

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

October
2021

夢想和幸福 零距離的接軌



國土安全監測平台

整合干涉合成孔徑雷達(InSAR)、遙測影像、地質等資訊，開發「國土安全監測平台」即時掌握各地地形形變狀況，達到提前預警、避災的功效。

www.ceci.com.tw

ISSN 0253- 3804



NT\$350



Volume 48, No. 5

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

測量及空間資訊於
土木水利工程之應用

專 輯

公 告

第二十五屆
理事、監事選舉結果

社團法人中國土木工程學會公告

日期：中華民國 110 年 11 月 11 日

字號：(24)土水發字第 110123 號

主旨：為公告本學會第二十五屆理事、監事選舉結果。

依據：人民團體選舉罷免辦法及本學會章程。

公告事項：選舉結果：

- 一、會員宋裕祺當選為第二十五屆理事長。
- 二、會員伍勝園、高宗正、楊偉甫、廖學瑞先生等四位當選為第二十五屆常務理事。
- 三、會員王宇睿、余信遠、李政安、林子剛、林聰利、胡宣德、高銘堂、張大鵬、張荻薇、莊均緯、許泰文、陳仲賢、曾榮川、黃慧仁、壽克堅、歐善惠、賴建信、謝啟萬等十八位當選為第二十五屆理事。
- 四、會員呂良正當選為第二十五屆常務監事。
- 五、會員王藝峰、李建中、沈景鵬、林其璋、邱琳濱、劉國慶等六位當選為第二十五屆監事。
- 六、會員杜微、謝震輝、劉格非、鄭燦鋒、謝尚賢、劉玉雯、林呈等七位當選為第二十五屆候補理事。
- 七、會員謝佳伯、周永暉等二位當選為第二十五屆候補監事。

第二十四屆理事長

宋裕祺



110.11.10 第 25 屆第 1 次理監事聯席會議合影

土木水利



社團法人中國土木工程學會會刊



夢想和幸福 零距離的接軌
台灣世曦工程顧問股份有限公司

土木水利半月集

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非（國立臺灣大學土木學系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯）

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元（航郵另計）

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十四屆理監事（依姓氏筆劃排序）

理事長：宋裕祺

常務理事：李順敏 高宗正 張荻薇 楊偉甫

理事：王宇睿 余信遠 林呈 林曜滄 邱琳濱 胡宣德 胡湘麟

高銘堂 張政源 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 黃慧仁 壽克賢

廖學瑞 鄭燦鋒 賴建信 謝啟蕙

常務監事：王昭烈

監事：呂良正 李建中 沈景鵬 林其璋 楊永斌 謝佳伯

中國土木工程學會任務

1. 研究土木工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

「測量及空間資訊於土木水利工程之應用」專輯 (客座主編：徐百輝助理教授)

- 📖 專輯序言：測量及空間資訊於土木水利工程之應用 徐百輝 3
- 📖 自動化 UAV 巡檢測繪及港區構造物偵測 — 以台中港為例
洪維屏／林彥廷／甘翊萱／黃春嘉／李政軒／韓仁毓 4
- 📖 立體影像於鋼構件內隔板焊接品質檢測之評估 吳翊賢／莊子毅 10
- 📖 深度學習於高精地圖產製之應用 徐百輝／莊宗易 15
- 📖 高精地圖檢核驗證與更新作業 江凱偉／王驥魁／郭重言／李佩玲／林敬翔／李啓民 21
- 📖 你會想一窺究竟的平面擬合 趙鍵哲／王思涵 30
- 📖 由空間資料基礎建設之觀點探討三維建物資料之發展策略 洪榮宏／蔡昌洋／曾子珊 43
- 📖 桃園市三維管線資料庫正確性提升作業之探討 劉軍希／顏淑芬／邱建豪／劉新達 49
- 📖 虛擬實境技術於淹水模擬應用 — 以寶來溪為例 楊鈞宏／陳偉柏／張子瑩／蘇文瑞 54

工程技術及發展

- 📖 臺中捷運軌道工程可動式岔心施工探討 洪詠傑／梁志全／劉安德／陳俊宏 60
- 📖 智能監控及工地智慧管理系統應用於營建工程施工架之監測 吳俊德／黃德孝／莊坤諺／曾惠斌 65
- 📖 捷運三鶯線魚鱗式懸臂橋工作車於環境限制下之拆卸作業 林冠成／簡宏達／李文浩／李政安 76
- 📖 井式基礎精進創新工法介紹 鄭旭成／鄭燦鋒 81

學會資訊看板

- 📖 學會公告 — 中國土木工程學會第25屆理監事名錄 封面裡
- 📖 110年年會大會及土木工程論壇 敬邀報名參加！ 88

廣告特搜

- 根基營造股份有限公司 — 誠信・品質・服務・創新・永續 封底
- 奇博科技股份有限公司 — 光纖光柵感測技術領導者 封底裡
- 泛亞工程建設股份有限公司 — 品質・工安 75
- 長屏企業股份有限公司 — 防火・輕隔間・天花板・編織地板工程 87



測量及空間資訊於 土木水利工程之應用

專輯序言

專輯客座主編 徐百輝／國立臺灣大學土木工程學系 助理教授、台灣地理資訊學會 理事長

隨著感測技術及電腦運算能力的進步，測量及空間資訊科技的發展亦不斷往前邁進。遙測（Remote Sensing）衛星及感測器的微小化讓我們有更多的衛星可以進行近即時大區域的地球觀測；攝影測量（Photogrammetry）與無人飛行器系統（UAS）的整合方便我們隨時可以從不同的角度觀測地表或結構物的變化；整合了慣性導航（INS）、全球導航衛星（GNSS）、攝影機（Camera）、及光達掃描（LiDAR Scanning）等多種感測器的移動測繪系統（MSS）則已經成為地面測繪、調查及製作高精地圖（HD maps）的主要工具。除了硬體進步之外，資料科學（Data Science）的迅速發展也讓測繪及空間資料的分析能力更加自動化且多元，其中人工智慧（Artificial Intelligence, AI）自動演算法除了可以降低人為介入的工作量以外，也讓傳統統計方法無法分析的問題可以獲得實務上的解答；三維空間資料的處理及三維國家底圖的建置已經成為我國國土智慧發展的主要策略方向；三維地理資訊系統（3D GIS）的發展則讓我們可

以在三維虛擬世界中進行未來事件的模擬及預測。

本次專輯特別邀請國內相關研究學者及業界專家就測量及空間資訊於土木水利工程之應用發表他們的研究進展及成果，上述眾多測量及空間資訊科技的發展及應用在本期專輯中將可以一窺堂奧，包括如何應用無人飛行載具及人工智慧物件分割演算法進行港區設施辨識分析、應用立體影像於鋼構件內隔板焊接品質之檢測、應用深度學習於點雲資料分類及高精地圖產製、高精地圖之檢核及更新作業、三維點雲資料之平面擬合、由空間資料基礎建設探討三維建物之發展、三維管線視覺化及資料庫之建置、以及整合多元空間資料及災害資料進行淹水模擬等，內容十分豐富多元。

測量及空間資訊除了擔負國家基礎資料收集及建置的重要任務外，相關跨領域合作及應用更是森羅萬象，期盼藉由本次專輯各專家學者的研究及經驗分享，可以引發更多測量與土木水利之間的跨領域討論及合作。 



自動化 UAV 巡檢測繪及 港區構造物偵測 — 以台中港為例

洪維屏／交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

林彥廷／國家實驗研究院國家地震工程研究中心 專案助理研究員

甘翊萱／國立臺灣大學土木工程學系測量與空間資訊組 研究助理

黃春嘉／國立臺灣大學土木工程學系測量與空間資訊組 博士候選人

李政軒／國立臺灣大學土木工程學系測量與空間資訊組 碩士

韓仁毓／國立臺灣大學土木工程學系測量及空間資訊組 教授

臺中港為我國國際商港，以近洋航線為主的中部區域加值型物流港，港區使用單位及名目繁多，相關之土地利用與規劃是港區營運的重要工作之一。然而港區幅員廣大，且人力有限，如何快速掌握各區域之使用狀況並妥善管理難度極高。另一方面，港區設施受海潮及颱風天氣衝擊影響下，其穩定性與安全性備受考驗，同樣的在有限人力之下要能持續監測港區重要設施之安全穩定性並及早採取預防或補強措施，也成為一項難題。隨著無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）測繪技術發展成熟，在遠距機動遙控條件快速且輕易地到達不易施測區域。本研究基於 UAV 高機動性測繪優勢，並考量測區地形障礙因素，發展自動化 UAV 巡檢路徑規劃，並在蒐集港區具備地理定位空拍影像後，利用人工智慧物件分割演算法進行港區設施辨識分析，辨識成果能以優於八成正確性實現港區多重構造物監測，同時能以自動化巡檢掌握設施使用狀況與異動，確保營運安全及在人力精持續簡化的長期趨勢之下，提升港區的營運管理品質。

關鍵詞：無人機巡檢、自動化路徑規劃、影像辨識學習、構造物偵測、台中港區

前言

巡檢可以確保設備資產的完整，並依據各項數據的變化或趨勢來安排後續檢查及維修保養工作，進而維繫應有效能並提升安全性，以本研究的港區為例，不僅提供港區物流業者腹地，供其興建倉儲設施，亦搭配各國際商港港口區位，但由於腹地範圍包含陸地及部分出海口，為了管理之方便及維護各項設施的完整，巡檢工作的必要性和重要性因此備受重視。然而，目前港區巡檢多以人工為主，透過巡檢人員攜帶

巡檢紀錄表格進行巡檢作業，依據不同檢查類別將各自判定標準執行檢測診斷，而方法多為目視並依需求配合儀器進行詳細檢測，最後將結果根據量表記錄於表格上，然而這往往會造成 20% 至 30% 的錯誤率^[1]。儘管現現有相關作業平台輔助管理，仍必須花費人力將巡檢紀錄結果手動輸入電腦，無形中增加誤植的機率。有限的人力及預算下，無法經常性檢測各項目，而是使用定期檢測將分類依照輕重緩急歸類為年、季、月、周及日，許多設施發生問題無法及時處理。

近年來自動化巡檢觀念的興盛，相關技術已被套用在不同領域，自動化並非意味著人力的取代，相反的是巡檢流程結構的改變，將人力資源應用於更有價值的地方，讓機器從事繁複的任務減少紀錄及判斷錯誤，研究顯示這將提高結果可靠性和準確性，對設施的安全維護提供重要幫助，也可使巡查次數更加頻繁，及時處理突發狀況。

隨著近年無人機測繪技術發展，透過拍攝影像中顏色可觀察到目標物屬性特色，廣應用於各個空間監測領域。在工程檢測方面，可檢測建築物外觀損壞程度，透過搭載光學與熱像儀之無人飛機，計算放射率快速得知橋面裂縫潛勢位置^[2]，另外也有搭載光達進行檢測的方法^[3]，無人機搭載光學影像配合偵測演算法進行道路三維破壞性監測^[4]。在營建工程方面，應用無人機於工地現場之安全監測，特別針對人員無法到達之處，配合無人機查看，可評估危險之處^[5]。在交通領域方面，應用於監視和監控、識別交通違規、幫助交通管理、信號優化和車輛軌跡提取以評估事故風險^[6]。在測繪方面，無人機目前可取代部分傳統測量作業，如地形圖測繪，透過 UAV 拍攝影像可快速產製數值地形模型^[7]，而這些三維數值地形模型不僅可提供管理者對於空間進行監測，亦可在考量地形影響 UAV 飛行進行調查路徑規劃參考，其中 A* (A-star) 搜尋演算法概念基於最佳優先演算法^[8]與戴克斯特拉演算法^[9]，綜合兩者之優點依搜尋節點於三維空間考量廣度與深度，建構排序規則飛行路徑，於飛行任務完成同時蒐集獲得地面影像資訊。

近期人工智慧技術崛起，針對大量的影像資訊藉由學習演算進而達到物件辨識，現行物體偵測與切割模型中又以 RCNN^[10]及 YOLO^[11]演算能透過需求的複雜性因應訓練產生模型，在考量模型精度及運算效率比較下，YOLOv4 不僅繼承了前一代的模型部分架構更突破其效能^[12]，因而對於複雜的物件設施能達到有效辨識能力，進而輔助管理者進行判斷及監測應用。綜合以上，無人機的高機動性優勢有機會提供廣域空間執行巡檢測繪，本研究基於港區空間資訊將以自動化規劃無人機載具飛行路徑與取像邏輯，並結合人工智慧影像辨識港區設施種類及數量，預期能改善港區傳統人力設施調查耗時問題，並提升空間維護及管理效益。

研究方法

本研究基於港區以無人機測繪影像為分析基礎，因應調查目標給予預先設定調查飛行模式，飛行過程考量地形及地物影響，利用既有數值地表模型 (digital surface model, DSM) 作為空間參考資訊，演算規劃 UAV 飛行路徑，依其飛行路徑所蒐集的 UAV 影像，透過影像學習辨識方式實現港區特定設施位置辨別，整體研究方法與步驟流程如圖 1 所示，共分成三大部分：(1) 調查飛行模式，(2) UAV 路徑規劃演算，(3) 影像學習辨識設施。最後，利用信心指數及混淆矩陣 F-score 指標確認設施辨識成果。



圖 1 自動化 UAV 巡檢測繪規劃及港區構造物偵測分析研究方法流程圖

調查飛行模式

地形測繪

地形測繪方法係為對指定區域進行範圍式區域檢視，可用於對地形物件之詳細檢驗抑或是連續性蒐集區域資料。在此方法中，需設置待測區域之範圍，並決定載具在任務中的相對飛行航高，相對航高將會決定在連續飛行中每個時刻下的離地高度，且需設定飛行之最大航高與飛行時之基本影像參數，完成上述參數設定後，將會由 A-star 演算法計算在目標區域中各飛行點位示意如圖 2，並估算任務之飛行時間，與預計拍攝之影像張數，完成飛行任務規劃。

多點巡航

多點巡航方法係為連續對於多目標點位進行檢視與拍攝，可用於快速勘查特定區域或用於規律性之巡航作業。多點巡航下需設置多個目標點位、相對飛行高度、飛行航高限制，與拍攝影像之相關基本參數，載具之飛行順序將依與起始飛行點位之距離進行排序，由 A-star 演算法計算點與點之間的預計飛行路徑，與估計飛行時間以及預計拍攝之影像張數，再依照點位順序進行飛行作業，並在任務完成後自動飛回起始點位 (圖 3)。

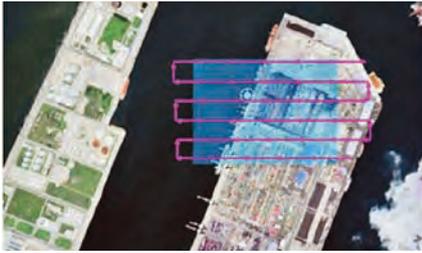


圖 2 地形測繪示意圖



圖 3 多點巡航示意圖



圖 4 單點環飛示意圖

(3) 單點環飛

單點環飛方法係為對地圖上單一物件或點位進行自動化環繞式飛行任務，在飛行中系統邏輯將會判斷物件之位置調整拍攝角度與方向，對相同特定物件進行連續性的拍攝，可執行針對特定事件之物體監測使用，能蒐集更細部且完整的資訊，以滿足的作業需求。此種模式下，需設置此物件之涵蓋範圍作為環飛範圍之判斷依據，以及相對飛行高度、飛行航高限制，與影像之相關基本參數，將所需條件設定完成後將由 A-star 演算法依目標物涵蓋範圍邊界計算環繞式飛行之各點飛行路徑，與估計飛行時間以及預計拍攝之影像張數，並在任務完成後自動飛回起始點位（圖 4）。

UAV 路徑規劃演算

藉由預先建構或模擬底圖，可知在施測範圍的空間資訊，並再選取目標物與目標範圍後，應用搜尋演算法進行無人機路徑規劃。A-star 演算法係基於最佳優先演算法^[8]與戴克斯特拉演算法^[9]，綜合兩者優點考量演算深度及廣度概念，增加多維度空間搜尋，建構搜尋節點優先排序規則。其中戴克斯特拉演算法是以起始點位開始，朝向八方位擴展，計算與相鄰點位的距離成本，直至搜尋到目標點位才停止計算，之後再考慮起始點至目標點的最短路徑，但此種演算法將會耗費較多時間。A-star 優化戴克斯特拉演算法，依起始點開始計算在鄰近點的距離成本，並需要目標點之位置先驗資訊，故得以朝向正確的方位找尋最短路徑，且在計算距離成本的同時將會記錄目前的在相同距離節點的相對最小距離成本值和最小距離成本點位，以此作為優先排序規則降低點位搜尋的計算量。A-star 動態排序搜尋時，不斷修正搜尋方向而減少搜尋次數，因此需仰賴先驗空間資訊而得以加快搜尋速度，在本研究中將使用 DSM 及 A-star 搜尋演算法，進

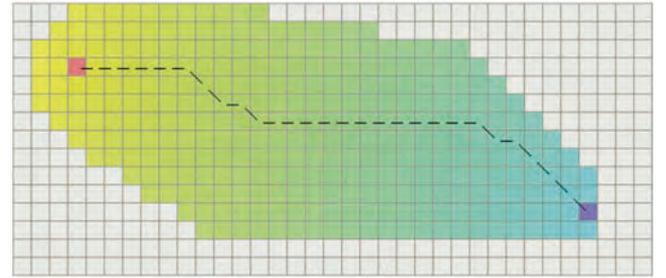


圖 5 A-star 演算法搜尋示意圖

行飛行路徑之點位內插計算與設置（圖 5）。

使用無人飛行載具進行相關影像蒐集之作業，在航線規劃中需考量三維空間資訊，對於避障之功能更是如此，而本研究將會分成兩步驟，對不同維度以 (1) 調整高度、(2) 調整緩衝區，兩方法進行後續分析。

調整高度

建有數值地表模型 (DSM) 的狀況下，已知研究區域的高程資訊，而無人飛行載具是以計算相對航高的方式進行飛行，相對航高為該載具垂直於地面或建物之相對高度，故假使在未達航高限制的情況下，載具將以距離相對於地面或建物之固定高度飛行；當達航高限制時將會視為障礙物，交由 (2) 調整緩衝區進行處理，此方式可有效處理在高程維度上所遇到的障礙物。

調整緩衝區 (Buffer)

本次所使用之路徑規劃演算法：A-star，其演算法邏輯會偵測障礙物之位置，再加以找出適合的路線（圖 6），作為最後規劃之飛行路徑。無人載具由自身衛星定位系統資訊，以定位精度五公尺之誤差範圍作為容許與障礙物間的距離，稱之為緩衝區 (buffer)，使規劃之路徑不會完全貼著障礙物邊界飛行，以避免因載具定位誤差造成與障礙物之碰撞，圖 7 為將緩衝區設為 5 公尺下測試範例，圖 8 為將緩衝區設置為 10 公尺的，透過改良演算法不僅能夠避開障礙物，更能與邊界保持安全距離，降低無人載具擦撞損毀情況發生。

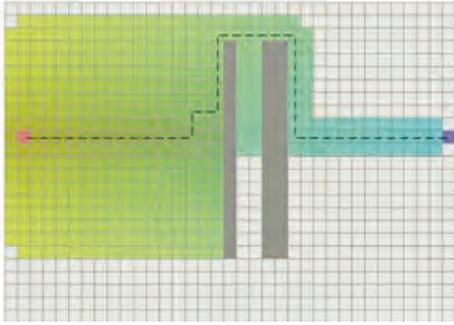


圖 6 A-star 演算法繞行障礙物

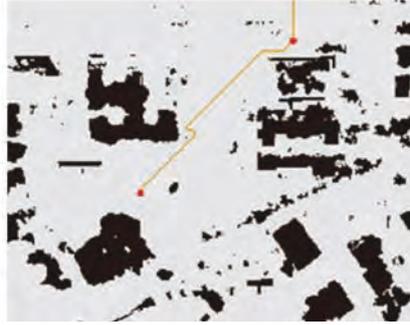


圖 7 緩衝區設定為 5 公尺避開障礙物

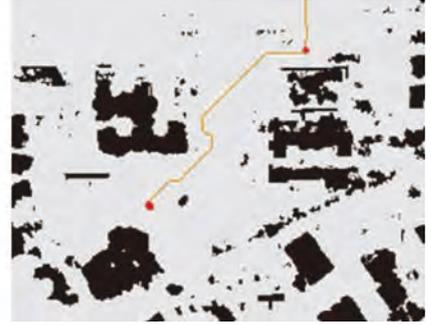


圖 8 緩衝區設定為 10 公尺避開障礙物

影像辨識設施

YOLOv4 在物體偵測模型帶來下列貢獻包括高精度目標偵測，其模型架構中，依序可以分為以下兩部分：

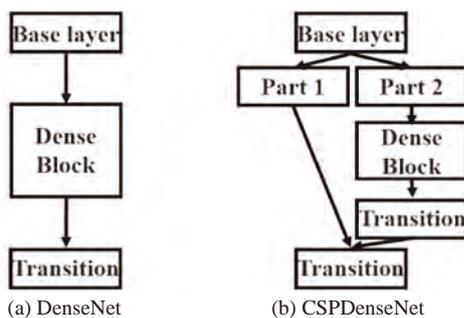
BackBone: CSPDarknet53

因考量檢測模型計算量及加速達到併行計算優化，YOLOv4 在眾多的測試中發現 Darknet53 與 Cross Stage Partial Network (CSPNet) 最適合搭配使用於檢測；其中使用 CSPNet 能解決模型中深層卷積計算所產生梯度訊息損失問題，而提出跨階段局部網路降低損失與降低計算量，如圖 9 所示。

因此 CSPNet 的使用可以解決包括增加 CNN 學習能力解決計算力過高問題，加快運算速度同時降低內存的使用，最後結合 Darknet53 並作為 YOLOv4 的 BackBone。

Neck: SPP + PAN

Neck 為了增加影像中可偵測範圍與融合不同尺度特徵，結合以下兩種模型解決傳統 CNN 模型在輸入與輸出中嚴格限制尺寸大小，而導致資訊變形或損失。SPP (spatial pyramid pooling layer) 能在最後輸出的資料固定下，以多種不同的池化層大小，執行多種程度特徵萃取並維持輸出維度 (圖 10)；另外，PANet

圖 9 普通卷積與 CSPNet 差別^[13]

(Path Aggregation Network) 強化低層及資訊忽略而縮短低層及特徵的傳遞路徑。

經由 YOLOv4 物件分割辨識學習演算，成果以信心指數 (confidence) 及應用混淆矩陣 F-score 驗證模型辨識成果，其中信心指數表示為辨識框架可靠度，計算如下式：

$$S = P(C_n|O) * P(O) * IOU \quad (1)$$

其中 S 為物件 O 辨識的信心指標， $P(C_n|O)$ 為物件 O 被辨識為類別 C_n 的機率， $P(O)$ 為屬於物件 O 的機率， IOU 為物件框架範圍。

混淆矩陣 F -score 用於判斷演算法的精確度，由精確率 (precision) 和召回率 (recall) 構成，計算如下式：

$$F - score = 2 \frac{precision \times recall}{precision + recall} \quad (2)$$

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

其中 TP (true positive) 為辨識正確物件於正確類別、FP (false positive) 為辨識錯誤物件於正確類別、TN (true negative) 為正確物件辨識於錯誤類別。

實驗分析

臺中港自由貿易港區涵蓋水域面積共為 4,700 公頃 (圖 11)，港區用地包括專業區、碼頭區、自由貿易港區等區域，為一個人工國際商港。本研究以臺中港之核心區域 (紅線範圍)，透過路徑演算法預先規劃載具飛行路徑，建立自動化控制載具影像蒐集，無人飛行載具在全球衛星地理定位輔助資訊，以多重航高及角度於測區中共蒐集 8,885 張影像，其中單張影像解析度為 5344 ×

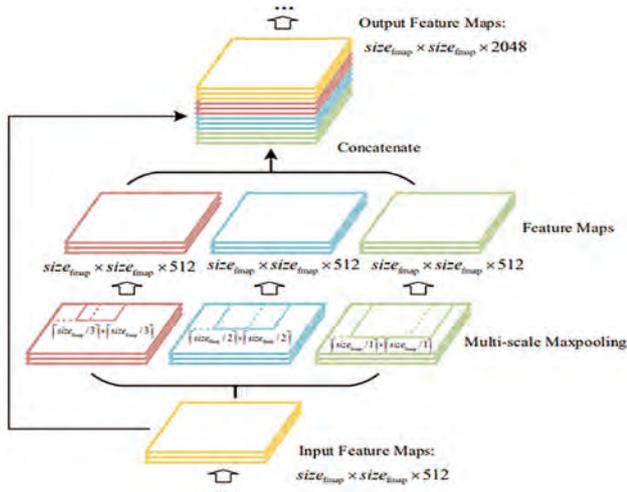


圖 10 SPP 示意圖



圖 11 台中港區區及重要構造物分布範圍

4016 pixels，當飛行航高於 120 m 時能獲得地面解析度為 3.0 cm/pixel，隨著航高降低而提升解析度，其中最低航高為 10 m 獲得小於 1 cm 地面解析資訊。

單物件偵測：以港區碰墊為例

於港區中，碰墊設施防止船隻受浪潮推移撞擊港岸構造，考量其重要性於單物件偵測實驗中選以作為測試案例。其中挑選港區岸邊 100 張無人機影像，利用 Labeling 軟體標記碰墊如圖 12 所示。基於 YOLOv4 演算建議迭代次數 6,000 次進行辨識模型訓練，獲得該模型損失值為 0.2104% 並完成資料訓練（圖 13）。

多重物件偵測

港區除了碰墊之外還包括其他高重複性設施如反光板及車檔，因此多重物件偵測以這三種類別依據圈繪各 100 個訓練樣本，經由 YOLOv4 識別學習演算構成類別專屬模型，辨識成果以框架式及信心指數標示於測試影像中，其中碰墊以紫色框架標註，黃色框架為反光板及綠色為車檔（圖 14）。並由 14 張驗證影像中辨識三種設施構造物之正確性統計如表 1 所示，其中以碰墊辨識平均精度最高為 93.3%、再者為反光板 89.8%，最後為車檔 81.0%；另外由 F -score 顯示反光



(a)



(b)

圖 12 港區重要設施 — 碰墊於 (a) 原始圖片及 (b) 人工標記圖

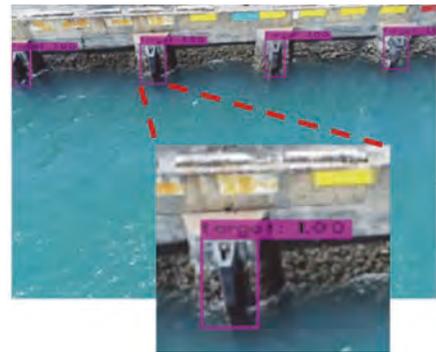
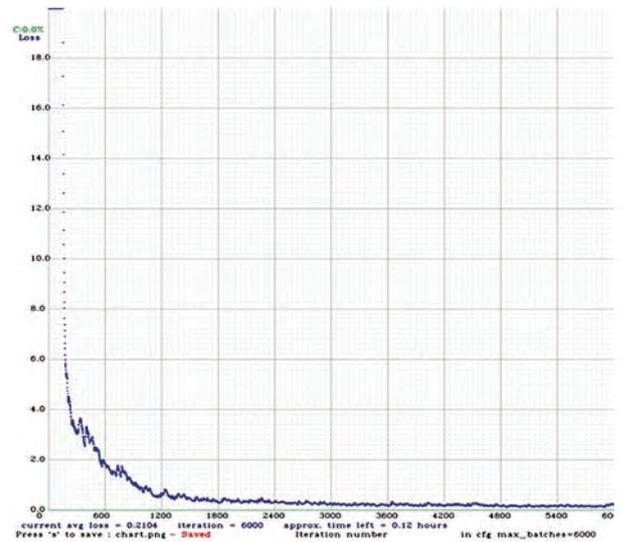


圖 13 模型 6000 次訓練後之損失曲線及框架辨識信心指數

表 1 驗正影像辨識構造物之相關驗正指標統計

港區構造物	TP	FP	FN	平均精度 (%)	精確率 (%)	召回率 (%)	F -score
碰墊	28	14	1	93.3	0.74	0.97	0.84
反光板	69	18	3	89.8	0.79	0.96	0.87
車檔	33	12	2	81.0	0.73	0.94	0.82

板辨識具最佳精確度、再者碰墊、最後為車檔，且整體精確度能以優於八成辨識獲得設施位址。

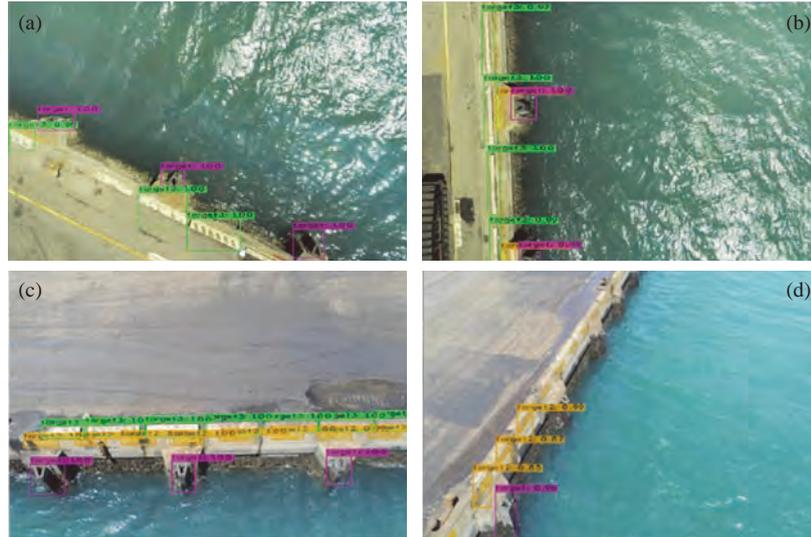


圖 14 多重物件偵測成果（紫色框為碰墊，黃色為反光板，綠色為車檔）

結果與討論

無人飛行載具在近年來發展成熟，其可搭載高解析攝影機同時具高度的移動性以及遠距遙控功能，能夠取代人力快速且輕易地到達過去不容易接近的區域。再者目前無人飛行載具結合影像技術已經廣泛應用於大範圍或特殊環境條件下的資料收集任務中，為在有限人力之下要能持續監測港區設施安全穩定的理想選擇。本研究基於無人機取像邏輯規劃，以施測標的及地形避障為飛行考量，透過 DSM 模型及 A-star 演算以最佳化路徑規劃完成港區影像蒐集，所蒐集的 UAV 影像結合辨識學習 YOLOv4 演算訓練架構，能依單物件與多重物件建構辨識模型，依實驗成果顯示達到優於八成以上正確辨識性，後續可延伸添加港區附加設施，如繫纜繩柱、道路標誌及標示建構學習模型，透過多時期訓練樣本數與驗證樣本來強化辨識模型，並可針對不同巡檢任務執行對應飛行模式進行取像及自動化辨識的平台。未來研究辨識平台，將能以自動化方式掌握港區之使用狀況與異動，並針對重要設施進行監測，除可應用於港區土地之維護管理，並可更精確的掌握重要設施的穩定性，及早獲知可能的變動或破壞狀況，確保港區的營運安全。

參考文獻

- Drury, C.G. and Fox, J.G. "Human reliability in quality control," Taylor & Francis Group (1975).
- Escobar-Wolf, R., Oommen, T., Brooks, C., Dobson, R., and Ahlborn, T. (2018). "Unmanned aerial vehicle (UAV)-based assessment of concrete bridge deck delamination using thermal and visible camera sensors: a preliminary analysis," *Res Nondestruct Eval*, Vol. 29, No 4, pp. 183-198.
- Bolourian, N., Soltani, M., Albahri, H., and Hammad, A. (2017). "High Level Framework for Bridge Inspection Using LiDAR-equipped UAV," *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, Vol. 34, pp. 1-6.
- Tan, Y. and Li, Y. (2019). "UAV Photogrammetry-based 3D road distress detection," *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, Vol. 8, No 9, pp. 409.
- Martinez, J.G., Gheisari, M., and Alarcón, L.F. (2020). "UAV Integration in Current Construction Safety Planning and Monitoring Processes: Case Study of a High-Rise Building Construction Project in Chile," *Journal of Management in Engineering*, Vol. 36, No 3.
- Menouar, H., Guvenc, I., Akkaya, K., Uluagac, A.S., and Kadri, A. (2017). "Tuncer UAV-enabled intelligent transportation systems for the smart city: Applications and challenges," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 55, No 3, pp. 22-28.
- Yeh, F.S., Huang, C.J., Han, J.Y., and Ge, L. (2018). "Modeling Slope Topography Using Unmanned Aerial Vehicle Image Technique," *The Third International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment*, Bandung, Indonesia, pp. 147.
- Pearl, J. (1984). "Heuristics: intelligent search strategies for computer problem solving," Addison-Wesley, pp. 48.
- Dijkstra, E.W. (1959). "A note on two problems in connexion with graphs," *Numerische mathematik*, Vol. 1, No 1, pp. 269-271.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., and Malik, J. (2014). "Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation," *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 580-587.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., and Farhadi, A. (2016). "You only look once: Unified, real-time object detection," *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 779-788.
- Bochkovskiy, A., Wang, C.Y., and Liao, H.Y.M. (2020). "Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection," *arXiv preprint arXiv:2004.10934*.
- Wang, C.Y., Liao, H.Y.M., Wu, Y.H., Chen, P.Y., Hsieh, J.W., and Yeh, I.H. (2020). CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of CNN. *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops*, pp. 390-391. 



立體影像於鋼構件內隔板 焊接品質檢測之評估

吳栩賢／國立臺灣科技大學營建工程系資訊組 碩士生

莊子毅／國立陽明交通大學土木工程學系測量及空間資訊組 助理教授

鋼柱構件內隔板組立焊接製程為影響柱結構應力之重要環節，現行設備雖然具有移動式龍門壓桿系統可協助減少大量勞力工作，在品質控制階段仍缺乏系統化、標準化之檢核機制。多需由作業員於製程後以尺規量測內隔板位置，並與設計圖比對後通知第三方單位至廠區進行查驗。過程中構件可能需經過多次懸吊並至少在廠區滯留三個工作日，造成製程停滯、耗費作業空間及人力成本。有鑑於此，本研究著重於如何藉由立體視覺技術自動檢測焊接後內隔板在鋼柱構件中的位置，提供數位化資訊支援管理決策，進而在符合精度需求下縮短作業時程。為此，研究在現有的組立移動式龍門系統上裝置工業級深度相機，藉由龍門移動時收集高重疊的立體影像序列，產製各影像對之點雲。演算法將自動進行序列點雲套合，並於點雲中偵測內隔板後進行幾何估計，獲得構件中內隔板之相對位置與內隔板板厚資訊。並透過網路回傳至廠方伺服器進行設計圖比對。不僅可支援品質控管決策更能建置數位化檔案作為產線分析之要素。為驗證研擬演算法之可行性，由東鋼鋼結構雲林廠協助進行系統實際建置、資料收集及測試。初步測試在處理 15 公尺鋼柱構件時可獲致約 3 公厘之內隔板定位精度，及小於 1 公厘的板厚度量測精度，可有效減少作業時程並凸顯在協助提升鋼構廠製程效率與系統化品質管理之潛力。

關鍵詞：立體視覺、點雲套合、三維邊緣偵測、內隔板檢核、自動化檢核

鋼構內隔板位置自動檢測系統

為協助鋼構廠房提升系統化且高精度高效率之製程檢核作業，並藉由數位化資訊進行品質控管決策。研究中採用工業級深度相機，以立體視覺技術由二維影像產製三維空間資料。同時搭配開發之演算法進行內隔板目標偵測與幾何估計，並可透過網路將資訊傳遞至主機進行資料歸檔、分析、比對、及統計等處理，可大幅減少人工作業錯誤機率並提升執行效率。同時，系統操作朝向一鍵式作業，透過人性化界面設計可使無專業背景之作業人員快速地熟悉相應操作。

作業環境與量測標的

鋼柱的製程需要在組立程序時於內部焊接內隔板以加強構件之強度，因此內隔板位置必須與設計圖一致以

確保符合需求，維持結構安全性。圖 1(a) 顯示鋼構組立製程的龍門平台系統，以及放置待檢測構件之擱置區。其中，待處理之構件需透過天車吊掛至平台以進行初焊程序，半完成品則需再次吊掛移置擱置區域待第三方檢測，若不合格則必須再次吊掛之平台進行重製。圖 1(b) 展示待組立的鋼構件，組立程序中構件於平台固定不動，由龍門系統逐步往前移，同時透過龍門上方與兩側的固定壓桿固定構件，再由焊接作業員進行逐一焊接。圖 1(c) 展示移動龍門的作業平台，可供焊接作業員站立與施作。以製程效率與成本效益而言，天車吊掛次數越少及構件在擱置區停留的時間越短，對於廠方越有效益。因此本研究引入立體視覺深度相機在作業完成後，再由龍門移動一次進行高密度高重疊的影像資料蒐集，待龍門歸位後即可開始進行計算提供檢測成果。若有明



圖 1 鋼構件組立製程環境與龍門系統設備示意圖

顯誤差可即時發現並進行修補，避免反覆將構件吊至擱置區進行人工檢測後再重新吊回平台進行修補作業之程序，進而提升作業效率。

內隔板焊接成果檢測之標的物主要為隔板在鋼構件中的位置及其厚度，若內隔板未依照設計圖焊接在正確位置，將會直接影響該構件之強度，甚至造成公安意外。

有鑑於此，本研究所開發的系統觀測標的物定義為內隔板的邊緣特徵如圖 2(a) 所示。若確定了各隔板邊緣特徵的空間坐標，則可以進一步以直線特徵的幾何計算得到隔板厚度（圖 2(b) 藍色指標），以及由構件起始端為原點到各隔板的距離，如圖 2(b) 中白色箭頭所示。希冀藉由影像自動偵測與計算，可降低人力成本以及人工作業可能出錯的機率。圖 2(c) 為人工量測作業之示意圖。

感測器介紹

研究中採用的工業級深度相機為 Ensenso N35^[1]，其規格如表 1 所示。將其安裝於移動龍門系統之壓桿，以移動式測繪方式進行大尺度鋼構件之序列影像資料蒐集。透過立體視覺技術產製高精度三維點雲並引入本研究研擬之演算法進行幾何估計，獲得內隔板相對位置與內隔板板厚等幾何資訊。最後透過網路將數據傳遞至廠方伺服器進行檢核比對。圖 3(a) 顯示 N35 深度相機於移動式龍門系統的安裝位置，為了避免撞擊及焊接時的焊渣噴濺，感測器另已安裝了白鐵保護盒。此外，圖 3(a) 中顯示的上方與兩側之壓桿可用來暫時固定構件以進行焊接作業。另一方面，圖 3(b) 展示深度相機感測器相對於龍門系統的空間配置，其中設備與資料可藉由乙太網路線進行傳輸與控制。

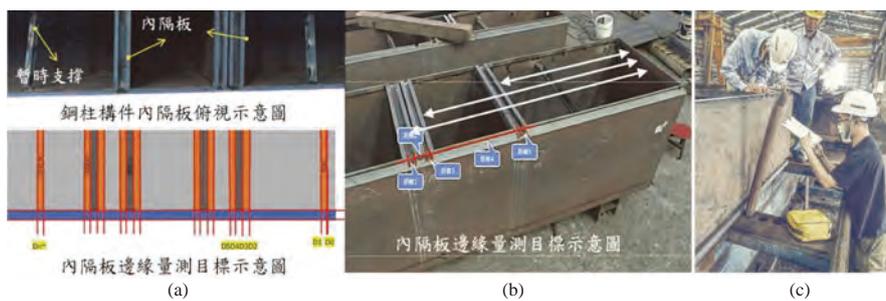


圖 2 內隔板檢測之標的物

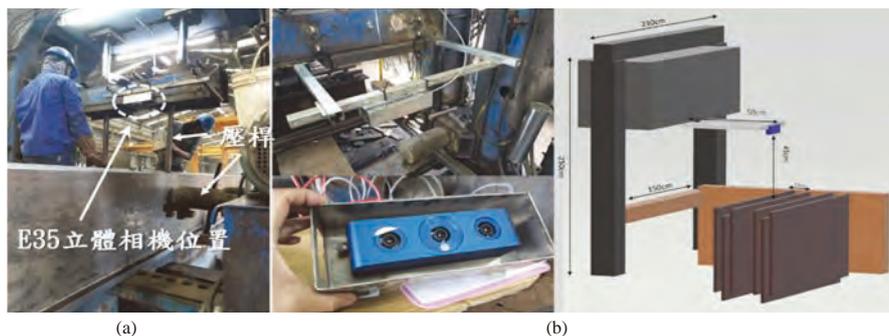


圖 3 深度相機空間位置配置示意圖

表 1 N35 深度相機規格表

型號規格	N35-604-16-BL
鏡頭焦距	6 mm
相對孔徑	1.6
收斂角	4.0°
基線	100 mm
最佳工作距離	500 mm
工作距離範圍	340 ~ 1,100 (mm)

考量所需的量測精度需求，透過地面取樣距離公式，如式 (1) 所示，在地面空間解析度 (ground sample distance, GSD) 1 公厘的條件下，感測器可接受的物距範圍約為 40 公分至 50 公分，式 (1) 中的 f 為成像主距、 p 則代表一個像元的實際尺寸而 D 即為相應的拍攝距離。

$$\frac{f}{p} = \frac{D}{GSD} \quad (1)$$

由於原龍門移動系統的設計並未考慮到加裝的影像感測器，因此龍門的移動速率並不穩定，隨著啟動電壓的差異而變動。因此研究中採用連續高重疊的取像方式，在龍門移動時進行動態拍照，因此感測器拍照的快門與頻率需預先進行測試並作為常態設置，如此才可在不同構件作業下都能收集到清晰、高重疊的影像序列。圖 4(a) 顯示單一個時間點所拍攝的左右像資料，感測器可直接利用率定之參數建構核線影像，透過立體匹配演算法進行全部像點的視差計算，推估各像點的三維深度資訊，如圖 4(b)，並進而產製三維點雲。

值得注意的是，每一核線影像對所產製的點雲資料乃是架構在左像的局部坐標系統，因此為了獲得描述鋼構件完整幾何之點雲，系統將針對產製的序列點雲進行套合處理，將各局部坐標系點雲轉換至共同的坐標基準 (預設為第一組點雲的坐標系統)，如此方可進行內隔板於構件中相對位置之計算。

系統框架介紹

圖 5 顯示系統的執行架構，現場作業人員完成焊接後，僅需由操作介面輸入工程參數，如料號、構件編號等，即可一鍵啟動與結束檢測資料收集程序。資料收集完成後，從資料處理、分析以至成果輸出程序皆可自動化完成。系統以 Ensenso 提供之 SDK 進行感測器系統編程，採用動態拍攝模式 [2] 以高頻率、高重疊方式蒐集影像資料。此外，運用 Ensenso 之 PatchMatch [3] 模組產製三維點雲。系統隨後即進行點雲資料套合、內隔板偵測、隔板邊緣特徵萃取及擬合之演算，以執行標的物的幾何估計。最後，透過網路可將數據回傳至廠方伺服器並與設計模型進行比對，查核內隔板焊接成果。使用者介面設計務求以簡化且低使用門檻為準則，透過具有量化數值依據的資料解算，降低人為操作可能的誤判與錯誤。同時，為提升實務使用性，系統亦設計包含拍攝完成卻未中止系統、誤觸啟動系統等防呆機制。

