

中|華|技|術|138

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2023. 04. 30 出版

空間資訊

跨域創新



國內
郵資已付

台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／

國家發展委員會國土區域離島發展處彭紹博處長
內政部地政司王成機司長

0918池上地震無人機勘災紀實

地面光達技術於工程之應用及GIS 3D平台整合

防撞無人機於下水道之應用

橋梁安全與智慧防災—以桃園市橋梁安全管理系統為例

空間資訊整合應用系統實踐智慧治理

PMIS導入3D GIS之整合應用—以航空城區段徵收案為例

運用無人機影像於交通車流之AI偵測技術



財團法人中華顧問工程司 發行

CECI



台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製

空間資訊

跨域創新



CONTENTS

中華技術 138

目錄



專輯前言

1 | 人物專訪

8. 訪國家發展委員會國土區域離島發展處處長彭紹博談「智慧國土空間治理與數位孿生」.....

...整理：張伊芳／吳錫賢・攝影：詹朝陽

18. 訪內政部地政司司長王成機談「國家底圖與創新測繪」.....

.....整理：吳錫賢・攝影：詹朝陽

2 | 工程論著

28. 試說攝影測量新語.....趙鍵哲

發行人 周永暉
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段185號28樓
電話 (02)8732-5567
網址 <http://www.ceci.org.tw>

編審工作小組
總召集人 施義芳
副總召集人 廖學瑞
138期召集人 王子安
138期審查委員 鄭宏達
總編輯 張鈺輝
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、吳妍瑱、李綺馨、許舜雅
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司
地址 台北市內湖區陽光街323號
電話 (02)8797-3567
網址 <http://www.ceci.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎



3 | 專題報導

34. 0918池上地震無人機勘災紀實.....

..... 吳錫賢、周孜恆、黃紹維、田沛鑫

50. 地面光達技術於工程之應用及GIS 3D 平台整合.....

..... 闕文鍵、姜興華、黃紹維、黃靖媛

72. 防撞無人機於下水道之應用.....

..... 陳益鳳、黃子珉、鄭宏達

84. 橋梁安全與智慧防災—以桃園市橋梁安全管理系統為例.....

..... 馮漢夙、馬子恆、許家成、呂國華、姜志男、高必嫻、劉軍希

96. 空間資訊整合應用系統實踐智慧治理.....

..... 李明儒、鄭宏達、彭子浩、賴宛秀



112. PMIS導入3D GIS之整合應用—以航空城區段徵收案為例.....

..... 藍士堯、李元良、劉新達、柯婷玟、林秋芬

126. 運用無人機影像於交通車流之AI偵測技術.....

..... 李冠毅、張智安、楊軒、周孜恆、翁敬恆



4 | 特稿

146. 從2022年智慧運輸世界大會展望國際智慧運輸發展趨勢.....

..... 孫士勝、王冠堯、李怡穎、蔡明志、王穆衡

170. 鋼纜索力檢測設備—爬索車的研發及應用.....

..... 蔡欣局、林晉德、張育彰、林晨光、吳宗翰

編後語

專輯前言

回顧17及18世紀發生的第一次及第二次工業革命，機器及電力的發明使得機械化大量生產，取代傳統手工製造，改變了全球的產業生態，而人類也由農業社會進化到工業社會。隨著工業社會帶動各項專業科技的發展，提升了人類的生活型態。到了1970年代，電子及電腦技術開始蓬勃發展，電腦運算更徹底地影響人類的生活，而資訊化(Infomatization)與數位化(Digitization)更形成科技發展的主要關鍵。

測量及製圖本為瞭解地球空間幾何的一項基礎技術，旨在運用測角及測距之數據，以描繪環境地形、地物之坐標，進而瞭解其在物理空間的相對關係，而其成果的展現為傳統紙本地圖。各項土木工程興建必須倚賴測量及製圖之成果，作為規劃設計之依據。20世紀初啟蒙之現代土木測繪技術，歷經長年發展，至1990年代與衛星科技、遙測科技、資訊科技相互整合，更淬鍊出三個「S」的創新技術：全球定位系統(Global Positioning System, GPS)、衛星遙感探測(Remote Sensing, RS)、以及地理資訊系統(Geographical Information Systems, GIS)。測繪技術基於資訊化與數位化的交互融合，進一步形成空間資訊科技(Geospatial Technology)，提供空間資料測繪蒐集、理解、分析及協作的整合服務，並以更廣義的Geomatics(地球空間資訊科學)一詞來描述。

台灣世曦作為國內唯一設有空間資訊專業部門之大型工程顧問公司，最早於1985年第一土木部成立測量組、歷經1999年



成立航測中心、2003成立地理資訊部，首創結合航空測量與地理資訊技術，提供空間資訊整合服務。至2008年擴大應用範疇更名地理空間資訊部後，隨著無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)、光達(Light Detection And Ranging, LiDAR)、三維地理資訊(3D GIS)、人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、大數據(Big Data)分析等先進技術發展，也持續積極辦理各項研發，並將空間資訊導入於各種工程規設專業領域之跨域創新應用，以發揮工程顧問技術整合協作的綜效與價值。本期內容以『空間資訊跨域創新』為主題，彙整編輯為空間資訊技術專刊。

本期專訪第一篇特別邀請國家發展委員會國土區域離島發展處彭紹博處長談「智慧國土空間治理與數位孿生」，分享他對於落實智慧國土發展規劃及擘建數位孿生的策略與展望。第二篇專訪則邀請內政部地政司王成機司長談「國家底圖與創新測繪」，分享他對於推動國家空間資訊及測繪政策白皮書研擬的理念與願景，引領空間資訊產業跨域創新。同時邀請國立台灣土木工程學系趙鍵哲教授發表「試說攝影測量新語」，介紹攝影測量於時間演進下的最新進展。

而本期收錄專題報導『跨域創新』特點摘錄如下：

「0918池上地震無人機勘災紀實」：本公司本著發揮企業社會責任(Corporate Social Responsibility, 簡稱CSR)，於111年池上地震發生後，利用無人機技術快速蒐集工程結構體之災損情形，建構完整環境數位資訊，以供災害分析並加強未來工程防震設計之因應作為。

專輯前言

「地面光達技術於工程之應用及GIS 3D平台整合」：本公司於110年底採購高精度之RIEGL VZ400i地面光達掃描儀，以光達技術積極導入於坡地、橋梁等監測作業。地面光達掃描儀可提供高密度之三維點雲成果，亦可與無人機拍攝成果，並將其整合於GIS 3D平台進行空間分析，為工程應用的科技利器。

「防撞無人機於下水道之應用」：本公司長期擔任內政部營建署雨水下水道地理資訊建置總顧問，首創試辦最先進之防撞無人機於下水道管線中進行巡檢，以提升傳統人工縱走調查之效率。

「橋梁安全與智慧防災—以桃園市橋梁安全管理系統為例」：桃園市政府養護工程處為精進橋梁於災前養護、災中應變及災後復原重建等災害管理流程，以GIS平台納管1,077座車行橋梁、12處地下道及150座人行橋梁，除提供耐洪及耐震示警外，並經由即時感測設備可針對地下道及易淹水橋梁水位進行主動通知，滿足智慧防災之目標。

「空間資訊整合應用系統實踐智慧治理」：花蓮縣政府執行「花蓮縣智慧國土計畫案」，將縣府已收集建置之各項圖資及系統成果，統合擴充為「花蓮縣地理資訊整合應用平台」，服務功能定位為全府地理資訊圖資及應用中樞，本專案GIS系統並榮獲第18屆金圖獎—國家發展委員會智慧國土特別獎，為落實智慧治理之最佳應用典範。



「PMIS導入3D GIS之整合應用—以航空城區段徵收案為例」：桃園市政府航空城工程處以專案管理導入三維空間資訊概念之創新思維，建置專屬之航空城工程資訊系統(Aerotropolis Construction Information System, ACIS)，為首創將專案管理系統(Project Management Information System , PMIS)與3D GIS整合之管理系統，以實現表單電子化、資訊空間化、成果視覺化、決策智慧化之目標。

「運用無人機影像於交通車流之AI偵測技術」：本公司為強化空間資訊技術於交通管理之應用，採自力研發方式，利用無人機於空中拍攝之動態影片，與深度學習之技術，完成車輛偵測和車輛追蹤技術開發，提供輔助偵測道路上車速及流量之創新解決方案。

日本經濟新聞社子公司日經BP社曾於2018年出版「100種推動世界的新技術」，其中揭露多項與空間資訊相關的技術，包含：無人機、光達、室內定位、建築資訊模型(Building Information Model, BIM)等，創新的重點在於融合不同領域的科技促進全面性的蛻變。台灣世曦期盼以工程專業技術為基礎，透過空間資訊技術跨域創新，帶動工程技術轉型之齒輪，為提升公共工程品質、增進資訊服務效能、滿足政府智慧決策與治理的三大目標持續前進。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理



訪國家發展委員會國土區域離島發展處處長

彭紹博

談

智慧國土空間治理與
數位孿生

整理：張伊芳／吳錫賢 ■ 攝影：詹朝陽

壹、前言

彭紹博處長為國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士，82年公務人員高等考試二級考試水利工程科及格，曾任行政院經濟建設委員會技正，臺南縣政府城鄉局、建設局、交通觀光局、工務局副局長、水利處處長，臺南市政府水利局副局長、局長，行政資歷完整且豐富。因公務表現傑出，於地方服務期間，94年曾獲選臺南縣模範公務人員，101年獲頒經濟部水利署水利績優貢獻獎。行政院於108年3月核定由彭處長接任國家發展委員會(以下簡稱國發會)國土區域離島發展處(以下簡稱國土處)。

國土處主要負責審議國家重大經建政策，以提升國家競爭力及區域均衡發展為總體目標；業務推動以國土空間發展策略為核心，長期致力於推展國土建設、國土保育及國土管理等重要工作，同時積極辦理離島建設、花東永續發展及地方創生等，並持續規劃國土空間資訊政策，以落實國土永續發展。

本次專訪由台灣世曦系統及機電事業群王子安副總經理率領地理空間資訊部鄭宏達協理及同仁，於112年2月3日上午赴國家發展委員會與彭處長進行約一個小時之訪談，以下為訪談紀要。

貳、訪談紀要

問：國發會成立跨部會「國土空間資訊策略推動小組 (NGIS 2.0)」，首先請處長為我們說明一下推動小組的任務與目標，而國土空間資訊進化到NGIS 2.0的改變是什麼？

答：國發會的主要職掌是國家發展之規劃、協

調、審議、資源分配業務，當前國土發展的挑戰主要有三項，包括國際經濟產業競爭、2050淨零轉型及國土資源利用與設施管理。國發會於前年（110年）啟動NGIS 2.0的推動工作，期望從循證治理的角度，擘劃國土空間發展方向並引導公共建設整體布局，以達到提升國家競爭力、促進區域均衡發展之政策目標。



1

人物專訪

我國公共建設涵蓋八大領域，包括交通建設、環境資源、經濟建設、都市及區域發展、農業建設及文化、教育及衛生福利設施等，從預算編列來看，過去5年中央公務預算每年投入約1,500億元，加上特別預算及基金的話，每年公共建設預算規模介於3,500億元到5,000億元之間。

各項公共建設計畫資源的投入，不僅要考慮跨時間、跨空間的議題，也要思考不同部門間的關聯及影響。現階段的智慧國土政策，國發會將偕同相關部會，在過去空間資料建置的基礎上，從公共建設全生命週期治理，包括從規劃、設計、興建、營運及維護等階段，導入數位孿生技術，推動跨領域、跨部門資料應用及協作，引導公共建設精準布局。

在推動組織的設計上，國發會的國土空間策略推動小組下設三個分組，國家底圖分組、圖資標準分組和智慧國土分組，從圖資面、標準面和應用面協調，推動跨機關國土資訊發展事項，促進跨域合作與資源流通共享。

問：數位孿生(Digital Twin)是非常創新的理念，請處長為我們說明數位孿生的概念與意涵，及如何與國土空間資訊結合應用，提升跨域應用的價值？

答：數位孿生(Digital Twin)就是真實世界的虛擬模型，通常有一個明顯的特性，就是真實世界和虛擬模型間具有連結性，加入AI的技術之後，可更精準的支援決策及應變處理。

數位孿生中，虛實的連結是藉由即時的感知器(Sensor)回傳資料，透過一連串的处理、分析、判斷後，使虛擬模型能產生回饋，進而可以提供預測及決策資訊，成熟的Digital Twin可以透過AI，就發生的事件主動進行應變及處理。

推動數位孿生發展的首要任務，就是虛擬模型要能具體映射真實世界。換句話說，就是當真實世界改變時，對應虛擬世界也應該要有同步的改變。由於數位孿生有助於處理複合性議題，應用範疇已從過去製造業擴及其他領域，近年來英國、澳洲、新加坡及荷蘭等先進國家已將數位孿生應用於國土與城市發展，包括災害應變、水資源管理、交通基礎建設等。我國過去國土資訊政策，考量包括3D掃描、地球觀測、位址定位及GIS分析等空間資訊技術的發展，為數位孿生發展奠下良好基礎。

「資料」是智慧國土數位孿生的基礎，過去30年來，各政府機關建置了許多圖資及統計資料，這些資料跨時間及跨空間尺度，已普遍應用於各政府機關日常業務。去(111)年行

Digital Twins 真實世界的虛擬模型



政院核定內政部提報之「多維度空間資訊基礎圖資測製及更新計畫(112-116年)」，將國家底圖從2D提升到測繪等級的3D資料。一千分之一地形圖建置完成之後可結合人口戶籍、地政、建管等資料，搭配手機信令、路況、日照、降雨等即時資訊，透過3D虛擬模型可支援公共服務、民生消費及能源管理等精準投入，提升政府施政效能、民眾生活品質，並帶動相關產業發展。

國發會為達成區域均衡並厚植核心競爭力，參考先進國家數位孿生推動作法，提出智慧國土未來發展願景：「以國土永續發展為出發點，運用空間資訊通訊及數位孿生技術，強化空間資訊基礎建設、公共建設數位治理與應用，以提升服務效能、促進數位轉型與產業發展」，期望政府部門從不同公共建設領域以空間資訊為核心，結合雲端技術、物聯網等科技，導入動態監測、IoT及人流、車流等資訊。



國土及公共建設之規劃、設計、興建、營運及維護等生命週期各個階段，都可以視需要導入數位孿生發揮以下效益：

推動智慧國土發展

空間資訊技術 結合 數位孿生



(一) 支援策略規劃：透過跨部門、跨時期、跨空間資料分析，發揮跨部門策略規劃綜效。

(二) 優化設施管理：運用實時監測數據進行動態調校，優化設施管理。

(三) 改善服務效能：透過資料導向之動態回饋機制，即時掌握改善服務效能。

(四) 強化防災安全：結合模式快速應變災害，強化防災管理及災後復原。

問：參與公共建設的工程顧問業(例如：台灣世曦)，在協助智慧國土空間治理的面向上應該扮演怎麼樣的角色？對於工程顧問業協助政府推動數位孿生的期許為何？

答：公共建設生命週期涵蓋規劃、設計、興建、營運及維護等階段，每個階段均可視需要導入不同等級成熟程度之Digital Twin，並由應用者依發展條件與環境進行調整。我國參與公共建設之工程顧問公司眾多，例如台灣世曦於106年至112年間經政府採購承攬約1,400件(得標金額總計約560億元)，同期間中興工程顧問承攬約800件(得標金額總計約280億元)。可知工程顧問業係我國公共建設執行之重要推手，涵蓋各級政府機關間交通建設、水利建設、都市及區域發展建設等領域之重要公共建設工程。

鑒於國土空間及公共建設將結合數位孿生進行發展，建議參與公共建設之工程顧問公司，於政府推動智慧國土空間治理上，可與政府建立合作的夥伴關係並發展產官研網絡，將過去推動公共建設、智慧場域等經驗與成果進行交流，協助各機關於公共建設各階段生命週期導入Digital Twin，發揮公共建設之經濟、社會及環境價值整合綜效，初步可朝以下方向發展：

(一) 運用資訊數據輔助機關進行需求評估、規劃設計。

(二) 導入科技技術提升公共建設、營造效率及安全。

(三) 以數位科技輔助公共建設營運、維護及管理。

(四) 強化公私部門合作，結合多元數位技術與工具，提供創新的公共設施與服務。

問：國發會目前規劃中的「國土空間資訊推動框架」與「空間資訊平台」的功能與希望達成的目的為何？

答：過去許多政府機關基於業務需要建置資訊系統，但囿於人力、技術及經費，維護或使用上常遭遇困難，或者因為跨單位資料流通障礙，造成重複開發建置或系統無法持續服務的情形。國土空間資訊推動框架(National Geospatial Framework, NGSF)，從政府部門專業



(左) 彭紹博處長 (右3) 王子安副總經理 (右2) 鄭宏達協理 (右1) 吳錫賢經理



1

人物專訪

分工的角度，規劃具韌性、共通及共享的雲端服務架構，希望能打破跨單位圖資交換及應用的藩籬，並減少重複開發，達成資源共享的目標，這些資源可包括平台、圖資、模式、技術或服務等。NGSF組成包括基礎層、平台層與應用層：

(一)基礎層：由國科會國家高速網路中心協助，以「強化公部門網路服務與運算雲端基礎設施計畫」，提供雲端運算、大量儲存、雲端服務及網路等基礎設施，提供公部門或學研界等單位發展相關應用，強化服務韌性與品質。

(二)平台層：由內政部建置國土空間資訊平臺(National Geospatial Platform, NGSP)，目的在營造共通性環境，引導跨機關共享資料服務、應用程序和工具，使其在彼此各自平台間進行串連、分析及應用。

(三)應用層：各部會可依業務需求於應用層或機關所屬之平台進行發展，為達成智慧國土數位孿生的推動目標，各有關機關從業務角度發展主題式決策模式，以提升決策與施政效率。





1 人物專訪

彭紹博處長訪談中表示，國土空間資訊架構，從政府部門專業分工的角度，規劃具韌性、共通及共享的雲端服務架構，希望能打破跨單位圖資交換及應用的藩籬，並減少重複開發，達成資源共享的目標。



臺灣2050 淨零轉型

十二項關鍵戰略



臺灣2050淨零轉型／12項關鍵戰略

問：最後請處長分享對我國智慧國土空間治理發展之策略與展望？

答：蔡總統在2021年4月宣示我國2050淨零轉型的目標，行政院龔明鑫政委在2022年3月邀集相關部會，公布淨零排放路徑及策略說明。陳建仁院長於112年1月31日上任，第一件批核的計畫是「淨零排放路徑112-115綱要計畫」，已經宣示淨零轉型是國家重要政策。

未來國發會推動智慧國土的發展，將在國家政策指導下，協同相關部會朝淨零碳排的方向努力，引導落實在公共建設之各領域中，善用物聯網、大數據分析、雲端運算及人工智慧等數位科技的輔助，建立循證治理的組織文化，期精進公共建設的規劃與管理決策模式，提升國土利用率與合理資源分配。

智慧國土的推動將以「淨零」為目標，「協作」為手段，從組織面及系統面結合的角度研擬發展策略，逐步落實在各政府機關的施

1

人物專訪



(左1) 劉新達經理 (左2) 吳錫賢經理 (左3) 王子安副總經理 (中) 彭紹博處長
(右3) 鄭宏達協理 (右2) 曾詠宜科長 (右1) 張伊芳技正

政計畫中，更重要的是導入產學研各界的人才、技術及資源，共同深化數位孿生的發展，建構一個智慧且永續發展的未來。

角度，對於數位孿生推動智慧國土空間治理已有完整之策略及行動計畫，讓大家對於國土永續發展充滿期待。

後 記

彭處長專業是水利工程背景出身，並從基層做起，工程技術與實務經驗兼具。從親切風趣的言談中，可瞭解他對於國家基礎建設帶動區域發展的清晰思路，且具有高度視野及宏觀



(左) 彭紹博處長 (右) 王子安副總經理

1

人物專訪

| 中 | 華 | 技 | 術 |

INTERVIEW



訪內政部地政司司長

王成機

談

國家底圖與創新測繪

整理：吳錫賢 ■ 攝影：詹朝陽

壹、前言

內政部為測繪主管機關，由地政司負責全國性測繪業務，長期以來對於建立國家測繪基準不遺餘力，包含大地基準、高程基準、重力基準、深度基準，已為我國建立維持完整、統一且高精度之基本控制點成果框架，為實施國土測繪之基本準據。此外，內政部地政司協助推動國家底圖事務，協助界定國家底圖範疇，律定圖資蒐集發布等標準及規範，確保國家底圖之穩定供應及服務。

王成機司長為國立成功大學航空測量研究所碩士、國立交通大學土木工程學系博士，先後歷練過內政部科長、簡任技正、專門委員、副司長，經歷豐富且表現優異，曾於107年獲頒第16屆地政貢獻獎。

本次專訪由台灣世曦系統及機電事業群王子安副總經理率領地理空間資訊部鄭宏達協理及同仁，於112年3月1日上午赴內政部地政司，與王司長進行約一個小時之訪談，並由吳俊毅組長陪同接待，以下為訪談紀要。



貳、訪談紀要

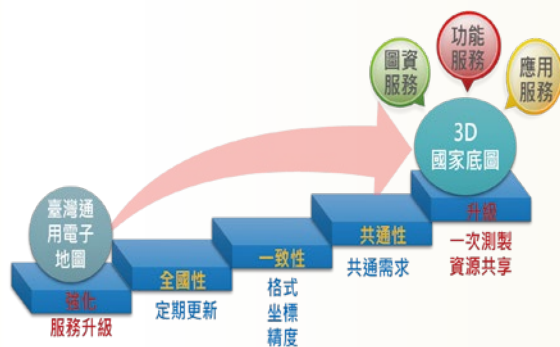
問：國家發展委員成立「國土空間資訊策略推動小組（NGIS 2.0）」，而內政部地政司負責召集「國家底圖分組」，想請司長為我們介紹國家底圖的發展及應用現況。

答：近年來，國家測繪製圖多以航遙測技術進行測繪作業，包含國土利用調查、通用版電子地圖、基本地形圖、行政區域界線、地籍圖等，基本地形圖每5年更新；國土利用調查、通用版電子地圖每2年更新。112年起，內政部執行多維度1/1000地形圖更新工作，優先辦理10年未更新之都會地區大比例尺地形圖。另外

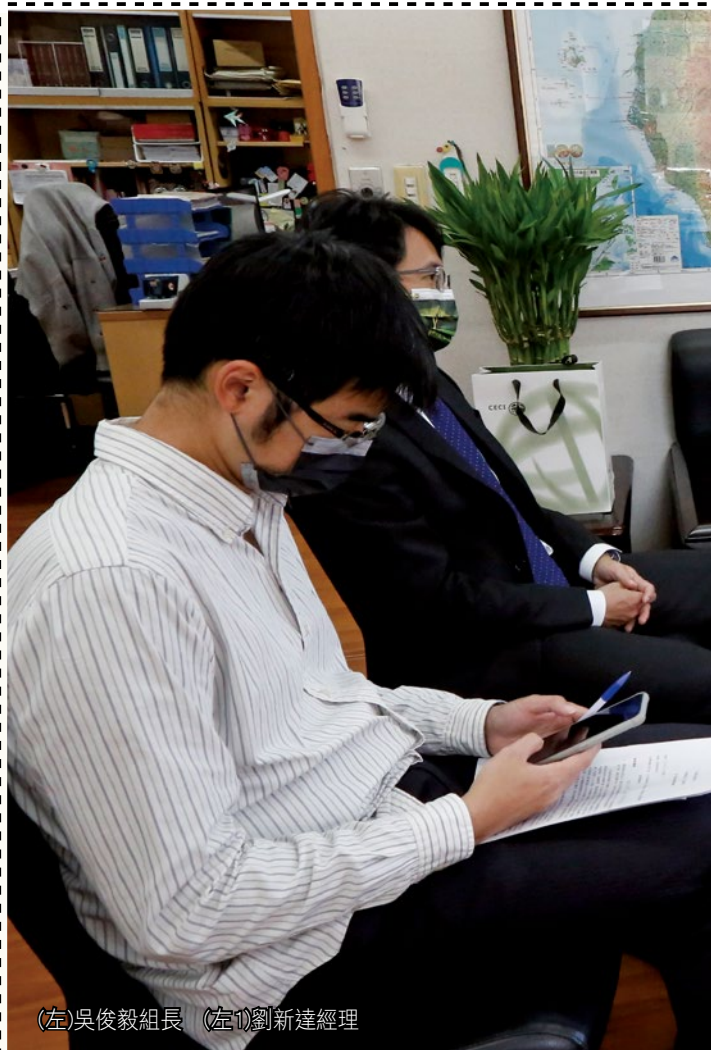


105年起利用空載光達技術，開始辦理全臺1公尺數值地形模型更新工作，預計112年底完成全臺範圍更新。內政部目前產製之各式圖資，滿足我國所有應用之基礎圖資，並累積豐富製圖經驗及產業能量。

國家發展委員會(以下簡稱國發會)為加速我國三維地理資訊(3D GIS)的發展，將國家底圖建置規劃納入「數位國家創新經濟發展方案(2017-2025年)」，並經國發會第54次委員會議及中央災害防救會報第38次會議共識，將「臺灣通用電子地圖」定位為「國家底圖」，並推動既有二維國家底圖升級為3D、訂定相關標準及提供共通性服務。

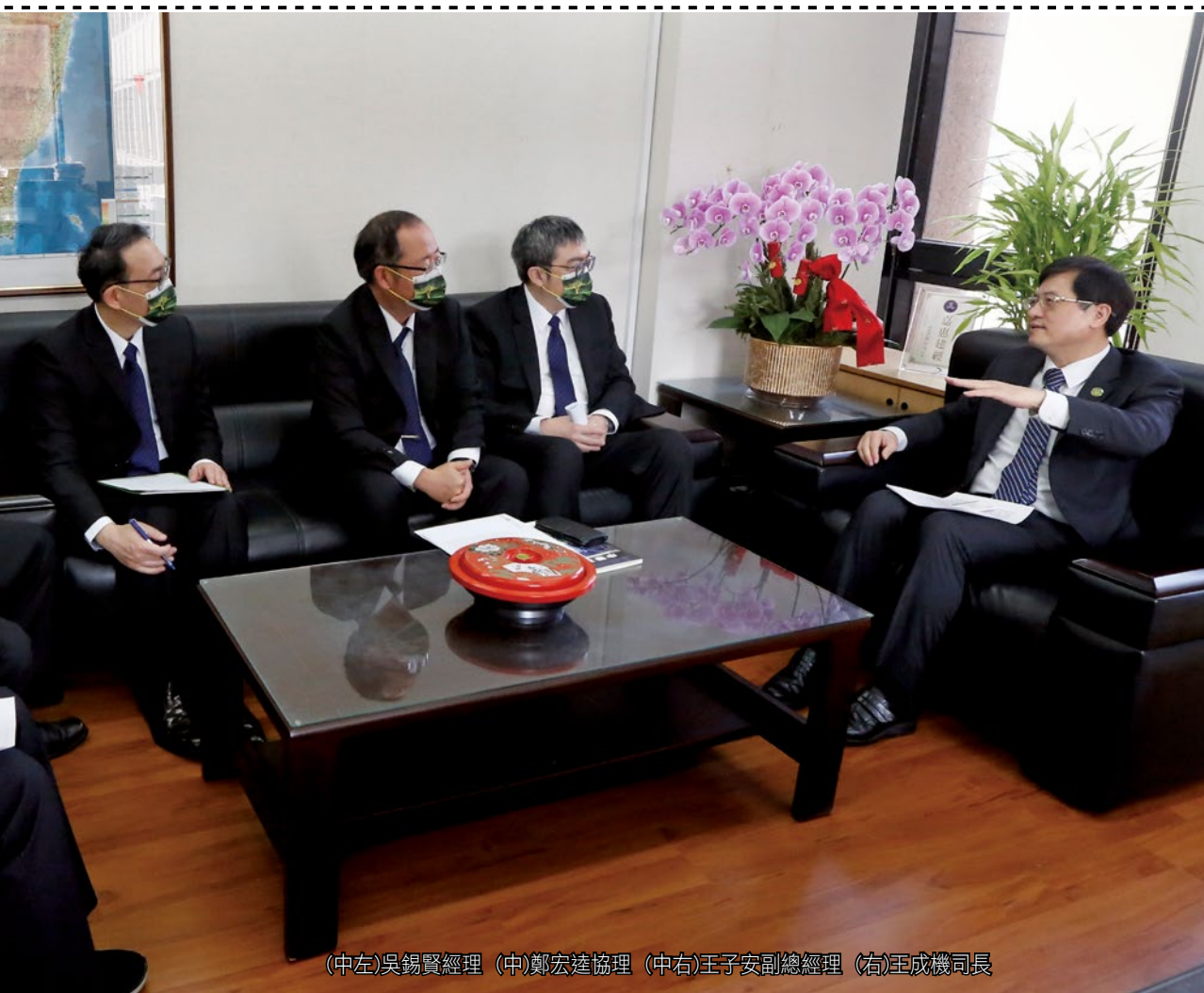


三維國家底圖包含三維建物模型、三維道路模型，其中三維建物模型以臺灣通用電子地圖為基礎，辦理既有2D國家底圖升級為3D，有別於2D圖資將真實世界的地物及地貌投影至平面，3D圖資是呈現真實世界多元的內容及複雜的空間關係，在考量產製全國圖資之作業時效、經費、可行性及應用分析可行性等因



(左)吳俊毅組長 (左二)劉新達經理

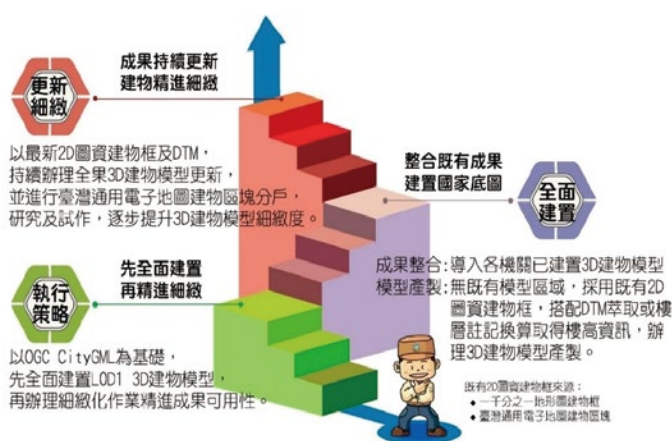
素，以建置符合OGC CityGML建物細緻度等級 (Level of Detail, LOD) LOD1三維國家底圖為主，並採取「先全面建置，後精進細緻」執行策略，搭配「成果整合」及「模型產製」之資源整合模式推動。內政部109年11月正式發布3D國家底圖，開啟「多維度國家空間資訊服務平臺」上線服務，後續也持續利用「臺灣通用電子地圖」、「1/1,000地形圖」及數值地形模型 (Digital Terrain Model, 簡稱DTM) 最新成果，藉由新舊建物框比對分析，獲取須更新標



(中左)吳錫賢經理 (中)鄭宏達協理 (中右)王子安副總經理 (右)王成機司長

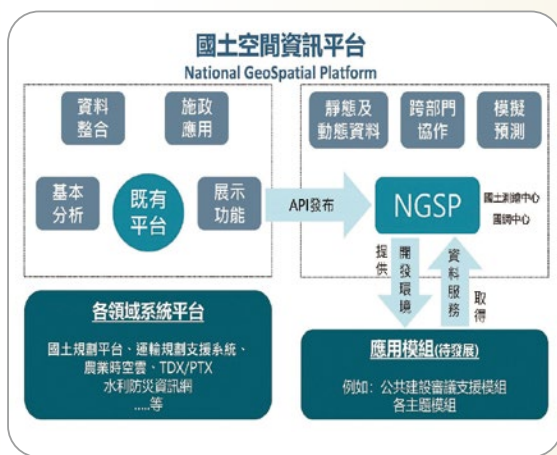
的建物框，產製LOD1三維建物模型，辦理三維國家底圖更新工作。

三維道路模型係參考OGC CityGML道路細緻度等級(Level of Detail, LOD) LOD1三維道路模型的作業流程，利用臺灣通用電子地圖既有2D道路面圖層，作為三維道路模型面的基礎，





並結合臺灣通用電子地圖道路中線屬性及交通資訊基礎路段編碼等資訊，對模型面進行道路種類（平面道路、高架道路、橋梁、交流道、地下道、隧道）、路口及交通路段編碼切分作業。



未來期望依據國土空間資訊推動框架 (National GeoSpatial framework, NGSF)，內政部負責國家底圖圖資產製及供應，提供各部會於國土空間資訊平臺(National GeoSpatial Platform, NGSP)上，開發應用模組，加值進行業務職掌範疇分析，提升政府治理效能。

問：內政部長長期以來對於推動創新測繪不遺餘力，請司長為我們說明近期發展的具體成果。

答：內政部長長期建立國家坐標基準，包括大地基準、高程基準、重力基準及深度基準，以此作為國家各式重大公共建設之測繪工作基礎。以共通基準為基礎，各界可以獲得相同框架坐

標值，以此進行重大工程建設。每年定期辦理控制點、水準點、築港高程檢測，確保各界使用相關坐標資料無誤。

內政部建立國家坐標基準外，訂定各項圖資產製作業手冊及圖資格式標準，產製陸域及海域各式基礎圖資，提供產官學研各界使用。陸域測量部分包含產製國土利用調查、通用版電子地圖、基本地形圖、行政區域界線、地籍圖、數值地形模型、水利數值地形資料、無人載具影像等，



海域測量部分，內政部於107年11月15日成立「臺灣電子航行圖中心」專責電子航行圖測製、發行及維運，並於108年2月14日與挪威測繪局簽署「臺灣電子航行圖授權發行協議」，正式透過挪威向國際發行我國電子航行圖，目前我國所發行之電子航行圖係符合IHO S-57國際標準圖資產品，我國電子航行圖國際發行已涵蓋我國領海、鄰接區及部分專屬經濟海域共計109幅，圖幅銷售量呈穩健成長，



王成機司長訪談中表示，內政部建立國家坐標基準外，訂定各項圖資產製作業手冊及圖資格式標準，在海域測量部分，內政部於107年11月15日成立「臺灣電子航行圖中心」專責電子航行圖測製、發行及維運，以支援各種海域相關的數位資料源、產品及客群。

1

人物專訪



統計至111年12月，總銷售電子航行圖幅數近159萬餘幅，提供包含我國船舶及來自香港、中國大陸、新加坡、日本、韓國、澳洲、法國及丹麥等逾2萬艘船舶使用，創造計新臺幣2億元之實質收益。內政部協助國內海巡、科研、港務等公務船舶裝載我國電子航行圖，並透過電子航行圖圖磚(ENC WMS)底圖介接或客製化圖資方式，提供政府部門關於船舶管制、雷情系統、運安調查、災害防救、生態保育及海岸管理等層面之多元應用。另外提供公部門海域地形資料，並針對海域圖資客製化主題圖資，如海底電纜或管道、沉船障礙物、助導航設施、等深線及水深點等數值成果檔，資料共享減少政府資源重複浪費。隨著海事科技的演進，以及空間資訊的多樣化與網路服務需求，未來S-101新資料標準電子航行圖將取代傳統S-57資料格式，內政部須持續瞭解國際S-100系列最新標準，以支援各種海域相關的數位資料源、產品及客群，IHO S-100系列標準產品

已不再限縮於傳統導航使用，更擴充至水文、海事及地理資訊系統相關服務。

內政部積極發展創新測繪科研技術，近年來積極配合行政院無人載具重點政策，發展自駕車高精地圖(High Definition Map，簡稱HD Map)相關技術，包含高精地圖標準及動態地圖標準、自動化製圖技術、高精地圖圖資更新機制、自研導航定位系統及其演算法等。自駕車用高精地圖主要以測繪車收集道路環境資訊，內政部108年訂定高精地圖格式標準、製圖指引及驗證檢核指引，通過台灣資通產業標準協會(TAICS)審查，成為產業標準，內政部高精地圖成果包含點雲、向量、自駕車OpenDRIVE格式及符合自駕車系統Autoware系統之自駕車終端Lanelet 2格式圖資內容，截至111年度已產製140公里高精地圖路段，遍布臺灣各縣市，提供無人載具沙盒申請實驗使用，提升自駕車運行安全性。未來除了自



駕車應用外，內政部配合各式創新應用，建立高精地圖分級架構，積極導入至車道地圖（Advanced Driver Assistance Systems所需之地圖，簡稱ADAS地圖）、公路巡檢、車聯網及智慧城市等創新應用範疇。有關高精地圖動態資訊也被數位發展部挑選為交通運輸類別之高應用價值資料，112年將進行實證，彙整相關動態資訊並開發API提供各界介接，促進智慧道路及車聯網應用。

近年內政部致力於發展三維圖資測繪技術，主要發展智慧室內外製圖技術、研發三維地形製圖自動化萃取技術、研發自動化快速產製數值地形模型技術、精進我國測繪基準系統架構，歷年累積成果已相當豐碩。另外內政部108年起和經濟部水利署合作，利用既有數值地表模型資料，繪製相關水利構造物件，加值產製成水利數值地形資料，以此作為精進淹水模擬預測準確性之重要基礎圖資；110年起利用歷年累積發展之移動測繪及高精地圖技術，協助交通部公路總局開發自動化辨識工具，未來也將整合巡檢車及自動化辨識工具，達成公路智慧巡檢服務，以此提升政府數位治理效能。

問：內政部地政司近期推動國家空間資訊及測繪政策白皮書研擬工作，能否請司長為我們說明未來這份白皮書想要

達成的目標與願景？

答：隨著AI、5G、大數據之技術快速發展，配合國發會NGIS2.0政策推動，空間資料作為智慧政府、智慧城市、智慧運輸、災害防治等應用之基礎建設，並且已經從傳統二維平面資訊，延伸至三維空間，甚至從單一時期到多時期的四維環境，社會各界需要高可用性、高精度及高更新頻率的空間資料。



為了因應龐大需求及社會快速變化，使各機關產製之空間資料能夠具有一致性並可相互流通，作為政府治理之依據，本部研擬國家空間資訊及測繪政策之發展策略，建構永續測繪政策，目前分為資源整合(跨域合作)、數位科技發展(技術創新)、圖資供應(NGSP)、產業發展(人才培育、產業轉型)及國家基準整合與法規調適等5大面向。

內政部111、112年預計辦理16場需求訪談



會議，訪談相關產官學研單位，瞭解各界對於測繪政策之想法與期待；5場推動會議，每場會議皆設定主題，如：跨域整合、圖資供應流通、國土測繪法法規調適；3場專家學者分組會議，主題包含人才培育、水深測量、國家基準，以此收集各界意見及彙整會議結論作為政策白皮書之參考依據。期望藉由編撰國家空間資訊及測繪政策白皮書，提供測繪相關產官學研有個明確規劃方向，做為後續空間資訊及測繪政策發展之參考依據，也可提供相關學研單位及產業界有所遵循，協助機關共同拓展空間資訊及測繪發展。政策白皮書預計將分成短、中、長期目標及相關策略，相關單位依據空間資訊及測繪政策之策略積極推動，並依據執行過程累積之經驗，滾動修正政策白皮書發展方向，建構永續測繪政策。

問：就目前內政部已建置並持續維運之國家底圖資源，有哪些領域可以讓空間資訊做應用創新？

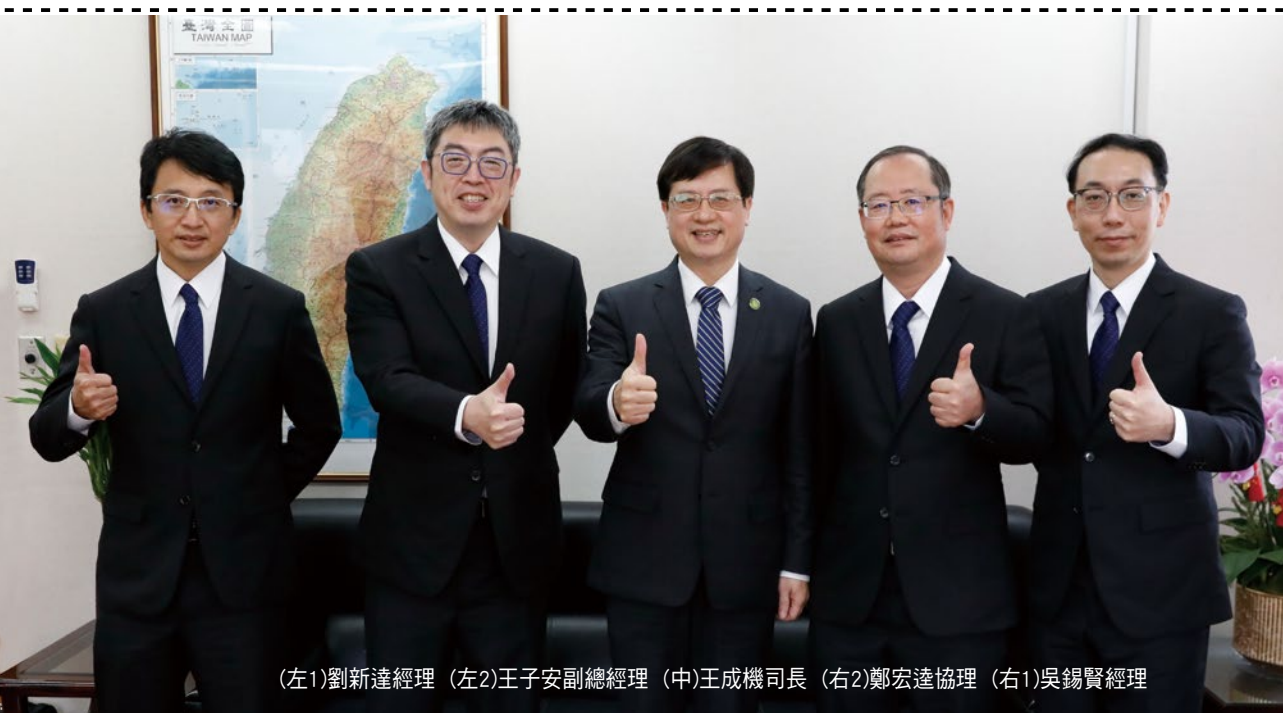
答：目前內政部利用「國土測繪圖資e商城」，提供基本地形圖、國土利用現況調查成果圖、臺灣通用電子地圖、段籍圖、地籍圖、控制點、典藏地籍圖掃描影像等測繪成果供各界使用，每年持續定期更新相關圖資，以利各界加值應用。另外「多維度國家空間資訊服務

平臺」也提供三維建物模型供各界介接使用。112年起開始更新產製多維度1/1000地形圖，將提供各界可擁有更高精度之三維圖資加值應用。

除了圖資成果外，物聯網、雲端計算、人工智慧及大數據分析快速發展，各項創新發展皆需要大量空間圖資作為數位基礎建設，例如：智慧城市、防救災、無人載具、國土監測等，如何快速獲取空間資訊及縮短圖資更新時間，是測繪領域之產官學所面臨之挑戰，因此發展智慧化製圖技術也是當務之急。

問：創新測繪有賴產官學的通力合作，想請司長談一下對於測繪業與學研單位的期許，以及如何配合政府的策略共同發展創新測繪？

答：內政部依據智慧國土、智慧政府、防救災計畫等政策需求，搭配創新科技如：人工智慧、大數據、無人載具等，致力於發展創新測繪技術，提升製圖效率，提供應用需求單位所需圖資，供各界加值應用。相關學術單位提供技術研發能量及測繪人才培育、測繪業產製空間圖資及辦理國家基準測量工作，產官學研通力合作產製各式應用所需基礎圖資及建立國家基準及其控制測量成果。



(左1)劉新達經理 (左2)王子安副總經理 (中)王成機司長 (右2)鄭宏達協理 (右1)吳錫賢經理

為使國家測繪產業能夠更加蓬勃發展，內政部須建立統一圖資標準，做為各界相互使用及介接之標準，並以應用導向，產製所需圖資，提供空間資訊及測繪業擴大加值應用，促進產業數位轉型。近年內政部重點發展之自駕車高精地圖及112年起國土測繪中心更新產製之1/1000地形圖，即可作為圖資創新營運商業模式之案例。

由於測繪科技日新月異，工具多變，期待產官學能共同集思廣益，以國家底圖為數位建設之基礎，發展能滿足實務需求的先進整合技術，以支援數位孿生、防救災、智慧運輸等跨域應用，並朝向空間資訊產業轉型邁進。

後記

訪談團隊從王司長分享推動電子航行圖之歷程之中，深刻體會此任務已超越技術層次，而是我國面臨國際現勢之巨大挑戰，但王司長勉勵大家只要勇於面對困難，用毅力克服重重關卡，自可迎刃而解。我們對於王司長的勇於任事也深感敬佩，期待能再次為我國擘劃創新測繪的大未來。



(左)王子安副總經理 (右)王成機司長

試說攝影測量新語

New Era of Photogrammetry

關鍵字 (Key Words)： 攝影測量 (Photogrammetry)、電腦視覺 (Computer Vision)

國立臺灣大學土木工程學系／副教授 • 中華民國航空測量及遙感探測學會／理事長／趙鍵哲 (Jaw, Jen-Jer)

摘 要

攝影測量歷經約兩世紀於空間圖資生產的發展與貢獻，面對電腦視覺、人工智慧及機器學習等技術快速崛起並提供高效能產製模式，猶如強敵環伺，如何審度自我，為下一個里程定向定位，顯然不是一件易事，但不得不做。本文試圖以作者觀點提供建議及鼓舞信心。



Abstract

Faced with the rapid development of computer vision, artificial intelligence, and machine learning, etc., how to align Photogrammetry onto the right track for its mission in geospatial mapping tasks is an inevitable issue and demands immediate action. The opinion and suggestions based on the author's perspective are given to help find confidence in polishing Photogrammetry.

2

工程論著

壹、攝影測量變革

發軔於1830年代的攝影術(Photography)提供地面及熱氣球空中攝影測量(Terrestrial and Balloon Photogrammetry)，利用所拍得像片進行判讀及測繪，這大概是攝影測量(Photogrammetry)的開端。尤其，藉由熱氣球升空拍攝像片，從空中執行軍事情蒐及觀測地球，以及相機裝置在其他飛行載具上，航空攝影測量(Aerial Photogrammetry)開啟隨後近兩世紀的測繪風華。類比攝影測量(Analog Photogrammetry, 1900~)、解析攝影測量(Analytical Photogrammetry, 1950~)及數值攝影測量(Digital Photogrammetry, 1980~)(圖1)不僅代表光學機械工藝技術及專業，攝影測量學家

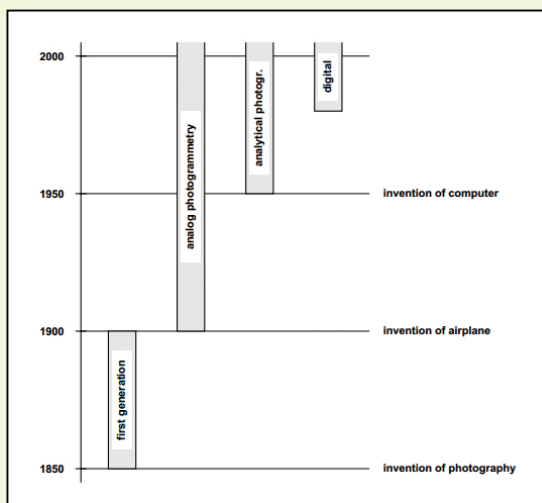


圖1 攝影測量發展史(Schenk, 1999)

(Photogrammetrist)一詞也讓從業人員深以為傲。航空攝影測量有效獲致大範圍地表地物測繪成果(三個時期的典型測圖設備參見圖2)，近景攝影測量(Close-range Photogrammetry)及地面攝影測量應用於工業量測及支援工程規劃與監測，彼時攝影測量引領風騷，給空間圖資測繪帶來便利、可靠及完整的高品質產品，攝影測量技術及應用呈現一片榮景。

約莫於類比攝影測量時期，拜電子技術發展之賜，電子設備及計算機讓物像對應解析能充分發揮在像片量測、坐標解算及測圖任務上；繼之，電子儲存媒體及影像處理科技興起，這時期的解析攝影測量時代，很快地過渡至數值攝影測量。當像片變成影像，以及影像能全然在電腦系統執行測圖相關工作，一個嶄新又富含自動化的測量新紀元等待多元開發。

貳、亦敵亦友的電腦視覺

當影像走進電腦，藉由計算及影像處理(Image Processing)所能完成或部分完成的量測、幾何重建及判讀任務悄然但快速發展成電腦視覺(Computer Vision)。電腦視覺藉由模擬動物及人類視覺系統，體現人工智慧(Artificial Intelligence)感測資訊及物理世界之

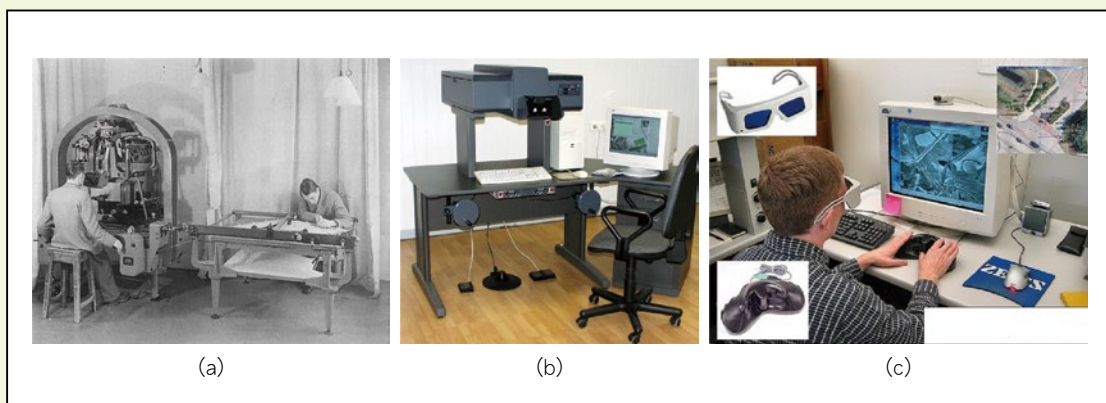


圖2 (a) Analogue plotter (Burnside,1995), (b) Analytical Plotter, (c) Digital Photogrammetry Workstation (<https://www.satpalda.com/blogs/concepts-of-photogrammetry>)

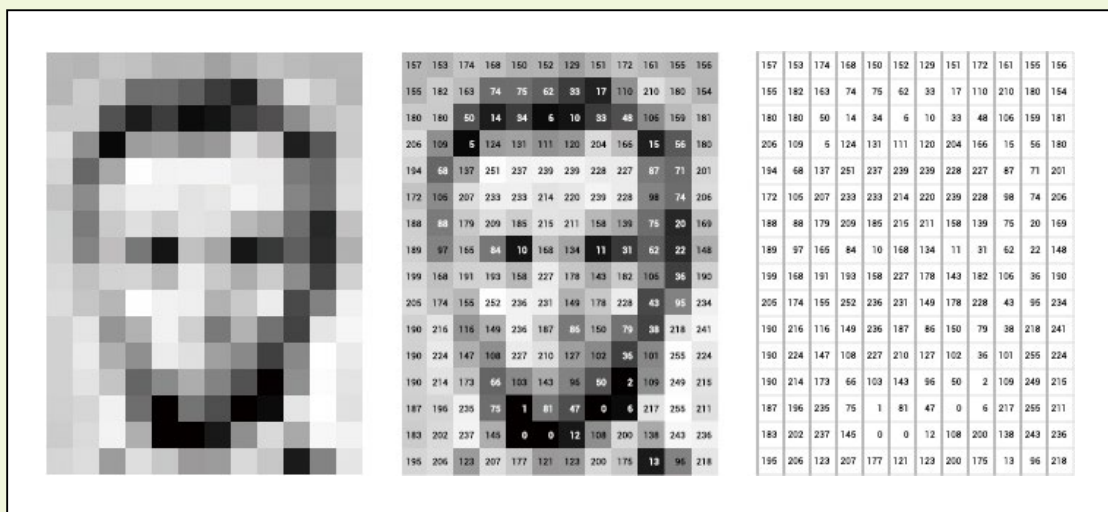


圖3 數值化之類比能量供電腦計算、分析及辨識

(<https://www.datarobot.com/blog/introduction-to-computer-vision-what-it-is- and-how-it-works/>)

環境以及資訊，機器人(Robot)具備的視覺及感知(Perception)能力即是電腦視覺功能的展演案例。圖3由右至左展示紀錄於感測器的能量經由類比至數位(A/D)轉換，電腦讀取位元資料(相對於人腦視覺感知能量)執行計算、分析及辨識任務。

攝影測量偏重工程面向，講究精度(包括精確度(Accuracy)及精密度(Precision))、可靠性(Reliability)、穩健度(Robustness)及完整度(Integrity)等；相對而言，電腦視覺追求善用電腦能力及演繹各式演算法，在大部分情境均無品質門檻或只具低門檻並僅有少許的先驗知識下，迅速收集所需資訊或幾何重建。讓攝影測量領域從業人員視為挑戰度很高的任務，卻讓電腦視覺專家把玩地津津有味及饒富生趣(Granshaw and Fraser, 2015)。儘管攝影測量與電腦視覺處理手法不同以及具明顯的理念差異，兩群專業原可各自論述，但常受相提並論(Grün and Baltsavias, 1990；Ebner et al., 1994；Förstner, 2002)，以及隨著科技與空間資訊需求的蓬勃發展影響，兩者間的暗自較勁以及愛恨情仇(曾義星，2022)，形成亦敵亦友，需要良藥解方。

參、力道與武功

從以下攝影測量的定義來看，其在學理涵蓋、應用層面及科技面向都是相當廣泛的。

“Photogrammetry is the art, science and technology of obtaining reliable information about physical objects and the environment through the process of recording, measuring, and interpreting photographic images and patterns of electromagnetic radiant energy and other phenomena.” (McGlone et al., 2004)

攝影測量網形(Network)源自物像空間成像光線(Ray)，由射向透視中心的光束以及交會在物點的光束組成，如圖4(a)所示，把物空間點位、像空間點位、內外方位參數交織在一嚴整的對應關係中。在攝影測量、平差統計學理以及前人無數的實驗數據測試及分析下，建構堅實的物像對應網形要件；在標榜精度、可靠性、穩健度及完整度的特色操作手法下，詮釋一套以品質為決戰條件的技術。再者，影像處理技術的精進及電腦計算效能的大幅提升，並在物空間場景重建完整度需求下，多視角的影

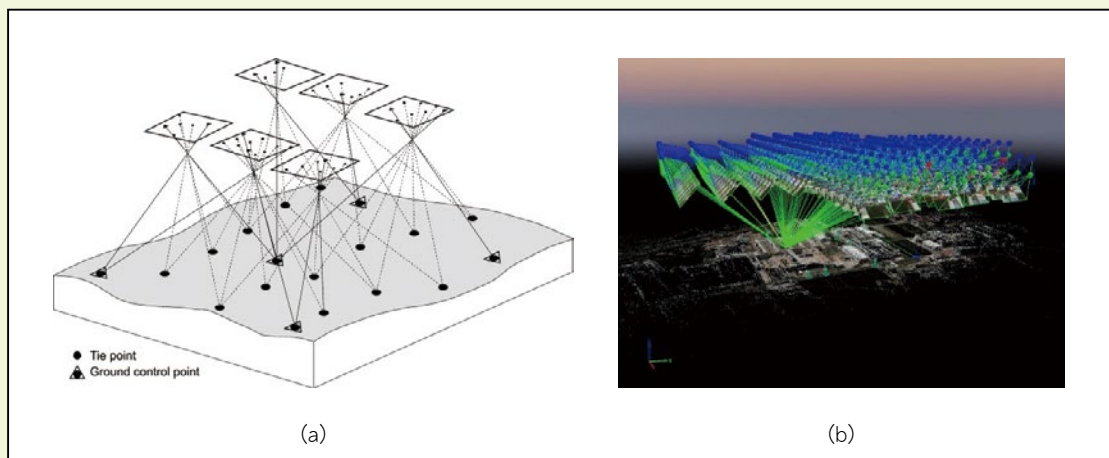


圖4 (a)攝影測量光線與光束示意圖(修潤自<https://www.scoutaerial.com.au/article-photogrammetry/>)
(b)多視角影像物點光束示意圖(截圖自PIX4Dmapper資料處理畫面)

像獲取方式(圖4(b))更增添攝影測量網形的精彩度。這其中，共線條件(Collinearity Condition)及光束法區域平差(Bundle Block Adjustment)是攝影測量精髓，但不是僅有之寶藏。

肆、從今以後我泥中有你

攝影測量及電腦視覺教科書原是各自論述，專業上壁壘分明；雖然在精度及可靠度的追求上立基不同，在空間資訊產製及三維重建應用層面上卻又殊途同歸。Förstner and Wrobel(2016)合著的Photogrammetric Computer Vision，闡述兩專業技術及協作任務。顯而易見，從應用端層面來看，這兩專業有重疊處，攝影測量取用電腦視覺幾何簡易及數學簡便的物像轉換，讓輕便的計算提供攝影測量另一選項或良好起始資料，提升攝影測量自動化及達致高效能的處理模式。雖然目前尚未看見“Computer Vision's Photogrammetry”的相關應用或倡議，但願意跨出第一步者，我泥中有你，攝影測量為自身找到良藥解方。展望未來更多的協作及整合，攝影測量及電腦視覺必能雙贏。

攝影測量舞動近兩百年，科技巨輪，一日千里，在時空更迭中，面臨的課題是如何自我定位定向到下一個里程。是挑戰武林，一尊獨霸；還是有志一同，攜手打造？

科技不斷翻新，各式感測器因應而生，工程及科學應用朝向多元，跨域合作及技術整合才能讓任務圓滿。攝影測量除了繼續在常規性測圖任務擔綱之外，也應與時俱進地與其它技術合演空間資料收集及資訊生產要務。表面上看來，攝影測量技術正面臨巨大挑戰；事實上，空間資訊產業新意無限，技術漸走向競合，任何科技抱持獨霸武林的夢話已不符時宜，唯有合作才能帶來多贏局面。

伍、新語-智慧攝影測量

在這向上提升關鍵時間點，攝影測量從業人員如何能為自身開智慧引活水，培養更矯健靈活身手？以下三點拙見，希望能起鼓勵及強化信心作用：

一、以精度、可靠度、穩健度及完整度掛帥。

二、堅實的物像對應理論及嚴密資料處理模式，是所有應用端問題追溯及診斷時之最佳知識。

三、與電腦視覺、人工智慧、機器學習及未來科技成夥伴關係。

一及二實為攝影測量的本命智慧，三則為隨著科技發展與時俱進的生命活水。唯有我們先看到智慧並努力實踐，攝影測量的光耀便能繼續閃動並扮演空間資訊收集、測繪及分析的重要角色，讓我們合力邁向智慧攝影測量新里程。

參考文獻

1. 曾義星，2022。攝影測量對電腦視覺的愛恨情仇，近三十年臺灣航遙測發展回顧研討會簡報檔，成功大學。
2. Burnside, C.D., 1995. The Photogrammetric Society Analogue Instrument Project: A Fifth Extract, The Photogrammetric Record, 15(86):251-261.
3. Ebner, H., C. Heipke, and K. Eder, 1994. Spatial Information from Digital Photogrammetry and Computer Vision, ISPRS Commission III Symposium, September 5-9, 1994, Munich, Germany, Part 1.
4. Förstner, W., 2002. Computer Vision and Photogrammetry-Mutual Questions: Geometry, Statistics and Cognition, International Symposium Photogrammetry meets

Geoinformatics, Bildtechnik/Image Science, 151 - 164.

