

105-064-7895

MOTC-IOT-104-H2DB005

# 創造綠色港埠之新技術研發(3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 105 年 6 月

105-064-7895

MOTC-IOT-104-H2DB005

# 創造綠色港埠之新技術研發(3/4)

著者：邱永芳、黃茂信、蔡金吉、蔣敏玲

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 6 月

105

創造綠色港埠之新技術研發  
(3/4)

交通部運輸研究所

GPN 1010500847  
定價 150 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

創造綠色港埠之新技術研發. (3/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民 105.06  
面；公分  
ISBN 978-986-04-8856-2(平裝)

1.港埠管理 2.港埠資訊查詢系統

557

105009334

創造綠色港埠之新技術研發(3/4)

著者：邱永芳、黃茂信、蔡金吉、蔣敏玲  
出版機關：交通部運輸研究所  
地址：10548 臺北市敦化北路 240 號  
網址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)  
電話：(04)26587176  
出版年月：中華民國 105 年 6 月  
印刷者：群彩印刷科技股份有限公司  
版(刷)次冊數：初版一刷 70 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  
定價：150 元  
展售處：  
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880  
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207  
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010500847

ISBN：978-986-04-8856-2 (平裝)

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份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

# 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                         |                            |                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 出版品名稱：創造綠色港埠之新技術研發(3/4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |                            |                                                              |
| 國際標準書號<br>ISBN978-986-04-8856-2（平裝）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 政府出版品統一編號<br>1010500847 | 運輸研究所出版品編號<br>105-064-7895 | 計畫編號<br>104-H2DB005                                          |
| 本所主辦單位：港研中心<br>主管：邱永芳<br>計畫主持人：邱永芳<br>研究人員：黃茂信、蔡金吉、蔣敏玲<br>參與人員：蔡瑞舫、張景森、林賢銘、陳子健<br>聯絡電話：04-26587101<br>傳真號碼：04-26564418                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                         |                            | 研究期間<br>自 104 年 1 月<br>至 104 年 12 月                          |
| 關鍵詞：智慧型海運系統、船舶自動辨識系統、船舶減速、壓艙水管理、港灣結構物                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |                            |                                                              |
| <p>本研究的主要重點在研發各類海運資訊系統的整合科技，來創造與達成綠色港埠的最終目標。</p> <p>整合應用之資訊包括 AIS 船舶即時動態、海氣象資訊、電子海圖、網路地圖、海事安全資訊（航行警告）等，可就歷史資料提供交通流分析或指定船舶回播檢視其航行動態與周遭狀況，並以環境資訊及航跡探勘所得參數為基礎，提供擱淺、碰撞、漂流、偏航等自動化偵測警示功能；另外研發船舶減速查核機制系統來針對進出港船舶進行監控與管理，期望達成綠色港埠節能減碳的目標。次要的研究子題是對於壓艙水國際公約進一步探討更多其他國家之壓艙水管理相關法規及分析比較，並分析我國船舶法等法規競合後，研提我國壓艙水管理辦法草案條文。第三研究子題是將波浪能量加以有效利用，尤其是對主要結構物不造成額外負荷之情況下，有效轉換為電能或其他可資利用之資源，達到科技防災及綠色港埠的目標。最後的研究子題是針對臺中港及麥寮工業港港灣防波堤堤頭附近海域沖蝕特性進行現場觀測、水工試驗以及數值模擬預測，進而維護船隻進出港的航行安全。</p> <p>本研究成果效益以及後續應用包含有：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已整合船舶動態、電子海圖與海氣象資料，建立碰撞、擱淺等事故隱患偵測技術，可以提供國內各港務公司、海巡署與漁業署等應用，提升運輸安全。</li> <li>2. 船舶減速查核機制可以提供臺灣港務股份有限公司及其各港務分公司作為制定船舶減速查核機制時之應用參考。</li> <li>3. 壓艙水管理辦法的研擬，可以提供交通部及航港局作為壓艙水管理與法制化之依據。</li> </ol> |                         |                            |                                                              |
| 出版日期                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 頁數                      | 定價                         | 本 出 版 品 取 得 方 式                                              |
| 105 年 6 月                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 176                     | 150                        | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。 |
| 機密等級：<br><input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密<br>（解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密，<br><input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密）<br><input checked="" type="checkbox"/> 普通                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                         |                            |                                                              |
| 備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                         |                            |                                                              |

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                              |                                   |                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TITLE: New technology for green port (3/4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |                                   |                                                                                                                                                                                                                        |
| ISBN<br>978-986-04-8856-2<br>(pbk)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER<br>1010500847 | IOT SERIAL NUMBER<br>105-064-7895 | PROJECT NUMBER<br>104-H2DB005                                                                                                                                                                                          |
| DIVISION: Harbor & Marine Technology Center<br>DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Fang Chiu<br>PROJECT STAFF: Mao-Hsin Huang, Chin-Chi Tsai, Jui-Fang Tsai, Min-Ling Chiang<br>PHONE: (04)26587101<br>FAX: (04)26564418                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                              |                                   | PROJECT PERIOD<br>FROM January 2015<br>TO December 2015                                                                                                                                                                |
| KEY WORDS: Automatic Identification System, Maritime Intelligent Transportation System, Long Range Identification and Tracking, Vessel route, Traffic flow rate, Ballast Water Management                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |                                   |                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Abstract</b><br><br><p>This research chief of purpose is “EcoPort System” that based on the ENC database, AIS vessel tracks database and vessel traffic analysis tools established in previous projects on ENC, e-navigation and Maritime Intelligent Transportation System (M-ITS).</p> <p>To realize maritime intelligent transportation, this paper includes four projects. The first project is that the geospatial and temporal extent of MSI are automatically extracted from the textual navigational warnings. Web-operable functions include traffic analyses, replay of surrounding traffic situations focusing on a specified vessel, automatic detection and alerting of risks such as grounding, collisions, drifting, and deviations based on data mining results.. Second project is development of Management of Ships Ballast Water and Sediments (BWM) that we will analyze and compare additional laws and regulations from other countries. Third project is to establish recycled green energy system to convert the ocean energy into useful power in the harbor. Wave power converter will be the first considered and studied. The last project focused on the field surveys, hydraulic test and numerical simulations of Taichung Harbor and Mailiao Harbor to predict the impact of scouring around a head of breakwater.</p> <p>This research benefit and application include:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Achieved the integrated analysis and presentation of weather, vessel dynamics and geospatial environment for the detection of near-miss incidents, identification of maritime risks, and the analysis of marine accidents.</li> <li>2. Using the VSRSS gets exact and real-time route data to make a rule for surveillance vessel velocity.</li> <li>3. The ballast water management can provide the Ministry of Communications as legalization of reference.</li> </ol> |                                              |                                   |                                                                                                                                                                                                                        |
| DATE OF PUBLICATION<br>June,2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | NUMBER OF PAGES<br>176                       | PRICE<br>150                      | CLASSIFICATION<br><input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL<br><input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET<br><input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED |
| The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              |                                   |                                                                                                                                                                                                                        |

# 目 錄

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 中文摘要 .....               | I    |
| 英文摘要 .....               | II   |
| 目 錄 .....                | III  |
| 圖目錄 .....                | VI   |
| 表目錄 .....                | XII  |
| 第一章 前言 .....             | 1-1  |
| 第二章 港區節能減碳及海上防災之探討 ..... | 2-1  |
| 2.1 研究目的 .....           | 2-1  |
| 2.2 AIS 系統運作方式 .....     | 2-2  |
| 2.3 AIS 接收站設置 .....      | 2-4  |
| 2.4 船舶資訊整合系統開發 .....     | 2-6  |
| 2.5 節能減碳相關研究成果 .....     | 2-10 |
| 2.6 海上防災相關研究成果 .....     | 2-21 |
| 2.7 小結 .....             | 2-22 |
| 第三章 港埠船舶減速查核系統 .....     | 3-1  |
| 3.1 減速查核系統開發目的 .....     | 3-1  |
| 3.2 減速查核系統開發方法 .....     | 3-2  |
| 3.3 減速查核系統開發成果 .....     | 3-5  |
| 3.4 小結 .....             | 3-17 |
| 第四章 綠色航路及智慧領航之研究 .....   | 4-1  |
| 4.1 智慧領航計畫研究目的 .....     | 4-1  |
| 4.2 智慧領航計畫研究方法 .....     | 4-1  |

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 4.3 智慧領航計畫研究成果 .....              | 4-3  |
| 4.4 小結 .....                      | 4-25 |
| 第五章 我國港灣壓艙水污染問題管理法制化之研究 .....     | 5-1  |
| 5.1 計畫背景分析概述 .....                | 5-1  |
| 5.2 外國壓艙水管理法執行實務之調查分析 .....       | 5-4  |
| 5.3 國際上壓艙水管理趨勢分析 .....            | 5-6  |
| 5.4 我國船商對實施壓艙水管理法之因應措施 .....      | 5-10 |
| 5.5 壓艙水管理法制化之建構方式 .....           | 5-14 |
| 5.6 因應壓艙水公約法制化工作座談會之舉辦 .....      | 5-16 |
| 5.7 我國壓艙水管理與執行作業標準化之研擬 .....      | 5-19 |
| 5.8 小結 .....                      | 5-21 |
| 第六章 綠色港灣結構可循環波能轉換分析 .....         | 6-1  |
| 6.1 計畫概述 .....                    | 6-1  |
| 6.2 波浪發電複合式防波堤波能擷取相關參數分析 .....    | 6-3  |
| 6.3 實體模型設計及水工試驗規畫 .....           | 6-6  |
| 6.4 實體設計於港灣之案例分析及與水工試驗之比較 .....   | 6-18 |
| 6.5 小結 .....                      | 6-23 |
| 第七章 防波堤堤頭沖蝕現象探討 .....             | 7-1  |
| 7.1 研究目的 .....                    | 7-1  |
| 7.2 臺中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究 .....    | 7-1  |
| 7.3 水深地形與潮波流調查資料分析 .....          | 7-9  |
| 7.4 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的數值模擬 .....   | 7-15 |
| 7.5 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗 ..... | 7-22 |
| 7.6 防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證 .....      | 7-32 |

|                     |      |
|---------------------|------|
| 7.7 結論與建議 .....     | 7-35 |
| 第八章 結論與建議 .....     | 8-1  |
| 8.1 結論 .....        | 8-1  |
| 8.2 建議 .....        | 8-2  |
| 8.3 成果效益及應用情形 ..... | 8-4  |
| 參考文獻 .....          | 參-1  |

## 圖目錄

|        |                            |      |
|--------|----------------------------|------|
| 圖 2.1  | AIS 系統概念圖.....             | 2-2  |
| 圖 2.2  | 現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點.....   | 2-4  |
| 圖 2.3  | 臺灣海域 AIS 接收站設置地點規劃.....    | 2-5  |
| 圖 2.4  | 船舶動態地理位置資訊顯示 .....         | 2-6  |
| 圖 2.5  | 船舶基本資料顯示 .....             | 2-7  |
| 圖 2.6  | 船舶軌跡匯出與資訊顯示 .....          | 2-7  |
| 圖 2.7  | 船舶清單查詢 .....               | 2-8  |
| 圖 2.8  | 船舶歷史位置查詢 .....             | 2-8  |
| 圖 2.9  | 港口資訊查詢 .....               | 2-9  |
| 圖 2.10 | 接收站的接收範圍分佈分析 .....         | 2-9  |
| 圖 2.11 | 交通流分析統計 .....              | 2-10 |
| 圖 2.12 | 高碰撞風險時空密集區偵測分析結果.....      | 2-11 |
| 圖 2.13 | 船舶流量統計段面示意圖 .....          | 2-12 |
| 圖 2.14 | A1B1 段面 (彰化雲林交界)統計圖 .....  | 2-12 |
| 圖 2.15 | A2B2 段面 (彰化)統計圖 .....      | 2-13 |
| 圖 2.16 | A3B3 段面 (臺中彰化交界)統計圖 .....  | 2-13 |
| 圖 2.17 | A4B4 段面 (臺中港出口南側)統計圖 ..... | 2-13 |
| 圖 2.18 | A5B5 段面 (臺中港出口北側)統計圖 ..... | 2-14 |
| 圖 2.19 | A6B6 段面 (臺中)統計圖 .....      | 2-14 |
| 圖 2.20 | A7B7 段面 (苗栗臺中交界)統計圖 .....  | 2-14 |
| 圖 2.21 | A8B8 段面 (苗栗)統計圖 .....      | 2-15 |

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 圖 2.22 A9B9 段面 (新竹苗栗交界)統計圖 .....   | 2-15 |
| 圖 2.23 A10B10 段面 (桃園新竹交界)統計圖 ..... | 2-15 |
| 圖 2.24 彰化至新竹航行 60%密集航線分佈 .....     | 2-16 |
| 圖 2.25 新竹至彰化航行 60%密集航線分佈 .....     | 2-16 |
| 圖 2.26 臺灣船舶各主要港口航路分布 .....         | 2-17 |
| 圖 2.27 臺灣各主要港口船舶航行最密集航路 .....      | 2-18 |
| 圖 2.28 臺中港與高雄港最佳化軌跡線(紅色路徑) .....   | 2-19 |
| 圖 2.29 港研中心現有操船模擬設備 .....          | 2-20 |
| 圖 2.30 電子海圖顯示器上規劃航行路線 .....        | 2-20 |
| 圖 2.31 操船模擬與 LNG 運輸船航行軌跡比對 .....   | 2-21 |
| 圖 2.32 海研 5 號之航行軌跡 .....           | 2-22 |
| 圖 3.1 船舶自動識別系統(AIS)整體架構 .....      | 3-3  |
| 圖 3.2 港口區域分段示意 .....               | 3-4  |
| 圖 3.3 船舶減速查核系統架構 .....             | 3-5  |
| 圖 3.4 船舶減速查核系統硬體設備需求 .....         | 3-6  |
| 圖 3.5 船舶顯示及資料統計系統操作介面 .....        | 3-7  |
| 圖 3.6 港區基本設定功能 .....               | 3-8  |
| 圖 3.7 船舶即時動態資訊顯示功能 .....           | 3-9  |
| 圖 3.8 船舶軌跡追蹤 .....                 | 3-10 |
| 圖 3.9 船舶進出港紀錄查詢功能 .....            | 3-10 |
| 圖 3.10 船舶減速資料庫統計模組介面 .....         | 3-11 |
| 圖 3.11 匯入港棧資料功能操作 .....            | 3-11 |

|                                            |      |
|--------------------------------------------|------|
| 圖 3.12 船舶減速查核彙整資料搜尋功能操作 .....              | 3-12 |
| 圖 3.13 臺中港各月船舶減速查核資料 .....                 | 3-14 |
| 圖 3.14 臺北港各月船舶減速查核資料 .....                 | 3-14 |
| 圖 3.15 安平港各月船舶減速查核資料 .....                 | 3-15 |
| 圖 3.16 花蓮港各月船舶減速查核資料 .....                 | 3-15 |
| 圖 3.17 高雄港各月船舶減速查核資料 .....                 | 3-15 |
| 圖 3.18 基隆港各月船舶減速查核資料 .....                 | 3-16 |
| 圖 3.19 蘇澳港各月船舶減速查核資料 .....                 | 3-16 |
| 圖 3.20 各港船舶減速平均達成率統計圖 .....                | 3-17 |
| 圖 4.1 屬於惡劣氣候損壞的海事案件分佈 .....                | 4-4  |
| 圖 4.2 屬於碰撞的海事案件分佈 .....                    | 4-5  |
| 圖 4.3 觸礁或擱淺的海事案件分佈 .....                   | 4-5  |
| 圖 4.4 蘇拉颱風警報期間未受明顯影響的貨輪軌跡 .....            | 4-6  |
| 圖 4.5 泰利颱風期間改走東部沿岸躲避的貨輪軌跡 .....            | 4-6  |
| 圖 4.6 2011-2013 年颱風期間的海難與颱風中心距離之統計 .....   | 4-7  |
| 圖 4.7 海圖等級 3 各水深值區段內遇難船數及其種類 .....         | 4-8  |
| 圖 4.8 海圖等級 3 各水深值區段內遇難船數及其事故類別 .....       | 4-8  |
| 圖 4.9 海圖等級 3 各水深值區段內遇難船數及其離岸距離 .....       | 4-8  |
| 圖 4.10 海圖等級 3 之海難事故類別與離岸距離 .....           | 4-9  |
| 圖 4.11 海難資料庫服務平台查詢結果-以海翔 8 號為例 .....       | 4-10 |
| 圖 4.12 海難資料庫服務平台動態回播周遭交通與氣象狀況 .....        | 4-10 |
| 圖 4.13 臺中港 8 浬外低速船舶之艏向(黃)航向(橘)航速(數字) ..... | 4-12 |

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| 圖 4.14 低船速時的艏向航向角度差值分佈與航速的關係.....        | 4-12 |
| 圖 4.15 瑞興輪出基隆港時的船舶動態與一般貨輪的差異.....        | 4-13 |
| 圖 4.16 偵測出的液貨輪 OBERON 實際已擱淺.....         | 4-14 |
| 圖 4.17 跡近擱淺偵測結果-麥寮港外.....                | 4-14 |
| 圖 4.18 跡近擱淺偵測結果-布袋港外的山寶輪.....            | 4-15 |
| 圖 4.19 跡近擱淺偵測結果-臺南北門外海的液貨輪.....          | 4-15 |
| 圖 4.20 兩船會遇最近距離之分佈（2012 年）.....          | 4-17 |
| 圖 4.21 兩船相距 200 公尺內之距離與會遇狀況分佈（2012）..... | 4-18 |
| 圖 4.22 北部海域近距離會遇位置（2012 年商船間）.....       | 4-21 |
| 圖 4.23 雲林至臺南沿岸近距離會遇位置（2012 年商船間）.....    | 4-21 |
| 圖 4.24 南部海域近距離會遇位置（2012 年商船間）.....       | 4-22 |
| 圖 4.25 東港小琉球之間兩船近距離會遇位置.....             | 4-22 |
| 圖 4.26 北部海域的商船碰撞風險.....                  | 4-23 |
| 圖 4.27 雲嘉南與澎湖海域商船之間的碰撞風險.....            | 4-24 |
| 圖 4.28 臺灣東南與西南海域商船之間的碰撞風險.....           | 4-24 |
| 圖 5.1 已有壓艙水管理辦法之地區分佈圖.....               | 5-7  |
| 圖 5.2 違規可能會被科處的罰則內容.....                 | 5-18 |
| 圖 6.1 固定幾何參數示意圖.....                     | 6-5  |
| 圖 6.2 水槽試驗模型示意圖.....                     | 6-15 |
| 圖 6.3 實驗水槽示意圖.....                       | 6-15 |
| 圖 6.4 造波水槽.....                          | 6-16 |
| 圖 6.5 造波機.....                           | 6-16 |

|        |                                          |      |
|--------|------------------------------------------|------|
| 圖 6.6  | 模型實體 .....                               | 6-17 |
| 圖 6.7  | 內部氣室波高計位置 .....                          | 6-17 |
| 圖 6.8  | 模型架設於水槽中情形 .....                         | 6-18 |
| 圖 6.9  | 波浪發電防波堤之沒水深度 .....                       | 6-21 |
| 圖 6.10 | 波浪發電防波堤之尺寸(正視圖) .....                    | 6-22 |
| 圖 6.11 | 波浪發電防波堤之尺寸(側視圖) .....                    | 6-22 |
| 圖 7.1  | 臺中港海氣象觀測站 .....                          | 7-2  |
| 圖 7.2  | 雲林縣離島工業區海氣象觀測站 .....                     | 7-2  |
| 圖 7.3  | 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖 .....             | 7-10 |
| 圖 7.4  | 麥寮工業港堤頭水深測量斷面位置圖 .....                   | 7-11 |
| 圖 7.5  | 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化 (82~99 年) .....        | 7-12 |
| 圖 7.6  | 麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖 .....                 | 7-18 |
| 圖 7.7  | 第 45 造波週期波峰圖 .....                       | 7-19 |
| 圖 7.8  | 第 80 造波週期波谷 .....                        | 7-19 |
| 圖 7.9  | 垂直水層-9.5m 流速 $u$ 分布 .....                | 7-20 |
| 圖 7.10 | 垂直水層-20.5m 流速 $v$ 分布 .....               | 7-20 |
| 圖 7.11 | 垂直水層-9.5m 流速 $w$ 分布 .....                | 7-20 |
| 圖 7.12 | 第 46 周期平均水深流向流速 .....                    | 7-20 |
| 圖 7.13 | 第 46 周期底床流速分布 .....                      | 7-21 |
| 圖 7.14 | 第 46.9 周期底床流速分布 .....                    | 7-21 |
| 圖 7.15 | 淘刷區底床流速與高程變化圖 .....                      | 7-22 |
| 圖 7.16 | 淘刷區 20 層流速 $u$ 、 $v$ 、 $w$ 時序變化比較圖 ..... | 7-22 |

|                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 7.17 活塞式造波機 .....                                                       | 7-23 |
| 圖 7.18 造流水渦輪機 .....                                                       | 7-23 |
| 圖 7.19 地形模型鋪設圖 .....                                                      | 7-24 |
| 圖 7.20 完成動床地形及堤頭鋪設 .....                                                  | 7-25 |
| 圖 7.21 季風波浪波高及流速量測點示意圖 .....                                              | 7-26 |
| 圖 7.22 N 向季風波浪入射圖 .....                                                   | 7-27 |
| 圖 7.23 N 向季風波浪堤頭作用圖 .....                                                 | 7-27 |
| 圖 7.24 季風波浪 Site1~40 選定時間區間 $z=-15\text{cm}$ 之流速變化 .....                  | 7-27 |
| 圖 7.25 季風波浪 $z=-15\text{cm}$ 各方向速度峰值平均之分佈趨勢 .....                         | 7-27 |
| 圖 7.26 地形剖面量測位置圖 .....                                                    | 7-28 |
| 圖 7.27 地形剖面變化 .....                                                       | 7-28 |
| 圖 7.28 颱風波高流速量測點 .....                                                    | 7-29 |
| 圖 7.29 颱風堤頭波高流速量測點 .....                                                  | 7-29 |
| 圖 7.30 颱風波浪 Site1H~80H 選定時間區間之水位變化 .....                                  | 7-29 |
| 圖 7.31 N 向颱風波浪條件作用下堤頭附近波高分布 .....                                         | 7-30 |
| 圖 7.32 颱風波浪 Site1~40 選定時間區間 $z=-15\text{cm}$ 之流速變化 .....                  | 7-30 |
| 圖 7.33 颱風波浪作用下 $t=27.08\text{sec}$ , $z=-15\text{cm}$ 平面流場及 $U$ 之分佈圖 .... | 7-31 |
| 圖 7.34 颱風波浪作用 600 個波後之地形變化 .....                                          | 7-32 |
| 圖 7.35 數值模型防波堤設計圖 .....                                                   | 7-34 |

## 表目錄

|       |                            |      |
|-------|----------------------------|------|
| 表 2.1 | AIS 傳送資訊類別與資訊項目 .....      | 2-3  |
| 表 2.2 | AIS 系統應用範圍 .....           | 2-3  |
| 表 3.1 | AIS 資訊種類 .....             | 3-3  |
| 表 3.2 | 各區段離線船速定義 .....            | 3-4  |
| 表 3.3 | 各區段平均速度與整合平均速度定義 .....     | 3-4  |
| 表 3.4 | 設備名稱及附屬設備 .....            | 3-6  |
| 表 3.5 | 船舶圖示所代表船舶種類 .....          | 3-9  |
| 表 3.6 | 船舶減速查核彙整資料列表 .....         | 3-12 |
| 表 3.7 | 船舶報到資料報表 .....             | 3-13 |
| 表 3.8 | 船舶減速成果報表 .....             | 3-13 |
| 表 4.1 | 依航向差值將會遇情境分類的準則 .....      | 4-16 |
| 表 4.2 | 距離 20m 內的兩船類別組合分佈 .....    | 4-18 |
| 表 4.3 | 接近至 20~40m 的兩船類別組合分佈 ..... | 4-19 |
| 表 5.1 | 已有壓艙水管理辦法國家資訊整理表 .....     | 5-8  |
| 表 6.1 | 固定幾何參數表 .....              | 6-5  |
| 表 6.2 | 無因次氣室長數值表 .....            | 6-5  |
| 表 6.3 | 無因次前牆沒水深數值表 .....          | 6-6  |
| 表 6.4 | 實驗儀器與設備一覽表 .....           | 6-13 |
| 表 6.5 | 模型與實體縮尺表 .....             | 6-13 |
| 表 6.6 | 模型與實體縮尺表 .....             | 6-14 |
| 表 6.7 | 波高計規格表 .....               | 6-14 |

|       |                                      |      |
|-------|--------------------------------------|------|
| 表 6.8 | 模型縮尺尺寸表 .....                        | 6-19 |
| 表 6.9 | 數值模擬、M103-1、103-2 數據比較表.....         | 6-19 |
| 表 7.1 | 麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化表 (90~99 年) ..... | 7-13 |
| 表 7.2 | 港灣工程領域適用的 FLOW-3D 計算模組 .....         | 7-15 |
| 表 7.3 | 試驗條件換算 .....                         | 7-25 |
| 表 7.4 | 防制工法數值模型模擬項目 .....                   | 7-33 |
| 表 7.5 | 防制工法水工模型試驗項目 .....                   | 7-34 |

# 第一章 前言

中華民國科學技術白皮書（民國 104 年至 107 年）揭示，政府的科技施政目標「以智慧科技打造永續成長的幸福社會」為科技發展之遠景。依據本施政目標中之四大目標包括如「科研創新轉化」、「永續綠能環境」、「產業科技加值」與「幸福多元社會」等均將與綠能相關之科技創新及產業發展列為重要之目標。緣此，交通部運輸研究所提送科技四年期(102~105 年)的中程綱要計畫「海洋防災科技及永續發展計畫」配合施政目標。而本研究為上述中程綱要計畫內所屬細部計畫之一，其主要研究主軸為規劃及建立運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統，提升運輸部門節能減碳整體效益，另外以建構智慧型運輸系統，發展智慧臺灣(i-Taiwan)運輸服務為宗旨。

本研究屬於整合型的研究計畫案，其研究主題與重點在強化綠色海運及智慧化海運系統的發展與提昇，期能達成運輸科技深入綠色港埠的目標。本研究同時也以有關綠色港埠方面的新技術為發展方向，來探討與分析有關綠色港埠的相關問題，並提出具體可行的解決方案。本研究除本所自辦綠色港埠有關的新科技研發外，亦同時與國內臺灣海洋大學、國立成功大學、國立中山大學等學術研究機構合作，委託辦理有關本研究的相關子計畫，期望能藉由集思廣益、廣納博採，得出解決海洋防災與節能減碳的相關問題。本研究的相關研究成果相當豐碩，本文僅就本年度所獲得之各項研究成果，由第二章起分別描述如下：

第二章「港區節能減碳及海上防災之探討」主要的研究重點在有效利用船舶自動識別系統(Automatic Identification System,AIS)接收站所獲得的船舶動態資訊，來分析與統計臺灣海域的船舶軌跡與航路分布，藉由船舶最適化的航路選擇，達成船舶節能減碳的成效。另外，經由臺灣海域航路分布分析，得出臺灣海域的航線密集度情況，可以了解臺灣海域高碰撞風險區域，進而提供避險的航線，藉此達成海上防災的效能。

第三章「港埠船舶減速查核系統建置」則為利用 AIS 接收站，接收港口附近的船舶即時動態資訊，再輔以自行開發的船舶減速查核應用程式，以用來即時顯示及計算船舶減速有關的數據，藉由本研究可以提供各港務分公司在船舶減速查核機制上，得到正確且即時的數據資料，達成船舶減速查核之目的，並協助臺灣港務股份有限公司加速「臺灣港群綠色港口推動方案」的推動成效。

第四章「綠色航路及智慧領航之研究」，整合船舶動態與電子海圖地理資訊，進行 AIS 巨量資料的時空分析。本研究結合船舶動態、電子海圖與海氣象環境資訊，發展沿岸航路與進出港領航的綠色概念智慧化應用服務技術，將是航運效率與安全監測、預防、即時反應的重要指標與方向。

第五章「壓艙水污染問題與管理法制化之研究」主要目的在研擬制定出符合我國需求之壓艙水管理措施，藉由綜整各國壓艙水管理法制化模式、舉辦參與式管理座談會以瞭解權益關係人對草案架構之修正與建議，提出適宜的壓艙水管理法草案架構，供為管理法草案最後修正之參考，作為我國未來管理船舶壓艙水有利的依據。

第六章「綠色港灣結構物之波能轉換探討」主要目的是以可再生之綠能系統應用於港灣結構系統中，一方面對於結構體可產生保護作用，另方面將負面作用之能量轉換成可資利用之能源，有效的協助建構綠色港灣系統。本研究以防坡堤箱堤研究為基礎，針對波浪發電理論說明、結構安全分析及波能轉換分析等三大主題，探討有關港灣結構之能量轉換的應用方法，並能有效的協助港務單位建構綠色港灣系統，達成綠色港埠的目標。

第七章「防波堤堤頭沖蝕現象探討」的研究方法係以臺中港與麥寮工業港為研究對象，逐年進行臺中港與麥寮工業港堤頭附近波、流場及海底地形變化特性與機制的觀測、分析與模擬；期望針對臺中港與麥寮工業港防波堤堤頭沖蝕嚴重情況，提出有效的防制對策與工法，維持航行船舶進出港口時的安全性。

## 第二章 港區節能減碳及海上防災之探討

本研究第一個子題主要的研究重點在利用船舶自動識別系統(Automatic Identification System,AIS)接收站所獲得的船舶動態資料檔案(CSV 檔案)轉成 Google earth 軌跡 ( KML 檔案)，來分析與統計臺灣海域的船舶軌跡與航路分布;並以迴歸分析、類神經等研究方法獲得最佳化的航線軌跡，藉由航線規劃與建議，提供航行船舶最適化的航路選擇，進而達成航行船舶節省油耗與減輕碳排放量的成效。另外一個重點則是在求出最佳化航路後，經由臺灣海域的船舶特性及航路分布分析，得到臺灣附近海域的航線密集度情況，可以提供給航行船舶了解臺灣海域高碰撞風險區域，進而提供避險的航線，藉此達成海上防災的效能。

### 2.1 研究目的

本研究的主要目的在運用目前交通部運輸研究所所架設的 18 處 AIS 接收站，所蒐集的船舶即時資訊及船舶歷史軌跡，來分析與統計行經臺灣海域的船舶特性及航路分布情況，籍以提供航商最佳化的航線，節省航程與時間;除此之外 AIS 所獲得的統計資料更可以作為航政單位及港務公司在航線規劃及航道調度上的重要參考依據，藉此來縮短航程及減少碼頭調度的時間，節省運輸能耗與減低二氧化碳的排放量。

另外，在海上防災方面，本研究運用 AIS 船舶資訊，可以來監控航行於臺灣海域的船舶動態，並且由 AIS 資料庫的歷史資料來分析船舶航行軌跡，藉由船舶航行軌跡的分析與研判，可以判讀出不同船舶在碰撞及船難時，其發生的原因及發生的歷程；藉由災害發生歷程的研判結果，本研究可以提供防救災單位(各港務公司或海巡署)來進行必要的防災與救援工作，並可快速釐清船難發生的責任歸屬。本研究亦將 AIS 資料庫導入交通部運輸研究所開發出的操船模擬室，作為模擬驗證與訓練，來提高船舶駕駛的操船經驗與專業素養，減少因人為操作所造成的災害發生機率；因此，無論在節能減碳或海上防災方

面，AIS 相關的應用實在是目前海上航行不可或缺的基礎工具之一。

基於上述研究目的，本節就其主要研究發展的基礎工具，船舶自動識別系統(AIS)分別以其 AIS 系統運作方式、AIS 接收站設置及船舶資訊整合系統開發等三大技術與開發方式，作一簡單的描述。最後本文再針對如何利用 AIS 為工具，在有關船舶節能減碳與海上防災上的應用方法，作一系列的分析與探討，並分述如下。

## 2.2 AIS 系統運作方式

### 2.2.1 AIS 系統概念

AIS 系統的主要概念在使得多數船舶之間能夠即時(real time)共享必需的資訊。其特性主要在利用自律型時間分割多元之存取通信技術(Self Organized Time Division Multiple Access: SOTDMA)其 AIS 系統概念圖如圖 2.1 所示。由圖 2.1 顯示，AIS 資訊與電腦間的傳輸通信協定採用開放型電腦互聯(Open Computer Interconnected: OSI) 模式。系統可以透過 RS-232 通訊協定與電腦串聯接收外部發送之 VHF 訊息，再由 TCP/IP 等網路通訊協定與網際網路傳送與鏈結，藉由網際網路可以使外界使用者得到 AIS 的相關訊息，進而利用其資料來分析各項船舶訊息。AIS 的動態資訊亦可經由網際網路連結成為一套完整的資料庫，整合分散各地的接收站所接收的資料，AIS 將可成為點、線、面的涵蓋資訊，將整個臺灣海域的船舶資訊完整呈現。

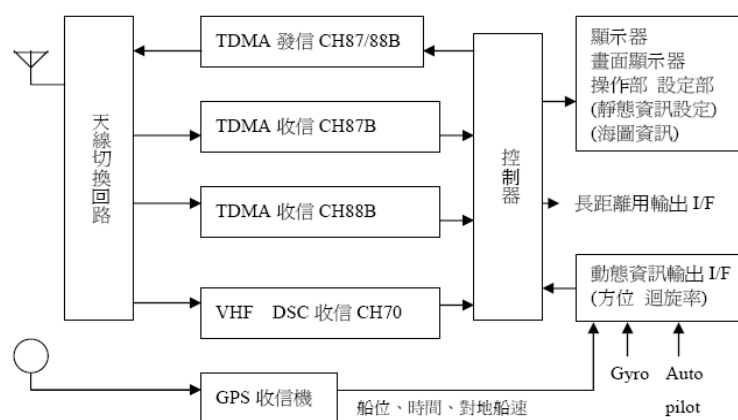


圖 2.1 AIS 系統概念圖

## 2.2.2 AIS 系統資訊內容

AIS 的傳輸資訊項目可以分為靜態、動態與航程等三種類別；各類別傳送的資訊項目與傳送間隔亦各有不同，其動態資訊項目配合船舶船速之變化每隔 2 秒至 3 分發信乙次。而靜態資訊項目則包含呼號船名、長與寬、船舶種類、定位天線在船上的相對位置等資訊，此資訊每隔 6 分鐘發信乙次。另外，航程資訊類別包含船舶吃水、危險貨物、目的港與預計抵達日期時間等資訊，此資訊每隔 6 分鐘或有變更時發信乙次。其 AIS 傳送資訊類別與資訊項目如表 2.1 所示。

表 2.1 AIS 傳送資訊類別與資訊項目

| 資料類別    | 資訊項目            | 資料類別 | 資訊項目       | 資料類別   | 資訊項目       |
|---------|-----------------|------|------------|--------|------------|
| 固定或靜態資訊 | MMSI (水上移動業務識別) | 動態資訊 | 船位附帶準確度指示  | 航程相關資訊 | 船舶吃水       |
|         | 呼號              |      | 船位時戳 (UTC) |        | 危險貨物 (種類)  |
|         | 船名              |      | 對地航向 (COG) |        | 目的地與預計抵達時間 |
|         | IMO 號碼          |      | 對地航速 (SOG) |        | 航路計畫 (航路點) |
|         | 船舶的長寬           |      | 艏向         |        | 安全相關的簡訊    |
|         | 船舶種類與貨載         |      | 航行狀態       |        |            |
|         | 定位天線的位置         |      | 轉向速率 (ROT) |        |            |

## 2.2.3 AIS 系統應用範圍

AIS 系統的應用範圍包含了以下項目:AIS 應用在 VTS 系統、強制性船舶報告系統、AIS 之於搜救作業、助航設施、AIS 之於整體資訊系統，其 AIS 系統應用範圍如表 2.2 所示。

表 2.2 AIS 系統應用範圍

|                |                                              |
|----------------|----------------------------------------------|
| AIS 應用在 VTS 系統 | 航行警告、交通管理資訊、港埠管理資訊。                          |
| 強制性船舶報告系統      | AIS 系統可以提供的靜態、航程相關、與動態資訊中。                   |
| AIS 之於搜救作業     | AIS 可以用於搜救作業，特別是結合直昇機與水面搜索的海空聯合搜救作業。         |
| 助航設施           | 藉由在固定或浮動的助航設施上安裝 AIS，並適當連結相關感測裝置，將可以對航海人員提供下 |

|              |                                                |
|--------------|------------------------------------------------|
|              | 列資訊：位置。狀態。潮流資料。氣候與能見度狀況。                       |
| AIS 之於整體資訊系統 | 支援航程的計畫與監控。此系統將可輔助航政主管單位，監測其管轄範圍內的所有船舶並追蹤危險貨物。 |

## 2.3 AIS 接收站設置

### 2.3.1 AIS 接收站架設情形

本研究於 2009 年起至 2015 年止 7 年間完成基隆港、臺北港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、安平港、苗栗外埔漁港、彰化王功漁港、嘉義布袋漁港、屏東貓鼻頭等 11 處主要港口與澎湖馬公港、澎湖吉貝嶼、蘭嶼開元港、金門水頭港、馬祖北竿、馬祖東莒、馬祖東引等 7 處離島的 AIS 接收站，共計 18 處接收站的設置工作。建置完成之現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點如圖 2.2 所示。

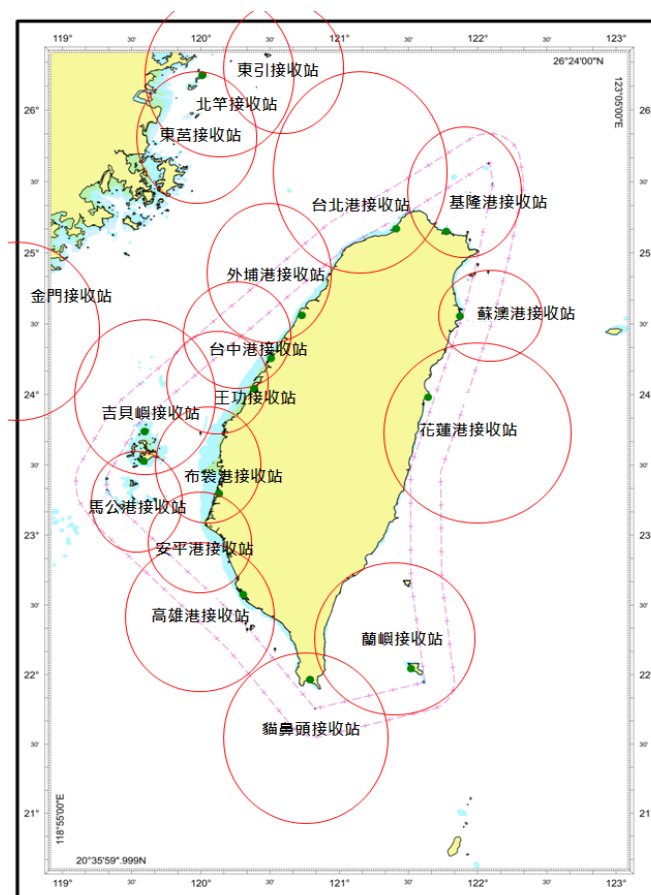


圖 2.2 現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點

### 2.3.2 AIS 接收站未來規劃

依據本所目前 AIS 訊號涵蓋範圍，臺灣本島的 AIS 尚需設置 8 座接收站才能充分涵蓋，其臺灣海域 AIS 接收站設置地點規劃如圖 3 所示；本島部分規劃設置三貂角、麥寮港、東港、長濱漁港、富岡漁港、旭海漁港共 6 座接收站；而離島部分則規劃設置彭佳嶼、東沙 2 座接收站來以延伸臺灣海域 AIS 的涵蓋範圍，其臺灣海域 AIS 接收站設置地點規劃如圖 2.3 所示。另本所已預定於 105 年架設三貂角、東港、長濱漁港、富岡漁港、旭海漁港等新站。

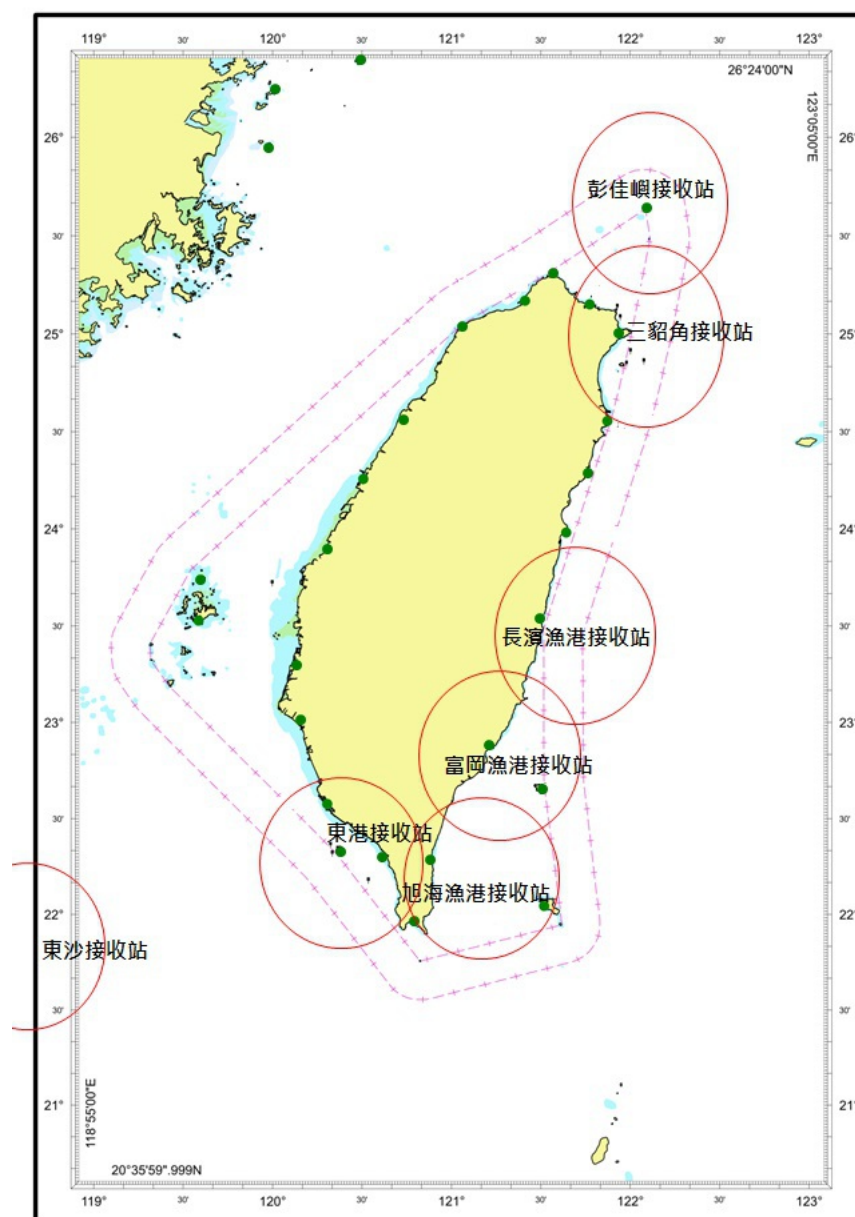


圖 2.3 臺灣海域 AIS 接收站設置地點規劃

## 2.4 船舶資訊整合系統開發

本研究為了整合臺灣海域 AIS 接收站的船舶資料，開發了一套以 WINDOWS 為系統的作業平臺，另以 SQL 為核心的資料庫管理系統，建立了可以讓使用者透過網際網路查詢船舶動態訊息的「臺灣海域船舶動態資訊系統」網站。

### 2.4.1 船舶動態地理資訊模組

船舶動態地理資訊模組主要功能有顯示船舶動態位置，船舶基本資料，船舶數量統計，船舶追蹤、計算船舶距離與方位等子模組。其船舶動態地理位置資訊顯示如圖 2.4 所示；而船舶基本資料顯示與船舶軌跡匯出與顯示則如圖 2.5 及圖 2.6 所示。

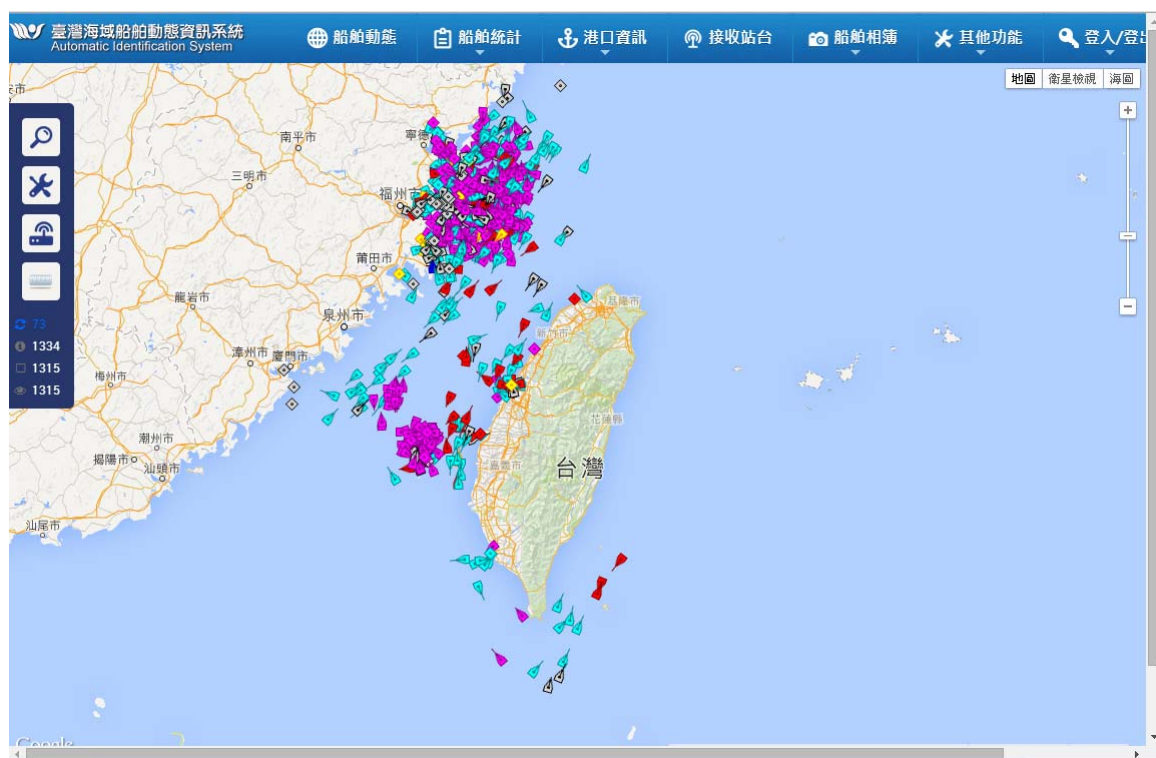


圖 2.4 船舶動態地理位置資訊顯示

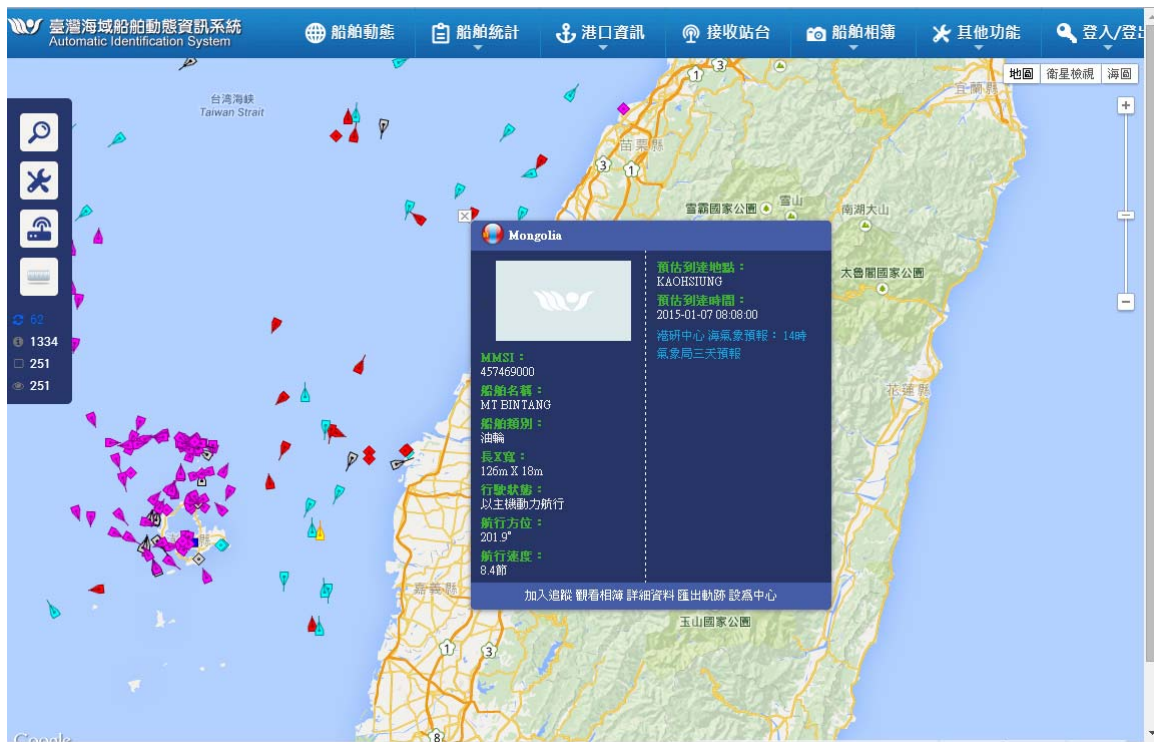


圖 2.5 船舶基本資料顯示



圖 2.6 船舶軌跡匯出與資訊顯示

## 2.4.2 船舶統計分析模組

船舶統計分析模組功能包含有船舶清單查詢、船舶進出港查詢、

到達與駛離之船舶查詢、船舶歷史位置查詢等統計分析等子模組。其船舶清單查詢如圖 2.7 所示；船舶歷史位置查詢則如圖 2.8 所示。

| 船籍 | IMO     | MMSI      | 船名            | 照片 | 類別 | 航速(節) | 航向     | 目的地         | 預計到達時間              | 目前港口 | 接收時間   |
|----|---------|-----------|---------------|----|----|-------|--------|-------------|---------------------|------|--------|
|    | 9248162 | 211728000 | CHICAGO       |    | 貨船 | 15.4  | 23.3°  | MYPKG>RUNJK | 2015-01-10 08:08:00 |      | 2015-0 |
|    | -1      | 200000369 | XINGLONG69    |    | 貨船 | 9.4   | 327.1° |             | 2000-00-00 00:00:00 |      | 2015-0 |
|    | 0       | 413694820 | TIAN XIANG 62 |    |    | 0     | 0°     | SHEN ZHEN   | 2015-01-08 06:06:00 |      | 2015-0 |
|    | 9551961 | 246661000 | HAPPY DRAGON  |    | 貨船 | 14.1  | 0.3°   | TAICHUNG    | 2015-01-06 10:10:00 |      | 2015-0 |

圖 2.7 船舶清單查詢

| 航速(節) | 航向    | 經度               | 緯度               | 紀錄時間                |
|-------|-------|------------------|------------------|---------------------|
| 8.2   | 215.9 | 120.713595       | 24.68075         | 2015-03-06 12:57:40 |
| 8.1   | 216.1 | 120.713376666667 | 24.680475        | 2015-03-06 12:57:49 |
| 8.2   | 212.6 | 120.71314        | 24.680165        | 2015-03-06 12:58:00 |
| 8.3   | 228.5 | 120.712886666667 | 24.6798683333333 | 2015-03-06 12:58:10 |
| 8.2   | 212.8 | 120.712606666667 | 24.679495        | 2015-03-06 12:58:21 |
| 8     | 214   | 120.712385       | 24.6792233333333 | 2015-03-06 12:58:31 |
| 8     | 214.9 | 120.71214        | 24.67892         | 2015-03-06 12:58:41 |
| 8.2   | 215   | 120.711921666667 | 24.6786466666667 | 2015-03-06 12:58:49 |
| 8.4   | 208.1 | 120.711666666667 | 24.6783083333333 | 2015-03-06 12:59:01 |
| 8.2   | 209.3 | 120.711455       | 24.678035        | 2015-03-06 12:59:10 |
| 8     | 217.6 | 120.711165       | 24.6776733333333 | 2015-03-06 12:59:21 |
| 8.4   | 215.3 | 120.710725       | 24.6770783333333 | 2015-03-06 12:59:41 |
| 8.1   | 214.3 | 120.71052        | 24.6768016666667 | 2015-03-06 12:59:49 |
| 8.3   | 204.3 | 120.710278333333 | 24.6764533333333 | 2015-03-06 13:00:01 |
| 8.1   | 208.5 | 120.710053333333 | 24.6761383333333 | 2015-03-06 13:00:10 |

圖 2.8 船舶歷史位置查詢

### 2.4.3 港口資訊與接收站統計分析模組

港口資訊與接收站統計分析模組功能包含有港口停靠數量統計

分析、停靠駛離船舶統計(24Hr)、即將到達船舶清單、接收站各項之圖表統計分析等子模組，其港口資訊查詢如圖 2.9 所示。

| 臺灣海域船舶動態資訊系統<br>Automatic Identification System |        |               |               |          |     |
|-------------------------------------------------|--------|---------------|---------------|----------|-----|
| 船舶動態                                            |        |               |               |          |     |
| 船舶統計                                            |        |               |               |          |     |
| 港口資訊                                            |        |               |               |          |     |
| 接收站台                                            |        |               |               |          |     |
| 船舶相簿                                            |        |               |               |          |     |
| 其他功能                                            |        |               |               |          |     |
| 登入/登出                                           |        |               |               |          |     |
| 港口停靠數量統計分析                                      |        |               |               |          |     |
| --列出全部--                                        |        | 查詢            |               | 資料數量：0筆  |     |
| 港口                                              | 港內船舶統計 | 駛離船舶統計(24hrs) | 停靠船舶統計(24hrs) | 預期到港船舶統計 | MAP |
| 高雄港                                             | 0      | 84            | 84            | 37       |     |
| 吉貝港                                             | 0      | 0             | 0             | 0        |     |
| 後壁湖港                                            | 0      | 1             | 1             | 0        |     |
| 馬祖站                                             | 0      | 3             | 3             | 0        |     |
| 關元港                                             | 0      | 0             | 0             | 0        |     |
| 外埔港                                             | 0      | 3             | 3             | 0        |     |
| 台中港                                             | 0      | 39            | 39            | 34       |     |
| 布袋港                                             | 0      | 0             | 0             | 0        |     |
| 水頭港                                             | 0      | 1             | 1             | 0        |     |
| 馬公港                                             | 0      | 5             | 5             | 0        |     |
| 台北港                                             | 0      | 12            | 12            | 14       |     |
| 蘇澳港                                             | 0      | 3             | 3             | 6        |     |
| 花蓮港                                             | 0      | 0             | 0             | 0        |     |
| 基隆港                                             | 0      | 10            | 10            | 8        |     |

圖 2.9 港口資訊查詢

港口資訊與接收站統計分析模組最大的用途在統計目前港口停靠的數量，與未來駛離或到達的船舶清單與數量，對於港口的營運與領港規劃是相當有幫助的。而接收站各項之圖表統計分析則可以檢核與查詢各接收站的訊號接收強弱，讓系統管理者來分析改善接收站的接收情況，其接收站的接收範圍分佈分析如圖 2.10 所示。

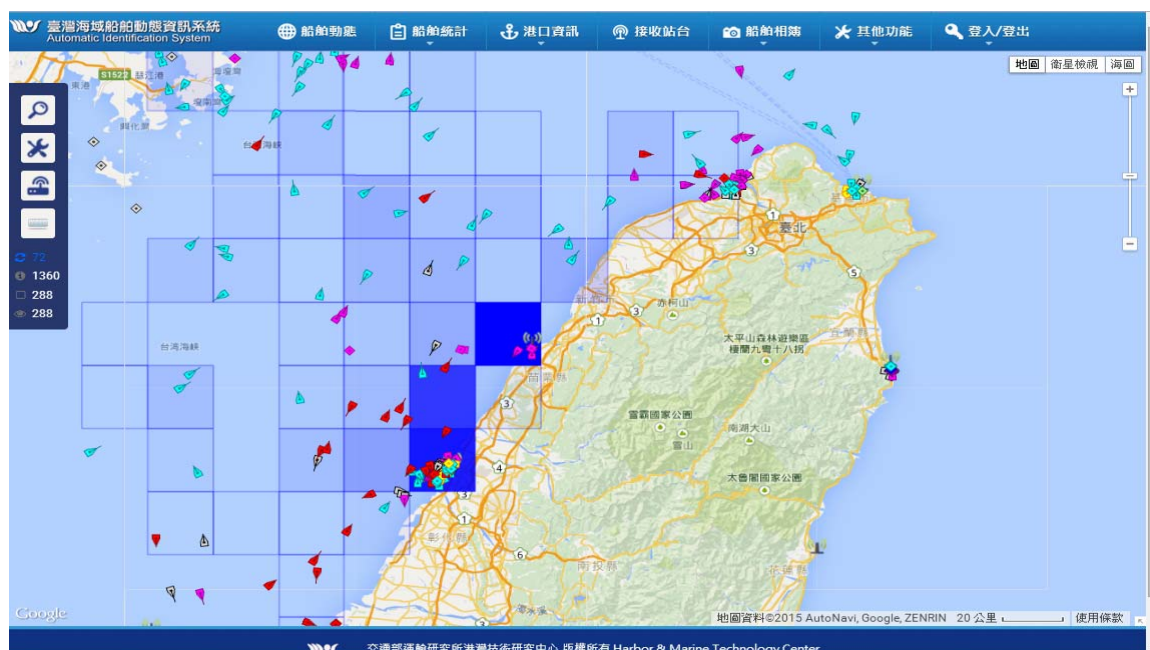


圖 2.10 接收站的接收範圍分佈分析

## 2.5 節能減碳相關研究成果

依據 AIS 系統運作方式、AIS 接收站設置及船舶資訊整合應用等研究方法與分析過程，本研究將 AIS 接收站所蒐集的船舶歷史軌跡及即時訊息進行統計分析，來探討各類船舶的航行特性及分布情況。藉由各類船舶的航行特性及分布分析，可以求得最佳化航路，進一步達成航線規劃及航路建議的終極目標。本文僅就 AIS 的資料整合與應用分析，如何應用在節能減碳及海上防災的案例，來概要說明本研究的相關研究成果與分析方式。研究成果與分析方法則依交通流統計分析、高碰撞風險分析、港口附近航線密集度分析、臺灣海域主要航路分析、操船模擬及現場驗證分析等章節分述如下。

