

出國報告(出國類別:研究)

113 年「國際港埠設施維護管理制度、新興科技應用於巡檢之進修研習」出國計畫

出國報告

服務機關：交通部運輸研究所

姓名職稱：黃宇謙副研究員

派赴國家：日本東京及橫濱

出國期間：113 年 7 月 19 日 至 7 月 28 日

報告日期：113 年 10 月 1 日

113 年「國際港埠設施維護管理制度、新興科技應用於巡檢之進修研習」出國計畫

摘 要

為執行陸運及港灣設施防災技術研究，以精進我國港埠設施維護管理機制，並探討國外新興技術引進及應用於港埠設施巡查檢測工作之可行性，本次交通部運輸研究所出國計畫於 113 年 7 月 19 日至 7 月 28 日至日本東京與橫濱相關單位進行實地研習、交流，以汲取國際經驗，並評估於國內環境之適用性，此外，藉由實地拜訪日本港埠，並學習維護管理新技術和設備，藉以瞭解港埠設施結合新興科技的巡查檢測方法。期盼藉由本報告之呈現，俾本所建立智慧港埠及研發防災技術等計畫擬定之應用，並提供國內相關港埠維護管理單位參採，以提升港埠設施之巡查檢測效能。

113 年「國際港埠設施維護管理制度、新興科技應用於巡檢之進修研習」出國計畫

目 次

摘 要.....	I
一、目的.....	1-1
二、行程簡介.....	2-1
三、訓練進修與研究過程.....	3-1
四、心得與建議.....	4-1

交通部運輸研究所 113 年度「國際港埠設施維護管理制度、新興科技應用於巡檢之進修研習」出國計畫

黃宇謙*

一、目的

本所為精進我國港埠設施維護管理效率，探討引進國外新興技術應用於港埠設施巡查檢測工作之可行性，藉由今(113)年派員出國進修研究計畫，安排前往日本東京及橫濱相關單位進行實地研習、汲取專家經驗，並評估於國內環境之適用性，以利提升國內港埠設施之巡檢效能。本次行程規劃 10 天，重點行程簡述如下：

1. 赴港灣空港技術研究所(Port and Airport Research Institute, PAPI)進行日本港灣設施維護管理機制、海洋工程、新材料技術研發，以及 UAV、水下機器人等巡檢應用參訪研習。
2. 赴 Kumonos 公司進行其自主開發之水下 3D 測繪儀，以及針對混凝土結構裂縫之智能偵測儀等觀摩、技術探討及資料研習。
3. 赴東京測振公司進行日本港埠設施於地震發生前中後之災害監測及維護管理經驗交流，並安排研習其開發之振動及地震量(監)測軟硬體設備。
4. 安排前往東京港及橫濱港區進行港埠設施參訪，並蒐集港埠基本資料、經營方針、災防及日常維護管理機制、新興科技應用以及因應極端氣候調適策略等資料，以供本所後續研究及相關港埠經營單位參採應用。

藉由實地拜訪日本港埠並學習維護管理新技術和設備，瞭解港灣設施結合新興科技的巡查檢測做法，汲取優點，以利本所研擬建立智慧港埠及研發災防技術等計畫之應用，提升港埠設施之巡查檢測效能

*交通部運輸研究所運輸技術研究中心 副研究員

二、行程簡介

本次出國計畫地點位於日本東京與橫濱，其重要港埠設施，主要為東京港及橫濱港，通常兩港加上川崎港，三港合稱為「京濱港」，並於 2010 年受日本國土交通省選為國際戰略港口。除安排港口現地設施訪察外，本次出國進修研究計畫安排了港灣空港技術研究所、Kumonos 公司以及東京測振公司，三個港埠維護管理及防災技術研發單位進行參訪與研習，以下進行行程簡介。

1. 東京港

東京港，坐落於東京都港區(Minato-ku)之東京灣，由東京都港灣局及東京港埠頭株式會社共同營運，做為日本東京灣和都內海陸之間的節點(如圖 1)，亦為國際物流樞紐中心，2023 年處理之貨櫃數量已達 4,570,000 TEUs，經東京都港灣局統計至 2024 年 4 月止，總處理量為 356,652 TEUs，進口量大約佔了三分之二。Lloyd's List 網站則提供了 2023 年全球港口的貨櫃吞吐量排名，顯示東京港在全球排名第 46 名，為日本國內最高之港口，我國高雄港則為第 18 名。



圖 1 東京港地理位置

資料來源：東京都港灣局

https://www.kouwan.metro.tokyo.lg.jp/yakuwari/post_5.html

東京港主要由幾座碼頭組成，包含：大井碼頭(東京港最大和最重要的貨櫃碼頭之一，主要處理國際貿易貨物)、青海碼頭(主要處理貨櫃運輸)、品川碼頭(為亞洲近海航路專用碼頭)、芝浦碼頭(處理一般貨物)、月島碼頭(處理冷藏及漁業)等等共 25 座，如圖 2。防波堤總長約 8.4 公里。



- | | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|
| ■ 外貨雜貨・ばら物ふ頭
Foreign Trade General & Bulk Cargo Terminal | ■ 内貨物貨ふ頭
Domestic General Cargo Terminal | ■ 内貨ユニットロードふ頭
Domestic Unit Loads Cargo Terminal | ■ 多目的ふ頭
Multi-purpose Terminal | ■ フェリーふ頭
Ferry Terminal | — 高速道路
Expressways |
| ■ 外貨コンテナふ頭
Foreign Trade Container Terminal | ■ 内貨物貨物専門ふ頭
Domestic Specialized Cargo Terminal | ■ 客船（貨客船）ふ頭
Passenger Ship Terminal | | — 一般道路及び通路
General Roads | |
| ■ 外貨物貨物専門ふ頭
Foreign Trade Specialized Cargo Terminal | | | | | |

圖 2 東京港 25 座碼頭

資料來源：東京都港灣局-PORT OF TOKYO 2024

在東京港設施維護管理方面，經東京都港灣局統計使用超過 30 年以上之港埠設施約占 7 成以上，使用超過 50 年則佔約 3 成，經對設施實施全面之性能弱化度調查(A~D 級)，列為 A 級性能相當低下和 B 級性能低下之設施約有 28%。在新興科技應用方面：

- (1) 發展 ROV(水下無人載具)，利用攝影機進行棧橋式碼頭底部的目視巡檢，亦適用水面與構造物間隙小導致小型船或潛水員難以目視的場合。
- (2) UAV(無人飛行載具)進行港區設施之目視巡檢，包含：碼頭、橋梁、護岸等，並生成正射影像及 3D 點雲模型等加值應用。
- (3) 非接觸式測厚儀，進行鋼材、鋼管樁厚度量測，節省先期表面去除附著物之工作，提升量測效率。
- (4) 行走式高速 3D 隧道表面雷射掃描儀，用於製作隧道內部表面高精度 3D 模型，記錄多時態及變化情形。

近年因應極端氣候挑戰，東京港之防災及維護管理對策以發展有韌性及使用者信賴之港口為主要目標，其策略有：

- (1) 打造韌性港口，於災害時能確實維持物流機能

發展高耐震、耐颶、耐洪之港埠基礎建設和實施計畫，以杜絕能源供應於災害中失效之可能，並維持設施基本運作，此外，將電桿移除及電線地下化，以讓港口保持更廣闊之腹地使用。

- (2) 因應全球暖化海平面上升及暴潮侵襲，將東京港打造成守護東京市民的港口

提出「東京灣沿岸海岸保全基本計畫」(譯名)，針對氣候變遷各項極端天氣事件研擬對策，保全東京市民生命及財產安全。

- (3) 有效率之維護管理，針對既存港灣設施機能持續維持

藉由資訊中心化，包含海氣象、港灣設施資訊等，致力於提升災害應變反應速度，且針對既有老舊港埠設施進行有效之維護管理措施，增加其使用年限。

2. 橫濱港

橫濱港，位於日本神奈川縣橫濱市，與東京港一樣坐落於東京灣，由

橫濱港埠頭株式會社營運，為日本重要國際港口之一，根據 Lloyd's List 網站 2023 年全球港口的貨櫃吞吐量排名，顯示橫濱港在全球排名第 70 名，在日本國內僅次於東京港，依橫濱市港灣局統計 2023 年處理之貨櫃數量約 302 萬 TEUs。

針對橫濱港貨櫃處理及物流部分，主要於本牧碼頭(位處橫濱港中央，為一貨櫃碼頭)、南本牧碼頭(為橫濱港的新物流基地，屬最先進的貨櫃碼頭，可順利停泊世界上最大的貨櫃船)、大黑碼頭(提供物流服務，擁有大型倉庫)、山下碼頭(處理常規貨物)、山田町碼頭(專門處理水果和蔬菜進口)、瑞穗碼頭(主要裝卸沙子和建築材料)、山內碼頭(為再生資源的收集和運輸基地)以及金澤木材碼頭(主要經營廢金屬、木製品、礫石和沙子等建築材料，發生災害時將用於運輸緊急物資)進行。此外，橫濱港擁有日本國內之重要客運碼頭，如：大黑碼頭，提供了多樣化的服務和設施，並可停泊 22 萬噸級超大型客輪，滿足不同類型船隻和乘客的需求。相關橫濱港碼頭位置如圖 3。



圖 3 橫濱港碼頭位置

資料來源：橫濱港埠頭株式會社 <https://yokohamaport.co.jp/info/outline/>

依照橫濱市港灣局提出之橫濱港港灣計畫內容所示，其發展目標旨在活化橫濱經濟和提升市民生活質量，並創建一個綜合港灣，策略如下：

(1) 打造具國際競爭力的港口

針對貨櫃船大型化和全球貨運量增加，進行橫濱港先進設施(備)強化，並新建具備大水深和高規格貨櫃碼頭及先進物流設施的一體化碼頭，強化港口與廣域道路網絡的連接，形成臨海物流基地，以提升貨物處理、集運能力。

(2) 打造市民聚集和休憩的港口

將橫濱港打造為日本代表性的郵客輪港口，因應郵輪大型化及停靠增加，提升郵輪接待能力，並為市民及觀光客等創造符合地區特性的親水空間，應對海洋性休閒需求。

(3) 打造安全、安心且環保的港口

因應大地震、颱風等災害，將橫濱港打造緊急物資接收之海上運輸據點，並配置抗震強化碼頭，並考量引進太陽能發電和蓄電池等，以確保災害時之業務連續性，構建能源管理體系，另外，提升與市民和企業合作，致力於港區水質改善、綠地維護管理和全球變暖對策。

3. 港灣空港技術研究所(PAPI)

港灣空港技術研究所(如圖 4)，位於日本神奈川縣橫須賀市，成立於 1962 年，現為日本國土交通省轄下的獨立行政機構，因應地震、颱風、暴潮等天災，專責於港口和機場相關維護管理、災防新技術應用等研究，研究重點著重於四個主題：「沿海地區之減災及復原」、「沿海及海洋環境保護及減碳」、「建立支撐經濟及社會之港口和機場」、「資訊化推動科技創新」等方面開展工作。



圖 4 港灣空港技術研究所

4. Kumonos 公司

Kumonos 公司，總部位於日本大阪府，並在東京(如圖 5)、神奈川、福岡等設立分部，主要工作在各式場域使用儀器執行測量業務，包含：道路、橋梁、鐵道、港口、建築物、遺址及邊坡、洞穴、森林等，並自主研發各種實用之測量器材與裝備，例如：測量裂縫之全站測量儀、3D 雷射掃描儀等等。



圖 5 Kumonos 公司(東京分部)

5. 東京測振公司

東京測振公司(如圖 6)，位於日本東京都足立區，主要進行地震觀測儀器設計、製造及販售服務，例如：地表加速度計、地震警報裝置、監測設備及記錄軟體等，相關設備除日本高樓大廈、交通設施及工業場域外，於臺灣、韓國及中國皆有應用實例。



圖 6 東京測振公司

本次出國進修研究計畫安排於 113 年 7 月 19 日(星期五)至 7 月 28 日(星期日)，共計 10 天，行程表如表 1 所示。

表 1 113 年派員出國進修研究計畫行程表

日期/星期	工作內容	時間/地點
7/19 (五)	起程：於臺灣桃園機場搭乘飛機前往日本成田機場	全天/臺灣-日本東京
7/20 (六)	整理相關研習資料，並乘坐地鐵至橫濱	全天/日本東京
7/21 (日)	港灣設施訪察(橫濱港)	全天/日本橫濱

7/22 (一)	港灣空港技術研究所(PARI)： 1. 港灣構造物維護管理機制探討及資料研習 2. 水下無人載具 ROV 技術探討及資料研習	全天 / 日本 橫濱
7/23 (二)	1. 港灣空港技術研究所(PARI)：水下無人載具 ROV、港灣材料長期暴露試驗場地參觀研習 2. 乘坐地鐵至東京	全天 / 日本 橫濱
7/24 (三)	Kumonos 公司：水下 3D 測量儀器「BV5000」 操作說明、技術探討及資料研習	全天 / 日本 東京
7/25 (四)	Kumonos 公司：混凝土表面裂縫智能偵測儀器 「AI·KUMONOS」操作說明、技術探討及資料 研習	全天 / 日本 東京
7/26 (五)	東京測振公司：地震加速度儀於港灣設施操作 說明、應用實例及搭配後端系統進行港灣設施 維護管理經驗分享	全天 / 日本 東京
7/27 (六)	港灣設施訪察(東京港)	全天 / 日本 東京
7/28 (日)	回程：於日本成田機場搭乘飛機回臺灣	全天 / 日本 東京-臺灣

三、訓練進修與研究內容

3.1 港灣空港技術研究所

3.1.1 研究總覽

港灣空港技術研究所(以下簡稱港空研)為日本港灣及機場之研究智庫，並與產學業界有多方交流及共同研究，其相關成果皆公開於官方網站供外界查閱，故於出國進行研習前，先以本次出國計畫目的為主，並針對現今我國港灣設施所面臨之災害挑戰，例如：地震、氣候變遷之極端氣候等，進行其相關研究之蒐整及閱覽，除能對港空研之重要研究成果有初步認識外，亦能發想相關問題，至日本時能當面交流請益。港空研依照研究目的主要可分為三大領域：(1)海岸及海洋工程、(2)大地、結構和材料工程、(3)先進技術與資訊系統，以下進行介紹。

1. 海岸及海洋工程研究

主要由港空研之海岸水力工程部門、海岸與海洋發展部門及海岸與河口環境部門負責。海岸水力工程部門轄下分成波流組、海嘯與風暴潮組及設施結構組，針對風波潮流以及較為極端的災害如：海嘯及暴潮，利用高精度數值計算模型和大型試驗場域，模擬其對港口、海堤、護岸之衝擊，並研究其對地形沖刷、堆積等互制作用(如圖 7)。



