

ISSN 1019-2603
111-035-7D15



Harbour Technology Quarterly Journal

港灣季刊

第121期

交通部運輸研究所

中華民國111年2月出版

港 灣 季 刊

目 錄

- 遙測技術在海洋環境管理之應用 1
李政達、蔡立宏、錢樺
- 感潮河段橋梁梁底檢測工具精進及測試..... 15
鄭登鍵、賴瑞應、林晨光、黃維信
- 港灣環境資訊網之風力波浪觀測資料即時快速品管 28
蔣敏玲、林雅雯、林珂如
- 花蓮海岸公路人定勝天路段之海岸防護探討..... 40
陳冠宇、劉俊志、蔡立宏、林雅雯、陳鈞彥、陳人玉
- 基隆港船舶斷纜事件之研究..... 61
何秉均

遙測技術在海洋環境管理之應用

李政達¹ 蔡立宏² 錢樺³

¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

²交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任

³國立中央大學水文與海洋研究所教授

摘要

近幾年隨著遙測技術的進步，遙測應用發展已經邁入全新紀元，為利於我國海洋與海岸管理者政策制定與決策，本研究針對遙測技術應用發展之現況，進行介紹與分類討論，透過比較遙測技術之類型、應用情形與案例探討，瞭解現存遙測技術的優點與限制，有助於解決未來臺灣海洋空間規劃與海岸遊憩管理之困難，本研究著重於建立遙測概念與多元化政策管理之架構模型，以提供後續海洋專業人員從事綜合規劃使用。

一、前言

臺灣海岸線長約 1,979 公里，根據內政部營建署 107 年 8 月 3 日公告「海岸地區範圍」辦理情形，濱海陸地面積 2,963 平方公里，近岸面積 10,773 平方公里(約佔臺灣陸地面積的 38%)，受地區性風力侵蝕、海流與波浪等影響，臺灣各地海岸地形各有差異，依據沿海地形大致可分為四類，1.北部海岸線為海積與海蝕地形交錯海岸，地形極富變化，如鼻頭角；2.西部海岸線呈現平直，屬沙質海底與海積地形，如新月沙灣；3.南部海岸線屬於珊瑚礁海岸，如墾丁龍坑；4.東部海岸線屬於蘭陽溪河口狀沖積三角洲，海積地形顯著，沙質海底分布，如蘭陽平原，如圖 1 所示。

海洋資源利用廣泛，從民生經濟、交通運輸、軍事救災與科學研究等用途相關，根據內政部營建署(106)國土計畫調查，臺灣以(1)漁業資源利用、(2)非生物資源利用、(3)海洋觀光休閒、(4)港口航運、(5)工程相關用途、(6)海洋科學研究與利用、(7)環境廢物排放或處理、(8)軍事和救災相關用途與(9)原住民傳統海域使用等用途最為常見，其中使用率最高之用途前兩項，為港口航運佔比 38.08%與軍事和救災相關用途佔比 28.08%，如表 1、圖 2 所示。人們對海的依賴有增無減，但隨氣候變遷、溫度上升、海水酸化、優養化、人類的活動(抓捕、過魚)、棲地破壞與環境污染等對海洋環境的改變及生物多樣性之骨牌效應、連鎖效應與加乘效應影響，生態功能喪失，使海洋處於被永久破壞的風險。因此，為建立海洋的使用秩序，避免海域範圍設置相互衝突，1970 年澳洲大堡礁海洋公園於自然保護的管理方法，提出海域空間規劃(Marine Spatial Planning, MSP)概念，演變至今已成為實現海洋經濟發展與環境保護雙重目標之作為，此外，海岸帶綜合管理(Integrated Coastal Area Management, ICAM)的概念亦被提出，諸多學者如：聯合國教科文

組織政府間海洋學委員會 William Ouellette、中國科學院戴民漢院士^[18]與臺灣海洋大學歐慶賢教授^[19]都為這方面專家並提出許多理念與建議。

表 1 臺灣海域土地使用現況表(內政部營建署 106 國土計畫調查統計)

編號	使用類型	面積(Km ²)	比例(%)
1	漁業資源利用	2731.62	5.96
2	非生物資源利用	1648.74	3.60
3	海洋觀光休閒	7.05	0.02
4	港口航運	17438.9	38.08
5	工程相關用途	3766.75	8.22
6	海洋科學研究與利用	24.24	0.05
7	環境廢物排放或處理	3310.97	7.23
8	軍事和救災相關用途	12860.1	28.08
9	原住民傳統海域使用	4009.57	8.75
	總計	45797.94	100.00



圖 1. 沿海地形(1)北部海岸 (2)西部海岸 (3)南部海岸 (4)東部海岸

(圖片來源：經濟部水利署)

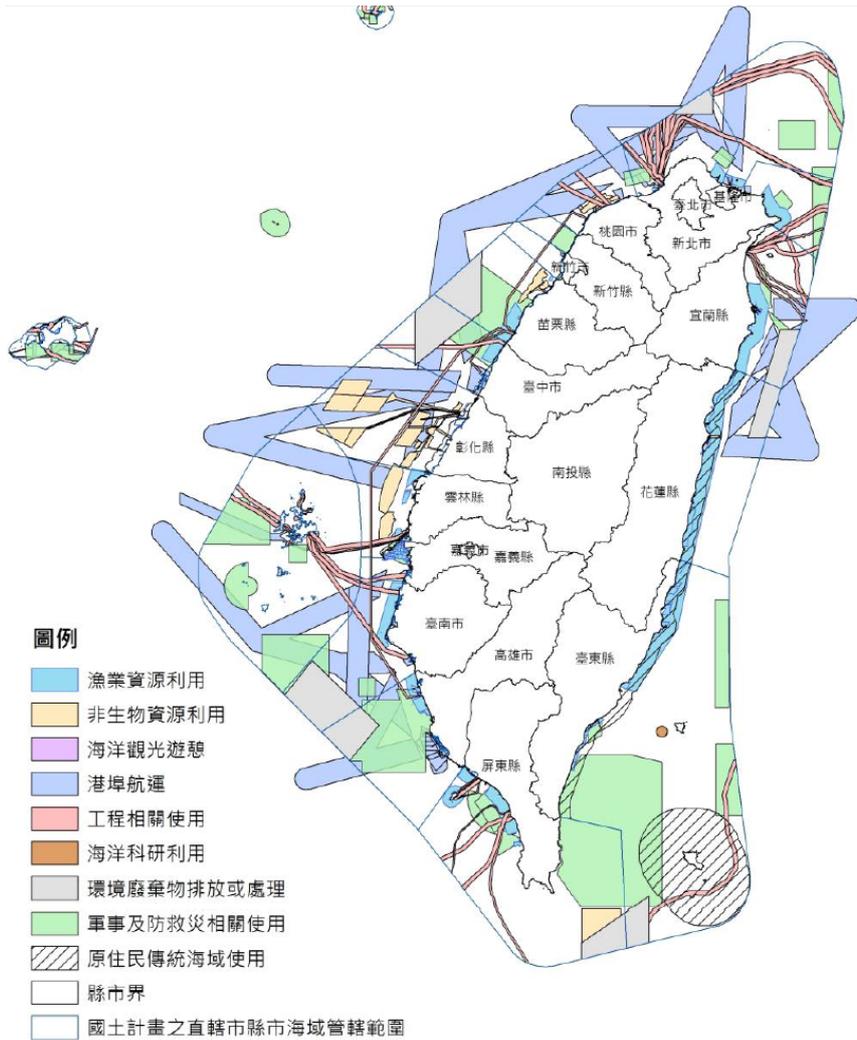


圖 2 臺灣海域土地使用現況圖(圖片來源：內政部營建署)

二、海域空間規劃與海岸帶綜合管理的定位

海域空間做為一個獨立於陸地以外的範圍，其空間規劃之技術方法與管理措施，尚未建構完整系統，特別是海岸帶綜合管理的極其複雜，故海域空間規劃需周全考慮海洋生態系統、海洋汙染問題與海洋資源開發等因子間平衡，前提須先了解臺灣海域規劃與管理所面臨的問題，以及海岸帶綜合管理的定位，才能統籌規劃海洋空間，提出正確的發展構想。

2.1 臺灣海域規劃與管理面臨的困難

臺灣海洋的利用管理或海洋事務，長期以來均分散於各相關部會，如漁業(漁業署)、交通運輸觀光(交通部)、環保(環保署)、能礦(經濟部)、國防安全(國防部)，國土規劃(內政部)等，雖各自有發展規劃與管理之實質業務單位負責，但尚未有統籌之專責單位，如表 2 所示，因此，遇到海域管理範圍重疊，或法規未明確劃分權責時，常導致無人管理與處置，這樣的問題直到 107 年 4 月 28 日海洋委員會成立才獲得改善，但仍尚未有海域規劃應用之單位，值得慶幸的是行政院推動向海致敬政策，使各部會積極辦理海洋政策，其中內政部業已積極推動海岸管理法與海

域管理法草案，將我國領海納入 MSP，且近期內修正國土計畫有關海洋資源地區劃設，以及推動海岸帶內水範圍，有助於提升 ICAM 之進步。

表 2 各部會法源依據與管理範圍

政府單位	法源依據	管理範圍
漁業署	漁業法及漁業法施行細則 野生動物保護法	漁業資源保護區 漁港碼頭與專用區域
交通部	水域遊憩活動管理辦法 發展觀光條例 商港法	海濱風景區 商港範圍
環保署	海洋汙染防治法	海洋棄置區
經濟部	礦業法(涉及海洋資源開採) 電業法(涉及離岸風電開發) 海堤管理辦法	海洋能開發範圍 一般與事業性海堤
國防部	國防法	軍港
內政部	國土計畫法 國家公園法 環境影響評估法	海岸保護區 國家公園
海洋委員會	海洋基本法 海域管理法	平均高潮線往海洋延伸之範圍內

2.2 海岸帶的綜合管理

綜觀來說，海洋政策繁複且問題多端，雖然海洋委員會成立，但漁業署業務並未納入海洋委員會，加上 MSP 與 ICAM 需求日益提高，未來仍需加強各相關單位必要之溝通和協調，可預見的問題尚存 4 個層面，包含(1)海洋政策制定、(2)海域空間規劃分工、(3)違法行為偵查與(4)其他綜合管理，如圖 3 所示。

儘管如此，也並非稍有涉及海洋之業務，便全盤以海洋委員會為主，例如，面臨海洋政策問題，無疑係以海洋委員會應當負擔制定責任，但若涉及國土部分，便不能忽視內政部營建署海岸國土之權責，以及其他單位管轄範圍；海域空間規劃分工方面，如何確認海域空間規劃範圍與開發使用的目標相符，比如離岸風力發電場的開發，劃設風力發電潛力場址時，必須保證劃定的範圍內，其風能量確實適合做為風力發電使用，故事前之調查工作，必須於場址公告核定前完成；另外海洋委員會海巡署雖可對於海上違法行為進行偵查與取締，但對於海岸陸地範圍卻超出其管制區域，仍有賴其他機關協助；至於其他綜合管理部分，業務之間也同樣面臨相同的情況，為了提高政府決策的效能，如能以遙測技術協助蒐集相關資料，提供政府機關做為管理判斷的依據，將是未來不可或缺的工具之一。



圖 3 MSP 與 ICAM 定位理念

三、遙測技術發展現況

基於健全實施監測與管制之需要，遙測係良好的監測工具，能廣泛的蒐集海洋信息，並承擔起至關重要的作用，故早在 1960 年間美國與荷蘭便開始重視並進行研究，直到 1972 年美國率先頒佈世界第一部綜合性的海岸帶管理法規(海岸帶管理法)，目前國外遙測技術應用已經相當蓬勃，本節將介紹國外 MSP 與 ICAM 的遙測應用框架，提供做為臺灣海洋發展遙測技術學習之借鏡。國外應用情形大致歸納為以下 5 項：(1)海洋污染與健康生態系統、(2)海洋自然災害、(3)海洋空間和使用(例如漁業與水產養殖)、(4)海岸與土地利用(例如城市化和農業利用)、(5)沿海人口動態監測。遙測根據不同載臺各自有不同技術的發展，常見載臺包括岸基(Shore-based)、船載(Ship-borne)、空載(Airborne)與星載(Space-borne)4 大類，此類遙測工具能協助政府機關進行海洋環境監測、環境保護與環境減輕、以及環境評估等工作。

第 1 項海洋污染與健康生態系統：遙測應用環境保育與科學研究，常見的項目有油汙擴散、藻華、海表面溫度(SST)、海水酸化、塑膠顆粒與水質量測；第 2 項海洋自然災害：遙測應用環境保育與工程應用較多，常見的項目包含洪水、海岸侵蝕、海平面上升、極端氣候、颱風湧浪、海嘯等監測；第 3 項海洋空間和使用：遙測能應用於海上船舶交通安全使用、離岸能源開發、漁業活動、海上牧場與水產養殖等；第 4 項海岸與土地利用：遙測應用於都市化活動調查、監控土地覆蓋情形、研究土地使用、開發近岸能源；第 5 項沿海人口動態監測：遙測應用於人口密度調查、統計人群統計社會指標與維持人類健康。上述整理如表 3 所示，以下說明遙測技術種類及其原理與遙測使用概況

表 3 需求及遙測應用

需求	環境		環境與社會經濟		社會經濟
遙測應用	汙染與生態系統	自然災害	海洋空間使用	海岸使用	人口問題
MSP/ICAM 應用項目	油汙擴散 藻華 海表面溫度 海水酸化 塑膠顆粒 水質 生物多樣性	洪水 海岸侵蝕 海平面上升 極端氣候 颱風湧浪 海嘯	定義環境經濟區 海上交通 離岸能源開發 漁業 水產養殖 海洋應用衝突	都市化 土地覆蓋 土地使用 近岸能源	人口密度 人群統計社會指標 人類健康

3.1 遙測技術種類及原理

本小節將說明遙測技術種類及原理，協助瞭解遙測關鍵技術之發展，以及做為臺灣未來面臨考驗時做為選用工作之參考，以下就合成孔徑雷達、光達、微波、水色、中解析度影像光譜、船舶自動識別系統、紅外線、可見紅外線影像輻射套件等原理進行說明。

1. 合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar 簡稱 SAR)

SAR 雷達係屬於微波成像雷達的一種，能獲的極高空間解析度，由於該波段可以穿透雲、雨、霧、濛的天氣，故不受天候影響，另微波成像技術不是直接取得影像，係利用虛擬成像原理，以載體高速飛行或繞行，藉由合成孔徑雷達快速的重複發射雷達波與連續接收雷達回波，經由反覆重疊能提升影像解析度，形成一幅戴寬影像，實屬於間接觀測的技術之一，如圖 4 所示。

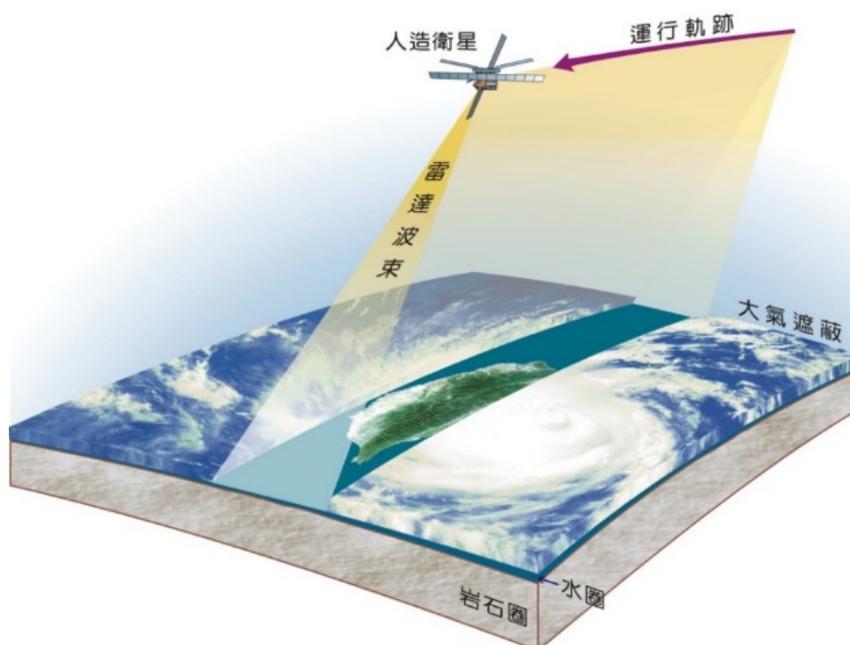


圖 4 合成孔徑雷達掃描示意圖 (圖片來源：經濟部水利署 270 電子報 <https://www-ws.wra.gov.tw/>)

2. 光達(Light Detection And Ranging 簡稱 LiDAR)

光達技術是一種光學遙感技術，利用雷射特性及雷射對焦成像原理，能對於觀測主體發射每秒數十萬次脈衝雷射，透過反射時間的量測，能進行地表高程量測，並描繪點雲影像資料，再利用影像觀察辨別地貌，屬於常見的測高技術之一，應用上有地形測量、地貌觀察、林相辨識等用途，如圖 5 所示。

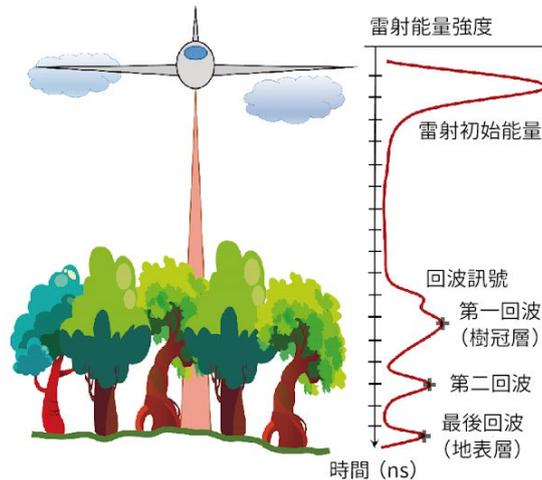


圖 5 光達掃描示意圖 (圖片來源：科技報導 449 期 http://scitechreports.blogspot.com/2019/05/blog-post_74.html)

3. 微波(Micro Wave 簡稱 MW)

微波是電磁波種類之一，常見於雷達系統，微波頻段介於 8.0-12.0GHz 之間，波長僅為 2.5~3.75cm，由於傳遞過程易受到天候干擾，造成微波對水氣的穿透程度、衰減率與折射率等因素影響，且微波能觀察的範圍窄小，如欲實現空間掃描，則需利用天線機械旋轉，使波束集成為平面範圍；此外，波束集中程度與天線孔徑及波長大小之比值有關，微波天線尺寸要足夠大，訊號才能集中，空間解析度才會高，此外，配合都卜勒理論基礎，透過接收海面之布拉格散射強度，能反演海象波浪的狀態，為航安與漁業服務提供波浪、海流等資訊，如圖 6 所示。

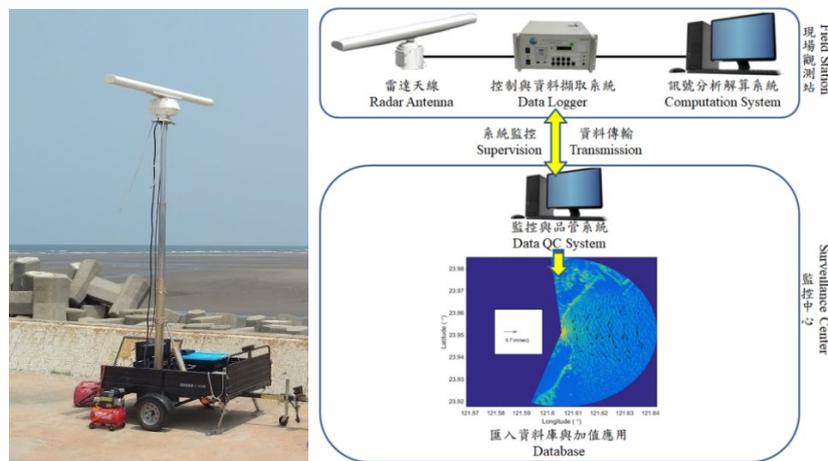


圖 6 微波工作原理 (圖片來源：<http://www.comc.ncku.edu.tw>)

4. 水色(Ocean Color 簡稱 OC)

海洋水色遙測是一種能觀測表層海水之新興探測技術，例如，水中懸浮泥沙與可溶有機物質可以吸收與反射光線，因此可藉由判斷光線顏色變化與強度，研判水質狀況與物質種類，或者利用浮游植物含有葉綠色特性，對反射綠光波段的光線特別強，藉此由水色遙感技術觀測浮游植物之濃度，據以判斷基礎生產力狀態，應用於環境水質監測與汙染調查等各項研究，適合用於全局視野監測使用，如圖 7 所示。

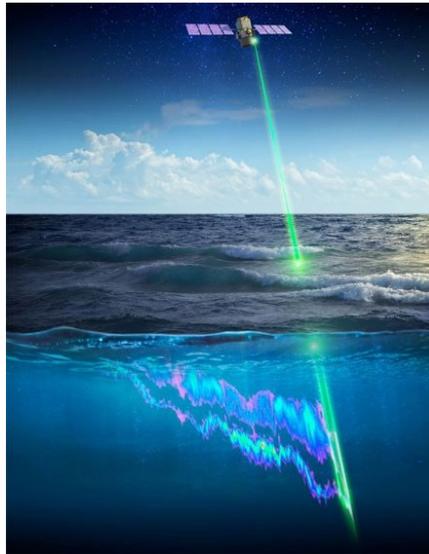


圖 7 水色遙測技術示意圖 (圖片來源：NASA <https://ciencia.nasa.gov/cinco-formas-en-que-la-nasa-ayuda-la-conservacion-de-los-tiburones>)

5. 中解析度影像光譜(Moderate resolution Imaging Spectrometer 簡稱 MODIS)

中解析度影像光譜為海洋水色遙測的進階技術，此為美國國家航空暨太空總署研發技術，該儀器支援 36 個光譜波段，波長範圍在 $0.4 \mu\text{m}$ ~ $14.4 \mu\text{m}$ ，影像解析度 250m ~ $1,000\text{m}$ ，依據不同光譜波段可觀測雲層與氣膠、海洋水色與浮游植物、大氣層水蒸氣、大氣溫度、海水表面溫度與雲高等，能提供大範圍觀測數據，如圖 8 所示。

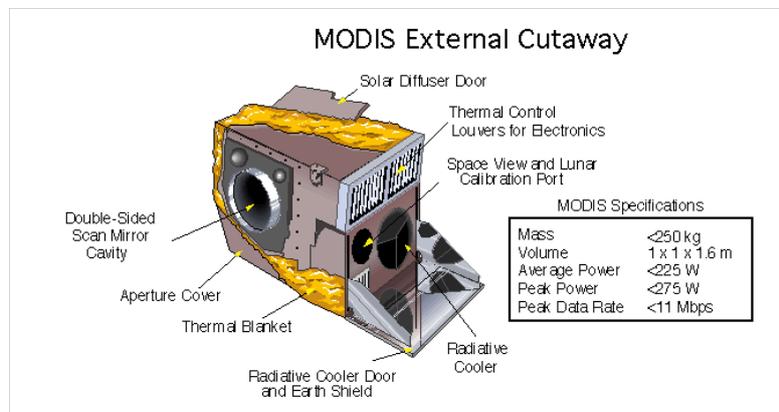


圖 8 中解析度影像光譜儀器示意圖(圖片來源：NASA <https://mcst.gsfc.nasa.gov/calibration/information>)

6. 船舶自動識別系統(Automatic Identification System 簡稱 AIS)

船舶自動識別系統主要概念是船舶靜態、動態與航程資訊紀錄，透過資訊的解碼與通信協定之間的互聯模式，將整個臺灣海域的船舶資訊即時整合至查詢資料庫中建檔，常見的靜態資訊有水上移動業務識別(Maritime Mobile Service Identity)、呼號、船名、IMO 號碼、船長、船種。動態資訊包含船位的時戳、航向、航速、轉向速率。航程資訊包含：貨物種類、船舶規劃計畫等，應用於船舶進出港信號台(Vendor Test Suite)管理、航行警告、協助船舶搜救與助航，能減少海難發生與提升海難救援效率，如圖 9 所示。

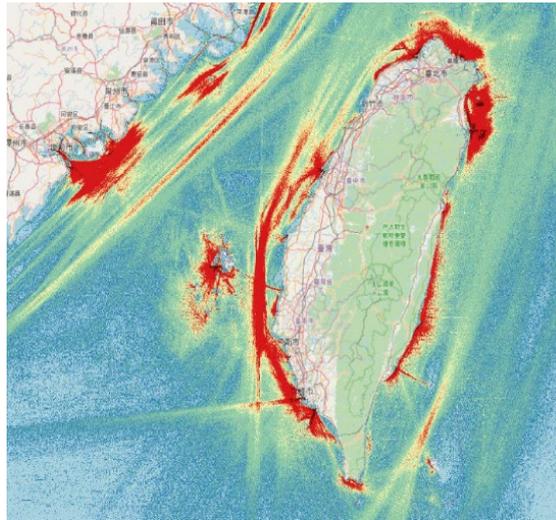


圖 9 臺灣海域 AIS 船舶航行熱點

7. 紅外線(Infrared 簡稱 IR)

紅外線遙測技術係利用紅外線波長約分布在 0.8 至 $100 \mu\text{m}$ 之間，落在水氣及雲的主要吸收範圍，因此，利用氣體分子吸收紅外線之特性，能比對紅外線吸收圖譜與標準圖譜，藉此判斷氣體種類，並利用比爾定律氣體分子吸收強度與氣體濃度成正比之關係，反演算光譜吸收強度可反推氣體濃度，紅外線影像空間解析度約 $4,000\text{m}$ ，如圖 10 所示。

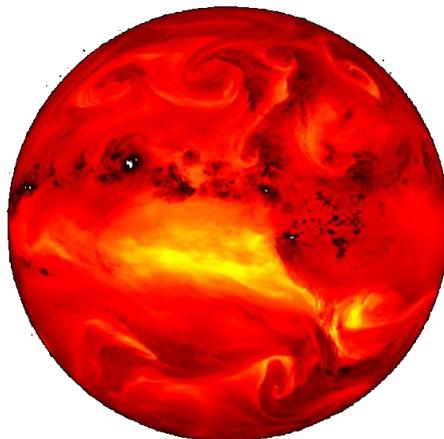


圖 10 地球環境衛星 GOES 紅外線假色照片 (圖片來源：NASA <https://apod.nasa.gov/apod/ap020323.html>)

8. 可見紅外線影像輻射儀 (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite 簡稱 VIIRS)

可見紅外線影像輻射儀，搭載 22 個波段，觀測波長在 $0.412 \mu\text{m}$ 至 $12.01 \mu\text{m}$ 之間，為美國繼中解析度影像光譜(MODIS)後開發的新技術，其中 16 個波段是中等解析度波段(簡稱 M 波段)，M 波段最低空間解析度為 750m，5 個成像 I 波段，I 波段最低空間解析度為 375m，及 1 個空間解析度為 750m 的日夜全色波段，如圖 11 所示，目前 VIIRS 已經廣泛應用於 GDP 空間分析(Zhao et al, 2017)、人口估算(Chen et al, 2015)、火災調查與火點偵測等研究。

