

114-020-7D89
MOTC-IOT-113-H2CA001a

商港風力觀測技術精進及強風 特性分析之研究



交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114-020-7D89
MOTC-IOT-113-H2CA001a

商港風力觀測技術精進及強風 特性分析之研究

著者：許義宏、李俊穎、林達遠、羅冠顯、林受勳、陳天時
陳子健、陳孟宏、柯拓宇

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究 /

許義宏, 李俊穎, 林達遠, 羅冠顯, 林受勳, 陳天時, 陳子健, 陳孟宏, 柯拓宇著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 114.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-643-3(平裝)

1.CST: 海洋氣象 2.CST: 氣象觀測 3.CST: 港埠

444.94

114001556

商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

著 者：許義宏、李俊穎、林達遠、羅冠顯、林受勳、陳天時、
陳子健、陳孟宏、柯拓宇

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：200 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：104472 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)2518-0207

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

GPN：1011400209 ISBN：978-986-531-643-3 (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。

GPN : 1011400209
定價 200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-643-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1011400209	運輸研究所出版品編號 114-020-7D89	計畫編號 113-H2CA001a
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：許義宏 研究人員：李俊穎、林達遠、羅冠顯、林受勳、陳天時、陳子健、陳孟宏、柯拓宇 聯絡電話：04-26587196 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 113 年 1 月 至 113 年 12 月
關鍵詞：臺灣主要商港、風力觀測、強風特性、颱風分析			
<p>港口和航運對全球經濟運作至關重要，促進了全球近 80% 以上的貿易活動，而我國為海洋國家，港口更是臺灣對外重要的航運樞紐。然而受到氣候變化和自然災害的威脅，強風等氣象因素造成的事故可能導致整個供應鏈的負面衝擊並造成經濟損失，同時船舶大型化亦導致船舶所受風力增大，使船舶操作及航行更加複雜。</p> <p>為提供臺灣主要商港臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、澎湖港、臺中港域船舶停靠、船舶進出、碼頭作業、港區結構物設計與防災預警等所需相關資料，本計畫持續精進商港風力觀測技術，探討風力測站之觀測誤差量及儀器驗證測試，同時針對商港風速機率及變異性進行探討，並分析其強風特性。本計畫具體成果及提供應用情形如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 針對不同年期之超音波式風速計量測結果、不同儀器量測特性、最大風速之計算方法、平均風向之計算方法等內容進行探討及分析，分析結果可提供國內相關單位做為風力站設置及管理單位做為儀器選用、原始資料計算及發布之參考依據。 2. 完成 2023 年度風力觀測資料年報，提供各港風速、風向之歷線圖、風玫瑰圖、風速風向聯合機率分析表等圖表等資訊，並針對特定港口進行強陣風特性分析及 2024 年上半年侵台之颱風影響分析，提供交通部航港局、港務管理單位、工程顧問公司做為港灣工程規劃設計、港埠建設、航行安全及營運維護參考依據。 3. 完成強陣風（包括強風延續時間、累積時間及陣風因子等）及測站紊流強度分析，並進一步針對風力變異性較大之特定港口（如臺中港、澎湖港、花蓮港、布袋港）分析其強陣風特性，以提供港務管理單位應用。 			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
114 年 3 月	180	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Research on the improvement of wind observation technology in commercial ports and analysis of strong wind characteristics			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-643-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400209	IOT SERIAL NUMBER 114-020-7D89	PROJECT NUMBER 113-H2CA001a
DIVISION : Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR : Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR : Yi-Hung Hsu PROJECT STAFF : Chun-Ying Lee, Da-Yuan Lin, Guan-Sian Luo, Shou-shuin Lin, Tian-Shih Chen, Tzu-Chien Chen, Meng-Hung Chen, To-yu Ko PHONE : (04)26587196 FAX : (04)26564418			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2024 TO Dec. 2024
KEY WORDS: Taiwan's major commercial ports, wind observation, strong wind characteristics, typhoon analysis			
<p>Ports and shipping are vital to the functioning of the global economy, facilitating nearly 80% of global trade activities. However, due to the threat of climate change and natural disasters, accidents caused by strong winds and other meteorological factors may cause negative impacts on the entire supply chain and cause economic losses. At the same time, the increase in the size of ships has also led to an increase in the wind force on the ships, making ship operation and navigation more complicated.</p> <p>This project is to provide relevant information required for ship berthing, ship entry and exit, terminal operations, port structure design and disaster prevention warning in major commercial ports in Taiwan, including Taipei Port, Keelung Port, Su'ao Port, Hualien Port, Kaohsiung Port, Anping Port, Budai Port, Penghu Port, Taichung Port, etc. This project continues to improve the commercial port wind observation technology, explore the observation error of wind stations and instrument verification tests, and at the same time explore the probability and variability of wind speed in the commercial port and analyze its strong wind characteristics. The specific results and application scenarios of this project are as follows:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. This project discusses and analyzes ultrasonic anemometer measurement results from different years, the measurement characteristics of different instruments, the calculation method of maximum wind speed, and the calculation method of average wind direction. The project analysis results can be provided to relevant domestic agencies as a reference for wind power station installation, instrument selection, raw data calculation and publication. 2. The project also completed the 2023 annual report on wind observation data, providing information such as charts and graphs of wind speed and direction for each port, wind rose diagrams, and wind speed and direction joint probability analysis tables. At the same time, the project also completed the analysis of strong gust characteristics at specific ports and the impact of typhoons that will invade Taiwan in the first half of 2024. The results will be provided to relevant domestic agencies as a reference for port engineering planning and design, port construction, navigation safety, and operation and maintenance. 3. The project completed the analysis of strong gusts (including duration of strong winds, cumulative time, and gust factors) and station turbulence intensity, and further targeted specific ports with large wind variability (such as Taichung Port, Penghu Port, Hualien Port, Budai Port, etc.) The strong gust characteristics of the port are analyzed to provide application to the port management authorities. 			
DATE OF PUBLICATION March, 2025	NUMBER OF PAGES 180	PRICE 200	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄	III
圖目錄	V
表目錄	VIII
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 前期計畫成果摘述.....	1-2
1.3 計畫內容與工作項目	1-3
第二章 風力觀測系統概述	2-1
2.1 風力觀測方法及定義.....	2-1
2.2 風力觀測儀器.....	2-2
2.3 風力觀測系統架構.....	2-5
2.4 風力觀測系統維護與保養	2-10
2.5 風力資料品管機制.....	2-14
第三章 商港風力觀測技術精進	3-1
3.1 風力觀測方法與統計方式	3-1
3.2 風力量測不確定性之探討	3-4
3.3 小結.....	3-41
第四章 商港強風特性分析	4-1
4.1 港區主要測站風力特性	4-1
4.2 港區強陣風特性.....	4-16
4.3 紊流強度之計算與應用	4-26
4.4 颱風事件分析.....	4-38
4.5 小結.....	4-46
第五章 結論與建議	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-3
5.3 成果效益及應用情形.....	5-4
參考文獻.....	參-1

附錄一	簡報資料附 1-1
附錄二	工作會議暨專家學者座談會紀錄附 2-1
附錄三	期末報告審查意見處理情形附 3-1

圖目錄

圖 2.1	基隆港風力測站位置圖	2-5
圖 2.2	臺北港風力測站位置圖	2-6
圖 2.3	臺中港風力測站位置圖	2-6
圖 2.4	布袋港風力測站位置圖	2-7
圖 2.5	安平港風力測站位置圖	2-7
圖 2.6	高雄港風力測站位置圖	2-8
圖 2.7	蘇澳港風力測站位置圖	2-8
圖 2.8	花蓮港風力測站位置圖	2-9
圖 2.9	澎湖港風力測站位置圖	2-9
圖 2.10	QARTOD 資料品管手冊標記方式.....	2-15
圖 3.1	運技中心風速站現場配置圖	3-6
圖 3.2	臺中港不同年期超音波式風速計 1 分鐘資料綜合分析圖	3-7
圖 3.3	臺中港不同年期超音波式風速計 1 分鐘風向資料分析圖	3-8
圖 3.4	臺中港不同年期超音波式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖	3-9
圖 3.5	臺中港不同年期超音波式風速計 10 分鐘風向資料分析圖	3-10
圖 3.6	基隆港風速站現場配置圖	3-11
圖 3.7	基隆港相同年期超音波式風速計 1 分鐘資料綜合分析圖	3-12
圖 3.8	基隆港相同年期超音波式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖	3-13
圖 3.9	基隆港相同年期超音波式風速計風向資料分析圖	3-14
圖 3.10	基隆港超音波式與螺旋槳式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖	3-15
圖 3.11	基隆港超音波式與螺旋槳式風速計風向資料分析圖	3-16
圖 3.12	臺中港超音波式與風杯式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖	3-17
圖 3.13	臺中港超音波式與風杯式風速計風向資料分析圖	3-18
圖 3.14	臺中港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-21
圖 3.15	布袋港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-22
圖 3.16	安平港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-23
圖 3.17	高雄港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-24
圖 3.18	花蓮港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-25
圖 3.19	蘇澳港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-26
圖 3.20	基隆港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-27
圖 3.21	臺北港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-28
圖 3.22	澎湖港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖	3-29
圖 3.23	臺中港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-32
圖 3.24	布袋港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-33
圖 3.25	安平港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-34

圖 3.26	高雄港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-35
圖 3.27	花蓮港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-36
圖 3.28	蘇澳港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-37
圖 3.29	基隆港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-38
圖 3.30	臺北港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-39
圖 3.31	澎湖港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖	3-40
圖 4.1	臺中港 2023 年逐月風速機率圖	4-7
圖 4.2	安平港 2023 年逐月風速機率圖	4-8
圖 4.3	布袋港 2023 年逐月風速機率圖	4-9
圖 4.4	高雄港 2023 年逐月風速機率圖	4-10
圖 4.5	花蓮港 2023 年逐月風速機率圖	4-11
圖 4.6	蘇澳港 2023 年逐月風速機率圖	4-12
圖 4.7	基隆港 2023 年逐月風速機率圖	4-13
圖 4.8	臺北港 2023 年逐月風速機率圖	4-14
圖 4.9	澎湖港 2023 年逐月風速機率圖	4-15
圖 4.10	臺中港歷年強風日曆圖	4-17
圖 4.11	臺中港風速分時密度圖	4-18
圖 4.12	臺中港強風發生時間折線圖	4-18
圖 4.13	臺中港北防波堤風速超過 22m/s 之烈風日曆圖	4-19
圖 4.14	蘇澳港陣風發生時間折線圖	4-22
圖 4.15	花蓮港陣風發生時間折線圖	4-22
圖 4.16	澎湖港陣風發生時間折線圖	4-23
圖 4.17	布袋港陣風發生時間折線圖	4-23
圖 4.18	蘇澳港陣風因子與平均風速關係圖	4-24
圖 4.19	花蓮港陣風因子與平均風速關係圖	4-24
圖 4.20	澎湖港陣風因子與平均風速關係圖	4-25
圖 4.21	布袋港陣風因子與平均風速關係圖	4-25
圖 4.22	臺中港紊流強度分析圖	4-27
圖 4.23	布袋港紊流強度分析圖	4-28
圖 4.24	安平港紊流強度分析圖	4-29
圖 4.25	高雄港紊流強度分析圖	4-30
圖 4.26	花蓮港紊流強度分析圖	4-31
圖 4.27	蘇澳港紊流強度分析圖	4-32
圖 4.28	基隆港紊流強度分析圖	4-33
圖 4.29	臺北港紊流強度分析圖	4-34
圖 4.30	澎湖港紊流強度分析圖	4-35
圖 4.31	臺中港北堤綠燈塔風速計位置圖	4-36
圖 4.32	蘇澳港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖	4-36

圖 4.33	花蓮港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖	4-37
圖 4.34	澎湖港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖	4-37
圖 4.35	布袋港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖	4-37
圖 4.36	凱米颱風路徑圖	4-39
圖 4.37	凱米颱風期間花蓮港紊流強度與風速歷線圖	4-40
圖 4.38	凱米颱風期間蘇澳港紊流強度與風速歷線圖	4-40
圖 4.39	凱米颱風期間高雄港紊流強度與風速歷線圖	4-41
圖 4.40	凱米颱風期間安平港紊流強度與風速歷線圖	4-41
圖 4.41	凱米颱風期間臺中港紊流強度與風速歷線圖	4-42
圖 4.42	山陀兒颱風路徑圖	4-43
圖 4.43	山陀兒颱風期間高雄港紊流強度與風速歷線圖	4-44
圖 4.44	山陀兒颱風期間安平港紊流強度與風速歷線圖	4-44
圖 4.45	山陀兒颱風期間臺中港紊流強度與風速歷線圖	4-45
圖 4.46	山陀兒颱風期間澎湖港紊流強度與風速歷線圖	4-45

表目錄

表 2-1	風速計儀器規格表	2-3
表 2-2	各港區風力測站位置及使用儀器一覽表	2-4
表 2-3	風力觀測系統維護紀錄表	2-12
表 2-4	風力觀測系統更新改善情形表	2-13
表 2-5	各測站系統 2023 年妥善率及風力資料品管通過率	2-19
表 3-1	實驗比對風速計規格表	3-4
表 3-2	不同年期風速計之受測器差值彙整表	3-5
表 3-3	不同年期風速計之擴充不確定性彙整表	3-5
表 3-4	各商港主要風力測站最大風速計算方法分析結果統計表	3-19
表 3-5	各商港平均風向計算方法比較表	3-30
表 4-1	各港區主要測站 2023 年全年風速重要統計量	4-1
表 4-2	各港區主要測站 2023 年冬季風速重要統計量	4-2
表 4-3	各港區主要測站 2023 年春季風速重要統計量	4-2
表 4-4	各港區主要測站 2023 年夏季風速重要統計量	4-3
表 4-5	各港區主要測站 2023 年秋年風速重要統計量	4-3
表 4-6	各港區主要測站 2023 年全年風向重要統計量	4-4
表 4-7	各港區主要測站 2023 年冬季風向重要統計量	4-4
表 4-8	各港區主要測站 2023 年春季風向重要統計量	4-5
表 4-9	各港區主要測站 2023 年夏季風向重要統計量	4-5
表 4-10	各港區主要測站 2023 年秋年風向重要統計量	4-6
表 4-11	各港區最大風力測站之強風延時	4-16
表 4-12	各港區最大風力測站之陣風發生比例	4-20
表 4-13	各港區最大風力測站之強陣風發生比例	4-20
表 4-14	各商港 2023 年測站強陣風發生機率	4-21
表 4-15	各商港主要測站紊流強度百分比統計表	4-26
表 4-16	2024 年有發布警報之颱風列表	4-38
表 4-17	凱米颱風期間各商港最大風力統計資料表	4-39
表 4-18	山陀兒颱風期間各商港最大風力統計資料表	4-43

第一章 前言

1.1 計畫緣起

港口和航運對全球經濟運作至關重要，促進了全球近 80%以上的貿易活動，而我國為海洋國家，港口更是臺灣對外重要的航運樞紐。然而受到氣候變化和自然災害的威脅，強風等氣象因素造成的事故可能導致整個供應鏈的負面衝擊並造成經濟損失，同時船舶大型化亦導致船舶所受風力增大，使船舶操作及航行更加複雜。

2021 年 3 月 23 日埃及標準時間上午 7 時 40 分，長榮海運貨櫃船長賜輪在埃及蘇伊士運河擱淺，該受風速高達 40 節的強風吹襲而偏離航道，繼而與運河底部碰撞並擱淺，完全阻塞了運河，造成國際航運的重大影響。而我國商港及船舶面臨強風所造成之海事案件，國家運輸安全調查委員會於 2021 年 9 月針對 109 年 3 月 9 日臺北港「永華 6 號引水船於臺北港內與騏龍輪碰撞導致翻覆」案，建議航港局與相關單位共同協商訂定各港「天候不良」及「特殊狀況」引水人無法出港口接船之標準，其中風力條件更是各港船舶進出港之重要管制標準之參考依據。

為提供臺灣主要商港臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、澎湖港、臺中港及馬祖港域船舶停靠、船舶進出、碼頭作業、港區結構物設計與防災預警等所需相關資料，交通部運輸研究所(以下簡稱本所)自民國 75 年起陸續於臺灣各港建置長期性風力觀測系統，目前本所協助臺灣港務股份有限公司及連江縣政府代管風力觀測站計有 32 站，構成我國商港風力觀測網。

此外，另依據我國職業安全衛生法之相關規定，有遇強風、大雨等惡劣氣候致勞工有墜落危險時，應使勞工停止作業。在多數商港平均風力達 7 級以上（疾風）時，亦可要求船舶暫停進出港口。因此，面對極端氣候及港區防災應變需要，傳統以平均風力為主之統計指標已無法即時反映現場風力環境，航港管理單位需要掌握到 10 分鐘之平均風速，甚至於 1 分鐘之平均風速、最大風速及風力變動（如陣風或紊流強度等）情形。爰本計畫將持續精進商港風力觀測技術，探討風力測站之觀測誤差量及儀器驗證測試，同時針對商港風速機率及變異性進行探討，並分析其強風特性。

1.2 前期計畫成果摘述

為達成「發展海洋及交通運輸防災技術研究，提升港灣及道路災害應變作業效能」科技施政佈局，本所分別於 107~110 年及 111~114 年辦理「海洋及交通運輸防災技術研究」及「陸運及港灣設施防災技術研究」，藉由落實港區環境監測及發展港區環境監控預警機制，以保障民眾運輸安全。本計畫屬於上述綱要之子項計畫，透過商港完善風力監測網建立、及即時觀測資料品質強化，提供船舶停靠、船舶進出、碼頭作業、港區結構物設計與防災預警等應用參據。前期重要成果摘述如下：

110 年「國際商港強風及陣風特性分析(1/2)-以臺中港為例」，針對臺中港區 6 個風力測站，完成臺中港各區域之風力特性分析，提出港區各站平均風及最大風速以及不同測站平均風線性相關函數，並依不同季節計算 2 種異常風發生情形、發生機率及發生時之最大陣風與平均風速之差值大小。相關成果可提供航港局、港公司或其他港區相關單位作為港區作業安全、防災預警、船舶進出港等之參考，並做為後續風力預測、風浪分析、風能發電等之議題做進一步之研究應用。

111 年「110 年主要商港風潮觀測與特性分析」，除進行 11 個商港風力統計外，特別利用陣風因子與平均風速、最大風速之關係，針對高雄港在不同類型強陣風事件下之風力預測模型，其成果可初步運用於長延時之颱風事件及短延時之強風事件，惟本計畫是以高雄港做參數之調整，若要適用於其他港則需進一步做參數之調校，另一方面還需測試更多場事件去看其效果，計算其在統計上之成功率，才能更完善陣風因子之風力預測模型。

111 年「臺灣主要商港風力觀測及特性分析」，以 2021 年 9 月至 2022 年 8 月高雄港 5 處風力觀測站之資料，進行資料品管與補遺，並以補遺後之資料進行各測站之特性分析。品管與補遺方法，參考美國國家資料浮標中心制定之品管手冊(NDBC Technical Document 09-02) 之原則，採合理性、連續性、相關性進行：以儀器之觀測性能作為合理性品管之閾值，以移動平均 2 小時差值之標準差 3 倍進行連續性品管，以分段三次 hermite 內插法進行 1 小時內中斷資料之補遺，並以各測站間風速、風向之相關係數及迴歸斜率，建立迴歸關係式，以進行大於 1 小時中斷資料之補遺。資料經品管與補遺前後相較，具有一致性，可依循此品管與補遺方法持續精進，使資料更為完整與精確，並依此方法補遺後資料初步探討各測站之風速風

向特性差異，作為後續測站位置與周圍環境等條件對於風力風向影響之探討。

112 年「商港海氣象風力預警機制探討」，綜整港區目前相關實務管理要點及文獻，並調查瞭解各商港對風力示警燈號設定門檻值之需求與建議，據以建提出商港海氣象風力預警機制之建議。計畫蒐集國內預警燈號訂定原則、商港進出港管制標準、港區風力管制相關實務作業管理要點等文獻，進行回顧與研析。接著再以專家問卷調查，蒐集熟稔或實際負責港區海氣象條件管制之最終使用者(end user)對商港風力示警燈號條件之意見。商港海氣象風力資料預警機制可提供港務公司、海事人員等各界應用，讓相關人員能夠迅速掌握商港風力監測資訊之變化與告警，以做為決策支援，提升港埠營運效率與船舶航行安全。

113 年「商港風力觀測及統計分析」，除完成各港風力觀測資料庫整合及更新作業，以提升風力觀測資料庫之效能及安全性。同時，藉由自動化品管機制導入，將原始資料(未經品管)及品管後資料分類彙整，提供臺灣港務股份有限公司可依需求選用所需之資料庫。另外本計畫針對特定港口進行強陣風特性分析及近 2 年颱風影響分析，以提供交通部航港局、港務管理單位、工程顧問公司做為港灣工程規劃設計、港埠建設、航行安全及營運維護參考依據。

1.3 計畫內容與工作項目

本計畫針對臺灣各主要商港鄰近海域範圍之風力進行資料觀測、整理與分析並出版年報報告，並持續精進商港風力觀測技術，探討風力測站之觀測誤差量及儀器驗證測試，同時針對商港風速機率及變異性進行探討，並分析其強風特性。其主要工作項目及內容如下：

1. 商港風力觀測技術精進

市面上常用之風速計大致有螺旋槳式、達因式、熱線式、超音波式風速計，近年來隨著遙測技術發展，亦有透過光達方式間接量測剖面風速及風向等技術發展。目前本所於各商港主要使用之風速計係以二維超音波式風速計，相較於中央氣象署及商港交通服務中心普遍使用之螺旋槳式風速計，其具有高靈敏性及高耐用性，可符合港區高溼高鹽之惡劣環境條件。

本計畫透過高靈敏性之超音波式風速計，進行逐秒風力數據量測，比對在取樣頻率及方法下之平均風速風向差異性及應用性，以做為未來港區風力量測方式及觀測技術精進之參考依據。

本計畫蒐集國內外觀測技術相關文獻，包括世界氣象組織等重要之風力觀測技術及方法，並利用逐秒風力數據量測資料，計算每分鐘及每 10 分鐘之風速風向統計資料，並比較不同計算方法(如單位平均、單位向量平均)之差異性，同時在最大風速之計算上，比對最大瞬間風速及 3 秒移動平均法之差異。另外，計算每分鐘及每 10 分鐘之紊流強度，以建立港區風力觀測數據應用之多元參考指標。

2. 風速量測不確定性探討

風速計受到安裝位置、使用年期、鄰近結構物及環境因素(如溫度、濕度、降雨、氣膠及鏽蝕)等影響，對於量測數據均存在不確定性，因此，需要透過實驗室進行數據檢校。為探討風速量測不確定性，本計畫初步針對不同年期之風速計進行實驗設計並比對風力量測數據，以確認同期及不同期儀器之量測不確定性。

本計畫亦蒐集國內外儀器檢測及實驗室相關文獻，並針對中央氣象署之螺旋槳式風速計及本所設置於基隆港光華塔之超音波式風速計進行比對，瞭解不同觀測原理之差異性；同時於本所運輸技術研究中心頂樓架設 2 座臨時測站，針對不同年期之超音波式風速計進行量測比對，以瞭解不同年期儀器之影響性。另外，與國內重要風洞實驗室合作，進行風速計之風洞測試，以律定儀器量測之不確定性，並建立風速測站之校正因子。

3. 港區強風特性分析

沿海及空曠地區容易產生強風現象，其中在港區船舶進出、大型機具及貨物堆放等，如若發生強陣風，均有致災風險。本計畫將針對特定港口探討不同時期及區域之強陣風發生機率，以提供港口管理單位參考應用。

本計畫針對我國主要商港在不同空間及時間域之風速機率進行分析，建立我國商港之風速機率模型。此外，針對港區風速變異性及強陣風特性進行分析，包括陣風因子、強風延續時間及累積時間等評估指標，以瞭解各港強陣風發生機率及潛在熱點。

第二章 風力觀測系統概述

2.1 風力觀測方法及定義

根據世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）規定，風是空氣流動的三維向量，除了少數需要考量三維風速的情境下，如空氣污染物傳播及飛行器之航空需要，大多數僅以水平方向的二維向量風速。在標準風速量測時，需要在開闊地形之下，且離地 10m 的高度下進行。其中開闊地形的定義為：一個區域內，風速計與任何障礙物之間的距離必須為障礙物的 10 倍高度。如果風速計安裝在建築物則理論上該傳感器應安裝在建築物 1.5 倍的高度。如果傳感器被安裝在塔或桅杆的懸臂吊杆，則此吊杆的高度應至少是兩倍長的最小直徑或塔架的對角線，且懸臂吊杆應位在塔的盛行風側。實際上，受到港區結構物及用地取得之影響，要在上述條件進行風力量測，有其困難性，因此必要時仍需要對風力量測數據進行修正。

風速風向觀測，量測風向的儀器就是風標，較常見的風速計就是旋轉風速計。風愈大，風杯或扇葉就轉得愈快。海上亦常採用旋槳式風速風向計。近年來因超音波技術成熟，漸改成超音波風速計觀測，此型風速計特點之一為不具備機械軸承結構，故無磨損問題，因此，本所於 103 年起已全面改用二維超音波式風速風向儀。本計畫風力量測頻率為 1Hz（即每分鐘量測 60 筆風速及風向資料）並進行統計分析，並依據港務管理單位需要，分別產出每分鐘 1 筆及每 10 分鐘 1 筆之平均風速、平均風向、最大風速及對應風向與最大風速時間。本計畫採用之定義如下：

1. 風速：指單位時間空氣移動之距離。
2. 平均風速：取觀測時間段內，儀器狀態碼為正常之逐筆風速資料算術平均值。
3. 風向：風向是風的來向，如果風向是北，則風是從北向南行進的。風向角度採以正北方為基準點，順時針測量該方位的角度，即正北方為 0 度，順時針增加至 359 度。
4. 平均風向：取觀測時間段內，取風向之單位向量平均值，即令觀測時間內之樣本風速為 1，僅以風向進行向量平均值之計算。

5. 最大風速：觀測資料中取觀測時間段內，每 3 秒移動平均風速之最大值。
6. 最大風之對應風向：最大風風速所對應的瞬間風向。
7. 儀器量測頻率：本計畫設定之儀器量測為 1Hz，即每秒取樣一筆風速及風向資料。
8. 紀錄及編報方式：以每分鐘 1 筆及每 10 分鐘 1 筆之平均風速、平均風向、最大風速及對應風向與最大風速時間進行紀錄及編報，其中在每分鐘取樣之樣本數少於 75% 下，則不編報 1 分鐘資料，另 10 分鐘內之每分鐘資料未達 10 筆，亦不編報 10 分鐘資料。

2.2 風力觀測儀器

根據 WMO 規定，標準風力量測之取樣頻率應高於 1Hz，其解析度在風速方面應達到 0.5m/s，在風向方面應達到 1°；而風速量測不確定性方面應小於 0.5m/s（小於 5m/s）及 $\pm 10\%$ （大於 5m/s），風向不確定性應小於 5°。在風力資料編報部分，對於不同氣候應用要素，可採用 1 分鐘、2 分鐘及 10 分鐘之平均值。

本所早期於各港區所採用之風速風向觀測儀共分 3 款，分別為英國 GILL 公司所生產 WindSonic、GMX500（氣象站）及日本 SONIC 公司所生產之 SA-20 二維超音波式風速風向儀，為強化系統穩定性及觀測作業標準化，於 2023 年儀器更新時，統一使用觀測儀器為 GILL 公司所生產 WindSonic。該儀器資料量測頻率 1Hz，持續觀測港區內 1 分鐘及 10 分鐘內平均風速、平均風向、最大陣風及最大陣風時風向等數值，期間相關資料係透過觀測站內無線傳輸系統，將所測得風力觀測資料即時回傳至本所海氣象資料庫中儲存，其儀器規格如表 2-1，港區各測站位置及使用儀器如表 2-2。

表2-1 風速計儀器規格表

儀器型號	GILL WindSonic	SONIC SA-20	GILL GMX500
輸出頻率	0.25Hz、0.5Hz、1Hz、2Hz、4Hz	1Hz、4Hz、10Hz	1Hz
風速測量範圍	0~60 m/s	0~90 m/s	0~60m/s
精度	±2% (在 12m/s 時)	±0.2m/s 或 ±5%	±3%(0~40m/s)、±5% (40 ~ 60m/s)
解析度	0.01 m/s	0.01m/s	0.01 m/s
風向測量範圍	0~359°	0~359°	0~359°
風向測量誤差	±3° (在 12m/s)	±3°	±3°
解析度	1°	0.1°	1°
通訊格式	RS232	RS422	RS232
輸出參數	瞬間風向、瞬間風速、U 軸風速和極性(可選擇)、V 軸風速和極性(可選擇)、單位、狀態碼、檢查碼	瞬間風速(U_i)、瞬間風向(θ_i)、瞬間 X 軸風速(X_i)、瞬間 Y 軸風速(Y_i)、平均風速(U_m)、平均風向(θ_m)、平均 X 軸風速(X_m)、平均 Y 軸風速(Y_m)、狀態碼、加熱器狀態	瞬間風向、瞬間風速、修正風向、GPS 修正速度、氣壓、相對濕度、溫度、露點、GPS 位置、時間、電壓、狀態碼、檢查碼
輸出範例	Q, 229, 002.74, M, 00, 16	W, 01.23, 059.8, +01.06, +00.62, 00.63, 358.9, -00.01, +00.63, 00.71, +00.00, 00000010	Q, 021, 000.01, 090, 000.01, 1015.3, 041, +022.0, +008.5, +50.763004: -001.539898: +3.10, 2015-06-05T10:19:30.8, +05.1, 0004, 36
儀器照片			

表2-2 各港區風力測站位置及使用儀器一覽表

商港	測站代碼	緯度(N)	經度(E)	架設距地表高度(m)	觀測期間	儀器	位置概述
基隆港	KLWD01	25°09'19"	121°45'08"	10.16 m	2010/10-迄今	WindSonic	光華塔
基隆港	KLWD04	25°09'19"	121°45'08"	10.35 m	2022/6-迄今	WindSonic	光華塔 2 站
基隆港	KLWD05	25°08'30"	121°44'53"	25.75m	2023/10~迄今	WindSonic	西 16 碼頭
臺北港	TPWD02	25°10'53"	121°22'28"	15 m	2017/12-2022/11	WindSonic	新觀測樁
臺北港	TPWD03	25°09'24"	121°22'19"	9.35m	2014/08-迄今	WindSonic	小綠燈塔
臺北港	TPWD05	25°09'55"	121°23'39"	5.12m	2020/08-迄今	WindSonic	北 2 碼頭
臺中港	TCWD02	24°17'59"	120°29'12"	15.5 m	2009/09-迄今	WindSonic	北堤燈塔
臺中港	TCWD03	24°18'19"	120°31'52"	18.33 m	2009/09-迄今	WindSonic	防風林
臺中港	TCWD07	24°16'28"	120°30'59"	9.47 m	2018/01-迄今	WindSonic	31 號碼頭
臺中港	TCWD08	24°14'23"	120°28'18"	7.682 m	2018/01-迄今	WindSonic	工專二
臺中港	TCWD13	24°16'13"	120°31'45"	13.87m	2022/06-迄今	WindSonic	港研中心
臺中港	TCWD14	24°17'25"	120°30'21"	17m	2023/1-迄今	WindSonic	南堤燈塔
布袋港	BDWD01	23°22'49"	120°08'51"	16.756m	2014/08-迄今	WindSonic	管理處頂樓
布袋港	BDWD02	23°22'47"	120°08'19"	17.7m	2022/11-迄今	WindSonic	雷達塔柱
安平港	APWD01	22°57'38"	120°08'56"	22.95 m	2014/08-迄今	WindSonic	南堤燈塔
安平港	APWD02	22°58'09"	120°09'54"	35.27m	2014/08-2021/11	WindSonic	訊號台
安平港	APWD04	22°58'9.3"	120°09'54"	39.23m	2022/9-迄今	WindSonic	新訊號台
高雄港	KHWD01	22°36'52"	120°17'18"	9.63 m	2019/05-迄今	WindSonic	10 號碼頭
高雄港	KHWD04	22°33'04"	120°18'03"	16.73 m	2007/04-迄今	WindSonic	二港口北堤綠燈塔
高雄港	KHWD05	22°32'06"	120°19'36"	25.07 m	2020/08-迄今	WindSonic	第六貨櫃中心港警
高雄港	KHWD06	22°33'24"	120°19'37"	24.46 m	2020/08-迄今	WindSonic	76、77 碼頭
高雄港	KHWD07	22°34'40"	120°18'20"	16.23 m	2020/08-迄今	WindSonic	63、64 碼頭
高雄港	KHWD08	22°37'2.3"	120°15'59"	15.9m	2022/11-迄今	WindSonic	一港口信號臺
蘇澳港	SAWD01	24°35'49"	121°52'05"	12.11 m	2018/05-迄今	WindSonic	7 號碼頭
蘇澳港	SAWD04	24°35'08"	121°52'21"	34.85m	2022/11-迄今	WindSonic	信號臺
花蓮港	HLWD01	23°58'49"	121°37'12"	31.54 m	2018/05-迄今	WindSonic	訊號台
花蓮港	HLWD02	23°58'25"	121°37'35"	7.74m	2022/10-迄今	WindSonic	西突堤
澎湖港	PHWD01	23°33'33"	119°34'26"	2.23m	2009/10-迄今	WindSonic	馬公案山
澎湖港	PHWD02	23°33'43"	119°40'14"	19.44m	2011/11-迄今	WindSonic	龍門尖山
馬祖港	MTWD01	26°09'37"	119°56'36"	17.8m	2012/09-迄今	WindSonic	福澳碼頭

2.3 風力觀測系統架構

本所各港風力觀測站採用市電或太陽能供電，控制箱內置資料記錄器、無線傳輸設備及電源控制等模組，透過無線傳輸設備每分鐘將各測站逐秒觀測資料即時回傳至中華電信文心機房伺服器，再透過資料解碼程式將相關逐秒觀測資料寫入資料庫(逐秒原始資料庫，資料包括測站編號、時間、瞬間風速、瞬間風向、系統電壓、狀態碼等資訊)，並逐分及每 10 分鐘將觀測資料統計為發布用之編報資料(1 分鐘及 10 分鐘資料庫，資料包括測站編號、儀器編號、時間、平速風速、平均風向、最大風速、最大風之對應風向、最大風之發生時間、系統平均電壓等資訊)，同時將上開資料庫之資料回傳本所運輸技術研究中心機房進行異地備援。