圖 7 大型造波試驗(左)耐波試驗水槽(右)

資料來源：港灣空港技術研究所

<https://www.pari.go.jp/about/facilities/>

海岸與海洋發展部門轄下分成，海岸與海洋利用組及海氣象資訊組，前者針對日本沿海及海洋資源開發進行研究，後者則針對日本氣象廳觀測之各種資料進行分析統計及應用研究。海岸與河口環境部門則是對近岸環境、水質及沉積物等問題進行原因分析及探討。

2. 大地、結構和材料工程研究

主要由港空研之大地工程研究部門、地震防災部門及結構和材料工程部門負責。大地工程研究部門轄下分成土壤力學與地質環境組、土壤動力學組、土壤穩定與改良組及基礎工程組，針對港口和機場相關大地工程問題進行對策探討，致力於地質及結構物基礎之穩定性研究。地震防災部門則係因應日本地震災害，進行港口與機場受地震之震動分析及抗震結構研究。結構和材料工程部門係針對港口和機場設施之結構設計與維護、防蝕暴露試驗、新材料和工法開發(如圖 8)，近年配合國際趨勢，致力於綠色和減碳技術之發展研究。

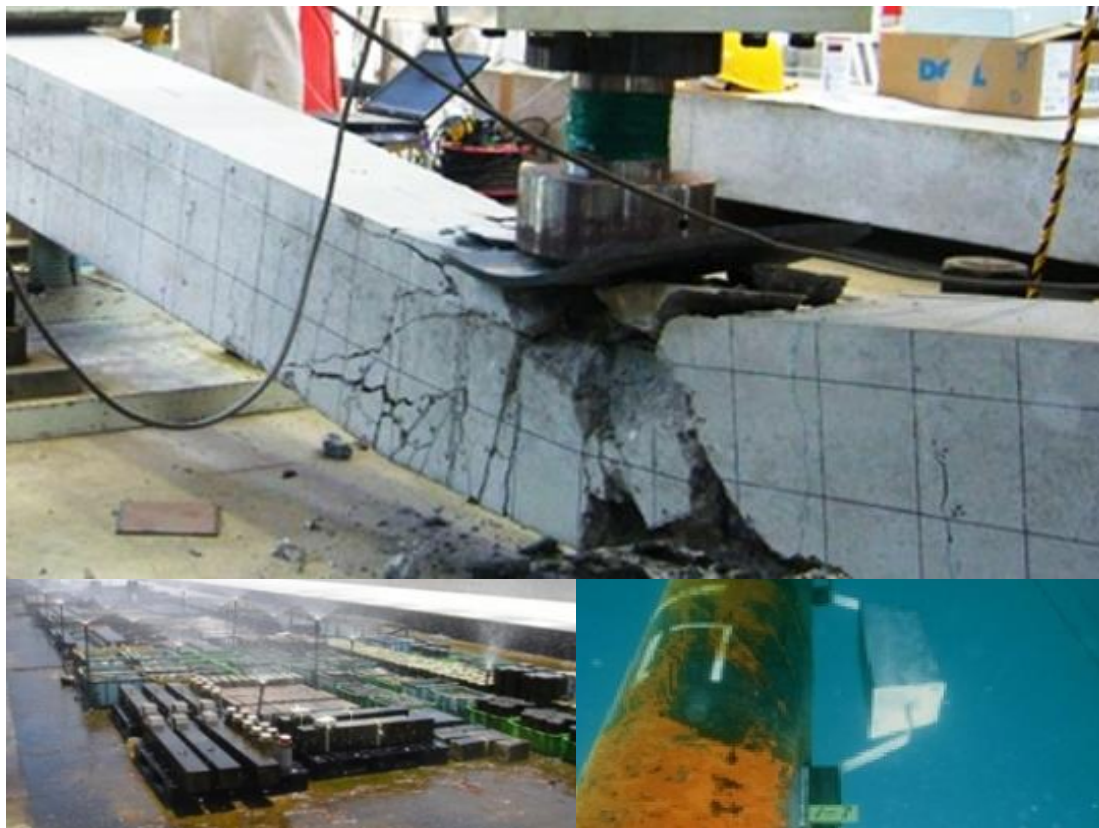


圖 8 壓梁試驗(上)材料暴露試驗(下左)鋼管樁陽極塊防蝕試驗(下右)

資料來源：港灣空港技術研究所

<https://www.pari.go.jp/about/facilities/>

3. 先進技術與資訊系統研究

主要由港空研之基礎設施數位轉型研究部門和海洋環境控制部門負責相關研究。基礎設施數位轉型研究部門下分成：大數據組、機器人組以及虛實整合系統組，皆是以結合先進科技及技術於海洋、近岸、水利和土木工程之實地應用為課題，並藉使用各式軟硬體設備，包含：UAV、ROV、AUV、微小機器人和超音波等水下聲納設備(如圖 9)，完成遠端控制、物聯網及自動化和智能化概念。海洋環境控制部門即是針對海面油污洩漏控制、清理及回收工作進行研究，致力於海洋環境之生態保育。



圖 9 水下機器人(左)水下挖掘機(右)

資料來源：港灣空港技術研究所

<https://www.pari.go.jp/research/sentan/>

港空研依照前揭各研究領域並配合日本交通政策，完成以下重要研究成果，並制定 7 年(2023 年~2029 年)中長期目標並提出相應之研究計畫，如表 2。

1. 因應極端氣候影響，提高港灣構造物設計基準及受波浪特性推定精度

1973 年，提出防波堤設計之合田波壓公式(Goda's wave pressure formula)，該計算公式已在世界範圍內廣泛使用，並使港空研成為全球防波堤設計的領導者。然而，為因應氣候變遷之極端氣候影響，港空研通過全國港灣海洋波浪情報網(直譯)，針對全國 77 個觀測點超過 50 年的波浪觀測數據積累和分析，使用世界頂級的實驗設施和高級解析程序計算防波堤上的波力，有效提升了防波堤設計中需要的 50 年概率波的波

浪特性推定精度。

2. 耐震強化岸壁的設計技術確立

通過設置在全國的強震計觀測地震波，蒐集超過 50 年之數據，並開發了地震發生時，碼頭岸壁行為之動態 FEM 解析程序。基於此結果，可支持各港口的耐震強化岸壁之整備，確立耐震強化岸壁設計技術。

3. 碼頭液化的預測和判定方法的開發

根據阪神淡路大地震和 311 東日本大地震的經驗，開發地震發生後地盤液化的預測和判定方法。

4. 開發植入式鋼板格柵工法(直譯)等大水深岸壁的施工技術

植入式鋼板格柵工法是一種結合鋼板和植入技術的工法(如圖 10)，用於建設港灣和海岸區域的大水深岸壁，因鋼板提供了必要的垂直支撐和抵抗水平推力的能力，而植入構件則進一步增加了結構的穩定性，該工法能夠在軟弱地盤上提供穩固且耐久的結構。目前在京濱港(東京、橫濱、川崎港)、阪神港(大阪、神戶港)等地的大水深岸壁應用，有效推進日本國際戰略港灣項目。



圖 10 植入式鋼板格柵工法

資料來源：調和工業株式會社

<https://www.chowa.co.jp/methods/penetration.html>

表 2 港空研 2023 年~2029 年研究目標及內容

主目標	子目標	內容說明
<p>沿岸區域災害減輕與復原</p>	<p>地震災害減輕與復原之研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 針對沿海區域和首都圈發生大地震，造成大規模災害之應對 ◆ 地表震動預測技術 ◆ 結構物損害預測技術 ◆ 耐震補強技術
	<p>海嘯、巨浪及暴潮災害減輕與復原之研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 海嘯波形與損害預測方法 ◆ 氣候變化下的高波、暴潮風險評估方法 ◆ 海嘯及氣候變化之軟體對策研發 ◆ 港內及基礎設施之最佳化設計方法
<p>沿岸海洋環境之形成、保護、利用及減碳社會建構</p>	<p>沿岸環境形成、保全及利用之研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 航道泊地淤積及海岸侵蝕對策之最佳化方法 ◆ 海洋垃圾回收技術應用 ◆ 日本三大海灣之環境生態系統模型製作 ◆ 環境友善港灣結構物條件訂立 ◆ 環境數位化及可視化技術
	<p>支援減碳社會建構之技術研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 支援港灣及沿岸區域之減碳化及綠色社會實踐 ◆ 支援綠色能源利用於

		海洋相關技術(離岸風電等海洋再生能源發電技術)
支撐經濟與社會之港灣與機場形塑	基礎設施整備之研究	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 設計方法之合理化 ◆ 結構、施工之先進化 ◆ 提升經濟性及降低環境負荷
	基礎設施維護管理之研究	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 基礎設施使用壽命提升 ◆ 現有設施殘存性能評估及改良、更新技術
推動數位化技術創新	利用數位技術提高生產力之研究	◆ 港灣結構物水下巡檢及施工數位轉型
	利用數位技術創造新價值之研究	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 貨櫃碼頭模擬推進數位化 ◆ 資通訊安全

3.1.2 港灣構造物維護管理機制探討及資料研習

本次前往港空研由友永悠斗課長協助接洽及安排訓練及交流，第一部分由山路徹博士，亦是港空研結構和材料工程部門之材料組組長，針對港灣構造物之維護管理機制說明相關研究成果(如圖 11)，其研習內容主要分為以下四大主軸：

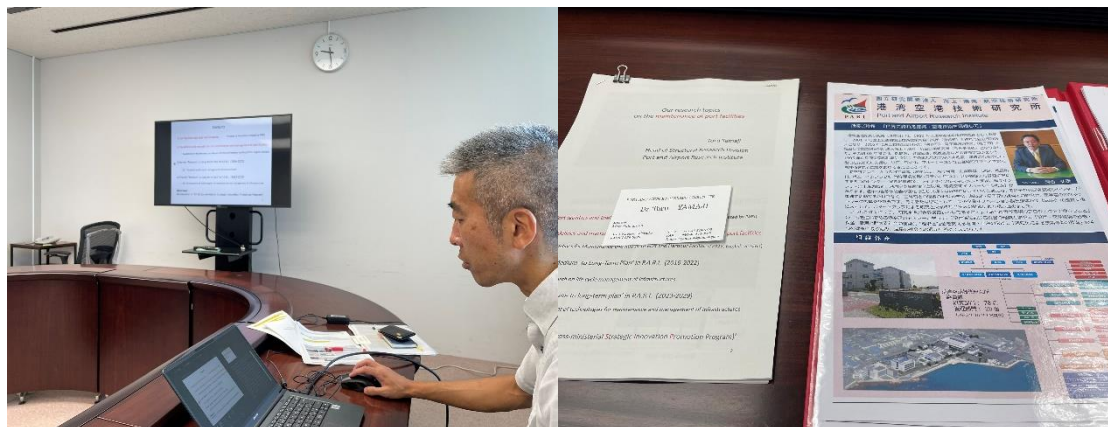


圖 11 港灣構造物之維護管理機制探討及資料研習

1. 港灣結構物之損害模式

常見碼頭型式可分為：重力式、板樁式以及棧橋式，其不同構件亦有相應之損害模式，山路徹博士首先利用港空研自製之模擬動畫，輔以現場災害照片，說明棧橋式碼頭在受海浪和鹽害後，易導致上部結構之鋼筋混凝土底板和梁產生裂縫、保護層剝落，並造成鋼筋的外露和鏽蝕狀況；下部結構之鋼管樁會有腐蝕鏽穿情形，進而導致鋼管樁斷裂或無法支撐上部結構而致使碼頭倒塌，並進而影響在碼頭上作業之車輛、機具和人員(如圖 12)。而在板樁式碼頭則有前方鋼版穿孔進而導致碼頭面下之淘刷、粒料流失及空洞化現象(如圖 13)。

而在防波堤部分，常見型式可分為沉箱式、拋石式以及方塊式，通常會拋放消波塊以達消能目的，防波堤則常見沉箱壁體損壞、穿孔以及前方消波塊流失、下陷，導致喪失原有消能功用。