### 2.5.1 交通流統計分析

本研究開發了 1 套交通流分析統計模組，其交通流分析統計如圖 2.11 所示；此交通流分析統計模組可以透過使用者選擇的不同船舶條件，利用使用者自定的船舶穿越地理參考線，來做穿越地理線的交通流分析。經由穿越地理線的交通流分析，可以分析穿越地理參考線的交通流量，更可以針對各類船舶往(來)及返(回)的交通流統計量與航跡密度分佈，來探討區域性的交通流量分布情況，藉由交通流統計量探討，可以預測臺灣海域何處為交通流量及密度最高之區域，進行分散航線的規劃，減少碰撞事故發生的機率。

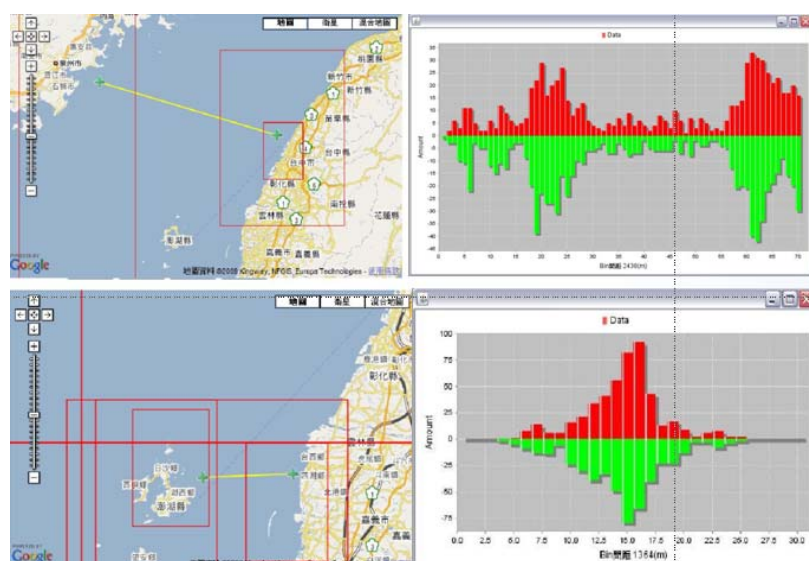


圖 2.11 交通流分析統計

### 2.5.2 高碰撞風險分析

AIS 應用的第三個案例為高碰撞風險分析，本計畫取任意一段時間內航速小於 14 節的 AIS 資料(本研究設為 2500 筆，設距離為 0.00025 度、最低點數為 5)來分析；其高碰撞風險時空密集區偵測分析試驗如圖 2.12 所示；由試驗分析結果顯示，AIS 具有船舶高速或轉向時縮短報告傳送時間的特性，而在高速或轉向時所在位置也將是碰撞風險機率最高的地點，因此由 AIS 船舶軌跡的時空密集區偵測分析試驗可以得知，其時空密集區與碰撞風險應有很高的關聯性，避開此一高碰撞風險時空密集區不失為航行安全的選擇之一。

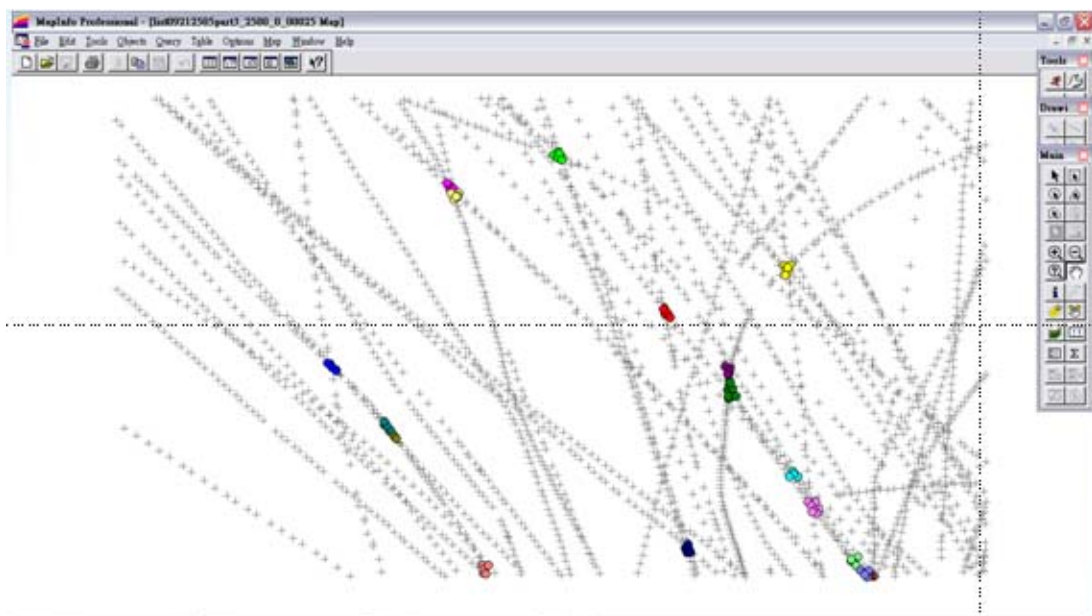


圖 2.12 高碰撞風險時空密集區偵測分析結果

### 2.5.3 航線密集度分析

本研究以 2015 年 01 月 01 日起至 2015 年 12 月 31 日止為期一年，分析新竹至彰化外海共 10 條斷面線，如圖 2.13 所示。

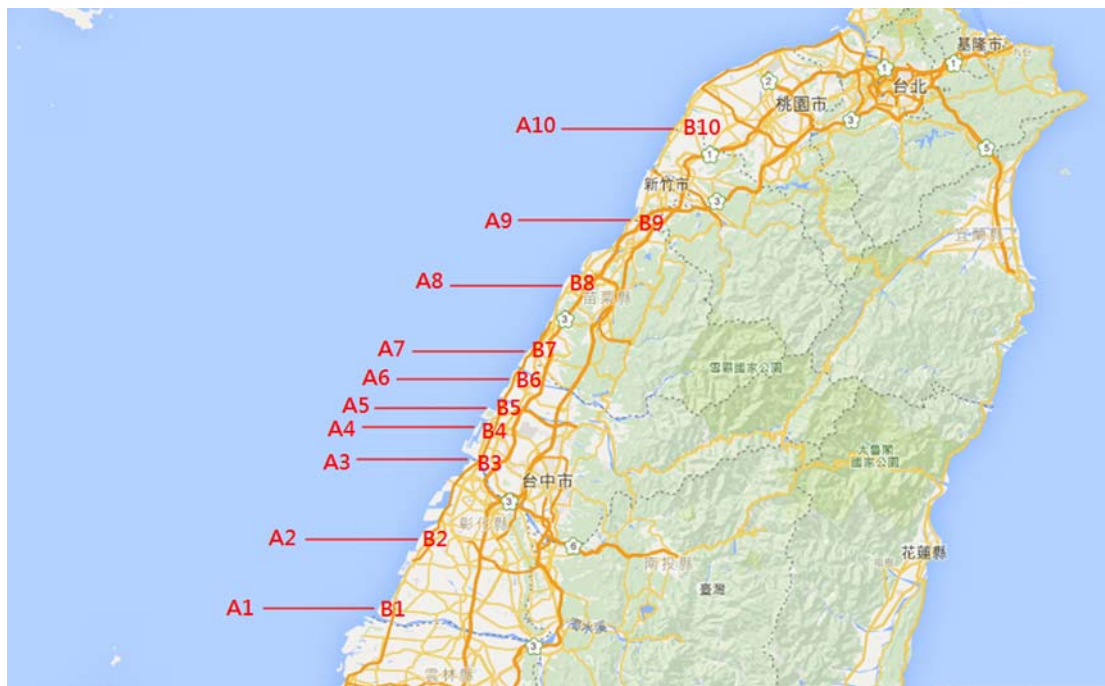


圖 2.13 船舶流量統計段面示意圖

其分段面為 A1B1(彰化雲林交界)至 A10B10(桃園新竹交界)，其分析結果如下圖 2.14 至圖 2.23，藍色為向北航行船隻分佈長條圖，綠色為向南航行船隻分佈長條圖。

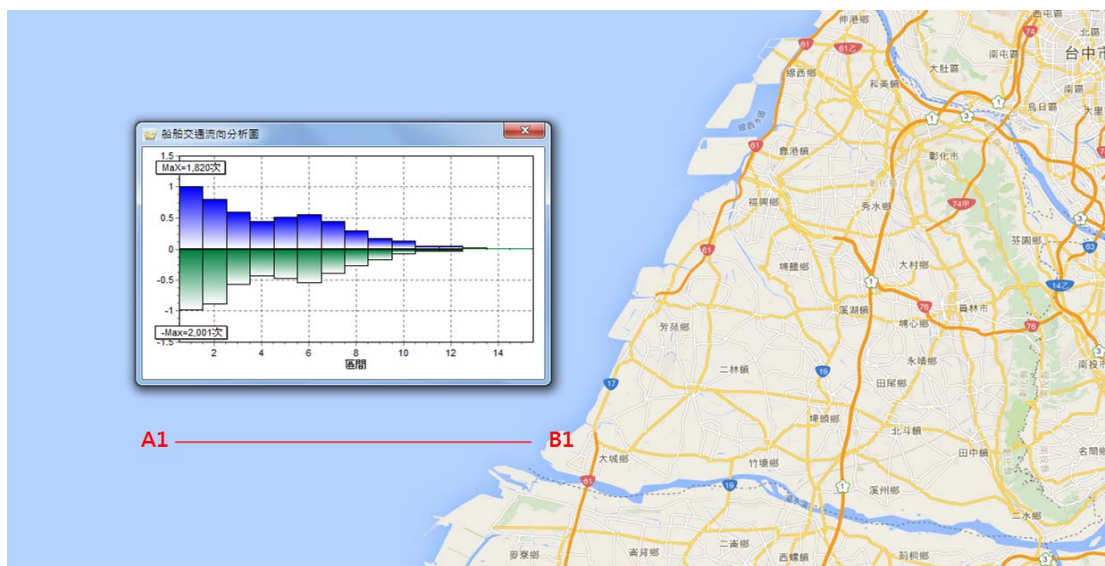


圖 2.14 A1B1 段面 (彰化雲林交界)統計圖



圖 2.15 A2B2 段面 (彰化)統計圖

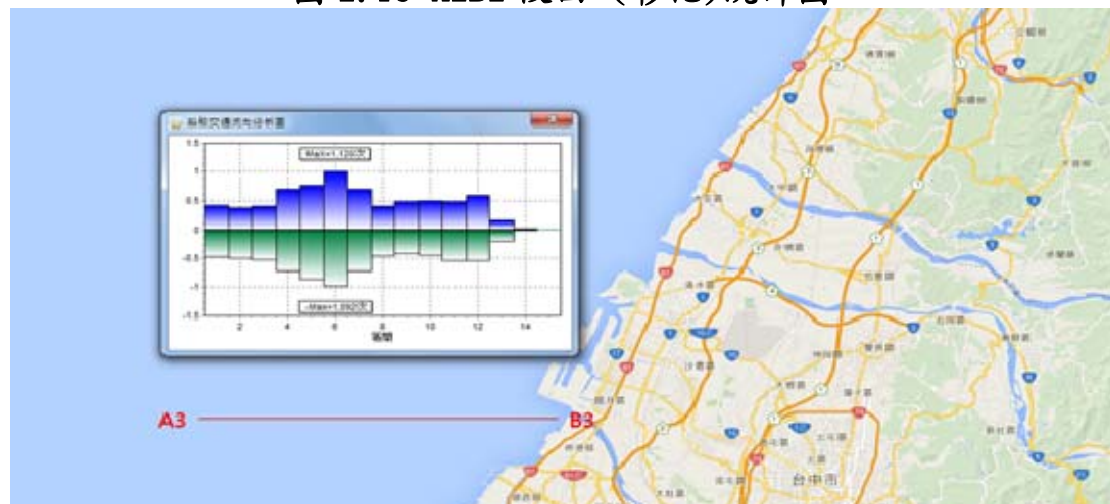


圖 2.16 A3B3 段面 (臺中彰化交界)統計圖

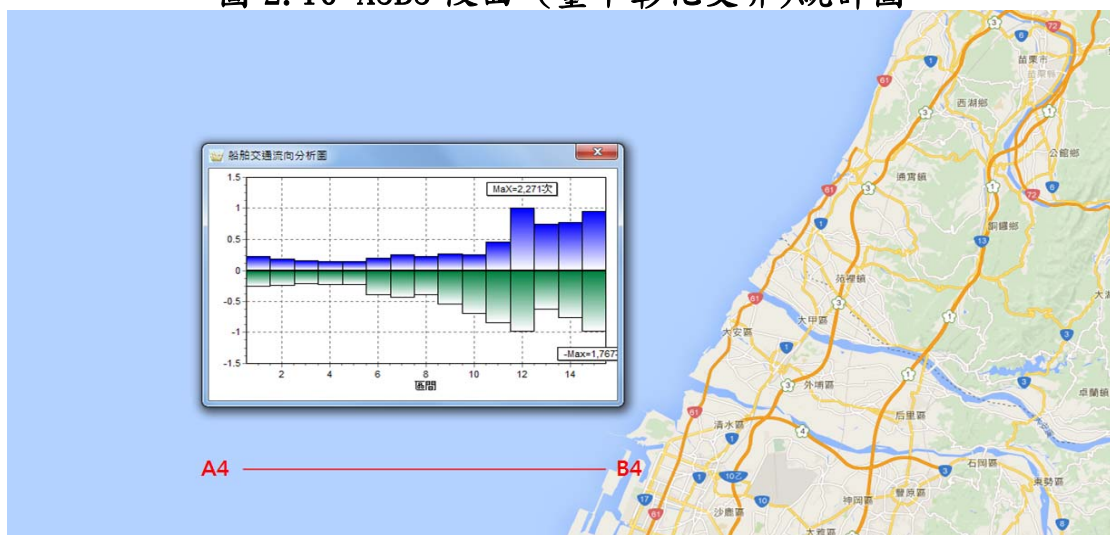


圖 2.17 A4B4 段面 (臺中港出口南側)統計圖

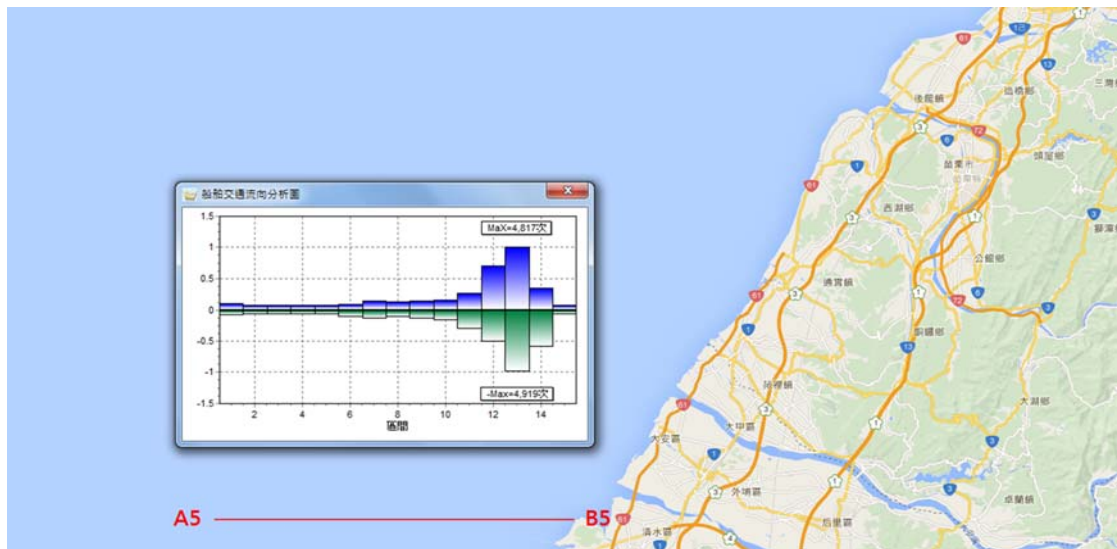


圖 2.18 A5B5 段面（臺中港出口北側）統計圖

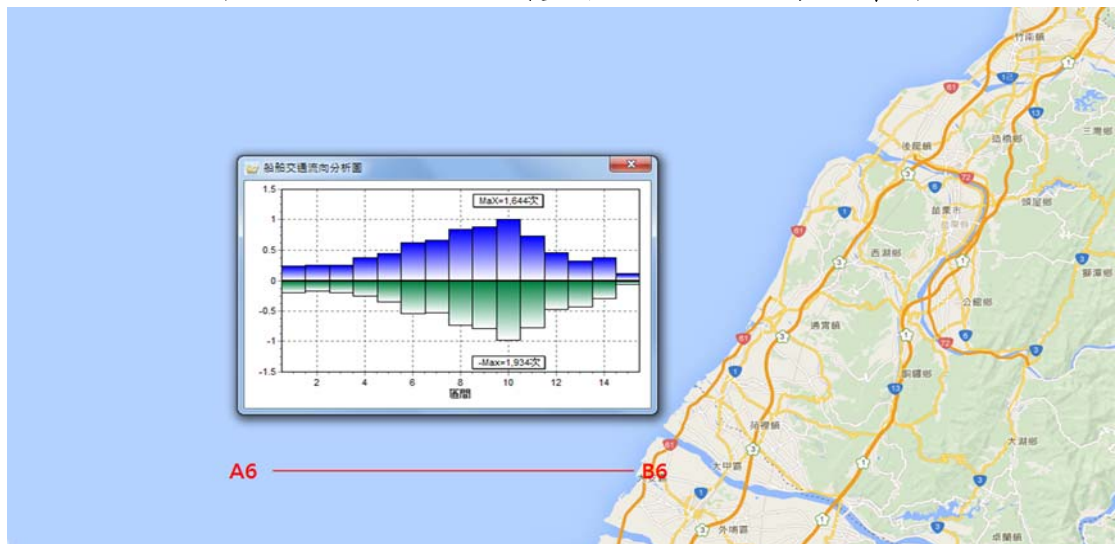


圖 2.19 A6B6 段面（臺中）統計圖

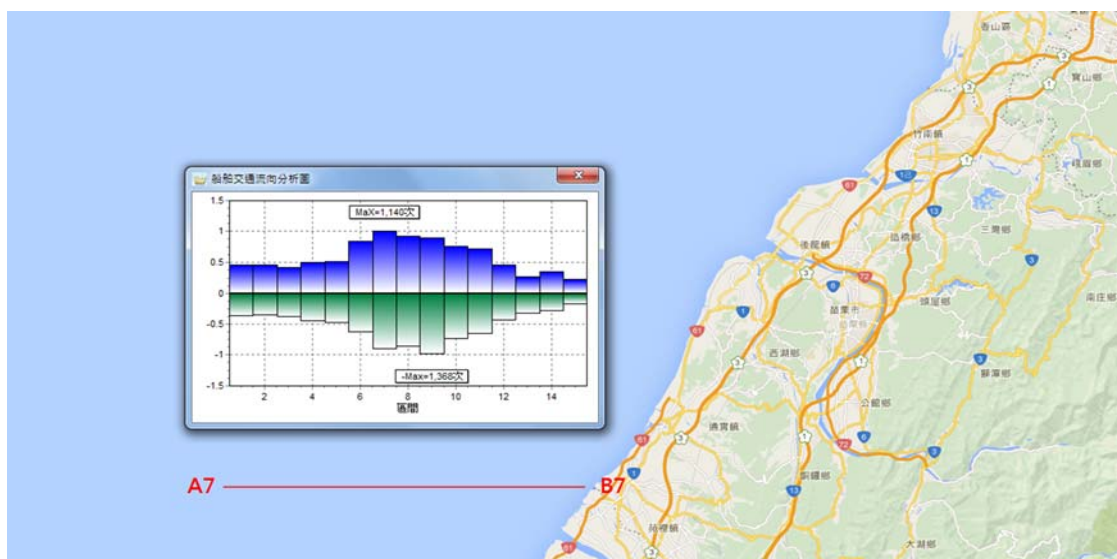


圖 2.20 A7B7 段面（苗栗臺中交界）統計圖

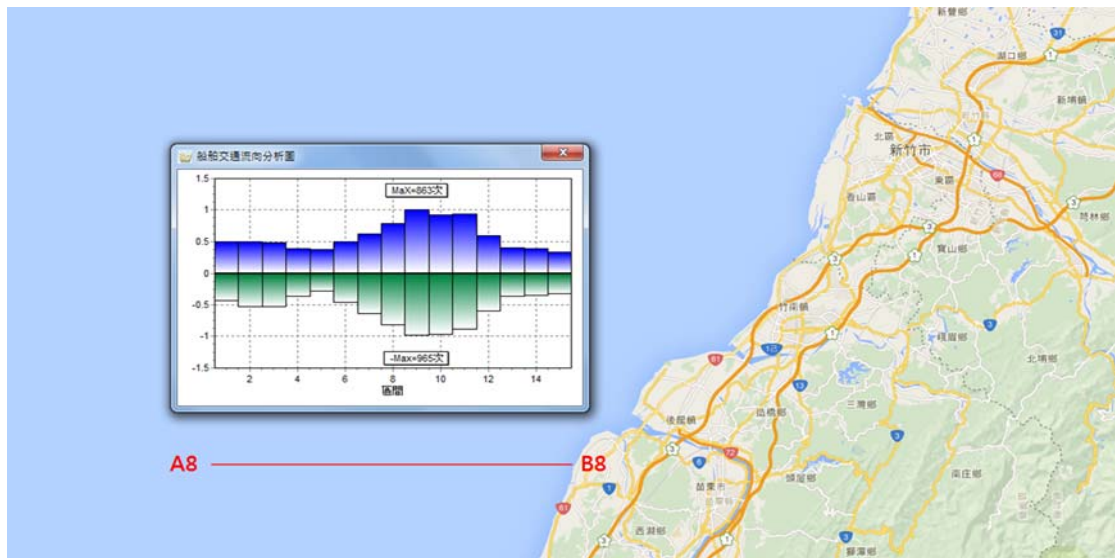


圖 2.21 A8B8 段面 (苗栗)統計圖

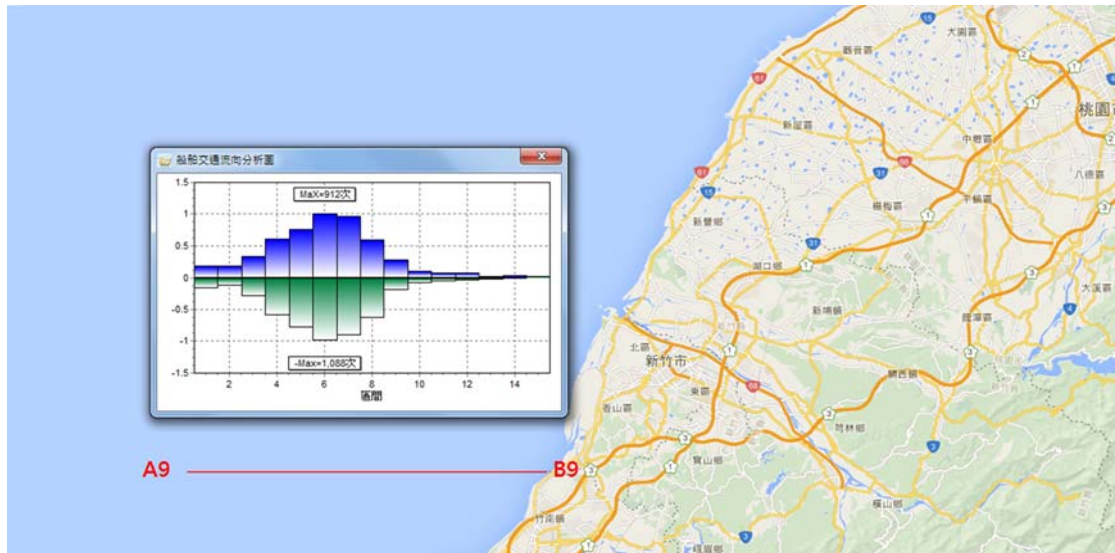


圖 2.22 A9B9 段面 (新竹苗栗交界)統計圖

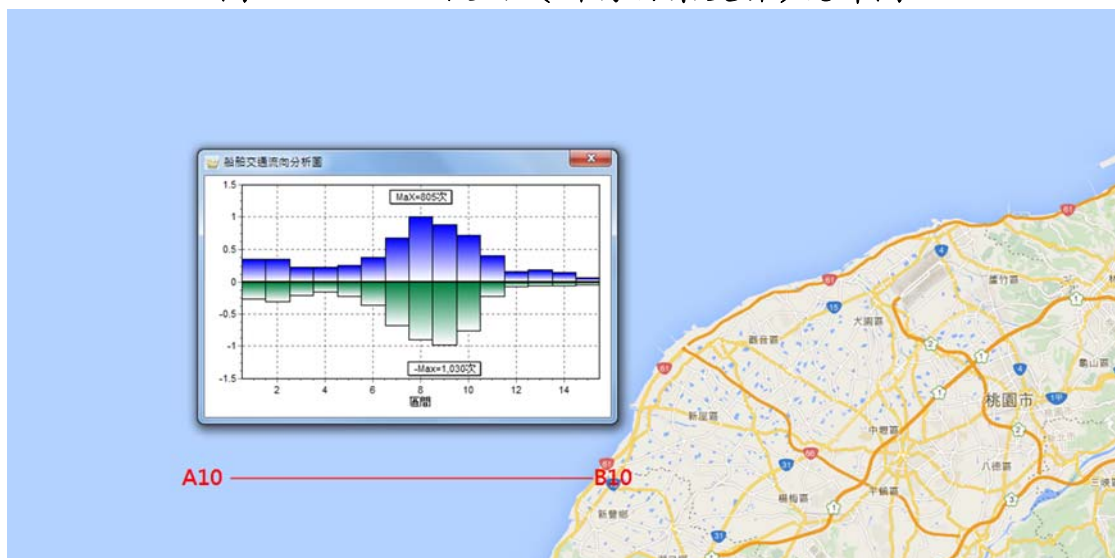


圖 2.23 A10B10 段面 (桃園新竹交界)統計圖

本分析藍色線條間之區域為各斷面 60%之密集航線區域，如圖 2.24 及 2.25 所示；臺灣海域航行的船舶航經新竹至彰化外海之 60% 密集度分佈情況，由密集度分佈分析可以作為規劃分道航行、及離岸風電設置之依據。



圖 2.24 彰化至新竹航行 60%密集航線分佈



圖 2.25 新竹至彰化航行 60%密集航線分佈

#### 2.5.4 臺灣海域主要航路分析

由 AIS 資料庫的記錄配合本研究之交通流統計與迴歸分析可以得知臺灣船舶各主要港口航路分布如圖 2.26 所示;由圖 2.26 的分析結果顯示,航行於臺灣海域的船舶在各主要港口之間皆有其既定的航道,而這些既定航道也就是臺灣海域航線最密集的分佈區域,經由得出最密集分佈圖,我們可以作為臺灣海域最佳化航道規劃的參考。



圖 2.26 臺灣船舶各主要港口航路分布

本研究亦可以從這些既定且最密集的航路分佈來研判,得到臺灣各主要港口船舶航行最密集航路如圖 2.27 所示。

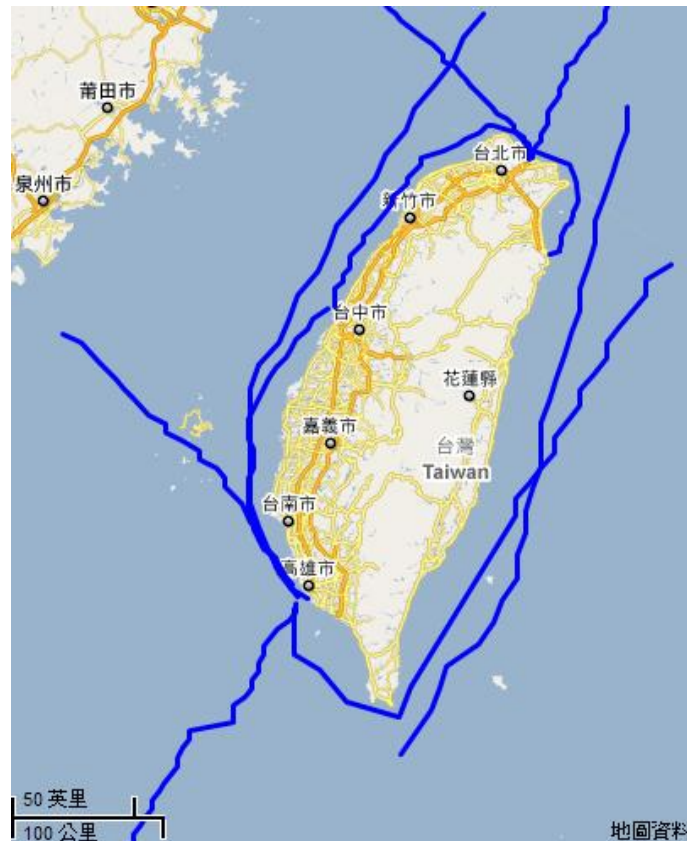


圖 2.27 臺灣各主要港口船舶航行最密集航路

由圖 2.27 最密集航道分佈圖顯示，在某些海域有兩條密集航路線交叉的情況發生，而此交叉情況所在的海域，可視為機率最高的船舶碰撞區域，本研究將可以提供航政機關在規劃臺灣海域整體航路時的避開高碰撞區域的參考依據。

而經過前述的最密集航道分析後，我們可以針對特定港口與港口之間作最佳化的航路分析，本研究列舉臺中港與高雄港之間的航路為例，找出一條臺中港與高雄港最佳化軌跡線(紅色路徑)如圖 2.28 所示，此條軌跡線代表船舶航行於臺中港與高雄港之間最密集的航行路線，也是航商認為最安全且不可能發生碰撞與擱淺的航路，依循前人所經常行駛的路線，吾人可以認定此安全航路應是最佳化的航路，因為大多數的航商基於節省油耗與防止碰撞上的考量，此航路必定是經過長期經驗的累積所得出的航線。因此最佳化航道分析將有助於船舶在航行於特定港口與港口之間，提供非國籍航商一個最有利的選擇與導航的建議。

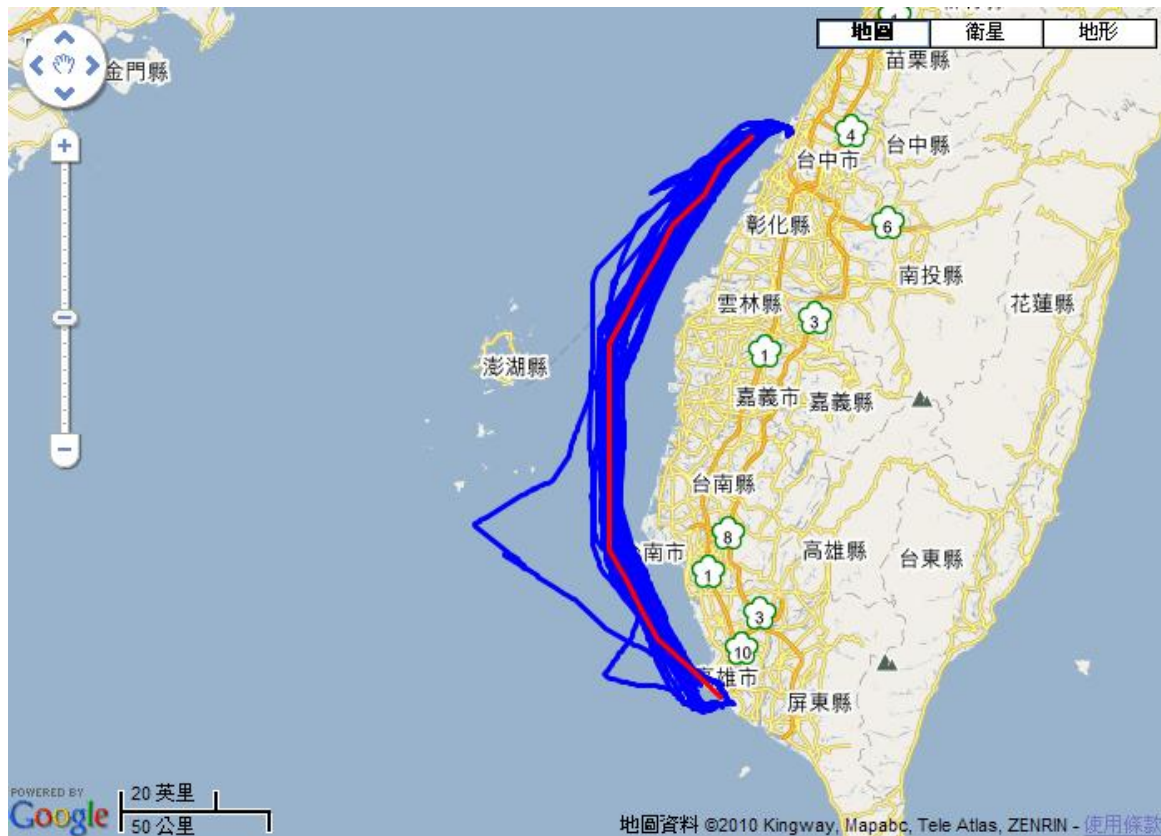


圖 2.28 臺中港與高雄港最佳化軌跡線(紅色路徑)

### 2.5.5 操船模擬及現場驗證分析

本研究將 AIS 資料庫的船舶軌跡資料應用於操船模擬驗證分析，藉以比對操船人員與海上船舶航行間的差異性，亦得到相當良好的成果。港研中心現有操船模擬設備如圖 2.29 所示；其中操船訓練可以預先在電子海圖顯示器上規劃航行路線如圖 2.30 所示，而此規劃航行路線可以指示訓練學員依據此規劃路線進行操船模擬，操船模擬後之成果可以與 AIS 資料庫中儲存的現場實際 LNG 運輸船航行軌跡進行比對。



圖 2.29 港研中心現有操船模擬設備

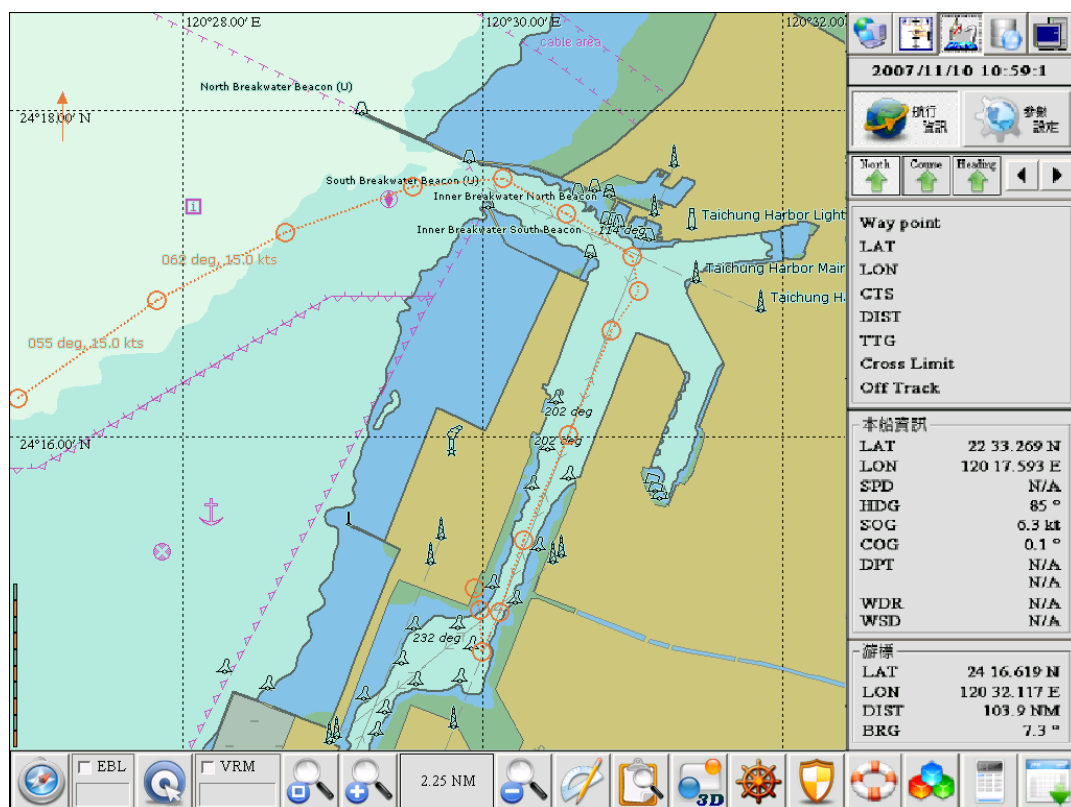


圖 2.30 電子海圖顯示器上規劃航行路線

其操船模擬與 LNG 運輸船航行軌跡比對如圖 2.31 所示。圖 2.31 顯示的黃色軌跡線為現場 LNG 運輸船進港航行軌跡，白色軌跡線為操

船模擬器所操作的航行軌跡，而此兩條軌跡線將可以比對出操船模擬與現場實際航行兩者間的差異性；操船人員將可以藉由修正操船模擬過程來學習現場實際航行的歷程，如此可以讓操船模擬人員學習與真實海上航行的經驗；藉由 AIS 資料庫的船舶軌跡資料應用在操船模擬器的過程，可以讓學員不必在海上實際操船，就可以學習有經驗船長的操船過程，如此將減低海上實際操船的船舶油耗量，而且可以避免因學員操作不純熟所產生錯誤的航安事件發生。

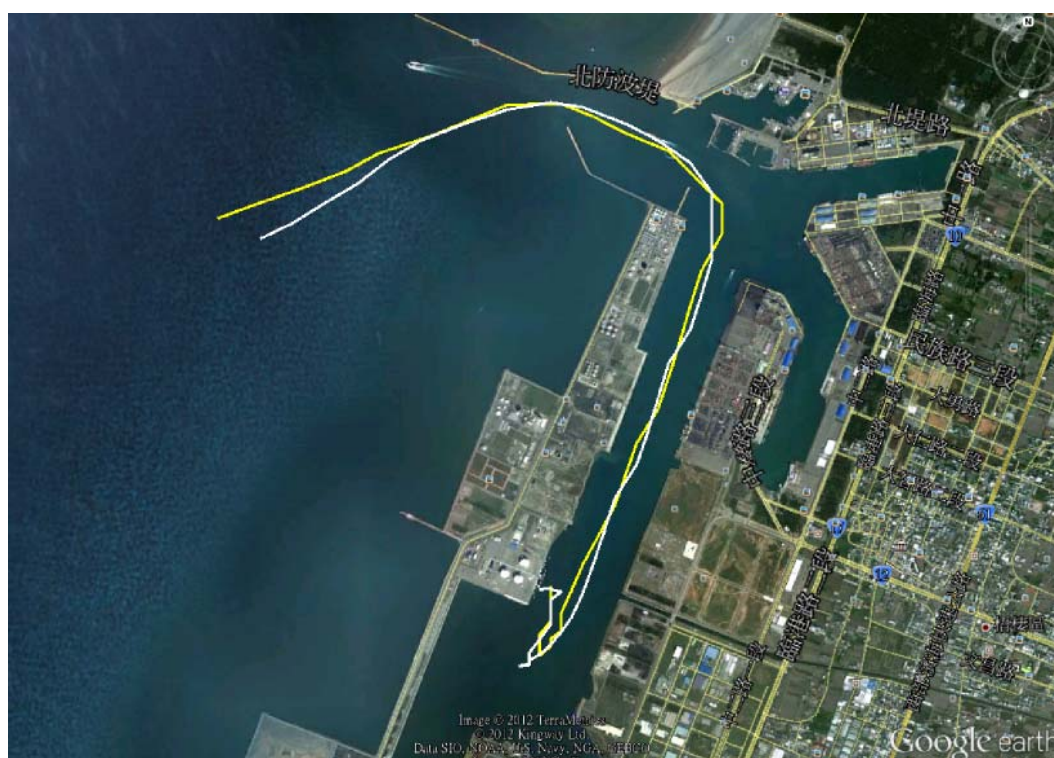


圖 2.31 操船模擬與 LNG 運輸船航行軌跡比對

## 2.6 海上防災相關研究成果

由於近年來臺灣海域船舶航安事件頻繁，本研究特別利用交通部運輸研究所 AIS 接收站所蒐集的船舶動態歷史資訊，進行分析。以下為本研究列舉海研 5 號事件檢測 AIS 訊號，來說明本研究針對海上防災所獲得之研究成果。

## 2.6.1 海研 5 號事件

臺灣最大研究船海研五號於 2014 年 10 月 10 日航行於臺灣海峽，在行經路程中不幸觸礁沉船，因此本階段針對海研五號作船舶 AIS 軌跡追蹤分析，並結合海圖圖層作研判，經分析研判結果疑似海研五號於當天 16:50 分左右觸礁如圖 2.32 所示，因而導致海研五號船體沉沒。

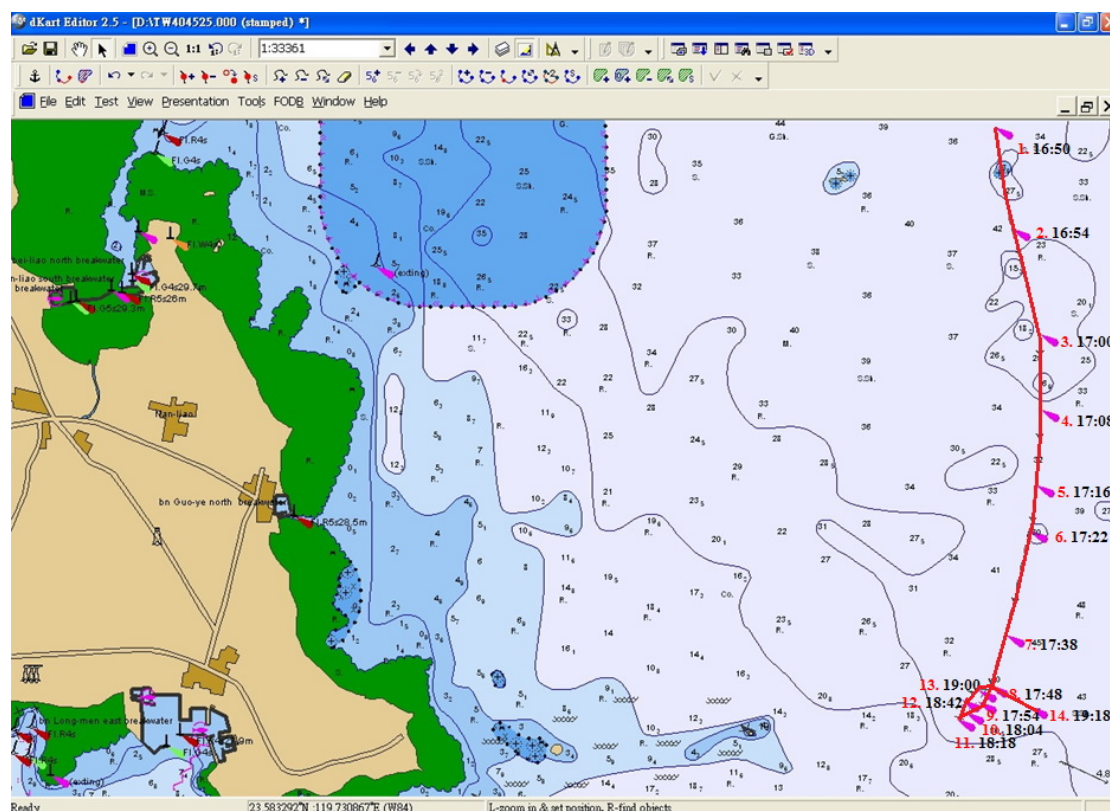


圖 2.32 海研 5 號之航行軌跡

## 2.7 小結

為了因應智慧化海運的國際現勢與需求，結合了 GPS 衛星導航與無線通訊技術的船舶自動識別系統(AIS)已日漸成為海上航行的主流設備，本研究依據此一趨勢先期建置了臺灣海域 AIS 接收站及其整合資料庫系統。本文則就 AIS 整合資料庫的船舶即時資訊與歷史軌跡，如何應用在節能減碳與海上防災上的相關研究，並對其獲致的研究成果說明如下：

1. 交通部運輸研究所目前架設有本島 11 處及外島 7 處，共計 18 處

的船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)接收站，依據本研究實際運作與分析，未來臺灣海域至少需增設 6 處及離島 2 處，共計 26 處的 AIS 接收站才能充分涵蓋。

2. 本研究透過 18 處 AIS 接收站收集的船舶資訊，整合成為 AIS 資料庫，透過資料庫的船舶動態資訊(CSV 檔案)轉成 Google earth 軌跡 (KML 檔案)，並以統計迴歸、類神經等方法獲得最佳化航線規劃與航路分析，作為節能與航安分析的最佳工具。
3. 藉由 AIS 資料庫的資料收集，本研究已完成有關節能減碳及海上防災的相關研究成果。藉由節能減碳的相關研究成果與分析方法，可進行交通流統計分析、高碰撞風險分析、港口附近航線密集度分析、臺灣海域主要航路分析、LNG 液態船進出港分析、操船模擬及現場驗證分析等研究分析。而藉由海上防災的相關研究成果與分析方法，本研究亦分析海研 5 號事件，未來可以作為航務主管機關與港務單位於探討航安事件發生原因時，作為重要的佐證資料，藉以釐清航安事件的責任歸屬。

## 第三章 港埠船舶減速查核系統

本研究第二個子題主要的研究重點是研發綠色港埠有關的新技術，研究源起於臺灣港務股份有限公司所積極推動的「臺灣港群綠色港口推動方案」相關需求，102 年度以高雄港為試辦範圍，本研究今年於基隆港、臺北港、蘇澳港、花蓮港、臺中港及安平港等 6 大港口，皆亦建立一套船舶減速查核系統。本研究的方法主要在透過岸上的船舶自動識別系統(AIS)接收站，接收港口附近的船舶即時動態資訊，再利用自行開發的船舶減速查核應用程式，來即時顯示及計算船舶減速有關的數據，未來可以將所獲得的船舶即時資訊與減速數據，納入船舶減速資料庫管理系統中儲存，並於每月進行船舶減速數據的統計及彙整。藉由本計畫可以提供各港務分公司在船舶減速查核機制上，得到正確且即時的數據資料，達成船舶減速查核之目的，並協助臺灣港務股份有限公司加速「臺灣港群綠色港口推動方案」的推動成效。

近年交通部所屬的臺灣港務股份有限公司積極推動「臺灣港群綠色港口推動方案」，而其中「船舶減速查核系統」主要目的在致力於監控進出港船舶的減速情況，期望有效降低港區二氧化碳的排放量，達到港埠環境保護的目標；所以本計畫主要在透過 AIS 的通訊技術，來追蹤船舶進出港口時的減速情形，並計算出具體的船舶減速數據，藉由具體的船舶減速數據來規劃與建立臺灣各國際港的船舶減速查核機制。

### 3.1 減速查核系統開發目的

本研究主要目的是依據臺灣港務股份有限公司所推動的「臺灣港群綠色港口推動方案」需求，針對進出臺灣主要港口的船舶，建立一套船舶減速查核系統。本文所研發的船舶減速查核系統係利用岸上架設的船舶自動識別系統（AIS）接收站，接收港口附近的船舶即時動態資訊及靜態資訊，再利用蒐集到的船舶資訊，透過特定的船舶減速應用程式來計算出各別船舶的減速數據，最後將船舶減速數據儲存於資料庫管理系統中，未來可以運用在各項不同的統計與分析。

藉由船舶減速查核系統的建立，各港務分公司可以即時監控行經港口附近的航行船舶，在不同離港距離區段內的減速情況；本系統除了可以提供港務單位即時觀察船舶進出港資訊外，亦可進一步彙整船舶進出港資訊，輸出各項統計報表，來協助港務單位得到具體船舶減速數據，未來在港區節能減碳獎勵或處罰措施的研擬時作為有力的參考依據，期能加速達成臺灣港務股份有限公司「臺灣港群綠色港口推動方案」的執行成效與推動目標。

## 3.2 減速查核系統開發方法

依據前述的研究目的，本系統的研究方法係由岸上架設的船舶自動識別系統（AIS）接收站，接收港口附近的船舶即時動態資訊及靜態資訊，納入 AIS 船舶資料庫中，再利用資料庫中的船舶資訊，透過船舶減速查核系統所需的應用程式及模組，來計算出船舶進出港的減速數據，最後將船舶進出港的減速數據製作成使用者所需的統計報表，提供給使用者參考與運用，本文主要的二大研究重點有：設備船舶自動識別系統（AIS）與船舶減速的定義原則，分別概述如下。

### 3.2.1 船舶自動識別系統(AIS)

AIS(Automatic Identification System)為目前國際海事組織(IMO)所規範的助航設施，其傳遞及接收頻段為海事頻段中的 VHF(Very High Frequency)，介於 156MHz~162Mhz；其訊息為利用時間分割多元存取(TDMA)的廣播方式，傳遞速度可達每分鐘 2250 個訊息；AIS 系統本身不需人為操作，即可在船舶與船舶間、船舶與港口間形成通訊網路，因此具備了自動識別的功能，其船舶自動識別系統（AIS）整體架構如圖 3.1 所示。

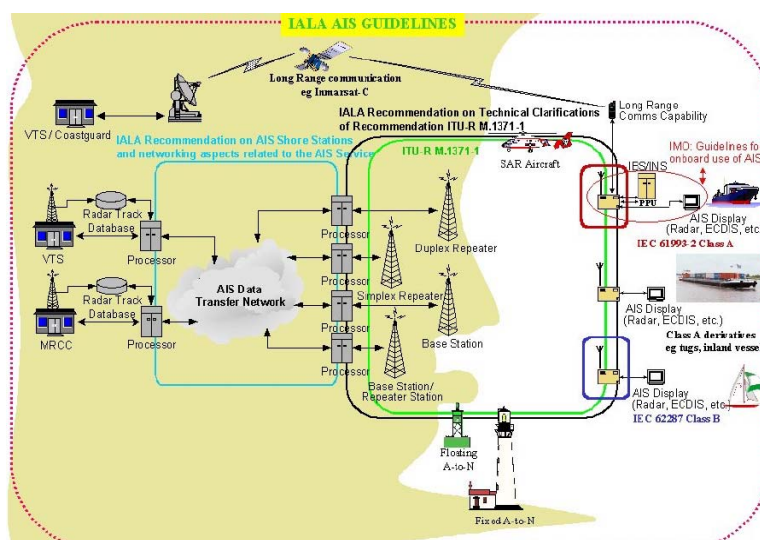


圖 3.1 船舶自動識別系統（AIS）整體架構

船舶自動識別系統（AIS）收發的訊息中包含船舶靜態資訊、航行相關資訊、動態資訊、動態報告及緊急求救消息等，其 AIS 資訊種類如表 3.1 所示。而其訊息回報速率則依據船舶航行狀態，介於 3 秒到 3 分鐘之間，訊號涵蓋範圍可達 25 海浬之遙。鑑於 AIS 系統所具備的國際化及普遍化特性，本研究取其作為船舶減速查核系統的主要核心配備與蒐集資訊來源，將可迅速與國際接軌，並簡化系統的硬體設計與規劃流程，有助於快速建構與整合船舶減速查核系統。

表 3.1 AIS 資訊種類

| 訊息總類   | 接收訊息                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 靜態資訊   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (MMSI, Maritime Mobile Service Identities Code) 海上移動業務識別碼</li> <li>• (IMO Number) 國際海事組織編號</li> <li>• (Call Sign) 船舶呼號</li> <li>• (Type of ship) 船舶類型</li> <li>• (Length and beam) 船隻長度與寬度</li> <li>• (GPS Antenna location) GPS 天線位置</li> </ul>                           |
| 航行相關資訊 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Draught of the ship) 船隻吃水深</li> <li>• (Cargo information) 裝載貨物資訊</li> <li>• (Destination) 航行目的地</li> <li>• (Estimated Time of Arrival, ETA) 預估到達時間</li> </ul>                                                                                                             |
| 動態資訊   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Position of the ship) 船隻位置</li> <li>• (UTC, Coordination Universal Time) 世界標準時間</li> <li>• (Course Over Ground, COG) 對地航向</li> <li>• (Speed Over Ground, SOG) 對地航速</li> <li>• (Heading) 航向</li> <li>• (Rate of turn) 轉向率</li> <li>• (Navigational status) 航行狀態</li> </ul> |
| 動態報告   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Ship speed) 船隻速度</li> <li>• (Ship status) 船隻狀態</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                 |
| 緊急求救消息 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Alarm) 警示</li> <li>• (Safety) 緊急求救</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                             |

### 3.2.2 船舶減速定義原則

本研究之船舶減速定義原則係依據洛杉磯港船舶減速查核機制所定義之方式，將港口距離區域區分為三個區段，其港口區域分段示意如圖 3.2 所示。

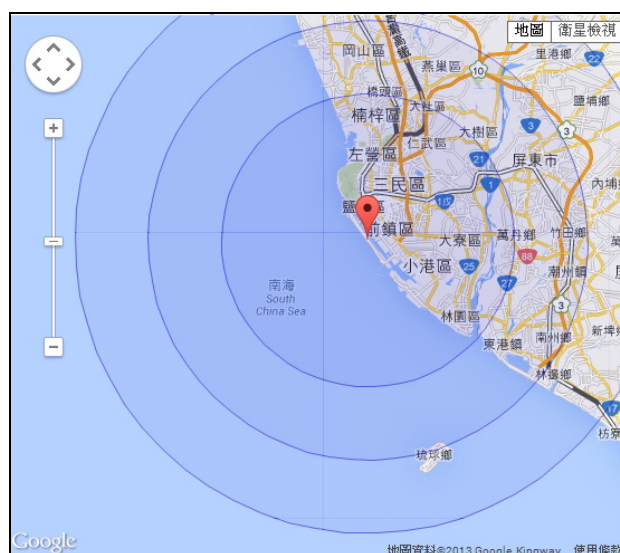


圖 3.2 港口區域分段示意

取得船舶穿越各區段的離線船速後，再並計算各區段間之平均速度，最後計算整合平均速度，其各區段離線船速定義如表 3.2 所示，各區段平均速度與整合平均速度定義如表 3.3 所示。

表 3.2 各區段離線船速定義

| 第一區段速度<br>(V1)    | 第二區段速度<br>(V2)    | 第三區段速度<br>(V3)    |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| 通過20nm等距<br>離線之船速 | 通過15nm等距<br>離線之船速 | 通過10nm等距<br>離線之船速 |

表 3.3 各區段平均速度與整合平均速度定義

| 第一區段平均速度<br>(A1)                    | 第二區段平均速度<br>(A2) | 第三區段平均速度<br>(A3)                   |
|-------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| $20x(V1+V2)/2$                      | $15x(V2+V3)/2$   | $10x(V3+12)/2$ 或 $10xV3$<br>擇值小者為計 |
| 整合平均速度(Vs)： $(A1+A2+A3)/(20+15+10)$ |                  |                                    |

以高雄港為例，船舶進出港口之船速係由船舶自動識別系統(AIS)接收站取得船舶即時動態資訊，再藉由本研究設計的船舶減速查核應用程式，計算船舶通過 20、15、10 海浬（三區段距離可以由使用自行設定）時的離線船速，其離線船速分別定義為 V1、V2、V3。

船舶減速查核應用程式會自動判定，當船舶離線船速 V1、V2、V3 完整取得後，進一步計算各區段間之平均速度，分別定義為 A1、A2、A3，取得各區段平均速度 A1、A2、A3 後，依據各區段設定的海浬數做加權平均，獲得整合平均速度 Vs。

船舶減速查核系統即依此整合平均速度 Vs 對 12nm/hr 船速作判斷，當 Vs 小於 12nm/hr，則判定該航次達成船舶減速之目標。

### 3.3 減速查核系統開發成果

本研究的主要目的在建立一套船舶減速查核系統，所以依據前述的研究方法，本文規劃出了 2 大子系統，各別為「AIS Server 船舶監控系統」與「船舶顯示及資料統計系統」。其中「AIS Server 船舶監控系統」的核心為「AIS 接收解碼模組」程式，其主要功能在接收與解碼 AIS 訊息；而「船舶顯示及資料統計系統」則具備「船舶即時顯示模組」與「船舶減速資料庫統計模組」2 組模組程式，其主要功在即時顯示與統計船舶動態訊息，整個船舶減速查核系統架構如圖 3.3 所示。

