

111-020-7D04

MOTC-IOT-110-H2CB001k

船舶特高頻資料交換與航行 風險評估之技術發展



交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

111-020-7D04
MOTC-IOT-110-H2CB001k

船舶特高頻資料交換與航行

風險評估之技術發展

著者：張憲國、李俊穎、黃茂信、陳蔚瑋、

劉勁成、曾士瑋、曹勝傑

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展 /
張憲國, 李俊穎, 黃茂信, 陳蔚瑋, 劉勁成, 曾士
瑋, 曹勝傑著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸
研究所, 民 111.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-378-4(平裝)

1.CST: 航運管理 2.CST: 運輸安全 3.CST: 風險
管理

557.4

111000988

船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展

著 者：張憲國、李俊穎、黃茂信、陳蔚瑋、劉勁成、曾士瑋、曹勝傑

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 111 年 3 月

印 刷 者：OOOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 53 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011100153 ISBN：978-986-531-378-4 (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。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-378-4(平裝)	政府出版品統一編號 1011100153	運輸研究所出版品編號 111-020-7D04	計畫編號 MOTC-IOT-110-H2CB001k
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：李俊穎 研究人員：黃茂信、曹勝傑 聯絡電話：04-26587120 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立陽明交通大學 計畫主持人：張憲國 研究人員：劉勁成、陳蔚瑋、曾士瑋 地址：新竹市大學路 1001 號		研究期間 110 年 2 月 至 110 年 12 月
關鍵詞：自動識別系統、特高頻資料交換系統、海上事故分析、航行風險模式			
臺灣位於東北亞和東南亞交界處，往北連結日本、韓國，往南連接東南亞各國，且為東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要據點。雖然，近 20 年以來船舶自動識別系統(AIS)提供了海域內各船隻的即時資訊，然而，海上事故卻仍常造成人身安全及船舶財產嚴重損失。為降低海上事故發生的可能，本計畫主要蒐集往昔海上事故歷史資料，分析其類別與時空分布，以進一步了解其發生的熱區與風險因子。 本計畫首先蒐集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關應用與技術文件，彙整 VDES 對航運安全及海上通訊之助益，以供國內學術與港灣管理單位做參考。透過事故的成因統計與熱區分析，了解臺灣沿岸海域常發生海難事故的位置及重要成因。選擇高雄港當為案例，分析與海氣象因子有關的往昔事件，並以實測資料與數值模式，完成重點事故之情境重現並探討成因。最後，以歷史 AIS 資料初步建立高雄港的船行模擬模式，依航行安全範圍評估高雄港海域之航行風險。結果顯示兩個高風險熱區與高雄港範圍碰撞事故熱區，分析結果並無一致的現象，顯示高雄港目前透過 VTS 管理中心的管控下其海事碰撞事件於交通密集區域並無明顯較多的情況。本計畫針對海上事故的記錄提出幾項建議，期望能加強國內海事案件的資料紀錄與資訊整合。船行模擬模式配合文檔式資料庫與船行安全範圍的大數據處理方式，可應用在其他海域航道或港區，提供港務管理與規劃相關單位辦理航控與調配工作應用參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
111 年 3 月	190	300	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。
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: Document Analysis of VHF Data Exchange System and AIS-based Risk Assessment for Navigation Safety			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-378-4(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100153	IOT SERIAL NUMBER 111-020-7D04	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-110-H2CB001k
DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology DIVISION DIRECTOR: Tsai, Li-Hung PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee, Chun-Ying PROJECT STAFF: Huang, Mao-Hsing, Tsao, Sheng-Chieh PHONE: (04) 26587120 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM Feb. 2021 TO Dec. 2021
RESEARCH AGENCY: National Yang Ming Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang, Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Liou, Jin-Cheng, Chen, Wei-Wei, Zheng Shih-Wei ADDRESS: No. 1001, Daxue Rd. East Dist., Hsinchu City 300093, Taiwan			
KEY WORDS: automatic identification system ; VHF data exchange system ; marine accidents analysis ; navigation risk assessment model			
Abstract: Taiwan is located at the junction of Northeast Asia and Southeast Asia, connecting Japan and South Korea to the north and Southeast Asian countries to the south. It is not only a hub for maritime transportation between Northeast Asia and Southeast Asia but also an important base for shipping and economic trade. Although the Automatic Ship Identification System (AIS) has provided real-time information of all ships in the sea for the past 20 years, marine accidents still often cause personal safety and serious damage to the ship's property. In order to reduce the possibility of marine accidents, this project mainly collects historical data of past marine accidents and analyzes their types and temporal and spatial distribution to further understand their hot spots and risk factors. This research first collects relevant application and technical documents of domestic and foreign UHF Data Exchange System (VDES), and summarizes the benefits of VDES on shipping safety and maritime communications for reference by domestic academic and harbor management units. Through accident cause statistics and hot zone analysis, we can understand the locations and important causes of frequent maritime accidents in the coastal waters of Taiwan. Select Kaohsiung Port as a case to analyze past events related to marine meteorological factors, and reconstruct the scenarios of key accidents with measured data and numerical models to explore their causes. Finally, based on historical AIS data, a preliminary ship simulation model of the Kaohsiung Port was established to evaluate the navigation risk in the waters of the Kaohsiung Port. The results show that the two high-risk hot spots are not consistent with the analysis results of the collision accident hot spot in the Kaohsiung Port. This shows that maritime collision incidents are not significantly more in densely trafficked areas under the control of the Kaohsiung Port VTS Management Center. This research provides suggestions for the marine accidents recording, hoping to strengthen the data record and information integration of domestic maritime cases. The ship simulation model, combined with the big data processing method of the NOSQL and the ship domain method, can be applied to other routes or port, the results can be used for reference by relevant units of port management and planning in navigation control and deployment.			
DATE OF PUBLICATION March 2022	NUMBER OF PAGES 190	PRICE 300	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

目錄

中文摘要表.....	I
英文摘要表.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1-1
1.1 研究動機與目的.....	1-1
1.2 工作項目.....	1-2
1.3 文獻回顧.....	1-2
1.3.1 船舶安全管理.....	1-2
1.3.2 特高頻資料交換系統(VDES).....	1-5
1.3.3 海上事故與風險分析相關研究.....	1-6
第二章 特高頻資料交換系統之文獻蒐集與研析.....	2-1
2.1 特高頻資料交換系統(VDES)簡介.....	2-1
2.2 特高頻資料交換系統(VDES)發展現況.....	2-4
2.2.1 VDES 規範.....	2-4
2.2.2 衛星建置.....	2-5
2.3 特高頻資料交換系統(VDES)未來應用.....	2-8
第三章 主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整.....	3-1
3.1 資料來源.....	3-3
3.1.1 交通部航港局.....	3-3
3.1.2 國家運輸安全調查委員會.....	3-3
3.2 資料品管與彙整.....	3-5
3.2.1 資料彙整.....	3-5
3.2.2 資料品管.....	3-6
3.3 資料表建議.....	3-8
第四章 海上船舶事故統計與風險因子分析.....	4-1
4.1 事故統計.....	4-1
4.1.1 各失事原因統計.....	4-1
4.1.2 事故地點空間分布.....	4-5

4.2 熱區分析	4-10
4.2.1 事故原因熱區分析	4-10
4.2.2 高雄港範圍內熱區分析	4-13
4.3 風險因子分析	4-15
4.3.1 人為因子	4-16
4.3.2 海氣象因子	4-18
4.3.3 航線空間因子	4-20
4.3.4 其他因子	4-24
第五章 特定目標港海氣象數值模擬	5-1
5.1 高雄港現有事故分析	5-1
5.2 數值模式建立與驗證	5-4
5.2.1 模式建立	5-4
5.2.2 模式驗證	5-9
5.3 高雄港事故原因探討	5-13
5.4 小結	5-36
第六章 建立特定目標港海上航行風險模式	6-1
6.1 海上航行資訊相關資料處理	6-1
6.2 船舶安全範圍	6-7
6.3 模擬結果與相關分析	6-12
6.4 小結	6-16
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-2
7.3 成果效益與應用情形	7-2
參考文獻	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表	附 1-2
附錄二 期末報告審查意見處理情形表	附 2-2
附錄三 期末簡報	附 3-2
附錄四 期末報告審查會議紀錄	附 4-2

圖目錄

圖 1.3	交通部航港局 AIS 接收站點.....	1-5
圖 2.1-1	VDES 通訊鏈路.....	2-2
圖 2.1-2	VDES 頻道分配情況.....	2-3
圖 2.1-3	VDES 發展圖.....	2-3
圖 2.2-1	VDES 衛星的建置計畫.....	2-5
圖 2.2-2	NORSAT-2 衛星.....	2-6
圖 2.2-3	NORSAT-2 衛星通信速度.....	2-6
圖 2.3	日本 VDES 促進海洋數位化的方式.....	2-9
圖 3.1	海難應變通報流程.....	3-1
圖 3.2-1	海事案件統計表中所蒐集的資料時間分布.....	3-5
圖 3.2-2	資料品管後海上事故資料集的時間分布.....	3-8
圖 4.1-1	2012-2021 年海難事故船舶海難成因圓餅圖.....	4-2
圖 4.1-2	2012-2021 年海難事故死亡事件原因分析圓餅圖.....	4-3
圖 4.1-3	2012-2021 年海難事故刪除無座標之船舶海難成因圓餅圖.....	4-5
圖 4.1-4	兩船碰撞事故空間分布圖.....	4-6
圖 4.1-5	與其他物碰撞事故空間分布圖.....	4-6
圖 4.1-6	觸礁或擱淺事故空間分布圖.....	4-7
圖 4.1-7	失火或爆炸事故空間分布圖.....	4-7
圖 4.1-8	機械故障事故空間分布圖.....	4-8
圖 4.1-9	傾覆事故空間分布圖.....	4-9
圖 4.1-10	洩漏、絞網與非常變故空間分布圖.....	4-9
圖 4.1-11	其他事故空間分布圖.....	4-10
圖 4.2-1	兩船碰撞事件的熱區分析圖.....	4-11
圖 4.2-2	與其他物碰撞的熱區分析圖.....	4-12
圖 4.2-3	觸礁與擱淺的熱區分析圖.....	4-12
圖 4.2-4	高雄港範圍碰撞事故熱區分析.....	4-14
圖 4.3-1	初步規劃的四類風險因子.....	4-15
圖 4.3-2	人為因子之文字雲.....	4-17
圖 4.3-3	人為因子關鍵字出現數量.....	4-18
圖 4.3-4	海氣象因子之文字雲.....	4-19

圖 4.3-5	海氣象因子關鍵字出現數量	4-20
圖 4.3-6	高雄港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖	4-21
圖 4.3-7	基隆港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖	4-22
圖 4.3-8	臺中港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖	4-23
圖 4.3-9	花蓮港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖	4-24
圖 5.1-1	原因分析欄位中有提及「風」關鍵字的事件位置	5-1
圖 5.1-2	原因分析欄位中有提及「浪」關鍵字的事件位置	5-2
圖 5.1-3	原因分析欄位中有提及「流」關鍵字的事件位置	5-3
圖 5.2-1	風浪推算模擬範圍之地形水深	5-6
圖 5.2-2	白鹿(BAILU)颱風路徑圖	5-10
圖 5.2-3	颱風波浪示性波高及週期時序列比較	5-11
圖 5.2-4	流場模式驗證圖	5-12
圖 5.3-1	103 年 3 月 31 日陣風風速風向分布圖	5-14
圖 5.3-2	103 年 7 月 23 日相關新聞報導	5-15
圖 5.3-3	麥德姆(MATMO)颱風路徑圖	5-15
圖 5.3-4	103 年 7 月 23 日陣風風速風向分布圖	5-16
圖 5.3-5	103 年 7 月 23 日風場分布圖	5-16
圖 5.3-6	103 年 7 月 23 日 0 時波場分布圖	5-17
圖 5.3-7	103 年 7 月 23 日 10 時波場分布圖	5-18
圖 5.3-8	103 年 7 月 23 日流場分布圖	5-19
圖 5.3-9	104 年 7 月 19 日陣風風速風向分布圖	5-20
圖 5.3-10	105 年 9 月 14 日相關新聞報導	5-21
圖 5.3-11	莫蘭蒂(MERANTI)颱風路徑圖	5-21
圖 5.3-12	105 年 9 月 14 日陣風風速風向分布圖	5-22
圖 5.3-13	105 年 12 月 24 日陣風風速風向分布圖	5-22
圖 5.3-14	105 年 12 月 24 日波場分布圖	5-23
圖 5.3-15	105 年 12 月 24 日流場分布圖	5-24
圖 5.3-16	106 年 7 月 16 日陣風風速風向分布圖	5-25
圖 5.3-17	107 年 6 月 14 日陣風風速風向分布圖	5-25
圖 5.3-18	107 年 8 月 23 日相關新聞報導	5-27
圖 5.3-19	107 年 8 月 23 日陣風風速風向分布圖	5-28
圖 5.3-20	107 年 8 月 21~23 日風場分布圖	5-28

圖 5.3-21 107 年 8 月 22 日波場分布圖	5-29
圖 5.3-22 107 年 8 月 23 日波場分布圖(綠、紅、藍線為船舶 AIS 軌跡)	5-30
圖 5.3-23 107 年 8 月 23 日流場分布圖(綠、紅、藍線為船舶 AIS 軌跡)	5-31
圖 5.3-24 國家運輸安全調查委員會初步調查報告	5-33
圖 5.3-25 109 年 2 月 4 日陣風風速風向分布圖	5-34
圖 5.3-26 109 年 7 月 24 日陣風風速風向分布圖	5-34
圖 5.3-27 109 年 7 月 24 日波場分布圖	5-35
圖 5.3-28 109 年 7 月 24 日流場分布圖	5-36
圖 6.1-1 2020 年 1~3 月臺灣附近 AIS 接收資料統計	6-1
圖 6.1-2 二維 R tree 範例.....	6-2
圖 6.1-3 資料庫建立流程	6-3
圖 6.1-4 MS SQL AIS 歷史資料庫.....	6-3
圖 6.1-5 轉移後 MongoDB AIS 資料庫.....	6-3
圖 6.1-6 MongoDB 空間索引建立	6-5
圖 6.1-7 異常值修正及軌跡決定	6-5
圖 6.1-8 回傳時間重複	6-6
圖 6.1-9 回傳位置重複	6-6
圖 6.1-10 建置等時距資料庫的工作流程	6-7
圖 6.2-1 不同型態的船行安全領域示意圖	6-8
圖 6.2-2 考慮不同環境與不同遭遇方式的船行安全領域示意圖	6-8
圖 6.2-3 本計畫船行安全領域計算示意圖	6-12
圖 6.3-1 高雄港船行風險模擬結果	6-13
圖 6.3-2 高雄港 Zone1 船行風險模擬結果.....	6-14
圖 6.3-3 高雄港 Zone2 船行風險模擬結果.....	6-14
圖 6.3-4 高雄港 Zone1 不同時間的風險情況.....	6-15
圖 6.3-5 高雄港 Zone2 不同時間的風險情況.....	6-16

表目錄

表 2.3-1	日本引進 VDES 的環境改善課題和對策.....	2-8
表 2.3-2	VDES 的用途.....	2-10
表 3.1-1	海事案件統計表	3-3
表 3.1-2	重大運輸事故調查報告中的船舶資料	3-4
表 3.3	建議之海上事故記錄表	3-10
表 4.1-1	2012 至 2021 年海難事故之船舶海難成因統計	4-1
表 4.1-2	2012-2021 年海難事故之人員、船體損失統計	4-3
表 4.1-3	2012-2021 年海難事故刪除無座標之船舶海難成因統計....	4-4
表 4.3	各種事故類型群集中的船隻噸數統計	4-25
表 5.1-1	與風相關的事件說明	5-2
表 5.1-2	與浪相關的事件說明	5-2
表 5.1-3	與流相關的事件說明	5-3
表 5.2-1	風浪推算模擬之網格設定內容	5-7
表 5.2-2	模式參數設定彙整表	5-7
表 5.3	高雄港事故綜合分析表	5-13
表 6.1	AIS 欄位資訊.....	6-4
表 6.2-1	不同的船舶安全範圍估算方式	6-9
表 6.2-2	不同的船舶安全範圍估算方式考量的因素	6-10

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

臺灣位於東北亞和東南亞交界處，往北連結日本、韓國，往南連接東南亞各國，不僅為東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要據點。近 20 年以來船舶自動識別系統(AIS)提供了海域內各船隻的即時資訊，然而海上事故卻仍常造成人身安全及船舶財產嚴重損失，為降低海上事故發生的可能，本計畫主要蒐集往昔海上事故歷史資料，分析其類別與時空分布以進一步了解其發生的熱區與風險因子，並將各風險因子量化後初步建立單一主要港口周邊之航行風險評估模式；另蒐集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關應用與技術文件，彙整 VDES 對航運安全及海上通訊之助益，供國內學術與港灣管理單位做參考。

根據世界經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 2016 年的全球貿易量統計資料顯示，85%的貨物仍透過海上運輸，全球海運貿易價值約佔貿易總額約 50%，可見全球貿易物流的主要方式仍以海洋運輸為大宗。臺灣不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要之熱點，然而地理位置卻易受颱風或異常波浪侵襲，港灣周邊熱絡的船舶活動也存在諸多不可抗拒的危險，因此如何建立海上航行風險模式，提升海洋船舶航行安全顯得格外重要。

智慧化船舶監測系統需將電子通訊技術、資料庫系統、計算伺服器與網路，有效整合並應用於船舶、港埠及船岸之間的管理與監控，讓使用者藉由系統整合的相關資訊快速了解船舶航行間可能發生的問題，進而進行告警與災害的事前防治。本計畫研究目標主要是為進一步提升船舶於海上航行的安全，結合航港局的 AIS 系統，透過選定的風險因子與其量化結果初步建立目標港周邊的海上航行風險模式，並評估模式適用範圍及後續應用及發展。

1.2 工作項目

本計畫工作項目主要可分為兩期，期中報告前期主要蒐集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關研究與技術文件，彙整相關應用與技術提升實例，評估 VDES 對於國內船舶安全與管理上之助益，提供後續港灣規劃與航行管理做為參考；其次針對目標港周邊所發生的海上事故進行蒐集，建立海上事故資料集，再依事故屬性與時空分布進行分類與統計，歸納目標港主要風險因子包括海氣象因子、航線空間因子、人為因子及其他可能因素所佔成分，並分析事故熱區。

本計畫考慮影響航行的風浪流等因素，以統計方式處理風速資料與二維數值模式推算目標港周遭的波場、流場等資訊。最後結合航港局之 AIS 系統，透過選定的風險因子與其量化結果初步建立目標港周邊的海上航行風險模式，並評估模式適用範圍及後續應用及發展、建立特定目標港海上航行風險模式。主要工作項目如下：

- 一、特高頻資料交換系統之文獻蒐集與研析。
- 二、主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整。
- 三、海上船舶事故統計與風險因子分析。
- 四、特定目標港海氣象數值模擬。
- 五、建立特定目標港海上航行風險模式。

1.3 文獻回顧

1.3.1 船舶安全管理

國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)推動的「e 化航行」是加強科技發展以應用於提升海上安全、保安與海洋環境之保護。其中主要技術包括：1.充分涵蓋的電子航行圖(Electronic Navigational Chart)；2.完整可靠的定位導航系統；3.船岸兩端以標準化人機界面提供分析管理與決策支援的整合系統；4.高效且經濟的通訊架構。IMO 於 2008 年訂定「e 化航行策略」使概念與策略的研擬

進入實現階段，歐盟、美、加、日、韓、澳洲等各國都已研擬策略積極投入研發。e 化航行的第一步是使航海作業從紙海圖轉移至使用電子航行圖資料庫的「電子海圖顯示與資訊系統(Electronic Chart Display and Information System, 簡稱 ECDIS)」。ECDIS 已成為海上人命安全國際公約(Safety of Life At Sea Convention)強制船舶安裝的配備，分階段由 2012 至 2018 年逐步實施。在後續階段則期望能善用 ECDIS 執行航路計畫、航路監視及航程記錄，在岸上透過海事服務協助船舶航路計畫與監視，提升航行安全、效率與環境保護。

我國海域之船舶數量繁多且海洋事務活動頻繁，在未來水域交通密度持續增高的情況下，將使得海上交通風險程度提高，配合「海上人命安全國際公約」強制要求，所有客船、航行國際航線總噸位 300 以上的貨船，及非航行國際航線總噸位 500 以上的貨船應裝設「船舶自動辨識系統船載臺 (Automatic Identification System, AIS)」，交通部於民國 97 年依公約修訂「船舶設備規則」，要求符合噸位條件的國籍船舶應裝設 AIS，以強化船舶航行安全，其中，106 年 12 月交通部預告修正船舶設備規則部分條文修正草案，107 年 7 月交通部公告發布修正船舶設備規則部分條文，其中漁船以外之船舶應於 108 年 7 月 27 日後第一次船舶定期或特別檢查時裝設 AIS 設備，並於民國 108 年 8 月 14 日修正「船舶設備規則」中，各式船舶應裝設船舶自動識別系統船載臺(AIS)的相關規定。

交通部於民國 102 年提出「運輸政策白皮書-海運」，其中策略 15 由於港內海事案件發生頻率較高，強化港口安全服務與管理，可有效提升船舶航行安全。落實國際海事組織制定之港口國管制作業程序與規範，將提升導航之服務管理、港口管制檢查工作，可提升及國際交流、強化船籍國管制及加強國內載客船舶安全管理等。策略 16 為提升海難災害防救應變能力，其行動方案為加強救難、搜救組織與執行能力、檢討海事評議制度及強化商港區域油污染防制能力。策略 17 為強化海運安全機制，著重於加強海運安全組織之督導與執行能力，透過加強安全文化教育訓練，強化管理機制、評鑑稽核與執行能力，形塑正確的安全文化，並藉由檢討改善並落實我國海事調查作業流程，建置與國際接軌之海事資料統計與分析制度，以預防海事案件發

生。策略 18 為海運安全法規與制度為海運安全之基石，於持續檢討修正航運法規及相關子法，使其配合國際公約與國際接軌，並積極推動「海上交通安全法」之立法，以建立完善的海事法規體系，增進海運安全。上述研擬之策略與相關規定顯示國內相當重視船舶航行安全，期望能透過航行監測與與海事防災服務的技術提升，加強國內航海安全與管理。此外交通部已於 108 年底公布「2020 運輸政策白皮書」，基於 102 年版，2020 年版提出協助航運發展，成為產業堅強後盾的政策以及包括獎勵振興、法規調整等健全航運產業經營環境的策略與行動方案，並以推動航港產業升級，作為航港整合與轉型的長期方向。針對智慧轉型提出推動航港智慧轉型等策略，包括區塊鏈技術的應用、相關航港發展資料庫與船員智慧服務平臺的建置與強化、船舶操航智能輔助系統、港區智慧交通陸運系統以及智慧監控管理系統等行動方案，提升港口經營效率與安全。此外包括港口之綠色與永續發展、海運安全法規制度強化、加入海運相關國際組織等，均為海運發展之長期持續性工作，2020 年版仍納入相關策略並微調行動方案。

交通部運輸研究所研究報告「船舶監控預警系統之研究」彙整了國內目前 AIS 在各目標的相關成果，包括：1. AIS 接收站架設情況；2. 利用中繼傳輸技術擴展 AIS 系統的接受範圍；3. 統計各港口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；4. 以 AIS 歷史資料與即時動態資料發展的航跡分析探勘與即時預警技術，發展統計分析碰撞、擱淺、航儀或機械故障、漂流等事故；5. 整合 AIS 與數位選擇性傳呼系統，能第一時間進行船舶救援調度，以爭取黃金救援時間；6. 透過軌跡探勘取得慣用航路，並依據海圖水深區域以及航跡探勘所得參數，提供自動化偵測警示功能。

交通部航港局為提升船舶航行安全，減少海難發生，強化海難救助，監控我國海域交通流，以利持續評估航行風險並規劃或調整航標與航路系統之設置，以船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)為基礎，我國於全國燈塔燈建置 33 座 AIS，如圖 1.3 所示。張等人(2009)針對高雄港二港口雙向航行的環境與問卷調查，並使用操船模擬機進行操作驗證並提出可行方案。溫等人(2012)考量離岸風機將會影響船舶航行安全並提高船隻碰撞之危機，綜整國外相

關文獻，歸納出離岸式風力發電在航行安全上之重要相關要件及具體之因應措施。張等人(2020)就海洋風場周邊慣用航路與交通流的變動，指出問題並提出航行資訊相關安全管理的具體建議。



資料來源：交通部航港局網站

圖 1.3 交通部航港局 AIS 接收站點

1.3.2 特高頻資料交換系統(VDES)

AIS 為目前船舶航行的基本配備，主要是防止船舶受到碰撞而致災，但也由於 AIS 系統的成功發展，其應用與傳輸壓力日益提升，因此 2015 年世界無線電通訊大會中通過 VDES 的國際標準。接續，長谷川等人(2016)介紹 VDES 並說明其重要性與必要性；Wimpenny 等人(2018)提出由於 VDES 能傳輸多種結構信息，因此容易成為網路攻擊的目標，透過干擾海上航行輔助設備而危及船舶安全，故針對 VDES ASM 消息的部分提出 Public Key Cryptography (PKC)的身分驗證方式；Lázaro 等人(2019)說明為何需要使用衛星 VDES 及許多使用案例，並提出系統面臨的挑戰及未來需要解決的問題；Bradbury 等人

(2019)和 Øystein 等人(2009)探討歐洲太空總署在衛星 AIS 系統的相關研究及系統要求；Poghosyan 和 Golkar(2017)及 NASA Ames Research Center(2020)分析了立方衛星的當前能力，並對衛星製造、發射跟地面站廠商提出看法，而 Reid 等人(2018)則提出低軌道為立方衛星運行最好的方法；Golaya 和 Yogeswaran(2020)回顧海上通訊歷史並說明 VDES 的應用與其用途；宮寺(2020)介紹日本研發的 VDES 無線電接收器試驗及其應用情形；杜(2021)探討商用訊號情報衛星的安全意涵與趨勢研判，並詳細說明美國 HawkEye360 公司發射的商用訊號情報衛星功能。

1.3.3 海上事故與風險分析相關研究

美國威廉王子灣在一次船舶油污洩漏事件後，展開許多研究與措施擬定，期望有效防制重大環境污染事件的發生。Merrick 等人(2002)研究中提及當地成立了一個指導委員會，代表了業界、政府、當地公民聘請顧問團隊，創造了「威廉王子灣風險評估系統」，內容包括系統模擬、數據分析和專家判斷的詳細模型，該模型能評估涉及 PWS 營運之油船事故的當前風險評估和旨在減少此類風險的措施，該風險模型顯示可減少 75%的石油洩漏風險，並降低的 68%的事故發生頻率。Merrick 等人(2005; 2006)研究中提及威廉王子灣風險評估系統未評估結果的不確定性，因此，被認為是有發展性但尚不完整的，評估這種不確定性的困難在於動態環境與數據稀少的問題。而後開發了兩種方法，可用於評估海事風險評估中的不確定性，對具有潛在事故情況的貝葉斯模擬及對描述這些情況的因素與專家判斷之間的關係，進行貝葉斯多元回歸分析，並結合兩種方法對兩個案例，研究全面的風險和不確定性評估。Wang 等人(2004)回顧了海事風險評估的現狀，並概述設計選擇框架和設計優化框架，討論控制工程技術及其在風險建模和決策中的應用，再介紹四種新穎的風險建模和決策方法與其實例，說明在此類方法可解決常規技術無法應用的問題，以促進風險建模和決策。劉等人(2004)運用灰色系統理論中的灰色關聯分析法，建立了港口水域船舶事故主要天然致因的關聯分析模型，列出各主要港口前五海事事事故天然致因。廖等人(2006)利用層級分析法進行產、

官、學界之專家問卷訪談，所得之數據利用專家決策軟體進行權重評比獲得主要海難碰撞事故工人為因素中的關鍵項目。徐等人(2008)以灰色關聯系統分析臺灣西岸之基隆、臺中、高雄三大國際商港水域之海難事故，並以其中與航行安全較有關者之碰撞、觸礁或擱淺、觸碰、火災或爆炸、機械故障與傾斜或傾覆等六項，以及海難事故類型與事故地點，採用灰色關聯矩陣探討出其相關性。Balmat 等人(2009)提出了一種適用於海上安全的模糊風險評估方法，可自動定義在決策系統中使用的單個船舶風險因素，以模糊邏輯的模塊化和分層結構獲得靜態風險因子和動態風險因子組成的模糊風險因子。靜態風險因素評估考慮了與船舶有關的一些靜態數據(年齡、船旗、總噸位、公司數量、滯留時間和類型)。動態風險因素則考慮氣象條件(海況、風速和能見度)和當日時刻來評估。基於 2009 年的研究，Balmat 等人(2011)再提出一種模糊方法，以評估應用於海上安全的海上風險評估，尤其是對公海的污染預防，該系統可根據船舶的特性和天氣狀況為每艘船舶定義風險因素，並首先考慮了船速的變化。Zhang 等人(2016)建立了一種貝葉斯網路模型來預測天津港的船舶事故，該研究採用 2008 年至 2013 年的 6 年歷史事故數據進行統計分析，再以貝葉斯網路來描述指標變量與事故後果之相關，通過敏感性分析確定影響性較大的指標變量，包括航行區域、船舶類型和一天中的時間，結果顯示事故發生的位置最敏感，其次是時間和船長。陳等人(2017)利用因果分析法(Why Because Analysis, WBA)「解析出涉案肇因以及其間的因果脈絡，並藉由貝氏網路(Bayesian Network, BN)之量化分析功能，進一步探討各涉案肇因之關鍵性及其排序。並透過實際海事案例分析，說明本計畫系統化分析流程的操作過程，並藉由質性及量化分析的結果，獲取明確之關鍵肇因及其排序結果。韓等人(2017)應用羅吉斯迴歸模型，統計 1980 至 2010 年嚴重之油輪事故原因，辨識導致油輪全損的事故之實質危險因素分析，發現非人為的重大事故危險因素(船舶類型、載運貨物種類和船齡)中，油輪類型和事故的類型具有顯著與全損嚴重事故相關。夏(2018)針對軍艦碰撞事件運用由 SHELL 模型發展改良符合航行需求之 HFACS-MA 五層架構分類法，經由時間表列、肇因表列以及層級屬性區分程序，分析出事故發生的主要層面，並參考國際海上避碰章程(International Regulations for Preventing

Collisions at Sea)討論各項人因疏失。

上述國外早期文獻顯示在 AIS 系統尚未廣泛應用時，往昔的船舶風險大多著重於單一船舶的歷史資料分析或事故的統計量，為了考慮風險與不確定性，逐漸由統計方法與專家系統轉為採用貝葉斯回歸、模糊及神經網路的方式來解決問題。在 AIS 系統廣泛設置後，大範圍的船舶管理與應用研究逐漸被提出：Nguyen 等人(2018)研究船舶碰撞的主要因素，開發了風險評估的數學模型，並基於 AIS 信息模擬碰撞評估，從而結合船上 AIS 為船員培訓和預警系統提供建議。Jeon 與 Yang(2019)指出往昔最接近點算法沒有考慮船舶的航向能力與船舶在尺寸上的操縱性差異，且應該多加考慮淺水區航行時擱淺的風險。因此需利用 AIS 資料中船舶的長度和吃水深度，水深及航向來進行分析擱淺風險、碰撞風險，並說明所提出算法可在短時間內處理大量的周圍海洋交通信息和環境信息。Hu 等人(2019)使用 AIS 考慮漁船的位置和速度，採用 Mean C-Fuzzy 方法完成漁船群聚分類，選用到達漁場最接近點的距離和到達漁場最接近點的時間，作為重要的變量來計算基本的碰撞風險。Chen 等人(2019)建立了利用 AIS 和歷史事故數據船舶碰撞風險評估方法，應用模糊方法建立碰撞對象檢測模型，通過貝葉斯網絡以歷史事故數據建立事故機率模型，初步結果顯示此方法可用於分析船舶碰撞特性與風險。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 109 年「整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統」發展臺灣周邊海域的風浪預警介面，研發能快速計算颱風時期臺灣周邊海域颱風波浪的自動化整合生成模組，並利用現有的 AIS 系統，配合風浪預測資料進行告警系統範圍的劃設，供管理單位做參考，另採用 AIS 歷史資料建立 AI 船跡預測模式並經由統計分析來判斷可靠的航行參數區間，若超過此範圍則判定為異常。本(110)年度工作的分析方式則採用航行環境為主軸，透過分析航行環境參數因子(如：風、浪、流等海氣象因子、航線空間因子、人為因子與其他因子)來進行風險的評估。

第二章 特高頻資料交換系統之文獻蒐集與研析

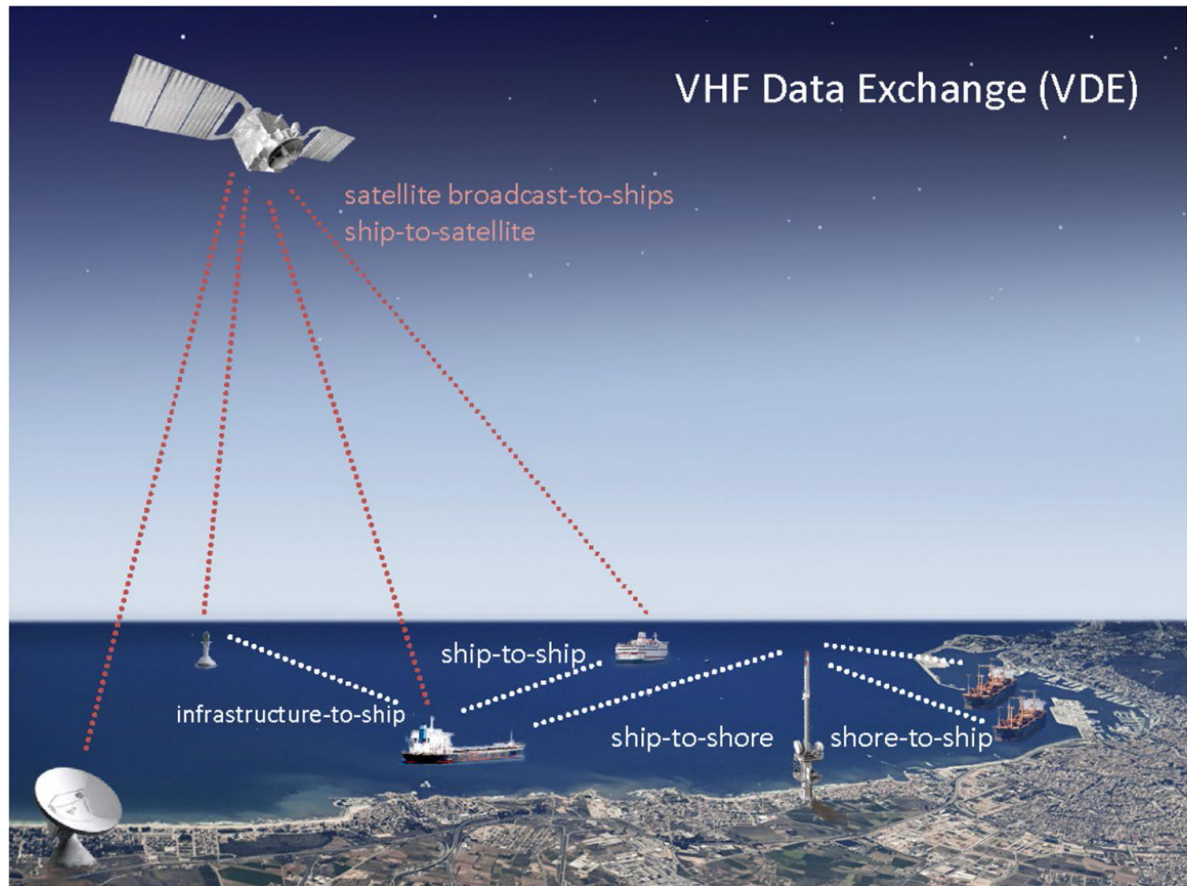
蒐集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關研究與技術文件，彙整相關應用與技術提升實例，評估 VDES 對於國內船舶安全與管理上之助益，提供後續港灣規劃與航行管理做為參考。

2.1 特高頻資料交換系統(VDES)簡介

船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)是一種應用於船和岸及船和船之間的海事安全與通信的輔助導航設備，透過 AIS 的通信可達到識別船隻、協助追蹤目標、簡化訊息交換及提供其他輔助訊息以避免碰撞的功能，強化海上船舶交通安全。2000 年 12 月國際海事組織 (International Maritime Organisation, IMO) MSC73 會議通過 AIS 強制性安裝議案，因此 AIS 目前為船舶航行的基本配備，由於此系統的成功發展，目前承受越來越大的應用與傳輸壓力，國際助導航協會 (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA)提出當 AIS 負載超過 50%時，將因信息阻塞而影響航行安全，故提出特高頻資料交換系統(VHF Data Exchange System, VDES)的概念，而後被國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)、國際海事組織(IMO)和其他機構採用。

VDES 是一種包含不同通信子系統的通信系統，除了現有的 AIS 並增加特定應用訊息(Application Specific Messages, ASM)和特高頻資料交換(VHF Data Exchange, VDE)兩個子系統，可緩解現有 AIS 數據通訊的壓力，滿足船對船、船對岸、船對衛星及岸對衛星之間的數據交換需求，如圖 2.1-1 所示。各子系統功能分別為：1.AIS-用於傳輸船舶名稱、位置、航行狀態、搜尋和救援等信息。2.ASM-用於傳輸除了船舶位置和航行狀態外的安全信息，如水文、氣象等信息，其目的是減少 AIS 的負載。3.VDE-是 VDES 的核心功能，允許更高速率的通信，分為地面 VDE 和衛星 VDE 兩個部分，能傳輸多種結構信息。VDES 的特色為：1.對船舶位置 and 安全性關用專用頻道以保障信息傳輸。2.使用更靈活，使用者可根據需要主動向其他船舶、港口、海圖

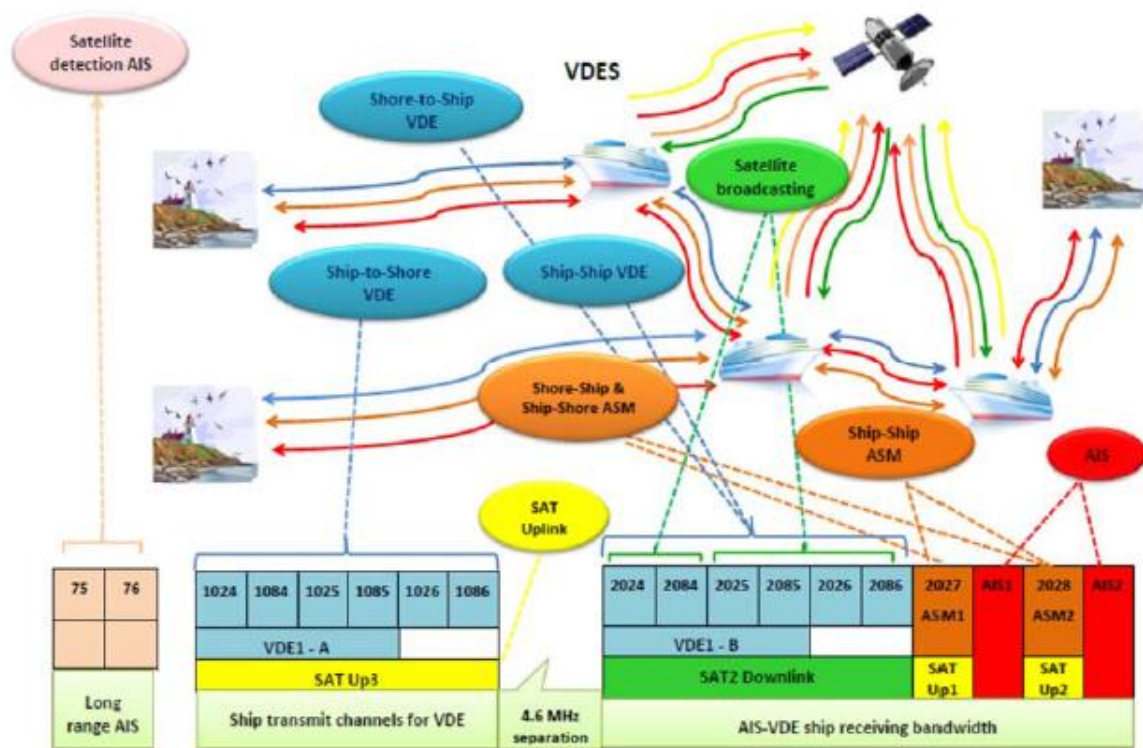
中心等傳送或索取信息。3.依照頻道調整使得信息傳輸速度大幅提升。



資料來源：Lázaro 等人(2019)

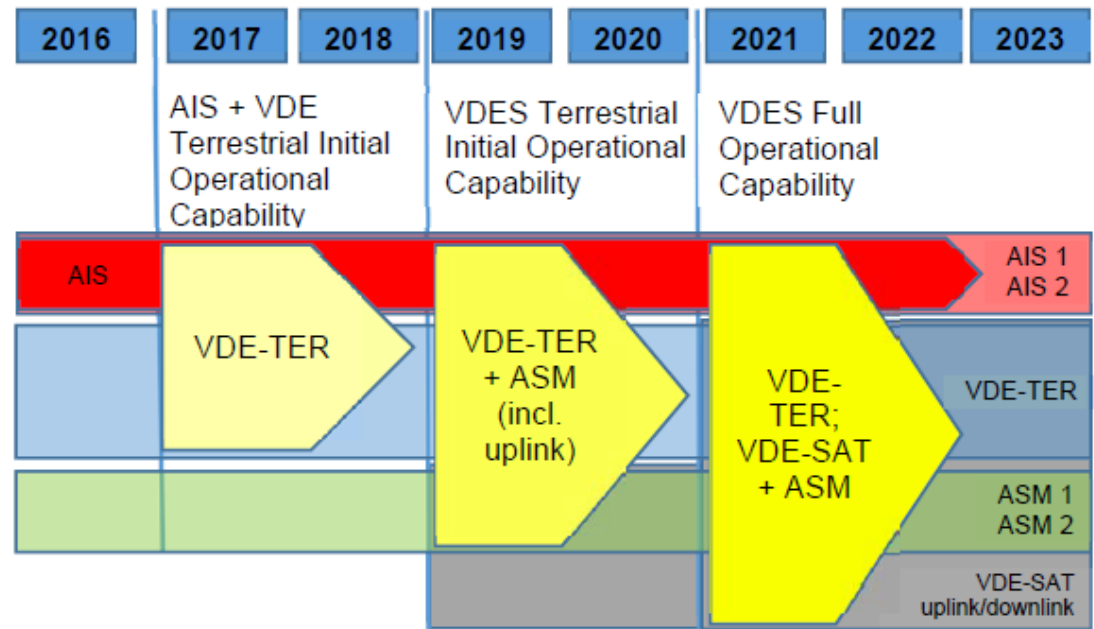
圖 2.1-1 VDES 通訊鏈路

透過國際助導航協會(IALA)和相關單位的努力，在 2015 年世界無線電通訊大會 (World Radio Communication Conference in 2015, WRC15)上通過了 VDES 的國際標準，其頻道分配如圖 2.1-2 所示，對於地面 VDE 部分，為下行和上行通訊鏈路分配了 100 kHz 頻譜，並為 ASM 的地面和衛星分配了兩個 25 kHz 頻道，其中衛星頻譜頻段被延遲，直到對陸地潛在干擾問題進行進一步研究為止。VDES 的實施階段如圖 2.1-3 所示，2017~2018 年主要建立地面 VDE，達到 AIS+地面 VDE 的初始運行能力，2019~2020 年主要建立地面 VDE+ASM，達到 VDES 的地面初始運行能力，2021 年後則完成地面 VDE、衛星 VDE+ASM，達到 VDES 的全面運行能力。



資料來源：IALA guideline G1117 (12/2017)

圖 2.1-2 VDES 頻道分配情況



資料來源：IALA guideline G1117 (12/2017)

圖 2.1-3 VDES 發展圖

2.2 特高頻資料交換系統(VDES)發展現況

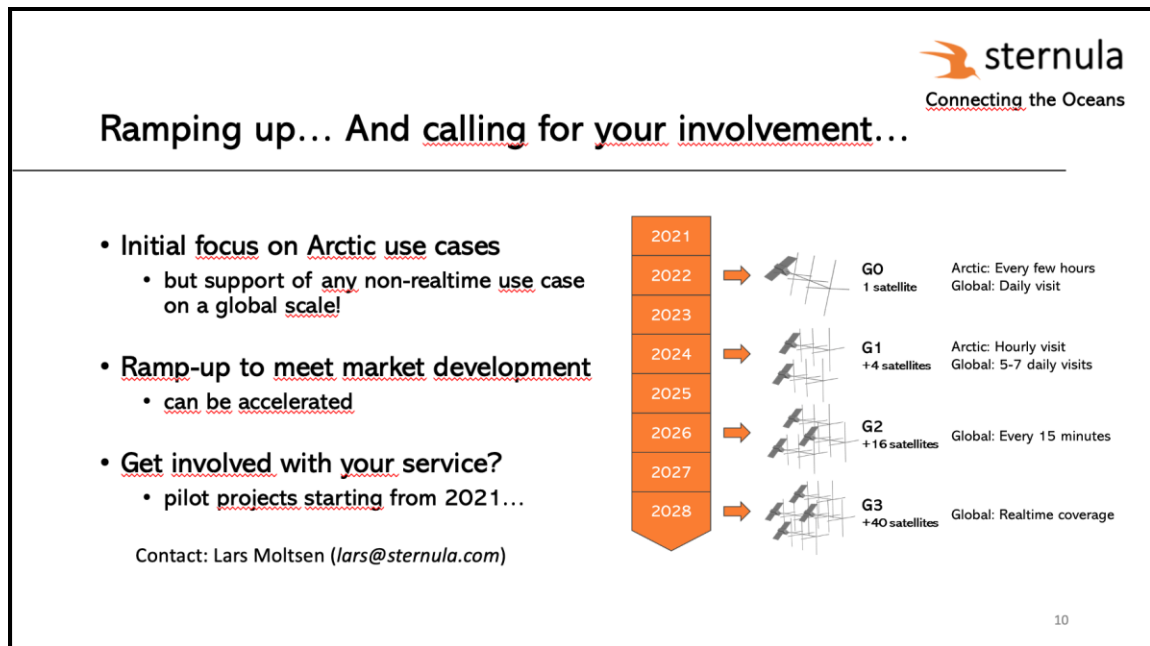
國際電信聯盟(ITU)於 2019 年世界無線電通訊大會 (World Radio Communication Conference in 2019, WRC19)決定了 VDES 包含衛星的頻道分配，而國際助導航協會(IALA)已向國際海事組織(IMO)提出申請，使 VDES 可以如同 2000 年 12 月國際海事組織(IMO)的 MSC73 會議通過 AIS 強制性安裝議案一樣，若批准後新船應配備 VDES。

2.2.1 VDES 規範

各國國際組織目前已著手 VDES 規範的制定，情形如下：

- 1.國際助導航協會(IALA)：已完成 IALA guideline G1117 VHF DATA EXCHANGE SYSTEM (VDES) OVERVIEW (Edition 2, 12/2017)和 IALA guideline G1139 THE TECHNICAL SPECIFICATION OF VDES (Edition 3, 6/2019)。
- 2.國際電信聯盟(ITU)：已完成 Recommendation ITU-R M.2092-0 Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band (10/2015)，目前 Recommendation ITU-R M.2092-1 正在修改中。
- 3.國際海事組織(IMO)：MSC73 會議通過在 SOLAS 條約中強制規定船舶安裝 AIS，目前已提案修改成強制規定船舶安裝 AIS 或 VDES。
- 4.國際電子技術委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)：已建立 AIS 規格，目前正在檢討 ASM 和 VDES 規格。
5. VDES 聯盟(VDES Alliance):在 2020 年 9 月 29 日的 IALA 會議中，丹麥委員 Stefan Pielmeier (IALA ENAV 委員會 WG3 議長)建議設立 VDES 聯盟，並提出加速 VDES 衛星的建置計畫如圖 2.2-1 所示，初期專注於北極區域的應用，在 2021~2022 年完成 1 顆衛星的運行，使軌道週期在北極可以達到每隔幾個小時，而全球則為 1 天。在 2023~2024 年再增加 4 顆衛星的運行，使軌道週期在北極可以達到 1 小時，而全球則為 1 天 5-7 次。在 2025~2026 年再增加 16 顆衛星的運行，使軌道週期在全球達到 15 分鐘。在 2027~2028 年再

增加 40 顆衛星的運行，使軌道週期在全球可達到即時匯合。



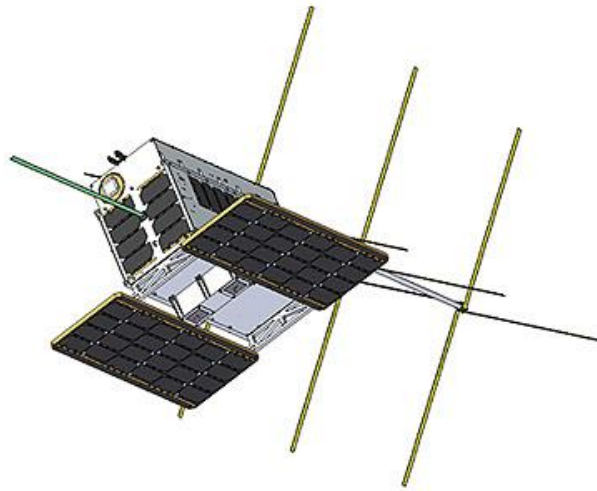
資料來源：IALA 會議(2019)

圖 2.2-1 VDES 衛星的建置計畫

2.2.2 衛星建置

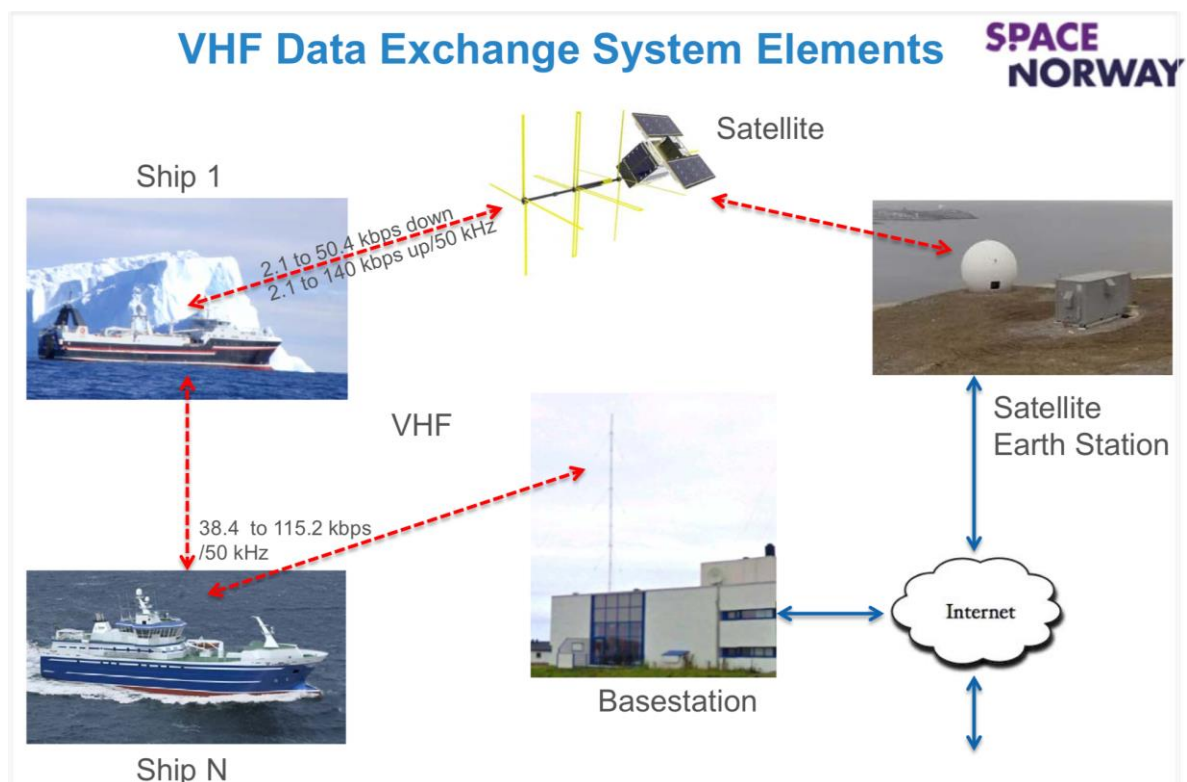
衛星 VDE 目前除了歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)成員國中的英國、德國、義大利、西班牙、瑞典、丹麥及加拿大外，亞洲地區包括日本、澳洲、中國、新加坡及韓國皆積極研發建置。

挪威太空中心在 2015 年 7 月與多倫多大學航空研究所簽署了建造 VDES 衛星 NORSAT-2 的合約，其為一顆 15kg(尺寸為 20cm×30cm×40cm)的微衛星，如圖 2.2-2 所示，NORSAT-2 衛星於 2017 年 7 月發射，搭載了 AIS 接收器及雙向通信的 VDE，軌道高度為 600km(太陽同步軌道)，目前於挪威領海提供先進的船舶追蹤跟數據交換服務。圖 2.2-3 為 NORSAT-2 衛星目前的通信速度，由圖中可知，船舶和船舶間為 38.4~115.2kbps，船舶和衛星間為 2.1~140kbps。挪威太空中心亦在 2017 年 7 月發射 NORSAT-1 衛星，該衛星搭載了 AIS 接受器，同時在 2021 年 4 月發射 NORSAT-3 衛星，該衛星搭載了一個實驗性導航雷達探測器，以增強 AIS 接收器的船舶探測能力。



資料來源：挪威太空中心

圖 2.2-2 NORSAT-2 衛星



資料來源：挪威太空中心

圖 2.2-3 NORSAT-2 衛星通信速度

中國在 2017 年 1 月發射首顆實驗驗證衛星 Caton-1，該衛星由北京凱盾環宇科技有限公司和北京九天微星科技發展有限公司聯合設計，並由南京理工大學完成總裝測試，其為一顆 2095 克(尺寸為

100×100×227mm)的立方衛星，設計壽命 10 個月，軌道高度為 533km(太陽同步軌道)，搭載了 AIS 接收器，該飛行任務主要驗證衛星接收器及其算法的可靠性。

Saab、Orbcomm 和 AAC Clyde Space 在 2020 年 8 月發布將於 2022 年發射 VDES 衛星，其中 AAC Clyde Space 負責衛星的製造，而 Orbcomm 將貢獻其衛星運營、船隻追蹤和物聯網經驗，Saab 則提供 VDES 技術，該項目由瑞典運輸管理局共同資助。

美國 HawkEye360 公司在 2018 年 12 月發射第一代電磁波觀測衛星 PathFinder 集群(Cluster 1)，並於 2021 年 1 月發射第二代電磁波觀測衛星 PathFinder 集群(Cluster 2)，其為以商用衛星服務提供訊號情報(SIGNIT)與進行電子支援作戰的先驅，HawkEye360 公司的觀測衛星集群以三個立方衛星為基礎單位，若三個衛星均接收到由地球表面發射之電磁波訊號，即能計算其來源位置。船舶除了 AIS 信號外，還會發射雷達和無線電波，第一代 PathFinder 可監測包括 X 波段海事雷達、海事無線電(maritime VHF)之 16 與 70 頻道、船舶應急指位無線電示標(EPIRB marine emergency distress beacons)及 AIS 等訊號，相較於一般衛星偵照對船舶提供靜態影像，AIS 則拓展至識別、船速、航向等訊息，HawkEye360 公司提供的服務能對船舶活動提供在時空上更精確的動態資訊，不僅提供位置，更能了解該船在該海域的活動狀況，甚至指出關閉 AIS 的可疑船舶，對於海上非法走私、漁業捕撈的執法及搜索救援行動等有極高應用價值。第二代衛星集群在系統升級後，不但持續擴充監測範圍，甚至可針對同一地點同時提供不同頻段的監測資料，解析頻段使用所代表的意義。

