114-025-7D94
MOTC-IOT-113- H3CA001e

馬祖海氣象特性分析及應用研究

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114-025-7D94
MOTC-IOT-113- H3CA001e

馬祖海氣象特性分析及應用研究

著者：林有騰、林雅雯、鄭采誼、謝佳紘

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114

馬祖海氣象特性分析及應用研究

交通部運輸研究所

GPN：1011400223
定價：250 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

馬祖海氣象特性分析及應用研究 / 林有騰, 林雅雯, 鄭采誼, 謝佳紘著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所, 民 114.03
面； 公分
ISBN 978-986-531-654-9(平裝)

1.CST: 海洋氣象 2.CST: 港埠 3.CST: 連江縣

444.94 114001745

馬祖海氣象特性分析及應用研究

著　　者：林有騰、林雅雯、鄭采誼、謝佳紘
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 114 年 3 月
印 刷 者：綠凌興業社
版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：250 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸科技及資訊組•電話：(02)2349-6789
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207
五南文化廣場：40042 臺中市中區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011400223　　ISBN：978-986-531-654-9（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分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：馬祖海氣象特性分析及應用研究</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-654-9(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011400223</td><td>運輸研究所出版品編號
114-025-7D94</td><td>計畫編號
MOTC-IOT-113
-H3CA001e</td></tr>
<tr><td colspan="3">本所主辦單位：運輸技術研究中心
主管：蔡立宏
計畫主持人：林有騰
研究人員： 林雅雯、鄭采誼、謝佳紘
聯絡電話：(04)26587179
傳真號碼：(04)26564415</td><td>研究期間
自 113 年 1 月

至 113 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：馬祖各港口、相關性分析、特性分析、數值模擬、水動力模式</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
本計畫利用交通部運輸研究所運輸技術研究中心與中央氣象署的海氣象測站長期觀測數據，涵蓋風力、波浪及海流等參數，針對資料蒐集率進行統計與視覺化分析，並採用適當的品質控制流程，進一步提升數據準確性。透過 TEST1、TEST4、TEST6 及 TEST8 檢測程序，檢出多筆未通過品管資料，部分異常數據可能為儀器故障的早期徵兆。最終，選取蒐集率達 70%以上的代表月份做為分析基準，為後續研究提供可靠數據支持。
研究以夏、冬季為主要時段，針對馬祖地區四鄉五島各港口的代表測站進行風速、波浪及海流特性的相關性分析與比較，結合玫瑰圖呈現各測站間風力、波浪與海流的特性。結果顯示，季節與地理環境(測站設置位置、港口開口方向、地形、結構物及潮汐運動特性)顯著影響各測站風力、波浪與海流特性，展現明確的區域特性，特定測站因地形影響展現高獨立性。
為深入探討馬祖南竿福澳港港區流場變化，本計畫採用 Mike 21 水動力數值模型，模擬南竿福澳港 2020 年夏季、2019 年冬季及利奇馬颱風期間的潮位與海流特性，並與觀測數據進行驗證。結果顯示，潮位模擬高度吻合，海流模擬則略有差異，特別是在極端氣象條件下，模擬流速的峰值偏低，反映出數值模型在季風與颱風條件下面臨不同的挑戰與可進一步改進的空間。

研究成果效益：
本計畫研究成果顯示，在觀測數據蒐集率受限情況下，優化海氣象資料品質可提升其應用價值的有效策略，成果揭示了馬祖四鄉五島各港區風力、波浪及海流的區域特性，為船舶航行路徑規劃及港埠營運管理提供應用參考，提升船舶航行安全與港埠營運效率，透過模擬與觀測數據對比驗證，提供可靠環境參數支持，有助於港灣施工的風險評估。

提供應用情形：
研究成果可供連江縣政府相關部門、港務及海事人員應用於船舶調度、港口規劃及災害防範，並推動產官學研合作與技術交流。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>114 年 3 月</td><td>208</td><td>250</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本計畫之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

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

TITLE: ：Analysis and Application of Marine Meteorological Characteristics in the Matsu Islands.

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-531-654-9 (pbk)	1011400223	114-025-7D94	MOTC-IOT-113 -H3CA001e

DIVISION: Transportation Technology Research Center
DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai
PRINCIPAL INVESTIGATOR: You-Teng Lin
PROJECT STAFF: Ya-Wen Lin, Cai-yi Zheng, Jia-hong Xie
PHONE: (04) 26587179
FAX: (04) 26564415

PROJECT PERIOD
FROM
January 2024
TO
December 2024

KEY WORDS:
Ports of Matsu, Correlation Analysis, Characteristic Analysis, Numerical Simulation, Hydrodynamic Modeling

ABSTRACT:

This project utilizes long-term observational data provided by the Transport Technology Research Center of the Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications, and the Central Weather Administration, covering parameters such as wind, waves, and ocean currents. A statistical and visual analysis of data collection rates was conducted, accompanied by appropriate quality control procedures to enhance data accuracy. Tests including TEST1, TEST4, TEST6, and TEST8 were employed to identify numerous records failing quality control, some of which may indicate early signs of instrument malfunction. Ultimately, representative months with a data collection rate exceeding 70% were selected as the analytical baseline, providing reliable data support for subsequent studies.

The study focuses on summer and winter seasons, analyzing and comparing wind speed, wave, and ocean current characteristics at representative stations located in the ports across the four townships and five islands of the Matsu region. Rose diagrams were used to illustrate the characteristics of wind, waves, and ocean currents across these stations. The results reveal that seasonal variations and geographical factors (such as station location, port orientation, topography, structures, and tidal movement characteristics) significantly affect the wind, wave, and current characteristics at each station, demonstrating distinct regional traits. Certain stations exhibited high independence due to topographic influences.

To further explore flow field variations in the Fuao Port area of Nangan in Matsu, the project employed the Mike 21 hydrodynamic numerical model to simulate tidal and ocean current characteristics during the summer of 2020, winter of 2019, and the period of Typhoon Lekima. The simulation results were validated against observational data. The findings indicate a high degree of accuracy in tidal level simulations, while ocean current simulations exhibited minor discrepancies, particularly under extreme weather conditions. The peak values of simulated current speed were underestimated, reflecting the challenges faced by the numerical model under monsoon and typhoon conditions, as well as opportunities for further improvement.

The achievements, benefits, and applications.

The findings of this project indicate that optimizing the quality of marine meteorological data is an effective strategy for enhancing its application value, even under limitations in observational data collection rates. The results reveal the regional characteristics of wind, waves, and ocean currents across the ports in the four townships and five islands of the Matsu region, providing a valuable reference for ship route planning and port operation management. This contributes to improving navigation safety and port operational efficiency. Through comparative validation between simulations and observational data, the study offers reliable environmental parameter support, aiding in risk assessments for harbor construction.

The research outcomes can be utilized by relevant departments of the Lienchiang County Government, port management companies, and maritime personnel for vessel scheduling, port planning, and disaster prevention. Additionally, this work fosters collaboration and technical exchange among industry, government, academia, and research institutions.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
March 2025	208	250

1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.
2. The budget of this research project is contributed by Institute of Transportation, MOTC.

目 錄

中文摘要 ..... **I**
英文摘要 ..... **II**
目錄 ..... **III**
圖 目 錄 ..... **V**
表 目 錄 ..... **IX**
第一章 緒論 **1-1**
1.1 計畫緣起與目的 1-1
1.2 研究範圍 1-2
1.3 研究方法 1-7
1.3.1 資料品管方式 1-7
1.3.2 相關性分析 1-8
1.3.3 玫瑰圖的應用與數據呈現 1-10
1.3.4 水動力數值模式理論介紹 1-10
1.4 研究內容與工作項目 1-12
第二章 觀測資料蒐集率及品管機制 **2-1**
2.1 各港區測站蒐集率 2-1
2.1.1 風力觀測資料蒐集 2-2
2.1.2 波浪觀測資料蒐集 2-12
2.1.3 海流觀測資料蒐集 2-18
2.2 品管機制 2-24
2.2.1 觀測資料品管 2-25
2.2.2 品管結果分析 2-29
第三章 相關性及特性分析比較 **3-1**
3.1 風力特性分析 3-1
3.1.1 風力資料相關性 3-1
3.1.2 風力資料特性 3-5
3.2 波浪特性分析 3-8
3.2.1 波浪資料相關性 3-8
3.2.2 波浪資料特性 3-10

3.3 海流特性分析 3-16
3.3.1 海流資料相關性 3-16
3.3.2 海流資料特性 3-19
第四章 水動力數值模式分析與探討 4-1
4.1 水動力數值模式及模擬條件 4-1
4.1.1 模式地形水深及網格設定 4-1
4.1.2 風、氣壓場資料 4-2
4.1.3 模式邊界及參數設定 4-5
4.2 現況水動力模擬計算成果 4-5
4.2.1 夏季季風期間現況水動力模擬計算成果 4-7
4.2.2 冬季季風期間現況水動力模擬計算成果 4-10
4.2.3 颱風期間現況水動力模擬計算成果 4-14
第五章 結論與建議 5-1
5.1 結論 5-1
5.2 建議 5-4
5.3 成果效益及應用情形 5-5
參考文獻 參-1
附錄一、各風力、波浪及海流測站相關性比較表 ..... 附 1-1
附錄二、各風力、波浪及海流測站玫瑰圖(夏、冬季及歷年) .... 附 2-1
附錄三、簡報資料 ..... 附 3-1
附錄四、工作會議暨專家學者座談會紀錄 ..... 附 4-1
附錄五、期末審查意見及辦理情形說明表 ..... 附 5-1

圖 目 錄

圖 1.1 南竿風力及波流觀測儀器位置圖 1-3
圖 1.2 北竿風力及波流觀測儀器位置圖 1-3
圖 1.3 西莒風力觀測儀器位置圖 1-4
圖 1.4 東莒風力及波流觀測儀器位置圖 1-4
圖 1.5 東引風力及波流觀測儀器位置圖 1-5
圖 2.1 W1(2017-2023)風力測站蒐集率統計圖 2-3
圖 2.2 W2(2019-2023)風力測站蒐集率統計圖 2-4
圖 2.3 W3(2015-2023)風力測站蒐集率統計圖 2-5
圖 2.4 W4(2017-2021)風力測站蒐集率統計圖 2-6
圖 2.5 W5(2019-2021)風力測站蒐集率統計圖 2-7
圖 2.6 W6(2017-2020)風力測站蒐集率統計圖 2-8
圖 2.7 W7(2017-2020)風力測站蒐集率統計圖 2-8
圖 2.8 W8(2019-2023)風力測站蒐集率統計圖 2-9
圖 2.9 W9(2017-2019)風力測站蒐集率統計圖 2-10
圖 2.10 W10(2020-2023)風力測站蒐集率統計圖 2-10
圖 2.11 W11-2(2018-2023)風力測站蒐集率統計圖 2-11
圖 2.12 A1(2017-2020)波浪測站蒐集率統計圖 2-13
圖 2.13 A2(2020-2021)波浪測站蒐集率統計圖 2-13
圖 2.14 A3(2023)波浪測站蒐集率統計圖 2-14
圖 2.15 A4(2023)波浪測站蒐集率統計圖 2-14
圖 2.16 A5(2016-2021)波浪測站蒐集率統計圖 2-14
圖 2.17 A6(2016-2021)波浪測站蒐集率統計圖 2-15
圖 2.18 A7(2017-2019)波浪測站蒐集率統計圖 2-16
圖 2.19 A8(2020-2023)波浪測站蒐集率統計圖 2-16
圖 2.20 A9-2(2018-2023)波浪測站蒐集率統計圖 2-17
圖 2.21 A1(2017-2020)海流測站蒐集率統計圖 2-19
圖 2.22 A2(2020-2022)海流測站蒐集率統計圖 2-19
圖 2.23 A3(2023)海流測站蒐集率統計圖 2-20
圖 2.24 A4(2023)海流測站蒐集率統計圖 2-20
圖 2.25 A5(2016-2021)海流測站蒐集率統計圖 2-20
圖 2.26 A6(2016-2021)海流測站蒐集率統計圖 2-21
圖 2.27 A7(2017-2019)海流測站蒐集率統計圖 2-22

圖 2.28 A8(2020-2023)海流測站蒐集率統計圖 2-23
圖 2.29 A9-2(2018-2023)海流測站蒐集率統計圖 2-23
圖 2.30 馬祖風力測站歷年平均風速品管(TEST6)未通過筆數 2-26
圖 2.31 馬祖風力測站歷年平均風速品管(TEST8)未通過筆數 2-26
圖 2.32 南竿 W2 平均風速品管(TEST6)未通過狀況(範例) 2-26
圖 2.33 東引 W11-2 平均風速品管(TEST8)未通過狀況(範例) 2-27
圖 2.34 馬祖波浪測站歷年示性波高品管(TEST6)未通過筆數 2-27
圖 2.35 馬祖波浪測站歷年示性波高品管(TEST8)未通過筆數 2-27
圖 2.36 馬祖波浪測站歷年尖峰週期品管(TEST6)未通過筆數 2-28
圖 2.37 馬祖波浪測站歷年尖峰週期品管(TEST8)未通過筆數 2-28
圖 2.38 馬祖海流測站歷年流速品管(TEST6)未通過筆數 2-28
圖 3.1 馬祖各港口風力測站代表的歷年夏季風力玫瑰圖 3-6
圖 3.2 馬祖各港口風力測站代表的歷年冬季風力玫瑰圖 3-7
圖 3.3 馬祖各港口波浪測站代表的歷年夏季波高波向玫瑰圖 3-12
圖 3.4 馬祖各港口波浪測站代表的歷年冬季波高波向玫瑰圖 3-13
圖 3.5 馬祖各港口波浪測站代表的歷年夏季週期波向玫瑰圖 3-14
圖 3.6 馬祖各港口波浪測站代表的歷年冬季週期波向玫瑰圖 3-15
圖 3.7 馬祖各港口海流測站代表的歷年夏季流速流向玫瑰圖 3-21
圖 3.8 馬祖各港口海流測站代表的歷年冬季流速流向玫瑰圖 3-22
圖 4.1 馬祖南竿水動力模式範圍、網格及數值水深示意圖 4-2
圖 4.2 馬祖南竿福澳港局部區域範圍、網格及數值水深示意圖 4-2
圖 4.3 中央氣象署數值天氣預報系統 WRF 模組 M05 數值模擬範圍(WD01 及 WD02)及 TaiCOMS 各層風、壓場資料輸出範圍 4-4
圖 4.4 臺灣海域風壓場(WE02)風場輸出範圍 4-4
圖 4.5 南竿福澳港區潮位、海流驗證觀測站位置示意圖 4-6
圖 4.6 2019 年利奇馬颱風路徑 4-6
圖 4.7 夏季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬驗證 4-8
圖 4.8 夏季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬驗證 4-8
圖 4.9 夏季季風期間模擬流場(漲潮)..... 4-9
圖 4.10 夏季季風期間模擬流場(退潮)..... 4-10
圖 4.11 冬季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬驗證 4-11
圖 4.12 冬季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬驗證 4-12
圖 4.13 冬季季風期間模擬流場(漲潮)..... 4-13

圖 4.14 冬季季風期間模擬流場(退潮)..... 4-13
圖 4.15 利奇馬颱風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬驗證 4-15
圖 4.16 利奇馬颱風期間南竿福澳港海流觀測站模擬驗證 4-15
圖 4.17 利奇馬颱風期間模擬流場(漲潮)..... 4-16
圖 4.18 利奇馬颱風期間模擬流場(退潮)..... 4-17

表 目 錄

表 1-1 馬祖四鄉五島風力及波浪觀測儀器位置 1-5
表 1-2 觀測儀器相關資料 1-6
表 1-3 QARTOD Manual 品管檢測程序 1-8
表 1-4 QARTOD Manual 品管檢測標記描述 1-8
表 2-1 儀器極限值範圍 2-25
表 2-2 離群值設定 2-25
表 3-1 A5 及 A9-1 各月份及整年各季蒐集率 70%以上統計表..... 3-1
表 3-2 2017 至 2023 夏、冬季各風力代表測站相關性比較 3-4
表 3-3 2016 至 2023 夏、冬季各波浪代表測站示性波高相關性比較 3-9
表 3-4 2016 至 2023 夏、冬季各波浪代表測站尖峰週期相關性比較..... 3-10
表 3-5 2016 至 2023 夏、冬季各海流代表測站流速、流速分量相關性比較..... 3-18
表 4-1 模式地形水深資料 4-1
表 4-2 中央氣象署 WRF 成員 M05 水平兩層巢狀網格資訊..... 4-3
表 4-3 TaiCOMS 海象模擬作業化系統之風壓場資料格式..... 4-4
表 4-4 模式參數設定 4-5
表 4-5 南竿福澳港區潮位、海流驗證觀測站位置 4-5
表 4-6 夏季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬誤差分析 4-8
表 4-7 夏季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬誤差分析 4-9
表 4-8 冬季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬誤差分析 4-12
表 4-9 冬季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬誤差分析 4-12
表 4-10 利奇馬颱風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬誤差分析 4-16
表 4-11 利奇馬颱風期間南竿福澳港海流觀測站模擬誤差分析 4-16

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與目的

馬祖地區位於臺灣海峽西北方，主要包括南竿島、北竿島、西莒島、東莒島與東引島，島嶼眾多而分散，氣候屬亞熱帶海洋性氣候，深受季風、洋流及地理位置影響，四季分明，冬冷潮濕，春夏多霧，秋天則是一般穩定天候。

南竿島屬於丘陵地形，起伏甚大，地勢陡峻，擁有列島次高峰雲台山，聳立中央，標高 246.4 公尺，另有復興嶺，位於島東，標高 171 公尺，福澳港為其所屬港口，並且為馬祖港 5 碼頭區中最具規模者，港內現有營運碼頭 5 座，分別供小貨船、臺馬貨輪、離島交通船及小三通客輪使用；北竿島地形狹長，呈彎月形狀，擁有列島最高峰壁山及第 3 高峰芹山，壁山聳立中央，標高 291.7 公尺，芹山與壁山並列，標高 234.7 公尺，白沙港為其所屬港口，主要供交通船、小貨船及漁船等靠泊；西莒島為倒三角形島嶼，西側主峰西路山為最高峰，標高 203 公尺，整體地勢較高，並與標高 182 公尺武士嶺，和標高 108 公尺的田澳山，3 峰相連，青帆港為其所屬港口，屬澳口地形，特別一提的是，該港東側有棋盤山為其屏障，標高 64 公尺，冬季北風難以進入灣內；東莒島地形南北狹長，屬菱形狀之島嶼，整體地勢較低，自西南向東北逐漸降低，西南側東犬山為最高峰，海拔 120 公尺，猛澳港為其所屬港口，主要供交通船、貨輪使用；東引島為東、西引 2 島統稱，屬丘陵地形，整體山勢皆為 200m 以下，最高點為恩愛山，海拔 174.2 公尺，次高為二重山，海拔 168.3 公尺，第三高為世尾山，海拔 151.2 公尺，2 島地勢坡度相當陡峭，僅東引島西部地勢較緩，中柱港為其所屬港口，主要規劃供貨輪、娛樂船及漁船使用。

連江縣政府委託交通部運輸研究所運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)辦理「臺灣國內商港未來發展及建設計畫(101-105)、(106-110)及(111-115)-馬祖港埠建設計畫」之「港埠經營管理資訊系統建置計畫」。該計畫所建置之海氣象觀測系統，包含風力、波浪、潮位及海流觀測資訊，本計畫接續林(2022)南竿福澳港風力特性分析研究及林

(2023)馬祖北竿、莒光及東引港口海氣象特性分析，延伸使用南竿福澳港 2 處風力觀測站及 4 處波浪觀測站、北竿白沙港 2 處風力觀測站及 1 處波浪觀測站、西莒青帆港 1 處風力觀測站、東莒猛澳港 2 處風力觀測站及 1 處波浪觀測站、東引中柱港 2 處風力觀測站及 2 處波浪觀測站、交通部中央氣象署(以下簡稱中央氣象署)1 處風力觀測站(南竿)及 1 處資料浮標觀測站(東引外海，以下簡稱東引浮標)做比較，統計各站歷年蒐集率狀況，透過品管方式優化資料，選定可供比較之時間及資料，再藉由各因子相關性分析，呈現出各港區測站於夏、冬季在不同地形環境下的風速、風速風向 U、V 分量、示性波高、尖峰週期、流速、流速流向 UV 分量之間的關聯性及波動程度，另外，再藉由玫瑰圖呈現及分析歷年夏、冬季及全年各港區測站資料之特性，以此描繪及對比出不同港區測站之風力、波浪及海流特徵，初步以測站現況佈設位置推測各港口測站海氣象特性差異之可能原因。此外，為更全面瞭解各港口海流流況，初步使用 MIKE 21 建置南竿福澳港水動力數值模型，模擬時段包含夏、冬季及颱風期間，並與實測資料做驗證，利用評估指標比較模擬成果，最後提供模擬時段之漲、退潮流況，本計畫成果可增進未來模擬預測精度及提供馬祖海情資訊系統應用。

1.2 研究範圍

本計畫針對佈設於馬祖南竿、北竿、東西莒及東引海氣象觀測儀器之風力、波浪及海流觀測資料，進行蒐集、品管、相關性比較及特性分析(觀測儀器位置如圖 1.1 至圖 1.5 及表 1-1、儀器相關資料如表 1-2 所示)，藉由長期性監測資料的統計分析，可以一窺馬祖地區海氣象特性。

圖 1.1 南竿風力及波流觀測儀器位置圖

圖 1.2 北竿風力及波流觀測儀器位置圖

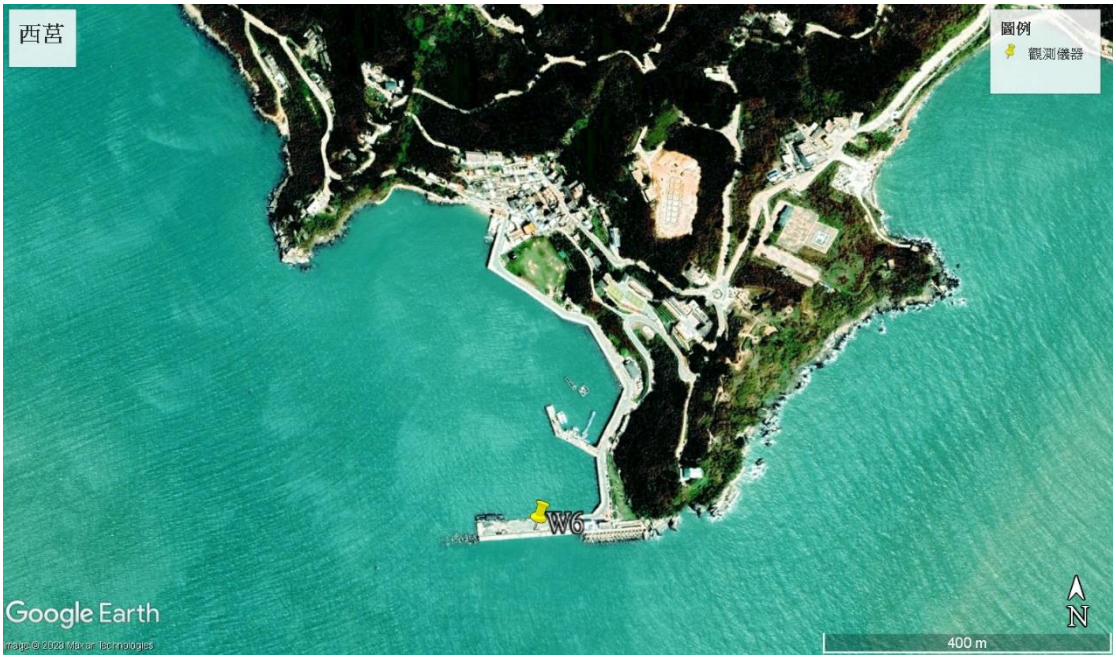


圖 1.3 西莒風力觀測儀器位置圖

圖 1.4 東莒風力及波流觀測儀器位置圖

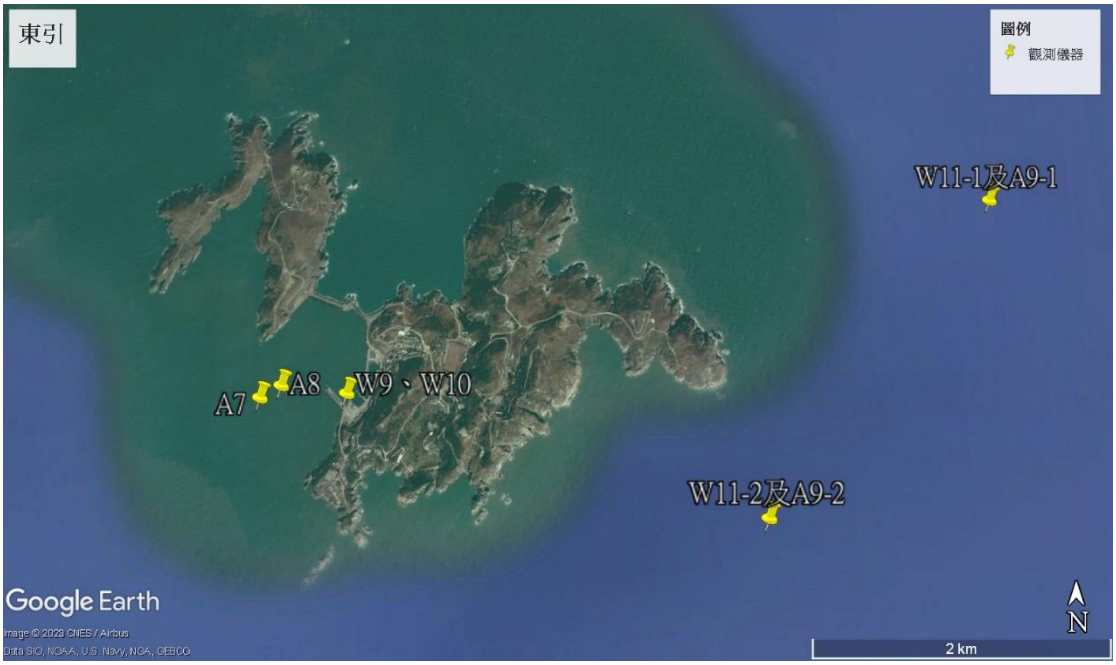


圖 1.5 東引風力及波流觀測儀器位置圖

表 1-1 馬祖四鄉五島風力及波浪觀測儀器位置

測站序號	位置	量測儀器(廠牌)	緯度	經度
W1	南竿鄉福澳港(福澳漁港加油站建築物上方)	風速計(Gill Wind Sonic)	26°9'36"N	119°56'37"E
W2	南竿鄉福澳港(S2 碼頭邊小白屋上方)	風速計、能見度(Gill MetPak-多參數)	26°9'42"N	119°56'33"E
W3	南竿鄉夫人嶺	風速計(Young Brand)	26°10'10"N	119°55'23"E
W4、W5	北竿鄉白沙港(北堤起點處之小屋屋頂)	風速計(Gill Wind Sonic、Gill MetPak-多參數)	26°12'25"N	119°58'3"E
W6	莒光鄉西莒青帆港(南堤附近)	風速計(Gill Wind Sonic)	25°58'3.55"N	119°55'56.51"E
W7、W8	莒光鄉東莒猛澳港(直升機場停機坪附近)	風速計(Gill Wind Sonic、Gill MetPak-多參數)	25°57'30"N	119°58'5"E
W9、W10	東引鄉中柱港(碼頭棧橋邊小屋屋頂)	風速計(Gill Wind Sonic、Gill MetPak-多參數)	26°21'49"N	120°29'2.22"E
W11-1	東引鄉外海	資料浮標站	26°22'36"N	120°31'53"E
W11-2	東引鄉外海	資料浮標站	26°21'21"N"	120°30'49"E
A1	南竿鄉福澳港(舊港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°09'52"N	119°56'21"E
A2	南竿鄉福澳港(新港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°10'07"N	119°56'20"E
A3	南竿鄉福澳港 S2 碼頭/S2 碼頭西北西側約 660 公尺	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°09'55"N	119°56'8"E
A4	南竿鄉福澳港 S2 碼頭/S2 碼頭西北西側約 690 公尺	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°09'53"N	119°56'6"E

A5	北竿鄉白沙港(港內)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°12'18"N	119°58'1"E
A6	莒光鄉東莒猛澳港(港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	25°57'37"N	119°57'31"E
A7	東引鄉中柱港(港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°21'48"N	120°28'40"E
A8	東引鄉中柱港(港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°21'50"N	120°28'45"E
A9-1	東引鄉外海	資料浮標站	26°22'36"N	120°31'53"E
A9-2	東引鄉外海	資料浮標站	26°21'21"N"	120°30'49"E

表 1-2 觀測儀器相關資料

測站序號	觀測期間	使用資料期間	蒐集率70%以上之年份	夏季任1月份蒐集率70%以上之年份	冬季任1月份蒐集率70%以上之年份	觀測單位
W1	2012/10-2024(觀測中)	2017-2023	2021	2018-2019、2021-2023	2021、2023	運技中心
W2	2019/06-2024(觀測中)	2019-2023	2020-2023	2019-2023	2020-2023	運技中心
W3	2004/01-2024(觀測中)	2015-2023	2015-2023	2015-2023	2015-2023	運技中心
W4	2016/01-2021/04(已回收)	2016-2021	2017	2017-2019	2017-2018	運技中心
W5	2019/06-2024(觀測中)	2019-2023	2022	2022-2023	2023	運技中心
W6	2016/09-2020/10(已回收)	2017-2020	2019	2018-2020	2017、2019-2020	運技中心
W7	2016/01-2020/03(已回收)	2017-2020	2019	2018-2019	2017、2019-2020	運技中心
W8	2019/06-2024(觀測中)	2019-2023	2022-2023	2022-2023	2022-2023	運技中心
W9	2016/01-2019/10(已回收)	2017-2019	2019	2018-2019	2017、2019	運技中心
W10	2019/06-2024(觀測中)	2020-2023	2020-2021	2020-2023	2020-2021	運技中心
W11-1	2010/07-2017(已遺失)					中央氣象署
W11-2	2018/04-2024(觀測中)	2018-2023	2019-2023	2019-2023	2019-2023	中央氣象署
A1	2014/10-2020/9(已回收)	2017-2020	2017-2018	2017-2020	2017-2018、2020	運技中心
A2	2019/08-2021/12(已回收)	2020-2021	2020	2020	2020-2021	運技中心
A3	2023/01~2024(觀測中)	2023			2023	運技中心
A4	2023/01~2024(觀測中)	2023			2023	運技中心
A5	2015/09-2019/04	2016-2019	2016-2017	2016-2017	2016-2017	運技中心

	(已回收)					
A6	2015/09-2021 (已回收)	2016-2021		2016、2021	2016-2018、2020	運技中心
A7	2016/06-2020/03 (已回收)	2017-2019	2018-2019	2017-2019	2017-2019	運技中心
A8	2019/10-2024 (觀測中)	2020-2023	2022-2023	2021-2023	2020、2022-2023	運技中心
A9-1	2010/07-2017 (已遺失)					中央氣象署
A9-2	2018/04-2024 (觀測中)	2018-2023	2019-2023	2018-2023	2019-2023	中央氣象署

1.3 研究方法

1.3.1 資料品管方式

在資料品管上參考美國海洋綜合觀測系統(Integrated Ocean Observing System, IOOS)之海洋即時資料品保手冊(Manual of Quality Assurance of Real-Time Ocean Data, QARTOD Manual)，依儀器種類與測站形式分類，提供標準化資料品質控管檢測程序(如表 1-3)，並將品管檢驗分為 11 個細項，原始觀測數據經資料品管檢驗後，依據檢測結果給予資料品質狀態標記，如「1」為通過、「2」為未檢測、「3」為可疑的資料、「4」為未通過、「9」為遺失資料，如表 1-4 所示。

本計畫採用 QARTOD Manual 之檢測項目如下：

(1)Test 1 - Timing/Gap Test(資料時序檢驗)：依使用者設定之觀測儀器取樣頻率，逐筆檢驗資料點時間戳記，以及資料點之間時距是否符合取樣頻率，若該頻率沒有資料，則視為資料遺失，標記為 9，否則標記為 1。

(2)Test 4 - Gross Range Test(極限值檢驗)：介於儀器極限值範圍，標記為；超過儀器極限值範圍，標記為 4。

(3)Test 6 -Spike Test(尖峰值檢驗)：當筆資料減前後 2 筆資料之計算值(等於前後 2 筆資料先相加再除以 2)取絕對值後與離群值上下限值比較，大於上限值，標記為 4，介於中間，標記為 3，小於或等於下限值，標記為 1，因資料缺失導致無法比較，則標記為 2。

(4)Test 8 -Flat Line Test(觀測值無變動檢驗)：連續 3 筆資料相同，第 3 筆開始標記為 3，連續 5 筆資料相同，第 5 筆標記為 4，除資料遺

失，其餘標記為 1。

表 1-3 QARTOD Manual 品管檢測程序

必要性分群	測試項目	說明
Group 1 Required	Test 1 Timing/Gap Test(資料時序檢驗)	檢驗資料點連續性與時間間隔正確性
	Test 2 Syntax Test(資料格式檢驗)	檢驗資料傳輸格式與編碼正確與否
	Test 3 Location Test(座標資料檢驗)	檢驗浮標測站之 GPS 座標資料
	Test 4 Gross Range Test(極限值檢驗)	檢驗資料是否超過儀器或是物理現象的極限值
	Test 5 Climatology Test (季節性極限值檢驗)	檢驗資料是否超過逐月變化合理範圍，或是季節性變動的極限值
Group 2 Strongly Recommended	Test 6 Spike Test(尖峰值檢驗)	檢驗資料是否為短時距之離群值
	Test 7 Rate of Change Test(資料變化率檢驗)	檢驗資料的短時距變化率是否超過觀測值標準差變化率
	Test 8 Flat Line Test(觀測值無變動檢驗)	檢驗資料是否長時間僅有微小變動，或是毫無變化
Group 3 Suggested	Test 9 Multi-Variate Test(複合變數檢驗)	使用其他類型並具有相關性之觀測值，檢驗資料的特性
	Test 10 Attenuated Signal Test(訊號衰減檢驗)	檢驗資料於一定時間區間內是有適當的變化量
	Test 11 Neighbor Test(鄰站比對檢驗)	檢驗資料與鄰近測站觀測結果的相似性

表 1-4 QARTOD Manual 品管檢測標記描述

Flag	Description
Pass=1	Data have passed critical real-time quality control tests and are deemed adequate for use as preliminary data.
Not Evaluated=2	Data have not been QC-tested, or the information on quality is not available.
Suspect or Of High Interest=3	Data are considered to be either suspect or of high interest to data providers and users. They are flagged suspect to draw further attention to them by operators.
Fail=4	Data are considered to have failed one or more critical real-time QC checks. If they are disseminated at all, it should be readily apparent that they are not of acceptable quality.
Missing Data=9	Data are missing; used as a placeholder.

1.3.2 相關性分析

相關性分析是一種重要的統計工具，用來衡量變數之間的線性關係程度，這種分析方式有助於理解變數是否具有同步變動的趨勢、方向與強度，以下為常見的相關性分析種類、分析方式及可能遇到的狀

況：

一、相關性分析的種類

(1)皮爾森相關係數 (Pearson Correlation Coefficient)：適用於連續型變數，假設數據為正態分佈。皮爾森相關係數介於-1 到 1 之間，其中 1 表示完全正相關，-1 表示完全負相關，0 表示無線性相關。這是最常用的相關性分析方法之一，本計畫採用此種方法。

(2)斯皮爾曼等級相關係數 (Spearman's Rank Correlation Coefficient)：適用於順序或非正態分佈的數據，特別適合資料具有異常值或極端值的情境。此分析根據數據的等級而非數值，來評估變數之間的單調關係。

(3)肯德爾相關係數 (Kendall's Tau)：同樣適合順序變數及資料量較小的情境。肯德爾相關係數更關注觀測值之間的相對次序，尤其在資料中存在異常值時，可提供較為穩健的相關性測度。

二、分析方式

(1)散佈圖 (Scatter Plot)：首先使用散佈圖來觀察變數之間是否存在線性關係。通過視覺化數據分佈，可以直觀瞭解變數之間的潛在相關性方向（正向或負向）及關係強度。

(2)計算相關係數：根據數據特性選擇合適的相關係數類型進行計算，並通過其值來評估變數之間的關聯強度。一般情況下，絕對值大於 0.7 表示強相關，0.3 至 0.7 表示中度相關，小於 0.3 則表示弱相關，本計畫將使用相關係數表來呈現結果，屬於對稱表格，對角線為每個變項與自己的相關，因此，相關係數皆為 1，表格以對角線區分為上下兩個三角形區域，結果皆是一樣的，因此，習慣上會檢視下三角形的部分。

(3)顯著性檢定 (Significance Testing)：對計算所得的相關係數進行顯著性檢定，以判斷是否在統計意義上顯著相關。常用的顯著性檢定包括 p 值檢定，若 p 值小於顯著水準（如 0.05），則認為兩變數之間的相關性具有統計顯著性。

三、可能遇到的狀況

(1)異常值的影響：異常值可能導致相關係數被過度影響，特別是在使

用皮爾森相關時。此時可考慮使用斯皮爾曼或肯德爾相關，以降低異常值的干擾，本計畫使用資料品管的方式避免異常值的影響。

(2)非線性關係：若變數間的關係不是線性的，則線性相關係數可能無法準確反映其實際關聯。可以考慮將變數轉換或改用其他相關性測量方式（如斯皮爾曼相關）來應對這種情況。

1.3.3 玫瑰圖的應用與數據呈現

玫瑰圖（Rose Diagram）是專門用來展示方向性數據的圖表形式，廣泛應用於風向、波浪方向等數據的可視化。玫瑰圖能夠將複雜的方向性數據以扇形區域形式展現，通過每一方向上的頻率及強度差異，使觀察者能直觀了解方向性分佈特徵，在圖表製作上，可根據數據的分佈特性，將圓周按方向劃分為等角度的扇區，例如每 10 度或每 15 度為一區。各扇區的半徑或顏色表示該方向的風速或波高頻率分佈情況。為提高解釋力，每張玫瑰圖可按季節或月份分組，以便觀察年度內的趨勢變化。

藉由將不同觀測站的玫瑰圖並排排列，可視覺化呈現鄰近港區差異之處，由於受不同地形、局部氣候、洋流流動特徵等的影響，不同地區的方向性數據會呈現不同的特徵。通過對比每個區域的玫瑰圖，可以揭示每個地區的主要方向性趨勢和頻率差異，以辨識出不同環境對風向、波浪方向及海流流向的影響。

1.3.4 水動力數值模式理論介紹

本計畫使用之水動力模式採用丹麥水利研究所 (Danish Hydraulic Institute, DHI) 發展之 MIKE 21 HD FM（MIKE21 Hydrodynamic Module, Flow Model），是一款以有限體積法為基礎的二維流體動力學模型，可同時考慮底床摩擦、科氏力、風、大氣壓力、潮汐水位變化、輻射應力等因素，藉以模擬潮位變化與流場流況。此模型適用於海洋、河流、湖泊等多種水文環境的水動力模擬，並被廣泛應用於水質、沉積物運動、生態等領域。MIKE 21 FM 的核心在於其靈活網格（Flexible Mesh）技術，使得模型在處理複雜地形和不規

則邊界時具有高度的適應性，從而提升模擬精度與運算效率。

模式的控制方程式基於 Boussinesq 假設之不可壓縮流之 Reynolds averaged Navier-Stoke 方程式，包含了質量守恆方程式(式 1.1)和動量守恆方程式(式 1.2、1.3)。以下對其主要方程組進行詳細描述：

1.質量守恆方程（Continuity Equation）

$$\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}+\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial \mathrm{z}}=\mathrm{S} \tag{1.1}$$

2.動量守恆方程式(Momentum Equations)

$$\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{t}}+u\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{x}}+v\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{y}}+w\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{z}}=fv-g\frac{\partial \eta}{\partial \mathrm{x}}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial \mathrm{x}}-\frac{\mathrm{g}}{\rho_0}\int_{\mathrm{z}}^{\eta}\frac{\partial \rho}{\partial \mathrm{x}}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial \mathrm{y}}\right)+F_u+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}\left(v_t\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{z}}\right)+v_s S \tag{1.2}$$

$$\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{t}}+u\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{x}}+v\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}+w\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{z}}=-fu-g\frac{\partial \eta}{\partial \mathrm{y}}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial \mathrm{y}}-\frac{\mathrm{g}}{\rho_0}\int_{\mathrm{z}}^{\eta}\frac{\partial \rho}{\partial \mathrm{y}}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial \mathrm{y}}\right)+F_v+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}\left(v_t\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{z}}\right)+v_s S \tag{1.3}$$

參數說明：

t 代表時間，x、y、z 表示空間座標，η 為自由液面高度，代表水面的變化，d 表示靜水深，即未受擾動時水體的深度，h 為總水深，表示從水底到水面的垂直距離，u、v、w 分別為水流在 x、y和z方向上的速度分量，g 是重力加速度，f 為科氏力參數，用於描述地球自轉對流體的影響，ρ_0表示海水的密度，p_a是大氣壓力，ρ表示密度，可能會隨深度和溫度的變化而有所不同，∂s_{xx}、∂s_{xy}、∂s_{yx}、∂s_{yy}是應力張量的分量，用來描述水體中因流動而產生的應力，F_u、F_v表示外力，作用在u和v方向上的外部推力，v_t是渦流黏性系數，用於描述流體的渦動黏性行為，v_t表示渦流擴散系數，對應於流體中擴散效應的強度，S 代表點源的排出量，用於模擬如河流入海或其他外來水流的影響，將上列各式沿水深方向(z 方向)積分，可得到二維淺水長波方程組(式 1.4、1.5、1.6)：

$$\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial \mathrm{t}}+\frac{\partial(\mathrm{h}\bar{u})}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial(\mathrm{h}\bar{v})}{\partial \mathrm{y}}=\mathrm{hS} \tag{1.4}$$

其中 h 表示總水深，$\bar{u}$和$\bar{v}$為 x 和 y 方向上的深度平均速度，S 表示點源的排出量。

$$\frac{\partial(h\bar{u})}{\partial t}+\frac{\partial(h\bar{u}^2)}{\partial x}+\frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial y}=f\bar{v}h-gh\frac{\partial\eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}+\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{S_{xx}}{\partial x}+\frac{Sxy}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{xy}\right)+hu_sS \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial(h\bar{v})}{\partial t}+\frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial x}+\frac{\partial(h\bar{v}^2)}{\partial y}=f\bar{u}h-gh\frac{\partial\eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}+\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y}+\frac{\tau_{sy}}{\rho_0}-\frac{\tau_{by}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{S_{yx}}{\partial x}+\frac{Syy}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(hT_{xy}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{yy}\right)+hv_sS \quad (1.6)$$

其中τ_{sx}、τ_{sy}為表面風應力，τ_{bx}、τ_{by}為底部應力，$\bar{u}$、$\bar{v}$為水深平均速度，上述公式描述了淺水區域的流體動力行為，並考慮了表面風應力、底部摩擦力、重力、氣壓梯度力、科氏力以及湍流效應等影響因素。另外，模式之底床摩擦力參數可以使用 Chezy Number 或 Manning Number 設定，本計畫採用 Manning Number 如下(式 1.7，k_s為底床粗糙高度)。

$$\mathrm{M}=\frac{25.4}{k_s^{\frac{1}{3}}}m^{\frac{1}{3}}/\mathrm{s} \quad (1.7)$$

1.4 研究內容與工作項目

本計畫內容及主要工作項目如下：

一、文獻蒐集。

蒐集馬祖四鄉五島港口風力、波浪及海流觀測資料、港區地形資料、海氣象資料品管研究、水動力數值模式研究等資料。

二、馬祖風力、波浪及海流觀測資料蒐集率統計及品管。

評估可供使用及比較的觀測資料量，並進行品管，相關品管數值設定之經驗，可供馬祖海情資訊系統應用。

三、馬祖風力、波浪及海流觀測資料相關性分析。

選定並定義適合的測站做比較，探討高度相關性的測站及特殊測站，並研究測站間數據的波動影響，以及季節影響是否顯著。

四、馬祖風力、波浪及海流觀測資料特性分析。

使用蒐集率良好及經過品管的夏、冬季及歷年觀測資料，進行玫瑰圖分析，並通過與鄰近地區的玫瑰圖對比，展示不同區域的風速風向、示性波高、尖峰週期、波向及流速流向等因子，在地理上相近卻因環境差異，而具有的獨特分佈特徵。

五、建置及驗證南竿福澳港水動力數值模式。

使用 MIKE 21 建置南竿福澳港水動力模式，模擬並使用運技中心及中央氣象署潮位及海流觀測資料進行驗證比對，最終生成夏、冬季及颱風期間流場漲、退潮模擬圖，以供應用參考。

第二章 觀測資料蒐集率及品管機制

在海氣象研究中，因其研究的長期性特質，充足且高品質的樣本數對統計結果的代表性至關重要。在描述特定地區的海氣象統計特性時，需進一步區分短期性和長期性統計特性。短期性統計特性指基於 1 年或以下的觀測資料進行之分析，適用於較短時間尺度內的海氣象變異性描述；而長期性統計特性則依賴超過 1 年之觀測資料，以捕捉長期變化趨勢，提供對區域海氣象的全面瞭解。

在此過程中，觀測資料的完整性和品管程序尤為重要。缺失或不連續性資料可能會影響統計結果的可靠性，而資料質量的不足亦會導致偏差。因此，建立適當及嚴謹的資料品管流程，以確保資料的準確性和一致性，不僅是確保觀測資料可靠性的核心，更是海氣象研究中不可或缺的基礎步驟。完整的資料蒐集與品管程序的執行，對海氣象長期統計研究而言至關重要。

2.1 各港區測站蒐集率

自 1986 年起，臺灣即開始積極發展近海海域的觀測技術，持續收集鄰近海域與港口的海氣象觀測資料。目前，由中央氣象署、運技中心、成功大學近海水文研究中心、內政部、經濟部水利署及地質調查及礦業管理中心等政府機關與機構，攜手推動並研發長期海象預報的內容，涵蓋風力、波浪、潮汐、海流等多項海象觀測特性，並同步建立資料庫及編製年度資料報告，以進行系統化分析。

本計畫著重於針對馬祖四鄉五島各港口海氣象觀測站(風力、波浪及海流)，進行長期觀測資料的蒐集與彙整，並進行初步的分析探討。觀測資料的統計範圍從每年 12 月開始，持續至次年 11 月，涵蓋全年 12 個月份的現場觀測數據。為分析不同季節海氣象特性，將資料按季節劃分，12 月至 2 月為冬季，3 月至 5 月為春季，6 月至 8 月為夏季，9 月至 11 月為秋季，本計畫著重在夏、冬季及歷年的資料，以便深入瞭解各港口在不同季風條件下及長期海氣象變化情況。

2.1.1 風力觀測資料蒐集

馬祖風力觀測資料來源為運技中心及中央氣象署，運技中心設置的風力測站為南竿福澳港區 2 站、北竿白沙港區 2 站、西莒青帆港 1 站、東莒猛澳港 2 站、東引中柱港 2 站，測站序號分別為 W1、W2、W4、W5、W6、W7、W8、W9 及 W10，中央氣象署設置的風力測站則為南竿夫人嶺 1 站、東引浮標 1 站，測站序號為 W3 及 W11(W11-1 及 W11-2)，為瞭解上述風力測站各月份、年度及 4 季觀測資料的蒐集率，整理如圖 2.1 至圖 2.12 所示。

有關馬祖四鄉五島各港口風力測站觀測資料蒐集率分別說明如下：W1 歷年全期蒐集率 46.1%，2021 年蒐集率有 70%以上，其餘 6 年皆低於 70%；W2 歷年全期蒐集率 79.9%，2020、2021、2022 及 2023 年蒐集率有 70%以上，其餘 1 年低於 70%；W3 歷年全期蒐集率 97.2%，除 2016 年蒐集率 74.9%，其餘 8 年蒐集率皆為 100%；W4 歷年全期蒐集率 46.4%，2017 年蒐集率有 70%以上，其餘 4 年皆低於 70%；W5 歷年全期蒐集率 39.5%，2022 年蒐集率有 70%以上，其餘 4 年皆低於 70%；W6 歷年全期蒐集率 56.1%，2019 年蒐集率有 70%以上，其餘 3 年皆低於 70%；W7 歷年全期蒐集率 53.1%，2019 年蒐集率有 70%以上，其餘 3 年皆低於 70%；W8 歷年全期蒐集率 44.7%，2022 及 2023 年蒐集率有 70%以上，其餘 3 年皆低於 70%；W9 歷年全期蒐集率 62.3%，2019 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年皆低於 70%；W10 歷年全期蒐集率 73.3%，2020 及 2021 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年皆低於 70%；W11-2 歷年全期蒐集率 73.8%，2019、2020、2021、2022 及 2023 年蒐集率有 70%以上，其餘 1 年皆低於 70%。

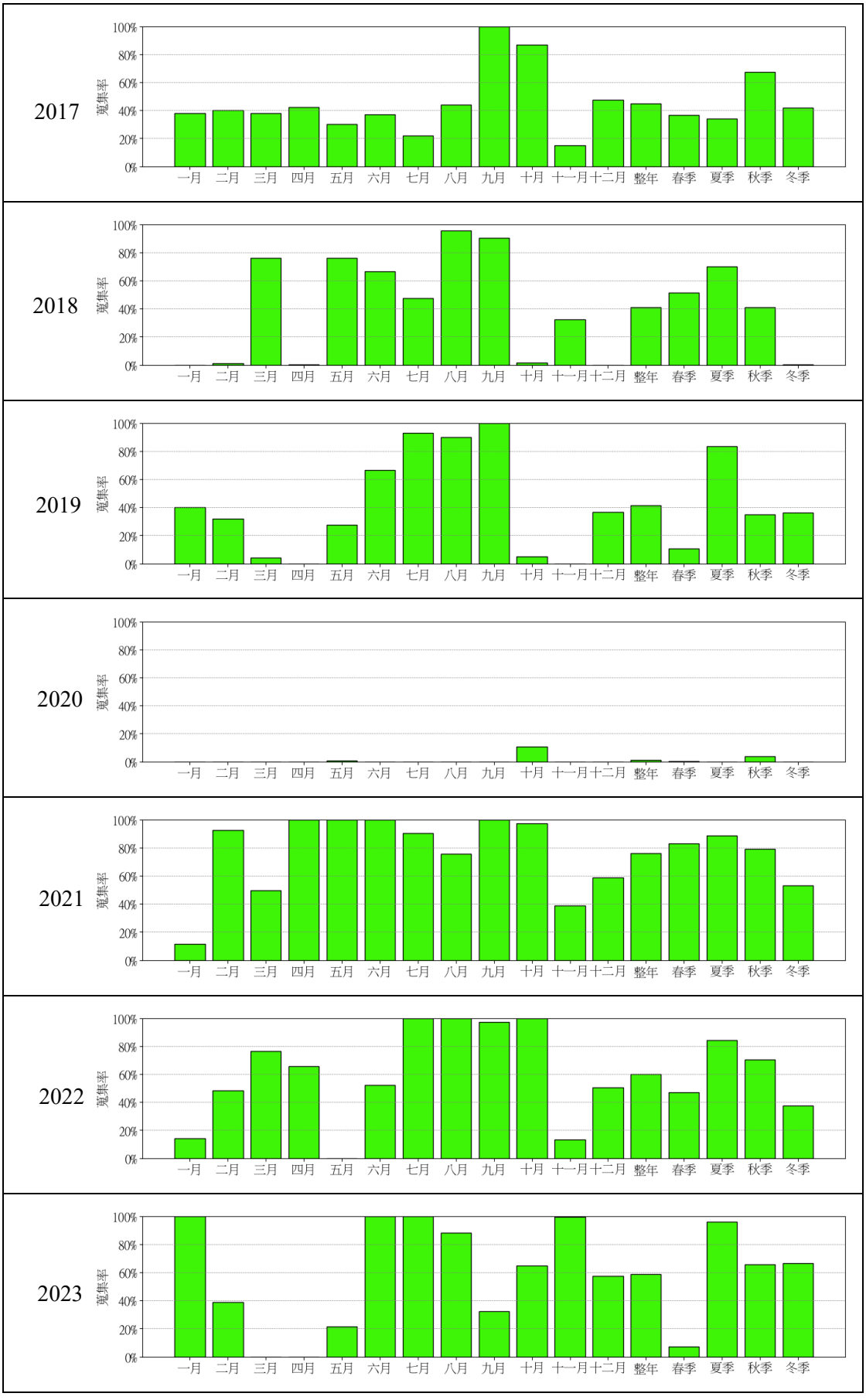


圖 2.1 W1(2017-2023)風力測站蒐集率統計圖

圖 2.2 W2(2019-2023)風力測站蒐集率統計圖

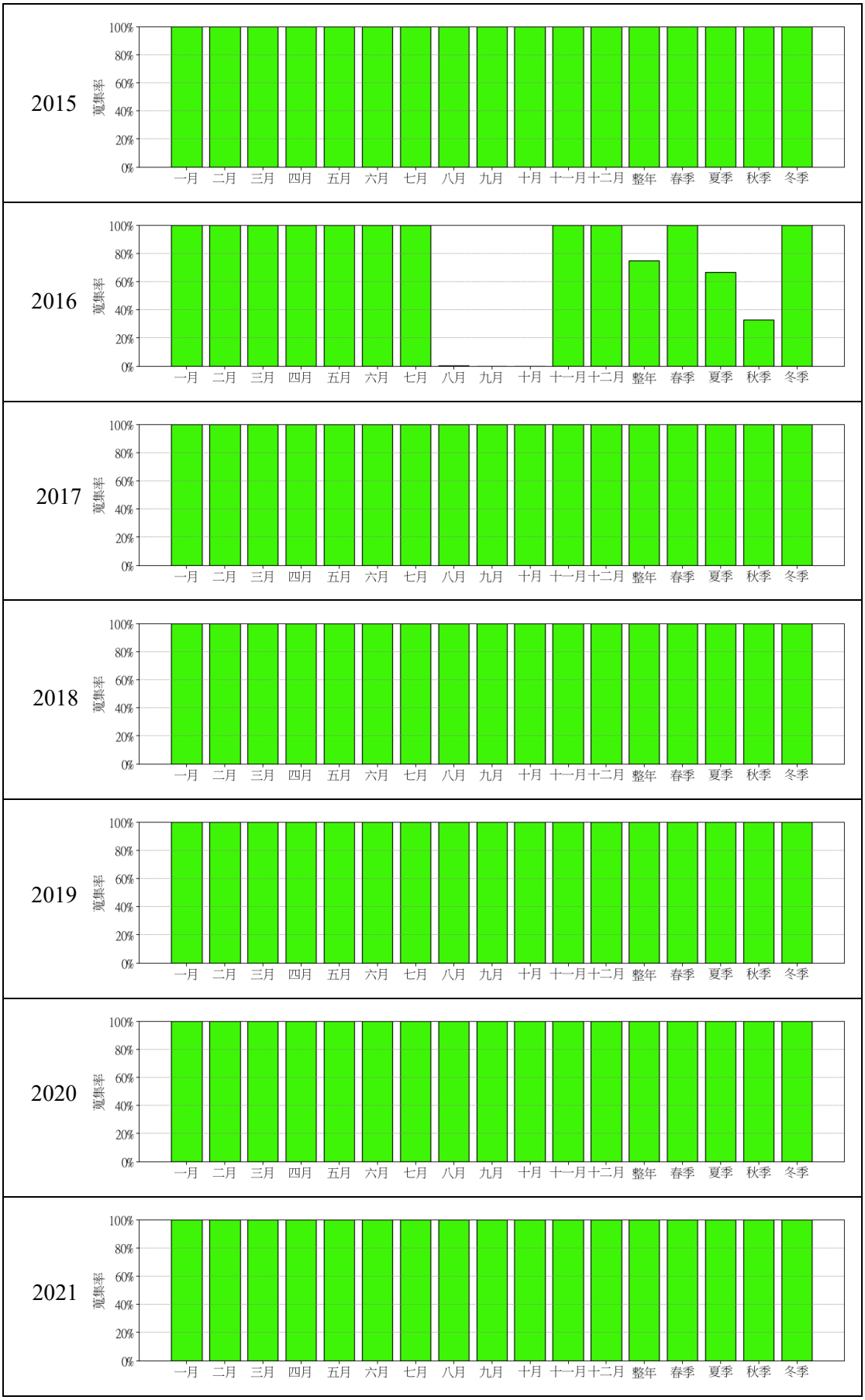


圖 2.3 W3(2015-2023)風力測站蒐集率統計圖

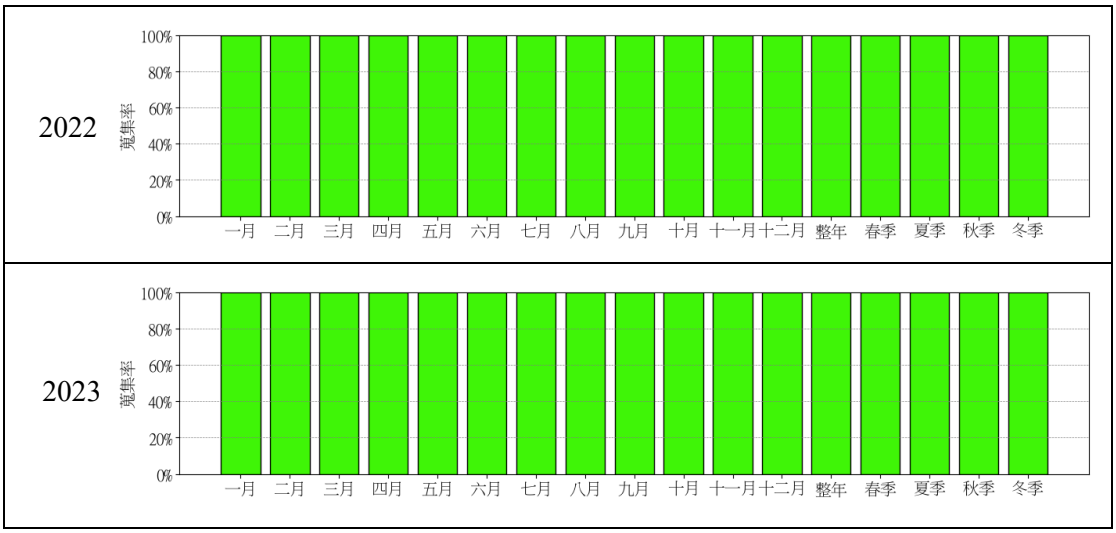


圖 2.3 W3(2015-2023)風力測站蒐集率統計圖(續)

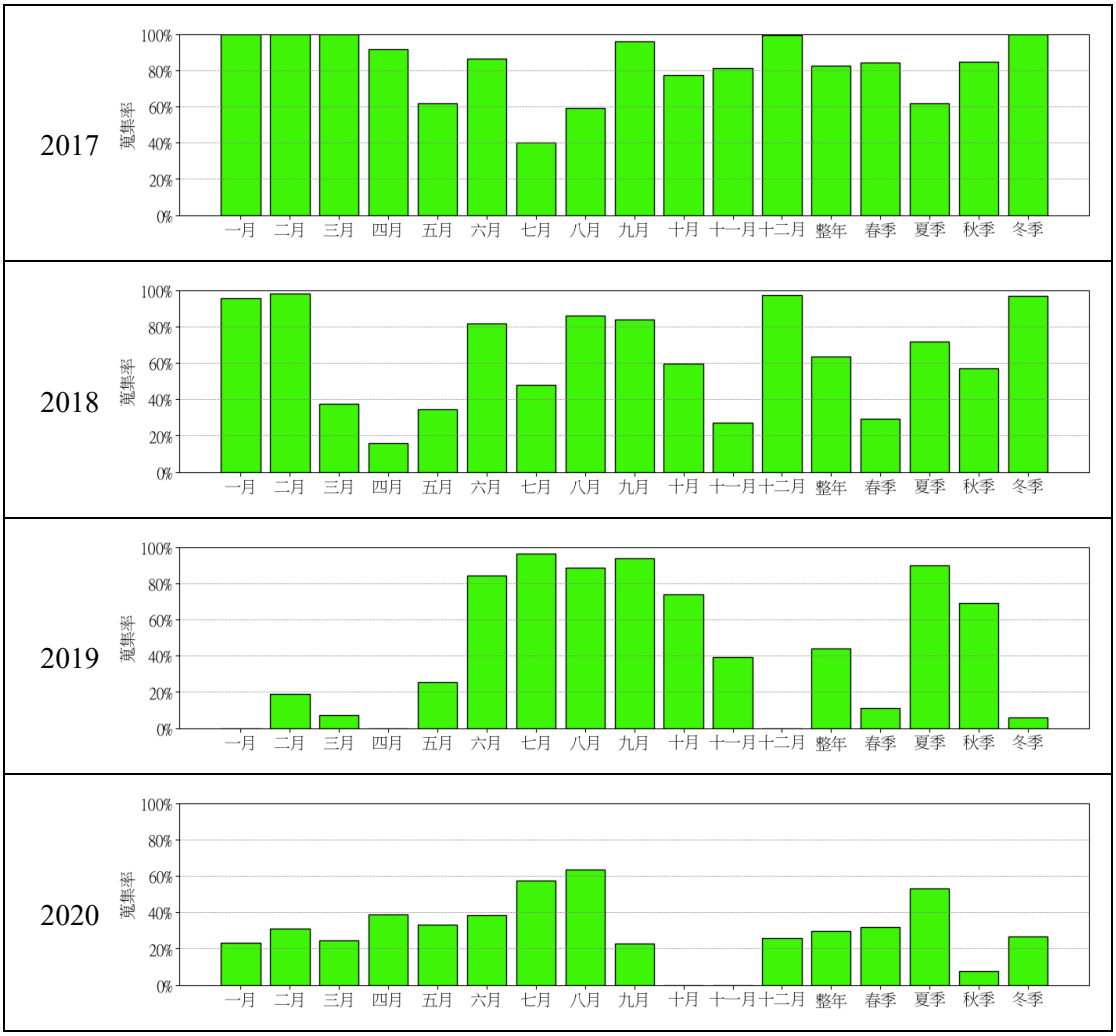


圖 2.4 W4(2017-2021)風力測站蒐集率統計圖

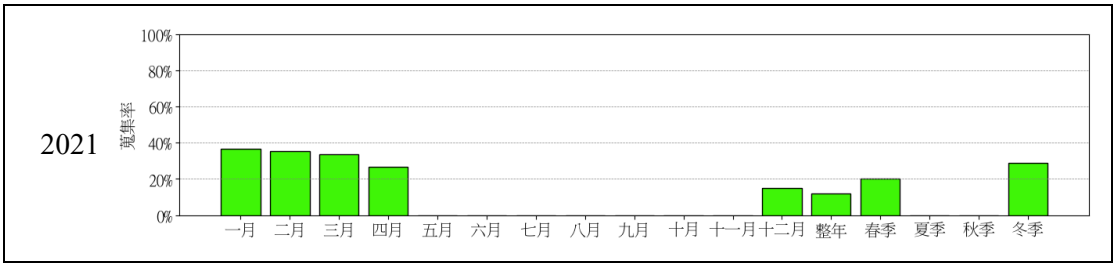


圖 2.4 W4(2017-2021)風力測站蒐集率統計圖(續)