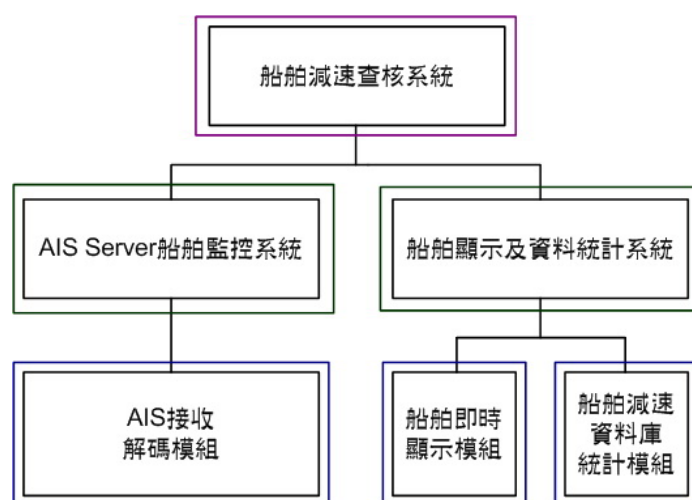


圖 3.3 船舶減速查核系統架構

依上述系統架構，本研究設計出的船舶減速查核系統硬體設備需求如圖 3.4 所示。

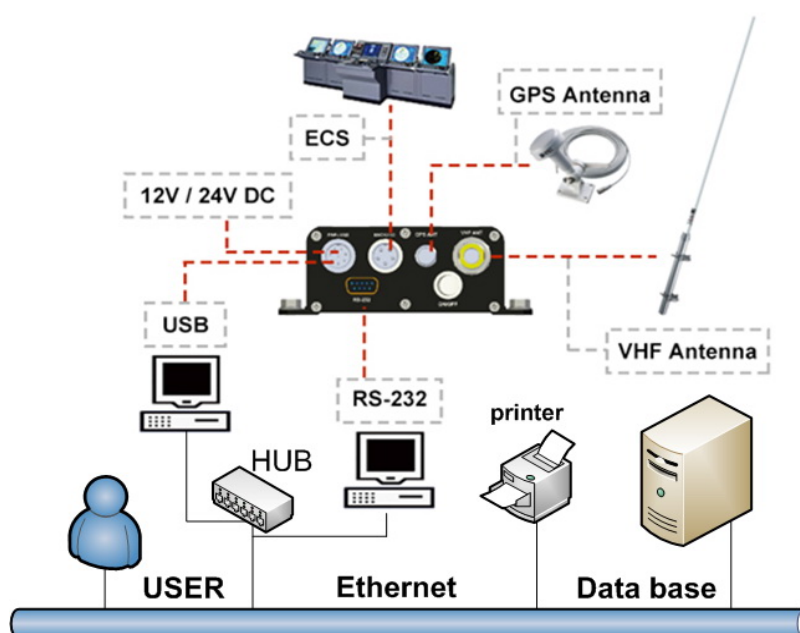


圖 3.4 船舶減速查核系統硬體設備需求

依據系統硬體設備需求，本研究擬定的硬體設備可分為「AIS 岸上基地臺設備」及「船舶減速查核系統顯示及操控主機」2 大主體；其所包含的設備名稱及附屬設備如表 3.4 所示：

表 3.4 設備名稱及附屬設備

| 設備名稱                | 附屬設備                                                             |
|---------------------|------------------------------------------------------------------|
| AIS 岸上基地臺設備         | a.全向性 VHF 天線乙組。<br>b.AIS 接收器(符合 IMO 國際標準規範)乙組。<br>c.連結纜線及其他耗材乙式。 |
| 船舶減速查核系統<br>顯示及操控主機 | a.電腦主機(包含螢幕、鍵盤滑鼠)乙組。<br>b.資料儲存設備乙組。<br>c.網路設備乙組。                 |

依據上述的系統架構及硬體設備需求，本研究研發出了各項應用程式及模組，計有 AIS 接收解碼模組、船舶即時顯示模組及船舶減速資料庫統計模組等，而各項應用程式及模組的運作方式及功能分別描述如下。

### 3.3.1 AIS Server 船舶監控系統

航行船舶發送之 AIS 訊息內容係依據國際海事組織(International Maritime Organization, 簡稱 IMO)的國際海上人命安全公約(SOLAS)規定，並以 AIVDM/AIVDO 格式編碼，經由海事頻段的 VHF 傳遞；於岸際的基地臺經 AIS 接收機接收訊息後，將訊息流由 RS232 傳送至船舶減速查核系統主機，再透過 AIS Server 船舶監控系統的核心 AIS 接收解碼模組將船舶訊息還原。

船舶顯示及資料統計系統操作介面如圖 3.5 所示，其包含「船舶即時顯示模組」與「船舶減速資料庫統計模組」2 組模組程式，2 模組程式的功能分述如下。

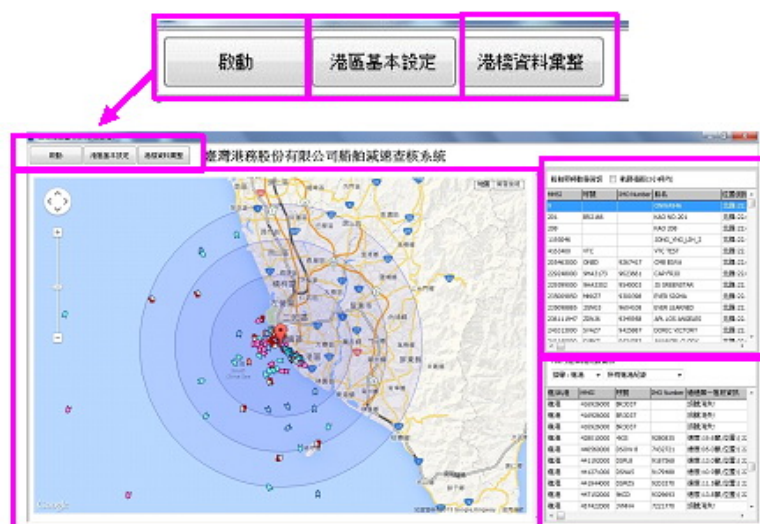


圖 3.5 船舶顯示及資料統計系統操作介面

船舶即時顯示模組，其功能係當船舶通過所定義的離港距離區段時，計算出船舶的離線速度、平均速度及整合平均速度等數據，並判斷船舶為進港或出港，再將所得到的數據存入船舶減速資料庫中，且即時顯示船舶資訊及船舶減速數據。其功能包含啟動、港區基本設定、船舶即時動態資訊顯示及船舶進出港紀錄查詢等 4 項功能，其功能分述如下：

#### (1) 啟動功能：

啟動功能係在控制船舶即時顯示模組程式的啟動及停止。

#### (2) 港區基本設定功能：

港區基本設定功能如圖 3.6 所示，其主要功能在設定港區中心位置及離港距離。本研究係依據洛杉磯港船舶減速查核機制定義的方式，取 20 海浬、15 海浬、10 海浬，但因為各港口的地形、氣候及海象皆不同，因此在船舶即時顯示模組，提供使用者可以針對各港的不同條件，自行定義港區中心位置及各離港距離區段的海浬數。

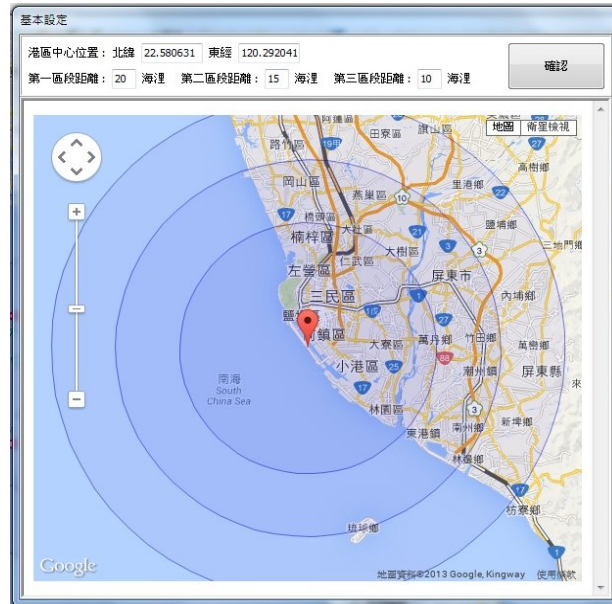


圖 3.6 港區基本設定功能

### (3) 船舶即時動態資訊顯示功能：

船舶即時動態資訊顯示功能如圖 3.7 所示，其主要功能在提供使用者能快速獲得港區附近所有船舶的即時動態資訊。本研究將系統接收到的船舶資訊套繪在 GoogleMaps 上，能讓使用者快速取得船舶目前位置及相關資訊，且依據不同船舶種類，以不同的船舶圖示區分，如此可更簡易觀察港區附近的船舶分佈，其船舶圖示所代表船舶種類如表 3.5 所示。

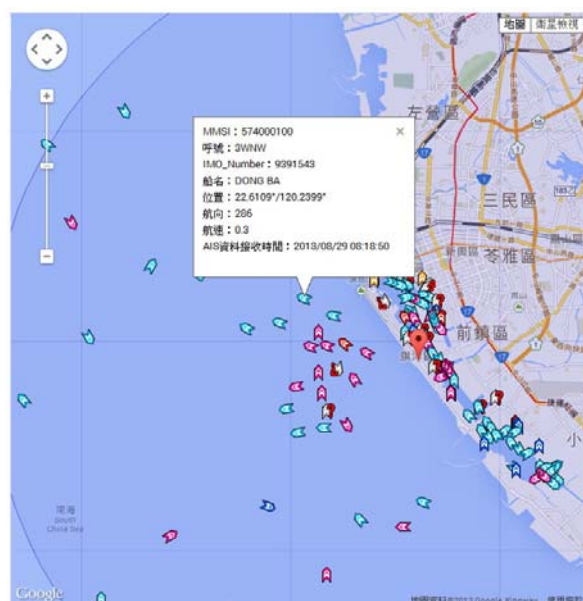


圖 3.7 船舶即時動態資訊顯示功能

表 3.5 船舶圖示所代表船舶種類

| 船舶圖示                                                                                | 船舶種類                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|  | 未具體說明的船舶                                 |
|  | 漁船、拖船、潛水作業船舶、帆船、遊艇                       |
|  | 高速船                                      |
|  | 引水船、搜索船、拖駁船、港口補給船舶、執法船舶、醫療運用船舶、載有防污設備的船舶 |
|  | 客輪                                       |
|  | 貨輪                                       |
|  | 油輪                                       |

船舶即時動態資訊顯示功能，亦具備船舶軌追蹤功能如圖 3.8 所示，本功能保留 3 小時內的船舶航行軌跡。使用者藉此能快速瞭船舶航行路徑，亦可由航行軌跡紀錄的點位，獲知船舶航行的時間與位置，將可作為航行安全管控及緊急應變時使用。

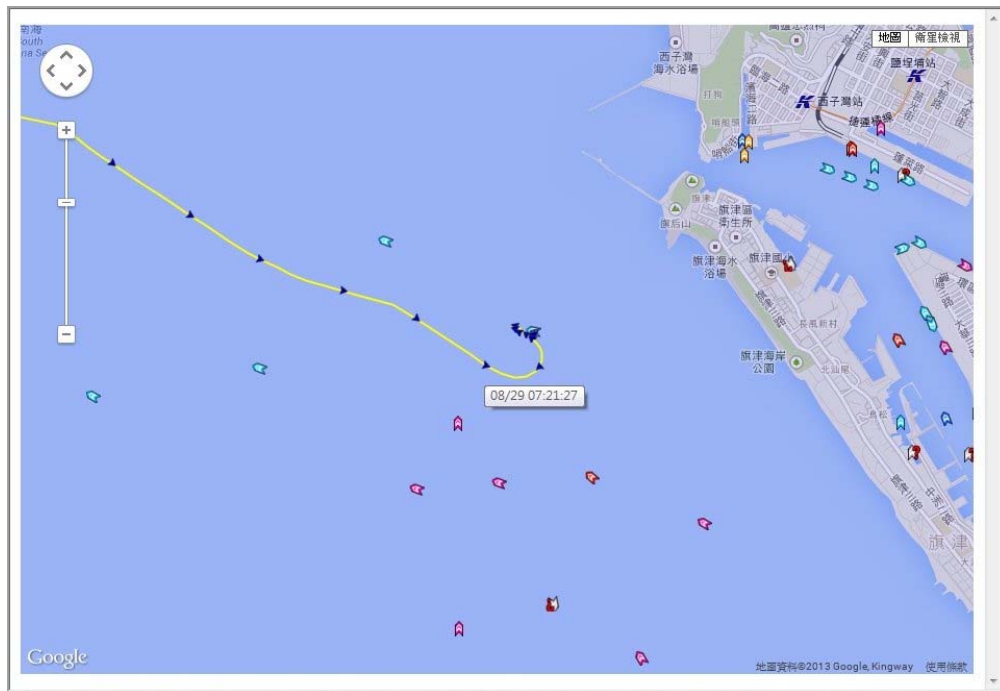


圖 3.8 船舶軌跡追蹤

#### (4) 船舶進出港紀錄查詢功能：

船舶進出港紀錄查詢功能如圖 3.9 所示，其主要功能係鏈結船舶減速資料庫，將 7 日內的船舶進出港減速資訊列表顯示於螢幕上。使用者可透過 MMSI、呼號、進港及出港等分類來查詢各別船舶進出港是否達成減速的目標。

| 7日內進/出港紀錄資訊 |           |        |            |                 |
|-------------|-----------|--------|------------|-----------------|
| 搜尋: MMSI    |           | 選擇MMSI |            |                 |
| 搜尋: MMSI    |           |        |            |                 |
| 搜尋: 呼號      |           |        |            |                 |
| 搜尋: 進港      |           |        |            |                 |
| 搜尋: 出港      |           |        |            |                 |
| 進出港         | MMSI      | 呼號     | IMO Number | 通過第一區段資訊        |
| 進港          | 9350317   | V2CL5  | 305036000  | 速度:10.3節,位置:( 2 |
| 出港          | 9350317   | V2CL5  | 305036000  | 速度:16.2節,位置:( 2 |
| 進港          | 189224193 | VRYM6  | 8717776    | 速度:07.8節,位置:( 2 |
| 出港          | 209102000 | SBDT3  | 9578050    | 速度:11.9節,位置:( 2 |
| 出港          | 209140000 | SBVK2  | 9509786    | 速度:15.6節,位置:( 2 |
| 進港          | 209323000 | SBEV3  | 9431343    | 速度:15.9節,位置:( 2 |
| 出港          | 209323000 | SBEV3  | 9431343    | 速度:15.7節,位置:( 2 |
| 進港          | 209425000 | SBMJ3  | 9509803    | 速度:14.4節,位置:( 2 |
| 出港          | 209425000 | SBMJ3  | 9509803    | 速度:11.9節,位置:( 2 |

圖 3.9 船舶進出港紀錄查詢功能

點擊船舶顯示及資料統計系統的「港棧資料彙整」後，可啟動船舶減速資料庫統計模組介面如圖 3.10 所示，本模組主要功能係依據臺灣港務股份有限公司需求，製作相關統計報表，然臺灣港務股份有限公司所需統計報表中的船籍及船舶停靠碼頭等資料欄位，無法從 AIS 接收訊息中獲得，因此需將本系統的船舶減速資料庫與各港的港棧系統(MT-NET)資料進行彙整。

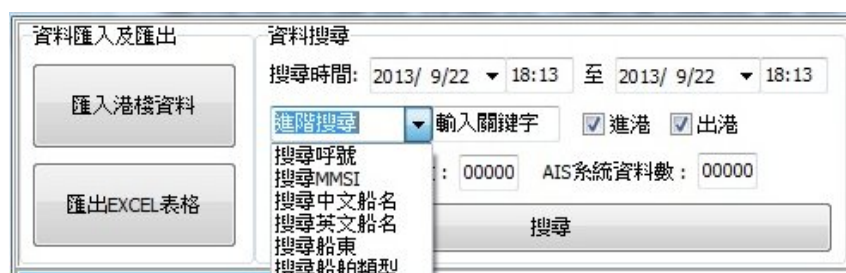


圖 3.10 船舶減速資料庫統計模組介面

依據上述，為了將本系統的船舶減速資料庫與各港的港棧系統資料彙整，本研究規劃採用雲端硬碟的方式進行設計與管理，未來船舶減速查核系統分別在各港區設置後，使用者只需透過雲端硬碟即可將船舶減速資料與港棧系統資料進行整合，因此船舶減速資料庫統計模組具備匯入港棧資料、船舶減速查核彙整資料搜尋及匯出 EXCEL 報表等 3 個主要功能，分述如下：

(1) 匯入港棧資料功能：

匯入港棧資料功能操作如圖 3.11 所示，主要功能係將港棧系統資料與船舶減速查核系統作整合，提供使用者後續的搜尋。

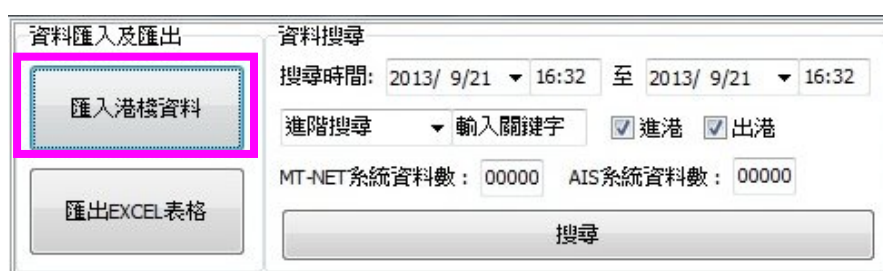


圖 3.11 匯入港棧資料功能操作

(2) 船舶減速查核彙整資料搜尋功能：

船舶減速查核彙整資料搜尋功能操作如圖 3.12 所示，使用者可給定時間範圍、MMSI、中英文船名、船東、船舶類型、進港及出港

等不同條件進行搜尋，並獲得船舶減速查核彙整資料列表如表 3.6 所示。此列表包含船籍資料、港棧紀錄、船舶通過各區段離港距離時的速度、位置與時間等，且會依據研究方法的船舶減速定義原則計算出船舶進出港區的整合平均速度，並判斷是否有達成降至 12 節以下的減速目標。

圖 3.12 船舶減速查核彙整資料搜尋功能操作

表 3.6 船舶減速查核彙整資料列表

| 日期         | 到達(離開)碼頭 | 船東             | 中文船名  | 英文船名          | 呼號(CallSign) | IMO Number | 通過第一區段 | 通過第一區段時            | 通過第二區段 | 通過第二區段時            | 通過第三區段 | 通過第三區段時            | 平均速度 | 達成  |
|------------|----------|----------------|-------|---------------|--------------|------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|------|-----|
| 2013/09/09 | 11:30    | DREAM SHIPPIN  | 格蘭凱利福 | GLEN CANYON B | 3EFD9        | 9302097    | 19.2   | 2013/09/09 09:19.3 |        | 2013/09/09 09:19.6 |        | 2013/09/09 10:18.6 |      | No  |
| 2013/09/04 | 17:30    | ALL OCEANS TR  | 英明    | YM IDEALS     | 3EF56        | 9319129    | 13.4   | 2013/09/04 14:13.6 |        | 2013/09/04 14:14.4 |        | 2013/09/04 15:13.6 |      | No  |
| 2013/09/02 | 08:50    | VIVA MARINE S  | 威旺106 | VIVA 106      | 3EGN7        | 8122385    |        |                    |        |                    |        |                    |      | No  |
| 2013/09/05 | 08:06    | SNC SIMEON     | 長定    | EVER STEADY   | 3EHT6        | 9300439    | 16.8   | 2013/09/03 19:17.3 |        | 2013/09/03 19:15.5 |        | 2013/09/03 19:16.1 |      | No  |
| 2013/09/09 | 10:40    | FRATERNITY SH  | 獵犬號   | BEAGLE II     | 3EHY6        | 9354583    |        |                    |        |                    | 9.6    | 2013/09/09 09:09.6 |      | No  |
| 2013/09/02 | 08:40    | HIGH SPEED 1 S | 現代可倫坡 | HYUNDAI COLO  | 3EIN7        | 9323508    | 11.6   | 2013/09/02 05:12.0 |        | 2013/09/02 05:17.8 |        | 2013/09/02 06:10.3 |      | Yes |
| 2013/09/05 | 14:05    | SLOC (PANAMA)  | 長強    | EVER STRONG   | 3EJG3        | 9300441    | 16.8   | 2013/09/04 13:16.2 |        | 2013/09/04 14:15.7 |        | 2013/09/04 14:15.7 |      | No  |
| 2013/09/09 | 16:45    | SLOC (PANAMA)  | 長強    | EVER STRONG   | 3EJG3        | 9300441    | 17.1   | 2013/09/09 12:14.3 |        | 2013/09/09 12:13.9 |        | 2013/09/09 12:13.2 |      | No  |
| 2013/09/10 | 18:35    | HIGH SPEED 3 S | 現代雅加達 | HYUNDAI JAKAR | 3EJM4        | 9323522    | 14.6   | 2013/09/10 16:13.9 |        | 2013/09/10 16:14.2 |        | 2013/09/10 16:13.9 |      | No  |
| 2013/09/06 | 23:30    | S.T. LINE S.A. | 韓進馬尼拉 | HANJIN MANILA | 3EJR4        | 9412816    | 15.6   | 2013/09/06 20:13.9 |        | 2013/09/06 21:11.3 |        | 2013/09/06 21:13.3 |      | No  |
| 2013/09/08 | 08:50    | BARTLETT MARI  | 維格    | NYK VIRGO     | 3EKK2        | 9312810    | 11.2   | 2013/09/08 04:9.6  |        | 2013/09/08 05:8.7  |        | 2013/09/08 06:9.6  |      | Yes |
| 2013/09/02 | 08:00    | ORIENTAL PEAR  | 普羅    | PULAU CEBU    | 3EXL6        | 9403798    |        |                    | 8.5    | 2013/09/02 05:16.0 |        | 2013/09/02 06:14.4 |      | No  |
| 2013/09/02 | 09:25    | TRI-TANKSHIP S | 薩摩    | ACK SATSUMA   | 3EMU6        | 9168532    | 14.3   | 2013/09/02 06:14.7 |        | 2013/09/02 06:15.1 |        | 2013/09/02 07:14.4 |      | No  |
| 2013/09/05 | 23:00    | TRI-TANKSHIP S | 薩摩    | ACK SATSUMA   | 3EMU6        | 9168532    | 14.8   | 2013/09/05 21:15.2 |        | 2013/09/05 21:15.6 |        | 2013/09/05 21:14.9 |      | No  |

### (3) 匯出 EXCEL 報表功能：

匯出 EXCEL 報表功能，其主要功能是匯出臺灣港務股份有限公司需求的「船舶報到資料報表」與「船舶減速成果報表」2 種報表，分別如表 3.7 及表 3.8 所示。港務單位將可以透過此 2 種報表，來查詢船舶報到及減速情況，可以作為船舶進出港口航行減速查核的依據。

表 3.7 船舶報到資料報表

| 船務代理公司     | 呼號     | 英文船名           | 中文船名  | 進/出港 | 到達(離開)<br>碼頭時間  | 平均速度<br>(節) |
|------------|--------|----------------|-------|------|-----------------|-------------|
| 大同通運股份有限公司 | 3FUM8  | SUNNY QUEEN    | 陽光皇后  | 出港   | 2016/2/6 22:20  | 9.9         |
| 太隆船務代理有限公司 | BKNR   | UNI-ACTIVE     | 立沛    | 進港   | 2016/2/14 7:04  | 9.4         |
| 太隆船務代理有限公司 | BKNR   | UNI-ACTIVE     | 立沛    | 出港   | 2016/2/14 12:08 | 9.2         |
| 日商日本郵船股份有限 | 7JIF   | HERCULES LEAD  | 海克    | 進港   | 2016/2/4 10:35  | 9.6         |
| 日商日本郵船股份有限 | HPVD   | ARIES LEADER   | 牡羊座   | 進港   | 2016/2/7 6:18   | 11.2        |
| 日商日本郵船股份有限 | 3EMQ6  | APHRODITE LEA  | 美愛    | 進港   | 2016/2/15 13:00 | 10.5        |
| 日商日本郵船股份有限 | 3EAB7  | SAGITTARIUS LE | 人馬座   | 進港   | 2016/2/25 16:02 | 9           |
| 台金航運股份有限公司 | BJAU   | TA HWA         | 大華    | 進港   | 2016/2/24 7:57  | 7.9         |
| 台華船務代理股份有限 | BR3403 | HUAWEI NO.1    | 華維1號  | 進港   | 2016/2/1 2:47   | 8.4         |
| 台灣鴻新船業股份有限 | A8ZM3  | FPMC B 106     | 台塑106 | 進港   | 2016/2/1 11:53  | 10.6        |
| 台灣鴻新船業股份有限 | A8ZM3  | FPMC B 106     | 台塑106 | 出港   | 2016/2/4 8:13   | 11.5        |
| 台灣鴻新船業股份有限 | VRKQ3  | KUN YUAN       | 坤源    | 進港   | 2016/2/17 9:14  | 10.3        |
| 台灣鴻新船業股份有限 | VRKQ3  | KUN YUAN       | 坤源    | 出港   | 2016/2/19 14:48 | 10.1        |
| 台灣鴻新船業股份有限 | 3EEX8  | GARNET         | 佳立    | 進港   | 2016/2/28 7:12  | 11.2        |
| 台灣鴻新船業股份有限 | 3EEX8  | GARNET         | 佳立    | 出港   | 2016/2/29 18:03 | 10.8        |
| 永然船務代理業股份有 | 9V8400 | TOCHO          | 東澄輪   | 進港   | 2016/2/6 6:24   | 11.2        |
| 禾唐船務代理有限公司 | 3EMJ7  | HUI FENG       | 慧豐    | 進港   | 2016/2/1 7:07   | 10.3        |
| 禾唐船務代理有限公司 | 3EMJ7  | HUI FENG       | 慧豐    | 出港   | 2016/2/3 16:17  | 7.2         |
| 禾唐船務代理有限公司 | 3FAT8  | SKYHIGH SW     | 高維    | 進港   | 2016/2/11 7:08  | 11.1        |
| 禾唐船務代理有限公司 | 3FAT8  | SKYHIGH SW     | 高維    | 出港   | 2016/2/12 21:32 | 9.8         |
| 禾唐船務代理有限公司 | 3ECG2  | EVER EXPRESS   | 永捷    | 進港   | 2016/2/15 9:11  | 5.6         |
| 禾唐船務代理有限公司 | V3TA6  | NEW SILK ROAD  | 新絲路2  | 出港   | 2016/2/16 12:24 | 10          |
| 禾唐船務代理有限公司 | 3ECG2  | EVER EXPRESS   | 永捷    | 出港   | 2016/2/17 13:56 | 7.2         |
| 禾唐船務代理有限公司 | VRJU2  | AOLI 7         | 歐力 7  | 進港   | 2016/2/28 6:48  | 10.2        |
| 吉盛船務代理有限公司 | BHDA   | DER YUN        | 德運    | 進港   | 2016/2/4 6:47   | 7.5         |
| 吉盛船務代理有限公司 | BHDA   | DER YUN        | 德運    | 出港   | 2016/2/5 7:54   | 10.8        |
| 吉盛船務代理有限公司 | 3FYA3  | GOLDEN SIRIUS  | 金天狼星  | 進港   | 2016/2/11 16:36 | 11          |
| 泓陽船務代理股份有限 | 3FJL6  | CALIFORNIA HI  | 加州公路  | 進港   | 2016/2/24 7:36  | 7.9         |
| 泓陽船務代理股份有限 | 3FJL6  | CALIFORNIA HI  | 加州公路  | 出港   | 2016/2/24 16:03 | 9           |

表 3.8 船舶減速成果報表

| 台北港航管中心, 2016年02月01日~2016年02月29日, 進出港船舶減速成果 |              |               |            |              |             |              |               |            |              |
|---------------------------------------------|--------------|---------------|------------|--------------|-------------|--------------|---------------|------------|--------------|
| 運送人                                         | 符合減速<br>條件機次 | 不符合減速<br>條件機次 | 進出港<br>總機次 | 減速達成率<br>(%) | 船務代理公司      | 符合減速<br>條件機次 | 不符合減速<br>條件機次 | 進出港<br>總機次 | 減速達成率<br>(%) |
| FPMC 106 MARINE CO                          | 2            | 0             | 2          | 100          | 海界船務代理股份有限  | 2            | 0             | 2          | 100          |
| 日本川崎汽船株式會社                                  | 2            | 0             | 2          | 100          | 禾唐船務代理有限公司  | 7            | 1             | 8          | 87.5         |
| SEONG HO SHIPPING                           | 2            | 0             | 2          | 100          | 祥和船務代理有限公司  | 3            | 1             | 4          | 75           |
| SEIYO STAR CO LTD                           | 2            | 0             | 2          | 100          | 開利船務代理有限公司  | 7            | 3             | 10         | 70           |
| SKYHIGH PESCADOR                            | 2            | 0             | 2          | 100          | 泓陽船務代理股份有限  | 5            | 3             | 8          | 62.5         |
| WEIHA SAFE OCEAN                            | 2            | 0             | 2          | 100          | 國耀船務代理股份有限  | 7            | 5             | 12         | 58.3         |
| YOU SHUN COMPAN                             | 2            | 0             | 2          | 100          | 德利船務代理有限公司  | 10           | 8             | 18         | 55.6         |
| 鹿源航運股份有限公司                                  | 2            | 0             | 2          | 100          | 台灣鴻新船業股份有限  | 6            | 6             | 12         | 50           |
| KUNYUAN SHIPPING                            | 2            | 0             | 2          | 100          | 鴻海船務代理有限公司  | 3            | 3             | 6          | 50           |
| KIND FAITH SHIPPING                         | 2            | 0             | 2          | 100          | 興和船務代理有限公司  | 3            | 3             | 6          | 50           |
| 連和航運股份有限公司                                  | 2            | 0             | 2          | 100          | 大同通運股份有限公司  | 1            | 1             | 2          | 50           |
| GET LUCK CORP.                              | 2            | 0             | 2          | 100          | 聯成發記船務代理有限  | 5            | 7             | 12         | 41.7         |
| INFICISS SHIPPING C                         | 2            | 0             | 2          | 100          | 新亞航業股份有限公司  | 4            | 6             | 10         | 40           |
| 台灣航業股份有限公司                                  | 3            | 1             | 4          | 75           | 吉盛船務代理有限公司  | 3            | 5             | 8          | 37.5         |
| 國昌海運股份有限公司                                  | 16           | 10            | 26         | 61.5         | 太隆船務代理有限公司  | 2            | 4             | 6          | 33.3         |
| NISSHO SHIPPING CO                          | 1            | 1             | 2          | 50           | 日商日本郵船股份有限  | 4            | 10            | 14         | 28.6         |
| ARENA SHIPPING CO                           | 1            | 1             | 2          | 50           | 聯發船務代理有限公司  | 1            | 3             | 4          | 25           |
| PROUD OCEAN LIMIT                           | 2            | 2             | 4          | 50           | 台益船務代理股份有限  | 1            | 3             | 4          | 25           |
| QINGDAO NEW SILK                            | 1            | 1             | 2          | 50           | 寶興船務代理股份有限  | 23           | 129           | 152        | 15.1         |
| 長鴻海運股份有限公司                                  | 1            | 1             | 2          | 50           | 永然船務代理業股份有  | 1            | 7             | 8          | 12.5         |
| 廣東鴻成船務有限公司                                  | 2            | 2             | 4          | 50           | 台金航運股份有限公司  | 1            | 9             | 10         | 10           |
| 浙江永航海運有限公司                                  | 1            | 1             | 2          | 50           | 長興國際股份有限公司  | 11           | 107           | 118        | 9.3          |
| BLUEHEAVEN NAVIG                            | 1            | 1             | 2          | 50           | 聯宏運國際股份有限公司 | 0            | 2             | 2          | 0            |
| WINSON TRITON LIM                           | 1            | 1             | 2          | 50           | 香港西區航亞洲有限公  | 0            | 4             | 4          | 0            |
| 台金航運股份有限公司                                  | 1            | 1             | 2          | 50           | 群聯船務代理股份有限  | 0            | 2             | 2          | 0            |
| 鐵樹實業股份有限公司                                  | 5            | 7             | 12         | 41.7         |             |              |               |            |              |
| 新華航業股份有限公司                                  | 4            | 6             | 10         | 40           |             |              |               |            |              |
| CHINA UNITED LINES                          | 2            | 4             | 6          | 33.3         |             |              |               |            |              |
| 日商日本郵船股份有限                                  | 4            | 10            | 14         | 28.6         |             |              |               |            |              |

### 3.3.3 船舶減速資料分析

本系統於 104 年 10 月在基隆港、臺北港、蘇澳港、花蓮港、臺中港及安平港等訊號臺建置完成，並開始進行系統測試，本研究透過本系統擷取資料時間從 104 年 10 月至 105 年 2 月止，共 5 個月的船舶減速查核資料進行分析。並從各務分公司取得各港棧系統(MT-NET)資料，進行資料整合，其結果如圖 13～圖 19 所示。

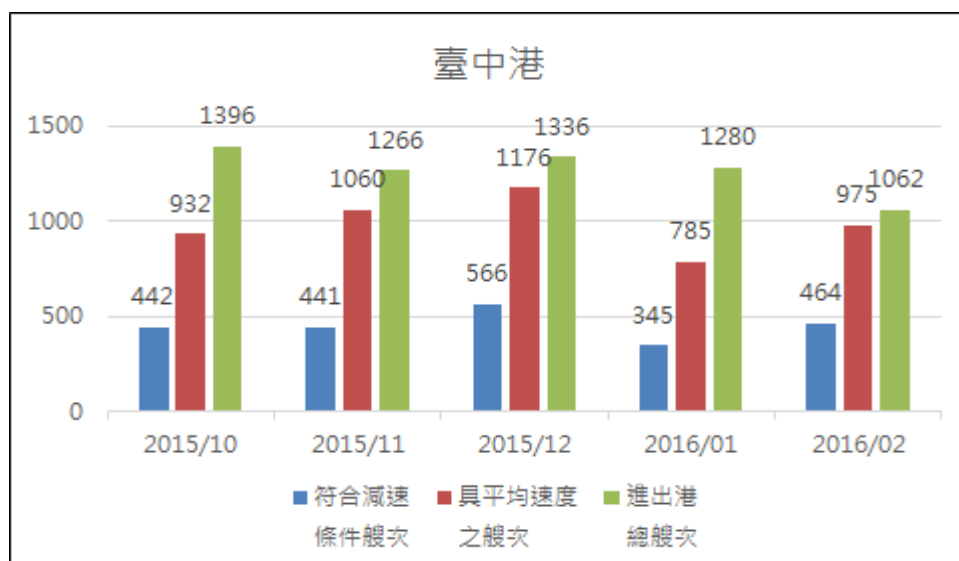


圖 3.13 臺中港各月船舶減速查核資料

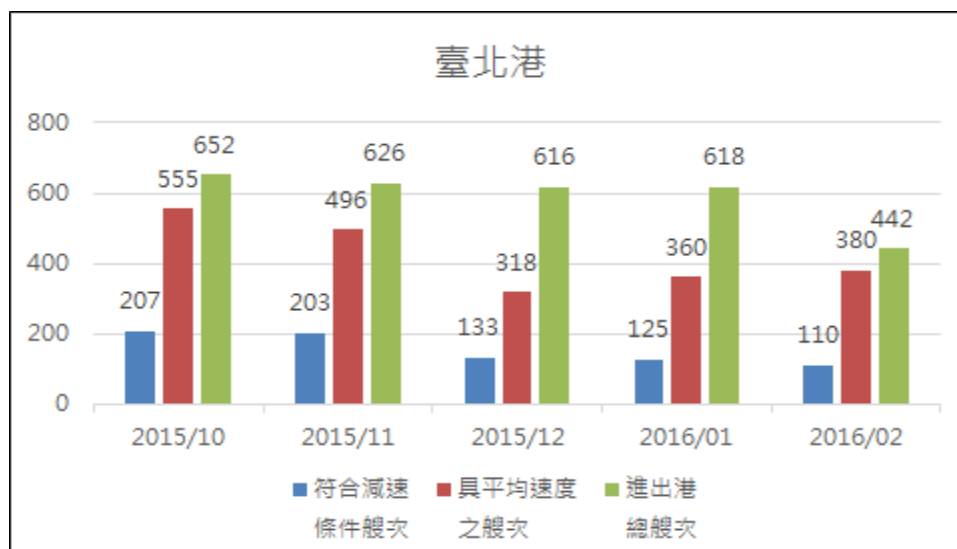


圖 3.14 臺北港各月船舶減速查核資料

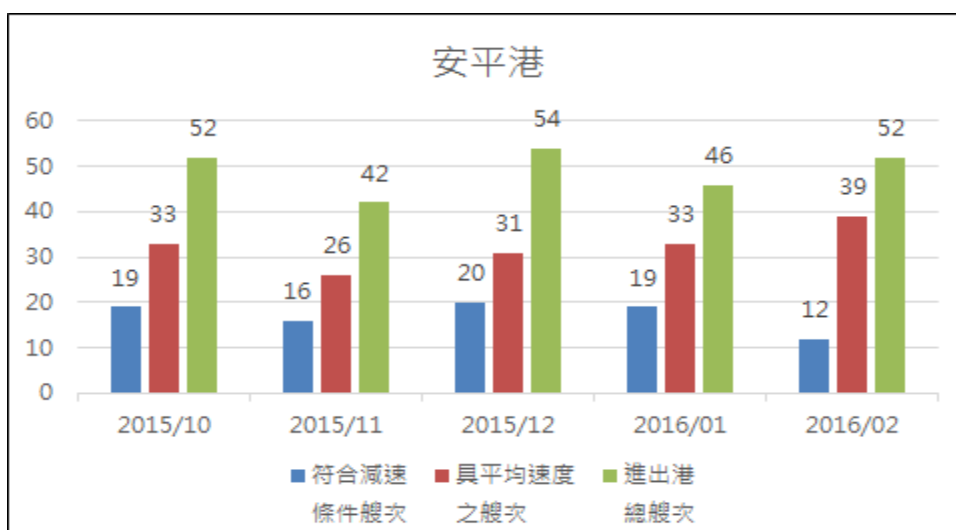


圖 3.15 安平港各月船舶減速查核資料

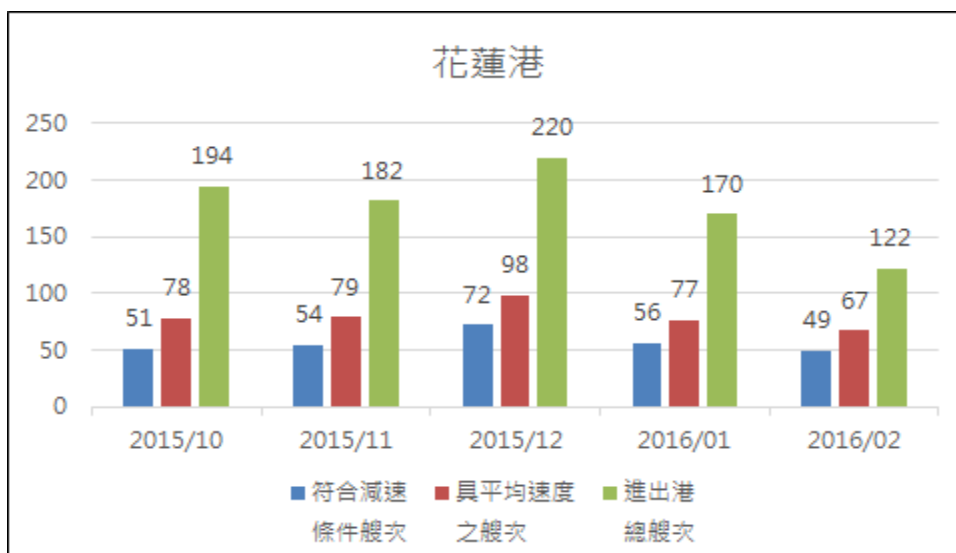


圖 3.16 花蓮港各月船舶減速查核資料

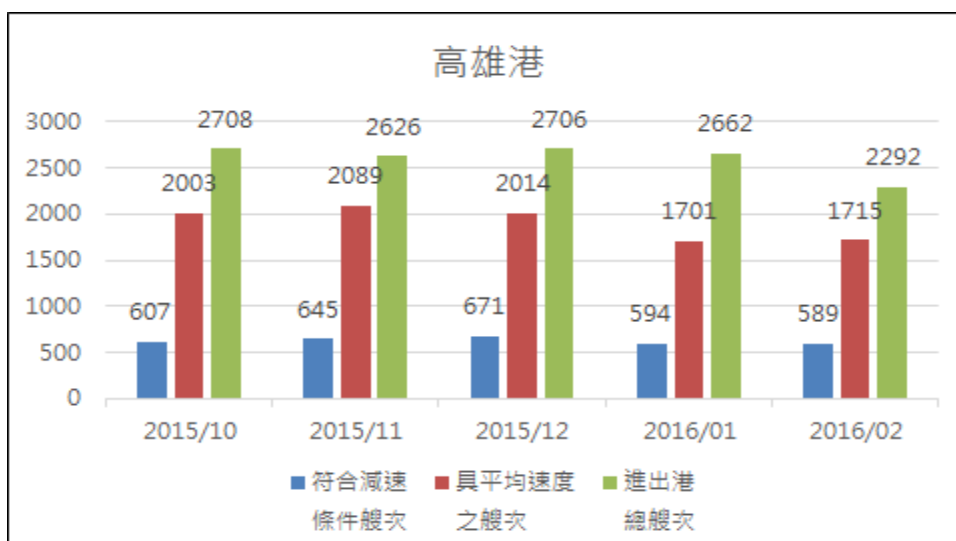


圖 3.17 高雄港各月船舶減速查核資料

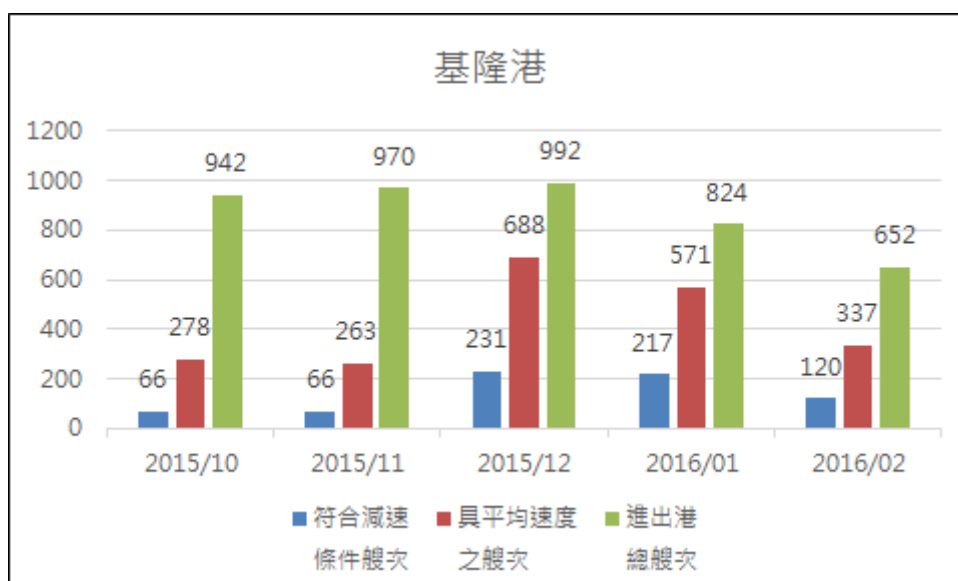


圖 3.18 基隆港各月船舶減速查核資料

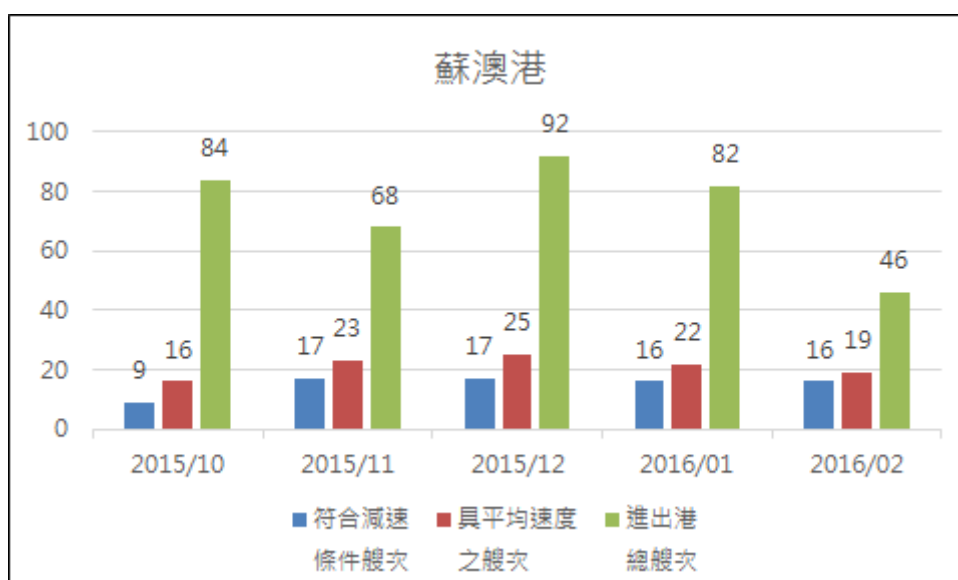


圖 3.19 蘇澳港各月船舶減速查核資料

本研究以港棧系統資料與本系統船舶減速資料庫彙整後的結果進行分析，如圖 20 所示，平均各港 104 年 10 月至 105 年 2 月船舶減速達成率統計圖，由統計分析結果可知，目前部份港船舶進出港口減速情況尚未確實執行，因此藉由本研究所設計的船舶減速查核系統，將可以提供港務分公司更全面性的了解船舶進出港的航行情況，有助於推廣與獎勵有關船舶減速查核的施政措施。

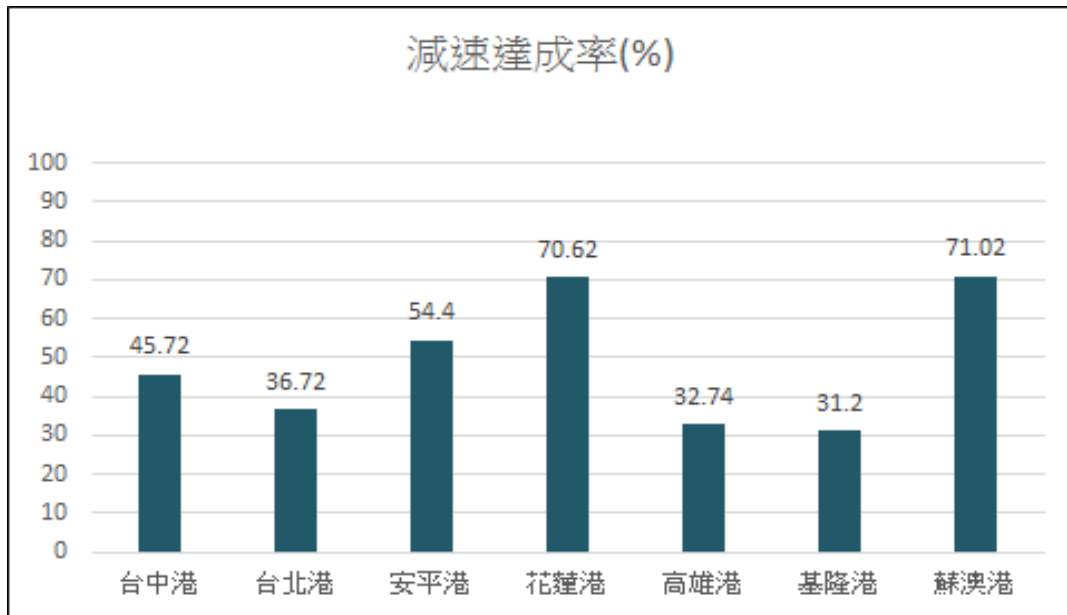


圖 3.20 各港船舶減速平均達成率統計圖

### 3.4 小結

本研究主要目的在針對進出臺灣主要港口的船舶，建立一套船舶減速查核系統，此系統透過船舶自動識別系統(AIS)的船舶資訊蒐集，建立船舶通過使用者所定義不同離港距離的減速數據，納入船舶減速資料庫後，再與各港口的港棧系統資料進行彙整，於每月或每季提供使用者所需的船舶減速統計報表。本研究於系統建置完成並經測試後，獲得了初步的資料與分析成果，本文提出以下的綜合分析結果：

1. 本研究所建立的船舶減速資料庫，未來除了能利用此資料庫來分析統計船舶資訊外，亦可作為船舶進出港的航路追蹤及船舶在港區附近遇難時的緊急應變運用。
2. 本研究係依據洛杉磯港船舶減速查核機制所採用的 20、15、10 海浬規劃離港距離區段進行測試，未必適合其它不同港埠，建議港務單位應針對所屬港口的地形、氣候、海象等不同條件自行設定其最佳化的離港距離區段，方能使船舶減速查核機制趨於合理與務實。
3. 本研究所採用的 AIS 接收主機，其接收訊號的額定約為 25 海浬，為了避免訊號干擾或接收站突發性異常等影響，本文建議各港口

的 AIS 接收站應增設 1 至 2 站之備援系統，使船舶減速查核系統的監測效果更為提升。

4. 由系統資料分析可知，貨櫃船因考量營運成本及船期等因素，較無法配合船舶減速制度實施，故其達成率較整體平均為低，為要原因之一。

## 第四章 綠色航路及智慧領航之研究

本研究第三個子題主要的研究方向是針對綠色航路及智慧領航有關的領域進行探究，本研究為本所與國立臺灣海洋大學張淑淨教授的合作研究計畫。其目的在結合船舶動態、電子海圖與海氣象環境資訊，發展沿岸航路與進出港領航的綠色概念智慧化應用服務技術，將是航運效率與安全監測、預防、即時反應的重要指標與方向。整合船舶動態與電子海圖地理資訊，進行 AIS 巨量資料的時空分析。

### 4.1 智慧領航計畫研究目的

我國對資通訊科技應用的推動從 E 化、M 化、到 U 化與智慧化，逐步達到提供無所不在、隨處可得優質 e-化服務的社會環境。相關科技也在聯合國國際海事組織（IMO）的主持推動下，逐步發展應用於海運系統，目標除了「安全」與「效率」之外，已更強調「環保」。

依據我國災害防救法第 22 條應實施之減災事項包括：災害防救上必要之氣象、地質、水文與其他相關資料之觀測、蒐集、分析及建置；災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估之調查分析，及適時公布其結果。

智慧領航計畫的目的即在於：利用資通訊技術，強化海運安全基礎資料之蒐集與資訊系統建立之機制，研發海運安全監測、預防及即時反應之科技，並促進海氣象觀測與海運管理及資訊系統之整合應用，以確保海運系統之安全，減少生命財產損失。

### 4.2 智慧領航計畫研究方法

IMO 認為調查「跡近事故（near-miss）」是持續改善安全管理系統不可或缺的要件，因此於 2008 年發函鼓勵報告跡近事故以提升海運安全文化，並通過「海難調查章程」要求各成員國將海難資料以電子方式通報至「全球整合航運資訊系統（Global Integrated Shipping Information System, GISIS）」內的「海難事故模組」。

在海難資料庫與海事調查方面，歐盟以 DIRECTIVE 2009/18/EC 指令明訂由委員會設置「歐洲海難資訊平台(European Marine Casualty Information Platform, EMCIP)」，要求歐盟各國從 2011 年 6 月 17 日開始將海難事故與事件依規定格式通報委員會，並依據 EMCIP 的資料庫綱要填送調查報告與資料至 EMCIP 以供彙整分析。各成員國可以藉此平台查詢資料、分析製作統計報表。在成員國的同意下，再從 EMCIP 平台將某些海難調查結果傳送給國際海事組織的 GISIS，以履行其國家義務。

自從 2008 年所有適用海上人命安全國際公約之要求的船舶都已安裝船舶自動辨識系統(Automatic Identification System, AIS)，各國也陸續完成沿岸 AIS 接收網路的建置後，AIS 相關應用研究已成為一個新興研究焦點。許多結合產官學界的研究投入，透過基於 AIS 資料之軌跡探勘與交通流分析，將 AIS 應用於航運安全、效率與節能減碳相關問題。

歐盟的 CAFE (Competitive Advantage by Safety, 2010-2013 年) 計畫目的在於以安全管理增進航運的競爭力。風險分析或安全相關決策的成本效益分析需要定量的海難事故模型。為建立各航路的風險模型，該計畫自 AIS 資料與海難事故的統計分析取出所需的輸入參數。但海難是機率相當低的事件，通常缺少足夠的資料建立模型，而 near-miss 發生的頻率較高，且背後因素或機制與海難有相當的共通性，因此 Near-miss 事件資料庫被視為另一個重要的資料來源，但該計畫也指出這部分尚待研發出適當的蒐集系統。

波羅的海區域的 EfficienSEA (Efficient, Safe and Sustainable Traffic at Sea) 計畫 (2008/10-2012/1) 以「動態風險管理」為研究主軸，研發偵測潛在危險情境的自動化工具，以管理船舶碰撞、擱淺或異常運作等動態風險，此研究也是以 AIS 資料探勘分析為基礎。

海難事故的調查需要船舶航跡與周遭交通動態、海圖與海氣象等動靜態環境資訊，跡近擱淺或跡近碰撞等事件更需要藉助於這些資訊的整合分析偵測，才能解決漏報或填報資料缺漏等各國普遍面對的問題。

因我國目前海難或海上交通事故資料分散於不同部會，常牽涉商船與漁船（或海域養殖相關漁業活動），而且就目前從航港局取得的海難資料看來，資料缺漏不明的情況相當多（甚至尚未電子化）。這或許也是業務分散不同部會以及海難資料特性（各項資料難以明確分類、時間空間都不止是點狀而是範圍）使然。必須先從完善資料庫的各項機制開始，才能在一個能持續運作的資料庫系統上進行有意義的分析並提供服務。

因此本研究參考相關文獻報告與國際上的經驗，考量我國實際狀況，設計海難資料庫的分散式資料登錄，以及船舶航儀動態、航路交通、海域環境、海氣象狀況等方面的資料關聯，提供海難資料庫多元資料儲存查詢與整合分析顯示。並就海難資料庫的設計建置、海難事故調查分析的相關輔助技術、事故隱患或跡近事故之偵測等進行一系列的研究與試驗。

### 4.3 智慧領航計畫研究成果

#### 4.3.1 海難資料庫之建置

本研究建置的海難資料庫以 2004 年 SOLAS 船舶開始安裝船舶自動辨識系統(AIS)後，具備或可取得經緯度位置資訊的海難事件資料庫為主要對象與範圍。無位置經緯度的部分則必須再透過船舶識別資訊查詢交通部相關單位的船舶基本資料庫後從 AIS 取出。無位置資訊又無法取得基本識別資料進而與 AIS 關聯者，只能暫時排除不納入分析。

本計畫於 102 年 10 月函請交通部航港局提供 93-102 年間的海事案件資料，希望取得：海事案件經緯度、日期時間及原因、無海事評議案件所屬統計分類資料等。各航務中心以 PDF 或 WORD 檔格式提供該航務中心的「我國重大/一般海難事故統計表」。這些資料的船舶識別只有船名，而且通常是中文（或中譯）船名，肇事地點描述方式不一，要建置成具備地理坐標而且適於分析的 GIS 資料庫，確實有相當的困難度。北部航務中心持有的海事報告資料為紙本資料，而且沒

有統一的格式，必須以人工閱讀紙本資料，再依設計的格式輸入電子資料庫，才能提供查詢分析。為了輔助資料輸入，本研究設計了海事案件輸入系統。海事案件輸入系統提供透過英文船名查詢 MMSI 後自動填入的功能，案件的地理位置經緯度的輸入則提供文數字與地圖兩種介面。從 MMSI 與日期時間就可以從 AIS 船舶動態資料庫中取出該案件的船舶軌跡。

102 年各航務中心提供之海事案件統計表內所列案件，也以人工的方式輸入資料表，其中缺少經緯度資訊的部分案件，是從海軍航船佈告中尋找對應的英文船名，繼而找出 MMSI 然後從 AIS 船舶動態資料庫中，取出實際發生位置。連同透過海事案件輸入系統輸入的北部航務中心海事報告資料，輸入資料庫內已有大約 2000 筆資料，其中大部分被歸類於惡劣氣候損壞的案件（主要來自北部航務中心資料）。圖 4.1 至圖 4.3 分別是惡劣氣候損壞、碰撞以及擱淺案件的分佈。