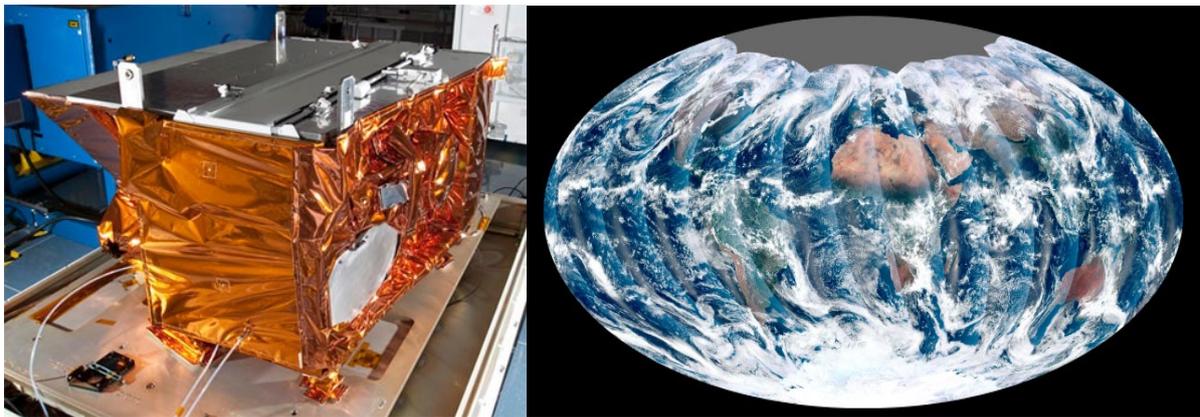


圖 11 美國 VIIRS 儀器(圖片來源：NASA <https://sciencesprings.wordpress.com/tag/nasa-earth-observatory/#jp-carousel-77672>)

3.2 遙測使用概況

前 3.1 小節雖已說明遙測技術原理，已能初步掌握遙測技術，但對於遙測使用概況尚未了解，為儲備未來所面臨考驗之經驗，本小節將探討國外關鍵技術之發展與使用情況，以做為未來各項決策工作之應用，以及評估做為海洋空間規劃管理使用，有關遙測應用框架與遙測技術使用情形說明如下，並整理如圖 12 所示。

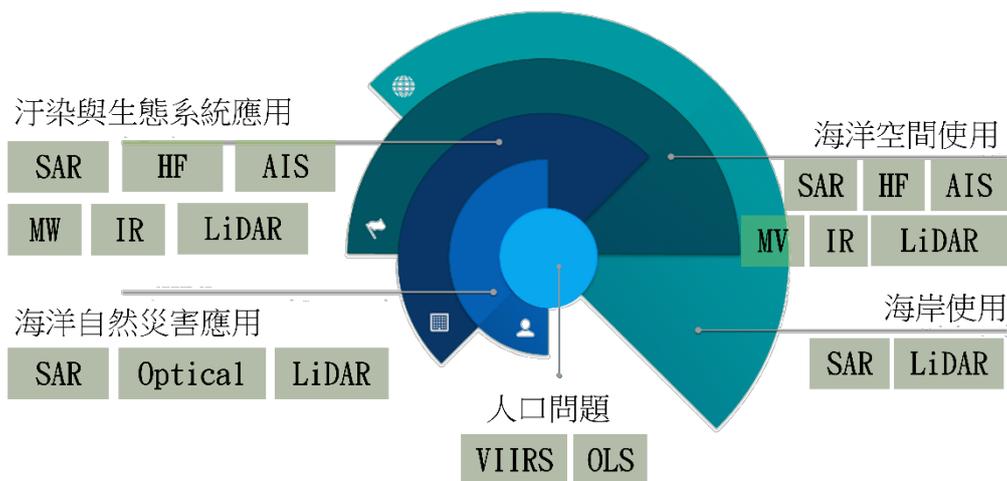


圖 12 遙測技術的使用情形

1. 污染與生態系統應用：遙測(RS)能填補海洋學與生態學的空白，利用調查初級生產力所需的參數，包括：葉綠素、海溫、海流等海洋生物多樣性的時空分布等物理變量，遙測可以瞭解

棲息生態系統的基礎狀態，常見的遙測技術有合成孔徑雷達(SAR)、光達(LiDAR)、微波(MW)、水色(OC)等技術。

2. 海洋自然災害應用：利用遙測評估當天然災害發生後災害損失，或海岸侵蝕海岸線推移的情況，常見的遙測技術有合成孔徑雷達(SAR)、光學(Optical)、中解析度影像光譜(MODIS)等技術。
3. 海洋空間使用：能利用遙測技術整合洋流與沿岸流優化海上運輸路線、促使能源開發及海洋保護。遙測技術能掌握上升流(upwelling)區域，並規劃箱網養殖場址，維持經濟與生物多樣性；此外，遙測技術應用於防止非法捕魚活動日益廣泛，例如：(1)全球海龜觀測(Turtle Watch project)能探測海龜存在的可能性，防止海龜過度抓捕、(2)美國非營利組織 IUU 開始監控船舶、(3)全球漁業觀測(Global Fishing Watch Project) 監視海域捕魚行為，加強查緝避免過度及非法捕撈。常見的遙測技術有合成孔徑雷達(SAR)、光達(LiDAR)、微波(MW)、船舶自動識別系統(AIS)及紅外線(IR)。
4. 海岸使用：常見於城市化調查、農業用途使用、開發陸上能源，常見的遙測技術有合成孔徑雷達(SAR)、光達(LiDAR)、光學(Optical)。
5. 人口問題：透過遙測調查夜光觀測數據能統計人口分佈與城市的大小範圍，並探討陸地、海洋和人口的相互作用，常見的遙測技術有可見紅外線影像輻射套件(VIIRS)或作業化掃描系統(Operational line-scan system 簡稱 OLS)等技術。

四、遙測技術的挑戰與機會

臺灣遙測技術發展於氣象領域、國土與林相調查已經相當成熟，但從事海洋相關行業較不普遍，例如，應用於臺灣周邊海洋環境，蒐集海洋空間與海岸遊憩管理等資料數據，尚存挑戰與機會，目前已知臺灣周邊應用案例，包括：南灣珊瑚礁白化研究、綠島引致的海洋渦旋、北海岸沿岸逆流、蘭陽溪葉綠素濃度、東沙內波等。(1)南灣珊瑚礁白化研究機會，利用向日葵 8 號衛星與 CODAR 雷達掌握南灣礁石流場，渦流何時發生、渦流路線，以及渦流消散與何時傳播出海灣，可藉此推估葉綠素 a 與評估珊瑚白化程度；(2)綠島引致的海洋渦旋，利用 SPOT-7 衛星觀察探討綠島周邊不同的黑潮撞擊流速導致之島嶼渦旋效應，透過影像可以計算島尾渦旋的尺寸，並透過向日葵衛星葉綠素濃度去驗證島尾渦旋，與計算出黑潮的撞擊速度；(3)北海岸沿岸逆流研究，於宜蘭灣發生北臺灣沿岸回流與黑潮交界不穩定的問題，特別是發生在蘭陽溪雨季(10 月)導致海面葉綠素濃度增加，以及受到退潮的影響，葉綠素可傳遞至東海岸黑潮的海域，形成一海洋的交界面，此水團運動已可藉由衛星觀測水體之連續變化觀察，但流場鹽度、葉綠素濃度與海流尚有討論空間，期待未來有更多遙測數據佐證定論；(4)東沙之內波現象可利用合成孔徑雷達觀測，直接觀測內波行為，但光學衛星需要足夠的空間解析度，科學家透過衛星資料可間接觀測到內波與葉綠素的變化；綜觀目前為止，衛星遙測已能觀測 SST(海表面溫度)、SSS(海表面鹽度)、SSC(海表面流)、Chlorophyll(葉綠素濃度)、風速與降雨率等目標。

許多國際頂尖之全球計畫正在持續進行中，例如：「地表水和海洋地形任務計畫(Surface Water and Ocean Topography, SWOT)」、「ESA 哥白尼全球環境和安全監測計畫(Copernicus)」。

海洋圈面對未來海洋 10 年的課題，包括：(1)海洋污染、(2)保護與恢復生態系統與生態多樣性、(3)全球人口、(4)持續公平的海洋經濟、(5)增加海洋防災的抵禦能力、(6)擴大海洋觀測系統等，此課題對於決策與管理規劃產生直接影響，總結歸納研究海洋變量挑戰包含 5 個部分，包含：連續性、可靠性、分辨率與覆蓋範圍、知識差距與制度障礙等挑戰，說明如下：

1. 連續性挑戰部分，某些時刻海上觀察儀器可能因突發狀況而被迫中斷，在尚未修復之前，蒐集數據方面將有所缺漏，此對於只依賴監測應用程序可能會是個問題，故不應過度依賴單一設備或特定觀測儀器，必須運用其他備用手段因應，以確保資料的持續蒐集，國際合作是其中的解決方案之一，例如：部署浮標與利用志願船舶觀測，或者利用衛星能提供全球覆蓋的觀測，分享與共享機載遙測飛行資料，不論任何時候儀器故障時，能有效切換與彌補資料遺漏，提高數據覆蓋率；運研所港研中心目前於港區，利用補遺技術彌補遺漏之海氣象資料。
2. 可靠性挑戰部分，對於大多數遙測應用而言，都面臨經歷數據校正與驗證過程，故可以確保遙測數據的可靠程度，例如：對於雷達、SAR 與星載測高等技術而言，可靠程度並非問題所在，其因遙測觀測波段幾乎不受雲霧和大氣干擾之影響，且雷達應用於軍事與電信方面歷史悠久，其信號處理方法已經非常完善，故可得到良好之觀測結果；但光學遙測系統部分，許多觀測數據遭受雲霧遮罩，故大氣校正演算方法等問題尚待改進外，在海洋水色技術，於懸浮顆粒、溶解有機物與水質濁度之校正與驗證範圍之外，仍然受到限制；如果利用遙測評估土地覆蓋程度，其可靠性與準確性仍取決於校正與驗證數據之質量，因此，如何確保臺灣遙測品質，亦是所面臨的挑戰之一。
3. 分辨率與覆蓋範圍挑戰部分，儘管遙測於時空分辨率已經取得很大的進步，對於氣象模式已經解決一些問題，但仍須不斷尋求更高解析度之改進空間。運研所目前建置高解析度港灣波浪模式，利用智慧資料同化技術，以求得更準確之預測數據。此外，海域沿岸遊憩需求增加，國家海洋研究院統計海域遊憩使用情形，潛水活動佔 60%、游泳佔 21%、岸際親水佔 10%、載具觀光(賞鯨船、玻璃船)7%、浮具運動(SUP、獨木舟)2%，如圖 13 所示。因此，為提供安全海域遊憩環境，發展全球覆蓋調查，已是遙測領域公認之目標之一，為提高空間分辨率與更高頻率的全球資料覆蓋範圍，需要透過政府、學術與民間機構積極展開國際合作，強化國與國之間的儀器能彼此相互支援，甚至與國外私人公司合作。目前執行中之國際合作包括：地球觀測群組(GEOSS)，側重於國際星載地球觀測網絡、全球海洋觀測系統(GOOS)、歐洲海洋觀測和數據網絡(EMODnet)，全球環境和安全監控(GMES)等，私人公司提供服務，諸如 Google 公司收購衛星攝影 Skybox Imaging，加強地圖功能，提供次米級(sub-meter)的影像服務，應用服務遍及農作物監測和病蟲害、石油儲存、追蹤船舶等能分析供應鏈。
4. 知識差距挑戰部分，由於遙測技術不斷推層出新，使用層面更加廣泛，例如：遙測領域與生物多樣性和生態學應用結合，需時間進行開發，以及更新各項量測儀器，因此更講求操作與研究人員對於儀器熟練度；另外，遙測數據需多方校正與驗證，許多監控巨量數據資料龐大，

尚需進一步驗證，必須更加以釐清及確認，以提供後續發展應用。

5. 制度障礙挑戰部分，有些開發中國家政府很少依賴遙測數據，例如非洲國家政府資源不足，無法提供遙測基礎設施，且研究人員培訓不足，相關制度需健全以為因應。

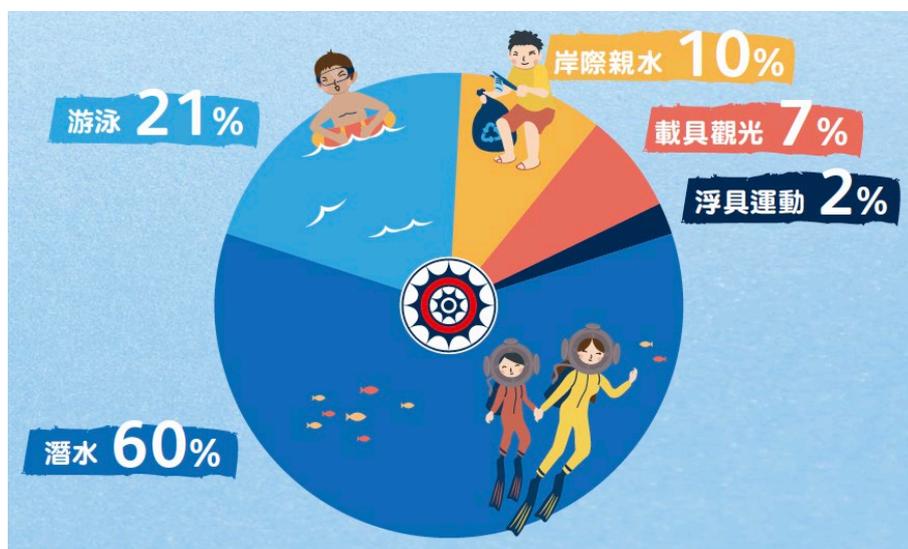


圖 13 臺灣海域遊憩需求 (圖片來源：國家海洋研究院)

五、結論與建議

海洋遙測透過不同技術實現三維觀測，是種垂直縱向與水平橫向拓展之全面調查技術，我國目前雖然面臨許多技術需再提升，包括連續性、可靠性、分辨率與覆蓋範圍、知識差距與制度障礙等，但對於遙測不受地理位置限制之巨大優勢，海上監測範圍大，效率高與能減少勞動強度，遙測方式調查雖然技術門檻較高，且重複調查與遙測費用較昂貴等劣勢，但這些都是不影響利用遙測方式間接或直接測量海面參數之價值。遙測除能週期性定期提供臺灣週邊海域變化資料，能於短時間內涵蓋目標海域，且能穩定的蒐集資料，隨著遙測技術進步而能獲取資料品質愈來愈佳之數據。此外，透過衛星遙測推算海面參數的精確度也愈來愈高，未來星載衛星遙測資料覆蓋率有望由 6 日覆蓋、進步至 5 日覆蓋、更甚 1~2 日覆蓋，此進步正好能為下個階段「社會」與「環境應用」結合做為準備，伴隨這些技術提升，日後對臺灣海域監控、評估海洋空間規劃可加以利用，協助臺灣海洋空間規劃(MSP)暨海岸遊憩管理(ICAM)應用。

參考文獻

1. 楊龍士、周天穎 (2000),「遙感探測理論與分析實務」,逢甲大學地理資訊系統研究中心。
2. 劉振榮、陳萬金、林唐煌、劉崇治、郭宗華 (2004),「衛星遙測在台灣地區大氣科學之應用研究回顧」,大氣科學, 32(3), 247-274 頁。
3. 邱文彥 (2015),「海岸永續利用之落實」,海洋及水下科技季刊 11 月號, 15(3), 15-23 頁。
4. 柯宗廷 (2010),「海岸空間動態多目標規劃概念模型建構」,國立中山大學海洋環境及工程學系博士論文。
5. 行政院研究發展考核委員會 (2010),「我國海洋政策白皮書之規劃研究」。
6. 邵廣昭、賴昆祺 (2011),「台灣海洋保護區的現況與挑戰」,海洋事務與政策評論, 65-90 頁。
7. 簡連貴 (2012),「海洋科研: 海洋研究的新展望」,海洋事務與政策評論, 1(1), 7-14 頁。
8. 簡連貴、許智翔、林秉勳 (2016),「臺灣海域空間規劃經驗分享與永續發展」,第四屆海洋與臺灣研討會, 289-322 頁。
9. 黃向文、廖君珮、宋佩軒、許寧君、蔡秋晨、葉欣柔、周佳儀 (2016),「臺灣海洋保護區管理之探討-以東南亞國家為借鏡」,航運季刊, 25(1), 27-52 頁。
10. 邱永芳、黃茂信、楊奇達、翁健二 (2018),「行動中繼傳輸技術應用於 AIS 系統之研發」,交通部運輸研究所。
11. 陳冠宇、林雅雯、蔡世璿、劉俊志、張育嘉、陳人玉、林珂如 (2022),「應用智慧監測進行海象數值同化研究(1/4)-臺中港監測資料智慧檢核及補遺」,交通部運輸研究所。
12. Font, J., Camps, A., & Ballabrera-Poy, J. (2008). Microwave aperture synthesis radiometry: paving the path for sea surface salinity measurement from space. In "Remote sensing of the European seas" pp. 223-238, Springer, Dordrecht.
13. Chen, X., & Nordhaus, W. (2015). A test of the new VIIRS lights data set: Population and economic output in Africa. *Remote Sensing*, 7(4), pp. 4937-4947.
14. Ferreira, M. A., Calado, H., da Silva, C. P., Abreu, A. D., Andrade, F., Fonseca, C., ... & Vasconcelos, L. (2015). Contributions towards maritime spatial planning (MSP) in Portugal—Conference report. "Marine Policy," 59, pp. 61-63.
15. Ouellette, W., & Getinet, W. (2016). Remote sensing for marine spatial planning and integrated coastal areas management: Achievements, challenges, opportunities and future prospects. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4, pp. 138-157.
16. Zhao, N., Hsu, F. C., Cao, G., & Samson, E. L. (2017). Improving accuracy of economic estimations with VIIRS DNB image products. *International journal of remote sensing*, 38(21), pp. 5899-5918.
17. P. Jeremy Werdell & Charles R McClain (2019). *Satellite Remote Sensing: Ocean Color*, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, United States.
18. Winther, J. G., Dai, M., Rist, T., Hoel, A. H., Li, Y., Trice, A., ... & Whitehouse, S. (2020). Integrated ocean management for a sustainable ocean economy. "Nature ecology & evolution," 4(11), pp. 1451-1458.
19. Chou, Y., & Ou, C. H. (2016). The opportunity to regulate domestic fishery subsidies through international agreements. "Marine Policy," 63, pp. 118-125.

感潮河段橋梁梁底檢測工具精進及測試

鄭登鍵¹ 賴瑞應² 林晨光³ 黃維信⁴

¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

²交通部運輸研究所港灣技術研究中心簡任研究員兼科長

³大同大學機械與材料工程學系助理教授

⁴大同大學媒體設計學系教授

摘要

橋梁維護管理工作，攸關民眾行的安全，因此，檢測工作是否能確實執行相當關鍵。目前全國約 2.9 萬座道路橋梁由各維護管理機關定期檢測，而當遇狹窄、近水且幽暗之梁底檢測環境時，不僅不易趨近檢測，且檢測人員亦有安全疑慮，往往使檢測工作未能落實。本研究前期研發能酬載於輕便型推車上之機械手臂，利用多節可伸縮之特性，將鏡頭探入狹暗橋梁底部空間，橋檢人員應用梁底檢測機械手臂，即可於橋面上操作，透過回傳影像即時檢查橋梁梁底狀況。本研究精進獨立推車型工具，增長臂桿並改良材質、結構，提升影像穩定度及清晰度，並新增補光照明、雷射虛擬尺功能及定位功能，目前已可初步代替橋檢人員進入橋梁梁底空間進行構件檢測。

一、前言

臺灣屬亞熱帶海島型氣候，四面環海、河川短急且夏季常遇颱風侵襲，西部平原區人口稠密土地高度開發交通路網遍布，極需仰賴橋梁等基礎建設滿足運輸需求。依據「臺灣地區橋梁管理資訊系統」(Taiwan Bridge Management System, TBMS)統計資料，截至 2020 年底正常使用與維修中之車行橋梁約 29,025 座，橋梁維護管理工作有賴於各級橋梁管理單位，維管工作確實與否、品質好壞攸關民眾行的安全，因此橋梁檢測工作是否能落實執行相當關鍵。

感潮河段為受潮汐影響之河川流域，特別是臺灣西部平原地區因長期抽取地下水而發生地層下陷，使該區域內橋梁之高程逐漸下降，部分橋梁甚至於漲潮時浸潤在帶鹽分之水中，退潮時則暴露於大氣中，於鹽水與大氣反覆作用下，易造成鋼筋鏽蝕膨脹致表面混凝土剝落，進而逐漸降低橋梁之承載能力。而此類橋梁進行橋梁檢測時，檢測人員需乘坐橡皮艇，或穿著漁夫裝進入橋梁底部檢測，但因橋下狹窄近水、潮濕晦暗，檢測人員往往需冒著極高的危險趨近勘查檢測而卻步，使得無法落實橋檢作業。有鑒於此，橋梁相關檢測若能以自動化設備輔助，取代全人力檢測，除能落實檢測工作且降低檢測風險外，可提升檢測成效，保障用路人之安全。

二、感潮河段橋梁檢測

為確保橋梁正常運作且安全無虞，依據交通部 2020 年 1 月 3 日頒布「公路橋梁檢測及補強規範」及「公路養護規範」之修正規定，公路養護管理機關應辦理橋梁定期、重大事故或災害後之檢測與維修程序。而橋梁檢測之目的係為早期發現橋梁結構物的異常與損傷劣化，以掌握橋梁之安全與使用性。檢測以目視為主，儀器為輔，發現橋梁有異常或劣化時，須擬定合宜之計畫進行維修與補強。在實施橋梁檢測作業時，必須盡可能接近橋梁結構物，實務上常採用之輔助工具為：橋梁檢測車、高空作業車、無人飛行載具等，但遇梁底淨高狹小之跨水橋或感潮河段橋梁，因檢測作業空間不足且環境惡劣，以當前之檢測輔助工具亦無法適用，橋檢人員則需改乘橡皮艇，或以其他方式盡量趨近待檢測構件，以臻檢測落實。

2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」^[2]研究成果中，以碳纖維管製作伸縮檢測臂桿，並設置遙控裝置與人機介面控制伸縮臂，開發出操作簡易、便於攜帶且經濟實用之「推車型橋梁檢測設備」。此檢測設備經實地測試雖已可運作，但因檢測臂桿長度達 7 公尺，且設備整體重量較輕，造成檢測桿末端攝影模組晃動嚴重，致擷取之影像不穩定並有光源不足等問題。爰此，為增進橋檢設備之適用範圍、影像清晰度、設備穩定性及運作效率，期透過本研究持續提升我國橋梁檢測之品質及效率。

三、橋梁檢測設備

常用的橋梁檢測方法大多僅能針對局部材料性質進行檢測(如超音波波速量測、音洩檢測、敲擊回音法…等)，對於結構整體行為採用的檢測方法包括：微振量測、靜載重試驗與動載重試驗等。進行此類檢測時，往往需要封閉橋梁，為避免造成交通衝擊，導致僅可於凌晨進行檢測，且相當費時費力^[1]。此外，為縮短橋梁檢測作業時間，並解決橋檢人員無法接近橋梁之問題，已開發出不同形式之檢測工具，輔助橋梁檢測人員快速、系統化進行橋梁檢測工作，以下就現行使用之橋梁檢測工具^[2]進行介紹。

3.1 橋梁檢測設備

3.1.1 橋梁檢測車(船)

1. 吊籃式橋梁檢測車：

伸展臂具有多個摺疊自由度，可跨越人行道或橋梁護欄甚至特殊造型之鋼構橋，能適用於多種不同結構橋梁之檢測工作，依作業需求得上升或下降進行橋梁檢測。依檢測環境不同，設計合適之移動機構，除輪型載具外，亦有履帶型設備可因應不平整之地形；進行鐵道橋梁檢測時，以鋼輪驅動，便可於軌道上移動。此外，跨水橋梁檢測時，亦可搭配船舶或水上移動平台方式載送，或直接將檢測設備安裝於船舶上，由水面向上抬升進行檢測。

2. 桁架式橋梁檢測車：

工作支臂採用桁架結構，垂直臂為舉升機構，垂直臂和伸縮臂之桁架結構中為人員通道，檢測人員得於伸縮臂中進行檢測作業，整體結構龐大，需要有寬廣之作業空間。

3. 永久式橋梁檢測設備：

橋梁設計建造時，於橋梁上安裝永久式橋梁檢測設備，其桁架會橫跨整個橋梁斷面，透過固定於梁底之軌道，驅動及控制系統控制桁架移動，檢測人員經由檢修通道，由橋面下行至桁架通道中進行檢測。

3.1.2 機械手臂型橋梁檢測車

實施橋梁檢測作業，除將檢測人員載送至接近待檢測構件之方式外，日本 Zivil 調查設計株式會社之機械手臂型橋梁檢測車，以機械手臂掛載不同感測儀器，利用感測儀器拍攝或量測橋梁各構件，拍攝影像及量測數據評估橋梁狀態。

3.1.3 無人飛行載具檢測

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)發展快速，近年亦應用於橋梁檢測作業，UAV 主要是以 GPS 進行定位操作，但用於橋梁檢測時，GPS 訊號可能受到橋體遮蔽而無法順利導航。但目前輔助定位技術已日趨成熟，可作業前設定巡航軌跡，即便沒有 GPS 訊號 UAV 還是可以自動巡航，或利用參考基地站，引導 UAV 依設定航線進行拍攝。UAV 發展應用於橋梁檢測介紹如下：

1. 水空兩用 UAV：

美國新澤西州(New Jersey)特拉華河灣管理局(Delaware River Bay Authority, DRBA)和羅格斯大學(Rutgers University)共同開發空中/水下兩用無人飛機「領航者」(Naviator)。使用時可快速轉換水下操作或空中飛行模式，以因應不同檢測需求，目前已針對特拉華紀念大橋(Delaware Memorial Bridge)進行實測^[4]。

2. 防撞型 UAV：

為了防止 UAV 因操作不當而發生墜機，目前部份 UAV 已導入避障功能，但仍很難完全避免，為解決此問題，已有新創公司開發防護罩，可加裝於既有 UAV，以降低 UAV 墜落之損害。

3. 貼附型 UAV：

UAV 除具有防撞功能，並利用不同向之螺旋槳設計，可貼附於橋梁底部移動。

4. 行走型 UAV：

直接沿著橋柱垂直行走之 UAV。為檢測橋梁特定構件，亦有外形增加輪圈功能之小型 UAV，可於橋梁構件中行走。

5. 搭載檢測設備之 UAV：

除掛載高解析度相機，亦能掛載不同功能之檢測設備，如 CATEC(Center for Advanced Aerospace Technologies)無人機即搭載超音波檢測設備，可用於檢測橋梁底部或側面橋柱之狀況。除了應用在橋梁檢測外，也可應用於金屬管線(柱)之檢測作業。

3.1.4 遙控船艇

美國 Metropolitan Environmental Services 公司目前已發展出適用於地下道之檢測設備，該設備架設在浮力桶上，前方配備高解析度攝影機(HDCCTV)、聲納及雷射掃瞄設備，後端利用捲線器控制檢測設備施放距離，也可以協助回收檢測設備。檢測過程中可透過平板電腦隨時監控檢測情形，也可即時調整燈光亮度及對比等。

3.1.5 鋼構橋檢測機器人

檢測機器人利用磁吸特性，透過電磁原理控制機器人行走於鋼構橋上進行檢測。澳洲雪梨科技大學(University of Technology Sydne, UTS) 開發應用於鋼構橋檢測之自主攀爬機器人，可用於檢查橋梁內部，藉由特殊磁腳，可攀爬垂直鋼牆、避開障礙物，並在橋梁或其他鋼結構(如船體、輸電塔及石油鑽井平台)內之狹小空間旋轉。檢測過程中，收集記錄檢查數據，並與前期數據進行比較^[5]。