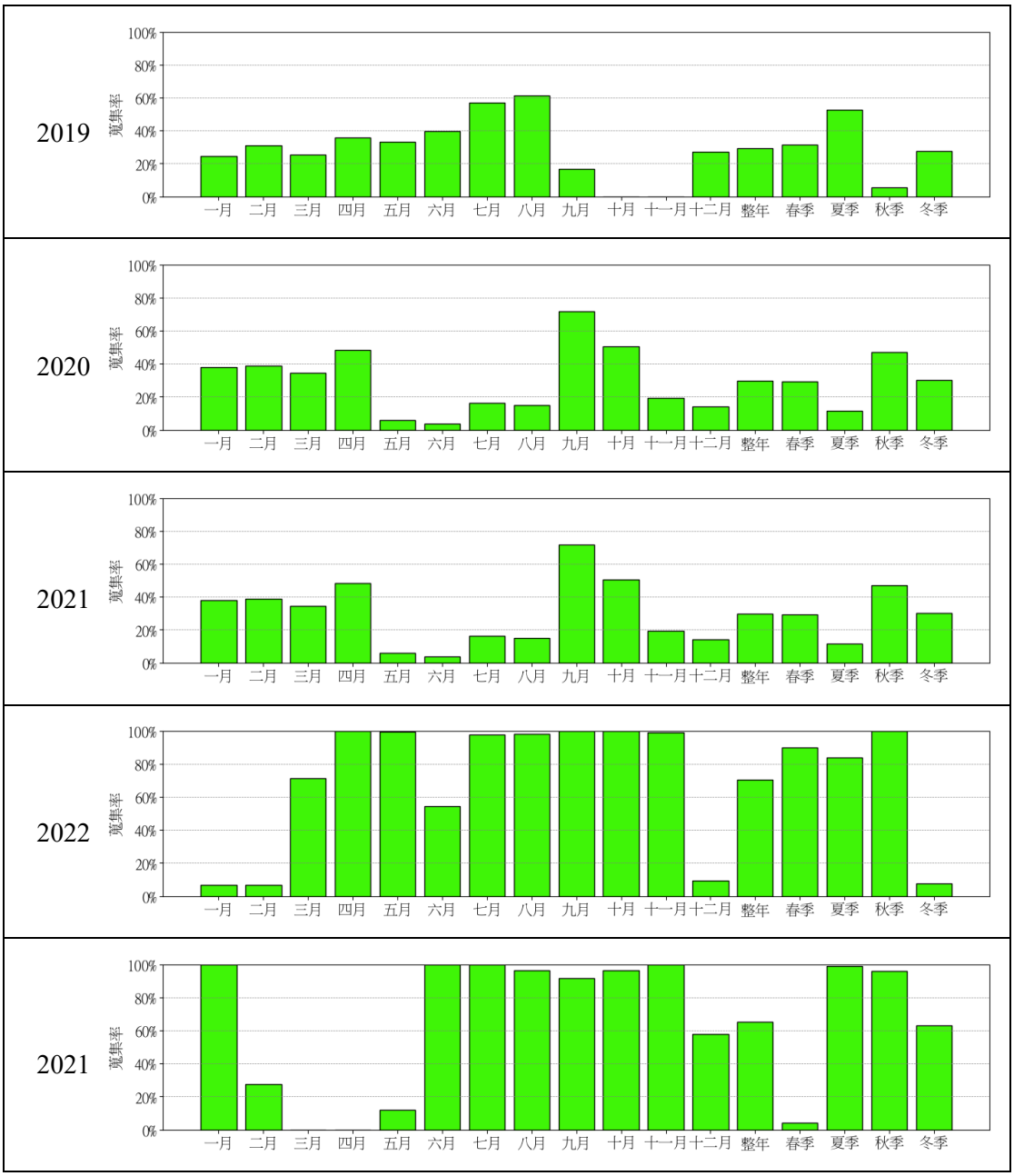


圖 2.5 W5(2019-2021)風力測站蒐集率統計圖

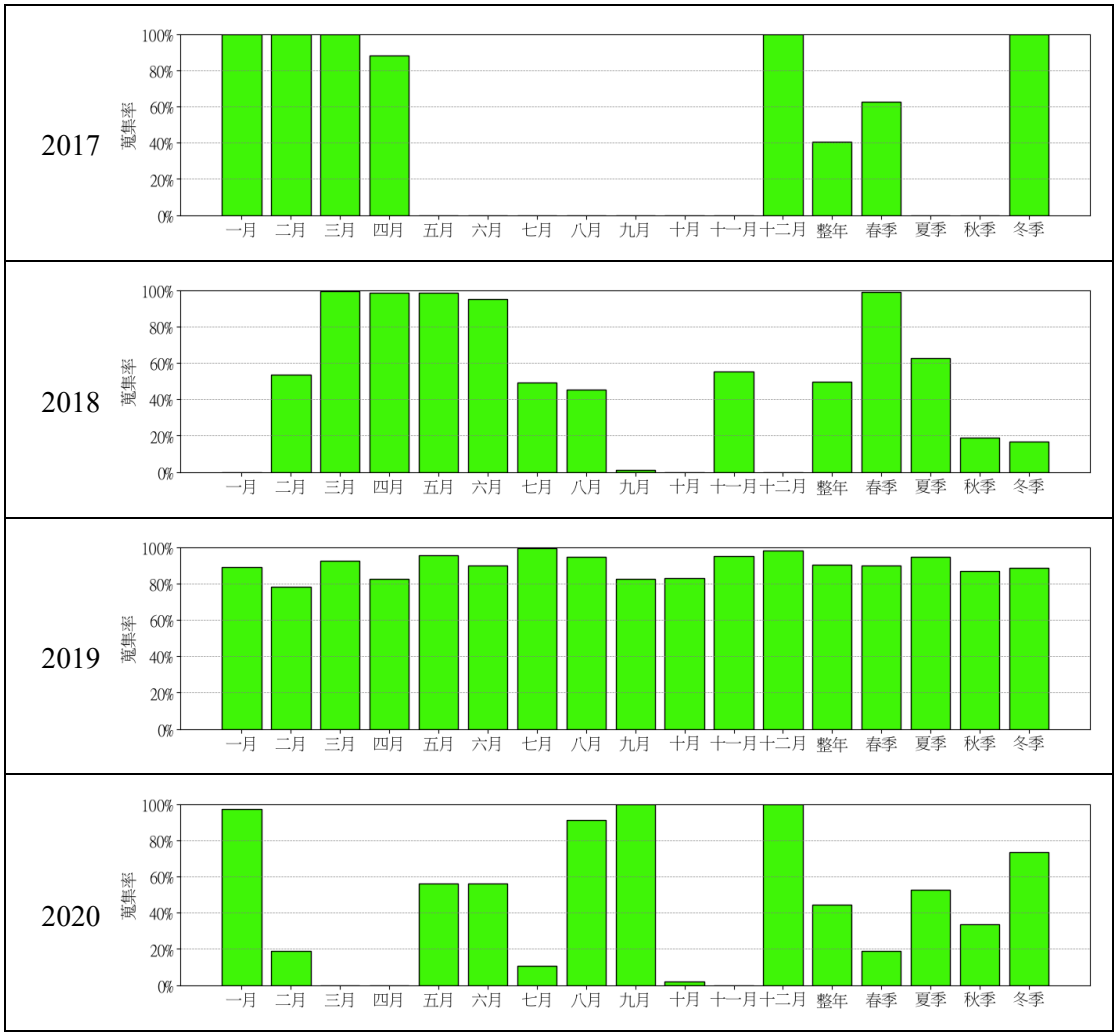


圖 2.6 W6(2017-2020)風力測站蒐集率統計圖

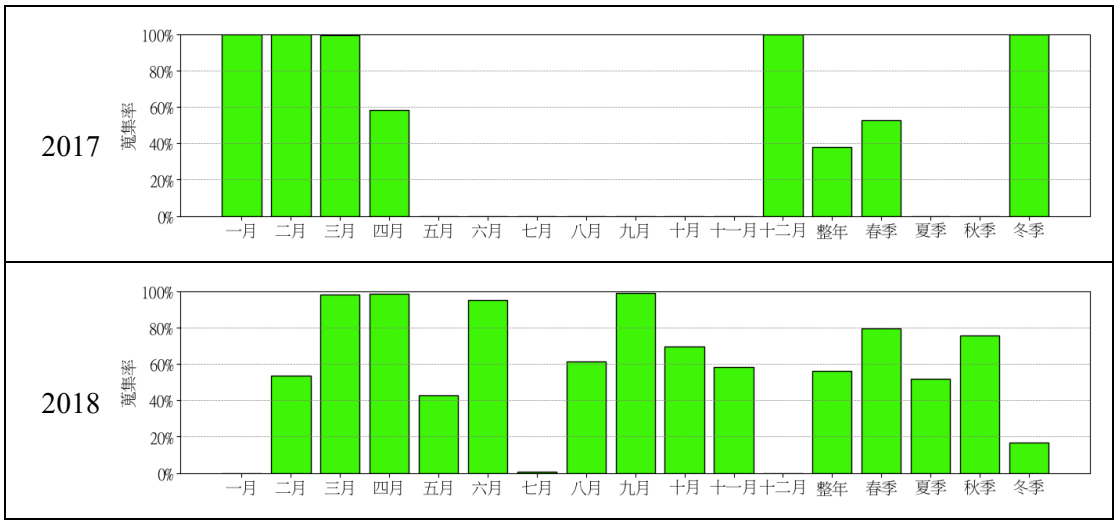


圖 2.7 W7(2017-2020)風力測站蒐集率統計圖

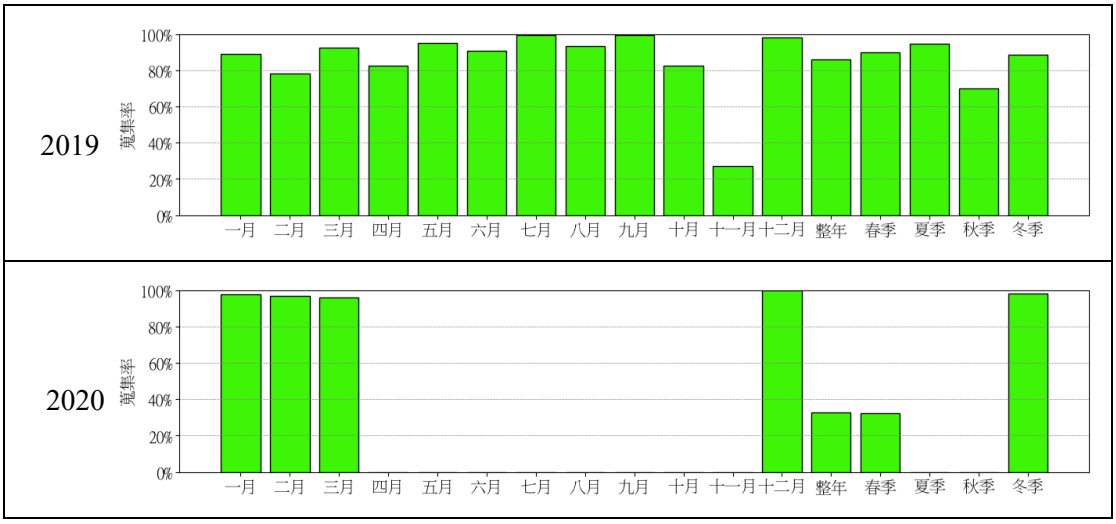


圖 2.7 W7(2017-2020)風力測站蒐集率統計圖(續)

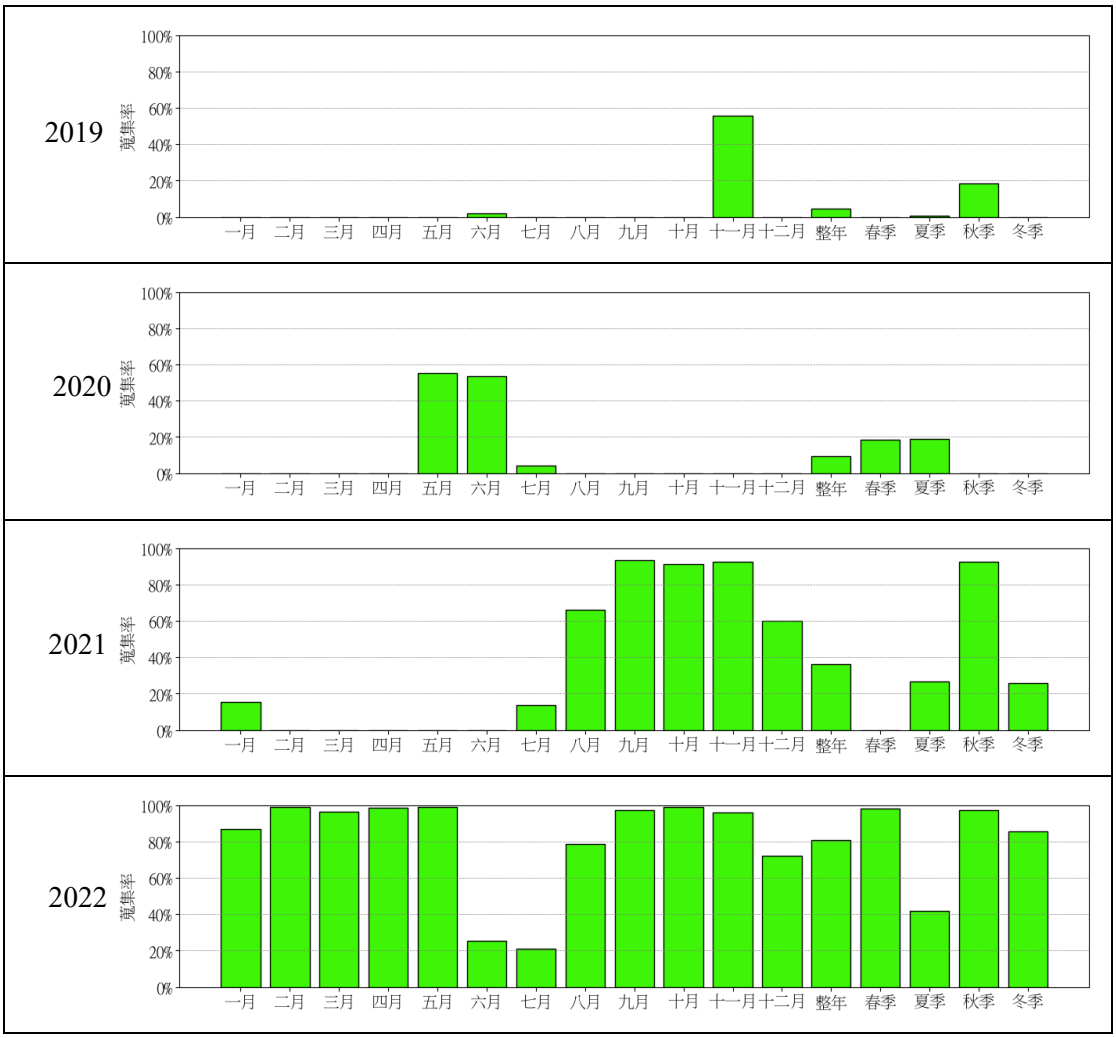


圖 2.8 W8(2019-2023)風力測站蒐集率統計圖

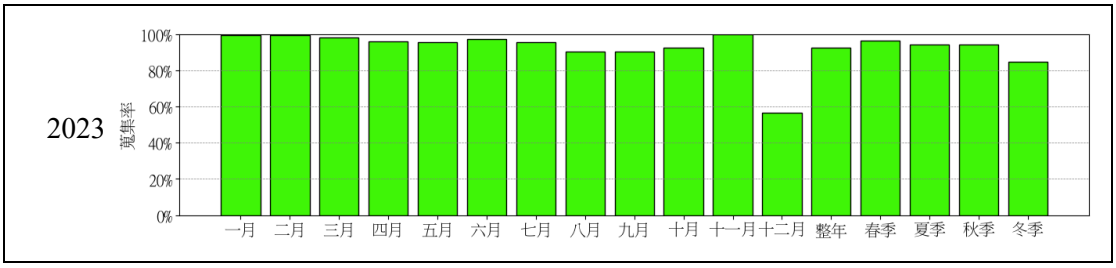


圖 2.8 W8(2019-2023)風力測站蒐集率統計圖(續)

圖 2.9 W9(2017-2019)風力測站蒐集率統計圖

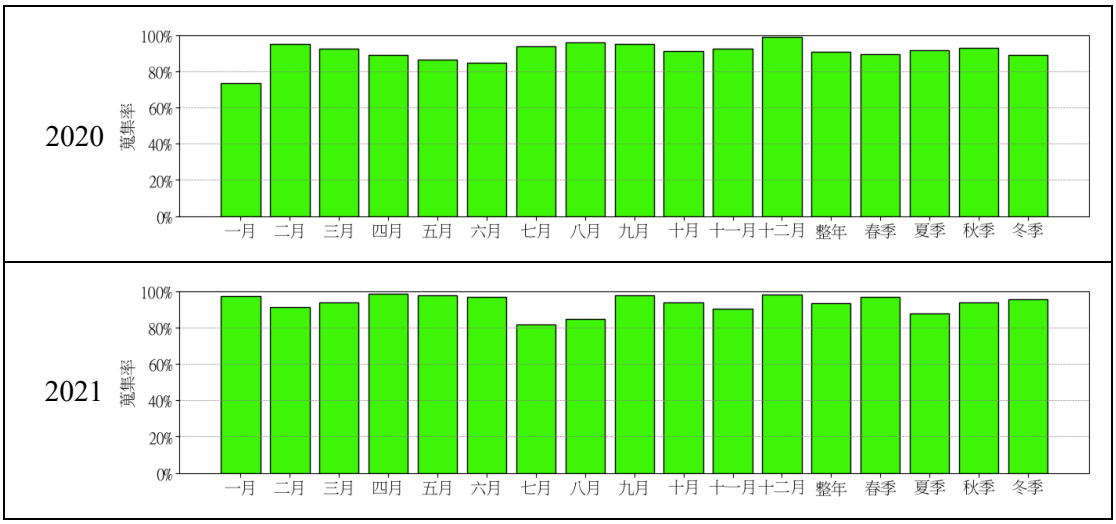


圖 2.10 W10(2020-2023)風力測站蒐集率統計圖

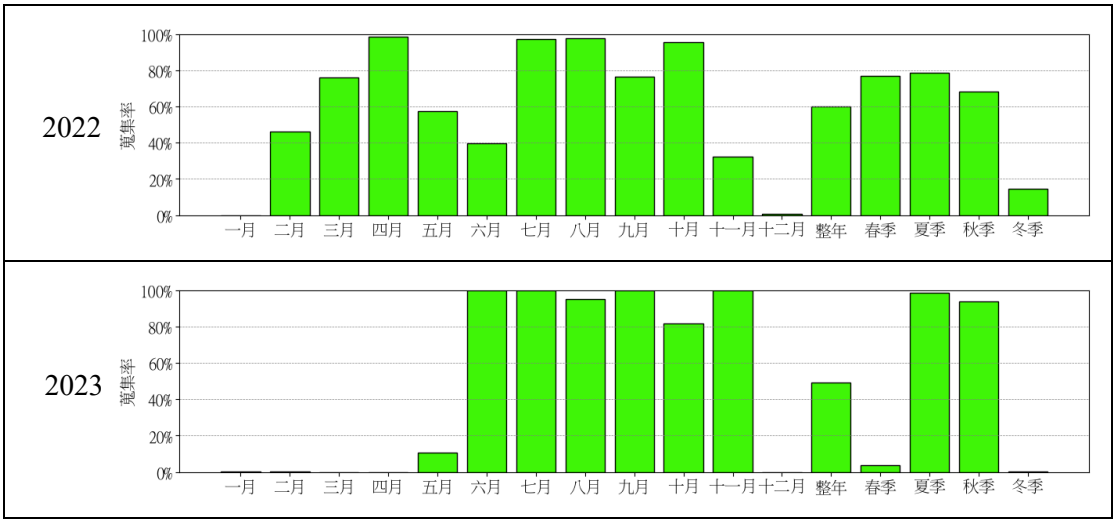


圖 2.10 W10(2020-2023)風力測站蒐集率統計圖(續)

圖 2.11 W11-2(2018-2023)風力測站蒐集率統計圖

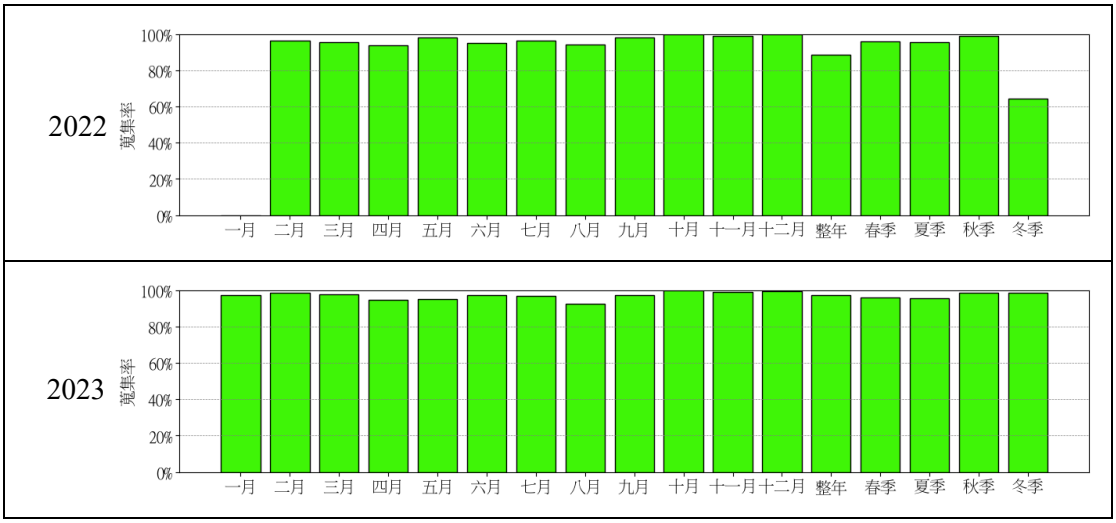


圖 2.11 W11-2(2018-2023)風力測站蒐集率統計圖(續)

2.1.2 波浪觀測資料蒐集

馬祖波浪觀測資料來源為運技中心及中央氣象署，運技中心設置的波浪測站為南竿福澳港區 4 站、北竿白沙港區 1 站、東莒猛澳港 1 站、東引中柱港 2 站，測站序號分別為 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7 及 A8，中央氣象署設置的波浪測站則為東引浮標 1 站，測站序號為 A9(A9-1 及 A9-2)，為瞭解上述波浪測站各月份、年度及 4 季觀測資料的蒐集率，整理如圖 2.12 至圖 2.20 所示。

有關馬祖四鄉五島各港口波浪測站觀測資料蒐集率分別說明如下：A1 歷年全期蒐集率 68.9%，2017 及 2018 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年皆低於 70%；A2 歷年全期蒐集率 53.8%，2020 年蒐集率有 70%以上，其餘 1 年低於 70%；A3 於 2023 年蒐集率 37.4%；A4 於 2023 年蒐集率 37.1%；A5 歷年全期蒐集率 57.3%，2016 及 2017 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年低於 70%；A6 歷年全期蒐集率 41.3%，6 年蒐集率皆低於 70%；A7 歷年全期蒐集率 72.9%，2018 及 2019 年蒐集率有 70%以上，其餘 1 年低於 70%；A8 歷年全期蒐集率 61.4%，2022 及 2023 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年低於 70%；A9-2 歷年全期蒐集率有 84.1%以上，2019 至 2023 年為 70%以上，其餘 1 年低於 70%。

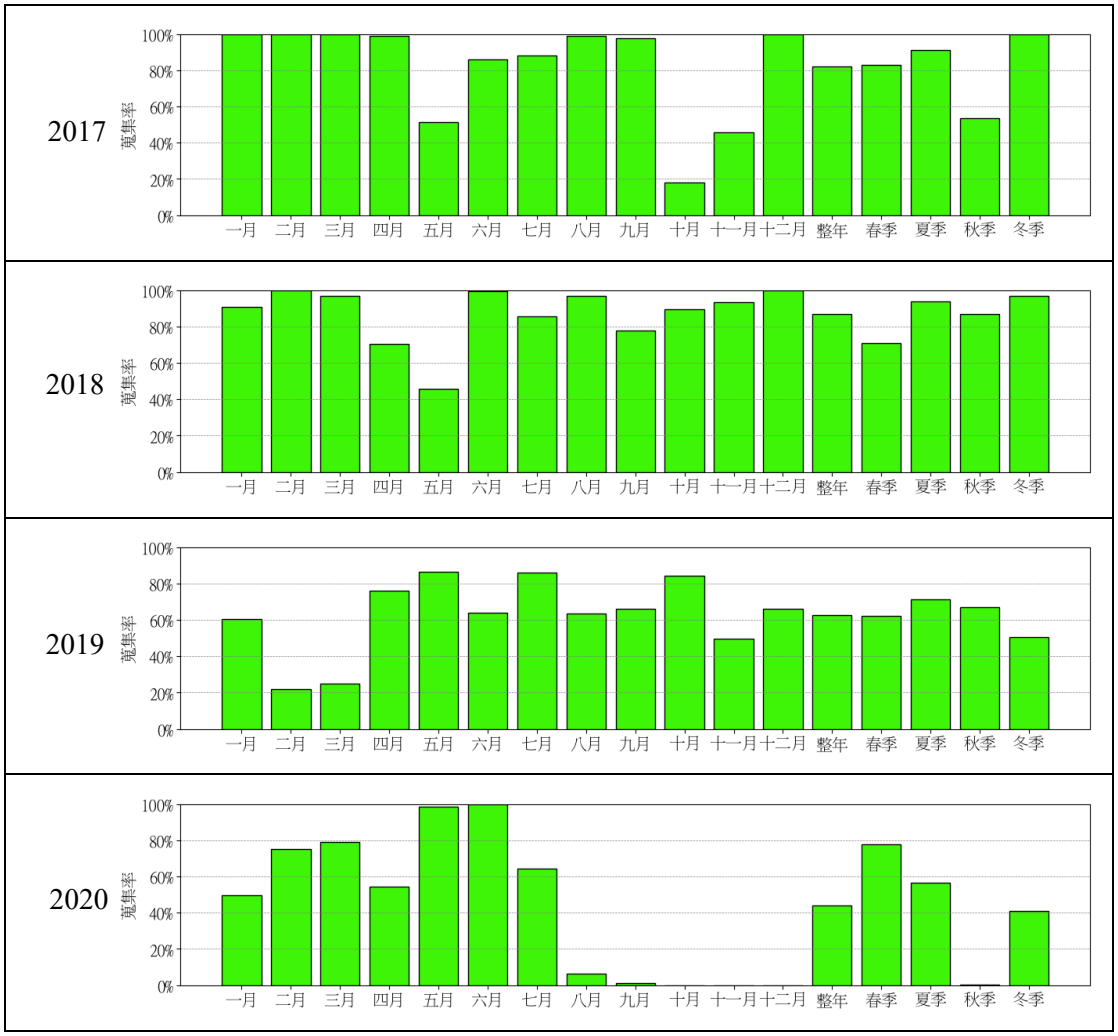


圖 2.12 A1(2017-2020)波浪測站蒐集率統計圖

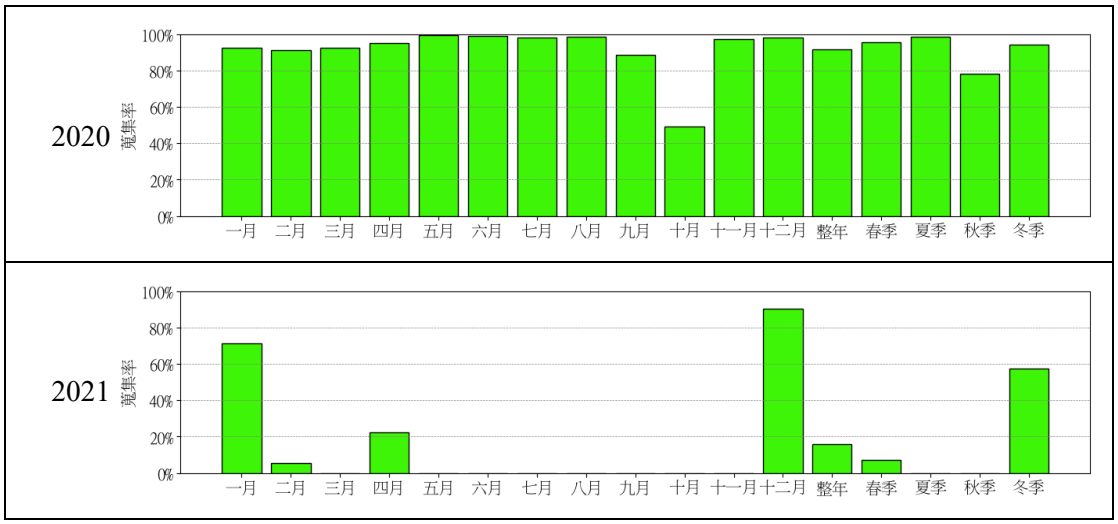


圖 2.13 A2(2020-2021)波浪測站蒐集率統計圖

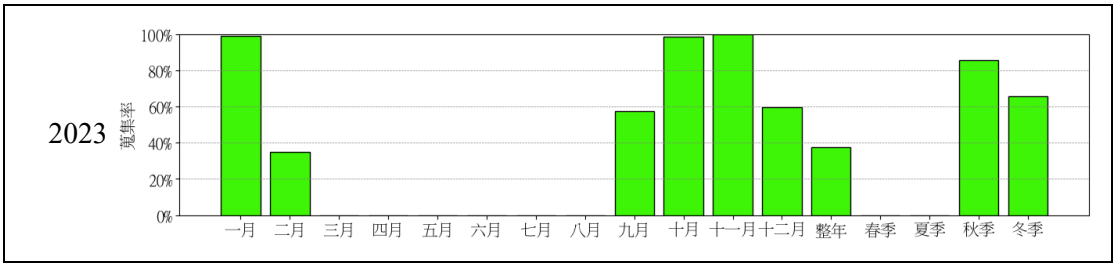


圖 2.14 A3(2023)波浪測站蒐集率統計圖

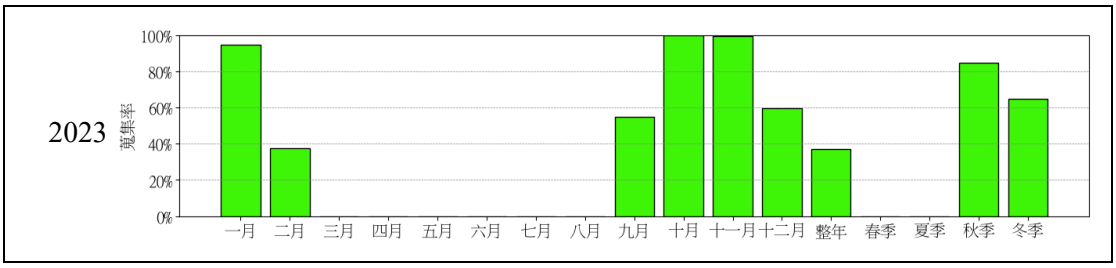


圖 2.15 A4(2023)波浪測站蒐集率統計圖

圖 2.16 A5(2016-2021)波浪測站蒐集率統計圖

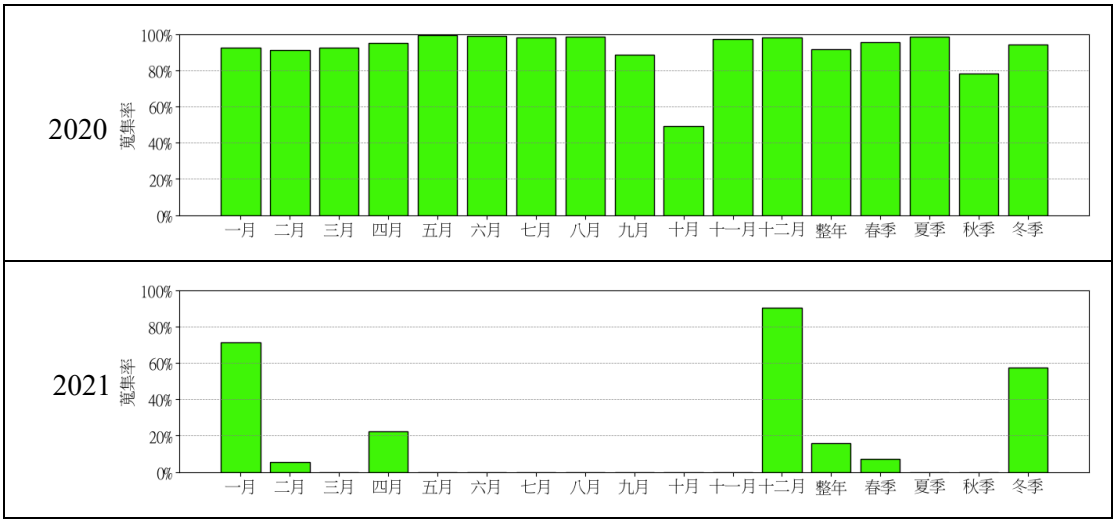


圖 2.16 A5(2016-2021)波浪測站蒐集率統計圖(續)

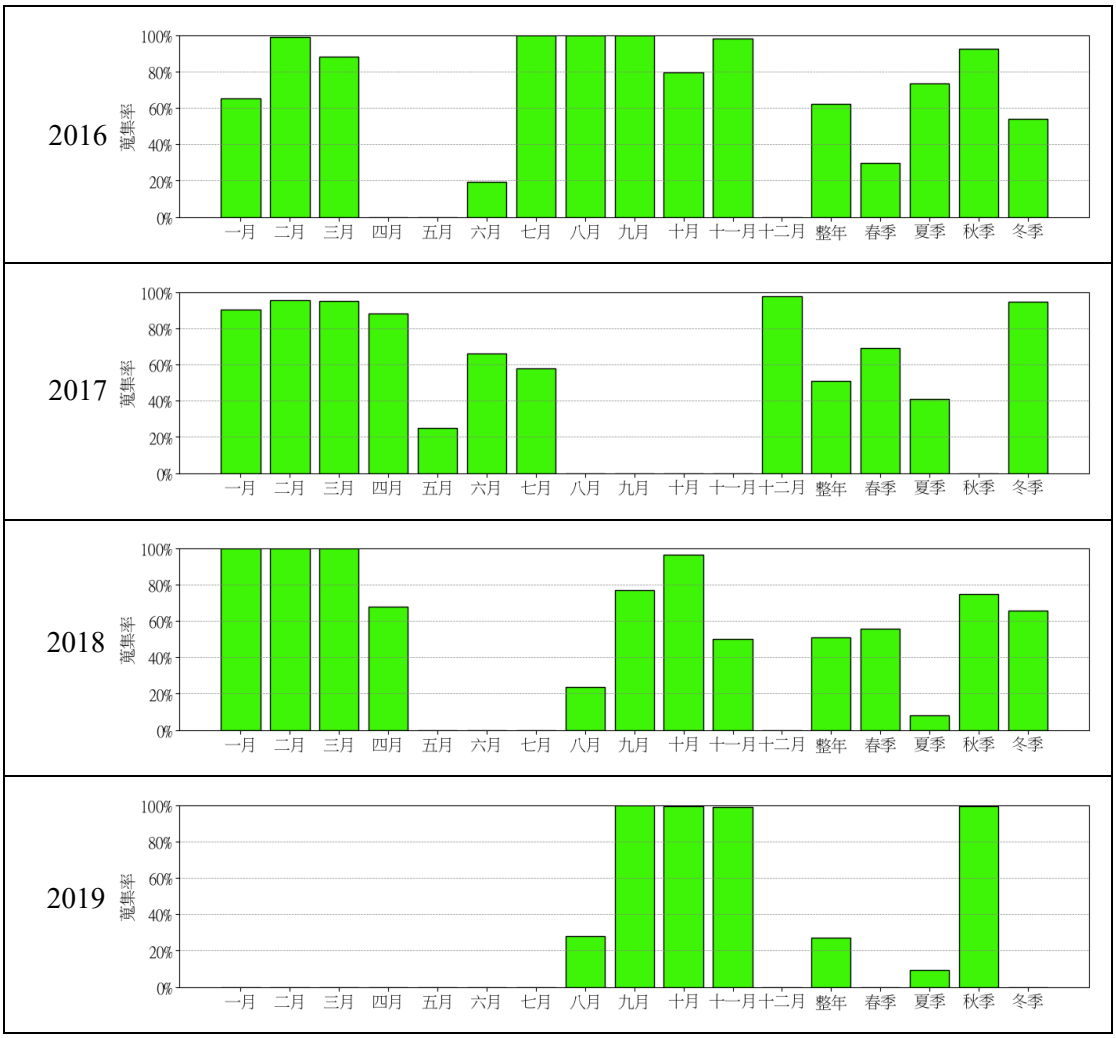


圖 2.17 A6(2016-2021)波浪測站蒐集率統計圖

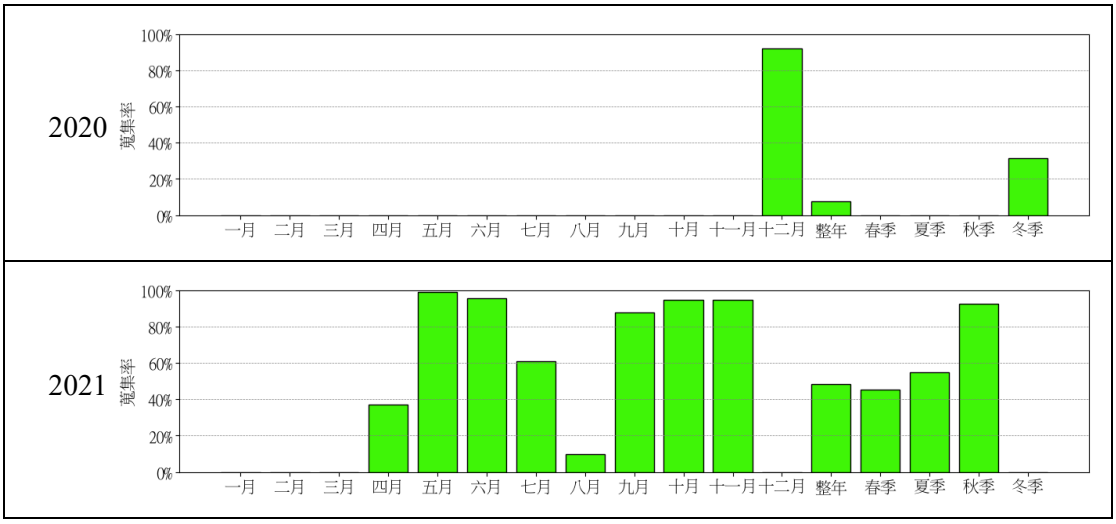


圖 2.17 A6(2016-2021)波浪測站蒐集率統計圖(續)

圖 2.18 A7(2017-2019)波浪測站蒐集率統計圖

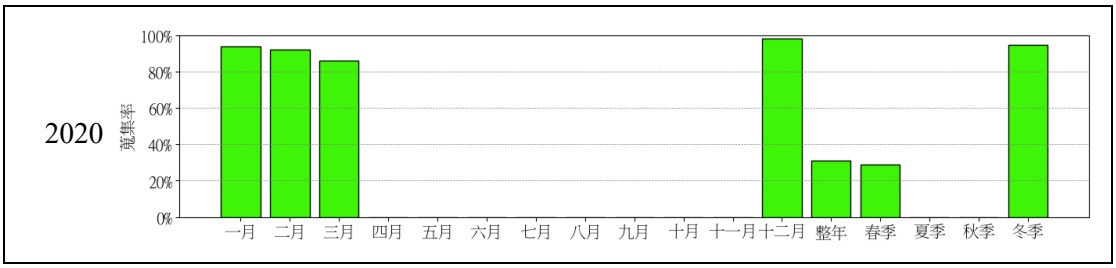


圖 2.19 A8(2020-2023)波浪測站蒐集率統計圖

圖 2.19 A8(2020-2023)波浪測站蒐集率統計圖(續)

圖 2.20 A9-2(2018-2023)波浪測站蒐集率統計圖

圖 2.20 A9-2(2018-2023)波浪測站蒐集率統計圖(續)

2.1.3 海流觀測資料蒐集

馬祖海流觀測資料來源為運技中心及中央氣象署，運技中心設置的海流測站為南竿福澳港區 4 站、北竿白沙港區 1 站、東莒猛澳港 1 站、東引中柱港 2 站，測站序號分別為 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7 及 A8，中央氣象署設置的海流測站則為東引浮標 1 站，測站序號為 A9(A9-1 及 A9-2)，為瞭解上述海流測站各月份、年度及 4 季觀測資料的蒐集率，整理如圖 2.21 至圖 2.29 所示。

有關馬祖四鄉五島各港口海流測站觀測資料蒐集率分別說明如下：A1 歷年全期蒐集率 68.9%，2017 及 2018 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年皆低於 70%；A2 歷年全期蒐集率 53.9%，2020 年蒐集率有 70%以上，其餘 1 年低於 70%；A3 於 2023 年蒐集率 37.4%；A4 於 2023 年蒐集率 37.1%；A5 歷年全期蒐集率 46%，2016 及 2017 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年低於 70%；A6 歷年全期蒐集率 41.6%，6 年蒐集率皆低於 70%；A7 歷年全期蒐集率 72.9%，2018 及 2019 年蒐集率有 70%以上，其餘 1 年低於 70%；A8 歷年全期蒐集率 61.6%，2022 及 2023 年蒐集率有 70%以上，其餘 2 年低於 70%；A9-2 歷年

全期蒐集率有 76.9%以上，2019 至 2023 年為 70%以上，其餘 1 年低於 70%。

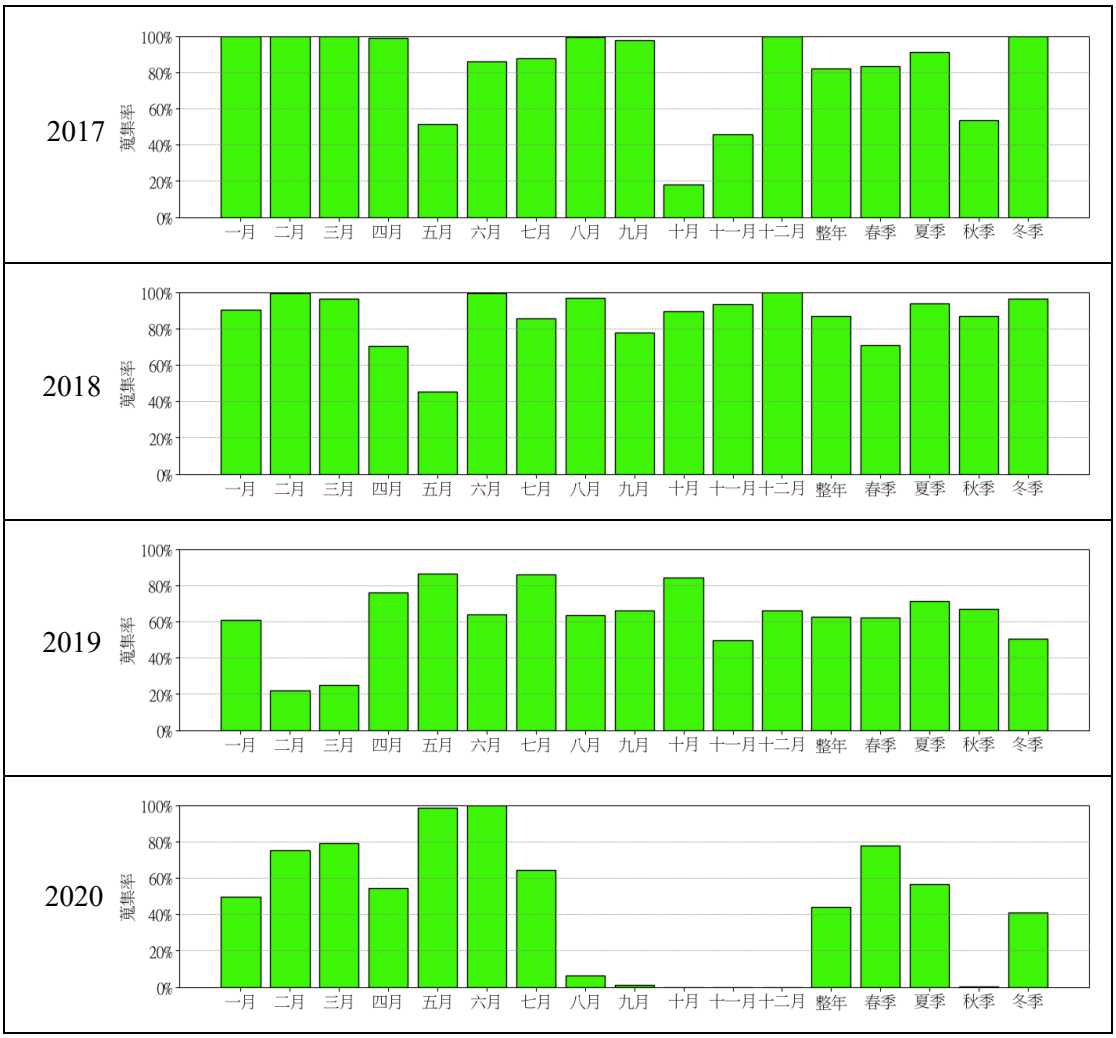


圖 2.21 A1(2017-2020)海流測站蒐集率統計圖

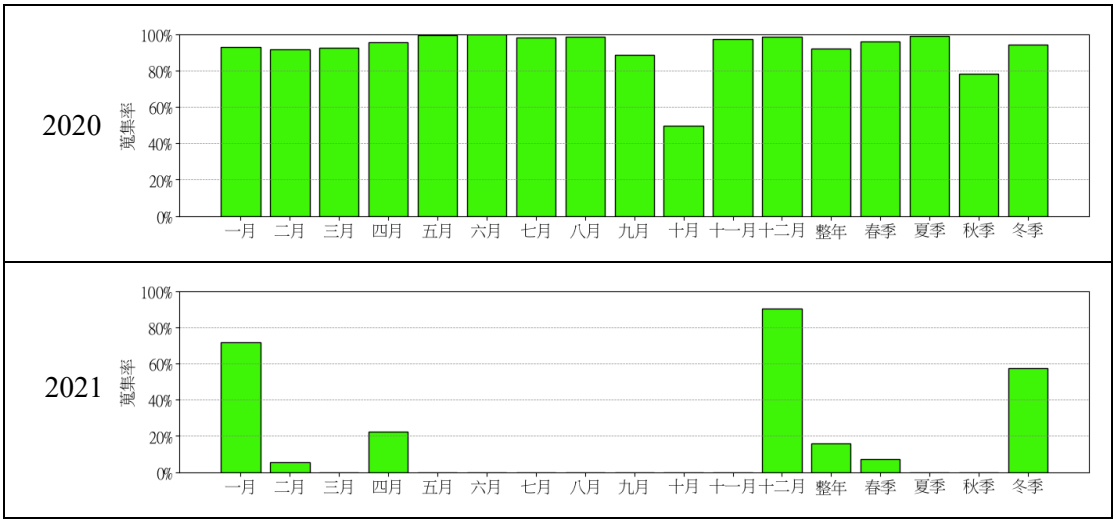


圖 2.22 A2(2020-2022)海流測站蒐集率統計圖

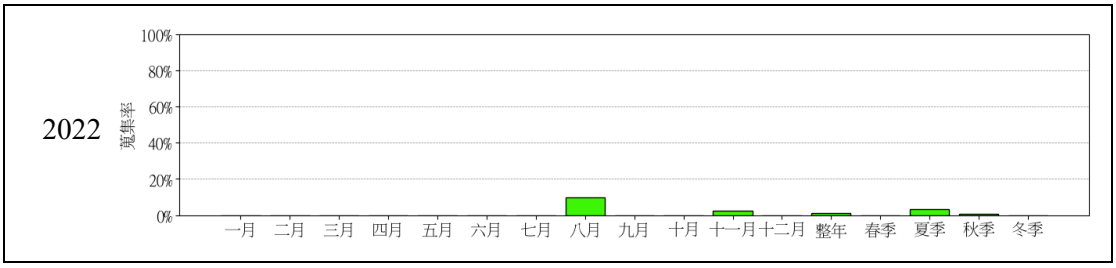


圖 2.22 A2(2020-2022)海流測站蒐集率統計圖(續)

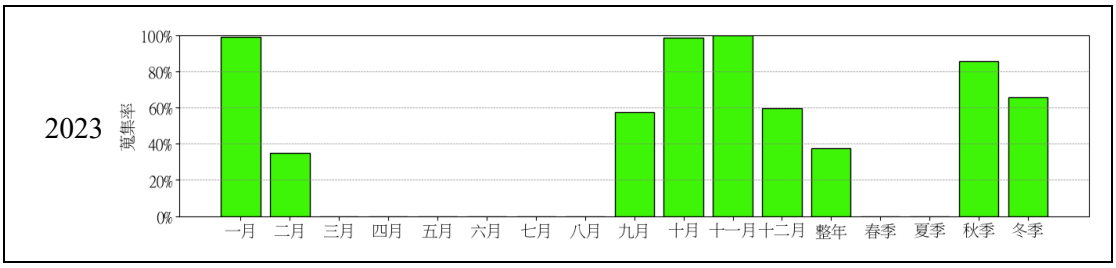


圖 2.23 A3(2023)海流測站蒐集率統計圖

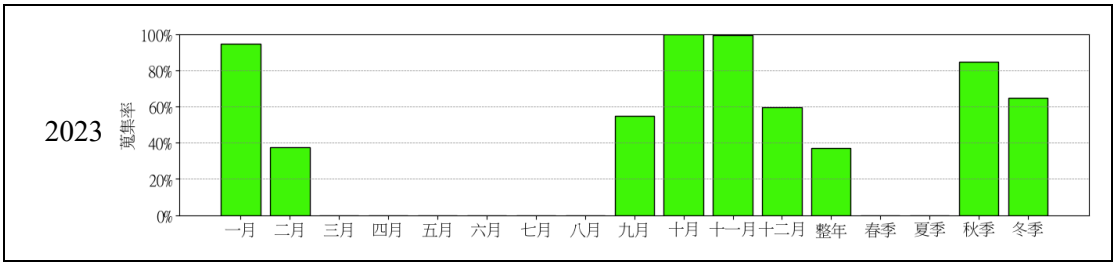


圖 2.24 A4(2023)海流測站蒐集率統計圖

圖 2.25 A5(2016-2021)海流測站蒐集率統計圖

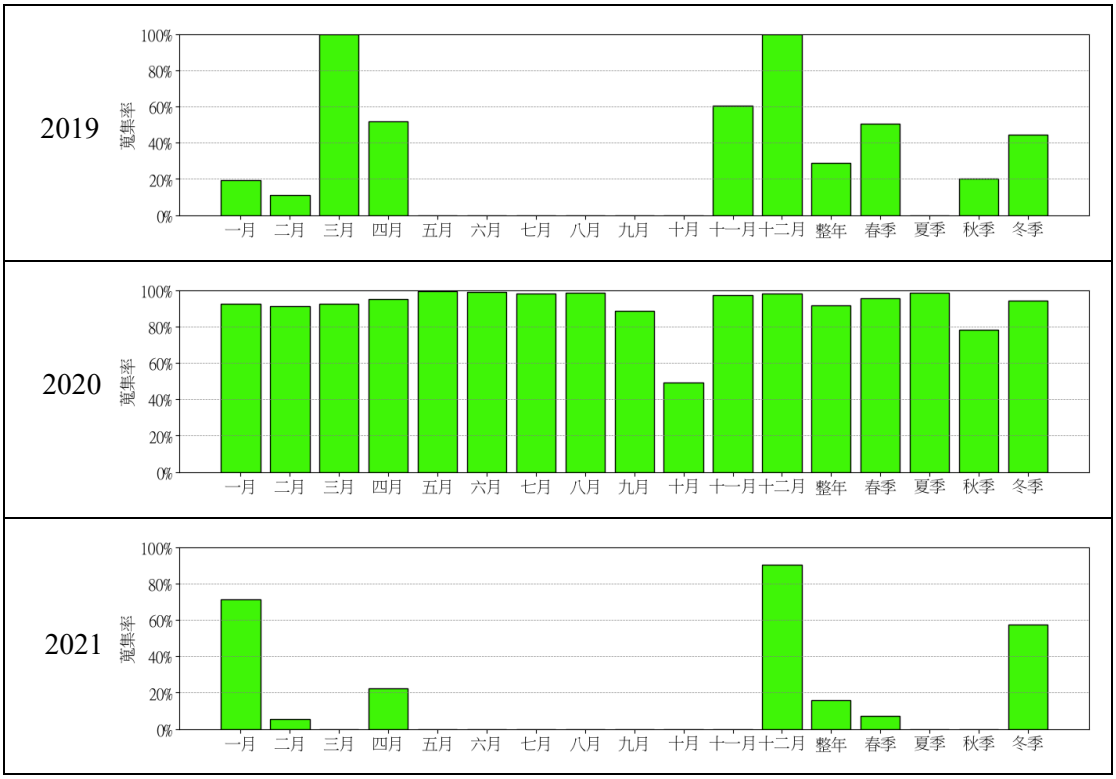


圖 2.25 A5(2016-2021)海流測站蒐集率統計圖(續)

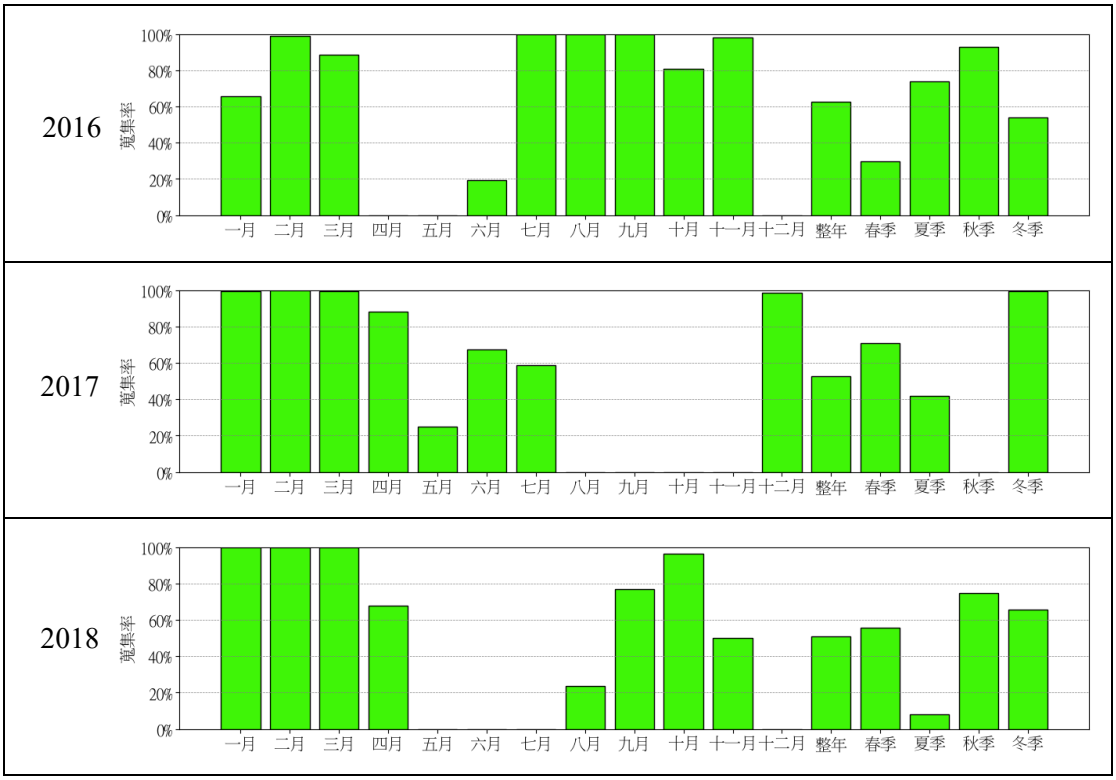


圖 2.26 A6(2016-2021)海流測站蒐集率統計圖

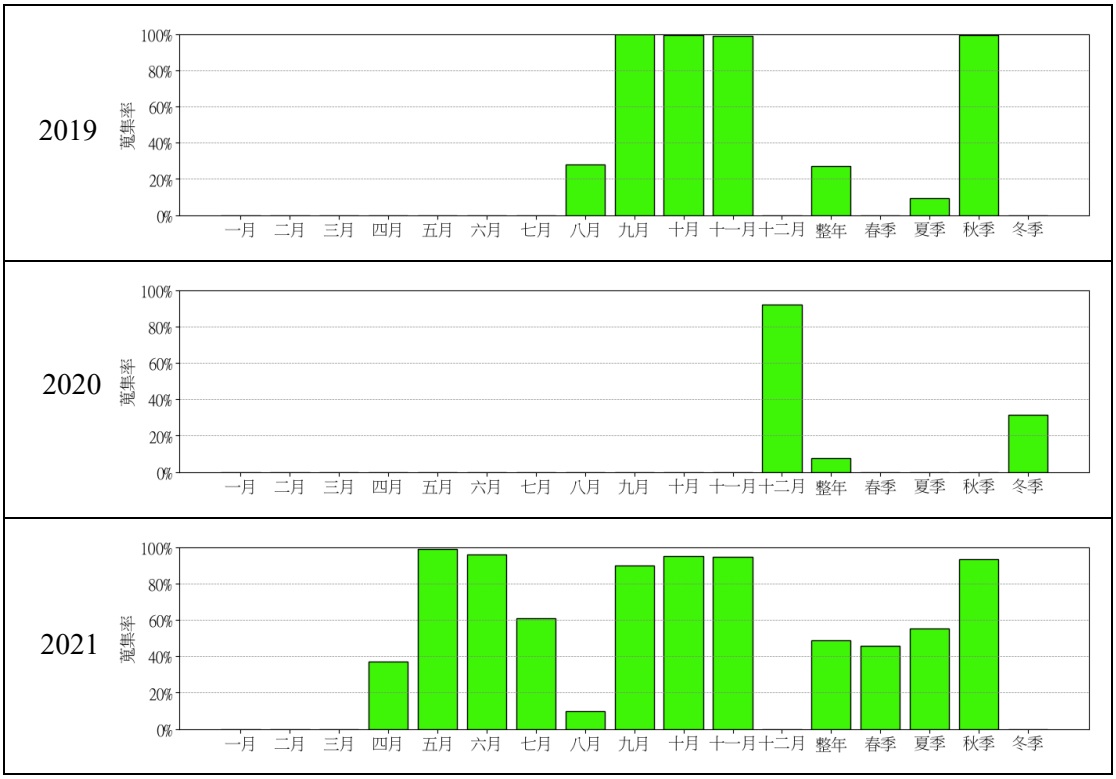


圖 2.26 A6(2016-2021)海流測站蒐集率統計圖(續)

圖 2.27 A7(2017-2019)海流測站蒐集率統計圖

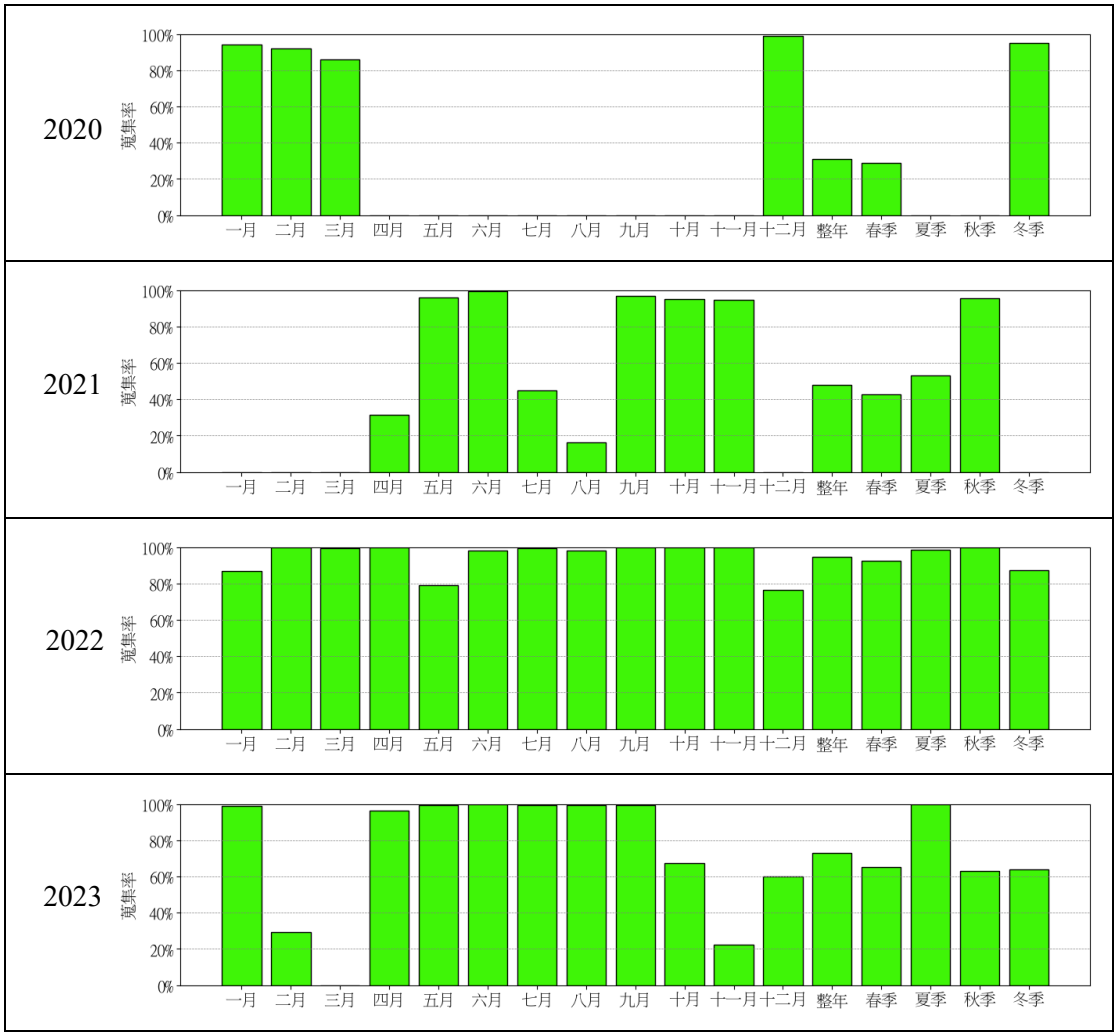


圖 2.28 A8(2020-2023)海流測站蒐集率統計圖

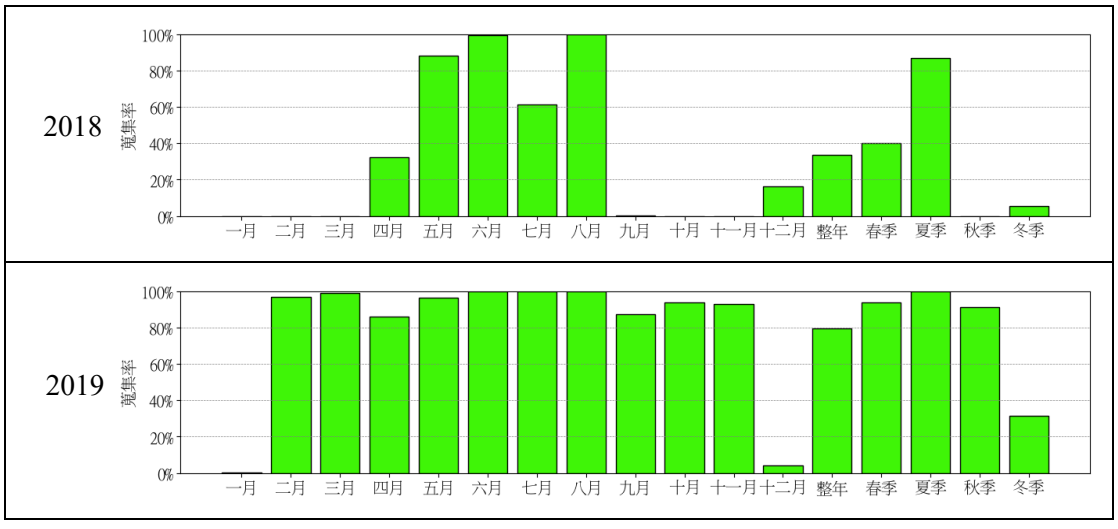


圖 2.29 A9-2(2018-2023)海流測站蒐集率統計圖

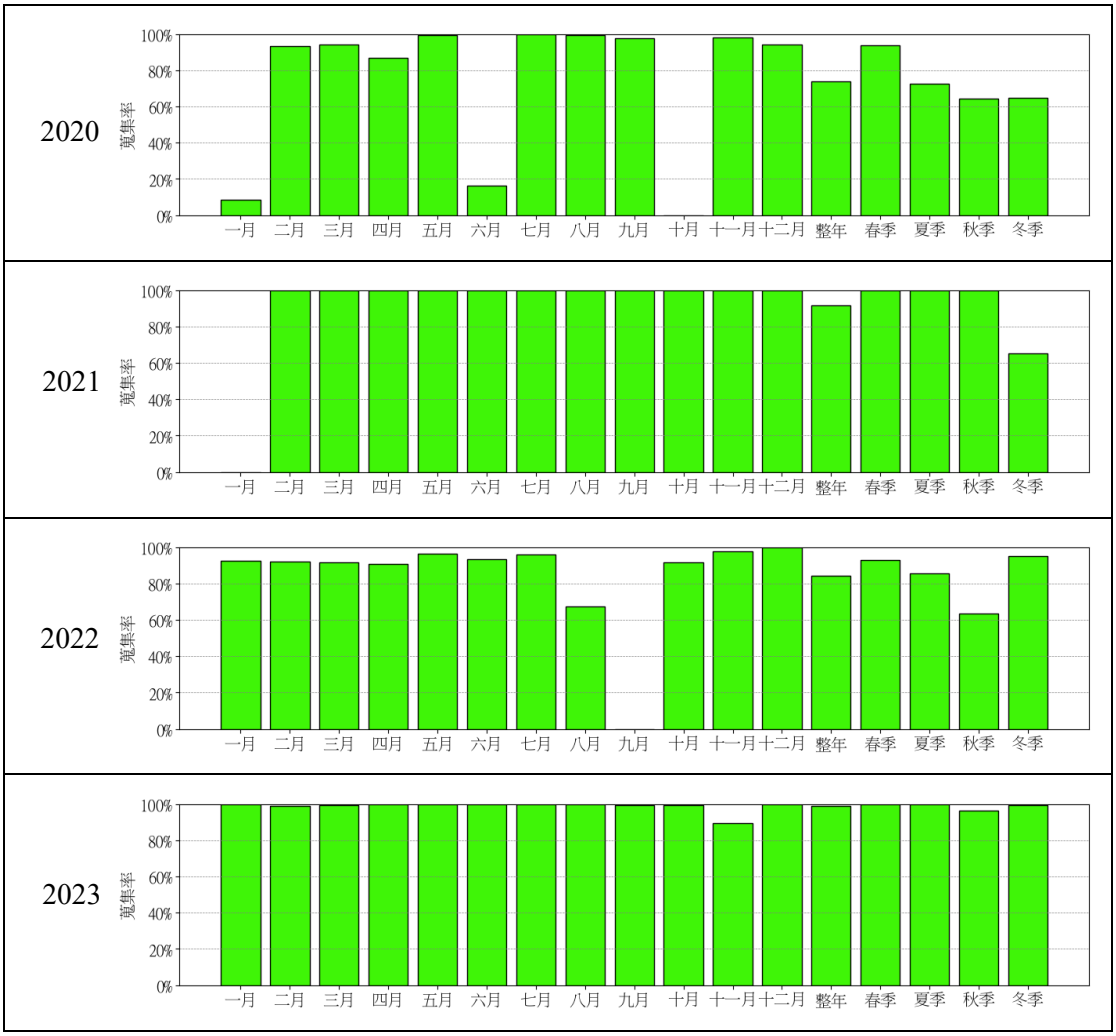


圖 2.29 A9-2(2018-2023)海流測站蒐集率統計圖(續)

2.2 品管機制

本計畫的資料品管採用 Test1(資料連續性於蒐集率統計時已處理)、Test4、Test6 和 Test8 等方法，並在初始資料處理階段新增 Test0（於原始資料階段，即刪除 [Status Description] 欄位中異常資料列，以此做為計算蒐集率的原始資料基礎）。在大量資料品管過程中，主要依賴撰寫程式進行輔助標記，隨後由人工再次檢視被標記之觀測值及其前後數值，以確保品管的準確性。此外，儀器極限值範圍與離群值設定的標準，則參考林(2023)及陳(2022)之相關研究做為依據，如表 2-1、2-2。