為強化即時風力觀測資料之穩定性及可應用性，各港區之風力觀測站至少佈建 2 站，並視當地航港管理需要，於適當地點增設輔助測站，以提供港區航安管理應用依據。各港區測站地理位置，詳圖 2.1~2.9 所示。

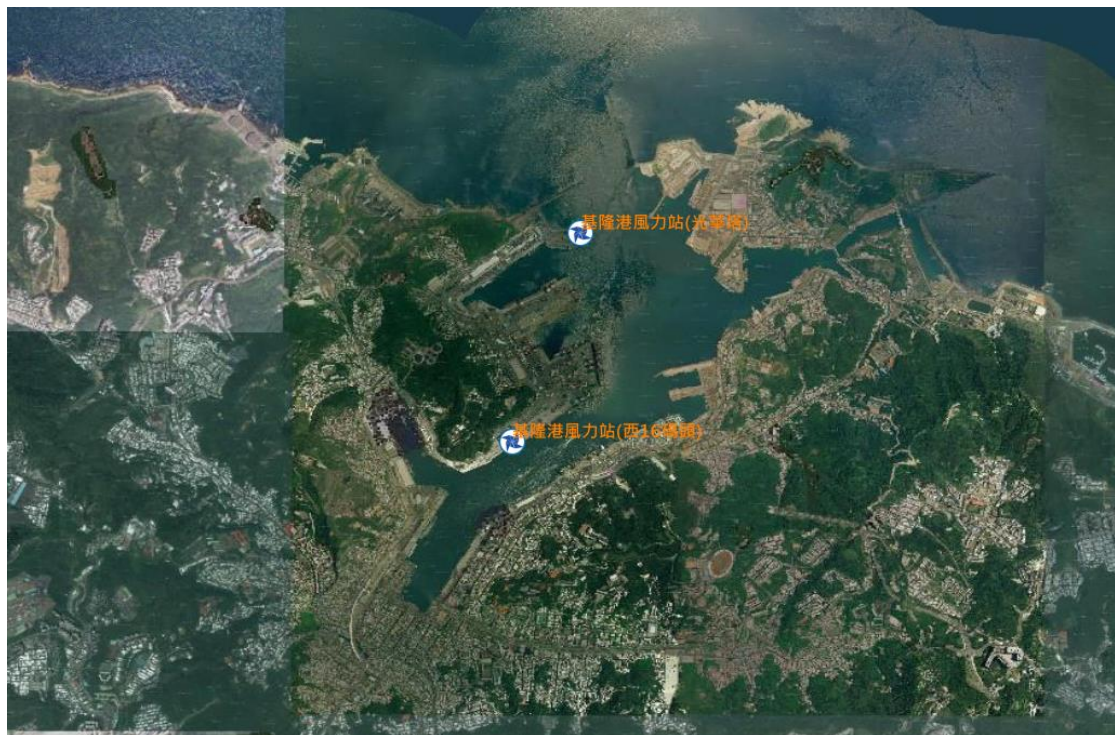


圖2.1 基隆港風力測站位置圖

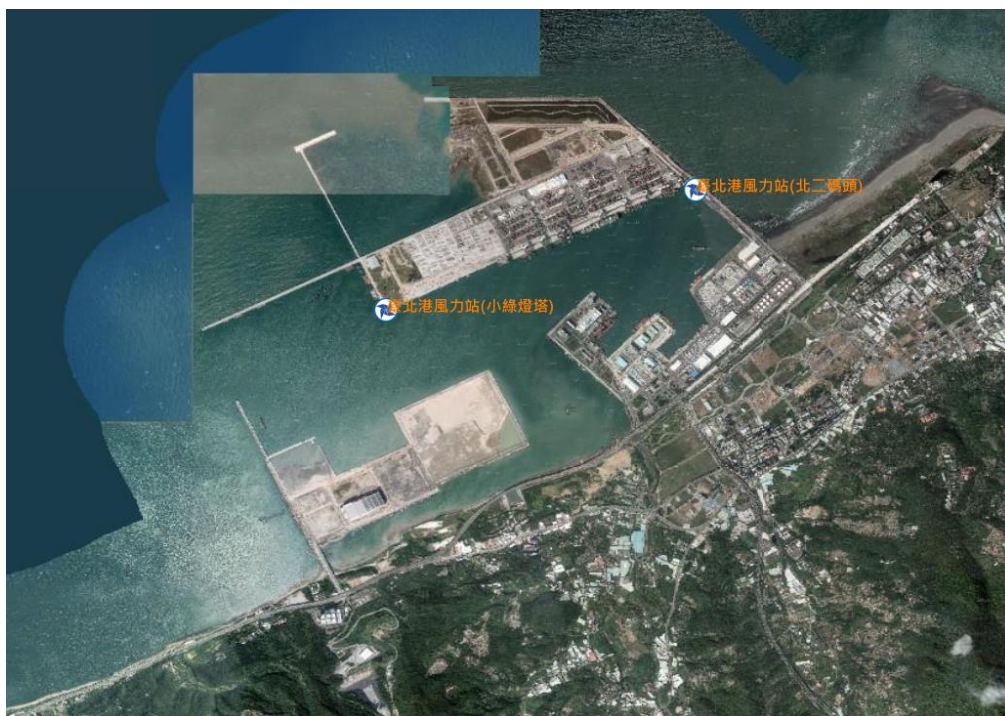


圖2.2 臺北港風力測站位置圖

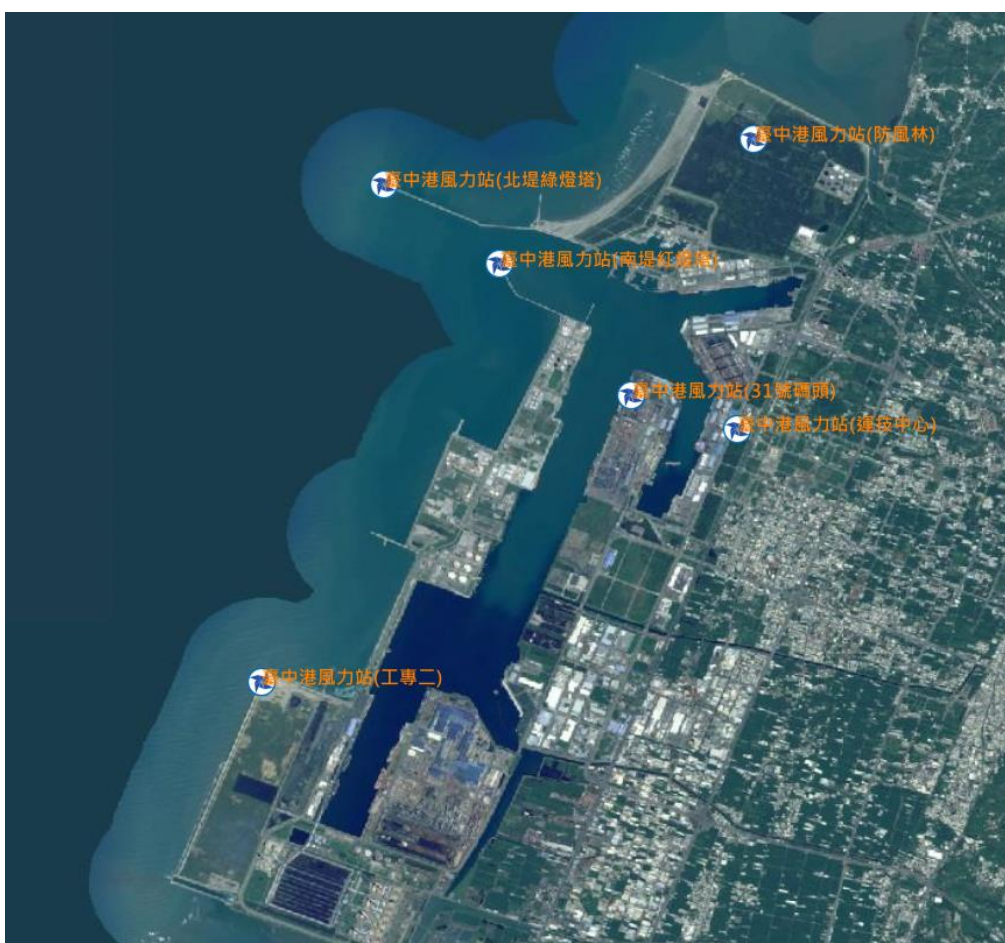


圖2.3 臺中港風力測站位置圖



圖2.4 布袋港風力測站位置圖



圖2.5 安平港風力測站位置圖

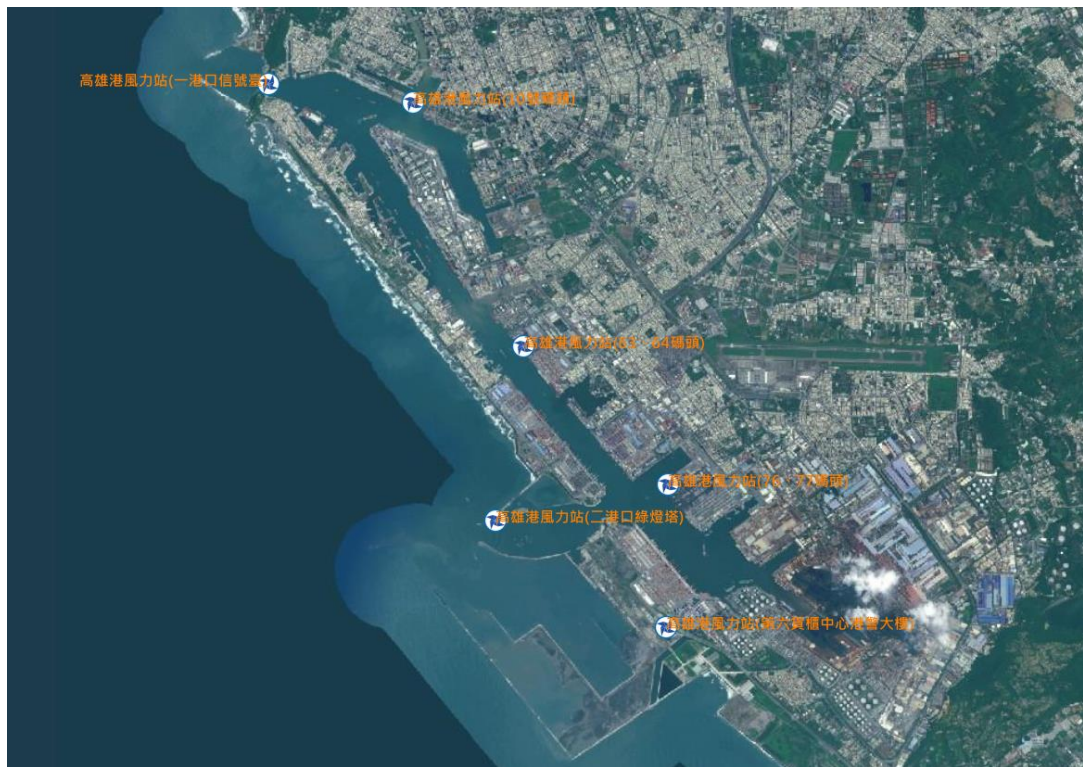


圖2.6 高雄港風力測站位置圖

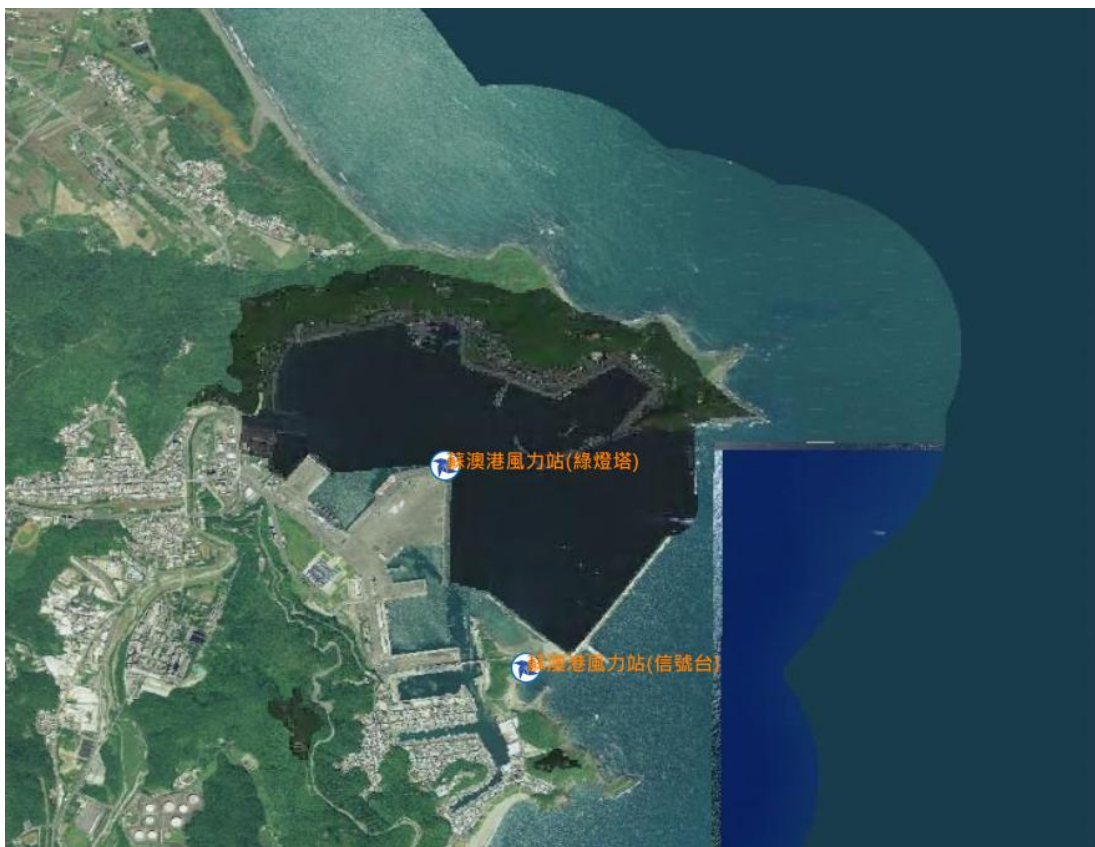


圖2.7 蘇澳港風力測站位置圖



圖2.8 花蓮港風力測站位置圖



圖2.9 澎湖港風力測站位置圖

2.4 風力觀測系統維護與保養

港區風力觀測系統位處高濕高鹽區域，其設置條件嚴苛，觀測儀器及各項設備容易受到環境影響而損壞，此外，各項儀器為確保量測數據之可信度，仍需進行儀器及設備維護、保養及檢測工作，始能延長觀測系統壽命並提升觀測品質，同時對於各測站的現場背景資料，皆需落實完整的調查與記錄，以利後續資料品管應用。為強化風力觀測系統之穩定性，本所每年均針對風力觀測系統進行3次定期維護作業，每次施作前、後皆進行拍照留存備查：維護時依測站現地維護記錄表（如表 2-3）確實執行並記錄，用以檢視各測站系統單元運作是否正常，若有異常則一併檢修或提供改善建議。

測站現地定期維護作業流程分為目視、保養清潔、檢測及更換或修復，作業流程，分述如下：

- (一) 目視觀察測站外部（太陽能板、控制箱體、管線、監測儀器）狀況，進行必要之保養與維護，並記錄觀測儀器指向方位、現場 4G SIM 卡門號及觀測儀器序號。其中，目視原則為：
 - 1. 太陽能板表面需保持清潔乾淨。
 - 2. 控制箱體需保持完整無破損或鏽蝕剝落，管線出、入口需採適當防護避免昆蟲進入。
 - 3. 管線則需保持無破損及鏽蝕，避免漏電或傳輸線損壞。
 - 4. 監測儀器外觀有無損壞或雜物覆蓋。
 - 5. 風速風向計之指北方向是否偏移？
- (二) 保養清潔各組成單元及構件，以達整齊、乾淨可視為原則。其中，保養維護過程需注意：
 - 1. 進行太陽能板清洗時須關閉控制箱體，避免控制箱內配線因清洗時造成短路。
 - 2. 清潔箱體內配線盤時以毛刷施作為原則，若發現配線盤中端子或電線已鏽蝕則需立即更換，避免接點接觸不良影響系統訊號品質。
 - 3. 裸露於外的配線或支撐架需仔細觀察，一有脆化、老化、剝落情形

需立即更換或反應。

4. 防潮包以更換為原則，並於防潮包上標記更換日期。

(三) 檢測及功能測試，此部份包含：

1. 太陽能板儲電、充電系統檢測，以蓄電池電壓為判斷依據，當電壓低於額定電壓 90%時，需判斷是氣候影響、電池老舊或市電來源不穩所致，綜合判斷後再決定處理方式。
2. 針對測站儀器輸出端進行簡易訊號判斷（電壓或電流是否輸出）。必要時，可先通報後端資料庫處理人員，將儀器訊號線接至手持電腦端進行儀器訊號檢測。
3. 數據機電源是否正常？功能燈號是否正常？必要時，可先通報後端資料庫處理人員，以手持電腦連線至數據機檢測系統程式版本及運作狀態，或將數據機重新啟動。
4. 系統校時，確保系統時間一致。

(四) 更換及修復原則：攜帶一組備品，包括數據機、觀測儀器、固定儀器之儀器架，以及各類消耗物品如電源線、傳輸線、束帶、螺絲、防潮包、太陽能控制器等。經檢測後須更換、修復時，需在維護紀錄敘明原因，並評估更換後是否會影響後端資料傳輸過程，如屬消耗品等非侵入式修復，可立即執行；凡涉及數據機及觀測儀器變動時，均會影響後端資料庫之測站及設備序號登錄之內容，應先通報後端資料庫處理人員，再斷電進行設備更換及設定工作。

表2-3 風力觀測系統維護紀錄表

測站：		座標：					
方法	項 目	良好	不佳	維 護 方 法		備 註	
目 視	太陽能板及支撐架			檢視支撐架良好並擦拭及清潔太陽能板。			
	市電線路						
	能見度監測儀器			清潔及擦拭能見度儀探頭			
	風速監測儀器			清潔及擦拭風速計探頭。指北方向確認。			
	控制箱體及外部管線			檢視並整理箱體及管線。			
	控制箱盤面及配線			清潔箱體內部並整理配線。			
	防潮包			更換新品。			
	傳輸 Sim 卡						
	(其它_數據機)			校時。			
檢 測	市電電壓(V)	變壓器輸出電壓	太陽能輸入電壓(V)	太陽能 Load 輸出電壓(V)	電瓶電壓	監測儀器輸出電流	太陽能板 W 數
	維護開始時間	結束維護時間	現場斷電時間	電瓶內阻(mΩ)	電瓶大小(Ah)		
備 註							
本次維護、更換情形							
日期：		維護人員：					

本計畫 113 年執行各觀測站之定期維護保養工作至少 3 次，第 1 次定期維護保養於 4 月 19 日至 5 月 23 日完成，第 2 次定期維護保養於 8 月 1 日至 8 月 27 日完成，第 3 次定期維護保養於 10 月 9 日至 11 月 25 日完成。另針對測站之設備執行更新工作，如表 2-4 所示。其中在傳輸系統部分，主要係更換新款數據機，強化資料擷取、紀錄及傳輸功能，儀器更換部分，則考量部分測站之風速計使用年限超過 3 年，更換為新品，以提高風力觀測資料品質，降低感測器老化之準確度影響程度，另部分測站受海邊腐蝕影響造成結構箱體老舊，亦一併完成換新工作。

表2-4 風力觀測系統更新改善情形表

地區	地點說明	更新改善項目				完成日期
		結構箱體	供電系統	傳輸系統	更換儀器	
臺中港	工專二	V		V	V	113.7.9
高雄港	第六貨櫃-港警	V		V		113.7.16
高雄港	10 號碼頭			V		113.7.17
安平港	新信號台				V	113.7.19
高雄港	76、77 碼頭	V		V		113.8.1
高雄港	63、64 碼頭				V	113.8.1
臺北港	北 2 碼頭	V		V	V	113.9.11

2.5 風力資料品管機制

2.5.1 基本原則

根據世界氣象組織規範，氣象觀測資料需要在世界各國家之間進行交換，使用者需要相信所收到其它國家的觀測資料是依據 WMO 制定的一致標準，資料的準確度對於多種分析、計算和科學調查都至關重要。因此，需要對觀測資料的品質進行控制，這是一項重要的基本性工作，且涉及到資料的一致性和準確度，並關係到所有用戶是否能夠最佳地利用觀測資料，包括世界天氣監視網計畫和國際科研計畫。

資料品管控制的基本特點，在全球觀測系統的框架下所遵循之一般原則在《全球觀測系統手冊》(WMO-No.544)已有簡要描述。各個品管控制層面可概括如下：

1. 在測站之基本品質控制程式：

(1) 對原始資料的自動品質控制：

- a. 測值合理性檢查：對測值的大誤差檢查；
- b. 對變化率合理性檢查：對測值的時間一致性的檢查；

(2) 對加工後資料的自動品質控制：

- a. 合理值檢查；
- b. 時間一致性檢查：
 - i. 對測值最大允許變化率的檢查或步驟測試；
 - ii 對測值最小變化率的檢查或持續性測試；
 - iii 標準差的計算；
- c. 內部一致性檢查；
- d. 對測站所有關鍵部分的技術監測；

2. 在氣象中心之延伸性品質控制程式：

(1) 合理值檢查；

(2) 時間一致性檢查：

- a. 對測值最大允許變化率的檢查或步驟測試；
- b. 對測值最小變化率的檢查或持續性測試；
- c. 標準差的計算；

(3) 內部一致性檢查。

2.5.2 風力資料品管流程

美國 IOOS 計畫辦公室之海洋即時資料品保手冊(QARTOD Manual)等資料品管相關文獻，在風力資料之品管程序，主要程序包括：時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）、傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）、座標檢查（Location Test）、儀器或物理現象極限值檢查（Gross Range Test）、逐月及季節變化合理性檢查（Climatology Test）、短時距離群值檢查（Spike Test）、短時距變化率與標準差之檢查（Rate of Change Test）、連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）、變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）、長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）、鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）等 11 項，並將其分為必要性（Required）、強烈建議（Strongly Recommended）與建議性（Suggested）等 3 大分組檢驗程序。資料依照檢查程序予以逐一標記，其標記內容可分為：通過（Pass=1）、無法評估（Not Evaluated=2）、可疑的（Suspect=3）、錯誤（Fail=4）與缺值（Missing Data=9），如圖 2.10。

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.

圖片來源：QARTOD Manual

圖2.10 QARTOD資料品管手冊標記方式

1. 時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）

本項檢查為即時品管作業，在於確認資料是否有延遲傳送情形，其主要針對資料超過 1 小時以上未進入資料庫，則標記為 Missing Data=9。

2. 傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）

本項檢查主要在於確認傳輸格式及編碼是否正確，其確認內容包括接收到之數據訊息結構是否正確、預期字符數與接收字符數是否相符。語法檢查僅在訊息級別執行，而不需要確認訊息內容是否正確。本計畫之風力

觀測訊息傳輸方式，係由現場儀器透過 RS232 連接數據機，透過 4G 傳送至接收電腦（雲端主機）進行訊息文字檔儲存及編碼傳送本所資料庫伺服器，其中接收電腦在編碼傳送時，可透過自動化程式確認傳輸格式是否正確。

3. 座標檢查 (Location Test)

本項檢查主要在於確認訊息發送之當前物理位置（緯度/經度）是否在操作員確定的限制範圍內，其檢查內容可包括：座標有效性、位移檢查、座標移動速度的距離限制，其主要用來確認海洋浮標站或移動式觀測儀器是否有效。本計畫建置之風力觀測系統，為固定式陸地站，並未安裝 GPS 座標系統，爰不適用於本項檢查。

4. 儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test)

所有感測器都有一個有限的輸出範圍，可以做為最基本的總範圍檢查。以本計畫採用之風力觀測儀器來說，風速上下限在 0~65m/s 區間、風向在 0~360 度，因此，任何小於最小值或大於感測器可以輸出最大值的數值，都可視為錯誤值 (Fail=4)。另外，在本項檢查中，QARTOD 亦提出使用者定義之極限值設定，當數值小於或大於使用者設定極限值範圍，則可標記為可疑數據 (Suspect=3)，本研究採用 40m/s 做為可疑數據之篩選，如遇到颱風等較大風速，再人工篩選。

5. 逐月及季節變化合理性檢查 (Climatology Test)

本項檢查程序是以觀測值之總範圍檢查，並按照每月或季節的變化上下限數值做為檢查依據。這項檢查需使用觀測員在當地長期紀錄及專業知識來確認季節性平均值之適當的閾值。本計畫利用本所在港區建置之風力測站之長期統計資料，初步建議春季 0~20m/s、夏秋季 0~25m/s 做為季節上下限檢查依據，此外在最大陣風部分，依相關研究經驗，取最大平均風之 2 倍進行檢查。

6. 短時距離群值檢查 (Spike Test)

本項檢查主要用來確認個別數據之離群值，特別是針對 $n-1$ 處的數值。離群值的檢查可由 2 組不同的閾值進行標記，包括高閾值與低閾值的處理。其檢查程序可透過相鄰數據點 ($n-2$ 和 n_0) 之平均值做為參考點，如果 $n-1$ 與該平均值之差值大於高閾值，則標示為錯誤值 (Fail=4)，如果差值介於高閾值與低閾值之間，則標示為可疑數據 (Suspect=3)。閾值的選擇可以是固定值或動態數值（例如，由操作員選擇時間段內標準偏差之倍數等），另外 QARTOD 手冊亦建議可利用三階差分進行離群值判定之方法。閾值

的選擇會影響離群值的標定的數量，本計畫參考 QARTOD 建議高門檻值為 40m/s、低門檻值為 20m/s 做為檢查依據。

7. 短時距變化率與標準差之檢查 (Rate of Change Test)

本項檢查主要分析資料在時間序列下之變化率是否超過操作員確定的閾值。QARTOD 手冊建議可透過一定倍數的標準差，來確認觀測數據是否為可疑的數據 (Suspect=3)，一般常用的標準差倍數為 3 倍標準差，而分析時距則可依觀測頻率決定(在海洋觀測上多採用 8 小時做為分析時距)。

8. 連續資料無變化 (或微小) 之檢查 (Flat Line Test)

一般而言，儀器之觀測數據均會變動，即便在天氣相對穩定下，也會有些微的變化量，因此，當某些感測器出現故障時，可能產生相同數值。本項檢查程序即利用將當前觀察值與前幾筆觀察值進行比較，當觀測值與之前的觀測值在容許差值內，則將該觀測值標記。QARTOD 手冊建議，當觀察值出現連續 5 筆數據均相同 (或微小差距時)，則標定為錯誤資料 (Fail=4)，當連續 3 筆數據相同，則標定為可疑的資料 (Suspect=3)。本計畫在本項檢查中，採用完全無變化 (數據差值為 0) 做為檢查依據。QARTOD 針對風力檢查部分建議使用 0.5m/s，惟本計畫採用二維超音波風力風向計，其儀器精度為 0.01m/s，若使用 0.5 m/s，在靜風時期容易有誤判之情形，因此，本計畫改用 0.01m/s 做為檢查依據。

9. 變數間關聯性檢查 (Multi-Variate Test)

本項檢查程序主要係利用其他類型並具有相關性之觀測值來檢驗資料的特性，如果觀測數據的變化值與其他具有相關性之資料變化值不一致時，則標記為可疑數據 (Suspect=3)。在氣象觀測時，常會有其他觀測儀器，因此，QARTOD 建議第 2 變數的選用可使用大氣壓力。惟本所在港區風力觀測站，多數僅配備風速計，無法使用其他氣象資料做為變數關聯性檢查之依據，因此，本研究暫以最大風速與平均風速之比值進行變數間關聯性檢查，並設定平均風速 5m/s 以上，平均風速與最大風速之比值大於 2.5 倍，列為可疑數據。

10. 長時間資料變化幅度檢查 (Attenuated Signal Test)

本項檢查主要在於檢測傳感器故障模式可能產生的資料錯誤，一般以在選定時間段內 (例如 12 小時) 其資料變化幅度未能超過所設定之變化率。一般可採用標準差或者全距 (最大值減最小值) 進行檢查，如變化率小於所設定之警示值，則標記為可疑數據 (Suspect=3)，如變化率小於所

設定之門檻值，則標記為錯誤數據，則標定為錯誤資料 (Fail=4)。考量儀器精度，高門檻值設定為 0.05m/s、低門檻值為 0.01m/s

11. 鄰近站相關性檢查 (Neighbor Test)

本項檢查在最理想的情況下，係透過同一區域 2 組不同儀器來進行檢查，但是一般來說，在成本考量下，同一地點很難設置 2 組儀器進行相同觀測項目，因此，多會利用鄰近區域的相關觀測項目之測站進行相關性檢查，或者利用同一區域之不同觀測項目進行相關性檢查（如變數間關聯性檢查），關聯性檢查需要較多研究數據，且不易進行作業化處理（容易因不同區域之風場特性造成判定困難），仍須進一步研究，因此，本年度研究暫不納入檢查程序。

12. 綜合品管程序

透過美國 IOOS 計畫辦公室之 QARTOD 品管程序，可將觀測資料依上述 11 項檢查程序予以標記，惟實務對外展示應用時，仍需建立一綜合品管機制，決定該即時資料是否呈現。本計畫原則上以同一筆資料有 1 個不通過或 2 個可疑標記者，則標記未通過品管（即不對外展示）。

2.5.3 資料品管結果

本所協助臺灣港務股份有限公司建置風力測站，於 2023 年已達到 1 港雙站之目標，其中 KLWD05 為 2023 年新設之風力測站，妥善率計算以建站日期起算。本計畫透過第 2.5.2 節運用美國 QARTOD 風力資料品管程序，分析 2023 年各測站全年系統妥善率、資料蒐集率及品管通過率，如表 2-5 所示。

港區風力測站系統妥善率大多在 90% 以上，僅基隆港 KLWD01 因市電中斷造成系統停擺。經扣除系統故障日數後，於系統正常運作期間，各測站資料蒐集率均達 90% 以上，顯示本計畫在數據擷取、紀錄及傳輸模組十分穩定，且可達到全時不中斷運作之耐候條件。

另外在品管通過率，從數據機擷取並統計後之 10 分鐘資料，資料品質均十分良好，均達 99% 以上，亦即由現場回傳之資料，可直接提供即時展示使用，並具備良好之信賴條件，對於港區管理之應用有十足幫助。

表 2-5 各測站系統 2023 年妥善率及風力資料品管通過率

商港	測站代碼	系統妥善率	資料蒐集率	品管通過率
基隆港	KLWD01	171 (46.85%)	23,790 (96.61%)	23,790 (100.0%)
基隆港	KLWD04	364 (99.73%)	52,167 (99.52%)	52,167 (99.99%)
基隆港	KLWD05	75 (100.0%)*	10,733 (99.35%)	10,733 (100.0%)
臺北港	TPWD03	365 (100.0%)	52,490 (99.87%)	52,489 (99.99%)
臺北港	TPWD05	304 (83.29%)	43,683 (99.79%)	43,683 (100.0%)
臺中港	TCWD02	363 (99.45%)	52,135 (99.45%)	52,134 (99.99%)
臺中港	TCWD03	353 (96.71%)	50,730 (99.80%)	50,730 (100.0%)
臺中港	TCWD07	364 (99.73%)	52,216 (99.62%)	52,215 (99.99%)
臺中港	TCWD08	364 (99.73%)	49,877 (95.16%)	49,877 (100.0%)
臺中港	TCWD13	362 (99.18%)	51,589 (98.97%)	51,585 (99.99%)
臺中港	TCWD14	365 (100.0%)	52,519 (99.92%)	52,518(99.99%)
臺中港	TCWD15	330 (99.70%)	46,364 (97.57%)	46,364 (100.0%)
布袋港	BDWD01	365 (100.0%)	51,781 (98.52%)	51,781 (100.0%)
布袋港	BDWD02	359 (98.36%)	51,444 (99.51%)	51,444 (100.0%)
安平港	APWD01	363 (99.45%)	52,151 (99.77%)	52,150 (99.99%)
安平港	APWD04	363 (99.45%)	51,700 (98.91%)	51,700 (100.0%)
高雄港	KHWD01	319 (87.40%)	44,880 (97.70%)	44,879 (99.99%)
高雄港	KHWD04	365 (100.0%)	52,528 (99.94%)	52,527 (99.99%)
高雄港	KHWD05	365 (100.0%)	51,831 (98.61%)	51,829 (99.99%)
高雄港	KHWD06	360 (98.63%)	51,142 (98.65%)	51,139 (99.99%)
高雄港	KHWD07	364 (99.73%)	52,089 (99.38%)	52,089 (100.0%)
高雄港	KHWD08	364 (99.73%)	52,152 (99.50%)	52,152 (100.0%)
蘇澳港	SAWD01	364 (99.73%)	52,204 (99.60%)	52,199 (99.99%)
蘇澳港	SAWD04	364 (99.73%)	51,768 (98.76%)	51,763 (99.99%)
花蓮港	HLWD01	298 (81.64%)	30,603 (71.32%)	30,603 (100.0%)
花蓮港	HLWD02	363 (99.45%)	51,814 (99.12%)	51,814 (100.0%)
澎湖港	PHWD01	363 (99.45%)	51,997 (99.47%)	51,997 (100.0%)
澎湖港	PHWD02	355 (97.26%)	47,656 (93.22%)	47,183 (99.01%)
馬祖港	MTWD01	364 (99.73%)	51,558 (98.36%)	51,558 (100.0%)

備註：

1. 系統妥善率：系統正常運作日數/全年(或建站日起)總日數。
2. 資料蒐集率：資料回傳筆數/實際觀測日數之應測筆數。
3. 品管通過率：品管通過筆數/(資料回傳筆數-無法檢查筆數)

