



新冠疫情下 土木工程與遙測技術 之應用與契機

黃韋凱／財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 副研究員

李璟芳／財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 正研究員兼組長

張玉萍／財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 主任

高銘堂／財團法人中興工程顧問社 執行長

陳振宇／行政院農業委員會水土保持局 副總工程師

賴澄漂／自強工程顧問有限公司 董事長

土木工程專案，於道路、橋梁、住宅、廠房、建築，或其他重大工程建設構建，皆需仰賴內業、外業各方專業人員在規劃、設計、施工、管理等之互相配合，彼等之溝通與合作於土木工程中至為重要。

然 2019 年底全球新冠疫情自中國武漢爆發，對於勞力需求密集、協同合作要求高之土木工程業造成巨大衝擊，影響原工程作業模式與規劃進度。

物聯網系統之建構受惠於現今遙測科技進步以及政府三維空間圖資、開放資料庫之建立，並能結合虛擬實境、擴增實境以及高效網路資訊傳輸，故部分工程外業已得以遠距作業之方式進行。而室內作業則能輔以廣域地球觀測及遙測影像資料分析，降低工程規劃選址現地調查踏勘時間，以及與人群接觸受疫情病毒感染之風險。

鑑此，本文將以新冠疫情衝擊下，論述如何善加運用遙測圖資、地理資訊系統、新興測繪技術與 AI（人工智慧）等科技，以維持工程顧問業既有業務執行量能，並期望引領土木工程邁向下一個新的里程碑。

關鍵詞：遙測、新冠病毒、土木工程、虛擬實境、擴增實境、物聯網

Civil engineering projects, despite different nature in road, bridge, residential, plant, building or other major construction, require professionals both work on and off site to collaborate through stages of planning, design, construction and contractual management. No single person to work his own way will be able to complete the project and that during the integrating process, team communication plays an important role.

However, the COVID-19 epidemic broke out in Wuhan, China, end of 2019, interrupted existing arrangement in almost every project for communication and coordination of engineering teams. Consequently, the progress of works is impeded and development of construction industry stagnated.

Fortunately, with the remote sensing technology advanced, and the 3D mapping and open data bases established, combined with virtual reality, augmented reality, and efficient information transmission via networks; it is possible to proceed indoor operation through the use of the Internet of Things system so that the risk of infections can be decimated while doing planning and site investigation.

With the view that good use of remote sensing data, GIS analysis, and emerging surveying and mapping technology; will provide solutions for civil engineers to counter the interrupting impact brought by the COVID-19 epidemic; the engineering firms will be confident continuing to offer technical service while construction industry is graciously blessed for next stage of the development.

Key Words: remote sensing, COVID-19, civil engineering, virtual reality, augmented reality, Internet of Things.

前言

2019 年末源自中國湖北省武漢市出現的新型冠狀病毒案例，迅速蔓延至 196 個國家，目前已造成全球超過 340 萬人確診及 24 萬人死亡（截至 2020/5/3 止），人類在公衛健康領域遭遇到前所未有的打擊，在斷絕產業供應鏈下的全球化經濟亦因而蒙受巨大損失。

土木工程產業受於本身行業類別與特性（防災、測量、建築、橋梁、隧道、道路與水利等），其作業方法複雜及工作環境險峻（山區、水域）等因素影響，造成從業人員之職災風險甚高。瀏覽全世界各國土木工程產業職業災害風險盛行率後，根據 Abdelhamid and Everett^[1] 研究，美國土木工程營造業僅佔約 5% 勞動人口，而每年卻有將近 20% 的職業意外死亡事故肇生於土木領域。根據美國勞工統計局的統計資料^[2]，在 2012 年所記錄的 4,383 件死亡傷害中，就有 817 件發生在營造業中（包括公部門、私部門及自雇員工），居所有產業之冠。反觀台灣土木工程業亦有相仿之產業風險特性，依民國 107 年度勞動部發布的勞動檢查年報^[3]，營造業造成之重大職災死亡人數占了全部行業別的 13%（圖 1），為僅次於製造業之高職災產業。

另探究本次新冠肺炎散播期間，各類型職業所面臨之接觸感染風險可如圖 2（綠色氣泡一較高風險之醫療護理職業；藍色氣泡一較低風險之非醫療護理職業）所示，圖 2 係以工作需接觸人數、密切接觸程度及暴露於危險程度等三項指標進行評比，其中土木工程屬於非醫療護理職業類型之藍色氣泡，而土木內業職員（office clerks）與現場施工人員（construction laborers），其職業風險評分則分別為 33 分（紅色大圓框）與 24（紅色小圓框），相對於疫情期間高風險之醫

療、護理職系而言，其初步可歸類為中低之暴露風險職業。

然如前所述，當面「溝通」與「協調」一直都是土木工程行業落實工作進度最直接且有效之作法，而因新冠疫情之影響，不論於室內規劃設計或室外施工作業，在配合政府相關防疫政策施行之異地分流與居家辦公情況下，前述之「溝通」與「協調」效率將因人與人間之社交距離限制而降低。故如何簡化現場施工及作業程序，並藉由新科技，改善作業流程，降低人員密技接觸需要，維持工程如期如質完工目標，為本文擬探討之關鍵議題。

目前遙測科技之進步以及政府空間圖資開放資料庫之建立，配合人工智慧物聯網、高效網路之資訊傳輸，使得部分室外工作得以遠距施工之方式進行，降低工作人員受疫情感染之風險；而室內作業原即能以此廣域遙測所得影像資料，縮短工程施工前規劃選址作業期程。

另受益於地球觀測技術之精進，更多元的開放圖資已無遠弗屆地提供全球使用者下載應用，以歐洲太空總署發起之全球環境與安全監測（GMES，Global Monitoring for Environment and Security）哥白尼（Copernicus）計畫為例，自 2014 年起，其陸續發射哨兵（Sentinel）一至六號各類觀測衛星，涵蓋陸地海洋全天候及晝夜雷達影像、光學及多光譜影像、海洋溫度、氣候變遷、大氣成分等，長期貢獻能源、環境永續發展、農業、生態、健康、緊急災害及氣候監測等領域長時穩定觀測資料。故在本次新冠疫情爆發期間，運用哨兵衛星評估各國封城，大規模人類活動趨緩後，地貌變遷與大氣條件（二氧化氮）改善關聯性、地球現況之變異等，應用亦十分便捷。以下針對空間圖資及遙測科技發展進行探討，提供土木營造與工程顧問業面對新冠疫情下的因應策略研擬。

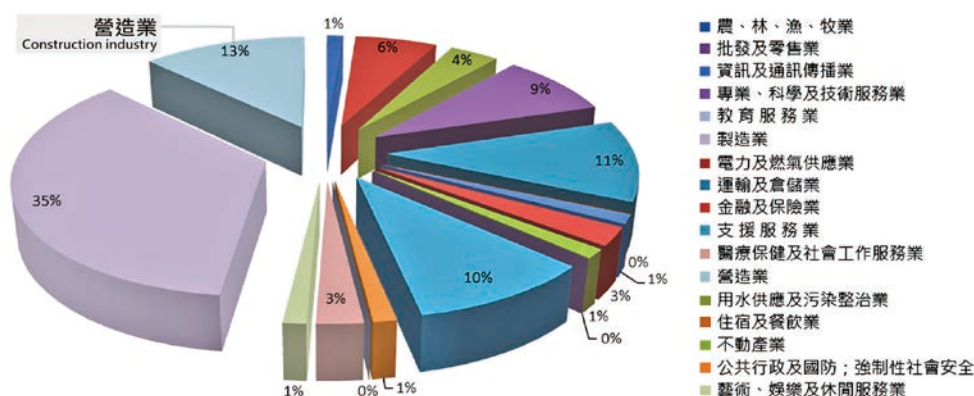


圖 1 民國 107 年臺灣重大職業災害死亡人數比例圓餅圖
(資料改自勞動部勞動檢查年報資料庫：<https://www.osha.gov.tw/>)

