

106-038-7938

MOTC-IOT-105-H2DB005

創造綠色港埠之新技術研發(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 4 月

106-038-7938
MOTC-IOT-105-H2DB005

創造綠色港埠之新技術研發(4/4)

著作：邱永芳、蔡立宏、黃茂信、蔡金吉

交通部運輸研究所

中華民國 106 年 4 月

GPN : 1010600515

定價 250 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. (4/4) / 邱永芳等著.

-- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民 106. 04

面；公分

ISBN 978-986-05-2236-5(平裝)

1. 港埠管理 2. 港埠資訊查詢系統

557

106004980

創造綠色港埠之新技術研發(4/4)

著者：邱永芳、蔡立宏、黃茂信、蔡金吉

出版機關：交通部運輸研究所

地址：臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國 106 年 4 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：250 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：1010600515 ISBN：978-986-05-2236-5 (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(4/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-05-2236-5(平裝)	政府出版品統一編號 1010600515	運輸研究所出版品編號 106-038-7938	計畫編號 105-H2DB005
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：蔡立宏、黃茂信、蔡金吉 參與人員：林賢銘、陳子健 聯絡電話：04-26587101 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 105 年 1 月 至 105 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			
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。 整合應用之資訊包括有效利用船舶自動識別系統(AIS)接收站所獲得的船舶資訊，來分析與統計臺灣海域的船舶軌跡與航路分布，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；另外進行海洋資訊、技術和電子海圖資料庫的整合升級本中心原有電子海圖系統，予以建置一更加完善的電子海圖顯示系統。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。 本研究成果效益以及後續應用包含有： 1. 已整合之航路動態監測整合應用系統轉移至航安權責機關，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。 2. 航路動態監測整合應用系統，並於系統說明會後，針對航安權責機關之意見，進行系統修正。後續本所亦可針對其自動化偵測警示功能之統計功能及船舶溫室氣體估算量，進行相關研究分析。。 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。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
106 年 4 月	224	250	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： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 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: Research the new technology for green port (4/4)			
ISBN(OR ISSN) 978-986-05-2236-5	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010600515	IOT SERIAL NUMBER 106-038-7938	PROJECT NUMBER 105-H2DB005
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Fang Chiu PROJECT STAFF: Li-Hung Tsai, Mao-Hsin Huang, Chin-Chi Tsai PHONE: (04)26587101 FAX: (04)26564418			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2016 TO Dec. 2016
KEY WORDS: Automatic Identification System , Maritime Intelligent Transportation System, Long Range Identification and Tracking , Vessel route, Traffic flow rate, Ballast Water Management			
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). 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 Port and Mailiao Port to predict the impact of scouring around a head of breakwater. This research benefit and application include: 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. 2. Upgrade the original electronic chart system hardware platform, and build a more comprehensive electronic chart system.. 3. The ballast water management can provide the Ministry of Communications as legalization of reference.			
DATE OF PUBLICATION April 2017	NUMBER OF PAGES 224	PRICE 250	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ 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	2-7
2.5 節能減碳相關研究成果	2-11
2.6 小結	2-44
第三章 電子海圖顯示與資訊系統之應用	3-1
3.1 研究背景與目的	3-1
3.2 設備介紹	3-6
3.3 設備操作	3-10
3.4 結論與建議	3-19
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.....	4-30
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 我國壓艙水管理與兩岸船舶運輸航線分析.....	5-4
5.3 日本壓艙水管理法制分析.....	5-7
5.4 國外互相免除壓艙水管理之機制與案例分析.....	5-10
5.5 因應我國壓艙水管理探討高雄港外來種入侵之文獻分析	5-15
5.6 國內壓艙水管理法案之兩岸政策分析.....	5-18
5.7 小結.....	5-22
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 沉箱堤為基礎之波浪發電轉換系統與現行港灣設計基準 之相合性研究.....	6-4
6.3 波浪發電轉換系統之進出風口設計及發電系統之扇葉翼 型設計.....	6-9
6.4 試驗結果分析.....	6-23
6.5 小結.....	6-24
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 防波堤堤頭侵蝕與波流場相關性研究.....	7-1
7.3 水深地形與潮波流調查資料分析.....	7-10

7.4 波浪作用下麥寮工業港堤頭侵蝕機制的數值模擬	7-16
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	7-25
7.6 防制工法數值模擬與水工模型試驗的驗證.....	7-35
7.7 小結	7-38
第八章 結論與建議.....	8-1
8.1 結論	8-1
8.2 建議.....	8-3
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	2-3
圖 2.2	現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點	2-5
圖 2.3	臺灣海域 AIS 接收站設置地點規劃	2-6
圖 2.4	船舶動態地理位置資訊顯示	2-7
圖 2.5	船舶基本資料顯示	2-8
圖 2.6	船舶軌跡匯出與資訊顯示	2-8
圖 2.7	船舶清單查詢	2-9
圖 2.8	船舶歷史位置查詢	2-10
圖 2.9	港口資訊查詢	2-10
圖 2.10	接收站的接收範圍分佈分析	2-11
圖 2.11	交通流分析統計	2-12
圖 2.12	船舶流量統計段面示意圖	2-13
圖 2.13	A1B1 段面 (新北石門外海)統計圖	2-14
圖 2.14	A2B2 段面 (臺北港外海)統計圖	2-14
圖 2.15	A3B3 段面 (苗栗外埔漁港外海)統計圖	2-15
圖 2.16	A4B4 段面 (臺中港外海)統計圖	2-15
圖 2.17	A5B5 段面 (布袋港外海)統計圖	2-16
圖 2.18	A6B6 段面 (安平港外海)統計圖	2-16
圖 2.19	A7B7 段面 (高雄港外海)統計圖	2-17
圖 2.20	A8B8 段面 (恆春紅紫坑漁港外海)統計圖	2-17

圖 2.21 A9B9 段面 (鵝鑾鼻外海)統計圖	2-18
圖 2.22 A10B10 段面 (臺東富岡漁港外海)統計圖	2-18
圖 2.23 A11B11 段面 (花蓮港外海)統計圖	2-19
圖 2.24 A12B12 段面 (蘇澳港外海)統計圖	2-19
圖 2.25 A13B13 段面 (基隆港外海)統計圖	2-20
圖 2.26 東半部及西半部之航行 60%密集航線分佈	2-21
圖 2.27 臺灣船舶各主要港口航路分佈	2-22
圖 2.28 臺灣各主要港口船舶航行最密集航路.....	2-22
圖 2.29 臺中港與高雄港最佳化軌跡線(紅色路徑)	2-23
圖 2.30 港口區域分段示意	2-24
圖 2.31 船舶減速查核系統架構.....	2-25
圖 2.32 船舶減速查核系統硬體設備需求	2-26
圖 2.33 船舶顯示及資料統計系統操作介面.....	2-27
圖 2.34 港區基本設定功能.....	2-28
圖 2.35 船舶即時動態資訊顯示功能.....	2-29
圖 2.36 船舶軌跡追蹤.....	2-30
圖 2.37 船舶進出港紀錄查詢功能.....	2-31
圖 2.38 船舶減速資料庫統計模組介面.....	2-31
圖 2.39 匯入港棧資料功能操作.....	2-32
圖 2.40 船舶減速查核彙整資料搜尋功能操作.....	2-32
圖 2.41 船舶減速查核彙整資料列表.....	2-33

圖 2.42 船舶報到資料報表	2-33
圖 2.43 船舶減速成果報表	2-34
圖 2.44 臺中港各月船舶減速查核資料.....	2-35
圖 2.45 臺中港各月船舶減速符合率	2-35
圖 2.46 臺北港各月船舶減速查核資料.....	2-36
圖 2.47 臺北港各月船舶減速符合率	2-36
圖 2.48 花蓮港各月船舶減速查核資料.....	2-37
圖 2.49 花蓮港各月船舶減速符合率	2-37
圖 2.50 高雄港各月船舶減速查核資料.....	2-38
圖 2.51 高雄港各月船舶減速符合率	2-38
圖 2.52 安平港各月船舶減速查核資料.....	2-39
圖 2.53 安平港各月船舶減速符合率	2-39
圖 2.54 布袋港各月船舶減速查核資料.....	2-40
圖 2.55 布袋港各月船舶減速符合率	2-40
圖 2.56 基隆港各月船舶減速查核資料.....	2-41
圖 2.57 基隆港各月船舶減速符合率	2-41
圖 2.58 蘇澳港各月船舶減速查核資料.....	2-42
圖 2.59 蘇澳港各月船舶減速符合率	2-42
圖 2.60 各港船舶減速查核全期符合率比較圖.....	2-43
圖 3.1 我國航運路線示意圖	3-2
圖 3.2 WEND 運作模式	3-2

圖 3.3	海上環境風險評估元素	3-4
圖 3.4	政府應提供之相關航海資訊	3-5
圖 3.5	海圖初始畫面	3-10
圖 3.6	設定系統初始港口	3-11
圖 3.7	GPS 衛星定位控制設定	3-11
圖 3.8	顯示 GPS 衛星定位等相關資訊	3-12
圖 3.9	船舶自動識別設定	3-12
圖 3.10	顯示鄰近船舶相關資訊(MMSI 與距離)	3-13
圖 3.11	GPS 定位失效警告	3-13
圖 3.12	顯示兩點距離	3-14
圖 3.13	安全警告設定	3-15
圖 3.14	安全警告設定	3-15
圖 3.15	安全警告設定：偵測可能碰撞船舶（CPA、TCPA）	3-16
圖 3.16	安全警告設定：設定海圖航路	3-16
圖 3.17	編輯航路結果	3-17
圖 3.18	安全警告設定：航路安全寬度調整設定	3-17
圖 3.19	安全警告設定：航路安全寬度調整設定	3-18
圖 3.20	安全警告設定：本船航路偏航警告	3-18
圖 3.21	天線架設完成圖	3-19
圖 3.22	實體系統測試	3-20
圖 3.23	碰撞警告	3-20

圖 3.24 航行軌跡.....	3-21
圖 4.1 參採 GHG3 參數估算基隆港 20 哩內油耗空間分布	4-6
圖 4.2 參採 GHG3 估算基隆港 20 哩內 NO _x 排放量空間分布	4-6
圖 4.3 海難資料庫資訊平台資料表的關聯圖.....	4-8
圖 4.4 海難資料庫服務平台的資料登錄頁面.....	4-9
圖 4.5 於本計畫整合平台查詢顯示各類海事案件的畫面.....	4-11
圖 4.6 往台北港的航跡密度(a)與航路(b).....	4-12
圖 4.7 (a)往日本的船舶航跡(b)沿岸往日本航路網	4-13
圖 4.8 西部沿岸航路網(a)套疊航跡密度(b)套疊海圖	4-13
圖 4.9 沿岸航路網交通量與碰撞危機網格密度.....	4-14
圖 4.10 沿岸航路交通量、碰撞類海難與危機密度.....	4-15
圖 4.11 沿岸航路與擱淺類海難及海圖上船骸位置.....	4-16
圖 4.12 西部沿岸航路網交通量與海難紀錄.....	4-17
圖 4.13 航路動態監測整合應用系統架構圖.....	4-19
圖 4.14 整合應用系統的操作介面網頁架構.....	4-20
圖 4.15 海陸域網路地圖服務套疊及量測工具的使用.....	4-21
圖 4.16 氣象局臺灣海域區域風場預報.....	4-21
圖 4.17 穿行參考線的 AIS 交通流分析與各項輸出功能	4-22
圖 4.18 海事安全資訊圖層：NAVAREA 航行警告	4-23
圖 4.19 AIS 船舶動態的識別、查詢、鎖定與航跡顯示	4-24
圖 4.20 擱淺及船速驟降、錨泊等狀況偵測結果之顯示.....	4-25

圖 4.21 船舶碰撞危機偵測及其狀況發展情形.....	4-26
圖 4.22 以動態回播檢視船舶會遇狀況.....	4-27
圖 4.23 海上事故歷年資訊圖層相關功能.....	4-29
圖 4.24 升隆 1 號擱淺龜山島的動態回播.....	4-30
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 波能截取系統尺寸圖.....	6-7
圖 6.2 外力作用於波能截取系統示意圖.....	6-8
圖 6.3 空氣渦輪分類圖.....	6-9
圖 6.4 衝擊式與反動式渦輪比較(Emoscopes, wikipedia).....	6-10
圖 6.5 威爾斯渦輪(Wells turbine)立體構造示意圖 (Shinya Okuhara, 2013).....	6-11
圖 6.6 威爾斯渦輪葉片剖面.....	6-11
圖 6.7 威爾斯渦輪葉片受氣流時情形.....	6-12
圖 6.8 酒田港發電裝置使用之威爾斯渦輪(NACA 0021).....	6-13
圖 6.9 NACA 0021 翼型剖面.....	6-13
圖 6.10 不同雷諾數阻抗係數對應揚升係數.....	6-14
圖 6.11 不同雷諾數攻角對應揚升係數.....	6-14
圖 6.12 不同雷諾數攻角對應力矩係數.....	6-15
圖 6.13 不同雷諾數下阻抗係數對應攻角.....	6-15
圖 6.14 NACA 0021 攻角 0 度流場分析.....	6-16
圖 6.15 NACA 0021 攻角 10 度流場分析.....	6-17

圖 6.16 NACA 0021 攻角負 10 度流場分析	6-17
圖 6.17a 單斜翼威爾斯渦輪葉片	6-19
圖 6.17b 雙斜翼威爾斯渦輪葉片	6-19
圖 6.18 3D 列印威爾斯渦輪實體模型單斜翼與雙斜翼	6-20
圖 6.19 3D 列印威爾斯渦輪葉片實體模型 II	6-20
圖 6.20 各種管路入口之阻抗特性	6-21
圖 6.21 導流盤與其曲率剖面	6-22
圖 6.22 馬達基座	6-22
圖 6.23 馬達上基座與導流管及曲率其剖面	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	7-11
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)	7-13
圖 7.6 麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖	7-20
圖 7.7 南流第 2580sec 流場分布	7-21
圖 7.8 北流第 1700sec 流場分布	7-21
圖 7.9 南流剖面 Y=-10m 流場分布	7-21
圖 7.10 北流剖面 Y=-10m 流場分布	7-21
圖 7.11 南流水位-10 m 流速 u 分布	7-22
圖 7.12 北流水位-15 m 流速 u 分布	7-22

圖 7.13 南流水位-10 m 流速 v 分布	7-23
圖 7.14 北流水位-15 m 流速 v 分布	7-23
圖 7.15 北流水位-26 m 流場向量分布	7-23
圖 7.16 北流水位-23 m 流場向量分布	7-23
圖 7.17 漲、高、退與低潮各階段流場向量分布圖	7-24
圖 7.18 漲、高、退與低潮各階段潮流場底床載高程淨變化圖	7-25
圖 7.19 活塞式造波機	7-26
圖 7.20 造流水渦輪機	7-26
圖 7.21 地形模型鋪設圖	7-27
圖 7.22 完成動床地形及堤頭鋪設	7-28
圖 7.23 流速量測點示意圖	7-29
圖 7.24 N S 之 $z = -10\text{cm}$ 平面流場	7-30
圖 7.25 N S 之 $z = -15\text{cm}$ 平面流場圖	7-30
圖 7.26 SN 之 $z = -10\text{cm}$ 平面流場	7-30
圖 7.27 SN 之 $z = -15\text{cm}$ 平面流場圖	7-30
圖 7.28 SN 區域流場之型態圖	7-31
圖 7.29 SN 區域流場之型態圖	7-31
圖 7.30 流向 N 往 S 表面流場可視化	7-32
圖 7.31 NS 作用 2 小時後地形變化	7-32
圖 7.32 NS 作用 3 小時後地形變化	7-32
圖 7.33 SN 作用 2 小時後地形變化	7-33

圖 7.34 SN 作用 3 小時後地形變化.....	7-33
圖 7.35 地工沙管佈置圖	7-33
圖 7.36 佈置沙腸袋流向 NS 作用 1 小時之地形變化	7-33
圖 7.37 2013 年冬季(DOY321) 之 R-NIR 指數影像(黃祥麟，2016)	7-34
圖 7.38 數值模型防波堤設計圖	7-36

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	2-4
表 2.3	各區段離線船速定義	2-24
表 2.4	各區段平均速度與整合平均速度定義	2-24
表 2.5	設備名稱及附屬設備	2-26
表 2.6	船舶圖示所代表船舶種類	2-29
表 3.1	平板電腦設備規格表	3-6
表 3.2	AIS-700 收發機規格表	3-7
表 5.1	物種族群數量衡量標準	5-15
表 5.2	物種分布範圍衡量標準	5-15
表 5.3	物種族群數量與分布範圍等級表	5-16
表 6.1	模型於不同波浪條件下之氣流速度結果	6-23
表 6.2	模型於不同波浪條件下之能量擷取率	6-23
表 6.3	不同波浪條件下產生之單斜渦輪轉速(負載馬達)	6-24
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	7-16
表 7.3	流場試驗模型各物理量之縮尺比	7-28
表 7.4	防制工法數值模型模擬項目	7-35
表 7.5	防制工法水工模型試驗項目	7-36

第一章 前言

本研究係依據中華民國科學技術白皮書 (民國 99 年 12 月 16 日行政院第 3226 次會議核定)所揭示，政府的科技施政目標為在「2020 年我國成為綠能科技與智慧生活的全球創新領航者」。且民國 104 年至 107 年中華民國科學技術白皮書揭示，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。

本研究為上述中程綱要計畫內所屬細部計畫之一，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，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。

第三章「電子海圖顯示與資訊系統之應用」則為於因應海洋科技通訊技術及船舶資通訊設備發展需求為導向，進行海洋資訊、技術和電子海圖資料庫的整合升級本中心原有電子海圖系統，予以建置一更加完善的電子海圖系統。

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，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，以探勘分析 AIS 歷史資料所得的特徵參數為依據，發展擱淺、碰撞、漂流、艏向異常、航速驟降、偏航、錨泊等自動化偵測警示功能。

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，藉由我國壓艙水管理與兩岸船舶運輸航線分析、日本壓艙水管理法制分析、國外互相免除壓艙水管理之機制與案例分析、因應我國壓艙水管理探討高雄港外來種入侵之文獻分析、探討國內壓艙水管理法案之兩岸政策分析。

第六章「綠色港灣結構物之波能轉換探討」主要目的是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，就沉箱堤為基礎之波浪發電轉換系統之設計與現行港灣設計基準之相合性研究；波浪發電轉換系統之進出風口設計及發電系統之扇葉翼型設計，進一步加以利用轉換成有用的能源。

第七章「防波堤堤頭沖蝕現象探討」的研究方法係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；期望針對兩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，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。再透過 AIS 接收站，接收港口附近的船舶即時動態資訊，利用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，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，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。

2.1 研究目的

本研究的主要目的在運用目前已架設的 24 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，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。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。

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的應用方法與船舶減速的定義原則，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。

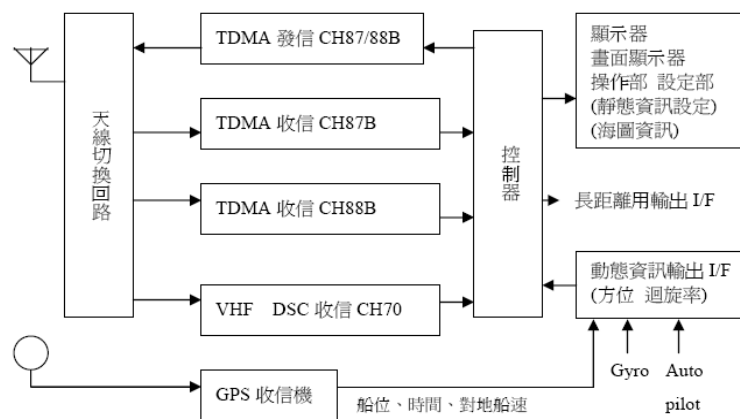


圖 2.1 AIS 系統概念圖

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 分鐘發信乙次。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 2016 年止 8 年間完成基隆港、臺北港、外埔港、臺中港、彰化王功、布袋港、安平港、高雄港、屏東（東港、貓鼻頭、旭海）、台東（富岡、長濱）、花蓮港、宜蘭（蘇澳港、頭城）、新北瑞芳等 17 處主要港口與澎湖（馬公港、吉貝嶼）、蘭嶼開元港、金門水頭港、馬祖（北竿、東引、東莒）等 7 處離島共計 24 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。

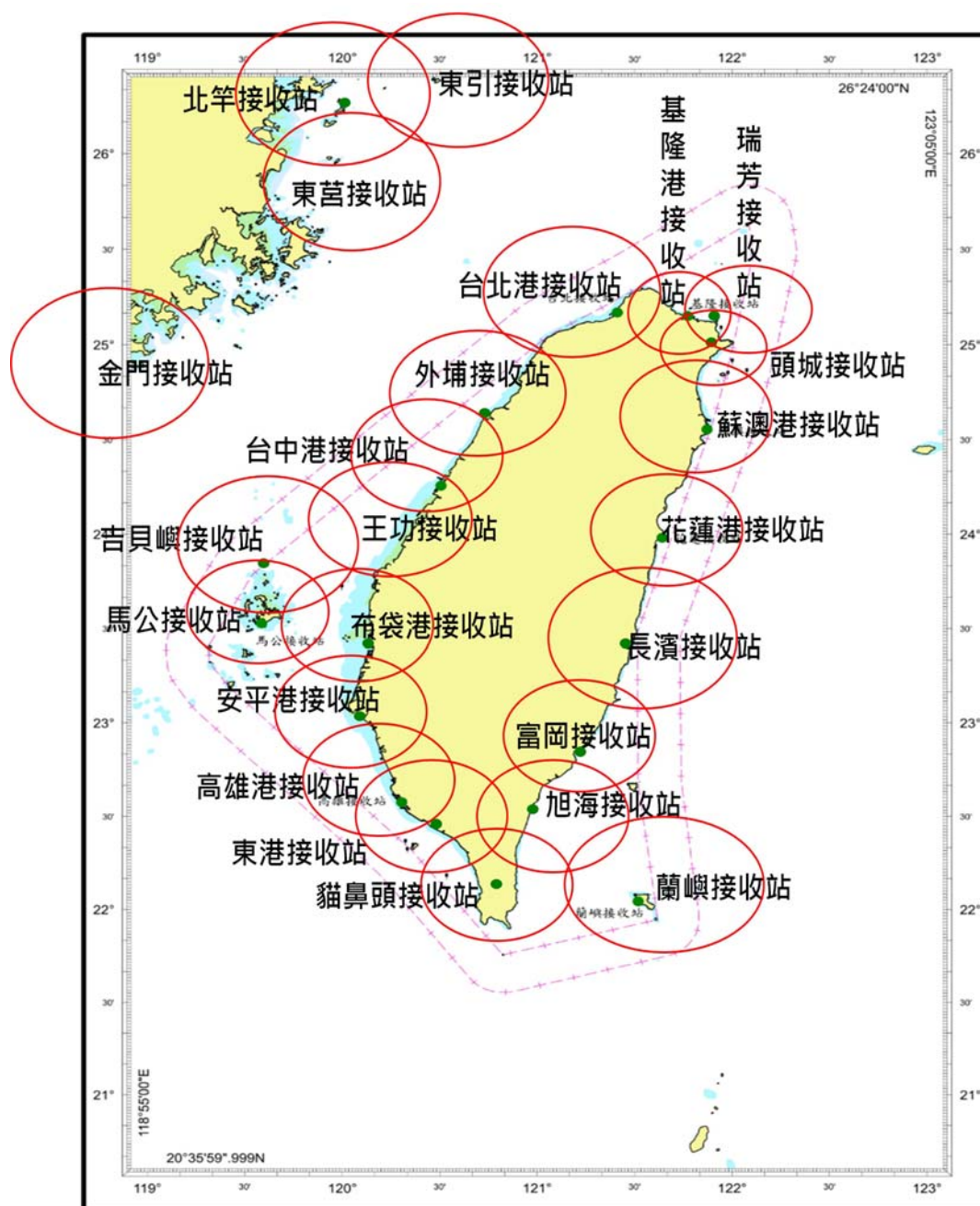


圖 2.2 現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點

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 已充分涵蓋，因考量部分接收站架設位置不佳及颱風天停電、網路不通等各站因素

其新增 AIS 接收站設置地點規劃如圖 2.3 所示；本島部分規劃設置石門、南寮、新埔及新社共 4 座接收站；而離島部分，因應交通部航港局於金門縣烏坵鄉設置烏坵嶼燈塔可提供相關新增 AIS 接收站之場地，本所為考量航行於其間海域之船舶甚多，故亦規劃設置 1 座接收站。

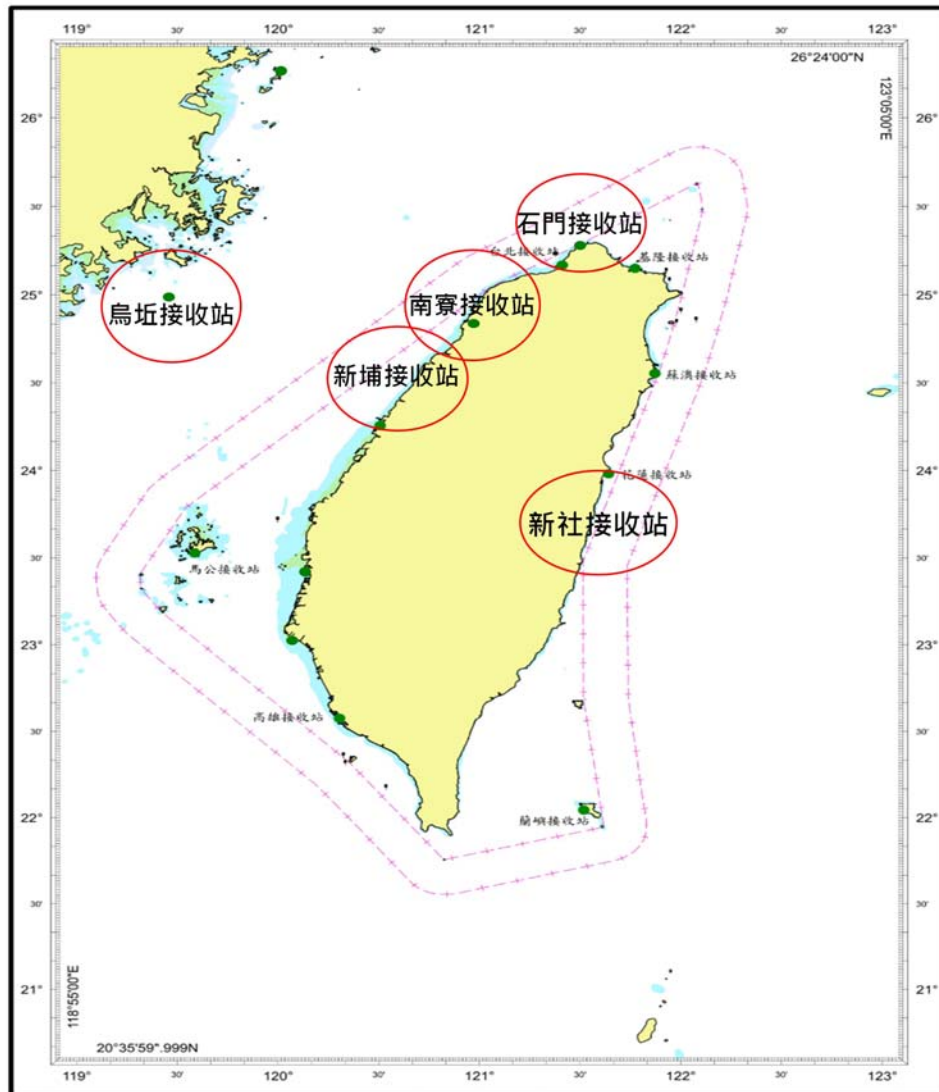


圖 2.3 臺灣海域 AIS 接收站設置地點規劃

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 m 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

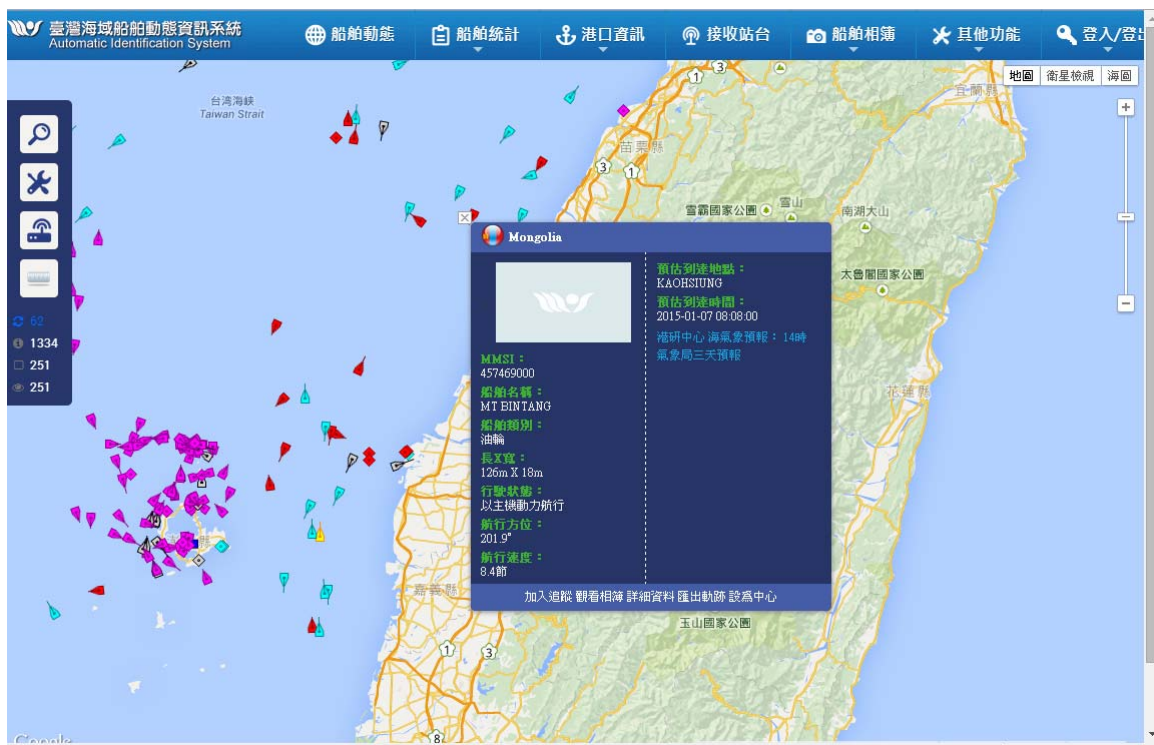


圖 2.5 船舶基本資料顯示



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>RUNIK	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



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。



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。

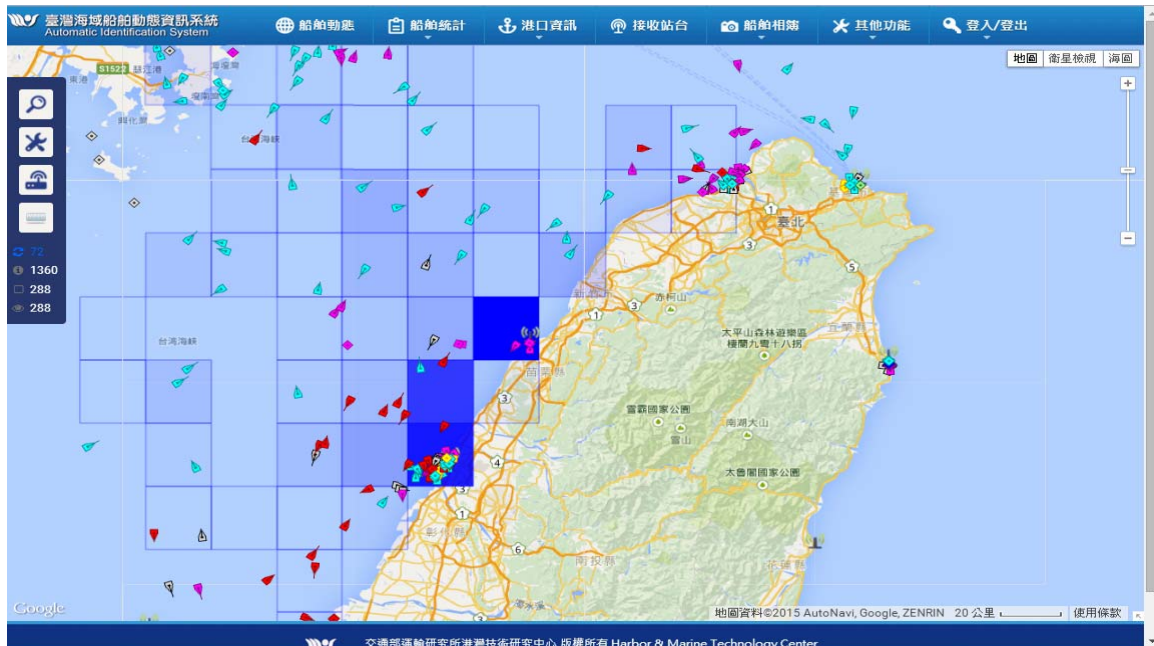


圖 2.10 接收站的接收範圍分佈分析

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 及船舶減速查核的資料整合與應用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。

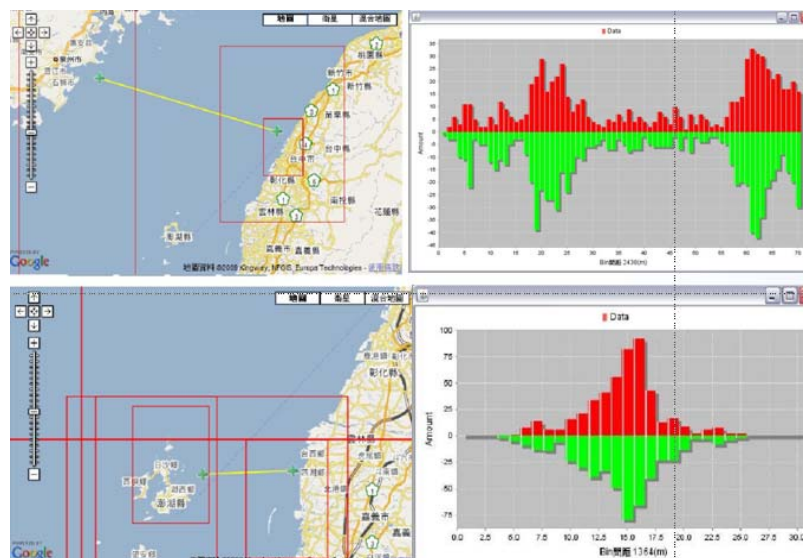


圖 2.11 交通流分析統計

2.5.2 航線密集度分析

本研究以 2016 年 01 月 01 日起至 2016 年 12 月 31 日止為期一年，分析臺灣周圍海域共 13 條斷面線，如圖 2.12 所示。

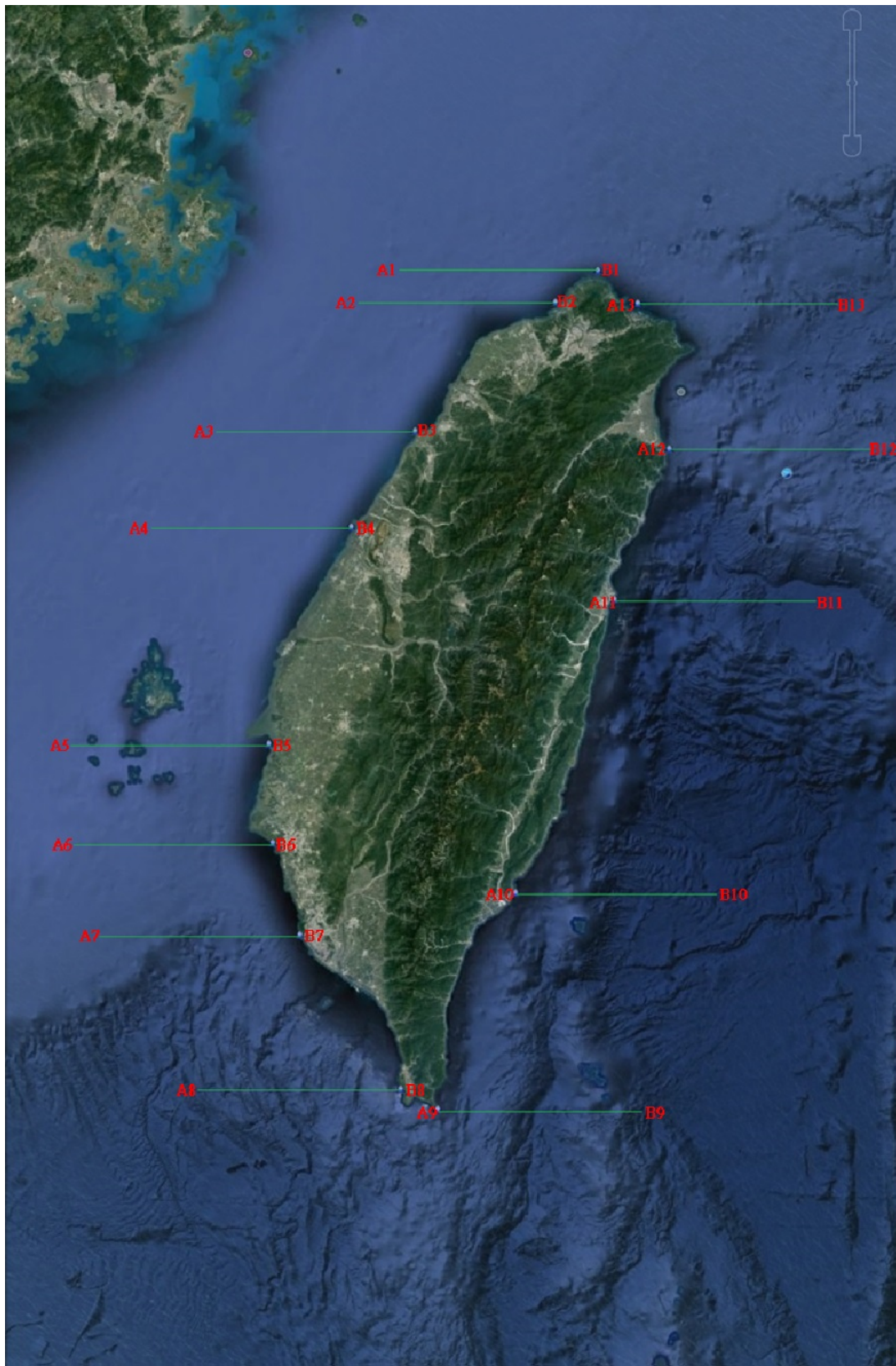


圖 2.12 船舶流量統計段面示意圖

其分段面為 A1B1(新北石門外海)至 A13B13(基隆港外海)，其分析結果如下圖 2.13 至圖 2.25，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。