第三章 商港風力觀測技術精進

3.1 風力觀測方法與統計方式

3.1.1 風力觀測方法

世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）自 1950 年出版「儀器和觀測方法指南(WMO-No. 8)」係國際氣象儀器性能標準化和確保觀測品質之重要依據，該指南也是相關會員國推動「WMO 全球綜合觀測系統」的重要指導原則，促進各國推動氣象資料蒐集、報告與交換之一致性與數據共享。目前該指南最新版本為 2023 年版，相較於 2021 年版本，主要編修第 1 卷第 12、13、14 章，第 2 卷第 2、3 章，第 3 卷第 3、5、6、8 章，第 5 卷第 5 章等相關內容，本次修訂暫未涉及地面風與自動觀測站之相關內容。

在風力觀測部分，WMO-No. 8 在第 1 卷第 5 章對於地面風的測量有詳盡的指引，其中包括定義、氣象要求、測量方法與觀測方法、觀測儀器、數據處理方式、測風儀器安裝位置、數據修正等。該指引提到：「對於現代儀器設備來說，是容易達到的所要求的不確定性。風的觀測的最大難題是風速計的安裝位置。因為要找到一個對大範圍地域的風速具有代表性的場地是幾乎不可能的，因此，只能對安置誤差進行估計」。

從測風儀器之量測原理分類，風速的量測大致可分為空氣動力型（如風杯式風速計、螺旋槳式風速計、壓管風速計）、熱力效應型（如熱線式風速計）、聲波型（如超音波式風速計），目前在我國風力觀測來看，大致以風杯式風速計、螺旋槳式風速計、超音波式風速計較為常見。

風杯風速計和螺旋槳風速計在風速測量上，主要由旋轉器和信號發生器等兩種部件構成，在設計精良的風杯或螺旋槳風速計，其旋轉器角速度與風速係為線性關係，亦即其標定線性度與空氣密度無依存關係，具有良好的零位穩定性和測量穩定性。然而，在接近起動風速閾值處，即風速不到 4m/s 時，如果風杯與旋轉軸的連接臂比風杯直徑長得多的話，會產生偏離線性的測量偏差（Patterson, 1926）。此外，對於大多數風杯式或螺旋槳式風速計，加

速時的反應比減速時的反應快，因此，這些旋轉器的平均速度會高估實際的平均風速。（MacCready，1966）。螺旋槳式風速計因使用轉軸機械零件，長期使用後會產生磨損，且在海岸地區受到高鹽高濕度影響，若無定期進行維護保養、零件更換及校正，容易產生觀測資料偏移的現象。

超音波風速計其量測原理為都卜勒效應，用超音波偵測氣流移動速率來計算風速，其利用聲音在空氣中的傳播速度，會和風向上的氣流速度疊加，若超音波傳播方向與風向相同，速度會加快，反之則變慢之原理，透過聲波時差來進行風速分量量測，再估算出風速及方向。超音波風速計沒有螺旋槳式風速計在風速量測之慣性問題，因此，可以擷取到瞬間風速脈動，對於風速變異性的測量可以提供更多的資料細節。

在正常狀況下，低風速時，螺旋槳風速計因啟動風速，其平均值會略低於超音波式風速計；在中風速時，兩者會比較接近；在高風速時，因螺旋槳風速計有旋轉慣性，其平均值會略高於超音波式風速計。

3.1.2 風力統計方式

根據 WMO-No. 8 對風速及風向的取樣頻率指引，在大多數情況下，取樣頻率 0.25 赫茲是合適的，如果要計算標準偏差可以使用 1 赫茲的取樣頻率，甚至要進行陣風峰值的準確測量，可提高到 4 赫茲的取樣頻率（即每隔 0.25 秒取樣一次），但是採用高取樣頻率，容易因為濾波信號的影響，對極值的估計偏低。

中華人民共和國在地面氣象觀測規範，透過國家標準明確要求風速風向量測之最低標準，包括風速取樣頻率應至少達到 4 赫茲、風向取樣頻率應至少達到 1 赫茲，另外平均值應針對 3 秒、1 分鐘、2 分鐘及 10 分鐘進行記錄。在 3 秒平均值部分，風速以 0.25 秒為時間步長計算 3 秒移動平均值，風向以 1 秒為時間步長計算 3 秒移動平均值；在 1 分鐘平均值部分，風速以 1 秒為時間步長(取整秒的瞬間值)計算每分鐘的算術平均值，風向以 1 秒為時間步長計算每分鐘的單位向量平均值；在 2 分鐘平均值部分，同 1 分鐘的計算方式；在 10 分鐘的平均值部分，風速以 1 分鐘為時間步長(取 1 分鐘平均值)計算 10 分鐘的算術平均值，風向以 1 分鐘為時間步長計算 10 分鐘的單位向量平均值；其最大風速以編報資料期間之 3 秒移動平均值之最大值代表。

平均風速的計算可以透過算術平均法或向量平均法，一般而言，以算術平均法計算之平均風速會比向量平均法高出幾個百分點(MacCready, 1966; Wieringa, 1980a)。在資料取樣頻率高、風速較大且風向較為一致(向量有無過零)的情況下，通常 2 個方法的數值會趨於一致。

平均風向的計算可以透過算術平均法、向量平均法及單位向量平均法，其中算術平均法未考慮到風的循環性，會導致結果不準(特別是跨 0 度時)，卻因此鮮少使用；向量平均法係將風速及風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向；單位向量平均法則不考慮風速，僅將風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向。其中單位向量平均法及向量平均法，在風速及風向變化不大的狀況下，平均值會趨於一致，而在低風速、風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異。

3.1.3 國內主要測風單位之做法

目前我國中央氣象署地面氣候自動觀測系統(Automatic climate observing system, 簡稱 ACOS 系統)計有 27 站，主要使用 3 組 R. M. Young 05103 風速計進行平均，取樣頻率為 1 赫茲，並以 3 秒滑動平均後儲存為秒資料，之後在往分、時計算，因此最大風速會採用 3 秒滑動平均之最大值進行記錄。該系統在平均風速之計算，採用算術平均數，會針對離群值進行篩選，而平均風向之計算，採用向量平均法(即考慮風速)。另外，該署約有 650 站自動氣象站(Automatic Weather Station, 簡稱 AWS, 其包含農業部、高公局等合作單位設置)，使用 1 組風速計(僅少數高山及離島站有 2 組)，取樣頻率為 1 赫茲，資料紀錄儲存在資料處理器，以每小時之 00、10、20、30、40、50 分鐘整分前 10 分鐘風速平均值及風向向量平均值，惟最大風速則是直接採用瞬間最大值代表。

另中央氣象署海氣象資料浮標系統每小時觀測 1 次，觀測項目包括示性波高、波向及最大週期、氣溫、氣壓、海水表面溫度及風向、風速，資料取樣間隔為 0.5 秒，其中在風力觀測方面，其採用 2 組風速計(常見配置為超音波式風速計及螺旋槳式風速計各 1 組)，其平均風向係取整點前 10 分鐘風向資料以向量法相加後之平均。平均風速係取整點前 10 分鐘風速資料之平均，資料浮標站之風速資料如低於 1 公尺/秒，則風速記為 0。最大瞬間風速，採用 3 秒移動平均，並取整點前 10 分鐘資料最大者。

在民航局之風向風速計感應器分別設置於機場跑道中間及兩端著陸區附近，用於測量跑道風向風速，其感應器高度離跑道面約 10 公尺。氣象單位、飛航諮詢臺及塔臺均可獲得跑道風之顯示資料，包括瞬間風向風速、2 分鐘和 10 分鐘之平均風向風速，及 10 分鐘內之最大陣風風速，最大陣風風速一般建議採用 3 秒移動平均。

3.2 風力量測不確定性之探討

3.2.1 量測及統計不確定性之因素探討

風力量測及統計之不確定性因素，一般可歸納為：儀器精度(風速計的校準和精度)、環境因素(如氣溫、氣壓、空氣密度及濕度等)、測量位置(建築物、樹木和其他障礙物影響)、測量高度(不同高度的風速可能不同，必須在相同高度進行比較)、測量時間(風速隨時間變化，瞬時測量可能不代表平均風速)、儀器安裝(儀器的安裝角度和穩定性會影響測量結果)、數據處理(數據分析方法造成的統計偏差)。

本所目前在風力量測上，主要使用超音波式風速計，其具備有高精度、無活動部件、反應時間快、耐候性等條件，適合用於精細的氣象研究及港區環境(耐候性及維護成本低)，特別是在有良好維護的狀況下，其耐用年限較螺旋槳式風速計長。本計畫為探討超音波式風速計與其他螺旋槳式風速計及風杯式風速計之差異，進行 2 項實驗設計，其儀器規格如表 3-1 所示。

表 3-1 實驗比對風速計規格表

	Gill Windsonic	Young 05103	Davis-6410
風速量測	0~60m/s $\pm 2\%$	1~100 m/s ± 0.3 m/s	1~89 m/s ± 1 m/s
風向量測	0~359° $\pm 2^\circ$	0~359° $\pm 3^\circ$	0~359° $\pm 3^\circ$
輸出方式	數位輸出 0.25, 0.5, 1, 2 or 4 Hz	類比輸出	類比輸出

1. 不同年期超音波式風速計之差異

針對不同年期之超音波式風速計差異探討，本計畫使用 2015、2017、2018、2022 及 2023 年出廠之儀器進行校驗測試，其中除 2023 出廠之風速計為全新以外，其他均為各港區汰換之風速計。本項測試係委託曜德光電校正實驗室依國家度量衡標準進行測試，針對 10m/s、20m/s、30m/s、40m/s、50m/s 等 5 個級距進行風洞試驗，其校正環境係在溫度 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ 、濕度 $45\pm15\%\text{R.H}$ 下，涵蓋因子 $k=2$ ，進行待校設備測量 30 次之平均值，其量測器差值(量測值-標準值)，如表 3-2 所示，其擴充不確定性，如表 3-3 所示，其在不同風級之統計誤差量均在 0.5m/s 以下，因此，風速計在正常使用下(固定保養)，均能達到很好的量測代表性。

表 3-2 不同年期風速計之受測器差值彙整表 (單位：m/s)

儀器序號	15170021	17150101	18130073	22140194	23070200
測試風速	基隆港 拆回	安平港 拆回	澎湖馬公 拆回	澎湖龍門 拆回	全新 未使用
10m/s	-0.2	0.1	0.0	0.2	0.3
20m/s	-0.2	0.0	0.2	0.2	0.4
30m/s	0.4	0.2	-0.8	0.3	-0.3
40m/s	0.1	0.0	-0.4	0.2	-0.1
50m/s	0.0	-0.5	-0.3	-0.4	-0.1

表 3-3 不同年期風速計之擴充不確定性彙整表 (單位：m/s)

儀器序號	15170021	17150101	18130073	22140194	23070200
測試風速	基隆港 拆回	安平港 拆回	澎湖馬公 拆回	澎湖龍門 拆回	全新 未使用
10m/s	0.5	0.6	0.6	0.3	0.3
20m/s	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
30m/s	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6
40m/s	0.8	0.8	0.9	1.1	0.9
50m/s	0.9	1.0	0.9	1.2	1.4

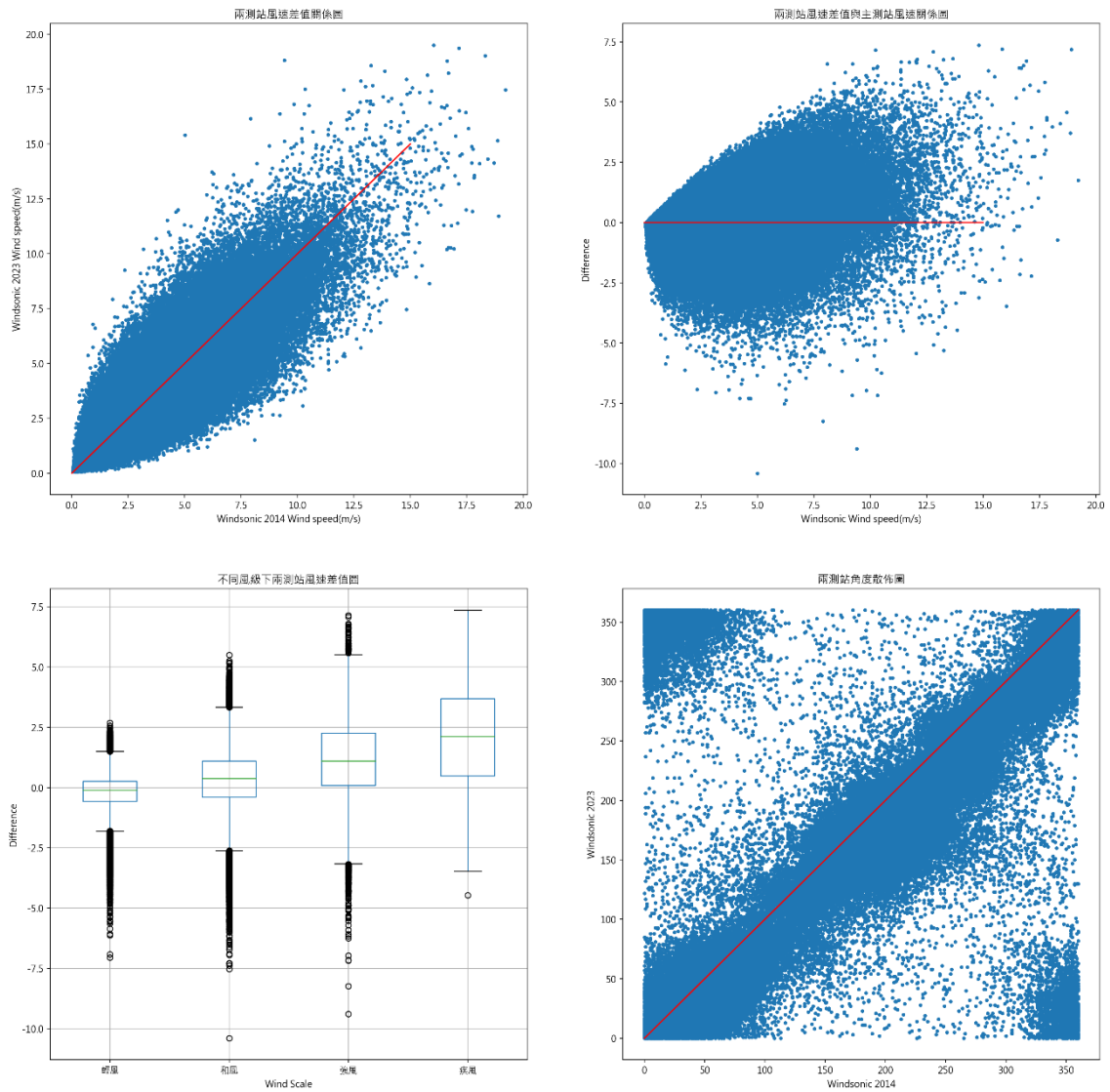
此外，本計畫更進一步於本所運輸技術研究中心行政大樓頂樓安裝 3 組風速計進行現地驗證測試，其配置圖，如圖 3.1 所示，該測站主要包含 2014 年及 2023 年出廠之 2 組超音波式風速計(Gill Windsonic)，以及 1 組風杯式風速計(Davis-6410)，其資料取樣頻率均設定為 1Hz，並以每分鐘及每 10 分鐘計算風速及風向平均值。



圖 3.1 運技中心風速站現場配置圖

針對不同年期之超音波式風速計之比對，本計畫選用 2014 年及 2023 年(全新)出廠之儀器，用來探討經長期使用的儀器是否對觀測數據有所影響。兩測站配置於同一高度，相距約 3 公尺，取樣頻率為 1 赫茲，即每秒 1 筆風速及風向值，再經過每分鐘及每 10 分鐘統計其平均風速、平均風向等數據進行比對。在 1 分鐘比對結果，如圖 3.2 所示，其有效樣本數為 289,837 筆，平均風速差值平均為 0.06m/s，標準差為 1.06，其差值最大值為 7.36m/s、最小為-10.40m/s，在平均風向差值平均為 23.89°，再進一步針對不同風級下之角度差進行分析，如圖 3.3 所示，顯示在風速增大下，風向角度差有逐步收斂的情形。

超音波式風速計(Windsonic 2014 vs 2023)比較圖



備註：左上圖為 2 測站平均風速關係圖、右上圖為平均風速差值與風速之關係圖、左下圖為不同風級下差值之盒子圖、右下圖為 2 測站平均風向關係圖

圖 3.2 臺中港不同年期超音波式風速計 1 分鐘資料綜合分析圖

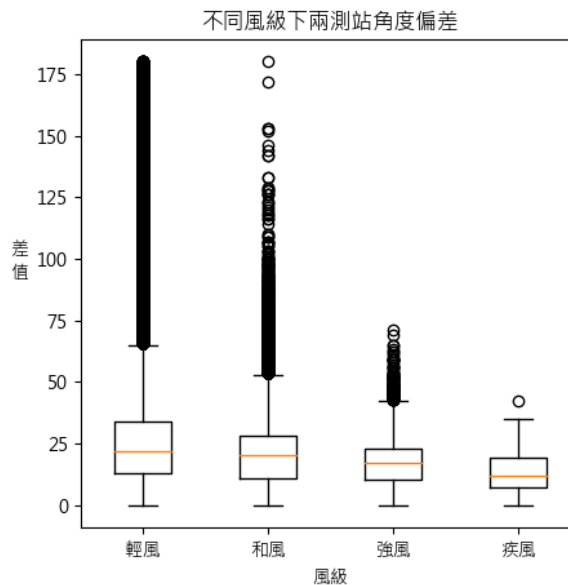
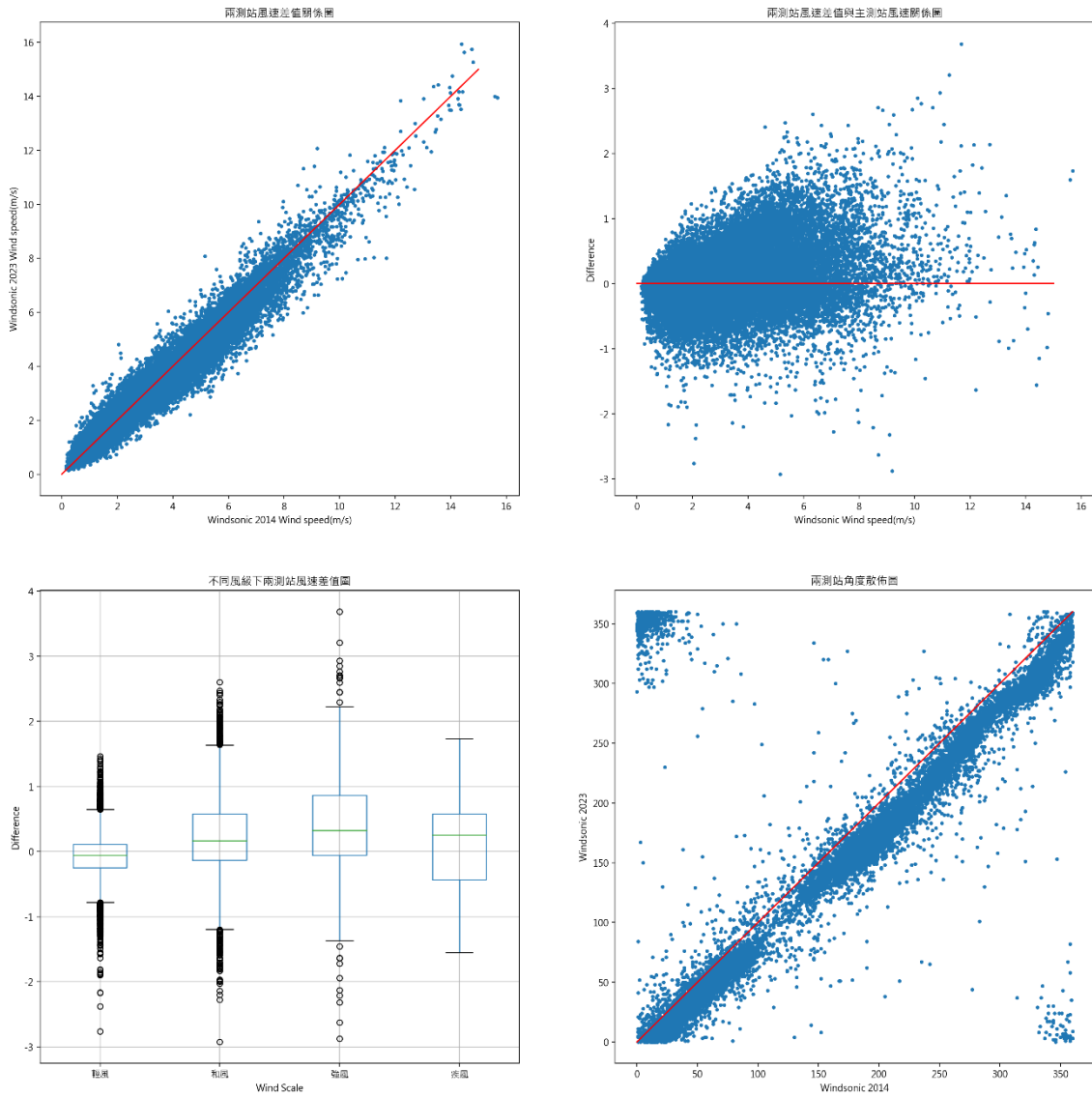


圖 3.3 臺中港不同年期超音波式風速計 1 分鐘風向資料分析圖

在 10 分鐘比對結果，如圖 3.4 所示，其有效樣本數為 28,907 筆，平均風速差值平均為 0.06m/s，標準差為 0.47，其差值最大值為 3.68m/s、最小為 -2.93m/s，在平均風向差值平均為 20.54°，再進一步針對不同風級下之角度差進行分析，如圖 3.5 所示，顯示在風速增大下，風向角度差亦同樣有逐步收斂的情形。

從 1 分鐘及 10 分鐘的分析結果來看，以 10 分鐘統計，風的變異性會變小，數據會趨於平滑化。另外從 2 測站風向比對中，可明顯看出明顯的角度偏向(2014 出廠有明顯的正角度差)，係實地檢測風速計安裝時，在指北方向有些微偏差導致，而該現象亦普遍存在於現地觀測時，儀器安裝對正角度的人為誤差。

超音波式風速計(Windsonic 2014 vs 2023)比較圖



備註：左上圖為 2 測站平均風速關係圖、右上圖為平均風速差值與風速之關係圖、
左下圖為不同風級下差值之盒子圖、右下圖為 2 測站平均風向關係圖

圖 3.4 臺中港不同年期超音波式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖

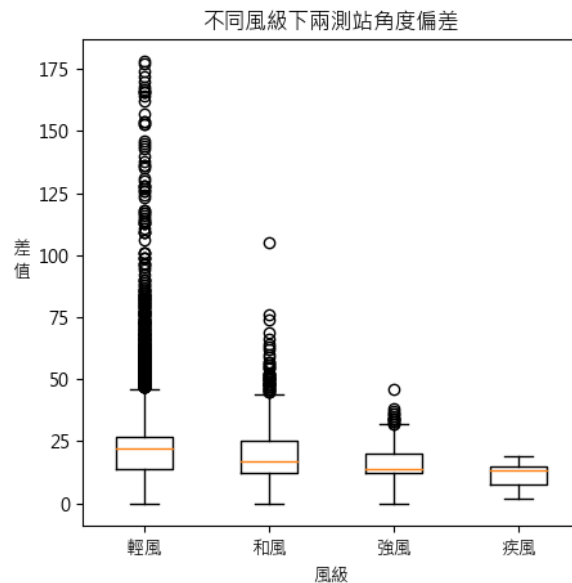


圖 3.5 臺中港不同年期超音波式風速計 10 分鐘風向資料分析圖

考量不同年期測站實地驗證結果之差異，本計畫於基隆港設置 2 組同年(均為 2023 年出廠)之風速計進行分析，該 2 組風速計相距約 1 公尺，距地 10.3 公尺，其設置於鐵塔頂端，以控制建築物所造成之紊流現象，如圖 3.6，此外，在同一位置架設，可有效控制風速計指北之角度偏差。

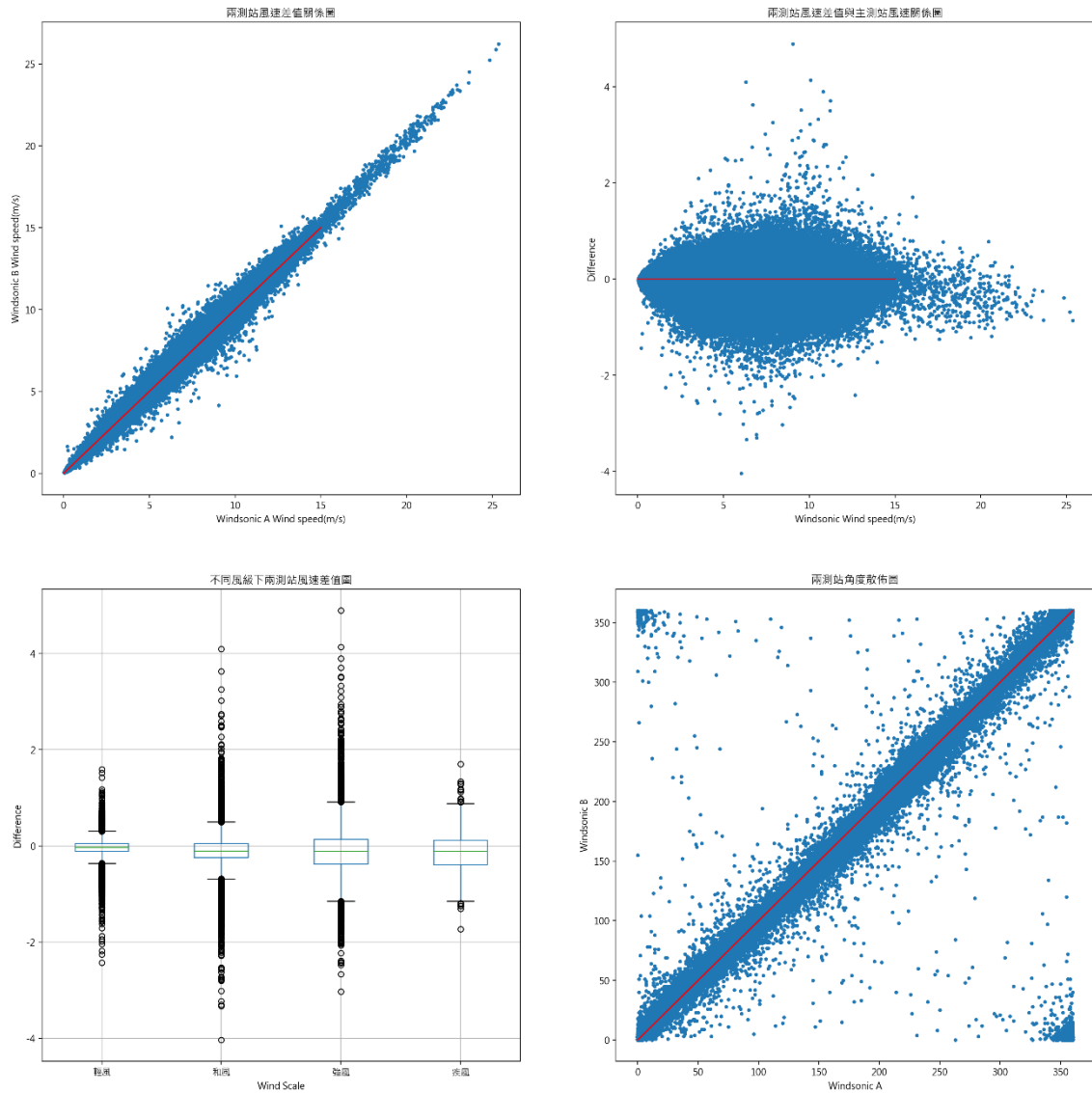
在 1 分鐘比對結果，如圖 3.7 所示，其有效樣本數為 632,045 筆，平均風速差值平均為 -0.06m/s ，標準差為 0.14，其差值最大值為 4.89m/s 、最小為 -4.04m/s ，在平均風向差值平均為 2.91° 。在 10 分鐘比對結果，如圖 3.8 所示，其有效樣本數為 62,609 筆，平均風速差值平均為 -0.06m/s ，標準差為 0.22，其差值最大值為 0.86m/s 、最小為 -0.80m/s ，在平均風向差值平均為 2.25° 。不同風級下之角度差進行分析，如圖 3.9 所示，亦同樣在風速增大下，風向角度差有逐步收斂的情形。

透過臺中港與基隆港的實地測試觀察，超音波風速計具有高度的量測穩定性，儘管使用超過 5 年以上之儀器，可能造成量測上的不穩定性，但就統計數值來看，仍具有一定的觀測統計代表性。