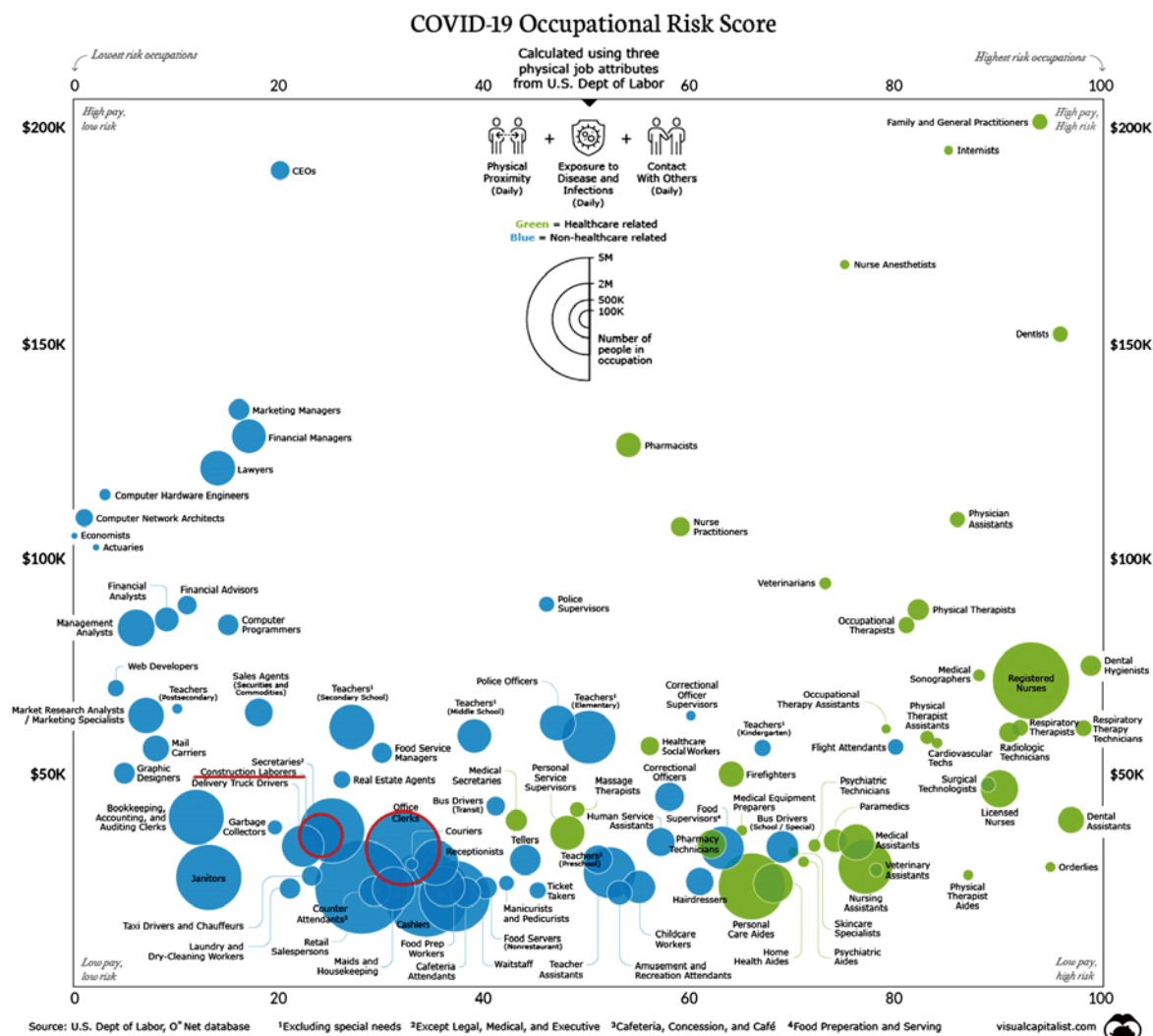


圖 2 新冠肺炎疫情下產業員工染疫風險氣泡圖
(修改自美國勞動部資料；<https://www.visualcapitalist.com/>)

土木工程利用遙測技術於新冠疫情扮演之角色

遙感探測簡稱遙測，一般定義為利用測量儀器偵測目標物後，以「非接觸」之方式取得某對象、區域或某現象之觀測資料，以獲得被觀測目標之訊息。故此次疫情爆發之際，即可利用遙測技術，非接觸式之資料獲取特點，以遠距獲取廣域地形資料，加值於後端應用分析，減少工作者與人群接觸感染機會。

遙測技術於土木工程上之應用已成為廣域調查分析評估之利器，如地形圖製作、地勢分析、基本資料調查與分析、環境影響評估、土地利用調查與監測、天然災害調查與防治、交通路網、都市、水資源調查與規劃、路廊調查與定線、橋隧調查、工址調查、環境與能源開發、施工與維護期監測及軍事工程等。

而各類地形資源與電腦之結合更開啟遙測技術於土木工程應用的新篇章，如地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）以及三維立體模型建置技術之發展，藉由與其他科學及技術之整合，如地理、測量、統計、資料庫及網路資通技術等，逐步發展出虛擬實境、擴增實境，並得結合各種 GIS 軟體系統。

遙測技術於土木工程產業上之擴展，除在設計、施工至維護管等各層面有效提昇工作效率外，在新冠疫情爆發之際，應能取代群聚溝通協調，可降低工作人員染疫之風險。故此，探討遙測技術發展於三維立體模型、虛擬實境、擴增實境、地球觀測大數據、無人機派遣及人工智慧識別於災害緊急勘查等「新世代遙測技術」於土木工程之發展實有其必要性，茲整理國內外「新世代遙測技術」應用概況如下。

三維立體城市發展

近年鑑於運動回復結構 (Structure-from-Motion, SfM) 及影像密集匹配 (Dense Matching) 攝影測量技術成熟化，利用航拍影像資料輔以建模軟體建構三維模型趨勢正蓬勃發展，土木工程圖像化也由原本二維圖面轉化為 3D (three dimension) 立體模型。其中又以數位城市模型建置於土木工程業發展最為快速，國際上與此領域相關的國際組織，例如 FIG (Federation Internationale des Geometres) 及 OGC (Open Geospatial Consortium) 等，也積極的推動發展與應用^[4]。根據

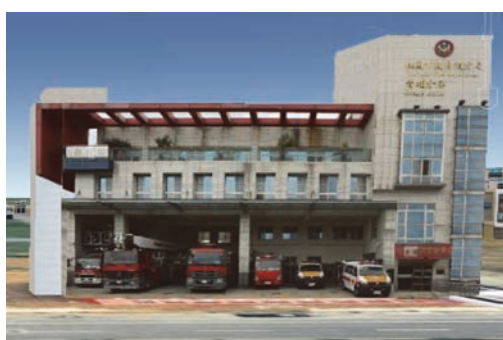
OGC 網站上的統計，目前已有 9 個國家 25 個城市已建置三維城市模型資料庫 (如表 1)。

國內方面，內政部自 95 年起開始推動國內三維城市模型發展，委託國立中央大學太空及遙測研究中心，規劃研擬與建置數位城市之模型機制與規範、關鍵技術研發與實務應用，逐步完成三維數位城市相關技術之規劃與研發，奠定臺灣地區建置三維數位城市模型及系統之基礎，為此國家發展委員會也通過將國家底圖升級為 3D 模式，陸續建置全臺三維建築及道路模型^[5] (圖 3)。

表 1 全世界已建置三維圖資城市列表

國家	具城市地理描述語言 (CityGML) 編碼標準	不具城市地理描述語言 (CityGML) 編碼標準
Austria	Linz、Vienna	Adelaide、Greater Geelong
Belgium	Brussels	-
Canada	Montréal	Fredericton、Toronto、Vancouver
Finland	Helsinki	-
France	Lyon	-
Germany	Berlin、Dresden、Hamburg、North Rhine-Westphalia (state) Thuringia (state)	-
Netherlands	Dutch cities、Rotterdam、The Hague	-
United States	New York City (by TUM)、New York City by DoITT	Austin、Boston、Philadelphia、San Francisco
United Kingdom	-	Cambridge