5. Förstner, W., and B.P. Wrobel, 2016. Photogrammetric Computer Vision: Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction, Springer.
6. Granshaw, S.I., and C.S. Fraser, 2015. Editorial: Computer Vision and Photogrammetry: Interaction or Introspection? The Photogrammetric Record, 30(149):3-7.
7. Grün, A., and E.P. Baltsavias, 1990. Close-Range Photogrammetry Meets Machine Vision, SPIE Proceedings, Vol. 1395. Edited by Grün, A. and E. P. Baltsavias. Bellingham, WA: Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers.
8. McGlone, J.C., E.M. Mikhail, and J. Bethel, 2004. Manual of Photogrammetry, Fifth Edition, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, USA.
9. Schenk, T., 1999. Digital Photogrammetry, Vol. I, Laurelville, OH, USA, Terra Science.

0918池上地震 無人機勘災紀實

關鍵詞(Key Words)：無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)、不規則三角網(Triangulated Irregular Network, TIN)、三維網格模型(3D Mesh Model)、地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／技術經理／吳錫賢 (Wu, Hsi-Hsien) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／周孜恆 (Chou, Tzu-Heng) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／黃紹維 (Huang, Shao-Wei) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／約聘工程師／田沛鑫 (Tien, Pei-Hsin) ❹



摘要

111年9月18日下午2時44分左右，台東池上發生芮氏規模6.8地震，花蓮縣玉里鎮、富里鄉陸續有橋梁、房屋倒塌、鐵路設施損毀等災情傳出。台灣世曦工程顧問股份有限公司（以下簡稱台灣世曦）立即指派公司第一結構部、第二結構部、運輸土木部、鐵道部及地理空間資訊部無人機小組前往勘災，於次日9月19日趕赴各重點受災區域進行空中及地面拍攝紀錄。災害勘查地點包含：春日國小、高寮大橋、玉里大橋、玉長大橋、臺鐵東里車站、臺鐵新秀姑巒溪橋、崙天大橋。為完備環境數位資料之建立，無人機小組於9月21日及22日再度趕赴崙天大橋、高寮大橋、玉里大橋、玉長大橋災損位置進行高重疊影像空拍，並後製完成4座橋梁之3D實景建模。

以無人機於空中拍攝或地面拍攝之影像、影片均於台灣世曦內部公共空間儲存分享，並將其中精華部分及3D實景建模成果上架於「GIS支援平台」，可供全公司同仁線上觀覽瞭解災損情形，作為檢視研判之基礎資料。無人機小組以迅速行動完成任務，相關工程受災影像紀錄與3D實景建模成果再由台灣世曦內部技術團隊檢視研判，以提供政府對本次工程災害復建之專業建議。台灣世曦本於工程顧問專業對社會貢獻一己之力，並以實際行動發揮企業社會責任CSR之價值。



The Disaster Survey of 0918 Chihshang Township Earthquakes using UAV Technology

Abstract

On September 18th, 2022, around 2:44 PM, a magnitude 6.8 earthquake occurred in Taitung Chishang, causing collapses of bridges, buildings, and railway facilities in Yuli and Fuli, Hualien. CECI immediately dispatched Departments of Structural Engineering, Department of Civil and Transportation Engineering, Department of Railway Engineering, and drone team from Department of Geomatics for disaster surveying. They arrived at the disaster-stricken areas the next day, September 19th, to take aerial videos and ground photos. The disaster surveying spots include: Chunzi Elementary School, Gaoliao Bridge, Yuli Bridge, Yuchang Bridge, TRA Dongli Station, TRA Xin-Xiuguluan River Bridge, and Luntian Bridge. To establish a complete digital data, the drone team returned to the damaged areas of Luntian Bridge, Gaoliao Bridge, Yuli Bridge, and Yuchang Bridge on September 21st and 22nd to take high-overlap aerial photos and then reconstruct the 3D mesh models of the four bridges. The photos and videos captured by the drones and ground cameras are stored and shared in CECI internal cloud services, and the highlights and 3D mesh models are uploaded to the "GIS Support Platform" for online viewing by all colleagues to know the disaster situation as a basis for inspection and evaluation. The drone team completed the mission very fast. Image records and 3D models of the damaged facilities are reviewed and evaluated by CECI technical departments to provide professional recommendations for the government's reconstruction of the disaster. CECI is committed to making contributions to society as a professional engineering consultant and demonstrating the value of corporate social responsibility through practical actions.

3

專題報導

壹、池上地震發生經過

111年9月17日晚間21時41分左右，台東關山附近發生芮氏規模6.6地震，地震深度8.6公里，之後於此區域即密集發生規模2到4不等之有感地震。至晚間22時45分左右，台東池上發生芮氏規模5.8地震，地震深度5.8公里，一般推測與板塊能量釋放有關。密集之地震至次日仍未間斷，9月18日下午14時44分左右，發生最大之芮氏規模6.8地震，地震深度7.8公里。至此台東池上0918地震之主震發生之後，於網路社群出現玉里鎮便利商店樓房倒塌影片，而公路橋梁發生倒塌中斷之影片、鐵路設施受損之照片也陸續傳出。因應花東地震之嚴重災情，行政院於下午16時立即指示中央災害應變中心一級開設，而中央與地方政府之救災、醫護、警消等專業人員則趕赴災區現場執行搶救工作。

0918地震位於台東縣池上鄉花東縱谷之西側，局部地區位處尚無經濟部中央地質調查所公告之活動斷層，而其南北延伸方向亦造成巨大災損，並牽涉數條活動斷層，其中池上斷層於2014年經濟部中央地質調查所公告劃定為活動斷層地質敏感區，玉里斷層暫列為第一類活動斷層，而本次地震之震源機制結果顯示，地震斷層應為中央山脈斷層〔0918 池上地震勘災與技術精進報告〕。

貳、無人機整備與任務規劃

考量遇災時工程顧問專業協助政府救災所需，台灣世曦自88年921震災後即經常動員協助政府勘災與救災，先後參與包括97年后豐大橋落橋事件、98年88風災、103年高雄氣爆事故...等各類型重大災害勘災、救災，已累積豐富應變經驗。為因應交通生命線之維持，台灣世曦優先針對地震、洪水經常損壞之橋梁關鍵點，自辦研發並協助計24個橋梁主管機關快篩

全國計28,000餘座橋梁之耐震性能風險分級，以供各橋梁主管機關參考，並分期補強延壽〔0918 池上地震勘災與技術精進報告〕。

本公司地理空間資訊部（以下簡稱空資部）自106年起已導入各式專業無人機（Unmanned Aerial Vehicle，或簡稱UAV），各項操作均依照交通部民用航空局（以下簡稱民航局）遙控無人機管理相關規定辦理，於公司內除制定無人機作業手冊之外，設備登錄與保險、操作人員登錄均由「CECI無人機管理平台」以電子化方式進行管理，目前計有6位飛手取得民航局專業操作證，本公司並已取得民航局遙控無人機能力審查核准證明。

有鑑於0918池上地震對於工程結構體有多處破壞，為利災害紀錄與成因分析檢討，而無人機對於空間資訊蒐集之技術已日益成熟，故本公司勘災團隊除由第一結構部、第二結構部、運輸土木部、鐵道部之專業同仁組成外，並加入空資部無人機小組支援，任務規劃以空中攝影方式進行災害紀錄。依據新聞媒體報導及網路社群之影片、照片統整災害訊息，並標定拍攝地點如表1及圖1。

空資部無人機小組動員於9月18日星期日傍晚返回公司，進行無人機相關設備之整備與充電作業，並於9月19日上午7時30分出發直接趕赴受災地點進行勘災。無人機小組人員除由主飛手進行無人機操作、空中攝影任務之外，其餘人員則擔任空域安全觀察員，並於現場與救災單位進行工作協調及作業安全管理。

表1 無人機勘災地點一覽表

項次	行政區	地點	受損狀況
1	花蓮縣 玉里鎮	春日國小	二樓通廊倒塌
2	花蓮縣 玉里鎮	高寮大橋	池上斷層通過，橋墩斷裂、倒塌、橋面板翻落
3	花蓮縣 玉里鎮	玉里大橋	池上斷層通過，路面隆起破裂、橋面高低差
4	花蓮縣 玉里鎮	臺鐵客城橋	鐵軌挫曲
5	花蓮縣 玉里鎮	玉長大橋	多數橋墩嚴重剪力破壞，橋面板傾斜封閉禁止通行
6	花蓮縣 富里鄉	臺鐵東里車站	平行池上斷層，月台雨棚倒塌，車廂傾斜，鐵軌挫曲
7	花蓮縣 富里鄉	臺鐵新秀姑巒溪橋	橋台位移，架線柱基礎斷裂
8	花蓮縣 富里鄉	崙天大橋	池上斷層通過橋墩斷裂、倒塌、橋面板翻落



圖1 0918池上地震勘災位置示意圖

參、受災地點之影像紀錄

一、春日國小

花蓮縣玉里鎮春日國小發生倒塌之位置為教學大樓到專科教室二棟大樓的連通走廊，走廊為鋼筋混凝土結構並設置有遮雨棚，因地震恰發生於未上課之星期日，實為不幸中之大幸。

災損照片如圖2至圖3所示，由地面照片可清楚觀察地震強度對於鋼筋混凝土結構造成之剪力破壞，據校方人員表示校園建築結構均經耐震檢查，惟本次地震超過耐震設計，應為倒塌主因。



圖2 春日國小無人機空拍影像：走廊倒塌遠景



圖3 春日國小地面拍攝影像：走廊梁柱斷裂

二、高寮大橋

高寮大橋跨越秀姑巒溪，通過池上斷層，為簡支梁式橋，單柱式鋼筋混凝土橋墩，長度約900公尺，總橋孔數22個，最大跨距40公尺。高寮大橋於80年6月竣工，使用已超過31年，最

近維修日期為99年8月。

災損照片如圖4至圖7所示，因橋墩鋼筋受剪力破壞於中央處斷裂，造成各橋面板翻落於河中，引道之擋土牆受損，引道柏油路面亦有嚴重開裂之情形。



圖4 高寮大橋無人機空拍影像：鳥瞰遠景



圖5 高寮大橋無人機空拍影像：橋墩斷裂、橋面板翻落



圖6 高寮大橋無人機空拍影像：橋墩斷裂、橋面板翻落局部近拍



圖7 高寮大橋無人機空拍影像：路堤段擋土牆損毀

三、玉里大橋

玉里大橋位於臺九線公路跨越秀姑巒溪，通過池上斷層，為簡支梁式橋，單柱式鋼筋混凝土橋墩，長度570公尺，總橋孔數17個，最大跨距35公尺。玉里大橋為新舊二代橋，南下線於66年2月竣工，使用已超過45年，北上線於83

年3月竣工，使用已超過28年。最近維修日期分別為北上線105年1月及南下線105年2月。

災損照片如圖8至圖10所示，各橋面產生高低差，南下線於東側橋台之伸縮縫處有約15公分之高低差，而北上線橋梁伸縮縫處也有受損，已由公路總局封閉禁止通行。



圖8 玉里大橋無人機空拍影像：鳥瞰遠景



圖9 玉里大橋無人機空拍影像：伸縮縫受損



圖10 玉里大橋地面拍攝影像：橋頭高程落差

四、臺鐵客城橋

臺鐵客城橋於本次地震無受損，而橋梁北側路段之鐵軌發生挫曲情形，因臺鐵工務段快速之復建，該路段鐵軌已重新進行鋪設，照片如圖11至圖12所示，可見新鋪上之淺色道碴。

五、玉長大橋

玉長大橋跨越秀姑巒溪，為簡支梁式橋，單柱式鋼筋混凝土橋墩，長度約810公尺，總橋孔數27個，最大跨距40公尺。玉長大橋於86年4月竣工，使用已超過25年。



圖11 臺鐵客城橋無人機空拍影像：鳥瞰遠景



圖12 臺鐵客城橋無人機空拍影像：鐵軌已重新鋪設路段

災損照片如圖13至圖14所示，因多處橋墩受剪力破壞於中央處均呈現破損，尤以位於堤防北側橋墩出現斜切狀破裂、鋼筋外露受損最

為嚴重，花蓮縣政府已於橋梁南北二側進行封閉禁止通行。



圖13 玉長大橋無人機空拍影像：鳥瞰遠景



圖14 玉長大橋無人機空拍影像：橋墩受損局部近拍

六、臺鐵東里車站

臺鐵東里車站於地震發生後，月台上之遮雨棚發生倒塌。而停靠之柴聯自強號列車部分

車廂亦有傾倒之情況，可見地震當下之威力，災損照片如圖15至圖16所示。



圖15 臺鐵東里車站無人機空拍影像：遮雨棚倒塌



圖16 臺鐵東里車站無人機空拍影像：列車傾倒

七、臺鐵新秀姑巒溪橋

臺鐵東里車站北側之新秀姑巒溪橋，跨越秀姑巒溪，為簡支梁式橋，單柱式鋼筋混凝土

橋墩。新秀姑巒溪橋於96年3月竣工，使用已超過15年。除南側發生鐵軌挫曲情形之外，橋面板均發生嚴重位移，部分架線柱之鋼筋混凝土基礎墩柱亦受橋面板碰撞而斷裂，或產生歪斜之情形，災損照片如圖17至圖19所示。



圖17 臺鐵新秀姑巒溪橋無人機空拍影像：鳥瞰遠景



圖18 臺鐵新秀姑巒溪橋無人機空拍影像：架線柱倒塌



圖19 臺鐵新秀姑巒溪橋地面拍攝影像：鋼筋混凝土基礎墩柱斷裂

八、崙天大橋

崙天大橋跨越秀姑巒溪，通過池上斷層，為簡支梁式橋，單柱式鋼筋混凝土橋墩，長度約420公尺，總橋孔數14個，最大跨距30.14公尺。

崙天大橋於71年6月竣工，使用已超過40年。

災損照片如圖20至圖23所示，因橋墩受剪力破壞於底部斷裂，造成各橋面板翻落於河中，引道之柏油路面亦多有開裂之情形。



圖20 崙天大橋無人機空拍影像：鳥瞰遠景



圖21 崙天大橋無人機空拍影像：橋墩斷裂、橋面板翻落



圖22 崙天大橋無人機空拍影像：橋面板翻落局部近拍

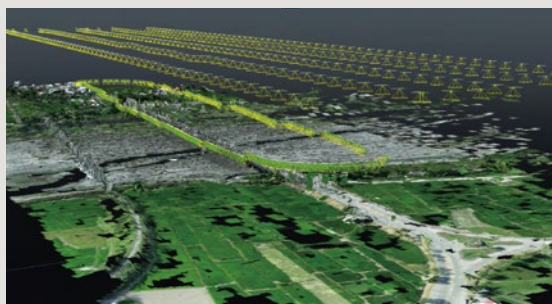


圖23 崙天大橋無人機空拍影像：跨河段鳥瞰遠景

肆、空間資訊加值與數位資料保存

除以無人機拍攝之影像、影片紀錄外，針對災損較為嚴重之崙天大橋、高寮大橋、玉里大橋、玉長大橋等4座橋梁，採用任務航線規劃，以無人機自動飛行取得高重疊之影像，並搭配手動飛行取得橋體細節影像。內業則使用 Bentley Context Capture專業軟體，進行自動化特

徵匹配及光束法平差，解算各影像之6個外方位參數（影像空間位置姿態），進一步透過影像密匹配產製高密度之3D點雲，接續將點雲內插為不規則三角網(Triangulated Irregular Network, TIN)，並搭配原始影像之紋理敷貼，即可產製出實景三維網格模型(3D Mesh Model)，如圖24至26所示。



(1)無人機影像匯入



(2)空三方位解算計算



(3)影像密匹配3D點雲



(4)3D Mesh數位實景模型

圖24 3D實景建模處理流程



圖25 崙天大橋3D Mesh數位實景建模成果



圖26 玉里大橋3D Mesh數位實景建模成果

以無人機於空中拍攝或地面拍攝之影像、影片均於台灣世曦內部公共空間儲存分享，並將其中精華部分及3D實景建模成果上架於「GIS支援平台」(如圖27)，可供全公司同仁線上觀覽，瞭解災損情形，作為檢視研判之基礎資料。



圖27 池上地震勘災資訊GIS平台

但如何統整災害資訊後標定位置，並進行必要之資訊查證，可思考建立機制進一步與國家防救災體系作更緊密之結合。

二、可規劃災害地點之無人機空域運用管理機制

本次災害發生後，各災損位置周邊均屬無人機綠區範圍非限制區域，常見各救災單位、媒體、一般民眾之各式無人機同時飛行。而空域中之安全隔離則完全依賴觀察員目視提醒，就某種程度而言仍存有無人機操作之碰撞風險，未來應可設計災害地點單一窗口協調多組無人機作業進行，確保飛行安全。

結語與建議

台灣世曦本於工程顧問專業對社會貢獻一己之力，並以實際行動發揮企業社會責任。經本次勘災使用無人機及相關空間資訊技術，已可將環境資料數位保存，提供專業分析與教育訓練之素材，而無人機可於災害發生後發揮機動、快速的勘察效益。經由各種工程結構體於0918池上地震之受損情形，公共工程及建築物之耐震及防災韌性設計，應為未來須落實的關鍵重點，而在顯見的工程災害搶救與復建之後，其他各種工程設施之特別巡檢調查也應持續進行。

無人機小組於此次勘災後提出以下三點建議：

一、精進政府災害資訊之蒐集與彙整

災害發生後，網路社群之資訊非常即時，

三、可規劃無人機資源於工程救災體系之動員SOP(Standard Operation Procedure)

由於無人機設備的產品日益眾多，資源取得容易。建議可由中央及地方防救災體系中建立動員SOP，於災害發生後，快速統合民間專業組織無人機資源加入工程救災體系，協助救災與復建。

參考文獻

1. 0918 池上地震勘災與技術精進報告，台灣世曦工程顧問股份有限公司，111年10月。

地面光達技術於工程之應用及GIS 3D 平台整合

關鍵詞 (Key Words)：地面光達 (Ground-Based LiDAR)、點雲 (Point Cloud)、三維地理資訊 (3D GIS)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／闕文鏈 (Chueh, Wen-Liang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／姜興華 (Chiang, Hsing-Hua) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／黃紹維 (Huang, Shao-Wei) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／黃靖媛 (Huang, Ching-Yuan) ❹



GIS 3D

摘要

地面光達是近年來新興的三維資料量測技術，透過雷射掃描的方式，在短時間內獲取大量待測物體的三維坐標點，因點位密集故稱為點雲。透過點雲可詳細描述待測物體的外觀，並可將其運用於建築物、結構設施、崩場地監測或地形調查等。本公司在3D設計作業過程中，為避免設計遺漏的情況發生，對於工程周圍之環境的瞭解掌握是一項重要需求，透過地面光達點雲建構之三維空間環境，能夠進行實景重建輔助並提升工程設計之解說能力。本文描述地面光達作業之原理、現階段地面光達實作應用案例，進一步說明地面光達作業之優勢與限制，並介紹GIS 3D平台納入光達點雲之成果與案例。



Application of Ground-Based LiDAR Technology in Engineering and Integration with 3D GIS Platform

Abstract

Ground-based LiDAR is an emerging three-dimensional data measurement technology that uses laser scanning to obtain a large number of three-dimensional coordinates of objects to be measured in a short period of time, known as point clouds. Point clouds can describe the appearance of objects in detail and can be used for monitoring buildings, structural facilities, collapsed areas, or terrain surveying. For 3D design process in our company, it is important to know the whole environment around the project to avoid design omissions. 3D environment reconstruction through ground-based LiDAR point clouds, can also help us explain engineering design. This article describes the principles and our applications of ground-based LiDAR. We also analyze the advantages and limitations of ground-based LiDAR, and the cases of incorporating LiDAR point clouds into the GIS 3D platform.

3

專題報導

壹、前言

近年來空間資訊科技快速發展，舉凡光達技術、無人機(UAV)技術、影像密點雲匹配技術等，增廣了空間資訊獲取的來源與效率，並逐漸與未來智慧化應用結合。台灣世曦工程顧問公司(以下簡稱台灣世曦)為因應趨勢發展新型態技術應用於3D工程設計，並增加防救災緊急事件時，能夠及時提供高細節之三維圖資及模型，於民國110年度起導入地面光達掃描儀(如圖1)，應用於空間資訊測繪領域，並針對橋梁結構、隧道、道路變位或災害現場等進行三維空間重建還原現場環境，並提供作為後續應用及分析之原始資料。

另為提升光達掃描成果之使用性，相關光達掃描成果資料，可利用本公司開發之「GIS支援平台」結合其他多類型圖資，藉由網路發布提供工程設計協作使用，發揮資料流通性及便利性，使本公司工程設計成果更臻於完善。

貳、地面光達作業原理

地面光達雷射掃描儀主要施測方法係由掃描儀發射雷射光束，再經由接收目標物反射之訊號，經由相位或脈衝時間差之計算推得距離，再配合儀器掃描角度求取反射物體的空間位置(如圖2)，在短時間內獲取大量待測物體的三維坐標點，稱為點雲。

地面光達掃描儀能夠快速有效率地蒐集豐富且高精度的3D點資訊，同時透過點雲後處理針對不同需求產製成果，並可藉由網路連接進行即時資料傳輸達到即時數據回傳的目的，或是將點雲成果發布於3D GIS支援平台進行展示。以RIEGL VZ400i地面光達雷射掃描儀為例，掃描儀每秒最高可掃描120萬點，測距最長800公尺，點雲之精度可達3mm，地面光達系統規格表如表1。掃描儀內置GNSS定位系統，於透空良好處，透過天線接收衛星訊號取得站點之初始坐標，同時搭載NIKON D850單眼全幅數位



圖1 RIEGL VZ400i地面光達掃描儀

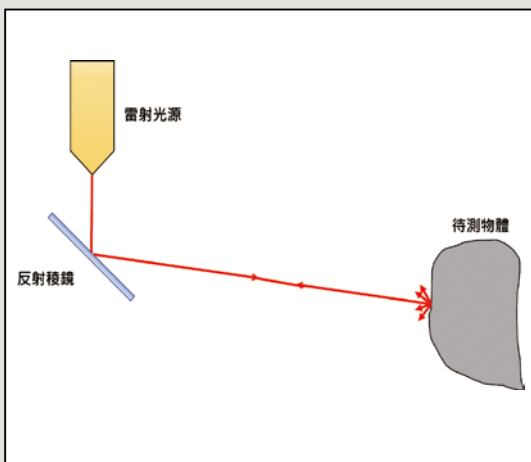
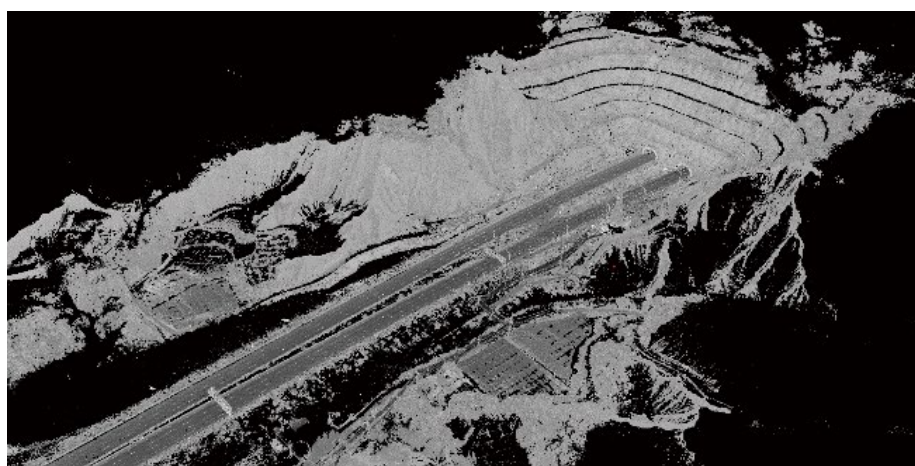


圖2 光達雷射掃描原理

表1 地面光達系統規格表

項目	規格
型號	RIEGL VZ400i
測量速率	42,000~500,000 (meas./sec)
最大測量距離	800m
最小測量距離	1.5m~0.5m
精度	3mm
視野範圍(FOV)	100° 垂直/360° 水平
人眼安全等級	一級雷射(對人眼安全)
數位相機	Nikon D850 (4,575萬畫素)
地理定位	內置GPS輔助定位系統(精度2~5m)

相機，可將點雲資料套疊拍攝之彩色相片，賦予點雲真實色彩之效果，點雲模型成果如圖3所示。



(a)反射值點雲



(b)真實色彩點雲

圖3 地面光達點雲模型成果

參、地面光達實作應用

本公司自導入地面光達設備以來，已於各式工程環境及場域進行多項測試與實作。在進行光達掃描作業前，需先對欲執行之作業區域環境進行初步評估與瞭解，以確保作業人員安全，並確認預定設站位置通視良好。依照本公司過往經驗，使用RIEGL VZ400i地面光達儀，以能建置完整3D掃描場域為例，掃描站之間距約取10-20公尺為原則，若遇有障礙物遮蔽，則適當增加掃描站點，使掃描儀與待測物之間保持通視。此外，由於RIEGL VZ400i雷射掃描儀之掃描角度為水平角度360度、垂直角度100度(+60；-40度)，因此亦須注意掃描儀之掃描角度限制，確保點雲資料之完整性。本文將針對本公司使用地面光達進行幾項實作應用之案例進行簡要介紹。

一、中寮隧道北洞口道路面變形觀測

國道3號里程378K+300-378K+900路段(原為田寮3號高架橋)，此路段受車瓜林斷層與旗山斷層潛移錯動影響造成路面變形損壞，斷層示意圖如圖4。國道高速公路局為確保高速公路行車安全，自96年起辦理該路段改善工程，將高架橋改以柔性

之路堤替代，以適應持續之大地變位現象，然因斷層及大地變位影響持續存在，導致路堤仍持續有變位情況，影響道路平整度，因此本公司即針對此路段(約700公尺)之道路面進行地面光達點雲資料蒐集，道路點雲模型如圖5所示。使用道路面點雲資料建置不同時期DEM資料進行變位比較，觀察此路段道路面之變形情形。

本路段於109年5月開始，每月進行水準測量作業，每三個月進行導線測量作業，因此於現場布設有多個控制點，地面光達點雲即透過該等控制點坐標作為後續作業之基準，並透過結合定期執行之水準測量作業，觀察水準資料之高程變化與點雲建置之DEM高程變化是否有一致性。

本公司於111年度2月、11月於國道3號里程378K+300至378K+900路段進行地面光達資料之蒐集，為配合點雲資料蒐集之時間段，分別同樣採用111年度2月與11月之水準資料進行各水準點高程差計算。

圖6為111年度2月與11月之水準資料高程變化，產生之折線可用來觀察兩時期之高程變



圖4 中寮隧道斷層示意圖

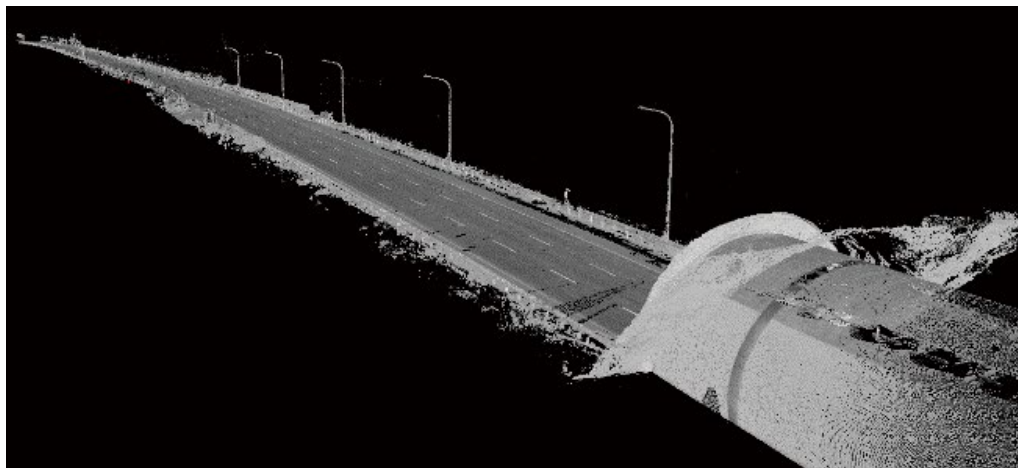


圖5 中寮隧道北上線點雲模型

化。由圖中可見於里程約378K+350至378K+600與378K+700至378K+900兩路段之水準點分布較為密集，且高程變化較為明顯。

圖7為點雲於北上線道路之資料，為減少點

雲資料之計算量同時提升運算效能，亦減少點雲資料拼接產生之誤差，將北上線道路點雲資料依里程區分為區域一(里程約378K+350至378K+600)與區域二(里程約378K+700至378K+900)(紅色框選處)進行點雲成果處理與分析。

點雲成果建置DEM差值網格資料流程如圖

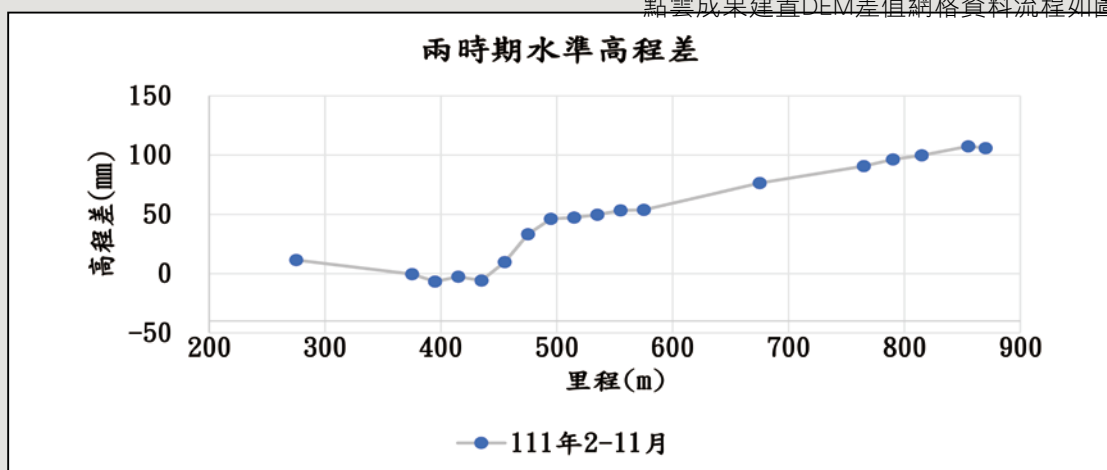


圖6 兩時期水準資料高程差

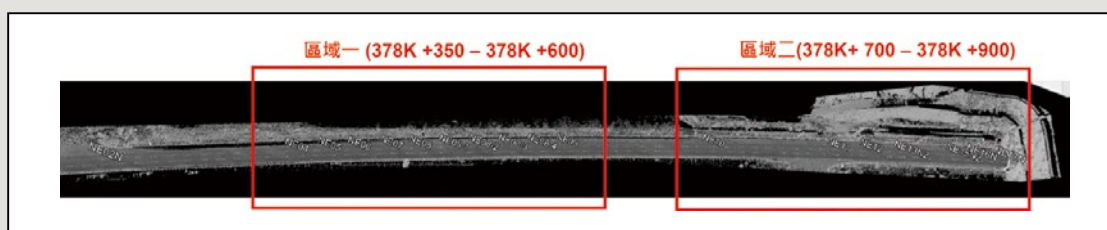


圖7 中寮隧道北上線點雲資料

8所示。將點雲成果透過地面擺設之控制點將點雲模型由相對坐標轉換為絕對坐標，點雲模型上每一個點即帶有精確之三維坐標。接著將離散點雲資料透過內插過程網格化，建置DEM資料，以本案為例，DEM網格大小為10cm。將不

於圖9中可見，在378K+375至378K+475之路段資料偏向冷色系，代表此區域於點雲成果中顯示為沉陷；在378K+475至375K+575之路段資料偏向暖色系，代表此區域於點雲成果中顯示為抬升。

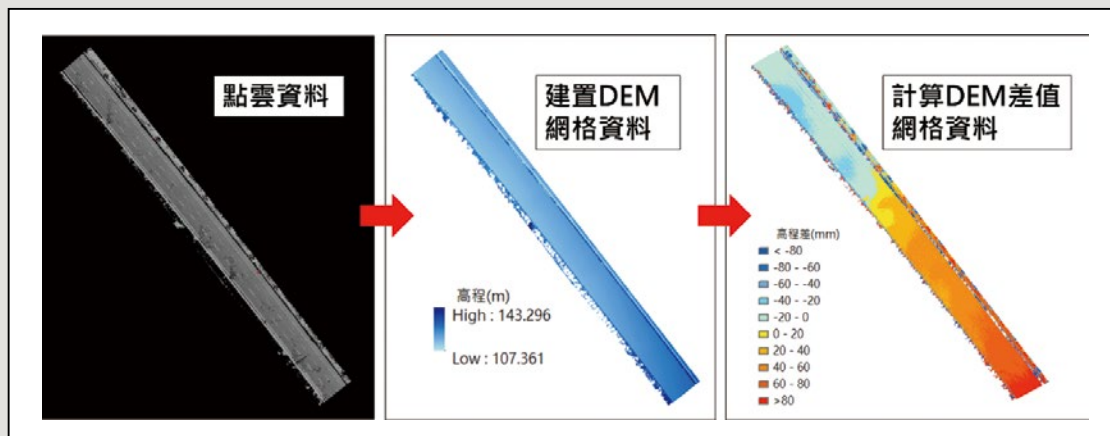


圖8 點雲成果建置DEM差值網格資料流程

同時期的點雲成果透過網格計算的方式，可產生不同時期之間DEM差值的網格成果，可用於進一步的分析。

圖9與圖10分別為區域一、區域二兩時期高程差值網格資料，若網格資料為負值，代表該區域之路面變化為沉陷，以冷色系表示；若網格資料為正值，代表該區域之路面變化為抬升，以暖色系表示。

於圖10中可見，在378K+650至378K+900之路段資料皆為暖色系，代表此區域於點雲成果中顯示為抬升，表示此路段隨著時間持續有抬升的情形。

圖11、12為區域一與區域二兩時期水準差值與點雲高程差值繪製之折線圖，由圖中可見，點雲與水準資料之高程變化大致吻合。

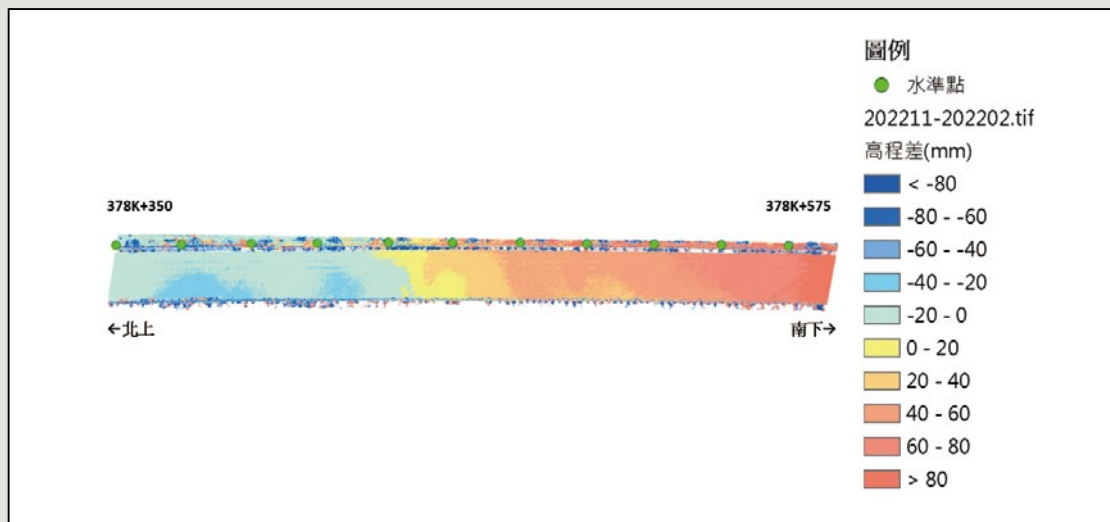


圖9 “區域一”兩時期高程差值網格資料

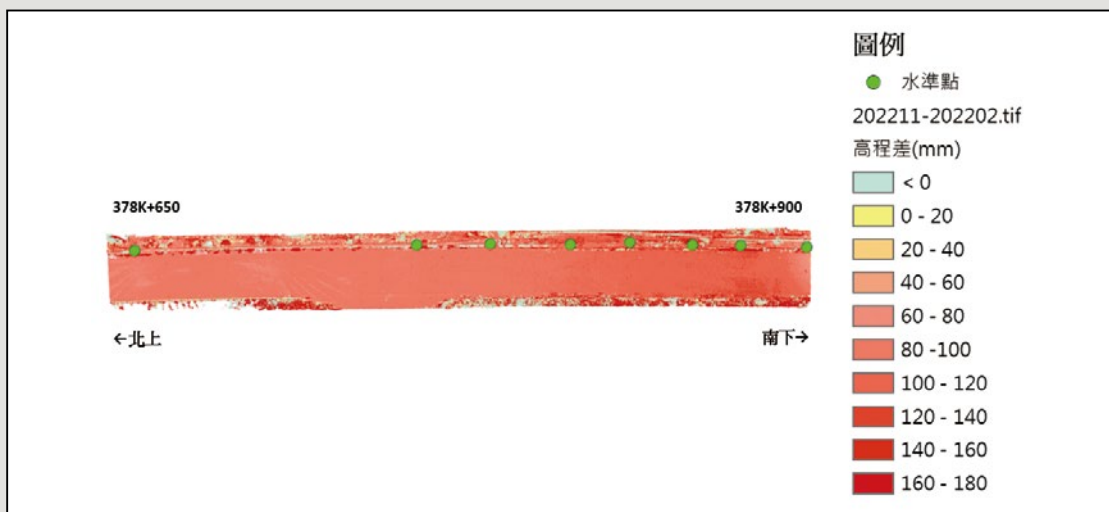


圖10 “區域二”兩時期高程差值網格資料

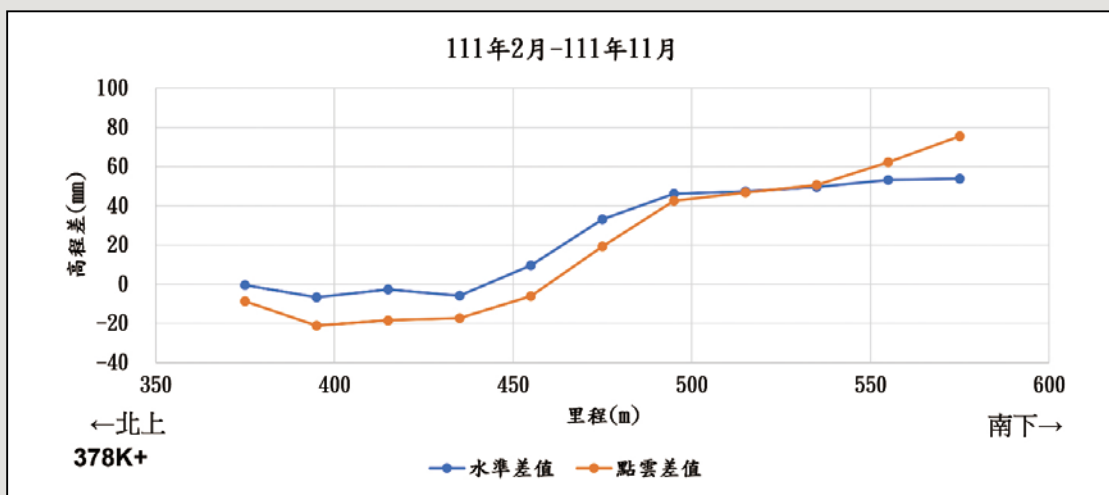


圖11 區域一兩時期水準差值與點雲高程差值比較

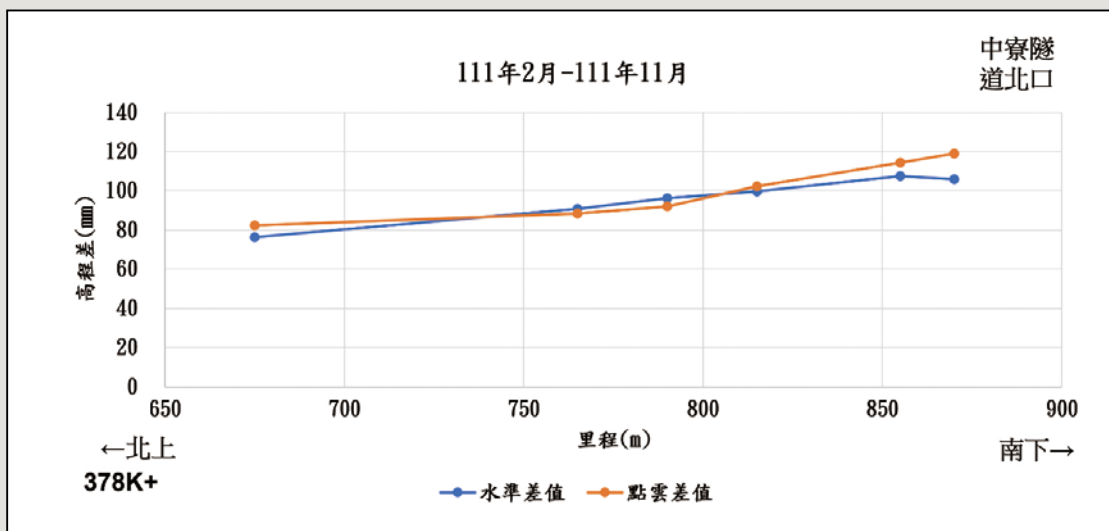


圖12 區域二兩時期水準差值與點雲高程差值比較

二、臺北市橋梁變化監測

本公司於107年即開始導入InSAR技術，針對各式不同場域(如：國道邊坡、地層下陷區、橋體結構變形等)進行長期監測。以臺北市松江橋為例，為使橋體結構於InSAR反射時能有更佳的效果，故於橋梁明顯變異處設置角反射器以增強InSAR資料之反射訊號。(角反射器係由三塊不鏽鋼構成等腰直角三角形，每邊長一公尺，如圖13。)

圖14為松江橋角反射器PSInSAR修正時間序列成果，根據成果顯示松江橋角反射器觀測期



圖13 角反射器示意圖

間具有季節性的變形型態，於110年4月到7月期間(平均氣溫升高)顯示有抬升的情形；於110年8月到12月期間(平均氣溫降低)顯示有沉陷的情形，討論後推測為季節性熱漲冷縮造成。

根據PSInSAR監測成果，松江橋於觀測期間具有季節性的變形型態，因此本研究欲藉由地面光達定期之掃描作業檢視，觀察角反射器於點雲中之變化狀況，亦能將成果與InSAR監測成果相互驗證比對。本公司於111年3、6、9月分別針對松江橋進行地面光達掃描，掃描點雲成果如圖15所示。

將點雲資料透過三次元測量於掃描站周圍測定之控制點進行坐標轉換，使各站點雲資料建立在相同的坐標系統下，透過各時期橋梁上角反射器角點之高程坐標變化，觀察橋梁是否有變位的情形。

另外，由於點雲資料各點之間相對精度高的特性，亦能透過於不同時期橋體結構點雲資料上，量測固定點與變異點之垂距變化，觀察橋梁之變位情形(圖16)，於本案例中，變異點同樣選定橋梁上角反射器角點作為變異點(圖17)，並於橋梁結構上選定於點雲資料中明顯可見應屬固定之結構特徵點作為固定點。最後，

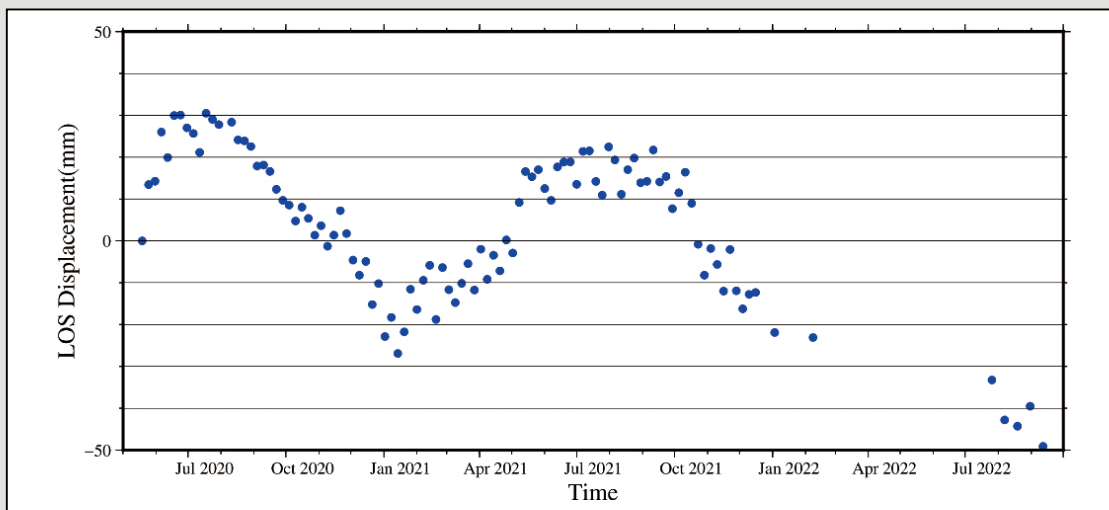


圖14 松江橋角反射器PSInSAR修正時間序列



圖15 松江橋點雲成果

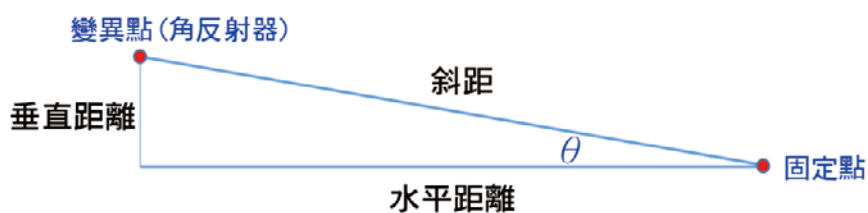


圖16 固定點與變異點觀測

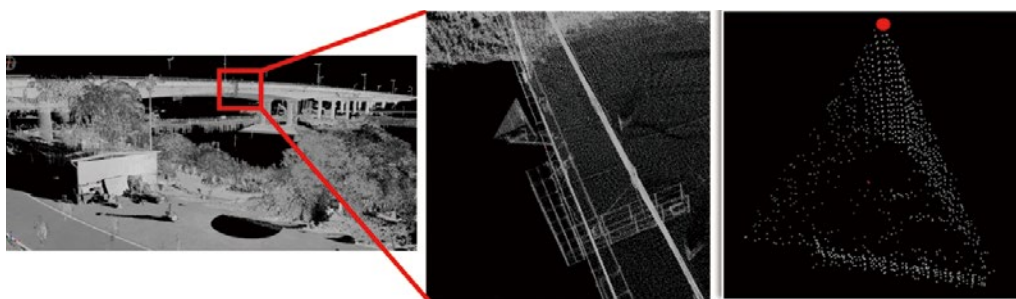


圖17 橋梁點雲資料中變異點(角反射器位置)

將以上資料結合衛星雷達InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar)監測成果，觀察點雲與InSAR之變化量是否有一致性。

圖18為松江橋各點位分布示意圖，在橋體兩側共擺設3個掃描站，南側兩站分別為S1、S2

站點，周圍布設4個控制點(SSS01至SSS04)用以進行坐標轉換；北側一站為N1站點，周圍布設3個控制點(SSN01至SSN03)用以進行坐標轉換。另外SS01至SS06為本案例中選定之六個位於松江橋橋體結構上之固定點，固定點主要選定能於各季點雲資料上可識別且應穩定不動的點

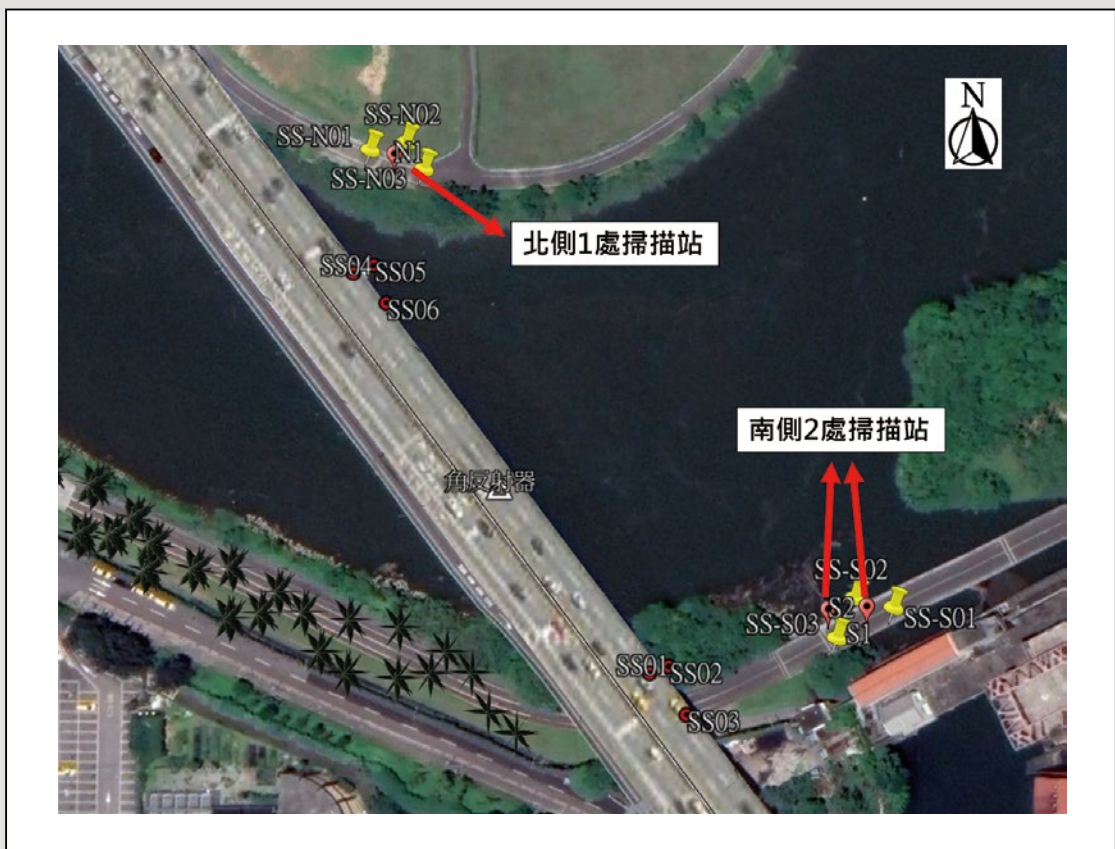


圖18 松江橋各點位分布示意圖(底圖取自於Google Earth)

位，並與變異點(角反射器角點)進行量測比對。

表2為松江橋變異點於南側S1站點與北側N1站點於不同時期進行觀測之高程差值。表3為於松江橋點雲資料中，選定6個固定點與變異點於不同時期進行觀測之垂直距離變化值。

觀察表2與表3可見，將第一期(3月)與第二期(6月)變異點高程差值與固定點、變異點垂距表2 松江橋變異點高程差值

變化進行比較，兩時期的變異點高程差值與垂距變化皆為正值，代表於變異處在此時間區段內可能有抬升的情形；第二期與第三期變異點高程差值進行比較，兩時期的變異點高程差值與固定點、變異點垂距變化皆為負值，代表於變異處在此時間區段內可能有沉陷的情形。

除了透過不同時期點雲資料之比對，本實驗欲將點雲成果結合InSAR監測成果進行比較。

掃描站	南側掃描站(S1)	北側掃描站(N1)
變異點高程差值 (第二期-第一期)	90mm	85mm
變異點高程差值 (第三期-第二期)	-56mm	-48mm

表3 松江橋固定點與變異點垂距變化

固定點	SS01	SS02	SS03	SS04	SS05	SS06
固定點與變異點垂距變化 (第二期-第一期)	71mm	53mm	69mm	57mm	37mm	44mm
固定點與變異點垂距變化 (第三期-第二期)	-19mm	-10mm	-20mm	-23mm	-24mm	-36mm

圖19為松江橋之PSInSAR監測成果，於圖中可見在紅色框選處為2021年春季(約3至7月)松江橋角反射器之PSInSAR資料位移量，從2021年3月至2021年7月，點位有持續上升的趨勢，與上述變異點絕對高度變化或固定點與變異點垂距變化一致，變異處(角反射器位置)有抬升的情形；在藍色框選處為2021年秋冬季(約8至12月)松江橋角反射器之InSAR資料位移量，從2021年8月至2021年12月，點位有持續下降的趨勢，與上述變異點絕對高度變化或固定點與變異點垂距變化一致，變異處(角反射器位置)有沉陷的情形。

三、國道1號汐止交流道邊坡崩塌

111年11月1日上午於國道一號南向10K處發生邊坡土石坍落占用外側車道，國道一號南向汐止出口集散道管制封閉。本公司分別於11/4與11/8二次前往現場進行地面光達掃描作業，以三維點雲模型重建災害現場環境，如圖20所示。

若要透過地形之變化瞭解災害現場邊坡坍方之情形，可透過建置不同時期DEM(數值高程模型)進行比較。然而由於現場環境受大量植被覆蓋，原始三維點雲資料屬於地表點雲，不能直接進行地形變化分析，需透過點雲處理軟體，將原始點雲資料之雜訊，如車輛、人員、