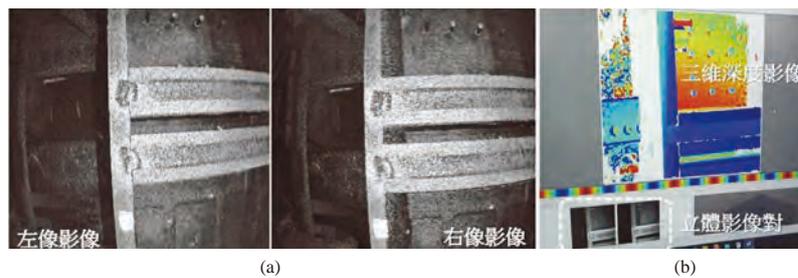


圖 4 深度相機蒐集的核線影像示意圖

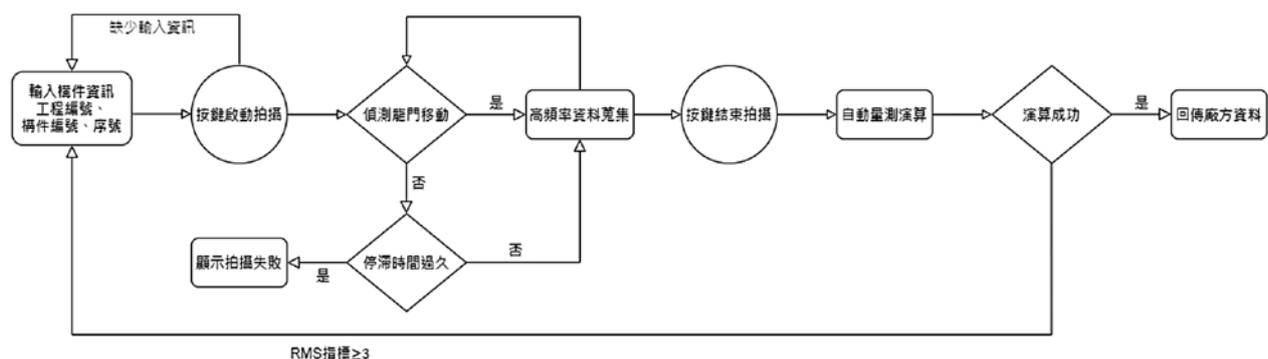


圖 5 系統執行架構圖

標的物特徵計算說明

內隔板等標的物之量測，包含內隔板厚度與內隔板於構件的相對位置，其距離觀測量皆可由內隔板邊緣之直線特徵進行描述，透過三維直線參數進行直線間的垂直距離估計。值得注意的是，本研究建置系統之環境場域具有不可預期之雜物，使得所蒐集的數據將包含可是為雜訊之資料。因此，開發之演算法首先濾除特定深度範圍外之點雲，不僅可降低運算量亦可排除可能影響內隔板偵測之雜訊點。此外，由於系統採取高頻率、高重疊的拍攝模式，因此同一個內隔板將會被拍攝於多個像幅內，如何自動偵測各內隔板最適進行幾何估算之像幅為首要待處理之問題。有鑑於此，考量垂直拍攝所受到的畸變量最小，因此定義最近似垂直拍攝幾何之像對為計算該內隔板幾何標的物的最佳影像對。進而提出基於像幅點雲數量之內隔板偵測策略，自動定義各內隔板的最佳影像對。

隨後，針對各內隔板最佳影像對所產製的點雲進行邊緣特徵萃取並擬合直線參數，估計內隔板之厚度。系統將針對雜訊濾除後的目標點雲以 convex hull

^[4] 演算法進行初步框選候選邊緣特徵，並使用 inertia tensor of centroidal moment ^[5] 進行高效率的直線參數擬合。最後可輸出之數據成果包含各內隔板之序列編號以及各內隔板之厚度與間距。

此外，為了獲得內隔板於構件中的相對位置，各像對產製之點雲需透過套合程序所估計的轉換參數進行坐標轉換，使得整體點雲具有共同的坐標基準。研究中採用 Open3D ^[6] 函式中的 ICP ^[7] 演算法進行開發，並以第一組點雲之坐標系統作為基準，用以估計由構件前端至各內隔板間的距離。然而，由於鋼構件的幾何紋理重複且單調，將大幅提升點雲精準套合之困難度，因此研究中引入像幅時序關係、旋轉角度以及像幅移動量等約制條件，降低重複紋理等干擾因素以提升點雲套合之可靠度。初步測試在 15 公尺構件之執行結果可獲得約 3 公厘之套合精度。圖 6(a) 為應用點雲數量偵測各內隔板之最佳像對之示意圖，其中橫軸為影像對編號、縱軸為點數量。透過各像幅內是否出現內隔板之點數差別，定義內隔板之最佳像幅資料編號。圖 6(b) 以視覺化展示內隔板邊緣特徵偵測之結果，如紅色邊緣線所示。

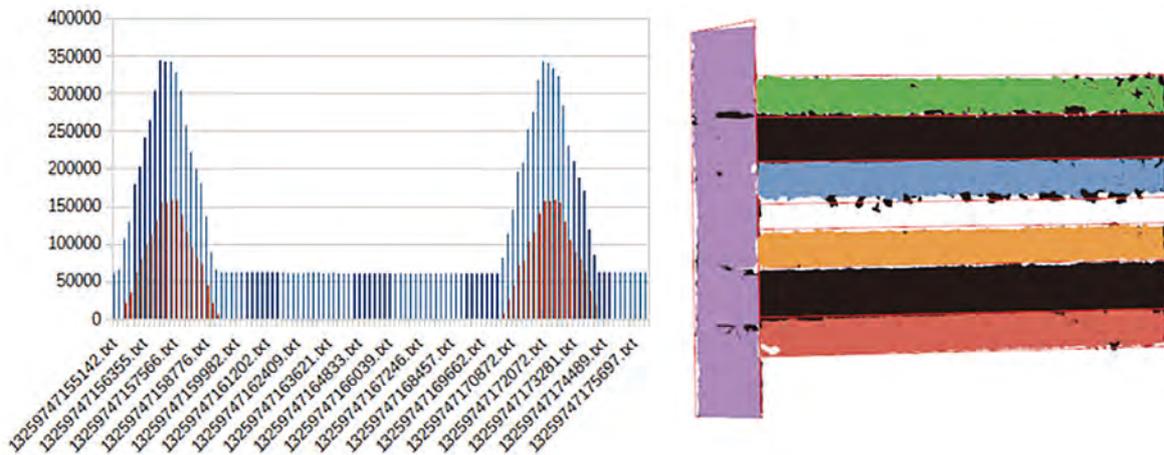


圖 6 內隔板最佳影像對與邊緣特徵偵測示意圖

初步測試與評估

本研究與東鋼鋼結構雲林廠合作進行系統建置與初步測試，為驗證提出之系統架構效益，初步測試以 15 公尺之鋼構箱型柱進行系統試驗。針對此試體系統共蒐集了 616 組高重疊序列影像對。同時，以人工量測成果進行相對性比對。圖 7 展示一組用於內隔板邊緣特徵偵測的點雲。由內隔板點雲成果可以看出，以立體視覺技術由二維影像產製三維之點雲，確實可以

描述構件之幾何並獲得密度均勻的成果。



圖 7 內隔板點雲成果示意圖

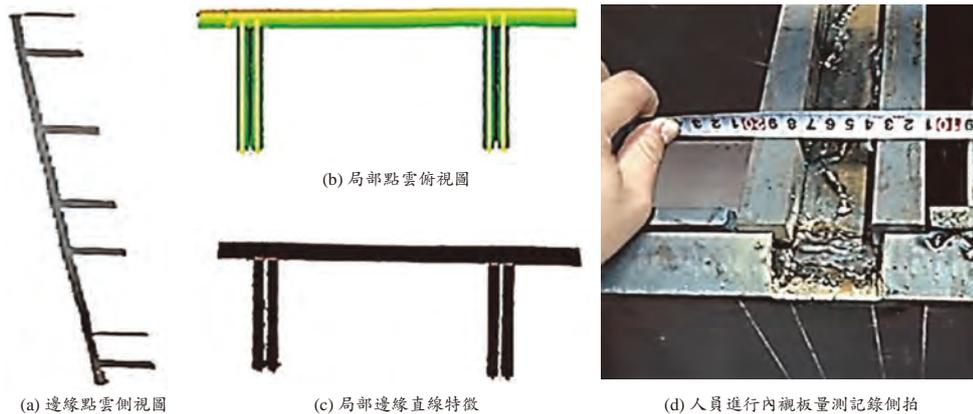


圖 8 測試點雲套合成果及內隔板邊緣偵測成果示意圖

表 2 內隔板厚度檢測結果 (單位:公厘)

隔板編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	20
檢測值	39.14	38.53	39.59	38.97	39.61	39.82	42.16	41.99	39.22	39.20

然而，無可避免地在低紋理、同調區或邊緣位置，影像處理演算法仍無法確保獲得可靠的成果，因而將形成內隔板幾何估計時相應的誤差來源。圖 8 展示初步測試之視覺化成果，其中圖 8(a) 顯示經過雜訊率除並進行整體點雲套合後之成果。而圖 8(b) 及圖 8(c) 顯示一區段之內隔板點雲及邊緣線偵測結果；圖 8(d) 則為人工量測示意圖，透過多次反覆量測之最或是值作為測試成果的相對參考值。除此之外，本次測試之內隔板理論標準厚度為 40 公厘，將視為成果品質評估之真值。

初步測試之構件共包含共 10 片內隔板，比對系統估計與人工量測成果所獲得之方均根誤差為 1.85 公厘，反映出系統自動解算之合理性。而表 2 呈現各內隔板厚度之估計值，與真值 40 公厘相比下其均方根誤差為 1.19 公厘。然而，若將具有較大誤差的第七與第八片之成果排除後，精度可提升至 0.83 公厘。透過人工檢查發現，此兩片內隔板皆是使用同一組影像對進行估計的成果，而該組影像對受到拍攝當下不明原因而導致雜訊較多、點雲較為破裂，因而造成較大的估計誤差。

初步成果評估

本研究開發運用立體影像技術於鋼構件內隔板焊接品質之自動檢測系統，初步測試已驗證其可行性與

效益。在資料處理上所遭遇的最大難題應歸結為，如何在無控制點資訊下，針對低紋理高度幾何重複之鋼構件點雲進行全域套合。有鑑於此，為了獲得合理的套合成果，研究中引入外部約制條件以降低估計誤差，完成系統之核心演算。在實務應用上，研擬的自動檢核系統應可減少製程的作業時間、廠區空間成本，提供具有數據基礎的數位化資訊，提升製程管理自動化程度與生產履歷數據。後續工作將著重於加快演算法效率及優化演算架構，以其更快地回饋檢測成果並同時降低電腦的硬體需求。

參考文獻

1. <https://www.ensenso.com/portfolio-item/n3x/>. (2021/10/1)
2. <https://www.ensenso.com/manual/3.0/tree/cameras/120001-%28a-stereo-79camera%29/calibration/dynamic.html>. (2021/10/1)
3. <https://www.ensenso.com/manual/3.0/tree/cameras/120001-%28a-stereo-81camera%29/parameters/disparitymap/stereomatching/patch-match.html>. (2021/10/1)
4. Hemmer, M. and Schmidt, C. (2016). Convex Hulls, in: Kao, M.-Y. (Ed.), Encyclopedia of Algorithms. 85 Springer, New York, NY, pp. 446-449. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2864-4_508.
5. Ahn, S.J. (2004). Least Squares Orthogonal Distance Fitting of Curves and Surfaces in Space, Lecture 87 Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/b104017>.
6. <http://www.open3d.org/docs/release/>. (2021/10/1)
7. Besl, P.J. and McKay, N.D. (1992). A method for registration of 3-D shapes. IEEE Transactions on Pattern 83 Analysis and Machine Intelligence 14, 239-256. <https://doi.org/10.1109/34.121791>. 



深度學習於高精地圖產製之應用

徐百輝／國立臺灣大學土木工程學系 助理教授、台灣地理資訊學會 理事長

莊宗易／中山科學研究院飛彈火箭研究所 助理研究員

高精地圖是專為自駕車應用而特別測製的地圖，其相關內容之設計、測繪之正確性、以及圖資精度等都將直接影響到自駕車行駛時的安全性。在產製高精地圖時，為了確保圖資內容之正確性及精度，通常需要耗費大量的人力及時間進行道路語意特徵的辨識及屬性編輯。本文首先簡單介紹高精地圖之內容、標準、規範、及產製作業程序等，最後嘗試應用不同的深度學習算法進行道路語意特徵的自動化萃取，以期提升高精地圖之品質及作業效能。

簡介

在日常生活中，交通系統為人類移動、貨物流通、經濟交流的重要基礎建設，隨著資通訊技術的快速發展，交通系統智慧化已成為智慧城市（Smart City）發展中不可或缺的一環，而在智慧交通（Intelligent Transportation）中，又屬自駕車（Autonomous Vehicles）的發展最受矚目。為達到自動駕駛的目的，自駕車透過衛星定位系統及各種感測設備即時掌握車子本身的空間位置及其周遭道路環境的狀況，除了自動導航之外，尚能自動遵守交通規則以及避免碰撞事故之風險。然而受限於汽車感測器的有效感測距離、物體遮蔽、以及即時運算效能等因素影響，欲達到完全自動駕駛的目標仍有其難度。解決這些問題的一種方式是透過事先測製精準且具有豐富道路資訊的地圖，以提供自駕車與即時感測資料進行比對後迅速達到定位及導航的目的，此預先測製的精密地圖便是所謂的高精地圖（High Definition Maps, HD Maps）。

與傳統電子導航地圖相比，高精地圖無論是在地圖內容或精密程度上皆有很大的差異。簡單地說，傳統電子導航地圖是設計給「人」看的，且大多為二維平面地圖，而高精地圖則是專門為自動駕駛目的而設計，主要是給車上的「電腦」看的，且是具有高程資訊的

三維地圖。傳統電子導航地圖雖具有「路徑規劃」及「方向指引」的功能，但最終仍是由人類依據其駕駛經驗自主判斷道路狀況並決定汽車駕駛的方向，因此地圖內容主要以交通路網及地標為主，對於精度也無太高的要求。高精地圖則是車載電腦用來與即時感測資料，如影像（Images）或點雲（Point Cloud）等進行比對的參考依據，除了精度要求較高之外，高密度的三維點雲地圖（3D Point Cloud Map）以及與交通規則相關的道路語意特徵地圖（Traffic Rule-related Semantic Feature Map）為其主要內容^[1]。

由於高精地圖是專為自駕車應用而特別測製的地圖，其相關內容之設計、測繪之正確性、以及圖資精度等都將直接影響到自駕車行駛時的安全性。為了讓高精地圖能廣泛地使用於各廠牌自駕車或其他相關應用，需要有一套共同且符合國際標準的高精地圖內容及資料格式，因此本文首先針對高精地圖之主要內容進行描述，並說明目前國內於高精地圖標準制訂之進展；接著本文將針對高精地圖製作之主要程序及方法進行說明，為了確保高精地圖資料內容的品質及一致性，許多測製程序常需耗費大量人力及時間，其中以語意特徵地圖的製作最為耗時耗力。為了提升高精地圖語意特徵萃取之效能，許多研究採用機器學習（Machine Learning）演算

法進行語意特徵的自動萃取，再由人進行驗證^[1]。本研究則嘗試應用不同的深度學習方法從點雲資料中自動學習並萃取語意特徵，期待未來能進一步降低產製高精地圖之人力及製作經費之門檻。

高精地圖之主要內容

一個完整的高精地圖主要包含一個三維點雲地圖、以及一個用來儲存語意特徵的 GIS 向量圖層，兩者具有同樣的空間坐標，如圖 1 所示。點雲資料主要利用車載光達系統 (Mobile LiDAR System) 掃描而得，除了當作自駕車即時定位用之參考資料外，亦是用來製作語意特徵地圖的主要依據。高精地圖向量圖層則包含了車道等級的道路資訊及各種交通設施，並包含了路面及路邊之各種物體。根據「高精地圖檢核及驗證指引」的內容，高精地圖向量圖層的主要種類如圖 2 所示，包含道路、車道、交通號誌、交通標誌、標線及物體等。道路及車道部分的主要內容包括三維的車道等級地圖，自駕車可獲得車道中心線、車道線、道路邊緣等道路資訊，由於是具高程資訊的三維資料，因此可提供坡度、曲率等傳統平面地圖所缺乏的資訊。另外還包含交通號誌、

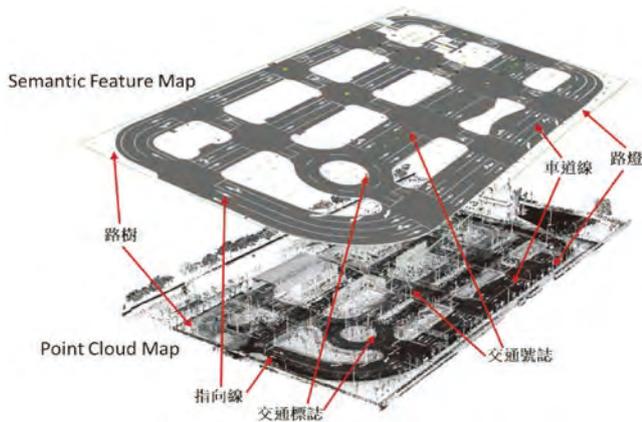


圖 1 台灣高精地圖之主要內容

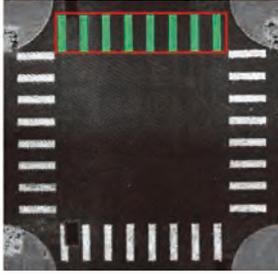


圖 2 台灣高精地圖語意特徵主要種類 (標誌、號誌、標線及物體僅為舉例)

標誌、標線等交通管理設施，以及其他道路上之物體。有了這些豐富圖資內容，再搭配其他感測器，自駕車即可進行各種車輛行駛決策。

以下對於重要的向量圖層的幾何位置進行介紹：

1. 路面邊緣：道路路面之邊緣，以柏油路面做為主要認定的邊界，若道路具有路緣石，就以緣石外側視為路面邊緣。
2. 車道線：車道線作為車道兩旁的邊界，具有寬度、顏色及樣式等屬性，車道線以路面的標記為主，量測時取車道線的中心線。
3. 車道中心線：車道中心線是虛擬線，在道路測繪時以車道兩側的車道線取中心線。
4. 標線、標線範圍、標線實形：由於道路上的標線相當多，尤其國內的標線比國外來的更多，因此依據不同的標線類型，分成三個圖層。標線 (MarkLine) 是以一條線為其代表位置，並加上寬度屬性，用以描述其面狀之範圍，例如路面邊緣、停止線、車道線皆屬於此類型，也最為單純；標線範圍 (MarkArea) 記錄標線之外圍面狀範圍，例如停車格、禁止停車區、機車停等區、槽化線等皆屬於此類型，可辨識標線外圍邊界而繪製出一空間範圍。標線實形 (MarkGraph) 則以多邊形繪製出標線的實際形狀。以圖 3 為例，行人穿越道為例，MarkArea 繪製紅色之範圍。MarkGraph 繪製綠色範圍，MarkGraph 的數量依照實際情況而定。
5. 停止線：停止線的位置是取停止線之中心線，並記錄寬度內容。
6. 停車格：停車格為車輛的停放位置，記錄停車格的多邊形。
7. 物體：除了桿狀物體的其他各種路面或路邊物體，皆記錄在物體圖層。測繪時須量測其底部三維空間範圍，另外於屬性內記錄物體最高點的橢球高。由此可知高精地圖並不記錄物體的實際三維複雜形體，而是由底部範圍及高度表現物體的概略空間位置。
8. 隧道、橋梁：隧道、橋梁皆量測平面的底部範圍多邊形，並記錄隧道及橋樑之名稱，並可記錄相關車道之識別碼。概念與物體相同，僅記錄隧道與橋樑的概略空間位置。
9. 標誌：量測牌面中心位置三維點坐標，並記錄其標誌牌面法向量與正北之角度、標誌所在的桿柱及標誌種類。並且記錄涵蓋標誌的包圍矩形，記錄其左下及右上坐標。

圖 3 MarkArea 與 MarkGraph 示意圖^[3]

10. 號誌、號誌燈號：號誌分為兩個部分，每一個號誌皆以一個三維點坐標記錄號誌的概略中心位置，並記錄屬性；對於號誌上的每一個燈號，則另記錄三維點坐標及屬性，屬性包含燈號意義、燈號鏡面之半徑等資料。
11. 桿柱：記錄桿狀物體的基底中心三維點坐標，並記錄頂點的高度，以及桿柱類型。

高精地圖的國際標準及相關發展

智慧駕駛與自駕車相關領域的發展，需要有一套共同的高精地圖資料格式及內容，並且品質必須通過檢驗，以輔助智慧駕駛車或自駕車進行車道等級的定位，進而發展先進駕駛輔助系統。為了確保資料內容及品質的一致性，訂定相關的產業標準與規範成為不可或缺的重要工作。目前高精地圖在內容及格式上的國際標準有 OpenDRIVE、Autoware、NDS (Navigation Data Standard) 等不同之標準資料格式，部分組織在發展資料格式的時候會連同軟體平台一起開發，例如 Autoware 是一整套的開源應用平台。Autoware 因具有開源應用平台，內建許多技術程式，讓自駕車研發單位在導入相關技術時可大大地降低成本，因此廣泛為許多研發單位及發展業者採用，國內有許多業者採用 Autoware 平台。NDS 則是會員制，採用之會員需固定繳交費用，採用其平台最新技術及內容，歐洲有許多車廠皆是 NDS 會員。

各國對於車商、自駕車產業的投資程度不同，有些由業者主導，有些則從國家扶植的角度進行合作，因此推動方式也有所差異。歐、美、韓國的車商規模較大，投入自駕車之資金較多，有另一個現象是由車商及車用圖資商主導高精地圖的發展，例如 HERE 及 TomTom 等圖資商與國外相關車廠合作，發展出不同的高精地圖，各自具有不同的圖資內容及格式，直接整合在車輛系統內。

另外的發展模式則是訂定國家級的資料標準，目前有部分國家選用一種國際標準去訂定國家的高精地圖資料標準，或自行研發新的資料格式，例如中國以 OpenDRIVE 為基礎而開發 Apollo，修改擴充了 OpenDRIVE 的內容；而台灣與日本較為相似，主要由政府出資主導，並推動自己國家的高精地圖產業標準。日本做法是由政府與車廠共同成立企業 (DMP-Data Management Platform)，並且發展國家等級的高精地圖內容，而台灣則是政府出資，推動計畫後由國內專家承接進行研發規劃，以 OpenDRIVE 為基礎而訂定國家之高精地圖標準。

國內高精地圖的標準發展情形

我國由內政部於 2018 年正式啟動台灣高精地圖標準規範之制定與製作計畫，並委託成功大學高精地圖研究發展中心訂定相關標準及指引，目前已於台灣資通產業標準協會 (TAICS) 發佈中英文版之高精地圖圖資內容與資料標準、中英文版之高精地圖製圖作業指引及高精地圖檢核及驗證指引，如表 1 所示。另外，目前已提案並進入審閱流程的文件包含高精地圖更新作業及檢核指引—靜態圖資、高精地圖圖資內容及格式標準英文版以及自駕車高精地圖輔助與事件標準，如表 2 所示。

根據前述的相關內容，高精地圖的生產具有一系列的程序與指引，並且需要通過相關的檢核。首先由

表 1 已發佈之標準、指引文件

文件名稱	文件編號	發佈日期
高精地圖製圖作業指引 v2	TAICS TR-0010 (E) v2.0	108/10/17
高精地圖檢核及驗證指引	TAICS TR-0016 v1.0	109/06/05
高精地圖圖資內容及格式標準 v1.1	TAICS TS-0011 v1.1	109/06/12
高精地圖製圖作業指引英文版： HD Maps operation guidelines v2	TAICS TR-0010 (E) v2.0:2021	110/07/30
高精地圖檢核及驗證指引英文版： Verification and validation guidelines for HD Maps	TAICS TR-0016 (E) v1.0	110/07/30
高精地圖圖資內容及格式標準 v1.1 英文版： HD Maps data contents and formats standard v1.1	TAICS TS-0024 (E) v1.0	110/08/26

表 2 審閱中之標準、指引文件

文件名稱	送審日期
高精地圖更新作業及檢核指引－靜態圖資	110/04/16
自駕車高精地圖輔助與事件資料標準	110/08/06

測繪業者駕駛測繪車進行量測，得到道路的點雲資料，測繪業者再依據規範而製作向量圖層。「高精地圖檢核及驗證指引」規定了高精地圖的向量圖層相關內容，包含空間資訊與屬性資料，如車道邊界、車道曲率、車道標線、交通標誌及號誌等資訊。而「高精地圖圖資內容及格式標準」，則以 OpenDRIVE 標準為基礎而發展，並且依據國內的交通設施法規及應用情境進行內容擴充，例如汽車機車混流、特有的標誌與號誌，稱為台灣高精地圖 OpenDRIVE+Extension，藉此作為車載高精地圖的中介流通格式。

高精地圖產製程序

高精地圖之產製大致可分為四個程序，包括 (1) 外業資料收集；(2) 高精地圖之製作；(3) 品質檢核與驗證；(4) 維護及更新等 [2]。

在外業資料收集方面，具有直接地理定位能力的車載行動測繪系統 (Mobile Mapping System, MMS) 是用來蒐集製作高精地圖所需資料的主要工具，MSS 本身搭載有精密的 INS/GNSS 定向定位整合系統、光學攝影機、及光達掃描儀等多種感測器，其中攝影機所拍攝的影像及光達點雲資料皆隱含有製作高精地圖所需之幾何及語意資訊，而 INS/GNSS 所記錄的定位定向資訊則賦予了前兩項資料精確的空間坐標。在進行外業資料蒐集之前，尚必須實施任務規劃、實地踏勘、控制測量、系統檢測、系統初始對準等作業，以確保所蒐集資料的正確性及品質。

在高精地圖製作方面，主要是從 MMS 所蒐集的影像及光達點雲資料中萃取出道路及各種交通設施之幾何、語意及屬性等資訊，並依據前述標準規範製作成高精地圖之向量圖層。此項工作主要包含四個步驟，如圖 4 所示，包括 INS/GNSS 定向定位資料整合、影像及點雲資料之融合及定位、道路及交通設施等語意特徵之辨識及定位、以及賦予特徵屬性資訊等。其中語意特徵之辨識、定位、以及語意與屬性之賦予大都借助於商業軟體之輔助，以人工方式對高精地圖圖資之各項內容進行數化，圖 5 所示為道路標線及交通號誌之數化成果範例 [3,4]。

高精地圖製作完成後，需進行品質檢核與驗證，以確保所產製之圖資精度及屬性正確性可以符合高精地圖製作規範之要求。此外，高精地圖亦須定期維護

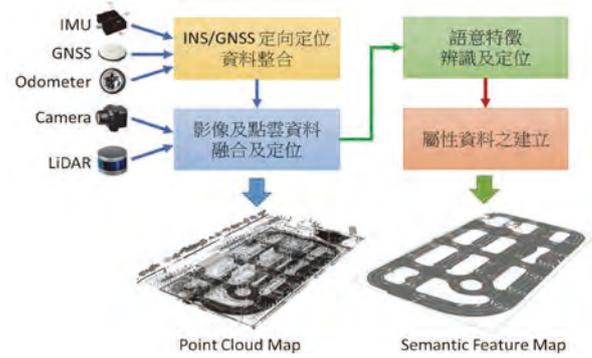
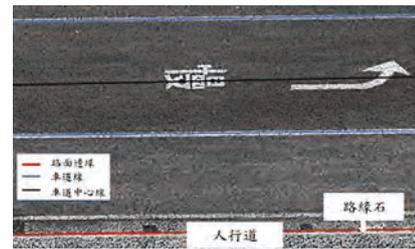
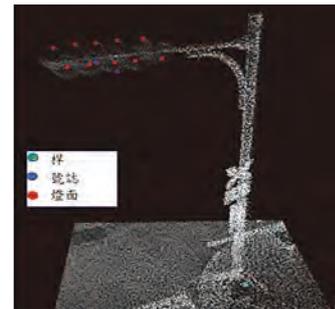


圖 4 高精地圖之製作程序



(a) 車道線、路面邊緣以及車道中心線示意圖



(b) 號誌、燈面、桿數化位置示意圖

圖 5 高精地圖數化成果範例 [3]

及更新，以確實圖資內容能夠呈現道路環境的變化。此兩項作業之詳細內容及工作流程可參考下一篇文章：「高精地圖檢核驗證與更新作業」(第 21-29 頁)。

深度學習應用高精地圖語意特徵之辨識

由上一小節可知，高精地圖的測製是一件非常耗時費力的工作，尤其是在道路相關語意特徵及屬性資料的萃取方面，此通常需要大量的人工判識作業，也使得高精地圖的製作經費相當昂貴。最近許多研究開始探討如何利用機器學習 (Machine Learning, ML) 進行道路資訊的自動化萃取，以提升高精地圖之產製效能 [1,5]。機器學習是人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 的一個分支，其主要模仿人類從經驗中學習的概念，不同的是，機器學習是讓電腦從資料中自我學習，以最佳化的方式找到解決問題的一個最佳解，且無需事先了解太多資料的特性或依賴任何預先建立的模式 [6]，通常用來學習的已知樣本越多，機器學習的效能越佳。

由於光達系統為自駕車上最主要的感測器，如何利用機器學習演算法快速且精確地從光達點雲資料中辨識出上述高精地圖之內容也成為近年來主要的研究議題。為了隨時因應道路環境的變化，同時提升一般機器學習的準確度，製作高精地圖時常採取互動式學習方法 (Interactive Learning)，也就是藉由「Human-in-the-Loop (HitL)」的概念^[5]，讓人可以在適當的時機介入機器學習的歷程，以迭代的方式持續地改善模型的效能，使模型的預測更加精準。理論上，圖 2 所示高精地圖的主要種類 (包含道路線、車道線、交通標誌、交通號誌、標線及物體等) 大都可透過機器學習確定其空間位置、語意及屬性等相關資訊。

點雲資料係由大量不規則分佈的離散點所組成，運用傳統的機器學習演算法進行分類時，須先透過特定的統計規則或幾何限制條件進行手工特徵的萃取 (Handcrafted Feature Extraction)，再從中選出重要的特徵做為點雲分類的依據。然而要建構有用的手工特徵通常需要依賴特定的領域知識或具有豐富的經驗。近年來深度學習 (Deep Learning, DL) 中的卷積神經網路 (Convolutional Neural Networks, CNN) 因具有自動萃取二維影像中局部特徵的能力，在許多應用中已獲得不錯的成果，可以說是最受矚目，也被廣泛使用的一種機器學習方法^[7]。若能將 CNN 應用於光達點雲資料分類，不僅不須光達幾何分布的先驗資訊，也不須事先以人為介入的方式萃取特定的幾何特徵，應可改善點雲分類的準確性，提升點雲分類之效能。

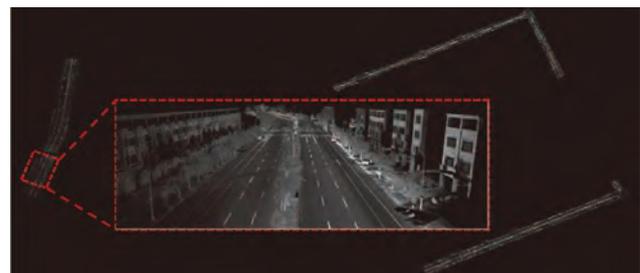
為了測試深度學習應用於高精地圖測製之可行性，本研究採用三種具不同複雜度的深度學習模型進行車載光達點雲資料分類的實驗。第一個為具開創指標性的 PointNet 模型^[8]，其特點是參數少、模型較為簡單、訓練速度快，但對局部特徵的萃取能力較為不足，因此本研究對其進行了改善，於點雲坐標之後加入了特定的手工特徵一起輸入模型中進行訓練，以強化其局部特徵萃取之能力；另外以 PointNet 為基礎而改進的 PointNet++ 模型^[9]為本研究所採用的第二個模型，其透過階層式的架構獲取點雲的局部特徵，雖可提升整體的分類準確度，但需要較多的計算時間。本研究所採用的第三個模型為 KPConv^[10]，不同於 PointNet 與 PointNet++ 利用多層感知器 (mult-layer perceptron, mlp) 進行特徵萃取，KPConv 定義了一個具有空間核 (spatial kernels) 的點卷積 (point convolutions) 直接對點雲進行三維特徵萃取。KPConv 在許多公開的點雲資料集中常獲得最佳的分類成果，但卻必須花更久的時間進行特徵學習。

本研究的實驗資料為台南沙崙高鐵車站附近之車載

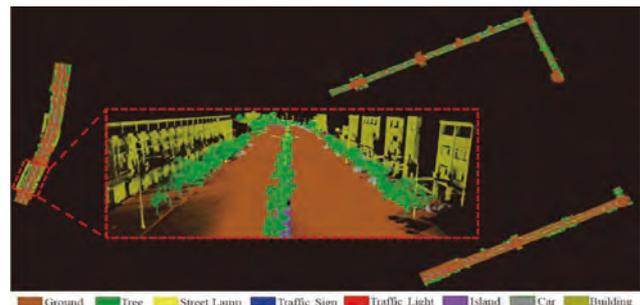
光達點雲資料，其由 Optech Lynx-M1 光達掃描儀掃描而成，點雲密度約為 2000 pt/m²，如圖 6(a) 所示。根據高精地圖之應用目的，該場景的地物可大致區分為八個類別，即地面 (Ground)、樹 (Tree)、路燈 (Street Lamp)、交通標誌 (Traffic Sign)、交通號誌 (Traffic Light)、分隔島 (Island)、車輛 (Car)、以及建物 (Building) 等，如圖 6(b) 所示。本研究即以此八個類別作為分類標的，進行上述三個深度學習模型的訓練及測試。

除了上述三種深度學習模型以外，本研究亦同時測試了隨機森林法 (Random Forest, RF) 及商用軟體 LiDAR360 的機器學習分類工具在點雲分類上之效能。測試成果以總體準確度 (Overall Accuracy)、平均召回率 (Average Recall)、平均精確率 (Average Precision) 及平均 F1-Score 等效能指標繪製直方圖比較，如圖 7 所示。總體來說，傳統機器學習的隨機森林演算法表現最差，接著依序為商用軟體 LiDAR360、加入手工特徵的 PointNet、PointNet++，而 KPConv 則有最佳的表現。

圖 8 為上述點雲分類成果以視覺化的方式呈現，對於地面、樹木及車輛的判識上，各模型都有不錯的表現，其中可看出 LiDAR360 將大量分隔島判識為地面點，將交通標誌分類成車輛，或是將路燈及交通號誌分類成樹木等；而改善後的 PointNet 及 PointNet++ 則明顯地改善大量 LiDAR360 判識錯誤的地方，但兩者還是存在著容易將分隔島誤判為地面點、將路燈及紅綠燈分類成樹木、或是無法正確分類出物體較小且點雲數量少的交通標誌等問題。若與 PointNet 相比，PointNet++ 因考慮更詳細的局部特徵，故比較不會有將



(a) 以強度顯示的原始點雲資料



(b) 以類別顯示的原始點雲資料

圖 6 沙崙車載光達資料

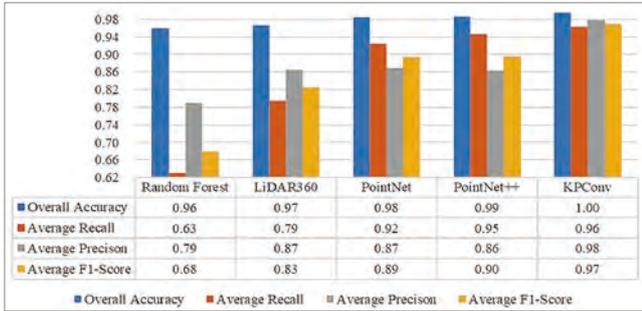
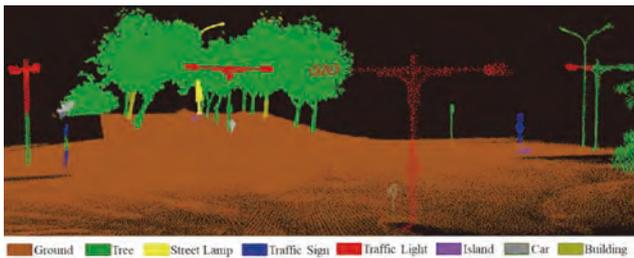
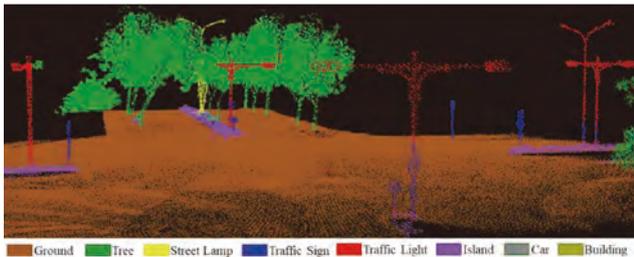


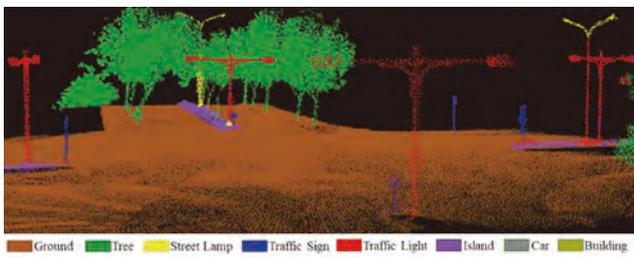
圖 7 不同模型之點雲分類成果比較



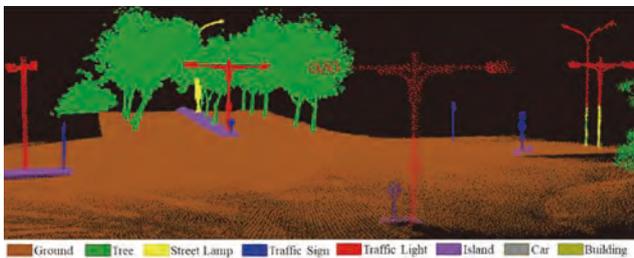
(a) Lidar360 分類成果



(b) PointNet 分類成果



(c) PointNet++ 分類成果



(d) KPConv 分類成果

圖 8 不同模型分類成果之視覺化比較

路燈分類成交通號誌的情形，但在燈桿的判識上，因為形狀都一樣，所以還是存在桿狀區域誤判之情形；最後是 KPConv，其成果不論在分隔島還是交通標誌等各項類別的判識上均呈現最佳的分類表現，但在桿狀物或是孤立建物牆面的判識上還是有少許錯誤，這是未來可以改善的地方。

結論及未來發展

高精地圖係專為自駕車所設計之地圖，主要提供自駕車定位、導航、駕駛決策時之主要參考依據，為了確保自駕車之駕駛安全，高精地圖的內容及精度皆訂有完整且一致的標準及規範。本文首先簡單介紹了高精地圖的內容，並針對國內外高精地圖格式標準及規範之相關發展進行了說明，此外也簡單描述了高精地圖之測製及作業程序。為了提升高精地圖產製之作業效能，本研究嘗試應用深度學習演算法對點雲資料進行分類，以萃取出具有語意及屬性資訊的道路特徵，實驗結果顯示深度學習確實可以達到自動萃取道路語意特徵的目的，但仍有改善的空間。

未來除了持續優化深度學習網路架構以提升道路語意特徵萃取之效能外，也可嘗試以機器學習演算法進行自駕車上各種感測器之資料融合、點雲套合、自駕車定位、及駕駛行為自動決策等工作。此外，高精地圖除了提供自駕車使用之外，未來亦可作為交通及道路資訊管理、維護、及規劃等之重要參考圖資。

參考文獻

- Chen, S., Liu, B., Feng, C., Vallespi-Gonzalez, C., Wellington, C., (2021). 3D Point Cloud Processing and Learning for Autonomous Driving: Impacting Map Creation, Localization, and Perception. IEEE Signal Processing Magazine 38, 68-86.
- 台灣資通產業標準協會 (2019)，高精地圖製圖作業指引 v2，TAICS TR-0010 v2.0。
- 台灣資通產業標準協會 (2020a)，高精地圖檢核及驗證指引，TAICS TR-0016 v1.0。
- 台灣資通產業標準協會 (2020b)，高精地圖圖資內容及格式標準 v.1.1，HD MAPS TS-0011 v.1.1。
- Jiao, J. (2018). Machine Learning Assisted High-Definition Map Creation, 2018 IEEE 42nd Annual 7. Computer Software and Applications Conference (COMPSAC). IEEE, Tokyo, Japan.
- Sarkar, D., Bali, R., Sharma, T. (2018). Practical Machine Learning with Python: A Problem-Solver's Guide to Building Real-World Intelligent Systems. Apress, Berkeley, CA.
- LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015. Deep Learning. Nature 521, 436-444.
- Qi, C.R., Su, H., Kaichun, M., Guibas, L.J. (2017a). PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2017). IEEE, Honolulu, HI, USA, pp. 77-85.
- Qi, C.R., Yi, L., Su, H., Guibas, L.J. (2017b). PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space, in: Guyon, I., Luxburg, U.V., Bengio, S., Wallach, H., Fergus, R., Vishwanathan, S., Garnett, R. (Eds.), 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017), Long Beach, CA, USA, pp. 5105-5114.
- Thomas, H., Qi, C.R., Deschaud, J.-E., Marcotegui, B., Goulette, F., Guibas, L. (2019). KPConv: Flexible and Deformable Convolution for Point Clouds, 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), Seoul, Korea (South), pp. 6410-6419.