※ 城市地理描述語言 (City Geography Markup Language, CityGML)



(a) 臺灣高鐵桃園站與停車場



(b) 大園區青埔路一段



(c) 大園區領航北路三段

圖 3 三維建築及道路模型 (引用自 [5])

虛擬實境與擴增實境之發展

多元尺度之遙測科技建置之 3D 模型資料品質及準確性漸趨精細，配合現今資訊科技（Information Technology, IT）可將實體轉化為隨使用者視角改變之「虛擬實境」（virtual reality, VR）。利用電腦模擬生成具立體及高擬真之 3D 空間，提供使用者如同身歷其境般之主觀感受。且能於任何時刻、絕對位置針對於 VR 建置之立體模型、影像、視覺影像等進行環境觀測。而該技術最具象徵性之代表，不外乎大眾廣為使用之 Google Maps 與 Google Earth 平台（圖 4）；此外，由日商開發之 SYMMETRY VR 系統，強調可導入建築、工程以及施工模型（圖 5(a)），於系統中可模擬日光、開發進度進行 1:1 實體比例展示，並能於工程建案中進行實體設計或進度監督控管（圖 5(b)）。

在國內發展現況上，業界已依循國家發展委員會規劃，落實智慧國土之國家地理資訊系統發展政策。在土木工程行業中，將工程圖資與相關資訊轉化成 VR 視覺化，讓施工、分析人員於室內遠距進行工址調查已不再遙不可及；圖 6 即為交通部公路總局數位公路服務平台之內容，該 VR 平台除提供目標位置之環景影像（圖 6(a)）外，並可輸入地號、公路里程等屬性資料以查詢瀏覽街景影像（圖 6(b)），且根據街景三維立體模型可進行道路與物件尺寸量測（圖 6(c)）。

地上建物可由前述之三維模型技術建構出完整之資料庫，然而埋於地下之管路通道等，亦隨著城市建設規模之擴展，形成隱蔽而複雜之地下空間網絡系統，對傳統土木工程管路管理作業而言，是巨大挑戰。常見之城市地下管線主要由供水、排水、燃氣、熱力、



圖 4 Google Earth VR 示意圖
（引用自 Google Earth VR）

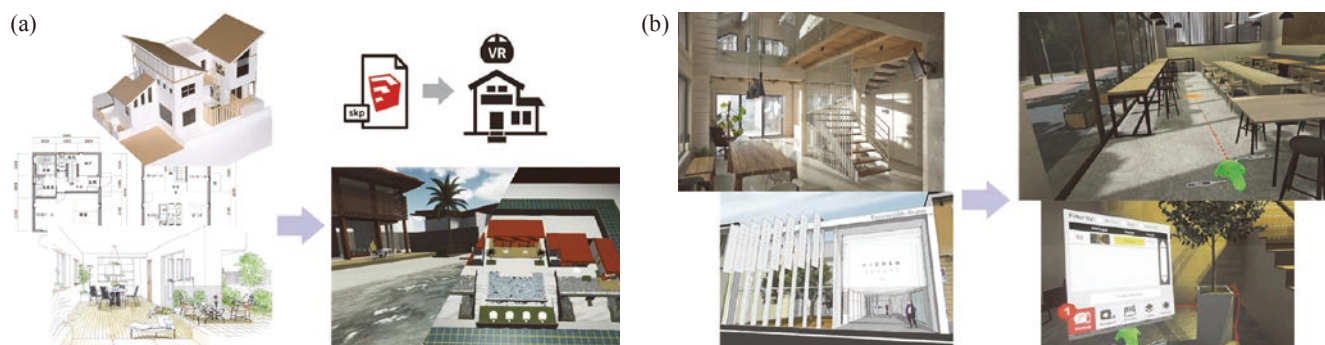


圖 5 SYMMETRY VR 系統於工程應用示意圖
（引用自 Symmetry Dimensions Inc.）

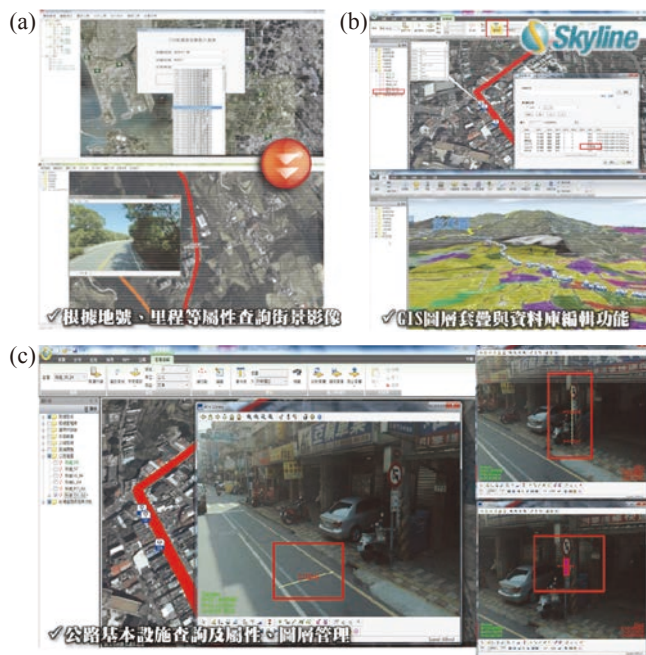


圖 6 交通部公路總局數位公路平台
(自強工程顧問公司提供)

電力、通訊、電視以及工業管線所組成，其提供了民生經濟活動之運作能源，稱為「城市血管 (urban blood vessels)」^[6]，如何合理規劃及有效管理地下管線，已成為維持城市正常運行不可或缺的一環。為解決此一問題，另一種 VR 技術之進階延伸 - 擴增實境 (Augmented Reality, 簡稱 AR) 遂因應而生。此技術乃利用視覺感測器計算虛擬 3D 物件於輸出圖像位置及角度，將虛擬資訊透過顯示器 (如：電腦螢幕、手機以及平板等) 讓使用者在真實世界與虛擬內容互動。如美國設立之 vGIS 公司，曾推出結合 ESRI 地理資訊系統平台以及 Microsoft 之 AR 技術，其整合 AR 技術配合既有管線圖資所建構之 3D GIS 資料庫，可準確、直觀、及時地顯示地下管線空間分布 (圖 7)，減少工程單位盲挖濫掘，造成之管路損壞或工安意外。

地球觀測大數據於新冠疫情之環境變異監測

全球性之遙測資料開放政策已成為大數據發展趨勢，特別是在新興衛星感測器逐年發射升空後，因為競爭，前一代衛星所獲取之影像資料庫，終將開放下載。當從網路平台可以下載全球任何地方的遙測圖資，千里之外的環境災害評估與空間變異分析都可呈現於眼前。在新冠疫情前景未明情況下，善用各類地球觀測數據配合特定演算法及 GIS 空間分析，對於大

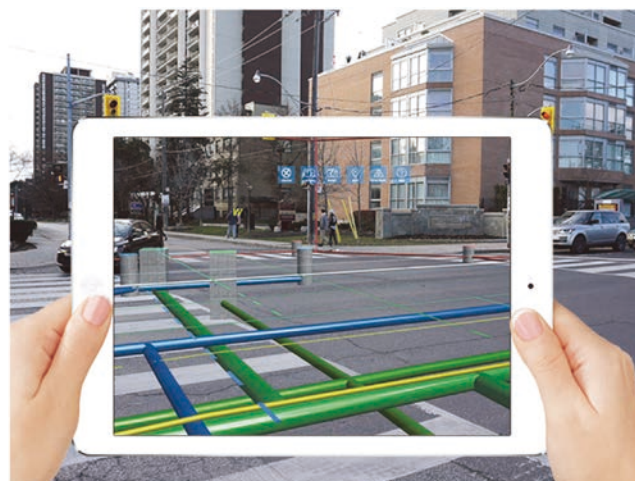


圖 7 地下管線 AR 擴增實境互動平台示意圖
(引用自 vGIS 網頁 <http://www.vgis.io/>)