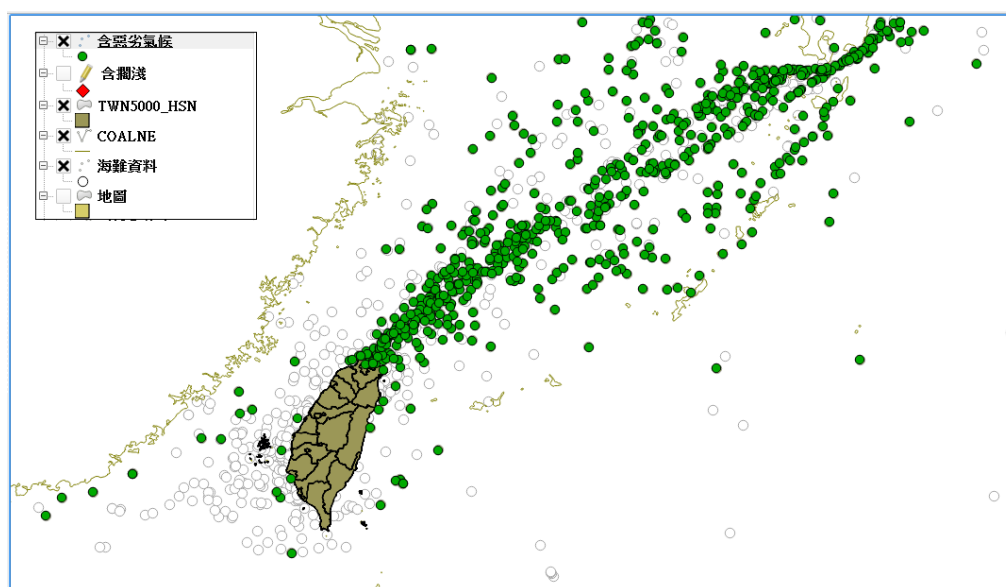
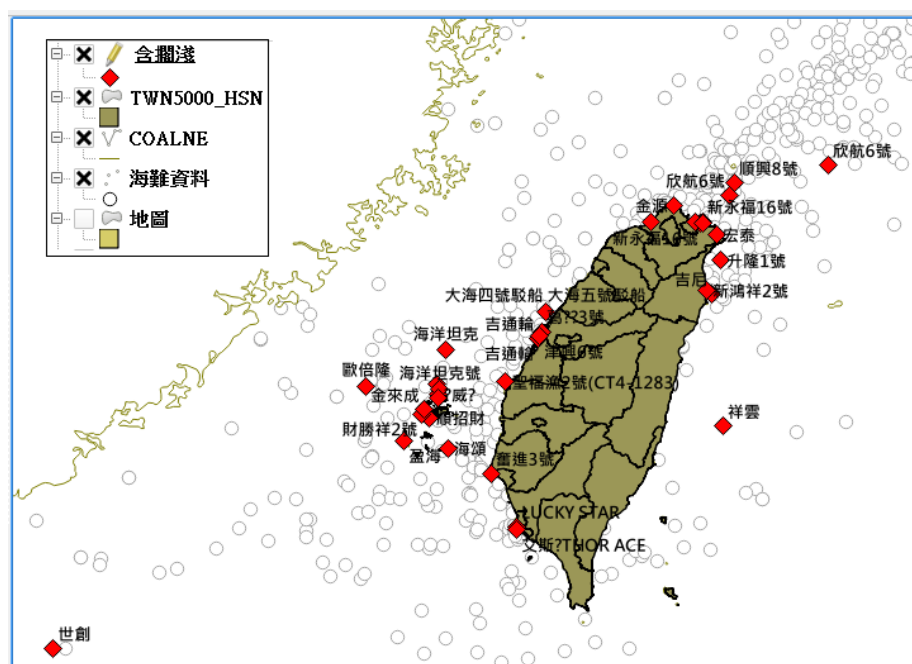
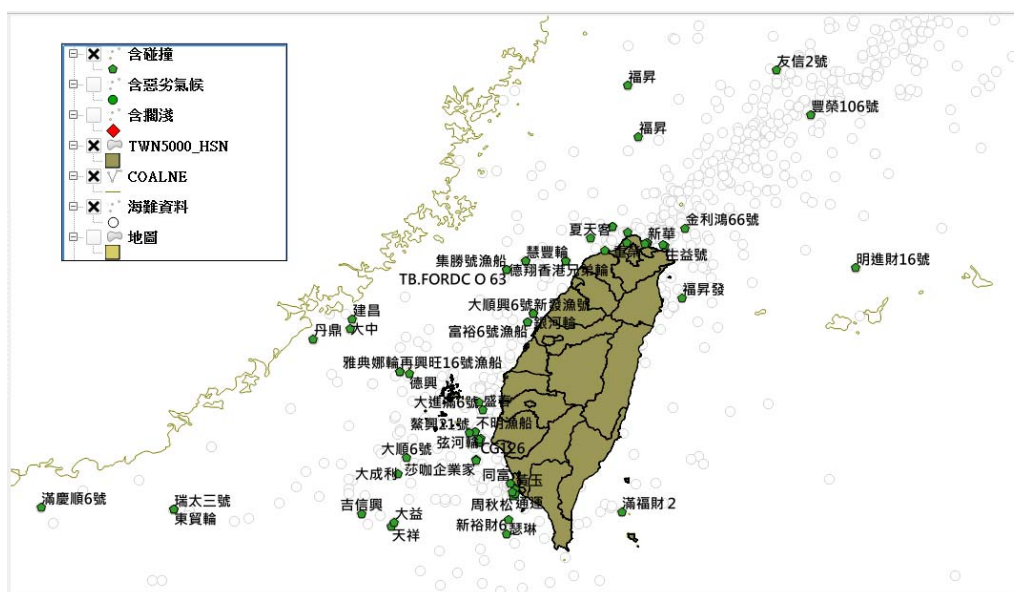


圖 4.1 屬於惡劣氣候損壞的海事案件分佈



#### 4.3.2 船舶動態、電子海圖與海氣象資料整合分析

本研究針對 2011-2013 年有發警報的颱風下載颱風路徑坐標數據轉檔建置地理資訊系統圖資與資料庫。另從 AIS 歷史資料庫中選取經常往來基隆高雄的貨輪，從船舶動態軌跡分析其因應颱風警報採取的航路規劃，以此觀察並試驗整合分析時可應用的資料與程序。

圖 4.4 與圖 4.5 是同一艘貨輪因應不同颱風路徑與相對時間採取不同航路規劃的情形。蘇拉颱風從台灣東側接近後沿岸北上切過東北角，近台時的強度是中度，中心最大風速 38m/s，七級風半徑 220km。該貨輪仍依往常航路沿臺灣西岸從基隆經澎湖水道到高雄。泰利颱風接近台灣時的強度是輕度，沿台灣海峽北上，中心最大風速 25m/s，七級風半徑 150km。該貨輪改走東部沿岸南下再繞回到高雄港，從圖 3.9 的貨輪軌跡可看到該貨輪在綠島附近海域停留了將近 9 小時。

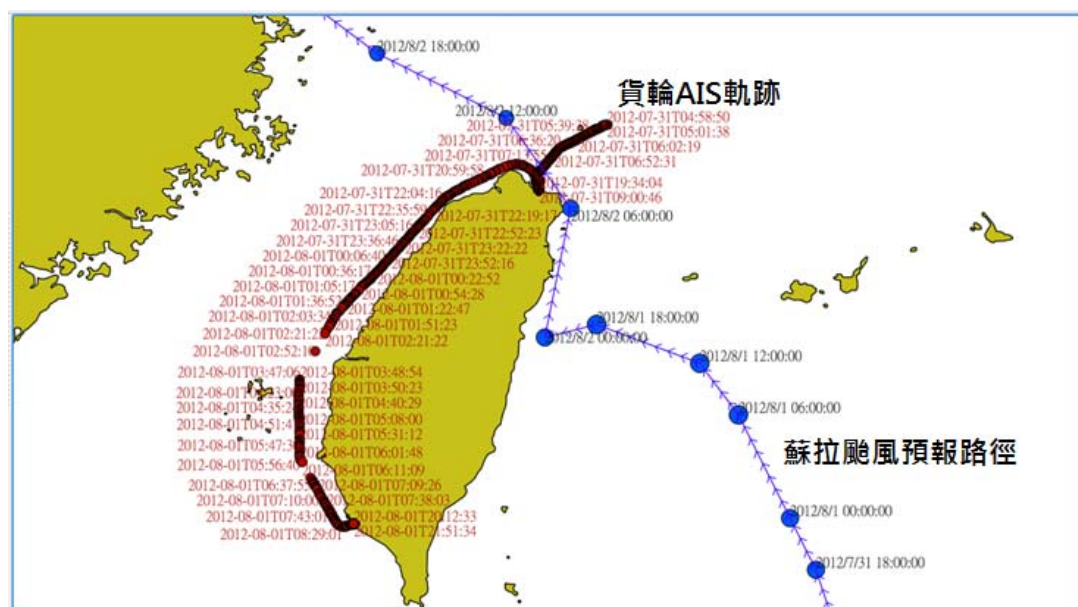


圖 4.4 蘇拉颱風警報期間未受明顯影響的貨輪軌跡

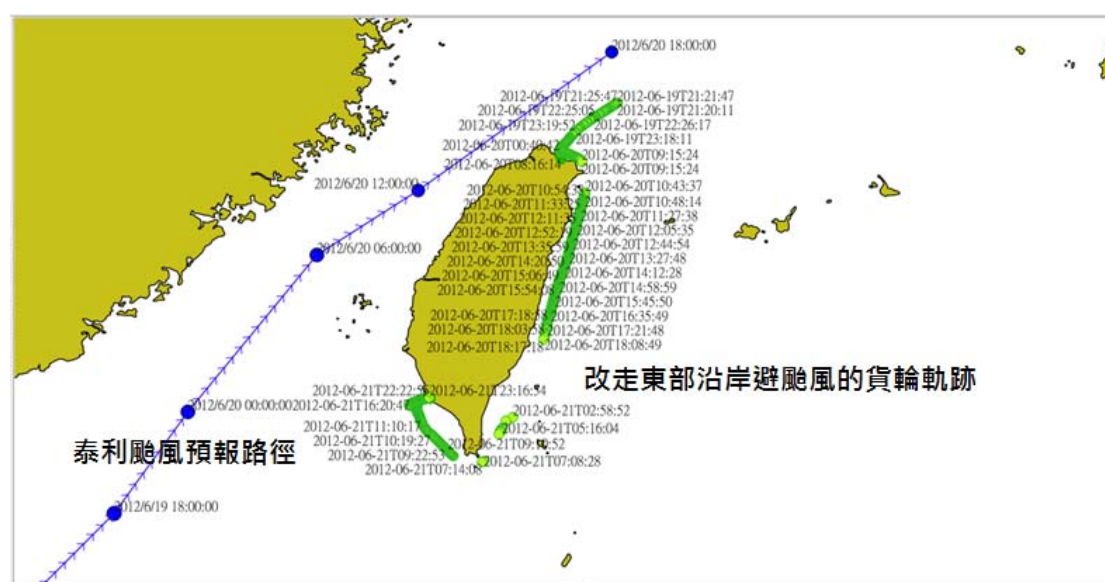


圖 4.5 泰利颱風期間改走東部沿岸躲避的貨輪軌跡

由於以現有資料難以定義或區分惡劣氣候，本研究先就有發佈颱風警報的期間進行分析。以 2011-2013 年有發警報的颱風資料與海難資料庫做關聯，尋找出在颱風期間發生的海難點，並且計算每個海難點與關聯的颱風中心位置實際上的距離是多少公里。圖 4.6 是颱風期間的海難與颱風中心距離統計圖。由此看來距離大多相當遠。

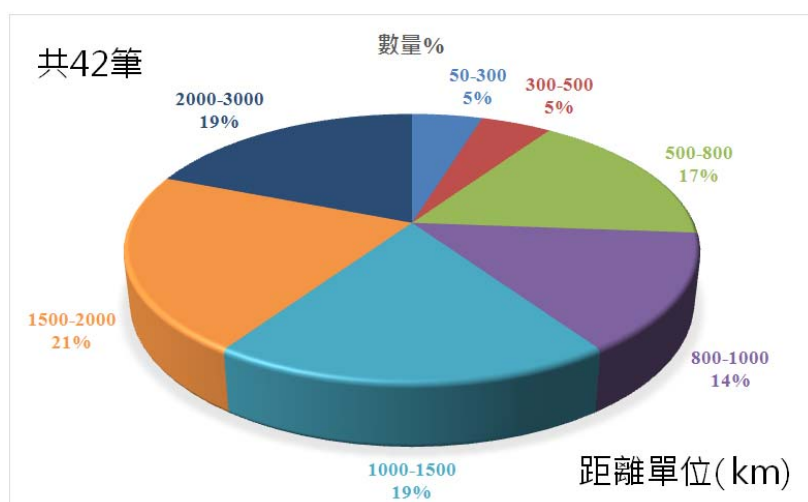


圖 4.6 2011-2013 年颱風期間的海難與颱風中心距離之統計

為分析海難事件點與水深、離岸距離之關係，本計畫從海難資料庫取得事件的日期時間、經緯度、船舶種類與原因，並透過海洋大學電子海圖研究中心的電子海圖網路圖徵服務(簡稱 ENC-WFS)查詢取得海圖水深、陸地資訊等，以自行設計之 JAVA 程式進行空間資料的位相關係相關幾何計算。

因考量海圖涵蓋的離岸距離以及水深範圍區分的詳細度，故以海圖等級 3 (沿岸航行用圖) 範圍內的海難點為統計分析之重點。將海圖等級 3 取得之水深值劃分為數個區段(0~10 公尺、10~20 公尺…等等)與海難事件點和離岸距離之數據綜合統計。結果如圖 4.7 至圖 4.10：在海圖等級 3 範圍內的海難事故離岸距離大部份分佈於 0~5 公里，水深 20~200m 範圍內，其中漁船的出事位置更明顯偏向在水深較深處。兩船碰撞、與其他物品碰撞、傾覆這三類事件都以離岸 5 公里內、水深 100~200m 範圍為高峰。

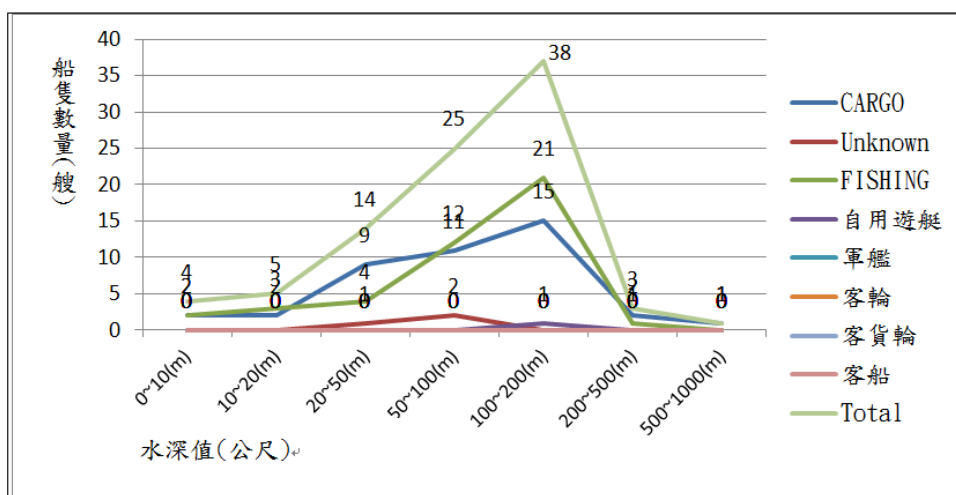


圖 4.7 海圖等級 3 各水深值區段內遇難船數及其種類

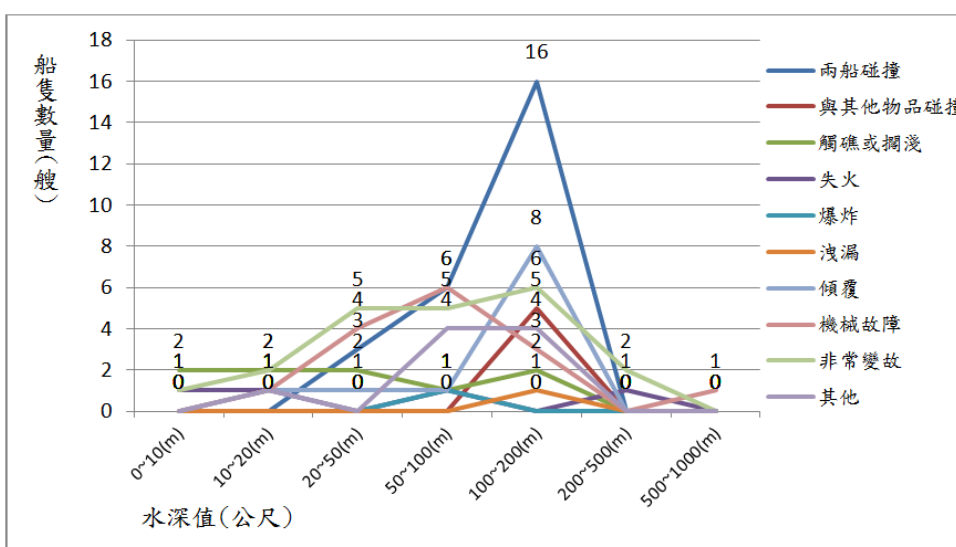


圖 4.8 海圖等級 3 各水深值區段內遇難船數及其事故類別

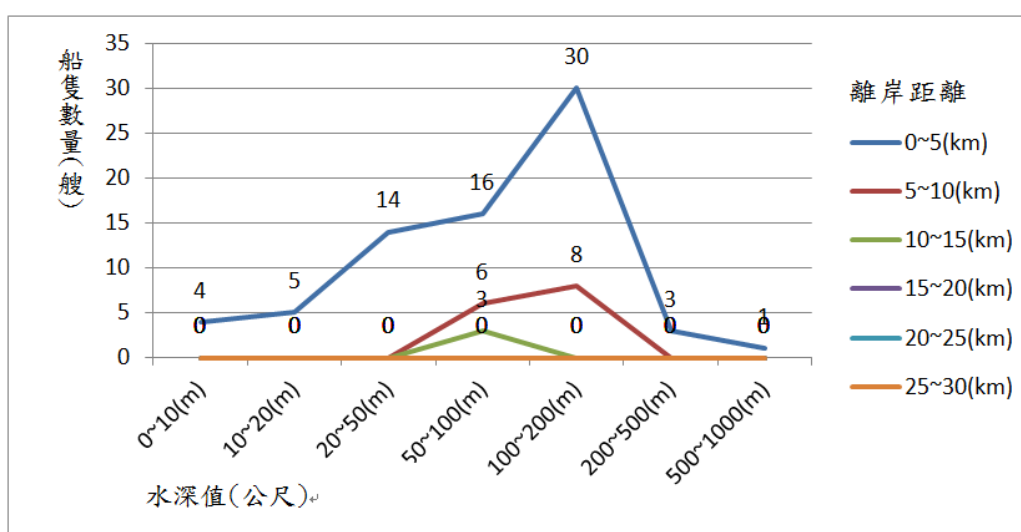


圖 4.9 海圖等級 3 各水深值區段內遇難船數及其離岸距離

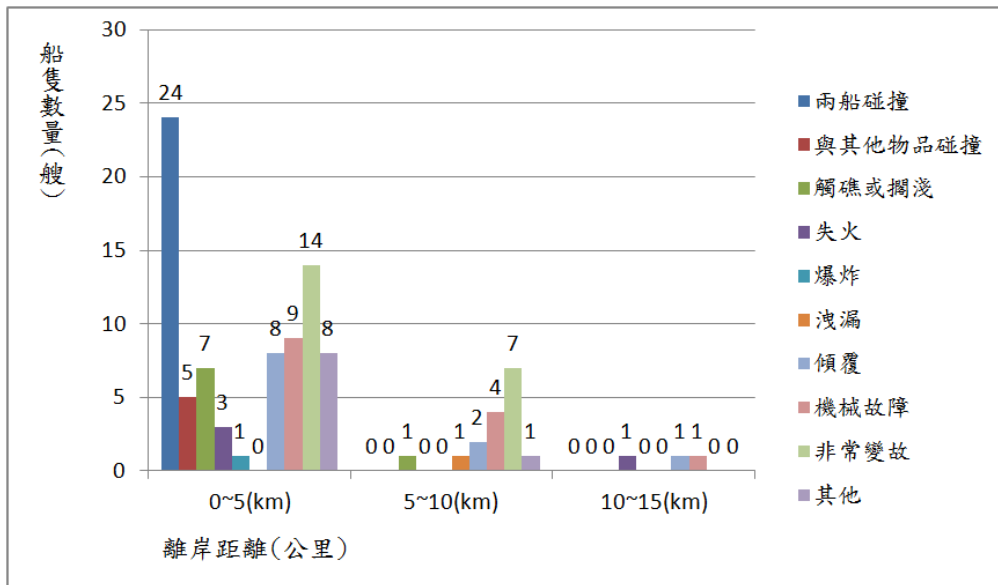


圖 4.10 海圖等級 3 之海難事故類別與離岸距離

### 4.3.3 依 IMO 海難通報格式設計之海難資料庫服務平台雛型

前述海難資料庫與輸入系統是為了盡速將蒐集到的現有海難資料建置成資料庫，以利分析研究。就長期運作維護我國海難資料庫而言，仍應另建一作業化的系統供航港局專責人員操作。此一資料庫系統之設計應符合海難調查章程及其相關通報要求。

本研究基於 IMO 通函 MSC-MPEEC.3/Circ.4 格式並符合 IMO 國際標準之準則，設計海難資料庫服務平台雛型，以整合海氣象資訊、電子海圖與船舶動態資訊系統 AIS 資料。此服務可提供下列功能，紀錄並還原當時的地理時空關係：(1) 海難資料登錄及查詢；(2) 海難期間周遭船舶海域交通及氣象狀況。海難案件登錄的資料分為基本及事實資料：基本資料項目定義了案件事發經過、位置、時間、環境、事故類別以及後續處理方式等；事實資料內容包含所涉及船舶的詳細資訊及在此案件對於船舶而言所造成的損壞或人員傷害。登錄海難資料時系統會指派唯一的案件編號，搜尋時可根據案件編號、發生時間前後及地理位置範圍向海難資料庫搜尋案件。

此海難資料庫服務除了提供登錄海事案件之外，也結合了船舶動態系統 AIS 資料以及海氣象資料，並透過海難的前後時間點，向 AIS 資料庫及海氣象資料庫搜尋該時間點的資料，以動態回播方式將涉及

海難船舶周遭的交通狀況及氣象狀況還原出來，以利後續分析及研究之用。如圖 4.11 與 4.12。

| 事件詳細資料         |                                                  |
|----------------|--------------------------------------------------|
| 案件編號:          | C00001                                           |
| 影響的船舶:         | 海翔八號                                             |
| 事件發生時間:        | 2012-03-19 04:30:00                              |
| 事件發生地點(經度,緯度): | ( 121.83433 25.22027 )                           |
| 海難事件類型:        | 進水/沉沒-沉沒                                         |
| 總體發生的嚴重程度:     | 非常嚴重的海難                                          |
| 海況:            | Unknown                                          |
| 風力:            | 6 - Strong breeze - knot (22 - 27) m/s (11 - 14) |
| 自然光:           | 夜晚                                               |
| 能見度:           | 非常差一能見度<0.5哩                                     |
| 天氣類型:          | 未知                                               |
| 事件概要:          | (船舶翻覆)                                           |

船於民國101年3月17日晚上約九點鐘進基隆港，約晚上十點開始裝貨，裝的貨是一種礦土，跟一般水泥差不多。約19日半夜兩點裝完貨風好船蓋後，約兩點半鐘左右開航。

船開出防坡堤後都很正常。因為裝貨一天多加上蓋船。大家都疲憊了，船長下令降了值班人員外，其他人員盡快回房休息。

直到約四點出頭(根據值班水手的描述，他剛接班沒多久)，我們聽到船長的緊急廣播:船舶發生傾斜，全體船員穿好救生衣到駕駛台緊急待命。同時命令值班人員逐層逐間呼叫弟兄集合。到了駕駛台我們才感覺到船有向右傾斜的狀況，但是主機/發電機都還在正常運轉中，因為從房間走到駕駛台都還有燈光。

大家集合後，有看到船長已經把船開往基隆港方向，船長告訴我們:他已申請緊急進港，並安撫我們的恐慌心情說約40分鐘可以到基隆港，要大家堅持一下，這是船舶向右傾斜差不多有10來度，也聽到船長一直在打電話向岸台及附近船隻求救的電話，有一艘船回應，聽到的是亞泥三號在附近，並答應幫我們護航，聽到這消息，我們安心很多。後來感覺到基隆港的時候，船像有請斜角度越來越快，這時看船長在做減速的動作，但這時機艙人員都已經奉命到駕駛台集合，僅停不下來，船長顧慮到積載人員安全沒有下令機艙同仁下機艙處理。

大家經過一段時間的恐慌，但在船長的安撫下，大家情緒慢慢穩定下來時，很不幸的是，大約快到5分鐘左右，船舶向右傾斜加快，船長又另要大家盡量站到左舷準備逃走，因為這時大家已感覺站不住了，感覺船長要嘗試把船開往基隆港方向搶灘。

約沒多久時間，船劇烈的往右傾覆，我們人都抓不住東西，每個人很快地滑向右舷倒臥在海面上，因為當時風速不小，船體經過了不小海水，但

圖 4.11 海難資料庫服務平台查詢結果-以海翔 8 號為例

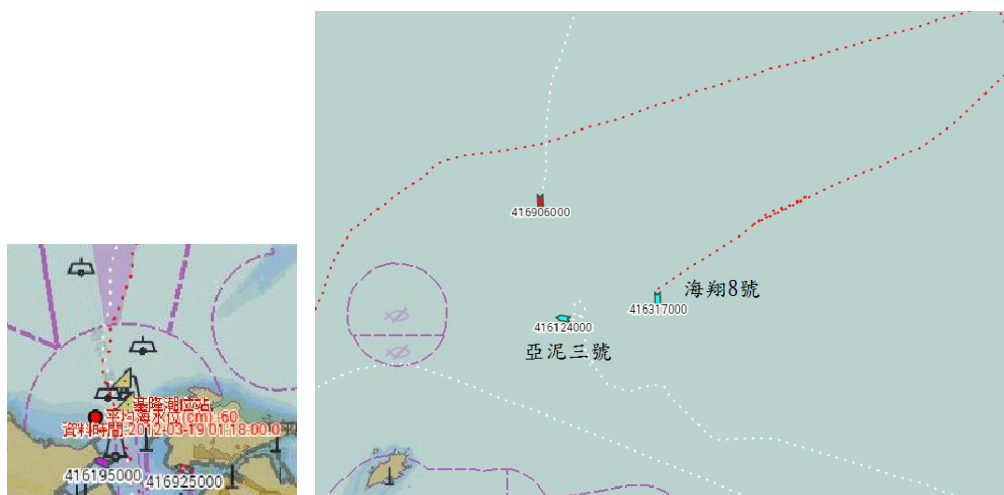


圖 4.12 海難資料庫服務平台動態回播周遭交通與氣象狀況

本研究並以海翔 8 號傾覆沉船事件、升隆一號失去動力漂流擱淺事件、海研五號觸礁沉沒事件等多個實際的海難案例，試驗及示範如何應用船舶動態、電子海圖與海氣象等資料進行整合分析，以輔助海難原因的調查，獲致相關安全建議。

#### 4.3.4 海上事故隱患偵測技術

本期計畫對海上事故隱患偵測之研究規劃分三方面進行：(1)分時空特徵探勘分析 AIS 各項船舶航儀感測資料變化與相對關係；(2)針對發生海難事故之船舶，取出 AIS 資料及區域環境與海氣象特徵；(3)實作偵測方法並分析偵測結果與效能。

船舶透過 AIS 傳送的動態報告中，船位與航向航速都是取自船載全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System, 簡稱 GNSS）接收機，其中又以 GPS 最常見。船艏向資料則是取自電羅經。已知 GPS 在船舶停靠碼頭靜止不動時，其計算出的船舶航速可能仍不為零，而航向會有跳動的情形。而船舶在海上漂航時，因為風與水流的影響，船速也通常不為零，艏向與航向之間則會有較大的差異。

為了定量評估這些因素，本研究做了以下初步分析：取台中港 8 浬外區域 AIS 船速小於 1.5 節的船位報告，於 GIS 中以箭頭符號顯示如圖 4.13，橘色箭頭依航向旋轉，黃色箭頭依船艏向旋轉，符號旁標註的數字是航速（節）套疊顯示，其中藍色箭頭則是標示從電子海圖取得的海流方向與流速（1~1.5 節往東北）。從圖 4.13 可以看到不少艏向與航向差異大的情形，但是角度差和航速的關係不易確認。因此本研究試算不同航速範圍內角度差值的分佈，結果如圖 4.14，其中有 64%航速在 0.3 節以下，72%在 0.6 節以下，而且艏向與航向的角度差值多集中在 80~100 度之間（約為 35%），尤其是在航速 $\leq 0.3$  節時更是明顯（占 45%）。由此可見，關於自願漂航或非自願漂流的偵測除了空間區位與航速的變化以外，可再加入航向與艏向差異的條件，但是此項條件應考慮船舶轉向時必然的差異，不能以單點瞬間決定，而是應該採用多點判斷。

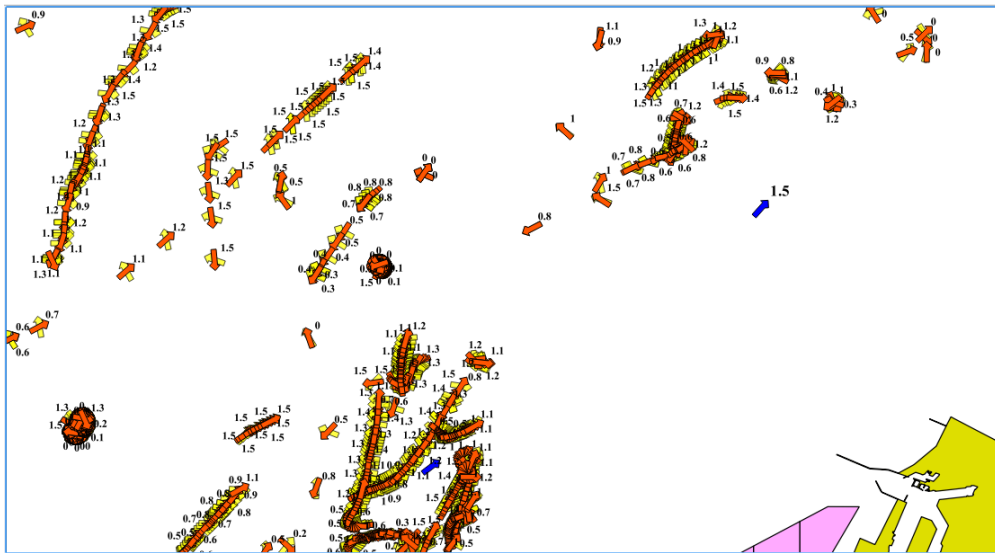


圖 4.13 臺中港 8 浬外低速船舶之艏向(黃)航向(橘)航速(數字)

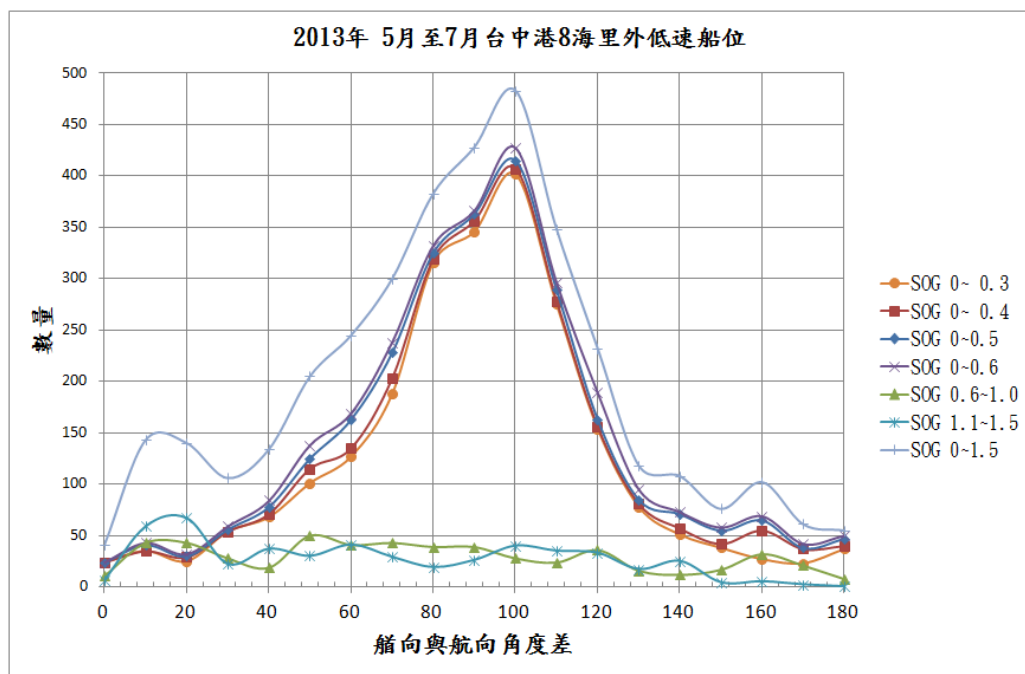


圖 4.14 低船速時的艏向航向角度差值分佈與航速的關係

在海難事件的特徵方面，本研究除前述案例之外，再分析瑞興輪擱淺斷裂沉沒並造成死亡與污染的嚴重海難事故。分析如圖 4.15，圖例中名為 1, 2, 5 的圖層是分別就基隆港東西防波堤到分道航行系入口劃設數條大致垂直於出港交通流的地理參考線，以穿行分析方法（詳見運輸研究所研究報告：MOTC-IOT-99-H2DB005 智慧化海運系統建立之研究（2/4））分析 2011 年 2 月所有 AIS 船舶歷史航跡穿過這些參考線的位置與方向後呈現的統計結果。箭頭符號越大表示穿越該區段的往外航行航跡數越多，箭頭方向表示該區段的平均航向；瑞

興輪出港後的船位報告點也以箭頭表示其航向，旁邊並標示航速；另再取 2011 年 11 月中 15 天的所有貨輪船位，以灰色箭頭顯示其航向，以茲比較。依據基隆港的分道航行系統，船舶應從西側航道進港從東側航道出港。

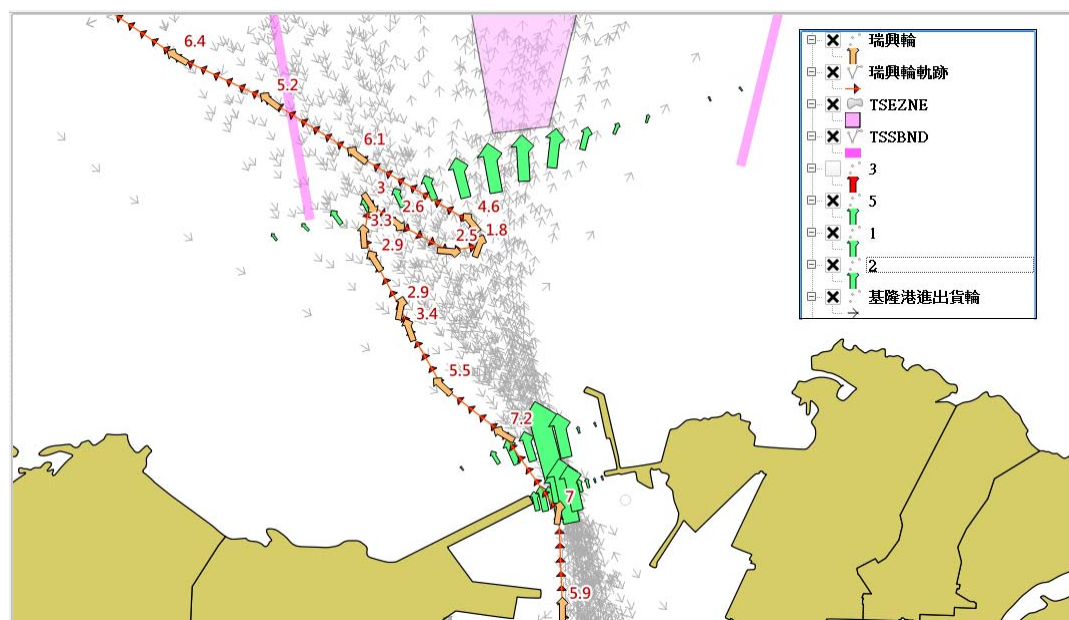


圖 4.15 瑞興輪出基隆港時的船舶動態與一般貨輪的差異

從圖 4.15 可以看到瑞興輪一出港就明顯往西偏移，且在接近進港單向航道出口前曾迴轉再迴轉後往西北方向離開基隆港。這期間航跡明顯偏離一般貨輪的出港航跡範圍，該區段的航向也偏離了正常範圍，這些特徵都可以做為異常狀況或危機偵測的依據。

在跡近擱淺事故的偵測方面，本研究採用的方法如下：取全年兩分鐘間隔的 AIS 內插資料；取海圖等級 4（近岸航行用）檔案內的水深區物件及其深度範圍屬性；先取出在圖幅內的所有船位點，再根據船位點的經緯度與該圖中的水深區多邊形比較，若船位點在水深區多邊形裡面且船舶 AIS 設定的吃水值大於水深區的深度範圍限制則予以記錄。

由於資料量相當大，本研究先以 2012 年 AIS 資料以及涵蓋澎湖水道的 TW04525, TW04506, TW04507, TW04508 等四幅圖進行重點偵測。

在 TW04525 圖幅範圍內偵測結果僅一艘 MMSI=567288000，船名 OBERON(歐倍隆)的泰國籍化學船，船速 0.1 節，設定吃水 4.2m，

已進入 0~2m 水深區，如圖 4.16 左圖藍色橢圓符號或右圖箭頭所指位置。經搜尋本研究建置之海難資料庫，該筆資料是確實已發生之海難事故，資料記錄該船於 2012 年 2 月 19 日擱淺於澎湖外海。

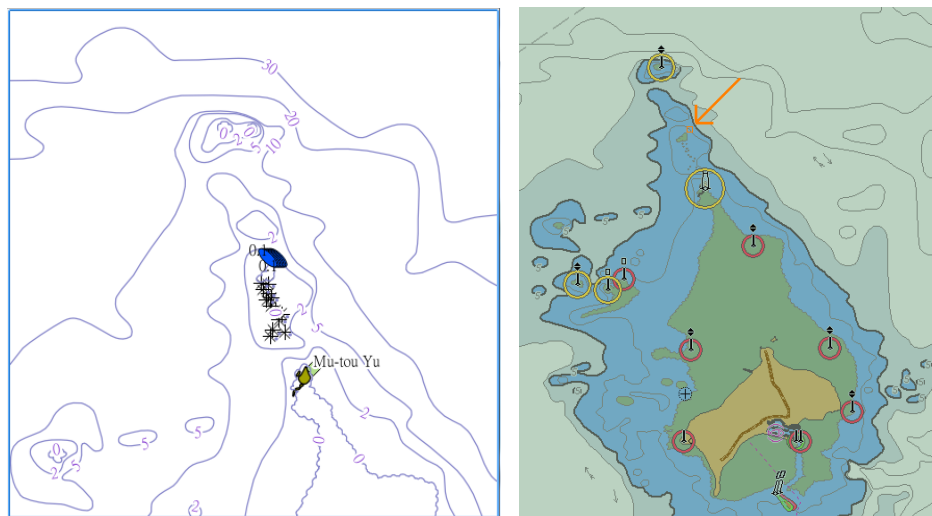


圖 4.16 偵測出的液貨輪 OBERON 實際已擱淺

以 TW404507 與 TW404508 兩海圖檔案圖資在麥寮港外偵測到三艘次水深不足的情況（船舶 AIS 報告的吃水分別是 25.5m, 20.3m, 25.5m），如圖 4.17。從這些船的 AIS 歷史資料看來，這些航次設定的吃水值特別大。因此在前往麥寮港沿途經過多處水深不足 20m 區域內的船位也都被偵測出來。

同樣以 TW404507 圖資從 2012 年全年 AIS 資料中偵測出的還有航行於嘉義布袋商港與澎湖龍門尖山港之間的山寶輪，當時設定的吃水值是 4m，已進入 0~2m 水深區，如圖 4.18。經分析該輪當日航跡，發現該船是從布袋港出港後至該淺水區等待後再度進港。

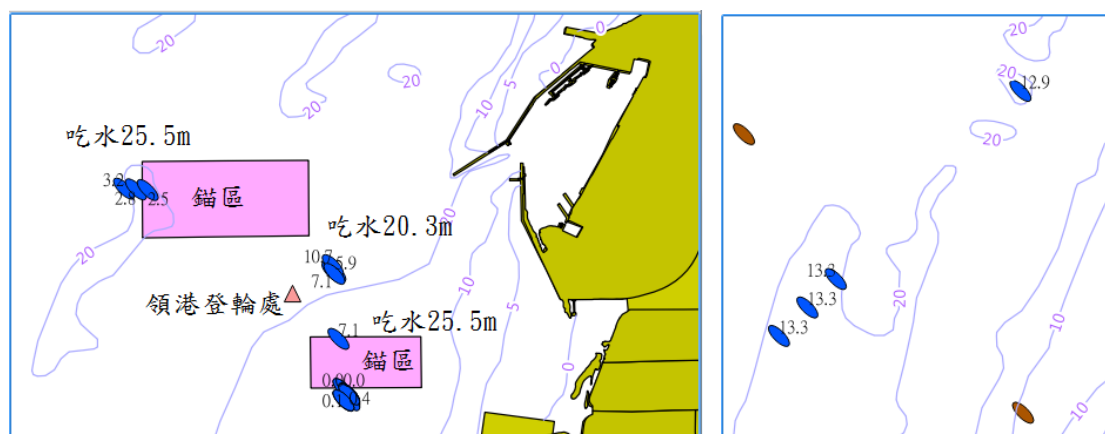


圖 4.17 跡近擱淺偵測結果-麥寮港外

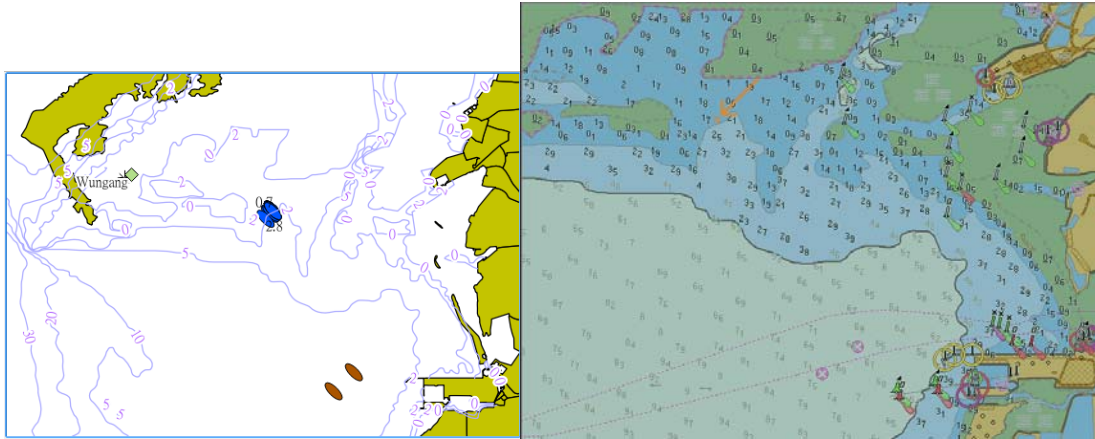


圖 4.18 跡近擱淺偵測結果-布袋港外的山寶輪

另有一液貨輪 AIS 設定的吃水深度是 10.1m，在 2012 年內兩度被偵測出往西北方向經過布袋港外西南方水深 5-10m 的淺水區，航行速度分別是 4.5 節與 7.1 節，如圖 4.19 上半部藍色橢圓符號顯示的船位，箭頭所指的是對應的电子海圖局部放大截圖。該船另亦被偵測出在 2012 年另有四航次以 6~9 節的速度通過布袋港以南北門以西的兩處水深 5-10m 的淺水區，如圖 4.19 左下角藍色橢圓符號顯示的船位，箭頭所指的是對應的电子海圖局部放大截圖。經分析其當日航跡，該船無論是從高雄港北上或是從澎湖群島南方往東北方向接近布袋港，都習慣性地彎進被偵測出的這些淺水區附近停留後，再彎出繞過外傘頂洲從澎湖水道北上，並未進入布袋港。

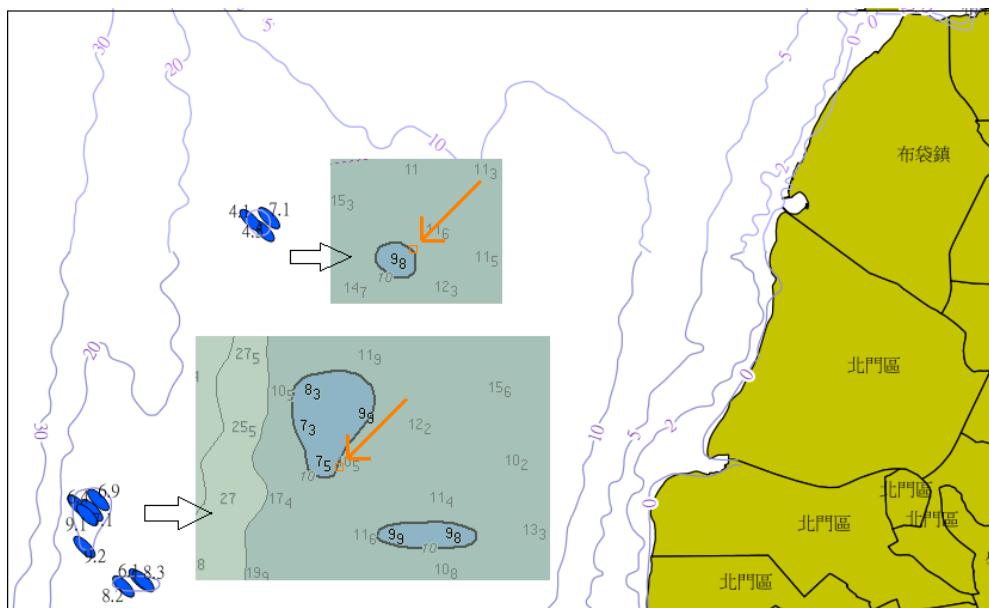


圖 4.19 跡近擱淺偵測結果-臺南北門外海的液貨輪

在跡近碰撞事故的偵測方面，本研究採用的方法如下：

利用 2012 年 AIS 歷史資料，計算出船舶之間的 CPA(Closest Point of Approach)、TCPA(Time to CPA)，以相對角度區分為迎艏正遇、追越、交叉相遇等會遇狀況。篩選出  $CPA < 0.5$  浬、 $0 < TCPA \leq 10$  秒的狀況，就同一事件計算出兩船之間實際上的最近距離。接著利用所計算出的資料，分析統計其各距離區間和會遇狀況之比例。

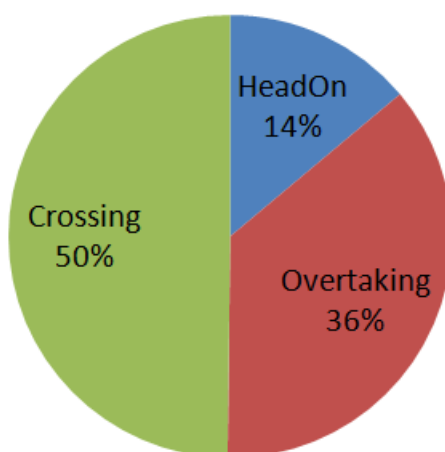
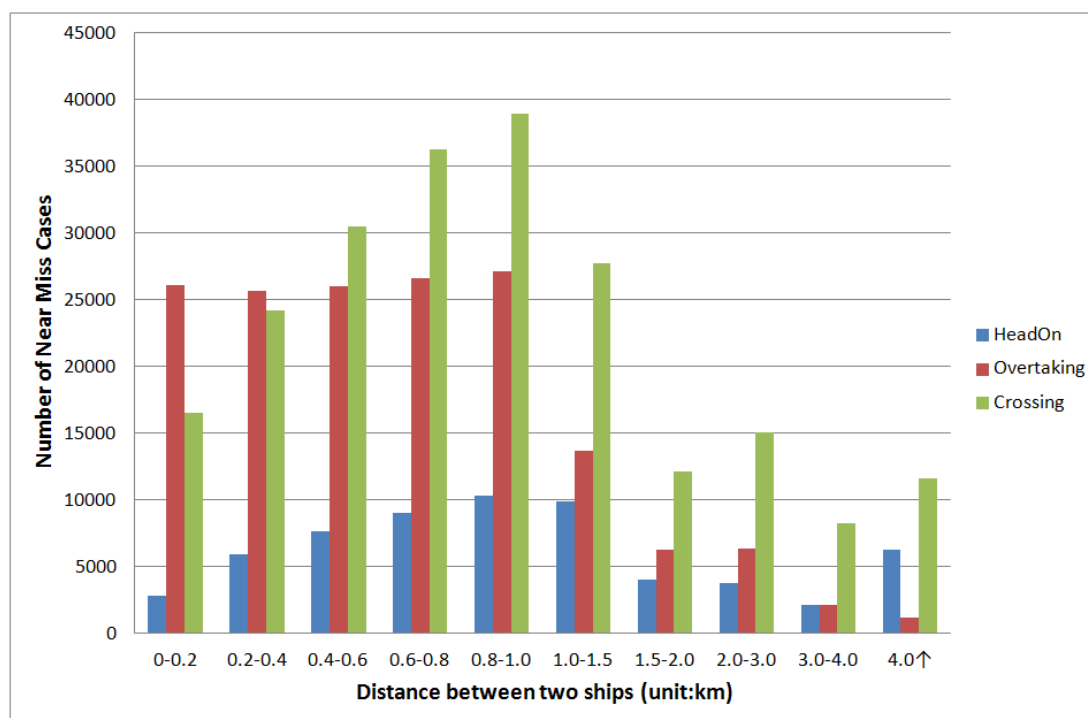
國際海上避碰規則(International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGS)把兩船之間可以互相看到對方的會遇狀況分為三種：迎艏正遇(Head-On)、交叉相遇(Crossing)、追越(Overtaking)。後面的船舶從前船側邊後方 22.5 度(相對於前船船艏向 112.5 度或是 247.5 度)接近前船的情況視為追越；兩船彼此以相反或是幾乎相反的航向對遇時視為迎艏正遇，有碰撞危險時應各朝右轉向航行，互在對方左舷通過；兩船舶交叉相遇而含有碰撞危險時，見他船在其右舷者應避讓他船。本研究將角度差 170~190 度之間視為迎艏正遇。就追越而言，從前船的 112.5 度接近的船，其航向與前船相差  $112.5 + 180 = 292.5$  度，從前船的 247.5 度接近的船，其航向與前船相差  $247.5 - 180 = 67.5$  度。因此本研究依兩船航向角差值將會遇情況分類的準則如表 4-1。

表 4.1 依航向差值將會遇情境分類的準則

| 會遇情境 | 兩船航向角差值                                   |
|------|-------------------------------------------|
| 迎艏正遇 | 170 度到 190 度之間                            |
| 追越   | ( $< 67.5$ 度) 或 ( $> 292.5$ 度)            |
| 交叉相遇 | ( $67.5$ 度到 170 度之間) 或 (190 度到 292.5 度之間) |

中國大陸的漁船已大量裝設 AIS，產生的資料量龐大，本研究為聚焦於臺灣海峽東側至臺灣沿岸，於大陸沿岸劃設一參考線，只處理該參考線以東的 AIS 資料。此外必須排除各國際商港港內的船隻以及 AIS 資料異常之船隻；接著利用電子海圖網路圖徵服務(ENC-WFS)查詢取得海圖等級 5 的港區航行用圖內的錨區為篩選條件，排除各港口錨區內之船舶。

處理完之船舶資料，經分析與統計後得出不同會遇狀況下兩船會遇最近距離的分佈結果如圖 4.20。由此圖可以看出：有碰撞危機的兩船之間以交叉相遇的情境比例最高(達 50%)，而且最近距離以 0.3~0.5 浬為高峰；比例次高的是追越，其最接近距離大約平均分佈在 0.5 浬內；迎艏正遇的比例最低，其最近距離的分佈與交叉相遇相似。



排除錨區之近距離會遇狀況比例

圖 4.20 兩船會遇最近距離之分佈 (2012 年)

再取兩船距離接近至 200 公尺內的案例進行細部分析，結果如圖 4.21，比例最高的是追越 (達 58%)，交叉相遇次之 (約 36%)，迎艏正遇依然是最少的。

在此所謂的兩船距離，實際上是指兩船 GPS 定位點之間的距離。即使假設兩船都把 GPS 天線設置在船身的正中央，兩艘船船身之間的實際距離也還必須再考慮兩船各自的長寬以及相對角度與位置。

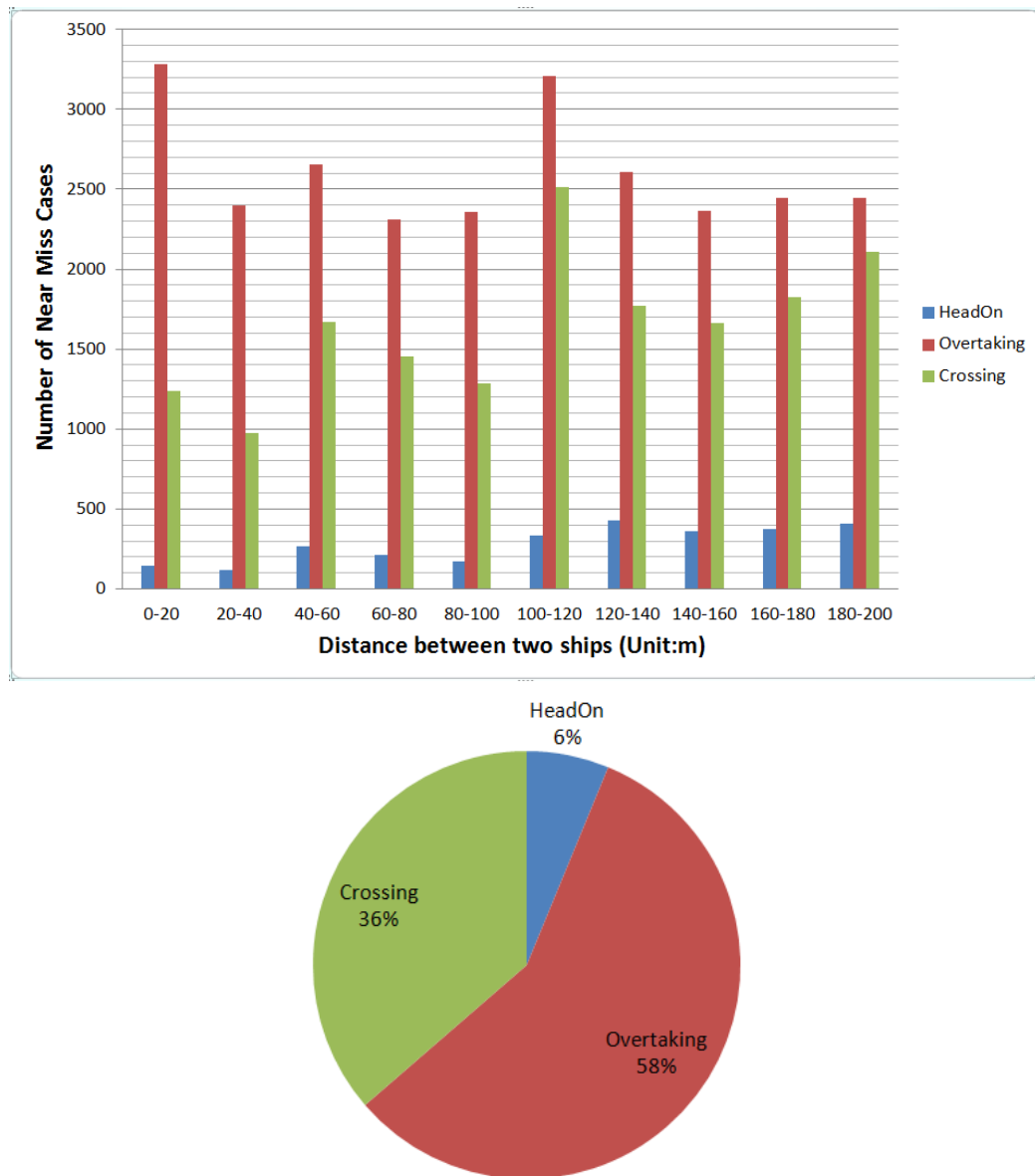


圖 4.21 兩船相距 200 公尺內之距離與會遇狀況分佈 (2012)

2012 年全年兩船接近至 20 公尺內的次數共 4660 次，兩船都有明確船舶種類的分類組合次數小計 4038 次 (87%)，而兩船中任一船類別不明的有 622 次 (13%)。距離 20m 內的兩船類別組合分佈如表 4-2。此分析結果尚未過濾船速。

表 4.2 距離 20m 內的兩船類別組合分佈

| 船舶種類    | 船舶種類    | 次數   | 比例  |
|---------|---------|------|-----|
| 客、貨、液貨輪 | 客、貨、液貨輪 | 638  | 14% |
| 客輪      | 液貨輪     | 0    | 0%  |
| 客輪      | 貨輪      | 1    | 0%  |
| 貨輪      | 液貨輪     | 14   | 0%  |
| 液貨輪     | 液貨輪     | 48   | 1%  |
| 貨輪      | 貨輪      | 257  | 6%  |
| 客輪      | 客輪      | 318  | 7%  |
| 漁船      | 漁船      | 2530 | 54% |
| 客、貨、液貨輪 | 漁船      | 381  | 8%  |
| 客輪      | 漁船      | 80   | 2%  |
| 貨輪      | 漁船      | 265  | 6%  |
| 液貨輪     | 漁船      | 36   | 1%  |
| 特殊船舶    | 漁船      | 24   | 1%  |
| 特殊船舶    | 特殊船舶    | 31   | 1%  |
| 客、貨、液貨輪 | 特殊船舶    | 434  | 9%  |