高精地圖 檢核驗證 與 更新 作業

江凱偉／國立成功大學測量及空間資訊學系 教授
王驥魁／國立成功大學測量及空間資訊學系 教授
郭重言／國立成功大學測量及空間資訊學系 教授
李佩玲／國立成功大學高精地圖研究發展中心 博士
林敬翔／國立成功大學高精地圖研究發展中心 專案經理
李啓民／國立成功大學測量及空間資訊學系 博士候選人

隨著智慧型運輸系統的發展，高精地圖（High Definition Maps, HD Maps）成為不可或缺的一環，其可輔助自駕車系統決策以提升行車安全。因此，高精地圖品質良窳與實際應用息息相關，須確保產製之圖資符合高精地圖精度要求及對應的屬性內容，方可提供自駕車使用。此外，高精地圖靜態圖資之定期更新亦是決定該產業能否永續發展之關鍵，目前我國已將高精地圖靜態圖資生產及檢核與驗證程序標準化並發佈相關標準與指引，並已研擬高精地圖靜態圖資更新作業程序，本文旨在提供高精地圖檢核驗證與更新作業之基礎資訊，希冀幫助讀者了解相關程序與推動我國高精地圖產業之發展。

關鍵詞：高精地圖、檢核與驗證、更新作業程序

前言

隨著智慧運輸系統（Intelligent Transport System, ITS）的發展，自駕車將成為未來全新的交通方式。自駕車預期可帶來各方面之正面影響，包含減少車禍、交通阻塞、節省能源以及降低空氣汙染等等。此外，自駕車產業亦可帶來巨大之經濟效益，並帶動相關產業的發展，例如導航、資通訊、軟硬體開發以及測繪產業等各類領域。我國在民國 107 年經立法院通過「無人載具科技創新實驗條例」，推動自駕車實證上路計劃，使台灣透過立法以鼓勵國內產業投入無人載具創新應用與發展。然而無人載具雖然能帶來極大產業效益與便利性，但是亦伴隨風險之產生。自駕車高度仰賴衛星定位、光達、相機等感測器進行即時運算

及決策，高精度與演算效率為感測器的研發重點，其中，高精地圖（High Definition Maps, HD maps）更是扮演不可或缺的角色。

高精地圖與一般普通車載電子導航地圖差異在於幾何精度以及屬性內容豐富度。車用導航地圖的演進如圖 1 所示^[1]，普通車載電子導航地圖平面精度約為 5 ~ 10 公尺左右，因為該地圖主要功能為提供使用者路網資訊以及路徑規劃等導航服務，對於精度需求較低，而高精地圖之精度要求為平面 20 公分、三維 30 公分，為因應車控端的需求須搭載高精度的資訊，才能避免與其他道路參與者發生擦撞等意外。

國際汽車工程師學會（Society of Automotive Engineers International, SAE）提出一套分類方法，將



圖 1 車用導航地圖的演進 (圖取自江凱偉等人 [1])

等級	分類	地圖類別	地圖的精度	高精地圖使用條件
人為駕駛				
1 (DA)	駕駛輔助	ADAS 地圖	次公尺級	選配
2 (PA)	部分自動	ADAS地圖	次公尺級	選配
自動駕駛				
3 (CA)	條件自動駕駛	ADAS 地圖 + 高精地圖	次公尺級+公分級	選配
4 (HA)	高度自動駕駛	ADAS 地圖 + 高精地圖	次公尺級+公分級	標配
5 (FA)	全自動駕駛	ADAS 地圖 + 高精地圖	公分級	標配 (自動更新)

圖 2 自動駕駛等級分類與其所需的地圖精度 (圖取自沈慶堯等人 [3])

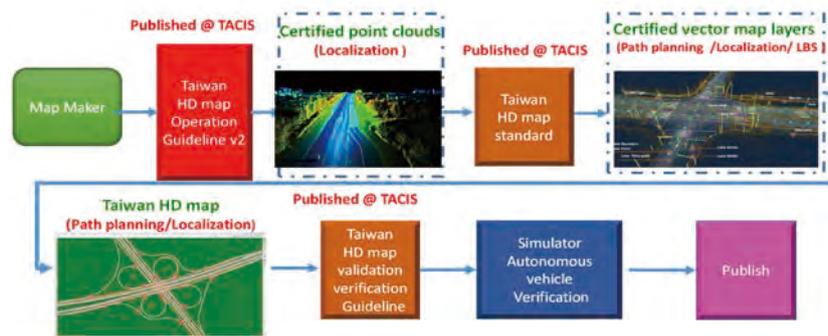


圖 3 地政司建議台灣高精地圖生產程序 (圖取自沈慶堯等人 [3])

自駕車系統分為六個層級 (Level 0-5) [2]，現今導入先進駕駛輔助系統 (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) 之市售車輛為第二級 (Level 2)，而不須人為介入操控之全自動駕駛為第四級 (Level 4) 以上。若要達成第四級以上的安全駕駛，勢必對於導航精度有相應的要求，因此使用具備車輛導航資訊之高精地圖，為自駕車技術運行之關鍵，自動駕駛等級分類與其所需的地圖精度如圖 2 所示 [3]。

高精地圖除了能協助自駕車安全行駛路線規劃提供輔助資訊，亦能為自駕車上搭載之感測器所蒐集的觀測量提供先驗資訊，如辨識道路物件、交通號誌以及交通標誌等。因此高精地圖的品質良窳與實際應用成效息息相關，而確保自駕車行駛得以安全無虞，須確保測繪產業產製出之圖資，符合高精地圖精度要求及足夠完善之屬性內容，方可提供自駕車使用。

為提升我國在測繪及自駕車市場之發展，須建立國家層級之統一圖資規範。而靜態底圖為目前製圖及自駕車技術發展應用之重點，藉此建置靜態駕駛以及模擬測試環境。內政部地政司與國立成功大學團隊於民國 108 年間，基於國內非封閉場域實證經驗，並透過台灣資通產業標準協會 (Taiwan Association of Information and Communication Standards, TAICS) 審議並完成發布「高精地圖製圖作業指引 v2」、「高精地

圖檢核及驗證指引」與「高精地圖圖資內容及格式標準」，將高精地圖靜態圖資生產以及檢核與驗證程序標準化，內政部地政司建議之台灣高精地圖生產程序與上述標準與指引文件之對應關係如圖 3 [3]。

高精地圖驗證流程

根據「高精地圖檢核及驗證指引」將高精地圖各階段生產程序訂定生產程序檢核與成果驗證項目，主要分為「作業規劃檢核」、「控制測量檢核」、「作業成果檢核」、「點雲資料驗證」以及「向量圖層驗證」一共五大階段 [4]。完成上述步驟之圖資產製與檢核驗證，將會進行製作台灣高精地圖 OpenDRIVE 格式並進行模擬測試，通過所有步驟後方可提供終端使用者進行上路運用及測試。

作業規劃檢核

作業規劃為測繪作業之根本，須根據不同施測場域，配合其現況進行評估施測安全、交通環境，進行儀器配置、施測方式及實施路線規劃等前置作業。進行檢核時亦須針對場域特性進行評估，方可進行後續外業流程。

控制測量檢核

控制測量的目的為取得已知坐標，藉由測繪作業取得之絕對坐標作為控制點，納入後續製圖作業解算並加以約制測量誤差；以及作為製圖誤差計算與精度分析但是不納



圖 4 控制測量外業施測示意圖

入製圖作業解算之檢核點。實施控制測量檢核作業時，將依據各測區所設置之控制點及檢核點進行外業抽驗施測，檢核比例為 10%，控制點及檢核點之絕對平面及三維精度須符合 10 公分及 15 公分之規範。控制測量通常會選擇路面上明顯的特徵物（如標線、孔蓋等）佈設控制點及檢核點，控制測量外業施測示意圖如圖 4 所示。

作業成果檢核

當測繪車完成點雲、影像等資料蒐集後，在進行資料後處理前須進行作業成果檢核，藉此確認各階段前置作業，以及測繪外業之程序是否合乎規範要求。此時須檢查各項應完成之原始資料，如影像、點雲等。此步驟蒐集之點雲資料，雖然尚未進行平差後處理程序，但是須檢查蒐集之點雲範圍及格式之完整性，確保資料內容有涵蓋全測區。圖 5 為原始點雲資料展點與現地影像比較示意圖。



圖 5 點雲展點與現地影像示意圖

點雲資料驗證

測繪點雲資料為 LAS 格式，需包含各掃描點的地面三維坐標值、反射強度值、掃描路線以及 GPS TIME 等資料，同時為避免做為自駕車系統約制資料之點雲，因測區環境複雜而造成之雜訊，而造成車控端演算法之誤判，需將點雲資料進行過濾，將地面點以及非地面點分類。依據終端使用者之不同定位精度需求，將點雲密度要求分為三個等級，如表 1 所示^[5]。進行點雲密度驗證時，資料驗證範圍以路面邊緣向外延伸為界，並以 1 平方公尺之網格為樣本單元，檢查驗證範圍內之點雲密度，測區內不合格網格數應小於總網格數之 5%。圖 6 (左) 為點雲成果示意圖 (以臺灣智駕測試實驗室為例)，圖 6

表 1 點雲密度等級分類 (取自台灣資通產業標準協會^[5])

點雲密度等級	應用場景 (三維定位精度)	點雲密度值 (pt/m ²)
第一級	主動控制 (Active Control) (0.1 公尺)	2500-10000
第二級	車道內 (Where in Lane) (0.5 公尺)	400-2500
第三級	車道級 (Which Lane) (1.5 公尺)	100-400

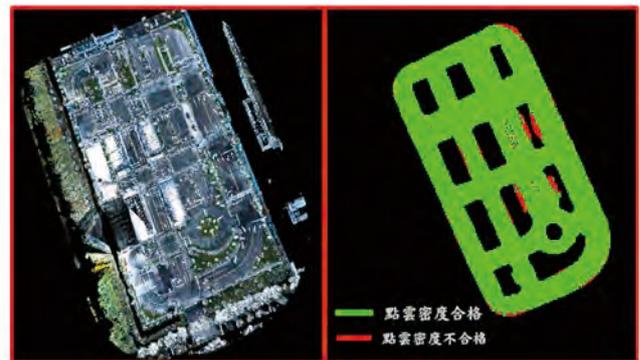


圖 6 點雲密度計算成果示意圖

(右) 為點雲密度計算成果，點雲密度合格的樣本單元以綠色展示，點雲密度不合格者則以紅色展示。

為了滿足規範之點雲密度，測繪車光達掃描通常採用來回多趟掃描，藉此降低遮蔽以及提升點雲密度，然而不同掃描路線、不同時間獲取之點雲存在誤差，需進行點雲平差作業，藉由不同掃描路線之間重疊區域中所佈設的控制點，進行點雲資料之校正，以提升點雲資料之相對精度，平差修正前後差異如圖 7。控制點能提升點雲之絕對精度，能確保產製之點雲資料能符合製圖需求之絕對精度。

為驗證點雲平差結果已有效修正各掃描路線點雲之系統誤差，應執行點雲相對誤差驗證，以確保點雲之內部幾何精度經平差修正後平面及高程相對精度優於 10 公分。掃描路線相對高程偏差量計算將於測區內每隔 100 公尺取一個對應路面位置，作為驗證位置，接著以此為中心取 25 平方公尺的區域，擷取重疊於該

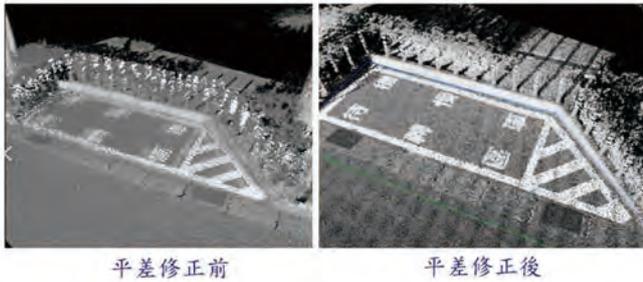


圖 7 平差修正比較示意圖

區域之路面點雲以計算點雲之最適平面，則該平面中心位置之高程即為推估高程，如此可得每條掃瞄路線於同一位置之推估高程，便可計算各掃瞄路線間之相對高程偏差量，推估高程之最大值與最小值之差值即為掃瞄路線高程相對精度，其示意圖如圖 8 所示。掃瞄路線相對平面偏差量計算則選取測區內每 1 公里選取對應路面位置上之交通標誌牌面、桿件或是安全島之點雲作為驗證位置，同樣推算每一掃瞄路線最適平面之中心位置，便可計算各掃瞄路線間之相對平面偏差量，其差值之最大值與最小值即為掃瞄路線平面相對精度，其示意圖如圖 9 所示。

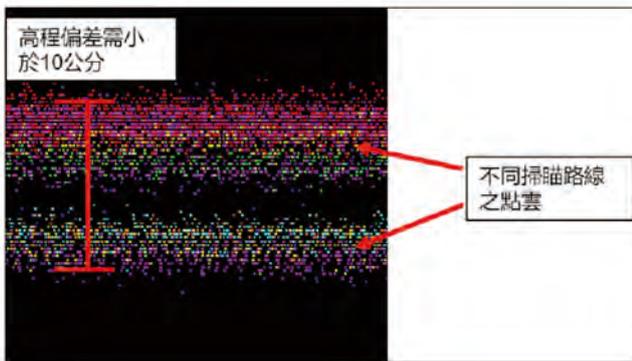


圖 8 掃瞄路線高程相對精度示意圖

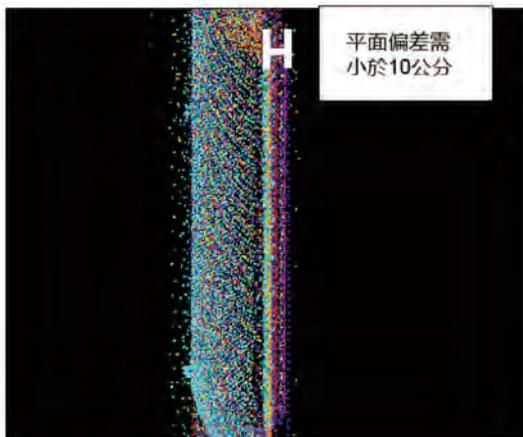


圖 9 掃瞄路線平面相對精度較示意圖

向量圖層驗證

高精地圖之向量圖層能提供精確的絕對位置與屬性資料，以供輔助自駕車導航及決策，如車道邊界、車道曲率、車道標線、交通標誌及號誌等資訊。因此須針對向量圖層之幾何精度及屬性進行驗證。幾何精度驗證分為絕對精度以及相對精度兩部分，絕對精度要求為平面精度須小於 20 公分，三維精度須小於 30 公分；相對精度要求為平面精度須小於 10 公分，三維精度須小於 15 公分。

根據「高精地圖圖資內容及格式標準」納入之高精地圖圖徵包含道路、車道、交通號誌、交通標誌、標線及物體等，其中道路、車道、交通號誌及標誌將驗證與點雲之間相對精度^[6]。以車道線為例，經數化產製之車道線將與點雲中呈現之車道線進行比對，量測兩者之較差，以驗證該項目是否符合相對精度需求，如圖 10 所示。物體、標線之標線圖型（如指向線）等，將透過外業施測進行驗證絕對精度，以行人穿越道為例，將比對數化之實型特徵角點與外業實測成果，驗證兩者較差是否符合絕對精度需求，其外業施測如圖 11 所示，絕對精度驗證如圖 12 所示。

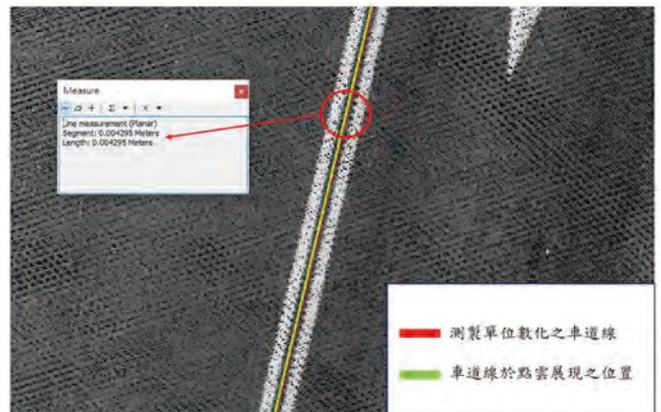


圖 10 車道線相對精度驗證示意圖



圖 11 行人穿越道外業施測示意圖

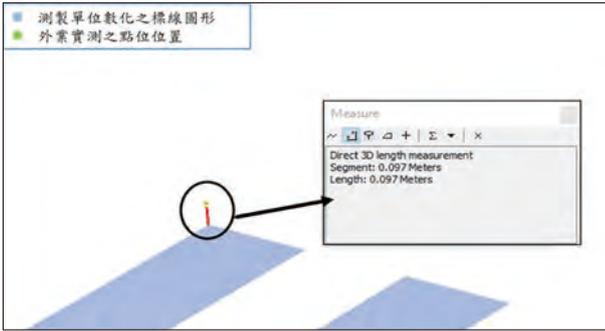


圖 12 行人穿越道絕對精度驗證示意圖

屬性格式檢查則需檢查圖資內容是否符合「高精地圖檢核及驗證指引」及「高精地圖圖資內容及格式標準」所訂定之屬性欄位格式與內容，再針對各項欄位進行檢查，並適時搭配對應位置之影像輔助判斷，如圖 13。

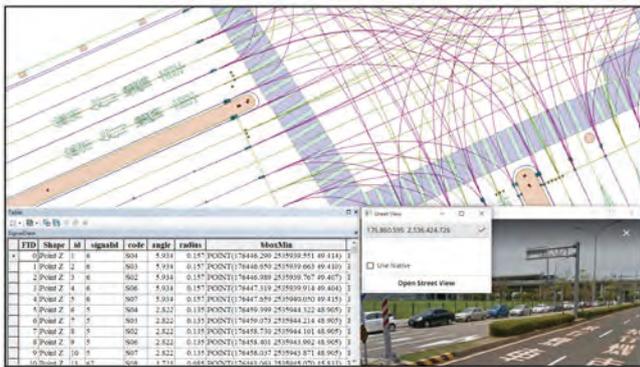


圖 13 屬性格式檢查示意圖

台灣高精地圖 OpenDRIVE+Extension 格式模擬測試

OpenDRIVE 為一公開格式，為自動駕駛模擬需求所設計，透過 XML 架構進行定義道路、車道、車道標線等內容，同時 XML 格式較容易對外流通，能提升不同格式之間轉換之互通性^[7]。台灣高精地圖 OpenDRIVE+Extension 格式為基於 OpenDRIVE 1.5 之規範為框架進行研擬，建立高精地圖圖資內容及格式

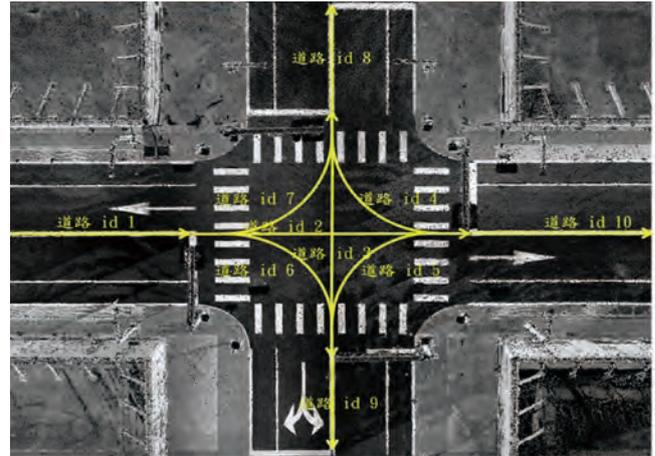


圖 14 道路參考線示意圖

標準之圖徵與屬性類別，並針對台灣特有交通情境以遵循 OpenDRIVE 擴充規則下進行擴充。

台灣高精地圖之道路由道路路段組成，每一道路路段須記錄一個道路參考線，具有起始節點及結束節點，為具有方向性的三維空間線。以圖 14 為例，id 1 之道路參考線欲連結至 id 8、id 9、id 10 之道路參考線，須繪製交叉路口中的道路參考線，即 id 2、id 3、id 4、id 5、id 6、id 7 之道路參考線。

道路及車道為台灣高精地圖之核心，有別於 SHP 格式以向量圖徵展現之形式，OpenDRIVE 格式係強調以數學式建置道路，因此不同路段之間的連結性更為重要，同時此格式成果會直接影響後續車控端之測試與使用成果。模擬測試可透過 MSC Software 公司（係 OpenDRIVE 官方組織）之自駕模擬軟體 Virtual Test Drive (VTD)，其流程包括 (1) 格式檢查、(2) 三維立體可視化與 (3) 自駕模擬檢查：

- (1) 格式檢查：為確定 Xodr 檔案格式之正確性與完整性，匯入 VTD 軟體內不能有任何錯誤訊息，且需要能完整呈現道路資訊以及參考線，如圖 15 所示。
- (2) 三維立體可視化：主要檢查道路、十字路口間之車道連接狀況是否正確，如圖 16 所示；道路標線是否正確建置如圖 17 所示，及是否出現不合理高程起伏，

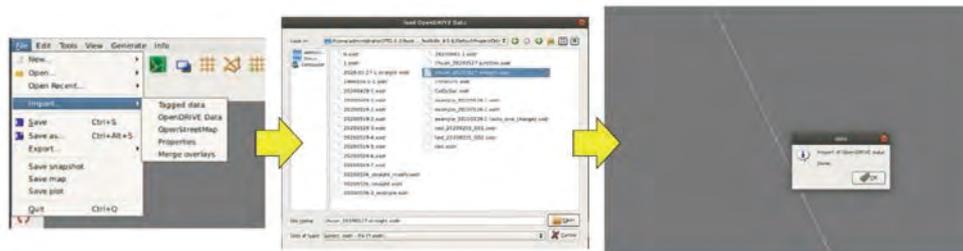


圖 15 格式內容無錯誤訊息示意圖

如圖 18 所示。確認上述步驟後，方可進行邏輯檢查與模擬測試。

- (3) 自駕模擬檢查：透過 VTD 建置模擬駕駛環境，檢查團隊建置之台灣高精地圖，於車輛模擬駕駛時是否平順且未偏離車道，如圖 19 所示，進行所有車道檢查，確認建置之圖資正確無誤。

高精地圖生產之挑戰

高精地圖為自駕車發展之關鍵技術，其品質的好壞將影響自駕車行業的研發與安全性，自動駕駛因其實際運行交通環境相當複雜，具有相當程度地挑戰性，此時更需要為高精地圖打造標準化規格，以利不同場景之間數據的運算。透過訂定明確的高精地圖精度規範與格式標準，能有助於控制整體生產成本的支出^[8]。而目前市面上使用之高精地圖格式亦五花八門，為避免不同格式之間因共享、交換等等造成數據不相容，以及品質不一的問題，透過經過認證公開格式進行格式轉換可解決相應的問題，同時藉由自動化格式轉換工具地開發，可確保高品質的高精地圖能順利支援不同終端使用者。

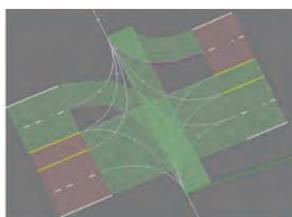


圖 16 車道連接狀況檢查



圖 17 路面標線檢查示意圖

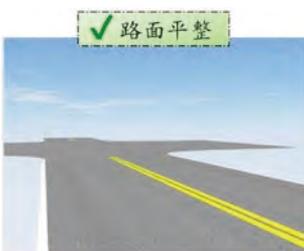


圖 18 確認路面是否出現不合理高程起伏

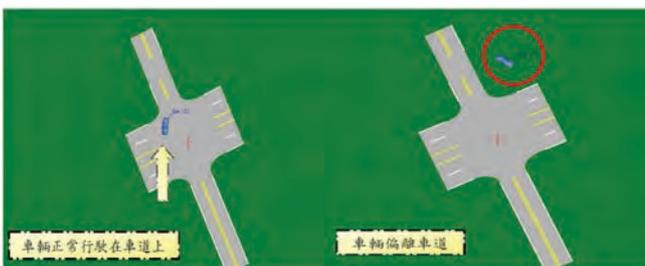


圖 19 檢查車輛模擬駕駛時是否未偏離車道

高精地圖目前另一個挑戰為龐大的生產成本，除了測量外業採集成本，內業人員數化與製作向量圖層亦需仰賴大量人力。因此，尋求降低高精地圖生產成本之方案勢在必行，前述所提及建立產業標準以標準化生產程序與規格即為了降低成本的耗損。而開發自動化生產與圖資轉換工具為提昇內業人員工作效率之必經之路，地政司與成功大學高精地圖研究發展中心及名古屋大學團隊共同開發的台灣高精地圖半自動生產平台，其目的為改善人工最耗時編輯之提增生產效率，同時亦開發生成台灣高精地圖 OpenDRIVE 格式之建模技術配合目前普遍使用之圖資編輯軟體，並與日趨成熟之標準生產程序與圖資內容格式標準相輔相成，以達到台灣高精地圖之精度需求的同時，亦增加生產效率。圖 20 為現行降低高精地圖生產成本之策略。



圖 20 降低高精地圖生產成本之策略

高精地圖更新程序

由專業測繪廠商獲得之高精地圖數據資料精度及可信度很高，然而龐大的測繪成本支出亦造成較難以達成定期更新，若自駕車行駛於具高度變異性的道路、地標時，將給自動駕駛汽車帶來一定程度之安全風險。透過認證第三方進行更新是實現定期更新的可行方案，在專業測繪車的技術基礎上，可利用自駕車或同等規格之資料採集車，雖然感測器精度較低，但可透過群眾外包、成果檢核、數據融合等技術來不斷更新高精地圖。隨著大數據技術的發展以及人工智慧技術 (Artificial Intelligence, AI) 的突破，技術門檻會逐步降低，同時精度和可信度將逐步提高。

為滿足高精地圖定期更新的需求，目前高精地圖主要的更新方式分為兩種：一、專業測繪廠商製圖，依靠自身測繪能力實現定期更新，如利用專業測繪車；二、利用自駕車或同等規格之資料採集車進行資料採集。第一種方式由專業測繪車進行大規模的採集更新，獲得之數據資料精度及可信度很高，但專業測繪車數量及成本耗費是一項龐大支出。若只透過專業測繪車製圖的方

式進行更新，無論是數據量或是成本資金，都是天文數字，但僅依靠較自駕車或同等規格之資料採集車繪製高精地圖，數據整合技術仍存在瓶頸，精度有待提升。因此兩種製圖方式的結合，才是定期更新高精地圖實現的必經之路。如果能制定統一的製圖作業指引，充分利用專業測繪車及自駕車或同等規格之資料採集車資源，以集中方式形成一個基礎的高精地圖網絡，再採用自駕車或同等規格之資料採集車的方式來進行原有高精地圖中物件之變異存在性偵測，若其採集資料精度通過「高精地圖檢核及驗證指引」亦可針對原有之高精地圖進行局部更新，若沒通過則透過專業測繪車進行原有高精地圖的更新與維護，並將更新後成果反饋給自駕車使用者，以實現數據共享。

目前國內專業測繪車已有遵循之製圖作業指引「高精地圖製圖作業指引 v2」，內政部地政司與成功大學團隊目前將針對自駕車或同等規格之資料採集車，建立「高精地圖更新作業及檢核指引—靜態圖資」，針對高精地圖中靜態圖層動態更新之相關標準作業程序，透過自駕車或同等規格之資料採集車執行原有高精地圖之物件變異存在性偵測，後續經驗證單位執行 QA (Quality Assurance)/QC (Quality Control) 確認所偵測出之變異處將進行圖資更新，以確保產製效率及產出成果符合絕對位置精度平面 20 公分與三維 30 公分之高精度需求。

截至目前的應用所需，係針對靜態圖資更新之相關標準作業程序，透過自駕車或同等規格之資料採集車執行 (1) 原有高精地圖之物件變異存在性偵測、(2) 高精地圖圖資更新，以確保圖資更新與產製效率，使高精地圖能持續提升其價值與效用，其架構如圖 21 所示。

區域動態地圖 (Local Dynamic Map, LDM) 資料更新頻率

LDM 提供自駕車操作與決策所需之資訊，其包含了四層圖層架構，如圖 22 所示^[9]：

- (1) 靜態資訊 (Permanent Static Data)：主要包含地圖訊息，描述道路幾何拓撲及連接關係，以及交通號誌、標誌，車道等訊息，亦及本文之高精地圖，須透過專業化移動式車載測繪系統產製，其資訊更新頻率為月更新 (< 1 個月)。

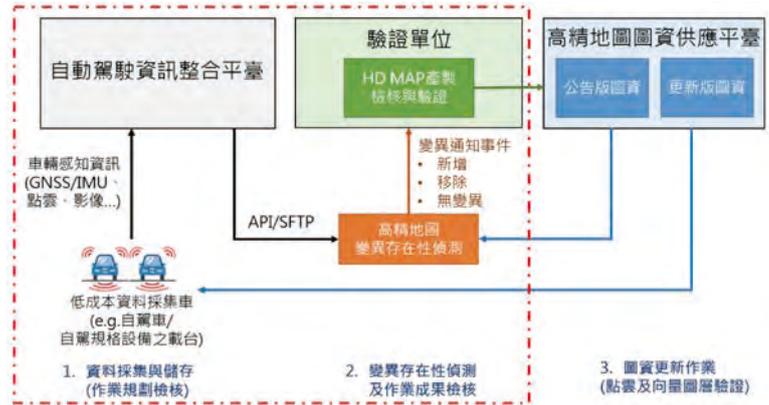


圖 21 高精地圖靜態圖資更新作業架構

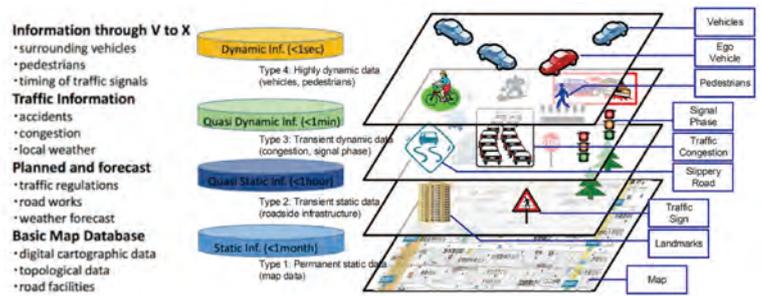


圖 22 LDM 四層架構(取自 Shimada et al. [9])

- (2) 半靜態資訊 (Transient Static Data)：主要包含路側基礎設施的資訊，如交通管制、施工資訊等，其資訊更新頻率為時更新 (< 1 小時)。
- (3) 半動態資訊 (Transient Dynamic Data)：主要包含交通事故資訊、壅堵資訊、及紅綠燈的相位狀況等，其資訊更新頻率為分更新 (< 1 分鐘)。
- (4) 動態資訊 (Highly Dynamic Data)：主要包含車輛、行人等交通參與者的即時狀態數據，其資訊更新頻率為秒更新 (< 1 秒)。

而本文後續探討之更新程序係針對靜態圖層所訂定，其更新頻率以月更新為原則，但由於各場域環境不同，故實務作業時得視不同場域狀況而延長或縮短更新頻率以避免成本浪費或高精地圖不符合現況之問題。

變異存在性偵測

針對高精地圖靜態圖資，利用自駕車或同等規格之資料採集車所蒐集之影像與點雲資料融合以進行變異存在性偵測，其作業主要可分為三大部分：

- (1) 自駕車或同等規格之資料採集車進行資料採集，並將相關資料（如 INS/GNSS、光達點雲、影像資料等）上傳至自動駕駛資訊整合平臺儲存。
- (2) 利用現行公告版高精地圖與步驟 (1) 採集之影像與點雲資料融合進行變異存在性偵測，並發送變異通知

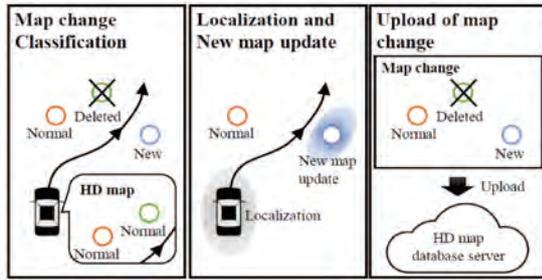


圖 23 變異通知事件分類成果 (取自 Jo et al. [10])

表 2 變異通知事件說明

事件種類	新增	移除	無變異
比較物件	高精地圖中所有目標物件	高精地圖中車輛行經之目標物件	
資料需求	物件偵測結果 高精地圖	物件偵測結果 高精地圖 車輛行駛路徑	

事件（無變異、新增或移除事件）至驗證單位，如圖 23 及表 2 所示，後續由驗證單位進行品質檢核與確認是否需進行圖資更新，各變異事件之模擬成果如圖 24 至圖 26 所示。對於新增事件，單一自駕車或同等規格之資料採集車的變異存在性偵測結果會與高精地圖中所有目標物件進行比較，當以偵測結果為中心的一定範圍內無目標物件時，則判定該偵測結果處發生新增事件，反之則表示該物件已存在於地圖中，因此判定無變異。對於移除事件，由於自駕車與同等規格之資料採集車的感知範圍有限，因此需先從高精地圖中蒐集行駛路線周遭的目標物件做為比對項目，當蒐集的目標物件與物件偵測結果距離小於門檻值時為無變異，否則判定該目標物件處發生移除事件。

- (3) 若由自駕車或同等規格之資料採集車所產製之點雲成果精度通過驗證單位之相關規範，其成果可直接用於圖資更新作業；若其成果精度不合乎相關規範，則須委由測繪業者辦理，相關測設規定及精度需求則根據 TAICS TR-0010「高精地圖作業指引 v2.0」辦理，在通過驗證

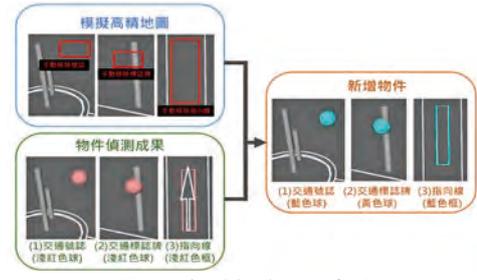


圖 24 新增物件模擬成果

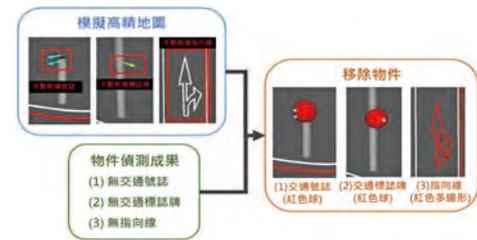


圖 25 移除物件模擬成果

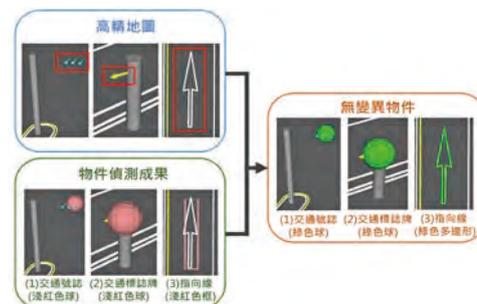


圖 26 無變異物件模擬成果

單位核可後即可公告更新版圖資提供自駕車使用，更新版圖資與原公告版圖資之差異為於點雲及向量圖層新增或刪減前述變異存在性偵測之物件，更新版圖資即為下一代公告版圖資，繼續提供後續自駕車或同等規格之數據採集車進行變異偵測使用，更新版圖資公告頻率則視該場域變異存在性偵測更新頻率進行公告。

群眾外包車輛投票機制

由於利用自駕車或同等規格之資料採集車之感測器量測的結果並不精確，因此可利用 Distance-based Clustering

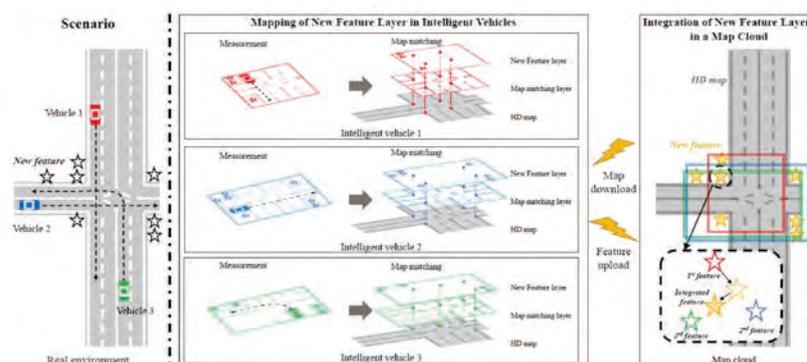


圖 27 整合多自駕車變異物件辨識成果之示意圖 (取自 Jo et al. [10])

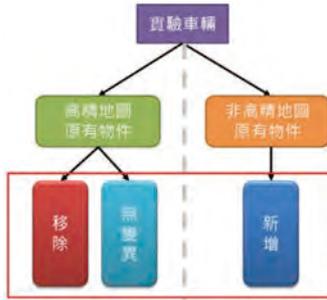


圖 28 變異偵測情境

演算法合併來自多輛自駕車的物件辨識結果以提升量測精度，如圖 27 所示^[10]。接著，以投票方式進一步確認該變異通知事件的可信度。測區內任一位置出現變異通知事件回報內容，可將情境區分為針對 (i) 高精地圖原有物件及 (ii) 非高精地圖原有物件，如圖 28 所示。若為高精地圖原有物件，其判斷準則如公式 (1) 所示，若大於所設定之閾值則將移除該物件，反之則視為無變異。若非高精地圖原有物件，其判斷準則如公式 (2)，若大於所設定之閾值則將新增該物件，反之則視為無變異^[11]。

$$\frac{\text{回報移除總數}}{\text{回報移除總數} + \text{回報無變異總數}} \geq \text{閾值} \quad (1)$$

$$\frac{\text{回報新增總數}}{\text{回報新增總數} + \text{無回報事件車輛總數}} \geq \text{閾值} \quad (2)$$

最後，這些變異物件辨識結果將會儲存為 CSV 文字檔，其輸出格式可見表 3。其中僅指向線及速限標字以 Polygon 坐標格式儲存，其餘類別則以 Point 坐標格式儲存。若辨識成果之點雲精度通過「高精地圖檢核及驗證指引」之相關規範，可直接用於更新圖資，若未通過，將針對確實變異處通知測繪業者進行場域的高精地圖圖資測製及更新，以符合目前的高精地圖測製標準。

表 3 變異物件辨識輸出之 CSV 格式

欄位	說明
Time	辨識結果之輸出時刻
DataLocationType	物件坐標格式 (Point/Polygon)
DataLocation	坐標資訊，格式依據 DataLocationType
Event	事件 (新增/移除/無變異)
ObjectType	物件類別名稱
ObjectID	移除時為物件唯一碼 (id)，新增時為 -1

高精地圖更新使用評估

透過自駕車或同等規格之數據採集車所取得之點雲資料，須滿足「高精地圖檢核及驗證指引」之要求方能視為高精地圖圖資，以及後續進行更新向量圖層使用。若不符合上述規定，點雲資料僅作為變異通知

與分析使用。後續更新之高精地圖靜態圖資之向量圖層 (.SHP) 以及台灣高精地圖格式，其精度要求以及屬性內容，需滿足「高精地圖檢核及驗證指引」以及「高精地圖圖資內容及格式標準」。

結語

隨著自動駕駛的時代來臨與資通訊產業的蓬勃發展，高精地圖成為不可或缺的一環，透過制訂完善的高精地圖製圖及檢核驗證標準作業程序可確保高精地圖的品質並逐步建構屬於我國的高精地圖網絡。後續高精地圖定期更新作業更是維持高精地圖品質與可用性的一大關鍵，透過群眾外包與自動化偵測變異技術可定期提供最新的地圖資訊給所有道路參與者。未來，高精地圖產業鏈將透過專業測繪車及自駕車或同等規格的資料採集車進行資料採集，搭配自動化/半自動化的生產技術輔助，最後經由驗證單位品質驗證並出版，逐一完善高精地圖生產鏈。

誌謝

本研究感謝內政部地政司「高精地圖標準及智能移動測繪技術發展工作案 (109-110)」研究計畫補助，計畫編號為 109CCL013C；亦感謝所有參與此計畫的長官、老師、同學等人員所做出的貢獻與支持，使得本研究計畫得以順利完成。

參考文獻

- 江凱偉、曾義星、洪榮宏、郭重言、王驥魁、呂學展 (2019)：108 年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展工作案期末報告，內政部地政司。
- SAE International, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016_202104)," Tech. Rep., 2021. [Online]. Available: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- 沈慶堯、王驥魁、江凱偉、曾義星、洪榮宏、詹紹勳、鄭錦桐、莊智清、鄭錦桐 (2020)：高精地圖於自駕車資通訊系統整合研發實證工作案期末報告，內政部地政司。
- 台灣資通產業標準協會 (2020)，高精地圖檢核及驗證指引。
- 台灣資通產業標準協會 (2019)，高精地圖製圖作業指引 v2。
- 台灣資通產業標準協會 (2020)，高精地圖圖資內容及格式標準。
- OpenDRIVE. (2019). OpenDRIVE Format Specification (Rev. 1.5). <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/older/>
- Liu, R., Wang, J., & Zhang, B. (2020). High definition map for automated driving: Overview and analysis. *The Journal of Navigation*, 73(2), 324-341.
- Shimada, H., Yamaguchi, A., Takada, H., and Sato, K. (2015). Implementation and evaluation of local dynamic map in safety driving systems. *Journal of Transportation Technologies*, 5(02), 102.
- Jo, K., Kim, C., & Sunwoo, M. (2018). Simultaneous localization and map change update for the high definition map-based autonomous driving car. *Sensors*, 18(9), 3145.
- Kim, K., Cho, S., & Chung, W. (2021). Hd map update for autonomous driving with crowdsourced data. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(2), 1895-1901. 



你會想一窺究竟的平面擬合

趙鍵哲 / 國立臺灣大學土木工程學系測量及空間資訊組 副教授

王思涵 / 國立臺灣大學土木工程學系測量及空間資訊組 碩士生

空間資料收集技術進展神速，空間資訊已多見於生活各層面的應用。空間資料處理攸關空間資訊的品質及可靠度，本文主要針對三維點雲於平面擬合任務的處理技術及問題探討，採取的方式是例舉而非全盤討論；援引的是較一般的現象或理論，而非嚴謹及周延的的論述。我們希望藉由本文的畫龍點睛，能吸引資料處理者的幾何及平差目光，正視在平面擬合這個議題上包含函數模式及隨機模式的平差數學模式之實質意涵。

平面擬合

平面擬合為空間資料處理常碰觸的工作，尤以來自攝影測量以及雷射掃描產製的三維點雲，在執行空間特徵萃取及辨識任務時，平面擬合常是首要處理標的。來自測量載具以及施測觀測量的誤差，三維點雲之點位也承襲了這些誤差，每一個點位坐標分量均帶有相應之誤差。因此，在執行平面擬合任務時，考量這些誤差並賦予觀測量改正的擬合程序，是優化平面擬合的最常用作法，而此作法可經由平差技術達成。誤差型態可分為三類：錯誤、系統誤差以及隨機誤差（或稱偶然誤差），為聚焦以及縮小討論範疇，本文主要針對只具隨機誤差的觀測量型態進行平面擬合討論，換句話說，本課題假設錯誤觀測量已經排除以及具系統性誤差觀測量業已修正。

平差數學模式（Mathematical model）包含函數模式（Functional model）以及隨機模式（Stochastic model），前者給定觀測量對應之特定物理現象或者是觀測量、誤差以及未知參數之函數關係，後者描述觀測量誤差之統計特性^[1]。欲收良好平差成效，函數模式以及隨機模式的合理性及適當性為必要條件。那麼，如何知道函數模式以及隨機模式是否合理及適當，對執行平差工作的大眾，這常是一個大哉問，但實質上，這卻是從平差技術的推演上最基本的條件檢視。

為讓本文呈現能具單刀直入的功效，內容陳述會跳脫學術文章嚴謹的撰寫格式，並以主題式項目以及例舉式資料方式，透過幾何特性以及平差理論達到問題定位及說明之功效。以下內容包含平面方程式、平差模式、範例探討以及結論。

平面方程式及平面擬合

平面方程式可表達平面軌跡，數學上，通過不共線的三個三維點位可決定一平面，平面方程式有幾類常見表達方式，於（平面方程式）中介紹。平面擬合則為處理自一點群中找到一最適平面方程式，點群中之點位通常帶有誤差，最適擬合過程即在考量誤差下找到最佳平面。在隨機誤差條件下，最小二乘擬合估值具統計及幾何雙重優越性，是空間資料平面擬合的利器，也是本文平差處理的數學工具，詳見（最小二乘平差模式及平面擬合機制）。

平面方程式

1. 於圖 1 中，若平面通過點 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ ，且其法向量為 $\vec{n} = (A, B, C)^T$ ，則平面上任一點 $P(x, y, z)$ 與 P_0 連線向量會垂直於平面法向量 $\vec{n} = (A, B, C)^T$ ，如式 (1) 所示：

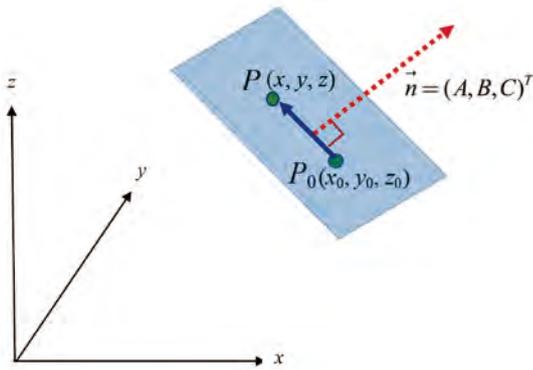


圖 1 過已知點 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ 且平面法向量為 $\vec{n} = (A, B, C)^T$ 之平面

$$\vec{n} \cdot \overrightarrow{P_0P} = 0 \quad (1)$$

亦即，

$$A(x - x_0) + B(y - y_0) + C(z - z_0) = 0; Ax + By + Cz = Ax_0 + By_0 + Cz_0, \text{ 可整理得式 (2):}$$

$$Ax + By + Cz = D \quad (2)$$

其中 $D = Ax_0 + By_0 + Cz_0$

此類平面方程式雖有四個參數 (A, B, C, D) ，但只有 A, B, C 是獨立參數，藉由已知平面上 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ ，可推得 D 。

- 以式 (2) 為基礎，將某一坐標分量放置於方程式左邊，而其餘移至方程式右邊，並只保留三個獨立參數，可得 $Cz = -Ax - By + D$ ，亦即式 (3)：

$$z = \frac{-A}{C}x + \frac{-B}{C}y + \frac{D}{C} = a_1x + b_1y + c_1 \quad (3)$$

或者是

$$y = a_2x + b_2z + c_2 \quad (4)$$

$$x = a_3y + b_3z + c_3 \quad (5)$$

- 以式 (2) 類型出發，但只保留三個獨立參數，其平面方程式型態如下式：

$ax + by + cz = 1$ ，此平面方程式之法向量為 $(a, b, c)^T$ ，單位法向量則為 $\frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}(a, b, c)^T$ 。惟此類方程式無法表達通過 $(0, 0, 0)$ 之平面。

最小二乘平差模式及平面擬合機制

針對平面特徵點雲之平面擬合任務，可採（平面方程式）三類方程式（函數模式）擇一進行，但使

用最少數量參數型態的平面方程式是操作上最為方便選項；再者，考量慣用之間接觀測及廣義平差模式，第二類型態平面方程式滿足上述方便性及施作條件。以下分別介紹間接觀測以及廣義平差兩類模式^[2,3]，同時，也例舉合理隨機模式之重要性以及說明最小二乘平面擬合機制。

(1) 間接觀測平差

間接觀測（Indirect observation; Observation equation）平差模式亦稱為 Gauss-Markov Model（GMM），其數學模式如式 (6)：

$$\underset{n \times 1}{\mathbf{y}} = \underset{n \times m}{\mathbf{A}} \underset{m \times 1}{\boldsymbol{\xi}} + \underset{n \times 1}{\mathbf{e}}, \quad \mathbf{e} \sim (0, \Sigma = \sigma_0^2 \mathbf{P}^{-1}) \quad (6)$$

其中： \mathbf{y} 為觀測量向量； \mathbf{e} 為誤差向量； \mathbf{A} 為未知參數係數矩陣； $\boldsymbol{\xi}$ 為未知參數向量； n 為方程式個數； m 為未知參數個數； Σ 為觀測量方差-協方差矩陣； \mathbf{P} 為權矩陣； σ_0^2 為先驗單位權方差

上式左側為函數模式，有其對應之方程式（例如平面方程式： $z = a_1x + b_1y + c_1$ ）；右側則描述觀測量誤差一階（平均值）以及二階（方差-協方差）統計量，即隨機模式。

最小二乘解：

$$\text{參數估值向量：} \hat{\boldsymbol{\xi}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{y};$$

$$\text{改正數向量：} \tilde{\mathbf{e}} = \mathbf{y} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{y} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}] \mathbf{y};$$

$$\text{後驗單位權方差：} \hat{\sigma}_0^2 = \frac{\tilde{\mathbf{e}}^T \mathbf{P} \tilde{\mathbf{e}}}{n - m} \quad (\text{當 } \text{rank}(\mathbf{A}) = m);$$

$$\text{先驗參數估值方差-協方差矩陣：} \Sigma_{\hat{\boldsymbol{\xi}}} = \sigma_0^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1};$$

$$\text{後驗參數估值方差-協方差矩陣：} \hat{\Sigma}_{\hat{\boldsymbol{\xi}}} = \hat{\sigma}_0^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1};$$

