

新興科技應用於港灣其他設施巡查檢測作業

張道光¹ 黃宇謙²

¹交通部運輸研究所運輸技術研究中心 副研究員

²交通部運輸研究所運輸技術研究中心 副研究員

摘要

港區幅員廣大，港灣設施長期處於鹽害、高溫、高濕的嚴峻海洋環境，並時常遭受地震、颱風等自然災害侵襲，對其結構安全與使用年限構成極大威脅。因此，為維持港灣設施其在使用期間能滿足性能要求，必須依維護管理計畫程序，進行巡查、檢測與維護等作業。傳統以人力為主的巡檢模式在廣大港區中面臨效率低落、安全性不足與數據管理不易等挑戰。

為提升港灣設施維護管理工作的效率與品質，本研究旨在深入探討新興科技於港灣「其他設施」巡查與檢測工作的應用，以精進其維護管理作業。本研究以前期研究成果為基礎，聚焦於裝卸設施（如起重機）、變電站與公共基礎設施（如道路、排水系統）等，深入探討其巡查檢測所面臨的具體問題、全面檢討現行維護管理制度與構件劣化標準，並評估導入無人飛行載具（UAV）、透地雷達（GPR）、智慧化現地巡查系統（APP）等技術的具體方案與可行性。期望透過更有效率且資訊化的方式，協助管理人員落實維護管理制度，提升港區營運安全與設施韌性。

一、前言

為提升巡檢工作的效率，本研究主要為探討新興科技應用於港灣其他設施之巡查與檢測工作，以更有效率且資訊化方式，協助維護管理人員落實維護管理制度與提升維護管理效率。

本研究為延續型計畫，111 年完成研擬國內港灣構造物維護管理制度與巡查檢測項目與劣化判定標準，112、113 年分別探討應用新興科技強化碼頭及防坡堤設施之巡查與檢測作業。本研究以前期研究成果為基礎，針對港灣其他設施(裝卸設施、變電站與公共基礎設施)巡查檢測作業遭遇之技術問題進行探討及精進，並評估導入新興科技之適用性，分階段完成港灣所有設施之巡查檢測作業之精進。

二、維護管理制度與港灣其他設施巡檢問題探討

維護管理機制主要目的為確保構造物使用安全及延長其使用年限，以往公共工程與重要設施大多較注重興建，或發現嚴重問題後才著手進行全面修護，對於日常之調查維護作業，經常僅編列少數或無維護經費，故維護成效不彰或闕如，設施任由持續劣化終致損壞，最後淪至不能使用之命運。爰此，如何將現有設施達到最有效率之使用，避免修護及龐大重建經費之耗費，及營運停頓造成難以估計之損失，必須建立構造物維護管理機制，方能達成設施永續經營目標。

為確保港灣設施正常運作、增進維護管理效能與瞭解設施現況，交通部運輸研究所（以下簡稱本所）整合近年既有研究成果，研訂各港區之「港灣設施維護管理手冊」^[1]，除擬訂港灣設

施檢測評估標準作業程序外，並確認設施現況，提出維修排序及改善建議，提供港務單位據以辦理巡查及檢測工作，落實港灣構造物維護管理制度。

2.1 港灣設施維護管理制度與現行巡檢挑戰

本所研訂之「港灣設施維護管理手冊」將設施維護管理工作分為「巡查」與「檢測」兩大類別，並針對不同設施訂定其執行頻率。

2.1.1 港灣設施巡查種類與頻率

設施巡查種類與頻率如表 1 所示，巡查作業以「港灣設施維護管理系統—巡查 APP」為原則，巡查方式以直接目視為主，巡查人員以開車、徒步、交通船或其他安全載具，儘可能接近巡查構件，藉以判斷是否有劣化或異常情況。若巡查無法以上述方式進行，得採無人機等間接目視方式辦理。

表 1 設施巡查種類與頻率^[1]

種類	建議執行單位	巡查時機/頻率	巡查方式
經常巡查	管理單位或委外廠商	1. 公共設施、作業場所設施、橋梁及隧道：至少每日一次。 2. 道路及其附屬設施：至少每週一次。 3. 助航設施：至少每半個月一次。 4. 排水渠道(含明溝、暗溝、道路及碼頭附屬)：至少每半月一次。 5. 碼頭及繫船設施：至少每週一次。 6. 防波堤、海堤、護岸：至少每季一次。 7. 高壓變電站設備：至少每月一次。 8. 圍牆及停車場、公共藝術：至少每季一次。 9. 公共照明設備至少：每半月一次。 10. 其他港區公共基礎設施，依需求至少每半月一次。 11. 其他結構物各分公司有另訂巡查頻率者，從其規定。	目視(岸上)
特別巡查	管理單位或委外廠商	重大災害事故發生後(颱風過後或地震震度大於 5 弱)	目視(岸上)