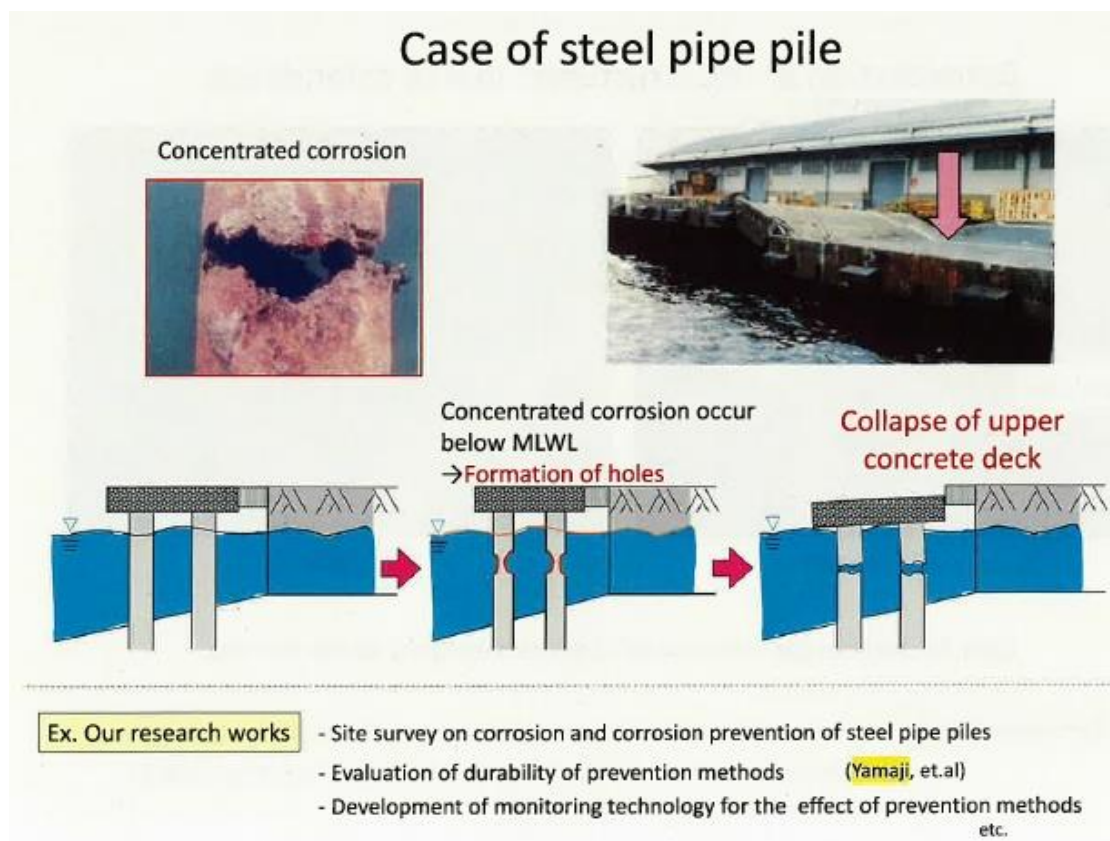


圖 12 棧橋式碼頭鋼管樁鏽穿發展情形及災害照片

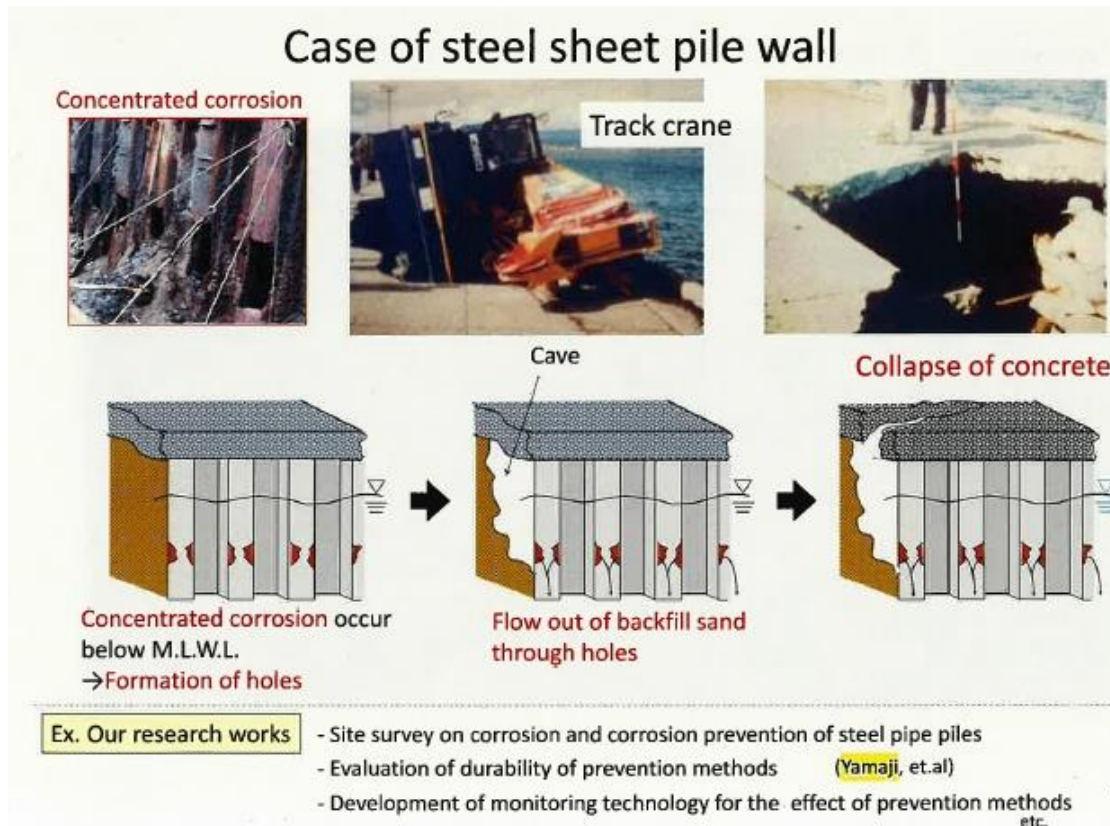


圖 13 板樁式碼頭鋼版穿孔發展情形及災害照片

2. 港灣結構物維護管理手冊及指南

山路徹博士針對日本國內主要且需遵循之港灣結構物維護管理手冊及指引進行摘要介紹，其主要是由日本國土交通省港灣局、海岸發展技術研究所(Coastal Development Institute of Technology, CDIT)出版編修，其中港空研皆參與其中工作並提供專業意見，目前亦持續在進行新修訂工作，以配合新興技術演進、氣候變遷挑戰等。相關指引及手冊名稱(直譯)、出版(或最新修訂)年及出版單位臚列如下：

- 港灣設施巡檢診斷指南(國土交通省港灣局，2014)、
- 港灣設施維護管理計畫指南(國土交通省港灣局，2015)、
- 日本港口設施技術標準建議(英文版)(國土交通省港灣局，2020)、
- 港灣設施維護及維修指南(海岸發展技術研究所，2018)、
- 碼頭鋼結構腐蝕防治及維修手冊(海岸發展技術研究所，2022)、
- 碼頭混凝土結構維修手冊(海岸發展技術研究所，2018)。

與山路徹博士交流港灣結構物維護管理之過程，就教相關問題如下：

- (1) 日本國土幅員較臺灣廣闊得多，這些港灣結構物維護管理制度及標準是否會因地制宜進行調整？

山路徹博士回答：

這是非常困難的課題，目前日本國內做法是有一套全國統一之規則和標準，即如與您介紹之港灣結構物維護管理手冊及指南，然而，我們仍會要求各地區之港灣局或相關港口維運單位等，根據當地的環境、資金和人力等實際情況，制定各自的具體規則，進行哪些港灣結構物之巡檢工作，以及施行的頻率為何，這些都可以由各地的管理者自行制定，惟這樣的做法的確會使各地維護管理工作推展進度不一，故目前我們正推行所謂的「跨部會策略創新推動計畫」(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)，簡稱 SIP，裡面包含許多資訊平台及整合等工作，目的之一亦是為解決此項問題，後面會再針對此計畫予您做詳細介紹。

- (2) 目前全球正面臨氣候變遷極端氣候之挑戰，請問日本國內港灣結構物維護管理制度及標準是否有相應之調整？

山路徹博士回答：

針對氣候變遷，日本的確也正在思考並逐步將其納入維護管理之考量，像是針對港灣構造物之設計基準而言，於今(2024)年4月有部分修訂並納入氣候變遷調適策略，詳細內容您可於網上搜尋「公益社団法人日本港湾協會」，並可於其出版品中窺見。

3. 港空研之港灣構造物維護管理相關研究重點成果

山路徹博士提到隨著日本碼頭和沿海基礎設施等已長期使用，約10年後會有35%之碼頭設施達到50年以上使用，20年後則會接近60%之碼頭設施達到50年以上使用(如圖14)，加上維護管理的預算及人員投入有限，更甚者，相關設施暴露在非常惡劣的環境條件下，使得實施巡檢工作和維護措施變得更為困難，故2016至2022年港空研針對基礎設施生命週期管理的研究，其著重於結構設計和材料應用方法，並在維護和管理階段開發各式技術，爰此，港空研提出3項子計畫來支援，分別

為：基礎設施壽齡延長技術研究、基礎設施巡檢診斷研究、基礎設施管理系統研究，以在節省人力同時，進行有效之港灣構造物維護管理。

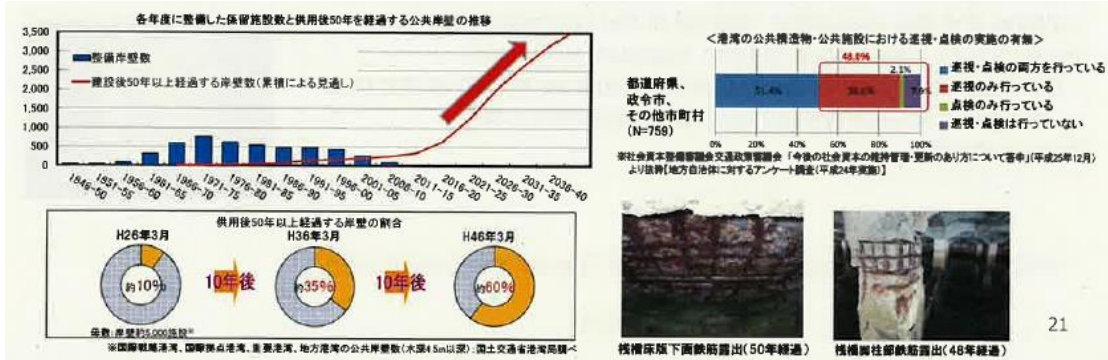


圖 14 日本碼頭設施使用達 50 年以上之數量預估

針對基礎設施壽齡延長技術研究，港空研開發新材料和技術，實現具有優良耐久性之港灣結構物，並提出各式材料和設施構件性能驗證和預測之方法，爰此，港空研打造海水循環水槽及海水噴灑試驗場進行長期曝露試驗，亦於南鳥島和沖繩進行實地驗證，經其提供之資料，港空研測試之建築材料包含混凝土、鋼材、防腐蝕材料(環氧樹脂塗裝鋼筋、混凝土表面覆蓋塗層)以及特殊材(使用珊瑚骨材之混凝土)等(如圖 15)。



圖 15 港空研進行之基礎設施壽齡延長相關技術研究

山路徹博士提到針對珊瑚骨材之混凝土，港空研已於沖繩地區進行 44 年之水下(海水和淡水)強度試驗，依其試驗數據長時間內混凝土強度沒有減少，並建議可使用於不需要高強度的混凝土結構物上；針對混凝

土表面覆蓋塗層，主要為防止氯離子滲入，經在沖繩那霸進行長達 30 年之曝露試驗顯示可有效防止氯離子滲透混凝土，並保持效能(如圖 16)。

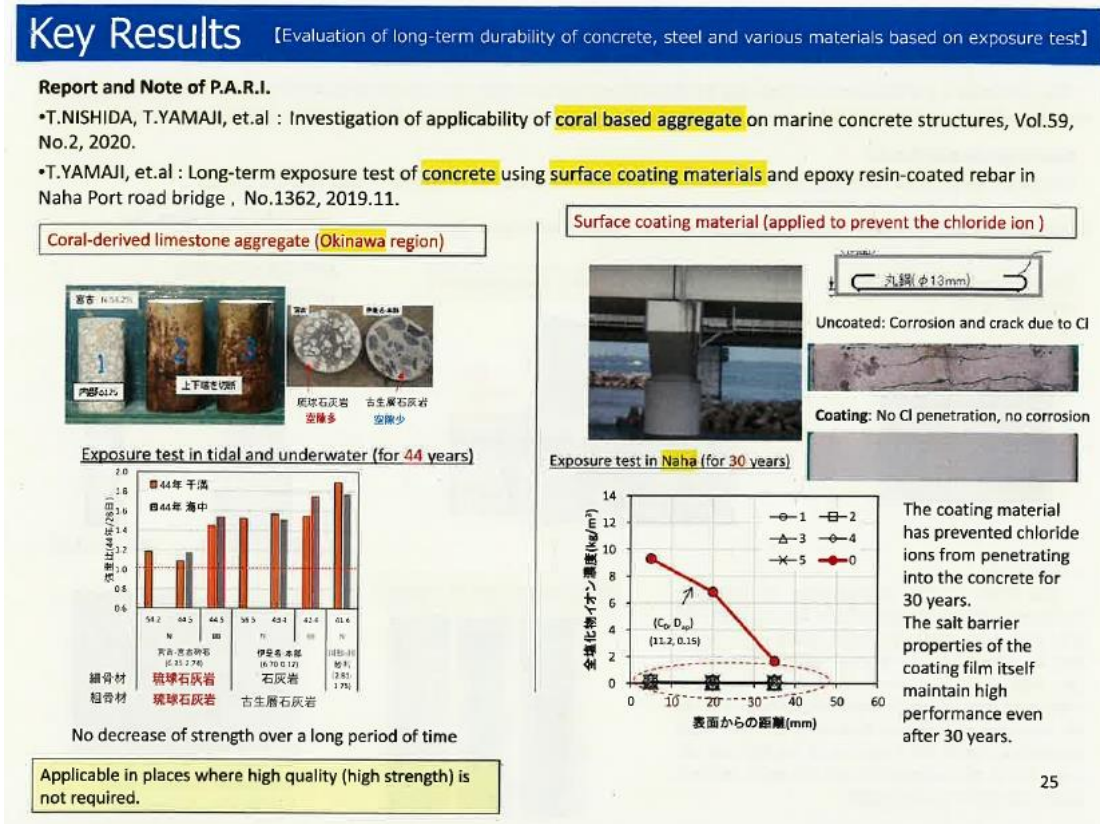


圖 16 於沖繩進行之現地曝露試驗研究

針對鋼樁表面保護塗層，港空研自 1984 年開始在茨城縣波崎市進行現地觀測樁試驗，經觀察，聚乙烯塗層於 39 年後(至 2023 年)仍保持良好狀況，另有陸續試驗礦脂(petrolatum)塗層、鈦鋼披覆等，山路徹博士表示相關結果可於「碼頭鋼結構腐蝕防治及維修手冊」窺見，亦提到他於 2022 年亦有出版關於礦脂塗層防腐耐久性的調查研究，內有提到針對礦脂塗層之性能、觀測方法及防蝕結論等，摘要來說，腐蝕劣化好發於保護層的端部和接縫部位，據推測，前者是由於端部的裂縫和剝落，而後者則是因為礦脂防蝕材料在海水和陽光影響下產生老化，導致基材周圍腐蝕。

山路徹博士提到為提升現場施工效率和生產力，目前他們致力推動港灣結構物使用預製混凝土構件，例如：提出碼頭上部結構和鋼管樁相關之接合和施工方法(如圖 17)。不過他提醒現有設計方法主要用於道路結構，因此它們在港灣結構物中的適用性尚不明確，並且海洋環境中接頭的耐久性尚未得到驗證。此外，他們亦評估高流動性混凝土和具備材料分離抗性

之混凝土的適用性，並提出提高生產力的評估指標。這一部分的討論，山路徹博士以介紹港空研重點發展主軸—「提升港灣基礎設施使用壽命之研究」做總結，其研究內容為既有設施性能提升及新材料發展之研究、海上設施設計維護及防蝕強化策略之研究以及混凝土設施接合部設計和建造工法之研究，研究目標為開發新材料和施工方法(包括構件設計方法)，將以實現具有卓越耐久性等特性之設施，同時考慮可維護性，並開發方法以驗證各種材料和結構構件的性能、預測未來，並提出根據結構所需性能和現有性能進行維修和補強之概念。

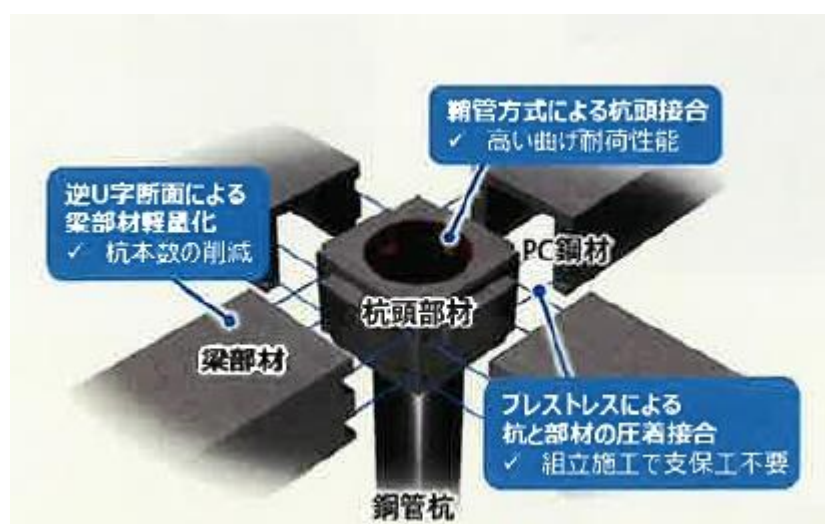


圖 17 碼頭上部結構和鋼管樁相關之接合和施工方法示意圖

4. 跨部會策略創新推動計畫 (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program, SIP)