另外，從改正數向量推演：

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{e}} &= [\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}] \mathbf{y} \\ &= [\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}] (\mathbf{A} \boldsymbol{\xi} + \mathbf{e}) \\ &= [\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P}] \mathbf{e} \\ &= \mathbf{R} \mathbf{e} \\ &= \mathbf{R} \mathbf{y} \end{aligned} \quad (7)$$

\mathbf{R} 為投影矩陣（Projection matrix, $\mathbf{R}^2 = \mathbf{R}$ ），將誤差向量投影而得改正數向量。

\mathbf{R} 亦稱為多餘觀測矩陣（Redundancy matrix）， $\text{Trace}(\mathbf{R}) = r_{11} + r_{22} + \dots + r_{mm} = n - m =$ 多餘觀測數（Redundancy），矩陣內元素數值介於正負 1 之間。 \mathbf{R}

對角線上的每一元素稱為所對應觀測量的局部多餘觀測數 (Redundancy numbers)^[4]，這個數字代表在改正數上其反映自身觀測量誤差的比例。每一個改正數除了受自身觀測量誤差影響外，也受到其它觀測量誤差之左右。整體而言， R 矩陣提供最小二乘法之改正數與誤差之配賦關係，行 (Column) 元素決定個別誤差對所有改正數之影響，列 (Row) 元素決定所有誤差對相應改正數之影響，參如式 (8)。

$$\tilde{e} = \begin{pmatrix} \tilde{e}_1 \\ \tilde{e}_2 \\ \vdots \\ \tilde{e}_n \end{pmatrix} = R\mathbf{e} = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \dots & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \dots & r_{n,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix} = R\mathbf{y} = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \dots & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \dots & r_{n,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad (8)$$

其中：

$$\begin{aligned} \tilde{e}_1 &= r_{1,1}e_1 + r_{1,2}e_2 + r_{1,3}e_3 + \dots + r_{1,n}e_n = r_{1,1}y_1 + r_{1,2}y_2 + r_{1,3}y_3 + \dots + r_{1,n}y_n \\ \tilde{e}_2 &= r_{2,1}e_1 + r_{2,2}e_2 + r_{2,3}e_3 + \dots + r_{2,n}e_n = r_{2,1}y_1 + r_{2,2}y_2 + r_{2,3}y_3 + \dots + r_{2,n}y_n \\ &\vdots \\ \tilde{e}_n &= r_{n,1}e_1 + r_{n,2}e_2 + r_{n,3}e_3 + \dots + r_{n,n}e_n = r_{n,1}y_1 + r_{n,2}y_2 + r_{n,3}y_3 + \dots + r_{n,n}y_n \end{aligned}$$

如式 (6) 所示，間接觀測方程式乃 (一個) 觀測量是未知參數的函數。因此，採用間接觀測平差進行平面擬合，點位坐標改正量只會產生在所指定的觀測量上，以 $z = a_1x + b_1y + c_1$ 平面方程式型態而言，只有 z (觀測量) 才有改正數，即便 x 與 y 分量亦有誤差，但在此平差模式下，並無進行改正。

(2) 廣義平差法 (Generalized adjustment)

廣義平差模式又稱為 Gauss-Helmert Model (GHM)，除此之外，由於型態 (參式 (9)) 包含條件觀測及未知參數，因此也稱為帶有未知參數之條件觀測 (Condition equations with unknown parameters)。相較於間接觀測平差模式，廣義平差模式其方程式可納入多個觀測量，針對平面方程式 $z = a_1x + b_1y + c_1$ 而言， x, y 及 z 分量都可進行改正。廣義平差數學模式如式 (9)：

$$\mathbf{w} = B\mathbf{y} = A\boldsymbol{\xi} + B\mathbf{e}, \quad \mathbf{e} \sim (0, \Sigma = \sigma_0^2 P^{-1}) \quad (9)$$

其中： \mathbf{w} 為不符值向量； \mathbf{y} 為觀測量向量； \mathbf{e} 為誤差向量； A 為未知參數係數矩陣； B 為觀測量係數矩陣； $\boldsymbol{\xi}$ 為未知參數向量； n 為觀測量個數； m 為未知參數個數； r 為方程式個數； Σ 為觀測量方差 - 協方差矩陣； P 為權矩陣； σ_0^2 為先驗單位權方差

最小二乘解：

$$\text{參數估值向量：}\hat{\boldsymbol{\xi}} = [A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\mathbf{w}$$

改正數向量：

$$\tilde{\mathbf{e}} = P^{-1}B^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\{I - A[A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\}\mathbf{w}$$

$$\text{後驗單位權方差：}\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\tilde{\mathbf{e}}^T P \tilde{\mathbf{e}}}{r}$$

$$\text{先驗參數估值方差 - 協方差矩陣：}\Sigma_2 = \sigma_0^2 [A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}$$

$$\text{後驗參數估值方差 - 協方差矩陣：}\hat{\Sigma}_2 = \hat{\sigma}_0^2 [A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}$$

多餘觀測矩陣：

$$R = P^{-1}B^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\{I - A[A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\}B$$

投影矩陣可以分成以下兩類：

1. 原觀測量誤差之投影矩陣：

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{e}} &= P^{-1}B^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\{I - A[A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\}\mathbf{w} \\ &= P^{-1}B^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\{I - A[A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\}B\mathbf{e} \\ &= R\mathbf{e} \end{aligned}$$

2. 符合 Gauss-Markov Model 之投影矩陣：

原廣義平差模式可經由以下變換，轉換為 Gauss-Markov Model，參數解不變 (式 (11))，對應之改正數向量會有改變 (式 (12))：

$$\begin{aligned} \mathbf{w} &= B\mathbf{y} = A\boldsymbol{\xi} + B\mathbf{e}, \quad \mathbf{e} \sim (0, \Sigma = \sigma_0^2 P^{-1}) \\ \text{令 } B\mathbf{y} &= \bar{\mathbf{y}}, \text{ 則} \\ \bar{\mathbf{y}} &= A\boldsymbol{\xi} + \bar{\mathbf{e}}, \quad \bar{\mathbf{e}} = B\mathbf{e} \sim (0, \bar{\Sigma} = \sigma_0^2 BP^{-1}B^T) \end{aligned} \quad (10)$$

最小二乘解：

$$\begin{aligned} \hat{\boldsymbol{\xi}} &= [A(BP^{-1}B^T)^{-1}A^T]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\bar{\mathbf{y}} \\ &= [A(BP^{-1}B^T)^{-1}A^T]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\mathbf{w} \end{aligned} \quad (11)$$

而

$$\begin{aligned} \tilde{\bar{\mathbf{e}}} &= B\tilde{\mathbf{e}} = \{I - A[A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}A]^{-1}A^T(BP^{-1}B^T)^{-1}\}\bar{\mathbf{e}} \\ &= R\tilde{\bar{\mathbf{e}}} \end{aligned} \quad (12)$$

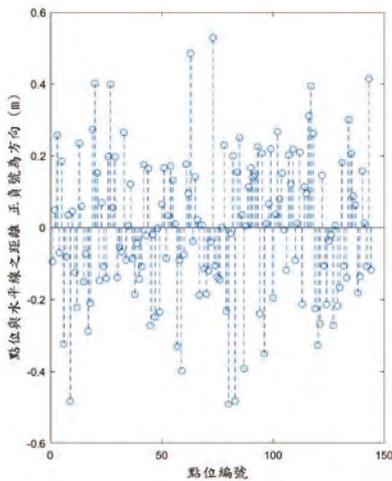
(3) 隨機特性

數學模式的正確性架構在函數模式及隨機模式都得正確之條件上，函數模式來自於所對應之物理條件及幾何關係，有其對應之數學方程式，例如直線方程式及平面方程式等。相對而言，隨機模式則描述所收集或觀測的資料誤差，而最小二乘法是在誤差具隨機特性的假設條件下運作，誤差給定是否合理以及是否富隨機特性，在在影響平差解算成效及成果評估。

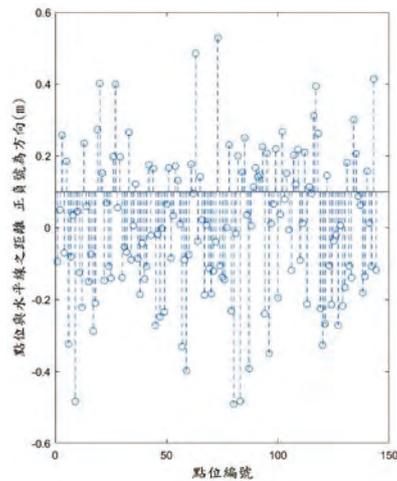
以圖 2(a) 為例，假設真值為通過 $y = 0$ m 的水平線，針對此水平線進行測量，圓圈點為所觀測點位，圖中虛線為測點到水平線的距離，這些點位是否屬於隨機，我們可觀察點位在此水平線上下的分布具有類似的數值範圍，也就是誤差具大小及符號之隨機性（參圖 3(a)），以這些點位來進行直線擬合，其直線最或是值應相當接近於真值。反觀圖 3(b)，使用相同的測點資料，但上移基準線至 $y = 0.1$ m 的水平線，如同假設真值為通過 $y = 0.1$ m 的水平線，則觀測點位分布呈

現系統性的偏移，直線下方的點位誤差量較大，使得經最小二乘擬合的直線無法接近位於 $y = 0.1$ m 之水平線，而會向下移動並擬合到 $y = 0$ m 的水平線。

再來看圖 4，很類似於圖 2(b)，不過，在點位分布上，上下點位對稱，因此符號具隨機性，但是直線上方點位的離散度較下方來得大，意謂下方點位精密度（precision）較上方點位為高，倘若不明就裡，以上下點位同等誤差來進行最小二乘擬合，則所擬合之直線最或是值會往 $y = 0$ m 上方偏移。

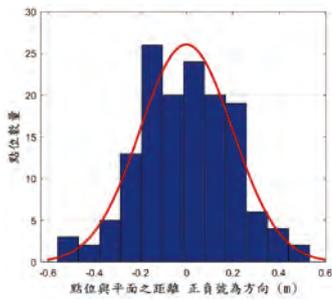


(a) 直線兩側呈隨機

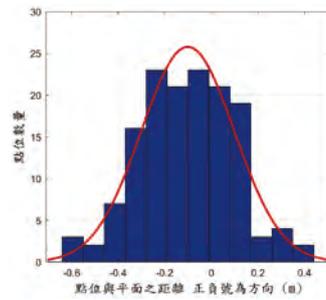


(b) 直線下方誤差大於上方誤差

圖 2 直線觀測量分布



(a) 圖 2(a) 之直方圖



(b) 圖 2(b) 之直方圖

圖 3 展示圖 2 誤差直方圖

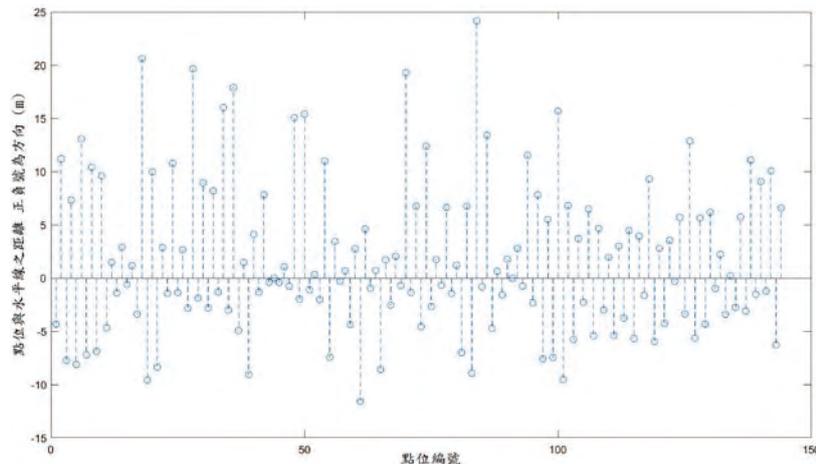


圖 4 直線觀測量分布

(4) 最小二乘平面擬合機制

最小二乘法是在使得改正數平方總和最小的狀態下獲得參數解，當考量品質不等之觀測量，則以改正數平方加權總和最小之加權最小二乘法 (Weighted least-squares method) 施作。針對以 $z = a_1x + b_1y + c_1$ 平面擬合而言，考量點位誤差之方程式為 $z - e_z = a_1(x - e_x) + b_1(y - e_y) + c_1$ ，可整理如式 (13)。倘施以間接觀測平差模式，點位沿著 z 分量進行改正 (圖 5 藍色虛線)；而廣義平差則點位沿著平面法線方向改正 (圖 5 藍色實線)。因此，兩類平差模式所改正的成分及方向是不同的。

$$z - e_z + (a_1e_x + b_1e_y) = a_1x + b_1y + c_1 \quad (13)$$

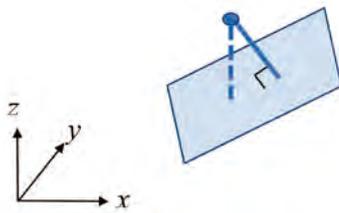


圖 5 平面擬合不同平差模式之點位改正方向

(5) 從投影矩陣解讀改正數與誤差關係

於「(1) 間接觀測平差」所介紹之多餘觀測矩陣 (R) 亦扮演投影矩陣角色，描述誤差向量 (e) 與改正數向量 (\bar{e}) 之投影幾何關係 ($\bar{e} = Re$)，當 $R^2 = R = R^*$ (“*” 為對矩陣元素取共軛複數並轉置，若為實數矩陣，則 $R^2 = R = R^T$)，則此類投影矩陣為正交投影矩陣 (Orthogonal projection matrix) [5]，投影矩陣沿著與改正數向量空間垂直方向進行投影，此時改正數向量長度 ($\sqrt{\bar{e}^T \bar{e}}$) 不大於誤差向量長度 ($\sqrt{e^T e}$)，也就是 $\|\bar{e}\| \leq \|e\|$ ；若投影矩陣不具正交特性，屬於斜投影，稱為斜投影矩陣 (Oblique projection matrix)，則改正數向量長度不一定會短於誤差向量長度 (如圖 6 紅色虛線對應於綠色實線之投影長度)。本文兩類平差模式，間接觀測平差之投影矩陣屬於正交投影矩陣；而一般而言，廣義平差模式不具正交投影特性，但經轉換為間接觀測平差模式後的投影矩陣仍具正交性，不過此時的改正數向量為 $B\bar{e}$ ，而非 \bar{e} (參式 (12))。

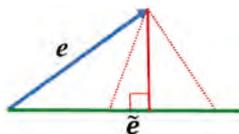


圖 6 由投影矩陣產生之改正數
(註：此圖已將投影空間簡化成僅展示長度之投影效果)

(6) 平面擬合成果評估

平差後之後驗單位權標準差及參數標準差雖是平差成果指標，但這一類理論精度指標並無法提供直觀的品質優劣比較；在有真值平面的情況下，可比較真值平面與擬合平面之距離 (式 (14))，藉由擬合平面與真值平面處處的相近程度可提供有效擬合成果量化指標，本文採距離總和做為不同平差模式擬合成果之比較指標。另外，也計算擬合平面與真值平面之夾角 (式 (15)) 作為輔助指標。

$$d_i = \frac{|z_i - a_1x_i - b_1y_i - c_1|}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + 1}} \quad (14)$$

其中：

d_i ：真值平面點位 i 至擬合平面之最短距離；
 (x_i, y_i, z_i) ：真值平面點位 i 坐標

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2}{\|\vec{n}_1\| \|\vec{n}_2\|} \quad (15)$$

其中：

θ ：擬合平面與真值平面之夾角；
 \vec{n}_1, \vec{n}_2 ：分別為擬合平面與真值平面之法向量

平面擬合事例分析

平面資料模擬

事例分析之兩平面 (圖 7) 之模擬如下：

1. 平面 1： $z = 100$ m， x 及 y 均從 -6 m ~ 5 m，每間隔 1 m 布設 1 個格點，形成 12×12 之格點，此 144 個點位實位於 $z = 100$ m 的平面上。
2. 平面 2：將平面 1 點位進行 $\omega = 70^\circ$ (第一旋轉)、 $\phi = 40^\circ$ (第二旋轉) 以及 $\kappa = 45^\circ$ (第三旋轉) 之旋轉，相應之平面方程式為 $z = -1.943x - 3.129y + 381.676$ ，單位法向量 = $(0.509, 0.820, 0.262)^T$ ，平面方程式及單位法向量單位均為 m。

平面擬合成果及分析

本實驗包含前述兩模擬平面 (平面 1 及平面 2) 及不同型態誤差之授予與平差處理，詳 (1) ~ (3) 節。

(1) 模擬平面 1 點位誤差及進行平面擬合

以平面 1 之 144 個格點坐標為真值，並模擬空載光達掃描產製點雲， x 及 y 坐標標準差均為 ± 0.150 m， z 坐標標準差為 ± 0.050 m，三分量誤差呈隨機特性，其直方圖參見圖 8，點位至真值平面距離圖及直方圖分別

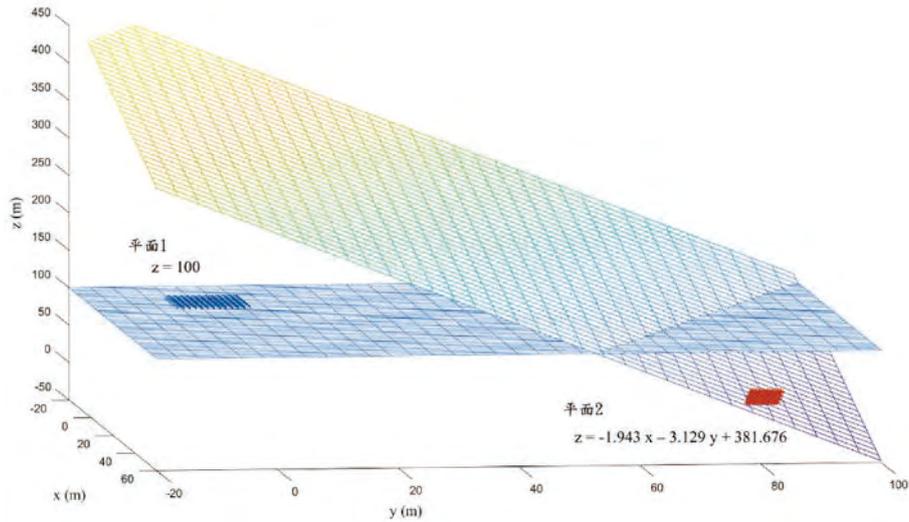


圖 7 平面 1 及平面 2

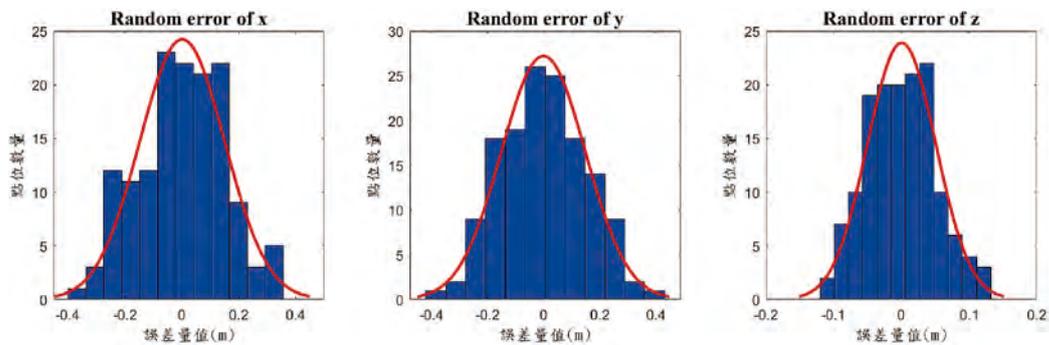


圖 8 誤差直方圖

參見圖 9(a) 及圖 9(b)。將此誤差量加入格點坐標真值中作為觀測量，並分別以間接觀測平差及廣義平差進行 $z = a_1x + b_1y + c_1$ 之平面擬合。

表 1 顯示兩模式擬合成果相近，擬合平面相對於真值平面參見圖 10。依平面幾何而言，此平面為水平面，平面法線向量之 x 及 y 分量均為 0，意謂間接觀測進行 z 改正，而廣義平差也是進行 z 分量改正，無 x 及 y 的改正量。觀察廣義平差的 R 矩陣（表 2），其顯示

與 x 及 y 改正數對應之多餘觀測矩陣元素數值上均很小，改正數接近於 0。在此平面幾何下，間接觀測平差模式與廣義平差模式具等義效果。在此特殊幾何條件下，兩類平差模式同具正交投影矩陣，由圖 11 及圖 12 中顯示改正數向量長度短於誤差向量長度。

另外，雖然本例在兩模式下獲得相同的平差成果，不過，當函數模式之平面方程式選為 $y = a_2x + b_2z + c_2$ 或者是 $x = a_3y + b_3z + c_3$ 時，廣義平差仍能順利獲致平

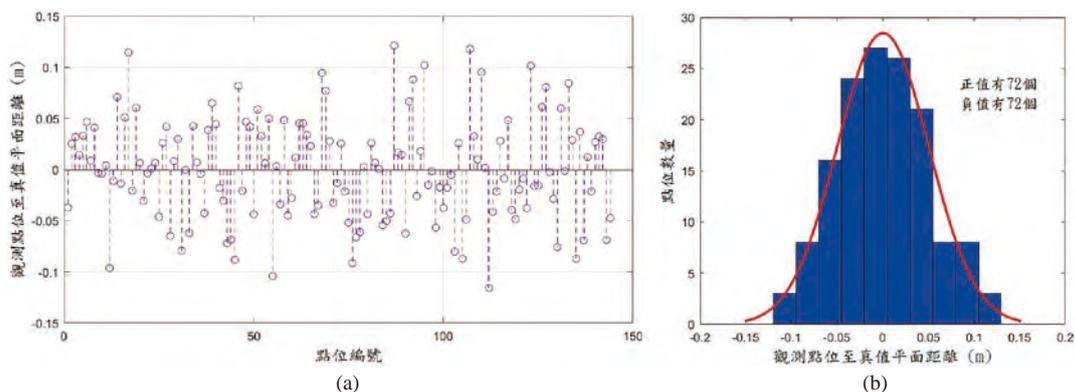


圖 9 觀測點位至真值 (a) 平面距離及 (b) 直方圖

表 1 間接觀測平差 vs. 廣義平差之平面擬合成果

(長度單位：m；角度單位：度)

隨機誤差	$\sigma_x = \sigma_y = \pm 0.15; \sigma_z = \pm 0.05$	
真值平面方程式	$z = 0.000x + 0.000y + 100.000$	
平差模式	間接觀測平差	廣義平差
參數估值	$a_1 = -0.001 \pm 0.001;$ $b_1 = 0.001 \pm 0.001;$ $c_1 = 100.000 \pm 0.004$	$a_1 = -0.001 \pm 0.001;$ $b_1 = 0.001 \pm 0.001;$ $c_1 = 100.000 \pm 0.004$
擬合平面方程式	$z = -0.001x + 0.001y + 100.000$	$z = -0.001x + 0.001y + 100.000$
先驗單位權標準差	± 0.218	± 0.218
後驗單位權標準差	± 0.221	± 0.221
真值格點到擬合平面距離和	0.551	0.551
真值平面與擬合平面夾角	0.077	0.077
誤差向量 (e) 長度	0.603	2.599
改正數向量 (\bar{e}) 長度	0.601	0.601
誤差向量 (B_e) 長度		0.603
改正數向量 ($B\bar{e}$) 長度		0.601

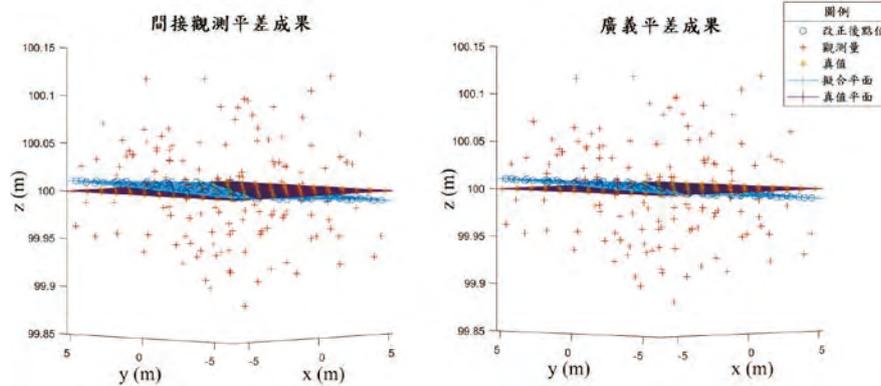


圖 10 擬合平面相對於真值平面

表 2 R 矩陣部分內容 ($r_{1,1} \sim r_{9,9}$)

1.01E-05	-7.44E-06	0.009314	-4.16E-07	3.08E-07	-0.000386	-3.81E-07	2.82E-07	-0.000353
-7.44E-06	5.51E-06	-0.006894	3.08E-07	-2.28E-07	0.000285	2.82E-07	-2.09E-07	0.000261
0.001035	-0.000766	0.958999	-4.29E-05	3.17E-05	-0.039715	-3.92E-05	2.90E-05	-0.036326
-4.16E-07	3.08E-07	-0.000386	1.01E-05	-7.46E-06	0.009336	-3.75E-07	2.78E-07	-0.000348
3.08E-07	-2.28E-07	0.000285	-7.46E-06	5.52E-06	-0.006910	2.78E-07	-2.05E-07	0.000257
-4.29E-05	3.17E-05	-0.039715	0.001037	-0.000768	0.961231	-3.86E-05	2.86E-05	-0.035788
-3.81E-07	2.82E-07	-0.000353	-3.75E-07	2.78E-07	-0.000348	1.01E-05	-7.50E-06	0.009387
2.82E-07	-2.09E-07	0.000261	2.78E-07	-2.05E-07	0.000257	-7.50E-06	5.55E-06	-0.006947
-3.92E-05	2.90E-05	-0.036326	-3.86E-05	2.86E-05	-0.035788	0.001043	-0.000772	0.966482

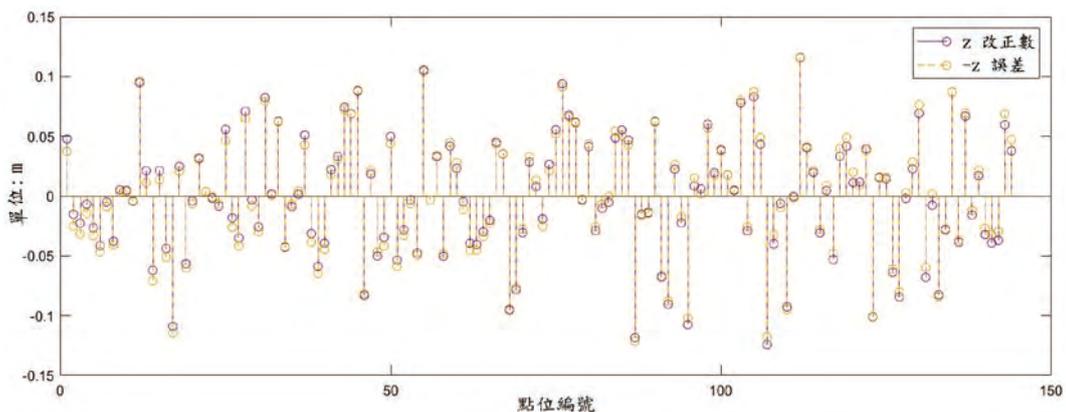


圖 11 間接觀測平差改正數 vs. 誤差

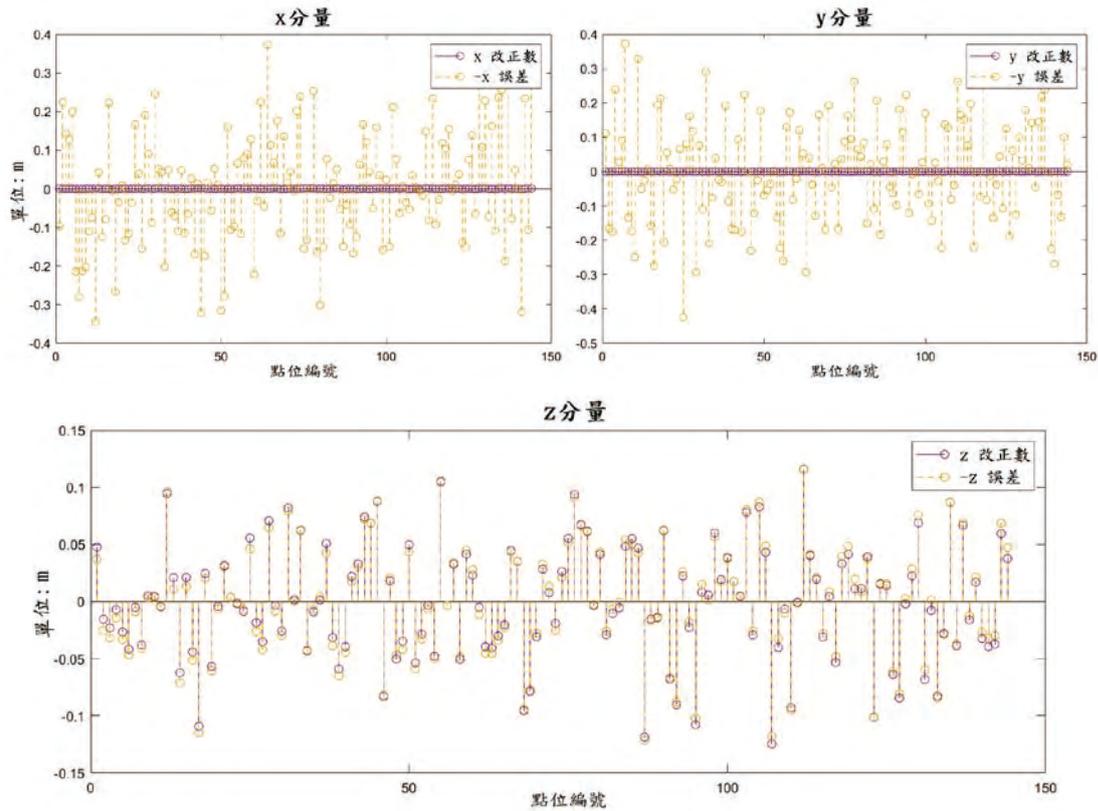


圖 12 廣義平差改正數 vs. 誤差

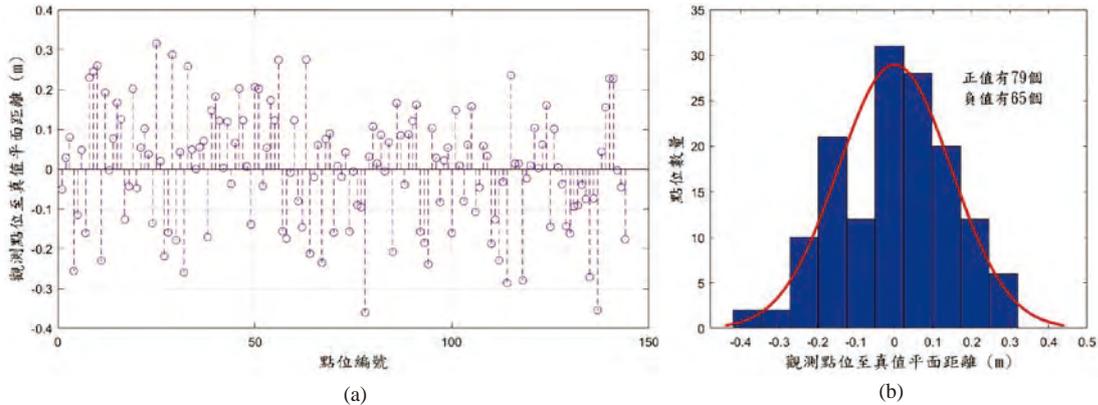


圖 13 觀測點位至真值 (a) 平面距離及 (b) 直方圖

面擬合平差成果，而間接觀測模式則因 x 及 y 分量不具改正效力（亦即可為任意數），無法進行平面擬合任務。同樣地，當平面接近鉛錘狀態，以 $z = a_1x + b_1y + c_1$ 進行間接觀測平面擬合亦容易產生錯誤結果或失敗。因此，就適用性而言，廣義平差是較佳的平差模式。

(2) 模擬平面 2 點位誤差 (case1) 及進行平面擬合

首先，將「(1) 模擬平面 1 點位誤差及進行平面擬合」模擬之誤差量值授予平面 2 點位，觀測點位至真值平面距離及直方圖分別參圖 13(a) 及 (b)，兩模式平差成果參見表 3，成果顯示廣義平差成果優於間接觀測

平差。然而，從距離直方圖可見觀測點位相對於真值平面而言並未呈現隨機特性，較多點位（79 個點）分布於距離值為正之平面一側。就隨機模式而言，真正滿足隨機特性的平面並非真值平面 2，而是真值平面 2 應稍往距離值為正方向移動者。因此，對帶有系統性偏移的觀測量，倘直接進行最小二乘平差，其成果亦帶有偏移性，評估上尤需小心。

另外，就模式合理性而言，平面 2 之單位法向量為 $(0.509, 0.820, 0.262)^T$ ，間接觀測平差只賦予 z 分量改正數，並未修正 x 及 y 誤差， x 及 y 誤差引致之方程式不符

表 3 平面 2 (case1) 間接觀測平差 vs. 廣義平差之平面擬合成果

(長度單位：m；角度單位：度)

隨機誤差	$\sigma_x = \sigma_y = \pm 0.150; \sigma_z = \pm 0.050$	
真值平面方程式	$z = -1.943x - 3.129y + 381.676$	
平差模式	間接觀測平差	廣義平差
參數估值	$a_1 = -1.840 \pm 0.027;$ $b_1 = 0.0013,008 \pm 0.042;$ $c_1 = 366.469 \pm 4.638$	$a_1 = -1.888 \pm 0.028;$ $b_1 = -3.086 \pm 0.043;$ $c_1 = 375.306 \pm 4.758$
擬合平面方程式	$z = -1.840x - 3.008y + 366.469$	$z = -1.888x - 3.086y + 375.306$
先驗單位權標準差	± 0.218	± 0.218
後驗單位權標準差	± 2.342	± 0.218
真值格點到擬合平面距離和	5.533	3.371
真值平面與擬合平面夾角	0.741	0.451
誤差向量 (e) 長度	0.603	2.599
改正數向量 (\bar{e}) 長度	6.380	1.772
誤差向量 (Be) 長度		6.578
改正數向量 ($B\bar{e}$) 長度		6.461

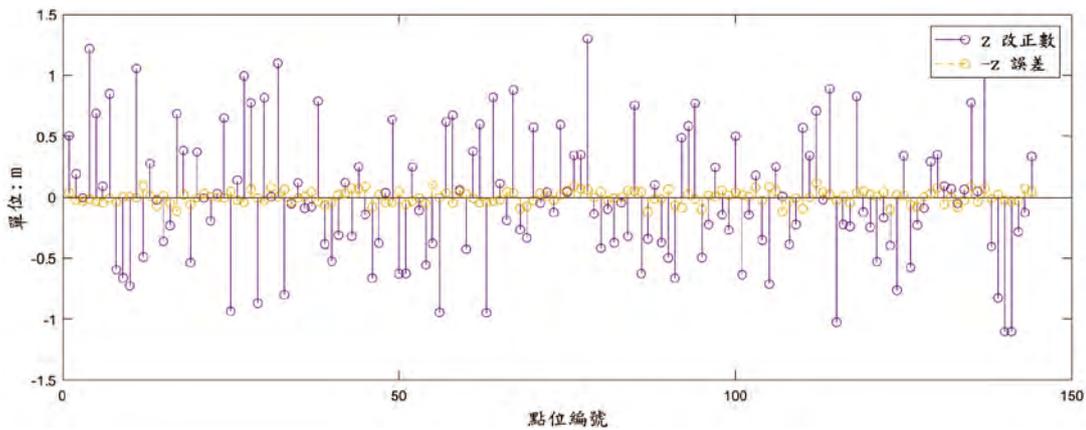


圖 14 間接觀測平差改正數 vs. 誤差

值(式(13))中之 $(a_1e_x + b_1e_y)$ 轉由 z 改正量吸收。雖然 R 矩陣為正交投影矩陣，不過，所對應之誤差實已包含 z 誤差以及對 x 及 y 之誤差補償，並非純然之 z 誤差。換句話說，此時 $\bar{e} = Ry \neq Re$ ，造成在平面擬合任務上， z 的改正數量值遠大於 z 誤差(圖14)。此外， z 的改正功效實難全然補償 x 及 y 分量之誤差，此模式上的扭曲影響參數估值，後驗單位權標準差偏大，也造成改正數向量長度大於誤差向量長度(參表3)；而觀察圖15廣義平差之改正數狀況，在 y 分量具有較大之修正量，符合此平面法向量的分量特性(y 分量最大； x 分量次之； z 分量最小)。

(3) 模擬平面 2 點位誤差 (case2) 及進行平面擬合

為了使得觀測點位具有隨機性，遂沿著平面 2 法線方向授予誤差，並以三類不同向量長度標準差量值(± 0.100 m、 ± 0.200 m 及 ± 0.300 m) 給定法向量誤差值，點位至真值平面直方圖參見圖 16，兩平差模式成果參見表 4。

從表 4 可歸納以下兩點：

1. 點位改正量分析

就改正數之量值比較，間接觀測只修正 z 分量，此改正之 z 分量不但包含 z 誤差，同時也隱含對 x 及 y 分量誤差之補償，顯示 z 改正數量值大於 z 誤差(圖17、圖19及21)。在僅考量改正 z 觀測誤差之平差模式下，隨機模式不合理，後驗單位權標準差偏大；相對而言，廣義平差模式依最小二乘原則沿著平面法線方向配賦改正數，於 y 分量(法線最大分量)呈現最大之改正數(圖18、圖20及圖22)，此趨勢亦可從多餘觀測矩陣獲知，在 y 誤差對應之多餘矩陣元素有較大之局部多餘觀測數值(表5、表6及表7中藍色數值)。另外就改正數向量與誤差向量長度之相較下，此例廣義平差的斜投影矩陣讓改正數向量長度長於誤差向量長度，不過，推演至間接觀測模式下的改正數向量($B\bar{e}$)長度是短於誤差向量(Be)長度的。

2. 兩平差模式成果分析

就間接觀測與廣義平差模式成果而言，從距離指標上，後者較前者有較佳的擬合成果。除此之外，當隨機誤差增大，則前述兩類平差模式成果差異會越大。

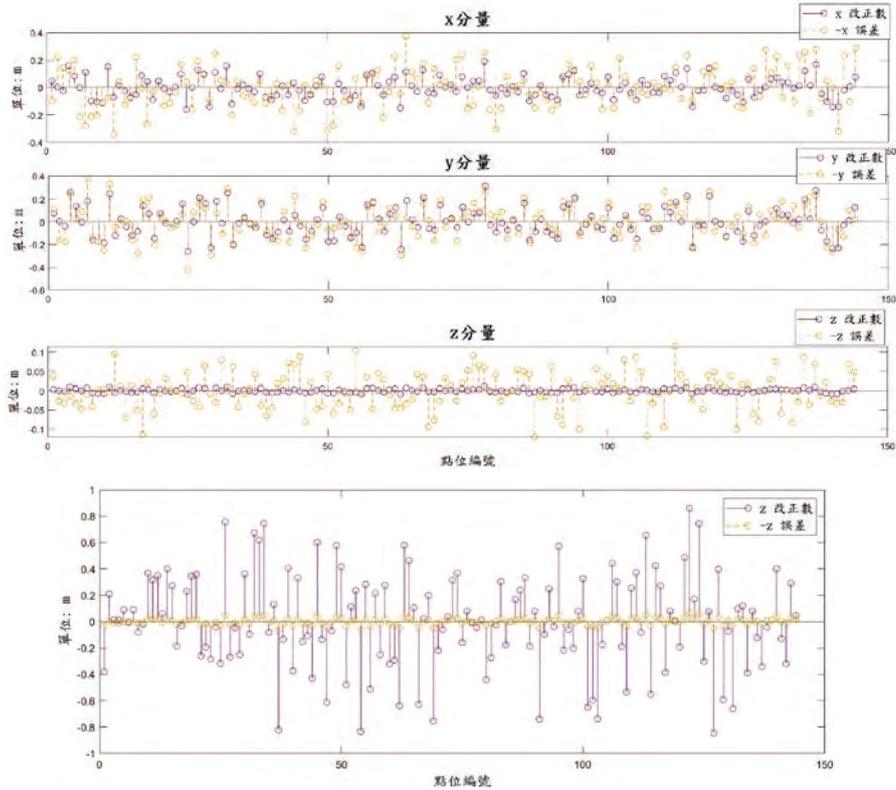


圖 15 廣義平差改正數 vs. 誤差

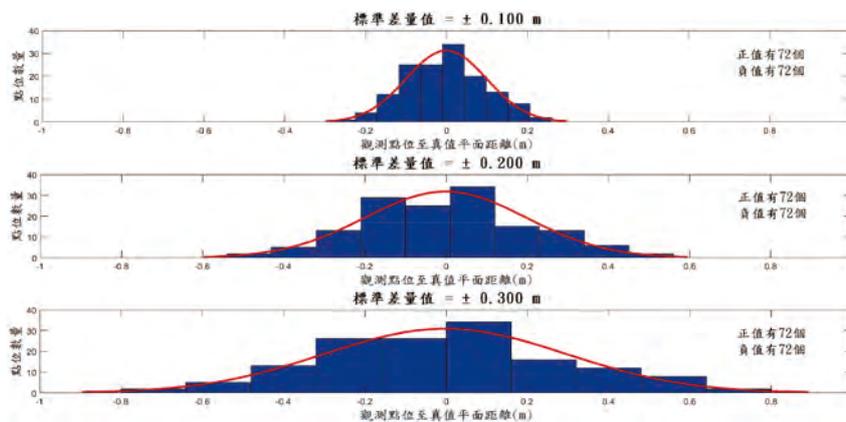


圖 16 三類標準差 (±0.100 m、±0.200 m 及 ±0.300 m) 之距離直方圖

表 4 平面 2 (case2) 間接觀測平差 vs. 廣義平差之平面擬合成果

(長度單位: m; 角度單位: 度)

真值平面方程式	$z = -1.943x - 3.129y + 381.676$	
法線向量長度標準差	$\pm 0.100 / \pm 0.200 / \pm 0.300$	
平差模式	間接觀測平差	廣義平差
擬合平面方程式	$z = -1.887x - 3.056y + 372.822 /$ $z = -1.796x - 2.922y + 357.206 /$ $z = -1.678x - 2.745y + 336.731$	$z = -1.910x - 3.094y + 377.048 /$ $z = -1.878x - 3.064y + 373.041 /$ $z = -1.848x - 3.041y + 369.615$
先驗單位權標準差	$\pm 0.100 / \pm 0.200 / \pm 0.300$	$\pm 0.100 / \pm 0.200 / \pm 0.300$
後驗單位權標準差	$\pm 1.416 / \pm 2.754 / \pm 3.985$	$\pm 0.137 / \pm 0.273 / \pm 0.410$
真值格點到擬合平面距離和	2.863 / 7.945 / 15.210	1.783 / 3.600 / 5.462
真值平面與擬合平面夾角	0.390 / 1.095 / 2.109	0.237 / 0.477 / 0.726
誤差向量 (e) 長度	0.311 / 0.622 / 0.933	1.188 / 2.376 / 3.564
改正數向量 (\hat{e}) 長度	4.404 / 8.567 / 12.399	1.273 / 2.546 / 3.820
誤差向量 (B_e) 長度		4.477 / 8.860 / 13.168
改正數向量 ($B\hat{e}$) 長度		4.430 / 8.769 / 13.038