其中兩船皆為漁船的情況達 54%，以北部海域最多。貨輪與漁船之間的 265 次有 47.5%牽涉同一艘貨輪，很可能不是意外接近。兩客輪間接近至 20m 內的有 318 次，其中 96%在東港與小琉球之間，其餘分別在蘭嶼開元港與布袋港內。

2012 年全年兩船接近至 20~40m 的次數共 3488 次，兩船都有明確船舶種類的分類組合次數小計 3054 次（88%），而兩船中任一船類別不明的有 434 次（12%）。距離 20~40m 的兩船類別組合分佈如表 4-3。

**表 4.3 接近至 20~40m 的兩船類別組合分佈**

| 船舶種類    | 船舶種類    | 次數  | 比例  |
|---------|---------|-----|-----|
| 客、貨、液貨輪 | 客、貨、液貨輪 | 347 | 10% |

|         |      |      |     |
|---------|------|------|-----|
| 客輪      | 液貨輪  | 0    | 0%  |
| 客輪      | 貨輪   | 0    | 0%  |
| 貨輪      | 液貨輪  | 10   | 0%  |
| 液貨輪     | 液貨輪  | 44   | 1%  |
| 貨輪      | 貨輪   | 82   | 2%  |
| 客輪      | 客輪   | 211  | 6%  |
| 漁船      | 漁船   | 1734 | 50% |
| 客、貨、液貨輪 | 漁船   | 283  | 8%  |
| 客輪      | 漁船   | 56   | 2%  |
| 貨輪      | 漁船   | 186  | 5%  |
| 液貨輪     | 漁船   | 41   | 1%  |
| 特殊船舶    | 漁船   | 34   | 1%  |
| 特殊船舶    | 特殊船舶 | 46   | 1%  |
| 客、貨、液貨輪 | 特殊船舶 | 610  | 17% |

其中兩船皆為漁船者主要仍是分佈於北部海域。

我國並未要求漁船安裝 AIS，因此本研究針對商船之間的跡近碰撞狀況分析風險海域。在此所謂商船是依據 AIS 船舶報告的船舶種類資料中屬於客輪、貨輪或液貨輪的船舶。從偵測跡近碰撞的事件中，取出兩船都是屬於商船，最近距離 20m 內以及 20-40m 的案例，分別以「20m\_商船間」、「20-40m 商船間」為圖層名稱套疊顯示於網路地圖上，並標示各事件是屬於哪一種會遇情境，結果如圖 4.22 到圖 4.25。

為了呈現臺灣海域的船舶交通流模式與碰撞危機之間的關係，各圖中再套疊了名為「201006\_70 軌跡」的圖層，該圖層是以 2010 年 6 月貨輪 AIS 軌跡經過群聚分析後取得的貨輪代表路徑；此外名為「201006 貨輪軌跡 20 以上」的圖層則是貨輪代表路徑所代表的軌跡數量超過 20 航次以上的部分，是更具代表性也是貨輪航跡更密集的航路區段。註：2010 年 6 月時尚未在苗栗外埔設置 AIS 接收站，新竹苗栗外海仍是收訊缺口，所以在該區域沒有代表路徑資料。

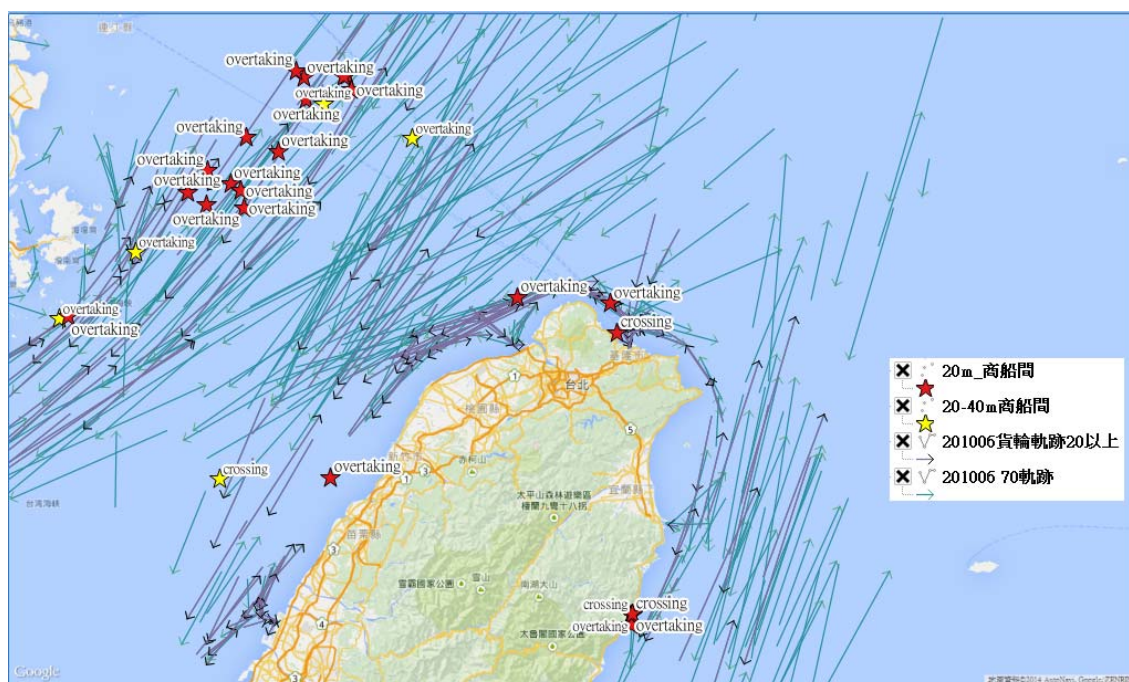


圖 4.22 北部海域近距離會遇位置 (2012 年商船間)

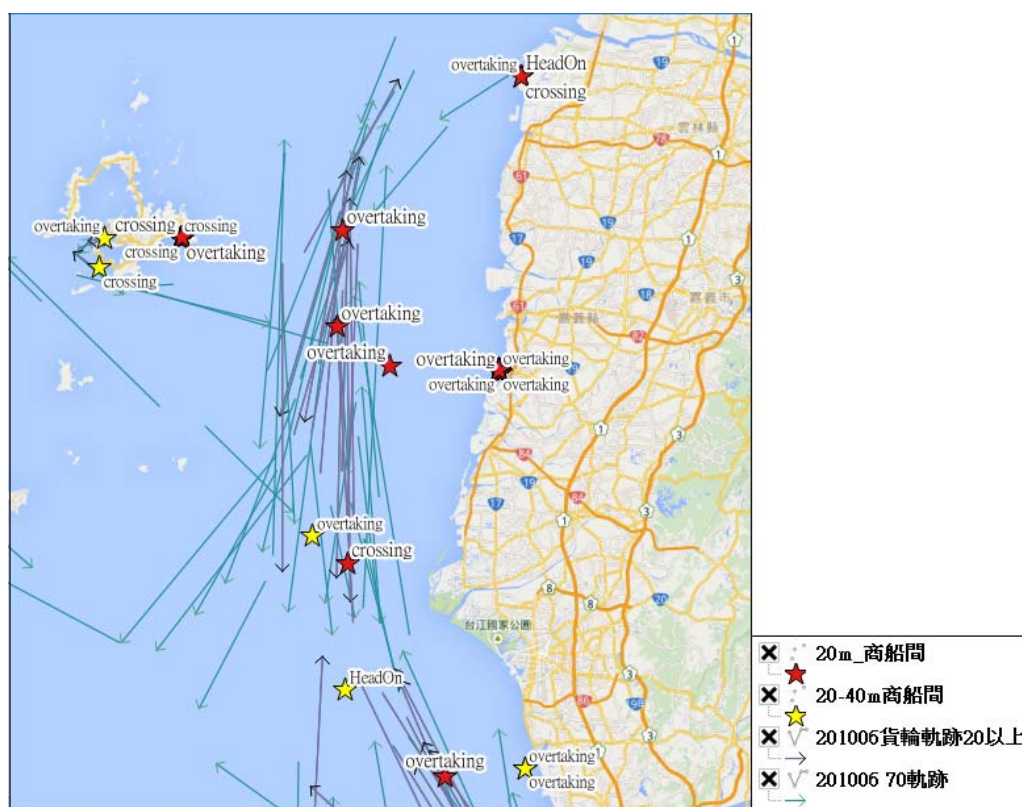


圖 4.23 雲林至臺南沿岸近距離會遇位置 (2012 年商船間)

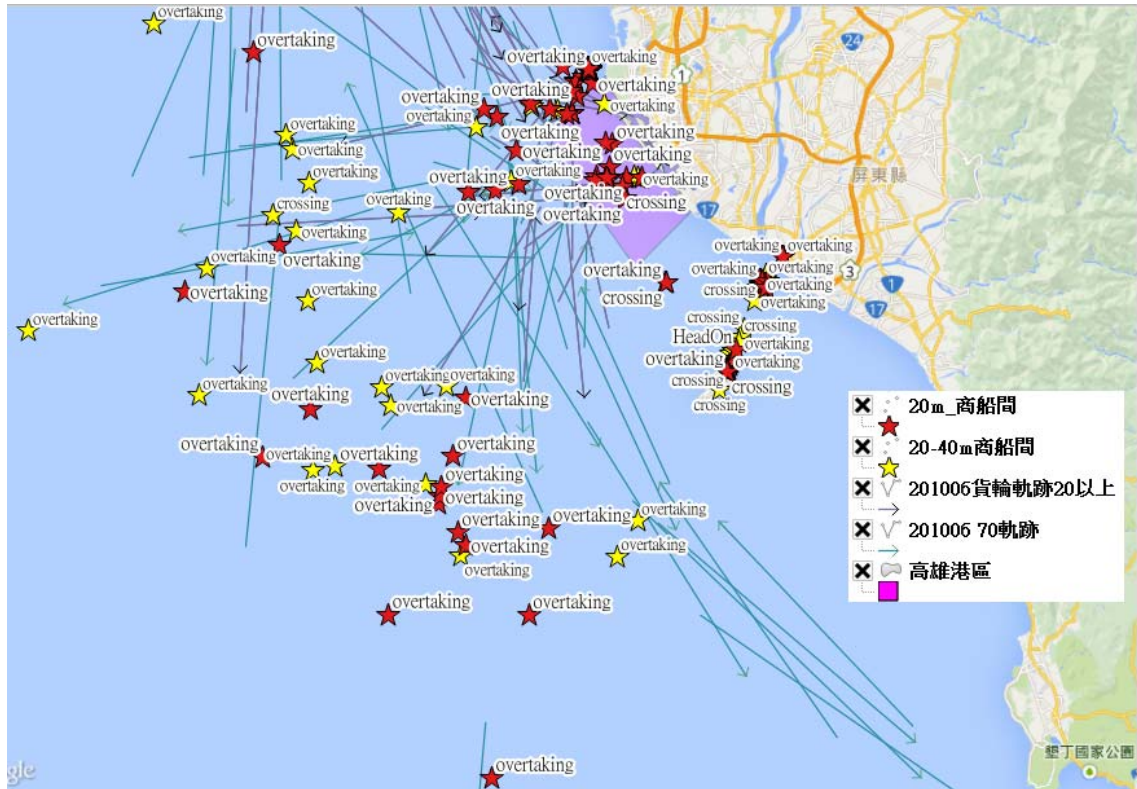


圖 4.24 南部海域近距離會遇位置（2012 年商船間）

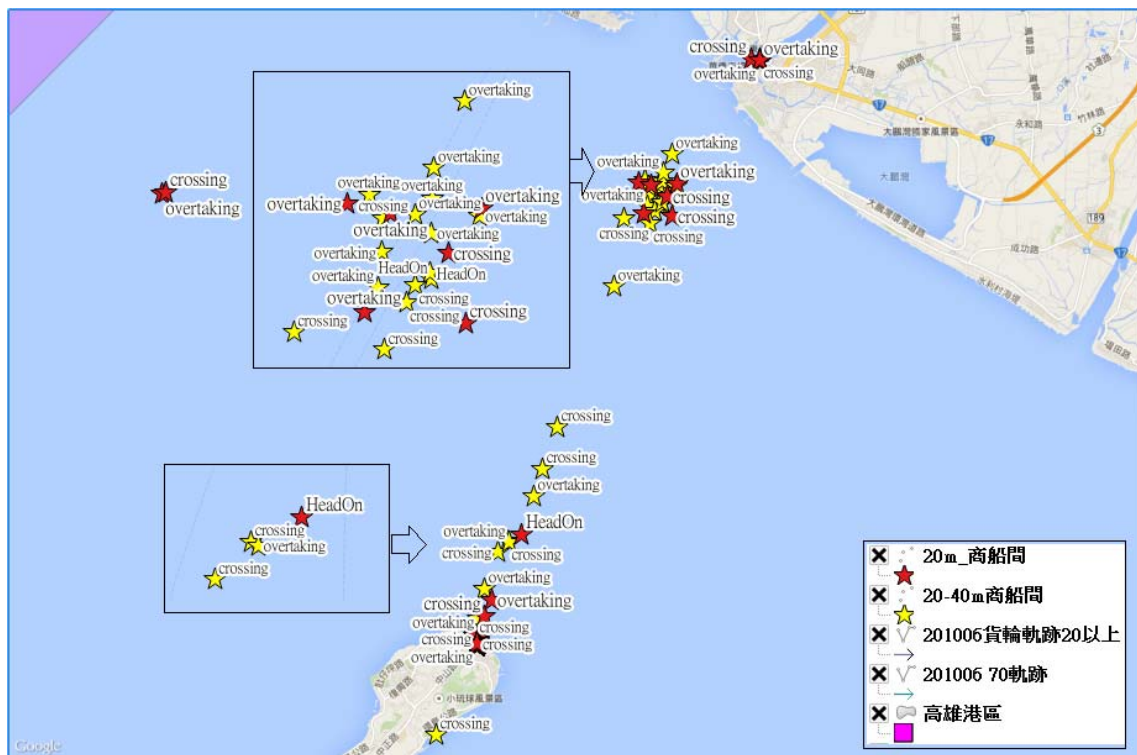


圖 4.25 東港小琉球之間兩船近距離會遇位置

為比對跡近碰撞事件的偵測結果與歷年屬於碰撞的海難記錄，本研究再取歷年屬於碰撞的海難記錄，不分船舶種類，以「海難\_含碰

撞」的圖層名稱，套疊分析如圖 4.26 至圖 4.28。但請注意：目前的海難記錄中未能關聯取得 AIS 船位者，其位置資料可能是粗略而不準確的，例如圖 4.26 中位於陸地上的海難點。

本研究目前是以 2012 年全年的 AIS 資料執行跡近碰撞的偵測，經查詢已建置的海難資料庫，2012 年列為碰撞的海難事故只有一件涉及漁船的碰撞事故，位置在圖 4.26 中標示"2012"的海難點，該位置就在跡近碰撞事件偵測結果中涉及漁船的北部海域密集區內。

這些分析結果顯示，單一年的跡近碰撞事件偵測結果與船舶代表路徑（交通流模式）以及歷年海難記錄之間的關聯性都相當高。碰撞事故的高風險海域也清楚可見。

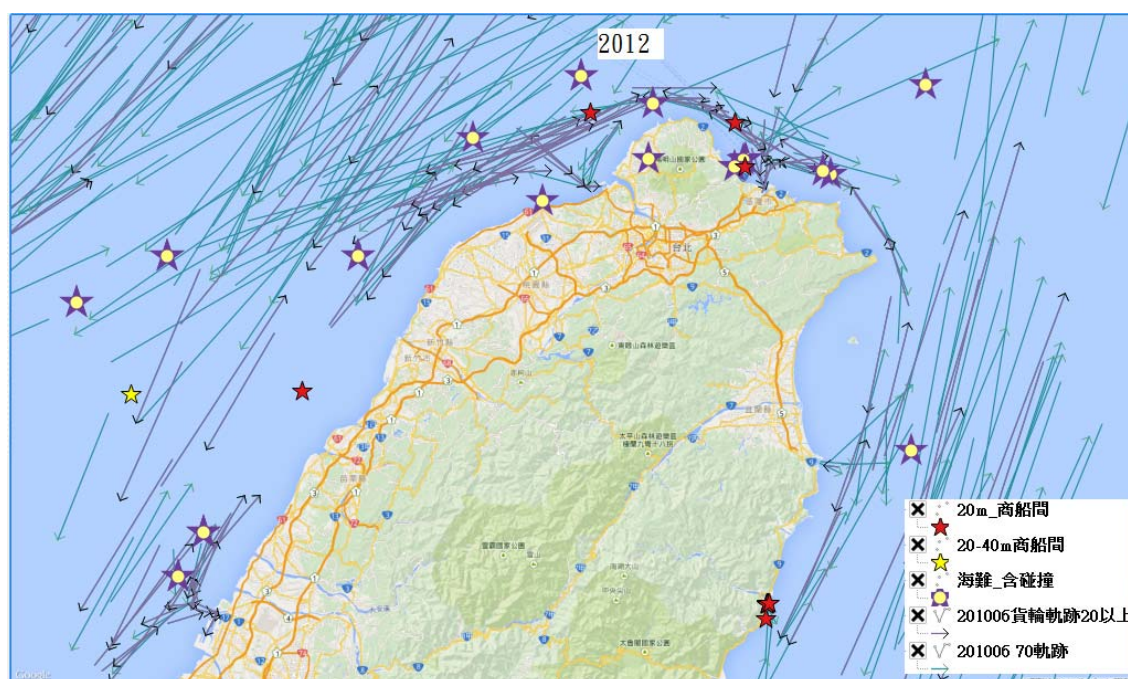


圖 4.26 北部海域的商船碰撞風險

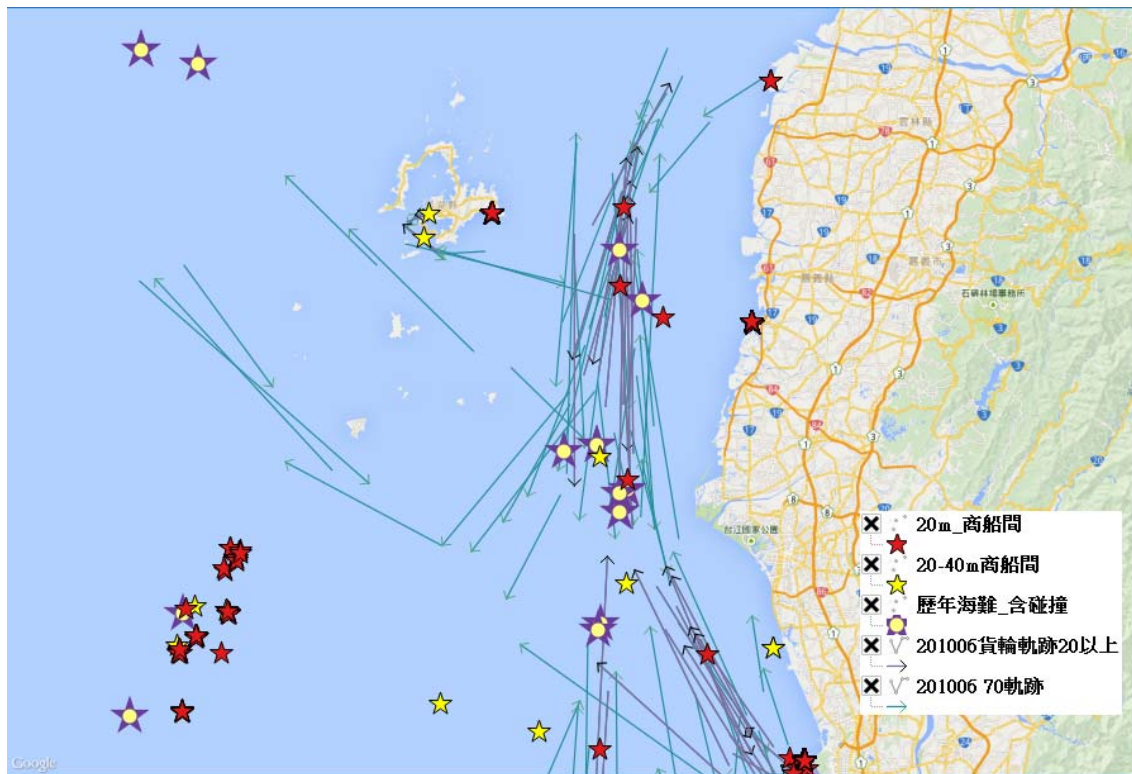


圖 4.27 雲嘉南與澎湖海域商船之間的碰撞風險

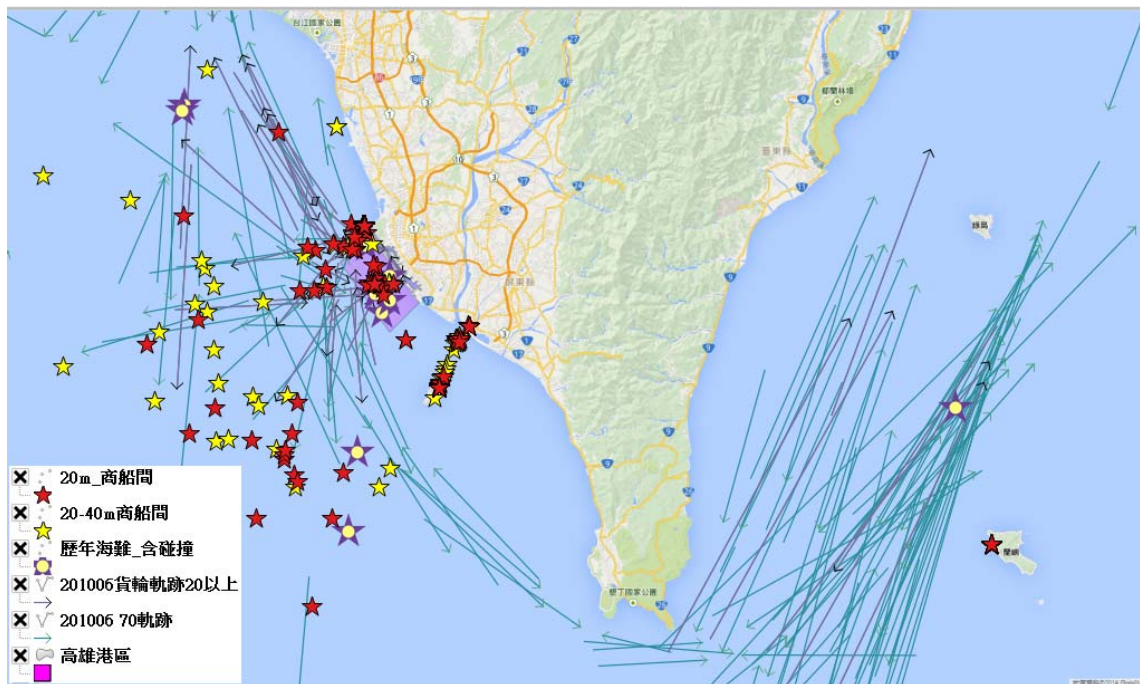


圖 4.28 臺灣東南與西南海域商船之間的碰撞風險

## 4.4 小結

本研究建置的海難資料庫是海運安全管理的基礎資料，其設計使得海難資料成為現代化網路資訊系統真正可應用的資料格式，其內容也因關聯船舶動態相關時間空間資訊與海圖及海氣象環境資訊而成為更具應用價值的資訊。

海難資料庫服務平台雛型之設計與國際接軌，可成為海難資料庫更新的機制，支援海運安全管理相關資訊系統的持續運作，並與國際安全管理章程結合，提升海事安全。

無論是跡近擱淺或跡近碰撞的偵測，都牽涉巨量資料的探勘處理，而其產出結果的應用價值甚至可高於海難資料庫。建議在擴大跡近事故偵測的空間與時間範圍後，使風險評估定量化，並依據評估結果引進適當的航道規劃或船舶交通服務等相關安全管理措施。

以此海難資料庫為基礎，結合本研究之海難資料分析與探勘成果，可應用於：海運安全管理措施之規劃評估，例如航道、助導航設施、船舶交通服務...等，搜救資源之配置規劃，海上遇險事故之即時反應。

## 第五章我國港灣壓艙水污染問題管理法制化之研究

本研究第四個子題主要是交通部運輸研究所與財團法人成大研究發展基金會王毓正教授之合作研究計畫，本研究的目的是船舶不當排放壓艙水而導入外來生物種，對於目的地海域之生態環境、人類健康造成重大的威脅及嚴重的經濟損失已引起國際社會重視，國際上除了有《國際船舶壓艙水及沈積物控管公約》已於 2004 年通過，並有若干國家在公約生效前，為維護自身的海域環境已制訂相關管理制度並有相當程度的執行經驗。可見船舶壓艙水問題之解決確實需要透過法律制度作為依據。然而，船舶壓艙水管理在國內仍屬新興議題，對於船舶壓艙水對於我國海域的影響、相關管理辦法與需求的討論都缺乏資料。本研究將綜整出各國之壓艙水管理法制化模式，並提出適宜的壓艙水管理法草案與修法建議，同時舉辦參與式管理座談會以瞭解權益關係人對草案之修正建議，供為管理法草案修正之參考，提供我國未來管理船舶壓艙水有利的參考。

故本研究將主要的工作分為五個項目，分別是外國壓艙水管理法執行實務之調查分析、國際上壓艙水管理趨勢分析、我國船商對實施壓艙水管理法之因應措施、壓艙水管理法草案及各相關子法草案初稿座談會之舉辦、我國壓艙水管理與執行之標準作業化研擬。

### 5.1 計畫背景分析概述

船舶不當排放壓艙水使得外來種生物進入海域的問題一直是航運界與海洋環境保育關注的重點之一，而從美國在 1990 年代開始進行五大湖區的外來種管制，到今天的壓艙水管制公約實施，如今我們可以說，壓艙水所夾帶的生物性污染已成為全球矚目的議題。儘管台灣並非壓艙水管制公約的會員國之一，但航運界發達的我國對此議題並不能夠置身事外，特別是處在鄰國已經紛紛制定相關的壓艙水管制措施時更是如此，就壓艙水管理法制化而言，太過嚴格的標準將會影響到他國船隻進入我國港口的意願，同時亦會給予我國的航商較重的

負擔，讓台灣在國際航運的競爭力上處於較不利的狀態。然而，若是標準訂定的太過寬鬆，或是如現今的處境一樣，處於無管制措施的狀況下，則會使我國的海域環境保育與沿海養殖漁業經濟，均處在可能被外來種影響的風險之下，而這一點，正是我們無法忽視並需要立即改善的問題。也因此，目前的計劃將會針對各國商港營運的狀況，以及鄰近國家的壓艙水管理上做出相關的分析，並進一步擬定出未來我國壓艙水管理法草案與現行法令修正建議。

### 5.1.1 壓艙水管理機制於 BWM 公約及各國間之情形

2004 年已通過之《國際船舶壓艙水及沉積物管理公約》(International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 下稱 BWM 公約)，除了公約本文之外，尚包括 2006 年海洋環境保護委員會 (Marine Environment Protection Committee, 下稱 MEPC) 第 55 次會議通過了五個決議案作為公約附錄規則，合稱為《船舶壓艙水和底泥控管規則》(Regulations for The Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments)，此外，為使公約能切實可行，MEPC 陸續制訂了 14 套壓艙水管理技術規範 (Technical Guidelines)。

在壓艙水管理方法方面，公約要求締約國需在進行壓艙清洗或維修的港口和碼頭提供船舶沉積物收受設施 (Art.5)。並可對於進港船舶進行三項內容之船舶檢查：檢驗船上是否有有效的證書、是否有壓艙水記錄簿、以及對於船舶攜帶的壓艙水進行採樣 (一般檢查)。若船舶未持有有效證書或有明確證據支持違反規定，則可以根據船舶狀況個別檢驗不符合證書資料的項目；當船長或船員不熟悉壓艙水的管理計畫時，或是也未執行管理計畫，則沿岸國可以進行詳細且具體的檢查 (詳細檢查)。

### 5.1.2 壓艙水管理法制化之建構方式

對於未來船舶壓艙水管理法制化之建構方式，目前主要的討論有三種：1. 制定專法；2. 修正現行法令；3. 直接依據商港法第 75 條公告管理。

首先必須先釐清的問題是，國際公約是否可以作為我國行政管制之法源，此已涉及「國際公約國內法化」的討論，根據「國際公約國內法化的實踐」研究計畫之報告書（法務部，2009）中的結論「對於一元論國家而言，條約已有國內法效力」，「對於二元論國家而言，國際條約即使經過批准或加入，亦無國內法效力，因此需要制定國內法以實踐國際條約，而且其所採的方式是逐一制定國內法以實踐個別條約」。多數學說皆認為儘管憲法並未明文規定，但基本上「一元論」未能符合憲法第 23 條及第 170 條之規範精神。此外大法官釋字第 329 號解釋亦表示國際條約或國際公約「除經法律授權或事先經立法院同意簽訂，或其內容與國內法律相同者外，條約、公約或協定附有批准條款者，應送立法院審議」，由此可見亦採取「二元論」之立場，換言之，直接以《BWM 公約》作為我國壓艙水管理之行政管制的法源依據，顯然不可行。因此，進一步要探討的問題是，《商港法》第 75 條是否即為大法官釋字第 329 號解釋中所謂「經法律授權或事先經立法院同意簽訂」之情形？實則不然，因為該號解釋所針對的是我國「簽訂國際公約或國際條約」的情形，其在經法律授權或事先經立法院同意時，就可以直接生效產生法源之效力。但事實上，就台灣目前的國際處境來看，未來成為 BWM 公約的締約國之可能性仍舊不高，因此縱使將《商港法》第 75 條解釋為釋字第 329 號中所謂「經法律授權」之情形，亦無法直接以 BWM 公約作為我國壓艙水管理之行政管制的法源依據。

縱使以《商港法》第 75 條作為訂定壓艙水管理之法規命令的授權依據，但仍無法解決兩個問題。首先是管制範圍不足的問題，從《商港法》第 1 條至第 5 條之規定觀之，其管制範圍亦僅限於商港內，但若要使壓艙水的管制措施能夠完全發揮阻絕外來種威脅台灣海域環境的話，則須在船隻進入港口前即採取積極預防管制的措施，以免外來生物種入侵之預防僅侷限在商港之內，而造成更大的管制漏洞，因此即便依《商港法》第 75 條規定作為制定法規命令之授權依據，自然即不能超出母法本身之規範範圍，因此仍無法完全解決壓艙水所可能造成的環境問題。

### 5.1.3 壓艙水管理法制化模式之建議

透過以上之分析，本研究首先認為單以《商港法》第 75 條作為壓艙水管理之依據，在本質上存在有規範不足之現象。反之，是否必須透過制定一部專屬的法律以作為壓艙水管理之依據，本研究亦採取保留之立場。事實上，要回答是否應制定一部專屬的法律，應先釐清是否透過修訂現行法規之方式仍不足以因應，倘若是的話，再進一步思考制定一部專屬的法律。

然而，本研究若透過同時以下方式對於現行《海洋污染防治法》及《商港法》進行修正，未必不能找到理想的規範模式，亦即在兩部法律當中，1.明確將壓艙水納入「其他污染物」之項目；2.確立商港內航政機關為壓艙水管理之主管機關，商港以外環保署為壓艙水管理之主管機關；3.分別授權航政機關與環保署會同共同訂定具法規命令性質之壓艙水管理辦法；4.對於在商港內或商港外之違反壓艙水管理規範之行為，明確訂定罰則規定，由各自主管機關據以執法。至於航政機關與環保署會同共同訂定之壓艙水管理辦法當中應包含，壓艙水管理方式、管理流程、應檢具接受檢查之文書種類與應記載事項，以及其他相關細節事項。

## 5.2 外國壓艙水管理法執行實務之調查分析

本研究團隊於本年度的研究對象轉向鄰近國家，原因在於，台灣乃為海島型國家，在基礎資源缺少的前提下，航運業是我國必不可少的產業，船隻與鄰近國家往來使得壓艙水交換頻繁亦是現今的處境，在航運業上，我們與周遭國家是處在既合作又競爭的狀況中，而就海域環境而言，不論是中國、韓國或日本都曾遭受赤潮的威脅。因此，如果不了解鄰國的法令管制狀況，除了影響到本國航運業的發展外，更會使得海域的生態環境遭受到外來種的威脅。因此將針對與我國航運往來較為頻繁的鄰近國家，即中國與韓國等國進行壓艙水管理法令的分析。

### 5.2.1 中國壓艙水管制之現況

相較於美國對於壓艙水夾帶外來種威脅的重視，並予以獨立立法，中國方面對壓艙水的管制則是散見於各不同法令，採用修正現行

條文的方式，把壓艙水納入管制的範圍中。

目前，中國海事局已訂出〈船舶壓艙水管理系統申報暫行規定〉(以下簡稱暫行規定)作為規範國內船隻壓艙水排放的準則，在其第一條中就明確表示暫行規定的目的，乃是為了符合 BWM 公約的相關要求而定，而從相關法條內容觀之，不論是壓艙水處理系統的規格認證，或是壓艙水排放的標準檢定，均聲明比照 IMO 或是 BWM 公約的標準處理，且此暫行規定亦無相關可供處罰的罰則規定。

大體上而言，可把目前中國對於壓艙水的規定分為兩類，一類是關於出入境的檢疫規定，另一類則是關於海洋環境保護的規定；兩者都包含關於壓艙水的管制規定，但前者所注重的在於壓艙水中可能夾帶的病原體，而非外來種的威脅，後者則很明顯的是為了因應 BWM 公約而制定出了相關的規定，以排除可能進入國內的外來種。

儘管中國在管制上並未訂立專法，但根據不同法令的定位，若原先法令的修正即可把壓艙水納入其管轄範圍內，則單純的法令修正亦不失為一個可行的做法，就壓艙水本質而言，是生物性污染物，不論是放在檢疫規定亦或是海洋保護法令中均為可行的做法，重點在於是否有意識到其所夾帶的外來種之威脅，並在法令的修正中特別針對外來種入侵的風險做出防範。就此點而言，目前中國顯然是把壓艙水的外來種威脅防範放在海洋保護法的架構下去執行，亦依比照 BWM 公約訂出了暫行規定，但此規定最大的問題，在於法令本身並未考量到配合當地海域環境進行相關法令的調整，同時，這個規定中也沒有任何處罰規定，屆時倘若實施，能藉此達到多少防範外來種入侵的效果，值得存疑。不過，它仍然還只是個暫行規定，且其在根本上是為了公約而生，隨著公約的施行在即，未來中國壓艙水的管制仍有很大的進步空間，值得持續進行追蹤與觀察。

### 5.2.2 韓國壓艙水管制之現況

韓國在壓艙水之管制上與中國不同，它效法了美國採取設立專法的方式以管制壓艙水的排放，且在 2007 年就已經設立了〈壓艙水處理法〉(ballast water management act)，並有由其延伸而來的〈壓艙水

管理法施行細則〉及〈壓艙水管理法施行令〉。雖然該法的主管機關經歷變革，由原先的國土交通部(Ministry of Land, Infrastructure and Transport)轉移至海洋水產部，更由於世越號事件的影響，使得主管機關可能更進一步轉移到韓國國土安全部。但就目前〈壓艙水處理法〉第一條立法目的觀之「...為控制有害水中生物進入大韓民國境內，並透過對船隻壓艙水和沉積物的處理...以保護我國海洋生態系統」可以了解其目的在於保護該國水域免受壓艙水這種生物性污染物的影響，而這點並沒有因為主管機關的轉移而有所改變。

韓國在對壓艙水的管制上，完整的設立了專法並對壓艙水做出了明確的定義，將其認定為一生物性污染物，並有完整的配套措施以防範它的危害擴張，就現行的法條來看，除了在處理流程上有詳細的規定外，也針對情況不同的違法情形訂定了不同的罰則，甚至從檢驗人員的訓練場所規格亦有相應的要求。儘管從法條的規定內容，以及法條規定的檢驗標準上大體遵守壓艙水公約這幾點來看，可以知道韓國在壓艙水的立法上，確實受到了來自國際公約的壓力，但其在法律規定中還是保留了更動的彈性空間，以便在將來若該國海域環境有所變動，則可視環境保育的需求而透過法律的授權加以更動。

與中國的規制比較起來，韓國的法律規定在完整性上無庸置疑，就目前來看亦足以因應外來種透過船隻入侵的威脅，同時在面臨國際公約的標準時，亦不必擔心會因標準不一而影響他國船隻的進港意願，總體來說，作為一個與我國關係密切的鄰近國家，在我國未來制定壓艙水的管理辦法上，韓國是有許多值得參考與學習之處的。

### 5.3 國際上壓艙水管理趨勢分析

本研究藉由文獻收集之方式，收集各國目前之壓艙水管理執行方式實務，以瞭解國際上目前壓艙水管理趨勢，資料蒐集來源包括學術文獻、IMO 官網、各國航運主管機關官網資料、各國船籍社和其他相關資訊，蒐集到共 19 個地區 17 個國家目前對壓艙水管理的辦法並對各地區壓艙水管理彙整出表 5.1，表中明列出各地區壓艙水辦法的負責主管機關、壓艙水管理施行日期、辦法執行效力和是否是壓艙水

公約的締約國，由表中可發現到，目前有管理辦法且是壓艙水公約締約國的國家只有 5 個國家，除了秘魯、俄羅斯-新羅西斯克和烏克蘭這三個國家對壓艙水管理的效力是否為強制性不得而知，其餘國家除了澳洲以外，其他國家對壓艙水管理的效力皆屬於強制性的，而圖 5.1 呈現的是已有壓艙水管理之地區分佈。



圖 5.1 已有壓艙水管理辦法之地區分佈圖

表 5.1 已有壓艙水管理辦法國家資訊整理表

| 國家          | 主管機關             | 施行日期 | 執行  | 壓艙水處理方式                                                                 | 簽約壓艙水公約 |
|-------------|------------------|------|-----|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| 阿根廷         | 阿根廷海軍海岸警衛隊       | 1998 | 強制性 | 1.壓艙水交換 D1<br>2.處理系統處理 D2                                               | 無       |
| 阿根廷-布宜諾斯艾利斯 | 國家衛生部            | 1990 | 強制性 | 1.加氯氣到壓艙水艙 D2 (來自霍亂流行區域的船舶)<br>2.指定地區禁止排放壓艙水                            | 無       |
| 巴西          | 沿海港口局            | 2005 | 強制性 | 做兩次的壓艙水交換 D1                                                            | 有       |
| 澳洲          | 澳洲衛生檢疫局          | 1992 | 自願性 | 1.在大洋進行高風險壓艙水交換 D2<br>2.港口內禁止排放高風險壓艙水                                   | 無       |
| 加拿大         | 加拿大運輸部           | 2000 | 強制性 | 1.在專屬經濟海域以外區域做壓艙水交換 D1<br>2.處理系統處理 D2                                   | 有       |
| 加拿大-溫哥華     | 溫哥華港務公司          | 1998 | 強制性 | 1.在大洋做好壓艙水交換 D1<br>2.在特定情況下可進行豁免<br>3.禁止排放滯留在船上或者來自胡安德富卡海峽北側，瑞斯礁岩西部的壓艙水 | 有       |
| 喬治亞         | 喬治亞環境保護署         | -    | 強制性 | 進港船隻必須在黑海進行壓艙水交換 D1                                                     | 有       |
| 以色列         | 以色列交通部航港局        | 1994 | 強制性 | 視不同情況到不同區域做壓艙水交換 D1                                                     | 無       |
| 智利          | 智利海軍和智利海事安全與營運部門 | 1995 | 強制性 | 在深海進行壓艙水交換 D1                                                           | 無       |
| 南韓          | 海洋水產部            | 2013 | 強制性 | 壓艙水交換 D1                                                                | 有       |

|               |                 |         |     |                                                                                                                 |   |
|---------------|-----------------|---------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 立陶宛-<br>克萊佩達  | 港務局             | -       | 強制性 | 在波羅的海和北海做壓艙水交換 D1                                                                                               | 無 |
| 紐西蘭           | 初級產業部           | 1998    | 強制性 | 1.在大洋做好壓艙水交換 D1<br>2.高風險區域、水深很淺、螺旋槳容易攪起泥沙或有像霍亂之類疾病的水，都被禁止排放                                                     | 無 |
| 挪威            | 挪威海事局           | 2010    | 強制性 | 1.壓艙水交換 D1<br>2.處理系統處理 D2                                                                                       | 有 |
| 巴拿馬           | 巴拿馬運河管理局        | 1999    | 強制性 | 全面禁止排放壓艙水                                                                                                       | 無 |
| 祕魯            | 祕魯海岸警衛隊<br>當海事局 | 2006    | -   | 1.壓艙水交換 D1<br>2.處理系統處理 D2                                                                                       | 無 |
| 俄羅斯-<br>新羅西斯克 | 新羅西斯克港務局        | 2006    | -   | 進港船隻必須在黑海進行壓艙水交換 D1                                                                                             | 無 |
| 烏克蘭           | 國家保護黑海檢查局       | -       | -   | 壓艙水交換 D1                                                                                                        | 無 |
| 美國            | 海岸警衛隊、<br>環境保護署 | 2012    | 強制性 | 1.離岸 200 海里和水深 200 公尺處進行壓艙水交換 D1<br>2.使用美國批准的壓艙水處理系統 D2                                                         | 無 |
| 英國            | 奧尼克群島會議港務局      | 1998 以前 | 強制性 | 1 使用 Flotta 油碼頭和單點系泊(Single Point Mooring，簡稱 SPM)設施的船舶，其壓艙水必須透過在 Flotta 油碼頭所提供的接受或處理設施處理過後才能被允許排放<br>2.壓艙水交換 D1 | 無 |

## 5.4 我國船商對實施壓艙水管理法之因應措施

本研究已於前期計畫初擬船商對實施壓艙水管理法之因應措施，主要針對之議題分為五大項：(1) 對於公約 D1 和 D2 標準之立場 (2) 壓艙水交換區之劃設 (3) 移動式壓艙水處理設備 (4) 對未來法規修訂的意見 (5) 船舶及壓艙水處理設備置換率等。由於前期計劃中，小型船商之座談會或問卷調查之參與情形不高，亦有部分航商未曾聽聞壓艙水，對修法等議題亦興致缺乏。本次研究採用逐家拜訪航運公司之方式，以釐清各航運公司對我國未來實施壓艙水管理法未來之因應措施。

### 5.4.1 船舶基本資料

大多數受訪公司的船型以散裝輪居多，散裝輪類型很多種，常見的類型有小型散裝船噸位是 1 萬噸以下、適宜型 Handy 噸位是 2~3.5 萬噸、適宜極限型 Handymax 噸位是 3.5~7 萬噸、巴拿馬極限型 Panamax 噸位是 5~7 萬噸、海岬型 Capesize 噸位是 10~17 萬噸。每間公司的船舶數量不一，有些公司是剛成立不久，擁有的船隻為數不多，也有些公司會幫忙其他公司代營運幾艘特殊船舶，如：運煤船、油輪，而也有營運規模比較龐大的公司，公司擁有的船舶數量多達 121 艘。

### 5.4.2 船舶航行資訊

受訪的航商其船舶幾乎在世界各地都有航行，因為受訪公司以散裝輪為主居多，散裝輪在航行基本上航行路線都是不固定不定期的。主要載貨主要是看公司的船舶類型，不同類型的船舶所乘載的主要貨品種類也就會不太一樣，大部分公司因為是散裝輪居多，在前述內容也提到，散裝輪航行地區跟時間都不一定，所以裝載的貨品也就不一定，各式各樣的貨物都可能裝載。

### 5.4.3 壓艙水交換

大多數航商使用批次交換法(順序法)的方式進行壓艙水交換，也有部分航商採用連續沖洗法(溢流法)，亦或是這兩種壓艙水交換方式皆使用。受訪者 B 公司在受訪時對此做了詳細的說明，壓艙水使用的排放方式要視船型的設計，如果只有一條管路的話會採用批次交換法(順序法)，貨有兩條管路則會採用連續沖洗法(溢流法)，但是連續沖洗法(溢流法)並不能把壓載艙內所有的壓艙水完全排放交換，只能肯定的是壓載艙內 60%的壓艙水確定會被排放出去，至於其餘的 40%的壓艙水是否能被排放出去確實做到交換目前尚有疑慮存在。

關於壓艙水排放量視不同船舶和船舶大小而有所不同，大部分航商都表示是不同類型船舶和船舶大小，其壓艙水排放量也都會因而不同。受訪公司對此做了詳細的解說與舉例，像海岬型的船舶一個小時可排放 2,000 噸的壓艙水，輕便型的船舶一個小時可排放 900 噸的壓艙水，巴拿馬極限型一個小時可排放 18,000 噸的壓艙水，這些壓艙水在進行交換排放時都需要用到兩個泵浦作業。

關於壓艙水排放時間，大部分航商都表示是不同類型船舶和船舶大小，其壓艙水排放時間也都會因而不同，其中就有受訪者說到船舶壓艙水的排放時間依其攜帶的壓艙水總量及配置的壓艙水泵容積大小來決定。因此每艘船的船況與泵的配置不同，就會有不同的排放時間。舉例來說:如果是大艘的船舶，壓艙水總量 20,000 立方米，泵容積 1,000 立方米/小時(一般配置兩台運作)，排放時間 10~12 小時；如果是小艘的船舶，壓艙水總量 5,000 立方米，泵容積 450 立方米/小時(一般配置兩台運作)，排放時間 5~6 小時。

關於交換區的位置，所有航商都表示會依照公約規定，將船舶航行至離岸 200 里或 200 公尺水深處做壓艙水交換，若真找不到符合此條件之水域亦也會尋找離岸 50 里或 200 公尺水深處做壓艙水交換。另外也有受訪公司說到如果可以盡量在公海就先做好壓艙水交換，萬

一遇上狀況不好時先引水。

#### **5.4.4 壓艙水處理設備系統**

受訪的公司 17 家中已有 9 家公司船舶已有裝置壓艙水處理設備系統，雖然有其中兩家公司自家船舶沒裝置處理設備系統，但其公司幫忙代營運的船舶都有裝置。大多數航商均表示如果壓艙水公約法規通過定會願意配合加裝，有受訪者就表示有加裝的意願，近期正在向多家廠商詢價以及評估合適的壓艙水處理設備系統。另更有受訪者直接表示後續將再陸續採購 72 組壓艙水處理設備系統，可能選擇中國、韓國或瑞典出產的壓艙水處理設備系統，後續要加裝的船舶會以跑美洲航線的船舶作首要考量先加裝。然而也還是有少數幾家公司表示雖公司目前尚未裝置壓艙水處理設備系統，但這些船舶未來會陸續考慮加裝。也有的表示他們公司還在觀望中，因為目前美國的管制很嚴格，目前 USCG 認可的也只是替代性管理系統(AMS)，畢竟壓艙水處理設備系統價格也不太便宜，加上其他諸多考量因素，故不敢貿然裝置。

#### **5.4.5 對於公約 D1 和 D2 標準之立場**

綜合公約的規定，規則 D1 主張的是要到壓艙水交換區進行壓艙水交換，規則 D2 主張排放之壓艙水需符合壓艙水性能標準。本團隊依 D1 和 D2 標準之實施，提出三種可能：

##### **先進行 D1 管理再進行 D2 管理**

依照公約設計的時程，在公約還沒生效前，可以只做 D1，或 D1 和 D2 一起做也行。受訪航商們皆認為他們船隻在航行都以公約設計這樣的模式在進行，並沒有反對的意見，因為國際海事組織這樣規定，幾個地區如美國、澳洲和歐洲他們自己不管是否是為締約國成員也都有一套他們自己的規則在規範壓艙水這部分，船隻想要進出這些港口做貿易，就得按規定執行。

## **擱置 D1 管理而直接進行 D2**

考量台灣之立法速度管理曠日費時，待修法通過公約恐已生效多時，故擱置 D1 之管理而直接採用公約 D2 之規範，似乎是一個可以討論之方向，受訪大部分航商們討論的結果大部分都贊同直接採用 D2，因為他們現在所有船都已經在進行 D1，加上公約生效在即，公約生效 D2 勢必一定要做，所以對於這樣的想法他們是都非常贊同的。

另外，我們計劃在去年度的座談會中，航港局的人員也表示認為若現階段直接要所有航商所有船隻直接進行到 D2，這對一些規模不是那麼大型的航商來說，可能是個經濟上沉重的負擔。後續的訪談過程也發現，一些小規模航商認為直接進到 D2 太倉促，在經營成本上恐無力負荷，主張維持目前已在執行的 D1 模式是最合適的方案。

## **現階段先做 D1(澳洲模式)**

我國與澳洲一樣皆是非締約國，不受公約拘束。關於這部分所有航商皆表示現階段所有船隻都在做 D1，受訪的航商有 7 家比較建議之後仍繼續只採用 D1 就好，其餘航商都建議直接做 D2 就好，因為公約實施到最後就只會剩 D2，D1 僅是暫時之過渡措施，最多也只剩有五、六年適用，所以認為 D1 是不必要再去多考慮的。

台灣非聯合國會員國，無法簽署公約。然而，臺灣對國際公約一向採取自願性遵守之方式。未來若採取自願性遵守 BWM 公約，則在有必要的情形下，仍可繼續沿用壓艙水交換區域管理模式而不受 BWM 公約之約束，即必須在規定之期限進入 D2 之管理。在不受公約之約束現狀下，現階段僅做 D1 而 D2 部分未來考量我國之最大利益再作決定，是值得我國深思的因應模式。

## 5.5 壓艙水管理法制化之建構方式

航政機關對於本身作為壓艙水管理之相關權責機關並無不同意見，但仍認為不當的壓艙水排放對於海洋環境可能產生的威脅也是海洋環境保護應該處理之問題，因此環保主管機關亦應承擔部分管理權責，此外，如前所述，壓艙水排放標準仍涉及環境保護事項，在標準訂定方面仍需要相關環境背景資料作為基礎，因此期待未來能由環保主管機關訂定壓艙水管理之相關標準，港口管理機關則可以配合執行。再者，認為依照目前商港法的規定，航政機關對於不當排放壓艙水之行為並沒有裁罰的法律依據。

相對於此，環保署則表示壓艙水目前在《海洋污染防治法》中尚未能定義為「污染物質」，因此並非該法納入管制之項目，且壓艙水的管理並非屬於向來之環保業務，除非其中含有廢油、污水等已公告的污染物質。而且環保主管機關對於商港以外之海域範圍進行壓艙水排放之管制，在實際上的執行能力有困難。至於海洋巡防署則表示，其向來皆是依照法律規定配合相關權責機關進行執法。

相關業者則是認為船舶排放的污染物，若還留在船上應由航政主管機關管理，因為船舶設備、證書等均為航政機關的管理職責，但當壓艙水排放入海，造成污染時，則應屬環保署管理的事項。

對於未來船舶壓艙水管理法制化之建構方式，目前主要的討論有三種：1. 制定專法；2. 修正現行法令；3. 直接依據商港法第75條公告管理。

### 5.5.1 設立專法

亦即透過立法院三讀通過所制定之一部完整獨立之法律，藉以管理壓艙水排放之事宜。對此法制化模式表示贊同者，係認為壓艙水管理涉及眾多事項，包括抵港前壓艙水資料的申報、壓艙水排放標準的制定與檢驗、壓艙水處理設備的認證與查核等。此外，就目前各相關單位的業務而言，亦有重疊或權責劃分不明確的地方，因此需要透過一部擬定專法較能完善管理。或有認為不當壓艙水的排放將造成海洋環境的威脅，壓艙水所造成的生態問題與其他形式的海洋環境污染不

同，因此有必要以專法形式制定規範。

### 5.5.2 修改現行法律

我國《海洋污染防治法》第29條第1項規定，「船舶之廢（污）水、油、廢棄物或其他污染物質，除依規定得排洩於海洋者外，應留存船上或排洩於岸上收受設施。」與《商港法》第38條第1項「商港區域內，船舶之廢油水、廢棄物或其他污染物質，應留存船上或排洩於岸上收受設施。」，因此可以透過「其他污染物質」此一「不確定法律概念」的解釋，將壓艙水納入此處之「其他污染物質」，即可透過現行法規加以管制。

亦有部分認為壓艙水管理可比照其他船舶污染的管理方式，只要在現有相關法規中增修訂條文即可，例如對於壓艙水處理設備，可在《船舶法》中與船舶設備相關的章節增修條文；對於抵港前壓艙水資料申報，可在《商港法》中與船舶進出港申報規範中增修條文；對於壓艙水排放標準，可參考《海洋污染防治法》體系的放流水標準相關規範增修訂條文。

### 5.5.3 直接依據商港法第 75 條公告管理

最後，有認為可根據現行商港法第75條之規定，「商港安全及管理事項涉及國際事務者，主管機關得參照國際公約或協定及其附約所定規則、辦法、標準、建議或程式，採用施行」，直接公告管制事項，作為直接參照 BWM 公約來制定壓艙水規範的權力與空間。

不過採取此一立場者，主要係認為船舶應設置之壓艙水處理設施規定，可參照有關國際公約或協定及其附約所訂標準、建議、辦法或程序，予以採用、並發布施行，國內並不需要另外擬定專法，可直接依公約規範採行。然而，不明確的是，船舶應設置之壓艙水處理設施以外之規定，是否可依據商港法第75條予以公告管制，則不見清楚說明。此外，縱使採取此立場者，某程度似乎亦承認必須「立法」，因為所謂「立法」在行政法規當中，應包含憲法第170條所規定之「立法院三讀通過」之法律，以及法律授權行政機關發布之「法規命令」。而論者所謂參照 BWM 公約所訂之標準、建議、辦法或程序，予以採用、並發布施行，倘若商港法第75條被視為是「法律授權之依據」，

則其所發布施行者，其實就是法規命令。再者，國際公約為尊重各國家之主權，不可能鉅細靡遺地進行規範，因此各國仍須視各自國家之狀況與情形，訂定個別之管制程序以及細節事項之規範內容，因此第三種類型之法制化方式其實即是「依據法律授權訂定法規命令」，在此必須先予以釐清。

## 5.6 因應壓艙水公約法制化工作座談會之舉辦

本研究團隊於 104 年 9 月 17 日邀請到部分航運公司與航港局等有關部會人員，舉辦壓艙水公約法制化工作座談會以了解目前本團隊所預計進行的壓艙水修正草案對於政府機關間彼此的配合與執行問題，以及對目前航運公司所造成的影響。討論的議題主要分為四大項：(1)對於壓艙水公約中 D1 及 D2 標準之立場 (2)對海洋汙染法及相關法令之修正意見 (3)兩岸壓艙水處理之互免問題 (4)違反未來法規之罰則。以下就簡述參與者對各議題之討論結果。

### 5.6.1 對於壓艙水公約中 D1 及 D2 標準之立場

1.是否會有船商藉由提前換證之作法，使其能夠延長更換成 D2 壓艙水處理設備之時間？又，在緩衝期間內仍需 D1 之交換區，這方面應如何因應？

與會者提到關於換證之方面並無太大之問題，因五年緩衝期就是 IMO 為使得船商有因應之時間而特別放寬，是原本設定好的時程，故即便現有船商利用此時程也無妨，至於在 D1 與 D2 的處理問題上，與會者均同意壓艙水在緩衝期間需要有所管制，亦同意 D1 與 D2 管制並行之方式，不過對於 D1 中應設置之交換區域有不同的看法。

航港局方面認為根據目前的台灣地理形勢，並無符合壓艙水公約標準規定的交換區域，故就目前狀況而言，認離台灣 12 海里外為壓艙水的交換區域，只要在離台灣 12 海里外均可進行交換。與談者最後在此問題上達成的共識是，除了設定以本國 12 海里外為界外，尚須劃定另一條在其他國家之界線，形成一較大之交換區域，在此區域

內儘管不能完全符合壓艙水公約之建議交換區域，但必須能夠達成阻絕外來種進入台灣之結果。

2.針對 D1 與 D2 之問題，現行政府機關於執行上是否有配合上的困難？

航港局表示目前在 D1 壓艙水交換區的換水查核上，將會透過電子通報系統加以查核，同時在船隻入港後亦有登船查驗之配套措施，並把未確實執行的船隻列入黑名單，在未來入港時進行更嚴格的檢驗並以現行的罰則加以處罰。

至於在 D2 壓艙水檢驗標準之部分，航港局則表示未來會交由漁業署協助以訂出適合台灣水域環境之標準，若依目前國內缺乏相關壓艙水管制的經驗下，可能會先採用 IMO 之標準，嗣後再進行關之修正。

### 5.6.2 對《海洋污染防治法》及相關法令之修正意見

本研究團隊為使壓艙水能夠列入海汙法之管轄範圍，所採用之方式是透過修正現行《海洋污染防治法》第八條第二項條文為：「為維護海洋環境或應目的事業主管機關對特殊海域環境之需求，中央主管機關得依海域環境分類、海洋環境品質標準及海域環境特質，劃定海洋管制區及壓艙水交換區，訂定海洋環境管制標準及壓艙水排放標準，並據以訂定分區執行計畫及污染管制措施後，公告實施。」使壓艙水的排放標準訂定有法律上的授權依據。並增訂第八條第四項：「為預防海洋環境中之生物性污染，前項相關之壓艙水交換區劃定、壓艙水排放標準、採樣及檢驗程序和其他應遵行事項之管理辦法，中央主管機關得依海域環境特質，會同各相關機關定之。」使壓艙水管理辦法得以訂立。