針對運用數位科技技術於設施維護管理之研究部分，山路徹博士表示港空研主要在提升維護管理效率和自動化方面進行努力，例如：應用新興科技於港灣構造物調查和巡檢工作，是港空研現在和未來重點項目之一。他們目前有自主開發和組裝水下無人機(ROV)並建置試驗場域，並會有專門技術人員進行介紹和偕同參觀，他這邊則主要向我說明港空研於 SIP 中所參與之合作項目—「打造先進基礎維護循環」和「發展和應用基礎設施網路實體空間資料平台」之發展規劃。山路徹博士提到港空研在前揭合作項目扮演之角色為利用基礎資料結合數值模擬、統計和 AI 科技，於虛擬環境重現基礎設施真實行為，並致力打造港灣設施數位雙生(如圖 18)。

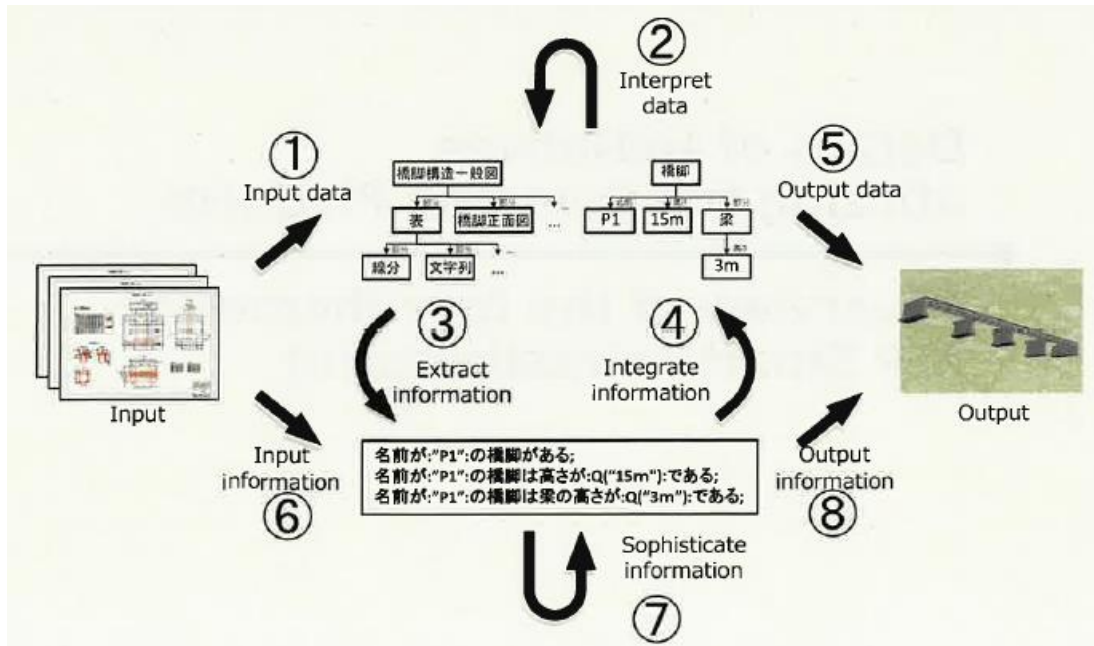


圖 18 設施基礎資料應用於虛擬環境重現真實行為

3.1.3 水下無人載具(ROV)技術探討和試驗場地參觀研習

ROV 技術探討和試驗場地參觀研習部分由基礎設施數位轉型研究部門下之機器人組組長—田中敏成博士協助，其先以簡報方式介紹港空研開發之 ROV 規格參數、適用環境、性能等(如表 3)，並針對 ROV 於港灣設施巡檢等相關心得進行交流分享後，安排參觀港空研之 ROV 試驗場域。

田中敏成博士提到目前日本約 3 至 5 年會進行港灣設施之全面性目視巡檢，以人員乘坐小船或委託潛水員方式進行相關工作，然而，在設施單元(約 20 至 25m²)的範圍內，部分設施約需進行 100 個構件之目視調查並標記其劣化狀態，另外，人員會受海浪、潮汐、能見度等影響，故提升巡檢工作時之安全性和效率是促使港空研進行 ROV 研究之緣由。

港空研目前研發之 ROV 為半潛式，命名為 ROV-PAPI，主要用於棧橋式碼頭設施之底板、梁和柱等結構之狀況探查，田中敏成博士表示在此環境下最重要的幾個關鍵為：定位、避障和拍攝影像之清晰度，ROV 搭載設備之規格參數整理如表 3。目前 ROV-PAPI 由岸上人員持遙控器進行遠端操作，而岸上操作員會藉由開發之平台確認位置及周圍障礙物等相關參數(如圖 19)，並可藉由平台開啟相關功能，例如：相機設定、各項儀器電源開關、GPS、自動避障等。

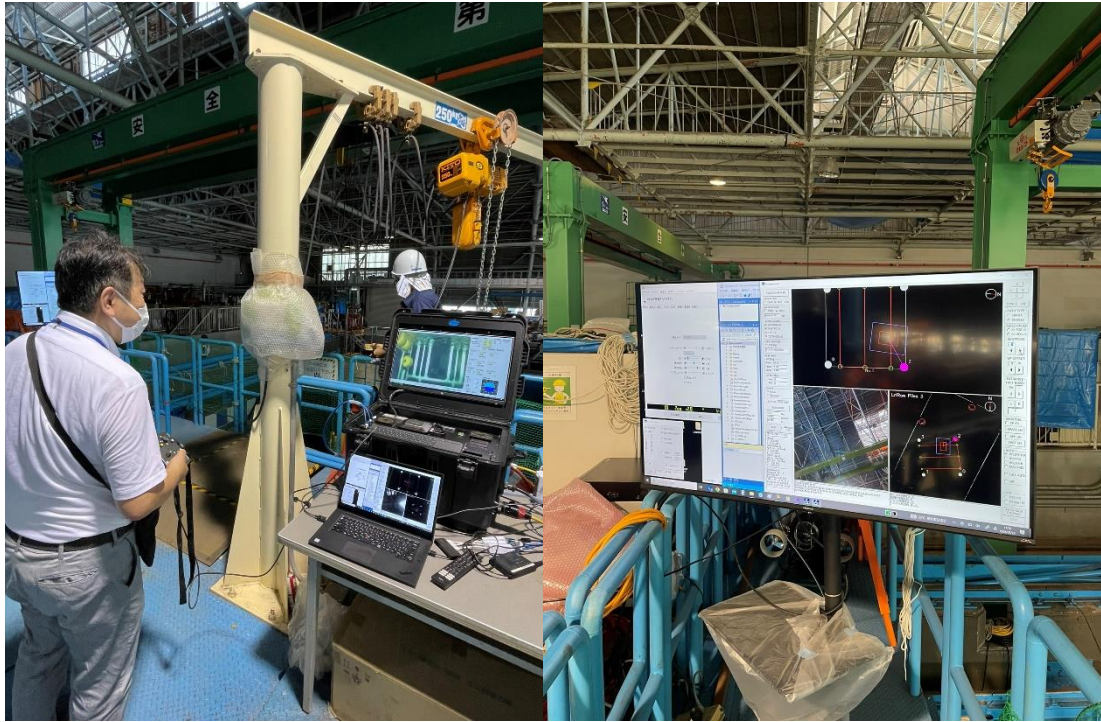



圖 19 岸上人員持遙控器進行 ROV-PAPI 遠端操作

表 3 港空研開發之 ROV-PAPI 規格參數

項目	規格參數
外觀	
相機	<p><u>導航用</u> GigE 相機 1 臺(安裝於 ROV 水下部分, 前鏡頭) GigE 相機 2 臺(安裝於 ROV 露出部分, 前後鏡頭)</p> <p><u>巡檢拍攝用</u> GigE 相機(f=3.5mm)1 臺 全尺寸數位單眼相機(f=14mm)1 臺</p>
燈光	<p>前置可調式 LED(1W)12 顆 頂端 LED(擴散角度 80 度)8 顆</p>
傳感設備	<p><u>安裝於 ROV 內</u></p>

	壓力量測計、方位感測器(包含：磁羅盤(magnetic compass)、微機電系統陀螺儀(micro-electromechanical systems gyroscope) <u>安裝於 ROV 頂部</u> 雷射測距儀、雷射標記器(2pts, W=250mm)、光纖陀螺儀(fiber optic gyro)、GPS 定位計
推進裝置	前置及側向推進器(200W)4 組、垂直推進器(200W)2 組
性能	最大前進速度約 1.5 節
功能	方位維持、深度維持、避障
其他規格	電源插座(直流電 5V50W、12V100W、24V400W)8 孔、 通用 I/O 端口 8 孔、 外觀尺寸 L1200 x W800 x H925(mm) 重量約 100kg

與田中敏成博士交流 ROV-PAPI 過程，就教相關問題如下：

(1) 關於 ROV-PAPI 之定位及避障採用之機制可否再詳加說明？

田中敏成博士回答：

我們主要利用 ROV-PAPI 上搭載的 2 台雷射測距儀，於運行同時交互對周遭環境進行全域掃描，並通過全域掃描計算與周圍物體和障礙物的相對位置關係，運用不同的數學理論以實現定位和避障。

定位部份我們會先將設施單元平面數位圖資建於平台中，並交叉比對全域掃描結果，比對符合的樁將視為所謂的"匹配樁"，然後通過反向計算估計 ROV 相對於地標的位置和航向(如圖 20)。當兩個或更多檢測出的"目標物"與平台數位圖資中的樁位置成功匹配時，靠近 ROV 的匹配樁被稱為"定位參考點"(圖 20 中的粉紅色圓)，ROV 的位置定位是相對於該點進行的(圖中的粉紅色線)，接著，第二靠近 ROV 的匹配樁被稱為"方位估算輔助點"(圖 20 中的橙色圓)，ROV 的航向是由定位參考點和方位估算輔助點之間的基線(圖 20 中的橙色線)與 ROV 之間的角度來估算的，但如果匹配樁數量少於一個，航向估算將切換至以陀螺儀為基礎的方式進行。自動避障部分則係以圖 21 原理來實現。

若對定位和避障之數學原理有想深入瞭解可參考我們投稿至 IAARC 之研究文章「Development of ROV for Visual Inspection of Concrete Pier Superstructure」。

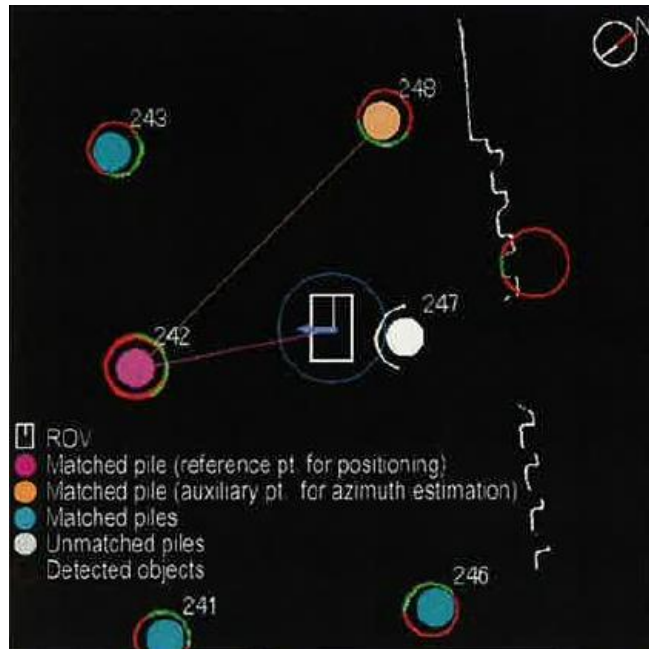


圖 20 ROV-PAPI 之定位相對位置示意圖

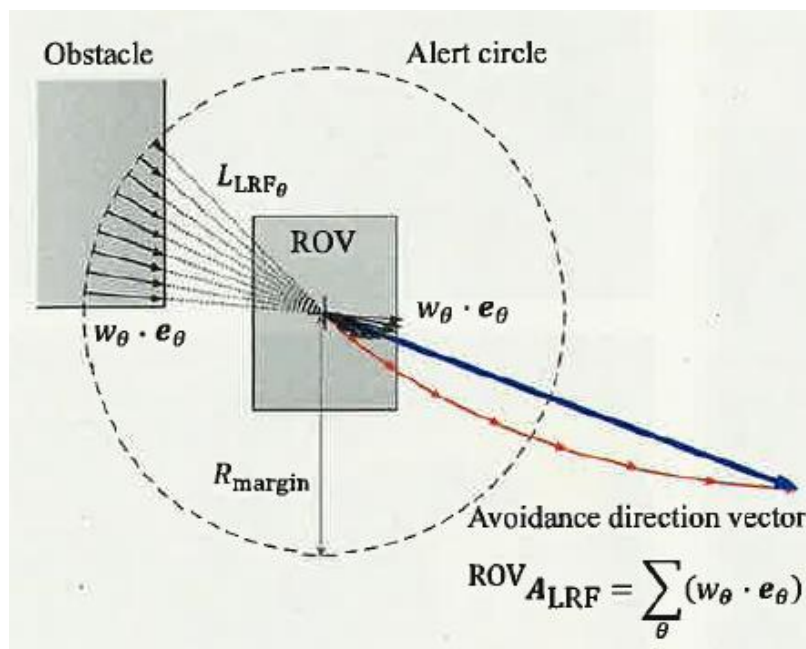


圖 21 ROV-PAPI 之自動避障數學計算式

(2) 是否規劃針對 ROV-PAPI 結合 AI 進行判識？

田中敏成博士回答：

是的，這是我們正努力之課題。目前我們正建置整套的巡檢診斷支援系統，透過 SfM-MVS 近景攝影技術，將 ROV-PAPI 獲得之影像重組成點雲模型，並於模型上進行劣化判識和圈選(此部分目前尚由專業人

員進行，未來預計利用 AI 輔助)，最後輸出完整之調查報告(如圖 22)。另外，我們也致力於將人為操控的 ROV 發展為所謂的 ASV(Autonomous Surface Vehicles)，期望能達成軌跡設定完成即自動巡航的方式，以更有效率地完成巡檢工作。

