



# 全景影像巡檢技術 於 成效式 道路鋪面維護契約 之創新應用

林昆虎／臺北市工務局新建工程處 處長

張家瑞／國立宜蘭大學建築與永續規劃研究所 教授

劉峻宇\*／超鉞科技股份有限公司 執行長

楊博森／聖東營造股份有限公司 董事長

劉浩澧／超鉞科技股份有限公司 專案部經理

近年都市道路使用頻率與公共設施複雜度持續提升，道路鋪面與人行道附屬設施之巡查與維護工作，面臨效率與精準度的雙重挑戰。傳統以人工現地巡檢為主的作業方式，除需投入大量人力與時間外，亦易受個人經驗與判斷差異影響，造成資料一致性不足，進而影響後續維護決策品質。為回應此一實務需求，本技術以「114年度道路巡查維護修繕成效式契約（松山、信義區）」為推動場域，導入三角光學全景系統（Triangle Optical Panoramic System, TOPs），並結合 AI 影像辨識與地理資訊系統（Geographic Information System, GIS），建構一套可實際運作之數位化道路巡檢流程。

實際應用成果顯示，透過高解析環景影像結合缺失辨識輔助機制，可有效提升道路巡檢效率與資料判釋精準度，並支援道路鋪面二級檢測（ePCI）之快速分析，進一步強化成效式契約下之維護狀態掌握與維護優先順序判定，展現工程數位創新技術於道路巡查與維護管理上的實務成效與推廣價值。

## 工程簡介

臺北市松山與信義區為高度都市化發展之核心區域，道路使用頻率高且交通負荷重，隨著服役年限增加，鋪面老化、裂縫、坑洞及局部沉陷等缺失逐漸浮現，使道路鋪面巡查與維護工作在即時性與修復效率上面臨更高要求。

傳統鋪面巡查多仰賴人工現地巡檢，作業耗時且缺失判定易受人員經驗影響，難以支援成效式契約下對成果驗證與履約管理的需求。於成效式契約制度

中，鋪面維護須快速掌握缺失位置、判定修復優先順序，並以實際修繕成果作為給付與績效評估依據，建立客觀、可追溯的巡檢機制成為關鍵。

本工程以「114年度道路巡查維護修繕成效式契約（松山、信義區）」為執行場域，導入數位化巡檢模式，透過車載式全景影像快速掌握道路鋪面狀況，在不中斷交通的情況下完成大範圍巡檢，使鋪面缺失得以及早發現、即時通報並迅速銜接修繕作業。同時，結合 AI 影像辨識與地理資訊系統，將鋪面巡檢成果轉化為可量化之數據資訊，支援缺失分級、修繕優先順序判定及成效驗證，使鋪面維護作業由經驗導向，轉型為以成果為核心之數位化管理流程。

\* 通訊作者，john@supratech.com.tw

## 數位創新成果

本工程所導入之數位創新作為，係以成效式契約對巡查成果可量化、可驗證與可追溯之管理需求為核心，整合 TOPs 環景巡檢系統、數化影像處理、AI 影像辨識輔助與 GIS 決策平台導入，建構一套由現地資料採集延伸至決策支援之完整作業流程。如圖 1 所示，巡檢影像經數化處理與缺失標註後，可同步產出維修通報資訊與 ePCI 道路狀況指標，並統一匯入 GIS 決策系統平台進行視覺化管理與決策支援，使巡檢成果同時支援即時修繕作業與整體維護績效評估，充分展現工程數位創新於道路巡查維護實務中的整合應用價值。