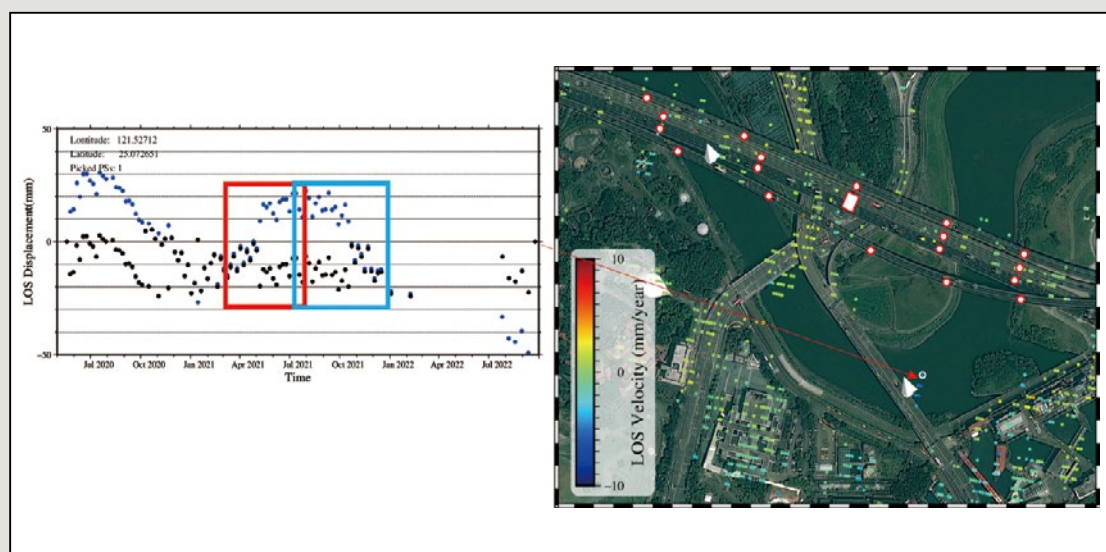
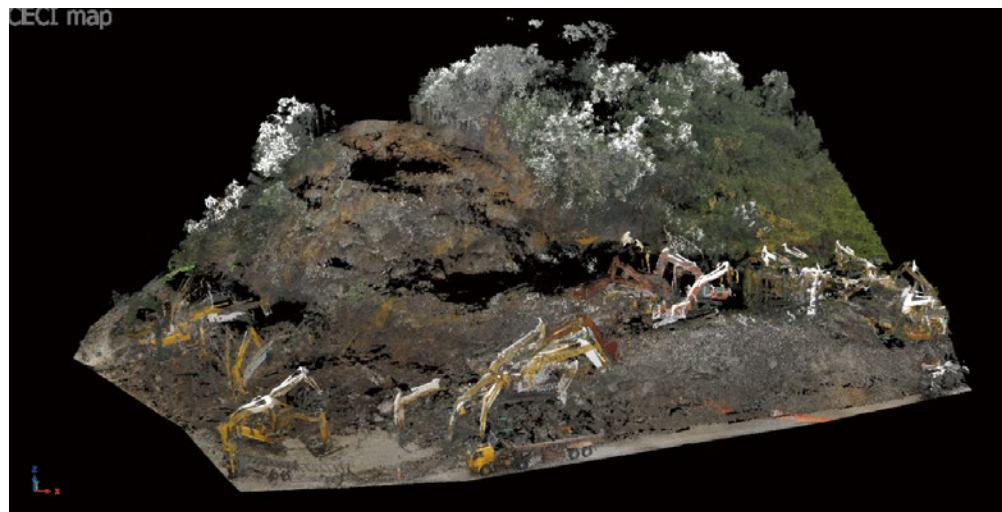
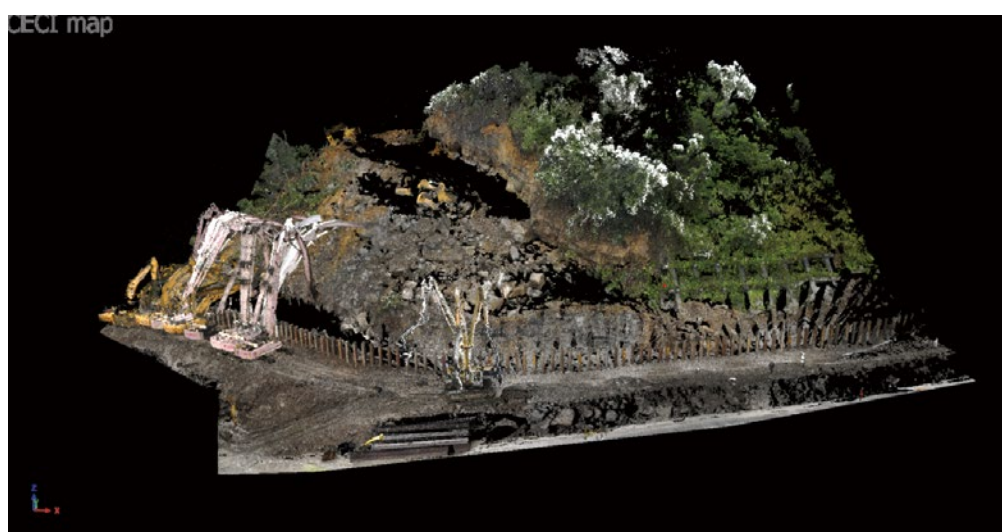


圖19 松江橋InSAR資料



(a)原始光達三維點雲資料(111/11/04)



(b)原始光達三維點雲資料(111/11/08)

圖20 國道1號汐止交流道邊坡崩塌點雲模型

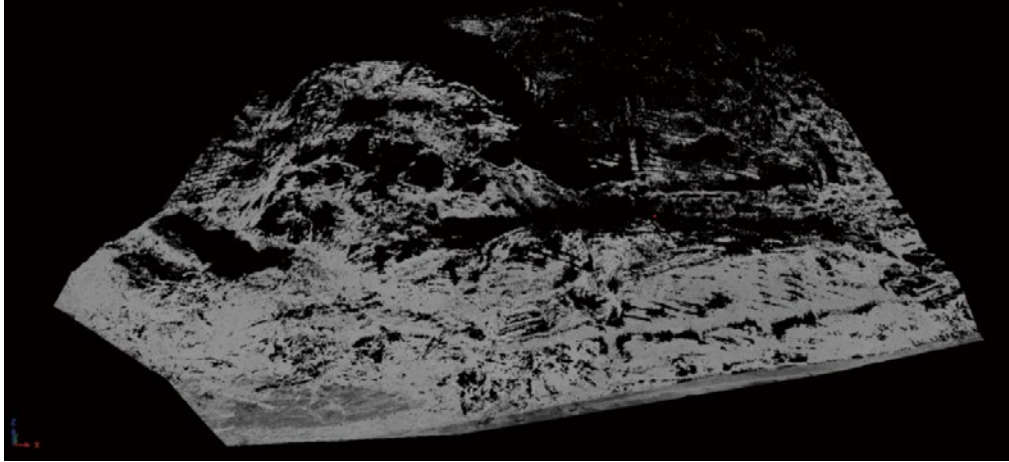
植被及其他離散點等濾除，將地面點雲資料萃取出來。

本案例使用Global Mapper軟體將地表點雲透過自動化的方式進行分類，萃取地面點雲資料，如圖21。於111/11/04進行掃描的原始點雲共約2400萬點，經處理後之地面點雲資料約1200萬點；於111/11/08進行掃描的原始點雲共

約7000萬點，經處理後之地面點雲資料約3800萬點。

將地面點雲資料，透過內插的過程將其網格化，建置網格大小為10公分之DEM資料，如圖22。

將不同時期的DEM資料進行網格計算，可



(a)11/11/04_地面點雲資料(約1200萬點)



(b)11/11/08_地面點雲資料(約3800萬點)

圖21 地面點雲資料

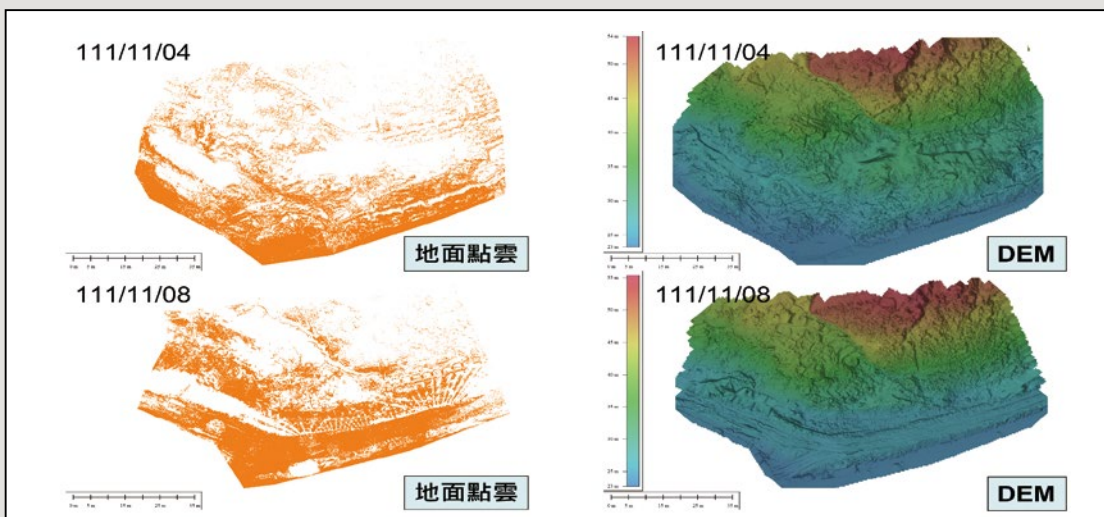


圖22 地面點雲與DEM成果

產製兩時期之高程差值網格資料。圖23為將高程差值網格資料以不同顏色代表坍方區域為崩塌或是堆積的情形，若該區域為崩塌情形，代表兩時期高程差值為負值，於圖23中以藍色顯示；若該區域為堆積情形，代表兩時期高程差值為正值，於圖23中以紅色顯示。

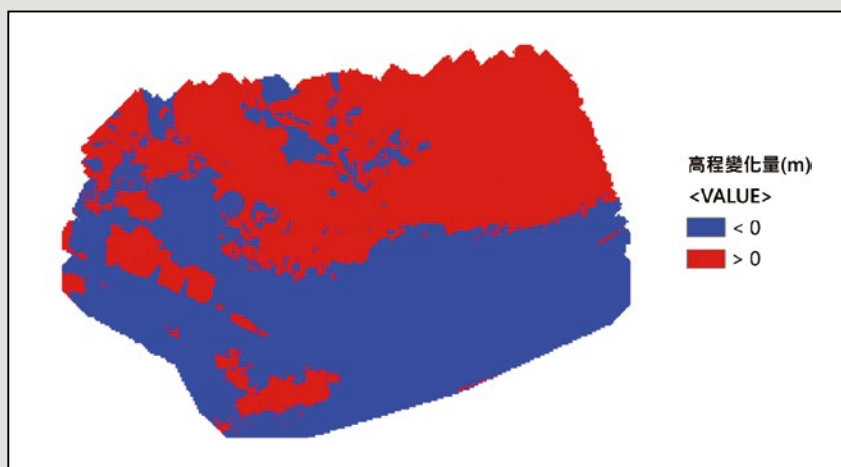


圖23 高程差值網格資料-不同顏色展示
(崩塌-藍色；堆積-紅色)

除了以不同顏色顯示，亦可透過兩種不同色系的變化代表沉陷或隆起的程度，分別為冷色系及暖色系，冷色系包含藍、靛、綠等色調，代表沉陷；暖色系包含紅、橙、黃等色調，代表隆起。如圖24，將沉陷區域以冷色系展示，若該區域沉陷情形較劇烈，則顏色呈現上越接近藍色；將隆起區域以暖色系展示，若該區域隆起情形較劇烈，則顏色呈現上越接近紅色。藉由圖中之顏色變化及顯示，可瞭解災區屬坍方區域、土石堆積區或土石清除情況等情形，進而協助災害之後續分析及救治。

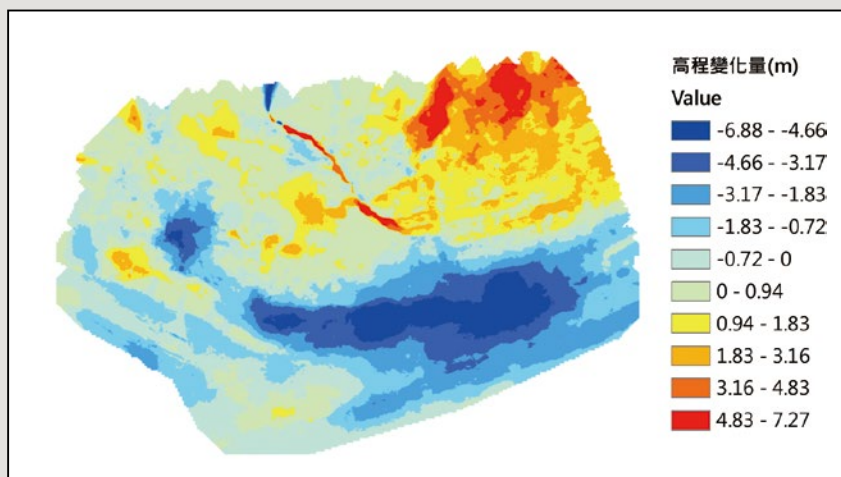


圖24 高程差值網格資料-不同色系展示
(沉陷-冷色系；隆起-暖色系)

肆、地面光達作業優點與受限

本公司自110年起導入地面光達設備於工程相關應用後，已於各式場景進行點雲資料之蒐集、處理及模型建置，應用面向包含道路面變形觀測、橋梁變化監測、災害現場環境重建、室內三維模型建置及結合BIM模型衝突檢查等諸

多領域，相關點雲成果已在工程應用上帶來相當多的助益，惟推動過程中也面臨相當多的挑戰與關鍵課題，本文亦針對光達作業之優勢與限制進行探討，茲歸納統整如下。

一、地面光達作業優勢

(一)地面光達相較於傳統測量(經緯儀)之單點測量成果，能夠提供豐富的點雲資料並具有高分辨率的特性。以道路面沉陷觀測為例，過往採用水準測量瞭解單一點位於不同時期的高程變化情形，點雲資料則可將其拓展為面

資料進行完整路面之高程變化分析。

(二)地面光達作業時不需進行定心、定平，減少外業之時間成本。

(三)地面光達可於掃描時同步取得周圍環境像片，將實景色彩貼附於光達點雲建構之三維空間環境，能夠進行實景輔助並提升場景現況之描述能力。

(四)地面光達點雲資料於剛性結構(如橋梁、建物及牆面等)具有很好的反射能力，故用於變形監測作業上有很高的應用潛力。

(五)地面光達資料經後處理可進行專案之建置，並用於光達點雲成果之可視化，透過發布於共通平台，可於瀏覽器內快速檢視點雲資料內容。

二、地面光達作業限制

(一)掃描儀發射之雷射光為圓錐狀，當接近目標物實單一光束投影在目標上之涵蓋範圍稱為footprint(如圖25)，當光束傳遞距離越遠，

則footprint之範圍越大，因此接觸到目標物所產生之點雲資料可能有外擴或內縮的情形，或與目標物之真實位置有些微差距(如圖26)。

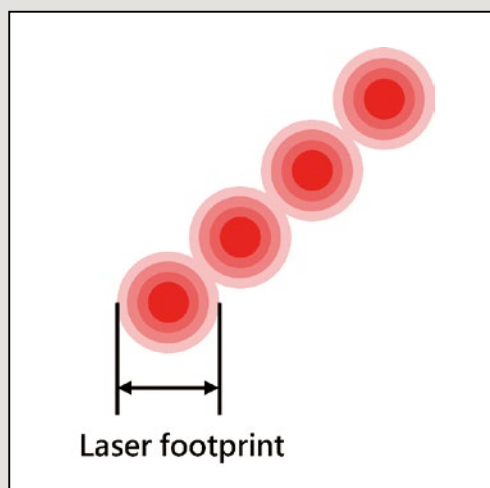


圖25 footprint示意圖

(二)地面光達掃描儀具有多重反射的能力，以 RIEGL VZ400i為例，發射單一脈沖能接收最多達四個反射回波訊號之點雲資料，可穿透植被，取得地面點資料，然若現場環境受植被覆蓋密度高，掃描儀雷射光束無法穿透植

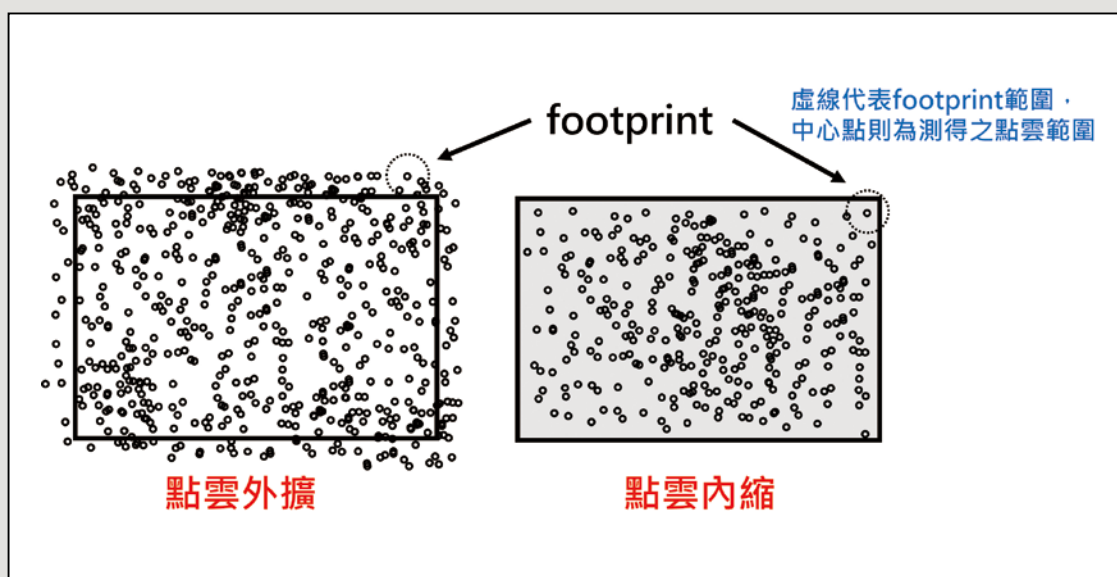


圖26 點雲外擴或內縮示意圖

被至地表，甚至幾乎沒有地面點的情形，將錯誤之地面點資料產製地形高程模型，可能造成地形模型與真實地形不符合的情形。

以國道1號汐止交流道邊坡崩塌為例，如圖27。植被覆蓋範圍之點雲資料進行植被濾除

與測量，將點雲成果進行坐標轉換，建立於相同之坐標系統下，使不同時期的點雲資料進行套疊。依照過往經驗，點雲成果之平面與高程精度約可達到1.5cm，若欲使用點雲資料觀察小於此尺度下之變位，可能造成分析結果與真實狀況不符合的情形。

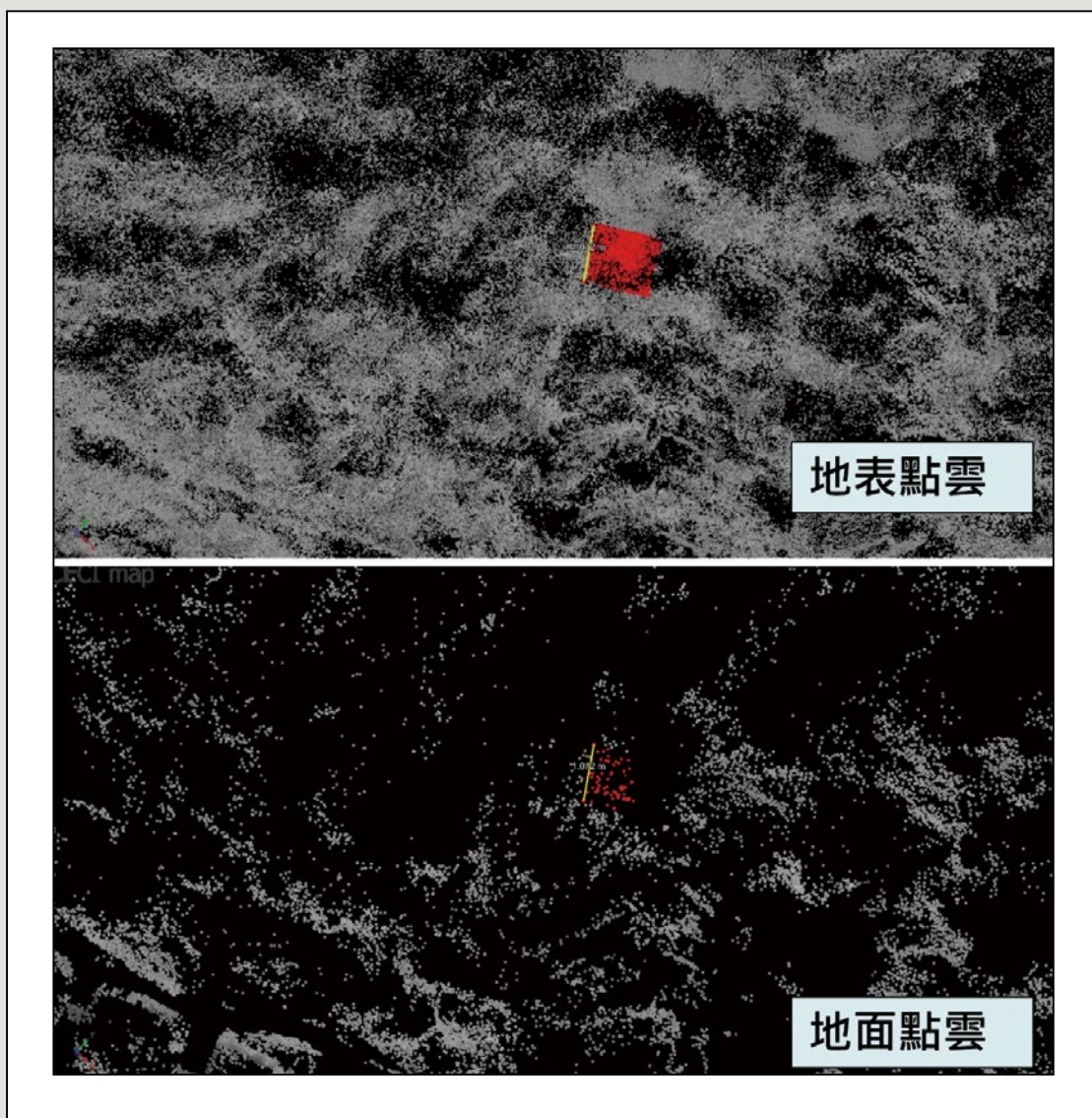


圖27 地表點雲與地面點雲示意圖

前，地表點雲密度約 $2717\text{pts}/\text{m}^2$ ；進行植被濾除後，點雲密度約 $66\text{pts}/\text{m}^2$ ，地面點雲密度有大幅降低的情形。

(三)地面光達點雲資料需透過地面控制點之布設

伍、GIS 支援平台展示光達點雲成果

如前述，本公司目前已完成多項地面光達掃描之成果，其資料該如何儲存並提供使用者

易於取得與觀看，是為重要課題之一。本公司已開發整合界面將光達點雲成果整合至本公司「GIS支援平台」，結合多類型圖資，藉由網路發布提供工程設計協作使用，發揮資料流通性及便利性，使本公司工程設計成果更臻於完善。

「GIS支援平台」為本公司提供各類型空間圖資及影像之圖資倉儲，其中有關3D圖台界面主要可供查看建物影像模型，原目的僅提供上傳3D模型供展示使用，而自111年起本公司致力於推廣「3D工程設計」，故3D資料整合運用愈發豐富，遂於「GIS支援平台」開發「3D工程設計」界面，可透過ArcGIS Portal整合多來源及跨

域之圖資，並搭配地圖互動操作。ArcGIS Portal圖台可支援UAV 3D Mesh模型、BIM 設計模型、CAD等多元之異質資料，並介接各類型的底圖。無須透過系統開發，即可快速建立網頁展示，提供規劃設計部門成果的彙整，可於電腦、平板或手機等裝置中即時查看，對使用上帶來非常大的效益，3D工程設計製作流程如圖28所示。

規劃設計部門可直接於平台提供3D工程設計連結對業主或民眾說明，免去展示軟體的安裝或硬體的限制。3D工程設計於GIS支援平台展示成果如圖29所示，點選對應之主題即可觀看。

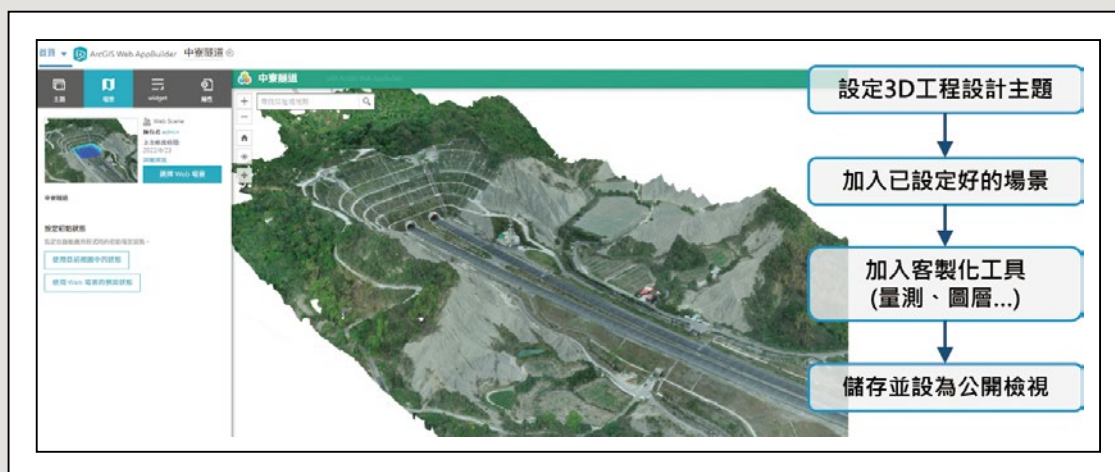


圖28 3D工程設計製作流程圖



圖29 3D工程設計於GIS支援平台展示成果

因應專案或防救災需求，本公司應用地面光達協助各種面向，如道路面變形觀測、橋梁變化監測以及災害現場環境重建等。將地面光達點雲資料、空拍後產製之3D Mesh資料且納入現勘照片及影片等等製作為3D工程設計案例。用於模擬災害現場環境，高度重現現場，避免於現場停留過久，且能提供後續改善。防救災案例如圖30至圖32為國道1號汐止交流道邊坡崩塌

場相關紀錄資訊。

目前已有多項地面光達資料結合3D資料的案例，如中寮隧道邊坡監測，本案例結合3D Mesh、光達點雲、水準資料(shp)以及DSM資料，如圖33為中寮隧道3D Mesh與光達點雲Mesh套疊呈現成果。



圖30 國道1號汐止交流道邊坡崩塌現勘照片點位記錄



圖31 國道1號汐止交流道邊坡崩塌光達點雲資料



圖32 國道1號汐止交流道邊坡崩塌3D Mesh影像模型

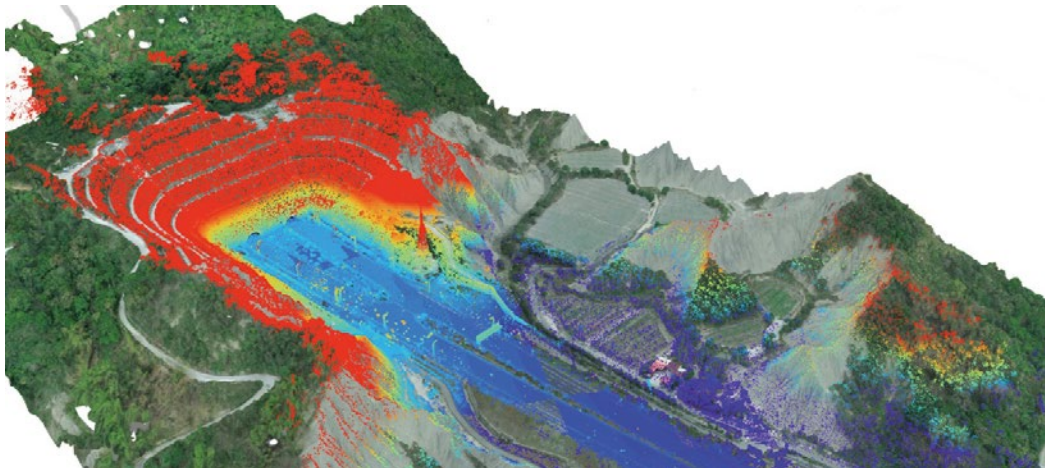


圖33 中寮隧道3D Mesh與光達點雲Mesh套疊呈現成果

陸、GIS 支援平台之3D圖台功能介紹

因應本公司對於3D設計自動化及視覺化之發展策略，加上商用3D GIS標準發展漸趨成熟，本公司所維運之GIS支援平台於民國107年度首度建立3D地圖館作為3D圖資之展示平台，並於108年逐步擴充至今。除前述之展示地面光達成果外，另有多項功能詳如下述。

統計截至民國112年1月，目前GIS支援平台中已蒐集自有3D模型57項、介接資料20項以及使用者自行上傳資料7項，並每月持續新增中。自行產製之建物、影像模型等，皆以ArcGIS Portal彙總發布網路服務，本公司UAV空拍團隊拍攝後經過產製為SLPK檔案，上傳至ArcGIS Portal並收藏於3D地圖館中。其拍攝與產製範圍涵蓋全臺各處，可供使用者查看及套疊運用。

除一般專案需求而拍攝之地標外，本公司也因應防救災需求，於災後拍攝並即時製作災損地點之3D影像模型。3D地圖館收藏模型如圖

34與圖35所示。透過點選地圖之地標點位，即可定位至該影像模型進行檢視，如圖36。

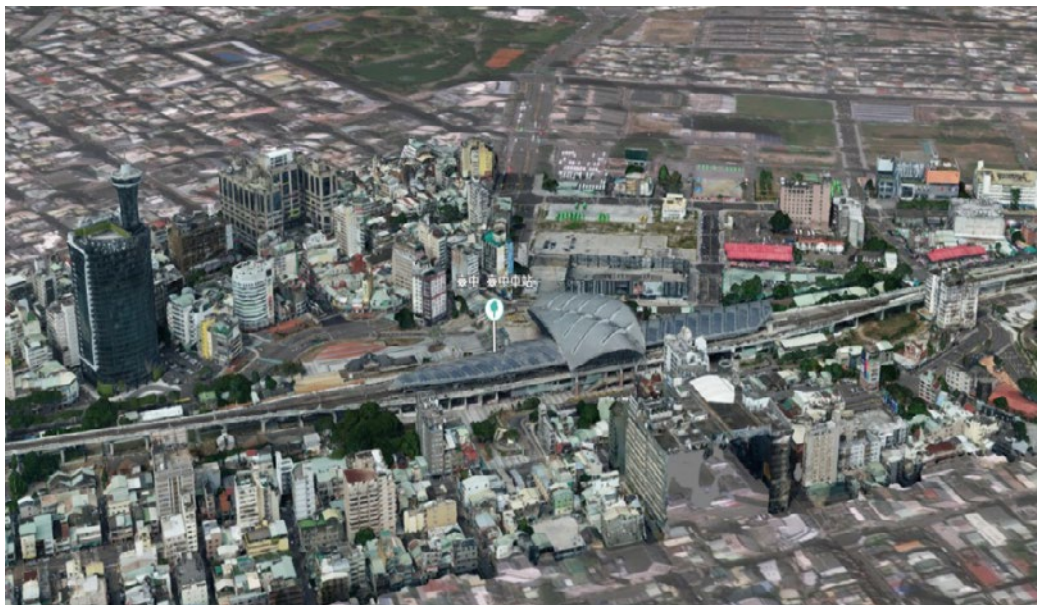


圖34 3D地圖館收藏-臺中車站3D Mesh



圖35 3D地圖館收藏-0402臺鐵太魯閣號事故3D Mesh

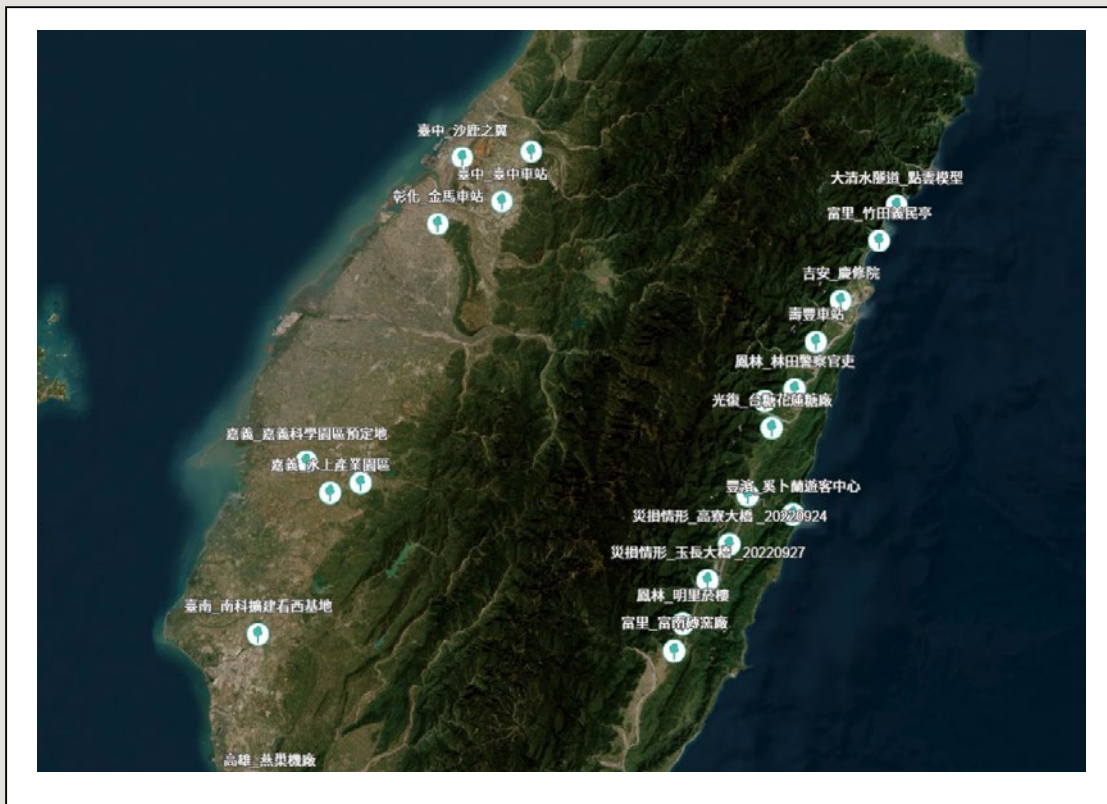


圖36 3D地圖館拍攝地標展示(部分)

柒、結論與未來應用展望

本文以地面光達掃描儀蒐集之三維點雲資料，用以建構災害或工程現場三維空間環境，並透過結合不同測量方法的實測驗證，瞭解光達技術於各種案例之可行性與侷限性，同時藉由GIS平台整合各式3D資料。綜合上文所述，歸納結論與未來建議如下：

- 一、根據上述案例，無論是道路資訊、橋體結構或災害現場，透過地面光達皆可建構三維空間環境，並進行各式分析，達到多元工程應用的可行性。
- 二、由於點雲資料檔案龐大，後處理人力、時間成本高，建議未來可以針對如何簡化點雲資料提升運算效能，並降低成本進行探討。

三、將異質資料(如空載光達點雲或空拍影像 Mesh模型)與地面光點雲資料進行整合並透過GIS 3D平台發布展示，亦是未來發展之重要課題。

四、期望未來能持續結合規設部門之作業需求，透過GIS 3D平台之整合，多元呈現工作規劃內容與設計成果，創造工程跨域加值應用。

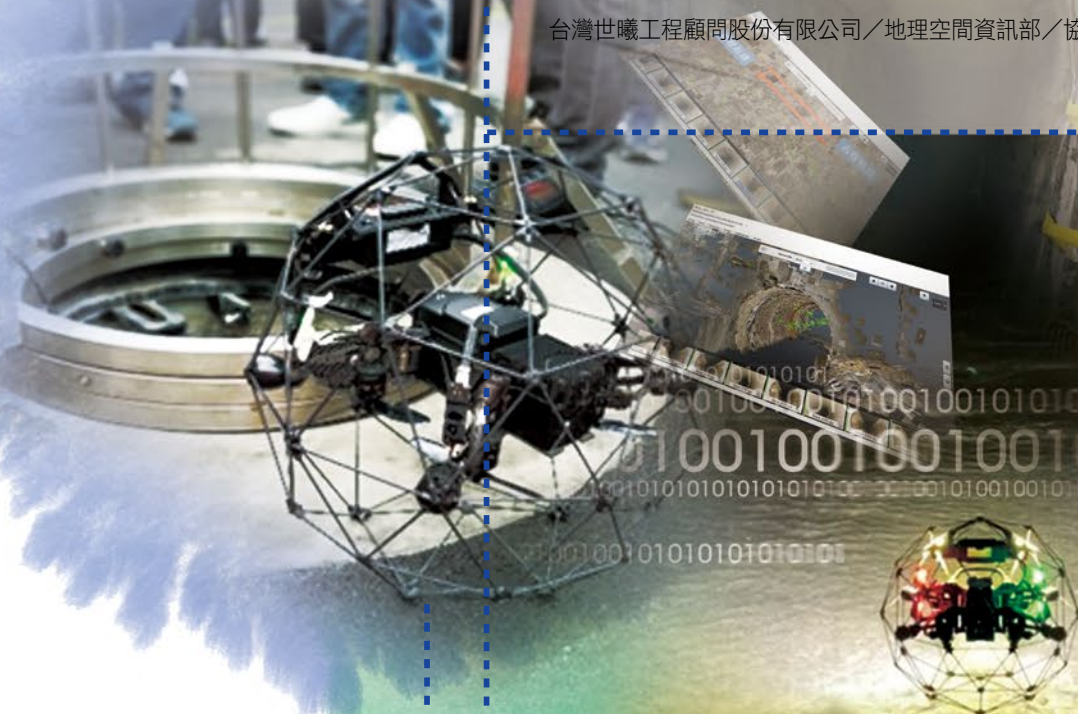
防撞無人機於 下水道之應用

關鍵詞(Key Words)：防撞無人機(Collision Resilient UAV)、下水道(Sewer)、下水道巡檢(Sewer Inspection)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／陳益凰 (Chen, I-Huang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／黃子珉 (Huang, Tzu-Min) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／協理／鄭宏達 (Cheng, Hong-Kuei) ❸



摘要

本文說明使用防撞無人機蒐集下水道內部影像及執行下水道巡檢作業，並擬定作業流程與限制條件。防撞無人機設計用於較困難的檢測環境，可克服下水道涵管內部「空間有限」及「光線不足」的限制條件，透過防撞無人機蒐集高解析度影像可輔助下水道巡檢作業，另使用Bentley公司ContextCapture實體建模軟體製作下水道涵管之「影像模型(3D Mesh)」，及使用地理資訊系統(GIS)軟體套疊「影像模型(3D Mesh)」與「管線模型(3D Model)」，可協助作業人員判斷下水道涵管內部缺失位置、屬性，及建置空間資訊模型作為紀錄下水道巡檢成果及輔助維護管理之作業平台。



Application of Collision Resilient UAV in Sewer

Abstract

This article describes the use of Collision Resilient UAV to collect images inside sewers, perform sewer inspection operations, and formulate operating procedures. Collision Resilient UAV are specially designed for more difficult environmental, it can overcome the "limited space" and "poor light" inside sewer pipe. Collect high-resolution images to provide follow-up inspection work. In addition, use Bentley's ContextCapture software to analyze the internal image of the sewer to create a "3D Mesh". By overlapping the "3D Mesh" and the pipeline "3D Model" in GIS software, we can judge the internal defects of the pipeline and establish a spatial information model.

3

專題報導

壹、前言

近年來空間資訊科技快速發展，因應各式需求而發展的無人機(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)技術與工具也蓬勃發展，UAV已成為空間資訊蒐集的利器，除了一般空中攝影、測繪或監測應用之UAV以外，如何應用適當設備執行下水道、管線、鍋爐、儲油槽等侷限空間巡檢，也是近年廣泛探討的課題。

本文說明執行國內下水道空間資料庫規劃建置專案時，因應各縣市政府下水道主管機關多採用專業人力執行下水道縱走調查，對於管徑較小的下水道涵管則採用閉路電視檢視車(TV檢視車)辦理涵管內部巡檢，另尋求可克服下水道涵管內部「空間有限」及「光線不足」限制條件之防撞無人機(Collision Resilient UAV)，實際執行下水道巡檢後取得下水道涵管內部影像(圖1為防撞無人機執行下水道巡檢作業情形)，據以研擬防撞無人機蒐集下水道內部影像之作業程序，並嘗試建置三維(3D, Three Dimensions)影像模型用於現況分析判釋，及結合地理資訊系統(GIS, Geographic Information System)管理下水道巡檢紀錄及維護管理。

貳、課題研析

辦理防撞無人機於下水道之巡檢應用，應考量人員安全、光源不足、空間限制、影像保存及整合地理資訊應用等課題，說明如下：

一、人員安全

下水道為侷限空間區域，進入內部作業具有一定的危險性，需要具有專業訓練的人員方能進入涵管執行縱走調查等工程措施，若採用UAV進入涵管巡檢，也應優先考量透過無線操控，避免人員進入下水道作業的風險。

二、涵管內部光源不足

下水道涵管內部並無人工光源，遠離已開啟之人孔位置後亦無法取得外部照明，執行巡檢任務的UAV需配備光源。

三、下水道空間限制

下水道涵管包含圓形管線的管涵與矩形管線的箱涵，其管徑(或寬度、高度)由數十公分至



圖1 防撞無人機執行下水道巡檢案例

數公尺不等，UAV的尺寸將影響飛行的可行性，同時也須考量人孔及人孔井進出空間(應扣除爬梯踏步尺寸)，對於管徑較大的涵管，則需留意拍攝影像解析度及光線照明條件。

四、保存數位化影像及整合地理資訊應用

無人機拍攝的影像可採用數位化保存，除了原始影片檔案外，可再後製產出巡檢重點標的相片，或製作為3D模型，並整合至GIS擴增應用層面。

參、採用設備及巡檢標的

研擬使用防撞無人機蒐集下水道內部影像，防撞無人機專為較困難的環境檢測而設計，坊間防撞無人機配備攝影機解析度可達1,200萬像素，加上輔助照明系統，應可克服下水道涵管內部「空間有限」及「光線不足」的限制，以高解析度之影像蒐集現場資訊，供應後續輔助檢測作業應用需求。以下說明應用案例之採用設備、巡檢標的及下水道人孔及涵管異常狀況。

一、採用設備

本文所述案例係採用Flyability ELIOS 2防撞無人機設備，其外觀為近似圓形球體，外圍包

覆碳纖維及鋁合金衍架(如圖2)，具有下列特色：

- 適合在狹窄、受限制的空間作業
- 不需要GPS (Global Positioning System) 訊號也能維持穩定
- 提供距離鎖定功能
- 可拍攝高解析度影片
- 內建照明

Flyability ELIOS 2巡檢無人機由「飛行器」、「電池」、「主鏡頭」、「照明系統」及「遙控器」等主要構件組成，項目規格說明如表1。

二、巡檢標的

以雨水下水道及污水下水道管線作為巡檢標的，於111年度完成數個下水道巡檢成果做為案例。圖3為防撞無人機現地作業情形，為求人員安全，需全程執行交維措施及侷限空間作業要求，除了以防撞無人機內建記憶卡錄製巡檢過程影片外，並透過操作遙控器與電視螢幕同步轉播飛行過程的即時影像，可讓飛手與其他現場人員瞭解飛行實況，圖4為防撞無人機拍攝下水道人孔外部及涵管內部影像。

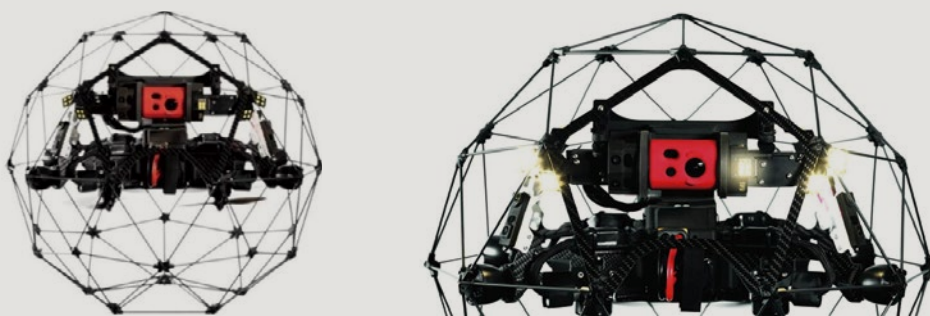


圖2 Flyability ELIOS 2巡檢無人機外觀

(資料來源FLYABILITY公司<https://www.flyability.com/>)

表1 「Flyability ELIOS 2」巡檢無人機硬體規格

類別	項目	規格	類別	項目	規格
飛行器	尺寸	包含球體 < 400 mm	主鏡頭	感光元件	1 / 2.3 CMOS
	電機	4個電動無刷馬達		照片格式	JPG
	螺旋槳	4個螺旋槳		影片格式	MOV
	起飛重量	< 1450克		錄製解析度	4k超高清：3840 x 2160，30 fps；FHD：1920 x 1080 30 fps
	最大飛行時間	10分鐘		瀏覽解析度	FHD: 1920 x 1080 at 30 fps
	最大上升速度	1.5公尺/秒		影片視角	水平114°，對角線130.8°
	最大降落速度	1公尺/秒		照片視角	水平118.8°，對角線148.6°
	最大速度	1.3公尺/秒（輔助模式），4公尺/秒（姿態模式），6.5公尺/秒（運動模式）		總垂直視角	大約260°（包括相機傾斜）
	最大俯仰角	0.15 rad（姿態模式），0.2 rad（輔助模式），0.3 rad（運動模式）		檔案存儲	MicroSD卡
	飛行控制感測器	磁力計，氣壓計和距離感測器	照明系統	模式	間接/防塵照明、關閉照明、選擇性/傾斜照明
電池	材料	碳纖維複合材料，鎂合金，高品質熱塑性塑料		光照明	10k照明
	操作溫度	0°C至50°C; 32° F至122° F	遙控器	最大傳輸距離	無障礙物情況高達500公尺
	額定容量	5200 mAh		重量	810克
	名義電壓	19 V		操作溫度	0° C to 40° C
	能源	98.8 Wh		電池	6000 mAh 2S
	充電時間	1.5小時		輸出端口	HDMI, SDI, USB
	淨重	550克		充電器	17.4 V / 57 W
	操作溫度	0-50° C			

（資料來源：摘錄自先創國際股份有限公司<https://www.esentra.com.tw/product/flyability-elios2-drones/>）

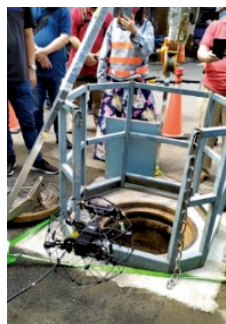


圖3 防撞無人機現地作業情形



圖4 防撞無人機拍攝下水道人孔外部及涵管內部影像

三、下水道人孔及涵管異常狀況

參考國內各下水道管理維護機關作業模式，需特別留意人孔是否遭覆蓋、人孔內踏步爬梯是否完整等影響進出下水道及道路鋪面品質的狀況，及管壁破損、涵管內部淤積阻塞、連接管未接合、纜線不當附掛或遭其他管線橫越等影響涵管排水功能的狀況，皆能透過防撞無人機巡檢影片瞭解實際狀況，圖5、圖6、圖7為下水道人孔及涵管內部影像，可查看淤積、破損、連接管脫落、突出或纜線垂落等狀況。

行下水道涵管內部巡檢，瞭解結構體破損、淤積、管線橫越、纜線附掛或其他排水障礙情形，作為後續安排修繕維護參考。本文採用防撞無人機蒐集下水道內部影像，巡檢範圍以2個人孔間涵管，或長度約100公尺的距離為原則，並使用拍攝影像建立空間資訊模型，整合GIS圖台輔助下水道維護管理工作。

作業流程如圖8，首先篩選適當的下水道作業標的執行防撞無人機攝影。防撞無人機攝影成果用於製作影像模型(3D Mesh)，另使用下水

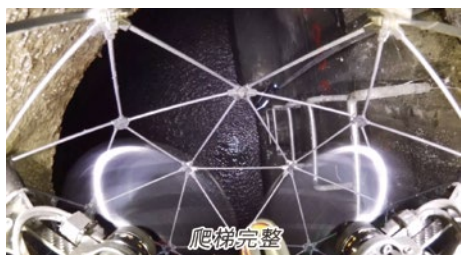


圖5 人孔影像案例



砂土淤積



破損



連接管脫落



連接管突出

圖6 涵管影像案例



底部水泥塊



15m處 右側纜線垂落

圖7 涵管影像案例

肆、建立空間資訊模型

雨水下水道為都市排水防洪之重要建設，主管機關透過人員縱走調查或使用相關設備執

道基本資料於GIS圖台上建置圖層(Layer)，再透過圖層套疊研判下水道管線狀況及對應的缺失位置。

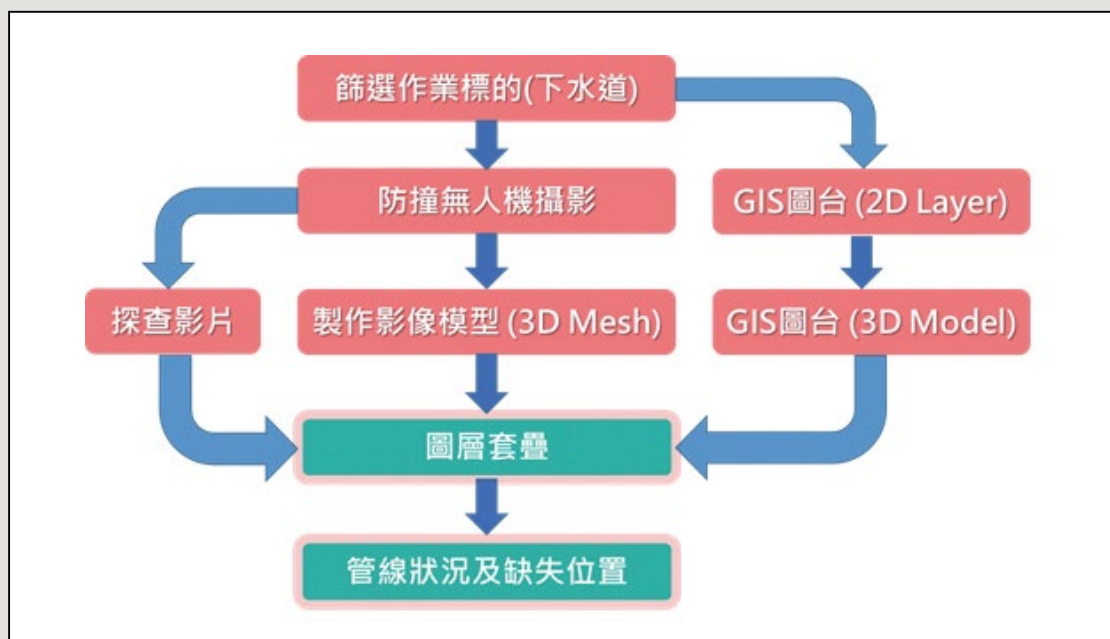


圖8 下水道巡檢及建立空間資訊模型之作業流程

一、篩選作業標的(下水道)

為配合防撞無人機硬體尺寸規格及攝影效果，下水道人孔直徑扣除內部踏步爬梯後應至少有40公分的空間，且涵管管徑應大於1公尺，本次篩選作業標的之下水道人孔直徑為70公分（扣除踏步爬梯後，有效孔徑約45公分），涵管管

徑為1.4公尺，符合防撞無人機飛行進出空間及攝影條件。圖9為透過下水道基本資料篩選作業標的，並標記飛行路線以利工作執行。

二、防撞無人機攝影

防撞無人機於下水道涵管內飛行及攝影取

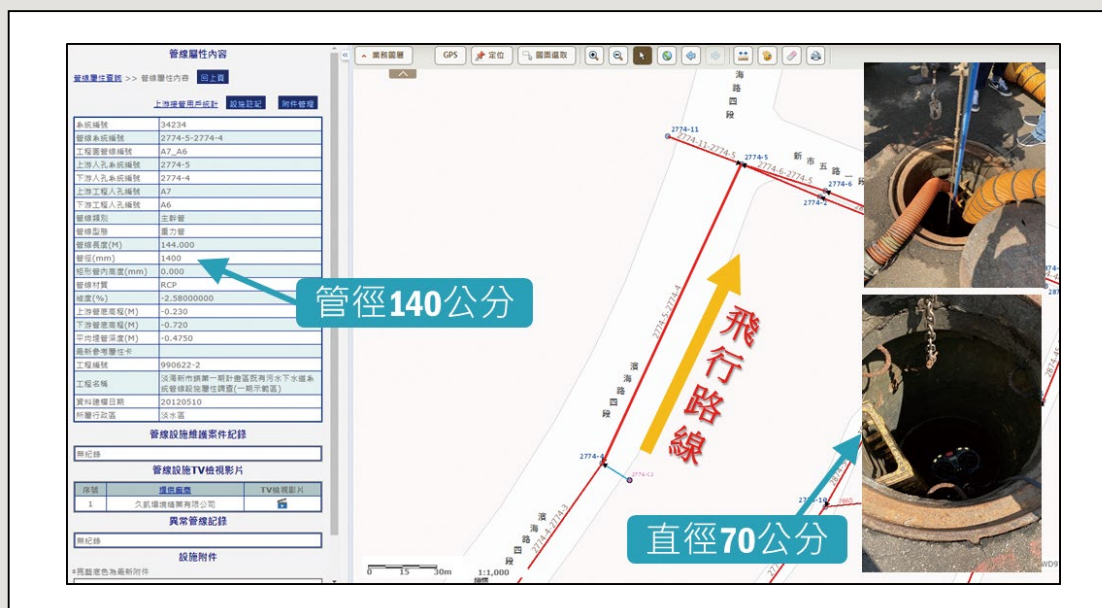


圖9 下水道基本資料及現場作業相片

得涵管內部巡檢影片，飛行過程為同一人孔進出，即每次飛行皆有往返航線。為獲取更多取像角度，共執行三段往返飛行，飛行時間分別為4分37秒、4分14秒、5分27秒，圖10為巡檢影片截圖，左圖為防撞無人機飛抵人孔底部，即將飛入前方下水道涵管，可見管線銜接修補位置，右圖為防撞無人機於涵管內的視景，前方可見涵管有漏水的情況。

三、製作影像模型(3D Mesh)

使用Bentley公司ContextCapture實體建模軟體製作「影像模型(3D Mesh)」，資料來源為三

段往返飛行影片檔案，經擷取獲得1,432張影像進行像元匹配後，取得601張影像組成像對，用於製作影像模型。圖11為防撞無人機飛行航線及影像匹配情形，畫面呈現下水道涵管壁紋理，紅色箭頭表示去程航線及返程航線，綠色方塊為各張影像投影中心，黃色區塊範圍表示取像角度。

圖12為使用防撞無人機影片所產製之下水道涵管影像模型(3D Mesh)，圖片呈現人孔底部朝向涵管內部的視角，涵管模型內部的綠色點位表示各張採用影像的位置，下方黑色區域為無法完成影像匹配之水體範圍。圖13為透過瀏

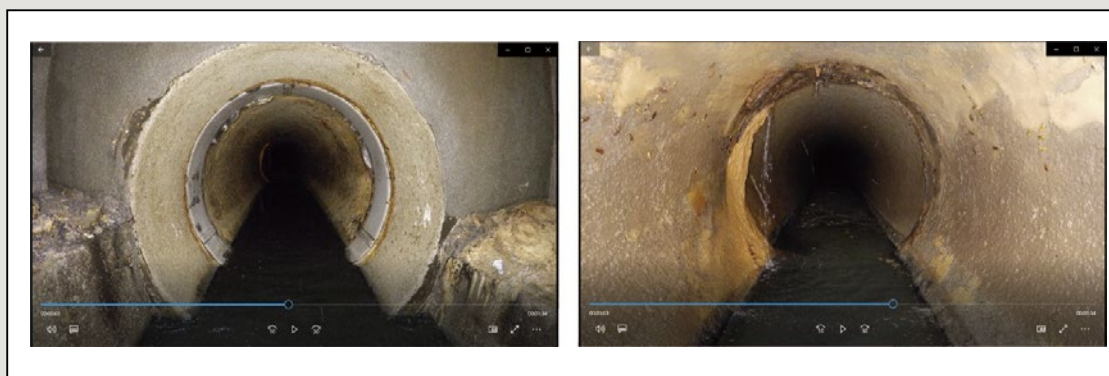
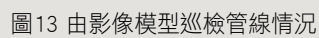
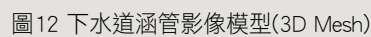


圖10 巡檢影片截圖



圖11 防撞無人機飛行航線及影像匹配



覽程式查看影像模型(3D Mesh)，可用於瞭解下水道內部情形，比對巡檢影片截圖發現管線修補及漏水的狀況，也可以在影像模型(3D Mesh)中找到對應的位置。

參照下水道GIS資料庫紀錄之人孔坐標、深度、人孔井尺寸(長度及寬度)，及涵管長度、管徑(長度及寬度)、管底高程等屬性，建立下水道3D模型(3D Model)如圖14，並於資料庫中建構下水道巡檢



資料表，用於紀錄下水道異常狀況，更可進一步擴充加入下水道維護資料表，追蹤記錄各項異常狀況的修繕情形。

五、圖層套疊判斷下水道異常及位置

使用地理資訊系統(GIS)軟體套疊下水道「影像模型(3D Mesh)」及「管線模型(3D Model)」，可透過影像瞭解下水道異常狀況(是否破損、淤積、管線橫越、纜線附掛)，並於管線模型上標記點位取得位置坐標，圖15為GIS操作畫面，左圖為套疊開啟影像模型(3D Mesh)，

右圖則為開啟套疊3D管線模型(3D Model)的畫面，另可使用軟體內建量測工具，取得管線尺寸、修補處與人孔距離或漏水處與人孔距離等屬性資料(如圖16)。

透過防撞無人機巡檢發現之下水道異常，可透過地理資訊系統(GIS)紀錄及應用，例如在地圖畫面查看下水道管網分布情形，及查看巡檢發現的異常位置(如圖17)，除了提供後續維護管理應用及追蹤修繕情形外，並能進一步分析常見異常類型及其熱點位置，作為維護管理人力調配或修繕經費編列之參考資訊。

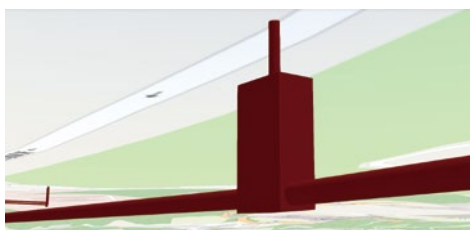
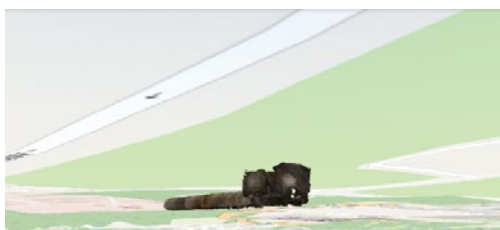
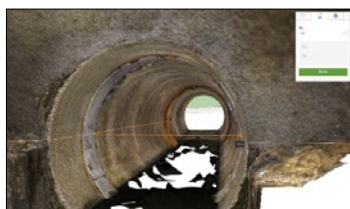
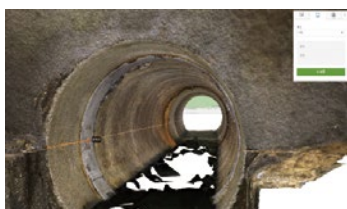


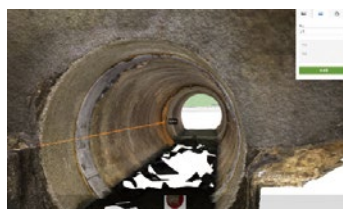
圖15 地理資訊系統(GIS)操作畫面



測量管線尺寸



修補處距離



漏水處距離

圖16 地理資訊系統(GIS)量測尺寸距離



圖17 下水道管網分布及巡檢發現的異常位置

伍、結語及未來展望

本文說明採用防撞無人機執行下水道侷限空間巡檢，透過無線方式遙控無人機飛行，可排除因障礙物造成傳統TV檢視攝影車無法行進的限制，並可避免人員作業之工安風險。並以防撞無人機執行巡檢任務所拍攝影片為基礎，製作下水道管線影像模型(3D Mesh)，透過地理資訊(GIS)圖台套疊管線3D模型(3D Model)，輔助判釋管線缺失、取得坐標及建立巡檢結果空間資訊。

除了下水道巡檢作業外，防撞無人機在國內外已有應用於其他工程或設備之案例，例如橋梁結構、輸送管道、鍋爐或儲存槽內部的定期巡檢任務，皆能提高作業效率、蒐集更多資訊及降低人員作業的危險性。對於防撞無人機於下水道應用，提出未來展望及發展建議：

一、電池及材料科技

防撞無人機電池電量，及照明系統等附載(例如攝影機、電池)重量皆為影響飛行時間的主要因素，期待未來科技發展增加電池容量，降低附載重量，能增加滯空飛行時間，可大幅提升應用層面。

二、小型化無人機

本案採用之防撞無人機，其外型為直徑約40公分之近似球體，再考量攝影機鏡頭焦距等限制條件，已成功執行之涵管最小管徑為140公分，若有產品化的小型防撞無人機，或可替代TV檢視車等現有設備，即可執行更小管徑的下水道巡檢作業。

三、建模技術及配套措施

由於下水道涵管內壁紋理並無顯著變化，建模成果會有因局部區域影像無法匹配而造成模型破洞的情形，且在模型上量測的尺寸、坐標位置等數值可靠度也較為有限，後續研究可探討在下水道內尋找特徵點等定位資訊，或使用多鏡頭攝影來取得立體像對等方式，提高下水道影像模型的精度及可靠度。

參考文獻

1. Flyability. WSSC Water, AECOM, And Flyability Collaborate To Deploy ELIOS 2 For Inspection Of Critical, Large Diameter Sewer. URL : <https://www.flyability.com/casestudies/sewer-inspection-aecom-wssc> , 2022.
2. 「下水道地理資訊系統整合及加值應用」工作成果報告書，台灣世曦工程顧問股份有限公司，111年12月。



橋梁安全與智慧防災——以桃園市橋梁安全管理系統為例

關鍵詞 (Key Words)：橋梁安全 (Bridge Safety)、智慧防災 (Smart Disaster Prevention)、
桃園市橋梁安全管理系統 (Taoyuan Bridge Manage System, TYBMS)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／馮漢夙 (Feng, Han-Su) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／馬子恆 (Ma, Zih-Heng) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／許家成 (Shiu, Chia-Cheng) ❸

桃園市政府養護工程處／橋梁隧道科／科長／呂國華 (Lu, Guo-Hua) ❹

桃園市政府養護工程處／副總工程司／姜志男 (Jiang, Zhi-Nan) ❺

桃園市政府養護工程處／副處長／高必嫻 (Gao, Bi-Xian) ❻

桃園市政府養護工程處／處長／劉軍希 (Liu, Jun-Xi) ❼

摘要

108年10月1日位於宜蘭縣蘇澳鎮的南方澳大橋意外斷裂及橋體結構坍塌，造成多名人員傷亡及船隻車輛損壞。在橋體坍塌後，因斷橋堵住航行通道，導致600多艘漁船無法進出，造成漁獲及財物損失。鑑此，中央及各地方政府加強境內橋梁檢測及維護作業，期望減少該類災害發生。

至111年底，桃園市政府現行轄管車行橋梁1,077座、人行橋梁150座、及車行地下道12座。針對轄管橋梁及地下道的業務管理、設施生命週期管理、經費規劃管控及防災應變作業，為桃園市政府養護工程處(以下簡稱養工處)橋梁隧道科的管理範疇。為改善桃園市橋梁於災前養護、災中應變及災後復原重建等災害管理流程，養工處於109年度起規劃建置「桃園市橋梁安全管理系統」(以下簡稱本系統)，作為桃園市橋梁長期維護之安全管理系統。本系統可適時執行橋梁及車行地下道封閉作業，同時掌握人、機、物、料等救災資訊，以利災後復原之調度參考，其旨在整合橋梁巡查、修繕之養護作業資訊，當災害發生時發揮災中應變之功能。本公司有幸於養工處指導下，彙整橋梁履歷資料、強化IoT橋梁水位監測及建置關鍵數據儀表板，以期完善橋梁安全作為。



Bridge Safety and Smart Disaster Prevention - Taking Taoyuan City Bridge Safety Management System as an Example

Abstract

On October 1, 2019, the Nanfangao Bridge in Suao Town, Yilan County broke unexpectedly and the bridge structure collapsed, causing many casualties and damage to ships and vehicles. After the bridge collapsed, more than 600 fishing boats were unable to pass due to the broken bridge blocking the channel, resulting in the loss of catches and property. Accordingly, the central and local governments have improved the inspection and maintenance of bridges, hoping to reduce the occurrence of such disasters.