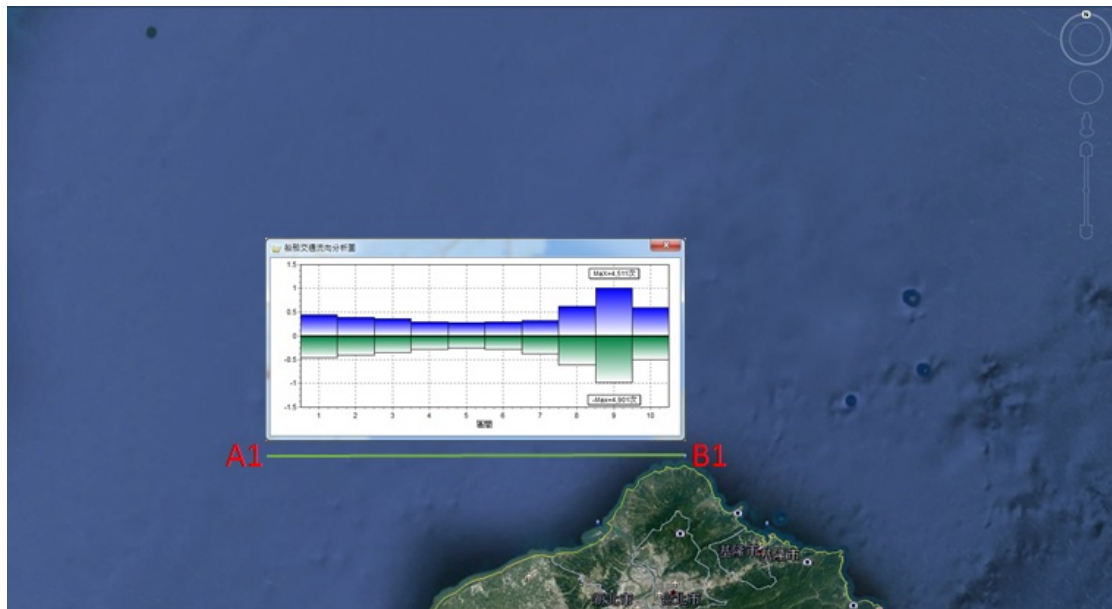


圖 2.13 A1B1 段面 (新北石門外海)統計圖

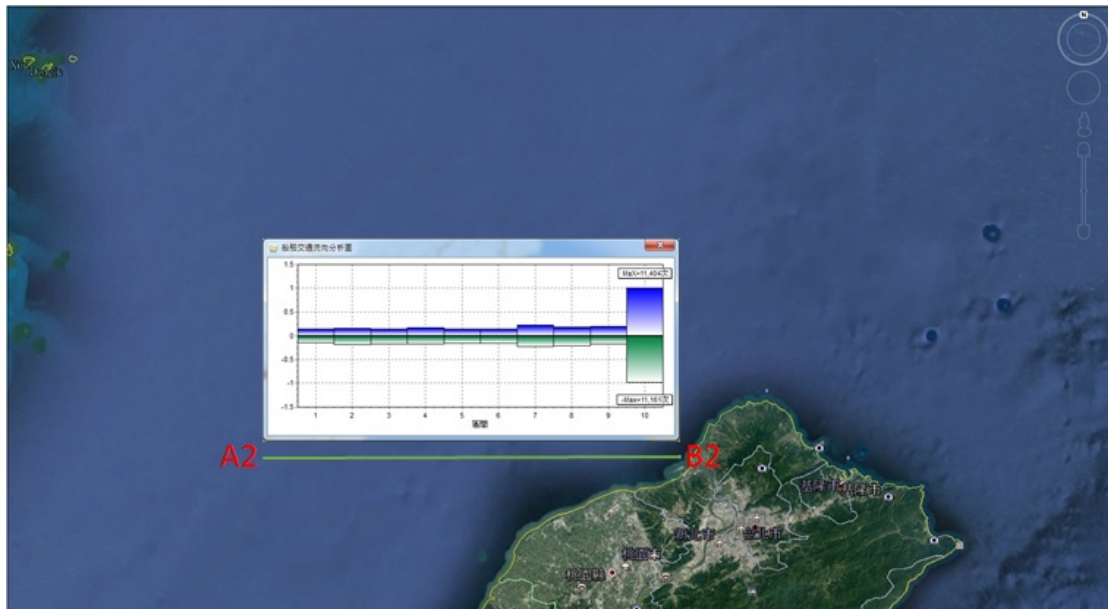


圖 2.14 A2B2 段面 (臺北港外海)統計圖

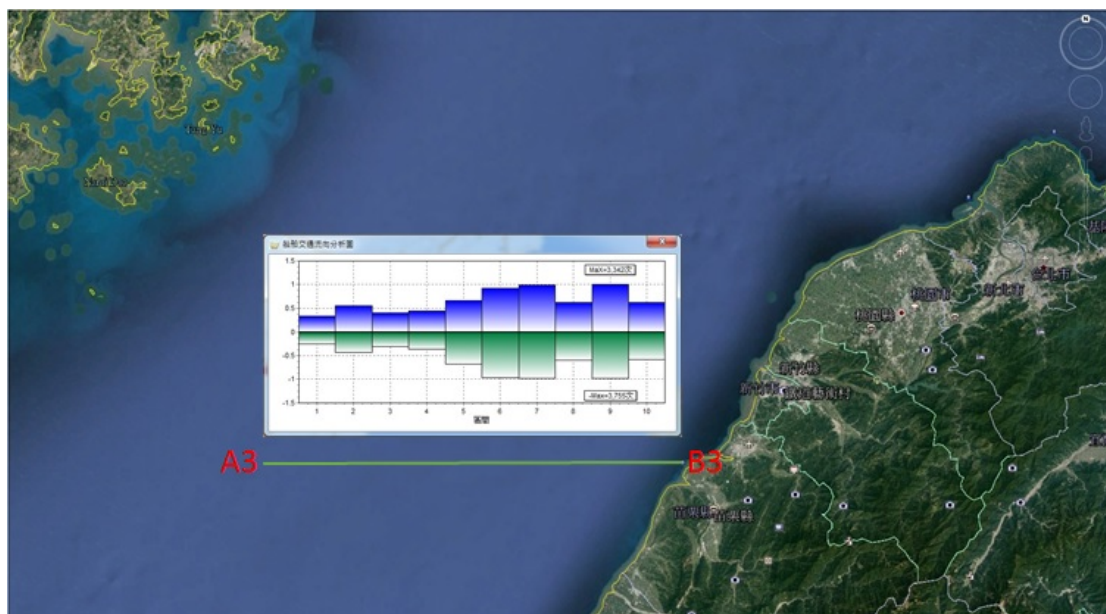


圖 2.15 A3B3 段面 (苗栗外埔漁港外海)統計圖

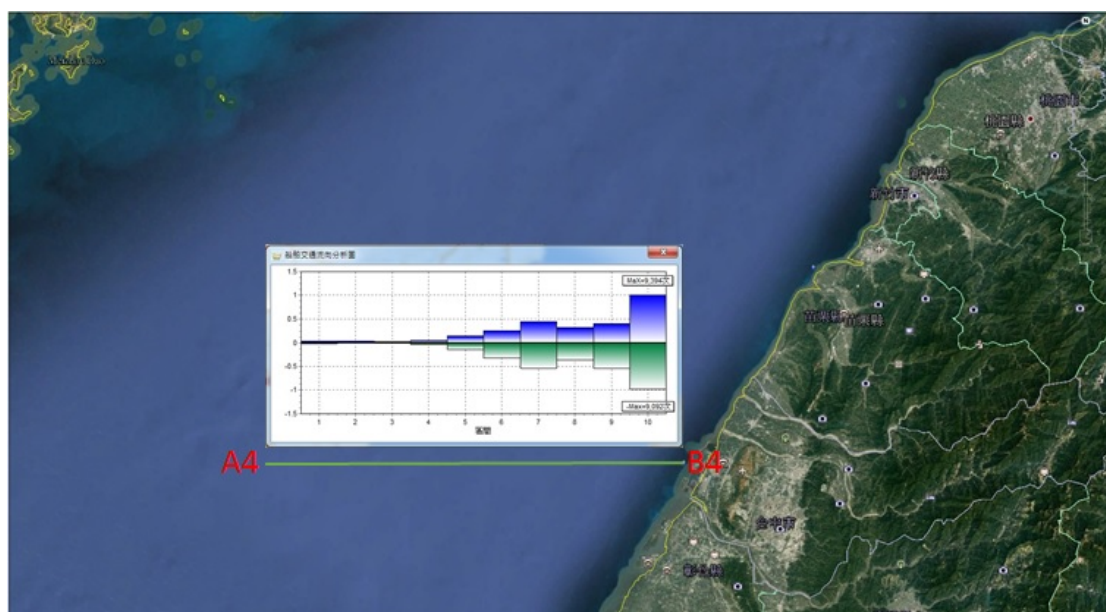


圖 2.16 A4B4 段面 (臺中港外海)統計圖

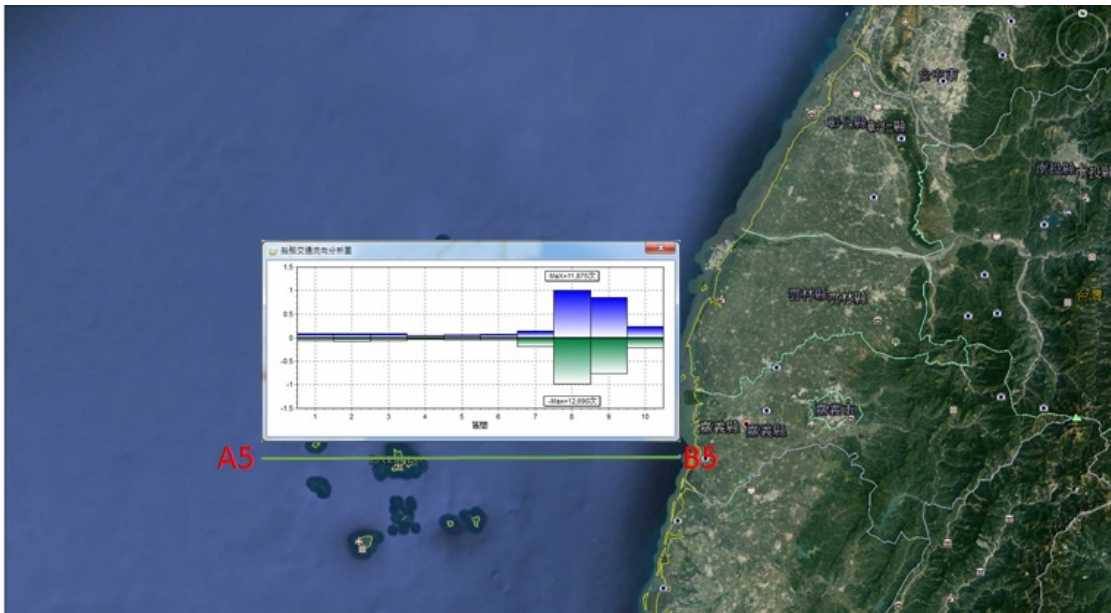


圖 2.17 A5B5 段面 (布袋港外海)統計圖

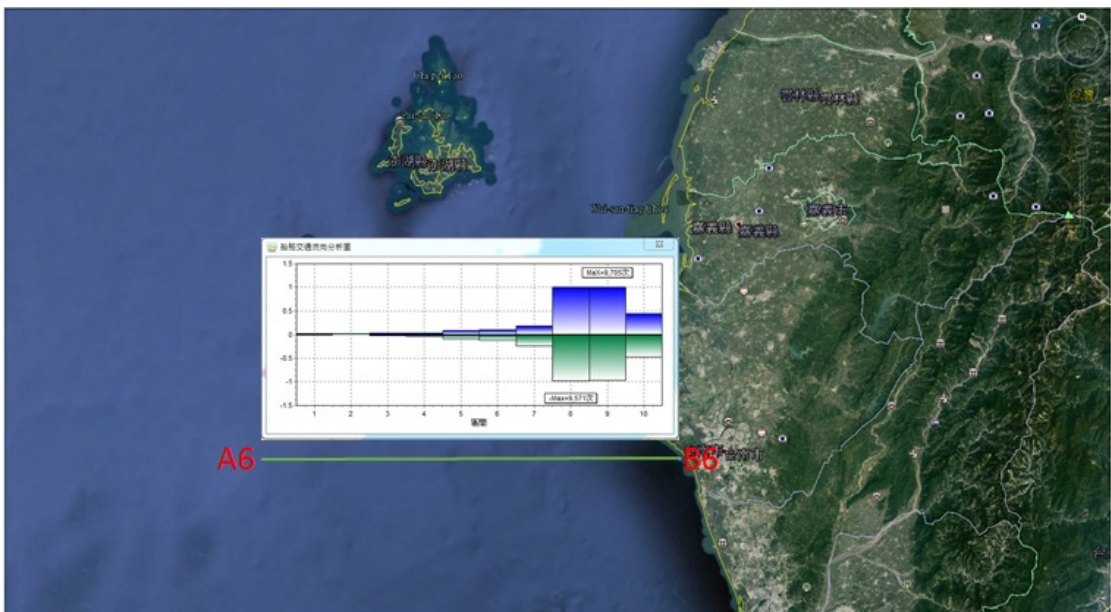


圖 2.18 A6B6 段面 (安平港外海)統計圖

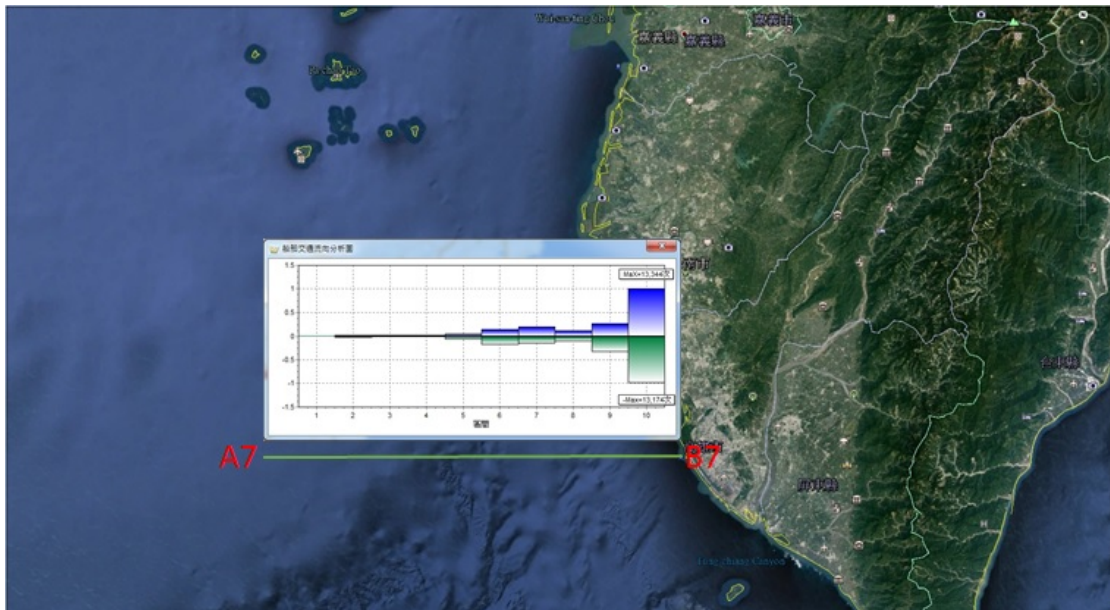


圖 2.19 A7B7 段面 (高雄港外海)統計圖

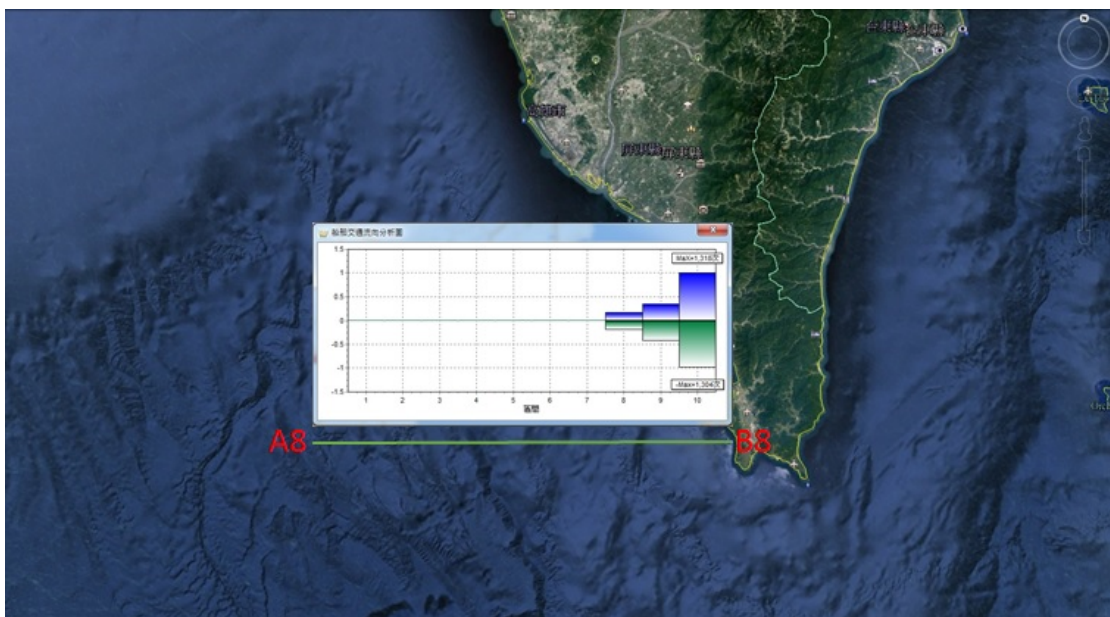


圖 2.20 A8B8 段面 (恆春紅柴坑漁港外海)統計圖

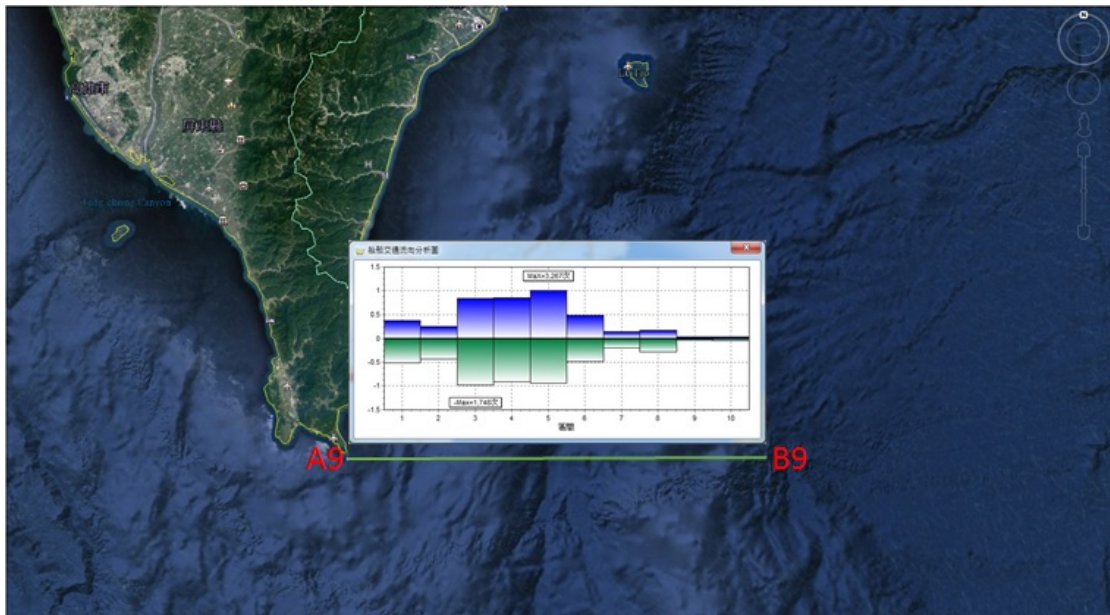


圖 2.21 A9B9 段面 (鵝鑾鼻外海)統計圖

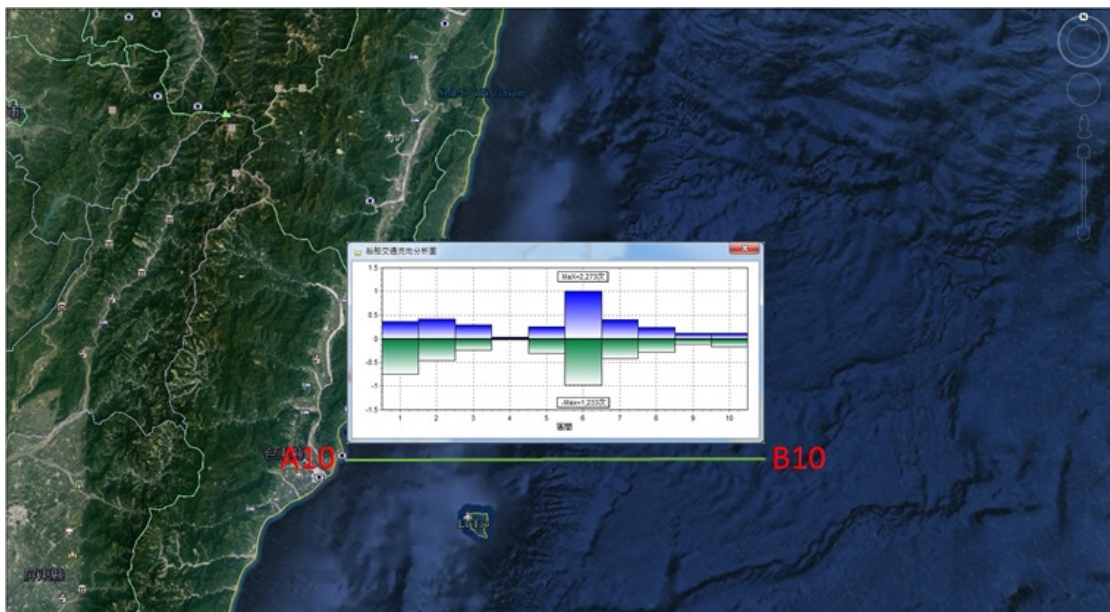


圖 2.22 A10B10 段面 (臺東富岡漁港外海)統計圖

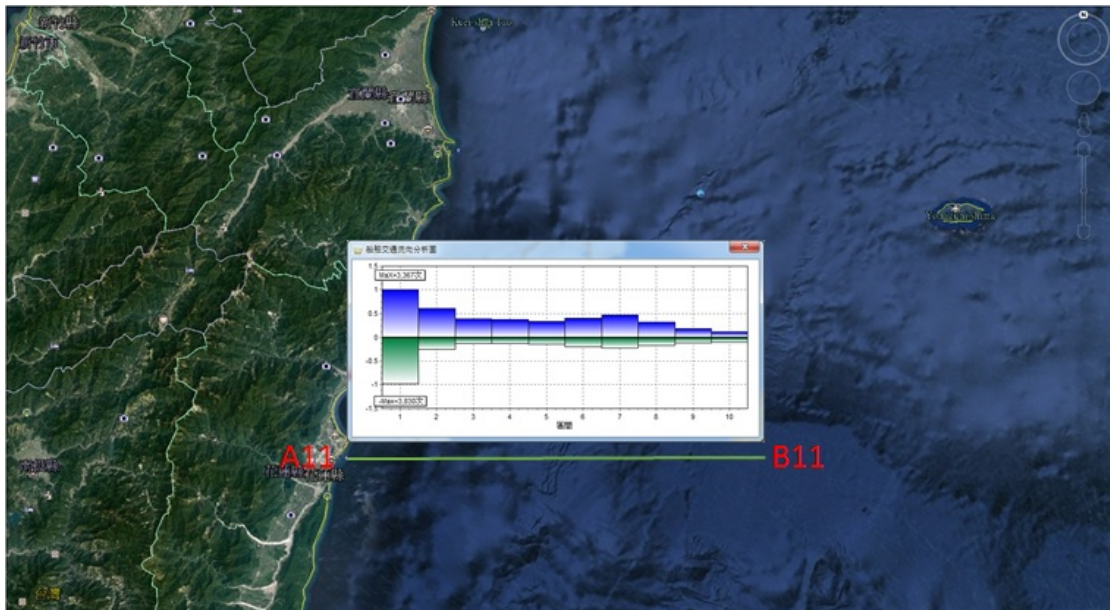


圖 2.23 A11B11 段面 (花蓮港外海)統計圖

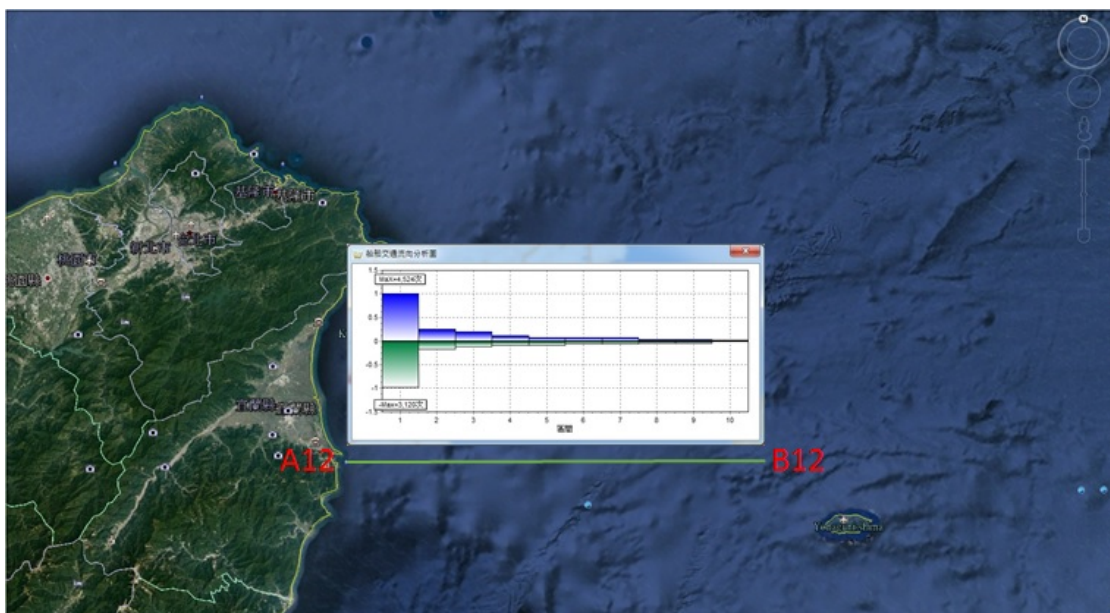


圖 2.24 A12B12 段面 (蘇澳港外海)統計圖

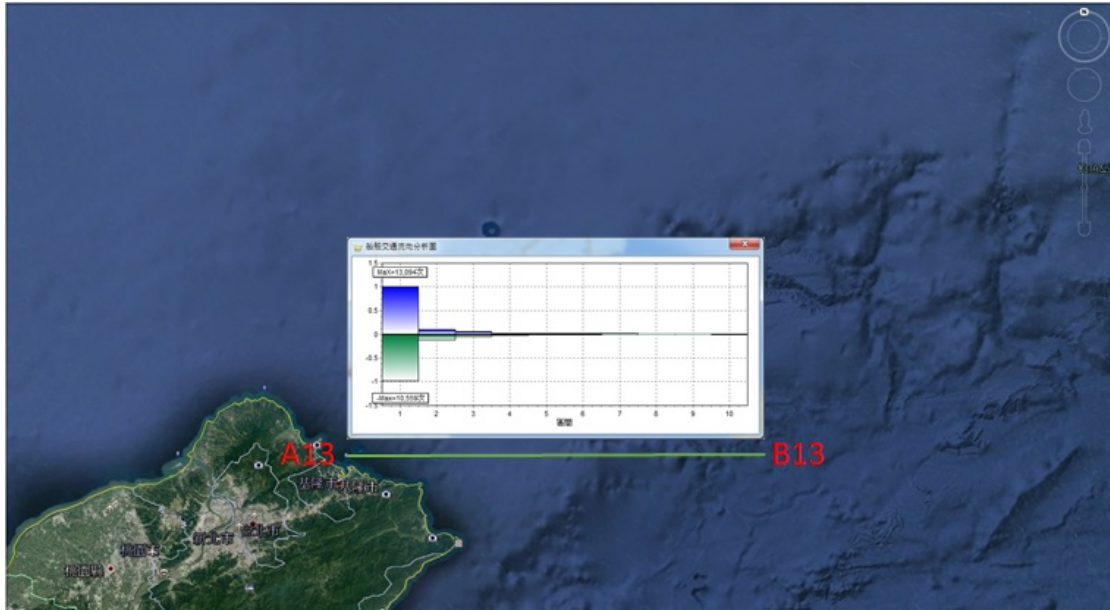


圖 2.25 A13B13 段面 (基隆港外海)統計圖

2.5.3 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 與 2.27 所示;由圖 2.26 可知本分析藍色線條間之區域為各斷面 60%之密集航線區域，臺灣海域航行的船舶航經東半部及西半部之 60%密集度分佈情況，圖 2.27 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。

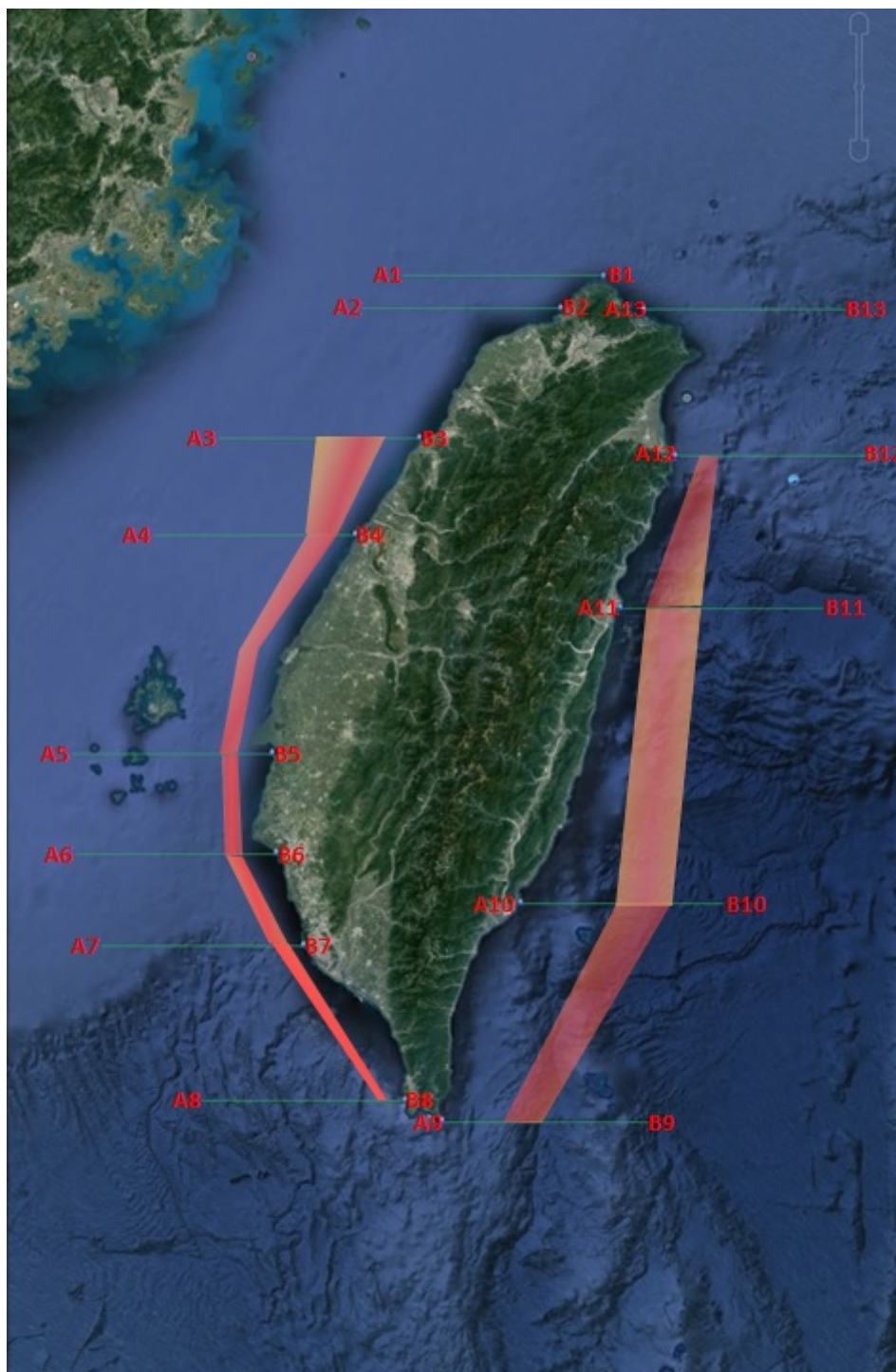


圖 2.26 東半部及西半部之航行 60%密集航線分佈

由圖 2.28 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 2.29 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，因此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。

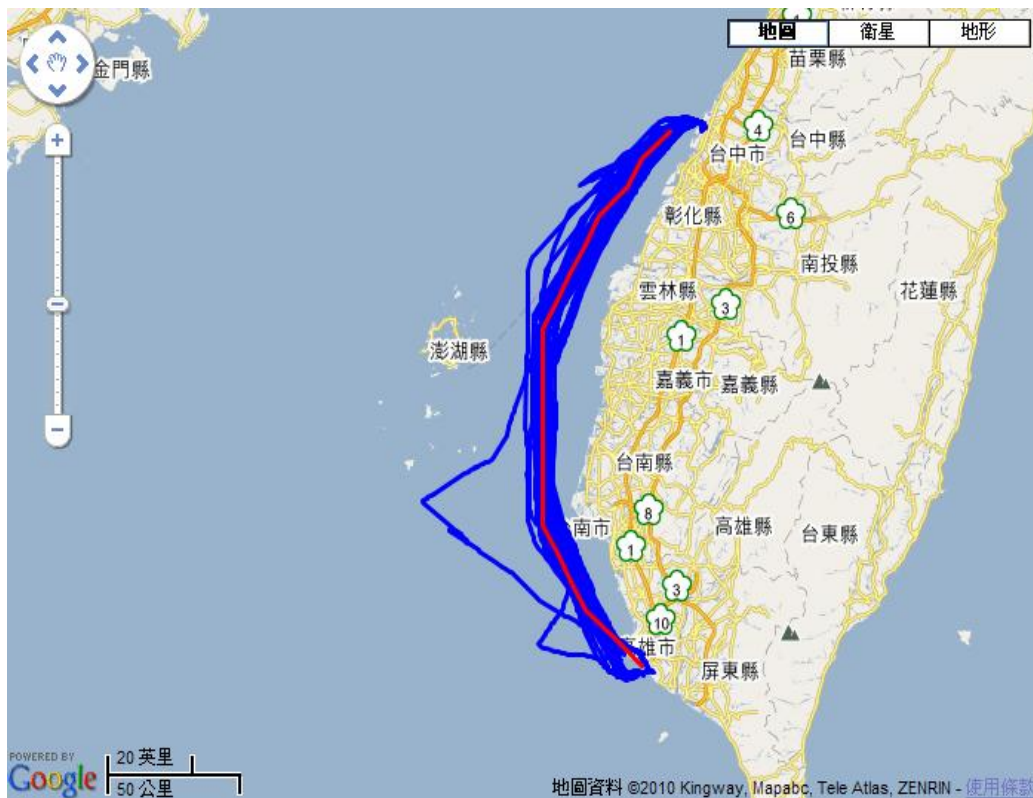


圖 2.29 臺中港與高雄港最佳化軌跡線(紅色路徑)

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 V_s 。

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

2.5.5 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 2.31 所示。

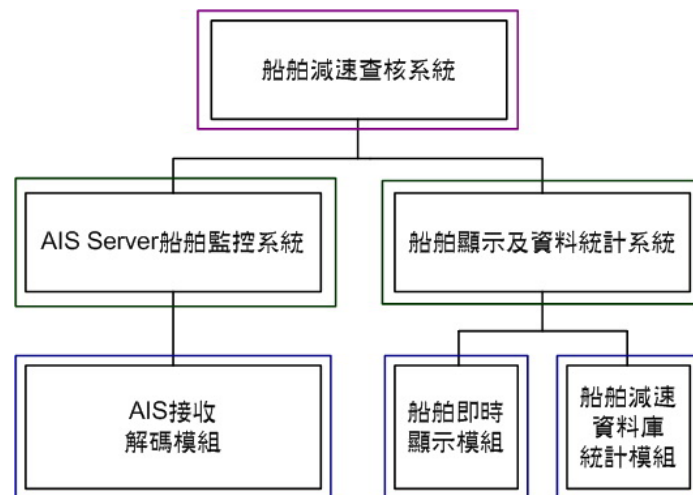


圖 2.31 船舶減速查核系統架構

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 2.32 所示。

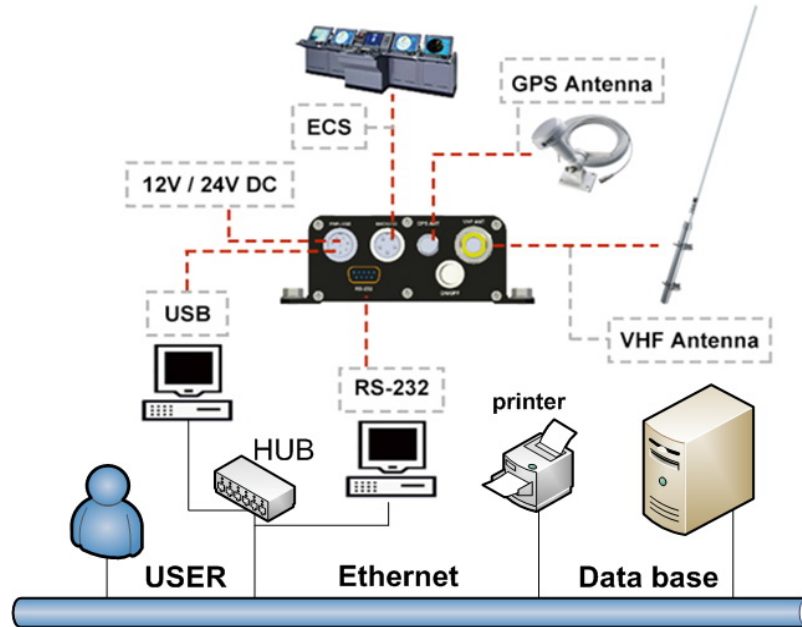


圖 2.32 船舶減速查核系統硬體設備需求

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 2.5 所示：

表 2.5 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。 b.AIS 接收器(符合 IMO 國際標準規範)乙組。 c.連結纜線及其他耗材乙式。
船舶減速查核系統 顯示及操控主機	a.電腦主機(包含螢幕、鍵盤滑鼠)乙組。 b.資料儲存設備乙組。 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。

2.5.6 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 2.33 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。

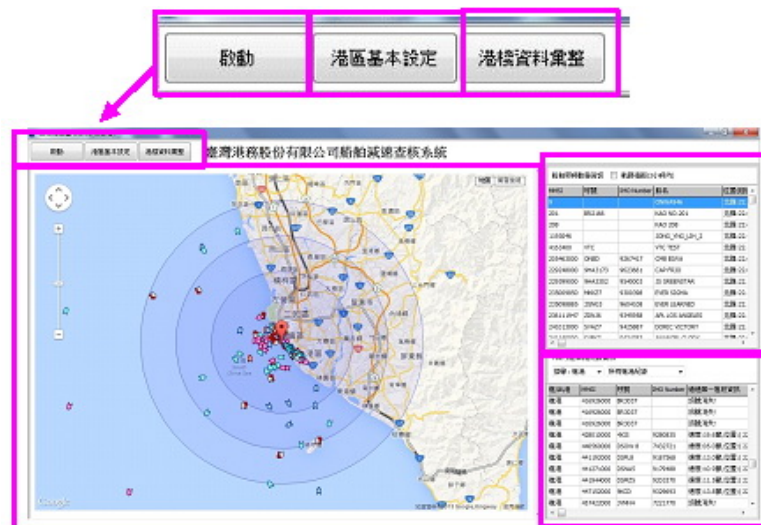


圖 2.33 船舶顯示及資料統計系統操作介面

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 2.34 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。

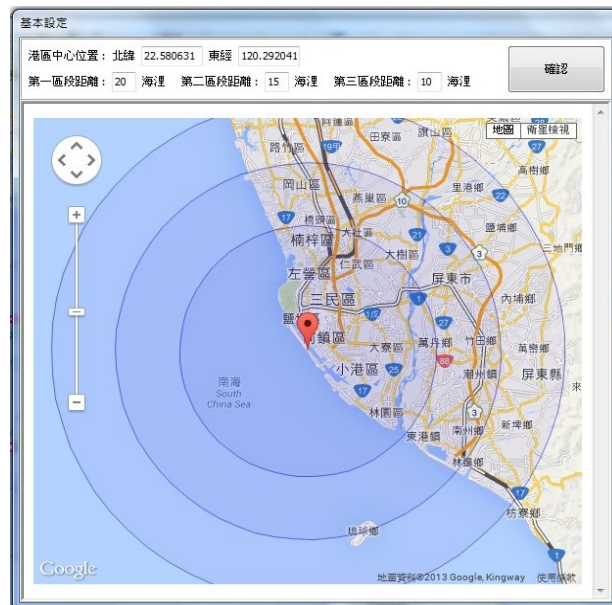


圖 2.34 港區基本設定功能

(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 2.35 所示，其主要功能在提拱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 2.6 所示。

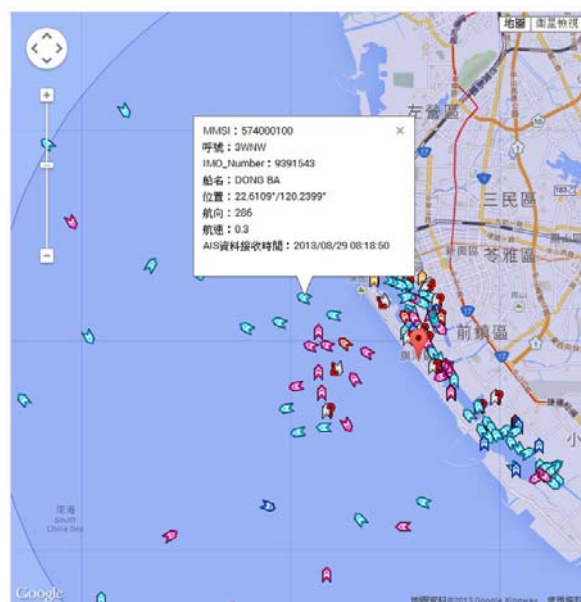


圖 2.35 船舶即時動態資訊顯示功能

表 2.6 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 2.36 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。

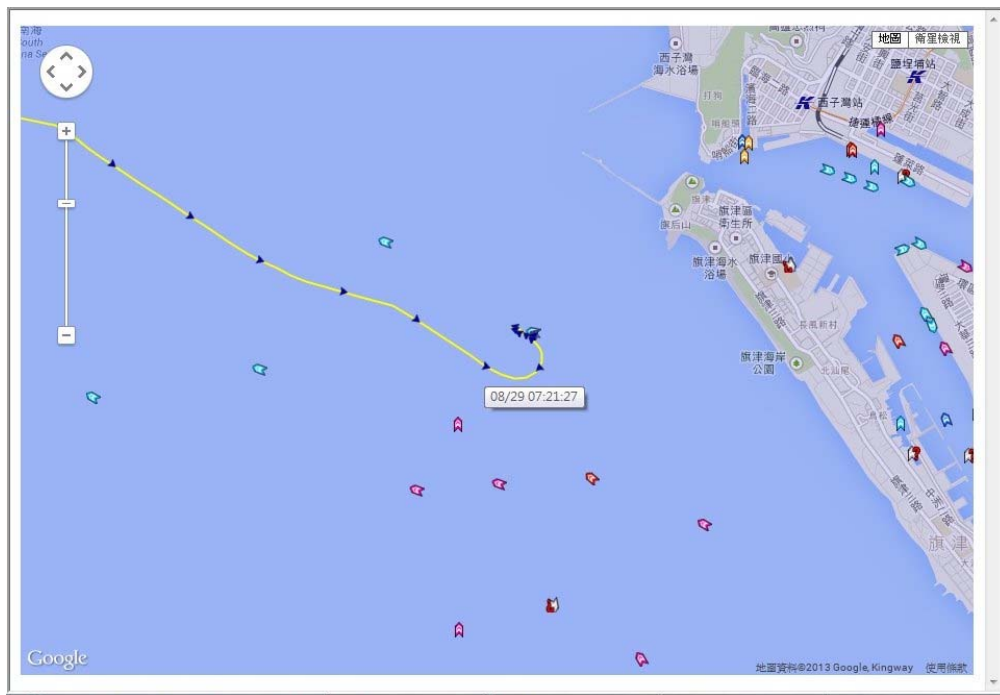


圖 2.36 船舶軌跡追蹤

(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 2.37 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

	呼號	IMO Number	通過第一區段資訊
進港	9350317	V2CL5	305036000 速度:10.3節,位置:(22
出港	9350317	V2CL5	305036000 速度:16.2節,位置:(22
進港	189224193	VRYM6	8717776 速度:07.8節,位置:(22
出港	209102000	5BDT3	9578050 速度:11.9節,位置:(22
出港	209140000	5BVK2	9509786 速度:15.6節,位置:(22
進港	209323000	5BEV3	9431343 速度:15.9節,位置:(22
出港	209323000	5BEV3	9431343 速度:15.7節,位置:(22
進港	209425000	5BMJ3	9509803 速度:14.4節,位置:(22
出港	209425000	5BMJ3	9509803 速度:11.9節,位置:(22

圖 2.37 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 2.38 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。

資料匯入及匯出

匯入港棧資料

匯出EXCEL表格

資料搜尋

搜尋時間: 2013/ 9/22 18:13 至 2013/ 9/22 18:13

進階搜尋 輸入關鍵字

搜尋呼號
 搜尋MMSI
 搜尋中文船名
 搜尋英文船名
 搜尋船東
 搜尋船舶類型

進港 ☒ 出港 ☒

: 00000 AIS系統資料數: 00000

搜尋

圖 2.38 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 2.39 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 2.39 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 2.40 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圖 2.41 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 2.40 船舶減速查核彙整資料搜尋功能操作

日期	到達(離開)碼頭	船東	中文船名	英文船名	呼號(CallSign)	IMO Number	通過第一區段時	通過第一區段時	通過第二區段時	通過第二區段時	通過第三區段時	通過第三區段時	平均速度	達成
2013/09/09	11:30	DREAM SHIPPING	格爾凱利福	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	3EFS6	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 09:16.1	No	
2013/09/02	08:40	HIGH SPEED 1 S	現代可倫坡	HYUNDAI COLOR	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 12:9.9		2013/09/09 12:13.2	No	
2013/09/10	18:35	HIGH SPEED 3 S	現代羅加達	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 MAR	維格	NYK VIRGO	3EKC2	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	普摩	PULAU CEBU	3EKL6	9403798		8.5		2013/09/02 05:16.0		2013/09/02 06:10.3	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	

圖 2.41 船舶減速查核彙整資料列表

(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，分別如圖 2.42 及表圖 2.43 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。

船務代理公司	呼號	英文船名	中文船名	進/出港	到達(離開)碼頭時間	平均速度(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	BIAU	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

圖 2.42 船舶報到資料報表

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 條件艘次	不符合減速 條件艘次	進出港 總艘次	減速達成率 (%)	船務代理公司	符合減速 條件艘次	不符合減速 條件艘次	進出港 總艘次	減速達成率 (%)	
FPMC 106 MARINE CO	2	0	2	100	海昇船務代理股份有限	2	0	2	100	
日本川崎汽船株式會社	2	0	2	100	禾豐船務代理有限公司	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	泓陽船務代理有限公司	5	3	8	62.5	
WEIHAI SAFE OCEAN	2	0	2	100	國耀船務代理有限公司	7	5	12	58.3	
YOU SHUN COMPAN	2	0	2	100	億利船務代理有限公司	10	8	18	55.6	
龍源航運股份有限公司	2	0	2	100	台灣通新船務股份有限	6	6	12	50	
KUNYUAN SHIPPING	2	0	2	100	通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	
謙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 CO	2	0	2	100	新益航業股份有限公司	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	日華日本郵船股份有限	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	台灣船務代理有限公司	1	3	4	25	
QINGDAO NEW SILK	1	1	2	50	寶興船務代理有限公司	23	129	152	15.1	
長鴻海運股份有限公司	1	1	2	50	永然船務代理有限公司	1	7	8	12.5	
廣興通成船務有限公司	2	2	4	50	台企航運股份有限公司	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	聯宏通國際股份有限公	0	2	2	0	
WINSON TRITON LIM	1	1	2	50	香港商正航亞洲有限公	0	4	4	0	
台企航運股份有限公司	1	1	2	50	群順船務代理有限公司	0	2	2	0	
敬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						

圖 2.43 船舶減速成果報表

2.5.7 船舶減速資料分析

本系統於 106 年 2 月建置完成，並開始進行系統測試，本研究透過本系統擷取臺中港、臺北港、基隆港、花蓮港、高雄港、蘇澳港、安平港與布袋港之減速查核資料，時間從 105 年 5 月至 105 年 12 月止，共 8 個月的船舶減速查核資料進行分析，其結果如圖 2.44~圖 2.60 所示。