而環保署則欲透過海汙法第八條第一項：「中央主管機關應視海域狀況，訂定海域環境分類及海洋環境品質標準。」直接依此制定壓

艙水的檢驗標準，但此海域分類及品質標準的訂定與壓艙水管理措施的訂定並無相關，無法從其中獲得訂定管理措施的授權依據。本研究團隊指出法令解釋上之問題，期望環保署旗下的法務單位能夠對此部分進行研討。

### 5.6.3 兩岸壓艙水處理之互免問題

就台灣目前的狀況而言，我國乃是屬於島國，因而周圍海域有多道洋流流經，和有大片陸地的大陸型國家海域相較之下，島國海域較難有大河夾帶大量營養鹽到海域中，進而使浮游生物大量增生的狀況，而這卻是極常在大陸型國家所發生的現象，在兩國海域環境不同的狀況下，是不能夠貿然進行互免的決定的。

### 5.6.4 違反未來法規之罰則

若照本團隊建議之修法方式與政府之管理模式，則未依規定通報之船隻會被列入黑名單並在下次入港時受到更高強度的查驗。若被發現違反現行法令之相關規定，則會被進一步科處罰鍰。

| 違規行為                | 違法之法令     | 繳納金額                 |
|---------------------|-----------|----------------------|
| 1. 未依規定通報進港者        | 照商港法之罰則處理 | 10萬-50萬元             |
| 2. 未依壓艙水排洩管理辦法進行交換者 | 違反海汙法第29條 | 30-150萬元(海汙法第53條之罰則) |
| 3. 未符合壓艙水之汙染管制措施    | 違反海汙法第8條  | 20-100萬元(海汙法第42條之罰則) |

圖 5.2 違規可能會被科處的罰則內容

## 5.7 我國壓艙水管理與執行作業標準化之研擬

據本團隊於先前幾年之研究結果，並考量到壓艙水本質上為一生物性污染物的來源，同時並比較參酌國外與國內之法制狀況之後，本研究認為目前於台灣最適合之管理方法，乃是透過修訂現行法律將壓艙水列入《海洋污染防治法》之管制範疇中，同時對《商港法》、《船舶法》以及其子法《商港港務管理規則》、《船舶設備管理規則》相關規定作成解釋函令與進一步透過增修條文內容的方式，以補足現行法令之不足。

而為使壓艙水管理與執行作業能標準化，在修正後之《海洋污染防治法》架構下，可依照第 8 條第 4 項訂定《壓艙水管理辦法》，以規範壓艙水交換區劃設、壓艙水排放標準、採樣及檢驗程序等。而以下就是本研究團隊擬出的《壓艙水管理辦法》草案：

第 1 條：本辦法依《海洋污染防治法》第八條第四項規定訂定之。

第 2 條：壓艙水之管理，依本辦法之規定；本辦法未規定者，適用其他有關法令之規定。

第 3 條：本辦法所稱之壓艙水，指為控制船舶橫傾、縱傾、吃水、穩性或應力而加裝於船舶上之未經適當設備處理或在規定水域進行交換之水及其所含之懸浮物質。

前項規定水域由目的事業主管機關經評估後公告之。

第 4 條：壓艙水之管理，商港外之污染排放管制及壓艙水排放標準訂定之事項，主管機關為環行行政院環境保護署；入港通報流程及商港內之污染排放管制之事項，主管機關為中央航政主管機關。

第 5 條：船舶進入港區前，若無壓艙水處理設備者，應於交換區域進行壓艙水交換並依相關法令進行申報。

前項所指之相關法令意指商港法、船舶法與其子法。

第 6 條：船舶對壓艙水之管理，應遵照分級管理制度（見附錄九）執行。

第 7 條:船隻須備齊壓艙水計畫書及壓艙水紀錄簿並應分別記明以下之資訊:

一、船艙壓艙水管理計畫書應載明以下各款之事項。

(一)船艙壓艙水管理之相關船員及船舶安全。

(二)船艙壓艙水管理要件及程序。

(三)沉積物排放程序。

(四)與航港單位協調排放船艙壓艙水之程序。

(五)負責船員之指定。

(六)壓艙水管理相關國際協約規定之報告事項。

(七)壓艙水管理所需之必要訓練及教育。

二、船艙壓艙水管理記錄簿應依以下各款之順序撰寫並記錄內容

(一)注入船艙壓艙水

(二)管理壓艙水進行之循環處理或處置

(三)排放船艙壓艙水入海

(四)排放船艙壓艙水至處理設施

(五)事故或其他緣故造成壓艙水意外之注入或排放

(六)附加之啟動程序及備註

第 8 條:為確保經設備處理過之壓艙水無污染海域環境之風險，航港局之檢驗人員得登船針對壓艙水進行定期採樣與抽驗，而檢驗之結果應符合主管機關所訂定之標準。

前項之壓艙水檢驗標準，可基於海域環境保護之需要於評估後進行調整並公告周知。

第 9 條:檢驗人員於採取船舶壓艙水時，應依照主管機關公布之程序為之。

第 10 條:船舶之擁有者，應對執行壓艙水管理系統之船員施以下列之教育訓練：

一、船艙壓艙水管理相關之國際協約內容。

二、船艙壓艙水及沉積物之管理程序。

三、船艙壓艙水管理計畫書之應用。

四、船艙壓艙水管理記錄簿之撰寫。

五、壓艙水處理設備之操作。

第 11 條：本辦法所列書表、格式，由中央主管機關定之。

第12條：本辦法自發布日施行。

## 5.8 小結

研究團隊目前發現，就台灣鄰近國家而言，均有針對壓艙水的管制措施，儘管這些管制的法令寬嚴不一，甚至有些管制措施未必能夠達到環境保護的目的，就中國而言，從該國壓艙水管制法令的內容觀之，其體制仍嫌混亂，尚未在法規中明確定義壓艙水究竟應屬於待檢疫物品亦或是夾帶外來種的生物性污染物。而就韓國來說，該國對於壓艙水管制的態度一致，從立法時就明確認定壓艙水為一生物性污染物，並制定管理的專法，儘管韓國的壓艙水管制法令在檢驗標準與管制措施上，大多仍遵守國際公約的標準，但在立法之時，韓國仍在壓艙水管制上保有修訂的空間，此外，從法令的完整度上，韓國亦堪稱完善，從細密的罰則甚至到檢驗人員的訓練規範均有完整的規定配合，此點是值得我國在未來制定法律上參考與學習的。

至於從本年度對公司的訪談狀況來看，可以發現部分公司在執行 D2 上是有困難的，倘若直接採取 D2 直接使用壓艙水設備的規定，則會對這些船商在經營上受到不小的衝擊，同時到我國港口的船隻狀

況各有不同，極可能會遇到無壓艙水處理設備，但卻必須排放壓艙水的狀況，因此仍須保留 D1 的處理程序作為應變的措施。此外，各國水域環境歧異，國際壓艙水公約的標準只是一個防範的最大公約數而已，若要達到完整保護海域環境的目的，仍需要在法令中預留調整的空間，而非一味的完全遵照國際公約。此外，本次壓艙水公約法制化之座談會，可以看出政府單位對於各個主要議題的看法，對於現有海洋汙染法及相關法令的修正上，政府機關與船商等與會者，均抱持肯定意見，認為壓艙水的管理法制化對維護台灣海域環境而言是有必要的且為國際趨勢。此外，與會者也認為壓艙水公約中 D1 及 D2 措施二者有採用之必要，亦同意 D1 交換區的設置，惟在交換區的設置與管理的執行上有不同的意見，部分與會者認為由於台灣海域並不具有壓艙水公約中所認定的"可交換海域"，故只需在離台灣沿岸 12 海里外交換即可。

對於壓艙水的管理法制化，本團隊的建議是在修正過《海洋污染防治法》第八條架構下進行：「為預防海洋環境中之生物性污染，前項相關之壓艙水交換區劃定、壓艙水排放標準、採樣及檢驗程序和其他應遵行事項之管理辦法，中央主管機關得依海域環境特質，會同各相關機關定之。」亦即未來的壓艙水管理會依照修正後的海汙法所訂定之《壓艙水管理辦法》執行，而《壓艙水管理辦法》其內容從交換區之設定、壓艙水排放標準、採樣及檢驗程序均包含在內，且辦法自總則便列明其目的與主管機關，同時亦列名管制之手段，包含了通報的程序以及壓艙水紀錄簿上應列明之事項等，以明白進入我國的壓艙水是從何處流入，並對高風險壓艙水做出管制。

除了要求記錄壓艙水的來源外，《壓艙水管理辦法》亦制定了壓艙水檢驗標準與流程之細節性規定，並期望透過此規定確保壓艙水處理設備能發揮作用，以隔絕可能進入台灣海域的有害水中生物。此外，本辦法為避免有漏未規定之情況，亦有相關規定，使在壓艙水管理上的相關法令如《商港法》與《船舶法》等法令，能扮演輔助之角色，共同達成壓艙水管理之目的。

## 第六章綠色港灣結構可循環波能轉換分析

本研究第五個子題主要是本所與國立中山大學李賢華教授之合作研究計畫，本研究的目的是以可再生之綠能系統應用於港灣結構系統中，一方面對於結構體可產生保護作用，另一方面將負面作用之能量轉換成可資利用之能源，可謂一舉兩得，並能有效的協助建構綠色港灣系統。藉由瞭解海洋波浪與海洋結構互制作用之機制，建立起港灣結構與海洋波浪間之友善關係，將海洋能特別是由波浪作用於港灣結構造成結構振動的能量，進一步加以利用轉換成有用的能源，該能源之利用可包括轉換成電力或將波浪能轉化為其他型式之能源儲存使用。另一方面亦能降低港灣結構物在海洋環境下之運動，使得港灣構造物更加平穩、船舶繫靠或用具之操作也更加便利。

基於上述研究目的，本節就主要就沉箱堤為基礎之波浪發電轉換系統之參數分析，實體模型設計及水工試驗規畫，及實際案例設置於台灣港口之分析與水工試驗比較等三主題，並作一簡單說明如下。

### 6.1 計畫概述

海洋工程設施之投資一向非常龐大，如水深較深之防波堤每公尺造價達百萬元，堤外拋石及消波設施之費用亦所費不貲，在經濟效益上可節省工程建設及維護費用。本計畫屬於創新前瞻、技術開發之研究，藉由其研究成果不僅可促成學界合作研究，亦可作為政策施政之依據，以改善海洋環境品質，整體研究過程與成果不僅可培育相關人才，亦可增進公共服務設施之品質與效能，並提供功能性較高之港灣結構物，讓台灣進一步邁入更高品質公共建設的時代。

#### 6.1.1 本計畫目的及其重要性

根據國際能源署可再生能源工作小組，所謂綠色能源是指「從持續不斷地補充的自然過程中得到的能量來源」，舉凡如潮汐能、波浪能等，係大自然中取之不盡，用之不竭的能源，一般具有可回收或可再生的特性。

近年來，由於氣候變遷帶來的大自然警訊，讓各國政府紛紛開始思考節能減碳的重要性，有些國家轉而投資於核能發電希望達到減碳的效果，但此舉卻因 2011 年 3 月 11 日發生的日本福島核災，讓許多國家原本信心十足的擴建核廠計畫再次受到質疑，因而使綠色能源受到各國學術、政府單位高度重視，使其具有更大的發展空間。

綠色能源需具備可恢復、可補充以及污染低的特性，而更廣義的說，綠色能源於生產或使用中能降低對於環境的影響。地球上海洋面積佔 71%，而陸地僅 29%，海洋蘊藏豐富的資源與能量，所以充份利用海洋的能量，是人類解決能源危機的一個很好的選擇。海洋能主要包括潮汐能、波浪能、洋流能等動能量和海洋溫差能、海水鹽差能、海洋滲透能等，全世界海洋能的蘊藏量很大，且海洋能源是取之不盡用之不竭的可再生能源，但要面臨的問題也相對的複雜，諸如鹽水的高腐蝕性，甚至有些設備需能承受深海的高壓環境等都需仰賴高成本及技術支援。

### 6.1.2 海洋能源的利用

1. 潮汐能源：潮汐發電之原理為利用海水潮差驅動水渦輪機來發電。台灣沿海之潮汐，最大潮差發生在金門、馬祖外島，約可達 5 公尺潮差，較具有發電之潛力。台灣西部海岸大都是平直沙岸，圍築構造體來儲存漲退潮的海水，需花費較大之工程成本，但是若利用現有港灣地形來開發，在潮差較大的地方如台中港，仍具有相當之潛力。金門和馬祖在天然條件上發展潮汐發電則具有相對優勢。
2. 海流能源：海流發電是利用海洋中海流的流動推動水輪機發電，一般均在海流流經處設置截流涵洞的沈箱，並在其中設置一座水輪發電機，視發電需要增加多個機組，惟於每組間需預留適當的間隔以避免紊流互相干擾。
3. 波浪能源：海洋波浪是由太陽能源轉換而成的，因為太陽輻射的不均勻加熱與地殼冷卻及地球自轉造成風，風吹過海面又形成波浪，是海洋能源中能量最不穩定的一種能源。波浪能是指海洋表面波浪所具有的動能和勢能，水團相對於海平面發生位移時，使

波浪具有勢能，而水質點的運動，則使波浪具有動能。波浪的能量與波高的平方、波浪的運動週期以及迎波面的寬度成正比，能量傳遞速率和風速有關，也和風與水相互作用的距離（即風區）有關。貯存的能量通過摩擦和湍動而消散，其消散速度的大小取決於波浪特徵和水深，深水海區大浪的能量消散速度很慢，從而導致了波浪系統的複雜性，使它常常伴有局地風和幾天前在遠處產生的風暴的影響。

### 6.1.3 台灣海洋能源的利用及波浪能源的發展

台灣四面環海且因屬海島性氣候，沿海地區之波浪受季風影響終年持續不斷，在海洋環境方面大致可分為東、西兩個部分。台灣東臨太平洋，水深可達數千公尺；西面台灣海峽，水深則僅約 200 多公尺；北方海域和東海相接；南方則與巴士海峽相鄰。冬天時，台灣有東北季風的吹拂，而夏天則有西南季風影響，造成海面的擾動及混合，在這樣的往復作用下，風浪、湧浪之形態相當複雜多變。基於上述因素，波浪能源的蘊藏量可說是十分豐富。

波浪發電的部分以台灣東北角龍洞的波能最高達 11.56kW/m，其次較高者為澎湖、東吉島、國光平台與成功測站，均達 9kW/m 以上。以目前波浪發電技術，波浪能量大於 10Kw/m 就具有開發價值。因此，東北角海域、鵝鑾鼻外海、花蓮外海、以及澎湖西北海域均具有波浪發電之潛能，總合上述各點我們便以波浪能發電作為海洋能發電主力進行後續之評估發展，期望能將台灣得天獨厚的海洋能優勢做到最佳的發展應用。

波浪發電是波浪能利用的主要方式，除此之外，波浪能還可以用於抽水、供熱、海水淡化以及製氫等。波浪能利用的關鍵是波浪能轉換裝置。通常波浪能要經過三級轉換：第一級為受波體，它將大海的波浪能吸收進來；第二級為中間轉換裝置，它優化第一級轉換，產生出足夠穩定的能量；第三級為發電裝置，與其它發電裝置類似。

## 6.2 波浪發電複合式防波堤波能擷取相關參數分析

本研究在進行造波水槽試驗前，必須先進行試驗模型之設計及分析，以便試驗時所建立之模型能達到最佳設計目的。除了基於試驗模型設計之需求之外，試驗時各項參數之設定，在試驗水槽各項環境條件限制下，找出適當之參數進行試驗，以及配合模型幾何參數，計算出較佳之波浪參數，均為進行試驗前之重要工作。

參數分析時，本研究選定三組波高以及五組波浪週期，波高分別為：1.5米、2米、2.5米；波浪週期為：6秒、7.5秒、9秒、10.5秒、12秒；本研究設計之波浪發電複合式防波堤的幾何參數，如均採用變數方式，其分析工作將無法在一定時間內完成，故大部分之幾何參數先固定如表6-1所示，相關幾何參數示意圖如圖6.1所示。現今岸基式震盪水柱式波能轉換系統(OWC)之相關研究，所採用之模型皆以類似圖6.1中之型式為主，如圖所示，水柱氣室前牆開口到海床下為全開口狀態。為探討在波浪作用下OWC幾何參數對波能轉換結果之差異，本研究除了探討前牆開口沒水深度之影響外，幾何變數中亦考慮氣室長度(氣室長度是指與波長同向之氣室邊長)之影響，上述兩項變數皆定為入射波浪條件之相對值，因此兩者可以無因次表示，其兩者之設定分別為：

(1) 無因次氣室長(A)：

氣室長度分別為入射波長之0.125、0.15、0.175倍，其無因次化後本研究以A125、A150、A175表示，其數值如表6-2所示。

(2) 無因次前牆沒水深(D)：

考慮到前牆開口處必須永遠低於水位，因此設置前牆沒水深分別為入射波高之2倍、3倍、4倍，無因次化後本研究以D2、D3、D4表示，其數值如表6-3所示。

(3) 堤前海床坡度變化：

堤前之海床坡度可能造成反射率的增減，直接影響了進入沉箱式防波堤結合波能轉換系統的波浪能量大小，本階段計畫也針對此部分在固定波浪條件下進行試驗模擬，並設計了五種不同堤前海床情形，為無斜板、斜率 1:1、斜率 1:2、斜率 1:4、及平面。

表 6.1 固定幾何參數表

|        |                  |
|--------|------------------|
| 出氣孔直徑  | 1.2m             |
| 氣室蓋水面積 | 50m <sup>2</sup> |
| 壁厚     | 0.5m             |
| 外部高    | 25m              |
| 水深     | 20m              |

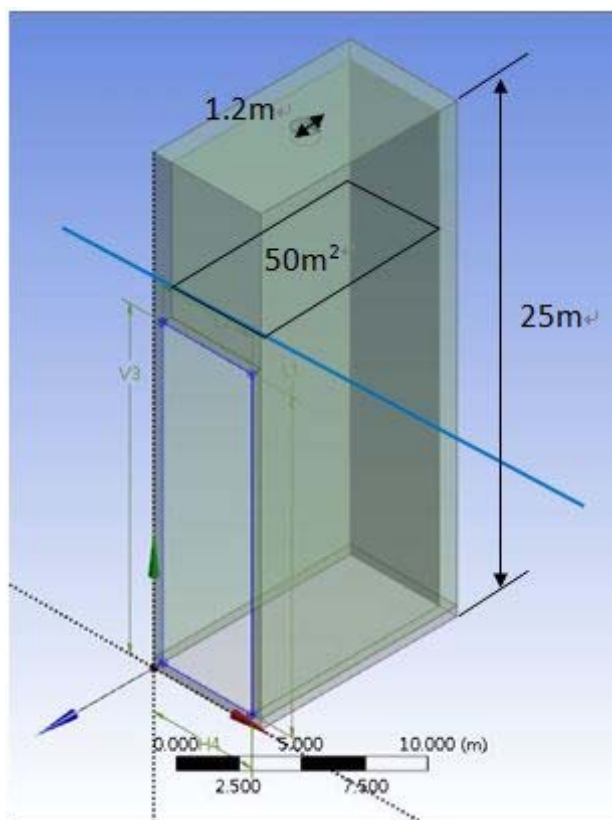


圖 6.1 固定幾何參數示意圖

表 6.2 無因次氣室長數值表

|                                                |      |        |      |         |       |
|------------------------------------------------|------|--------|------|---------|-------|
| <div> <div>波浪週期</div> <div>無因次氣室長</div> </div> | T=6s | T=7.5s | T=9s | T=10.5s | T=12s |
|------------------------------------------------|------|--------|------|---------|-------|

|      |       |        |        |        |        |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|
| A125 | 6.79m | 9.96m  | 13.16m | 16.28m | 19.25m |
| A150 | 8.15m | 11.95m | 15.79m | 19.53m | 23.10m |
| A175 | 9.50m | 13.94m | 18.42m | 22.79m | 26.95m |

表 6.3 無因次前牆沒水深數值表

| 波高<br>無因次<br>沒水深 | H=1.5m | H=2m | H=2.5m |
|------------------|--------|------|--------|
| D2               | 3m     | 4m   | 5m     |
| D3               | 4.5m   | 6m   | 7.5m   |
| D4               | 6m     | 8m   | 10m    |

## 6.3 實體模型設計及水工試驗規畫

根據數值模擬研究，嘗試以實體模型設計及水工試驗規畫，來探討數值模擬之成果與水工模型試驗之結果，進行相關探討及比較。本實驗利用本系水工實驗室中之斷面水槽進行試驗，以模型相似理論來設計試驗縮尺，並採用厚度為 1cm 壓克力板的材料製作模型。

### 6.3.1 模型相似理論及縮尺

在水工模型試驗的設計與規劃中，模型(model)與實體(prototype)必須同時滿足幾何相似(geometric similarity)、運動相似(kinematic similarity)及動力相似(dynamic similarity)。就動力相似而言，結構物在實際海洋中所受的外力有：浮力、重力、慣性力、流阻力及纜繩彈性張力等，但是可以同時考慮這些外力的動力相似條件並不存在。所幸，這些外力中只有少數是主導結構物運動，因此可由流場中的主要作用力來決定採用之動力相似參數，其餘的外力則盡可能地減低它的影響，在本研究的問題中，其最重要的外力為重力及慣性力，故可由福祿數(Froude similarity)為動力相似之主要依據，如(6.1)式所示：

$$F_r = \sqrt{\frac{\text{inertial force}}{\text{gravity force}}} = \sqrt{\frac{\rho L^2 V^2}{\rho L^3 g}} = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (6.1)$$

其中  $V$  為流速， $g$  為重力加速度， $L$  為長度， $\rho$  為比重， $Fr$  為福祿數。

則模型(model)與實物原型(prototype)的關係如(6.2)式所示：

$$\left[ \frac{V}{\sqrt{gL}} \right]_m = \left[ \frac{V}{\sqrt{gL}} \right]_p \quad (6.2)$$

其中  $m$  表示模型(model)； $p$  表示原型實體(prototype)。假設本文定義之模型比例縮尺(scale ratio)為 $\lambda$ ，則 $\lambda$ 表示如(6.3)式所示：

$$\lambda = \left( \frac{L_m}{L_p} \right) \quad (6.3)$$

由模型與實體之關係式(6.2)式，可以推導出下列物理量的比例縮尺關係式(6.4)至(6.8)式：

$$\text{面積縮尺} : \frac{A_m}{A_p} = \frac{L_m^2}{L_p^2} = \lambda^2 \quad (6.4)$$

$$\text{週期縮尺} : \frac{T_m}{T_p} = \sqrt{\lambda} \quad (6.5)$$

$$\text{波高縮尺} : \frac{H_m}{H_p} = \lambda \quad (6.6)$$

$$\text{質量縮尺} : \frac{M_m}{M_p} = \frac{\rho_m \times L_m^3}{\rho_p \times L_p^3} = N_D \lambda^3 \quad (6.7)$$

$$\text{波浪力縮尺：} \frac{F_m}{F_p} = \frac{M_m \times g_m}{M_p \times g_p} = \frac{\rho_m \times L_m^3 \times g_m}{\rho_p \times L_p^3 \times g_p} = N_D \lambda^3 \quad (6.8)$$

其中  $N_D$  為密度縮尺比例，因為海水與淡水的密度相近，因此假設

$N_D = 1$ ，而模型與實體所受重力相同，故可假設  $g_m = g_p$ 。有了上述

相似理論後便可開始模型之製作，在決定模型尺寸前還需考量整體試驗設備。本實驗所使用的試驗水槽長 35 公尺、寬 1 公尺、高 1.2 公尺，試驗建議水深為 0.5 公尺至 0.8 公尺。考慮花蓮港現地實際水深為 15 公尺及本單位實驗室之規模，設計以 1/25 縮尺進行水工模擬試驗，高雄港則以 1/15 縮尺進行水工模擬試驗。如(6.9)式所示。

$$\frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{25}, \frac{1}{15} \quad (6.9)$$

### 6.3.2 實驗模型製作

根據福祿數(Froude number)相似理論方可開始實施模型之製作，實際水深為 15 公尺，模型試驗水深為 0.6 公尺，故本實驗採 1/25 為縮尺。設計防波堤式震盪水柱模型，共包含 4 個氣室，其總長為 26cm、寬為 4 個氣室寬(81cm)加上左右兩邊擋水板(5cm\*2)，總寬為 91cm、高 100.5cm，以及於模型前方架設斜率為  $\tan\alpha$  之斜坡面( $\tan\alpha$  為 1/1, 1/2, 1/4, 及無斜板)，如圖 6.2 所示。材質為壓克力板，厚度 1cm 方形，接縫處均用防水膠接合以避免透水。

### 6.3.3 實驗儀器及設備

本實驗是利用國立中山大學海洋環境及工程學系水工實驗室中之斷面水槽，其實驗儀器設備如下：

(1) 造波水槽(wave tank)與造波機(wavemaker)

斷面水槽長 35 公尺、寬 1 公尺、高 1.5 公尺，水槽前端配置活塞式規則造波機一部，以 AC 伺服馬達，藉由數位類比卡 (AD/DA) 控制造波板前後運動。而水槽末端有孔隙率約 98% 不鏽鋼消波斜板三片其反射率為 8 %，並設有雙向造流系統，最大流速可達 20cm/m，兩側為透明之強化玻璃，可以目視波浪狀況，底床為光滑之不鏽鋼底板。本實驗模型設置於造波板前 20 公尺處，由造波機造出規則重力前進波，如圖 6.4 至圖 6.5 所示。

## (2) 電容式波高計

本實驗使用五支波高計，其中一支波高計放置於造波板前 8 公尺，而其中三支分別放置於模型前端 1.6 公尺、1.15 公尺及 0.7 公尺處，還有一支波高計放置於模型氣室內部。

由擷取之波高差數據經換算轉換，分別求得實驗所造出入射波、反射波及模型氣室內部之波高，可精確記錄波高變化，如表 6-7 所示。

## (3) 訊號增幅器(Amplifier)

為六頻道式之波高增幅器，用來供應波高計電源與放大波高計量得水位變化的電壓訊號，輸出電壓範圍為 0~5V。

## (4) 資料擷取器

為數位類比擷取卡(AD/DA)，採用研華PCI.1710.HG 內建16個類比輸入、Analog input頻道與2 個類比輸出(Analog output)頻道，可用來擷取波高計的資料與輸出訊號控制造波機運動。

## (5) 電腦

共二部各安裝一張 AD/DA 卡，其中一部用來控制造波機，另一部用來擷取波高計、張力、電壓資料與攝影機的影像。

## (6) 氣流速度計

測量範圍：5.1至25公尺/秒，1.8至72公里/小時，9.7至38.8哩/小時40至3940英呎/分鐘。

## (7)轉速計

測量範圍：10.00-99999 轉/分鐘，準確度0.04%±2 dgts。

#### (8)威爾斯葉扇

無論風力由哪邊吹入，此種渦輪都保持相同的旋轉方向，一組安裝於馬達發電，另一組則測試轉速。

#### (9)電動馬達

直流馬達，量測負載轉速及初步發電使用。

#### (10)示波器

型號TDS2002B，量測範圍：波道2，頻寬60MHz，取樣頻率1.0GS/s。

### 6.3.4 實驗佈置

首先架設模型於造波水槽內，波高計位置分別距造波機8m 以及18.4m、18.85m、19.3m之處，模型中心點離造波板的水平距離為20m，而第五支波高計則置於模型氣室內部中間距離造波機20m處，量測轉速時，轉速計架設於開上方約10cm處，威爾斯風扇及馬達架設於洞口。量測氣流時，氣流速度計則置於模型氣室上方出風口處，必要時並將布置氣壓計於氣室內。實驗水槽示意圖如圖6.3所示。Goda(1976)兩點法建議的波高計設置相關位置由(6.10)式表示：

$$L_{min} = \frac{\Delta l}{0.45} < L < \frac{\Delta l}{0.05} = L_{max} \quad (6.10)$$

上式中，波高計間隔 $\Delta l$ 與波長 $L$ 兩者關係， $\Delta l$ 不能為半波長整數倍，波高計與結構物之距離為 $x > 0.1L$

### 6.3.5 實驗波浪條件

設計實驗波浪條件時，需盡量滿足數值模擬簡化後之波浪場條件，以免因非線性效應過大而造成影響。郭(1995)在海洋工程中提到

線性波理論的限制：

$$\frac{L^2 H}{h^3} \ll \frac{32\pi^2}{3} \quad (6.11)$$

$$\frac{H}{L} < \frac{1}{16} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (6.12)$$

其中  $L$  為波長， $H$  為波高， $h$  為水深， $\frac{L^2 H}{h^3}$  為 Urell 參數， $\frac{H}{L}$  為波浪尖銳度(wave steepness)。

### 6.3.6 實驗參數設定

本實驗使用模型，尺寸長、寬、高各為 26cm、81cm、100.5cm 及斜率為 1：1、1：2、1：4 及 Slope 0 之斜坡面，實驗有六組不同週期，五組不同波高，以及高雄港與花蓮港示性波高與週期，如表 6-5 所示，對同一試驗模型，將進行 32 組不同波浪參數之實驗。

#### 改變參數

週期(T)1、1.2、1.4、1.6、1.8、2 sec，波高(H)4、6、8、10、12 公分，花蓮港週期(T)1.6 sec，波高(H)5.2 公分，高雄港週期(T)1.75 sec，波高(H)6.25 公分

#### 固定參數

結合防波堤式坡能轉換系統模型之相關尺寸參數，如表 6-6 所示。此為初步設計之縮尺模型，待初步試驗結果分析後，將依經費所能提供之最大範圍進行相關尺寸之改變，其中較為重要者將包括：(1)、進水口位置、大小及與之尺寸關係變化；(2)、氣孔數量、大小與氣室大小及數量之尺寸關係變化；(3)、沒水深度及波高尺度關係變化；(4)、氣室沿著入射波浪縱深與波長之尺度關係變化等。

### 6.3.7 實驗步驟

打開造波機暖機，由於開啟時機械內部運轉會使得內溫度慢慢升高，因此待開機至少30分鐘(安定時間)後內部溫度趨於穩定時再開始操作，可避免溫度變化影響造成訊號不穩定。

本實驗所蒐集數據主要為波高資料、氣流速度資料、有無負載之轉速及初步發電效能，分析時除了瞭解氣室內為波高變化、通氣口氣流速度、風扇轉速、發電效能及堤前斜板斜率變化外，波浪之反射率與傳統沉箱式碼頭之差異亦將予以考慮。

#### 一、 波高計量測

將水注入實驗水深，分別率定波高計及量測波高，設定輸入波高及週期造出的規則波，利用資料擷取系統得到波高計上所量測到的電壓值，擷取頻率為 32Hz，記錄時間為 60sec。

波高率定：架設波高計於設計位置，調整波高計的沒水深度，確保實驗中所量測的最高水位(波峰)與最低水位(波谷)的電壓值於有效線性範圍內(0 ~ 5 v)，利用抽水馬達控制水位，分別紀錄四次不同水位下的對應的穩定電壓值，做水位與電壓的一次線性回歸線完成率定。

#### 二、 氣流速度量測

將氣流速度計設置於波能轉換沉箱氣室上方出氣口，擷取量測到的氣流速度值，並於試驗後進行數據的讀取分析。

#### 三、 無負載之風扇轉速量測

將威爾斯風扇架設於波能轉換沉箱氣室上方出氣口，轉速計則架設於氣口上方15cm處，其中一片扇葉黏貼轉速計反光貼片，以轉速計記錄數值，並於試驗後進行數據的讀取分析。

#### 四、 有負載之風扇轉速與發電量量測

將威爾斯風扇與馬達架設於於波能轉換沉箱氣室上方出氣口，轉速計則架設於氣口上方15公分處，其中一片扇葉黏貼轉速計反光貼片，使轉速計得以記錄數值，馬達串聯電組、Led燈泡並和示波器並聯量得電壓讀數，並於試驗後進行數據的讀取分析。

**表 6.4 實驗儀器與設備一覽表**

| 實驗設備與儀器 | 數量  |
|---------|-----|
| 造波水槽    | 1 座 |
| 造波機     | 1 台 |
| 波高計     | 5 支 |
| 訊號增幅器   | 1 組 |
| 擷取卡     | 2 片 |
| 電腦      | 2 部 |
| 氣流速度計   | 1 支 |
| 轉速計     | 1 支 |
| 威爾斯風扇   | 2 支 |
| 電動馬達    | 1 組 |

**表 6.5 模型與實體縮尺表**

| Parameter  | Model   | Prototype |
|------------|---------|-----------|
| 週期 T(sec)  | 1 sec   | 4 sec     |
|            | 1.2 sec | 4.8 sec   |
|            | 1.4 sec | 5.6 sec   |
|            | 1.6 sec | 6.4 sec   |
|            | 1.8 sec | 7.2 sec   |
|            | 2 sec   | 8 sec     |
| 波高 H(cm/m) | 4 cm    | 0.64 m    |
|            | 6 cm    | 0.96 m    |
|            | 8 cm    | 1.28 m    |
|            | 10 cm   | 1.6 m     |
|            | 12 cm   | 1.92 m    |

表 6.6 模型與實體縮尺表

| parameter     | Model.1   | Model.2     |
|---------------|-----------|-------------|
| 模型總長          | 26 cm     | 26 cm       |
| 模型總寬          | 81+10 cm  | 81+10 cm    |
| 模型總高          | 100.5 cm  | 100.5 cm    |
| 氣室下方開口(寬*高)   | 19cm*19cm | 19cm*53.5cm |
| 氣室內部長         | 24 cm     | 24 cm       |
| 沒水深(靜水深至開口上緣) | 6 cm      | 6 cm        |
| 出風口直徑         | 7 cm      | 7 cm        |
| 氣室連通洞直徑       | 2 cm      | 2 cm        |

表 6.7 波高計規格表

|           |                     |
|-----------|---------------------|
| 線性度       | 0.5% FS             |
| 反應時間      | 2ms                 |
| 線性度斜率溫度效應 | < 0.01% (25°C~31°C) |
| 穩定度       | 500 mv/24H          |
| 量測波高範圍    | 0.005m ~ 0.45m      |
| 訊號電纜線最大長度 | 100m                |
| 輸出訊號      | 0 ~ 5V              |





圖 6.4 造波水槽



圖 6.5 造波機



圖 6.6 模型實體

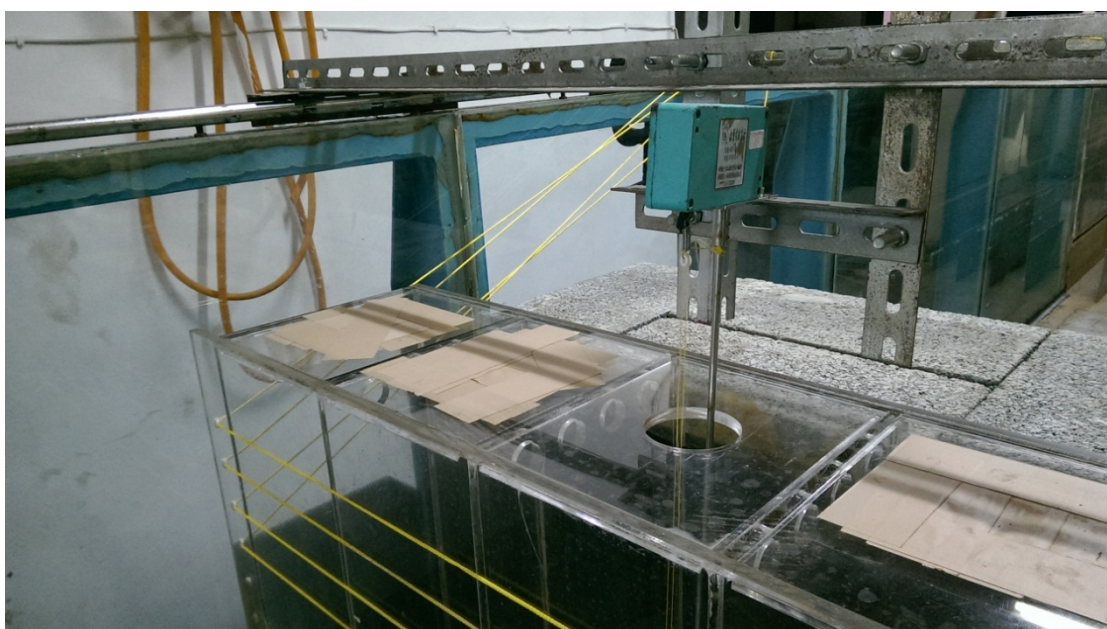


圖 6.7 內部氣室波高計位置

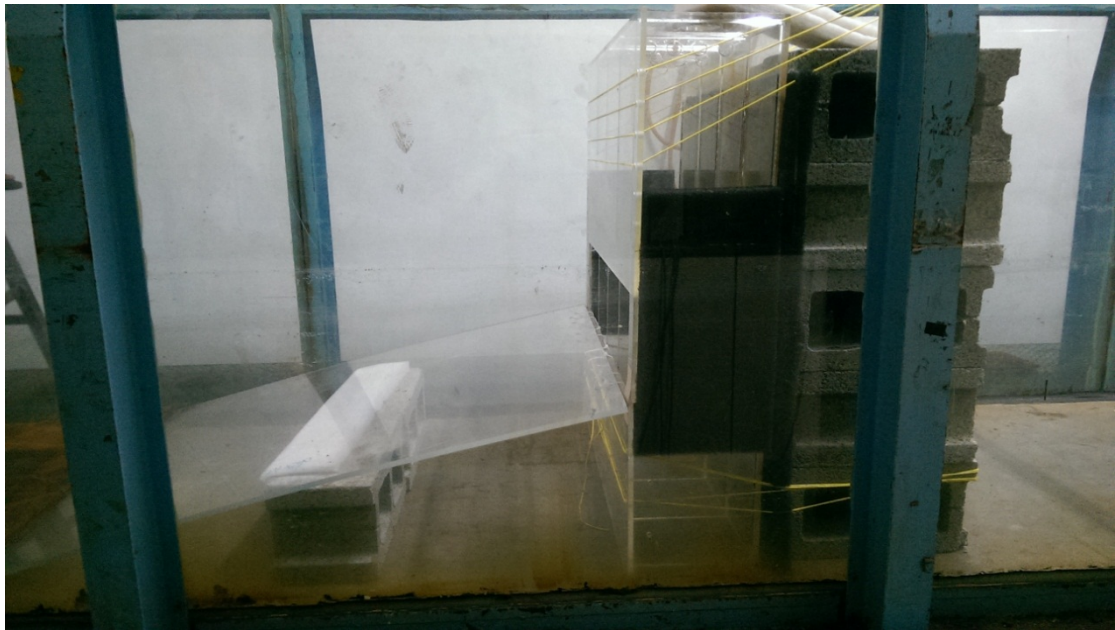


圖 6.8 模型架設於水槽中情形

#### 6.4 實體設計於港灣之案例分析及與水工試驗之比較

於前階段計畫中，研究團隊已完成兩種不同模型，M103-1 是依據數值模擬模型，以 1:16 的縮尺進行水工模擬試驗。模型 M103-2 是依據 M103-1 將其迎波面之開口面積由 M103-1 19cm\*19cm 改為模型 103-2 19cm\*53.5cm（模型參數如表 6-9），並參照高雄港之波浪條件進行水工試驗，探討其波浪條件對其對應產生之反射率、氣流速度、內部波高及其效能之探討，前階段之試驗結果如表 6-10。

本階段研究進行水工模擬試驗首先以分析模型中之花蓮港港口防波堤為模擬對象，其波浪條件週期為 8 秒，示性波高為 1.3m，水深為 15m，考慮本單位水工實驗室造波槽合適試驗水深為 60cm，故採 1/25 縮尺進行水工模擬試驗。規劃於花蓮港波浪條件下，以海床無坡度變化(NS)、海床坡度變化率 1:1(S11)、1:2(S12)、1:4(S14)。

本研究在進行水工模型試驗波浪條件是以 60 公分的固定水深，波高 5.2cm 週期 1.6sec 波浪條件與數值模擬做比較，以及波高分別為 4、6、8、10、12 公分及週期分別為 1、1.2、1.4、1.6、1.8、2 秒波浪條件，共有 31 組波浪條件參數。

**表 6.8 模型縮尺尺寸表**

| parameter     | Model 103-1 | Model 103-2 |
|---------------|-------------|-------------|
| 模型總長          | 26 cm       |             |
| 模型總寬          | 81+10 cm    |             |
| 模型總高          | 100.5 cm    |             |
| 氣室下方開口寬*高     | 19cm*19cm   | 19cm*53.5cm |
| 氣室內部長         | 24 cm       |             |
| 沒水深(靜水深至開口上緣) | 6 cm        |             |
| 出風口直徑         | 7 cm        |             |
| 氣室連通洞直徑       | 2 cm        |             |

**表 6.9 數值模擬、M103-1、103-2 數據比較表**

|                               | 數值模擬    | M103-1 | M103-2  |
|-------------------------------|---------|--------|---------|
| 縮尺                            | 16:1    |        |         |
| 週期 T[sec]                     | 7       | 1.75   |         |
| 波高 H[cm]                      | 100     | 6.25   |         |
| 波長[m]                         | 59.192  | 3.712  |         |
| 蓋水面積[cm <sup>2</sup> ]        | 456000  | 1824   |         |
| 迎波面開口面積<br>[cm <sup>2</sup> ] | 300*300 | 19*19  | 19*53.5 |
| 入射波浪總能[J]                     | 892789  | 13.51  |         |
| 反射率 Kr                        | 66.26%  | 57.5%  | 70.6%   |
| 風口面積[cm <sup>2</sup> ]        | 9500    | 38     |         |
| 氣流速度[m/s]                     | 29.26   | 7.30   | 6.87    |
| 氣流速度能[J]                      | 99988   | 1.569  | 1.310   |
| 氣室內部波高                        | 200     | 11.35  | 10.32   |

|                      |        |      |      |
|----------------------|--------|------|------|
| $H_{1/3}[\text{cm}]$ |        |      |      |
| 氣室內部波能[J]            | 111834 | 1.44 | 1.19 |
| 波高放大係數               | 2      | 1.82 | 1.65 |
| 擷取率<br>=(共振能/入射能)    | 0.13   | 0.11 | 0.09 |
| 能量擷取率(入射<br>波能轉氣流能)  | 0.11   | 0.12 | 0.10 |

#### 6.4.1 波浪發電複合式防波堤於高雄港第一港口北堤之模擬

經由驗證本研究與合田良實團隊之研究結果，可得知本研究所採用之數值模擬方法具有相當之信賴度。因此進一步以本研究案初期所規劃之研究方向，暫以高雄港第一港口之北側防波堤作為研究分析標的，建立適合於台灣港灣結構中發展之防波堤結合波浪能量轉換複合系統。研究構想中希望能於台灣各大港中找出最適當位置來建構此一方案，但由於分析時必須取得防波堤之各項資料，如水深變化、波浪參數、堤防（目前以沉箱式防波堤為考慮重點）之設計資料等。在高雄港就近許多資料較易獲取之條件下，以其為案例分析之對象，經適當規劃及設計後首先進行數值方法模擬。

沉箱氣室內部壓力會影響沉箱氣室內部震盪水柱運動方程式，其中關鍵因素為氣室出口面積與沉箱氣室所涵蓋的海水面積之面積比，若面積比小則代表著沉箱氣室內部壓力小，亦代表著波浪由複合式防波堤外部傳遞至內部時其震盪水柱波高衰減量小，面積比小會導致氣室出口流速低、沉箱氣室所施予葉片的能量也減少；反之，若面積比大則代表著沉箱氣室內部壓力大，代表震盪水柱波高衰減量大，使氣室出口流速增加，施予葉片能量較大。因此恰當的面積比在設計時必須加以考慮，使波浪發電複合式防波堤能擷取最多的波浪能量來產生最大的氣流速度施予葉片。

因此本研究之氣室相關尺寸參考前人研究所給定之建議 (Paolo Boccotti, 2005；林, 2008；林, 2012)，再根據高雄港第一港口北堤之

水深以及統計波浪條件來設計，本研究暫以每三個氣室為一組，中間氣室有一出風口連接發電系統，而每個相鄰氣室之間有相通的氣流管道，波浪發電防波堤之沒水深度以及尺寸如圖 6.9 到圖 6.11 所示。

圖 6.12 為高雄港第一港口水深平面圖，考量高雄港防波堤之水深環境，初步假定波浪發電複合式防波堤之建置位置為高雄港第一港口之北側防波堤之靠海側，水深 7 到 9 公尺。本防波堤迎波面之幾何形狀與尺寸係參考高雄港第一港口之北側防波堤沉箱大小，以及港灣結構物設計規範所給定。

#### 6.4.2 案例分析模型

根據前述之理論及文獻回顧，當沉箱長度固定時，其震盪空氣柱所施予葉片之最佳流體功率決定在波浪之週期。所以同樣的，若希望操作之波浪週期選定後，則可以設計沉箱長度以使在該波浪週期下之震盪空氣柱有最佳流速產生，也代表著沉箱氣室在該週期下能獲取最多波浪能量來產生流體功率施予葉片。本模擬之模型設計沒水深度為 9.5 米，與酒田港之沉箱式波能轉換系統同樣是興建於堤防上，參考高雄港第一港口之 10 年回歸期夏季波浪條件，設計波高  $H_{1/3}$  約為 1 米，週期約為 7 秒，其餘模擬之參數設定皆與上述小結之設置相同，並同時擷取模型出口氣流速度數據。

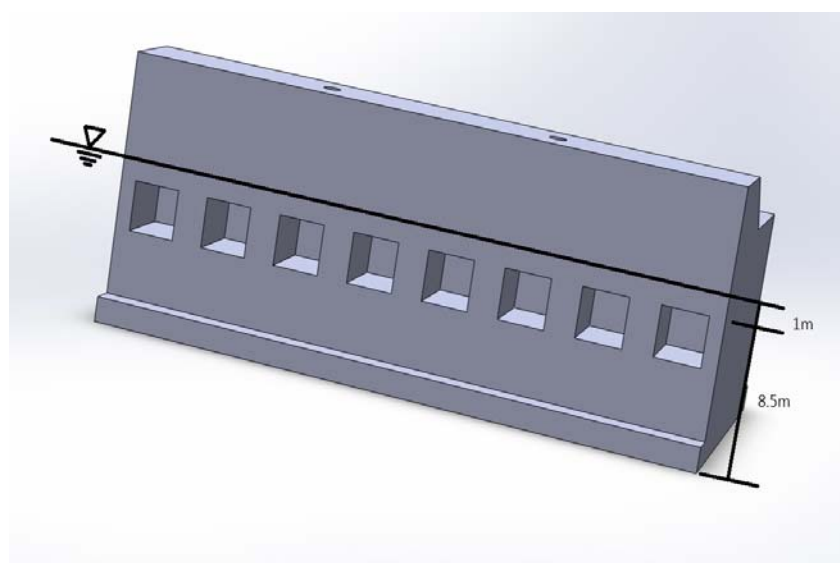


圖 6.9 波浪發電防波堤之沒水深度

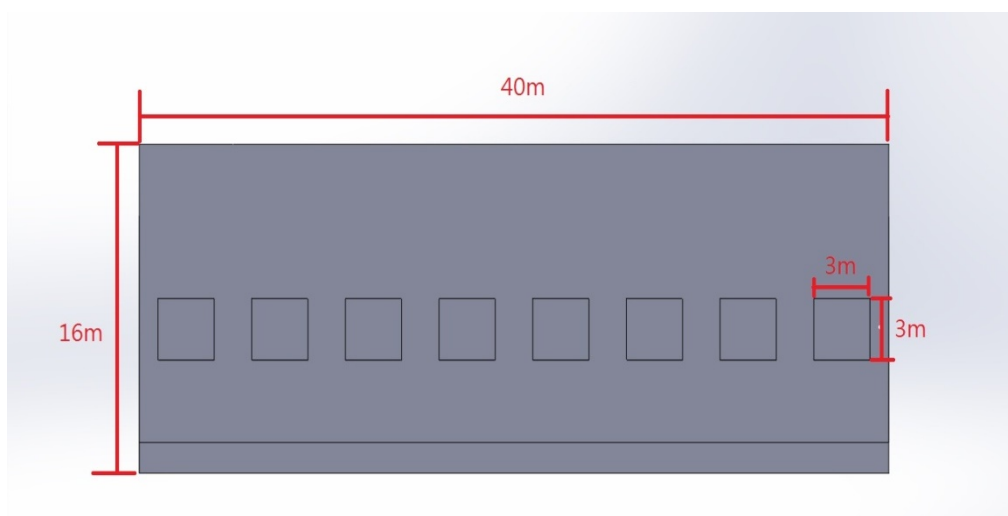


圖 6.10 波浪發電防波堤之尺寸(正視圖)

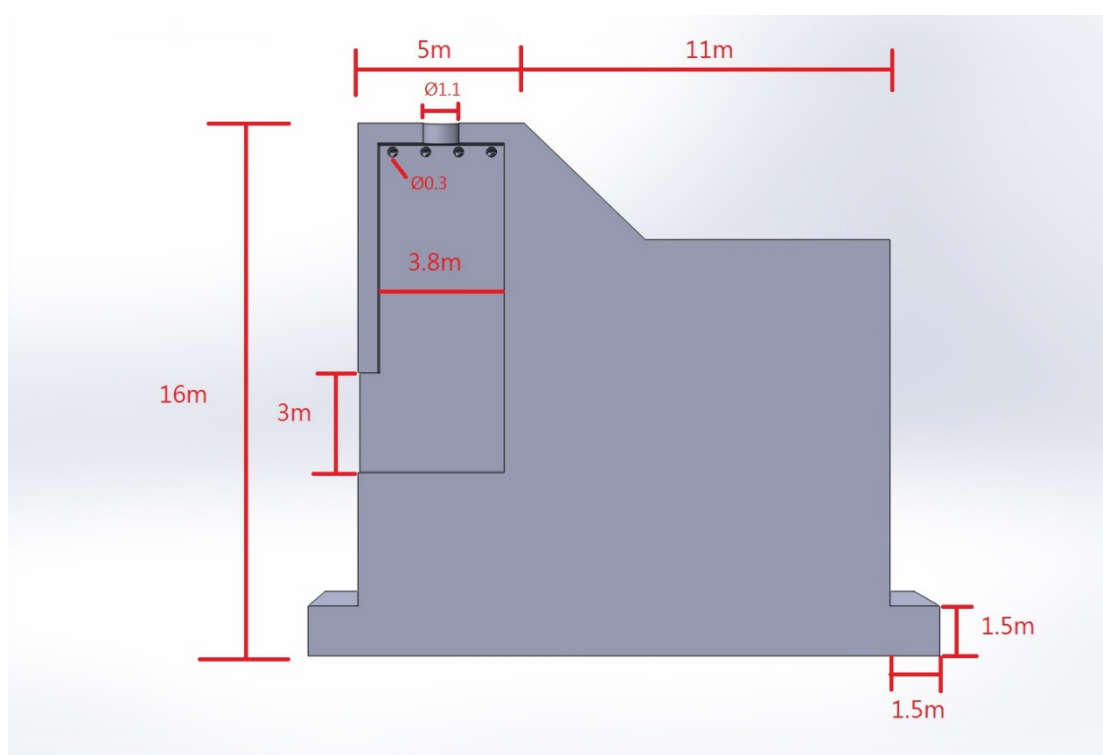


圖 6.11 波浪發電防波堤之尺寸(側視圖)

### 6.4.3 模擬結果分析

本研究案例分析中，波浪發電複合式防波堤經數值演算後，得到氣室內之數據包括波高變化及氣流速度等。計算結果顯示氣室內部波高最大值為 0.88 米，最小值為 -0.84 米，極值平均值為 0.65 米。本研究模型之出口氣流速度變化，絕對值之最大值為 33.3m/s，平均氣流速度約為 15m/s。

### 6.5 小結

本計畫之目標為結合港灣構造物，發展綠能與產業共生之機制，同時延長港灣結構物之使用年限。其方法為藉由瞭解海洋波浪與海洋結構互制作用之機制，建立起港灣結構與海洋波浪間之友善關係，將海洋能特別是由波浪作用於港灣結構造成結構振動的能量，進一步加以利用轉換成有用的能源，該能源之利用可包括轉換成電力或將波浪能轉化為其他型式之能源儲存使用。而在工作規劃中亦具體揭櫫；進行以波浪能擷取為主之綠能系統研究。並以結合於港灣構造物波浪能擷取之系統之研究為主。

- 一、本研究以具可靠性之軟體模擬波浪發電複合式防波堤之受力行為及空氣流動反應分析，根據林(2012)指出港灣構造物設計基準修訂建議之波浪估算法所得之波浪作用力與實測所得結果有所差異，尤其在入射波高較大時，建議公式則可能高估波浪發電複合式防波堤前之作用力。因此可以確定，若根據內政部營建署訂定之暴露於氯離子環境混凝土之最低規定強度  $350(\text{kgf}/\text{cm}^2)$  來設計，本研究分析之結果中顯示，不會對波浪發電複合式防波堤造成危害，未來設計波浪發電複合式防波堤之材料強度可做參考。
- 二、本研究中所利用之計算流體分析軟體，具有相當之準確性。因此針對本計畫之研究對象進行模擬分析時，不僅可依照全比例之模型模擬現場之條件，且得以研究見每一時間點之氣室內水柱高與外界入射波浪互相影響行為，也可評估入射波浪之大小對於沉箱氣室之出風速度以及氣壓之影響，氣室與氣室之間的相通管道也得以觀察。由數值計算方法模擬，有效預測本研究之波浪發電復

合式防波堤興建在高雄第一港口北堤，於各種波浪條件做下之相關反應。進而依此尋找最佳化之設計，也可幫助後續研究匹配發電機等設施。

三、本研究中參考日本實際應用於港灣中之波能轉換系統案例，設計了一概念性之波能轉換系統，其為傳統型利用震盪水柱在密閉氣室內，推動空氣使快速流動，以帶動發電機之渦輪進而達成發電之目的。於本階段的成果中，參考日本酒田港現地實驗及相關文獻資料，設計製作了於水力、風力發電系統中常用之威爾斯渦輪做為本計畫的發電機渦輪，相對於其他需配備整流系統的渦輪，威爾斯渦輪本身具備整流特性的特質更適合於小規模的水工試驗中應用。

四、在本計畫中，除了針對波能轉換系統中有關波能之擷取效率持續進行探討之外，並依據前階段委員們的建議，在本年度計畫中參照花蓮港區之波浪條件、水深資料、防波堤位置等，進行結合防波堤之波能轉換系統模擬分析及試驗。在前階段的計畫中於波浪能擷取系統的建立，在開口之氣流量測數據上有令人振奮之成果，因此本年度計畫內容將以前階段所規劃設計之波浪能擷取系統為主體，設計規劃一組電能轉換系統，而其試驗之結果亦證實，電能之大小與出口氣流速度具有正相關性，同時電流之輸出在發電機扇葉適當規劃時具有相當之穩定性。

## 第七章 防波堤堤頭沖蝕現象探討

波浪或海流通過海中結構物時，可能在結構物臨近底床造成沖蝕，導致結構的破壞甚或傾倒，如港灣防波堤堤頭附近的海底地形，可能因為波浪及海潮流的集中、下沖或轉向等造成堤頭沖蝕。國內的港灣防波堤堤頭侵蝕的實例中，以台中港及雲林離島工業區之麥寮工業港最為明顯。以麥寮工業港為例，其北防波堤堤頭之原設計水深約為 -22m，根據目前實測的海底地形顯示，堤頭附近海底地形形成一個約 500m × 100m 的深坑，最深處達到 -48m，堤基被沖刷的深度可達 26m。由於防波堤堤頭的海底地形侵蝕，嚴重時將危及防波堤堤身及港灣船隻航行的安全。然而造成侵蝕的原因與機制仍未明確，因此急需進一步的觀察、模擬與研析，以期提出有效的防制對策與工法。

### 7.1 研究目的

本研究為交通部運輸研究所規劃四年合作研究計畫之第三年，以臺中港及麥寮工業港為研究對象，分年進行堤頭附近波、流場及海底地形變化特性與機制的觀測、分析與模擬。主要研究方法將透過背景資料收集分析、數值模擬及水工模型試驗，並與實測波、流場及海底地形侵蝕特性進行比對與修正。本年度(104)研究預期可以完成：(1) 研究文獻更新、計畫區背景資料更新與分析，(2) 建立麥寮工業港防波堤堤頭數值模型，並完成波浪作用下，堤頭附近波、流場分佈與地形變化之三維數值模擬，(3)波浪作用下，麥寮工業港防波堤堤頭附近波、流場分佈之三維水工模型試驗，(4)研擬麥寮工業港防波堤堤頭侵蝕防制工法，(5) 波浪作用下，麥寮工業港防波堤堤頭侵蝕防制工法的數值模擬與水工模型試驗成果驗證。

### 7.2 臺中港及麥寮工業港堤頭侵蝕現況的特性研究

臺中港北鄰大安溪及大甲溪，南鄰大肚溪，臺中港於民國 65 年完成主體工程，民國 79~84 年先延長北防波堤 850 公尺，民國 89~91 年再延長北防波堤 480 公尺。臺中港鄰近地區之海、氣、地象觀測調查資料，包括中央氣象局之梧棲氣象觀測站資料、港灣技術研究中心之臺中港海象分析資料、臺中港務局歷年地形水深觀測資料及水利署河川水文輸沙資料等，其海氣象觀測站相關位置如圖 7.1 所示。