表 2-1 儀器極限值範圍

觀測資料	儀器型號	儀器極限值範圍
平均風速	GILL Windsonic MetPak Young Brand	0~60 m/s 0~60 m/s 0~100 m/s
示性波高	AWAC 1MHz	0~30 m
尖峰週期		0.5~50 s
表面流速		0~10 m/s

表 2-2 離群值設定

物理量	限制值	
	低(下限值)	高(上限值)
平均風速 (m/s)	4	10
示性波高(m)	1	2
尖峰週期(s)	5	10
表面流速 (m/s)	0.5	0.7

2.2.1 觀測資料品管

本計畫使用馬祖四鄉五島各港區風力、波浪及海流測站之觀測資料進行品管，各測站歷年觀測資料皆需通過品管，惟蒐集率高低有所差異，蒐集率低則容易有空值，導致未品管的資料較多(品管公式限制)；品管的起始年度設定為 2015 年，合併各測站的年度觀測資料，以確保資料連續性。接著執行品管程式，儘可能檢驗每筆資料的品質。整理各站觀測資料的品管結果，並針對未通過檢驗的資料筆數（標記 4）進行討論。檢驗項目包含 TEST4、TEST6 和 TEST8，惟 TEST4 於各年度測站皆未檢出及 TEST8 於各年度海流測站未檢出，其餘相關數據如下：平均風速分析結果，如圖 2.30 和圖 2.31 所示，未通過資料點分析結果，如圖 2.32 和圖 2.33；示性波高分析結果如圖 2.34 和圖 2.35；尖峰週期分析結果則如圖 2.36 和圖 2.37；流速分析結果則如圖 2.38。從未通過資料點分析結果可以確認，標記 4 的資料點確實有必要被檢出與刪除。透過此品管流程，能有效提升資料品質。

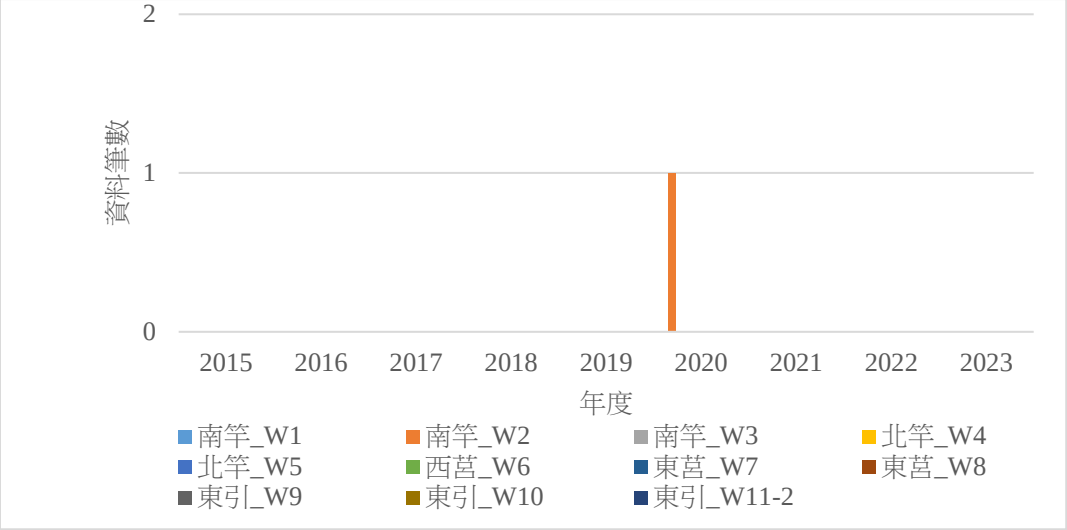


圖 2.30 馬祖風力測站歷年平均風速品管(TEST6)未通過筆數

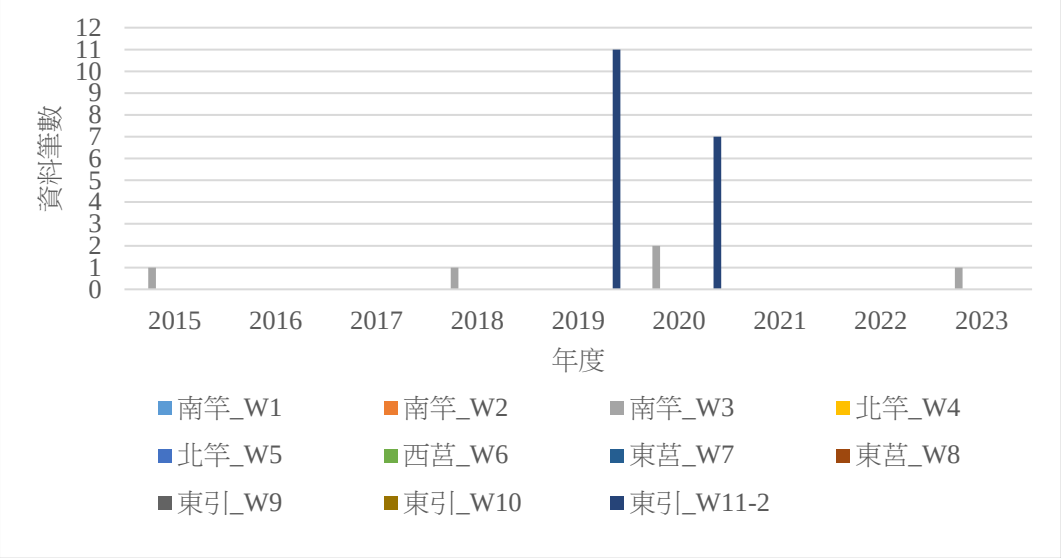


圖 2.31 馬祖風力測站歷年平均風速品管(TEST8)未通過筆數

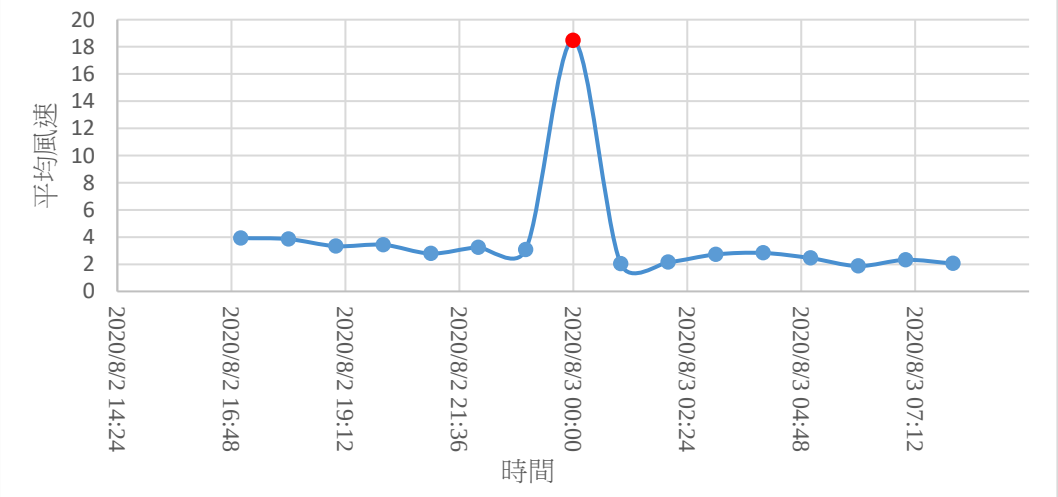


圖 2.32 南竿 W2 平均風速品管(TEST6)未通過狀況

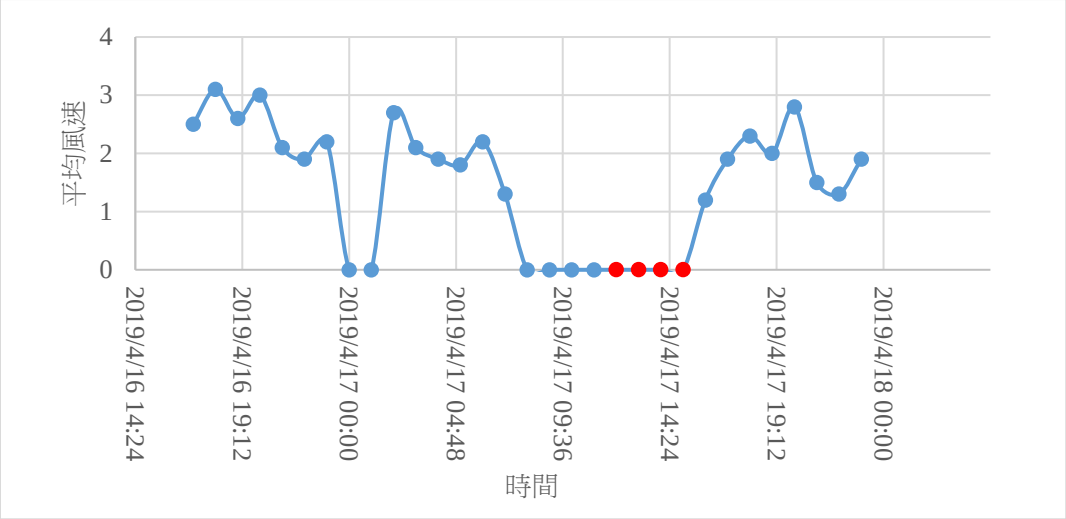


圖 2.33 東引 W11-2 平均風速品管(TEST8)未通過狀況

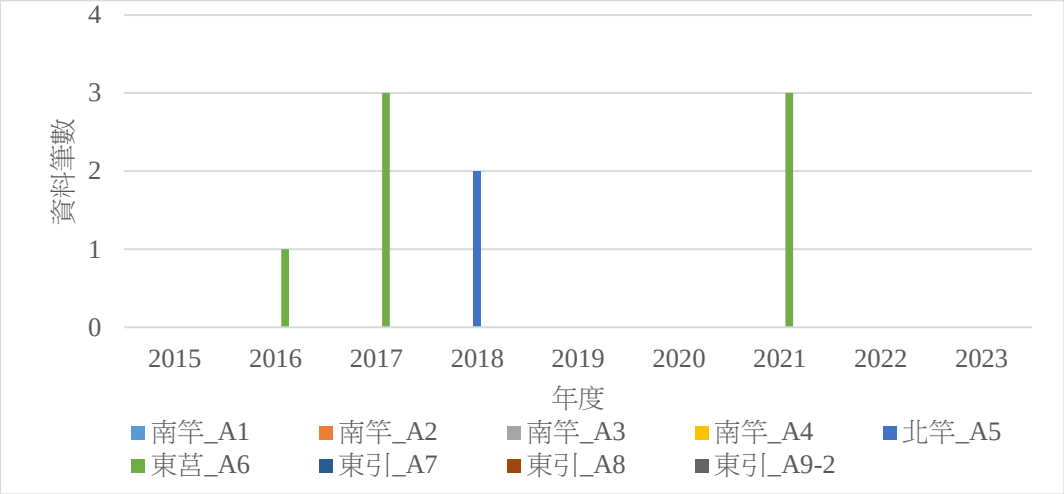


圖 2.34 馬祖波浪測站歷年示性波高品管(TEST6)未通過筆數

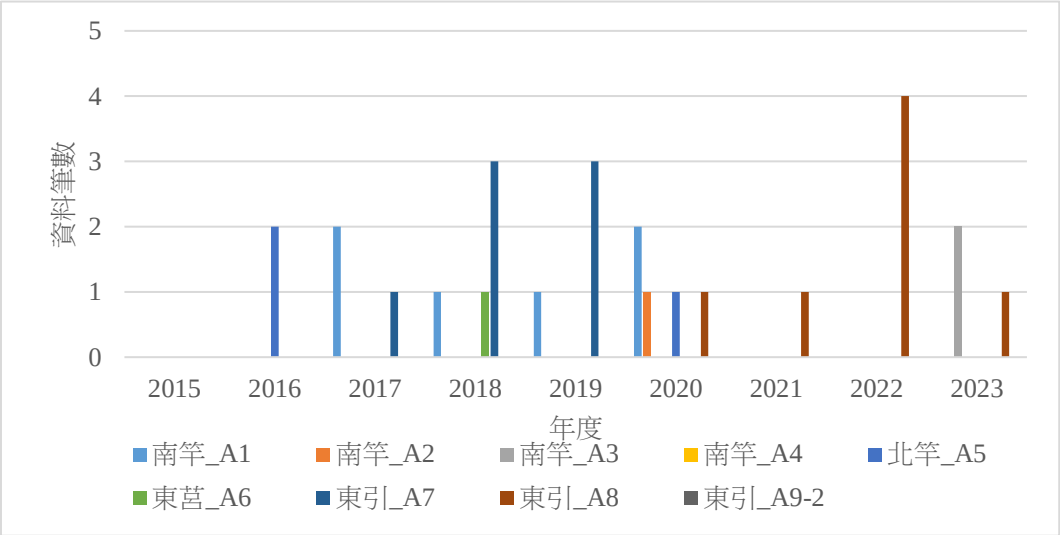


圖 2.35 馬祖波浪測站歷年示性波高品管(TEST8)未通過筆數

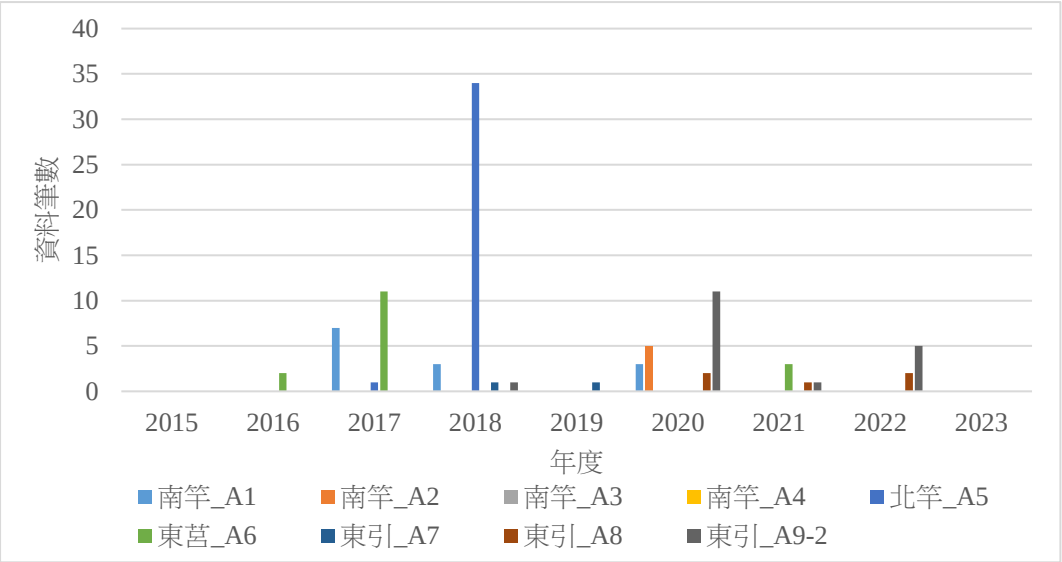


圖 2.36 馬祖波浪測站歷年尖峰週期品管(TEST6)未通過筆數

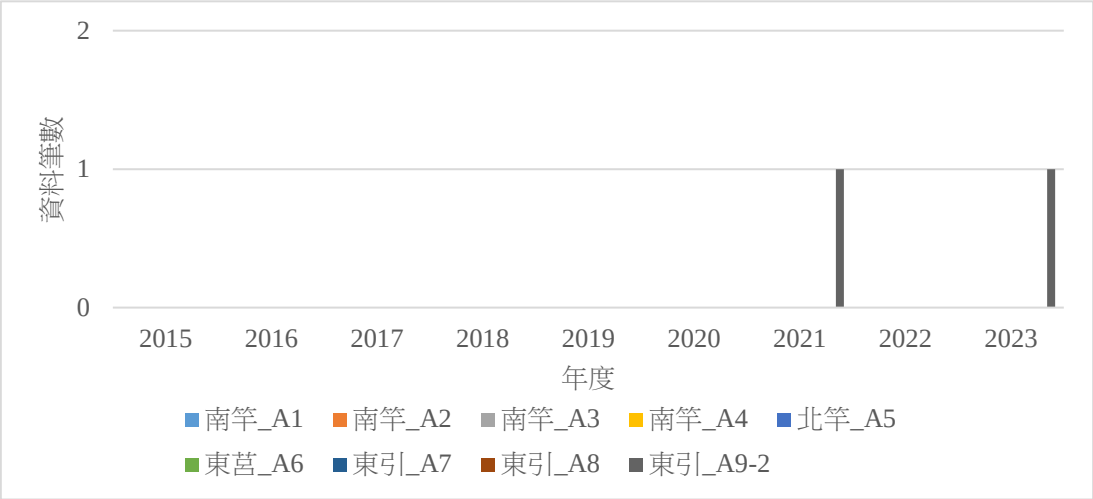


圖 2.37 馬祖波浪測站歷年尖峰週期品管(TEST8)未通過筆數

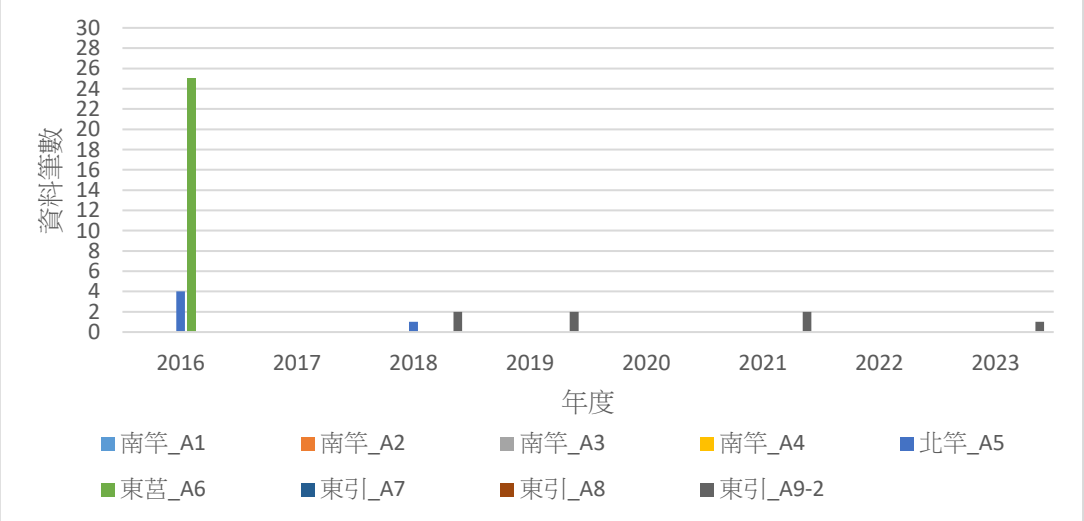


圖 2.38 馬祖海流測站歷年流速品管(TEST6)未通過筆數

2.2.2 品管結果分析

本計畫針對歷年各觀測站的未通過筆數進行逐一分析與檢視。結果顯示，同一觀測站不同年度中，若僅檢出 1 至 5 筆未通過資料，屬於正常範圍。然而，若某些年度出現未通過筆數異常集中的情況，則資料異常集中期間，需搭配人工檢核以判定原因。例如，對於 TEST6 的檢驗結果：北竿 A5 在 2018 年（尖峰週期）檢出 34 筆標記 4 資料、東莒 A6 在 2016 年（流速）檢出 25 筆標記 4 資料、在 2017 年（尖峰週期）檢出 11 筆標記 4 資料、東引 A9-2 在 2020 年（尖峰週期）檢出 11 筆標記 4 資料，經人工檢視，上述資料未通過筆數較多且集中時，資料通常有頻繁中斷的現象，反映儀器當時可能不穩定，並且頻繁出現高值資料，應予以檢出後剔除。然而，高值資料前後若缺失，則會被程式標記為 2（未檢驗），此類情況需經人工協助進行補充檢查並標記 4。

此外，對 TEST8 的檢驗結果：東引 W11-2 在 2019 年與 2020 年（平均風速）分別檢出 11 筆與 7 筆標記 4 資料，人工檢視後發現，這些異常資料皆連續出現零值。此類型異常可透過檢出程序避免因儀器誤報而導致年度或季節觀測平均值產生過大誤差，同時，此現象亦可能為儀器或其他硬體設備故障的早期徵兆，當此類情況頻繁發生時，後續觀測資料的檢核工作尤需謹慎，以維護資料的可靠性與準確性。

第三章 相關性及特性分析比較

馬祖四鄉五島各港口測站自 2015 至 2023 年普遍蒐集率不佳，為有效分析既有資料，使資料價值最大化，使用月份蒐集率皆需 70%以上，相關性分析取用四季中季風表現最為顯著的夏、冬 2 季進行分析比較；特性分析增加歷年蒐集率 70%以上年份進行組合分析，上述取用方式，如表 3-1。

表 3-1 A5 及 A9-1 各月份及整年各季蒐集率 70%以上統計表

月份	北竿 A5		東引 A9-1	
	2016	2017	2016	2017
1	99.1%	97.7%	0.0%	1.1%
2	99.3%	99.9%	0.0%	98.5%
3	98.5%	99.9%	54.3%	98.9%
4	99.2%	96.8%	98.9%	99.4%
5	99.6%	54.7%	98.8%	99.6%
6	97.5%	86.4%	99.2%	98.6%
7	99.9%	89.5%	99.3%	98.0%
8	99.6%	93.8%	98.8%	98.1%
9	98.6%	96.4%	99.2%	99.3%
10	99.5%	3.4%	99.7%	99.7%
11	98.1%	16.8%	99.2%	96.8%
12	0.0%	98.7%	35.9%	98.7%
整年	90.6%	77.7%	73.7%	90.4%
春	99.1%	83.7%	83.8%	99.3%
夏	99.0%	89.9%	99.1%	98.2%
秋	98.7%	38.5%	99.4%	98.6%
冬	65.4%	98.7%	12.2%	65.0%

3.1 風力特性分析

3.1.1 風力資料相關性

本計畫分析的風力測站觀測資料涵蓋 2017 年至 2023 年，共 7 個年度的資料，包括平均風速及主要風向，另外增加計算後得出的風速風向分量，一併分析比較。本計畫所涉及的風力測站分布廣泛，共計 10 個站點，包含南竿福澳港 3 個測站(W1、W2 及 W3)、

北竿 2 個測站(W4 及 W5)、西莒 1 個測站(W6)、東莒 2 個測站(W7 及 W8)、東引 2 個測站(W9 及 W10)、東引浮標 1 個測站(W11-2)，這些測站共同提供了長期且連續的風速和風向觀測數據，為研究地區的海氣象狀況提供了關鍵資訊。

2017 年至 2023 年各風力測站相關性比較總表，參見附錄一，由於本計畫使用的觀測資料量龐大，各測站數據之間直接進行比較的複雜度相當高，且難以清晰呈現具體結論。因此，本計畫採取了簡化處理的方式，根據測站位置與特性設定代表測站，具體說明如下：南竿 W1、W2 測站相距不遠且鄰近福澳港，兩者之間觀測資料可能具有相似性，惟實際上 2 測站間及周圍環境存在諸多建築物，可能造成不同的影響，根據林(2022)研究成果，W2 測站具有較高的代表性，W3 測站位於夫人嶺，與福澳港相距較遠，環境特性與 W1 及 W2 不同，因此不適合做為同一站進行合併比較，本計畫使用 W2 測站做為南竿福澳港代表測站，而北竿 W4 及 W5 測站、東莒 W7 及 W8 測站、東引 W9 及 W10 測站皆為同點相鄰測站，觀測條件及風場特性相近，適合做為單一站點進行統合分析，另外還有位於東引外海的東引浮標 W11-2 測站（以下皆以地名測站統稱），透過這樣的代表測站選取方式，我們有效降低了分析的複雜度，同時保留數據的代表性與準確性，能更清晰地呈現各區域風力特性的整體結論，整理後相關數據如表 3-2。

本計畫對夏、冬季的風速及其分量進行相關性分析，結果顯示季節與測站間的關聯特性具有明顯差異，並且部分測站在不同季節間的相關性顯著改變。為有效區分各測站特性，相關性分析部分僅針對高度相關(表格深灰色欄位)做說明，在夏季風速部分，僅東引與東引浮標測站之間為高度相關，其餘測站間部分有中度至高度相關，唯獨東莒測站與其他測站之間無出現高度相關。相較之下，冬季風速表現出更多測站間的高度相關性，其中南竿、北竿、東莒及東引浮標測站彼此呈現高度相關，另外北竿、東莒、東引及東引測站之間也互為高度相關，其餘測站間部分有中度至高度相關，唯獨西莒測站與其他測站之間無高度相關，甚至與南竿測站出現低度相關。

針對風速分量U（夏季代表西風、冬季代表東風）的分析，夏季期間，南竿、東莒及東引浮標測站彼此之間呈現高度相關，北竿、西莒及東引測站分別與其他測站無高度相關，西莒測站甚至與東莒測站、東引測站出現中度負相關；冬季期間，南竿與東引浮標測站之間呈現高度相關，其餘測站間部分有中度至高度相關，北竿、西莒及東莒測站則分別與其他測站無高度相關，西莒測站甚至與全部測站出現中度負相關，此外，部分測站的相關性在季節間出現明顯變化，例如，南竿與北竿測站夏季為中度相關，但冬季下降為低度負相關；北竿與東引浮標測站夏季為低度至中度相關，冬季同樣轉變為低度負相關，顯示季節對風速分量U的影響顯著。

在風速分量V（夏季代表南風、冬季代表北風）的分析中，夏季所有測站之間均呈現高度相關，而冬季則呈現一定差異性，南竿、北竿及東莒測站之間互為高度相關，北竿、東莒、東引及東引浮標測站彼此也高度相關，其餘測站間部分有中度至高度相關。

在數據波動方面，西莒測站在夏、冬季的風速分量U分析中均顯示與其他測站之間的波動較大，甚至在部分情況下出現負相關，反映出該測站受外界環境條件影響顯著，數據的獨立性較高。這些結果顯示，不同測站間的相關性受季節和地理條件影響顯著，部分測站數據表現出較強的區域特性，對後續研究中的測站選擇與資料分析提供了參考依據。

表 3-2 2017 至 2023 夏、冬季各風力代表測站相關性比較

夏季	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V
測站	南竿(W2)			北竿			西莒			東莒			東引			東引浮標		
南竿(W2)	1.00	1.00	1.00	0.68~0.74	0.36~0.45	0.78~0.88	0.34~0.58	-0.12~0.1	0.81~0.85	0.47~0.53	0.73~0.75	0.77	0.32~0.60	0.33~0.61	0.81~0.86	0.67~0.76	0.80~0.91	0.78~0.88
北竿	0.68~0.74	0.36~0.45	0.78~0.88	1.00	1.00	1.00	0.63~0.74	-0.12~0.43	0.86~0.91	0.4~0.64	0.22~0.54	0.78~0.89	0.44~0.67	-0.16~0.08	0.85~0.87	0.65~0.69	0.29~0.37	0.83~0.84
西莒	0.34~0.58	-0.12~0.1	0.81~0.85	0.63~0.74	-0.12~0.43	0.86~0.91	1.00	1.00	1.00	0.34~0.37	-0.36~0.14	0.78~0.88	0.19~0.29	-0.44~-0.17	0.83~0.89	0.58~0.59	-0.04~0.36	0.86~0.87
東莒	0.47~0.53	0.73~0.75	0.77	0.4~0.64	0.22~0.54	0.78~0.89	0.34~0.37	-0.36~0.14	0.78~0.88	1.00	1.00	1.00	0.34~0.62	0.37~0.65	0.80~0.93	0.50~0.59	0.78	0.81~0.83
東引	0.32~0.60	0.33~0.61	0.81~0.86	0.44~0.67	-0.16~0.08	0.85~0.87	0.19~0.29	-0.44~-0.17	0.83~0.89	0.34~0.62	0.37~0.65	0.80~0.93	1.00	1.00	1.00	0.7~0.79	0.31~0.62	0.91~0.96
東引浮標	0.67~0.76	0.80~0.91	0.78~0.88	0.65~0.69	0.29~0.37	0.83~0.84	0.58~0.59	-0.04~0.36	0.86~0.87	0.50~0.59	0.78	0.81~0.83	0.7~0.79	0.31~0.62	0.91~0.96	1.00	1.00	1.00
冬季	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V
測站	南竿			北竿			西莒			東莒			東引			東引浮標		
南竿	1.00	1.00	1.00	0.71	-0.08	0.71	0.09	-0.31	0.61	0.76	0.62	0.77	0.60~0.72	0.55~0.68	0.47~0.54	0.73~0.78	0.73~0.84	0.47~0.75
北竿	0.71	-0.08	0.71	1.00	1.00	1.00	0.52	-0.41	0.5	0.71	0.24	0.71	0.71	0.17	0.74	0.82	-0.13	0.77
西莒	0.09	-0.31	0.61	0.52	-0.41	0.5	1.00	1.00	1.00	0.47~0.51	-0.4~-0.02	0.46~0.58	0.51~0.58	-0.37~-0.34	0.55~0.65	0.50~0.52	-0.31~-0.24	0.61~0.72
東莒	0.76	0.62	0.77	0.71	0.24	0.71	0.47~0.51	-0.4~-0.02	0.46~0.58	1.00	1.00	1.00	0.76~0.85	0.19~0.65	0.75~0.87	0.84~0.87	0.58~0.63	0.79~0.82
東引	0.60~0.72	0.55~0.68	0.47~0.54	0.71	0.17	0.74	0.51~0.58	-0.37~-0.34	0.55~0.65	0.76~0.85	0.19~0.65	0.75~0.87	1.00	1.00	1.00	0.88~0.91	0.43~0.72	0.89~0.95
東引浮標	0.73~0.78	0.73~0.84	0.47~0.75	0.82	-0.13	0.77	0.50~0.52	-0.31~-0.24	0.61~0.72	0.84~0.87	0.58~0.63	0.79~0.82	0.88~0.91	0.43~0.72	0.89~0.95	1.00	1.00	1.00

註：深灰：高度相關(顯示它們之間變化趨勢大致相似)；淺灰：中度至高度相關(顯示它們之間有一些變化趨勢相似，但並不完全一致)

3.1.2 風力資料特性

本計畫分析觀測資料涵蓋 2016 年至 2023 年，共 8 個年度的資料，使用數據包括平均風速及風向，資料時間分為夏、冬季及歷年，特性分析以玫瑰圖的形式呈現，各地因地理環境不同，風向亦有不同，夏季風向不局限於西南風，冬季也未必以東北風為主，各測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖比較及總覽，參見圖 3.1、3.2 及附錄二。

為分析馬祖四鄉五島各港口風力狀況，並提升資料的代表性，測站選用部分，同港區有 2 鄰近測站則選用觀測資料較多(蒐集率 70%以上)之測站，選用結果如下，南竿 W2、北竿 W4、西莒 W6、東莒 W7、東引 W10、東引浮標 W11-2 測站，另外，為凸顯不同港區於不同季節之風力狀況，分別取用夏、冬季來做說明。

馬祖四鄉五島各港口的夏季風場具有明顯的區域特性，南竿及東引浮標測站主要吹西南風，北竿測站的風向則以南南西風、北風、北北東風為主，東莒測站主要吹東北風，而西莒測站以北北西風為主，東引測站主要吹南風。各測站的夏季平均風速介於 2 至 4m/s，除東引浮標測站平均風速較大(6.1 m/s)，其中東莒測站風速最小，僅 2.04 m/s。夏季觀測到的最大風速出現在東引浮標測站，達 14.9 m/s(北北西風)，其次為東引測站，達 12.88 m/s（北北東風），經查皆屬於颱風期間的觀測值。

冬季風場則受東北季風影響，風速普遍較夏季更為強勁。東莒、東引及東引浮標測站的主要風向為北北東風，南竿測站則以東風為主，北竿測站主要吹北風，西莒測站則以北北西風為主。冬季各測站的平均風速介於 3 至 10 m/s，南竿與西莒測站風速較小，分別為 3.77 m/s 和 3.64 m/s。相較之下，東莒、東引及東引浮標測站的風速較高，5 m/s 以上的風速占比超過 60%，成為冬季風速較大的區域，相反的，南竿與西莒測站的風速 5 m/s 以上占比不足 30%，風況相對舒適。冬季觀測到的最大風速同樣出現在東引浮標測站，達 18.1m/s(北北東風)，其次為東引測站，達 15.21m/s（東北風），經查為強勁東北季風所致，並非颱風影響。

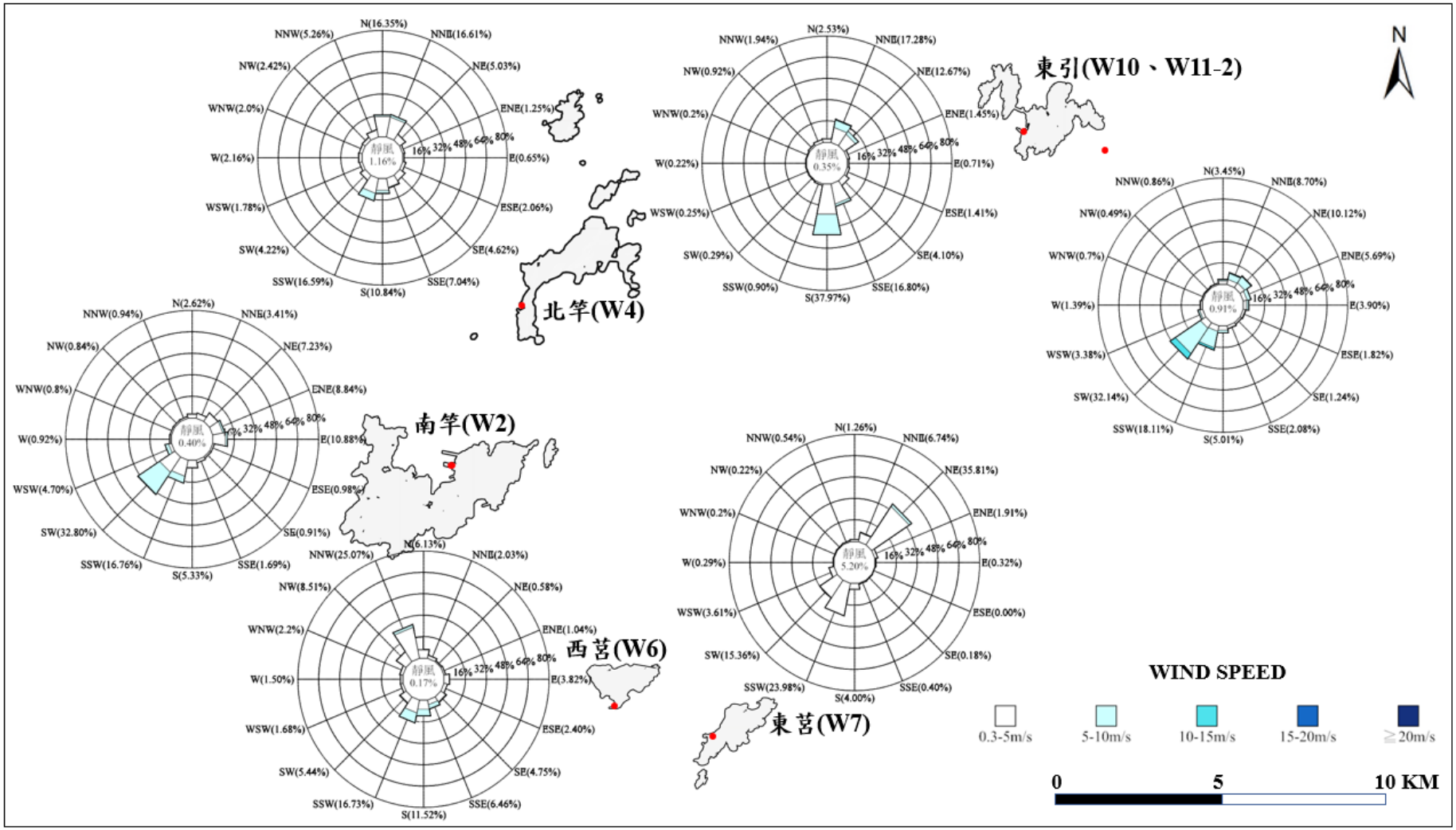


圖 3.1 馬祖各港口風力測站代表的歷年夏季風力玫瑰圖 (各測站統計期間如附錄二)

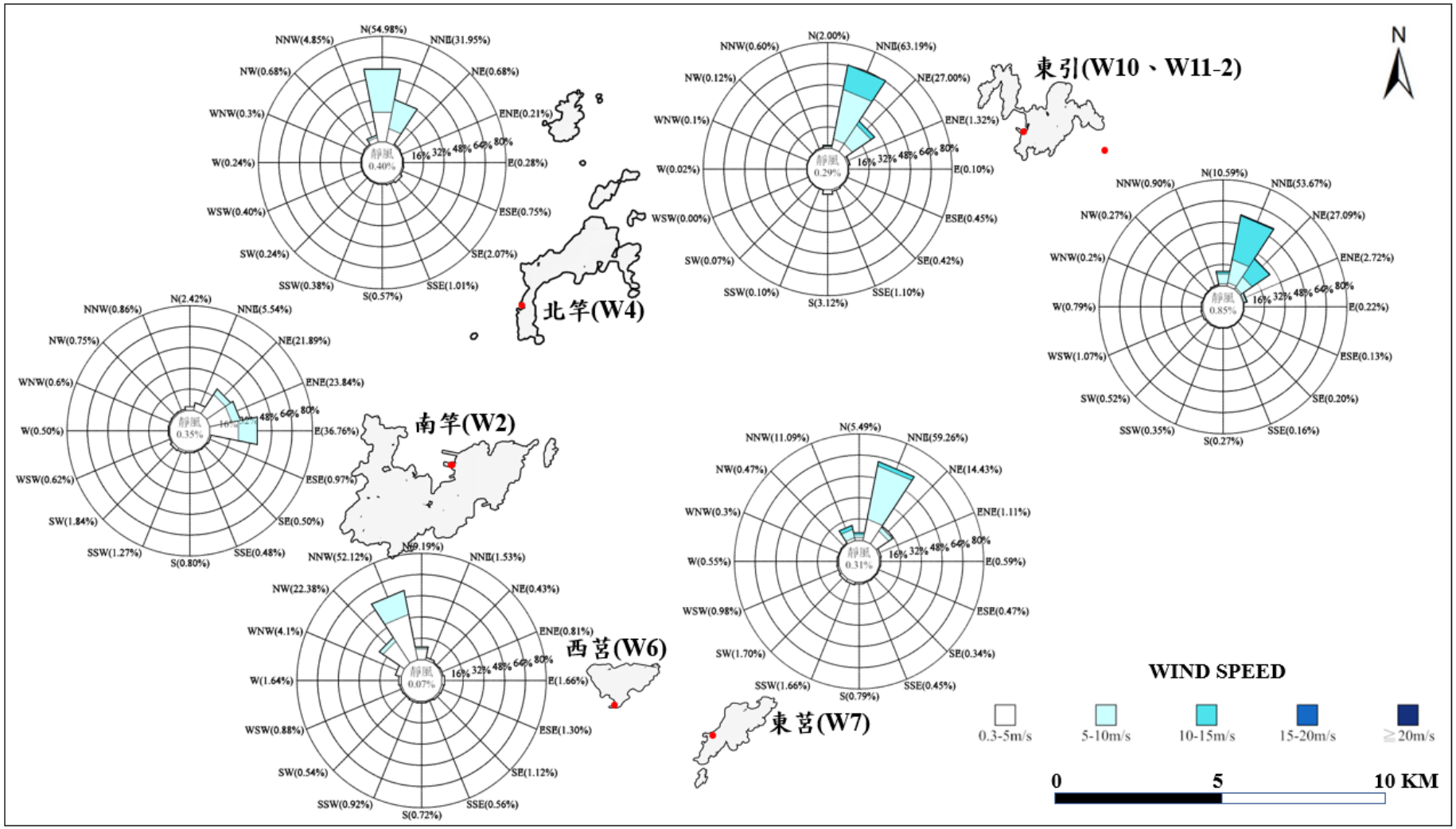


圖 3.2 馬祖各港口風力測站代表的歷年冬季風力玫瑰圖(各測站統計期間如附錄二)

3.2 波浪特性分析

3.2.1 波浪資料相關性

本計畫分析波浪測站觀測資料涵蓋 2016 年至 2023 年，共 8 個年度的資料，包括示性波高、尖峰週期及主要波向。本次研究所涉及的波浪測站分布廣泛，共計 9 個站點，其中包含南竿福澳港的 4 個測站(A1、A2、A3 及 A4)、北竿的 1 個測站(A5)、東莒的 1 個測站(A6)、東引的 2 個測站(A7 及 A8)、東引浮標 1 個測站(A9-2)，這些測站共同提供了長期且連續的示性波高、尖峰週期和波向觀測數據，為研究地區的海氣象狀況提供了關鍵資訊。

2016 年至 2023 年各波浪測站相關性比較總表，如附錄一，在波浪代表測站的選取上，基於測站位置及觀測資料的完整性進行評估與決策。南竿的波浪測站中，A1 因靠近港內結構物，資料可能受環境影響較大，因此不適合作為代表測站；A2、A3 及 A4 測站則距離結構物較遠，其中 A3 與 A4 測站可視作同一站，然而其觀測資料僅涵蓋一年，數據不足以支持長期分析。綜合考量位置適宜性與資料完整性，選定 A2 做為南竿福澳港的代表測站，其觀測資料涵蓋範圍更廣，能更有效支持後續研究。東引則包括 A7 及 A8 測站，由於兩站距離相近且均遠離結構物，資料特性一致，為簡化分析流程，可視為同一測站。此外，東引浮標測站在 2018 年初發生遺失，並於同年 4 月重新佈設於新位置，因此僅採用 2018 年至 2023 年間新佈設浮標 A9-2 的觀測資料（以下皆以地名測站統稱），以確保數據的連續性與代表性。整理後相關數據如表 3-3 及 3-4。

本計畫對夏、冬季的示性波高與尖峰週期進行相關性分析，由於部分測站觀測資料缺失較多或年份無重疊，無法完整反映測站間相關性之資訊，惟分析結果仍顯示測站間關聯性與季節影響存在一定差異。

在示性波高部分，夏季期間，北竿、東莒及東引浮標測站之間呈現高度相關，其餘測站部分為中度至高度相關，南竿測站與其他測站無高度相關。冬季期間，南竿測站分別與東莒、東引浮標測站為高度

相關，北竿測站分別與東莒、東引、東引浮標測站為高度相關，東引及東引浮標測站互為高度相關，其餘測站間部分為中度至高度相關，結果顯示冬季測站間相關性更為顯著。

相較之下，尖峰週期在夏、冬季均無測站間的高度相關，所有測站的相關性介於低度至中度之間，顯示尖峰週期在不同測站間的關聯性較弱。此外，夏、冬季的尖峰週期在測站間的相關性未見明顯季節性差異。

綜合數據波動分析，示性波高與尖峰週期在夏、冬季的波動均處於正常範圍，未出現顯著情況。整體而言，示性波高的測站相關性在冬季高於夏季；尖峰週期在 2 個季節中的相關性均偏低，顯示其受測站位置或外界條件影響較大，測站間的同步性較低。

表 3-3 2016 至 2023 夏、冬季各波浪代表測站示性波高相關性比較

夏季	示性波高				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00				0.39
北竿		1.00	0.76	0.69	0.8~0.83
東莒		0.76	1.00	0.68	0.83
東引		0.69	0.68	1.00	0.44~0.7
東引浮標	0.39	0.8~0.83	0.83	0.44~0.7	1.00
冬季	示性波高				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00		0.87	0.68	0.88~0.92
北竿		1.00	0.71~0.82	0.84	0.92
東莒	0.87	0.71~0.82	1.00	0.69~0.73	
東引	0.68	0.84	0.69~0.73	1.00	0.74~0.86
東引浮標	0.88~0.92	0.92		0.74~0.86	1.00

表 3-4 2016 至 2023 夏、冬季各波浪代表測站尖峰週期相關性比較

夏季	尖峰週期				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00				0.31
北竿		1.00	0.52	0.29	
東莒		0.52	1.00	0.43	0.32
東引		0.29	0.43	1.00	0.24~0.67
東引浮標	0.31		0.32	0.24~0.67	1.00
冬季	尖峰週期				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00		0.46	0.28	0.56~0.61
北竿		1.00	0.24~0.35	0.06~0.16	0.32
東莒	0.46	0.24~0.35	1.00	0.11~0.32	
東引	0.28	0.06~0.16	0.11~0.32	1.00	0.09~0.43
東引浮標	0.56~0.61	0.32		0.09~0.43	1.00

3.2.2 波浪資料特性

本計畫分析波浪觀測資料涵蓋 2016 年至 2023 年，共 8 個年度的資料，使用數據包括示性波高、尖峰週期及主要波向，資料時間分為夏、冬季及歷年，特性分析以玫瑰圖的形式呈現，平均波高與波浪測站設置位置有關，離港口越近，水深越淺，波高越小，反之亦然，主要波向與風場(季風)、地形、海岸線形狀(港口開口方向)及潮汐往復運動等有關，波浪週期越長，波能的傳遞效率越高，各測站歷年、夏、冬季玫瑰圖、示性波高、尖峰週期及主要波向玫瑰圖比較及總覽，參見圖 3.3 至圖 3.6 及附錄二，。

為凸顯不同港區於不同季節之波浪狀況，分別取用夏、冬季來做說明，測站選用部分，同港區如有 2 鄰近測站則選用觀測資料較多(蒐集率 70%以上)之測站，經分析選用，夏、冬季皆使用南竿 A2、北竿 A5、東莒 A6、東引 A8、東引浮標 A9-2 測站（以下皆以地名測站統稱）。

夏季期間，馬祖各測站的波浪特性因測站位置和地理條件有所差異。在波向方面，南竿測站受港口開口方向影響，主要波向為東北向；北竿測站波向均勻分佈於西南與東南向，並以南向為主，東莒測站波向呈現西南向與北向為主，東引測站主要波向為西南向，東引浮標測

站主要波向為南向。

在夏季示性波高方面，各測站的平均示性波高介於 0.3 至 0.6 m，除東引浮標測站平均示性波高為 1.25m，各波浪測站示性波高最大值均超過 1m。經查，北竿、東莒及東引浮標測站的最大示性波高出現於颱風期間，南竿與東引測站則非颱風期間，東引浮標測站最大示性波高達 10.89 m(東北東向)。

在尖峰週期的分析中，夏季各測站的平均尖峰週期介於 5 至 7 秒，整體數值較為一致，各測站最大尖峰週期介於 10 秒至 20 秒之間，東引浮標測站最大尖峰週期高達 18.9 秒(東向)。

冬季波浪特性呈現更為強烈的季節性差異。南竿測站波向以東北向為主，北竿測站波向以南向為主，東莒測站波向以北北東為主，東引測站因港口開口方向的影響，主要波向為西與西南西向，東引浮標測站的波向以東北向、東北東向為主。

冬季的示性波高顯著高於夏季，平均值介於 0.3 至 0.8m，東引浮標測站平均示性波高達 2.32m，南竿、東莒及東引浮標測站大於 1m 示性波高占比超過 20%，後者甚至超過 80%，最大值分別為南竿測站的 2.3m（NE）、東莒測站的 2.46m（N）及東引浮標測站的 6.62m(NE)，相對而言，北竿、東引測站大於 1m 波高占比不到 1%。

在冬季尖峰週期方面，各測站的平均值約介於 6 至 8 秒，整體比夏季更長，各測站最大尖峰週期介於 10 秒至 20 秒之間，最大尖峰週期 16.88 秒(西南西向)出現於東引測站，南竿、東引及東引浮標測站尖峰週期大於 6 秒占比 70%以上，與其他測站差異較大。

馬祖四鄉五島各波浪測站於夏、冬季的波浪特性在示性波高、尖峰週期上均呈現明顯季節性變化，夏季波浪高度與尖峰週期較為均勻，與颱風相關的短期波動明顯；冬季波浪高度整體增加，尖峰週期更長，顯示季風帶來的波浪能量更為顯著。受港口開口方向影響，不同波浪測站間於夏、冬季季風期間的波浪特性呈現較大差異，鄰近港口波浪測站與外海波浪測站的波浪特性亦是如此。

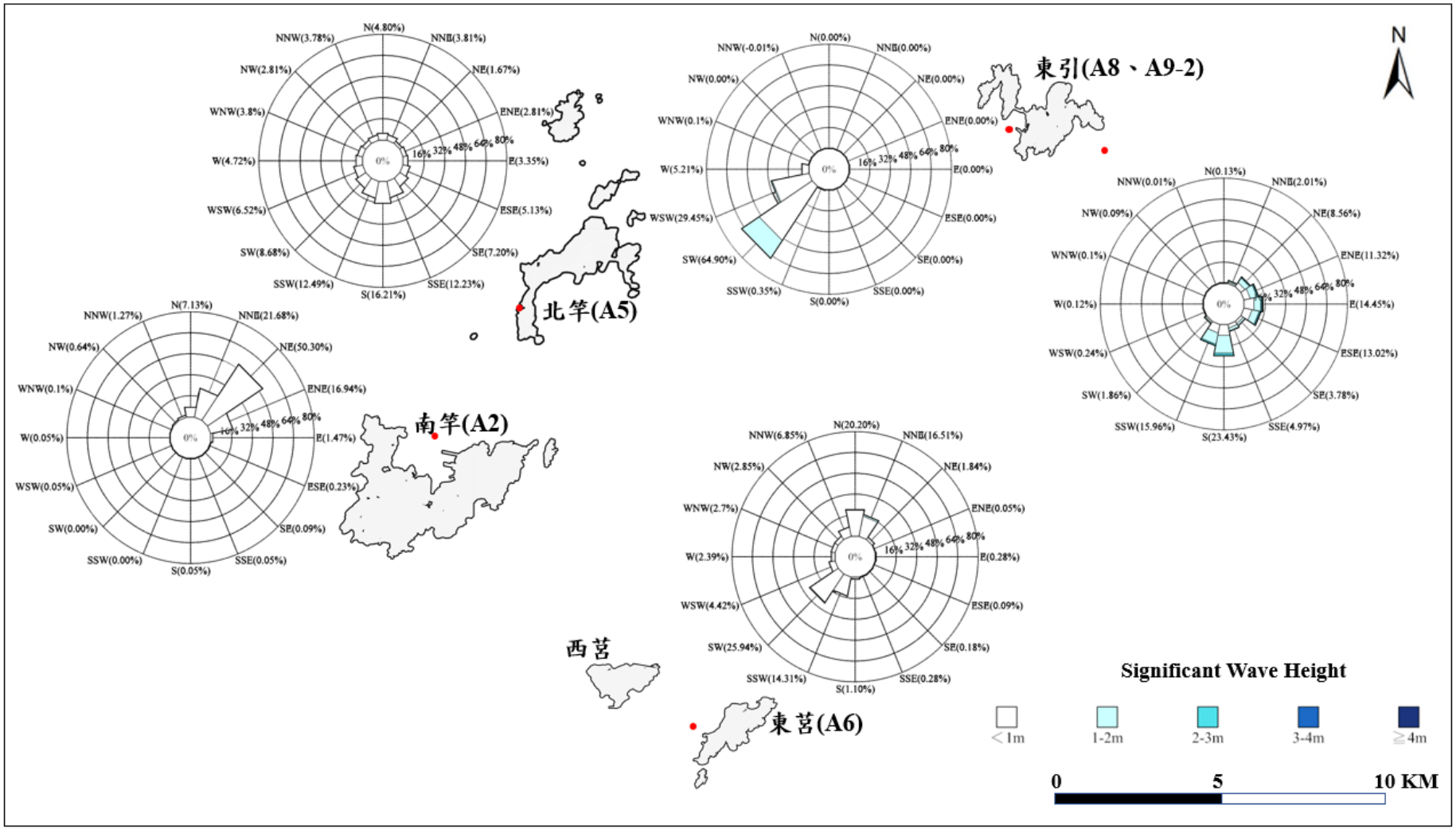


圖 3.3 馬祖各港口波浪測站代表的歷年夏季波高波向玫瑰圖(各測站統計期間如附錄二)

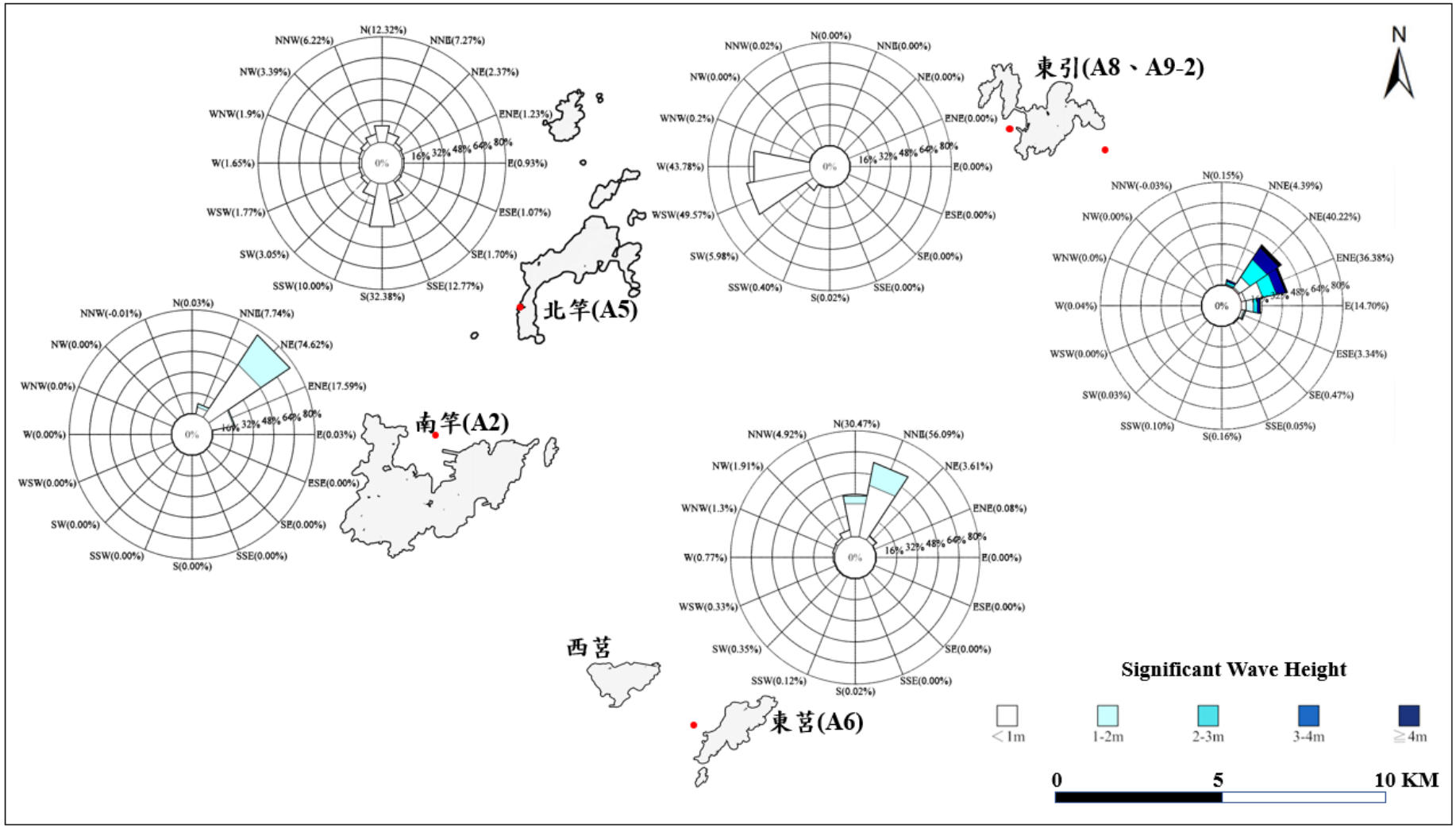


圖 3.4 馬祖各港口波浪測站代表的歷年冬季波高波向玫瑰圖(各測站統計期間如附錄二)

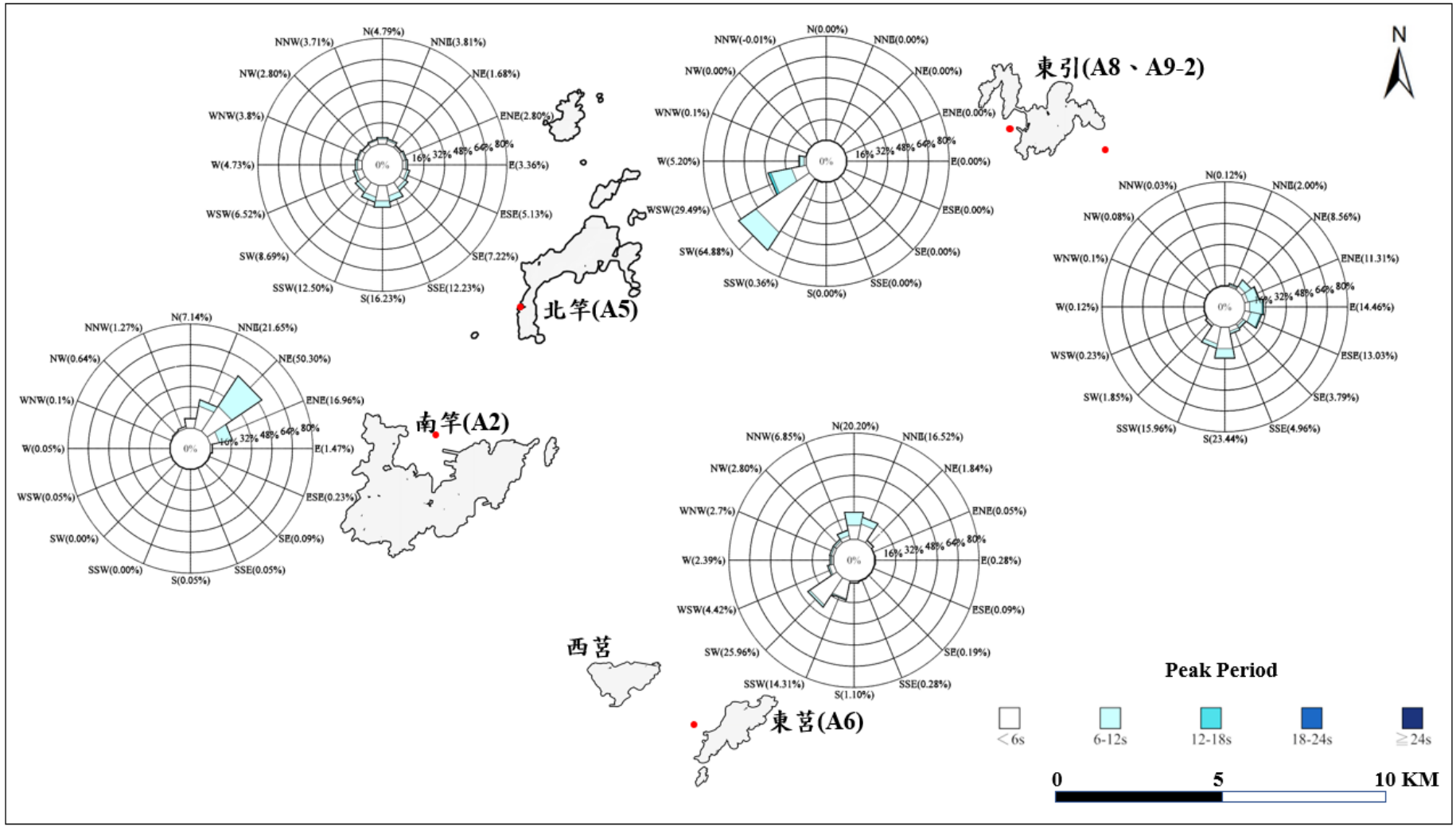


圖 3.5 馬祖各港口波浪測站代表的歷年夏季週期波向玫瑰圖(各測站統計期間如附錄二)

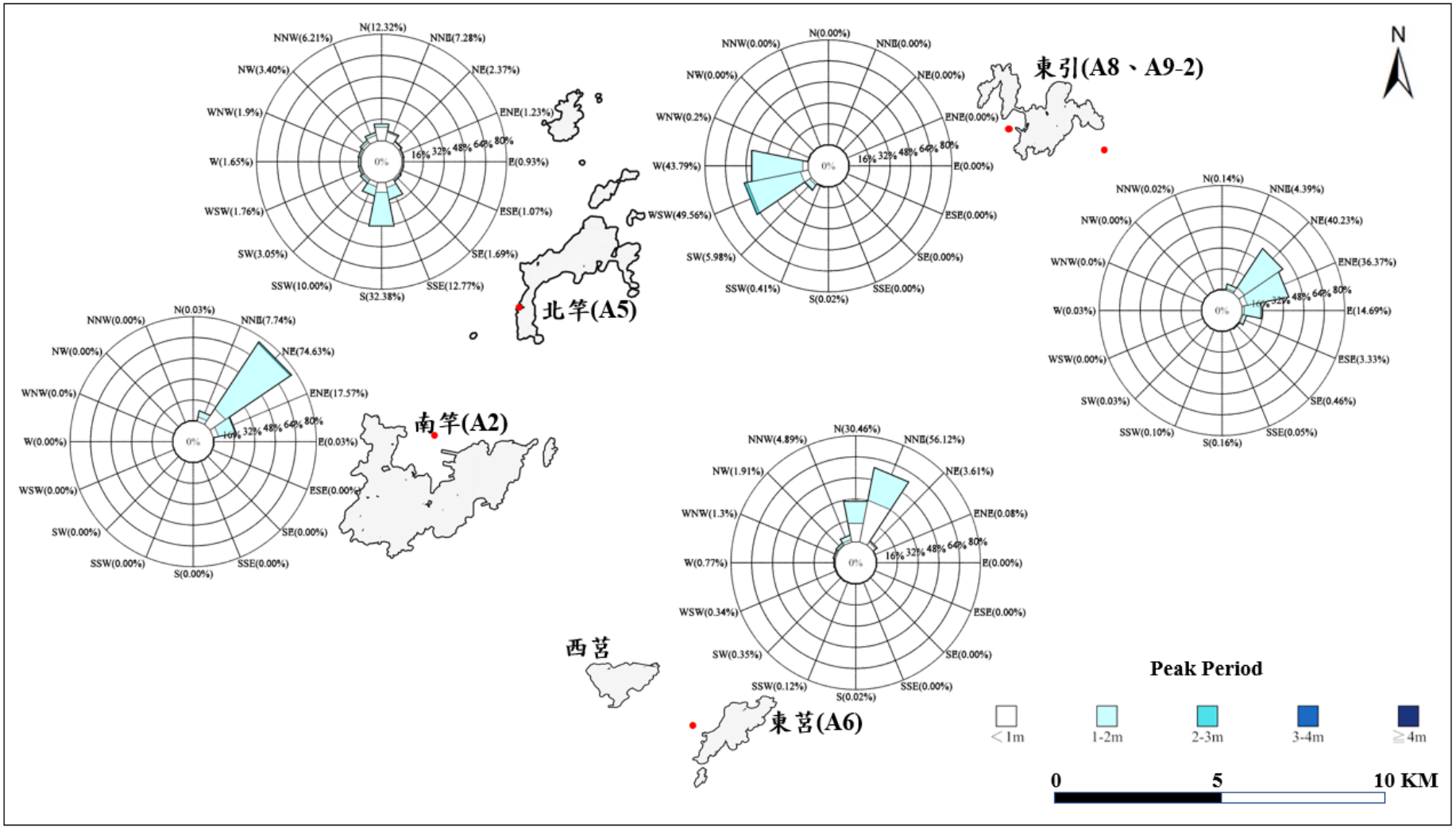


圖 3.6 馬祖各港口波浪測站代表的歷年冬季週期波向玫瑰圖(各測站統計期間如附錄二)

3.3 海流特性分析

3.3.1 海流資料相關性

本計畫分析的海流測站觀測資料涵蓋 2016 年至 2023 年，共 8 個年度的資料，觀測數據包括流速及流向，另外增加計算後得出的流速流向分量，一併分析比較，波浪與海流測站為同一測站(觀測儀器為 AWAC)。

2016 年至 2023 年各海流測站相關性比較總表，如附錄一，在海流代表測站的選取上與波浪測站相同，整理後相關數據如表 3-5。

本計畫針對夏、冬季的流速及其分量進行相關性分析，結果顯示測站間的相關性整體偏低，且季節性差異不顯著，測站間的流速相關性更多受到地理位置與外部條件的影響。

在夏季流速部分，各測站間無高度相關，相關性僅介於低度至中度範圍，部分測站間甚至出現低度負相關。在夏季流速分量 U（往東流）中，各測站之間仍無高度相關，僅呈現低度至中度相關，部分測站甚至出現低度至中度負相關；而在夏季流速分量 V（往北流）中，測站間的相關性同樣維持在低度至中度範圍。比較特別的是，東引與東引浮標測站在夏季流速分量 U 上的相關性波動較大，從中度負相關到低度相關，顯示該區域可能受到外界條件的顯著影響。

在冬季流速部分，各測站間同樣無高度相關，相關性多為低度至中度，部分測站甚至呈現低度至中度負相關。在冬季流速分量 U（往西流）中，各測站之間無高度相關，僅介於低度至中度相關，且部分測站表現出低度至中度負相關。其中，南竿與東莒測站的相關性波動較大，從中度負相關到低度相關。在冬季流速分量 V（往南流）中，各測站間仍無高度相關，相關性僅在低度至中度範圍，且東引與東引浮標測站的相關性波動明顯，從低度負相關到中度相關，顯示該測站在冬季期間可能受到外界條件的顯著影響。