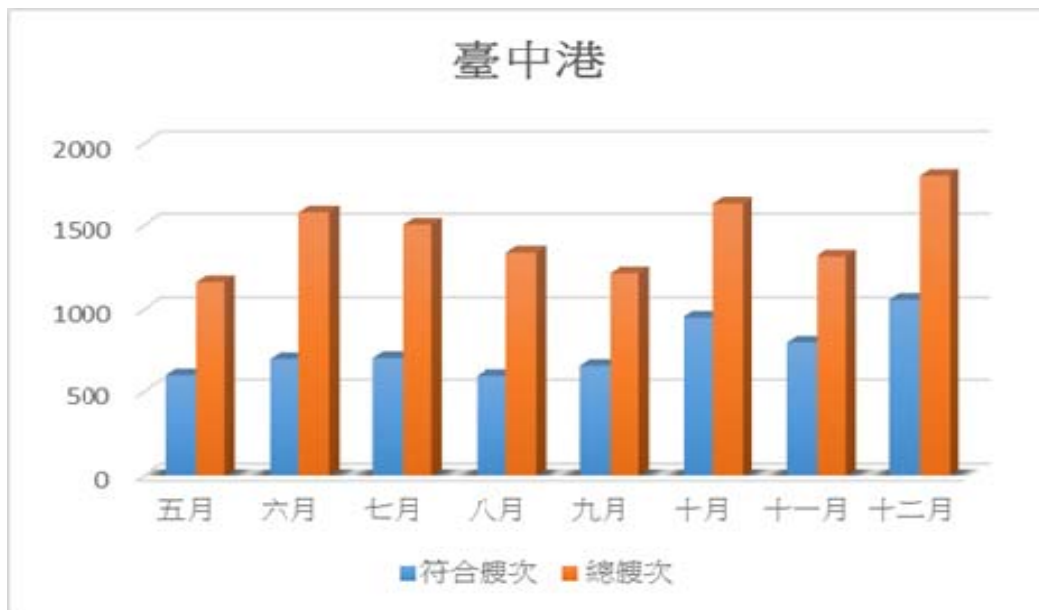


圖 2.44 臺中港各月船舶減速查核資料

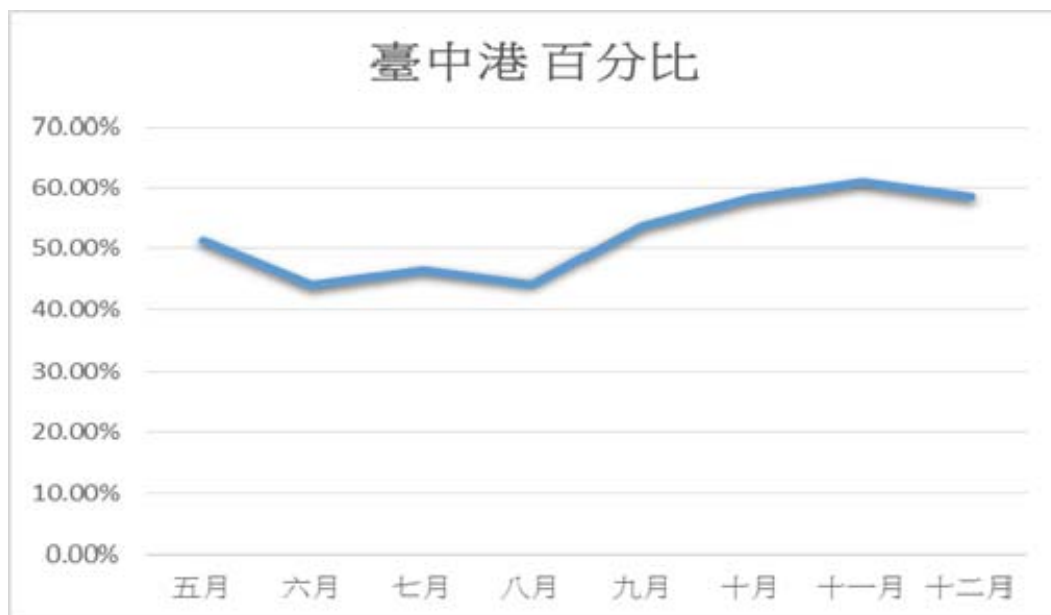


圖 2.45 臺中港各月船舶減速符合率

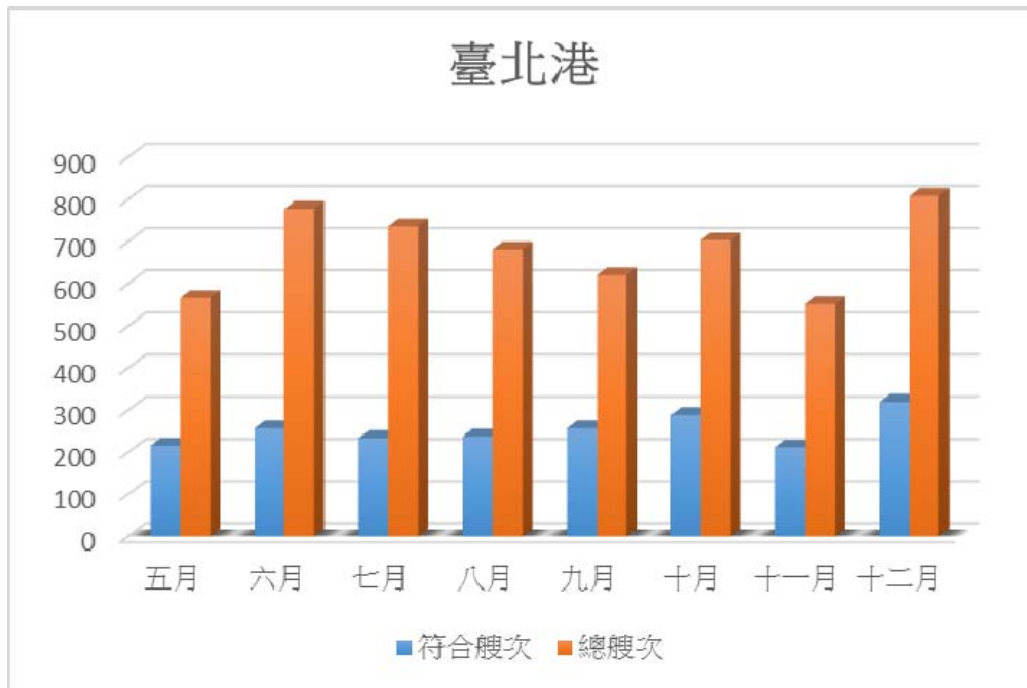


圖 2.46 臺北港各月船舶減速查核資料

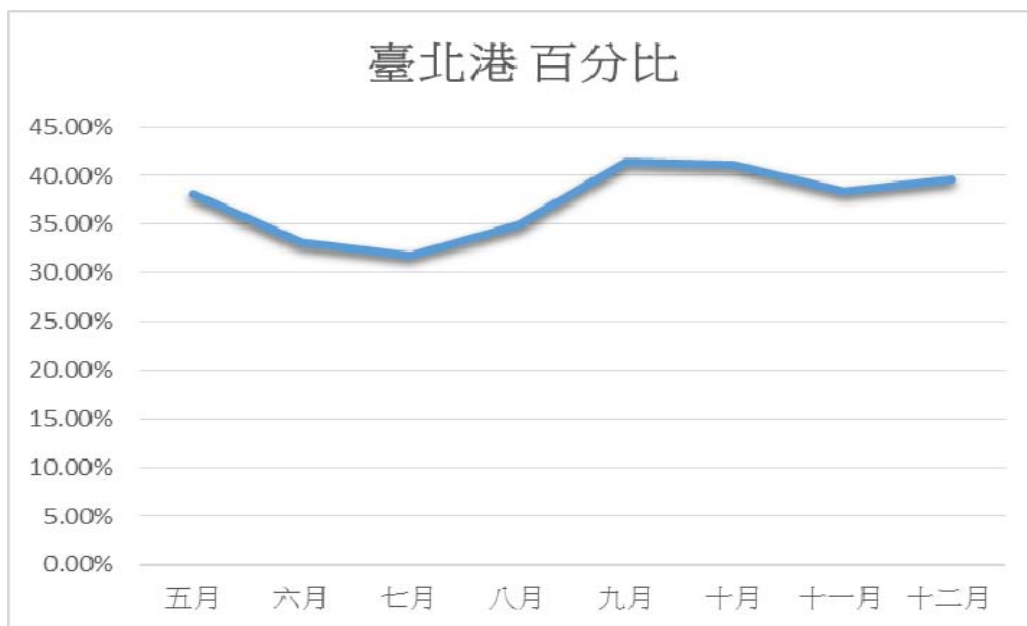


圖 2.47 臺北港各月船舶減速符合率

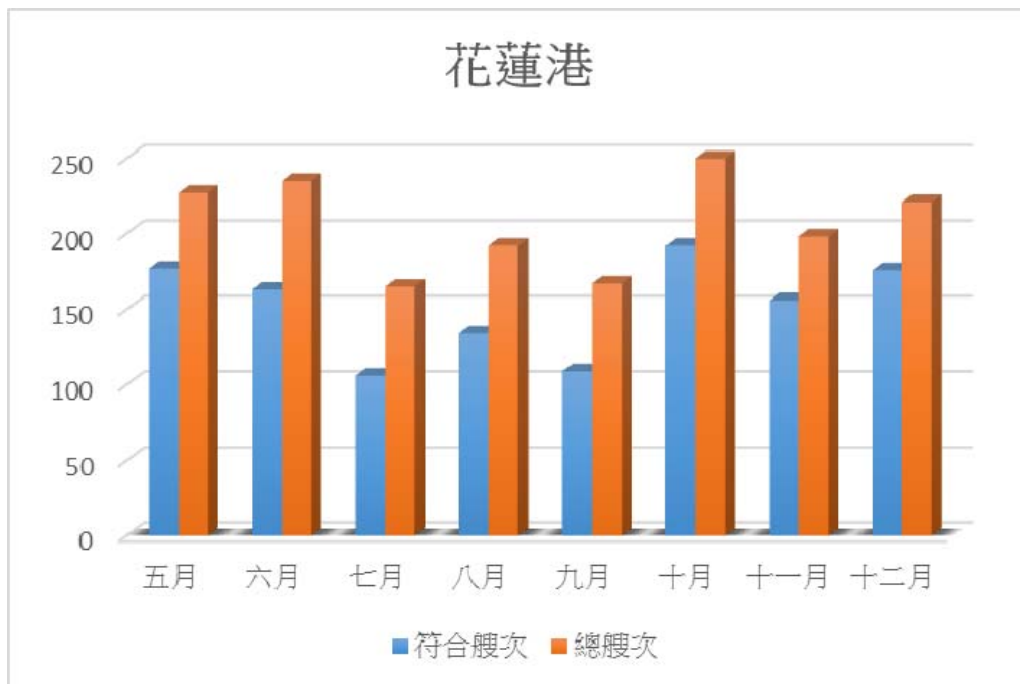


圖 2.48 花蓮港各月船舶減速查核資料

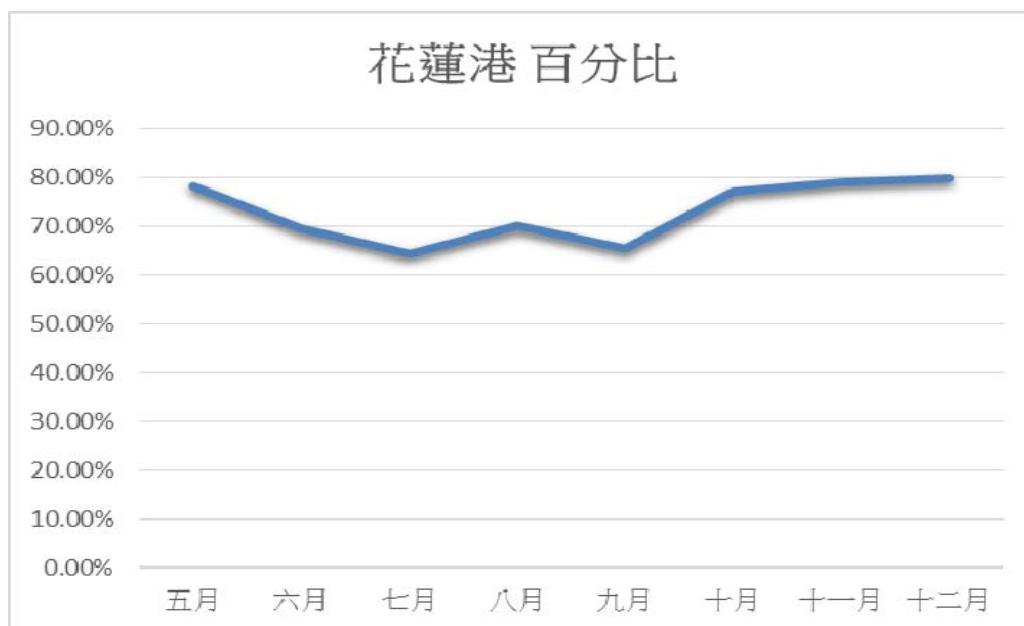


圖 2.49 花蓮港各月船舶減速符合率

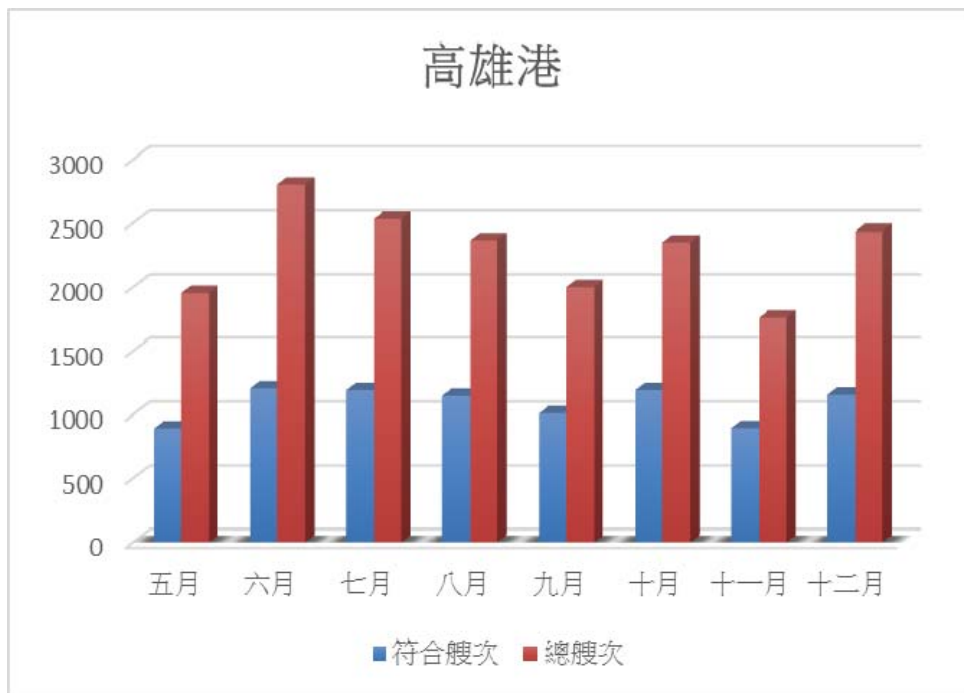


圖 2.50 高雄港各月船舶減速查核資料

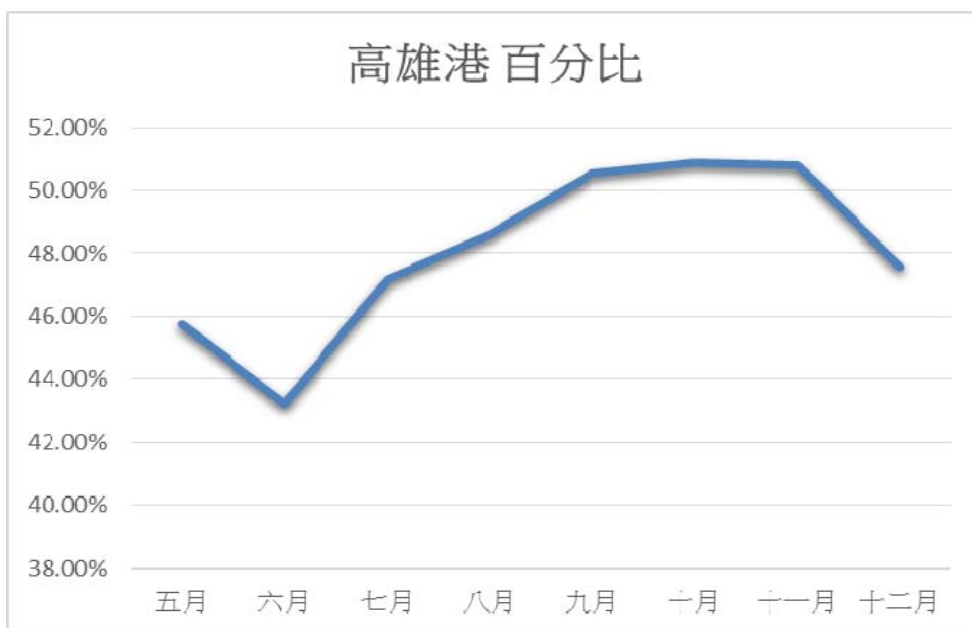


圖 2.51 高雄港各月船舶減速符合率

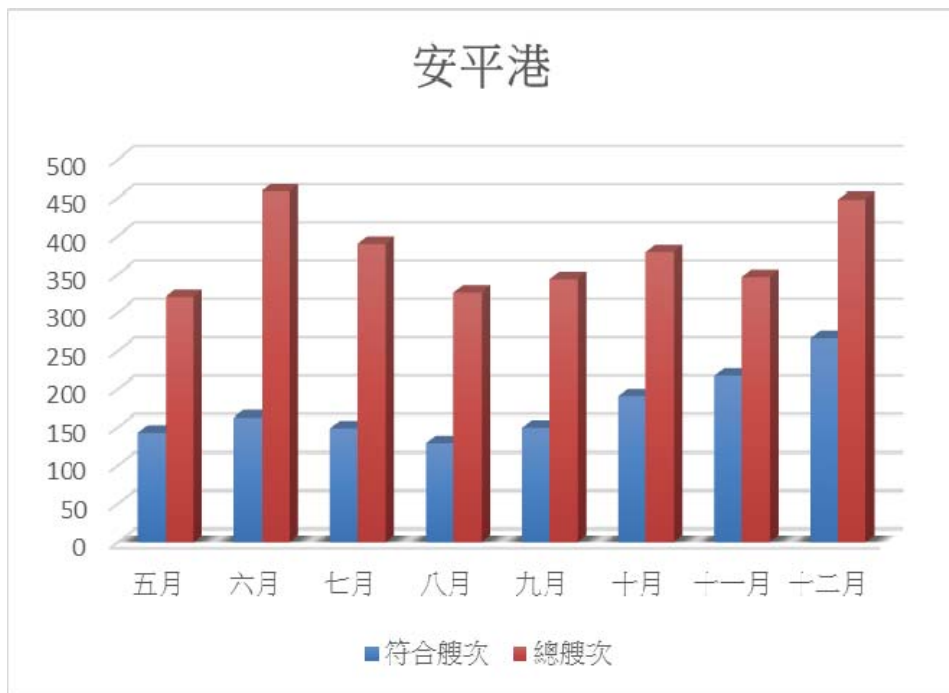


圖 2.52 安平港各月船舶減速查核資料

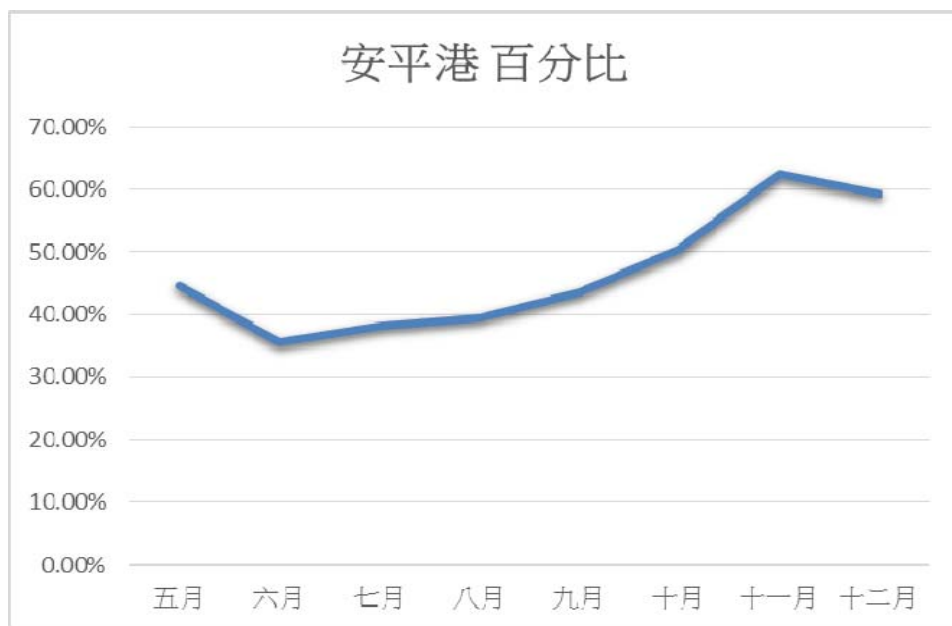


圖 2.53 安平港各月船舶減速符合率

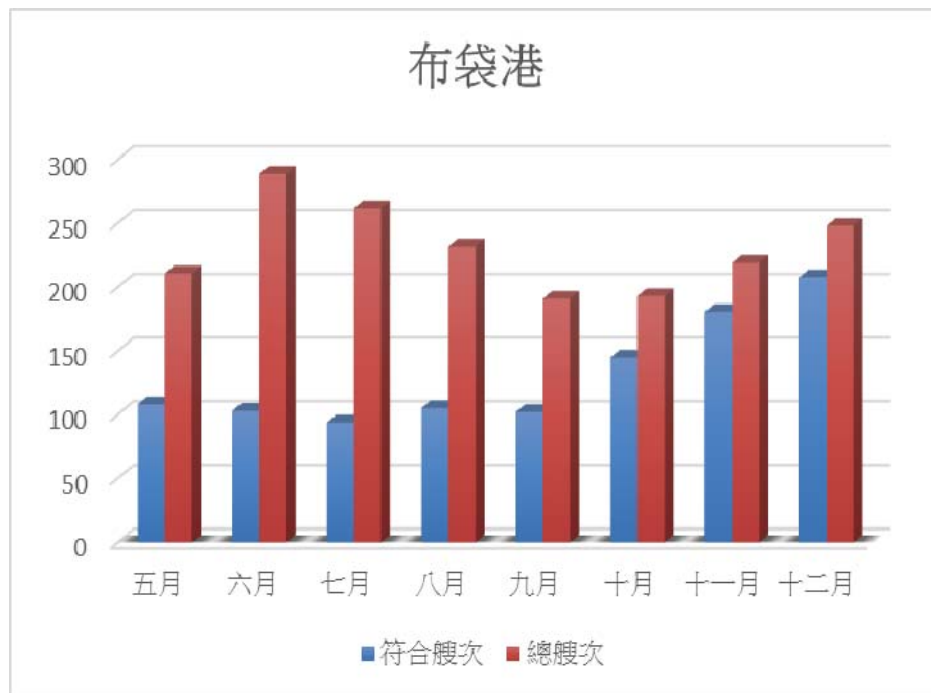


圖 2.54 布袋港各月船舶減速查核資料



圖 2.55 布袋港各月船舶減速符合率

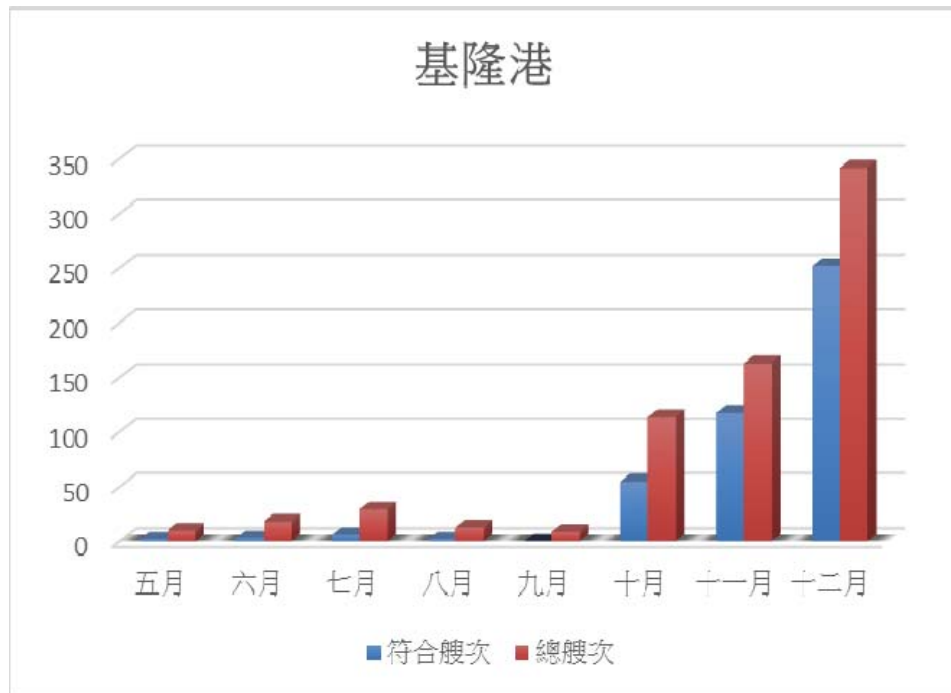


圖 2.56 基隆港各月船舶減速查核資料

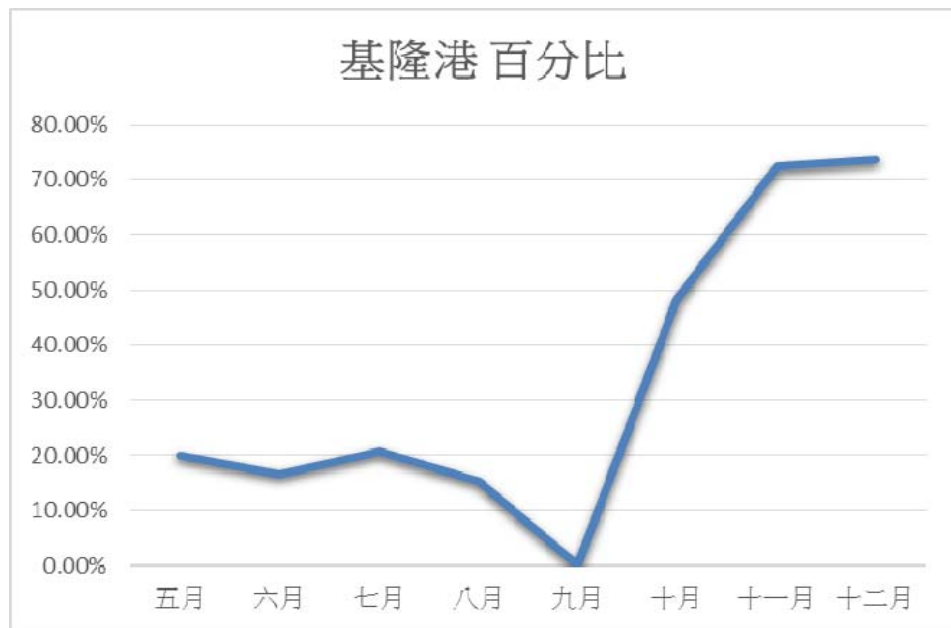


圖 2.57 基隆港各月船舶減速符合率

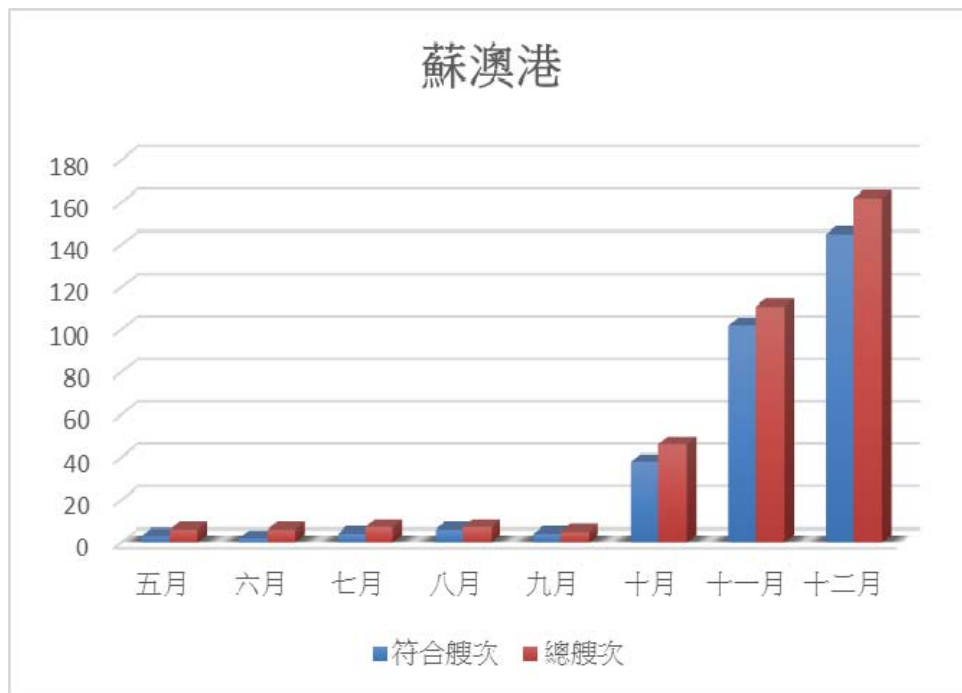


圖 2.58 蘇澳港各月船舶減速查核資料

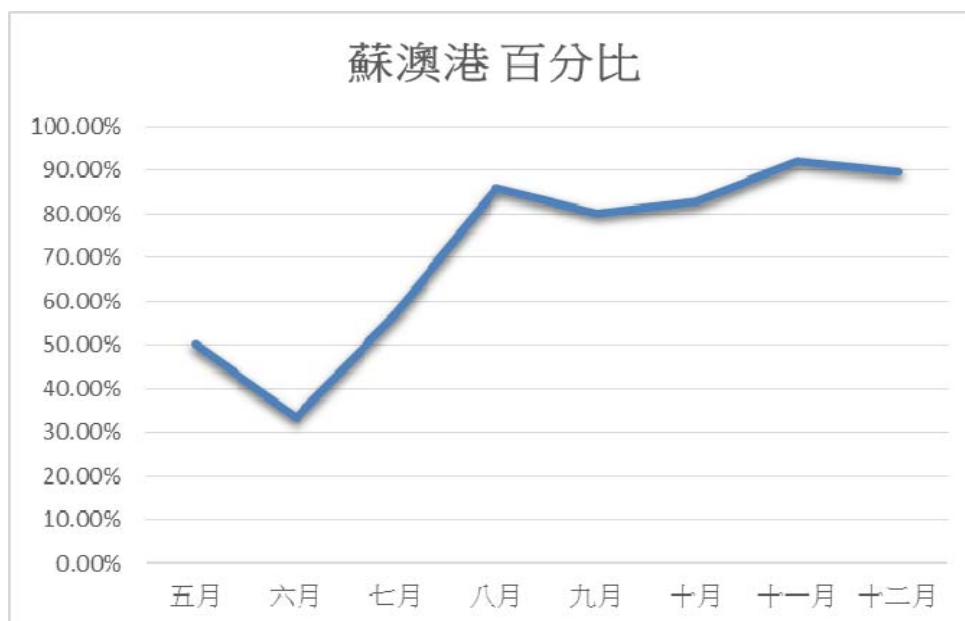


圖 2.59 蘇澳港各月船舶減速符合率

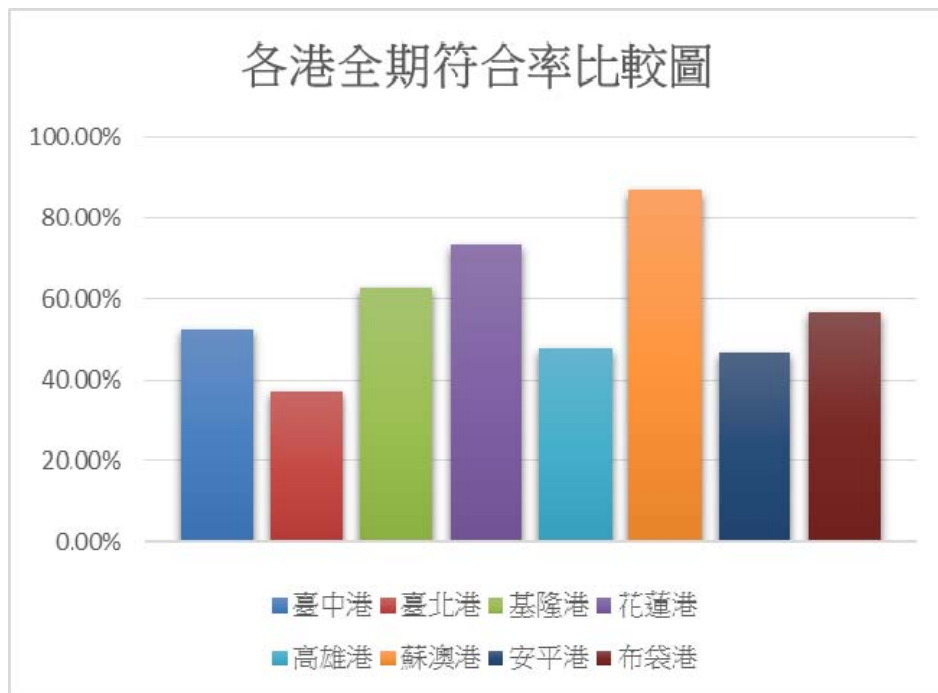


圖 2.60 各港船舶減速查核全期符合率比較圖

本研究以本中心船舶減速資料庫彙整後的結果進行分析，如圖 2.60 所示，平均各港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，因蘇澳港與基隆港本中心於 105 年 10 月陸續於宜蘭頭城及新北瑞芳 2 處增設 AIS 接收站，故其船舶數量便明顯增加。

又本系統於紀錄船舶減速之資料時，並無將船舶類型記錄下來，且無各港務公司港棧系統船舶進出港資料比對，因此無法進行船舶類型之分類與篩選，目前船舶減速符合率之計算母數包含了所有各種類型的船隻。由於無法分類及篩選船舶類型，系統亦無法區別漁船載具(具備 AIS 功能之固定型漁網)，因此非真實船舶之漁船載具會被錯誤的納入進出港船舶艘次中。各港之部分交通客船進出頻繁，且航行速度皆符合減速條件，因此其減速符合率亦相對提高許多。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。

2.6 小結

為因應臺灣海域管理與航行安全迫切需求，及依據國際海事組織標準的智慧化航行架構，結合 GPS 衛星導航與無線通訊技術來提升運輸安全、效率與效益。透過臺灣 24 處船舶自動辨識系統接收站，蒐集全台灣所有船舶動態資訊，加強臺灣海域的航行安全，有效的促進臺灣海域及離島的航行安全及海上搜救效率。本文則就 AIS 整合資料庫的船舶即時資訊與歷史軌跡，進行相關研究，並對其獲致的研究成果說明如下：

1. 目前架設有本島 17 處及外島 7 處，共計 24 處的船舶自動識別系統接收站，依據本研究實際運作與分析，考量部分接收站架設位置不佳及颱風天停電、網路不通等各站因素；本島部分規劃設置石門、南寮、新埔及新社共 4 座接收站；而離島部分，亦規劃於金門縣烏坵嶼燈塔設置 1 座接收站。
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. 本船舶減速之資料無各港務公司港棧系統船舶進出港資料比對，無法區別漁船載具(具備 AIS 功能之固定型漁網)，各港之部分交通客船進出頻繁，且航行速度皆符合減速條件，因此其減速符合率亦相對提高許多，且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。

第三章 電子海圖顯示與資訊系統之應用

我國海上交通運輸具有相當優勢且漁業活動頻繁興盛，然而船舶在從事海上行動時，由於氣候與地理的多變性，無論在任何時間、空間，危險及災難總是伴隨在左右，所造成的人員傷害與海洋生態浩劫也十分嚴重並且影響長遠，因此海上安全一直都是世界各國所注視的重點之一。將通訊傳輸、網路資訊又或是其它相關電子資通訊技術與海上地圖結合演變為電子海圖，降低災害以達到船舶的基本安全保障是我國必要之發展趨勢。

3.1 研究背景與目的

在處於資訊爆炸性成長的時代，不管是通訊傳輸、網路資訊又或是其它相關電子資通訊技術不斷持續的在進步。而將這些資通訊科技技術結合至海洋測量、航運安全與氣象資訊等相關海洋事務是我國必要之發展趨勢，其主要原因在於我國為四面環海的海島型國家，地理位置坐落於西太平洋第一島鏈的中心位置，不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在國防戰略、經濟貿易上亦是國際上不可或缺的一員。從圖 3.1 中可以明顯看出我國地理位置處於東北亞與東南亞之間，往上航運路線通往韓國、日本等東北亞各國，往下航運路線通往菲律賓、印尼、泰國、新加坡及馬來西亞等東南亞各國，因此我國在整個東亞的地理位置上扮演著極為重要的角色。

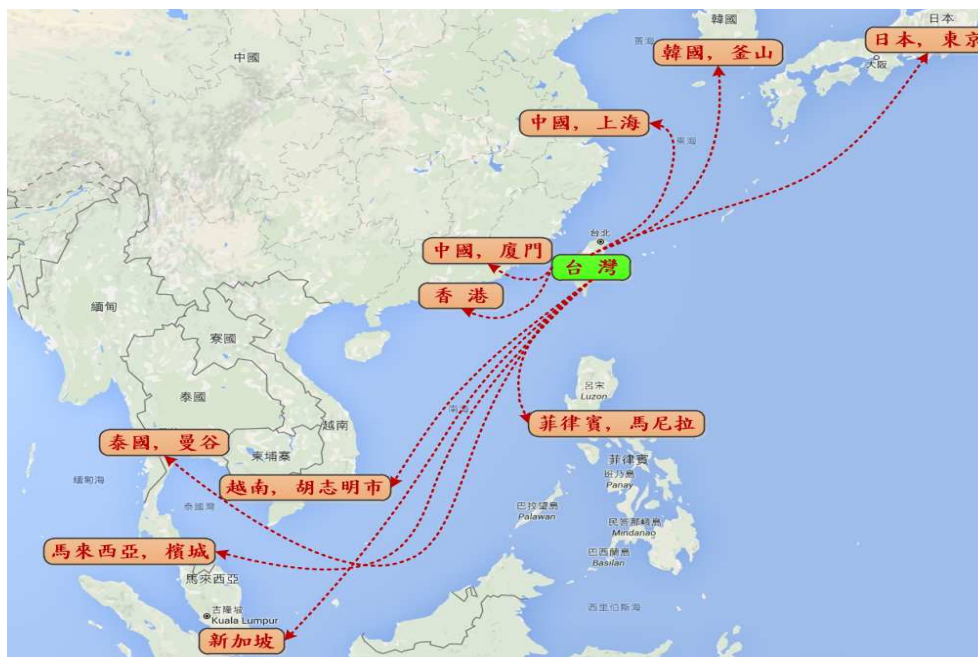


圖 3.1 我國航運路線示意圖

隨著電子資通訊科技的發展，海上地圖亦結合這些電子資通訊科技演變為電子海圖，並且不斷的修正、改善及訂定更加完整的電子海圖相關標準，國際水道測量組織(International Hydrographic Organization, IHO)在電子海圖相關標準中所建議的全球電子海圖資料庫(World Electronic Navigational Chart Database, WEND)，其概念區域電子海圖協調中心，作為用戶與區域內各國製圖機構之間的仲介，其 WEND 運作模式如圖 3.2 所示。

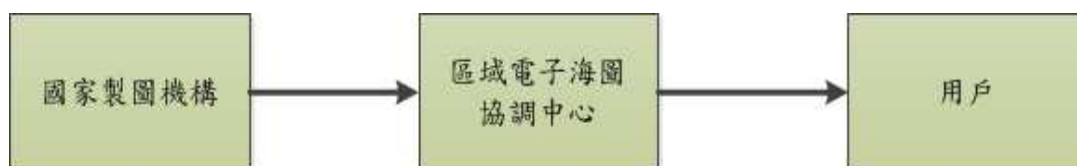


圖 3.2 WEND 運作模式

根據 IHO 於 2010 年的統計，電子海圖對於國際海上人命安全公約(International Convention for the Safety of life at Sea, SOLAS)所規範之船舶航線覆蓋率已達 85%，截至目前為止仍持續成長中，而對於各國有以下之權利與責任說明：

1. SOLAS 第五章第九條要求締約國政府確保海測資料以適當方式提供，以滿足安全航行需求，2008 年 7 月 1 日前必須涵蓋高速船(High Speed Craft, HSC)航路，此為 IMO 強制要求 HSC 安裝電子海圖顯示與資訊系統(Electronic Chart Display and Information System, ECDIS)的日期。
2. 預期各成員國將儘早就其國家所管轄海域備妥完善的電子海圖(Electronic Navigational Chart, ENC)供應系統以及其後續的更新機制。
3. 在 2008 年七月以前，各成員國家提供必要的電子海圖涵蓋，或是與其它國家協議由他國代為生產必要的電子海圖涵蓋。

基於上述各項資料之分析，對於我國航政而言，電子海圖供應系統與更新機制的建置，已是不可或缺的政策。

船舶在海上航行時，由於海洋氣象的瞬息萬變、海上地理環境的多變性等種種不確定因素，使船舶的航行無論是時間、空間，危險與災難總是伴隨其行，且海難災害造成的結果比起陸上的災害事件更加不能輕易忽視，海難事件所造成的人員傷亡率、海洋生態污染等種種災害結果不僅十分嚴重，其污染對環境影響的時效性更是久遠。根據英國勞氏驗船協會(Lloyd's Register of Shipping, LRS)的海難回顧資料我們可以知道，海上環境風險(Risk Environment)是以海難事件發生頻率當作海上風險環境評估的主要準則，此外再加上天候氣象能見度、海象潮汐變化、航行船舶密度與交通流量複雜度等條件因素做為全球海域的評估依據，而根據上述條件因素的評估與分析，我國海域被列為中等程度海上風險之環境。

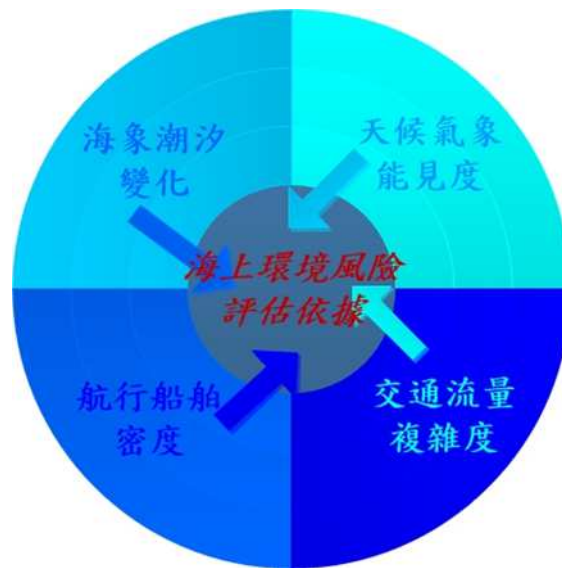


圖 3.3 海上環境風險評估元素

本研究主要是在於因應海洋科技通訊技術及船舶資通訊設備發展需求為導向，進行海洋資訊、技術和電子海圖資料庫的整合升級本中心原有電子海圖系統，予以建置一更加完善的電子海圖系統。SOLAS 國際公約在第五章「航行安全」章節的第 9 條例中明確規定各國政府具備蒐集、編輯、刊登、公告及維護更新航海所需之相關資訊的義務，其所需相關資訊包含航海圖、航行指南、燈塔表、潮汐表及航船佈告，且亦須提供服務所需之管理機制的支援，並確保海圖與其航海資訊符合相關的國際決議與規範。

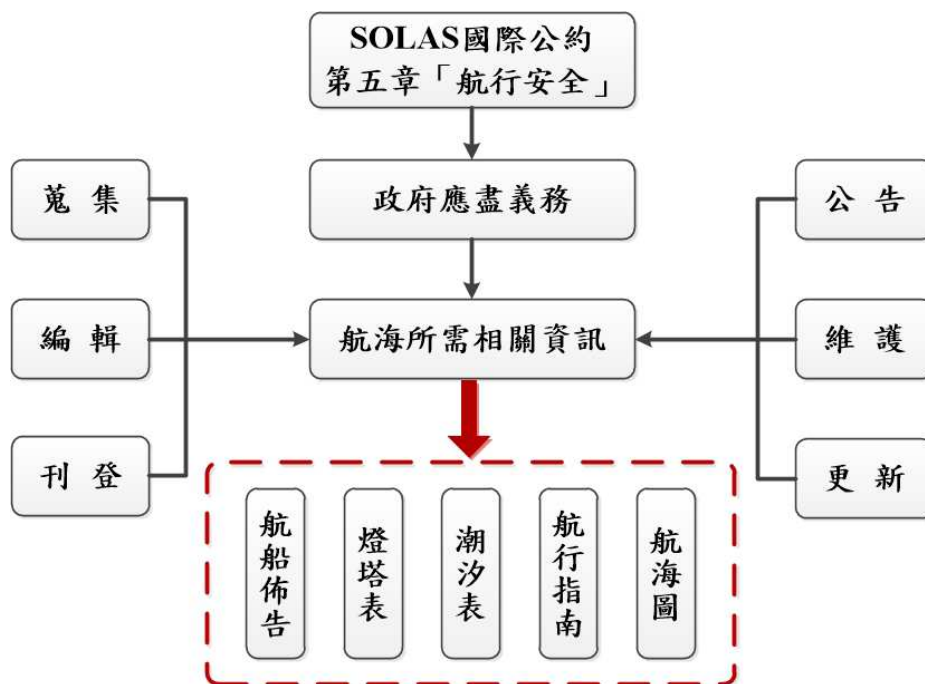


圖 3.4 政府應提供之相關航海資訊

綜合上述的分析我們可以得知電子海圖系統即是為了提升船舶海上航行安全為考量而建置的，且基於 SOLAS 公約規範，電子海圖系統已納為強制性的船舶設備亦對其訂定相關之後續資訊更新機制。因此，本系統順應 SOLAS 公約中將電子海圖系統納為強制性搭載的船舶設備之規範，我們結合 AIS 收發機使 AIS 封包格式能被接收，並將其匯至電子海圖系統，使系統能呈現船舶位置以及兩者間相對位置等相關資訊，從而達到系統整合概念並降低船舶航行設備的建置成本，提升船舶航行安全與漁撈作業的效率。

3.2 設備介紹

3.2.1 設備使用之硬體介紹

系統所使用之研究設備：包含捷元 E10T3W 平板電腦與 AIS-700 收發機。

1.捷元 E10T3W 平板電腦

平板電腦用途主要是搭載電子海圖系統並接收 AIS 收發機接收之訊息格式並呈現於海圖系統上。

表 3.1 平板電腦設備規格表

規 格	
CPU	Bay Trail-TZ3735F(四核心 Up to 1.83Ghz)
主機板	Intel Bay Trail 平台
記憶體	DDR3L-2GB RAM
顯示器尺寸	10.1"解析度 1280x800
顯示卡	內建 Intel HD 顯示晶片
硬碟	32GB
音效	內建 HD AUDIO 高傳真音效
網路	802.11b/g/n 無線網路 藍芽 4.0
作業系統	Windows 8.1 中文版
鏡頭	200 萬像素攝影機/後置 500 萬像素攝影機
尺寸	176.2mm (L) x258mm (W) x 10.3mm (H)
重量	580g(不含鍵盤)/470g(硬式基座鍵盤)
電源	5V/3A 變壓器
配件	硬式基座鍵盤/OTG 轉接線

參考資料來源：<http://www.genuine.com.tw/>

2.AIS-700 收發機

該 AIS 收發機具備接收 GPS 與 AIS 兩種資料格式的功能。因此，有利於我們在電子海圖系統顯示不同格式資料之位置資訊，達到更廣泛的資訊顯示功能，如以 AIS 資料格式為主的船舶位置資訊，或以 GPS 資料格式為主的海事氣象浮標、海上無人載具等位置資訊。

表 3.2 AIS-700 收發機規格表

規 格		
Dimensions	140mm (L) x131.4mm (W) x 46mm (H)	
Weight	550g	
Battery Power	DC (9~30V)	
Average power consumption	4W	
Peak current rating	2A	
GPS Receiver (AIS Internal)	IEC 61108-1 compliant	
Electrical Interfaces	RS232 38.4kBaud bi-directional	
	RS422 NMEA 38.4kBaud bi-directional	
Connectors	Power	4 -pole Plug
	VHF Antenna connector	BNC
	GPS Antenna connector	TNC
	Interface	RS232/RS422
VHF Transceiver	Transmitter x 1	
	Receiver x 2	
	Frequency: 161.975 to 162.025 MHz in 25 kHz steps	
Output Power	33dBm $\pm$ 1.5 dB	
Channel Bandwidth	25kHz	
Channel Step	25kHz	
Bit rate	9600 b/s $\pm$ 50 ppm (GMSK)	
RX Sensitivity	Sensitivity: - 107dBm 25kHz	
Environmental	IEC 60945	
	Operating Temperature: -25°C to +70°	

Compass Safe Distance	1 meter
Indicators	On, TX, RX, Status, TX timeout, Error, TX Off

參考資料來源：

<http://pcnautic.nl/shop/Datasheets/AIS-700%20User%20manual.pdf>

3.2.2 設備使用之軟體介紹

本系統所使用之軟體包含：

1.Windows8.1 作業系統

2.ECDIS 海圖系統

ECDIS 海圖系統為一套由 Python 語言開發的海上航行軟體。Python 為 Guido van Rossum 在 1989 年於阿姆斯特丹開發的一套新的指令碼解釋程式，作為 ABC 語言的一種繼承，而之所以會取名為 Python(中譯為大蟒蛇)，是因為開發者為一電視劇名叫飛行馬戲團(Monty Pythons Flying Circus)的愛好者。

Python 是一門跨平台的指令碼語言，支援大眾常用的作業系統，包括 Windows/Dos、Linux、Macintosh(Mac OS)、Android 與 FreeBSD，以及一些非整合式開發軟體的文字編輯器，包括 Eclipse、NetBeans、PSPad 與 Notepad++等，多數 Linux 發行版與 Mac OS 作業系統都直接整合了 Python，讓使用者可以直接在終端機下執行。

Python 自己有一套 Python 語法規則，透過實作與遵守這條規則來編寫 Python 直譯器，大部分使用者用最多的為 C 版本的 Python，也就是 C 語言實作的 Python，需要與其他直譯器作區別才以 CPython 來稱呼，除此之外還有 Java 程式語言的 JPython 和使用 .NET Framework 的 IronPython，這些實作可以讓使用者充分利用已有的其他資源。

Python 所使用的函式、模組、數字與字串都是物件，支援繼承、衍生、重載與多重繼承等特性，進而增強原始的複用性。Python 本身

提供豐富的 API 與工具列，方便讓使用者能夠使用 C 或 C++來編寫擴充新的模組，因此，可擴充性對於作為編程語言的 Python 是一大賣點。Python 具有龐大的標準函式庫，包含科學計算、字串處理、網路通訊協定的編寫與 World Wide Web Consortium(W3C)的格式支援。

除了主程式 Python 外，還使用了支援 Python 軟體的套件包含：

- (1) Pywin32-216 版本，Python 連結 Windows 系統 API 程式介面的 Python 開發模組。
- (2) PySerial-2.7.win32, Python 用來讀寫 Serial Port 的開發模組。
- (3) PyAudio-0.2.4.py27， Python 使用 PortAudio 的開發模組，PortAudio 為一個跨平台音頻庫，整合了 SGI、Unix 與 Beos 到終端的混音器中，使 Python 可以方便的錄製聲音與播放音頻。
- (4) GDAL1.11.3 模組，GDAL/OGR 為一個開源且持續更新的函式庫，目前是由兩個不同的模組所組成，包含 GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)，一個提供了讀取、寫入與轉換各種網路數據資料格式功能的地理空間資料存取函式庫，例如地理資訊系統(GIS)、向量與 3D 數據模型，和 OGR，一個提供讀寫諸多向量資料格式功能的抽象函式庫，OGR 目前支援了許多數據格式，例如 Binary、Coverage、DWG、ArcSDE、GML 與 PostgreSQL 等常見的格式。因為歷史的原因，GDAL 與 OGR 維護方式都遵照同一個生成系統，創始者為是 OSGeo 的 Frank Warmerdam。

OGR 設計的架構，主要是參照於開放式地理資訊系統(Open Geodata Interoperation Specification, OGIS)的簡單要素實現規範。架構類別大致可分為 6 種：幾何形狀(Geometry)、空間參考(Spatial Reference)、要素與要素定義(Feature/Feature Class Definition)、圖層(Layer)、原始資料(Data Source)與驅動(Drivers)。

OGIS 提供一套具有開放介面規範的通用模組，讓開發者透過規範來實現不同種類的地理數據和處理方法，地理的數據基礎為 Feature 要素，在地圖中表示為一多邊形的建築物，而組成要素有兩個必要的成份就是幾何與屬性，幾何訊息組成又分點、邊、面與集合四種，其中 Linestring 為邊，Polygon 為面，幾何的設計中採用 Composite 組合模式，將 GeometryCollection 幾何集合與要素集合 FeatureCollection 都定義成一種幾何類型。

3.3 設備操作

軟體設備操作說明：圖 3.5 為電子海圖執行於 Window8 初始畫面。

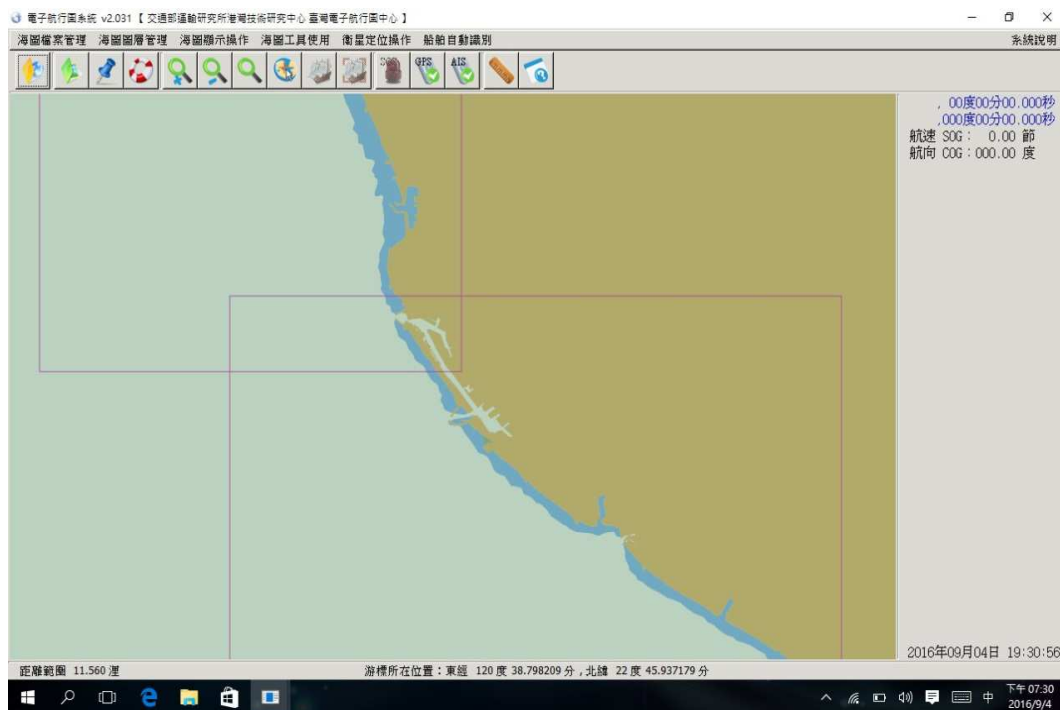


圖 3.5 海圖初始畫面

圖 3.6 之紅框為設定系統初始港口，後於圖 3.7 上選擇衛星定位操作再選擇 GPS 衛星定位控制設定。

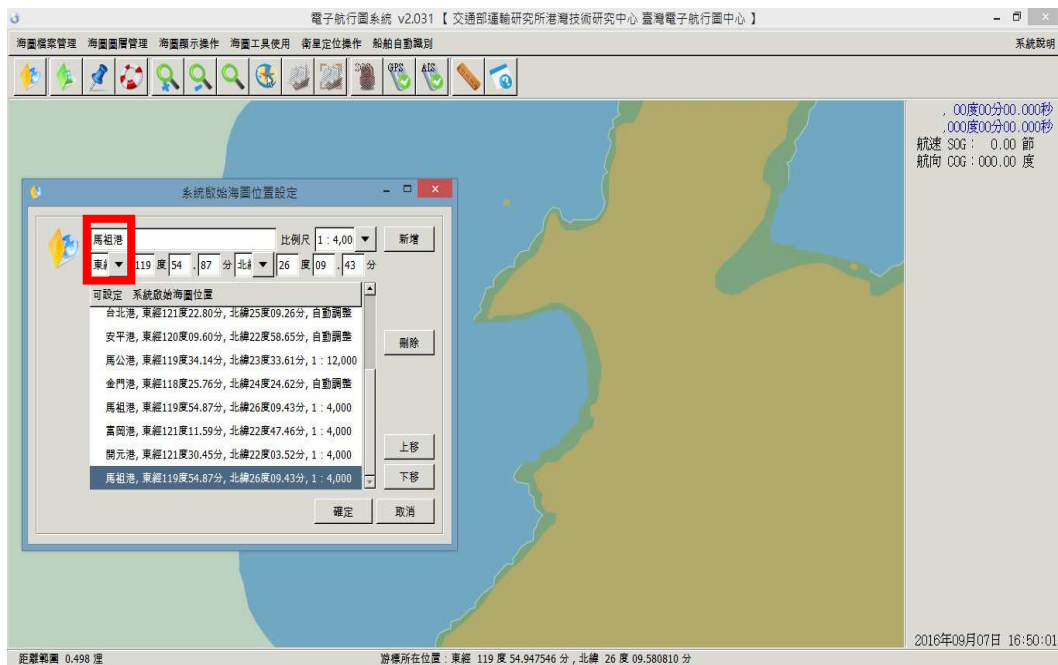


圖 3.6 設定系統初始港口



圖 3.7 GPS 衛星定位控制設定

上述參數設定完後，接收到 GPS 訊息即可在海圖上顯示本船船位以及顯示 GPS 訊號之經緯度、航速 SOG 與航向 COG，如圖 3.8 所示。

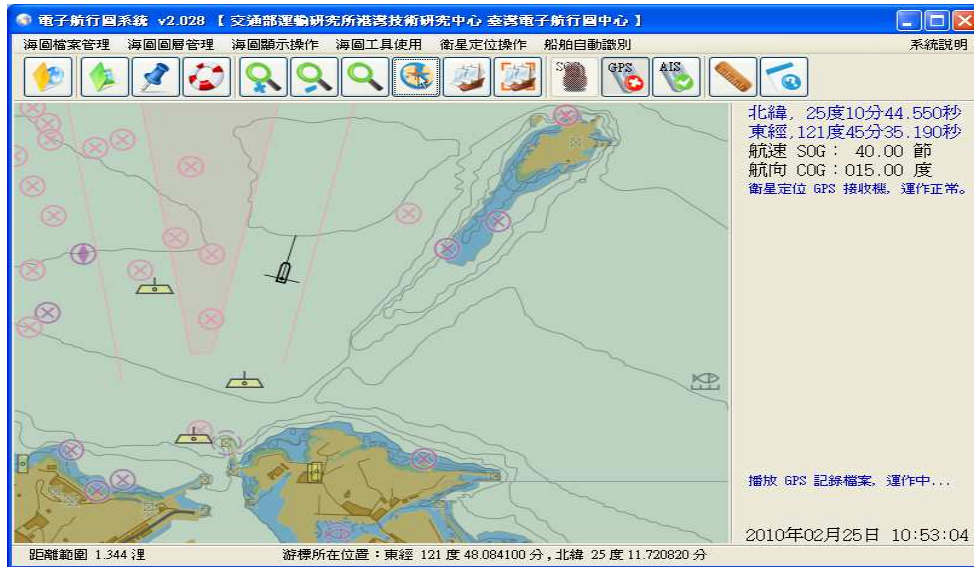


圖 3.8 顯示 GPS 衛星定位等相關資訊

如圖 3.9 所示，選擇船舶自動識別後再選擇 AIS 船舶自動識別設定，設定完成後，如有成功收到 AIS 收發機回船之訊息，即可在海圖上顯示附近範圍的船隻 MMSI 與兩船之間的距離，如圖 3.10 所示。



圖 3.9 AIS 船舶自動識別設定



圖 3.10 顯示鄰近船舶相關資訊(MMSI 與距離)

如果 GPS 衛星定位失效，警告將會在右側欄位顯示，如圖 3.11 所示。



圖 3.11 GPS 定位失效警告

選擇直尺圖示的功能，可以使用在海圖上點擊 A 點到 B 點來顯示兩者之間的距離如圖 3.12 所示。



圖 3.12 顯示兩點距離

如圖 3.13 所示，點選海圖工具使用內的海圖安全警告設定，可以設定海域安全水深、航路安全寬度與船舶碰撞警告等告警功能，如圖 3.14 與圖 3.15 所示。



圖 3.13 安全警告設定

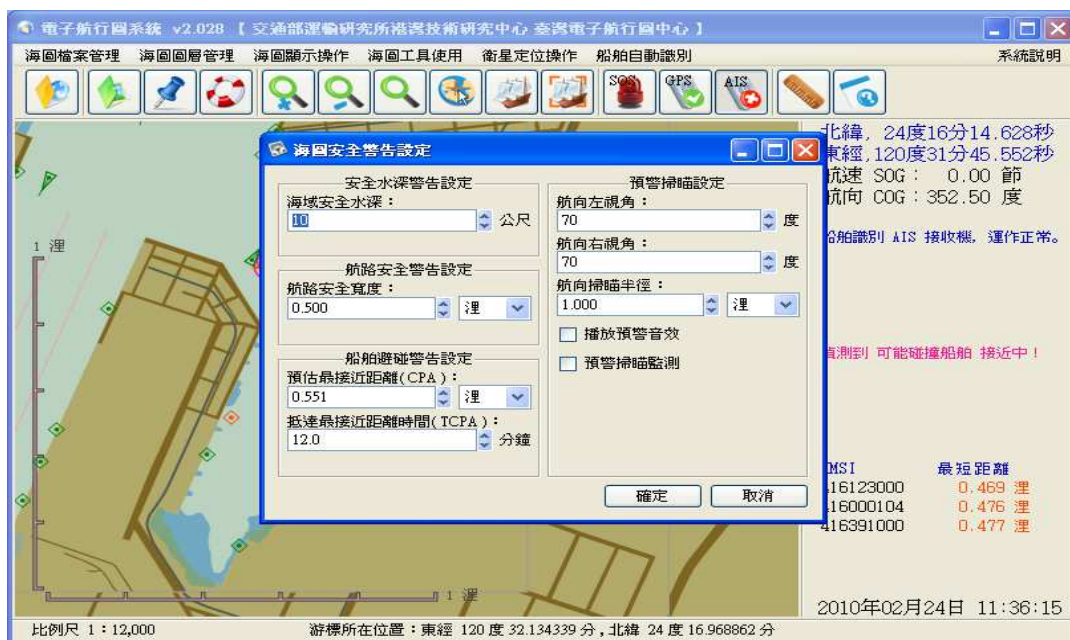


圖 3.14 安全警告設定



圖 3.15 安全警告設定：偵測可能碰撞船舶（CPA、TCPA）

如圖 3.16 所示，點選海圖工具使用內的設定海圖航路，之後在海圖上點擊左鍵選擇起始點，並可任意點選位置來設定路線，最後點擊右鍵來完成航路設定，並可顯示船舶距離的總長度，結果如圖 3.17 所示。