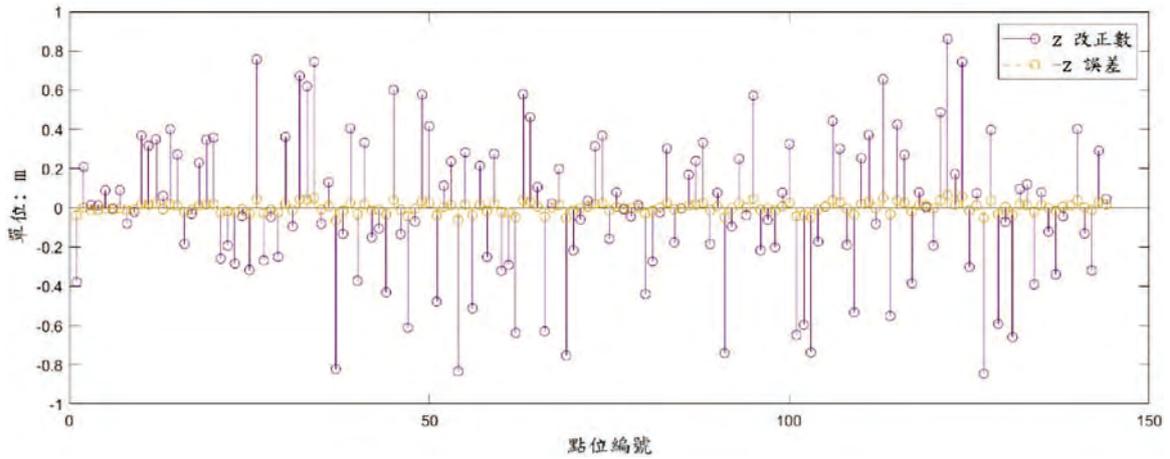


圖 17 間接觀測平差 (向量長度標準差 = ±0.100 m) 改正數 vs. 誤差

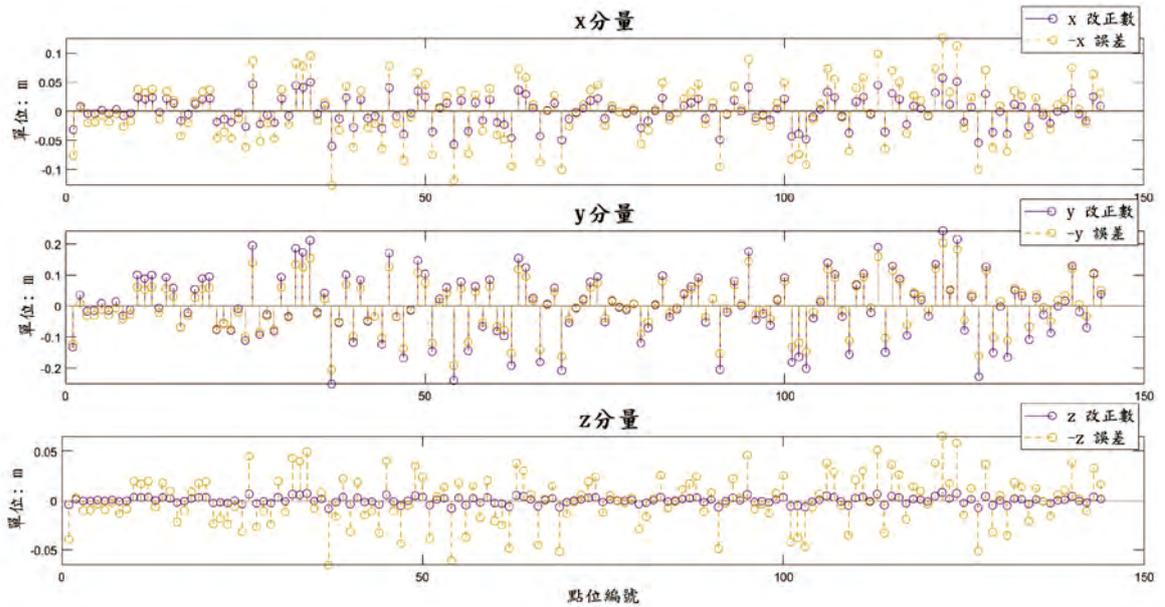


圖 18 廣義平差 (向量長度標準差 = ±0.100 m) 改正數 vs. 誤差

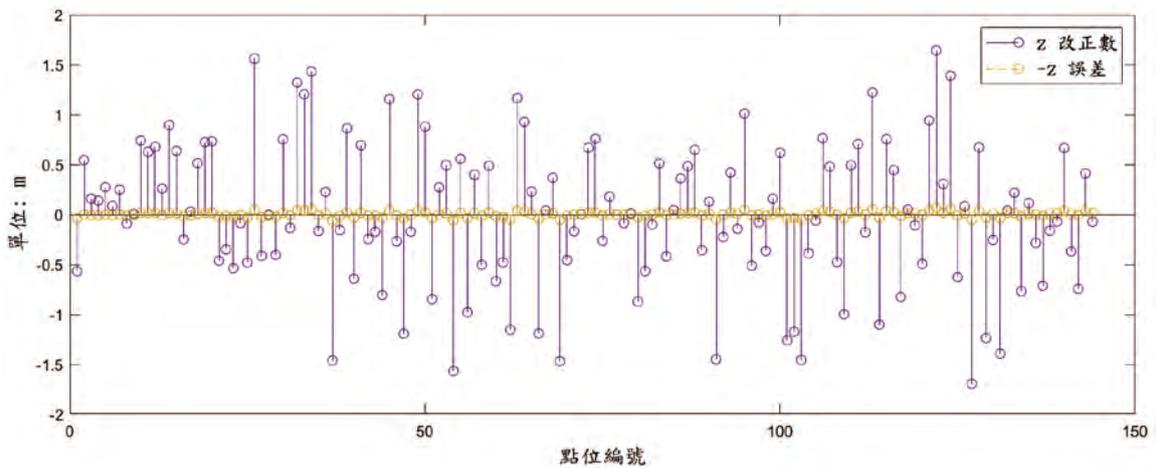


圖 19 間接觀測平差 (向量長度標準差 = ±0.200 m) 改正數 vs. 誤差

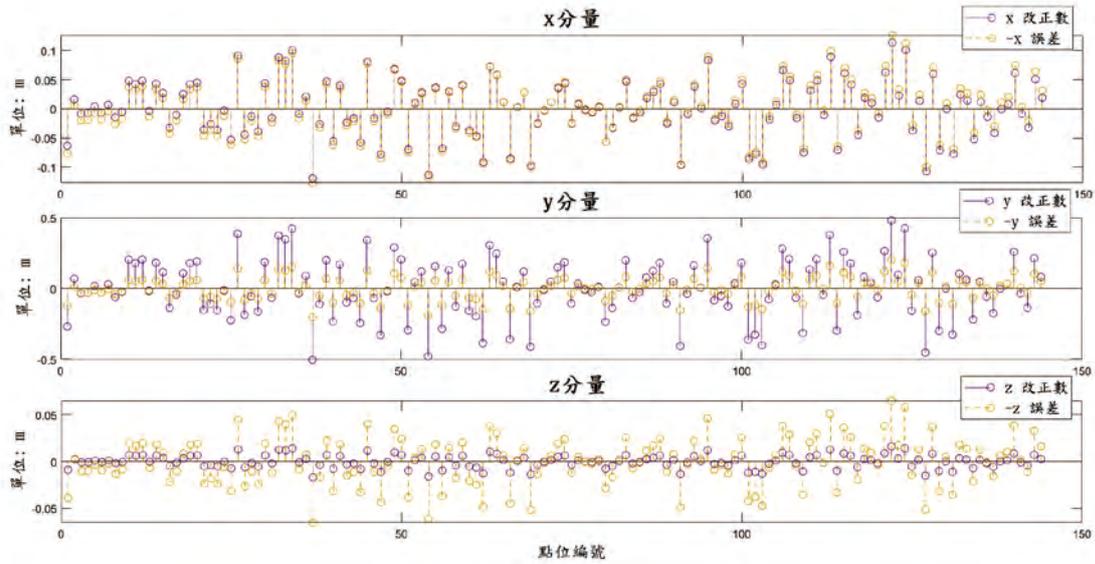


圖 20 廣義平差 (向量長度標準差 = ± 0.200 m) 改正數 vs. 誤差

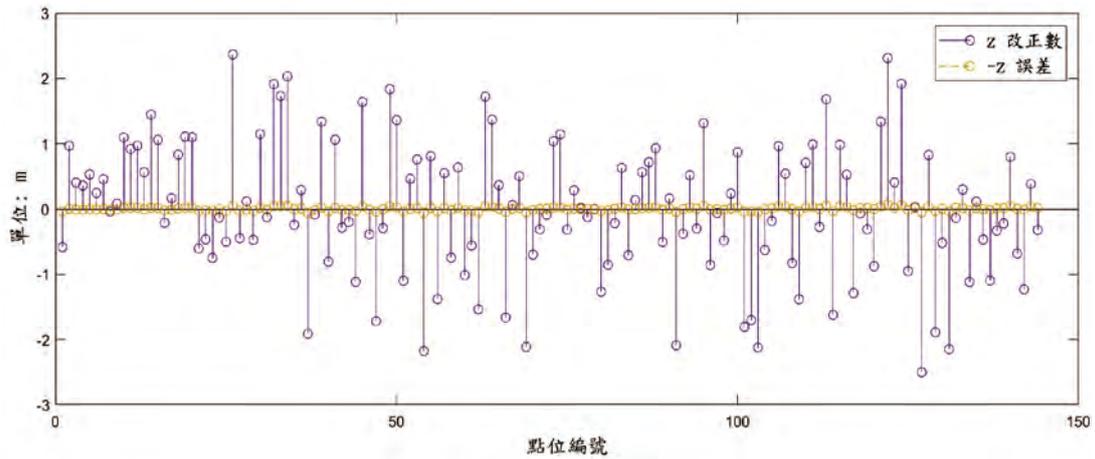


圖 21 間接觀測平差 (向量長度標準差 = ± 0.300 m) 改正數 vs. 誤差

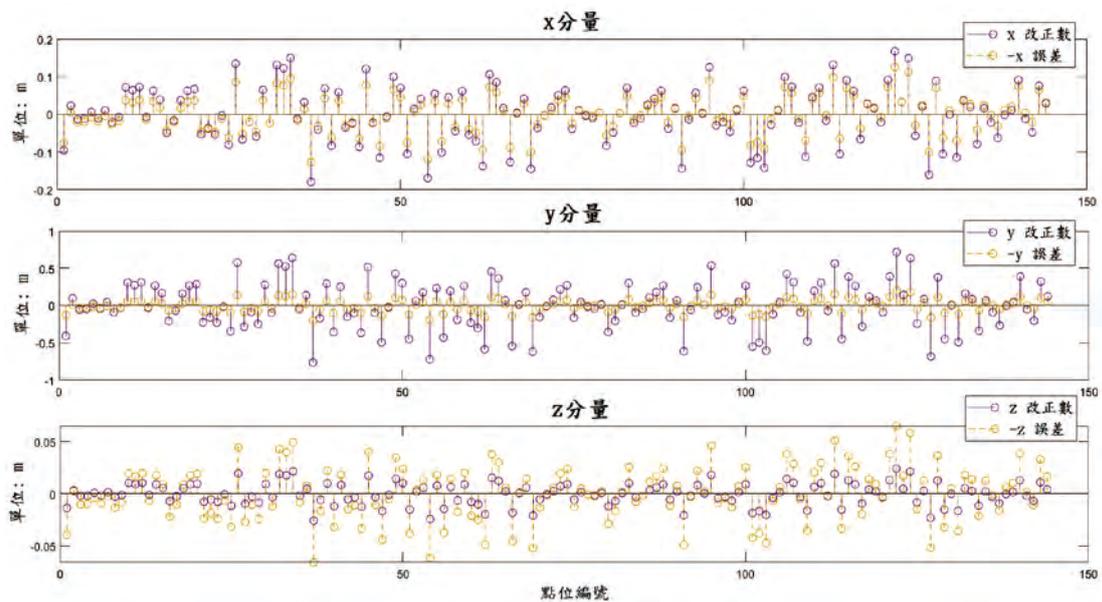


圖 22 廣義平差 (向量長度標準差 = ± 0.300 m) 改正數 vs. 誤差

表 5 廣義平差 (向量長度標準差 = ±0.100 m) R 矩陣部分內容 ($r_{1,1} \sim r_{9,9}$)

0.121551	0.196911	0.063662	-0.00494	-0.008	-0.00259	-0.00453	-0.00733	-0.00237
0.51093	0.827701	0.267598	-0.02076	-0.03362	-0.01087	-0.01903	-0.03083	-0.00997
0.016867	0.027325	0.008834	-0.00069	-0.00111	-0.00036	-0.00063	-0.00102	-0.00033
-0.00494	-0.008	-0.00259	0.122246	0.198037	0.064026	-0.00428	-0.00694	-0.00224
-0.02076	-0.03362	-0.01087	0.513851	0.832433	0.269128	-0.018	-0.02917	-0.00943
-0.00069	-0.00111	-0.00036	0.016964	0.027481	0.008885	-0.00059	-0.00096	-0.00031
-0.00453	-0.00733	-0.00237	-0.00428	-0.00694	-0.00224	0.122848	0.199012	0.064341
-0.01903	-0.03083	-0.00997	-0.018	-0.02917	-0.00943	0.516382	0.836533	0.270453
-0.00063	-0.00102	-0.00033	-0.00059	-0.00096	-0.00031	0.017047	0.027616	0.008928

表 6 廣義平差 (向量長度標準差 = ±0.200 m) R 矩陣部分內容 ($r_{1,1} \sim r_{9,9}$)

0.120085	0.195906	0.063938	-0.00487	-0.00794	-0.00259	-0.00446	-0.00727	-0.00237
0.508321	0.829268	0.270648	-0.0206	-0.03361	-0.01097	-0.01887	-0.03079	-0.01005
0.01694	0.027636	0.00902	-0.00069	-0.00112	-0.00037	-0.00063	-0.00103	-0.00033
-0.00487	-0.00794	-0.00259	0.120728	0.196954	0.06428	-0.00423	-0.0069	-0.00225
-0.0206	-0.03361	-0.01097	0.511042	0.833707	0.272096	-0.01791	-0.02922	-0.00954
-0.00069	-0.00112	-0.00037	0.017031	0.027784	0.009068	-0.0006	-0.00097	-0.00032
-0.00446	-0.00727	-0.00237	-0.00423	-0.0069	-0.00225	0.121333	0.197941	0.064602
-0.01887	-0.03079	-0.01005	-0.01791	-0.02922	-0.00954	0.513603	0.837885	0.27346
-0.00063	-0.00103	-0.00033	-0.0006	-0.00097	-0.00032	0.017116	0.027923	0.009113

表 7 廣義平差 (向量長度標準差 = ±0.300 m) R 矩陣部分內容 ($r_{1,1} \sim r_{9,9}$)

0.118356	0.194707	0.064033	-0.00479	-0.00787	-0.00259	-0.00438	-0.00721	-0.00237
0.505212	0.831125	0.273332	-0.02043	-0.0336	-0.01105	-0.0187	-0.03076	-0.01012
0.016966	0.02791	0.009179	-0.00069	-0.00113	-0.00037	-0.00063	-0.00103	-0.00034
-0.00479	-0.00787	-0.00259	0.118947	0.195679	0.064353	-0.00417	-0.00686	-0.00226
-0.02043	-0.0336	-0.01105	0.507733	0.835273	0.274696	-0.0178	-0.02928	-0.00963
-0.00069	-0.00113	-0.00037	0.01705	0.028049	0.009225	-0.0006	-0.00098	-0.00032
-0.00438	-0.00721	-0.00237	-0.00417	-0.00686	-0.00226	0.119553	0.196676	0.064681
-0.0187	-0.03076	-0.01012	-0.0178	-0.02928	-0.00963	0.510321	0.83953	0.276096
-0.00063	-0.00103	-0.00034	-0.0006	-0.00098	-0.00032	0.017137	0.028192	0.009272

結論

隨機模式描述誤差的分布，函數模式則給予觀測量、誤差與參數的數學方程式，在具備統計及幾何最佳的最小二乘模式下，誤差隨機性的前提常是資料處理者容易輕忽的事項，而導致在成果的誤判。觀測量的改正以及參數最或是值的趨勢可藉由簡易幾何、最小二乘理論以及推演的若干指標進行分析及判讀。空間資料處理者倘不知誤差型態，或者是不在意擬合過程的觀測量改正行為，往往是無法獲致妥善擬合成果。

在空間資訊課題點雲平面擬合的任務中充滿各式方位的平面，相較於間接觀測平差，廣義平差是較通用、誤差配賦較合理及成果品質較佳的模式。再者，多餘觀測矩陣提供改正數向量與誤差向量之關係，可掌握改正數配賦的大小趨勢，同時，多餘觀測矩陣也是未納入本

文探討項目的粗差偵測任務的重要引用因子^[4,6]。除此之外，點雲點位亦可能因測量方式而有著各處誤差不等的特性。實務上面臨的資料型態及擬合對象充滿多樣化，待有興趣者繼續關注並分享處理經驗。

參考文獻

1. Mikhail, E.M. and F. Ackermann (1976). Observations and least squares, Thomas Y. Crowell Company, Inc.
2. Schaffrin, B. (1994). Adjustment computations I, Class notes, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, US.
3. Schaffrin, B. (1995). Adjustment computations II, Class notes, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, US.
4. Förstner, W. (1987). Reliability analysis of parameter estimation in linear models with applications to mensuration problems in computer vision, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 40: 273-310.
5. Horn, R.A. and C.R. Johnson (2013). Matrix analysis, 2nd ed., Cambridge University press.
6. Baarda, W. (1968). A testing procedure for use in geodetic networks, Publications on Geodesy 2, NCG, Delft, Netherlands. 



由空間資料基礎建設之觀點探討 三維建物資料之發展策略

洪榮宏／國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

蔡昌洋／國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士班研究生

曾子珊／國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士班研究生

隨近年三維地理資訊蒐集及展示技術之快速進步，現實世界有愈來愈多之現象透過三維之型式記錄，也因此帶動地理資訊理論與技術由二維進化至三維之發展。三維化之地理資訊雖具有帶來革命性改變之潛力，但這樣的轉型並非一蹴可及，且可能顛覆與挑戰許多目前之應用思維。有鑑於三維地理資訊之高昂建置與更新成本，必須透過引入空間資料基礎建設之概念而促進跨域之資訊交換，並期待建立一致之三維模型參考，以提昇跨域之互操作性。本文以國內目前最廣泛探討之三維建物為研究對象，藉由分析影響其規格設計之因素，討論跨域應用之三維建物架構，再由空間資料基礎設施之觀點切入，探討如何設計一個可滿足跨域分享及加值應用的互操作環境，以提供我國國土資訊系統 2.0 後續發展智慧國土及數位孿生之參考。

背景

地理資訊系統長久以來被視為人類使用者面對現實世界各類現象之視窗，藉由強大之軟體功能，使用者得以掌握動靜態之現象，分析各類主題現象之關係，產生新的資訊，進而形成正確之決策。當地理資訊系統記錄之內容愈接近真實狀況（例如資料愈多元、品質愈好及更新頻率愈高），能發揮之效益就愈高。然而過去之地理資訊系統應用多半屬於二維之型態，使用者被迫透過侷限之二維視角及地圖介面重建對於現實世界之了解，甚至必須於此缺乏高度資訊之環境中進行各類決策。這個困境直到近年三維地理資訊蒐集及建模技術（例如影像密匹配、光達點雲、建物模型等）逐漸成熟後，得以使用以三維幾何表示為基礎、並透過網路運作之數碼城市平台環境，進而發展出各類視覺檢視及實質應用之服務，三維應用之範疇也因此得以大幅擴展^[1]。以我國為例，近年國土測繪

中心所發展之多維度國家空間資訊服務平台（<https://3dmaps.nlsc.gov.tw>）即是基於全國三維現象展示需求及應用而開發之平台，涵蓋三維建物與道路之考量，國內許多城市之公共管線系統也已在近年陸續導入三維管線之作業。

相對於二維之模式，三維地理資訊之運作不但考量的因素複雜很多，而且需要更為昂貴的測製與維護成本，因此資源之共享就更形重要。以國家之空間資訊發展而言，1990 年代萌芽之空間資料基礎建設（Spatial Data Infrastructure, SDI）概念為跨領域與跨單位之間的資源分享機制提供了完整的規劃^[2]，在邁入三維化後，同樣有所謂 3D SDI 概念之發展^[3,4]，近年也因智慧應用之觀點而有如智慧城市、數位孿生等同樣考量跨域資源分享機制之發展^[5]。空間資料基礎建設之重點包括專業分工、資源盤點管理、標準、資料、服務、合作關係等重要因素^[6]，目的在於排除領域與部門

間之各類隔閡，並透過標準與服務而創造一個基於相關單位合作關係的高互操作性資源分享與應用環境。舉例來說，測量機關在整體架構中被賦予地形圖測製、維護及供應之任務，因此必須規劃各類地形圖之主題及管理架構，確保其內容及品質符合跨單位之應用需求，全國之地形圖資料必須透過標準規定其建置內容，建立其標準化之詮釋資料，最後再以開放服務之方式提供介接。因此空間資料基礎建設將是提供一個有效管理與分享全國所有可應用資源之必要機制，其最大優勢即是由權責單位分享高品質之領域資訊，無須重複投入建置之成本。

在可被三維化表示之現象中，三維建物資料一直受到高度重視，主要原因在於人類之活動與建物具有密切之關係，不但建物本身之資料具有地籍、建管、建築、都市計畫、設施管理等各類面向，若加上人類居住或工作之考量，可關聯之資料種類將更為多元。由數位轉型之觀點，當這些資料可與三維建物之成果建立關聯，相關之應用也將具有轉以三維觀點思考之潛力。然而建物之三維化並非如建模技術突破如此單純，必須探索如何將三維化之策略與成果具體推動至相關領域，甚至必須思考如何共享或統合彼此之成果。本文認為這個課題必須由空間資料基礎建設之觀點切入，因此將嘗試由不同面向檢視三維建物發展所面對之問題，並探討可能執行之策略，以創造後續發展之最大效益。

三維建物資料特性分析

傳統之二維地理資訊系統應用多將建物以平面多邊形之方式建立，忽略建物在垂直維度上的可能差異，因此僅能視為近似之範圍，加上不同比例尺地形圖之測製規範各有規定，使用者必須面對不同程度之抽象化表示成果。由三維資訊之觀點，有許多新的課題值得注意：

- (1) 高度基準：三維建物資料之測製必須選擇特定之高度基準，並能與其他三維資料配合，參考相同基準才能加以整合、展示與操作，此包括全球或局部區域之基準。
- (2) 物件化：物件化意謂三維建物之描述對象須為現實世界存在、有意義之建物物件，將之設計為空間單元後，可以進一步關聯屬性，應用於不同情境。現

今許多系統雖可提供美觀之視覺化成果，但 mesh 型式之資料未必可滿足物件化之需求。物件化之設計與應用目的有關，對於記錄內容有莫大之影響，例如由實體觀點，建物之組成可包括如牆、屋頂、門、窗等，若由管理層面與實體結構切入，則可區隔如棟、層、戶、房間等不同種類之空間單元。

- (3) 空間資料模式：三維建物之表示並非在二維坐標增加一個高度資訊如此單純，考量重點是如何表示三維物件所具有之體積因素。常見之作法為以面狀資料包覆其外殼 (Boundary representation) 或以不同尺寸或形狀之立體組合為描述之建物 (Constructive Solid Geometry, CSG)。當描述對象為上述不同階層或目的之物件化成果時，記錄資料將更形複雜。
- (4) 細緻度：物件化之成果必須考量設計規格之細緻度 (Level Of Detail, LOD)，愈精緻之成果愈能反映現實世界之狀態，但也可能涉及更高昂之測製成本。為達到跨域整合之目標，細緻度之規定有必要形成跨域之共識，例如 CityGML 標準 [7,8] 中即在考量包括抽象化程度、精度、最小測製物件等因素後，規劃了不同等級之細緻度，提供三維資料測製之共同參考。
- (5) 識別資訊：為提供後續之分析與應用，須針對空間單元編定具有唯一性之識別資訊，以提供資料建置之參考及滿足管理之目的。識別碼之設計必須考量法規或相關作業之用語，因此還涉及名稱選定及其記錄內容之跨域討論。
- (6) 空間關係：有別於二維空間關係，三維空間單元之間因高度或樓層之差異而會產生新的空間關係，例如結合空間單元之間的上下關係與二維之前後左右關係後，可以產生左上、右下等新的象限關係。這樣的關係不只可以應用於空間之間的描述，也可應用於人類使用者之適地性服務。
- (7) 品質：三維建物資料可能由不同單位基於不同目的的建置，理想之狀況為有共同之測製品質規範可以依循，但實務上仍可能面對不同來源三維建物資料之品質各自不同之情形。除不同等級 LOD 之規格外，也應考量透過標準化品質資訊 [9] 加以描述，以客觀提供適用性 (Fitness for use) 評估之參考。
- (8) 時間：任何三維建物資料均應賦予時間之描述，通常意謂建物資料為特定時間之狀態。時間之表示有時間點與時間段之考量，前者用於表示例如

測製時間等單一狀態之時間，後者則用於記錄狀態維持一段時間而沒有改變之情形，例如建物之所有權資料。採用何種時間方式記錄須視資料描述之對象而定。

- (9) 語意：三維建物及其組成單元一旦完成物件化之設計，即具有特定之語意，因此影響其名稱、關聯屬性及後續可能之用途。標準化字彙之設計有利於建立其知識本體 (Ontology) 及與其他領域資料 (例如 BIM 或三維地籍) 之結合運作。
- (10) 主題屬性：地理資訊之特色為兼具空間與屬性之表示，兩者均須針對描述之現象而設計。不同類別之資料具有不同之主題屬性，但必須考量權責單位對於記錄內容之掌握程度，否則其正確性即無法確保。
- (11) 資料格式：不同種類之資料格式影響記錄之資料內容及結構，也可能造成不同軟體資料格式之異質性問題，例如已具有語意類別設計之 CityGML 資料與沒有特定語意考量之資料格式或另外定義之綱要 (例如 IFC BIM) 之間若要進行轉換，就必須發展完整之配套。

上述討論由不同面向分析三維建物資料設計之考量因素，在物件化的考量下，可以納入許多新的空間單元，也衍生許多新的資料設計思維，因此可預見一個物件化的三維建物架構將可以在空間資料基礎建設環境中發揮極大的影響力。以下兩節分別由建物模式化及識別性觀點切入，進一步分析三維建物資料之發展策略。

多尺度及多來源三維建物關係探討

建置及處理三維空間資料所需投入之時間及人力成本遠非傳統二維地理資訊可比擬，因此絕大部分三維地理資訊之建置方式為透過測量技術或整合多來源資訊達成^[10]。以大規模建置三維建物資料為例，使用技術可包括如影像密匹配^[11]、根據建物測量成果圖建置為三維建物^[12]、整合二維地形圖資及 DSM 萃取技術及垂直拉抬高程值^[13]、BIM 模型轉換^[14] 等不同方式。影像密匹配作法之目的為產製各類現象之外觀資訊，但因並非直接為物件化之成果，需額外處理才能建立單一建物之資料。產權建物作業之目的為建物登記，須經過建物測量成果資料處理、建物登記資料之

屬性編輯、套疊地籍圖等步驟，其記錄內容以建號所對應之範圍為管理單元，可包括室內建物空間及語意物件，並可聚合為單一建物之外觀；以二維地形圖資建物框為基礎之方式可參考 DTM 及 DSM 資料而萃取出建物高程差，將二維建物框拉抬為三維建物，此方式受限於原始二維地形圖之建物框定義及建物框內高程點之代表值決定方式，無法滿足較高等級之 LOD 需求，必須納入其他參考資料才可能區隔單棟之建物，因此與單戶之資料間常為一對多之對應關係。IFC BIM 包括眾多具有語意之室內物件類別，可以詳細提供室內空間及物件配置之狀態，但 BIM 模型並不要求以地理坐標記錄，因此地理定位 (Georeferencing) 將影響其成果是否可整合於後續之應用^[15]。綜觀上述分析，可以發現不同來源建物資料內容之重點並不相同，應用範疇也因此各有限制，但「單棟建物」為眾多作業模式均有可能建置之空間單元，其中僅三維產權建物與 IFC BIM 模型具有發展為單戶空間單元之潛力。

因採用技術之限制，不同來源建物資料又可能具有不同細緻化程度及品質成果。CityGML 之 LOD 提供不同等級三維建物資料建置之參考，也因此產生多重表示 (Multiple Representation) 之概念，意謂同一建物可以因參考不同 LOD 而具有不同之記錄成果。LOD 雖可作為三維圖徵之資料品質判斷依據，允許使用者依其應用選擇最合適 LOD 之資料^[16]，但 LOD 之規劃是基於門檻值及必須滿足條件的概念設計，意謂 LOD 概念只能初步區隔三維空間圖資之規格差異，當不同三維圖徵滿足特定 LOD 之設計規格時，即可視為該 LOD 之成果，但其品質卻可能有相當差異。以我國多維度國家空間資訊服務平臺之三維建物資料與區塊建物框細緻化之三維建物為例，前者主要採用臺灣通用電子地圖之建物框及一千分之一數值航測地形圖；後者整合多來源之二維圖資來源，包括臺灣通用電子地圖、地籍圖及門牌資料。三種不同的二維圖資來源會產生不同型態之二維建物框範圍 (圖 1)，且高程資訊之處理方式也包括由 DSM 取眾數層之方式以及一千分之一地形圖註記之樓層數換算兩種方式。由於上述三種方式均未能對屋頂之實型給予描述，所以三種方式之成果皆為 LOD1 之建物，但就位置精度而言，卻因參考之來源不同而有相當差異。因此不惟需要評估是否可發展以「棟」為基礎之多重表示架構，其品質之區隔

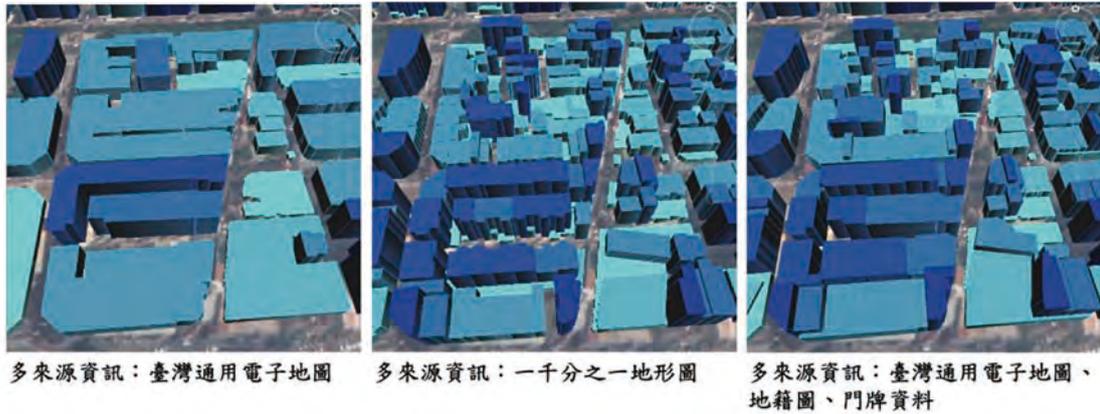


圖 1 相異來源建置之三維建物示意圖

也不能僅侷限於 LOD 之表示，而須引入更為客觀之評估與表示方式，ISO19157 之品質標準描述架構將有助於釐清不同資料之品質狀態。

在釐清多來源資訊之整合及多尺度概念對於三維建物之影響後，另一個需要探討之課題為三維建物圖徵之階層式運作架構。在三維圖徵物件化之概念下，三維建物之應用可突破過往僅以 mesh 為基礎之視覺化模式，發展以單一三維建物圖徵為基礎，依應用需求劃分出具有明確定義之空間單元，並賦予其相對應之語意及屬性，以活化空間與語意層面之應用。基於我國建物圖資及政府業務運作之模式，單一建物可由不同階層之建物空間單元所聚合而成，如圖 2 所示，一個幢空間可由多個棟空間聚合而成；棟、層與戶之關係則會因建物之型態（例如大樓與透天厝）而有不同之對應關係。在各建物空間單元及階層式架構明確定義下，即可針對所關連之屬性資料發展進一步之操作及視覺化展示。圖 3 顯示物件化之三維建物階層式架構可依據不同層級之建物空間單元強化視覺化展示，

以因應不同抽象化程度之決策參考，例如強調顯示整棟單元之狀態或不同高度樓層之分佈狀態。在空間資料基礎建設之架構中，任何可與三維建物單元關聯之資料均可以此方式展示與分析。

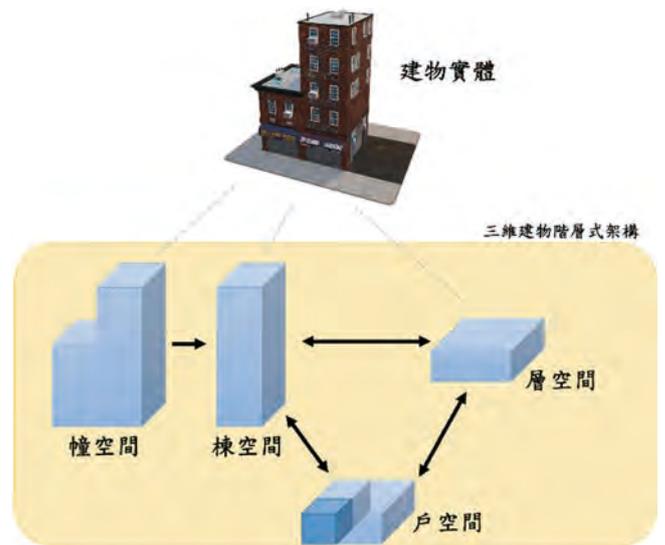


圖 2 三維建物階層式架構示意圖

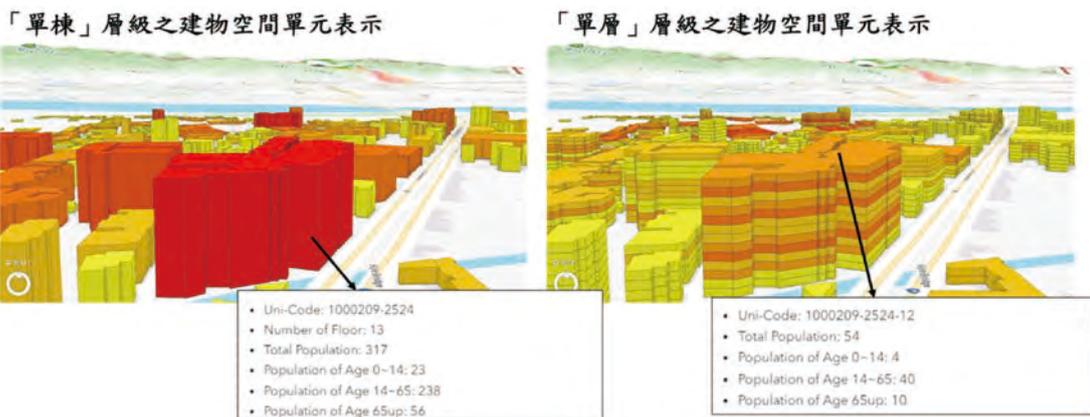


圖 3 不同層級建物空單元視覺化示意圖

基礎於識別碼之三維建物運作機制

前節之討論顯示現行技術可滿足不同層級三維建物空間單元之資料建置。無論就跨域應用或空間位置賦予之需求，各類空間單元均必須配合給予明確之識別資訊，才可能在三維空間資料基礎建設之環境中建立資料庫之連結關係，進而擴展應用之範疇。本節由識別資訊之觀點探討三維建物資料之跨域發展策略。常見之建物識別資訊主要包括建號及地址兩類，其編列格式會隨著建物類型而有所不同。產權建物可分為非區分所有建物及區分所有建物兩類情形，非區分所有建物為一物一權，表示同一建物隸屬同一所有權人，其範圍可由主建物及附屬建物組成。主建物是指室內面積，如廚房、臥室及浴室等；附屬建物是指連接主建物之附屬部分，如雨遮、屋簷及陽臺等。其中非區分所有建物可再區分為一般建物及特別建物。一般建物是指非區分所有建物中非屬特別建物者，如獨棟透天；特別建物則是指同一建築基地範圍內屬於同一所有權人，且供同一目的使用者，如學校、工廠、寺廟及名勝古蹟等。區分所有建物則為一物數權，表示同一建物隸屬數個所有權人，例如大樓、公寓、華廈及集合住宅等，其中區分所有建物可再分為專有部分及共有部分。專有部分是指建物所有權人自己擁有產權、且可獨立使用的空間，同樣可包括主建物及附屬建物。建物依產權之情形而有三種切割型態，縱橫交互切割為分套所有，表示一套由同一所有權人擁有；分層橫切為分層所有，一層由同一所有權人擁有；分棟縱切為分棟所有，一棟由同一所有權人擁有。共有部分則是指數個建物所有權人共同擁有產權，共同使用的空間包含全部共有及部分共有兩類情形。全部共有是指全體所有權人共同擁有之空間，如配電室、警衛室、機械房及防空避難室等；部分共有是指部分所有權人共同擁有之空間，如走廊、樓梯間及電梯間等。上述討論顯示可由權利之觀點對三維建物進行切割，各類三維空間單元在建物登記上具有特定意義，且因權利之賦予而具有識別管理之考量。

依我國現有產權資訊之設計，建號是由建號母號（5碼）及建號子號（3碼）組成；相對而言，地址則是由省市縣市、鄉鎮市區、村里、鄰、街路段、地區、巷、弄、街及門牌號組成^[17]。兩者之識別資訊設計進一步討論如下：

(1) 一般建物：參考我國地籍測量實施規則，一般建

物依登記先後，逐棟編列建號，為一棟對應一建號。參考各縣市門牌編釘自治條例，一般建物僅正門編釘門牌，為一棟對應一地址。

- (2) 特別建物：參考我國地籍測量實施規則，特別建物為數棟編列一建號母號，而各棟建物之建號子號以棟次編列，為一棟對應一建號。參考各縣市門牌編釘自治條例，特別建物如學校、寺廟、工廠或其他在同一建築基地經營共同事業之建物，應以正門編釘門牌，範圍內之其餘建物則不另編門牌，為多棟對應一地址。
- (3) 區分所有建物專有部分：參考我國現有產權資訊，縱橫交互切割為一套對應一建號，分層橫切為一層對應一建號，分棟縱切則為一棟對應一建號。參考各縣市門牌編釘自治條例，公寓大廈有獨立出入之分層或分隔住戶，以地面層或主要出入口為基本號，再依序編釘各樓層或各戶之門牌號碼，因此縱橫交互切割為一套對應一地址，分層橫切為一層對應一地址，分棟縱切則為一棟對應一地址。
- (4) 區分所有建物共有部分：參考內政部解釋函令，全部共有依其產權範圍對應一建號，部分共有依其產權範圍分別對應一建號。參考各縣市門牌編釘自治條例，公寓大廈內具共同使用性質者，不得編釘門牌，因此全部共有及部分共有均不得編釘地址。但若區分所有建物地面層或主要出入口屬於共有部分，則地面層或主要出入口會額外編列一地址，該地址可表示整幢或整棟區分所有建物。

基於前述討論，表1歸納可透過建號及地址而識別之空間單元。其中主建物及主建物+附屬建物可透過建號或地址唯一識別，也是一般私人擁有及使用之空

表1 建號及地址可識別之空間單元

識別碼	可識別之空間單元
建號、地址	主建物
	主建物+附屬建物
建號	全體區分所有權人共有之公共設施
	部分區分所有權人共有之公共設施
地址	主建物+附屬建物+全體區分所有權人共有之公共設施+部分區分所有權人共有之公共設施
	主建物+附屬建物+全體區分所有權人共有之公共設施
	主建物+全體區分所有權人共有之公共設施+部分區分所有權人共有之公共設施
	主建物+全體區分所有權人共有之公共設施

間，對於與人有關之資訊具有空間位置參考之效果。識別性之分析成果也具有進一步與其他資料庫串聯之功用，例如許多業務資料均包括地址之資訊，可透過地址關聯而與三維空間資料結合，達到強化該類資料空間展示與分析之目標。由此可看出三維建物資訊在跨域應用的無限潛力。

識別資訊之唯一性是重要的特性，但若其設計涉及時間版本之考量，則跨域資料的連結機制就必須特別處理。參考我國現有之產權資訊及相關法規，建號及其對應空間單元之時間版本變化包含建立、廢除、分割、合併、更名及結構變更。建立是指空間單元於某時間點建立；廢除是指空間單元於某時間點廢除；分割是指空間單元於某時間點被分割；合併是指空間單元於某時間點與其他空間單元合併；更名是指空間單元對應之建號於某時間點被更改，其空間單元範圍不變；結構變更是指因建物結構變更，空間單元於某時間點擴增或縮減。地址同樣有類似的變更可能性。跨域連結通常基礎於兩領域資料識別資訊之比對，若識別資訊之設計未能有效涵蓋版本之因素，則在跨域操作就可能產生錯誤之關聯。識別資訊之時間版本課題因此應納入三維空間資料基礎建設之共同架構規定。

結論及未來發展

三維化之一大目標為將物件立體表示之觀點納入地理資訊系統之設計與應用，諸多研究顯示三維化可帶來革命性的改變，顛覆過去之應用思維。經由探討三維建物之各類特性，本文歸納三維化所面對之挑戰及必須考量之因素。由空間資料基礎建設之觀點，最重要的挑戰是建構不同層級之物件化三維建物空間表示，並從而發展為具互操作性、以圖徵為基礎之應用環境。研究顯示以棟為單位是現行各類技術較易達成之共同目標，且可兼顧擴充連結室內空間表示之彈性。但即令 LOD 可為三維建物之規格提供初步之分級，實務上相同 LOD 之建物仍可能具有相當差異之品質，在實務應用上必須透過標準化之品質描述區隔。在完成各階層三維建物空間單元之分析後，我們進一步顯示建號與地址可提供相當程度的識別功用，不但可三維建物具體切分為有意義空間單元之組合，也提供了跨域連結、賦予空間意涵之運作基礎，因此空間資料基礎建設之發展應考量將其三維建物空間單元之規劃及識別資訊納入共同框架之規劃，以促進跨領域之三維資訊整合與應用。展望未來之發展，單一三維建物圖徵必須考量可獨立運作之需求，因

此透過標準化描述架構提供所有之必要資訊將是必須納入考量之設計策略。

參考文獻

1. Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., and Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889. doi:10.3390/ijgi4042842
2. Jebur, M.N., Ziaei, Z., Tehrani, M.S., and Shariff, A.R.M. (2013). A review of recent developments in national spatial data infrastructures (NSDI). *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(4), 6-14.
3. Basanow, J., Neis, P., Neubauer, S., Schilling, A., and Zipf, A. (2008). Towards 3D spatial data infrastructures (3D-SDI) based on open standards—experiences, results and future issues. In *Advances in 3D geoinformation systems* (pp. 65-86): Springer.
4. Salim, M.J. (2017). 3D Spatial Information Intended for SDI: A Literature Review, Problem and Evaluation. *Journal of Geographic Information System*, 09(05), 535-545. doi:10.4236/jgis.2017.95033
5. Shirowzhan, S., Tan, W., and Sepasgozar, S.M.E. (2020). Digital Twin and CyberGIS for Improving Connectivity and Measuring the Impact of Infrastructure Construction Planning in Smart Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4). doi:10.3390/ijgi9040240
6. FGDC (2005), Elements of the NSDI at <https://www.fgdc.gov/components> (存取日期 2021/09/15)
7. OGC (2012) CityGML 2.0 Encoding Standard.
8. OGC (2021) CityGML 3.0 Part 1 Conceptual Model Standard.
9. ISO (2013) ISO19157 Geographic information – Data Quality.
10. Seto, T., Sekimoto, Y., Asahi, K., and Endo, T. (2020). Constructing a digital city on a web-3D platform: simultaneous and consistent generation of metadata and tile data from a multi-source raw dataset. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Advances in Resilient and Intelligent Cities*, pp. 1-9.
11. Huang, H., Michelini, M., Schmitz, M., Roth, L., and Mayer, H. (2020). LOD3 Building Reconstruction from Multi-Source Images. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 427-434.
12. 台灣地理資訊學會 (2019)，107 年度多目標地籍圖立體圖資建置計畫案。
13. 林信助、林士哲、湯美華、陳世儀、游豐銘、林昌鑑 (2021)，運用區塊建物框細緻化技術精進三維建物模型，*國土測繪與空間資訊*，第九卷，第二期，153-177 頁。
14. Biljecki, F., Lim, J., Crawford, J., Moraru, D., Tauscher, H., Konde, A., Adouane, K., Lawrence, S., Janssen, P. and Stouffs, R. (2021). Extending CityGML for IFC-sourced 3D city models. *Automation in Construction*, 121, 103440.
15. Noardo, F., Ellul, C., Harrie, L., Devys, E., Arroyo Ogori, K., Olsson, P., and Stoter, J. (2019). EuroSDR Geobim Project a Study in Europe on How to Use the Potentials of Bim and Geo Data in Practice. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W15, 53-60. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W15-53-2019
16. Gröger, G., Benner, J., Dörschlag, D., Drees, R., Gruber, U., Leinemann, K., and Löwner, M.O. (2005). Das interoperable 3D-Stadtmodell der SIG 3D. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 130(6), 343-353.
17. 內政部資訊中心 (2009)，門牌位置資料標準。 



桃園市 三維管線資料庫

正確性提升作業之探討

劉軍希／桃園市政府養工處 處長

顏淑芬／桃園市政府養工處道路管理資訊中心 主任

邱建豪／桃園市政府養工處道路挖掘科 科長

劉新達／台灣世曦工程顧問股份有限公司 經理

因應三維地理資訊系統的發展，政府大力推動三維國家底圖建置計畫，包含三維建物、三維道路及三維管線資料庫等，其中管線埋設在地底下，難以進行調查工作，致使建置工作更為困難，包含埋深資料不完整、精度品質不一致等問題。本文將介紹如何訂定管線精度品質指標，並說明三維管線建置方式及如何提升精度品質指標。