2.1.2 港灣設施檢測種類與頻率

檢測頻率依檢測類別、設施狀況、壽齡、重要性及設施所處環境等而定，管理及檢測單位可視受檢測設施之重要性，訂定檢測頻率，惟不得低於表 2 頻率。檢測種類分為定期檢測及詳細檢測。定期檢測主要為掌握結構健全度、及早發現設施功能減低或異常損傷及其發生原因，而定期進行之檢測；詳細檢測則於日常巡查、定期檢測後，認為必要運用儀器或相關設備進行局部破壞或非破壞檢測等之檢測，或對設施所在基礎海（河）床變遷狀況、基礎淘刷情形之檢測。

表 2 設施檢測種類與頻率^[1]

種類	建議執行單位	檢測時機/頻率	檢測方式
定期檢測	委外廠商	港灣構造物：至少 5 年一次。 混凝土結構橋梁：至少 2 年一次。 鋼結構、複合結構及特殊性橋梁：1 年一次。	目視(包含水下)、依需求配合儀器進行檢測
詳細檢測	委外廠商	巡查或定期檢測後認為有進一步檢測需求	依需求配合儀器進行詳細檢測

2.2 港灣其他設施巡檢所面臨之挑戰

相較於碼頭與防波堤等主體結構，港灣其他設施種類更多元、分佈更零散，其巡檢作業主要面臨以下挑戰：

1. 設施多樣性與專業門檻高：港灣其他設施涵蓋土木、結構、機電、儀控等多重領域，例如，變電站的巡檢涉及高壓電專業知識與安全規範、大型裝卸機具涉及複雜機械結構與動力系統等。為此，巡檢人員需具備跨領域之相關專業能力，增加培訓與執行難度。
2. 高風險與不易到達區域：變電站內部存在高壓電感電風險，人員進入有其危險性；大型橋式起重機、高空照明燈桿等結構高聳，傳統需依賴吊車或人員攀爬檢視，不僅危險且效率低落。
3. 隱蔽性劣化難以發現：許多劣化發生於目視無法及之處。例如，道路鋪面下方可能因長期荷重或地下水淘刷，產生孔洞或淘空；排水系統內部或有淤積、破損或接頭錯位，這些問題無法透過表面目視直接發現，待浮現時（如路面塌陷、排水不良）往往已相當嚴重。
4. 資料管理與追蹤不易：傳統巡檢多採紙本表單記錄，後續需耗費大量人力將資料登打至管理系統。此過程不僅效率低落，且易產生人為疏失。紙本記錄亦不利系統化存檔、空間化展示與長期趨勢分析，難以發揮數據價值以輔助維護決策。

三、新興科技應用於港灣其他設施巡檢作業應用

由於港灣設施在特殊而嚴苛的環境中，相較於陸上構造物，其檢測之實施面臨著眾多困難。特別是在水下與海床的情況下，由於檢測人員難以接近，因此，迫切需要開發更有效且能安全施作之檢測方法。此技術開發面臨著兩大挑戰：首先，必須在不受海氣象影響之情況下進行開發；其次，必須能夠獲取客觀且可量化之檢測資料。因此，開發應用程式、資訊系統、感測器技術，以及機器人等硬體技術，成為實現此目標關鍵要素。應用新興科技於港灣其他設施巡檢，依技術可分為現地巡查系統及海上與陸地檢測兩項，說明如下：

3.1 現地巡查行動應用程式

本所開發港灣設施現地巡查行動應用程式(APP)，利用行動裝置的優勢，可以迅速地記錄港灣設施劣化缺失，同時利用 GPS 的記錄每筆缺失座標，即時於地圖顯示劣化異常構件之位置並記錄，減少人工巡查紙本之誤植，提高數據準確性，APP 並另結合地震監測速報系統，於發生

震度 5 弱以上之地震後，透過推播通知巡查人員，執行特別巡查作業。以下就港灣設施巡查 APP 之新興科技應用於巡查作業進行介紹。

3.1.1 APP 經常巡查^[2]

使用者利用手機、平板等進行 APP 現地巡查，利用行動裝置之優勢，可以極大地提高巡查效率並改進數據管理。APP 現地巡查功能包含：(1)即時數據紀錄；(2)GPS 定位；(3)地圖即時顯示；(4)影像拍攝與上傳；(5)離線模式。