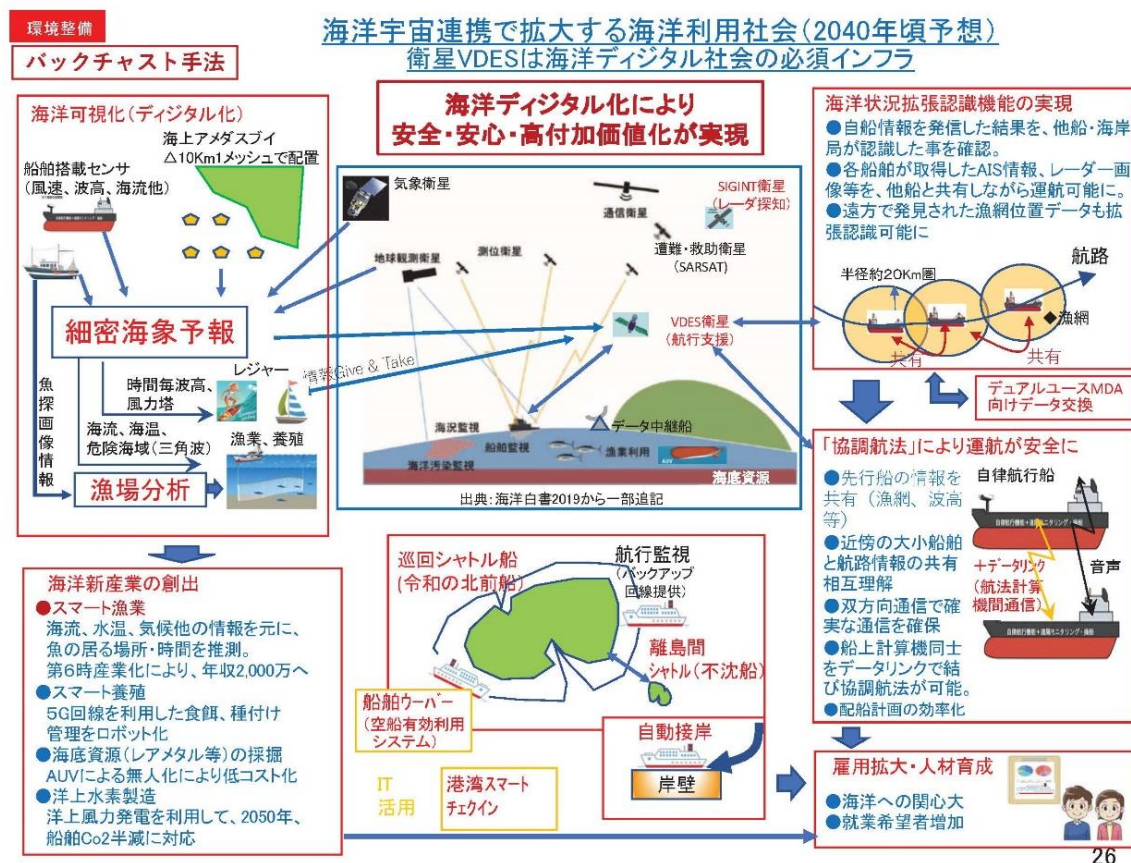
國內目前有國立臺灣海洋大學、冠宇國際電訊(股)公司及海捷堡科技股份有限公司合作啟動發射立方衛星星鏈系統，建立全球船舶航運資料、全球海水文資料等大數據資料庫，並搭配 5G 通訊技術、物聯網，將可推動我國智慧航運之國際產業發展，在國際海事通訊產業發光發熱；另未來三方也將建立「智慧綠色漁港與全球超高頻數據交換系統 VDES」。

2.3 特高頻資料交換系統(VDES)未來應用

日本的公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所(OPRI)主要進行海洋政策的研究及建議，於 2004 年開始每年出版「海洋白書」探討日本國內外海洋及近岸地區相關的事件及趨勢，在 2020 年則針對日本引進 VDES 的環境改善提出課題和對策如表 2.3-1 所示，課題包括：1.日本國內用戶的發展(促進海洋數位化)；2.政策、法律；3.技術開發；4.事業化檢討。其中課題一預估 2040 年日本國內發展狀況如圖 2.3 所示，由圖中可知，VDES 可提供各船舶共有 AIS 情報，除了原有的安全性功能，更能了解航路上的海上狀況，而在海洋數位化部分則整合氣象衛星、地球觀測衛星、海上浮標及船舶接收器可達到高解析海象預報，透過 VDES 衛星可提供休閒船舶相關海象資訊，增加其航行的安全性，並由海洋數位化的過程創造出高附加價值的商業行為，包括：智慧漁業、智慧養殖、海底資源(稀有金屬等)的挖掘及離岸生產氫氣等。

表 2.3-1 日本引進 VDES 的環境改善課題和對策

課題	對策
1.日本國內用戶的發展(促進海洋數位化)	● 公家機關的使用 ● 海運、造船、水產、休閒社區的形成 ● 創造出高附加價值商業→海洋數位化的促進
2.政策、法律	● 設定使用 VDES 的政策目標 ● 進行政策檢討和維護(如許可證和法律制度等) ● 促進國際標準化(IALA, ITU, IMO 等) ● 成立日本國內 VDES 利用促進機構
3.技術開發	● 應用開發環境維護(邊緣計算, AI 處理) ● 開發手機、地面 VDE 和衛星 VDE 的整合運用技術 ● 終端小型化技術 ● 微衛星的開發及衛星座運用技術的開發 ● 國家研究機構主導技術開發
4.事業化檢討	● 檢討收益模式 ● 成立國際運作組織(以衛星和應用程序的共享使用和運作為目的) ● 與鄰國(俄羅斯、中國、韓國等)的頻道調整 ● 電信法專家對法律條文修正的檢討



資料來源：海洋白書(2020)

圖 2.3 日本 VDES 促進海洋數位化的方式

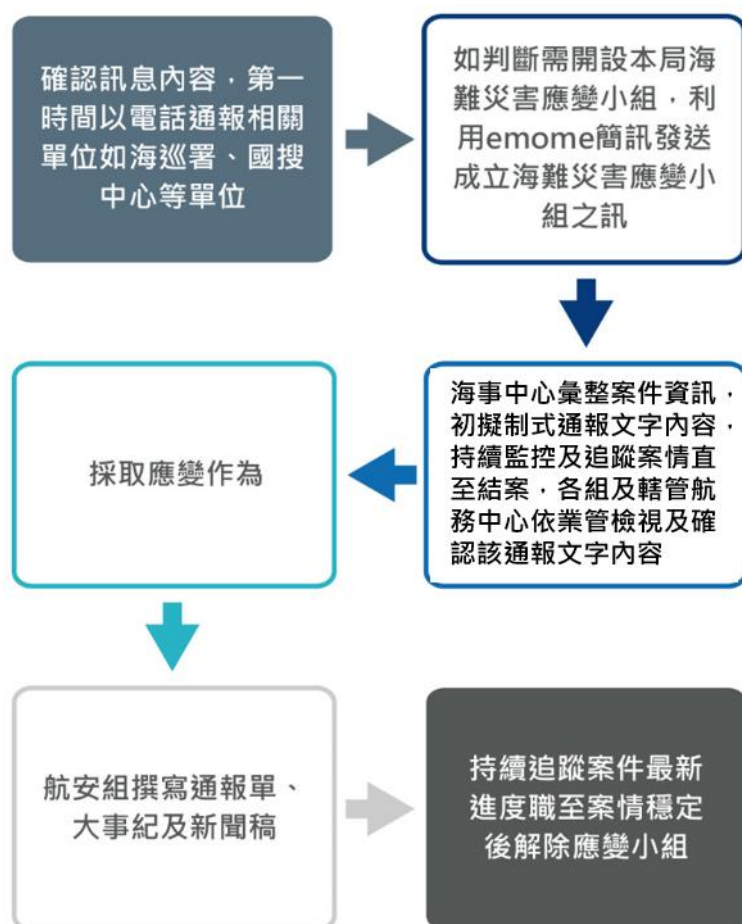
公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所亦於 2021 年 6 月出版「2020 年度衛星 VDES に関する委員会報告書総合版」，報告中提出 VDES 的用途如表 2.3-2 所示，針對安全、防止碰撞、自動運航、無人運航、放送訊息、瞭解海洋狀況、情報通信、海洋安全及商業等不同目的分別說明其用途。

表 2.3-2 VDES 的用途

目的	用途
1.安全、防止碰撞	● 船舶間共有雙向通信情報 ● 協調航法 ● 控制港灣的入港和靠岸
2.自動運航、無人運航	● 遠距離操船 ● 船舶識別 ● 監控船舶機器、溫度、壓力等
3.放送訊息	● 警備救難訊息放送 ● 危險航海警報 ● 海洋氣象
4.瞭解海洋狀況	● 全球 VTS ● 監控海上設施 ● 各種觀測情報
5.情報通信	● 漁船-漁會/船社間情報通信 ● 向小型船提供情報
6.海洋安全	● 追蹤特定船舶
7.商業	● 漁獲物的產地證明 ● 船舶動靜情報利用服務

第三章 主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整

國內海難事件定義為船舶發生故障、沉沒、擱淺、碰撞、失火與爆炸等情況，或其他有關船舶、貨載、船員與旅客之非常事故者。其中災害規模又依人員傷亡失蹤與殘油或洩漏量分為甲級、乙級與丙級三類，依航港局「海難災害防救應變標準作業流程」作為海難應變作業辦法，海難應變通報流程如圖 3.1 所示。



資料來源：交通部航港局網站，本計畫更新

圖 3.1 海難應變通報流程

除圖 3.1 中所述海難發生第一時間通報的海巡署、國搜中心、航港局海難災害應變小組等單位外，依據「運輸事故調查法」第 6 條，發生於境內的重大運輸事故，應由國家運輸安全調查委員會負責調查，本國籍航空器及船舶、由本國人使用、本國設計或製造之航空器及船舶重大運輸事故發生於公海或不屬於任一國家之領域者，亦同。而在海難救援通報機制部分包含：(1)交通部航港局督導海岸電臺與

臺北任務管制中心、農委會漁業署督導漁業電臺、臺灣港務公司督導各港務分公司港口聯絡中心(信號臺),每日 24 小時輪班守值電臺(接收與發送)作業;航港局與漁業署互相合作聯繫,救難不分漁船或商船均互通訊全力配合搜救。(2)海上電臺通報機制:當海岸電臺、漁業電臺、港口信號臺、臺北任務管制中心(衛星搜索遇難信號)等單位收到(漁船或商船)海上遇險訊息時,即確認目標位置後轉報海巡機關,立即派出海巡艦艇執行救難,海巡機關需增加海空兵力(飛機或海軍艦艇)時,逕通報行政院國家搜救中心申請支援。(3)陸上電話或手機通報機制:有線電話或以手機撥 118(海巡隊值班臺),可直接申請遇難救助,惟手機接收受距離短。可利用長途電話或請家屬或漁船公司將遇難狀況轉報 118 海巡隊。(4)海巡署(隊)執行海上救難任務作業時,並副知交通部、航港局、農委會漁業署等單位,配合陸上支援作業(蒐集商漁船基本資料、一切後勤支援、安排碼頭靠泊、港勤拖船港區海域拖救、救護車接送、送出海關檢疫)等。(5)「行政院國家搜救指揮中心」統一指揮航港局、農委會漁業署、海巡署及國防兵力等單位,共同合作執行漁船或商船救難任務。(6)交通部為空難、海難及陸上交通之災害防救業務主管,負責指揮、督導、協調各級災害防救相關行政機關及公共事業執行各項災害防救工作。

而依「海難災害防救業務計畫」在海事調查與評議中,海難災害發生後,各級應變機關或機構應蒐集災情與通報應變作為,詳實記錄並於解除應變時提報予目的事業主管機關轉送航港局。航港局航務中心進行海事調查,並要求船長依《船員法》第 66 條規定作成海事報告及辦理海事報告簽證,而後查明海事發生之根本原因(ROOT CAUSE)及預防措施(PREVENTIVE MEASURES)提出調查報告及航行安全改善建議,以避免類似事故再度發生。本章針對國內海上事故資料進行蒐集與彙整,以提供後續各失事原因的統計特性與分布狀況進行分析,並進一步探討風險因子。依照上述法規中第一時間獲報相關資訊的航港局與各地航務中心外,目前國家運輸安全調查委員會也會在事故發生後進行必要的調查,以下針對相關資料來源進行說明。

國家運輸安全調查委員(以下簡稱運安會)會隸屬於行政院之獨立三級機關，主責公正調查重大運輸事故，改善運輸安全，依法獨立行使調查職權。調查範圍之運輸工具(以下簡稱運具)，係指民用與公務航空器、超輕型載具、遙控無人機、民用與公務船舶、鐵路系統與大眾捷運系統之車輛及行駛於道路之汽車。運安會執行之運輸事故調查程序，主要依據包括：國際規範，如國際民航公約第 13 號附約、國際海事組織海事調查章程 (IMO Resolution MSC 255(84))，以及我國相關法規，如運輸事故調查法、交通部監理機關頒布之法規等。

在運安會網站中有公開已調查結案的水路事故，調查報告分為水路事故調查初步報告與重大運輸事故調查報告兩種。初步調查報告中記載：檔案資訊、類別(包含事故等級與事故分類)、時間、地點、船舶基本資料(包含 IMO 編號、國籍、船名、總噸位、呼號、全長、建造年、驗船機構、船公司、推進方式、船殼材質、VDR/S-VDR 與船舶類型等資訊)、嚴重程度、航次資料、外部環境資料(包括海象、風力、日光、能見度、天候與結冰情況等)及事故簡述。重大運輸事故調查報告除了對事件有更詳盡的事故簡述與船舶資料(如表 3.1-2)外，又包含船員資料、天氣、事故相關環境與設施描述、訪談紀錄、組織與管理、分析、結論及運輸安全改善建議等。

表 3.1-2 重大運輸事故調查報告中的船舶資料

船名：	大川
船舶號數：	014879
電臺呼號：	BR3329
船舶公司：	大川航運股份有限公司
船舶所有人：	大川航運股份有限公司
船旗國：	中華民國
船籍港：	高雄港
船舶用途：	雜貨船
船體質料：	鋼材
船長：	52.85 公尺
船寬：	12.5 公尺
艀部模深：	6.0 公尺
總噸位：	992
檢查機構：	交通部航港局
主機種類/馬力：	柴油機 / 735 瓩 x 1
船員最低安全配額：	8 人
安全設備人員配置：	25 人

相較於海事案件統計表，運安會的調查報告中還多了許多環境資訊與船舶資料，然而運安會依據 108 年 4 月 24 日公告之「運輸事故

調查法」及「國家運輸安全調查委員會組織法」規定，於 108 年 8 月 1 日才正式成立，故目前能蒐集到的資料最早僅至 108 年 8 月。本計畫彙整後僅 57 筆，若採用兩年內的 57 筆資料進行後續分析可能會代表性不足的情況。故目前透過工作會議討論後採用海事案件統計表的資料進行後續分析。

3.2 資料品管與彙整

3.2.1 資料彙整

蒐集交通部航港局 2013 年至 2021 年 4 月所公告海事案件統計表，經與航港局洽詢發現其中 2017 年以前已無資料表檔案，僅能採用光學字元辨識或人工輸入方式進行彙整，共蒐集 1932 筆，事故發生時間的分布如圖 3.2-1 所示。

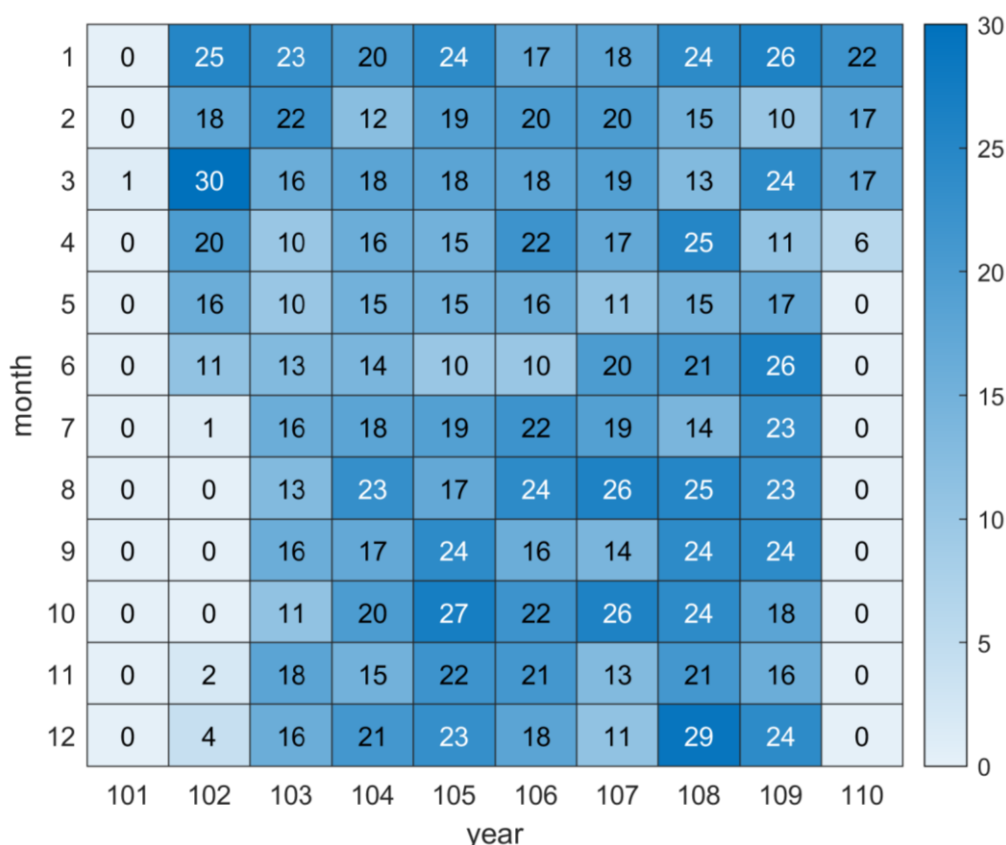


圖 3.2-1 海事案件統計表中所蒐集的資料時間分布

在蒐集過程中發現網站上缺少 2013 年下半年度的資料，然而將

所有資料表讀入進行統計後，部分時間段的統計表另外提供部分往昔的記錄，如 2012 年與 2013 年下半年的部分。屏除資料缺漏的部分，圖 3.2-1 中顯示海事案件發生的次數以每年 8 月至次年 1 月有較明顯的增加，每年 2 月至 5 月的發生次數則相對較少。資料內容的部分則在不同時期有不同的記錄方式，紀錄表以 2017 年為分界前後大致分為兩種型式，2017 年以後的記錄表多了事故嚴重程度、船種與船籍的分類，人員傷亡部分 2017 年以前分為船員與旅客兩類；2017 年以後則又更細分人員國籍。為確保資料的完整性與分析的一致性，本計畫將人員傷亡部分不分國籍與身分進行整合，排除嚴重程度、船種與船籍等不完整的記錄彙整回海上事故資料集。

3.2.2 資料品管

為確保後續分析的正確性與代表性，本計畫針對所蒐集海事案件統計表進行彙整並進行資料品管。經檢視後發現資料集中有以下幾個問題：1.重複性的資料；2.失事原因與法規海難定義有差異；3.肇事地點紀錄不夠詳實等，後續針對資料處理方式進行說明。

1.重複資料

由於航港局網站對於海事案件紀錄表的存檔方式不一，有逐月、逐年以及分為上下半年的方式，本計畫彙整時發現各期檔案中有許多超出該期時間範圍的事件記錄，若直接將其整併將會有許多重複性的資料，故在整併後以事故發生時間的欄位進行排序，並檢核同日資料中的其他欄位判斷是否為重複資料，再將重複資料進行排除，約去除 10% 的重複資料。

2.失事原因的整合

在海事案件統計表中的失事原因分類方式與法規定義海難事件有所差異，原法規定義僅故障、沉沒、擱淺、碰撞、失火、爆炸與其他七類。但在檢視彙整的資料集中發現有其他、兩船碰撞、機械故障、非常變故、失火、爆炸、觸礁或擱淺、與其他物碰撞、傾覆、絞網、洩漏與「-」等 12 類。本計畫原則尊重記錄單位分類，僅針對多船碰撞事件中各船重複記載的部分，以避免後續分析中有相近地點統計到

同一碰撞事件造成熱區分析有被重複計算的問題。其餘爆炸事故由於只有一筆，所以將其與失火整併為同一類，整併後共歸納為十類包括：其他、兩船碰撞、機械故障、非常變故、失火/爆炸、觸礁或擱淺、與其他物碰撞、傾覆、絞網、洩漏等。

3. 肇事地點記錄不夠詳實

由於海上事故的位置為相當重要的參數，本計畫將採用熱區分析針對各項事故群集進行分析，且熱區分析將影響後續工作項目的目標港的選擇。針對所有事件的發生位置進行嚴格檢視後發現肇事地點的記錄分兩種，其中有 445 筆約佔全部的 25.4% 僅文字敘述無經緯度，其餘經緯度部分則有記錄格式不一的問題。經緯度格式僅能透過人工修正與檢核，但文字敘述的部分則較難處理；本計畫嘗試透過內政部地理資訊圖資雲服務平台的全國門牌地址定位服務批次輸入肇事地點的文字敘述進行座標轉換，但大部分海上事故發生的敘述皆無法被接受。故另外採用 Google 雲端運算平台服務中 Geocoding API 來批次處理這些肇事地點的文字說明，結果顯示有大量資料被正確的轉譯為座標點；然而以「高雄港 25 號碼頭」此類文字敘述為例約僅有半數能被接受，且定位的座標位置往往位於碼頭區的陸域，這也增添了資料品管工作的難度。故僅能採用 Geocoding API 配合專業人工進行判斷，但在資料集中仍有許多無法明確定位的文字敘述，如：「臺中港內」、「新加坡到臺灣」及「彰化王功外 10 哩」等敘述方式。為避免影響熱區分析的正確性，本計畫僅能將此類資料歸類為未詳實記錄肇事地點的資料，並在後續空間分析中進行排除。透過 GoogleMap API 配合專業人工進行判斷修正其中 157 筆資料，約佔全部的 35.3%。

在資料品管後扣除未詳實記載肇事位置的資料，重新統計資料集中所有事故資料的時間分布，如圖 3.2-2 所示。

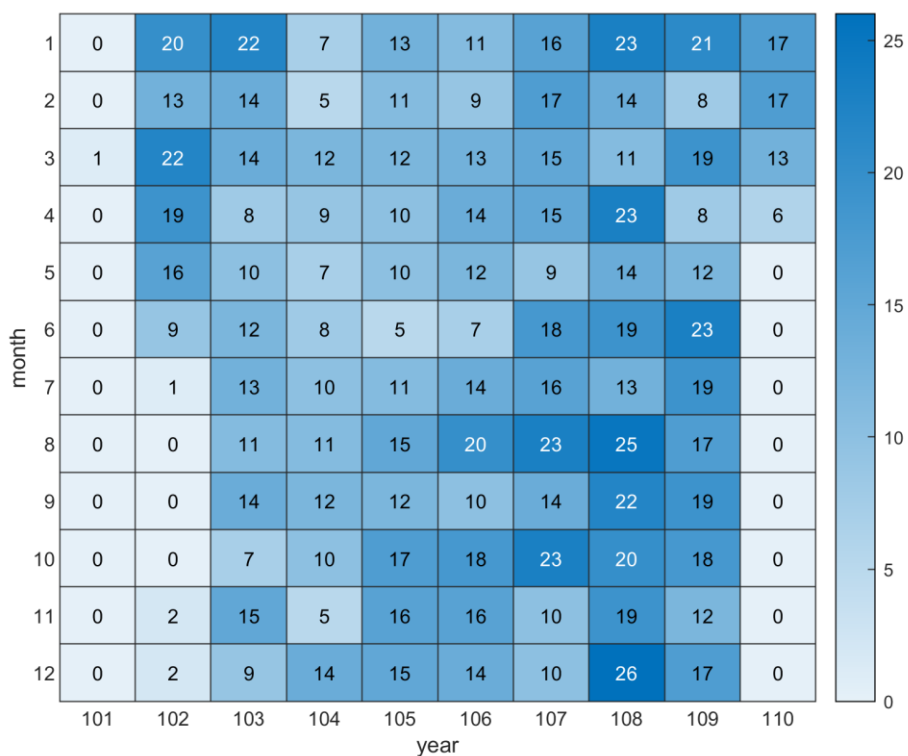


圖 3.2-2 資料品管後海上事故資料集的時間分布

3.3 資料表建議

上述資料彙整與資料品管的工作中，發現有幾點會可能影響後續分析結果正確性的問題；若未來能在海上事故記錄上作改善，相信對未來相關研究或是管理權責單位都能有很大的幫助。其中第一項為肇事位置座標記錄的統一，以目前資料品管的結果顯示，本計畫花了許多時間處理後扣除重複資料後仍有 16.5% 的肇事地點記錄是無法使用的，這對於後續熱區分析與海上風險因子的判斷都有可能造成影響。此外第二點為事故分類的部分，建議可統一分類標準，針對事故成因分析的欄位進行爬梳發現事故類別為其他的項目中，仍有許多出現絞網與天候等關鍵字出現，這些原本應該被分類為絞網或非常變故的項目也顯示資料集中事故類別的分類可能不夠明確。第三點為原記錄表中的嚴重程度欄位，本欄為本應依據人員或船損的嚴重性來進行分級，在原資料表檔案中標題有標註如下：

1. 非常嚴重海難(very serious marine casualty)：係指船舶事故涉及到船

船全損、人命喪失或嚴重污染。嚴重污染係由沿海國或船旗國對海上環境產生重大危害評估或其所產生之影響無法採取防止行動。

2.一般海難(marine casualty)：係指海難事故上不屬非常嚴重之海難事故，但涉及到

(1)火災、爆炸、擱淺、接觸、惡劣天氣損壞、冰損壞、船體裂開或船體缺陷等造成之後果。

(2)結構損壞使船舶不適於航行，例如水下部分船體穿透，主機不能啟動，起居廳房大面積損壞等。

(3)污染(不論數量多少)。

(4)故障，需要拖帶或岸上援助。

3.海上事故(marine incident)：係指對船舶之海難未達「非常嚴重之海難」或「一般海難」。

在資料品管過程中本計畫發現有許多分類記錄與原則不符的情況，且 2017 年以前的資料並無此項分類，故在後續中排除此分類資料。第四點為原因分析的簡述應盡量詳實，往昔資料中常發現有「不詳」、「其他」甚至空白的情況，使該筆資料記錄價值降低。本計畫依據目前運安會相關調查報告中的項目提出合適的記錄表格式如表 3.3，供未來相關單位做參考，更建議可考量包含以下欄位：

1. 發生時間：包括精確至幾點幾分。
2. 發生位置：地區、發生地區與詳細統一格式之經緯度。
3. 事故描述：事故原因、嚴重程度、分級、原因說明、人員傷亡數、人員失蹤數與死亡/失蹤人員國籍，拖船數，引水人有無，是否機械故障等。
4. 船舶資訊：船名、噸位、船籍、種類、船齡、船殼材質、燃料類型、驗船機構、VDR/S-VDR 有無、貨物種類、船長資歷與出港前有無檢查。
5. 事故環境：自然光、天候、能見度、風力與海象。

表 3.3 建議之海上事故記錄表

地區	編號	民國	月	日	船名	噸位	船籍	種類	發生地區	經緯度	事故原因	嚴重程度	分級	原因說明	人員傷亡數	人員失蹤數	死亡/失蹤人員國籍	船齡(年)	船殼材質	燃料類型	驗船機構	VDR/S-VDR有無	貨物種類	自然光	天候	能見度	結冰程度	風力	海象	船長資歷(年)	出港前有無檢查
南部	1	109	1	3	源昌發2號	16.29	本國籍	漁船	港區外	22°59' N,120°05' E	失火	一般海難	3		0	0	N/A	N/A	木材	柴油	航港局	N/A	漁貨	白天	晴天	好	無	4	無浪	4	有
南部	2	109	1	6	TAIGANG 泰港	2994	大陸籍	貨船	高雄港	22°36.9' N,120°16.2' E	兩船碰撞	一般海難	2	入港擦撞	0	0	N/A	12	鋼材	柴油	CCS中國船級社	無	貨櫃	白天	濃霧	差	無	1	無浪	N/A	N/A
東部	3	109	1	20	永泉3號	36	本國籍	漁船	港區外	23°3'N · 121°22'E	失火	非常嚴重海難	N/A	電器起火	0	0	N/A	N/A	玻璃纖維強化塑膠	柴油	航港局	N/A	漁貨	白天	晴天	好	無	N/A	N/A	N/A	有
東部	4	109	1	30	和港2號	400	本國籍	其他	港區外	和平港外 (24°16.3'N · 121°45.3'E)	其他	海上事故	2	被船舶延伸踏板夾傷	1	0	N/A	22	鋼材	柴油	CR中國驗船社	無	無	白天	N/A	N/A	無	2	中浪	N/A	N/A
南部	5	109	2	4	天波	36415	外國籍	貨船	高雄港	22°35.9' N,120°17.3' E 高雄港第49號碼頭	其他	海上事故	2	被他國郵輪追撞	0	0	N/A	3	鋼材	柴油	DNV GL	有	N/A	白天	陰天	好	無	2	輕浪	N/A	N/A
南部	6	109	2	10	溫明祥	1	本國籍	漁船	港區外	22°43' N,120°14' E	其他	海上事故	N/A	不明	1	0	本國	N/A	玻璃纖維強化塑膠	汽油	航港局	N/A	漁貨	白天	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
中部	7	109	2	25	達和(TAHO)	9037	本國籍	貨船	港區外	臺北港外約25哩 (25°3.70'N,120°58.71'E)	機器故障	海上事故	2	機艙失火而失去動力	0	0	N/A	18	鋼材	電動	CR中國驗船社	有	水泥	晚上	陰天	好	N/A	1	小浪	N/A	N/A
中部	8	109	3	5	大新(TASHIN)	1551	本國籍	貨船	其他港口	金門料羅港二號碼頭	兩船碰撞	海上事故	2	碰撞船體破洞	0	0	N/A	22	鋼材	柴油	航港局	無	貨櫃	白天	N/A	好	無	強風	N/A	N/A	N/A
中部	9	109	3	5	大華(TAHWA)	2988	本國籍	貨船	其他港口	金門料羅港二號碼頭	-	海上事故	2	擦撞	0	0	N/A	21	鋼材	柴油	航港局	無	無	白天	N/A	好	無	強風	N/A	N/A	N/A
南部	10	109	3	7	AMISNATORE	31555	外國籍	貨船	高雄港	22°33.27' N,120°19.22' E 高雄港第71號碼頭	與其他物碰撞	海上事故	2	靠泊擦撞碼頭碰墊	0	0	N/A	3	鋼材	柴油	NK	有	散貨	白天	N/A	好	N/A	1	微浪	N/A	N/A
北部	11	109	3	9	麒麟	5272	外國籍	貨船	臺北港	TAIPEI PORT (25°13.6N 121°15.4E)	-	非常嚴重海難	1	碰撞造成引水船翻船	0	0	本國	14	鋼材	柴油	CCS中國船級社	有	貨櫃	晚上	雨天	中	無	2	輕浪	28	N/A
北部	12	109	3	9	永華6	19.37	本國籍	其他	臺北港	TAIPEI PORT (25°13.6N 121°15.4E)	兩船碰撞	非常嚴重海難	1	引水船翻船	2	0	本國	10	玻璃纖維強化塑膠	柴油	航港局	無	無	晚上	雨天	中	無	3	輕浪	18、5	有
南部	13	109	3	9	文正財3號	17.97	本國籍	漁船	港區外	22°56' N,120°00' E	其他	海上事故	2	失足落海 + 沒穿救生衣	1	0	本國	N/A	玻璃纖維強化塑膠	柴油	航港局	無	漁貨	晚上	陰天	不良	N/A	1	中浪	N/A	N/A

第四章 海上船舶事故統計與風險因子分析

本章主要分析本計畫所蒐集的海上船舶事故統計資料來評估各失事原因的統計特性與分布狀況，再進一步進行熱區分析，並探討各風險因子。

4.1 事故統計

4.1.1 各失事原因統計

本計畫統計之海上船舶事故，係依照交通部航港局 2012 至 2021 年海事案件統計表的資料經過彙整與資料品管後來進行分析。表 4.1-1 與圖 4.1-1 為 2012 至 2021 年船舶海難成因之統計，總資料有 1671 筆；表中顯示以其他海難件數最多，佔 26.03%，而其他海難包括多種因素造成的人員損傷或貨櫃受損而向岸上回報之情形；其次則以兩船碰撞為最大宗，佔 22.86%，機械故障則佔 16.28%，兩船碰撞與機械故障這兩者的百分比皆佔比 10% 以上，可視為在臺灣鄰近海域之最常見的海難原因，而後佔比較小的成因依序為非常變故、失火/爆炸、觸礁或擱淺、與其他物碰撞等。

表 4.1-1 2012 至 2021 年海難事故之船舶海難成因統計

海難成因	發生件數(筆)	百分比(%)
其他	435	26.03
兩船碰撞	382	22.86
機械故障	272	16.28
非常變故	154	9.22
失火/爆炸	145	8.67
觸礁或擱淺	143	8.56
與其他物碰撞	67	4.01
傾覆	34	2.04
絞網	32	1.92
洩漏	7	0.42
總計	1671	100.00

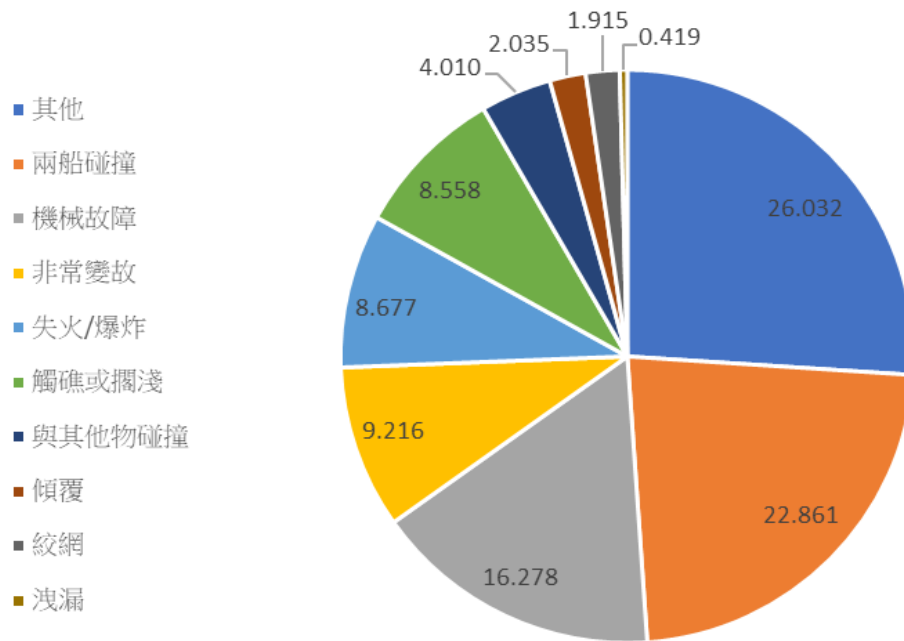


圖 4.1-1 2012-2021 年海難事故船舶海難成因圓餅圖

本計畫另外針對海難事故對於人員以及船體的損失來做統計，其目的在於進行海上事故對於民眾生命財產所造成影響之探討。由表 4.1-2 可知在 2012-2021 年間，在人員損失部份以有人員死亡的事件最多，佔 9.03%，其次為失蹤，佔 5.21%，最後才是受傷，佔比 4.25%，其中，人員受傷代表都有成功獲救和被醫治；透過比例的分析可得知，海難事故中船上人員死亡的機率仍屬較高；而在財產損失部分，則以船損最為常見，佔 46.80%，部份船隻則會整艘船體沒入海中，佔 7.96%，由此可知，海難事故的發生，有接近一半的機率因船體損傷造成經濟或財產的耗損。此外，本計畫針對造成人員死亡的海難事故進行進一步探討，透過疾病、意外(事故)、意外(作業不慎)、天候海象、刑案、不明等六大主因進行分類，並依照各主因的事件數計算整體所佔百分比，期以更深入瞭解造成人員死亡的原因，並透過數據分析加以改善我國之海運安全。

由圖 4.1-2 可知，在 151 件發生人員死亡之事件中，排除不明原因的情況下，以意外(作業不慎)為最多，佔 45 件，次之為意外(事故)，再來才是天候氣象共 7 件；進一步的分析幫助本計畫瞭解，惡劣海象所造成之人員死亡之影響遠小於人為操作的不慎，此結論也符合 (Eleftheria et al.,2016)和(Papanikolaou et al.,2015)兩篇文獻以 ISH

Seaweb 資料庫發生於 2000 年至 2012 年全球海難事故為樣本進行分析的結果，該文指出重大海難事故多半是肇因來自人為因素；我國航運業者或海運經營單位，若能持續強化人員訓練與操船安全之 SOP 的發展，對臺灣之航運安全可以有效提升。

表 4.1-2 2012-2021 年海難事故之人員、船體損失統計

人員損失	發生件數(筆)	百分比(%)
受傷	71	4.25
失蹤	87	5.21
死亡	151	9.03

船體損失	發生件數(筆)	百分比(%)
船損	782	46.80
船沉	133	7.96

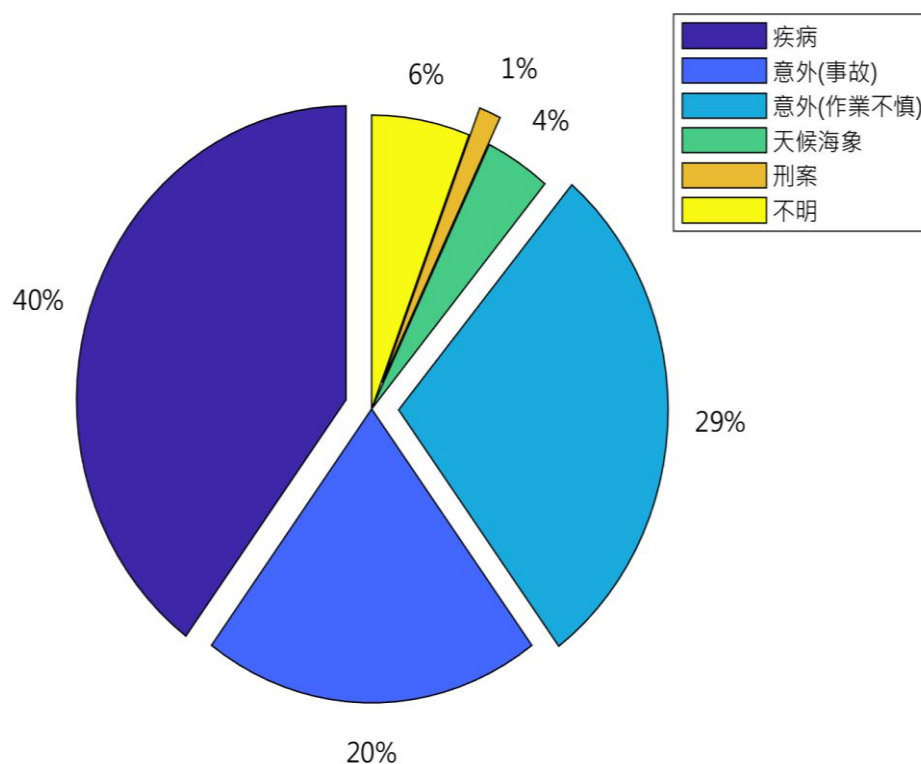


圖 4.1-2 2012-2021 年海難事故死亡事件原因分析圓餅圖

為進行後續的空間分布與熱點分析，本計畫排除海難事故資料中未詳實紀錄海難發生座標位置的事件，並再做一次海難事故之船舶海難成因統計，總資料從原本的 1671 筆減至 1342 筆。

由表 4.1-3 和圖 4.1-3 可知，忽略「其他」成因後，仍以兩船碰撞的 25.34% 和機械故障的 17.29% 為最大宗，其次依序為非常變故、失火/爆炸、觸礁或擱淺、與其他物碰撞等；同時與全部資料的分析結果相比，發現觸礁或擱淺的佔比超越失火/爆炸的比例，顯示失火/爆炸的座標記錄部分較不詳實。

表 4.1-3 2012-2021 年海難事故刪除無座標之船舶海難成因統計

海難成因	發生件數(筆)	百分比(%)
其他	337	25.34
兩船碰撞	301	22.63
機械故障	230	17.29
非常變故	126	9.47
觸礁或擱淺	119	8.95
失火/爆炸	114	8.57
與其他物碰撞	58	4.36
傾覆	25	1.88
絞網	15	1.13
洩漏	5	0.38
總和	1342	100.00

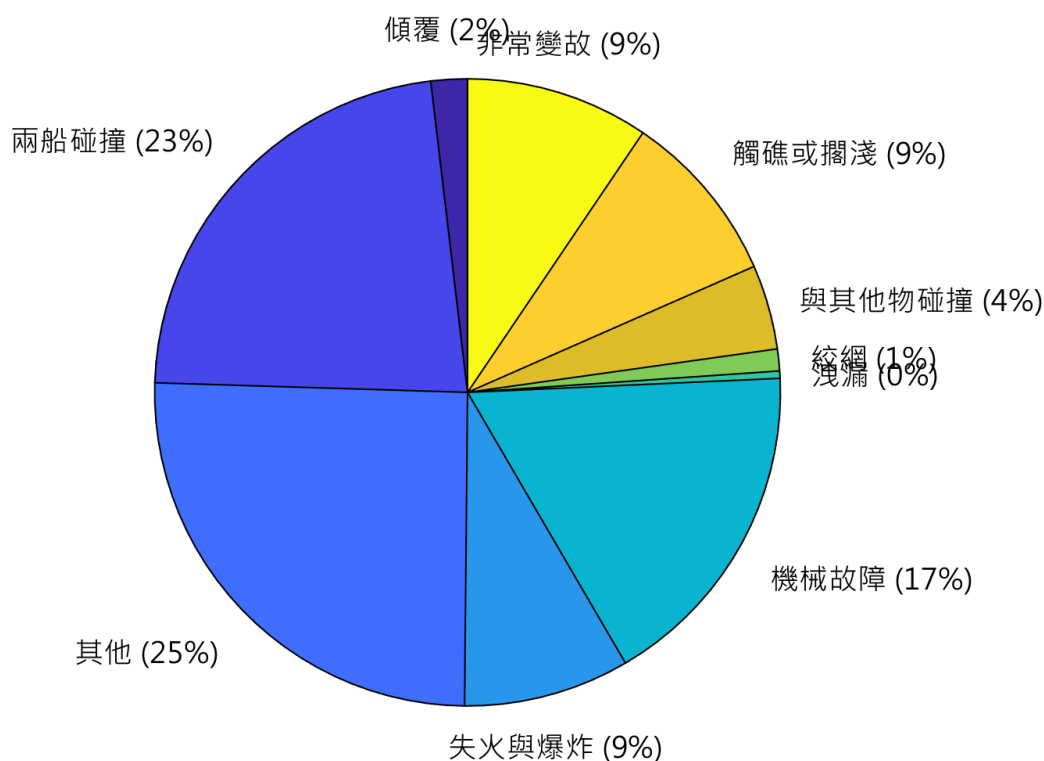


圖 4.1-3 2012-2021 年海難事故刪除無座標之船舶海難成因圓餅圖

4.1.2 事故地點空間分布

排除上述無明確座標的資料後，將各失事原因包括(兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺、失火或爆炸、機械故障、傾覆、洩漏絞網與非常變故及其他)繪製 8 張空間分布圖如圖 4.1-4 至圖 4.1-11。圖 4.1-4 為兩船碰撞事件的空間分布圖，圖中紫紅色點顯示在基隆港、臺北港、臺中港、高雄港與花蓮港有較明顯的群集。圖 4.1-5 為與其他物碰撞事件的空間分布圖，相較於兩船碰撞，圖中紫紅色點僅於基隆港、臺中港及高雄港有複數點位疊合的現象，其餘部分皆零星事件點。圖 4.1-6 為觸礁及擱淺事件的空間分布圖，其位置幾乎發生於近岸範圍，臺灣東北部與西南部明顯較常發生，另外西部海岸與外島也有部分零星事件。圖 4.1-7 為失火與爆炸事件的空間分布圖，圖中顯示失火事件發生位置較集中於臺灣東北部與西南部，爆炸事件在 1342 筆記錄中僅有一筆，發生於臺灣西南海域。

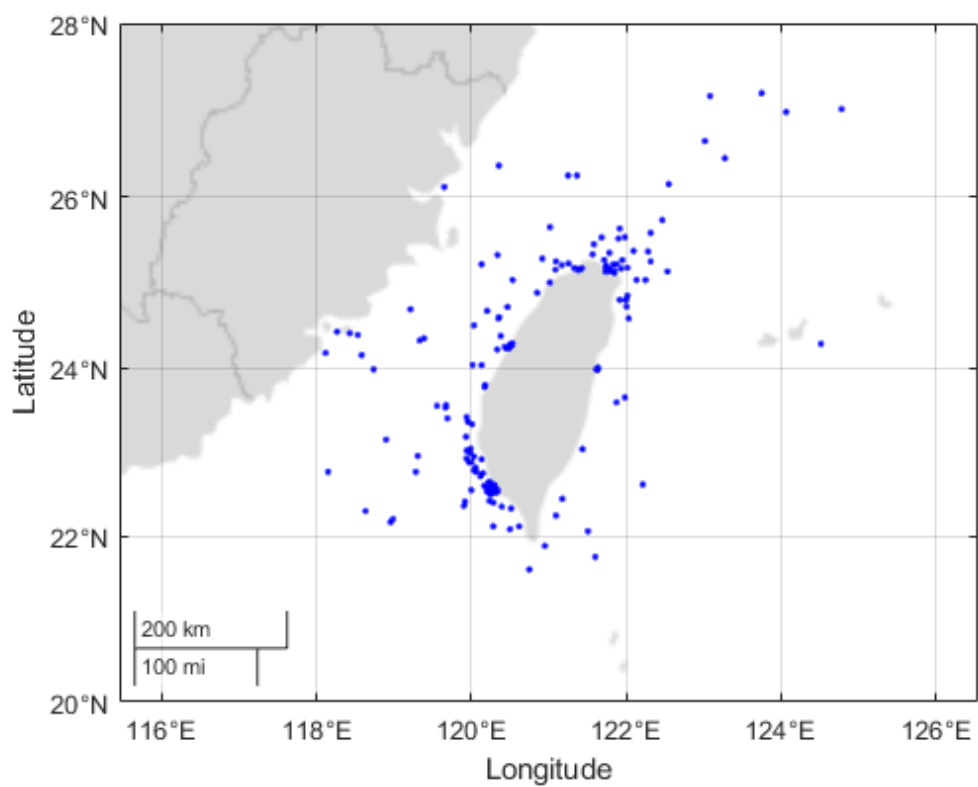


圖 4.1-4 兩船碰撞事故空間分布圖

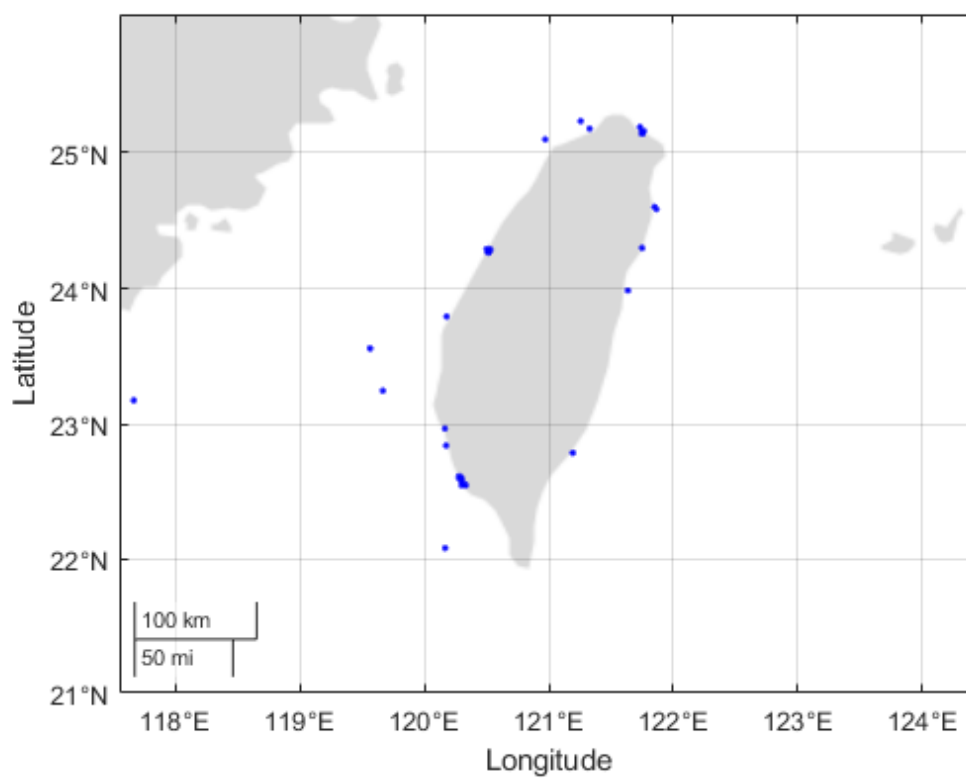


圖 4.1-5 與其他物碰撞事故空間分布圖

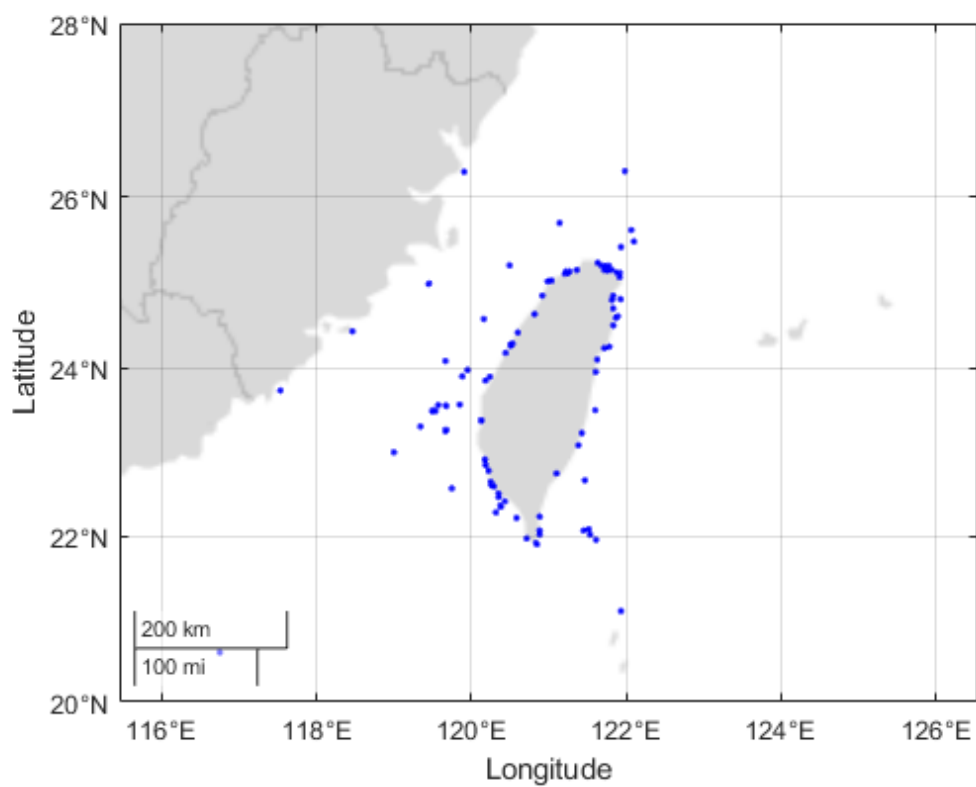


圖 4.1-6 觸礁或擱淺事故空間分布圖

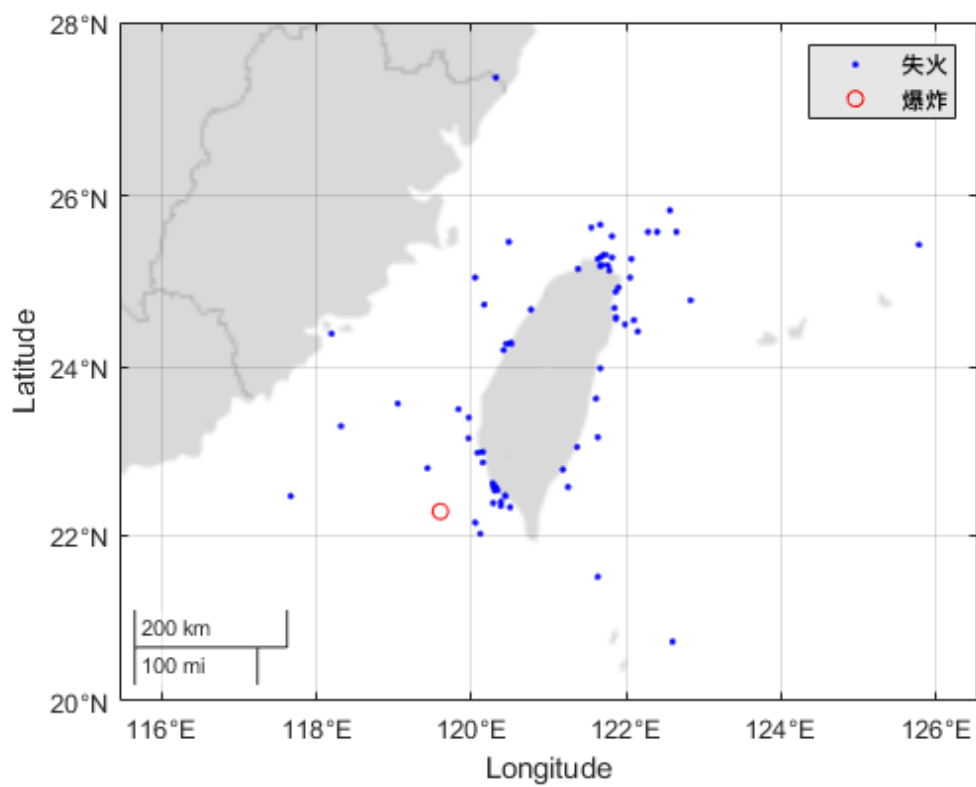


圖 4.1-7 失火或爆炸事故空間分布圖

圖 4.1-8 為機械故障事件的空間分布圖，圖中紫紅色點顯示在基隆港、臺中港與高雄港有較明顯的群集，其餘發生位置在臺灣北部與西部海域呈現較均勻的分布。圖 4.1-9 為傾覆事件的空間分布圖，傾覆事件在 1342 筆資料中僅佔 25 筆，大多出現於臺灣東北與西南海岸區域。圖 4.1-10 為洩漏、絞網與非常變故三種事件的綜合空間分布圖，分別以黃色三角、淺藍圓形與紫紅色點作表示。洩漏事件僅有五筆，發生於臺中港、高雄港與澎湖地區。絞網事件為為船舶經過漁船作業區時機件與漁網的拉扯糾結所造成，故分布位置大多於遠岸漁船作業區。非常變故事故發生點大多位於北部與西部海域，但較無明顯群集，一般此類記錄中的原因分析僅記載天候相關事件。圖 4.1-11 為其他事故的空間分布位置，其他事故為資料記錄中所佔最多的事件，依其原因分析來看其中包含：天候、絞網、油污、人損、貨損及不明的綜合記錄。在空間分布上以基隆港、臺中港及高雄港較明顯群集，其餘在海域分布較均勻。