雲林縣海岸北起濁水溪口南至北港溪口，雲林離島工業區自民國 83 年動工興建，麥寮工業港外廓防波堤則至民國 89 年 9 月完工。成大水工試驗所自民國 80 年起，於雲林縣離島工業區海域進行長期氣象、海象、水文及地形等各項調查工作，其海、氣象觀測站相關位置如圖 7.2 所示。

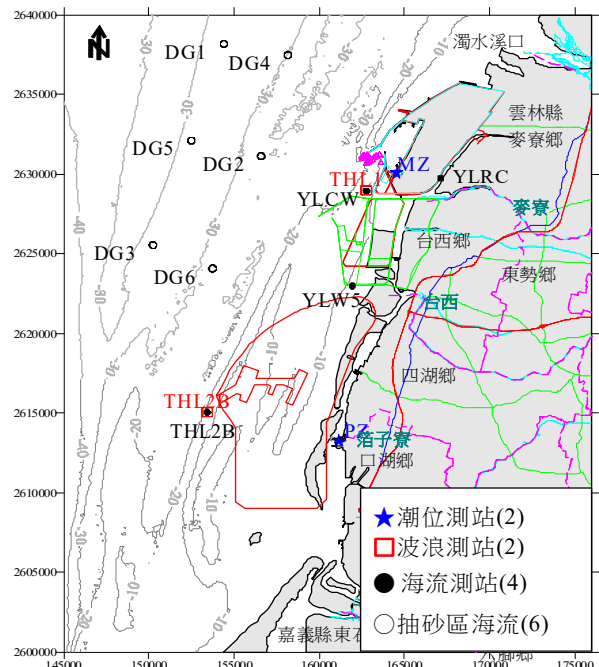
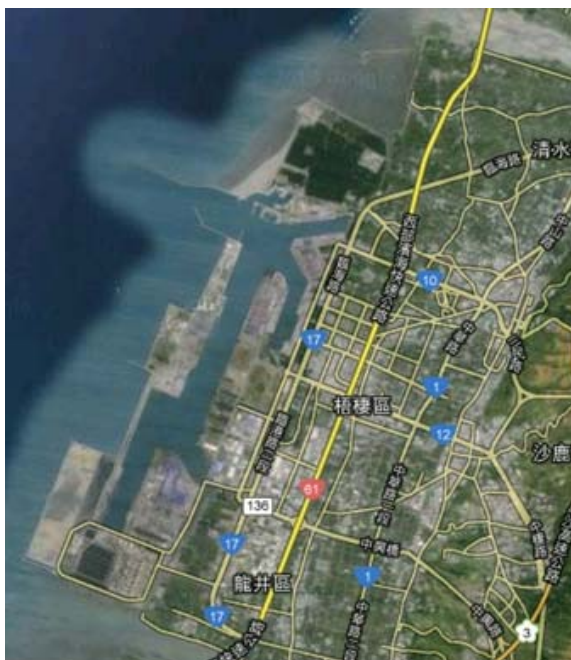


圖 7.1 臺中港海氣象觀測站

圖 7.2 雲林縣離島工業區海氣象觀測站

## 7.2.1 氣象資料

### 7.2.1.1. 風速與風向

#### 1. 臺中海域

臺中港附近長期觀測站，有港灣技術研究中心(測站 W)與中央氣象局(測站 E)，2001 年 12 月~2011 年 2 月之觀測資料分析，臺中港地區歷年主要風

向為 NNE 向，而歷年春季(3 月~5 月)主要風向為 NNE 向，最大值為 32.4m/s，其風向為 NE。夏季(6 月~8 月)受颱風影響造成風向分佈，使風向以 SSW 向為最多，最大值為 37.5m/s，其風向為 NNE。秋季(9 月~11 月)主要風向為 NNE 向，最大值為 32.6m/s，其風向為 N。冬季(12 月~2 月)主要風向為 NNE 向，最大值為 30.3m/s，其風向為 NNE。臺中港附近海域不同的儀器、位置及記錄方式的不同，所觀測出來的並非全然相同，但不會偏差太大。港灣技術研究中心本身的儀器所測的主要風向為 NNE 多，而中央氣象局為 N 向局多。

## 2. 麥寮海域

成大水工所自 1992 年起即於雲林離島工業區海域進行海、氣象觀測，歷年監測位置配合實際需求已多次變更，其中大部分是短期測站，近年來較長期的波浪測站有 THL1 (1992 年至今) 與 THL2B (2001 年至今)，惟 THL1 測站未觀測波向 (多以風向輔助分析)，THL2B 僅有近期波向資料，各測站位置圖如圖 7.2 所示。THL1 測站又稱台西測站，位於麥寮工業港西防波堤西南方約 2km 處，水深約為-15m；THL2B 測站又稱四湖測站，位於箔子寮外海 5km 處，水深約-18m。本計畫根據成大水工所提供之 1997~2013 年度 THL1 測站和 THL2B 測站氣象觀測資料，統計各月份之最大風速、平均風速及最多風向。THL1 測站平均風速在 5.9~11.1 m/sec，與 THL2B 測站在 5.9~11.8 m/sec 範圍相近。THL1 測站主要風向在 6~8 月分佈在 SW~SSE，其餘月份皆為 NNE；THL2B 測站主要風向為 NNE 和 N 向。因無收集到陣風相關資料，故暫無分析最大陣風。

## 3. 颱風

根據中央氣象局所發佈自 1958~2014 年間影響台灣之颱風警報資料，其颱風路徑分類共分為九類，而影響台中、雲林海域的颱風大致以第三、七、九路徑為主，發生機率各為 14.3%、4.2%、8.5 %。若以颱風發生的月份進行分類，發生機率以 8 月份最多 (27.4%)，其次為 7 及 9 月份 (21.8 % 及 20.8 %)。

### 7.2.2 海象資料

### 7.2.2.1 波浪

#### 1. 台中海域

分析港灣技術研究中心 2007 年 1 月~2011 年 11 月之波浪觀測資料：臺中港海域歷年之波高、週期及波向的統計結果， $H_{1/3}$  介 1m 至 3m，約佔歷年觀測的 56.5%； $H_{1/3}$  波高大於 3 m 以上者，約佔歷年觀測的 6.5%。 $T_{1/3}$  週期集中在 8 秒以內，小於 7 sec 以下者，約佔歷年觀測的 45.7%；介於 7 sec 至 8 sec 之間者，約佔歷年觀測的 50%。歷年之平均  $H_{1/3}$  波高為 2.51m；平均  $T_{1/3}$  週期為 6.52 sec。歷年之月平均最小  $H_{1/3}$  發生在 7 月為 1.05 m，最大在 1 月為 3.84m。夏季波主要入射方向為 NNE 為主，冬季波向介於 N~NNE 為主。

#### 2. 雲林海域

本計畫根據成大水工所提供之 1992~2013 年度 THL1 測站與 2001~2013 年度 THL2B 測站海象觀測資料，進一步統計分析之波高、週期及波向的統計結果， $H_{1/3}$  介 0.4m 至 2.2m，約佔歷年觀測的 82.5%； $H_{1/3}$  波高大於 2.2 m 以上者，約佔歷年觀測的 8.1%。 $T_{1/3}$  週期集中在 5~6 秒以內，約佔歷年觀測的 71.9%。THL1 測站歷年之  $H_{1/3}$  波高為 0.81~1.45m； $T_{1/3}$  週期為 4.98~6.01 sec，歷年之月平均最小  $H_{1/3}$  發生在 5 月為 0.81 m，最大在 11 月為 1.45m。THL2B 測站歷年之  $H_{1/3}$  波高為 0.95~2.65m； $T_{1/3}$  週期為 5.54~6.40 sec，該測站歷年之月平均最小  $H_{1/3}$  發生在 6 月為 0.95 m，最大在 1 月為 2.65m。

### 7.2.2.2 海流

#### 1 台中海域

臺中港海岸流況主要由沿岸流、風驅流、潮流及黑潮所組成，根據港灣技術研究中心自 2003 年 8 月至 2011 年 11 月期間的海流觀測資料。其中於 2003 年~2006 年間，該測站平均流速在 34.9~57.0 cm/sec。主要流向夏季為 NNW 向和冬季為 W 向；2007 年~2011 年間，該測站平均流速在 32.6~45.7 cm/sec。主要流向夏季為 N 向和冬季則分佈在 WSW~W 之間，流向大致與 2003~2006 年間所量測的方向一致，顯示歷年流速流向特性差異不大。

## 2. 雲林海域

由歷年之調查結果顯示離島工業區海域海流主要是由潮流、風驅流以及長期平均流三項成份組合而成 (成大水工所, 1997)。離島工業區外海流況以潮流沿岸往復運動為主, 平均振幅約為 60~100 cm/sec。流向則大致上平行海岸線。其中麥寮與海豐區以及麥寮西堤的影響, 顯示漲潮流向仍以 NNE 居多, 但退潮流向已受麥寮港西堤延伸的影響。麥寮港西南側之流速、流向受海岸線變化, 漲潮流向以 NNE 居多, 但退潮流向受麥寮西堤向西南延伸的影響, 未築堤前原本 SSW 較多、S 向流次之的狀況, 隨著築堤過程中, 變成以 S 向為主, 而目前築堤完成後再轉為以 SSE 為主的情況。

### 7.2.2.3 麥寮港堤頭沖蝕與海流的關係分析

本研究收集分析麥寮海域 YLCW 測站的海流歷時特性, 累計各月份的海流淨能量, 與麥寮工業區專用港管理公司於 96/04~100/09 期間所施測的 30 筆堤頭地形資料進行關聯性比對分析。

#### (1) 流能量估算

將麥寮港 YLCW 測站由 2000 至 2010 年間之逐時海流資料計算出月淨流能量分佈, 逐月淨流能量呈現規律性, 夏季期間北向的流能量逐漸增加; 冬季期間相反, 南向的流能量逐漸增加。

#### (2) 流能量與堤頭沖蝕的關係

由上述夏季與冬季兩組實例可初步歸納出, 堤頭地形的沖蝕現象與海流的季節性變化直接相關。本研究再進一步將 96/04~100/09 期間所有的堤頭 -35m 沖刷洞資料, 與同期間的流能量累積分佈進行比較, 結果可再次證實, 夏季淨流能量向北 (主要流況向北), 沖刷洞在堤頭北側, 但堤頭南側為較深的水域 (如航道), 並無漂砂向北補注沖刷洞, 造成堤頭 -35m 沖刷洞持續侵蝕。冬季淨流能量向南 (主要流況向南), 沖刷洞在堤頭南側形成, 但堤頭北側有來自濁水溪口的沖積沙, 南向漂砂會先將原北側沖刷洞逐漸回填。如此週而復始, 形成一個循環的現象。

### 7.2.2.4 潮位

### 1. 台中海域

台中海域屬於半日潮，根據中央氣象局自 2007 年 1 月至 2011 年 11 月期間的潮位觀測資料，歷年潮位資料之統計結果得知，自 2007 年~2011 年期間，平均潮差為 3.75m，大潮平均潮差為 4.33m，最大潮差為 6.06m。

### 2. 雲林海域

雲林海域屬於半日潮，雲林縣海岸共設有三潮位站，包括麥寮站、三條崙站（目前已停測）以及箔子寮站。各潮位站歷年潮位統計結果顯示，麥寮潮位站之平均潮差為 2.70 m，大潮平均潮差為 3.72 m，均為三站最大者。其次為三條崙潮位站，平均潮差為 2.22 m，大潮平均潮差為 3.27 m。

### 3. 暴潮分析

本計畫鄰近海域中，有港灣技術研究中心的台中港潮位資料，台中港的潮位紀錄為 2007~2011 年。依據中央氣象局發佈颱風警報的歷史資料，分析警報期間有潮位紀錄的歷史颱風，計算其暴潮潮位與最大暴潮偏差，分析的過程已將潮位資料換算，採各潮位站當地的平均中潮位為基準。在台中港的紀錄中，最大的暴潮位是發生於 2010 年莫蘭蒂颱風警報期間，暴潮位達到 2.76m，而最大暴潮偏差則是 0.23m。最大暴潮偏差是發生於 2010 年梅姬颱風警報期間，暴潮位達到 2.48m，而最大暴潮偏差則是 0.54m。

## 7.2.3 海域地形變化

### 1. 台中海域

臺中港北鄰大甲溪以及大安溪，南鄰大肚溪，臺中港於民國 65 年完成主體工程，為因應淤積以及航行安全，陸續延伸北防波堤。民國 79~84 年先延長北防波堤 850 公尺，民國 89~91 年再延長北防波堤 480 公尺。由臺中港 85 年、87 年、90 年、91 年、93 年以及 95 年之實測地形水深圖，可發現北防波堤在延長過程中，於堤頭處所產生的掏深洞。

歷次測量之地形資料相對於 85 年地形資料之侵淤變化，臺中港北防波堤至北防沙堤間有部分淤積，在北防波堤堤頭附近亦有產生淤積，並擴及至港口南側，形成港口南側區域遠岸淤積近岸侵蝕的現象。民國 89 年至 91 年間，北防波堤正在進行延長工程，造成北防波堤至北防沙堤間持續淤積，淤

積深度最大可達 4m 以上，臺中港北側及南側遠岸區域亦快速淤積，尤其以北側遠岸區域淤積速度最快，淤積深度最大亦達 4m 以上，而在北防波堤堤頭附近及港口附近產生大量侵蝕，侵蝕深度最大可達-5m 以上。民國 95 年，臺中港整體擴建已完成，北防波堤至北防沙堤間不論是近岸還是遠岸，皆全面淤積，而擴及至港口南側的淤積面積亦有擴大並往南持續延伸，淤積深度則是逐年加深，港口南側近岸區則維持些微侵蝕的狀況，北防波堤堤頭附近及港口附近的侵蝕範圍則大致上維持穩定，並未持續刷深。

合計北淤沙區自民國 85 年至 95 年間，累積淤積量持續成長，並於民國 95 年達到最大累積淤積量約為 2199 萬  $m^3$ 。除了民國 89 年防波堤延長工程進行中有最大累積侵蝕量外，其餘年度皆呈現淤積現象，並於民國 95 年達到最大累積淤積量，約 7650 萬  $m^3$ 。綜言之，臺中港北防波堤以北之區域，因北防波堤及防沙堤攔阻季節性之沿岸漂沙呈現淤積現象，而北防波堤以南之區域，目前因漂沙越過臺中港，亦於 94 年後由侵蝕轉為淤積。

## 2. 雲林海域

雲林海岸北起濁水溪口南至北港溪口，早年濁水溪未整治前，分歧之西螺溪、虎尾溪及北港溪等支流供應豐富輸沙源，沖積形成平緩之海灘。同時海岸線曲折富變化，許多排水路河口形成之潮溝分隔沙灘，並有離岸沙洲露出或潛沒分佈於沿岸。1912 年時實施濁水溪整治計畫，林內一、二號堤防完成後，原濁水溪河系上游洪水已由隨機放流轉為全由北端之西螺溪（今之濁水溪）輸送入海，而南端之北港溪、新虎尾溪及舊虎尾溪等河川則成為內陸排水道，其流域面積及輸沙量均大幅減少。此造成濁水溪口南側沙洲逐漸侵蝕且向南移動。近年來雲林海岸已全被規劃興建為雲林離島工業區，圍堤內陸區無直接被波浪侵蝕之慮，但已嚴重阻攔南側外傘頂洲之漂沙來源。

1900 年時濁水溪口以南海岸線在新虎尾溪口（現址）處，存在一向西延伸 3~5 公里之沙洲，此可能為初期之海豐島。往南至三條崙，外傘頂洲於此向南南西方向延伸出海，沙洲末端位於今鰲鼓西方約 9 公里處。1900 至 1947 年間，海豐島北側灘線侵蝕約 1 公里，沙洲末端向西南延伸約 5 公里，與陸側之間則形成一內海潟湖。1920 至 1947 年間，外傘頂洲外側灘線向陸側侵蝕約 800 公尺，平均每年後退約 30 公尺；沙洲末端則向西延伸 1.4 公里。由以上海岸線變化結果顯示，在 1912 年實施濁水溪整治計畫後，對海豐島海

岸變遷影響較為顯著，而對外傘頂洲則影響尚未劇烈。1947 至 1962 年間，海豐島及外傘頂洲均出現劇烈變化。濁水溪以南至新虎尾溪間海豐島之北側灘線向外淤積約 1~1.5 公里，新虎尾溪至台西間灘線侵蝕約 1~1.2 公里，海豐島末端則向南延伸 5 公里。外傘頂洲在 1947 年以前於三條崙延伸出海，而 1962 年以後則南移至箔子寮附近，南移距離達 5 公里，延伸方向已由南南西轉為西南方向出海。1947 至 1962 年間，外傘頂洲外側（西北側）灘線則向陸側（東南向）侵蝕 2.5~3 公里，平均每年後退約 180 公尺，海岸線已由外突圓弧狀變為內凹彎曲狀；外傘頂洲末端則向西延伸 2.5 公里。1962 至 1980 年間，濁水溪口至新虎尾溪間海岸變化不大，海豐島則整體往南移動約 5 公里，逐漸萎縮貼近三條崙海岸。外傘頂洲外側（西北側）灘線則持續向陸側（東南向）侵蝕 0.8~1.2 公里，平均每年後退約 58 公尺。1980 至 2001 年間，外傘頂洲西北側灘線持續向東南方向侵蝕約 1.4 公里，平均每年約侵蝕 67 公尺。

雲林海埔地及離島工業區於民國 62 年起陸續開發興建，包括台西區海埔地開發時期為民國 62~64 年（共 770 公頃），往後的新興區海埔地開發為民國 73~76 年（共 550 公頃）、麥寮工業區開發為民國 80~86 年（共 2,652 公頃）、新興工業區開發為民國 86 至今（共 991 公頃）等。此大面積之海岸開發阻擋濁水溪南向輸沙，助長外傘頂洲往陸側侵蝕萎縮。雲林離島工業區自民國 83 年麥寮區動工興建以來，麥寮區北側海堤受到濁水溪砂源的補注，已有淤積現象產生。麥寮工業區各區段海堤位置，其中西防波堤 I 約於民國 84 年期間完工，南防波堤 II 與西防波堤 II 分別於民國 85 年 6 月與 86 年 3 月完工，鄰近外航道之西防波堤 III 則於民國 87 年 3 月開始施工延伸至民國 89 年 9 月，外航道內側之南防波堤 I 則於民國 87 年底完工。

#### 7.2.4 防波堤興建過程

有關臺中港北防波堤與麥寮港西防波堤之興建過程，包括斷面設計與施工過程對海底地形所造成的影響，詳述如下（以下內容參考或部分節錄自朱等人，2002）：

##### 7.2.4.1 斷面設計

由於臺中港原北堤之堤址保護工僅約 30m，可維持堤體之穩定，而麥寮西防堤於施工中之臨時堤址保護工亦僅 30m（設計堤頭保護工長度為

55m)，其坑洞斜坡似乎已逼近沉箱，其安全性需深入評估。

由上之分析可知，堤頭保護長度在設計規範中以波場考量為主，而流場因素則未有詳實之建議，因此，有關深水防波堤之堤頭保護工所需之範圍，實有進一步規範之必要。

#### **7.2.4.2 施工過程**

在臺中港施工已有經驗之傳承，其於防波堤施工時，建議堤心石拋放能較沉箱拖放長度多 150~200m (約 6~8 座沉箱)，因堤線海床在沉箱放置後，方會於其前方約 100m 區域發生大刷深情形，若於沉箱尚未放置前，將海床以堤心石保護當可減少堤線上之海床淘刷。

在麥寮港堤頭施工時，由於堤頭保護工未能如期於沉箱放置前先行完成，而經過東北季風期間，原設計拋放堤腳保護之區域，已部份陷落於刷深之坑洞之中，而由於水深大，流速亦強，致使防止海床淘刷之地工織布已無法順利鋪設，而坑洞則持續加深擴大，經考量採用地工織布縫製成為 2 方之砂袋進行拋放，以發揮防止淘刷之效，經模型試驗之驗核後，顯示拋放區域鄰近之海床刷深範圍有擴大之趨勢，但砂袋之穩定性則尚可，故目前以地工砂袋拋放之補救方式似乎不失為可行之方式。(註：沙袋回填作業已於民國 94 年施作)

### **7.3 水深地形與潮波流調查資料分析**

#### **7.3.1 麥寮防波堤堤頭地形調查與特性分析**

##### **7.3.1.1 100~102年水深測量成果與分析**

###### **(1) 監測範圍及頻率**

本計畫測量範圍為麥寮工業區專用港西防波堤堤頭約1公里見方之範圍，所涵蓋範圍包含海域地形刷深處為中心點。100~103年共計完成六測之水深測量作業，

## (2) 監測方式

平面控制系統採用採用台灣二度分帶97坐標系統(TWD97)，高程控制採用基隆中潮一等水準系統。六次測量均以多音束系統進行，潮位設置在麥寮工業港。

## (3) 測量成果

由於消波塊群最遠佈置位置離堤頭約 230m，約 100m 之帶寬，因此掏刷區受消波塊之分布影響，形成一 U 字形之刷深區域，100~102 年之測量結果，消波塊群掏刷處水深最深約在 -37m~-48m 之間。北堤堤外北側海域淤積現象明顯，堤內港域水深較深，海堤內外之海域地形高低差約可達 8~10m。透過三維影像，如圖 7.3 所示，呈現海域地形變化之特性。

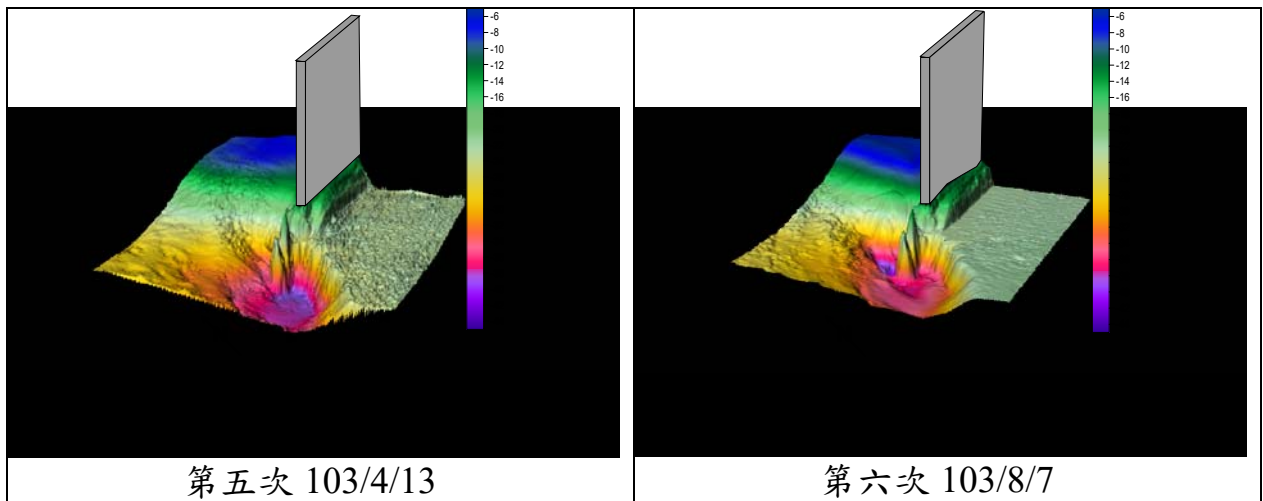


圖 7.3 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖

依地形變化特性擷取測量海域計 9 條之斷面水深資料，各斷面斷面位置如圖 7.4 所示。

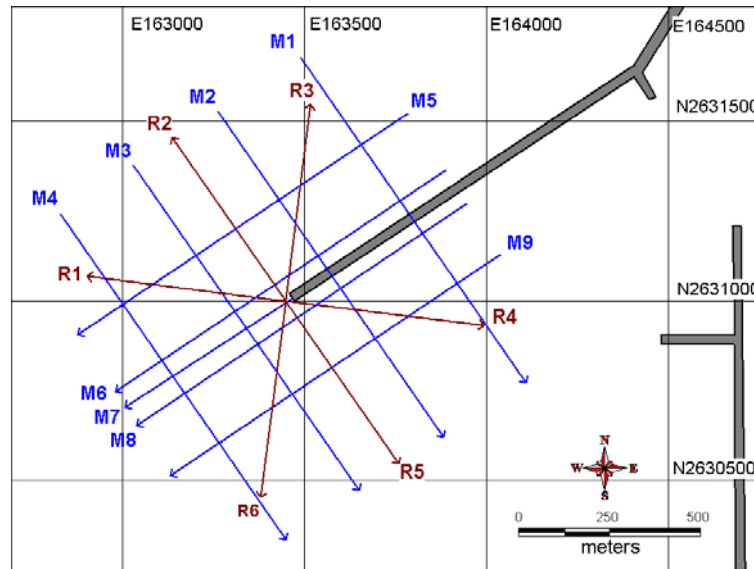


圖 7.4 麥寮工業港堤頭水深測量斷面位置圖

(4) 地形侵淤變化比較(試算面積：1,181,100m<sup>2</sup>)

100/6 第一次與 101/5 第二次之監測結果進行侵淤變化比較，在堤頭附近有較明顯之侵淤變化趨勢外，港內略有淤積情形，堤頭侵蝕區以外海域則略有侵蝕情形，原 100/6 堤頭西南方刷深區域，有很明顯之淤積情形，淤積最大高度可達約 7m。整體而言，101/5 較 100/6 淤積約 420,627m<sup>3</sup>，平均高程淤積約 36cm。

101/5 第二次與 102/5 第三次之監測結果進行侵淤變化比較，在堤頭西南側有很明顯的侵蝕，高程侵蝕最大量約為 7.6m，在堤頭附近有較明顯之侵淤變化趨勢外，港內略有侵蝕情形，堤頭侵蝕區南、北側海域均有明顯之淤積情形。整體而言，102/5 較 101/5 淤積約 462,706m<sup>3</sup>，平均高程淤積約 39cm。

102/5 第三次與 102/10 第四次之監測結果進行侵淤變化比較，在堤頭北側與西側有很明顯的侵蝕，堤頭附近高程侵蝕最大量約為 11.6m，在堤頭附近有較明顯之侵淤變化趨勢，港內以淤積情形為主，堤身港外亦可見有淤積之現象，除堤身二側與堤頭西南側為淤積外，其餘海域以侵蝕情形為主。整體而言，102/10 較 102/5 侵蝕約 649,855m<sup>3</sup>，平均高程侵蝕約 55cm。

102/10 第四次與 103/4 第五次之監測結果進行侵淤變化比較，在堤

頭以東之港域內外(堤身南、北側)侵蝕情形相當明顯，侵蝕最大高程量約為 5.7m，在堤頭附近較富有侵淤變化外，港內以侵蝕情形為主，港域外則以淤積情形為主。整體而言，103/5 較 102/10 侵蝕約 255,407m<sup>3</sup>，平均高程侵蝕約 22cm。

103/4 第五次與 103/8 第六次之監測結果進行侵淤變化比較，在堤頭以東之港域外(堤身北側)侵蝕情形相當明顯，侵蝕最大高程量約為 -11.2m，刷深與淤積最大量在-11.2m~+6.3m 之間，除堤頭附近與北側較富有侵淤變化外，其餘港內以淤積情形為主。整體而言，103/8 較 103/4 侵蝕約 700,481m<sup>3</sup>，平均高程侵蝕約 26cm。

### 7.3.1.2 防波堤堤頭附近地形侵淤分析

82~99 年間雲林麥寮港西防波堤鄰近海域的地形侵淤狀態變化，如圖 7.5 所示，82~85 年期間，當西防波堤 II、III 尚未興建，外海的侵淤狀況變化的幅度約在-2m~+2m 區間變動。在西防波堤 I 的南半段已可發現將近-8m 的侵蝕深度，而西防波堤北側則有+4m 的淤積幅度，說明了西防波堤造成一定的砂源阻斷。綜合歷年的侵淤變化結果，於 87~99 年期間，西防波堤以北呈現全面淤積現象，最大幅度可達+20m；西防波堤 III 堤頭西側與西南側則形成兩個沖刷洞，最大掏深幅度可達-20m。

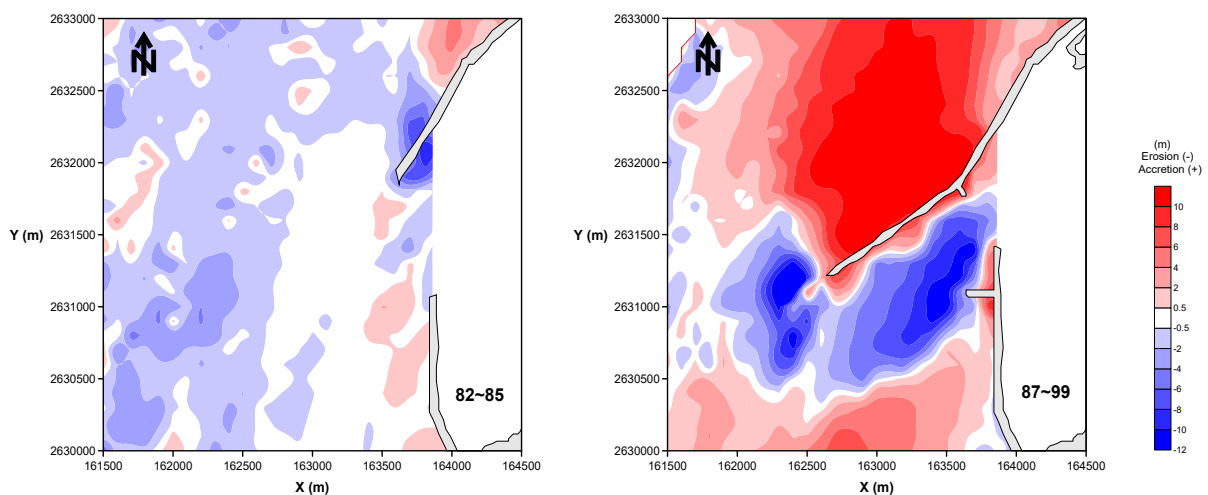


圖 7.5 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化 (82~99 年)

### 7.3.1.3 堤頭沖蝕特性分析

### (1) 雲林海域大範圍水深測量資料分析

麥寮工業區的開發，於民國 84 至 89 年間分階段逐步增建了西防波堤與南防波堤。在防波堤興建過程中，於堤頭處都發現淘刷的現象，麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化詳如表 7.1 所示，自民國 97 年以後，-20m 等深線已向外海側回淤，此現象即是有來自濁水溪口南向的砂源注入。

表 7.1 麥寮港西堤堤頭-35m 沖刷洞變化量化表 (90~99 年)

| 年度 | 堤 頭 位 置<br>(X, Y)  | 形 心 位 置<br>(X, Y)  | 心堤<br>距<br>(m) | 沖刷<br>截面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 沖刷<br>體積<br>(m <sup>3</sup> ) | 最大沖刷<br>深度<br>(m) | 平均<br>沖刷<br>(m) |
|----|--------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| 90 | 162601,<br>2631186 | 162488,<br>2631095 | 145            | 1800                           | 63944                         | 36.36             | 36              |
| 91 | 162601,<br>2631186 | 162456,<br>2631163 | 147            | 33900                          | 1240470                       | 39.16             | 37              |
| 92 | 162601,<br>2631186 | 162403,<br>2631073 | 228            | 52900                          | 1979967                       | 40.36             | 37              |
| 93 | 162601,<br>2631186 | 162395,<br>2631097 | 224            | 75200                          | 2832137                       | 42.08             | 38              |
| 94 | 162601,<br>2631186 | 162406,<br>2631135 | 202            | 75200                          | 2869033                       | 43.38             | 38              |
| 95 | 162601,<br>2631186 | 162381,<br>2631339 | 268            | 100900                         | 3914629                       | 44.53             | 39              |
| 96 | 162601,<br>2631186 | 162417,<br>2631259 | 198            | 197300                         | 7868464                       | 47.45             | 40              |
| 97 | 162601,<br>2631186 | 162388,<br>2631225 | 217            | 128400                         | 4863288                       | 42.94             | 38              |
| 98 | 162601,<br>2631186 | 162378,<br>2631080 | 247            | 125100                         | 4686380                       | 42.25             | 37              |
| 99 | 162601,<br>2631186 | 162349,<br>2631065 | 280            | 101000                         | 3788176                       | 43.64             | 38              |

### (2) 麥寮港堤頭附近加密水深測量資料分析

根據麥寮工業區專用港管理公司所提供完整的水深觀測資料，共有 6 次測量期間正逢中央氣象局發佈颱風警報，颱風通過後並非所有地形呈現侵蝕或是掏蝕洞加大的現象，個別颱風對於麥寮港西防波堤鄰近海域地形並不一

定造成侵蝕或淤積，其所形成的效應仍需考慮區域的地形、地貌與海象特性再深入考量。

### 7.3.2 防波堤堤頭波流場觀測與分析

#### 7.3.2.1 作業內容

麥寮港近南堤外海處，點號 ML 處之點位坐標為 TWD97 E 120° 09'08.22"，N 23° 45' 37.98"，水深約 8.0 公尺，本測區觀測日期自 103 年 04 月 9 日至 05 月 1 日止共 22 天，施放之自記式潮波流儀，觀測海面表層及海床底層之流速、波浪及潮位。

#### 7.3.2.2 測區海域潮波流結果分析

##### 一、潮汐

ML測站的水位時序變化04月15日23時，記錄最大水深9.786m，04月30日17時記錄最小水深6.216m，最大潮差3.502m。調合分析顯示，主要分潮為M2，振幅為1.302m，次要分潮S2，振幅0.413m，屬於半日潮型。

##### 二、海流

ML測站底層平均流速為36.4cm/s，主要流向為N，此流向中測得流速最大值為78.1cm/s，發生於04月15日19時漲潮段期間。全程資料記錄中，底層流速最大值為135.3cm/s，流向為SSE，發生於04月15日00時退潮段期間。ML測站表層平均流速為42.5cm/s，主要流向為N，此流向中測得流速最大值為91.4cm/s，發生於04月16日19時漲潮段期間。全程資料紀錄中，表層流速最大值為153.7cm/s，流向為SSE，發生於04月15日00時退潮段期間。

ML測站的底層流向分佈集中於N、S方位，主要流速分佈區間為大於37.5cm/sec，發生機率為50.54%。表層流向分佈集中於N、S方位，主要流速分佈區間為大於37.5cm/sec，發生機率為58.79%。

ML測站的退潮段底層流向分佈集中於SSE、S方位，發生機率為77.83%；漲潮段底層流向分佈集中N方位，發生機率為74.31%。退潮段

表層流向分佈集中於SSE、S方位，發生機率為80.18%；漲潮段表層流向分佈於N方位，發生機率為73.83%。

### 三、波浪

ML測站的波浪波高與波向分佈分析結果顯示，主要波向為NNW、NW，觀測期間內的示性波高( $H_{1/3}$ )為75.0cm，對應的示性週期( $T_{1/3}$ )為5.12sec。以每小時為統計區間，示性波高主要分佈於25~75cm，佔約全體的64.39%，示性週期則集中於4~5sec區間。平均波高( $H_{mean}$ )為47.0cm，平均週期( $T_{mean}$ ) 4.81sec。最大波高( $H_{max}$ )135.0cm，週期( $T_{max}$ ) 6.10sec，對應波浪方向為NW，此記錄發生的時間為04月14日18時。

## 7.4 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的數值模擬

### 7.4.1 FLOW-3D 模式介紹

本計畫利用 FLOW-3D 流體數值模式分析軟體，模擬防波堤堤頭鄰近海域波、流場的時空分佈和演變，並導入淘刷模式，探討堤頭處地形變化，相關應用模組如表 7.2 所示。

表 7.2 港灣工程領域適用的 FLOW-3D 計算模組

| 模組名稱                         | 適用性簡述                |
|------------------------------|----------------------|
| Moving and deforming objects | 波浪與潮流對結構物之繞射與應力的耦合分析 |
| Particles model              | 波流場的分佈追蹤與分析          |
| Porous media model           | 海域孔隙結構物模型的建立與處理      |
| Sediment scour model         | 預測泥沙等的淘刷懸浮沉降過程       |
| Scour potential model        | 計算與評估定床面侵蝕的趨勢        |
| Shallow water model          | 水深平均應用於三維垂直動量方程的處理   |
| Viscosity and turbulence     | 流場粘性係數與紊流模式的處理       |
| Wave boundary                | 邊界線性波與非線性波的產生與應用     |

#### 7.4.1.1 理論基礎

FLOW-3D的理論基礎在於三維的質量守恆及動量守恆方程式等，針對本計畫所研究的物理現象，乃為水動力學問題，其運動方程式為Naiver-Stokes方程式，其數學模式的架構為：

## 1. Naiver-Stokes 控制方程式

在古典力學中，物質體系所遵循的物理法則是「質量守恆」及「動量守恆」，對於三維不可壓縮黏性流體，在直角座標系的形式下連續方程式為：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (7.4-1)$$

動量方程式，在X、Y和Z方向分別表示如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (7.4-2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (7.4-3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - g \quad (7.4-4)$$

## 2. FLOW-3D 控制方程式

### (1) 質量連續方程式(Mass Continuity Equation)

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (7.4-5)$$

### (2) 動量方程式(Momentum Equations)

以直角座標的形式將 Navier-Stokes Equation 展開可得(X, Y, Z)三個方向的流體速度(u, v, w)：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + f_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - \delta u_s) \quad (7.4-6)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - \delta v_s) \quad (7.4-7)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + f_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - \delta w_s) \quad (7.4-8)$$

#### **(4) 底質淘刷模式 (Sediment Scour Model)**

FLOW-3D 的泥沙淘刷模組主要預測泥沙的輸沙侵淤過程，這個模式可以同時模擬不同屬性之沙礫、淤泥以及非黏性沉積物等於任何流場的流動，包括：

(a) 底床剪切應力 (Bed shear stress) (b) 臨界希爾茲數 (Critical Shields parameter) (c) 夾帶起沙和沉積 (Entrainment and Deposition) (d) 底床載輸沙 (Bedload Transport) (e) 懸浮載輸沙 (Suspended load transport)

##### **7.4.1.2 邊界與網格處理方法**

###### **1. 開放邊界**

在非主要波、流輸入方向的邊界條件，可選用 Sommerfeld 輻射邊界條件 (radiation boundary condition)，

###### **2. 造波邊界**

FLOW-3D 計算領域網格造波邊界條件是 Stokes 5 階理論，Stokes 波是一種非線性有限幅度的前進波，比較線性波理論，它允許更高的波動幅度。

###### **3. VOF 自由液面處理方法**

FLOW-3D 的自由液面追蹤法使用 VOF 計算，可以精確的模擬流體介面結合與分離狀態，FAVOR 定義矩形網格內一般幾何形狀的區域，利用矩形立方體所構成的網格定義複雜的幾何形體，定義每一個矩形立方體六個面的流通面積比與自由出入的體積。

###### **4. 網格處理方法—多區塊結構網格**

多區塊結構網格 (Multi-block Grids)，能減少網格數目，網格與幾何現狀自動耦合，精確、穩定、可以加快運算的收斂性。

###### **5. FAVOR 障礙物體積分率表示法**

FLOW 3D 數值方法採用FAVOR表示法(Fractional Area/Volume Obstacle Representation)及控制體積(Control Volume)的觀念，使網格與幾何形狀完全獨立。這種方法即使模式非常複雜，也能夠精確的描述外型。對於防波堤堤頭地形淘刷的模擬，FLOW-3D可以波場或流場分別進行模擬，或是同時混合流場與波場的數值計算。

## 7.4.2 防波堤鄰近海域波場數值模擬

### 7.4.2.1 模式驗證

本研究以FLOW-3D模式計算規則波通過潛堤及斜坡底床上的波場變化，計算結果與陳彥彰 (2004)、理論值及試驗值進行一系列比較驗證，結果顯示，以FLOW-3D模式計算所得均可適當描述規則波通過潛堤及斜坡底床上的波場變化，結果亦比二階非線性 Boussinesq 方程式所得結果為佳。

### 7.4.2.2 防波堤堤頭波場計算範圍及水深地形

麥寮工業港波場數值模擬以麥寮工業港西防波堤堤頭附近海域並包含東防波堤為計算範圍，如圖 7.6 所示。防波堤堤頭附近計算範圍為 1.5 km × 2.5 km，底床邊界採用附近海域實測地形資料。根據網格獨立性測試結果，垂直入射波向( $\Delta y$ )網格設定1/20波長，平行入射波向網格( $\Delta x$ )設定為1/10波長，而垂直水層網格( $\Delta z$ )則設定為1/10波高。

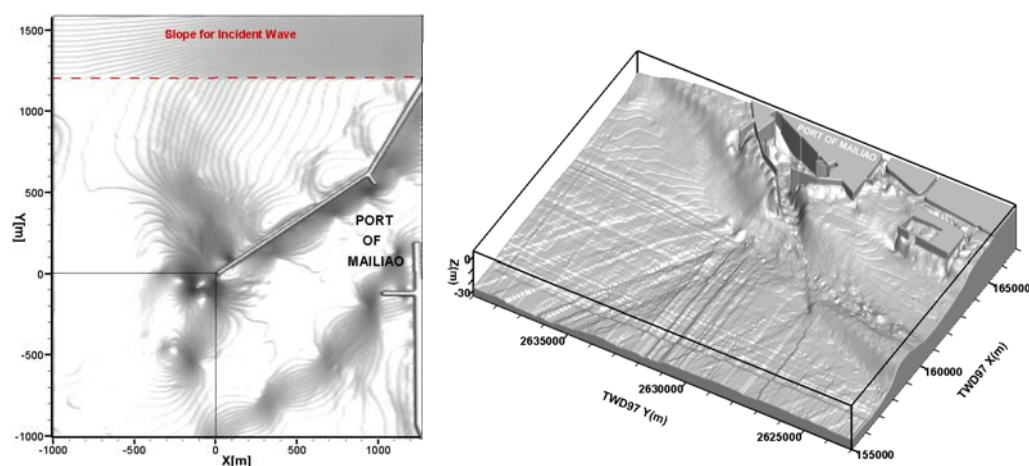


圖 7.6 麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖

### 7.4.2.3 波場中自由水面變化

波場數值模擬麥寮工業港北側海域入射波浪第45至80個造波期之波峰與波谷自由液面時序變化如圖7.7與圖7.8所示。

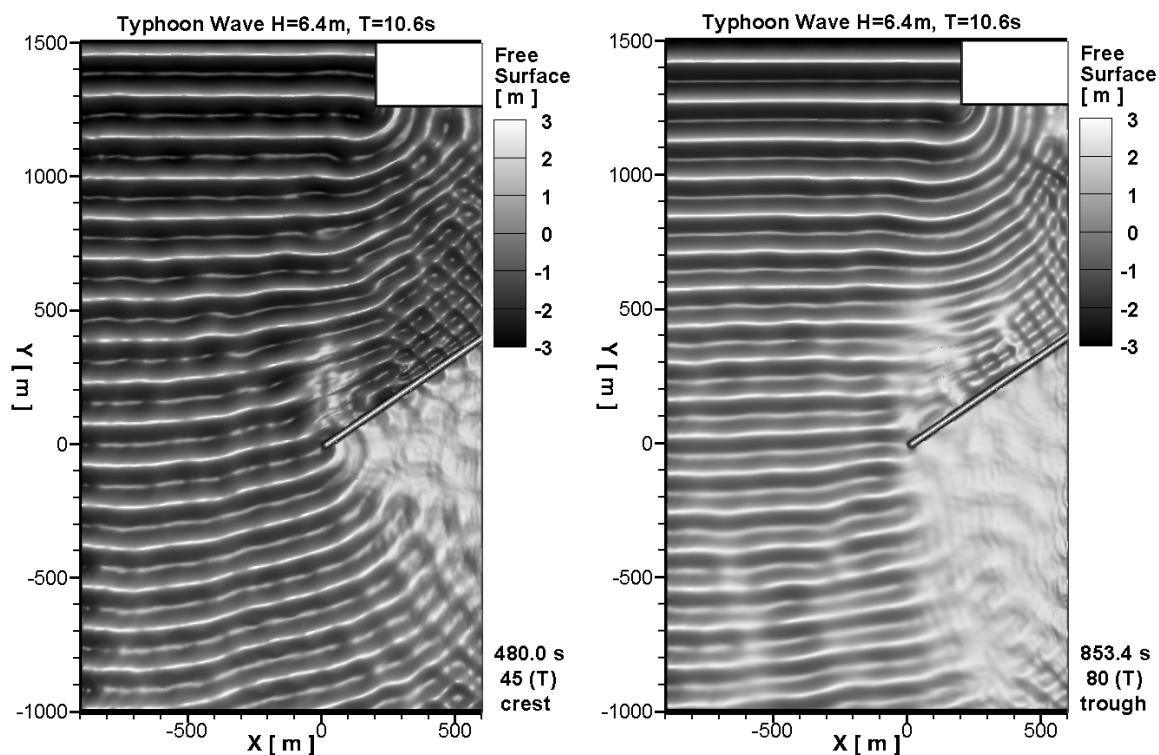


圖 7.7 第 45 造波週期波峰圖      圖 7.8 第 80 造波週期波谷

### 7.4.2.4 波浪作用下引發的流況變化

#### 1. 防波堤堤頭附近海域海床底層之流速變化

麥寮工業港北側海域第80入射波浪引發x、y、z方向的流速u、v、w分層變化分別如圖7.9、圖7.10和圖7.11所示。

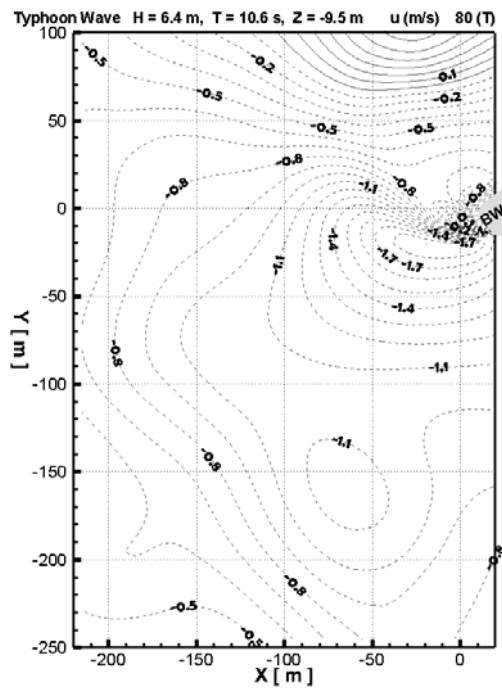


圖 7.9 垂直水層-9.5m 流速 u 分布

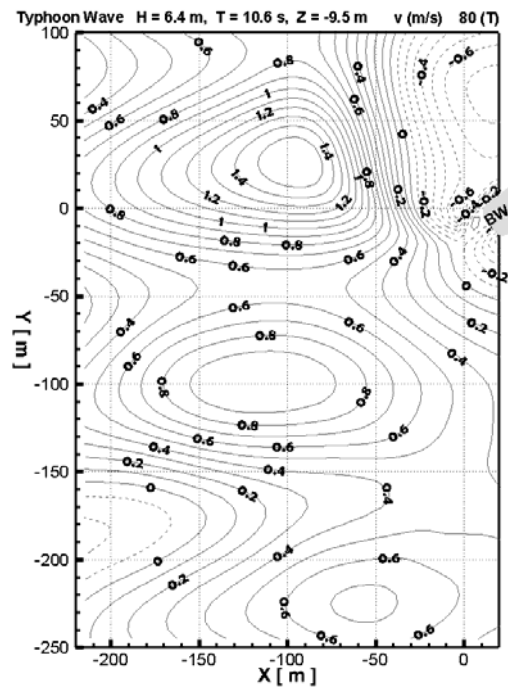


圖 7.10 垂直水層-20.5m 流速 v 分布

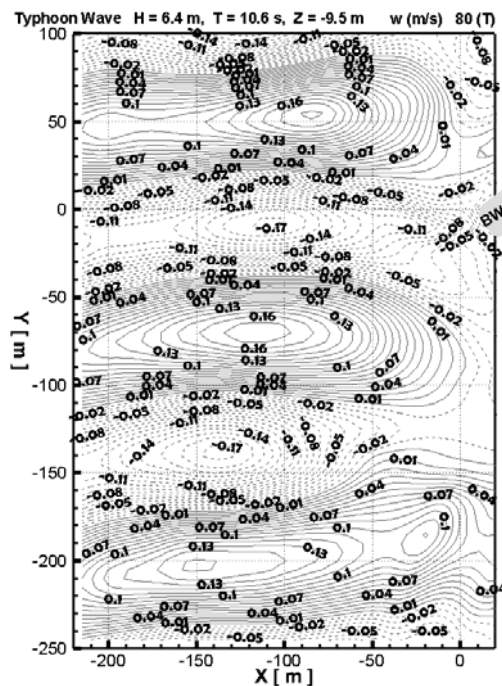


圖 7.11 垂直水層-9.5m 流速 w 分布

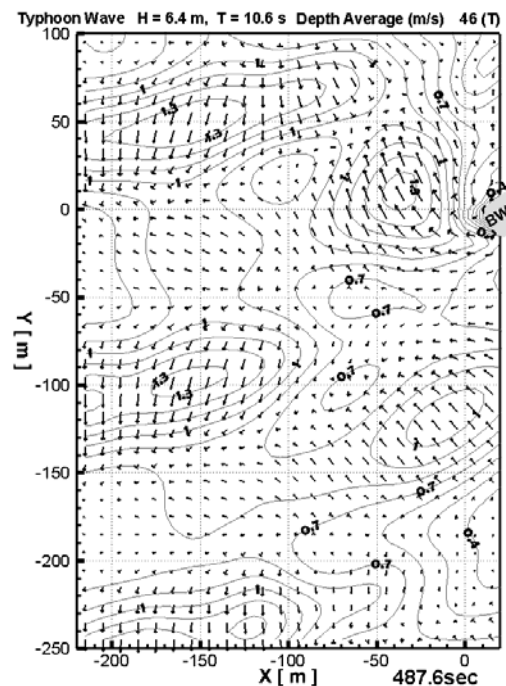


圖 7.12 第 46 周期平均水深流向流速

堤頭附近波場平均水深流速，觀察一個造波週期流向的變化和流速的分布，如圖 7.12 所示。

圖 7.13 及圖 7.14 為堤頭附近波場一個造波週期底床流速的變化和分布。

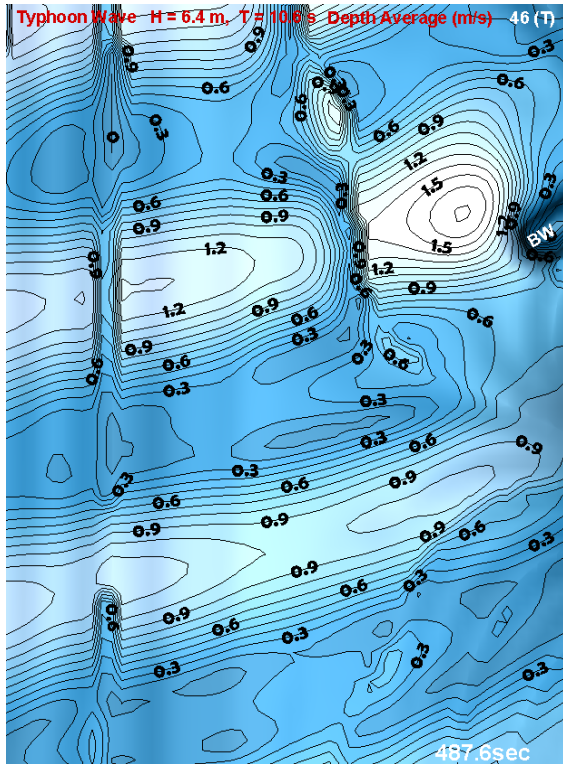


圖 7.13 第 46 周期底床流速分布

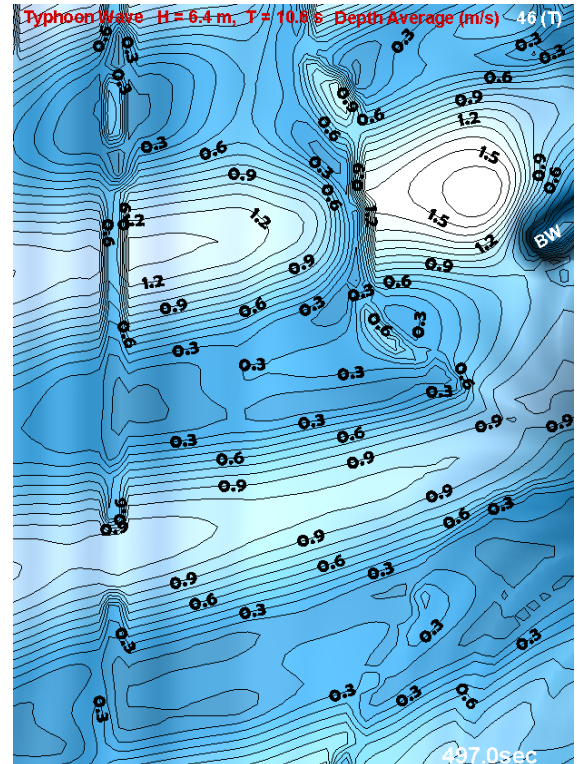


圖 7.14 第 46.9 周期底床流速分布

## 二、防波堤堤頭附近海域波場流速與底床變化分析

淘刷區底床流速(  $\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$  )介於 0.57 m/s 與 1.51 m/s 之間，淘刷區底床高度約介於 -20.32 m 至 -20.45 m 之間。觀察淘刷區底床流速的時序變化顯示本區波場流況不穩定，和淘刷時序的變化顯示正相關，即淘刷曲線趨於平緩時，底床流速相對減小。

以淘刷區中心座標[-113 m, -48m, (-1.5 ~ -20.5 m)]，如圖 7.15 所示，分析波場引發流速的變化，顯示東西向流速  $u$  介於 -1.41 m/s 至 -0.55 m/s，南北向流速  $v$  介於 -1.47 m/s 至 0.75 m/s，垂直向流速  $w$  介於 -0.43 m/s 至 0.53 m/s，如圖 7.16 所示。其中流速  $u$  從底床 -20.5 m 至水面 -1.5 m 共 20 層之流速均呈現負值 (-x)，可以判斷前進波列因為防波堤的遮蔽效應引發流場束縮流流向堤頭西向之淘刷區。

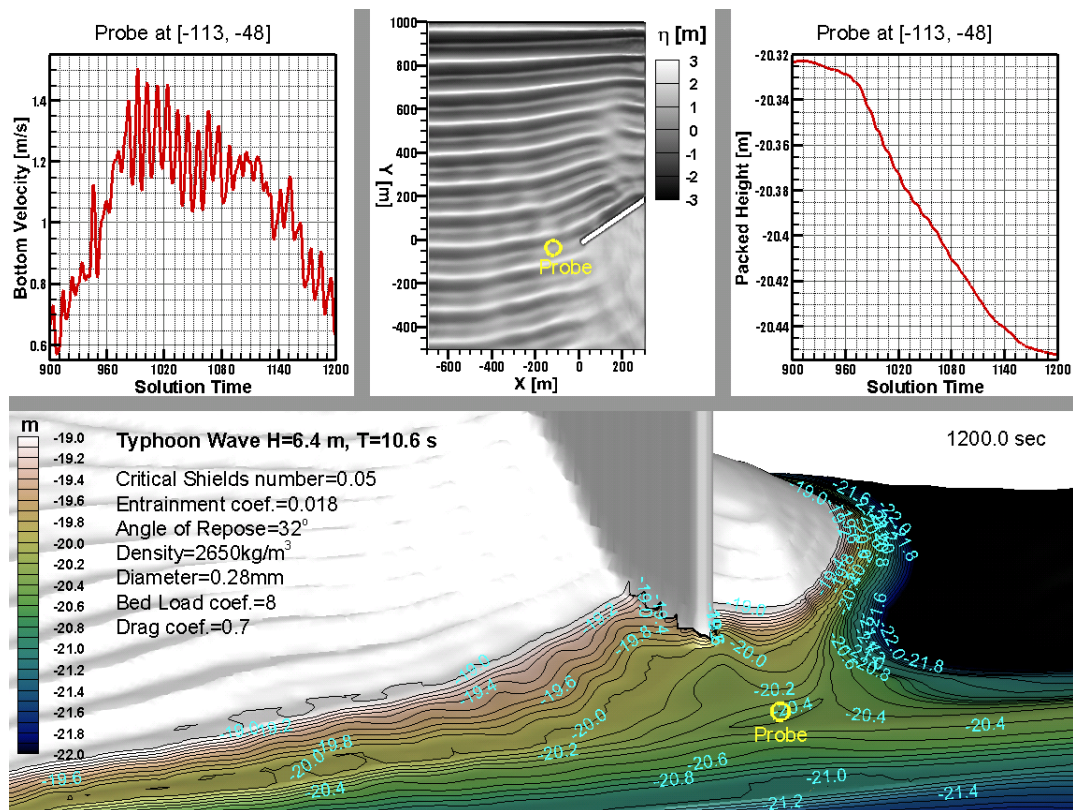


圖 7.15 淘刷區底床流速與高程變化圖

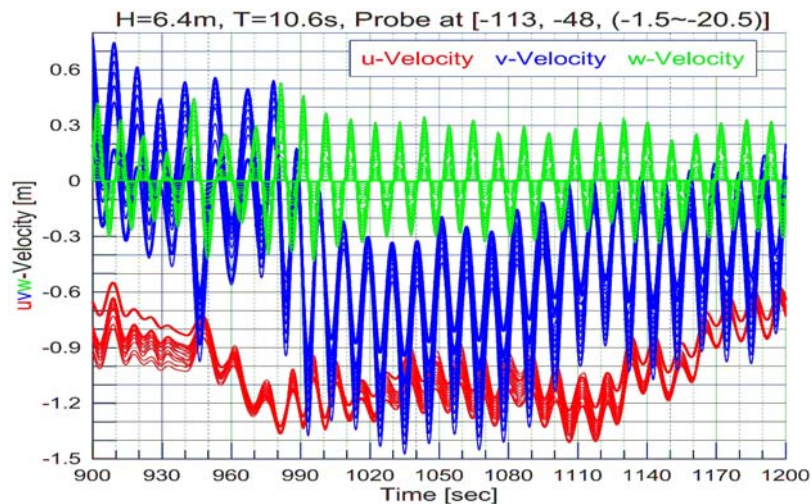


圖 7.16 淘刷區 20 層流速  $u$ 、 $v$ 、 $w$  時序變化比較圖

## 7.5 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的水工模型試驗

以現況麥寮工業港而言，100m 內之最大刷深水深為-46m，以 1：3.5 之坡度而言，至堤址水深-26m 約有 70m 之大量侵蝕範圍，由於麥寮西防堤於施工中之臨時堤址保護工亦僅 30m，其坑洞斜坡似乎已逼近沉箱，其安全性