圖 3.6 基隆港風速站現場配置圖

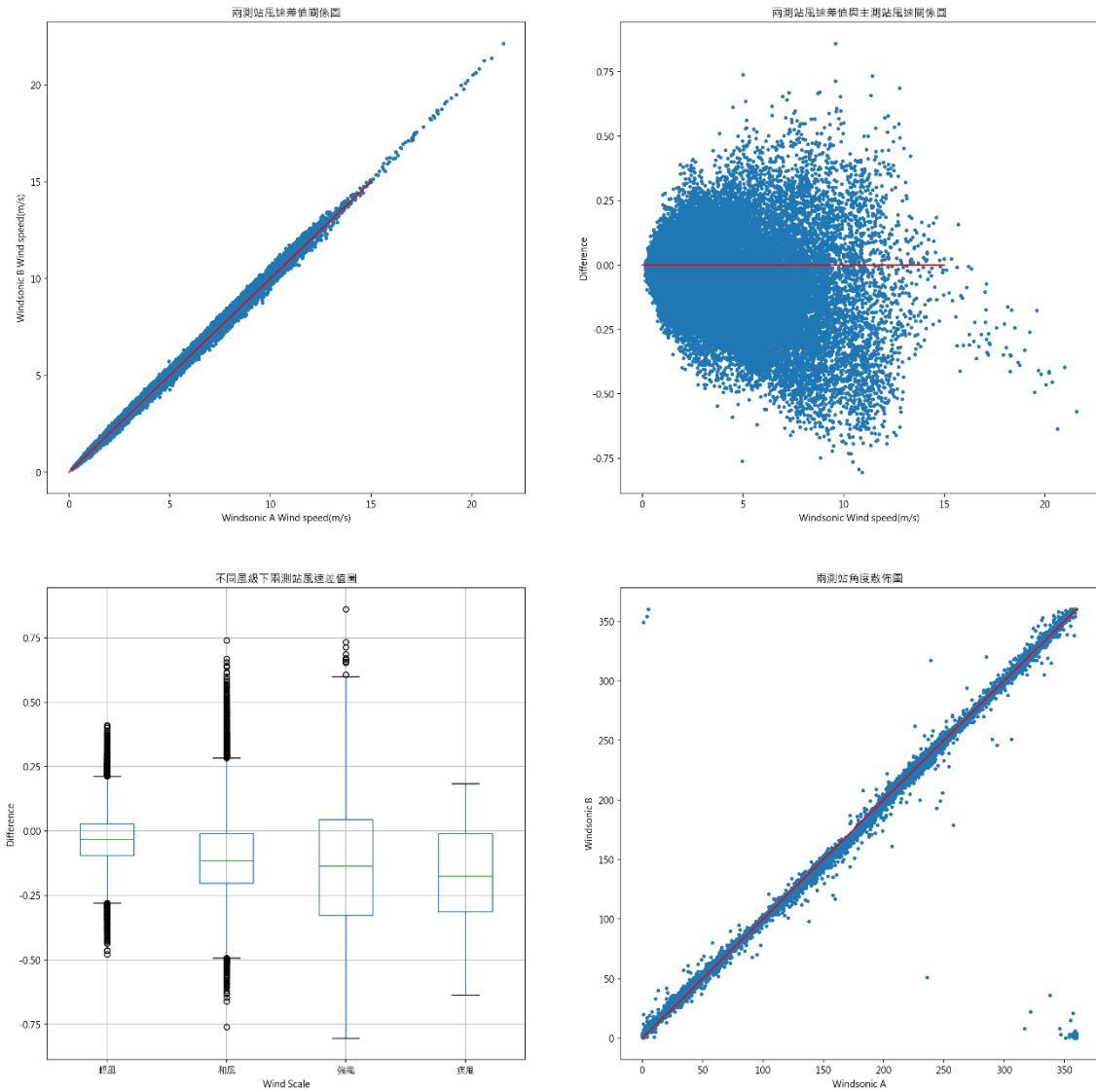
超音波式風速計(Windsonic)比較圖



備註：左上圖為 2 測站平均風速關係圖、右上圖為平均風速差值與風速之關係圖、
左下圖為不同風級下差值之盒子圖、右下圖為 2 測站平均風向關係圖

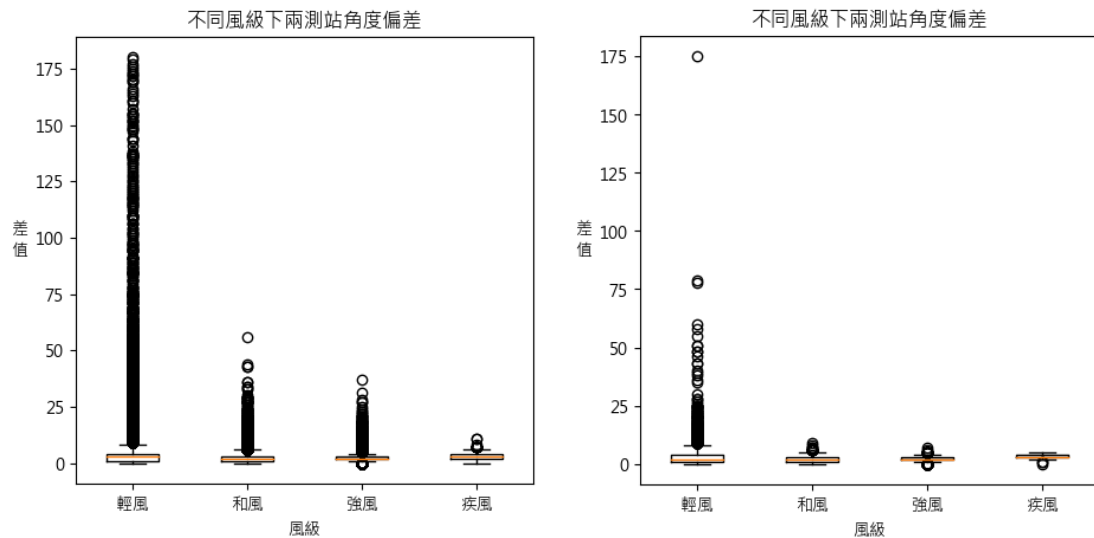
圖 3.7 基隆港相同年期超音波式風速計 1 分鐘資料綜合分析圖

超音波式風速計(Windsonic)比較圖



備註：左上圖為 2 測站平均風速關係圖、右上圖為平均風速差值與風速之關係圖、
左下圖為不同風級下差值之盒子圖、右下圖為 2 測站平均風向關係圖

圖 3.8 基隆港相同年期超音波式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖



備註：左圖為 1 分鐘平均風向差值，右圖為 10 分鐘平均風向差值

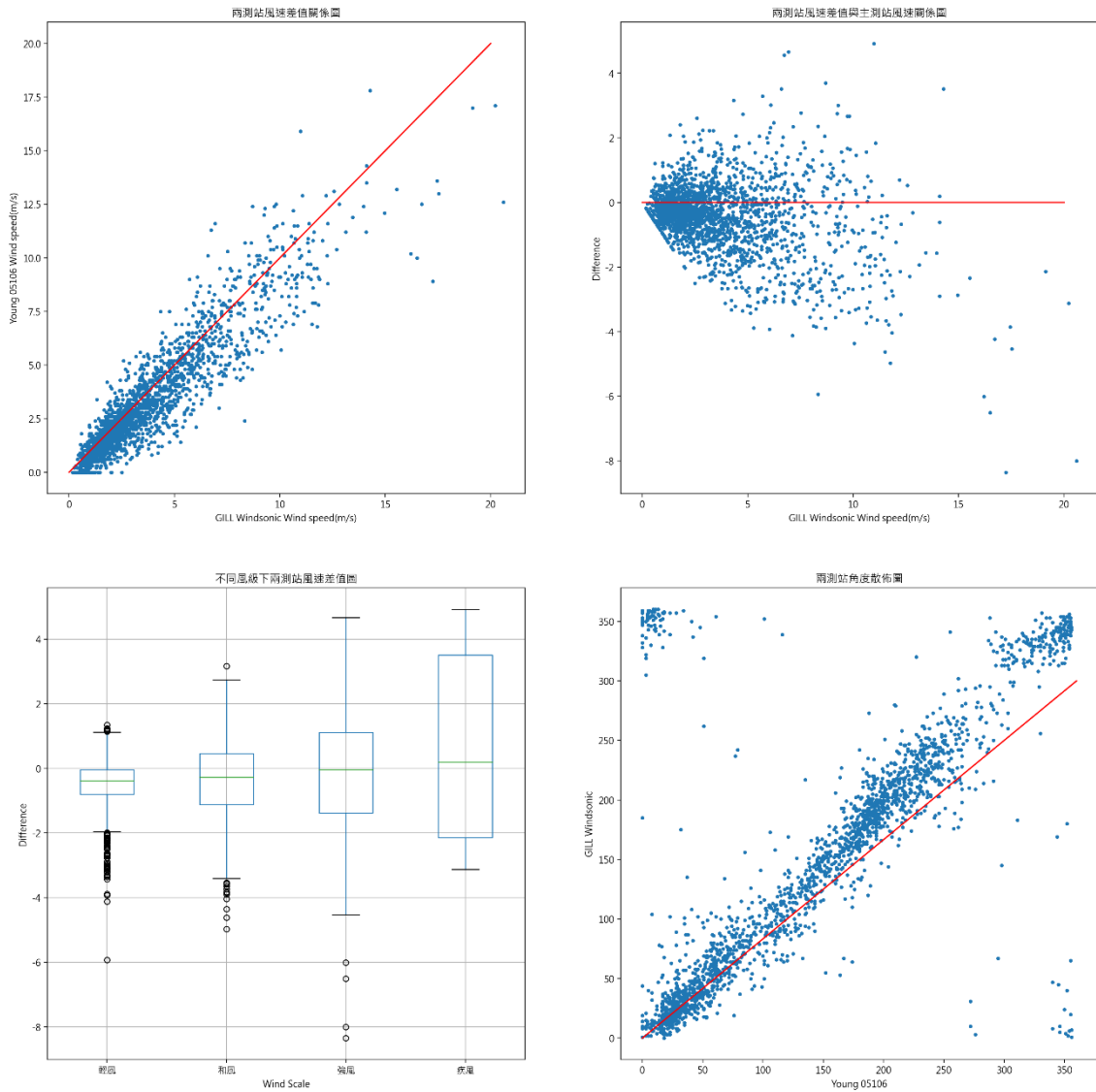
圖 3.9 基隆港相同年期超音波式風速計風向資料分析圖

2. 超音波式風速計與螺旋槳式及風杯式現地量測之統計差異

為探討超音波式風速計與其他款式風速計之差異，本計畫蒐集中央氣象署位於基隆港潮位站上方之螺旋槳式風速計(Young 05106)資料進行比對，該站位置與本所設置位置相同(參考圖 3.6)，其資料發布頻率為每小時 1 筆(亦即整點正時發布前 10 分鐘資料)，因此，本計畫主要針對超音波式與螺旋槳式風速計之 10 分鐘平均風速及風向資料進行比對。在 10 分鐘比對結果，如圖 3.10 所示，其有效樣本數為 2,096 筆，平均風速差值(螺旋槳風速計觀測值-超音波風速計觀測值)平均為-0.45m/s，標準差為 1.12，其差值最大值為 4.92m/s、最小為-0.80m/s，在平均風向差值平均為 15.61°。不同風級下之角度差進行分析，如圖 3.11 所示，亦同樣在風速增大下，風向角度差有逐步收斂的情形。

2 款風速計，在低風速下(3.3m/s 以下)，其超音波式風速計之平均風速略高於螺旋槳式，在中風速(3.3m/s~13.8m/s)，2 款風速計之數值接近，而在高風速時(13.8m/s 以上)，螺旋槳式風速計有略高於超音波式風速計之趨勢，大致符合儀器特性與先驗知識。惟本計畫蒐集之有效樣本數不多，特別是在高風速下之觀測資料，後續仍可持續累積蒐集並探討。

超音波式與螺旋槳風速計(Ultrasonic vs Propeller)比較圖



備註：左上圖為 2 測站平均風速關係圖、右上圖為平均風速差值與風速之關係圖、左下圖為不同風級下差值之盒子圖、右下圖為 2 測站平均風向關係圖

圖 3.10 基隆港超音波式與螺旋槳式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖

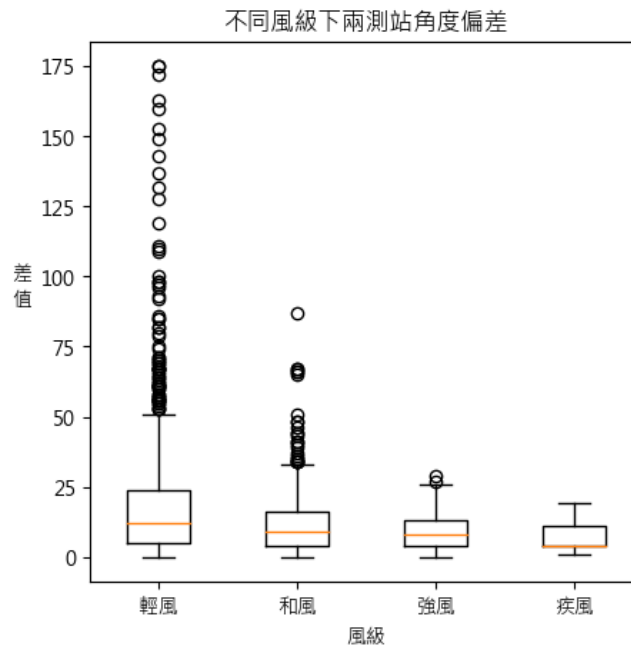
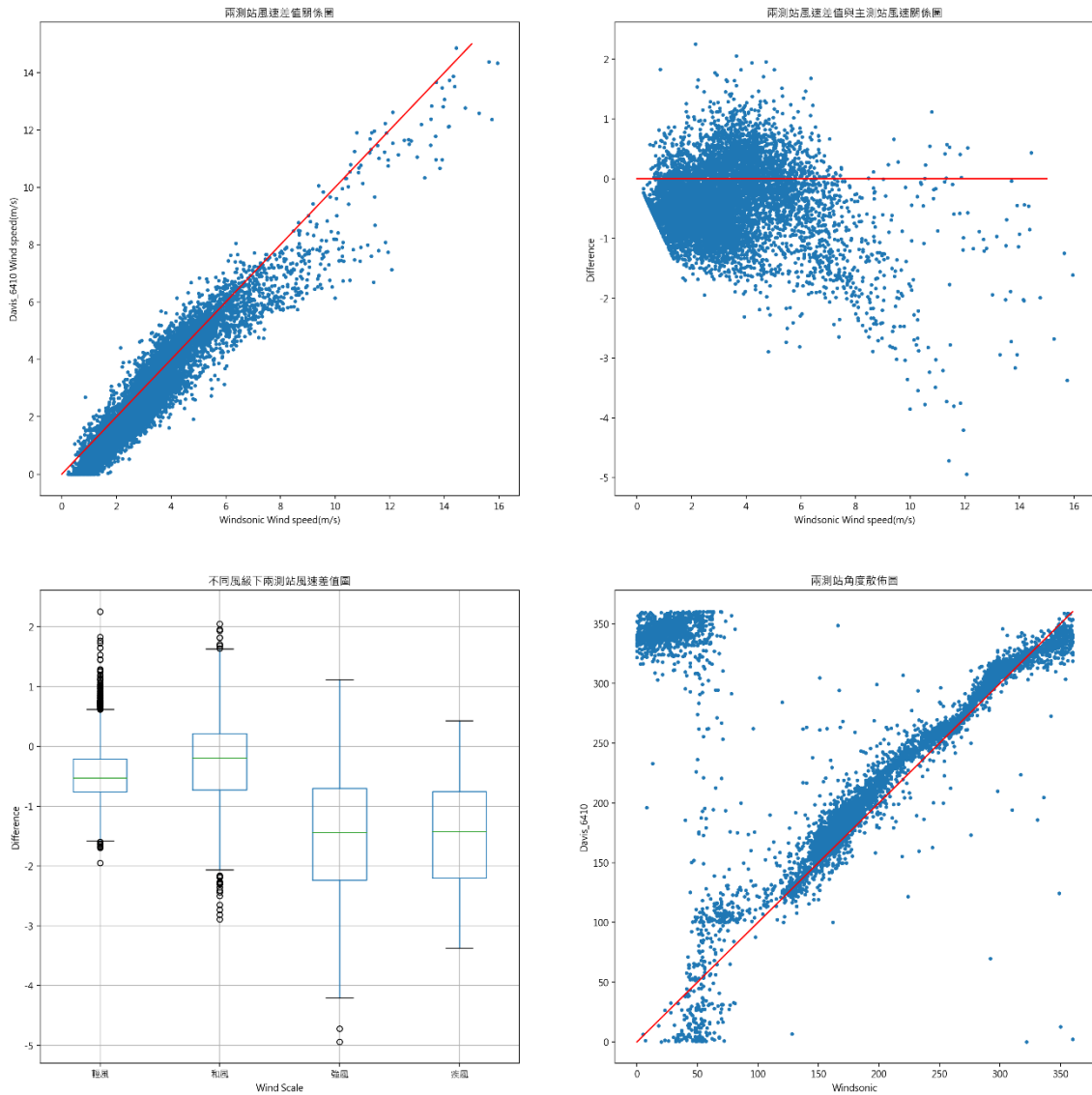


圖 3.11 基隆港超音波式與螺旋槳式風速計風向資料分析圖

此外，風杯式風速計亦經常應用於小型氣象站之風力觀測，本計畫亦於本所運輸技術研究中心行政大樓頂樓安裝 1 組 Davis-6410 風杯式風速計(如圖 3.1)，在 10 分鐘比對結果，如圖 3.12 所示，其有效樣本數為 8,444 筆，平均風速差值(風杯式風速計觀測值-超音波風速計觀測值)平均為-0.42m/s，標準差為 0.61，其差值最大值為 2.25m/s、最小為-4.94m/s，在平均風向差值平均為 17.20°。不同風級下之角度差進行分析，如圖 3.13 所示，亦同樣在風速增大下，風向角度差有逐步收斂的情形。

風杯式風速計分析結果，在中低風速(7.9m/s 以下)，其結果大概與螺旋槳式分析結果接近，惟在中高風速(7.9m/s 以上)，分析結果與先驗知識有所悖離，初步推測與本計畫設定之取樣頻率過高以及儀器本身的解析度可能有關聯，雖然依據 Davis-6410 操作手冊，其取樣頻率可達到 1Hz，然而多數使用者仍以 2.5 秒以上做為資料取樣的設定，而該儀器風速準確度在 $\pm 1\text{m/s}$ 或 5%，亦可能造成分析結果偏誤的情形，後續可再調整相關設定後再探討相關原因。

超音波式風速計(Windsonic)與風杯式風速計(Davis_6410)比較圖



備註：左上圖為 2 測站平均風速關係圖、右上圖為平均風速差值與風速之關係圖、左下圖為不同風級下差值之盒子圖、右下圖為 2 測站平均風向關係圖

圖 3.12 臺中港超音波式與風杯式風速計 10 分鐘資料綜合分析圖

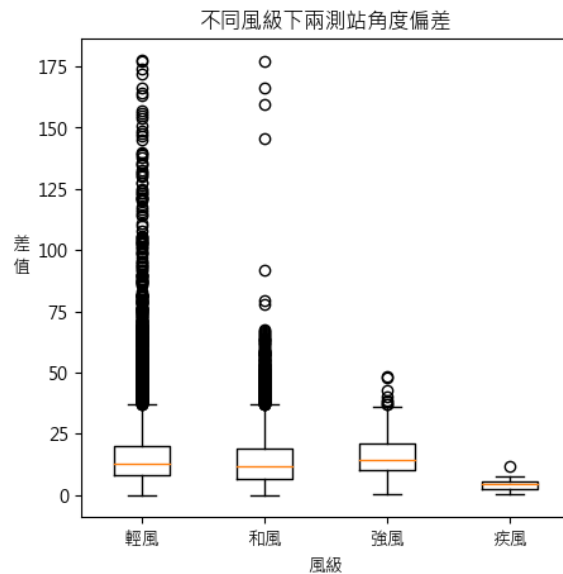


圖 3.13 臺中港超音波式與風杯式風速計風向資料分析圖

3.2.2 最大風速之計算方法比較及探討

最大風速的編報，一般以資料統計期間 3 秒移動平均值之最大值代表，或使用瞬間最大值；目前在有人觀測站多以 3 秒移動平均，而無人自動觀測站多以瞬間值為代表。一般而言，最大瞬間風 (Peak Gust) 是在一定時間內測量到的最大瞬間風速，這個瞬間值，通常反映最大風速突增；而三秒移動平均最大風 (3-second Gust) 是在一定時間內測量到的 3 秒移動平均最大風速，它通過在每個時間點上取前 3 秒內移動平均的最大值，相對於瞬間風速，它反映較短時間內持續的最大風速。

本計畫針對各港區主要風力測站進行這 2 種方法的比較分析，所使用之資料期間為 2022 年 9 月至 2024 年 8 月(部分測站因資料擷取系統更新較慢，僅使用 2023 年 9 月至 2024 年 8 月之資料)，其結果如表 3-4 所示。結果顯示，該 2 方法約有 21~25% 的最大風速發生時間是相同的，而相差在 3 秒內的比例也在 73~85%，顯示就統計結果來看，最大風的發生時間並無太大差異；另外從 2 方法之風速差值來看，其差值平均值約介於 0.1~0.35m/s，最大瞬間風略高於三秒移動平均最大風。2 方法在高風速下，差值有較為明顯的現象，其原因在於突發性強陣風或地形結構之風速擾動影響。因此，不論採用最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之最大風，原則沒有顯著差異。

表 3-4 各商港主要風力測站最大風速計算方法分析結果統計表

港區	臺中港		臺北港	安平港	
測站代碼	TCWD02	TCWD07	TPWD03	APWD01	APWD04
樣本數	916,299	915,787	915,757	916,287	913,340
最大值之時間差佔比(%)					
相同	24.13	23.43	24.59	24.42	23.75
相差 1 秒	57.04	56.14	58.91	59.79	56.75
相差 2 秒	80.03	79.80	81.35	82.43	79.73
相差 3 秒	81.10	80.74	82.33	83.48	80.74
最大值之風速差(m/s)					
平均值	0.16	0.30	0.24	0.10	0.19
標準差	0.17	0.31	0.28	0.10	0.19
Min	-1.14	-1.34	-0.49	-0.43	-0.48
25%	0.05	0.10	0.06	0.03	0.07
50%	0.10	0.21	0.15	0.07	0.14
75%	0.20	0.41	0.32	0.13	0.25
Max	4.07	7.53	5.91	2.37	8.25

表 3-4 各商港主要風力測站最大風速計算方法分析結果統計表(續)

港區	布袋港		花蓮港	基隆港	蘇澳港
測站代碼	BDWD01	BDWD02	HLWD02	KLWD04	SAWD01
樣本數	558,949	909,751	915,354	915,520	632,013
最大值之時間差佔比(%)					
相同	23.19	23.19	21.83	24.97	25.99
相差 1 秒	56.78	55.14	51.81	58.81	61.23
相差 2 秒	79.69	77.46	72.65	80.49	83.50
相差 3 秒	80.65	78.41	73.62	81.56	84.53
最大值之風速差(m/s)					
平均值	0.29	0.26	0.35	0.19	0.15
標準差	0.30	0.29	0.34	0.22	0.18
Min	-0.02	-0.58	-0.7	-0.65	-0.33
25%	0.09	0.09	0.11	0.05	0.04
50%	0.20	0.18	0.25	0.12	0.08
75%	0.38	0.34	0.47	0.26	0.18
Max	7.24	6.55	5.05	4.17	7.35

表 3-4 各商港主要風力測站最大風速計算方法分析結果統計表(續)

港區	高雄港			澎湖港	
測站代碼	KHWD01	KHWD04	KHWD08	PHWD01	PHWD02
樣本數	526,013	916,282	916,076	915,444	868,484
最大值之時間差佔比(%)					
相同	25.60	24.38	24.13	23.30	23.67
相差 1 秒	60.45	58.17	58.40	56.99	55.88
相差 2 秒	82.72	81.12	80.79	81.08	78.88
相差 3 秒	83.74	82.22	81.78	82.00	79.86
最大值之風速差(m/s)					
平均值	0.16	0.09	0.17	0.32	0.34
標準差	0.18	0.10	0.19	0.33	0.35
Min	0.00	-0.29	-0.53	-0.77	-0.27
25%	0.05	0.03	0.05	0.09	0.11
50%	0.11	0.07	0.11	0.22	0.23
75%	0.21	0.12	0.22	0.43	0.45
Max	6.04	5.80	4.65	7.35	6.23

本計畫另針對該 2 方法之在不同季節、月份、風速分級及風向之風速差，分析如圖 3.14~圖 3.22，其結果顯示，除風速增大會增加 2 方法差值外，其餘在季節、月份及風向，並無顯著影響，惟風速差值均普遍小於 0.5m/s，顯示 2 方法在統計使用上，亦無明顯差異。