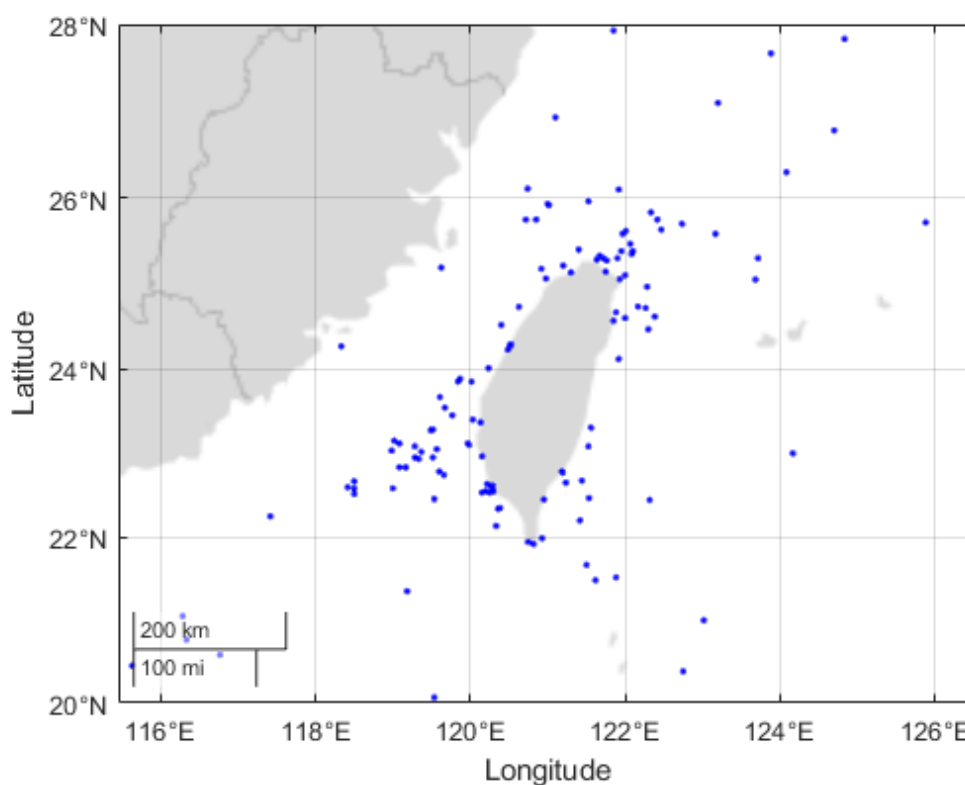


圖 4.1-8 機械故障事故空間分布圖

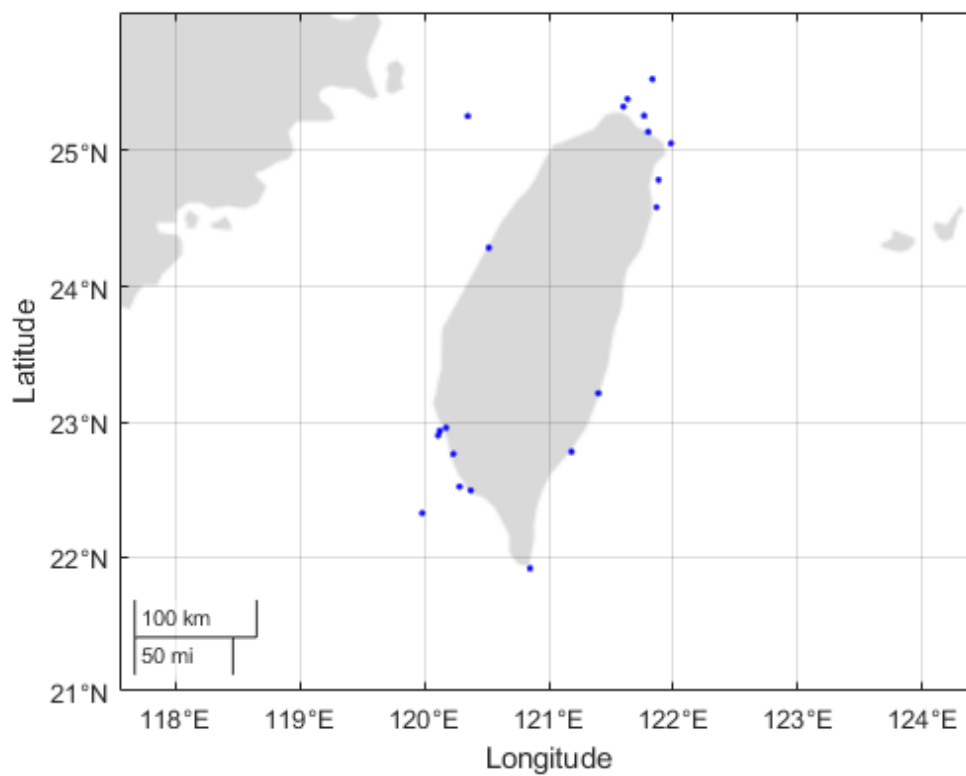


圖 4.1-9 傾覆事故空間分布圖

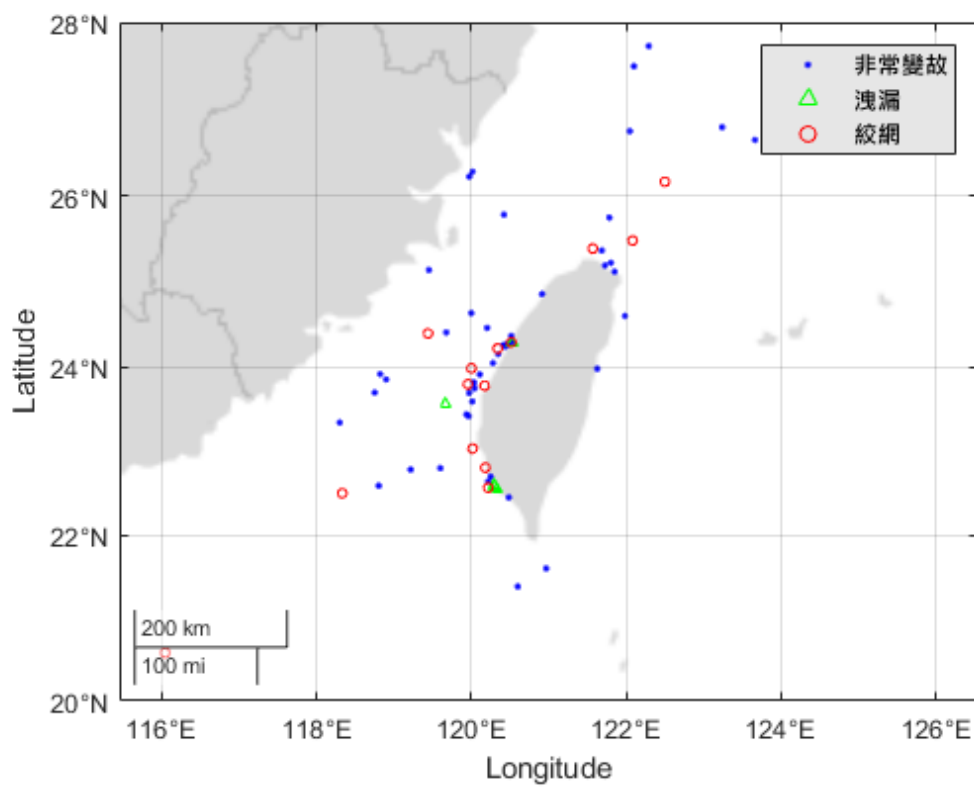


圖 4.1-10 洩漏、絞網與非常變故空間分布圖

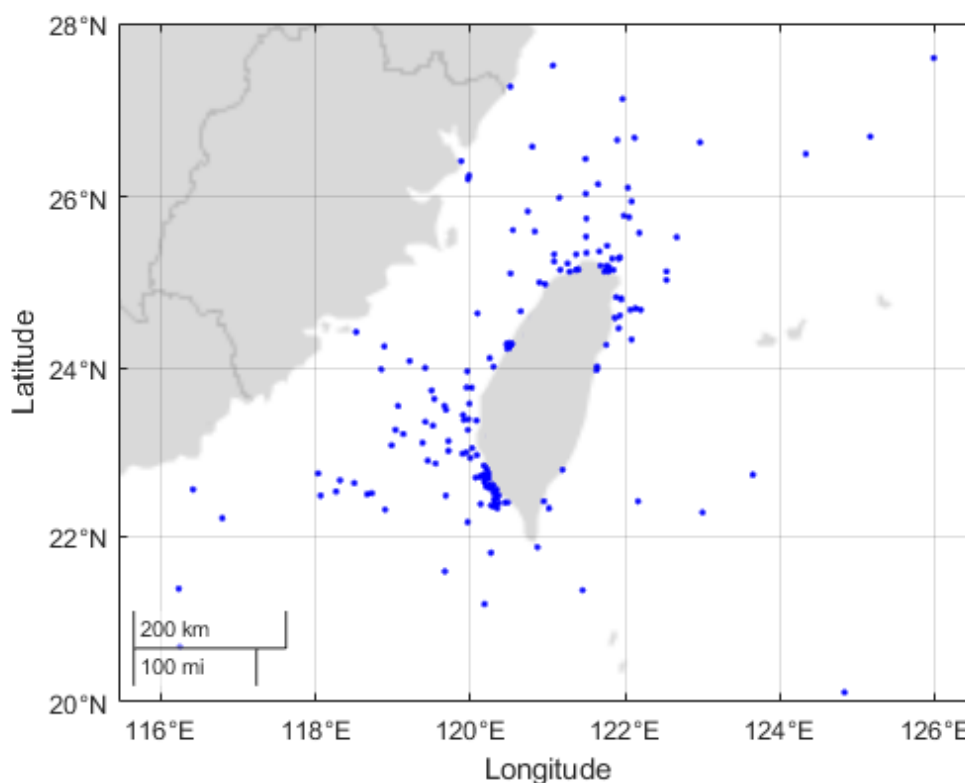


圖 4.1-11 其他事故空間分布圖

由上列圖 4.1-4 至圖 4.1-11 可以稍微說明空間分布特性，透過圖示也可發現兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺這三類的發生較具空間分布特性，其餘五類包括失火或爆炸、機械故障、傾覆、洩漏、絞網與非常變故及其他在一般認知上的發生機制則較不具空間分析的價值，所以後續僅針對這三項目進行熱區分析。

4.2 熱區分析

4.2.1 事故原因熱區分析

熱區分析(Hotspot analysis)是地理資訊系統常用的空間分析方法，其特色是透過與鄰近資料的關係，計算出資料集中的熱區，透過資料視覺化讓使用者透過地圖不同視角或色階，直觀獲取空間資訊的特性。圖 4.2-1 為兩船碰撞的熱區分析結果圖，圖中由冷色調的藍色至暖色調的紅色逐漸代表海上船舶事故發生的熱度分布；此外為能明顯表現出主要熱點的差異，計算分析半徑的選用為十分重要的參數，

在此選用 20km 為取樣半徑進行分析，最接近紅色的區域顯示代表海上發生兩船碰撞事故發生熱度較高的區域在高雄港，其次為基隆港、臺中港與花蓮港。此外臺北港與高雄港沿著海岸線往西北方的安平港海域延伸區域亦呈現淺藍色與綠色調，顯示也有兩船碰撞事件的發生。

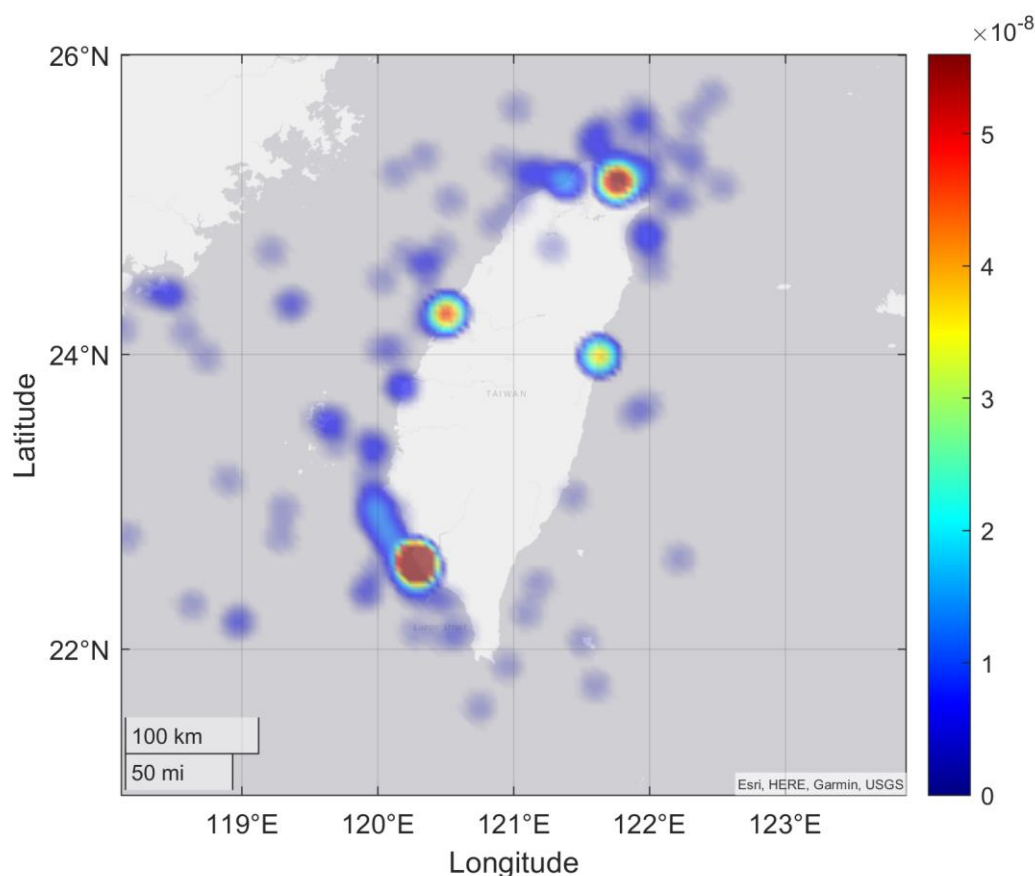


圖 4.2-1 兩船碰撞事件的熱區分析圖

圖 4.2-2 為與其他物碰撞的熱區分析結果圖，同樣以冷色調的藍色至暖色調的紅色逐漸代表海上船舶事故發生的熱度分布。計算分析半徑選用 20km 為取樣半徑進行分析，最接近紅色的區域顯示代表海上發生與其他物碰撞事故發生熱度較高的區域在高雄港，其次為基隆港與臺中港。圖 4.2-3 為觸礁與擱淺的熱點分析結果圖，計算分析半徑選用 20km 為取樣半徑進行分析，最接近紅色的區域顯示代表海上發生觸礁與擱淺事故發生熱度較高的區域在基隆港，其次高雄港。此外在臺北港、臺中港、布袋港、宜蘭沿岸與澎湖地區也呈現黃色調，顯示也有觸礁與擱淺的發生。

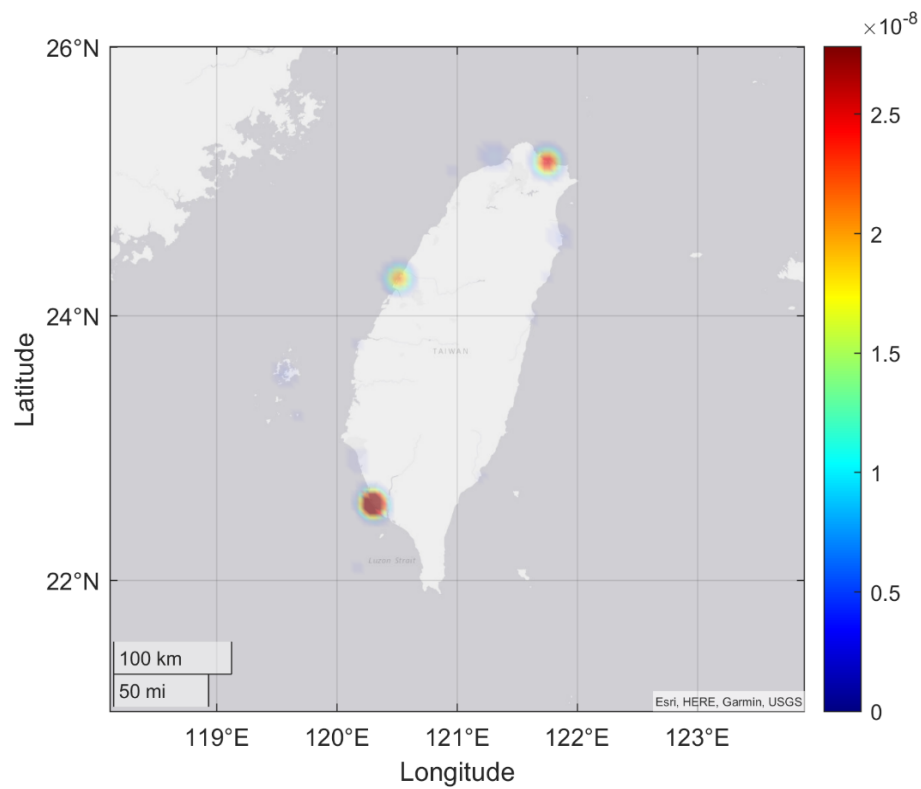


圖 4.2-2 與其他物碰撞的熱區分析圖

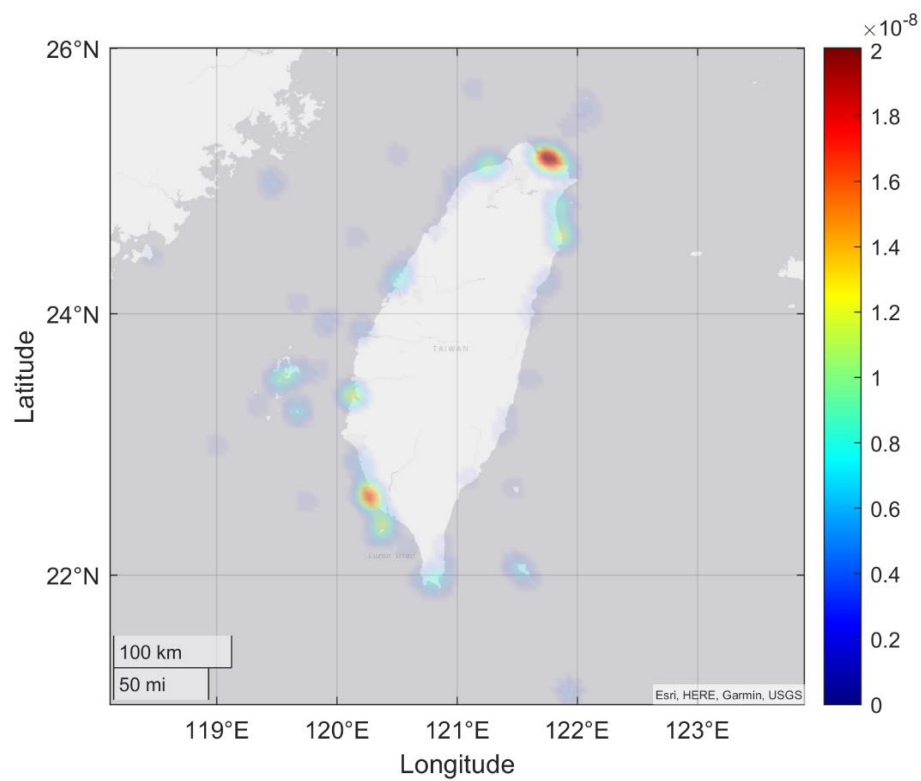


圖 4.2-3 觸礁與擱淺的熱區分析圖

綜合上述分析可以歸納出幾點結果，在兩船碰撞及與其他物碰撞的事件中，最明顯的熱區位於高雄港，若要針對海上船舶意外的航線空間因子進行分析，高雄港將是最合適的地點，而觸礁與擱淺的發生可能與當地的地形水深變化較有相關，但其記錄資料相對碰撞事件少了許多，未來若有足夠的相關事件記錄，亦可進行進一步的探討。

4.2.2 高雄港範圍內熱區分析

在臺灣周邊海域的分析中，高雄港在兩船碰撞及與其他物碰撞的熱區是最明顯的，故本小節針對高雄港進行細部分析，從海上事故資料集中篩選出兩船碰撞事件及與其他物碰撞事件進行合併分析，其結果如圖 4.2-4 所示。圖中顯示高雄港內主要熱區主要發生在圖中紅色範圍區域，對應圖下方高雄港區配置圖中的位置分別為#4 號至#9 號碼頭區(蓬萊商港區)與#25 號碼頭附近水域，其餘位置則呈現綠色或黃色調的分布，較無明顯密集發生的區域。後續數值模擬分析與海上航行安全風險分析的結果將與高雄港這些熱區範圍進行合併討論。



4.3 風險因子分析

海上事故若與陸上交通事故一樣有詳盡的紀錄即可進行深入的風險因子分析，針對近年國內外海上航行風險的相關研究進行蒐集與研析(Montewka et al., 2012; Fiskin et al., 2020; Wang et al., 2020)，本計畫將其風險因子分為四類包括：海氣象因子、航線空間因子、人為因子及其他可能因素；並分列子項目如圖 4.3-1 所示。



資料來源：本計畫繪製

圖 4.3-1 初步規劃的四類風險因子

目前本計畫所分析的海上事故資料為交通部航港局的海事案件統計表，其來源為船長自述的海事簽證，其中針對各事件的原因分析為平均約不超過 50 字的文字敘述，由於目前無法取得記錄較為詳實的調查報告，故僅能採用原因分析欄位的內容來進行因子分析。因此，人為因子與海氣象因子採用關鍵字配合文字雲分析來進行評估，航線空間因子則以熱區分析結果來進行說明。

4.3.1 人為因子

本計畫透過爬梳海事案件統計表中原因分析欄位的文字敘述，列出一些本計畫定義之人為因子的關鍵詞彙，如：人為、疏失、誤判、不慎、不當、反應不及、未注意、未盡、操作等，並透過這些詞彙篩分出相關事件，計算其造成之海難事故的佔比並進行文字雲分析，以更進一步探討該因子的其他特性。圖 4.3-2 與圖 4.3-3 分別為 2012-2021 年海難事故之人為因子的文字雲以及關鍵字出現數量之長條圖，資料共有 83 筆，在總資料 1671 筆當中約佔 5.0%；透過文字雲的呈現，旨在方便讀者瞭解近 10 年來，人為之海難事故的其他特性，其中，在文字雲中的字體越大，代表在資料集中出現的次數越多，顏色則是隨機分配，與分析結果無關。依其關鍵字出現的次數，最常出現的前三名為「作業」、「操作」與「碼頭」等，此類關鍵字在原因分析欄位中主要描述事件發生的狀態與地點。大多人為失誤都處於操作或作業狀態，碼頭附近則是最常發生的地點。第四順位至第八順位則為「碰撞」、「落海」、「拖船」、「出港」與「靠泊」，其中落海與碰撞顯示人為因素造成事件最常發生的結果，出港與靠泊則是發生事件時的船行目標，較為特別的是第六順位的關鍵字顯示有許多事件都與拖船有關。

而圖 4.3-3 則列舉超過三次以上的人為因子之關鍵字，由於數量較多本計畫將人為事件分為以下四類來進行討論：

1. 描述事件發生當時狀態或地點的關鍵字排名：作業、操作、碼頭、出港、靠泊(含停泊)與出港。
2. 描述事件發生後造成的結果關鍵字排名：碰撞、落海、死亡、擱淺、受傷與擦撞。
3. 描述事件發生關係人員的關鍵字排名：船員、人員、船長、引水人與漁工。
4. 其他相關關鍵字排名：拖船、舷船、球型艙、船艙、帶纜與鐵條。
5. 詳細指出人為因素細節與種類的關鍵字：未盡瞭望之責。

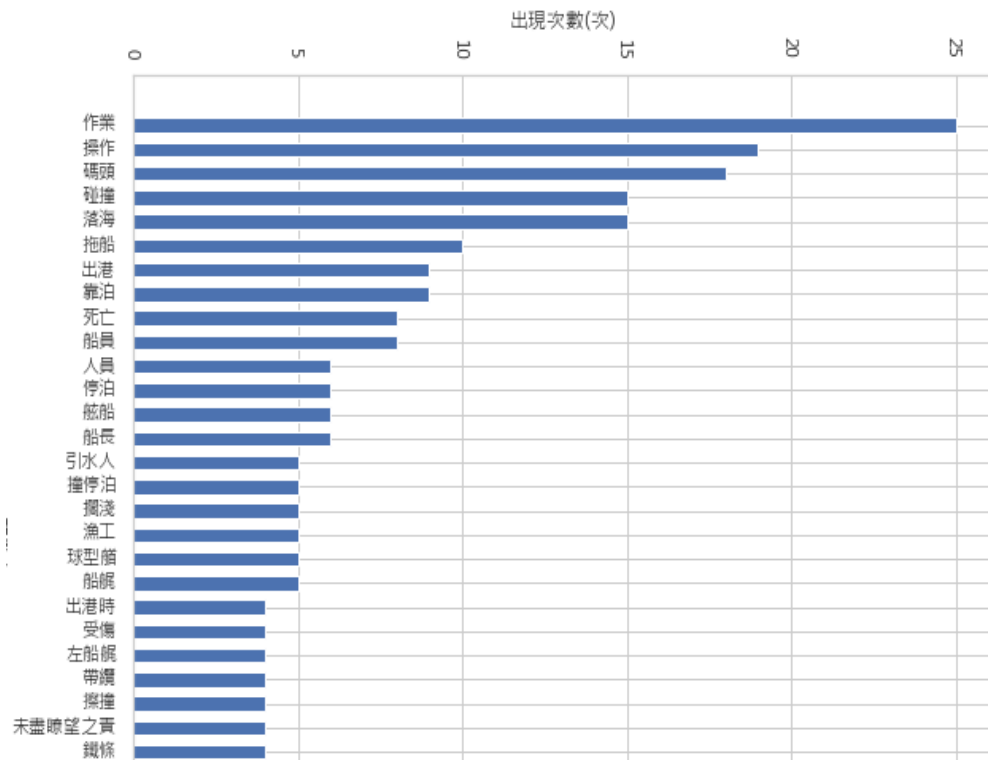


圖 4.3-3 人為因子關鍵字出現數量

4.3.2 海氣象因子

操作如同上個小節，透過詳細的原因分析，並應用自行編寫的程式尋找有關受海氣象因子影響的海難事故，本計畫針對海氣象因子所設定的關鍵字為：惡天、風、天候、浪、海象、颱風、海流、水流與流況等，將有爬梳到有關關鍵字事件進行文字雲與數量分析，目的在於瞭解海氣象對海難事故造成之影響程度。

圖 4.3-4 與圖 4.3-5 分別為 2012-2021 年海難事故之海氣象因子的文字雲以及關鍵字出現數量之長條圖，資料共有 315 筆，在總資料 1671 筆中佔 18.85%。圖 4.3-4 的文字雲方便讀者瞭解近 10 年來，由海氣象所造成之海難事故的其他特性，而圖 4.3-5 列舉出現超過 5 次以上關鍵字，其中以「擱淺」、「受損」與「作業」為前三名，順位第四至第八則為「貨櫃」、「碰撞」、「船舶」、「船長」與「沉沒」。可發現些關鍵字大多描述事件發生後的結果，整合分析可見以下各類關鍵字：

- 在這些記錄中有絕大部分都僅記錄惡劣天候，所以能進行進一步分析的資料不多，若在記錄中連風、浪或流所造成的因素都沒有記載就很難做進一步探討。由上述記錄與分析，能獲得的資訊其實不多，雖然天候變化無常，本來就是導致海難事故發生的主因，但希望未來國內相關記錄能夠更著重於細節的登載留存，以便進一步分析肇因並建立提升海上航行安全的方案。



圖 4.3-4 海氣象因子之文字雲

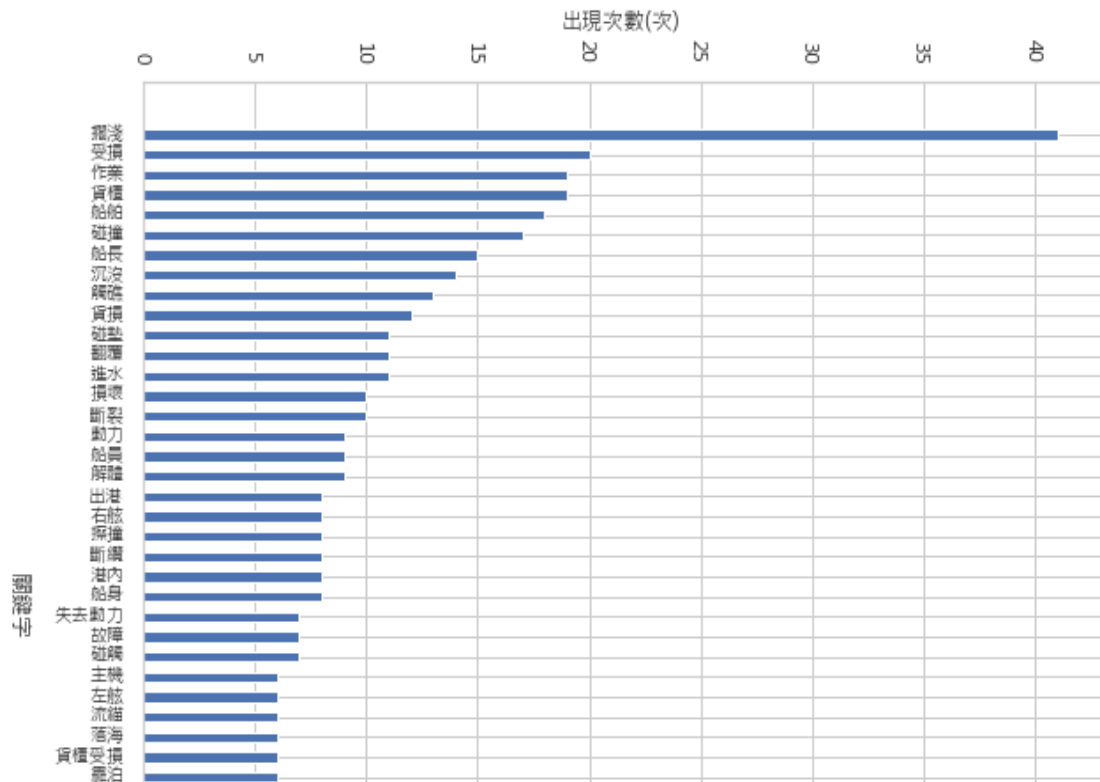


圖 4.3-5 海氣象因子關鍵字出現數量

4.3.3 航線空間因子

臺灣各主要港口每日往來船隻眾多，其航線密度除了採用 AIS 系統的記錄來分析外，亦可初步採用各港兩船碰撞的事故發生點來進行初步探討。本小節依據前節熱區分析結果選取排名前四的熱區進行細部分析。圖 4.3-6 為高雄港兩船碰撞發生事故點的細部熱區分析結果。圖中立體柱狀圖的根部為兩船碰撞事故的發生位置，該地點發生的次數則以柱狀高度來做正規化呈現。圖中顯示高雄港兩船碰撞的事件大多集中在北端一港口內往二港口的南北主航道與一港口支航道，其中一港口船迴船池與一港口支航道內為明顯熱區，其他區域的事故分布則較為稀疏。一港口及二港口處皆有兩船碰撞事故的歷史記錄，顯示高雄港的確需要更進一步以 AIS 系統來分析，以探討這些碰撞事故的可能原因，與高雄港航線密度等環境因素。

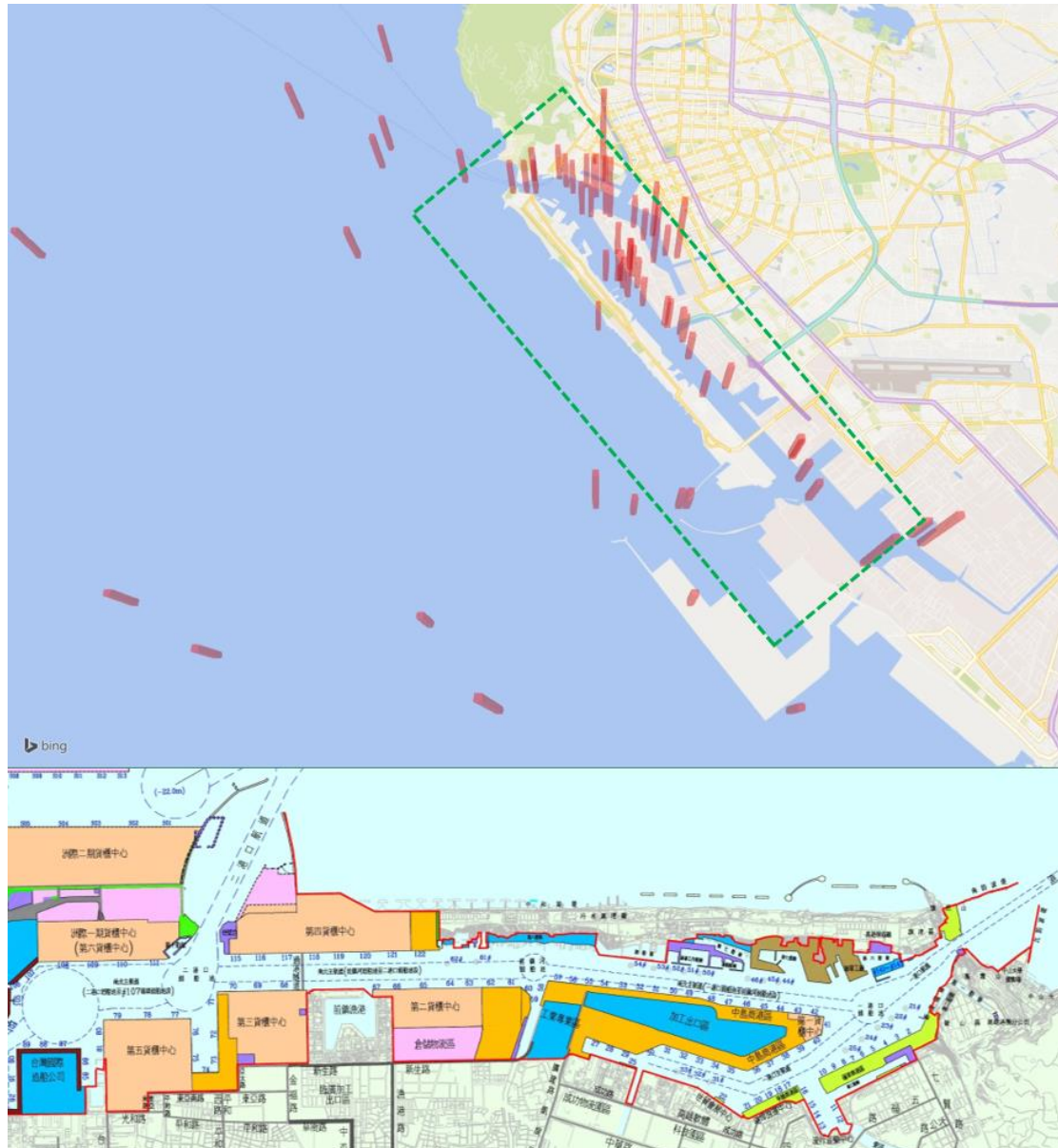


圖 4.3-6 高雄港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖

圖 4.3-7 為基隆港兩船碰撞事故發生點的細部熱區分析結果。立體柱狀圖中的分布位置顯示基隆港兩船碰撞的事件大多集中發生在航道與迴船池的西側，且幾乎發生於碼頭處，以兩船碰撞事故發生熱區來看似乎與航線密度較無相關。值得一提的是有部份兩船碰撞事故被標記在陸域地區，其可能是因為統計表內的記錄不詳實所致。圖 4.3-8 為臺中港兩船碰撞事故發生點的細部熱區分析結果，其立體柱狀幾乎分布於位於北迴船池的周邊，但大多發生在碼頭邊，僅少數發生在航道區域，顯示臺中港兩船碰撞的事件大多集中發生在碼頭靠泊或卸貨時所造成。

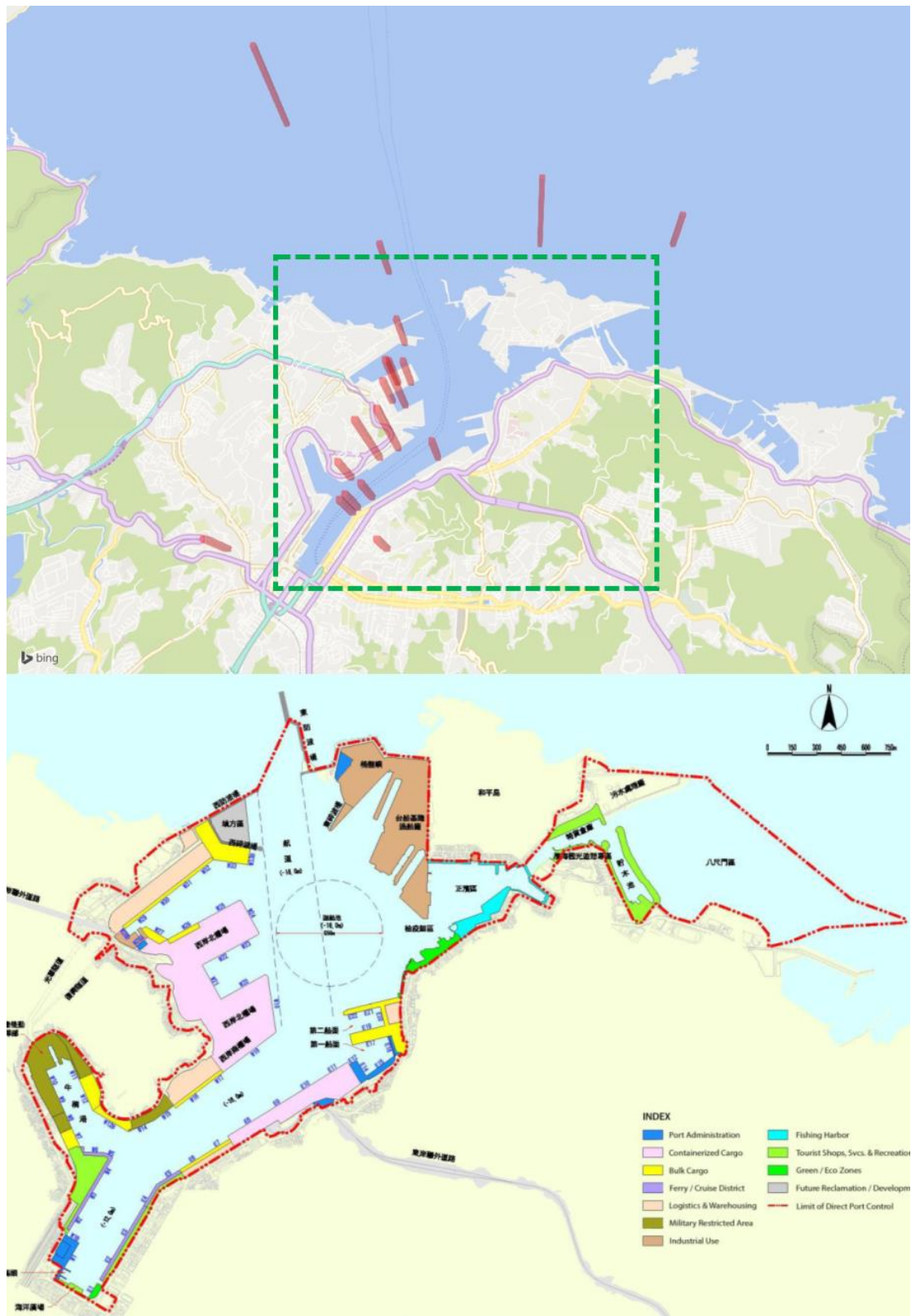


圖 4.3-7 基隆港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖



圖 4.3-8 臺中港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖

圖 4.3-9 為花蓮港兩船碰撞事故發生點的細部熱區分析結果。立體柱狀圖中的分布並無明顯集中的區域，但港口處顯示有兩船碰撞的歷史記錄，陸域範圍也有座標記錄不明確所造成的事故記錄點。



圖 4.3-9 花蓮港兩船碰撞事故位置立體柱狀圖

4.3.4 其他因子

由於海事案件記錄表中沒有詳細的船種、載貨種類與船齡紀錄，僅能針對船舶噸數來做基本分析，針對 10 種事故成因的船舶噸數特性，統計平均值與標準差如表 4.3。表中顯示各種事故類型的船舶噸數統計，以平均來說所有類型事故的群集中，以與其他物碰撞的群集

的平均噸數最大，非常變故次之，最小的則是傾覆。以標準偏差來看，與其他物碰撞的偏差量最大，其他事件與兩船碰撞的事件群集中偏差量次之，偏差量最小的事故類型則為傾覆。

表 4.3 各種事故類型群集中的船隻噸數統計

事故類型	平均值	標準偏差
傾覆	223.56	551.25
兩船碰撞	9959.70	18138.22
其他	7389.01	18725.19
失火與爆炸	483.67	1433.00
機械故障	2150.87	7537.64
洩漏	6916.86	5615.61
絞網	8995.77	12107.99
與其他物碰撞	15504.06	24110.47
觸礁或擱淺	3514.13	11164.86
非常變故	10724.45	13692.41

第五章 特定目標港海氣象數值模擬

依據第四章熱區與相關因子的分析結果顯示高雄港在多種事故的分析中皆呈現為明顯的熱區，且高雄港吞吐量大，亦為國內重要港口，故本章的海氣象數值模擬與分析以高雄港為目標港。

5.1 高雄港現有事故分析

本計畫以原因分析欄位的關鍵字進行分析，圖 5.1-1 至圖 5.1-3 分別為以關鍵字「風」、「浪」與「流」進行資料爬梳所篩分出的事故發生位置，相關事件說明如表 5.1-1 至表 5.1-3 所示。圖 5.1-1 與風相關的事故可採用交通部運輸研究所港灣技術研究中心長期記錄的風速資料來進行陣風分析，評估該發生時間與地點當時的情境來瞭解事故發生的原因與特性。圖 5.1-2 及圖 5.1-3 與浪和流相關的事故則可配合高雄港的數值模擬來評估事故情境。



圖 5.1-1 原因分析欄位中有提及「風」關鍵字的事件位置

表 5.1-1 與風相關的事件說明

編號	年	月	日	原因	詳細內容
1	103	3	31	兩船碰撞	賽納輪因強風斷纜導致兩船碰撞
2	103	7	23	觸礁或擱淺	因颱風致船擱淺
3	105	9	14	兩船碰撞	因颱風來襲斷纜致與「匯隆 15」、「五興 6」二船對撞
4	106	7	16	兩船碰撞	強風暴雨致輪船擦撞
5	107	6	14	兩船碰撞	遇強風斷纜碰撞[MADRID(馬德里)]
6	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
7	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
8	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
9	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大造成該船擱淺
10	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺

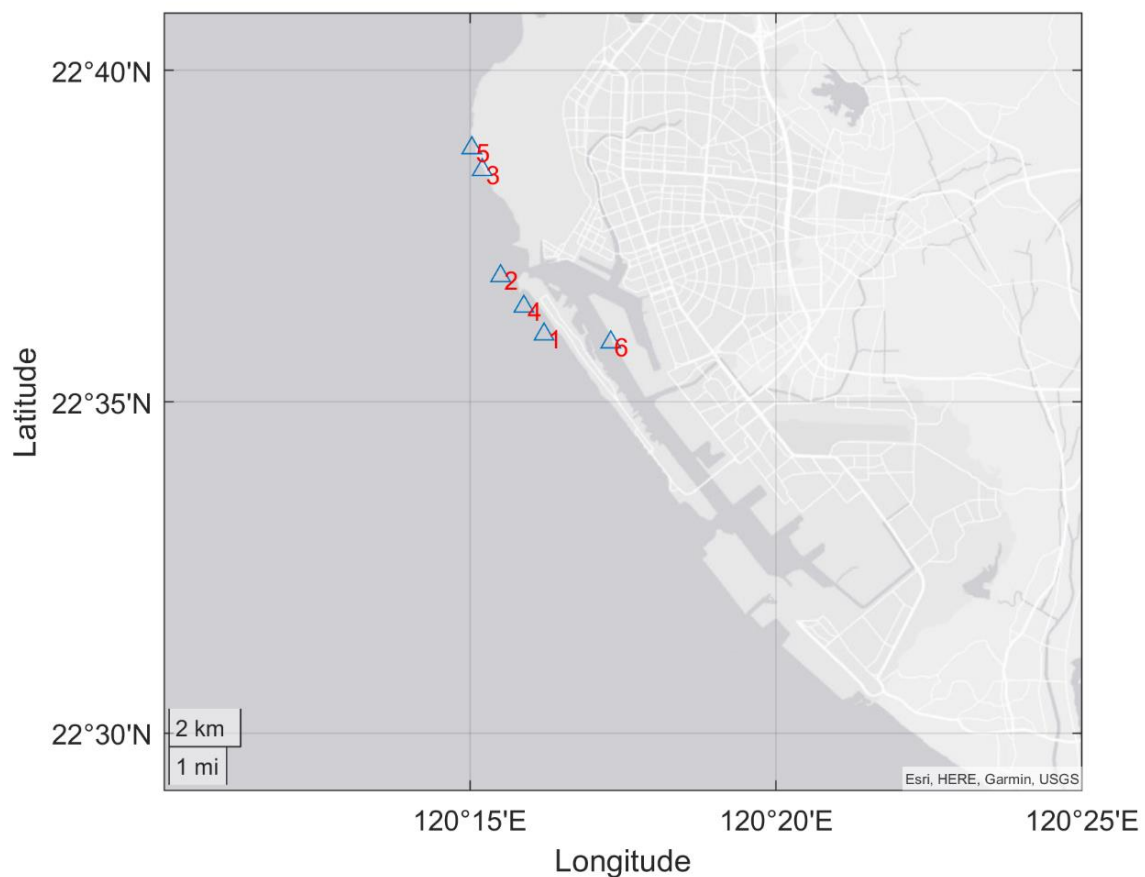


圖 5.1-2 原因分析欄位中有提及「浪」關鍵字的事件位置

表 5.1-2 與浪相關的事件說明

編號	年	月	日	原因	詳細內容
1	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
2	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
3	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
4	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大造成該船擱淺
5	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
6	109	2	4	其他	湧浪造成左舷舷梯損壞及斷纜

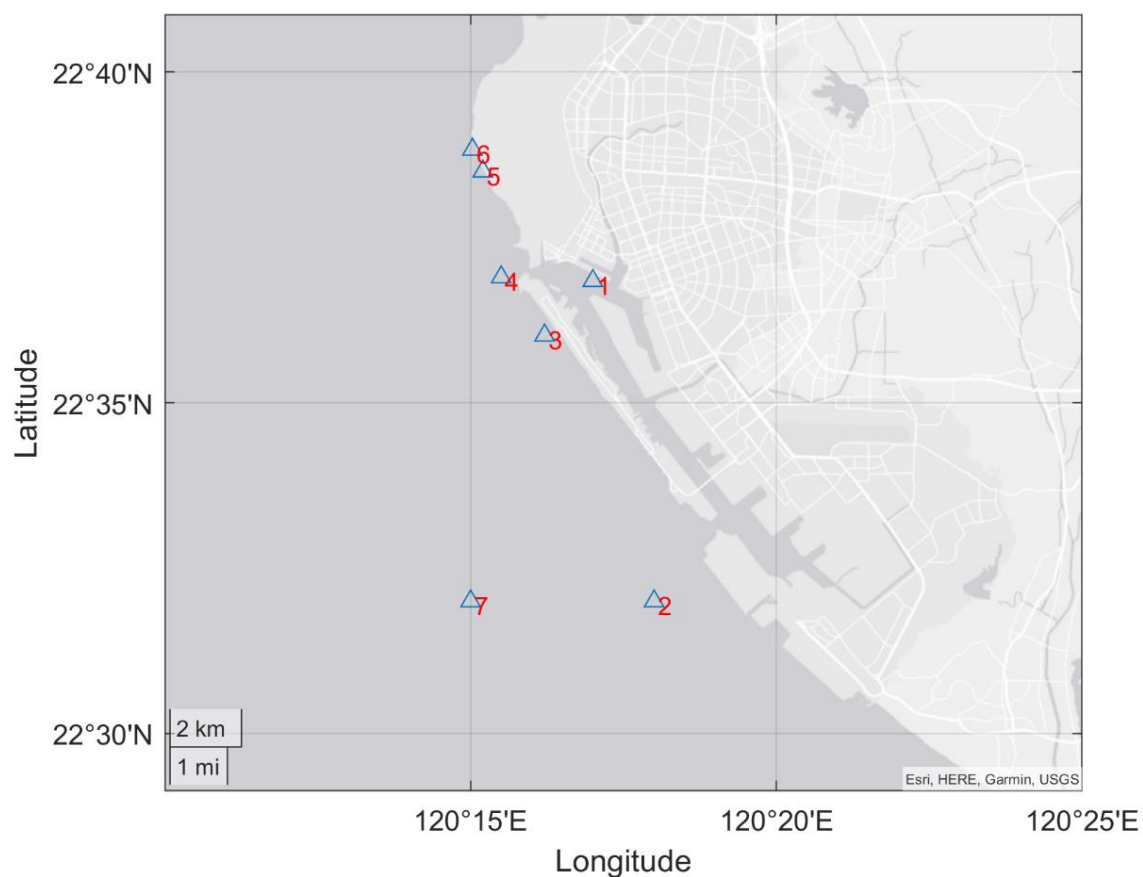


圖 5.1-3 原因分析欄位中有提及「流」關鍵字的事件位置

表 5.1-3 與流相關的事件說明

編號	年	月	日	原因	詳細內容
1	104	7	19	兩船碰撞	該輪因流錨與停泊於8號碼頭之勝榮輪碰撞
2	105	12	24	其他	因舵機故障漂流致撞擊「大隆」挖泥船浮管
3	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
4	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
5	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
6	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
7	109	7	24	機械故障	停俾修理主機，因漂流致碰撞[安達]輪

5.2 數值模式建立與驗證

5.2.1 模式建立

本計畫數值模式採用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之 MIKE 21 軟體進行數值模擬，DHI 是一個獨立的國際諮詢及科學研究機構，其所研發的 MIKE 21 是模擬水動力、水質、泥沙、波浪的專業工程軟體，主要應用於港口、河流、湖泊、河口海岸和海洋，具有先進的前後處理功能和用戶介面。模式以有限體積法(Finite Volume Method)將控制方程式在空間上進行離散，所採用之網格系統為非結構性三角形網格，每一個三角形都代表一個元素，每一時間步均可解出各元素中心的 N 值。

一、波浪計算模組

(一)MIKE 21 SW 波浪模式

MIKE 21 SW 主要用於模擬離岸及近岸區，風浪和湧浪的成長、衰減及傳播變形。MIKE 21 SW 包含兩個不同公式

1.全譜公式

全譜公式基於 Komen 等人(1994)和 Young (1999)的波動守恆方程。全譜模式包含下列物理現象：風浪成長、波與波非線性交互作用、白沫消散、底床摩擦消散、水深引起的波浪破碎、水深變化引起的折射和淺水變形、波流交互作用、水深隨時間變化產生的影響、波浪場冰層覆蓋產生的影響。

該模式係模擬波浪在各種外力作用下之波能變化，其求解之方程式為波浪作用力守恆方程式(Wave action conservation equation)，此方程式為二維時變域之偏微分方程式，表示如下：

$$\partial N / \partial t + \nabla \cdot (\vec{v} N) = S / \sigma \quad (5.2-1)$$

其中， $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ 為波力頻譜密度函數(wave action density function)，與波能頻譜密度函數(wave energy density function)之關係為 $N=E/$ 關； $\vec{x} = (x, y)$ 為卡氏坐標； t 為時間； σ 為角頻率；而 θ 則為波向角。

$\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ 為一個 4 維空間的向量， $(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c_g} + \vec{U}$ ，代表群波在空間上的傳遞速度，其中 $\vec{c_g}$ 為群波速度，而 $\vec{U}$ 則為海流之流速，模式可考量波浪在海流流動狀況下之傳遞情形。 $c_\sigma = d\sigma/dt$ ，代表角頻率 σ 之變化速度。 $c_\theta = d\theta/dt$ ，代表波向角 θ 之變化速度。

$\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial \sigma, \partial/\partial \theta)$ 為一個 4 維空間的向量運算子， S 則為源項(Source term)，代表波浪傳遞過程時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象，表示如下

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (5.2-2)$$

其中 S_{in} 為風浪之成長項， S_{nl} 為波與波非線性交互作用項， S_{ds} 為白沫消散項， S_{bot} 為底床摩擦項，而 S_{surf} 則為碎波消耗項。

2. 方向參數化解耦公式

方向參數化解耦公式基於波動守恆方程的參數化形式，按照 Holthuijsen (1989) 理論，參數化在頻率空間內進行，引入波譜的零階和一階矩作為決定變量，可用於以波浪碎波後而產生之沿岸流的泥沙傳輸計算。參數化的方程式表示如下

$$\frac{\partial(m_0)}{\partial t} + \frac{\partial(C_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_0)}{\partial \theta} = T_0 \quad (5.2-3)$$

$$\frac{\partial(m_1)}{\partial t} + \frac{\partial(C_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (5.2-4)$$

其中 $m_0(x, y, \theta)$ 為波譜 $N(x, y, \omega, \theta)$ 的零次矩， $m_1(x, y, \theta)$ 為波譜 $N(x, y, \omega, \theta)$ 的一次矩， C_{gx} 及 C_{gy} 分別為群波速度 x 、 y 方向之分量， C_θ 為 θ 方向的波浪行進速度， ω 為角頻率， T_0 和 T_1 為 Source Terms，包含風、底床摩擦、碎波等因素。 n 次矩 $m_n(\theta)$ 定義為

$$m_n(x, y, \theta) = \int_0^\infty \omega^n N(x, y, \omega, \theta) d\omega \quad (5.2-5)$$

(二) 數值模擬條件

本計畫所採用之地形資料，於高雄附近海域採用現地實測的地形，而遠岸區則採用 National Geophysical Data Center 發布之全球高程資料 ETOPO2v2 (2006)。該地形資料範圍包含東經 180°~西經 180°、北緯 89.967°~南緯 90°，地形格網之解析精度為 2'×2' (約為 4×4 公里)。本計畫採用非結構型三角網格方式計算，模擬範圍之邊界南約至北緯 14°、北約至北緯 30°、西約至東經 111°、東約至東經 135°，範圍涵蓋臺灣、中國、琉球群島及菲律賓群島，所模擬範圍之地形水深如圖 5.2-1 所示。由圖中可知，為於近岸區獲得較高精度之模擬結果，鄰近高雄海域採用較密之網格，而遠岸區則採用較粗之網格，共計有 9,280 個節點、16,915 個元素，網格設定如表 5.2-1 所示。

本計畫風場模式採用 Climate Forecast System Reanalysis (CFSR; Saha et al., 2010)，該資料為美國環境預報中心(National Environmental Prediction Centers, NCEP)執行觀測資料之同化，並提高資料同化後的重分析資料，2011 年以前表面 10m 風場之解析度約為 30 公里，2011 年以後解析度約為 50 公里，此資料提供 6 小時之觀測風場，為目前可涵蓋臺灣鄰近海域範圍最高空間解析度之觀測重分析資料。

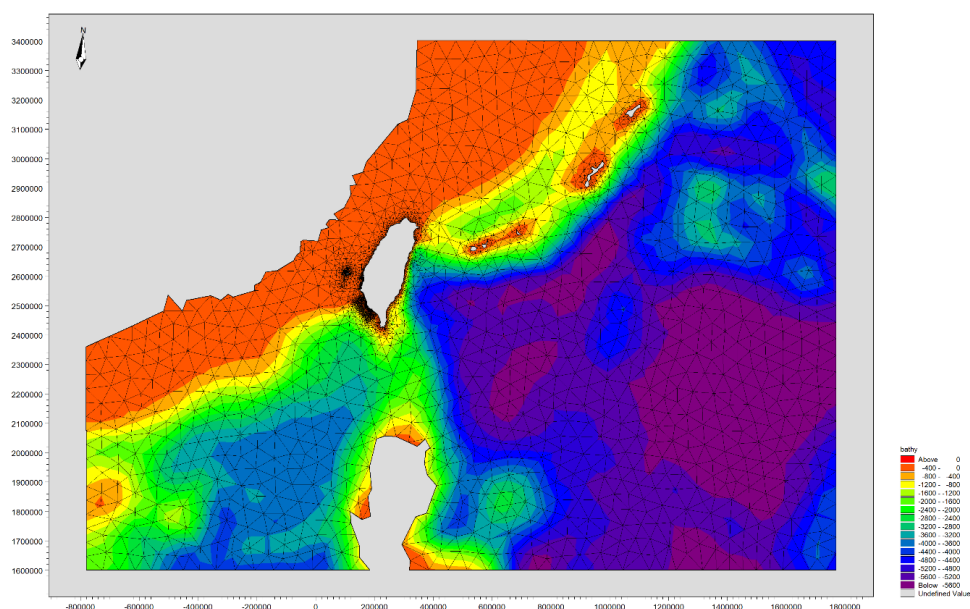


圖 5.2-1 風浪推算模擬範圍之地形水深

表 5.2-1 風浪推算模擬之網格設定內容

元素個數	16,915
節點個數	9,280
最小元素面積(m ²)	196
最大元素面積(m ²)	3.1×10^9

本計畫進行波浪推算所設定之相關參數如表 5.2-2 所示。在頻率領域方面，最小頻率採 0.055Hz，並以 1.1 倍參數的指數型式分割成 25 個頻率帶，相當於週期 1.85~18.18 秒。在角度領域方面，以 22.5° 為 1 個角度單位，共計分割成 16 個方向角，計算時距以 1 小時進行計算。風浪能量消散機制則考量 4 個波波非線性交互作用、碎波效應、底床摩擦、白沫消散等物理機制。計算範圍的邊界條件共分成二種邊界形式，一為陸域邊界，其不考慮入射波浪的能量通量；另一為海域邊界，其考慮波浪通過此邊界時完全被吸收。

表 5.2-2 模式參數設定彙整表

相關參數	設 定
頻率領域	0.055Hz~ 0.542Hz
角度領域	0°~360°、 $\Delta\theta=22.5^\circ$
時 距	$\Delta t=1\text{hr}$
碎波指標	$\gamma=0.8$
底床摩擦	$k_N=0.04m$
白沫消散	$C_{ds}=4.5$ 、 $\delta_{ds}=0.5$

二、流場計算模組

(一)MIKE 21 HD 水動力模式

MIKE 21 HD 建立在 Boussinesq 和流體靜壓力假設的不可壓縮 Reynolds averaged Navier-Stokes 方程式的基礎之上，其由連續方程式和動量方程式組成。對一般含時間因素之空間上三維的水動力系統方程式，以水深方向積分處理後，簡化為如下含時間變化之二維水動力計算系統

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (5.2-6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}u}{\partial y} = & \bar{f}vh - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} \\ & - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (5.2-7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}v}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = & -\bar{f}uh - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} \\ & - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned} \quad (5.2-8)$$

其中 η 為自由液面， d 為靜止水深， $h=\eta+d$ 為總水深， f 為柯氏(Coriolis)力參數， g 為重力加速度， p_a 為大氣壓力， s_{xx} 、 s_{xy} 、 s_{yx} 、 s_{yy} 為輻射應力張量(radiation stress tensor)， τ_{sx} 和 τ_{sy} 為表面風應力， τ_{bx} 和 τ_{by} 為底部應力， T_{xx} 、 T_{xy} 、 T_{yy} 為側向應力， S 為點源的排出量， $\bar{u}$ 和 $\bar{v}$ 為水深平均速度，可定義如下式

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (5.2-9)$$

側向應力 T_{ij} 包括黏性摩擦和紊流摩擦，可透過紊流渦度黏滯(eddy viscosity)係數 A 估計

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right), \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \quad (5.2-10)$$

(二)數值模擬條件

流場邊界採用 MOI 潮位模式的輸出結果作為驅動 HD 模式的動力邊界條件，MOI 為林勝豐(2018)使用三層巢狀網格所發展可精準描述臺灣海域的潮位模式，其以美國普林斯頓大學所發展的 Princeton Ocean Model (簡稱 POM)之原始程式碼源為基礎 (Blumberg and Mellor, 1987)，並經臺灣海域沿岸潮位站 24 個分潮的資料同化(assimilation)而建立的模式。

5.2.2 模式驗證

一、風浪模式驗證

為確認本模式於計畫區內的模擬成效，選擇 2019 年對高雄海岸影響較大的白鹿(BAILU)颱風波浪資料及颱風期間前後的季風波浪進行驗證，颱風路徑如圖 5.2-2 所示，本計畫選用之驗證資料來源為交通部運輸研究所港灣技術研究中心於高雄港之觀測資料。