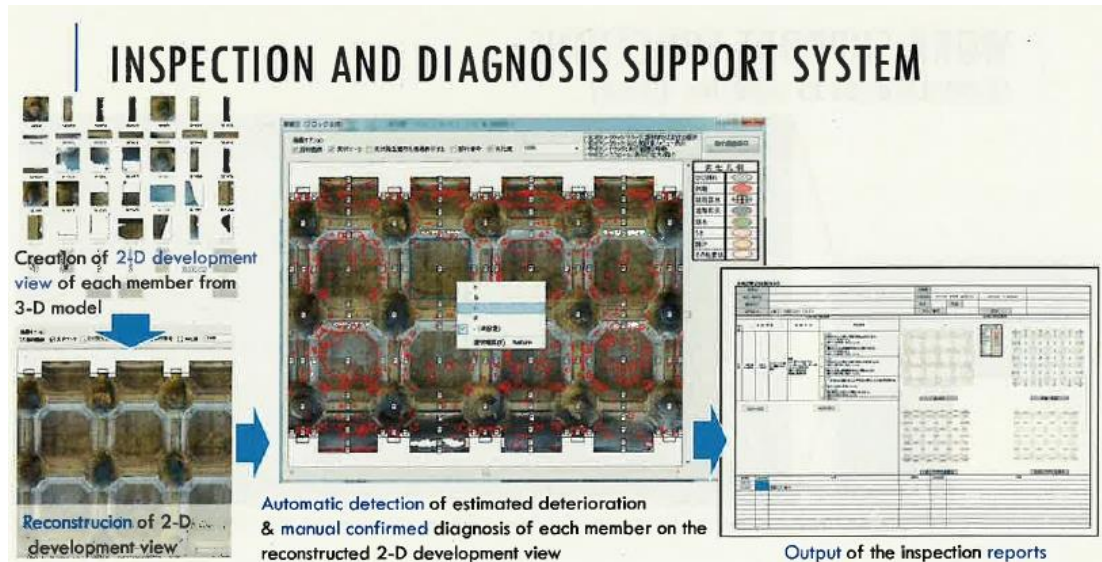


圖 22 巡檢診斷支援系統分析和產製流程

接著，田中敏成博士進行實地 ROV-PARI 演示，試驗水槽長 30 公尺、寬 10 公尺、深 6 公尺(如圖 23)，並可進行週期為 2.4 秒最高 50 公分之造波，波速最高可設定 1 公尺/秒。

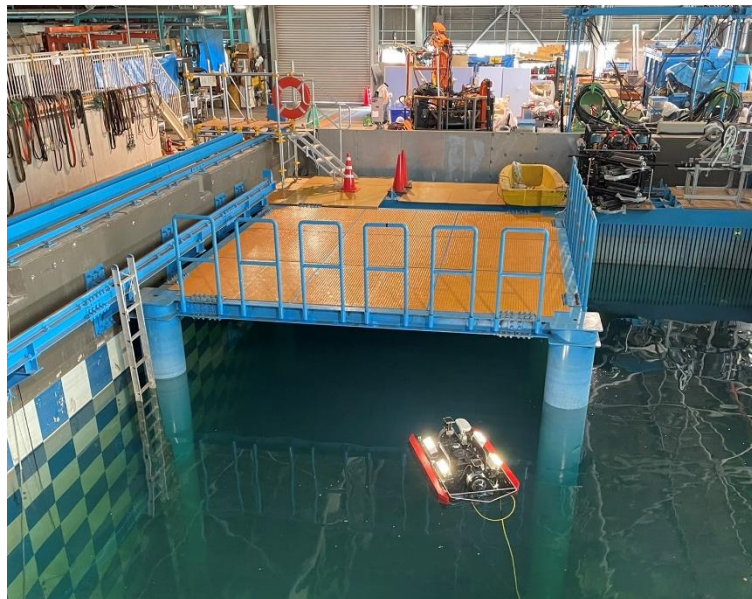


圖 23 港空研 ROV 試驗水槽

3.1.4 港灣材料長期暴露試驗場地參觀研習

港灣材料長期暴露試驗場地參觀研習由結構和材料工程部門之材料組的小池賢太郎主任研究員(如圖 24)協助，其先說明該試驗場地係因應港灣設施長期處於受氯離子侵蝕之環境，不同建築材料如：混凝土、鋼鐵和木頭等對於港灣設施之適用性、防護性等，需要經由長時觀察和驗證而設置，部分試驗甚至已經持續 40 年之久，相關試驗成果亦已為日本港灣設施之規範所採納使用。



圖 24 港灣材料長期暴露試驗場地參觀研習

小池賢太郎主任研究員表示目前針對海洋環境中之浸沒帶、潮間帶、飛濺帶和大氣環境有設置不同試驗水槽和區塊，其中模擬浸沒帶之水槽深約 7 公尺，試驗水是直接抽取久里濱(Kurihama)海灣內之海水，而目前進行長期試驗之材料為鋼管樁、鋼板樁(如圖 25 左)，針對其腐蝕劣化狀況有嵌入感測儀器進行持續性之監測，外觀和細部取樣調查則 1 年進行一次。模擬潮間帶之水槽深約 4 公尺，配合潮差模擬低潮至高潮水位，內部試驗材料有混凝土材，包含：高爐水泥(blast furnace cement)、飛灰水泥(fly ash cement)、自癒混凝土(self-healing concrete)和 3D 列印混凝土等新式材料(如圖 25 右)，此外，陰極防蝕保護工法也在此水槽進行測試和驗證。



圖 25 長期暴露試驗水槽之鋼管樁腐蝕試驗(左)混凝土材試驗(右)

有關飛濺區之長期暴露試驗，此區塊模擬海水噴灑，一天將進行 2 次，每次持續 3 小時，針對鋼筋的耐久性進行觀察和驗證，目前比較原始未進行防蝕加工之鋼筋、環氧樹脂塗裝鋼筋和特殊防蝕處理鋼筋(如圖 26)，小池賢太郎主任研究員表示環氧樹脂塗裝鋼筋和特殊防蝕處理鋼筋經試驗證明防蝕效率確實優於一般鋼筋，然而缺點為其較為昂貴的加工價格，環氧樹脂塗裝鋼筋約為一般鋼筋之 2~3 倍造價，而特殊防蝕處理鋼筋則到 10 倍造價，雖如此，但應將初期建造費用和後續維護管理之成本皆納入考量，從建築全生命週期角度思考較為周全，經港空研之研究，目前日本港灣設施以環氧樹脂塗裝鋼筋和高爐水泥為使用主流。

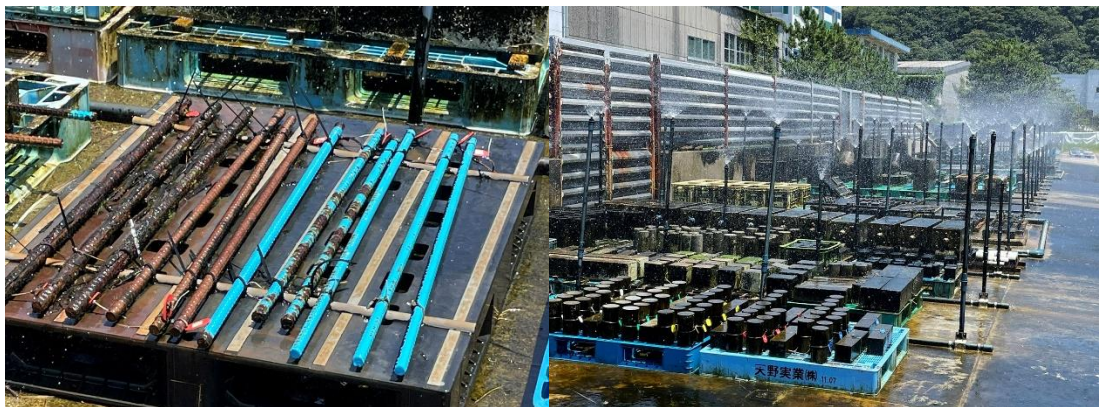


圖 26 飛濺區鋼筋之不同保護形式及各式材料長期暴露試驗

3.2 Kumonos 公司

3.2.1 3D 量測

Kumonos 公司成立宗旨為「成為 3D 數位模型世界第一之提供商」，故其強項即在雷射掃描之應用，實現精確、多方面的 3D 量測及模型製作，例如：使用多部或固定式但具 360°旋轉功能之 3D 雷射掃描器，以多視角來測量三維空間中之所有物體並獲得點雲，並獲得帶有座標精確位置相關數據，實現多時期狀況比對工作、3D-GIS、BIM 模型建立、虛擬/擴增實境、數位雙生、元宇宙等應用，並藉由調整點雲密度，可呈現更為精細之產出，應用場景包含城市、道路、橋梁及港灣設施和其構件(如圖 27)。

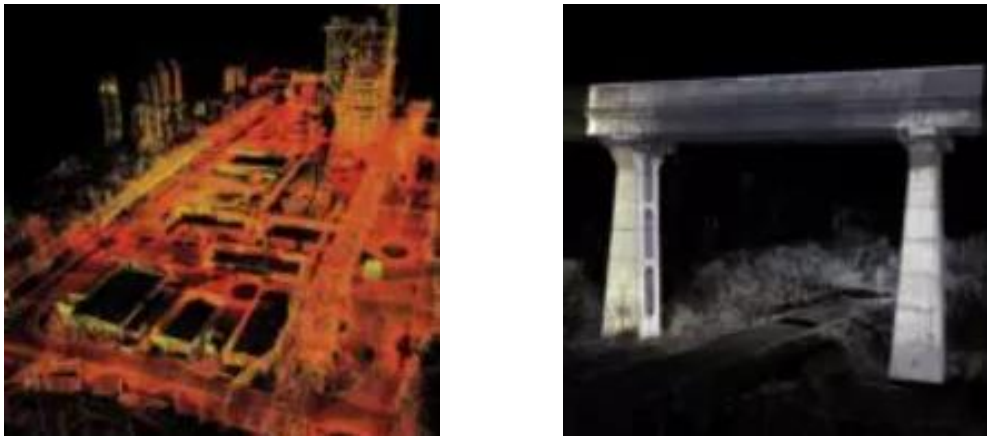


圖 27 3D 雷射掃描器產製之點雲模型

資料來源：Kumonos

<https://yokohamaport.co.jp/info/outline/>

除協助進行各項 3D 量測及數位模型製作服務外，Kumonos 公司亦代理或自行研發多項相關產品。

1. 便攜式 3D 掃描手臂

針對細微物件、精緻物品轉換為詳細 3D 數據而開發之機械手臂，一人即可進行操作(如圖 28)。

2. 移動測繪系統

整合車輛、船舶等交通工具，於移動時一併進行高精度三維測量之系統(內建 GNSS 接收器、慣性測量單元及高精度光學相機和雷射掃描儀)，

以實現迅速、高精度、高密度測量大範圍區域之工作，並可結合地面雷射掃描儀或無人機蒐集之數據，對於港區之道路、橋梁、隧道以及堤坊和消波塊等皆能應用。此外，對於狹小空間或地震災後車輛等不易進入之處，開發了輕便推車型和背包型量測工具，以便調查人員攜帶並進行相關工作(如圖 29)。



圖 28 便攜式 3D 掃描手臂

資料來源：Kumonos

<https://kumonos.co.jp/technology/pointcloud/3d/>



圖 29 移動測繪系統(左)背包型(右)推車型

資料來源：Kumonos

<https://kumonos.co.jp/technology/pointcloud/3d/idotai/>

3. 水下側掃聲納

用於高精度測量港口、河流等之水下結構體和橋墩表面，並自動執行一系列任務，將實際場景轉換為 3D 點雲資料(如圖 30)，而透過與 GPS 和運動感測器結合，可安裝於船側進行測量，也可在移動時或僅錨定時進行測量，依 Kumonos 公司介紹，該設備使用聲波進行測量，因此不易受到水中混濁的影響，即使在渾水或能見度為零的環境中也可進行測量。

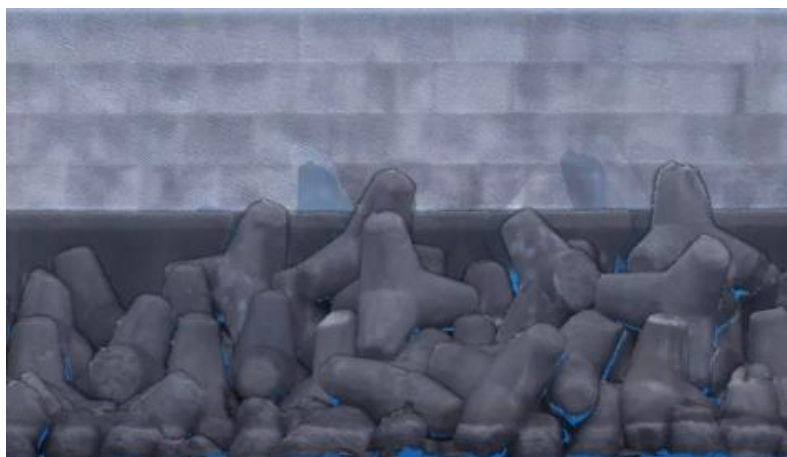


圖 30 水下側掃聲納取得消波塊之 3D 點雲資料

資料來源：Kumonos

<https://kumonos.co.jp/technology/pointcloud/3d/water/>

Kumonos 公司考量現有點雲數據等資料之儲存容量以及便於使用者日常查看，併開發雲端平台，利用邊緣運算技術，讓使用者可於瀏覽器中直接查看 3D 點雲模型資料，無需再搭建額外之系統或購買軟體。

3.2.2 非破壞性檢測

Kumonos 公司開發可以在 100 公尺內距離快速、準確地測量小至 0.2 毫米的混凝土裂縫之儀器，若於港灣設施上可用於重力式碼頭、防波堤以及其他混凝土設施之使用，該儀器利用 AI 影像判識技術，輔助人工調查可能產生之遺漏及誤判，並可智慧化判識出裂縫位置、長度及寬度且進行角度校正後自動展繪成平面 CAD 圖(如圖 31)。

此外，除利用光學相機，亦有紅外線測量方式進行熱成像並獲取溫度數據，AI 可以自動分析溫度數據，並提取超出標準溫差的區域，從而進行更準確、更快速的分析處理(如圖 32)。