3.1.6 長桿拍攝工具

雖然影像技術已有長足進步，但為拍攝清晰影像需盡可能接近被拍攝物。因此進行橋梁檢測時，可利用具延伸功能之長桿接近橋底，再利用相機進行拍攝。該長桿可直接架設於一般地面上或用手持握，亦也可放置於船艇上，或是架設於橋梁護欄上往下延伸。目前無線傳輸技術及影像攝影鏡頭技術日益成熟，有些設備具備 30 倍光學變焦鏡頭，搭配相機震動校正及除霧功能，便可在惡劣條件下進行精確檢測，甚至能辨識出距離 20 公尺遠之 0.2mm 寬裂縫，搭配虛擬尺量測功能，即可透過平板電腦之虛擬尺，直接量測裂縫寬度及長度。由於長桿之組立簡便，因此國內已有許多單位自行組立長桿檢測設備，再搭配不同攝影設備，即可進行檢測作業。因橫桿要固定攝影設備，考量人員操作時之握持力量負荷，通常橫桿長度在 1 公尺內，因此梁底檢測範圍相當有限。

3.2 小結

綜觀國內外之現行橋檢設備，現行橋梁檢測車雖型式眾多，但設備龐大且造價不斐，新興無人機檢測設備雖方便且成本低，但有其使用環境限制。本研究因感潮河段橋梁環境有其特殊性及落實檢測之必要性，針對此類橋梁檢測工具進行研發，透過本節蒐整之各類檢測設備，參考應用於本研究開發橋梁檢測設備之相關功能，從經濟性、便攜性、實用性且易操作為目標，期有助於輔助橋梁檢測進行，便於第一線人員使用。

四、機械手臂型橋梁檢測設備精進

本研究為 2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」^[2]之延伸，著重強化前期研究成果設備未完善之處。前期設備拍攝影像嚴重晃動與光源不足，首應加強攝影穩定性，即為增加整體結構強度，本設備強度設計瓶頸於 C 桿件，該桿件為縱橫比極大之長桿，爰此，應著重於加強 C 桿之強度，同時解決影像晃動並可增設補光裝置，解決橋底影像光源不足之問題。

4.1 C 桿強度提升

C 桿件需有足夠長度將攝影設備送至梁底拍攝影像，並能便於收納運送，故 C 桿設計以套管形式具備伸長與收縮功能。為便於運送，依小貨車車斗長度，C 桿裝置收縮後長度需小於 2.8 公尺，且伸長需達 7 公尺，設計以 4 節套管組成(如圖 1 所示)。本研究提出下述之 C 桿強度提升方案：

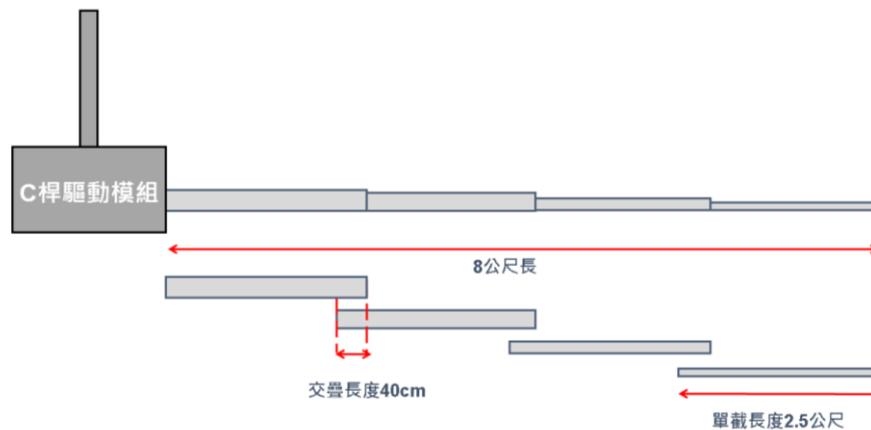


圖 1 C 桿套管設計圖

4.1.1 方形碳纖維伸縮套管強度分析

為提升 C 桿強度，本研究以方形截面管替代前期研究設備之圓形截面管，模擬分析以不同壁厚及不同截面尺寸錐度管代替多截方管(如圖 2 所示)，研究以前端方管 20mm、後端方管 55mm，且前端附載設定為 500g，其模擬結果如圖 3 所示。

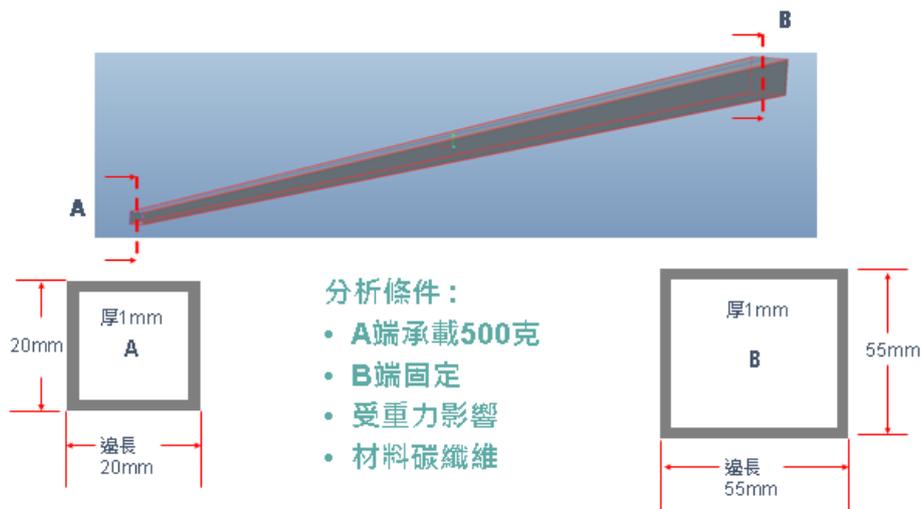


圖 2 方形 C 桿變形量模擬條件

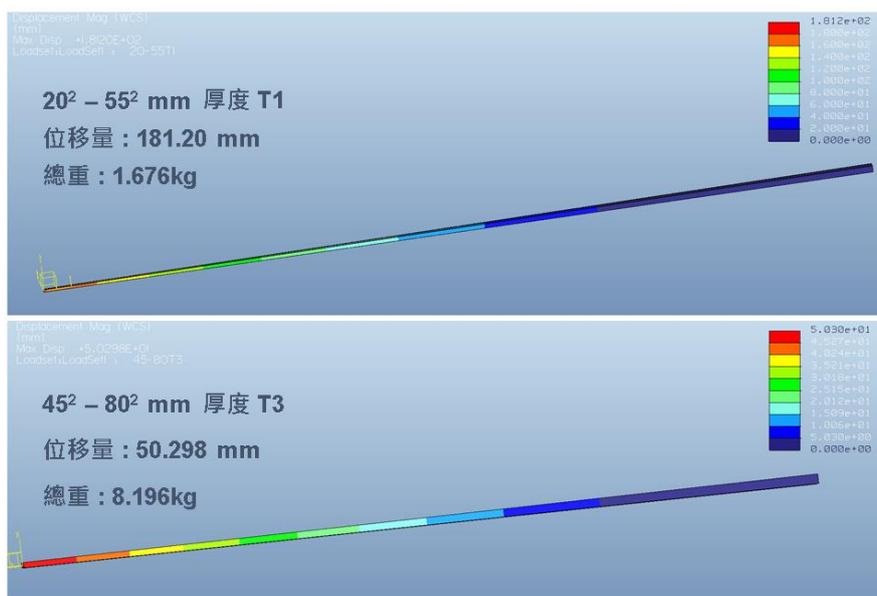


圖 3 方形 C 桿變形量模擬

模擬結果如表 1 所示，外型尺寸對變形量影響極大，而壁厚影響則相對較小，如面積慣性矩計算法則，壁厚 2.5mm 與 3mm 之方形管變形量相差甚微。以前端 45mm、後端 80mm 方形管為例，壁厚 2.5mm 時前端變形量為 51.339mm；壁厚 3mm 時前端變形量為 50.298mm，變形量僅減少 2.2%，而總重卻增加了 19.0%，而為探求適當之壁厚，本研究以變截面方形管，模擬前後端改變方形管壁厚之方案。以前端外徑 45mm 後端外徑 80mm 方型管，分析前端至後端壁厚改變 1mm-3mm 及 3mm-1mm 兩種狀況之變形量(如圖 4 所示)。分析結果顯示當前端壁厚減少，後端壁厚增加，前端變形量低於全採用厚管壁，如表 2 所列，在外型尺寸相同之下，整體採用 3mm 厚度之方形管材，前端變形量為 50.298mm；前端採用 1mm、後端採用 3mm 之方形管材，

前端變形量則為 37.157mm，大幅減少變形量 26.1%，且總重減少了 29.1%。因成本考量無法採用價格較高的變截面方管，依模擬結果，本研究採用 4 截厚度不同之方形管組成。

表 1 方管 C 桿變形量分析

外型尺寸(前端-後端)	厚度(mm)	總重(kg)	變形量(mm)
20 ² - 55 ² mm	1	1.676	181.20
	1.5	2.479	151.24
	2	3.260	136.97
	2.5	4.018	128.98
	3	4.752	124.12
30 ² - 65 ² mm	1	2.135	110.57
	1.5	3.168	95.144
	2	4.178	87.872
	2.5	5.166	83.866
	3	6.130	81.488
45 ² - 80 ² mm	1	2.824	65.677
	1.5	4.201	56.497
	2	5.556	53.149
	2.5	6.888	51.339
	3	8.196	50.298

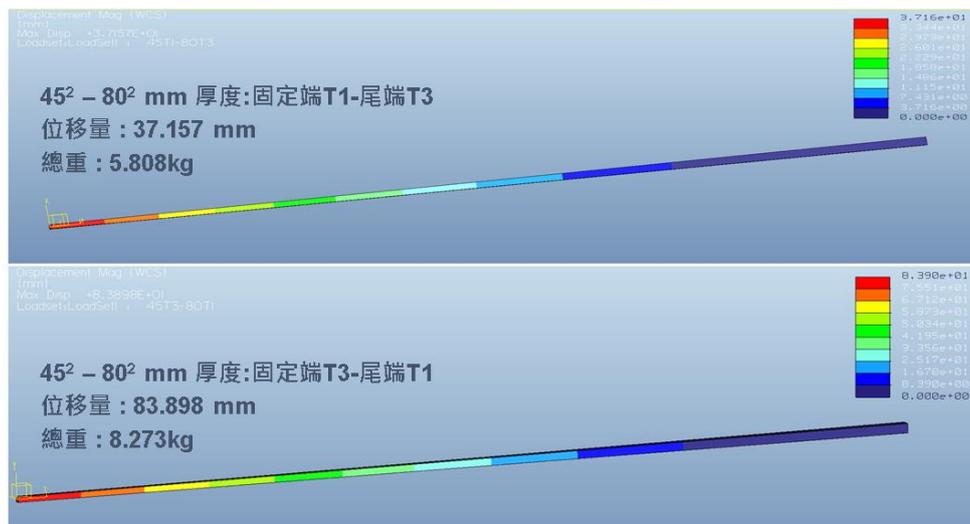


圖 4 變截面方管變形量模擬

表 2 方管 C 桿變形量模擬

外型尺寸(前端-後端)	厚度(mm)	總重(kg)	變形量(mm)
45 ² -80 ² mm	1	2.824	65.677
	1.5	4.201	56.497
	2	5.556	53.149
	2.5	6.888	51.339
	3	8.196	50.298
45 ² -80 ² mm	1-3	5.808	37.157
	3-1	5.273	83.898

本研究依據上述模擬結論，製成前端 45mm 後端 80mm，4 截厚度不同(1-3mm)之方形管組成之 C 桿，實際測量其下垂量，以尾節碳纖維管下緣對應地面距離為基準，當 C 桿完全收回時，離地面間距為 85.6cm，當 C 桿完全伸長時，離地面距離為 73.8cm，計算得知下垂量為 11.8cm，與模擬參數 3.7cm 相比，高出 8.1cm，主因為套管節間間隙造成下垂，但與前期橋檢工具 40cm 下垂量相比，已大幅改善並提升穩定度。

4.2 C 桿前端裝置開發

提高 C 桿之強度除可增加穩定度，亦可增加前端負載量，本研究為提升影像品質及檢測功能，於 C 桿前端增設攝影模組、穩定器/轉向模組、補光模組、雷射虛擬比例尺模組。為降低 C 桿前端附載，本研究將電池設計為共用，以攝影雲台整合上述各功能模組。

4.2.1 攝影模組

為取得橋梁梁底影像，前期設備因 C 桿強度不足，攝影模組採用小型密錄器，導致影像模糊，本研究改採用 Garmin Dash Cam Mini 車用攝影機，特點為體積小、重量輕、可即時回傳影像、夜間錄影效果良好，且內部無裝置電池，通電即開始錄影，符合本研究需求。

4.2.2 穩定器/轉向模組

穩定器/轉向模組以 Arduino Nano 為控制器核心，收取六軸感測器 (MPU6050) 之信號，判斷雲台三軸絕對角度，並利用 PID 演算法進行運算，將訊號提供給馬達驅動 IC (L293D)，驅動兩軸之馬達以穩定雲台與影像擷取設備，使用者以手機 App 控制，透過藍芽通信方式進行傳輸，調整相機視角，提高視角範圍。本研究系統以 PID 演算法為控制，律定鏡頭穩定朝向梁底，鏡面屬於水平狀態，故 Set Point 為 0，透過 6 軸感測器感知鏡頭偏移角度，帶入 PID 演算法後，系統自動算出馬達應提供之轉速。

4.2.3 補光模組

參考常用強光手電筒之功率約 5W，為滿足梁底補光需求，本研究採用 3W LED 元件 2 顆，電源則由共用電池供給。

4.2.4 雷射參考尺模組

本研究自行開發雷射比例尺投影裝置，設置 2 平行之雷射燈產生兩束平行雷射，不受量測距離影響之等距離雷射標點(經實測 2 雷射光源於 5 公尺內皆能維持 5 公分 \pm 1mm 之間距)，於實地檢測時，參照影像中 2 雷射點中心距離，即可計算影像比例，進而推算裂縫寬度。本研究設計特製雷射模組固定座以 3D 列印方式製作將雷射模組固定，透過止付螺絲對雷射模組的壓迫達到微調之功能。

4.2.5 C 桿前端整合裝置

整合上述攝影模組、穩定器/轉向模組、補光模組、雷射虛擬比例尺模組，本研究設計 C 桿前端整合模組如圖 5 所示，含電池重量為 420g，重量略低於預估之 500g 值，外型尺寸為 280mm x 100mm x 50mm。以 18650 磷酸鋰鐵電池 2 顆串聯為共用電源，可即時替換電源設計，避免設備使用時間限制。本裝置之 PCB 基板上，包含通信模組、Arduino 微控制器、電源供應 IC、馬達驅動 IC，如圖 6 所示。電源穩定 IC 可將電池提供之 8.4V 電壓降為 5V，為 C 桿前端整合裝置上所有模組供電。通信模組接受操作者指令後輸出信號至微控制器，微控制器處理後再輸出信號至馬達控制 IC 控制穩定器/轉向模組動作，其控制介面以 App inventor 撰寫，可透過手機或平板控制。

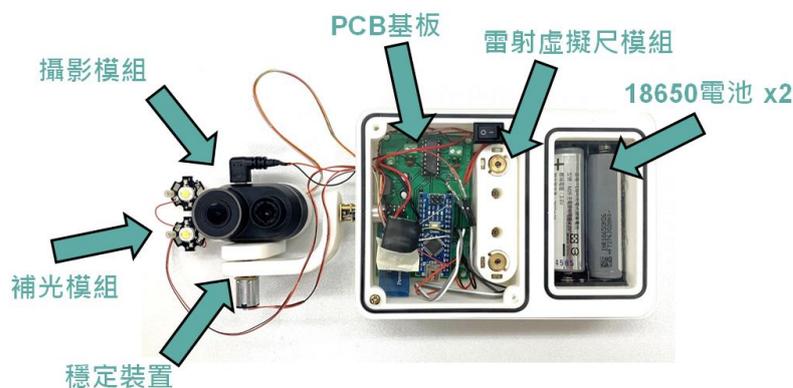


圖 5 C 桿前端整合裝置

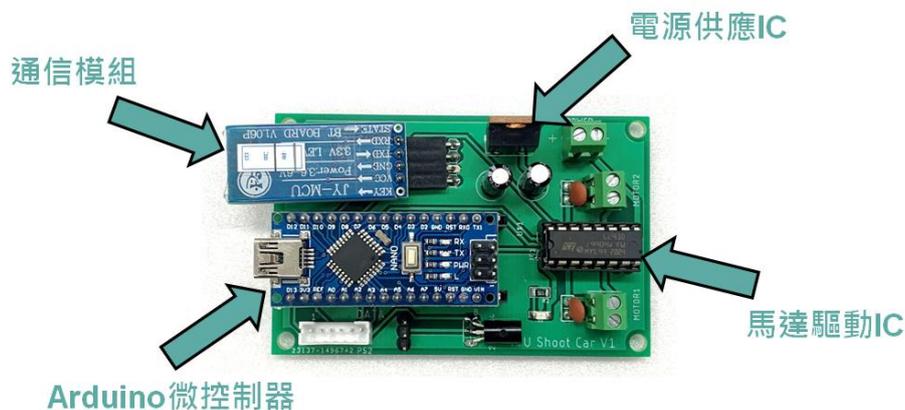


圖 6 C 桿前端整合裝置內 PCB 基板

五、實地測試與成果

為測試本研究設備量測極限範圍，篩選最大淨寬小於 16 公尺之橋梁；因桿件開展空間需求，需選定無電線架設之道路；設備功能測試考量可能發生故障需涉水檢修，選定流量較小可涉水之河流；考量實測安全，排除車流量大之道路。最終選定橋梁長度 6 公尺以上、最大淨寬小於 16 公尺、無電線架設、水流較小、車流量較小之 3 座橋梁：

1. 桃園市「山外一橋」(最大淨寬 14.6 公尺、最大跨距 11.7 公尺)
2. 桃園市「土地公坡橋」(最大淨寬 12 公尺、最大跨距 11.1 公尺)
3. 新竹縣「德和橋」(最大淨寬 5.3 公尺、最大跨距 15.4 公尺)

5.1 實地測試

本研究設備執行檢測流程如圖 7 所示，設備前置安裝操作人員需 5 員，所需時間約 20 分鐘。

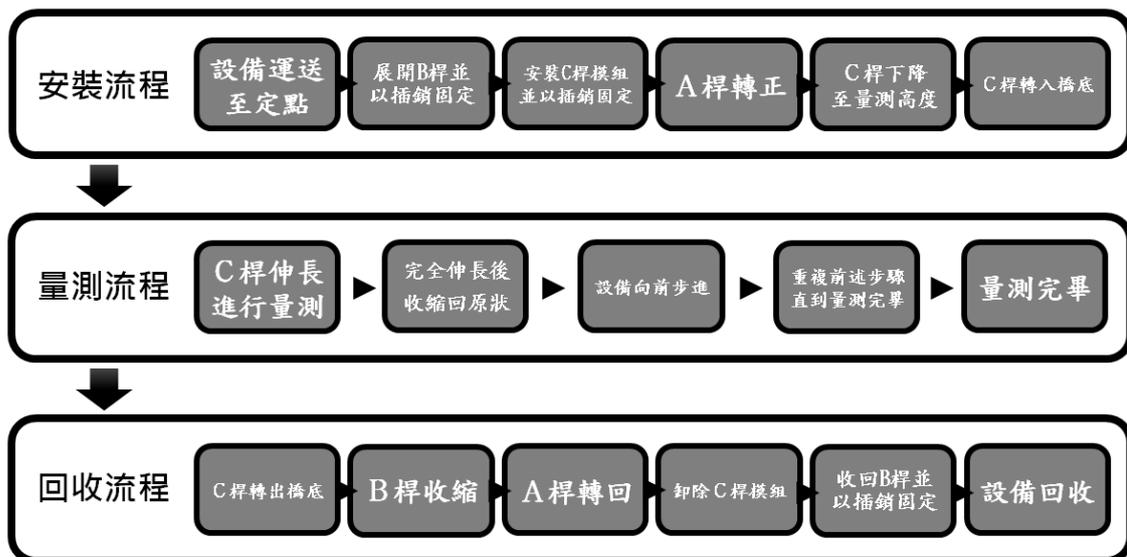


圖 7 檢測作業流程圖

5.2 量測影像

實地測試之量測影像如圖 8 至圖 10 所示，當設備主體移動至定位後，C 桿以步進方式每次移動約 60cm 伸入梁底檢測取得影像，當伸長至最長後收回，設備本體前進約 50cm，再重複伸長 C 桿取得下一區段影像。



圖 8 梁底實拍影像(A)



圖 9 梁底實拍影像(B)



圖 10 轉動攝影裝置拍攝梁底橋台結構

六、結論與建議

6.1 結論

本研究為開發簡便、易攜且實用之橋梁檢測輔助工具之目標，承接前期研究開發之雛型橋檢設備為基礎進行功能精進，著重於影像穩定度及清晰度。參照國內外之橋檢設備依感潮河段橋梁檢測實際面臨之檢測現況與困難，因應不同情境及需求增加本研究橋檢工具之相關功能，經過實地測試適時調整優化橋檢設備及相應之控制元件，經檢視拍攝之影像，本研究橋梁檢測工具橋底影像之穩定度及清晰度大幅提升，已可初步代替橋檢人員進入橋梁梁底空間進行構件檢測。

6.2 建議

機械設備設計參數複雜，難以完全模擬預測，在設備研發過程中所發生之問題，可能成為未來量產過程之瓶頸；同樣在實測過程中發現之錯誤及困難，亦有可能影響未來工程人員使用。以下統整本研究之問題做為未來研究之建議：

1. 設備自動化精進

本研究實測過程中因人為操作失誤造成設備損壞，檢討其過程係因設備整合不完全所致，為防止實際使用時此類狀況之發生，量測流程建議採更高度自動化方式進行，避免設備因操作人員失誤造成損壞。

2. 設備輕便化精進

C 桿長度增加後，造成設備佈設人力、時間大幅增加，且使用時受環境空間、高度限制。建議此設備應以輕便、泛用設計為主，應採取輕便傾向設計，增加檢測人員使用意願。

3. 梁底全幅影像拼接精進

配合橋梁梁底影像拼接需求，未來量測方式需以照片方式呈現，本研究目前設計以影像擷取為主，但已初步測試設備自動固定距離步進之方法，未來可能需再增進定位之精度，以符合影像之需求。

參考文獻

1. 黃進國、王仲宇、冀樹勇 (2011), 「橋梁損傷之快速診斷方法研究」, 中興工程季刊, 137-142 頁。
2. 柯正龍、黃俊豪、黃維信、林晨光、葉隆吉、楊祝壽、黃瑋晟、劉雨青、王沁偉、高振唐 (2019), 「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」, 交通部運輸研究所。
3. 邱永芳、黃俊豪、胡啟文、黃維信、葉隆吉、楊祝壽、陳柏源、黃瑋晟、陳祖德 (2017), 「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」, 交通部運輸研究所。
4. The Inquirer Daily News, 2017, Rutgers drone, at home in air and water, inspects Delaware Memorial Bridge, 取自 <http://goo.gl/ZdKM51>, 查詢日期: 2021 年 6 月 27 日。
5. Inchworm Inspires Bridge Inspection Robot, <http://www.botmag.com/9597-2/>, 查詢日期: 2021 年 6 月 27 日。

港灣環境資訊網之風力波浪觀測資料

即時快速品管

蔣敏玲¹ 林雅雯² 林珂如³

¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
²交通部運輸研究所港灣技術研究中心簡任研究員兼科長
³交通部運輸研究所港灣技術研究中心駐點工程師

摘要

臺灣四面環海，國際貿易大多仰賴海運，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)長期在各商港設置許多海氣象觀測站，蒐集即時的風力、波浪、潮位、海流等資料，並建置「港灣環境資訊網」展示即時海氣象等港灣環境資訊，提供防災減災之決策支援輔助。為可提供更可靠的海情資訊，本研究旨在建立海氣象資料發布於港灣環境資訊網前之即時快速品管，參考美國海洋綜合觀測系統(Integrated Ocean Observing System, IOOS)之海洋即時資料品保手冊(Manual of Quality Assurance of Real-Time Ocean Data)研提快速品管機制，並以臺中港為例，進行風力、波流觀測數據之快速品管，提升觀測資料品質，讓觀測成果得以更有效的應用。

一、前言

我國現有基隆港、高雄港、花蓮港、臺中港、蘇澳港、安平港、臺北港 7 大國際商港，在經濟發展上扮演了極重要的角色。港研中心長期在各商港設置許多海氣象觀測站，即時蒐集風力、波浪、潮位、海流等資料，並建置「港灣環境資訊網」(<https://isohe.ihmt.gov.tw/>)展示即時海氣象等港灣動態與靜態環境完整資訊，提供港埠營運管理單位應用，有助於提升航行安全、船舶進出港操航安全、船席機動調配及港埠運作效能等。

海氣象觀測資料在量測、編碼、通訊傳遞、接收解碼、儲存等複雜過程，可能因儀器、電力、線路異常或一些不明原因的干擾，造成資料異常或缺失，故對海氣象觀測資料進行檢測及品管有其必要性。本研究因應港灣環境資訊網之即時展示需求，針對國內各商港海氣象觀測站資料，導入即時快速品管與檢核作業，提升觀測資料即時展示之可靠性。

二、文獻回顧

美國國家資料浮標中心(National Data Buoy Center, NDBC)所訂定的海氣象觀測資料品管規範，以合理性、連續性以及關聯性 3 個原則，進行自動品管的檢測，採用統計理論建立上述原則的檢測標準。包含：(1)合理性檢定為品管中最基本的檢驗，通常分為兩種限制，第一是指觀

測數據不超過量測儀器的可測範圍；第二是觀測數據不超過量測地點的氣象臨界條件，亦即物理上的限制，例如：一般而言 10 公尺高程之風速介於 0-60 m/s。(2)自然界中大部分物理量的變化是循序漸進的，連續性的品管基於假設各種觀測物理量在時間及空間上都有連續的變化存在，即其時空的變化量應落在合理的範圍內，如果在時間上的改變量超過某一限度或是在空間上相鄰測點的資料無法以物理觀點解釋，都視為可疑資料。故連續性品管分為時間連續性與空間連續性兩種品管。(3)關聯性檢驗是檢驗所量測之資料與其他相關物理量之間原有之關係是否有異常現象，海氣象特性往往受到外在環境的影響而改變(例如波浪與風之關係)，利用不同物理量間之關連性，可互相檢驗資料的品質。此外，同一物理量使用不同測量儀器或是相同儀器同時量測，除了可明顯的比較資料正確性，對於儀器老化或毀損，更可顯示出其偏差量。