尺度之廣域環境變異評估或緊急災害快速調查，可不受人群社交距離限制，降低人員暴露於災害之風險。

另從災害中學習，運用環境變異監測技術，可蒐集國外重要災害案例，在本地進行災因分析，累積知識，推升地球觀測數據之加值應用層面。以雷達 (SAR) 影像為例，可知其優勢為可全天候，不分晝夜成像，影像寬幅，常達數十至數百公里，對於廣域天然災害如颱風或地震，差分干涉分析後之干涉條紋通常反映出潛在地表變異，經由全相位回復後的地表形變，可供作為天災事件後的地貌變異熱區^[7,8]。

為基礎工程設施監測及兼顧防災需求，近年來中興社陸續投入合成孔徑雷達干涉 (Interferometric Synthetic Aperture Radar; 簡稱 InSAR) 技術探究各項可能之實務發展，並將 InSAR 各評估法彙整如表 2。表中 D-InSAR (differential InSAR)、PS-InSAR (persistent scatterer InSAR) 及 ATS-InSAR (adaptive time series InSAR) 為採用干涉差分技術衍伸之分析法，而雷達強度變異偵測及次像素偏移追蹤法則為利用回波訊號強度分析不同時期影像變異。值得一提的是，相較於第一代 PS-InSAR 分析法僅採用永久散射點 (PS)，中興社於 2019 年引進 ATS-InSAR 分析法，除進一步融合暫態分布散射體 (distributed scatterer, DS) 與永久散射體訊息，配合雷達衛星視域分析與濾波處理，可增加測得的地表變位點數目，有利於監測分析與評估。

中興社採用 ALOS-1 雷達影像對山區輸配電鐵塔周緣邊坡進行長時序 PS-InSAR 地表形變監測，如圖

表 2 常用 InSAR 分析方法與優劣比較

方法	D-InSAR	PS-InSAR	ATS-InSAR	雷達強度變遷偵測	次像素偏移追蹤法
分析影像幅數	2	20-25	>12	2	2
適用對象	事件型地表位移 (如山崩或地震)	具潛移特性之邊坡、集水區土砂位移	具潛移特性之邊坡、集水區土砂運移、基礎設施監測	廣域地表變異或土地利用改變偵測	具潛移特性邊坡 (地表裸露者為佳)
優點	干涉相位圖輔以瞭解邊坡破壞機制	可研析長時序地表潛移趨勢，適於人工建物與基礎設施監測	結合分布散射體 (DS) 與永久散射體 (PS)，研析長時序大地地表潛移趨勢特性與基礎設施監測	可快速判釋土砂災害熱區	可獲致地表水平位移向量值與滑動方向
缺點	時空相關性、大氣及軌道影響形變監測精度	植被茂密區之永久散射體數量較少	採用濾波對解析度及精度略有折減，全/短基線影像連結使處理時間增加	配合建物或墾植圖層，去除人為影響之地表變異	較不適於地表植被覆蓋較茂密之邊坡評估

8。由分析結果得知新店山區 #114 鐵塔於 2008 年 9 月 14 日辛樂克颱風侵襲臺灣後 (累積降雨 1,039 mm)，鐵塔周緣地形已有顯著潛移趨勢 (下陷 75 mm)，平均潛移速率為 32 mm/yr (圖 8，綠線)。2012 年 9 月 15 日凌晨，三巴颱風外圍環流與東北季風所挾帶之強降雨，於本鐵塔位處邊坡誘發平面型山崩，除造成坡趾兩戶房舍沖毀外，最終亦引發 #114 電塔塔基破壞傾倒。雖 PS-InSAR 分析之地表變異點之數量略少 (因邊坡植被茂密)，但山區之輸配電鐵塔多位處稜線，或沿著山脊線及坡面平緩處構築，鄰近若有建物或其他人工結構物，在視域無遮蔽處可獲得永久散射體位移資

訊，配合斜坡單元 (slope unit) 計算位於同一地文條件單元之位移資訊，以供評估輸電鐵塔周緣邊坡是否曾於觀測週期內發生潛移跡象。

中興社也利用新一代 ATS-InSAR 技術配合雷達視域、NDVI 與地文坡向綜合分析，篩除分析後可信度較差之形變點，保留萃取信賴度高之資訊，評估多時序土砂災害對省道公路之潛在影響。如圖 9 以台 20 線為例，吾人可發現於 2018/7/11 ~ 2019/7/12 期間，荖濃溪及其支流布唐布納斯溪受上游山崩事件所挾帶之土砂，經河道輸砂行為對台 20 線道路下邊坡造成衝擊。特別是布唐布納斯溪集水區堪稱莫拉克風災後之台灣

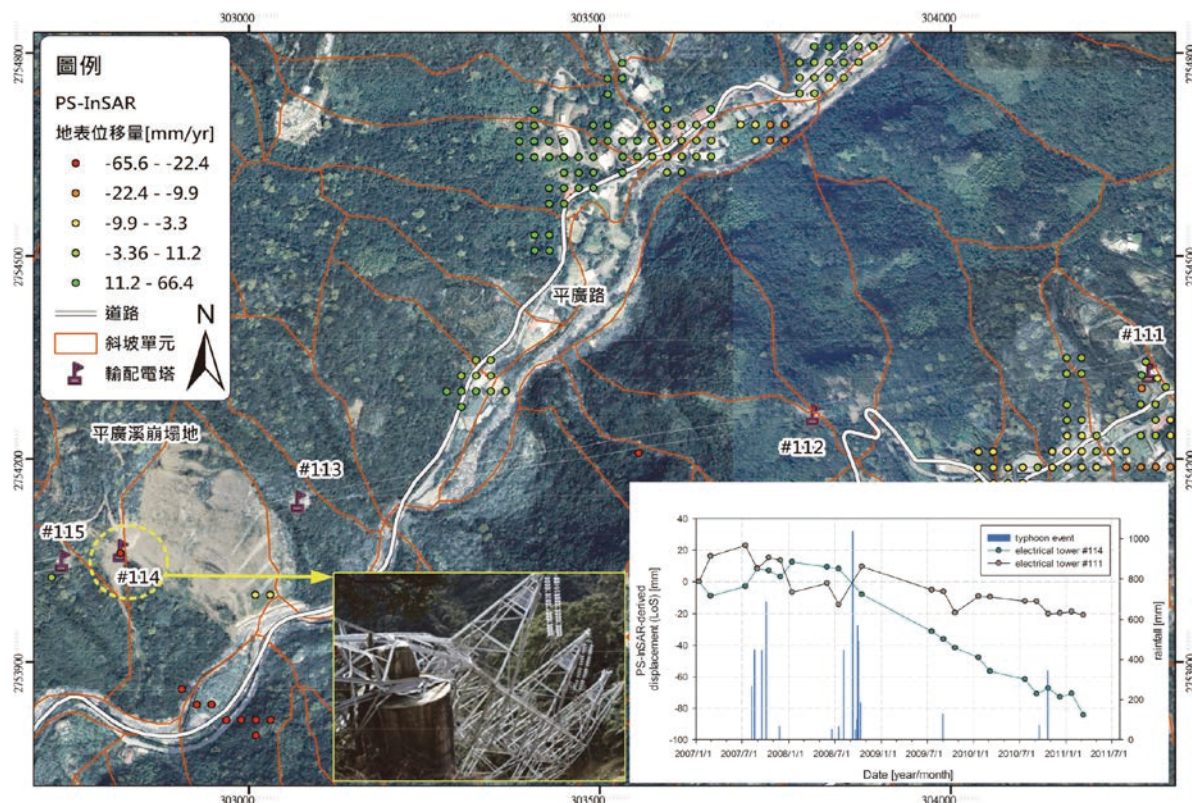


圖 8 多時序 InSAR 監測山區電塔地表形變 (2007/1/1 ~ 2011/7/1)