圖 3.16 安全警告設定：設定海圖航路

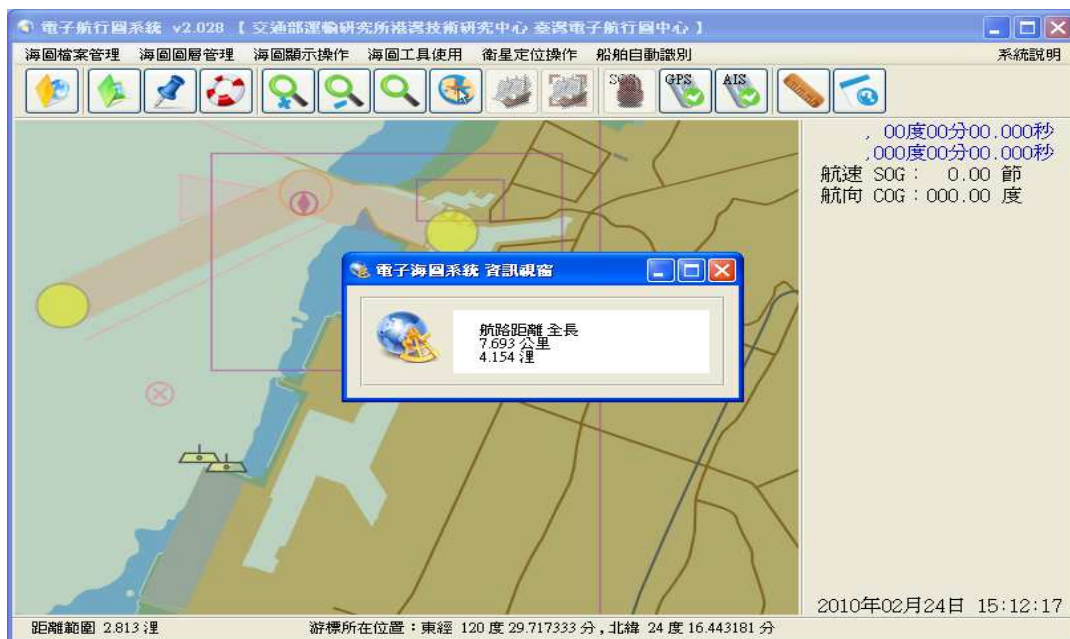


圖 3.17 編輯航路結果

設定完航路後可以選擇海圖安全警告設定來設定航路安全寬度如圖 3.18 與圖 3.19 所示，若出現航行船隻偏離航行路線會在右側欄位出現偏離航線之警告，如圖 3.20 所示。

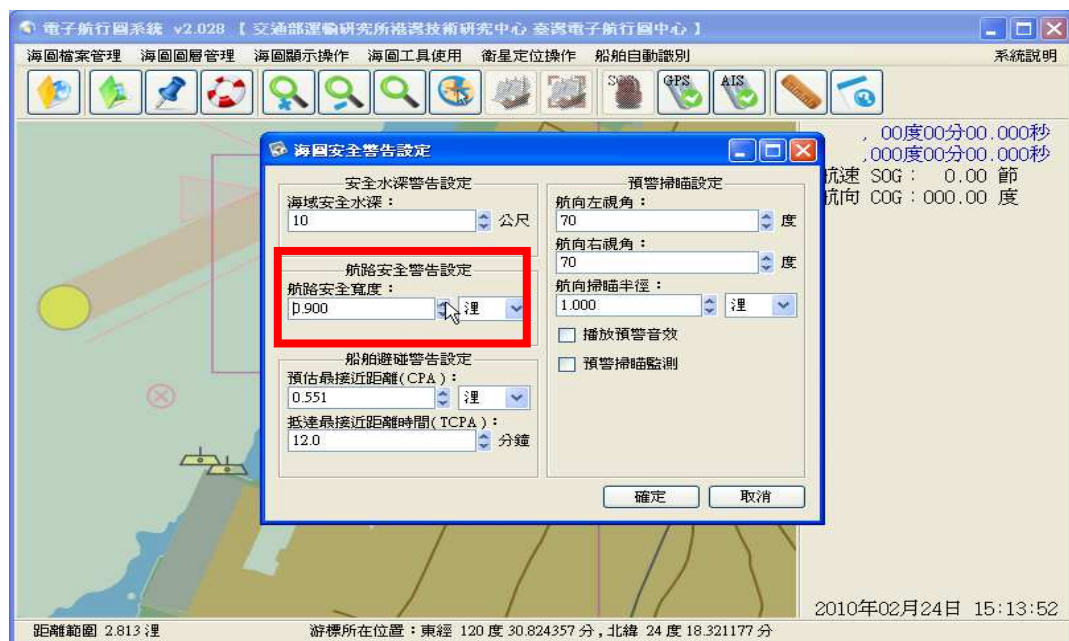


圖 3.18 安全警告設定：航路安全寬度調整設定



圖 3.19 安全警告設定：航路安全寬度調整設定

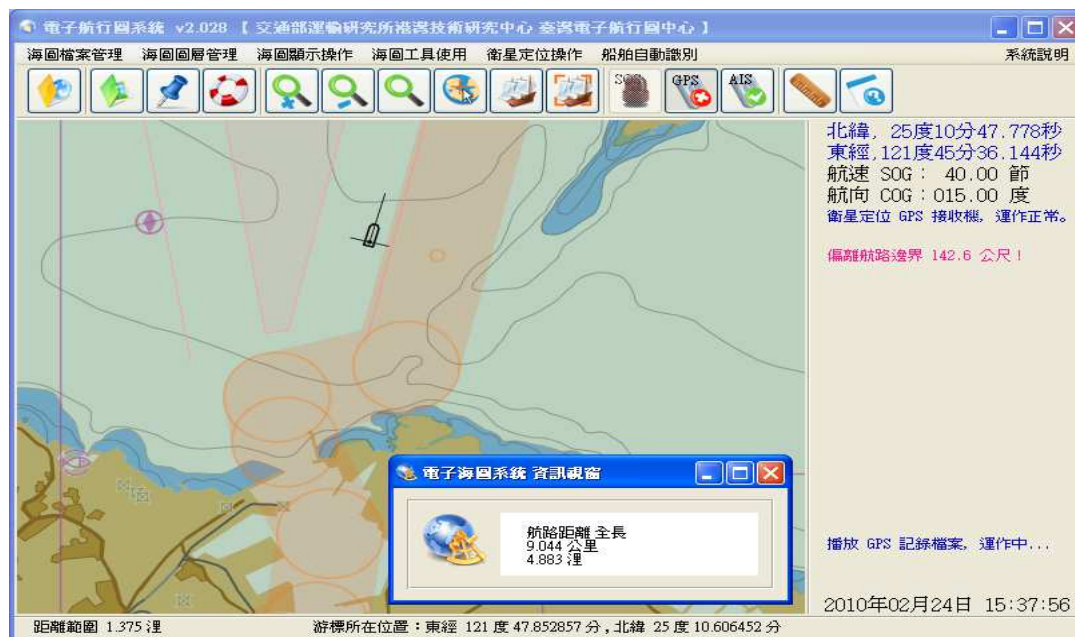


圖 3.20 安全警告設定：本船航路偏航警告

3.4 結論與建議

本中心原有之電子海圖系統平台是以 Python 2.5 版本開發，系統只能執行於 Windows XP 環境。目前已成功將電子海圖系統平台重新升級，升級內容包括重新編譯 Python 程式語言滿足系統硬體 Windows 8(含以上)平台需求、重新編譯 PYGTK 圖形使用者介面配合系統硬體 Windows 8(含以上)平台執行需求、更新 glib 函式庫滿足系統程式架構規劃。升級系統也於馬祖進行實機測試，此次測試是於南竿、北竿、東莒、西莒航線之交通船上進行系統測試。目前已將整組電子海圖系統平台安裝於馬祖閩珠八號交通船，其安裝過程及運作情形如圖 3.21 至圖 3.23 所示，其航行軌跡如圖 3.24。因本研究主要是以提升電子海圖顯示與資訊系統，後續將配合協助馬祖地區之交通船，進行安裝架設。因限於建置經費之限制，礙於平板電腦規格，所以系統反應速度與桌上型電腦比較起來未如預期，建議使用更高規格平板電腦，達到系統反應速度。



圖 3.21 天線架設完成圖



圖 3.22 實體系統測試

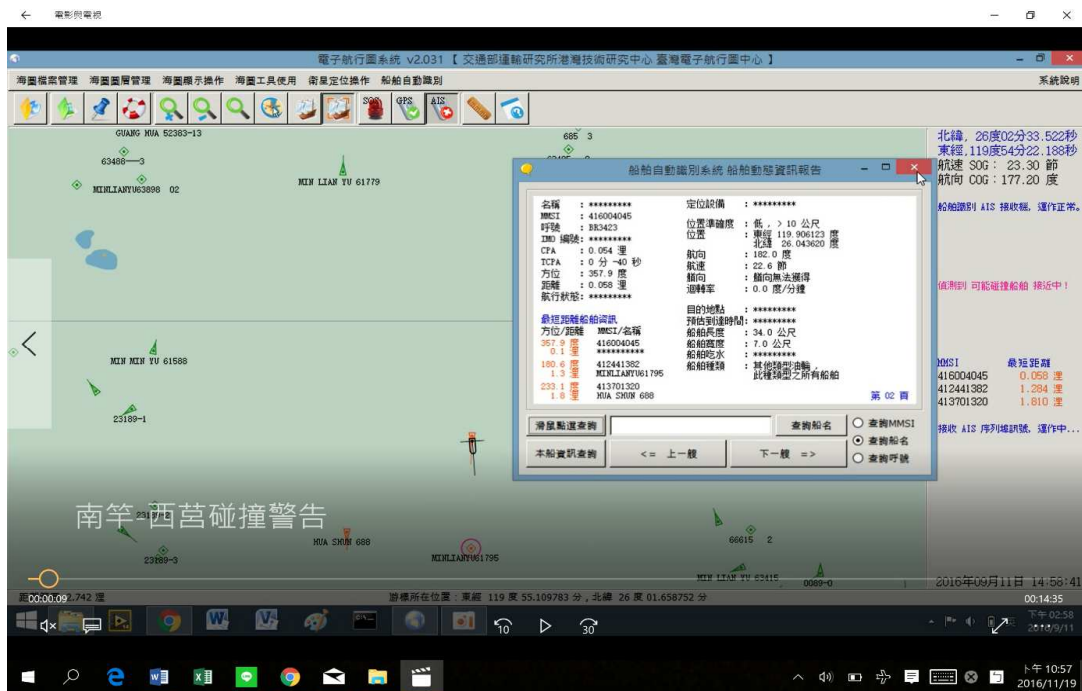


圖 3.23 碰撞警告

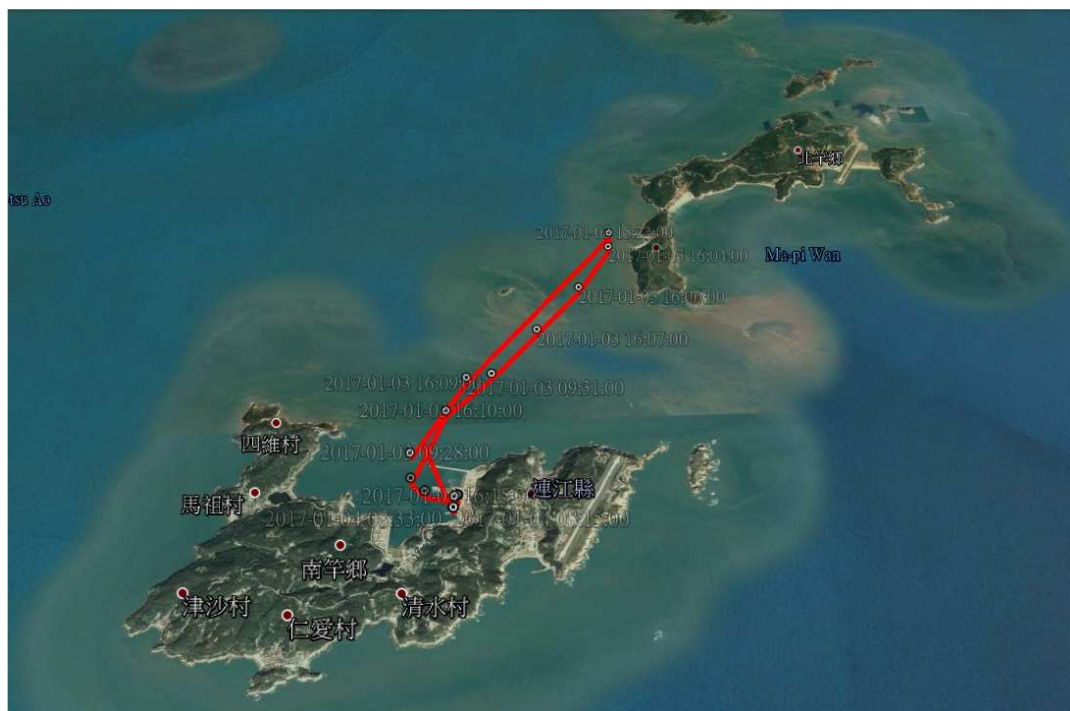


圖 3.24 航行軌跡

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，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，以探勘分析 AIS 歷史資料所得的特徵參數為依據，發展擱淺、碰撞、漂流、艙向異常、航速驟降、偏航、錨泊等自動化偵測警示功能。

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到智慧化，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

為期與國際接軌並發展同步，本計畫彙整 E-化航行的重要背景資訊與整體發展現況，就國際海事組織的組織架構，以最新改組後的導

航通訊與搜救分委會、海事安全委員會、以及 IMO 大會等各層級，概述其近期會議的 E-化航行相關重要資訊。此外 IALA 與 IHO 這兩個國際組織是 E-化航行相關規範的源頭，因此本計畫亦從這兩個組織的具體發展項目與內容。

在船舶溫室氣體及空汙排放量估算方面，因國際海事組織已發布第三次溫室氣體研究報告，使用 AIS 資料結合由下而上的模型，從 AIS 資料估算出全球船隊之個別船舶燃油消耗量。本計畫彙整 IMO 的報告、他國的國家層級排放量估算以及我國的相關估算報告，比較其程序方法與各種參數後，擷取其中適用的部分，據以修改本計畫第一年發展的估算模組與資料庫，並與多船多航次的實際油耗數據比較，評估其準確性與可靠度。

在海難資料庫平台與航路風險潛勢分析應用方面，本計畫建置兩種海難資料輸入系統，分別用於將現有海事報告輸入海難資料庫，以及依據海難調查章程及其相關通報要求輸入海難資料庫。再於這兩種方式輸入的資料之間建立連結轉換，並使海難資料庫服務結合船舶動態系統 AIS 資料，於整合平台透過整合平台查詢、顯示與回播，以利檢視與分析。另再建置航路網，結合海難紀錄以及累積的跡近事故風險偵測結果，分析航路風險潛勢。

本計畫綜合歷年各項研究成果，於第三年開始建置航路動態監測整合應用系統，本年度除新增監測與整合項目，更優化 AIS 巨量資料庫查詢與管理、各項自動偵測功能排程與計算效能以及人機介面友善度等。研發重點包括：海陸域動態與靜態資訊的圖層套疊整合，AIS 交通流分析，AIS 即時動態顯示與各種狀況的即時監測，航行警告時空資訊的自動解析整合，以及結合海難資料庫的歷史航跡繪製與交通狀況動態回播。

4.3 智慧領航計畫研究成果

4.3.1 E-化航行相關國際規範與技術發展

國際 e-化航行架構將依國際海事組織的策略實行計畫逐步建構成形，且強調船端、岸端以及船岸之間的整合協調。本計畫轉譯發布的 IMO, IHO, IALA 等國際組織的最新資訊，以 e-化航行為主軸，著重於基礎建設、管理措施與教育訓練等應轉知國內主管機關或航港相關人員的訊息。例如：「e 化航行策略實行計畫」、「AIS 航標的應用政策」、「船載 AIS 之船上操作使用指南-修訂版」等都是主管機關、航港及船上人員應特別注意的資訊，除納入基礎建設與管理措施之規劃與考量，更宜依國際海事組織之建議，納入相關教育訓練與宣導。

整體而言，可具體提升國內的認知與共識，以利與國際發展更為同步，也使 AIS、ECDIS、GNSS/ DGNSS 等 e-化航行關鍵技術獲得更好的建設、應用與管理。

4.3.2 船舶溫室氣體及空汙排放量估算

為減低國際航運的溫室氣體（greenhouse gases, GHGs）排放量，IMO 於 2011 年通過的 MARPOL 公約附錄 VI-防止船舶空氣污染規則修正案，新增了關於船舶能源效率的規定，強制要求新造船舶的能源效率設計指數（EEDI）以及所有船舶的船舶能源效率管理計畫（SEEMP）。SEEMP 建議使用船舶能源效率營運指數(EEOI)做為量化監測工具，用以估算現有船舶的效率。EEOI 的公式如下：

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{\text{cargo}} \times D}, \quad \text{單位：} \frac{\text{噸}(\text{CO}_2)}{\text{噸}(\text{或 TEU 或人}) \cdot \text{哩}} \quad (4.1)$$

其中

j 是燃油種類；

FC 是消耗的燃油質量；

C_F 是 CO₂-燃油轉換係數 (t-CO₂/t-Fuel)；

m_{cargo} 是載貨噸數或 TEU 數或旅客人數或客船總噸；

D 是航行距離 (哩)。

以散裝貨輪為例，可就每一段航程消耗的各種燃油的量，分別乘以該種燃油的 CO₂-燃油轉換係數，加總後除以該段航程的載重噸數與航行哩數的乘積，再加總各段航程的計算結果，即其 EEOI。

IMO 於 2000 年首度發布船舶溫室氣體排放量研究報告。2009 年的第二次溫室氣體研究報告，由挪威海事技術研究院 (MARINTEK) 領導國際團隊，報告中估算了各船舶種類與大小的 EEOI；2014 年的第三次溫室氣體研究報告 (以下簡稱 GHG3) 則提出了全球船隊的溫室氣體排放量估算結果。GHG3 的研究涵蓋了 6 種溫室氣體 (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆)，以及 NO_x, NMVOC, CO, PM, SO_x 等其他相關物質。2014 年 IMO 溫室氣體研究率先使用 AIS 資料，結合由下而上的模型，從 AIS 資料估算出全球船隊之個別船舶燃油消耗量，此外還透過廣泛且定量的品質與不確定性分析，證明以此方式估計航運活動及相關排放量的可信度。

IMO GHG3 從 AIS 資料產生船舶全年的活動量，使用的資料包括：地面 AIS 與衛星 AIS 資料，資料的覆蓋率有時間及空間上的變異性。IMO GHG3 為了估算全球船隊全年的排放量，需要每艘船每小時的速度，因此需要外插。其方法是把全年的活動報告切割成各個航程，每個航程分為：在港/錨泊階段、航行階段、過渡階段這三個階段，航速 3 節以下是在港/錨泊階段；在 6 小時移動窗口內，90% 的航速高於 3 節且標準差小於 2 節則屬於航行階段；其餘是過渡階段。每個小時的資料都依上述定義歸類其所屬階段，欠缺的資料就利用各階段內的樣本填補。

在船舶技術特性資料的預設值方面，IMO GHG3 依船舶種類與容量範圍劃分了超過 50 個船舶分類群組，以利於欠缺某艘船的技術資料

時，以該船種類與容量對應之分類群組的平均值為預設值（例如：吃水、船速、安裝的主機功率...等等）。

在輔機與鍋爐功率需求的預設值方面，IMO GHG3 同樣依船舶種類與容量範圍劃分群組，再分別提供靠泊、錨泊、調度、海上航行等四種不同活動狀態（階段）下的預設值。

在主輔機使用之燃料種類的預設值方面，IMO GHG3 首先區分是否在排放控制區內，是則依區內的含硫量限制，否則依 IMO 於 2007~2012 年的燃料油含硫量監測結果。

在受天氣影響的方面，IMO GHG3 對大洋航行船舶與沿岸航行船舶分別以相對於平靜水域增加 15%與 10%耗油量的方式估算。

對燃油消耗量與排放量的計算，IMO GHG3 報告列有不同年代船用柴油機與燃料的燃油消耗率基準值、各類廢氣排放係數等可供參考使用。基準燃料是含硫量 2.7%的重油（與國內現有各估算方式相同）。

本計畫的此項船舶排放量研究主要用於估算臺灣沿岸及港口船舶廢氣排放量，估算的範圍僅限沿岸 AIS 船舶動態系統可接收到船位報告的海域。因為時間空間的解析度需求較 IMO GHG3 高，因此仍應維持採用 2 分鐘取樣，對航行階段的判定也不宜改採 IMO GHG3 的方法，而且僅對連續兩航跡點的時間間隔小於 1 小時的情況，以線性內插的方式取得中間可能因沿岸 AIS 收訊缺口而缺漏的各點船位與航速。

本計畫第一年估算排放量時，船舶技術資料預設值是使用我國臺灣技術研究中心與環保署綜合整理出的資料，而且僅以取自 AIS 報告的船舶種類與最大船速對應上述預設值的類別。今年度計畫除了參考 IMO GHG3 研究報告中的資料以外，也取得部分船舶資料庫（船舶分類為：一般貨船、冷藏船、油船、客船、貨櫃船、煤船、穀類船、礦砂船），因此修訂相關預設參數與係數表。鍋爐皆使用 GHG3 預設參數。依此估算基隆港 20 哩內的船舶油耗與排放量的空間分布如圖 4.1 與 4.2。須注意的是：此分布在東側受到 AIS 收訊缺口區域影響。

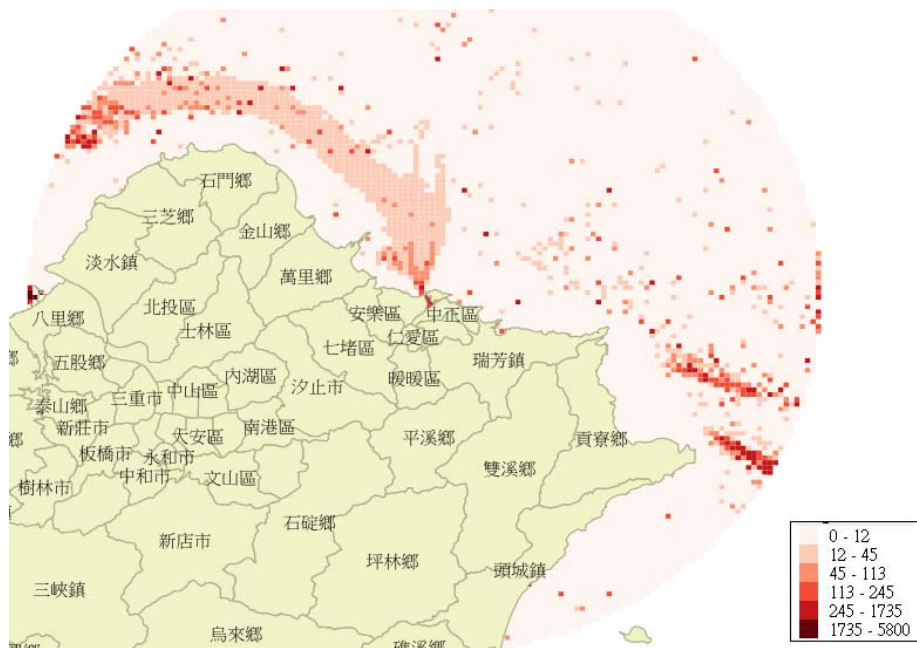


圖 4.1 參採 GHG3 參數估算基隆港 20 哩內油耗空間分布

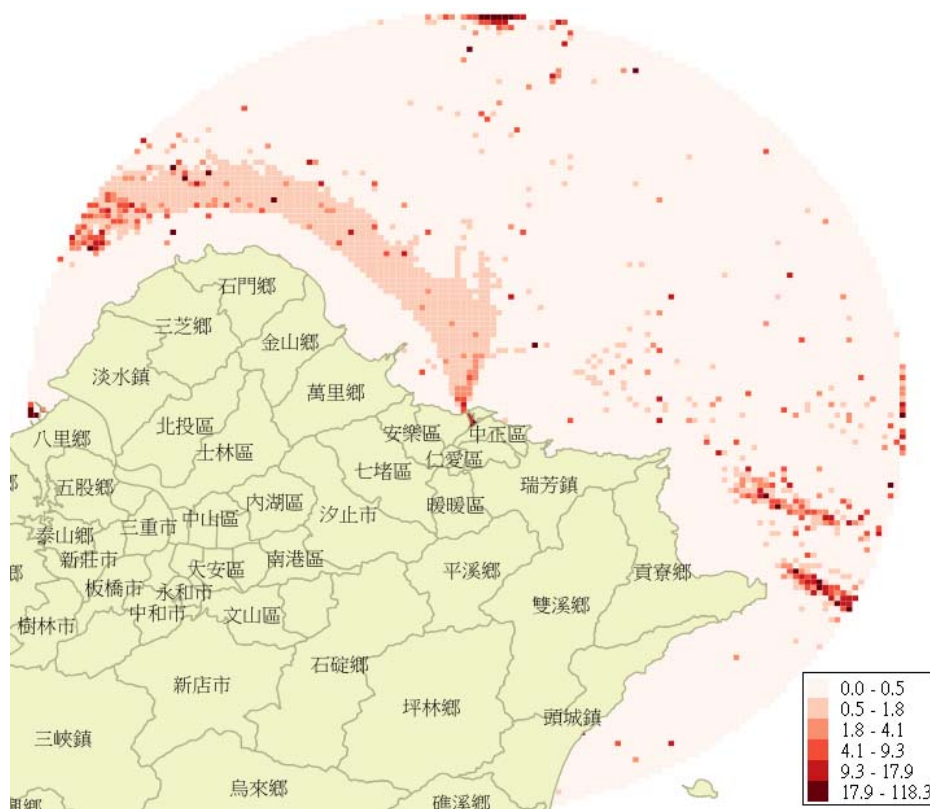


圖 4.2 參採 GHG3 估算基隆港 20 哩內 NO_x 排放量空間分布

在估算結果的評估方面，本計畫以三艘貨櫃輪為試驗，分別以 X、Y、Z 代號表示，由於船公司提供的真實資料僅能取得油耗數據，因此僅與真實資料油耗量比較。X 船 8 航次從高雄港北上進臺中港，各航次平均油耗的估計值與真實值的差異僅 0.15 公噸，相當於真實油耗平均值 11.65 公噸的 1.3%。Y 船從基隆港經澎湖水道至高雄港的 4 個航次，前 3 航次的油耗都是實際值高於估算值，另 1 航次則相反。因此再分析 Y 船各航次航速，套疊該船通過北部石門沿岸時的 AIS 航速與該區域漲退潮流速，可見順著漲潮流往西的航次，使得估算油耗大於實際油耗。

4.3.3 海難資料平台及其結合 AIS 船舶動態與海域環境資訊的應用分析

此項研究的首要目的在於完善我國海難資料庫之建置，使其與國際海事組織海難調查章程接軌，並使我國海難調查與航行風險分析得以充分應用 AIS 提供的船舶動態數據以及地理空間資訊技術。

本計畫首先完成符合 IMO 海難事故通報準則且具備空間資訊查詢功能的電子化海難資料庫平台，結合 AIS 資料與海域環境資訊分析海難資料與跡近事故偵測統計，後續再據以分析航路風險潛勢。

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。

MSC-MPEC.3/Circ.4 是 IMO 要求各成員國透過網際網路在 IMO 的全球整合航運資訊系統海難事故模組執行電子式海難資料通報的程序與格式。本研究依此國際格式設計系統提供下列功能：

- (1) 海難資料登錄及查詢；
- (2) 遇難船舶 AIS 航跡及其周遭狀況動態回播。

海難案件登錄的資料內容分為基本資料與事實資料：

- (1) 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；
- (2) 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。海難資料庫資訊平台各資料表之間的關聯如圖 4.3。此系統的資料登錄頁面如圖 4.4。

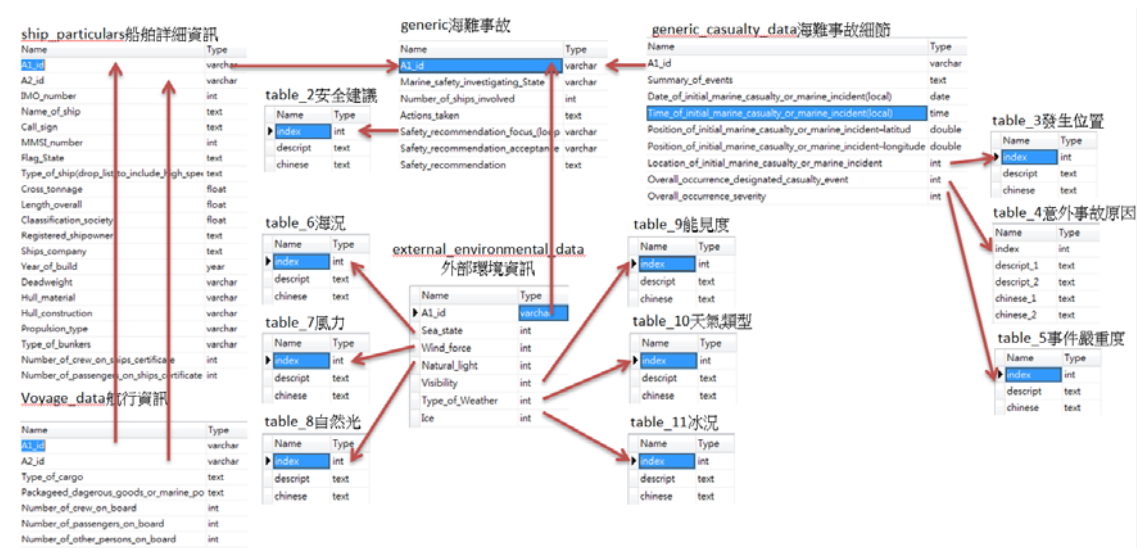


圖 4.3 海難資料庫資訊平台資料表的關聯圖

圖 4.4 海難資料庫服務平台的資料登錄頁面

在建置海難與 AIS 的關聯後，本計畫曾於第二年的研究中分別以海翔 8 號傾覆沉船海難事件、升隆 1 號失去動力漂流擱淺海難事件、瑞興輪擱淺斷裂沉沒並造成死亡與汙染之嚴重海難事件、以及海研五號觸礁沉沒海難事件進行分析。

海難數通常不足以支撐有意義的統計，理論上與海難成比例，數量卻高出許多的跡近事故更具統計與指標效用，但是我國似無此報告跡近事故的機制，也無從取得各船公司的跡近事故報告，因此本研究以 AIS 資料探勘方式透過關聯分析得出海難事故特徵，用於歷史資料的跡近事故偵測，進而推展應用於 AIS 船舶即時動態資料的危機偵測。

在偵測並統計跡近擱淺事件方面，由於資料量龐大，本研究對於歷史資料的偵測統計採用的方法是：取全年兩分鐘間隔的 AIS 內插資料；取近岸航行用海圖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。本年度應用於即時危機偵測時再改以船舶領域以及海圖水深點檢測。

在跡近碰撞事故的偵測方面，本研究採用的方法是：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 $CPA < 0.5$ 哩、 $0 < TCPA \leq 10$ 分鐘的狀況，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。經細部分析得知，碰撞危機偵測之 CPA 參數應依會遇狀況而定，追越時的 CPA 需設定較小的數值，以降低誤警率。

此海難資料庫服務可結合船舶動態系統 AIS 資料，就海難前後時間點，以 AIS 動態回播的方式將涉及海難船舶周遭的狀況還原出來，以利分析及研究。本計畫設計之整合平台已納入此功能。

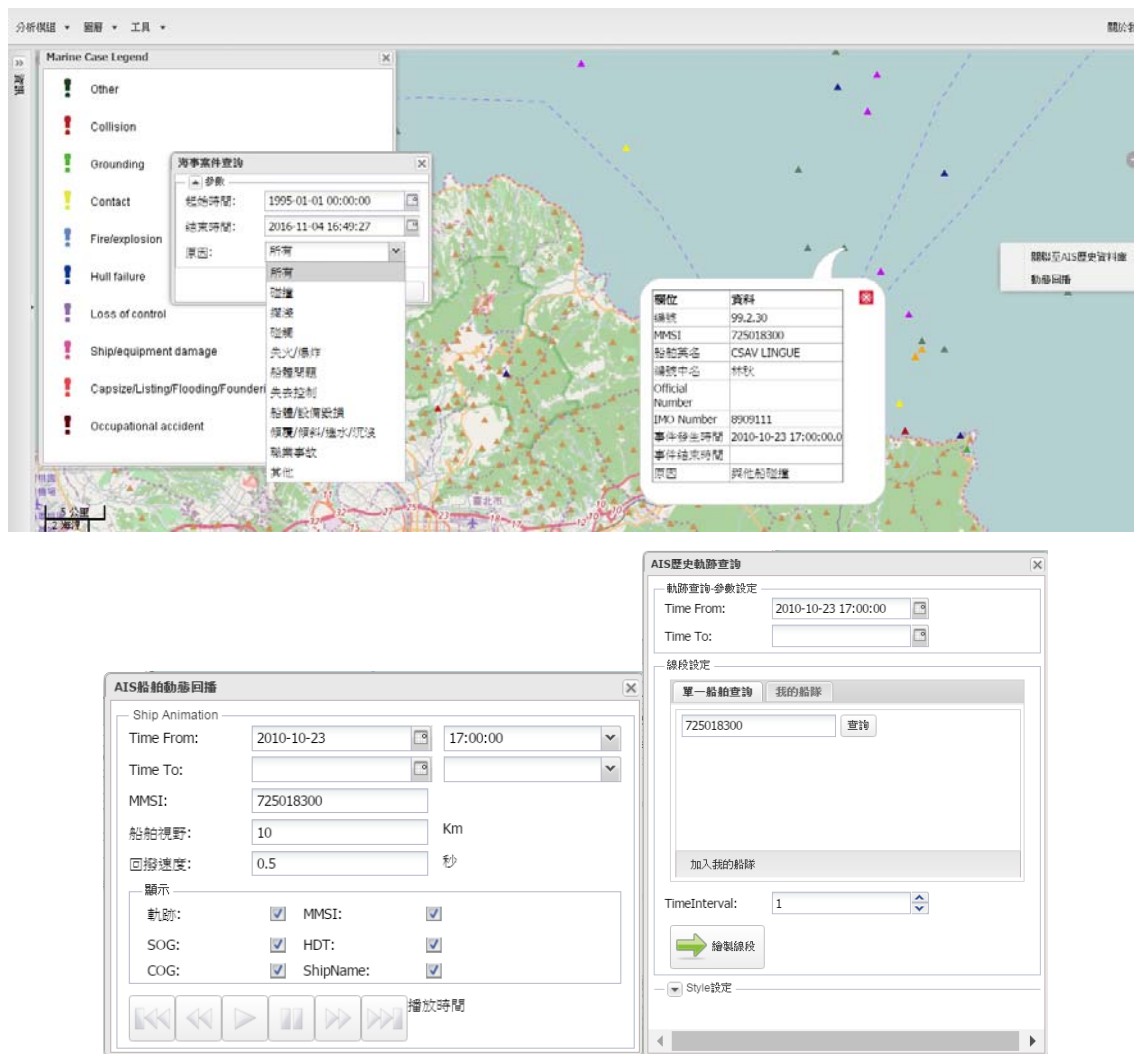


圖 4.5 於本計畫整合平台查詢顯示各類海事案件的畫面

圖 4.5 是於整合平台查詢各類海事案件及點選觀看個別案件內容的操作畫面。於地圖視窗以符號的顏色區別事件類型，左鍵點擊事件可查看事件資訊，按右鍵則是關聯至 AIS 歷史資料庫與動態回播，系統可將 MMSI 與日期時間帶入繪製 AIS 歷史航跡及動態回播功能的參數。

4.3.4 綠色航路與航路風險潛勢分析

從海難事故的案例分析中可知，偏離慣用航路是重要徵兆。而航路規劃、偏航偵測、航路能源效率比較、航路風險潛勢分析等等，都

需要有適當的航路網絡做為參考依據才能更有效率地應用於所有船舶。

本計畫的「綠色航路」用語引用自歐盟 MonaLisa (Motorways & Electronic Navigation by Intelligence At Sea) 計畫所提的"Dynamic & Proactive Routes"，又稱"Green-Routes"的概念。其 Green-Routes 理念是在開放水域引進交通流管理。其交換或分享航路計畫的方案，使海上交通管理更趨近於空中交通管理的模式。整體而言，是希望藉由船岸之間以及船舶之間的資料交換，使整個海洋運輸系統更可預測，所有人更能掌握整體狀況，包括港口可能的壅塞或延遲、沿線交通環境狀況或是與他船會遇的情形等。

從 AIS 歷史資料庫透過軌跡探勘或各種統計分析取得船舶的慣用航路是航路相關規劃分析與應用的基礎。而船舶的航線（亦即前一港口與目的港）是建構航路網的必要考量。

本研究參考臺灣沿岸航行海圖圖幅範圍，依據船舶的目的港口區分航線，再就各圖幅區域依據不同航線的航跡密度劃出航路，分析各航路的橫向交通分布，取出雙向的交通量與交通組成，依此逐步擴展出航路網。圖 4.6 是西北海域前往台北港的航跡密度與航路。圖 4.7 是西部沿岸區域前往日本各港口的航跡密度與航路。這兩圖中的藍色區塊是兩岸海運直航船舶應遵循的直航航道，從 24 浬鄰接區界上的通過點直行至目的港口。

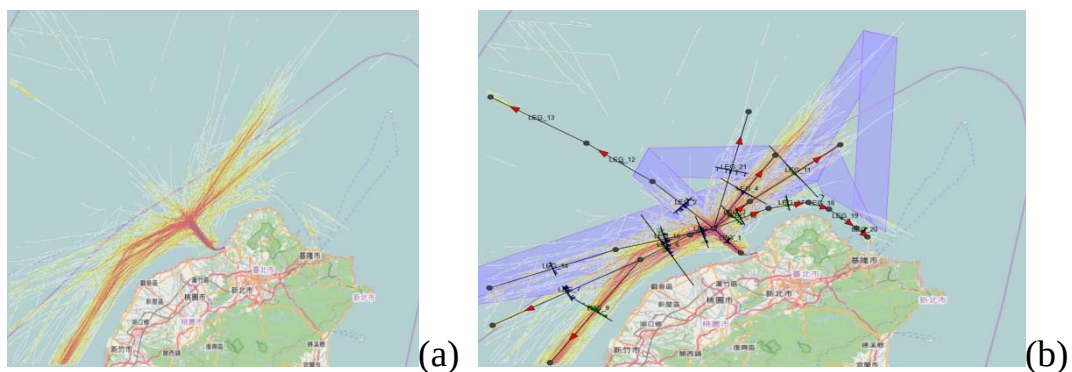


圖 4.6 往台北港的航跡密度(a)與航路(b)

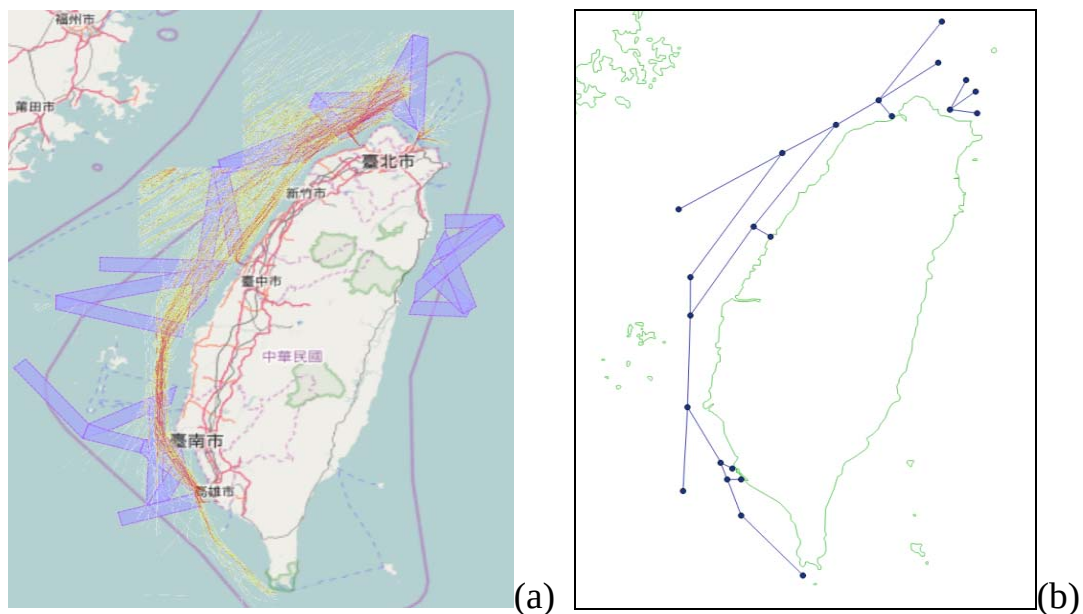


圖 4.7 (a)往日本的船舶航跡(b)沿岸往日本航路網

以各航線（目的港）航跡密度為基礎建立的航路，可彙整成為各區域內船舶航路網，例如圖 4.8。彙整後的臺灣沿岸航路網如圖 4.9 左圖的橘線，依各航段交通量比例顯示線寬。圖 4.9 的右圖則是將累積一段時間的即時偵測船舶碰撞危機狀況數分布於 15 分×15 分網格的密度。應注意的是：超出 AIS 正常收訊範圍（約岸臺 25-30 浬距離）的網格，以 AIS 資料估算的交通量及碰撞危機密度必然被低估。

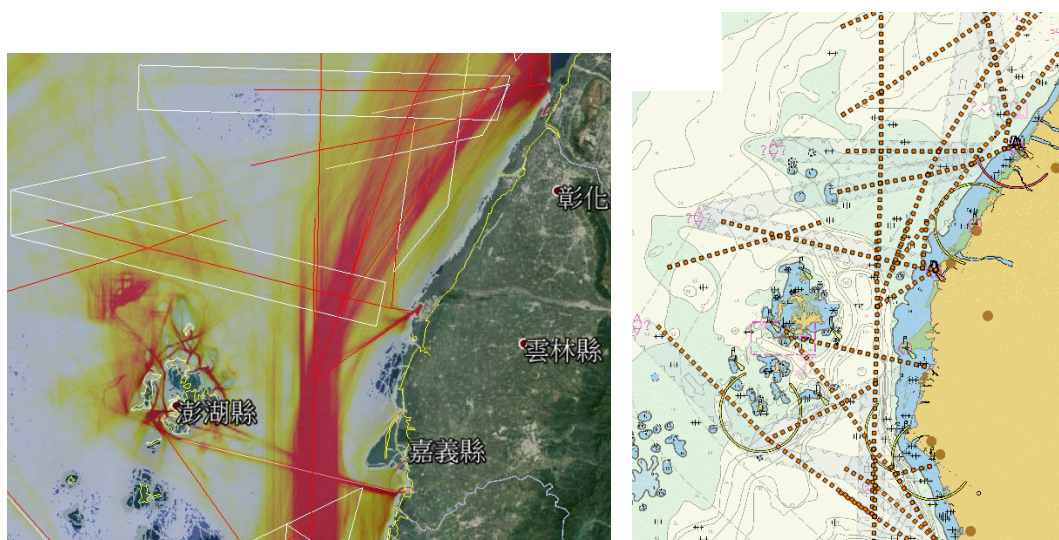


圖 4.8 西部沿岸航路網(a)套疊航跡密度(b)套疊海圖

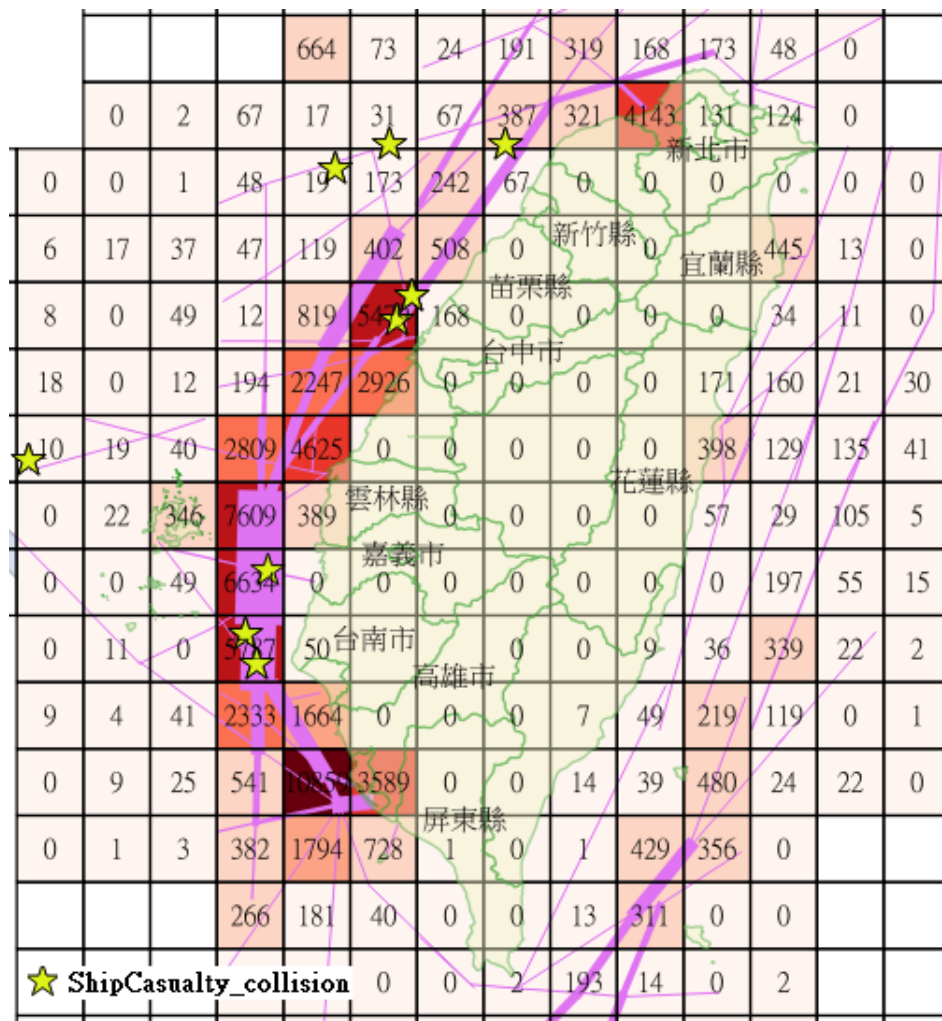


圖 4.10 沿岸航路交通量、碰撞類海難與危機密度

圖 4.10 是再取出海難資料庫中碰撞類的海難位置套疊標繪的結果，由此可見海難位置與高交通量航段、航線交錯位置以及碰撞危機密集區的相關性高。離岸較遠的海難也在航路網航段上。

擱淺類海難點位（綠色符號）分布如圖 4.11，並就其中高風險區域局部放大，且套疊海圖，以利呈現海圖上的歷年海難船骸位置。2001 年擱淺於墾丁龍坑海域造成嚴重汙染的阿瑪斯號海難，因在 AIS 實施之前，未納入本計畫的海難資料庫。

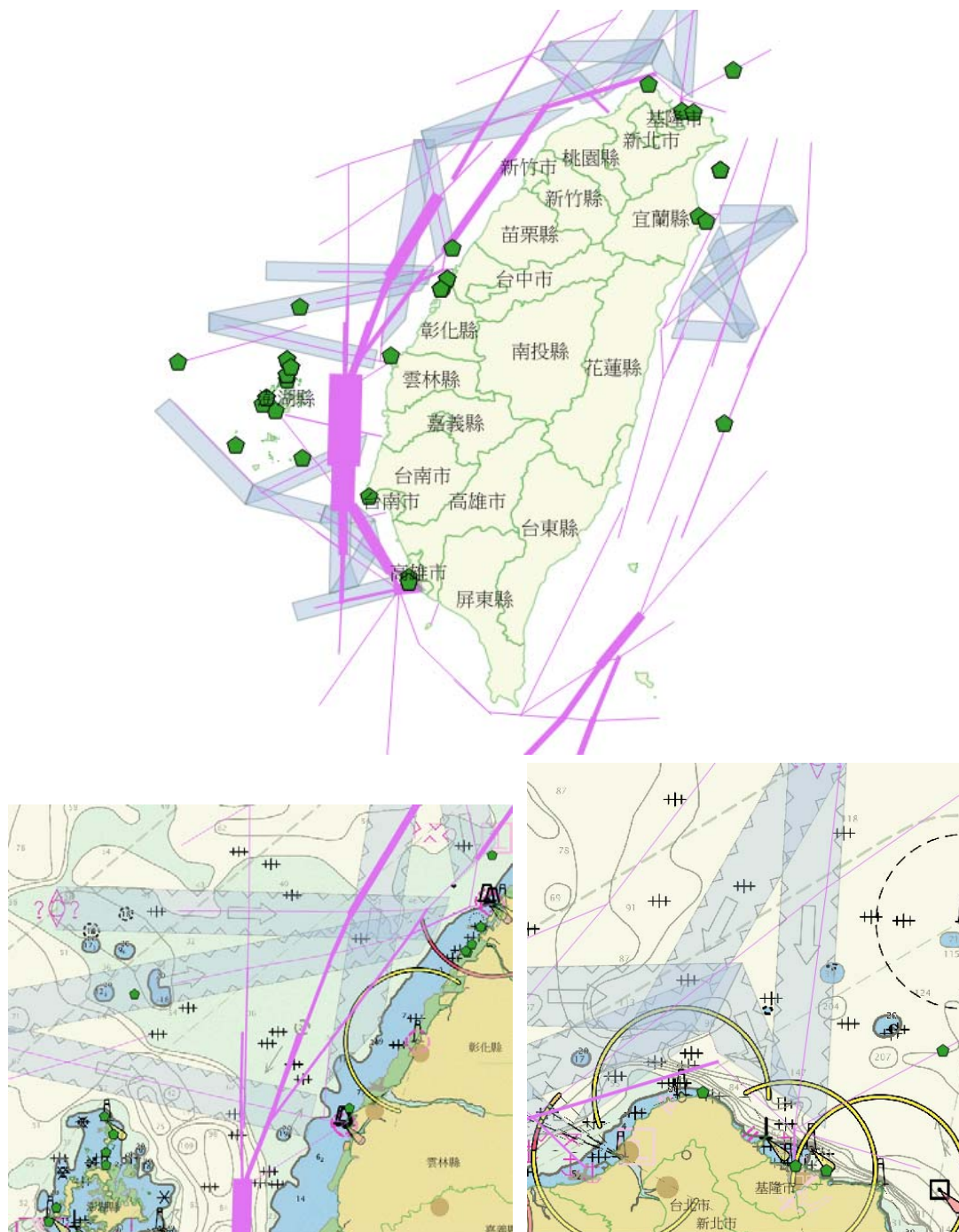


圖 4.11 沿岸航路與擱淺類海難及海圖上船骸位置

圖 4.12 則是標示海難資料庫中西部沿岸非惡劣天候海難的位置及原因，以供參考。

(GeoServer)，接收處理的資料主要是港灣技術研究中心的即時 AIS 船舶動態資料，航區航行警告等海事安全資訊與海氣象資料。

- (2)應用伺服器內的監測模組分析 AIS 資料並偵測偏航、碰撞、擱淺、漂流、船艙異常、船速驟降等狀況。
- (3)網頁伺服器提供網頁介面，將後端程式所接收到 AIS 資料與分析資料呈現在網頁上，並整合 AIS 歷史資料的查詢、海象預報資訊、海事安全資訊、海難歷史資訊查詢、海事安全資訊及航路資訊等。
- (4)地理空間資訊伺服器提供本系統自行產生的圖層給網頁伺服器套疊顯示於使用者的網頁介面並可支援圖層內容查詢。
- (5)外部服務主要包括海洋大學電子海圖研究中心的網路海圖服務、Open Street Map 的網路地圖服務、Google 地圖服務等，以及相關網路開放資料。