According to statistics, there are 1,077 vehicular bridges, 150 pedestrian bridges, and 12 vehicular underpasses under the Taoyuan City Government. Handling the service and life cycle management, funding planning and control, and disaster prevention and response operations of the bridges and underpasses is the business of the Office of Road and Accessory Maintenance, Taoyuan(hereinafter referred to as the Maintenance Office). In order to improve the disaster management process of bridges in Taoyuan City, such as pre-disaster maintenance, response during disasters, and post-disaster recovery and reconstruction, the Maintenance Office has planned and established the "Taoyuan City Bridge Safety Management System" in 2020 as a long-term bridge management system for Taoyuan City. Timely executing bridge and vehicle underpass closure operations, and simultaneously integrating disaster information such as people, equipment, materials, and supplies help authorities in-disaster deployment and post-disaster recovery and reconstruction. The purpose of the system is to integrate maintenance operation information for bridge inspections and repairs and play a role in disaster response. Under the guidance of the Maintenance Office, our company is fortunate to collect historical data of bridges, strengthen IoT bridge water level monitoring and build dashboard in order to improve bridge safety.

壹、前言

至111年底，桃園市政府現行轄管車行橋梁1,077座、人行橋梁150座、及車行地下道12座。目前定期辦理橋梁檢測及業務性巡查作業，如災害發生，例如：颱風、豪雨或地震後，也會施行特別檢測，確保橋梁結構安全無虞，保障用路人安全。近年極端氣候致災事件時有所聞，為強化桃園市轄管橋梁於災前養護、災中應變及災後復原重建等災害管理流程，依災害類型及等級，適時執行橋梁及車行地下道封閉作業，同時掌握人、機、物、料等救災資訊，以利災後復原之調度參考，並整合橋梁巡查、修繕之養護作業資訊，當災害發生時發揮災中應變之管理系統功能。

為協助桃園市政府辦理橋梁管理作業，本公司提出整合規劃如圖1所示，在資訊安全的環境下，以資料層為基礎提供GIS圖形查詢，並介接外部資料及提供行動裝置應用。中間分析層主要是業務管理功能，可做為巡修分析及後續加值應用；最上層為決策層，進行時序數據分析及提供支援決策。本系統以既有資料為基礎，透過資料介接將個別系統所提供之參數資料，由系統進行整合、分析作業。未來建議開發各輔助分析功能，可使決策者、營運人員精

準掌握橋梁管理問題並迅速作出反應，提升決策管理與行政作業效率。

貳、橋梁管理執行課題

依據桃園市政府的橋梁管理需求，研擬五大執行課題，分別為管理範疇(Scope)、業務管理(Management)、主動預警(Automatic)、應變規劃(Response)及務實演練(Training)，如圖2。

一、管理範疇

承蒙交通部運輸研究所及臺灣地區橋梁管理資訊系統維護團隊協助，本系統介接車行橋梁管理系統成果及其它應用系統，以取得桃園市政府轄管橋梁的完整資料及巡檢、維修的內容，整合後可提供設備清查、維護及施工與巡檢人員使用系統資料整合及統計，如圖3。

二、業務管理

依據桃園市政府的橋梁管理需求，擘劃系統功能整體架構如圖4所示，包含：

(一) 圖資整合：將橋梁管理所需之圖資進行

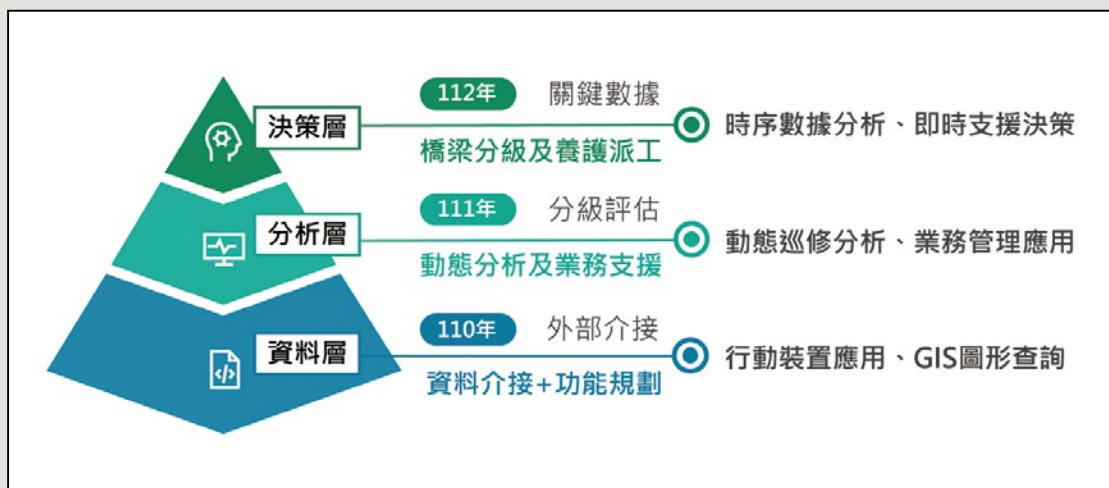


圖1 桃園市橋梁管理整合規劃



圖2 桃園市橋梁管理五大關鍵課題



圖3 系統資料整合及統計圖

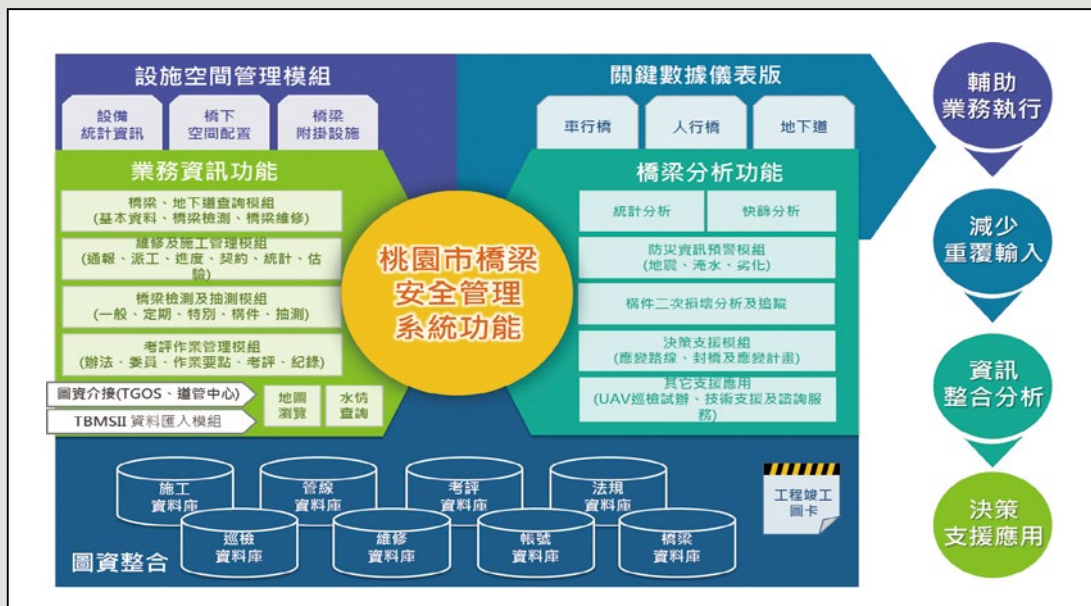


圖4 系統功能整體架構圖

整合，納入內容包括：施工、管線、考評、法規、巡檢、維修、橋梁等資料庫，及設計圖、竣工圖卡等實體檔案類型，整合至同一圖臺進行呈現。

- (二) 業務管理功能：業務管理功能包括橋梁、地下道查詢模組、維修及施工管理模組、橋梁檢測及抽測模組、考評作業管理模組、並介接圖資如TGOS、道管中心、車行橋梁管理系統、水情資訊。
- (三) 橋梁分析功能：相關功能包括統計分析、防災資訊預警模組、構件二次損壞分析及追蹤、決策支援模組。
- (四) 設施空間管理：功能包括設備統計資訊、橋下空間配置檢視、橋梁附掛設施資料查詢等。
- (五) 關鍵數據儀表板：為方便決策人員/管理人員進行查詢檢視，針對特定風險等條件，查詢出目標區域符合條件的橋梁或

地下道，並顯示其詳細資訊與展點在儀表板上，不僅可快速瞭解高風險橋梁分佈位置，亦可以加強派員巡查。本系統車行橋的關鍵儀表板成果如圖5。

三、主動預警

針對桃園市橋梁的耐洪示警及耐震示警規劃如下：

- (一) 耐洪示警規劃：颱風時期遽增河川流量導致河川水位抬升，當其接近梁底高程或漫淹橋面時，對於橋梁安全具有嚴重威脅，現階段多數橋梁管理單位，採用封橋水位做為防災管理方式，一般警戒水位為距梁底淨空1.5公尺，封橋水位為距梁底淨空1.0公尺，桃園市政府導入整合型智慧水盒應用，裝設於易淹水橋梁。透過NB-IoT即時傳輸，掌握水位變動情形，作為水位上升評估依據。關於耐洪示警規劃如圖6，功能畫面如圖7。



圖5 車行橋關鍵儀表板成果圖



圖6 易淹水橋梁耐洪示警規劃



圖7 易淹水橋梁耐洪示警圖

(二) 耐震示警規劃：依據公路總局公路養護手冊（交通部公路總局，2020）規定，震度4級立即巡查震區內優先關注邊坡；震度5強級立即巡查震區內橋梁。桃園市人口稠密，境內橋梁位居重大交通樞紐，對於震度4級(含以上)的震區內橋梁即進行追蹤，於災害發生後、重大事故或認為必要時辦理特別檢測（桃園市

政府工務局，2017）。當有感地震發生時，介接氣象局來源資料有二：其一是縣市行政區震度顯示，其二是有感地震報告，利用示警資料篩選出4級(含以上)橋梁，後續推播震後橋梁應檢視清單，並於系統列出相關資料供承辦單位檢視，如圖8及圖9所示。



圖8 橋梁耐震示警規劃



圖9 震後高風險橋梁巡檢排序圖

四、應變規劃

公共設施經由規劃、設計、施工、完工後，就會進入維護管理階段。每一個設施都會經歷養護生命週期的檢修歷程(如圖10)，從良好變成輕微損壞、中度損壞、嚴重損壞，因此要如何提早進行預防保養，就是管理單位的一項重要課題。



圖10 橋梁養護生命週期

(一) 功能設定輔助：桃園市橋梁以直接目視或間接目視方式檢測，並於檢測結果針對各構件之損壞情形，採用DERU方式進行評定。針對劣化程度(D)、劣化範圍(E)、劣化情形對橋梁結構影響性(R)等三項評定後，再評估該劣化構件需維修之急迫性(U)（交通部，2018；桃園市政府工務局，2017），分別給予0-4之評分，關於檢測評定準則如圖11。本系統參照檢測評定準則規定，當檢測成果U評定為3，系統設定1年內必須完成維修；檢測成果U評定為4，即刻通報承辦單位進行緊急維修，若有橋梁等級下降時，系統亦會主動提醒告知。

(二) 封橋預警機制：透過行動化即時通報功能，建立封橋預警機制（如圖12），可串連市府與各區公所封橋情資，協助統整各地業務資訊。本系統開發「分享地圖」功能，提供封橋標示位置給相關單位。

	0	1	2	3	4
D	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
E	無法檢測	10%以下	10~30%	30%~60%	60%以上
R	無法判定 重要性	微	小	中	大
U	無法判定 急迫性	例行維護	3年內維護 或持續追蹤	1年內維護	緊急維修處置

圖11 橋梁DERU檢測評定準則(資料來源：公路橋梁檢測及補強規範)

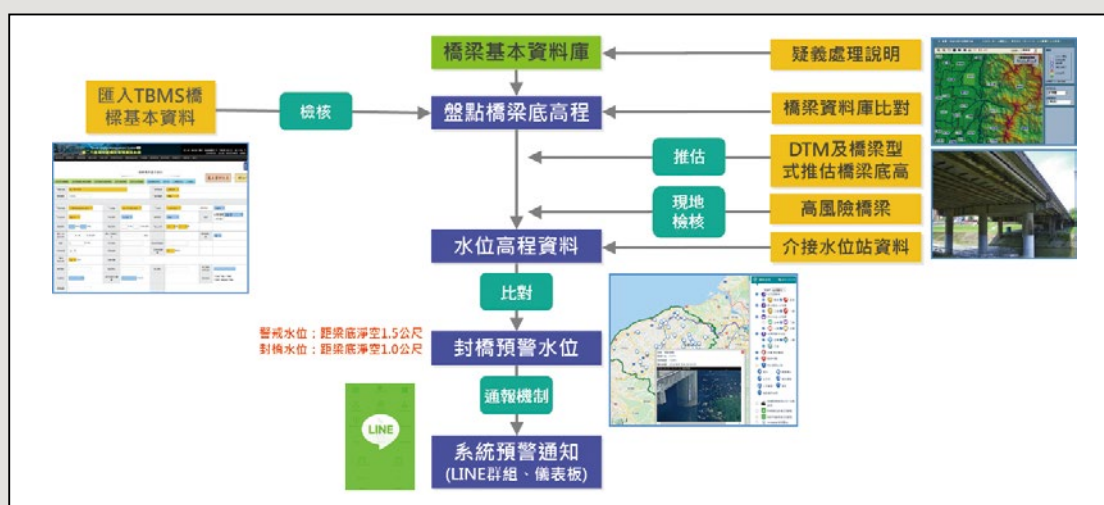


圖12 建立封橋預警機制作業流程圖

五、務實演練

為有效加速各單位間的資訊流通，於緊急狀況時提高應變作業效率，應研擬災害時的應

變演練作業程序（如圖13）及定時辦理橋梁封閉演練。在演練過程中，首先是模擬災害發生情境，例如當橋梁已達警戒水位(梁下淨空1.5公尺)以上時，依警示成立災害應變小組，人員機

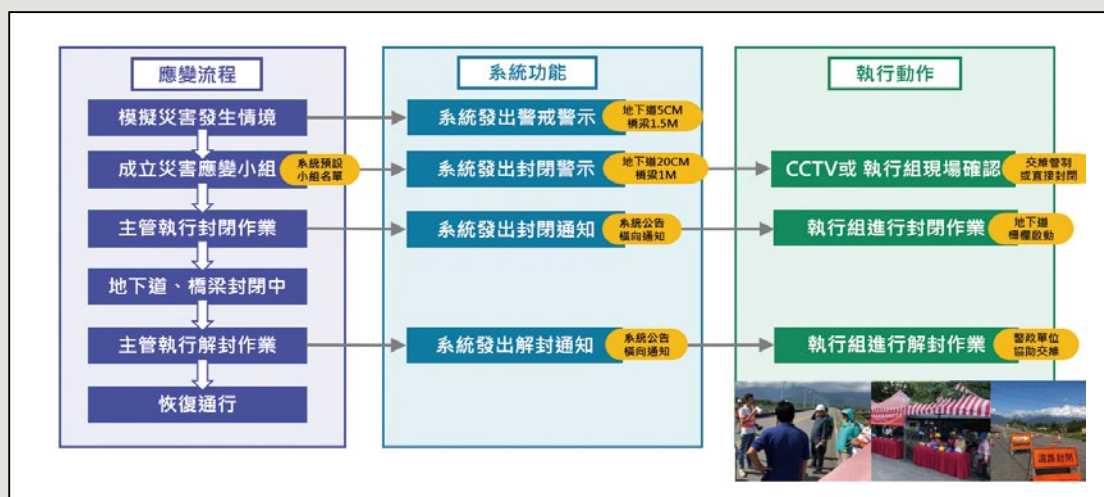


圖13 桃園市橋梁應變演練作業程序

具到達現場警戒；當橋梁已達封橋水位(梁下淨空1.0公尺)以上時，災害應變小組指揮官下達橋梁封閉指示，人員機具進行橋梁封閉作業。系統藉由IoT水位計進行偵測，當超出警戒值時主動以LINE群組通知示警，並於儀表板顯示封橋資訊。透過實際的橋梁封閉演練作業，未來當橋梁有發生災害危險之虞時，可提高應變作業時效，保障人民生命財產安全。

參、桃園市橋梁管理系統創新特點

為提升作業效率及完善防救災程序，桃園市橋梁安全管理系統增加示警主動通知、關鍵儀表板、橋梁地圖、橋梁二次損壞構件查詢及高風險橋梁分析等五項創新功能，以下分別從業管人員及巡查人員的使用情境，進行說明：

一、示警主動通知

本系統提供地下道的水位示警及主動通知功能（圖14），當地下道淹水水位大於5cm時會主動LINE訊息推播。以111年9月12日梅花颱風事件為例，當日因梅花颱風外流環境影響，造成桃園市強風暴雨，依據氣象局中壢雨量站

紀錄，3時至7時測得累積雨量達37.5mm。高城地下道於3時起有積淹水，測得最大積水深度21.41cm。藉由示警及主動通知功能協助，養工處業管人員及地下道巡查廠商可全程掌握地下道淹水現況。

二、關鍵儀表板

本系統設置關鍵儀表板，使用者可以立即查詢地下道影像及水位監測資料。以高城地下道的積淹水情況為例。養工處業管人員接獲LINE訊息示警主動通知後，立即從地下道關鍵儀表板中檢視地下道影像及積淹水情形（圖15及圖16），並可由鄰近雨量站資訊，研判未來淹水趨勢，以利判斷是否封閉地下道。

三、橋梁地圖

本系統建立桃園市橋梁地圖，提供業管單位/橋檢廠商/橋修廠商，精確掌握橋梁及地下道位置及基本資訊（圖17）。以蘆竹區的新莊一號橋為例，當橋修廠商接獲業管單位通知橋梁欄杆有毀損後，可使用手機、平板等行動裝置查看橋梁地圖功能，並可透過Google導航功能規劃路線，依指引前往現場進行處置。



圖14 地下道水位示警及主動通知圖

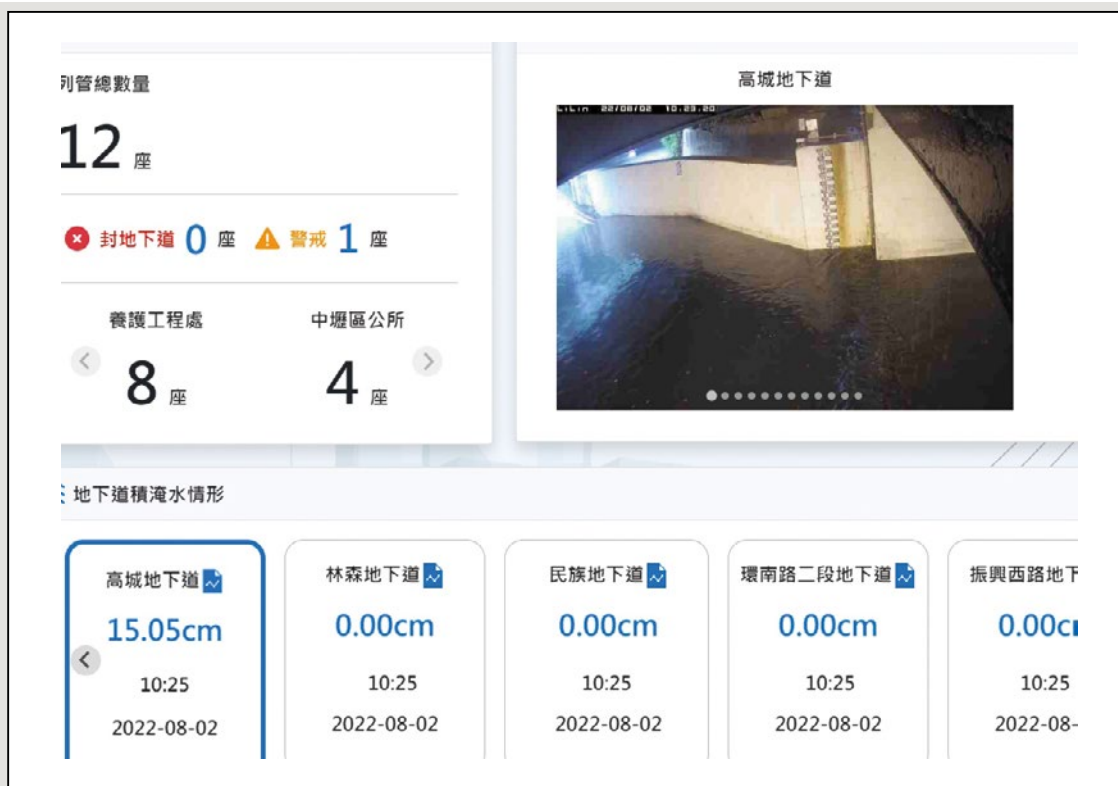


圖15 地下道關鍵儀表板成果圖

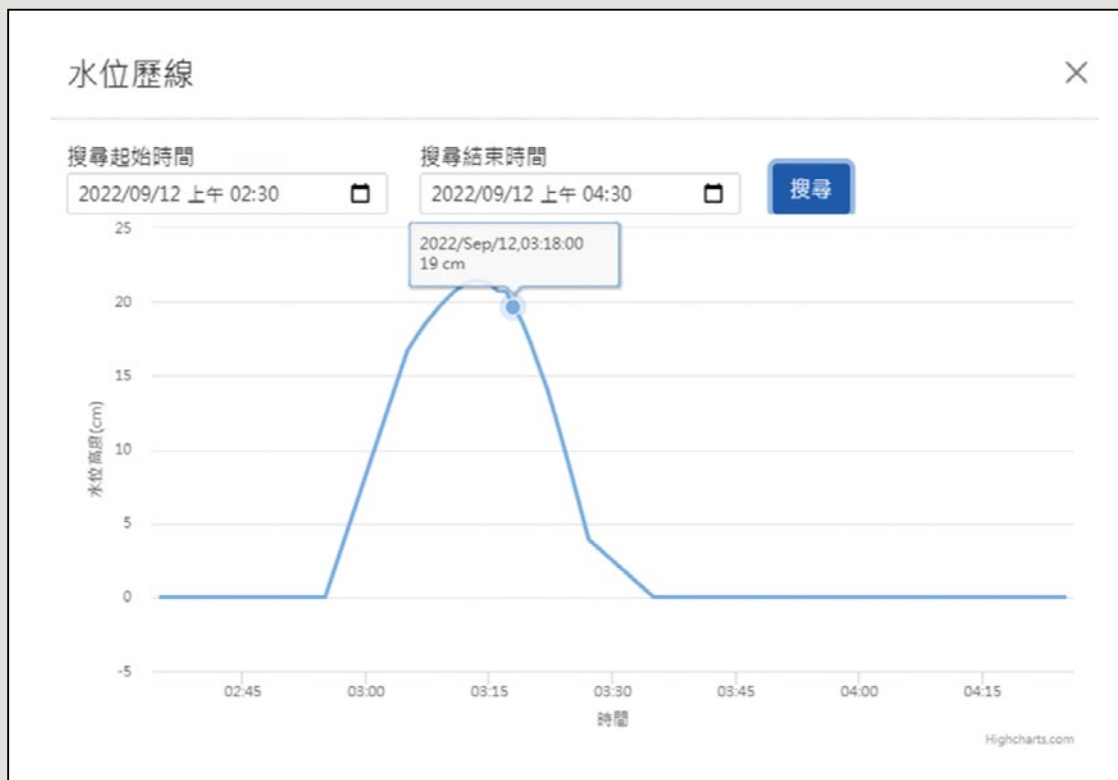


圖16 地下道淹水水位歷線圖



圖17 橋梁地圖及導航功能成果圖

四、橋梁二次損壞構件查詢

桃園市以兩年為週期，進行全市的轄管橋梁檢測作業。為瞭解橋梁構件是否有頻繁毀損的情況，本系統透過分析數據方式，設置橋梁的二次損壞構件查詢功能，使用者可依據構件類別、檢測年度進行檢索（圖18）。例如：業管人員查詢在2017至2022年間，橋梁二次損壞構件的結果，發現三七圳橋(桃104線)(8K+525M)的編號432731主梁構件，分別於2020/04/24及2022/05/20發現有損壞的情況，隨即將查詢結果提供橋檢廠商，分析短時間內重複損壞原因，並持續追蹤處理。

五、高風險橋梁分析

為初步掌握桃園市橋梁的結構安全性，擬依據風險因子之評估條件，例如：橋梁底淨高、河川水流特性、橋齡、橋址、橋梁本身條件等項目，針對承載力、耐震能力、耐洪能力等進行橋梁評估前的初篩作業。以耐洪能力評估前的初篩作業為例，橋梁經過初步檢測後，若認為耐洪能力有疑慮時，可考慮從是否為跨河橋、橋梁基礎型式、橋梁基礎深度等條件進行初篩作業，找出風險度較高的橋梁（圖19），再視需要進行耐洪能力評估作業。

桃園市橋梁安全管理系統

登入

< 隱藏導覽列

定期檢測與維修

構件檢測與維修

二次損壞構件

二次損壞構件

選擇構件：

主梁

選擇年份：

2017

 -

2022

Search this table

構件名稱：	構件	構件編號	病化	造成病化原因	維修狀況	日期
三七圳橋(桃104線)(8K+525M)	主梁	432732	腐蝕、鋼筋外露、銹蝕	混凝土結構腐蝕、鋼筋外露	已維修(維修編號35090)	2020-04-24
三七圳橋(桃104線)(8K+525M)	主梁	432732	混凝土結構腐蝕	混凝土結構腐蝕	未維修	2022-05-20
三七圳橋(桃104線)(8K+525M)	主梁	432731	腐蝕、鋼筋外露、銹蝕	混凝土結構腐蝕、鋼筋外露	已維修(維修編號35090)	2020-04-24
三七圳橋(桃104線)(8K+525M)	主梁	432731	混凝土結構腐蝕	混凝土結構腐蝕	未維修	2022-05-20
三七圳橋(桃104線)(8K+525M)	主梁	432730	腐蝕、鋼筋外露、銹蝕	混凝土結構腐蝕、鋼筋外露	已維修(維修編號35090)	2020-04-24
三七圳橋(桃104線)(8K+525M)	主梁	432730	混凝土結構腐蝕	混凝土結構腐蝕	未維修	2022-05-20

10 /

同一構件成對紀錄

同一構件成對紀錄

圖18 橋梁二次損壞構件查詢圖

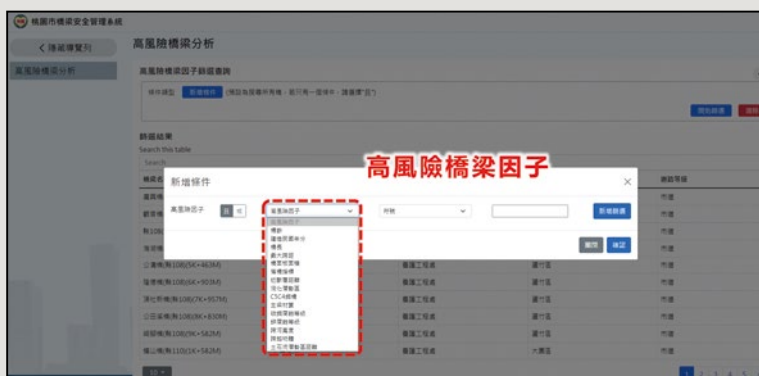


圖19 高風險橋梁分析功能圖

- 經評估後，針對橋梁的結構安全有疑慮時，視需要辦理結構安全評估作業，並提出改善方案。

二、地下道管理策略

- 全面設置CCTV及淹水感知器裝置。

肆、結語及未來建議

橋梁的業務管理、生命週期管理、經費規劃管控及防災應變作業，是管理工作最重要的一環。桃園市以成為宜居、科技、兼具優良文化與自然環境城市為目標，積極投入「桃園市橋梁安全管理系統」建置作業。透過資訊化系統輔助，協助建置桃園市橋梁履歷資料庫，並規劃全生命週期之橋管大數據，並提高圖資實用性及加值運用，以達成橋梁智慧管理之目標。

感謝養工處讓本公司有機會為桃園市服務，經由這次的服務過程，讓本公司對養工處所管轄的橋梁及地下道設施有更深度的認識，也了解如何結合本公司在橋梁檢測、橋梁防災、建築物耐震補強、橋梁應變計畫研擬、航空測量、地面測量及地理資訊系統(GIS)開發等多項的專業能力，透過與養工處討論及合作，提出在地化的解決方案及策略，以下提供未來建議如下：

一、橋梁管理策略

- 定期辦理橋梁檢測作業。
- 依據目視檢測結果進行耐久性評估，並針對橋梁損壞部分進行修繕。

- 辦理地下道的機電、照明等附屬設施盤點作業。
- 建置設備管理系統。
- 成立地下道監控中心。

三、增進橋梁IoT設備監測作業

養工處已針對20處易淹橋梁設置水位計，並依據耐久性評估結果，針對28處重點橋梁規劃安全性評估及監測作業。建議桃園市可於重點橋梁設置IoT設備，例如：水位計、CCTV、沉陷計、索力監測、光纖監測等裝置，可隨時掌握重點橋梁的情況。

參考文獻

1. 交通部公路總局，交通部公路總局公路養護手冊，2020
2. 桃園市政府工務局，桃園市政府工務局橋梁維護管理作業要點，2017
3. 交通部，公路橋梁檢測及補強規範，2018

空間資訊整合 應用系統實踐 智慧治理

關鍵詞(Key Words)：花蓮(Hualien)，空間資訊(Spatial Information)，三維(Three Dimensions)，
地政(Land Administration)，建築管理(Construction Management)，
智慧治理(Smart Governance)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／計畫副理／李明儒 (Li, Ming-Ru) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／協理／鄭宏達 (Cheng, Hong-Kuei) ②

花蓮縣政府／建設處都市計劃科／技士／彭子浩 (Peng, Zi-Hao) ③

花蓮縣政府／建設處都市計劃科／科長／賴宛秀 (Lai, Wan-Xiu) ④

摘要

花蓮縣政府自民國96年開始，委由台灣世曦工程顧問公司協助積極推動各類型空間資訊圖資及系統建置計畫，配合至今已逾15年。近年藉由花蓮縣智慧國土系列計畫，以專業顧問方式，輔助全府各種業務導入地理空間資訊應用，並整合圖資與各項資訊技術，由個別業務逐步串接各科室、各局處至跨中央機關空間資訊整合，持續深化推動關鍵業務圖資源頭介接，並建構花蓮3D數位孿生平台，將空間資訊基礎建設逐步落實。藉由上述完成之圖資與系統功能，花蓮縣政府亦逐步推動導入空間資訊於各項業務施政運作，並逐年推動示範型創新智慧治理計畫，本文介紹刻正進行中的兩個案例，包含空拍影像自動化處理，並輔助土地使用違規稽查及數位孿生花蓮輔助都市設計審議，說明綜合運用航遙測、圖資整合套疊及多維度圖台綜合運用成果。



Spatial information integration system for implementing smart governance

Abstract

CECI has been helping Hualien County Government with spatial information and system building since 2007. Through the Hualien County Smart Governance projects, they have been assisting various county business operations in integrating spatial information applications and connecting various departments and bureaus. They are also constructing the Hualien 3D digital twin platform to implement the spatial information infrastructure. The article highlights two ongoing case studies, including the use of aerial images for automated processing to investigate land use violations and the use of digital twins to assist in urban design review in Hualien

3

專題報導

壹、前言—花蓮縣政府空間資訊整合推動歷程

有鑑於政府於各項公務施政，諸如國土規劃、交通服務、觀光旅遊、土地資源管理、防救災、農業管理至稅務稽徵等各項應用，其業務性質均需結合跨領域高精度空間資訊整合及網路服務。花蓮縣政府自民國96年起，積極推動基礎圖籍資料轉為數位雲端服務，陸續將戶政門牌資訊、都市計畫區1/1000地形圖、正射影像、地籍地政資訊加以穩定轉換、整合套疊及穩定更新，並建置都市計畫、不動產系統及地理資訊倉儲系統，供應地形圖、正射影像、都市計畫圖、地籍圖、不動產實價登錄等服務，奠定空間資訊發展良好基礎。

於107年時，花蓮縣政府積極爭取，透過花東基金補助執行「花蓮縣智慧國土示範先期計畫案」，將縣府已收集建置之各項圖資及系統成果，加以統合，並擴充為「花蓮縣地理資訊整合應用平台」，其服務功能定位為花蓮縣政府全府地理資訊圖資及應用中樞，除積極蒐集花蓮縣各公務機關單位產製之空間圖資，加強圖資更新頻率及流通供應外，並開發多項業務

共通性關鍵應用功能及系統，輔助全府各機關業務所需。

推展計畫中除圖資及系統整合外，亦著重軟性之觀念及技術推動深耕，透過籌組全府地理資訊顧問團隊，以地毯式訪談，協助各業務機關釋出公務資料，提升關鍵基礎圖資數位化技術、支援輔導各局處強化資料空間化之加值應用，以達成「輔助智慧決策治理」目標。目前計畫執行於資料收納面、系統功能面、顧問輔導、教育訓練等面向，完成豐碩的成果，能輔助全府各局處業務需求，並發揮整體整合運用之效益。

因計畫推動效益良好，花蓮縣政府賡續於109年推動智慧國土第二期計畫案，延續前期計畫基礎，聚焦地理空間資訊結合先進資通訊技術，推動多面向整合深化應用，續以「智慧治理」，並增加「智慧防災」作為發展主軸，持續強化花蓮縣各公務機關之治理效能，提升防救災工作執行效率，並串聯官、學、產、研四方資源整合緊密合作之創新整合治理模式。台灣世曦工程顧問公司(以下簡稱本公司)協助花蓮縣政府進行空間資訊發展推動歷程如圖1。

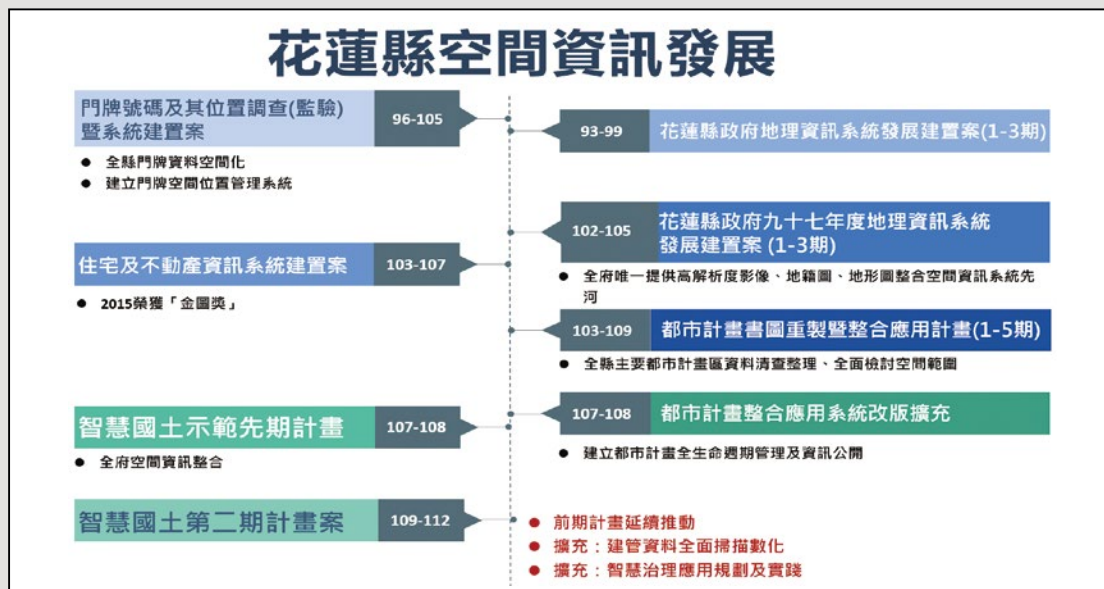


圖1 本公司協助花蓮縣政府空間資訊推動歷程

貳、花蓮縣政府空間資訊整合推動成果

一、空間資訊跨領域整合

截至112年1月，花蓮縣地理資訊整合應用平台共計整合203類944筆空間圖資，包含靜態圖資(180類)、動態監測/介接圖資14類、3D模型9類71項，本平台整合維運圖資類型/來源如圖2所示。

及跨域資料整合，其中代表性成果說明如下：

(一) 地政資料介接/全自動轉換

地政相關登記資料為各種業務依歸之基礎，然大部分的機關單位均苦於無完整、高頻率更新之拼接全區整合版地籍相關空間圖資，花蓮縣政府自103年開始，即透過與地政處密切合作，將其所管理之地政資料，開放源頭資料庫以符合資訊安全之方式，進行地政資料串



圖2 花蓮縣地理資訊整合應用平台圖資整合收納類型與數量

二、關鍵業務空間資訊直接介接原始資料

花蓮縣政府對於掌握關鍵基礎資料單位，例如地政處、稅務局，展開長時間跨局處溝通協調，以取得各業務機關原始基礎資料及資料庫直接對接方式，完成多種核心公務空間資訊(戶政、地政、都計、建管、稅務、工務)之關聯

接，並從無到有開發地籍圖資全自動轉換及更新系統，每日更新地籍圖、土地及建物登記資訊、公私有權屬、土地分割合併紀錄、實價登錄資料，並萃取登載於地政資訊內之重要資訊，例如原住民保留地、農舍登記等等，大幅提升全花蓮公務機關業務施政品質與效率。每日異動更新地政介接圖資成果如圖3至圖5。

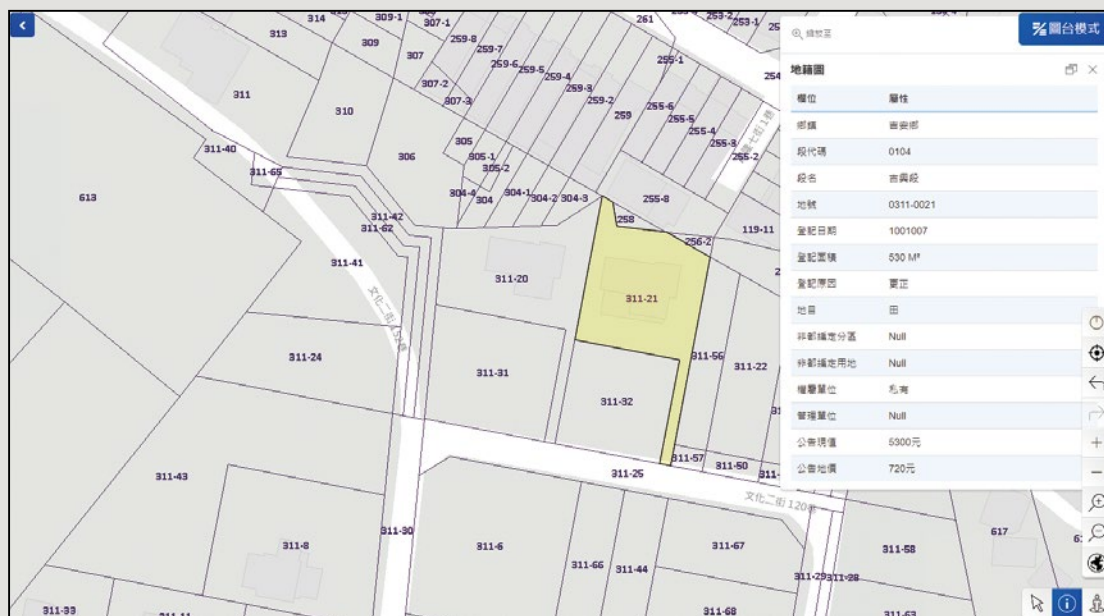


圖3 地政資料庫介接轉換每日更新地籍圖成果



圖4 公有地及公營事業(中油、台糖、台電、台水)用地權屬圖

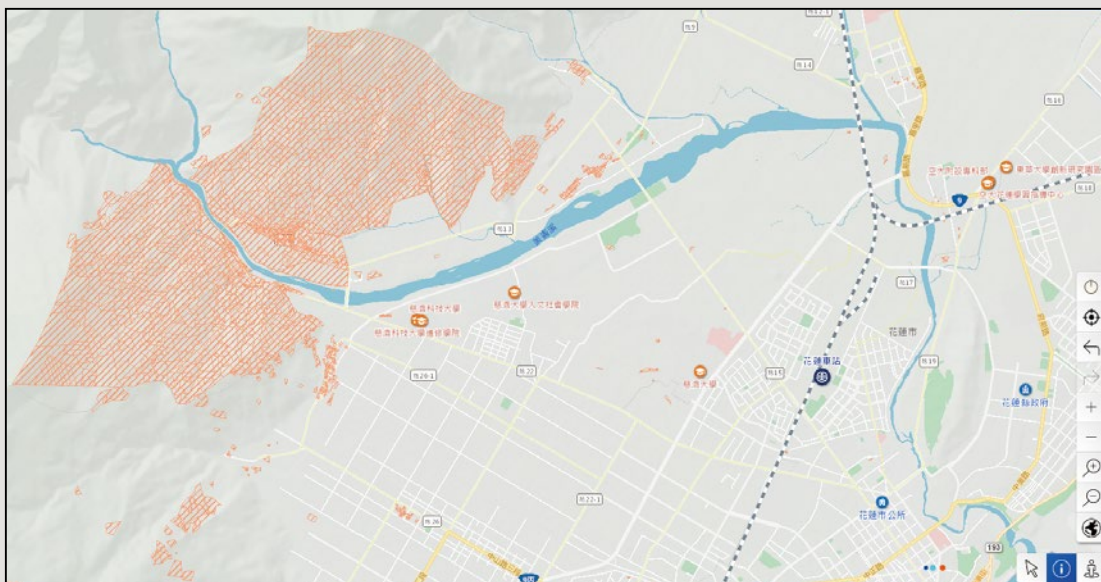


圖5 原住民保留地圖(透過地政登記資料擷取資訊)

(二) 建築管理執照資料回溯及建管資料庫完整介接

將花蓮縣政府管理之建築執照資料，包含建造執照、變更、使用執照等，進行全面資料回溯及資料庫架構重建，將舊有執照掃描、建檔，重新建置與內政部營建署相同資料標準之

建管資料庫，並與中央資料庫進行定時同步，完整取得建管執照資訊、執照生命歷程、執照所有申審文件及設計圖說，並且逐案依據案件門牌進行空間對位，定位建物空間坐標，使其可與其他業務圖資套疊，以利比對、分析。建管資料回溯建置架構、執照空間範圍定位及執照資訊系統查詢成果如圖6至圖8。

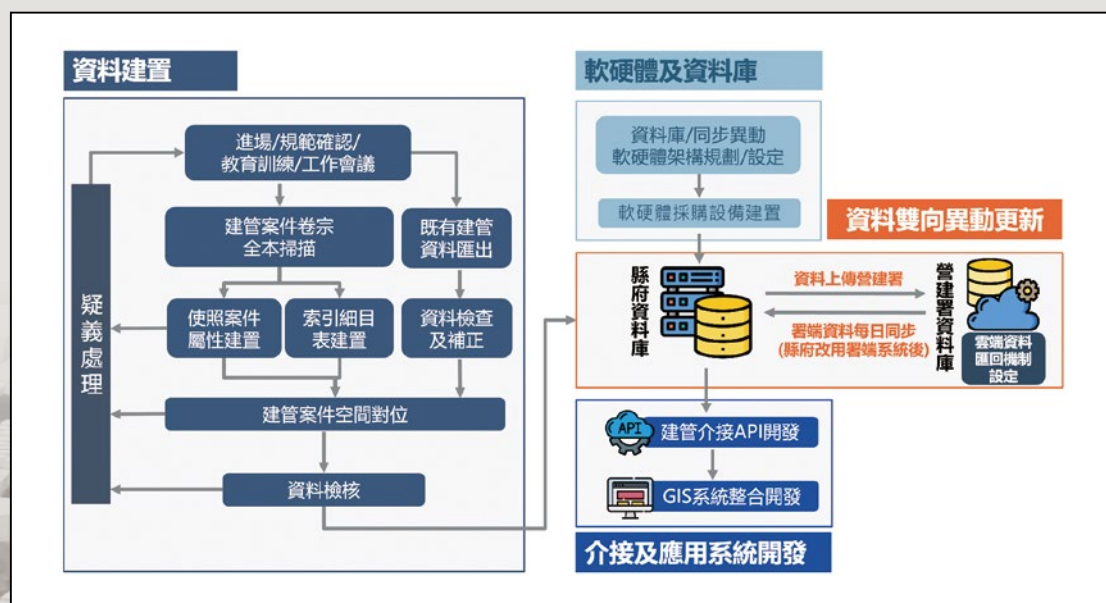


圖6 花蓮縣建築管理資料回溯建檔及資料庫重新架構作業圖

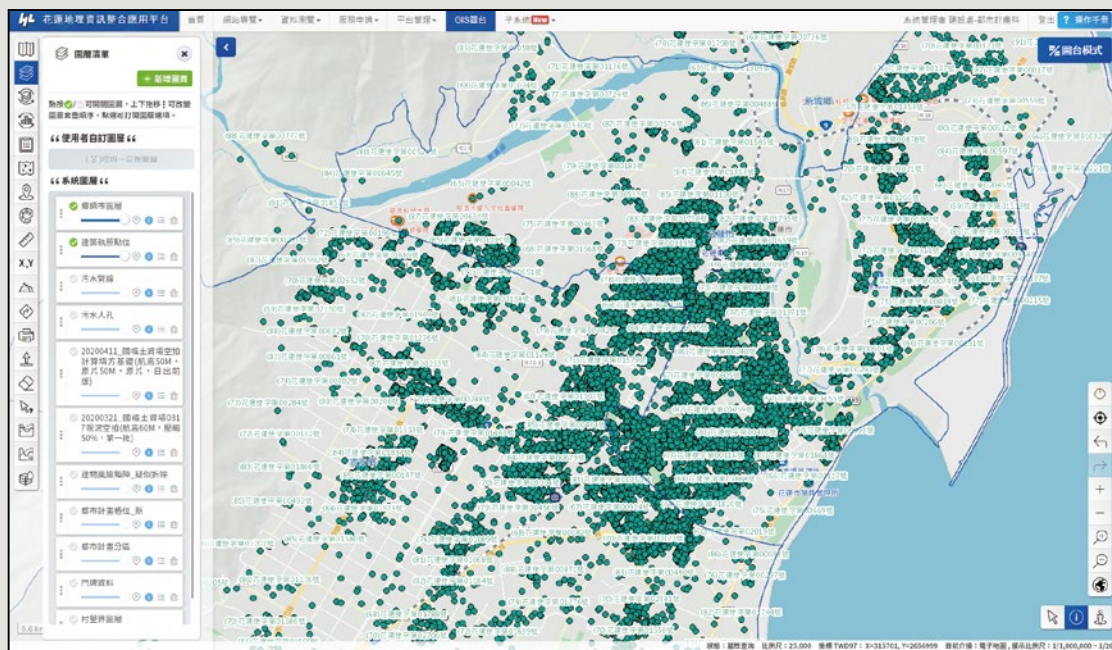


圖7 使用執照案件空間對位成果圖



圖8 建管資料回溯建檔至花蓮縣地理資訊整合應用平台執照整合查詢圖

花蓮縣政府對於空間資訊整合之重視，體現於關鍵基礎業務圖資取得頻率及品質，實現



圖9 花蓮縣建物業務資訊跨業務空間資訊整合成果

單一空間資訊圖台整合所有建物相關業務登記資訊，包含戶政門牌、地政建物登記、建管執照圖說以及稅籍紀錄，完整建構多維度三維城市模型中，必要的建物基礎資訊，建構整合說明如圖9。

三、大範圍、大規模、多來源、多技術三維虛擬城市建置

花蓮智慧國土第二期計畫案中，交互運用多種先進測量與建模技術，協助建構花蓮數位孿生城市，包含建置大面積3D影像模型、LOD1建物分棟分層量體模型、建物設計模型及三維地籍產權模型，使用者已可於平台上自由瀏覽花蓮城市景觀風貌、細部建物外觀量體，並已實際投入觀光導覽、工程設計規劃、都市設計審議作業，建構花蓮數位孿生城市成果如圖10至圖13。



圖10 跨技術整合建置大範圍三維虛擬城市模型說明



圖11 「數位花蓮」數位學生多維度資訊系統平台成果畫面



圖12 三維地籍模型呈現建物室內隔間狀態(花蓮地政事務所)



圖13 建物設計模型轉換成果(台泥DAKA園區)

參、智慧治理-空拍影像自動化處理輔助土地使用違規稽查

花蓮縣為全台灣面積最大的行政轄區，縣境幅員廣大，因抵達不易，或是屏障阻隔，增加違規之土地使用稽查舉證之困難(如圖14、15)。

為確保國土合理使用，提前及加速查緝不法，避免土地已無法復原之傷害，配合中央國土變異點偵測專案所定時提供之變異區位資訊，花蓮縣智慧國土專案另行開發「全自動空拍影像處理系統」，運用空拍機拍攝之數百張未經糾正過

的原始影像，可於上傳後兩小時內自動進行影像拼接糾正、整合影像圖層於花蓮縣地理資訊整合應用平台內，系統作業流程及系統畫面如圖16。



圖14 違規使用難以抵達案例



圖15 違規使用以圍籬阻隔無法舉證案例



圖16 花蓮自動化空拍影像正射拼接處理平台作業流程

業務單位平時可以空拍機進行大面積大範圍空間巡查拍攝，透過上傳空拍影像，經本系統自動化處理上架後，結合地籍圖、土地權屬圖、歷史影像資料，可進行地籍所有權人比對、回溯土地使用歷史變化軌跡，因影像為正射影像，故亦可進行違規範圍長度、寬度、面積量測，於內業即可完成大量案件判讀及分析，大幅提升查報效能，目前已精進土地違規之稽查舉證計50件、面積總計26.61公頃，影像自動化處理及稽查成果如圖17及圖18。