南部最大之裸露山崩區，山崩崩積材料殘存於溪床。每每於颱風豪雨侵襲下，形成主（荖濃溪）支流匯流口土石流災害，其流向幾與省道線形正交，對道路沿線橋梁基礎形成潛在冲刷與淤積隱憂，利用廣域地表形變時序曲線，可輔助瞭解特定天災事件前後地形起伏之變異。在布唐布納斯溪中上游集水區，近年來仍持續發生老崩場地復發現象（圖 9；白虛線），相對業界多僅展示繁複 PS 點的空間分布，中興社團隊導入進階的地表形變點之活動變形區（active deformation area, ADA）分析，可以將 PS 及 DS 群聚點具有相近統計特性的單一點群集化，進而評估此區地表形變之時間序列趨勢（如線性、雙線性或拋物線），精確量化近期誘發災害前兆、破壞形態及其時空區位分布之關聯性。

同理，重要基礎工程設施的維運階段監測，常需要搭配人員定期巡查與定點監測，以掌握其潛在病灶防範未然。以南方澳大橋而言（圖 10；災前分析），受限於監測設施通常僅限於特定点無法擴及到面，且著重於橋梁本身之異常受力變異行為，對於周緣環境地形變異多未涵蓋。若輔以多時序 InSAR 升、降軌影像分析，除了原有單點的 PS 與 DS 形變圖外（圖 10(a)），藉由耦合兩軌道解析之形變資料，可獲得水平（即東－西向；圖 10(b)）與垂直位移分量（圖 10(c)），同時考量周緣環境變遷（如南方澳大橋西側人工堤岸沉陷）影響，納入長期維運與防災規劃策略，上述相關功能皆可於中興社 Sinotech InSAR 資訊展示平台呈現，提供橋梁管理單位視覺化的多元維度資訊。

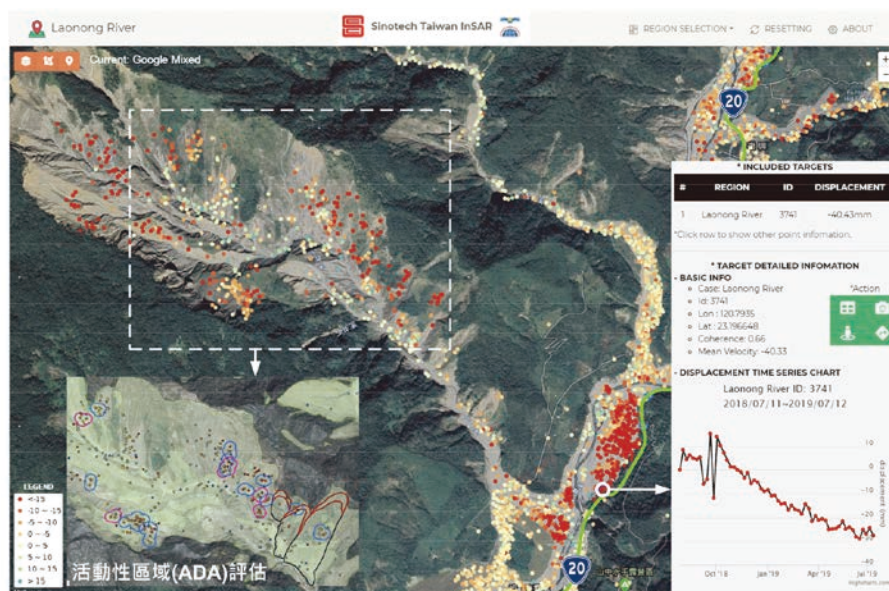


圖 9 多時序 ATS-InSAR 監測河道土砂災害（資訊平台：中興社；2018/7/11 ~ 2019/7/12）



圖 10 長時序 InSAR 於橋梁監測（資訊平台：中興社；2019/2/4 ~ 2019/9/26）

無人機派遣與 AI 識別於災害緊急勘查

除了 InSAR 廣域大範圍遙測評估技術外，在土砂災害好發之山區公路廊帶，無人機通常扮演著災後快速掃瞄災害熱區的遙測利器。但對於新冠疫情下可能發生之封城情境、災後道路阻斷或孤島效應等種種不利因素，原派遣人員前往致災場域進行無人機空拍之工作型態勢必需要適度調整，以確保災害防救的目標得以達到。日前中興社已與中光電智能機器人股份有限公司（以下簡稱中光電）攜手開發智能無人機邊坡巡檢系統（如圖 11），其功能包含定期巡檢（平時維運）與特別巡檢（如緊急天災），藉由多部無人機充電巢（內建通訊網路）的線形部署，單航程可巡航距離達 8 公里，防災人員可由室內遠端工作站電腦實踐簡易氣象觀測、航線規劃、無人機派遣及返航後自主資料回傳等工作。業管人員在航拍過程中也能即時透過手機連結資訊平台瞭解公路廊帶邊坡現況，可大量節省人力，並免除人員於

現場工作之風險。此外，為順應當前 AI 技術之發展趨勢，中興社也利用多年來投注全台土砂災害調查之無人機航拍影像，與中光電合作「UAV 自動巡檢與 AI 影像辨識系統整合研發」，如圖 12 所示。藉由大量不同拍攝角度、場景與天候之山崩影像資料庫，進行影像遴選蒐集、標註與分割，再導入機器學習訓練測試模組與優化過程，最終提出雲端版無人機 AI 影像平台服務，研發初期鎖定之偵測目標為新增或擴大山崩（以岩屑崩滑為主），未來將依需求逐步提升服務模式功能，可採遠端遙控無人機全自動完成航拍及 AI 判釋加值功能，以線上提供歷程圖資管理與數據分析報表，取代傳統現場航拍及後續內業建模分析等複雜流程（圖 13）。

目前雲端 AI 模式平台之判釋成功率約可達 80%（單幅影像判釋速度 < 605 ms），後續將針對工程與防災面向優化服務內容，希冀可擴及安防、測繪、重要基礎設施等領域，提升工程業務執行時效性，降低人員暴露危險性。