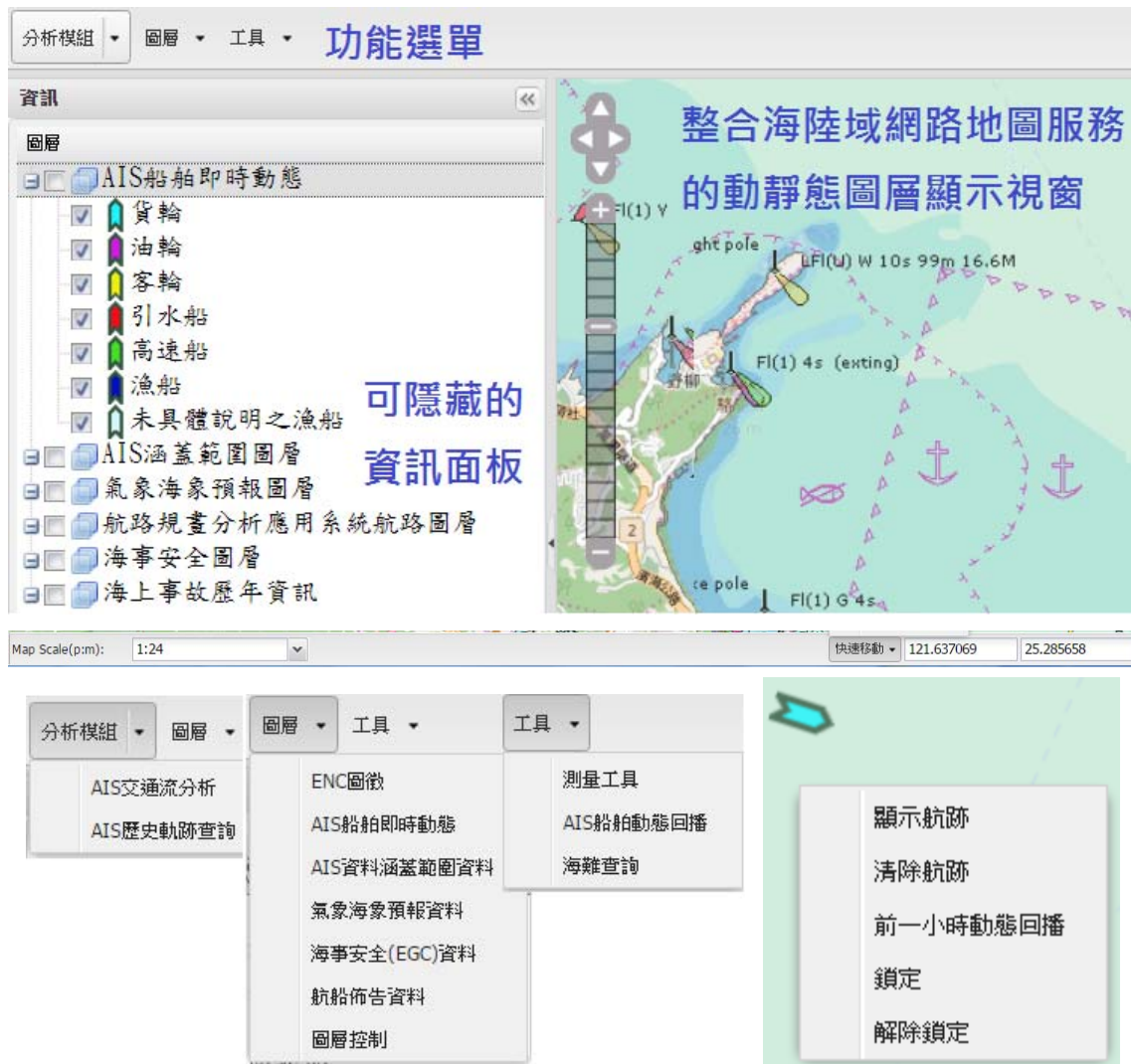


圖 4.14 整合應用系統的操作介面網頁架構

本系統可選擇 Google 各種網路地圖、OpenStreetMap 網路地圖、國立臺灣海洋大學電子海圖研究中心的網路海圖服務等外部服務，再選擇由本系統 GeoServer 提供的各類圖徵服務整合顯示。

圖 4.15 是切換不同選項的套疊效果及以測量工具量圖面兩點距離方位的情形，左下圖選擇顯示分道航行、限制區以及等深線等圖徵。圖 4.16 是海氣象資訊圖層。



圖 4.15 海陸域網路地圖服務套疊及量測工具的使用

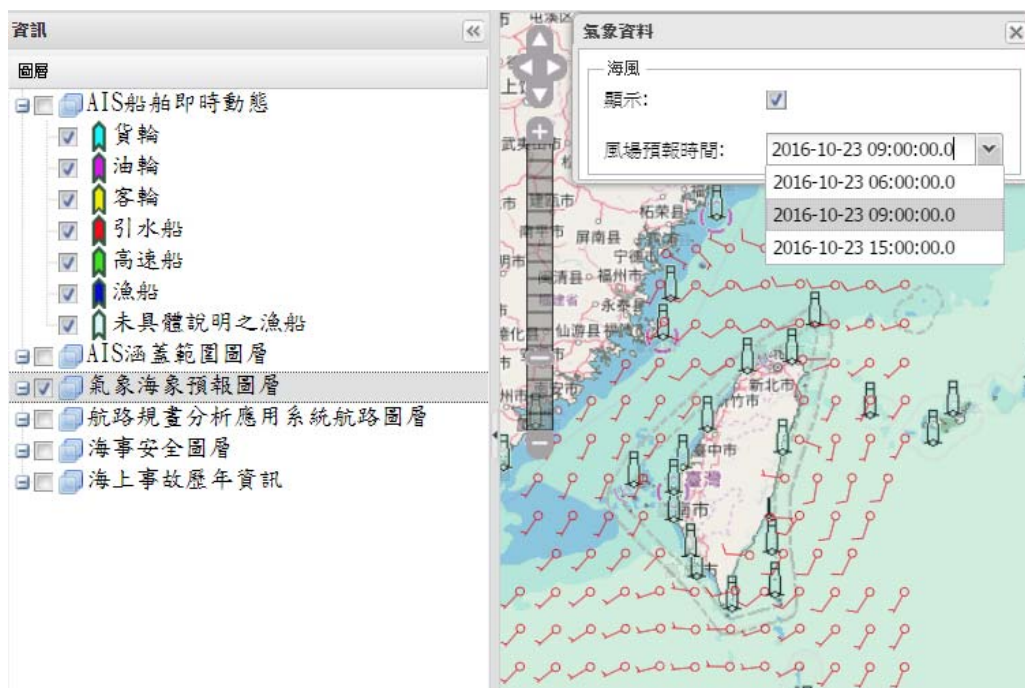


圖 4.16 氣象局臺灣海域區域風場預報

可直接於圖面劃參考線，分析穿行該參考線的 AIS 交通流分布，茲以北海岸石門鄉沿岸為例，執行分析如圖 4.17。其分析結果可以繪

製交通流的密度與方向（分別勾選方向圖與密度圖），也可再篩選船隻種類、設定夾角範圍等條件後重新繪圖，其中最右圖是只選擇貨輪與油輪後再繪圖比較的情形。

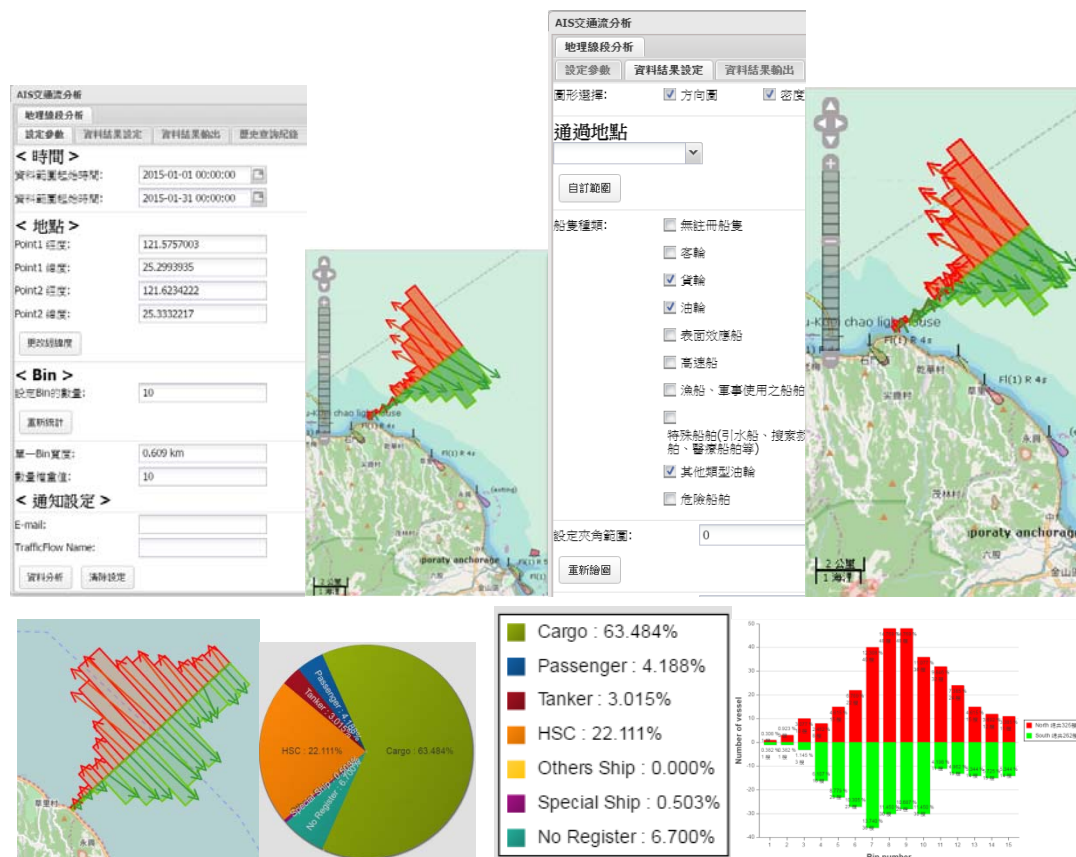


圖 4.17 穿行參考線的 AIS 交通流分析與各項輸出功能

由結果可見石門沿岸在離岸不到 3 哩處即明顯有商船穿行，交通流方向大致平行於海岸線。而網路地圖上標繪的航線確實就在交通流密集的中心線上。

海事安全資訊（航行警告）功能是將接收到的航行警告信文（純文字），透過本文探勘取出時間空間資訊後，發布至空間資料庫做為海事安全資訊圖層，提供套疊顯示與內容查詢。圖 4.18 皆是勾選顯示海事安全資訊圖層後，點選查詢細節的畫面。原始信文如各對話框內從"NAVAREA XI" 開始的內容，End Time 與空間幾何及標繪由本系統自動處理。內容分別是：發現四處淺水深、海底電纜維修工程、砲火射擊危險、海洋測量作業。

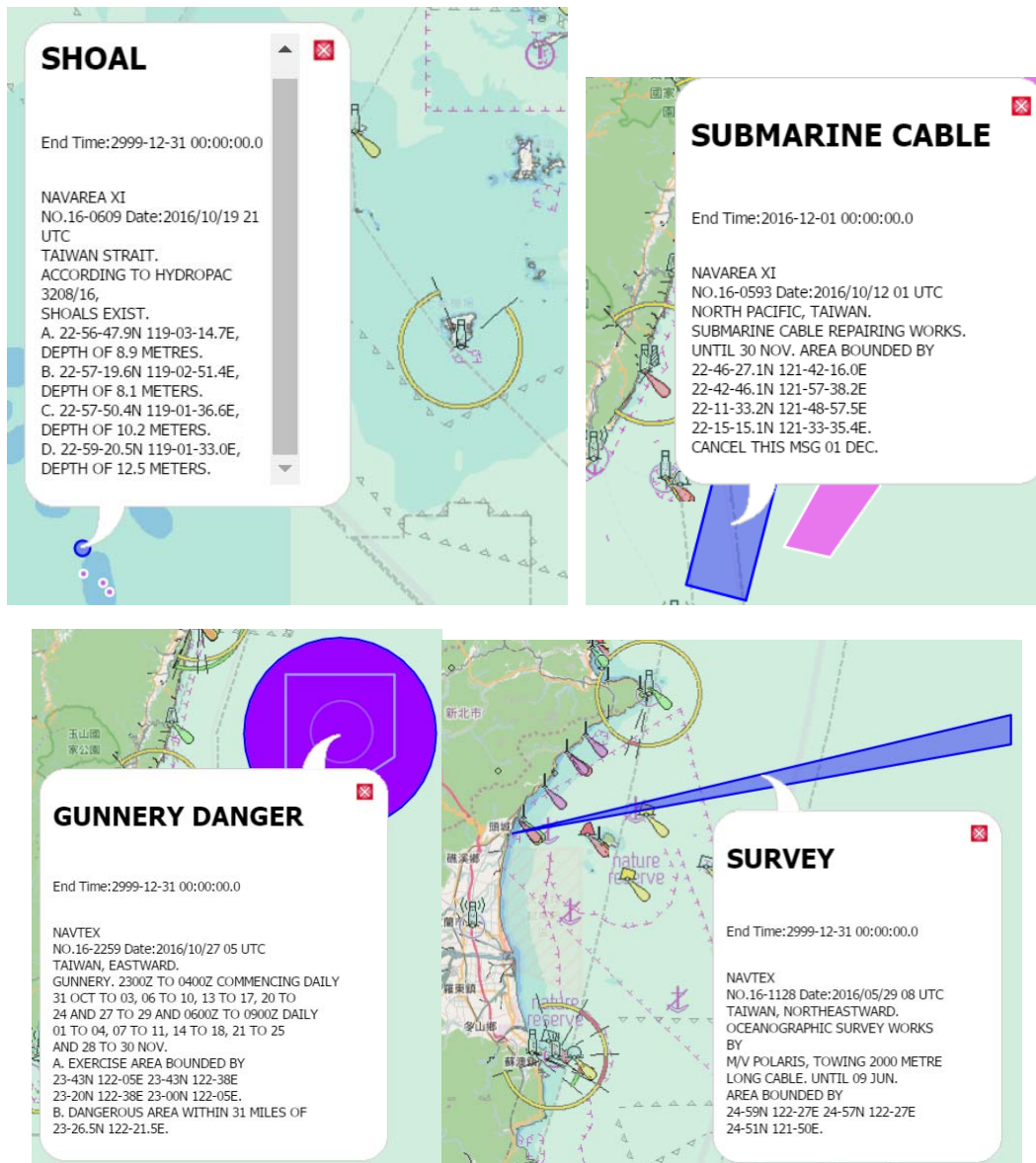


圖 4.18 海事安全資訊圖層：NAVAREA 航行警告

勾選 AIS 船舶即時動態圖層，系統即顯示 AIS 船舶列表、顯示設定按鍵、船舶查詢輸入框、AIS 即時監測結果。於海陸地圖視窗右下角提供將海圖畫面快速移動至指定地點，地點選項有各國際商港以及澎湖、金門、馬祖列島等。建議先移至該處再開啟 AIS 船舶即時動態圖層。

各船即時船位將顯示於海陸地圖視窗，可設定標示 MMSI、船名、船位時間，設定標示的相對位置；查詢船舶，可將海陸地圖視窗的中

心點平移到該船的位置；點選船舶並按右鍵即可調用顯示航跡/清除航跡/回播該船周邊前一小時動態（預設為前一小時，可調整時間以及擬回播的周邊距離）、可鎖定追蹤該船或解除鎖定。

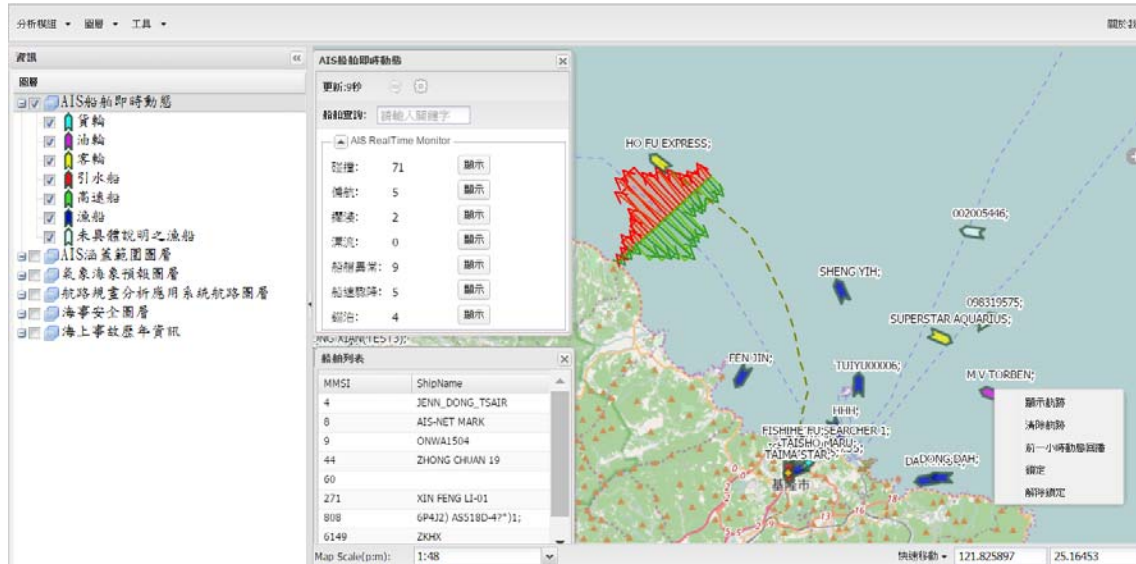


圖 4.19 AIS 船舶動態的識別、查詢、鎖定與航跡顯示

範例畫面如圖 4.19，其中合富快輪（客輪）的航跡以橄欖色虛線顯示，該輪穿行圖中參考線的位置相較於交通流分布屬於離岸較遠的。點選合富輪可看到該輪最新 AIS 資訊，由此得知該輪的長 80m 寬 15m 吃水 4.1m，目的地是東引(TUNGYIN)，預計抵達時間是 2016/11/06 06:06:00。

即時監測模組(碰撞、偏航、擱淺、漂流、船艙異常...等)將於 AIS 船舶即時動態資訊面板顯示各模組當下偵測到的狀況數，點選狀況數右側的「顯示」按鍵，將於海陸地圖上標示被偵測到該狀況的船舶，其他目標則被隱藏，而該項模組的「顯示」按鍵改為「隱藏」按鍵。

圖 4.20(a)顯示被偵測出擱淺危機的船舶，該船設定吃水 13.9m，船長 228m；(b)圖顯示的是被偵測出船速驟降的船舶；(c)圖是被偵測為錨泊的船舶。圖 4.21 是在澎湖水道外傘頂洲附近多艘船舶會遇過程中而被偵測出碰撞危機的發展情況。

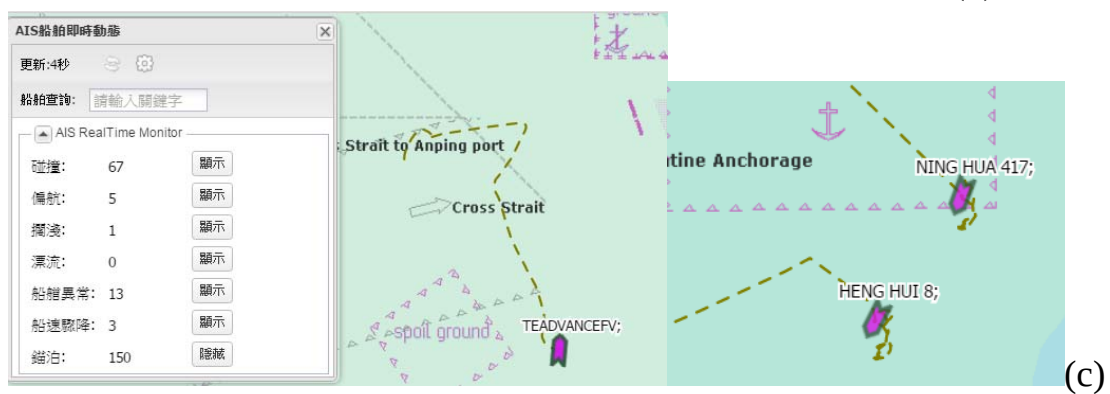
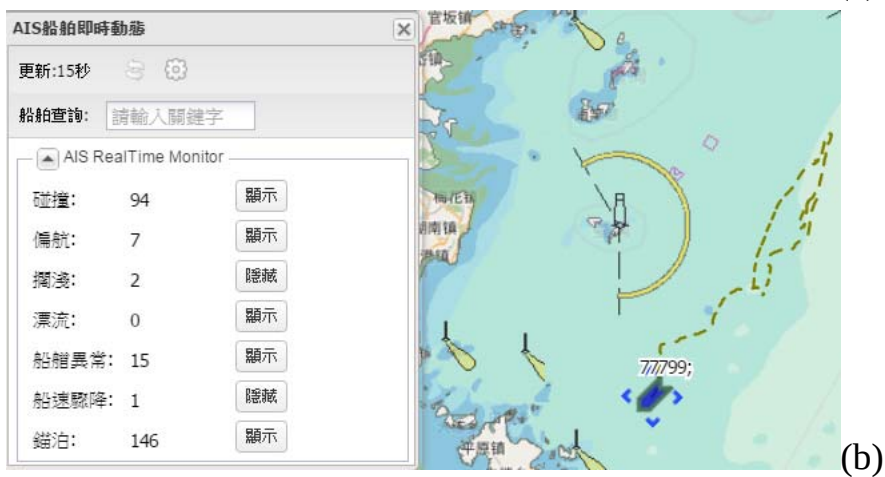
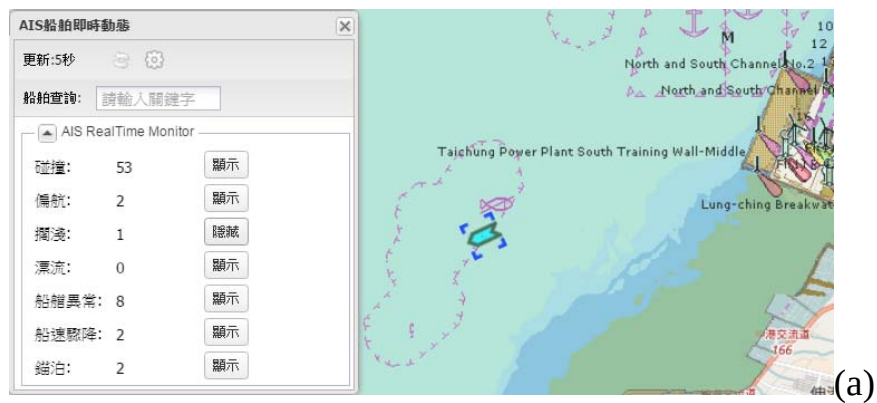


圖 4.20 擱淺及船速驟降、錨泊等狀況偵測結果之顯示

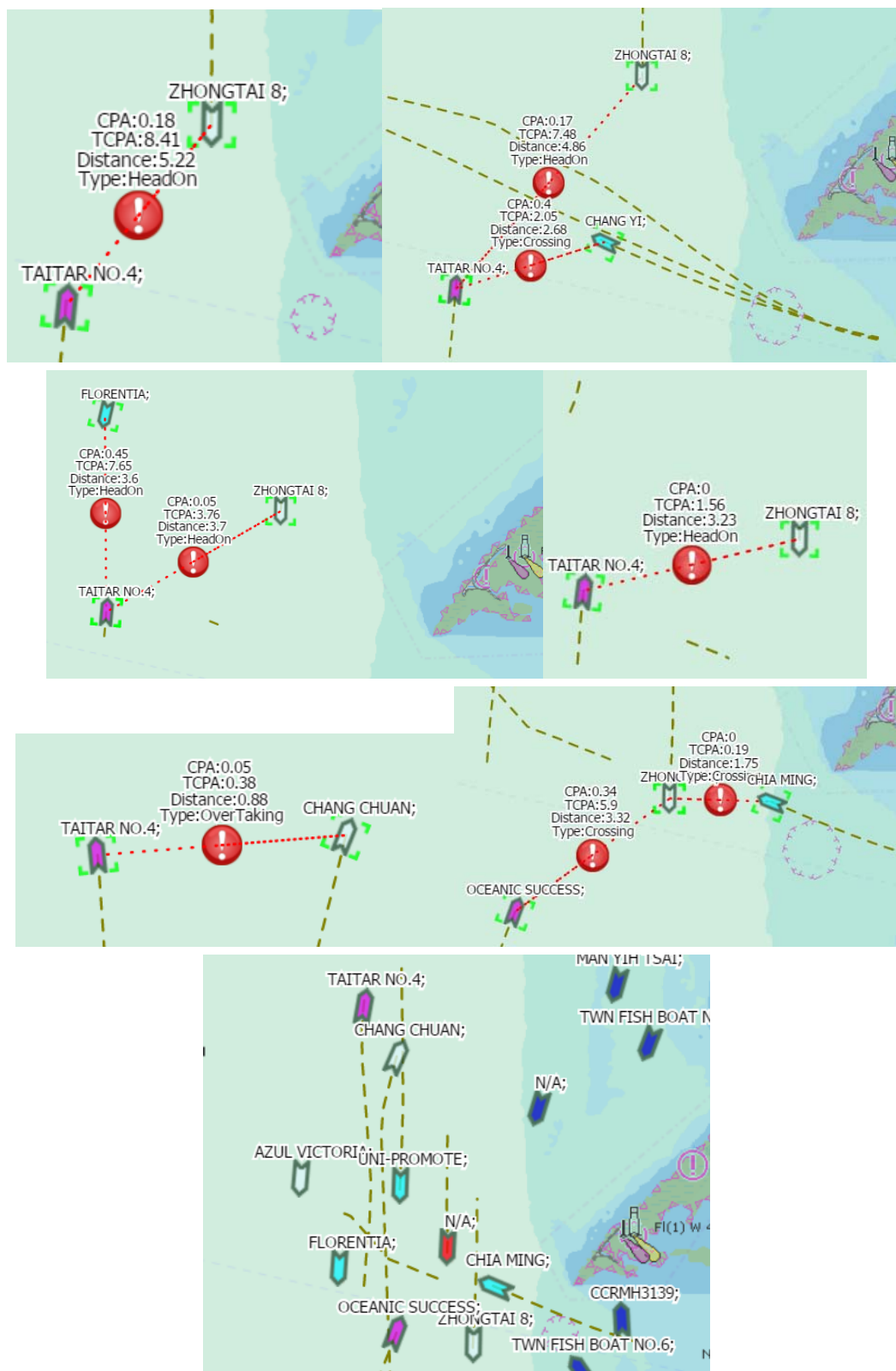


圖 4.21 船舶碰撞危機偵測及其狀況發展情形

從圖 4.21 可看到南北向通過澎湖水道的船舶之間的追越與迎艏正遇情況，及其與來往布袋-澎湖的東西向航行船舶的交叉相遇狀況，各分圖由左至右由上至下是其隨時間的變動發展，最後一張分圖則是隱藏碰撞狀況後回復顯示各船即時船位與航跡的畫面。

圖 4.22 則是動態回播，以被選定回播的船為圓形中心，其航跡以紅色虛線標示。

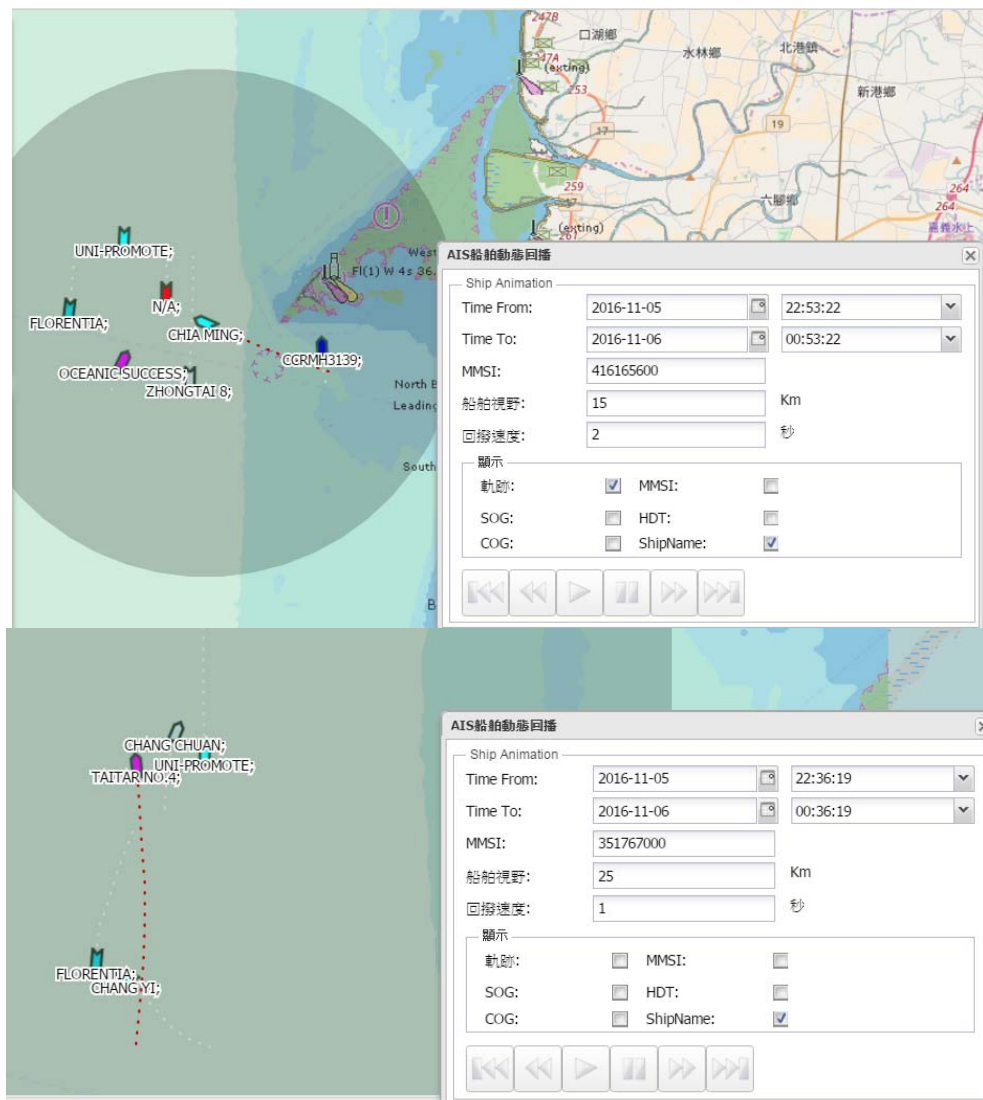


圖 4.22 以動態回播檢視船舶會遇狀況

透過時間、地點、案件類型等參數查詢本系統關聯之海難資料庫（內含非海難的海事報告內容，因此實際上是海事案件資料庫），將在地圖上顯示查詢的結果，並連結至 AIS 歷史資料抓取出該事件的 AIS 船舶軌跡，以利還原當時的地理時空關係。

設計的介面操作如下：

1. 勾選資訊圖層面板中的海上事故歷年資訊圖層後，即於地圖視窗標示各海事案件位置，並顯示以顏色區分的海事案件類別圖例。
2. 海事案件查詢的對話框可設定篩選參數，包括：起始時間、結束時間、原因類別。
3. 於顯示海事案件位置的符號上按滑鼠左鍵可得該案件資訊內容。
4. 按滑鼠右鍵，如果該案件沒有 MMSI 識別碼可關聯 AIS 資料，則回應「案件沒有 MMSI 資料」，如果有資料則可選擇「關聯至 AIS 歷史資料庫」或是「動態回播」。

詳見圖 4.23，最下圖是以建輝輪與他船碰撞的事件為例的操作。

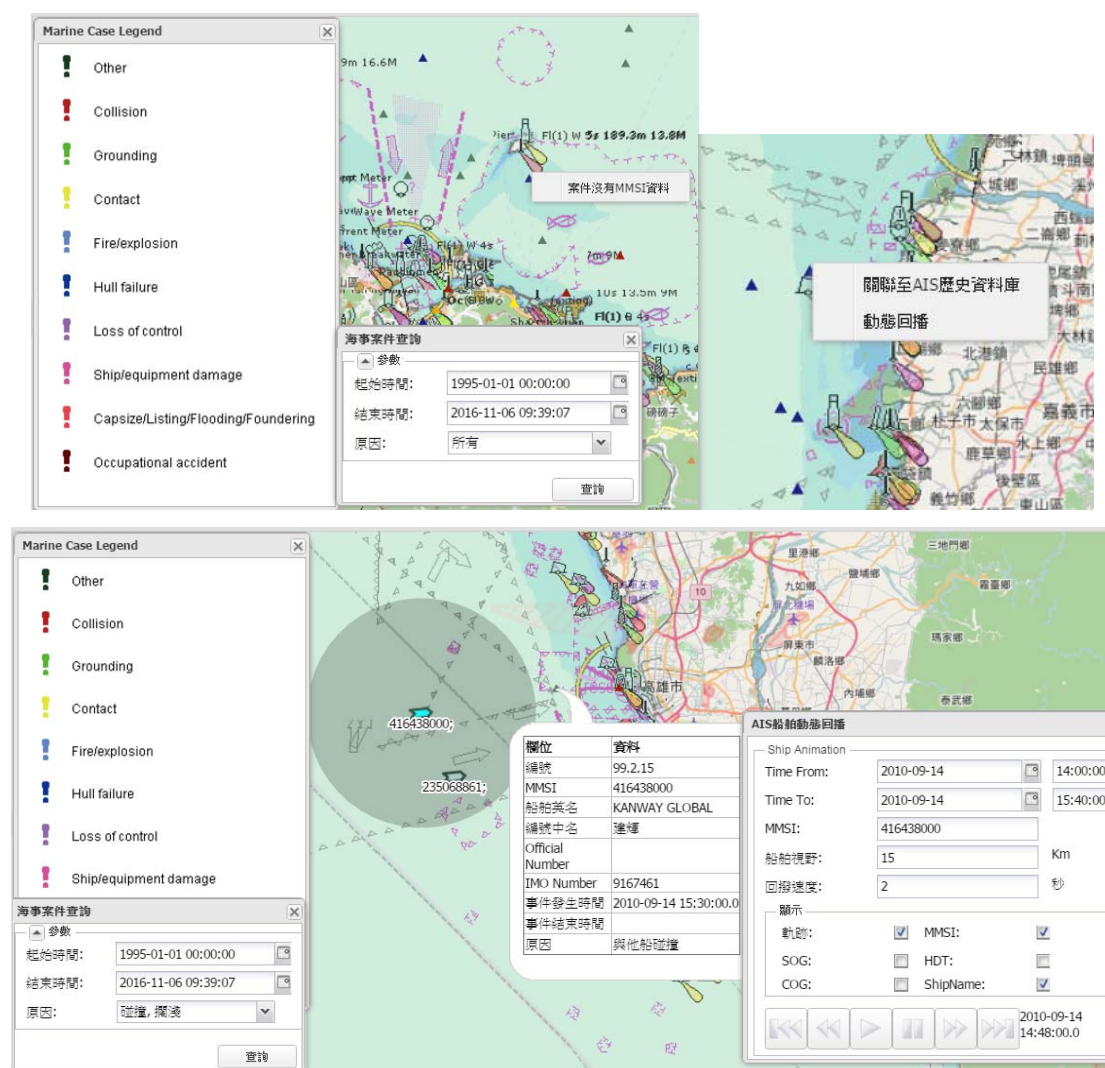


圖 4.23 海上事故歷年資訊圖層相關功能

圖 4.24 是以此功能回播升隆 1 號擱淺於龜山島；出事期間的航速與航向艏向變化情況可從動態回播中清楚了解，例如升隆 1 號漂流至龜山島的漂流速度等。



圖 4.24 升隆 1 號擱淺龜山島的動態回播

若能使相關資料庫持續充實，包括：AIS 船舶動態資料、電子海圖、以及海事案件/海難資料庫，使其更為正確與完整，再關聯更多的海氣象觀測相關開放資料，此系統必能發揮相當大的功效。

4.4 小結

本研究參考國際最新技術與建議，將 AIS 資料取間隔 2 分鐘內插並網格化其空間分布，設計實作自動取得估算船舶溫室氣體與空汙排放量所需之負載因子與活動量等參數的方法。依此方法估算的油耗量在臺中高雄之間航線上與實測值相當接近，在基隆高雄之間則發現受潮流影響而可能有較大差異。整體而言，應用此方法可使國內現行的估算更精確且與國際現況更為一致。

本研究建置的海難資料庫，結合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。

航路動態監測整合應用系統整合海域陸域網路地圖服務、電子海圖水深資訊、AIS 船舶動態之即時資料與歷史資料、海難資料庫、航行警告資訊服務、氣象資訊服務、AIS 交通流分析等內外部資料庫與服

務。在動態監測方面，以電子海圖、船舶慣用航路、區域風場預報、航行警告等海域靜態環境資訊為輔，使船舶 AIS 即時船位顯示以及軌跡與動態回播都更具意義；而以探勘分析 AIS 歷史資料所得的特徵參數為依據設計的擱淺、碰撞、漂流、艏向異常、航速驟降、偏航、錨泊等自動化偵測警示功能，則是智慧化航行中心的運作核心。可提供各區航務中心人員、海巡署、環保署等其他機關人員操作使用。透過此系統的應用，可大幅提升對我國海域動態的掌握，對於智慧化的海上交通動態管理有具體而明顯的效益。

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。本研究對日本壓艙水管理法制進行分析，以建構東亞地區壓艙水管理法制的完整圖像，並分析公約及國外法制中對於豁免壓艙水管理之規定與實際操作案例的現狀。亦透過兩岸船舶運輸航線分析，探討往來兩岸航線船舶之運輸型態，以做為我國與中國間兩岸航線未來壓艙水管理策略之參考基礎。此外，對於我國第一大商港高雄港已發現之入侵種，進行案例調查以瞭解未來因應方式。

故本研究將主要的工作分為五個項目，分別是我國壓艙水管理與兩岸船舶運輸航線分析、日本壓艙水管理法制分析、國外互相免除壓艙水管理之機制與案例分析、因應我國壓艙水管理探討高雄港外來種入侵之文獻分析、探討國內壓艙水管理法案之兩岸政策分析。

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，本年度計劃將會對兩岸航線運輸狀況，以及鄰近國家的壓艙水管理上做出相關的分析，並進一步擬定未來我國壓艙水管理法方向與內容。

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 我國壓艙水管理與兩岸船舶運輸航線分析

本研究藉由航港局取得基隆港、台中港、高雄港、花蓮港、台北港、麥寮港與和平港，共計 7 個港口近三年(2013~2015)的船舶進港資料，以中國地區進港船舶為主，進行兩岸航線進港船舶之航運資料與

運輸型態分析，船舶分類為出發港(Last departing port)、船籍(Flag State)、航行路徑及時間與船型。

5.2.1 各港口艘次與前一港國籍比例

在台灣七個港口總艘次由多至少排序為高雄港、台中港、基隆港、台北港、麥寮港、花蓮港與和平港。而三年七個港口總艘次數由艘次最多的 2013 年到 2015 年總艘次呈現略微下降的趨勢。

台灣七個港口船舶上一港為台灣地區港口、中國地區港口與其他國家港的比例中，多數港口進港船舶的上一港為台灣地區港口，而麥寮港則是以由中國地區港口佔最多數。因其他國家中包含眾多的國家，而七個港口中由中國港口而來的艘次與其他國家之艘次比例接近於 1:1，顯示出中國來的船舶在台灣港口數量眾多且入港頻繁。

5.2.2 出發港(Last departing port)

本研究以出發港(前一港)作為船舶壓艙水來源港，意即船舶汲取壓艙水的港口，並進一步統計中國地區之各來源港船舶艘次。在 2013 年，香港(2,842 艘)、福建廈門灣(1,621 艘)與上海(989 艘)為所有上一港為中國港口中艘次最多的三個港口。而若以較大區域範圍，皆是由福建省、香港與廣東省地區擁有的船舶艘次最多，而因為分布於福建省與廣東省的港口數量相較於浙江省多，故會呈現出單一港口的比較與區域的比較擁有不同的結果。

5.2.3 船籍(Flag State)

權宜船籍指的是船東因為低廉註冊費、低稅率、可雇用廉價勞動力等經濟、政治或軍事上的利益而懸掛非所屬國家的國旗，而此類國家對於船舶的安全標準通常較低且管理鬆散。國際運輸勞工聯盟(International Transport Workers' Federation；ITF)藉由船旗國在船舶上執行國際最低社會標準的能力與主動性、社會上的紀錄、安全與環保相關紀錄來評估其是否為權宜船旗國。

由 ITF 公布之權宜船旗國篩選出由中國港口來的船舶國籍屬於權宜船旗國的數量與比例，在 2013~2015 年中每年屬於權宜船籍國的艘次比例皆約為由中國港口來的總船舶艘次的三分之一，其中又以巴拿馬、賴比瑞亞與馬紹爾群島為數量最多的前三大船旗國，且為巴拿馬國籍的艘次於三年都超過了總權宜船籍艘次的 50%。台灣七港口所擁有的權宜船籍艘次比例以高雄港、基隆港與台中港位居前三。整體三年數據顯示，在權宜船籍國比例是逐年下降的，但仍然佔全體前一港為中國港口艘次的三分之一。

5.2.4 航行路徑及時間

航行路徑距離與航程時間的長短會影響到壓艙水內生物的存活率，若航程天數越短則壓艙水內生物的存活率則越高，提高了外來種藉由壓艙水入侵的可能性。若以海象平穩時與航速 20 哩來計算，則中國東南沿海主要港口離高雄港約為 160 哩到 400 哩，航程時間於半天到一天內即可到達。其餘中國沿海港口則離高雄港 500 哩到 1,200 哩，航程則約為三天內即可到達。

5.2.5 船型

船舶因運載不同貨物及滿足不同的功能而發展出各類船舶類型，不同船型在壓艙水的裝載與排放有不同的特性。2013~2015 年來自中國港口之船舶三年整體各類型艘次所佔比例變化不大，進港艘次最多之船型為約佔整體 50% 的貨櫃船，其次為約佔 13% 的雜貨船，第三為約佔 9% 的散裝船，所占最少則為約 4% 之客船。由 Endreson 等人於 2004 年的研究，貨櫃船與雜貨船大多於航行期間進行壓艙水的裝載與排放，顯少於進出港期間進行；而油運船及散裝船則因運載貨品特性，較可能於單一港口進行大量的壓艙水裝載與排放，而由於我國為油品輸入國，油運船在靠港卸下油品時是要汲取而非排放壓艙水，故由以上分析顯示出可能停靠我國港時一次大量排放壓艙水為占約 9% 之散

裝船，然而貨櫃船雖並不會一次性的大量排放壓艙水，但因其之艘次眾多，仍是我國入港船舶中排放壓艙水的主要船型之一。

5.2.6 兩岸航線比例

2013 年到 2015 年兩岸航線比例可知，前一港為中國港口船舶多由中國東邊鄰海城市與省分的港口進入台灣港口，其中又以東南沿海港口為最大宗，而亦有少數艘次由中國相較內陸的省分進入台灣港口，是藉由河運系統內的港口來到台灣。而此次分析的台灣七個港口中，2013 年至 2015 年擁有最多由中國港口來的船舶艘次分別為高雄港 48%、基隆港 17%與麥寮港 11%，而所佔比例最少的則為台灣東部的和平港與花蓮港，由此可知由中國港口來的船隻多進入台灣西部港口，且將近半數艘次皆進入高雄港。

5.3 日本壓艙水管理法制分析

在上一年度的計畫中，本研究團隊已經針對台灣鄰近國家，中國與韓國二國的壓艙水管理法制進行分析，而由於同樣位於東亞且與我國航運交流密切的國家，尚有日本未進行法制上的了解和分析，為使整體研究能更加完善，因此本年度對日本壓艙水管理法制進行分析。

5.3.1 日本壓艙水管制之現況

身為壓艙水公約簽約國的日本，其在壓艙水管制方面則採用類似於中國的方式，將壓艙水列入現有的法律體系，但與中國不同的是，日本並非僅有在做為海洋保護主要的法令《海洋污染等及海上災害防止相關法》(下稱海洋污染法)中把壓艙水管理納入，而是為了避免外來種生物透過壓艙水入侵，對相關的法令均做出了程度不同的修正。

目前日本透過直接修正現有《海洋污染法》相關規定，直接將船舶壓艙水納入管轄中，從現行第一條第一項之規定：「本法目的為藉由規範自船舶、海洋設施及航空機排至海洋的油、有害液體物質等及

廢棄物之排出、船舶排放至海洋的有害壓艙水...確保所有海洋污染等及海上災害防止有關之國際約定確實的實施，以達貢獻海洋環境之保全等與人類生命與財產之保護目的。」可看出其明確地把壓艙水列為必須管轄的對象，在同法第三條中《海洋污染法》將管制的對象分為有害液體物質、油類、廢棄物等數種類別，並新增了「有害的壓艙水」此一類別以針對船舶壓艙水中所攜帶的有害水中生物進行控管。再從同法附則第一條中則可更進一步看到簽訂壓艙水公約後對該國法令的影響:「第一條本法於 2004 年船舶壓艙水及沉積物管理國際公約（於第二條第一項稱為「船舶壓艙水規制管理條約」）在日本國內生效日起開始施行。但以下各款之規定，依該各款所定之日起施行。」

《海洋污染法》乃是日本於海洋環境與資源保護相關事務上的母法，並依照該法的授權與相關規定，日本內閣與國土交通省(相當於我國之交通部)分別制定出了《海洋污染法施行令》及《海洋污染法施行規則》此二行政命令，而對於壓艙水的管理法制是透過對這三個法規的修正所架構而成的。

而在《船舶設備規程》、《船舶安全法施行規則》所規定者，則增訂了對壓艙水管理的輔助規定，《船舶設備規程》規程中規定了壓艙水處理設備應該如何裝設的細節規定，而《船舶安全法施行規則》則要求船隻記載壓艙水的汲取、排放與移送方法等資料，以供查驗，大致上，我們可以把日本壓艙水的規範方式以下圖表示出來:

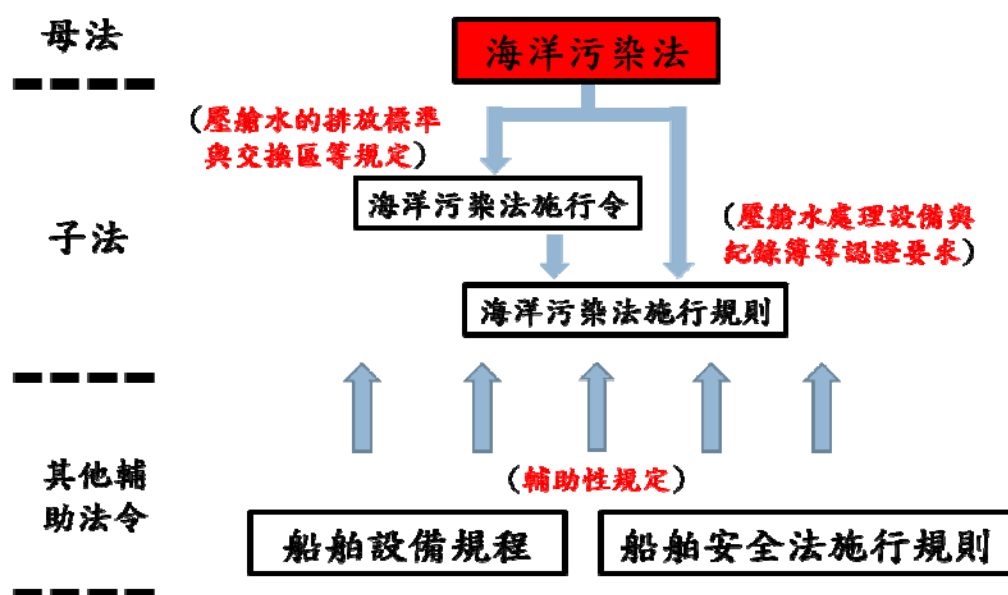


圖 5-1 日本壓艙水管理法令規範模式

日本是壓艙水公約的簽約國，而這個條件使得日本方面的法律規制出發點和未簽訂的中美兩國不同，日本就只能在壓艙水公約的空間之下，訂出該國的壓艙水管理法制，而從條文中來看，目前日本的壓艙水管理法亦是以壓艙水公約為基礎所制定出來的，對其他國家特別是我國而言，這樣的好處是在於容易預測並遵守該國的規定；但對日本而言，一旦公約實現後，締約國將無法再使用交換區等現行的過渡期措施，且必須要求該國船商使用壓艙水處理設備，使得該國在替代管制措施上能運用的空間減少，並且付出更多的成本。