整體來看，夏季與冬季的流速及其分量在各測站間的相關性均偏低，季節性差異不顯著，相關性範圍主要介於低度負相關至中度相關。

數據波動分析表明，部分測站（如東引及東引浮標測站、南竿與東莒測站）在特定分量上的相關性波動較大，反映出地理位置與外界條件對測站間流速特性的顯著影響。

表 3-5 2016 至 2023 夏、冬季各海流代表測站流速、流速分量相關性比較

夏季	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V
測站	南竿			北竿			東莒			東引			東引浮標		
南竿	1.00	1.00	1.00	-0.10	0.04	0.28				-0.04~0.08	-0.01~0.28	0.14~0.31	0.07	-0.09~-0.06	0.05~0.17
北竿	-0.10	0.04	0.28	1.00	1.00	1.00	-0.09	0.06	0.2	0.2	0.23	0.67			
東莒				-0.09	0.06	0.2	1.00	1.00	1.00	0.22	0.11	0.47	0.21	0.65	0.33
東引	-0.04~0.08	-0.01~0.28	0.14~0.31	0.2	0.23	0.67	0.22	0.11	0.47	1.00	1.00	1.00	-0.04~0.12	-0.32~0.06	0.11~0.47
東引浮標	0.07	-0.09~-0.06	0.05~0.17				0.21	0.65	0.33	-0.04~0.12	-0.32~0.06	0.11~0.47	1.00	1.00	1.00
冬季	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V
測站	南竿			北竿			東莒			東引			東引浮標		
南竿	1.00	1.00	1.00	-0.44	-0.15	-0.27	-0.3~-0.07	-0.34~0.18	-0.12~-0.09	-0.18~0	0.25~0.43	-0.2~-0.1	-0.12	-0.35	-0.13
北竿	-0.44	-0.15	-0.27	1.00	1.00	1.00	0.01~0.4	0.03~0.39	0.13~0.45	0.19~0.31	-0.17~0.07	0.34~0.52			
東莒	-0.3~-0.07	-0.34~0.18	-0.12~-0.09	0.01~0.4	0.03~0.39	0.13~0.45	1.00	1.00	1.00	-0.02~0.14	-0.26~-0.1	0.2~0.3	0.22	0.38	0.36
東引	-0.18~0	0.25~0.43	-0.2~-0.1	0.19~0.31	-0.17~0.07	0.34~0.52	-0.02~0.14	-0.26~-0.1	0.2~0.3	1.00	1.00	1.00	0.05~0.12	-0.53~-0.28	-0.15~0.35
東引浮標	-0.12	-0.35	-0.13				0.22	0.38	0.36	0.05~0.12	-0.53~-0.28	-0.15~0.35	1.00	1.00	1.00

3.3.2 海流資料特性

本計畫分析海流的觀測資料涵蓋 2016 年至 2023 年，共 8 個年度的資料，使用數據包括流速及流向，資料時間分為夏、冬季及歷年，特性分析以玫瑰圖的形式呈現，馬祖海流測站設置位置，除東引浮標 A9-2 測站，其餘可視為陸地沿岸，主要受風力、潮汐及地形影響海流方向，依季節區分，夏季另有南海海流，冬季則有中國沿岸流影響，各測站夏、冬季及歷年玫瑰圖、流速及流向比較及總覽，參見圖 3.7、3.8 及附錄二。

為凸顯不同港區於不同季節之海流狀況，分別取用夏、冬季來做說明，測站選用部分，同港區如有 2 鄰近測站則選用觀測資料較多(蒐集率 70%以上)之測站，經分析選用，夏、冬季皆使用南竿 A2、北竿 A5、東莒 A6、東引 A8、東引浮標 A9-2 測站(以下以地名測站統稱)。

各海流測站因設置位置不同，有不同潮汐漲退速度，加上部分測站受港灣結構物的干擾，使得海流方向的解釋和判斷更加複雜。

參考風速風向玫瑰圖及波高波向玫瑰圖的分析，夏季時，南竿、東莒、東引及東引浮標測站的海流流向，除了潮汐影響，與風向相關性較高一些，北竿測站的海流流向則可能是漲退潮速度差較大，較大流速主要流向集中於 SSW、S 和 SSE，佔比超過 50%。大部分測站的平均流速約介於 0.1 至 0.3m/s，東引浮標測站平均流速高達 0.431m/s，其中東引測站流速最小，流速小於 0.257 m/s 的比例高達 90.53%，而其他測站則約為 40%至 60%。

冬季時，南竿、北竿及東莒測站的海流流向與風向相關性亦較明顯，北竿測站可能仍受漲、退潮速度差及季風影響，較大流速及主要流向為 SSW、S 和 SSE，佔比超過 70%，東引及東引浮標測站的海流流向與東北季風風向的相關性不大，合理的解釋是前者原本應受東北季風帶來的海流影響較大，惟因路堤阻隔減弱其傳遞影響，因此流向較呈潮流往復運動方向，後者亦可能受潮汐往復影響較大，主要流向集中在 N-E 及 S-W，並以 S-W 占比較大。所有測站的平均流速約介於 0.1 至 0.4m/s，其中東引測站依然為平均流速最小(0.145m/s)，流

速小於 0.257m/s 的比例為 87.88%，南竿測站次之，平均流速為 0.196m/s，流速小於 0.257 m/s 的比例為 73.55%。此外，南竿、東莒及東引浮標測站的夏季平均流速略高於冬季，北竿則相反，夏季平均流速低於冬季，東引測站在夏季與冬季的平均流速變化最小。

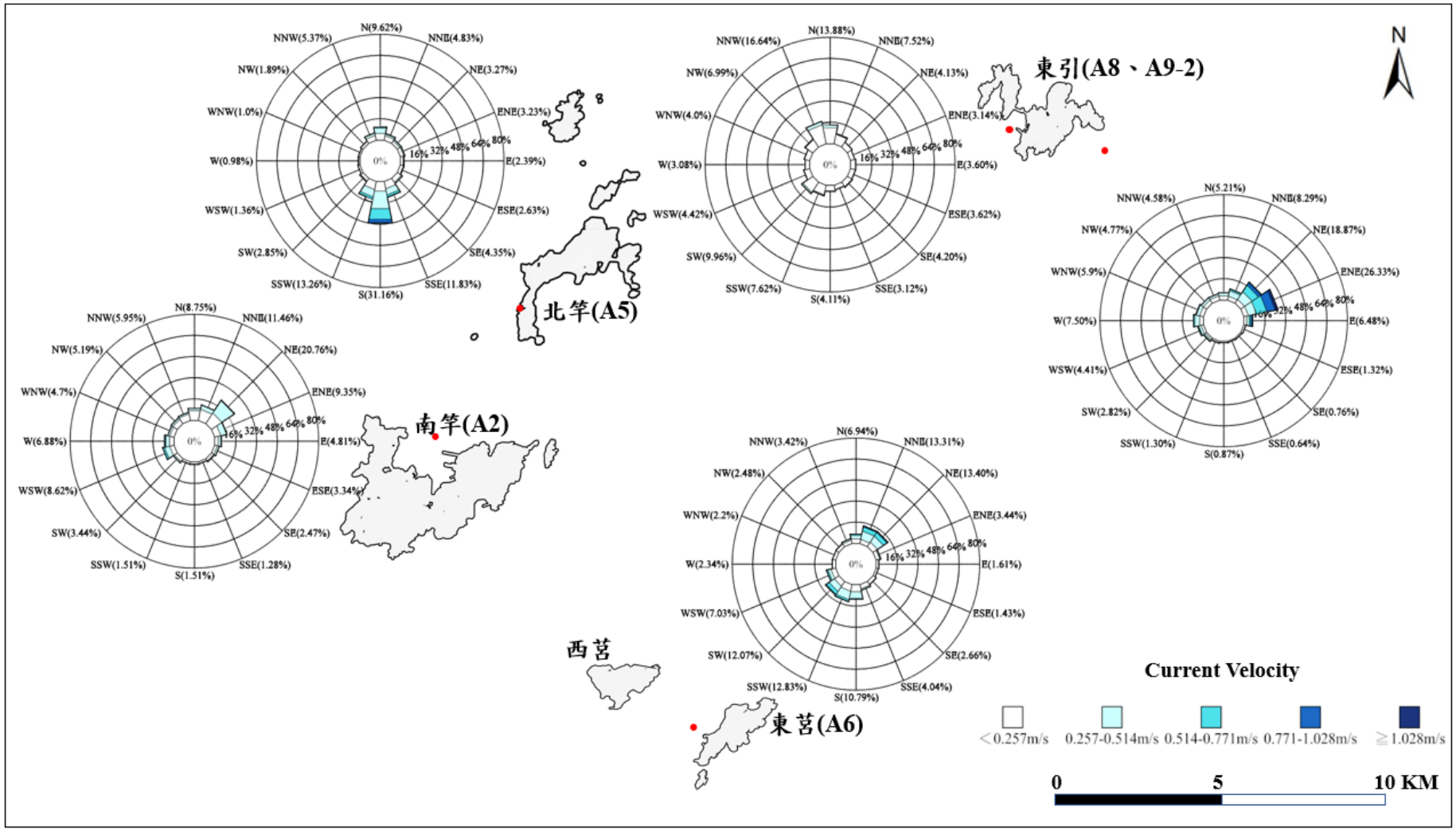


圖 3.7 馬祖各港口海流測站代表的歷年夏季流速流向玫瑰圖(各測站統計期間如附錄二)

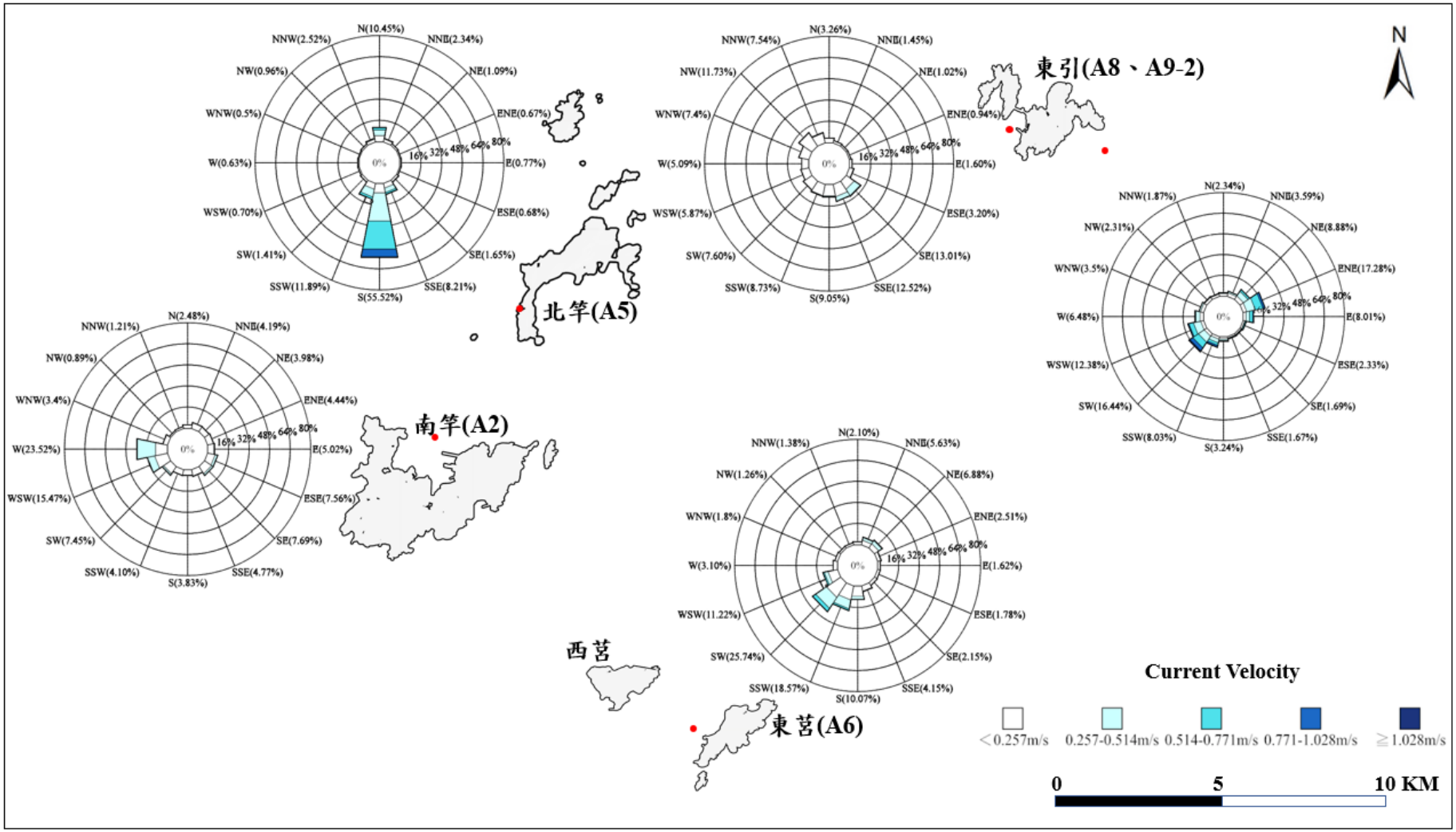


圖 3.8 馬祖各港口海流測站代表的歷年冬季流速流向玫瑰圖(各測站統計期間如附錄二)

第四章 水動力數值模式分析與探討

4.1 水動力數值模式及模擬條件

4.1.1 模式地形水深及網格設定

模式使用之地形水深資料由遠域到近域，除了蒐集臺灣海洋科技研究中心彙編之臺灣周圍附近 500 公尺海域地形水深資料、海軍測量局刊行之臺灣沿海五萬分之一海軍水道圖數化水深資料，對於馬祖南竿福澳港港區部分則使用運技中心代辦連江縣政府「國內商港未來發展及建設計畫(111-115 年)-馬祖港埠建設計畫」子項目「港埠經營管理資訊系統維護更新」案 107 年委託詠翔測量工程有限公司辦理馬祖四鄉五島地形水深測量資料(南竿福澳港 10M 地形水深資料)等，模式地形水深資料彙整表，如表 4-1 所示。

表 4-1 模式地形水深資料

項次	區域範圍	水深資料	資料來源
1	臺灣周圍海域	26.365 -26.045°N 119.885-120.185°E 500m 網格水深	臺灣海洋科技研究中心
2	臺灣周圍海域	臺灣沿海五萬分之一海軍水道圖數化水深資料	海軍測量局
3	南竿福澳港港區	南竿福澳港 10M 地形水深資料	運技中心

以表 4-1 地形水深資料建置本計畫臺灣馬祖離島模擬區域非結構性網格模式，模式範圍為東經 119.85 度至 120.15 度、北緯 26.05 度至 26.3 度，共有 3370 個節點及 5700 個三角形元素，模式邊界網格大小約 0.008 度，模式範圍網格及數值水深，如圖 4.1 所示；另為獲得較佳數值模擬結果，針對本計畫重點探討區域(南竿福澳港港區)則以局部區域網格加密方式處理，局部加密網格大小約 0.00075 度，如圖 4.2 所示。

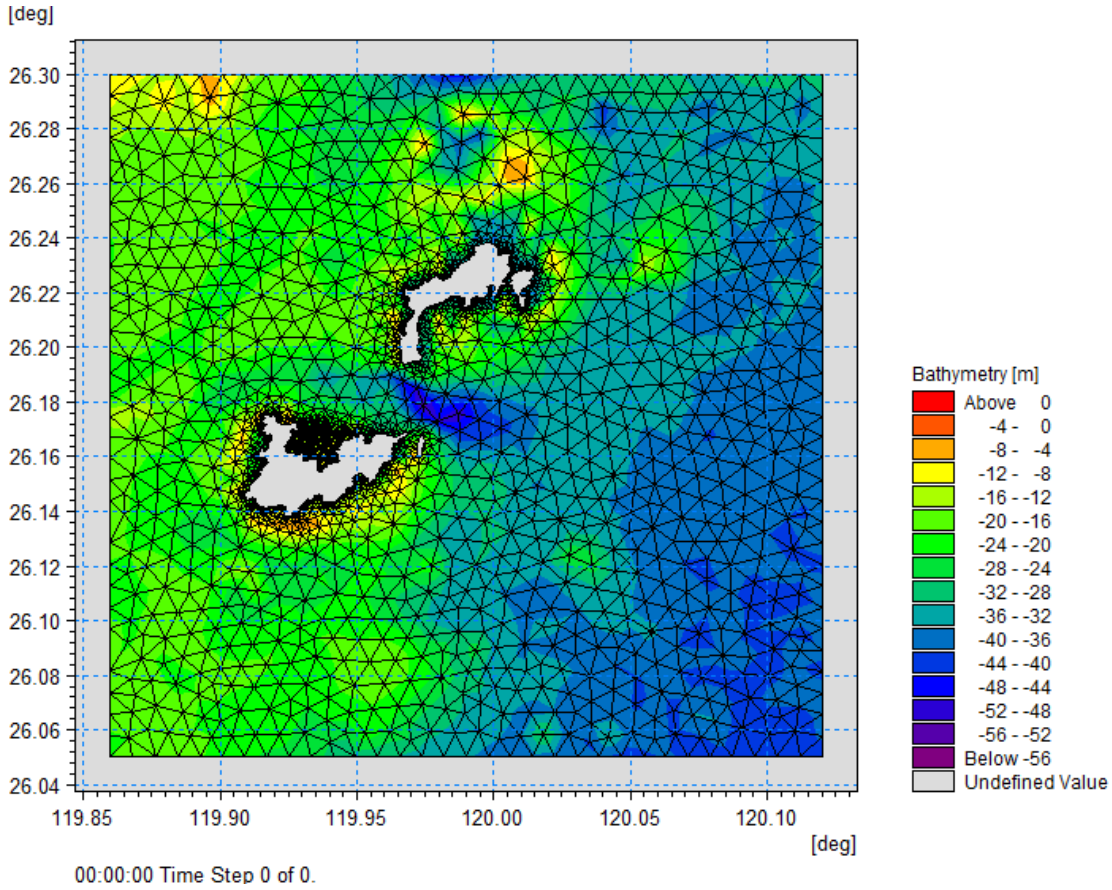


圖 4.1 馬祖南竿水動力模式範圍、網格及數值水深示意圖

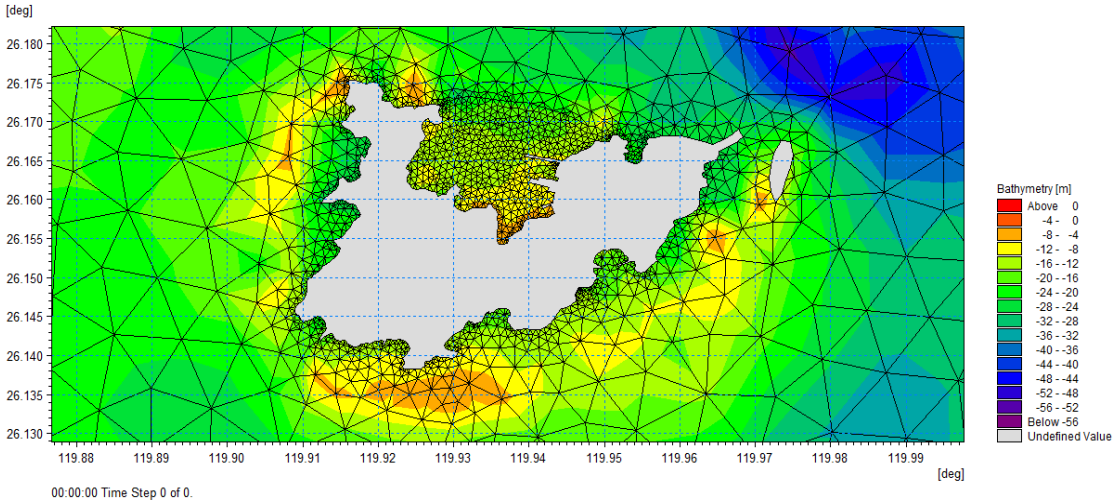


圖 4.2 馬祖南竿福澳港局部區域範圍、網格及數值水深示意圖

4.1.2 風、氣壓場資料

2017 年 7 月起中央氣象署第四代數值天氣預報系統之區域模式 WRF(Weather Research and Forecasting)M05 每日提供 4 次(UTC 0、6、12 及 18 時)數值預報結果，M05 模組數值網格之水平解析度分成

15km/3km 兩層巢狀網格(分別以 WD01 及 WD02 稱之)，各層模擬範圍及網格資訊參考表 4-2 及圖 4.3。本中心建構之臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System，TaiCOMS)將中央氣象署 WRF 風場下載，以自動化方式執行解碼、重組及內插後再將 WD01 及 WD02 預報資料各自輸出其作業化模式需要之範圍，本研究使用 WD02 風場資料。

本模式使用風、氣壓場資料選用 TaiCOMS 處理再輸出之中央氣象署 WE02 預報資料，如表 4-3 所示，再將每筆預報擷取前 6 小時資料，拼接組合成模擬時間所需之風、氣壓場資料，組合完成之 2 維平面風、氣壓場資料範圍為西太平洋北緯 20 度~北緯 29 度、東經 116 度~東經 125 度，網格解析度為 0.033 度，資料內容代表海面 10 公尺高度之 u、v 方向風速資料及海面氣壓場資料(p)，並建置 Mike 21 風氣、壓場檔案格式(.dfs2)供做本計畫風浪及水動力模式之模式驅動力，如圖 4.4 所示。

表 4-2 中央氣象署 WRF 成員 M05 水平兩層巢狀網格資訊

DMS FLAP	座標系統	dimension	relocation	格點位置
WD01	Lambert conformal mapping	661×385	15 km	Center(120E), true (10N, 40N)， 座標(340,214)位置位於(30N,120E)， 中心點座標為(331,192)位置位於 (26.926N,118.5908E) 底圖 左下點(-5.693677N,78.02554E) 右上點(43.28705N,-179.5461E)
WD02	Lambert conformal mapping	1158×673	3km	Center(120E), true (10N, 40N)， 座標(522,547)位置位於(30N,120E)， 中心點座標為(579.5,337)位置位於 (24.1285N,121.7601E) 底圖 左下點(14.02224N,105.2500E) 右上點(32.12021N,140.91388E) 座標(1,1)對應至 45 km MESH 之(89,22)座標位置

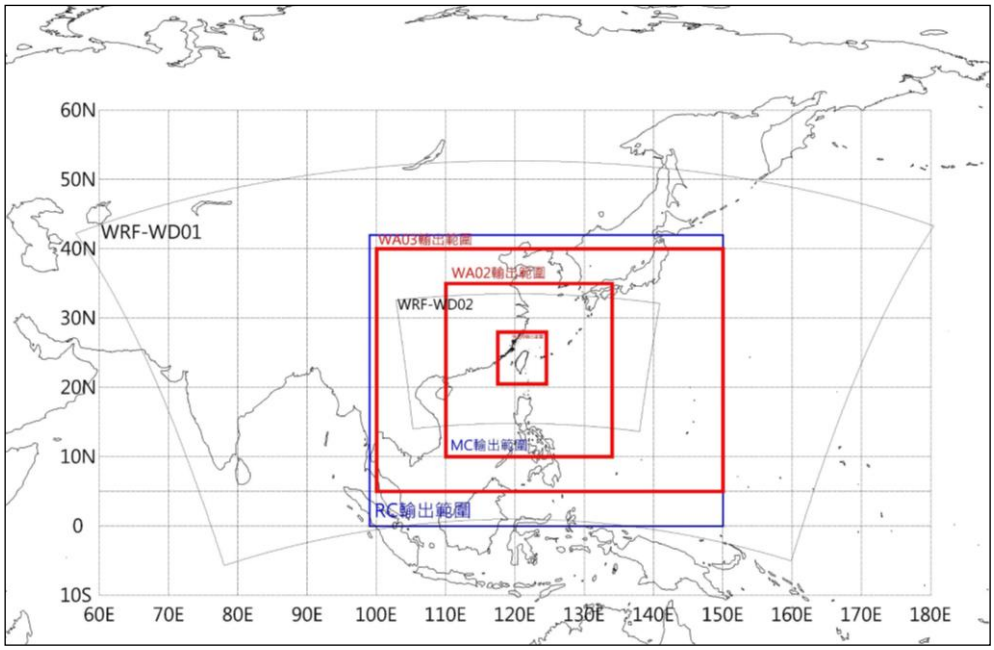


圖 4.3 中央氣象署數值天氣預報系統 WRF 模組 M05 數值模擬範圍(WD01 及 WD02)及 TaiCOMS 各層風、壓場資料輸出範圍

表 4-3 TaiCOMS 海象模擬作業化系統之風壓場資料格式

模式	Dimension	模式格網度(°)	格點位置
西太平洋風壓場 WE01	271x181	1/6°≈0.167˚	左下點(10N,105E) 右上點(40N,150E)
臺灣海域風壓場 WE02	271x271	1/30°≈0.033˚	左下點(20N,116E) 右上點(29N,125E)

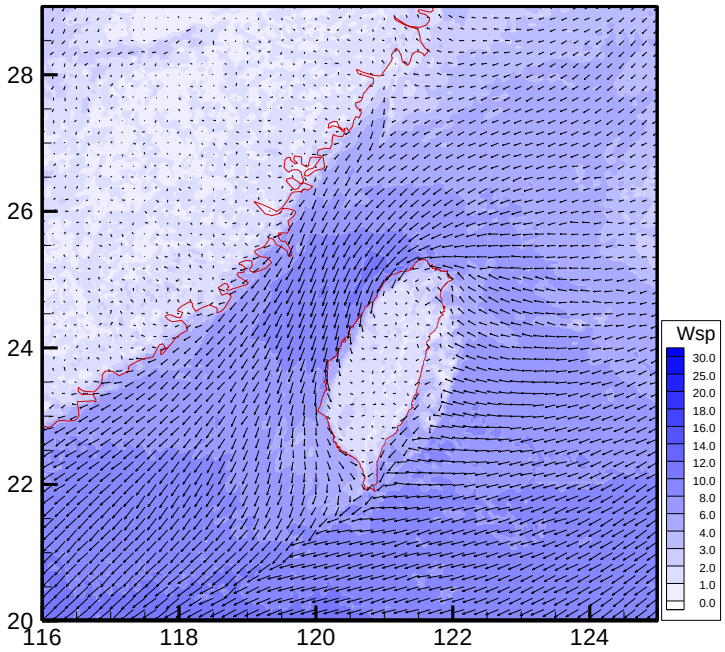


圖 4.4 臺灣海域風壓場(WE02)風場輸出範圍

4.1.3 模式邊界及參數設定

本模式模擬範圍之邊界條件採用 Mike 21 提供之全球潮汐模式資料庫(解析度 0.125 度)，於模擬範圍邊界取出對應所需之模擬時間內插出潮汐水位之時間序列，做為邊界之輸入條件，由於邊界條件之水位資料已包含分潮效應，故本模式分潮引力不在另行設定，模式之參數設定，如表 4-4。

表 4-4 模式參數設定

相關參數	設定值
紊流渦度係數	0.28
底床摩擦係數	32 $m^{1/3}/s$
風摩擦係數	7 m/s 0.001255 25 m/s 0.002425
風暖啟動時間	2 days
邊界暖啟動時間	2 days

4.2 現況水動力模擬計算成果

考量馬祖南竿各潮位及海流觀測站海象資料蒐集完整性，本計畫選取 2020 年夏季、2019 年冬季及利奇馬颱風期間做為模式模擬夏季季風、冬季季風及颱風期間之潮位與海流變化之情況，並將模擬結果與運技中心及中央氣象署設置之觀測站進行驗證比對，其中運技中心使用之潮位站為 T1，海流測站(AWAC)為 A1 及 A2，中央氣象署使用之潮位站為 T2，各測站詳細資訊如表 4-5，位置如圖 4.5，颱風路徑圖如圖 4.6。

表 4-5 南竿福澳港區潮位、海流驗證觀測站位置

測站序號	量測儀器	緯度	經度	使用資料期間	觀測單位
T1	潮位計 (壓力式)	26°09'39"N	119°56'36"E	夏季 2020/8/1~2020/8/17 冬季 2019/12/1~2019/12/17 利奇馬颱風 2019/8/1~2019/8/15	運技中心
T2	潮位計 (音波式)	26°09'42"N	119°56'34"E		中央氣象署
A1	AWAC (底碇式波流觀測站)	26°09'52"N	119°56'21"E	利奇馬颱風 2019/8/1~2019/8/15	運技中心
A2	AWAC (底碇式波流觀測站)	26°10'07"N	119°56'20"E	夏季 2020/8/1~2020/8/17 冬季 2019/12/1~2019/12/17	

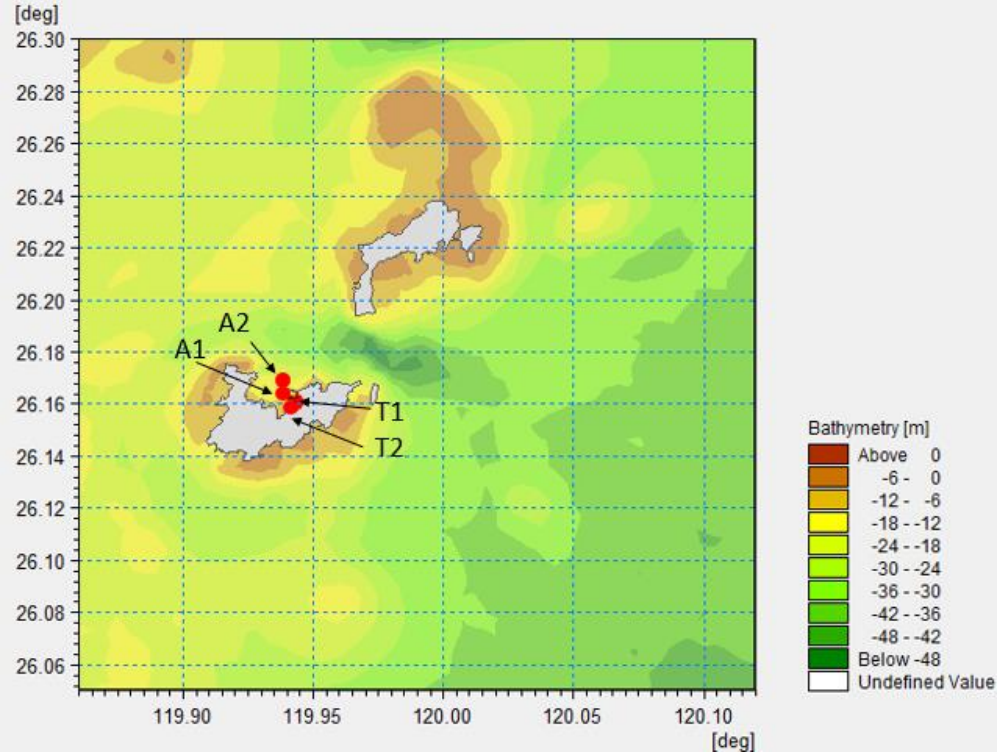
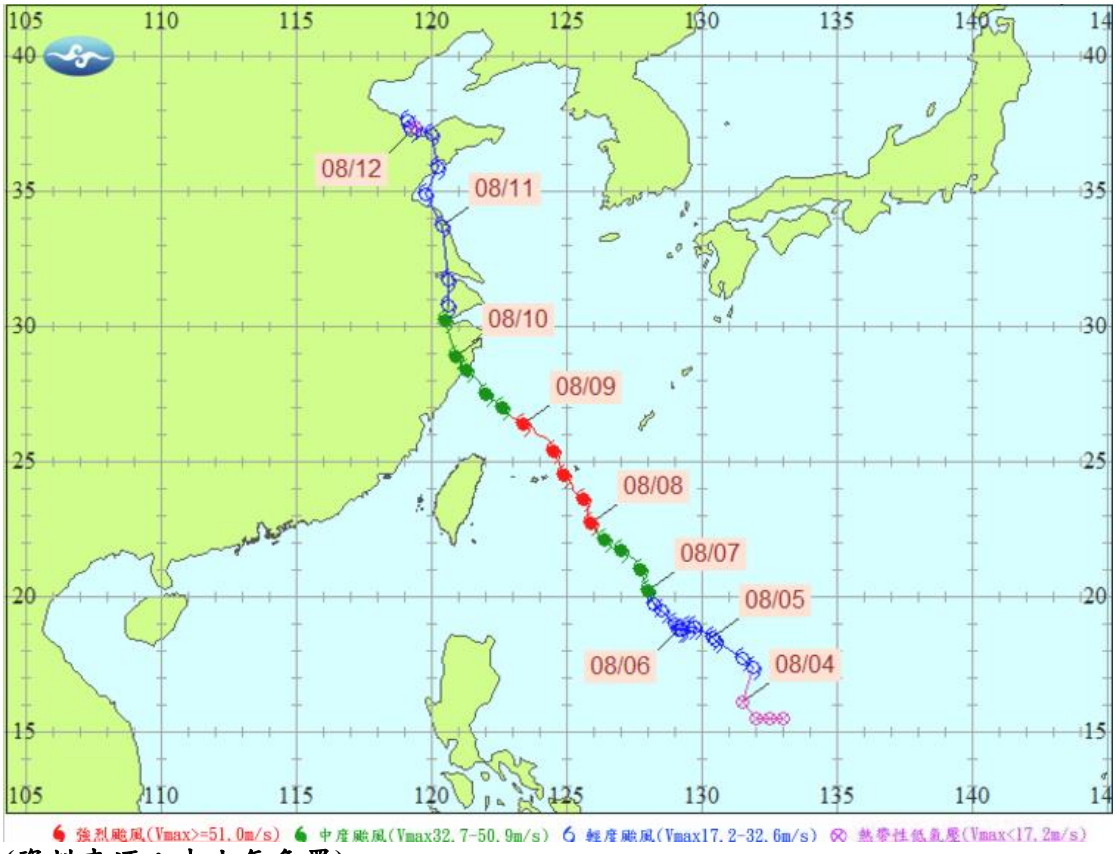


圖 4.5 南竿福澳港區潮位、海流驗證觀測站位置示意圖



(資料來源：中央氣象署)

圖 4.6 2019 年利奇馬颱風路徑

4.2.1 夏季季風期間現況水動力模擬計算成果

本模式夏季率定進行模擬 2020 年 8 月 1 日至 17 日潮汐、海流變化情形，風及邊界暖啟動時間為 2 天，因此以 2020 年 8 月 3 日至 17 日模擬計算成果與馬祖南竿福澳港潮位觀測站來做驗證，分別與運技中心 T1 測站及中央氣象署 T2 測站做比對，結果如圖 4.7 所示。

由圖 4.7 中可看出模擬計算成果與 2 測站觀測結果大致相符，運技中心 T1 測站在 8 月 3 日至 5 日模擬值之低潮位與觀測值相比呈現偏低，8 月 11 日至 17 日的模擬值之低潮位與觀測值相比呈現偏高，中央氣象署 T2 潮位在 8 月 10 日至 15 日的模擬值之低潮位與觀測值相比呈現偏高，但 2 測站之模擬值與觀測值之變化趨勢仍相符。2 測站模擬之誤差分析如表 4-6 所示，T1 測站均方根誤差為 0.3518m、決定係數為 0.9518、威爾莫特一致性指數為 0.9854，T2 測站均方根誤差為 0.2052m、決定係數為 0.9829、威爾莫特一致性指數為 0.9954。

海流模擬計算成果，如圖 4.8 所示，模擬流速整體平均數值大於觀測值，模擬流速數值波動較觀測值穩定，趨勢類似潮汐流往復運動，峰值大部分比觀測值大，惟 8 月 5 日、14 日至 16 日部分時段觀測值之峰值大於模擬值，谷值部分，模擬與觀測值則較為相近；流向部分，模擬與觀測值略為相似，由第三章南竿夏季流速特性分析來看，觀測值除潮汐影響，與風向相關性較高，也就是西南季風，因此觀測流向於 0 度至 90 有較為集中之狀況，而模擬流向卻沒有這樣的現象，模擬流向較為集中 260 度上下。模擬之誤差分析如表 4-7 所示，A2 測站流速均方根誤差為 0.1728m/s、決定係數為 0.0032、威爾莫特一致性指數 0.4212；流向均方根誤差為 2.3155rad、決定係數 0.1252、威爾莫特一致性指數 0.6533。整體來看馬祖南竿海域之漲潮、退潮模擬流場，如圖 4.9 及圖 4.10 所示，漲潮時潮流方向均由東向西流動，而退潮時則由西向東流動，展現潮汐流往復運動的典型特性。

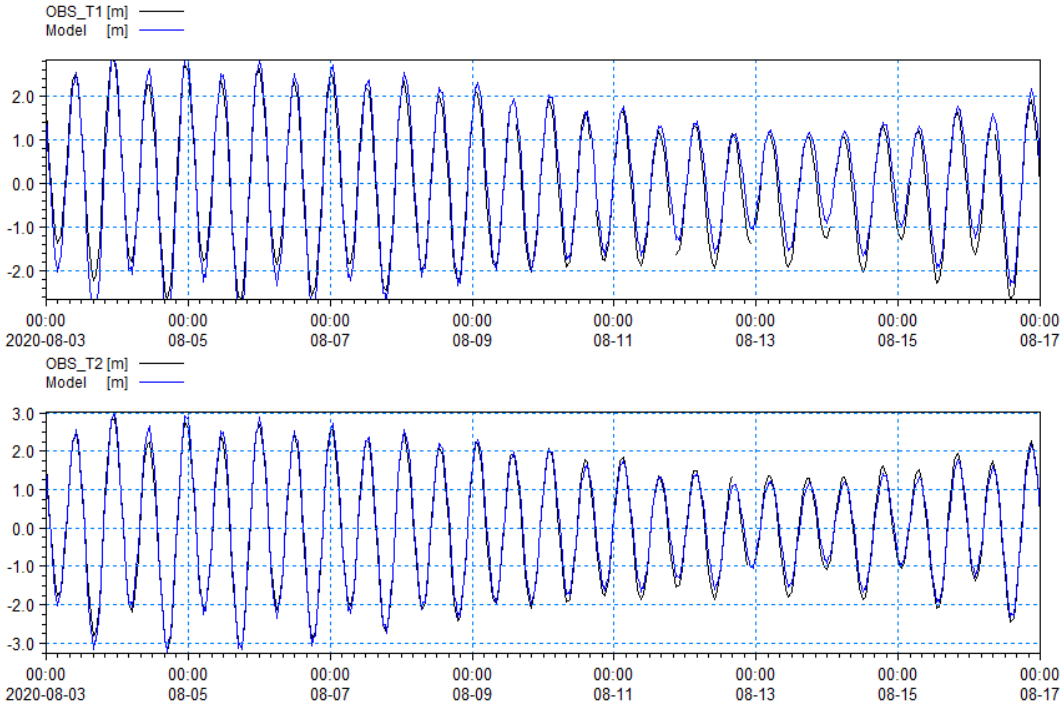


圖 4.7 夏季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬驗證

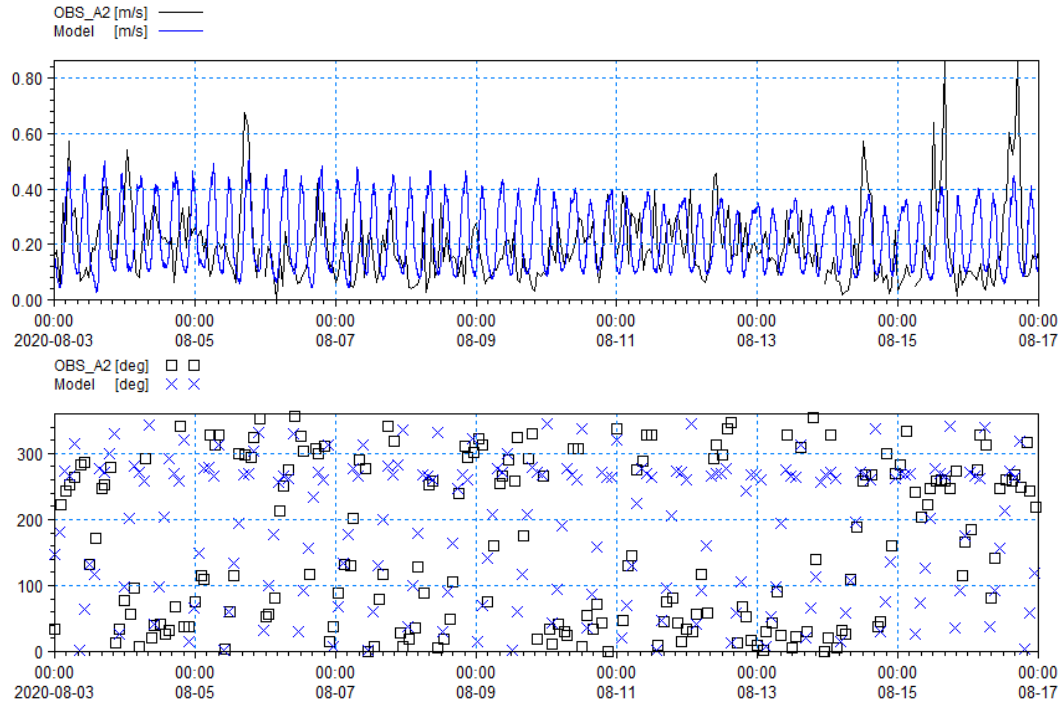


圖 4.8 夏季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬驗證

表 4-6 夏季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬誤差分析

季風期間	測站	潮位誤差值		
		均方根誤差 RMSE	決定係數R^2	威爾莫特一致性指數 d
夏季 2020 8/3~8/17	T1	0.3518(m)	0.9518	0.9854
	T2	0.2052(m)	0.9829	0.9954

表 4-7 夏季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬誤差分析

季風期間	測站	流速流向誤差值		
		均方根誤差 RMSE	決定係數R^2	威爾莫特一致性指數 d
夏季 2020 8/3~8/17	A2(流速)	0.1728 (m/s)	0.0032	0.4212
	A2(流向)	2.3155(rad)	0.1252	0.6533

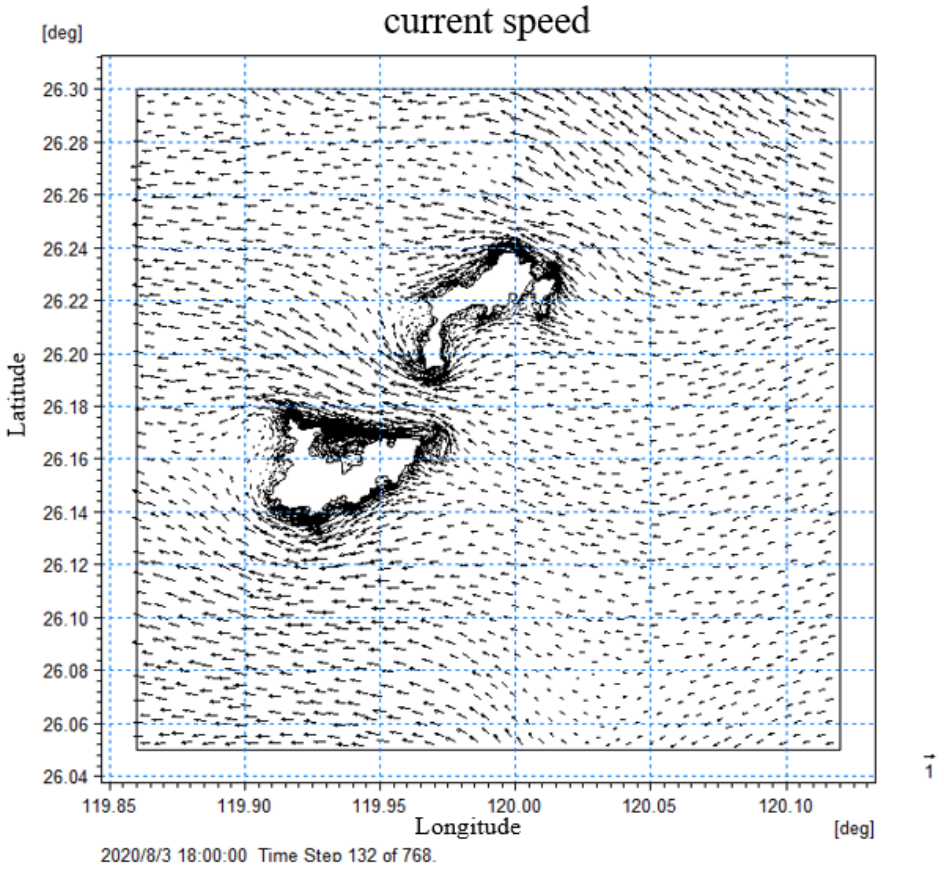


圖 4.9 夏季季風期間模擬流場(漲潮)

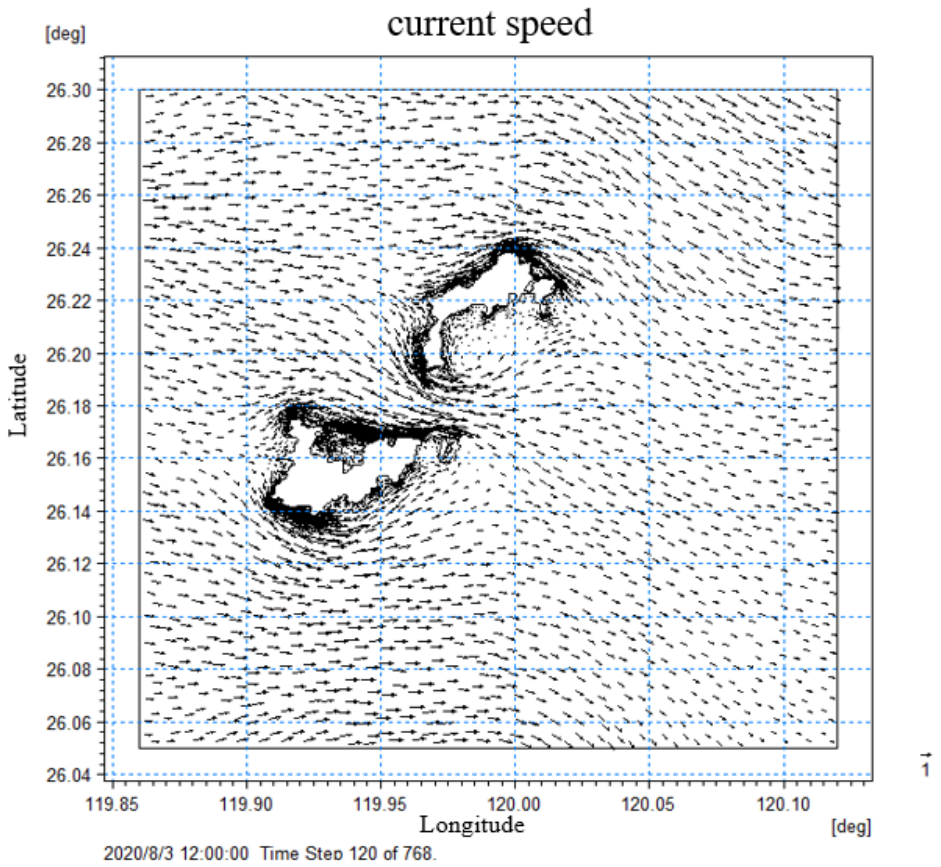


圖 4.10 夏季季風期間模擬流場(退潮)

4.2.2 冬季季風期間現況水動力模擬計算成果

本模式冬季率定進行模擬 2019 年 12 月 1 日至 17 日潮汐、海流變化情形，風及邊界軟啟動時間為 2 天，因此以 2019 年 12 月 3 日至 17 日模擬計算成果與馬祖南竿福澳港潮位觀測站來做驗證，分別與運技中心 T1 測站及中央氣象署 T2 測站做比對，結果如圖 4.11 所示。

由圖 4.11 中可看出模擬計算成果與 2 測站觀測結果大致相符，運技中心 T1 及 T2 測站在 12 月 3 日及 6 日的模擬值之高、低潮位與觀測值相比呈現皆偏低，但 2 測站之模擬值與觀測值之變化趨勢仍相符。2 測站模擬之誤差分析如表 4-8 所示，T1 測站均方根誤差為 0.3524m、決定係數為 0.9523、威爾莫特一致性指數為 0.9867，T2 測站均方根誤差為 0.2588m、決定係數為 0.9765、威爾莫特一致性指數為 0.993。

海流模擬計算成果，如圖 4.12 所示，模擬流速整體平均數值大於觀測值，模擬流速數值波動較觀測值穩定，趨勢亦類似潮汐流往復運

動，峰值幾乎都比觀測值大，惟 12 月 3 日、8 日、9 日、12 日、14 日、15 日部分時段觀測值之峰值接近於模擬值，谷值部分，模擬與觀測值則較為相近；流向部分，模擬與觀測值部分略為相似，由前章南竿冬季流速特性分析來看，除潮汐影響，與風向相關性較高，也就是東風占比較大，因此，觀測流向於 270 度附近有較為集中之狀況，而模擬流向也略有這樣的集中現象。模擬之誤差分析如表 4-9 所示，A2 測站流速均方根誤差為 0.1337m/s、決定係數為 0.1117、威爾莫特一致性指數 0.5919；流向均方根誤差為 1.3827rad、決定係數 0.4335、威爾莫特一致性指數 0.8032。整體來看馬祖南竿海域冬季之漲潮、退潮模擬流場如圖 4.13 及圖 4.14 所示，漲潮時潮流方向均由東向西流動，而退潮時則由西向東流動，展現潮汐流往復運動的典型特性。

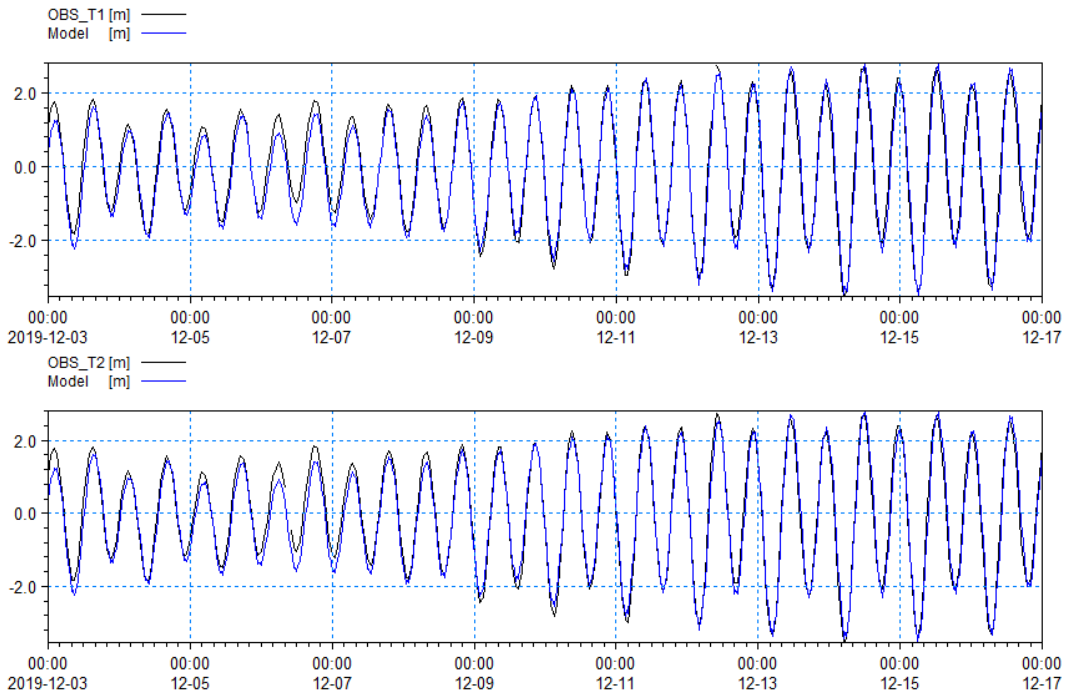


圖 4.11 冬季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬驗證

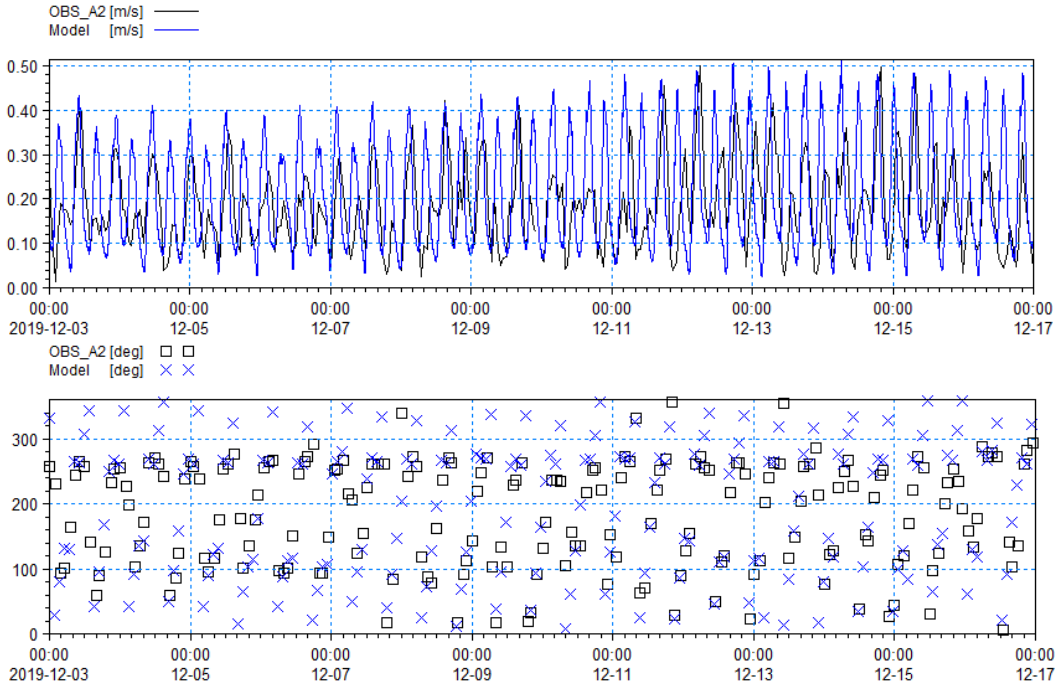


圖 4.12 冬季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬驗證

表 4-8 冬季季風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬誤差分析

季風期間	測站	潮位誤差值		
		均方根誤差 RMSE	決定係數R^2	威爾莫特一致性指數 d
冬季 2019 12/3~12/17	T1	0.3524(m)	0.9523	0.9867
	T2	0.2588(m)	0.9765	0.993

表 4-9 冬季季風期間南竿福澳港海流觀測站模擬誤差分析

季風期間	測站	流速流向誤差值		
		均方根誤差 RMSE	決定係數R^2	威爾莫特一致性指數 d
冬季 2019 12/3~12/17	A2(流速)	0.1337(m/s)	0.1117	0.5919
	A2(流向)	1.3827(rad)	0.4335	0.8032

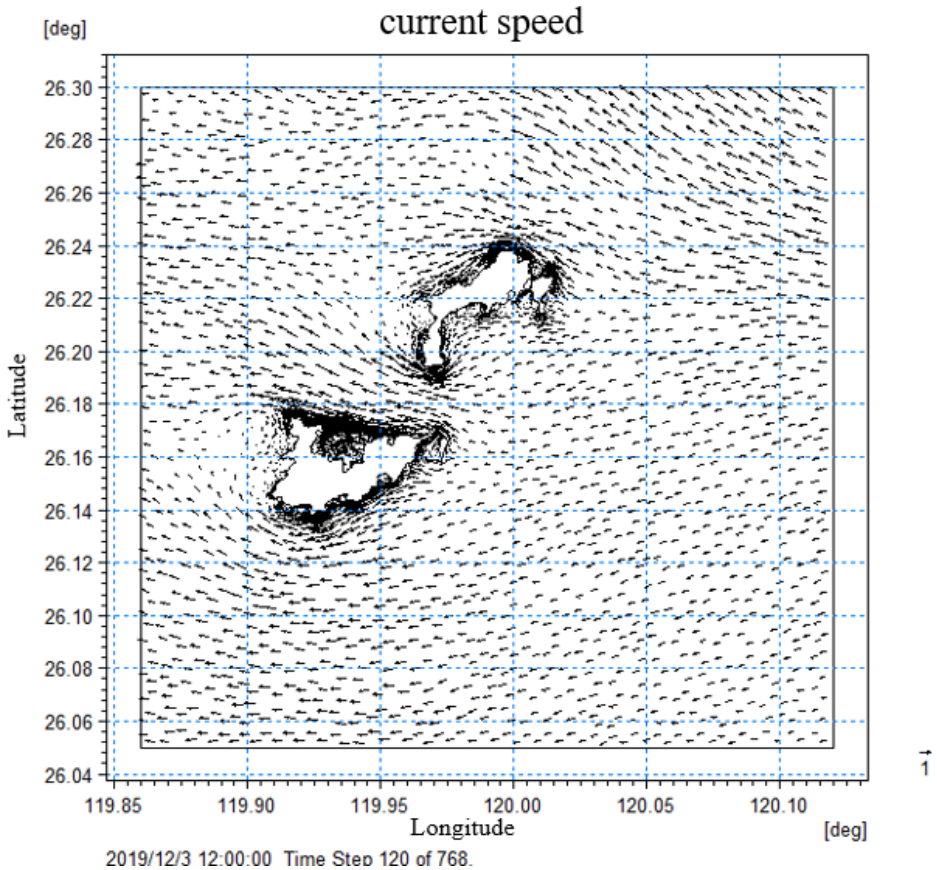


圖 4.13 冬季季風期間模擬流場(漲潮)

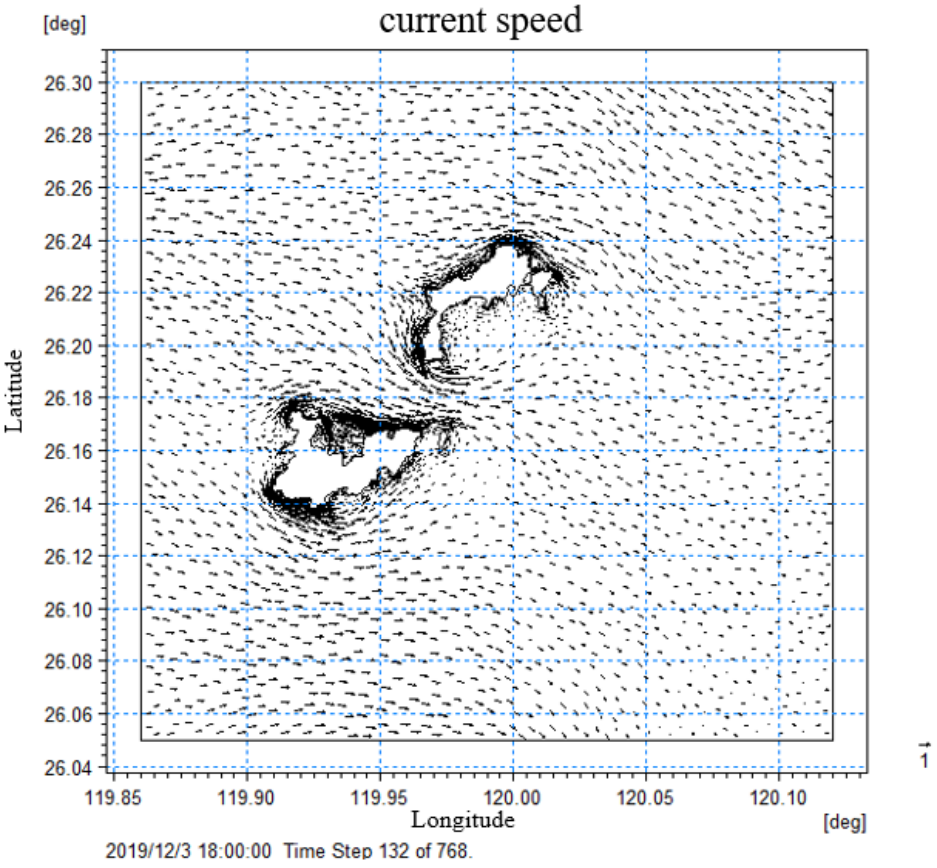


圖 4.14 冬季季風期間模擬流場(退潮)

4.2.3 颱風期間現況水動力模擬計算成果

本模式颱風期間率定進行模擬 2019 年 8 月 1 日至 15 日潮汐、海流變化情形，風及邊界軟啟動時間為 2 天，因此以 2019 年 8 月 3 日至 15 日模擬計算成果與馬祖南竿福澳港潮位觀測站來做驗證，分別與運技中心 T1 測站及中央氣象署 T2 測站做比對，結果如圖 4.15 所示。

由圖 4.15 中可看出模擬計算成果與 2 測站觀測結果大致相符，T1 及 T2 測站在 8 月 10 日至 11 日的模擬值之高、低潮位與觀測值相比呈現皆偏高，但 2 測站之模擬值與觀測值之變化趨勢仍相符。2 測站模擬之誤差分析如表 4-10 所示，T1 測站均方根誤差為 0.296m、決定係數為 0.9769、威爾莫特一致性指數為 0.9925，T2 測站均方根誤差為 0.5351m、決定係數為 0.913、威爾莫特一致性指數為 0.9743，特別一提的是，2 測站均方根誤差差異較大的原因，為 T2 測站於颱風期間缺失資料較 T1 測站多。

海流模擬計算成果，如圖 4.16 所示，模擬流速整體平均數值小於觀測值且數值波動較觀測值穩定，原夏、冬季類似潮汐流往復運動的規律有所改變，不是呈簡單線性，颱風期間觀測值缺失較多，2 者於波動的趨勢上有部分符合，惟觀測值波動幅度比模擬值大很多，整體數值平均高約 2 倍，觀測值峰值及谷值大部分都大於模擬值；流向部分，模擬與觀測值部分於 8 月 11 日至 15 日較為相似，其他時段流向較不一致。模擬之誤差分析如表 4-11 所示，A1 測站流速均方根誤差為 0.1619m/s、決定係數為 0.0085、威爾莫特一致性指數 0.3567；流向均方根誤差為 2.9539rad、決定係數 0.0701、威爾莫特一致性指數 0.5984。整體來看馬祖南竿海域颱風之漲潮、退潮模擬流場如圖 4.17 及 4.18 所示，漲潮時潮流方向均由東向西流動，而退潮時則由西向東流動，展現潮汐流往復運動的典型特性。

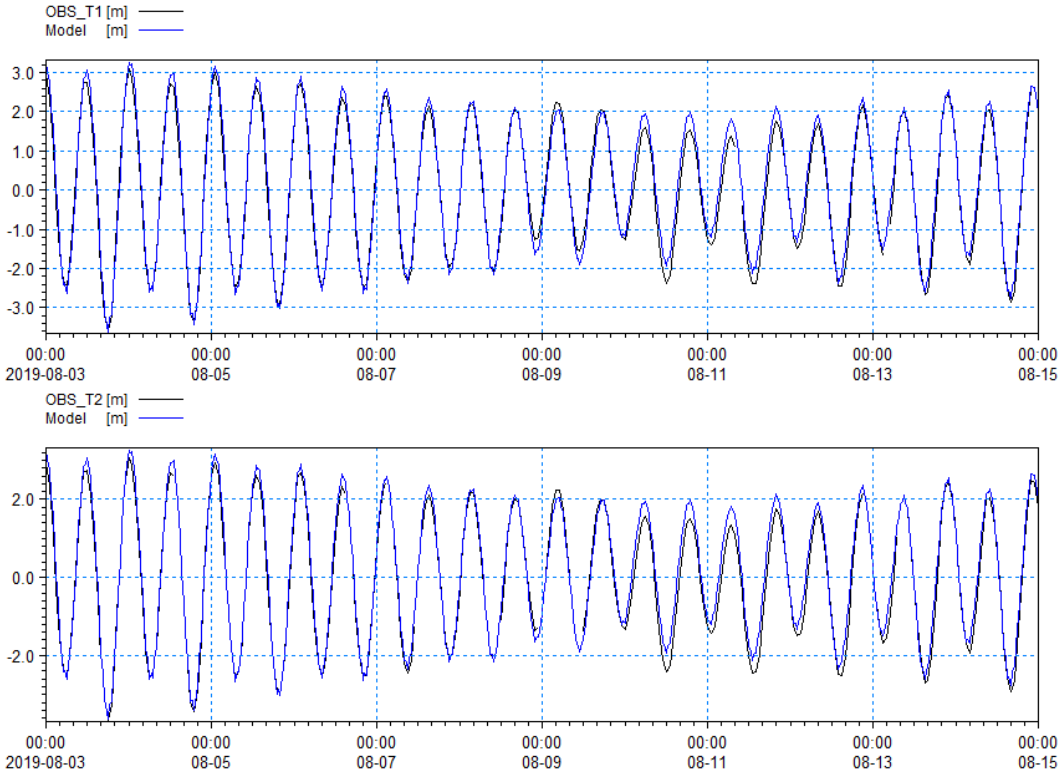


圖 4.15 利奇馬颱風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬驗證

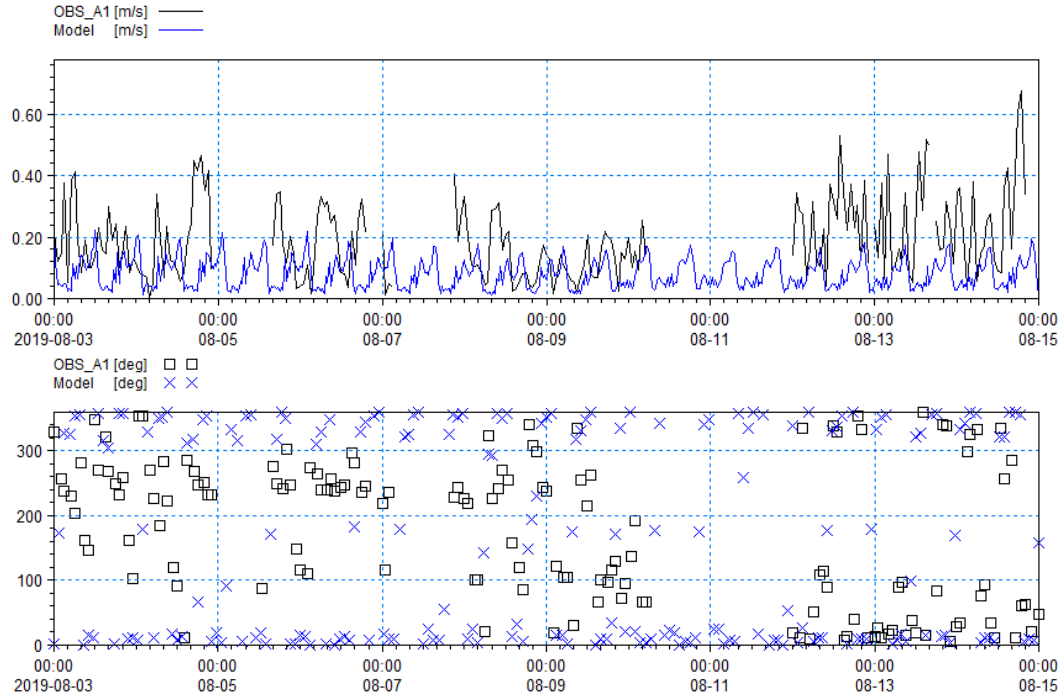


圖 4.16 利奇馬颱風期間南竿福澳港海流觀測站模擬驗證

表 4-10 利奇馬颱風期間南竿福澳港潮位觀測站模擬誤差分析

季風期間	測站	潮位誤差值		
		均方根誤差 RMSE	決定係數R^2	威爾莫特一致性指數 d
利奇馬颱風 2019 8/3~8/15	T1	0.296(m)	0.9769	0.9925
	T2	0.5351(m)	0.913	0.9743