(一)模式評估指標

為瞭解模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 4 個指標來評估模式推算結果的優劣，分別為判定係數(R-square, R^2)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 、最大波高發生時間誤差 Δt_p 。

$$R^2 = \frac{\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs}) ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num}) \right)^2}{\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2 \right) \left(\sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2 \right)} \quad (5.2-11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (5.2-12)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (5.2-13)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (5.2-14)$$

其中 $H_{s,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高； $H_{s,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高； $t_{p,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間； $t_{p,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間。由式(5.2-13)可知，若 $\Delta H_{s,p}$ 為正值，表示模式推算的示性波高過於高估，若為負值則表示低估，由式(5.2-14)可知，若 Δt_p 為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。

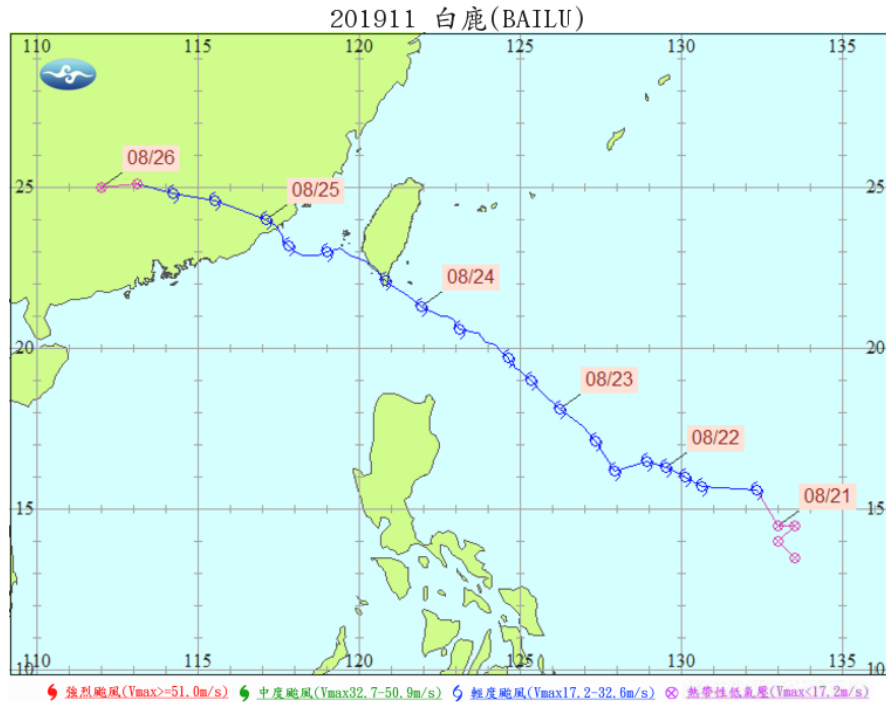


圖 5.2-2 白鹿(BAILU)颱風路徑圖

(二)颱風波浪示性波高的時序列比較

圖 5.2-3 為颱風波浪示性波高及週期的時序列比較圖，圖中實心圓點為觀測值，實線為 MIKE 21 SW 採用 CFSR 風場的推算結果。由圖中可知，模擬趨勢和觀測值皆非常一致。由颱風資料的驗證可知，MIKE 21 SW 使用 CFSR 風場的波浪推算方式在計畫區內可獲得不錯的推算成果。

(三)颱風波浪示性波高的評估指標比較

由 2019 年白鹿(BAILU)颱風在高雄港推算的結果可知，判定係數(R^2)為 0.84，均方根誤差(RMSE)為 0.28m，推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 為 -0.14m，最大波高發生時間誤差 Δt_p 為 0 小時。由評估指標的比較可知，MIKE 21 SW 採用 CFSR 風場在高雄港有不錯的推算結果。

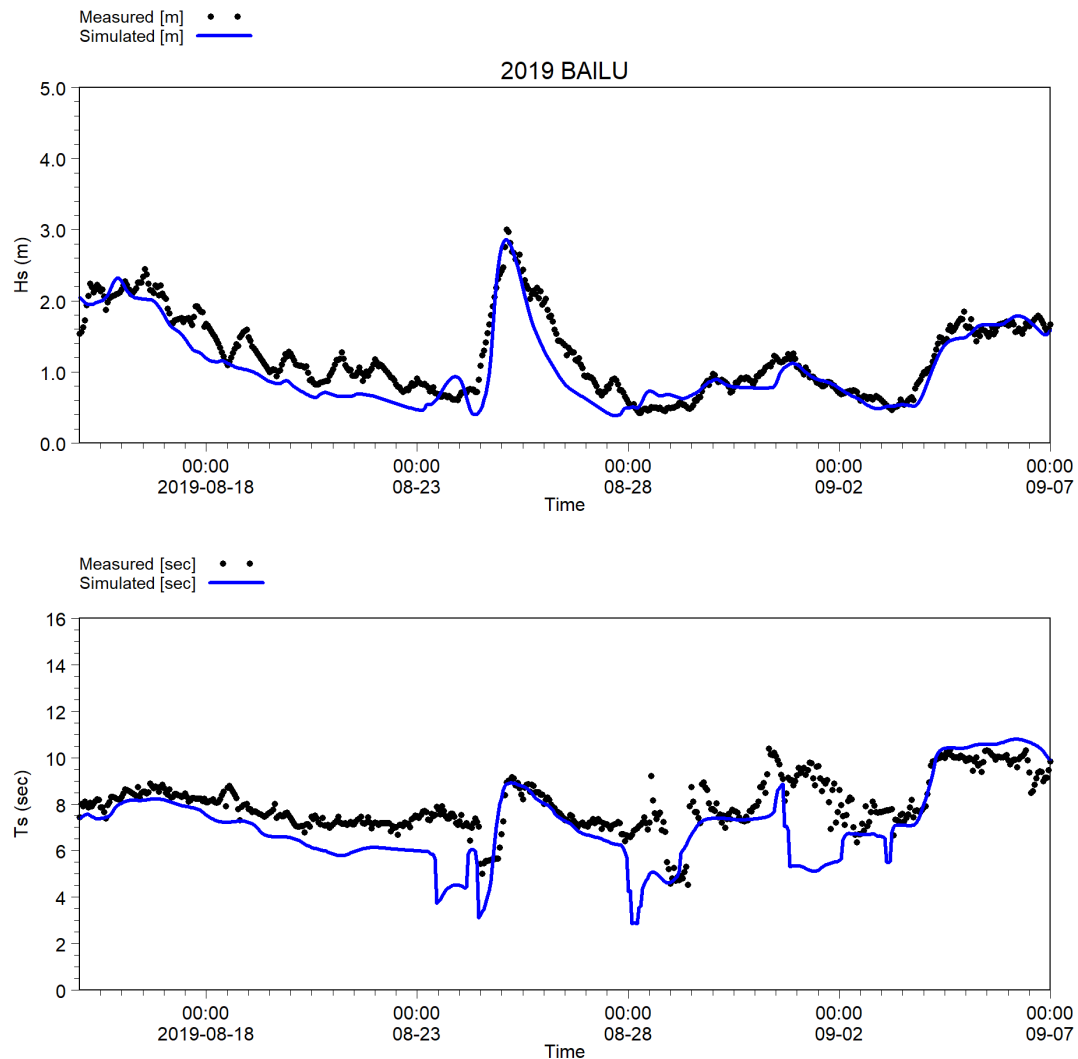


圖 5.2-3 颱風波浪示性波高及週期時序列比較

二、流場模式驗證

圖 5.2-4 為流場模式驗證圖，上圖為潮位時序列比較圖，圖中實心點為實測資料，藍色實線為模擬結果，中圖為流速時序列比較圖，圖中黑色實心圓點為實測資料，藍色實線為模擬結果，下圖為流向時序列比較圖，圖中黑色實心圓點為實測資料，藍色×點為模擬結果。由圖中可知，實測與模擬結果於潮位、流速及流向的比對皆相當一致，潮位的均方根誤差(RMSE)為 0.06m，流速的均方根誤差(RMSE)為 0.15m/s。由流場模式的驗證可知，應用 MIKE 21 HD 水動力模式配合本計畫所使用之邊界設定，確實可充分掌握並完整呈現高雄港附近海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。

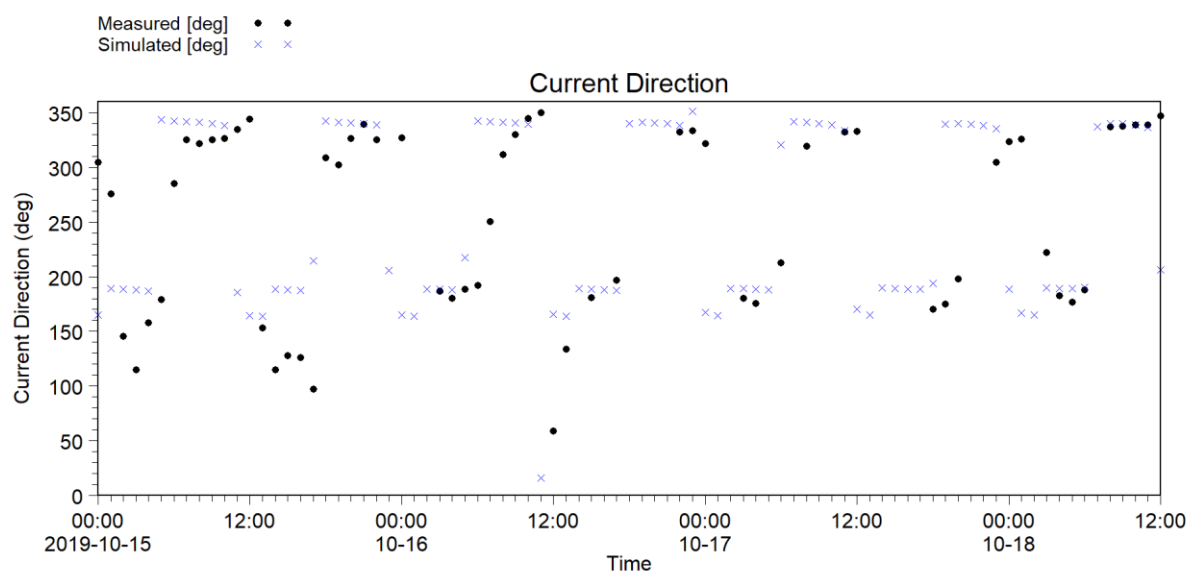
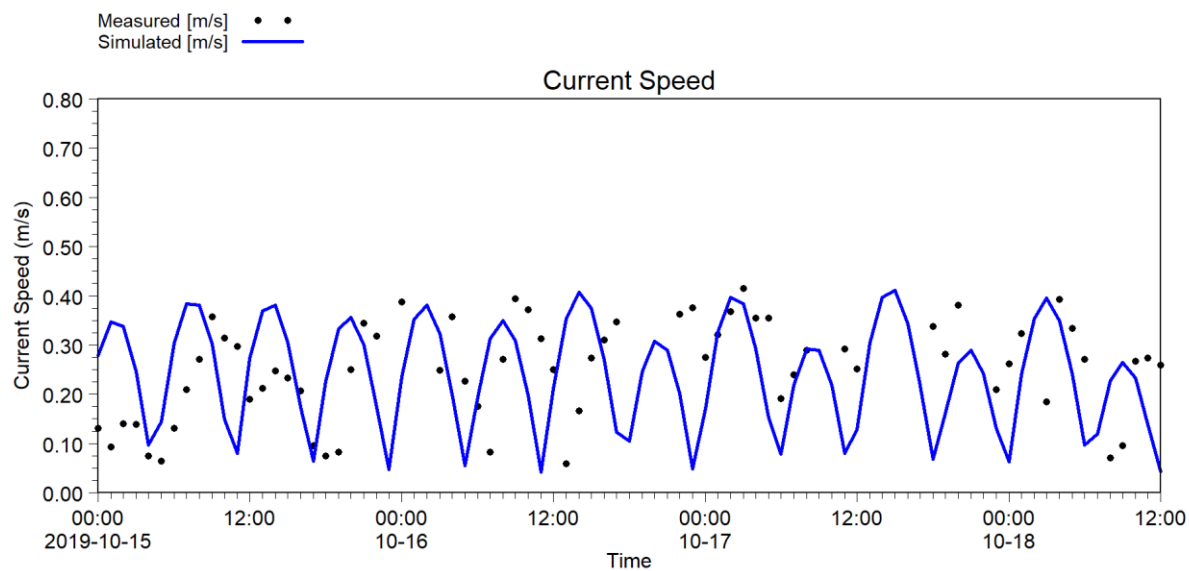
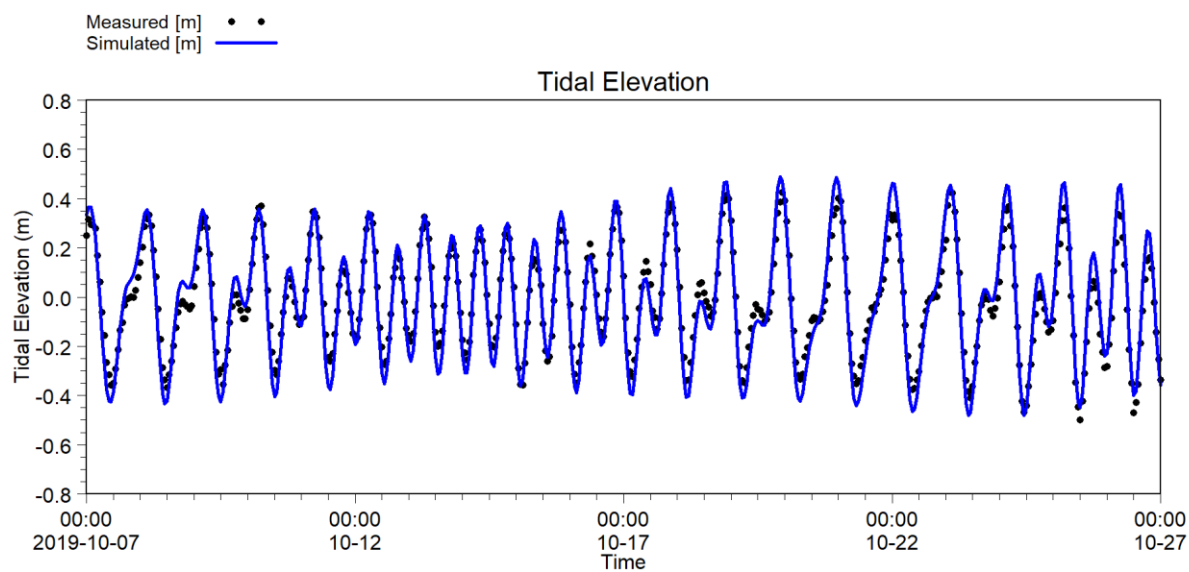


圖 5.2-4 流場模式驗證圖

5.3 高雄港事故原因探討

將表 5.1-1~表 5.1-3 中各事故彙整如表 5.3 的綜合分析表，以下透過實測資料及數值模擬依序針對每個事故探討其發生原因，其中實測資料主要採用港灣技術研究中心於 10 號碼頭的風速測站資料，其蒐集方式為取每小時測定 10 分鐘的最大陣風風速。

表 5.3 高雄港事故綜合分析表

相關性	年	月	日	原因	詳細內容
風	103	3	31	兩船碰撞	賽納輪因強風斷纜導致兩船碰撞
風	103	7	23	觸礁或擱淺	因颱風致船擱淺
流	104	7	19	兩船碰撞	該輪因流錨與停泊於 8 號碼頭之勝榮輪碰撞
風	105	9	14	兩船碰撞	因颱風來襲斷纜致與「匯隆 15」、「五興 6」二船對撞
流	105	12	24	其他	因舵機故障漂流致撞擊「大隆」挖泥船浮管
風	106	7	16	兩船碰撞	強風暴雨致輪船擦撞
風	107	6	14	兩船碰撞	遇強風斷纜碰撞[MADRID(馬德里)]
風、浪、流	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
風、浪、流	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
風、浪、流	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
風、浪	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大造成該船擱淺
風、浪、流	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
浪	109	2	4	其他	湧浪造成左舷舷梯損壞及斷纜
流	109	7	24	機械故障	停俾修理主機，因漂流致碰撞[安達]輪

(1)103 年 3 月 31 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-1 中編號 1 的位置，位於高雄港內，該事件說明[賽納輪因強風斷纜導致兩船碰撞]，主要與風有相關，當日陣風風速風向如圖 5.3-1 所示，由圖中可知，3 時陣風風速為 4.8m/sec 然 4 時瞬間增強至 20.2m/sec，且風向由東北向轉為西北向，16 時陣風風速為 6.1m/sec 然 17 時瞬間增強至 22.7m/sec，且風向由西北向轉為西南向，顯示當日確實有陣風風速瞬間增強的現象，加上港內流速一般較低，因此該事故應與陣風有相關性。

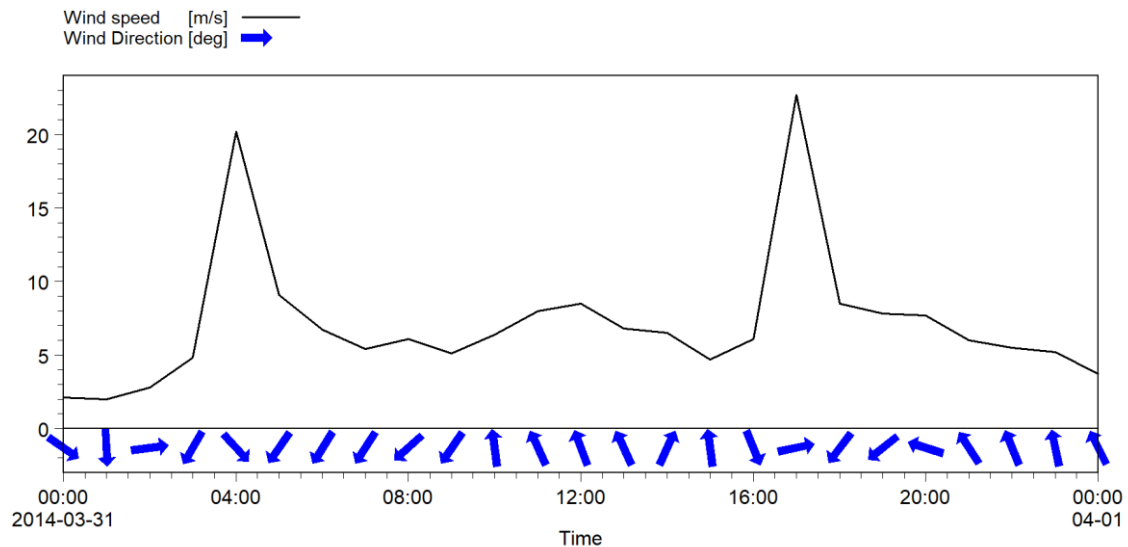


圖 5.3-1 103 年 3 月 31 日陣風風速風向分布圖

(2)103 年 7 月 23 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-1 中編號 2 的位置，位於旗津海岸，該事件說明[因颱風致船擱淺]，主要與風有相關，圖 5.3-2 為當日相關新聞報導內容，由報導中可知受到麥德姆颱風的影響，錨泊於高雄港外 1.6 哩處避風的貝里斯籍油輪「盛昌號」，因強風大浪流錨擱淺至距旗津海岸約 100 公尺水域，麥德姆颱風路徑如圖 5.3-3 所示，顯示 7 月 23 日麥德姆颱風位於臺中外海。

由實測資料分析可得當日陣風風速風向如圖 5.3-4 所示，由圖中可知，7 月 22 日 22 時開始陣風風速增強至 10m/sec 以上，並持續至 7 月 24 日 8 時，風向為南向，最大陣風達到 19.8m/sec，顯示當日確實有陣風風速較大的現象。

由數值模擬分析可得 7 月 23 日 10 時 CFSR 風場分布如圖 5.3-5 所示，由圖中可知，7 月 23 日麥德姆颱風在臺灣正上方，圖 5.3-6 和圖 5.3-7 分別為 7 月 23 日 0 時和 10 時的波場分布圖，模擬結果顯示 0 時在高雄海域附近波高介於 1.0~2.0m 之間，約為小浪至中浪之間，然 10 時波高增大至 5.0~6.0m 之間，約為大浪至巨浪之間，因此船舶停泊位置確實有波高增大的現象。圖 5.3-8 為 7 月 23 日的流場分布圖，模擬結果顯示近岸流速較大且流向為由北往南。綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶確實受到強風大浪造成擱淺。

麥德姆發威 高雄山海不平靜

20:13 2014/07/23 | 中央社 | 中央社



字級設定： [小](#) [中](#) [大](#) [特](#)

麥德姆颱風今天快閃過境，為高雄山區帶來零星災情，一艘錨泊高雄港外避風的貝里斯籍油輪也因強風大浪流錨擱淺旗津海域。

Google 提供的廣告

不再顯示這則廣告

為什麼會顯示這則廣告？ @

今天凌晨撲台的麥德姆颱風，清晨出海，隨著颱風遠離，中央氣象局下午5點30分解除台灣本島陸上警報。

麥德姆颱風帶來強風巨浪，高雄港第一、第二港口凌晨3時30分起管制船隻進出港，經封港9小時後，中午12時30分一港口恢復船隻出港，但截至晚間7時仍未開放進港，二港口也未恢復正常。

錨泊於高雄港外1.6浬處避風的貝里斯籍油輪「盛昌號」，不堪強大風浪，流錨擱淺至距旗津海岸約100公尺水域，船上受困4人經空勤總隊直升機吊接救上岸，擱淺船隻無立即危險也無漏油之虞，

將待海象好轉後再移泊。

高雄市區雖無重大災情，但山區豪雨成災，通往山區的台20線柔隱寸斷，多處中斷，工務單位全力搶通，桃源區上午更一度全區停電，經搶救後陸續復電。為防範土石流，市府與軍方並在甲仙、六龜、桃源等地預防性撤離700多人。

颱風發威也造成全市多處行道樹傾倒、折枝、路面坑洞積水、路燈損壞，市府說，全市路面有379處坑洞，已以瀝青包填平，路燈損壞及傾倒215件，也已全數修復，全市行道樹及公園傾倒樹木1683株，將於3天內全數扶正。

另外，因颱風擾亂打亂的陸空交通，下午起陸續恢復正常，上午停駛的台鐵列車，下午恢復正常，高雄國際機場國內線航班上午停飛，下午起陸續恢復正常起降，國際線則影響不大，大多如常起降。1030723

圖 5.3-2 103 年 7 月 23 日相關新聞報導

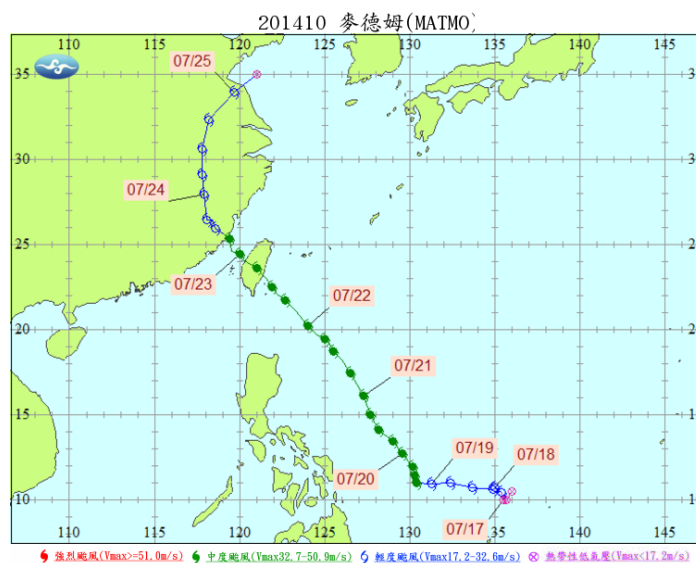


圖 5.3-3 麥德姆(MATMO)颱風路徑圖

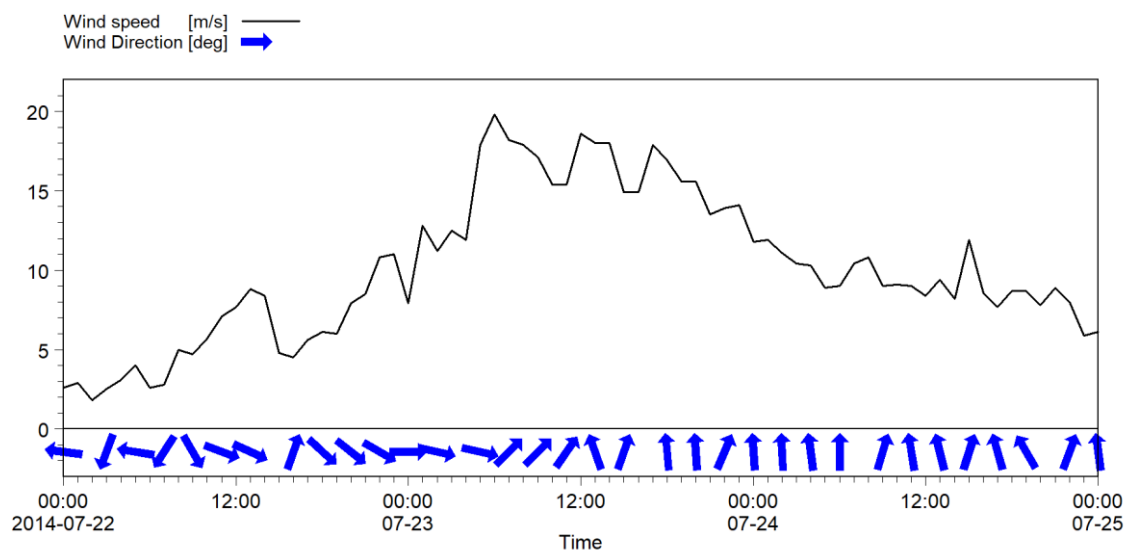


圖 5.3-4 103 年 7 月 23 日陣風風速風向分布圖

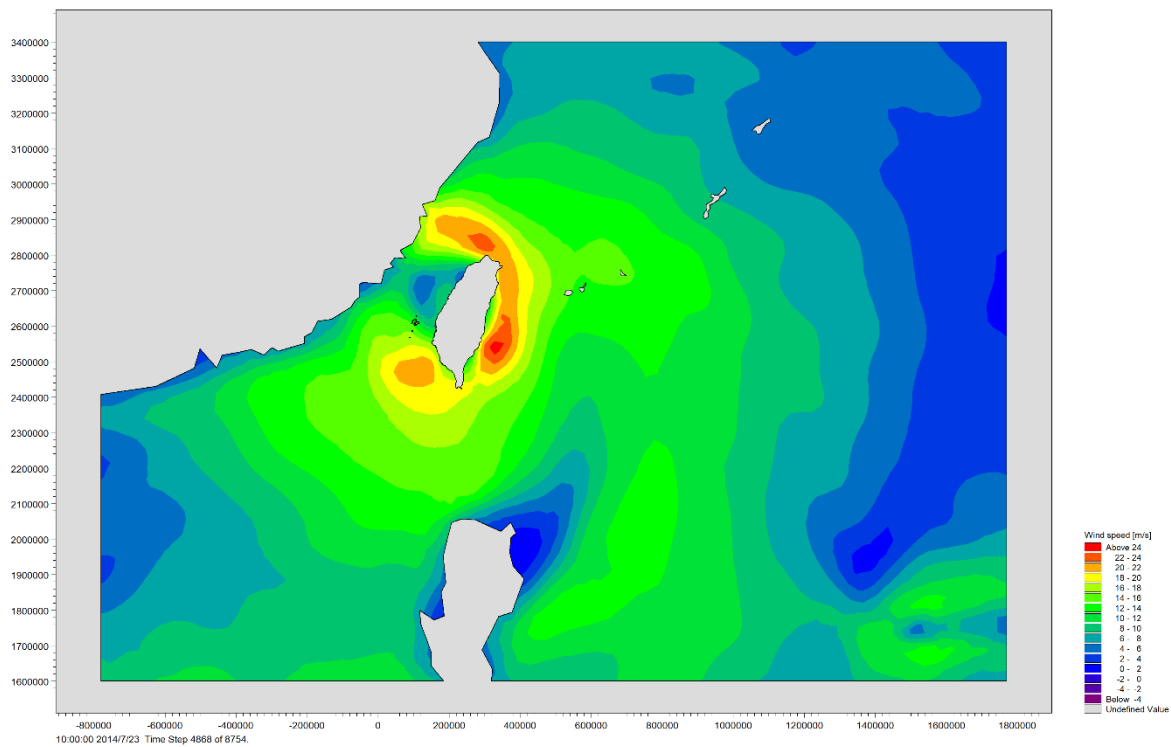


圖 5.3-5 103 年 7 月 23 日風場分布圖

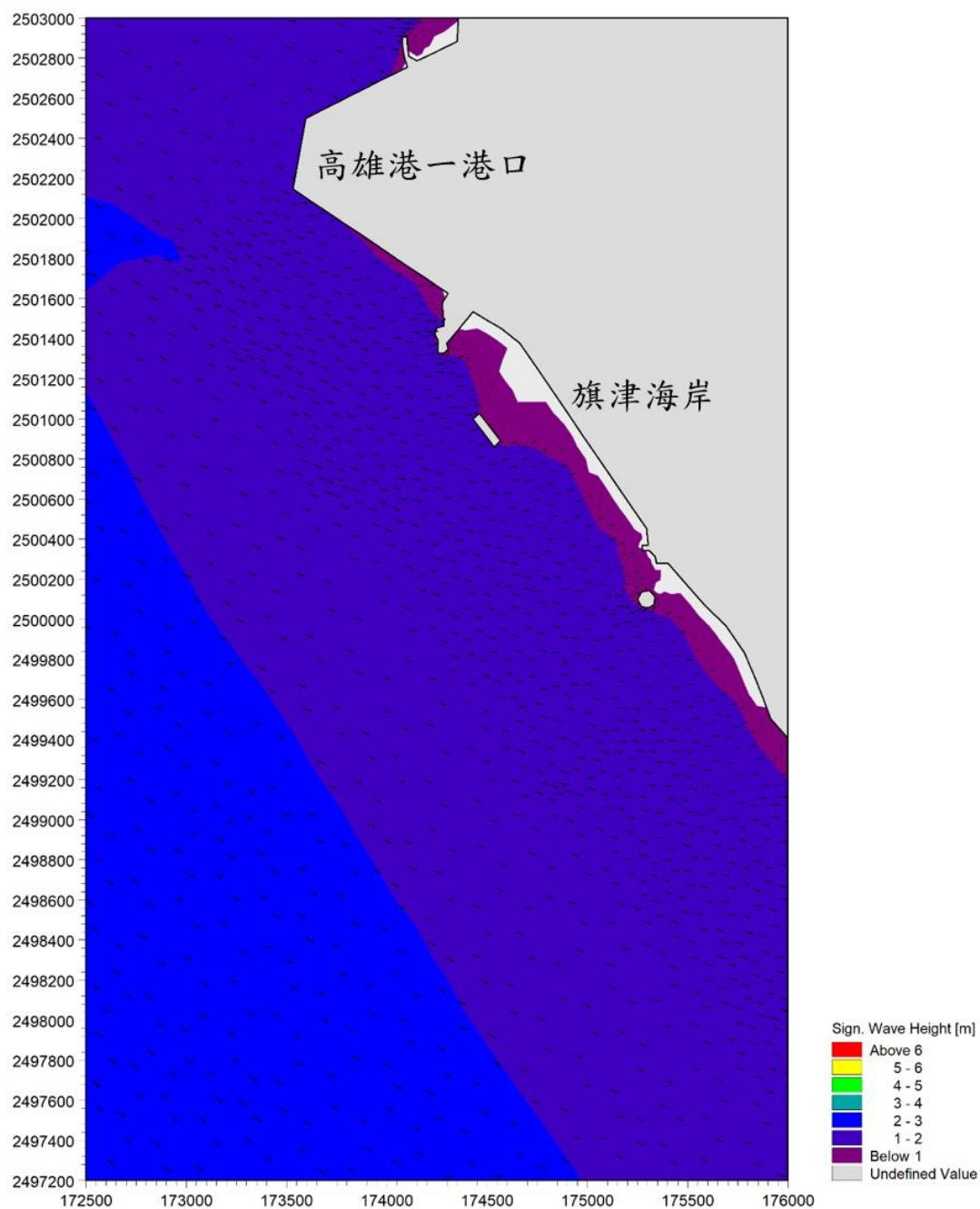


圖 5.3-6 103 年 7 月 23 日 0 時波場分布圖

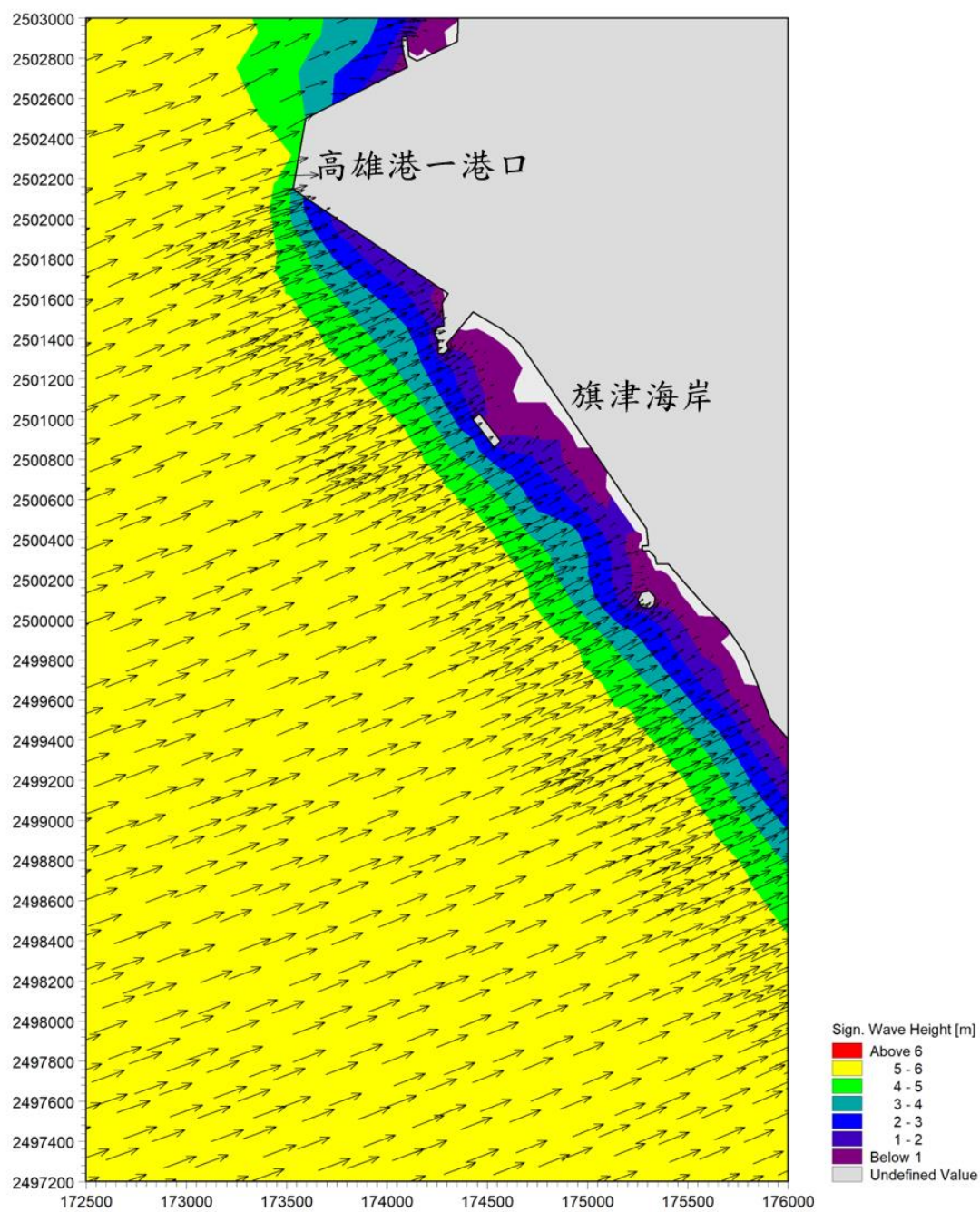


圖 5.3-7 103 年 7 月 23 日 10 時波場分布圖

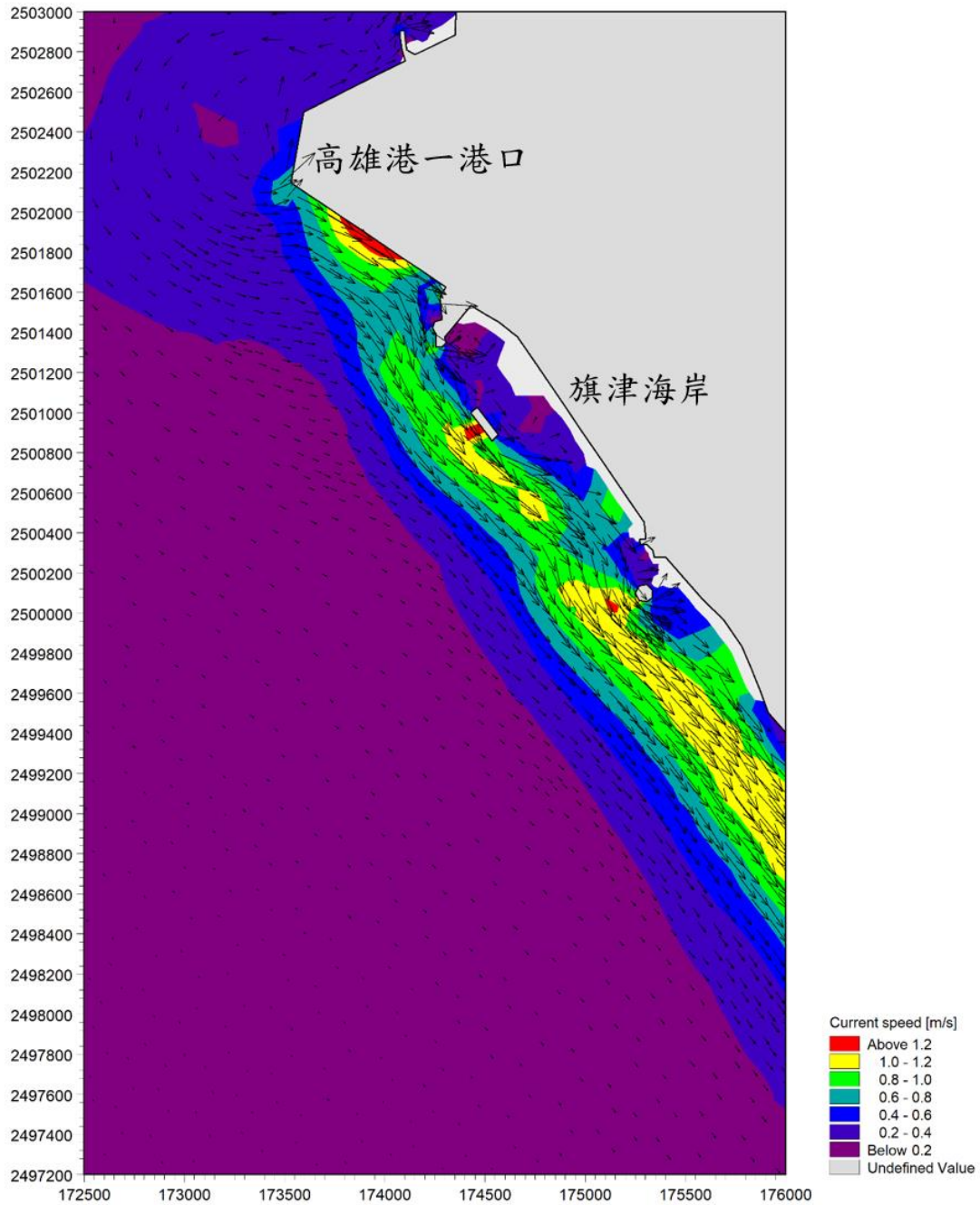


圖 5.3-8 103 年 7 月 23 日流場分布圖

(3) 104 年 7 月 19 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-3 中編號 1 的位置，位於高雄港內，該事件說明[該輪因流錨與停泊於 8 號碼頭之勝榮輪碰撞]，主要與流有相關，當日陣風風速風向如圖 5.3-9 所示，由圖中可知，7 月 18 日 14 時陣風風速為 5.8m/sec 然 15 時瞬間增強至 10.2m/sec，且持續至 7 月 20 日 7 時皆維持在 10m/sec 以上，風向為東南向，顯示 7 月 19 日

陣風風速較大，加上港內流速一般較低，因此該事故應與陣風過大造成流錨而非與流有相關性。

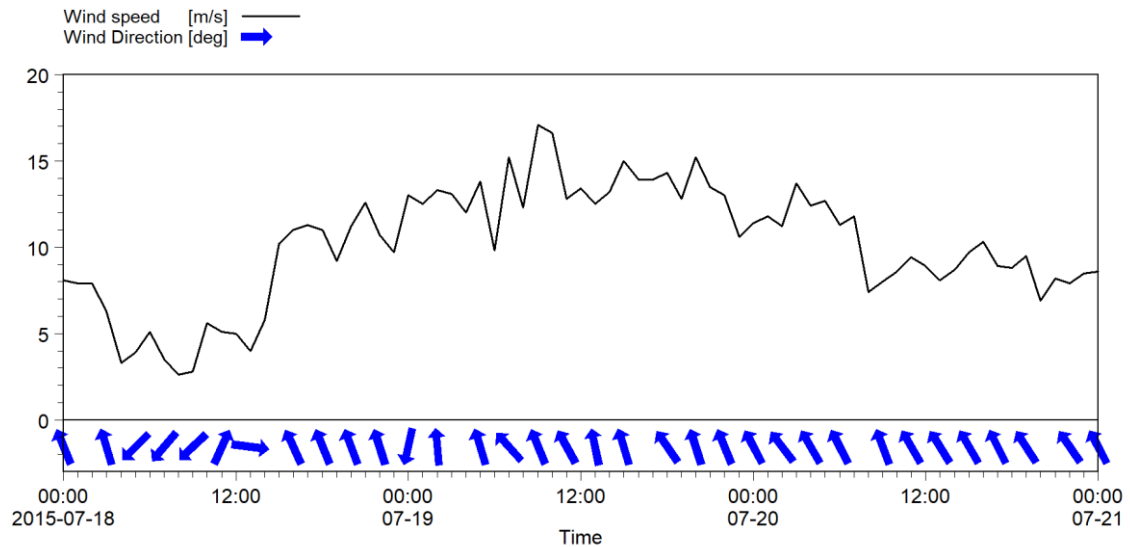


圖 5.3-9 104 年 7 月 19 日陣風風速風向分布圖

(4)105 年 9 月 14 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-1 中編號 3 的位置，位於高雄港內，該事件說明[因颱風來襲斷纜致與「匯隆 15」、「五興 6」二船對撞]，主要與風有相關，圖 5.3-10 為當日相關新聞報導內容，由報導中可知受到莫蘭蒂颱風的影響，高雄港第二港口的風力一度達 12 級，因風力強勁造成包括「闊明輪」、「海興輪」等 10 艘大型船舶斷纜漂流，莫蘭蒂颱風路徑如圖 5.3-11 所示，顯示 9 月 14 日莫蘭蒂颱風位於高雄外海。當日陣風風速風向如圖 5.3-12 所示，由圖中可知，9 月 14 日 6 時陣風風速為 7m/sec 然 7 時瞬間增強至 10.9m/sec，且持續至 9 月 15 日 18 時皆維持在 10m/sec 以上，風向為南向，其中 9 月 14 日 13~16 時甚至達到 30m/sec 以上，而最大陣風為 41m/sec，顯示 9 月 14 日受到颱風影響造成陣風風速過大導致斷纜碰撞，因此該事故應與陣風有相關性。

颱風發威 台灣造船史最大闊明輪斷纜

發稿時間：2016/09/14 18:16 最新更新：2016/09/14 18:16 字級：A- A+



(中央社記者陳朝福高雄14日電)強烈颱風莫蘭蒂發威，造成高雄港區有10艘船舶斷纜漂流，其中包括台灣造船史最大貨櫃輪「闊明輪」，颱風威力顯見，高雄港務分公司已調度拖駁船搶救，將漂流船舶拖回固定。

莫蘭蒂颱風今天中午發威，高雄港第二港口的風力一度達12級，因風力強勁造成包括「闊明輪」、「海興輪」等10艘大型船舶斷纜漂流。

高雄港務分公司表示，獲報有大型船舶斷纜漂流後，緊急調派工作人員和拖駁船全力搶救，利用拖拉和頂船方式穩住船舶，並順勢導引航行，至下午4時左右陸續將10艘船舶拖回固定。

拖駁船工作人員表示，莫蘭蒂威力很大，尤其在高雄港海面感受更強勁，多艘船舶斷纜漂流忙得不可開交。

高雄港務分公司表示，「闊明輪」斷纜漂流時，曾擦撞高雄港第六貨櫃中心的起重機，由拖駁船頂往拖回碼頭。

「闊明輪」是台灣造船史最大貨櫃輪，由台灣造船公司建造，今年5月剛命名，採雙重底設計，船長368公尺，船寬51公尺，載重可達14萬6073噸，全船共有10個貨艙，共可裝載1萬4198個20呎標準貨櫃。1050914

圖 5.3-10 105 年 9 月 14 日相關新聞報導

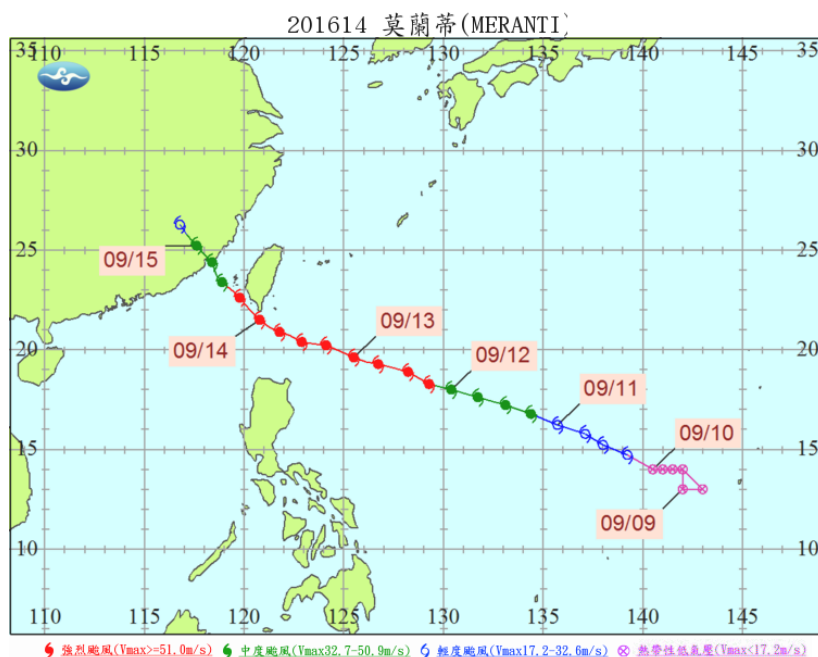


圖 5.3-11 莫蘭蒂(MERANTI)颱風路徑圖

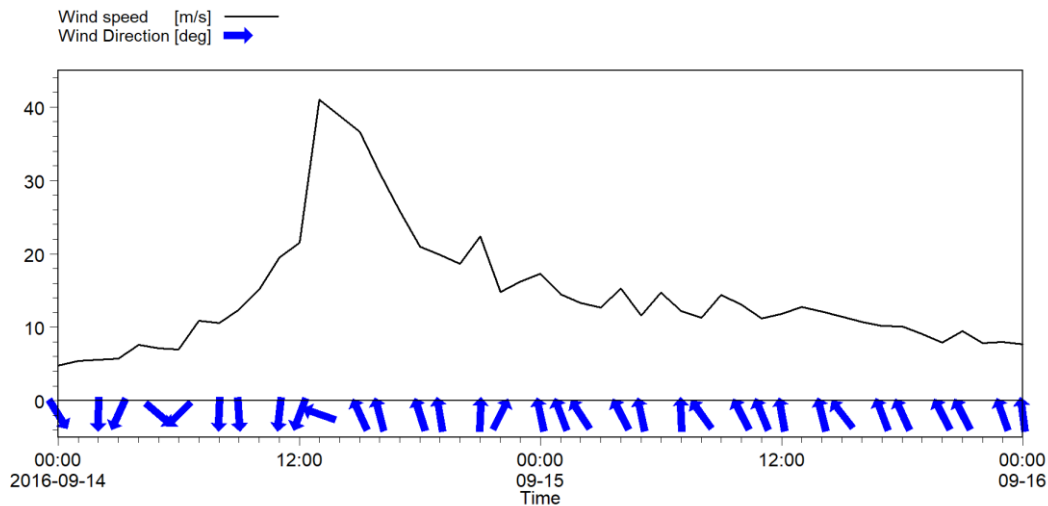


圖 5.3-12 105 年 9 月 14 日陣風風速風向分布圖

(5)105 年 12 月 24 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-3 中編號 2 的位置，位於高雄港二港口外，該事件說明[因舵機故障漂流致撞擊「大隆」挖泥船浮管]，主要與流有相關，當日陣風風速風向如圖 5.3-13 所示，由圖中可知，12 月 24 日最大陣風風速僅 6.8m/sec，風向為西北向。

由數值模擬分析可得 12 月 24 日波場分布如圖 5.3-14 所示，模擬結果顯示高雄海域附近波高介於 0.4~0.5m 之間，僅為小波。圖 5.3-15 為 12 月 24 日的流場分布圖，模擬結果顯示外海流速較大且流向為由南往北。綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶漂流過程應受到流影響較大。

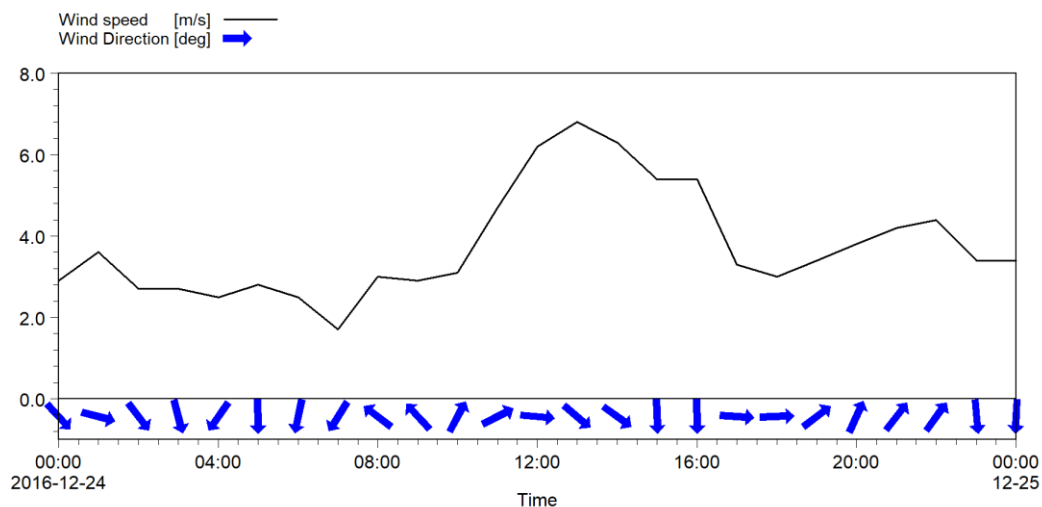


圖 5.3-13 105 年 12 月 24 日陣風風速風向分布圖

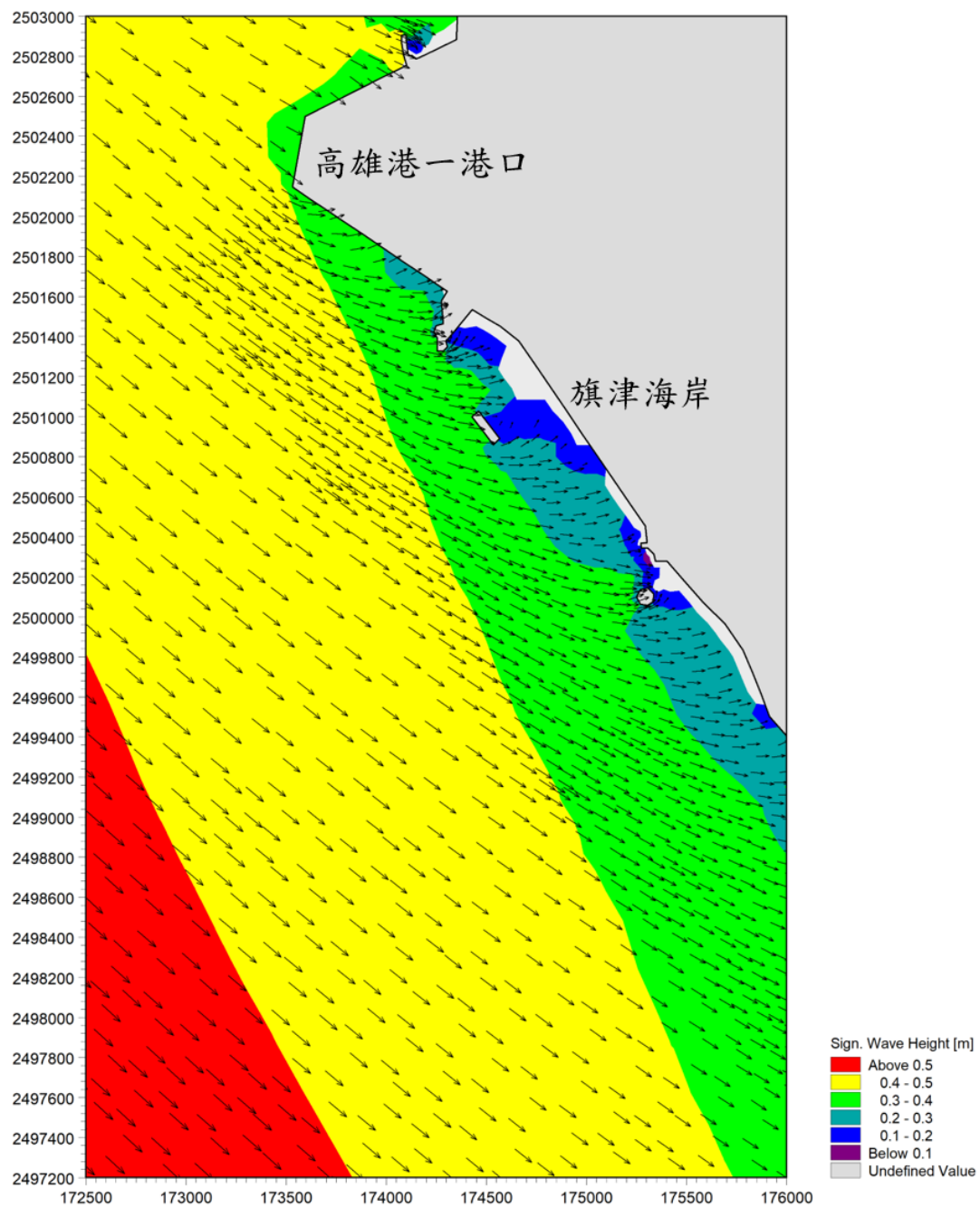


圖 5.3-14 105 年 12 月 24 日波場分布圖

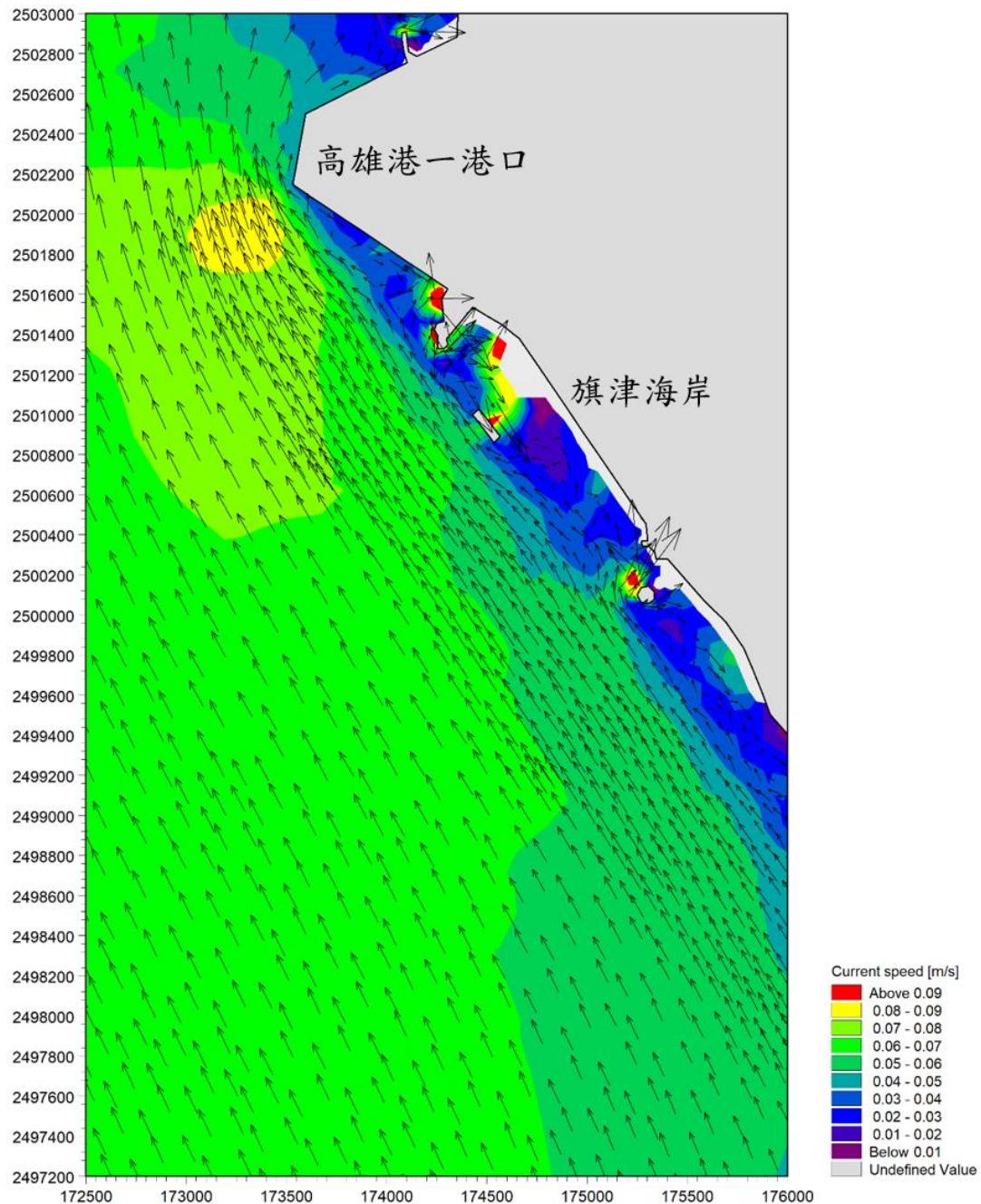


圖 5.3-15 105 年 12 月 24 日流場分布圖

(6) 106 年 7 月 16 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-1 中編號 4 的位置，位於高雄港內，該事件說明[強風暴雨致輪船擦撞]，主要與風有相關，當日陣風風速風向如圖 5.3-16 所示，由圖中可知，17 時陣風風速為 5.7m/sec 然 18 時瞬間增強至 18.8m/sec，且風向由西北向轉為東南向，顯示當日確