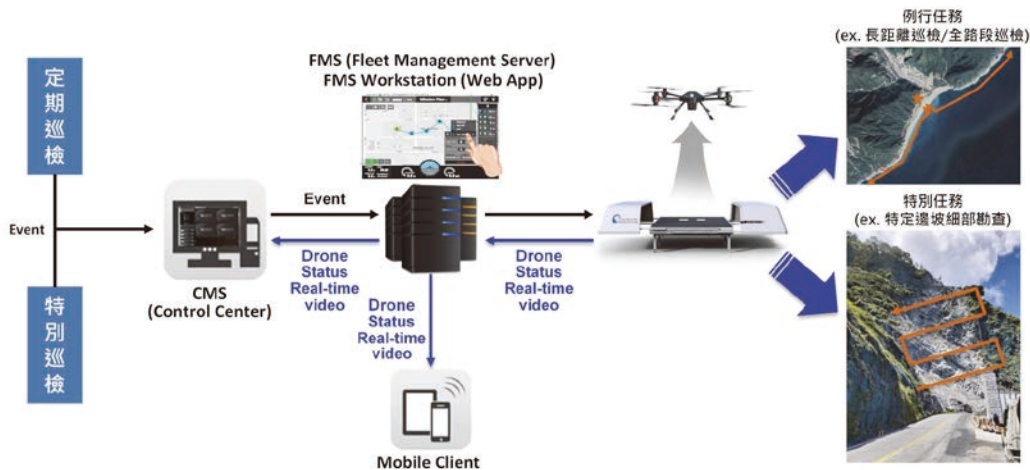


圖 11 智能無人機邊坡巡檢系統圖（中興社與中光電合作開發）

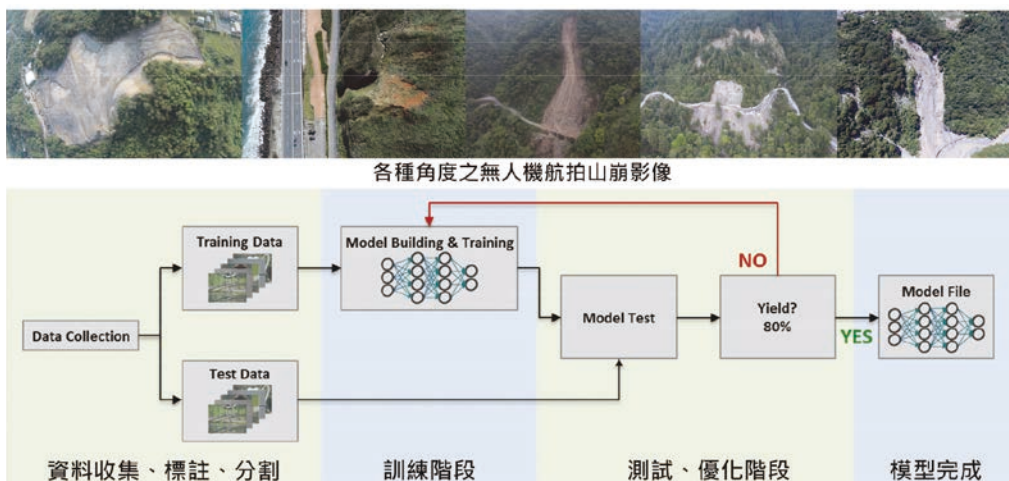


圖 12 AI 人工智慧於邊坡災害熱區分析流程圖（中興社與中光電合作開發）

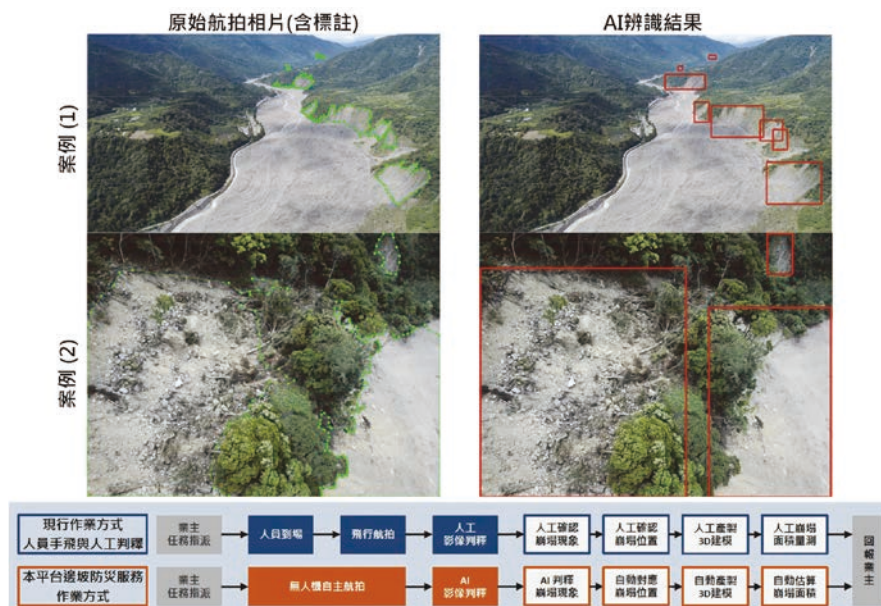


圖 13 智能無人機於邊坡土砂災害判釋成果及流程（中興社與中光電合作開發）

新世代遙測技術應用概況

在國際合作部分，為落實三維建築相關技術於天災保險業評估，中興社與新加坡南洋理工大學之巨災風險管理研究院（ICRM）合作，運用衛星影像判釋技術建立廣域都會區曝險量之效率化產製方式，除建置三維建築模型之外，於屬性資料中新增最重要之經濟曝險資料。有別於過去天災保險業所採用之行政區範圍資料。經濟曝險資料庫（Economic Exposure Data, EED）包含都會區範圍個別建物屬性基礎資料庫，細緻度遠高於以往採用之曝險資料庫，且可作為大數據分析基礎。中興社已於 2019 年成功研發出運用高解析度衛星影像產製廣域都會區建築物高度、面積等基本屬性之三維模型技術，並於雅加達、曼谷以及馬尼拉等東協國家重要都會區（圖 14）建立系統化 EED 資料庫（圖 15）與完備建置程序。該成果已獲得南洋理工大學及東南亞天災保險業界之認可，並將逐步落實應用於天災保險市場測試，以改善現行天災風險評估模式。

在國內 3D GIS 應用上，中興社近來也發展了擴增實境 AR 技術運用於行動裝置上，透過裝置上之 4G 或 WiFi 網路、GPS、三軸加速器與陀螺儀等硬體整合，使管線資料可透過傳輸與定位行動裝置的位置與姿態，配合數位化建置管線基礎資料，供即時查詢管線之埋深、管線間相對距離、人手孔與設施屬性等資料，簡化且便利使用者外業巡查與鋪面開挖工程應用（圖 16）。