前言

三維視覺化展示技術可以協助三維管線的建置，也是未來三維 GIS 應用之重要資料，故各級政府及管線單位均積極建置三維管線資料庫。因既設管線正確資料多已滅失，故首先進行地上物人手孔及附屬設施之測量工作，並據以修正管線之空間資料，再利用竣工圖、設計圖等資訊進行補充，若以上二者皆無資料則以一般設計值（如埋深 1.2 m）為概略值填入，目標為將屬性資料補齊補完整為優先工作。如此方式雖與現況有誤差，但已可實現三維管線視覺化及輔助業務管理之工作。

以上快速建置三維管線之方式，精度有很大的提升空間。考量多數管線測量作業均為區域、小範圍之補測，故如何藉由管線精度指標訂定，讓使用者瞭解資料之品質亦是重要課題。以下將介紹三維管線之精度品質指標、建置方式及提升精度之作業方式。

訂定管線精度品質指標

三維管線建置作業推動流程可分為三個階段：補

齊、補合理、補正確。補齊主要為屬性欄位皆須有值，屬性不可缺漏。補合理之屬性為設計值，但需與管線單位提供之型錄尺寸一致，並增加三維檢核提升人手孔與管線相對關係之正確性，如管線埋深是否有與孔座相接等檢核。

補正確為人手孔及附屬設施之屬性、坐標正確性修正作業，一般是透過實測、調查等圖資更新作業來進行，如：一般挖掘申請之圖資更新、開孔調查之屬性量測等。

由於道路挖掘多屬小範圍之作業，故圖資更新亦屬於零散方式進行，致使管線圖資其精度品質是極度不一致。又若人手孔測量作業時，並無開孔調查，故僅坐標正確，圖資精度品質指標應設為【僅坐標正確】，以表示坐標正確，但屬性並未經調查確認。為讓使用者可以正確地瞭解圖資品質，故將補正確分四個等級，分別為屬性坐標皆合理、僅屬性正確、僅坐標正確、屬性坐標皆正確，如圖 1，各等級之意義說明如下：

1. 屬性坐標皆合理：完成坐標及屬性合理性修正工作，合理性包含值域及圖層間空間關性之合理性。



圖 1 管線圖資精度品質分級圖



圖 2 管線圖資精度品質分級圖

2. 僅屬性正確：指孔蓋蓋部長寬、孔深等屬性皆為現地實際尺寸；管線為其管徑大小、管線材料、埋深之屬性為現場埋設管線之實際資訊。孔蓋主要於人手孔啟閉時，可量測孔蓋尺寸及深度等屬性，但無進行 GPS 測量作業，故此類圖資更新案件之成果需設為【僅屬性正確】。又如於圖資更新或搶修案件時，使用交會法進行圖資更新作業，僅可更新管線或孔蓋之屬性，也是同類型之更新模式。
3. 僅坐標正確：指孔蓋坐標為實際測量位置，屬性為設計值者，如：現今公共設施管線資料庫，大部分孔蓋、閘、栓之位置有經過測量，但屬性未經開孔調查確定，尚為設計值，故應設為【僅坐標正確】。
4. 屬性坐標皆正確：指孔蓋或管線屬性為現地實際尺寸，如：孔蓋、管徑大小、孔深、管線埋深、管線材料等屬性，且設施之坐標有經過 GPS 測量者。如原圖轉繪之管線，只有其中一節點與新增之實測管線相接時，且於開挖時有測量該管線之管徑、管線材料、埋深等屬性，則該管線就為【屬性坐標皆正確】。

以上之管線資料分級工作，已落實於桃園市道管中心平台之資料庫中，如圖 2 所示，並隨圖資測量成果更新作業同步更新，以提供使用者正確之圖資品質指標。

補合理作業

資料補齊（完整）僅符合營建署資料標準建置基本規範，其資料於三維圖台展示時常有不合理情形，例如人孔過小或過寬、管徑大小及圖資連接性等疑慮，故需提升坐標及屬性之合理性，說明如下：

1. 屬性合理性：針對各單位、各資料欄位進行合理性規範，如孔蓋寬度可依各單位類型進行範圍限制，尺寸單位與蓋部寬度是否搭配，孔蓋地盤高是否與 DEM 相近等，如表 1。
2. 三維幾何合理性：因應三維管線之合理性，增加三維幾何合理性的檢核條件，如管線是否與孔座相接、開關閘口徑是否與所銜接之管線的管徑寬度相同等，如圖 3，管線埋深值大於人孔深度造成了不合理的現象。
3. 管線類型檢核：管線一般皆會依其服務目的而分不同等級，如電信管線可分為幹管、配管及用戶接管等，電力管線可以分為高壓管、低壓管、用戶管等。不同等級之管線有不同之屬性值域，如表 2。人孔管線亦因管線類別不同，而有不同之連接規則，如幹管均由人孔與人孔連接、配管為手孔與手孔連接，用戶接管為手孔與用戶間之管線，如圖 4。

表 1 合理性檢核規則案例表

欄位名稱	選填條件	值域檢核		固定值檢核		備註
尺寸單位	必填	0,1,2,3		0,1,2,3		需與蓋部寬度、長度確認合理性，0:mm, 1:inch, 2:cm, 3:m
孔蓋種類	必填	0	1	0	1	孔蓋種類 0：人孔，1：手孔，蓋部寬度及蓋部長度依據人孔或手孔而有不同條件，若為圓孔時蓋部寬度為直徑，蓋部長度為0
蓋部寬度	必填	50~300cm	40~300cm	76.6(cm)	60x120, 50x100, 40x80(cm)	
蓋部長度	必填	0	40~300cm	0		
孔深m	必填	0.5~2.5m	0.5~1.5m	0.5~2.5m	0.5~1.5m	
地盤高m	必填	0~1660m		與DTM比對差距1m內		

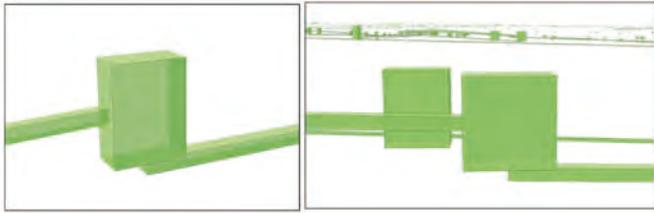


圖 3 管線埋設深度與人孔孔深不一致案例圖

表 2 電信管線管線重類檢核規則案例表

管線種類	單根管徑	平均埋深(m)	涵管條數
幹管	3吋、4吋	1.1-1.3	4以上
配管	2吋、3吋、4吋	0.6-1.2	2-12
用戶管	1.5吋、2吋、3吋	0.4-0.8	1-4

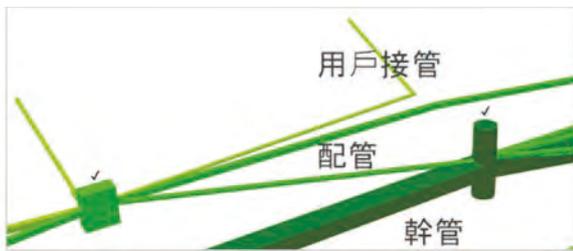


圖 4 電信管線類別分類圖

4. 人手孔旋轉角修正：一般手孔多為長方形，且多平行與前後管線走向，故需將旋轉角度修正至與最近的管線方向平行，如圖 5。

人手孔坐標正確性提升作業

人手孔測量可以提升坐標正確性，桃園市政府分階段進行人手孔之調查及測量工作，目前之調查進度如圖 6 所示，主要分為 3 大計畫進行。

1. 都市計畫區 8 米以上道路人手孔調查測量：主要於 101 ~ 106 年間進行測量，多使用全測站測量方式進行。



圖 5、人手孔旋轉角修正 3D 呈現 (左為原始圖, 右為修正後)

2. 市區道路及縣鄉道普查：於 100 ~ 106 年間進行，主要目的為道路普查工作，並同步進行人手孔測量工作，採用光達測量車方式進行測量。
3. 全市巷弄及無名道路普查：自 107 年開始執行，採用測量車及地面測量並用方式進行，目前仍在進行中，預計 111 年完成。

人手孔屬性正確性提升作業

人手孔大部份屬性需於開孔後方可調查，如人手孔內部尺寸、人孔深度等。而同時也可同時調查該人手孔之連接管線之屬性，如埋深、管徑高度、管徑寬度等，調查內容如圖 7 所示。

外業開孔成果可繪製成人孔展開圖，並可以三維方式呈現，如圖 8 所示，將調查之管線位置標示在三維手孔孔壁上 (以圓圈表示)。透過上述成果展示，可做為與開孔處相接管線位置正確性之修正作業，如圖 9 所示。因經過現地勘查和量測之開孔成果，具有明確人孔坐標、管道位置與深度資料後，可據此成果修正管線位置與埋深。比對修正前後的 3D 電信管線，修正後管線與手孔正確相接並可將配管與用戶接管清楚分層。



圖 6 人手孔測量作業規劃圖

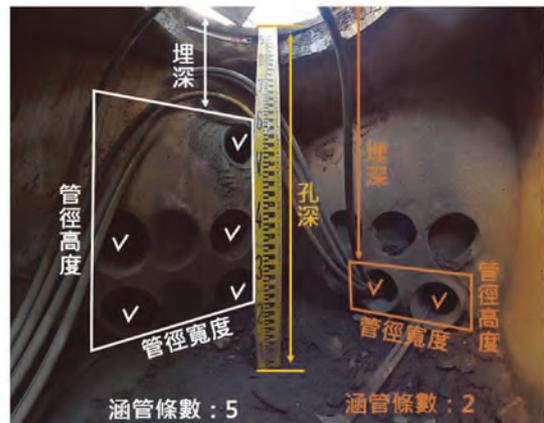


圖 7 開孔調查項目範例圖

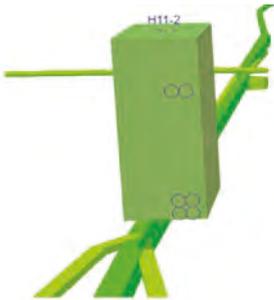


圖 8 人孔展開圖立體圖



圖 9 管線埋深及位置修正圖

管線坐標正確性提升作業

地下管線多無正確的位置和埋設深度，造成在不同管線設施間不合理碰撞。如何逐步消除管線設備間各種衝突，首要之務為提升管線之正確性。針對不同管線類型，可參考施工及實測案例，藉此分析不同管線配置態樣，進而擬訂不同管線修正方式，以提升管線之正確性。以下針對管線通用性原則及針對管線類別特殊修正原則兩方面進行說明。

1. 管線通用修正原則

- (1) 判斷管線端點為實測孔或非實測孔：管線埋在地面下無法確認位置，人手孔即為辨識管線的種類和分布的依據。經過實際測量的人手孔能確認管線端點位置，也可以用來推測非實測人手孔的分布情形。如圖 10 所示，若管線為直線且其前後人孔為實測，則可視該管線坐標為正確。但若該管線處於轉彎處，雖其前後人孔為實測，仍不宜視為正確。
- (2) 管線走固定管溝位置：設定管線走固定管溝位置，管線依重要性分成幹管、配（支）管和用戶管（各類管線有各自的名稱，以下通稱為幹管、配管和用戶管），其埋設順序也應如同重要性順序。為了簡化施工流程和提升作業效率，開挖一條管溝內可能不單只埋設一種。這之中最早埋設、最重要為幹管，配管和用戶管由其延伸直至設備或用戶。
- (3) 管溝線形平行道路邊界：管溝通常沿著道路方向開挖，修正作業時管溝形狀須保持與路形相符、平行路緣。

2. 管線特殊修正原則：電力的幹管、配管呈現共同管溝配置，管溝中心埋設幹管和人孔；配管位於幹管上方，但不一定對齊中心，手孔則偏離中心設於人孔旁，但不與其平行，且通常是靠近人行道的一

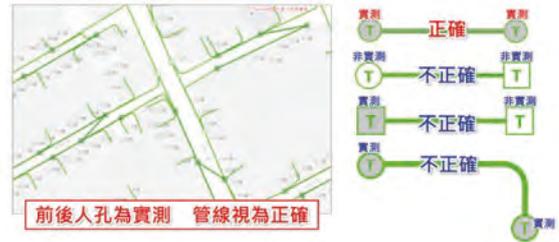


圖 10 管線正確化之判斷原則案例圖

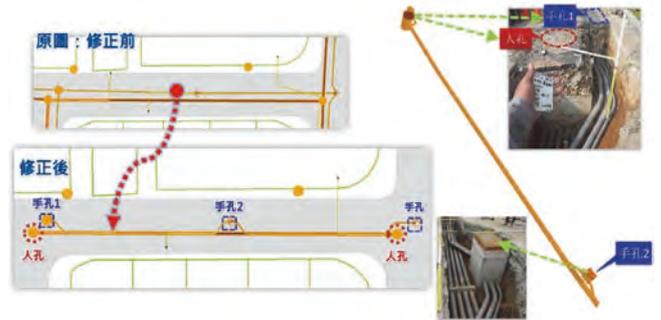


圖 11 電力管線低壓管線位置修正案例圖

側，因此將配管修入幹管管溝，用戶管也依幹管管溝修正，如圖 11 修正範例。

管線屬性正確性提升作業

除了大規模之人手孔測量外，桃園市每年約有 8000 件之道路挖掘案件，依據「桃園市道路挖掘管理自治條例」之規定，均需進行圖資異動之更新工作，如下圖為自來水用戶接管案件，則需針對新設管線進行坐標測量及屬性更新工作，如圖 12 所示。

針對管線單位提報之圖資更新資料，為明挖且確實量測管線坐標及屬性調查之資料，屬於坐標及屬性皆正確資料，對於資料庫現況更新維護極為重要且珍貴，因此於圖資更新作業流程中擬定相關檢核機制確保圖資品質及作業成果確實回饋至公共管線資料庫。管線單位提送圖資更新資料後，檢核機制包含：

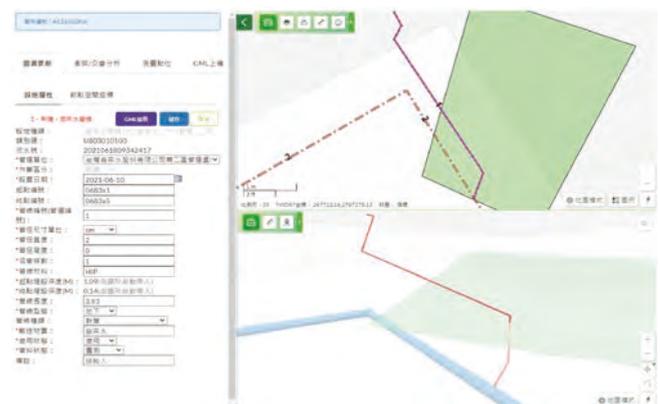


圖 12 三維管線圖資更新操作案例圖

1. 圖資更新審查：由路權機關針對管線單位提送之資料「逐案」進行審查，檢核以圖資資料合理性為主，不合格案件可由系統進行退件，再由管線單位修正或補充資料後重新提送，藉以修正資料內容。
2. 內業抽查：針對路權機關審查已通過之案件進行再審查作業，抽查內容為圖資資料合理性檢核。
3. 外業抽測：針對路權機關審查已通過且為 GPS 測量之案件，挑選明確可辨之物件，如人手孔、閘栓等，以檢核管線單位測量成果精度。

為完善審查作業流程，系統針對內業抽查及外業抽測不合格案件，提供不合格退件功能，讓管線單位可直接於系統中進行退件資訊查詢及修正作業，其完整流程修正如圖 13 所示。

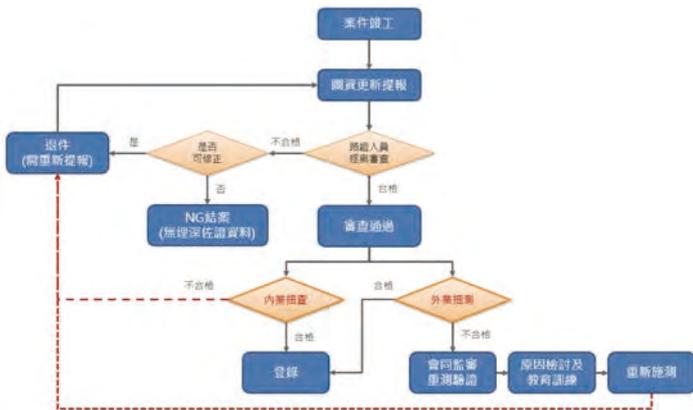


圖 13 圖資更新審查標準流程圖

新建工程之管線資料庫建置

新建工程之管線資料庫需要有完整之標準程序進行建置工作，以確保其正確性。新建工程包含市地重劃、區段徵收、道路新闢或拓寬工程等施工範圍面積大的工程，這些工程的圖資建置與提供的流程與一般道路挖掘案件並不相同，且多會包含 BIM 模型檔案。桃園市政府已針對工程提出公共設施管線圖資建檔與移交規定，列點說明如下：

- 一、作業規範：依據「桃園市政府養護工程處三維公共管線資料格式與作業規範」，包含測量、管線圖資建置作業。新建工程之管線測量尤其重要，需在管線埋設後，CLSM 澆置前進行測量工作，方可取得正確之管線坐標資訊，如圖 14 所示。
- 二、圖資繳交清單：圖資繳交清單，如表 3 所列。



圖 14 新建工程管線在澆置 CLSM 前完成測量工作示意圖

表 3 管線圖資移交清單項目

繳交類別	項次	繳交項目	檔案內容規定
GML 格式檔案	1	工程中各公共管線設施之 GML 檔案	欄位需符合桃園市 GML 範例檔
	2	人手孔、管線、設施等測量成果報告	需符合營建署測量標準，測量精度應在 20cm 以內
BIM 模型檔案	3	BIM 模型原始檔案	欄位內容至少需包含項次 1 之 GML 欄位內容
	4	IFC 業界基礎類別檔案	<ul style="list-style-type: none"> • 尺寸單位為公尺 (M) • 欄位內容至少需包含項次 1 之 GML 欄位內容
	5	BIM 工作執行計畫書	至少包含「BIM 模型檔案命名原則」與「色彩計畫與管線顏色設定原則」。
	6	插入點坐標說明	<ul style="list-style-type: none"> • 說明 BIM 模型之插入點坐標值 • 承上，坐標之平面基準應採用內政部公告之 TWD97 (1997) 二度分帶坐標系統。高程基準應採用內政部 TWVD2001 一等水準系統。

結語

管線資料正確性是資料應用之關鍵，有正確的資料，方可推廣管線相關應用，桃園市已完成管線圖資精度品質指標之訂定，並提供圖形化查詢界面供使用者查詢，以便使用者正確地使用圖資，提升對圖資使用之意願及信心。

管線資料庫正確化本是一條漫長的路，桃園市已朝正確方向大步邁進，規劃了完整的圖資更新機制，並利用三維管線平台提升圖資正確性，並將可擴大未來之應用。

參考文獻

1. 109 年度桃園市 3D 公共設施管線測量暨系統功能維護及資料建置委託服務案成果報告書。
2. 桃園市公共設施管線位置調查 (監驗) 暨系統建置第十期計畫委託建置服務工作成果報告書。
3. 109 年，內政部營建署「公共設施管線資料標準」第二版。



虛擬實境技術 於 淹水模擬應用 — 以 寶來溪 為例

楊鈞宏／國家災害防救科技中心 專案佐理研究員

陳偉柏／國家災害防救科技中心 研究員

張子瑩／國家災害防救科技中心 研究員

蘇文瑞／國家災害防救科技中心 研究員

臺灣南部地區在 107 年 8 月 23 日因熱帶性低氣壓引進大量水氣，在高雄市大寮區降下每小時 111.5 毫米的雨量，包含林園、前鎮、美濃等區域也出現每小時超過 100 毫米的降雨，導致因超過設計保護標準，排水系統排除不及等因素，造成多處道路、農田及魚塢積水，造成災情及民眾生命財產損失，因此災害的預防措施及救災相關演練顯得十分重要。有鑑於此，本研究以每小時高達 100 毫米以上降雨，將山區及河道重現此淹水情境，模擬造成之衝擊及因應作為本研究之目的。

本文將利用虛擬實境軟體工具，以荖濃溪支流寶來溪作為研究區域，選用 24 小時最大時雨量 108 毫米之情境，結合國家災害防救科技中心的山區洪水預警數值模型及 3D 地形模型資料，重現 0823 豪雨事件降雨於寶來溪之情境。透過虛擬實境呈現淹水之範圍與深度，即時呈現於模擬區域中，提供決策支援所亟需之資料。期望未來可應用於救災演練及提供相關決策人員參考，以達到即時展示、推演災害發生結果之願景。透過虛擬實境呈現，帶給使用者全新互動感受，以利於應變決策人員評估與判斷進行人力物力派遣、整備及居民疏散的指揮工作。

關鍵詞：淹水模擬、虛擬實境、決策系統

前言

全球氣候變遷對水利防災造成顯著的衝擊，暴雨強度及雨量均有逐漸增加的趨勢。洪水災害本就是最具破壞性的自然災害之一，隨著降雨強度日漸增強，其所造成之災害將對民眾之生命財產產生更嚴重的威脅^[1]。今（2021）年 8 月 7 日高雄桃源區「明霸克露橋」因不敵強降雨造成的湍急水流而沖斷，造成山區道路、橋梁封閉，為避免相同憾事發生，洪災前的預警便顯得極為重要^[2]。過去對於颱風事件的災後調查，大多仰賴現地踏勘，傳統災後調查因災後環境破壞，但基於安全考量人

員無法前往觀測，且交通中斷導致人員及地面載具無法前往勘查，因此災害過後通常根據現場災害遺跡或目擊者描述現況^[3]；災後現場無法完全清楚描述災害之平面規模與範圍，因此在現有技術限制下，對於颱風期間之情況尚無法精準掌握^[4]。

近年來因 UAV 技術逐漸成熟，且可於強風豪雨的惡劣環境下安全有效的操作，並快速取得相關影像資料，對於即時監測將更具有效益性^[5]。針對 UAV 量測技術之成效，近期已應用於防救災應用、崩場地監控及洪澇災害災情查勘上，皆已獲得顯著的成效^[6]。學

者施錦揮等人，更透過 UAV 影像以及地面調查等方式，應用於遭受暴雨洪水災害的地區，評估其農作物之受災情況。針對土石流危險溪流之判釋，也結合虛擬實境技術及遙測衛星影像分析進行深入分析^[7]。GIS (geographic information system) 軟體、VR (virtual reality) 軟體^[8]等工具因其具備空間地理資料之儲存、更新、分析及展示能力，近年來逐漸成為處理空間地理資料之有效工具^[9]。因此，本文特別針對目前已有之虛擬實境製作技術，開發出一套結合水理數值模式(山區閃洪系統)、數值地形高程(DEM)及立體航照圖地貌實景的展示軟體與操作介面，呈現洪災發生時的洪氾淹水景況，輔助支援決策層級能更精確的判斷並有效地縮短其反應的時間。

研究區域概述

本研究以高屏溪水系支流寶來溪與荖濃溪交會處之寶來溫泉區為研究區域，面積約 29 平方公里，與桃源區接壤，荖濃溪與寶來溪在此匯流，是前往南橫公路的必經之地，位置詳如圖 1 及圖 2 所示。寶來溪位於台灣南部，屬於高屏溪水系，為荖濃溪第二大支流，河長 28 公里，流域面積 133 平方公里，分布於高雄市六龜區東北端及桃源區中南部。主流發源於卑南主山北側，先向北復轉西北流，至透仔火轉向西南流，至石洞溫泉再轉向西北流，於寶來注入荖濃溪。

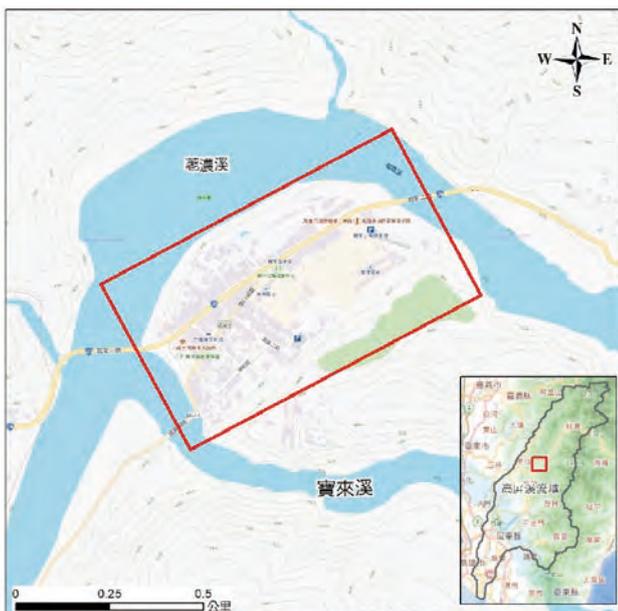


圖 1 研究位置圖－寶來溫泉區

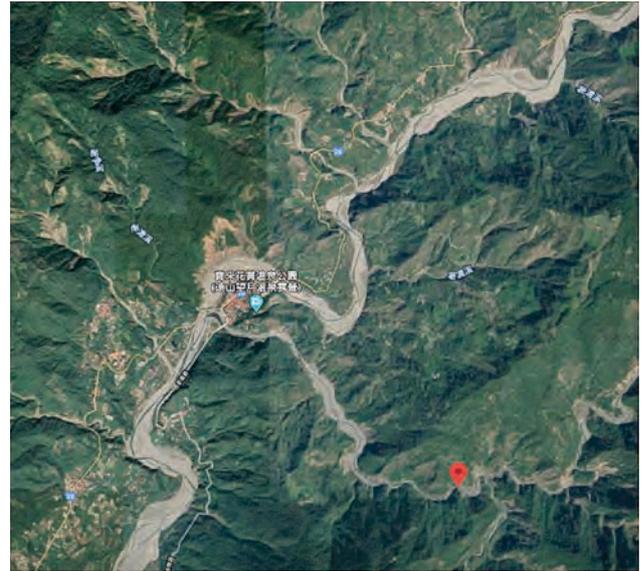


圖 2 研究位置圖－寶來溫泉區航拍圖

虛擬實境技術研發

虛擬實境技術主要是透過 3D 地表模型所產生的影像，自由移動視角或傾角，以滿足使用者即時性之互動需求。本文所使用之 3D/VR 虛擬實境技術軟體為 UC-win/Road，運用其即時運算的 3D 虛擬實境、隨點即至技術 (One-click)、壓縮技術、整合各種多媒體、豐富的運鏡、操作控制介面及使用主流瀏覽器等技术，製作出最新進的 3D/VR 互動式資訊。並透過導入 UAV 模型及實際淹水分析數據，產出淹水實境動畫。

淹水模式導入

淹水模式係由國家災害防救科技中心山區洪氾預警系統所產出，其接收氣象預報模式、降雨逕流模式以及水動力模式所建構而成。採用氣象預報空間解析度 1.25 公里之未來 24 小時降雨量，如圖 3 所示。透過降雨逕流模式將時雨量轉換成集水區時流量，提供水動力模式做為上游邊界進行水理模擬，及虛擬實境所需資料。

數值模式格式轉換

利用山區閃洪模式匯出之水理模擬資料，與無人機空拍資料建置之 3D 地形模型資料，建置淹水情境虛擬實境展示模組。山區洪氾預警系統模擬之淹水檔案格式包含該模擬區域經緯度座標、模擬範圍網格、逐

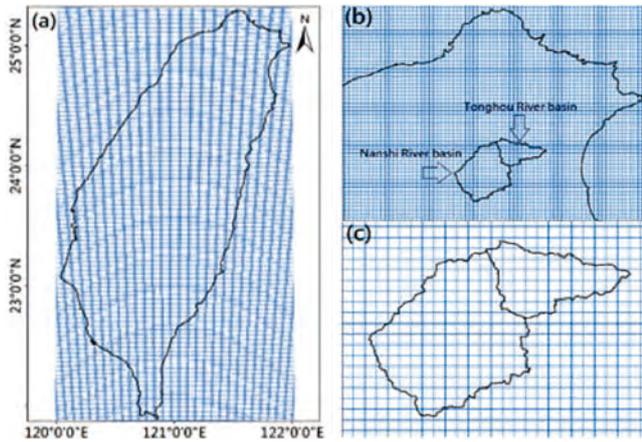


圖 3 雨量網格化配置

時水位資料。圖 4（左）每筆資料座標依序對應座標，圖 4（右）為模擬事件逐時水位高程資料。

1. 依據 UC-win/Road 座標系將淹水模擬結果經緯度座標轉為 UTM 座標系。
2. 製作該模擬範圍均勻網格備用（網格精度依需求可調整）。
3. 逐時水位資料擷取透過 sms 軟體進行均勻網格與逐時水位欄位對應並完成內插工作。
4. 最後利用 GIS 系統將步驟 3 擷取之資料由點資料轉為 raster 檔，再轉成 asc 檔，即完成轉檔工作。

轉換資料檢核

轉換格式後確保轉檔後資料完整性、精度及其影像品質，符合成果影像品質及軟體運作順暢度。以圖 5 為例，DEM 格式轉換後，模擬範圍邊緣會有黑色無資料的情況（圖 5 左），故需進行修正，將高程顯示為 0 的部分手動刪除（圖 5 右）。

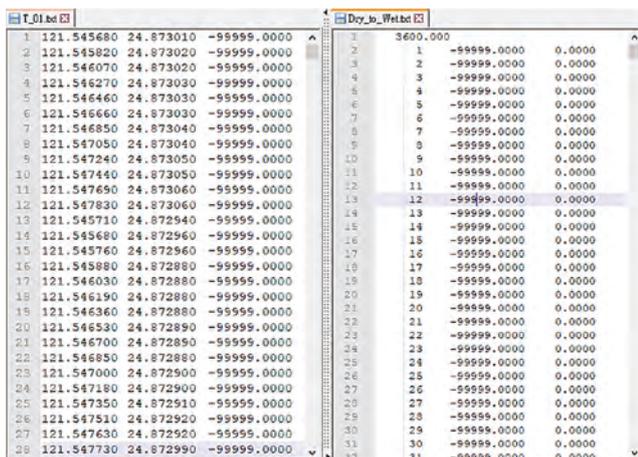


圖 4 水理模式模擬結果檔



圖 5 淹水成果檔轉換成果檢視

淹水資料轉換成果

統計水理模擬原始資料，荖濃溪主流與其支流寶來溪資料數共有 33,167 個，將水理模擬原始資料轉換格式內插為 5 米 5 米均勻網格後，共產製 228,085 個網格點，將內插後各網格點之水位深度繪圖，以第 1 小時及 24 小時為例，水位深度如圖 6 及圖 7 所示。

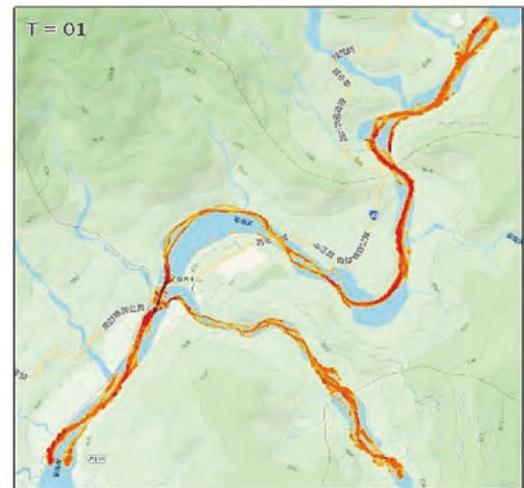


圖 6 第 1 小時水位深度圖

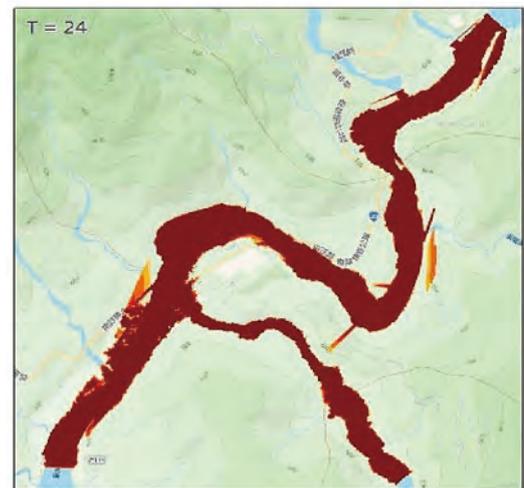


圖 7 第 24 小時水位深度圖

虛擬實境建置

藉由 3D/VR (Virtual Reality：以電腦模擬真實世界的技術) 展示技術，針對洪氾區淹水景況，模擬技術 (Simulation)、互動效果 (Interactive) 等展示方法，呈現淹水境況。其製作過程如下：

1. 蒐集各主要地點之地形航照圖，籍由航照圖的實景呈現，了解地形、構造、植被等相關資料呈現真實地貌。
2. 將等高線圖之比例、XYZ 距離面積等資料換算出來，繪製出主要地形之三度空間立體模型。
3. 蒐集到的航照圖資料轉換成 Image 影像格式，經由 Adobe PhotoShop 影像編輯軟體，編修其航照圖，讓影像更為清晰以便使用。
4. 3D 立體模型和影像圖檔製作編修完成後，運用 Virtools 及 3D Studio Max 軟體等工具，將影像圖檔一塊塊貼附至 3D 立體模型的各個角度上，以建立虛擬實境中的真實地形地貌。

即時展示系統

透過導入以無人機空拍寶來河流域生成之 UAV 地形資料，匯入 UC-win/Road 軟體內建立 3DVR 場景，進行寶來溪動畫製作。



圖 8 VR 場景製作流程圖

運用影像轉換工具將動畫以 360 度影像描繪方式呈現，並使用 UC-win/Road 紀錄與播放功能，錄製並輸出寶來溪 360 度影片。

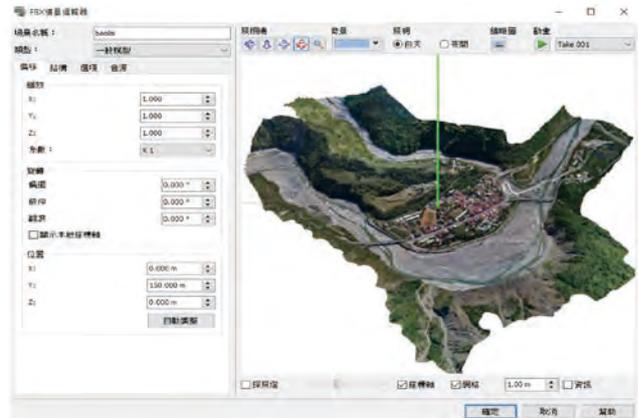


圖 9 UAV 模型－寶來溪



圖 10 寶來溪動畫呈現示意圖



圖 11 360 度動畫輸出－寶來溪

目前系統與國災害防救科技中心所開發之災害情資網資料互相連接、對應，透過選定 UAV 地形及淹水分析結果等資料，將分析結果加入至寶來溪數據的動畫腳本及 VR 空間中便可呈現 VR 模擬效果。

針對寶來溪淹水模擬結果，建置 VR 模擬專案，此專案內各頁籤分析結果畫面進行對照，參閱圖 12 至圖 17。



圖 12 VR 成果與情資網之對照—淹水範圍模擬



圖 13 VR 成果與情資網之對照—受影響人口統計



圖 14 VR 成果與情資網之對照—受影響保全對象統計



圖 15 VR 成果與情資網之對照—避難收容所統計



圖 16 VR 成果與情資網之對照—救災資源評估



圖 17 VR 成果與情資網之對照－3D 視覺平台

結論與建議

本文所開發之虛擬實境展示技術，除了可以呈現洪氾淹水立體互動式虛擬場景，結合 GIS 系統，可套疊不同人文及生態的圖層，顯現模擬區域對各種人文及自然生態的影響範圍與深度，支援淹水決策系統之需求。因此，經由本文之技術展示將使淹水預警視覺化效果得以提升。

透過 3D/VR（立體互動式虛擬實境）模擬展示的方式，可讓當地居民早一步於腦海中呈現洪氾影響的範圍，對於洪氾過後相關區域的規劃，不管是休閒娛樂或是綠地的再利用，或是防災應變路線，都可預先規劃，將民眾生活與防災工作緊密結合在一起。

參考文獻

1. Aya, S. F. and Yagyu, M. (1995). Field observation of flood in a river by video image analysis. Proceedings of, pp. Vol. 39, 447-452.
2. 中時新聞網 (2021.8.7) Retrieved from 中時新聞網: <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20210807003886-260402?chdtv>
3. Liu, Peter, Chen, Albert Y, Huang, Y.N, Han, J.Y, Lai, J.S., and Kang, S.C. (2014). A review of rotorcraft Unmanned. Smart Structures and Systems, pp. Vol. 13, pp. 1581-1597.
4. Rodriguez. (2006). An emergency response UAV. AMIA Annual Symposium, p. 1078.
5. Haboudane, D., J.R. Miller, N. Tremblay, P.J. Zarco-Tejada, and L. Dextraze. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. Remote Sensing of Environment, pp. 416-426.
6. 代輝、武文波、劉純波、崔言輝 (2014)，洪澇災害天空地一體化災情查勘技術研究，自然災害學報，第二十三卷，第 1-6 頁。
7. 盧致光 (2014)，遙測技術結合虛擬實境應用於土石流運移行為之動態模擬分析，國立屏東科技大學土木工程系碩士論文。
8. 朱子豪、林凱發 (1998) 空載資訊與虛擬實境之整合，1998 空載遙測技術應用研討會論文集，台北：行政院農委會。
9. 蔡光榮、盧致光、吳哲一、陳建富 (2003)，虛擬實境技術結合遙測衛星影像分析應用於草嶺潭土石流危險溪流之判釋，第四屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會，台北。



臺中捷運軌道工程

可動式岔心 施工探討

洪詠傑／臺北市府捷運工程局第二區工程處軌道工務所 助理規劃師

梁志全／臺北市府捷運工程局第二區工程處軌道工務所 主任

劉安德／臺北市府捷運工程局第二區工程處 副處長

陳俊宏／臺北市府捷運工程局第二區工程處 處長

目前臺北市府捷運工程局已興建完成於大台北地區營運之路段多為地下化大眾捷運系統，惟考量建造成本及營運後之載客率，目前興建中之路線則為高架結構鋼軌鋼輪為主。因臺中捷運線為該市首條大眾捷運系統，除少部份路段外，多處為人口稠密之市中心範圍，而當捷運系統高架化又行經人口稠密之市中心，為減緩營運後之噪音振動問題，故臺中捷運除於土建標設置隔音牆及吸音板，另於軌道標設置浮動式道床及可動式岔心來防治。其中除浮動式道床已於臺北捷運正式營運使用，可動式岔心一般使用於高速鐵路，應用於大眾捷運系統在臺灣則為首次嘗試。

可動式岔心為藉助轉轍器操作可依列車過岔行進需求，來保持軌距線連續，其優點為車輛於軌道間轉換時減少鋼輪與岔心衝擊所產生之振動及噪音，以達到減振抑噪、增加車廂內乘客之舒適度。臺中捷運中運量系統所使用的可動式岔心型式在其他國家已有逾 20 年的歷史，屬於成熟的技術。本文將使用於臺中捷運線可動式岔心設計、生產製作過程及現場安裝等作業流程進行探討。

關鍵詞：臺中捷運、可動式岔心、道岔、減振抑噪

前言

臺中捷運中運量系統路線起自臺中市北屯區松竹路一段與旱溪西路三段交岔路口，往南經北屯路、文心路、文心南路後，續沿建國北路、建國路，並與臺鐵縱貫線山線平行進入高鐵臺中站專用區內，其中設置五級維修廠一座、地面車站 2 站及高架車站 16 站，路線全長約 16.71 公里。路線行經北屯路、文心路、文心南路與鄰房相距過近如使用固定式岔心勢必於高速行駛狀況下造成一定程度之鋼輪撞擊岔心之噪音，為免前述狀況特於此路線使用可動式岔心減少噪音產生，目前臺灣初次使用為臺灣高速鐵路所使用之正線可動式岔心依速度及曲線分別為 18.1 號、18.5 號、20 號、26 號、33 號道岔，於臺中捷運中運量系統所使用為 9 號道岔，使用號數為較小之型式。

可動式岔心型式及固定式岔心分析

一般道岔於固定式岔心因軌距線之不連續（有害空間），在鋼輪跨越此不連續軌距線時鋼輪即會撞擊此不連續段之鋼軌（岔心）而產生震動及噪音。可動式岔心之鼻軌或翼軌經特殊設計，即可動式鼻軌（Swing Nose）或可動式翼軌（Moveable Wing），藉助轉轍器操作可依列車過岔行進需求，保持軌距線連續，其功能為車輛依營運需求於兩股道間轉換時，經由可動式岔心配合轉轍器作動，將列車行駛路線上有害空間銜接，使軌距線／鋼軌面連續不中斷，藉而減少鋼輪與固定式岔心衝擊所產生之振動及噪音，目前本案可動式岔心設置在主線高架路段。



圖 1 可動式岔心 (Swing Nose Crossing, SNX)



圖 2 固定式岔心 (Fixed Nose Crossing, FNX)

軌距線連續與否

本章節針對臺中捷運中運量系統所使用的可動式岔心與固定式岔心設計之差異做一分析比較，臺中捷運中運量系統依契約規定分別為可動式岔心須符合 EN13232-7 之規定，固定式岔心須符合 CNS14626、UIC866/0、EN15689、AREA 或 AREMA 之規定，另道岔專業製造廠商依所採用尖軌及鼻軌之金屬材料特性及相關尺寸通過 FEM 演算進行模擬分析，現將分析結果針對動程、推動力、輪緣槽寬度項目羅列如表 1。

可動式岔心因鼻軌配置號誌系統需於尖軌及鼻軌分別安裝轉轍器及鎖定 / 偵測裝置「VCC」與「VPM」，固定式岔心則無需鼻軌之鎖定裝置「VPM」，僅以「VCC」進行尖軌鎖定 / 偵測，依表 1 模擬出可動式岔心尖軌閉合

移動間距 160 mm、鼻軌閉合移動間距 115 mm，所需要之牽引動力分別為 150 daN 及 232.1 daN，固定式岔心尖軌閉合移動間距 160 mm，所需要之牽引動力 158.8 daN。依此號誌系統廠商所選用轉轍器產品為 Vossloh 公司所生產型號 MJ/MCEM 之轉轍器，牽引動力為 400 daN（約 1.5 ~ 2.5 倍），其牽引能力均大於表 1 所模擬之所需牽引動力。

另專業製造廠商依界面標所提供數據及經驗數據進行可動式岔心及固定式岔心車輪過岔橫向位移計算，相關數據如表 2。

固定式岔心輪幅最大橫向位移如表 3。

可動式岔心因岔心無車輪 / 鋼軌接觸損失不需由護軌防護，其內輪幅最大橫向位移如表 4。

表 1 閉合移動間距 FEM 模擬必要推動力 (Vossloh 提供)

	Parameter 參數	可動式岔心尖軌 Tg 1/9 R190m	可動式岔心心軌 Tg 1/9 R190m	固定式岔心尖軌 Tg 1/9 R280m Equal Split
input	Open at toe (mm) 尖軌處動程	160	115	160
	Requested min. Flangway (mm) 所需最小輪緣槽寬	55	55	55
output	Driving force (daN) 所需推動力	150	232.1	158.8
	Calculated min. Flangway (mm) 計算後最小之輪緣槽寬	64	85	64

表 2 軌道參數

Parameter 參數	Value 數據	Reference 參考數據
Rail profile 鋼軌軌形	60E1 canted 1/40	依臺中捷運契約規定
New wheel 全新車輪	UIC510-2 車輪踏面，寬度 127 mm	依界面標提供
Flange width (mm), New wheel 輪緣槽寬 (mm)，新車輪	32.5	依界面標提供
Worn wheel 車輪磨損	DB S1002 磨損數據	根據 Vossloh 經驗 DB S1002 之車輛行駛於 60E1 鋼軌及 1/40 超高上磨損參考數據。
Track gauge (mm) 軌距 G (mm)	1435 +2/-1	EN13232 規範公差值
Back to back distance a 輪背距	1360 ±1	依界面標提供
Protection of frog Npcf (mm) 岔心查照間距 Npcf (mm)	1394 +2/0	詳計算式 (1)
Free wheel passage Fwpcf (mm) 護背距離 Fwpcf (mm)	> 1359	詳計算式 (2)
Frog Flangeway in transfer zone O1 (mm) 過渡區岔心之輪緣槽 O1 (mm)	41 +2/0	詳計算式 (3)

表 3 固定式岔心輪幅最大橫位移 (Vossloh 提供)

Lateral positions of wheelset in FNX crossings 固定式岔心岔心處之橫向位置			
	b	y - (max)	y + (max)
	輪緣槽厚度 (mm)	橫向位移 (mm)	
UIC510-2 全新	32.5	- 6.5	+ 5
DB S1002 耗損參考	30.35	- 6.5	+ 5

表 4 可動式岔心內輪幅最大橫位移 (Vossloh 提供)