實有陣風風速瞬間增強的現象，加上港內流速一般較低，因此該事故應與陣風有相關性。

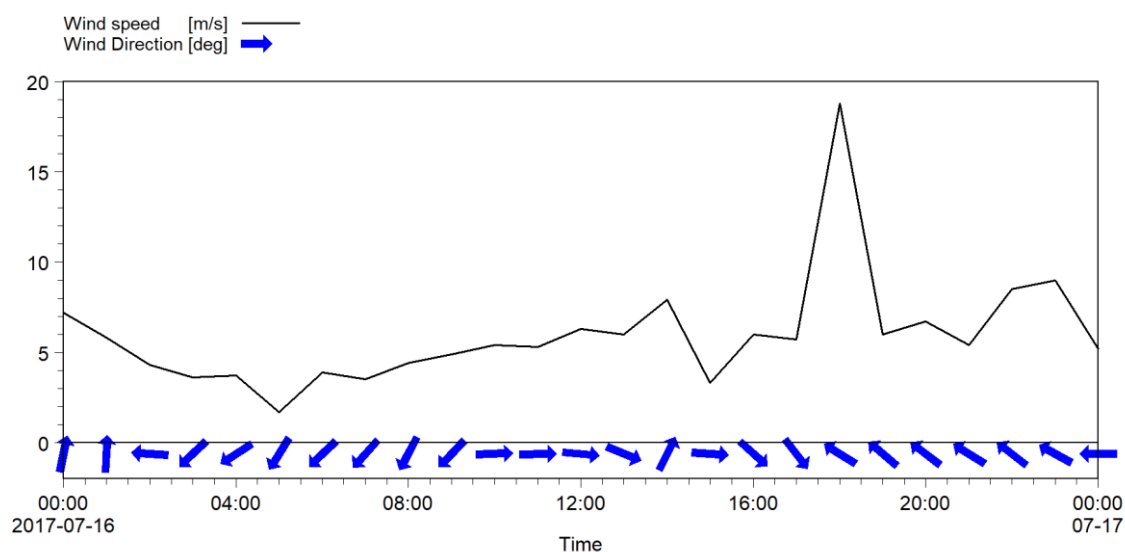


圖 5.3-16 106 年 7 月 16 日陣風風速風向分布圖

(7)107 年 6 月 14 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-1 中編號 5 的位置，位於高雄港內，該事件說明[遇強風斷纜碰撞 MADRID(馬德里)]，主要與風有相關，當日陣風風速風向如圖 5.3-17 所示，由圖中可知，6 月 14 日 15 時至 6 月 15 日 9 時陣風風速皆維持在 10m/sec 以上，風向為南向，最大陣風為 19.7m/sec，顯示當日確實有陣風風速較大的現象，因此該事故應與陣風有相關性。

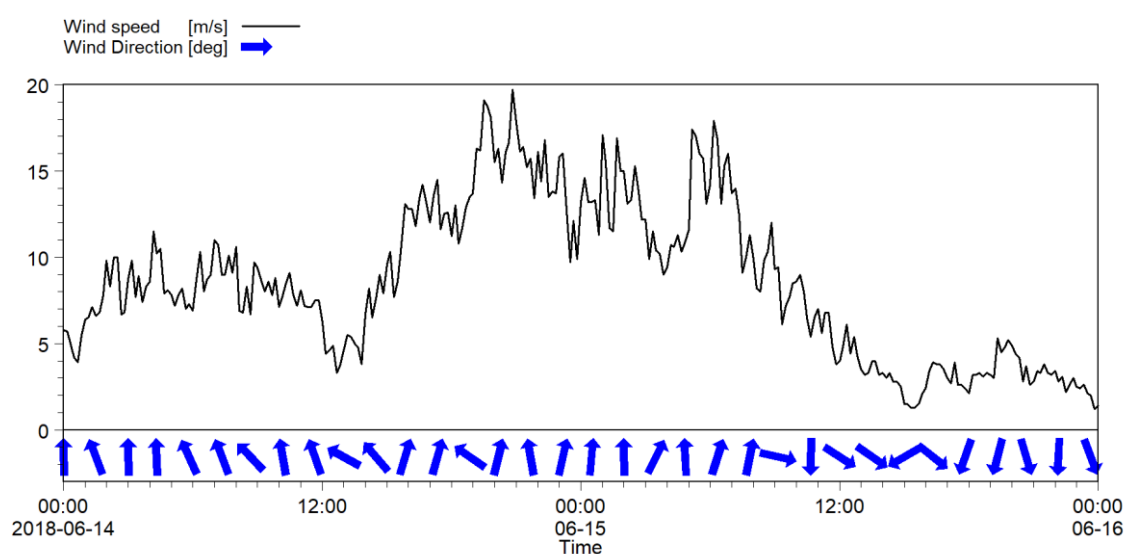


圖 5.3-17 107 年 6 月 14 日陣風風速風向分布圖

(8)107 年 8 月 23 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-1 中編號 6~10 的位置，位於高雄港外旗津及柴山海域，該事件說明[因風浪太大致流錨擱淺]，主要與風、浪、流有相關，圖 5.3-18 為當日相關新聞報導內容，由報導中可知受到熱帶性低氣壓影響，高雄港近海 23 日上午風力突然從 5 級轉為 7 級，瞬間風力達 9 級，造成 5 艘船隻陸續擱淺，其中太倉湖號擱淺在旗津海水域場前方 300 公尺處、安利 669 號擱淺在旗津貝殼館外約 300 公尺處、昌龍 68 號在柴山鬼洞外海域擱淺、飛龍號在一港口南防波堤外海擱淺、順泓號則擱淺在柴山安檢所前海域。

由實測資料分析可得當日陣風風速風向如圖 5.3-19 所示，由圖中可知，8 月 23 日 10 時陣風風速為 6.4m/sec 然 10 時 30 分瞬間增強至 11.1m/sec，且持續至 17 時 30 分皆維持在 10m/sec 以上，風向由西北向轉為西南向，最大陣風達到 17.1m/sec，顯示當日確實有陣風風速較大的現象。

由數值模擬分析可得 8 月 21~23 日 CFSR 風場分布如圖 5.3-20 所示，由圖中可知，8 月 21 日蘇力颱風在臺灣東北方，8 月 22 日颱風往北移動後臺灣與菲律賓之間生成熱帶性低氣壓，8 月 23 日熱帶性低氣壓範圍持續擴大且影響到高雄海域，顯示當日確實有熱帶性低氣壓在臺灣附近。圖 5.3-21 和圖 5.3-22 分別為 8 月 22 和 23 日的波場分布圖，圖中綠線為太倉湖號的 AIS 軌跡，紅線為飛龍號的 AIS 軌跡，黃線為安利 669 號的 AIS 軌跡，各軌跡旁數字為該船移動到該座標的時間，模擬結果顯示 8 月 22 日在高雄海域附近波高介於 1.0~2.0m 之間，約為小浪至中浪之間，然 8 月 23 日波高增大至 2.0~3.0m 之間，約為中浪至大浪之間，因此船舶停泊位置確實有波高增大的現象。圖 5.3-23 為 8 月 23 日的流場分布圖，模擬結果顯示船舶停泊位置流速低，但靠近近岸後流速增強且流向為由南往北。

綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶先同時受到風轉向為西南向及西南向大浪的影響，而往東北方的岸上靠近，停泊在近岸的太倉湖號直接擱淺在旗津海水域場前，而停泊在外海的飛龍號和安利 669 號先向東北移動，之後同時受到西南向的風、西南向大浪及流向

由南往北的流場影響，迅速往北向近岸靠近，最後造成飛龍號擱淺在一港口南防波堤外海及安利 669 號擱淺在旗津貝殼館外。

首頁 / 中國時報

高雄港外海瞬間風力達9級！5貨輪擱淺 66船員驚險獲救

高雄港近海23日上午風力突然從5級轉為7級，瞬間風力達9級，造成5艘船隻陸續擱淺，因風浪太大，海巡艦艇無法靠近，離岸邊較近的船員急得想跳船逃生，最後是拋繩給海巡，接力攀繩上岸，較遠的則是空勤吊掛，所幸5艘船上66名船員全數獲救。

港務公司、海巡等單位昨天11時陸續接獲旗津、西子灣沿岸海域有船隻因強風大浪擱淺，清查太倉湖號擱淺在旗津海水域場前方300公尺處、安利669號擱淺在旗津貝殼館外約300公尺處、昌龍68號在柴山鬼洞外海域擱淺、飛龍號在一港口南防波堤外海擱淺、順泓號則擱淺在柴山安檢所前海域。

除了飛龍號是帛琉群島籍油輪之外，其他4艘是多功能用途的巴拿馬籍輪船；這些船隻上剩餘油料各有15噸到30噸輕油，船上也各搭載11名至19名不等的外籍船員共66人，但暴雨狂炸、強風大浪，讓船員嚇得想趕緊棄船逃命。

其中飛龍號因離岸邊消波塊僅8公尺，在風浪拍打推波下，船體不斷碰撞，船員擔心船體會漏水，甚至解體，原想跳船，經和海巡人員商量後，決定拋出船上纜繩，由海巡固定纜繩後，19名船員以接力方式攀繩上岸；其餘船隻則採空勤直升機吊掛救援，但船員上了吊掛籠仍不敢大意，直到雙腳踏在沙灘上，才擠出些許笑容。

而太倉湖號及安利669號輪船，因風浪撞擊船體，有部分輕油溢漏，港務公司邀集船東代表等單位召開緊急應變處理，將利用漲潮時進行拖救，要在最短時間將遇難船脫困。

低氣壓來襲，今(23)日上午10時17分起風力由5級突然轉為7級，瞬間風力達到9級，造成高雄港外「太倉湖」、「安利669」、「昌龍68」、「順泓」等4艘多功能船及1艘油品船「飛龍」輪約自11時起陸續擱淺於旗津、西子灣沿岸海域，高雄港務分公司除通知海巡單位在海域警戒外，並於當日下午1時邀集船東代表、海事工程公司、高雄市政府海洋局、航港局南航中心、海巡等公民營單位召開緊急應變處理會議。

← Google 提供的廣告

不再顯示這則廣告

為什麼會顯示這則廣告？ ④

該5艘船均為未載貨物之空船，其中「太倉湖」輪船員12人輕油15噸、「安利669」輪船員14人輕油20噸、「昌龍68」輪船員10人輕油20噸、「順泓」船員11人輕油15噸、「飛龍」輪船員19人輕油15噸，總計66船員均平安，其中「太倉湖」及「安利669」輪有部份輕油溢漏情形。

高雄港務分公司於會中協調船公司委託海歷海事工程業動員5艘拖救船，並請臺灣港務港勤公司及高雄港勤公司之拖船全力協助，總計動員人力約40人。預定於今

(23)晚19時17分高潮位時展開拖救，如拖救不順利，將於明(24)早上午6時高潮位時再次進行拖救。該5艘遇難船分別擱淺於商港區域內及商港區域外，分屬航港局及港務公司權責，將共同會商處理，務必於最短時間將遇難船脫困。

港方說明，因應低氣壓來襲，臺灣港務公司高雄分公司於107年8月22日下午5時曾邀集港區公民營單位，由高雄分公司陳榮聰港務長主持召開防颱應變會議，要求在港及錨地船舶加強防颱應變措施，未料還是多艘船出狀況。

圖 5.3-18 107 年 8 月 23 日相關新聞報導

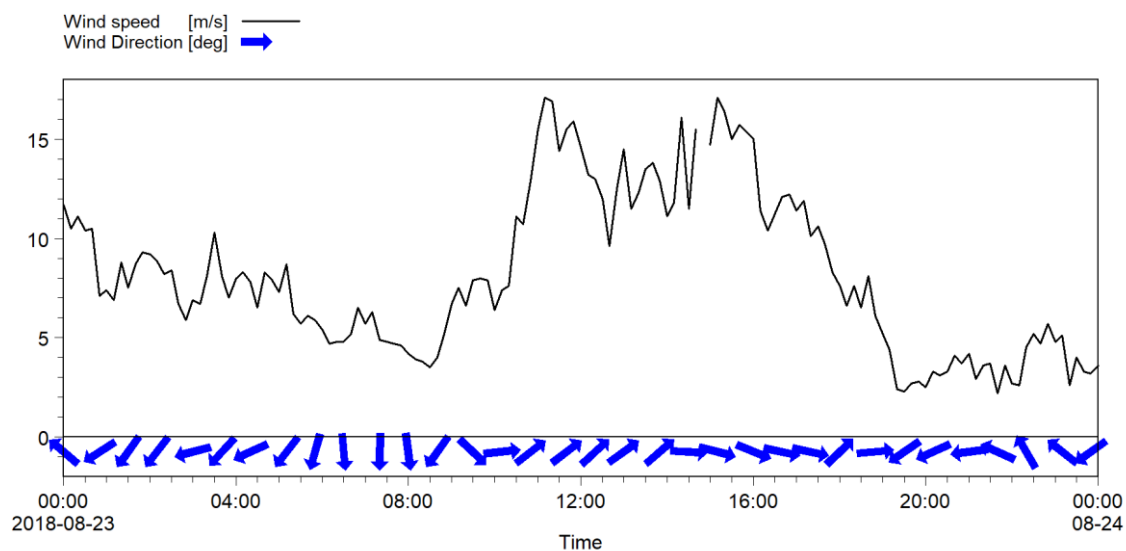


圖 5.3-19 107 年 8 月 23 日陣風風速風向分布圖

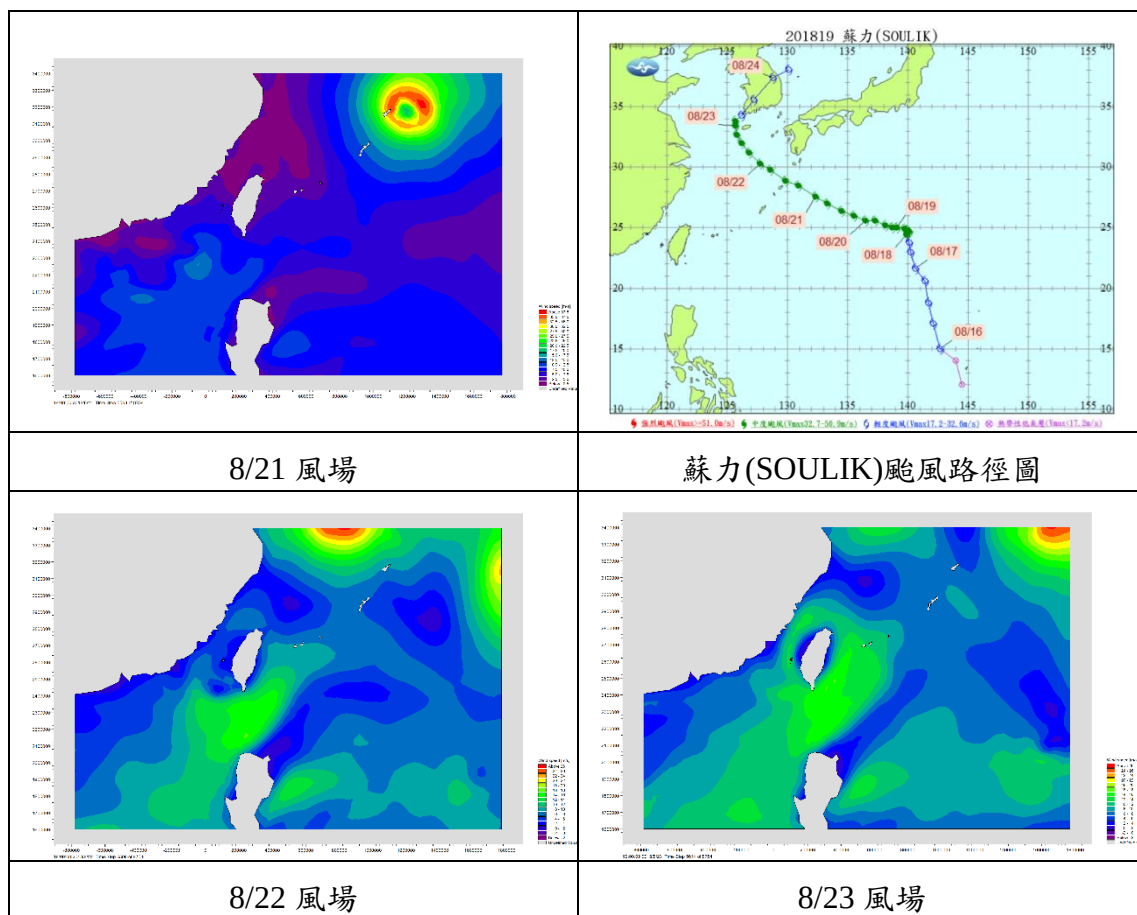


圖 5.3-20 107 年 8 月 21~23 日風場分布圖

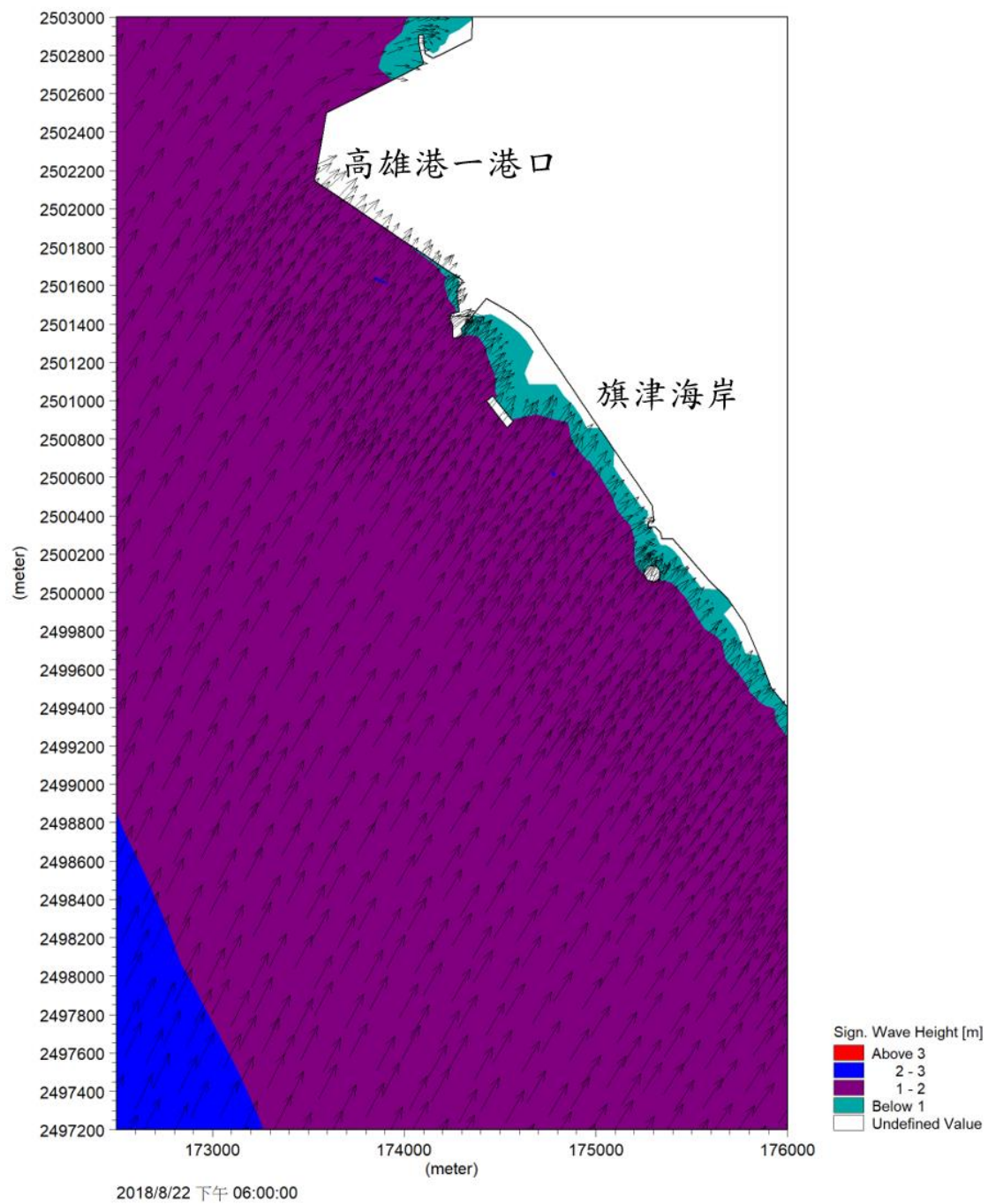


圖 5.3-21 107 年 8 月 22 日波場分布圖

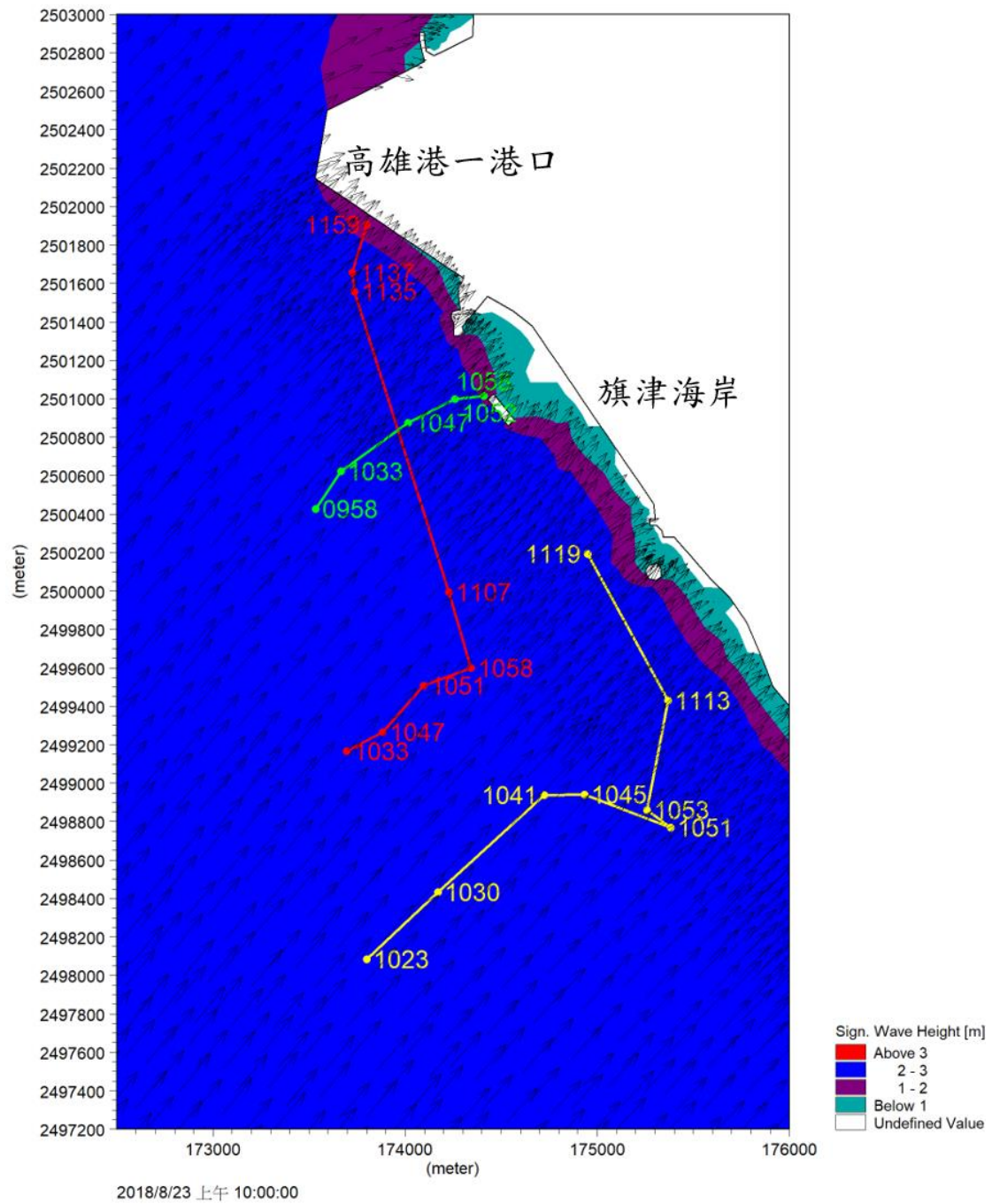


圖 5.3-22 107 年 8 月 23 日波場分布圖(綠、紅、藍線為船舶 AIS 軌跡)

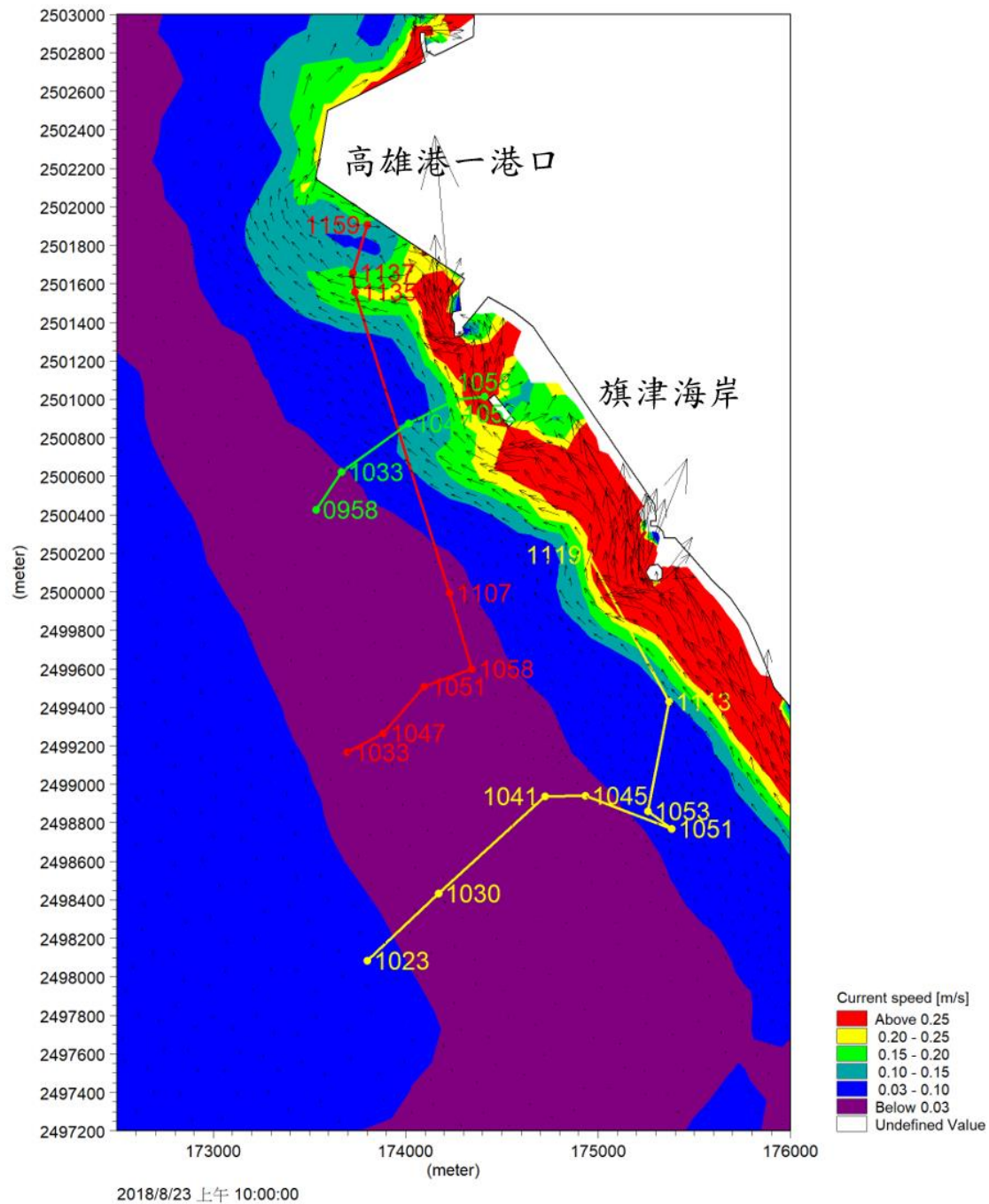


圖 5.3-23 107 年 8 月 23 日流場分布圖(綠、紅、藍線為船舶 AIS 軌跡)

(9)109 年 2 月 4 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-2 中編號 6 的位置，位於高雄港內，該事件說明[湧浪造成左舷舷梯損壞及斷纜]，主要與浪有相關，圖 5.3-24 為國家運輸安全調查委員會初步調查報告內容，由報告中可知，一艘巴哈馬籍郵輪「世界夢」號於 1232 時行經高雄港內，前往停靠 8 號碼頭期間疑似港內航行速度過快，致停靠 49 號碼頭一艘散

裝貨船「天波」輪纜繩斷裂及左舷舷梯碰撞損壞。當日陣風風速風向如圖 5.3-25 所示，由圖中可知，2 月 4 日最大陣風風速僅 8.6m/sec，風向為西北向，因此該事故應與船波造成的浪有相關性。

水路事故調查初步報告

MARINE OCCURRENCE PRELIMINARY REPORT

Version 1090325

檔案資訊 FILING INFORMATION	
標題簡述 Headline : 郵輪世界夢號疑似港內船速過快導致碰撞重大水路事故初報 The Cruise ship World Dream suspected that fast speed in the port major marine occurrence preliminary report.	
報告機關 Reporting organization : 國家運輸安全調查委員會 Taiwan Transportation Safety Board	
報告國 State reporting : 中華民國 Taiwan, ROC	最初登入報告日期 Date entered : 2020/05/15
檔案編號 State file number : TTSB-MPR-20-06-02	報告者 Reporter's name : 李繼康 Lee, Jee Kang
電話 Telephone : +886-2-7727-6243	電子郵件 Email : jack@ttsb.gov.tw
調查範圍 Scope of Investigation : ☒ Full investigation ☐ Limited scope ☐ Data collection	
類別 CLASSIFICATION	
事故等級 Occurrence class : ☐ 第 1 級 Class 1 ☒ 第 2 級 Class 2 ☐ 第 3 級 Class 3	
事故分類 Occurrence category : ☒ 碰撞 Collision ☐ 擱淺 Grounding ☐ 觸碰 Contact ☐ 航行中船舶與固定物間的碰撞 Allision ☐ 火災/爆炸 Fire/explosion ☐ 船體破損 Hull failure ☐ 機器故障/失去控制 Loss of control ☐ 船舶/設備損壞 Ship/equipment damage ☐ 翻覆/傾側 Capsize/listing ☐ 船舶失蹤 Ship missing ☐ 人員死亡/失蹤 Person dead/missing ☐ 淹沒/沉沒 Flooding/foundering ☐ 其他 Other	
時間 WHEN	
當地時間 Local time : 1205 hour, 4 Feb. 2020	世界標準時間 UTC time : 0405 hour, 4 Feb. 2020
地點 WHERE	
事故發生國 State of occurrence : 中華民國 Taiwan, ROC	
港口名稱 / Name of Port : 高雄港 Kaohsiung port	
事故發生位置 Location of occurrence : 高雄港 Kaohsiung port 緯度 Latitude Deg/ Min/ Sec : 北緯 22 度 35.4 分 Latitude 22°35.4' N 經度 Longitude Deg/ Min/ Sec : 東經 120 度 17.6 分 Longitude 120°17.6' E	
船舶基本資料 VESSEL INFORMATION	
IMO 編號 IMO number : 9733117	船旗國 Flag state : 巴哈馬 Bahamas, BHS
船名 Name of ship : 世界夢 World Dream	總噸位 Gross tonnage: 150695
呼號 Call sign : C6BO4	全長 Length overall : 317.6 m
建造年 Year of build : 民國 104 年 2015	驗船機構 Class society : DNV GL
船公司 Ship's company : World Dream Limited	推進方式/燃料類型 Propulsion type/type of fuel: 柴油引擎 Diesel engine/ 柴油 Diesel

船殼材質 Hull material：鋼材 Steel	VDR/S-VDR information available： ☒ 是/ ☐ 否 ☒ Yes/ ☐ No
船舶類型 Type of ship: ☐ 雜貨船General cargo ship ☐ 散貨船Bulk carrier ☐ 貨櫃船container ship ☐ 油輪Oil tanker ☐ 化學品船Chemical tanker ☒ 客輪Passenger ship ☐ 液化氣體船LNG/LPG ☐ 工作船Working craft ☐ 漁船Fishing boat ☐ 其他Other	
IMO 編號 IMO number：9740134	船旗國 Flag state：中國大陸 China, CHN
船名 Name of ship：天波 Ocean Tianbo	總噸位 Gross tonnage: 36415
呼號 Call sign：C6BO4	全長Length overall：199.9 M
建造年 Year of build：民國 107 年 2018	驗船機構 Class society：DNV GL
船公司 Ship's company： SEA96 Leasing Co., Ltd.	推進方式/燃料類型 Propulsion type/type of fuel: 柴油引擎 Diesel engine/柴油 Diesel
船殼材質 Hull material：鋼材 Steel	VDR/S-VDR information available： ☒ 是/ ☐ 否 ☒ Yes/ ☐ No
船舶類型 Type of ship: ☐ 雜貨船General cargo ship ☒ 散貨船Bulk carrier ☐ 貨櫃船container ship ☐ 油輪Oil tanker ☐ 化學品船Chemical tanker ☐ 客輪Passenger ship ☐ 液化氣體船LNG/LPG ☐ 工作船Working craft ☐ 漁船Fishing boat ☐ 其他Other	
嚴重程度 SEVERITY	
船舶損害 Vessel damage：Material damage to ship	傷亡等級 Injury level：無 None
汙染狀況 Ship pollution (type & quantity)：無 None	
航次資料 Voyage data	
貨物種類 Type of cargo：不適用 N/A	船員配額 Number of crew on ship's certificate：N/A
旅客人數 Number of passengers on board：1871	船員人數 Number of crew on board：N/A
外部環境資料 External environmental data	
海象 Sea state：輕浪 Slight	風力 Wind scale：和風 Moderate breeze
白天/晚上/黎明/黃昏 Natural light：白天 Daylight	能見度 Visibility：良好 Very Good
天候 Type of weather：陰天 Overcast	結冰 Ice：無 None
簡述 NARRATIVE	
民國 109 年 2 月 4 日，一艘巴哈馬籍郵輪「世界夢」號於 1232 時行經高雄港內，前往停靠 8 號碼頭期間疑似港內航行速度過快，致停靠 49 號碼頭一艘散裝貨船「天波」輪纜繩斷裂及左舷舷梯碰撞損壞。 At 1232, on February 4, 2020, the cruise ship World Dream suspected that fast speed in the port caused mooring rope and portside gangway ladder damage to the bulk carrier Ocean Tianbo while berthed at wharf no.49 in Kaohsiung port area.	

圖 5.3-24 國家運輸安全調查委員會初步調查報告

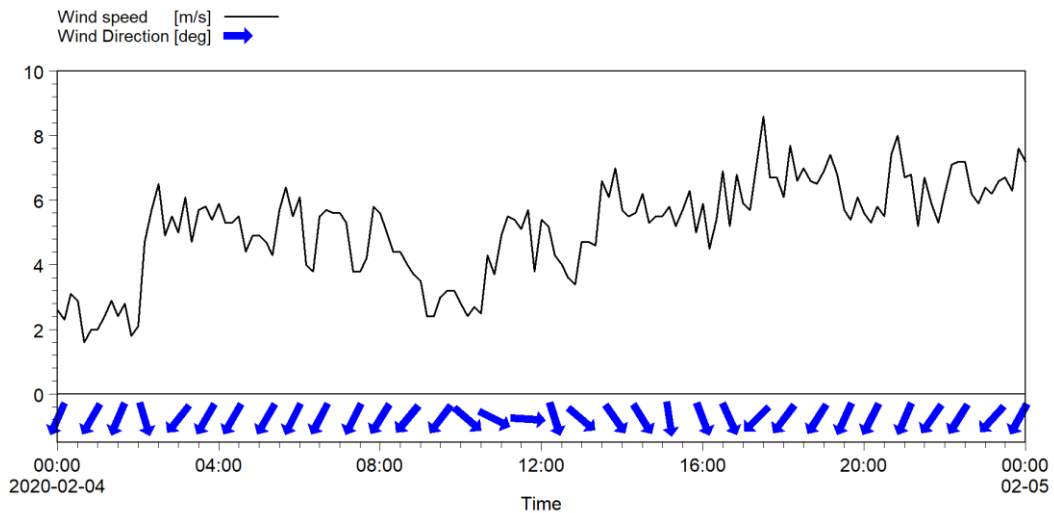


圖 5.3-25 109 年 2 月 4 日陣風風速風向分布圖

(10)109 年 7 月 24 日事故

本事故發生位置位於圖 5.1-3 中編號 7 的位置，位於高雄港二港口外，該事件說明[停俾修理主機，因漂流致碰撞安達輪]，主要與流有相關，當日陣風風速風向如圖 5.3-26 所示，由圖中可知，7 月 24 日最大陣風風速僅 7.5m/sec，風向為西向。

由數值模擬分析可得 7 月 24 日波場分布如圖 5.3-27 所示，模擬結果顯示高雄海域附近波高介於 0.3~0.4m 之間，僅為小波。圖 5.3-28 為 7 月 24 日的流場分布圖，模擬結果顯示外海流速較大且流向為由北往南。綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶漂流過程應受到流影響較大。

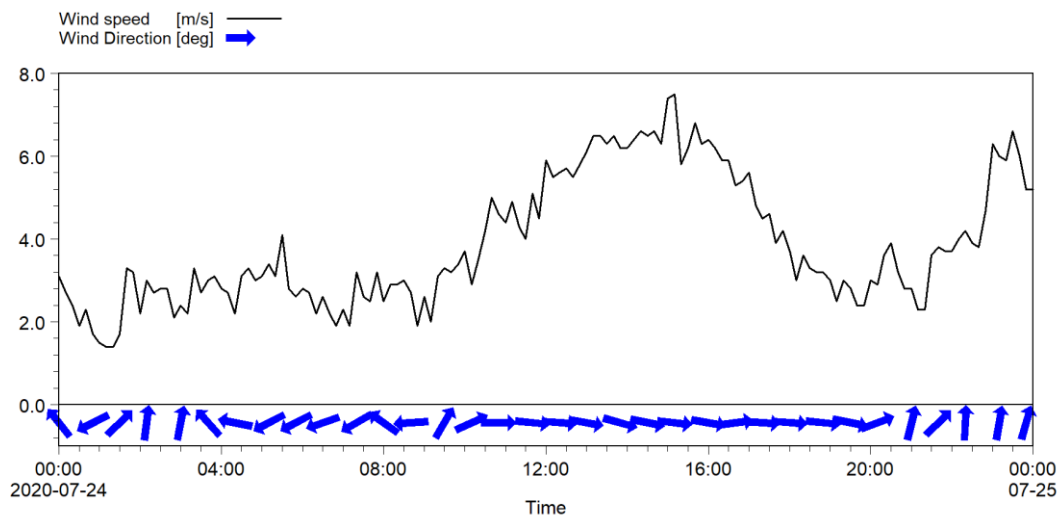


圖 5.3-26 109 年 7 月 24 日陣風風速風向分布圖

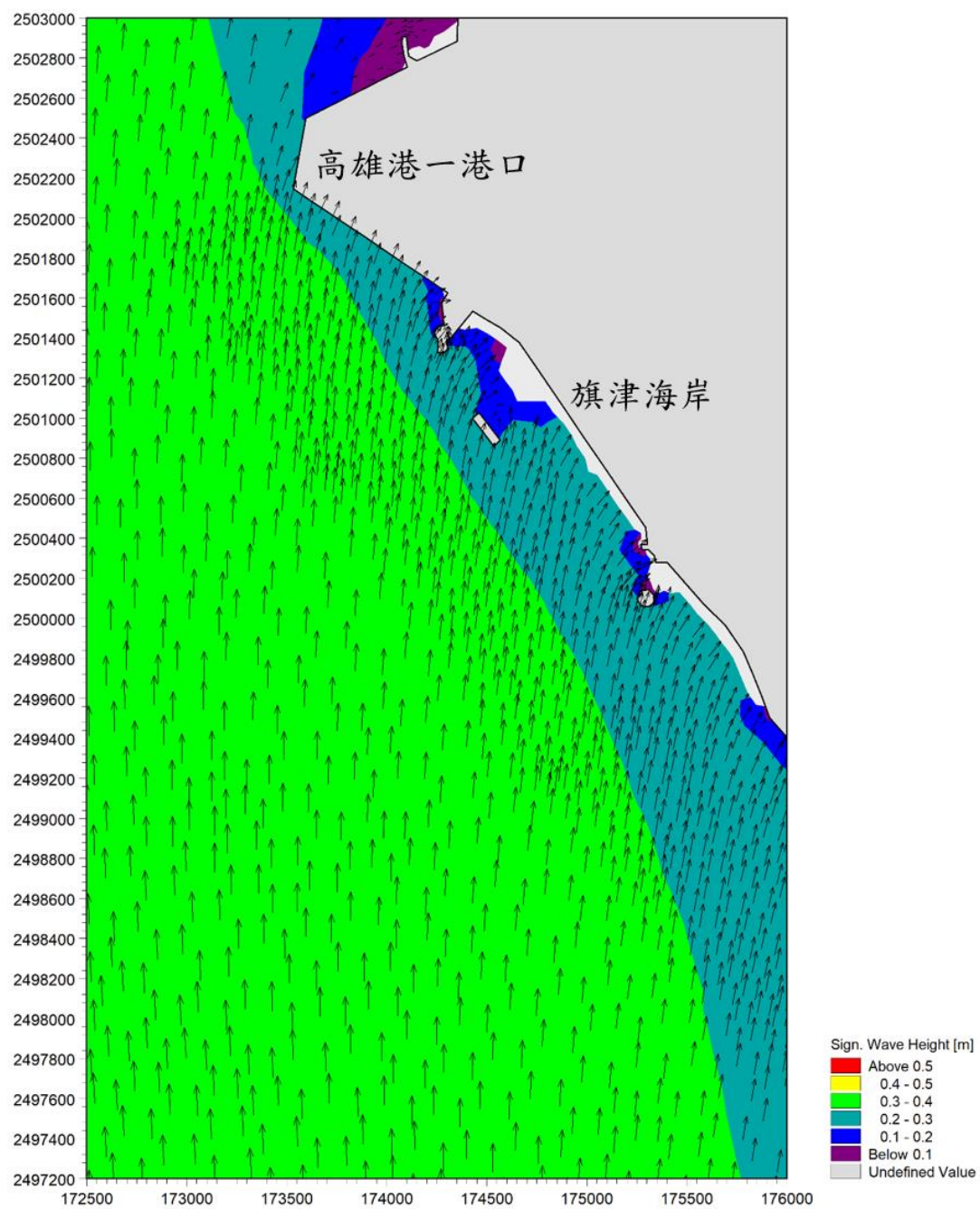


圖 5.3-27 109 年 7 月 24 日波場分布圖

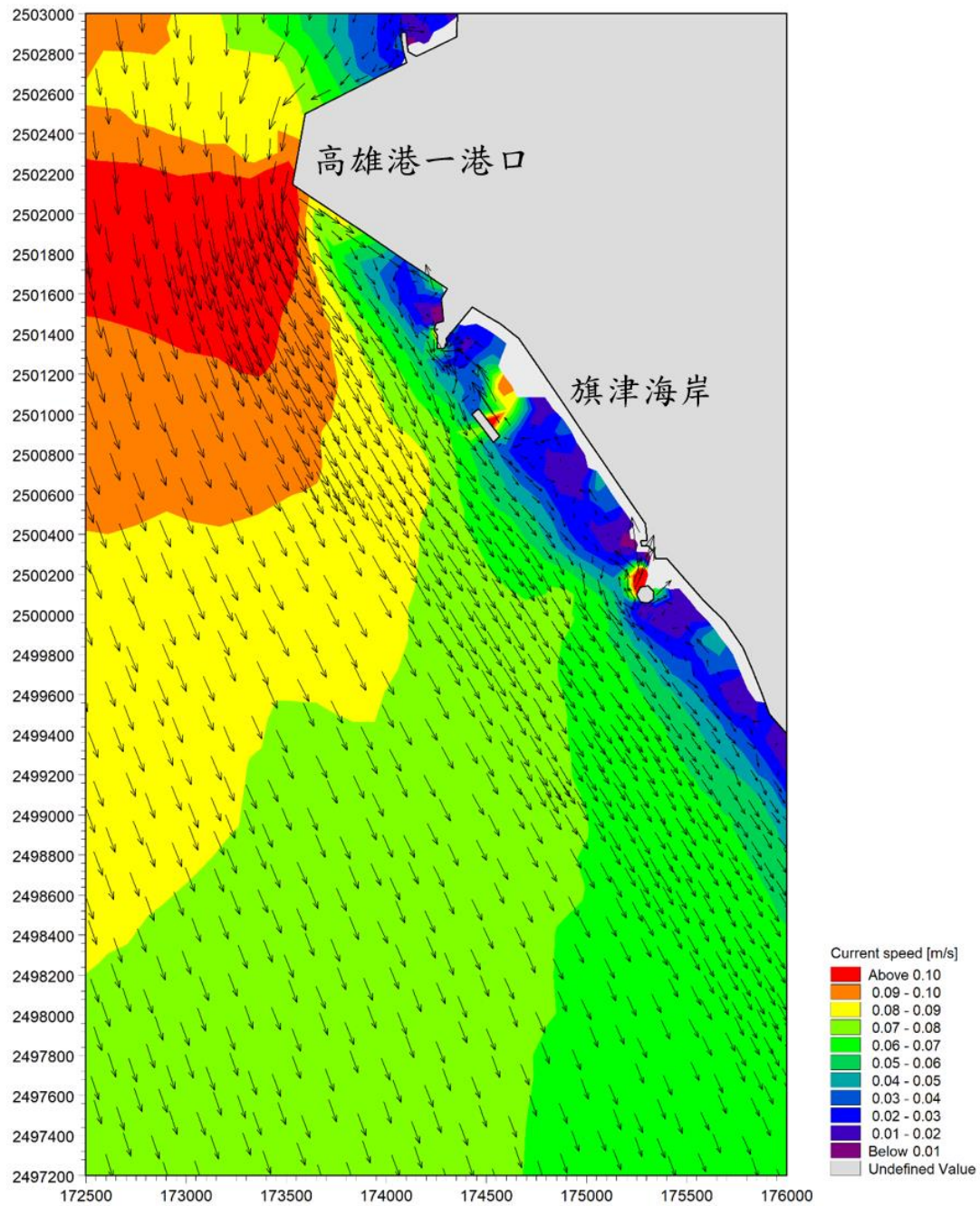


圖 5.3-28 109 年 7 月 24 日流場分布圖

5.4 小結

綜合實測資料及數值模擬結果大致可分析事故發生的原因，其中高雄港內的事務主要以陣風影響最大，包括 103 年 3 月 31 日、104 年 7 月 19 日、105 年 9 月 14 日、106 年 7 月 16 日及 107 年 6 月 14 日事故，僅有一件(109 年 2 月 4 日事故)與船波造成的浪有相關性，

而在高雄港外的事故主要以颱風或熱帶性低氣壓造成的強風大浪有關，其次才與流有關，包括 103 年 7 月 23 日及 107 年 8 月 23 日事故，至於因為機械故障造成船舶漂流則以流的相關性較高，包括 105 年 12 月 24 日及 109 年 7 月 24 日事故。本計畫透過各個事故原因的探討發現陣風的瞬間增強或持續性的強風為高雄港事故發生的主要原因。

第六章 建立特定目標港海上航行風險模式

本章將依據前述海上事故統計與熱區分析的結果選擇高雄港為目標港，以 AIS 資料歷史資料來進行目標港周邊的航行模擬，考慮船隻交會時的碰撞風險來建立高雄港海上航行風險模式，以期間內風險模式模擬的結果來評估高雄港碰撞風險的時空變化，再提出熱區分析結果供相關管理與規劃單位做參考。

6.1 海上航行資訊相關資料處理

近年來許多相關研究仰賴自動識別系統（AIS）的發展，有大量的船舶航跡數據可以進行分析與查詢，AIS 的歷史船跡是進行航行風險評估相當有價值的來源，可應用於包括交通流量特性、船舶行為異常、船舶碰撞、船舶擱淺等風險評估。可以在文獻中找到進行海上活動航行風險分析的方法，包括 Nguyen 等人(2018)與 Jeon 與 Yang(2019)。基於 AIS 數據分析，可以使用大數據探勘技術來分析港口通航能力與交通行為。為了有效地提高港口周遭的航行安全性，本計畫將採用往昔 AIS 歷史船跡分析特定目標港交通密度和交通衝突的情況 (Sidib, 2019; Lensu et al., 2019)。

船舶 AIS 資料庫因需要不斷蒐集船隻回傳的訊號，有大量資料需蒐集處理，如下圖 6.1-1，2020 年臺灣附近 AIS 接收資料量統計，每個月約有近 5 億筆資料，資料量大小約 130 GB。

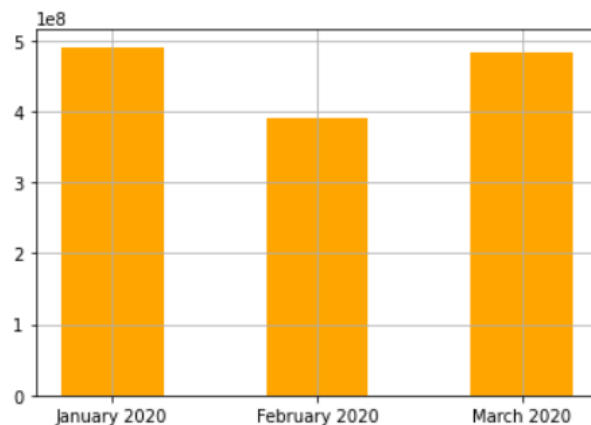
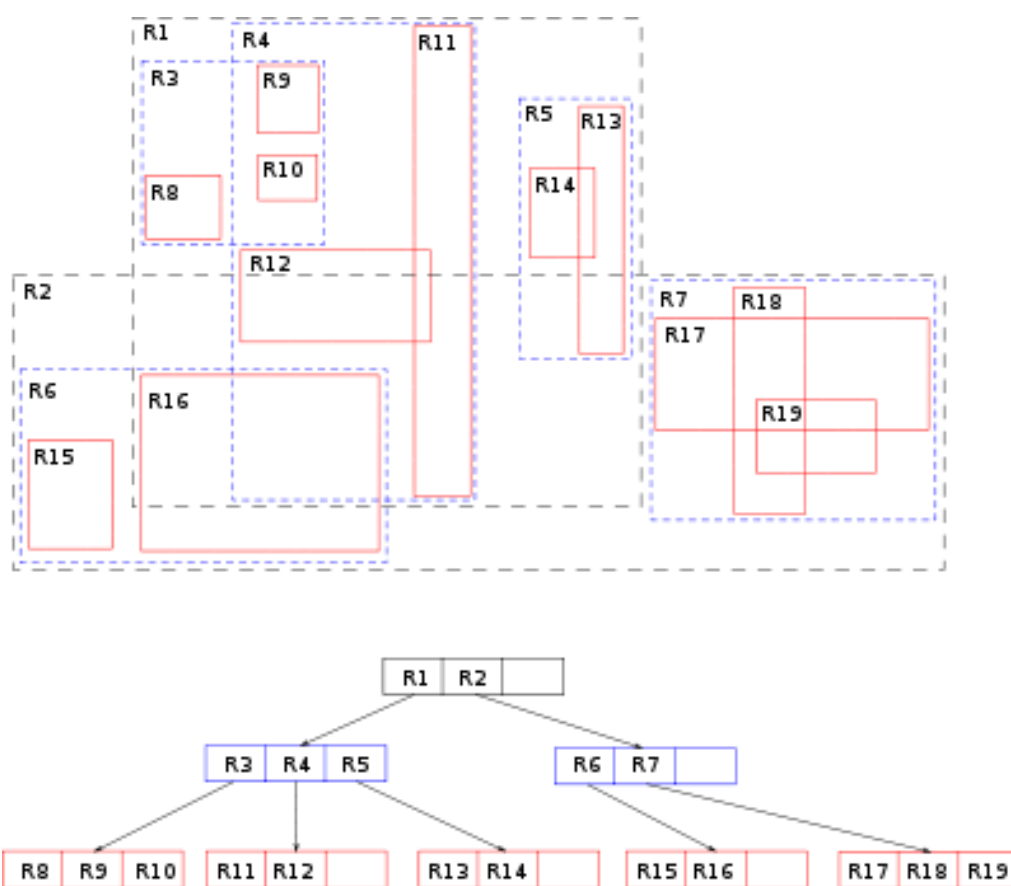


圖 6.1-1 2020 年 1~3 月臺灣附近 AIS 接收資料統計

在本所 109 年度前期研究『整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統』中已採用更適合處理巨量數據的文檔式 NoSQL 資料庫 (MongoDB) 來建立 AIS 資料庫，文檔式資料庫具有：1. 可水平擴充；2. 空間查詢索引；3. 可儲存多種類檔案等特點。在空間查詢方面，MongoDB 係透過 R tree 來建立索引結構，R tree 是由 Antonin Guttman 於 1984 年所提出，R 代表矩形(Rectangle)，所有節點都在它們的最小外接矩形中，所以跟某個矩形不相交的查詢就一定跟這個矩形中的所有節點都不相交。葉子節點上的每個矩形都代表一個物件，節點都是物件的聚合，並且越往上層聚合的物件就越多。也可以把每一層看做是對資料集的近似，葉子節點層是最細粒度的近似，與資料集相似度 100%，越往上層越粗糙，如圖 6.1-2。主要用來做空間資料儲存的樹狀結構，可用來訪問二維或更高維度組成的空間資料。



資料來源：Wikipedia 網頁

圖 6.1-2 二維 R tree 範例

首先將歷史資料庫轉移至 MongoDB 中，再根據 MMSI 分類並加入篩選條件，去除異常資料，降低資料庫大小，並建立軌跡資料庫，

其建立流程如圖 6.1-3。歷史資料庫(MSSQL)中的資料如圖 6.1-4，轉移至文檔資料庫 MongoDB 中，如圖 6.1-5。在 AIS 歷史資料庫中，所包含的資訊如表 6.1，為考量後續需透過 MMSI 分類不同船隻建立船軌跡資料庫，故在將資料轉移前，將 MMSI 設定為 Collection 中的索引(Index)。

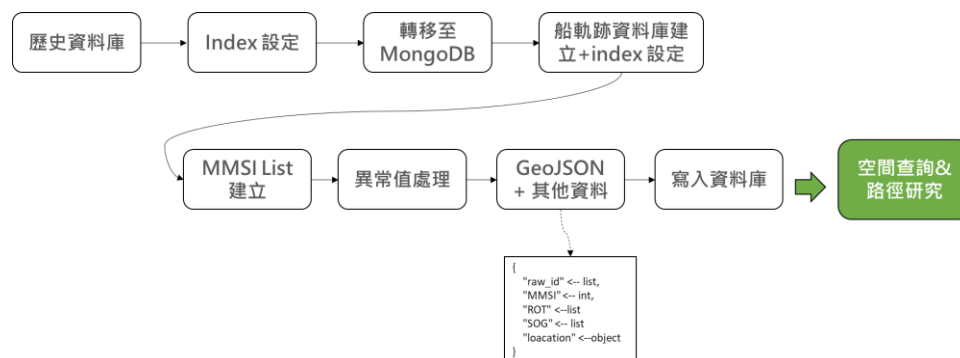


圖 6.1-3 資料庫建立流程

	IMO_Number	Call_Sign	ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	True_Heading	Time_Stamp
1				416001295	15	128.0	6.2	0	121.893821666667	24.845481666667	298.5	298	59
2	0	BR3804	KMSC NO.451	416005118	15	0.0	0.2	0	120.282095	22.6094183333333	332.2	1	1
3	0	BR3796	CHUNG CHENG NO 5	416005098	15	128.0	8	1	120.307253333333	22.5729716666667	312.3	511	0
4		1234567		400000003	15	128.0	102.3	0	181	91	360	0	0
5	9342401	VRM14	GAS EMERALD	477767400	0	-12.0	13.3	1	120.0244	22.7958	334	335	59
6	9342401	VRM14	GAS EMERALD	477767400	0	-12.0	13.3	1	120.0244	22.7958	334	335	59
7	9846536	VRSR5	TS SHANGHAI	477369700	0	0.0	10.5	1	121.900036666667	25.96846	56.3	54	58
8	0	BR3340	TIFM NO.12605	416003456	15	-128.0	2.3	1	120.320961666667	22.5508266666667	110.3	511	59
9		YYYY		100900545	15	128.0	102.3	1	181	91	360	511	51
10	9132947	3FAB8	UNI HARMONY	351865000	0	0.0	7.7	1	120.263283333333	25.6022666666667	35	35	59