表 4-11 利奇馬颱風期間南竿福澳港海流觀測站模擬誤差分析

季風期間	測站	流速流向誤差值		
		均方根誤差 RMSE	決定係數R^2	威爾莫特一致性指數 d
利奇馬颱風 2019 8/3~8/15	A1(流速)	0.1619(m/s)	0.0085	0.3567
	A1(流向)	2.9539(rad)	0.0701	0.5984

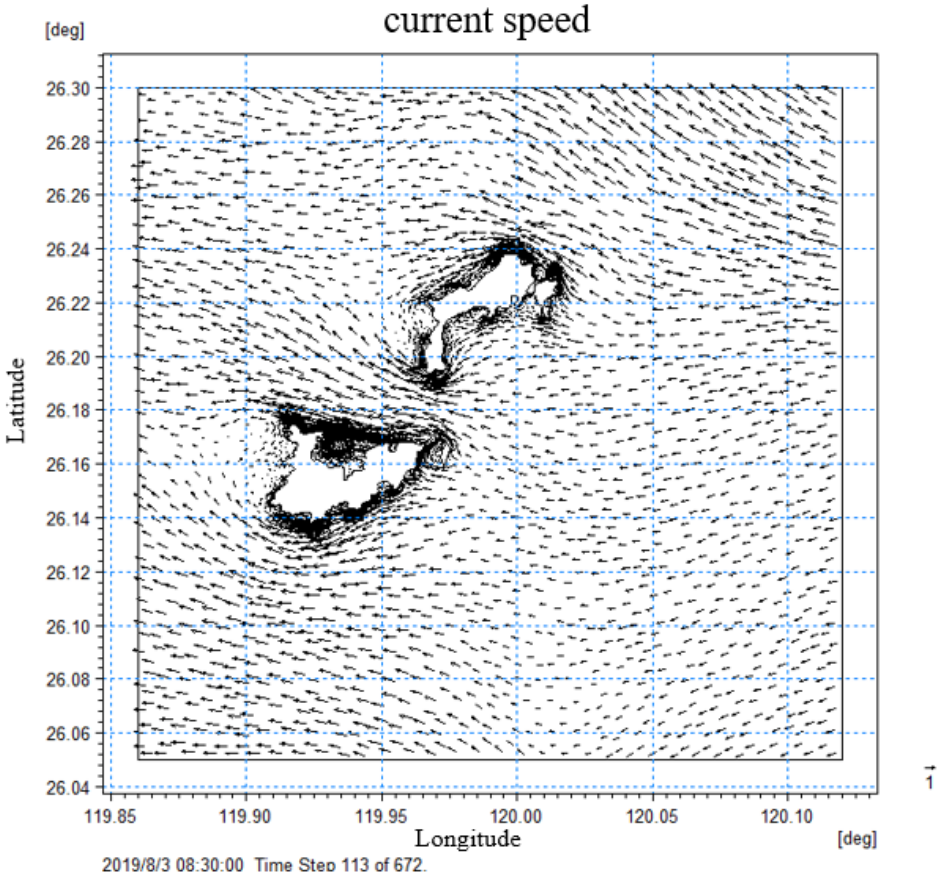


圖 4.17 利奇馬颱風期間模擬流場(漲潮)

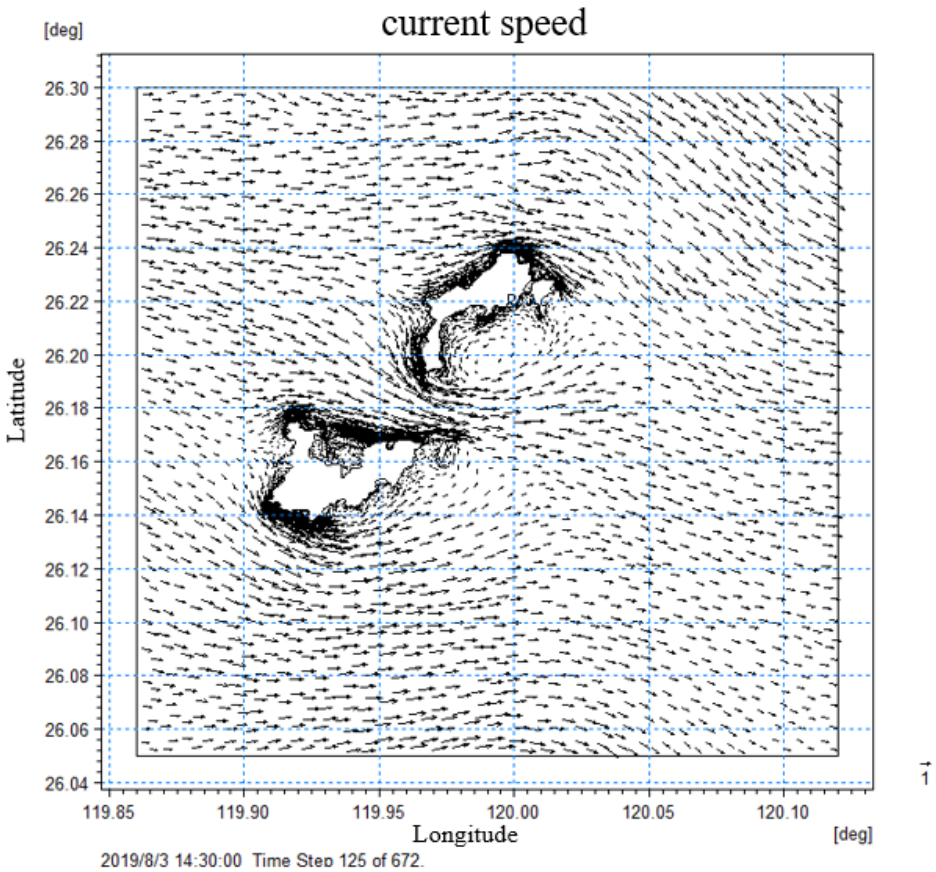


圖 4.18 利奇馬颱風期間模擬流場(退潮)

第五章　結論與建議

本計畫以運技中心與中央氣象署提供的海氣象測站資料（包括風力、波浪及海流）為基礎，進行歷年觀測資料的蒐集率統計，並以圖表形式呈現。隨後，選定適當的品管方式，參考文獻中的相關研究數據，制定品管門檻值以優化資料品質。經品管後的結果亦以圖表呈現，並結合分析經驗，進一步提升品管精準度。

鑑於各測站歷年蒐集率普遍不佳，為有效運用既有資料並提升其價值，研究選取蒐集率達 70%以上的代表月份做為資料品質良好的基準。在相關性及特性分析中，依據季節特性，選用季風表現最顯著的夏季與冬季做為研究時段，並根據測站的地理位置、環境特性及資料完整度挑選代表測站進行分析與比較，探討馬祖四鄉五島各海氣象測站因地形與環境差異所反映出的區域特性。

此外，為了解馬祖南竿福澳港港區的流場變化，本計畫使用 Mike 21 軟體建置了水動力數值模型，模擬 2020 年夏季、2019 年冬季及利奇馬颱風期間的潮位與海流情況，並將模擬結果與運技中心及中央氣象署的觀測資料進行驗證比對，最終生成流場漲退潮模擬圖以供應用參考。

5.1 結論

1. 本計畫藉由撰寫品管程式(TEST4、TEST6 及 TEST8)於各種觀測資料皆檢出多筆未通過資料，檢視這些異常資料時亦發現許多需經人工協助進行補充檢查之資料，及可能為儀器故障的早期徵兆之資料，這些經驗可提供後續資料使用者進行品管及儀器維護人員檢驗時之參據。
2. 本計畫分析夏、冬季風速及其分量的相關性，結果揭示測站間相關性因季節與地理條件而顯著變化，展現明確的區域特性。夏季風速高度相關性，如東引與東引浮標測站，冬季風速則呈現更廣泛的高度相關性，南竿、北竿、東莒、東引及東引浮標測站間幾乎互為高度相關，夏季唯獨東莒與其他測站的相關性較低，冬季則為西莒；另外，季節變化對測站間風速分量 U 相關性影響顯著。例如，南

竿與北竿測站、北竿與東引浮標測站於夏、冬季相關性變化大。夏季所有測站間於風速分量 V 呈高度相關，但冬季則有一定差異；西莒測站在夏、冬季風速分量 U 的分析中，與其他測站間的波動較大，且部分情況下呈現負相關，顯示其受外界環境影響顯著，數據具高度獨立性。

3. 馬祖四鄉五島的夏季風場呈現顯著區域特性。南竿及東引浮標吹西南風，北竿為南南西風、北風及北北東風，東莒為東北風，西莒為北北西風，東引則以南風為主。夏季平均風速多介於 2~4m/s，惟東引浮標測站風速最高（平均 6.1m/s，最大 14.9m/s），最大風速與颱風影響有關，而東莒風速最低（平均 2.04m/s）。冬季受東北季風影響，風速普遍增強，東莒、東引及東引浮標主要吹北北東風，南竿吹東風，北竿吹北風，西莒則以北北西風為主。各測站平均風速在 3 至 10m/s 間，變化較大，東引浮標測站風速最高（平均 9.52m/s，最大 18.1m/s），其次為東引測站(平均風速 7.38m/s)，南竿與西莒測站風速較小，5m/s 以上風速占比較低，為冬季風場舒適度較高的地方。
4. 本計畫分析夏、冬季示性波高與尖峰週期的相關性，因部分測站觀測資料缺失，無法完整反映測站間相關性之資訊。在示性波高方面，夏季北竿、東莒與東引浮標測站間呈高度相關，南竿測站與其他測站無高度相關。冬季測站間的相關性更為顯著，南竿測站分別與東莒、東引浮標測站為高度相關，北竿測站分別與東莒、東引、東引浮標測站為高度相關，東引及東引浮標測站互為高度相關。相比之下，尖峰週期則在夏、冬 2 季均未觀察到高度相關性，測站間的相關性介於低度至中度，且無明顯季節性差異，顯示尖峰週期在不同測站間的關聯性較弱。數據波動分析顯示，示性波高在冬季的測站相關性明顯高於夏季，而尖峰週期在兩季節中的相關性皆偏低，顯示測站間同步性不明顯。
5. 馬祖四鄉五島各波浪測站的夏、冬季波浪特性展現顯著的季節性差異和區域性特徵。夏季，南竿測站受港口開口方向影響，主要波向為東北向，北竿測站波向均勻分佈於西南與東南向，並以南向為主，東莒測站波向呈現西南向與北向為主，東引測站主要波向為西

南向，東引浮標測站主要波向為南向；冬季，南竿測站波向以東北向為主，北竿測站波向以南向為主，東莒測站波向以北北東為主，東引測站因港口開口方向的影響，主要波向為西與西南西向，東引浮標測站的波向以東北向、東北東向為主。夏季波浪以較低的示性波高（平均 0.3 至 0.6m，東引浮標測站除外，為 1.25m）與均勻的尖峰週期（平均 5 至 7 秒）為主，颱風期間波浪短期波動明顯，東引浮標測站示性波高和尖峰週期最大值，分別達 10.89m 與 18.9 秒。冬季波浪受季風影響，示性波高顯著增加（平均 0.3 至 0.8m，東引浮標測站除外，為 2.32m），尖峰週期亦拉長（平均 6 至 8 秒），其中東引浮標測站波高(大於 1m)和尖峰週期(大於 6 秒)占比高於其他測站，波浪能量尤為強烈，整體而言，受港口開口方向影響，不同波浪測站間於夏、冬季季風期間的波浪特性呈現較大差異，外海測站與鄰近港口測站的波浪特性亦是如此，進一步反映地理位置對波浪分佈的影響。

6. 本計畫分析夏、冬季的流速及其分量，結果顯示，測站間相關性整體偏低，且季節性差異不顯著，主要受地理位置與外界條件影響。夏季期間，流速及其分量 U 與 V 均無高度相關，相關性僅介於低度至中度，部分測站甚至呈現低度負相關，特別是東引與東引浮標的 U 分量波動較大，顯示外界影響顯著。冬季期間，各測站的流速與分量相關性仍在低度至中度範圍，部分測站如南竿與東莒、東引與東引浮標表現出明顯波動，從負相關到中度相關，反映外界條件的干擾影響更為突出。整體而言，測站間流速相關性偏低，季節性變化不明顯，而特定測站的變異性則反映地理位置與環境因素的重要作用。
7. 夏季期間，南竿、東莒、東引及東引浮標測站的海流流向，除了潮汐影響，與風向相關性較高一些，北竿測站的海流流向則可能是漲退潮速度差較大，較大流速主要流向集中於 SSW、S 和 SSE，佔比超過 50%。大部分測站的平均流速約介於 0.1 至 0.3m/s，東引浮標測站平均流速高達 0.431m/s，其中東引測站流速最小，流速小於 0.257 m/s 的比例高達 90.53%，而其他測站則約為 40%至 60%。冬季期間，南竿、北竿及東莒測站的海流流向與風向相關性較明顯，

北竿可能仍受漲、退潮速度差及季風影響，較大流速及流向集中於SSW、S 和 SSE，佔比超過 70%。東引與東引浮標可能因地形及潮汐影響，海流流向與風向相關性較低。各測站平均流速介於 0.1 至 0.4 m/s，東引測站仍為最低（0.145 m/s），南竿次之（0.196 m/s）。整體而言，夏季平均流速略高於冬季，但北竿測站呈相反趨勢，東引測站則變化最小，顯示潮汐、風向與地形的綜合影響。

8. 本計畫對南竿地區的水動力數值模式模擬進行評估，結果顯示在夏、冬季季風及利奇馬颱風期間，模擬潮位與 T1 及 T2 潮位測站的觀測資料大致相符。與 T1 測站的比較中，模擬結果的均方根誤差最大為 0.3524m，決定係數最小為 0.9518，威爾莫特一致性指數最小為 0.9854；排除颱風期間 T2 測站資料缺失的影響後，模擬與 T2 測站的均方根誤差最大為 0.2588m，決定係數最小為 0.9765，威爾莫特一致性指數最小為 0.993，整體呈現高度吻合的結果。在海流模擬方面，與 A1 及 A2 海流測站的觀測結果相比，模擬成果略有差異。模擬流速整體較觀測值穩定，趨勢顯示出類似潮汐流的往復運動特性。夏、冬季季風期間，模擬流速的峰值大多高於觀測值，而谷值與觀測值較為接近；颱風期間，觀測流速的峰值與谷值則顯著高於模擬值，整體模擬值平均低約一半。在流向分析方面，夏、冬季季風期間的觀測流向與風力特性分析結果中的風向關聯性較高，且冬季模擬流向與觀測流向的相關性優於夏季。然而，在颱風期間，模擬流向與觀測流向的差異較大，但在 8 月 11 日颱風遠離後，模擬流向與觀測流向的吻合度顯著提高。此外，無論在夏季、冬季季風還是颱風期間，漲潮時潮流方向均由東向西流動，而退潮時則由西向東流動，展現潮汐流往復運動的典型特性。

5.2 建議

馬祖南竿水動力數值模式的模擬結果，可藉由調整不同參數後，與觀測值進行比對，分析評估指標數據的差異，最終選擇具有最佳模擬效果的參數組合做為成果展示。本計畫針對夏、冬季季風以及颱風期間的海流模擬結果進行分析，發現目前模擬成果仍存在一定改善空間，尤其在颱風期間，由於波浪影響顯著，現有模式對海流特性模擬

的精準度可能受到波浪動力缺失的限制，進一步影響模擬值與觀測值的吻合度。

為提升模擬精準度，建議未來模式改進時加入波浪輻射應力的考量。波浪輻射應力做為波浪與海流耦合的重要參數，能夠有效反映波浪動能對海水運動的影響，特別是在颱風等高能量事件期間，對於海流流向和流速的影響尤為重要。加入該參數後，預期模式在與實測數據的驗證中，評估指標如決定係數、威爾莫特一致性指數等將有明顯提升，從而更準確地反映馬祖南竿福澳港港區流況特性，並為後續實務應用及科學研究提供更可靠的數值基礎。

5.3 成果效益及應用情形

本計畫成果具有多層面的應用價值，為航運管理、港灣工程及相關科學研究提供了重要的參考依據，具體效益與應用情形如下：

1. 藉由統計各海氣象觀測資料蒐集率，可知離島觀測儀器維護不易，良好蒐集率的觀測資料極為珍貴，本計畫盡可能提升既有資料的使用價值，不論在資料蒐集率的選用、資料品管及測站代表性選擇上皆有所依據，分析結果亦皆有所呈現。
2. 品管方式及經驗有效檢測異常資料並辨識儀器故障徵兆，為後續數據管理及研究應用提供標準化參考，本計畫成果應用於「馬祖海情資訊系統」，提供觀測資料及時序圖即時品管，藉以提升數據品質。
3. 研究結果揭示馬祖四鄉五島各港區風力、波浪及海流的區域特性，為船舶航行路徑規劃及港埠營運管理提供準確參考，提升航運安全及港埠效率。
4. 模擬與觀測數據的對比驗證，為港灣施工提供可靠的環境參數支持，有助於工程風險評估。
5. 成果可供連江縣政府相關部門、港務公司及海事人員應用於船舶調度、港口規劃及災害防範，並促進產官學研的合作與技術交流。

參考文獻

1. Esmaeili, M, Longshore currents simulation using MIKE 21 numerical model Case study: Kiashahr Zone, Journal of Earth and Space Physics, 2009.
2. Samira Zamani and Majid Mahmoodabadi, Meteorological application of wind speed and direction linked to remote sensing images for the modelling of sand drift potential and dune morphology, Meteorological Applications, 2020.
3. 吳俊達，由氣象浮標資料探討台灣附近海域的風場特性與風應力，國立中山大學碩士論文，2006 年。
4. 羅政耀，基隆港港口附近流況分佈特性探討，國立臺灣海洋大學，2010 年。
5. 美國海洋綜合觀測系統(IOOS)，海洋即時資料品保手冊(QARTODManual)(https://www.oceanbestpractices.net/handle/11329/336)，2014 年。
6. 交通部運輸研究所，離岸風電區鄰近海域波流及地形變遷數值分析(1/3)-臺中市鄰近海域波浪及海流數值分析，2018 年 12 月。
7. 交通部運輸研究所，108 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運，2019 年 2 月。
8. 交通部運輸研究所，109 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運，2021 年 2 月。
9. 交通部運輸研究所，應用智慧監測進行海象數值同化研究(1/4)-臺中港監測資料智慧檢核及補遺，2022 年 3 月。
10. 林有騰等人，馬祖南竿福澳港風力特性分析，港灣季刊 124 期，2023 年 2 月。
11. 林有騰等人，馬祖北竿、莒光及東引港口海氣象特性分析，港灣季刊 127 期，2024 年 2 月。
12. 交通部運輸研究所，商港風力觀測及統計分析，2024 年 3 月。
13. 交通部運輸研究所，商港海流觀測及統計分析，2024 年 3 月。
14. 交通部運輸研究所，商港波浪觀測及統計分析，2024 年 3 月。
15. 交通部運輸研究所，海氣象預測模擬系統之維運與精進(2/4)-建置高雄海域模組，2024 年 3 月。
16. 連江縣政府官網 (https://www.matsu.gov.tw/)。
17. 交通部中央氣象署颱風資料庫 (https://rdc28.cwa.gov.tw/TDB/)。
18. 交通部運輸研究所運輸技術研究中心_港灣環境資訊網(https://isohe.ihmt.gov.tw/Frontend/index.aspx)。

附錄一 各風力、波浪及海流測站

相關性比較表

附表 1-1 夏季馬祖四鄉五島各港區風力測站相關性比較表

夏季	測站	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V
		南竿W1			南竿W2			南竿W3			北竿W4			北竿W5			西莒W6			東莒W7			東莒W8			東引W9			東引W10			東引W11-2		
2017	南竿W3							1.00	1.00	1.00	0.42	0.73	0.91																				
	北竿W4							0.42	0.73	0.91	1.00	1.00	1.00																				
2018	南竿W1	1.00	1.00	1.00				0.68	-0.23	0.82	0.70	0.27	0.81													0.48	-0.24	0.73					
	南竿W3	0.68	-0.23	0.82				1.00	1.00	1.00	0.78	0.27	0.93				0.66	0.03	0.93	0.24	0.78	0.90				0.41	0.25	0.88					
	北竿W4	0.70	0.27	0.81				0.78	0.27	0.93	1.00	1.00	1.00				0.74	-0.12	0.91	0.40	0.54	0.89				0.44	0.08	0.87					
	西莒W6							0.66	0.03	0.93	0.74	-0.12	0.91				1.00	1.00	1.00	0.34	-0.36	0.88				0.19	-0.44	0.89					
	東莒W7							0.24	0.78	0.90	0.40	0.54	0.89				0.34	-0.36	0.88	1.00	1.00	1.00				0.77	0.57	0.93					
	東引W9	0.48	-0.24	0.73				0.41	0.25	0.88	0.44	0.08	0.87				0.19	-0.44	0.89	0.77	0.57	0.93				1.00	1.00	1.00					
2019	南竿W1	1.00	1.00	1.00	0.81	-0.62	0.60	0.49	-0.37	0.87	0.52	0.07	0.89				0.27	0.26	0.80	0.57	-0.49	0.87				0.54	-0.32	0.84				0.53	-0.47	0.84
	南竿W2	0.81	-0.62	0.60	1.00	1.00	1.00	0.82	0.83	0.84	0.71	0.45	0.78				0.34	0.10	0.81	0.55	0.75	0.62				0.50	0.38	0.76				0.67	0.86	0.78
	南竿W3	0.49	-0.37	0.87	0.82	0.83	0.84	1.00	1.00	1.00	0.77	0.55	0.93				0.60	0.47	0.86	0.39	0.64	0.79				0.41	0.24	0.88				0.72	0.87	0.89
	北竿W4	0.52	0.07	0.89	0.71	0.45	0.78	0.77	0.55	0.93	1.00	1.00	1.00				0.63	0.43	0.86	0.40	0.42	0.78				0.47	0.06	0.86				0.67	0.54	0.87
	西莒W6	0.27	0.26	0.80	0.34	0.10	0.81	0.60	0.47	0.86	0.63	0.43	0.86				1.00	1.00	1.00	0.37	0.14	0.78				0.29	-0.17	0.83				0.58	0.36	0.87
	東莒W7	0.57	-0.49	0.87	0.55	0.75	0.62	0.39	0.64	0.79	0.40	0.42	0.78				0.37	0.14	0.78	1.00	1.00	1.00				0.34	0.37	0.80				0.41	0.74	0.81
	東引W9	0.54	-0.32	0.84	0.50	0.38	0.76	0.41	0.24	0.88	0.47	0.06	0.86				0.29	-0.17	0.83	0.34	0.37	0.80				1.00	1.00	1.00				0.72	0.31	0.96
	東引W11-2	0.53	-0.47	0.84	0.67	0.86	0.78	0.72	0.87	0.89	0.67	0.54	0.87				0.58	0.36	0.87	0.41	0.74	0.81				0.72	0.31	0.96				1.00	1.00	1.00
2020	南竿W2				1.00	1.00	1.00	0.86	0.82	0.90							0.58	-0.12	0.85										0.53	0.52	0.82	0.75	0.87	0.85
	南竿W3				0.86	0.82	0.90	1.00	1.00	1.00							0.67	0.33	0.90										0.57	0.43	0.86	0.77	0.82	0.89
	西莒W6				0.58	-0.12	0.85	0.67	0.33	0.90							1.00	1.00	1.00										0.34	-0.41	0.83	0.59	-0.04	0.86
	東引W10				0.53	0.52	0.82	0.57	0.43	0.86							0.34	-0.41	0.83										1.00	1.00	1.00	0.70	0.48	0.92
	東引W11-2				0.75	0.87	0.85	0.77	0.82	0.89							0.59	-0.04	0.86										0.70	0.48	0.92	1.00	1.00	1.00
2021	南竿W1	1.00	1.00	1.00	0.54	-0.55	0.80	0.53	-0.37	0.86																			0.43	-0.58	0.85	0.52	-0.52	0.84
	南竿W2	0.54	-0.55	0.80	1.00	1.00	1.00	0.83	0.85	0.93																			0.32	0.58	0.86	0.68	0.91	0.88
	南竿W3	0.53	-0.37	0.86	0.83	0.85	0.93	1.00	1.00	1.00																			0.50	0.47	0.91	0.77	0.84	0.91
	東引W10	0.43	-0.58	0.85	0.32	0.58	0.86	0.50	0.47	0.91																			1.00	1.00	1.00	0.70	0.59	0.95
	東引W11-2	0.52	-0.52	0.84	0.68	0.91	0.88	0.77	0.84	0.91																			0.70	0.59	0.95	1.00	1.00	1.00
2022	南竿W1	1.00	1.00	1.00	0.60	-0.41	0.87	0.61	-0.41	0.84				0.56	0.25	0.89							0.47	-0.48	0.83				0.47	-0.44	0.83	0.56	-0.51	0.83
	南竿W2	0.60	-0.41	0.87	1.00	1.00	1.00	0.84	0.80	0.87				0.68	0.37	0.86							0.47	0.73	0.77				0.58	0.33	0.81	0.73	0.80	0.83
	南竿W3	0.61	-0.41	0.84	0.84	0.80	0.87	1.00	1.00	1.00				0.67	0.39	0.87							0.48	0.62	0.77				0.68	0.33	0.87	0.77	0.81	0.86
	北竿W5	0.56	0.25	0.89	0.68	0.37	0.86	0.67	0.39	0.87				1.00	1.00	1.00							0.64	0.22	0.79				0.64	-0.16	0.85	0.65	0.29	0.84
	東莒W8	0.47	-0.48	0.83	0.47	0.73	0.77	0.48	0.62	0.77				0.64	0.22	0.79							1.00	1.00	1.00				0.62	0.61	0.82	0.50	0.78	0.83
	東引W10	0.47	-0.44	0.83	0.58	0.33	0.81	0.68	0.33	0.87				0.64	-0.16	0.85							0.62	0.61	0.82				1.00	1.00	1.00	0.72	0.42	0.91
	東引W11-2	0.56	-0.51	0.83	0.73	0.80	0.83	0.77	0.81	0.86				0.65	0.29	0.84							0.50	0.78	0.83				0.72	0.42	0.91	1.00	1.00	1.00
2023	南竿W1	1.00	1.00	1.00	0.67	-0.42	0.85	0.66	-0.36	0.84				0.71	0.17	0.90							0.63	-0.50	0.86				0.58	-0.52	0.82	0.62	-0.49	0.81
	南竿W2	0.67	-0.42	0.85	1.00	1.00	1.00	0.85	0.81	0.91				0.74	0.36	0.88							0.53	0.75	0.77				0.60	0.61	0.84	0.76	0.84	0.84
	南竿W3	0.66	-0.36	0.84	0.85	0.81	0.91	1.00	1.00	1.00				0.76	0.42	0.89							0.51	0.65	0.79				0.66	0.53	0.86	0.79	0.84	0.87
	北竿W5	0.71	0.17	0.90	0.74	0.36	0.88	0.76	0.42	0.89				1.00	1.00	1.00							0.64	0.26	0.83				0.67	0.01	0.85	0.69	0.37	0.83
	東莒W8	0.63	-0.50	0.86	0.53	0.75	0.77	0.51	0.65	0.79				0.64	0.26	0.83							1.00	1.00	1.00				0.62	0.65	0.81	0.59	0.78	0.81
	東引W10	0.58	-0.52	0.82	0.60	0.61	0.84	0.66	0.53	0.86				0.67	0.01	0.85							0.62	0.65	0.81				1.00	1.00	1.00	0.79	0.62	0.93
	東引W11-2	0.62	-0.49	0.81	0.76	0.84	0.84	0.79	0.84	0.87				0.69	0.37	0.83							0.59	0.78	0.81				0.79	0.62	0.93	1.00	1.00	1.00

附表 1-2 冬季馬祖四鄉五島各港區風力測站相關性比較表

冬季	測站	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V
		南竿W1			南竿W2			南竿W3			北竿W4			北竿W5			西莒W6			東莒W7			東莒W8			東引W9			東引W10			東引W11-2		
2017	南竿W3							1.00	1.00	1.00	0.65	-0.21	0.82				0.11	0.03	0.60	0.66	0.10	0.79				0.52	0.50	0.78						
	北竿W4							0.65	-0.21	0.82	1.00	1.00	1.00				0.52	-0.41	0.50	0.75	0.03	0.76				0.71	0.17	0.74						
	西莒W6							0.11	0.03	0.60	0.52	-0.41	0.50				1.00	1.00	1.00	0.47	-0.02	0.46				0.51	-0.37	0.55						
	東莒W7							0.66	0.10	0.79	0.75	0.03	0.76				0.47	0.03	0.76	1.00	1.00	1.00				0.76	0.19	0.75						
	東引W9							0.52	0.50	0.78	0.71	0.17	0.74				0.51	-0.37	0.55	0.76	0.19	0.75				1.00	1.00	1.00						
2018	南竿W3							1.00	1.00	1.00	0.72	-0.20	0.84																				
	北竿W4							0.72	-0.20	0.84	1.00	1.00	1.00																				
2019	南竿W3							1.00	1.00	1.00							0.25	-0.11	0.62	0.81	0.59	0.91				0.64	0.52	0.85				0.73	0.82	0.86
	西莒W6							0.25	-0.11	0.62							1.00	1.00	1.00	0.51	-0.40	0.58				0.58	-0.34	0.65				0.52	-0.24	0.72
	東莒W7							0.81	0.59	0.91							0.51	-0.40	0.58	1.00	1.00	1.00				0.85	0.65	0.87				0.87	0.72	0.87
	東引W9							0.64	0.52	0.85							0.58	-0.34	0.65	0.85	0.65	0.87				1.00	1.00	1.00				0.91	0.72	0.95
	東引W11-2							0.73	0.82	0.86							0.52	-0.24	0.72	0.87	0.72	0.87				0.91	0.72	0.95				1.00	1.00	1.00
2020	南竿W2				1.00	1.00	1.00	0.86	0.79	0.52							0.09	-0.31	0.61	0.69	0.74	0.40							0.60	0.55	0.47	0.77	0.82	0.51
	南竿W3				0.86	0.79	0.52	1.00	1.00	1.00							0.18	-0.11	0.57	0.69	0.51	0.85							0.57	0.41	0.79	0.77	0.77	0.85
	西莒W6				0.09	-0.31	0.61	0.18	-0.11	0.57							1.00	1.00	1.00	0.48	-0.30	0.53							0.47	-0.28	0.55	0.50	-0.31	0.61
	東莒W7				0.69	0.74	0.40	0.69	0.51	0.85							0.48	-0.30	0.53	1.00	1.00	1.00							0.81	0.63	0.81	0.87	0.71	0.86
	東引W10				0.60	0.55	0.47	0.57	0.41	0.79							0.47	-0.28	0.55	0.81	0.63	0.81							1.00	1.00	1.00	0.89	0.59	0.91
	東引W11-2				0.77	0.82	0.51	0.77	0.77	0.85							0.50	-0.31	0.61	0.87	0.71	0.86							0.89	0.59	0.91	1.00	1.00	1.00
2021	南竿W1	1.00	1.00	1.00	0.79	-0.60	0.32	0.64	-0.34	0.68																			0.59	-0.60	0.73			
	南竿W2	0.79	-0.60	0.32	1.00	1.00	1.00	0.70	0.74	0.55																			0.72	0.68	0.54	0.73	0.73	0.47
	南竿W3	0.64	-0.34	0.68	0.70	0.74	0.55	1.00	1.00	1.00																			0.67	0.41	0.72	0.80	0.72	0.85
	東引W10	0.59	-0.60	0.73	0.72	0.68	0.54	0.67	0.41	0.72																			1.00	1.00	1.00	0.88	0.43	0.89
	東引W11-2				0.73	0.73	0.47	0.80	0.72	0.85																			0.88	0.43	0.89	1.00	1.00	1.00
2022	南竿W1	1.00	1.00	1.00				0.65	0.82	0.49													0.65	0.48	0.22							0.65	0.78	0.39
	南竿W3	0.65	0.82	0.49				1.00	1.00	1.00													0.81	0.40	0.76							0.83	0.75	0.77
	東莒W8	0.65	0.48	0.22				0.81	0.40	0.76													1.00	1.00	1.00							0.87	0.58	0.79
	東引W11-2	0.65	0.78	0.39				0.83	0.75	0.77													0.87	0.58	0.79							1.00	1.00	1.00
2023	南竿W1	1.00	1.00	1.00	0.84	-0.45	0.62	0.61	-0.41	0.43				0.64	0.24	0.66							0.70	-0.35	0.74							0.70	-0.42	0.61
	南竿W2	0.84	-0.45	0.62	1.00	1.00	1.00	0.78	0.87	0.78				0.71	-0.08	0.71							0.76	0.62	0.77							0.78	0.84	0.75
	南竿W3	0.61	-0.41	0.43	0.78	0.87	0.78	1.00	1.00	1.00				0.77	-0.24	0.69							0.81	0.59	0.78							0.85	0.82	0.82
	北竿W5	0.64	0.24	0.66	0.71	-0.08	0.71	0.77	-0.24	0.69				1.00	1.00	1.00							0.71	0.24	0.71							0.82	-0.13	0.77
	東莒W8	0.70	-0.35	0.74	0.76	0.62	0.77	0.81	0.59	0.78				0.71	0.24	0.71							1.00	1.00	1.00							0.84	0.63	0.82
	東引W11-2	0.70	-0.42	0.61	0.78	0.84	0.75	0.85	0.82	0.82				0.82	-0.13	0.77							0.84	0.63	0.82							1.00	1.00	1.00

附表 1-3 夏季馬祖四鄉五島各港區波浪測站_示性波高相關性比較表

夏季	測站	示性波高								
		南竿A1	南竿A2	南竿A3	南竿A4	北竿A5	東莒A6	東引A7	東引A8	東引A9-2
2016	北竿A5					1.00	0.76			0.80
	東莒A6					0.76	1.00			0.83
	東引A9-2					0.80	0.83			1.00
2017	南竿A1	1.00				0.54		-0.18		0.75
	北竿A5	0.54				1.00		0.69		0.83
	東引A7	-0.18				0.69		1.00		0.66
	東引A9-2	0.75				0.83		0.66		1.00
2018	南竿A1	1.00						0.07		0.80
	東引A7	0.07						1.00		0.56
	東引A9-2	0.80						0.56		1.00
2019	南竿A1	1.00						-0.36		0.32
	東引A7	-0.36						1.00		0.52
	東引A9-2	0.32						0.52		1.00
2020	南竿A1	1.00	0.94							0.04
	南竿A2	0.94	1.00							0.39
	東引A9-2	0.04	0.39							1.00
2021	東莒A6						1.00		0.68	0.83
	東引A8						0.68		1.00	0.70
	東引A9-2						0.83		0.70	1.00
2022	東引A8								1.00	0.59
	東引A9-2								0.59	1.00
2023	東引A8								1.00	0.44
	東引A9-2								0.44	1.00

附表 1-4 冬季馬祖四鄉五島各港區波浪測站_示性波高相關性比較表

冬季	測站	示性波高								
		南竿A1	南竿A2	南竿A3	南竿A4	北竿A5	東莒A6	東引A7	東引A8	東引A9-2
2016	北竿A5					1.00	0.82			
	東莒A6					0.82	1.00			
2017	南竿A1	1.00				0.88	0.79			
	北竿A5	0.88				1.00	0.71			
	東莒A6	0.79				0.71	1.00			
	東引A7	0.62				0.55	0.62			
2018	南竿A1	1.00					0.90	0.75		
	東莒A6	0.90					1.00	0.73		
	東引A7	0.75					0.73	1.00		
2019	北竿A5					1.00		0.84		0.92
	東引A7					0.84		1.00		0.86
	東引A9-2					0.92		0.86		1.00
2020	南竿A1	1.00	0.96						0.76	0.91
	南竿A2	0.96	1.00				0.87		0.68	0.92
	東莒A6		0.87				1.00		0.69	
	東引A8	0.76	0.68				0.69		1.00	0.83
	東引A9-2	0.91	0.92						0.83	1.00
2021	南竿A2		1.00							0.88
	東引A9-2		0.88							1.00
2022	東引A8								1.00	0.79
	東引A9-2								0.79	1.00
2023	南竿A3								0.75	0.90
	南竿A4								0.76	0.89
	東引A8								1.00	0.74
	東引A9-2								0.74	1.00

附表 1-5 夏季馬祖四鄉五島各港區波浪測站_尖峰週期相關性比較表

夏季	測站	尖峰週期								
		南竿A1	南竿A2	南竿A3	南竿A4	北竿A5	東莒A6	東引A7	東引A8	東引A9-2
2016	北竿A5					1.00	0.52			
	東莒A6					0.52	1.00			
2017	南竿A1	1.00				0.24		-0.13		
	北竿A5	0.24				1.00		0.29		
	東引A7	-0.13				0.29		1.00		
2018	南竿A1	1.00						0.39		0.62
	東引A7	0.39						1.00		0.66
	東引A9-2	0.62						0.66		1.00
2019	南竿A1	1.00						0.06		0.21
	東引A7	0.06						1.00		0.41
	東引A9-2	0.21						0.41		1.00
2020	南竿A1	1.00	0.61							-0.01
	南竿A2	0.61	1.00							0.31
	東引A9-2	-0.01	0.31							1.00
2021	東莒A6						1.00		0.43	0.32
	東引A8						0.43		1.00	0.24
	東引A9-2						0.32		0.24	1.00
2022	東引A8								1.00	0.36
	東引A9-2								0.36	1.00
2023	東引A8								1.00	0.67
	東引A9-2								0.67	1.00

附表 1-6 冬季馬祖四鄉五島各港區波浪測站_尖峰週期相關性比較表

冬季	測站	尖峰週期								
		南竿A1	南竿A2	南竿A3	南竿A4	北竿A5	東莒A6	東引A7	東引A8	東引A9-2
2016	北竿A5					1.00	0.24			
	東莒A6					0.24	1.00			
2017	南竿A1	1.00				0.32	0.37	0.29		
	北竿A5	0.32				1.00	0.35	0.06		
	東莒A6	0.37				0.35	1.00	0.11		
	東引A7	0.29				0.06	0.11	1.00		
2018	南竿A1	1.00					0.45	0.43		
	東莒A6	0.45					1.00	0.27		
	東引A7	0.43					0.27	1.00		
2019	北竿A5					1.00		0.16		0.32
	東引A7					0.16		1.00		0.29
	東引A9-2					0.32		0.29		1.00
2020	南竿A1	1.00	0.59						0.19	0.45
	南竿A2	0.59	1.00				0.46		0.28	0.56
	東莒A6		0.46				1.00		0.32	
	東引A8	0.19	0.28				0.32		1.00	0.09
	東引A9-2	0.45	0.56						0.09	1.00
2021	南竿A2		1.00							0.61
	東引A9-2		0.61							1.00
2022	東引A8								1.00	0.43
	東引A9-2								0.43	1.00
2023	南竿A3			1.00	0.81				0.37	0.53
	南竿A4			0.81	1.00				0.39	0.53
	東引A8			0.37	0.39				1.00	0.37
	東引A9-2			0.53	0.53				0.37	1.00

附表 1-7 夏季馬祖四鄉五島各港區海流測站相關性比較表

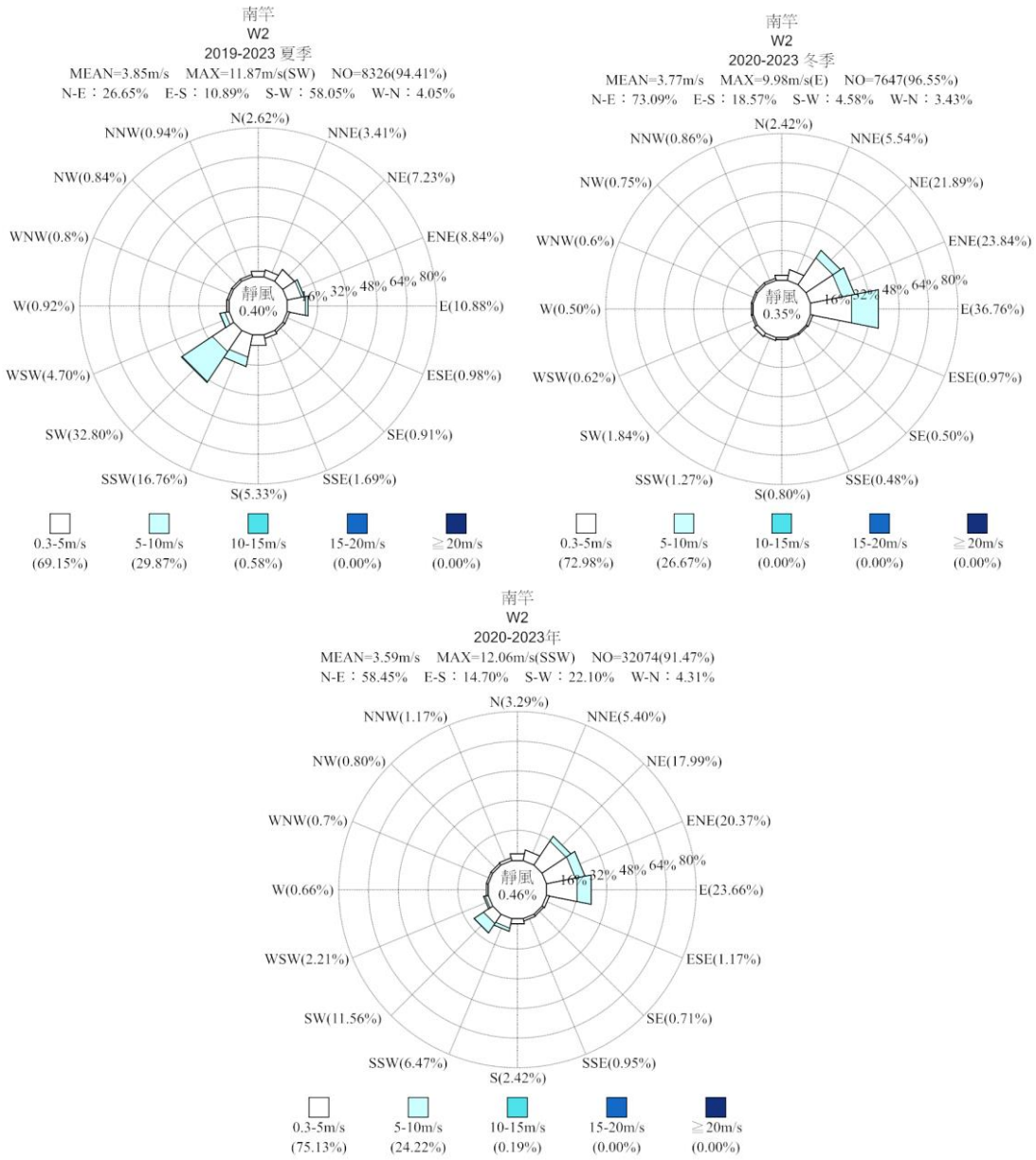
夏季	測站	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V
		南竿A1			南竿A2			北竿A5			東莒A6			東引A7			東引A8			東引A9-2		
2016	北竿A5							1.00	1.00	1.00	-0.09	0.06	0.20									
	東莒A6							-0.09	0.06	0.20	1.00	1.00	1.00									
2017	南竿A1	1.00	1.00	1.00				-0.10	0.04	0.28				0.08	0.28	0.31						
	北竿A5	-0.10	0.04	0.28				1.00	1.00	1.00				0.20	0.23	0.67						
	東引A7	0.08	0.28	0.31				0.20	0.23	0.67				1.00	1.00	1.00						
2018	南竿A1	1.00	1.00	1.00										0.03	0.28	0.14				0.07	-0.09	0.05
	東引A7	0.03	0.28	0.14										1.00	1.00	1.00				-0.04	-0.32	0.47
	東引A9-2	0.07	-0.09	0.05										-0.04	-0.32	0.47				1.00	1.00	1.00
2019	南竿A1	1.00	1.00	1.00										-0.04	-0.01	0.16				0.07	-0.06	0.17
	東引A7	-0.04	-0.01	0.16										1.00	1.00	1.00				-0.07	-0.22	0.27
	東引A9-2	0.07	-0.06	0.17										-0.07	-0.22	0.27				1.00	1.00	1.00
2020	南竿A1	1.00	1.00	1.00	0.12	0.21	0.56															
	南竿A2	0.12	0.21	0.56	1.00	1.00	1.00													0.12	0.28	-0.01
	東引A9-2				0.12	0.28	-0.01													1.00	1.00	1.00
2021	東莒A6										1.00	1.00	1.00				0.22	0.11	0.47	0.21	0.65	0.33
	東引A8										0.22	0.11	0.47				1.00	1.00	1.00	0.07	-0.05	0.11
	東引A9-2										0.21	0.65	0.33				0.07	-0.05	0.11	1.00	1.00	1.00
2022	東引A8																1.00	1.00	1.00	0.12	0.04	0.24
	東引A9-2																0.12	0.04	0.24	1.00	1.00	1.00
2023	東引A8																1.00	1.00	1.00	0.11	0.06	0.20
	東引A9-2																0.11	0.06	0.20	1.00	1.00	1.00

附表 1-8 冬季馬祖四鄉五島各港區海流測站相關性比較表

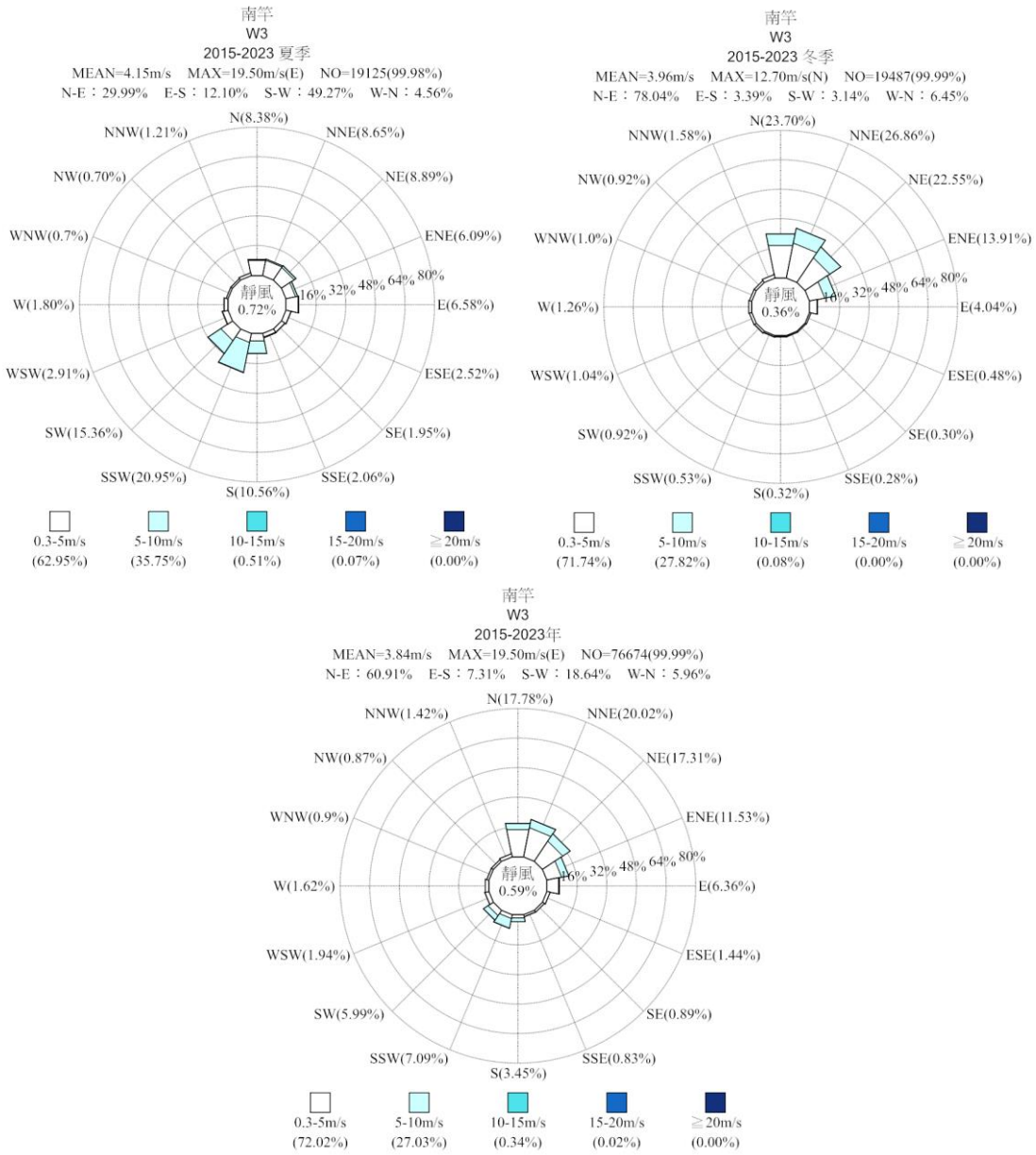
冬季	測站	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V
		南竿A1			南竿A2			南竿A3			南竿A4			北竿A5			東莒A6			東引A7			東引A8			東引A9-2		
2016	北竿A5													1.00	1.00	1.00	0.01	0.03	0.13									
	東莒A6													0.01	0.03	0.13	1.00	1.00	1.00									
2017	南竿A1	1.00	1.00	1.00										-0.44	-0.15	-0.27	-0.30	-0.18	-0.09	-0.18	0.33	-0.20						
	北竿A5	-0.44	-0.15	-0.27										1.00	1.00	1.00	0.40	0.39	0.45	0.31	-0.17	0.52						
	東莒A6	-0.30	-0.18	-0.09										0.40	0.39	0.45	1.00	1.00	1.00	0.14	-0.26	0.21						
	東引A7	-0.18	0.33	-0.20										0.31	-0.17	0.52	0.14	-0.26	0.21	1.00	1.00	1.00						
2018	南竿A1	1.00	1.00	1.00													-0.07	-0.34	-0.12	-0.09	0.25	-0.19						
	東莒A6	-0.07	-0.34	-0.12													1.00	1.00	1.00	0.09	-0.21	0.30						
	東引A7	-0.09	0.25	-0.19													0.09	-0.21	0.30	1.00	1.00	1.00						
2019	北竿A5													1.00	1.00	1.00				0.19	0.07	0.34						
	東引A7													0.19	0.07	0.34				1.00	1.00	1.00						
	東引A9-2																									1.00	1.00	1.00
2020	南竿A1	1.00	1.00	1.00	0.12	0.34	0.49										NAN	NAN	NAN				0.00	0.43	-0.10	-0.12	-0.35	-0.13
	南竿A2	0.12	0.34	0.49	1.00	1.00	1.00										-0.03	0.07	-0.08				-0.02	-0.16	-0.18	-0.12	0.47	-0.38
	東莒A6	NAN	NAN	NAN	-0.03	0.07	-0.08										1.00	1.00	1.00				-0.02	-0.10	0.20	0.22	0.38	0.36
	東引A8	0.00	0.43	-0.10	-0.02	-0.16	-0.18										-0.02	-0.10	0.20				1.00	1.00	1.00	0.12	-0.53	0.35
	東引A9-2	-0.12	-0.35	-0.13	-0.12	0.47	-0.38										0.22	0.38	0.36				0.12	-0.53	0.35	1.00	1.00	1.00
2021	南竿A2				1.00	1.00	1.00																			-0.12	0.55	-0.54
	東引A9-2				-0.12	0.55	-0.54																			1.00	1.00	1.00
2022	東引A8																						1.00	1.00	1.00	0.10	-0.29	-0.15
	東引A9-2																						0.10	-0.29	-0.15	1.00	1.00	1.00
2023	南竿A3							1.00	1.00	1.00	0.33	0.66	0.24										0.09	0.05	0.05	-0.22	-0.02	-0.23
	南竿A4							0.33	0.66	0.24	1.00	1.00	1.00										0.03	0.05	-0.01	-0.23	0.02	0.23
	東引A8							0.09	0.05	0.05	0.03	0.05	-0.01										1.00	1.00	1.00	0.05	-0.28	-0.12
	東引A9-2							-0.22	-0.02	-0.23	-0.23	0.02	0.23										0.05	-0.28	-0.12	1.00	1.00	1.00

附錄二 各風力、波浪及海流測站玫瑰圖(夏、冬季及歷年)

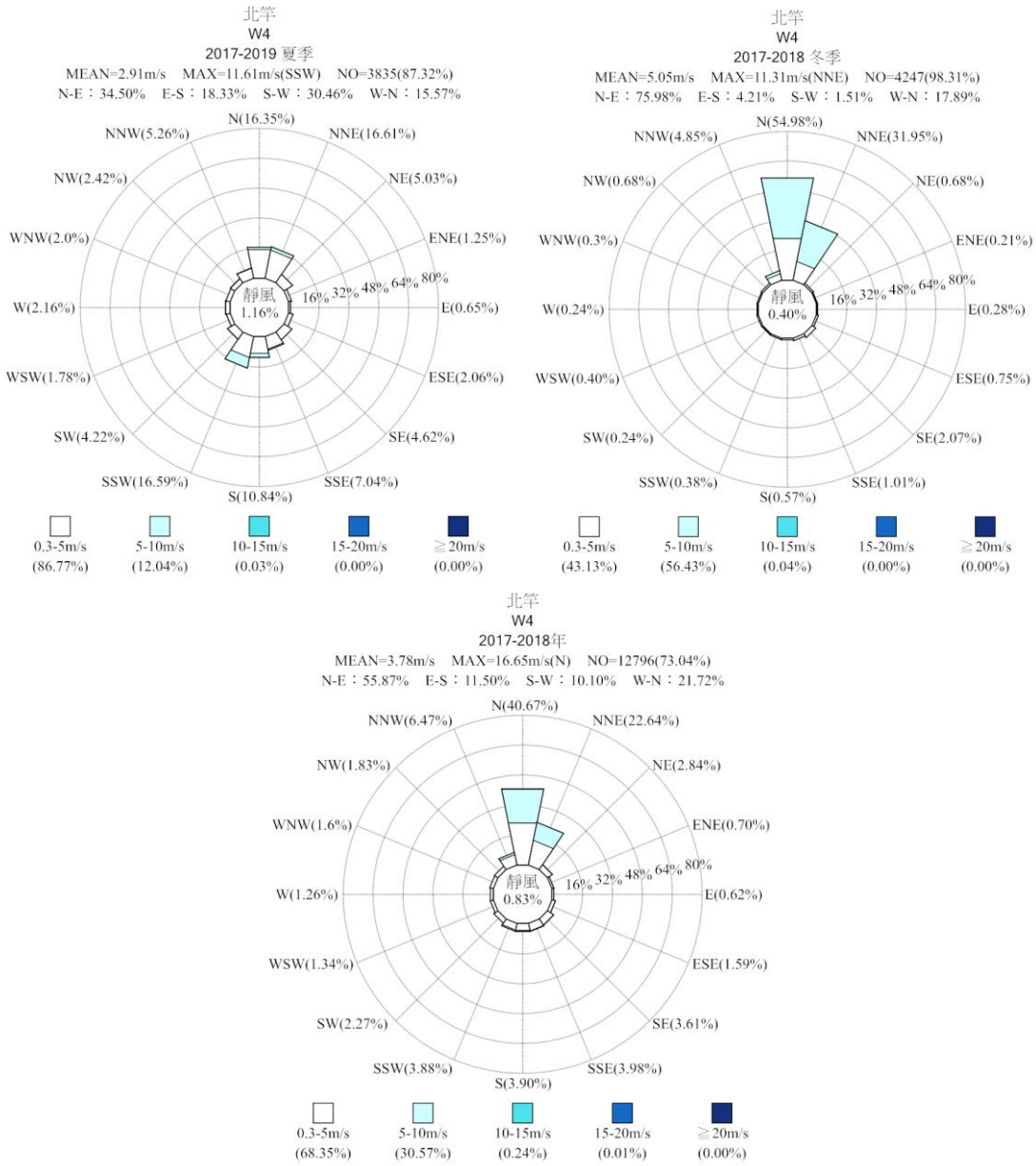
附圖 2.1 南竿 W1 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



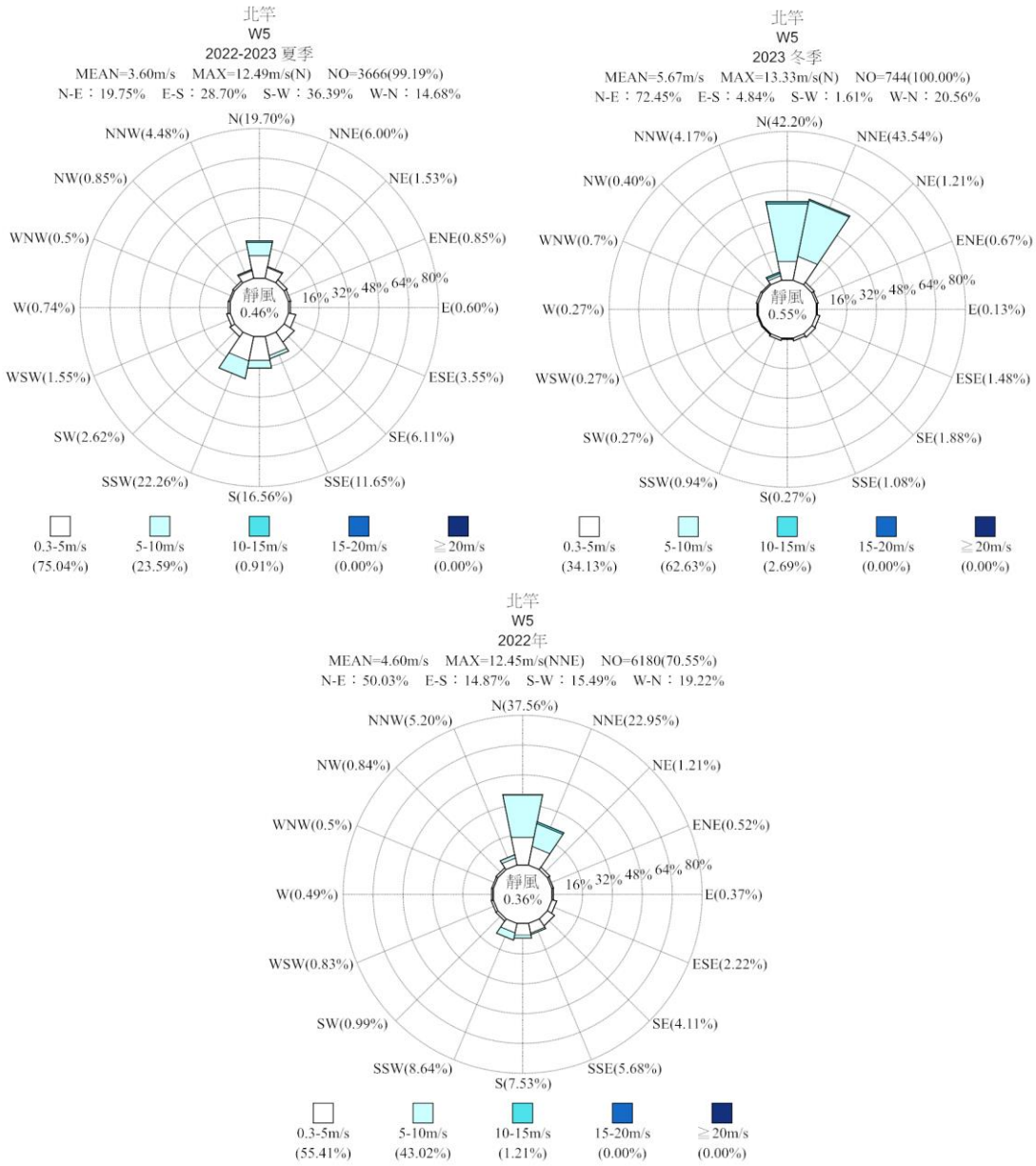
附圖 2.2 南竿 W2 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