董東璟等^[1]以觀測資料必須符合資料合理性、連續性及關聯性等 3 項原則，採用高雄大林埔外海觀測樁實測資料為分析對象，分別以統計學之信賴區間推求法，及具有表現前後相鄰時段狀態間變化特性的馬可夫鏈模式來計算連續性品管的檢測標準，另尋求不同物理量間的關係作為關聯性的檢測依據，探討風浪關係，結果當地風速與波浪頻譜在 0.6~0.67Hz 間的總能量存在良好線性關係；最後，訂定品管系統檢測流程及關聯性品管之檢測順序。賴志峰等^[2]以臺灣商港之風力實測資料為分析對象，根據合理性、連續性與關聯性 3 個原則進行檢測，其中合理性主要依儀器量測範圍而訂，連續性則是依相鄰資料應呈平緩變化為原則，依據機率理論而訂立異常門檻，近年因氣候變遷而有短時間之極端事件發生，因此，需比對及參考鄰近測站建立關聯，避免前述極端資料誤刪並做為相互補遺之依據。另資料若一段時間無變化，通常是儀器故障、損壞或遭覆蓋等現象，可於輸出檔中去除(或標註)之，最終輔以人工檢視方式判定資料之合理性。至於風向之品管則是將總風速分解為南-北與東-西風速分量，兩分量各別進行上述檢定及關連性分析補遺。

海洋綜合觀測系統(the Integrated Ocean Observing System, IOOS)為美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)轄屬研究單位，其使命為對海洋、海岸與美國 5 大湖水域的環境觀測，提供資料品管與可靠資訊，其任務之一為對觀測資料品管檢測方案進行持續且定期性更新與檢討，並依儀器種類與測站形式分類，提供資料品質控管檢測程序建議，出版各類即時觀測資料品管手冊(Manual of Quality Assurance of Real-Time Ocean Data, QARTOD 手冊)，包含風力、波浪、海流、水位、高頻雷達海面海流儀、浮游植物、溶氧等。當品管的強度與限制條件愈嚴苛，影響程度也愈大。品管的條件強度實際上並無標準答案，因此，如何在品管篩選的檢驗過程中適度保留彈性，係依應用與分析目的之不同而異。QARTOD 手冊將品管檢驗細分成不同項目，並依據檢驗之性質分成 3 大類，依分析必要性的要求強弱依序分成必要執行的測試、強烈建議執行的測試與推薦執行的測試等 3 類。

陳沛宏等^[3]參考 QARTOD 手冊研提施行準則，並檢驗臺北港風、波及流等觀測數據資料，將資料進行分級，並剔除錯誤資料，提升資料品質。陳冠宇等^[4]透過蒐集港研中心於臺中港之波

浪測站、風速測站及交通部中央氣象局臺中浮標之近年觀測之物理量，進行相關係數分析及資料迴歸分析，再根據 QARTOD 手冊進行各站觀測資料之品管。

三、研究方法

港灣環境資訊網現行各商港之風速、波高、週期、流速和潮位等展示前之快速即時檢核，係依據儀器量測之上下限極限值，及參考^[5]之各物理量歷年極大值再加上某寬限值，為其檢核之上下限值。

本研究目的在對港灣環境資訊網之風力、波浪資料進行展示前的即時快速品管，QARTOD 手冊^[6]品管檢驗項目主要如表 1 所列，海氣象原始觀測資料經過品管檢驗後，將依據檢測結果給予標記以註記其資料品質狀態，本研究採用之狀態標記係參考 IOOS QARTOD 手冊^[6]，其品管標記符合多重標準，包含美國 IOC/UNESCO 2013 提出的 IOC 54:V3，歐洲海洋觀測系統的 DATA-MEQ，美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)的海洋作業產品與服務中心(CO-OPS)的資料標記系統。IOC/UNESCO 2013 54:V3 基層架構的品質狀態標準標記分成 5 種標記值，分別是 1、2、3、4 及 9，對應的資料狀態為狀態良好、狀態未知、狀態可疑、狀態不良及資料遺失。

表 1 QARTOD 風力品管檢驗項目

組別	檢驗項目	說明	標記
第 1 組 必要 檢測	Test 1 資料時序檢驗 Timing / Gap Test	檢驗資料點連續性與時間間隔正確性	1、9
	Test 2 資料格式檢驗 Syntax Test	檢驗資料傳輸格式與編碼正確與否	1、4
	Test 3 座標資料檢驗 Location Test	檢驗浮標測站之 GPS 座標資料	1、3、 4
	Test 4 極限值檢驗 Gross Range Test	檢驗資料是否超過儀器或物理現象的極限值	1、3、 4
	Test 5 季節性極限值檢驗 Climatology Test	檢驗資料是否超過逐月變化合理範圍或季節變動極限值	1、3
第 2 組 強烈建 議檢測	Test 6 離群值檢驗 Spike Test	檢驗資料是否為短時距之離群值(outlier)	1、3、 4
	Test 7 資料變化率檢驗 Rate of Change Test	檢驗資料的短時距變化率是否超過觀測值標準差變化率	1、3
	Test 8 平線檢驗 Flat Line Test	檢驗資料是否連續時段內僅有微小變動或毫無變化	1、3、 4
第 3 組 建議 檢測	Test 9 複合變數檢驗 Multi-Variate Test	同一測站使用其他具良好相關性之輔助資料，檢驗兩組資料之變化率情形	1、3
	Test 10 訊號衰減檢驗 Attenuated Signal Test	檢驗資料於一定時間區間內是有適當的變化量	1、3、 4
	Test 11 鄰站比對檢驗 Neighbor Test	檢驗資料與鄰近測站觀測結果的相似性	1、3

註：狀態標記 1：通過檢測 2：狀態未知/未檢測 3：可疑資料 4：未通過檢測 9：資料遺失

本研究主要參考 QARTOD 手冊^[6]之品管檢驗流程，茲分別簡述 11 項檢驗項目如下：

1. **資料時序檢驗**：觀測儀器的取樣頻率通常是預設的固定值，本檢驗檢查觀測資料間之時距是否符合取樣頻率。若在取樣頻率的預定時間沒有資料則視為資料遺失，則標記 9；否則則通過檢驗，給予標記值 1。
2. **資料格式檢驗**：檢查回傳的資料是否符合預定的輸出格式，包含資料長度與檢查碼正確與否。若資料通過檢驗，則標記 1；若訊息無法正確解析出觀測結果，則標記 4。
3. **座標資料檢驗**：此檢驗項目主要是應用於海上浮標等可移動式測站，檢查回傳資料之儀器經緯度座標資訊是否合理。若回傳座標位置超出測站合理移動範圍，則標記 3；若經度超過 -180° 到 180° 或緯度超過 -90° 到 90° 則標註為 4；否則視為通過檢驗，則標記 1。
4. **極限值檢驗**：所有儀器量測與物理現象皆有其極限存在，使用極值鑑別可迅速篩除不合理的值。若觀測值超過使用者定義的極值範圍，則標記 3；若觀測值超過儀器量測的極限範圍，則標記 4；否則資料通過檢驗，給予標記值 1。
5. **季節性極限值檢驗**：觀測值的極限值範圍有時會明顯隨著季節而改變，故經由長時間統計的季節性觀測極限值，有助於檢驗資料品質狀態。若觀測值超過季節性的極限值範圍，則標記 3；若資料通過檢驗，給予標記值 1。
6. **離群值檢驗**：儀器有時受到外在影響或本身雜訊所致，而產生明顯的離群值，本檢驗用於檢查單個尖峰離群值，主要利用連續 3 筆資料，以第 1 筆與第 3 筆的平均值為基準，比較第 2 筆資料與基準之差值絕對值是否超過使用者設定的臨界值。若差值絕對值超過使用者設定的高標臨界值，則標記 4；若差值絕對值介於使用者設定的高標臨界值與低標臨界值間，則標記 3；否則資料通過檢驗，標記為 1。
7. **資料變化率檢驗**：檢驗連續兩筆資料的變化率應小於某時間區間內的標準差，以篩除變化率過大的資料。若資料變化率大於 3 倍標準差，則標記 3；否則資料通過檢驗，標記為 1。
8. **平線檢驗**：某些儀器的感測器失效時，可能會持續輸出最後量測成功之數據，為避免此情形，必須根據儀器解析度或資料最小變動量設為判定值，當連續數筆資料之變化幅度皆小於判定值時，即需要將之篩出。若連續 3 筆資料變化幅度皆小於判定值，則標記 3；若連續 5 筆資料變化幅度皆小於判定值，則標記 4；否則資料通過檢驗，標記為 1。
9. **複合變數檢驗**：檢驗方式類似第 7 項變化率檢驗，差別在於利用相同測站的另一組(不同物理量)具有良好相關性的輔助資料，檢查兩組資料在某時間區間內的變化率是否一致。當主要資料變化率大於 3 倍標準差，而輔助資料變化率小於 3 倍標準差時，則標記 3；否則通過檢驗，標記為 1。
10. **訊號衰減檢驗**：訊號衰減常見於儀器感應器因嚴重磨損的軸承、接地線故障、信號干擾或電線屏蔽等造成儀器靈敏度衰退，但有別於第 8 項平線檢驗的連續數點無變動觀測數值，訊號

衰減則係指某段時間內變化起伏不大的相近觀測數值。檢驗方式是選定某時間區間內的標準差是否大於臨界值來判斷。若標準差介於警告臨界值及失效臨界值，則標記 3；若標準差小於失效臨界值，則標記 4；否則資料通過檢驗，標記為 1，

11. **鄰站比對檢驗**：檢驗方式類似第 9 項變化率檢驗，差別在於使用鄰站相同物理量之觀測數值做為輔助資料進行檢驗，當主要資料變化率大於 3 倍標準差，而輔助資料變化率小於 3 倍標準差時，則標記 3；否則通過檢驗，標記為 1。

因本研究觀測數據之資料庫本身已針對輸入資料有特定格式限制，及觀測儀器皆非可移動式測站，故不進行第 2、3 項檢測。另因本研究之資料檢核係在港灣環境資訊網展示前之快速品管，故第 1、8、9 項檢測係關於資料回傳異常之狀態，將做為儀器檢測或保養維修之告警訊息。第 6 項檢測因需要展示後的下一時點資料進行研判是否為離群值，故亦不納入本研究檢測範圍。而關於第 9、11 項檢測，當鄰近測站無同一物理量觀測資料量時，可採第 9 項檢測；若鄰站有同一物理量觀測資料時，則可採第 11 項檢測。綜上，本研究之即時快速品管將進行第 4、5、7、11 項檢測。第 4、5 項檢測為檢驗儀器量測及物理現象之極限值的合理性；第 7 項檢測為檢驗資料在時間的連續性；第 11 項檢測則檢驗觀測資料間的關聯性。

本研究以臺中港為例進行風力、波浪之快速品管，臺中港之風力、波浪測站位置詳如圖 1，各測站詳細資訊如表 2。臺中港風力測站共有 9 站，其測站 ID 分別為 6、7、17、18、19、20、141、142、143，且 ID18 和 142 位置相同、ID19 和 143 位置相同、ID20 和 141 位置相同。港研中心之波浪測站為 ID5，另為利進行第 11 項鄰站比對檢驗，本研究使用交通部中央氣象局臺中資料浮標站之波浪資料，其測站 ID 為 C6F01。



圖 1 臺中港之風力、波浪測站位置圖

第 4 項極限值檢驗之設定值詳如表 2。第 5 項季節性極限值檢驗係以不同季節之觀測值累積機率到達 99.9%的數據為季節性極限值，詳如表 3。第 7 項資料變化率檢驗及第 11 項鄰站比對檢驗中，波浪資料之檢驗係以資料變化率大於 24 小時內資料的 3 倍標準差為臨界值；風力資料之檢驗係以資料變化率大於 8 小時內資料的 3 倍標準差為臨界值。此外，方向性資料(平均風向、最大風向、平均波向)僅進行第 4 項極限值檢驗。

表 2 臺中港之風力、波浪測站資訊

位置(代號)	ID	回傳時距	物理量	極限檢驗設定值
綠燈塔(T2)	6	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
防風林(T1)	7	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~65 0~360 0~65 0~360
港研中心頂樓(T6)	17	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
31 號碼頭(T5)	18	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
工專二(T9)	19	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
北防沙堤(T8)	20	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
北防沙堤(多參數)	141	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
31 號碼頭(多參數)	142	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
工專二(多參數)	143	10 分鐘	平均風速 平均風向 最大風速 最大風向	0~60 0~360 0~60 0~360
北防波堤(X1)	5	1 小時	示性波高 尖峰週期 平均週期 平均波向	0~40 0~30 0~30 0~360
臺中浮標	C6F01	1 小時	示性波高 平均週期 平均波向	0~40 0~30 0~360

表 3 季節性極限值檢驗之臨界值

測站 ID	物理量	季節極限值(累積機率 99.9%組距值)			
		春	夏	秋	冬
5	示性波高	4.0	3.2	4.3	4.5
	尖峰週期	10.4	12.0	12.5	10.9
	平均週期	6.4	6.5	6.9	6.6
6	平均風速	24.7	21.5	27.3	26.4
	最大風速	30.3	26.0	33.8	32.6
7	平均風速	24.7	21.4	27.3	26.4
	最大風速	30.3	25.9	33.8	32.6
17	平均風速	10.5	9.6	12.0	13.2
	最大風速	21.6	19.4	23.8	25.1
18	平均風速	15.7	14.0	17.9	16.6
	最大風速	25.9	21.2	27.5	28.2
19	平均風速	16.6	11.9	15.8	15.5
	最大風速	24.9	20.3	26.7	26.3
20	平均風速	17.8	14.3	22.6	19.2
	最大風速	24.8	18.8	30.1	25.6
141	平均風速	17.1	11.2	17.0	14.9
	最大風速	24.8	15.0	24.5	20.3
142	平均風速	16.1	14.6	16.3	17.2
	最大風速	27.9	22.7	28.3	30.7
143	平均風速	11.0	8.5	10.9	11.3
	最大風速	22.1	17.1	22.4	24.2
C6F01	示性波高	4.0	2.8	4.8	4.3
	平均週期	7.0	7.0	7.5	6.8

四、研究成果

4.1 風力資料品管結果

本研究蒐集臺中港共 9 個風力測站資料，其物理量項目包括平均風速、平均風向、最大風速以及最大風風向，觀測頻率為 10 分鐘。依前述快速品管流程依序檢驗風速資料，以下擇要說明綠燈塔 ID6 站、防風林 ID7 站、工專二 ID143 站、港研中心頂樓 ID17 站等 4 站之品管結果，其中平均風向及最大風向僅進行第 4 項極限值檢驗，前述 4 個測站之平均風向及最大風向皆通過檢測；另外，平均風速及最大風速之檢驗標記結果，詳如表 4 至表 11，並簡述如下：

1. 極限值檢驗(Test 4)：綠燈塔 ID6 站標記 4 的部分在平均風速有 1 筆資料、最大風速有 53 筆資料。可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 0 筆、最大風速有 2 筆資料。防風林 ID7 站標記

4 的部分在平均風速、最大風速皆為 0 筆。可疑資料標記 3 的部分在平均風速、最大風速皆為 0 筆資料。工專二 ID143 站標記 4 的部分在平均風速、最大風速皆為 0 筆。可疑資料標記 3 的部分在平均風速、最大風速皆為 0 筆。港研中心頂樓 ID17 站標記 4 的部分在平均風速有 0 筆資料、最大風速有 69 筆資料。可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 0 筆資料、最大風速有 7 筆資料。

2. 季節性檢驗(Test 5)：由於此檢驗並無標記 4。綠燈塔 ID6 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 120 筆資料、最大風速有 162 筆資料。防風林 ID7 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 20 筆資料、最大風速有 102 筆資料。工專二 ID143 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 72 筆資料、最大風速有 67 筆資料。港研中心頂樓 ID17 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 78 筆資料、最大風速有 128 筆資料。
3. 資料變化率檢驗(Test 7)：由於此檢驗並無標記 4，綠燈塔 ID6 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 25 筆資料、最大風速有 62 筆資料。防風林 ID7 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 28 筆資料、最大風速有 62 筆資料。工專二 ID143 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 9 筆資料、最大風速有 27 筆資料。港研中心頂樓 ID17 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 68 筆資料、最大風速有 115 筆資料。
4. 鄰近測站比較檢驗(Test 11)：由於此檢驗並無標記 4，綠燈塔 ID6 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 0 筆資料、最大風速有 50 筆資料。防風林 ID7 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 14 筆資料、最大風速有 31 筆資料。工專二 ID143 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 8 筆資料、最大風速有 6 筆資料。港研中心頂樓 ID17 站可疑資料標記 3 的部分在平均風速有 66 筆資料、最大風速有 112 筆資料。

表 4 綠燈塔 ID6 站平均風速之品管結果

檢驗項目：平均風速		測站 ID：6		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-30 23:50:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	37,599	37,479	36,796	47,572
標記值 3	0	120	25	0
標記值 4	1	0	0	0

表 5 綠燈塔 ID6 站最大風速之品管結果

檢驗項目：最大風速		測站 ID：6		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-30 23:50:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	37,640	37,480	36,728	31,304
標記值 3	2	162	62	50
標記值 4	53	0	0	0

表 6 防風林 ID7 站平均風速之品管結果

檢驗項目：平均風速		測站 ID：7		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-02 00:00:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	43,759	43,739	43,643	25,259
標記值 3	0	20	28	14
標記值 4	0	0	0	0

表 7 防風林 ID7 站最大風速之品管結果

檢驗項目：最大風速		測站 ID：7		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-02 00:00:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	43,759	43,657	43,609	25,383
標記值 3	0	102	62	31
標記值 4	0	0	0	0

表 8 工專二 ID143 站平均風速之品管結果

檢驗項目：平均風速		測站 ID：143(氣象站)		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-20 11:10:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	21,019	20,947	20,954	20,144
標記值 3	0	72	9	8
標記值 4	0	0	0	0

表 9 工專二 ID143 站最大風速之品管結果

檢驗項目：最大風速		測站 ID：143(氣象站)		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-20 11:10:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	21,020	20,953	20,937	4,476
標記值 3	0	67	27	6
標記值 4	0	0	0	0

表 10 港研中心頂樓 ID17 站平均風速之品管結果

檢驗項目：平均風速		測站 ID：17		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-13 16:40:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	44,226	44,148	44,085	43,330
標記值 3	0	78	68	66
標記值 4	0	0	0	0

表 11 港研中心頂樓 ID17 站最大風速之品管結果

檢驗項目：最大風速		測站 ID：17		
觀測時間：2021-01-01 00:00:00 到 2021-11-13 16:40:00				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	44,148	44,027	43,848	43,239
標記值 3	7	128	115	112
標記值 4	69	0	0	0

4.2 波浪資料品管結果

本研究蒐集臺中港共 2 個波浪測站資料，包含港研中心之 AWAC 測站及交通部中央氣象局之臺中資料浮標測站，其物理量項目包括示性波高、尖峰週期、平均週期以及平均波向，觀測頻率為 1 小時。依前述快速品管流程依序檢驗波浪資料，以下說明北防波堤 ID5 站之品管結果，其中平均波向僅進行第 4 項極限值檢驗，僅 1 筆資料未通過標驗，標註為 4；另外，示性波高、尖峰週期、平均週期之檢驗標記結果，詳如表 12 至表 14，並簡述如下：

1. 極限值檢驗(Test 4)：北防波堤 ID5 站標記 4 的部分在示性波高、尖峰週期、平均週期皆為 0 筆資料。
2. 季節性檢驗(Test 5)：由於此檢驗並無標記 4。北防波堤 ID5 站可疑資料標記 3 的部分在示性波高有 5 筆資料、尖峰週期有 1 筆資料、平均週期有 0 筆資料。
3. 資料變化率檢驗(Test 7)：由於此檢驗並無標記 4，北防波堤 ID5 站可疑資料標記 3 的部分在示性波高有 3 筆資料、尖峰週期有 5 筆資料、平均週期有 0 筆資料。
4. 鄰近測站比較檢驗(Test 11)：由於此檢驗並無標記 4，北防波堤 ID5 站可疑資料標記 3 的部分在示性波高、尖峰週期、平均週期皆為 0 筆資料。

表 12 北防波堤 ID5 站示性波高之品管結果

檢驗項目：示性波高		測站 ID：5		
觀測時間： 2021-01-01 00:10:01 到 2021-03-04 07:10:01 及 2021-05-26 16:10:01 到 2021-11-30 23:10:01				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	5,045	5,400	5,306	6,016
標記值 3	0	5	3	0
標記值 4	0	0	0	0

表 13 北防波堤 ID5 站尖峰週期之品管結果

檢驗項目：尖峰週期		測站 ID：5		
觀測時間： 2021-01-01 00:10:01 到 2021-03-04 07:10:01 及 2021-05-26 16:10:01 到 2021-11-30 23:10:01				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	5,405	5,404	5,395	5,404
標記值 3	0	1	5	0
標記值 4	0	0	0	0

表 14 北防波堤 ID5 站平均週期之品管結果

檢驗項目：平均週期		測站 ID：5		
觀測時間： 2021-01-01 00:10:01 到 2021-03-04 07:10:01 及 2021-05-26 16:10:01 到 2021-11-30 23:10:01				
	Test4 極限值檢驗	Test5 季節性極限值檢驗	Test7 資料變化率檢驗	Test 11 鄰站比對檢驗
標記值 1	5,405	5,405	5,401	5,405
標記值 3	0	0	0	0
標記值 4	0	0	0	0

五、結論

本研究參考美國海洋綜合觀測系統的 QARTOD 手冊，進行快速檢驗有關風力及波浪之觀測資料，透過極限值檢驗、季節性極限值檢驗、資料變化率檢驗、鄰站比對檢驗等 4 項檢驗，可將資料分項品管來判定觀測資料的品質，藉此盼望港灣環境資訊網能提供即時又可靠之海氣象觀測資訊，以提升航行交通安全、船舶進出港操航安全、船席機動調配及港埠運作效能。

本研究以臺中港為例，說明 110 年 1 月 1 日至 110 年 11 月 30 日期間對行風力、波流觀測資料之品管結果；港研中心後續將於各商港陸續擴充風力及波流之觀測能量，相關資料之品管檢驗更顯重要，同時也將有更多鄰站之觀測數據進行互相比對檢驗，以提升觀測資料品質，讓觀測成果得以更有效的應用。

參考文獻

1. 董東璟、莊士賢、高家俊 (1997),「海氣象觀測資料品管系統之建立」,中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集, 477-484 頁。
2. 賴志峰、江文山、黃國展、蔡宜秦、衛紀淮 (2021),「港區風力資料品管與補遺」, 港灣季刊, (118), 52-58 頁。
3. 陳沛宏、薛憲文、李忠潘、許弘莒、劉明鑫 (2020),「臺北港海氣象觀測數據檢核」, 港灣季刊, (115), 14- 32 頁。
4. 陳冠宇、劉俊志、張育嘉、陳人玉、蔡立宏、林雅雯、蔡世璿 (2021),「應用智慧監測進行海象數值同化研究(1/4)-臺中港監測資料智慧檢核及補遺」合作研究計畫期末報告。
5. 蘇青和、李俊穎、蔡立宏、廖慶堂、蔣敏玲、衛紀淮、羅冠顯、林受勳、傅怡釧、陳鈞彥(2017),「2016 年港灣海氣象觀測資料統計年報」。
6. Bushnell, M., & Worthington, H. (2017). Manual for real-time quality control of wind data: a guide to quality control and quality assurance for coastal and oceanic wind observations.

花蓮海岸公路人定勝天路段之海岸防護探討

陳冠宇¹ 劉俊志² 蔡立宏³ 林雅雯⁴
陳鈞彥⁵ 陳人玉⁶

¹ 國立中山大學海洋科學系教授
² 國立中山大學海洋科學系助理研究員
³ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
⁴ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
⁵ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
⁶ 國立中山大學海洋科學系研究助理

摘要

颱風引起的暴潮和長浪易對臺灣東部海岸公路的通行安全造成威脅，有必要加強海岸防護設施。而保護工法除了防災之外，尚須兼具海岸資源永續發展的概念以及對自然環境的保護。本文探討以離岸潛堤作為海岸防護的措施，使用 COBRAS 垂直 2 維模式來模擬長浪經過離岸潛堤後衝擊海岸公路的情境，並分析長浪溯上對台 11 線人定勝天路段 7 處斷面造成的地表最大壓力。藉由探討潛堤設置在 5 種地形水深條件的情境，比較道路附近的地表最大壓力與無潛堤情況下的差異，提供海岸防護的初步評估。另外利用 XBeach 模式模擬 7 處斷面外海各建立 1 座潛堤時的浪襲情境，比較不同潛堤配置方式在道路附近區域承受的最大波壓差異。

一、前言

2015 年蘇迪勒颱風和 2018 年潭美颱風所引起的長浪造成台 11 線花蓮海岸公路路基流失；2016 年梅姬颱風期間，台 11 線人定勝天路段出現浪花夾帶碎石波及道路路面的情形。由於人定勝天路段(里程約 61K 至 63K)離海岸近，較易於颱風期間受長浪的影響，為公路總局公布之浪襲路段，故此路段道路邊坡的堤趾保護有其必要性。

過去臺灣沿岸已有眾多離岸堤的設置案例，例如屏東縣林邊鄉崎峰村、東港鎮鎮海公園以及車城鄉福安宮北側等海岸區域因沙灘逐年受到侵蝕，故以離岸潛堤的工法進行沙灘保護，透過消弱波浪能量來降低沙灘受到波浪的直接衝擊，同時讓海灘兼具海岸景觀、生態保育及親水性等功能性。在高雄市旗津海岸線監測計畫中，根據近 10 年資料顯示流失沙灘縱深約 50 至 150 公尺之間，為改善沙灘流失的情況，高雄市政府於旗津海水浴場到風車公園之間的海岸區域，配置 2 座人工灣澳潛堤、8 座離岸潛堤及 1 座離岸堤，而花蓮海岸在南濱、北濱和化仁等區域建立多座離岸潛堤，因潛堤處於適當的水深，除了削減波浪能量，亦兼具人工魚礁的效果。上述案例所蒐集的潛堤設計相關參數如表 1。

表 1 潛堤設計相關參數(EL 為平均海水面)

地點	離岸距離(m)	堤頂高程(m)	堤頂寬度(m)	側邊坡度	海床高程(m)	堤長(m)	間距(m)
東港溪與林邊溪 出海口間	140-180	EL-0.1 至-0.5	5.1	無資料	-3 至-3.5	60	60
東港鎮鎮海公園附近	150-170	EL-0.5	10	無資料	-2.9 至 3.6	104.2	20
花蓮化仁	135	EL-0.5	10	1:1.5	-5.3 至-7	80	30
花蓮南濱	135	EL-0.5	10	1:1.5	-6.3 至-6.7	80	無資料
旗津南離岸潛堤	約 30 至 400	EL-4	25	1:2	-7 至-9	300	150
屏東縣福安宮海岸	150	EL-0.5	11.43	1:2	-4	180	11

二、人定勝天路段情境模擬

2.1 模式介紹

COBRAS (COrnell BReaking wave And Structure)流體模式主要求解 Raynolds Averaged Navier Stokes (RANS)方程式，並結合非線性 k-ε 紊流模式計算紊流動能 k 及紊流消散率 ε。模式特徵包括以流體體積法(Volume of Fluid, VOF)來描述流體在自由表面的變化。另外可按研究的需求在不同區域設定可變的網格解析。根據模式的輸出結果可得知模擬過程中的壓力、渦度、紊流黏滯力、動能、紊流消散、流速、自由表面變化、質量守恆或和水漫(overtopping)的體積。

2.1.1 RANS 控制方程式

在二維不可壓縮且黏性流動之牛頓流體假設條件下，其 RANS 控制方程式如下：

連續方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j} \quad (2)$$

其中 i 和 j =1 或 2，分別代表水平與垂直方向。u_i 代表第 i 個方向分量的流速。ρ 和 p 各為密度和壓力。g_i表示第 i 個方向分量的重力加速度。τ_{ij}為黏滯應力。⟨⟩ 符號代表時間平均。另外：

$$\langle \tau_{ij} \rangle = 2\mu S_{ij} + \rho \langle u'_i u'_j \rangle \quad (3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