圖17 難以抵達地點正射影像上架舉證成果



圖18 圍籬阻隔範圍正射影像結合地籍圖套疊舉證成果

肆、智慧治理-花蓮數位孿生輔助都市設計審議

為創造優良都市環境品質，建立優良人行、車行及開放空間，提升建物量體造型色彩風格整體性，花蓮縣於指定之都市計畫分區內，相關都市計畫案件及容積移轉案件，須經

都市設計審議程序同意後，方得實施。

在花蓮縣都市設計審議原則規範項目，明訂都市設計審議應載明事項中，諸多皆與建物本體與周遭實際空間環境密切相關，例如人行與開放空間配置、交通運輸系統配置、建物量體設計與景觀協調等項目(如圖19)，都市設計審議之要求，對於數位孿生場景模擬，提供了一個極佳之應用機會。

然都市設計審議程序雖然與實際場域空間真實環境息息相關，現況審查多仰賴開發單位提

供之紙本送審圖說。以紙本審閱進行建物都市設計審議有以下限制：

一、周邊環境與現況真實性不盡相符

開發單位送審之圖說，多半強調建物本體，周遭環境之現況資訊大部分以示意方式呈現，而建物造型未依照真實情況繪製、建物量體也多半以灰色矩型柱狀物呈現概念，甚至鄰接道路寬度等尺寸亦未必與真實環境吻合，因此對於空間開放性、景觀和諧性等審議項目，實難從紙本資料所傳達之空間概念，來確認是否類同真實環境場域。對於開放性與和諧性之審議容易虛無攏統及悖離真實性，藉由圖20建物送審圖面及對照圖21現況真實環境3D影像建模，可以更具體觀察到周遭建物量體、整體街廓建物色系與送審示意圖說中，顯示差異不相同之處。

- (三) 人行空間及開放空間配置：
- 1.以整體街廓考量人行空間之留設範圍。
 - 2.公共性開放空間配置及無障礙設施設置狀況。
 - 3.綠美化及植栽設計概述。
- (四) 交通運輸系統配置：
- 1.建築物量體對周邊交通系統之影響評估。
 - 2.結合周邊大眾運輸系統動線設計。
 - 3.停車空間(含汽車、機車及自行車)之需求量評估及配置。
 - 4.車道之坡道及出入口設計，宜注意迴車空間及來往車輛視線。
- 5.消防救災空間及動線規劃。
- (五) 建築量體設計與景觀協調：
- 1.建築物之風格、立面、外牆材質及色彩設計與基地周邊環境之概述。
 - 2.建築物高度與鄰近建築物之天際線和諧關係。
 - 3.位於本縣主要幹道、水岸及地標周邊區位設計概述。

圖19 花蓮縣都市設計審議原則內規定(節錄)圖

建築量體設計：

- 本案建築物樓層11層，絕對高度為40.7M，主棟建築物正面臨20米計畫道路，側面面臨15米計畫道路，路幅寬大得並退縮建築以減輕建築物的壓迫感。後棟(A、B棟)建築物，雖面臨10米計畫道路，但建築物本身退縮騎樓地建築，亦可減低巷道及鄰近建築物的壓迫感。



圖20 花蓮市某都市設計審議案例提送建物設計圖與周遭景觀圖說示意圖



圖21 花蓮市某都市設計審議案例環境實際現況3D影像建模成果

二、無法彈性從各角度檢視建築物

實務上送審之紙圖報告，開發單位提供之模擬視覺畫面，皆以特定視角、距離及尺度呈現，實不易完整掌握「送審標的」與周遭環境之空間對比關係（全視域、多視野、多距離），致在檢視審議作業上，實易因受限於受送審書件所呈現之主觀、單一視覺畫面，難以

獲取完整、客觀之多尺度多視角切入之環境視覺資訊，進而對「送審標的」與周遭環境之空間關聯性，產生認知誤導及偏差。

為改善既有都市設計審議作業，透過審查開發單位紙本圖說及平面簡報不足之處，花蓮縣政府自110年開始即著手建立都市設計審議創新作業架構，藉由行政環節革新、建物模型與

周遭場景模型整合於花蓮數位學生平台，提供新型態之審議輔助作業方式。

首先訂定建物設計模型繳交規範，後續需進行都市設計審議案件，皆須由設計/開發單位繳交符合格式之建物設計模型，縣府受理後，針對建物周邊範圍進行三維影像模型拍攝及製作，藉以建立審議標的建物周遭真實環境場景，並且將建物設計模型、審議標的範圍空拍影像資料，交由本公司專業團隊進行模型轉換、三維影像模型產製及整合上架至花蓮縣地理資訊整合應用平台，調整後之作業架構流程如圖22。

藉由都市設計審議結合花蓮數位學生城市，於審議過程中，可針對建物本體外觀設計與整體景觀和諧度進行討論確認(如圖23)，而搭配周邊環境的真實影像建模成果，讓審議標的與其周遭現況，能更視覺化彈性模擬呈現多尺度、多視角的空間對比關係(如圖24、圖25)，對於評判景觀和諧度之視覺感知而言，確已有務實正面之實質助益。藉由整合應用平台之多維度量測功能，可於平台上直接量測各項距離與面積，有助於檢討開放空間尺度關係(如圖26)，實際運用於花蓮縣都市設計審議作業畫面如圖27。

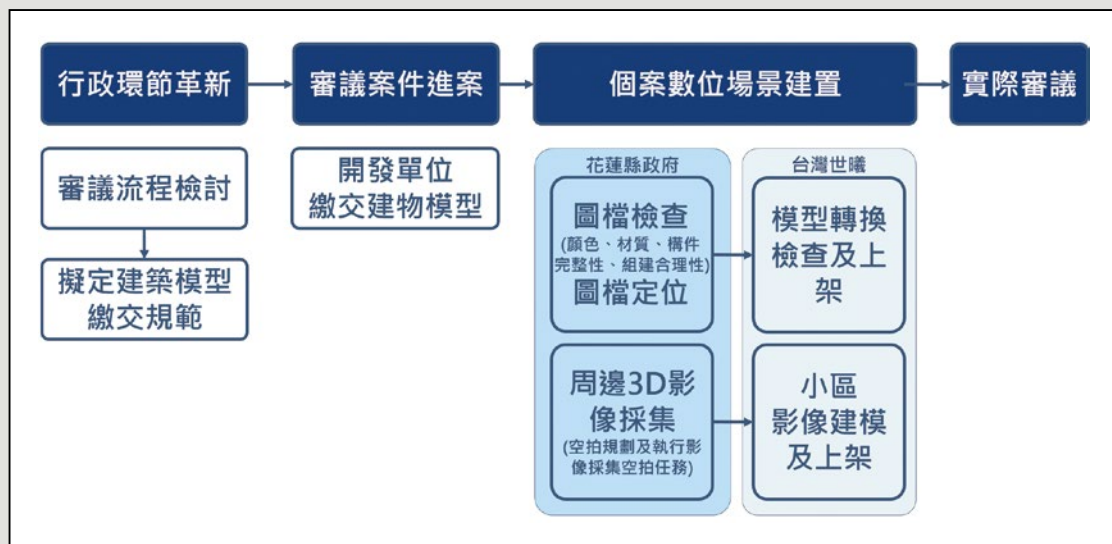


圖22 花蓮縣政府都市設計審議運用數位學生平台作業架構

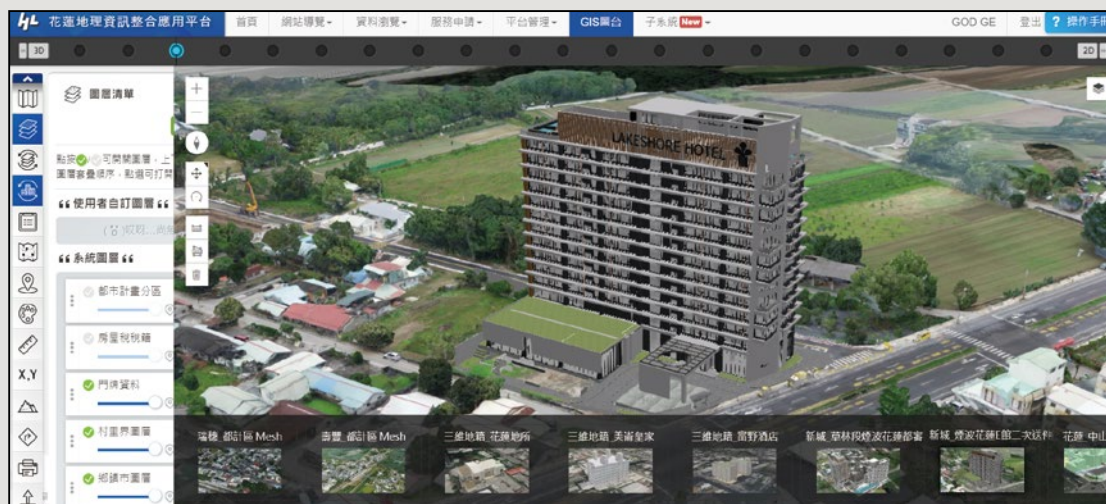


圖23 設計標的外觀造型與景觀和諧度作業畫面圖

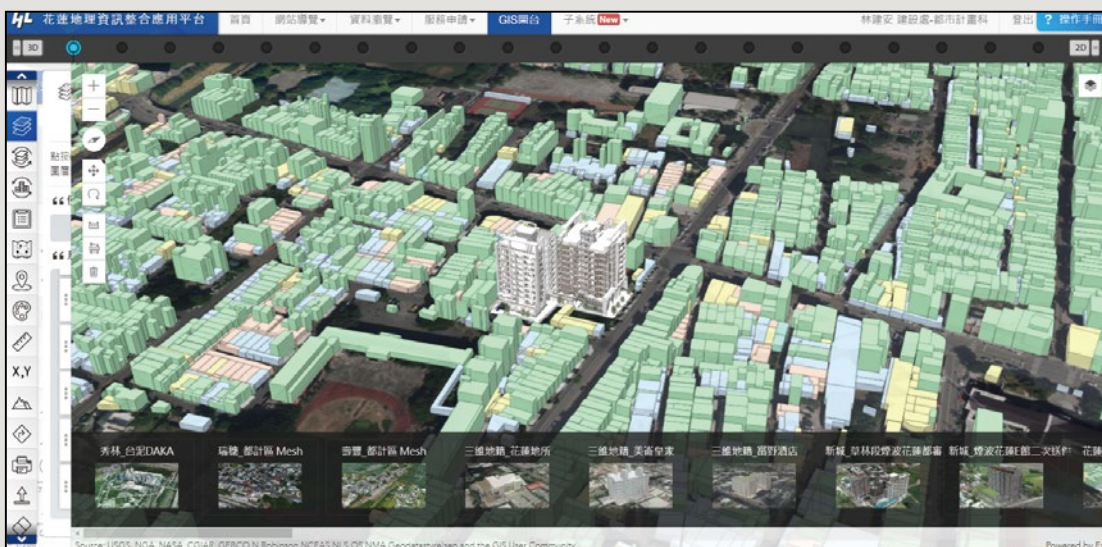


圖24 設計標的與周遭發展量體



圖25 建物本體與周遭環境關係



圖26 開放空間與天際線及三維量測功能



圖27 都市設計審議3D多維度檢視實際運作畫面圖

縣府自導入花蓮數位學生城市輔助審議後至111年12月為止，已累計審議6案，建物棟數8棟，容積允許增量12,000平方公尺，基地面積占地23.6公頃，強化花蓮縣都市設計委員會之審議效率及決議明確性，輔助都市設計審議過程決策應用，提升都審作業品質。

伍、結語與未來建議

花蓮縣政府藉由爭取中央補助經費及結合自有財源，推動以空間資訊為基礎，不斷持續整合全府及外單位關鍵業務資料及提升資料品質，同時戮力強化花蓮縣地理資訊整合應用平台，成為花蓮縣地理資訊及各式關鍵業務資訊匯流中樞，真正落實運用空間資訊，收集、分析和呈現環境數據，以幫助花蓮縣政府和其他單位，做出更明智的決策。花蓮縣政府於空間資訊整合專案中已達成以下成果：

一、強化府內外跨層級及跨局處串連，凝聚共識及推動決心

透過持續性顧問輔導及團隊走訪，務實串連府內外組織，強化各界推動業務資料開放、交換以及運用，並持續深化導入業務使用後，迸發更多創意思考及推動的決心。

二、完成各類型資料全面建置、串接及提升圖資品質

持續推動包含建管資料重新掃描及新版建管資料庫建置、電子地圖更新、大範圍影像空拍正射，1/1000地形圖修測、關鍵業務圖資（建管、戶政、地政、稅籍、都市計畫）定期更新及自動化轉換機制，同時建置更具備實際應用潛力之三維建物模型，提供外界分析加值使用。大幅擴充花蓮縣空間圖資，圖資建置涵蓋之廣度、深度及全面性，於計畫完成後，應為臺灣各級地方政府中，最具規模之業務資料建置及匯流範例。

三、整合運用先進技術投入實際業務應用案例

藉由智慧治理示範應用案例之推動，將可以實際應用為出發，學習組織並串聯「需求調查」-「分析規劃」-「顧問輔導」-「跨域串接」-「圖資建置」-「系統開發」多重面向，孵育創新應用，協助花蓮縣提升智慧治理概念與能力。

花蓮縣空間資訊發展至今，已奠定良好且深厚之發展基礎，展望未來，建議後續可發展方向如下：

一、關鍵基礎圖資及業務圖資品質提升及擴充

因各項業務資料自開始登載日期至今，部分業務例如地政資料，已持續記錄超過50年以上，經持續開放揭露後，陸續發現部分資料疑義，或無法對應到空間位置之情形，此為推動業務資料空間化必經之最後一哩路，然重點業務資料例如地政資料、稅籍資料及建管資料，為諸多政府施政業務之參考依據，資料完整性、正確性及空間位置正確性極為重要，建議持續推動既有建築管理執照資料完整回溯建檔、地政及稅務建物登記資料空間位置強化清查，透過個別資料完整正確，方能輔助強化跨業務空間圖資套疊、分析與應用。

而於空間資訊交互套疊及運用後，也發現基礎空間圖資之重要性，例如刻正進行之房屋稅運用空間資訊強化稽查，即發現需要於1/1000地形圖測製時，加測建物真實樓高及建物異動區域圖層，方能強化房屋稅務稽徵調查增/改建之需求，因此，推動空間基礎圖資擴充，為後續推動刻不容緩之工作。

二、持續推動花蓮數位孿生城市多維度資料建置及導入業務應用

數位孿生建置為空間資訊發展基礎建設一環，應持續發展強化三維模型對應真實世界之同步性及可操作性，同步性包含對應真實世界之外觀、紋理及精細度之提升，可操作性則包含持續三維模型向量物件化，以提供跨專業領域之模型導入、導出，可供其他專業分析軟體進行應用分析，並推動將分析結果以動態方式於數位孿生城市中呈現。

三、導入人工智慧及大數據分析，提供施政戰情儀表及業務施政洞見(Insight)

花蓮縣政府整合多項關鍵業務圖資，已開啟了未來數據治理及應用的無限可能，後續建議挑選各局處特定業務，深入了解業務所需跨域資訊整合分析思考邏輯，並據以建置不單呈現統計數據，而以空間數據整合分析運算結果為基礎之業務戰情儀表板，以都市計畫鼓勵危老重建區域劃設作業為例，邏輯上應同步考量都市計畫策略發展區域、都市計畫分區坵塊內建物已用容積、建物屋齡、建物結構、建物樓層數、地質、土壤液化潛勢、斷層帶、區域內設籍人口、動態活動人口數等綜合數據，建立動態分析模組後，依據數據不斷更新分析結果，並呈現於業務戰情儀表中，並將相關邏輯導入機器學習，藉由人工智慧相關技術之運用，協助發掘更多分析因子與可能性，並形成洞見後提供決策參考。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司（2022）
花蓮縣智慧國土第二期計畫案 第三階段成果報告書。
2. 內政部地政司 GeoDigital Life 空間資訊期刊(2022) 建構花蓮數位孿生城市及都市設計審議實務應用。

PMIS導入3D GIS之 整合應用——以航空城 區段徵收案為例

關鍵詞 (Key Words)：專案管理系統 (PMIS)、三維地理資訊系統 (3D GIS)、航空城 (Aerotropolis)

桃園市政府航空城工程處／總工程司／藍士堯 (Lan, Shih-Yao) ❶

桃園市政府航空城工程處工程管理科／科長／李元良 (Lee, Yuan-Liang) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／經理／劉新達 (Liu, Hsin-Ta) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM中心／工程師／柯婷玟 (Ke, Ting-Wen) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／林秋芬 (Lin, Chiu-Fen) ❺

桃園航空城

摘要

桃園航空城計畫區段徵收開發範圍廣大且參與單位眾多，為有效管理十項分標工程達1,756公頃之工程範圍，桃園市政府航空城工程處以專案管理導入三維空間資訊概念之創新思維，建置專屬之航空城工程資訊系統(Aerotropolis Construction Information System, ACIS)，首創將PMIS與3D GIS整合之管理系統，實現表單電子化、資訊空間化、成果視覺化、決策智慧化之目標。

ACIS系統肩負工程履歷之基礎任務，隨工程推進，逐步紀錄建物拆遷、樹木移植、施工品質、進度推展等作業，提供管理人員瞭解各分標工作執行細節。進一步結合空間資訊，導入三維地理資訊系統(3D GIS)平台，加入IoT、CCTV、3D管線、3D道路等基本資料，再整合設計BIM模型，提供管理單位更加視覺化的3D管理介面。



Integration Application of PMIS and 3D GIS—Taking Zone expropriation of Aerotropolis as an Example

Abstract

The Taoyuan Aerotropolis project area has a wide scope of development and numerous participating units. To effectively manage the 1,756 hectares of engineering scope in ten separate sub-projects, the Office of Aerotropolis Public Construction has adopted an innovative concept of introducing three-dimensional spatial information through project management. They have established a dedicated Aerotropolis Construction Information System (ACIS), which is the first integration of PMIS and 3D GIS management system, with the goals of electronic form processing, spatial information management, result visualization, and intelligent decision making.

The ACIS is responsible for recording basic jobs such as building demolition and relocation, tree transplantation, construction quality, and progress of the project, providing administrator with detailed information on the execution of each sub-project. The system also integrates spatial information such as IoT, CCTV, 3D pipe models, and 3D road models into the 3D GIS platform. In combination with the BIM design model, a more visual 3D management interface is provided for the administration.

3

專題報導

壹、航空城工程資訊系統簡介

多年來因應電子化政府政策之推動，帶動業界紛紛興起數位轉型，營建產業亦同步掀起資訊應用改造趨勢。桃園航空城工程處以表單電子化、資訊空間化、成果視覺化、決策智慧化為目標，建置專屬之航空城工程資訊系統（Aerotropolis Construction Information System, ACIS），如圖1，同時配合工程管理中心之成立，打造工程管理資訊交換之單一窗口。

ACIS系統肩負工程履歷之基礎任務，隨工程推進提供參與團隊逐步紀錄建物拆遷、樹木移植、土方進出、施工品質、進度推展、估驗計價等作業，以利管理人員同步掌握各分標工作執行細節。

一、表單電子化應用

工程管理包含進度、品管、勞安衛及估驗等作業，每一階段皆伴隨大量表單紀錄及簽章核備程序，傳統採行紙本作業方式保存不易且加值應用困難，近期因應數位轉型趨勢，營建產業漸次投注資源發展電子化應用，除表單數位化、簽章電子化之外，電子流程的導入亦為重要發展課題。

二、施工日誌對應填寫

於ACIS中可依據契約金額及細設成果，將預算書詳細價目中工作階層展開，並續據以辦理相關工作推進紀錄。航工處建置之ACIS系統即以預算書中所列工項為基礎，透過匯入工程會PCCES產出之XML格式檔案，經專管監造確認後轉入系統，續配合產製施工日誌提供統包商每日開啟填寫。

三、估驗計價線上作業

傳統紙本計價作業繁複，除須針對當月契約工項完成數量統計核算，並應檢附大量佐證資料以供審查者逐項核對。此外因應逐層送審核退公文往來耗時冗長，為有效提升審計作業效率，同時維護廠商權益及公務預算執行率，本工程透過導入線上估驗計價作業，以加速計價作業推進，並協助審查單位可更清楚核對查驗項目。

四、土方媒合管理

ACIS提供以批次匯入方式申報土方媒合資料，包含需土、供土、配土等資訊，並於彙入後自動產製各月供需統計表，推進媒合整體作



圖1 航空城工程資訊系統

(圖片來源：推動智慧園區工程管理整合應用)

參、PMIS導入3D GIS成果介紹

因應航空城的大範圍工區進度控管需求，透過三維地理空間資訊結合現地影像、訊號及工程進度控管等資訊，將可提供管理單位快速且有效掌握各工區開發現況。本系統首創將3D GIS導入PMIS中，並蒐集3D建物、3D管線、3D道路等基礎圖資，再整合航空城相關設計的BIM立體工程圖說，提供管理單位更加視覺化的3D

管理介面。本系統相關功能架構及內容說明如圖3。

一、IoT於工程之應用

於3D GIS圖台上整合揚塵設備、機具車輛位置與軌跡、樹木植栽移植、即時監控(CCTV)等資訊，如圖4，相關內容說明如下：

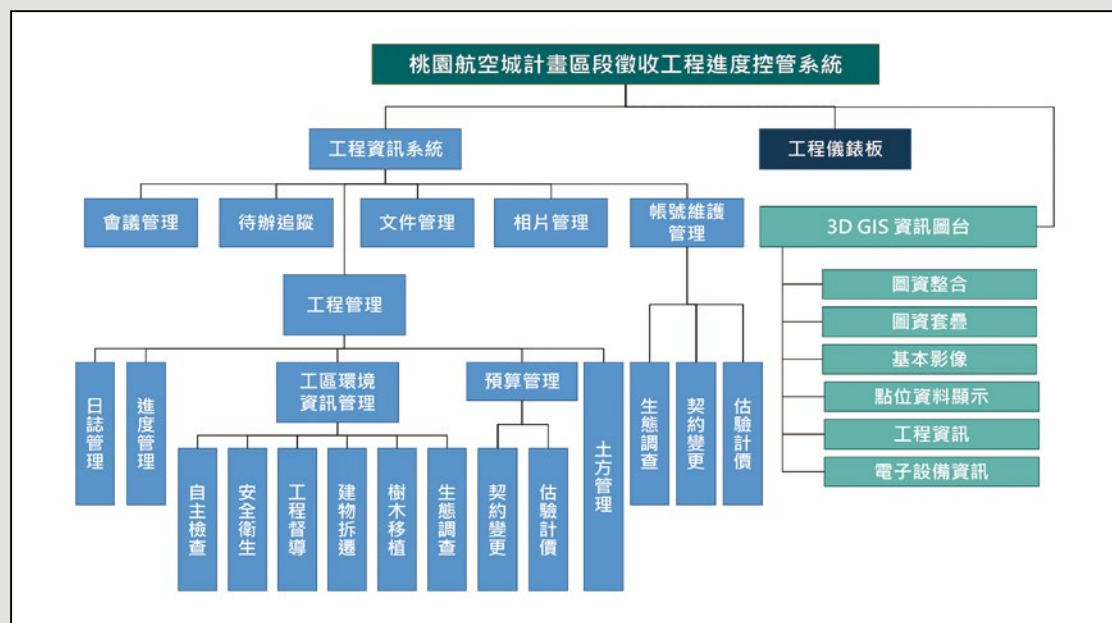


圖3 系統功能架構圖



圖4 3D GIS圖台整合各式圖資

(一) 揚塵設備

為讓管理者直接於圖台上看到揚塵設備的位置及揚塵設備所收集到的資訊，除揚塵設備屬性資料與燈號外，可更進一步以折線圖的方式展示24小時內所收集到的溫度、濕度、PM2.5等資訊，如圖5，即時掌控該區的空氣品質資訊，若該區空氣品質狀況不良，可即時聯繫工區負責人前往查看並進行相關處理措施，確保附近居民的空氣品質。

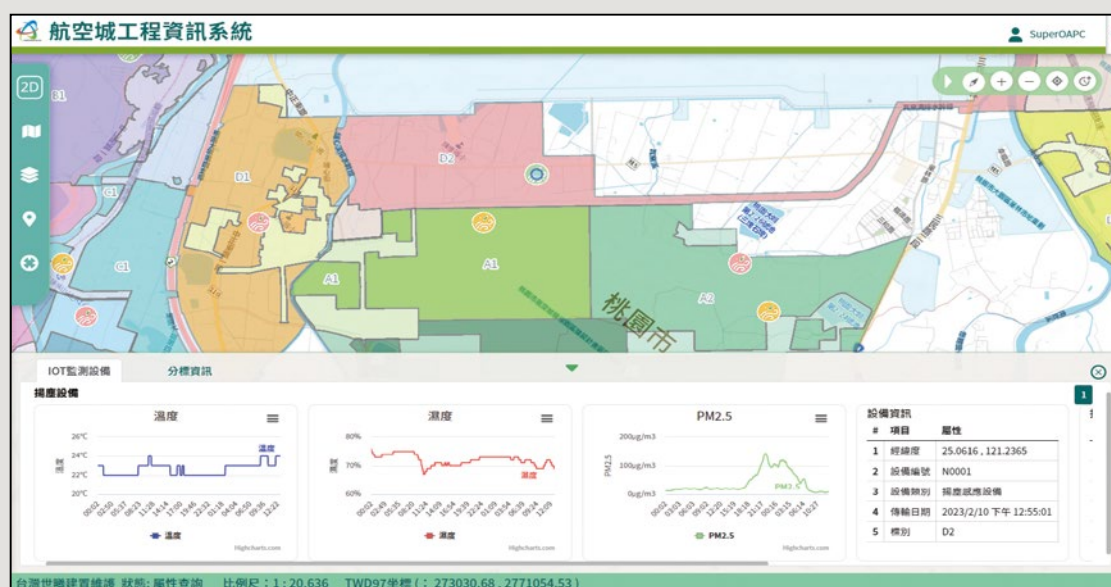


圖5 揚塵設備統計圖表資訊

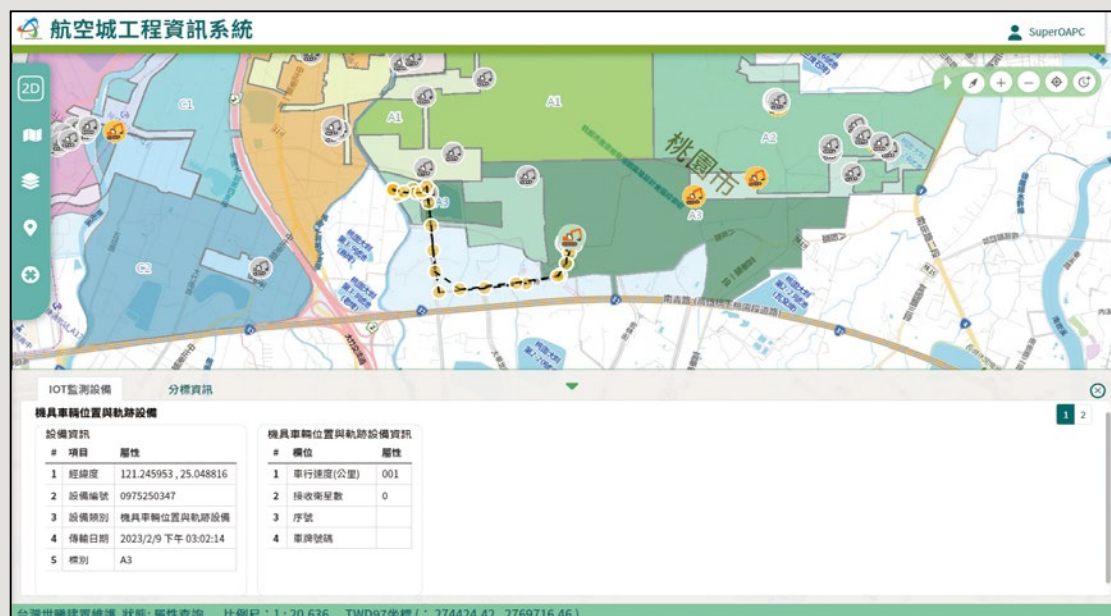


圖6 機具車輛位置與軌跡

(三) 即時監控(CCTV)

因航空城區段徵收面積範圍廣大，且依開發單位、天然地界等因素區分為10個工區，為能隨時掌握工地施工狀況、施工進度以及確保工作人員的安全，設置固定式及移動式CCTV，其中移動式攝影機可以依照工地進行變換位置，

具有機動調整之便利性，於圖台上看到各工區安裝CCTV的位置分佈，如圖7，可點選欲查看之CCTV，並點擊連結查看CCTV的畫面，如圖8。

二、工程進度資訊應用

(一) 已標售土地資訊展示

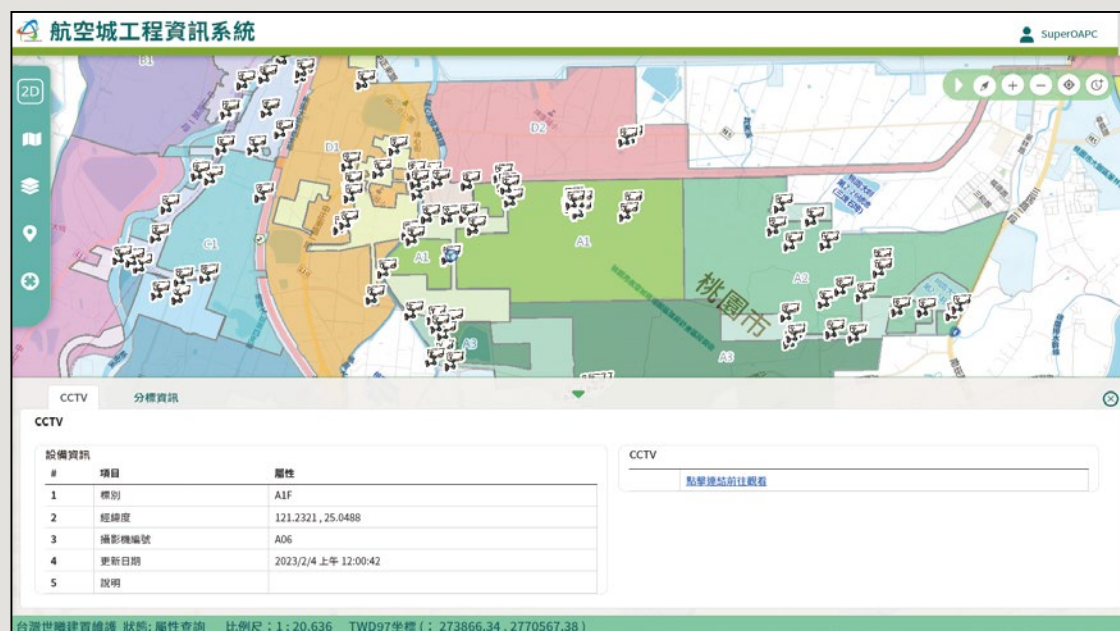


圖7 即時監控(CCTV)位置分布情形



圖8 即時監控(CCTV)畫面

將目前於優先開發區內已供廠商購置的土地，為利航工處掌控交地期限以避免影響廠商營運時程，透過套疊分標進度及土地租售圖層掌握實際進度，如圖9。

(二) 樹木植栽移植

為了管理樹木移植的過程，於圖台上加入

了時間序列的功能，以顯示不同時期之樹木移植的情形，其時間軸可依不同需求進行播放、暫停、循環查看對應時間點植栽圖層，如圖10。

三、3D 模型應用

(一) BIM立體工程圖說

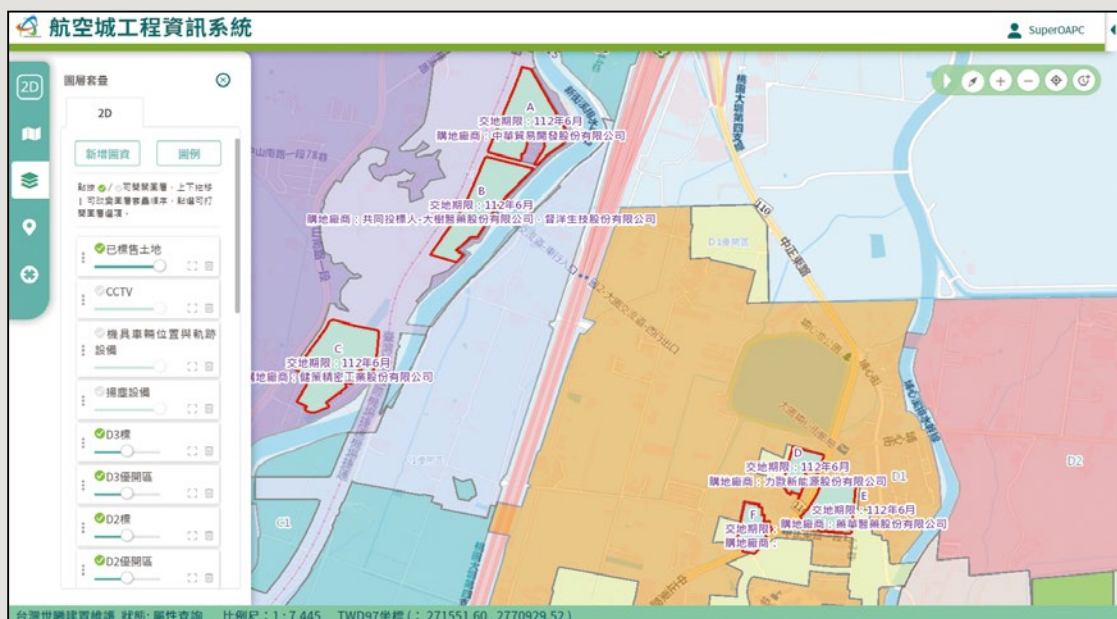


圖9 已租售土地資訊展示

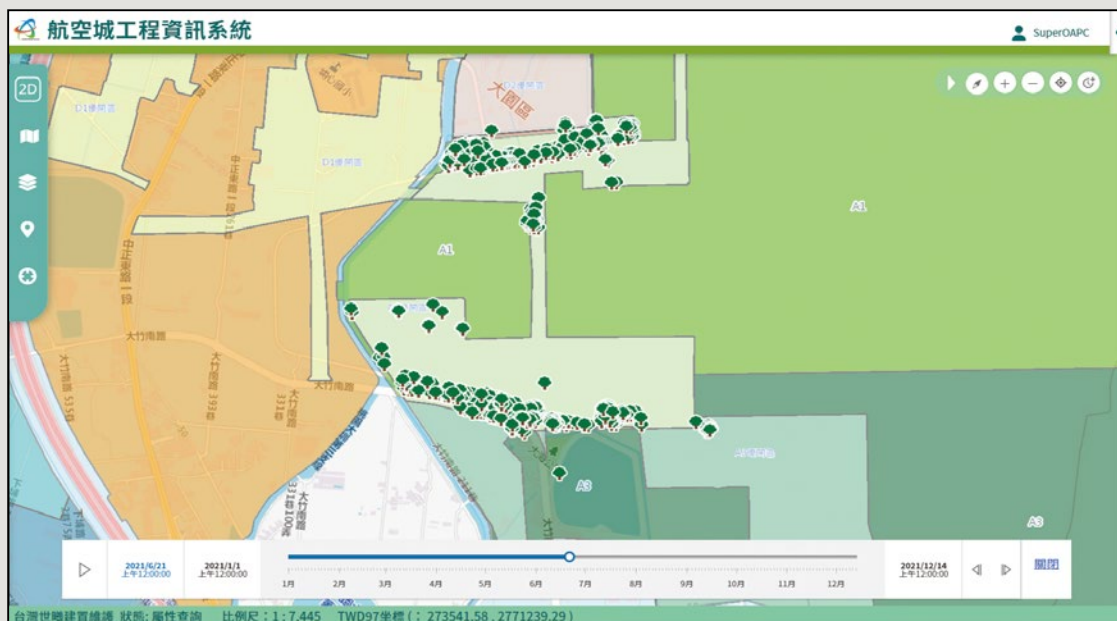


圖10 樹木植栽時間軸及對應圖層

蒐集航空城10個工區之BIM立體工程圖說，如電桿、燈桿、道路設施及公共管線等設計模型，將不同格式的BIM模型透過坐標設定系統、設定插入點等步驟轉換成GIS可讀取的格式後，將10個工區的BIM模型進行整合作業，並於系統3D GIS圖台中提供套疊展示、分析，可跨平台使用，不需使用BIM軟體，也不用考慮版本或是軟體的問題，可隨時隨地進行查看，提高使用率及便利性，如圖11。可依據套疊的其他資料進行相關的使用，達到三維地理資訊系統

與BIM整合互動應用。

(二) 航空攝影3D mesh應用

航空城於起始階段即進行航拍作業，並將其轉置成三維模型，完整記錄現地實況，後續將透過不同時期的航拍影像皆轉置為三維模型，可作為施工過程的歷史紀錄，亦可紀錄不同期間之施工情形、施工進度、建物拆遷進度等，如圖12，亦可將航空攝影3D mesh與設計圖

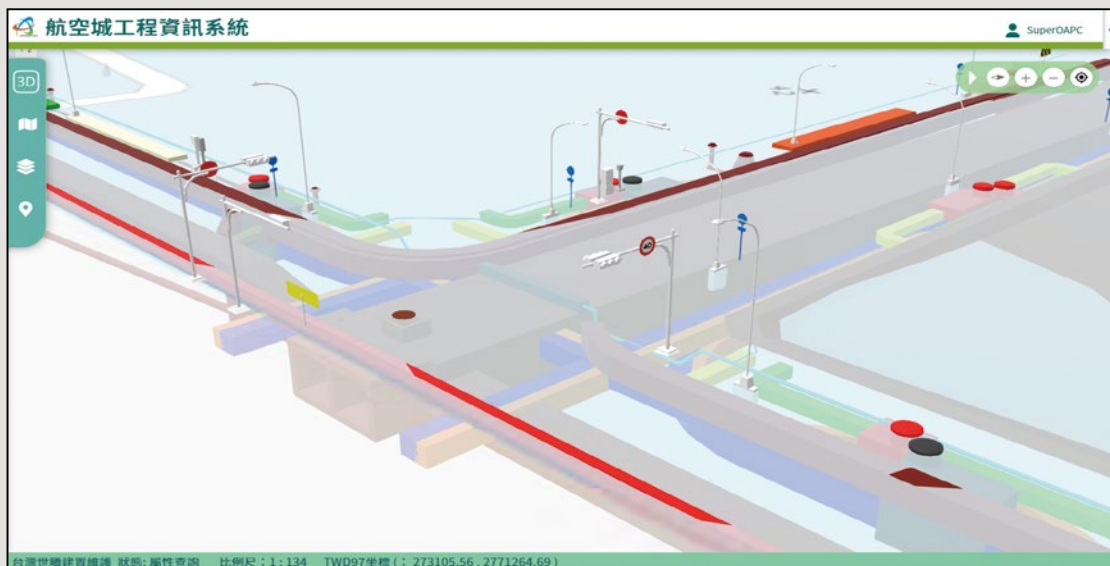


圖11 BIM模型展示於3D GIS圖台中

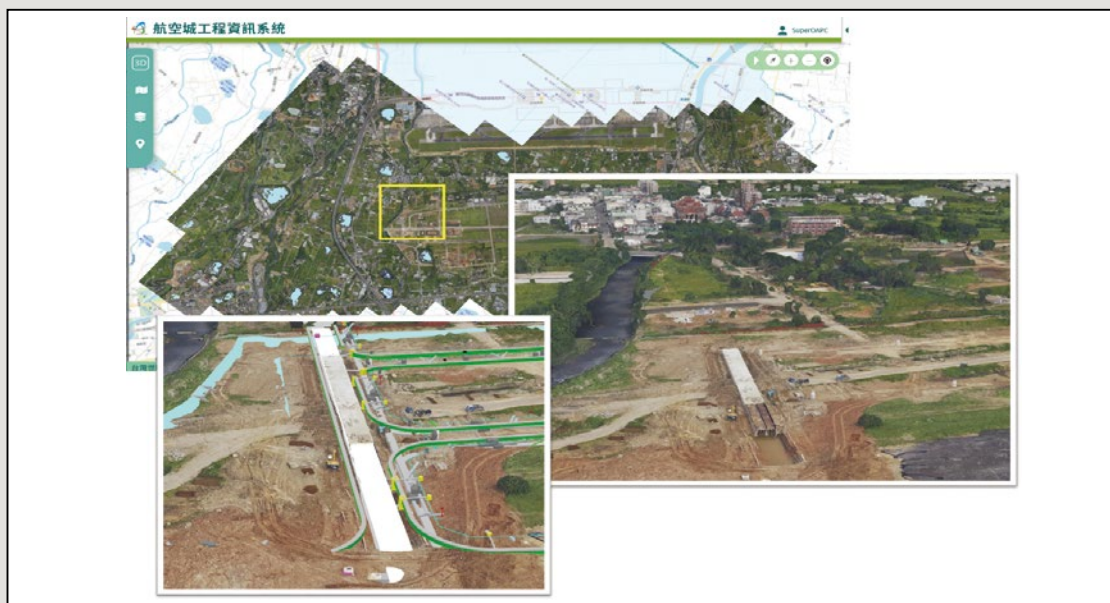


圖12 航空攝影3D mesh與BIM模型套疊

的管線BIM模型進行套疊，與設計資料進行比對，確認是否按圖施工，亦可與施工管線實測資料進行套疊，確認管線量測進度是否與實際施工進度相當，可對工程進度進行管控及評估。

四、3D管線竣工資料庫建置作業

為了進一步發揮3D GIS圖台的管理功能，航工處從公共管線施工進度控管著手，考量到竣工後相關公共管線資料將會移交予養工處，為能符合養工處對於管線資料的標準及正確性，導入桃園市政府養工處之「三維公共設施管線資料格式與作業規範」。

(一) 工程契約納入管線測量工項

於施工契約內管線資料建置的部分納入養工處之「三維公共設施管線資料格式與作業規範」，依標準建置地理標誌語言(Geography Markup Language, GML)交換格式，且於規劃設計時納入測量工項，於埋設管線時對管線、人手孔、其他設施等設備依據「營建署公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」進行管線埋深、人手孔深度、地盤高等高程及深度之統一測量，用以提高管線資料之正確性。

(二) 管線實測作業規範

根據養工處的規範，規定各施工廠商於管線施工後即測量管線坐標、拍攝施測點施工照片、GNSS儀器測量結果畫面等資訊(如圖13、圖14)，



圖13 3D管線實測點位照片範例（左：管線測點遠照、右：管線測點近照）



圖14 3D管線實測點位照片範例(GNSS測量儀器畫面截圖)

以確保後續管線竣工資料的真實性及正確性，有助於提升桃園市公共設施管線資料正確性。

(三) 3D管線實測點位成果上傳及檢核

為協助航工處進行竣工管線及3D管線實測點位資料的管理與彙整，於3D GIS圖台上開發管線實測點位資料管理及檢核功能(如

圖15)，施工廠商於資料彙整完成後，透過管理功能定期將測量資料上傳，並經由檢核功能，進行基本合理性檢查，如坐標值域檢查、相關照片是否皆有檔案、上傳資料副檔名等檢核項目，經檢查無誤後才可匯入至GIS資料庫中，並可立即於3D GIS圖台中展示及查詢屬性，如圖16。

藉由3D GIS圖台，將3D管線實測點位與BIM模型套疊，可確認管線放樣的位置是否符合施工誤差範圍。在圖17中，可以看到中間的兩個管線實測點位，一個有誤差一個沒誤差，沒誤差的點位會落在電信管線上，而有誤差的點位卻與電力管線有一段距離，透過管線實測點位可得知施工單位在放樣電力管線時可能未依



圖15 3D管線實測點位管理及檢核功能



圖16 3D管線實測點位屬性查詢功能

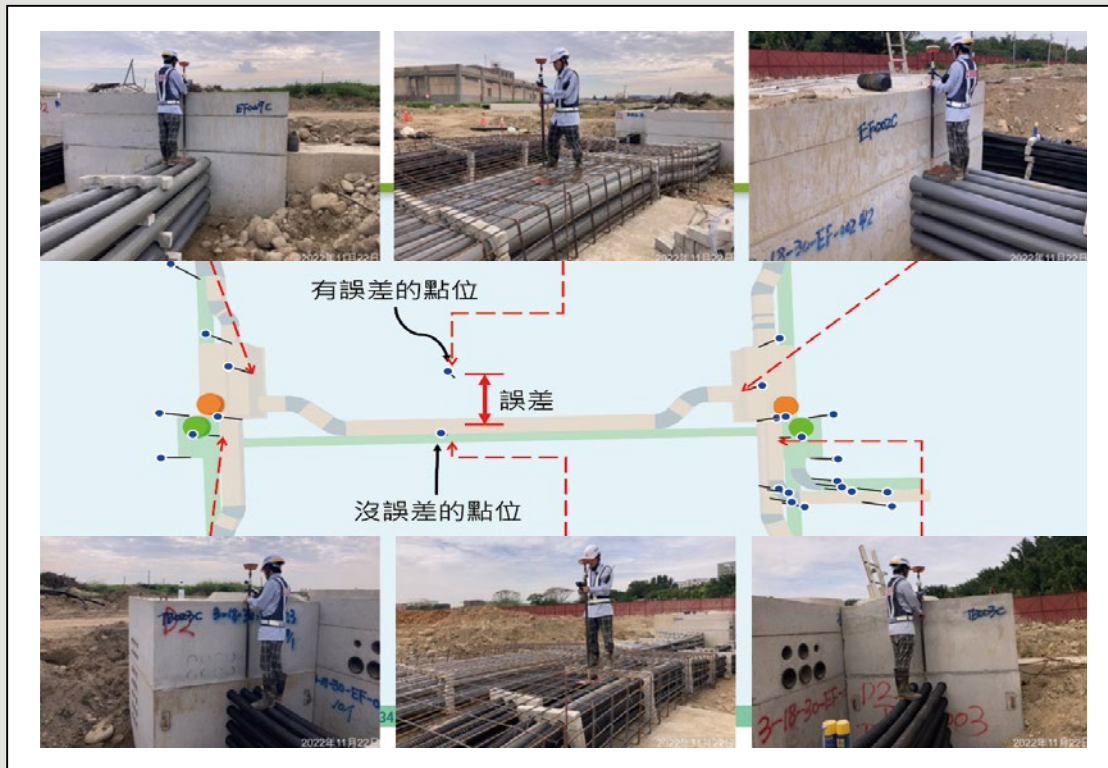


圖17 透過管線實測點位判斷施工放樣有無誤差

設計資料進行放樣，以利檢核施作位置是否正確，並及時調整修正。管理單位及監造單位可以藉由管線實測點位套疊BIM模型確認施工單位的施工精度，確保管線正確埋設。

監造單位及管理單位可藉由管線實測點位套疊BIM模型來確認實際施工狀況與進度，實測成果包含測量成果及現地相片，若出現管線實測點位與設計BIM模型不符合的狀況時(如圖18)，即可針對狀況進行檢討，是否是設計BIM

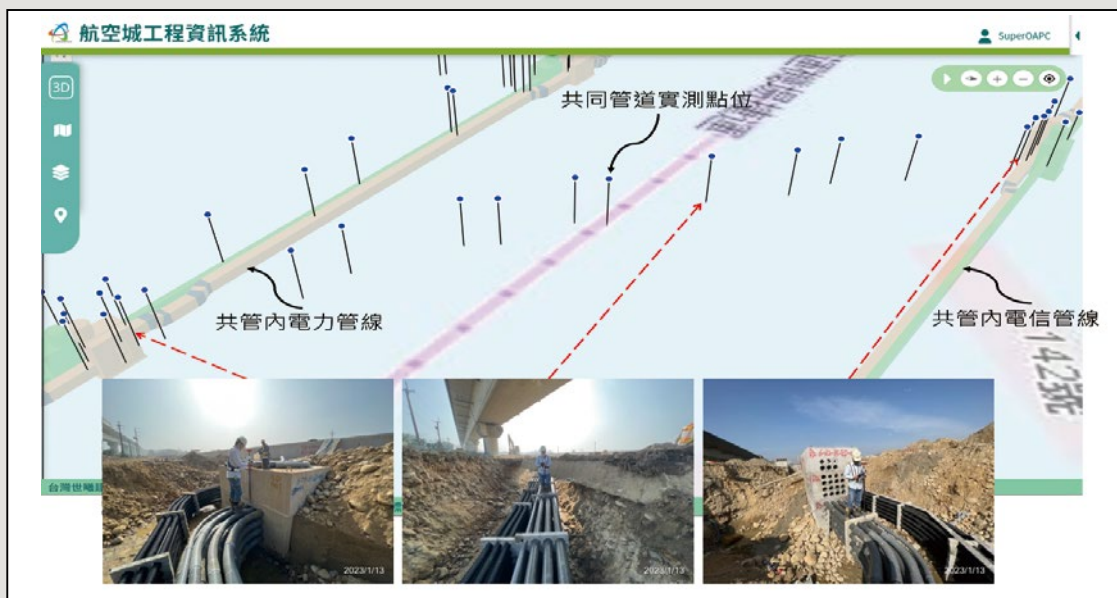


圖18 藉由管線實測點位確認施工與設計圖是否一致

模型遺漏該筆資料，相關資料亦可作為BIM模型修正之參考。藉由管線實測點位之驗證，可提升竣工圖資之正確性，以減少未來管線維護施工時發生誤挖的可能。

(四) 竣工管線資料上傳及檢核

為避免施工廠商將設計圖直接當作竣工圖來提交，畢竟設計圖與竣工圖並不一致，若設計圖與竣工圖不正確未來易導致管線挖損，造成不可避免的意外。故於現階段蒐集各工區的竣工3D管線實測點位後，未來將會開發竣工管線的GML上傳及檢核功能，施工廠商依實測資料建置竣工管線GML格式後，可以藉由系統的上傳及檢核功能，進行竣工管線GML的上傳作業，將檢核GML格式、值域範圍及位相檢核等項目，檢核通過方可上傳，上傳完後將可於3D GIS圖台上進行檢視，確認上傳的GML是否與實測資料或BIM模型符合，確保管線資料的正確性，以利完工後移交維管單位續用。

五、桃園市地理倉儲圖資整合

結合桃園市多個局處的地圖服務，如地政局拆遷查詢系統、養工處道路挖掘管理系統等，提供ACIS系統使用者更多元的資料進行套疊及分析。

(一) 地政局拆遷查詢系統

地政局為讓民眾瞭解自願優先搬遷自拆區及工區範圍，以及所屬自拆區目前申請及辦理的情形，規劃了拆遷查詢控管系統，而航工處為了將拆遷資訊進行整合，也為讓資料流通更為方便，故而將地政局的建物拆遷相關圖層介接到本系統上，方便管理者進行整合使用，如圖19。

(二) 養工處道路挖掘管理系統

因航空城施工內容包含公共設施管線，且

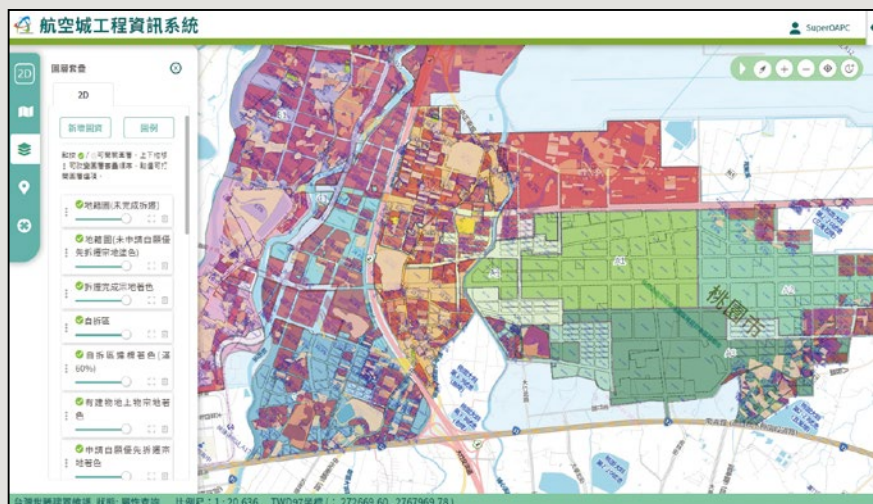


圖19 介接地政局建物拆遷圖層



圖20 介接養工處公共設施管線資料確認與既有管線接邊情形
(淺藍：既有管線，深藍：設計管線)

為了瞭解航空城範圍內既有公共管線的分布及於拆除既有管線時不影響到周遭民眾，而向養工處介接公共設施管線資料庫，讓統包商可於圖台上進行資料套疊，無需再向養工處重複申請相關管線資料。介接養工處3D管線，可以檢查施工範圍交界處的管線設計BIM模型與既有公共設施管線資料是否完整接邊，讓新建管線與既有管線進行整合，以確保管線施工順利，如圖20。

肆、結語與未來應用展望

本系統透過結合三維空間資訊強化PMIS在資料空間化、視覺化之應用效益，針對工程進度、建物拆遷、樹木移植等工程，除以數字或文字來表達外，將可以更加實務地空間化的展示，提供管理人員更加具象化的管理應用平台。綜合上文所述，歸納數點結語與未來應用展望如下：

- 一、ACIS系統為全台首度將3D GIS導入至PMIS系統中，以強化PMIS在資料空間化、視覺化之應用效益。
- 二、將IoT設備進行空間化，整合於3D GIS資訊圖台即時呈現，有效掌握現場實況，可查看異常設備的位置及資訊，以利快速採取應變措施，並作為智慧化決策輔助資訊參考。
- 三、將管線設計BIM模型進行轉檔，可與其它工區模型套疊，確認工區間的模型在設計時有無進行接邊，避免後續施工時產生工區間或與既有管線交接處之管線無法進行銜接，導致需要修正施工的問題產生，以確保施工品質。

四、於航空城工程啟動時即推動管線實測作業，紀錄管線正確的位置及埋深，建立正確的管線資料庫，將可提升桃園市管線正確率及避免未來發生誤挖情形，以利完工後移交維管單位應用。

五、未來應用期望能於ACIS系統中，透過3D GIS開發與管線資料掌控有關的其它功能如下：

- (一) 管線施工進度回報功能：透過3D GIS圖台，將已測量之BIM模型管線資料進行標註，用以計算管線施工進度。
- (二) 竣工管線資料上傳及檢核：於小範圍管線竣工後，依照管線實測點位資料建置GML檔，並上傳至系統中進行檢核及匯入作業，不需將資料累積到全區完成後才建置竣工資料，避免遺失相關埋管資訊。

參考文獻

1. 藍士堯、李元良、邱欣怡、黃禹(2022)，推動智慧園區工程管理整合應用，中國工程師學會會刊Vol.95 No.4，23-32頁。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2020)，108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。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2022)，桃園航空城計畫區段徵收工程進度控管系統委託資訊服務案，期末報告書。

運用無人機影像 於交通車流之AI 偵測技術

關鍵詞(Key Words)：自動駕駛車輛(Autonomous Vehicle)、深度學習(Deep Learning)、無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV, Drone)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／李冠毅 (Lee, Kuan-Yi) ①

國立陽明交通大學／土木工程學系／教授／張智安 (Tee, Tee-Ann) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／楊軒 (Yang, Hsuan) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／周孜恆 (Chou, Tzu-Heng) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／翁敬恆 (Weng, Chin-Heng) ⑤



摘要

隨著無人載具軟硬體的發展，使用無人載具搭載高像素相機可以獲取大範圍的道路影像，若採無人機視訊(Video)影像對地面交通工具進行判識及流量計算，相較路側單元(Roadside Unit)有機動性佳、拍攝範圍大等優勢。為強化空間資訊技術於交通管理之應用，研發利用無人機於空中拍攝之動態影片，及深度學習之技術，完成車輛偵測和追蹤技術開發，來輔助道路上偵測車速及流量之創新解決方案。

據此，本研究著重於無人機視訊影像(UAV-Based Video)之交通工具物件判識，開發車輛偵測和車輛追蹤技術，提供更精確的交通參數。研究過程中，車輛偵測技術用來自動辨識車輛，並將車輛分類為不同的類型，而車輛追蹤技術則追蹤同一台車在連續影像中的位置，供後續車速計算使用。透過上述技術應用，可提供更精確的車輛相關之空間資訊，有助於精確分析交通路況並施以交通管理。



Applying drone images in traffic vehicle flow evaluation by AI detection technology

Abstract

With the development of unmanned vehicle hardware and software, using unmanned vehicles equipped with high-resolution cameras makes it possible to acquire a wide range of road images, and unmanned aerial vehicle video images can be used to identify ground vehicles and calculate traffic flow. Compared to roadside units, unmanned vehicles have better mobility and the ability to capture wider areas, so it is necessary to develop unmanned aerial vehicle video image recognition technology for traffic vehicle identification. To enhance the application of spatial information technology in traffic management, a self-developed approach has been adopted. Using unmanned aerial vehicles to capture dynamic videos from the air, in conjunction with deep learning technology, vehicle detection and tracking techniques have been developed to provide innovative solutions to assist in detecting vehicle speeds and traffic flow on roads.