附圖 2.3 南竿 W3 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖

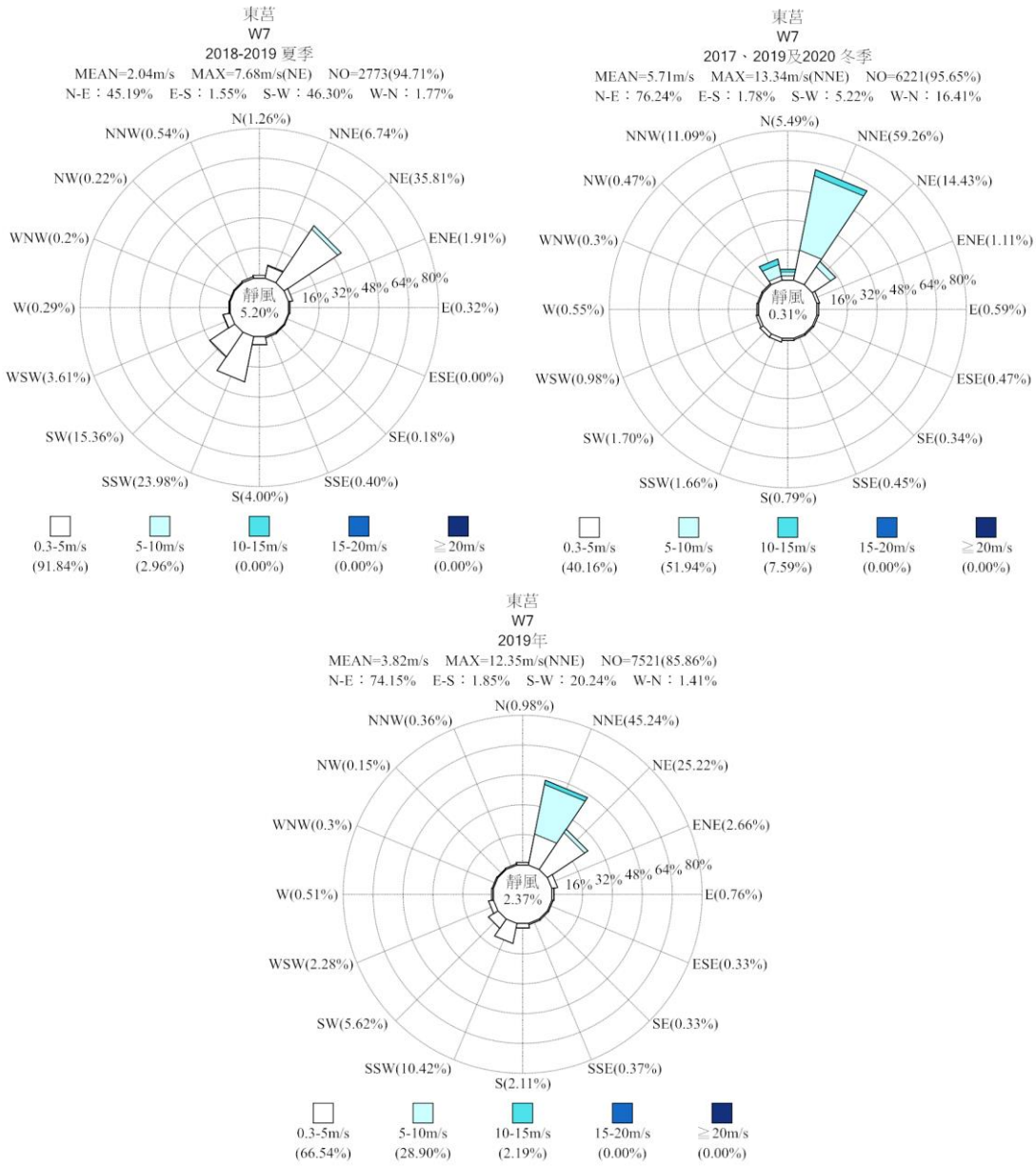


附圖 2.4 北竿 W4 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖

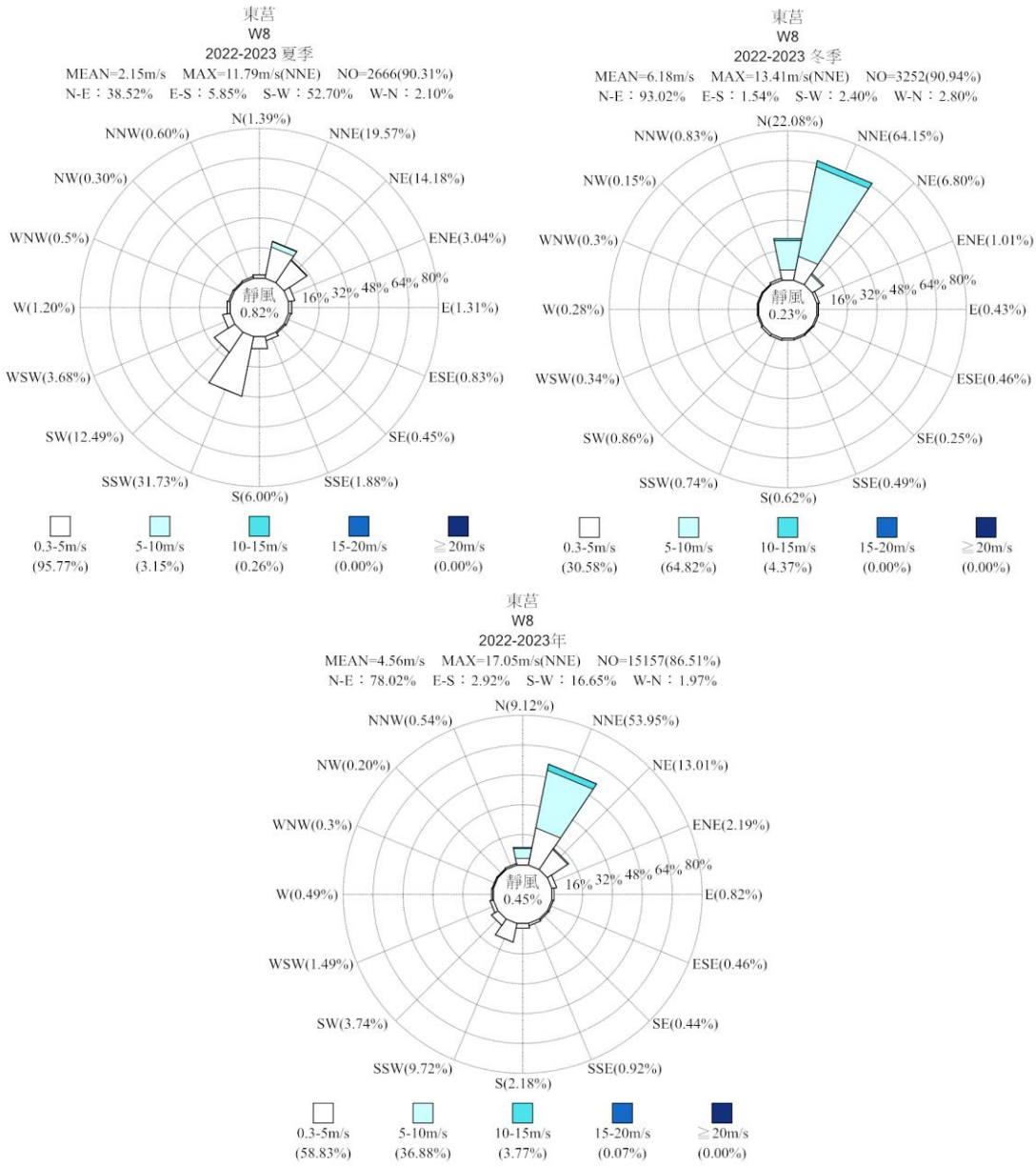


附圖 2.5 北竿 W5 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖

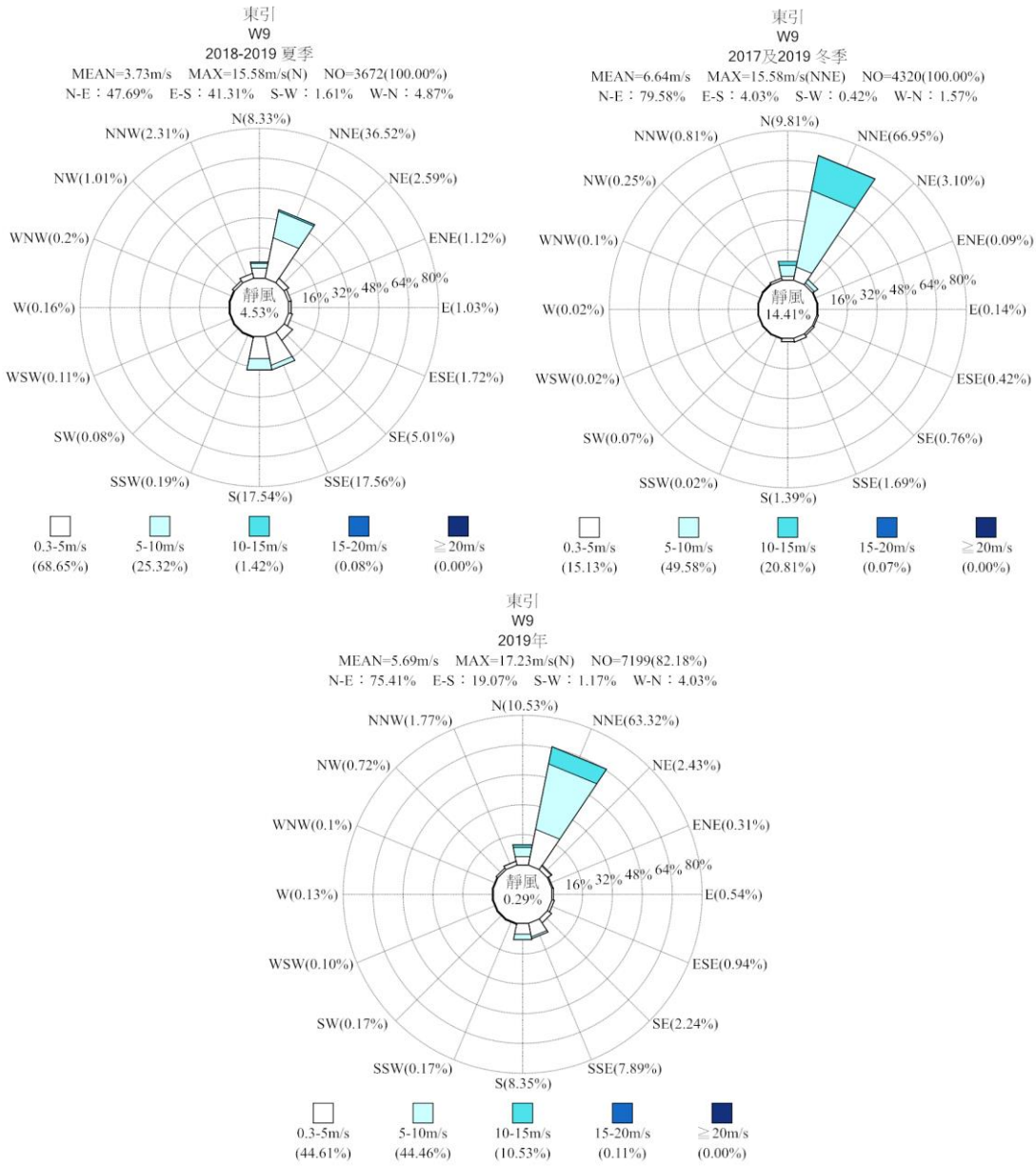
附圖 2.6 西莒 W6 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



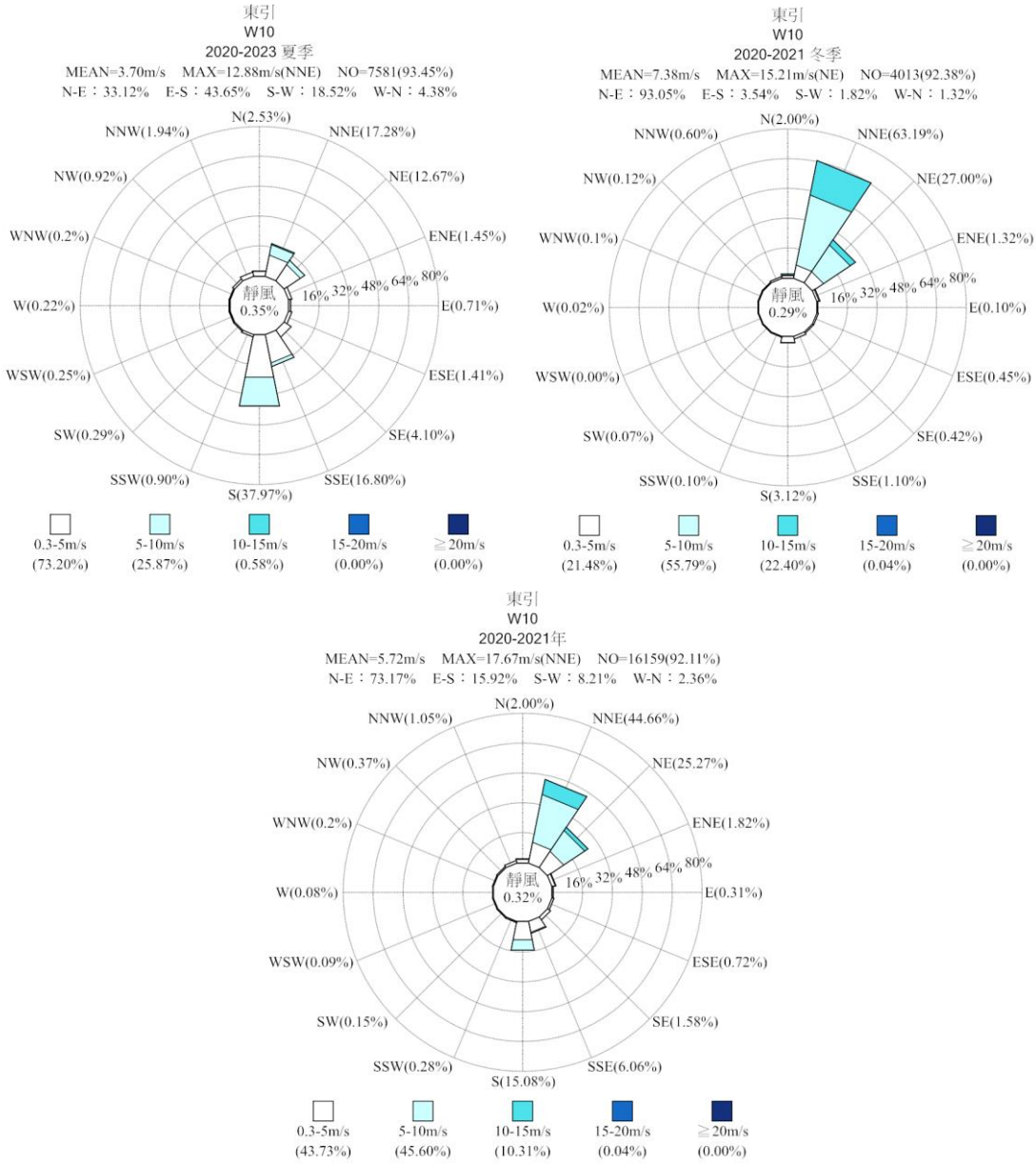
附圖 2.7 東莒 W7 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



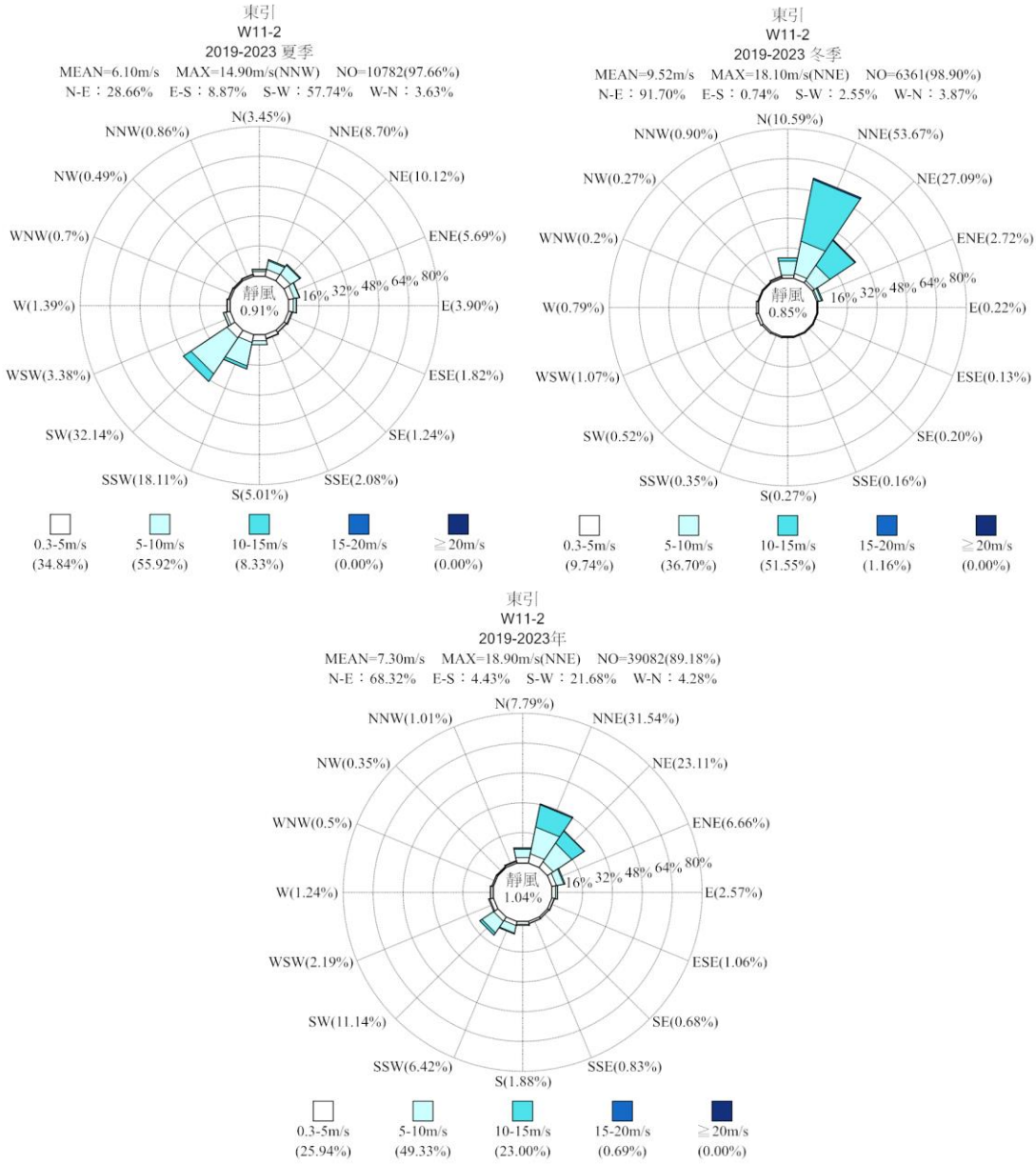
附圖 2.8 東莒 W8 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



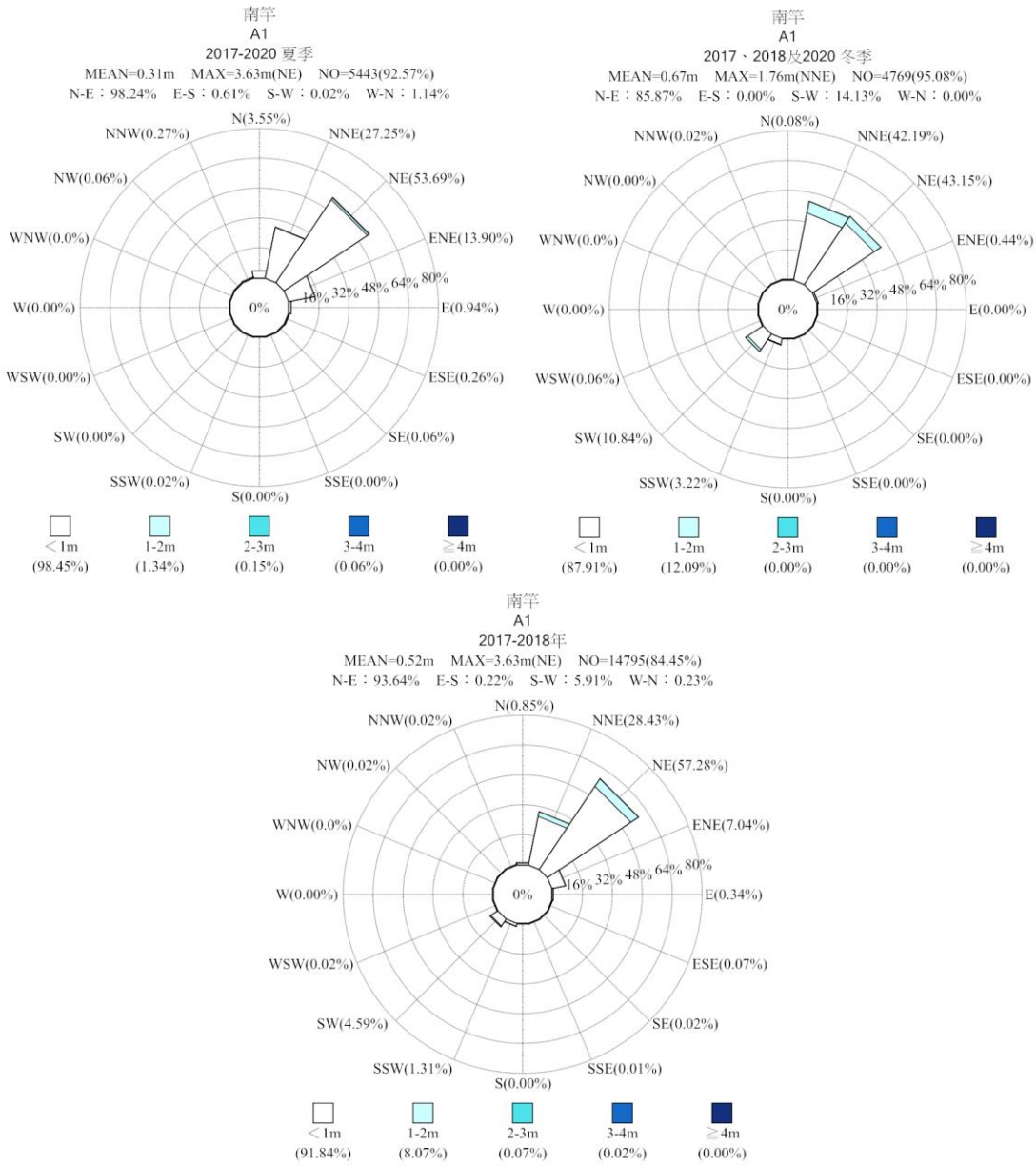
附圖 2.9 東引 W9 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



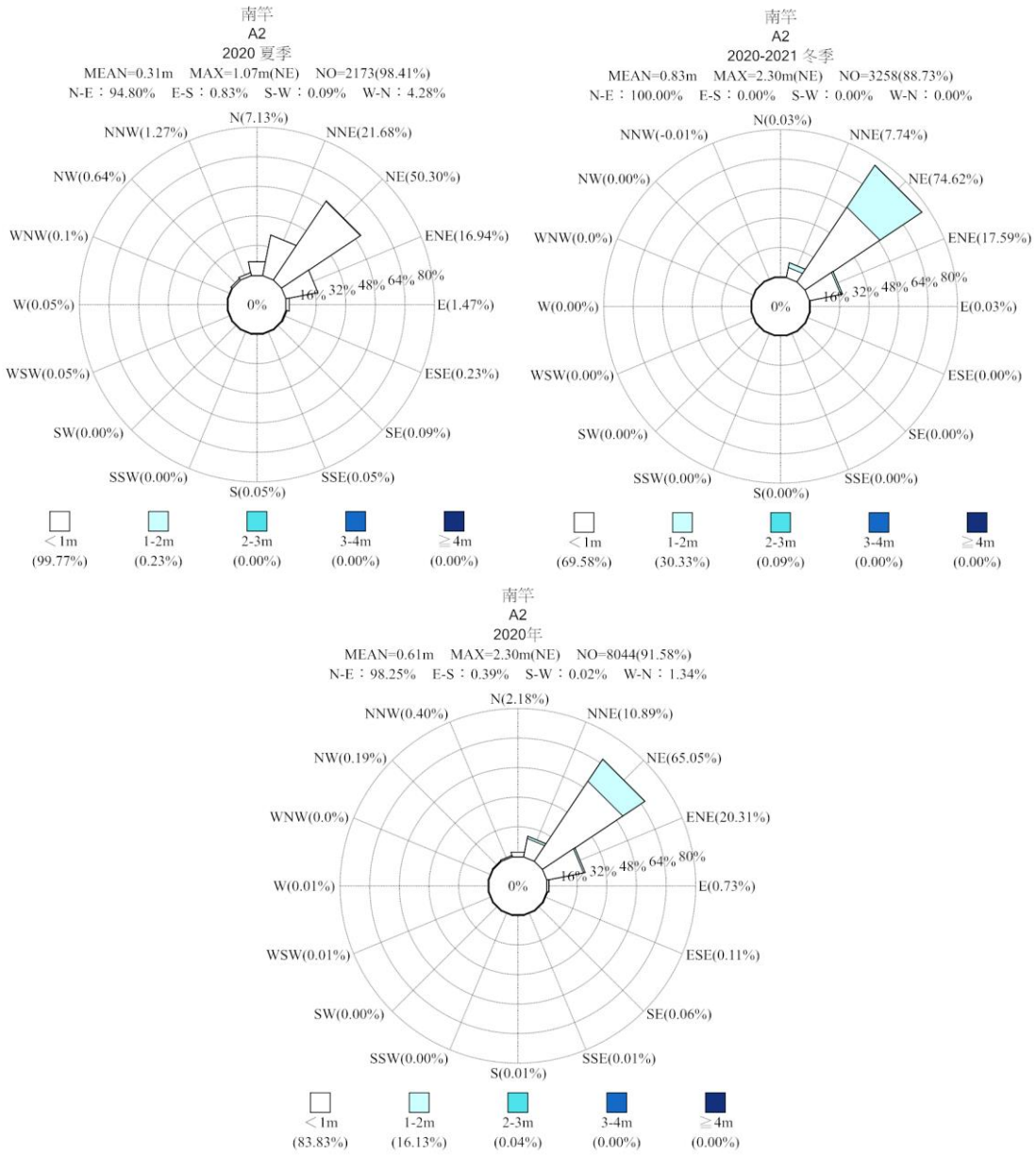
附圖 2.10 東引 W10 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