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
TCWD02M01

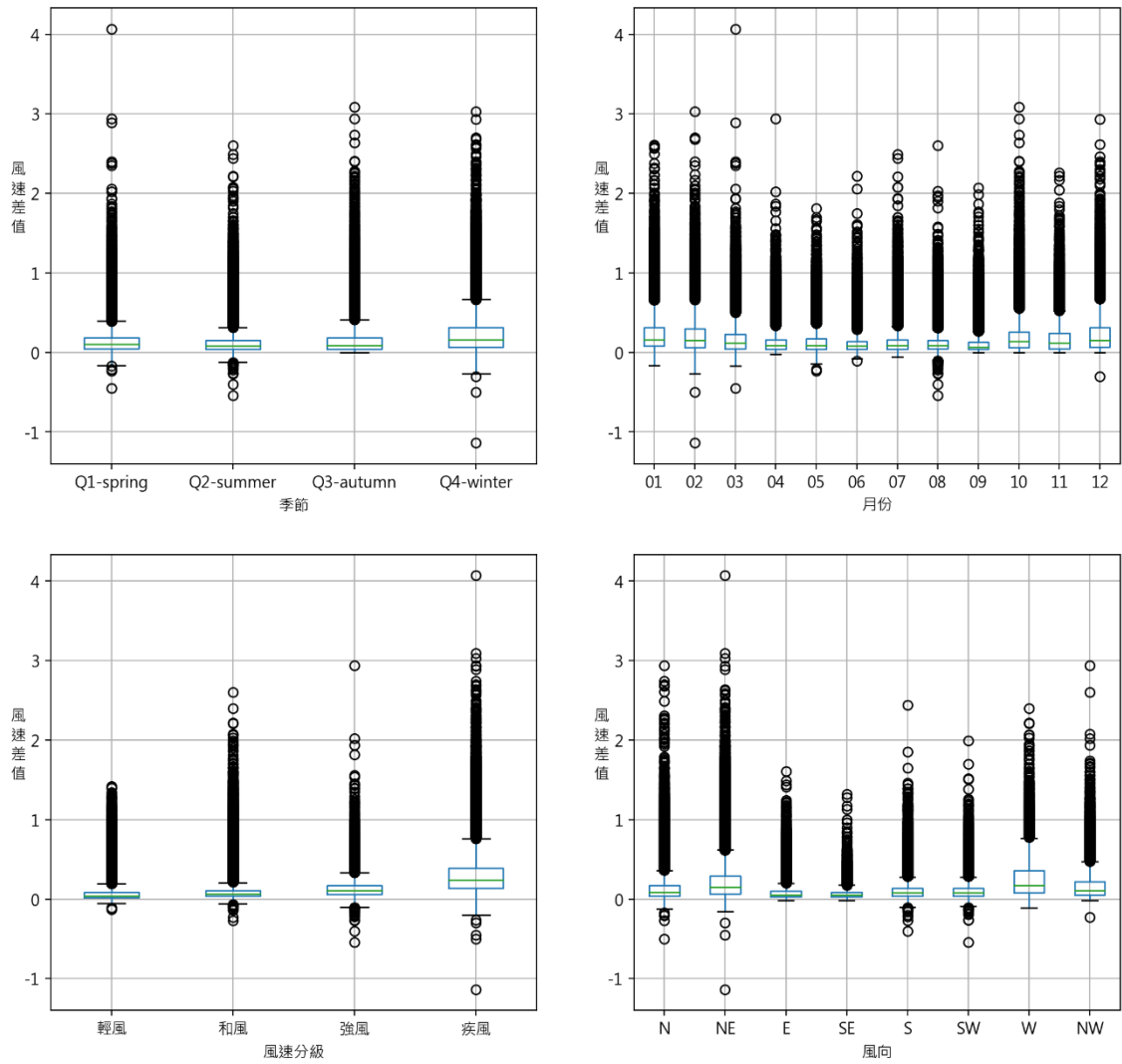


圖 3.14 臺中港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
BDWD01M01

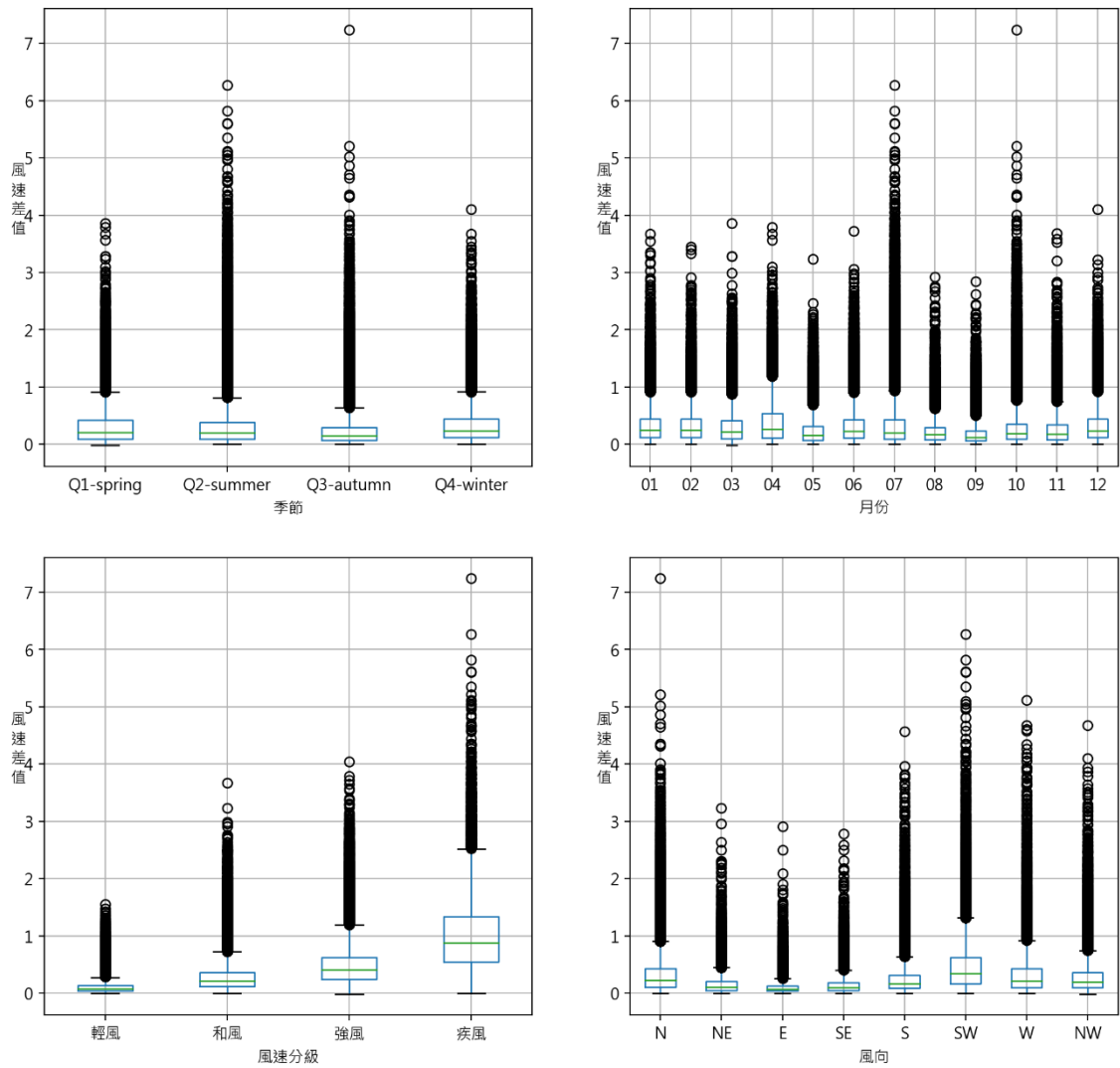


圖 3.15 布袋港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
APWD01M01

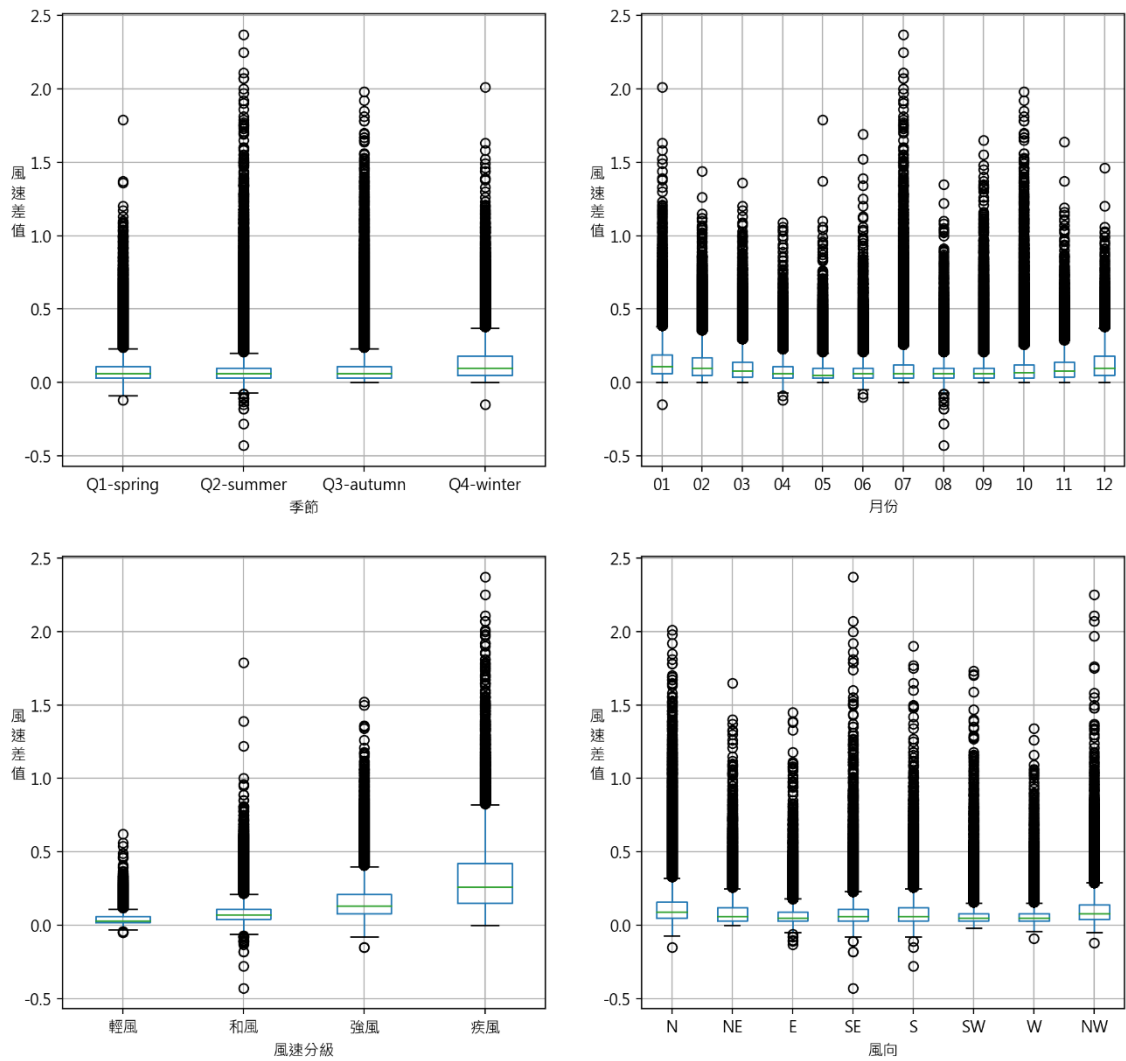


圖 3.16 安平港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
KHWD04M01

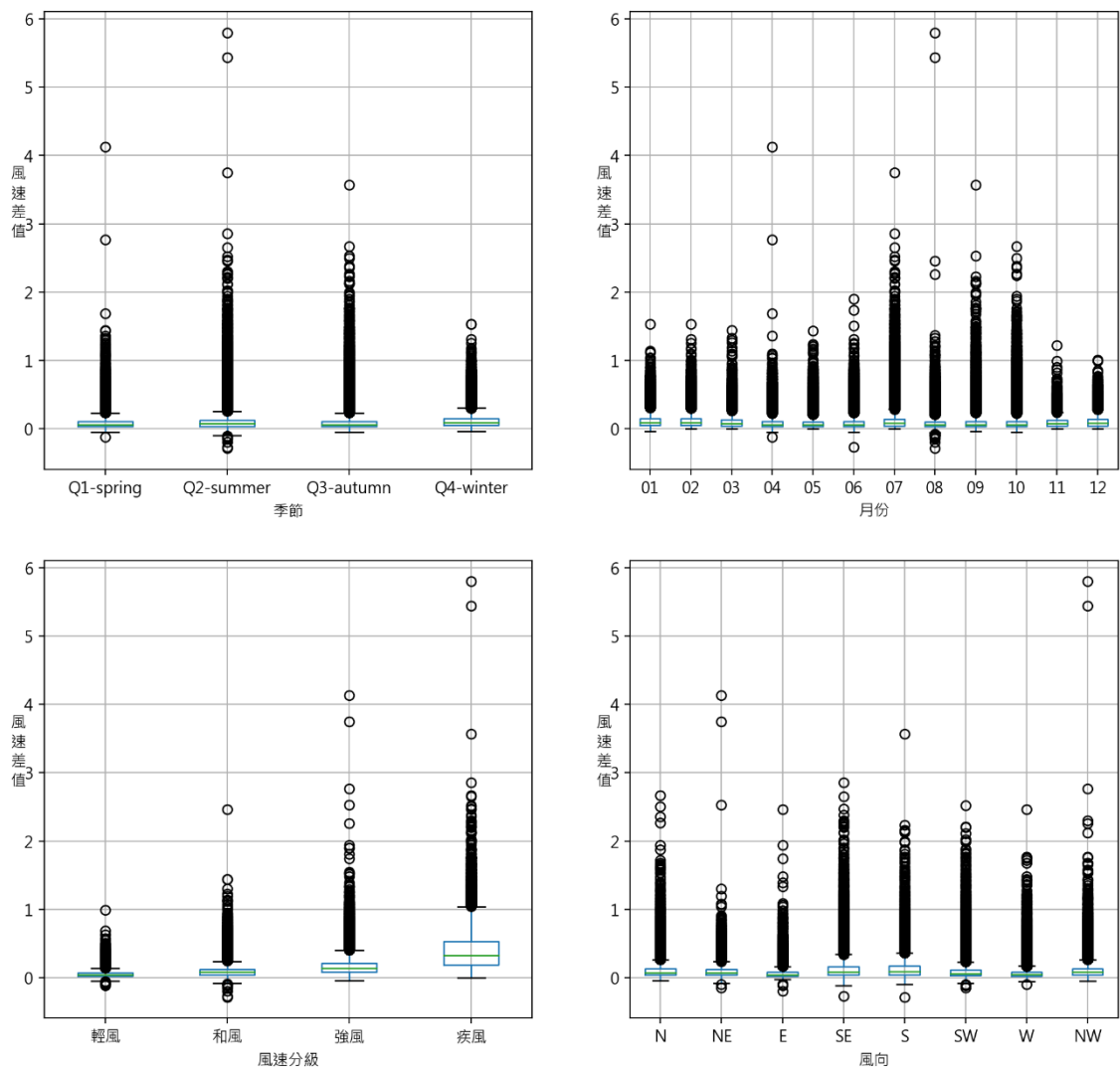


圖 3.17 高雄港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
HLWD02M01

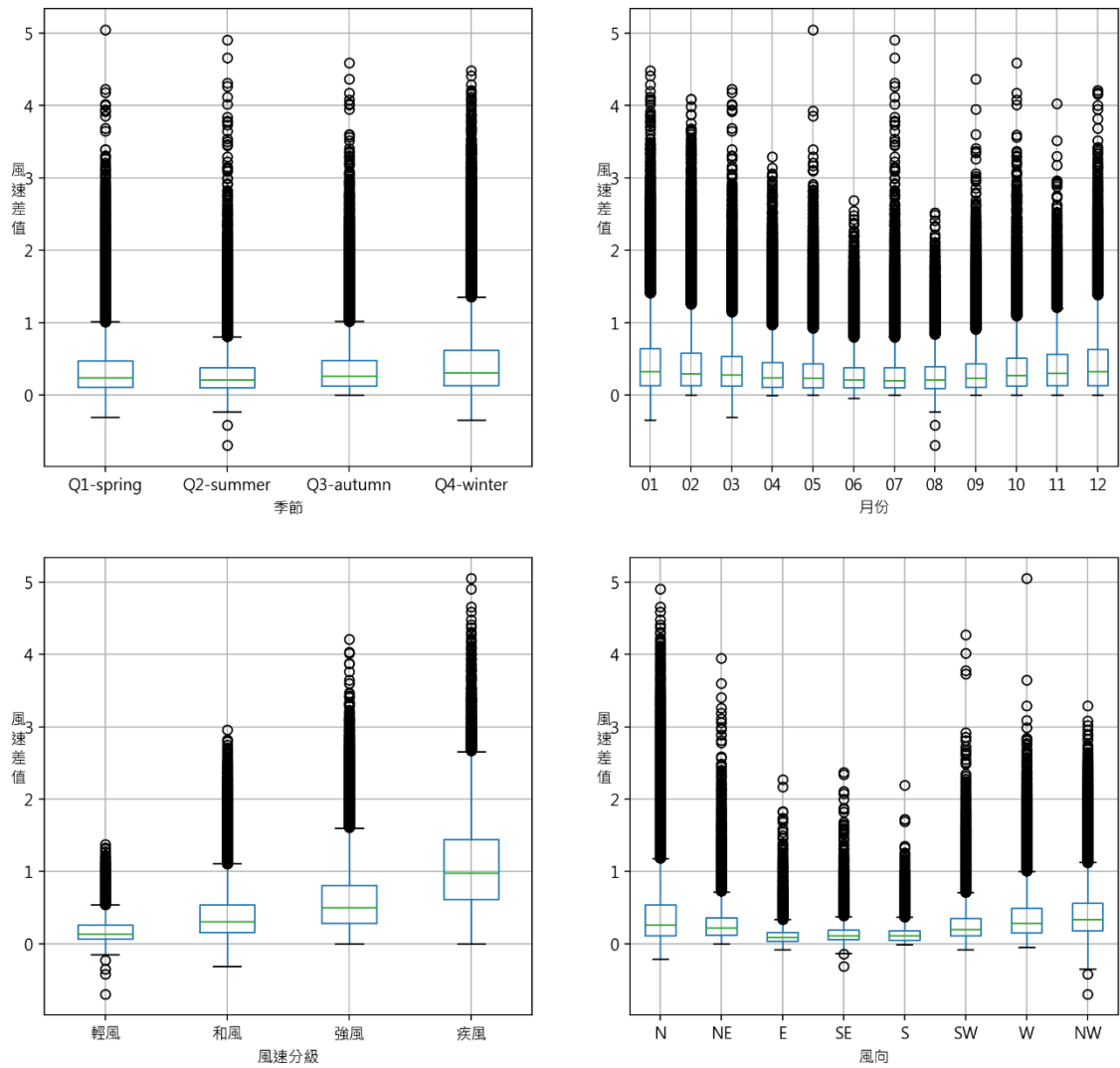


圖 3.18 花蓮港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
SAWD01M01

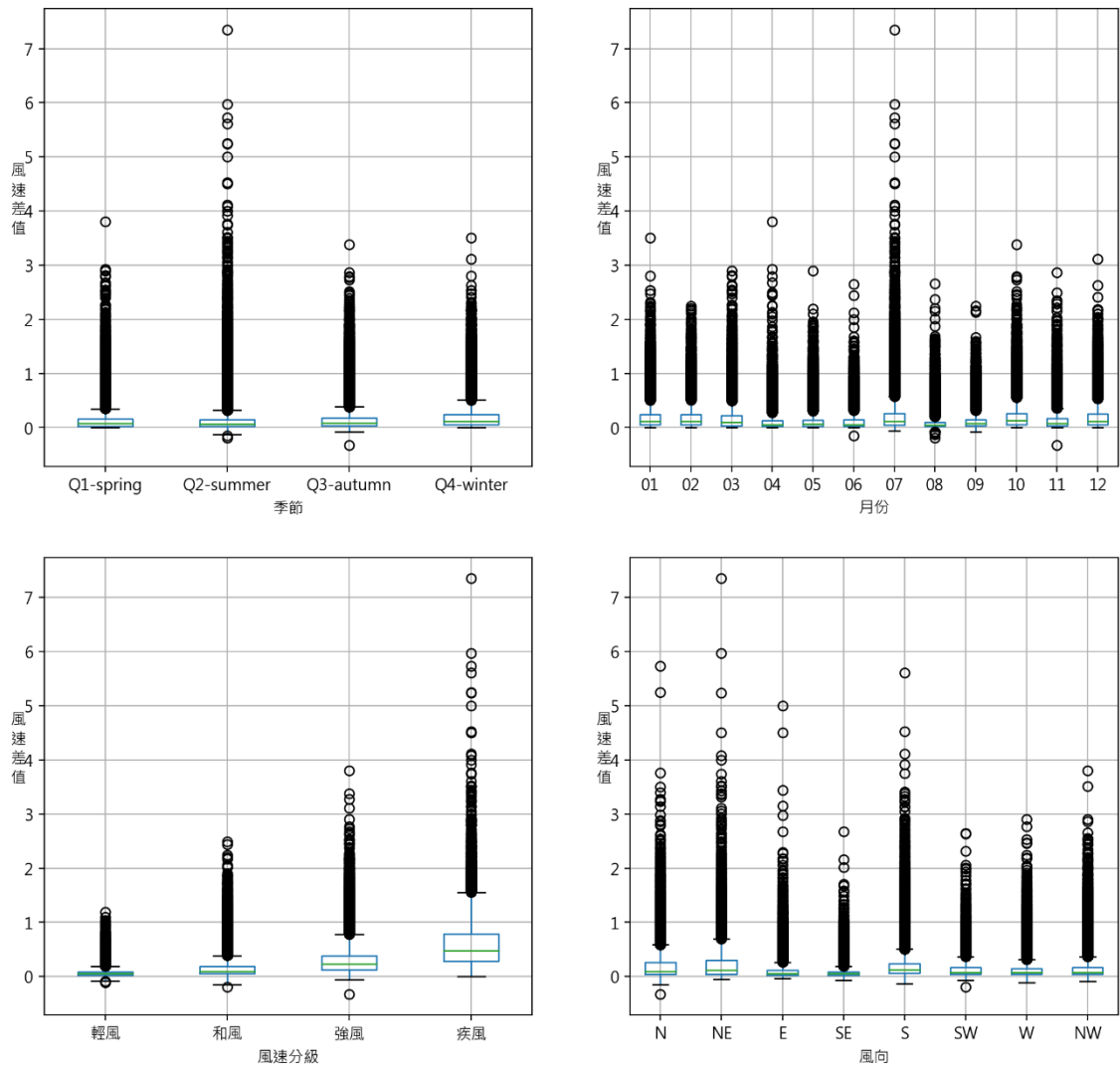


圖 3.19 蘇澳港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
KLWD04M01

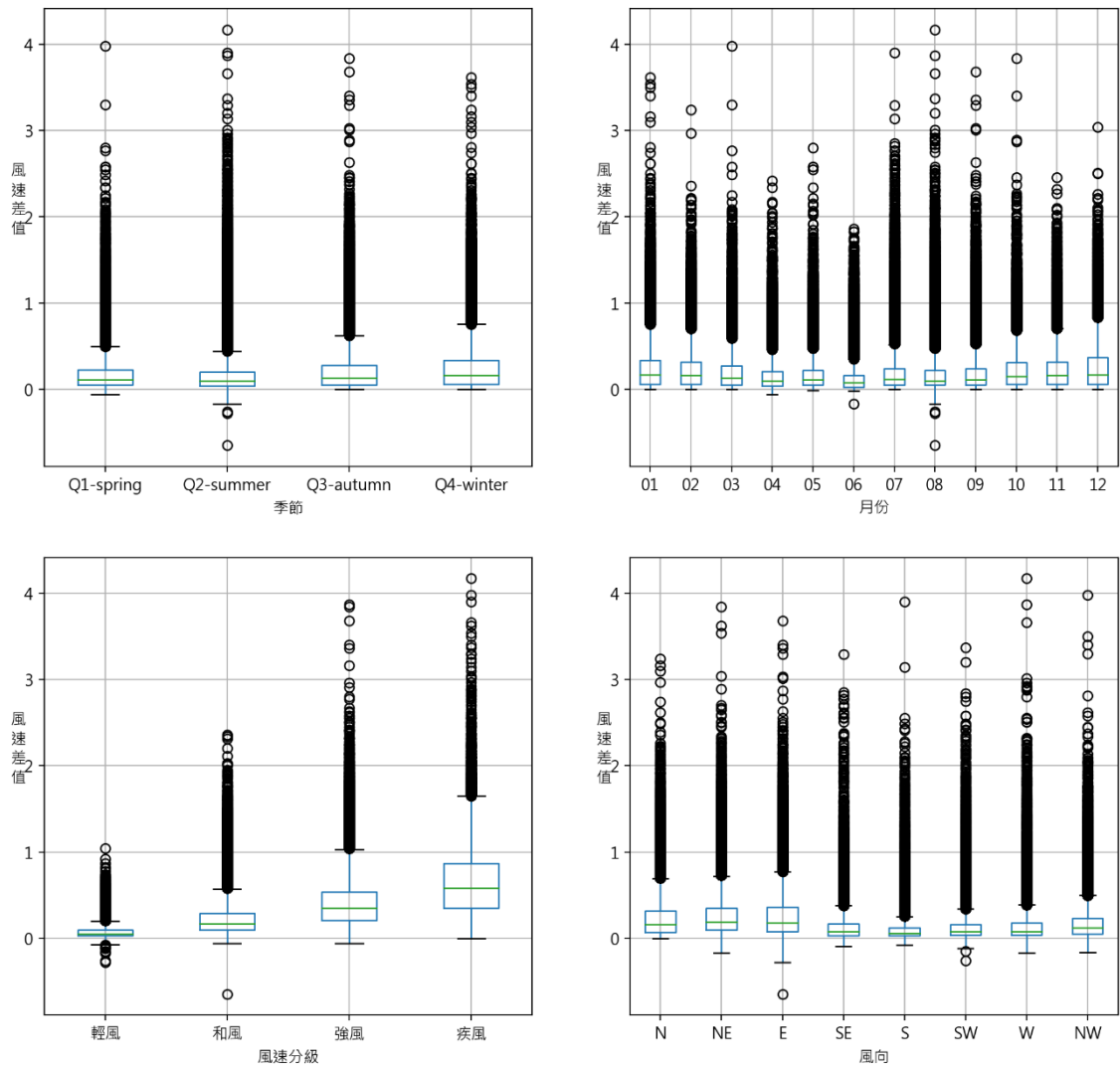


圖 3.20 基隆港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
TPWD03M01

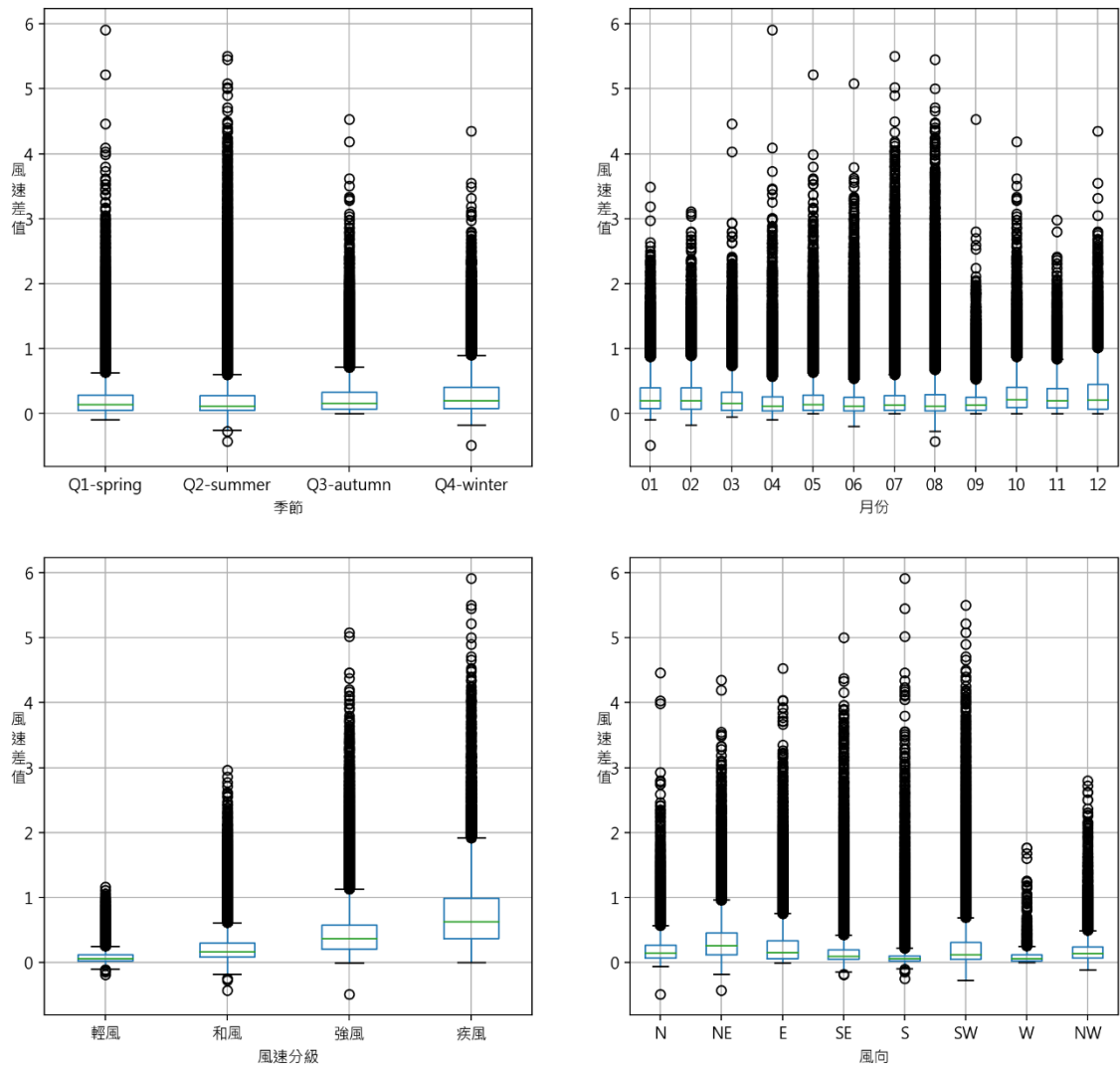


圖 3.21 臺北港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風速與3秒移動平均法之風速差值
PHWD02M01

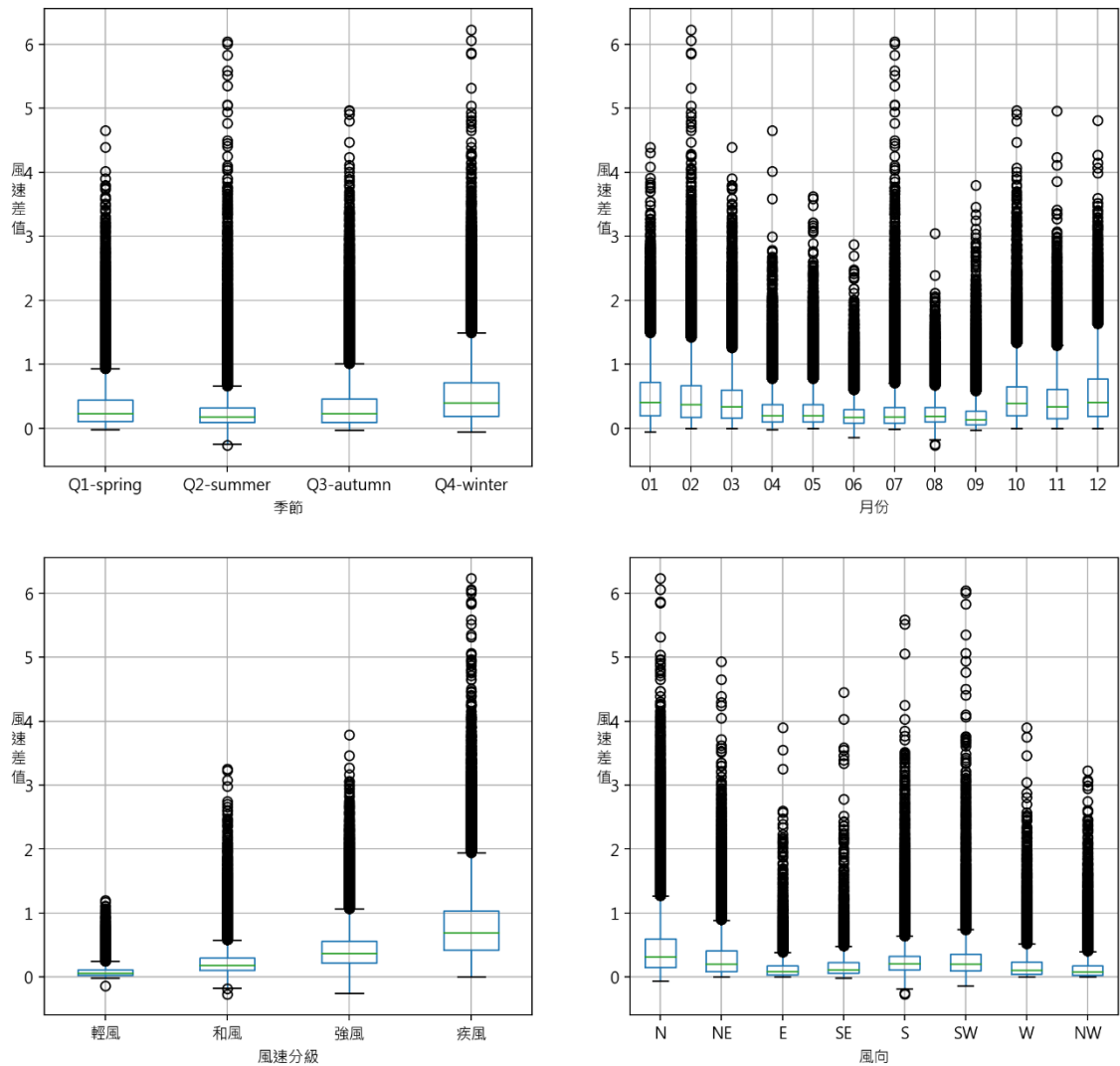


圖 3.22 澎湖港最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之風速差值圖

最大瞬間風的值通常會高於三秒移動平均最大風，因為它捕捉到了更短時間內的最大突發值，而三秒移動平均最大風被認為更好地代表了人們和建築物實際感受到的最大風力，因為它反映了一個較短的時間段內持續的最大風速。

當最大瞬間風顯著高於三秒移動平均最大風時，說明在測量期間有較大的風速突增，風速變化劇烈。這種情況可能是受到地形變化、建築物干擾等引起的短時間內的強風突發，建議進一步分析風速的動態特性，同時也需要

關注測量設備的性能，這個現象對於風力災害之風險評估和防災措施的制定非常重要。

3.2.3 平均風向之計算方法比較及探討

平均風向的計算，其中向量平均法係將風速及風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向；單位向量平均法則不考慮風速，僅將風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向。本計畫主要透過港區各測站之實測資料，探討 2 方法之差異。

本計畫首先使用逐秒觀測數據，在分別統計 1 分鐘及 10 分鐘之平均風向，並取風向角度之差值絕對值，計算 2 個方法之夾角。其統計分析結果如表 3-5 所示，從統計區間來看，角度差之平均值介於 0.1~2.4°，其中 10 分鐘平均值之角度差均略高於 1 分鐘，相差 10 度以內約占 97~97%，顯示在大多狀況下，2 方法之風向並無顯著差異。

表 3-5 各商港平均風向計算方法比較表

港區	臺中港(TCWD02)		安平港(APWD01)	
統計區間	1min	10min	1min	10min
樣本數	611732	61176	669747	66980
平均值	0.44	0.57	0.11	0.31
標準差	3.83	4.57	0.55	1.64
相差 5 度以內	98.34%	98.08%	99.90%	99.22%
相差 10 度以內	99.15%	99.10%	99.97%	99.72%

表 3-5 各商港平均風向計算方法比較表(續)

港區	布袋港(BDWD02)		高雄港(KHWD04)	
統計區間	1min	10min	1min	10min
樣本數	642457	64271	673750	67379
平均值	0.63	0.79	0.18	0.46
標準差	1.14	1.67	0.93	1.76
相差 5 度以內	99.47%	99.00%	99.72%	98.78%
相差 10 度以內	99.90%	99.70%	99.90%	99.58%

表 3-5 各商港平均風向計算方法比較表(續)

港區	花蓮港(HLWD02)		蘇澳港(SAWD01)	
統計區間	1min	10min	1min	10min
樣本數	640246	64069	327958	32797
平均值	1.95	2.44	1.16	1.49
標準差	2.38	2.80	3.30	3.25
相差 5 度以內	90.97%	86.78%	94.42%	92.66%
相差 10 度以內	98.93%	98.90%	98.19%	97.86%

表 3-5 各商港平均風向計算方法比較表(續)

港區	基隆港(KLWD04)		臺北港(TPWD03)	
統計區間	1min	10min	1min	10min
樣本數	651164	65120	611883	61190
平均值	0.83	1.37	1.25	1.68
標準差	1.97	3.58	3.88	4.67
相差 5 度以內	98.03%	95.66%	95.46%	93.44%
相差 10 度以內	99.55%	98.52%	98.22%	97.04%

表 3-5 各商港平均風向計算方法比較表(續)

港區	PHWD01		PHWD02	
統計區間	1min	10min	1min	10min
樣本數	591831	59222	593775	59416
平均值	0.72	0.91	0.60	0.65
標準差	1.01	1.82	1.25	1.96
相差 5 度以內	99.65%	98.84%	99.04%	98.84%
相差 10 度以內	99.93%	99.61%	99.87%	99.65%

本計畫另針對該 2 方法之在不同季節、月份、風速分級及風向之風速差，分析如圖 3.23~圖 3.31，其結果顯示，在風速較小之狀況下，2 方法之角度差有較高之趨勢，特別是在風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異。另外，從主風向來看，部分測站，如臺中港、花蓮港、蘇澳港及臺北港可能受到地形及結構物之影響，容易有紊流之狀況，其亦會影響 2 方法在統計上的差異。