This study focuses on the object recognition of transportation vehicles using UAV-based video. Vehicle detection and tracking techniques have been developed to provide more accurate traffic parameters. In the research process, vehicle detection technology is used to automatically identify vehicles and classify them into different types, while vehicle tracking technology tracks the position of the same vehicle in consecutive images for subsequent vehicle speed calculations. By applying these technologies, it provides more accurate vehicle information, which will help us understand traffic conditions and manage traffic better in the future.

壹、前言

近年來政府積極推動各個面向的無人機科技發展，交通部於108年成立「無人機科技產業小組」，擬定台灣未來無人機產業發展藍圖與推動策略，推動國內無人機產業科技的發展及創新應用。當前政府政策鼓勵智慧應用之創新，空間資訊為發展智慧應用之基礎，本公司基於工程顧問業之角色，發想並規劃未來可能的應用模式，協助政府解決問題，同時亦探索技術轉型與創新的契機。台灣世曦工程顧問股份有限公司(以下簡稱本公司或CECI)推動三維化作業與無人機影像AI判識技術研發，並進一步研發改善生產流程，期望能輔助規設部門在工程全生命週期技術精進，提高工程設計成果品質。

近幾年無人載具軟硬體科技不斷進步，使用無人機攜帶高像素相機進行道路影像擷取已有許多單位實行。相較於傳統的路側單元，無人機具有更大的機動性和能夠拍攝更廣闊的範圍。因此，利用無人機進行交通工具影像擷取是一種新的解決方案，並且具有相當深之應用潛力。本公司採自主研發方式，研究聚焦於利用無人機攜帶高像素相機進行交通工具影像擷取的技術，並透過深度學習的方法開發出車輛偵測和車輛追蹤的技術。透過車輛偵測技術，能夠自動識別出道路上的交通工具，並進行分類。而車輛追蹤技術則能夠在連續的影像中追蹤同一輛車的位置，以便後續進行車速計算。

若提供更加精確的交通參數，並進一步應用在交通管理中，可以提供更精確的車輛相關

空間資訊，未來將有助於精確分析交通路況，並進行交通管理。本研究的成果，有望為未來的城市交通管理帶來更加便捷和精確的解決方案。因此，本研究目標為反演車輛相關交通參數，故研究重點則以無人機進行視訊影像(錄像)蒐集，透過深度學習，發展自動化無人機視訊影像之車輛判識及追蹤，以強化空間定位。本計畫主要包含三個核心研究項目(圖1)：對位(Georeferencing)、偵測(Detection)、追蹤(Tracking)，對應的研發項目包含視訊影像穩定化處理及地理坐標對位、車輛偵測及種類識別、車輛追蹤及反演車輛軌跡與車速。全程工作目標為核心技術開發、測製流程建立、區域執行實際實驗。

貳、研究方法

無人機視訊影像具有大量的影像需進行車輛辨識(Recognition)，若以人工判識將大幅增加測製成本，因此以機器學習(Machine Learning)法進行的自動辨識是本研究之關鍵發展技術，此外亦包含影像穩定化處理、車輛追蹤及其軌跡與車速計算。相關工作條列及說明如下：

一、地理空間定位

(一) 視訊影像穩定化處理

研究資料收集使用旋翼型無人機以固定視角及高度，對國道路段側向拍攝影片，以記錄靜態與動態交通工具之資訊。因無人機在執行航拍任務時，容易受到氣流擾動之影響，使

視訊
影像

對位
(Georeferencing)

偵測
(Detection)

追蹤
(Tracking)

交通
監測

圖1 核心研究項目

影像產生模糊，因此，須對空拍影片進行前處理，以利後續應用於交通工具物件辨識及追蹤。首先即劃定國道路段部分興趣區，並將錄像轉為多幀單一影像，接著提取時間序列中前兩幀影像，利用加速穩健特徵演算法(Speeded Up Robust Features, SURF) (Bay et al., 2006)在特徵空間尺度中萃取影像對之特徵點，完成初始匹配並濾除雜訊後，計算像對視差，輔進行前後幀影像之套合作業(圖2)，圖3為視訊影像所有相幅之疊加及平均，比較有無視訊影像穩定化

處理之差異，經過穩定化處理，可明顯提升各幀影像的一致性。

(二)視訊影像地理空間化處理

完成視訊影片穩定化處理後，需進一步對視訊影片進行空間化處理，使每幀影像坐標(S,L)均具有地理坐標(E,N)內容。本計畫以參考正射影像為底圖並作為基準，人工量測首幀影像及正射影像之路面控制點，再以最小二乘平

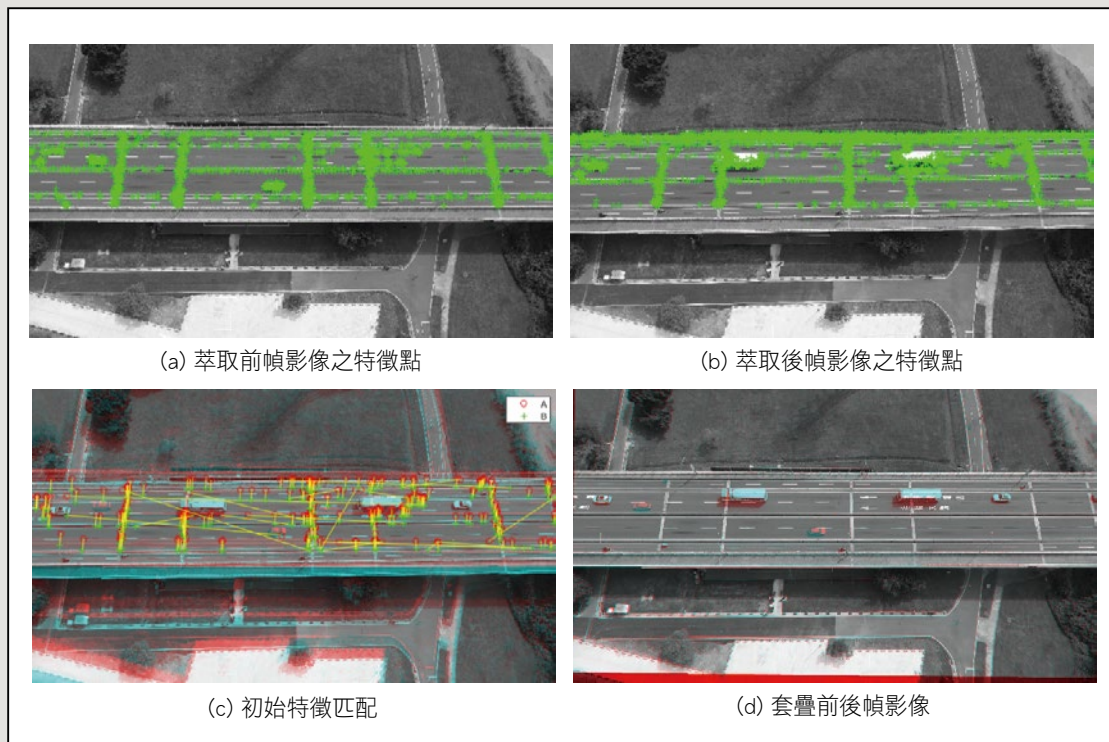


圖2 視訊影像穩定化處理程序

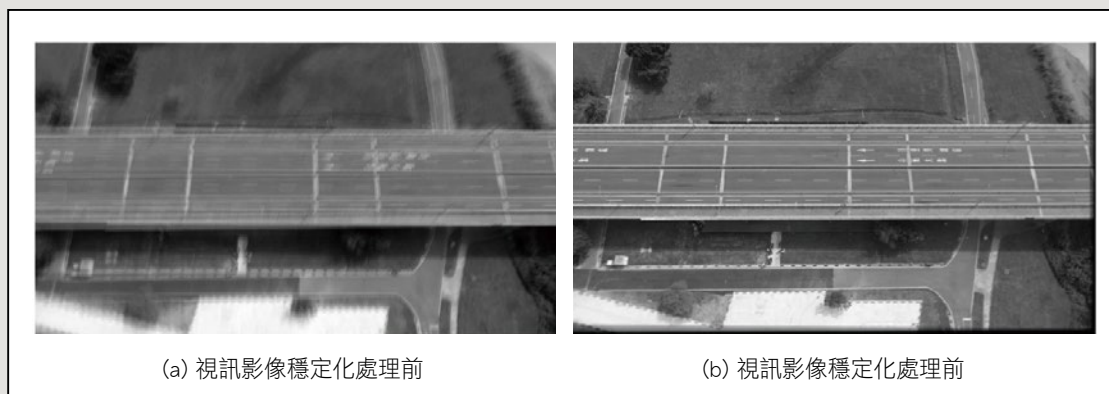


圖3 視訊影像所有相幅之疊加及平均

差法計算之轉換係數(a_{11} ~ c_{12})(式1)，同一視訊影片之各幀影像均使用同一轉換參數，地理坐標對位成果詳圖4。

$$E = \frac{a_{11}S + a_{12}L + a_{13}}{c_{11}S + c_{12}L + 1}$$

$$N = \frac{b_{11}S + b_{12}L + b_{13}}{c_{11}S + c_{12}L + 1}$$

(式1)

二、交通工具物件識別

本案交通工具物件識別部分著眼於大型與小型車輛，演算法部分採用Faster-RCNN(Ren et al., 2015)深度學習方法。該法由RCNN(Region CNN)(Girshick et al., 2014)及Fast-RCNN(Girshick, 2015)演進而來。其中RCNN部分使用Selective Search演算法，從輸入影像中萃取大量的候選區

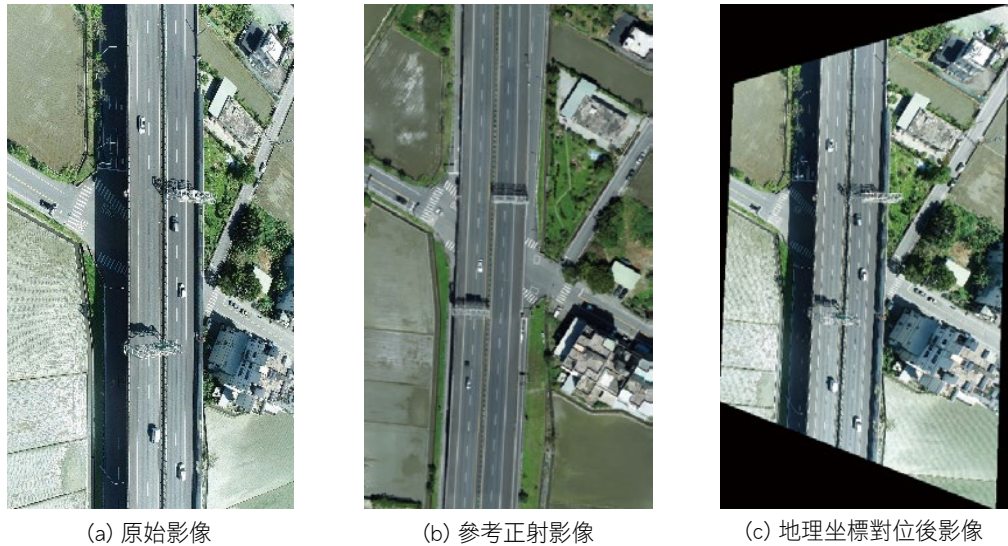


圖4 地理坐標對位成果示意圖

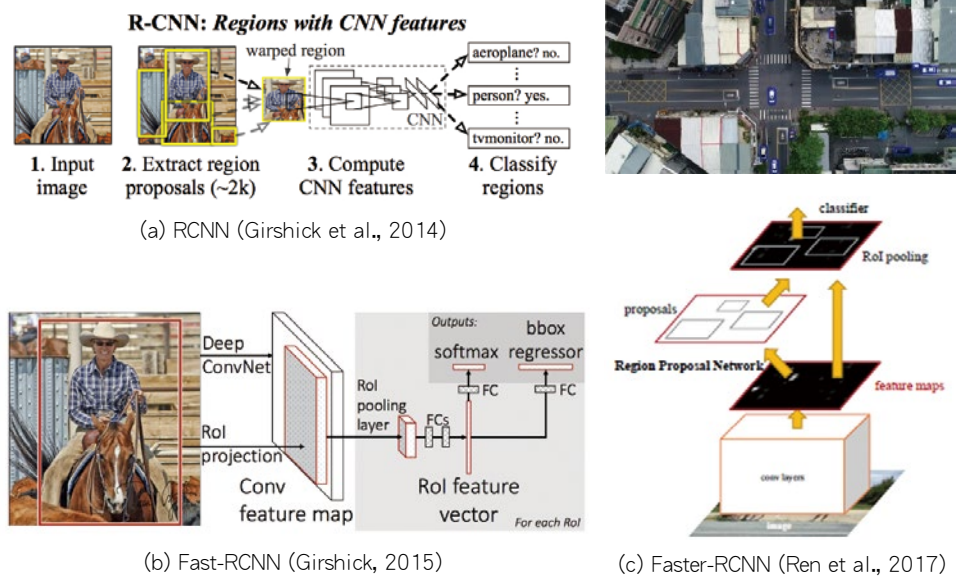


圖5 RCNN, Fast-RCNN及Faster-RCNN架構圖

塊(Region Proposal)，接續透過CNN深度學習模型對其萃取特徵(Feature)，再利用SVM(Support Vector Machine)分類器進行分類，對分類作目標物的多重Bounding Box進行線性回歸(Bbox Regression)，最終獲得目標物的外框(Boundary Box) (圖5(a))。Fast-RCNN只進行一次整張影像的CNN特徵萃取，利用RoI Pooling (Region of Interest Pooling)將取出的Region Proposal對應到CNN的Feature Map，輸出後各自接上全連接層(Fully Connected Layer)進行Softmax分類及線性回歸(Bbox Regression)，最終獲得目標物的外框(圖5(b))。Fast-RCNN已提升RCNN的CNN特

徵萃取之運算效能，而Faster-RCNN則是進一步提升RCNN的Selective Search演算法萃取Region Proposal區塊之運算效能，相較於RCNN的Selective Search演算法，Faster-RCNN使用Region Proposals Network (RPN)搭配Anchor Box提升RCNN的效能(圖5 (c))。

三、車輛追蹤

本研究使用物件追蹤方法為DeepSORT (Wojke et al., 2017)(圖6)，其採用Faster-RCNN進行車輛偵測獲取其邊界框，再對框內目標進

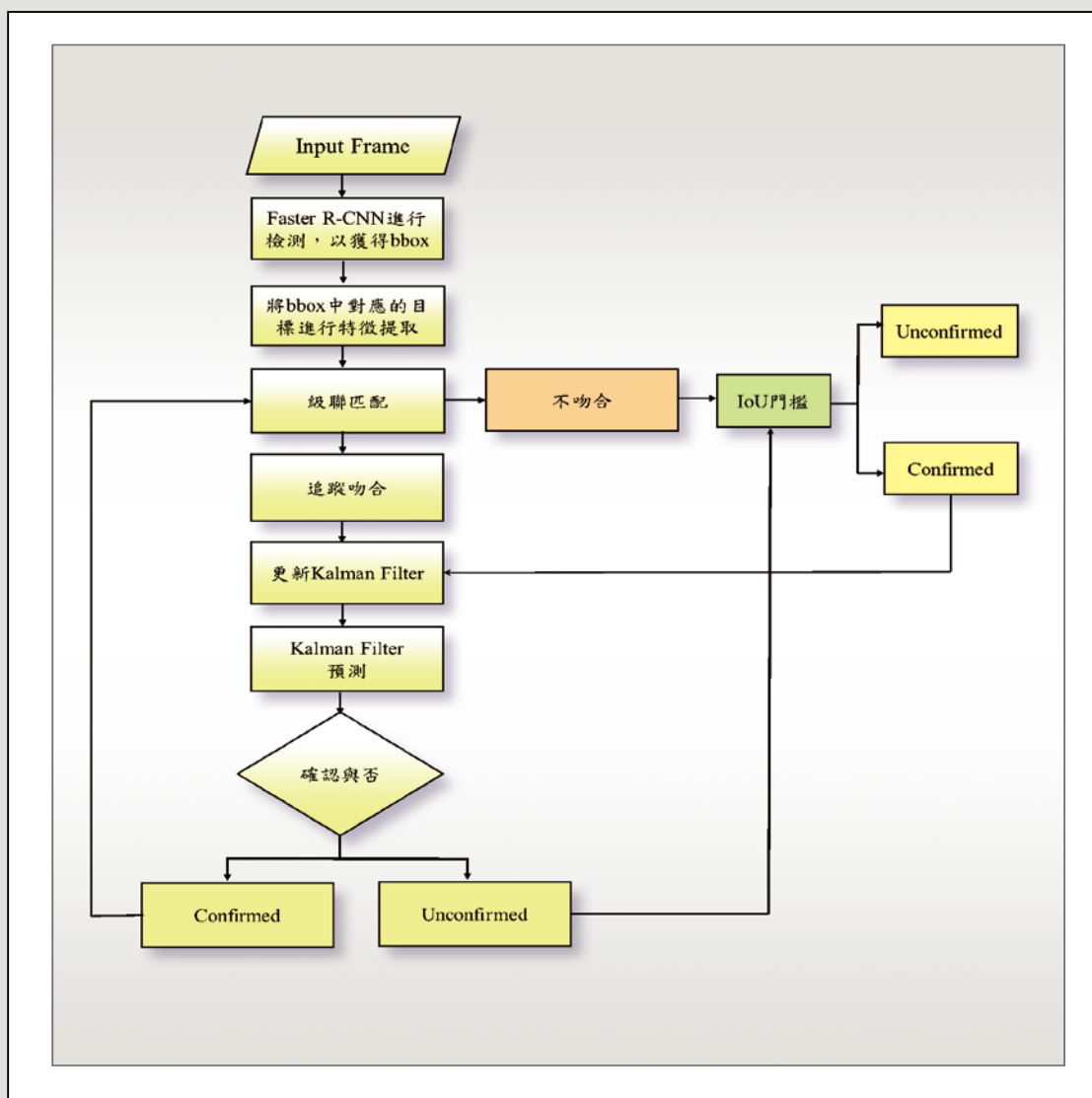


圖6 Deep SORT流程圖

行表面特徵與運動特徵提取，透過級聯匹配 (Matching Cascade) 的方式，將最新且頻繁出現的目標優先進行匹配，增加其可靠性，若結果吻合，則更新卡爾曼濾波 (Kalman Filter)，並透過卡爾曼濾波器預測其位置，若正確則持續進行匹配，若不正確則透過匈牙利演算法 (Hungarian Algorithm) 將卡爾曼濾波器預測到的框與當前偵測到的框進行 Intersection Over Union (IoU) 匹配，獲得數據的相關性，因有設定其最小的 IoU 交集與相似度門檻進行篩選，若目標物短時間被遮蔽，依然可以在重新出現時，可持續被追蹤，追蹤成功後再更新卡爾曼濾波器，再次匹配不成功則可能被視為新的追蹤物亦或是刪除。

四、車輛軌跡及車速

為使車輛追蹤成果得以應用於交通分析，故將車輛追蹤成果搭配影像空間化，將影像坐標 (S,L) 轉化為作絕對坐標 (E,N) (參考式(1))，再行軌跡及車速反演。

$$\Delta D = \sqrt{(E_i - E_0)^2 + (N_i - N_0)^2} \quad (\text{式}2)$$

$$V = \frac{\Delta D}{\Delta t} = \frac{\Delta D}{\Delta \text{frame} * \text{frameRate}} \quad (\text{式}3)$$

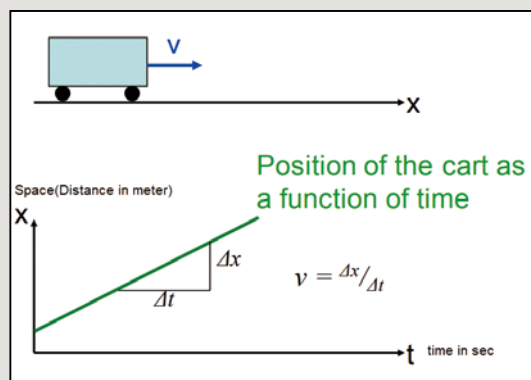


圖7 Space-Time 解說圖

將車輛的坐標轉換至物空間坐標後，利用標定車輛坐標之時間序列，由起訖坐標計算距離 (式2)，再除上時間間隔及可轉換得速度 (式3)，成果展示尚可透過繪製 Space-Time 圖 (圖7) 予以表示，Space-Time 圖中的橫軸代表時間，縱軸代表空間，即距離，斜率則代表車輛的速度，若速度越快，則線段會越趨近於垂直，反之，車速越慢，線段越趨近於水平，當線段水平時，則有可能是車輛已停止，如等紅綠燈或有路況問題而停留於原地。

參、研發成果

技術研發成果分別是資料收集 (UAV

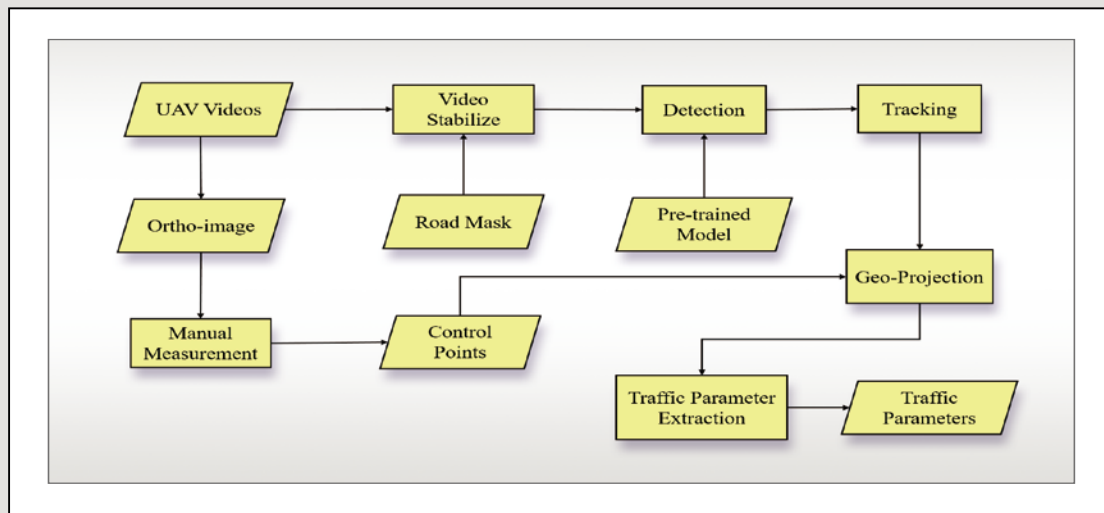


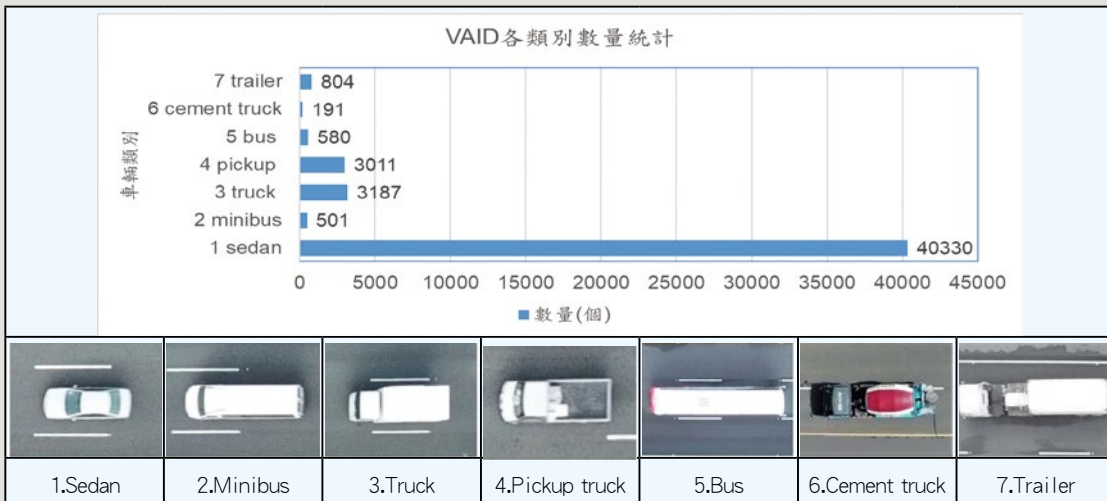
圖8 研究流程

Videos)、影像穩定化處理(Video Stabilize)、交通工具物件識別(Detection)、車輛追蹤(Tracking)、地理空間定位(Geo-Projection)、交通參數計算與分析(Taffic Parameter Extraction)，最終得到交通數據參數(Traffic Parameters)。整體資料處理流程圖如圖8所示。

一、資料收集

(一) 物件偵測訓練資料集

表1 VAID資料集車輛類別 (Lin et al., 2020)



為建立深度學習之偵測車輛(Vehicle)所需樣本，本研究採用VAID(Vehicle Aerial Imaging from Drone)(Lin et al., 2020; Li & Lin, 2020)資料集作為深度學習模型訓練資料集之基底。VAID使用臺灣本地拍攝之無人機影像，相關研究亦多應用於車輛偵測，建置資料方式為使用無人機(DJI Mavic Pro)於市區、郊區及大學校園內拍攝不同交通狀態的影片，影片幀率設為23.98fps，經處理後將影片轉換為1137 x 640 pixels的影像(空間解析度約12.5cm)，以JPEG格式儲存，總計約14,809張影像。蒐集資料時無人機於道路上方固定視角與位置對路面拍攝，並依拍攝時的光照條件將資料分為晴天、傍晚與陰天，三種影像。另外，為了使車輛在所有影像中的尺寸一致，將飛行高度保持離地約90

至95公尺。資料屬性標註由專業人士使用軸對齊邊界框將影像中車輛分為7類，如表1所示，由左至右分別為轎車、小型巴士、卡車、輕便客貨兩用車(Pickup Truck)、公車、混凝土攪拌車(Cement Truck)及拖車(Trailer)，其中數量最多者為轎車(Sedan)40330輛，最少者是混凝土攪拌車(Cement Truck)191輛。以上所述之拍攝情境與本案實驗配置相近，且資料集車種樣式與本案實驗路段內車種略同。

(二) 市區道路視訊影片

道路視訊影片的資料由DJI Phantom 4所收集，影片像幅大小為3840 x 2160 pixels，取樣頻率每秒30幅(30fps)，資料獲取日期為2022/03/04，實驗區為臺北市華中橋，道路長度約為130公尺，此資料具有不同車輛，可應用於模型的訓練或驗證分析。所收集的資料共5個MOV檔，以懸停(Hovering)方式獲取視訊影片，拍攝視角分別為水平距離30m離地航高100m、水平距離30m離地航高80m、水平距離30m離地航高60m、水平距離60m離地航高100m、水平距離60m離地航高80m，共五種情境，以分析不同拍攝方式之影響，獲取範圍及角度如圖9所示。

(三) 高速公路視訊影片

此錄像由CECI採用DJI Phantom 4無人機進行收集，影片像幅大小為3840 x 2160 pixels，取樣頻率每秒30幅(30fps)，資料獲取日期為

2022/03/09，實驗區為位於宜六線與縣191交會處路口上方之國道五號，全區道路長度為230公尺，單一影片道路長度約為130m，如圖10所示。所收集的資料共12個MOV錄像檔(取樣時長均約2分鐘)，分別由兩個相鄰的拍攝位置以

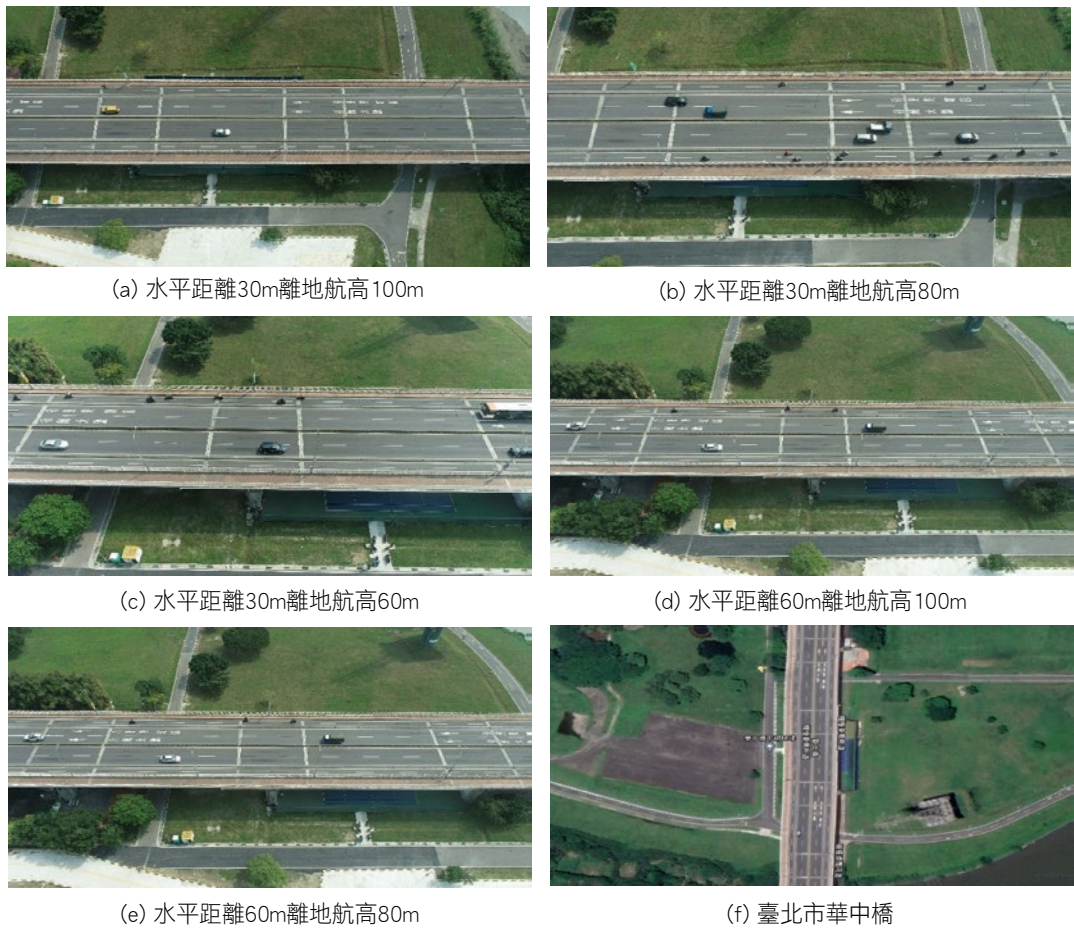


圖9 不同角度及位置拍攝的道路視訊影像

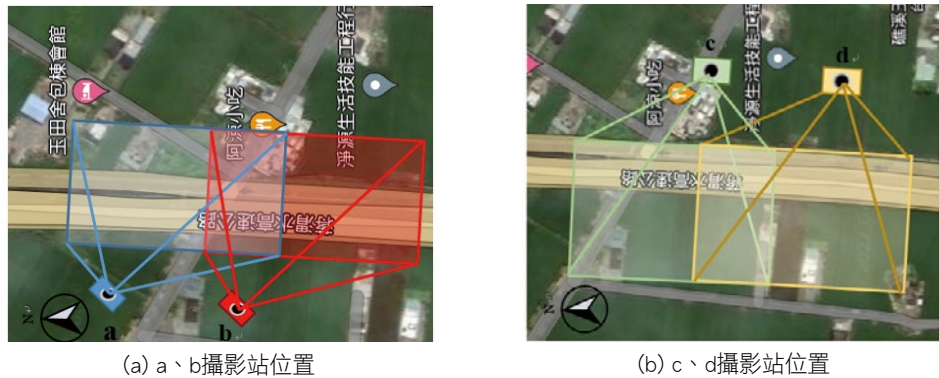


圖10 高速公路拍攝範圍及攝影站位置

不同方向進行定點蒐集，離地航高包含100、80及60m等拍攝高度，分別編號為A01、A02、A03、B01、B02、B03、C01、C02、C03、D01、D02及D03(數字01、02、03分代表航高100、80及60m)。

(三) 擴增物件偵測訓練資料集

由於本研究使用的無人機視訊影像可能與訓練資料集有不同的特性，故人工數化擴充訓練資料集為必要措施。本次作業選用LabelImg為

影像標註工具，LabelImg是一款可用於影像的樣本標註開源軟體(Open Source Software)，不需下載與安裝程式，標註之矩形能夠以多種方式紀錄物件屬性，包含文字、影像、複選框及下拉選單等。完成標註的檔案得以XML格式儲存與輸出。本研究針對2022/03/09高速公路視訊影片進行人工數化成為CECI0309資料集，補標註油罐車Oiltruck並將其加入Trailer類別，以補足VAID的不足，Oiltruck車體為圓柱狀如鋼瓶，共新增43個Oiltruck，表2為各類別示意圖，表3為擴增訓練資料之數量。

表2 車輛偵測類別列表

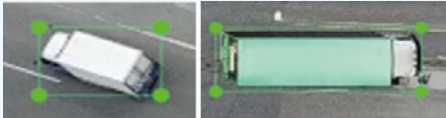
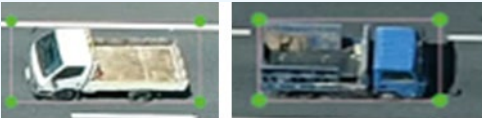
	
1 = 'sedan'	2= 'minibus'
	
3= 'truck'	4= 'pickup truck'
	
5= 'bus'	6= 'cement truck'
	
7= ' Trailer(包含Oiltruck) '	

表3 CECI擴增訓練資料集統計表

種類	1	2	3	4	5	6	7	總數
VAID	40330	501	3187	3011	580	191	804	48604
增加	9381	92	596	719	119	19	368	11294
合計	49711	593	3783	3730	699	210	1172	59898

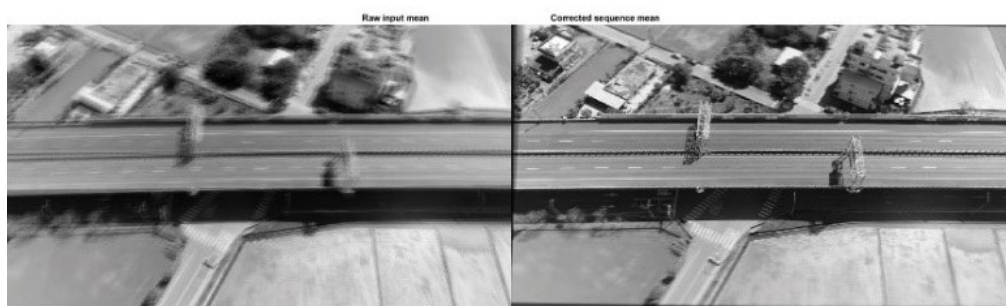
二、影像穩定化處理

無人機懸停拍攝視訊影片時，將受側風等因素影響，造成視訊影片內容的晃動，本研究透過視訊影像穩定化處理，鎖定道路區域進行對位，以減少因無人機雲台的漂移及晃動，使不同時間各像幅之間具有一致的相對關係。圖11係以A拍攝點之3個視訊影片展示穩定化處理成果，左圖是穩定化處理前影片之平均值，而右圖則是穩定化處理後影片之平均值，此資料處理程序可提供更為清晰且相對關係一致的影片平均值，故可證實本研究發展的視訊影像

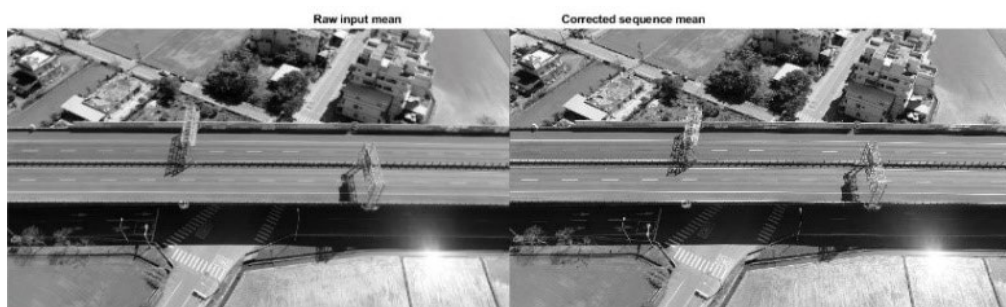
穩定化處理可落實於實際視訊影像。

影像穩定化處理後，同一視訊影像各個像幅已具有一致的坐標，因此可將視訊影像的第1幀影像為基準，進行空間化處理。從第1幀影像與參考正射影像量測控制點執行坐標轉換，將視訊影像空間坐標(S,L)投影至物空間坐標(E,N)位置，圖12亦以A拍攝點之三部影像之首幀為代表，展示視訊影像之地理定位之成果。

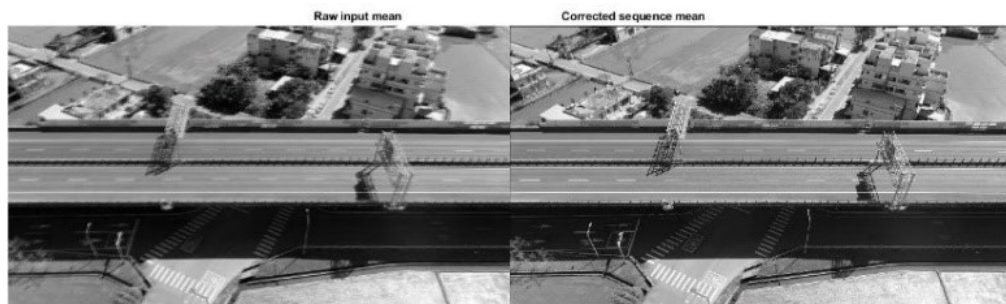
原影像物件偵測成果將由像空間轉為物空間，4拍攝點資料最終不僅整合兩路段的影像，



A01(航高100m)，左邊為穩定化處理前，右邊為穩定化處理後



A02(航高80m)，左邊為穩定化處理前，右邊為穩定化處理後



A03(航高60m)，左邊為穩定化處理前，右邊為穩定化處理後

圖11 視訊影像穩定化處理成果

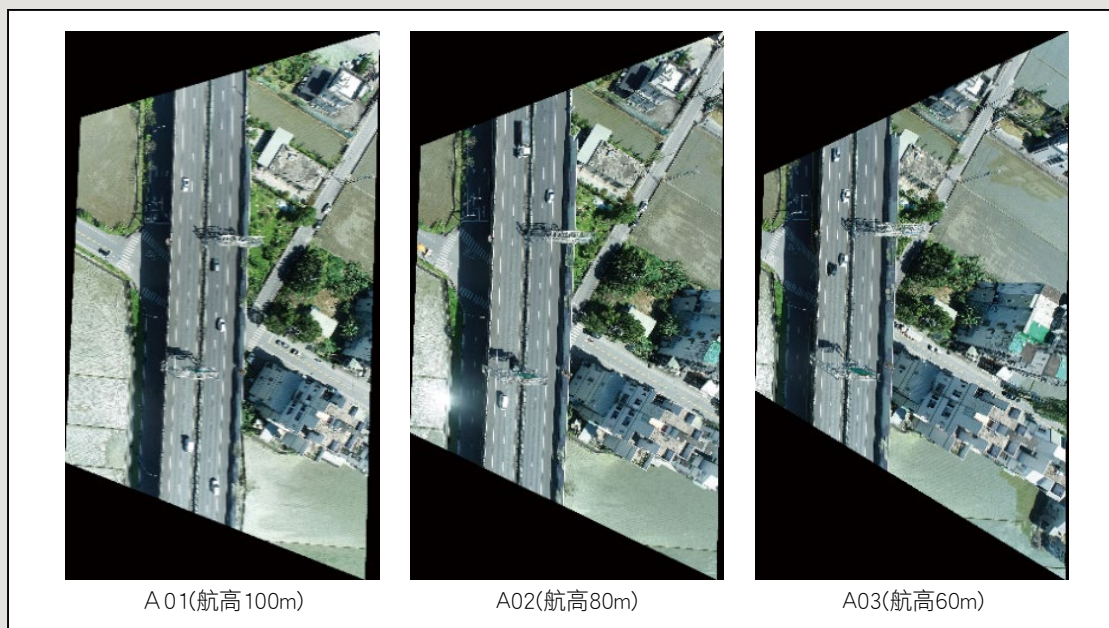


圖 12 A拍攝點視訊影像之地理定位

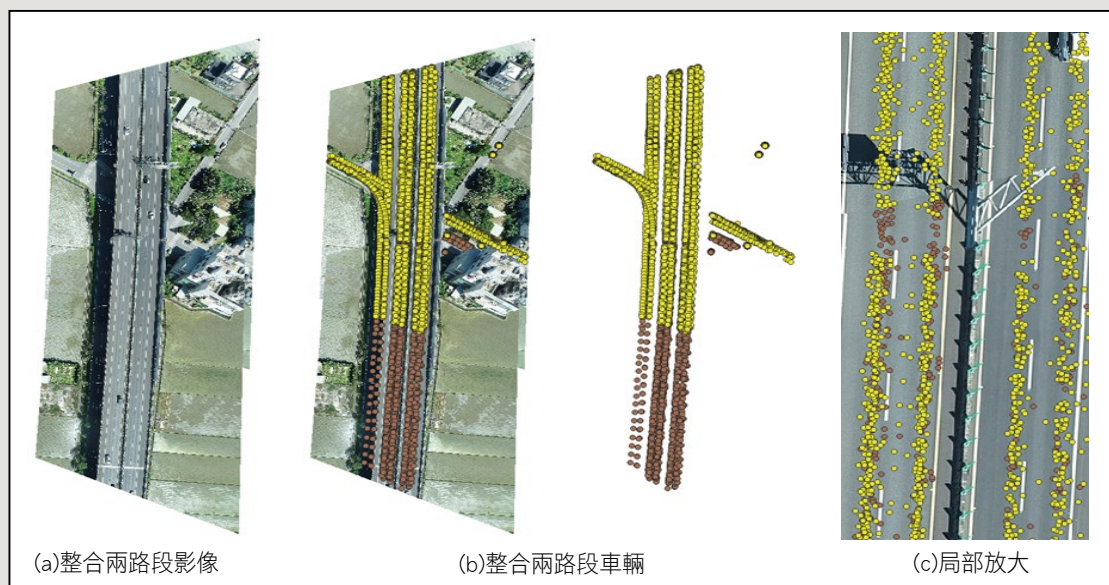


圖 13 空間化物件偵測成果優勢

亦整合兩路段的車輛，如圖 13，黃色為A01資料集所獲取的車輛資料，咖啡色為B01所獲取的車輛資料，並且可以透過縮小放大仔細進行檢視。視訊影像地理空間化處理作業成果展示可參考<https://youtu.be/BGwFBYNU-d8>。

三、交通工具物件識別

為增加訓練樣本，以提升模型預測精度，本項工作將VAID資料集及人工數化CECI0309資料集整合，以利提升Faster-RCNN之訓練成效，其中隨機抓取80%的資料作為訓練(Train)資料集，其餘20%則為測試(Test)資料集，其主要應用於獨立檢驗，分別命名為Mixed_train集(6059張影像)及Mixed_test集(1514張影像)，如圖14及表4。同研究方法所述共分為七個類別：

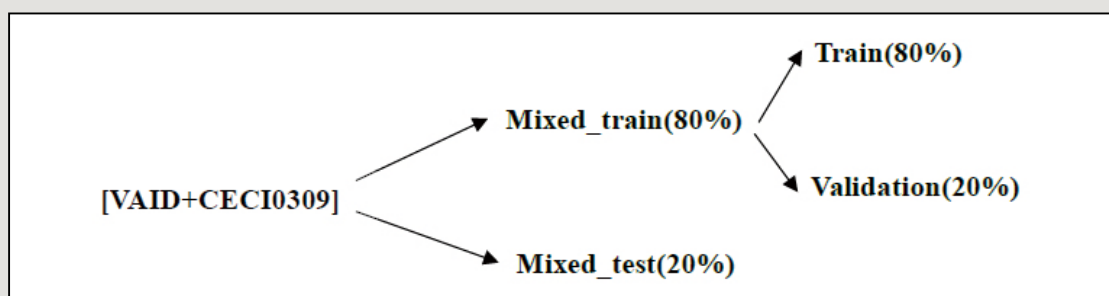


圖14 訓練、驗證、獨立驗證資料分類

表4 統計模型訓練資料各類別數量

Distribution of instances among all 7 categories (Train)							
Category	Sedan	Minibus	Truck	Pickup truck	Bus	Cement truck	Trailer
Instances	31553	364	2406	2430	431	128	722
Total	38034						
Distribution of instances among all 7 categories (Validation)							
Category	Sedan	Minibus	Truck	Pickup truck	Bus	Cement truck	Trailer
Instances	8172	109	616	636	119	40	162
Total	9856						

Sedan、Minibus、Truck、Pickup truck、Bus、Cement truck、Trailer(包含Oiltruck)。Mixed_train資料集再細分為Train及Validation。

(一) 建立深度學習模型：Mixed_train

本計畫考量開源訓練資料集之不足，整合VAID及CECI0309人工編修訓練資料集，以提升車輛偵測能力，另箱型車類的Minibus合併進入Sedan，僅保留軸距較長的Minibus，並再進一步除去分類錯誤。模型的驗證分析透過AP值(式4)進行評估。

$$AP = \frac{1}{11} \sum_{recall(i) \in \{0,0.1,0.2,\dots,1\}} Max(precision(i))$$

(式4)

經由迭代計算可得獲取模型之Total Loss及Validation Loss，觀察Loss Function收斂的情況均為遞減且穩定，續採用AP(Average Precision)進行成果驗證之統計(表5)。觀察模型擬合成果之AP值，本研究採用整合VAID與LabelImg人工標記所建立的模型，可在AP50(IoU 0.5)時達93.785%(表6)。

表5 模型收斂後各類別之最終AP值

Per-category bbox AP							
Category	Sedan	Minibus	Truck	Pickup truck	Bus	Cement truck	Trailer
AP	72.133	72.257	65.675	59.643	77.340	63.589	74.547

表6 收斂後整體類別之最終AP值

Evaluation result for bbox					
AP	AP50	AP75	APs	APm	API
69.312	93.785	87.480	47.667	71.393	58.804

(二) 獨立驗證分析：Mixed_test

獨立驗證分析採用Mixed_test資料集，以矩形外框為單元的Object Detection深度學習精度分析使用三種各類別評估指標，Precision (式5)、Recall (式6)、F1-Score(式7)。

$$\text{Precision(準確率)} = \text{TP}/(\text{TP}+\text{FP}) \quad (\text{式5})$$

$$\text{Recall(召回率)} = \text{TP}/(\text{TP}+\text{FN}) \quad (\text{式6})$$

$$\text{F1 - Score} = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (\text{式7})$$

其中，TP(True Positive)為真實情況「有」，模型判識作「有」的正確個數；

FN(False Negative)是真實情況「有」，模型卻判識「沒有」的錯誤個數；FP(False Positive)是真實情況「沒有」，模型而判識「有」的錯誤個數。透過模型進行Mixed_test的預測結果如下方計算式，可得漏授為261個(Omission)、誤授為262個(Commission)。其Recall、Precision、F1-Score分別計算如表7，F1-Score值域範圍為0到1，而0.97的成果可知模型預測精度相當高。(Recall代表模型能夠正確地預測出多少事實為真的樣本，Precision代表模型預測為陽性的樣本中有多少樣本是事實為真，而F1-Score則代表模型的總體表現)。

物件偵測上述訓練模型進行測試，此模型可同時應用於CECI高速公路視訊影像及原始VAID資料集，模型預測成果展示如圖15。

表7 獨立驗證資料集之誤差矩陣

		真實		參數計算
		事實為真 (Positive)	事實為假 (Negative)	
預測	預測為陽性 (Positive)	TP=9564	FP=262	Precision = 0.97 Recall = 0.97 F1 - Score = 0.97
	預測為陰性 (Negative)	FN=261		



圖15 模型預測成果展示

四、車輛追蹤

為使每幀影像中的車輛具連貫性，進而獲取車輛運行軌跡，且可同時對多部車輛進行追蹤。本研究透過Faster-RCNN執行影像物件偵測，框選每張影像上的目標物件，接著DeepSORT在連續影像中比對框選區域特徵，將相同目標物給與單一編號，如圖16之案例。追蹤不同影像間的同一物件給予相同編號Sedan-8。

五、地理空間定位

為了反演車輛的軌跡及車速，將追蹤的成果進行坐標轉換，由影像坐標(S,L)空間轉換至物空間坐標(E,N)，首先須先手工量測控制點，各影片控制點量測數量如表8，統計13個視訊影像地理空間化在E及N方向的RMSE均小於0.1m，可滿足車輛定位之需求。

將轉換後的車輛軌跡匯入QGIS，並套疊在正射影像中，軌跡如圖17。其中，因為ID457的



圖16 前後幀影像進行比對

表8 空間化精度分析表

Video ID	Number of Control Point	RMSE (m)	
		ΔE	ΔN
A01_60_100	10	0.049	0.042
A02_60_80	9	0.028	0.040
A03_60_60	9	0.045	0.049
B01_30_100	8	0.058	0.048
B02_60_80	9	0.051	0.030
B03_60_60	8	0.048	0.017
C01_60_100	10	0.055	0.047
C02_60_80	10	0.056	0.033
C03_60_60	8	0.049	0.022
D01_60_100	10	0.058	0.022
D02_60_80	8	0.054	0.025
D03_60_60	8	0.066	0.025
D04_60_50	8	0.068	0.024

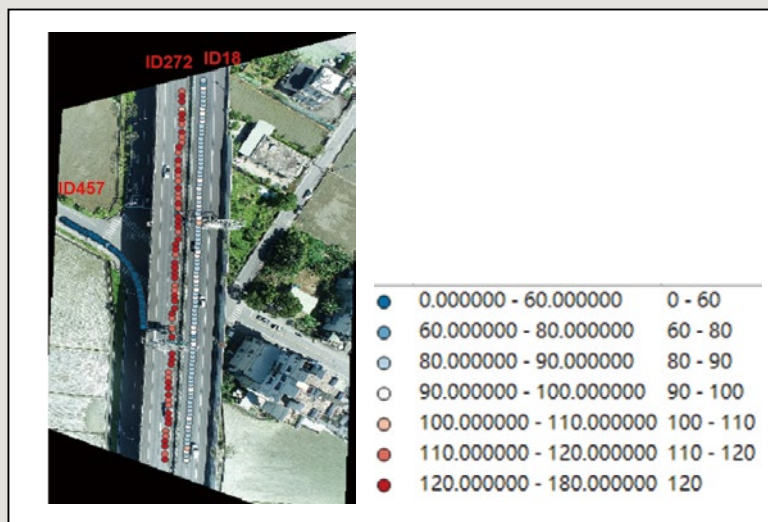


圖17 車輛軌跡圖

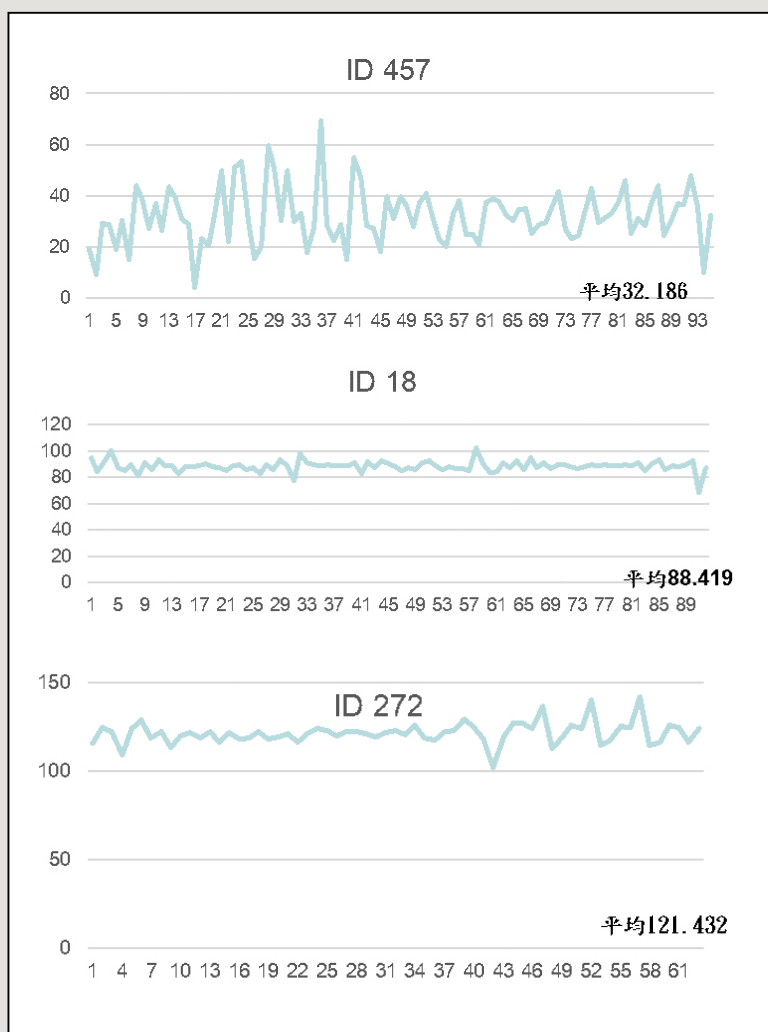


圖18 三輛車之時間速度圖，其中ID457為平面道路車輛，ID18及ID272為高速公路車輛

車輛位於平面道路，車速低於60，因此軌跡為藍色，其速度與位置皆符合常理。計算圖中三輛車的平均速度，ID457的橋下車輛平均速度約為每小時32.17公里，ID18的車輛為平均速度每小時88.42公里，ID272的車輛為平均速度每小時121.43公里，如圖18。

六、交通參數計算與分析

本實驗著眼於高速公路範圍內車輛(未含平面道路車輛)，為便於解析交通概況，須將無人機所拍攝的結果進行交通參數的運算，導出成果包含Space-Time圖表、各類車輛的總數、各類別車輛的平均速度、最快速度、最慢速度及速度標準差，以利輔助後續交通規劃、車流疏散等交管措施。

(一) Space-Time Diagram

Space-Time Diagram的每一條線代表一部被追蹤成功的車輛，其線段的斜率即代表車速，線段間的斜率若一致，係代表車速相近，然而線段的斜率若相差越大，則代表車輛間的行駛速度有所差異，而同一路段各車輛速度不一致之情況，將容易導致車禍，抑或是發生塞車等情形，對於用路人而言須多加注意路況。本小節以相同航高(60m)之4個拍攝點的Space-Time Diagram進行成果展示(圖19)，可觀察得：此筆直且平穩的高速公路且於該錄影時間區段內，無發生車輛間速度差異甚大之問題。

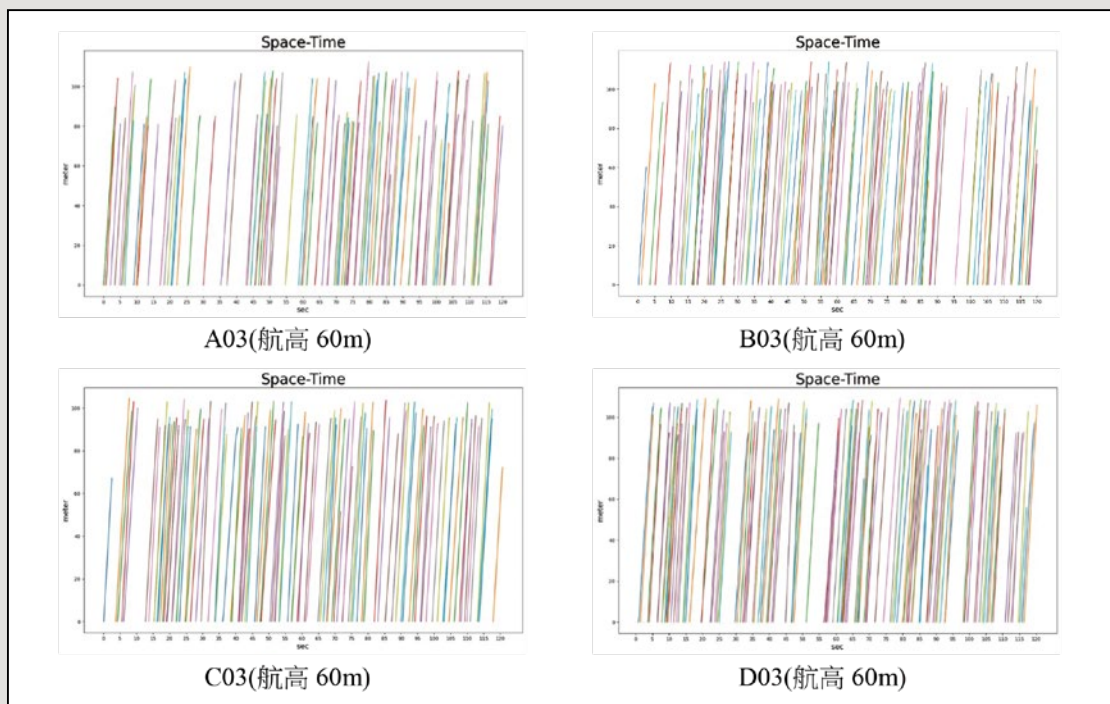


圖19 Space-Time Diagram

(二) 各類別車輛數量統計

統計各類車輛數量將能分析該路段的常見車種，以利未來交通規劃、路面結構設計等相關議題。針對本研究12部影片進行各類別車輛統計，以Sedan數量為最多(平均92輛)，其次為Truck(平均66輛)，Minibus數量僅有一台，而Cement truck則是完全未有偵測到。另直接觀察影片內容，A01及D03影片中的車輛最多，A03、B01與C01車輛相對較少，而偵測成果亦吻合現況(圖20)。