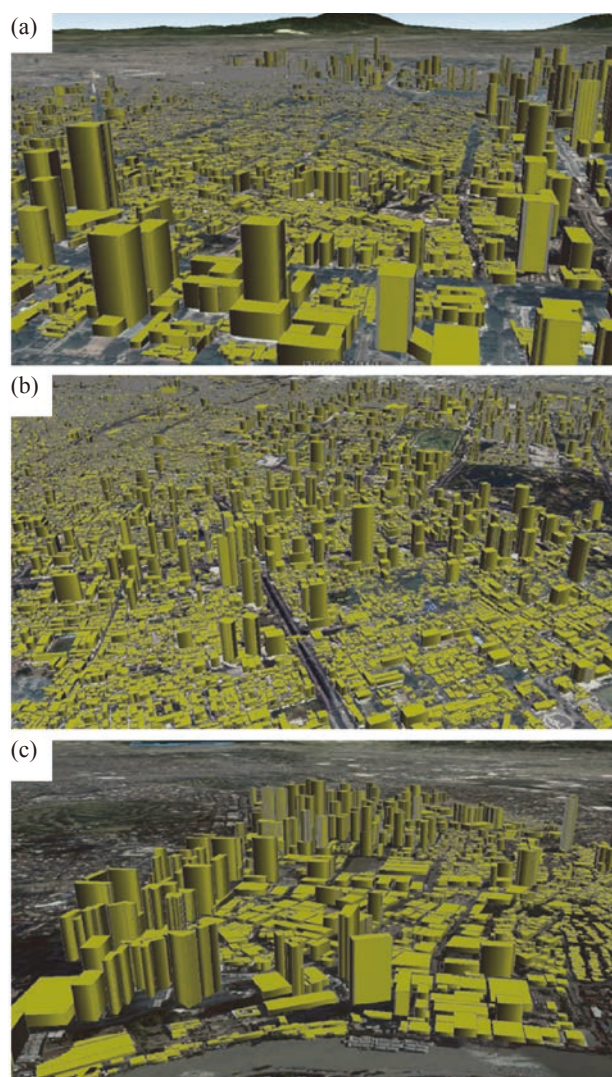


圖 14 廣域城市三維立體建物形貌
(a) 雅加達；(b) 曼谷；(c) 馬尼拉



圖 15 都會區建物 EED 屬性資料示意圖

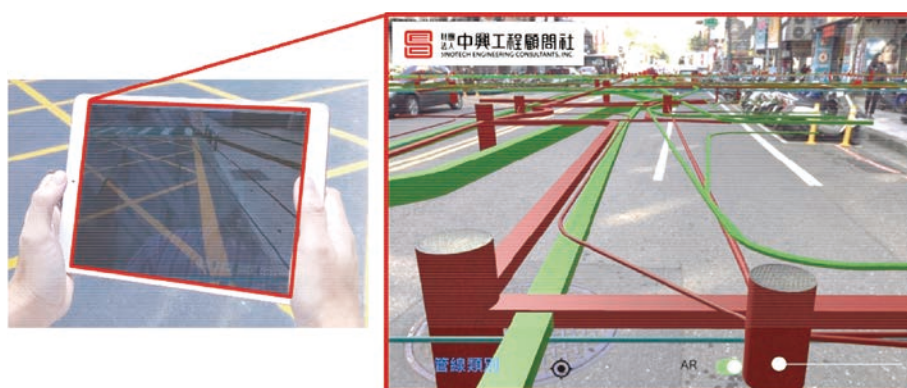


圖 16 擴增實境功能之三維管線與設施畫面

他山之石可借鏡－ 日本 i-Construction 工程無人化

世界各國土木工程產業中，日本因工程技術程度與臺灣地理環境相近，技術發展上與我國有相似之處。其高齡化勞動力及土木營建業之高傷亡事故率等問題，近年也成為日本土木行業之潛在隱憂。目前因新冠疫情之影響，缺工問題可能已提前反應於我國之土木營造業，故本文以日本作為借鏡，瞭解處於老齡化，及危險度高之新冠疫情下之缺工問題。

日本產業近 20 年來勞動力持續下降，分工細緻化，除造成土木工程介面整合風險增加，亦使產業組織複雜化、企業競爭力降低，資深、熟練員工（職人）待遇下降；而此等現象更進一步造成年輕人加入行業之意願低沉，勞動力更形老化，如下圖所示（圖 17）：日本當前土木工程技術勞動者雖有 340 萬人，今後 10 年內預估將有

110 萬人因高齡化而離開職場，未來將衍生大量缺工問題。

透過勞動問題的表述，日本各部會經過長期討論與試行後，於 2015 年由國土交通省應用資通訊技術（ICT, Information and Communication Technology）發展提昇生產力技術之革新能力，稱之為 i-construction，並於 2016 年揭示「營建現場的生產力革命」為目標，國土交通省主導 i-construction 各項整備專案迄今，並遵循三個重要方向：(1) 將土木工程仿效製造業具有先進工廠化之工作架構；(2) 引進先進之「供應鏈管理」於土木工程現場；(3) 以先進技術改善土木工程方法。

i-construction 主要目的為改善施工現場現況，該“i”之字義即為智慧化（intelligent）；期能整合遙測測繪與 ICT（information and communication technology）技術，實現施工生產過程與現場安裝之無縫銜接，以新科技解決勞動人口不足之現況，並提升土木工程「測量」、「施工」及「檢查」之效率（圖 18）。

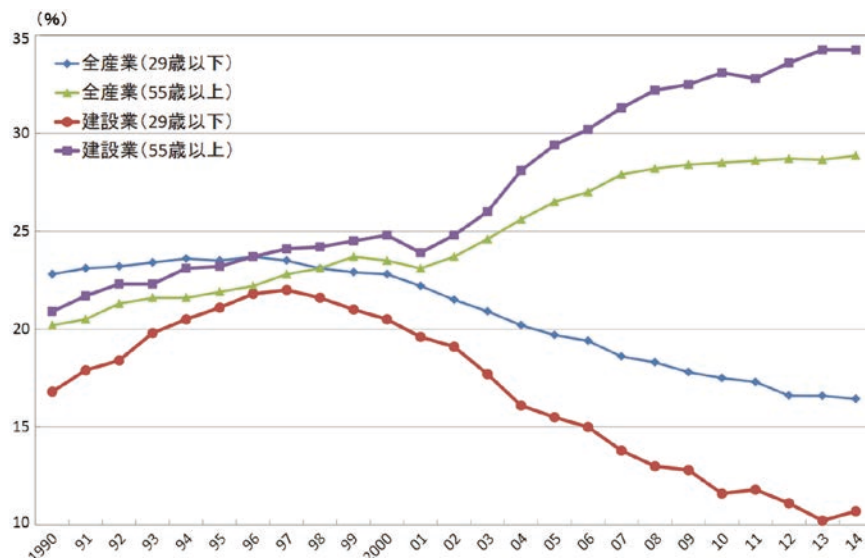


圖 17 日本厚生勞動省西元 1900 至 2014 年老年與青年勞動人力統計圖 (引用自 [9])

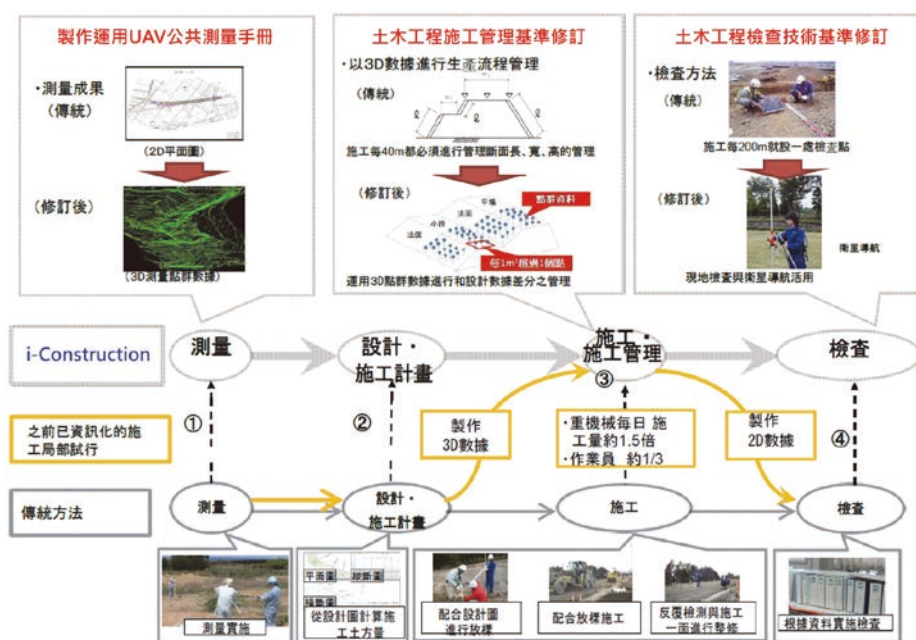


圖 18 i-Construction 引進之土木工程工作流程與新舊方法比較圖 (改繪自 [10])

i-Construction 之測量部分，其仰賴 ICT 技術導入之標準化測量實施技術手冊，將攝影測量技術配合無人載具 (unmanned aerial vehicle, UAV) 航空攝影方式引進公共場域之測量作業，兼顧傳統飛機航拍取像範圍廣、高效率之優點，但相對於傳統飛機航拍較為經濟，可將建物、施工區域製作成立體地圖以及 3D 點雲資料，並根據 UAV 攝影測量取得之 3D 點雲數據所構成之面狀竣工立體資料進行工程加值評估，取代傳統現場受視域範圍限制、人工效率低落狀況，進而改善傳統管理工作流程僅能針對代表性管理斷面進行長、寬、高測定等 2D 圖面資訊，無法呈現立面細節之缺點 (圖 19)。

施工部分則視需求引進 ICT 技術並配合物聯網 (internet of things, IoT)，聯結遙測地理資訊地形資料庫，建立各工程機具之合理排程 (圖 20(a))。日本土木建設業者小松製作所 (Komatsu)、日立建機 (Hitachi Construction)、Aktio 等廠，因應日本國土交通省 i-Construction 相關服務，已陸續開發出帶動土木設備產業 IoT 化之系統。如小松製作所目前已發展出混合實境 (mixed reality, MR) 技術及 5G 無線網路技術，可遠距遙控操作挖土機及推土機等設備 (圖 20(b))。小松製作所更率先與專精擴增實境 (AR) 技術的 Katac 公司合作，從 2018 年 8 月起推出名為「Kom Eye AR」