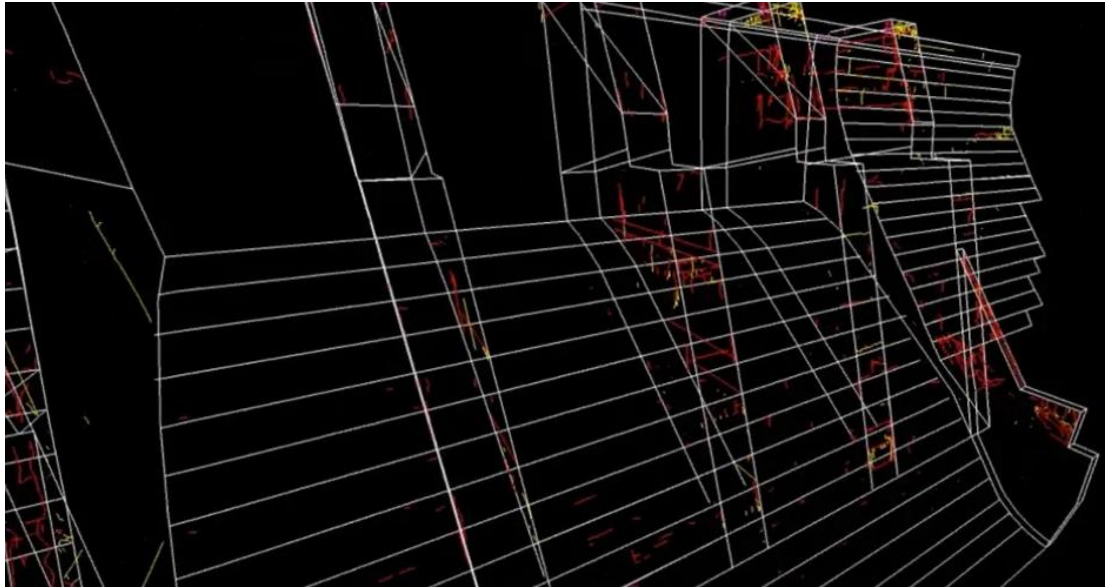


圖 31 裂縫量測後展繪成平面圖

資料來源：Kumonos

<https://kumonos.co.jp/technology/risksurvey/kumonos/>



圖 32 以 AI 提取超出標準溫差的區域

資料來源：Kumonos

<https://kumonos.co.jp/technology/risksurvey/thermo-delta/>

3.2.3 測深無線電無人遙控船

Kumonos 公司產品之一為一體式測深無線電無人遙控船，其配載 GPS 和聲納，因此無需進行設備安裝之準備，應用於河川、水壩、橋梁梁底區域之淺水區域(無波浪處)，深度測量範圍為 0.5m 至 80m，操縱範圍為 800m，電池續航力約 210 分鐘，總長度為 1,200 公分，重量為 16 公斤，因此可由一個人搬運，並可設定自動航線、目的地定位、自動返航，而在無法接收 GPS 的地方，可以使用配備 360°自動追蹤全站儀來獲取位置(如圖 33)。



圖 33 測深無線電無人遙控船

資料來源：Kumonos

<https://kumonos.co.jp/technology/devicesolution/relation/rc-s3/>

3.2.4 現場研習與交流

本次前往 Kumonos 公司之東京分部，並由船越亮執行董事和業務部主任賽松馮·肯·翁(Xaysomphone Khen One，直譯)協助安排訓練及交流(如圖 34)，主要針對 Kumonos 公司應用於港灣相關科技產品及實作案例進行操作說明、技術探討及資料研習，主要交流部分為：「水下 3D 測量儀器—BV5000」、「混凝土表面裂縫智能偵測儀器—AI·KUMONOS」，以下分別進行介紹。

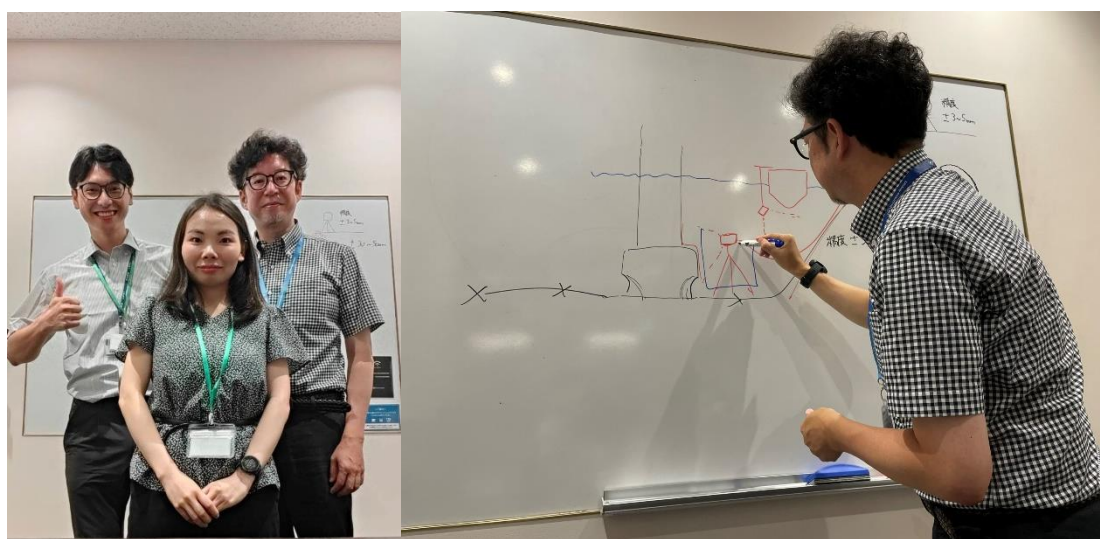


圖 34 與 Kumonos 公司人員合影及交流研習

1. 水下 3D 測量儀器—BV5000

針對港灣設施水下構件之檢測工作，過往多是以潛水人員目視進行，現今新興科技例如：ROV、ASV、AUV 和多音束等逐漸發展應用，除降低作業風險外，亦可減輕人力負擔並提高作業效率。BV5000 係 Kumonos 公司主力產品，為取得水中及地面高精度 3D 模型，相關應用於港灣設施案例亦被日本國土交通省收錄至「港灣の施設の新しい点検技術カタログ(案)」(中譯：港灣設施檢測新興技術彙編)出版品供各界進行借鑑。船越亮執行董事表示 BV5000 係以聲納技術進行 3D 模型成像，取得水中之構造物或地形高密度的點雲資料，於能見度較低之環境也能進行測量，若搭配地面雷射掃描儀即可獲得設施完整之數位模型，目前相關應用案例如：港灣設施中已用於混凝土岸壁之龜裂損傷探查、橋梁檢測水下基樁淘刷情形可視化等(如圖 35)。

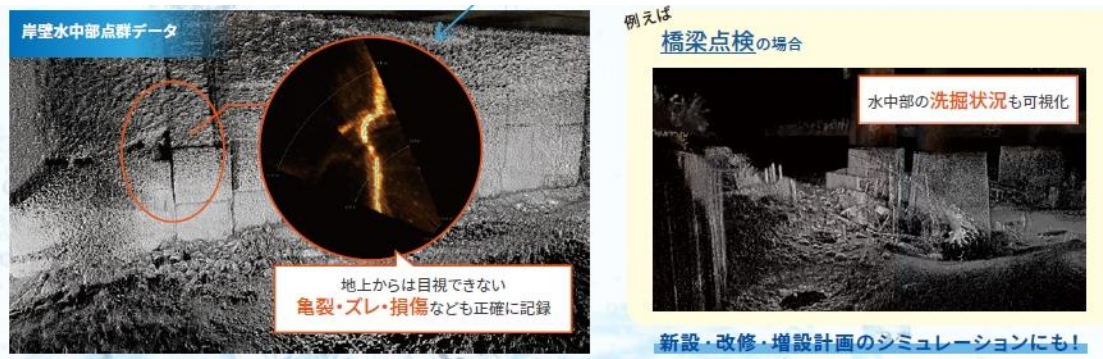


圖 35 BV5000 應用於水底設施狀況調查

針對水下測量部分，目前有兩種方法進行，分別為固定式及移動式(如圖 36)，固定式測量為 BV5000 搭配三腳架後沉入水中，以定點 360 度旋轉方式進行，量測半徑約為 20 公尺，視角約 42 度，依船越亮執行董事說明，實際作業上，單點量測約 6 分鐘左右即可完成，發射頻率最大可達 40Hz，之後就會將儀器拉上水面至下一點，此法較合適於測量狹小區域或如橋墩等柱體時，因為儀器僅重約 10 公斤，故單人亦能方便操作，然而，若要量測較寬闊之範圍，則可將 BV5000 搭配 GNSS 和 IMU 於船上進行移動式量測，或目前正研發安裝於 ROV 上之側掃聲納。

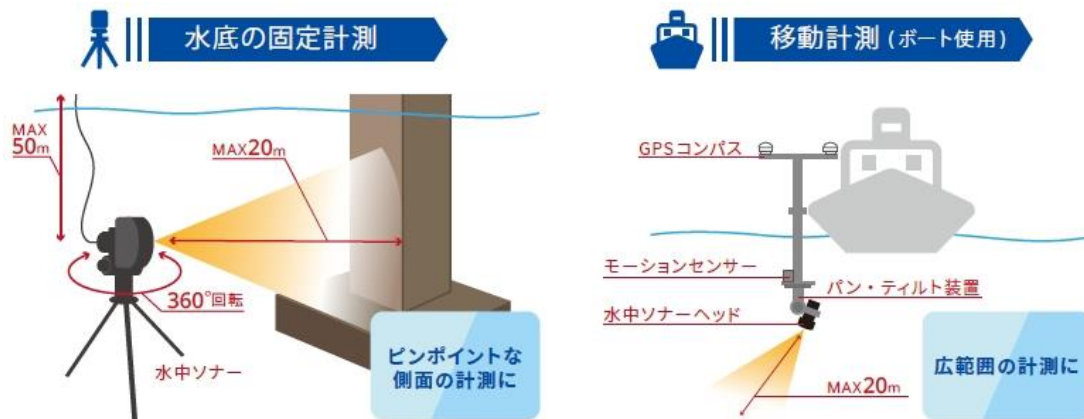


圖 36 BV5000 水下固定式及移動式量測示意圖

與船越亮執行董事交流 BV5000 過程，就教相關問題如下：

(1) 請問精度會受水中能見度影響嗎？

船越亮執行董事回答：

BV5000 配備高解析度聲納(1.35MHz)，即使能見度為 0 也可進行測量作業，精度受點雲密度影響，故若需要得到更高精度點雲數據，則

可安排對單一物體更多固定點不同視角來進行測量工作。

(2) 請問是外接電源？還是以電池方式供應能源？

船越亮執行董事回答：

BV5000 輸入電壓為 AC100V~AC240V，利用岸上外接電纜進行電源供應，電纜長度最大為 50 米。

(3) 請問若要呈現資料展示(如圖 37)之成果，整體作業時間約需多久？

船越亮執行董事回答：

這個問題涉及到設施範圍大小、操作人員數量、欲取得精度要求以及地面光達和水下聲納搭配方式等，若以資料呈現成果約碼頭之一個單元來說，您可看到圖 37 上有一圈一圈的部分即是我們佈放儀器的點位，依前述一點作業時間約為 6 分鐘左右，加上前置作業和移動時間，約略 1 小時內即可完成。

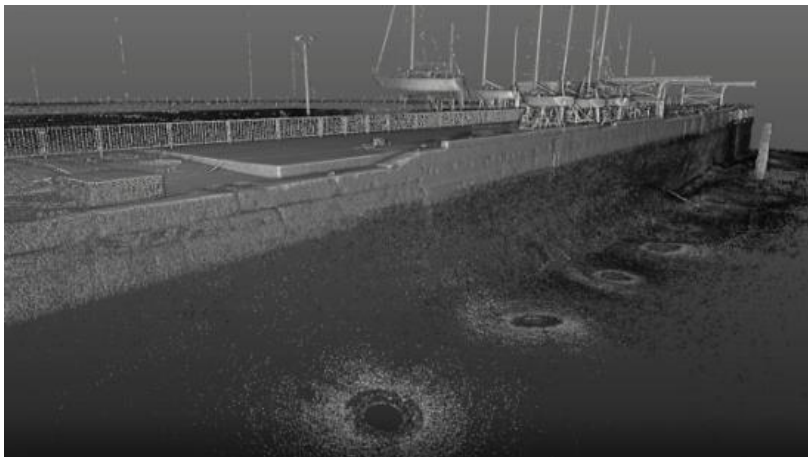


圖 37 BV5000 取得碼頭設施之點雲資料

(4) 請問 ROV 搭載 BV5000 的部分是否可再更多補充？

船越亮執行董事回答：

ROV 搭載 BV5000 目前因為尚在研發測試階段，故無法提供資料及成果展示，十分抱歉，然而，目前我們在進行測試之應用場景之一為地下水道整體之 3D 建模，由人員手持遙控器進行量測。

2. 混凝土表面裂縫智能偵測儀器—AI·KUMONOS

KUMONOS 公司針對港灣內重力式碼頭、防波堤、橋梁等混凝土設施自主開發表面裂縫檢測儀器「KUMONOS」，並獲得專利及日本國土交通省授獎，船越亮執行董事說明 KUMONOS 儀器可從遠處高精度測量混凝土表面裂縫之寬度、長度和位置，在距離 100 公尺之情況下，能準確測量寬度達 0.2mm 的裂縫，故即使在需要臨時鷹架之高空作業或在裂縫調查困難的地方，亦可進行安全且可靠的裂縫量測，並可自動進行角度校正後，將所取得之資料經由影像處理軟體進行合成並繪製 CAD 圖(如圖 38)，大幅縮減現場作業天數，依經驗，一天約可完成 2000 平方公尺範圍之量測工作。



圖 38 使用 KUMONOS 儀器量測及後續進行影像校正、拼貼流程

而在人工智慧(AI)應用之部分，船越亮執行董事表示在過往工作，取得以上精編修處理之 CAD 圖後，會由專業人員利用電子裂縫量尺，從圖面上進行裂縫長度和寬度之標註，並輸出成果圖(如圖 39)，而此部分仰賴專業人員對裂縫之判讀，故有可能會出現人員經驗上或細心程度不同，導致會有誤判、遺漏等差異，使成果圖輸出上有所差別，使用 AI 則很好的解決此問題，只要將正規化之影像輸入經訓練後之 AI 模型，即可獲得品質一致之成果，消除人為差異，也因為 AI 模型之快速判識，即使是裂縫較多的結構物，也可以輕易且準確地計算出裂縫數量和描繪出裂縫之形狀尺寸變化，大幅節省人力及時間。