(三) 各類別平均速度統計

觀察各車種統計速度(圖21)，Sedan在12個影片當中是平均車速最快，平均速度為每小時93.37公里；其次為Truck，其平均速度為91.26 km/hr；最慢的車種為Bus，其平均速度為84.90 km/hr，由於Cement truck數量過少，因此忽略不計。至於各影片的平均速度的部分，則為B01速度最快(92.72 km/hr)，藉此可以推測車流量較

少，與前一小節「(二) 各類別車輛數量統計」結論一致。綜合以上來看，每類別的平均車速皆落在約90km/hr，亦吻合國道速限規範值。

(四) 各類別最高速度統計

統整各車種於12個錄像中所計算得之最高速度(如圖22)，相同地，不論何一錄像，在各類別車輛當中，最快者亦為Sedan，另以各類別平均來看，同為Sedan最快(最高速度之平均為126.71 km/hr)，第二快者為Truck(最高速度之平均為102.43km/hr)。以各影片之各車種最高車速而言，B02影片當中的最高速度之平均為最快，達109.26km/hr，而C01影片的最高速度之平均為99.97km/hr，為所有實驗錄像中最慢者。

(五) 各類別速度標準差統計

統整各車種於12個錄像中所計算得之速度標準差(圖23)，觀察各車種平均標準差，Sedan標準差為最大(平均9.96km/hr)；其次為Truck(平

車種數量統計

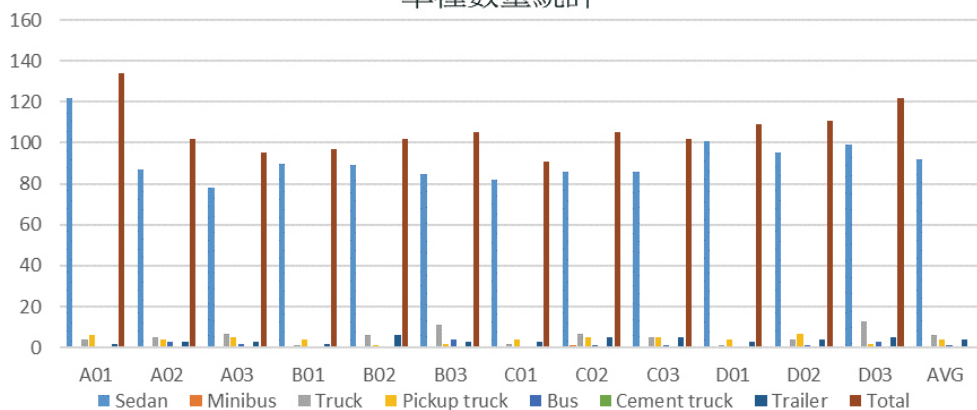


圖20 各類別車輛統計(單位:輛)

車種平均速度統計

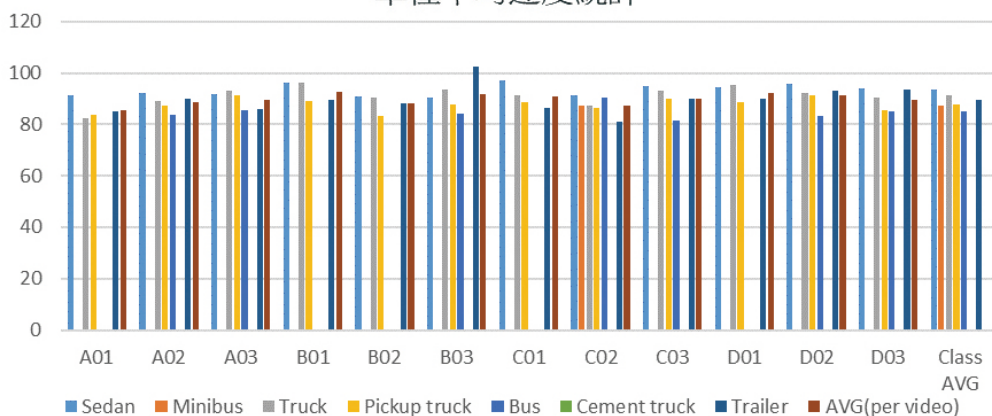


圖21 各類別平均速度統計(單位:km/hr)

車種最高速度統計

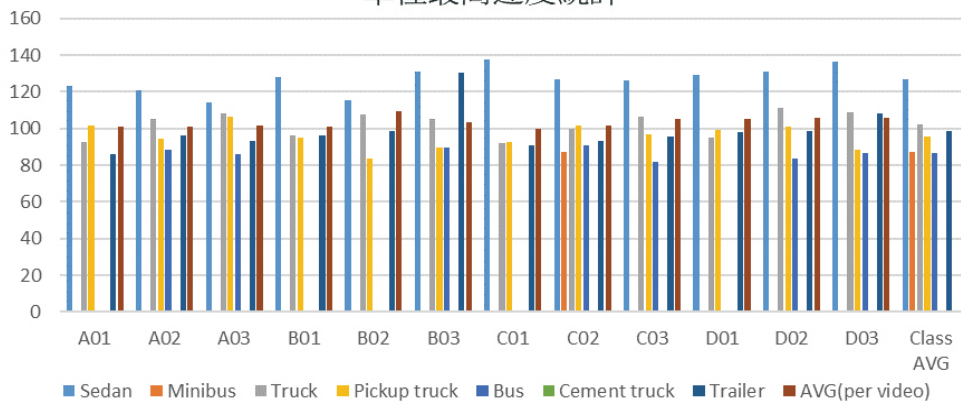


圖22 最高速度統計(單位:km/hr)

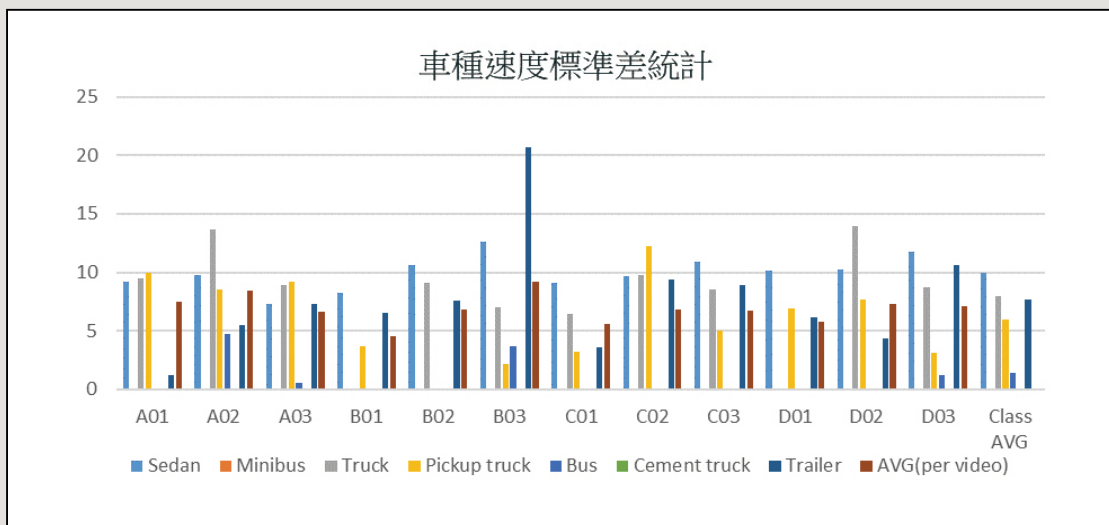


圖23 各類別速度標準差統計(單位:km/hr)

均7.97km/hr)；而標準差最小者為Bus(平均1.46 km/hr)，主因為巴士作為大型載運交通工具，因此重視安全性其行車速度變化較小，且多固定行駛於外側車道，無頻繁加減速之行為，據此該統計成果合乎基本邏輯，另小巴士Minibus與Cement truck數量過少，因此不納入分析。

肆、結論與未來建議

本研究展示影像穩定化的效果理想，具實用性、小轎車的偵測能力為最佳，皮卡車及大卡車的偵測能力較差，未來建議仍需要增加這類交通工具的訓練樣本。本研究已完成項目如下：

- 一、空間化物件偵測成果，經由影像匹配完成視訊影像穩定化前處理，再經由投影轉換將影像坐標轉換到絕對坐標，使物件偵測成果具備物空間意涵，以利後續提供具有空間坐標之交通參數。
- 二、增加訓練資料集，使用台灣世曦拍攝之影片及LabelImg工具，增加訓練樣本，建立訓練資料集擴充程序及進行實際實驗。

三、完成Faster-RCNN車輛偵測模組，建立訓練模型，並使用獨立測試資料進行檢核及精度分析，獨立檢核區之Precision、Recall及F1-Score均達到0.97，驗證車輛偵測模型具有高辨識能力。

四、進行車輛追蹤，並給予相同目標物單一編號，可追蹤同一台車在連續影像中的位置，供後續車速計算使用。

五、控制點量測及坐標轉換，利用控制點進行影像坐標(S,L)轉換至物空間坐標(E,N)的參數計算，以取得影像中的比例尺資訊。

六、交通參數計算與分析，將各類別、各區域車輛進行參數計算，如平均車速、各類別車輛統計、Space-Time Diagram等，以利後續交通分析與規劃。

七、完成演算模組導入實際拍攝影片，並驗證開發模組的可應用性。

參考文獻

1. Bay, H., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2006). Surf: Speeded up robust features. In European conference on computer vision (pp. 404-417). Springer, Berlin, Heidelberg.
2. Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & 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).
3. Girshick, R. (2015). Fast r-cnn. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision (pp. 1440-1448).
4. Li, C. Y., & Lin, H. Y. (2020). Vehicle Detection and Classification in Aerial Images using Convolutional Neural Networks. In VISIGRAPP (5: VISAPP) (pp. 775-782).
5. Lin, H. Y., Tu, K. C., & Li, C. Y. (2020). VAID: An Aerial Image Dataset for Vehicle Detection and Classification. IEEE Access, 8, 212209-212219.
6. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. In Advances in neural information processing systems (pp. 91-99).



從2022年智慧運輸 世界大會展望國際智 慧運輸發展趨勢

關鍵詞(Key Words)：智慧運輸系統(Intelligent Transportation System)、車聯網(Internet of Vehicles, IoV)、自駕車(autonomous vehicle)、淨零排放(Net Zero)

中華顧問工程司／智慧運輸中心／研究員／孫士勝 (Sun, Shi-Sheng) ❶

中華顧問工程司／智慧運輸中心／正工程師／王冠堯 (Wang, Kuan-Yao) ❷

中華顧問工程司／偏鄉智行中心／正工程師／李怡穎 (Li, Yi-Ying) ❸

中華顧問工程司／綜合業務組／研究員／蔡明志 (Tsai, Ming-Chin) ❹

交通部／科技顧問室／主任／王穆衡 (Wang, Mu-Han) ❺



摘要

智慧運輸世界大會（ITS Word Congress，簡稱ITSWC或ITS世界大會）為全球智慧運輸界最重要的年度盛會，有「智慧運輸界奧林匹克」之稱，作為全球智慧運輸界產官學研發表ITS最新成果技術的舞台，並提供相關智慧運輸政策制定、觀念倡議、及想法交流之平台，亦是國際間智慧運輸發展之利害關係人作為業務推動之重要場合，各國政府也都積極參與ITS世界大會作為智慧運輸建設之成果發表以及相關技術交流。

交通部近年與地方政府協作之智慧運輸計畫，因應國內外趨勢及產業變化，導入科技創新，使產業應用能夠落地，進而將服務體現在民眾日常生活中。本次世界大會探討相關議題如公平性、車聯網與自駕車、淨零排放...等多項內容，本文從中進行重點摘錄，並提出我國新一期ITS計畫之推動方向建議，期能以他山之石，思考我國運輸部門如何克服與面對推動過程面臨之挑戰，提升交通管理及移動服務競爭力，並提供國人美好的交通生活體驗。



Looking forward to the international trend of ITS development from the ITS WC 2022

Abstract

ITS Word Congress (aka ITSWC) is the most important annual event in the global intelligent transportation field and is also known as the "Olympics of Intelligent Transportation." ITSWC is a platform for relevant intelligent transportation policy development, concept advocacy, and idea exchange, and also an important occasion for stakeholders of ITS to promote business. Governments also actively participate in ITSWC, publish the achievements ITS, and exchange related technologies.

In recent years, in response to global trends and industrial changes, the MOTC has cooperated with local governments for ITS projects to introduces technological innovations, implement industrial applications, and embodies services in people's daily life. ITSWC 2022 discussed related topics such as fairness, Internet of Vehicles and self-driving cars, net zero emissions...etc. This article attempts to extract related key points from ITSWC 2022, exposing how transportation sectors can face and overcome the challenges in the promotion process. Also, we provide some suggestions about the direction of the next four-year ITS plan, and hope that can improve the competitiveness of traffic management and mobility services, and provide people with a better traffic life experience.

壹、前言

智慧運輸世界大會（ITS World Congress，簡稱ITSWC或ITS世界大會）為全球智慧運輸界最重要的年度盛會，有「智慧運輸界奧林匹克」之稱，作為全球智慧運輸界產官學研發表ITS最新成果技術的舞台，並提供相關智慧運輸政策制定、觀念倡議及想法交流之平台，亦是國際間智慧運輸發展之利害關係人作為業務推動之重要場合，各國政府也都積極參與ITS世界大會作為智慧運輸建設之成果發表以及相關技術交流。

ITS世界大會是由世界各地智慧運輸協會共同發起的國際會議，每年輪流由ERTICO（ITS Europe）、ITS America、ITS Asia Pacific此三大ITS國際組織之會員國於歐洲、美洲、亞洲城市間輪流辦理，本年度第28屆ITS世界大會原訂於2020年於美國洛杉磯舉辦，惟該年度因受Covid-19疫情影響，故延後至2022年舉辦。本

屆ITS世界大會於2022年9月18-22日在美國洛杉磯會議中心（Los Angeles Convention Center，LACC）舉行，依2022年ITS世界大會主辦單位統計¹，本屆ITS世界大會共有逾300家展攤、逾180場論文及教育場次，與會國家39國，為Covid-19以來規模最大之智慧運輸盛會。

我國台灣代表團於9月15日出發、9月25日返台，台灣團與會代表約80人，為Covid-19疫情後參與人數最盛大之國際盛事之一。本次台灣代表團由ITS Taiwan施義芳理事長領軍，除在主場館洛杉磯會議中心設置「ITS台灣館」展示台灣智慧運輸建設、產業技術及相關研發成果（圖1），並有10場由台灣與會人員所參與或發表演文之技術或專題場次，詳如表1。（圖2、圖3）

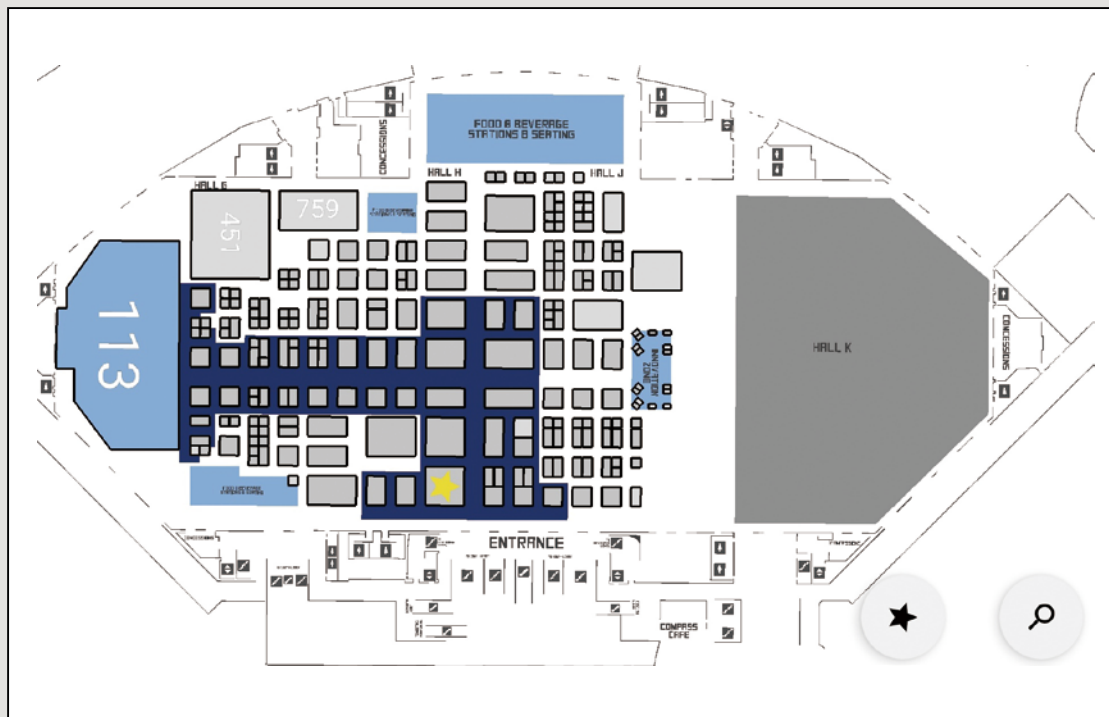


圖1 第28屆ITS世界大會會場平面圖，黃色星號處為ITS台灣館

¹ ITS WORLD CONGRESS AT A GLANCE, <https://www.itsamericaevents.com/world-congress/en-us.html>

表1：「第28屆智慧運輸世界大會」台灣與會人員參與及發表場次²

發表場次	場次時間	場地	與會人	單位/職稱
TS4: Moving Vehicles as a Group	9/18 Sun. 0900 - 1030	404A	許琮明	車輛中心/ 專員
TS30: Can Technology Save Money and Lives	9/18 Sun. 1330 - 1500	409B	Leon Kao	中華電信研究院
TS5: Using Technology to Detect Anomalies	9/18 Sun. 1530 - 1700	402B	許添本	台灣大學/ 教授
TS8: Traffic Management Safety	9/19 Mon. 1300 - 1430	402A	孫士勝	中華顧問/ 組長
RF1: Moving Transit to Zero Emissions	9/19 Mon. 1500 - 1630	405	劉建邦	高雄交通局/ 副局長
IF1: Fair Mobility as a Service (MaaS)	9/20 Tue. 1300 - 1430	411	張學孔	台灣大學/ 教授
TS16: Managing Congestion	9/20 Tue. 1500 - 1630	402B	林宇光	台灣世曦/ 計畫工程師
TS17: Transportation Technologies	9/21 Wed. 1500 - 1630	402B	徐嘉駿	睿星科技/ 經理
IF4: Ensuring Diversity, Equity, Accessibility, and Inclusion of ITS: Current and Future Actions	9/22 Thu. 1300 - 1430	411	王穆衡	交通部科顧室/ 主任
TS35: How Technology Impacts Transportation II	9/22 Thu. 1300 - 1430	402B	劉信宏	華夏科技/ 經理



圖2 孫士勝博士於TS8場次發表中華顧問工程司區塊鏈技術研究與應用成果

² 中華智慧運輸協會2022美國洛杉磯第28屆智慧運輸世界大會與會手冊

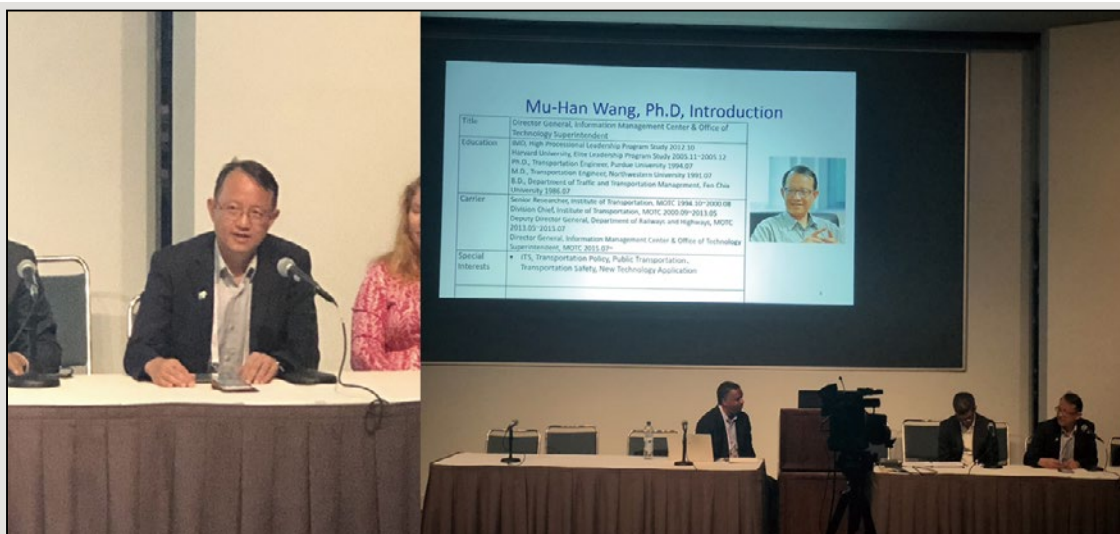


圖3 王穆衡博士於IF4場次分享我國推動公平永續智慧運輸服務經驗

一、2022年智慧運輸世界大會主題

ITS World Congress 2022年大會主題為「由運輸轉型」(Transformation by Transportation)(圖4)，其主要概念發想為：智慧運輸相關技術將為人類提供可以重構移動性、並改變世代的成果之良機 - 更環保的社會、更有韌性的系統、提升了可及性與公平性，並為人類提

供更安全、更智慧化的道路，對比2021年智慧運輸世界大會之主題「立即體驗未來出行(Experience Future Mobility Now)」由探討更智慧、潔淨及有效率的移動方式，更進一步加入安全、環保與韌性等議題，大會主題亦反映了交通運輸在新冠疫情近3年來的轉變。



圖4 ITSWC2022大會主視覺以及大會主題

本年度ITSWC國際項目委員會(International Program Committee)共規劃7大主題³(圖5)，包括：

- (一)公平與無縫的移動(Equitable and Seamless Mobility)
- (二)朝向零傷亡願景的路(Path to Vision Zero)
- (三)從入口到最後一哩路的科技(Technology from Entry to the Last Mile)
- (四)智慧、聯網與自動化的運具(Intelligent, Connected, and Automated Vehicles)
- (五)為政策成功、治理、商業模式與國際合作的組織規劃(Organizing for Successful Policy and Governance, Business Models, International Cooperation)
- (六)永續和韌性(Sustainability & Resiliency)
- (七)數位基礎設施(Digital Infrastructure)

二、7大主題討論重點摘要

(一) 公平與無縫的移動(Equitable and Seamless Mobility)

公平與無縫的移動在本次大會主要專注四大領域，即整合性的移動服務；對所有性別與種族均須考量公平、多元、易得且具包容性；提升安全(Safety)與保安(Security)服務以及降低壅塞與減少污染排放。

本次大會相關會議過程，在不同場次的報告中也可看到前述各領域的改進，但有些須特別注意的事情，如自2015年以來，本屆大會首次未將MaaS服務作為主要探討議題；電動化似乎不如預期，並未獲得媒體關注…等。然本次大會亦提出許多新興議題，如運用人工智慧進行電動車充電之排程規劃；運用5G即時支付資料預測公車空餘座位數；”超級APP”的出現，有助將私人車輛移轉至多元運具…等。本屆大會和之前的大會都有相關場次討論ITS的公



圖5 2022年智慧運輸世界大會7大主題

³ ITS World Congress 2022 CALL FOR CONTRIBUTIONS, <https://www.itsamericaevents.com/world-congress/en-us/programs/call-for-contributions.html>

平性、多元性、可得性與包容性。然而目前可合理衡量這些因素，並可測試我們是否正確地解決了這些問題的工具數量仍相當有限，而且可能並不為人所熟知。

（二）朝向零傷亡願景的路（Path to Vision Zero）

本項主題的重點在於，“我們如何才能努力消除交通事故和重傷，同時增加安全、健康和公平的機動力”？20世紀末北歐瑞典與挪威等國家陸續推動「零死亡願景(Vision Zero)」，之後世界各國也陸續採行，至21世紀初已陸續成為全球的共同目標。近年來，由於各式各樣的旅運服務選擇迅速增加，導致城市道路的混合使用及相應而來的事故碰撞激增，也成為這是實現「零死亡願景(Vision Zero)」的重大障礙。事實上，支持「零死亡願景(Vision Zero)」的智慧科技並不缺乏，實際上缺乏的往往是自上而下的政策領導。

（三）從入口到最後一哩路的科技（Technology from Entry to the Last Mile）

有關最後一哩路服務，涵蓋許多要考慮的面向。包括數據的關鍵組成與通訊，需要透過更多的分析與測試。旅行者需要的是簡單、靈活且便利的解決方案，如何透過ITS技術推動數據與技術創新，並用於服務共享與管理，是未來需要進一步努力的目標。需求反應式運輸服務(DRTS)具備徹底革新公共運輸服務之潛力，透過更好的科技應用，可更精準更換低效率路線，並調整資源配置，改為配置提供原來不存在服務的區域。

（四）智慧、聯網與自動化的運具（Intelligent, Connected, and Automated Vehicles）

本主題與歷年大會相同，為最受歡迎的主題之一，佔所有活動的35%以上。前次大會以人工智慧、感測器、數據處理、通信、地圖繪製及定位等技術層面做為討論議題，本年度主題有三大特色領域被廣泛討論，包括：提升路口安全性、偏鄉服務的發展以及協同合作。特別是針對不同國家和地區，以及部門之間的合作，尤其是產業和政府進行各種實地測試並部署聯網車輛技術。透過政府部門主導的合作，即便是不同商業競爭對手，也出現可在V2X通信等領域攜手的合作案例。惟在推動智慧、聯網與自動化的運具同時，亦有較少被探討的議題，如運輸部門排放量約占美國溫室氣體總排放量的29%，但鮮少有人探討這些技術是否會引導總車輛數減少，並達成環境友善。相較之下，大貨車自動化透過更多的真實世界測試經驗，取得了重大進展。如何應用這些技術達成第一哩路/最後一哩路仍需要更多探討，不僅僅在都會地區，在鄉村地區也一樣重要。

後疫情時代的自動化並非一個新議題，但近年因應疫情導致公共運輸使用率普遍下降，這些趨勢對自駕車提供服務造成的影響仍須進一步探討。最後，創新技術的驗證過程免不了不如預期，但究竟直接進行實體測試或透過虛擬測試取代仍是許多研究常見的討論內容，目前尚無定論。或許未來的熱門話題是主管機關能否啟用更多合作測試並允許多個參與者同時進行驗證，包括實體和虛擬交互驗證作業。

(五) 為政策成功、治理、商業模式與國際合作的組織規劃 (Organizing for Successful Policy and Governance, Business Models, International Cooperation)

解決熟悉問題的新方法和設計理解新問題的方法需要更多不同層級的合作，其中也包括國際合作。論壇更強調所有利害關係人均需要了解技術如何作為交通轉型的關鍵。許多會議說明了領導力的多樣性，並非只是要跟上技術發展的步伐。要達到多樣性，組織在合作規劃時應具有更廣泛的跨度：年齡、教育、殘疾、種族。但實際上遭遇的挑戰是在許多情況下，前述的弱勢群體恐無法接觸與參與，因為他們在行業中的代表性不足。會議展示了在許多領域的新思維。在相關論文和研討會議場次中探討數據技術的應用，特別是通過更深層次的交通壅塞管理，了解排隊和交通優化的作法。

(六) 永續和韌性 (Sustainability & Resiliency)

本主題包括五個主要領域，包括運輸營運、緩解壅塞、減排衝擊與評估、電氣化與相關技術以及資訊安全。各場研討會議著眼於如何從不同層面提高運輸效率，例如：ITS技術如何用於減排和脫碳、運輸安全改進、號誌時制優化並提升運輸服務績效等。然而，永續性的討論很少提及新興智慧運具，如氫燃料電池汽車。

另許多會議討論如何發展資訊及網路安全，以強化提供共享服務過程需考量的服務韌性，全球透過大量進行通信數據、分析和試點投資，改善其基礎設施並啟用雲端數據與邊緣運算的整合。

氣候韌性相關議題也被特別提出討論，例如：優化能源效率以支持電動車運行、運用新工具測量能源與排放對氣候之影響，以及如何推動各城市透過目標與法規的訂定，進一步減少污染排放。最後，永續與韌性議題也必須考量城鄉差異，並做出最妥適的規劃。

(七) 數位基礎設施 (Digital Infrastructure)

本項主題事實上是前述各項主題推動成敗之關鍵，亦是延續去年世界大會的主題之一，其最主要的重點在於如何運用各項數據與數位基礎建設改善運輸系統管理成效，其中也包括觀光旅遊行為安全等不同多元議題。過去相關討論會議多半著眼於“如何做”以及網路安全方面的考慮，並特別注意分析使用數據之管理，並延續前幾屆大會的推動政策方向，諸如數位學生與標準化…等概念。惟推動至今，大多數組織對如何更有效的裝設與應用這些數位基礎設備的主要障礙在於，當需要數據共享與處理時，往往因為現行組織中缺乏規劃數據共享和處理時的協調部門，以致原有不同部門間因為對自己所持有的數據不熟悉，導致不易想像與落實相關的潛在應用，此部分為所有推動ITS計畫之組織均須特別注意的項目，需要更多跨域合作，始有機會達成人員、貨物運輸無縫，並實現交通轉型。

貳、與會過程與概要

一、開幕儀式

本次28屆ITS世界大會開幕儀式由ITS America主席Laura D. Chace進行開幕致詞，在



圖6 第28屆ITS世界大會開幕式鼓隊表演

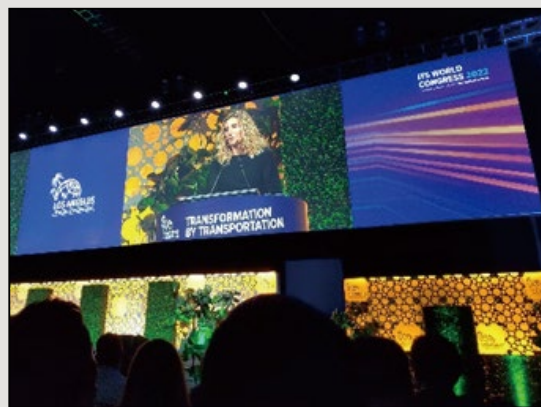


圖7 開幕式ITS America主席Laura D. Chace於開幕致詞

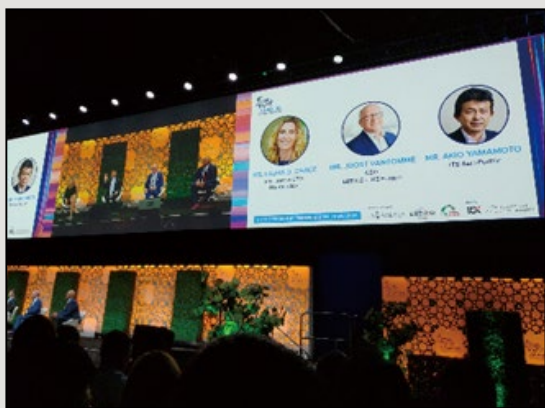


圖8 ITS America 主席、ERTICO CEO及ITS Asia Pacific 主席於開幕式進行座談

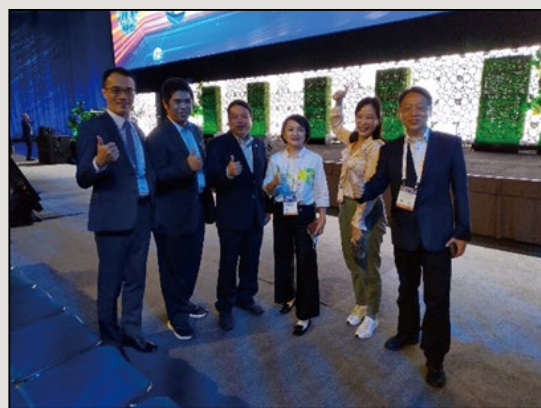


圖9 作者群及台灣與會先進於開幕式會場留影

致詞中表示，更安全、更環保、更智慧化且更公平的運輸（Safer, Greener, Smarter, and more Equitable）是智慧運輸所追求的目標。透過數位基礎設施、聯網以及自動化車輛等本屆大會所擘劃之7大主軸，將可促成提升交通安全、減少碳排、並提升移動的公平性，並邀請所有與會人員在接下來幾天的會議及展場進行交流並參觀相關成果展示(圖6-圖9)。

二、與會重要歷程

本次ITS世界大會我國代表團的一大亮點為高雄市政府獲得「2022年智慧運輸世界大會名人堂地方政府成就獎」（ITS World Congress Hall of Fame- Local Government Award），高雄市政府得獎主題為：「智慧公共運輸和共享包

容服務打造綠色城市、AI智慧號誌控制及大數據分析提升運行效率、車聯網智慧偵測改善路口安全」，並於美西時間9月20日獲大會表揚。高雄市陳其邁市長以錄影方式致詞，分享高雄市近年來ITS建設、MaaS交通行動服務、AI智慧號誌控制等相關成果，並感謝ITS世界大會對高雄市的肯定，最後由高雄市政府交通局劉建邦副局長代表上台領獎(圖10、圖11)。

自2013年起，台灣共獲7座智慧運輸世界大會名人堂成就獎，獲獎者包括2013年前行政院長毛治國（時任行政院副院長，獲終身成就獎）、2015年遠通電收公司（獲產業成就獎）、2016年台灣高鐵公司（獲產業成就獎）、2017年台北市政府（獲地方成就獎）、2018年交通部長王國材（時任交通部政務次



圖10 高雄市陳其邁市長以錄影致詞方式分享高雄市近年來ITS建設成果



圖11 高雄市交通局劉建邦副局長代表高雄市政府領取2022年智慧運輸世界大會名人堂地方政府成就獎

長，獲終身成就獎）、2019年工業技術研究院（獲產業成就獎）、及本年度高雄市政府（獲地方成就獎）。

三、閉幕典禮

為期5天的智慧運輸界年度盛事：第28屆ITS世界大會於9月22日圓滿落幕，本年度洛杉磯ITS世界大會主軸聚焦於車聯網、自駕車、道路安全、永續運輸、以及運輸公平等議題。ITS America主席Laura D. Chace在閉幕致詞中再次宣誓，期待與大家共同追求更安全、更環保、更智慧化且更公平的智慧運輸目標。下一屆2023年第29屆ITS世界大會將輪至亞洲舉辦，大會主辦都市為蘇州，閉幕式的最後大家相約2023年10月第29屆ITS世界大會在蘇州相見，大會閉幕



圖12 ITS America主席Laura D. Chace於第28屆ITS世界大會閉幕式致詞



圖13 第29屆ITS世界大會主辦城市蘇州主視覺

式最後播放第29、30屆ITS世界大會主辦城市蘇州及杜拜之意象影片，為本屆ITS世界大會畫下完美的句點(圖12、圖13)。

參、與會重點摘要

一、論壇與技術會議重點摘要

ITS世界大會本年度共包括40場次技術會議（Technical Session），由國際專家們對於ITS在實作面、經濟面、技術面、組織面和社會面在內的各種主題進行論文發表，旨在鼓勵專家學者們就智慧運輸系統於運營面、系統面、服務面之研究、開發、建置成果以及配套措施進行交流。相關論文提交後需經由ITS世界大會安排

同儕審查，透過審查論文品質、相關性、及重要性等指標評比後，獲大會接受的論文得以在ITS世界大會進行發表。

本文作者群與台灣與會先進們在五天會議期間主要參加各項論壇以及技術論文研討會，包括車聯網與聯網車、智慧道路、自駕車、以及感測器融合等相關技術及應用，以下重點摘錄部分參加場次重點：

(一) 美國與歐盟車聯網現況

本場論壇邀請美國與歐盟政府部門與車廠專家擔任講者，從不同觀點探討美國與歐盟車聯網現況。車聯網主要目標仍在於如何提升運輸安全。其進程由過去的被動式安全系統（降低或減少事故嚴重程度）、主動式安全系統（在關鍵情境下主動避免事故發生），迄今已

邁向協同式安全系統，透過讓車與車(V2V)或車與路(V2R)單元之間的訊息交換與溝通，進一步事先預知車輛駕駛行為與可能情境，避免事故發生。但協同式安全系統實施之最大困難點在於設備普及率問題，須預先思考，當部分車輛在路上未裝載相關V2X系統設備時，對有裝載V2X設備的車輛來說，如何感知並預測這些未裝設設備車輛之駕駛行為，並啟動協同式預警系統即時因應是最重要的關鍵。此概念在美國國家運輸安全委員會（National Transportation Safety Board, NTSB）每年公布之Most Wanted List中，也多次被提及，如Most Wanted List 2021-2022提到，亟需在所有車輛上增加防碰撞及車間通訊技術(Require Collision-Avoidance and Connected-Vehicle Technologies on All Vehicles)⁴，以提升交通安全(圖14)。

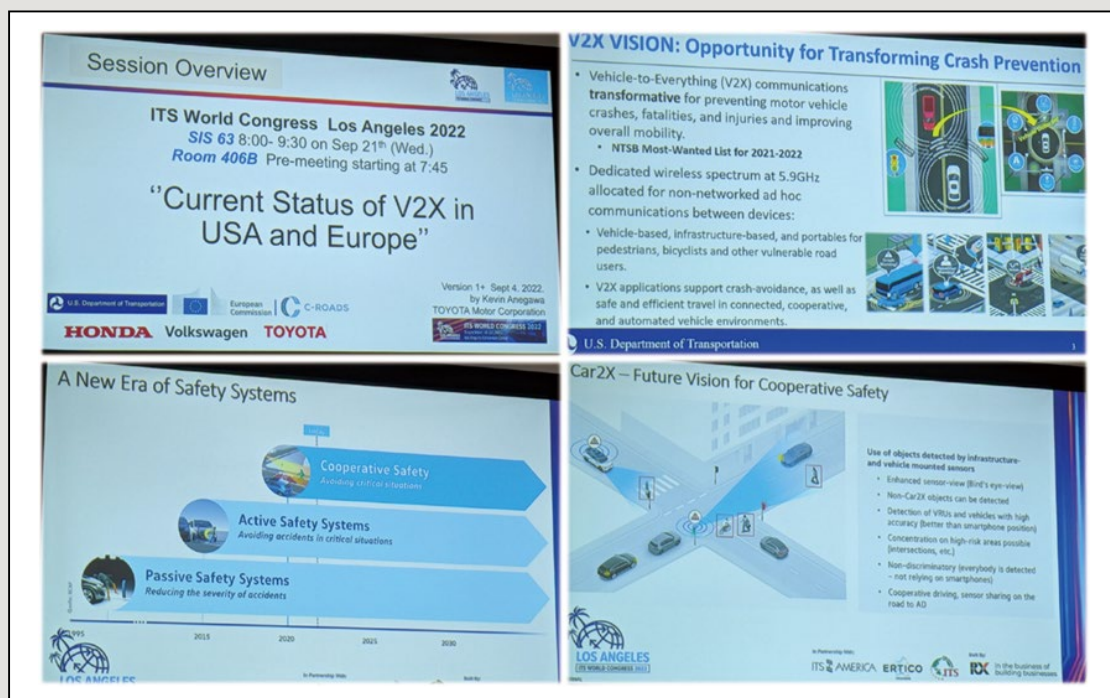


圖 14 講題1-美國與歐盟車聯網現況

⁴ <https://www.nts.gov/news/events/Pages/2021-mwl-bmg.aspx>

(二) 智慧移動，達到無縫、安全以及高效連結

歐盟在2014年開始推動車輛間、車輛與道路設施間、用路人和交通管理者彼此共享資訊並使用車路通訊來協調各自行動之互動計畫，亦即所謂協同式智慧運輸系統(Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS)，其終極目標即為達到零死亡願景(Vision Zero)。其中車聯網相關技術為智慧、高效與永續移動力之推手，歐盟相關C-ITS計畫至2040年為止預計可帶來時間節省1450億歐元、減少事故成本300億歐元之效益，總投入成本210億歐元，其益本比高達8.6。講者最後更以實際數字證明，C-ITS計畫並不僅是一個研究，透過超過100萬輛已售出的智慧車輛、2萬公里以上有配置相關設備的道路基礎設施，C-ITS計畫已是現在進行式，並著重在道路安全與運輸效

率，並為下一階段更高階的車輛自駕化進行準備(圖15)。

(三) 虛擬路側設備

車聯網的效益與路側設備(RSU, RoadSide Unit)建設配置、車流量、網路覆蓋率、城市環境…等多項因素密切相關。但在路側設備未普及前無法全面實作V2I應用，講者分享透過V2N2V+MEC可達成RSU應用，並提出VRSU as a Service之概念，可實現車聯網地圖更新、號誌時相與秒數提示、壅塞/彎道/工區警示等應用，並可降低10倍以上成本。其實證結果之延遲100ms雖較實體RSU為高，但仍符合部份V2X服務應用與延遲之需求⁵(圖16)。

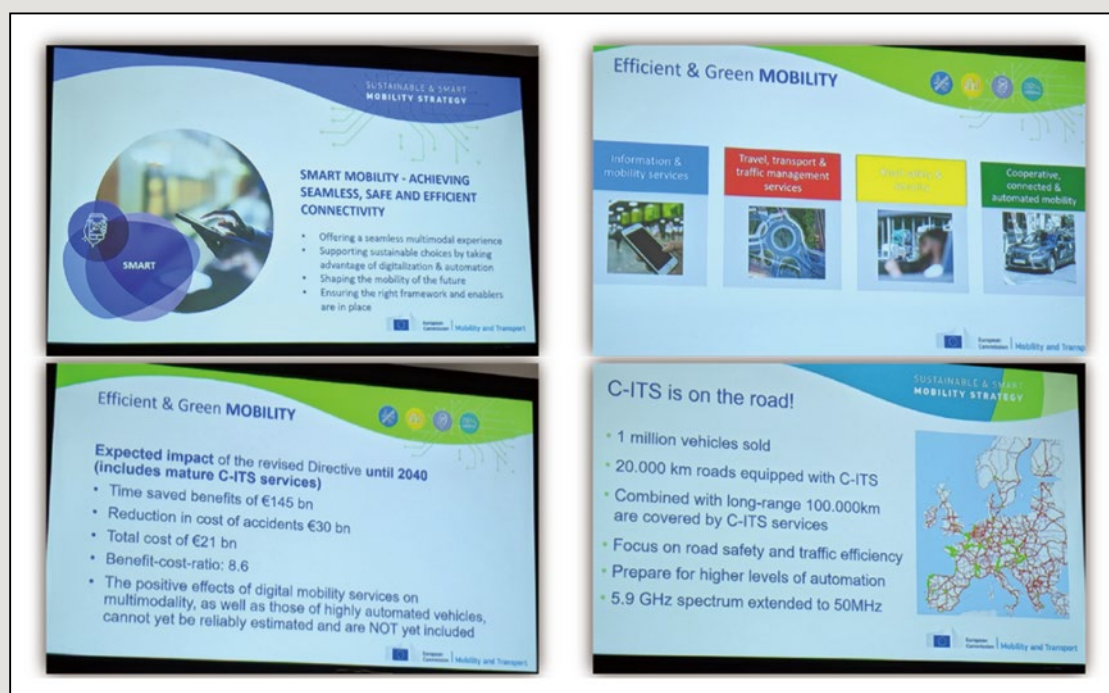


圖15 講題2-智慧移動，達到無縫、安全以及高效連結

⁵ K. Lee et al., "Latency of Cellular-Based V2X: Perspectives on TTI-Proportional Latency and TTI-Independent Latency," IEEE Access, vol. 5, pp. 15800 - 15809, 2017

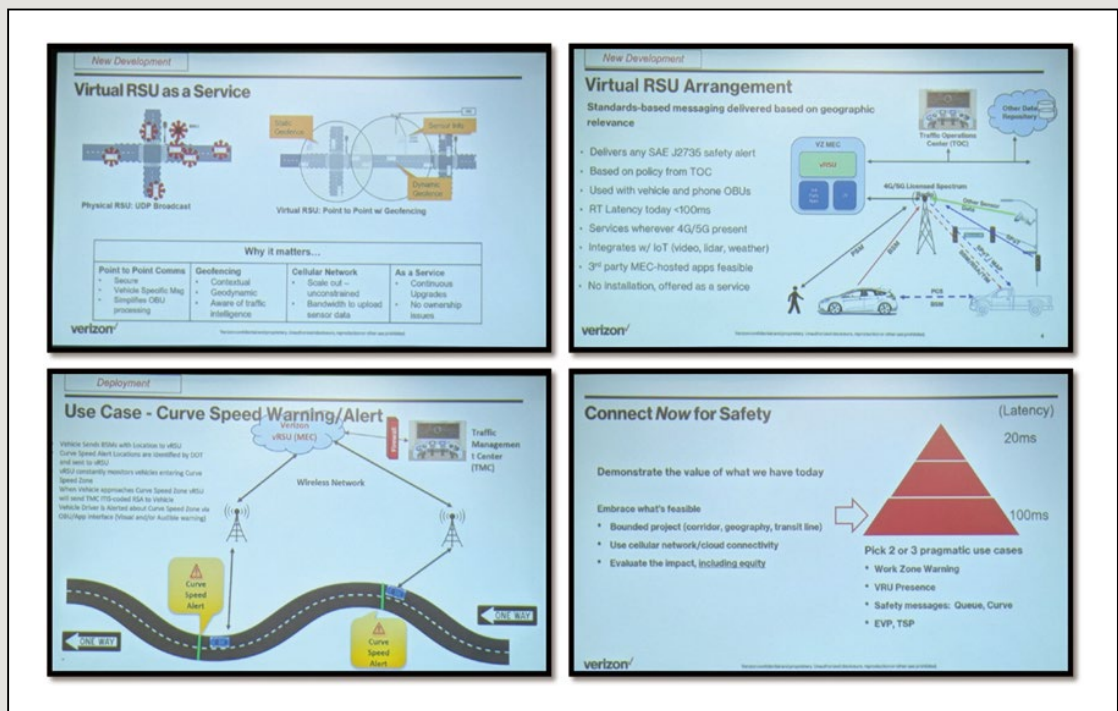
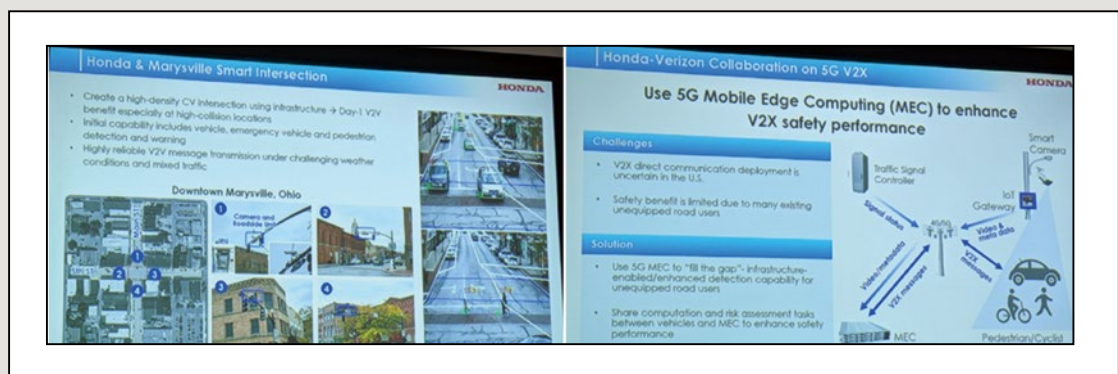


圖 16 講題3-虛擬路側設備

(四) 智慧路口應用

多接取邊緣運算架構(Multi-access Edge Computing)或稱行動邊緣運算(Mobile Edge Computing)，基於5G技術演進，融合雲端運算平台及行動網路的行動邊緣運算技術，將運算能力擴展到網路邊緣的位置，其目的在於減少延遲，確保高可靠度以及大傳輸速率的服務品質。

Honda於俄亥俄州Marysville市實作V2I與V2V智慧路口相關應用，參與實驗車輛共244輛，總計運行將近10萬旅次，移動距離約131萬英里。HONDA公司與其他利害關係人共同參與V2X技術研發與先期部署實驗已有數十年，透過該研究與測試，實驗結果發現V2X技術可以顯著提升運輸安全，其他V2X解決方案如5G MEC可透過MEC邊緣運算提升路側設備與車載通訊間可靠度，提高安全性(圖17)。



本圖未完，請接下一頁

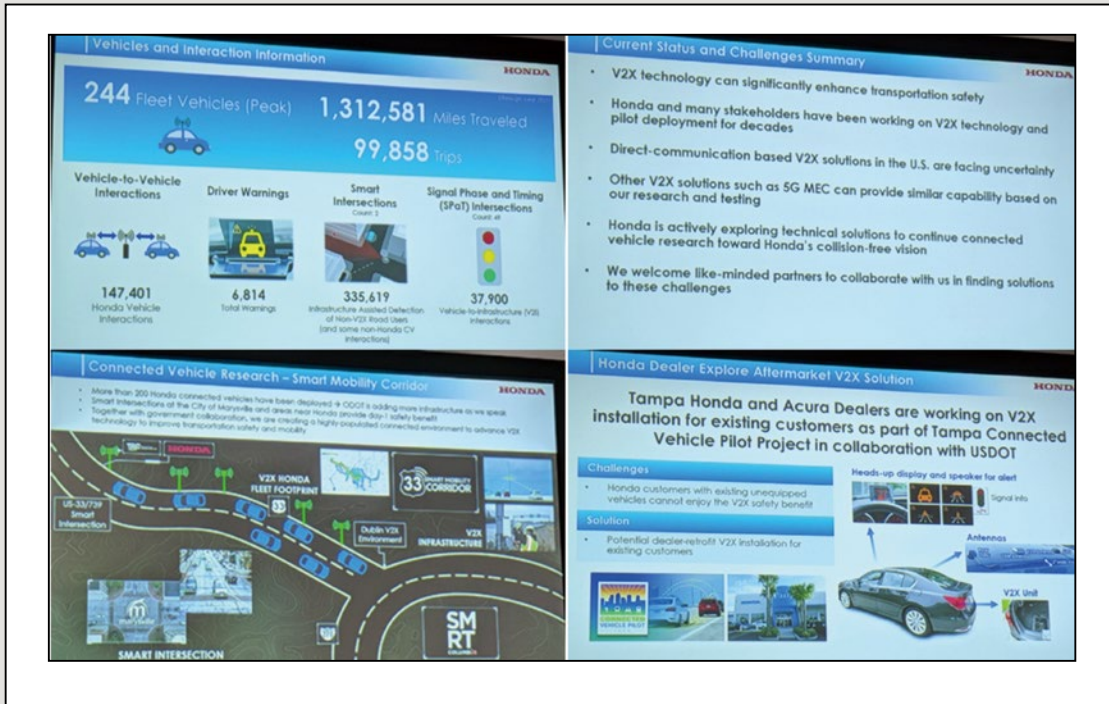
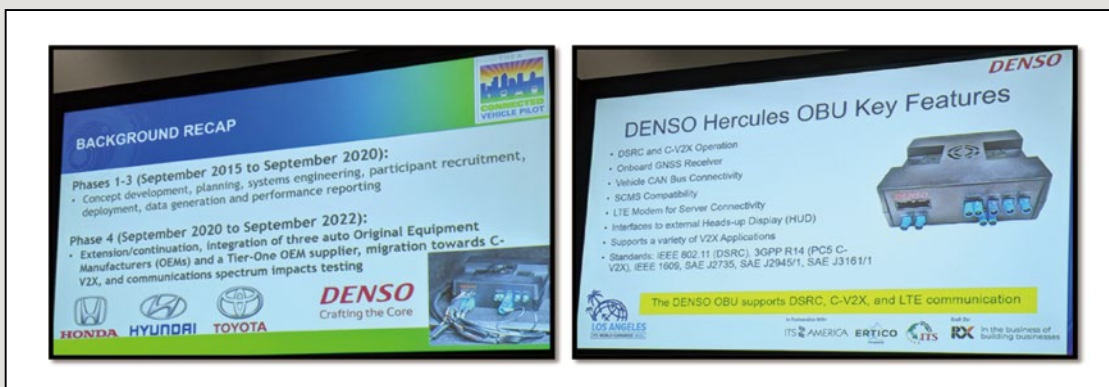


圖17 講題4-HONDA智慧路口應用

(五) 車載通訊後裝市場現況

DEOSO OBU在佛羅里達州Tampa場域已運用OEM車輛成功展示C-V2X應用，本計畫Phase1~3之期程為2015年9月至2020年9月，進行概念發想、系統工程規劃與部署，並在前期回收相關資料並產製績效報告。Phase4之期程為2020年9月至2022年9月，主要目的是持續推展計畫內容，並整合HONDA、HYUNDAI、

及TOYOTA等車廠進行測試，目前其OBU產品已在該場域實裝於HONDA、HYUNDAI、及TOYOTA市售車款，現況投入部署車輛大約70輛。本計畫在佛州Tampa場域所獲經驗為：「Existence of standards does not necessarily guarantee standardized operation (particularly with legacy system)」，新舊系統整合不易，其經驗可供發展車聯網國家借鏡(圖18)。



本圖未完，請接下一頁

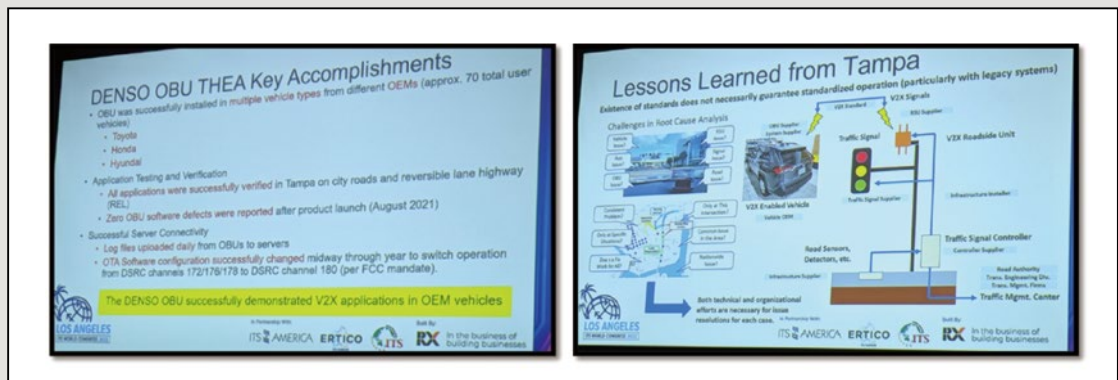


圖18 講題5-車載通訊後裝市場現況

二、會場展覽亮點

本屆ITS世界大會於LACC洛杉磯會議中心二樓主展場提供展覽空間，供參展各國政府及廠商展示其智慧運輸建設及產業相關研發成果，本屆參展主軸圍繞近年智慧運輸系統主要方向：CASE（Connected、Autonomous/Automated、Share/Service以及Electric，又稱ACES），參訪會場展攤亦以CASE為主要交流目標，以下以圖文說明重點摘錄本屆ITS世界大會會場展覽內容。

（一）自駕車相關展示

1. 英國Auto Pod自駕車

Auto Pod是英國AURRIGO集團於2018年所推出的第一款自駕車，是一款四座自駕車，專為低運載量而設計，例如往返機場、市中心、體育場、大學校園、和老人護理之家，以及最後一哩之解決方案，Auto Pod每小時可行駛15英里，一次充電可續航長達60英里。Auto Pod可完全自駕運行，惟當前的英國和大多數國際安全標準要求在自駕運行模式下必須有一名安全監督員在車上⁶（圖19）。



圖19 英國Auto Pod自駕車

2. 法德合作KelRide Vehicle-EZ10自駕車

EZ10為法國EasyMile公司所開發之自駕車，共有6個座位、可容納12人，最高行駛時速30公里，自2015年至今已部署在16個國家超過30個城市，2017年亦曾在台大水源校區進行運行試驗。KelRide計畫由德國聯邦數位及交通部(BMV, German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure)資助，2021年3月啟動，將於2023年12月在Kelheim區全面實施推動，利用法國EZ10自駕車作為主要載具以開發全面性的高性能感測系統，可令自駕車於惡劣天氣條件下的功能得到顯著改善，從而實現現在德國天氣條件下全年實際運行⁷（圖20）。