需深入評估。堤頭保護長度在設計規範中以波場考量為主，而流場因素則未有詳實之建議，因此，有關深水防波堤之堤頭保護工所需之範圍，實有進一步規範之必要。

### 7.5.1 試驗設備與儀器

#### 1. 試驗水槽與造波機

水工試驗於國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系海洋工程綜合實驗室之平面試驗水池進行，水槽長 40 公尺、寬 25 公尺、深 1 公尺，造波系統由兩部活塞式造波機所構成，每部機組之造波板長 5 公尺、高 1 公尺 (如圖 7.17 所示)。平面水槽備有兩部 125HP 之水渦輪機(如圖 7.18 所示)，具造流能力可模擬潮流或結構物與波流之交互作用。



圖 7.17 活塞式造波機



圖 7.18 造流水渦輪機

#### 2. 流速計、波高計

二維電磁式流速儀為 ACM250-A 型流速計。三維超音波都普勒流速儀為 NORTEK 公司製造之超音波都普勒點式流速計，水位變化之測定乃採用電容式波高計，每組波高計含感測線、電容計及訊號產生器三部份，感測線是由鐵氟龍電線 (PTFE) 及電極形成一電容迴路，主要架設於造波機前及防波堤堤頭鄰近區域。

#### 4. 三維超音波都普勒流速資料擷取系統

利用 UT300 RC-232 擴充卡與 NORTEK 三維超音波都普勒流速儀溝通，軟體採用 NORTEK 研發之訊號收集程式，試驗系統以 25 Hz 之取樣率記錄

各測點流速資料。

#### 5. 二維電磁式流速儀及水位訊號資料擷取系統

訊號記錄系統採用 PCI-6225 類比／數位轉換卡搭配其 SCA-68A 抗躁端子台，資料擷取與訊號分析使用自行撰寫之 LabView 程式，此系統以 100 Hz 之取樣率記錄各測點資料。

#### 6. 地形變化量測系統

量測系統採用 Hokuyo URG-04LX-UG01，實驗時移動至量測區上方測量地形高程變化，系統以 10 Hz 之取樣率記錄資料。

### 7.5.2 試驗條件與試驗比尺

#### 1. 試驗地形規劃

動床試驗以麥寮工業港作為防波堤堤頭流場特性觀察區域，依照民國 89 年實測地形為初始地形在實驗平面水槽進行模型鋪設如圖 7.19。

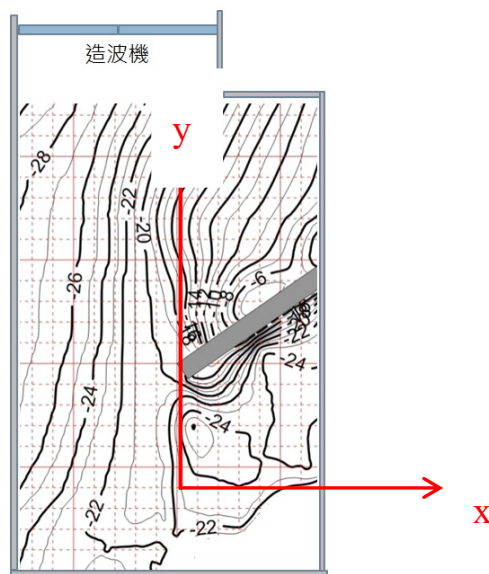


圖 7.19 地形模型鋪設圖

#### 2. 潮位條件

季風浪造波時，試驗設計潮位採用平均潮位(+0.35m)；颱風浪造波時，試驗設計潮位採用大潮平均高潮位(+2.10 m)為基準。

### 3. 波浪條件

颱風波浪條件使用麥寮工業港外海推算 100 年重現期之 N 向波浪條件， $H_{1/3}=6.4\text{m}$ ， $T_{1/3}=10.6\text{sec}$ 。經淺化公式推算於水深 56.25m 時波高為 6.1m。

4. 試驗條件經模型縮尺後整理如表 7.3 所示。

表 7.3 試驗條件換算

| 波浪<br>條件 | 現場(模型) |               |                   |               |            |
|----------|--------|---------------|-------------------|---------------|------------|
|          | 波<br>向 | 波 高           | 週 期               | 潮 位           | 不 等<br>比 率 |
| 季風       | N      | 2.65m(2.65cm) | 6.32sec(0.632sec) | 0.35m(0.35cm) | 1          |
| 颱<br>風   | N      | 6.4m(6.40cm)  | 10.6sec(1.06sec)  | 2.1m(2.1cm)   | 1          |
|          | N      | 6.4m(9.12cm)  | 10.6sec(1.267sec) | 2.1m(3.0cm)   | 3          |
|          | N      | 6.4m(9.00cm)  | 10.6sec(1.06sec)  | 2.1m(2.1cm)   | 3          |
|          | N      | 6.4m(11.38cm) | 10.6sec(1.267sec) | 2.1m(2.1cm)   | 3          |

### 7.5.3 試驗模型佈置與試驗步驟

試驗模型底床佈置 (如圖 7.20)。本試驗之海灘底質採用經過篩洗後之玻璃砂，其比重為 2.651，中值粒徑  $D_{50}$  為 0.28mm。另 100 號篩出  $D_{50}$  為 0.15mm 比重約為 2.5 之砂粒進行試驗。



圖 7.20 完成動床地形及堤頭鋪設

### 7.5.4 試驗量測分析

#### 1. 試驗儀器律定

利用季風波浪條件進行入射波浪率定及流速儀校正。季風波浪條件經縮尺換算後  $H=2.65\text{cm}$ ， $T=0.632\text{sec}$ ，平均潮位 $+0.35\text{cm}$ ，因定水深  $50\text{cm}$  為  $Z$  軸  $0$  點，此時水槽水深  $h$  為  $50.35\text{cm}$ 。使用深水條件之微小振幅規則前進重力波公式計算後與兩支三維流速儀之實測值比較，結果顯示相當一致。

## 2. 季風波浪作用

### A. 季風波浪波高及流速量測點位

季風波浪試驗佈置之波高計及流速儀量測點如圖 7.21 所示。

### B. 季風波浪資料分析時間區段測定

同時比較堤頭西北方之 Site1H 及南側 Site32H 波形資料，顯示在  $t = 48\sim 78\text{sec}$  有較穩定區間可做為資料分析之用，故選取上述時間區間分析季風波場及流場之變化。

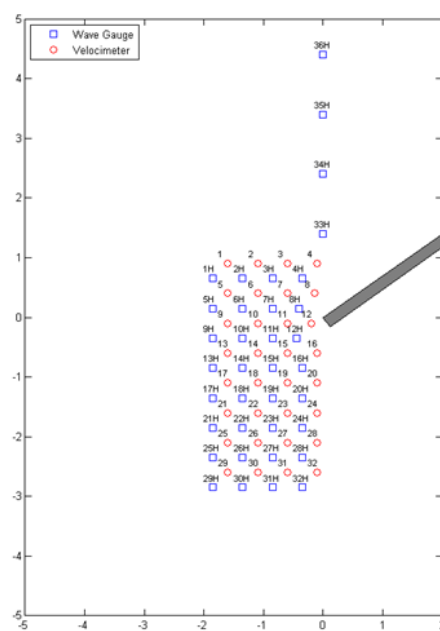


圖 7.21 季風波浪波高及流速量測點示意圖

### C. 堤頭附近季風波浪水位變化及波場分布

實驗觀察如圖 7.22 及圖 7.23 所示，繞射波之波峰線以堤端為原點呈同心圓弧型前進，在堤後之遮蔽區波高迅速降低，實驗結果符合此趨勢。



圖 7.22 N 向季風波浪入射圖

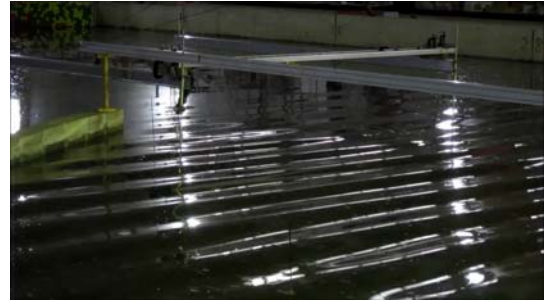


圖 7.23 N 向季風波浪堤頭作用圖

#### D. 堤頭附近季風波浪流速變化及流場分布

各流速量測點位於前述選定時間區間  $z = -15\text{cm}$  之流速變化如圖 7.24 所示，在選定時間區間中各方向速度分量均具有週期性之變化，將各方向之週期峰值平均後繪製其分佈趨勢， $z = -15\text{cm}$  如圖 7.25。

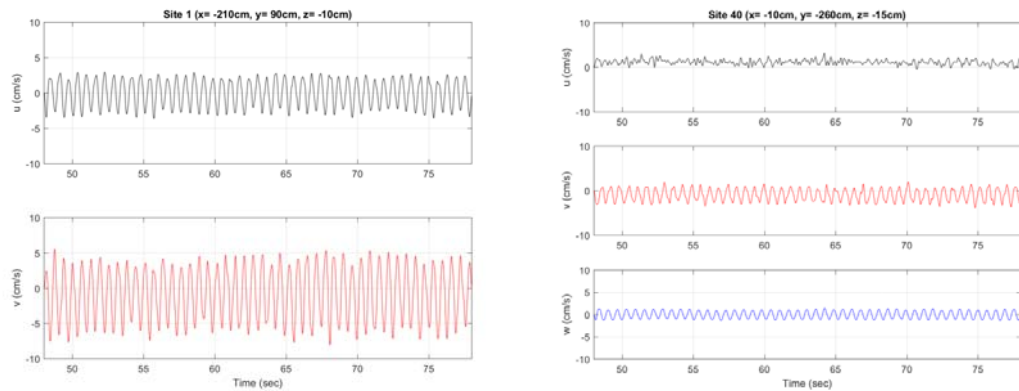


圖 7.24 季風波浪 Site1~40 選定時間區間  $z = -15\text{cm}$  之流速變化

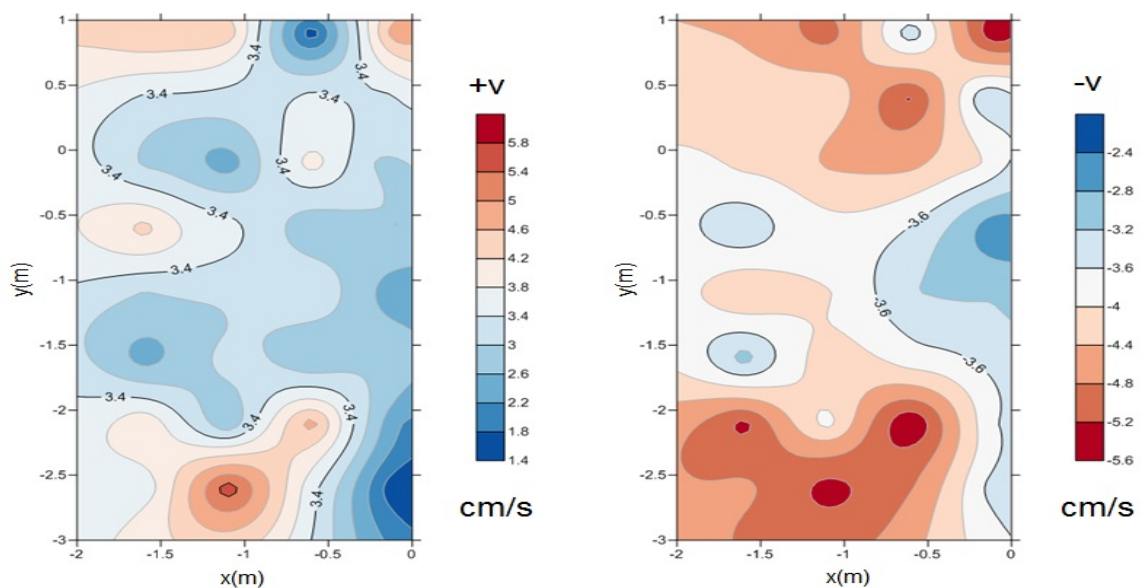


圖 7.25 季風波浪  $z = -15\text{cm}$  各方向速度峰值平均之分佈趨勢

### E. 季風波浪作用下堤頭附近地形變化

座標原點定在堤頭，N 向季風波浪入射後由深水往較淺處傳播，以  $x=0\text{m}$  之軸線上來觀察， $y=1500\sim 650\text{m}$  水深由  $-24\text{m}$  至  $-15\text{m}$ ，坡度約為  $1/100$ ， $y=650\sim 0\text{m}$  堤頭處則稍微變深由  $-15\text{m}$  至  $-19\text{m}$ ，坡度小於  $1/150$ ，因此首先觀察如圖 7.26 所示位置之剖面之地形在季風波浪作用 3 分鐘、6 分鐘、9 分鐘、30 分鐘、60 分鐘後之變化(如圖 7.27 所示)。

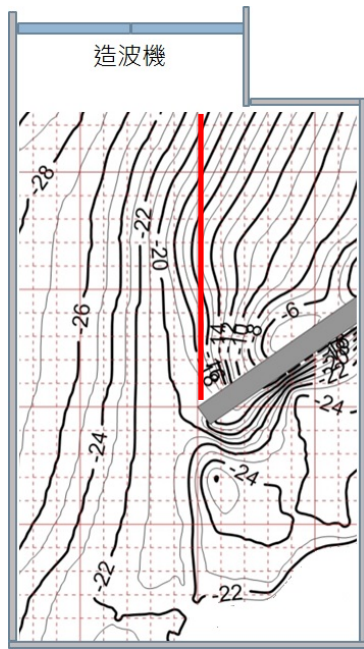


圖 7.26 地形剖面量測位置圖

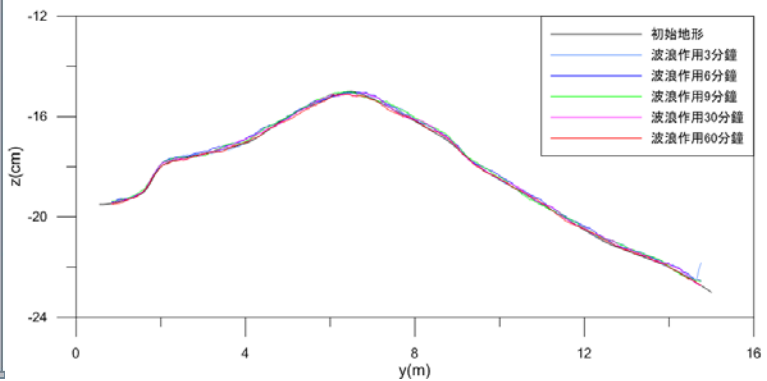


圖 7.27 地形剖面變化

## 3. 颱風波浪作用

### A. 颱風波浪波高及流速量測點位

為觀測颱風波浪作用下防波堤堤頭處之波、流場，加密堤頭附近之測點以探討深水沉箱堤附近水域在颱風波浪下所引發之波、流場特性。颱風波浪試驗佈置之波高計及流速儀量測點如圖 7.28、圖 7.29 所示，藍色方框為波高計測點，紅色圓圈為流速儀測點。

### B. 颱風波浪資料分析時間區段測定

N 向颱風波浪條件造波穩定時間之測定，參考於造波機前之入射波高資料，研判  $t=10\sim 30\text{sec}$  區間相對穩定，故取  $t=10\sim 30\text{sec}$  區間作為入射波浪條件校準，使用零上切法分析可得  $H=6.25\text{cm}$ ， $T=1.06\text{sec}$ ，週期與試驗條件

相當一致，波高誤差約 2%。同時比較堤頭西北方之 Site2H 及東南側 Site40H 波形資料與季風波浪選擇時間區段所用之相同位置，顯示在  $t = 25 \sim 35\text{sec}$  有較穩定區間可做為資料分析之用，故選取上述時間區間分析颱風波場及流場之變化。

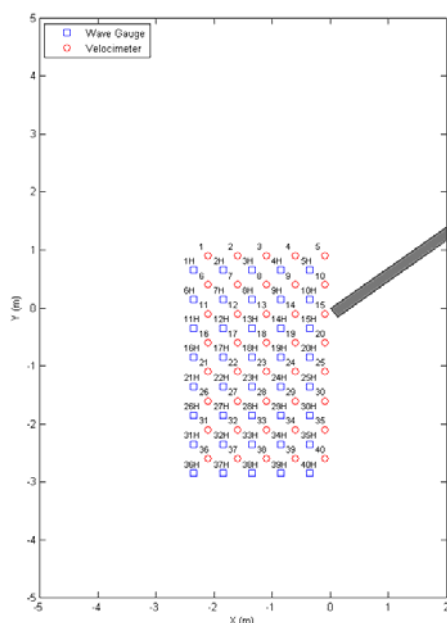


圖 7.28 颱風波高流速量測點

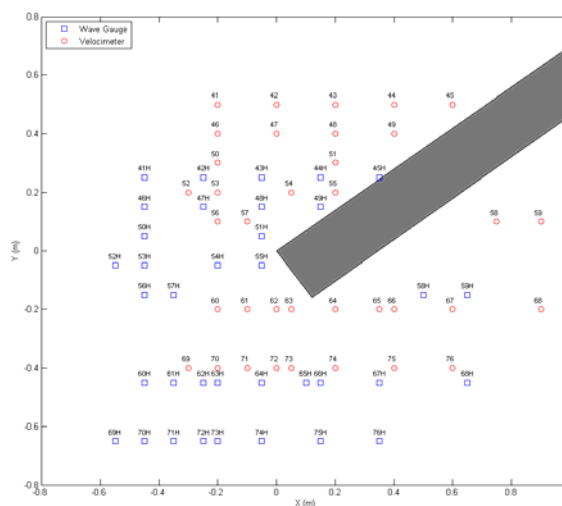


圖 7.29 颱風堤頭波高流速量測點

### C. 防波堤堤頭附近颱風波浪水位變化及波場分布

各測點位於前述選定時間區間之水位變化如圖 7.30 所示，以堤頭附近水位變化計算波場分佈如圖 7.31。

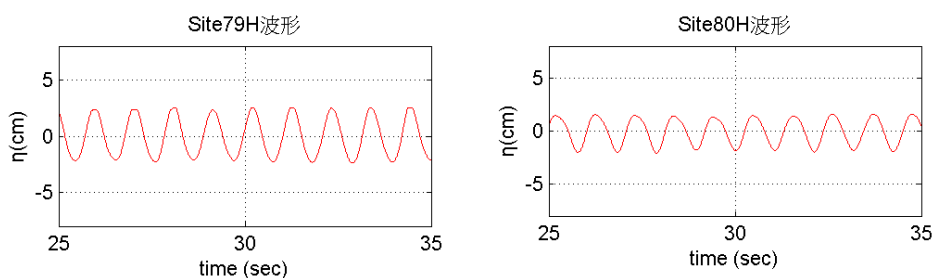


圖 7.30 颱風波浪 Site1H~80H 選定時間區間之水位變化

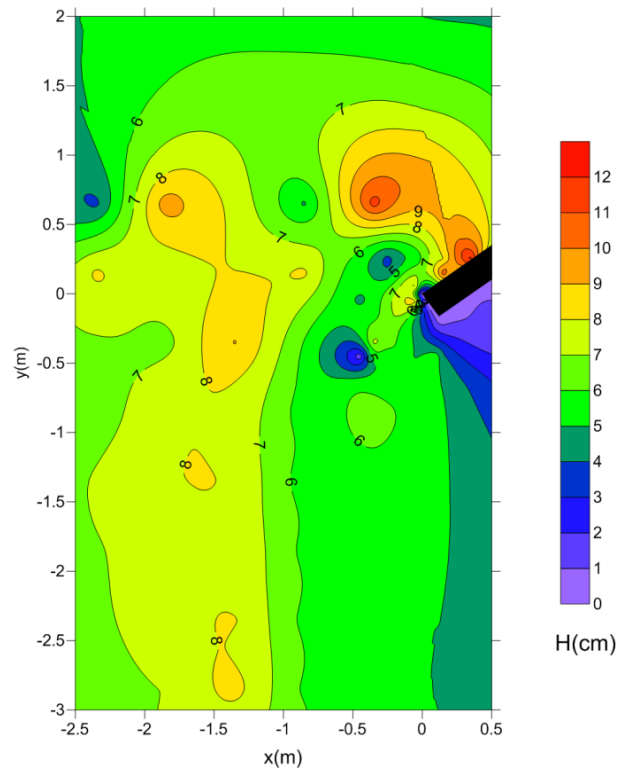


圖 7.31 N 向颱風波浪條件作用下堤頭附近波高分布

#### D. 堤頭附近颱風波浪流速變化及流場分布

各流速量測點位於前述選定時間區間  $z = -15\text{cm}$  之流速變化如圖 7.32 所示

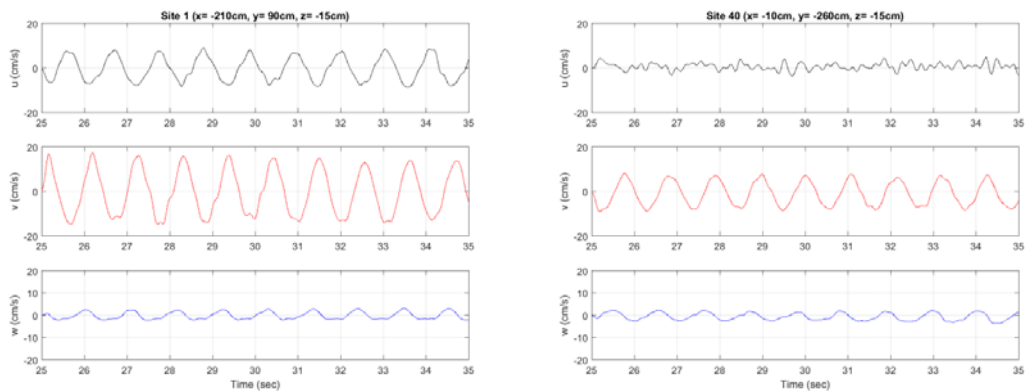


圖 7.32 颱風波浪 Site1~40 選定時間區間  $z = -15\text{cm}$  之流速變化

為觀察瞬時之流場強度變化，定義  $U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ ，選取量測時間  $t = 26 \sim 27.08\text{sec}$ ，間格  $0.12\text{sec}$  繪製平面流場(圖左)及其瞬時流場強度  $U$ (圖

右)， $z = -15$  如圖 7.33。

Site10-1 在堤頭附近有較大流速，其流向呈逆時鐘變化，而堤頭之 Site15-1 流速較小，該處受到堤頭之影響，波流場較為紊亂且波高、流速均較小， $z = -10\text{cm}$  水層亦有相同的趨勢在。總流速較大之區域則在入射方向與防坡堤之間變動，另一區域則是較不受結構物及地形淺化作用影響之外海側。各瞬時之平面流場及總流速分佈在兩水層趨勢大致相符， $z = -10\text{cm}$  水層之流速稍大於  $z = -15\text{cm}$ ，但有個別點位之流向在兩水層間不同，大致可分為堤前之 Site4、Site5、Site10-1 三角區及堤線方向之區域包含 Site15-1、Site17、Site18、Site19、Site20，前者位於堤前重複波之作用區，Site10-1 存在另一成分波，而後者研判為繞射波浪與 N 向波浪作用之相位差所造成。

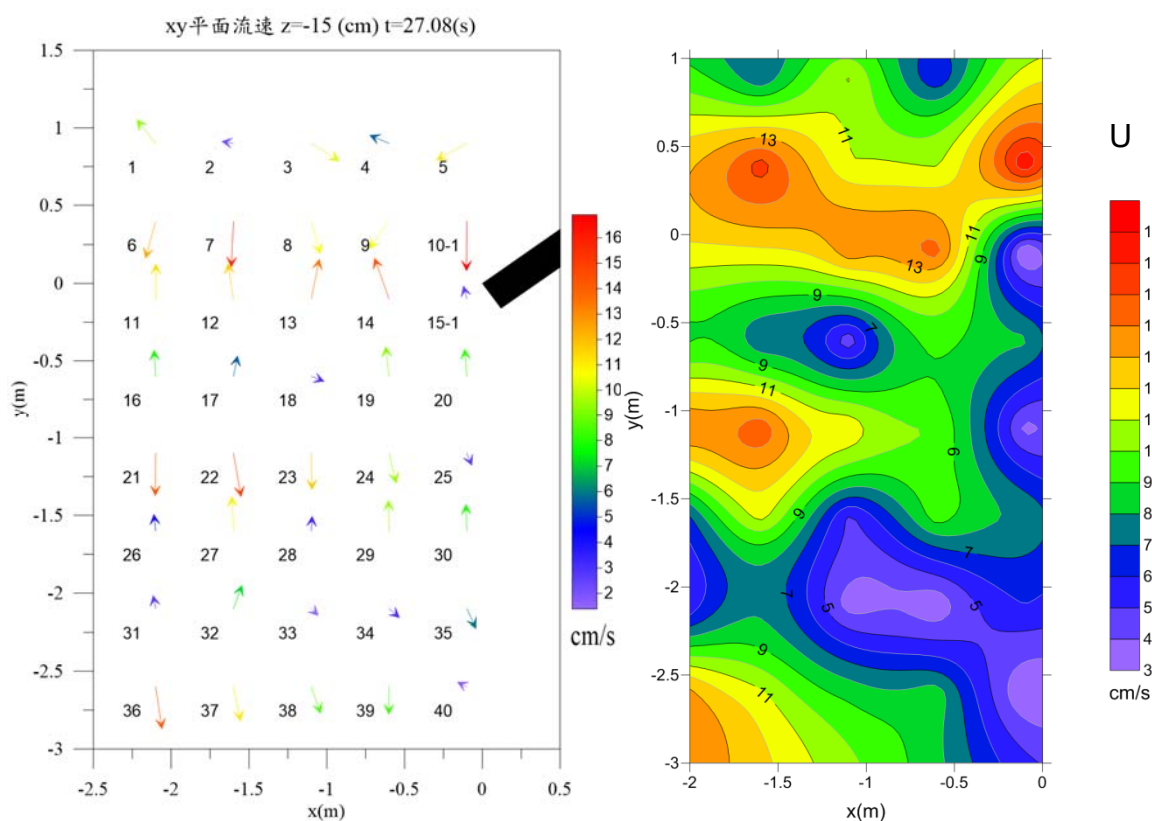


圖 7.33 颱風波浪作用下  $t=27.08\text{sec}$ ,  $z=-15\text{cm}$  平面流場及  $U$  之分佈圖

#### E. 颱風波浪作用下防波堤堤頭附近地形變化

以 N 向颱風波浪每次作用 200 個波(約 212 秒)為週期進行堤頭附近之地形變化量測，此時模型縮尺為等比 1/100，持續作用至 600 個波後，該侵蝕

區域稍微擴大且往堤頭方向移動，另在防坡堤北方  $y=150\sim 200\text{m}$  處亦出現輕微侵蝕，但整體來說地形侵淤變化不大，堤基相當安定，僅卵礫石發生位移。

在此改採水深比尺( $\lambda_h$ )為  $1/70$ ，水平比尺( $\lambda_L$ )為  $1/210$ ，即不等比率 3 進行模型配置，重新率定入射波浪週期為  $1.267\text{sec}$ 、波高為  $9.12\text{cm}$  進行颱風波浪作用之地形變化量測，此時試驗水深為  $60\text{cm}$ 。作用 600 個波後侵淤結果如圖 7.34 所示，該侵蝕區域持續擴大且往堤頭方向移動，此試驗水深較深，整體來說防坡堤堤基相當安定。

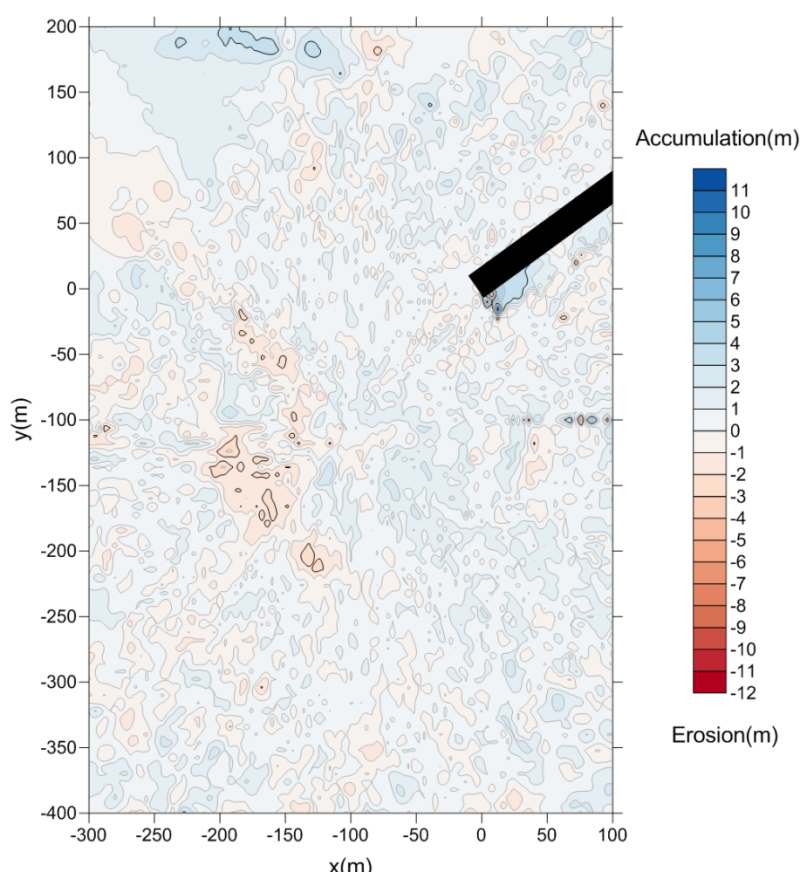


圖 7.34 颱風波浪作用 600 個波後之地形變化

## 7.6 防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證

波浪作用下的防波堤堤趾沖刷深度，受波浪入射角、水深、防坡堤堤面坡度、糙度與堤趾護基消波能力等諸多參數的影響，依據前人研究成果顯示，當波浪愈偏離正向入射角，對海域地形影響愈大，堤趾的刷深也愈大；防坡堤所在的相對水深越淺，則地形受到波浪作用越明顯，所造成的沖刷值亦會增大；斜面型式的防坡堤若能有效使波浪發生破碎，亦或具有足夠的糙

度消耗波浪能量、減小波浪反射率，則可以達到減少沖刷深度的功效。波浪以垂直入射方向通過防波堤堤頭時，波浪與堤體尺寸特性關係可以  $KC$  參數 ( $UmT/B$ ) 表示。波浪通過堤頭結構物所肇生的渦流隨著  $KC$  參數的增加而變化，連帶造成堤頭沖刷狀態的改變，地形下刷的深度亦跟著增加。

參考 Sumer and Fredsø (1997) 研究成果，研擬堤頭侵蝕的防制工法，以改善或抑制防波堤堤頭附近區域的侵蝕掏刷。選擇麥寮工業港西防波堤設計圖的堤體寬度 ( $B$ )，與原始防波堤堤頭護基寬度 ( $L_p$ ) 為主要變數，探討相對護基寬度 ( $L_p/B$ ) 在不同  $KC$  值作用下所伴生的相對沖刷深度。原始麥寮工業港西防波堤設計堤體寬度為 20 m，而堤頭外側護基寬度約 24 m，相對護基寬度為 1.33。因此初步建議增加堤頭護基寬度使之超越 1.33，藉由本計畫所建立的堤頭侵蝕數值模擬模式，與水工模型三維試驗，並在最小工程需求及最低環境影響的條件下，尋找最大改善防波堤堤頭侵蝕效果的平衡點。

### 7.6.1 數值模型模擬條件

依初步擬定之堤頭侵蝕防制工法條件，調整防波堤堤頭護基寬度，使比值為 1.5，建立麥寮工業港的數值模型與水工模型，並由麥寮工業港鄰近海域 50 年回歸颱風波浪條件進行計算與試驗比較。數值模型的調整與設定相對地較為容易，因此模擬所含括的起始條件亦可較為多變。考量綜合條件，規劃進行模擬的項目如表 7.4 所示。

表 7.4 防制工法數值模型模擬項目

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 波浪條件                                        | 相對護基寬度  | 模擬現象 |
|----|------|------|---------------------------------------------|---------|------|
| 1  | 動床   | 無沖刷洞 | $H = 6.4 \text{ m}$<br>$T = 10.6 \text{ s}$ | 原始護基    | 波場   |
| 2  | 動床   | 無沖刷洞 | $H = 6.4 \text{ m}$<br>$T = 10.6 \text{ s}$ | 1.5 倍護基 | 波場   |

### 7.6.2 水工模型試驗條件

計畫今年度水工模型試驗，底床特性皆採用動床，因此規劃的試驗項目

如表 7.5 所示。

表 7.5 防制工法水工模型試驗項目

| 項次 | 底床特性 | 起始地形 | 波浪條件                                         | 相對護基寬度 | 觀測現象 |
|----|------|------|----------------------------------------------|--------|------|
| 1  | 動床   | 無沖刷洞 | $H = 6.4 \text{ cm}$<br>$T = 1.06 \text{ s}$ | 原始護基   | 波場   |

### 7.6.3 防制工法數值模型模擬

#### 1. 防波堤護基模型建立

為了與水工試驗更精確模擬驗證比較，數值模型建置與物理模型盡可能一致，數值模型防波堤設計如圖 7.35 所示，基於運算時間考量，護基部分先採用孔隙介質模型測試，後續再進行 CAD 消波塊護基模型模擬。



圖 7.35 數值模型防波堤設計圖

#### 2. 數值計算資料擷取點與水工試驗流速計布置

數值計算資料擷取與水工試驗流速計位置分布以堤頭為原點，除了 site 10、site 15 及 site 20 因水深受限其垂直座標為  $z = -12.5 \text{ m}$  之外，其餘垂直座標均為  $z = -15 \text{ m}$ 。

#### 3. 原始護基寬度之數值計算與水工試驗結果比對

水工試驗與數值計算結果顯示 site 16 至 site 40 的流速  $u$  振幅較小，介於

正負 0.5 m/s 之間，且水工試驗與數值計算大多有一致的趨勢，而 site 1 至 site 15 因為位於短峰波區，顯示東西向的振幅較大。比較流速  $v$ ，數值計算值之振幅均小於 1 m/s，而水工試驗值之最大振幅大於 1.5 m/s。比較流速  $w$ ，水工試驗與數值計算結果其振幅與趨勢均趨於一致。

#### 4. 防制工法原始護基與加寬護基之數值計算結果比對

比較原始護基與 1.5 倍護基，擷取資料包括流速  $u$ 、 $v$ 、 $w$  等 3 個項目進行比對，1.5 倍護基比原始護基流速度  $u$  的振幅明顯偏上，顯示因為護基加寬導致防波堤遮蔽所產生的西向沿岸束縮流趨於和緩。反之，1.5 倍護基流速  $v$  的振幅則位於原始護基下方，顯示水粒子微幅增加前進的趨勢，緩和了防波堤遮蔽所產生反射效應。至於流速  $w$ ，原始護基與 1.5 倍護基彼此套疊顯示一致。

## 7.7 結論與建議

### 7.7.1 結論

#### 1. 海域地形測量結果及堤頭沖蝕特性分析：

103/8 測量麥寮工業港西防波堤堤頭附近地形，在堤頭以東之港域外(堤身北側)侵蝕情形相當明顯，侵蝕最大高程量約為 -11.2m；堤頭附近以侵蝕為主，堤頭以西則以淤積為主，而在堤頭消波塊群西南掏刷區和位於堤頭東北向區域淤積情形相當明顯，高程淤積最大量約為 6.3m。刷深與淤積最大量在 -11.2m~+6.3m 之間；麥寮工業港 103/8 北堤水深測量區域所測得水深最淺約為 -3.1m(堤身)，堤頭西方約 150m 處掏刷最深約 -44.1m，等深線於堤身北側港域外大致呈現垂直海堤方向分布，堤身南側港域內則以平行海堤方向分布為主，堤頭附近因為波浪反射之掏刷而形成輻射狀之等深線分布；北堤堤頭近與堤身西北側海域侵蝕現象明顯，堤身內側則略有之侵蝕情形，與 103/4 相較消波塊群南側之掏刷區則有明顯之淤積現象，海堤內外之海域地形高低差約可達 8~13m。

#### 2. 潮汐調查結果：台中港由底碇式都卜勒潮波流儀量測期間，潮型屬於半日潮型，主要分潮為 M2，次要成份是 S2，觀測期間最大潮差為 4m。雲林

麥寮港由底碇式都卜勒潮波流儀量測期間，潮型亦屬於半日潮型，主要分潮為 M2，次要成份是 S2，觀測期間最大潮差為 3.502m。

3. 海流調查結果：台中港測站底層（水下 15m）主要流向為 W、WSW、WNW（發生機率為 56.75%），逐時流速最大值為 54.6cm/s；表層（水下 2m）的主要流向則為 W、WSW（發生機率為 38.21%），逐時流速最大值分別為 58.6cm/s。而於麥寮港測站底層和表層的主要流向皆為 N 及 S，逐時流速最大值分別為 135.3cm/s 及 153.7cm/s。
4. 波浪調查結果：台中港測站主要波向 NNE，H1/3 介於 50~75cm 間者佔全體 61.20%，T1/3 集中於 5~6sec 間；Hmean=99.0cm，Tmean=5.07sec，Hmax=2.85m，T 對應=6.20sec。麥寮港測站主要波向 NNW、NW，H1/3 介於 25~75cm 間者佔全體 64.39%，T1/3 集中於 4~5sec 間；Hmean=47.0cm，Tmean=4.81sec，Hmax=1.35m，T 對應=6.10sec。
5. 堤頭附近地形侵蝕原因探討：由麥寮港現場流況與沖蝕分析得知，夏季主要流況向北，沖刷洞在堤頭北側，但堤頭南側為較深的水域（如航道），無漂砂向北補注沖刷洞，以致沖蝕加劇。冬季主要流況向南，沖刷洞在堤頭南側形成，但堤頭北側有來自濁水溪口的沖積沙補注，南向漂砂會逐漸將北側沖刷洞回填。如此週而復始，形成季節性的循環現象。又根據當時麥寮港西防波堤施工紀錄，每年東北季風期必須停工 5~7 個月，當重新開工時都發現堤頭地形大幅刷深現象。興建初期堤頭沖刷已形成，因北側濁水溪口向南的淤沙仍不明顯，無法大量填入堤頭沖刷洞中。西防波堤延伸完成後，北側的淤沙逐漸明顯，在潮流優勢方向為冬季向南、夏季向北的情形下，就形成上述麥寮港西防波堤堤頭附近季節性的變化。此等現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，主要是海潮流所致。
6. 本計畫探討潮流作用下台中港堤頭侵蝕機制，在水工模型試驗結果中，可用以下幾點說明，試驗中採用沉水式抽水馬達進行北南向及南北向造流，位於造流出口處上游端，進行重力溢流方式消能及兩層整流，目前達到相當不錯效果，亦能達穩定流速。利用 2 台沉水式馬達 (Pump No.1 與 No.2) 造流，同時開啟時流速最大約 25cm/s，已達到要求之目標流速 15cm/s，且北南向造流約 15 分鐘後試驗區內水位均能達到穩定，於出口端校正點位 A1~A4 達穩定流速，亦能接近理想均勻流。

7. 水工模型試驗(模型試驗): 模型以定床佈置, 於第一度(102 年)純造波條件結果中, 颱風波浪與夏冬季波浪所造成堤頭附近流場量測結果顯示流速值並不大, 第二年度(103 年)在純造流條件中, 其中設計流量各別以 No.1、No.2 號及 No.1 與 No.2 同時開啟等, 分別進行北南流向和南北流向造流為主。加密觀測主要以堤頭附近流場及流向, 以北南流向量測到堤頭 C20 點之最大流速值與出口流速相比高達 3.0 倍之出口流速, 而在量測南北流向與出口流向相較下接近約 1.0 倍流速, 因此發現在南北流向對堤頭作用影響並不明顯, 與實測沖刷坑位置比較不相符。從水工模型試驗結果推測台中港北堤沖刷坑位置可能由於北南流長期作用的沖刷下所造成。
8. 數值模擬部分 : 利用 Flow-3D 對麥寮港防波堤堤頭附近海域進行三維動床波場數值模擬, 計算範圍  $1.5 \text{ km} \times 2.5 \text{ km}$ , 其底床邊界採用 1996 年實測地形資料; 海象條件為 50 年期颱風, 設定北側為入射波浪邊界, 造波條件設定波高 6.4 m、週期 10.6 sec, 模擬時間以海床淘刷區淘刷率趨於緩和 (約 113 個造波週期) 為考量。以西防波堤堤頭為原點, 以北側海域入射波而言, 波浪受西防波堤北側阻擋形成反射波, 大幅增長了此海域的波高, 亦提高了波場下的流速。前進波列因為防波堤的遮蔽效應引發流場西向的束縮流, 該速縮流與上下約 0.5m/s 垂直流速形成之垂直方向渦流應該是造成防波堤堤頭附近海床淘刷洞的主要原因之一。未來將進一步探討懸浮載與淘刷區穩定的關係, 並與水工試驗驗證淘刷區的高程和浸淤量的變化。
9. 數值模擬驗證工作: 利用 FLOW-3D 針對台中港堤頭沖刷機制附近流場進行模擬與驗證, 進行南北流向與北南流向模擬驗證工作, 從近底床(bottom)及 Level 0~3 分層模擬分析結果, 顯示堤頭附近護基寬 40cm 流速大於基寬 60cm, 該結果與水工試驗結果相當吻合一致, 另外整體而言水工試驗更精確模擬驗證比較下, 於背防波堤處大致形成一遮蔽迴流區, 結果與水工試驗結果亦吻合一致。C16~C20 點位數值模擬結果顯示速度大致呈現一均值, 與實際量測結果尚有差異, 主要於堤頭附近複雜渦流行為並無法準確掌握模擬, 針對堤頭附近渦流形成與消散準確模擬, 於堤頭附近網格加密配置未來能有改善空間。

### 7.7.2 建議

1. 堤頭附近的潮波流觀測，基於執行經費與儀器保全的綜合考量下，目前仍無法將觀測儀器緊鄰於堤頭處佈放。建議後續能提高現場潮波流觀測的經費，增加堤頭觀測點佈設，增進本計畫防波堤堤頭處之流況分析與沖蝕特性研究之準確性。
2. 模式建置與測試部分：經由分別模擬潮流、波場、波浪引發的流場，至今對堤頭近域的流體水動力狀態已有初步認識。後續的數值模擬，將朝向砂質底床邊界與漂砂動床試驗等課題持續測試，幫助釐清與理解堤頭沖蝕的機制與變化。
3. 深水域的結構物，在颱風波浪與強勁海流作用下對堤前海床之淘刷影響幅度，因其條件特殊，仍屬尚未深入探討的領域。須藉由數值模擬與水工模型試驗結果深入分析，諸如入射波浪條件、海床水深、波浪衝擊防波堤所引發下刷的水流、波流交互作用、堤前淘刷幅度等變量的關係性，甚至尋找經驗式或特徵參數。

### 7.7.3 成果效益與後續應用情形

本計畫主要針對港灣防波堤堤頭附近海域沖蝕特性進行現場觀測、水工試驗造流以及數值模擬預測，研究成果效益上，可提早發覺港灣防波堤堤頭附近海域沖蝕現象，降低防波堤等海事結構物塌陷的因素，維護船舶進出港的航行安全，以利港口營運順暢。在應用上，本計畫完成之海域地形測量、潮汐調查、海流調查、波浪調查等結果足供相關研究參考使用，FLOW-3D 已經完成港灣防波堤堤頭附近海域三維流場定床模式，可簡化後續三維流場動床模式預測等前置作業。

## 第八章 結論與建議

本研究主要目的在創造綠色港埠之新技術，其重點為整合臺灣海域船舶動態、電子海圖與海氣象資料等航行資訊，以促進臺灣海域的航行安全。而與國內學術研究機構合作計畫的研究目標則是在研提壓艙水管理法草案及各相關子法、結合波能轉換系統應用在港灣構造物的消能進行評估，最後針對防波堤附近的沖蝕現象進行探討並提出可能的解決方案。本研究經執行後可以提出以下的結論與建議。

### 8.1 結論

1. 交通部運輸研究所目前架設有本島 11 處及外島 7 處，共計 18 處的船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)接收站，依據本研究實際運作與分析，未來臺灣海域至少需增設 6 處及離島 2 處，共計 26 處的 AIS 接收站才能充分涵蓋；本島部分規劃增設三貂角、麥寮港、東港、長濱漁港、富岡漁港、旭海漁港共 6 座接收站；而離島則建議增設彭佳嶼、東沙等 2 處接收站。
2. 透過 AIS 資料庫的資料收集及有效的利用，本研究已完成有關節能減碳及海上防災的相關研究成果。藉由節能減碳的相關研究成果與分析方法，可進行交通流統計分析、船位密度分佈分析、港口分道航行分析、高碰撞風險分析、臺灣海域主要航路分析等研究分析。
3. 本研究所設計的船舶減速查核系統在業經高雄港試辦成果後，於 104 年在基隆港、臺北港、蘇澳港、花蓮港、臺中港及安平港等 6 大港口，皆亦建立一套船舶減速查核系統。經彙整各港船舶減速查核資料與對其資料進行分析，由統計結果可知，目前除花蓮港與蘇澳港成效較佳外，餘各港口船舶進出港口減速情況尚待推廣與改善。
4. 海難資料庫的建立是健全海運安全管理的基礎資料，其設計得宜的海難資料成為現代化網路資訊系統真正所需的應用資料格式，

其內容也因關聯船舶動態相關時間空間資訊與海圖及海氣象環境資訊而成為更具應用價值的資訊。其平台雛型之設計與國際接軌，可成為海難資料庫更新的機制，支援海運安全管理相關資訊系統的持續運作，並與國際安全管理章程結合，提升海事安全。

5. 壓艙水管理法制化後，則須在現行的法條中新設關於壓艙水的管制與檢驗手段，例如壓艙水交換區的設置地點與排放方式、壓艙水檢驗標準、申報作業流程等，都必須訂出相關標準，同時也必須兼顧到港口的管理與港區未來發展，按照經過台灣海域航路劃分出數個可能的交換區，亦提出數種壓艙水交換可行的方式，也評估了壓艙水處理設備的可行性，並詢問相關權益人以了解可能會受到的影響以作為未來制定管制手段的參照依據。
6. 本研究中利用 ANSYS CFX 軟體做為計算流體分析之工具，具有相當之準確性，當進行模擬分析時，不僅可依照全比例之模型模擬現場之條件，且得以研究見每一時間點之氣室內水柱高與外界入射波浪互相影響行為，也可評估入射波浪之大小對於沉箱氣室之出風速度以及氣壓之影響，氣室與氣室之間的相通管道也得以觀察。在波能轉換系統結合於港灣結構之分析，其主要的目的並不只是在發展海洋綠能，更重要的為藉由結構設計之改變，將抵抗波浪的概念轉化為利用，且能對海岸港灣相關設施做更好的保護。
7. 臺中港防波堤鄰近海域的地形侵淤狀態，隨著防波堤長度延伸、海潮流作用與上游河川砂源補注而有明顯的變化。臺中港海域流況明顯大於臺灣其他港域（波浪並無此現象），致此港區堤址水深雖達-20m 以上，仍然發生嚴重沖蝕現象，尤其堤頭之處更是明顯。此現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，主要是潮流所致。防波堤堤頭附近之漲退潮流速與流向不對稱形成淨流，水流經堤頭後轉向造成速度梯度，此等現象均引起之漂砂不平衡，導致堤頭發生沖刷。

## 8.2 建議

1. 本研究依據洛杉磯港船舶減速查核機制所採用的 20、15、10 海哩規劃離港距離區段所進行之測試，發現未必適合其它不同港埠，建議港務單位應針對所屬港口的地形、氣候、海象等不同條件自行設定其最佳化的離港距離區段，方能使船舶減速查核機制趨於合理與務實。
2. 針對與壓艙水管制上應將壓艙水的定義定為：「依聯合國國際海事組織所定國際海運危險品準則所指定之物質，及未依法處理之船舶壓艙水。」並擴大《商港法》中對於有害物質的解釋，使壓艙水得以成為管制的對象。為了兼顧到船舶的檢驗與船隻壓艙水處理設備的規格等問題，也建議對現行《船舶法》及其子法《船舶設備規則》的部分條文作出解釋與修正，使整體更趨完善。惟若只對《商港法》和《船舶法》進行解釋則會產生對壓艙水排放管制範圍不足，僅限於港區內的問題，故此處亦建議修正現行的《海洋污染防治法》，將壓艙水視為生物性汙染物質並納入其管制下。
3. 可再生性綠色能源應用於港灣構造之相關分析，並不局限於波浪能部分，如風能及太陽能是否適用於港灣構造之可行性分析亦可為選項的參考。惟本階段的研究中，則著重在波能轉換系統結合於港灣結構之分析，其主要的目的並不只在發展海洋綠能，更重要的為藉由結構設計之改變，將抵抗波浪的概念轉化為利用，且能對海岸港灣相關設施做更好的保護。
4. 由於港口防波堤堤頭的海底地形侵蝕，嚴重時將危及防波堤堤身及港灣船隻航行的安全。因此需進行觀察、模擬與研析，以期提出有效的防制對策與工法。然而堤頭附近的潮波流觀測，基於執行經費與儀器保全的綜合考量下，目前仍無法將觀測儀器緊鄰於堤頭處佈放。建議後續能提高現場潮波流觀測的經費，增加堤頭觀測點佈設，增進本計畫防波堤堤頭處之流況分析與沖蝕特性研究之準確性。

### 8.3 成果效益及應用情形

1. 有關各項綠色港埠新技術的研發成果，目前已提供國內交通部航港局、臺灣港務公司、內政部、海巡署與漁業署等應用，提升運輸安全、效率與效益。
2. 壓艙水管理法制化研究，目前已擬定出初步法規修改之建議，未來可以為交通部、航港局及臺灣港務股份有限公司等機關在港口壓艙水污染防治的參考，並且提供制定壓艙水管理辦法及法制化方面的有力參考，以建立適合臺灣港口壓艙水方面本土化的防治及管理辦法，可以改善臺灣港口及鄰近海域汙染問題。
3. 港灣結構物結合波能轉換系統的研究，可以提供交通部、航港局及臺灣港務股份有限公司等機關對於建設綠色港埠及環境保護的新思維，並且增加港埠再生能源的開發，提昇港埠結構物的使用年限與機能，加速達成臺灣建構綠色港灣及節能減碳等政策目標。
4. 防波堤堤頭沖淤現象探討研究，可以推動海岸防害科技發展，精進海岸與港灣的災害防救科技，強化基礎設施有關環境資料庫之調查蒐集與建置及應用。

## 參考文獻

1. 邱永芳等，“結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫(3/4)”，運輸研究所專書，2015.
2. 邱永芳等，“我國港灣壓艙水污染問題管理法制化之研究(3/4)”，運輸研究所專書，2015.
3. 邱永芳等，“可循環式綠色能源結合港灣結構以建構綠色港灣之發展研究(3/4)”，運輸研究所專書，2015.
4. 邱永芳等，“港灣防波堤堤頭三維沖蝕特性及防治機制之研究(3/4)”，運輸研究所專書，2015.
5. 邱永芳等，“智慧型航行與監測系統之研究(4/4)”，交通部運輸研究所專書，2012.
6. 邱永芳等，“智慧化海運系統之建立研究(4/4)”，交通部運輸研究所專書，2012.
7. 邱永芳等，“智慧型航行與監測系統之研究(3/4)”，交通部運輸研究所專書，2011.
8. 邱永芳等，“智慧化海運系統之建立研究(3/4)”，交通部運輸研究所專書，2011.
9. 邱永芳等，“智慧型航行與監測系統之研究(2/4)”，交通部運輸研究所專書，2010.
10. 邱永芳等，“智慧化海運系統之建立研究(2/4)”，交通部運輸研究所專書，2010.
11. 邱永芳等，“智慧型航行與監測系統之研究(1/4)”，交通部運輸研究所專書，2009.
12. 邱永芳等，“智慧化海運系統之建立研究(1/4)”，交通部運輸研究所專書，2009.
13. IMO MSC.202 (81), 2006, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety Of Life At Sea, 1974, as Amended.
14. IMO MSC.211 (81), 2006, Arrangements for the Timely Establishment of the Long-Range Identification and Tracking System

15. IMO Resolution MSC.242 (83), 2007, Use of the Long-range Identification and Tracking Information for Maritime Safety and Marine Environment Protection Purposes
16. IMO MSC.263 (84), 2008, Revised Performance Standards and Functional Requirements for the Long-Range Identification and Tracking of ships.
17. IMO MSC.264 (84), 2008, Establishment of the International LRIT Data Exchange on an Interim Basis
18. IMO Resolution MSC.275 (85), 2008, Appointment of the LRIT Coordinator
19. IMO Resolution MSC.276 (85), 2008, Operation of the International LRIT Data Exchange on an Interim Basis
20. IMO MSC.1/Circ.1259, 2008, Interim Revised Technical Specifications for the LRIT System.
21. IMO MSC.1/Circ.1294, 2008, Long-Range Identification and Tracking System Technical Documentation (Part II)
22. IMO MSC.1/Circ.1299, 2008, Transitional Arrangements and Measures for Accelerating the Completion of the Establishment of the LRIT System
23. IMO MSC.1/Circ.1307, 2009, Guidance on the Survey and Certification of Compliance of Ships with the Requirement to Transmit LRIT Information
24. IMO MSC.1/Circ.1308, 2009, Guidance to Search and Rescue Services in Relation to Requesting and Receiving LRIT Information
25. Sebastien Fournier, 2005, A multiagent system for maritime navigation simulation, Proceedings of Oceans-Europe2005, pp.223-225.
26. Petit, M., Ray, C., Claramunt, C., 2008, An adaptive interaction architecture for collaborative GIS, Cartographic and Geographic Information Science. Special issue on Modeling and Visualization for Spatial Decision Support, vol. 35, No.2, pp. 91-102
27. M. Numano, H.Itoh and Y. Niwa, 2001, Sea Traffic Simulation and its Visualization in Multi-PC System, Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM) 2001, pp. 2093-2098, Canberra, Australia

28. C., Claramunt et. al., 2007, Maritime GIS: From Monitoring to Simulation Systems, Proceedings of Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS'07), pages 34-44, St. Petersburg, Russia, ISBN 978-3-540-37628-6.
29. Thierry Huet, Taha Osman, Cyril Ray, 2003, Modelling traffic navigation network with a multi agent platform, European Simulation Multiconference (ESM2003), pages 111-117, June 2003, Nottingham, UK, ISBN 3-936150-25-7
30. Frédéric Bertrand, Alain Bouju, Christophe Claramunt, Thomas Devogele, Cyril Ray, 2007, Web architectures for monitoring and visualizing mobile objects in maritime contexts, In Proceedings of the 7th International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2007), pages 94-105, Springer-Verlag, LN series in Computer Science (LNCS 4857), Cardiff, UK, November 2007, ISBN 978-3-540-76923-1
31. 張淑淨、陳承德，2005，船舶自動識別系統輔助交通流分析與模擬之研究，第七屆水下技術研討會論文集。
32. Shun Liu, Hideki Hagiwara, etc., 2004, Radar Network System to Observe and Analyze Tokyo Bay Vessel Traffic, IEEE A&E Systems Magazine, Vol. Nov. 2004, pp.3-11.
33. Fujji, Y, H. Yamanouchi and N. Mizuki, 1974, Some Factors Affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic. II- The Probability of Stranding and III-The Effect of Darkness on the Probability of Collision and Stranding, J. of Navigation, Vol. 27, No. 2, pp.239-247
34. P. Kujala, M. Hänninen, T. Arola and J. Ylitalo, 2009, Analysis of the Marine Traffic Safety in the Gulf of Finland, Reliability Engineering and System Safety, Vol.94, Issue 8, pp. 1349-1357
35. IMO COMSAR/Circ.27, 2001, Data Format for a new Combined SAR.2 and SAR.3 Circular Concerning Information on the Current Availability of SAR Services.
36. IMO, LRIT Data Distribution Plan Accessing and Entering Information- Guidance Notes for Contracting Governments.