Lateral positions of wheelset in SNX crossings 可動式岔心岔心處之橫向位置			
	b	y - (max)	y + (max)
	Flange thickness (mm) 輪緣槽厚度 (mm)	Lateral displacements (mm) 橫向位移 (mm)	
UIC510-2 全新	32.5	- 6.5	+ 6.5
DB S1002 耗損參考	30.35	- 8.65	+ 8.65

經道岔專業生產廠商依上述計算可得出固定式岔心橫向位移 UIC510-2 全新車狀況下為 -6.5 mm 及 +5 mm 及 DB S1002 磨損車輪狀況下為 -6.5 mm 及 +5 mm。可動式岔心橫向位移 UIC510-2 全新車狀況下為 -6.5 mm 及 +6.5 mm 及 DB S1002 磨損車輪狀況下為 -6.65 mm 及 +8.65 mm。

可動式岔心製造及安裝

可動式岔心與固定式岔心最大差異處為鼻軌設置不同，其所分別進行之檢測、標準及製程上亦有所分別，以下各節分別說明。

可動式岔心製造

可動式岔心鼻軌可動，翼軌固定，這種道岔結構的優點為列車作用於鼻軌時橫向力能直接傳遞至翼軌，確保岔心的橫向穩定性。可動式岔心包括 2 根翼軌、短鼻軌及長鼻軌，其中短鼻軌及長鼻軌構成可動式鼻軌結構 (圖 3)，可動式鼻軌材質均為 60E1A1 R350HT。

可動式岔心長鼻軌及短鼻軌生產流程如圖 4。

重點摘述如下：

1. 下料為滿足公差要求道岔專業生產廠商採用數位控制鋸床自動量測鋸切以保證鋼軌端面垂直度、粗糙度和尺寸要求。

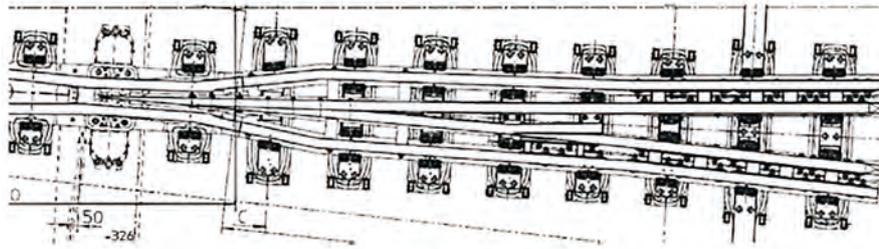


圖 3 可動式岔心配置

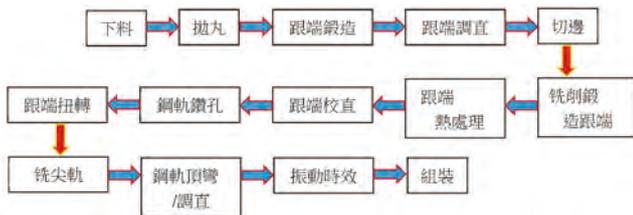


圖 4 可動式鼻軌加工流程

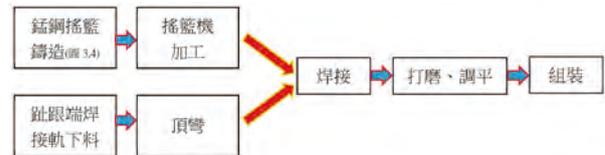


圖 5 可動式岔心翼軌加工流程

2. 跟端鍛造控制是鋼軌生產中的重點直接影響成品之品質，跟端鍛造採用中頻加熱方式使用溫控儀器在 5000t 壓力機在進行加熱並進行 4 次鍛壓成形及切除多餘的鋼軌。
3. 為保證軋製跟端軌底扭轉變形精度控制於小於 1：320 公差要求，使用鋼軌專用扭轉機進行施作。
4. 削跟端軌頂前加工工序時預留了 0.5 ~ 1 mm，並且選擇帶有 R300&R80&R13 的軌頂輪廓刀具，以一定之工藝水準保證輪軌關係的一致性，提高行車穩定性。
5. 鍛造加熱區段必須恢復到原鋼軌軌面硬度，為此跟端鍛造區按照 PrEN16273：2011 進行跟端表面熱處理。
6. 鋼軌鑽孔為確保鑽孔之孔距及間距道岔專業生產廠商保證重複精度為 0.3 mm 內。
7. 校直頂彎為鼻軌是否可密貼之關鍵工藝，需以專用工具及熟練之工人進行。
8. 振動時效為解除鋼軌於前各項加工過程中所造成之內應力，以保證從工廠內組裝到現場均不會產生太大變化。

另可動式岔心翼軌生產流程如圖 5。

重點摘述如下：

1. 鋸鋼搖籃（圖 6）以鑄造方式進行生產，並進行加工整形。
2. 翼軌區域鋼軌下料進行頂彎，其製作過程同鼻軌之校直頂彎加工方式。

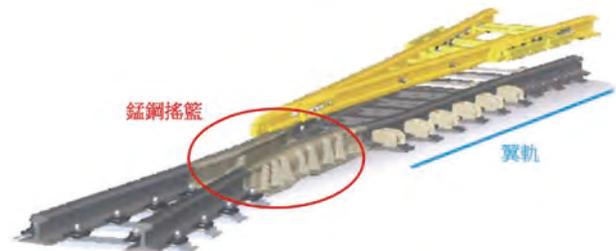


圖 6 可動式岔心搖籃及翼軌區域示意

3. 將鑄造加工完成之鋸鋼搖籃及頂彎完成之翼軌進行電阻火花焊接成形。
4. 於專業生產廠商組裝廠內進行預組裝與調整各部件。

可動式岔心現場施工步驟及內容

臺中捷運系統可動式岔心許可差依照 EN13232-7 之規定，其施工流程：

1. 可動式岔心於工廠生產完成需依設計圖進行預組裝作業，安裝無道碴特殊軌採用 Bottom-Up 工法，在已完成之混凝土軌床上依據設計資料進行測量定位道岔的 TC 點（圖 7）、主側軌岔尾中心及道岔的線形中心四個關鍵樁位，預埋岔位樁。
2. 依據圖紙中的道岔線形測量覆核四個點位尺寸（圖 8）。並在混凝土版面上彈墨線標記道岔的線形。
3. 於基本軌上先行將 TC 點之相對位置標記清楚，再將版面上 TC 點以垂直於線形向左右延伸，彈墨線於混凝土版面上。
4. 於基本軌上先行將 TC 點之相對位置標記清楚，再將版面上 TC 點以垂直於線形向左右延伸，彈墨線

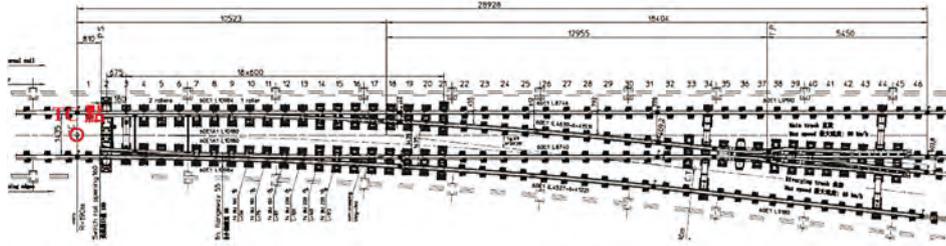


圖 7 可動式岔心施工圖說

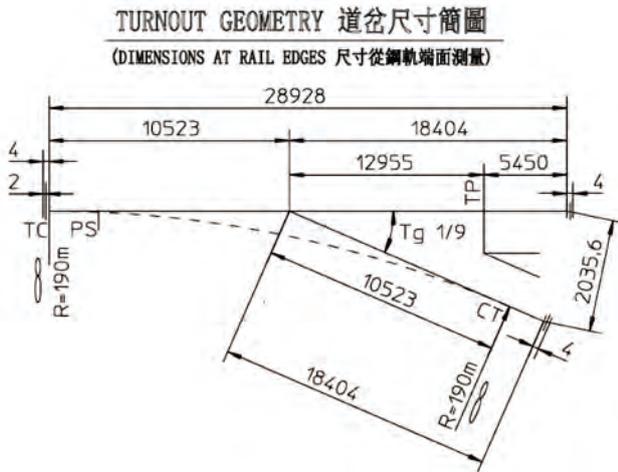


圖 8 尺寸簡圖

於混凝土版面上。

5. 將墊板、蛋形基板、扣件組分類標示堆放，放置於組裝位置之側邊，開始在特殊軌件區域搭建調整平台。調整平台的調整架盡量避開基板標記的位置放置。
6. 以小型門吊將基本軌、尖軌吊移至相對標記位置，鋪放於調整架上方，其餘各部鋼軌依相同方式依序吊放。其組裝順序為基本軌 → 尖軌 → 連接軌 → 岔心。
7. 使用軌道中心尺控制直基本軌軌端面，直到與地面測量 TC 點樁位重疊為止。再將 TC 點附近兩塊蛋形基板扣件鎖固
8. 依據特殊軌蛋形基板既有之螺栓孔位將其投影於橋面版上並予以標記。
9. 螺栓孔位標示完成後即將特殊軌墊板旁移至所標示之螺栓孔位完全外露。然後開始在軌床上進行洗孔，洗孔孔徑為 75 mm，俟套筒預留孔鑽完，即以破碎機將預留孔內壁打毛數處及基板位置之混凝土表面同時打毛後，再予以清孔，並將套筒頂面調整至高於混凝土頂面約 25 mm。

10. 安裝螺桿於套筒內，然後按強度經認定的比例調和砂與環氧樹脂，隨之將該項調和材鋪在特殊軌墊板位置，鋪設面積每邊需超出特殊軌墊板約 3 ~ 5 公分，且中央部分需較隆起。待砂與環氧樹脂結合材鋪滿之後，即將特殊軌蛋形基板外加一片墊板套入螺桿，在套入之前需在墊板下方圖一層模板油，然後再以螺帽予以鎖緊直至墊板與套筒密接為止。
11. 最後進行特殊軌之安裝，其組裝步驟順序為基本軌 → 尖軌 → 連接軌 → 岔心。

結語

可動式岔心之設置目的為列車行軌道道岔處更加平順及舒適且減少車輛行經岔心位置不連續區域車輪之噪音及振動，以臺北捷運為例，早於重運量系統設計規畫過程中已將可動式岔心列為考慮之一，惟當時時空背景下可動式岔心屬新興材料，技術及成效尚待考驗。就臺中捷運系統而言，因屬中運量系統且為高架型式，噪音振動議題就相形重要且可動式岔心專業製造廠商提出之相關實績亦有 20 餘年，於是可動式岔心就正式誕生於捷運系統使用。

臺中捷運可動式岔心因初次使用於材料生產進程中與機電系統標中多有界面，如轉轍器型式、尖軌鎖定裝置、鼻軌鎖定裝置及其相關設備開孔尺寸位置及基座開槽位置等相形重要，臺中捷運軌道標隸屬於土建區段標下，又土建標與機電系統標招標程序時程落差，造成確認前述各項資訊內容過程中整體經驗可作為後續路網之借鏡，在各項設備及時程配合上可有更多精進空間。

截至目前，交付臺中捷運股份有限公司測試及營運迄今已超過 1 年，經整體回饋可動式岔心於減振抑噪、乘客舒適性及可靠度均達相當水準。 



智能監控及工地智慧管理系統 應用於營建工程 施工架之監測

吳俊德／泛亞工程建設股份有限公司 董事長

黃德孝／泛亞工程建設股份有限公司 總經理

莊坤諤／泛亞工程建設股份有限公司 經理

曾惠斌／國立臺灣大學土木工程學系營建工程與管理組 教授

近年來，歐、美、亞洲等工業先進國家，廣泛使用營建施工架作為新建及拆除工程之臨時性設施物；相對地，造成的職業災害也層出不窮。對此，各國政府卻僅透過法令制度面進行策略管理，尚無專屬之施工架系統化監控系統。

臺灣地區位處亞洲，西太平洋之海島型國家，地處環太平洋地震帶及北太平洋西部颱風的路徑，因特殊地理位置及多元季風氣候，使臺灣常時受地震及颱風侵襲；爰此，政府機關針對臺灣氣候及地址條件，擬定施工架國家標準及法令規範。

本案針對臺灣法令規範，透過臺北市信義區某巨額營建工程作為案例，建立專屬「施工架智能監控系統」。透過 2D 施工架規劃配置圖說及材料試驗報告，建置 BIM 模型；運用 ETABS 結構分析，輸入工址參數及邊界條件，發現重要監測點位；透過感測器彙整監測數據，上傳雲端平台進行 AI 人工智慧數據分析，迴歸「施工架自然震動頻率」；透過 ML 深度學習法，區分日間「施工狀態」及夜間「非施工狀態」之頻率區間範圍，排除異常監測數值，提升整體監測系統穩定性。

本案成功運用施工架屬臨時性構造物特性，建置專屬監測機制，透過自動化數據監測，智能化結構辨識，有效控制以施工架為媒介物之危害因子，達到營建安全化的目標。

前言

臺灣等相關工業先進國家廣泛應用施工架作為新建及拆除工程之臨時性設施物，惟政府針對施工架工程管理策略，僅有產品製造國家標準、構件組搭法令規範，致相關職業災害頻傳，且一旦發生，常造成重大傷亡，致生命財產嚴重損失。

根據行政院勞動部的統計資料顯示：「營造業屬重大職災風險發生率較高之行業，每年發生重大職災案件約佔全產業之一半，統計 103 ~ 107 年營造業工作場所，以施工架為媒介物之重大職災比例約佔 15.1%，災害類型以墜落及倒塌、崩塌災害為主」^[1]。

本案認為，僅透過國家政策宣導，無法有效達到

施工架職災預防目的；更應建制專屬的「施工架智能監控系統」，針對施工架臨時性設施物進行系統化分析研究，期能於施工架職災發生前，達到事先預警等成效，使施工架為媒介物之職災比例能降低並有效控制。

施工架構造物結構分析及監測技術發展

近年來，永久性結構物（如：建築物）安全分析及監測技術蓬勃發展，但針對臨時性結構物（如：施工架）的重視程度，卻遠少於永久性結構物。本案係針對作為外牆施工平台用途之施工架進行研究，後續將針對其結構分析及安全觀測發展程度，進行說明。

施工架結構分析

施工架構造物與建築物結構分析模式主要差異為：建物構造屬高度靜不定韌性結構體，其結構強度分析及安全觀測方式，已有多項研究成果及成熟的設計規範準則可供依循；另施工架構造物屬「離散化多自由度無阻尼結構系統」，其結構質量成連體分佈，其結構分析模式複雜，尚於實驗階段，爰研究人員僅能透過文獻回顧及設計經驗反饋，逐步建構解析施工架結構行為模式。

根據李瑋櫻（2018）研究^[2]，以 ETABS 結構分析軟體分析 1 排 4 跨 3 層等 7 種單排多跨多層整架施工架標準單元，模擬重要監測點位及監測管理數值；本案亦採用相同分析軟體，然更進一步，納入案例工址地質參數，輸入現場邊界條件（如：斜籬、帆布、不整架單元及遮斷層三角架等），建立符合營建現況之不整架施工架系統單元，進行後續結構辨識模擬及感測儀器點位規劃，並定義監測管理值、警戒值及行動值，提升智能監測效率及質量。

施工架安全觀測

施工架構造物多半搭設於興建中營建工地，其監測干擾因子眾多，儀器架設條件嚴峻，於現場應克服其「防水性」、「固定性」、「供電性」及「傳輸性」等四項施工障礙關鍵要點，始能穩定進行施工架結構資訊收測；另監測系統架構，需考量「即時性」、「穩定性」及「正確性」，以降低環境因素影響，並減少假警報發生機率。

根據吳倫旺（2021）研究^[3]，運用九軸感測器紀

錄施工架監測數據，透過 LoRa 無線通訊技術，建立長距離、低功耗及低成本的物聯網架構；本案採用有線傳輸（如：Cat 6）及無線傳輸（如：LoRa）等不同系統，將感測器監測數據，彙整於工業電腦及利用網關開道收測數據，上傳智能監控雲端平台，進行 AI 模擬分析及監測成果產出。

施工架智能監控系統

監控系統架構

為有效控制施工架結構物危害因子，本案「施工架智能監控系統」架構（圖 1 和圖 2）包含複數個感測器、一訊號傳輸裝置、一電腦伺服器、一雲端即時監測平台、一工地管理裝置及一通報系統。

複數個感測器，應按結構分析軟體結果，設置於臨時性設施物重要監測點位，用以量測結構位移、角度、加速度等監測數據。

訊號傳輸裝置，包含有線傳輸（如：Cat 6）及無線傳輸（如：LoRa、Wifi … 等），結合相關應用程式，建立多對一設備間的數據傳遞方式，其設備規格及系統環境（圖 3）。

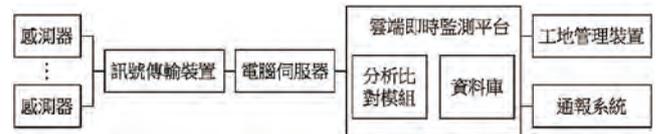


圖 1 施工架智能監控系統架構圖

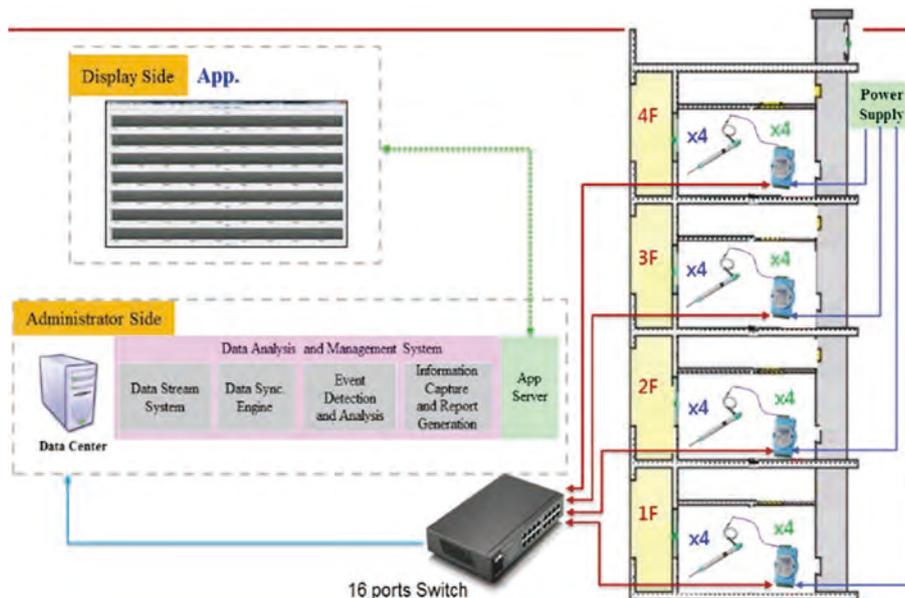


圖 2 智慧結構安全監測系統架構示意圖

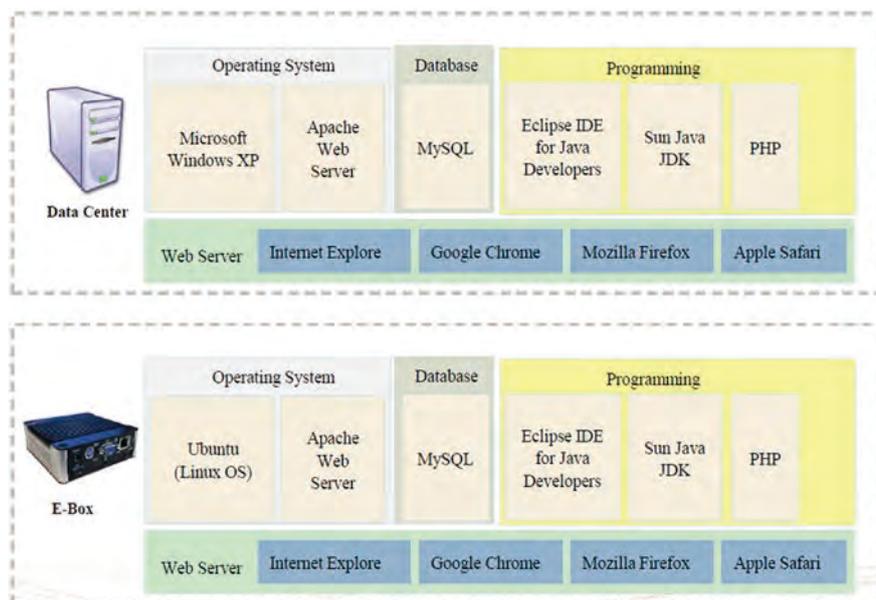


圖 3 監測設備規格及系統環境示意圖

電腦伺服器，接收感測器量測之監測數據，於彙整後上傳雲端伺服器，其設備規格及系統環境(圖 2)。

雲端即時監測平台，包含「比對模組」及「資料庫」，其中資料庫內應建置施工警戒數據，該警戒數據係透過「結構軟體分析」及「AI 數據迴歸」等成果，透過與感測器監測值進行分析比對，評估施工架結構安全狀態。

工地管理裝置，包含有燈號、語音、廣播等設備，可接收雲端即時監測平台之監測數據，即時顯示，以供現場施工人員快速閱讀，並於收到示警訊息時，運用上開設備，示警現場施工人員。

通報系統，包含 APP 行動推播系統或 PWS 標準化管理系統(災防告警細胞廣播訊息系統，Public Warning System)，可接收雲端即時監測平台之監測成

果，「即時化」及「自動化」顯示雲端數據迴歸分析結果，以利使用者快速於 BIM 模型查閱相關監測數值及接收警示訊息。

工地智慧管理實例及運用

本案成功將上開「施工架智能監控系統」架構，應於臺北市信義區巨額採購公共工程作為智慧工地管理案例(圖 4)，透過先期規劃檢討，運用無人機空拍技術(圖 5)、光學雷達掃描(圖 6)及建築物外牆配置圖說(圖 7)，模擬檢討建築物外觀幾何形狀、施工工序、工地動線配置及邊界條件限制，繪製施工架配置圖說(圖 8)；及建置 BIM 建築資訊模型(圖 9)，輸入施工架構件材料參數，以利後續參數導出，進行結構分析等第三方軟體應用。



圖 4 案例工地工址空拍照圖資



圖 5 施工架無人機空拍照圖資

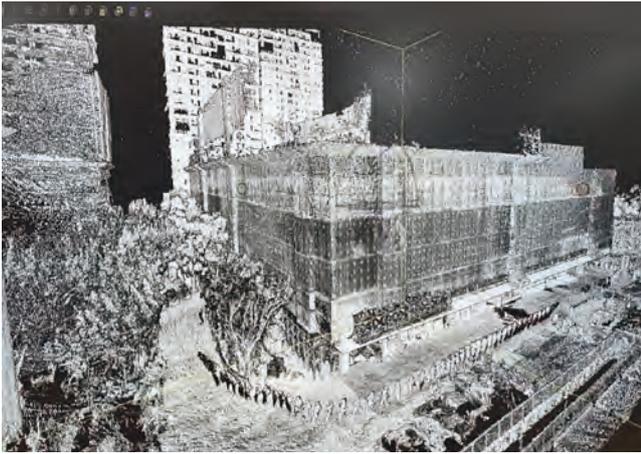


圖 6 施工架「光學雷達」掃描圖資



圖 9 施工架 BIM 模型建置圖



圖 7 建築物外牆配置圖

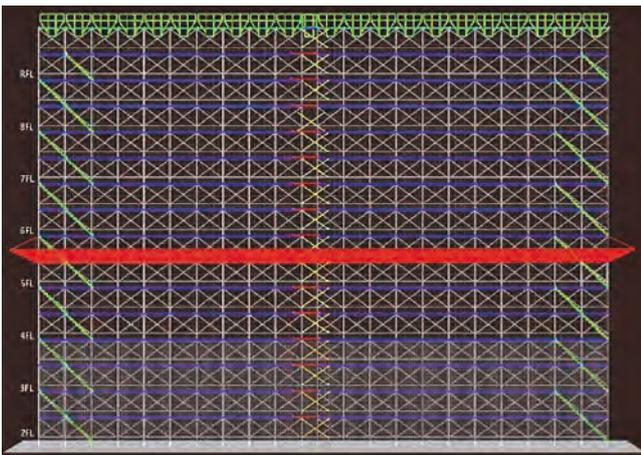


圖 8 施工架配置圖

本案考量「外牆施工平台架」為臨時性構造物，於建築物施工期間使用年限約 6 個月至 18 個月，針對地震力參數設定部分（圖 10），根據臺北市地震危害度分析及年超越機率公式檢討，設定 30 年回歸期之「中小度地震」進行地震力模擬檢討，最大地動加速度（PGA）相當於 127 Gal (cm/s^2)，屬 5 弱震度階級

地震（強震）進行分析，即可反映現場條件，產生墜落、倒塌、崩塌等災害危害因子狀態條件。

另針對風力載重參數設定部分（圖 11），根據「建築物耐風設計規範及解說」第六章，6.2 節規定，設定 10 年回歸期之設計風速，納入工地現場配置之施工斜籬、防塵帆布等附屬設施物，進行施工架系統單元應力分析。

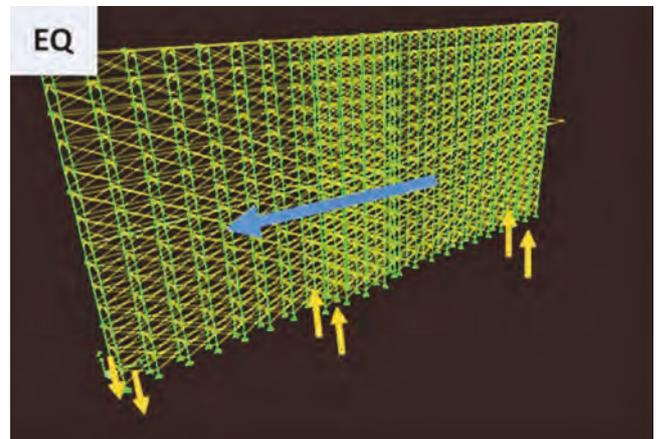


圖 10 結構分析模組受地震力示意圖

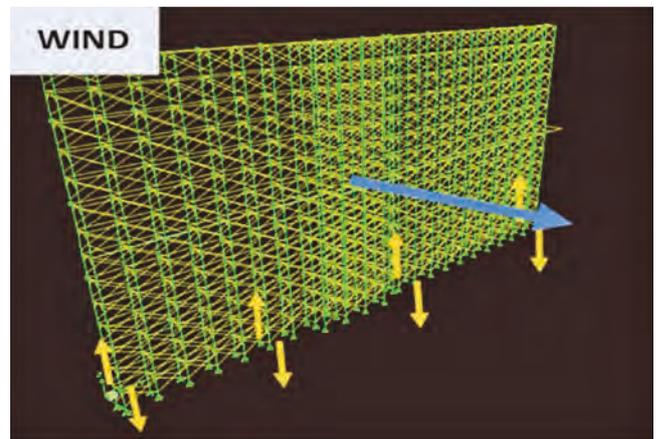


圖 11 結構分析模組受風力示意圖

本案針對案例工地施工架結構系統單元，輸入案例工址參數，納入現場邊界條件限制，模擬施工架結構物所受的外力載重，如：靜載重、活載重、地震力及風力等，基於可靠度概念，納入載重放大係數和強度折減係數，以補足無法預見的標準值偏差，得到施工架構件應力集中位置（圖 12）及變形模擬成果（圖 13）。

透過 ETABS 結構分析結果，經與案例工地專家學者討論後（圖 14），確認以案例工地（1 幢 4 棟）中的最高樓層建築，並在該樓層的西面項施工架作為監測標的物，並進行感測器佈設圖說配置（圖 15）。

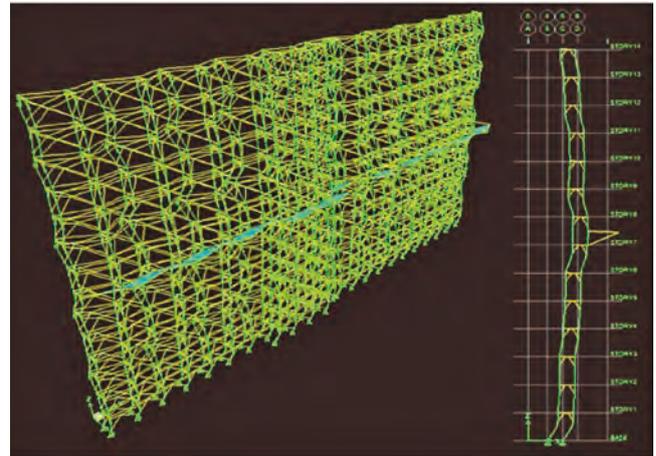


圖 13 施工架變形模擬成果圖

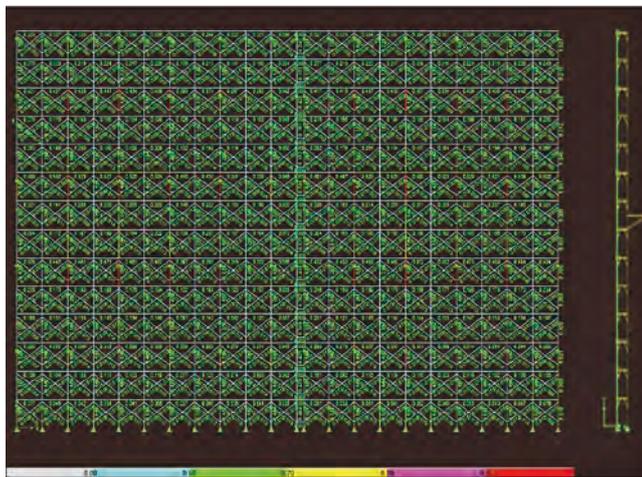


圖 12 施工架構件應力集中位置圖



圖 14 案例工地專家學者訪談圖資

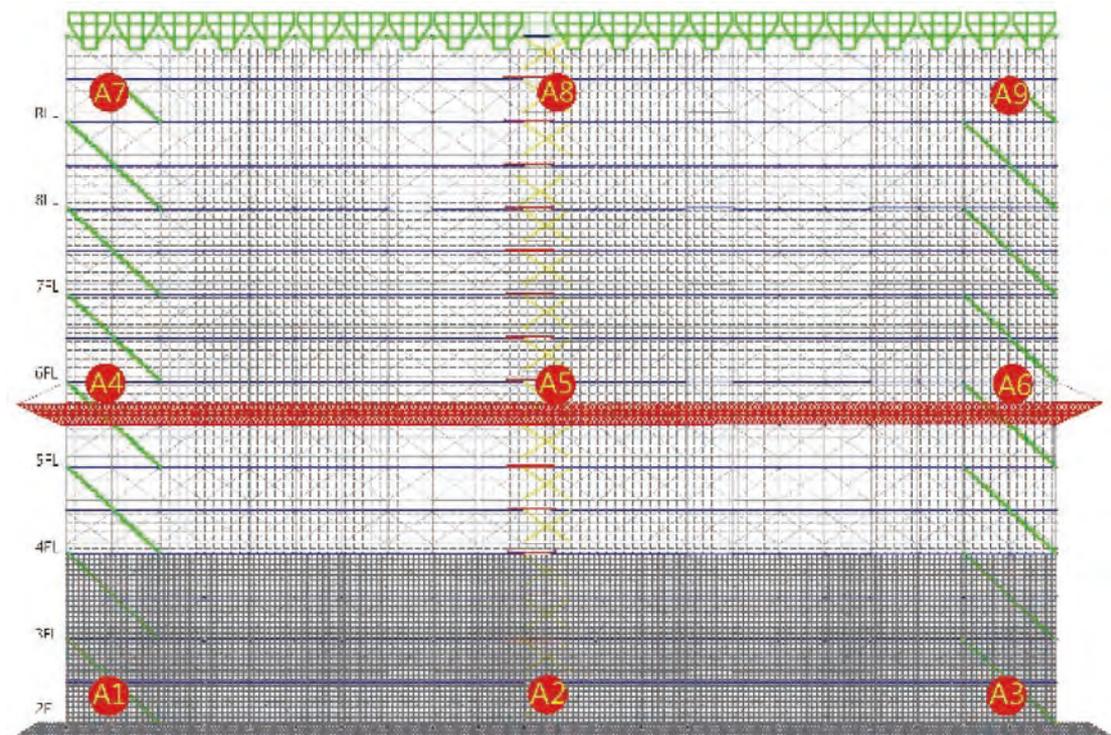


圖 15 監測標的物實際儀器佈設點位圖資

針對監測儀器佈設之「防水性」、「固定性」、「供電性」及「傳輸性」等四項施工障礙關鍵要點；本案透過具 IP65 防水等級認證的保護盒，裝載監測儀器，以克服現場「防水性」障礙。另透過特製鋼束環於防水盒上，克服現場監測位置「固定性」障礙（圖 16）。有關「供電性」及「傳輸性」部分，有線感測設備部分，係透過感測儀器之網路接口，利用 Cat6 網路線，透過乙太網路（Ethernet）區域網路技術，連接 POE（供電網路交換器），提供感測器運作所需工地臨時電力系統；另無線感測設備部分，係透過天線及網關設備，運用 Lora 定義通訊協定及網路系統架構，進而克服現場「供電性」及「傳輸性」等關鍵障礙因素（圖 17）。使感測器得以穩定接收結構資訊（圖 18 至圖 20）。

儀器設備安裝定位後，經供電電源測試（圖 21）、軟體設備校正設定（圖 22）後，成功將即時數據上傳「施工架智能監控系統」雲端平台。（圖 22 和圖 23）

本案智能監控雲端平台係與國家高速網路與計算中心（NCHC）合作開發，透過 AIOT 智能監控雲端平台可以即時化顯示現場感測器（編號 A1 ~ A9）監測數據，如：角度、加速度等，及 AI 人工智慧識別診斷結果，其分析診斷原理係先透過類神經網路學習紀錄（LSTM）迴歸出施工架結構自然震動頻率；另於監測過程，以頻率回歸均方差（RMSE）比對即時監測數據，模擬施工架系統效能組態，並將結果轉換為顯而易懂的「百分比」數值呈現，以利快速辨識施工架結構安全狀態（圖 24 和圖 30）。



圖 16 感測器 IP65 防水盒及鋼束環配置照圖資



圖 17 感測器訊號電源供應線路佈設照圖資



圖 18 有線及無線感測儀器進場照圖資



圖 19 感測器安裝過程照圖資



圖 20 有線及無線感測儀器安裝完成照圖資



圖 21 供電電源測試照圖資



圖 22 軟體設備校正設定照圖資



圖 23 「施工架智能監控系統」校正設定照圖資

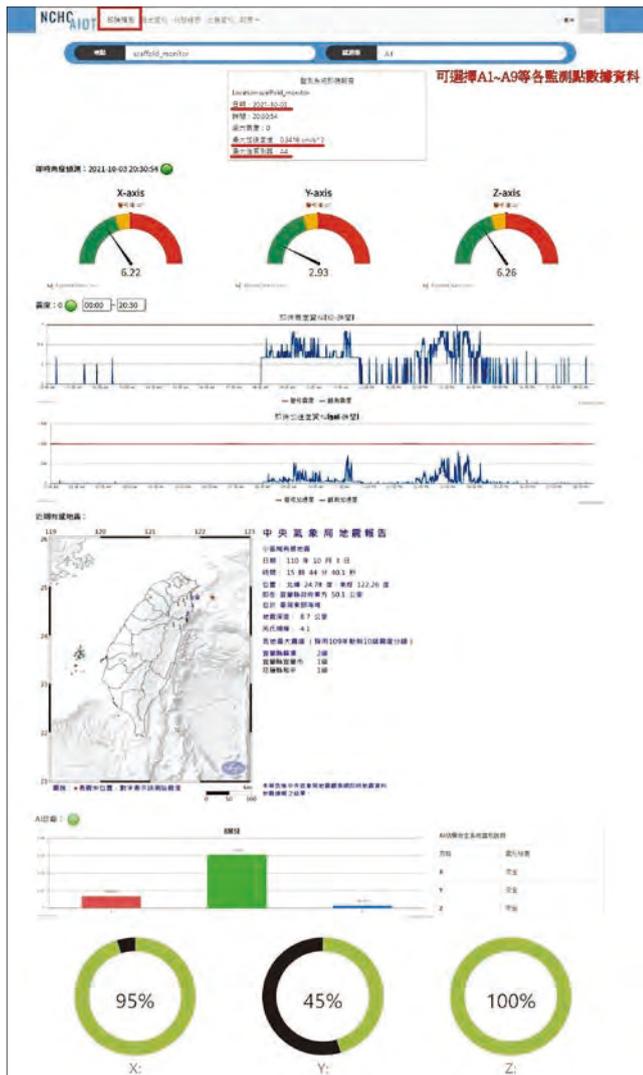


圖 24 「施工架智能監控系統」即時預測功能

「施工架智能監控系統」雲端平台(圖 24)具「即時預測」、「歷史資料」、「狀態總表」、「地震資料」及「數據報表」等 5 大功能，網頁畫面呈現如下所示。

即時預測 — 監控系統即時報告

監控系統即時報告(圖 25)，系統自動釘選最大監測數據之點位資訊於頁首頂端，以利使用者快速瞭解系統主控點位資訊，即時報告會顯示日期、時間、最大震度、最大加速度值、最大值感應器。

即時預測 — 即時監測數據呈現

即時監測數據呈現(圖 26)，更新頻率為 20 秒 / 次，監測資訊為「角度」與「加速度」，針對角度測值，係以儀表圖示方式，方便查閱者檢視即時數據與警戒範圍；另針對加速度測值，則以歷時曲線方式呈現，水平軸為時間，垂直軸分別為震度(級)與加速度(gal)。

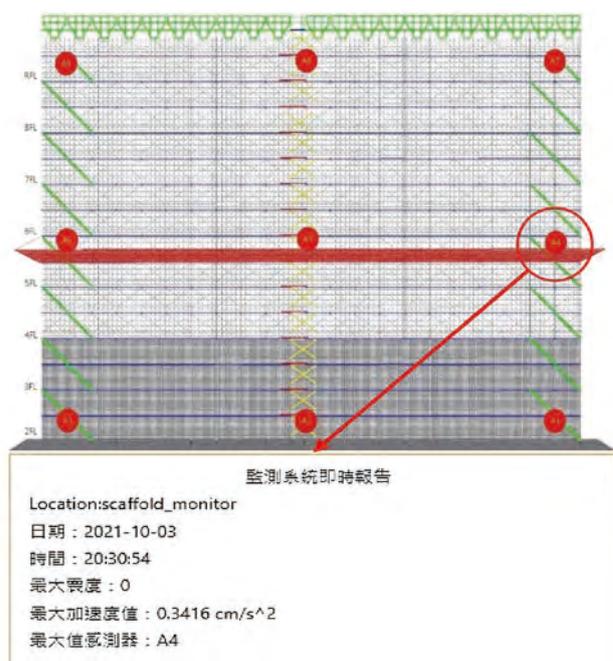


圖 25 監控系統即時報告



圖 26 即時監測數據

即時地震資訊及地震資料功能

即時地震資訊(圖 27)，系統與中央氣象局連結，可於首頁顯示最近一筆有感地震資料，另於「地震資料」功能(圖 28)自動紀錄及產出施工架震後分析報告(圖 29)。

即時預測 — AI 人工智慧識別診斷

感測器接收到的資料會即時進行人工智慧系統進行識別診斷，並以類神經網路學習紀錄(Long Short-Term Memory, LSTM)診斷三軸(X、Y、Z)健康狀態，其

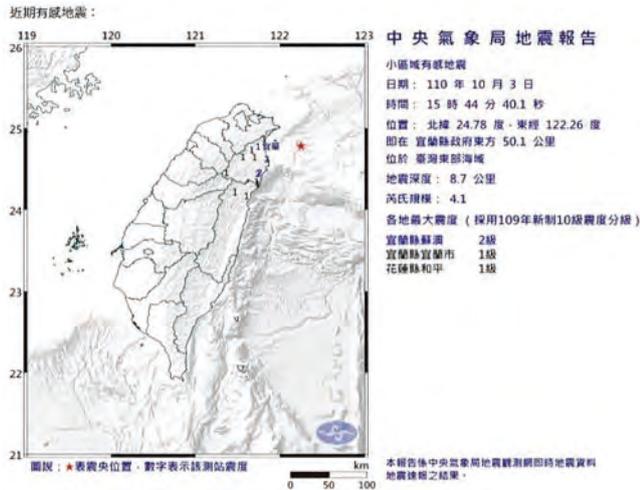


圖 27 中央氣象局即時地震資訊圖資

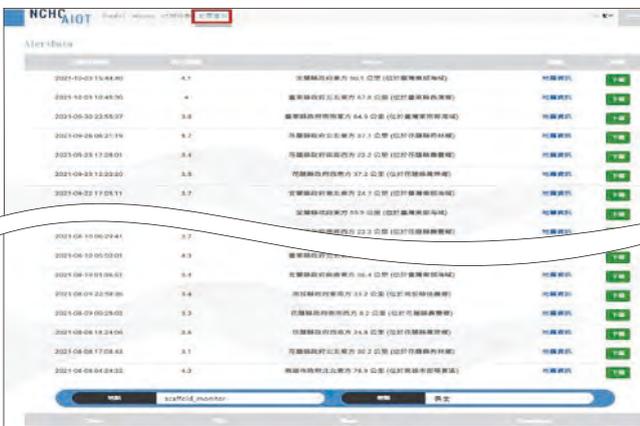


圖 28 「施工架智能監控系統」地震資料功能



圖 29 震後分析報告

識別結果在右方以表格方式陳列，以達掌握施工架結構狀態，預判可能性損壞部位構件，避免相關職災發生。

除上述的 LSTM 診斷，系統另以 RMSE (Regression Mean Square Error, 頻率回歸均方差) 系統來判斷三軸數據的準確性，其顯示的數字表示，「監測數據」與「自然振動頻率」效能組態模擬程度 (圖 30)。

「施工架智能監控系統」歷史資料功能

歷史資料功能 (圖 31)，可提供瀏覽近三天內即時預測資訊，上方欄位可選擇日期、地點及感測器，可顯示區段時間內各時點震度、加速度、旋轉角 (角度) 及 LSTM 歷史資料。

「施工架智能監控系統」狀態總表功能

狀態總表功能 (圖 32)，即時化概覽施工架上所有感測器之震度、加速度、AI 模擬值及識別診斷結果資訊。

「施工架智能監控系統」報表功能

報表功能 (圖 33)，可提供輸出「前 3 日」、「前 1 週」及「上個月」等不同時間區段的 Excel 報表文資，除紀錄各時點數值外，更疊加所有感測器之三軸 AIOT 模擬值歷時曲線 (圖 34)。

透過行動裝置連結「施工架智能監控系統」，可接收雲端平台之監測數據，運用 API 應用程式，「即時化」及「自動化」顯示監測數據 AI 診斷識別結果，俾利施工人員快速於 BIM 模型或智慧工地管理平台 (圖 35) 查閱相關監測數值，及接收警示訊息 (圖 36)。

本案例工地將此系統作為各大獎項參選亮點，目前業已獲得臺北市勞動安全獎、臺北市公共工程卓越獎 (圖 37、圖 38)，及職安署第 15 屆職業安全衛生優良營繕工程金安獎等肯定。