APP 現地巡查作業流程，首先填寫巡查基本資料與勾選巡查項目，其次填寫巡查表 A，若發現劣化，再填寫劣化紀錄並拍照，確定皆編輯完畢即可點選上傳資料完成巡查，作業流程如圖 1 所示。



圖 1 APP 經常巡查作業流程

3.1.2 APP 特別巡查^[2]

APP 結合本所開發之地震速報系統，當地震發生且震度達 5 弱級以上時，系統會自動推播通知巡查人員，儘速執行特別巡查作業並填報表單，特別巡查作業流程與經常巡查相同，不同之處為特別巡查需另填寫災害事件，如圖 2 所示。



圖 2 APP 特別巡查作業流程

3.2 陸側檢測技術

3.2.1 無人飛行載具 (UAV) 應用

UAV 具備高機動性、安全性與搭載多元感測器的能力，特別適用於高聳、廣闊或人員不易到達之危險區域。UAV 可搭載高解析度光學相機，對大型橋式起重機之鋼結構、高空照明燈桿、建築物外牆等進行近距離拍攝，清晰地檢查是否有鏽蝕、裂縫、塗裝剝落等情況。相較於傳統需動用吊車或人員冒險攀爬，UAV 作業不僅大幅提升了巡檢效率，更能保障人員安全。以 UAV 進行港灣裝卸設施檢查為例，過去通常由作業人員進行目視檢查，現使用自動飛行 UAV 進行檢查並拍攝影像，取代作業人員目視檢查，可節省檢查成本並提升人員安全性，圖 3 為日本國土交通省港灣局應用自動飛行無人機進行裝卸設施之檢查案例^[3]，此案例可檢查橋式起重機是否發生變形、裂縫、塗裝裂紋、銹蝕等。

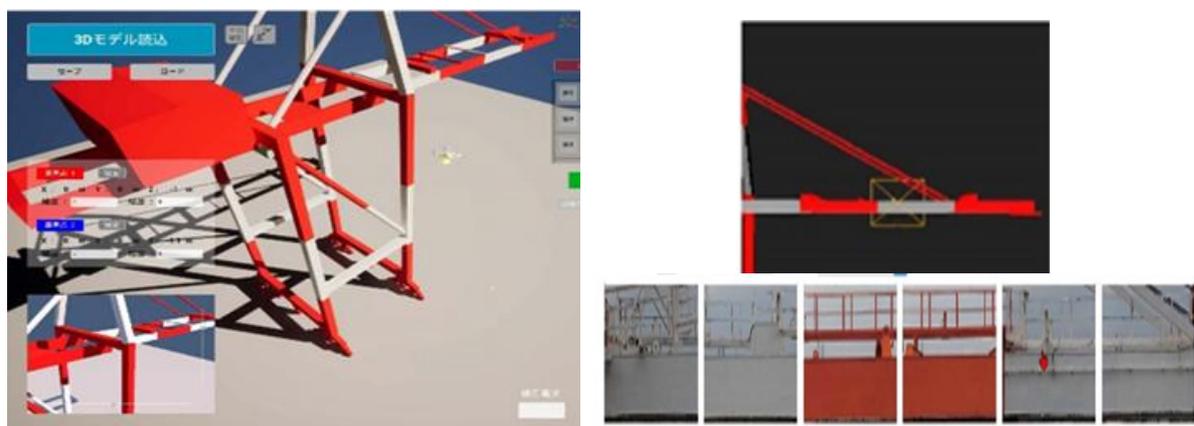


圖 3 使用自動飛行 UAV 進行橋式起重機檢查^[3]

3.2.2 監控攝影機(CCTV)與地面無人載具巡檢作業

1. 鋪面破損巡檢作業：

CCTV 主要用於監控港區活動，提供即時影像畫面。CCTV 可監控港區各角落活動，提供全天候、高清晰度的監控畫面，具體應用包含：安全監控、人員管控、貨櫃管理、交通管制、設備維護等。地面無人載具（UGV）可配備不同類型感測器，包括光達（Lidar）、攝影機、熱像儀、有毒氣體及易燃氣體感測器，前揭感測器可提升 UGV 的功能，使其能夠在各種環境中，根據任務類型執行不同任務，進而發揮關鍵作用。臺灣港務股份有限公司於所轄管之臺北港進行無人車試驗^[4]，即利用 CCTV 結合地面無人載具進行鋪面破損巡檢作業，執行情形如圖 4 所示。