圖 6.1-4 MS SQL AIS 歷史資料庫

```

{
  "_id" : ObjectId("5f37681ee7bd0672cce9358e"),
  "IMO_Number" : "",
  "Call_sign" : 1234567,
  "ShipName" : "",
  "MMSI" : 400000003,
  "Navigational_Status" : 15,
  "ROT" : 128.0,
  "SOG" : 102.3,
  "Position_Accuracy" : 0,
  "Longitude" : 181.0,
  "Latitude" : 91.0,
  "COG" : 360.0,
  "True_Heading" : 0,
  "Time_Stamp" : 0,
  "Communication_State" : 0,
  "Ship_and_Cargo_Type" : 30,
  "Reference_Position_A" : 12,
  "Reference_Position_B" : 17,
  "Reference_Position_C" : 0,
  "Reference_Position_D" : 0,
  "Fixing_Device" : 0,
  "ETA" : "1900-01-01 00:00:00.000",
  "MAX_Draught" : 0.0,
  "Destination" : "",
  "DTE" : 0,
  "Gross_Tonnage" : 0,
  "Record_Time" : "2020-03-02 07:42:00"
}
  
```

圖 6.1-5 轉移後 MongoDB AIS 資料庫

表 6.1 AIS 欄位資訊

欄位	說明
IMO_Number	IMO 編號
Call_Sign	呼號
ShipName	船名
MMSI	Maritime Mobile Service Identity
Navigational_Status	航行狀態
ROT	迴轉率
SOG	航速
Position_Accuracy	位置準確度
Longitude	經度
Latitude	緯度
COG	航向
True_Heading	船艏方向
Time_Stamp	時間標記
Communication_State	通訊狀態
Ship_and_Cargo_Type	船舶類型編號
Reference_Position_A	A+B=船長
Reference_Position_B	
Reference_Position_C	C+D=船寬
Reference_Position_D	
Fixing_Device	定位設備
ETA	預估到達時間
MAX_Draught	最大吃水深度
Destination	目的地
DTE	資料終端設備
Gross_Tonnage	噸位
Record_Time	數據接收時間

由於 AIS 資料為被動接收，歷史資料庫中連續資料會有不同船隻穿插與重複訊號的可能，為了提供預測模型訓練資料集，在此需先建立歷史軌跡資料庫，以提高取得資料集時的速度及品質。在建立船軌跡資料庫時，不僅將 MMSI 加入索引，也將經緯度加入做為空間索引，在 MongoDB 中，若要建立空間索引，需先建立 GeoJson 欄位，再透過 createIndex 功能中”2dsphere”的方式建立空間索引，因為軌跡座標，故 GeoJson 欄位使用”MultiPoint”代表軌跡，如圖 6.1-6。

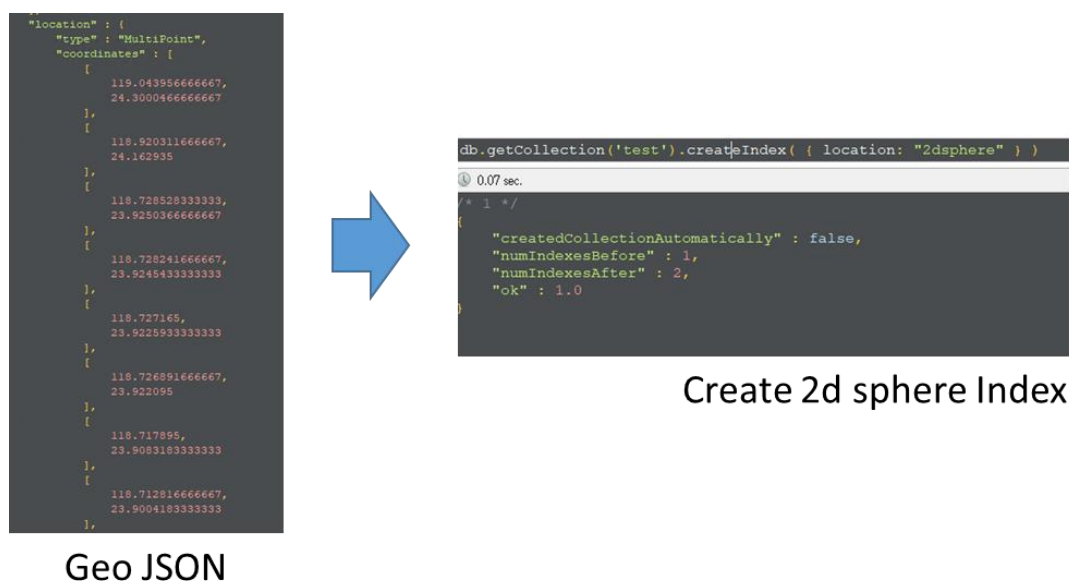


圖 6.1-6 MongoDB 空間索引建立

建立索引後，將資料匯入前，先去除歷史資料庫中的異常值，流程如下圖 6.1-7，先去除時間及空間重複資料，如圖 6.1-8、6.1-9，再刪除 COG 及 SOG 的異常值，其篩選的閾值參考 108 年度『船舶航行安全大數據資料庫應用與分析』報告，因 AIS 回傳資料中，回傳頻率有時間格較長，為了切分每次船舶任務的軌跡，此研究選定以 3 小時做為判斷標準，若超過 3 小時無回傳資料，則判定該次航行任務結束作為單次船軌跡。在船軌跡的品質管理中以船速判斷異常資料點，先將經緯度座標差轉為公里結合回傳時間差計算速度，換算成節(knot，1knot=1.852 km/hr)，若單點偏移量大(速度大於 70 節)，可能為定位異常所導致，故將此資料移除。

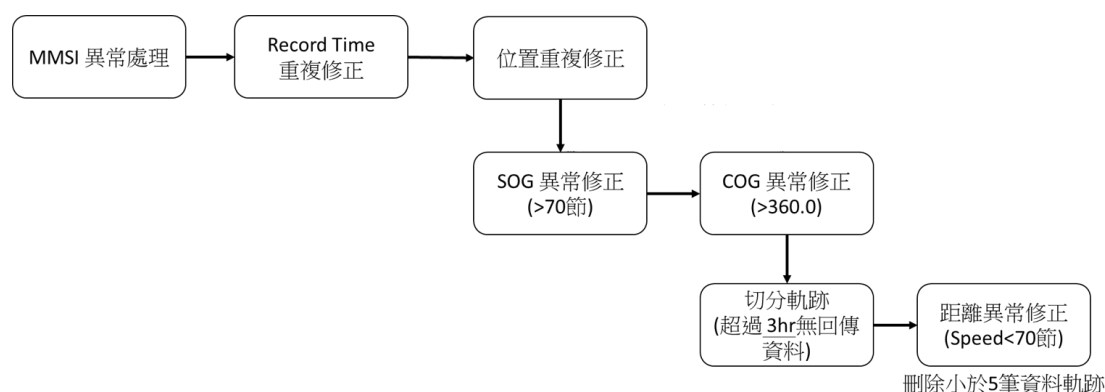


圖 6.1-7 異常值修正及軌跡決定

僅保留一筆資料
刪除其餘數據

_id	MMSI	Record_Time	SOG	COG	Longitude	Latitude
5f37681fe7bd0672ccea9ef7e	416001295	2020-03-02 07:47:35	6.3	297.7	121.884085	24.850222
5f37681fe7bd0672ccea0071	416001295	2020-03-02 07:48:05	6.4	298.1	121.883170	24.850648
5f37681fe7bd0672ccea1318	416001295	2020-03-02 07:48:38	6.2	303.7	121.882223	24.851068
5f37681fe7bd0672ccea1319	416001295	2020-03-02 07:48:38	6.2	303.7	121.882223	24.851068
5f376820e7bd0672ccea3384	416001295	2020-03-02 07:49:37	6.9	295.9	121.880462	24.851855
5f376820e7bd0672ccea3386	416001295	2020-03-02 07:49:37	6.9	295.9	121.880462	24.851855
5f376820e7bd0672ccea4405	416001295	2020-03-02 07:50:07	6.4	297.9	121.879567	24.852270
5f376820e7bd0672ccea4406	416001295	2020-03-02 07:50:07	6.4	297.9	121.879567	24.852270
5f376820e7bd0672ccea5486	416001295	2020-03-02 07:50:37	6.6	300.1	121.878668	24.852713
5f376820e7bd0672ccea6579	416001295	2020-03-02 07:51:08	6.5	294.7	121.877785	24.853115
5f376820e7bd0672ccea657b	416001295	2020-03-02 07:51:08	6.5	294.7	121.877785	24.853115
5f376820e7bd0672ccea768c	416001295	2020-03-02 07:51:39	6.4	302.5	121.876877	24.853552

圖 6.1-8 回傳時間重複

僅保留頭尾資料
中間無前進數據

_id	MMSI	Record_Time	SOG	COG	Longitude	Latitude
5f376824e7bd0672ccee2513	416001295	2020-03-02 08:20:59	0.0	90.9	121.835787	24.867308
5f376825e7bd0672ccee881c	416001295	2020-03-02 08:24:02	0.0	90.9	121.835787	24.867308
5f376825e7bd0672ccee6ab	416001295	2020-03-02 08:27:01	0.0	90.9	121.835787	24.867308
5f376827e7bd0672ccf0653f	416001295	2020-03-02 08:39:08	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376828e7bd0672ccf1213b	416001295	2020-03-02 08:45:11	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376829e7bd0672ccf1dfe1	416001295	2020-03-02 08:51:14	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ae7bd0672ccf23ea9	416001295	2020-03-02 08:54:17	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682be7bd0672ccf33d29	416001295	2020-03-02 09:03:22	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682be7bd0672ccf39e18	416001295	2020-03-02 09:06:23	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ce7bd0672ccf3ffe5	416001295	2020-03-02 09:09:24	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ce7bd0672ccf461f7	416001295	2020-03-02 09:12:26	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682de7bd0672ccf4c42b	416001295	2020-03-02 09:15:28	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ee7bd0672ccf585bd	416001295	2020-03-02 09:21:32	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ee7bd0672ccf5e600	416001295	2020-03-02 09:24:33	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682fe7bd0672ccf6469d	416001295	2020-03-02 09:27:35	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682fe7bd0672ccf70724	416001295	2020-03-02 09:33:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376830e7bd0672ccf766e3	416001295	2020-03-02 09:36:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376830e7bd0672ccf7c79c	416001295	2020-03-02 09:39:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376831e7bd0672ccf82816	416001295	2020-03-02 09:42:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376831e7bd0672ccf88861	416001295	2020-03-02 09:45:40	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376832e7bd0672ccf8e7ac	416001295	2020-03-02 09:48:41	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376832e7bd0672ccf94829	416001295	2020-03-02 09:51:42	0.0	80.7	121.835858	24.867230

圖 6.1-9 回傳位置重複

在分析船舶碰撞問題的研究中，最主要的參數即為船與船之間的距離，在現有的船跡資料庫中由於各船船速與船型不一而會以不同時距發送 AIS 資訊，因此必須將所有船跡推算至固定時間點來方便進行距離的計算。本計畫針對此問題採用空間搜尋、內插技術與軌跡切分技術來建立等時距資料庫。

空間搜尋功能為 MongoDB 的主要特性之一，在大量的數據中能透過所建立的 R-tree 索引快速搜尋出目標資料。軌跡切分則是經過多次測試後發現許多船的 AIS 訊號在港內裝卸或停泊時仍維持開

啟，且其訊號內容中的位置、速度、方向等仍會有不穩定的變化，這些資料對於後續分析來說都會誤判為船行資料而納入運算，故針對船跡資料庫中每筆資料利用位置點資訊的時變率與敏感度做篩分，將船跡資料庫再次進行整理。整理完成後以內插方式將每筆船跡資料以一分鐘為時距進行內插。最後將高雄港空間範圍內每分鐘所有船跡的 AIS 資料點建置為等時距資料庫，以便在後續運算中可以快速取得每一時刻範圍內的所有船行資訊。工作流程如圖 6.1-10 所示。

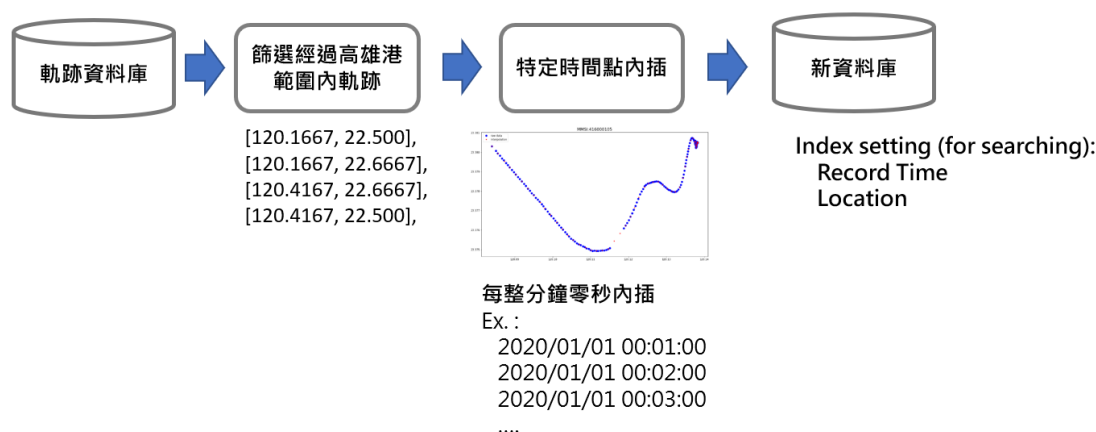
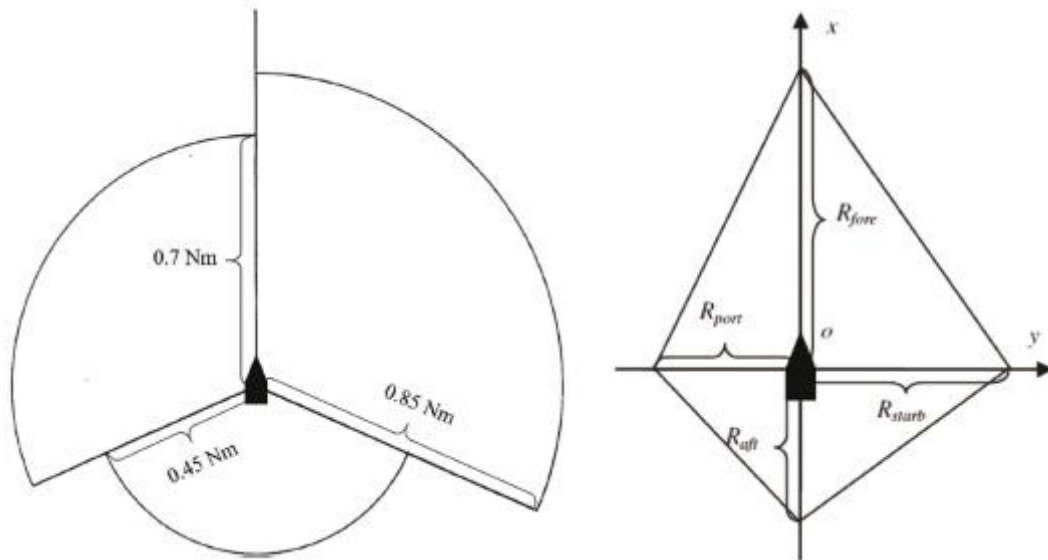


圖 6.1-10 建置等時距資料庫的工作流程

6.2 船舶安全範圍

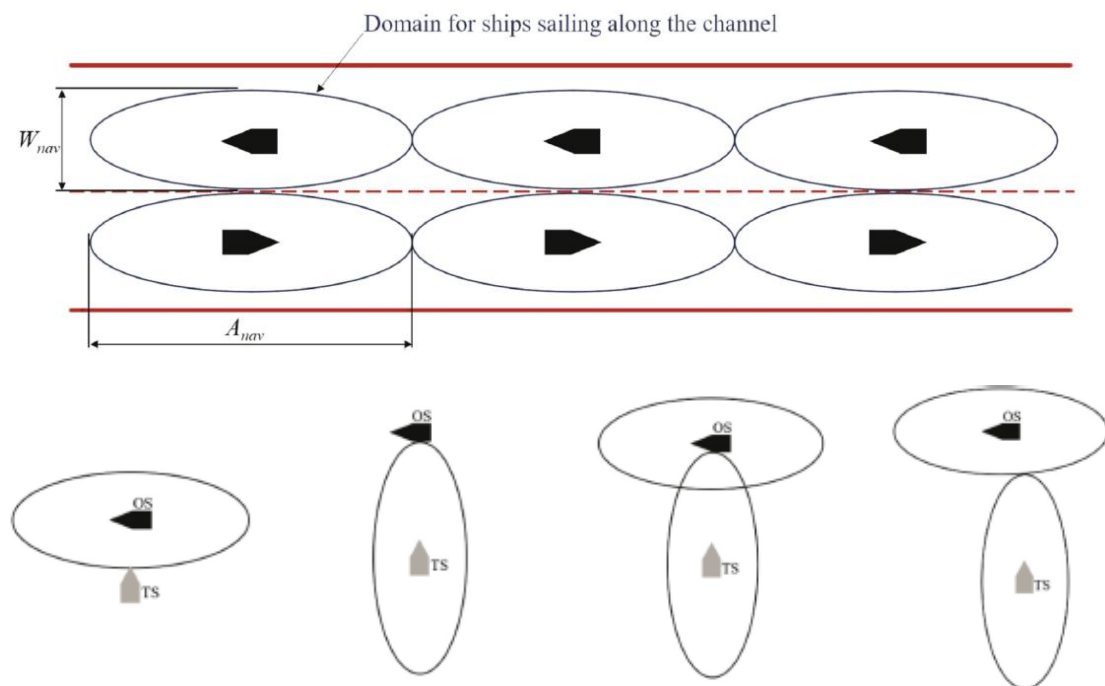
近年來船體碰撞的相關研究中除了將各船隻當作單一質點的傳統方式，為考量不同靜態因子與動態因子的船隻會有不同大小範圍的碰撞風險，而開始定義船行安全範圍，其示意圖如圖 6.2-1 與圖 6.2-2 所示。兩船的安全範圍出現交集的情況，其碰撞風險即開始提升，因此確定船舶周圍的安全範圍非常重要(Wang et al., 2016)，特別是對海上航行風險評估。依據目的，船行安全範圍有各種定義：早期由 Fujii 與 Tanaka(1971)、提出，定義為航行中的船隻周圍的安全區域，為避免碰撞其他船隻應盡可能保持在此範圍之外；Goodwin(1975)進一步以船舶安全範圍的概念開發了開放水域航行模型，其中 N_m 為以船速與船長相關的單位半徑，再以不同比例的三個扇形領域作為定義；而後考慮到「國際海上避撞規則」(COLREG)，Coldwell(1983)改進了往昔研究的船行安全範圍模型，以確保航行安全降低碰撞風險(Jingsong

et al., 1993)。往昔文獻中，建立船行安全範圍方法大致分為四類：經驗型、半經驗型、解析型與機率型(Liu et al., 2016; Pietrzykowski, 2008; Pietrzykowski 與 Magaj, 2017; Szlapczynski 與 Szlapczynska, 2017; Zhang 與 Meng, 2019; Dinh 與 Im, 2016)，各種不同的估算方式列如表 6.2-1。



資料來源：Coldwell, 1983 與 Wang, 2010

圖 6.2-1 不同型態的船行安全領域示意圖



資料來源：Liu et al., 2016 與 Szlapczynski et al., 2017

圖 6.2-2 考慮不同環境與不同遭遇方式的船行安全領域示意圖

表 6.2-1 不同的船舶安全範圍估算方式

提出者	形式	應用方法	形狀	適用範圍
Fujii and Tanaka (1971)	經驗型	統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Goodwin (1975)	經驗型	統計分析	三扇形	開闊水域
Davis et al. (1980)	數值模擬	模擬海上交通	圓	狹窄的航道和密閉水域
Coldwell (1983)	經驗型	統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Jingsong et al. (1993)	半經驗	模糊邏輯	圓	開闊水域
Lisowski et al. (2000)	半經驗	人工神經網絡	六邊形	開闊水域
Zhu et al. (2001)	半經驗	人工神經網絡	圓	-
Kao et al. (2007)	半經驗	模糊邏輯	圓	狹窄的航道和密閉水域
Pietrzykowski (2008)	半經驗	模糊邏輯	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Pietrzykowski and Uriasz (2009)	半經驗	模糊邏輯	不規則	開闊水域
Wang (2010)	解析型	數學模型	橢圓形 四邊形	-
Gucma and Marcjan (2012)	機率型	AIS 統計分析	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Su et al. (2012)	半經驗	模糊邏輯	圓	開闊水域
Hansen et al. (2013)	經驗型	AIS 統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Wang (2013)	解析型	數學模型	橢圓形 四邊形	-
Rawson et al. (2014)	經驗型	AIS 統計分析	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Krata and Montewka (2015)	解析型	數學模型	不規則	-
Liu et al. (2016)	解析型	數學模型	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Wang and Chin (2016)	經驗型	AIS 統計分析	多邊形	狹窄的航道和密閉水域
Dinh and Im (2016)	解析型 經驗型	數學模型 統計分析	四邊形	-
Pietrzykowski and Magaj (2017)	經驗型	AIS 統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Zhang and Meng (2019)	機率型	AIS 統計分析	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Fiskin et al. (2020)	半經驗	模糊邏輯	不規則	-

資料來源：本計畫彙整

除上述形式上與應用上的差異外，各計算方式考量的相關因素也不同，一般在選用上會依據影響因子蒐集的情況來決定，例如以國內目前的政策可能考量個資法而無法蒐集到操船者的年齡與資歷等人為因素，又可能往昔事故發生時的氣象條件或能見度已不可考，部分船舶安全範圍的估算方式也就無法選用。各種估算方式所考量的因素如表 6.2-2 所示。

表 6.2-2 不同的船舶安全範圍估算方式考量的因素

提出者	船舶相關因素							環境相關因素								
	本船長度	本船速度	本船的可操作性	目標的機動性	目標的長度	目標的船速	船型	船間距離	目標的相對方位	遭遇類型	氣象條件	交通狀況	人為因素	能見度	白天／夜晚	導航區類型
Fujii and Tanaka (1971)	✓				✓						✓					
Goodwin (1975)	✓	✓				✓	✓		✓		✓			✓		
Davis et al. (1980)	✓								✓							
Coldwell (1983)	✓									✓		✓				✓
Jingsong et al. (1993)	✓	✓				✓	✓		✓			✓	✓			✓
Lisowski et al. (2000)		✓				✓		✓	✓							
Zhu et al. (2001)	✓		✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓		
Kao et al. (2007)	✓	✓									✓					
Pietrzykowski (2008)	✓	✓	✓			✓		✓			✓	✓	✓			
Pietrzykowski and Uriasz (2009)	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓
Wang (2010)	✓	✓	✓			✓				✓	✓	✓	✓			
Gucma and Marcjan (2012)							✓		✓	✓	✓					
Su et al. (2012)	✓	✓				✓					✓					
Hansen et al. (2013)	✓							✓								
Wang (2013)	✓	✓	✓			✓				✓	✓	✓	✓	✓		
Rawson et al. (2014)		✓				✓	✓	✓		✓						
Krata and Montewka (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Liu et al. (2016)	✓	✓				✓	✓					✓				✓
Wang and Chin (2016)	✓	✓			✓	✓		✓	✓							
Dinh and Im (2016)		✓		✓	✓	✓				✓						
Pietrzykowski and Magaj (2017)	✓				✓		✓				✓		✓			✓
Zhang and Meng (2019)	✓	✓					✓					✓	✓			✓
Fiskin et al. (2020)	✓	✓	✓						✓		✓	✓	✓	✓	✓	

資料來源：本計畫彙整

往昔的研究除上述開發機制差異外其適用範圍亦有所不同，因此船舶安全範圍計算方式的選用上應符合適用範圍與研究目標。往昔研究基於狹窄航道的歷史資料來進行建立，或其成果主要僅適用於較單

純的狹窄航道的計算方式都不適用於本計畫。此外，目前國內海事案件統計表中的事故成因紀錄較為簡單，以至於無法探討航行時人為與環境等多項因子的特性與權重來作為輸入條件，特別是考慮到本計畫計劃區的船隻除了一般航行外還有靠泊與裝卸等較複雜的動態，參考Wang(2010)研究選用較常見的船隻長度和船行速度來計算四軸式的橢圓船舶安全範圍，建立船行模式來模擬目標港周邊船行交會的情況，進而分析研究範圍內的碰撞風險熱區。

本計畫採用的船行安全領域計算方式主要依照船舶位置、船行方向於 GIS 系統上進行定位，領域的大小則以船長與船速等關係描述以船首為基準的四方向半徑，再透過複合半徑的橢圓方程計算 64 方位格點串連為向量多邊形，四方向的半徑計算方式如下。其中 L 為船長， V 為船速，可按下式計算：

$$R_{fore} = \left(1 + 1.34 \sqrt{k_{AD}^2 + \left(\frac{k_{DT}}{2} \right)^2} \right) L \quad (6-1)$$

$$R_{aft} = \left(1 + 0.67 \sqrt{k_{AD}^2 + \left(\frac{k_{DT}}{2} \right)^2} \right) L \quad (6-2)$$

$$R_{starb} = (0.2 + k_{DT})L \quad (6-3)$$

$$R_{port} = (0.2 + 0.75k_{DT})L \quad (6-4)$$

$$k_{AD} = 10^{0.3591 \log V + 0.0952} \quad (6-5)$$

$$k_{DT} = 10^{0.5441 \log V + 0.0795} \quad (6-6)$$

圖 6.2-3 為本計畫實際計算高雄港#10 碼頭 2002 年 1 月的船行安全範圍情況，圖中以紅色線段表示船長，藍色線段則為透過計算的 64 方位船行安全領域。該領域會受船長與船速的影響有不同大小，若船速為零顯示該船程呈現停泊狀態，則無船舶安全領域。圖中可看出兩船正以相反方向交錯而過，兩船的領域於航道中央有發生交集

區，顯示此刻該處的船舶行為有一定的風險。透過上述等時距資料庫配合船行安全領域對 AIS 巨量數據可有效率並精確地計算交集區的時空分布並進行分析，結果於次節進行說明。

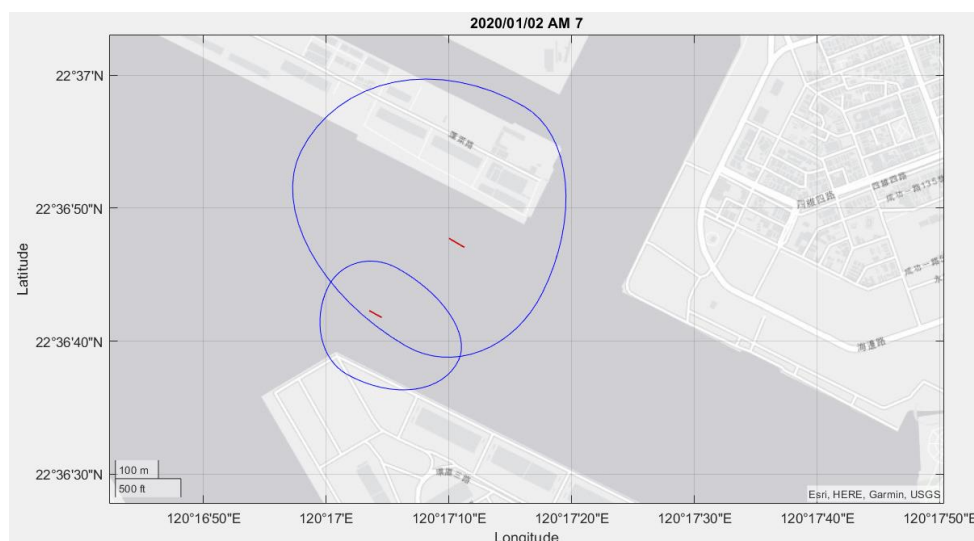


圖 6.2-3 本計畫船行安全領域計算示意圖

6.3 模擬結果與相關分析

高雄港船行模擬模式主要是透過等時距資料庫配合範圍內的船行安全領域交集計算所完成，在模擬的過程中依照模擬的情況不斷針對等時距資料庫的架構與交集區運算方式進行調整，使得整個計算流程能夠應付大量的數據處理。由於 AIS 資料為被動式接收，期資料品質與正確性會受到船舶端的開啟與關閉或是異常而有很大的影響，等時距資料庫的資料流過濾可有效降低這些問題並使巨量資料能夠正規化進入船行模擬模式，使交集區計算能夠以合適的時空解析度來進行快速運算，網格上各點在分析時段內被涵蓋於交集區的次數疊加量即代表該網格點的風險程度。模擬結果以動畫輸出可以快速檢視運算結果的正確性，然而紙本報告僅能以資料視覺化來呈現最終的統計結果進行說明如下。圖 6.3-1 為 2020 年第一季的高雄港船行風險模擬結果，圖中以藍色至黃色的漸層色調表示船行安全領域交集區在三個月內重複出現於該網格點的低至高相對密度，即風險由低至高的空間區域分布，圖中模擬結果為相對密度並無單位，黃色高風險區、綠色中風險區與藍色低風險區分別約為 75%、50%及 25%。結果顯示高雄港

有兩區呈現風險較高的黃色區塊(75%以上)，一為高雄港一港口航道內的#143 碼頭至第一船渠之間，另一則為二港口迴船池靠近#115 碼頭區域。其次風險較低的區域(75%以下)則位於南北主航道的區域，其中前鎮河迴船池至二港口迴船池段稍微高於一港口迴船池至前鎮河迴船池段。偏藍色較淡的輕微風險區則是一港口支航道與#107 碼頭迴船池。

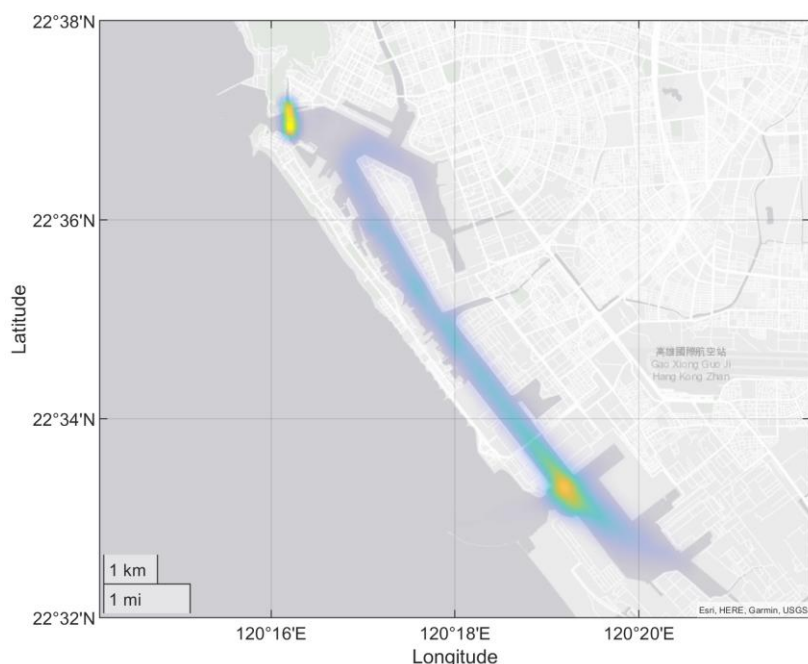


圖 6.3-1 高雄港船行風險模擬結果

圖 6.3-1 為空間解析度 50m 的計算成果，為加強上述分析結果的空間解析度，另針對北側高風險區 Zone1 與南邊高風險區 Zone2 進行網格加密至 1m 來計算風險模擬結果如圖 6.3-2 與圖 6.3-3。結果顯示加密後的 Zone1 可以明顯看出此區的風險區域集中於北側的鼓山渡輪站與南側的旗津渡輪站，本區每日 AM5:15 至隔日 AM2:00 平均約 5~30 分鐘有固定航班的渡輪，因此在高雄港區範圍內常有船行安全範圍的交集區。圖 6.3-3 則為 Zone2 的加密分析結果，結果顯示在二港口迴船池的風險區中，北側過港隧道至南側轉角處的第十船渠皆為風險較高的區域。若排除旗鼓渡輪航線的熱區，本區位於二港口四方交會處屬於高雄港範圍內風險最高的區域，然而高雄港內設有四個迴船池，由北至南分別為一港口迴船池、前鎮河迴船池、二港口迴船池

與#107 碼頭迴船池，其中卻僅二港口迴船池的風險密度為最高，為較值得進一步探討之處。

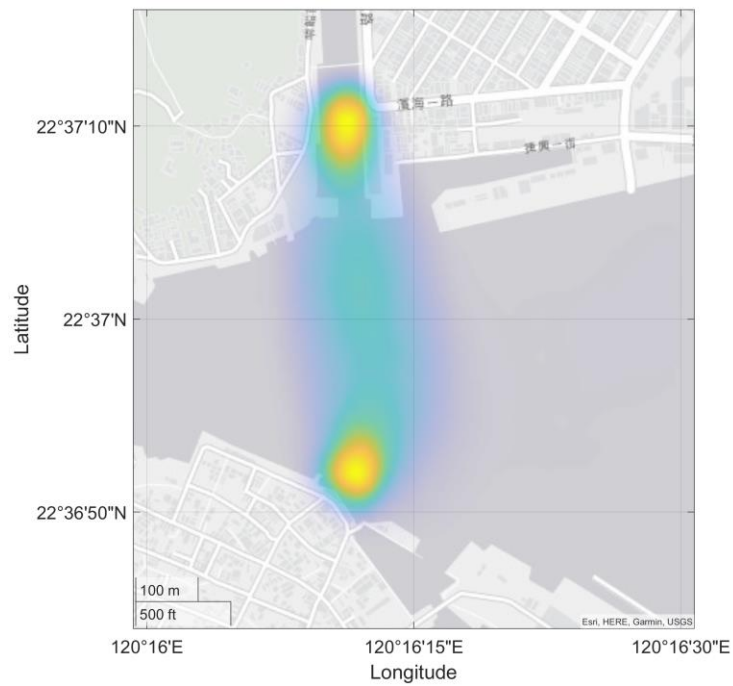


圖 6.3-2 高雄港 Zone1 船行風險模擬結果

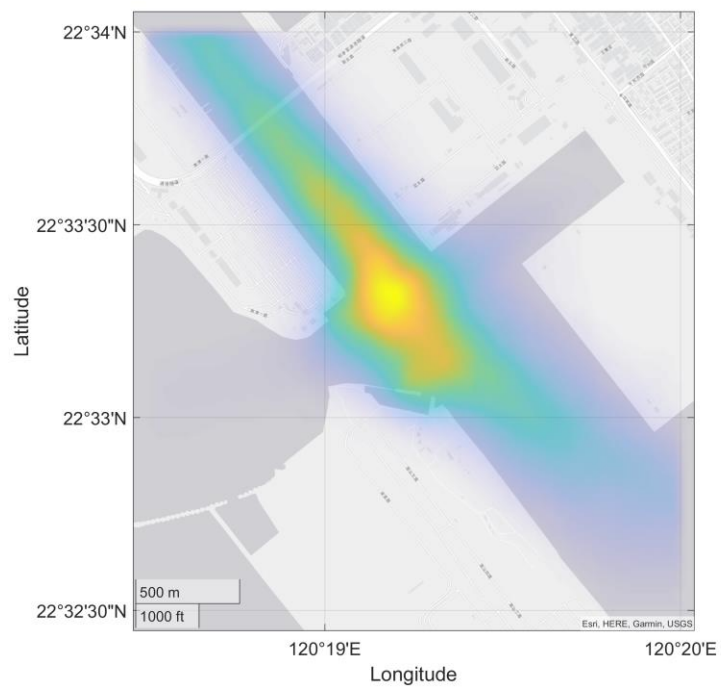


圖 6.3-3 高雄港 Zone2 船行風險模擬結果

本計畫另針對兩個高風險區進行時間上的分析，分析在不同時間下的風險情況，並透過資料視覺化呈現如圖 6.3-4 與圖 6.3-5。圖 6.3-4 為高雄港北側高風險區 Zone1 的分析熱力圖，圖中橫軸為每周日至周末，縱軸為每日 0 時至 23 時共 24 小時，熱力圖中以黃色調至紅色調呈現船舶安全領域交集區的低至高出現次數。圖中顯示風險高的時間段集中於 AM7~9 時與 16~18 時，周末與周日則有不同，與旗鼓航線的船班的密度有正相關。

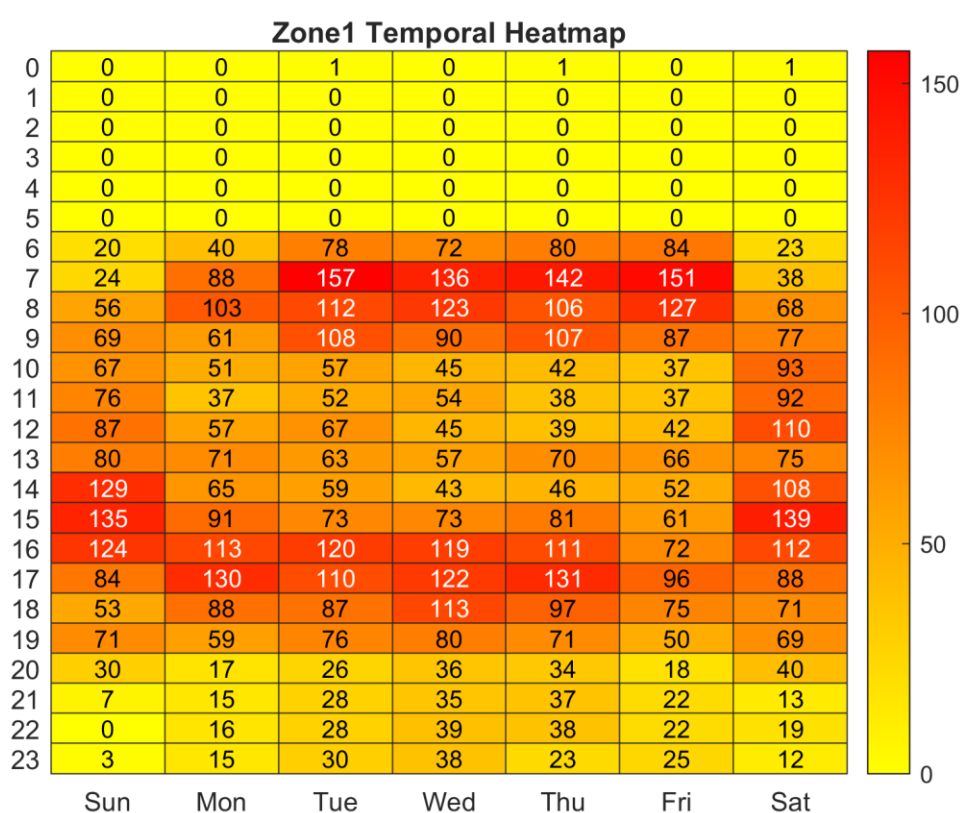


圖 6.3-4 高雄港 Zone1 不同時間的風險情況

圖 6.3-5 則為高雄港南側二港口的高風險區 Zone2 的分析熱力圖，圖中顯示風險高的時間段集中於 AM8~11 時、12~13 時與 16~17 時，周日則稍有減緩。

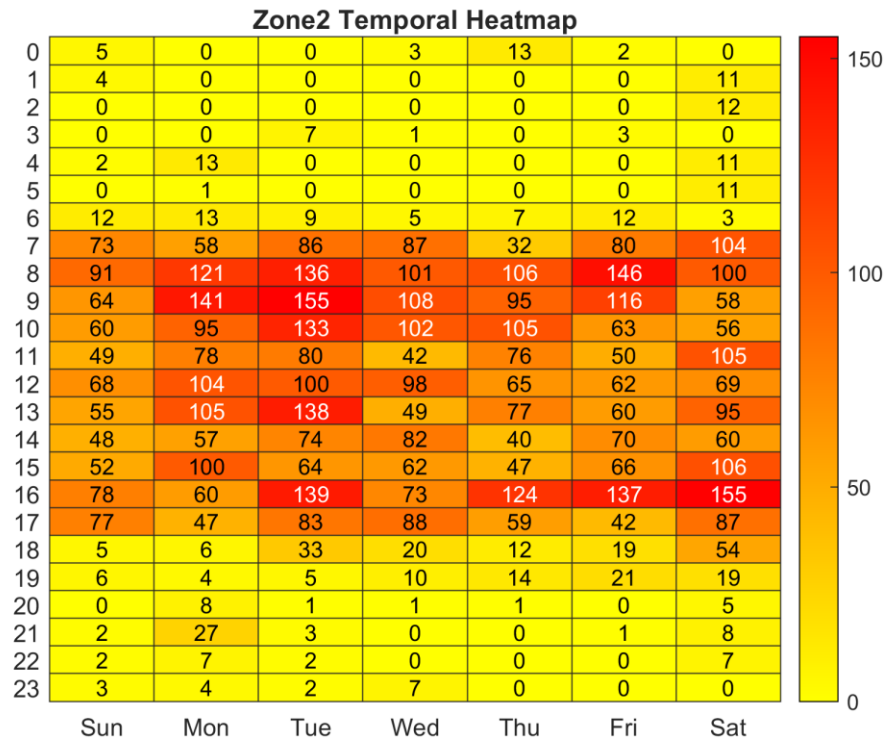


圖 6.3-5 高雄港 Zone2 不同時間的風險情況

6.4 小結

本章的分析結果呈現 2020 年第一季高雄港所有 AIS 資料的船行風險特性，以船行安全範圍的交集區來呈現研究範圍內的交通密度與風險情況。兩個高風險熱區與圖 4.2-4 高雄港範圍碰撞事故熱區分析結果並無一致的現象，顯示高雄港目前透過 VTS 管理中心的管控下其海事碰撞事件在交通密集區域並無明顯較多的情況。此結論也符合往昔文獻中海事案件絕大部分都為人為因子所造成的說法，也顯示高雄港在適當的管理下，航線空間因子並不屬於高雄港航行事故上的主要成因。

本船行模擬模式以大量的 AIS 資料配合文檔式資料庫與船行安全範圍的大數據處理方式分析目標港的風險情況，可提供港務管理與規劃相關單位在航控與調配上做參考。相關港務港區船舶航行及管理相關規定可參見現有『商港港務管理規則』與高雄港務分公司相關營運規章。

第七章 結論與建議

7.1 結論

- 1.本計畫蒐集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關研究與技術文件，對 VDES 進行簡介並針對其發展現況進行說明，包括 VDES 規範與衛星規劃等近程計畫。此外並彙整相關應用與技術提升實例說明 VDES 未來應用，以評估 VDES 對於國內船舶安全與管理上之助益，提供後續港灣規劃與航行管理做為參考。
- 2.針對國內海上事故資料進行蒐集與彙整，評估交通部航港局與運輸安全調查委員會可蒐集的海上事故資料，然而依法規目前尚無法取得航港局的官方調查資料；運安會則因為設立時間不長而僅有少量資料可供分析，故採用航港局公告海事案件調查紀錄表進行分析。彙整資料共 1932 筆，進行資料品質管後刪除 10%的重複資料，並透過 Google 雲端運算服務的 Geocoding API 與專業人工判斷修正部分肇事地點紀錄不明確的地點彙整出 1671 筆可進行統計分析，其中 1342 可進行後續空間特性分析。
- 3.海上事故統計分析的結果顯示其他海難件數最多，其次分別為兩船碰撞、機械故障，兩船碰撞與機械故障皆佔比 10%以上，可視為在臺灣鄰近海域之最常見的海難原因。人員損失部份以有人員死亡的事件最多，佔 9.03%，其次為失蹤，佔 5.21%，最後才是受傷，佔比 4.25%。在財產損失部分，則以船損最為常見，佔 46.80%，船沉佔 7.96%。人員死亡之事件中以意外(作業不慎)為最多，次之分別為意外(事故)、天候氣象。空間分布特性分析發現兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺這三類的發生較具空間分布特性，其餘五類則較不具空間特性。熱區分析的結果顯示在兩船碰撞及與其他物碰撞的事件中，最明顯的熱區位於高雄港，本計畫針對高雄港範圍進行細部熱區分析，並以高雄港做為目標港進行分析。
- 4.綜合實測資料及數值模擬結果大致可分析事故發生的原因，其中高雄港內的事務主要以陣風影響最大，僅有一件與船波造成的浪有相

關性，而在高雄港外的事故主要以颱風或熱帶性低氣壓造成的強風大浪有關，其次才與流有關，至於因為機械故障造成船舶漂流則以流的相關性較高。本計畫透過各個事故原因的探討發現陣風的瞬間增強或持續性的強風為高雄港事故發生的主要原因。

5. 本章的分析結果呈現 2020 年第一季高雄港所有 AIS 資料的船行風險特性，以船行安全範圍的交集區來呈現研究範圍內的交通密度與風險情況。兩個高風險熱區與高雄港範圍碰撞事故熱區分析結果並無一致的現象，顯示高雄港目前透過 VTS 管理中心的管控下其海事碰撞事件在交通密集區域並無明顯較多的情況。此結論也符合往昔文獻中海事案件絕大部分都為人為因子所造成的說法，也顯示高雄港在適當的管理下，航線空間因子並不屬於高雄港航行事故上的主要成因。

7.2 建議

在海事案件統計中，本計畫發現有幾點會可能影響後續分析結果正確性的問題；若未來能在海上事故記錄上作改善，相信對未來相關研究或是管理權責單位都能有很大的幫助。包括肇事位置座標記錄詳實、事故分類與嚴重程度的劃分標準統一與原因分析欄位的敘述應盡量詳實等。另外，依據目前運安會相關調查報告中的項目提出合適的記錄表格式供未來相關單位作參考。

VDES 仍於開發與規劃階段，與目前本計畫分析船行風險的技術應用與搭配上除了可能加強頻寬改善 AIS 資訊過多的情況，應可增加船載資訊系統提供更多空間上的海氣象環境資訊，建議未來可持續蒐集國內外相關研究的發展來進行評估。

7.3 成果效益與應用情形

本計畫依據目前運安會相關調查報告中的項目提出合適的記錄表格式供未來相關單位作參考，期望能加強國內海事案件的資料紀錄與資訊整合，對於未來相關研究的推行與分析技術能有更進一步的發展。

展。

本計畫船行模擬模式以大量的 AIS 資料配合文檔式資料庫與船行安全範圍的大數據處理方式分析目標港的風險情況，可提供港務管理與規劃相關單位在航控與調配上做參考。本方法可應用在其他海域航道或港區，若在規劃階段無法取得合適的 AIS 資料可透過統計方式以代表性的船行資料進行碰撞風險的模擬與檢討。

參考文獻

1. 劉中平、梁金樹、朱經武(2004) 「應用灰關聯分析於臺灣地區國際商港海事事故天然致因之研究」，航運季刊，13(3)，95-114
2. 廖坤靜、吳展嘉、蕭永慶(2006) 「應用層級分析法分析海難碰撞事故關鍵人因」，航運季刊，15(4)，62-85
3. 徐國裕、張運杰、周和平(2008) 「臺灣西部國際商港水域海難事故之分析」，航運季刊，17(1)，45-62。
4. 張憲章、羅德章、謝志敏 (2009) 高雄港第二港口雙向航行之研究，第 31 屆海洋工程研討會論文集，台中，669-674。
5. 溫敏麒、張桂肇、張珮綺、楊瑞源、黃煌輝 (2012) 離岸風力發電場於航行安全因應措施之研究，第 34 屆海洋工程研討會論文集，台南，875-880。
6. 陳世宗、周毓欣(2017)「海難事故肇因關鍵性分析技術之研究」，航運季刊」，26(1)，1-22。
7. 韓子健、王志敏、洪亦萱(2017)「應用羅吉斯迴歸建立油輪重大意外事故預測模型」，航運季刊，26(4)，103-119。
8. 夏邦興(2018)「挪威海軍海事碰撞案人為肇因之研究」，航運季刊，27(4)，65-84。
9. 內政部(2018)，潮位模式精進工作案。
10. 蔡立宏、黃茂信、陳子健、簡靖承(2019)「船舶監控預警系統之研究」。
11. 張淑淨、高國瑋、王珮蓉、連永順、胡清硯、吳永將(2020)「離岸風電海域工程之航行資訊與安全管理」，第 42 屆海洋工程研討會論文集，基隆，769-775。
12. 交通部運輸研究所(2020)「整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統」。

- 13.杜貞儀(2021)「商用訊號情報衛星崛起」，國防安全雙週報，第22期，第23-26頁。
- 14.Balmat, J. F., Lafont, F., Maifret, R., Pessel, N. (2009). MAritime RiSk Assessment (MARISA), a fuzzy approach to define an individual ship risk factor. *Ocean engineering*, 36(15-16), 1278-1286.
- 15.Balmat, J. F., Lafont, F., Maifret, R., Pessel, N. (2011). A decision-making system to maritime risk assessment. *Ocean Engineering*, 38(1), 171-176.
- 16.Blumberg, A. F., Mellor, G. L. (1987). A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Vol. 4, edited by N. Heaps, pp. 208, American Geophysical Union, Washington, D.C..
- 17.Bradbury, L. M., Diaconu, D., Laurin, S. M., Beattie, A. M., Ma, C., Spydevold, I. S., Haugli, H. C., Zee, R. E., Harr, J., Udnæs, F. (2019). NorSat-2: Enabling advanced maritime communication with VDES. *Acta Astronautica*, 156, 44-50.
- 18.Chen, P., Mou, J., van Gelder, P. H. A. J. M. (2017). Risk assessment methods for ship collision in estuarine waters using AIS and historical accident data. *Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources*.
- 19.Coldwell, T. G. (1983). Marine traffic behaviour in restricted waters. *J. Navig.*, 36,430-444.
- 20.Davis, P. V., Dove, M. J., Stockel, C. T. (1980). A computer simulation of marine traffic using domains and arenas. *J. Navig.*, 33, 215-222.
- 21.Dinh, G. H., Im, N. (2016). The combination of analytical and statistical method to define polygonal ship domain and reflect human experiences in estimating dangerous area.*Int. J. e-Navigation Marit. Econ.*, 4, 97-108.
- 22.Eliopoulou, E., Papanikolaou, A., & Voulgarellis, M. (2016).

- Statistical analysis of ship accidents and review of safety level. *Safety science*, 85, 282-292.
23. Fiskin, R., Nasiboglu, E., Yardimci, M. O. (2020). A knowledge-based framework for two-dimensional (2D) asymmetrical polygonal ship domain. *Ocean Engineering*, 202, 107187.
 24. Fujii, Y., Tanaka, K. (1971). Traffic capacity. *J. Navig.*, 24, 543-552.
 25. Golaya, A. P., Yogeswaran, N. (2020). Maritime communication: From flags to the VHF Data Exchange System (VDES). *Journal of the National Maritime Foundation of India*, 16, 119-131.
 26. Goodwin, E. M. (1975). A statistical study of ship domains. *J. Navig.*, 28, 328-344.
 27. Gucma, L., Marcjan, K. (2012). Probabilistic model of minimal passing distances of vessels navigating in Polish coastal waters. In: 11th Int. Probabilistic Saf. Assess. Manag. Conf. Annu. Eur. Saf. Reliab. Conf. 2012, PSAM11 ESREL 2012, 7, pp. 5536–5543.
 28. Hansen, M. G., Jensen, T. K., Lehn-Schioler, T., Melchild, K., Rasmussen, F. M., Ennemark, F. (2013). Empirical ship domain based on AIS data. *J. Navig.*, 66, 931-940.
 29. Holthuijsen, L.H, Booij, N., Herbers, T.H.C. (1989). A Prediction Model for Stationary, Short-crested Waves in Shallow Water with Ambient Currents. *Coastal Engineering*, 13, 23-54.
 30. Hu, Y., Park, G. K., Pham, T. Q. M. (2019). A solving algorithm of navigational collision risk through data analysis of fishing vessel activities. *Journal of Data, Information and Management*, 1-13.
 31. IALA (2017). Guideline G1117 VHF Data Exchange System (VDES) Overview, Edition 2.
 32. IALA (2019). Guideline G1139 The Technical Specification of VDES, Edition 3.
 33. Jingsong, Z., Zhaolin, W., Fengchen, W. (1993). Comments on ship

- domains. *J. Navig.*, 46, 422-436.
34. Jeon, H. K., Yang, C. S. (2019). Designing Algorithms to Assess Collision Risk in Coastal Waters. In *OCEANS 2019-Marseille* (pp. 1-4). IEEE.
 35. Kao, S.L., Lee, K.T., Chang, K.Y., Der Ko, M. (2007). A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service. *J. Navig.*, 60, 17-31.
 36. Krata, P., Montewka, J., 2015. Assessment of a critical area for a give-way ship in a collision encounter. *Arch. Transp.* 34, 51-60
 37. Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, and P. A. E. M. Janssen, 1994: Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge University Press, 532 pp.
 38. Lázaro, F., Raulefs, R., Wang, W., Clazzer, F., Plass, S. (2019). VHF data exchange system (VDES): an enabling technology for maritime communications. *CEAS Space Journal*, 11, 55-63.
 39. Lisowski, J., Rak, A., Czechowicz, W. (2000). Neural network classifier for ship domain assessment. *Math. Comput. Simulat.*, 51, 399-406.
 40. Liu, J., Zhou, F., Li, Z., Wang, M., Liu, R.W. (2016). Dynamic ship domain models for capacity analysis of restricted water channels. *J. Navig.*, 69, 481-503.
 41. Lensu, M., Goerlandt, F. (2019). Big maritime data for the Baltic Sea with a focus on the winter navigation system. *Marine Policy*, 104, 53-65.
 42. Merrick, J., Dorp, J., Mazzuchi, T., Harrauld, J., Spahn, J., Grabowski, M. (2002). The Prince William Sound Risk Assessment. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 32(6), 25-40.
 43. Merrick, J. R., Van Dorp, J. R., Dinesh, V. (2005). Assessing uncertainty in simulation-based maritime risk assessment. *Risk Analysis: An International Journal*, 25(3), 731-743.
 44. Merrick, J., Dorp, J. (2006). Speaking the Truth in Maritime Risk

Assessment, Risk Analysis, 26(1), DOI:
10.1111/j.1539-6924.2006.00708.x

45. Montewka, J., Goerlandt, F., Kujala, P. (2012). Determination of collision criteria and causation factors appropriate to a model for estimating the probability of maritime accidents. *Ocean engineering*, 40, 50-61.
46. NASA Ames Research Center. (2020). State of the Art: Small Spacecraft Technology. Small Spacecraft Systems Virtual Institute.
47. Nguyen, M., Zhang, S., Wang, X. (2018). A Novel Method for Risk Assessment and Simulation of Collision Avoidance for Vessels based on AIS. *Algorithms*, 11(12), 204.
48. Øystein, H., Øystein, O., Torkild, E., Richard, O. (2009). ESA mulighetsstudie for et europeisk satellittbasert AIS system. Tech. rep. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI).
49. Papanikolaou, A., Bitha, K., Eliopoulou, E., & Ventikos, N. P. (2014). Statistical analysis of ship accidents occurred in the period 1990-2012 and assessment of safety level of ship types. In *Proceedings of the Maritime Technology and Engineering Conference (MARTECH)* (Vol. 2014, pp. 227-233).
50. Pietrzykowski, Z. (2008). Ship's fuzzy domain - a criterion for navigational safety in narrow fairways. *J. Navig.*, 61, 499-514.
51. Pietrzykowski, Z., Uriasz, J. (2009). The ship domain - a criterion of navigational safety assessment in an open sea area. *J. Navig.*, 62, 93-108.
52. Pietrzykowski, Z., Magaj, J. (2017). Ship domain as a safety criterion in a precautionary area of traffic separation scheme. *TransNav Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transport.*, 11, 93-98.
53. Poghosyan, A., Golkar, A. (2017). CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions. *Progress in Aerospace Sciences*, 88, 59-83.
54. Rawson, A., Rogers, E., Foster, D., Phillips, D. (2014). Practical

- application of domain analysis: port of london case study. *J. Navig.*, 67, 193-209.
55. Recommendation ITU-R M.2092-0 (2015). Technical Characteristics for a VHF Data Exchange System in the VHF Maritime Mobile Band.
 56. Reid, T. G. R., Neish, A. M., Walter, T., Enge, P. K. (2018) Broadband LEO Constellations for Navigation. *Journal of the institute of Navigation*, 65, 205-220.
 57. Saha et al. (2010). The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), 1015-1057.
 58. Sidibe, A., Shu, G. (2017). Study of automatic anomalous behaviour detection techniques for maritime vessels. *The journal of Navigation*, 70(4), 847.
 59. Su, C. M., Chang, K. Y., Cheng, C. Y. (2012). Fuzzy decision on optimal collision avoidance measures for ships in vessel traffic service. *J. Mar. Sci. Technol.* 20, 38-48.
 60. Wang, J., Sii, H. S., Yang, J. B., Pillay, A., Yu, D., Liu, J., Maistralis, E., Saajedi, A. (2004). Use of advances in technology for maritime risk assessment. *Risk Analysis: An International Journal*, 24(4), 1041-1063.
 61. Wang, N. (2010). An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain. *J. Navig.*, 63, 733-749.
 62. Wang, N. (2013). A novel analytical framework for dynamic quaternion ship domains. *J. Navig.*, 66, 265-281.
 63. Wang, Y., Chin, H. C. (2016). An empirically-calibrated ship domain as a safety criterion for navigation in confined waters. *J. Navig.*, 69, 257-276.
 64. Wang, N., Chang, D., Yuan, J., Shi, X., Bai, X. (2020). How to maintain the safety level with the increasing capacity of the fairway: A case study of the Yangtze Estuary Deepwater Channel. *Ocean*

Engineering, 216, 108122.