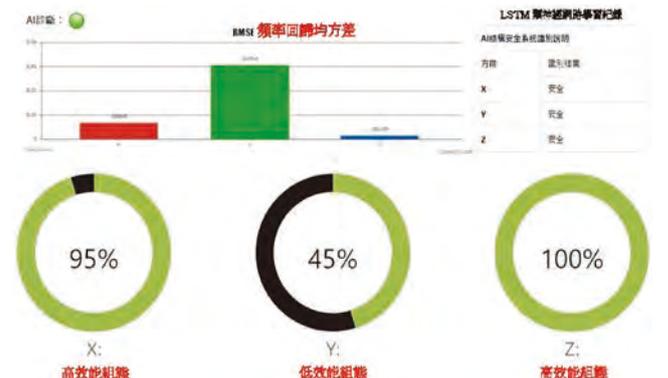


圖 30 AI 人工智慧識別診斷圖

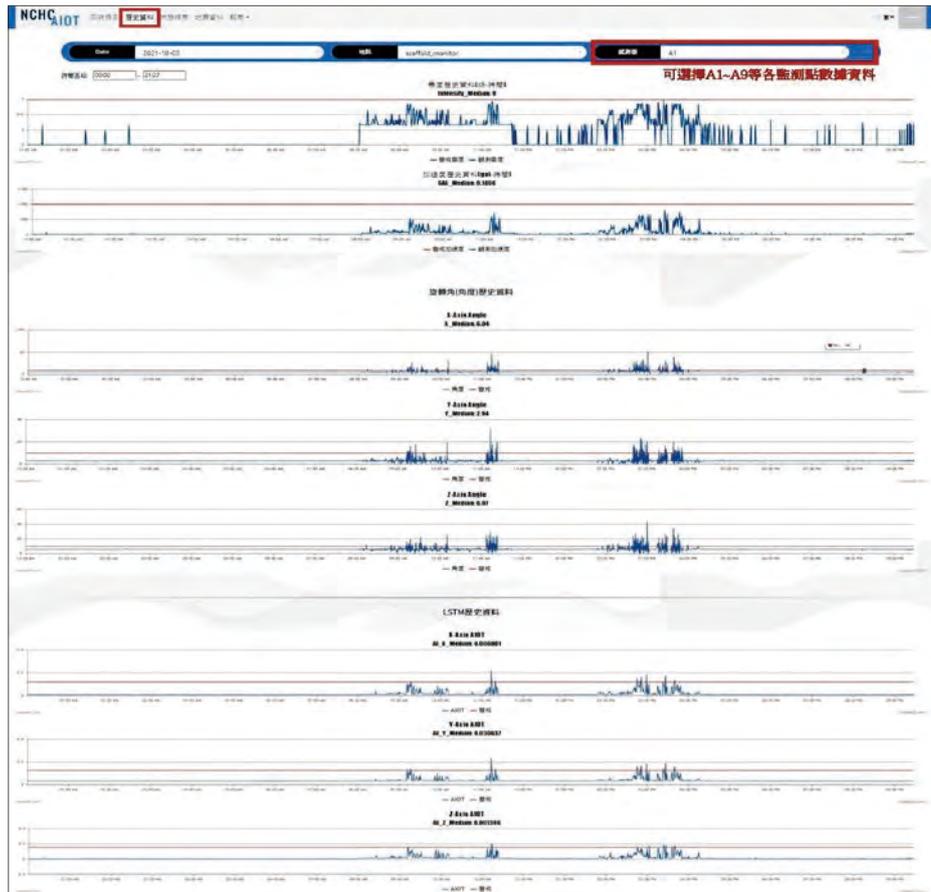


圖 31 「施工架智能監控系統」歷史資料功能

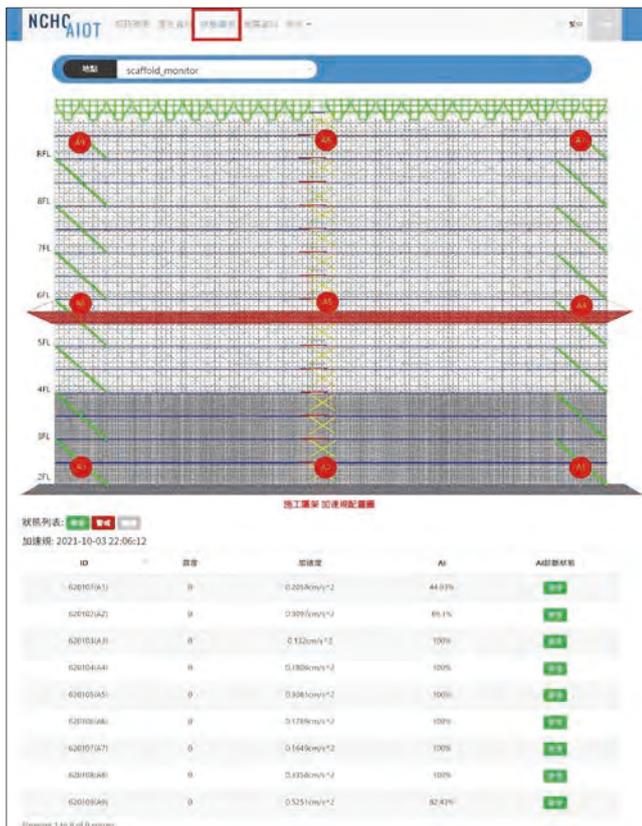


圖 32 「施工架智能監控系統」狀態總表功能



圖 33 「施工架智能監控系統」數據報表功能

結語

本案成功運用系統化建置流程，導入科學化結構軟體進行施工架定性分析，以及智慧化 AI 智能回歸學習進行施工架定量分析，成功建置「施工架智能監控系統」，研擬出經濟且可信「營建智能施工架」監測方法。對此，本案研究團隊業已於 110 年 7 月 5 日正式向臺灣 - 經濟部智慧財產局提出專利申請（案件編號：110207818），案經審查後，於 110 年 9 月 28 日取得中

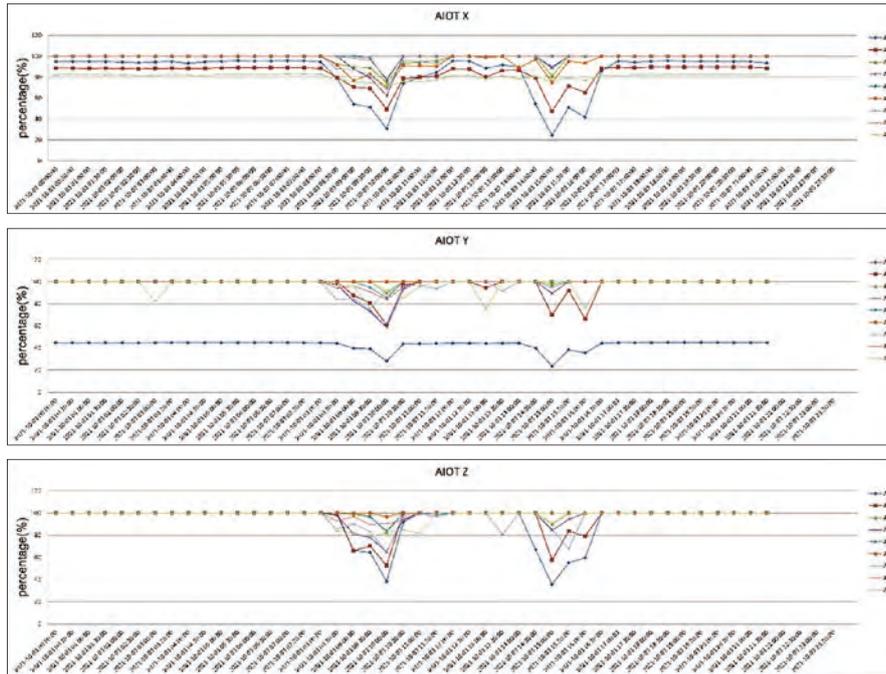


圖 34 X、Y、Z 三軸 AIOT 模擬歷時圖



圖 35 「泛亞智慧工地管理平台」網頁圖資



圖 36 行動裝置即時顯示監測成果圖資

華民國專利核准通知；另同步向中國 — 國家知識產權局及美國 — 專利商標局 (USPTO) 提出相關專利申請程序，目前仍於審查階段，敬請期待。

本案「施工架結構系統單元分析」相較於李瑋櫻 (2018) 研究，優化精進之處：先前研究係於實驗室，模擬施工架標準單元模組進行研討，相關條件過於理想化；本案採用實際工程案例，建立施工架結構系統單元 (包含地質條件、斜籬、帆布及施工遮斷層等設施物)，透過 ETABS 數據分析及案例工地專家學者訪談，發現重要監測點位，並實際安裝感測儀器進行監測，以達有效監控施工架結構安全等成效。

有別於先前研究案例，侷限於實驗室測試部分，本案係全臺首創唯一成功將「施工架智能監控系統」運用於營建工地之案例代表，本施工架監測系統開發成果及科技新知技術摘要彙整，臚列如下：

1. 監測數據定義：透過位移、角度、加速度等數據，詮釋施工架姿態。
2. BIM 模型建置：透過 BIM 模型參數，進行結構辨識、AI 回歸分析、ML 深度學習法，並即時呈現施工架監測數據及成果。
3. 監測儀器安裝：透過防水盒、鋼束環，克服「防水性」及「固定性」等施工障礙點。
4. 監測數據傳遞：透過有線傳輸 (如：Cat 6) 及無線傳輸 (如：LoRa)，將感測器監測數據，上傳智能監控雲端平台進行 AI 模擬分析，克服「供電性」及「傳輸性」等施工障礙點。
5. 警戒數值設定：定義 AI 模擬程度及結構變位之管理值、警戒值及行動值。



圖 37 臺北市勞動安全獎頒獎典禮圖資



圖 38 臺北市公共工程卓越獎頒獎典禮圖資

6. 警示訊息推播：當達警戒標準時，推播訊息予施工人員，進行緊急防災動線疏散。
7. 虛實整合系統：利用 BIM、VR、AR 及 QR Code 等科技新知技術，於虛實整合系統進行施工架智能監測。

本案成功運用營建科技新知技術輔助，克服營建工地監測障礙點，自動化偵測紀錄施工架結構資訊，並建立智慧化雲端平台，「即時化」及「自動化」顯示 AI 人工智慧數據迴歸分析結果，以利使用者快速於 BIM 模型查閱相關監測數值及接收警示訊息；並於施工架系統局部構件有安全疑慮時，緊急疏散該區作業人員，將其引導至安全通道動線，返回主體建物內，有效控制及避免施工架倒塌、崩塌等重大職災發生。

「不能避免的，要盡量去調適；不能調適的，要盡量去避免」，本案係以「外牆平台施工架」進行探討，期望未來能納入更多營建工程不同類型臨時監測設施，建構出完整「工地智慧管理系統」，將營造產業推向「自動化」、「智能化」及「安全化」領域。

參考文獻

1. 行政院勞動部職業安全衛生署. 施工架作業安全. 擷取自職安署網頁，網址：<https://www.osha.gov.tw/1106/29646/1150/1155/26617/> (2020)。
2. 李瑋櫻，「營建假設工程安全監控系統布設點位之研究—以施工架承受風力及地震力為例」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學系，臺北 (2018)。
3. 吳倫旺，「LoRa 無線監測系統應用於施工架之研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學系，臺北 (2021)。



S 工安
Safety





捷運三鶯線式 魚鱗式懸臂橋 工作車 於環境限制下之 拆卸作業

林冠成／中興工程顧問股份有限公司 三鶯捷運計畫經理

簡宏達／勝閎營造有限公司 負責人

李文浩／新北市政府捷運工程局 三鶯工務所主任

李政安／新北市政府捷運工程局 局長

三鶯捷運系統計畫路線行經新北市土城區中央路四段與鶯歌區鶯桃路段，於跨國道、台鐵、河川時，採用懸臂工法施工之預力混凝土箱型梁橋。

懸臂工作車之組、拆為懸臂工法之施工重點，而魚鱗式懸臂橋，因受山牆（胸牆）影響，致使懸臂工作車無法如同一般方式退車至墩柱後拆卸，且本案受限於現場環境條件無法直接在該位置拆卸工作車，故在逆向思考組裝懸臂工作車之順序及安全要求下，設置一拆卸機構，用以完成拆卸作業。

關鍵字：捷運、懸臂工法、魚鱗式、懸臂工作車

前言

三鶯捷運計畫屬新北市政府所規劃的三環三線捷運系統之一，路線起點位於捷運土城線頂埔站，採全線高架方式行經土城中央路四段，三峽介壽路三段，橫溪環河道路，臺北大學特定區聯外道路（龍埔路），三樹路、國慶路、復興路至臺北大學側，並沿國道3

號路堤向西跨越高速公路及大漢溪，進入鶯歌三鶯新生地，再沿鶯歌溪跨文化路及縱貫鐵路，經三號公園後，續沿建國路、國華路、鶯桃路前進，最後於鳳鳴國中轉福德一路設置端點站及尾軌。未來還將延伸至桃園市八德地區，與桃園捷運綠線銜接，形成更完整的捷運系統。路線全長約為 14.29 公里（詳圖 1）。



圖 1 三鶯捷運系統計畫路線

在計畫路線範圍，為跨越國道三號、橫溪、大漢溪、鶯歌溪、兔子坑溪、台鐵等，總共設置 10 座懸臂工法施工橋梁。其中，為同時跨越鶯歌溪及台鐵，並受限於軌道縱坡線形及避免台鐵 161 Kv 架空電車線感電之淨高等，除採配置 75 公尺-125 公尺-75 公尺之三跨連續預力混凝土箱梁橋，並納入反梁式山牆提供足夠之預力。因其山牆樣式形如魚鱗，故稱魚鱗式橋（詳圖 2）。

魚鱗式橋之施工方式是採懸臂施工法，但與一般懸臂施工法略有差異，一般懸臂橋利用懸臂工作車施作節塊並於中央閉合或至邊垮前，將懸臂工作車退至墩柱位置後進行拆卸作業，再施作胸牆。但魚鱗式橋之山牆（胸牆）需要跟隨節塊施作，而山牆的存在影響懸臂工作車退至墩柱位置。另外，本案因無法在鶯歌溪中拆卸懸臂工作車，故本文探討如何拆卸魚鱗式橋之懸臂工作車。

懸臂工作車拆卸機構

懸臂工作車功能為施作預力混凝土懸臂節塊之用，因此，於墩柱柱頭處藉由移動式起重機將其組件（圖 3）依序組裝，本案之工作車（2 部）於中央閉合塊完成後，因山牆（胸牆）存在而無法以退車方式退至柱頭處再予以拆卸，那有可能於懸臂工作車目前位置拆卸嗎？

方案一：在橋面上以移動式起重機來拆解懸臂工作車。經檢討為不可行，原因為此方式無法拆除防護大底板（約 25 噸），因為橋面上之空間約只能使用 25 噸移動式起重機，拆除防護大底板需要設置牛擔及 2

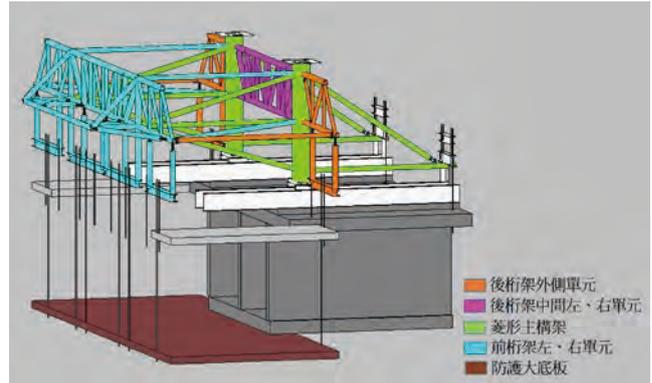


圖 3 懸臂工作車組件示意圖

台移動式起重機同時吊裝後退，既危險且不符機具設備使用規定。

方案二：設置一個類似移動式起重機的拆卸機構，除可吊重物外，在吊重物情況下又能移動。為能配合拆卸作業，須納入山牆（胸牆）高度及橋面寬度等考量因素，故此機構之牛擔淨高 17.6 公尺、長度 13 公尺。因有二台懸臂工作車要拆卸，故其步驟分二種，一為拆卸機構位於後桁架後方，一為拆卸機構於前桁架前方。今以拆卸機構位於後桁架後方之拆卸步驟說明如下：

1. 在柱頭附近橋面上將拆卸機構組立並藉由軌道推移至懸臂工作車後方，再將防護大底板先與橋箱梁底板吊掛後，解開防護大底板與工作車之連結鋼棒（圖 4-STEP1）。
2. 利用拆卸機構之牛擔及鋼棒、將後桁架外左側單元吊掛後，與菱形主構架拆解分離（圖 4-STEP2）。相同步驟拆卸後桁架右外側單元。
3. 將二菱形主構架間之後桁架左、右單元分別與牛



圖 2 施工中之魚鱗式橋及懸臂工作車

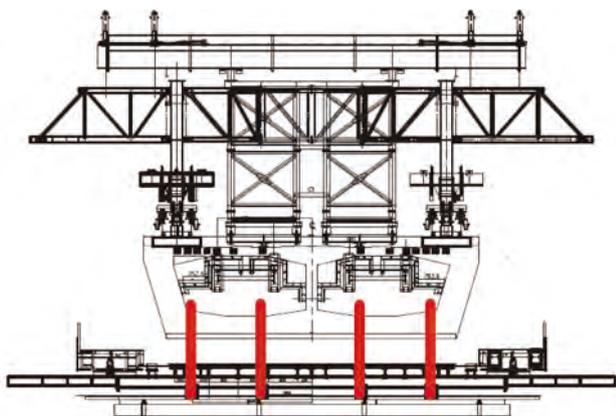


圖 4 STEP1 防護大底板改變固定方式示意圖

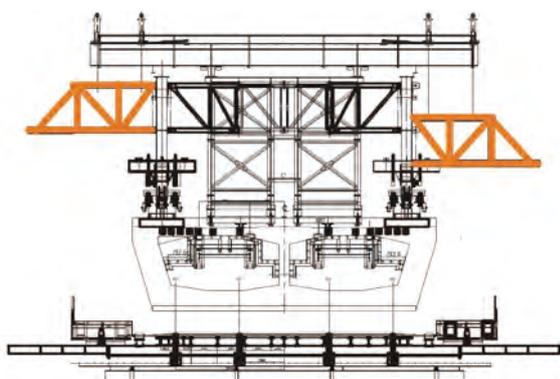


圖 4 STEP2 拆卸後桁架左、右外側單元示意圖

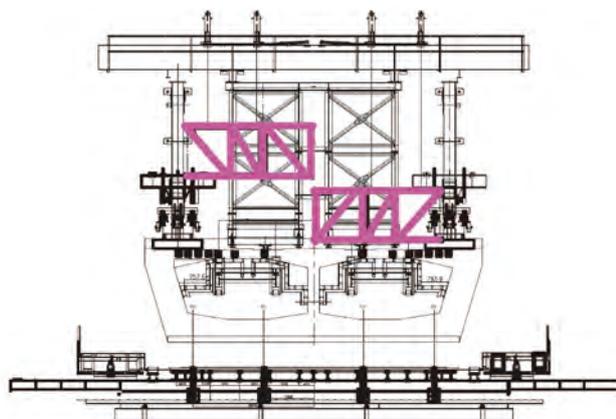


圖 4 STEP3 拆卸後桁架內側單元示意圖

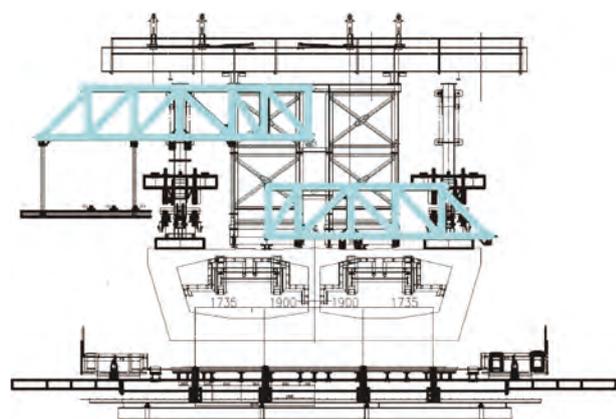


圖 4 STEP4 拆卸前桁架單元示意圖

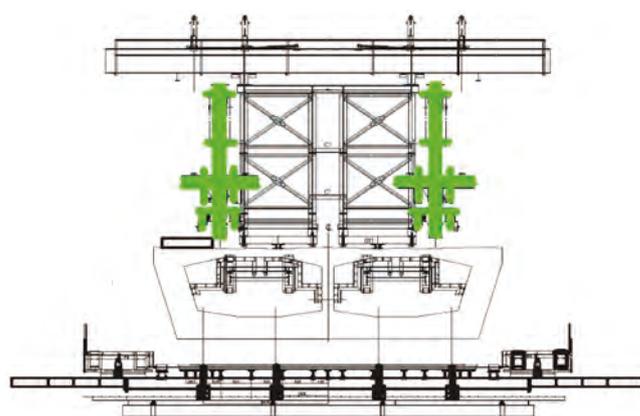


圖 4 STEP5 拆卸左、右菱形主構架桁架示意圖

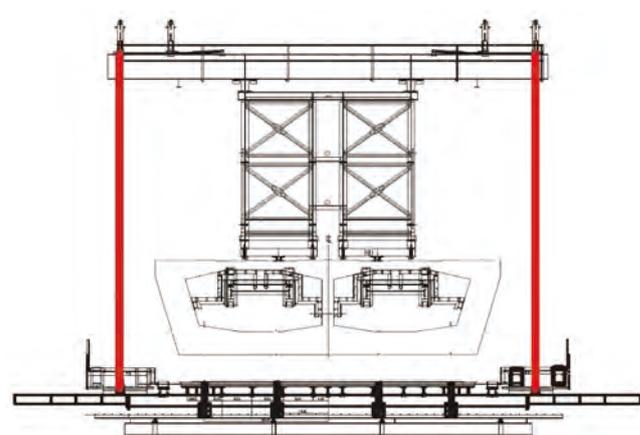


圖 4 STEP6 防護大底板改變固定方式示意圖

擔上之鋼棒完成吊掛，再將左、右單元間之螺栓鬆脫後，分別予以拆卸（圖 4-STEP3）。

4. 將前桁架左、右單元分別與牛擔上之鋼棒完成吊掛後，再將左、右單元間之螺栓鬆脫後，分別予以拆卸（圖 4-STEP4）。
5. 將左、右二個菱形主構架分別鎖固在拆卸機構的左、右二側，並將原菱形主構架與橋面板固定鋼棒鬆脫後，卸下菱形主構架（圖 4-STEP5）。
6. 將防護大底板與拆卸機構之牛擔及鋼棒鎖固後，解除原防護大底板與橋箱梁底板之連結鋼棒，然後，拆卸機構吊掛著防護大底板緩慢移動至柱頭附近，再將防護大底板降至地面後拆除（圖 4-STEP6）。

當拆卸機構位於前桁架前方時，其拆卸步驟調整為步驟 1、步驟 4、步驟 2、步驟 3、步驟 5、步驟 6。

由上述拆解工作車之步驟構想規劃拆解機構，拆卸機構之正面及側立面詳圖 5 和圖 6。並經由力學分析確認機構之構件尺寸及力量傳遞路徑，也就是檢核各個拆解步驟於拆解機構構件之應力、變位是否在容許應力、容許變位之限制內。由檢核結果可知，在拆解左、右菱形主構架桁架時，拆卸機構之構件受力為控制條件。

前置作業

因為要拆卸的2台懸臂工作車位於鶯歌溪上方，橫越台鐵縱貫線路線側之懸臂工作車後方雖無魚鱗式胸牆工作車存在，但該區域無合適將懸臂工作車拆卸機構組件吊至橋面上組裝之場地，因此選擇在未跨台鐵縱貫線路線側之懸臂工作車後方，將拆卸機構組件吊至橋面上

組裝，但此側之魚鱗式胸牆工作車將會影響機構車拆卸機構車拆卸機構拆卸作業，因此須將魚鱗式胸牆工作車先行移置懸臂工作車拆卸機構組裝場地之後方（圖7和圖8），此外，並拆卸節塊混凝土箱梁外模板（圖9），完成懸臂工作車拆卸機構組裝（圖10）。

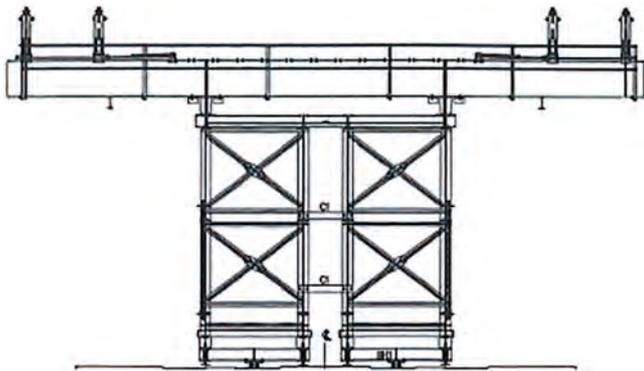


圖 5 懸臂工作車拆卸機構正立面圖

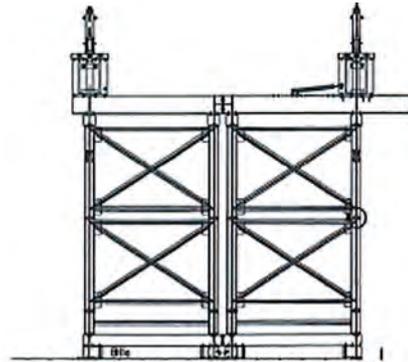


圖 6 懸臂工作車拆卸機構側立面圖



圖 7 魚鱗式胸牆工作車未移動前照片



圖 8 魚鱗式胸牆工作車移動後照片



圖 9 拆卸節塊混凝土箱梁外模板照片



圖 10 拆卸機構組裝片



圖 11 從後桁架開始拆卸第 1 台懸臂工作車



圖 12 從前桁架開始拆卸第 2 台懸臂工作車

現場拆卸作業

依照前述懸臂工作車拆卸步驟，利用拆卸機構逐步將 2 台懸臂工作車拆卸（圖 11 和圖 12）。

結論

魚鰭式懸臂橋工作車之拆卸作業在國內雖非首次，但本案提供在受限於現場環境條件無法直接在該位置拆卸工作車情況下，經實證為安全可行的拆卸機構及施工計畫。

參考文獻

1. 三鶯線捷運系統計畫統包工程（2020）跨台鐵之懸臂工法施工計畫書，2020 年 2 月。
2. 三鶯線捷運系統計畫統包工程（2021）魚鰭橋懸臂工作車拆解組合構件之結構計算書，2021 年 8 月。

歡迎加入學會



中國土木工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING



www.ciche.org.tw

下載入會申請書

e-mail: service@ciche.org.tw

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260



井式基礎

精進創新工法介紹

鄭旭成／遠揚營造工程股份有限公司 經理

鄭燦鋒／遠揚營造工程股份有限公司 董事長

改善市區交通多採用高架橋梁，又橋梁基礎工程因無法採用預鑄或預製方法，致其施工時間及費用經常過半。近年來，台灣因全套管基樁設備較多，人員經驗也純熟，故套管基樁在重要結構中常被使用，橋梁工程在基樁完成後，需再設圍堰，以開挖及澆築基礎墩座，若於市區道路間施工，將佔用較大車道並造成較多污染，倘若遇有地下管線，其拆遷更是困難重重。因此，若非地質鬆軟，降水困難者，宜改為井式基礎方式設計；井式基礎施工期之佔用路幅小，挖遷管線方便撥移，更可減少甚多施工費用。井式基礎之施築需由上而下，逐層降挖，並先以人工逐層擋土；早年擋土工作，依設計是先架設型鋼護樑後，再掛網噴上 20 公分厚水泥砂漿，待其強度到達後，續行降挖一層，每層約 1 米～1.5 米，或是逐層改用鋼製或 R.C. 預鑄環片護壁施工。但前者噴漿時污染嚴重，於市區其防護更是困難，後者成本較高，尤其口徑大者，吊組施工不易。

遠揚營造工程（股）公司，承攬台中捷運工程，其井式基礎由噴漿工法，經與協力廠商共同改良，採用「逆向滑動模式，坑壁直接襯砌工法」，順利完成 315 口多種不同尺寸及深度之井式基礎，因其施工快速效果甚佳，特此推介於各工程先進參考。

本工法且獲經濟部智慧財產局專利在案，除台中捷運基礎工程及國四延伸線 714 標工程，又公路總局西濱台 61 線白沙屯段線等皆具有實際優異成績，歡迎各施工廠商能先向本公司報備同意後，充分利用其快速、安全、高品質、環保、經濟性之優勢，乃為工程界之進步也。

前言

本文係以「台中捷運 CJ920 區段標工程」之井式基礎為個案研究案例，為國內首次於都會區大規模採用井式基礎施工之實務案例，針對井式基礎於都會區施工因人口稠密、用地受限等環境因素干擾等問題，研究探討適合卵礫石層地質之井式基礎施工方法，並檢討現今傳統井式基礎職安、環保缺失，分析改進及防止對策，以期井式基礎在卵礫石等自立性佳地質條件下，具減少施工噪音與揚塵之環境優點並提升施工安全性的施工方式，能廣為一般民間或公共工程所採

用，以提供相關工程做為參考。

臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線 CJ920 區段標 G3 至 G9 站區段標工程，全長約 8.064 公里，座落於台中市文心、北屯、松竹路段等人口稠密都會區。本文案例井式基礎計 315 支，總計深度達 5,506 m，依井口直徑尺寸不同區分 5 m、6 m、8.5 m 三種型式，施工數量繁多，為國內首次於都會區大規模採用井式基礎施工之實務案例，且部份用地尚未交付及管線、地下水、工址狹隘等因素等干擾，井式基礎施工為工程主要施工要徑。

工程地層分佈與特性

本文之施工工程案例計畫路線沿線主要為台中盆地，其地層主要由旱溪、柳川、梅川、麻園頭溪、筏子溪及旱溪等大小溪流沖積而成之沖積扇聯合形成之沖積平原，多為卵礫石為主之現代沖積層所組成，其地質特性主要為灰色卵礫石夾粗中砂，礫石粒徑多在 3 ~ 30 公分，且偶有較大尺寸之巨石分佈，N 值多在 90 ~ 100 以上。

井式基礎精進工法施工流程

本文個案井式基礎混凝土套環其原理為利用薄壁圓筒均勻受壓之力學原理，規劃之混凝土套環鋼模分為兩種型式：頂部環梁鋼模、下部鋼環模，第一種型式用於地面 ~ GL-2.5 m 之頂部環梁鋼模（即設計井基頂至地表間的回填層），其作用除抵抗土壤側壓力及灌漿壓力外，另可兼做井口保護設施使用；第二種型式用於 GL-2.5 m ~ 井基底部之下部鋼環模（即設計樁長），其作用則主要為抵抗井式開挖時基礎土壤側壓力及灌漿壓力。

於第一階段（頂環：屬空掘段，即設計樁頂至地表間的回填層）開挖 2.5 m 深，將預先製作可分解之內鋼

套筒，在開挖孔內組裝，此鋼套筒可提供臨時之擋土及灌漿之內模，再將鋼套筒與土面間澆注滿混凝土，俟其強度達到結構計算要求初期強度，再開挖下一階段（設計樁長段），以每一循環開挖深度 1.5 m，安裝鋼絲網後，再將鋼套筒與土面間澆注滿 280 kg/cm² 混凝土，內鋼套筒於混凝土套環達到預定強度得以支撐側向土壓力後，即可拆模，如此以每環 1.5 m 輪進週而復始循環施作至設計深度。其施作特性類似建築之逆打工法。為防止開挖可能造成周圍地盤移動或變形，必須考量必要之安全措施，因此整體的安全架構不僅須考慮在土壓、水壓的作用後，而且對減少擋土架構的變形也應特別加以考量。開挖階段採用內鋼套筒之擋土系統，於混凝土套環澆置完成並達到預計強度後，以混凝土套環做為開挖之擋土系統。

井式基礎精進工法施工流程簡單來講是將頂環完成後，逐步完成每一套環，直到井基底部，再澆置 PC，於鋼筋綁紮完成後澆置第一階段井式基礎 RC1（井式基礎底部至墩柱鋼筋底之結構部位），立墩柱鋼筋完成澆置 RC2（墩柱鋼筋底至井式基礎頂部之結構部位），最後回填覆土層。井式基礎精進工法施工流程（詳圖 1）。

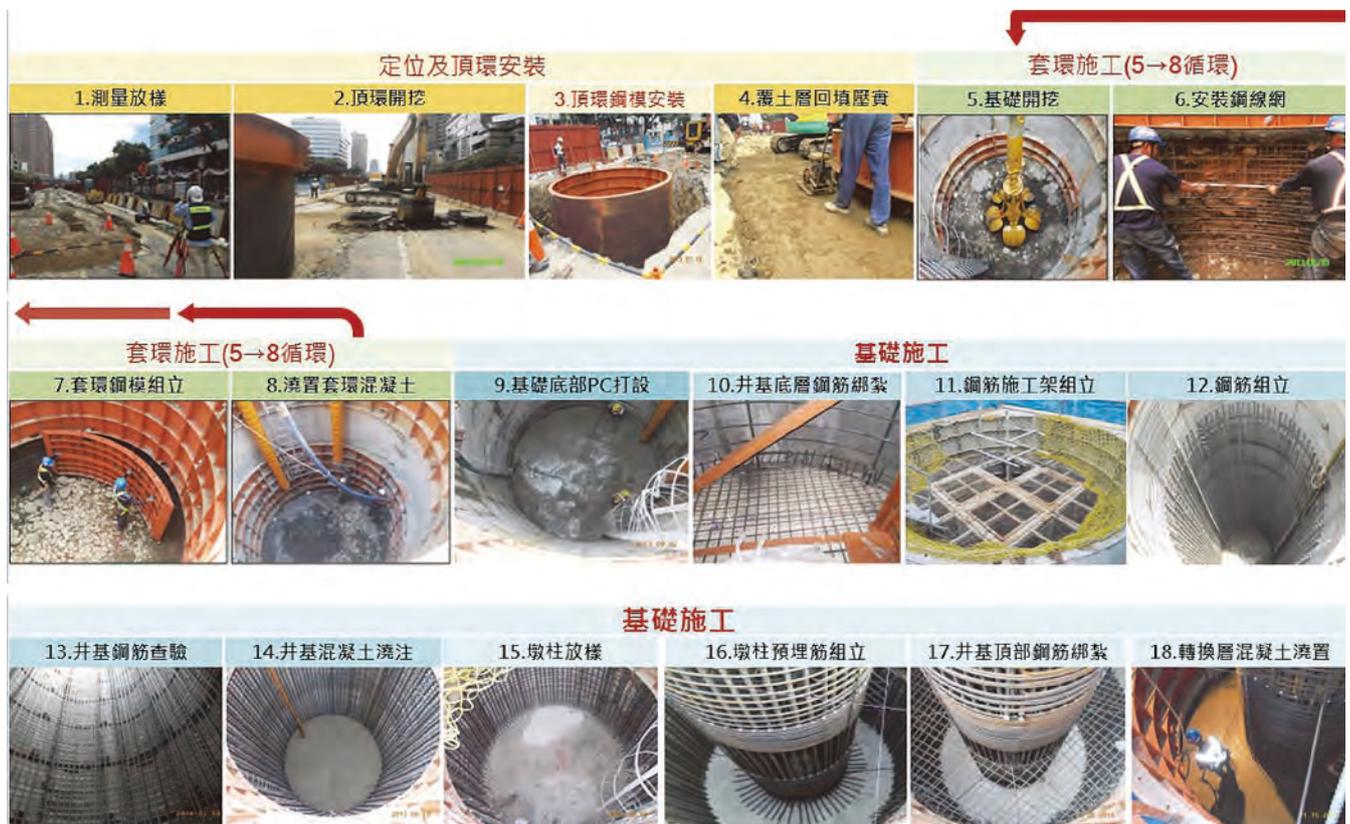


圖 1 井式基礎精進工法施工流程圖

特別說明圖 1 第 7 步驟，考量井基環片鋼模組拆吊掛易產生物體飛落風險，基於安全考量下，採單一鋼模環片滑模方式（詳圖 2），主要利用自製手動捲揚設備，於鋼環模脫模後，搭配適量的手動捲揚設備將鋼環模下降至下階段封模位置，除可有效防止物體飛落災害發生，亦較傳統組拆模板方式有效提高工作效率。

效益

1. 降低噪音與塵土之不良影響：本文個案為提昇井式基礎施工效率與工作環境，藉由檢討該項工項整體施作流程（包含開挖、擋土壁體與結構體施工），以過往工程施工經驗，得知施作流程中之開挖與擋土壁體施工成效，將顯著影響工期，且由於傳統井基工法之擋土壁體大多數皆係採噴凝土方式施工，施工過程極易產生噪音與揚塵，造成工區周圍環境不佳，其影響因子易恐將引發市民負面觀感與反彈聲浪，造成工程施工之不確定性因素增加；鑒此，考量該工項施工成效，並為將其相關影響因子降至最低，該施工團隊努力研究檢討，朝依配合施工工區之地質條件，並憑藉過往捷運潛盾隧道之施做經驗，激盪出井式基礎工法精進案，改以標準化、規格化、系統化的場鑄混凝土套環擋土壁方式，來大幅提升施工效率與施工品質，亦可藉此將噪音與塵土之不良影響因素降至最低，使整體施工環境、工程品質有了顯著改善，營造出一個優質、安全、高效率的施工環境。
2. 減少民眾陳情事件：另於混凝土套環背填澆置階段，原規劃係採混凝土壓送車施作，惟考量倘於夜間施作，在人口密集市區，混凝土壓送車之噪音恐影響市民安寧，故施工團隊經研議另採用重力加速度原理予搭配大口徑之 PVC 管，來澆置施做背填混凝土，經現場實際量測，所產生之噪音音量均符合環保法規且並有效具體減少民眾陳情事件。
3. 降低交通衝擊：針對精進後之場鑄混凝土套環與原噴凝土擋土壁體差異，即在於預拌混凝土與噴凝土兩者之差別，由於預拌混凝土之料源執行腹地小容易控制，更無需現場拌製佔據大面積場地影響交通，減少緩和市民之負面觀感。
4. 回收使用鋼材提升再利用價值：此場鑄混凝土套環



圖 2 滑模設備吊放照片

所使用之鋼模可多次重覆翻用，減少原設計鋼肋梁留置基礎中無法回收使用鋼材，且工程完工後，鋼模鋼材得回收再利用，達環保節能減碳之功效。

5. 減少安衛環保直接費用支出：在工區現場施工時，均可具體達成減噪、防塵等預期成果，並有效增進周遭民眾對工程支持度與認同感。藉由此工法精進與改善，對於減噪防塵可達相當之功效，故相關安衛環保費用僅需就一般例行性作業來檢討辦理，與原先預期倘於市區採噴凝土施工，需耗費相當金額來辦理方才能符合環保要求，有截然不同的成果與方向，且具體大幅減少安衛環保直接費用支出。故以井式基礎精進工法施做對勞工環境衛生與環保效益極大，自然對災害防止效果便得以提升。
6. 提高安全性：逐環施做避免產生土壤崩塌、人員墜落、物體飛落等職業災害。

結論

1. 台中盆地屬堅實卵礫石層地區，地盤穩定性高，基礎設計條件良好，於橋梁或建物之基礎可考慮

載重、用地限制、開挖工法、造價與工期等條件，彈性運用基礎型式。惟因地下水位高，地層透水性佳，抽降水措施及其它輔助工法需於開挖擋土施工時適當匹配運用。

2. 本個案井式基礎精進工法有別一般噴凝土或鋼襯環方式，改採場鑄混凝土套環方式施工，以規格化、系統化施工方式，可有效降低噪音、揚塵及增加安全性、工率、提高施工品質並可節省環保直接維護成本。
3. 本個案井式基礎精進工法，對於市區及工區狹隘且井式基礎數量較多等條件非常適合。
4. 本案例為國內首次於市區大量採用井式基礎施工工程，除適用於卵礫石及自立性佳的地質條件下，井式基礎由於基礎空間小，可避免市區地下管線衝突，減少管線遷移費及管線挖損等問題。
5. 本案例卵礫石顆粒大，約為 10 ~ 80 公分不等（詳圖 3），由於卵礫石地質為交錯排列，非規則性，且開挖不易，挖掘時易因卵礫石排列交錯因素產



圖 3 井式基礎開挖之卵礫石照片

生壁體超挖現象，以致混凝土損耗較多達 200%。但在卵礫石層地質條件下，土方開挖量體本不易控制，若採傳統噴漿法，其超挖量仍不可免。🛡️

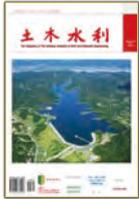


土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1 ~ 2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。



茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登位置	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

48.6 49.1 49.2 49.3 49.4 49.5 共 次
(12月) (2月) (4月) (6月) (8月) (10月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱：
商號 (請蓋公司印)

負責人：

地址：

廣告聯絡人：

電話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: service@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號	0 0 0 3 0 6 7 8	金額 新台幣 (小寫)	仟萬	佰萬	拾萬	萬	仟	佰	拾	元
通訊欄 (限與本次存款有關事項)		收款戶名	社團法人中國土木工程學會							
繳納會費		寄款人		主管：						
<input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元		姓名								
<input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元		地址	□□□□—□□							
訂閱土木水利雙月刊，一年六期		電話	經辦局收款戳							
<input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣300元		虛線內備供機器印錄用請勿填寫								
<input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣1,800元										
自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份										
訂閱中國土木工程學刊，一年八期										
<input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣1,600元										
<input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣3,600元										
<input type="checkbox"/> 國外·個人 美金80元										
<input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金200元										
自第__卷第__期起__年期學刊__份										

◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓名		款 別 註：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費， <u>入會費一人僅需繳交一次</u>	繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
會員證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內・個人會員 新台幣 300元 <input type="checkbox"/> 國內・非會員及機關團體 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
身分證號碼			訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期 <input type="checkbox"/> 國內・個人會員 新台幣 1,600元 <input type="checkbox"/> 國內・非會員及機關團體 新台幣 3,600元 <input type="checkbox"/> 國外・個人 美金 80元 <input type="checkbox"/> 國外・機關團體 美金 200元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
卡 別	<input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB		白天聯絡電話
信用卡卡號			通訊地址
信用卡末三碼			
信用卡有效期限	(月 / 年)		
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據

注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)



長屏企業股份有限公司

台北市內湖區瑞光路206號9樓

TEL:(02)2658-1089 FAX:(02)2658-3338

Email: chemping@ms35.hinet.net





110 年年會大會及土木水利工程論壇

日期：110 年 11 月 27 日 (星期六)

地點：【新北市政府 5F、4F】

新北市板橋區中山路一段 161 號

時間	議程			
8:50-9:20	相見歡 (註冊、報到與領取資料) 【5F : 507 大型會議室】			
9:20-12:00 (160 min)	110 年年會大會 1. 開幕式 2. 主席致詞 3. 介紹貴賓及貴賓致詞 4. 專題演講：黃榮村院長/考試院：「數位科技時代下的人文思維演變」 5. 工程獎章小組報告、頒發「工程獎章」、得獎人致詞 6. 會士審查委員會報告、頒發「會士證書」 7. 頒發「論文獎」 8. 頒發「獎學金」 9. 資訊委員會報告「2021 工程數位創新應用獎競賽」及頒獎 10. 工程環境與美化委員會報告「2021 工程環境與美化獎競賽」及頒獎 11. 中華民國技顧公會報告「2021 全國大專院校工程創意競賽」及頒獎 12. 年會籌備報告、110 年會務報告 13. 第二十五屆理事長交接典禮 14. 唱大禹歌、禮成			 詳細會議資訊 請詳見官網  一律網路報名 敬邀報名
12:00-13:00 (60 min)	午 餐			
13:15-15:15 (120 min)	論壇一 土木工程論壇 【401 中型會議室】	論壇二 水利工程論壇 防汛智慧化的運用與思維 【511 簡報室】	論壇三 工程環境與美化獎 [美化與景觀類] 優勝發表 【507 大型會議室】	論壇四 工程數位創新應用獎 優勝發表 【403 中型會議室】
15:15-15:45	茶 敘 (30 min)			
15:45-17:45 (120 min)	論壇五 工程教育論壇 【401 中型會議室】	論壇六 先進技術論壇 【511 簡報室】	論壇七 工程環境與美化獎 [生態與環境類] 優勝發表 【507 大型會議室】	論壇八 2021 全國大專院校 學生工程創意競賽 優勝發表 【403 中型會議室】
18:00-20:30	晚 宴 【1F 彭園】 (暫定 21-25 桌)			



光纖光柵感測技術領導者



捷運隧道施工期間之地層下陷監測-
分層孔隙水壓計及分層沉陷計實際安裝應用：

- 優勢：
- 1.感測器可多個串接
 - 2.減少鑽井數量
 - 3.抗水抗雷擊



水庫防淤設施監測-象鼻鋼管安裝側傾儀、
閘門支撐結構安裝速度計實際應用：

- 優勢：
- 1.抗水抗雷擊
 - 2.安裝深度可達水下40M
 - 3.抗電磁波干擾



軌道交通路堤改善工程之低壓灌漿期間軌道板
不均勻沉陷監測-差異沉陷計實際安裝應用：

- 優勢：
- 1.高精度(解析度：0.05mm；精度 \leq 0.5mm)
 - 2.最佳化之溫度效應補償校正
 - 3.抗電磁波干擾



新加坡隧道環片監測-
埋入式應變計實際安裝應用：

- 優勢：
- 1.耐高溫養護
 - 2.最佳化溫度補償
 - 3.耐用長達15年以上



預力防護網工程監測-岩栓安裝應變計實際安
裝應用：

- 優勢：
- 1.一體化的岩栓鋼筋應變計
 - 2.抗潮、抗雷擊
 - 3.最佳化之溫度效應補償校正

本公司產品：

加速度計、差異沉陷計、分層孔隙水壓計、
側傾儀、沉陷計、應變計、地中傾斜管



台北市士林區大南路317號4樓



02-2889-1100#818 黃小姐



圖/冠德泰景



圖/新店區寶高智慧產業園區統包工程



圖/台積電南科廠



圖/C712A標普安金崙段土建及一般機電工程

根基營造視每一件工程的交付為我們的使命，
是良心的事業，
必定做好高品質的工程回饋社會。
我們堅信當企業達到某種規模後，
必須回饋社會，
因為企業是跟著社會成長而成長的。

根基營造股份有限公司

台北市大安區和平東路三段131號
(02)2378-6789 | www.kedge.com.tw

| 誠信 | 品質 | 服務 | 創新 | 永續 |



公司官網