臺中港TCWD02
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

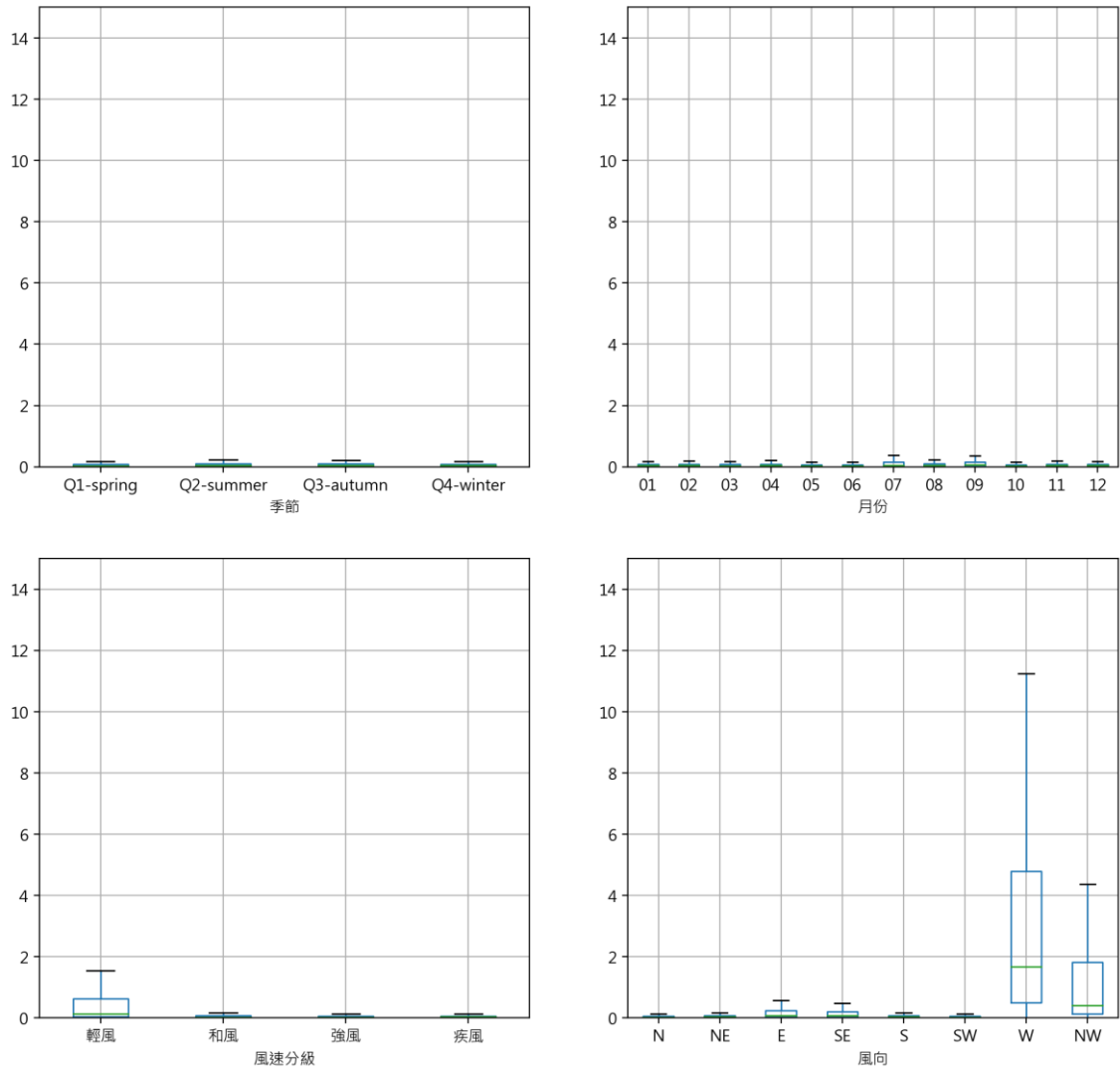


圖 3.23 臺中港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

布袋港BDWD02
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

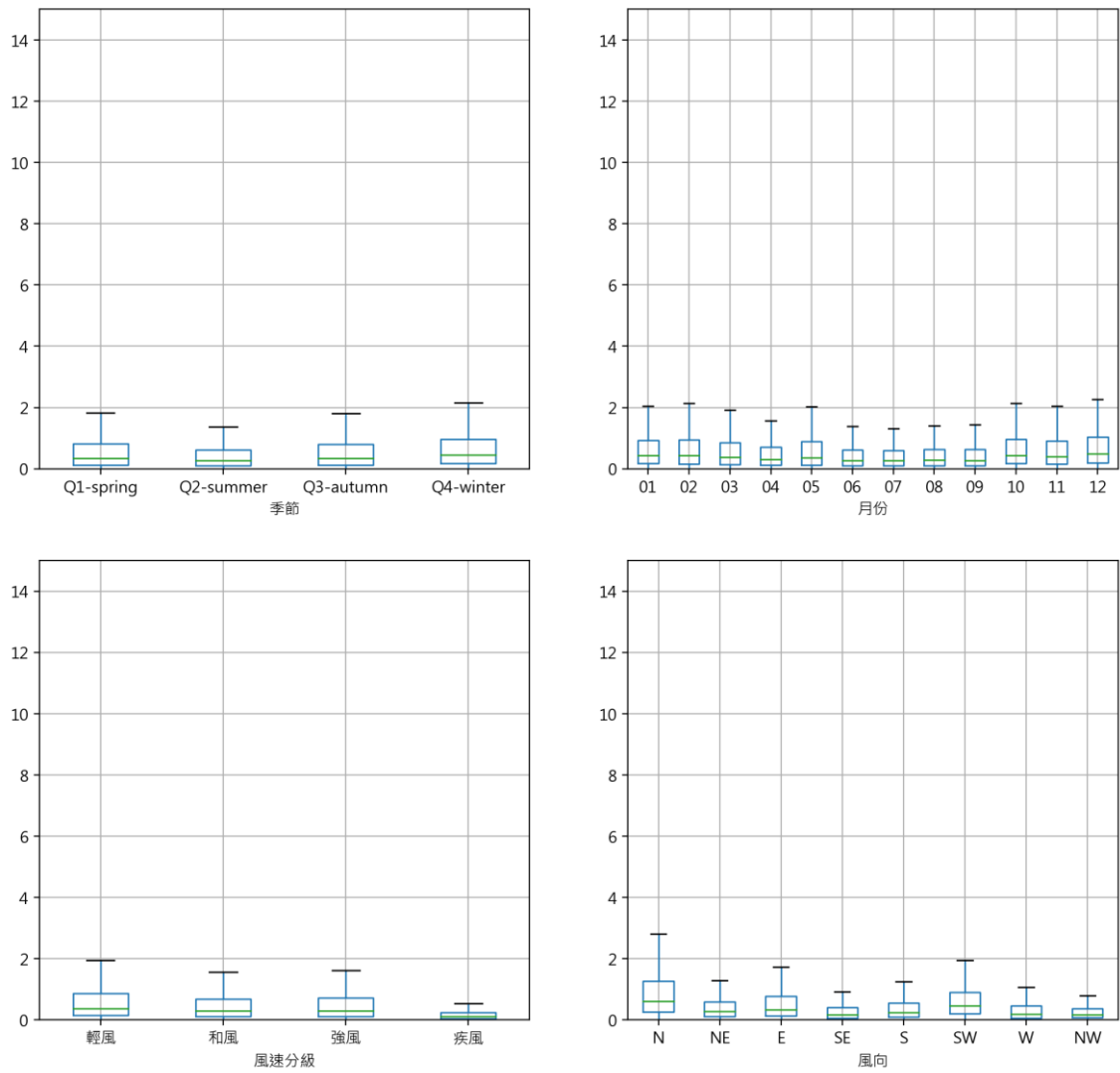


圖 3.24 布袋港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

安平港APWD01
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

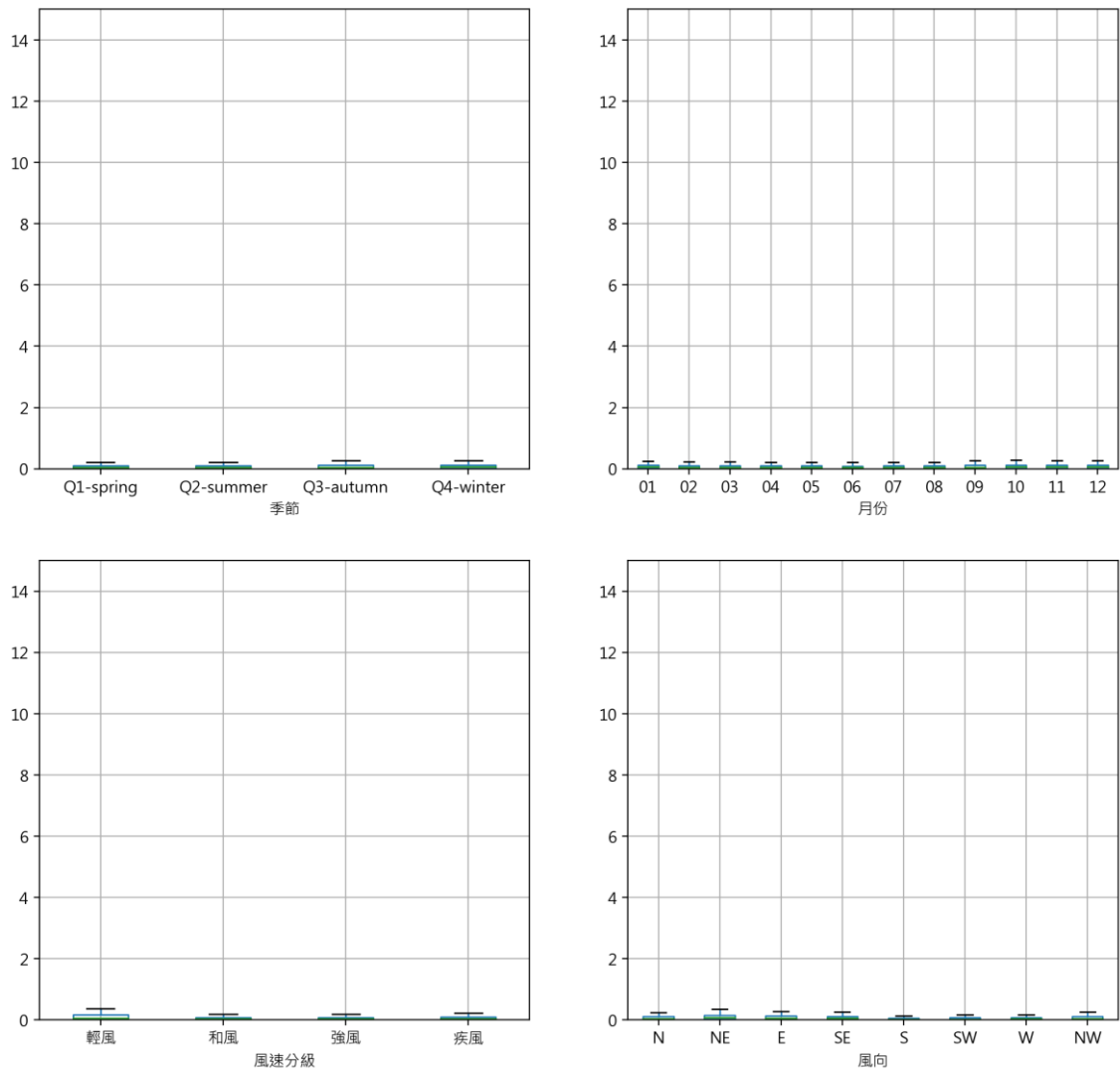


圖 3.25 安平港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

高雄港KHWD04
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

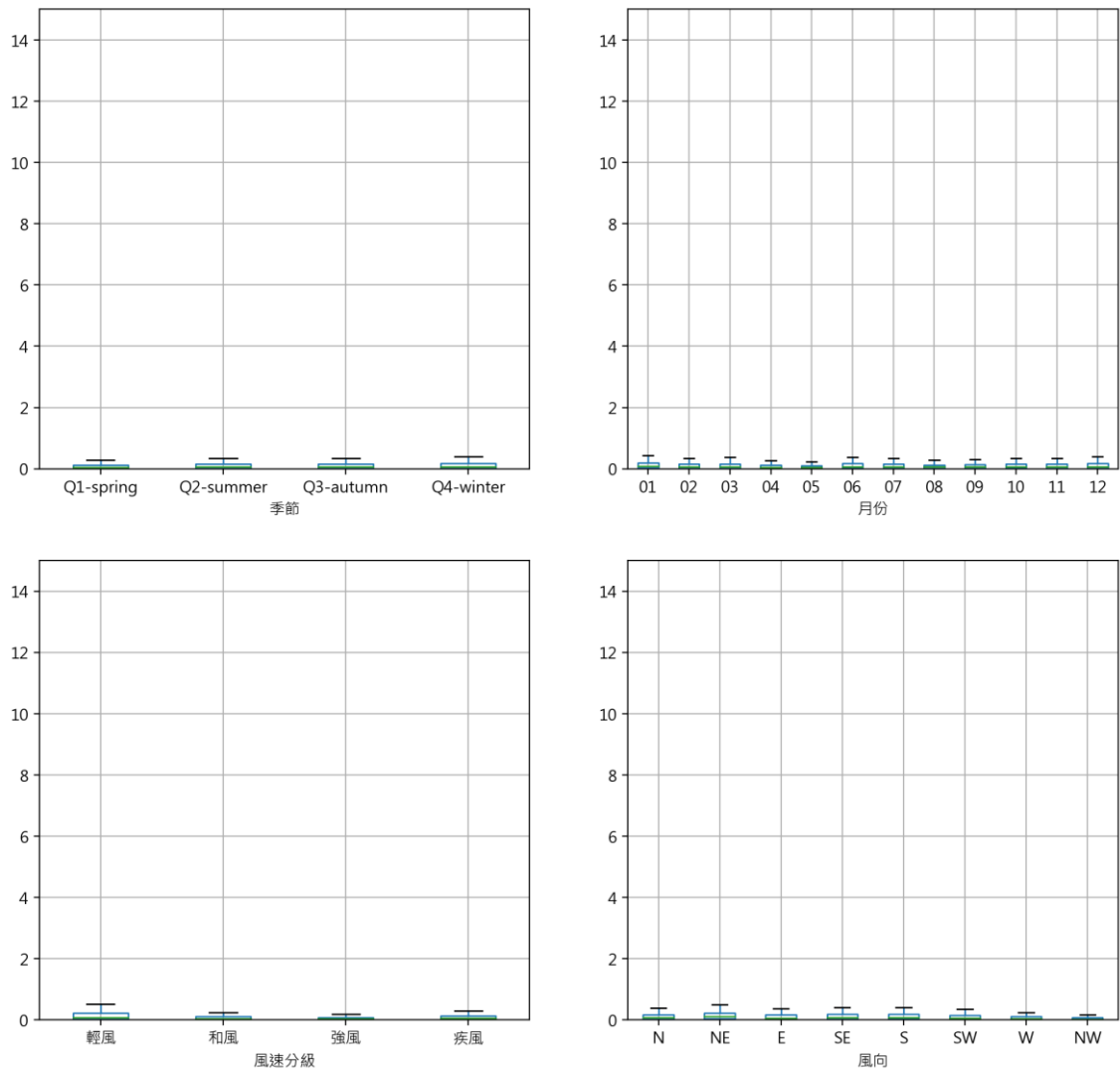


圖 3.26 高雄港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

花蓮港HLWD02
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

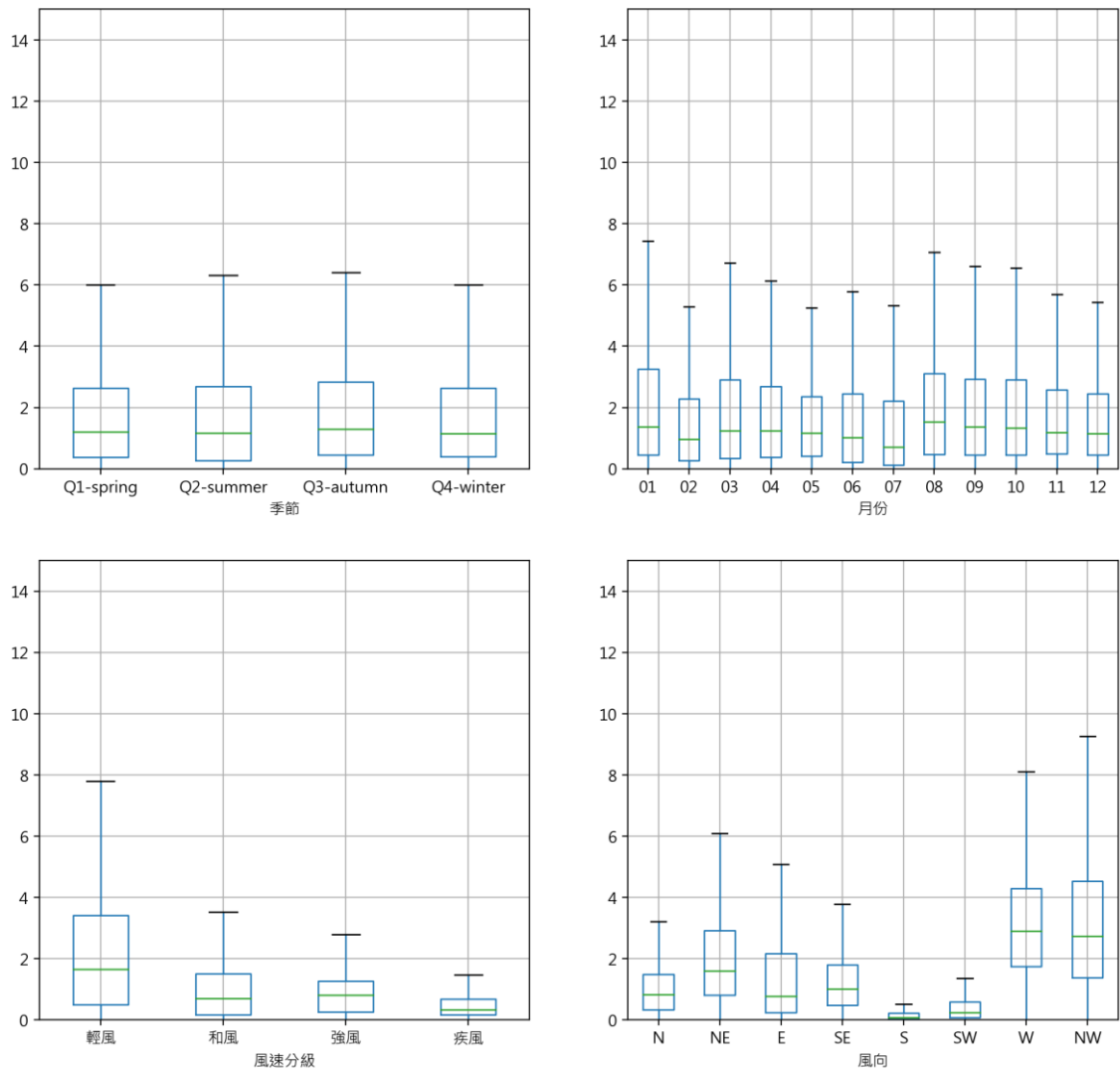


圖 3.27 花蓮港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

蘇澳港SAWD01
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

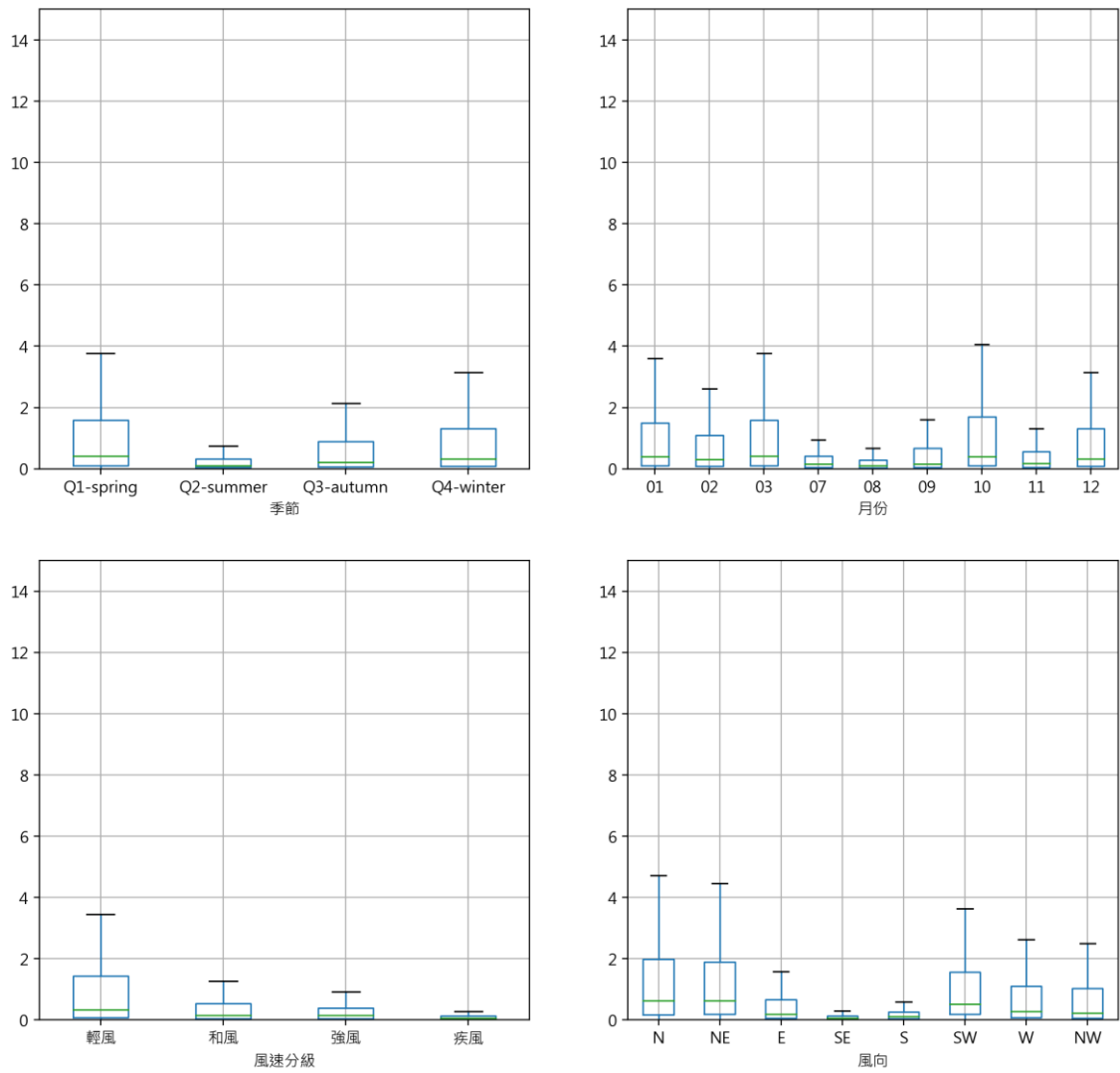


圖 3.28 蘇澳港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

基隆港KLWD04
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

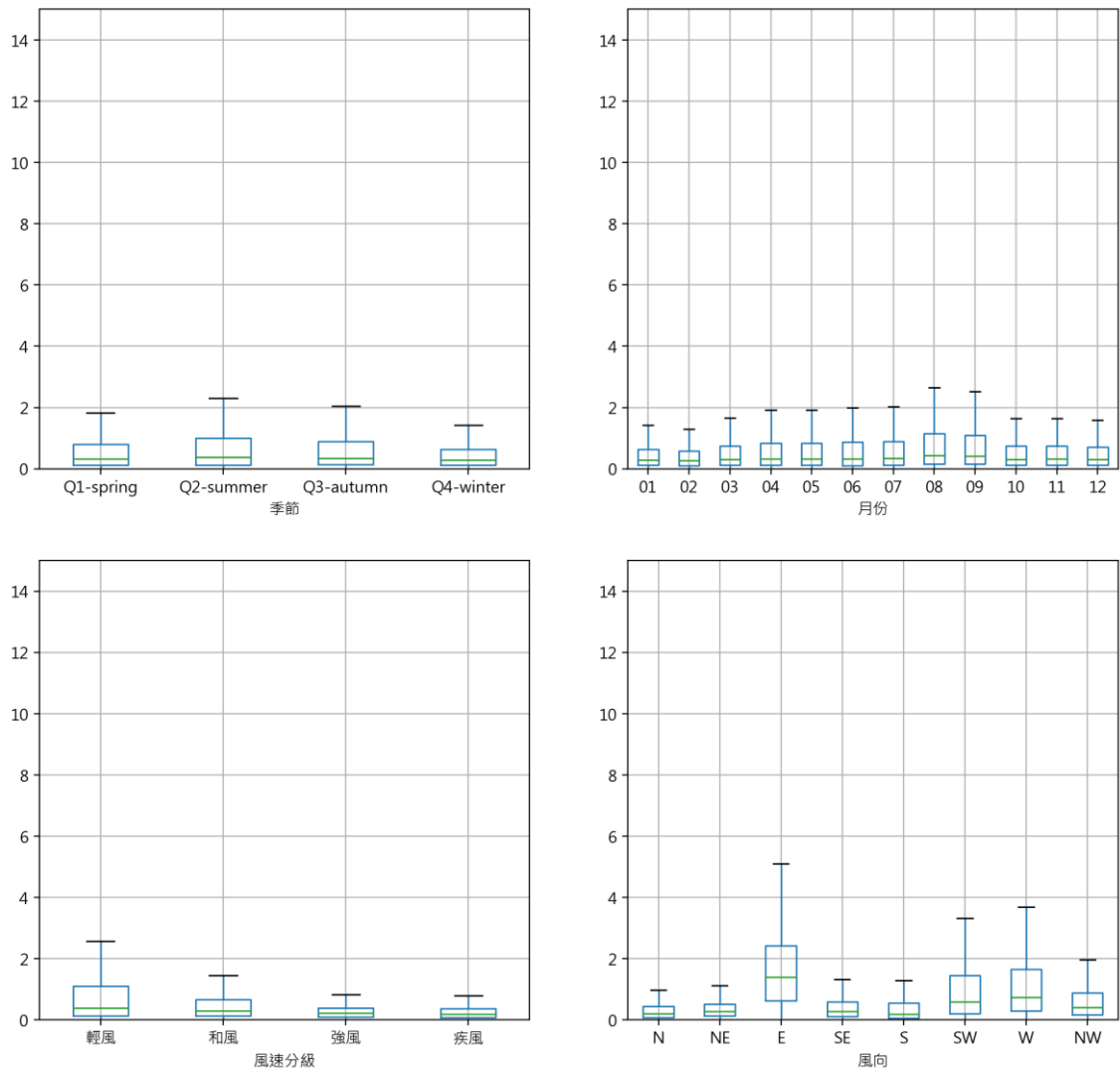


圖 3.29 基隆港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

臺北港TPWD03
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

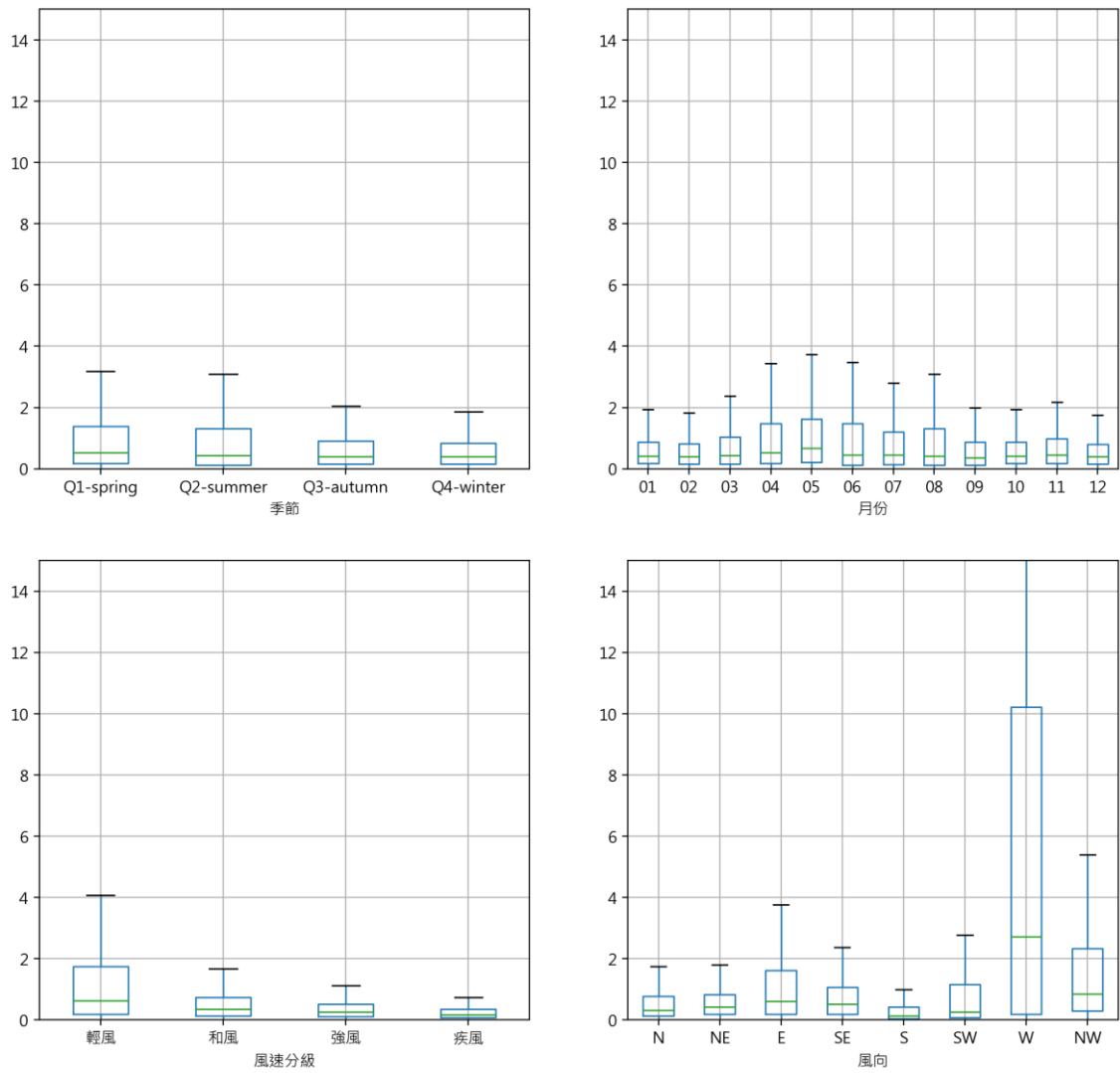


圖 3.30 臺北港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

澎湖港PHWD02
(1min) 向量平均與單位向量平均法之角度差值

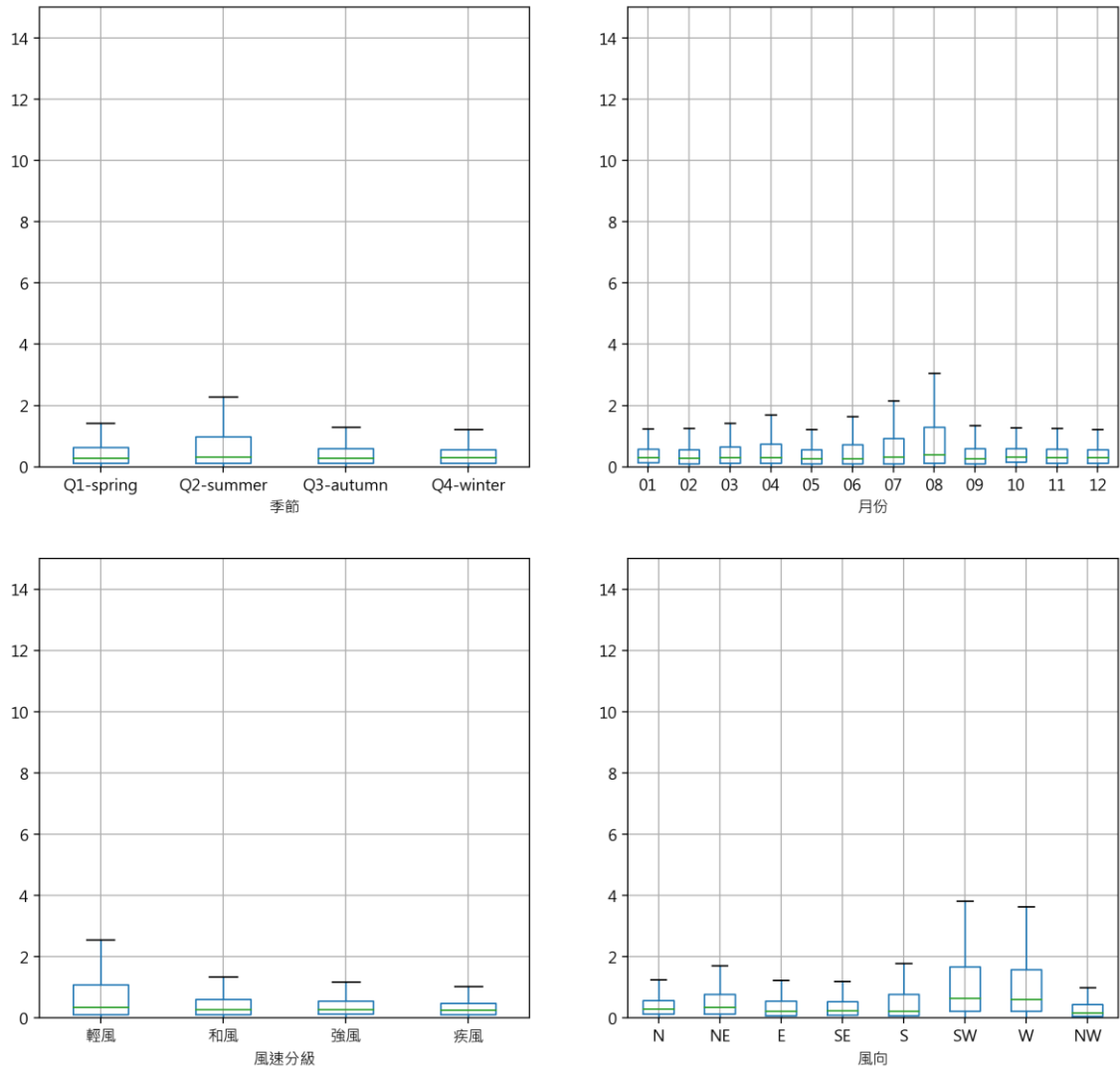


圖 3.31 澎湖港向量平均法與單位向量平均法之平均風向角度差值圖

3.3 小結

本計畫蒐集國內外主要風力觀測及統計之方法，並針對不同年期之超音波式風速計量測結果、不同儀器量測特性、最大風速之計算方法、平均風向之計算方法等內容進行探討及分析。

針對不同年期之超音波式風速計差異探討，本計畫使用 2015、2017、2018、2022 及 2023 年出廠之儀器進行 10m/s、20m/s、30m/s、40m/s 及 50m/s 之風洞實驗室校驗測試，其中除 2023 出廠之風速計為全新以外，其他均為各港區汰換之風速計，其結果顯示其量測誤差值均在 $\pm 1\text{m/s}$ 以內；此外本計畫亦於臺中港及基隆港等 2 處分別進行不同年期及相同年期之實場域測試，其量測結果大致與風洞實驗相符，顯示風速計在正常使用下(固定保養)，均能達到很好的量測代表性。

在不同儀器量測特性比對中，螺旋槳式、風杯式及超音波式風速計在 10 分鐘的量測統計，在 95% 的區間其風速差大致在 $\pm 2\text{m/s}$ 以內，其中螺旋槳式與超音波式風速計之量測結果，在低風速下(3.3m/s 以下)，其超音波式風速計之平均風速略高於螺旋槳式，在中風速(3.3m/s~13.8m/s)，2 款風速計之數值接近，而在高風速時(13.8m/s 以上)，螺旋槳式風速計有略高於超音波式風速計之趨勢，大致符合儀器特性與先驗知識。而在風杯式風速計與超音波式量測結果，在中低風速(7.9m/s 以下)，其結果大概與螺旋槳式分析結果接近，惟在中高風速(7.9m/s 以上)，分析結果與先驗知識有所悖離，初步推測與本計畫設定之取樣頻率過高以及儀器本身的解析度及準確度可能有關聯，後續可再調整相關設定後再探討相關原因。而不同儀器之平均風向，易受到儀器安裝之影響，其比對較為困難，本計畫暫無納入分析。

最大風速之計算方法探討，最大瞬間風與三秒移動平均最大風的方法，最大瞬間風(Peak Gust)的值通常會高於三秒移動平均(3-second Gust)最大風，因為它捕捉到了更短時間內的最大突發值，而三秒移動平均最大風被認為更好地代表了人們和建築物實際感受到的最大風力，因為它反映了一個較短的時間段內持續的最大風速，該 2 方法約有 21~25% 的最大風速發生時間是相同的，而相差在 3 秒內的比例也在 73~85%，顯示就統計結果來看，最大風的發生時間並無太大差異；另外從 2 方法之風速差值來看，其差值平均值約介於 0.1~0.35m/s，最大瞬間風略高於三秒移動平均最大風。2 方法在高風速

下，差值有較為明顯的現象，其原因在於突發性強陣風或地形結構之風速擾動影響。因此，不論採用最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之最大風，原則沒有顯著差異。

平均風向的計算，向量平均法與單位向量平均法在實地測試結果，其角度差之平均值介於 $0.1\sim 2.4^{\circ}$ ，其中 10 分鐘平均值之角度差均略高於 1 分鐘，相差 10 度以內約占 97~99%，顯示在大多狀況下，2 方法之風向並無顯著差異。惟在風速較小之狀況下，2 方法之角度差有較高之趨勢，特別是在風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異。另外，從主風向來看，部分測站，如臺中港、花蓮港、蘇澳港及臺北港可能受到地形及結構物之影響，容易有紊流之狀況，其亦會影響 2 方法在統計上的差異。

第四章 商港強風特性分析

4.1 港區主要測站風力特性

為提供港區長期統計資料，本所已完成 2023 年港灣海氣象觀測資料統計年報(8 港域觀測風力資料)，並提供統計資訊包括：各港區風力測站說明、當年度主要測站資料紀錄統計表、當年度及歷年主要測站風速及風向重要統計量統計表、當年度及歷年主要測站觀測風速分佈百分比統計表、當年度及歷年主要測站觀測風向分佈百分比統計表、當年度及歷年冬季主要測站風速及風向聯合分佈百分比統計表、當年度及歷年春季主要測站風速及風向聯合分佈百分比統計表、當年度及歷年夏季主要測站風速及風向聯合分佈百分比統計表、當年度及歷年秋季主要測站風速及風向聯合分佈百分比統計表、當年度及歷年整年主要測站風速及風向聯合分佈百分比統計表、當年度每月主要測站風速歷線圖、當年度每月主要測站風向歷線圖、當年度及歷年每月主要測站觀測風玫瑰圖、當年度及歷年每季主要測站觀測風玫瑰圖、當年度颱風期間風速風向重要統計量統計表、當年度颱風觀測風速歷線圖、當年度颱風觀測風向歷線圖等資料。各港區主要測站 2023 年風速及風向重要統計量，整理如表 4-1~表 4-10 所示。

表 4-1 各港區主要測站 2023 年全年風速重要統計量

商港	測站	位置	平均風速 (m/s)	輕風 < 3.3m/s (%)	和風 ~7.9m/s (%)	強風 ~13.8m/s (%)	疾風 >13.8m/s (%)
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	4.4	40.7	49.1	10.0	0.1
基隆港	KLWD01M10	光華塔	3.9	51.1	40.2	8.6	0.0
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	4.0	47.5	45.8	6.3	0.4
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	3.3	66.9	25.7	7.3	0.0
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	4.6	36.5	52.2	10.4	1.0
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	5.6	25.7	53.9	18.5	1.9
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	4.4	39.4	50.5	9.6	0.5
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	10.0	19.2	25.5	26.1	29.3
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	7.1	24.4	40.7	29.1	5.8

表 4-2 各港區主要測站 2023 年冬季風速重要統計量

商港	測站	位置	平均風速 (m/s)	輕風 < 3.3m/s (%)	和風 ~7.9m/s (%)	強風 ~13.8m/s (%)	疾風 >13.8m/s (%)
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	5.4	23.2	59.5	17.3	0.0
基隆港	KLWD01M10	光華塔	5.4	31.4	46.7	21.8	0.2
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	4.4	32.7	63.1	4.2	0.0
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	4.2	54.6	31.2	14.1	0.2
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	5.1	24.0	61.4	14.3	0.0
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	7.5	5.0	55.0	37.1	2.9
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	6.3	11.8	63.1	24.4	0.8
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	15.8	5.0	8.9	18.6	67.5
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	13.3	4.2	17.3	55.4	23.1

表 4-3 各港區主要測站 2023 年春季風速重要統計量

商港	測站	位置	平均風速 (m/s)	輕風 < 3.3m/s (%)	和風 ~7.9m/s (%)	強風 ~13.8m/s (%)	疾風 >13.8m/s (%)
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	3.8	46.8	47.0	6.3	0.0
基隆港	KLWD01M10	光華塔	3.4	55.2	42.6	2.2	0.0
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	3.9	48.1	45.8	6.1	0.0
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	3.2	66.9	26.9	6.2	0.0
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	4.4	38.9	51.3	9.9	0.0
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	5.0	30.2	55.9	13.9	0.0
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	4.2	41.1	51.9	6.9	0.0
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	9.0	18.7	27.6	32.1	21.6
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	5.9	24.7	47.4	27.0	0.9

表 4-4 各港區主要測站 2023 年夏季風速重要統計量

商港	測站	位置	平均風速 (m/s)	輕風 < 3.3m/s (%)	和風 ~7.9m/s (%)	強風 ~13.8m/s (%)	疾風 >13.8m/s (%)
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	3.9	54.1	35.6	10.0	0.4
基隆港	KLWD01M10	光華塔	3.0	65.8	30.4	3.8	0.0
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	4.1	52.9	35.2	11.6	0.3
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	2.7	77.4	20.8	1.8	0.0
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	4.8	37.1	49.8	11.3	1.8
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	4.9	34.9	51.1	12.1	1.9
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	3.3	57.2	41.0	1.4	0.3
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	5.9	28.3	41.8	28.3	1.7
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	4.1	42.3	51.9	5.0	0.8

表 4-5 各港區主要測站 2023 年秋季風速重要統計量

商港	測站	位置	平均風速 (m/s)	輕風 < 3.3m/s (%)	和風 ~7.9m/s (%)	強風 ~13.8m/s (%)	疾風 >13.8m/s (%)
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	4.4	38.4	54.8	6.6	0.2
基隆港	KLWD01M10	光華塔	3.7	52.1	40.9	7.0	0.0
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	3.6	56.3	39.1	3.3	1.3
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	3.2	68.5	24.2	7.3	0.0
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	4.3	45.7	46.1	6.2	2.1
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	5.1	32.6	53.4	11.1	2.8
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	3.9	47.2	46.1	5.8	0.9
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	9.3	24.8	23.7	25.2	26.3
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	6.8	20.6	39.9	36.5	3.0

表 4-6 各港區主要測站 2023 年全年風向重要統計量

商港	測站	位置	風向 N~E	風向 E~S	風向 S~W	風向 W~N	主要風向/ 百分比
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	53.6	26.6	11.5	8.3	NE/23.9
基隆港	KLWD01M10	光華塔	3.2	25.4	13.5	24.9	N/14.5
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	11.1	19.4	14.3	55.3	WNW/21.6
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	34.0	7.6	13.0	45.3	N/24.2
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	25.1	11.5	11.9	51.5	NW/19.6
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	42.7	15.1	14.3	27.8	NNE/22.7
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	35.8	11.6	16.2	36.4	N/25.3
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	66.7	5.8	19.7	7.8	NNE/38.6
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	55.5	5.1	22.6	16.8	NNE/30.8

表 4-7 各港區主要測站 2023 年冬季風向重要統計量

商港	測站	位置	風向 N~E	風向 E~S	風向 S~W	風向 W~N	主要風向/ 百分比
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	79.7	11.7	3.8	4.9	NE/42.2
基隆港	KLWD01M10	光華塔	43.5	12.2	5.1	39.2	N/30.8
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	10.7	4.9	10.5	73.9	NW/28.3
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	47.9	1.7	4.2	46.2	N/37.1
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	35.9	1.5	1.3	61.3	NNW/26.0
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	73.2	1.1	1.3	24.4	NNE/40.9
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	57.3	0.8	1.2	40.7	N/53.8
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	95.0	0.9	2.1	1.9	NNE/68.8
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	91.1	0.7	2.6	5.5	NNE/74.7