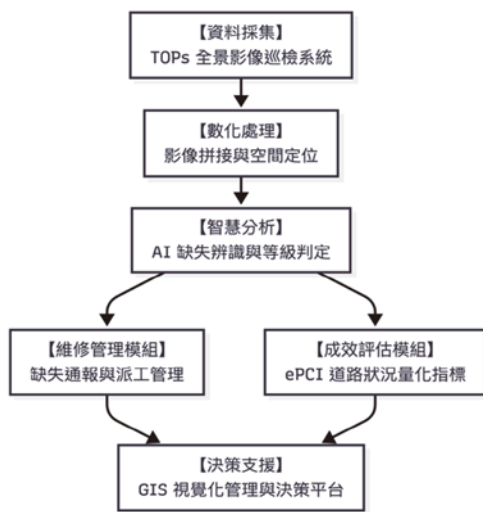


圖 1 智慧道路巡檢作業流程

## 三角光學全景巡檢系統 (Triangle Optical Panoramic System, TOPs)

為因應高密度都市道路巡查對影像完整性與幾何精度之需求，本工程導入三角光學全景巡檢系統 (TOPs)，作為數位化巡檢流程之核心資料來源。該系統可於車輛正常行進過程中，穩定擷取具一致幾何關係之高解析環景影像，支援後續道路缺失分析與維護決策應用，其實際配置情形如圖 2 所示。



圖 2 TOPs 全景巡檢系統整合於巡檢車輛之實際配置

## 系統架構與拍攝配置

TOPs 系統採用三顆高解析度全域快門工業相機，依三角幾何原理進行配置，並向內傾斜形成穩定弧形陣列，可完整涵蓋車道中央、路肩及道路兩側附屬設施，達成 360 度之環景影像覆蓋。相較傳統單鏡頭或消費型全景設備，此一配置可有效降低高速行進下之影像拖影與幾何變形問題，確保影像品質符合工程巡查與缺失判識之需求。

在影像解析度與細部判讀能力方面，如表 1 所示，TOPs 系統於 2 公尺拍攝距離下可達毫米等級之地面取樣距離 (Ground Sampling Distance, GSD)，具備進行細部鋪面裂縫與病害調查之能力，同時兼顧高影像品質與系統穩定性。相較專業級全景設備，TOPs 在維持工程級影像品質的前提下，具備重量輕量化與體積精簡之優勢，使其更適合長時間道路巡檢作業，並可彈性安裝於不同巡檢車輛平台。

表 1 全景設備比較

	Insta 360 X3	Ladybug5	TOPs
GSD @ 2m	2 mm	1.56 mm	1.37 mm
影像品質	8K	12K	12K
產品重量	200 g	3 kg	< 300 g

系統整合車載工業電腦與全球衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS)，可於不中斷交通之情況下同步完成影像採集與空間定位作業，兼顧巡檢作業安全性與效率。整體而言，TOPs 系統在影像品質、重量配置與平台適應性間取得良好平衡，具備作為道路鋪面高品質數據採集設備之工程實用性。

## 同步控制與系統率定機制

為確保 TOPs 系統於實際道路巡查作業中具備穩定運作效能，系統於設計階段即納入同步控制與系統率定之工程考量。三台工業相機由車載工業電腦進行整合控制，並透過自研同步觸發機制進行拍攝，其同步架構如圖 3 所示，使各相機於時間與拍攝間距上維持一致，從而確保後續影像拼接、幾何校正與缺失辨識作業具備穩定且可靠之基礎。

考量道路巡檢屬於動態拍攝環境，且影像設備與定位元件之間可能存在實際安裝差異，TOPs 系統在建置過程中即進行必要之幾何校正與率定作業，以建立可靠的影像與空間對應關係。相關作業重點在於確保多相機間之相對位置與姿態關係一致，並降低鏡頭畸變與系統誤差對巡檢成果之影響。