其中 μ = νρ 為動力黏滯係數，而 ν 為動能黏滯係數，S_{ij} 為剪應變率張量，u'_i 和 u'_j 各代表流速在 i 和 j 方向分量的瞬時擾動量，⟨ u'_i u'_j ⟩ 為雷諾應力(Reynolds stress)。

2.1.2 k-ε 紊流模式

k-ε 紊流閉合模式的控制方程如下：

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \langle u'_i u'_j \rangle \frac{\partial \langle u'_i \rangle}{\partial x_j} - \epsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} + \nu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + 2C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \nu_t S_{ij} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (6)$$

其中 $k = \frac{1}{2} \langle u'_i u'_i \rangle$ 為紊流動能 (turbulence kinetic energy)， $\epsilon = \nu \langle \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right)^2 \rangle$ 為紊流消散率 (turbulence dissipation rate)， $\nu_t = C_d \frac{k^2}{\epsilon}$ 為渦流黏度 (eddy viscosity)。而 $C_d = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{7.4 + S_{\max}} \right)$ ， $S_{\max} = \frac{\epsilon}{k} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} \right| \right)$ 。

根據 Rodi (1980) 的建議值，在此將 σ_k 、 σ_ϵ 、 $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 四個經驗參數設定為 1.0、1.3、1.44 以及 1.92。紊流模式選擇非等向性的渦流黏度表示，雷諾應力如下式：

$$\langle u'_i u'_j \rangle = \frac{2}{3} k \delta_{ij} - C_d \frac{k^2}{\epsilon} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{k^3}{\epsilon^2} \left[C_1 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_i} \delta_{ij} \right) + C_2 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_k} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) + C_3 \left(\frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_i} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_j} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right] \quad (7)$$

其中 δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數，且 $C_1 = \frac{1}{185.2 + D_{\max}^2}$ ， $C_2 = \frac{1}{58.5 + D_{\max}^2}$ ， $C_3 = \frac{1}{370.4 + D_{\max}^2}$ ， $D_{\max} = \frac{k}{\epsilon} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right| \right)$

2.2 模式數值地形

本文選取台 11 線人定勝天 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220 等 7 個里程的道路斷面做為浪襲情境模擬地點(圖 1)。模式使用的地形為交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)提供的人定勝天路段附近高解析度光達陸地地形和船測海底地形，其數值化地形如圖 2。另以 XBeach 水平 2 維模式模擬波浪從正東入射後的第 136 秒水位空間分佈，大致沿著波向線選取 7 處斷面的地形切線，如圖 2 及圖 3 的綠線位置。

以台 11 線 61K+300 為例，切線地形剖面如圖 4。在此將海域的切線地形取到最大水深 32m 處，再從深度 32m 處往離岸方向延伸 6 個波浪週期所能傳播的水平距離做為模式的等水深入射波區。圖 4 左右翻轉後加入入射波區的 61K+300 模式地形如圖 5，並將 X 座標 0m 重新定義在高程 0m 的海陸交界處。



圖 1 google earth 台 11 線人定勝天路段選取的 7 個情境里程位置

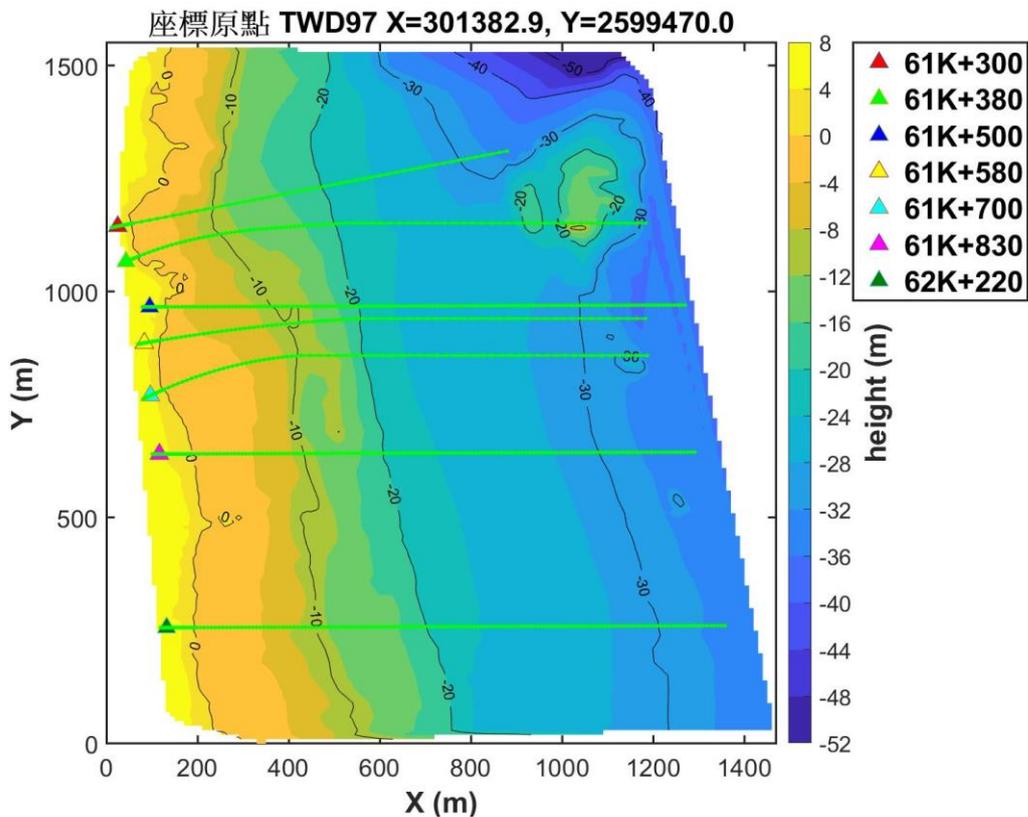


圖 2 台 11 線人定勝天路段 7 個里程位置(三角)以及地形切線(綠線)

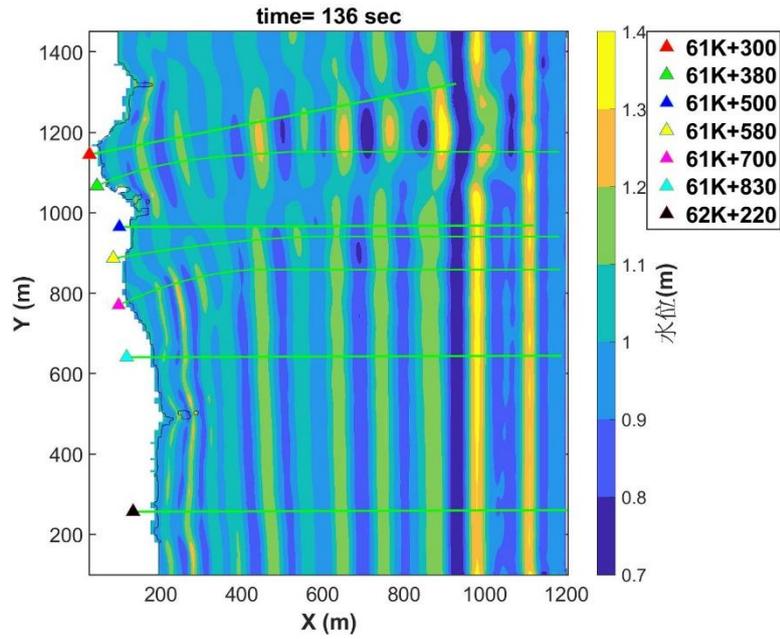


圖 3 台 11 線人定勝天路段 7 處斷面(三角)沿波向線選取地形切線(綠線)

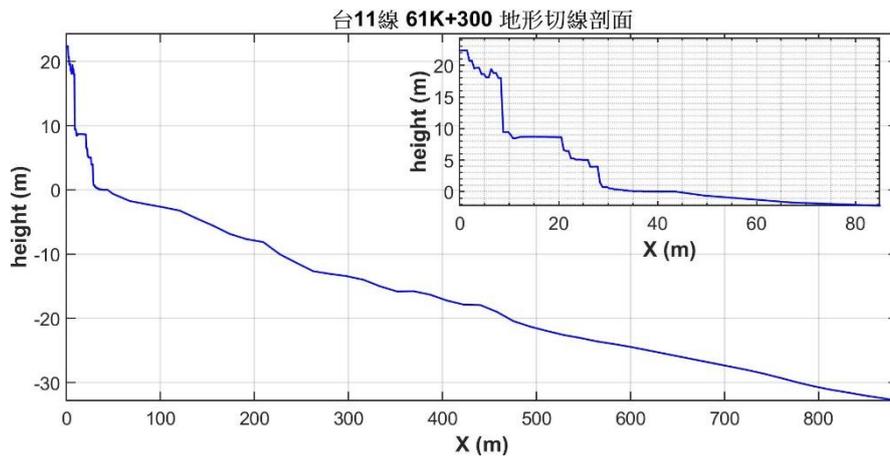


圖 4 台 11 線 61K+300 離岸方向地形剖面

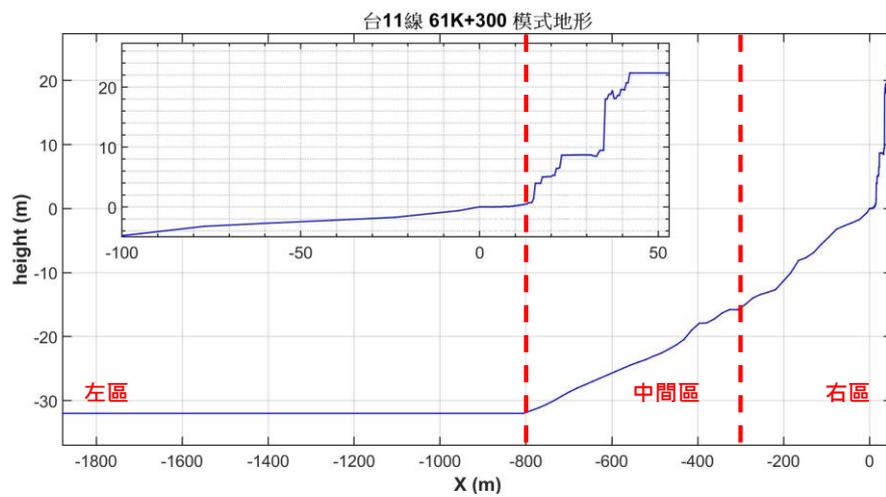


圖 5 台 11 線 61K+300 斷面模式地形

2.3 模式設定

模式在 X 方向的網格解析共分成 3 個區域，左區為均一水深 32m 的波浪入射區，如圖 5 的 X=-1870 至-800m 之間，解析度為 2m，右區為近岸水平距離近岸 300 公尺往右的區域，如圖 5 的 X=-300 至 52m，解析度為 0.5m，介於左、右兩區的中間區，如圖 5 的 X=-800 至-300m 範圍，解析度左至右從 2m 線性變化到 0.5m，在 Y(垂直)方向解析度固定為 0.5m。模式時間解析則使用調整式的時間步長。由於地形剖面由圖 3 波向線而來，即假設入射波沿此切線方向前進，所有模擬的初始條件為流速 0 且無擾動單一水位的水平面，模擬時間設定為波浪第一波抵達陸地後，再加上 8 個入射波週期。

邊界條件的設定在上邊界(頂部)、下邊界(底部)以及右邊界為牆，而左邊界使用連續 8 個正弦波入射。圖 6 為 2015 年 8 月蘇迪勒颱風和天鵝颱風，2016 年 9 月梅姬颱風以及 2018 年 9 月潭美颱風的警報期間，運研所在花蓮港外海 AWCP 觀測的示性波高和尖峰週期觀測值，參考圖 6 之尖峰週期統計圖，在此將入射波週期設定為較大的 16 秒。另外參考陳等人(2017)的花蓮港波高重現期，將邊界入射波高設定為 50 年重現期的 10m。

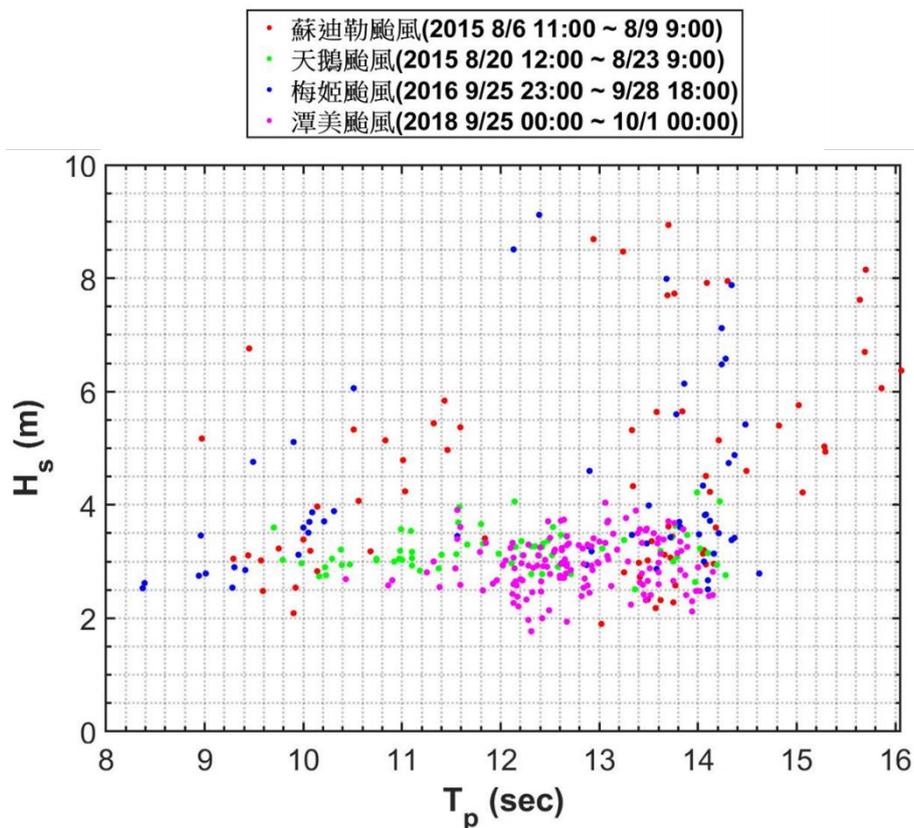


圖 6 四個颱風期間的花蓮港 AWAC 示性波高和週期

根據交通部中央氣象局 2020 年潮汐表，石梯漁港的天文潮在-1.1m 至 1.1m 之間，而豐濱鄉沿海的臺灣高程基準比當地平均海面高 0.24m，則可概估石梯漁港天文潮高程在-0.9 至 1.3m 之間。楊(2018)分析 2001 至 2017 年石梯漁港的觀測資料，得知最大的暴潮偏差為 1.3m，且發生在

2015 年蘇迪勒颱風期間。以臺灣高程基準來看，石梯漁港如以最大天文潮 1.3m 加上 1.3m 暴潮偏差，可出現 2.6m 的潮位，故本文使用 0、1 和 2.5m 等 3 種初始水位條件做為情境潮位。

在離岸潛堤設定方面，選擇將潛堤設置在 4 至 8m 共 5 種不同海床深度的位置進行模擬。以 61K+300 處為例，潛堤配置如圖 7，圖由上至下各為無潛堤以及潛堤深度 4m 至 8m。本文參考表 1 後選擇堤頂寬度為 10m，堤頂高度固定在平均水位高程-0.5m，潛堤兩側的坡度為 1:2。包含無潛堤的情境模擬，藉由 3 種潮位搭配 6 種海堤條件，人定勝天路段 7 處斷面情境模擬共有 126 種，如圖 8。

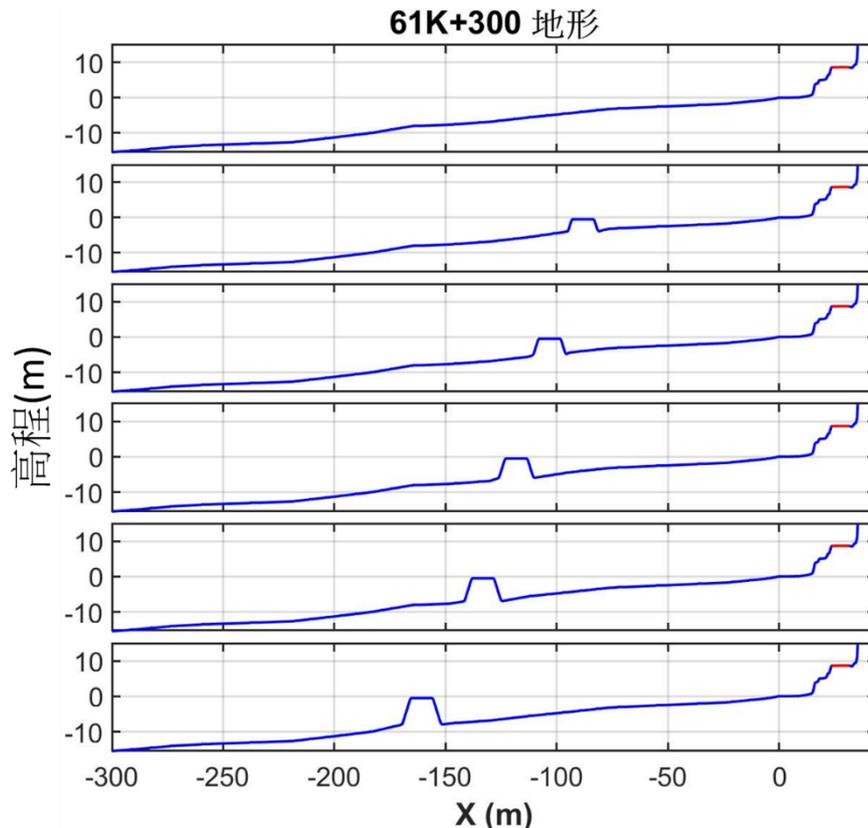


圖 7 台 11 線 61K+300 的離岸潛堤地形配置

人定勝天段模擬條件組合



圖 8 不同模擬條件的組合

2.4 模擬流程

以台 11 線 61K+300 潮位 2.5m 且潛堤深度 6m 的情境為例，建立模式地形後開始模擬，模式以 Fortran 撰寫並於 Win10 作業系統架構進行模擬，模擬結束後可得到模擬期間的流速、壓力及水位等相關資料，圖 9 為模擬第 90 至第 270 秒的空間壓力分佈，而圖 10 為模擬期間的最大壓力(Pmax)空間分布。圖 11 為接近道路附近 15m 到道路之間的區域範圍內沿著 X 方向的地表最大壓力，其中 X=23.5 至 31.5m 為道路範圍(紅線)，而圖 12 為潛堤區在 X 方向的地表壓力最大值。

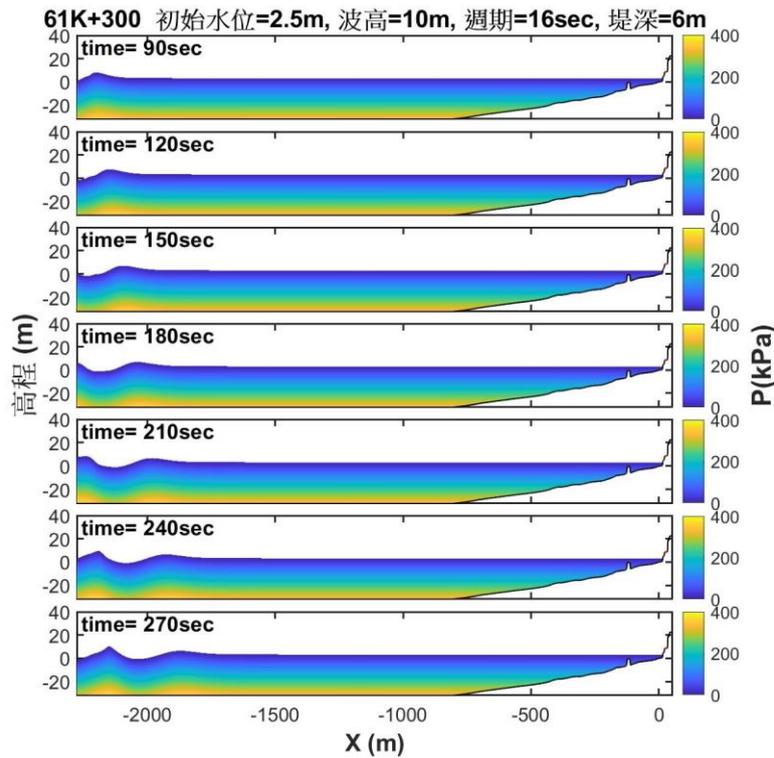


圖 9 台 11 線 61K+300 模擬的壓力空間分布

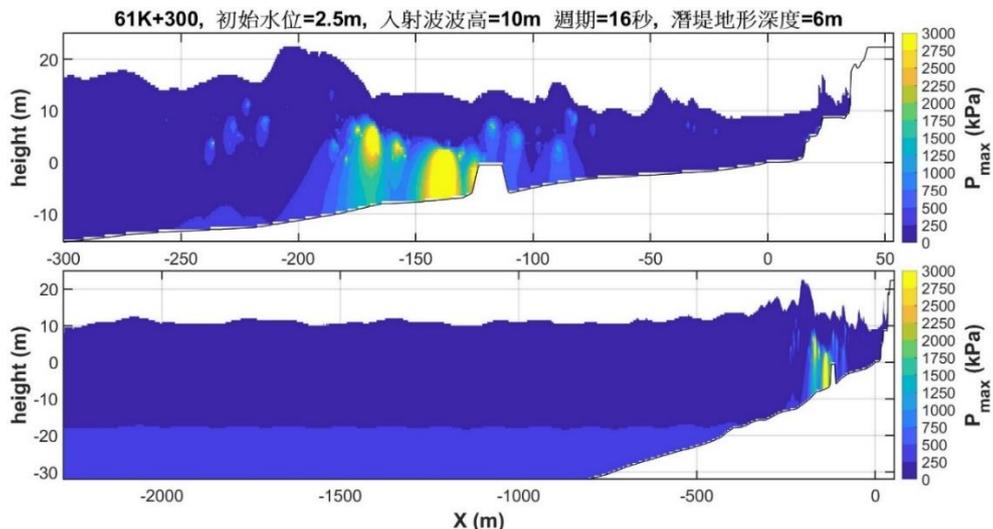


圖 10 台 11 線 61K+300 模擬期間的最大壓力空間分布

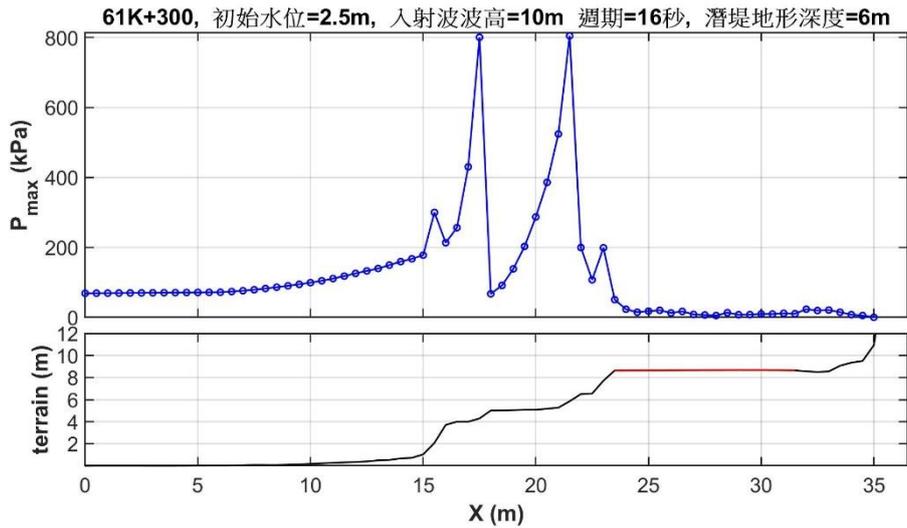


圖 11 台 11 線 61K+300 模擬期間的地表最大壓力分布

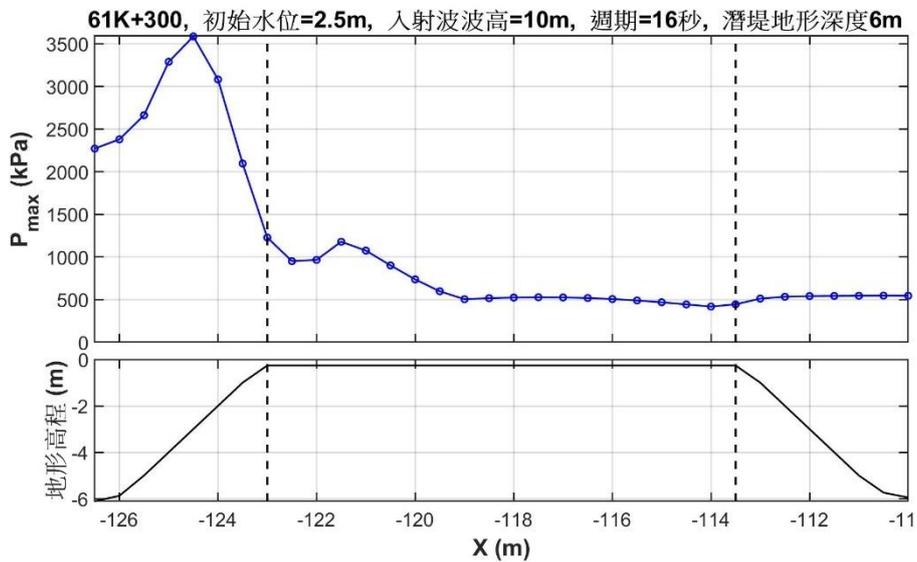


圖 12 台 11 線 61K+300 模擬期間的潛堤表面最大壓力分布

三、模擬結果

根據模擬期間的長浪溯上距離，以及對地形和人工建築物的表面所承受的最大壓力進行分析。將海陸交界處定義為陸地溢淹距離的起點($X=0$)，並將道路靠陸側的邊緣定義為溢淹距離的終點來計算溢淹距離，模擬期間在陸地上方有出現水體皆視為溢淹。對道路 8m 路寬另外再定義一個道路溢淹距離，藉以了解道路是否雙向車道皆出現溢淹，其起點和終點各為道路的靠海和靠陸邊緣，溢淹距離介於 0 至 8m。本文針對近道路區以及潛堤區進行地表最大壓力探討，將道路區依距離道路邊緣 15m 至 10m、10m 至 5m、5m 至 0m 的區間劃分為第 1、2 和 3 區，而道路部分為第 4 區，例如圖 13 為台 11 線 61K+300 在潮位 2.5m 下，6 種潛堤條件在近道路區的地表最大壓力，各區以黑虛線劃分。由於第 3 區為緊鄰道路的區域，而第 4 區為道路路面，故在評估潛堤的深度設置時會優先考量陸地溢淹距離的減少幅度以及近道路區的第 3 和第 4 區最大

壓力值的降幅。潛堤區則分為堤前、堤頂以及堤後等 3 區來進行最大壓力的討論，例如圖 14 為 61K+300 在潛堤深度 7m 時，3 種潮位條件在潛堤區的地表最大壓力，以黑虛線分 3 區。將各個里程位置的所有情境以上述分區取區間的最大值可得表 2 至 8。