即便如此，對我國而言，日本的相關法制仍有其參考價值，原因在於其雖與中國的立法模式一致，都是利用現有的環境保育法令，在修正之後將壓艙水列入管轄範圍中，但在壓艙水公約的時限壓力下，日本已經完成了從壓艙水管制範圍、流程到標準，以及輔助性法律的修正，亦即其在壓艙水法制化規範上的完整程度要高於中國方面，因此這對於同樣採用修正現行法令方式的台灣來說，是具有極高參考價值的，目前日本規範的方式是從功能最適原則加以考量，將壓艙水的管理透過修法列入《海洋污染法》的範疇中，讓該法的主管機關國土交通省(相當於我國交通部) 進行管理，並透過同法的修正，使其他相

關部會如環境省(相當於我國環保署)得以發揮其專長，提供壓艙水處理措施以及壓艙水交換區在設置上的建議。

雖然在我國的《海洋污染防治法》主管機關為環保署，因而使二國在管制的先天條件上有所差異，但還是可把日本在主要壓艙水管制法令《海洋污染法》與其他輔助性法律的互動作為基礎，思考台灣未來壓艙水管制法令改進的可能，同時要謹記的是，台灣本身並未參與壓艙水公約的現狀使得我們在法令上擁有更高的空間與可塑性，在保護海洋環境上可以比日本或其他參與壓艙水公約的國家做出更有前瞻性或是保護程度更高的立法，使我們的海洋生態得以永續發展。

5.4 國外互相免除壓艙水管理之機制與案例分析

在公約即將實現的當下，各國間於管制上的互動就顯得更為重要，特別是壓艙水管理豁免規定的部分，一旦實行則會對我國航運界產生影響，因此，在本年度的報告中將會闡述公約中對壓艙水管理豁免之機制，並收集了國外對於壓艙水的豁免規定與案例，調查國外目前擬依公約進行豁免之情形及其管理機制。

5.4.1 《壓艙水公約》中的豁免規定

《壓艙水公約》中對於豁免的規定分別出現在公約正文的第三條、附則的 A-4 規則此二部分，在公約中第三條第二項中之內容：「本公約不適用於...僅在某一締約國管轄水域內營運、並得到該締約國授權豁免的另一締約國的船舶。如果此種授權會損害或破壞本國、相鄰或其他國家的環境、人體健康、財產或資源，則任何締約國不得給予此種授權。不給予此種授權的任何締約國應向有關船舶的主管機關作出本公約適用於該船的通知」可以發現公約並非給予各國得任意豁免的權限，而是用同一水域以及例外條款的限制以確保有害水中生物僅會留在固定地區。

而從 A-4 規則來看，則對豁免有更進一步的規定，除了公約本文中的豁免外，締約國可更進一步的免除掉船舶的壓艙水管理責任以及因壓艙水管理而生的額外措施，但此種豁免亦有相應的嚴格條件：「1. 此種豁免係給予從事在指定港口或地點間航行的船舶或僅在指定港口或地點間營運的船舶。2. 此種豁免的有效期不超過五年並應接受中間審查。3. 此種豁免係給予除從事第 1.1 款中規定的港口或地點間航行船舶之外的不混合壓艙水或沉積物的船舶。4. 此種豁免係根據本組織制定的“風險評估準則”給予。」

儘管公約中有關於豁免的規定並直接排除了對某些船隻的適用，但此豁免對締約國而言，能使用的範圍並不廣；從公約本文加以判斷，首先，就只能給予限定於一國管轄水域範圍內活動的船隻，而排除了在國與國間航行船隻的交換豁免，其次，一旦豁免的給予會對環境資源或人體健康等造成損害，就會被禁止給予。而在 A-4 規則中雖然擴張了豁免範圍，甚至可免除壓艙水管理及額外管制措施之要求，但針對此種豁免則有更為細緻的限制。而豁免權利的給予尚需要根據「風險評估準則」加以考量，等於間接課予了授權與被授權國對自身國家港口進行基礎生態環境與生物相的調查義務，因而對於缺乏完善海洋統計現狀的國家在進行此種豁免的給予上會變得更加困難。

5.4.2 美國與加拿大壓艙水管理現狀分析

五大湖區位於美國與加拿大之交界，兩國制定並簽訂了《五大湖水質協定》(Great Lakes Water Quality Agreement)，《五大湖水質協定》乃是於 1978 年制定，最新一次的修正則是在 2012 年，該協定的內容成為了五大湖區兩國在壓艙水排放上合作的基礎。

而關於船舶壓艙水的排放限制則規定於附則第五條關於船舶排放的部分，執行的單位是透過加拿大的運輸部門、海洋及漁業部門、海岸警衛隊及美國的海岸警衛隊、環保署等單位來進行。而本協定規定在執行任務途中，必須要考量到 IMO 所發布的相關標準與相關指導原則，同時以各國的國內法令與規範來執行關於船隻的排放問題。

美國與加拿大透過共同的合作以維護五大湖區的環境，進行了對進入五大湖區船舶壓艙水排放的控管，但這樣的合作是建立在以下幾個條件之下，首先，五大湖區為內陸湖，使得管理單位能夠集中，其次，五大湖位於兩國的分界上，這也使得兩國的合作成為必然。最後，兩國在針對船舶壓艙水的排放進行控管之前，已經在其他污染源的控管上有多年的合作，並聯了兩國的相關部門成立工作小組，而無須從頭開始。這些都是船舶壓艙水排放控管上兩國得以合作的重要因素。

值得注意的是，美國與加拿大即便透過協定的簽署，建立互助合作的體系，但兩國並沒有在船舶壓艙水的排放上採用直接豁免的方式，儘管最終兩國在船舶壓艙水的處理標準上是一致的，但應如何達成這樣的標準則有差異。故可以瞭解這樣的合作模式是不必然和豁免規定掛鉤的。

5.4.3 赫爾辛基委員會與奧斯陸-巴黎公約委員會

為應對國際海事組織(IMO)之海洋環境保護委員會(MEPC)多年來致力於開發國際立法，防止船舶壓艙水運輸水中生物所帶來的有害影響，赫爾辛基委員會與奧斯陸-巴黎公約委員會遵循此全球性的發展，於2013年十月共同制定兩個區域委員會成員在公約A-4規則下給予豁免的聯合統一程序文件(Joint Harmonised Procedure for the Contracting Parties of HELCOM and OSPAR on the granting of exemptions under International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, Regulation A-4)，目的為當公約生效時對於豁免相關議題提供一致的規範與解決程序。文件中建立了一個完整的架構，針對在HELCOM和OSPAR所管理的海洋區域申請壓艙水公約A-4的豁免，制定核准步驟與程序，主要流程為：

1. 提出申請者應根據文件中的港口調查說明或其他做過相關調查者的結果，對港口物種與相關物理參數調查。
2. 將調查數據交由HELCOM-OSPAR數據庫，進行風險評估。
3. 最後，申請者應將風險評估的結果，附加到應用程序流程如圖5-2，

並滿足其他國際上的要求，提交給審議港口國。壓艙水豁免效期最長為 5 年，若有必要，締約方可自行決定更短的有效期。

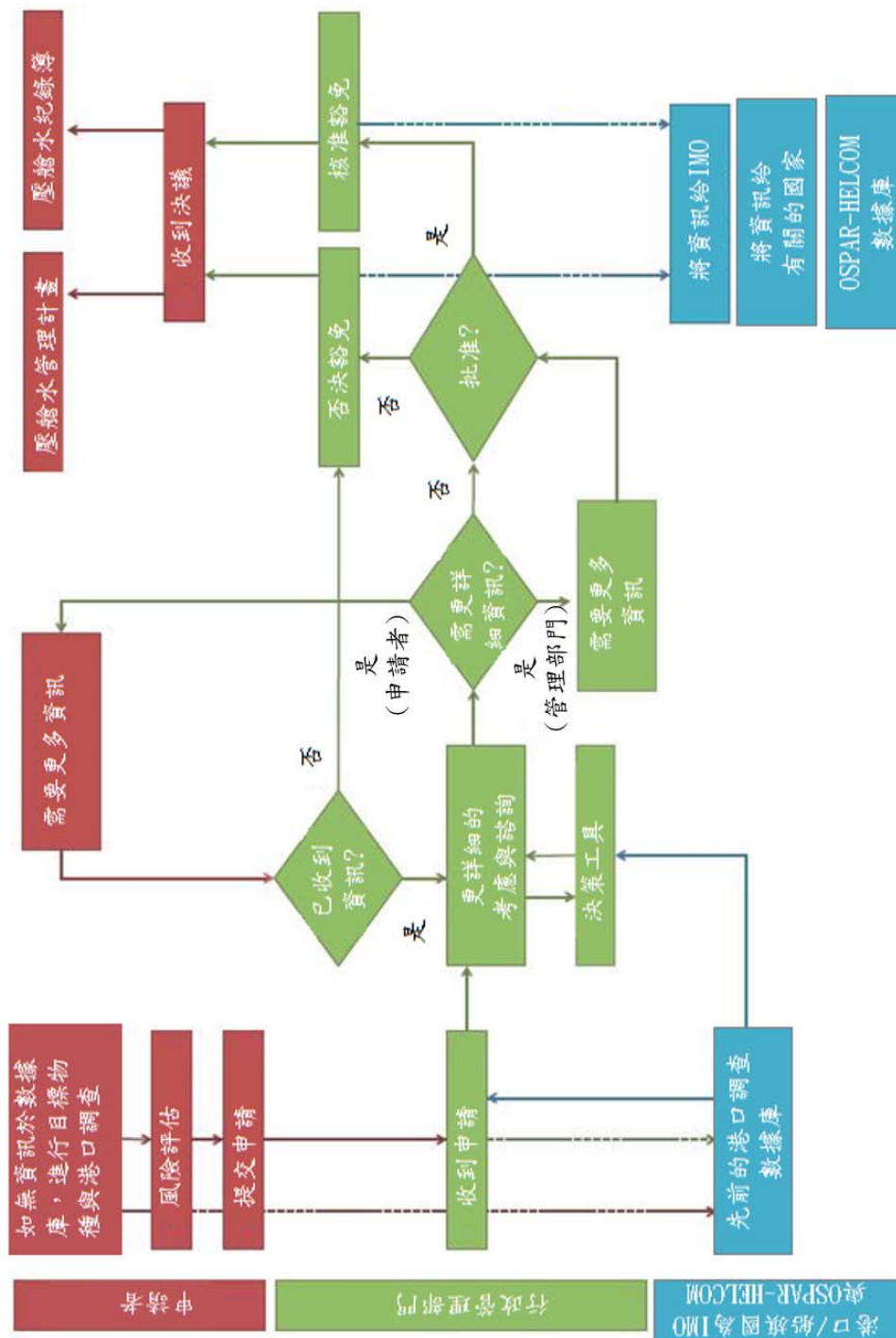


圖 5-2 壓艙水核准的應用程序流程

5.4.4 波羅的海學者提出壓艙水公約下之壓艙水豁免評估

由 Sergej Olenin, Henn Ojaveer, Dan Minchin 與 Rick Bolenes 四位學者於 2016 年共同發表於期刊 Marine Pollution Bulletin 的學術文章「在船舶壓艙水管理公約下之壓艙水豁免評估，以阻止特洛伊木馬的發生 (Assessing exemptions under the ballast water management convention: preclude the Trojan horse)」中，提出了對於符合壓艙水公約之壓艙水豁免核准適應系統，最終希望達到在不寄予不必要的負擔於航運業下，控制水中有害有機體與病原體的散佈。

圖 5-3 為壓艙水豁免核准適應系統。在整個系統中，最重要的是對於選擇目標物種與實行港口與港口間的風險評估，藉由物種的基本空間資料與標準問題的判斷，篩選出高風險的物種。再利用兩個港口的環境以及擁有的高風險物種匹配，進行港口與港口間的風險評估。資訊系統與監控調查的部分，資訊上的協助是進行豁免程序的關鍵要素，並透過監控調查收集足夠的資訊來進行評估與提供管理上的意見。行政決策的部分，考慮豁免壓艙水管理時，根本的任務就是去權衡多樣的風險，決定風險的可接受度，而所有提出的豁免區域都應先交由國際海事組織中的海洋環境委員會，說明其範圍與合理性。最後，任何風險評估都應該定期接受審查與更新，使其更加進步與完整。

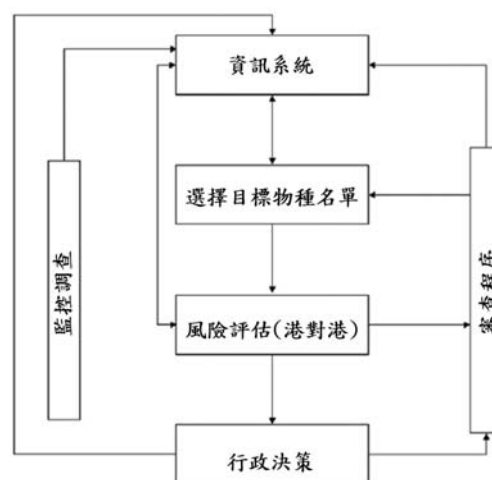


圖 5-3 符合 BWMC 中 A-4 規則之壓艙水豁免核准適應系統

5.5 因應我國壓艙水管理探討高雄港外來種入侵之文獻分析

目前由文獻回顧，發現似殼菜蛤(*Mytilopsis sallei*)已入侵高雄港，而其與在美國由壓艙水導入而造成生態災害之斑馬貽貝，同屬似殼菜蛤科(*Dreissenidae*)之生物。在高雄港發現之似殼菜蛤，通常整群叢生，棲息在潮間帶和淺海水域，固著於其他物體上形成密集的單一族群，使生物多樣性大幅度降低，造成生態影響。

5.5.1 高雄港港池及愛河流域現勘調查

本團隊於 104 年 11 月與 105 年 11 月至高雄港區進行現勘調查，藉由快速評估(Rapid assessment approach)的方式對高雄港區內之八個點位(圖 5-4)評估似殼菜蛤在高雄港之物種族群數量與分布範圍。

快速評估法(Rapid assessment approach)主要基於所採樣本之物種族群數量以及其分布的範圍來推估此物種在研究地點的情形，而衡量物種族群數量與分布範圍的標準如表 5-1 與表 5-2。而結合族群數量與分布範圍並將各類情形分成五個等級來描述物種在研究地區所呈現出的情況，如表 5-3 所示。

表 5-1 物種族群數量衡量標準

族群數量	
低	覆蓋面積<5%
中	覆蓋面積<50%
高	覆蓋面積>50%

表 5-2 物種分布範圍衡量標準

分布範圍	
單一位置	只出現於單一點位
數個位置	出現於<50%的點位
多數位置	出現於>50%的點位
所有位置	出現於所有的點位

表 5-3 物種族群數量與分布範圍等級表

族群數量	分佈範圍			
	單一地點	數個地點	多數地點	全部地點
低	A	A	B	C
中	B	B	C	D
高	B	C	D	E

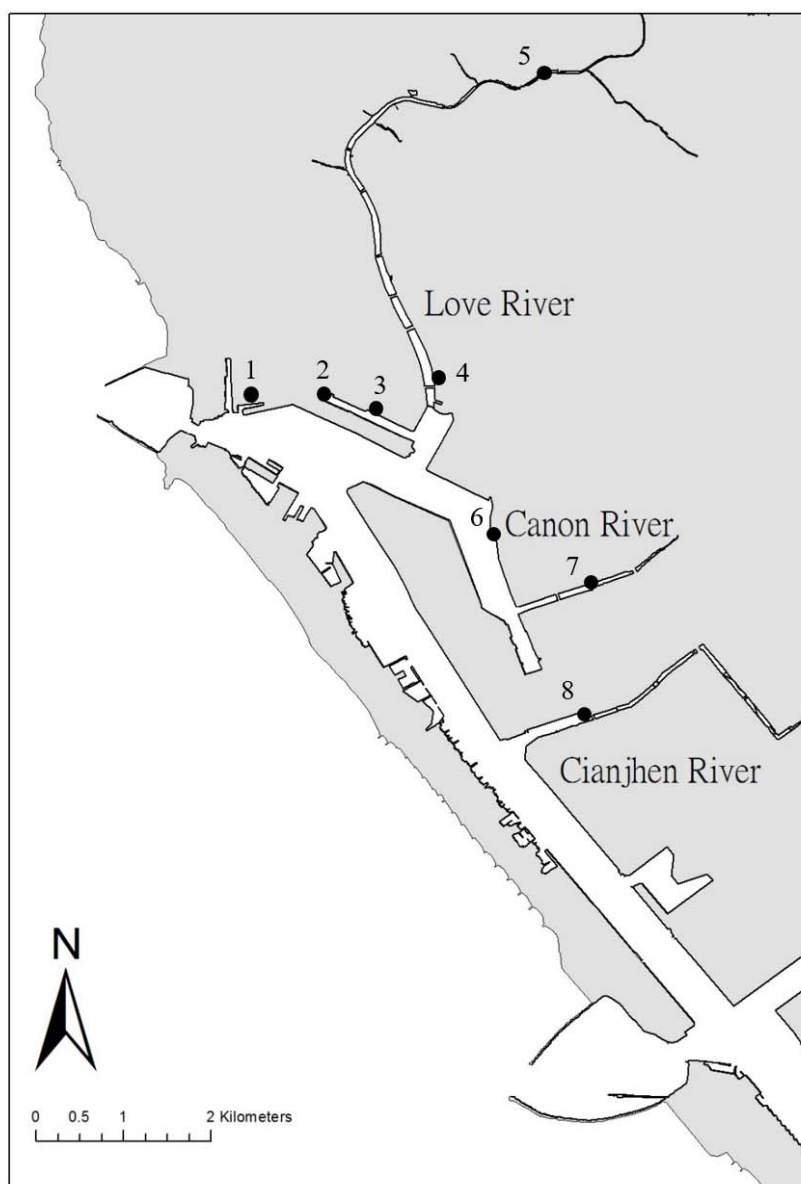


圖 5-4 高雄港區及愛河流域現勘點位圖

2015 年 11 月及 2016 年 11 月兩次的調查中，不論似殼菜蛤出現的點位及生長情形皆呈現出一致的結果，同樣只有點位 6 星光水岸公園處沒有發現似殼菜蛤，並在出現點位皆呈現高族群數量。

由於在多數地區只有單一觀察到此種貝類，可推斷其於多個點位之環境中為優勢物種；而唯獨沒有觀察到似殼菜蛤的點位 6，相較於其他點位是較開放之水域，水深較深，鹽度較高，水流速度也較快，故推測此物種可能較適合生長於水流相對平靜且水深淺的半淡鹹水區域。由所收集的文獻與兩次的現場勘查結果，此物種已成功棲息於高雄港區與愛河流域。

5.5.2 澳洲達爾文港案例探討

1999 年 3 月發現有大量的似殼菜蛤入侵 Cullen Bay Marina，而進一步又在 Tipperary Waters Marina 與 Frances Bay Marina 發現有受入侵的情況。隨著貽貝鑑定為有害物種，成立了此事件的專門小組，負責媒體、船舶追蹤、緊急服務、公共衛生、潛水調查與根除處理等單位。

因此次入侵發生在三個有閘門的碼頭而能形成封閉水域，故政府關閉閘門隔離了三個遭入侵的地點，進行全面調查並控制追蹤相關船舶的動向。所有相關船舶基於是否曾暴露於受入侵或可能入侵時期而將其分為低、中、高風險船隻接受安排處理。由於此物種入侵於能形成封閉水域的碼頭，並基於過去美國應對斑馬貽貝入侵使用的方式，最後以硫酸銅和氯共同處理，並以硫酸銅沖洗整個碼頭。費時超過兩個星期完成處理。在碼頭內的船隻透過添加化學品到周圍的水中進行處理。對船舶內部管道則添加硫酸銅溶液或洗滌劑來清潔。並提供船東相關預防措施防止蔓延。整體事件成本估計將超過 220 萬美金。而碼頭和其他控制措施關閉則造成了私營企業數十萬美元的收入損失。

對比於澳洲達爾文港之清除案例，高雄港區並不如受入侵的三個達爾文港碼頭能關閉水閘門形成封閉水域來進行清除，顯示出在屬於開放水域的港口，一旦遭到有害外來水中生物入侵，將可能導致許多

負面影響並難以將其根除。故對於此類生物應採取相關預防措施，防止其入侵至新環境並造成危害，例如本研究對於壓艙水的管理，防止並降低有害水生物種入侵的機會。

5.6 國內壓艙水管理法案之兩岸政策分析

5.6.1 台灣船舶壓艙水相關法制現狀

台灣目前並沒有如同美國與韓國設置專法以進行管理，而是採用現行對海洋污染與船舶管理的法令，將壓艙水透過修正行政命令納入管理當中，現行與壓艙水管理有關的法令有：《海洋污染防治法》、《商港港務管理規則》、《船舶設備規則》。

《海洋污染防治法》的管轄範圍適用於我國管轄範圍內之所有海域，即便是在我國管轄範圍外之海域造成汙染，亦可以適用本法之規定。從環保署於 2016 年 1 月的公告中，可得知目前環保署已經將壓艙水認定為《海洋污染防治法》第三條第一項第六款中的「其他經中央主管機關公告之物質」，與廢污水、油、廢棄物、有害物質等同列為在船舶排洩上需要管制之物質，並適用《海洋污染防治法》中第 29 條到第 31 條中與船舶排洩的相關規範與罰則，此外，將我國領海範圍內劃定為禁止船舶壓艙水交換之海洋管制區，要求船舶除了依規定得排洩於海洋者外，應把壓艙水留於船上或於岸上收受設施中。

在交通部於 104 年 8 月的公告中，決定依現行《商港法》第 75 條與《船舶法》第 101 條中的規定，透過公告直接採用《壓艙水公約》中的管理措施與標準，並為了使這些標準國內法化而修改了現行的行政命令。在《商港港務管理規則》中第 3 條的規定內，新增了船舶入港預報表的需求，要求國際航線船舶的所有或代理人必須額外入港查核時填寫壓艙水申報單，另外，同法第 20 條內也新增了關於壓艙水排洩的規定，禁止在港區內排放未經處理之壓艙水。

而在《船舶設備規則》中，亦修正了第 172 條將壓艙水管理系統認定為防止污染設備，而在 174 條中更明確的將定義了壓艙水與壓艙水管理，明白的表示出壓艙水管理的目的就在於處理壓艙水中所夾帶之有害水中生物及病原體，同時，在 224-1 條則更進一步規定了船舶壓艙水管理系統的規格認證必須要符合國際公約的型式認可。從上述的規範方式中可以發現，目前台灣壓艙水的管理，是透過現有的法律授權而為，採用的方式則是修正現有的行政命令而並沒有涉及到法律的修正，因此在規範的強度或法規的效力上，很明顯的比美日韓等國要低了一個層級，但仍比目前無罰則的中國法令要強。

5.6.2 對我國權責機關分工之建議

《海洋污染防治法》所管轄的範圍又可遍及於領海內外，相較之下《商港法》管轄之範圍只適用於商港內，因此依特別法優於普通法之法理，於商港內之管制即屬該法管轄範圍，但在商港之外船舶的行為仍會適用《海洋污染防治法》之規定，故可看出《海洋污染防治法》較適合作為船舶壓艙水管制上的主要法令。而透過先前的分析我們已得知有部分問題必須透過《海洋污染防治法》的修正來解決，分別是：

1. 進一步管制措施的決定。目前我國只規定禁止於領海內排放壓艙水，但這樣的距離是否足夠阻隔船舶壓艙水的風險，顯有疑慮存在。
2. 船舶壓艙水水質標準的公布。在國際條約內國法化之部分，已顯示在船舶壓艙水的管理上若僅以《商港法》第 75 條為依據公告水質標準，則會有違背處罰法定及法律明確原則的問題，同時又因該條文欠缺罰則，因此無法有效要求船舶遵守相關標準，此外，若從最適功能理論來看，未徵詢過環保署的意見而僅透過交通部的評估就公告水質標準，這樣的做法亦有問題。
3. 基礎調查與研究的進行。由於目前我國並沒有於周邊海域或港區進行船舶壓艙水對當地生態系統影響的相關研究，因此無從

對壓艙水的管制措施與利益上作出成本效益的評估。

船舶於領海外排洩壓艙水以及壓艙水水質標準的制定此二問題，根據最適功能理論並考量到法律管轄範圍的問題，應透過《海洋污染防治法》的修正來處理此一問題，最適合的為該法第 8 條第 2 項條文，在此建議將其修正為：「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與壓艙水排放水質標準，並據以訂定分區執行計畫及污染管制措施後，公告實施。」將此二部分列入其中，進行管制，而由於該交換區的設置與船舶壓艙水的檢驗執行，牽涉到航政及港口機關，因而亦有必要參酌這些機關的意見，故建議在同一條文中增列第 8 條第 4 項：「為預防海洋環境中有害水中生物之影響，第二項中關於壓艙水交換區劃定、壓艙水排放標準、採樣及檢驗程序及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。」透過這些修正訂定出《船舶壓艙水處理辦法》並使船舶壓艙水交換區、排放標準與相關檢驗流程的制定能夠獲得法律授權，並依最適機關理論讓有關單位能夠進行討論，擬定出一個較為完善的船舶壓艙水管制措施。同時，在同法第三條的專用名詞定義中，亦建議增加對壓艙水的定義為：「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水及其所含之懸浮物質。」以顧及到法律的明確性。

基礎調查與研究的進行上，可透過現行《海洋污染防治法》第 7 條規定：「各級主管機關及執行機關得指定或委託相關機關、機構或團體，辦理海洋污染防治、海洋污染監測、海洋污染處理、海洋環境保護及其研究訓練之有關事項。」要求主管機關進行相關研究。

5.6.3 對我國船舶壓艙水管理流程之建議

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。本文在

此建議對船舶壓艙水的管理，可採用分級管理之方式執行，是為三加一分級管理制度。第一級管理階段，交通部負責督導及獨立查核作業。第二級管理階段視情況與行政院海岸巡防署隨機聯合執行黑名單船舶查核作業。第三級管理階段由交通部航港局召集行政院環境保護署、農業委員會、海岸巡防署及衛生福利部登船執行壓艙水抽驗作業。至於額外的「加一」部分，則為船方自主管理。

5.6.4 我國與周邊國家豁免之探討

參照公約中的規定，可以得知在維持海域環境生態的完整的前提下，並考量到兩地生物的特性，船舶壓艙水豁免的進行只能以點對點的方式，並且在決定要豁免之前，必須先鑑驗兩地的海洋環境與生物相，才能做出決定。因此，我國在豁免上即便是對於鄰近國家，仍不能夠直接採用國對國豁免之方式，此外，即便欲在我國與他國間的某些港口進行豁免，這樣的豁免也只有在進行對兩地生物相及海域環境的全盤評估後，得出可以豁免的結論，方可進行。而即便兩地的環境因素完全符合，但在雙方經濟與其他因素的考量下，也可能做出不進行船舶壓艙水豁免的決定。至此，本研究認為，我國若要進行船舶壓艙水的豁免，除了因為船舶壓艙水本身的特性，而必須滿足較嚴格的前提外，也必須考量到兩國間的經濟因素，同時，若決定要在兩地間執行豁免，則有必要在彼此間的執行機關建構出一套完整的執行與合作體系，綜合來說，船舶壓艙水的豁免是一個前提嚴格，且於執行上需要兩國緊密配合的行為，需要審慎的考量，才能決定是否要執行。

5.6.5 國內壓艙水管理法案之兩岸政策分析

利用以上分析的基礎，進一步探討與台灣目前在航運上關係最為密切的國家---中國，與台灣船舶壓艙水管理上目前的政策意向以及互免的可能性。

目前，從先前的分析中得知，中國對於船舶壓艙水管制的法令，主要控管的是針對含有油類、有毒物質或是可能含有特定病原體的

船舶壓艙水，這樣的方式很明顯與《壓艙水公約》所欲防範的目標，意即水中有害生物，並不相符，在中國用以預防水中有害生物的法令規範，目前只有《船舶壓艙水管理系統申報暫行規定》，儘管規定的內容要求該國船舶採用與《壓艙水公約》一致的標準，但該暫行規定中缺乏罰則，從而缺乏約束船商的效力。

相對於此，台灣目前對於船舶壓艙水的規範，則已針對水中有害生物的威脅作出應對，從《海洋污染防治法》、《商港法》到《船舶法》等均做出了相應的修正或透過行政機關的解釋，將船舶壓艙水納入規範的範疇中。儘管目前在防範的完整性與機關協調上，仍有部分需要加強與磨合之處，但至少可以確定政府機關注意到了有害水中生物此一威脅對我國海域環境的可能危害。

在前述的分析中，我們已經了解，兩國要在船舶壓艙水上達成豁免，必須要符合兩地海域環境相似、點對點開放以及經濟等因素的評估後方有辦法實行，而就這些條件下去評估兩岸互免的可能，則可以很清楚的發現，目前中台兩地的狀況並不適合貿然採用互免的方式，首先，兩地目前並未執行過相關港對港生物以及海洋環境生物相的評估與比較，無從得知是否具有適合互免的地理條件，即便單純依照溫鹽度的判斷認定兩岸的港口環境相似，則仍然無法忽視目前兩岸在船舶壓艙水規範法令上的差距，而無法採用互免，最後，兩岸航運是處於既合作又競爭之模式，在尚未考量到經濟因素的衝擊下，如果貿然進行互免，將可能使我國航運業蒙受未知的損害。為此，本研究認為，在目前中國對船舶壓艙水管理法令尚未進行更進一步規範的當下，兩岸船舶壓艙水管理的互免實不可行。

5.7 小結

對於日本壓艙水管制分析，日本壓艙水管理法令採用的是修正現行《海洋污染法》及其子法，將壓艙水明訂為須管制之物質並列入管轄之中，而對於壓艙水交換區的設置以及壓艙水的處理標準，目前均

依照公約的規定與標準執行，並沒有做出更嚴格的規範措施。日本的壓艙水法制化模式雖與中國相近，但其完整度更高，對我國而言更具有參考之價值，特別是在母法與輔助性法律以及主管與其他機關的互動上，可做為我國未來修法上的基礎。

而由分析壓艙水公約中的豁免規定後，發現在本文中此豁免只能給予在一個國家管轄海域內航行之船隻，而不能夠給予於國際航線中航行之船隻，即便在附則中進一步擴張了可以給予的範圍，但仍侷限於點對點的方式而不能採國與國之間的互免，此外，此種豁免權的給予也必須奠基在對兩地生態調查的基礎上，故對締約國而言，給予豁免權的門檻並不低，只有在兩地幾乎沒有生物入侵風險的狀況下才能給予。加上赫爾辛基委員會與奧斯陸-巴黎公約委員會聯合規則中的規定及波羅的海學者所提出之壓艙水豁免程序辦法，可以發現港口生物及相關物理性質資料庫如海水溫度及鹽度等的建立是評估是否能夠豁免的首要程序，並且需架構出完整系統，才能確保豁免不會造成環境、經濟甚至人類健康上的危害。在目前《壓艙水公約》已然達標且實行在即的狀況下，顯示各國對於海洋生態保育的決心，雖然我國並非公約之簽署國，但亦不能貿然允許與他國簽署豁免之。

針對公部門對於權責機關間應如何協力的疑義，本研究認為，透過對各國船舶壓艙水相關法令的分析，可得知其公部門合作的狀況，目前，美、日等國認為需採用最適機關理論，在污染標準制定及船舶交換區的部分讓環境保育專責機關介入或負責，而非僅交由船舶管理機關決定，此外，也必須要透過立法或修法之方式，將不同的管理權責分派給各個單位。這樣的方法值得台灣參考，為此，本研究建議透過修法並制定《壓艙水管理辦法》，透過最適理論及立法明定之方式，將船舶壓艙水在管理上不同層面的任務及權責，分派給各個相關機關。而在管理的流程上，再參考過各國的管理模式後，本研究建議建立起從港外通報、港口內抽查到建立黑名單的一系列管理方式，並由包含航港局、環保署、海巡署等權責單位分工進行，即所謂的三加一模式，並期望能透過此管理流程達到保育台灣海域環境的效果。

對於壓艙水管理之兩岸政策分析的部分，由兩岸船舶運輸航線分析，由中國地區來到台灣港口的船舶艘次眾多，且多數是由中國東南沿海港口進入台灣西部水域的港口，難以找到符合公約 D-1 壓艙水交換之區域，加上航程短(小於三天)與約有三分之一比例之船舶國籍為權宜船籍國，顯示出兩岸運輸航線在壓艙水管理上的重要性與必要性。而從先前研究的基礎上出發，本研究進行了對兩岸互免可能性的探討，而結果顯示，在中國對船舶壓艙水管理架構出更完善的法律規範，以及針對兩岸的港口作出海洋環境及生物相的分析之前，並不適合採取兩岸船舶壓艙水管理互免的行為，即便嗣後兩岸的法律規範狀況趨於一致且環境相似，在決定互免前仍有經濟等相關因素必須納入考量，總而言之，互免是一個必須審慎考慮的作為，而目前兩岸並沒有達成得以互免的基礎條件。

由文獻回顧與 2015、2016 年至高雄港港區與愛河流域之現勘調查結果，發現似殼菜蛤(*Mytilopsis sallei*)已入侵高雄港，雖然在我國目前並未造成明顯的環境與社會危害，但因其曾經於澳洲達爾文港造成嚴重的資源與經濟損失並與在美國由壓艙水導入而造成生態災害之斑馬貽貝，同屬似殼菜蛤科(*Dreissenidae*)之生物，故應對此物種進行監測與進一步的研究，降低危害的發生機會。

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，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設計與現行港灣設計基準之相合性研究；波浪發電轉換系統之進出風口設計及發電系統之扇葉翼型設計；及水工試驗規畫、試驗進行及實驗成果之分析比較等三主題，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 沉箱堤為基礎之波浪發電轉換系統與現行港灣設計基準之相合性研究

本計畫中研議之波能轉換系統，初始構想中即將其納入港灣構造之防波堤系統中，因此在設計及規劃時，必須能符合港灣設計之相關規範。在前期相關計畫中，雖未完全考慮港灣構造與波能轉換系統納入港灣構造為一體時，在規範使用上之相容性，但經初步的結構安全分析以及水工試驗之結果發現，波能轉換系統納入港灣構造物後，對於港灣構造物並不會造成安全上之顧慮。但港灣設計時因考慮安全因素使用之設計波浪週期通常較長，而波能轉換系統為求轉換之效能，則以日常波浪做為設計基準，兩種型式的結構之間確實存在相容性之問題。

6.2.1 浪條件之考慮

為了符合港灣構造設計基準，目前初步規劃波能結構系統之構造安全基準將與所附屬之結構物一致。另外亦可將置入波能轉換系統之防波堤視為另一種型式之防波堤，設計時、功能性分析則分別考慮兩種結構之滿足條件，但在安全性分析時則一體考慮。因此、例如波浪條件在波能轉換系統設計時，將分別有功能性分析時之波浪條件，以及安全性分析時之波浪條件。功能性分析時之波浪條件將以日常波浪做為設計基準，而安全性分析時之波浪條件原則上將與防波堤設計時之回歸週期波浪條件一致。

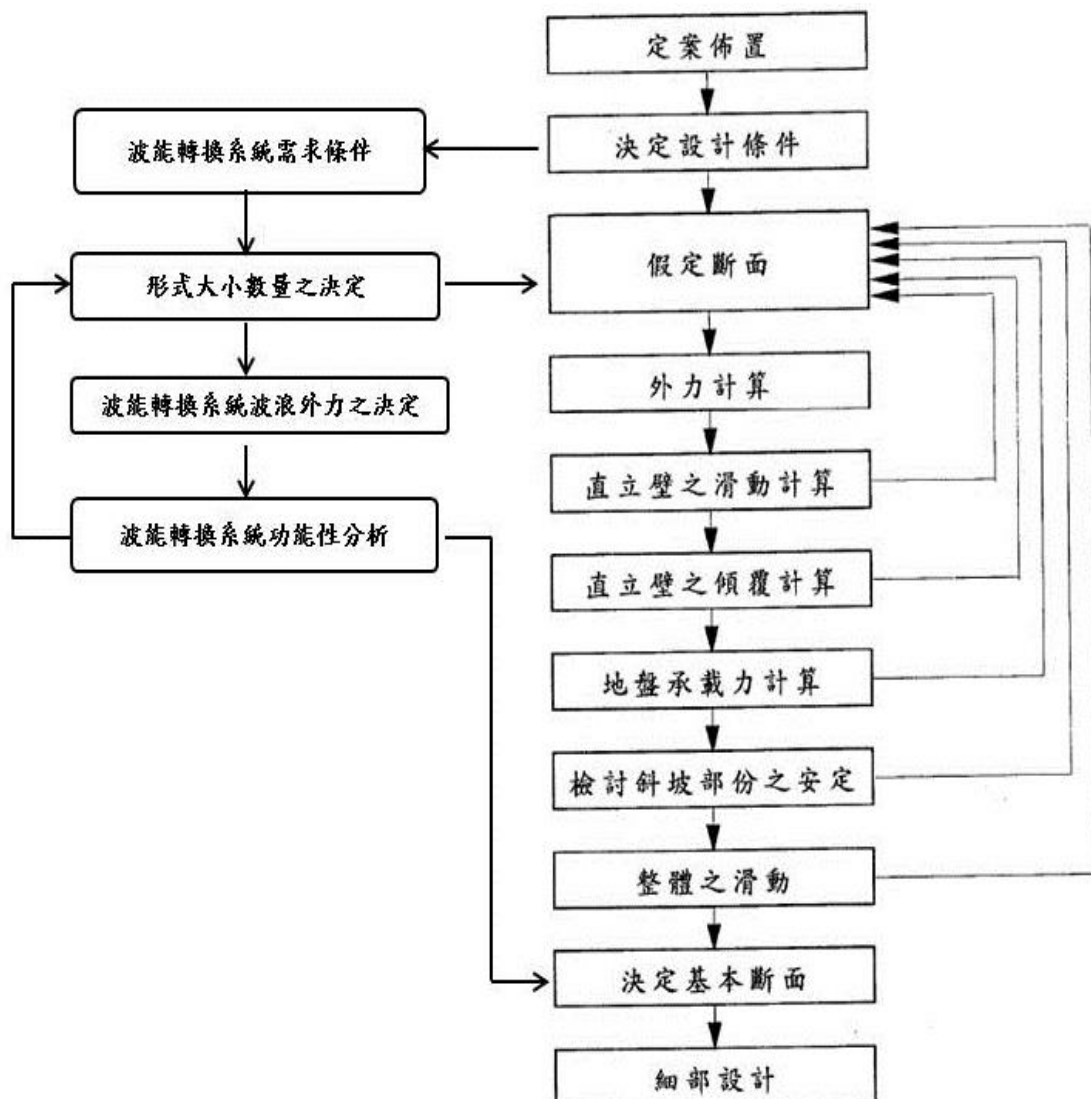
6.2.2 外力條件

當防波堤結合了波能轉換系統後，基本上所有的環境外力條件亦將與防波堤設計時所要求的相同；除了靠海側波浪作用的方式與傳統防波堤有些許差異之外。其中包括碎波之考慮，因波浪作用在波能轉換系統氣室內，並在其間產生震盪作用，在轉換成機械能後進而消耗波浪之能量。原則上經過適當設計，結合波能轉換系統之防波堤，其反射波能量將大幅降低。

6.2.3 結合波能轉換系統防波堤安定性檢核

由於防波堤安定性檢核時，主要以靜力分析為主，當防波堤結構結合波能轉換系統後，其分析方法不至於改變，固可以利用同樣的分析方法分別進行直立壁體之安定性檢核、堤基安定檢核，以及整體結構之安定檢核。分析方法分別進行直立壁體之安定性檢核、堤基安定檢核，以及整體結構之安定檢核。

6.2.4 波能擷取系統與防波堤共構之設計流程



6.2.5 波能擷取系統與防波堤共構之安定計算

防波堤之安定計算主要包括了直立部之安定計算，堤基部之安定計算，以及整體堤防結構之安定計算。以下僅就直立部之安定計算作一說明，其餘請酌參附件。

直立堤之堤體、合成堤之直立部、斜坡堤之上部結構、消波塊覆蓋堤之直立部等之滑動、傾覆及底面承载力之檢討應以滑動之安全率，在波壓作用時 1.2 以上，地震時 1.0 以上 為標準；另外，傾覆之安全率在波壓作用時為 1.2 以上，地震時為 1.1 以上為標準。

以模型試驗能確認堤體之安全時，滑動之安全率小於 1.2 亦可。

1.壁體滑動分析

堤體之滑動檢討必須滿足下式：

$$F \leq f \cdot V/H$$

上式中

v：作用於堤體之垂直合力 (t/m)

H：作用於堤體之水平合力 (t/m)

f：堤底與 基礎之摩擦係數

F：安全係數，平常時1.2以上，地震時1.0以上

2.傾倒分析

堤體之傾倒檢討必須滿足下式：

$$F \leq V \cdot l_v/H/l_H$$

上式中.

l_v ：作用於堤底之垂直合力 (t/m)

l_H ：作用於堤體之水平合力 (t/m)

V：堤體後趾與堤體垂直合力作用線間之距離 (m)

H：堤體底面至水平合力作用線間之高 (m)

F：安全係數，平時為1.2以上，地震時為1.1以上

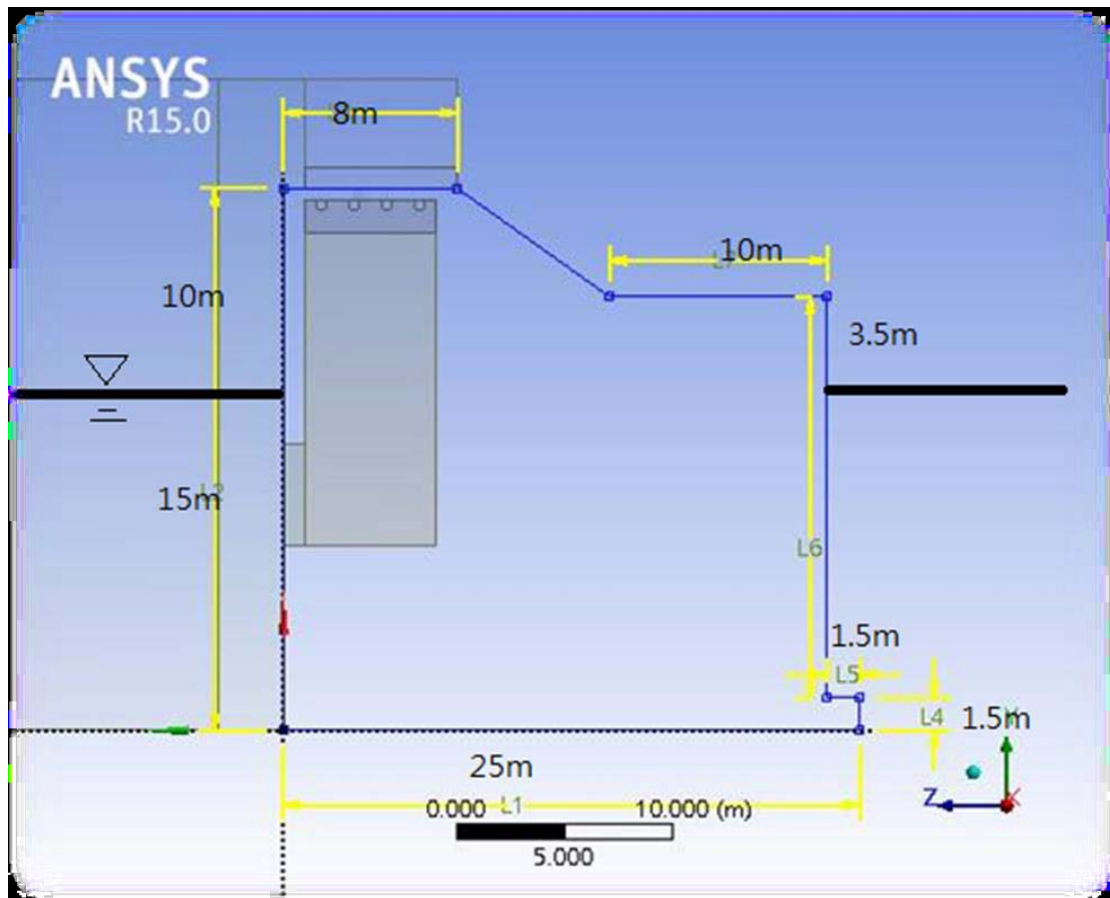


圖 6.1 波能截取系統尺寸圖

6.2.5 波能擷取系統與防波堤共構之安定計算實例分析

波能擷取系統與防波堤共構之安定計算實例分析中，其系統中單一氣室之尺寸如圖 6.1 所示，而該系統在海中之受力情形則如圖 6.2 所示。

本研究中將分別考慮傳統分析中(即現行港灣設計基準中)所使用之 Goda 之外力分布情形，以及使用數值方法分析且考慮波能擷取系統氣室的情形下，結構體之受力分布情形。以下則為壁體滑動分析檢核及壁體傾倒分析之檢核計算結果。

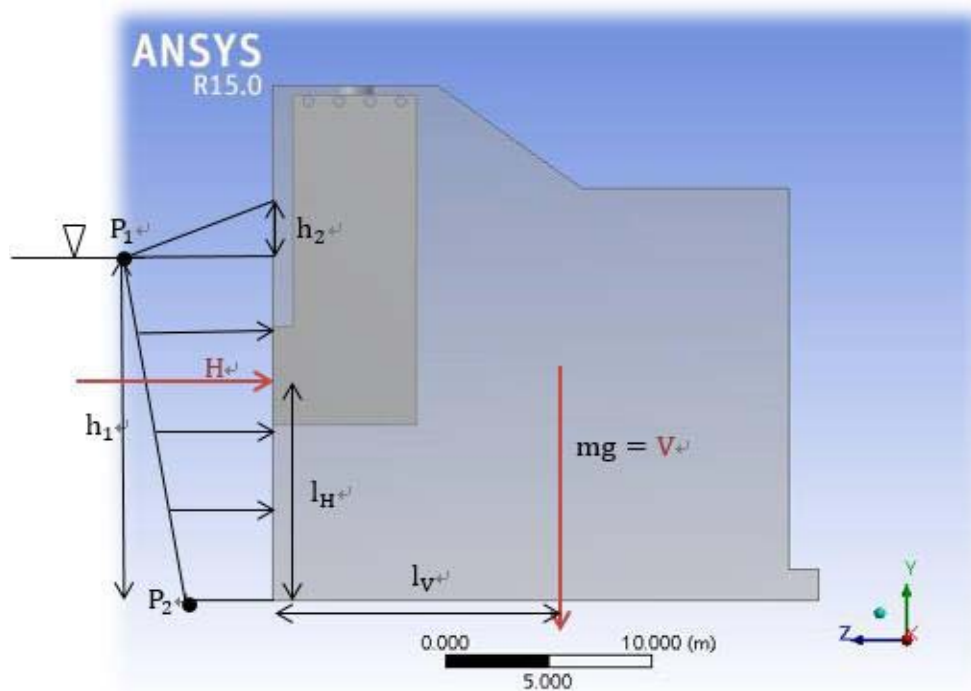


圖 6.2 外力作用於波能截取系統示意圖

RC單位體積重：2.45 (tonf/m³)

面積：427.75(m²)

單位寬度重：V=427.75×2.48=1047.99 (tonf/m)

側向合力=(P1+P2)×h12+P1×h22

Goda：P1=24133(N/m²) ， P2=17271(N/m²)

Ansys：P1=21837(N/m²) ， P2=9285(N/m²)

將數值代入側向合力公式，得H1、H2

Goda：H1=37.458 (tonf/m)

Ansys：H2=29.088 (tonf/m)

1. 壁體滑動分析

$F \leq f \cdot V/H$ ，f：壁體底面與基礎之摩擦係數

Goda：F=16.79 ≥ 1.2 (OK)

Ansys：F=21.62 ≥ 1.2 (OK)

2. 壁體傾覆分析

$F \leq V \cdot l_V/H/l_H$ ， $l_V=8.6\text{m}$ ， $l_H=8.74\text{ m(in Goda)}$ ，10.53m(in Ansys)

Goda：F=27.53 ≥ 1.2 (OK)

Ansys：F=29.43 ≥ 1.2 (OK)

6.3 波浪發電轉換系統之進出風口設計及發電系統之扇葉翼型設計

6.3.1 渦輪簡介與選用

應用於波浪能擷取系統中的渦輪一直不斷的在發展演變，從最開始的常規渦輪至自整流式的渦輪機，其研究及改良仍在進行中，一般常用的渦輪種類可概略分成兩種，一為衝擊式渦輪(Impulse turbine)，另一類為反動式渦輪(Reaction turbine)，空氣渦輪的分類如圖 6.3，其運作方式及特性如圖 6.4。衝擊式渦輪之作用原理為流體撞擊渦輪葉片造成推動的力量，推動葉片造成渦輪旋轉，該渦輪具有較低的啟動風速，但只能接受單一方向之氣流；反動式渦輪的作用原理為流體通過葉片時因葉片之幾何條件造成上方氣流與下方氣流速度的差異而產生之壓力差，推動葉片造成渦輪旋轉，該渦輪需要較高的啟動風速，但可以接受不同方向之氣流。