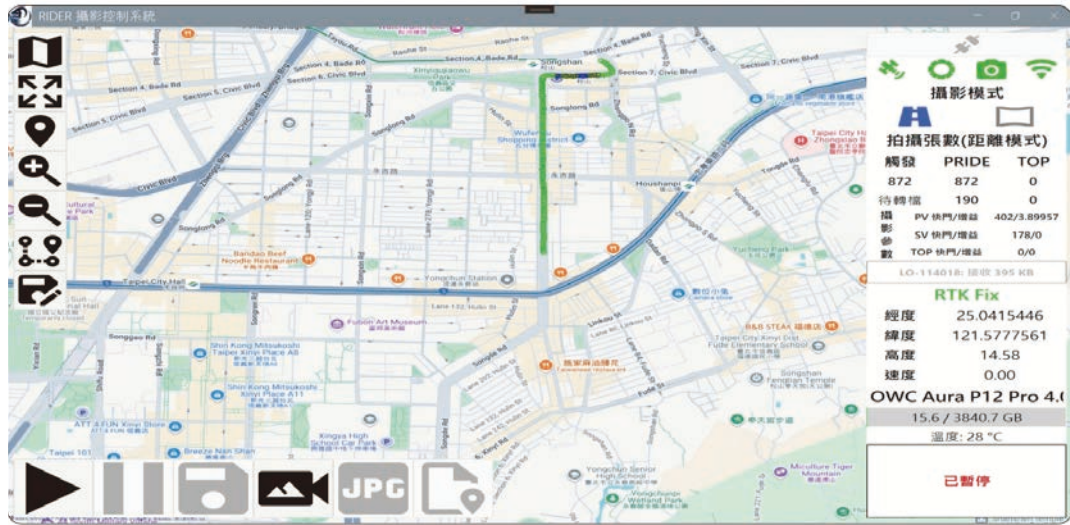


圖 3 車載控制系統

透過完整的同步控制與率定機制，TOPs 系統於車輛行進狀態下仍可穩定產出具一致幾何特性之環景影像，作為後續 AI 影像辨識、道路缺失標註與狀況量化分析之可靠資料來源。

### 影像拼接與空間定位

影像拼接與空間定位為數位巡檢流程中承先啟後的關鍵步驟，其目的在於將多相機同步取得之影像資料，轉換為具備連續性、空間一致性與可定位特性的環景影像成果，作為後續缺失辨識與決策分析之基礎。TOPs 系統所取得之多視角原始影像，如圖 4 所示，仍存在視角差異與幾何變形，需透過後續處理進行整合。

TOPs 系統所取得之多視角影像，係依據相機間既有之幾何關係進行拼接處理，透過影像重疊區域比對與

幾何校正，生成具連續視野之環景影像，其校正與拼接後之成果如圖 5 所示。此一處理流程可有效避免影像接縫錯位與尺度不一致等問題，使道路鋪面與附屬設施能以完整且一致之視覺形式呈現。在空間定位方面，系統同步整合車載定位資訊，將每筆影像成果賦予對應之時間與空間標記，使環景影像不僅具備視覺記錄功能，亦可直接對應至實際道路位置。透過影像與空間資訊之整合，巡檢成果得以轉換為可於地理資訊系統中管理與分析的結構化資料，作為後續缺失辨識、修繕管理與決策支援之重要基礎。