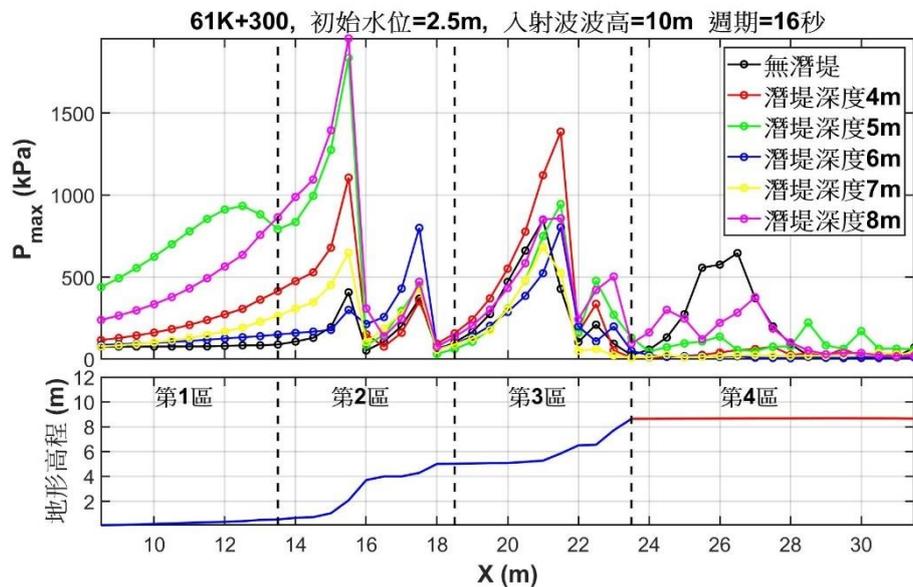


圖 13 潮位 2.5m 時，台 11 線 61K+300 近道路區的地形表面最大壓力

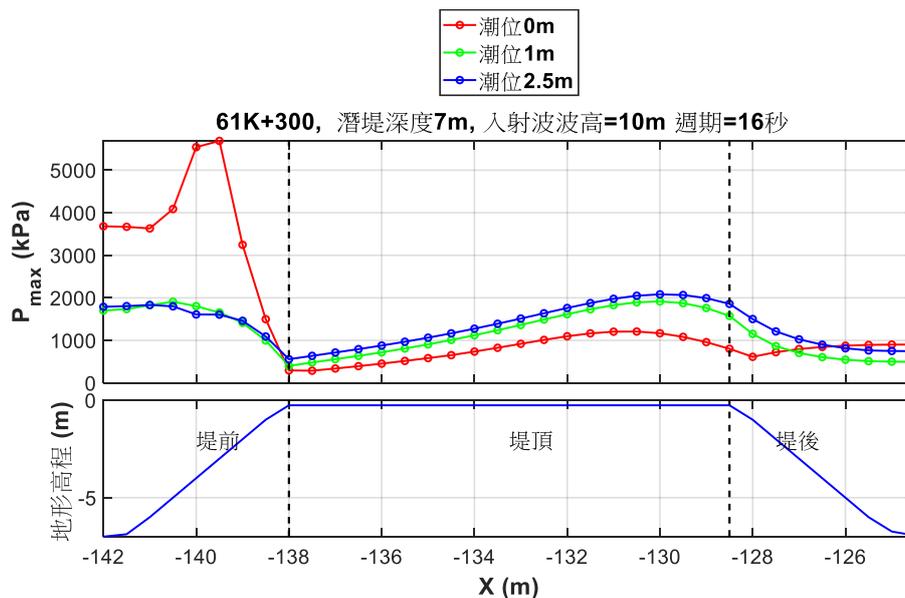


圖 14 台 11 線 61K+300 潛堤深度 7m 時，三種潮位的潛堤表面最大壓力

3.1 61K+300 至 61K+580 處

由表 2 可知在 3 種潮位條件下，當潛堤深度在 4m 時，相較於其他深度在潛堤區的堤前、堤頂和堤後區所受到最大壓力皆為最小，61K+300 近道路區的最大壓力相對於無潛堤情況來說，潮位 0m 時，將潛堤設在深度 4m 時，在第 2 和第 3 區有較大的壓力降幅，當潮位 1m 時，將潛堤設在深度 6 和 8m 時，在第 1 和 3 區皆有較大的最大壓力降幅，當潮位為 2.5m 時，將潛堤設在深度 6 和 7m 時，在道路本身的第 4 區皆有較大的最大壓力降幅。

由表 3 知 61K+380 處，潮位 0m 時，有潛堤的情境皆能使第 3 區的壓力降為 0，再考慮第 2 區最大壓力降幅，可將潛堤深度設置為 5 或 8m，當潮位 1m 時，深度 7 和 8m 的條件對第 3 區最大壓力有較佳的降幅，當潮位為 2.5m 則是深度 5m 對第 2 至第 4 區的最大壓力有較佳降幅。

由表 4 知 61K+500 處，潮位 0m 時，有設置潛堤的情況下皆能使第 2、第 3 區的最大壓力值下降，以深度 5m 最佳，且潛堤區最大壓力值亦較小，當潮位 1m 時，潛堤深度 6 和 7m 的條件對第 3、4 區最大壓力值有較佳的降幅，當潮位 2.5m 時，潛堤深度設置 5m 對第 1 至第 4 區最大壓力皆有較佳的降幅，且潛堤區壓力受力亦較小。

由表 5 知 61K+580 處，潮位 0m 時，以潛堤深度 4、5 和 6m 的情況下，皆能使第 2、3 區的最大壓力值下降較多，當潮位 1m 時，潛堤深度 5 和 6m 的條件對第 3 和第 4 區最大壓力值有較佳的降幅，當潮位 2.5m 時，潛堤深度設置 4m 對第 2 至第 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅，且潛堤區的壓力受力亦較小。

表 2 台 11 線 61K+300 近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	區域最大壓力 (kPa)						
		近道路 第 1 區	近道路 第 2 區	近道路 第 3 區	近道路 第 4 區	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		96	581	112	0			
	4	223	227	14	0	1058	330	256
	5	116	344	65	0	1145	651	171
	6	74	478	30	0	1131	714	136
	7	176	511	83	0	5687	1208	901
	8	154	658	117	0	4312	1020	757
1		330	1181	723	2			
	4	237	937	1749	1	1351	427	478
	5	126	445	1923	16	1666	981	1299
	6	276	984	205	5	1820	1104	604
	7	759	1957	428	17	1909	1916	1575
	8	254	772	306	19	4850	1397	1447
2.5		84	407	849	647			
	4	362	1107	1388	75	1186	1017	278
	5	935	1838	946	223	2789	1494	1317
	6	216	757	901	21	3693	1080	837
	7	228	649	683	39	1833	2082	1858
	8	758	1957	859	378	4701	3398	561

表 3 台 11 線 61K+380 近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	區域最大壓力 (kPa)						
		近道路第 1 區	近道路第 2 區	近道路第 3 區	近道路第 4 區	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		250	266	297	0			
	4	938	737	0	0	4847	2594	1536
	5	730	68	0	0	735	1388	819
	6	805	412	0	0	567	931	204
	7	455	463	0	0	880	1077	457
	8	465	137	0	0	280	508	398
1		392	360	750	0			
	4	573	658	548	0	713	1479	1597
	5	565	1027	379	0	457	660	740
	6	1244	251	789	0	666	283	255
	7	689	400	348	0	1149	179	406
	8	997	279	245	0	1437	921	704
2.5		2493	576	948	82			
	4	1025	660	829	13	345	1394	2141
	5	1543	373	337	16	253	263	442
	6	489	690	497	12	289	229	185
	7	269	357	540	10	162	215	219
	8	565	379	562	28	426	82	154

表 4 台 11 線 61K+500 近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	區域最大壓力 (kPa)						
		近道路第 1 區	近道路第 2 區	近道路第 3 區	近道路第 4 區	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		531	246	288	0			
	4	253	30	73	0	197	91	74
	5	305	3	0	0	273	130	155
	6	143	156	2	0	782	225	97
	7	386	61	0	0	1198	515	321
	8	491	39	12	0	3244	971	465
1		277	88	609	7			
	4	130	2246	1099	413	179	300	89
	5	1314	1883	947	0	147	348	306
	6	87	592	27	0	301	364	307
	7	552	524	42	0	2663	894	361
	8	708	443	355	2	1178	913	498
2.5		1300	1327	1899	115			
	4	658	428	1713	723	134	162	146
	5	207	435	396	22	156	251	178
	6	1809	413	437	100	233	343	250
	7	1326	919	633	92	2663	2485	436
	8	1352	617	2070	216	1814	622	537

表 5 台 11 線 61K+580 近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	區域最大壓力 (kPa)						
		近道路 第 1 區	近道路 第 2 區	近道路 第 3 區	近道路 第 4 區	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		22	194	246	0			
	4	118	6	0	0	193	384	138
	5	30	6	0	0	657	538	235
	6	50	37	0	0	405	489	401
	7	325	199	3	0	1285	740	363
	8	232	196	6	0	3224	666	534
1		164	338	77	11			
	4	226	225	42	7	167	494	126
	5	258	367	33	1	360	736	782
	6	207	971	27	4	692	288	258
	7	360	158	62	21	2808	761	1005
	8	227	499	132	14	1893	1422	1346
2.5		243	628	423	41			
	4	439	352	161	30	171	313	293
	5	305	1262	1988	51	334	373	309
	6	653	1344	611	38	204	225	147
	7	602	1237	424	396	1225	1202	1905
	8	1100	583	632	297	2406	2188	1794

3.2 61K+700 至 62K+220 處

由表 6 知 61K+700 處近道路區最大壓力相對於無潛堤的情況，當潮位 0m 時以潛堤深度 4、5m 的情況下，皆使第 3 區的最大壓力值下降較多，潮位 1m 時潛堤深度 4 和 6m 的條件對第 2 和 3 區最大壓力值有較佳降幅，潮位 2.5m 時，潛堤深度 4m 對第 3 和第 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅。

由表 7 可知 61K+830 處，當潮位 0m 時，6 種潛堤條件對近岸道路壓力最大值而言，並無明顯差異。當潮位 1m 時，潛堤深度 6、7 和 8m 第 2 區最大壓力值有較佳的降幅，但在其他區無明顯差異。當潮位 2.5m 時，潛堤深度 4 和 7m 對第 1 和第 2 區的最大壓力皆有較佳的降幅，但在第 3 和第 4 區與其他條件相差不多。

由表 8 知 61K+220 處，當潮位 0m 時，除了潛堤 8m 在第 1 和第 2 區稍大之外，6 種潛堤條件的最大壓力值在各區並無明顯差異。當潮位 1m 時，潛堤深度 5、6m 在第 2、第 3 區有較佳的最大壓力值降幅。當潮位 2.5m 時，各潛堤深度在第 4 區皆能使最大壓力大幅下降，而在第 3 區則是深度 7m 有最大降幅、而深度 8m 次之。

表 6 台 11 線 61K+700 近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	區域最大壓力 (kPa)						
		近道路第 1 區	近道路第 2 區	近道路第 3 區	近道路第 4 區	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		152	414	74	0			
	4	142	72	19	0	477	389	231
	5	41	205	19	0	1499	966	528
	6	61	483	37	0	1414	857	379
	7	31	172	44	0	2836	991	722
	8	34	110	121	0	4916	1026	358
1		90	361	145	1			
	4	48	83	48	1	708	581	184
	5	92	153	395	1	2062	606	377
	6	205	119	39	1	3548	983	591
	7	45	155	113	2	2779	1211	1018
	8	46	230	99	4	3661	849	717
2.5		67	206	165	103			
	4	65	251	87	26	519	463	365
	5	64	541	233	17	1059	662	1696
	6	63	216	344	33	1362	841	1119
	7	62	260	161	70	1899	514	753
	8	62	252	151	43	2829	1766	1124

表 7 台 11 線 61K+830 近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	區域最大壓力 (kPa)						
		近道路第 1 區	近道路第 2 區	近道路第 3 區	近道路第 4 區	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		19	16	8	0			
	4	13	10	0	0	1338	637	268
	5	11	8	0	0	2094	947	633
	6	24	9	0	0	1220	988	509
	7	161	4	0	0	1717	887	422
	8	12	6	0	0	5863	909	1675
1		33	204	19	2			
	4	31	52	15	1	891	637	1081
	5	51	129	14	0	671	521	105
	6	26	22	13	0	1858	778	194
	7	80	18	9	0	3950	524	495
	8	110	17	8	0	3385	1293	1746
2.5		330	298	27	11			
	4	109	44	33	9	398	353	218
	5	369	45	256	14	971	880	255
	6	187	67	33	8	1000	305	742
	7	54	36	26	8	2169	2187	2246
	8	301	74	33	6	2886	551	297

表 8 台 11 線 61K+220 近道路區與潛堤區的最大壓力

潮位(m)	潛堤深度(m)	區域最大壓力 (kPa)						
		近道路第 1 區	近道路第 2 區	近道路第 3 區	近道路第 4 區	潛堤前側	潛堤頂部	潛堤後側
0		41	34	23	1			
	4	30	23	12	0	364	738	514
	5	55	22	12	0	1372	757	280
	6	50	20	7	0	546	1309	211
	7	24	18	6	0	3001	464	470
	8	177	105	5	0	3468	748	682
1		229	139	31	4			
	4	206	230	107	3	1882	779	757
	5	155	38	29	2	742	1281	735
	6	125	70	25	1	1042	837	326
	7	220	158	82	2	2744	590	554
	8	255	271	20	0	1717	670	671
2.5		501	636	211	414			
	4	268	582	120	22	437	726	682
	5	342	493	103	15	256	468	359
	6	67	373	268	21	276	505	500
	7	196	290	51	27	627	549	995
	8	135	384	91	20	1421	914	322

四、不同潛堤配置方案模擬

4.1 XBeach 模式設定

本文使用 XBeach 水平 2 維模式來模擬人定勝天路段 7 處斷面外海設置潛堤的浪襲情境。潛堤長、寬各設定 50m 和 10m，堤頂高程為平均潮位-0.5m，模擬 2 種潮位條件，並區分為 A、B 和無潛堤等 3 種配置方案，各情境條件如表 9，透過向西的最大壓力來探討不同潛堤配置對 7 處斷面的波壓降低效果。模式地形如圖 15，水平網格解析度 5m，模擬時間為 20 分鐘，東邊界入射波條件為示性波高 5m，尖峰週期 15 秒。圖 15 和 16 的黑色長條區域各為 7 個潛堤的 A 和 B 兩種配置位置，另外黑線等深線間隔 10m，而黃、青和紫紅色線各為 7、4 和 3m 等深線。綠三角由北至南各為台 11 線 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220 的里程位置。潛堤配置方案 A 和 B 的主要差別在於配置 B 將 61K+380 和 61K+580 的外海潛堤位置稍微南移，並將 61K+500、61K+700、61K+830、62K+220 的外海潛堤則往岸邊移動一段距離。

表 9 XBeach 潛堤配置模擬條件

情境編號	潮位	潛堤配置
1	0 m	無潛堤
2	0 m	A
3	0 m	B
4	1 m	無潛堤
5	1 m	A
6	1 m	B

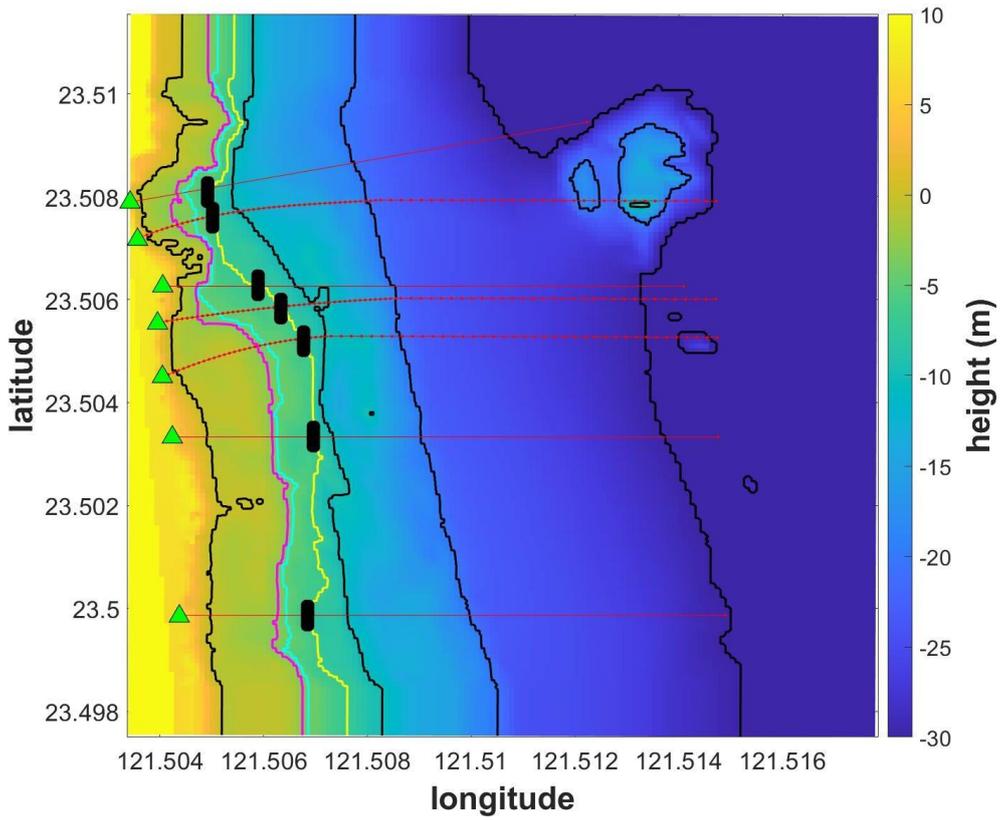


圖 15 潛堤配置方案 A

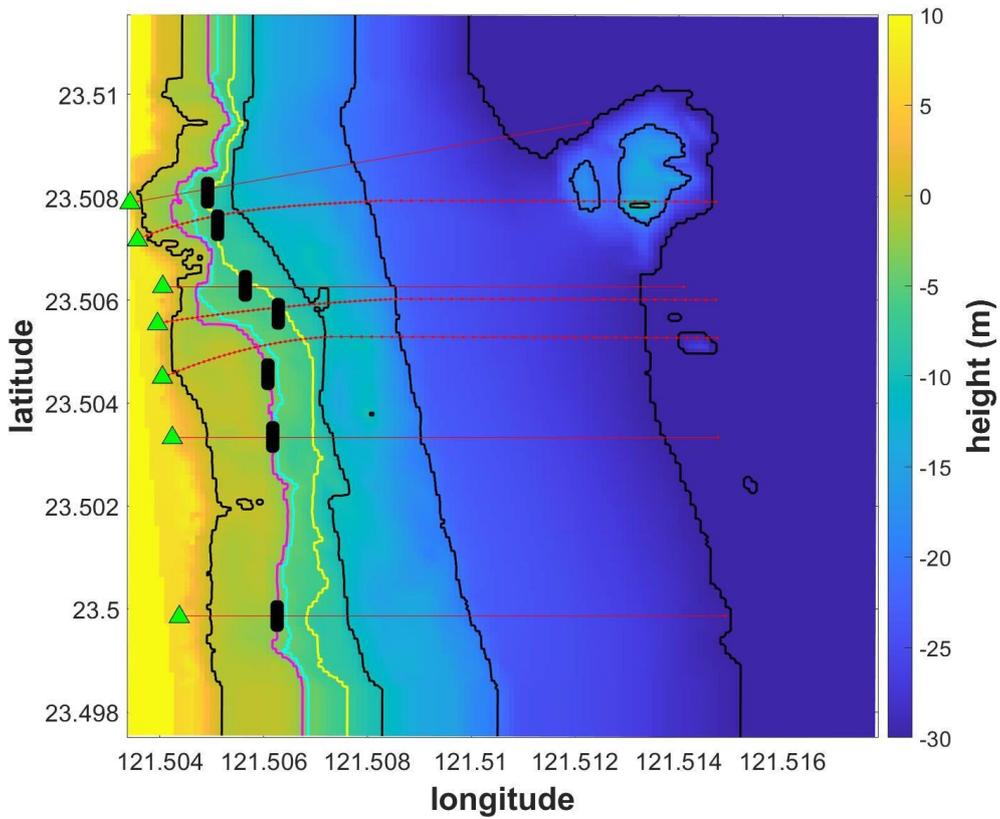


圖 16 潛堤配置方案 B

4.2 模擬結果

為了解表 9 的 6 種情境在道路附近承受的波壓，以模擬期間 7 處斷面的向西最大壓力值進行比較，例如圖 17 和圖 18 的上圖各為 61K+300 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向所得的向西最大壓力，下圖為切線方向的地形之對照，X=0 處代表道路所在位置，其結果顯示在潮位 0m 和 1m 時，方案 A 和方案 B 的波壓大小差異不大，相對於無潛堤的情況，在 X=15 至 80m 均可提供減壓的作用。X=10 和 15m 的海岸處在潮位 0m 時，約下降 400 至 800N/m²，而在潮位 1m 時，僅約下降 200N/m²，顯示潛堤設置對於 61K+300 岸邊降低壓力的效果可能會隨潮位的增加而降低，類似結果亦出現在 61K+380、61K+500 和 61K+580 3 處。

圖 19 和 20 的上圖各為 61K+700 在潮位 0m 和 1m 條件下沿切線方向的向西最大壓力。結果顯示潮位 0m 時，在 X>=25m 的區域以無潛堤的壓力值最大，方案 B 次之，方案 A 最小，但在 X=10m 至 20m 之間，無潛堤和方案 A 的壓力值相近，而方案 B 最小。3 種潛堤條件的最大壓力皆不超過 500 N/m²。當潮位為 1m 時，方案 A、B 的最大壓力值接近，相對於無潛堤的情況，僅在 X=0 和 15m 處有較大的降幅，而其他位置的 3 種潛堤條件壓力值相似。另外 X=0m 為 61K+700 所在處，該處出現壓力值代表道路附近出現溢淹。