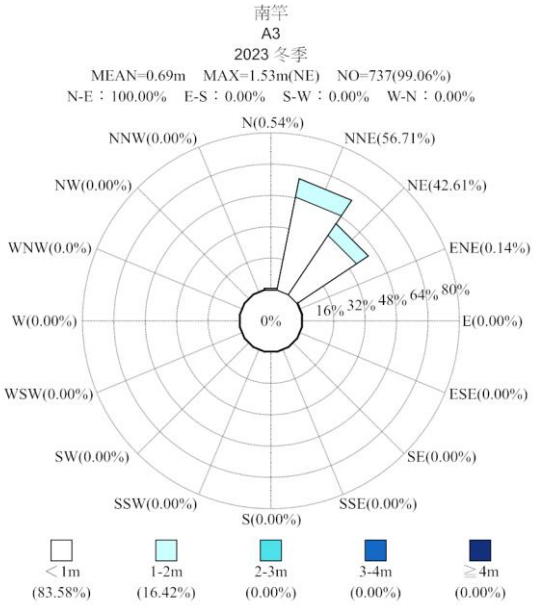
附圖 2.11 東引浮標 W11-2 風力測站夏、冬季及歷年風速風向玫瑰圖



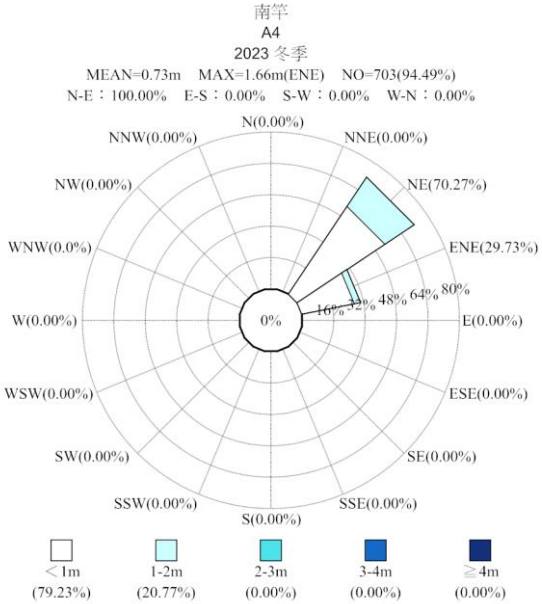
附圖 2.12 南竿 A1 波浪測站夏、冬季及歷年波高波向玫瑰圖



附圖 2.13 南竿 A2 波浪測站夏、冬季及歷年波高波向玫瑰圖

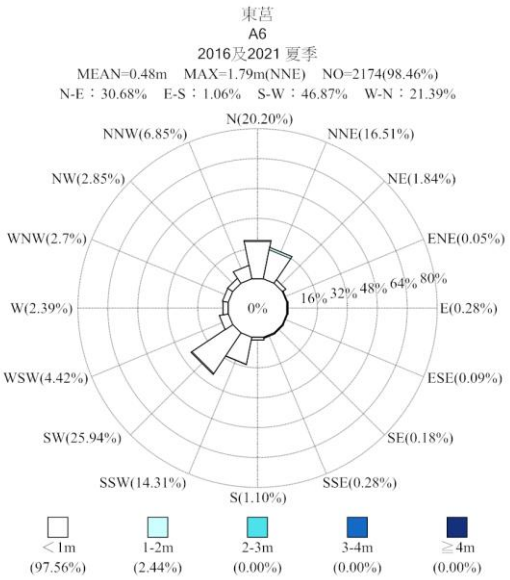


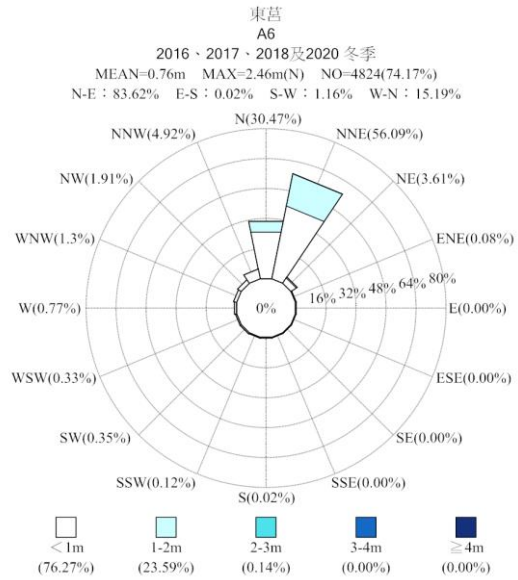
附圖 2.14 南竿 A3 波浪測站冬季波高波向玫瑰圖



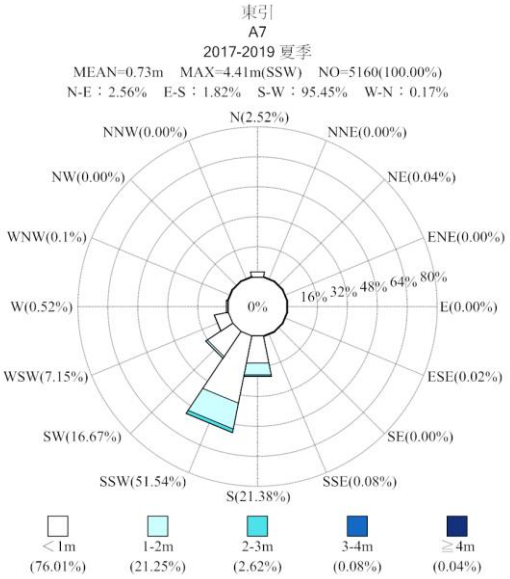
附圖 2.15 南竿 A4 波浪測站冬季波高波向玫瑰圖

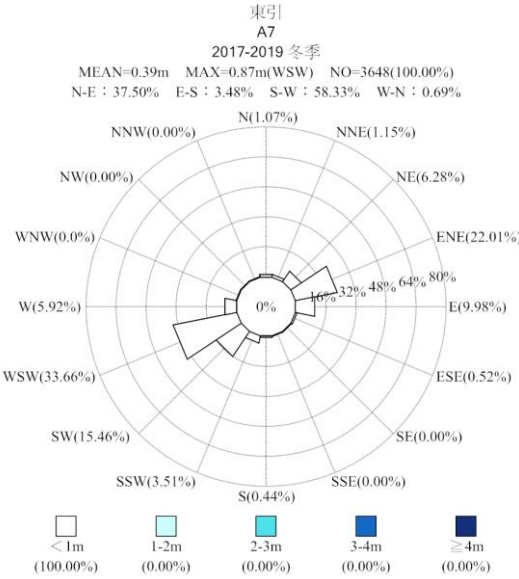
附圖 2.16 北竿 A5 波浪測站夏、冬季及歷年波高波向玫瑰圖

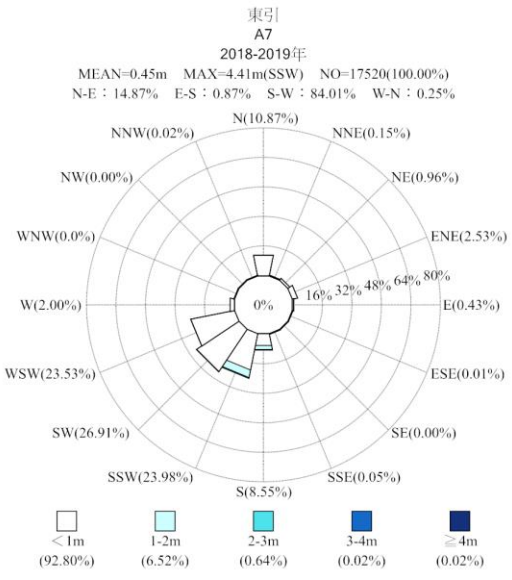




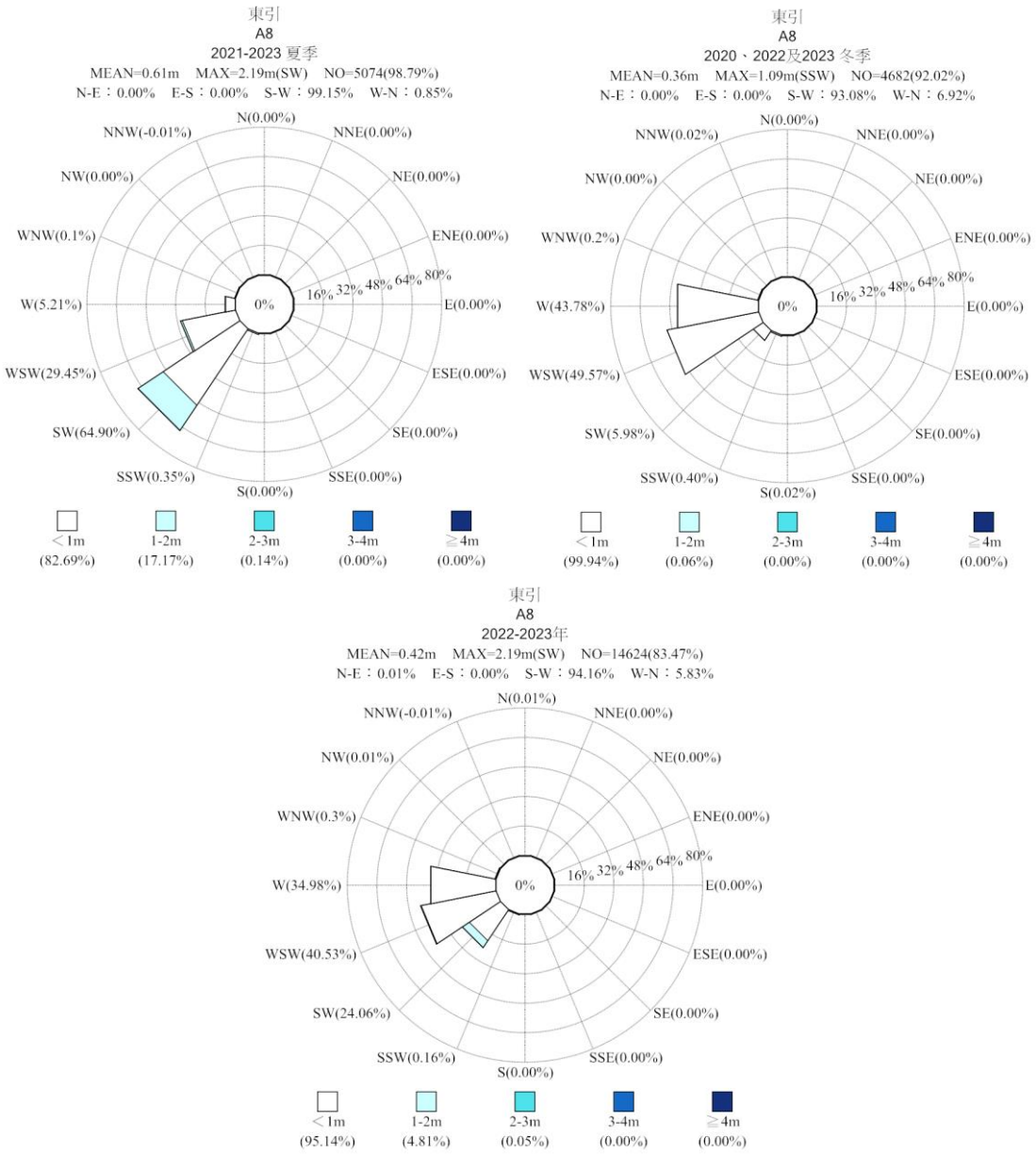
附圖 2.17 東莒 A6 波浪測站夏、冬季波高波向玫瑰圖



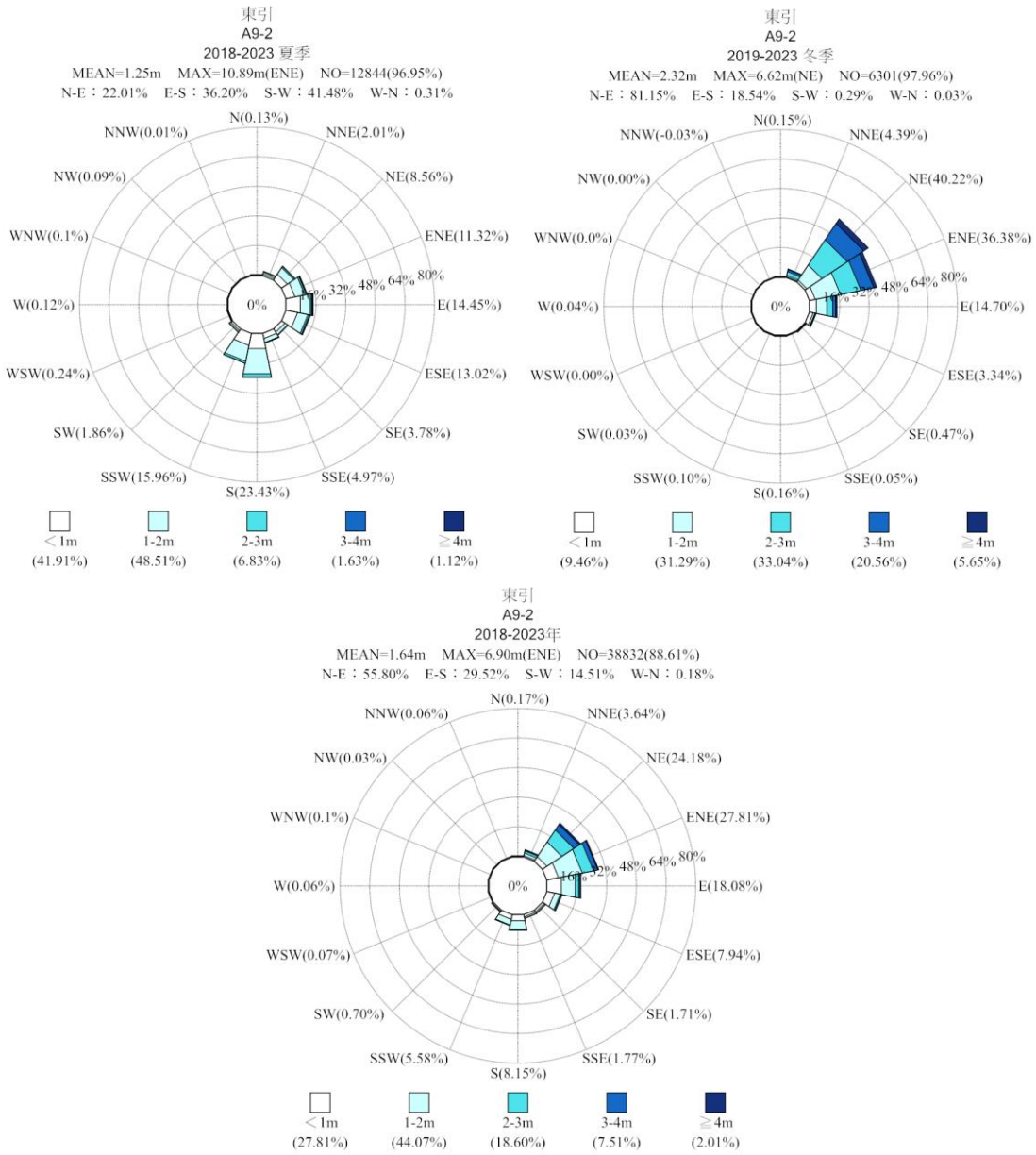




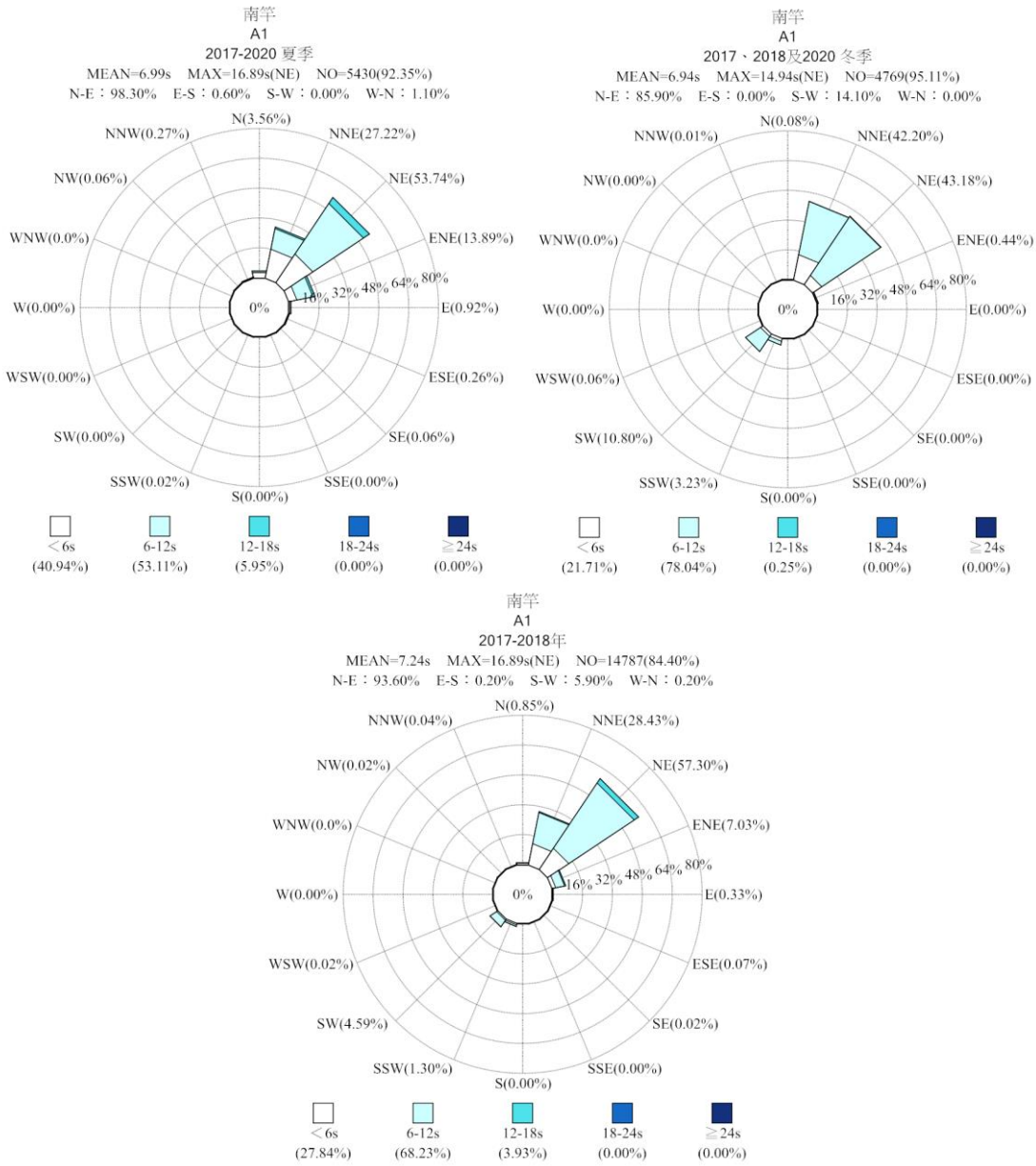
附圖 2.18 東引 A7 波浪測站夏、冬季及歷年波高波向玫瑰圖



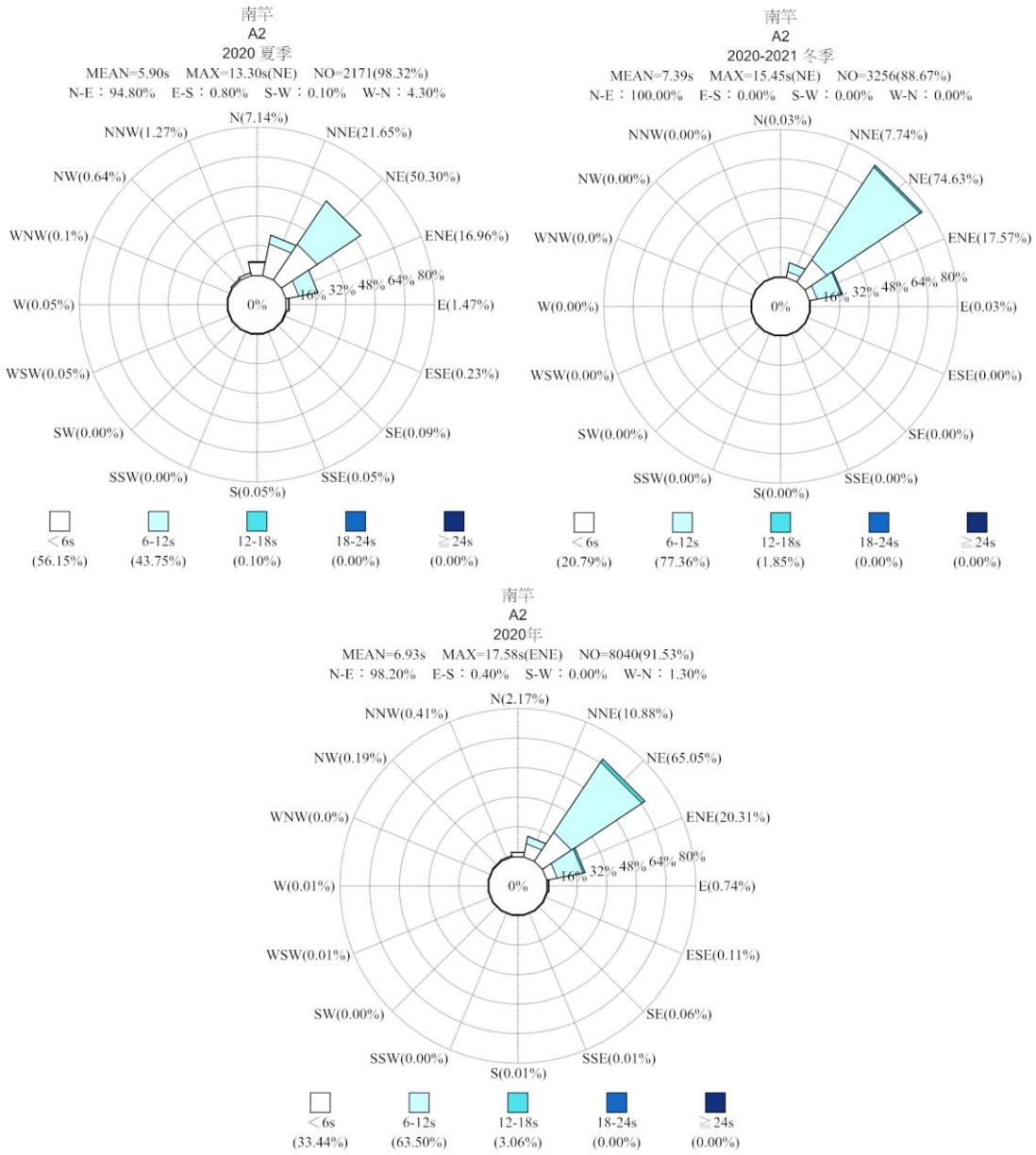
附圖 2.19 東引 A8 波浪測站夏、冬季及歷年波高波向玫瑰圖



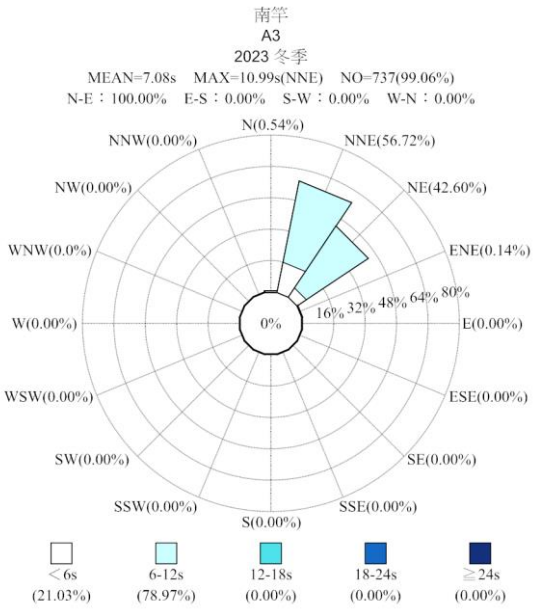
附圖 2.20 東引浮標 A9-2 波浪測站夏、冬季及歷年波高波向玫瑰圖



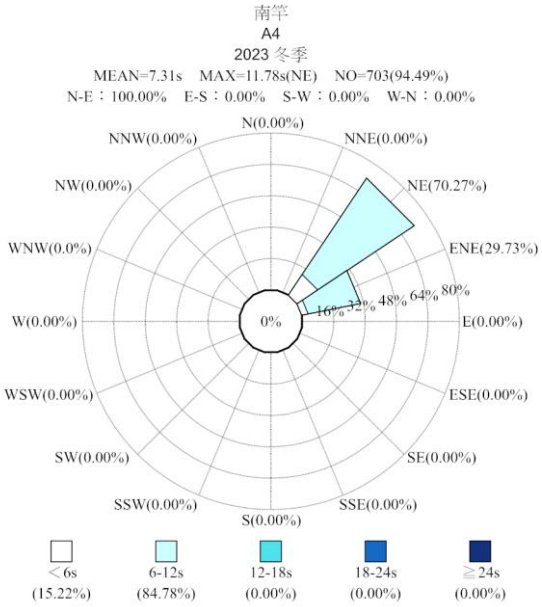
附圖 2.21 南竿 A1 波浪測站夏、冬季及歷年週期波向玫瑰圖



附圖 2.22 南竿 A2 波浪測站夏、冬季及歷年週期波向玫瑰圖

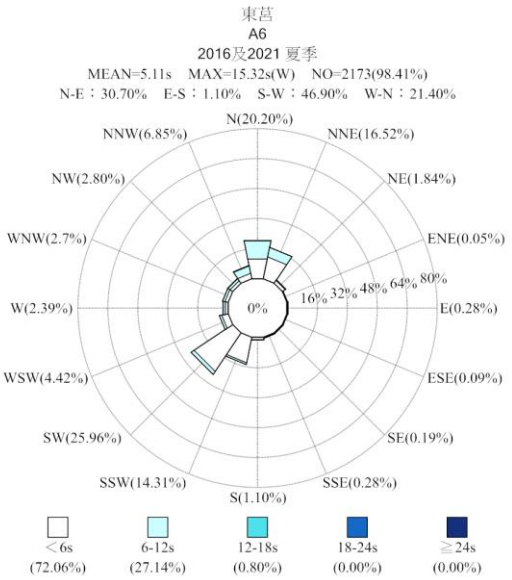


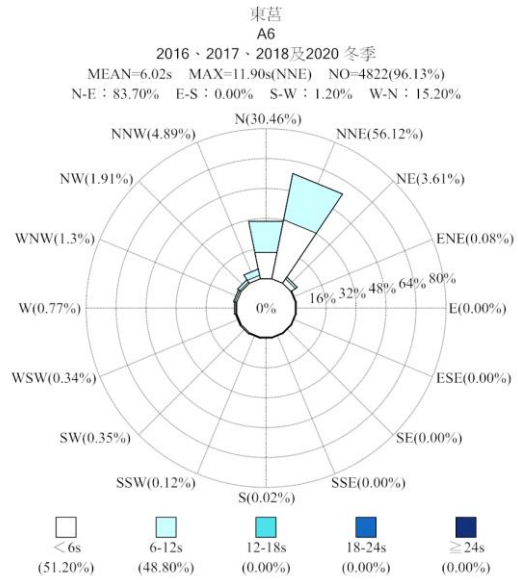
附圖 2.23 南竿 A3 波浪測站冬季週期波向玫瑰圖



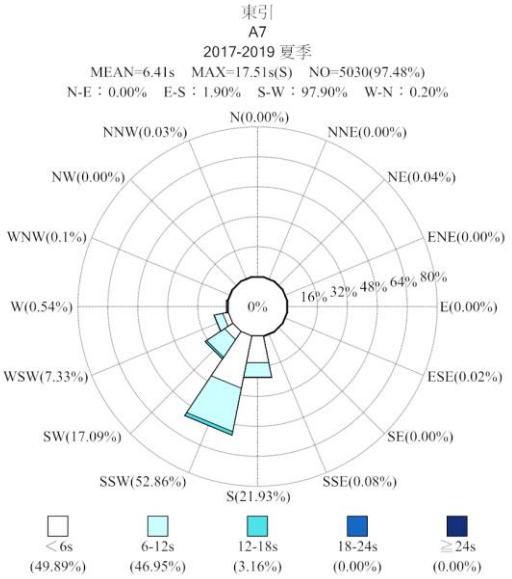
附圖 2.24 南竿 A4 波浪測站冬季週期波向玫瑰圖

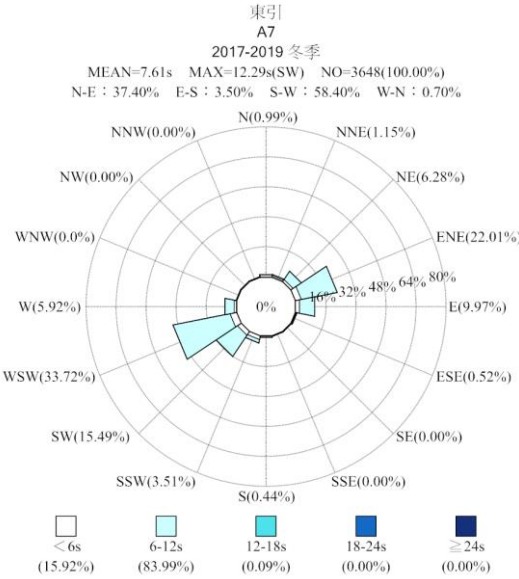
附圖 2.25 北竿 A5 波浪測站夏、冬季及歷年週期波向玫瑰圖

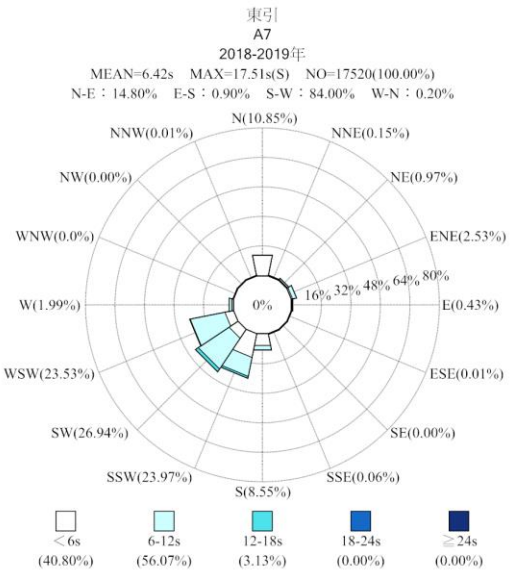




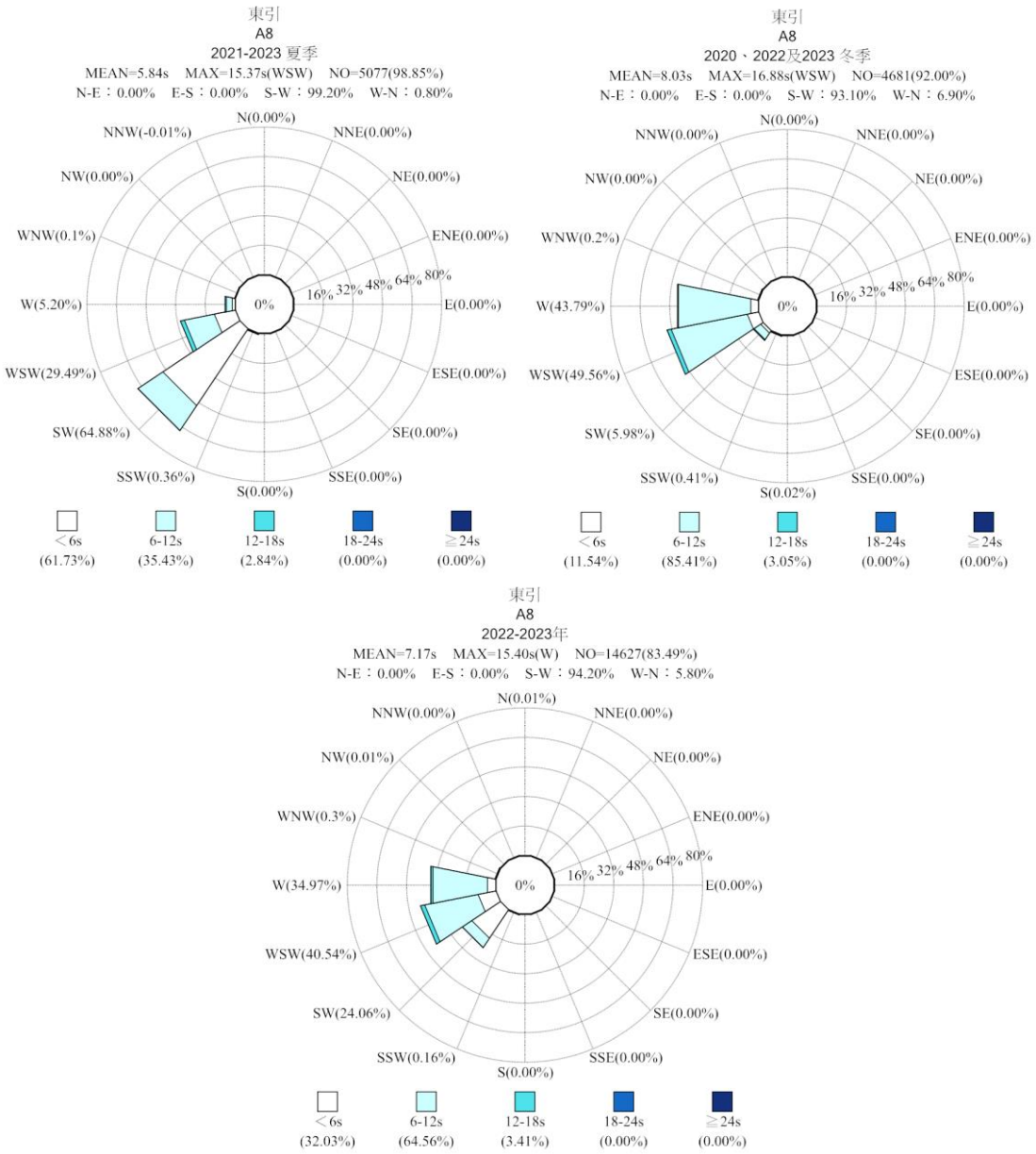
附圖 2.26 東莒 A6 波浪測站夏、冬季週期波向玫瑰圖



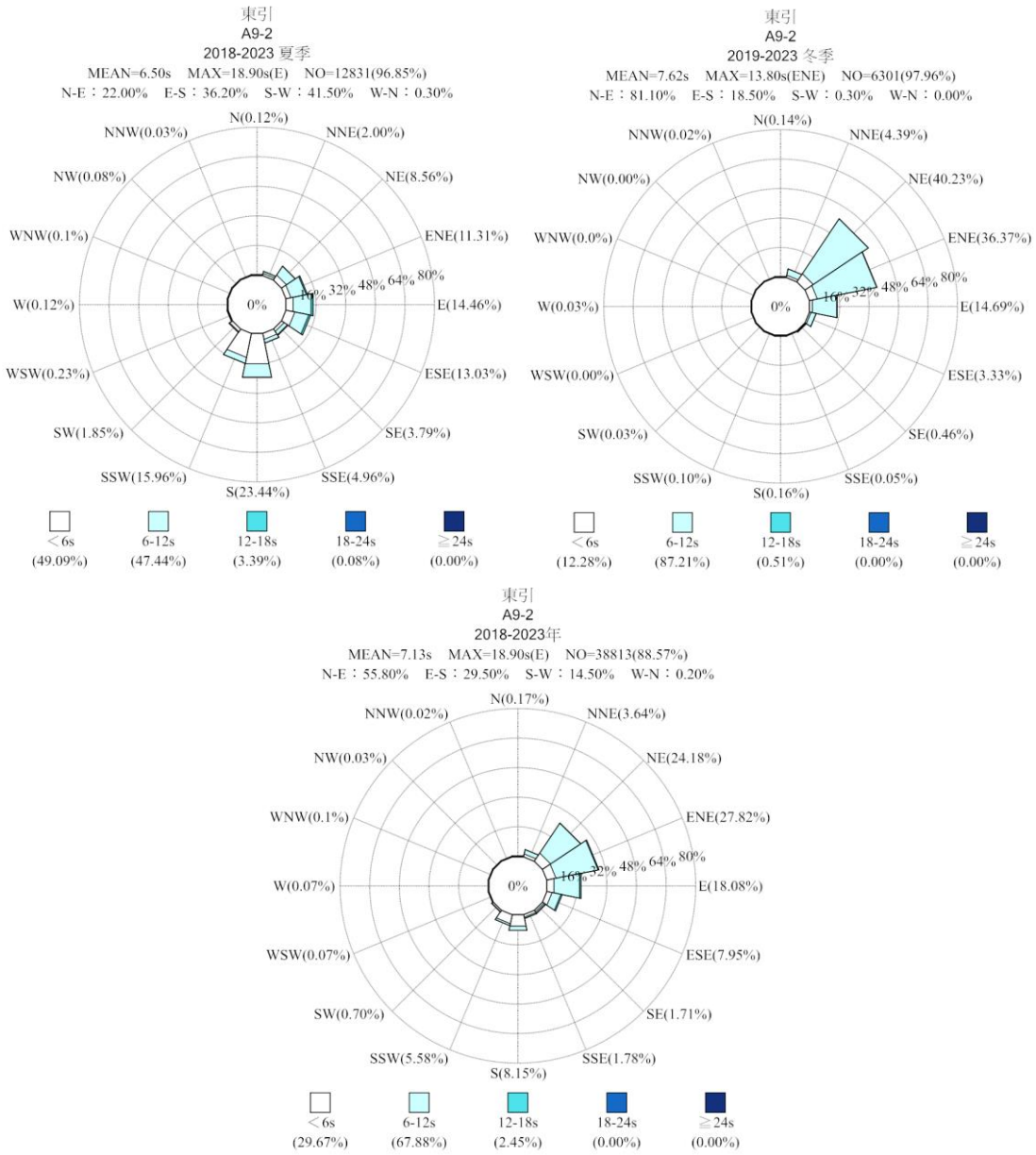




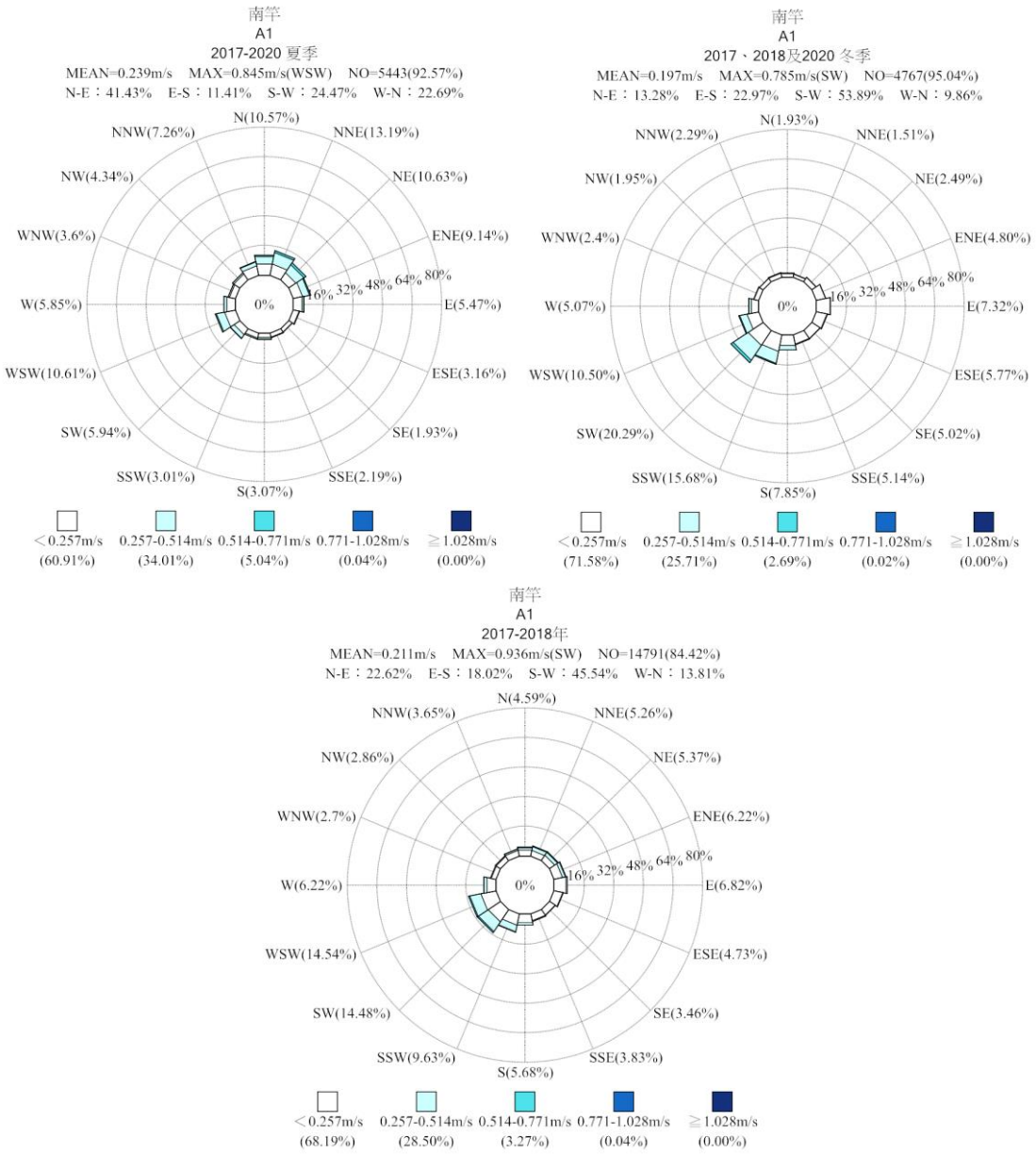
附圖 2.27 東引 A7 波浪測站夏、冬季及歷年週期波向玫瑰圖



附圖 2.28 東引 A8 波浪測站夏、冬季及歷年週期波向玫瑰圖

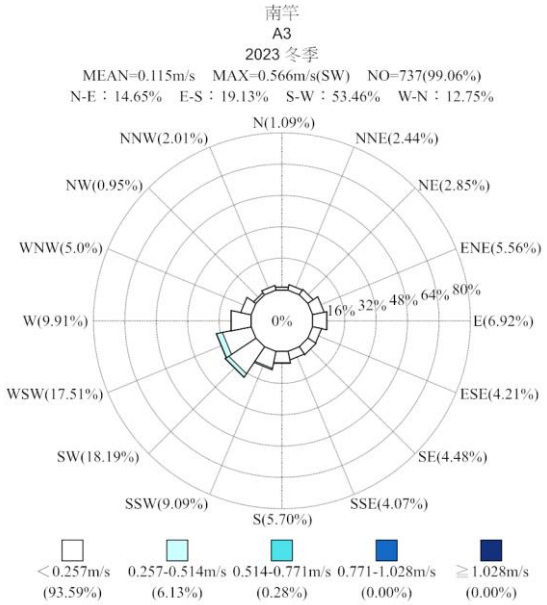


附圖 2.29 東引浮標 A9-2 波浪測站夏、冬季及歷年週期波向玫瑰圖

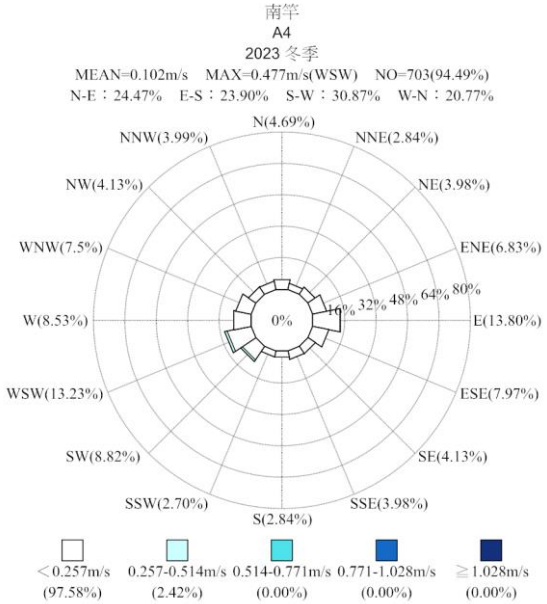


附圖 2.30 南竿 A1 海流測站夏、冬季及歷年流速流向玫瑰圖

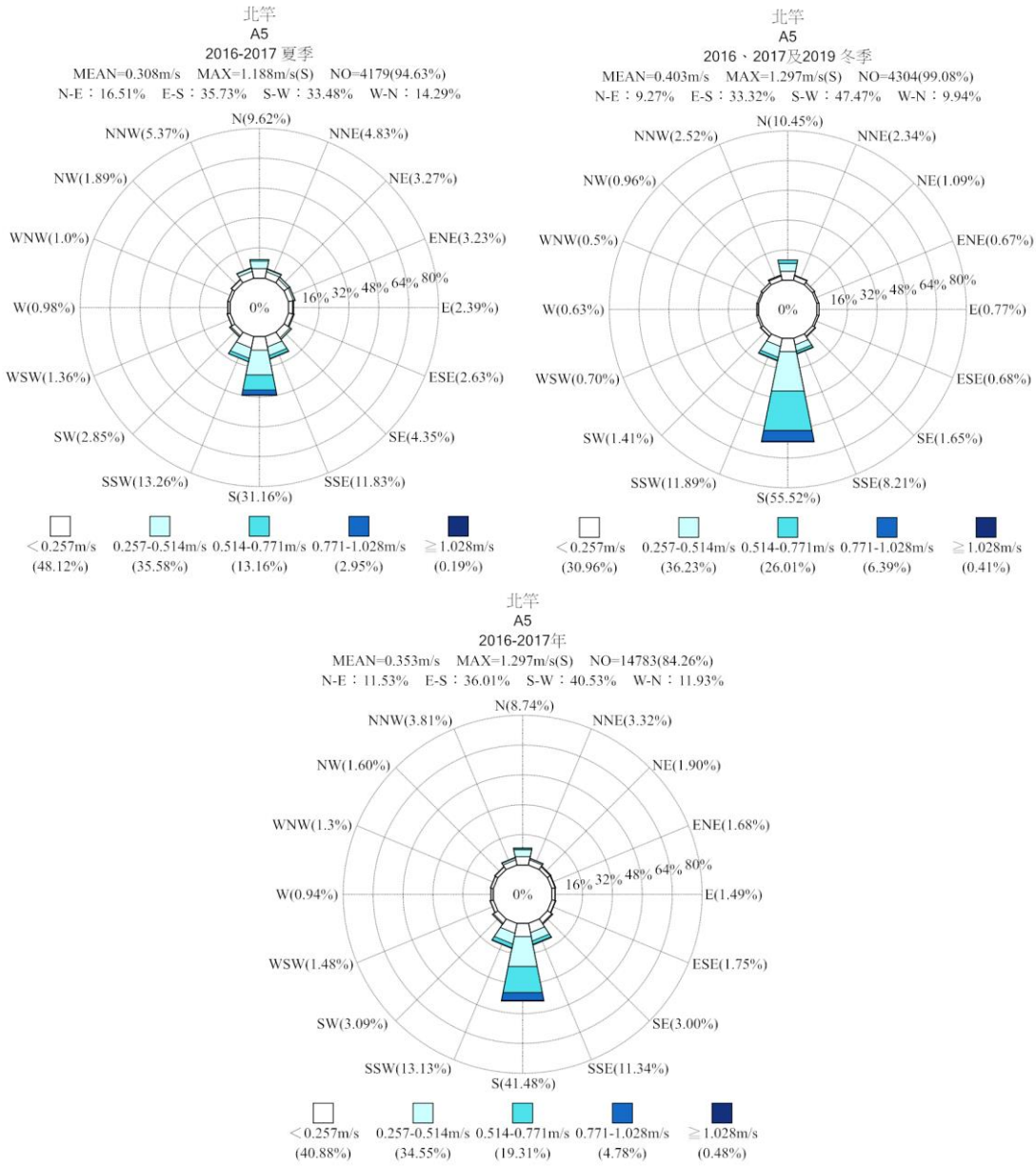
附圖 2.31 南竿 A2 海流測站夏、冬季及歷年流速流向玫瑰圖



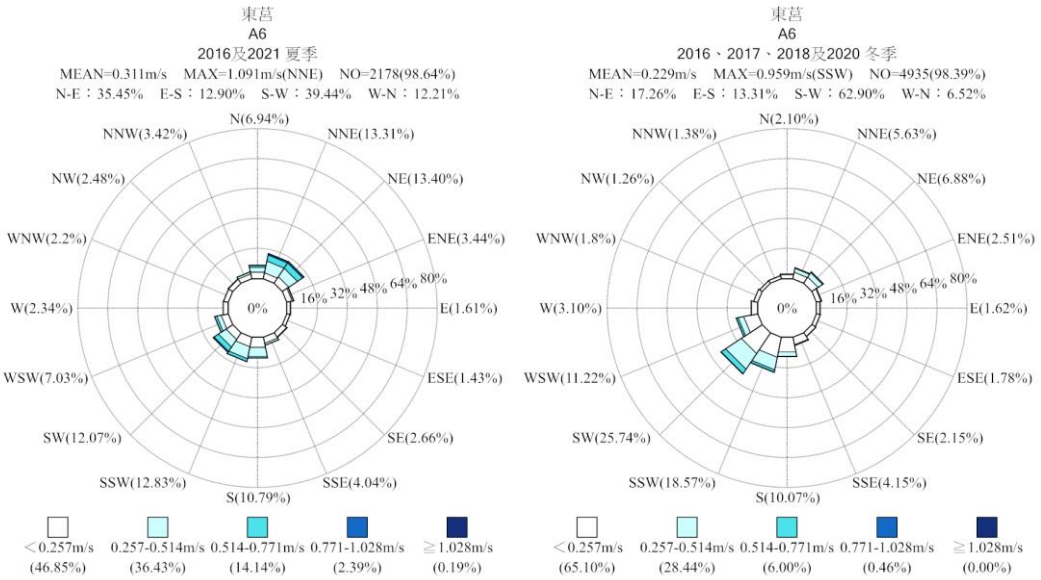
附圖 2.32 南竿 A3 海流測站冬季流速流向玫瑰圖



附圖 2.33 南竿 A4 海流測站冬季流速流向玫瑰圖



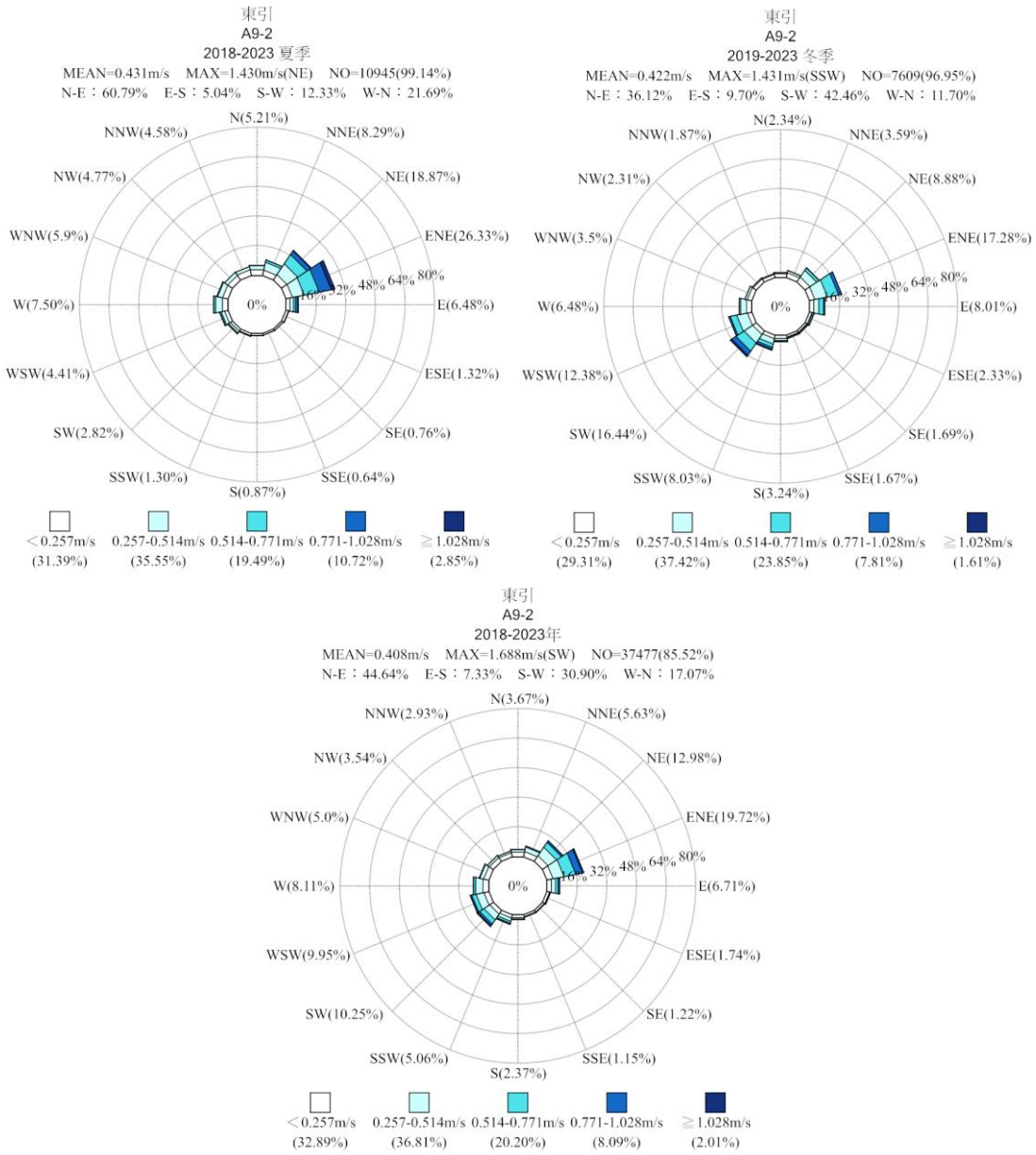
附圖 2.34 北竿 A5 海流測站夏、冬季及歷年流速流向玫瑰圖



附圖 2.35 東莒 A6 海流測站夏、冬季流速流向玫瑰圖

附圖 2.36 東引 A7 海流測站夏、冬季及歷年流速流向玫瑰圖

附圖 2.37 東引 A8 海流測站夏、冬季及歷年流速流向玫瑰圖



附圖 2.38 東引浮標 A9-2 海流測站夏、冬季及歷年流速流向玫瑰圖

附錄三

簡報資料

第三科113年自辦計畫期末報告

馬祖海氣象特性分析及應用研究

計畫主管:蔡立宏、柯正龍、林雅雯
計畫主持人:林有騰
研究人員:林有騰、鄭采誼、謝佳紘

113年12月27日

1

簡報大綱

一、前言
二、研究範圍及方法
三、蒐集率及品管
四、相關性分析及比較
五、特性分析及比較
六、水動力數值模式分析及探討
七、結論與建議

2

前言

1. 連江縣政府委託運技中心辦理「臺灣國內商港未來發展及建設計畫(101-105)、(106-110)及(111-115)-馬祖港埠建設計畫」之「港埠經營管理資訊系統建置計畫」。該計畫所建置之海氣象觀測系統，包含風力、波浪、潮位及海流觀測資訊。
2. 本研究接續林(2022)南竿福澳港風力特性分析研究及林(2023)馬祖北竿、莒光及東引港口海氣象特性分析，延伸使用南竿福澳港2處風力測站及4處波浪測站、北竿白沙港2處風力測站及1處波浪測站、西莒青帆港1處風力測站、東莒猛澳港2處風力測站及1處波浪測站、東引中柱港2處風力測站及2處波浪測站、中央氣象署1處風力測站(南竿)及1處資料浮標測站(位於東引外海，以下簡稱東引浮標)來做分析比較，另外也使用MIKE 21建置南竿福澳港水動力數值模型，藉以增進未來模擬預測及可提供馬祖海情資訊系統應用(協助連江縣港務處建置)。

研究範圍及方法

1. 馬祖地區位於臺灣海峽西北方，主要包括5座島嶼，氣候屬亞熱帶海洋性氣候，深受季風、洋流及地理位置影響，四季分明，冬冷潮濕，春夏多霧，秋天則是一般穩定天候。
2. 本研究針對佈設於四鄉五島各港口海氣象觀測儀器之風力、波浪及海流觀測資料，進行蒐集、品管、相關性比較、特性分析及數值模擬，希望藉由這些長期性的觀測資料的統計分析，可以一窺研究地區的海氣象特性，風力測站代號以W開頭，波浪及海流測站為同一測站，代號以A開頭，一律從南竿、北竿、西莒、東莒、東引開始依序編號。

研究範圍及方法

1. 本研究使用風力測站種類有超音波式、機械式。
2. 波浪及海流測站種類有AWAC(底碇式)、資料浮標。
3. 研究方法分為4點做說明，依序為資料品管、相關性分析、玫瑰圖的應用與數據呈現、水動力數值模式理論介紹。

海氣象觀測儀器種類

圖片來源：GILL 公司官方網站
GILL WindSonic

圖片來源：GILL 公司官方網站
GILL WindSonic

二維超音波式風速風向儀

圖片來源：Young 公司官方網站

1MHz AWAC

研究範圍及方法

Flag	Description
Pass=1	Data have passed critical real-time quality control tests and are deemed adequate for use as preliminary data.
Not Evaluated=2	Data have not been QC-tested, or the information on quality is not available.
Suspect or Of High Interest=3	Data are considered to be either suspect or of high interest to data providers and users. They are flagged suspect to draw further attention to them by operators.
Fail=4	Data are considered to have failed one or more critical real-time QC checks. If they are disseminated at all, it should be readily apparent that they are not of acceptable quality.
Missing Data=9	Data are missing; used as a placeholder.

資料品管

1. 根據世界氣象組織規範，氣象觀測資料需要在世界各國家間進行交換，必須依據WMO制定的一致標準，資料的準確度對於分析、計算及科學調查都極為重要。

2. 美國海洋綜合觀測系統(IOOS)之海洋即時資料品保手冊(QARTOD Manual)，依儀器種類與測站形式分類，提供標準化資料品質控管檢測程序，並將品管檢驗分為11項品管方式，並將其分為必要(Required)、強烈建議(Strongly Recommended)、建議性(Suggested)等3大分組檢驗程序。

必要性分群	測試項目	說明
Group 1 Required	Test 1 Timing/Gap Test(資料時序檢驗)	檢驗資料點連續性與時間間隔正確性
	Test 2 Syntax Test(資料格式檢驗)	檢驗資料傳輸格式與編碼正確與否
	Test 3 Location Test(座標資料檢驗)	檢驗浮標測站之 GPS 座標資料
	Test 4 Gross Range Test(極限值檢驗)	檢驗資料是否超過儀器或是物理現象的極限值
	Test 5 Climatology Test (季節性極限值檢驗)	檢驗資料是否超過逐月變化合理範圍，或是季節性變動的極限值
Group 2 Strongly Recommended	Test 6 Spike Test(尖峰值檢驗)	檢驗資料是否為短時距之離群值
	Test 7 Rate of Change Test(資料變化率檢驗)	檢驗資料的短時距變化率是否超過觀測值標準差變化率
	Test 8 Flat Line Test(觀測值無變動檢驗)	檢驗資料是否長時間僅有微小變動，或是完無變化
Group 3 Suggested	Test 9 Multi-Variate Test(複合變數檢驗)	使用其他類型並具有相關性之觀測值，檢驗資料的特性
	Test 10 Attenuated Signal Test(訊號衰減檢驗)	檢驗資料於一定時間區間內是有適當的變化量
	Test 11 Neighbor Test(鄰站比對檢驗)	檢驗資料與鄰近測站觀測結果的相似性

研究範圍及方法

相關性分析

1. 主要使用皮爾森相關係數(Pearson Correlation Coefficient)，適用於連續型變數，假設數據為正態分佈。皮爾森相關係數介於-1到1之間，其中1表示完全正相關，-1表示完全負相關，0表示無線性相關(這是最常用的相關性分析方法之一)
2. 可能有異常值的影響：異常值可能導致相關係數被過度影響，特別是在使用皮爾森相關時，為降低異常值的干擾，本研究使用資料品管的方式避免異常值的影響。
3. 計算相關係數：通過選擇合適的相關係數類型計算後來評估變數之間的關聯強度，一般情況下，0.7以上的絕對值表示高度相關，0.3至0.7表示中度相關，0.3以下則表示低度相關，一般來說，同地區海氣象觀測資料應為正相關，本研究也將針對相關性波動幅度進行討論，並使用相關係數表來呈現結果。

	A	B
A	1	0.8
B	0.8	1

研究範圍及方法

玫瑰圖的應用與數據呈現

1. 玫瑰圖（Rose Diagram）是專門用來展示方向性數據的圖表形式，廣泛應用於風向、波浪方向等數據的可視化
2. 玫瑰圖能夠將複雜的方向性數據以扇形區域形式展現，通過每一方向上的頻率及強度差異，使觀察者能直觀了解方向性分佈特徵，在圖表製作上，可根據數據的分佈特性，將圓周按方向劃分為等角度的扇區，例如每 10 度或每 15 度為一區。
3. 藉由將不同觀測站的玫瑰圖並排排列，可視覺化呈現鄰近港區差異之處，由於受不同地形、環境、潮流特徵等的影響，不同地區的方向性數據會呈現不同的特徵。通過對比每個區域的玫瑰圖，可以揭示每個地區的海氣象特性趨勢及差異，以辨識出不同地理環境對風向、波浪方向及海流流向的影響。

研究範圍及方法

水動力數值模式理論介紹

1. 本計畫使用之水動力模式採用丹麥水利研究所(DHI)發展之MIKE 21 HD FM（MIKE21 Hydrodynamic Module, Flow Model），是一款以有限體積法為基礎的二維流體動力學模型，可同時考慮底床摩擦、科氏力、風、大氣壓力、潮汐水位變化、輻射應力等因素，藉以模擬潮位變化與流場流況。
2. 模式的控制方程式基於Boussinesq假設之不可壓縮流之Reynolds averaged Navier-Stoke方程式，包含了質量守恆方程式和動量守恆方程式。以下對其主要方程組進行詳細描述(將下列各式沿水深方向 (z方向)積分，可得到二維淺水長波方程組)

1. 質量守恆方程（Continuity Equation）

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=S \qquad (1.3.4.1)$$

2. 動量守恆方程式(Momentum Equations)

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=fv-g\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^\eta\frac{\partial \rho}{\partial x}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right)+F_u+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial u}{\partial z}\right)+v_sS \qquad (1.3.4.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-fu-g\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^\eta\frac{\partial \rho}{\partial y}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right)+F_v+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial v}{\partial z}\right)+v_sS \qquad (1.3.4.3)$$

研究範圍及方法

水動力數值模式理論介紹

二維淺水長波方程組：

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial(h\bar{u})}{\partial x}+\frac{\partial(h\bar{v})}{\partial y}=hS \qquad (1.3.4.4)$$

其中 h 表示總水深，$\bar{u}$和$\bar{v}$為 x 和 y 方向上的深度平均速度，S 表示點源的排出量。

$$\frac{\partial(h\bar{u})}{\partial t}+\frac{\partial(h\bar{u}^2)}{\partial x}+\frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial y}=f\bar{v}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}+\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{S_{xx}}{\partial x}+\frac{Sxy}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy})+hu_sS \qquad (1.3.4.5)$$

$$\frac{\partial(h\bar{v})}{\partial t}+\frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial x}+\frac{\partial(h\bar{v}^2)}{\partial y}=f\bar{u}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}+\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y}+\frac{\tau_{sy}}{\rho_0}-\frac{\tau_{by}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{S_{yx}}{\partial x}+\frac{Syy}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy})+hv_sS \qquad (1.3.4.6)$$

模型的應用假設

- 水深較淺，垂直方向的速度分布可忽略(即流速在水深方向均勻)。
- 波長相對於水深極長，因此可忽略波浪的壓縮效應(不可壓縮性)。
- 流體為不可壓縮，且流動主要受重力和地形影響，但在開放水域(海洋)及季風或颱風條件下，風力有極大影響，可導致大範圍的風生流，加入風應力項可提升模擬精度。

觀測資料蒐集及品管機制

馬祖四鄉五島各港口海氣象觀測站(風力、波浪及海流)，統計範圍從每年12月開始，持續至次年11月，涵蓋全年12個月份的現場觀測數據。為分析不同季節的海氣象特性，將資料按季節劃分，12月至2月為冬季，3月至5月為春季，6月至8月為夏季，9月至11月為秋季，本研究著重研究在歷年夏、冬季及全年的資料，以便深入了解各港口在不同季風條件下及長期的海氣象變化情況。

*各風力測站W1~W11-2，年份從2015至2023年，蒐集率統計狀況如下：

測站＼年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
W1			45.00%	40.80%	41.34%	0.97%	75.94%	59.94%	58.68%
W2					33.84%	94.10%	88.07%	90.55%	93.17%
W3	100.00%	74.86%	100.00%	100.00%	100.00%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%
W4			82.53%	63.54%	44.08%	29.90%	12.13%		
W5					2.50%	29.42%	29.53%	70.55%	65.33%
W6			40.38%	49.50%	90.09%	44.58%			
W7			37.87%	56.03%	85.86%	32.54%			
W8					4.74%	9.41%	36.21%	80.59%	92.43%
W9			36.15%	68.44%	82.18%				
W10						90.76%	93.46%	59.87%	49.10%
W11-2				1.45%	83.45%	89.36%	82.69%	88.77%	97.12%

註：訂蒐集率70%以上為良好，顯示綠色

觀測資料蒐集及品管機制

*各波浪測站A1~A9-2，年份從2015至2023年，蒐集率統計狀況如下：

測站＼年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
A1			81.89%	87.04%	62.73%	43.94%			
A2						91.59%	15.99%		
A3									37.44%
A4									37.15%
A5		90.60%	77.68%	45.58%	15.17%				
A6		62.31%	51.07%	50.89%	27.13%	7.79%	48.32%		
A7			40.33%	98.81%	79.53%				
A8						30.83%	47.64%	94.29%	72.71%
A9-2				61.78%	86.56%	82.46%	88.52%	87.23%	98.30%

*各海流測站A1~A9-2，年份從2015至2023年，蒐集率統計狀況如下：

測站＼年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
A1			81.87%	86.97%	62.76%	43.95%			
A2						91.83%	16.00%		
A3									37.44%
A4									37.15%
A5		90.60%	77.80%	46.19%	15.17%				
A6		62.50%	52.82%	50.88%	27.16%	7.80%	48.60%		
A7			40.25%	98.88%	79.58%				
A8						30.95%	47.89%	94.59%	72.92%
A9-2				33.42%	79.38%	73.85%	91.44%	84.16%	98.86%

註：訂蒐集率70%以上為良好，顯示綠色

觀測資料蒐集及品管機制

1. 本研究的資料品管採用了Test1(資料的連續性於蒐集率統計時已處理)、Test4、Test6和Test8的方法，並在初始資料處理階段新增了Test0（於原始資料階段，即刪除 [Status Description] 欄位中異常的資料列，以此做為計算蒐集率的原始資料基礎）。
2. 在大量資料的品管過程中，主要依賴撰寫程式進行輔助標記，隨後由人工再次檢視被標記之觀測值及其前後數值，以確保品管的準確性。

觀測資料	儀器型號	儀器極限值範圍
平均風速	GILL Windsonic MetPak Young Brand	0~60 m/s 0~60 m/s 0~100 m/s
示性波高	AWAC 1MHz	0~30 m
尖峰週期		0.5~50 s
表面流速		0~10 m/s

資料來源：各儀器操作手冊

物理量	限制值	
	低	高
平均風速(m/s)	4	10
示性波高(m)	1	2
尖峰週期(s)	5	10
表面流速(m/s)	0.5	0.7

資料來源：陳冠宇等人「應用智慧監測進行海象數值同化研究(1/4)-臺中港監測資料智慧檢核及補遺」，2022年

```
#TEST8：觀測值無變動檢驗，EPS(0)
df['TEST8_QC'] = ""
# Set parameters
# REP_CNT_FAIL = 2 條判斷QC_WS=3 是否出現3次以上
REP_CNT_SUSPECT = 2
EPS = 0
for row1 in range(REP_CNT_SUSPECT, len(df)):
    if pd.isna(df.loc[row1-REP_CNT_SUSPECT:row1, 'Tp']).any():
        df.loc[row1, 'TEST8_QC'] = 2
    elif len(set(df.loc[row1-REP_CNT_SUSPECT:row1, 'Tp'])) == 1 and \
            abs(df.loc[row1, 'Tp'] - df.loc[row1-REP_CNT_SUSPECT, 'Tp']) <= EPS:
        df.loc[row1, 'TEST8_QC'] = 3
    else:
        df.loc[row1, 'TEST8_QC'] = 1
for row2 in range(len(df)):
    if df.loc[row2, 'TEST8_QC'] == '':
        df.loc[row2, 'TEST8_QC'] = 2
# Perform Flat Line Test
count_3 = 0
for row3 in range(len(df)):
    if df.loc[row3, 'TEST8_QC'] == 3:
        count_3 += 1
        if count_3 >= 3:
            df.loc[row3, 'TEST8_QC'] = 4
    else:
        count_3 = 0
```

```
#TEST4：極限值檢驗
# 新增 TEST4_QC 欄位
df['TEST4_QC'] = ""
for j in range(len(df)):
    if pd.isna(df.loc[j, 'Tp']):
        df.loc[j, 'TEST4_QC'] = 2
    else:
        Ins_limit_upper = 50
        Ins_limit_lower = 0.5
        if df.loc[j, 'Tp'] > Ins_limit_upper:
            df.loc[j, 'TEST4_QC'] = 4
        elif Ins_limit_lower <= df.loc[j, 'Tp'] <= Ins_limit_upper:
            df.loc[j, 'TEST4_QC'] = 1
        else:
            df.loc[j, 'TEST4_QC'] = 4
```

```
#TEST6：使用Spike Test（尖峰值測試）方式進行品管
# 新增 TEST6_QC 欄位
# 新增 TEST6_Cal 欄位
df['TEST6_QC'] = ""
df['TEST6_Cal'] = ""
# 判斷前一個欄位是否為缺失值
is_na_prev = df['Tp'].shift(1).isna()
# 判斷當前欄位是否為缺失值
is_na_curr = df['Tp'].isna()
# 判斷下一個欄位是否為缺失值
is_na_next = df['Tp'].shift(-1).isna()
# 如果以上三個欄位任一個為缺失值，則標示為2
df.loc[is_na_prev | is_na_curr | is_na_next, 'TEST6_QC'] = 2
# 計算SPK_REF_1並轉為絕對值形式
df['TEST6_Cal'] = df['Tp'].rolling(window=3, center=True).apply(lambda x: np.abs(x[1] - ((x[0]+x[2])/2)), raw=True)
# 定義上限值、下限值
upper_limit = 10
lower_limit = 5
# 進行品質分析並標示結果
df.loc[df['TEST6_Cal'] > upper_limit, 'TEST6_QC'] = 4
df.loc[(df['TEST6_Cal'] > lower_limit) & (df['TEST6_Cal'] <= upper_limit), 'TEST6_QC'] = 3
df.loc[df['TEST6_Cal'] <= lower_limit, 'TEST6_QC'] = 1
```

觀測資料蒐集及品管機制

1. 以下整理各測站觀測資料的品管結果，並針對未通過檢驗的資料筆數（標記4）進行討論。
2. TEST4、TEST6和TEST8，惟TEST4於各年度測站皆未檢出及TEST8於各年度海流測站未檢出，其餘相關數據如下：(1)平均風速的品管結果(2)示性波高的品管結果(3)尖峰週期的品管結果(4)流速的品管結果。

TEST6

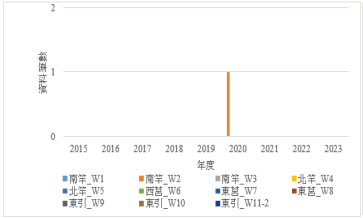


圖 2.30 馬祖風力測站歷年平均風速品管(TEST6)未通過筆數

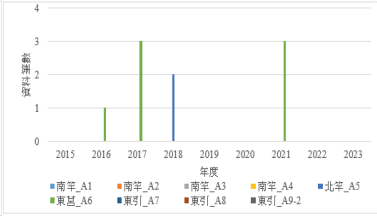


圖 2.34 馬祖波浪測站歷年示性波高品管(TEST6)未通過筆數

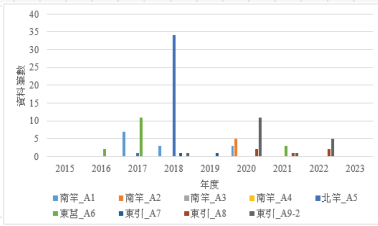


圖 2.36 馬祖波浪測站歷年尖峰週期品管(TEST6)未通過筆數

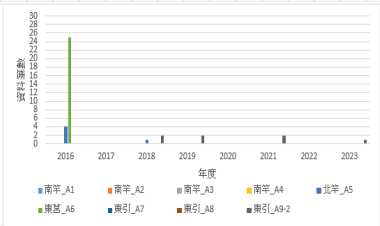


圖 2.38 馬祖海流測站歷年流速品管(TEST6)未通過筆數

TEST8

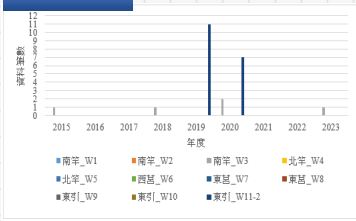


圖 2.31 馬祖風力測站歷年平均風速品管(TEST8)未通過筆數

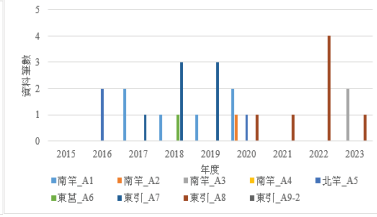


圖 2.35 馬祖波浪測站歷年示性波高品管(TEST8)未通過筆數

圖 2.37 馬祖波浪測站歷年尖峰週期品管(TEST8)未通過筆數

觀測資料蒐集及品管機制

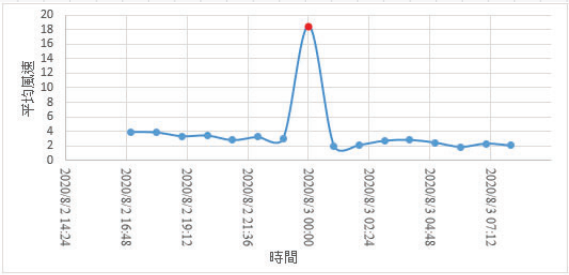


圖 2.32 南竿 W2 平均風速品管(TEST6)未通過狀況(範例)

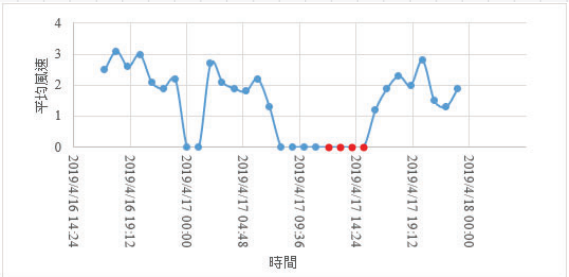


圖 2.33 東引 W11-2 平均風速品管(TEST8)未通過狀況(範例)

1. 從未通過狀況範例資料可知，標記4的資料點有必要被檢出與刪除。透過品管流程，能有效提升資料品質。
2. **TEST6標記4的檢驗結果**：北竿A5在2018年（尖峰週期）檢出34筆、東莒A6在2016年（流速）檢出25筆、在2017年（尖峰週期）檢出11筆、東引A9-2在2020年（尖峰週期）檢出11筆，經人工檢視，上述資料未通過筆數較多且集中時，資料常有頻繁缺失的現象，反映儀器當時可能不穩定，並且頻繁出現高值資料，應予以檢出。然而，高值資料前後若缺失，則會被程式標記為2（未檢驗），此類情況需經人工協助進行補充檢查並標記4。
3. **TEST8標記4的檢驗結果**：東引W11-2在2019年與2020年（平均風速）分別檢出11筆與7筆，人工檢視後發現，這些異常資料皆連續出現零值。此類型異常可透過檢出程序避免因儀器誤報而導致年度或季節觀測平均值產生過大誤差，同時，此現象亦可能為儀器或其他硬體設備故障的早期徵兆，當此類情況頻繁發生時，後續觀測資料的檢核工作尤需謹慎，以維護資料的可靠性與準確性。

15

相關性及特性分析比較

馬祖四鄉五島各港口測站自2015至2023年普遍蒐集率不佳，為有效分析既有資料，使資料價值最大化，使用月份蒐集率皆需70%以上，相關性分析取用四季中季風表現最為顯著的夏、冬2季進行分析比較；特性分析增加歷年蒐集率70%以上年份玫瑰圖呈現。

月份	北竿A5		東引A9-1	
	2016	2017	2016	2017
1	99.1%	97.7%	0.0%	1.1%
2	99.3%	99.9%	0.0%	98.5%
3	98.5%	99.9%	54.3%	98.9%
4	99.2%	96.8%	98.9%	99.4%
5	99.6%	54.7%	98.8%	99.6%
6	97.5%	86.4%	99.2%	98.6%
7	99.9%	89.5%	99.3%	98.0%
8	99.6%	93.8%	98.8%	98.1%
9	98.6%	96.4%	99.2%	99.3%
10	99.5%	3.4%	99.7%	99.7%
11	98.1%	16.8%	99.2%	96.8%
12	0.0%	98.7%	35.9%	98.7%
整年	90.6%	77.7%	73.7%	90.4%
春	99.1%	83.7%	83.8%	99.3%
夏	99.0%	89.9%	99.1%	98.2%
秋	98.7%	38.5%	99.4%	98.6%
冬	65.4%	98.7%	12.2%	65.0%

16

相關性及特性分析比較

風力資料相關性

1. 使用資料期間：2017年至2023年(包括風速、風速風向分量)。
2. 共10處測站：南竿福澳港的3個測站(W1、W2及W3)、北竿的2個測站(W4及W5)、西莒的1個測站(W6)、東莒的2個測站(W7及W8)、東引的2個測站(W9及W10)、東引浮標1個測站(W11-2)。
3. 觀測資料量龐大，直接比較複雜度高，為了有清晰結論及保留數據的代表性與準確性，簡化處理方式為根據測站位置與特性設定代表測站，2鄰近測站視作同一站，南竿W2、北竿W4及W5、西莒W6、東莒W7及W8、東引W9及W10、東引浮標W11-2。

夏季	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V
測站	南竿(W2)			北竿			西莒			東莒			東引			東引浮標		
南竿(W2)	1.00	1.00	1.00	0.68~0.74	0.36~0.45	0.78~0.88	0.34~0.58	-0.12~0.1	0.81~0.85	0.47~0.53	0.73~0.75	0.77	0.32~0.60	0.33~0.61	0.81~0.86	0.67~0.76	0.80~0.91	0.78~0.88
北竿	0.68~0.74	0.36~0.45	0.78~0.88	1.00	1.00	1.00	0.63~0.74	-0.12~0.43	0.86~0.91	0.4~0.64	0.22~0.54	0.78~0.89	0.44~0.67	-0.16~0.08	0.85~0.87	0.65~0.69	0.29~0.37	0.83~0.84
西莒	0.34~0.58	-0.12~0.1	0.81~0.85	0.63~0.74	-0.12~0.43	0.86~0.91	1.00	1.00	1.00	0.34~0.37	-0.36~0.14	0.78~0.88	0.19~0.29	-0.44~-0.17	0.83~0.89	0.58~0.59	-0.04~0.36	0.86~0.87
東莒	0.47~0.53	0.73~0.75	0.77	0.4~0.64	0.22~0.54	0.78~0.89	0.34~0.37	-0.36~0.14	0.78~0.88	1.00	1.00	1.00	0.34~0.62	0.37~0.65	0.80~0.93	0.50~0.59	0.78	0.81~0.83
東引	0.32~0.60	0.33~0.61	0.81~0.86	0.44~0.67	-0.16~0.08	0.85~0.87	0.19~0.29	-0.44~-0.17	0.83~0.89	0.34~0.62	0.37~0.65	0.80~0.93	1.00	1.00	1.00	0.7~0.79	0.31~0.62	0.91~0.96
東引浮標	0.67~0.76	0.80~0.91	0.78~0.88	0.65~0.69	0.29~0.37	0.83~0.84	0.58~0.59	-0.04~0.36	0.86~0.87	0.50~0.59	0.78	0.81~0.83	0.7~0.79	0.31~0.62	0.91~0.96	1.00	1.00	1.00
冬季	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V
測站	南竿			北竿			西莒			東莒			東引			東引浮標		
南竿	1.00	1.00	1.00	0.71	-0.08	0.71	0.09	-0.31	0.61	0.76	0.62	0.77	0.60~0.72	0.55~0.68	0.47~0.54	0.73~0.78	0.73~0.84	0.47~0.75
北竿	0.71	-0.08	0.71	1.00	1.00	1.00	0.52	-0.41	0.5	0.71	0.24	0.71	0.71	0.17	0.74	0.82	-0.13	0.77
西莒	0.09	-0.31	0.61	0.52	-0.41	0.5	1.00	1.00	1.00	0.47~0.51	-0.4~-0.02	0.46~0.58	0.51~0.58	-0.37~-0.34	0.55~0.65	0.50~0.52	-0.31~-0.24	0.61~0.72
東莒	0.76	0.62	0.77	0.71	0.24	0.71	0.47~0.51	-0.4~-0.02	0.46~0.58	1.00	1.00	1.00	0.76~0.85	0.19~0.65	0.75~0.87	0.84~0.87	0.58~0.63	0.79~0.82
東引	0.60~0.72	0.55~0.68	0.47~0.54	0.71	0.17	0.74	0.51~0.58	-0.37~-0.34	0.55~0.65	0.76~0.85	0.19~0.65	0.75~0.87	1.00	1.00	1.00	0.88~0.91	0.43~0.72	0.89~0.95
東引浮標	0.73~0.78	0.73~0.84	0.47~0.75	0.82	-0.13	0.77	0.50~0.52	-0.31~-0.24	0.61~0.72	0.84~0.87	0.58~0.63	0.79~0.82	0.88~0.91	0.43~0.72	0.89~0.95	1.00	1.00	1.00

註：深灰：高度相關(顯示它們之間變化趨勢大致相似)

淺灰：中度至高度相關(顯示它們之間有一些變化趨勢相似，但並不完全一致)

相關性及特性分析比較

風力資料相關性

夏季：

風速部分，各測站之間皆有中度相關性以上，惟西莒與東引測站為低度相關，單一測站至少與任一測站達高度相關，惟東莒測站與其他測站之間無出現高度相關。

風速風向分量U，南竿、東莒及東引浮標測站彼此之間呈現高度相關，西莒測站甚至與東莒測站、東引測站出現中度負相關。

風速風向分量V，所有測站之間均呈現高度相關。

冬季：

風速部分，更多測站間出現高度相關性，各測站之間皆有中度至高度相關性以上，惟西莒測站與其他測站之間無高度相關，甚至與南竿測站出現低度相關。

風速風向分量U，僅南竿與東引浮標測站之間呈現高度相關，其餘測站間部分有中度至高度相關，西莒測站與全部測站有出現中度負相關。

風速風向分量V，冬季則呈現一定差異性，不像夏季均呈現高度相關，各測站間大部分皆為中度至高度相關性甚至以上，惟西莒僅與東引浮標測站有達中度至高度相關性，與其他測站皆為中度相關。

小結：

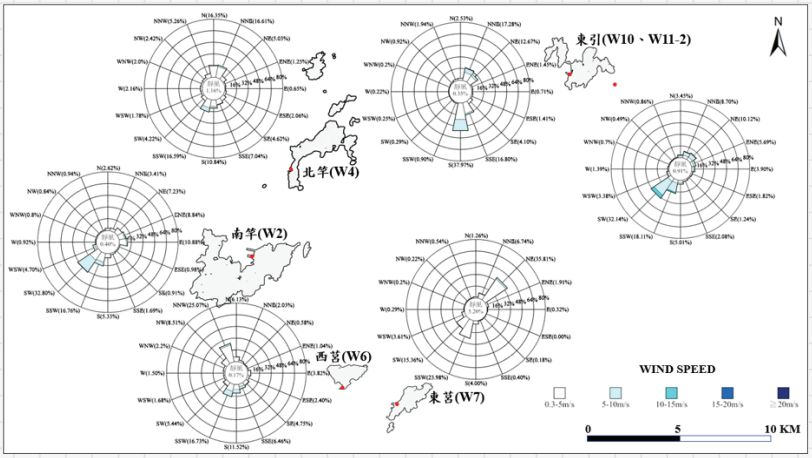
1. 季節對於測站間的關聯性具有明顯差異，部分測站在不同季節的相關性顯著改變，以風速風向分量U、V（以下簡稱分量U、V）來看，在分量U分析中，南竿與北竿測站夏季為中度相關，但冬季下降為低度負相關；北竿與東引浮標測站夏季為低度至中度相關，冬季同樣轉變為低度負相關，顯示季節對分量U的影響顯著，分量V則影響不顯著。
2. 數據波動方面，西莒測站在夏、冬季的分量U分析中均顯示與其他測站之間的波動較大，甚至在部分情況下出現負相關，反映出該測站受外界環境條件影響顯著，數據的獨立性較高。

相關性及特性分析比較

風力資料特性

1. 使用資料期間：2016年至2023年(包括風速、風向)
2. 10處測站皆有整理分析，如附錄二(歷年夏、冬季及全年)。
3. 為提升資料代表性，同港區有2鄰近測站則選用觀測資料較多(蒐集率70%以上)之測站，選用結果如下，南竿W2、北竿W4、西莒W6、東莒W7、東引W10、東引浮標W11-2測站。
4. 為凸顯不同港區於不同季節之風力狀況，分別取用歷年夏、冬季來做說明。

歷年夏季

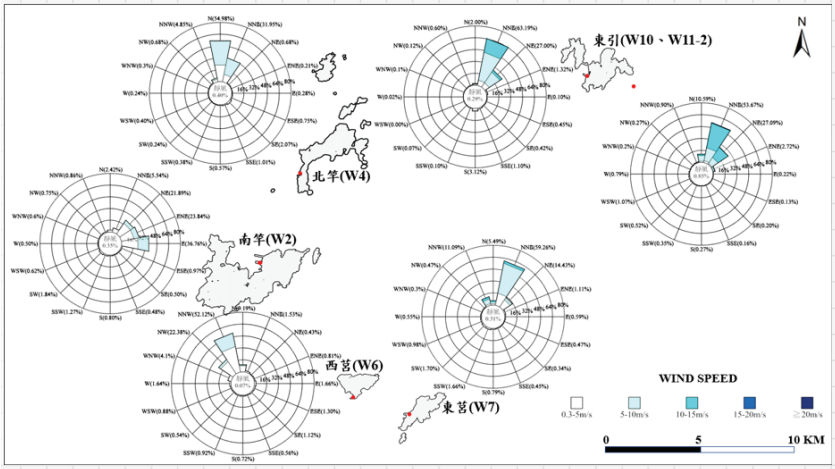


馬祖四鄉五島各港口的夏季風場具有明顯的區域特性，南竿及東引浮標測站主要吹西南風，北竿測站的風向則以南南西風、北風、北北東風為主，東莒測站主要吹東北風，而西莒測站以北北西風為主，東引測站主要吹南風。各測站的夏季平均風速介於2至4m/s，除東引浮標測站平均風速較大(6.1 m/s)，其中東莒測站風速最小，僅2.04 m/s。夏季觀測到的最大風速出現在東引浮標測站，達14.9 m/s(北北西風)，其次為東引測站，達12.88 m/s（北北東風），經查皆屬於颱風期間的觀測值。

相關性及特性分析比較

風力資料特性

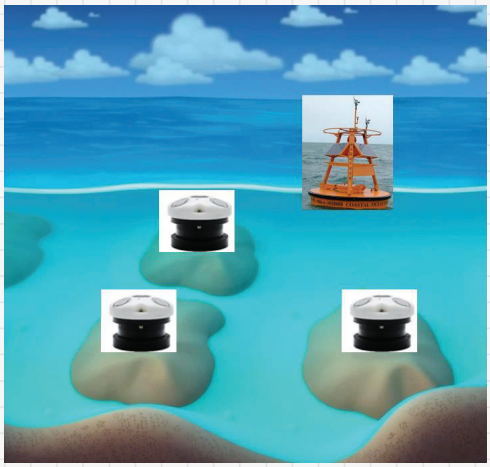
歷年冬季



冬季風場則受東北季風影響，風速普遍較夏季更為強勁。東莒、東引及東引浮標測站的主要風向為北北東風，南竿測站則以東風為主，北竿測站主要吹北風，西莒測站則以北北西風為主。冬季各測站的平均風速介於3至10 m/s，南竿與西莒測站風速較小，分別為3.77 m/s和3.64 m/s。相較之下，東莒、東引及東引浮標測站的風速較高，5 m/s以上的風速占比超過 60%，成為冬季風速較大的區域，相反的，南竿與西莒測站的風速5 m/s 以上占比不足30%，風況相對舒適。冬季觀測到的最大風速同樣出現在東引浮標測站，達18.1m/s(北北東風)，其次為東引測站，達15.21m/s（東北風），經查為強勁東北季風所致，並非颱風影響。

相關性及特性分析比較

波浪資料相關性



1. 使用資料期間：2016年至2023年(包括示性波高、尖峰週期及主要波向)
2. 共9處測站：南竿福澳港的4個測站(A1、A2、A3及A4)、北竿的1個測站(A5)、東莒的1個測站(A6)、東引的2個測站(A7及A8)、東引浮標1個測站(A9-2)。
3. 波浪代表測站的選取上，南竿的波浪測站中，A1因靠近港內結構物，資料受環境影響較大，不適合做為代表測站；A2、A3及A4測站則距離結構物較遠，其中A3與A4測站可視作同一站，然而其觀測資料僅涵蓋一年，數據不足以支持長期分析。綜合考量位置適宜性與資料完整性，選定A2作為南竿福澳港的代表測站，其觀測資料涵蓋範圍更廣，能更有效支持後續研究。東引則包括A7及A8測站，由於兩站距離相近且均遠離結構物，資料特性一致，為簡化分析流程，可視為同一測站。此外，東引浮標測站在2018年初發生遺失，並於同年4月重新佈設於新位置，因此本研究僅採用2018年至2023年間新佈設浮標A9-2的觀測資料，確保數據的連續性與代表性。
4. 本研究對夏、冬季的示性波高與尖峰週期進行相關性分析，由於部分測站觀測資料缺失較多或年份無重疊，無法完整反映測站間相關性之資訊，惟分析結果仍顯示測站間關聯性與季節影響存在一定差異。

相關性及特性分析比較

波浪資料相關性

夏季：

示性波高，所有測站間皆為中度相關以上，惟南竿測站與其他測站無高度相關(因資料缺失)。

冬季：

示性波高，各測站間高度相關性較夏季更為顯著，所有測站間皆為中度相關以上。

尖峰週期在夏、冬季均無測站間的高度相關，所有測站的相關性介於低度至中度之間，顯示尖峰週期在不同測站間的關聯性較弱。此外，夏、冬季的尖峰週期在測站間的相關性未見明顯季節性差異。

小結：綜合數據波動分析，示性波高與尖峰週期在夏、冬季的波動均處於正常範圍，未出現顯著情況。整體而言，示性波高的測站相關性在冬季高於夏季；尖峰週期在2個季節中的相關性均偏低，顯示其受測站位置或外界條件影響較大，測站間的同步性較低。

夏季	示性波高				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00				0.39
北竿		1.00	0.76	0.69	0.8~0.83
東莒		0.76	1.00	0.68	0.83
東引		0.69	0.68	1.00	0.44~0.7
東引浮標	0.39	0.8~0.83	0.83	0.44~0.7	1.00
冬季	示性波高				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00		0.87	0.68	0.88~0.92
北竿		1.00	0.71~0.82	0.84	0.92
東莒	0.87	0.71~0.82	1.00	0.69~0.73	
東引	0.68	0.84	0.69~0.73	1.00	0.74~0.86
東引浮標	0.88~0.92	0.92		0.74~0.86	1.00

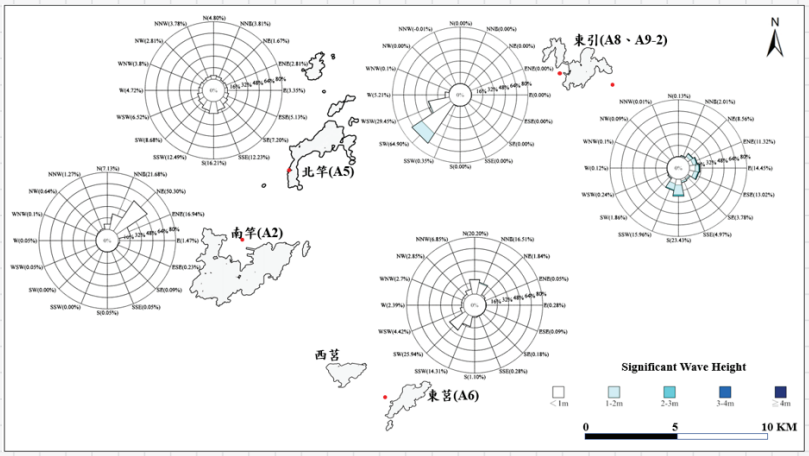
夏季	尖峰週期				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00				0.31
北竿		1.00	0.52	0.29	
東莒		0.52	1.00	0.43	0.32
東引		0.29	0.43	1.00	0.24~0.67
東引浮標	0.31		0.32	0.24~0.67	1.00
冬季	尖峰週期				
測站	南竿(A2)	北竿	東莒	東引	東引浮標
南竿(A2)	1.00		0.46	0.28	0.56~0.61
北竿		1.00	0.24~0.35	0.06~0.16	0.32
東莒	0.46	0.24~0.35	1.00	0.11~0.32	
東引	0.28	0.06~0.16	0.11~0.32	1.00	0.09~0.43
東引浮標	0.56~0.61	0.32		0.09~0.43	1.00

相關性及特性分析比較

波浪資料特性

1. 使用資料期間：2016年至2023年(包括示性波高、尖峰週期及主要波向)
2. 9處測站皆有整理分析，如附錄二(歷年夏、冬季及全年)。
3. 為提升資料代表性，同港區有2鄰近測站則選用觀測資料較多(蒐集率70%以上)之測站，選用結果如下，南竿A2、北竿A5、東莒A6、東引A8、東引浮標A9-2測站。

歷年夏季_波高波向



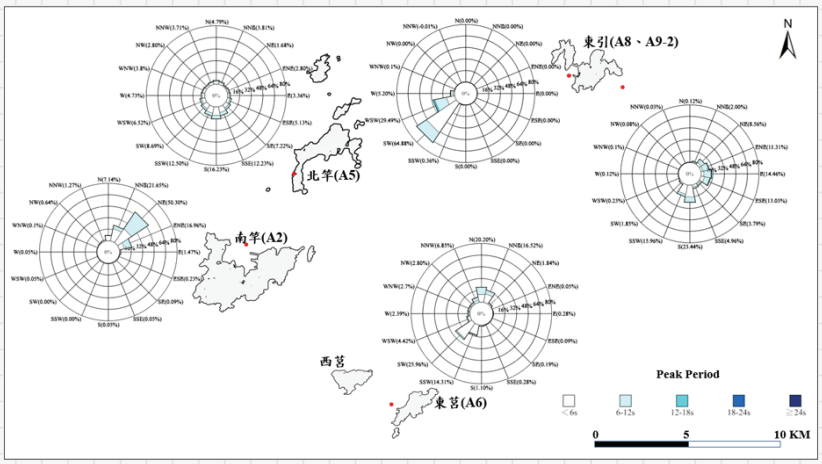
馬祖各測站的波浪特性因測站位置和地理條件有所差異。在波向方面，南竿測站受港口開口方向影響，主要波向為東北向；北竿測站波向均勻分佈於西南與東南向，並以南向為主，東莒測站波向呈現西南向與北向為主，東引測站主要波向為西南向，東引浮標測站主要波向為南向。

各測站的平均示性波高介於0.3至0.6 m，除東引浮標測站平均示性波高為1.25m，各波浪測站示性波高最大值均超過1m。經查，北竿、東莒及東引浮標測站的最大示性波高出現於颱風期間，南竿與東引測站則非颱風期間，東引浮標測站最大示性波高達10.89 m(東北東向)。

相關性及特性分析比較

波浪資料特性

歷年夏季_週期波向

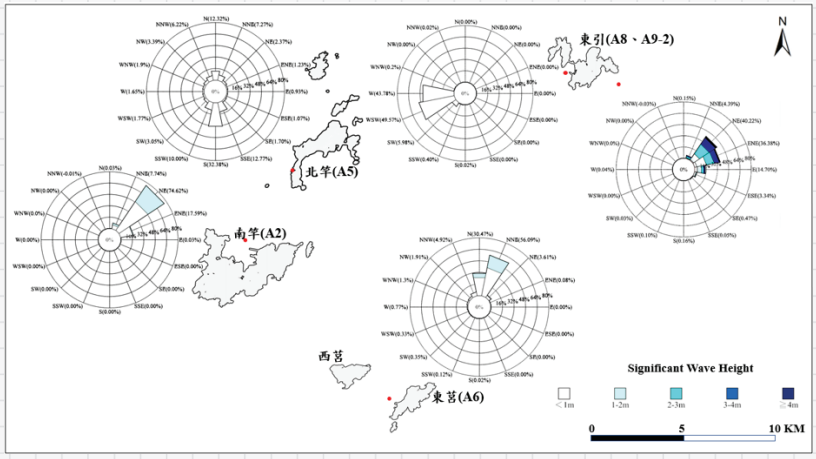


參見報告書附錄二，在尖峰週期的分析中，夏季各測站的平均尖峰週期介於5至7秒，整體數值較為一致，各測站最大尖峰週期介於10秒至20秒之間，東引浮標測站最大尖峰週期高達18.9秒(東向)。

相關性及特性分析比較

波浪資料特性

歷年冬季_波高波向



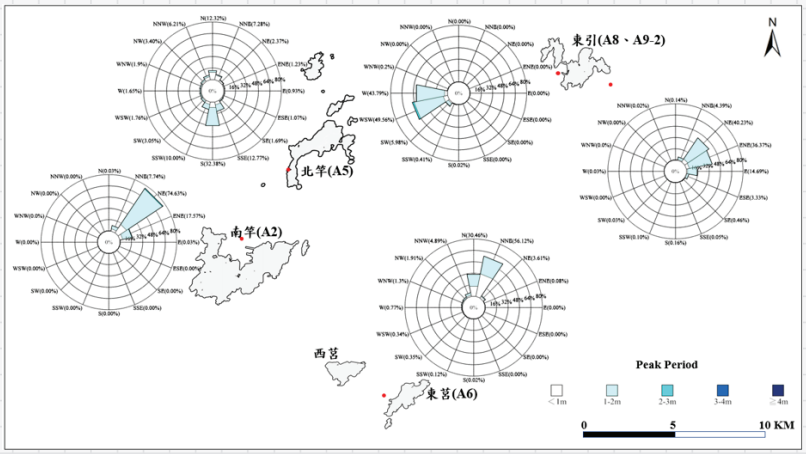
冬季波浪特性呈現更為強烈的季節性差異。南竿測站波向以東北向為主，北竿測站波向以南向為主，東莒測站波向以北北東為主，東引測站因港口開口方向的影響，主要波向為西與西南西向，東引浮標測站的波向以東北向、東北東向為主。

冬季的示性波高顯著高於夏季，平均值介於0.3至0.8m，東引浮標測站平均示性波高達2.32m，南竿、東莒及東引浮標測站大於1m示性波高占比超過20%，後者甚至超過80%，最大值分別為南竿測站的2.3m（NE）、東莒測站的2.46m（N）及東引浮標測站的6.62m(NE)，相對而言，北竿、東引測站大於1m 波高占比不到1%，顯示不同測站間波浪特性的顯著差異。

相關性及特性分析比較

波浪資料特性

歷年冬季_週期波向



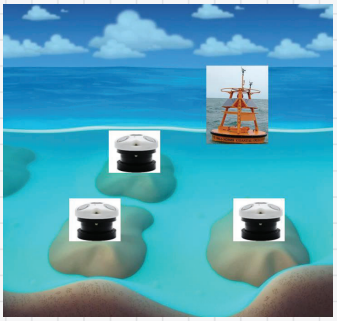
參見報告書附錄二，在冬季尖峰週期方面，各測站的平均值約介於6至8秒，整體比夏季更長，各測站最大尖峰週期介於10秒至20秒之間，最大尖峰週期16.88秒(西南西向)出現於東引測站，南竿、東引及東引浮標測站尖峰週期大於6秒占比70%以上，與其他測站差異較大。

馬祖四鄉五島各波浪測站於夏、冬季的波浪特性在示性波高、尖峰週期上均呈現明顯季節性變化，夏季示性波高與尖峰週期較為均勻，與颱風相關的短期波動明顯；冬季示性波高整體增加，尖峰週期更長，顯示季風帶來的波浪能量更為顯著。受港口開口方向影響，不同波浪測站間於夏、冬季季風期間的波浪特性呈現較大差異，鄰近港口波浪測站與外海波浪測站的波浪特性亦是如此。

相關性及特性分析比較

海流資料相關性

1. 使用資料期間：2016年至2023年(包括流速、流速流向分量)。
2. 本研究波浪與海流測站為同一站。



夏季	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V
測站		南竿			北竿			東莒			東引			東引浮標	
南竿	1.00	1.00	1.00	-0.10	0.04	0.28				-0.04~0.08	-0.01~0.28	0.14~0.31	0.07	-0.09~-0.06	0.05~0.17
北竿	-0.10	0.04	0.28	1.00	1.00	1.00	-0.09	0.06	0.2	0.2	0.23	0.67			
東莒				-0.09	0.06	0.2	1.00	1.00	1.00	0.22	0.11	0.47	0.21	0.65	0.33
東引	-0.04~0.08	-0.01~0.28	0.14~0.31	0.2	0.23	0.67	0.22	0.11	0.47	1.00	1.00	1.00	-0.04~0.12	-0.32~0.06	0.11~0.47
東引浮標	0.07	-0.09~-0.06	0.05~0.17				0.21	0.65	0.33	-0.04~0.12	-0.32~0.06	0.11~0.47	1.00	1.00	1.00
冬季	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V	流速	U	V
測站		南竿			北竿			東莒			東引			東引浮標	
南竿	1.00	1.00	1.00	-0.44	-0.15	-0.27	-0.3~-0.07	-0.34~0.18	-0.12~-0.09	-0.18~0	0.25~0.43	-0.2~-0.1	-0.12	-0.35	-0.13
北竿	-0.44	-0.15	-0.27	1.00	1.00	1.00	0.01~0.4	0.03~0.39	0.13~0.45	0.19~0.31	-0.17~0.07	0.34~0.52			
東莒	-0.3~-0.07	-0.34~0.18	-0.12~-0.09	0.01~0.4	0.03~0.39	0.13~0.45	1.00	1.00	1.00	-0.02~0.14	-0.26~-0.1	0.2~0.3	0.22	0.38	0.36
東引	-0.18~0	0.25~0.43	-0.2~-0.1	0.19~0.31	-0.17~0.07	0.34~0.52	-0.02~0.14	-0.26~-0.1	0.2~0.3	1.00	1.00	1.00	0.05~0.12	-0.53~-0.28	-0.15~0.35
東引浮標	-0.12	-0.35	-0.13				0.22	0.38	0.36	0.05~0.12	-0.53~-0.28	-0.15~0.35	1.00	1.00	1.00

相關性及特性分析比較

海流資料相關性

夏季：

流速部分，各測站間無高度相關，相關性僅介於低度至中度範圍，部分測站間甚至出現低度負相關。

流速流向分量U，各測站之間仍無高度相關，僅呈現低度至中度相關，部分測站甚至出現低度至中度負相關，比較特別的是，東引與東引浮標測站在夏季流速分量U上的相關性波動較大，從中度負相關到低度相關，顯示該區域可能在夏季期間受到外界條件的顯著影響。

流速流向分量V，測站間的相關性同樣維持在低度至中度範圍。

冬季：

流速部分，各測站間同樣無高度相關，相關性多為低度至中度，部分測站甚至呈現低度至中度負相關。

流速流向分量U，各測站之間無高度相關，僅介於低度至中度相關，且部分測站表現出低度至中度負相關。其中，南竿與東莒測站的相關性波動較大，從中度負相關到低度相關。

流速流向分量V，各測站間仍無高度相關，相關性僅在低度至中度範圍，且東引與東引浮標測站的相關性波動明顯，從低度負相關到中度相關，顯示該測站在冬季期間可能受到外界條件的顯著影響。

小結：

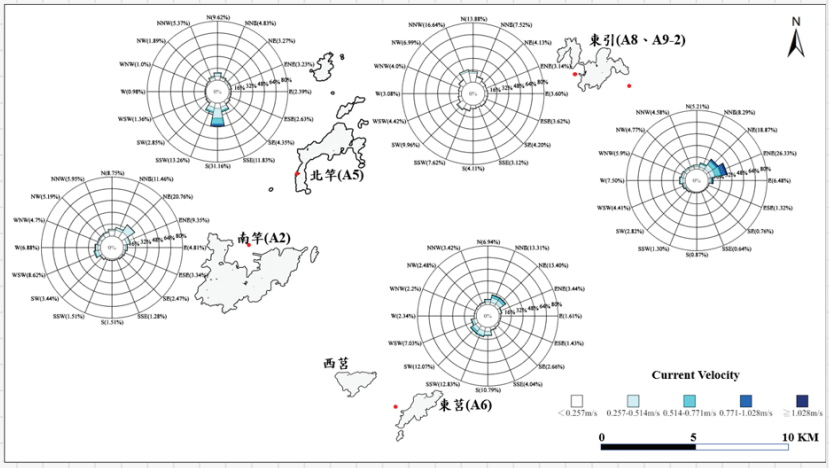
1. 整體來看，夏季與冬季的流速及其分量在各測站間的相關性均偏低，季節性差異不顯著，相關性範圍主要介於低度負相關至中度相關。數據波動分析表明，部分測站（如東引及東引浮標測站、南竿與東莒測站）在特定分量上的相關性波動較大，反映出地理位置與外界條件對測站間流速特性的顯著影響。

相關性及特性分析比較

海流資料特性

1. 使用資料期間：2016年至2023年(包括流速及流向)
2. 9處測站亦皆有整理分析，如附錄二(歷年夏、冬季及全年)。
3. 資料代表測站選用與波浪測站相同。
4. 各海流測站因設置位置不同，有不同潮汐漲退速度，加上部分測站受港灣結構物的干擾，使得海流方向的解釋和判斷更加複雜。

歷年夏季

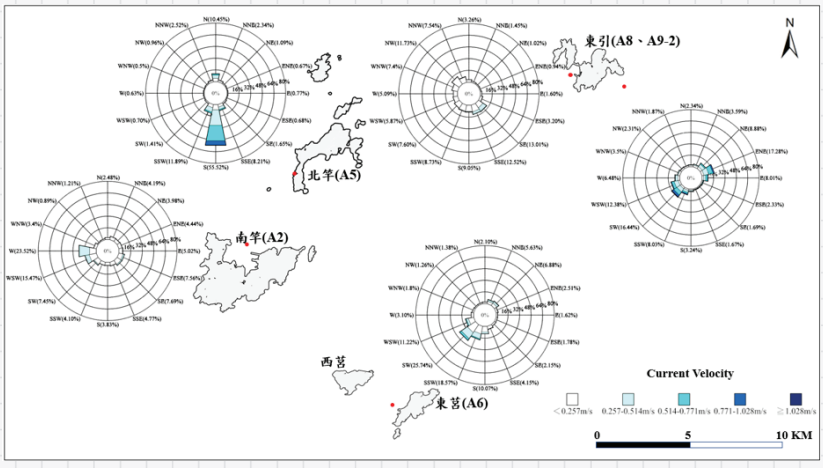


南竿、東莒、東引及東引浮標測站的海流流向，除了潮汐影響，與風向相關性較高一些，北竿測站的海流流向則可能是漲退潮速度差較大，較大流速主要流向集中於 SSW、S 和 SSE，佔比超過50%。大部分測站的平均流速約介於0.1至0.3m/s，東引浮標測站平均流速高達0.431m/s，其中東引測站流速最小，流速小於0.257 m/s 的比例高達90.53%，而其他測站則約為40%至60%。

相關性及特性分析比較

海流資料特性

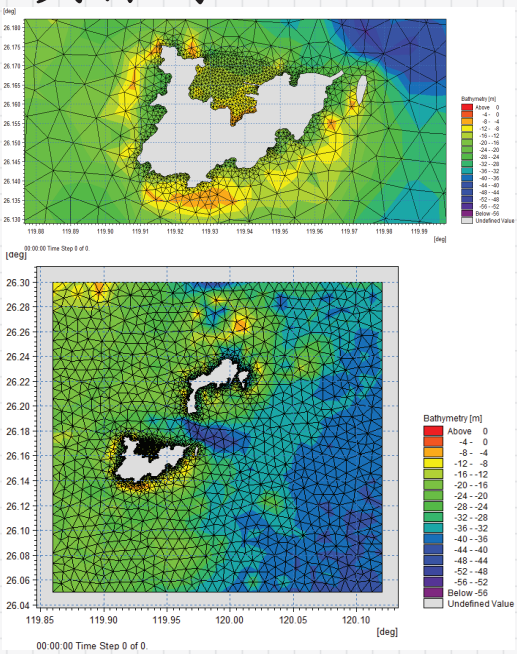
歷年冬季



1. 南竿、北竿及東莒測站的海流流向與風向相關性亦較明顯，北竿測站可能仍受漲、退潮速度差及季風影響，較大流速及主要流向為 SSW、S 和 SSE，佔比超過70%，東引及東引浮標測站的海流流向與東北季風風向的相關性不大，合理的解釋是前者原本應受東北季風帶來的海流影響較大，惟因路堤阻隔減弱其傳遞影響，因此流向較呈潮流往復運動方向，後者亦可能受潮汐往復影響較大，主要流向集中在N-E及S-W，並以S-W占比較大。所有測站的平均流速約介於0.1至0.4m/s，其中東引測站依然為平均流速最小(0.145m/s)，流速小於0.257m/s 的比例為87.88%，南竿測站次之，平均流速為0.196m/s，流速小於0.257 m/s 的比例為73.55%。
2. 南竿、東莒及東引浮標測站的夏季平均流速略高於冬季，北竿則相反，夏季平均流速低於冬季，東引測站在夏季與冬季的平均流速變化最小。

