善機制，目前已將管線圖庫中一級實測圖資比例提升至 46.57%。

次日(11/7)則南下赴臺中市政府建設局，了解臺中市近年藉由「道路管線工程統一挖補」制度，解決道路反覆挖掘與品質不佳之問題，而此機制係由民國 86 年首創並由建設局代辦切割、開挖、回填與路面修補等工程，並讓各管線單位自行辦理配管接管等專業作業，同時搭配「統一挖補作業基金」落實使用者付費與專款專用。另透過每週二次的聯合挖掘協調會議與智慧化無紙化派工系統，臺中市截至 114 年 10 月底已成功減少約 30%道路挖掘案件，同時結合城市美學理念，規劃人行道配色、箱體淨寬空間(1.5 公尺)及孔蓋防滑標準(50BPN)。









114 年高雄市道路挖掘管理實務交流宣導會

114 年 5 月 2 日

婦幼青少年活動中心

活動摘要

114 年度高雄市道路挖掘管理實務交流宣導會著重於人本交通、減碳策略、圖資品管與施工品管等面相。隨者人本交通意識興起，管挖工程應於設計與管理階段導入人本理念，並遵循「行人交通安全設施條例」，確保人行道淨寬充足並排除通行障礙。會中由學者向與會者分享低碳材料應用與運用微創工法減少路面破壞之相關議題。另亦邀請國土管理署長官向管線單位宣導公共設施管線圖資應落實三級品管制度，並結合數位化與 3D 攝影測量技術提升準確度。道路挖掘管理中心則宣導竣工案件辦理全面複查成果與常見缺失樣態外，亦探討如何利用 AI 工具協助辦理道路挖掘管理。

此次宣導會產官學界參與踴躍，共計 157 人出席。參與單位涵蓋中央機關(內政部國土管理署、農業部農田水利署)、市府機關(工務局、水利局、捷運局、警察局、海洋局、交通局及各區公所)，以及學術與民間團體(義守大學、高雄市不動產建築開發商業同業公會、高雄市大高雄不動產建築開發商業同業公會)，亦包含各大管線單位與與施工單位，如台灣自來水公司、台灣電力公司、中華電信公司、有線電視與固網公司、天然氣公司、中油公司、工業管束業者及從事管挖工程之施工承商。












2025 高雄市道路挖掘管理與工程技術研討會

114 年 9 月 4、5 日

義守大學

活動摘要

「2025 高雄市道路挖掘管理與工程技術研討會」於 114 年 9 月 4、5 日在義守大學舉行為期兩天活動。聚集中央及地方政府、產業界與學術界近三百名專家學者共同探討道路挖掘管理與工程技術等主題。會中安排三場專題演講，涵蓋「高雄市數位孿生平台建置與應用」、「新加坡人本交通與人行空間治理」、「AI 結合污水管線檢測與腐蝕模擬研究」。另規劃兩場技術論壇，首場論壇邀集國土管理署以及六都道路主管機管首長共同針對道路挖掘管理與行政策略進行座談；次場論壇則與高雄市地下管線所屬單位共同研討管挖工程實務與工程技術相關議題。本次亦有 20 篇管挖工程相關之學術論文與實務文章發表，展現產官學研界深化交流之成果。











114 年度高雄市優良管挖工程獎頒獎典禮

114 年 9 月 4 日

義守大學



活動摘要

高雄市政府工務局為激勵管線單位、監造單位及施工廠商之間能有良性的相互觀摩與學習，自 112 年起已連續 3 年辦理「高雄市優良管挖工程獎」，藉此公開表揚優異管線單位、施工承商與從業人員，並提升高雄市整體管挖工程品質與形象。「優良管線單位」之評分項目包含管挖工程施工階段之巡查合格率、竣工階段複查合格率、圖資管理、即時監控管理等，以及近三年重大職業災害紀錄。「管挖優良案件」則針對挖掘長度逾 50 公尺之管挖案件，評分項目包含行政配合、品質管制作為、圖資品質管理、施工/勞工安全管理及創新工法應用等。個人貢獻獎則可細分為「特殊貢獻獎」與「優良挖掘工程從業人員」，以表彰於管挖工程之實務、學術或創新技術具優良事蹟之從業人員。優良管線單位 A 組共計 4 個單位獲獎，優良管線單位 B 組亦有 4 個單位獲獎、而管挖優良案件共有 2 案件獲選。特殊貢獻獎與優良挖掘工程從業人員皆有 2 為人士獲獎。















114 年度高雄市優良管挖工程獎獲獎名單

項次	獎項類別	獲獎單位/獲獎人	獎等
1	優良管線單位 A 組	高雄市政府交通局	金掘獎
2		中華電信高雄營運處第二客戶網路中心	銀掘獎
3		台灣電力股份有限公司高雄營業處	銅掘獎
4		中華電信高雄營運處第四客戶網路中心(岡山地區)	佳作獎
5	優良管線單位 B 組	新高雄有線電視股份有限公司	金掘獎
6		高雄市政府警察局	銀掘獎
7		高雄市政府警察局交通大隊	銅掘獎
8		港都有線電視股份有限公司	佳作獎
9	管挖優良案件	案件路證：S11300350 管線單位：高雄市政府水利局 施工承商：獅湖營造有限公司	銀掘獎
10		案件路證：G11300122 管線單位：欣高石油氣股份有限公司 施工承商：泰瑞工程有限公司	銅掘獎
12	特殊貢獻獎	楊家敦 先生	
13		趙建喬 先生	
14	優良挖掘工程從業人員獎	王翰堂 先生	
15		鄭宗禮 先生	





REAC
高雄市道路挖掘管理中心
Kaohsiung City Road Administration Center

地址 | 高雄市新興區中正三路 25 號 12 樓
電話 | 07-2626888
傳真 | 07-2221717
網址 | https://pipegis.kcg.gov.tw/Web/