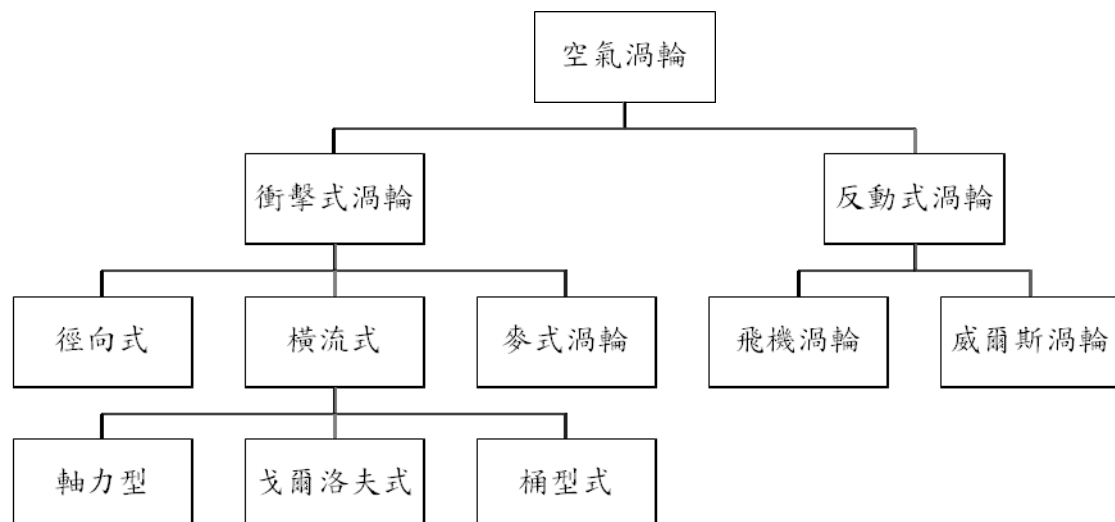


圖 6.3 空氣渦輪分類圖

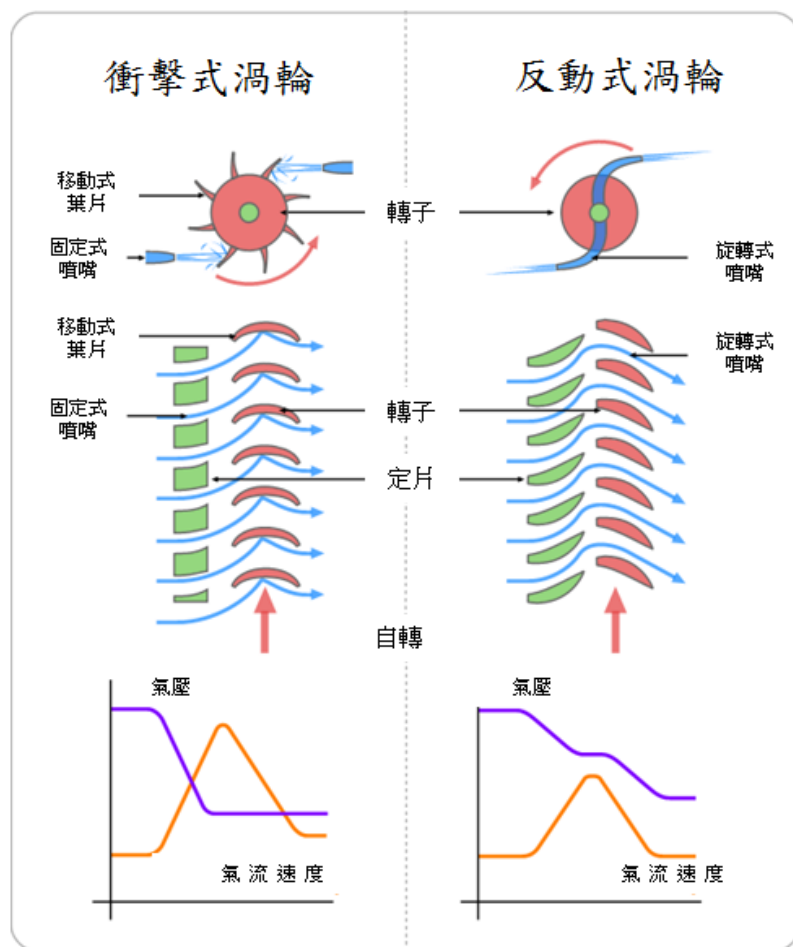


圖 6.4 衝擊式與反動式渦輪比較(Emoscopes, wikipedia)

最先使用於震盪水柱式波浪發電系統中的渦輪為一種具有整流閥的簡易衝擊式渦輪，整流閥的用意旨在將震盪水柱式波浪發電系統中的雙向氣流整合成單向氣流，但也導致了氣流動能的損失、設計趨於複雜化以及設備維護的困難等問題，促使往後的震盪水柱式波浪發電系統研究開始偏向採用無需整流系統的渦輪。

因此，許多具自整流功能的渦輪於 1970 年代開始出現，威爾斯渦輪(Wells turbine)即為此時期的產物(圖 6.5)，而由於它的應用方便以及成本等考量，在 1976 年開始廣泛的使用於各種型式的波浪能量擷取系統中。

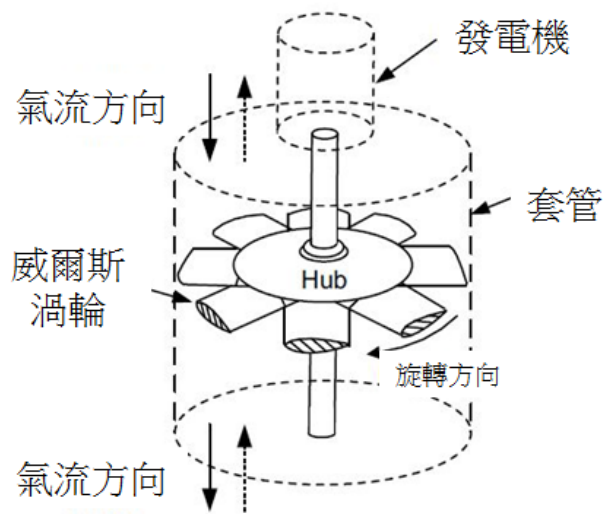


圖 6.5 威爾斯渦輪(Wells turbine)立體構造示意圖
(Shinya Okuhara, 2013)

威爾斯渦輪(Wells turbine)為一種雙向式葉片設計(見圖 6.6)，常見於水力與風力發電的應用，因為其特殊的葉片設計，當葉片受氣流力影響時，大部分的氣流會往轉軸的斜面流動，少部分的氣流則流向葉片外沿，葉片上的合力以靠近轉軸的斜面較大，因此無論風力由哪邊吹入，此種渦輪都保持相同的旋轉方向，圖 6.7 為威爾斯渦輪葉片受氣流時示意圖。

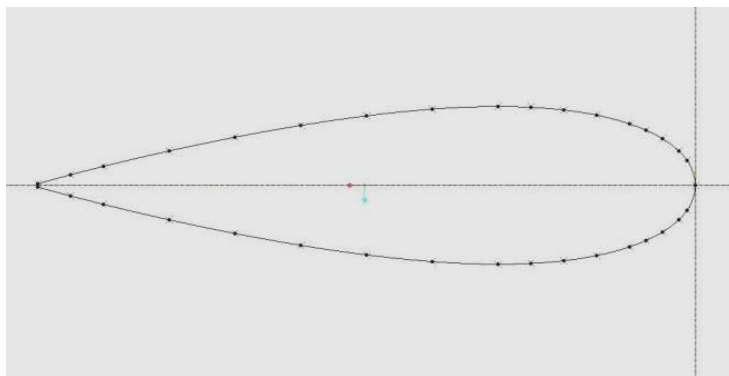


圖 6.6 威爾斯渦輪葉片剖面

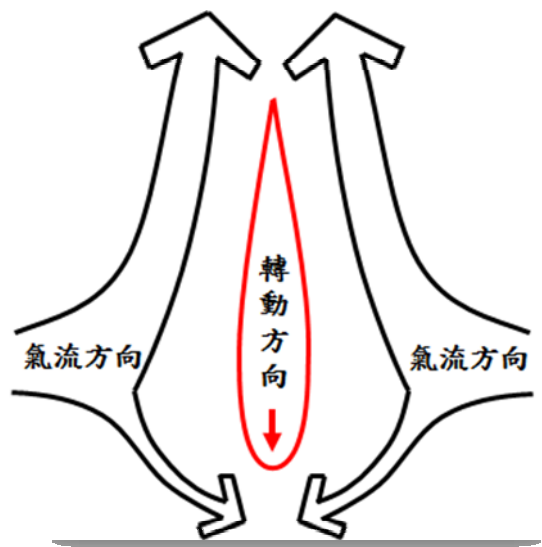


圖 6.7 威爾斯渦輪葉片受氣流時情形

而渦輪轉動能可由下式估算：

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho (V_1)^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho (V_2)^2$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} (V_1^2 - V_2^2)$$

P：氣體壓力

ρ ：氣體密度

V：氣流速度

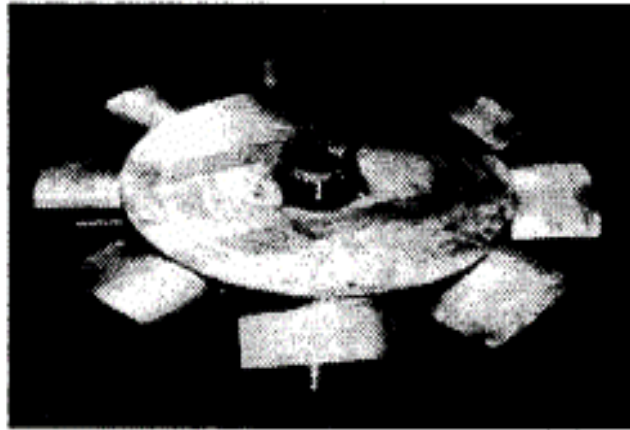


圖 6.8 酒田港發電裝置使用之威爾斯渦輪(NACA 0021)

6.3.2 威爾斯渦輪葉片翼型設計

6.3.2.1 NACA 0021 文獻數據

參考美國航空諮詢委員會(NACA)，還原編號 NACA0021，整理出揚升係數、阻抗係數、力矩在不同雷諾數與攻角間之關係(圖 6.10 至圖 6.13)，因 NACA0021 之對稱設計，在攻角為 0 時葉片在 y 方向之合力為零，無揚升力與力矩作用。但若攻角改變時，會因葉片上下表面流體流速的改變產生壓力差，與流體作用於葉片表面，使得葉片產生揚升力與力矩作用。葉片之阻抗係數則是因流體流動方向之投影面積為主要變因，但在攻角為正負 5 度時並無明顯的上升，可視為定值。

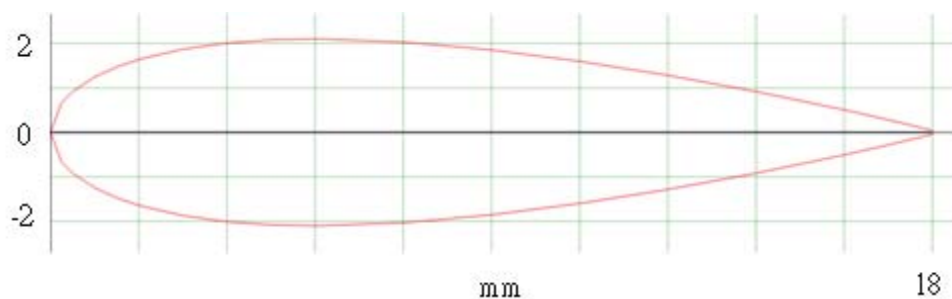


圖 6.9 NACA 0021 翼型剖面

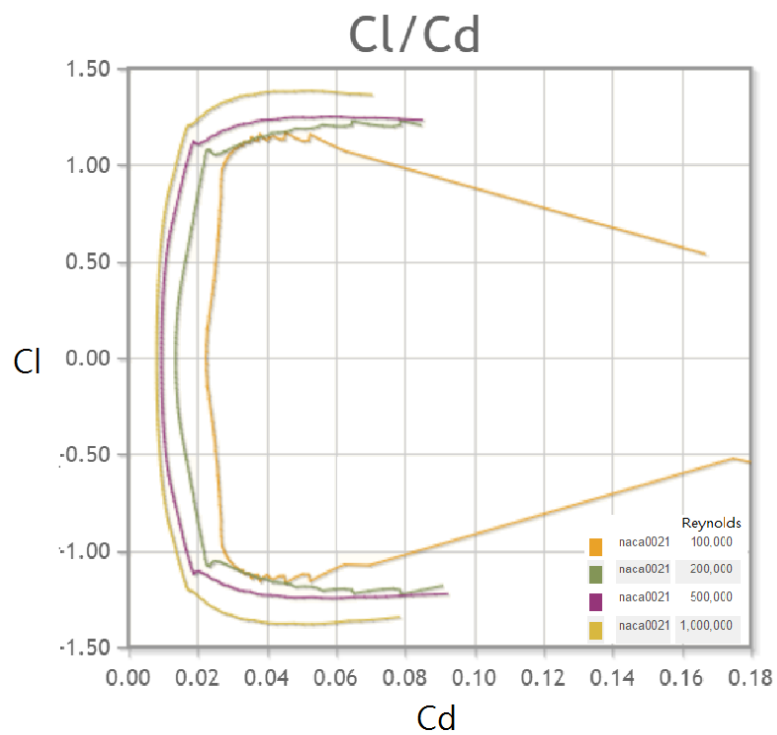


圖 6.10 不同雷諾數阻抗係數對應揚升係數

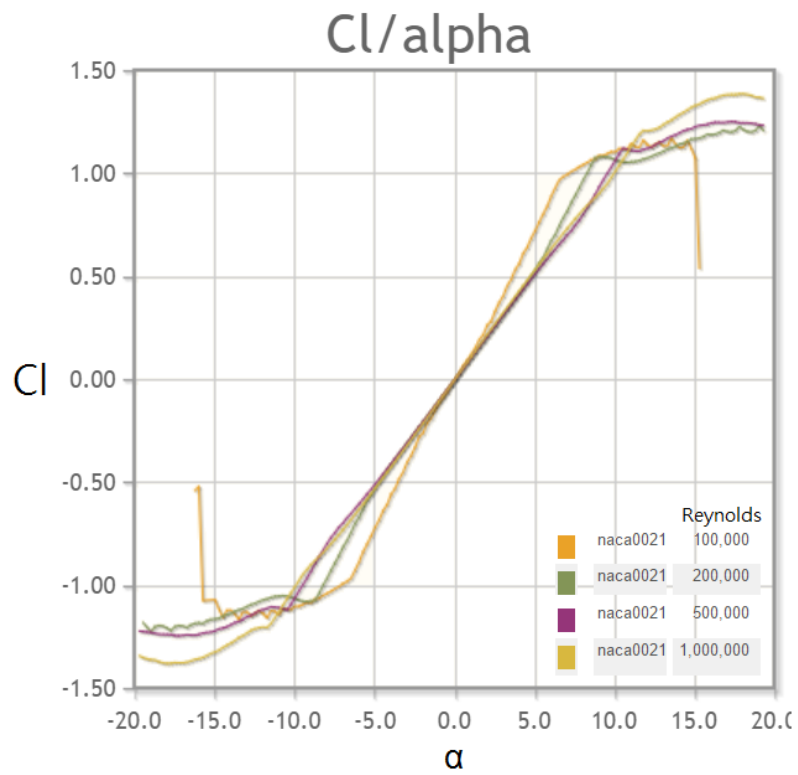


圖 6.11 不同雷諾數攻角對應揚升係數

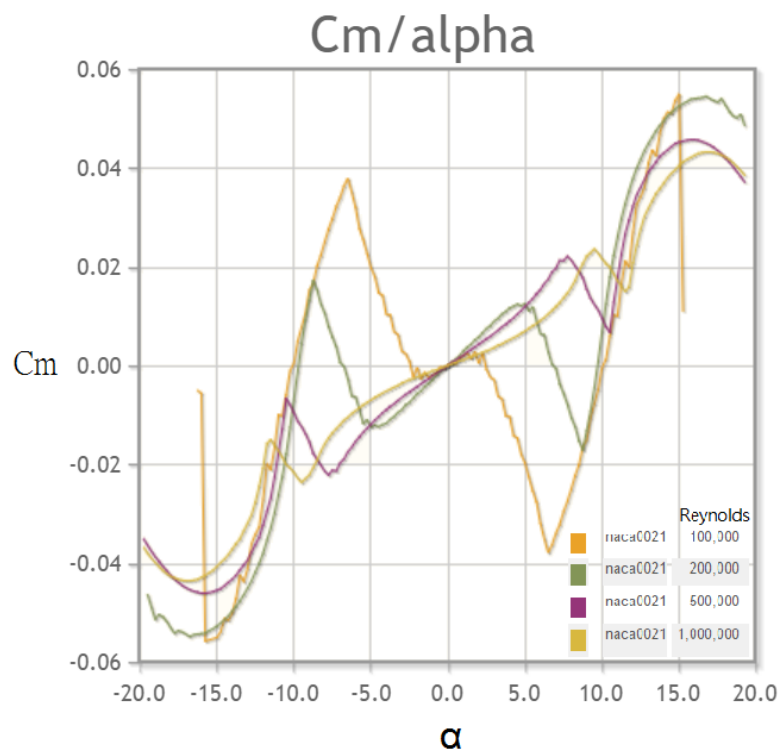


圖 6.12 不同雷諾數攻角對應力矩係數

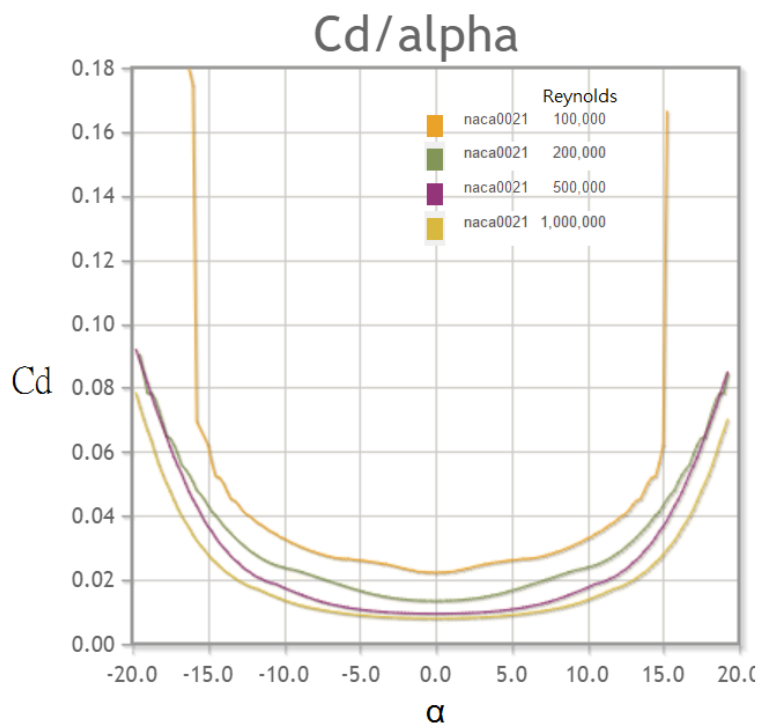


圖 6.13 不同雷諾數下阻抗係數對應攻角

6.3.2.2 NACA0021 葉片數剖面值模擬

以 ANSYS 軟體模擬 NACA0021 與 NACA0021 剖面在攻角 0 度、正負 10 度、正負 20 度在向同流速下之流場情況，之後會與 NACA0024 比較何種頁面設計適合在本系統使用。以此模擬可看出 NACA0021 剖面在各攻角下之流場變化。可以看出在攻角為 0 度時流場為上下對稱的狀態，這代表葉片是處於合力為 0 的狀態，因此渦輪不會轉動。當攻角出現時背風面的流速加快，根據伯努力方程式速度較快的區域會產生較小之壓力，因此葉片產生壓力差而推動葉片使渦輪轉動。

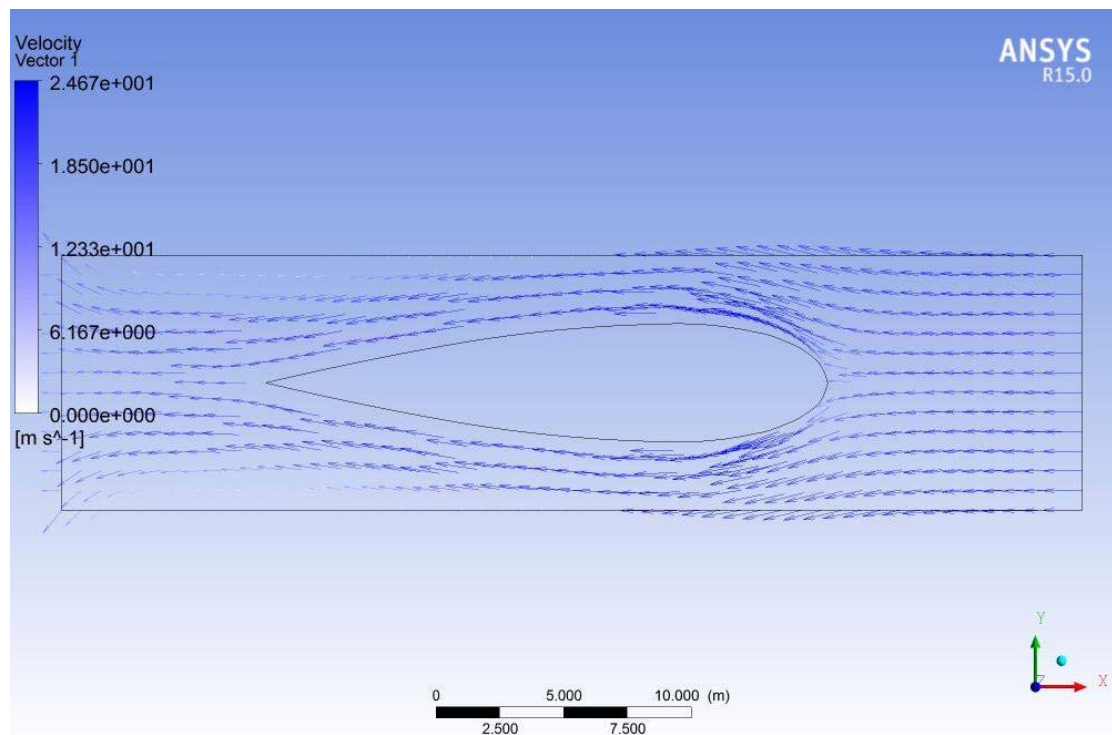


圖 6.14 NACA 0021 攻角 0 度流場分析

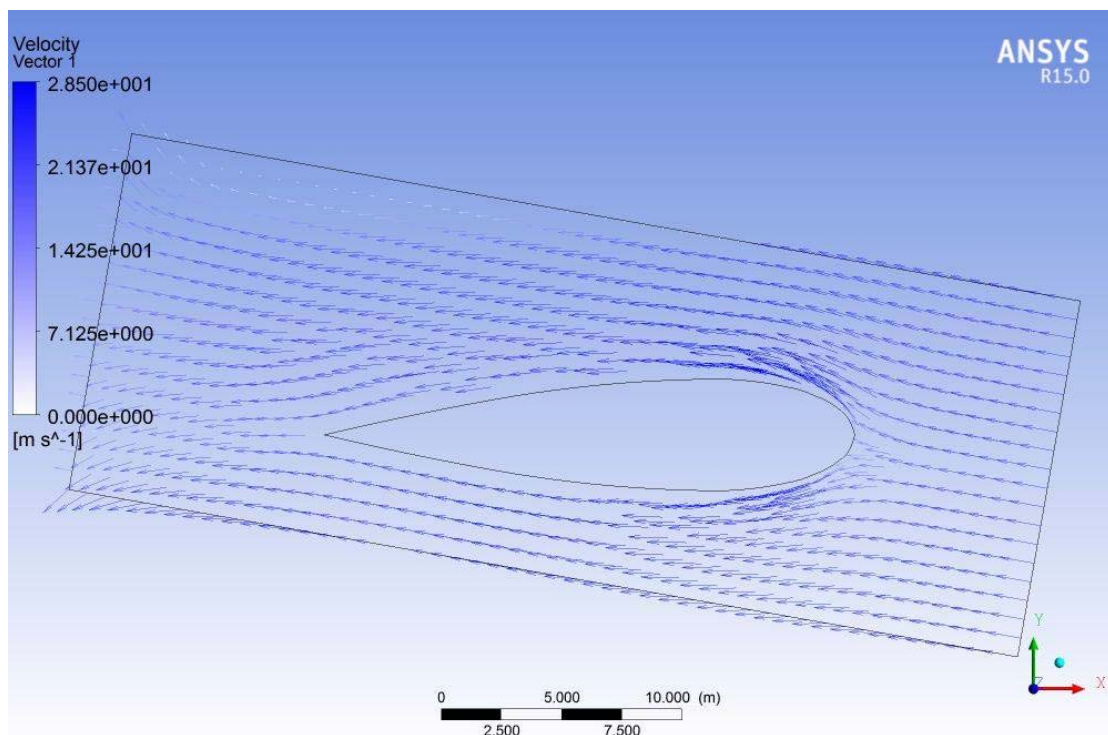


圖 6.15 NACA 0021 攻角 10 度流場分析

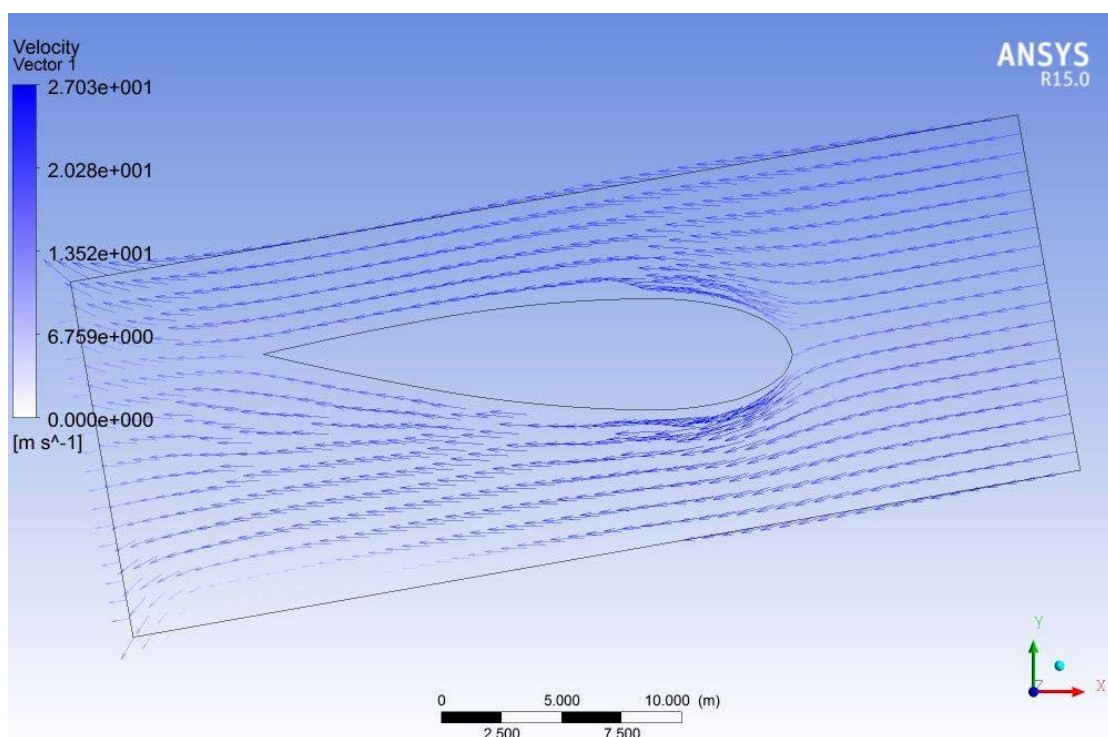


圖 6.16 NACA 0021 攻角負 10 度流場分析

6.3.3 渦輪設計

根據文獻奇數葉片之渦輪設計與增加葉片受風面積有助於提高渦輪之轉速與發電效能，設計兩種葉片型式，第一種為較典型之雙斜翼設計(圖 6.17a)、第二種為變形式雙斜翼(圖 6.17b)，觀察何種渦輪幾何可提高渦輪轉速。

雙斜翼為一種較為傳統的渦輪葉片設計，單斜翼則是改良其部分設計，包含較小的迎風面積、較長的尾翼設計、葉片的最末端距離軸心較遠，表示單斜翼具有較低的啟動風速、較多的有效受風面積、對於軸心可產生較大的力矩。

渦輪的轉動為一種動態平衡的表現，偶數葉片具的受力較為對稱有比奇數葉片安定的動態平衡，原因在於受力較為對稱，這也代表偶數葉片所造成的震動與噪音較奇數葉片來的小，但也造成偶數葉片需要較大的啟動風速與轉速較低的現象；奇數葉片則相反，具有較低的啟動風速與較高的轉速，但具有較大的震動與噪音。雖奇數葉片渦輪具有上述之缺點，但結構材料與設計可以削弱陣動與噪音帶來的衝擊，故選擇奇數葉片之渦輪設計。

根據本計畫之水工模型上方氣流孔大小(70 mm)設計威爾斯渦輪尺寸，於 SketchUp 軟體建立渦輪模型，設計尺寸如圖 7.17a 及 6.17b 所示，再以 3D 列印方式製作成品，成品圖如圖 6.18、圖 6.19。初步測試結果發現，單斜翼之設計有助於提升轉速且具有減小啟動風速之現象，但確實結果仍需要往後之實驗來驗證。

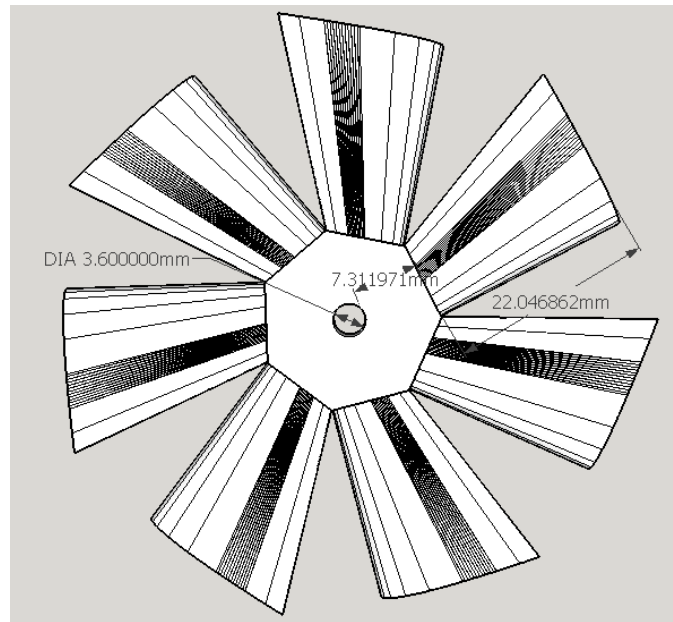


圖 6.17a 單斜翼威爾斯渦輪葉片

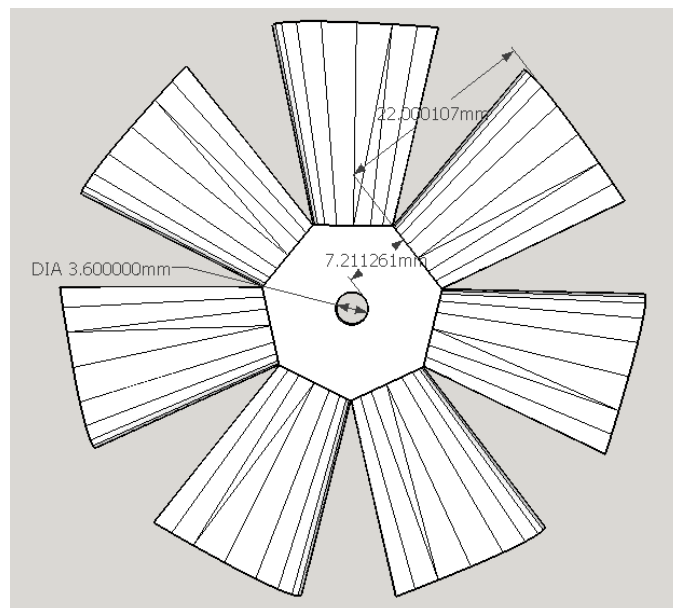


圖 6.17b 雙斜翼威爾斯渦輪葉片

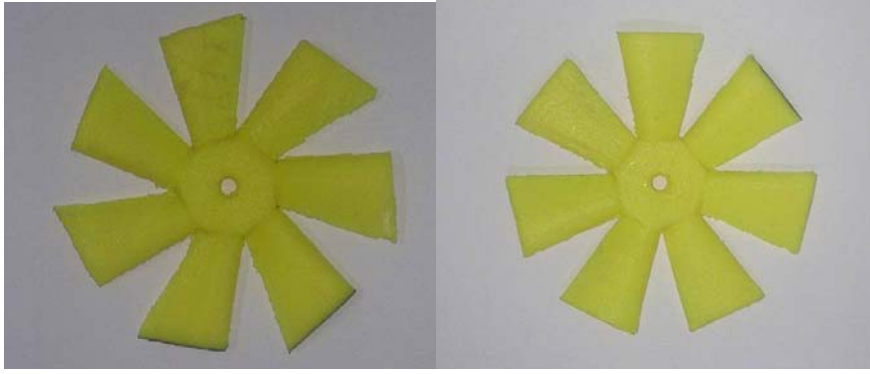


圖 6.18 3D 列印威爾斯渦輪實體模型單斜翼與雙斜翼

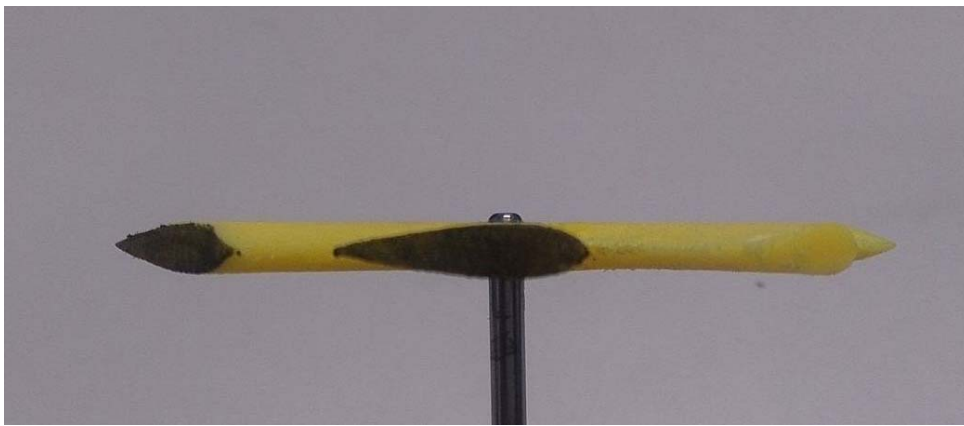


圖 6.19 3D 列印威爾斯渦輪葉片實體模型 II

6.3.4 出風口與氣流導流設計

根據文獻設計製作導流管，目的在於削弱氣流吸入與排出時之渦流現象，以減少氣流之能量損失。根據圖 6.20(a)為直壁式出風口設計，當其管壁厚度(t)與出風口直徑(D)的比值大於 0.05 時可得最小壓損係數(K)0.5。圖 6.20(b)為斜壁式出風口設計，當斜壁與外壁夾角為 60 度時管壁厚度(t)與出風口直徑(D)的比值為 0.25 時可得最小壓損係數(K)0.1。圖 6.20(c)為曲面式出風口設計，當曲壁之曲率半徑(r)與出風口直徑(D)的比值大為 0.1 時可得最小壓損係數(K)0.06。因 3D 列印機可以克服出風口管壁加工難度與成本，故以圖 6.20(c)為設計參考，設計出風口與導流盤之管壁曲率。本計畫之波能轉換系統因實驗縮尺的原故，出風口直徑為 7 公分，最佳管壁曲率則應大於 0.7 公分可得最小壓

損係數 0.06。以 SketchUp 繪製導流盤(圖 6.21)、馬達安裝基座(圖 6.22)、導流管(圖 6.23)。

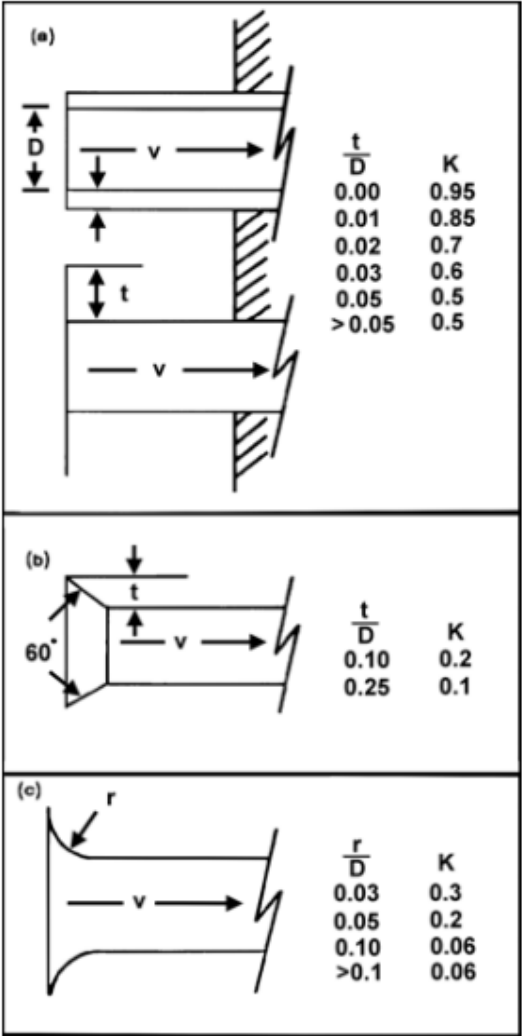


圖 6.20 各種管路入口之阻抗特性

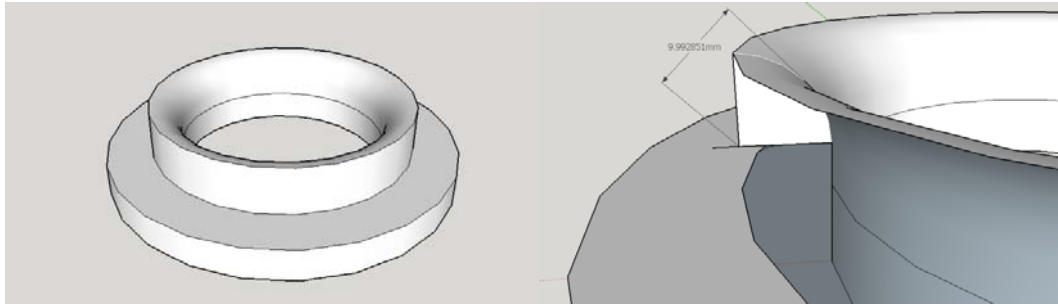


圖 6.21 導流盤與其曲率剖面

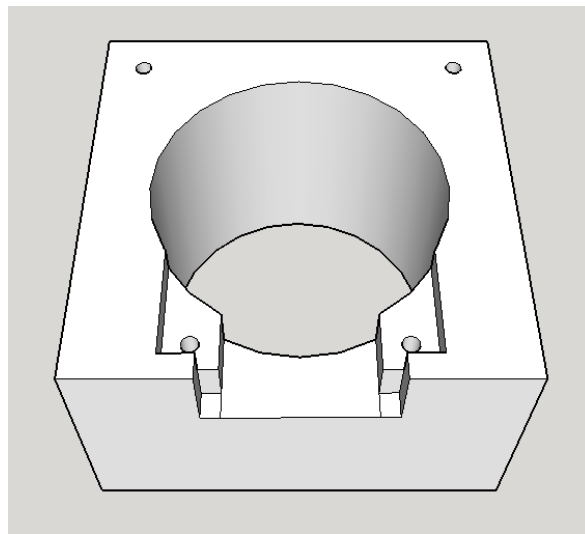


圖 6.22 馬達基座

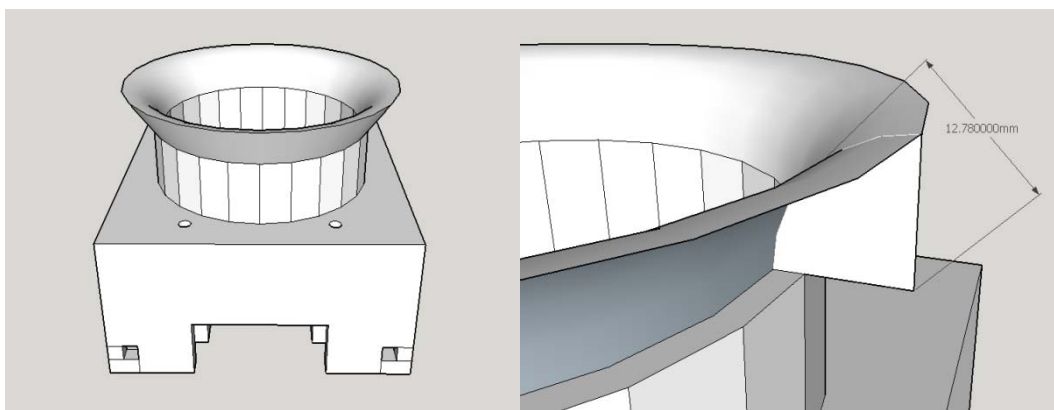


圖 6.23 馬達上基座與導流管及曲率其剖面

6.4 試驗結果分析

6.4.1 氣流速度結果比較

經過 15 組波浪條件測試，各個模型所表現的氣流速度試驗結果如下表 6-1，可看出各模型都在週期 1.2 時有較佳的氣流速度表現，並於週期 1.8 左右時有最低值出現，後又有上升趨勢。

表 6-1 模型於不同波浪條件下之氣流速度結果

氣流速度(m/s)		波高 H(cm)				
		4	6	8	10	12
週期 T(sec)	1	5.52	7.17	8.23	8.81	9.38
	1.2	6.19	8.11	9.88	12.53	12.85
	1.4	5.42	7.18	8.6	9.96	11.32
	1.6	5.9	8.1	9.57	10.41	11.49
	1.8	4.01	5.53	6.89	8	8.76
	2	6.64	8.24	8.35	10.18	14.85

6.4.2 能量擷取率結果比較

同樣經過 15 組波浪條件測試，各個模型所表現的能量擷取率試驗比較結果如下表 6-2，可看出能量擷取率同樣於週期 1.2 時有較佳的表現，週期 1.8 時有最低值出現。

表 6-2 模型於不同波浪條件下之能量擷取率

能量擷取率 氣流速度能/入射波能		波高 H(cm)				
		4	6	8	10	12
週期 T(sec)	1	0.17	0.17	0.14	0.11	0.09
	1.2	0.21	0.21	0.21	0.28	0.21
	1.4	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	1.6	0.16	0.18	0.17	0.14	0.13
	1.8	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05
	2	0.21	0.17	0.10	0.12	0.26

6.4.3 有負載渦輪轉速比較

在有負載情況下不管是高週期或低週期，渦輪均能啟動旋轉。而在較大波高情形下，在同樣週期時，其旋轉速率亦較高。

表 6-3 不同波浪條件下產生之單斜渦輪轉速(負載馬達)

轉速(rpm)		波高 H[cm]				
		4	6	8	10	12
週期 T[sec]	1.2	2851.0	5227.1	7542.9	7584.3	8202.4
	1.6	3106.9	5680.7	6886.9	7823.1	8527.9
	2	3935	7059	7353	7496	8124

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、波浪能擷取系統與港灣構造物結合在法規面之探討

台灣現有港灣設計實務上，並無具約束力之具體規範，僅有由交通部所頒佈之參考規範。因此、工程實務上，各顧問公司或設計單位在進行港灣碼頭設計時，所參考之規範包括了台灣、日本或者歐美各國之相關規範，其中又以日本的規範為大宗。台灣的參考規範也因地區、及同為海島地形，基本上參照日本的規範彙編而成。在參考時主要以與設置波能轉換系統相關之結構型式為主，本研究中應用到之港灣構造為外廓防波堤，尤其為沉箱型式之防波堤構造。

本研究中蒐集了以上所述之台灣現行規範，並針對有影響的部分進行分析及檢討，發現港灣設計規範與波能擷取系統之設計雖有差異，但整體相合性並無太大問題。經結構安全分析以及水工試驗之結果發現，波能轉換系統納入港灣構造物後，對於港灣構造物並不會造成安全上之顧慮。但港灣設計時因考慮安全因素使用之設計波浪週期通常較長，而波能轉換系統為求轉換之效能，則以日常波浪做為設計基準，兩種型式的結構之間若以防坡堤之安全考慮為主時，則須增加波能轉換結構之安全係數。

二、波能轉換系統結合港灣構造對安全性之影響

港灣結構無論為防波堤結構或碼頭結構，本具有其設置之功能，若增加了附設之波能轉換系統，是否將增加原結構之負擔如受力增加、或結構功能減損等？如果發生以上對原結構之安全產生疑慮、或影響其原來使用之功能性時，則該附屬設施或構造之設計則有問題。本階段的研究中，在波能擷取系統對於原結構物在安全的促進上，進行了港灣結構結合波能轉換構造後之結構安全分析。其分析過程則依照目前港灣構造物中，其在規劃設計時所使用之相關規範及設計準則進行。

根據分析結果顯示經過詳細之規劃及設計後，設置於防波堤上之波能轉換結構及設備，不至於對原結構造成影響。兩種型式的結構之間考慮設計條件之相容性後，於符合港灣設計規範的條件下，波能擷取系統及轉換結構不僅不至於妨害原結構之安全及其使用功能，波能擷取系統對於原結構物在安全的促進上，具有更正面的幫助，而對於原結構功能性的改善上亦具有正面之助益。

三、效能改進之實體模型試驗成果

在前階段的研究中，所建立之波浪能擷取系統為固定氣室使湧進波浪，氣室內波浪進入時之前後搖擺及上下起伏則造成空氣之震盪，再利用此震盪之氣流，經過整流及引導以推動氣旋式渦輪系統來發電。此波浪能擷取系統初步之規劃為，附設於港口外廓防波堤之外側，

但在波浪引導或集中方式上並未做任何之設計。一般為了加強或集中波浪能量，在波浪入口處均有相關之設計。本階段研究中，則在進氣口及氣流導引功能上作進一步的改善，另外在渦輪系統如葉片數量及渦輪型式上亦作了相關改善措施。

在氣流改善上，發現氣流經過導流設計後，確實能增進其氣流速度，經過波能轉換為氣流能量之換算後，波能截取率亦有提高之效果。而在葉片型式及亦翼型改善上亦有具體成果，在試驗中發現經過改善後之葉片，在較低氣流速度下亦能旋轉，尤其在有負載的情況下。而在較高波高的波浪作用下，其旋轉之穩定性亦較大。

第七章 防波堤堤頭沖蝕現象探討

本研究第五個子題主要是本所與國立中山大學李忠潘教授之合作研究計畫，本研究的目的是以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，以臺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。

7.2 防波堤堤頭侵蝕與波流場相關性研究

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。

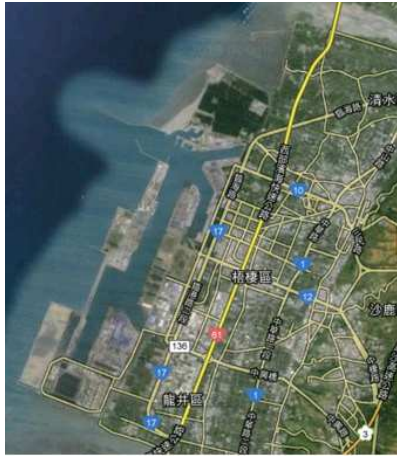


圖 7.1 臺中港海氣象觀測站

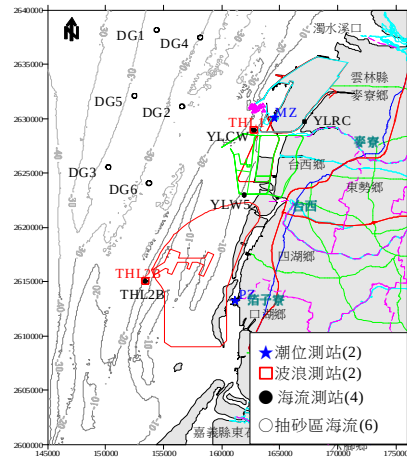


圖 7.2 雲林縣離島工業區海氣象觀測站

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，有本中心(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，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，而影響臺中、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. 臺中海域

分析本中心 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. 臺中海域

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. 臺中海域

臺中海域屬於半日潮，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，有本中心的臺中港潮位資料，臺中港的潮位紀錄為 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。在臺中港的紀錄中，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. 臺中海域

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 m³。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 m³。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臺灣二度分帶 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。

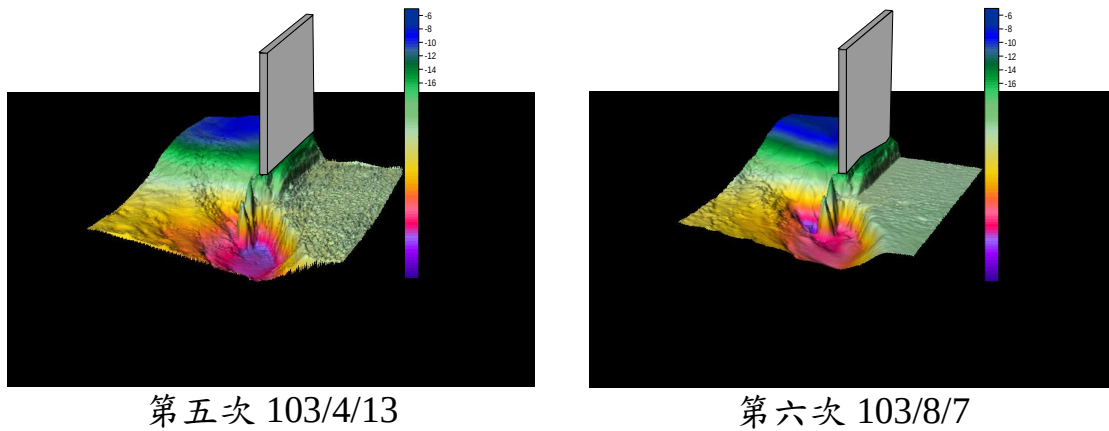


圖 7.3 麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量三維立體色階圖

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。

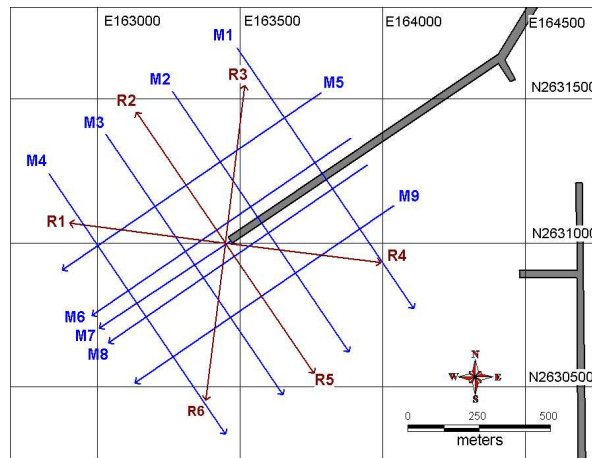


圖 7.4 麥寮工業港堤頭水深測量斷面位置圖

(4) 地形侵淤變化比較(試算面積：1,181,100m²)

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 420,627m³，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 462,706m³，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 649,855m³，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 255,407m³，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 700,481m³，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。