表 4-8 各港區主要測站 2023 年春季風向重要統計量

商港	測站	位置	風向 N~E	風向 E~S	風向 S~W	風向 W~N	主要風向/ 百分比
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	52.3	27.9	10.0	9.9	NE/24.0
基隆港	KLWD01M10	光華塔	30.0	26.2	9.4	34.4	N/16.5
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	16.0	18.2	13.1	52.7	WNW/21.0
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	35.6	6.9	11.0	46.5	N/28.1
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	17.6	8.0	12.4	62.0	NW/26.1
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	39.9	10.6	12.7	36.8	N/21.4
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	38.4	6.4	13.4	41.7	N/20.5
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	71.9	4.4	15.7	7.9	NNE/36.2
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	67.9	4.0	16.8	11.3	NNE/46.8

表 4-9 各港區主要測站 2023 年夏季風向重要統計量

商港	測站	位置	風向 N~E	風向 E~S	風向 S~W	風向 W~N	主要風向/ 百分比
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	19.1	39.6	28.0	13.2	SW/19.5
基隆港	KLWD01M10	光華塔	19.2	33.6	27.9	19.3	SE/10.5
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	5.5	34.8	24.9	34.8	S/27.2
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	15.3	13.9	29.7	41.0	WNW/17.5
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	20.8	26.0	21.1	32.1	NW/20.3
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	13.1	34.3	35.5	17.1	ESE/12.2
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	10.8	26.1	43.7	19.4	SW/13.7
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	20.6	11.8	54.7	12.9	SSW/20.0
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	16.1	7.7	61.8	14.4	SSW/29.8

表 4-10 各港區主要測站 2023 年秋季風向重要統計量

商港	測站	位置	風向 N~E	風向 E~S	風向 S~W	風向 W~N	主要風向/ 百分比
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	64.0	27.0	4.0	5.0	NE/27.1
基隆港	KLWD01M10	光華塔	52.1	29.5	11.9	6.5	NE/20.2
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	12.0	19.6	8.8	59.7	WNW/25.8
花蓮港	HLWD02M10	西突堤	37.3	7.8	7.3	47.6	N/25.5
高雄港	KHWD04M10	二港口 綠燈塔	26.2	10.4	12.5	50.9	NW/20.3
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	44.6	14.8	7.9	32.7	NNE/24.5
布袋港	BDWD01M10	港務公司 頂樓	37.2	12.7	6.1	44.0	N/24.9
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈 塔	78.8	6.1	6.8	8.3	NNE/40.3
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	58.2	6.5	3.3	32.1	N/61.2

瞭解一個區域的風速機率，可透過風速的分佈和變化，預測極端風速事件的可能性，從而制定相應的風險管理策略，另外，在航運、航空和建築等領域，風速機率分析有助於確保設施和操作的安全性，避免因風速過大而導致的事故，在工程設計中，能夠指導結構物的設計和施工，確保其能夠抵禦預期的風力。因此，在風工程領域，風速機率經常被用來氣象預報、風能評估、結構設計及環境研究等；在港口上，亦可做為航運安全(如評估風速和風向對船舶進出港口的影響，擬定安全的航行計畫)，貨物裝卸計劃(如根據風速預測，合理安排貨物裝卸作業，避免在高風速情況下作業，減少損失)、港口設施設計(如透過長期資料分析確保港口設施的設計能抵禦極端氣候條件)、環境影響評估(如空氣品質及污染擴散的影響)。因此，本計畫針對各商港 2023 年逐月之風速觀測資料繪製風速機率圖，如圖 4.1~圖 4.9 所示。

從各港逐月的風速機率圖可以看出，在夏、秋季其風速機率比較類似右偏型的韋伯分布，而在高雄、花蓮、蘇澳及基隆港全年各月之機率分布較為類似，而在冬季季風期間，安平及布袋則有呈現左偏型態，顯示其強風比例有明顯增加，值得注意的是，在臺北、澎湖、臺中港之冬季等則有雙峰型態產生，甚至臺中港更有多峰型態的風速分布，顯示東北季風對這 3 個港區的影響較為顯著，且易有強風發生。

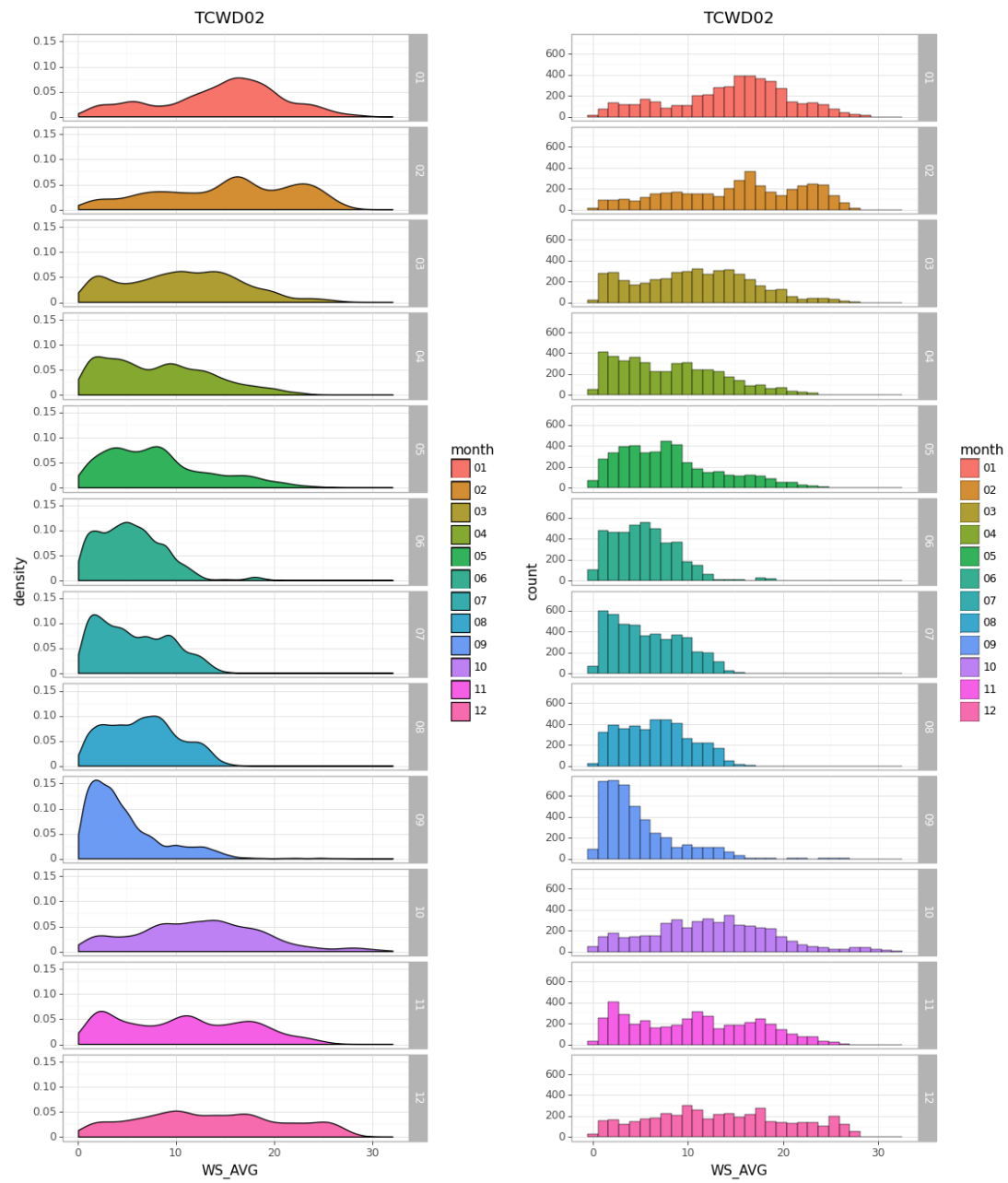


圖 4.1 臺中港 2023 年逐月風速機率圖

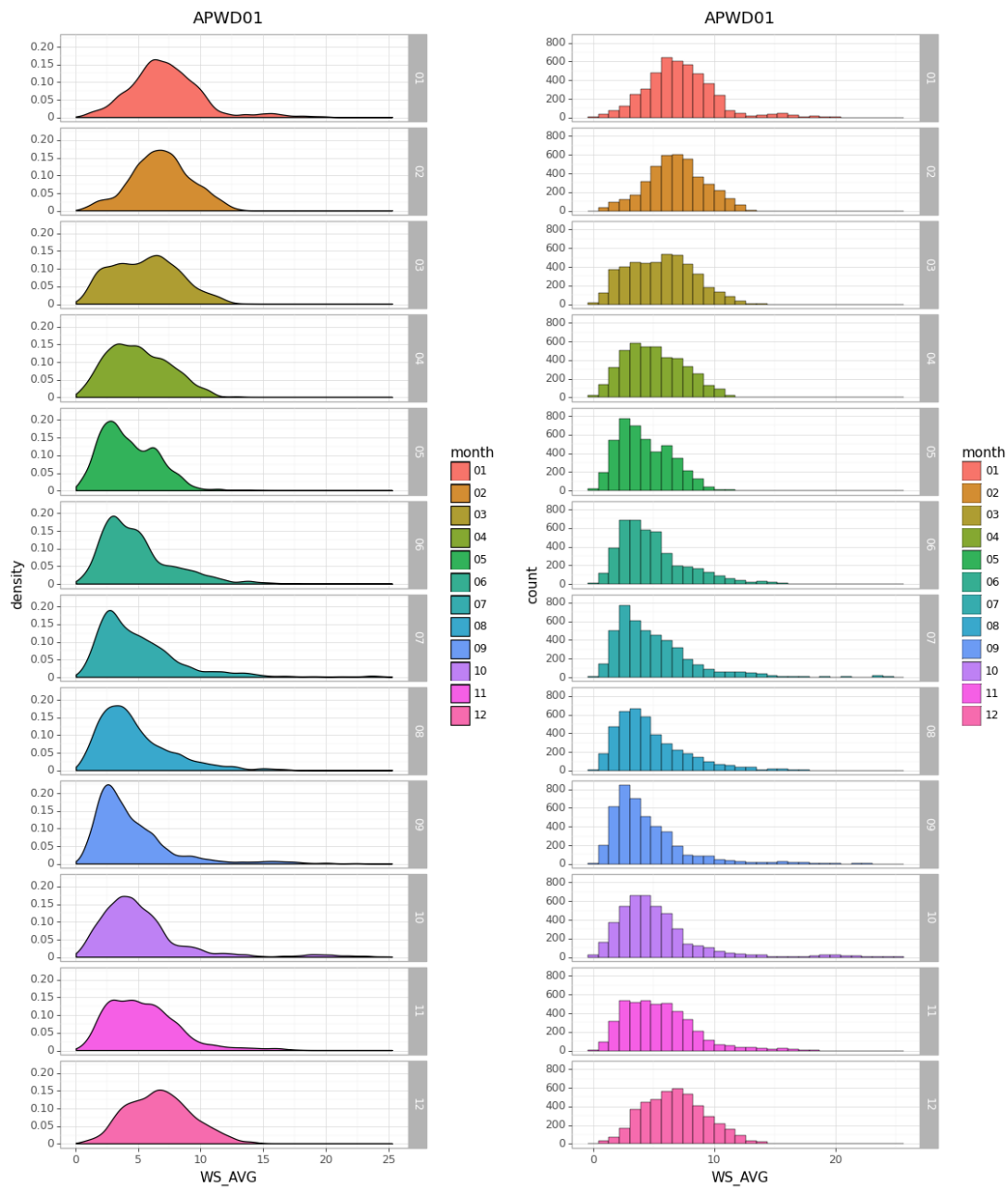


圖 4.2 安平港 2023 年逐月風速機率圖

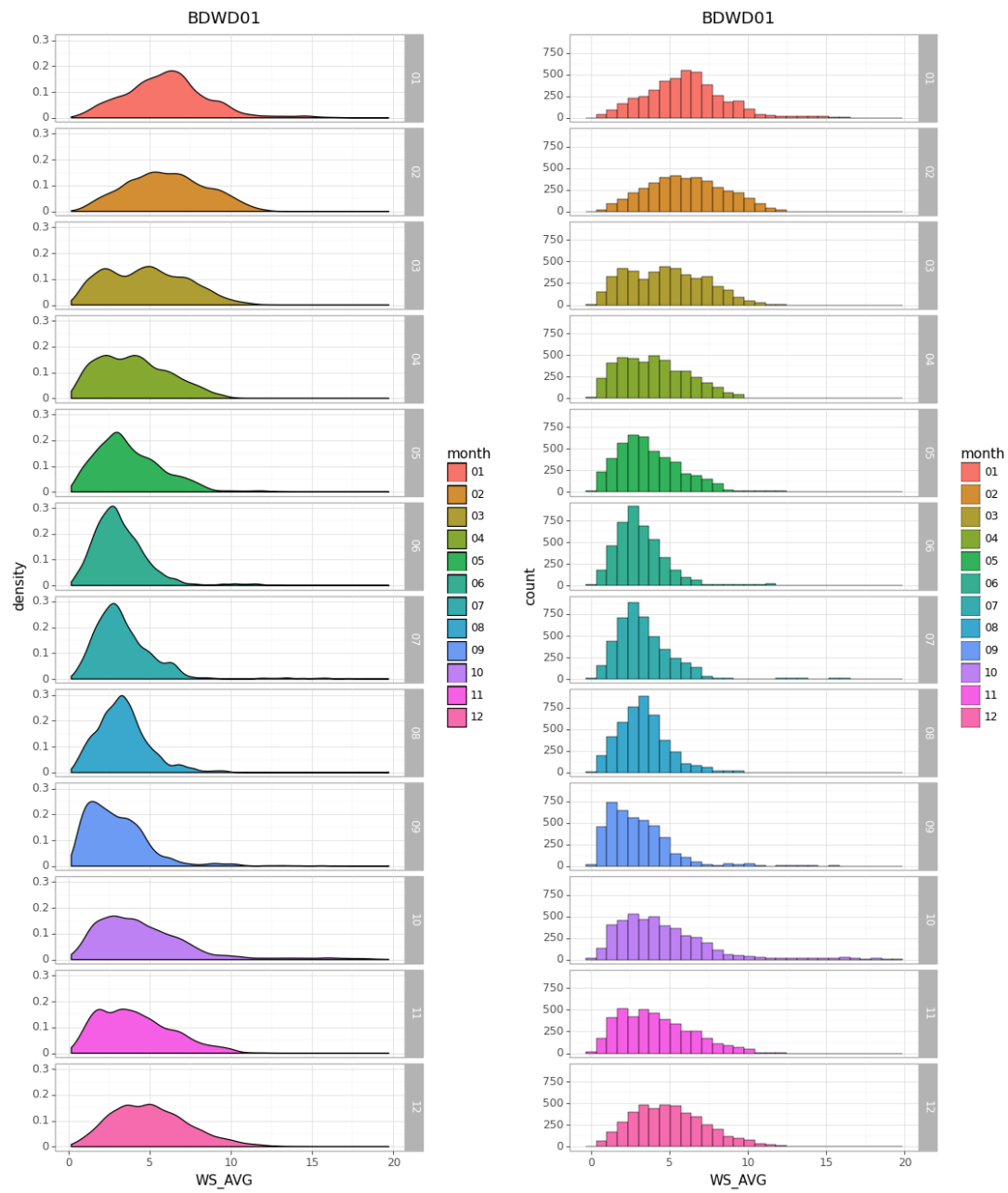


圖 4.3 布袋港 2023 年逐月風速機率圖

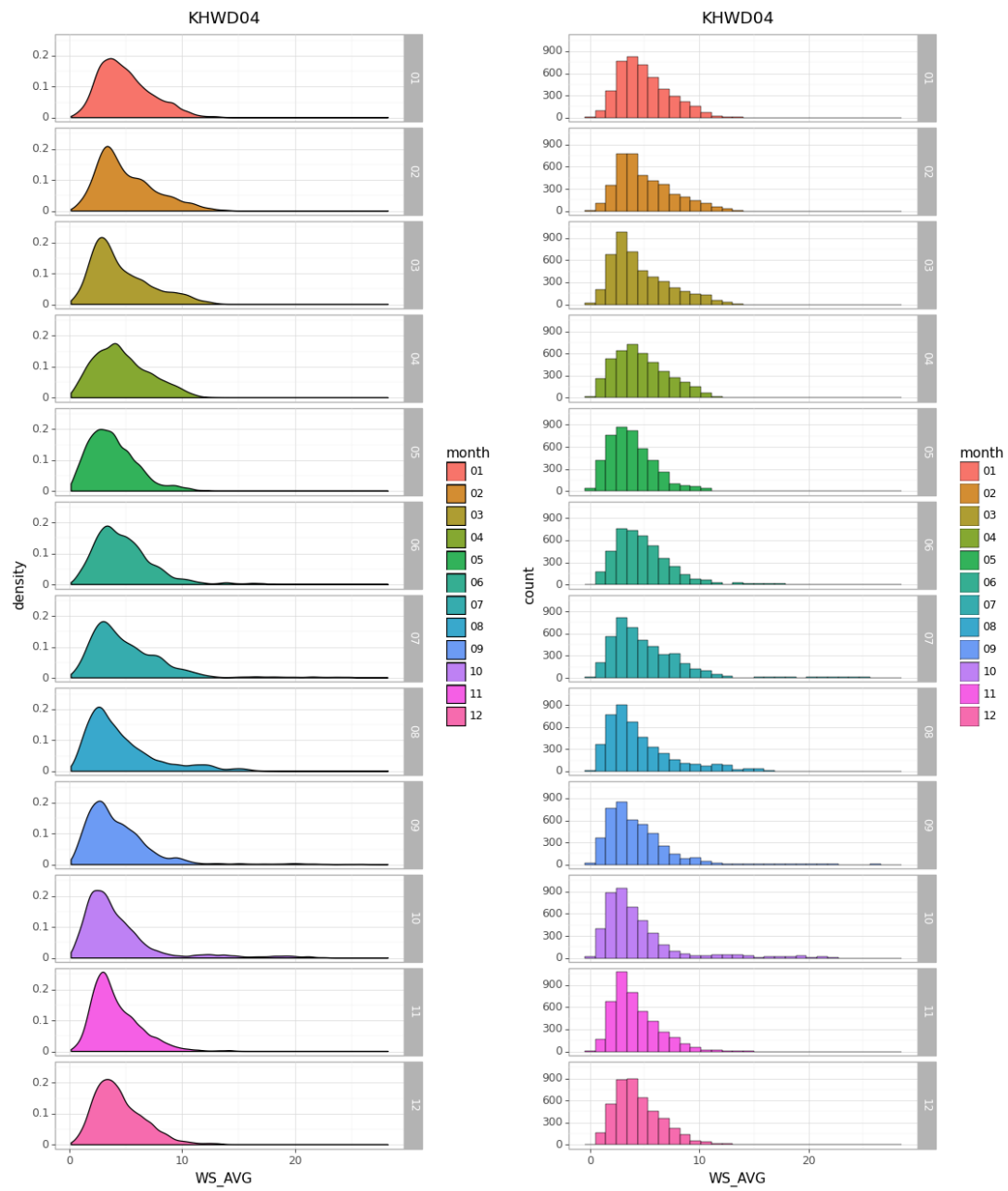


圖 4.4 高雄港 2023 年逐月風速機率圖

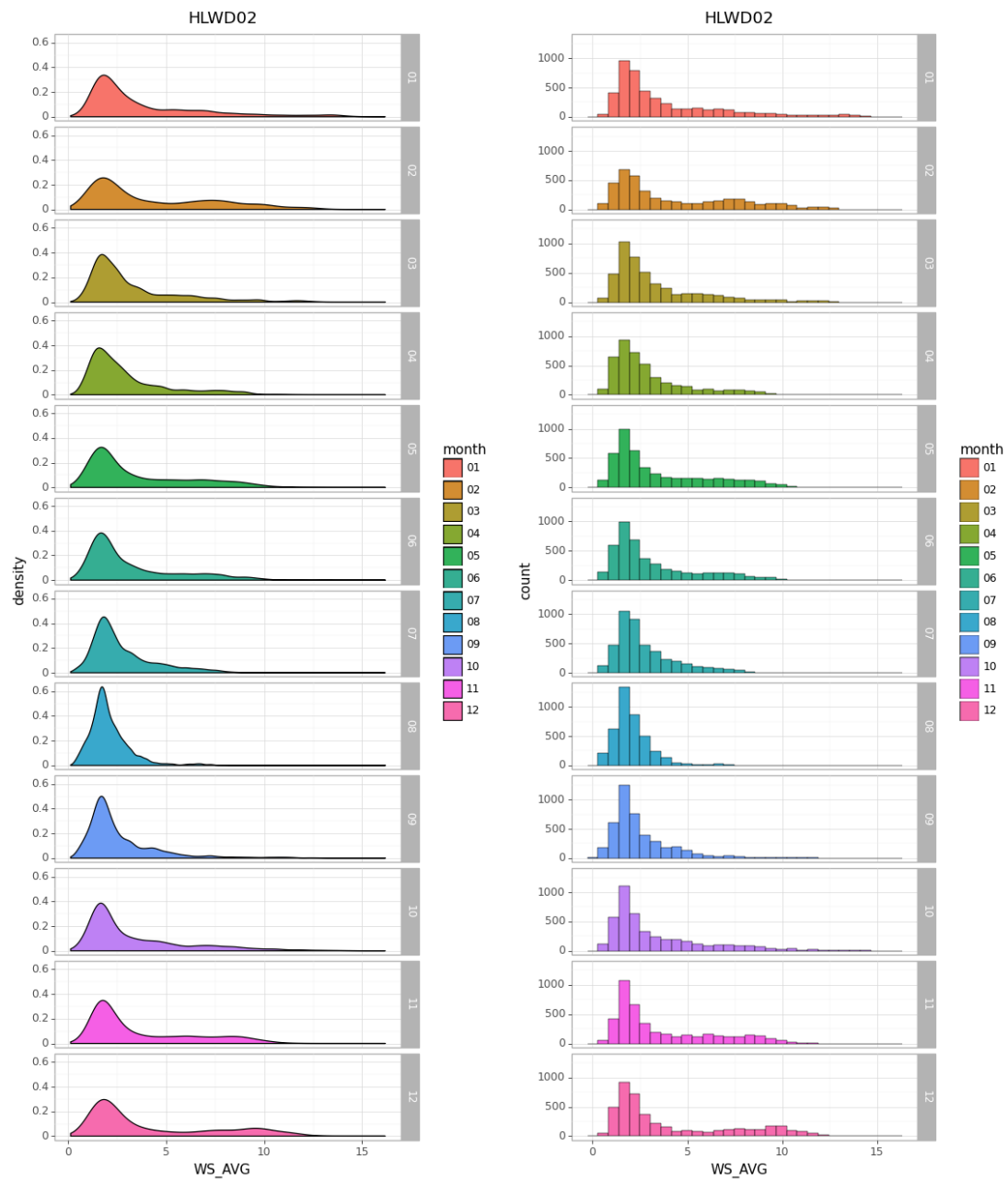


圖 4.5 花蓮港 2023 年逐月風速機率圖

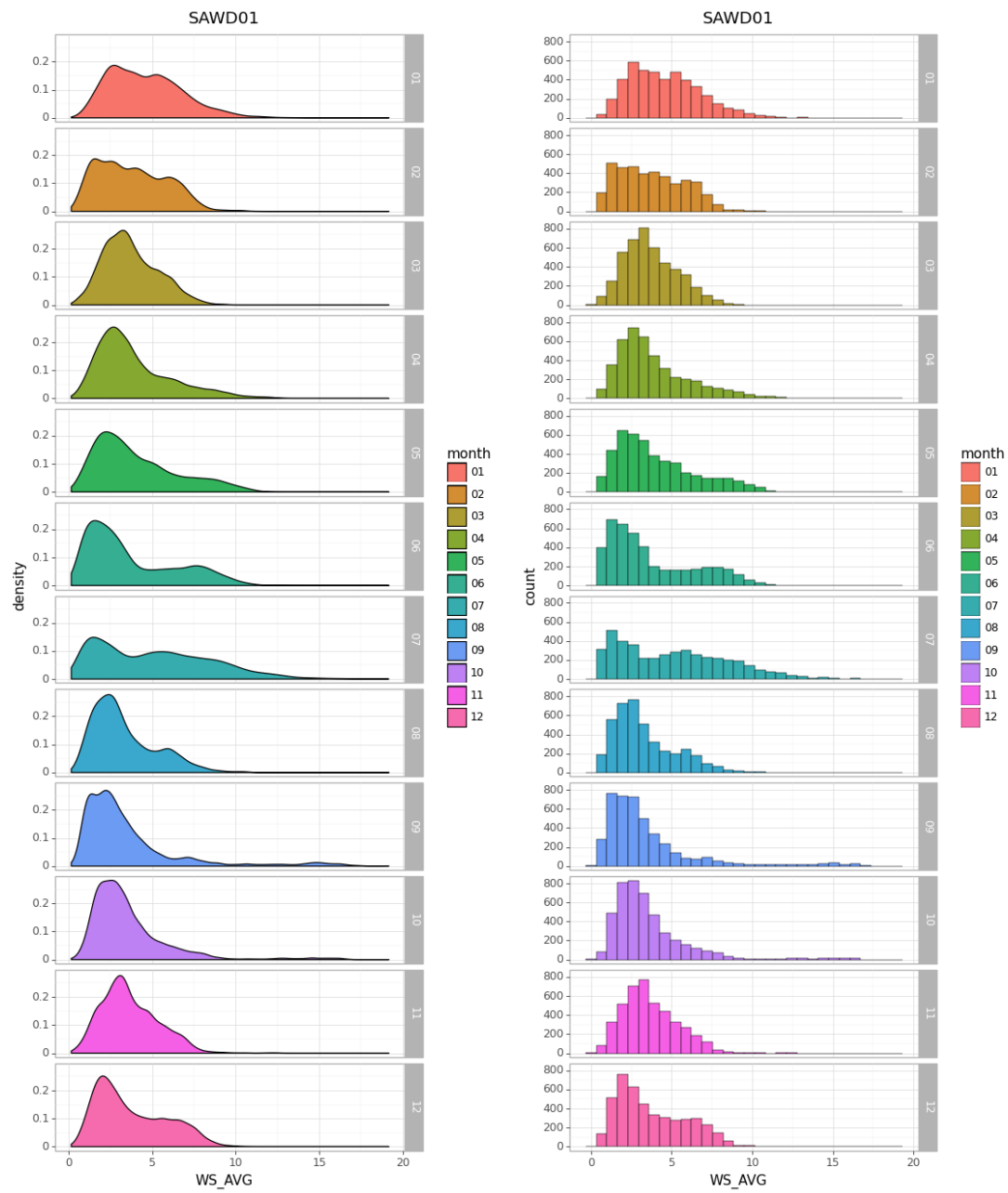


圖 4.6 蘇澳港 2023 年逐月風速機率圖

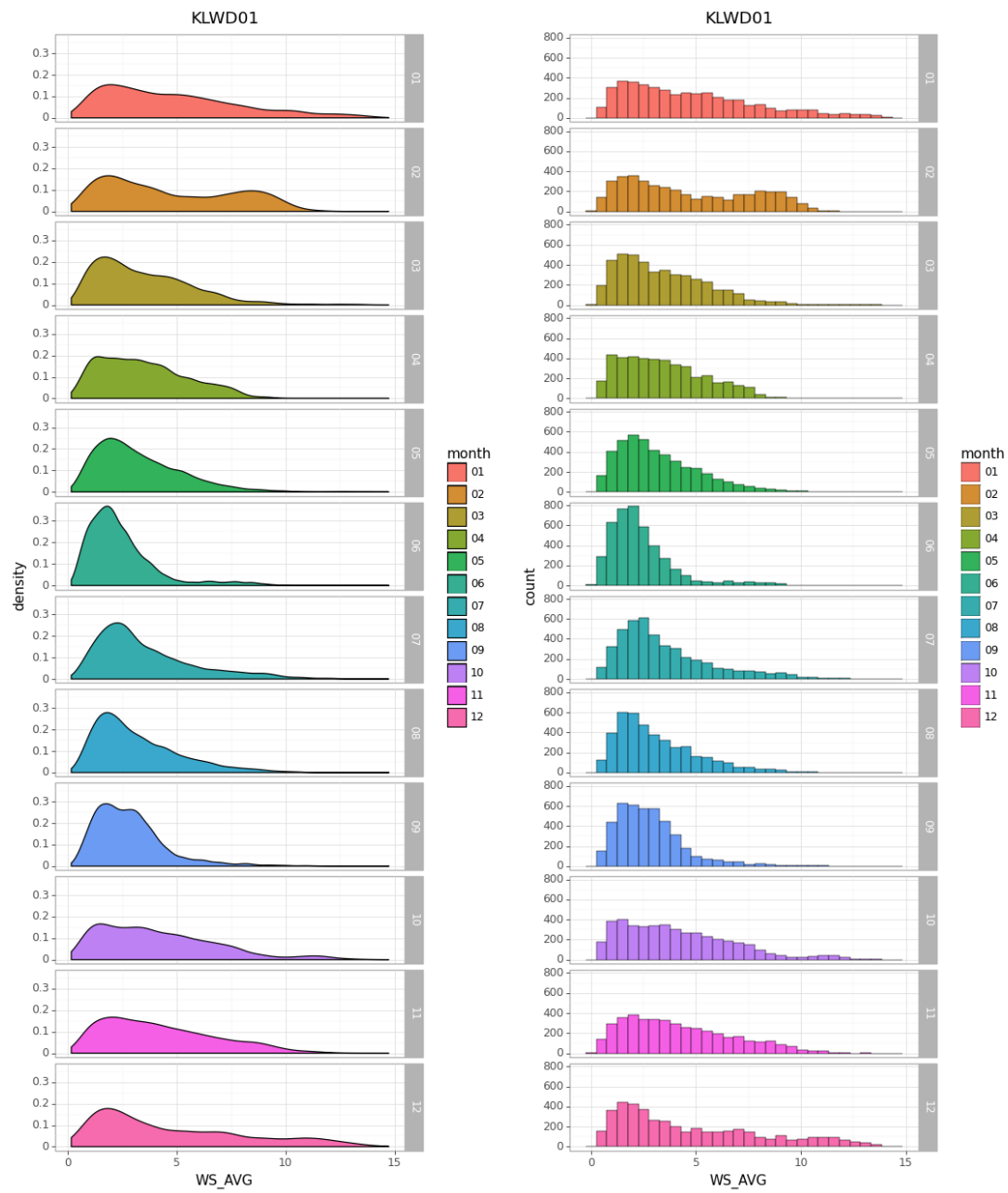


圖 4.7 基隆港 2023 年逐月風速機率圖

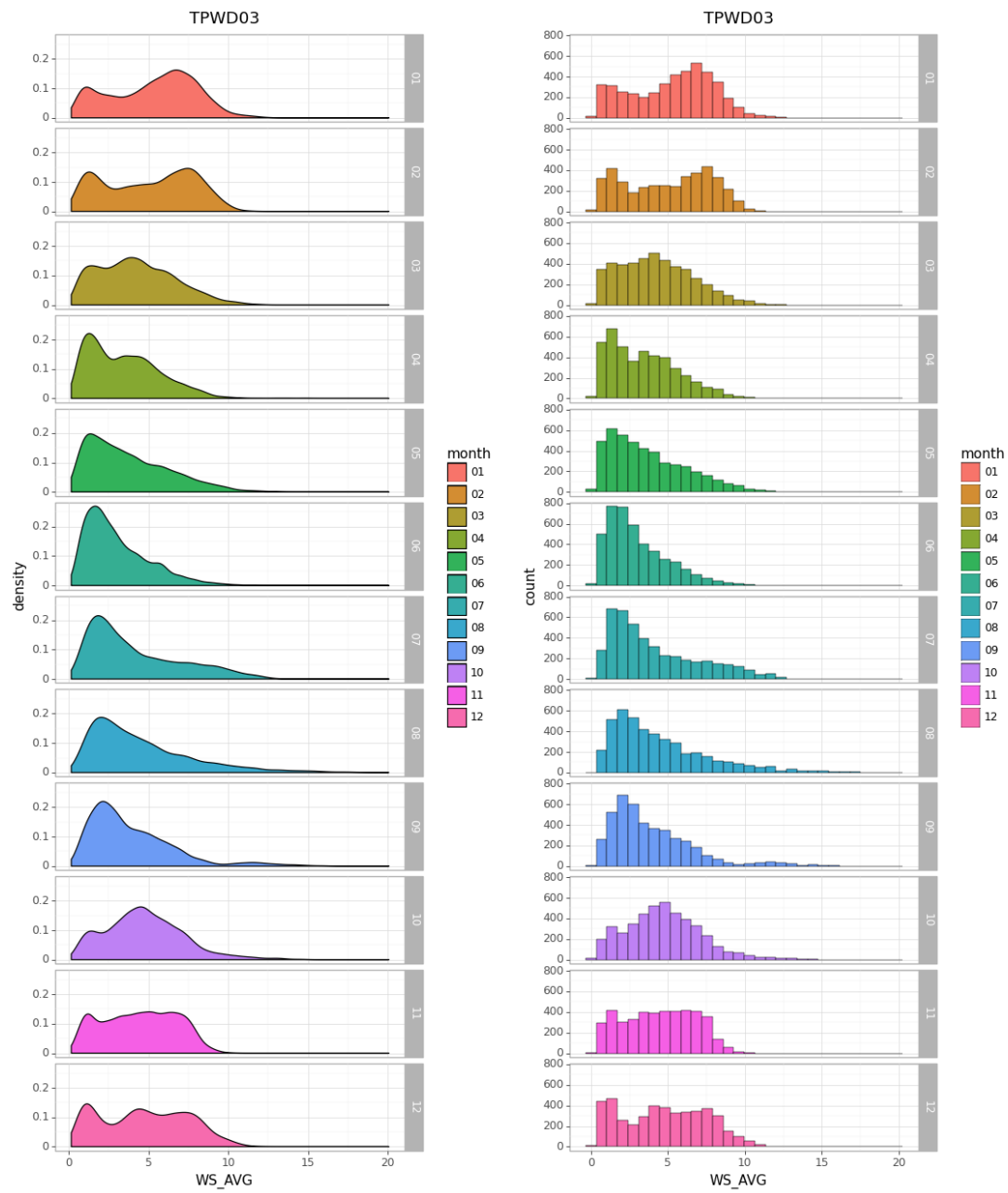


圖 4.8 臺北港 2023 年逐月風速機率圖

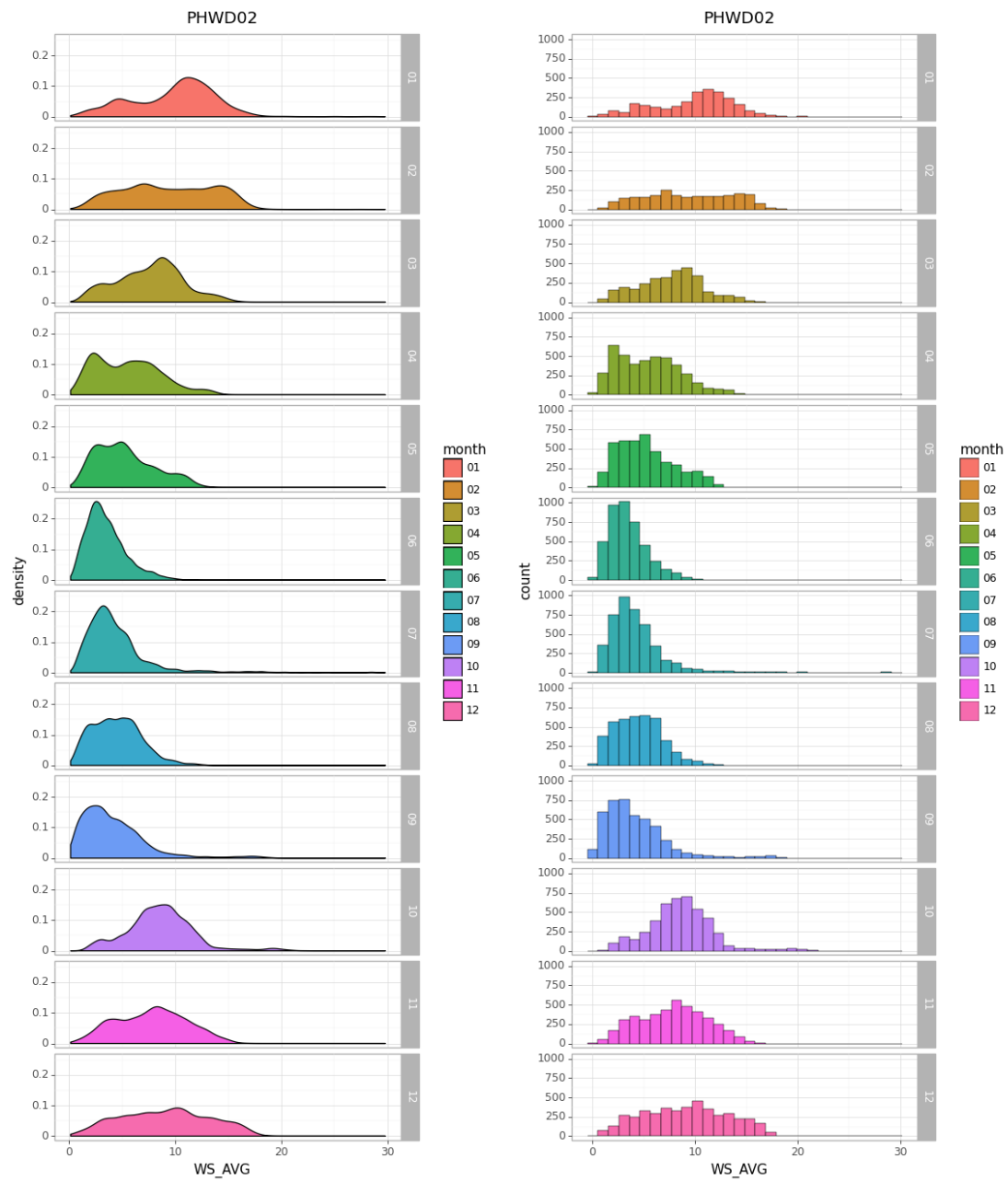


圖 4.9 澎湖港 2023 年逐月風速機率圖

4.2 港區強陣風特性

依據蒲福風級分類，強風係指風速達 10.8~13.8m/s，另依據我國職業安全衛生法之相關規定，有遇強風、大雨等惡劣氣候致勞工有墜落危險時，應使勞工停止作業。另外在多數商港平均風力達 7 級以上（疾風）時，亦可要求船舶暫停進出港口。因此，面對極端氣候及港區防災應變需要，傳統以平均風力為主之統計指標已無法即時反映現場風力環境，航港管理單位需要掌握到 10 分鐘之平均風速，甚至於 1 分鐘之平均風速、最大風速及風力變動（如陣風或紊流強度等）情形。