⁶ Auto Pod官網，<https://aurrigo.com/autopod/>

⁷ KelRide計畫官網，<https://kelride.com/>



圖20 法德合作KelRide Vehicle-EZ10自駕車

3. 美國SwRI自駕車

SwRI (Southwest Research Institute, 美國西南研究院)⁸是美國歷史最悠久、規模最大的獨立、非營利性應用研究和開發組織之一，總部位於美國德州，由美國石油業大亨Tom Slick於1947年所創立。

SwRI於本屆ITS世界大會展示其開發

打造的雙人座自駕車⁹，本自駕車為SwRI參加2022年3月份Shell Eco-marathon Autonomous Programming Competition賽事¹⁰所設計。Shell Eco-marathon Autonomous Programming Competition賽事旨在讓參賽團隊充份使用STEM技術 (Science, Technology, Engineering and Math)，為自駕車開發路徑規劃、感知和控制演算法，並根據參賽隊伍在能源使用、距離、CPU使用及時間效率等加權計分(圖21)。

本文作者群與現場展示人員討論得知，SwRI開發此車構想為朝向未來買家以年輕人或大學生為主的小型自駕車市場，故相較於現行主要以公共運輸服務為主的自駕車開發目的有所差異。為此，車輛在外型上要能吸引目光，雙座設計符合時下年輕人需求，且價格合宜。



圖21 美國SwRI自駕車

⁸ SwRI, <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%BE%8E%E5%9B%BD%E8%A5%BF%E5%8D%97%E7%A0%94%E7%A9%B6%E9%99%A2/>

⁹ <https://apcforum.swri.org/>

¹⁰ <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon/virtual-learning-sessions/autonomous-programming-competition-swri>

4. 美國CARMA協同自動駕駛計畫

本次大會現場亦展示由美國聯邦公路管理局（FHWA）主導開發的CARMA計畫成果¹¹。本計畫提供開源工具和框架的合作研究，以開發協同駕駛自動化（CDA，Cooperative Driving Automation）為目標，利用自動化與協同駕駛技術提升交通系統管理和運營（TSMO）。相關程式碼已開源並可於GitHub下載取得(圖22)。

CDA協同駕駛自動化為SAE在2021年於SAE J3216¹²訂定，內含4類型協同駕駛合作分類，包括：

- Class A：
狀態共享合作 Status-sharing Cooperation
- Class B：
意圖共享合作 Intent-sharing Cooperation

- Class C：
尋求協議合作 Agreement-seeking Cooperation
- Class D：
規定性合作 Prescriptive Cooperation

(二) 其他智慧應用相關展示

1. 可安裝YOLO影像識別AI模型之智慧攝影機

本次會議中亦有我國相關廠商進行產品展示，如台灣IP安全監控錄影產品製造商利凌企業於ITSWC2022展場展示可安裝YOLO影像識別AI模型的攝影機¹³，此系列產品可將訓練好的模型藉由利凌Self+Ai雲轉換，後續置入LILIN 4K攝影機後無需再透過邊緣運算主機即可運作(圖23)。



圖22 美國聯邦公路管理局CARMA協同自動駕駛計畫

¹¹ “CARMA Program Overview,” <https://highways.dot.gov/research/operations/CARMA>

¹² “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles,” SAE J2316, July, 2021

¹³ “全球第一支可彈性安裝YOLO 模型的攝影機”，<https://pages.meritlilin.com/lilin-selfai-yolo-cht>

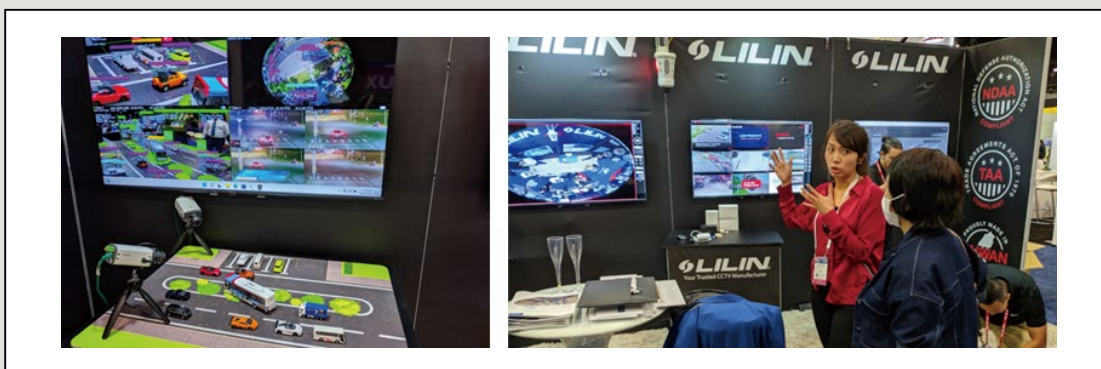


圖23 台廠利凌企業於展場展示智慧交通影像解決方案

2. 可應用於自駕車與相關智慧運輸服務之光達產品

AEye為國發會台杉投資所領投的矽谷光達廠商，已在Nasdaq上市。AEye於本屆ITSWC2022展場展示其光達產品以及光達於自駕車及智慧運輸相關應用。相關產品結合MEMS光達與低光源高解析鏡頭，可融合光達與彩色成像資訊，並在終端直接處理數據運算，大幅減少決策所需的資訊量，並將光達檢測範圍延伸至350公尺，可提高定位、識別和物體追蹤能力，對提升自駕車與相關ITS應用有相當大的優勢(圖24)。

3. 共享電池與儲能概念產品

配合淨零碳排概念，會中亦有相關綠色永續產品展示，如Honda提出以” Honda Mobile Power Pack e:” 之抽換式共享電池及” Honda Power Pack Exchange e:” (簡稱HPPEe:) 儲電站¹⁴，概念近似國內Gogoro於2015年即推出的GoStation模式。此共享電池除可應用在機車上，亦可使用在船外機、鏟雪機、以及微型電動車等應用。現階段Honda、Yamaha、Suzuki、與Kawasaki等公司亦成立合資公司，在東京市政府支援下目標推動2033年機車電氣化¹⁵(圖25)。

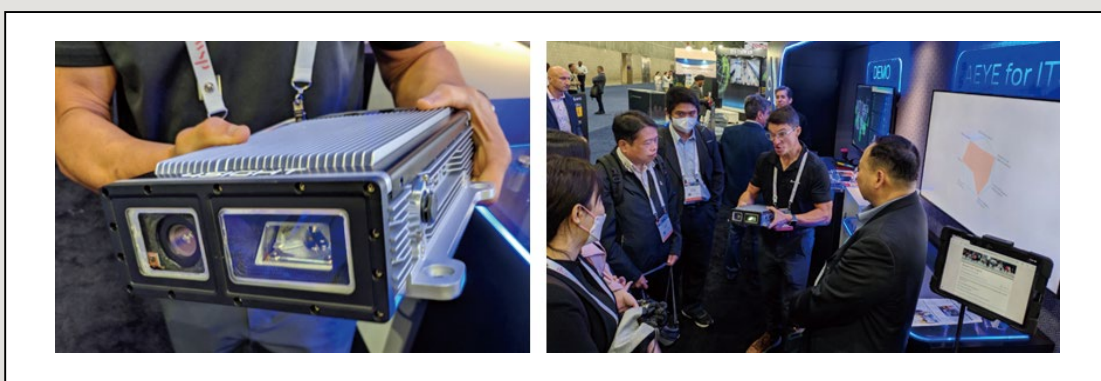


圖24 作者群與AEye公司於展場研商光達產品之可能應用

¹⁴ https://global.honda/innovation/ITS2022/pdf/10_Honda_Mobile_Power_Pack_World.pdf

¹⁵ “本田向Gogoro取經！第一個機車電池充電站誕生，拚10年內電車化”，數位時代，2022.11.07，<https://www.bnext.com.tw/article/72393/honda-electric-motorcycle-battery-station>

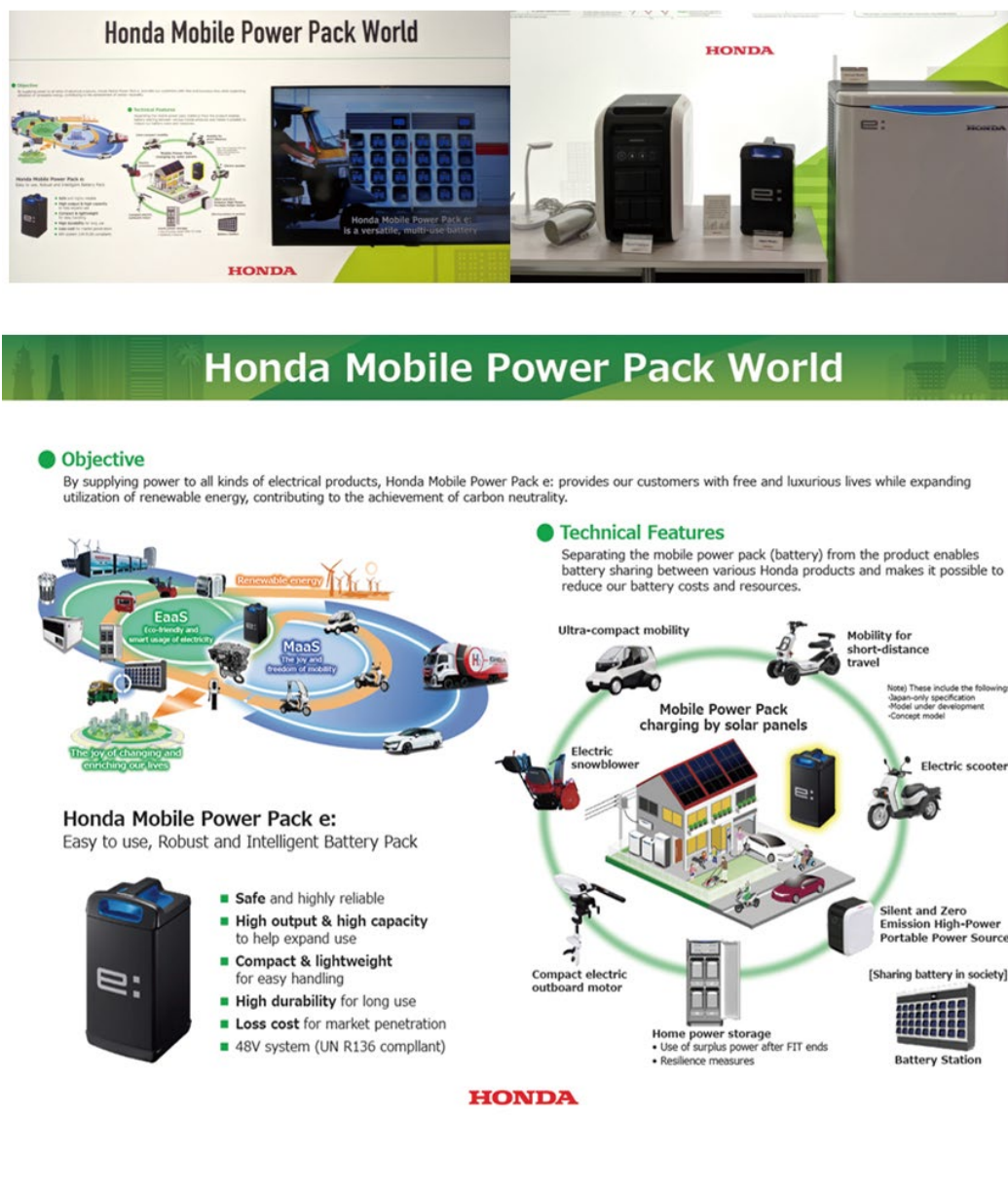


圖25 Honda於展場展示Honda Mobile Power Pack共享電池及儲能概念

4. 商用車氫燃料電池雛型機

除前述共享電池產品外，日本為推動商用車氫燃料電池商品化的主要國家，主要車廠亦積極開發使用氫燃料電池作

為電動車之能源，相較於鋰電池電動車可減少充電等待時間，本次展場除展示商用車氫燃料電池雛型機，亦展示氫能源經濟生態系¹⁶(圖26)。

¹⁶ https://global.honda/innovation/ITS2022/pdf/13_Honda_Fuel_Cell_Systems.pdf



圖26 Honda於展場展示商用車氫燃料電池雛型機

肆、我國新一期ITS計畫之推動方向

近年來隨著雲端服務(Cloud Service)與物聯網(Internet of Things, IoT)時代的來臨，加上疫情影響、高齡化、少子化、產業技術變革、使用者偏好改變…等變化，使用者需求已經逐漸改變中。本次會議發現，國際智慧運輸

發展趨勢除了傳統探討有關效率與安全議題外，針對公平性、跨域跨部門推動自駕車與淨零排放…等均為世界發展趨勢。舉例來說，法國已經在2022年9月起允許自動駕駛車輛在路上運行，故相關廠商均共同思考如何透過智慧運輸提升服務安全，以法國國鐵為例，自駕車可與路側設備進行通訊，並自動判別平交道柵

欄狀態，當柵欄放下時，車輛將停在平交道入口處，車輛需等待柵欄完全重新打開後才能通過；若因交通壅塞，即使自駕車接近柵欄開放的平交道，該車輛亦會自動判斷並停等平交道區域完全淨空暢通後通過。如果系統無法判別可否順利通過平交道，則車輛會請求駕駛員收回控制權，如果駕駛員在規定的時間內（如會場demo影片案例為10秒）沒有做出反應，車輛會在平交道口前停下¹⁷，採失效安全(fail-safe)之設計，在GO SMART同時，也可確保GO SAFE。

如前所述，國際發展趨勢整體而言，與我國刻正推動新一期ITS計畫之運輸安全化、運輸智慧化與運輸永續化(GO SAFE, GO SMART與GO GREEN)概念不謀而合。臺灣的ICT產業世界知名，產業技術能量無庸置疑，我們雖是小小島國，卻有著世界聞名的資通訊產業技術，交通部透過成立交通科技產業會報，廣泛聽取業界意見，並加強交通政策與產業的聯結，這對整體智慧運輸發展奠定了穩健的基礎。隨著科技發展的突飛猛進，交通部全力推動「智慧運輸系統發展建設計畫」，讓民間企業逐漸看見商機，願意投入發展。未來仍需強化運用科技工具，加速或更有效達成安全、效率與永續等三大目標。

智慧運輸計畫自106年迄今，在中央與地方攜手協作下，在車聯網場域試驗、通訊標準制定、MaaS核心應用模組開發、TDX資料流通服務…等多元領域，皆已累積豐富成果。然而，這些累積的成果與經驗，如何改善我們的環境？如何讓民眾在生活中有感？作者群認為，未來我國新一期ITS計畫之推動方向，可對應"人"、"車"、"路"、"環境"等交通運輸四大要素，並結合高齡弱勢服務提升與全球最關注的ESG及淨零減碳的議題，方可應用技術提升產業，並將

創新服務帶入生活。可能的推動方向如下：

一、交通科技營造永續與幸福運輸服務

隨著社會福利制度城鄉平衡日趨健全，國內高齡身障者人口逐年成長之趨勢與其社會參與等生活權益的議題逐漸發酵，此類弱勢用路人交通問題已獲得更多重視。智慧運輸建設計畫之推動方向須以提升民眾服務有感為依歸，如可思考如何透過智慧運輸科技(如MaaS或相關媒合平台)協助高齡者將其從中壯年養成之駕駛私有運具習慣轉為鼓勵搭乘公共運輸；或透過資訊的媒合，自動串接乘客身分(如身障、高齡、原民或偏鄉…等)，並協助以最低的成本獲得安全可靠的運輸服務。

二、新興智慧載具與應用

自動駕駛技術的興起可以更安全、更便捷的為道路系統打開大門，並且大大減少道路交通傷亡，亦可以為無法自行駕駛的身障人士和老年人增加靈活且有彈性的機動性。然而，為了在道路上有效和廣泛地使用，因此自動駕駛車輛技術仍必須不斷發展，除此之外，包括智慧機車、無人機、氫能源車輛…等新興智慧載具均需考量法規調適，以符合允許創新、確保行駛安全及所面臨各項嚴峻的挑戰。

三、智慧道路數位科技驗證場域建置與推動

考量自駕車仍有長遠發展時程，故在於智慧道路設定上應以分級方式推動演進。現有道路僅為一般基礎道路，為達到聯網化道路及智能協控道路之遠程目標，必須先行推動數位化道路，讓文字符號數位化，為數據治理、道路智慧化預作準備。未來需考量智慧道路應用規

¹⁷ Virginie TAILLANDIER et al., "Preparing level crossings for the arrival of automated vehicles," ITSWC2022, Sept. 2022

範、道路資產數位化基準、數位道路圖資基準共同規範…等，並善用淡海智慧交通場域進行C-ITS先導示範計畫與產品之測試驗證。相關成果與實驗數據將有助建置指引，未來亦可反饋產學研界共同精進發展，並可將實證成果移轉至其他縣市區域。

四、智慧交通數據連結驅動與管理精進

TDX為國內運輸資料的數位基盤，提供全國尺度跨運具、跨區域動靜態旅運與空間資訊，應納入外部創新驅動元素，包括5G、低軌衛星…等，用於實現數位治理、創新應用，促進智慧生活與數位轉型。如面對各國追求2050年淨零轉型、產業追求碳中和之目標，透過交通數據連結，MaaS技術發展可協助人們依據自己的需求和偏好規劃行程，是協助運輸部門往淨零碳排放目標前進的有利工具；此外也應思考韌性政府的觀念，透過雲端及境內外儲存方式，來避免將來可能遇到的事故或是意外，方可確保各項智慧應用穩定可靠。

結語

本次參訪第28屆ITS世界大會，台灣此行逾80名與會代表出國考察，但行程仍屬緊迫，論壇、技術會議、會場展覽等仍多有未能參與之處。惟透過大會主旨「由運輸轉型」（Transformation by Transportation）之意涵，體會到未來更環保、更有韌性、且公平與可及的智慧城市將由智慧運輸系統作為其基底，而智慧運輸系統將為人類提供安全且更便捷的移動方式，相關概念均反應在ITS世界大會論壇、論文發表、及展場展示，透過成熟的技術作為運輸系統轉型成為更智慧且安全的運輸服務。

以技術而言，本屆ITS世界大會以CASE（Connected、Autonomous/Automated、Shared/Service以及Electric，或稱ACES）相關應用作為展場及論文主題。其中車聯網與自駕議題仍方興未艾，但近年自駕車之關注焦點逐漸轉移至較為務實的车聯網應用，並以感測器融合搭配AIoT技術，以車聯網作為車路及車間協同，達到更主動、更具預測性、更自動化且更具協調的交通整合運行，作為促進安全及提高效率之基礎；而各國在邁向淨零碳排的目標，電動運具及替代能源解決方案仍持續演進，透過運具共享、旅運行為改變以提升運輸效率同時減低人均移動能耗，亦為智慧運輸所亟待發展的目標。

惟須注意的是，車輛相關技術發展常由汽車製造大國或是車輛使用大國所主導，本屆ITS世界大會觀察到車聯網與自駕相關主題仍屬展場及技術會議主軸之一，藉由觀察並掌握國際間ITS相關科技發展進程、結合運輸相關業務應用並提高運輸效率、降低交通事故，並透過法規及適法性的檢討、調整、增補修訂及納管，可加速國內ITS相關技術應用落地並促進產業發展的動力，台灣雖不屬於傳統汽車製造國，但在車輛走向聯網化、自駕化的進程中，擅長資訊通訊零組件製造及量產的台灣廠商仍有機會在未來車輛元件製造取得先機並占有關鍵地位。

淨零碳排為國際趨勢，台灣亦邁向2050年淨零路徑，以2019年資料顯示，國內運輸部門溫室氣體排放量占比高達全國12.8%¹⁸，本屆ITS世界大會觀察到國際間除了BEV純電動車之外，氫燃料電池車、HEV油電混合車款、PHEV插電式混合動力車等各類型電動車輛式各有其優勢及應用擅場；此外，充電站設置點及規模大小、快慢充電樁配置比例及不同充電時段費

¹⁸ “臺灣2050 淨零排放路徑及策略總說明”，國家發展委員會

率，目前為國際間發展重點，而充電站設置亦需搭配區域變壓站及電力公司供電容量設計，交通部因應淨零排放，推動公共運輸電動化，對於充電站配置、供電調度及充電費率優化等議題宜及早深入探討及規劃。如本次與會也觀察到洛杉磯Metro G Line電動公車使用充電弓於車輛進站時快速降下為電動公車快速充電，無需透過充電樁及充電槍介入，類似設計亦已在瑞士¹⁹等國家導入，此設計可提升車輛充電的高機動性，未來亦可供國內電動公車發展借鏡。

整體而言，作者群於近兩年參與德國與美國世界大會過程均發現，國際智慧運輸發展趨勢與我國目前推動的GO SAFE, GO SMART與GO GREEN之概念不謀而合，透過本次大會與國際學者專家共享研討、實地觀察各國發展現況與蒐集最新ITS發展趨勢及推動案例，相關成效均已納入交通部科顧室「智慧運輸發展與車輛安全法規技術諮詢管理計畫(2/4)」計畫成果報告內容，並可做為交通部研擬次期ITS計畫推動之相關施政建議。

值得注意的是，有充足完整的資料，方可分析應用與支持各種創新服務；即便有了完整的資料服務，若缺乏高效穩定的通訊方式，就無法實現車路協同與其他各類相關需要連網或主動控制、調整的智慧運輸應用。為此，未來所有智慧運輸應用，除應奠基於資料與通訊完善的基礎，更需要考量資安無虞，方可確保未來相關路側設施與智慧道路服務之安全性，進一步增進與衍生各種前瞻創新且民眾有感的智慧交通多元應用，透過穩健基礎建設，強化數據治理，持續促成公私協力，最終放眼國際輸出，俾可符合交通部2020年版運輸政策白皮書所揭櫫之智慧運輸願景目標-「建立人本、創新且永續之智慧交通環境」。

參考文獻

1. ITS WORLD CONGRESS AT A GLANCE, <https://www.itsamericaevents.com/world-congress/en-us.html>
2. 中華智慧運輸協會2022美國洛杉磯第28屆智慧運輸世界大會與會手冊
3. ITS World Congress 2022 CALL FOR CONTRIBUTIONS, <https://www.itsamericaevents.com/world-congress/en-us/programs/call-for-contributions.html>
4. <https://www.nts.gov/news/events/Pages/2021-mwl-bmg.aspx>
5. K. Lee et al., "Latency of Cellular-Based V2X: Perspectives on TTI-Proportional Latency and TTI-Independent Latency," IEEE Access, vol. 5, pp. 15800 - 15809, 2017
6. Auto Pod'官網, <https://aurigo.com/autopod/>
7. KelRide計畫官網, <https://kelride.com/>
8. SwRI, <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%B%E8%E5%9B%BD%E8%A5%BF%E5%8D%97%E7%A0%94%E7%A9%B6%E9%99%A2/>
9. <https://apcforum.swri.org/>

¹⁹ "Swiss Electric Buses Will Charge in a Flash," Swiss Electric Buses Will Charge in a Flash, <https://blogs.scientificamerica>

10. <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon/virtual-learning-sessions/autonomous-programming-competition-swri>

11. CARMA Program Overview, <https://highways.dot.gov/research/operations/CARMA>

12. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles, SAE J2316, July, 2021

13. “全球第一支可彈性安裝YOLO 模型的攝影機”，<https://pages.meritlilin.com/lilin-selfai-yolo-cht>

14. https://global.honda/innovation/ITS2022/pdf/10_Honda_Mobile_Power_Pack_World.pdf

15. “本田向Gogoro取經！第一個機車電池充電站誕生，拚10年內電車化”，數位時代，2022.11.07，<https://www.bnext.com.tw/article/72393/honda-electric-motorcycle-battery-station>

16. https://global.honda/innovation/ITS2022/pdf/13_Honda_Fuel_Cell_Systems.pdf

17. Virginie TAILLANDIER et al., “Preparing level crossings for the arrival of automated vehicles,” ITSWC2022, Sept. 2022

18. “臺灣2050 淨零排放路徑及策略總說明”，國家發展委員會

19. “Swiss Electric Buses Will Charge in a Flash,” Swiss Electric Buses Will Charge in a Flash, <https://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/swiss-electric-buses-will-charge-in-a-flash/>



LOS ANGELES

ITS WORLD CONGRESS 2022



鋼纜索力檢測設備——爬索車的研發及應用

關鍵詞 (Key Words)：爬索車 (Climbing Robot)、鋼索橋 (Steel Cable Bridge)、鋼纜模態檢測 (Steel Cable Modal Measurement)、橋梁監測 (Bridge Monitoring)

中華顧問工程司／設施技術中心／主任／蔡欣局 (Tsai, Hsin-Chu) ❶

中華顧問工程司／設施技術中心／工程師／林晉德 (Lin, Chin-Te) ❶

中華顧問工程司／設施技術中心／正工程師／張育彰 (Chang, Yu-Chang) ❶

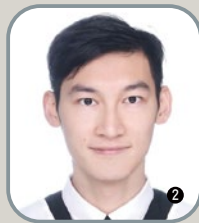
大同大學／機械與材料工程學系／助理教授／林晨光 (Lin, Chen-Kuang) ❶

大同大學／機械與材料工程學系／碩士／吳宗翰 (Wu, Tsung-Han) ❶



摘要

台灣近年因南方澳大橋崩塌事件，使政府部門更加重視對橋梁的維護管理作業，尤其現代因應造型美學與工法的精進，鋼索橋梁(斜張橋、脊背橋、鋼索拱橋)被廣泛的使用，鋼纜在其中就扮演了重要的角色。為了能更有效的對鋼纜進行檢測及監測，爬索車的研發是為了取代人力於高空作業的職災風險，並提升工作效率，免除舉高車作業之交通管制對用路人的影響等。本案開發爬索車的功能與國外常見爬索車的功能，如鋼纜套管外觀檢視或磁通量量測內部瑕疵有所不同，其目標係為了可搭載三軸向速度計(或加速度計)，並爬升至指定位置後進行夾擠鎖固，再進行三軸向速度計自動水平校正的功能，且能以多台爬索車同步安裝於鋼纜，以提供鋼纜模態振形及索力量測。經多次現地測試，包含國道4號聯絡道路斜張橋及金門大橋的實際操作，鋼纜模態分析結果與傳統量測方式進行比對，二者的成果相當一致。



Steel cable force measurement equipment— Development and application of climbing robot

Abstract

Due to the collapse of the Nan-Fang-Ao Bridge in Taiwan, the government have paid more attention on the bridge's maintenance management. Nowadays, the improvement of aesthetics and construction methods, suspension bridges (such as cable-stayed bridges, extra-dosed bridge, and cable arch bridges) have been widely used. The steel cable become an important roles in bridges' design. In order to detect and to monitor the steel cables more effectively, the cable climbing robot has been developed which is to replace the occupational accident risk of manpower in high-altitude operations, to improve work efficiency, and to avoid the impact of traffic. The climbing robot developed in this project is different from the existing climbing robot, such as the appearance inspection or the magnetic flux measurement of steel cable. Moreover, the climbing robot has equipped with a tri-axis speedometer (accelerometer) that can climb to the specified position, lock there. and level adjustment automatically. It can be installed on the steel cable synchronously with multiple climbing robots to measure the mode shape and the tension of the steel cable. After several field tests, such as the National Freeway No. 4 cable-stayed bridges and the Kinmen Bridge, the cable modal analysis results are quite consistent that compared with the traditional measurement methods.

壹、前言

近年新落成的橋梁常使用「鋼索」形式進行建造，如鋼索拱橋、斜張橋、脊背橋等。鋼索橋與傳統的橋梁相比，優點是除了美觀，也能有效加大跨距減少落墩量，進而達到減少阻礙河道與線形拱度精準控制等優點。臺灣因處於環太平洋地震帶，更為颱風密集區，地震加上颱風侵襲，大幅減損了公路設備的使用年限，對於維護用路安全而言，橋梁的養護成為重點。細數臺灣橋梁中，拱橋、脊背橋與斜張橋等形式都依賴鋼索的張力提供橋面板強度，若鋼索因劣化造成有效截面積減少、預力損失等情形，將有產生崩塌的風險，因此對於鋼索的索力、套管、錨頭夾片等檢測便顯得極其重要。

回顧以往鋼索橋梁在進行橋梁檢測及監測作業時，鋼索檢(監)測作業皆須於高空進行目視或儀器設備的安裝，往往需出動大型高空作業車，頂著河海口因為地形或天候造成的強風下進行目視檢測，不僅危險且只能憑藉鋼索外觀進行辨識，若要深入鋼纜內部檢測，則需花費更多人力與時間，不僅作業難度及人員職災風



圖1 現地使用舉高車與爬索車作業之明顯對比

險高，經費也將會隨之大幅調升。為提升橋梁鋼纜檢測及監測作業的速度，提升作業人員作業安全與降低交通衝擊，機器輔助人力的構思便浮出檯面。

鋼纜索力是常見被用來檢視橋梁或鋼纜本身有無異常的重要物理變化參數之一，國內近年來常使用微振法來進行鋼纜索力的量測，該法常見需於鋼纜上裝設數個感測器同步進行多點量測，並搭配陳建州教授等人[2-3]提出的等效簡支拉力梁法計算索力。本文將介紹本團隊開發之爬索車如何搭載感測器，進行鋼纜振動模態及索力量測，取代傳統使用高空作業車人力裝設感測器的方式，提出一套更安全且高效率的量測方式。經實驗室多次的測試與改良，以及現場實際橋梁的驗證，也證實使用爬索車測得的數據與分析結果，與傳統採人力及夾具安裝感測器測得的結果相當一致。

貳、鋼纜模態及索力量測方式

本團隊進行鋼纜模態振形分析係採用國立雲林科技大學營建工程系 陳建州教授等人所提出之「等效簡支拉力梁法」解算鋼纜特性，透過5顆三軸向速度計(或加速度計)，於事先規劃好之點位布設於鋼纜上進行微振動量測(如圖2)，接著將量測取得的振動歷時訊號進行傅立葉轉換取得頻譜後，挑選該根鋼纜各階模態頻率進行正弦函數擬合振形，以得到鋼纜之有效振動長度，進而代入公式計算鋼纜索力，上述鋼纜索力分析步驟公式如下。

$$T = \frac{4(\rho A)L^2 f_n^2}{n^2} - \frac{n^2 E I \pi^2}{L^2} \quad (2-1)$$

$$\phi(x) = A \sin \frac{n\pi(x-x_0)}{L} \quad (2-2)$$

將式(2-1)改寫為，

$$T = \alpha_n - EI\beta_n \quad (2-3)$$

$$\alpha_n = \frac{4(\rho A)L^2 f_n^2}{n^2} \quad (2-4)$$

$$\beta_n = \frac{n^2 \pi^2}{L^2} \quad (2-5)$$

最後統整出式(2-6)，

$$T = \frac{\sum \alpha_i \sum \beta_i^2 - \sum \alpha_i \beta_i \sum \beta_i}{N \sum \beta_i^2 - (\sum \beta_i)^2} \quad (2-6)$$

* N為使用計算的模態總數。

ρ ：單位長度質量

f_n ：第n階頻率

A ：鋼纜斷面積

n ：模態階次

L ：鋼纜長度

EI ：撓曲剛度



圖2 五顆感測計於鋼纜布設實景

參、爬索車設計與開發

為配合金門大橋通車前使用該爬索車執行索力量測，本次開發整合「機械結構、機電控制、程式設計」等技術，以符合金門大橋鋼纜套管尺寸之規格進行研製，使爬索車具備足夠的爬升能力，承載一組三軸向速度計攀爬橋梁現地不同角度之鋼纜，不僅可輕易使用平板遠端操控，使其爬升至指定位置進行鎖固動作，還可自動調整速度計水平校正的能力，以貼近傳統人工鎖固夾具的量測方式，其設計圖如圖3所示。除此之外，本團隊於第一部爬索車搭載

四支遠端傳輸功能的攝影模組，以利爬升過程中可一併檢視鋼纜套管各角度的狀態(如圖4)。

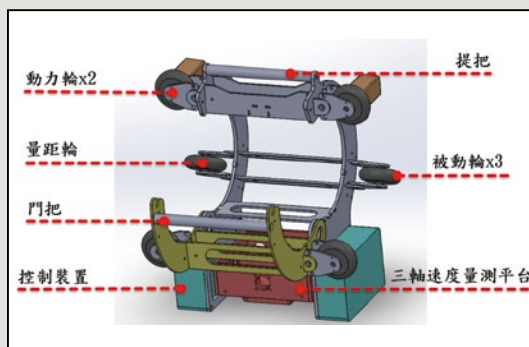


圖3 爬索車設計圖

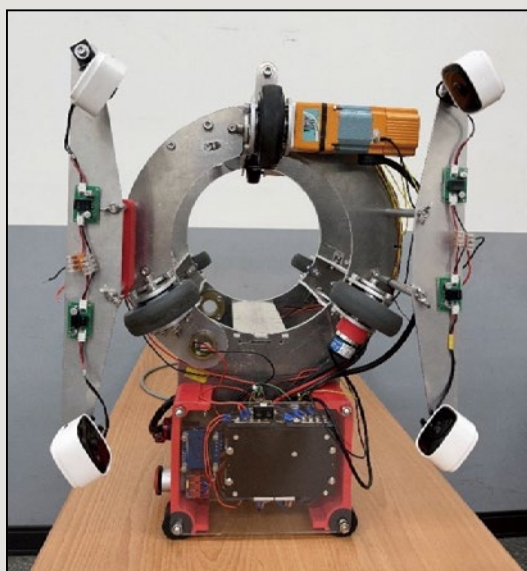


圖4 爬索車成品

本爬索車所使用的驅動方式為兩組膠輪直接驅動，另於兩相應120度角的輪組為輔助移動輪，而驅動輪亦扮演夾緊鎖固的角色，其於鋼纜上爬升至定位後，兩驅動輪會向鋼纜中心方向夾緊，如圖5所示。而後進行速度計水平校正，速度計平台係固定於兩個垂直90度驅動軸，透過自動控制系統使兩軸同時達到水平狀態。整部機器的電力來源是使用可更換式電池安裝於機身上，其可提供至少3次以上的完整作業需求，依金門大橋現地測試經驗，爬升30m-80m長之鋼纜次數高達6次，機器皆尚存電力，顯示整部機器作業所耗電功率相當微小。

如遇到於半空中沒電或是故障等情況，爬索車有設計一緊急保險裝置，可採人工方式解除鎖固，並透過鋼線拉回地面，以達到全面的安全考量。

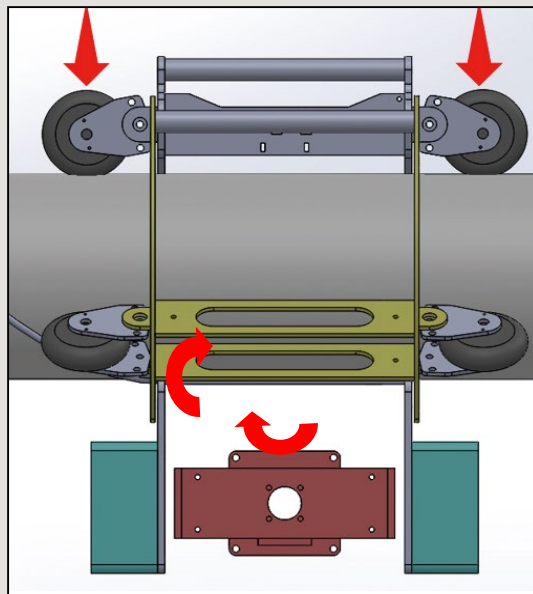


圖5 爬索車鎖固及速度計水平校正示意圖

肆、現地測試與數據分析

一、國道四號豐潭段斜張橋測試（單顆速度計量測）

爬索車開發階段，本團隊多次前往國道四號豐潭段斜張橋進行測試，該橋鋼纜外套管尺寸與金門大橋鋼纜套管尺寸相同，是台灣本島最適合的測試場域，可降低開發期間往返金門

交通次數，提升本案研究效率。圖6為本團隊於111年7月於國道四號豐潭段進行爬索車搭載三軸向速度計與傳統夾具鎖固速度計的比較試驗，將兩種量測方式同時固定於同一束鋼纜，並同步進行自然振動量測；過程中也測試爬索車之爬升能力，以確保後續於金門大橋可順利爬升最大傾斜角度(約25度)之斜張鋼纜。



圖6 爬索車於國道四號豐潭段斜張橋現地測試照

現場測試時，微振動量測系統係以1kHz取樣率進行數據擷取，量測時間長度為15分鐘，取得的振動訊號經快速傅立葉轉換(FFT)後之頻譜比對發現，爬索車上速度計訊號的頻譜與傳統夾具鎖固的速度計訊號頻譜分布非常相似，如圖7上圖所示。再透過各模態的微觀圖形可以看到兩種量測方式所得到的頻率相當一致(如表1)，僅能量有些微差異(如表2)，這對頻率判讀上並無影響，然是否會影響鋼纜識別的振態及有效振動長度，將於下節進一步探討說明。

表1 頻率比較表（單位：Hz）

	第一階	第二階	第三階	第四階
傳統夾具	1.144	2.277	3.439	4.528
爬索車	1.144	2.277	3.439	4.528

表2 能量比較表（單位：10⁻³mm/s）

	第一階	第二階	第三階	第四階
傳統夾具(f1x)	45.761	95.806	45.695	35.105
爬索車(f2x)	33.155	71.317	31.207	29.014
差值(f2x-f1x)	-12.606	-24.489	-14.488	-6.091

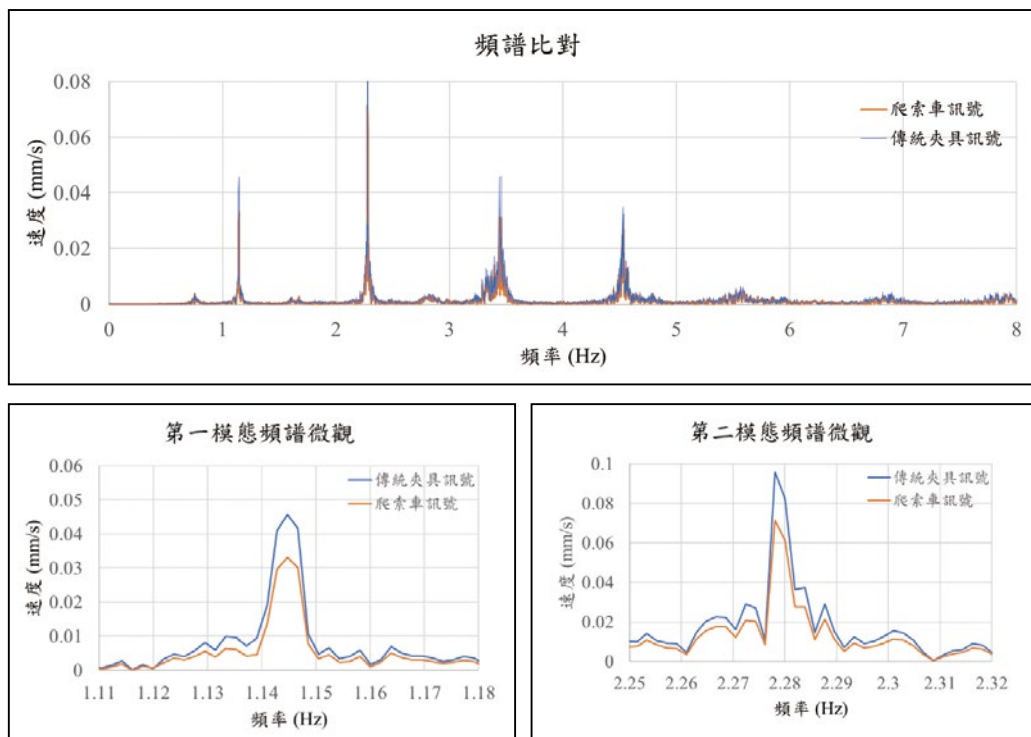


圖7 爬索車與傳統夾具振動訊號頻譜比對

二、金門大橋測試 (5顆速度計量測)

本試驗於金門大橋進行單束鋼纜5顆速度計同步量測作業，目的在於擬合鋼纜各階模態的振形，以取得鋼纜的有效振動長度。此次試驗與國道四號斜張橋不同處在於並非傳統夾具鎖固與爬索車同時量測，而是以相同間距配置於鋼纜個別量測，如圖8所示。現場分別針對最長、中及最短三束鋼纜進行測試，為避免篇幅過大，本文僅針對最長鋼纜量測結果進行說明。長鋼纜之設計長度約92.2m，感測器分別配置於距離防水罩端點起1m、3m、5.5m、74.5m、76.5m，共5個位置；微振動量測系統

同樣以1kHz取樣率進行數據擷取，量測時間長度為15分鐘，取得的振動訊號經模態分析比對後發現，兩量測方式分析的各模態頻率值差異皆在小數點下第二位，如表3所示，此誤差因為不同時間點量測，可能受環境溫度及不同外在因素等影響。而鋼纜有效振動長度，各階模態擬合振型都可求得一個有效振動長度值，本試驗取前5階模態的有效振動長度平均值作為該束鋼纜之有效振動長度值，分析結果顯示傳統夾具擬合結果為80.593公尺，爬索車擬合結果為81.000公尺，兩者相差0.5%。初步分析結果顯示使用爬索車測得的數據與分析結果，與傳統採人力及夾具安裝感測器測得的結果相當一致。

表3 各階模態頻率比較表 (單位：Hz)

	第一階	第二階	第三階	第四階	第五階
傳統夾具…(1)	1.528	3.069	4.524	5.961	7.502
爬索車…(2)	1.537	3.075	4.562	6.019	7.486
差值(2)-(1)	0.009	0.006	0.038	0.058	-0.016

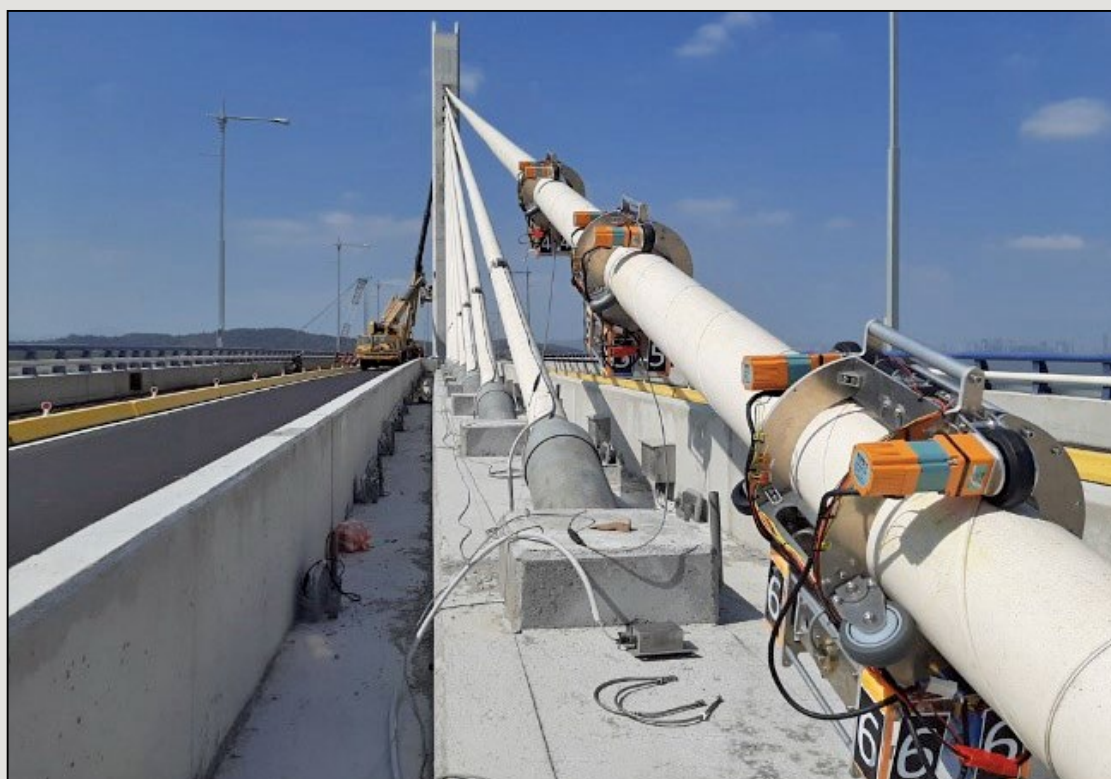


圖8 爬索車於金門大橋現地測試照

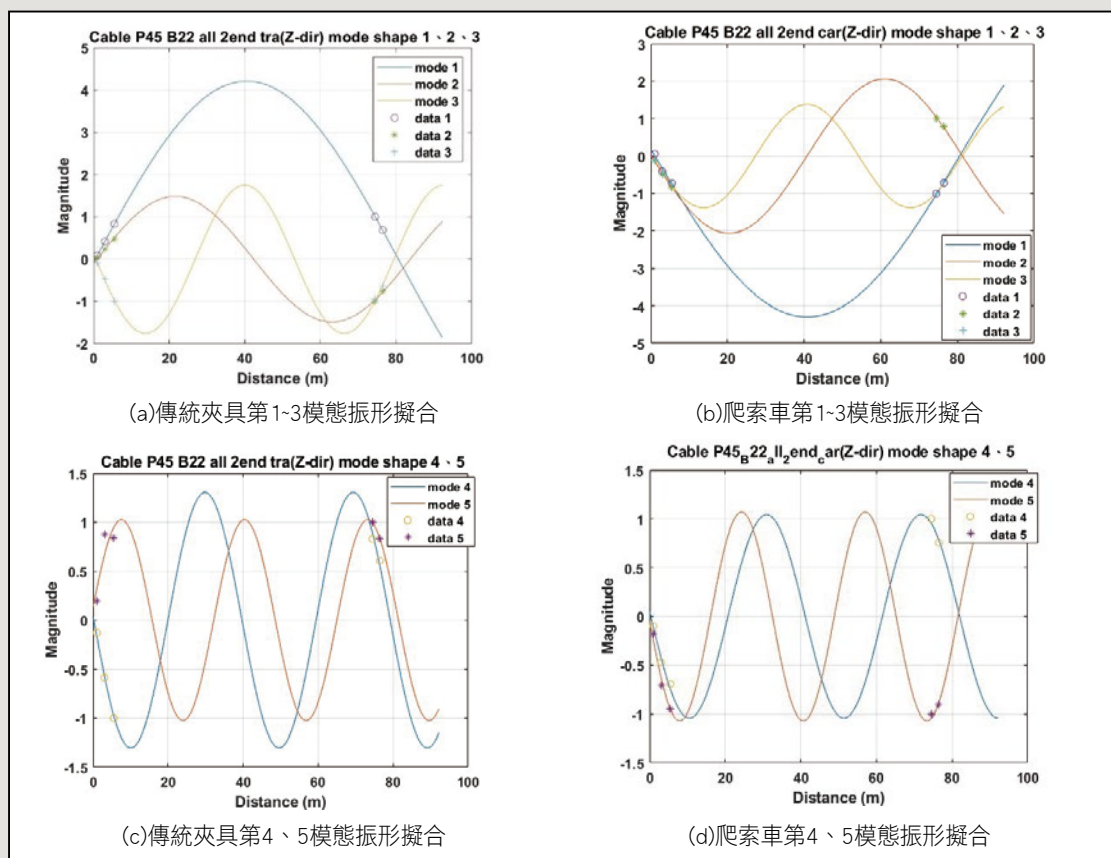


圖9 模態振形擬合

結語

近年因南方澳大橋的崩塌事件，引發國人及政府單位對於橋梁健康監測及檢測的重視。台灣的百川地形造就了大量的橋梁誕生，又因應現代對於結構造型美觀的需求，懸索橋梁更是被廣泛的應用。為加速鋼索檢測及監測作業的進行，能以自動化進行檢測的作業，且具有安全性與精密性的爬索車研製勢在必行，預期也將成為世界各國橋梁檢測發展趨勢。就現況而言，國內目前尚未有正式量產的爬索車產品問世，中華顧問工程司本於技術研發與推廣應用使命，積極與大同大學機械與材料工程學系密切合作，目前產出的第一代爬索車已具備鋼纜爬升、鎖固、感測器水平校正及即時影像傳輸紀錄等功能，但礙於時程緊迫的情況下，目前爬索車適用鋼纜規格是以金門大橋鋼纜HDPE套管外徑所打造，仍無法適用所有尺寸的鋼纜。

現行研製的爬索車，經由幾次的現地測試，爬索車用於鋼纜模態試驗的結果與人力搭乘舉高車於高空鎖固夾具的方式進行比較，其結果不論是鋼纜振動頻率的判讀，或是有效振動長度的擬合等，發現二者並無顯著的差異，代表爬索車於現地操作的穩定度及對於量測精度的影響皆相當優異。

本團隊將持續精進爬索車的研發，提升爬升能力、攝影性能、軟硬體穩定性及續航力等功能，使其可應用於各種尺寸及角度較陡的鋼纜。未來爬索車亦能延伸改良應用至不同設施結構之檢測作業，如離岸風機柱體檢測。透過使用自動化爬升機器進行高空作業，均可大幅降低人員長時間於高空工作的風險，進而提升維護管理作業之工作效率及人員生命安全。

誌謝

本文係財團法人中華顧問工程司「橋梁鋼纜等檢測設備開發與推廣(爬索車研製)」研究案之部分成果，作者由衷感謝高速公路局第二新建工程處的支持與協助，得以現場測試順利完成，在此一併申謝。

參考文獻

1. 國家運輸安全調查委員會，南方澳大橋斷裂重大公路事故事實資料報告(2020)。
2. 陳建州、吳文華，「以微振法精確量測斜張鋼纜索力之關鍵技術」，第八屆(2013)公共工程非破壞檢測技術研討會論文集，台南，(2013)。
3. 柯翊珮，「多點微振量測索力估算法採用不同量測佈設之準確性差異分析與適用性探討」，碩士論文，國立雲林科技大學營建工程系，雲林(2022)。
4. K. H. Cho, Y. H. Jin, H. M. Kim, H. Moon, J. C. Koo, and H. R. Choi, "Multifunctional Robotic Crawler for Inspection of Suspension Bridge Hanger Cables: Mechanism Design and Performance Validation," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 22, no. 1, pp. 236-246(2017)
5. A. Baghani, M. N. Ahmadabadi, and A. Harati, "Kinematics modeling of a wheel-based pole climbing robot (ut-pcr)," in Proceedings of the 2005 IEEE international Conference on Robotics and Automation, pp. 2099-2104(2005)

6. N. Ding, Z. Zheng, J. Song, Z. Sun, T. L. Lam, and H. Qian, "CCRobot-III: a Split-type Wire-driven Cable Climbing Robot for Cable-stayed Bridge Inspection*," IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 9308-9314(2020).

7. H.-B. Yun, S.-H. Kim, L. Wu, and J.-J. Lee, "Development of Inspection Robots for Bridge Cables," The Scientific World Journal, vol. 2013, p. 967508(2013).

8. R. Aracil, R. Salazar, and O. Reinoso, "Parallel robots for autonomous climbing along tubular structures," Robotics and Autonomous Systems, vol. 42, no. 2, pp. 125-134(2003).

9. K. H. Cho, Y. H. Jin, H. M. Kim, and H. R. Choi, "Development of novel multifunctional robotic crawler for inspection of hanger cables in suspension bridges," IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 2673-2678(2014).

10. Results of Friction Coefficient Test. Russ Engineering Group, Inc. 7600 GSRI Avenue Baton Rouge, La. 70820(2000).





4 特 稿

稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目／作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1，2，3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977)。

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木水利工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973)。

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984).

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963).

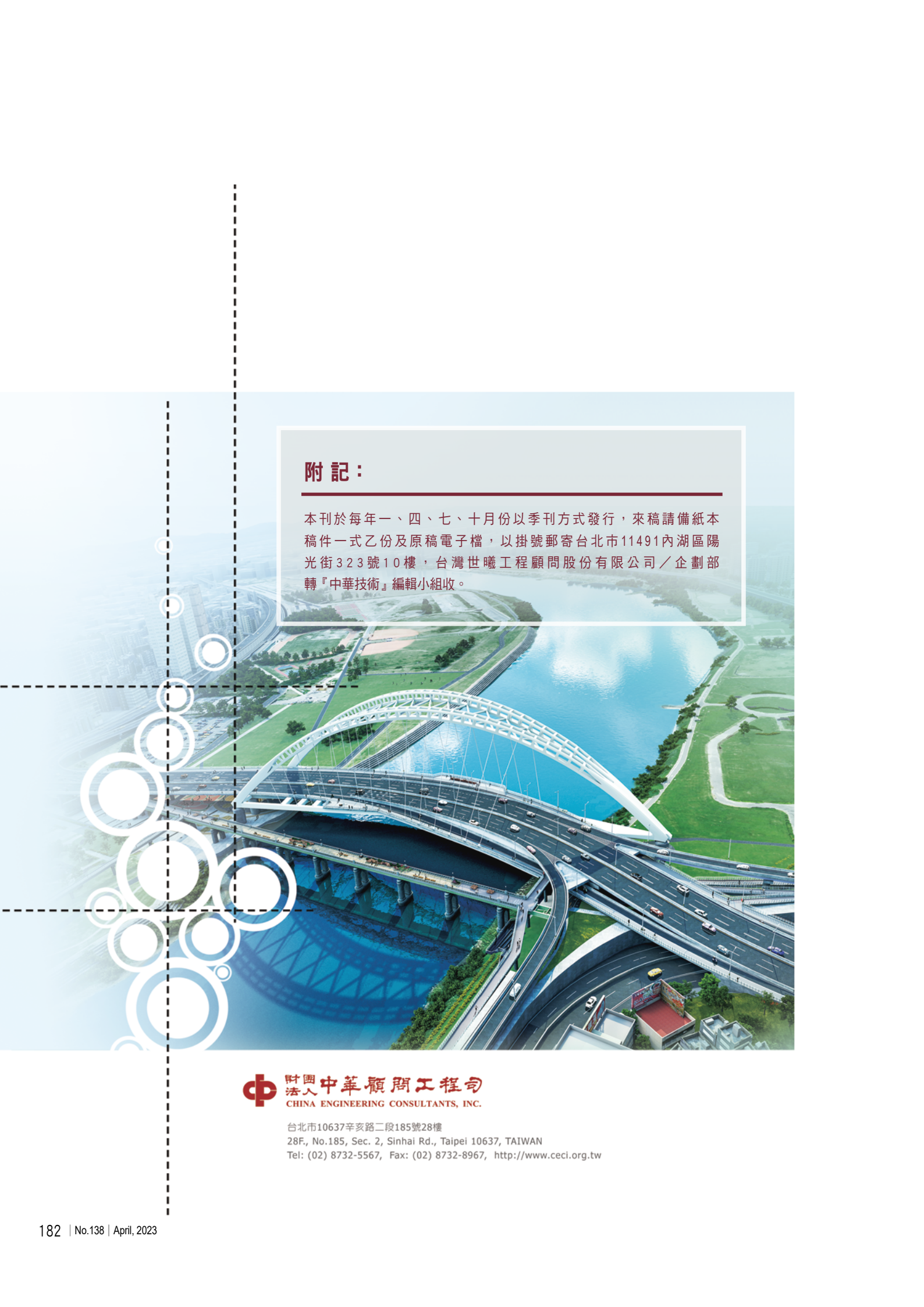


本期主題為「空間資訊跨域創新」，由台灣世曦工程顧問股份有限公司地理空間資訊部主編。

測繪及空間資訊技術可協助工程規劃設計，提供所需的數位空間資訊，同時以全生命週期的理念，落實設計自動化到資訊維運管理的實務作業，並透過3D GIS與BIM的協作，建置可輔助工程各種應用面向之環境基礎資訊。

近期無論是無人機、光達掃描、衛星遙測、3D影像匹配建模、或AI人工智慧，都已經成為先進科技的代名詞。倘能善用多元技術的融合，就得以在不同領域跳躍式地創造出新的應用情境，更能發揮數位基礎建設的綜效。本期專題報導包含台灣世曦近年相關技術研發成果及專案應用，藉由本專刊的彙整與各界分享，期能達到拋磚引玉的作用。發展「智慧」應用，需先完備「數位」資訊，而空間資訊創新應用的契機，在於對跨域需求的充分瞭解，這也正是工程師必須承擔整合技術的責任與使命。

最後特別感謝國家發展委員會國土區域離島發展處彭紹博處長及內政部地政司王成機司長接受本刊專訪，對於「智慧國土空間治理與數位孿生」及「國家底圖與創新測繪」二個訪題都提出精闢豐富的見解，指引出空間資訊創新的潛力與發展機會。



附記：

本刊於每年一、四、七、十月份以季刊方式發行，來稿請備紙本稿件一式乙份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。

 **財團中華顧問工程司**
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

台北市10637辛亥路二段185號28樓
28F, No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>

分毫不差

才足以教人驚艷

博得滿堂喝采的每一場演出，廣為客戶信賴的每一回肯定，
台灣世曦連番榮耀背後的，永遠都只是「專業」的累積，
以及「用心」的執著。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號
Tel: (02) 8797 3567 Fax: (02) 8797 3568
<http://www.ceci.com.tw> E-mail: pr@ceci.com.tw