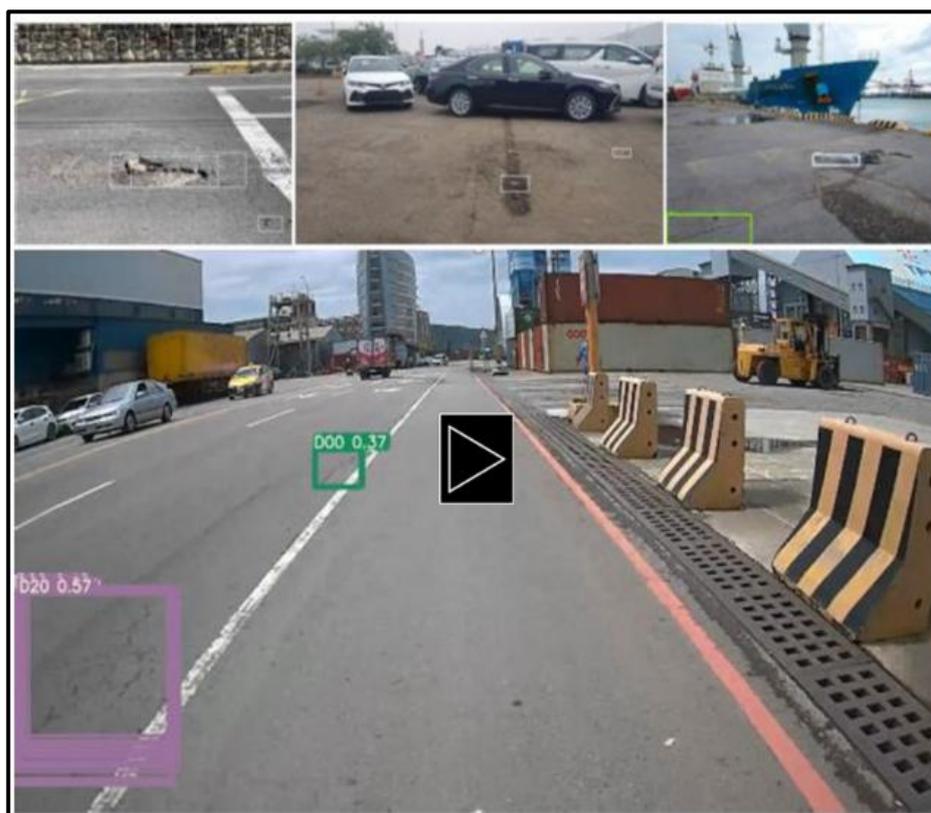


圖 4 利用無人載具進行鋪面破損巡檢作業^[4]

2. 變電箱巡檢：

變電箱巡檢工作在現代電力系統管理和維護扮演至關重要的角色，不僅有助於確保供電的穩定性，還可減少潛在故障和安全風險。本所開發 UGV 結合變電箱 AI 辨識模組^[5]，完整流程包含：影像資料蒐集、資料標註、模型訓練、模型偵測成果等。

首先是影像資料之蒐集，利用 UGV 從實際場景中蒐集大量變電箱影像，包括不同天氣和光線條件，接著將資料進行清洗、標註並輸入 AI 影像辨識模型予以學習，完成開發變電箱辨識模組，其可成功偵測 90%正面、側面、中遠距離之變電箱。另除變電箱物件偵測，亦可在巡檢作業時，搭配熱像儀發現變電箱之溫度異常，俾人員進行相關處置作業，實際成果如圖 5。