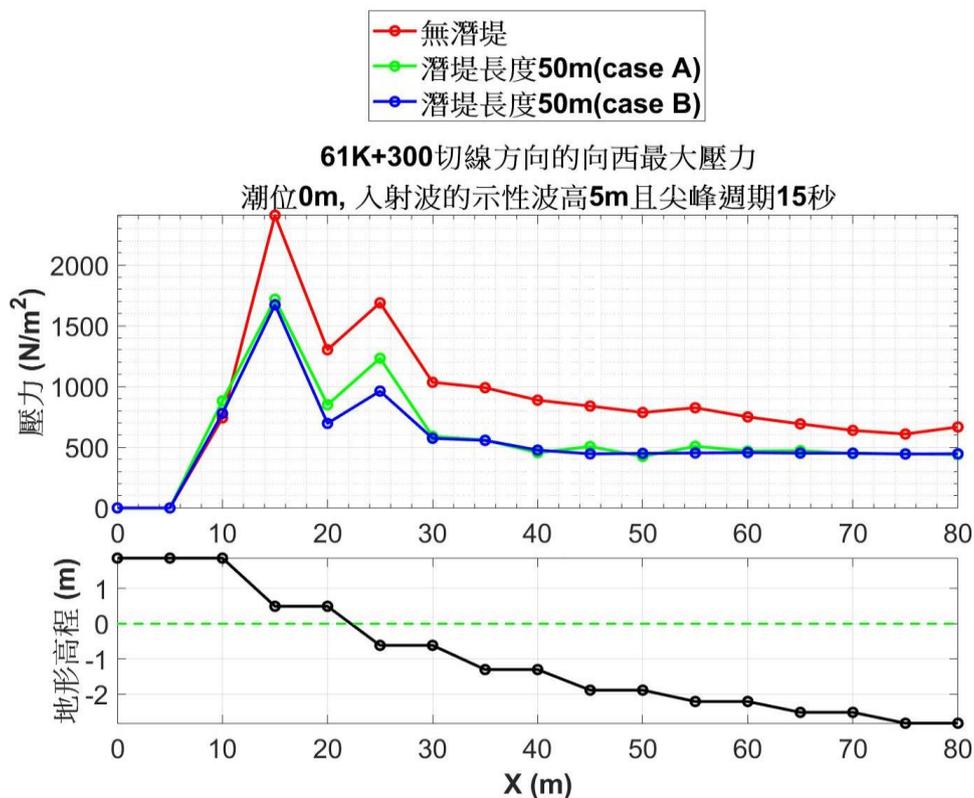


圖 17 潮位 0m 時，台 11 線 61K+300 切線方向的最大壓力

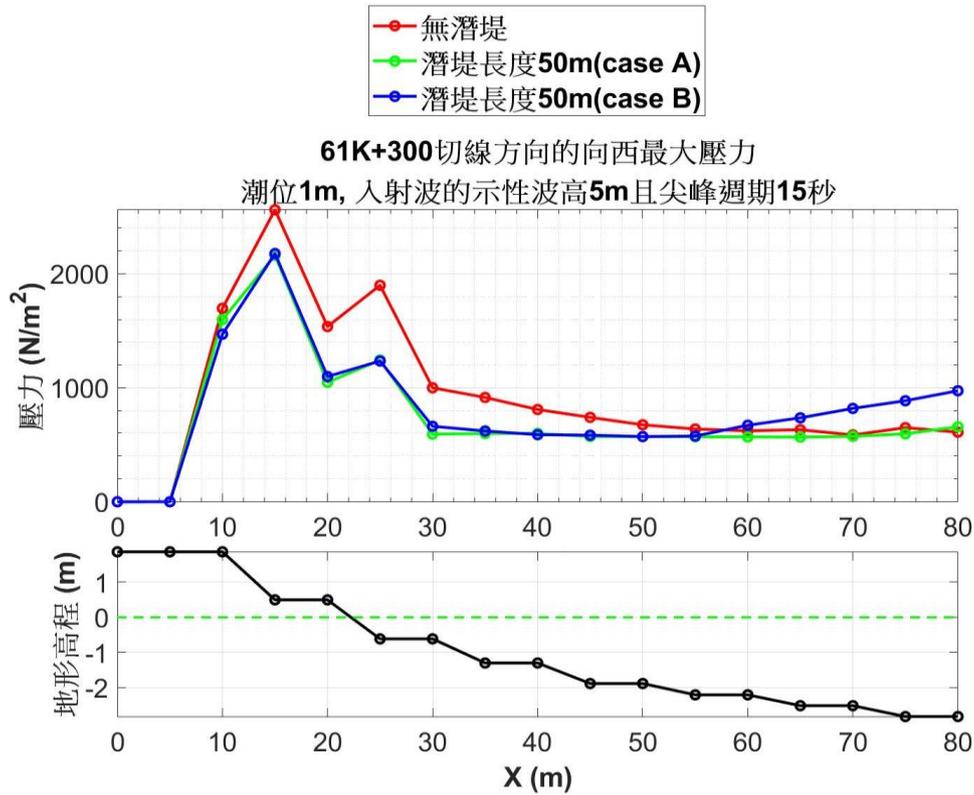


圖 18 潮位 1m 時，台 11 線 61K+300 切線方向的最大壓力

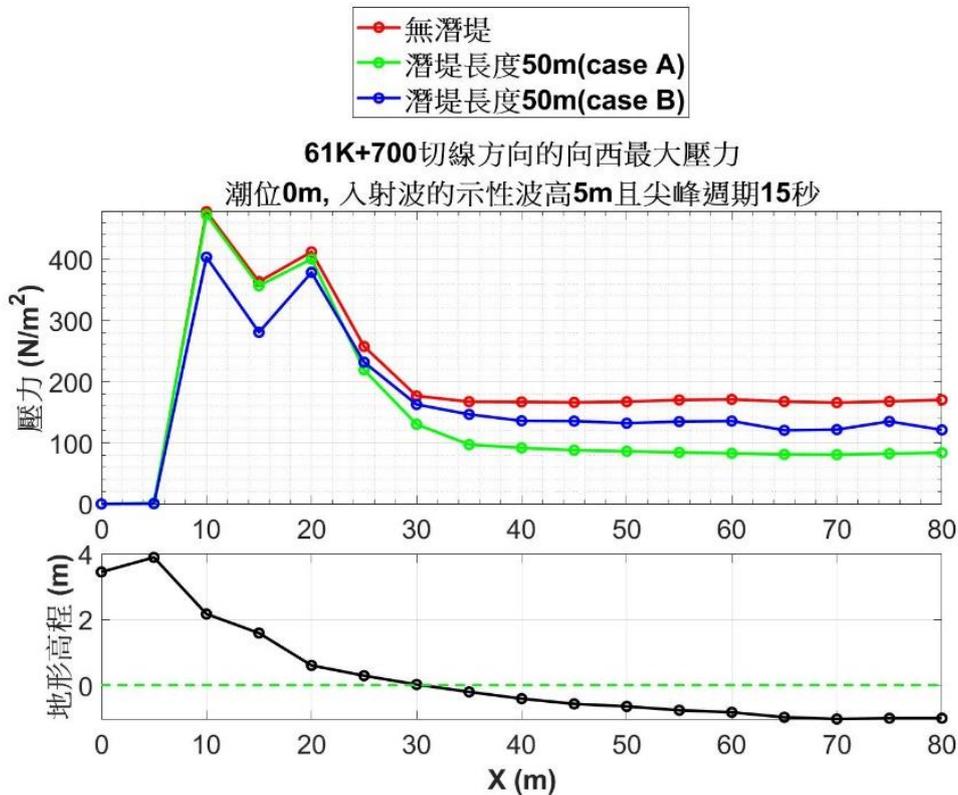


圖 19 潮位 0m 時，台 11 線 61K+700 切線方向的最大壓力

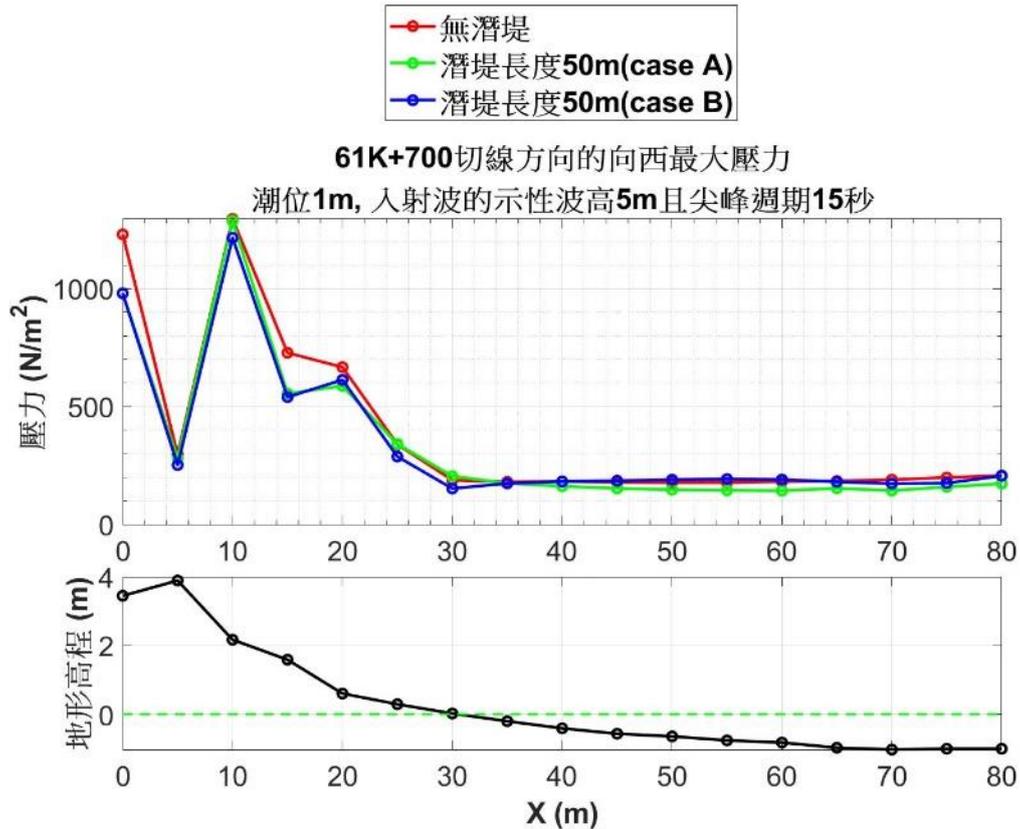


圖 20 潮位 1m 時，台 11 線 61K+700 切線方向的最大壓力

大致而言，模擬結果以方案 B 對於 7 處海岸斷面的最大壓力值有較大降幅。另外 61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 處斷面，在相對於無潛堤的情況，使用方案 A 和 B 在潮位 1m 時的最大壓力降幅皆比潮位 0m 小，表示此 4 設置潛堤的減壓能力，可能隨潮位增加而降低。另外 61K+830 和 62K+220 由於道路位置離海岸超過 50m，模擬的波浪尚未衝擊道路鄰近區域。

五、結論

本文利用 COBRAS 及 XBeach 兩種模式在人定勝天路段外海不同的水深位置設置離岸潛堤，進行情境模擬分析長浪溯上距離以及長浪作用力的影響範圍，COBRAS 模擬結果顯示當潮位 0m 時，相對於無潛堤情況下，潛堤深度設置在水深 5 至 7m 對於水平距離海岸公路 0 至 5m 的區域能使最大波浪壓力值有較佳的降幅，而當潮位為 1m 時，潛堤深度則以水深 6 到 7m 有較佳的壓力降幅。Xbeach 行模擬結果顯示，大致上對各斷面靠近岸邊的陸地最大壓力值以無配置潛堤的情況值最大，方案 A 方案次之，方案 B 最小，方案 B 為較佳配置方案。另 61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 處於潛堤配置 A 或 B 的情況下，與無潛堤相較的最大壓力值在潮位 1m 會比潮位 0m 降幅小，表示潛堤的降壓能力可能隨潮位增加而降低。

5.1 離岸潛堤混凝土等級建議

根據表 2 至表 8 可知在人定勝天路段 7 處斷面所有 COBRAS 模擬最大壓力值在近道路區和潛堤區皆未大於 10000 kPa，亦即壓力未超過 102 kgf/cm²。由行政院農業委員會發布的水泥混凝土之一般要求將混凝土強度分為六級如表 10，一般要求提到(1)140kgf/cm² 級混凝土用於次要排水路、護岸、回填混凝土或基礎墊層混凝土。(2)175kgf/cm² 級混凝土用於河海堤、排水路、護岸、灌溉渠道、鋼筋混凝土構造物，混凝土砌卵石溝或用於無筋混凝土構造物。依模擬的最大壓力強度而言，使用抗壓強度 140kgf/cm² 等級的混凝土應足夠避免潛堤的結構被波壓破壞。

表 10 行政院農業委員會農第 03053 章混凝土分級表

分級項目 (kgf/cm ²)	水灰比	參考使用水泥量 (kg/m ³)
fc'=140	0.708	215~235
fc'=175	0.620	250~275
fc'=210	0.532	300~325
fc'=245	0.440	375~400(水中 375~400)
fc'=280	0.400	360~400(水中 400~425)
fc'=350	0.384	440~470

註：1.參考使用水泥量得在 10%範圍內調整之。
2.剛性路面系依抗彎強度 R 值分級。

5.2 離岸潛堤的地形深度建議

由表 2 至表 8 在無潛堤條件下，考慮潮位 0 至 1m 的情況，可考慮優先對 61K+300 至 61K+500 外海設置潛堤來降低道路邊坡所承受的壓力，根據 3.1 及 3.2 節討論的溢淹距離以及道路鄰近區的壓力值減少較多的情境，將 3 種潮位的潛堤設置深度建議值整理如表 11。

表 11 潛堤設置的海床深度建議值(m)

台 11 線里程	潮位 0m	潮位 1m	潮位 2.5m
61K+300	4	6、8	6、7
61K+380	5 和 8	7 和 8	5
61K+500	5 至 7	6 至 7	5
61K+580	4 至 6	4 至 6	4
61K+700	4、5	4、6	4
61K+830	6 至 7	6 至 8	4、7
62K+220	4 至 8	5 至 6	7

5.3 離岸潛堤配置建議

5.2 節表 11 之深度建議值經 XBeach 的情境模擬後，由於 61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 處道路位置離海岸較近，如選擇潛堤配置方案 B(圖 16)對於道路鄰近區域的最大波壓有較大的降幅，可做為台 11 線人定勝天路段海岸防護的潛堤配置參考。

參考文獻

1. 中央氣象局 2020 年潮汐表 (2019)。
2. 陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝 (2017),「臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(4/4)」,交通部運輸研究所。
3. 楊博堯 (2018),「台灣環島實測暴潮分析」,成功大學水利及海洋工程學系學位論文,1-114 頁。
4. COBRAS user's manual version 1.01(2002).
5. XBeach User Manual revision 395c974a(2020).

基隆港船舶斷纜事件之研究

何秉均

臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司工程處督導

摘要

港內停泊於船席上的船隻，其繫纜的纜繩，因船舶受到許多力量的影響，如港內波浪作用力、漲落潮的潮流、季風或颱風吹襲時，故導致繫纜力變化，纜繩張力不足，會有斷纜的事件發生。本研究蒐集基隆港 109 年的斷纜資料，比對斷纜當日中央氣象局，所測得的風速及風向資料，以及港研中心設於港內東 8 碼頭之實測的波高資料。所得結果可知，造成港內船舶的斷纜事件，最可能的影響因素是風速及風向。船舶或船艙的倒纜或順纜，因同向吹來的風，使船舶移動，牽動數量較少的纜繩，由於張力不足，故會容易有斷纜的狀況。但是在東岸的東 8 碼頭、東 9 碼頭、東 10 碼頭及東 11 碼頭，斷纜的原因是側風直接吹船體，造成斷纜事件，垂直於船體的陣風，亦會產生斷纜的事件。斷纜時，港內波高並無明顯的增高，顯示斷纜與港內波高兩者並無關係。

一、研究動機

1.1 基隆港港內斷纜

本研究蒐集基隆港務分公司所提供之船舶斷纜資料整理如表 1。各個斷纜的位置，在基隆港的碼頭上標示出來如圖 1。從斷纜位置圖中來看，分布在東岸碼頭的位置有東 8 碼頭、東 9 碼頭、東 10 碼頭、東 11 碼頭及東 12 碼頭，在東內碎波堤堤後的東 22 碼頭也有斷纜的事件。西岸碼頭的位置有西 15 碼頭、西 17 碼頭、西 20 碼頭及西 22 碼頭。而西 27 及西 29 碼頭在火號澳船渠最底部，一般而言，受到波浪影響小的區域，也有斷纜的事件。造成港內斷纜事件可能的影響因素是風速及風向，為本文主要討論議題。

1.2 斷纜的原因

一般而言，港內的波浪較小，約介於 10~30 公分間，在颱風時期，會稍微增大。蔡立宏等 (2019) 實驗發現，颱風時港內的波浪，對船舶纜繩的影響，遠小於颱風的風力影響。輕船吃水較淺，船體受風面積加大，風力不斷吹襲，力量作用於船舶，容易加大繫泊纜繩的張力，倘港內有因颱風引起的盪漾，造成船舶嚴重晃動，纜繩將瞬間崩斷，船舶其他的纜繩可能一併崩斷，斷纜的船舶受強風催襲，在港內碰損其他船隻或碼頭，極容易造成港內船舶或設施嚴重的損失。

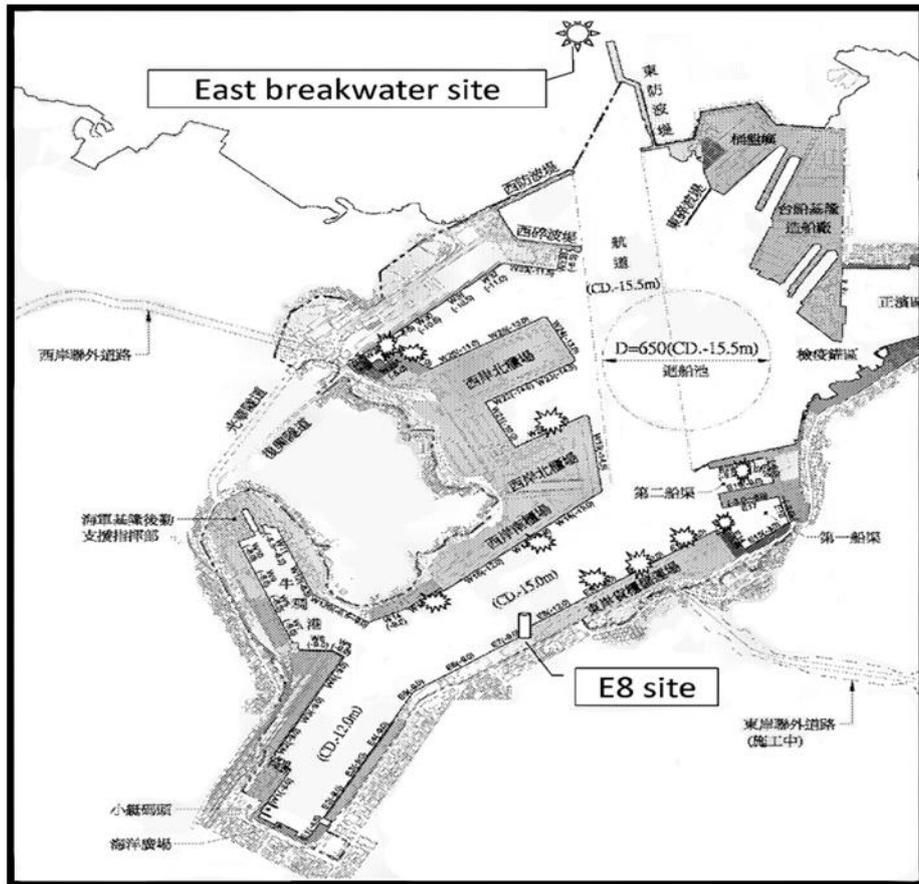


圖 1 基隆港 109 年港內船舶斷纜位置圖

表 1 基隆港 109 年港內船舶斷纜時間之波高與風速資料表

案例	日期	碼頭	船名	噸數(T)	東堤當日平均波高 Hs(M)	E8 當日平均波高 Hs(M)	當日平均風速 (M/S)	當日平均陣風風速 (M/S)	當日最大陣風風速 (M/S)
1	109.07.03	E22	TAI FU NO.8	1270	0.35	0.09	2.1	4.4	8.2
2	109.08.09	W15	TAI FU NO.8	1270	0.46	0.08	2.35	5.53	9.5
3	109.08.09	W29	SHIN HWA NO.8	1355	2.42	0.31	5.78	11.76	13.9
4	109.10.08	E12	CPC NO.9	490	3.32	0.36	6.8	14.49	18.3
5	109.12.03	W17	SCO SHANGHAI	6323	3.06	0.45	5.23	11.49	15.3
6	109.12.14	E11	PHILIPPOS-MICHALIS	17907	3.06	0.45	5.23	11.49	15.3
7	109.12.14	W20	OSG ADMIRAL	7197	3.06	0.45	5.23	11.49	15.3
8	109.12.14	E8	BLUE OCEAN	9949	3.06	0.45	5.23	11.49	15.3
9	109.12.14	E10	KUO LIN	18826	3.06	0.45	5.23	11.49	15.3
10	109.12.15	E09	NEW MINGZHOU 60	9998	3.06	0.35	5.4	11.37	13.9
11	109.12.15	W27	LUCKY PIONEER	4750	3.06	0.35	5.4	11.37	13.9
12	109.12.16	W20	QING YUN HE	20624	2.79	0.38	5.24	12.05	14.7

二、研究方法

2.1 港內波高

基隆港內港的東 8 測站位置，位於東 8 碼頭與東 7 碼頭交界處(座標 $N25^{\circ}08'21.08''$, $E121^{\circ}45'2.8''$)，如圖 2。測站儀器採用壓力式水位計量測水位，測量頻率為 1 小時 3 筆，即每 20 分鐘 1 筆。從 2020 年 6 月 1 日 0 時，取至 2021 年 6 月 30 日 23 時 40 分共計 24,048 筆資料。



圖 2 東 8 碼頭位置圖

從內港的整年波高時間序列(如圖 3)可以查出斷纜當日的港內浪高狀況，從而可以知道浪高是否為斷纜的影響因素。

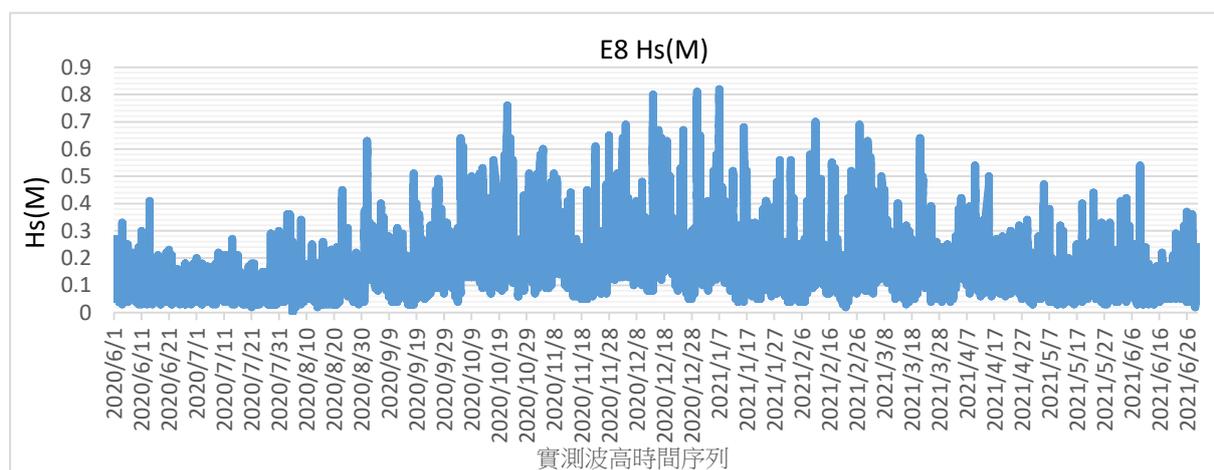


圖 3 東 8 碼頭 109 年 6 月至 110 年 6 月之有義波高時間序列圖

2.2 基隆港風速及風向資料

基隆港港口面對北太平洋，冬天時對港內作業船隻的影響，主要受到東北季風的吹襲，參考中央氣象局歷年基隆港四季及全年風玫瑰圖，顯示全年風場統計來自北至東方的機率超越 50% 以上，可知東北風向為主要風向，其風速強度大多低於 10 m/s，偶爾時間之鋒面過境或颱風

時期，其風速強度可高於 10 m/s 以上。本研究取斷纜日期的中央氣象局發布的風速及風向資料，以分析風向與斷纜處的碼頭，其兩者之間的關係。

三、研究結果與討論

3.1 斷纜日期及風向說明

109 年時，東 8 碼頭有測波資料期間，蒐集基隆港務分公司所提供之船舶斷纜資料整理，其相關之位址在基隆港的碼頭上標示出來。從斷纜位置圖 1 中來看，分布在東岸碼頭的位置有東 8 碼頭、東 9 碼頭、東 10 碼頭、東 11 碼頭及東 12 碼頭，在東內碎波堤堤後的東 22 碼頭也有斷纜的事件。西岸碼頭的位置有西 15 碼頭、西 17 碼頭、西 20 碼頭及西 22 碼頭。西 27 及西 29 碼頭在一般稱為火號澳的船渠最底部，這個區域受到波浪影響小，在此區域，會有斷纜的事件，顯示，斷纜與波高似無強烈關聯。

在本研究中方位角的定義，以正北方的方位角為 0 度，順時針方向，增加角度，正東方方位角為 90 度，正南方方位角為 180 度，正西方方位角為 270 度。例如碼頭的方位角是 210 度(如圖 4)，OA 線段左側為碼頭岸肩，右側則為船席水域，210 度加 90 度為 300 度，則是推船舶離開碼頭的離岸方向。

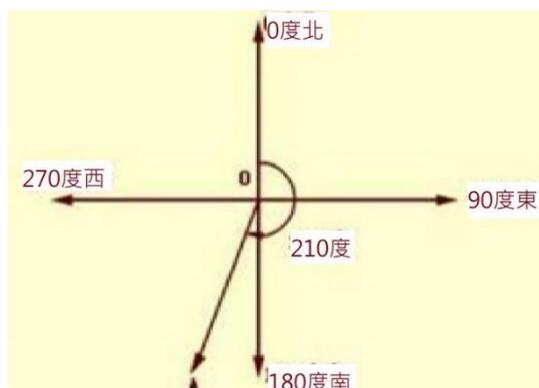


圖 4 方位角示意圖

九個碼頭之方位角、最大陣風方向、風速及相關分析說明如下：

1. 109 年 7 月 3 日東 22 號碼頭，碼頭方位角為 260 度，船體離岸迎風方位角 350 度。當日最大陣風方向有二，一個是介於 60 度至 220 度之陣風；另一個是介於 30 度至 50 度的陣風，當時最大陣風速約每秒鐘 6 公尺至 7 公尺，如圖 5。這個斷纜事件，最大陣風風速小於 9.5M/S，斷纜的原因可能不是風力的影響，但是圖 5 中灰色折線圖所表現的風向來看，變化從方位角 60 度到方位角 220 度，兩者風向的變化極大，可能是斷纜的因素之一。另外 E22 碼頭停靠的船多為較小噸位的船隻，所用的纜繩老舊，是斷纜原因之一。

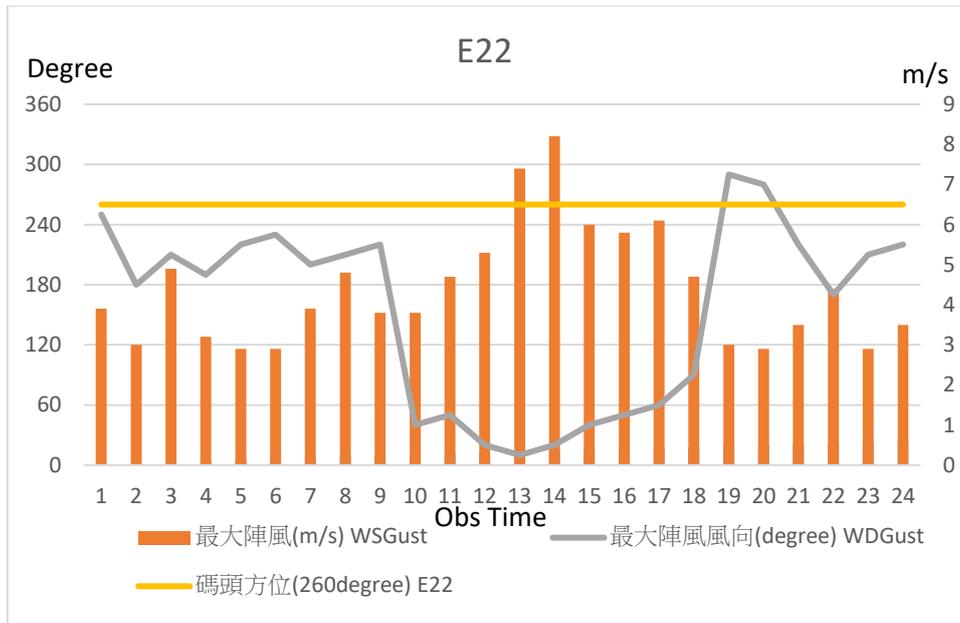


圖 5 東 22 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

2. 109 年 8 月 9 日西 15 號碼頭，碼頭方位角為 230 度，船體離岸迎風方位角 320 度。當日最大陣風為介於 200 度至 270 度，最大陣風速約每秒鐘 7 公尺，如圖 6。在這個西 15 號碼頭斷纜事件中，最大陣風風速也小於 9.5M/S，斷纜的原因似非風力的影響，同樣從圖 6 中灰色折線圖所表現的風向來看，方位角介於 200 度到方位角 270 度，而主要風向與碼頭法線相近，兩者的變化一致，風一直吹船艙或船艙，造成纜繩斷裂，風向的變化是斷纜的因素之一。

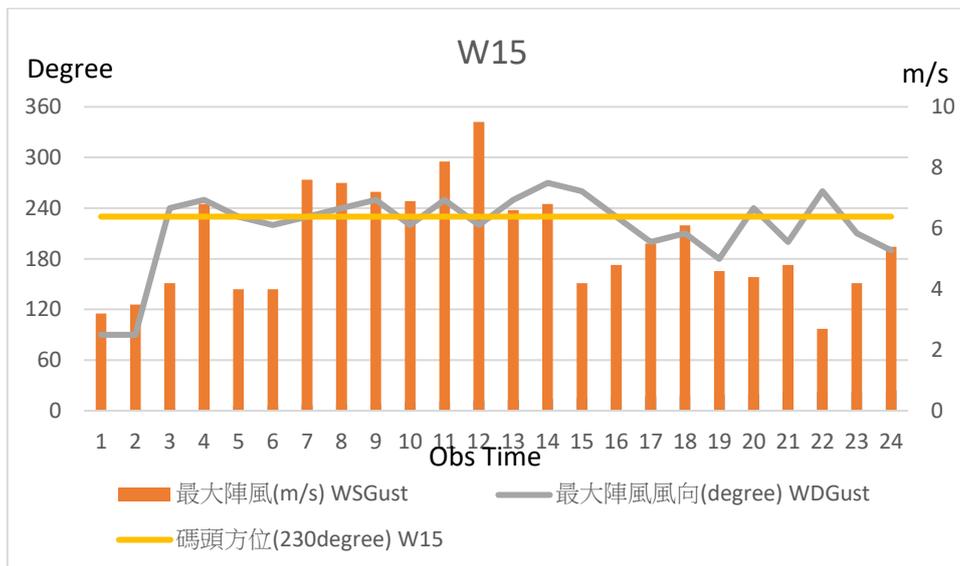


圖 6 西 15 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

3. 109 年 8 月 9 日西 29 號碼頭，碼頭方位角為 225 度，船體離岸迎風方位角 315 度。當日最大陣風為介於 200 度至 270 度，最大陣風速約每秒鐘 7 公尺，如圖 7。從圖 7 中看出，白天最大陣風約每秒鐘 8 公尺到 9.5 公尺，晚上的大陣風不到每秒鐘 5 公尺，變化相差 4 公尺，陣風的變化會造成斷纜事件。風是順者這個碼頭角度吹來，約 200 至 270 度，船被推送順著碼頭法線移動，纜繩可能老化，無法承受拉力，就會斷纜。