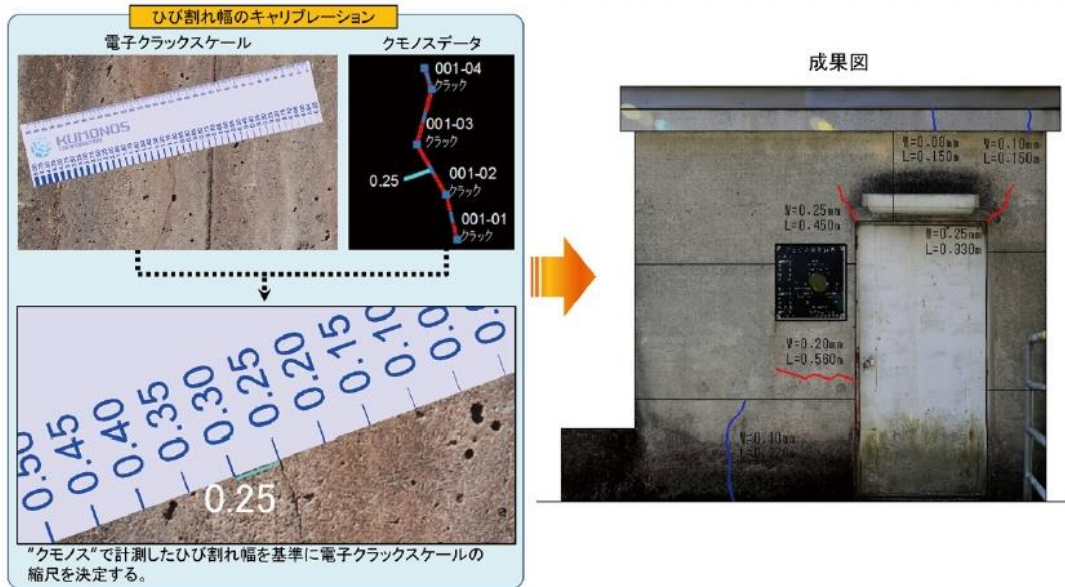


圖 39 以電子量尺於圖面上量測後標註裂縫尺寸

與船越亮執行董事交流 AI·KUMONOS 過程，就教相關問題如下：

(1) 據了解 AI 需要許多的資料來做訓練，資料來源都是從你們公司自己蒐集來的嗎？

船越亮執行董事回答：

是的，皆是我們過往應用 KUMONOS 針對混凝土裂縫進行量測後所積累而來之資料，我們在各類設施上幾乎皆有相關實績及案例，目前約累積 600 例以上之工程。

(2) AI 模型之訓練、驗證及調整等工作是由你們自行進行？

船越亮執行董事回答：

沒錯，我們有一個團隊主要進行 AI 相關工作，團隊人員主要位於我們公司的神奈川分公司。

(3) 目前 AI 之判識精度如何？是否已實地應用於現地測試？

船越亮執行董事回答：

影響 AI 判識精度之原因有幾個，例如：進行裂縫量測時，距標的之遠近、角度、光影和牆面顏色等，隨著背景顏色變暗，裂縫的測量精度會下降，但最多仍可以從 140 公尺外測量寬度超過 0.2mm 的裂縫，

還有人員現場操作方式以及影像處理及校正之精細度等等。雖目前利用最先進的 AI 技術，可從影像中檢測出小於 0.10mm 的微細裂縫，然仍無法完全檢測到所有的細節，故「AI-KUMONOS」會在最終階段，由技術人員協助進行目視確認，以防止檢測遺漏。不過藉由 AI 的支援，已經大幅提高了人力的準確性和速度。

(4) 成果圖面上顯示之不同顏色之裂縫代表何種意義？

船越亮執行董事回答：

顏色表示裂縫寬度之不同，以下成果圖(如圖 40)為例，藍色表示裂縫寬度在於 0.2mm 以下、紅色表示裂縫寬度在於 0.2~0.3mm 之間、綠色表示裂縫寬度在於 0.3mm 以上，當然也可因應規範要求或自身不同需求來調整顏色意義，像是多年期調查時，可用一種顏色代表今年度調查，另一種顏色代表明年度調查之裂縫諸如此類，主要目的就是區分用。

【成果例】

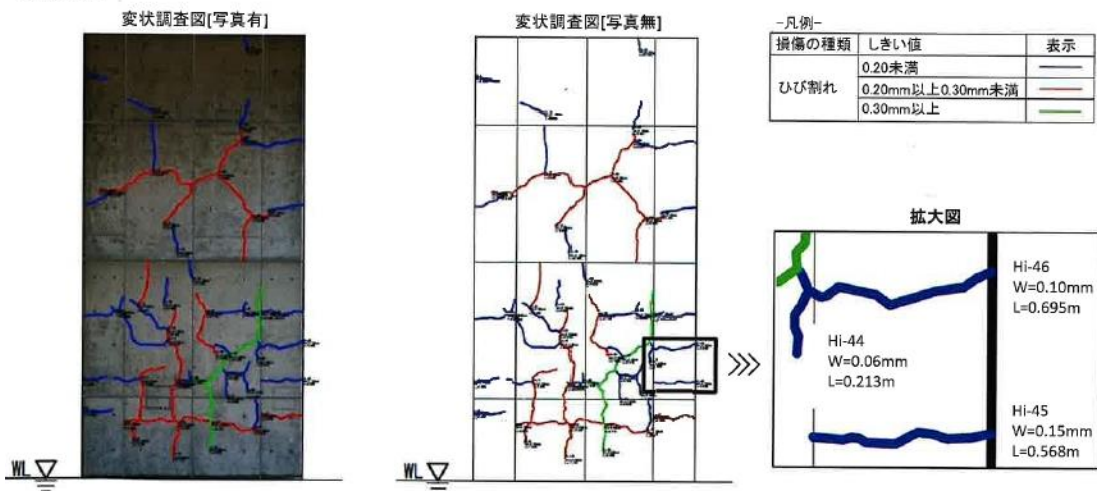


圖 40 裂縫量測成果圖面上顯示之不同顏色之意義

3.3 東京測振公司

3.3.1 地震量測

東京測振公司以地震監測和防災系統設備之設計、製造、銷售、安裝和量測為主要業務，並針對蒐集之振動數據進行各項分析，除日本國內，其於臺灣亦有相關代理商，製造之地震儀器並已獲得我國中央氣象署地震計測試認證，於臺灣高鐵公司、交通部運輸研究所等政府機關皆有實際監測使用案例。

東京測振公司開發之地震儀依監測目的主要可分為單軸向和多軸向之位移計、速度計、加速度計和多種複合式，依照應用場景分為地表式、地下式、鑽孔式、磁吸式和特殊型式，並且依照任務目的有不同之接送波段頻率和範圍選擇，並以多部串聯方式實現全範圍之振動數據擷取(如圖41)。

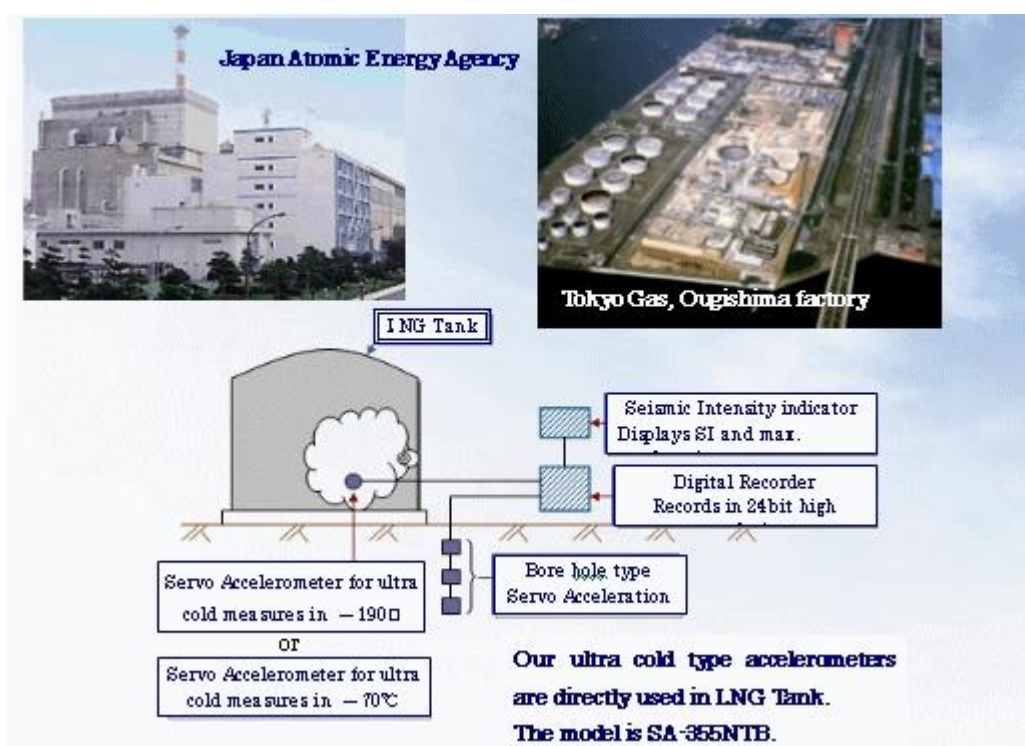


圖 41 地震監測儀器應用場域及串聯方法示意

資料來源：東京測振公司

<https://to-soku.co.jp/en/case/index.html>

另外，對於港灣設施而言，海底地震及其所衍伸之海嘯等災害極有可能造成變形、倒塌等財產損失，更甚者，威脅港口從業人員之生命安全。目前東京測振公司為了實現海底地震監測，開發了適用於海洋地底結構和地震觀測之自浮式海底地震儀，其深度可達 6,000 公尺，並可實現 3 個月以上之海床振動量測，內置無線電發射及接收器，於收到相關信號時可自浮至海面，並藉交通船前往回收機體(如圖 42)。

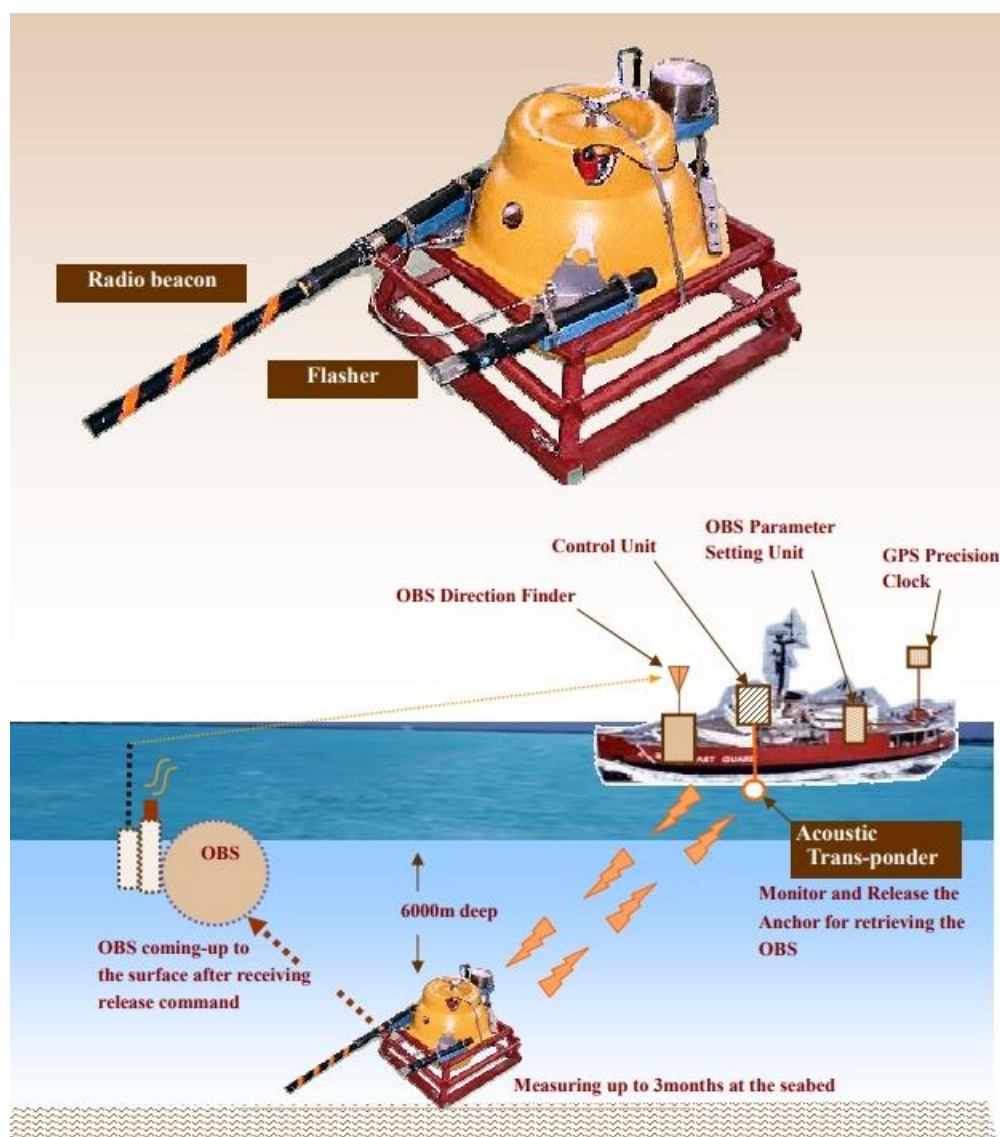


圖 42 海底地震儀

資料來源：東京測振公司

<https://to-soku.co.jp/en/products/oceanbottom/index.html>

3.3.2 現場研習與交流

本次前往東京測振公司，由竹內向治社長率隊，並由營業部石井誠壽部長和金井拓朗主任協助安排訓練及交流(如圖 43)，主要針對東京測振公司之「便攜式地震整合監測系統—SPC-52/VSE15D6」、「深海地震監測儀—TOBS-24N」產品及實作案例進行說明、技術探討及資料研習，此外，尚安排東京測振公司之產線、測試實驗室及設備維修廠區參觀，惟後面現場參訪涉及機敏，故無法進行拍照記錄。以下針對便攜式地震整合監測系統及深海地震監測儀交流資料進行整理及說明。