65. Wimpenny, G., Safar, J., Grant, A., Bransby, M., Ward, N. (2018) Public Key Authentication for AIS and the VHF Data Exchange System (VDES). Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, pp. 1841-1851.
66. Young, I.R. (1999). Wind Generated Ocean Waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.
67. Zhang, L., Meng, Q. (2019). Probabilistic ship domain with applications to ship collision risk assessment. Ocean Eng., 186, 106130.
68. Zhang, J., Teixeira, Â. P., Guedes Soares, C., Yan, X., Liu, K. (2016). Maritime transportation risk assessment of Tianjin Port with Bayesian belief networks. Risk analysis, 36(6), 1171-1187.
69. Zheng, L., Wang, H., Meng, Q. and Xie, H. (2019), Ship accident consequences and contributing factors analyses using ship accident investigation reports, Journal of Risk and Reliability, Vol. 233 (1), pp. 35-47. DOI: 10.1177/1748006X18768917.
70. Zhu, X., Xu, H., Lin, J. (2001). Domain and its model based on neural networks. J. Navig., 54, 97-103.
71. 長谷川和彦、畑耕治郎、澤田涼平、山林潤(2016)「VDES シミュレータの開発」, 第 135 回講演会日本航海学会講演予稿集, 第 4 巻, 第 221-223 頁。
72. 宮寺好男(2020)「船舶における VHF データ交換システム (VDES)の導入」, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 55 巻, 第 64-67 頁。

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-110-H2CB001k 船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展

合作研究單位：國立陽明交通大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、江文山委員		
1. 報告的編排、資料蒐集完整與內容撰寫可讀性非常高，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意辦理
2. 報告內容主要有兩部分，一為特高頻資料交換系統(VHF Data Exchange System, VDES)的國際發展趨勢說明，二為航行風險評估，我猜想計畫目標是將兩者連結降低航行風險，若是如此則建議報告中關於兩者的連結補充說明讓報告更完整。	VDES 主要定位於增強往昔 AIS 系統，除了航行風險的降低外，資訊頻寬的增加未來應有更多的用途可進行規劃。VDES 目前仍於規劃與開發階段，與船行風險的整合與應用上應可透過頻寬的增加傳遞更多環境資訊，已於結論與建議章節中補充說明。	同意辦理
3. 海事案件統計分析提到記錄不完整是影響後續風險評估成效很重要的因素，請教這些所需資訊是否可能在 AIS 資料庫中取得。	記錄不完整大多是事故成因與事故發生地點的部分，即使 AIS 系統有完整的軌跡紀錄，事故發生時間若無明確記錄也會造成錯誤的判斷，故目前還是以原有紀錄表的內容為準，AIS 資料為輔。本研究第五章已透過部分有 AIS 資訊的海氣象相關事件進行分析。	同意辦理
4. 報告中關於年代的敘述西元與民國混用，請考量一致表示的可能性。	國內文獻、資料與法規政策類採用民國，而國外文獻中引用的圖表與資料或事件描述則採用西元年，期末報告除國內法規、原始資料與文獻名稱與其相關敘	同意辦理

	述外已盡可能統一為西元年。	
5. P. 3-5 第一行錯字“取”應為“許”。	已更正 P3-5。	同意辦理
6. P. 3-5 圖 3.2-1 中 101 年度資料的可信度請再確認。	已確認無誤，該筆資料為後續年度表格所增列。	同意辦理
7. P. 3-6 第一段文字敘述難以由圖 3.2-1 看出來，建議另作整合為月份的統計以清楚驗證該段文字所述。	已於圖 3.2-1 中以色調突顯數據量。	同意辦理
8. 圖 4-1.4~4-1.11 顏色不利看清楚。	已於期末報告選用其他顏色表示。	同意辦理
9. P. 4-15 圖 4.3-1 海氣象因子建議加入能見度，船貨因子建議另單獨列為一因子。	能見度與載貨種類在現有資料中並無記載，本計畫已於表 3.2-1 建議納入未來紀錄。	同意辦理

二、梁乃匡委員

1. 期中報告內容豐富。	感謝委員認可。	同意辦理
2. 歷史海難分析中海氣象因子，建議蒐集當時的海氣象，以之補充。	已於第五章蒐集相關風速資料配合數值模式進行探討。	同意辦理
3. 外海航行和港內條件不同，建議未來建立航行安全模式，分開處理。	感謝委員建議，目前分析結果顯示海上事故多發生於港區附近，依照第六章船行風險分析的結果顯示高風險區皆處於港內，且外海事故資料的空間特性不強，若未來有更多外海事故的相關資料或特性，再行分開處理。	同意辦理
4. P. 3-6 最後 1 行，洩漏與「-」，請補上，P. 4-16 倒數第 3 行「舷船」是否	「-」與「舷船」皆為原始紀錄表中的呈現方式。	同意辦理

為「船舷」。		
5. P.4-15 圖 4.3-1 航線空間因子，建議增加「海底地形」。	感謝委員建議，海底地形較可能為擱淺事故的因子，然而依目前熱區分析的結果以碰撞事件較具空間特性，故期末報告著重於碰撞事件來進行探討。	同意辦理
6. 人為因子可以考慮納入人的不良記錄。	感謝委員建議，期初已將資歷納入人為因子進行探討，但以現有資料並無相關紀錄可進行分析。	同意辦理
7. 平均風速和陣風有相關。	已蒐集各單位相關風力資料，已於期末第五章進行探討。	同意辦理
三、翁文凱委員		
1. 本計畫屬性為船舶航行安全與管理方面，主要分成高頻資料交換與航行風險評估兩部分，就第一部份資料蒐集而言堪稱完整。	感謝委員肯定。	同意辦理
2. 就航行風險評估方面，建議先說明評估範圍為何？船舶航行之範圍甚廣，本計畫所提範圍大致位於臺灣四周沿海，甚至大部分位於港口附近及港內，應先說明本計畫航行評估之範圍。	本研究主要針對交通部航港局的海事案件統計表中所有資料進行分析，再透過熱區分析探討較具空間特性的事故與發生熱區擇定目標港，已詳述於期末報告。	同意辦理
3. 就航行風險評估方面，本計畫著重於事故發生之位置、時間、次數之整理，但事故發生之原因及部份資料並無法清楚釐清與完整之紀錄，此將影響風險評估之結果，不利於計畫成果之完整及準確性，建	感謝委員建議，工作團隊與主辦單位已就可能蒐集之資料與相關單位進行溝通，期望能蒐集到最完整的資料來進行分析。	同意辦理

議再進一步深入蒐集各相關事件當時發生之相關資料。		
4. 海難事故的發生可能出現多個面相，如船舶航行時因舵機故障失效，導致漂流，因而觸礁、擱淺，進而傾覆、漏油並發生失火、爆炸，本計畫如何分類此種事故，建議增加說明。	由於事故相關紀錄並無法推測相關複合發生的事故情形，故目前還是尊重原紀錄不加以臆測。	同意辦理
5. 風險因子評估中忽略船舶種類與其航行特性，只著重以海氣象條件因子說明，將因無法掌握確切之降低風險評估的可靠度，尤其海氣象數值模擬並無法準確模擬瞬間突發之海氣象變化，此部分如何改善，建議再進一步說明。	在計畫期初已規劃各種因子與目標，然而國內現有能取得的紀錄表中若無相關紀錄則無法進行評估。	同意辦理
6. 船舶航行事故發生的主角為船舶，因此船型種類、大小、噸位與船舶航行特性將是事故發生之重要因子之一，而發生在港內或港口附近之事故均為經驗豐富之引水人或船長駕駛，因此實際海難事故發生原因與判定均有詳細之資料紀錄與佐證，同時亦有航行經驗豐富之人員參與，此資料將是影響本計畫成果之一項重要因素，若無法掌握此項資料，後續評估模式之評估可靠度或可信賴度如何建議增加	現有紀錄表中有的資料工作團隊皆會納入分析，而人為所造成的事故與紀錄表中無詳細說明的部分則無法進行評估。建議未來相關單位能加強統計紀錄的部分或適當開放調查報告來提升研究的完整性。	同意辦理

說明。		
四、陳賓權委員		
1. 本案研究主題相當前瞻，目前 IMO 尚未於 SOLAS 訂定船舶應裝設特高頻資料交換（VDES），且未制定其性能標準。惟研究顯示 VDES 有助於改善現行 AIS 資料無法認證資料之真偽，易遭不法人士偽造資訊的缺點，影響海上航行秩序及航行安全；未來倘 VDES 相關技術成熟，成為船舶必須裝置設備及資料交換作法，建請研究團隊持續蒐集相關技術，並評估該技術現階段與 AIS 相互搭配之作法，及國內須配合發展建置之軟硬體，協助航港局提升船舶報告資料之正確性，以強化船舶航行安全。	各國國際組織目前已著手 VDES 規範的制定，且積極研發建置衛星 VDE，後續將持續關注各國建置 VDES 的過程，提供國內建置相關軟硬體的參考。	同意辦理
2. 未來 IMO 如修正 SOLAS 規範公告採用 VDES，國內航線船舶部分考量 VDES 除了衛星傳輸外亦包含地面傳輸及接收站，故建議推動順序上，可先推動提升本局現行所建置之 AIS 岸臺功能，必要時亦可考量建立衛星接收站，以利未來推動船舶裝設 VDES 發揮其效用。	感謝委員建議，後續將持續關注各國建置 VDES 的過程，以利未來推動船舶裝設 VDES 發揮其效用。	同意辦理
3. 有關海上意外事件之紀錄與統計部分，為維護船舶	感謝委員建議，若能適當開放官方的調查報告相近對於後續相	同意辦理

航行安全，持續檢討精進，航港局除已統一所轄各航務中心海事檢查報告書之格式，及持續辦理海事行政調查之專業訓練，透過調查發現意外事件之肇因，並督促或協助改善，降低意外發生風險。近期航港局業已委託專業單位辦理海事統計分析之研究，期善用統計分析資料，進行航安風險管理，進一步預防海上意外事件發生。俟有具體研究成果，可與運研所交流討論。	關研究勢必能有更好的分析成果。	
4. 航港局為辦理我國周遭海域船舶監控及預警作業、遇險船舶通報及應變，已成立海事中心，以強化船舶動態管理，保障船舶航行安全；本報告圖 3-1 海難應變通報流程部分，請將第 3 點「轄管航務中心回報目前狀況，各組(室)依業管查詢相關資料後回報」修正為「海事中心彙整案件資訊，初擬制式通報文字內容，持續監控及追蹤案情直至結案，各組及轄管航務中心依業管檢視及確認該通報文字內容」。	已於期末報告中修正，感謝委員指正。	同意辦理
5. 交通部「海難災害防救業務計畫」針對海難分為重大海難及一般海難，報告書 3.3 小節中，名詞定義部分與交通部「海難災害	該名詞定義已敘明為原 107 年海事統計表中的表格標題附註，與「海難災害防救業務計畫」確實有部分差異，可能當時紀錄考量的類別與 108 年核定的「海難災	同意辦理

防救業務計畫」不盡相同，請再檢視確認。	害防救業務計畫」不同。	
6. P.1-3 中段有關 AIS 納入船舶設備規則之修法歷程請修正，其中，106 年 12 月交通部預告修正船舶設備規則部分條文修正草案、107 年 7 月交通部公告發布修正船舶設備規則部分條文，其中漁船以外之船舶應於 108 年 7 月 27 日後第一次船舶定期或特別檢查時裝設 AIS 設備。	感謝委員指正，已於期末報告中更正。	同意辦理
五、港研中心李俊穎委員		
1. 建議在後續增加蒐集 ASM 及 VDE 國際上可傳遞內容或格式。	ASM 用於傳輸除了船舶位置和航行狀態外的安全信息，如水文、氣象等信息，其目的是減少 AIS 的負載。VDE 是 VDES 的核心功能，允許更高速率的通信，分為地面 VDE 和衛星 VDE 兩個部分，能傳輸多種結構信息。目前全球正在積極研發建置衛星 VDE。	同意辦理
2. 後續探討海上航行風險時，建議考量船舶資訊及海氣象模擬，評估港內外較高風險潛勢區域。	感謝委員建議，海氣象模擬已於期末報告第五章中呈現。	同意辦理
3. 表 4.1-3 與圖 4.1-3 其內統計略有不同請確認後修改。	感謝委員指正，已於期末報告中修正。	同意辦理
4. 圖 4.1-4~圖 4.1-11 受限底圖其上圖示不清請修改。	已於期末報告中選用較明顯的顏色。	同意辦理

六、港研中心林雅雯委員		
1. 第五章圖 5-1~5-3 風、浪、流相關事件共有 23 例，海氣象數值模擬要模擬何時？海氣象數值模擬目標為何？與海上航行風險模式如何結合？以上建議補充說明。	已於期末報告中補述。	同意辦理
2. 報告第 5-12 頁指出利用 AIS 歷史船跡與海氣象數值模擬結果及其他相關因素進行船舶安全範圍的估算，其他相關因素包含哪些？P. 5-11 表 5.2-2 16 個因素或 P4-15 圖 4.3-1 四類風險因子。	P4-15 為期初所規劃的各種風險因子，後續工作將依照國內海難事故資料有記載的項目進行評估，進而選用 P5-11 中各相關研究所合適的計算方式。經評估後船舶安全範圍的估算需考量適用性、因子資料完整性等，已詳述於第六章。	同意辦理
3. 簡報第 26 頁船舶安全範圍文獻及因素很多，有無因素重要性排序？	簡報 26 頁為往昔相關研究所採用的安全範圍計算方式與相關因子，工作團隊後依據資料蒐集情況選用合適的計算方式。	同意辦理
4. 海上航行風險模式預計達成目標為何？建立船舶安全範圍或建立系統？未來是否可結合本中心「臺灣近岸海象預報系統」即時及預測之風、潮、浪、流資訊及 AIS 資訊進行海上航行風險評估？	由於事故資料的成因記載不夠詳實，目前海氣象因子僅能透過關鍵字與文字雲分析，船舶安全範圍與風險分析主要以示範港港區歷史 AIS 資料來評估交通密集造成的船行碰撞風險為目標。	同意辦理
七、港研中心許義宏委員		
1. 第二章已蒐集國際 VEDS 發展及應用概況資料，建議可針對我國 AIS 發展及推動現況，進一步探討該系統對於我國船舶安全與管	感謝委員認可。	同意辦理

理上之應用效益。		
2. 第四章事故分析中，「其他」海難事件占比最高，應有其分析價值，建議研究團隊可嘗試從「原因分析」中進行歸類探討(如文字雲之方式)。	其他海難依分類應包括多種因素造成的人員損傷或貨櫃受損而向岸上回報之情形，由原因分析的內容來看屬於較為雜亂又不詳實的紀錄。不像人為、海氣象可以先以關鍵字做分類，故無法分析出代表性的結果。	同意辦理
3. 承上，目前事故原因尚未針對「船種」進行探討，建議可進一步納入。	由於現有資料表中並無此欄位紀錄，故仍依現有資料表中的項目進行分析。	同意辦理
4. 第 4.3.2 節針對海氣象因子探討部分，除利用文字雲分析，建議可進一步蒐集氣象局或本所位於港區之海氣象調查資料進行比對分析。	已採用所內提供之調查資料配合數值模式進行比對分析，已詳述於第五章。	同意辦理
5. 第 4.3.3 節針對航線空間因子探討部分，建議可進一步利用 AIS 資料進行船舶航行軌跡套疊(例如挑選 108 或 109 年為案例探討)。	感謝委員建議，第六章已採用 AIS 資料配合船舶安全範圍進行風險評估。	同意辦理
會議結論：		
1. 經出席委員同意，本計畫期中報告內容審查通過。		
2. 請計畫主持人依審查意見，研提處理情形答覆意見表，作為修正報告依據。		
3. 有關本計畫第 2 期款，請國立陽明交通大學儘速辦理相關請款作業。		

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-110-H2CB001k 船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展

合作研究單位：國立陽明交通大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、梁乃匡委員		
1. 合作團隊針對本專題做資料蒐集、問題分析，推求航行風險評估技術，本課題為一新挑戰，有其難度，已提出可供政府參酌的成果，後續可依照建議，建立海難紀錄新的格式。	感謝委員肯定，未來海難紀錄若有更詳細的資料可進一步納入本研究風險評估技術的其他因子。	同意辦理
2. 海上船舶事故統計之事故地點空間分布，部分發生於陸地，請修正。	由於資料量較多且所有事故資料皆源自船長自述資料的統計表，也是目前唯一可使用的公開資料，沒有其他資料可驗證這些內陸座標的正確性，工作團隊已盡可能排除較為不合理的部分。	同意辦理
3. P. 6-4 「在歷史資料庫中，連續接收資料時並未考量是否由同一艘船發出的訊號…」，請確認 AIS 資料是否有記錄船籍資料，還是僅有位置資料。	已修正文中說明，船籍資料以 MMSI 來進行判別。	同意辦理
4. P. 6-5 文字段落建議再修正，以利閱讀。	已修正軌跡切分與軌跡資料品管部分說明。	同意辦理
5. 請說明 P. 6-8 圖 6.2-1 單位 Nm 及其他符號意義。	已於 P6-7 文中補述。	同意辦理

6. 請說明 P.6-11 四方向半徑計算方式公式內符號。	已補充於 P6-11。	同意辦理
7. P.5-10 颱風波浪推算，僅有波高，建議納入週期比較。	已於圖 5.2-3 增加週期的比較。	同意辦理
二、江文山委員		
1. 摘要表中的內容，主要說明計畫目的與工作項目，缺乏各項工作成果的具體內容說明，建議應補充較為完整。	已補充於摘要表。	同意辦理
2. 自 1990 年代開始 AIS 在國際上推動，歷經近 30 年發展應用廣泛，文獻中指出當 AIS 超負載時會影響航安。目前國內已建置數十站的 AIS，這些 AIS 資料的使用情形如何？是否有文獻所提負載過重的問題？	目前 AIS 系統為被動接收，一般超負載情況視接收站附近訊號量與收訊延遲情況來進行判定，但由於本研究僅接觸到後端資料庫無法判斷個接收站的接收情況故無法進行評估。	同意辦理
3. 第三、四章關於事故資料與因子的分析，相關分析中可見缺乏足夠資訊是普遍的現象，而且對結果的影響顯著，雖然研究團隊利用各種方法嘗試找到具體的結論，不夠仍有賴更多的數據方得以有明確的成果。	本研究以公開海難事故資料中有限的資訊盡可能分析其因子特性，但若要實際將個人為與相關因子納入風險評估中仍須仰賴更詳細的資訊來進行各因子的權重量化分析。	同意辦理
4. 第五章結論為陣風對事故的發生具有重要影響，請教團隊對其影響機	本計畫透過各個事故原因的探討發現陣風的瞬間增強或持續性的強風為高雄港港內事故發生的主	同意辦理

制的看法？	要原因，至於高雄港港外則為陣風及波流場綜合影響。	
5. 第六章航行風險模式，延續第五章的風險因子分析，可見強風是關鍵的影響因子，此關鍵因子在第六章的模式中是否納入？	第五章已蒐集目標港重大海難事件進行重現，但這些強陣風的事件量不足以分析強陣風作為風險評估因子的必要門檻值與權重，故目前無法納入風險評估模式中。	同意辦理
三、翁文凱委員		
1. 本次評估是否只偏重可應用於高雄港？對於其他港需再增加其他參數再評估其應用之普遍性。	本研究以高雄港為目標港進行分析，其他港可藉由本研究的流程探討相關重大事故並重現其往昔事故，視其特性納入航行風險分析中。	同意辦理
2. 評估範圍包含斷纜事件，與航行風險不完全符合，建議改成船舶海難事件風險評估。畢竟航安及靠港安全定義不同。	斷纜為船長自述內容的用語，本研究主要依照海難事故統計表中的分類進行故事分類，分類中並不包括斷纜。	同意辦理
3. 風險評估若僅考慮風、浪、流因素，應具有一定程度之可靠度，但並無法包含所有因素，因此其信賴度為何？是否可量化？就所模擬之風浪流，是否能有瞬間變化之情況？	目前國內海事案件統計表中的事故成因紀錄較為簡單，以至於無法探討航行時人為與環境等多項因子的特性與權重來作為輸入條件，特別是考慮到本研究計劃區的船隻除了一般航行外還有靠泊與裝卸等較複雜的動態，工作團隊參考往昔研究來計算四軸式的橢圓船舶安全範圍，建立船行模式來模擬目標港周邊船行交會的情況，進而分析研究範圍內的碰撞風險熱區。數值模擬皆採用逐時模擬的方式，因此可展現瞬間的變化。	同意辦理

4. 靠港斷纜事件應有其氣候及繫纜條件，斷纜事件若有更詳細資料說明(如纜繩狀況)可能更清楚。	若未來有更詳細的事故描述，可再進一步探討。	同意辦理
5. 風險評估受船型大小噸位影響相當大，建議增加說明。小船反應快，除非功力不足，否則不易發生漂流情況。	船行風險評估中已採用較為完整的船長資訊做為模型考量因子。	同意辦理
四、鍾英鳳委員(書面意見)		
1. 建議說明國內目前 VDES 之發展及使用狀況，或對此事項有何建議，以利港口未來發展。	已於 2.2.2 節增加說明國內發展狀況，至於國內港口未來發展則可參考 2.3 節日本所提出的未來應用構想。	同意辦理
2. P. 3-6~3-9 對於資料品管部分，可見目前海事資料之不完整，因此依現有資料難以判斷事故之原因，表 3-3.1 字太小無法判讀，建議表中字體加大。建議欄位中應有一拖船數，引水人有無，是否機械故障，周遭環境之說明等項。	已加大字體，並納入委員建議。	同意辦理
3. 第四章事故統計分析中，建議將因氣候影響，及人為、機械因素予以分開說明，比較能得到航行安全之考量因素。	目前事故統計與熱區分析依照官方所公告的事故分類進行分析，4.3 節則有分別依照事故成因以關鍵字分析分別探討氣候影響與人為因素，機械因素則無更詳細的描述可供探討。	同意辦理
4. P. 4-5 事故分析各港應就港內、港外加以區別，商	目前本研究僅以高雄港為目標港進行綜合示範，未來其他港可考	同意辦理

船、漁船亦予以分開論述，兩船碰撞應以基隆港、高雄港為主，其他港並不多。	量港內外事故比例與更詳細的船隻分類進行討論。	
5. P. 4-15 風險因子中，人為因子除船長外尚有引水人、拖船船長等，航線空間：包括船舶大型化、航道長度、寬度。	現有海難事故資料中對於引水人與拖船幾乎沒有描述，未來若能系統性的公開較為完整的事故調查報告可再納入評估，航線空間在開放水域或交通航行較為單純的狹窄航道可納入航道寬度作為考量。	同意辦理
6. P. 5-16 圖 5.3-5 是 7 月 23 日何時之風場，請敘明。	圖 5.3-5 是 7 月 23 日 10 時的風場，已補充說明。	同意辦理
7. 圖 5.3-6~28 之→箭頭表示什麼，請補充說明。	波場分布圖中箭頭表示波向，流場分布圖中箭頭表示流向。	同意辦理
8. P. 6-3 本套系統，當有新的 AIS 資料加入時應如何處理，請說明。	目前 6.1 節自歷史資料庫經過資料品管與篩分至文檔式的軌跡資料庫皆可透過建立 pipeline 來自動完成。	同意辦理
9. P. 6-4，表 6.1-1 AIS 欄位資訊，各欄名稱請先定義及格式、單位等應予明確？如航行狀態、迴轉率、位置準確度、資料中端設備是什麼？	本研究在處理歷史資料庫與建立軌跡文檔式資料庫皆依照目前國際統一標準的格式與單位，航行狀態、迴轉率、位置準確度與資料中端設備目前則無相關紀錄與文獻可供參考。	同意辦理
10. 本案研究已驗證港口風險高之區域，與目前之認知亦相同，但發生風險除了船數多之因素外，其餘之因素為何，值得繼續探討，且要如何減少人為之疏失為首要，可否透過	若能有更詳細的事故紀錄可進行因子與相關權重的決定，AIS 目前能提供部分船行時空紀錄來進行模型建置，未來 VDES 則將能提供更多資訊。	同意辦理

AIS 或 VDES 來提升安全性。		
五、港灣技術研究中心		
1. 第 5.3 節高雄港事故原因探討建議除年月日外，事故發生時間建議加入。	交通部航港局海事案件統計表中僅記載年月日，無詳細的事故發生時間。	同意辦理
2. 風場、波場及流場為模擬值，建議加入港研中心或水利署實測值（波高及波向、流速及流向）。	實測值僅為定點資料，無法說明事件發生時平面風場、波場及流場的特性。	同意辦理
3. 107 年 8 月 23 日有 AIS 船舶軌跡加入分析外，建議其他事件亦將 AIS 船舶軌跡加入分析。	其他事件多發生在港內停泊期間，因此 AIS 船舶軌跡皆為定點資料，無法如同 107 年 8 月 23 日可看出事件發生過程。	同意辦理
4. 本研究陣風之定義建議補充。	陣風主要採用港灣技術研究中心於 10 號碼頭的風速測站資料，其蒐集方式為取每小時測定 10 分鐘的最大陣風風速，已補充說明於 5.3 節。	同意辦理
5. 105 年 12 月 24 日及 109 年 7 月 24 應非海氣象因素造成。	此兩事件主要為機械故障漂流造成的事故，本計畫重現當時流場狀況說明其漂流方向。	同意辦理
6. 第 3-10 頁表 3.3-1 建議之海上事故記錄表，建議放大且橫放。	已進行修正。	同意辦理
7. 海上航行風險模式，其計算時間多久？現在為事後分析，是否能即時分析，即時分析其分析時間搭配船速，是否足以即時	事後分析的計算時間需視設備不同而有不同結果，一個月的資料量僅考量現有的船舶安全範圍計算方式約略需要 3 小時。未來即時預警需考量其他因子的計算複	同意辦理

預警？	雜度來評估主要影響環節。	
8. 第 2 章針對 VEDS 研析內容較為薄弱，建議可從國外案例再強化該系統在我國船舶航安扮演腳色之相關論述。	已於 2.3 節增加說明 VDES 未來的應用及其相關用途。	同意辦理
9. 第 5 章風速之實測資料來源，建議於報告中再補充說明(例如測站位置等)。	陣風主要採用港灣技術研究中心於 10 號碼頭的風速測站資料，其蒐集方式為取每小時測定 10 分鐘的最大陣風風速，已補充說明於 5.3 節。	同意辦理
10. 本計畫風浪模式似以颱風進行驗證，但第 5.3 節所列之海事案件多非颱風時期所造成，建議再補充該模式在非颱風時期之波場及流場模擬數值是否具代表性。	報告中已有說明針對 2019 年對高雄海岸影響較大的白鹿(BAILU)颱風波浪資料及颱風期間前後的季風波浪進行驗證，因此已有考慮非颱風時期的狀況。	同意辦理
11. 圖 5.3-6~5.3-23 之波場模擬圖，建議將高雄港位置或補充座標標示，以利瞭解其相對位置。	已於圖中補充高雄港及旗津海岸相關位置。	同意辦理
12. 第 6 章針對高雄港航行風險探討，建議補述高雄港現行之港區船舶航行及管理相關規定，作為港區航安探討之背景資訊。	已補述於 6.4 節。	同意辦理
13. 第 6 章航行風險模擬範圍是否僅在港內？若以高雄港法定範圍，其包括外港水域至 5 海浬線，建議納入分析範圍。	非僅考量港內，本研究主要建立分析流程與方法，資料範圍選定高雄港周邊 5 至 7 海浬範圍，已足夠進行航行風險分析的方法建立。	同意辦理

14. 報告書圖表之資料來源多有缺漏，應予標明。	已於第二章補述資料來源。	同意辦理
15. 第 5.3 節陣風定義請補述，及 5.4 節結論請利用案例加強說明。	陣風主要採用港灣技術研究中心於 10 號碼頭的風速測站資料，其蒐集方式為取每小時測定 10 分鐘的最大陣風風速，已補充說明於 5.3 節，另於 5.4 節亦已補充各案例來加強說明。	同意辦理
16. 第 6.1 節建議以條列式方式說明 AIS 處理原則及過程。	已採用流程圖方式說明如圖 6.1-10。	同意辦理
17. 第 6.3 節請補述交集計算說明，以及風險模擬(顏色)定義，以量化方式說明。	已補充說明，風險模擬為相對密度並無單位，黃色高風險區、綠色中風險區與藍色低風險區分別約為 75%、50%及 25%。	同意辦理
18. P.2-4 有關現有蒐集 VDES 規範，建議呈現相關會議條文說明。	2.2.1 節主要說明 VDES 規範目前的發展現況，報告中已有將各版本手冊發行時間列出，並說明目前手冊修訂的情形。	同意辦理
19. 有關本計畫之研究成果，後續請團隊協助本所辦理相關成果推廣活動。	工作團隊將配合辦理。	同意辦理
會議結論：		
一、 本案期末報告審查結果，原則通過，請國立陽明交通大學針對前開審查意見，研提處理情形答覆意見表，逐項具體回應，並於 110 年 11 月 30 日前完成修正定稿及其他契約規定驗收相關資料之提送。 二、 另期末報告書除依本所規定格式辦理外，其定稿之電子檔請併送本所。		

附錄三

期末簡報

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

船舶特高頻資料交換 與航行風險評估之技術發展

期末簡報

國立陽明交通大學

中華民國一百一十年十一月九日

期中審查綜合回覆

- **海難事故發生可能出現的多個面向：**由於事故相關紀錄並無法推測相關複合發生的事故情形，故目前還是尊重原紀錄不加以臆測。
- **航行安全模式分港內港外：**目前分析結果顯示海上事故多發生於港區附近，依照第六章船行風險分析的結果顯示高風險區皆處於港內，且外海事故資料的空間特性不強，若未來有更多外海事故的相關資料或特性，再行分開處理。
- **航線空間因子建議增加「海底地形」：**海底地形較可能為擱淺事故的因子，然而依目前熱區分析的結果以碰撞事件較具空間特性，本研究著重於碰撞事件來進行探討。
- **風險因子相關：**由於目前所能取得事故資料的成因記載不夠詳實，人為因子與海氣象因子不易分析其權重來納入風險評估，目前船舶安全範圍與風險分析主要以示範港港區歷史AIS資料來評估交通密集造成的船行碰撞風險。
- **「其他」海難事件的歸類探討：**其他海難依分類應包括多種因素造成的人員損傷或貨櫃受損而向岸上回報之情形，由原因分析的內容來看屬於較為雜亂又不詳實的紀錄。不像人為、海氣象可以先以關鍵字做分類，故無法分析出代表性的結果。

研究內容與工作項目

- 特高頻資料交換系統之文獻收集與研析
- 主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整
- 海上船舶事故統計與風險因子分析
- 特定目標港海氣象數值模擬
- 建立特定目標港海上航行風險模式

另就本計畫說明主要研究成果及重大突破製作成果展示海報或影片電子檔，配合相關成果發表與投稿，並依政府研究資訊系統針對論文發表、研究報告與其他效益等三項進行績效指標評估與填報。

3

預定進度甘梯圖



符合工作進度

4

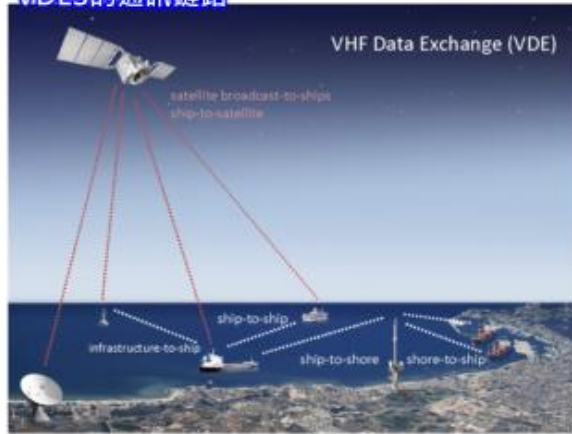
特高頻資料交換系統之文獻收集與研析

特高頻資料交換系統(VDES)：

- 2015年世界無線電通訊大會上通過了特高頻資料交換系統(VDES)的國際標準，並提出頻道分配與相關干擾問題的下一階段研究議題。
- 特高頻資料交換系統(VDES)所包含不同通信子系統：
 - 船舶自動識別系統(AIS)
 - 專用資訊通道(ASM)
 - VHF Data Exchange(VDE)

VDE子系統允許更高速率的通信，並且高度靈活，可以在將來支持多種服務。

VDES的通訊鏈路

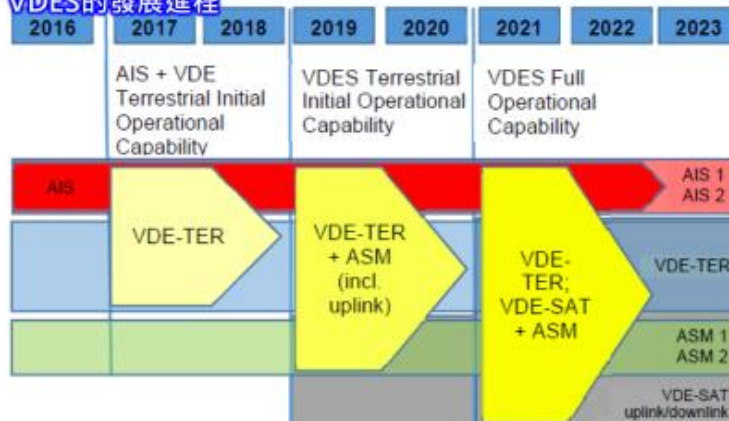


5

特高頻資料交換系統之文獻收集與研析

- 收集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關研究與技術文件，彙整相關應用與技術提升實例，**評估VDES對於國內船舶安全與管理上之助益**，提供後續港灣規劃與航行管理做為參考。

VDES的發展進程

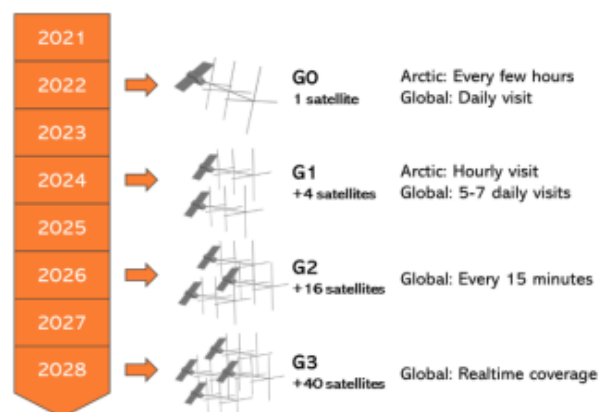


6

特高頻資料交換系統之文獻收集與研析

- 在2020年9月29日的IALA會議中，丹麥委員Stefan Pielmeier (IALA ENAV委員會WG3議長)建議設立VDES聯盟，並提出加速VDES衛星的建置計畫

VDES衛星的建置計畫



7

特高頻資料交換系統之文獻收集與研析

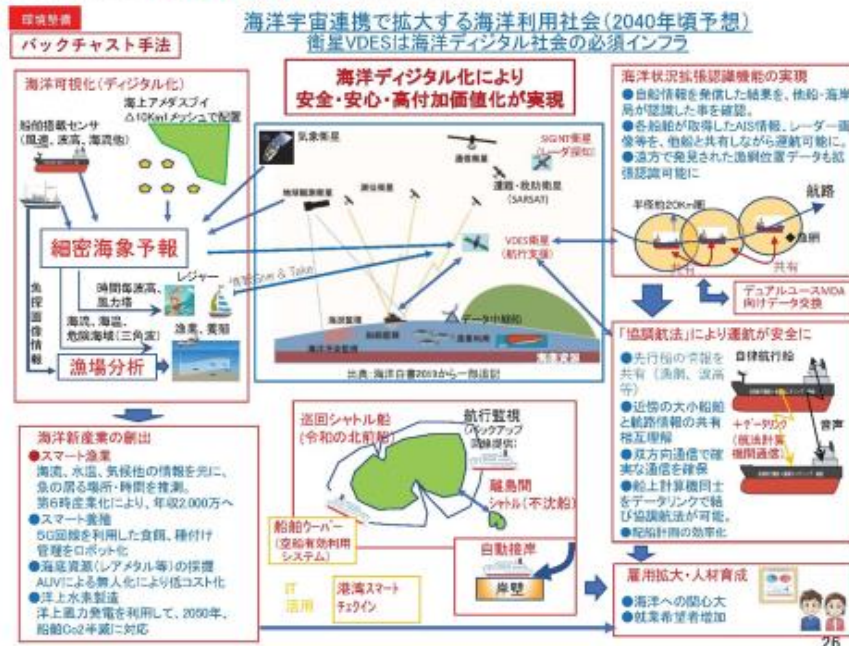
日本引進VDES的環境改善課題和對策：

課題	對策
日本國內用戶的發展(促進海洋數位化)	● 公家機關的使用 ● 海運、造船、水產、休閒社區的形成 ● 創造出高附加價值商業→海洋數位化的促進
政策、法律	● 設定使用VDES的政策目標 ● 進行政策檢討和維護(如許可證和法律制度等) ● 促進國際標準化(IALA・ITU・IMO等) ● 成立日本國內VDES利用促進機構
技術開發	● 應用開發環境維護(邊緣計算・AI處理) ● 開發手機、地面VDE和衛星VDE的整合運用技術 ● 終端小型化技術 ● 微衛星的開發及衛星星座運用技術的開發 ● 國家研究機構主導技術開發
事業化檢討	● 檢討收益模式 ● 成立國際運作組織(以衛星和應用程序的共享使用和運作為目的) ● 與鄰國(俄羅斯、中國、韓國等)的頻道調整 ● 電信法專家對法律條文修正的檢討

8

特高頻資料交換系統之文獻收集與研析

日本VDES促進海洋數位化初步規劃：

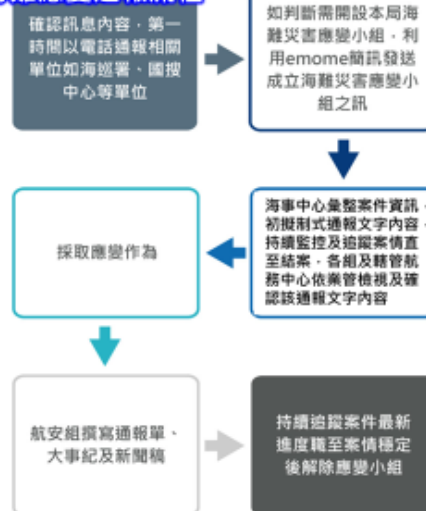


主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整

■ 相關法規：

國內海難事件定義為船舶發生故障、沉沒、擱淺、碰撞、失火與爆炸等情況，或其他有關船舶、貨載、船員與旅客之非常事故者。其中以其災害規模又依人員傷亡失蹤與殘油或洩漏量分為甲級、乙級與丙級三類，依航港局「海難災害防救應變標準作業流程」作為海難應變作業辦法。

海難應變通報流程



主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整

資料來源：

- 交通部航港局：海事檢查報告書非依法令**不得對外公開**，僅能蒐集船長自述海事簽證的統計資料。
- 交通部運輸安全調查委員會：調查報告分為水路事故調查初步報告與重大運輸事故調查報告兩種，但108年至今**紀錄資料不多**。
- 工作團隊在透過網際網路蒐集102~109年交通部航港局海難統計表(屬船長對事故發生之自述)，其內容包括：事發日期、船名、噸位、船籍、船種、失事地點、失事原因、嚴重程度、傷亡情形、船體損害、原因分析、資料來源與附註等項。

航港局-海事案件統計表

年份	月份	船名	噸位	船籍	船種	失事地點	失事原因	嚴重程度	傷亡情形	船體損害	原因分析	資料來源	附註
102	1	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	2	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	3	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	4	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	5	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	6	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	7	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	8	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	9	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	10	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	11	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	
102	12	大川	52.85	中華民國	貨船	高雄港	碰撞	嚴重	1死	船體損壞	碰撞	航港局	

運安會-重大運輸事故調查報告

船名：	大川
船舶號數：	014879
電臺呼號：	BR3329
船舶公司：	大川航運股份有限公司
船舶所有人：	大川航運股份有限公司
船籍國：	中華民國
船籍地：	高雄港
船舶用途：	雜貨船
船體資料：	鋼材
船長：	52.85 公尺
船寬：	12.5 公尺
艀部深度：	6.0 公尺
噸位：	992
檢査機構：	交通航港局
主機種類/馬力：	柴油機 / 735 匹 x 1
船員最低安全配置：	8 人
安全設備人員配置：	25 人

11

主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整

資料蒐集情況：

收集交通部航港局102年~110年四月所公告**海事案件統計表**，其中106年以前資料已無資料表檔案，僅能採用**光學字元辨識或人工輸入**方式進行彙整，共收集**1932筆**。

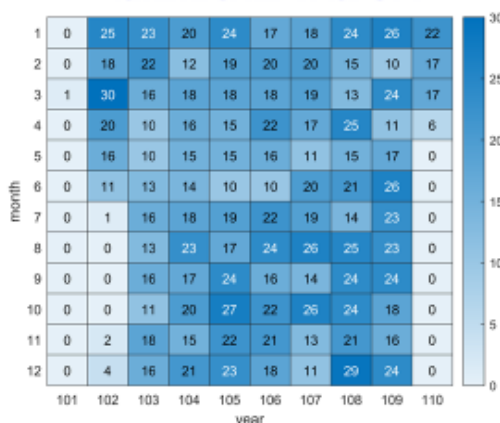
相關資料品管：

- 重複資料**：各期資料有重複記載進行刪除。
- 失事原因**：分類方式與法規定義海難事件有所差異，原則**尊重原來分類**僅刪除兩船碰撞**單一事件**重複記載的問題。
- 肇事地點**：25.4%僅文字敘述無經緯度，其餘經緯度記錄格式不一，透過GoogleMap API配合專業人工進行判斷針對其中**35.3%進行修正**。

彙整結果：

可用資料**1671筆**，其中具有詳細肇事地點記錄可進行空間分析的共**1342筆**。

所蒐集資料的時間分布圖

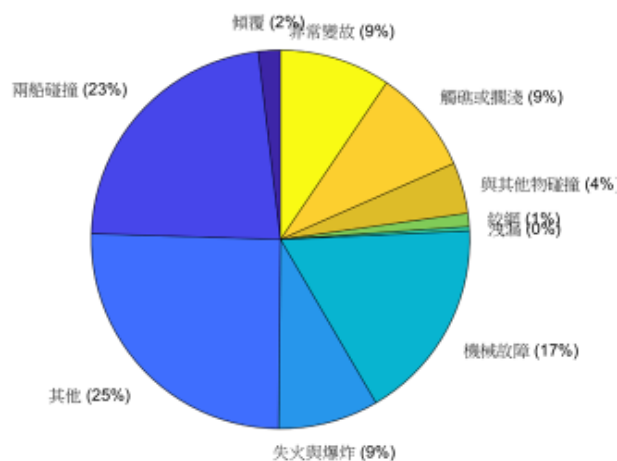


12

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 事故統計-失事原因分類

- 記錄中以**其他海難**件數最多，佔**26.03%**；而海難成因則以**兩船碰撞**為最大宗，佔**22.86%**，**機械故障**則佔**16.28%**，合計**39.14%**，此兩類皆佔10%以上，為台灣鄰近海域之最常見的海難原因。佔比較小的成因依序為非常變故、失火/爆炸、觸礁或擱淺、與其他物碰撞等。



排除事故位置不詳實的記錄統計

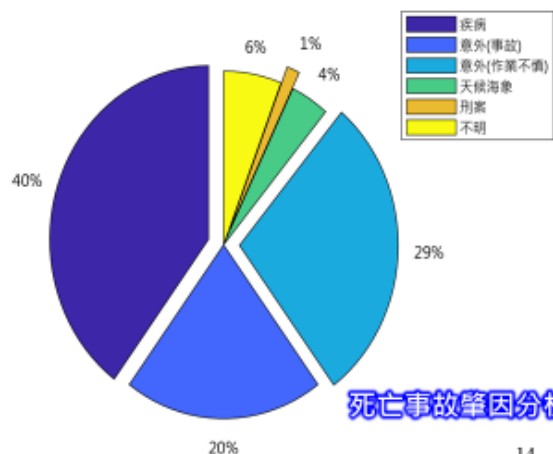
13

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 事故統計-災損分類

- 針對海難事故對於人員以及船體的損失來做統計，其目的在於進行海上事故對於生命財產的探討。另針對有造成**人員死亡**的較嚴重事件，工作團隊針對記錄表中原因分析的部分進行了判讀並依**疾病**、**意外(事故)**、**意外(作業不慎)**、**天候海象**、**刑案**、**不明原因**等情況進行分類，以探討重大海難事故的致死原因。

人員損失	發生件數(筆)	百分比(%)
受傷	71	4.25
失蹤	87	5.21
死亡	151	9.03
船體損失	發生件數(筆)	百分比(%)
船損	782	46.80
船沉	133	7.96



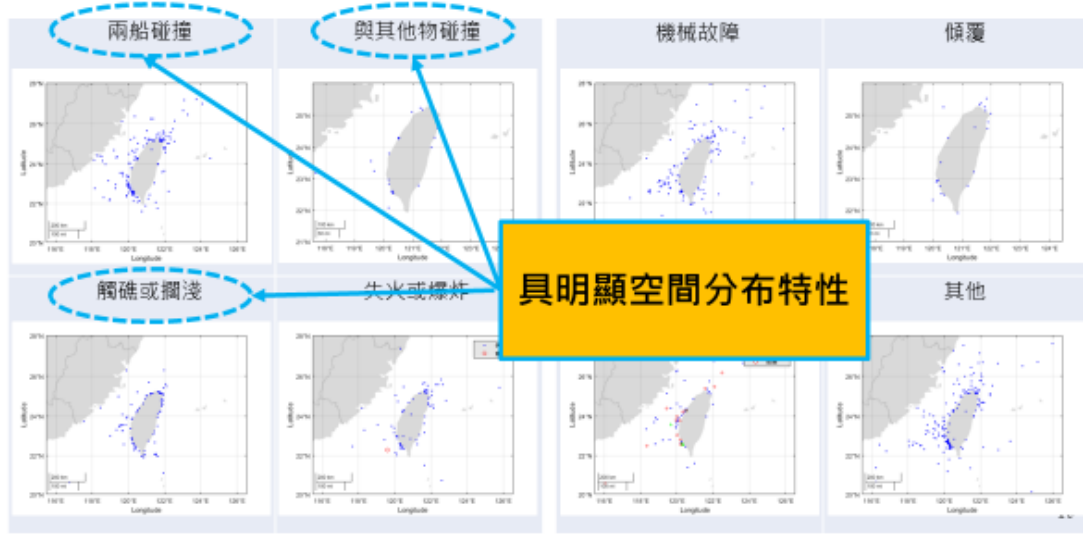
死亡事故肇因分析

14

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 事故地點空間分布

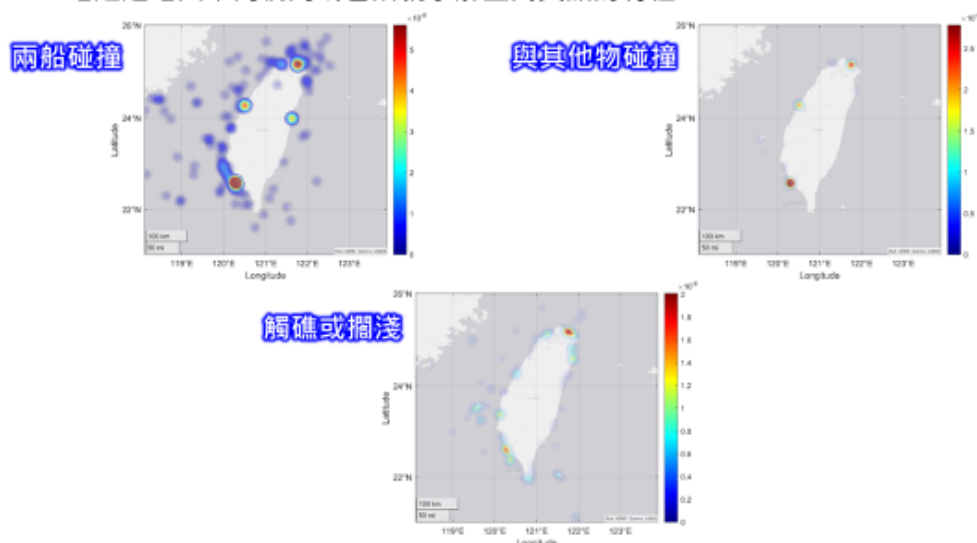
- 排除無明確座標的資料後，將各失事原因包括(兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺、失火或爆炸、機械故障、傾覆、洩漏絞網與非常變故及其他)繪製8張空間分布圖，評估熱區分析的目標項目。



海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 熱區分析

- 熱區分析(Hotspot analysis)是地理資訊系統常用的空間分析方法，其特色是透過與鄰近資料的關係，計算出資料集中的熱區，藉由資料視覺化讓使用者能直觀地透過地圖不同視角或色階就了解空間資訊的特性。



海上船舶事故統計與風險因子分析

高雄港範圍內熱區分析

- 高雄港在兩船碰撞及與其他物碰撞的熱區是最明顯的，兩船碰撞事件及與其他物碰撞事件進行合併分析的結果顯示高雄港內主要熱區主要發生在#4號至#9號碼頭區(蓬萊商港區)與#25號碼頭附近水域，其餘位置則呈現綠色或黃色調的分布，較無明顯密集發生的區域。後續數值模擬分析與海上航行安全風險分析的結果將與高雄港這些熱區範圍進行合併討論。



17

海上船舶事故統計與風險因子分析

風險因子分析

- 海上事故若有詳盡的紀錄即可進行深入的風險因子分析，針對近年國內外海上航行風險的相關研究進行蒐集與研析(Montewka et al., 2012; Fiskin et al., 2020; Wang et al., 2020)，工作團隊將其風險因子分為四類包括：海氣象因子、航線空間因子、人為因子及其他可能因素。

- 人為因子與其他因子：需要詳細的海難事故資料紀錄才能進行分析，依國內現有資料收集情況僅能依據事故分析欄位進行分析。
- 海氣象因子：透過二維風浪數值模式與流場模式進行模擬與分析。
- 航向空間因子：透過熱區分析進行評估。

人為因子

船長年紀、資歷、
船員過勞情況



海氣象因子

波高大小、潮流流速
風速大小



航線空間因子

航行密度、交通衝突



其他因子

載貨種類、船齡、
船種、噸數



18

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 風險因子分析-人為因子

- 本研究透過事故原因分析欄位敘述中，定義出人為因子的**關鍵詞彙**，如：**人為、疏失、誤判、不慎、不當、反應不及、未注意、未盡、操作**等，並爬梳這些詞彙出現的事件中以文字雲分析找出其造成之海難事故的佔比。
- 前三名為「作業」、「操作」與「碼頭」等，此類關鍵字在原因分析欄位中主要描述事件發生的狀態與地點。第四順位至第八順位則為「碰撞」、「落海」、「拖船」、「出港」與「靠泊」，其中落海與碰撞顯示人為因素造成事件最常發生的結果，出港與靠泊則是發生事件時的船行目標，較為特別的是第六順位的關鍵字顯示有許多事件都與拖船有關。

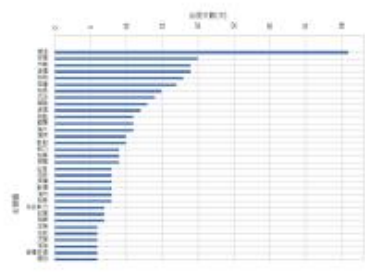


19

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 風險因子分析-海氣象因子

- 本研究透過事故原因分析欄位敘述中，定義出海氣象因子的**關鍵詞彙**，如：**惡天、風、天候、浪、海象、颱風、海流、水流、流況**等，並爬梳這些詞彙出現的事件中以文字雲分析找出其造成之海難事故的佔比。
- 「擱淺」、「受損」與「作業」為前三名。順位第四至第八則為「貨櫃」、「碰撞」、「船舶」、「船長」與「沉沒」。可發現些關鍵字大多描述事件發生後的結果。
- 在這些記錄中有絕大部分都僅記錄惡劣天候，所以能進行進一步分析的資料不多，未來若能夠更著重於細節的登載留存，便能進一步分析肇因並建立提升海上航行安全的方案。



20

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 風險因子分析-航線空間因子

- 採用各港兩船碰撞的事故發生點來進行初步探討航線空間因子。依據前節熱區分析結果選取排名前四的熱區進行細部分析。



21

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 風險因子分析-航線空間因子

- 採用各港兩船碰撞的事故發生點來進行初步探討航線空間因子。依據前節熱區分析結果選取排名前四的熱區進行細部分析。



22

海上船舶事故統計與風險因子分析

■ 風險因子分析-其他因子

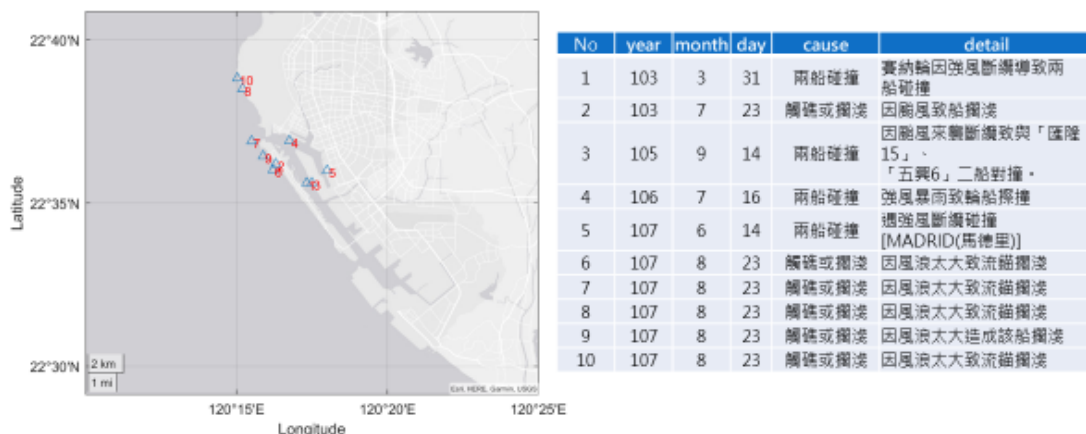
- 由於目前海事案件記錄表中沒有詳細的船種、載貨種類與船齡紀錄，僅能針對船舶噸數來做基本分析，針對十種事故成因的船舶噸數特性，統計平均值與標準差。整體而言所有類型事故的群集中，以與其他物碰撞的群集的平均噸數最大，非常變故次之，最小的則是傾覆。以標準偏差來看，與其他物碰撞的偏差量最大，其他事件與兩船碰撞的事件群集中偏差量次之，偏差量最小的事故類型則為傾覆。

事故類型	平均值	標準偏差
傾覆	223.56	551.25
兩船碰撞	9959.70	18138.22
其他	7389.01	18725.19
失火與爆炸	483.67	1433.00
機械故障	2150.87	7537.64
洩漏	6916.86	5615.61
絞網	8995.77	12107.99
與其他物碰撞	15504.06	24110.47
觸礁或擱淺	3514.13	11164.86
非常變故	10724.45	13692.41

23

特定目標港海氣象數值模擬

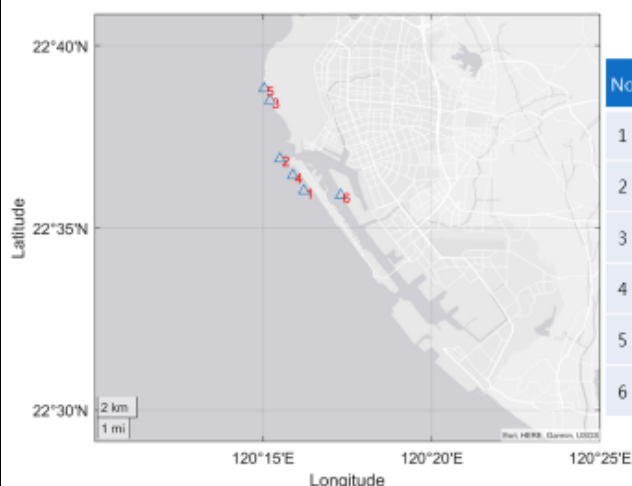
- 高雄港範圍以事故成因關鍵字「風」進行資料爬梳所篩分出的事故發生位置與相對應的陣風分析結果。
- 結果共10個事件，其中6~10為同一日所發生，然而海事案件統計表中並未詳細記錄事發時間。