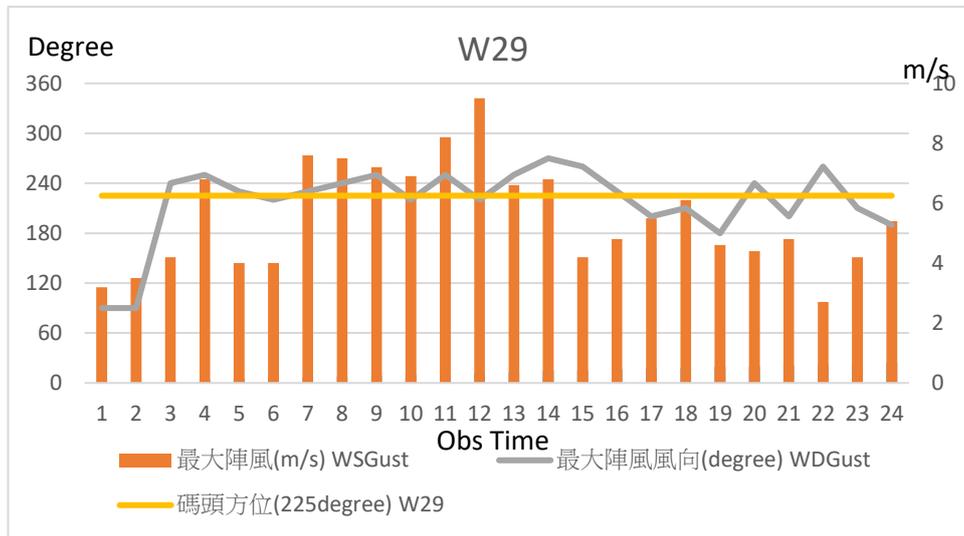


圖 7 西 29 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

4. 109 年 10 月 8 日東 12 號碼頭，碼頭方位角為 300 度，船體離岸迎風方位角 30 度。當日最大陣風為 350 度至 10 度，橘色的最大陣風速約介於每秒鐘 10 公尺至 12 公尺，如圖 8。灰色的曲線，看出風的角度約是正北方吹來，顯示強烈的正北方來的陣風一直吹著船身，碼頭方位角為 300 度，強烈的側風一直吹的船身，將船體推離碼頭，這是最主要的斷纜原因。此外，這案件的船舶噸數小，不到 500 噸，纜繩比較細，無法承受強風吹船體所增加的額外張力，最後斷纜，可能也是斷纜的原因。

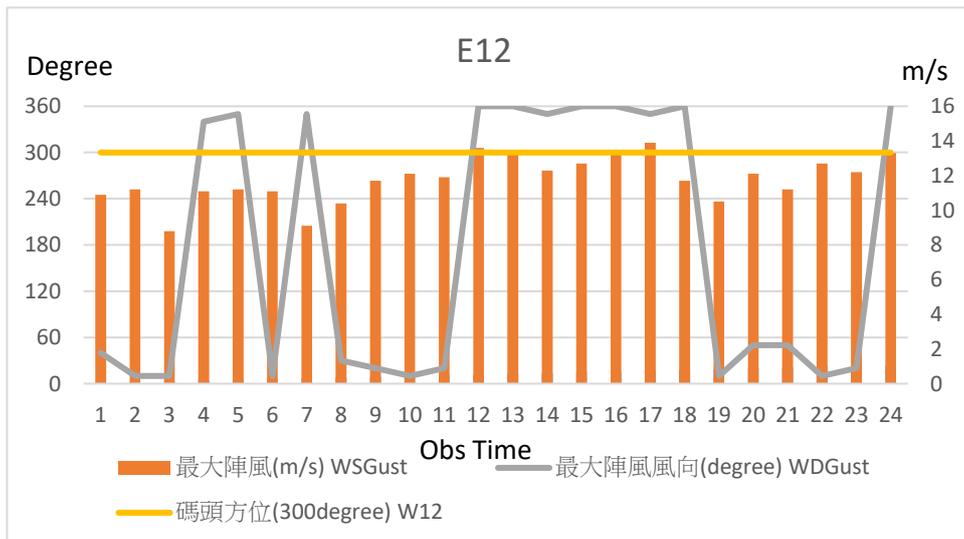


圖 8 東 12 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

5. 109 年 12 月 3 日西 17 號碼頭，碼頭方位角為 230 度，船體離岸迎風方位角 320 度。當日最大陣風為 350 度至 10 度，最大陣風速約介於每秒鐘 11 公尺至 15 公尺，如圖 9。顯示強烈的陣風一直吹著船體，灰色的曲線，看出風的角度約是正北方吹來，碼頭方位角為 230 度，表示強烈的斜向側風一直吹的船艙或船艙，將船體從西 17 號碼頭推向西 16 號碼頭，與上一個案例相同，風吹船艙或船艙，造成船平行碼頭法線移動，纜繩張力不足，最後斷纜。故風向是造成斷纜的主要原因。

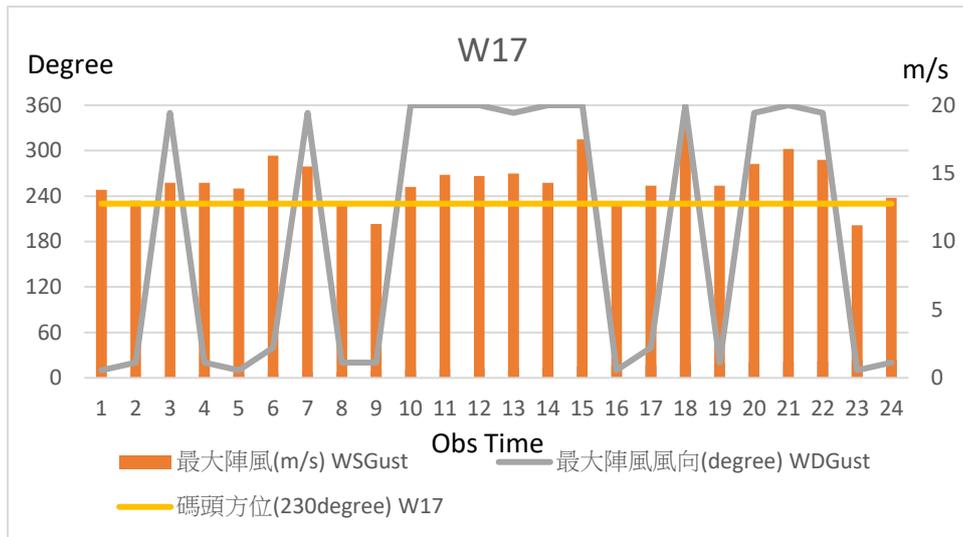


圖 9 西 17 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

6. 109 年 12 月 14 日西 20 號碼頭，碼頭方位角為 60 度，船體離岸迎風方位角 150 度。當日最大陣風為介於 30 度至 50 度，最大陣風速約每秒鐘介於 10 公尺至 14 公尺，如圖 10。顯示更為強烈的陣風一直吹著西 20 碼頭靠泊的船艙或船艙，灰色的曲線，看出風的角度約是正北方偏東方 30 至 50 度吹來，碼頭方位角為 60 度，表示強烈的陣風一直吹的船艙或船艙，將船體向前或向後推，這個側風是造成船舶斷纜的原因。

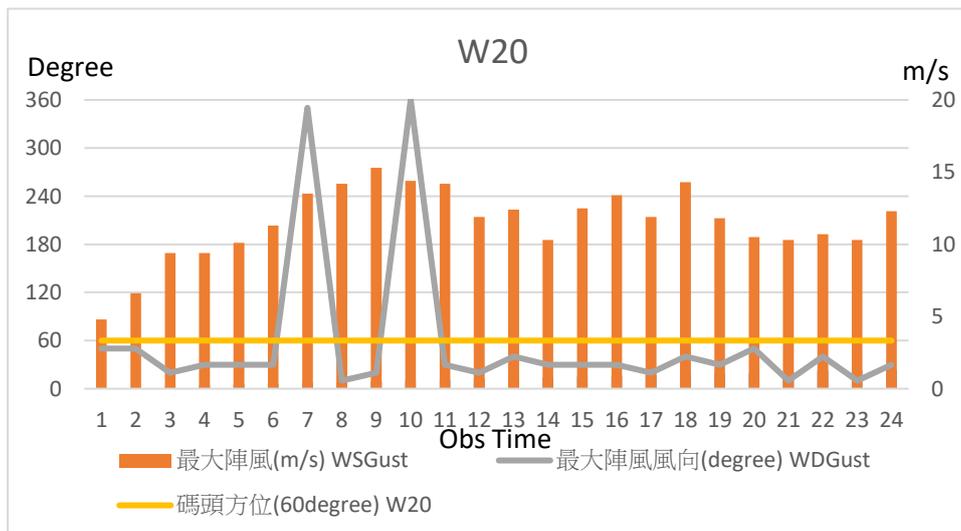


圖 10 西 20 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

7. 109 年 12 月 14 日東 8 及東 10 號碼頭，碼頭方位角為 300 度，船體離岸迎風方位角 30 度。當日最大陣風為 30 度至 50 度，最大陣風速約每秒鐘 10 公尺至 14 公尺，如圖 11。顯示更為強烈的陣風一直吹著東 8 至東 10 碼頭靠泊的船體，灰色的曲線，看出風的角度約是正北方偏東方 30 度至 50 度吹來，碼頭方位角為 300 度，表示強烈的陣風一直吹的側方船體，將船體推離碼頭，這是最主要的斷纜原因。

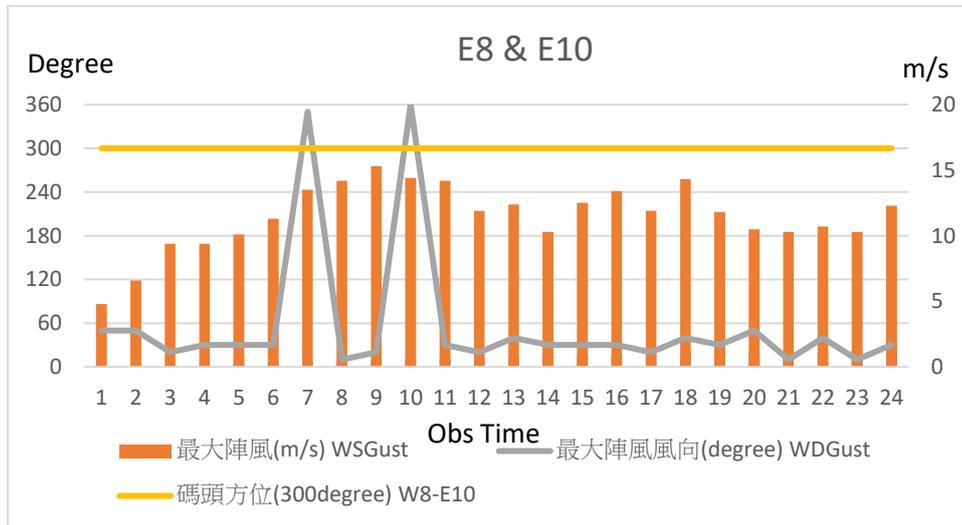


圖 11 東 8 及東 10 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

8. 109 年 12 月 15 日東 9 號碼頭，碼頭方位角為 300 度，船體離岸迎風方位角 30 度。當日最大陣風為 20 度至 50 度，最大陣風速約每秒鐘 10 公尺至 12 公尺，如圖 12。圖中顯示陣風一直側向吹著東 9 碼頭靠泊的船體，灰色的曲線，看出風的角度約是正北方偏東方 20 度到 50 度吹來，碼頭方位角為 300 度，表示強烈的陣風一直吹的船體，將船體推離碼頭，繫船的纜繩可能因為張力不足，加上潮差或船身左右晃動，最後斷纜。故這個側風是最主要的斷纜原因。

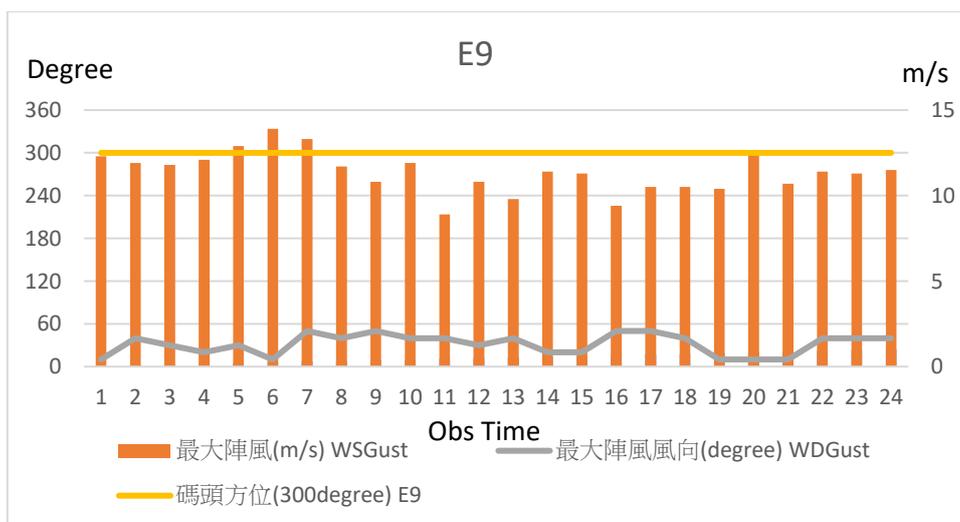


圖 12 東 9 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

9. 109 年 12 月 15 日西 27 號碼頭，碼頭方位角為 50 度，船體離岸迎風方位角 140 度。當日最大陣風為 20 度至 50 度，最大陣風速約每秒鐘 10 公尺至 12 公尺，如圖 13。圖中顯示陣風一直吹著西 27 碼頭靠泊的船體，灰色的曲線，看出風的角度約是正北方偏東方 20 度到 50 度吹來，碼頭方位角為 50 度，表示強烈的陣風一直吹的前後船艙或船艙，將船體向前或向後推，這是最主要的斷纜原因。

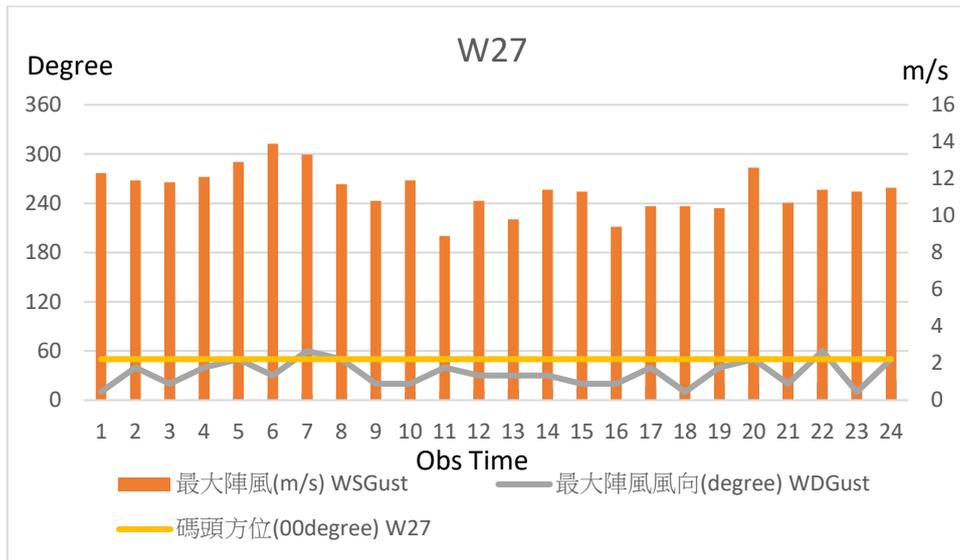


圖 13 西 27 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

10. 109 年 12 月 16 日西 20 號碼頭，碼頭方位角為 60 度，船體離岸迎風方位角 150 度。當日最大陣風為 20 度至 50 度，最大陣風速約每秒鐘 10 公尺至 12 公尺，如圖 14。圖中顯示陣風一直吹著西 20 碼頭靠泊的船體，灰色的曲線，看出風的角度約是正北方偏東方 20 度到 50 度吹來，碼頭方位角為 60 度，表示強烈的陣風一直吹的前後船體，將船體沿著碼頭法線向前或向後推動，造成纜繩張力不足而斷裂，這是最主要的斷纜原因。

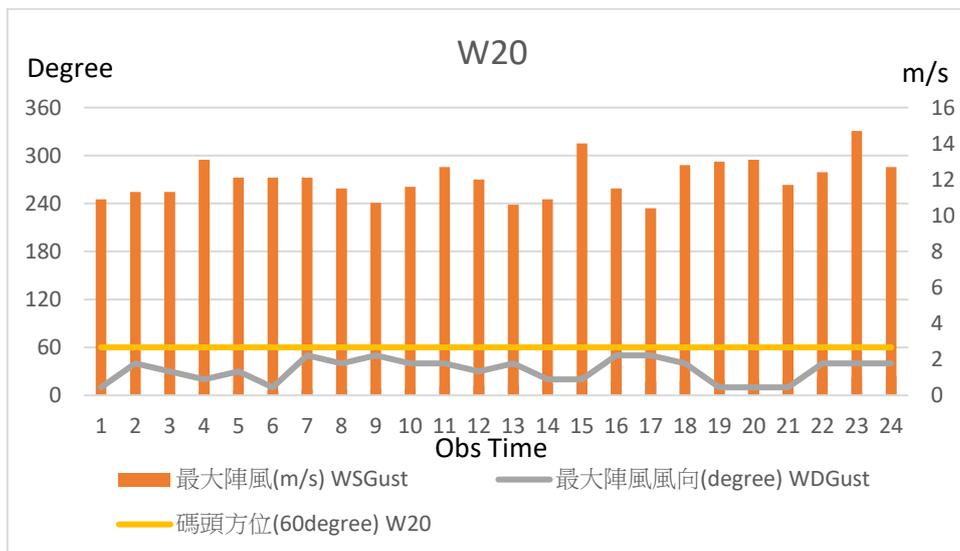


圖 14 西 20 號碼頭最大陣風之風速風向與碼頭方位圖

從上面的說明可以知道，順著碼頭方位角的陣風，會有極大的機會，造成船舶斷纜的現象。換言之，船舶或船艙向的來風才會容易有斷纜的狀況。但是在東岸的東 8 碼頭、東 9 碼頭、東 10 碼頭及東 11 碼頭，斷纜的原因是側風直接吹船體，造成斷纜的事件。是故，垂直於船體的陣風，亦會造成船舶斷纜的事件發生。值得一提的是，船舶的噸位代表船舶大小，亦是影響因素之一。在東岸東 8 至東 11 碼頭，停泊的是 10000 噸到 20000 噸的大型貨櫃船，船上堆積貨櫃，受風面積更為增大，強風吹大面積的貨櫃船，造成船體左右搖晃，纜繩在此晃動的狀況下，極容易因張力不足，最後導致斷纜的事件發生。

本文所蒐集 109 年斷纜事件，因僅有表一的日期、碼頭、船名及船舶噸數，對於斷纜纜繩位置如艙纜、艙橫纜、艙倒纜、艙纜、艙橫纜或艙倒纜，並無詳細記載。經洽詢現場纜工表示，資料久遠，已無從查考。

3.2 波高狀況

蒐集基隆港務分公司所提供之船舶斷纜資料整理如表 1。從外港內波高時間序列圖 3 中可以看出來，當港內船舶有斷纜時，109 年 7 月 3 日及 8 月 9 日港內東 8 碼頭所測得的平均波高僅 9 公分。109 年 10 月 8 日、12 月 3 日、12 月 14 日至 16 日，港內東 8 碼頭所測得的平均波高介於 31 公分至 45 公分。而港內 45 公分的浪，對整個斷纜影響，確實有限。從以上的說明，顯示斷纜與港內波高，似無主要關係。

3.3 風速及風向狀況

從中央氣象局所提供的風速觀測值(如表 2)中所顯示，109 年 7 月 3 日及 8 月 9 日平均風速為 2.1 公尺/秒及 2.35 公尺/秒，平均陣風風速 4.4 公尺/秒及 5.53 公尺/秒，最大陣風風速為 8.5 公尺/秒及 9.5 公尺/秒，其陣風風速可能瞬間將纜繩拉斷。109 年 10 月 8 日、12 月 3 日及 12 月 14 日至 16 日，平均風速為 5.23 公尺/秒至 6.8 公尺/秒，平均陣風風速 11.37 公尺/秒至 14.49 公尺/秒，最大陣風風速為 13.9 公尺/秒至 18.3 公尺/秒。其陣風風速，一整天反覆作用在船身，加上潮汐漲落、纜繩數量不足或纜繩老化，倘再加上船身與碼頭的相對位置不良，確實容易將纜繩拉斷。

四、結論

一般人以為，垂直船體的離岸風，是造成船舶斷纜的主要原因，然而，從本文相關的論述中，知道垂直於船體的離岸陣風，確實會使東岸停泊的船產生斷纜的事件。船的橫纜，通常會加強多加幾條，可以避免斷纜的發生。船頭或船尾的倒纜或順纜，因為同向吹來的風，使船舶移動，牽動數量較少的纜繩，因為張力不足，才會容易有斷纜的狀況。換言之，順著碼頭方位角

的陣風，可能性成為船舶斷纜的因素之一。另外東岸的貨櫃碼頭，因船上載放貨櫃，使得船舶受風面積更為增大，側風吹襲，將船舶推離碼頭或造成船體左右晃動，因為繫纜繩數量不足或張力不夠而斷纜。是故，側風為東岸碼頭斷纜的主要原因。

船舶斷纜資料整理與從港內波高時間序列圖中可以看出來，當港內船舶有斷纜時，港內約有介於 35 公分至 45 公分的浪，對整個斷纜影響，確實有限。換言之，斷纜與港內波高並無明顯的增高，顯示兩者似無主要關係。

表 2 斷纜日期之碼頭、風速及陣風觀測值資料表

觀測時間 (hour)	109.7.3 E22 碼頭		109.8.9 W15 碼頭		109.8.9 W29 碼頭		109.10.8 E12 碼頭		109.12.3 W17 碼頭		109.12.14 W20 碼頭		109.12.14 E8&E10 碼頭		109.12.15 E9&W27 碼頭		109.12.16 W20 碼頭	
	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)	風速 (m/s)	最大陣風 (m/s)
1	1.3	3.9	1.6	3.2	1.6	3.2	5.7	10.9	5.8	13.8	1.5	4.8	1.5	4.8	6.2	12.3	4.8	10.9
2	1.7	3.0	1.2	3.5	1.2	3.5	4.2	11.2	5.2	13.0	2.9	6.6	2.9	6.6	5.0	11.9	5.0	11.3
3	2.8	4.9	2.3	4.2	2.3	4.2	3.9	8.8	5.6	14.3	5.4	9.4	5.4	9.4	5.1	11.8	5.9	11.3
4	1.9	3.2	3.3	6.8	3.3	6.8	5.8	11.1	7.9	14.3	4.0	9.4	4.0	9.4	5.5	12.1	3.8	13.1
5	1.6	2.9	2.4	4.0	2.4	4.0	6.2	11.2	7.7	13.9	6.0	10.1	6.0	10.1	4.5	12.9	4.3	12.1
6	1.1	2.9	1.4	4.0	1.4	4.0	3.7	11.1	7.3	16.3	6.3	11.3	6.3	11.3	6.2	13.9	4.4	12.1
7	2.0	3.9	4.3	7.6	4.3	7.6	4.3	9.1	6.0	15.5	6.6	13.5	6.6	13.5	6.8	13.3	4.5	12.1
8	3.2	4.8	3.7	7.5	3.7	7.5	4.6	10.4	6.6	12.7	8.0	14.2	8.0	14.2	5.6	11.7	6.5	11.5
9	1.2	3.8	3.7	7.2	3.7	7.2	4.4	11.7	5.3	11.3	6.8	15.3	6.8	15.3	6.9	10.8	4.0	10.7
10	1.9	3.8	3.4	6.9	3.4	6.9	5.3	12.1	8.7	14.0	5.3	14.4	5.3	14.4	5.2	11.9	4.1	11.6
11	3.2	4.7	4.1	8.2	4.1	8.2	6.0	11.9	6.4	14.9	4.6	14.2	4.6	14.2	4.8	8.9	6.9	12.7
12	3.1	5.3	2.8	9.5	2.8	9.5	6.8	13.6	7.6	14.8	5.4	11.9	5.4	11.9	5.6	10.8	4.2	12.0
13	3.9	7.4	3.5	6.6	3.5	6.6	6.5	13.3	7.5	15.0	5.7	12.4	5.7	12.4	4.4	9.8	5.7	10.6
14	2.8	8.2	2.4	6.8	2.4	6.8	6.3	12.3	8.0	14.3	5.2	10.3	5.2	10.3	6.1	11.4	5.0	10.9
15	2.5	6.0	1.3	4.2	1.3	4.2	7.0	12.7	7.2	17.5	6.0	12.5	6.0	12.5	4.3	11.3	6.0	14.0
16	3.4	5.8	2.1	4.8	2.1	4.8	7.5	13.3	5.5	12.8	6.2	13.4	6.2	13.4	5.5	9.4	4.1	11.5
17	2.0	6.1	2.0	5.5	2.0	5.5	8.9	13.9	5.8	14.1	5.0	11.9	5.0	11.9	5.0	10.5	6.4	10.4
18	2.1	4.7	0.2	6.1	0.2	6.1	5.2	11.7	6.6	18.3	5.2	14.3	5.2	14.3	4.9	10.5	5.8	12.8
19	2.2	3.0	2.6	4.6	2.6	4.6	5.8	10.5	7.3	14.1	5.0	11.8	5.0	11.8	4.8	10.4	5.8	13.0
20	0.6	2.9	2.1	4.4	2.1	4.4	6.6	12.1	8.0	15.7	5.1	10.5	5.1	10.5	6.7	12.6	4.9	13.1
21	1.8	3.5	1.6	4.8	1.6	4.8	3.4	11.2	9.1	16.8	4.7	10.3	4.7	10.3	4.9	10.7	6.6	11.7
22	1.1	4.4	0.2	2.7	0.2	2.7	7.0	12.7	8.4	16.0	5.4	10.7	5.4	10.7	6.5	11.4	6.1	12.4
23	1.3	2.9	2.4	4.2	2.4	4.2	7.9	12.2	4.3	11.2	5.1	10.3	5.1	10.3	4.6	11.3	6.3	14.7
24	1.6	3.5	1.8	5.4	1.8	5.4	5.9	13.3	5.5	13.2	4.2	12.3	4.2	12.3	4.6	11.5	4.6	12.7

參考文獻

1. 蔡立宏、洪維屏、吳南靖、魏志強、蔡加正、吳冠德 (2019), 「風力作用下船舶纜繩受力模式建置」, 港灣季刊, 112, 1-21 頁。

誌謝

感謝交通部運輸研究所港研中心提供東 8 碼頭測波資料。

感謝交通部中央氣象局提供 109 年基隆風速資料。

「港灣季刊」徵稿簡訊

1. 本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。
2. 投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
3. 來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
 - (1) 以紙本或是數位方式出版。
 - (2) 進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
 - (3) 再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
 - (4) 為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
4. 作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
5. 稿件每篇以 15 頁（含圖）為限，以電子郵件傳送，凡內容無法清晰辨認者，恕不接受。
6. 本刊每年刊行 3 期，分別於 2 月、6 月、10 月出版。如蒙惠稿請於每期出版前 60 日寄交本刊。
7. 聯絡電話：(04)2658-7133 施慧敏
傳真電話：(04)2656-4415
E-mail：savx@mail.ihmt.gov.tw
8. 歡迎賜稿，來稿請寄：
435058 臺中市梧棲區中橫十路 2 號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣季刊」編輯委員會 收

「港灣季刊」第 121 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw

電 話：(02)23496789

總 編 輯：林繼國

編輯委員：蔡立宏、柯正龍、蔣家榮、賴瑞應、李俊穎、林雅雯、
施慧敏

出版年月：每年 2、6、10 月

創刊年月：中華民國 77 年 2 月 1 日

定 價：100 元

本次出刊：100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

印 刷 者：綠凌興業社•電話：(04)23370015

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496887

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號 1F•電話：(02)25180207

五南文化廣場：400002 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：20077000020 ISSN：1019-2603

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。