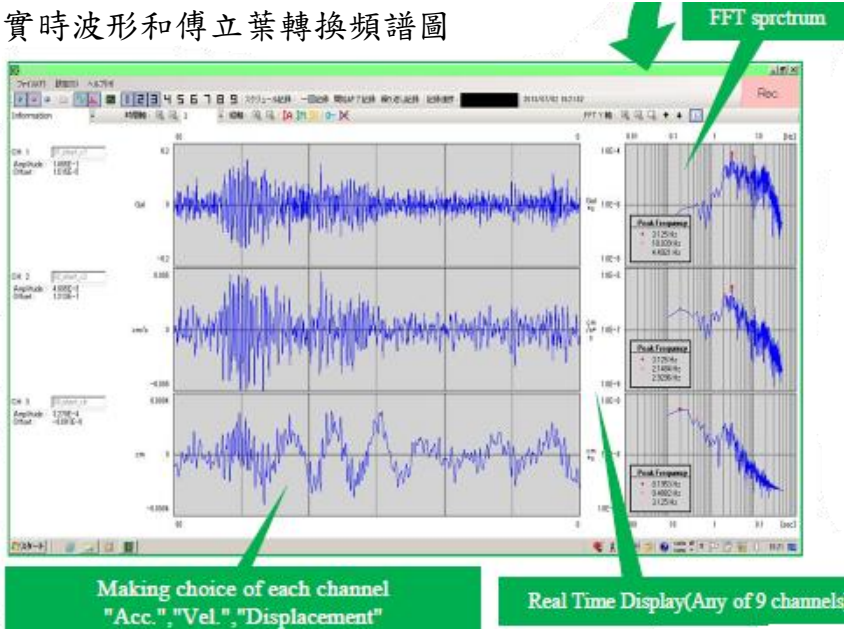
圖 43 與東京測振公司人員合影及交流研習

1. 便攜式地震監測整合系統—SPC-52/VSE15D6

SPC-52 則為結合筆記型電腦之監控模組，可同時顯示最多 9 個通道之「加速度」、「速度」、「位移」不同向量值，並可直接顯示經傅立葉轉換之頻譜圖，讓人員能隨時隨地且更有效率解讀震動資訊，相關細部規格參數如表 4。

表 4 東京測振公司開發之 SPC-52 規格參數

項目	規格參數
外觀	 <p>圖片來源：https://www.to-soku.co.jp/products/portable/index.html</p>
轉接端	
通道	9 個
範圍	±10 v(相當於±10 cm/sec)、單端輸入
內置放大倍率	x1、x2、x4、x8、x16、x32、x64
分辨率	128 dB
採樣頻率	100、200、250、400、500、800、1000 Hz
外接電源	AC 100~240 v
內置電池	鋰電池(續航時間約 5~7 小時，依通道配置而定)
運作溫度	-10°C~50°C
尺寸	424 mm(寬) x 332mm(長) x 111mm(高)
重量	約 5.3 kg
PC 端	
螢幕尺寸	12.1 inch
紀錄模式	定時、手動

輸入範圍	±10 cm/sec
加速度計算範圍	±1256 Gal
位移計算範圍	最大 31.8 cm
展示介面	<p>實時波形和傅立葉轉換頻譜圖</p> 

VSE15D6 係東京測振公司所開發之速度監測儀，目前已廣泛應用於結構物晃動監測、微振量測、地震監測等工作上，並提供高精度的測量，相關細部規格參數如表 5。

表 5 東京測振公司開發之 VSE15D6 規格參數

項目	規格參數
外觀	 <p>圖片來源：https://www.to-soku.co.jp/products/servo/index.html</p>
頻率	0.1~70 Hz
方向	水平及垂直

範圍	±10 cm/sec
解析度	小於 2x10 ⁶ Gal
動態範圍	大於 140 dB
運作溫度	-10°C ~ 50°C
尺寸	55 mm(寬) x 69.5mm(直徑) x 72mm(高)
重量	約 350 g

金井拓朗主任針對實務上 SPC-52 搭配 VSE15D6 如何進行串聯組成便攜式地震監測整合系統(如圖 44)，以及其於傳輸上之限制進行深入說明，因本所港區地震監測研究亦有應用東京測振公司之相關產品，故於過程亦和東京測振公司人員交流在臺灣港區應用之實際情況。

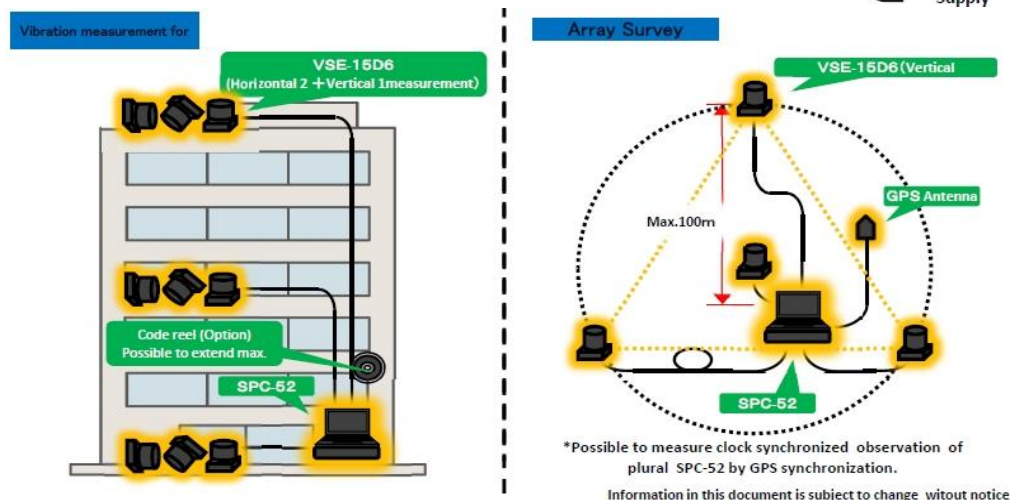
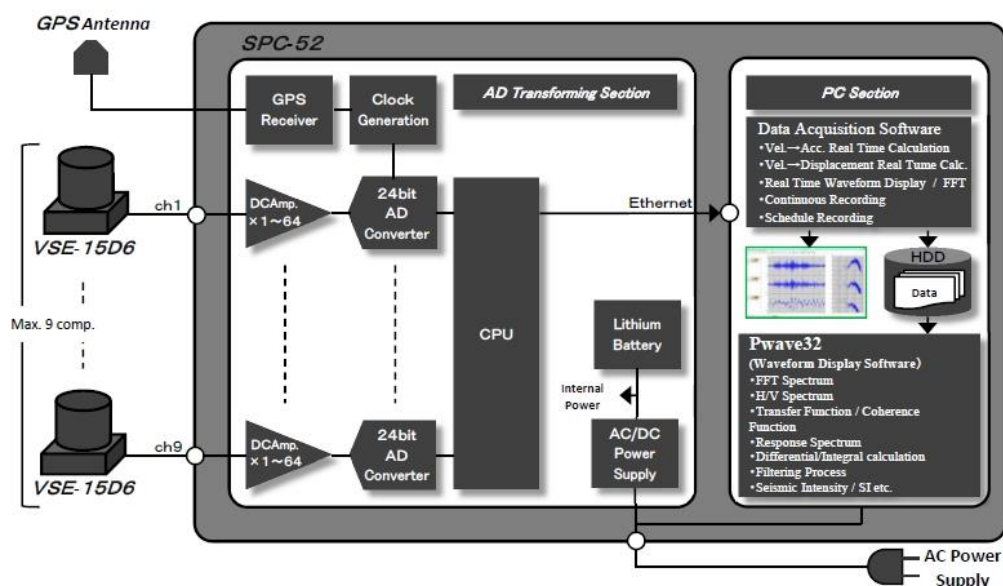


圖 44 便攜式地震監測整合系統串聯示意

(1) 如何減低誤判(例如：將施工或車輛行駛引致之振動當作地震等)機率？

竹內向治社長回答：

建議若做為設施監測以確保於強震下之安全性，可調整儀器靈敏程度，或透過接收之振幅和波形篩選機制來解決，而於新設置時可能需先針對欲放置環境進行影響評估等。

(2) 貴公司除了於地震監測硬體設備上之投入，是否有在 AI、大數據等資通訊軟體應用進行開發？

竹內向治社長回答：

目前我們致力於開發各式環境例如：地表、地下、鑽孔、磁吸和特殊型式之振動監測儀器，並依照不同目的和環境等因素，提供專業之配置方案，而在軟體部分據了解已有其他單位使用我們設備進行加值應用和服務，我們本身僅專注於採集設備之研發。

2. 深海地震監測儀—TOBS-24N

因應本所目前地震及海氣象相關研究業務，本次與東京測振公司交流過程連帶詢問有關深海地震監測之專業見解，並請其協助介紹深海地震監測儀—TOBS-24N。金井拓朗主任表示 TOBS-24N 主要分為上下兩部分(如圖 45)，上半部由通訊模組、監測模組、儲存模組、電源供應模組等組成，主要設備內置於耐壓玻璃球體中，下半部則為支架及秤陀，用以讓儀器順利下放置欲監測底床，並避免遭遇海流使儀器傾覆，上下半部之間則利用金屬進行連接，待探測任務結束後，會啟動裝置進行通電，以燒毀上下半部之連結，使耐壓玻璃球體能上浮至海表面，並持續發送無線電信號和閃光，讓船舶可以發現儀器所在並打撈回收後取得觀測資料，相關細部規格參數如表 6。

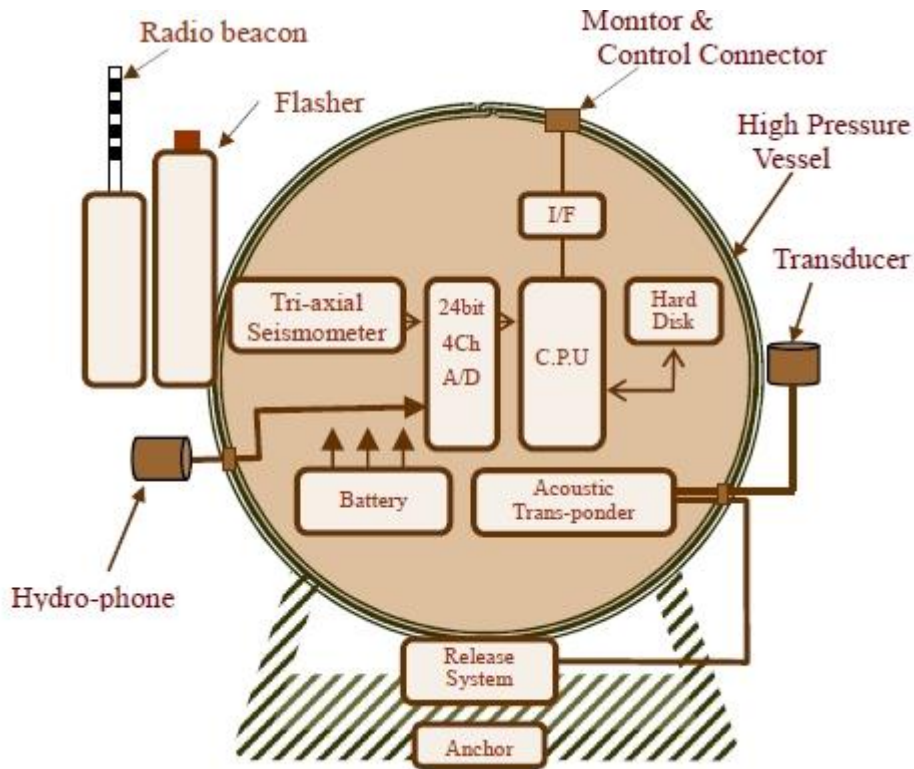



圖 45 TOBS-24N 組成構造

表 6 東京測振公司開發之 TOBS-24N 規格參數

項目	規格參數
外觀	 <p>圖片來源：https://to-soku.co.jp/products/oceanbottom/index.html</p>
耐壓玻璃球體尺寸	外徑 43.2 cm、內徑 40.4 cm
支架及秤陀尺寸	65 cm(長、寬)、25 cm(高)、35 kg(重)
地震監測儀	三向監測、速度型、靈敏度 0.41 V / (cm/s)
其他模組	儲存(40 GB 硬碟)、電源供應(鋰電池、30 Ah、電力消耗待機時 3 mA、作動時 80 mA)、無線電(傳輸距離 20 km、頻率 41~44 MHz)、閃光燈、分離裝置、超音波釋放裝置

四、心得與建議

本次出國進修研究計畫日期由 113 年 7 月 19 日(星期五)至 7 月 28 日(星期日)，共計 10 天，此次前往日本進行港埠設施之維護管理機制、新興技術應用等議題交流和研習，心得和相關建議說明如下：

4.1 心得

日本和臺灣同屬島國，故港口在全球供應鏈以及區域和國家經濟成長上，扮演重要角色，然我們亦同樣面對例如：颱風、地震、海嘯及暴潮等諸多自然災害之頻繁侵襲，故港埠設施之維護管理及防災議題，有許多能相互借鏡和交流之處，這在與和本所業務性質相近之港空研進行研習過程深有體會，而針對未來之發展路徑上，氣候變遷之調適策略、數位轉型之創新科技、節能與減碳、環境共生與保育等擘劃，則是可以更多的去學習並思量如何納入我國未來港埠研究中，以朝智慧港埠邁進並應對當前和未來的挑戰。

現今少子化導致已開發國家面臨人力短缺課題，優先採用創新技術和管理實踐應用解決港埠各項維護管理問題，例如：無人載具、AI、數位雙生和先進資訊系統等，已是世界趨勢，本次前往 Kumonos 公司和東京測振公司進行參訪、技術探討及資料研習過程，對於瞭解港灣設施結合新興科技的巡查檢測方法頗具助益，此經驗亦能成為本所後續技術研發相關研究之參採並和國際進行接軌。

而這次安排日本東京都及橫濱市地區，參觀享譽國際之東京港和橫濱港，最令我印象深刻的是港市共生的和諧，港口在城市中絲毫不突兀，並能創造許多觀光價值，首先環港之便捷交通系統功不可沒，像是橫濱港之港未來線捷運、橫跨纜車(如圖 46)、東京港台場區之海鷗線捷運等，另外圍繞港區新建之著名飯店、遊樂園，亦吸引大量遊覽人潮，此外，活化石歷史文化價值之舊港區建物價值等等作為，都讓港口及都市發展互惠互惠，並帶來滿滿生機和活力。



圖 46 橫濱港跨港高空纜車

4.2 建議

1. 本出國報告整理之日本相關港灣設施維護管理制度、新興科技應用於巡檢等資料，可提供本所後續研究及相關港埠經營單位參採及借鑑。
2. 本次進修研習資料蒐集面向廣泛，未來仍有相當多議題可再深入探討，建議未來可針對部分題目進行研究，或再安排出國拜會專家學者及專業機關(構)，以獲取更多專業見解及經驗分享。
3. 此次出國交流單位人士皆為研究學者或技術人員，對英文之聽和說較為熟稔，故尚可用英文方式與對方進行溝通和詢答，惟日本畢竟非英文母語國家，有些時候仍會因為口音或是詞彙量使溝通不順暢，故仍需充實自身英文和第二外語能力，並於參訪前先蒐集充沛資料、做好功課，且建議使用新科技如 Google 翻譯、ChatGPT 等軟體輔助圖片翻譯、即時口譯等，以達事半功倍之效。
4. 因應轉型智慧港埠，建議未來可安排至新加坡、荷蘭鹿特丹等世界最先進港口之一進行港埠設施之維護管理機制、新興技術應用等議題交流研習和參訪。