### AI 影像辨識與鋪面狀況量化

完成影像採集與拼接後，系統進一步導入影像辨識模型，針對連續無縫之環景影像進行輔助化分析，



圖 4 原始拍攝影像



圖 5 校正拼接後全景影像



圖 6 於全景辨識裂縫及人手孔

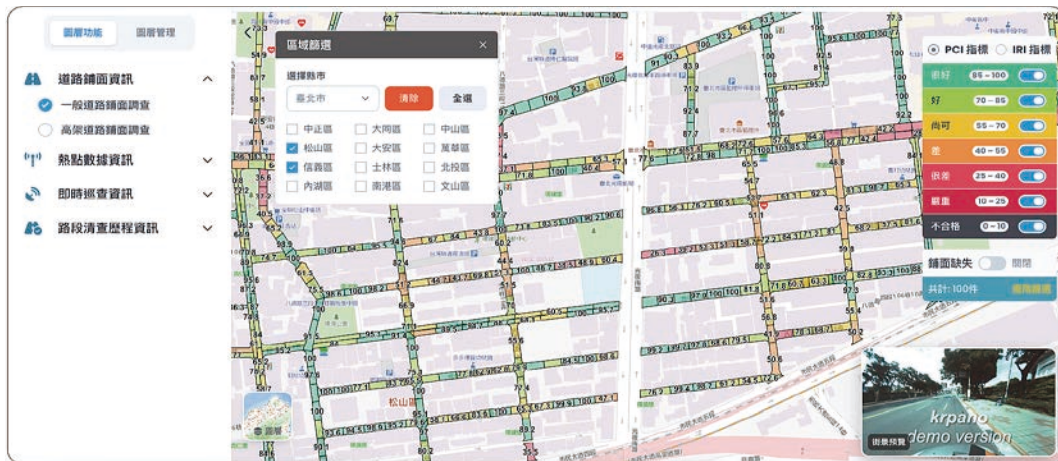


圖 7 道路數位孿生於 GIS 平台之視覺化管理

以辨識道路鋪面常見缺失類型，如裂縫、坑洞等。透過深度學習模型之輔助，系統可於全景影像中自動標註缺失位置並進行類型判定，其實際辨識成果如圖 6 所示。相較傳統仰賴人工現地判讀之方式，此一輔助流程可大幅縮短分析時間，並確保缺失判定結果具備一致性與可追溯性。

此外，同步導入鋪面狀況量化指標（ePCI）模型，將影像分析成果轉換為具體數值，作為維護優先順序與經費配置之重要依據，使道路養護決策由經驗導向轉為數據驅動。

### GIS 決策平台與視覺化管理

為強化巡檢成果之管理與應用，本案將所有檢測與分析結果整合至 GIS 決策平台，透過地圖化方式呈現道路整體狀況，形成以道路為核心之數位化管理介面。如圖 7 所示，各路段之巡檢成果可依鋪面狀況指標分布情形進行視覺化呈現，使管理人員得以快速掌握轄區道路維護狀況。在此基礎上，平台進一步導入決策大型語言模型（Large Language Model, LLM），結合歷次巡檢資料、鋪面量化指標與修繕紀錄，提供決策輔助分析功能。

管理人員可透過系統介面即時查詢特定路段之維護建議、修繕優先順序與可能風險說明，使巡檢成果不僅止於資料呈現，而能進一步轉化為具體可執行之決策

資訊。此一結合 GIS 視覺化與 LLM 決策輔助之管理模式，不僅有效降低重複現地踏勘之需求，亦成為跨單位進行工程研判、修繕協調與成效檢核的重要共通介面，顯著提升道路鋪面維護之決策效率與溝通品質。

### 結語

本工程透過三角光學全景巡檢系統（TOPs）、AI 影像辨識技術與 GIS 決策平台之整合應用，成功建構一套可實際落地之數位化道路巡查與維護模式，並於成效式契約架構下展現具體實務效益。相關成果顯示，藉由數位巡檢流程之導入，可有效提升巡檢效率，降低人員進入高風險交通環境之作業次數，同時使缺失掌握、修繕通報與資源配置更趨即時與精準。

透過完整的影像、時間與空間資訊整合，巡檢成果具備良好之可追溯性與一致性，得以作為成效式契約下成果驗證與管理稽核之可靠依據，充分體現數位科技於工程管理与決策支援層面的加值效果。實務經驗亦顯示，國內自主研发之巡檢設備與智慧化平台，已具備支援成效式契約與智慧工程管理之成熟度與實務可行性。

未來，相關技術可持續結合多元鋪面量化指標與智慧分析模型，進一步擴展應用至不同城市與工程類型，逐步累積長期道路狀況資料，作為公共工程數位創新與智慧城市治理之重要基礎與可行示範。