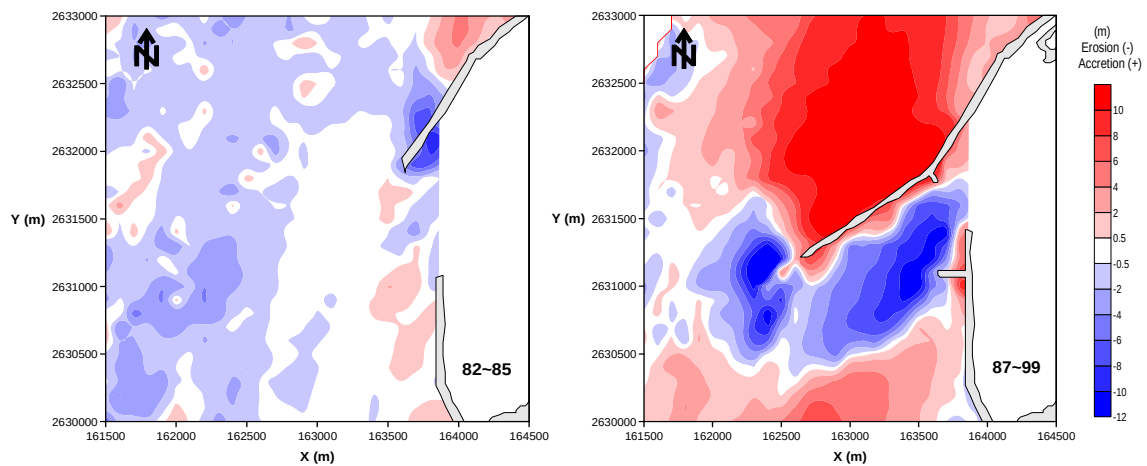


圖 7.5 麥寮港西防波堤海域實測地形侵淤變化 (82~99 年)

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 (X, Y)	形心位置 (X, Y)	心堤距 (m)	沖刷 截面積 (m ²)	沖刷 體積 (m ³)	最大沖刷 深度 (m)	平均沖刷 (m)
90	162601, 2631186	162488, 2631095	145	1800	63944	36.36	36
91	162601, 2631186	162456, 2631163	147	33900	1240470	39.16	37
92	162601,	162403,	228	52900	1979967	40.36	37

	2631186	2631073					
93	162601, 2631186	162395, 2631097	224	75200	2832137	42.08	38
94	162601, 2631186	162406, 2631135	202	75200	2869033	43.38	38
95	162601, 2631186	162381, 2631339	268	100900	3914629	44.53	39
96	162601, 2631186	162417, 2631259	198	197300	7868464	47.45	40
97	162601, 2631186	162388, 2631225	217	128400	4863288	42.94	38
98	162601, 2631186	162378, 2631080	247	125100	4686380	42.25	37
99	162601, 2631186	162349, 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)：

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - \delta v_s) \quad (7.4-7)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + f_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - \delta w_s) \quad (7.4-8)$$

3. 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，其底質淘刷模式的物理特性包括：(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)。動床底質包括泥沙種類 (code SSNAME)、泥沙粒徑 (code SSDIA)、泥沙粒子密度 (code RHFSS 泥沙典型密度值為 2.65 g/cm³)、臨界希爾茲數 (code SSCRT 預設值為 0.05)、阻力係數 (code SSDFCD，預設值為 0.5)、摻混係數 (code SSSEDTRF)、底床載係數 (code SSBDF，預設值為 8) 和休息角 (code SSANG，預設值為 30) 等。FLOW-3D 希爾茲數的預設值 SSCRT=0.05，但對於不穩定的底床，輸沙較容易被流場摻混夾帶，可藉由修改臨界希爾茲數(critical Shields Number) 以計算斜波底床的效應。

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 防波堤鄰近海域流場數值模擬

數值模擬流程概略分為前處理、數值求解及後處理三個階段。前處理階段：選定適當的控制模組，確立初始條件及邊界條件，劃分計算網格與生成計算節點。數值求解階段：導入離散方程，設定求解控制參數，求解離散方程，判斷求解是否收斂，若還未收斂，調整控制參數再導入離散方程；若已收斂，則以後處理展示和輸出計算結果。

7.4.2.1 防波堤堤頭流場計算範圍及水深地形

麥寮工業港流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 $1.5 \text{ km} \times 1.5 \text{ km}$ ，底床邊界採用附近海域實測地形資料，如圖 7.6 所示。根據網格獨立性測試結果，水平網格 $x = y = 10 \text{ m}$ ，垂直水層網格 $z = 1 \text{ m}$ 。

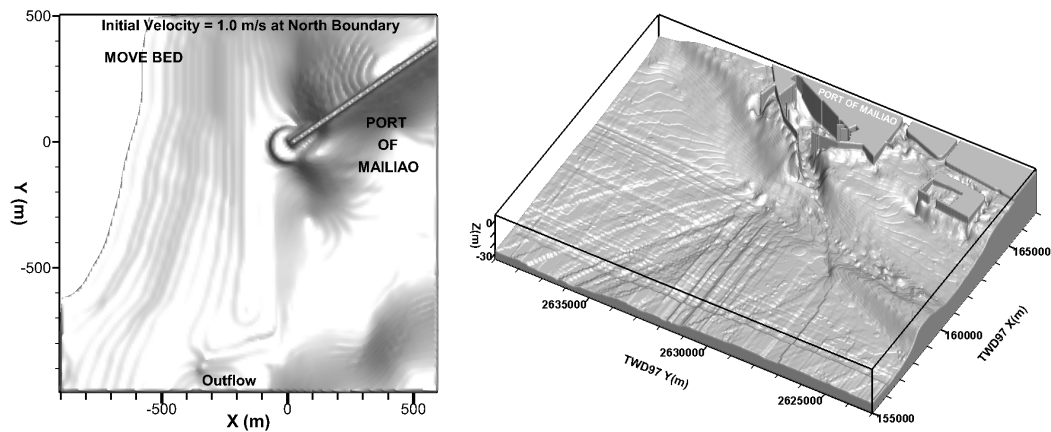


圖 7.6 麥寮工業港波場數值模擬海域範圍示意圖

7.4.2.2 流場向量分布時序變化

流場數值模擬的流場向量分布時序變化是檢視流場結果合理性最直接的現象，麥寮工業港北側海域設定為流場上流邊界，初始流速設定 1.0 m/s ，流場向量分布時序變化如圖 7.7 所示。在此模擬中，流場中的南流因為西防波堤結構物的遮擋，因而沿著堤頭繞射的帶狀流在堤後南側的遮蔽海域產生渦流，而南向的帶狀流也因地形的淺化折向東南。由本模擬的流場時序變化觀察，顯示本防波堤對於南向的潮流遮蔽效果良好。

麥寮工業港南側海域設定為流場上流邊界，初始流速設定 1.0 m/s ，流場向量分布時序變化如圖 7.8 所示。在此模擬中，流場中的北流因為西防波堤結構物的遮擋，因而沿著堤頭繞射的帶狀流在堤後北側的遮蔽海域產生渦流，而北向的帶狀流也因地形的淺化折向西北。

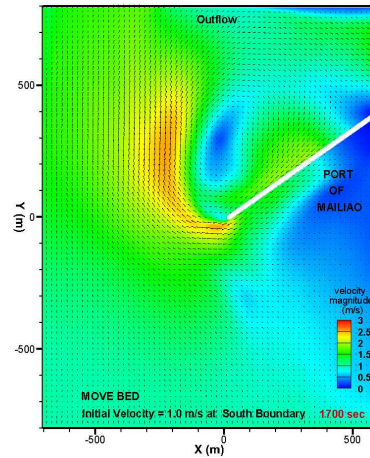
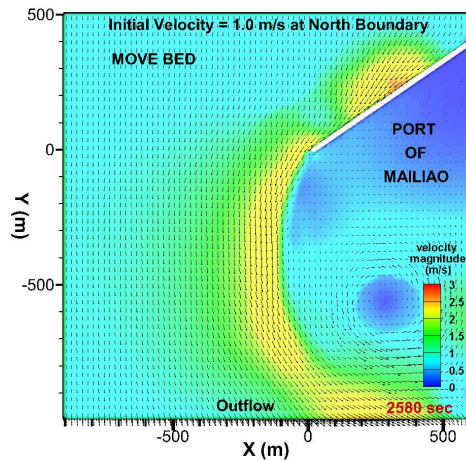


圖 7.7 南流第 2580sec 流場分布 圖 7.8 北流第 1700sec 流場分布

為進一步了解流場垂直流況的變化，南北流場分別於防波堤頭上下游擷取垂直剖面圖分析，如圖 7.9 及圖 7.10 所示，橫軸表示堤頭東西向距離，堤頭座標 $[0, 0]$ 。南北流場垂直剖面底床邊界層上方均呈現垂直渦流現象，說明了因為防波堤結構物的遮蔽攔截繞射，部分轉為西向的離岸帶狀流並引發了渦流淘刷的水動力機制。

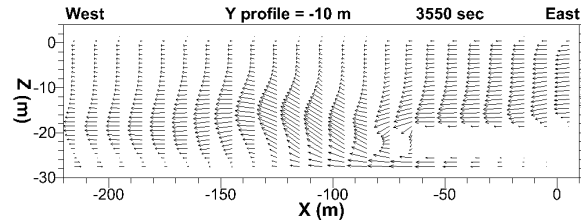


圖 7.9 南流剖面 $Y=-10\text{m}$ 流場分布

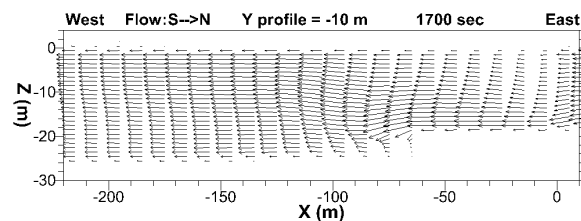


圖 7.10 北流剖面 $Y=-10\text{m}$ 流場分布

在垂直分層流速 u 、 v 、 w 之變化分析討論將進一步為了潮流通過防波堤時的水動力行為，是否導致堤頭附近海域底床大幅侵淤變化，因此必須進一步對流場數值計算結果的底床流向流速加以分析，從流場全域海床層流向流速變化的了解。

一、防波堤堤頭附近海域垂直分層流速 u 、 v 、 w 之變化

觀測麥寮工業港防波堤堤頭附近海域海床底層固定於同一時間同位層流速 u 變化可以了解流場東西向分層流速分布與變化，如圖 7.11 及圖 7.12 所示，接近堤頭的繞射水流最大西向流速 u 出現於淨水位 -15 m 之同位層，最大可達 -3 m/s，如圖 7.12 所示，西南方向因南向的帶狀流影響產生微幅的東向流速 u 約為 0.25 m/s，可見於各分層。

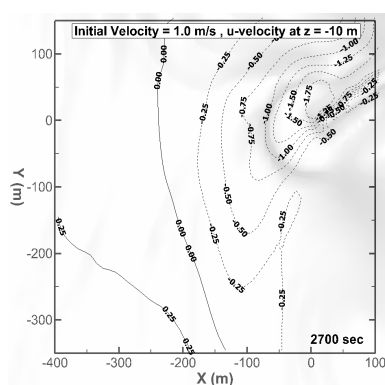


圖 7.11 南流水位-10 m 流速 u 分布

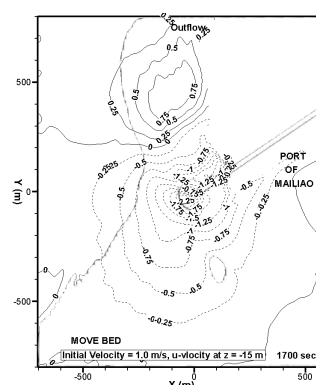


圖 7.12 北流水位-15 m 流速 u 分布

觀測麥寮工業港防波堤堤頭附近海域海床底層固定於同一時間同位層流速 v 變化可以了解流場南北向分層流速分布與變化，如圖 7.13 至圖 7.14 所示，帶狀流的位置與範圍趨於穩定，最大南北流速 v 可達 -2.2 m/s。

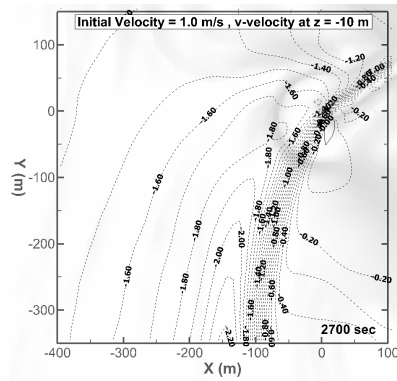


圖 7.13 南流水位-10 m 流速 v 分布

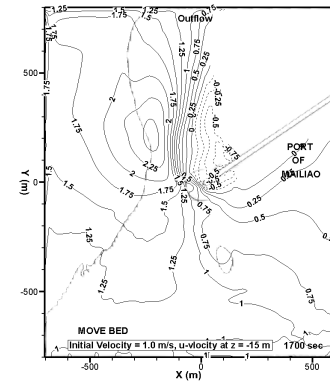


圖 7.14 北流水位-15 m 流速 v 分布

南流愈接近底床邊界層(XY 平面)，渦流愈明顯，顯示水平渦流的存在與底床地形存在密切關係，如圖 7.15 至圖 7.16 所示。底床的邊界層水位 -26 m，防波堤遮蔽的離岸流與南向的波列因為海底地形的隆起淺化，匯集的流速向量 ($\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$) 明顯展示水平渦流的存在，如圖 7.17 所示。

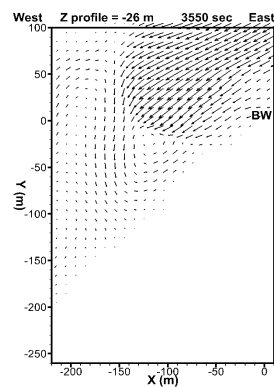


圖 7.15 北流水位-26 m 流場向量分布

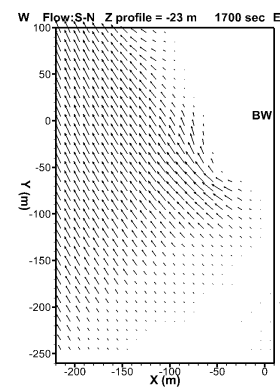


圖 7.16 北流水位-23 m 流場向量分布

三、防波堤頭附近潮流場流速變化與分布

以本計畫 2014 年所施測，麥寮工業港海域自計式潮波流儀 ML 測站之潮位紀錄為邊界水位條件，輸入建置的數值模型，用以模擬麥寮工業港附近海域漲退潮的流況，擷選部分計算結果如圖 7.17 所示。分就各潮段的流場情況討論如下：

1. 麥寮工業港低潮階段

低潮位的流場在麥寮工業港外海形成低流速區域，均勻的流場向量向北，顯示了潮水已經開始轉折進入漲潮階段。

2. 麥寮工業港漲潮階段

此海域的漲潮段主要潮流流向為北向，以麥寮工業港西防波堤堤頭為起點，向北形成高流速的帶狀區域，此區域流速多超過 1.25m/sec，南北長幅約 3~4km、東西寬幅 1.5~2km，受防波堤外形作用，堤頭處流向為西北至北北西之間，向北則漸向東向偏轉，因此於西防波堤北側產生順時鐘旋轉型渦流。

3. 麥寮工業港高潮階段

潮位已經開始緩降，開始轉折進入退潮階段，防波堤南側遮蔽海域產生微弱的逆時鐘旋轉型渦流。

4. 麥寮工業港退潮階段

邊界的水位變化時序進入退潮段後，整體流向由北轉為南向，高流速的區域自北方邊界向南移動，大約穩定於麥寮工業港外西方至西北西方海域。靠近西防波堤側，以堤頭為起點存在向南延伸的帶狀高流速系統，流向為南至南南東之間。

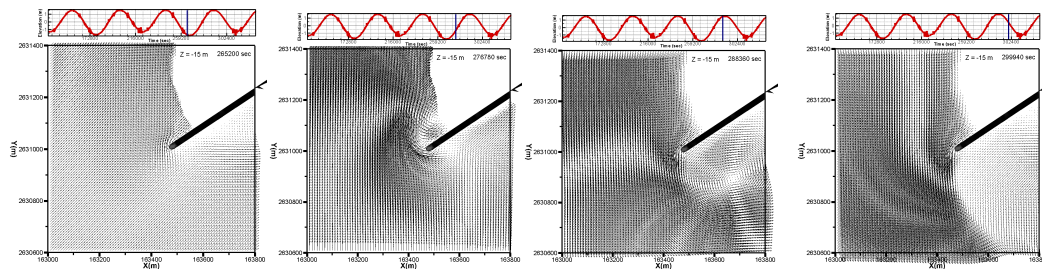


圖 7.17 漲、高、退與低潮各階段流場向量分布圖

四、防波堤頭附近潮流場底床載浸淤變化與分布

動床數值模擬的目的在於獲得底床高程的浸淤變化，本次潮流模擬計算結果顯示淘刷區浸淤變化率介於 ± 5 mm/hr，如圖 7.21 所示，淘刷區位置約於防波堤堤頭西南方向，與現場觀測大致符合。運用 FLOW-3D 淘刷模式計算模擬潮流的淘刷臨界條件、時間尺度與懸移質的傳輸量等問題尚須繼續進一步深入的研究和探討。

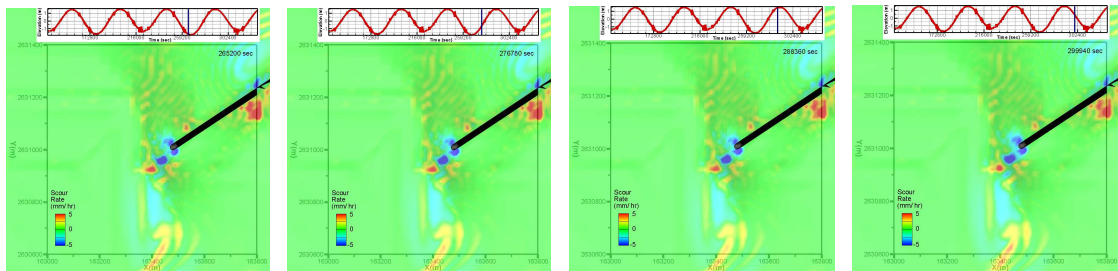


圖 7.18 漲、高、退與低潮各階段潮流場底床載高程淨變化圖

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，100 m 內之最大刷深水深為 -46 m，以 1:3.5 之坡度而言，至堤址水深 -26 m 約有 70 m 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 30 m，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 m、寬 25 m、深 1 m，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 m、高 1

m (如圖 7.19 所示)。平面水槽備有兩部 125 HP 之水渦輪機 (如圖 7.20 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 7.19 活塞式造波機



圖 7.20 造流水渦輪機

2. 流速計

本試驗使用三維超音波都普勒流速儀，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，可量測三維方向，量測流速範圍為 ± 250 cm/sec，精確度為所選定量測範圍之 $\pm 2\%$ ，反應頻率可選擇為 0.1 ~ 25 Hz。於試驗進行時測量防波堤堤頭的流速變化狀態，用比對流場對於底床的影響量。

3. 三維超音波都普勒流速資料擷取系統

利用登昌恆興業股份有限公司生產之 UT300 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。

4. 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 7.21。

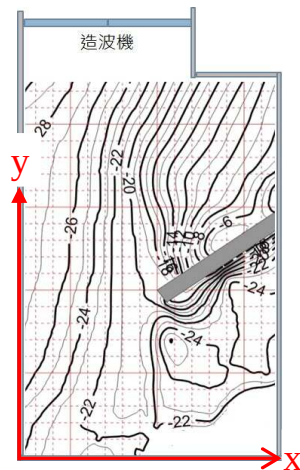


圖 7.21 地形模型鋪設圖

2. 潮位條件

季風浪造波時，試驗設計潮位採用平均潮位 (+0.35 m)進行。

3. 潮流條件

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。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。

4. 試驗比尺

本試驗模型比尺在流場量測時預定採用長度比尺(λ)為 1/100，由長度比尺換算其他物理量之縮尺比如表 7.3 所示。

表 7.3 流場試驗模型各物理量之縮尺比

物 理 量	縮 尺 比
長 度	$\lambda = 1/100,$
時 間	$\lambda_t = 1/\sqrt{100} = 1/10$
速 度	$\lambda_v = 1/\sqrt{100} = 1/10$
密 度	$\lambda_\rho = 1/1$

7.5.3 試驗模型佈置與試驗步驟

試驗模型底床佈置 (如圖 7.22)。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 7.22 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 cm 為 Z 軸 0 點，此時水槽水深 h 為 50.35 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. 流場量測

A. 流速量測點位

在試驗區內架設流速儀，觀測潮流作用下防波堤堤頭處之流場，探討深水沉箱堤附近水域之流況特性。試驗佈置之流速儀量測點如圖 7.23 所示。

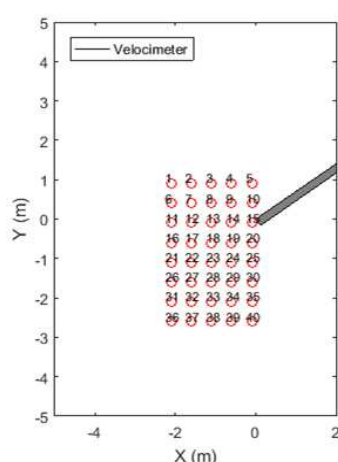


圖 7.23 流速量測點示意圖

B. 堤頭附近流場分布

N 往 S 流向試驗結果顯示 N 往 S 之潮流作用於麥寮西三防坡堤後在堤頭北側區域受地形影響，流向沿著等深線轉往南南西，趨勢上與現場實際流況吻合，此處流速大致相當穩定；以各點位平均流速繪製平面流場強度， $z = -10\text{ cm}$ 流場如圖 7.24， $z = -15\text{ cm}$ 流場如

圖 7.25，鄰近堤頭區域受到深水沉箱堤影響產生往西南之束縮流，因此堤頭附近測點均有較大之往西流速，造成此區域總流速有增大之現象，較外海之測點則受此束縮流影響較少；而在堤頭南側之鄰近區域受到防坡堤之作用有流速近乎為零之遮蔽區。

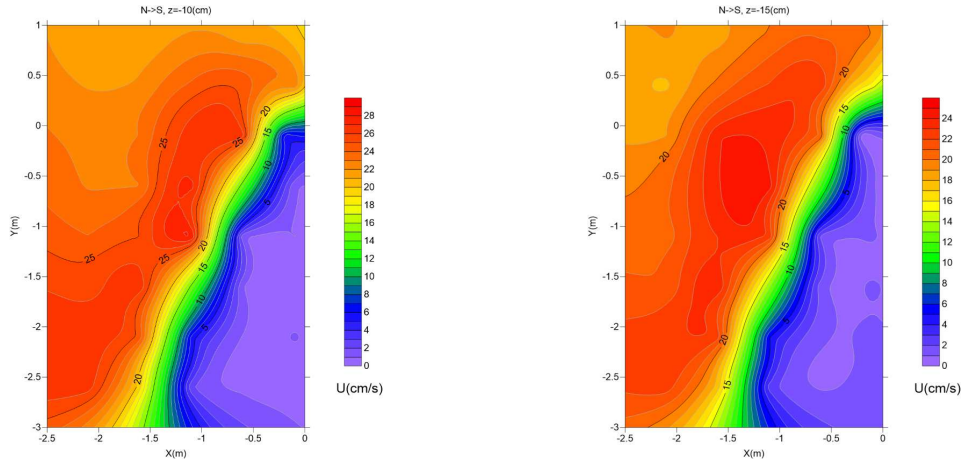


圖 7.24 N S 之 $z = -10$ cm 平面流場 圖 7.25 N S 之 $z = -15$ cm 平面流場圖

S 往 N 流向試驗結果顯示麥寮西三防坡堤頭鄰近區域受結構物及地形影響，流向沿著等深線轉往北北西，防波堤南側因航道浚深坡度平緩，流速大致穩定，鄰近堤頭區域因防坡堤之阻攔而有流速增大現象，防波堤東北側受遮蔽作用流速減小；以各點位平均流速繪製平面流場強度， $z = -10$ cm 流場如圖 7.26 所示， $z = -15$ cm 流場如圖 7.27 所示。

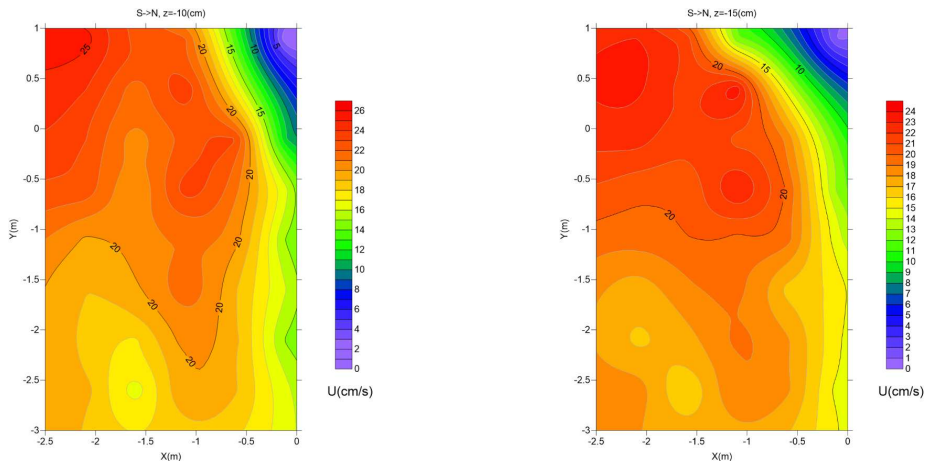


圖 7.26 SN 之 $z = -10$ cm 平面流場 圖 7.27 SN 之 $z = -15$ cm 平面流場圖

就量測結果可將 N 往 S 各測點之流速型態分為圖 7.28 所示之藍色三角區域為受防坡堤影響之束縮流與外海側流場共同作用之區域，此時除了水平流速 u 、 v 有震盪現象外，垂向速度 w 亦出現非為零之震盪；而當流向為 S 往 N 時，如圖 7.29 中堤頭附近藍色區域同樣存在局部流速較大之現象，因此推估為潮流及防坡堤引致之渦流在此區產生垂向之流速將底質帶離海床後，由海流或波浪產生之沿岸流帶離此區，遂造成此掏刷之現象。

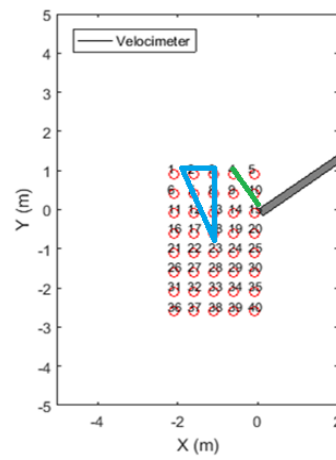
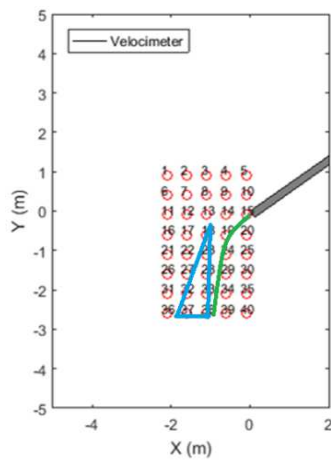


圖 7.28 SN 區域流場之型態圖 圖 7.29 SN 區域流場之型態圖

3. 流場可視化

由前述之三維流速量測可知 S 向或 N 向之流場分別在堤頭西南側或西側形成局部流速增大之區域，又以 N 往 S 流向時增加幅度較大，故選擇此流向以三種顏色染劑佈放於水體表面進行觀察，紅色佈放於 $(x = 0 \text{ m}, y = 1 \text{ m})$ ，黑色佈放於 $(x = 0.5 \text{ m}, y = 1 \text{ m})$ ，藍色佈放於 $(x = 1 \text{ m}, y = 1 \text{ m})$ ，每張照片間格 1 秒，由左而右由上而下排列如圖 7.30，圖中可見紅色染劑之表面流線由保護工之外側通過，水深變化緩和且相對較深，流速較大且穩定，黑色染劑流線流速較紅色慢，在堤頭西側流經保護工時偶有南北擺動現象，顯示受到保護工及地形由淺變深的影響，而帖近防坡堤之藍色染劑顯示其流速最慢，其擴散幅寬最大亦可佐證，在堤頭西南側與部分黑色染劑交匯，與流速量測結果顯示此區有較大流速相符。



圖 7.30 流向 N 往 S 表面流場可視化

4. 潮流作用下防波堤堤頭附近地形變化

流向 N 往 S 潮流作用 2 小時後如圖 7.31，入流側持續侵蝕，堤頭西側之沖蝕區漸漸往南發展，而原外海側之淤積區域縮減，潮流作用 3 小時後如圖 7.32，堤頭西側流速較大之沖蝕區域發展至堤頭西南側，約位於堤頭西至西南方 50~100m 範圍，與實測之沖蝕區域相符。

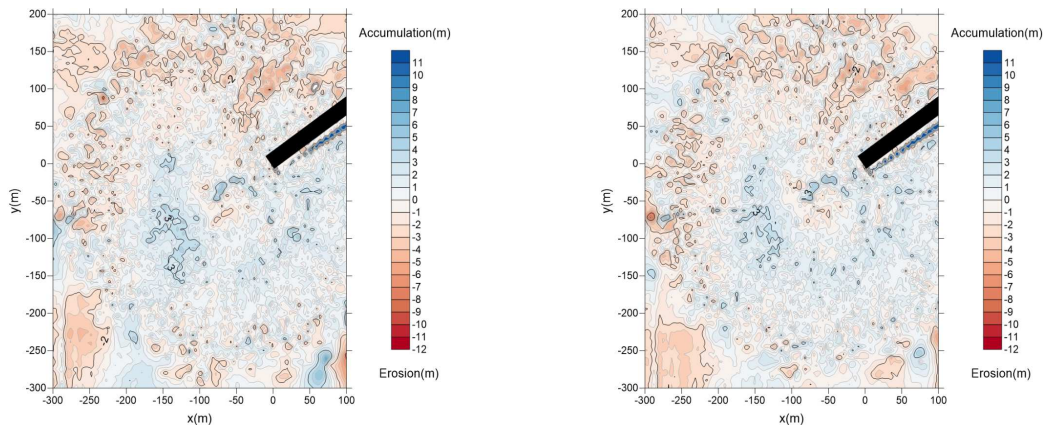


圖 7.31 NS 作用 2 小時後地形變化 圖 7.32 NS 作用 3 小時後地形變化

流向 S 往 N 潮流作用 2 小時後如圖 7.33，防坡堤東南方堤基處持續淤積，堤頭南側及南南西之鄰近區域漸漸出現沿著流向的侵蝕現象，潮流作用 3 小時後如圖 7.34，堤頭南側距離約 100~150m 形成由南往北北西之沖蝕區域，另在堤頭西偏北側距離約 100m 處亦形成一侵蝕區，堤頭北側地形水深較淺，因此流向主要朝向堤頭之西北方。

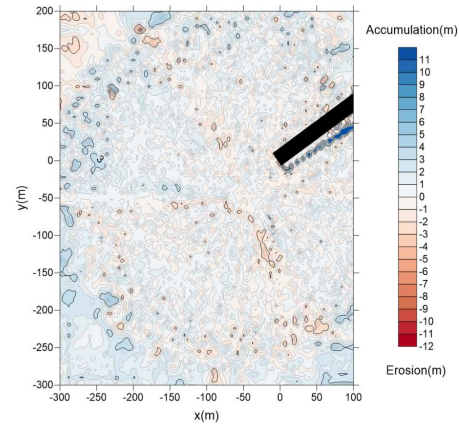
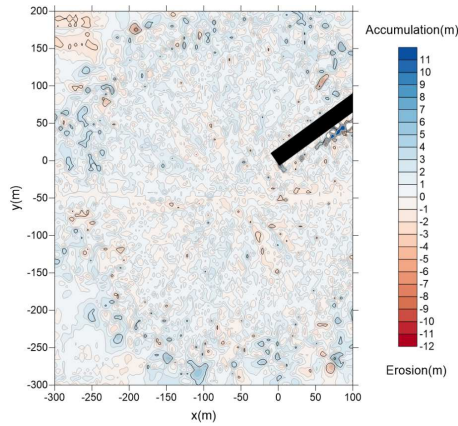


圖 7.33 SN 作用 2 小時後地形變化 圖 7.34 SN 作用 3 小時後地形變化

深水防波堤之堤腳受波浪影響較小，實際考量時以海流流速為主，考量堤址保護工目前僅 30m，使用 6 個地工沙管包覆堤頭以擴大保護堤址長度範圍至 55m 如圖 7.35 所示，每個沙腸袋長度為 1m，寬度 10cm，重 13kg，堤頭佈置地工沙管後，流向 N 往 S 作用 1 小時之地形變化如圖 7.36 所示。



圖 7.35 地工沙管佈置圖

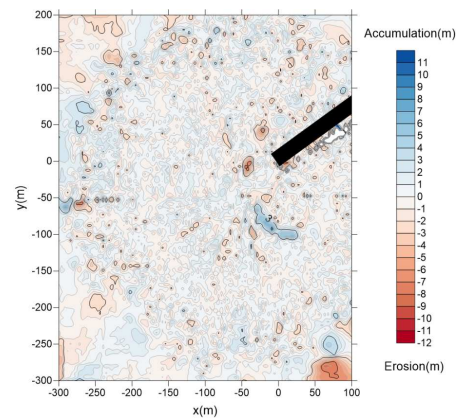


圖 7.36 佈置沙腸袋流向 NS 作用 1 小時之地形變化

實驗結果顯示在佈設地工沙管後，堤頭北側及西側臨近地工沙管之區域出現侵蝕現象，而在地工沙管下游側則呈現圓弧形之淤積帶，顯示此佈置可改善堤頭附近之流場，使其較為平滑的繞過堤頭區域，減少堤頭西南側的流速集中現象，然而因佈置地工沙管後增

加了保護工的寬度，其外側與海床之坡度將少許增加，故在局部亦將成為新的堤址沖刷作用區，如圖 7.37 中堤頭北側與西側之兩個小沖刷區，但在現階段難以改變堤線的狀況下為了保護堤址的安全仍是考慮採行的工法。

麥寮港自完成西防坡堤後，堤頭沖蝕坑逐漸浮現，已有危及防坡堤安全的疑慮，然而因該處水深及海床坡度因素較難進行現場實測，參考衛星遙測資料之 2013 年冬季(DOY321) R-NIR 指數影像 (黃祥麟，2016) 如圖 7.38，可以發現本區漂沙優勢方向為北往南，在東北季風吹拂下靠近堤頭之流場以逆時鐘方向前進，繞過堤頭後在港池開口處形成渦漩，而在離堤頭較遠處則是以順時鐘方向前進後，在外海側形成渦漩，在港池開口處共同組成心型或石滬之型態，在堤頭西側之兩道灰色流線間存在一黑色區，因東側灰色流線為逆時鐘而西側為順時鐘前進，此即顯示中間存在一較快速之流場，其方向為垂直堤線往南南西前進，該區與實測沖刷之區域一致。



圖 7.38 2013 年冬季(DOY321) 之 R-NIR 指數影像(黃祥麟，2016)

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，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	初始流速	相對護基寬度	模擬現象
1	動床	無沖刷洞	1.0 m/s	原始護基	N-S 流場

2	動床	無沖刷洞	1.0 m/s	原始護基	S-N 流場
3	動床	無沖刷洞	1.0 m/s	1.5 倍護基	S-N 流場

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	初始流速	相對護基寬度	觀測現象
1	動床	無沖刷洞	1.0 m/s	原始護基	N-S 流場
2	動床	無沖刷洞	1.0 m/s	原始護基	S-N 流場

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 7.39 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 7.39 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

N 往 S 流向之防波堤頭附近各點位 $z = -15\text{ m}$ 流速 u 、 v 、 w 時序變化試驗與數值比較，其中數值計算流速 u 以圍繞堤頭北側之 site 10、site 05 及 site 09 最大，分別為 $u = -2.859\text{ m/s}$ 、 $u = -2.575\text{ m/s}$ 及 $u = -2.299\text{ m/s}$ 。數值計算流速 v 以遠離堤頭之 site 37、site 32 及 site 23 最大，分別為 $v = -2.476\text{ m/s}$ 、 $u = 2.415\text{ m/s}$ 及 $u = 2.337\text{ m/s}$ 。數值計算流速 w 則以 site 01、site 02 及 site 04 最大，分別為 $w = 0.241\text{ m/s}$ 、 $w = 0.222\text{ m/s}$ 及 $w = 0.215\text{ m/s}$ 。流場各測量點比較結果顯示試驗與數值趨勢趨近吻合一致。

S 往 N 流向之防波堤頭附近各點位 $z = -15\text{ m}$ 流速 u 、 v 、 w 時序變化試驗與數值比較，其中數值計算流速 u 以圍繞堤頭附近之 site 14、site 19 及 site 20 最大，分別為 $u = -2.45\text{ m/s}$ 、 $u = -2.14\text{ m/s}$ 及 $u = -2.13\text{ m/s}$ 。數值計算流速 v 以遠離堤頭之 site 2、site 1 及 site 7 最大，分別為 $v = -2.56\text{ m/s}$ 、 $u = 2.55\text{ m/s}$ 及 $u = 2.44\text{ m/s}$ 。數值計算流速 w 則以 site 19、site 37 及 site 24 最大，分別為 $w = -0.099\text{ m/s}$ 、 $w = -0.074\text{ m/s}$ 及 $w = -0.069\text{ m/s}$ 。流場各測量點比較結果顯示試驗與數值趨勢趨近吻合一致。

4. 防制工法原始護基與加寬護基之數值計算結果比對

為瞭解原始護基與 1.5 倍護基對於流場的作用，初步針對流場流速 u 、 v 、 w 等 3 個項目的比對。因為防波堤護基的加寬，site 13、

site 14、site 15、 site 19 與 site 20 更接近結構體，落在加寬護基後更大範圍的邊緣繞射流區內，導致原始護基與加寬護基後流場流速 u 、 v 或增加或減小，呈現流場結構物流固耦合的紊流渦漩現象。

7.7 小結

針對海域地形測量結果及堤頭沖蝕特性分析，先前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。

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。

本計畫探討潮流作用下臺中港堤頭侵蝕機制，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。

臺中港純造波條件分別針對 50 年週期颱風波浪、夏季波浪與冬季波浪進行造波，將不同造波條件下所量測得堤頭附近流場結果顯示在 50 年颱風波浪(Case I)作用下，堤頭附近完整週期作用下平均流速範圍落在 1.62~6.24cm/s 間；在夏季平均波浪與最大波浪作用下平均流速分別落在 0.09~0.65cm/s 與 0.62~2.12cm/s；在冬季平均波浪與最大波浪作用下平均流速分別落在 0.27~1.05cm/s 與 0.21~2.78cm/s。麥寮港純造波條件分別針對 50 年週期颱風波浪、夏季波浪與冬季波浪進行造波，將不同造波條件下所量測得堤頭附近流場結果顯示在堤後稍有淤積，距堤頭約 200m 處輕微侵蝕，但整體來說地形侵淤變化不大，堤基相當安定。臺中港及麥寮港的作用分別以不同造波條件下進行試驗，得知結果波浪引起的流速對堤頭海底地形變化影響並不大。

臺中港 N 往 S 流況在平均流速值量測上，堤頭觀察點位各階層流速值高達 1.5~2.0 倍之出口端流速，最大流速達約 3 倍的出口端流速，N 往 S 向量測到的流速皆大於 S 往 N 向所量測到的，實驗中觀察到在 N 往 S 向流時，受堤頭作用下附近流速偏大，而流速偏大的地方為堤頭西方與實際量測到沖刷坑的位置相當接近在 S 往 N 向出口端流速與主要觀察點位流速值相較下相近(約 1.0 倍)，出口端與堤頭流速在平均流速及最大流速量測結果值較為接近，S 往 N 流向對堤頭的作用較不明顯，圖中所呈現的流速較大的方位在堤頭西北處與實測沖刷坑位置較不相符。麥寮港流向 N 往 S 時堤頭西側呈現侵蝕，而流向 S 往 N 時侵蝕出現在堤頭南南西方向，顯示防坡堤頭西至南南西方約 50~150m

範圍存在沖刷現象，與實測掏刷之位置與型態大致一致。臺中港及麥寮港的作用分別以不同造流條件下進行水工試驗，各堤頭附近依不同流向的條件下都有明顯侵蝕現象與實測地形比對大至符合，不排除為流導致形成。

在數值模擬部分，進行臺中港與麥寮工業港波場數值模擬，臺中港範圍 $4.3 \text{ km} \times 3.8 \text{ km}$ ，麥寮工業港計算範圍 $2.3 \text{ km} \times 2.6 \text{ km}$ ，其底床邊界均採用附近海域實測地形資料，海象條件包括 50 年期颱風、夏季平均、夏季最大、冬季平均及冬季最大等，以西防波堤堤頭為原點，造波邊界設定包括：北側、西北側、西側、西南側與南側等五個方向，模擬時間以成熟波完成傳遞計算海域為考量，統計模擬結果之波高、波速、最大水分子速度及波場底床邊界層流速等，評估對掏刷區的影響程度，臺中港與麥寮工業港均選擇以北向入射波做為後續動床模擬案例。

臺中港與麥寮工業港工業港防波堤堤頭附近海域進行三維動床波流場數值模擬的結果分析，堤頭附近海床的掏刷機制包括波浪引發的流場伴隨南北向的漲退潮流以及陡峭淺化的海底地形所共同形成。前進波列在防波堤結構物遮蔽的前方積聚的水動力能量折向深海方向(西向)的帶狀離岸流，而與南向的前進波列混合深化了海床邊界層上方的紊流機制。

掏刷區因為紊流機制啟動的懸浮載隨著漲退潮流而搬離，若沒有沙源的填補，掏刷區持續擴大將威脅防波堤結構體的穩定，加寬防波堤護基保護工或許是比較經濟和保守的防制工法，而根本之道在於消除掏刷區底床邊界層的紊流機制，必須先讓西向的離岸流不再發生，也就是防波堤堤頭不可以是波流場中遮蔽攔截繞射的角色，也許一項從防波堤堤頭延伸與潮流前進波列等平行的海堤工程是可以列為考慮的防制工法。

利用 FLOW-3D 針對臺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。

第八章 結論與建議

本研究主要目的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。其重點為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，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. 目前架設有本島 17 處及外島 7 處，共計 24 處的船舶自動識別系統接收站，依據本研究實際運作與分析，考量部分接收站架設位置不佳及颱風天停電、網路不通等各站因素；本島部分規劃設置石門、南寮、新埔及新社共 4 座接收站；而離島部分，亦規劃於金門縣烏坵嶼燈塔設置 1 座接收站。
2. 將電子海圖系統平台重新升級，升級內容包括重新編譯 Python 程式語言滿足系統硬體 Windows 8(含以上)平台需求、重新編譯 PYGTK 圖形使用者介面配合系統硬體 Windows 8(含以上)平台執行需求、更新 glib 函式庫滿足系統程式架構規劃，進行整合海洋資訊、技術和電子海圖資料庫，以建置一更加完善的電子海圖系統。
3. 本研究彙整臺中港、臺北港、基隆港、花蓮港、高雄港、蘇澳港、安平港與布袋港各港船舶減速查核資料與其資料進行分析，無各港務公司港棧系統船舶進出港資料比對，無法區別漁船載具(具備 AIS 功能之固定型漁網)，各港之部分交通客船進出頻繁，且航行速度皆符合減速條件，因此其減速符合率亦相對提高許多，且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。
4. 航路動態監測整合應用系統整合，在動態監測方面，以電子海圖、

船舶慣用航路、區域風場預報、航行警告等海域靜態環境資訊為輔，使船舶 AIS 即時船位顯示以及軌跡與動態回播都更具意義；而以探勘分析 AIS 歷史資料所得的特徵參數為依據設計的擱淺、碰撞、漂流、艏向異常、航速驟降、偏航、錨泊等自動化偵測警示功能，則是智慧化航行中心的運作核心，對於智慧化的海上交通動態管理有具體而明顯的效益。

5. 透過修法並制定《壓艙水管理辦法》，透過最適理論及立法明定之方式，將船舶壓艙水在管理上不同層面的任務及權責，分派給各個相關機關。而在管理的流程上，參考過各國的管理模式後，應建立起從港外通報、港口內抽查到建立黑名單的一系列管理方式，並由包含航港局、環保署、海巡署等權責單位分工進行，即所謂的三加一模式，並期望能透過此管理流程達到保育台灣海域環境的效果。
6. 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，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。
7. 臺中港與麥寮港工業港防波堤堤頭附近海域進行三維動床波流場數值模擬的結果分析，堤頭附近海床的淘刷機制包括波浪引發的流場伴隨南北向的漲退潮流以及陡峭淺化的海底地形所共同形成。前進波列在防波堤結構物遮蔽的前方積聚的水動力能量折向深海方向(西向)的帶狀離岸流，而與南向的前進波列混合深化了海床邊界層上方的紊流機制。

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 海浬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。國內現有法規對港區外之污染行為無約束力，且壓艙水亦尚無法明確定義為《海洋污染防治法》中的「污染物質」，目前航港局公告只需在離台灣沿岸 12 海里外交換即可，但其根據之法源尚未完善。透過對各國船舶壓艙水相關法令的分析，建議在污染標準制定及船舶交換區的部分讓環境保育專責機關介入或負責，而非僅交由船舶管理機關決定，再透過立法或修法之方式，將不同的管理權責分派給各個單位。透過修法並制定《壓艙水管理辦法》，透過最適理論及立法明定之方式，將船舶壓艙水在管理上不同層面的任務及權責，分派給各個相關機關。
3. 可再生性綠色能源應用於港灣構造之波能轉換系統，除了將波能轉換成其他能量如電能之外，並具有消能之功能；因此在應用上建議可配合消波功能，設置於波浪作用較大處如防波堤，或無防波設施之港口外廓。又系統應用於面對入射波時，將有較佳效率；但亦容易受到波浪帶來各種物質之影響，如砂石、浮木或各種於海上常見之漂流物。因此、應用時宜考慮相關之防護措施，以延長設施之使用壽命
4. 於港灣防波堤堤頭沖蝕特性方面，在佈設地工沙管後，堤頭北側及西側臨近地工沙管之區域出現侵蝕現象，而在地工沙管下游側則呈

現圓弧形之淤積帶，顯示此佈置可改善堤頭附近之流場，使其較為平滑的繞過堤頭區域，減少堤頭西南側的流速集中現象。然在現階段難以改變堤線的狀況下為了保護堤址的安全仍是可以考慮採行的工法。淘刷區因為紊流機制啟動的懸浮載隨著漲退潮流而搬離，若沒有沙源的填補，淘刷區持續擴大將威脅防波堤結構體的穩定，加寬防波堤護基保護工或許是比較經濟和保守的防制工法，而根本之道在於消除淘刷區底床邊界層的紊流機制，必須先讓西向的離岸流不再發生，也就是防波堤堤頭不可以是波流場中遮蔽攔截繞射的角色，也許一項從防波堤堤頭延伸與潮流前進波列等平行的海堤工程是可以列為考慮的防制工法。

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. 航路動態監測整合應用系統轉移至航安權責機關，並於系統說明會後，針對航安權責機關之意見，進行系統修正。後續本所亦可針對其自動化偵測警示功能之統計功能及船舶溫室氣體估算量，進行相關研究分析。
3. 調查壓艙水國際公約發展現狀與國際法制及其實踐情形，提出壓艙水管理法草案及各相關子法，針對《海洋污染防治法》、《商港法》及《船舶法》進行法源依據之修正，以提供我國管理船舶壓艙水適合具體修法建議。後續 2017 年 9 月 8 日公約正式生效後，各權責機關之作為，需再進行相關研究分析，以利我國管理船舶壓艙水之推動。
4. 波能轉換系統除了將波能轉換成電能之外，另外具有消能之功用，但目前之研究成果僅止於水槽試驗室之模型試驗階段，後續各港務

分公司或顧問公司可藉由本研究之試驗數據，進行全尺寸模型現地試驗，配合消波功能，設置於波浪作用較大處如防波堤，或無防波設施之港口外廓防波堤上，加速達成臺灣建構綠色港灣及節能減碳等政策目標。

5. 防波堤堤頭沖淤現象探討研究，未來各港務分公司若採行所研擬防制工法，對於淘刷區的改善與防制效果仍需進行現場調查，以取得更精確的地形高程變化率比對確認，有利推動海岸災害科技發展，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. 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.
2. 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
3. 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
4. IMO MSC.202 (81), 2006, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety Of Life At Sea, 1974, as Amended.
5. IMO MSC.211 (81), 2006, Arrangements for the Timely Establishment of the Long-Range Identification and Tracking System
6. IMO Resolution MSC.242 (83), 2007, Use of the Long-range Identification and Tracking Information for Maritime Safety and Marine Environment Protection Purposes
7. IMO MSC.263 (84), 2008, Revised Performance Standards and Functional Requirements for the Long-Range Identification and Tracking of ships.
8. IMO MSC.264 (84), 2008, Establishment of the International LRIT Data Exchange on an Interim Basis
9. IMO Resolution MSC.275 (85), 2008, Appointment of the LRIT Coordinator

10. IMO Resolution MSC.276 (85), 2008, Operation of the International LRIT Data Exchange on an Interim Basis
11. IMO MSC.1/Circ.1259, 2008, Interim Revised Technical Specifications for the LRIT System.
12. IMO MSC.1/Circ.1294, 2008, Long-Range Identification and Tracking System Technical Documentation (Part II)
13. IMO MSC.1/Circ.1299, 2008, Transitional Arrangements and Measures for Accelerating the Completion of the Establishment of the LRIT System
14. IMO MSC.1/Circ.1307, 2009, Guidance on the Survey and Certification of Compliance of Ships with the Requirement to Transmit LRIT Information
15. IMO MSC.1/Circ.1308, 2009, Guidance to Search and Rescue Services in Relation to Requesting and Receiving LRIT Information
16. 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.
17. IMO, LRIT Data Distribution Plan Accessing and Entering Information- Guidance Notes for Contracting Governments.
18. IHO M-4, Regulations of the IHO for International (INT) Charts and Chart Specifications of the IHO, 3rd Edition
19. Maritime Safety Committee, “International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS),” International Maritime Organization, 1974..
20. 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
21. 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
22. 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

23. Sebastien Fournier, 2005, A multiagent system for maritime navigation simulation, Proceedings of Oceans-Europe2005, pp.223-225.
24. 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.
25. 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
26. 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 年。
27. 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 年。
28. 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 年。
29. 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 年。
30. 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 年。
31. 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 年。
32. 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 年。
33. 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 年。
34. 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 年。
35. 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 年。
36. 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 年。

37. 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 年。
38. 邱永芳、張富東、張淑淨、簡曉芸(2008)，「資料庫管理系統在電子海圖上之應用」，*RITI Technology Inc*。
39. 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。
40. 李錫堤、鄭錦桐、廖啟雯、林書毅，「地理資訊系統導論」。