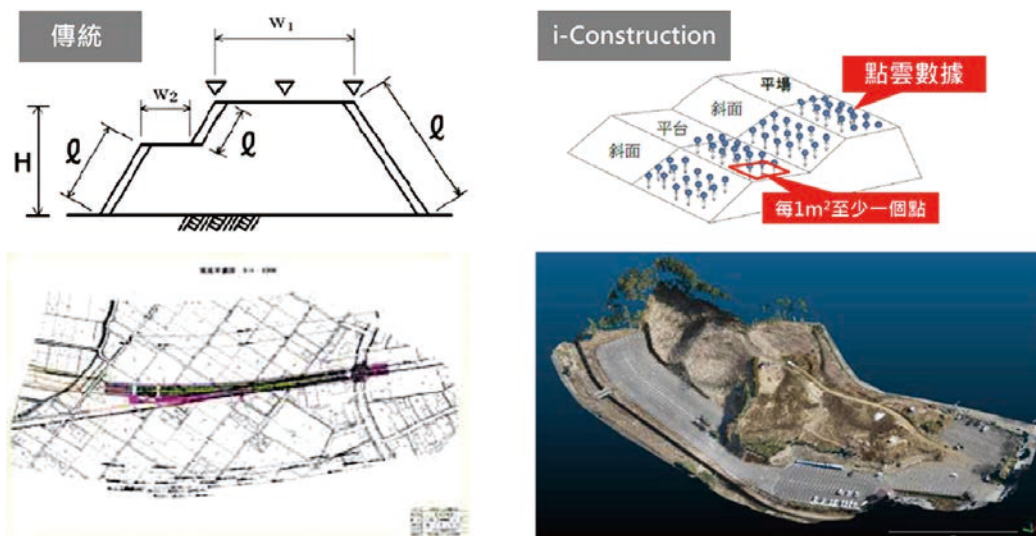


圖 19 i-Construction 於測量之改善示意圖 (改繪自 [10])



(a) 工程機具之排程



(b) MR 技術遠端操作

(c) IMC 智慧機械控制系統

圖 20 i-Construction 於施工之改善示意圖
(引用自小松製作所 <https://www.komatsu.eu>)

的服務，該服務搭配小松連網怪手 PC200i-11 (型號) 應用服務，使用者可透過 PC200i-11 上安裝之多具攝影機與感測器由遠端遙控怪手，並將現場影像與工程圖資套繪，即時評析當下施工計畫是否正確。此外，本系統也搭載智慧機械控制系統 (Intelligent machine control, IMC)，可於遠端調整怪手挖方量，以視覺化傳達施工訊息 (圖 20(c))，徹底實踐 i-Construction 之無人多機與提升工程效率之目標。

在工程檢查部分，則受惠 ICT 技術之引進，室內資料數據統一由電腦資料庫予以儲存，使傳統工程驗收紀錄文件大幅減少，室外則僅需少數工程人員即可進行驗收。再者，遙測地理資訊系統平台搭配 AR 科技，可比對工程施工成果是否與設計圖資相符，使實地驗收不再是傳統單點式校核或是橫縱斷面比對，驗收人員可逕由 3D 模型來全盤計測查核 (圖 21)，提升公共工程品質驗收成效。

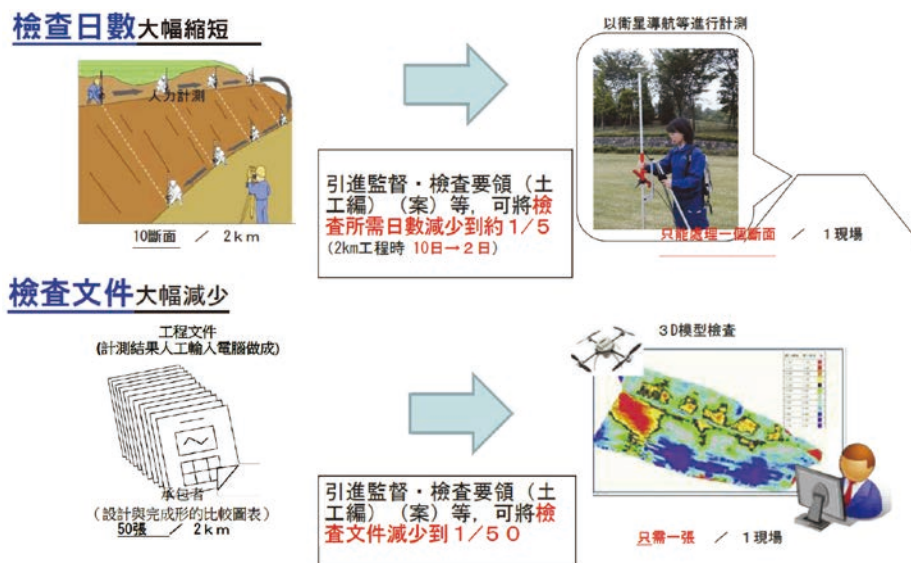


圖 21 i-Construction 於檢查之改善示意圖 (改繪自 [10])

結論

新冠疫情對於土木工程規劃、設計、施工、監造等工作之進度，於人員、機具、材料等資源之取得，有顯著之影響。對某些先期作業，或對現場情形判斷工作，遙測技術應有很大幫助。

本文介紹了地理資訊 (3D-GIS)、虛擬實境 (VR、AR、MR)、光學遙測影像製作經濟曝險資料庫 (EED)、雷達遙測影像 (PS-InSAR、ATS-InSAR)、無人機智慧巡勘 (UAV)、航拍影像人工智慧判釋 (AI) 等實際應用案例，可適度解決土木工程於疫情期間之困境。再展望未來，i-Construction 結合資通訊技術 (ICT) 及物聯網 (IoT) 科技，朝智慧化土木營建之路行進，或可因應部分勞動力老年化、缺工、現因疫情，業界要提早面對的問題。

於此新冠疫情期間，土木工程業可趁此機會開展各項遙測自動化及數位轉型策略，並尋找新的商業模式，以減低業務緊縮衝擊；以期在新冠疫情困境中開創土木工程產業之新天地。

參考文獻

1. Abdelhamid, T.S. and Everett, J.G. (2000), "Identifying Root Causes of Construction Accidents," Journal of Construction Engineering and Management, 126(1), pp. 52-60.
2. U.S. Bureau of Labor Statistics (2017), 2016 Census of Fatal Occupational Injuries, Washington, D.C.
3. 行政院勞動部職業安全衛生署 (2019), 「107 年勞動檢查年報」。
4. 內政部國土測繪中心 (2018), 「三維實景三角網模型製作規範之研究－以虛擬中興新村為例」，內政部國土測繪中心自行研究報告，第 15-18 頁。
5. 蔡富安、張智安、黃智遠 (2018), 107 年度三維地形圖資技術發展工作案，內政部地政司。
6. Shi, L., Liu, Z., Fu, J., and Yan, S. (2017), "Research on the utility tunnel location technology based on ZigBee communication network," C e Ca, 42, pp. 167-171.
7. 李璟芳、林士淵、蔡亞倫、黃韋凱 (2018), 「星載合成孔徑雷達影像於公路邊坡及電塔安全評估之應用」，中興工程，第 140 期，第 21-31 頁。
8. Lee, C.F., Huang, W.K., Lin, S.Y., Chiu, C.L., and Chi, C.C. (2019), "National-wide deep-seated landslide mapping and susceptibility update via airborne laser scanning raster data and InSAR analysis in Taiwan," Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Reykjavik, Iceland.
9. 一般社団法人日本建設業連合会 (2015), 「再生と進化に向けて－建設業の長期ビジョン」，一般社団法人日本建設業連合会研究報告。
10. 國土交通省 (2015), 「i-Construction 新たに導入する 15 の基準及び積算基準について (報道発表資料)」，ICT 導入協議会第 2 回報道発表資料。