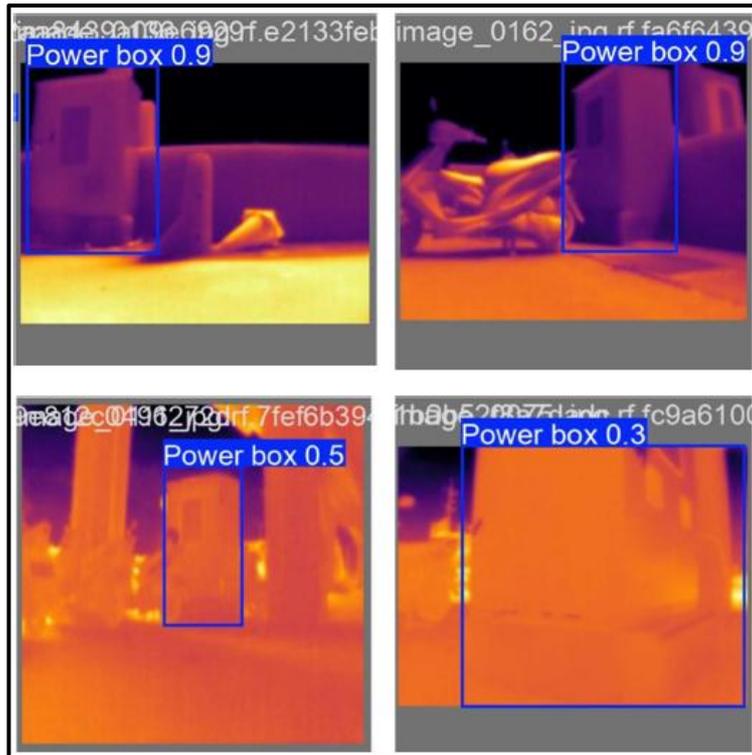


圖 5 熱像儀偵測變電箱實際成果^[5]

3.2.3 透地雷達檢測技術

透地雷達法(Ground-penetrating Radar Method)簡稱 GPR，主要原理是藉由發射雷達波(Radar Wave) 訊號，並利用雷達波遇到地層介面因上下地層之介電常數差異而產生反射波，分析反射波來回所需要的時間、波型、振幅等資料，來判別反射體的性質與位置。可用於研判地下構造、層面、地下異常物分佈狀況。所發射之雷達波屬於一種高頻的電磁波，其頻率通常介於 10 MHz ~1500 MHz，使用雷達波頻率越高，波長越短，解析度相對提高，惟探測深度則較淺；反之當使用雷達波頻率越低，波長越長，則探測深度愈深，惟解析度稍差。

本所曾於蘇澳港進行蘇澳港南堤岸邊道路透地雷達檢測工作^[6]，以為蘇澳港防波堤沉箱安全評估參考。此次檢測採用等間距施測法，透地雷達現場施測採低頻 160MHz 測深距離約 10 m 與高頻 450MHz 測深距離約 5 m 交替檢測。此外，為加強顯像，使用濾波處理器，壓抑背景雜波訊號及增強反射訊號，藉以評估地層反射異常位置。異常地層分佈標示於圖中，正常地層主要呈現均質、完整、連續之雷達波訊號，當地層內部出現洶空、疏鬆、埋有異物等均會使得雷達波訊號出現不連續、繞射、衰減之雷達波訊號，紅色框選處為雷達波訊號異常區域，評估為疑似坑道構造物訊號，並將檢測結果高頻與低頻結果分別套繪於俯視圖中，以利瞭解損壞位置分佈全貌，如圖 6 所示。

臺中港也曾於南堤路海堤道路沿線，藉由透地雷達檢測技術^[7]，調查道路下方是否有空洞，本次檢測利用透地雷達波進入地層內所反射之訊號經儀器接收處理後，由波形圖上進行判釋，對於孔洞或大裂隙位置之搜尋具有優良之效果，其檢測成果如圖 7。

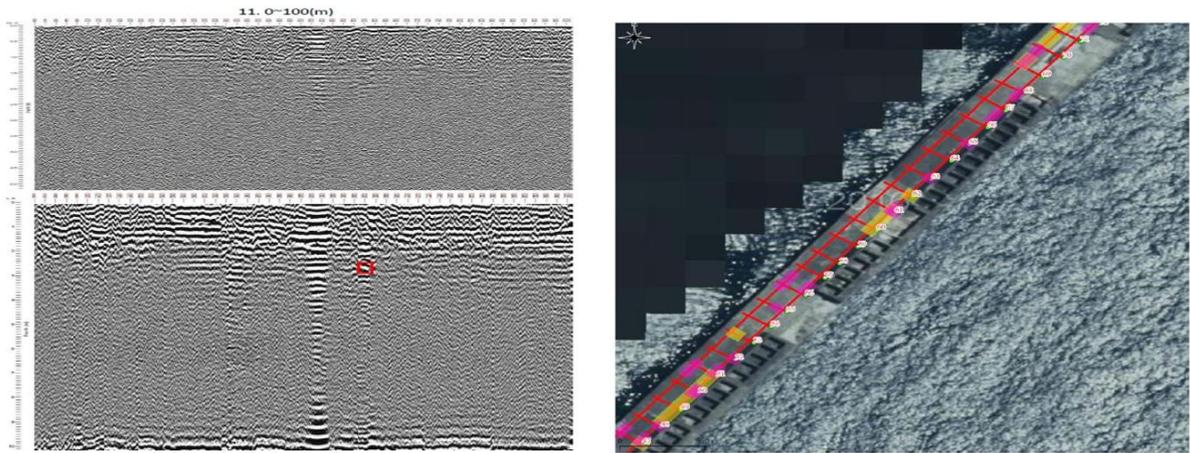


圖 6 蘇澳港南堤道路透地雷達檢測成果^[6]