水動力數值模式分析與探討

模式地形水深及網格設定



1. 模式範圍為東經119.85度至120.15度、北緯26.05度至26.3度，共有3370個節點及5700個三角形元素，模式邊界網格大小約0.008度。
2. 本計畫重點探討區域(南竿福澳港港區)則以局部區域網格加密方式處理，局部加密網格大小約0.00075度。

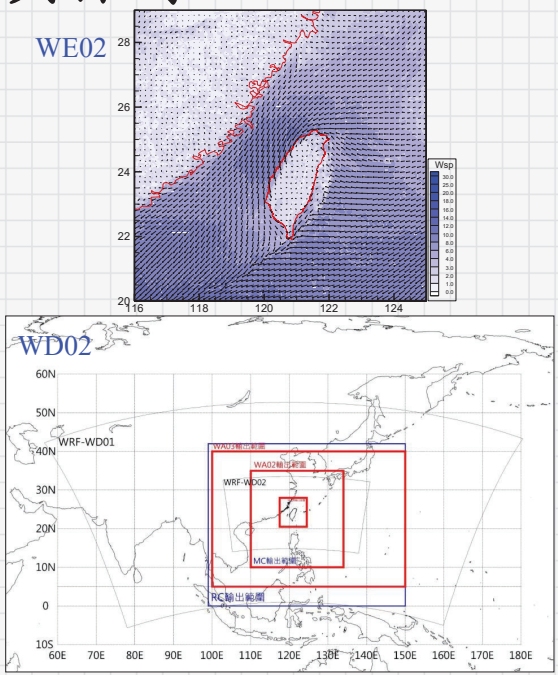
模式地形水深資料

項次	區域範圍	水深資料	資料來源
1	臺灣周圍海域	26.365 -26.045°N 119.885-120.185°E 500m網格水深	臺灣海洋科技研究中心
2	臺灣周圍海域	臺灣沿海五萬分之一海軍水道圖數化水深資料	海軍測量局
3	南竿福澳港港區	南竿福澳港10M地形水深資料	交通部運輸研究所

31

水動力數值模式分析與探討

風、氣壓場資料



1. 使用本中心建構的臺灣近岸海象預報系統(TaiCOMS)將中央氣象署WRF風場下載(M05每日提供4次，UTC 0、6、12及18時，水平解析度分成WD01(15km)及WD02(3km)，2層巢狀網格)，以自動化方式執行解碼、重組及內插後各自輸出其作業化模式需要之範圍，本研究使用WD02風場資料輸出成WE02預報資料。
2. 接續將每筆預報擷取前6小時資料，拼接組合成模擬時間所需之風、氣壓場資料，組合完成之2維平面風、氣壓場資料範圍為西太平洋北緯20度~北緯29度、東經116度~東經125度，網格解析度為0.033度，資料內容代表海面10公尺高度之u、v方向風速資料及海面氣壓場資料(p)，並建置Mike 21風氣、壓場檔案格式(.dfs2)供做本計畫水動力模式之模式驅動力。

32

水動力數值模式分析與探討

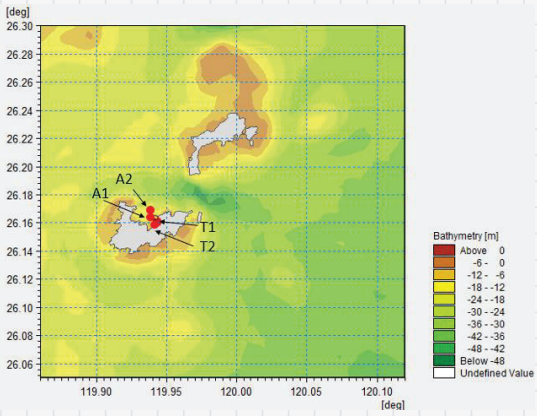
模式邊界及參數設定

相關參數	設定值
紊流渦度係數	0.28
底床摩擦係數	32 $m^{1/3}/s$
風摩擦係數	7 m/s 0.001255 25 m/s 0.002425
風軟啟動時間	2 days
邊界軟啟動時間	2 days

本模式模擬範圍之邊界條件採用Mike 21提供之全球潮汐模式資料庫(解析度0.125度)，於模擬範圍邊界取出對應所需之模擬時間內插出潮汐水位之時間序列，做為邊界之輸入條件，由於邊界條件之水位資料已包含分潮效應，故本模式分潮引力不在另行設定。

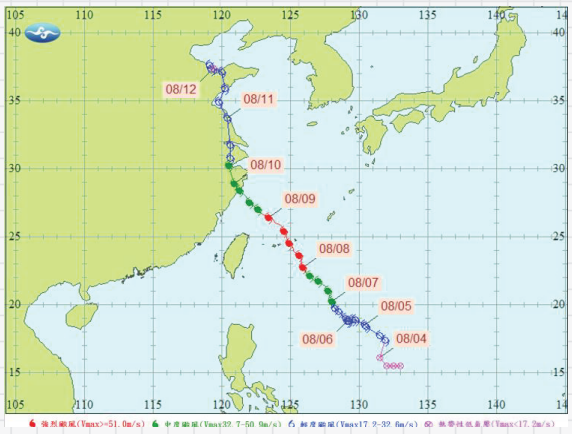
水動力數值模式分析與探討

現況水動力模擬計算驗證設定



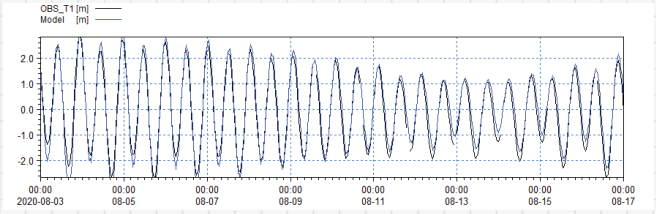
測站序號	量測儀器	緯度	經度	使用資料期間	觀測單位
T1	潮位計 (壓力式)	26°09'39"N	119°56'36"E	夏季 2020/8/1~2020/8/17 冬季 2019/12/1~2019/12/17 利奇馬颱風2019/8/1~2019/8/15	運技中心
T2	潮位計 (音波式)	26°09'42"N	119°56'34"E		中央氣象署
A1	AWAC (底碇式波流觀測站)	26°09'52"N	119°56'21"E	利奇馬颱風 2019/8/1~2019/8/15	運技中心
A2	AWAC (底碇式波流觀測站)	26°10'07"N	119°56'20"E	夏季 2020/8/1~2020/8/17 冬季 2019/12/1~2019/12/17	

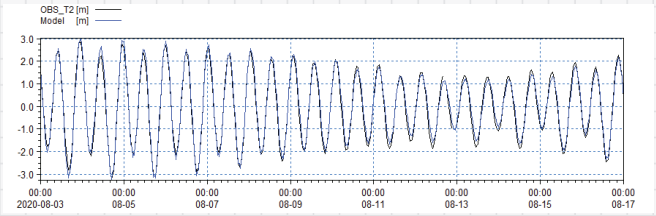
考量馬祖南竿各潮位及海流觀測站海象資料蒐集完整性，本計畫選取2020年夏季、2019年冬季及利奇馬颱風期間做為模式模擬夏季季風、冬季季風及颱風期間之潮位與海流變化之情況，並將模擬結果與本所運技中心及中央氣象署設置之觀測站進行驗證比對，其中本所運技中心使用之潮位站為T1，海流測站為A1及A2，中央氣象署使用之潮位站為T2。



2019年利奇馬颱風路徑圖

水動力數值模式分析與探討





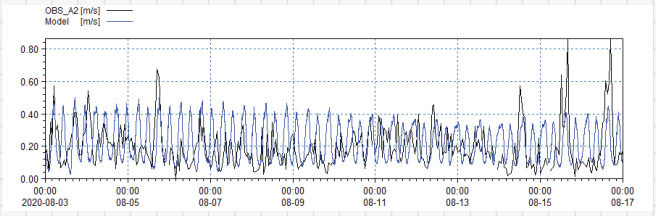
夏季季風期間現況水動力模擬計算成果

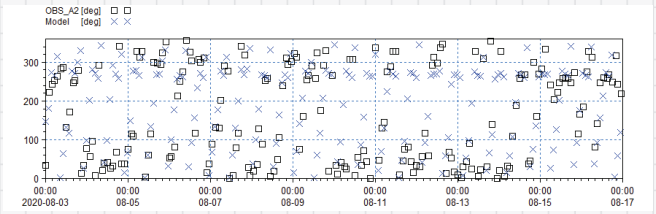
1. 模擬計算成果與2測站觀測結果大致相符，運技中心T1測站在8月3日至5日模擬值之低潮位與觀測值相比呈現偏低、8月11日至17日的模擬值之低潮位與觀測值相比呈現偏高，中央氣象署T2潮位在8月10日至15日的模擬值之低潮位與觀測值相比呈現偏高，但2測站之模擬值與觀測值之變化趨勢仍相符。
2. 2測站模擬之誤差分析如下，與T1測站均方根誤差為0.3518m、決定係數為0.9518、威爾莫特一致性指數為0.9854，與T2測站均方根誤差為0.2052m、決定係數為0.9829、威爾莫特一致性指數為0.9954。

季風期間	測站	潮位誤差值		
		均方根誤差RMSE	決定係數R2	威爾莫特一致性指數d
夏季 2020 8/3~8/17	T1	0.3518(m)	0.9518	0.9854
	T2	0.2052(m)	0.9829	0.9954

35

水動力數值模式分析與探討





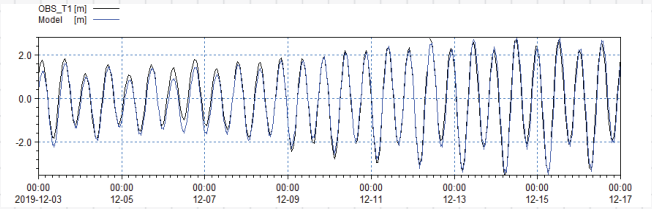
夏季季風期間現況水動力模擬計算成果

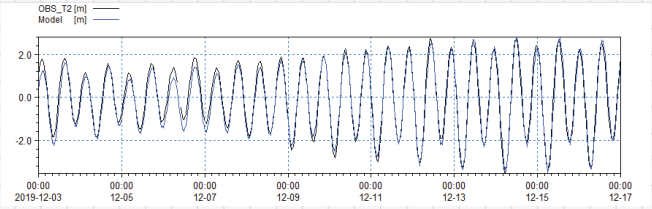
海流模擬計算成果，模擬流速整體平均數值大於觀測值，模擬流速數值波動較觀測值穩定，趨勢類似潮汐流往復運動，峰值大部分比觀測值大，惟8月5日、14日至16日部分時段觀測值之峰值大於模擬值，谷值部分，模擬與觀測值則較為相近；流向部分，模擬與觀測值略為相似，觀測流向於0度至90度及240度至360度有較為集中之狀況，而模擬流向僅較為集中240度至360度之間。模擬之誤差分析如下，與A2測站流速均方根誤差為0.1728m/s、決定係數為0.0032、威爾莫特一致性指數0.4212；流向均方根誤差為2.3155rad、決定係數0.1252、威爾莫特一致性指數0.6533。

季風期間	測站	流速流向誤差值		
		均方根誤差RMSE	決定係數R2	威爾莫特一致性指數d
夏季 2020 8/3~8/17	A2(流速)	0.1728 (m/s)	0.0032	0.4212
	A2(流向)	2.3155(rad)	0.1252	0.6533

36

水動力數值模式分析與探討



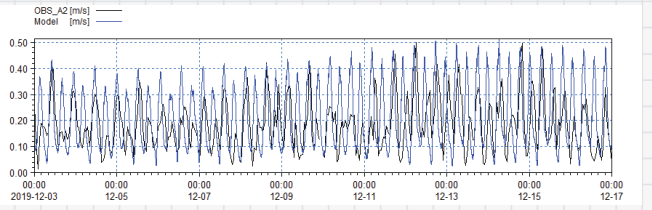


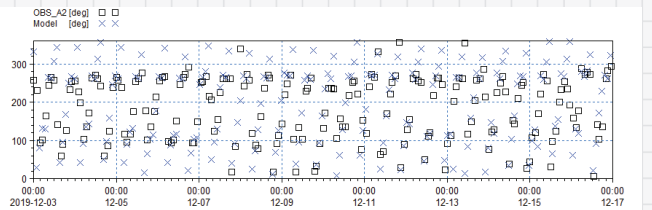
冬季季風期間現況水動力模擬計算成果

模擬計算成果與2測站觀測結果大致相符，運技中心T1及T2測站在12月3日及6日的模擬值之高、低潮位與觀測值相比呈現皆偏低，但2測站之模擬值與觀測值之變化趨勢仍相符。2測站模擬之誤差分析如下，與T1測站均方根誤差為0.3524m、決定係數為0.9523、威爾莫特一致性指數為0.9867，與T2測站均方根誤差為0.2588m、決定係數為0.9765、威爾莫特一致性指數為0.993。

季風期間	測站	潮位誤差值		
		均方根誤差RMSE	決定係數R2	威爾莫特一致性指數d
冬季 2019 12/3~12/17	T1	0.3524(m)	0.9523	0.9867
	T2	0.2588(m)	0.9765	0.993

水動力數值模式分析與探討



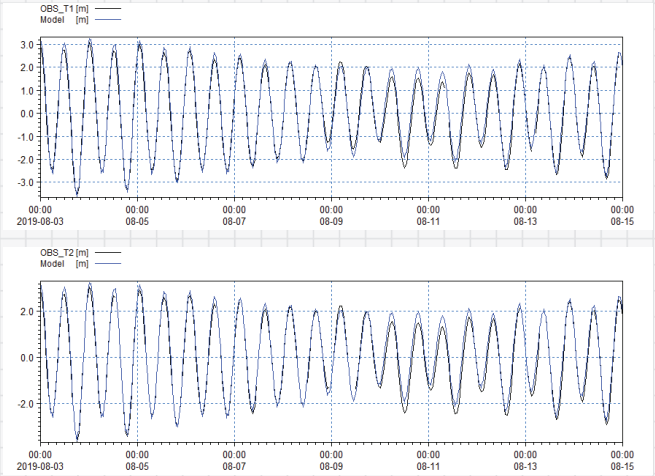


冬季季風期間現況水動力模擬計算成果

海流模擬計算成果，模擬流速整體平均數值大於觀測值，模擬流速數值波動較觀測值穩定，趨勢亦類似潮汐流往復運動，峰值幾乎都比觀測值大，惟12月3日、8日、9日、12日、14日、15日部分時段觀測值之峰值接近於模擬值，谷值部分，模擬與觀測值則較為相近；流向部分，冬季模擬與觀測值趨勢較夏季相似，觀測流向於270度附近有較為集中之狀況，而模擬流向也略有這樣的集中現象。模擬之誤差分析如下，與A2測站流速均方根誤差為0.1337m/s、決定係數為0.1117、威爾莫特一致性指數0.5919；流向均方根誤差為1.3827rad、決定係數0.4335、威爾莫特一致性指數0.8032。

季風期間	測站	流速流向誤差值		
		均方根誤差RMSE	決定係數R2	威爾莫特一致性指數d
冬季 2019 12/3~12/17	A2(流速)	0.1337(m/s)	0.1117	0.5919
	A2(流向)	1.3827(rad)	0.4335	0.8032

水動力數值模式分析與探討



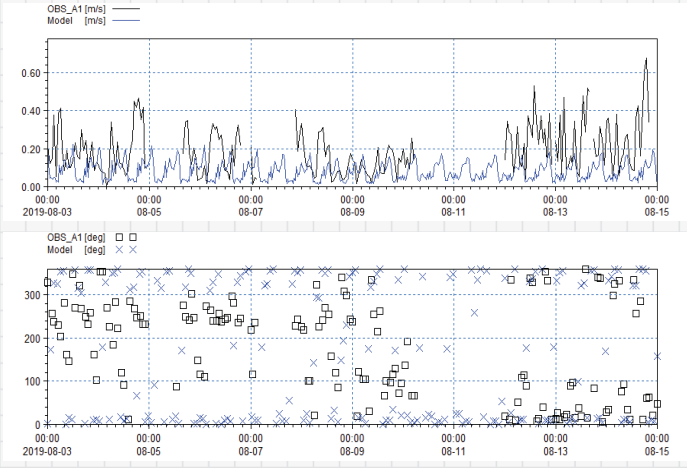
颱風期間現況水動力模擬計算成果

模擬計算成果與2測站觀測結果大致相符，T1及T2測站在8月10日至11日的模擬值之高、低潮位與觀測值相比呈現皆偏高，但2測站之模擬值與觀測值之變化趨勢仍相符。2測站模擬之誤差分析如下，與T1測站均方根誤差為0.296m、決定係數為0.9769、威爾莫特一致性指數為0.9925，與T2測站均方根誤差為0.5351m、決定係數為0.913、威爾莫特一致性指數為0.9743，特別一提的是，2測站均方根誤差差異較大的原因為T2測站於颱風期間缺失資料較T1測站多，導致均方根誤差較大。

季風期間	測站	潮位誤差值		
		均方根誤差RMSE	決定係數R2	威爾莫特一致性指數d
利奇馬颱風 2019 8/3~8/15	T1	0.296(m)	0.9769	0.9925
	T2	0.5351(m)	0.913	0.9743

39

水動力數值模式分析與探討



颱風期間現況水動力模擬計算成果

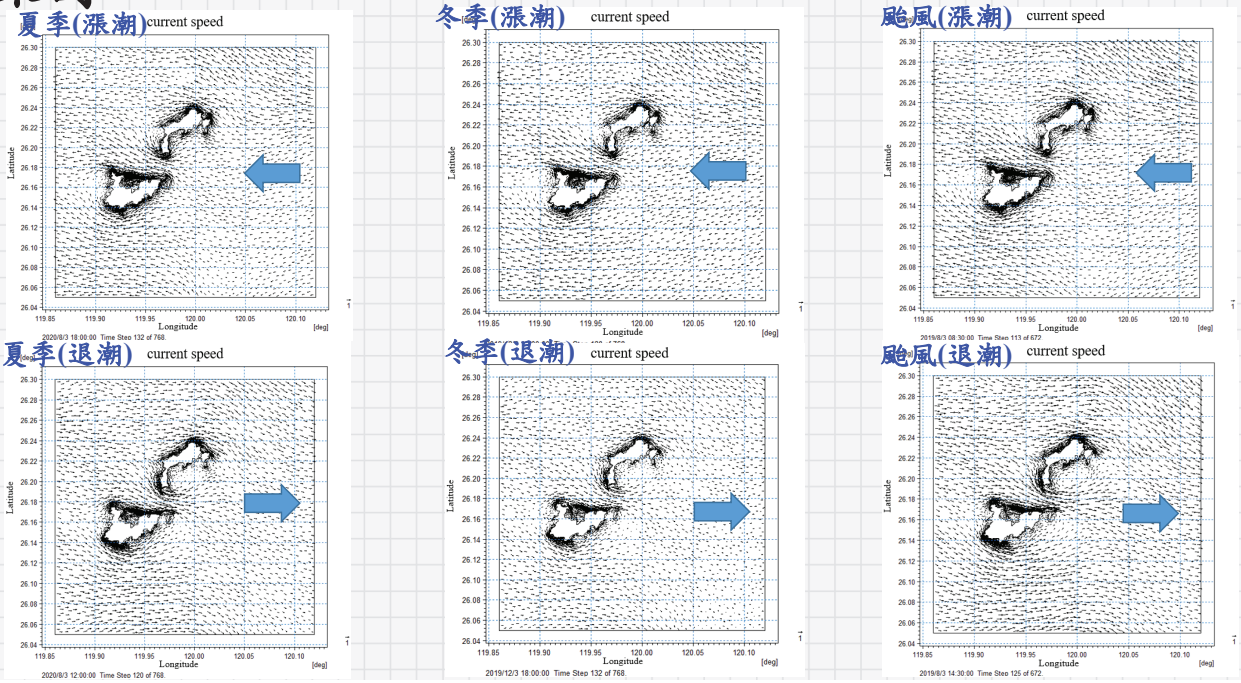
海流模擬計算成果，模擬流速整體平均數值小於觀測值且數值波動較觀測值穩定，原夏、冬季類似潮汐流往復運動的規律有所改變，不是呈簡單線性，颱風期間觀測值缺失較多，2者於波動的趨勢上有部分符合，惟觀測值波動幅度比模擬值大很多，整體數值平均高約2倍，觀測值峰值及谷值大部分都大於模擬值；流向部分，模擬與觀測值部分於8月11日至15日較為相似，其他時段流向較不一致。模擬之誤差分析如下，與A1測站流速均方根誤差為0.1619m/s、決定係數為0.0085、威爾莫特一致性指數0.3567；流向均方根誤差為2.9539rad、決定係數0.0701、威爾莫特一致性指數0.5984。

季風期間	測站	流速流向誤差值		
		均方根誤差RMSE	決定係數R2	威爾莫特一致性指數d
利奇馬颱風 2019 8/3~8/15	A1(流速)	0.1619(m/s)	0.0085	0.3567
	A1(流向)	2.9539(rad)	0.0701	0.5984

40

水動力數值模式分析與探討

季風及颱風期間模擬流場



41

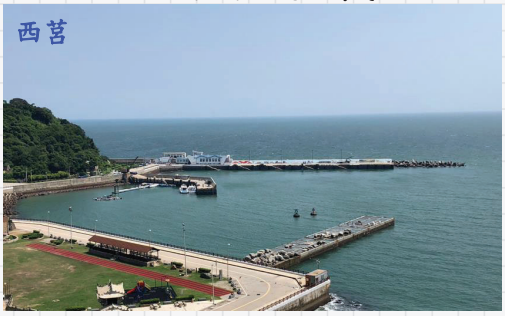
結論與建議

結論

1. 本研究藉由撰寫品管程式(TEST4、TEST6及TEST8)於各種觀測資料皆檢出多筆未通過資料，檢視這些異常資料時亦發現許多需經人工協助進行補充檢查之資料及可能為儀器故障的早期徵兆之資料，這些經驗可提供後續資料使用者進行品管時之參據。
2. 夏、冬季風速及其分量的相關性分析，結果揭示了測站間相關性因季節與地理條件而顯著變化，展現明確的區域特性，各測站間冬季比夏季風速有更廣泛的高度相關性，西莒測站為例外，季節變化對測站間風速分量U相關性影響顯著，對風速分量V相關性影響不顯著。
3. 馬祖四鄉五島的夏季風場呈現顯著區域特性，平均風速多介於2-4m/s；冬季受東北季風影響，風速普遍增強，平均風速在3至10m/s間，變化較大，南竿與西莒測站風速較小，為冬季風場舒適度較高的地方。
4. 分析夏、冬季示性波高與尖峰週期的相關性，因部分測站觀測資料缺失，無法完整反映測站間相關性之資訊，在示性波高方面，各測站間冬季比夏季示性波高有更廣泛的高度相關性，尖峰週期則在夏、冬2季均未觀察到高度相關性，且無明顯季節性差異。

42

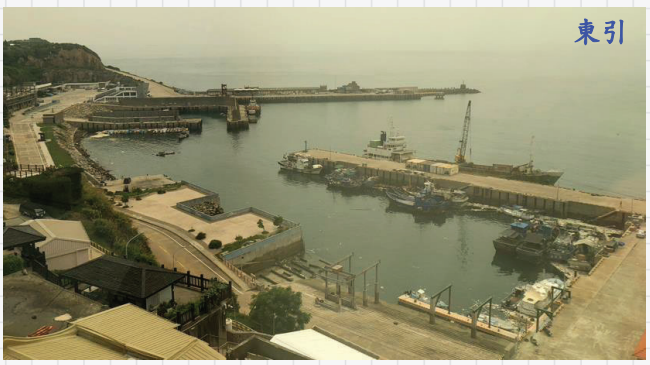
結論與建議



結論

5. 馬祖四鄉五島各波浪測站的夏、冬季波浪特性展現顯著的季節性差異和區域性特徵，夏季波浪以較低的示性波高（平均0.3 至0.6m，東引浮標測站除外，為1.25m）與一致的尖峰週期（平均5至7秒）為主；冬季波浪受季風影響，示性波高顯著增加（平均0.3至0.8m，東引浮標測站除外，為2.32m），尖峰週期亦拉長（平均6至8秒），整體而言，受港口開口方向影響，不同波浪測站間於夏、冬季季風期間的波浪特性呈現較大差異，外海測站與鄰近港口測站的波浪特性亦是如此，進一步反映地理位置對波浪分佈的影響。
6. 分析夏、冬季的流速及其分量，結果顯示，測站間相關性整體偏低，且季節性差異不顯著，主要受地理位置與外界條件影響，夏、冬季期間，流速及其分量U與V均無高度相關。
7. 夏季各測站的平均流速約介於0.1至0.4m/s，東引浮標測站平均流速高達0.431m/s，其中東引測站流速最小（0.14 m/s）；冬季各測站平均流速亦介於0.1至0.4m/s，東引浮標測站平均流速高達0.422m/s，北竿測站次之(0.403m/s)，東引測站仍為最小（0.145 m/s），南竿次之（0.196 m/s）。比較特別的是，大部分測站夏季平均流速略高於冬季，但北竿測站呈相反趨勢(夏季0.308m/s；冬季0.403m/s)，東引測站則變化最小(夏季0.14m/s；冬季0.145m/s)。

結論與建議



結論

8. 本研究對南竿地區的水動力數值模式模擬進行評估，結果顯示在夏、冬季季風及利奇馬颱風期間，模擬潮位與T1及T2潮位測站的觀測資料大致相符，在海流流速模擬方面，與A1及A2海流測站的觀測結果相比，模擬成果略有差異，在流向分析方面，冬季模擬與觀測流向的相關性優於夏季。然而，在颱風期間，模擬與觀測流向的差異較大。
9. 在流況上，無論在夏季、冬季季風還是颱風期間，漲潮時潮流方向均由東向西流動，而退潮時則由西向東流動，展現潮汐流往復運動的典型特性。

結論與建議

建議

1. 馬祖南竿水動力數值模式的模擬結果，可藉由調整不同參數後，與觀測值進行比對，分析評估指標數據的差異，最終選擇具有最佳模擬效果的參數組合做為成果展示。
2. 本研究針對夏季與冬季季風以及颱風期間的海流模擬結果進行分析，發現目前模擬成果仍存在一定改善空間，尤其在颱風期間，由於波浪影響顯著，現有模式對海流特性模擬的精準度可能受到波浪動力缺失的限制，進一步影響模式與觀測值的吻合度。
3. 為提升模擬精準度，建議未來模式改進時加入波浪輻射應力的考量。波浪輻射應力做為波浪與海流耦合的重要參數，能夠有效反映波浪動能對海水運動的影響，特別是在颱風等高能量事件期間，對於海流流速和流向的影響尤為重要。

結論與建議

成果效益及應用情形

本研究成果具有多層面的應用價值，為航運管理、港灣工程及相關科學研究提供了重要的參考依據，具體效益與應用情形如下：

1. 藉由本研究於各海氣象觀測資料蒐集率統計，可知離島觀測儀器維護不易，良好蒐集率的觀測資料極為珍貴，本研究盡可能提升既有資料的使用價值，不論在資料蒐集率的選用、資料品管及測站代表性選擇上皆有所依據，分析結果亦皆有所呈現。
2. 品管程式有效檢測異常資料並辨識儀器故障徵兆，為後續數據管理及研究應用提供標準化參考。
3. 研究結果揭示馬祖四鄉五島各港區風力、波浪及海流的區域特性，為船舶航行路徑規劃及港埠營運管理提供準確參考，提升航運安全及港埠效率。
4. 模擬與觀測數據的對比驗證，為港灣施工提供可靠的環境參數支持，有助於工程風險評估。
5. 成果可供連江縣政府相關部門、港務公司及海事人員應用於船舶調度、港口規劃及災害防範，並促進產官學研的合作與技術交流

簡報完畢
敬請指教

附錄四

工作會議暨專家學者座談會紀錄

交通部運輸研究所運輸技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：交通部運輸研究所運輸技術研究中心第二科與第三科自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：113 年 4 月 29 日(星期一)上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心 2 樓會議室

肆、主持人：蔡立宏主任　　紀錄：蔡世璿

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、交通部中央氣象局呂國臣副署長

有關運技中心第二科和第三科自行研究計畫分別有 9 項及 6 項研究，其內容符合運輸技術研究中心自行研究計畫的需求。在個別計畫方面以下幾點建議：

(一)在商港風力觀測技術精進部分，風力觀測的定義一致性很重要，例如風速觀測的採樣頻率和平均秒數等，聯合國氣象組織規定平均風為連續 600 秒紀錄之平均值，期間連續 3 秒之最大平均值為瞬間風(或陣風)，船舶觀測亦同，惟因各類群使用有其特殊性，例如航空飛行上之平均風採 120 秒平均。在儀器校驗部分，若有需要可送到氣象署新北園區新建的風洞進行。

(二)馬祖港福澳碼頭潮位站旁即是氣象署的潮位站，2 站有否合作或整併機制，可進一步去了解。

(三)關於臺灣港群觀測的統計資料精進部分，須注意無線電傳輸和電力供應技術。

(四)關於智慧航安的海氣象資料應用的探討，可以依使用者角度進行客製化監測與預警。唯對公眾發布部分，可參考氣象署發布之港口之客製化天氣預報，若需要有較特殊之天氣或海象預報可逕與氣象署合作，評估是否採共同發布。

(五)臺中港陣列雷達的訊號處理應用於海流與波浪，已有一定的技術，但在落地應用上，仍有許多技術開發備受期待。這部分未來建議能有跨單位的交流與合作。

(六)觀測資料系統的建置需要有資料治理的觀念，在大數據需求日增趨勢下，包含的資料一致性、格式、品管、資料履歷和生命週期，還有觀測儀器變遷等，都需要長時且階段性的規劃。

二、海洋委員會國家海洋研究院翁健二副院長

(一)第 1 案，商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究：

1.研究中分別用超音波風速計與螺旋槳風速計進行比對，但 2 者設備後續的比對方式建議再詳細論述。

2.經費概估表中儲存伺服器概估費用為 30 萬元，建議增加規格說明。

(二)第 3 案，臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)：

1.建議說明觀測傳輸方式改成無線後，通訊距離、傳輸速率與電力搭配的問題。

2.112 年於室內水槽進行研究，而 113 年則在開放海域進行驗證測試，惟測試環境條件不同應如何比對？

(三)第 7 案，臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)：

1.請說明 112 年與 113 年探討雙雷達系統平面波浪觀測時，其特性與執行內容的差異。

2.計畫書中提及空間解析度為 500 公尺方能判讀，然而部分船舶長度小於 500 公尺的部分如何監測判讀？

3.114 年延續 113 年船舶判讀研究，透過 AIS 進行船舶航安研究，而微波雷達有進行船舶監測，在陣列雷達則較少，其 2 者差異應注意。

(四)第 8 案，海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)，建議於系統建置前先行律定資料庫系統資料格式。

(五)第 9 案，港區水下巡查技術初探(2/3)，建議可參考臺灣港務股份有限公司於 110 年港區水下無人載具及擴充設備應用研究已初步探討之相關內容。

(六)第 10 案，運技中心網頁資訊安全現況分析與探討，建議分析

後可提出改善方法，如狀況處理、事先預防等。

(七)第 12 案，花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究，請說明計畫經費於文字概述為 1,670 仟元，與總計畫經費 5 萬元之差異。

三、臺灣港務股份有限公司高雄分公司鄭智文總工程司

(一)第 1 案，商港風力觀測技術精進及強風特性分析研究，建議後續可應用風速與延時在不同高度風力梯度之推算與模擬，以提供港區大型船舶受高度較高之風壓對於航行操控之影響。

(二)第 3 案，臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)：

1.經費概估無水聲通訊數據機。

2.建議可增加電力損耗、船舶通過干擾、底泥及水域混濁干擾之校正與應用。

3.建議可建立港區即時波流資訊與颱風長浪預測及潮位之關聯模型。

(三)第 4 案，花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)，今年評估消能設施布設於花蓮港之模型，除評估設施布設前後波高變化情形以外，應增加布設前後波浪頻率(週期)之變化。

(四)第 6 案，智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)：

1.針對船舶於不利航行之海氣象水域，可提高預測及識別，並對船舶操航及港口管理單位，雙方提出危險預警。

2.建議研究範圍可擴大至港口外之錨泊區，或商港區域範圍外之領海。

3.建議系統可針對船舶運動狀態與航行軌跡，深度學習及識別其是否受局部海流與風力紊亂影響，或船舶機械故障之情形，並提早提出警示。

4.建議可結合港區塔臺雷達系統，針對刻意關掉 AIS 應答機之船舶，提出警告。

(五)第 7 案，臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)，建議可針對海域受油污染時之波高壓抑特性，觀測海域污染之分布及趨勢，並預測未來流向及範圍。

(六)第 8 案，海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)，於過往觀測取得之 Raw data 整理與比對時，應要求建立資料之校正與回歸標準作業程序，以利後續更精確之研究與模型建立。

(七)第 9 案，港區水下巡查技術初探(2/3)，建議水下無人載具可結合機械手臂，以利取樣及強化定位能力。

(八)第 12 案，花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究：

1.有關經費概估為 1,670 千元，與計畫經費概估表有異。

2.建議可蒐集過往資料，經校正及回歸後，導入深度學習及人工智能，強化預測模型，提高預測準確度。

四、國立中山大學陳冠宇教授

(一)第 1 案，商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究：

1.建議說明儀器不確定性的檢驗方式。

2.建議是否以某些參數(如 Gustiness)為中心，較易突顯？

(二)第 2 案，馬祖港福澳碼頭設計水位之探討，建議說明水位以中潮系統為準，是以大地水準面亦或引測求得？

(三)第 3 案，臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)，聲波通訊在淺水域易有多重反射，建議藉由例證說明其適合應用於港域。

(四)第 4、5 案，花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)、長週期波斷面模型試驗(2/3)，花蓮港震盪乃亞重力波(約 100 多秒的週期)引致，建議透過相關例證說明可有效消能與模擬。

(五)第 6 案，智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)，111 年與 114 年、112 年與 113 年的工作項目有重覆。

(六)第 7 案，臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)，建議波流觀測儀器 AWAC 遠離防波堤，以利與雷達的觀測結果進行驗證比較。

(七)第 8 案，海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)，數位管理系統之建置是否有自動化品管、自動即時回傳與自動補遺(年報)的功能？

(八)第 9 案，港區水下巡查技術初探(2/3)，是否引進 ROV？

(九)第 10 案，運技中心網頁資訊安全現況分析與探討，建議可列入各資料庫。

(十)第 12 案，花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究，港池震盪造成的困擾可能更要注意流所造成的斷纜狀況。

(十一)第 13、15 案，評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性、評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性，建議說明採用模式之原因與應用的方向。

五、臺灣港務股份有限公司花蓮分公司鄭璟生處長(書面意見)

(一)第 4 案，花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)：

1.本計畫著重於如何透過佈設消能設施，評估消能工法對於各湧浪條件下之波能削減成效。在消能選址方面，花蓮港新舊東防波堤交界處起算 500 公尺處係常受颱風損壞之弱點(沉箱編號#1~#22)，建議可選擇新東堤 0k+000~0k+500 港側規劃設置消能設施，此外，建議可選擇佈放消能設施位址如以下 3 處：

(1) 束縮航道(有效寬度僅 100 公尺)之兩側，設施方案宜檢討不得影響操船空間。

(2) 7 號碼頭。

(3) 12 號碼頭。

2.參考歷年貴中心於花蓮港港池共振研究與相關研討論文，曾有 1 方案檢討是否於花蓮港港形底部(#7、#12 碼頭)設置通水箱涵的方案，讓能量能透過此箱涵予以遲滯消散。因#7 碼頭與#12 碼頭後線基地均有大排，是有機會透過拓寬大排斷面的方式，以此發揮一定程度的消能功效，規模也較小，故提請本案考量在消能設施的選擇方案方面，有無機會就此一併納入研究。

3.本案模型的平面佈置目前仍以花蓮港現有港形為基礎，做為規劃配置可行的消能設施方案，如有其他港形變化的空間，是否可考慮#10 至#16 碼頭間設置具消能設施的擋浪堤，於內部研究案內先有最初步的探討，港務公司亦於 114 年起提

編 2,500 萬預算辦理「花蓮港港池共振削減方案暨可行性評估」。

4.有關新東堤 0k+000~0k+500 港側規劃設置消能設施，如設施方案為通用型的如鼎形塊或林克塊，港務公司可從 114 年度預算內優先試拋以利驗證。

(二)第 5 案，長週期波斷面模型試驗(2/3)：

1.本案為評估選定花蓮港內港 1 座碼頭，探討更新為消能碼頭，並規劃於第 3 年期規劃設置束縮航道的消能斷面或設施，以削減長周期波波能，並建立模型。請問選定花蓮港內港 1 座碼頭探討更新為消能碼頭，是否也做斷面模型？

2.內港碼頭的選擇建議優先考量#7 與#12 碼頭。

3.未來消能碼頭仍須有靠泊需求，即消能碼頭仍需安裝防舷材與繫船柱，故建議設施方案的評估要納入此實務需求。

(三)第 12 案：花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

1.據悉花蓮港在通告港內船隻避湧的決策判斷，除貴中心建置的「花蓮港區靜穩展示」系統外，亦仰賴觀察 CCTV 鏡頭對準外港堤口水尺的刻度觀測值，本研究成果預期提出建置 113 年度花蓮港碼頭波高預測模式，提供未來 2 日於#9、#17、#25 等 3 處之波高預測值，建議其模擬值時間尺度宜在小時以內，以爭取監控中心決策時間與航商移泊時間。

2.建議系統所呈現的波高預測值可參考監控中心發佈通告所採之警戒值，同目前系統根據預測波高所作出的紅黃綠 3 色燈號告警

六、國立成功大學董東璟主任 (書面意見)

(一)提送之 15 項計畫均有其重要性與必要性，予以支持。

(二)關於「商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究」計畫，建議本案產出應確定能符合利害關係者(stakeholder)的需求。

(三)關於「馬祖港福澳碼頭設計水位之探討」計畫，各潮位參數之定義(算法)宜和相關機關(如中央氣象署)一致或有所說明(若定義不同)。

(四)關於「臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)」計畫，第 1 年度水下無線通訊現場測試是否有訂相關達成指標以評估其妥善率？第 2 年度工作標題註明要建置，但工作項目內容似乎僅為建置評估，現場海洋狀況與實驗室不同，建議測試妥當後始開始進行建置。

(五)關於「花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)」計畫，建議有系統且完整地蒐集並說明過去數十年來關於花蓮港港池不穩度之相關研究成果或作為，以給予本計畫清楚之定位。

(六)關於「長週期波斷面模型試驗(2/3)」計畫，計畫第 2 年和第 3 年仍再進行文獻蒐集，建議重點工作著重在水動力分析與改善試驗研究，此外，長波試驗條件如何定義應有明確說明。

(七)關於「智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)」計畫，計畫中的 VDES 等船舶通訊技術發展是如何達到船舶監控預警的應用，請詳細說明，此外，「預警」的標的為何？建議更明確闡述。

(八)關於「臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)」計畫，應特別著重在觀測結果正確性的探討。

(九)關於「海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)」計畫，如何整合管理不同觀測系統、測站型式、儀器類別等，建置符合運技中心需求之管理系統應有妥善規劃。

(十)關於「港區水下巡查技術初探(2/3)」計畫，取得之水下影像如何進行分析、解讀為計畫成敗關鍵，建議可引入 AI 判識技術。

(十一)關於「運技中心網頁資訊安全現況分析與探討」計畫，支持目前辦理方案。

(十二)關於「商港能見度告警機制探討」計畫，目標是要提出告警機制抑或告警標準建請釐清。

(十三)關於「花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究」計畫，建議確認計畫目標為預測某幾個碼頭的波高？統計模式用以預測局部地區特性是否具有足夠能力需稍加留意。

(十四)關於「評估 SCHISM 於港區波浪模擬可行性」計畫，運技

中心原已有 TaiCOMS 模式可用來進行風浪模擬、潮汐和水動力模擬，引入 SCHISM 模式之定位為何，建請詳細考慮？

（十五）關於「馬祖海氣象特性分析」計畫，建議著重在 Mike21 HD 模式的海流模擬結果之驗證。

（十六）關於「評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性」計畫，建請強化模擬結果之驗證。

柒、結論：

感謝委員提供本所自行研究計畫之專業建議，請案關同仁將委員意見納為執行計畫重要參採依據，俾以達到成果實際應用目的，以及提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：上午 12 時 40 分

113年6月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科113年自行研究計畫第1次工作會議

時間：113年6月27日(星期四)上午9時

地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

主持人：林雅雯科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第三科

紀錄：林有騰

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)商港能見度告警機制探討

1.綜整各商港目前能見度相關管制規定。

2.研析國內外能見度相關文獻。

3.彙整各港對能見度示警門檻值建議。

(二)運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

1.研析網頁漏洞資訊安全相關文獻。

2.進行駭客攻擊手法蒐整與了解。

3.釐清常見攻擊手段與系統漏洞評估方式。

4.說明中心網頁歷年資安事件。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

1.說明花蓮港112年港外、港內碼頭波浪觀測資料統計分析結果，以及蒐集花蓮港7件112年度防颱避湧事件。

2.展示納入112年度觀測及模擬資料，進行神經網路再訓練、驗證及測試之結果。

3.初步規劃作業化流程，完成相關程式編寫工作並已封裝成執行檔。

(四)評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

1.蒐集花蓮港波浪觀測資料、應用 SCHISM-WWM III 模式於波浪模擬相關文獻。

2.針對 SCHISM 模式執行之軟、硬體需求，建立所需作業環境(Linux)。

(五)馬祖海氣象特性分析及應用研究

1.馬祖南竿福澳港數值模式建模說明(MIKE 21)。

2.水動力模式驗證及參數調整比較。

(六)評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

1.蒐集國內外關於 FUNWAVE 於海岸與港灣模擬的相關文獻。

2.初步建置 FUNWAVE 模擬環境。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港能見度告警機制探討

1.討論各港對能見度示警門檻之初步建議值。

2.討論後續辦理方向及蒐集資訊。

(二)運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

1.說明駭客攻擊手法與網頁漏洞相關資源目前辦理情形。

2.討論中心網頁歷年資安事件與發生原因。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

1.說明花蓮港112年港外、港內碼頭波浪觀測資料統計分析結果。

2.展示17號碼頭在納入112年度觀測及模擬資料，進行神經網路再訓練後之驗證及測試結果。

3.說明17號碼頭波高預測模式之作業化流程。

(四)評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

1.SCHISM 模式可進行混合網格與局部加密網格之模擬計算，且可與 WWM-III 風浪模式進行雙向耦合計算,於近岸考量流場對波浪場影響。

2.開源 Linux 系統版本眾多，經測試多種版本，已完成建置作業系統及所需工具軟體，且可運行案例模擬。

(五)馬祖海氣象特性分析及應用研究

1.探討不同網格邊界及匯入水深地形對於模擬結果的影響。

2.使用其中一種網格邊界進行潮位、流速及流向驗證，並以不同參數產出模擬結果後，審視歷線圖及評估指標之適宜性。

3.探討匯入模擬風場之準確性。

(六)評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

1.現有數值模擬軟體與 FUNWAVE 的差異討論。

2.環境建置方式討論。

貳、重點紀要/主要結論

一、商港能見度告警機制探討

(一)可以用平面圖方式標明能見度進出港管制的起迄點位、引水人領港從登輪點進港之能見度，以及本所能見度儀設置點位。

(二)蒐集各商港因能見度而封港與重新開放進港之案例，及當時本所能見度儀之觀測數據。

(三)後續可針對中央氣象署、國道高速公路局、公路總局等單位採用之能見度儀或濃霧偵測器進行瞭解與比較。

(四)蒐集瞭解港務公司進出港或異常事件管制之記錄，如：避湧、斷纜、能見度進出港管制、船難等。

二、運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

(一)建議可著重於網頁弱點與相關應用資源做探討。

(二)問卷相關內容，請與計畫相關人員釐清後再提出。

三、花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

波高預測模式之作業化流程部分，後續可再增加使用 TaiCOMS 產製花蓮港1日4次波高模擬預測資料之流程，以比較2者預測成果。

四、評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

(一)建議可強化 SCHISM 模式應用文獻蒐集。

(二)建議可盤點現有資料建置模型，進行花蓮港區波浪模擬，並

與本所 TaiCOMS 模擬結果比較，以評估 SCHISM 模式之模擬可行性。

五、馬祖海氣象特性分析及應用研究

(一)建議邊界潮位條件選擇 MIKE 21內建0.125 degree 全球潮位預報資料。

(二)建議可使用觀測資料風速及流速，先行比較兩者之間相關性。

(三)建議可將 TaiCOMS 模擬的流速一併套疊歷線圖，並加以比較。

六、評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

後續可以再針對港內或近岸模擬部分進行文獻的蒐集與回顧，並就折、繞、反射的物理現象，可與其他數值模式的結果進行比較。

113年8月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科113年自行研究計畫第2次工作會議

時間：113年8月30日(星期五)上午9時

地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

主持人：林雅雯科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第三科

紀錄：林有騰

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)商港能見度告警機制探討

1.綜整各商港目前能見度相關管制規定。

2.針對氣象署、高公局、公路局等採用之能見度儀或濃霧偵測器進行瞭解與比較。

3.彙整各港對能見度示警門檻值建議。

4.各港對能見度示警門檻值彙整與初步建議。

(二)運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

1.進行對外網頁服務系統網頁弱掃與網頁弱掃種類與漏洞分佈結果分析，以了解網頁之弱點與威脅。

2.說明113年中心網頁歷年資安事件。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

使用以模擬資料訓練之神經網路，規劃港內碼頭波高預測工作流程及編寫相關程式工作。

(四)評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

1.針對 SCHISM-WWM 耦合模式建置包含台灣之西太平洋計算域之數值網格，進行網格除錯、格式調整。

2.進行 SCHISM-WWM 耦合模式輸入檔製作及參數設定探討。

(五)馬祖海氣象特性分析及應用研究

1.馬祖南北竿、莒光及東引港口海氣象特性分析比較。

2.馬祖南竿福澳港數值模式建模說明(MIKE 21)。

3.水動力模式驗證及參數調整比較。

(六)評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

1.針對 FUNWAVE 基本案例進行模擬與討論。

2.於不同環境進行模擬效能比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港能見度告警機制探討

1.討論各港對能見度示警門檻之初步建議值。

2.討論後續辦理方向及蒐集資訊。

(二)運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

1.討論「網頁弱掃」主要工具與弱點比對方法。

2.討論網頁弱掃報告之弱點種類與弱點數量主要分佈，以及各漏洞主要發生原因、駭客利用漏洞攻擊方式與漏洞修補方法。

3.討論113年本所運技中心資安事件與發生原因，及事件處置方式。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

1.說明6月初步規劃作業化流程之執行檔上線後之執行情形，如程式有漏洞導致特定時間點會執行不成功、港外模擬資料或港內觀測資料中斷時，執行檔表現情形等。

2.針對6月規劃之作業化流程，說明進行程式修改、修正漏洞，並新增下載使用 TaiCOMS 花蓮1日4次波浪資料，以執行神經網路預測港內波高等工作；另神經網路部分，新增使用波高週期波向之神經網路。

(四)評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

1.數值模式網格以 SMS 軟體製作，網格加密過程中於近岸出現錯誤網格，需以手動方式刪除，經確認及測試 SMS 軟體

版本後已可產製正確數值網格。

2.SCHISM-WWM 耦合模式所需設定之基本參數眾多，且需分別於不同輸入檔中設定，正進行參數研析及設定。

(五)馬祖海氣象特性分析及應用研究

1.藉由特性分析比較馬祖四鄉五島各海氣象觀測測站風速風向、波高波向、週期波向及流速流向相同及相異處，呈現各處受地形環境影響之特點。

2.使用0.125degree 潮位邊界及 WE02風場資料，探討不同網格邊界對於模擬結果的影響。

3.比較2種網格邊界進行2處潮位站、1處流速及流向驗證與比較差異。

(六)評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

1.FUNWAVE-TVD 基礎案例模擬討論。

2.不同模擬環境下之效能討論。

貳、重點紀要/主要結論

一、商港能見度告警機制探討

(一)期末報告可加入更多國內外能見度之文獻回顧資料。

(二)針對所蒐集各商港因能見度不佳之封港案例，分析與探討封港與恢復開放時之本所能見度儀觀測數據。另一方面，分析當儀器觀測到之能見度低時，航管中心是否有對應之封港管制作為。

(三)可瞭解高速公路採用長程與短程能見度儀交錯設置之用意。

(四)研究範圍未包含金馬等離島濃霧情形，應於報告中敘明。

二、運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

(一)建議可加強網頁弱掃複測結果說明。

(二)網頁弱點掃描為被動方式，建議可採主動式掃描方式。

(三)網頁弱點掃描系統已有修改，港灣構造物維護管理系統請更正為港灣設施維護管理系統，商港海氣象即時應變系統請修

正為商港海氣象資訊系統。

三、花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

後續整理重做的執行檔並再上線執行，觀察其於颱風期間使用1日1次及1日4次花蓮港模擬資料，17號碼頭波高預測變化情形。

四、評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

建議釐清 SCHISM 與 WWM 模式的耦合計算過程中，耦合之流程、所需產出的資料如何相互應用，並規劃研究成果呈現及如何探討模擬結果。

五、馬祖海氣象特性分析及應用研究

撰寫報告書時，避免著重各測站觀測數字，建議以本次簡報比較各測站差異之心得來撰寫各特性分析的小結，較易於閱讀及提供應用。

六、評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

後續模擬測試可先以實驗模型(斷面或平面)進行，就折、繞、反射等物理現象進行比較。

113 年 10 月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科 113 年自行研究計畫第 3 次工作會議

時間：113 年 10 月 30 日(星期三)上午 9 時

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：林雅雯科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第三科

紀錄：林有騰

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)商港能見度告警機制探討

1.綜整各商港目前能見度相關管制規定。

2.分析各商港因能見度不足而封港之案例。

3.探討與建議各港能見度示警門檻值。

(二)運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

1.進行網頁弱點掃描複掃結果分析。

2.問卷結果分析。

3.探討中心 113 年網頁系統資安事件原因。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

使用以模擬資料訓練之神經網路，規劃港內碼頭波高預測工作流程及編寫相關程式工作。

(四)評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

1.針對 SCHISM-WWM 耦合模式數值網格，調整模擬範圍、邊界條件，模擬 2016 梅姬颱風案例並取出波高值與花蓮港波高觀測值比較。

2.進行前處理、後處理程式除錯。

(五)馬祖海氣象特性分析及應用研究

1.馬祖南北竿、莒光及東引港口海氣象相關性分析比較。

2.馬祖南竿福澳港數值模式建模說明(MIKE 21)。

3.水動力模式驗證及參數調整比較(使用評估指標)。

(六)評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

1.綜整 FUNWAVE 範例進行案例模擬。

2.參考本中心前期波浪交互作用相關試驗成果進行模擬分析，建置網格資料庫，模擬並探討其差異。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港能見度告警機制探討

1.討論各港因能見度不足而封港之案例。

2.討論各港能見度示警門檻值建議值。

(二)運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

1.討論「網頁弱掃」複掃結果與弱點。

2.討論問卷分析結果，了解資通安全相關之業務承辦人對資通安全法、C 級機關應辦事項與資通安全事件發生如何通報之了解，以作為提出對本中心資通訊安全防護上之依據參考。

3.討論 113 年中心資安事件與發生原因，及事件處置方式。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

1.說明作業化流程於 7~8 月期間，因應新增使用 1 日 4 次花蓮港外波高模擬資料，修改相關程式及流程，以及執行檔封裝上線後之執行情形。

2.為了增加 25 號碼頭神經網路預測模式，9~10 月期間，將 112 年度港外模擬資料及 25 號碼頭港內波高資料重新訓練、驗證及測試，並修改作業化流程及程式，新增下載 25 號碼頭資料、進行資料檢核、神經網路預測及檔案輸出等部分。

(四)評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

1.目前呈現 SCHISM-WWM 之模擬結果為使用歐洲 ECMWF 之 6 小時解析度再分析風壓場，波高變化趨勢與觀測值與 TaiCOMS 之 SWAN 模式皆相近。

2.SCHISM-WWM 耦合模式所需設定之基本參數眾多，正持續進行前處理設定與後處理之附屬程式調整、除錯。

(五)馬祖海氣象特性分析及應用研究

1.藉由鄰站距離近及條件一致，可視作同一站的研究設定，使用相關性數值比較夏季及冬季馬祖四鄉五島各海氣象觀測測站間風速、風速分量、示性波高、尖峰週期、流速及流速分量相關性程度的高低，並探討數據波動最大的部分與季節的影響是否顯著。

2.使用 2 種建模條件在夏季、冬季及颱風期間進行模擬，同時調整底床阻抗值 M(20、28 及 32)，接著使用模擬結果與觀測資料做準確率評估。

3.選擇多種評估指標數據較為良好的建模及參數條件來呈現模擬成果。

(六)評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

1.針對 FUNWAVE 網格(波浪交互作用相關試驗、花蓮港建模方式)進行討論。

2.針對於 FUNWAVE 內建模後之造波結果進行討論。

貳、重點紀要/主要結論

一、商港能見度告警機制探討

(一)在各港因能見度不足而封港之案例分析中，請加入管制開始與結束之能見度觀測數據。

(二)有關各港能見度示警門檻值建議，請再考量採絕對值或級距方式呈現。

二、運技中心網頁資訊安全現況分析與探討

(一)建議本計畫投稿時，僅呈現可對外公開之資料。

(二)結論與建議需再做調整與修正。

三、花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

後續請將所做之作業化流程封裝成執行檔上限執行，觀察於颱風期間使用 1 日 1 次及 1 日 4 次花蓮港模擬資料後，17 號

及 25 號碼頭波高預測變化情形。

四、評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

建議釐清 TaiCOMS 之 SWAN 模式於花蓮港區既有模擬值位置與資料正確性，以利與 SCHISM-WWM 模擬結果比較。

五、馬祖海氣象特性分析及應用研究

使用相關性分析西莒風速與其他測站比較的結論，建議有其他文獻搭配佐證能增加研究的價值。

六、評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性

後續結果以波浪交互作用相關試驗之比較為優先，並探討其物理現象之完整性。

附錄五

期末審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所自辦研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：馬祖海氣象特性分析及應用研究

參與審查人員及其所提之意見	執行單位說明
一、林佑任委員	
1.港區航行與施工安全事故經常與海氣象因素有關，也因此施工吊掛或高空作業等都有風速限制的規定，還有臺中港限制進港風速，這些資料與預報的都是靠既有累積的歷史觀測資料而來，也是運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)的核心業務之一，看到本研究持續努力將資料的可靠性、正確性提升，身為海事工程的工程師感到由衷的感謝；另本研究除精進資料正確性外，並包含水動力模式驗證，提高對海象的數值推估掌握能力，也肯定運技中心研究人員的努力與用心。	1.感謝委員肯定。
2.請問南竿福澳港風力測站是 2 處或 3 處?圖面 3 處 W1~3，但說明內容卻是 2 處。	2.運技中心建置南竿福澳港風力測站為 2 處(W1 及 W2)，中央氣象署建置的南竿風力測站為 1 處(W3)。
3.報告第 1-7 頁，TEST6 尖峰值檢驗的數據計算處理方式內容描述會有不同解讀方式，請釐清。	3.感謝委員意見，已補充計算說明，請參見報告第 1-7 頁。
4.報告第 1-7 頁，TEST8 請問連續相同值如果標記為 3 可疑值，請問可疑值後續之處理方式。	4.依據 IOOS 之海洋即時資料品保手冊建議處理方式，可疑值仍保留並納入分析。
5.請問 TEST11 鄰站比對檢驗，未來是否考量納入資料品管，或可有補遺的功能。	5.感謝委員建議，未來評估後視需求納入品管，本計畫選擇品管的方式主要係選擇有標記 4 可以刪除異

	常值藉以提升資料品質，TEST11於手冊上並無標記4之方式;本計畫研究結果可提供未來相關研究人員做資料補遺之參考。
6.南竿 W3 能多年蒐集率 100%之可能原因，可否供他站借鑒。	6.感謝委員建議，中央氣象署於馬祖南竿夫人嶺建置有馬祖氣象站(W3 測站設置位置)，設有主任 1 人，觀測員 4 人，作業方式採 11 小時輪班，如經費允許可供參考。
7.報告第 2-25 頁表 2-2 離群值的設定，如何決定這些數據，例如風速上限 10m/s，下限 4m/s 等是如何決定?	7.參考陳冠宇等人(2022)「應用智慧監測進行海象數值同化研究(1/4)-臺中港監測資料智慧檢核及補遺」的設定，並且實際調整上下限值測試，得出上述研究設定值成效較佳。
8.報告第3-5頁,夏季風場東莒吹東北風,西莒吹北北西，這與一般大環境氣候現象似乎相反，請問可能原因?。	8.此特性推測係與測站佈設之地形環境有關。
9.報告提出夏季最大風速發生在東引浮標測站達 14.9m/s(北北西風)，其次為東引測站 12.88m/s(北北東風)，並說明經查皆屬於颱風期間觀測值，但是輕度颱風期間至少也有 8 級風 17.2m/s 以上，且觀察期間從 2018~2023 年，長期觀察的颱風風速數值過低，似乎不合理。	9.感謝委員意見，經查中央氣象署資料浮標觀測年報夏季最大平均風速值與本計畫研究成果一致，續查觀測資料於秋季颱風最大平均風速高於夏季且有出現 8 級風以上，資料係屬正常。
10.報告第 3-19 頁，海流資料特性中，說明海流測站除了東引浮標 A9-2 測站，其餘為陸地測站，不是還有 A9-1 浮標測站?	10.本計畫未使用 A9-1 測站(2018 年遺失)進行海流特性分析。

11.現況水動力模擬計算有驗證潮位與海流，另外波高也很重要，未來建議納入波高模擬。	11.感謝委員建議，未來評估後將納入波高模擬及驗證。
12.既然已經有完成 TEST4、6、8 品管程式，是否用於其他港目前的監測資料或回頭檢視歷史資料，藉以提高既有歷史觀測資料之可靠性。	12.感謝委員建議，本計畫品管目前僅限於馬祖四鄉五島各港口測站資料，經驗可提供未來相關研究人員於其他港使用觀測資料品管之參考。
二、許弘莒委員	
1.本計畫使用 QA、QC 先進行量測數據之品質，並分析數據之相關特性，最後使用數模模擬季風與颱風期間之海流特性，整體而言，報告內容豐富完整，具創新價值，報告亦相當完整及嚴謹，相當值得肯定。	1.感謝委員肯定。
2.QA、QC 可以再增加其他檢測程序，再利用品管後之數據進行統計分析，如報告第 1-8 頁 1.3.2 節所述。	2.感謝委員建議,未來評估後將視情況採用其他品管方式。
3.數據分析顯示部分測站受地形影響，此需有明確之科學數據佐證。	3.感謝委員建議，未來將考慮結合測站周邊地形高程、坡度、方向等因子，探討地形對測量數據的可能影響，並搭配數值模式進行模擬，以驗證數據影響範圍及程度。
4.Mike 21 進行模擬，建議先從參數率定驗證出發，調整出一組適合本海域之優化參數值。此外，需再優化海流之驗證成果。	4.感謝委員建議，未來將視情況納入參數調整及驗證，並且加入波浪輻射應力，藉以優化海流模擬成果。
5.最後建議更進一步往波浪模擬之目標前進。	5.感謝委員建議，未來將納入研究評估。
三、吳曉虎委員	
1.有關運技中心協助連江縣四鄉五島各	1.感謝委員肯定。

港口設置海氣象觀測站(風力、波浪及海流)，對於連江縣港灣結構物設計及施工有重要參考價值，給予高度評價。	
2.在連江縣四鄉五島長期設置(風力、波浪及海流)觀測站蒐集觀測資料，實在是一件不容易的事，更在有限的數據能運用品管機制，讓分析結果能提供參考價值，感謝運技中心的努力。	2.感謝委員肯定。
3.有關長期觀測資料來源以中央氣象署的觀測資料最為穩定，未來可否請中央氣象署協助設置各島關鍵觀測站，以彌補部分測站因損壞無法提供資料的缺憾。	3.感謝委員建議，港區海氣象觀測非中央氣象署執掌範圍，相關預算也與本中心甚有差異，本計畫僅蒐集及分析各海氣象測站觀測資料，並無針對各島關鍵觀測站設置做評估。
4.連江縣政府持續進行四鄉五島港灣結構物之設計、施工，設計時顧問公司通常會提供水工模型試驗結果，未來如何提供讓本研究報告更臻完善，有關顧問公司所提供之水工模型試驗成果，可否請運技中心協助審查並提供卓見；若設計成果可供利用，連江縣政府亦同意無償提供運技中心。	4.感謝委員建議及支持，如有需要可洽本所協助審查及提供意見。
5.第四章之模擬流場包括圖 4.9、4.10、4.13、4.14、4.17 及 4.18 頗具參考價值，可否將箭頭繪製更清晰，文字說明更淺顯易懂，以利後續使用。	5.感謝委員建議，相關圖片已放大處理，文字說明會再加以補充。
四、本所運輸技術研究中心 **(一)林雅雯科長**	
1.報告第 2-24 頁建議列出 TEST4、TEST6 及 TEST8 說明。	1.感謝委員建議，已補充說明於報告第 1-7 頁。
2.報告第 2-27 頁 TEST8 的功能是儀器或	2.該品管方式為 IOOS 之海洋即時資

其他硬體設備故障的早期徵兆，圖 2.33 儀器似沒損壞，是否要品管刪除數據?	料品保手冊建議處理方式，標記 4 的異常值需要刪除。
3.報告第 3-6 頁圖 3.1~3.2 建議圖名加註統計期間。	3.由於各港口測站歷年夏、冬季統計年份不一，全部呈現將顯得雜亂，為此補充「各測站統計期間如附錄二」文字以供參考。
4.報告第 4-12 頁海流建議後續進一步分析觀測數據 N、E 向數據並與模擬結果比較。	4.感謝委員建議，未來評估後將視情況納入研究分析。
5.應用研究建議可加入應用於馬祖海情資訊系統情形。	5.感謝委員建議，相關論述已補充於報告第 1-12 頁。
(二)林達遠副研究員	
1.本報告書內容豐富，包含海氣象資料品管、特性分析及數值模擬成果，先予以肯定。惟建議可於第一章再加強報告前後章節關聯性之論述。	1.感謝委員建議及肯定，相關論述已補充於報告第 1-2 頁。
2.報告第 1-6 頁，使用美國海洋綜合觀測系統(IOOS)之海洋即時資料品保手冊(QARTOD)進行資料品管，檢驗項目如表 1-3，惟該表係針對風力觀測資料設計，建議波浪及海流可參考 QARTOD 對應之檢驗方式進行資料品管(波浪檢驗項目 21 項，海流檢驗項目 20 項)。	2.感謝委員建議，IOOS 之海洋即時資料品保手冊品管項目甚多，風力、波浪及海流亦有相同品管項目，本計畫係選擇有關鍵影響力的品管項目做檢驗，至於是否增加，未來將視情況評估是否納入研究分析項目。
3.報告第 2-1 頁，提到目前國內進行海氣象觀測相關機關，建議機關以全銜表示，另國內相關機關應還有內政部、經濟部水利署及地質調查及礦業管理中心等。	3.感謝委員建議，機關全銜及國內其他相關機關已補充於報告第 2-1 頁。
4.報告第二章，圖 2.1~圖 2.29，各港區測站資料蒐集率統計圖，建議可將圖形調整成在同一頁或在跨頁圖形均顯示	4.感謝委員建議，圖 2.1~圖 2.29 已調整跨頁圖形均顯示圖說。

圖說。	
5.報告第三章，建議針對各測站先進行特性分析，再將特性相似的測站進行相關性分析，可獲得較佳之結果。	5.感謝委員建議，本計畫係使用佈設於馬祖四鄉五島各港口所有測站觀測資料，如實呈現各測站間相關性及特性，以達其廣度，未來相關研究人員可參考研究結果進行更深入分析。
6.報告第四章，水動力數值模式模擬成果僅呈現與觀測資料比較驗證之結果，建議可再增加應用案例。	6.感謝委員建議，未來將評估納入應用案例。
7.報告內容文字誤植處諸多，如第 2-12 頁第一段「風力」測站應為「波浪」測站，第 4-5 頁表 4-4「軟」啟動應為「暖」啟動，第 4-8 頁表 4-6~表 4-11，決定係數「R2」應為「R^2」。	7.感謝委員意見，報告內容文字誤植處已全數修正。
(三)黃宇謙副研究員	
1.報告第 1-1 頁說明「連江縣政府委託運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)辦理…(略)」，第 4-1 頁則為「交通部運輸研究所代辦連江縣政府…(略)」。查報告其他地方多以「使用運技中心海氣象資料…」做為撰寫，建議統一用字。	1.感謝委員意見，報告中相關文字已統一用字。
2.報告第 1-7、1-8 頁…標號後應適當縮排，以利排版及觀看，請瀏覽整份報告並逐一進行調整。	2.感謝委員意見，已適當調整縮排。
3.報告第 2-2~2-24 頁中之圖 2.1~2.9，應盡量讓同一張圖維持同一頁，以利閱讀。	3.感謝委員建議，圖 2.1~圖 2.29 已調整跨頁圖形均顯示圖說。
4.報告第 2-29 頁，「(前略)…經人工檢視，上述資料未通過筆數較多且集中時，	4.感謝委員意見，報告 2-29 頁已修正為檢出後剔除。

資料通常有頻繁中斷的現象，反映儀器當時可能不穩定，並且頻繁出現高值資料，應予以檢出。」「檢出」是否應為「剔除」?或「檢出後剔除」? 5.報告第 5-1 頁，結論第 1 點，「(前略)…可能為儀器故障之早期徵兆之資料，這些經驗可提供後續資料使用者進行品管時之參據。」是否亦可提供儀器維護人員進行參考?	5.感謝委員建議，相關研究成果及經驗亦可提供儀器維護人員進行參考，已補充於報告第 5-1 頁。