24

特定目標港海氣象數值模擬

- 高雄港範圍以事故成因關鍵字「浪」進行資料爬梳所篩分事故發生位置。
- 共6個事件，其中5個為同一日，目前針對這些時間點進行波場模擬。

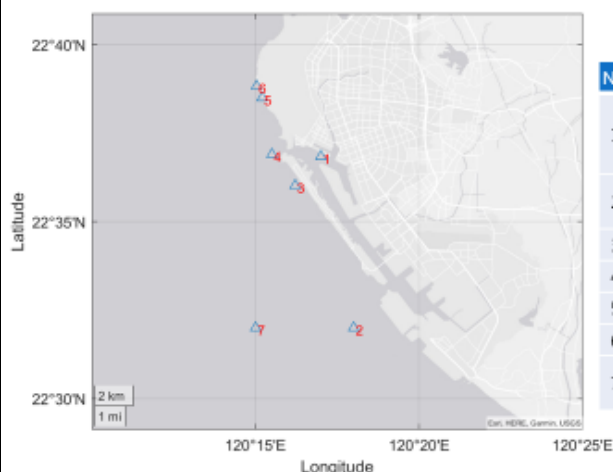


No	year	month	day	cause	detail
1	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
2	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
3	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
4	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大造成該船擱淺
5	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
6	109	2	4	其他	湧浪造成左舷舷梯損壞及斷纜

25

特定目標港海氣象數值模擬

- 高雄港範圍以事故成因關鍵字「流」進行資料爬梳所篩分事故發生位置。
- 共7個事件，但詳細探究其事故成因可以發現其實皆並非流速所造成。



No	year	month	day	cause	detail
1	104	7	19	兩船碰撞	該輪因流錨與停泊於8號碼頭之勝榮輪碰撞
2	105	12	24	其他	因舵機故障漂流致撞擊「大陸」挖泥船浮管
3	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
4	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
5	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
6	107	8	23	觸礁或擱淺	因風浪太大致流錨擱淺
7	109	7	24	機械故障	停俾修理主機，因漂流致碰撞[安達]輪

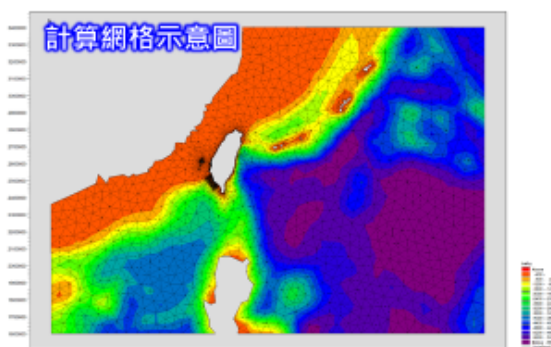
26

特定目標港海氣象數值模擬

- 本計畫數值模式採用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之MIKE 21波浪計算模組(SW)與流場計算模組(HD)軟體進行數值模擬。
- 風場資料採用Climate Forecast System Reanalysis (CFSR; Saha et al., 2010)。
- 流場邊界採用MOI潮位模式(林麗豐, 2018)的輸出結果作為驅動HD模式的動力邊界條件。

網格設定內容

元素個數	16,915
節點個數	9,280
最小元素面積(m ²)	196
最大元素面積(m ²)	3.1×10^9

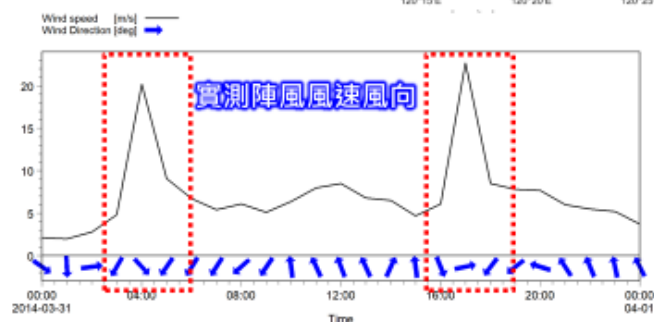
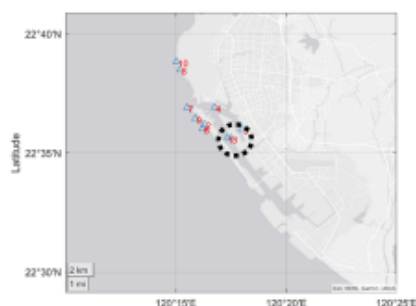


27

特定目標港海氣象數值模擬

103年3月31日事故

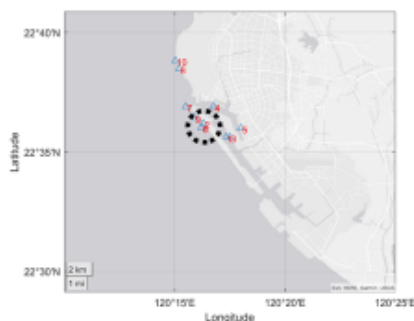
- 位於高雄港內，該事件說明[賽納輪因強風斷纜導致兩船碰撞]，主要與風有相關，3時陣風風速為4.8m/sec然4時瞬間增強至20.2m/sec，且風向由東北向轉為西北向，16時陣風風速為6.1m/sec然17時瞬間增強至22.7m/sec，且風向由西北向轉為西南向，顯示當日確實有陣風風速瞬間增強的現象，加上港內流速一般較低，因此該事故應與陣風有相關性。



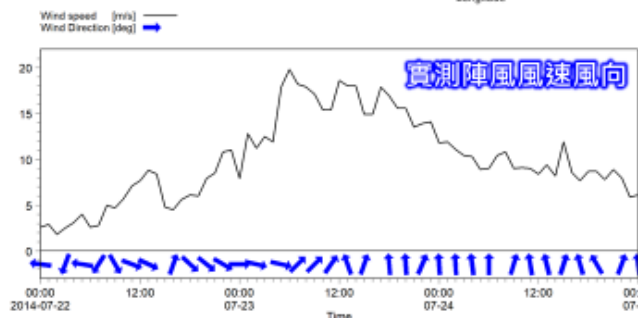
特定目標港海氣象數值模擬

103年7月23日事故

- 位於旗津海岸，該事件說明[因颱風致船擱淺]，主要與風有相關，由新聞報導中可知受到麥德姆颱風的影響，錨泊於高雄港外1.6哩處避風的貝里斯籍油輪「盛昌號」，因強風大浪流錨擱淺至距旗津海岸約100公尺水域。



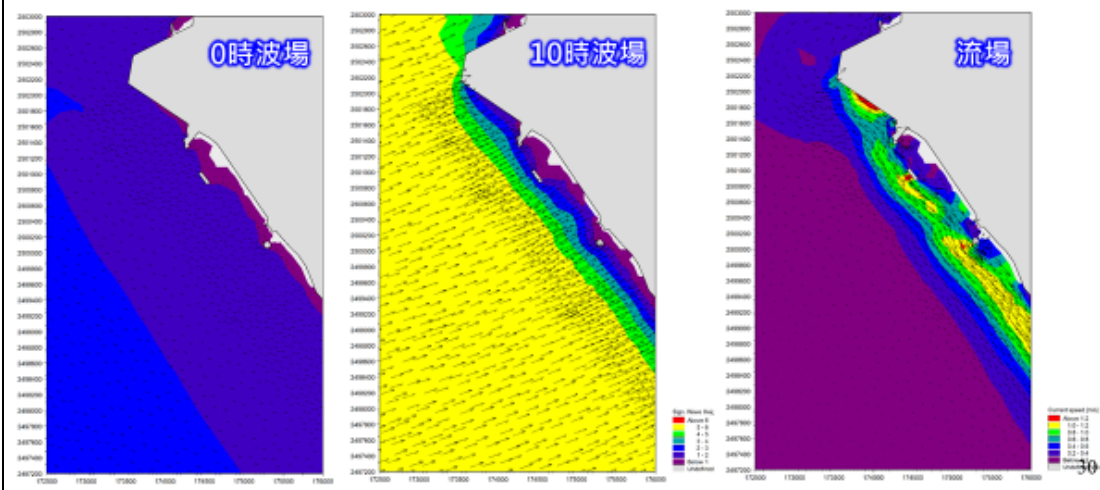
麥德姆發威 高雄山海不平靜



特定目標港海氣象數值模擬

103年7月23日事故

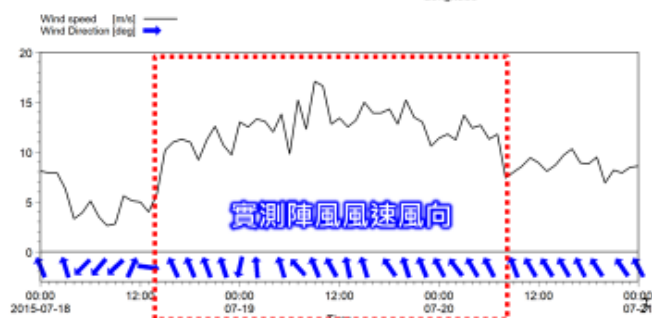
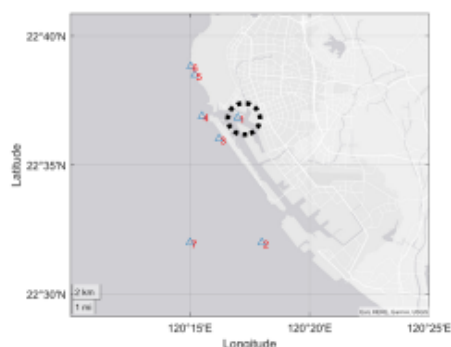
- 0時在高雄海域附近波高介於1.0~2.0m之間，約為小浪至中浪之間，然10時波高增大至5.0~6.0m之間，約為大浪至巨浪之間，因此船舶停泊位置確實有波高增大的現象，近岸流速較大且流向為由北往南。綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶確實受到強風大浪造成擱淺。



特定目標港海氣象數值模擬

104年7月19日事故

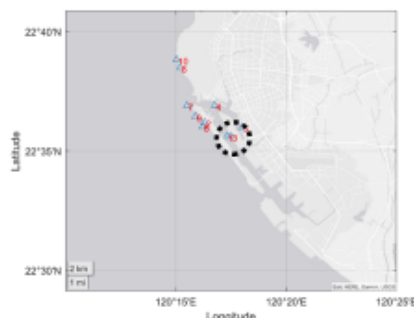
- 位於高雄港內，該事件說明[該輪因流錨與停泊於8號碼頭之勝榮輪碰撞]，主要與流有相關，7月18日14時陣風風速為5.8m/sec，然15時瞬間增強至10.2m/sec，且持續至7月20日7時皆維持在10m/sec以上，風向為東南向，顯示7月19日陣風風速較大，加上港內流速一般較低，因此該事故應與陣風過大造成流錨而非與流有相關性。



特定目標港海氣象數值模擬

105年9月14日事故

- 位於高雄港內，該事件說明[因颱風來襲斷纜致與「匯隆15」、「五興6」二船對撞]，主要與風有相關，由新聞報導中可知受到莫蘭蒂颱風的影響，高雄港第二港口的風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等10艘大型船舶斷纜漂流，由實測資料可知9月14日受到颱風影響造成陣風風速過大導致斷纜碰撞，因此該事故應與陣風有相關性。



颱風發威 台灣漁船史上最大斷纜斷船

新聞標題: 2015/09/14 18:16 新聞內容: 2015/09/14 18:16 內容: 圖文

【中央社高雄十四日電】強烈颱風莫蘭蒂發威，高雄港第二港口有十餘艘大型船舶斷纜漂流，其中包含由高雄信安漁業公司所屬之「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

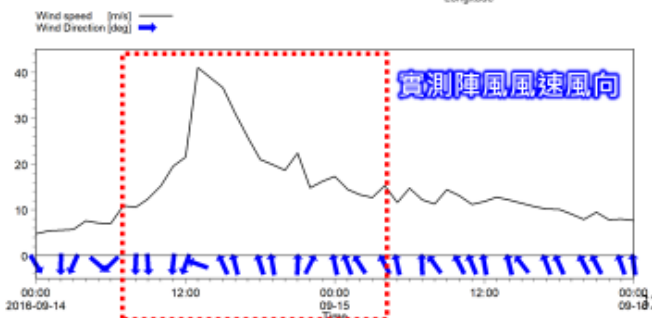
高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。

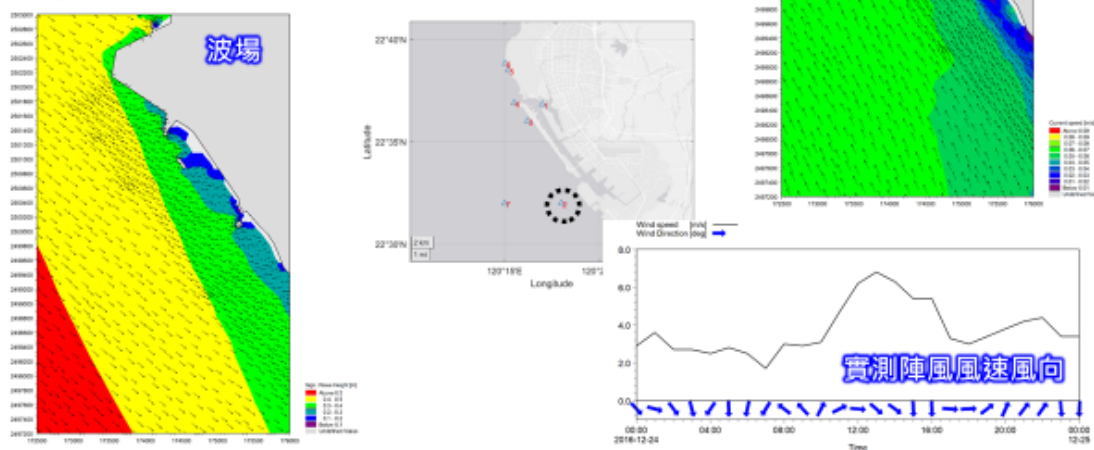
高雄港務局今天中午表示，高雄港第二港口之風力一度達12級，因風力強勁造成包括「開明輪」、「海興輪」等十艘大型船舶斷纜漂流，高雄港務公司已派員前往搶救，將漂流船舶拖回港內。



特定目標港海氣象數值模擬

105年12月24日事故

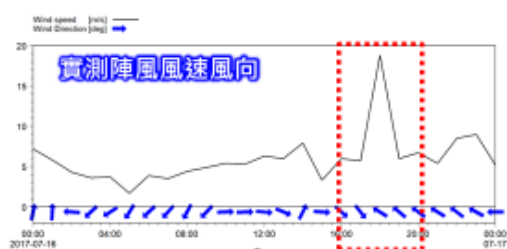
- 位於高雄港二港口外，該事件說明[因舵機故障漂流致撞擊「大陸」挖泥船浮管]，主要與流有相關，12月24日最大陣風風速僅6.8m/sec，風向為西北向。模擬結果顯示高雄海域附近波高介於0.4~0.5m之間，僅為小波。外海流速較大且流向為由南往北。綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶漂流過程應受到流影響較大。



特定目標港海氣象數值模擬

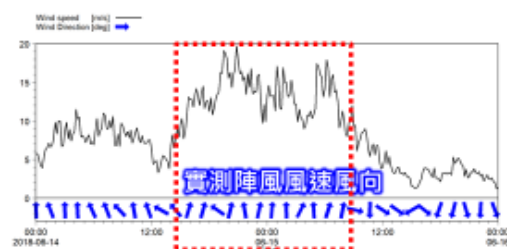
106年7月16日事故

- 位於高雄港內，該事件說明[強風暴雨致輪船擦撞]，主要與風有相關，17時陣風風速為5.7m/sec然18時瞬間增強至18.8m/sec，且風向由西北向轉為東南向，顯示當日確實有陣風風速瞬間增強的現象，加上港內流速一般較低，因此該事故應與陣風有相關性。



107年6月14日

- 位於高雄港內，該事件說明[遇強風斷纜碰撞MADRID(馬德里)]，主要與風有相關，6月14日15時至6月15日9時陣風風速皆維持在10m/sec以上，風向為南向，最大陣風為19.7m/sec，顯示當日確實有陣風風速較大的現象，因此該事故應與陣風有相關性。



特定目標港海氣象數值模擬

107年8月23日事故

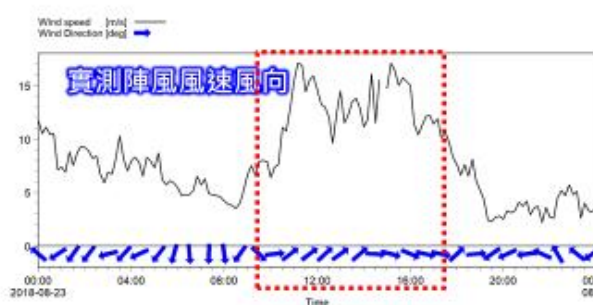
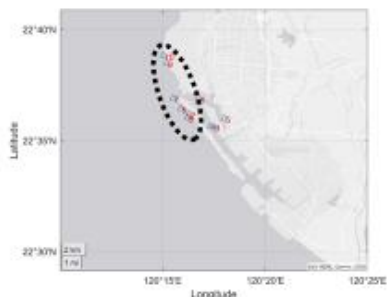
位於高雄港外旗津及柴山海域，該事件說明[因風浪太大致流錨擱淺]，主要與風、浪、流有相關，由新聞報導中可知受到熱帶性低氣壓影響，高雄港近海23日上午風力突然從5級轉為7級，瞬間風力達9級，造成5艘船隻陸續擱淺，其中太倉湖號擱淺在旗津海水域場前方300公尺處、安利669號擱淺在旗津貝殼館外約300公尺處、昌龍68號在柴山鬼洞外海域擱淺、飛龍號在一港口南防波堤外海擱淺、順泓號則擱淺在柴山安檢所前

高雄港外海瞬間風力達9級！5貨輪擱淺 66船

04-11 2018/08/24 中國時報 蘇力 蘇力



受到熱帶性低氣壓影響，高雄23日颶風吹襲，柴山鬼洞外海船隻擱淺，旗津海域5艘貨輪擱淺，高雄港外海瞬間風力達9級，造成5艘貨輪擱淺，66船隻受損，（王國河攝）

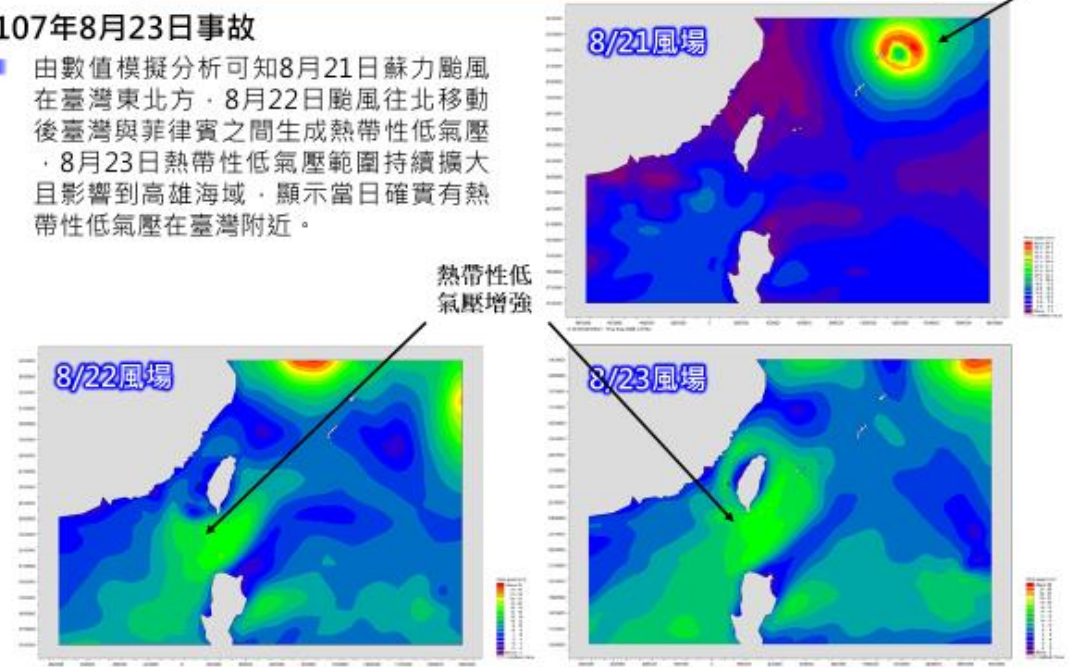


特定目標港海氣象數值模擬

107年8月23日事故

由數值模擬分析可知8月21日蘇力颱風在臺灣東北方，8月22日颱風往北移動後臺灣與菲律賓之間生成熱帶性低氣壓，8月23日熱帶性低氣壓範圍持續擴大且影響到高雄海域，顯示當日確實有熱帶性低氣壓在臺灣附近。

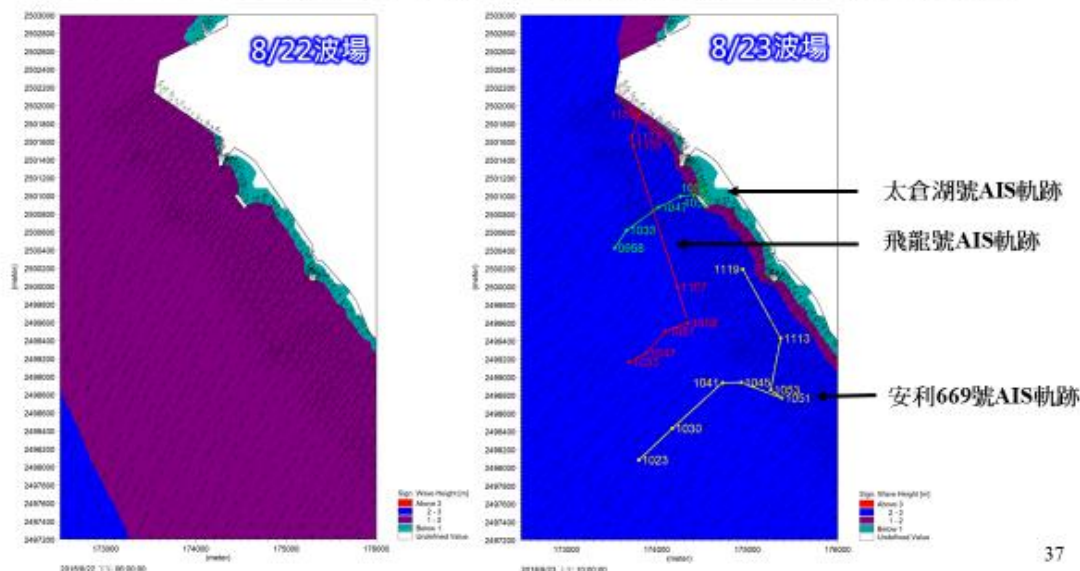
蘇力颱風



特定目標港海氣象數值模擬

107年8月23日事故

- 8月22日在高雄海域附近波高介於1.0~2.0m之間，約為小浪至中浪之間，然8月23日波高增大至2.0~3.0m之間，約為中浪至大浪之間，因此船舶停泊位置確實有波高增大的現象。

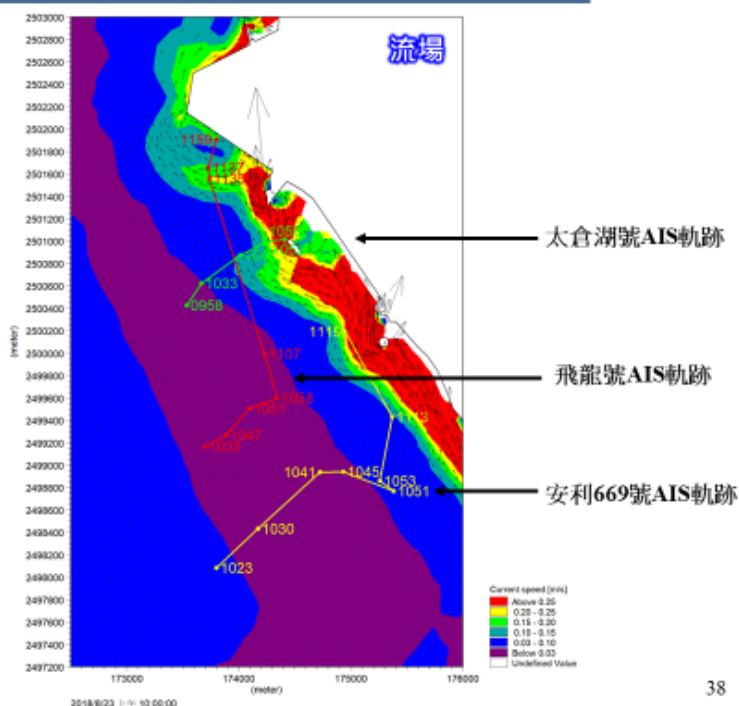


37

特定目標港海氣象數值模擬

107年8月23日事故

- 8月23日的流場模擬結果顯示船舶停泊位置流速低，但靠近近岸後流速增強且流向為由南往北。
- 綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶先同時受到風轉向為西南向及西南向大浪的影響，而往東北方的岸上靠近，停泊在近岸的太倉湖號直接擱淺在旗津海水域場前，而停泊在外海的飛龍號和安利669號先向東北移動，之後同時受到西南向的風、西南向大浪及流向由南往北的流場影響，迅速往北向近岸靠近，最後造成飛龍號擱淺在一港口南防波堤外海及安利669號擱淺在旗津貝殼館外。

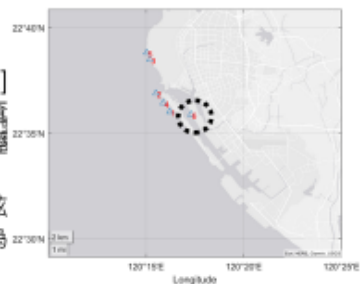


38

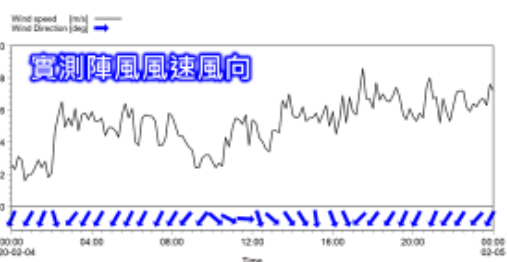
特定目標港海氣象數值模擬

109年2月4日事故

- 位於高雄港內，該事件說明[湧浪造成左舷梯損壞及斷纜]，主要與浪有相關，由國家運輸安全調查委員會初步調查報告可知，一艘巴哈馬籍郵輪「世界夢」號於1232時行經高雄港內，前往停靠8號碼頭期間疑似港內航行速度過快，致停靠49號碼頭一艘散裝貨船「天波」輪纜繩斷裂及左舷梯碰撞損壞。2月4日最大陣風風速僅8.6m/sec，風向為西北向，因此該事故應與船波造成的浪有相關性。



事故事件調查初步報告	
MARINE OCCURRENCE PRELIMINARY REPORT	
事故事件說明 109年2月4日，巴哈馬籍郵輪「世界夢」號（World Dream）在高雄港內航行時，因速度過快，導致與散裝貨船「天波」號（Tianbo）發生碰撞，造成「天波」號左舷梯損壞及纜繩斷裂。	
事故事件時間 109年2月4日 1232時	
事故事件地點 高雄港內	
事故事件原因 1. 船速過快 2. 航行速度過快，導致與散裝貨船「天波」號發生碰撞。	
事故事件結果 1. 散裝貨船「天波」號左舷梯損壞及纜繩斷裂。	
事故事件處理 1. 船隻停泊在高雄港內。	
事故事件調查 1. 國家運輸安全調查委員會初步調查報告。	

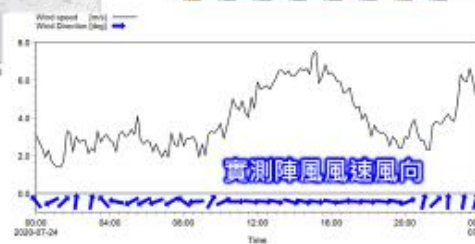
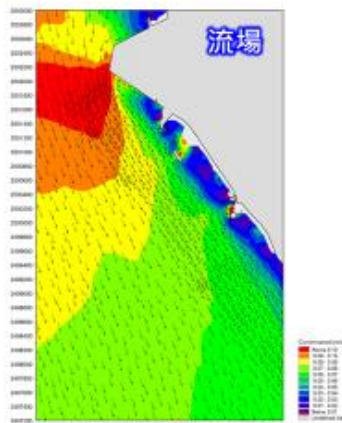
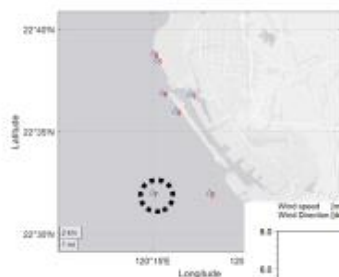
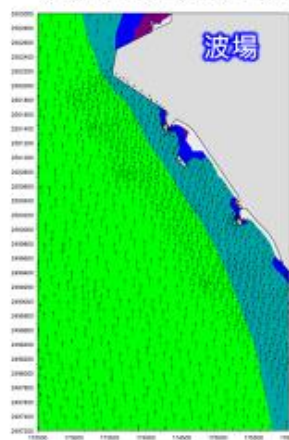


39

特定目標港海氣象數值模擬

109年7月24日事故

- 位於高雄港二港口外，該事件說明[停俾修理主機，因漂流致碰撞安達輪]，主要與流有相關，7月24日最大陣風風速僅7.5m/sec，風向為西向。模擬結果顯示高雄海域附近波高介於0.3~0.4m之間，僅為小波。外海流速較大且流向為由北往南。綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶漂流過程應受到流影響較大。



建立特定目標港海上航行風險模式

- 本章依據前述海上事故統計與熱區分析的結果選擇高雄港為目標港，以AIS資料歷史資料來建立目標港周邊的航行模擬模式，考慮船隻交會時的碰撞風險來考量海上航行碰撞風險的時空變化。AIS資料來源採用本所提供2020年1~3月，AIS接收資料量統計，每個月約有近5億筆資料，資料量大小約130 GB。



- AIS巨量資料的處理可分為四個階段：



- 各階段的處理流程分別進行相關異常資料處理與篩分：

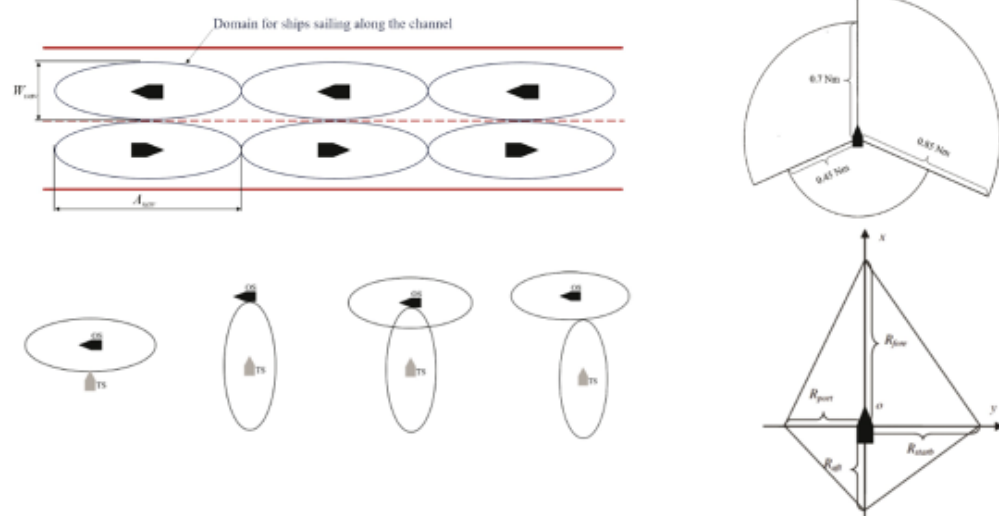
- **重複資料濾除**：檢測重複資料
- **空間搜尋配合ROI濾除**：目標港高雄港周邊海域
- **錯誤資料濾除**：時間序列與空間位置錯誤
- **資料等時距內插**：1min
- **船跡資料判定**：以MMSI篩分同一軌跡
- **編匯為新資料集**：建置等實距資料庫



41

建立特定目標港海上航行風險模式

- 船行安全範圍定義為航行中的船隻周圍的安全區域，為避免碰撞其他船隻應盡可能保持在此範圍之外。往昔研究提出應用於狹窄航道或開放水域等不同情況，並提出各種不同形狀與計算方式。



42

建立特定目標港海上航行風險模式

- 研究船舶安全範圍估算方式，分為四類：

- 經驗型
- 半經驗型
- 解析型
- 機率型

除機制差異外，其適用範圍亦不同，往昔研究多用於較單純的狹窄航道。或其成果主要基於狹窄航道的歷史資料，都不適用於本研究。

提出者	形式	應用方法	形狀	適用範圍
Fujii and Tanaka (1971)	經驗型	統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Goodwin (1975)	經驗型	統計分析	三扇形	開闊水域
Davis et al. (1980)	數值模擬	模擬海上交通	圓	狹窄的航道和密閉水域
Coldwell (1983)	經驗型	統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Jingsong et al. (1993)	半經驗	模糊邏輯	圓	開闊水域
Lisowski et al. (2000)	半經驗	人工神經網絡	六邊形	開闊水域
Zhu et al. (2001)	半經驗	人工神經網絡	圓	-
Kao et al. (2007)	半經驗	模糊邏輯	圓	狹窄的航道和密閉水域
Pietrzykowski (2008)	半經驗	模糊邏輯	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Pietrzykowski and Urias (2009)	半經驗	模糊邏輯	不規則	開闊水域
Wang (2010)	解析型	數學模型	橢圓形 四邊形	-
Gucma and Marjan (2012)	機率型	AIS統計分析	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Su et al. (2012)	半經驗	模糊邏輯	圓	開闊水域
Hansen et al. (2013)	經驗型	AIS統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Wang (2013)	解析型	數學模型	橢圓形 四邊形	-
Rawson et al. (2014)	經驗型	AIS統計分析	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Krata and Montewka (2015)	解析型	數學模型	不規則	-
Liu et al. (2016)	解析型	數學模型	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Wang and Chin (2016)	經驗型	AIS統計分析	多邊形	狹窄的航道和密閉水域
Dinh and Im (2016)	解析型	統計分析	四邊形	-
Pietrzykowski and Magaj (2017)	經驗型	AIS統計分析	橢圓形	狹窄的航道和密閉水域
Zhang and Meng (2019)	機率型	AIS統計分析	不規則	狹窄的航道和密閉水域
Fiskin et al. (2020)	半經驗	模糊邏輯	不規則	-

43

建立特定目標港海上航行風險模式

- 各種船舶安全範圍估算方式可考量不同的船舶相關因素與環境相關因素進行選用，工作團隊評估往昔相關研究來選用合適的船舶安全範圍計算方式。

提出者	船舶相關因素							環境相關因素						
	本船長度	本船速度	本船的可操作性	目標的機動性	目標的長度	目標的速度	船型	目標的相對方位	遭遇類型	氣象條件	交通狀況	人為因素	能見度	白天/夜晚
Fujii and Tanaka (1971)	✓				✓			✓		✓			✓	
Goodwin (1975)	✓	✓				✓	✓	✓		✓				
Davis et al. (1980)	✓							✓						
Coldwell (1983)	✓							✓	✓		✓			✓
Jingsong et al. (1993)	✓	✓				✓	✓	✓			✓	✓		✓
Lisowski et al. (2000)	✓							✓						
Zhu et al. (2001)	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	
Kao et al. (2007)	✓	✓	✓			✓			✓	✓	✓	✓		
Pietrzykowski (2008)	✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓		
Pietrzykowski and Urias (2009)	✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓
Wang (2010)	✓		✓			✓			✓	✓	✓	✓		
Gucma and Marjan (2012)	✓						✓	✓	✓	✓				
Su et al. (2012)	✓	✓				✓			✓					
Hansen et al. (2013)	✓						✓							
Wang (2013)	✓	✓	✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	
Rawson et al. (2014)	✓	✓				✓	✓	✓	✓					
Krata and Montewka (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Liu et al. (2016)	✓	✓				✓	✓	✓			✓			✓
Wang and Chin (2016)	✓	✓			✓	✓		✓						
Dinh and Im (2016)	✓	✓		✓	✓	✓			✓					
Pietrzykowski and Magaj (2017)	✓				✓		✓			✓		✓		✓
Zhang and Meng (2019)	✓	✓					✓				✓	✓		✓
Fiskin et al. (2020)	✓	✓	✓					✓		✓	✓	✓	✓	✓

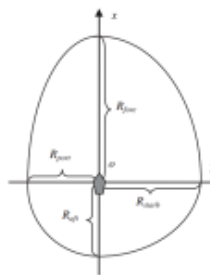
44

建立特定目標港海上航行風險模式

■ 本研究船舶安全範圍的需求：

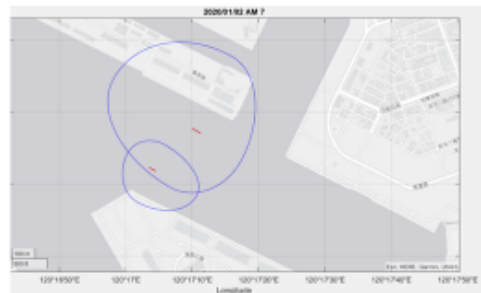
- **安全範圍大小**：需考慮與船的規模與速度
- **船行階段**：前方應保有較大的範圍，後方較小。前方範圍須與船速成正比。
- **因應港內有停泊與卸貨的船隻**：船舶範圍須與船速相關並在靜止時需趨近0。
- **適用性**：本研究範圍非單純狹窄航道，需考量多通道多航向的航行狀況。

受限於海事案件統計表中的事故成因紀錄較為簡單，目前國內環境較難探討航行時人為、海氣象的影響權重來作為輸入條件，特別是考慮到我們的計劃區動態複雜若配合AIS巨量資料與多輸入會提高計算複雜性，工作團隊參考Wang(2010)研究選用最常見的**船隻長度**和**船行速度**來計算複合半徑橢圓船舶安全範圍並建置模擬環境，。



$$\begin{cases} R_{fore} = \left(1 + 1.34\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2}\right)L \\ R_{aft} = \left(1 + 0.67\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2}\right)L \\ R_{starb} = (0.2 + k_{DT})L \\ R_{port} = (0.2 + 0.75k_{DT})L \end{cases}$$

k_{DT} 、 k_{AD} 為船速函數



45

建立特定目標港海上航行風險模式

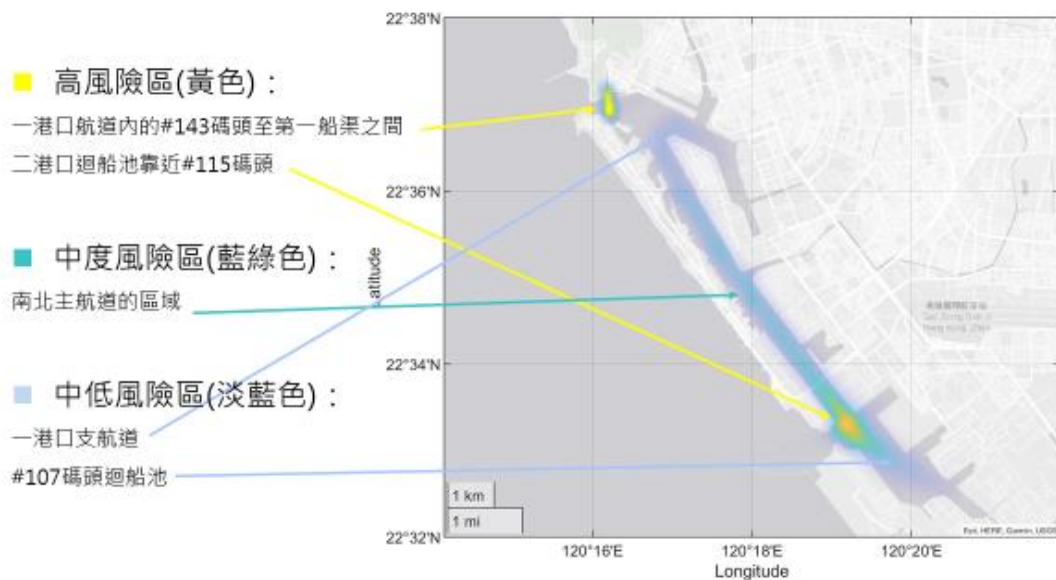
- 以高雄港2020年1月為例，資料期間間1/2 07:25~1/31 23:59(GMT+0)，整月份共42,696個時間點，其中包含2,400,851個船舶空間資料點要計算船舶安全範圍。為能降低運算端的空間需求與記憶體使用來完成相關分析，工作團隊透過上述資料庫進行結構性的存放，再透過資料庫連線來運算各時刻範圍內所有船舶的安全範圍。
- 航行模擬結果



46

建立特定目標港海上航行風險模式

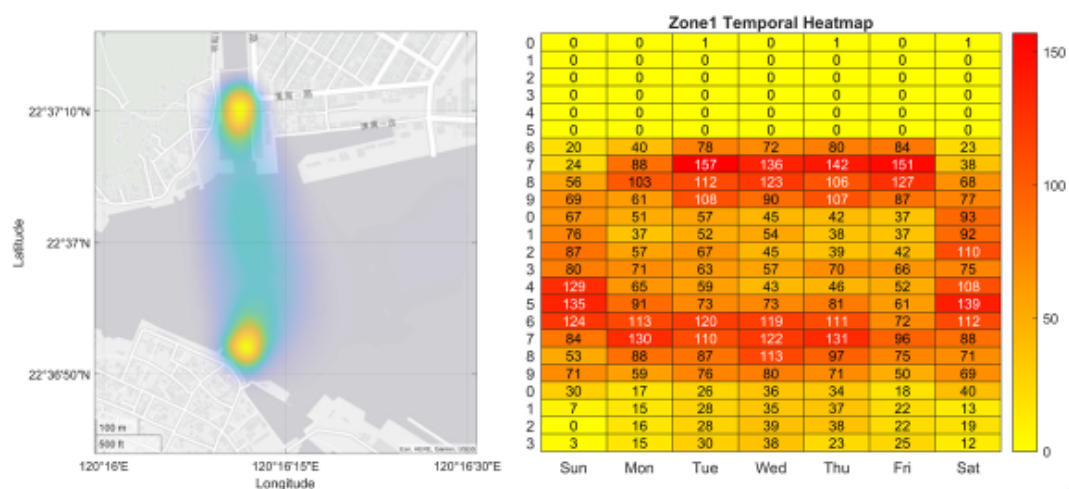
- 2020年第一季的高雄港船行風險模擬結果，以藍色至黃色的漸層色調表示船行安全領域交集區在三個月內重複出現於該網格點的低至高密度



47

建立特定目標港海上航行風險模式

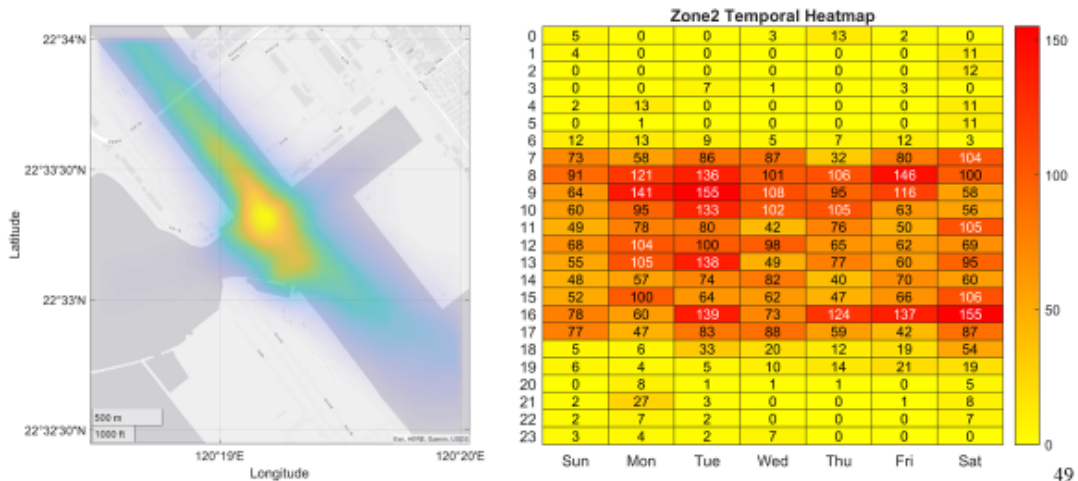
- 網格加密至1m後的Zone1可以明顯看出此區的風險區域集中於北側的鼓山渡輪站與南側的旗津渡輪站，本區每日AM5:15至隔日AM2:00平均約5~30分鐘有固定航班的渡輪，因此在高雄港區範圍內常有船行安全範圍的交集區。



48

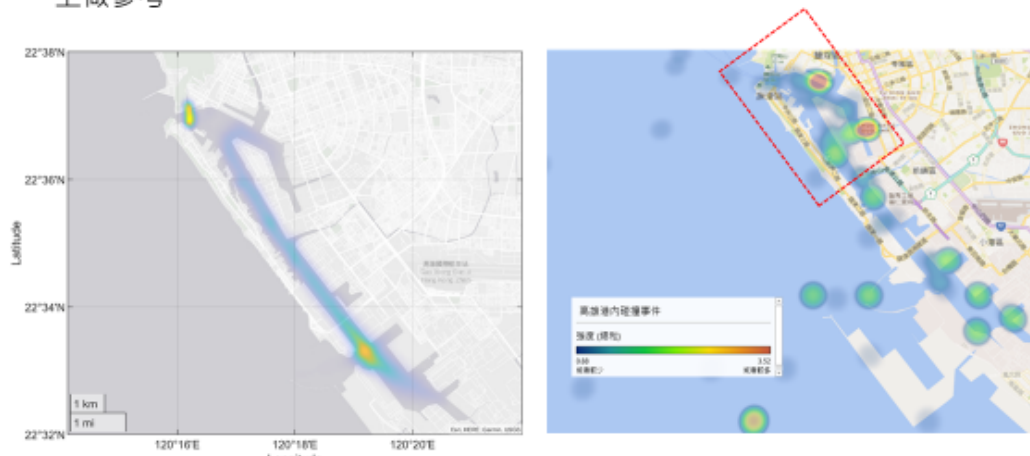
建立特定目標港海上航行風險模式

- 加密計算Zone2二港口迴船池的高風險區，其北側過港隧道至南側轉角處的第十船渠皆為風險較高的區域。若排除旗鼓渡輪航線的熱區，本區位於二港口四方交會處屬於高雄港範圍內風險最高的區域。此外高雄港內設有四個迴船池，其中卻僅二港口迴船池的風險密度為最高。



建立特定目標港海上航行風險模式

- 以船行安全範圍的交集區來呈現研究範圍內的交通密度與風險情況。兩個高風險熱區與碰撞事故熱區分析結果並無一致的現象，顯示高雄港目前透過VTS管理中心的管控下其海事碰撞事件在交通密集區域並無明顯較多的情況。此結論也符合往昔文獻中海事案件絕大部分都為人為因子所造成的說法。
- 本船行模擬模式以大量的AIS資料配合文檔式資料庫與船行安全範圍的大數據處理方式分析目標港的風險情況，可提供港務管理與規劃相關單位在航控與調配上做參考。



結論

- 本研究已收集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之**相關研究與技術文件**，對VDES進行**簡介並針對其發展現況進行說明**，提供後續港灣規劃與航行管理做為參考。
- 海上事故統計分析的結果顯示其他海難件數最多，其次分別為**兩船碰撞、機械故障、兩船碰撞與機械故障**，可視為在台灣鄰近海域之最常見的海難原因。人員死亡之事件中以意外(作業不慎)為最多，次之分別為意外(事故)、天候氣象。空間分布特性分析發現兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺這三類的發生較具空間分布特性。熱區分析的結果顯示在**兩船碰撞及與其他物碰撞的事件中的熱區位於高雄港**，經工作會議討論後擇定本研究之目標港。
- 綜合實測資料及數值模擬結果大致可分析事故發生的原因，其中高雄港內的事務主要以**陣風影響最大**，僅有一件與船波造成的浪有相關性，而在高雄港外的事務主要以**颱風或熱帶性低氣壓造成的強風大浪有關，其次才與流有關**。透過各個事故原因的探討發現**陣風的瞬間增強或持續性的強風**為高雄港事故發生的主要原因。
- 本研究建立船行模擬模式，以船行安全範圍的交集區來呈現研究範圍內的交通密度與風險情況。**兩個高風險熱區與高雄港範圍碰撞事故熱區分析結果並無一致的現象**，顯示高雄港目前透過VTS管理中心的管控下其海事碰撞事件在交通密集區域並無明顯較多的情況。此結論也符合往昔文獻中海事案件絕大部分都為人為因子所造成的說法。本研究方法可**應用於其他海域評估交通密度熱區的時空分布與航行風險**。

51

建議與相關應用

- 在海事案件統計中，工作團隊發現有幾點會可能影響後續分析結果正確性的問題；若未來能在海上事故記錄上作改善，相信對未來相關研究或是管理權責單位都能有很大的幫助。包括**肇事位置座標記錄詳實、事故分類與嚴重程度的劃分標準統一與原因分析欄位的敘述應盡量詳實**等。另外本研究依據目前運安會相關調查報告中的項目提出合適的記錄表格式供未來相關單位作參考。
- VDES仍於開發與規劃階段，與目前本研究分析船行風險的技術應用與搭配上除了可能加強頻寬改善AIS資訊過多的情況，應可增加船載資訊系統提供更多空間上的海氣象環境資訊，**建議未來可持續蒐集國內外相關研究的發展來進行評估**。
- 本研究**船行模擬模式**以大量的AIS資料配合文檔式資料庫與船行安全範圍的大數據處理方式分析目標港的風險情況，可提供港務管理與規劃相關單位在航控與調配上做參考。本方法可**應用在其他海域航道或港區**，若在規劃階段無法取得合適的AIS資料可透過統計方式以代表性的船行資料進行碰撞風險的模擬與檢討。

52

附錄四

期末報告審查會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB001k 船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展」合作研究案期末報告審查會議

貳、時間：110 年 11 月 9 日(星期二)下午 2 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：李俊穎科長

紀錄：曹勝傑

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、梁乃匡委員

- (一) 合作團隊針對本專題做資料蒐集、問題分析，推求航行風險評估技術，本課題為一新挑戰，有其難度，已提出可供政府參酌的成果，後續可依照建議，建立海難紀錄新的格式。
- (二) 海上船舶事故統計之事故地點空間分布，部分發生於陸地，請修正。
- (三) p.6-4「在歷史資料庫中，連續接收資料時並未考量是否由同一艘船發出的訊號…」，請確認 AIS 資料是否有記錄船籍資料，還是僅有位置資料。
- (四) p.6-5 文字段落，建議再修正，以利閱讀。
- (五) 請說明 p.6-8 圖 6.2-1 單位 Nm 及其他符號意義。
- (六) 請說明 p.6-11 四方向半徑計算方式公式內符號。
- (七) p.5-10 颱風波浪推算，僅有波高，建議納入週期比較。

二、江文山委員

- (一) 摘要表中的內容，主要說明計畫目的與工作項目，缺乏各項工作成果的具體內容說明，建議應補充較為完整。
- (二) 自 1990 年代開始 AIS 在國際上推動，歷經近 30 年發展應用廣泛，文獻中指出當 AIS 超負載時會影響航安。目前國內已建置數十站的 AIS，這些 AIS 資料的使用情形如何？是否有文獻所提負載過重的問題？
- (三) 第三、四章關於事故資料與因子的分析，相關分析中可見缺乏足

夠資訊是普遍的現象，而且對結果的影響顯著，雖然合作團隊利用各種方法，嘗試找到具體的結論，不過仍有賴更多的數據，方得以有明確的成果。

(四) 第五章結論為陣風對事故的發生具有重要影響，請教合作團隊對其影響機制的看法？

(五) 第六章航行風險模式，延續第五章的風險因子分析，可見強風是關鍵的影響因子，此關鍵因子在第六章的模式中是否納入？

三、 翁文凱委員

(一) 本次評估是否只偏重應用於高雄港？對於其他港需再增加其他參數，再評估其應用之普遍性。

(二) 評估範圍包含斷纜事件，與航行風險不完全符合，建議改成船舶海難事件風險評估。畢竟航安及靠港安全定義不同。

(三) 風險評估若僅考慮風、浪、流因素，應具有一定程度之可靠度，但並無法包含所有因素，因此其信賴度為何？是否可量化？就所模擬之風浪流，是否能有瞬間變化之情況？

(四) 靠港斷纜事件應有其氣候及繫纜條件，斷纜事件若有更詳細資料說明(如纜繩狀況)，可能更清楚。

(五) 風險評估受船型大小噸位影響相當大，建議增加說明。小船反應快，除非功率不足，否則不易發生漂流情況。

四、 鍾英鳳委員(書面意見)

(一) 建議說明國內目前 VDES 之發展及使用狀況，或對此事項有何建議，以利港口未來發展。

(二) p.3-6~p.3-9 對於資料品管部分，可見目前海事資料之不完整，因此，依現有資料難以判斷事故之原因，表 3-3.1 字太小無法判讀，建議表中字體加大。建議欄位中應有一拖船數，引水人有無，是否機械故障，周遭環境之說明等項。

(三) 第四章事故統計分析中，建議將因氣候影響，及人為、機械因素予以分開說明，比較能得到航行安全之考量因素。

(四) p.4-5 事故分析，各港應就港內、港外加以區別，商船、漁船亦予以分開論述，兩船碰撞應以基隆港、高雄港為主，其他港並不多。

(五) p.4-15 風險因子中，人為因子除船長外，尚有引水人、拖船船長

等，航線空間：包括船舶大型化、航道長度、寬度。

- (六) p.5-16 圖 5.3-5 是 7 月 23 日何時之風場，請敘明。
- (七) 圖 5.3-6~28 之→箭頭表示什麼，請補充說明。
- (八) p.6-3 本套系統，當有新的 AIS 資料加入時應如何處理，請說明。
- (九) p.6-4，表 6.1-1 AIS 欄位資訊，各欄名稱請先定義及格式、單位等應予明確？如航行狀態、迴轉率、位置準確度、資料中端設備是什麼？
- (十) 本案研究已驗證港口風險高之區域，與目前之認知亦相同，但發生風險除了船數多之因素外，其餘之因素為何，值得繼續探討，且要如何減少人為之疏失為首要，可否透過 AIS 或 VDES 來提升安全性。

五、本所港灣技術研究中心

- (一) 第 5.3 節高雄港事故原因探討，建議除年月日外，事故發生時間建議加入。
- (二) 風場、波場及流場為模擬值，建議加入港研中心或水利署實測值（波高及波向、流速及流向）。
- (三) 107 年 8 月 23 日有 AIS 船舶軌跡加入分析外，建議其他事件亦將 AIS 船舶軌跡加入分析。
- (四) 本研究陣風之定義，建議補充。
- (五) 105 年 12 月 24 日及 109 年 7 月 24 日應非海氣象因素造成。
- (六) 第 3-10 頁表 3.3-1 建議之海上事故紀錄表，請放大且橫放。
- (七) 海上航行風險模式，其計算時間多久？現在為事後分析，是否能即時分析，即時分析其分析時間搭配船速，是否足以即時預警？
- (八) 第 2 章針對 VEDS 研析內容較為薄弱，建議可從國外案例，再強化該系統在我國船舶航安扮演腳色之相關論述。
- (九) 第 5 章風速之實測資料來源，建議於報告中再補充說明(例如測站位置等)。
- (十) 本計畫風浪模式似以颱風進行驗證，但第 5.3 節所列之海事案件多非颱風時期所造成，建議再補充該模式在非颱風時期之波場及流場模擬數值是否具代表性。
- (十一) 圖 5.3-6~5.3-23 之波場模擬圖，建議將高雄港位置或補充座標標

示，以利瞭解其相對位置。

- (十二) 第 6 章針對高雄港航行風險探討，建議補述高雄港現行之港區船舶航行及管理相關規定，做為港區航安探討之背景資訊。
- (十三) 第 6 章航行風險模擬範圍是否僅在港內？若以高雄港法定範圍，其包括外港水域至 5 海浬線，建議納入分析範圍。
- (十四) 報告書圖表之資料來源多有缺漏，應予標明。
- (十五) 第 5.3 節陣風定義請補述，及 5.4 節結論，請利用案例加強說明。
- (十六) 第 6.1 節建議以條列式方式說明 AIS 處理原則及過程。
- (十七) 第 6.3 節請補述交集計算說明，以及風險模擬(顏色)定義，以量化方式說明。
- (十八) P.2-4 有關現有蒐集 VDES 規範，建議呈現相關會議條文說明。
- (十九) 有關本計畫之研究成果，後續請國立陽明交通大學協助本所辦理相關成果推廣活動。

柒、結論：

- 一、本案期末報告審查結果，原則通過，請國立陽明交通大學針對前開審查意見，研提處理情形答覆意見表，逐項具體回應，並於 110 年 11 月 30 日前完成修正定稿及其他契約規定驗收相關資料之提送。
- 二、另期末報告書除依本所規定格式辦理外，其定稿之電子檔請併送本所。

捌、散會：下午 4 時 30 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB001k 船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展」合作研究案期末報告審查會議

貳、時間：110 年 11 月 9 日(星期二) 下午 2 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出席單位及人員：

審查委員	簽名
江文山 委員	<u>江文山</u>
梁乃匡 委員	<u>梁乃匡</u>
翁文凱 委員	<u>翁文凱</u>
鍾英鳳 委員	<u>〈書面意見〉</u>
林雅雯 委員	<u>林雅雯</u>
許義宏 委員	<u>許義宏</u>
社團法人臺灣海洋工程學會	
合作研究單位	
國立陽明交通大學	<u>張憲國</u>

出席單位	職稱	姓名
交通部航港局		
臺灣港務股份有限公司		
本所港灣技術研究中心	研究員 助理研究員	黃茂信 曹騰瑞

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳核)