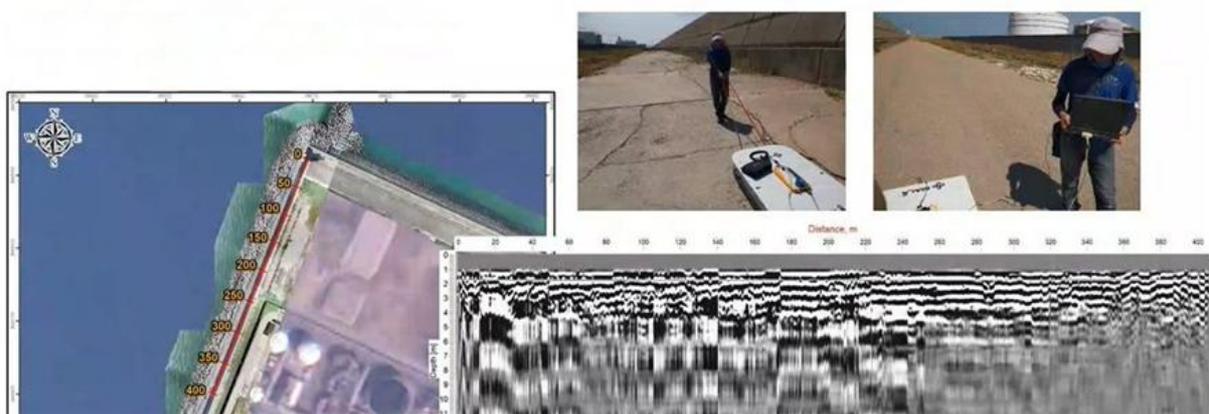


圖 7 臺中港海堤道路透地雷達檢測成果^[7]

四、結論

本研究基於四年期計畫的累積成果，深入探討新興科技在港灣其他設施巡查檢測作業中之應用潛力。傳統依賴人力的巡檢模式，在效率、安全與數據品質上已面臨瓶頸，而新興科技的導入，為港灣設施維護管理帶來契機。本研究主要的結論說明如下：

1. 港區其他設施（裝卸設施、變電站、公共基礎設施）因其多樣性、高風險性與劣化隱蔽性，對傳統巡檢作業構成嚴峻挑戰，亟需導入新興科技以突破困境。
2. 現地巡查 APP 已證明能有效整合巡檢流程、實現數據無紙化與即時化，並強化災後應變能力，是實現港區設施智慧化管理的關鍵技術。
3. 陸上檢測技術如：UAV 與 GPR，能有效應對不同設施的難點進行檢測。UAV 結合光學與熱影像感測器，可安全高效地完成高聳結構與高風險變電站之巡檢；GPR 則能揭露道路鋪面下之潛在風險，實現預防性養護。

4. 新興科技導入，不僅是單點技術的應用，更是系統性管理思維革新。透過 APP、UAV、GPR 等多源數據蒐集工具之整合，並輔以 AI 技術進行分析，將能建構一個更全面、即時、智慧之港灣設施維護管理體系，提升港區整體營運韌性與安全性。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所、臺灣港務股份有限公司(2024)，港灣設施維護管理手冊。
2. 交通部運輸研究所 (2024)，港灣設施維護管理系統。
3. 日本國土交通省港灣局 (2023)，港灣の施設の新しい点検技術 カタログ。
4. 臺灣港務股份有限公司 (2022)，臺北港無人車試驗成果報告。
5. 韓仁毓、洪維屏、李俊穎、蔡立宏、吳日騰、林之謙、甘翊萱、林育銓、王海威、江冠均、郭羽綸、馬如龍 (2025)，港區影像智慧辨識技術之研究(2/3)-空間資料環境分析及優化影像檢測應用技術，交通部運輸研究所。
6. 交通部運輸研究所 (2020)，蘇澳港南外廓防波堤透地雷達檢測工作。
7. 台灣海洋工程學會、交通部運輸研究所 (2022)，111 年度港灣碼頭及防波堤定期檢測要領及實務研習會簡報。