在強風統計部分，本計畫定義之強風係指小時平均風速達 10.8 m/s 以上（採 60 分鐘之逐筆風速資料進行平均），經統計各港最大風力之測站強風延續時間，如表 4-11。由各港強風延時觀察，主要以臺北港、臺中港及澎湖港（龍門尖山碼頭）具有較多強風現象，特別以臺中港強風現象達全年 32~38% 之時數。

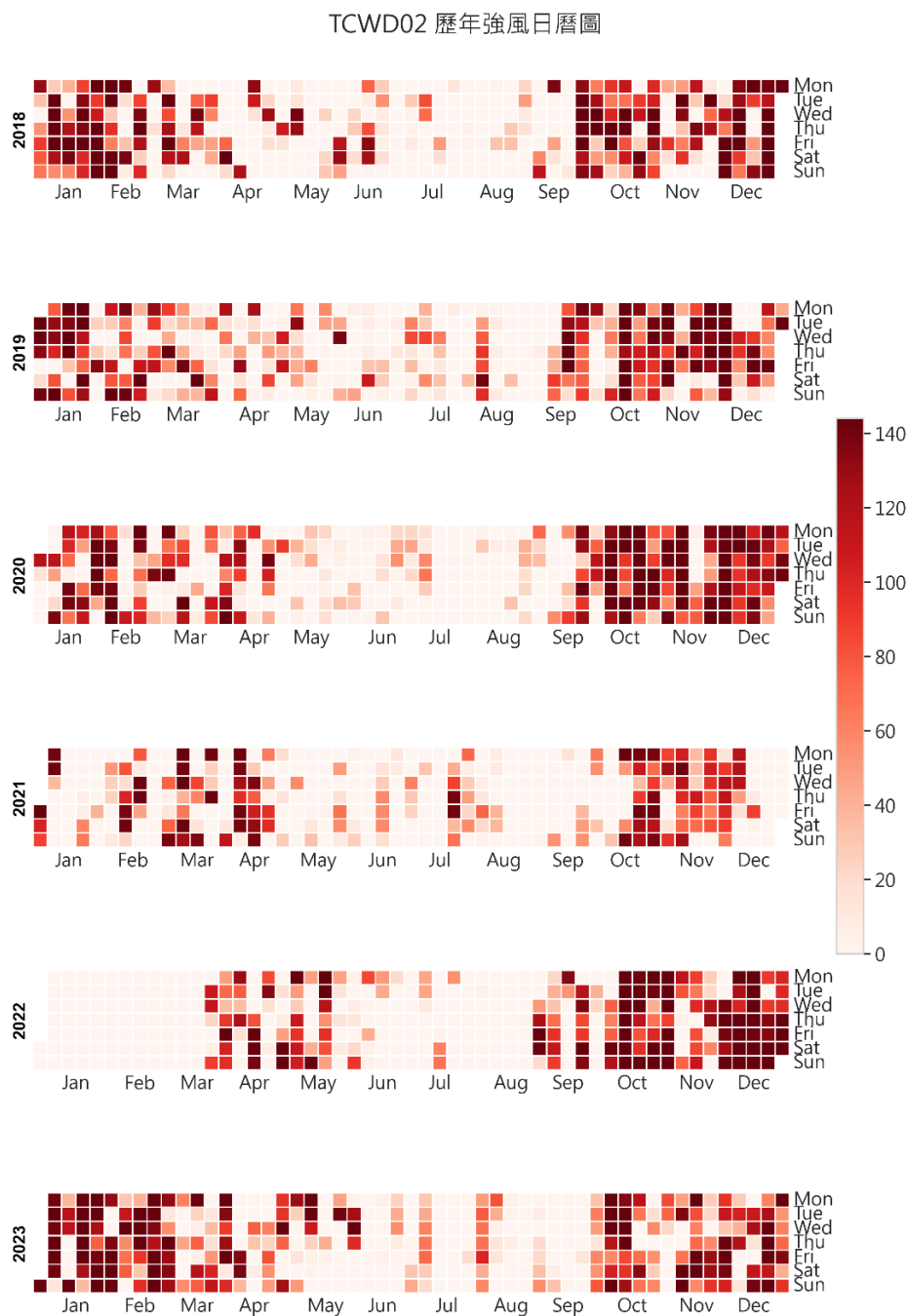
表 4-11 各港區最大風力測站之強風延時 單位：小時

商港	測站	位置	2018	2019	2020	2021	2022	2023
臺北港	TPWD02M10	觀測樁	1114	1484	1147	752*	1151	--
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	306	300	170	296	111	99
基隆港	KLWD01M10	光華塔	120	96	60*	91	99	145
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	67	41	76	67	24	105
花蓮港	HLWD01M10	訊號台	31	31	41	19*	25	13
高雄港	KHWD04M10	二港口綠燈塔	52	101	142	155	126	241
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	154	177	207	272	432	389
布袋港	BDWD01M10	港務公司頂樓	122	68	66	66	157	110
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈塔	3183	3122	3311	2150*	2836	3334
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	1391	1080	147*	532*	1220	1143

備註：1.部分測站因系統故障，未取得全年風力統計資料，未具代表性。

2.臺北港觀測樁風力測站於 112 年停止觀測，主要測站改由小綠燈塔測站

從臺中港發生強風的時間點來看，如圖 4.10，以 9 月下旬至隔年 2 月底為主要東北季風期間，經常出現單日累積時數達 15 小時以上之強風事件。另以發生時間來看，如圖 4.11、圖 4.12 則以上午 10 時至下午 7 時發生次數較高。



備註：2021/12~2022/3 因系統異常無觀測資料

圖 4.10 臺中港歷年強風日曆圖

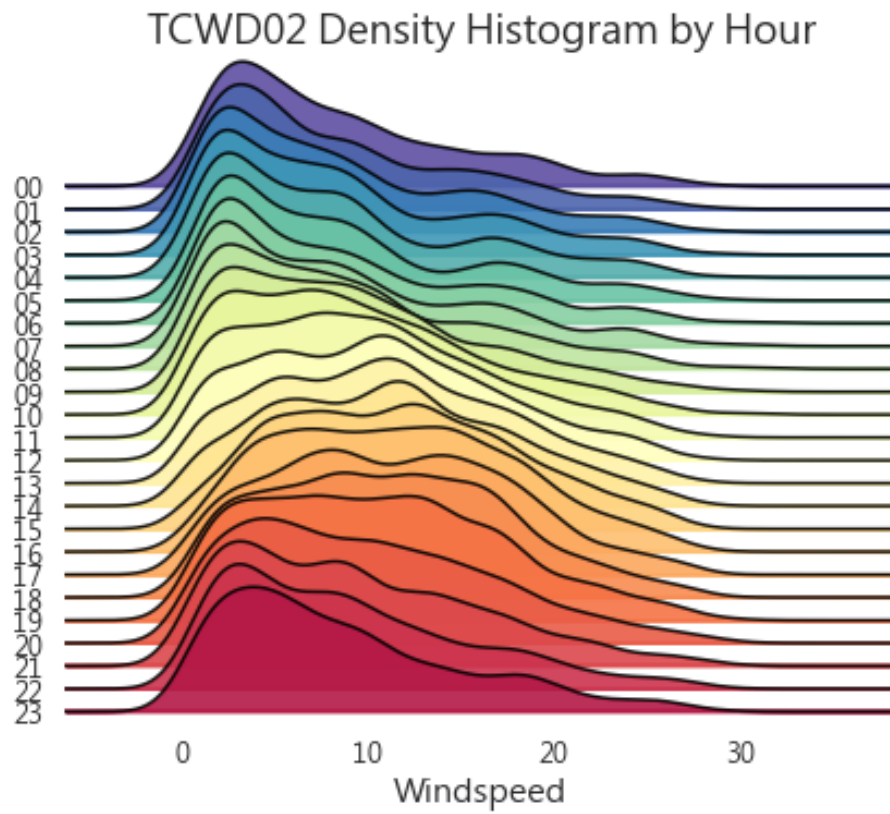


圖 4.11 臺中港風速分時密度圖

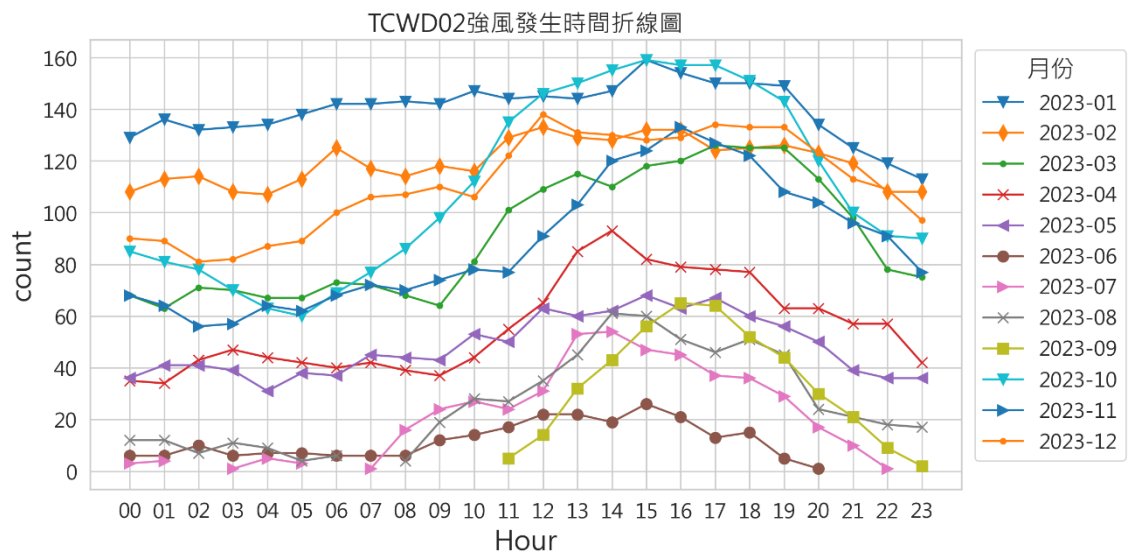


圖 4.12 臺中港強風發生時間折線圖

依據交通部航港局 112 年 9 月頒布之「臺中港船舶進港平均風力管制基準及專案進港申請程序」，臺中港進港係以北防波堤及南防波堤海氣象儀測得風力之平均值做為管制依據，其在平均風力 20 至 22m/s 時(警示階段)，部分船舶於環境情況許可下，經船長及引水人確認安全無虞且符合相關條件者，得於日間執行船舶進港領航作業。參酌北防波堤與南防波堤風速差距大約介於 2 ~ 4m/s，本計畫假定以北防坡堤風速達 22 m/s 進行 2023 年之強風分析，如圖 4.13，其結果顯示，強風延時達 453 小時，其中最長延時為 65 小時，延時超過 12 小時至 24 小時者有 3 次，超過 24 小時之次數有 9 次。

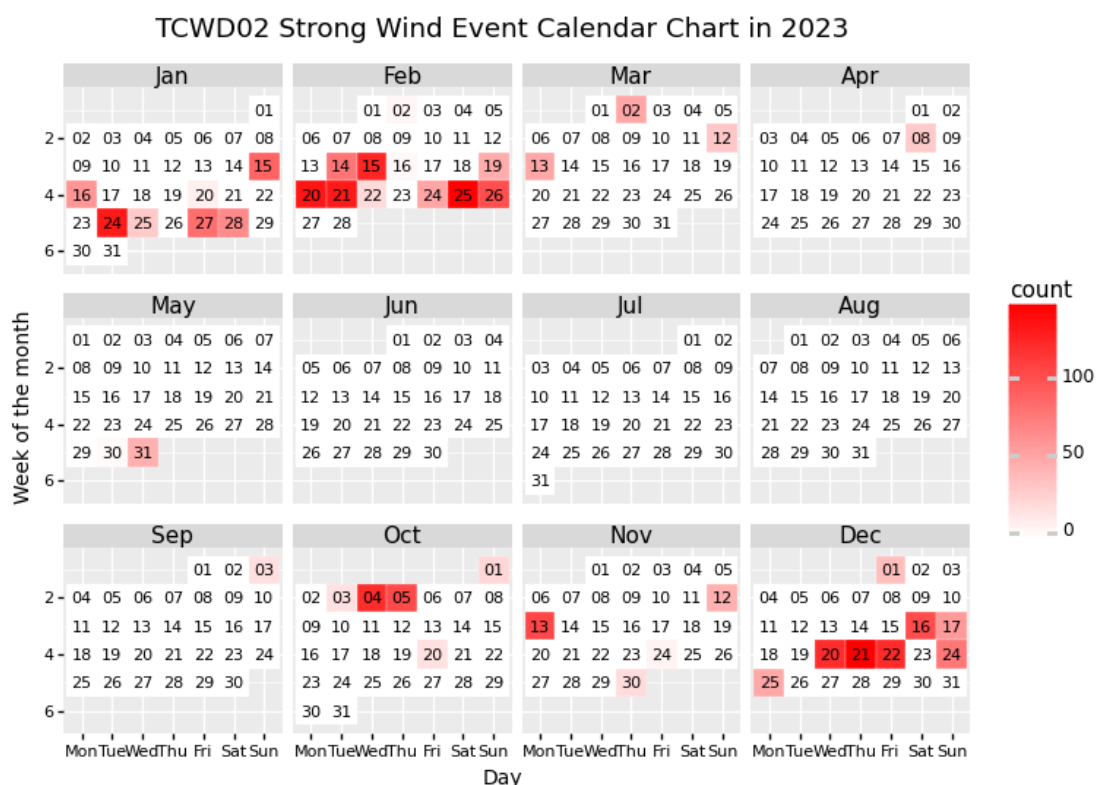


圖 4.13 臺中港北防波堤風速超過 22m/s 之烈風日曆圖

除強風對港口之影響外，陣風(甚至是強陣風)對於港區營運管理亦有高度潛在風險，一般而言，陣風(gust)係指 10 分鐘平均風速與最大瞬間風速之差值，如大於 5m/s，即可定義為陣風現象，而差值在 5~10m/s 可歸屬於小陣風，差值大於 10m/s 則屬於大陣風。各主要商港 2018 年至 2023 年之陣風及強陣風發生比例，如表 4-12 及表 4-13 所示。

表 4-12 各港區最大風力測站之陣風發生比例 單位：％

商港	測站	位置	2018	2019	2020	2021	2022	2023
臺北港	TPWD02M10	觀測樁	2.17	2.40	5.66	3.20	5.54	--
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	5.35	5.69	6.31	7.90	9.51	13.87
基隆港	KLWD01M10	光華塔	1.93	1.88	2.81	4.24	6.08	5.38
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	10.54	8.66	10.21	9.85	11.39	9.93
花蓮港	HLWD01M10	訊號台	5.31	6.55	8.71	7.07	10.53	8.29
高雄港	KHWD04M10	二港口綠燈塔	0.16	0.21	0.15	0.39	0.32	0.82
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	0.24	0.38	0.20	0.25	0.42	0.69
布袋港	BDWD01M10	港務公司頂樓	4.36	4.08	3.26	3.51	5.02	6.37
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈塔	2.17	2.41	5.66	3.20	5.55	3.88
澎湖港	PHWD01M10	馬公碼頭	19.81	25.59	24.47	20.13	28.72	26.59
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	33.66	32.49	46.49	30.48	42.33	27.24

備註：臺北港觀測樁風力測站於 112 年停止觀測，主要測站改由小綠燈塔測站

表 4-13 各港區最大風力測站之強陣風發生比例 單位：％

商港	測站	位置	2018	2019	2020	2021	2022	2023
臺北港	TPWD02M10	觀測樁	1.34	1.67	0.96	1.21	1.87	--
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	4.72	5.36	5.77	7.16	8.60	12.60
基隆港	KLWD01M10	光華塔	1.43	1.38	1.94	2.06	4.82	4.26
蘇澳港	SAWD01M10	7 號碼頭	5.02	4.48	7.61	5.89	8.07	6.93
花蓮港	HLWD01M10	訊號台	4.46	5.91	7.61	4.87	8.49	5.13
高雄港	KHWD04M10	二港口綠燈塔	0.04	0.09	0.11	0.26	0.16	0.81
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	0.19	0.27	0.16	0.22	0.42	0.67
布袋港	BDWD01M10	港務公司頂樓	3.64	3.72	2.82	3.01	4.66	5.91
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈塔	2.15	2.39	4.94	2.38	4.25	3.81
澎湖港	PHWD01M10	馬公碼頭	17.12	13.43	5.29	8.74	24.91	25.82
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	33.47	32.22	7.26	15.38	27.30	24.35

備註：臺北港觀測樁風力測站於 112 年停止觀測，主要測站改由小綠燈塔測站

另 2023 年各商港風力測站之大、小強陣風發生比例，如表 4-14，結果顯示以東部港口（蘇澳、花蓮）及離島港口（澎湖）之陣風發生比例最高，另外值得持續觀察的是布袋港為西部商港發生強陣風較高的港口之一。本計

畫進一步從上述港口之陣風發生時間來看，如圖 4.14~圖 4.17 所示，除蘇澳港及布袋港有較明顯發生在下午時段外，其餘各港並不明顯；但在發生月份來看，則多於秋冬 2 季有陣風的現象發生。

表 4-14 各商港 2023 年測站強陣風發生機率 單位：%

商港名稱	測站名稱	大強陣風	小強陣風	正常
臺北港	小綠燈塔	0.52	12.08	87.40
臺北港	北二碼頭	0.05	8.52	91.43
基隆港	光華塔	0.09	4.17	95.74
蘇澳港	綠燈塔	0.49	6.43	93.07
蘇澳港	信號臺	1.94	9.66	88.4
花蓮港	訊號臺	0.06	5.07	94.87
花蓮港	西突堤平台	0.04	7.13	92.83
高雄港	一港口信號臺	0.22	2.29	97.49
高雄港	二港口綠燈塔	0.03	0.77	99.20
高雄港	63-64 碼頭	0.13	0.98	98.89
高雄港	10 號碼頭	0.10	1.49	98.41
安平港	南堤燈塔	0.01	0.66	99.33
安平港	新信號臺	0.22	1.85	97.92
布袋港	行政大樓	0.25	5.65	94.10
布袋港	雷達塔柱	0.30	6.70	93.00
臺中港	北堤綠燈塔	0.01	3.80	96.19
臺中港	南堤紅燈塔	0.03	7.20	92.76
臺中港	防風林	1.02	17.92	81.06
臺中港	31 號碼頭	1.18	18.30	80.52
臺中港	工專二	2.47	22.72	74.81
臺中港	運技中心	2.21	13.16	84.63
澎湖港	馬公碼頭	0.89	24.93	74.18
澎湖港	龍門尖山	0.93	23.42	75.65

備註：

1. 小強陣風係指平均風速大於 10.8m/s，且平均風速及最大風速差值超過 5m/s。
2. 大強陣風係指平均風速大於 10.8m/s，且平均風速及最大風速差值超過 10m/s。

陣風因子（Gust Factor）是氣象學中用來描述風速變化的一個指標。它通常是指瞬間最大風速與平均風速之比，經分析蘇澳港、花蓮港及澎湖港之

陣風因子與平均風速的關係，如圖 4.18~圖 4.21 所示(橘色點為發生陣風之數據)，可以發現 2 者有呈現指數的關聯性。一般而言，受到低表粗糙度及鄰近建築物影響，陣風特性會較為明顯，因此蘇澳、花蓮、澎湖等港口，屬於天然港灣，受到港灣及鄰近地形影響，其陣風特性均較其他港口測站明顯。另外臺中港受強風影響，其在外港測站雖然較無陣風現象，但往內陸區域受到地表粗糙度及鄰近建築物影響，其風速變異程度較大，較易產生強陣風現象。

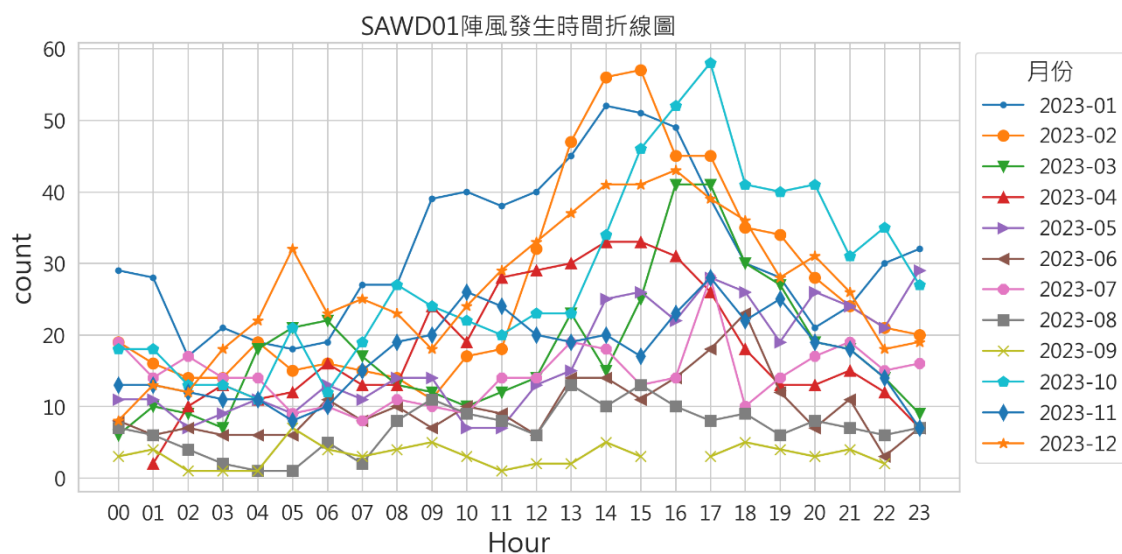


圖 4.14 蘇澳港陣風發生時間折線圖

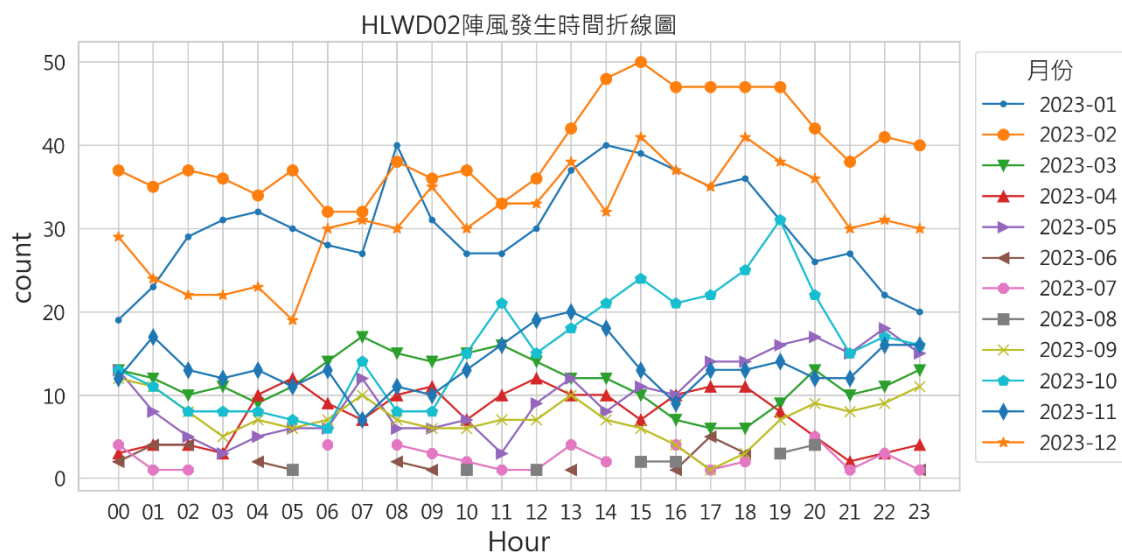


圖 4.15 花蓮港陣風發生時間折線圖

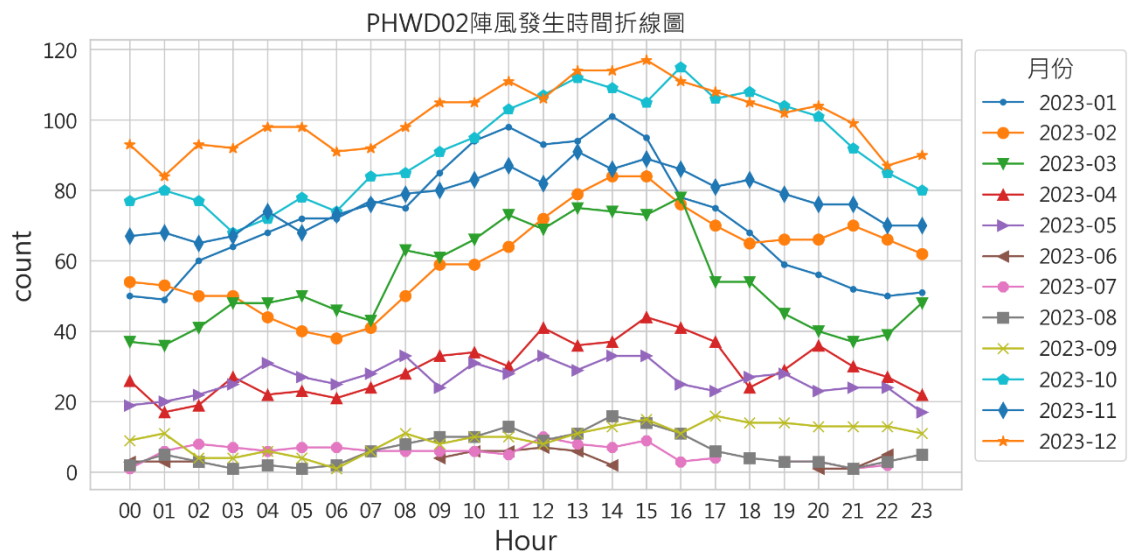


圖 4.16 澎湖港陣風發生時間折線圖

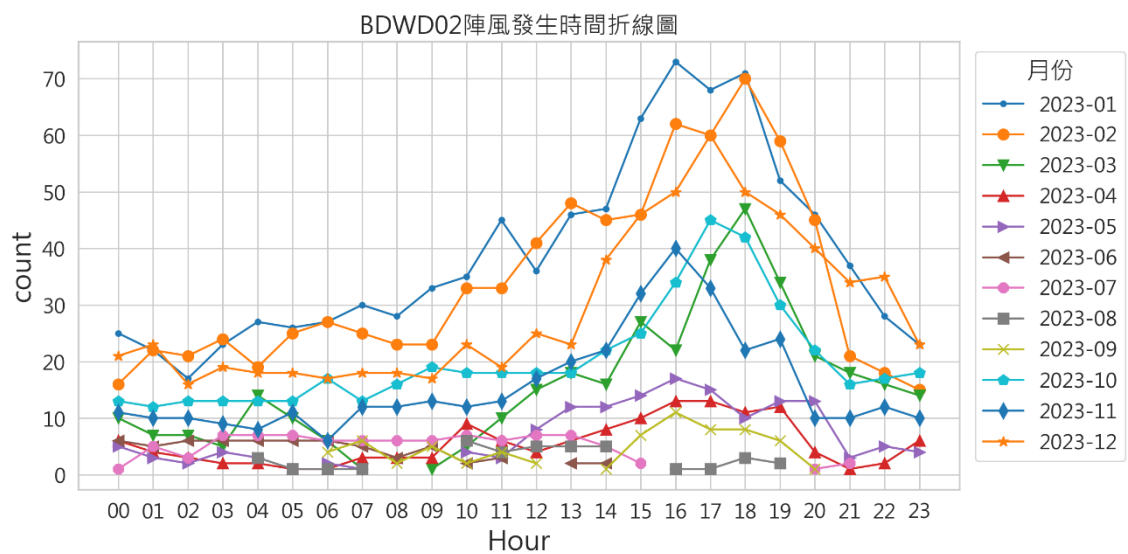


圖 4.17 布袋港陣風發生時間折線圖

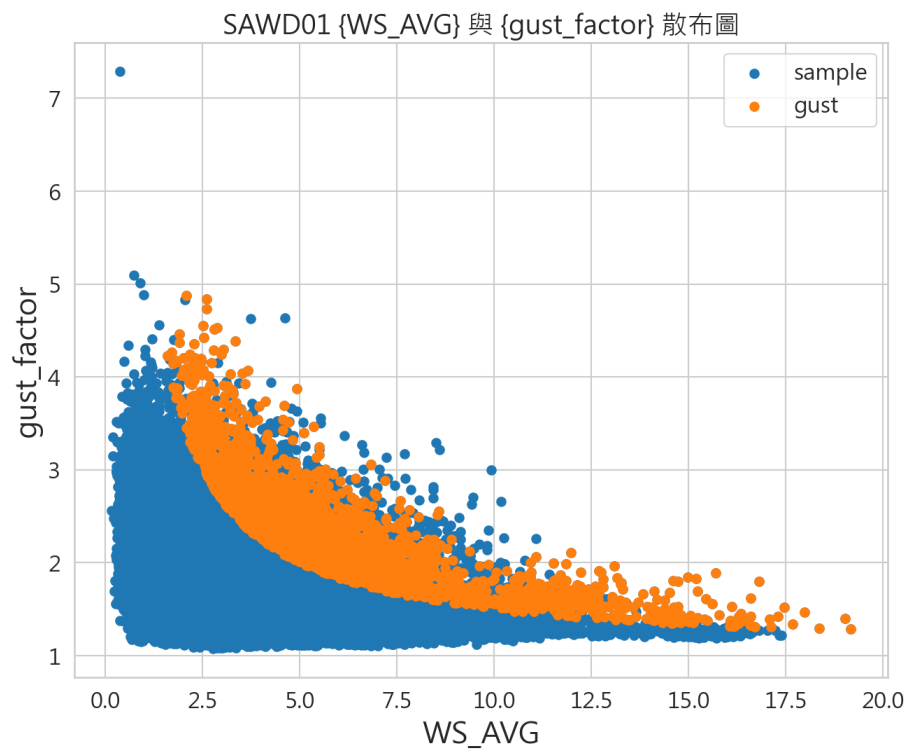


圖 4.18 蘇澳港陣風因子與平均風速關係圖

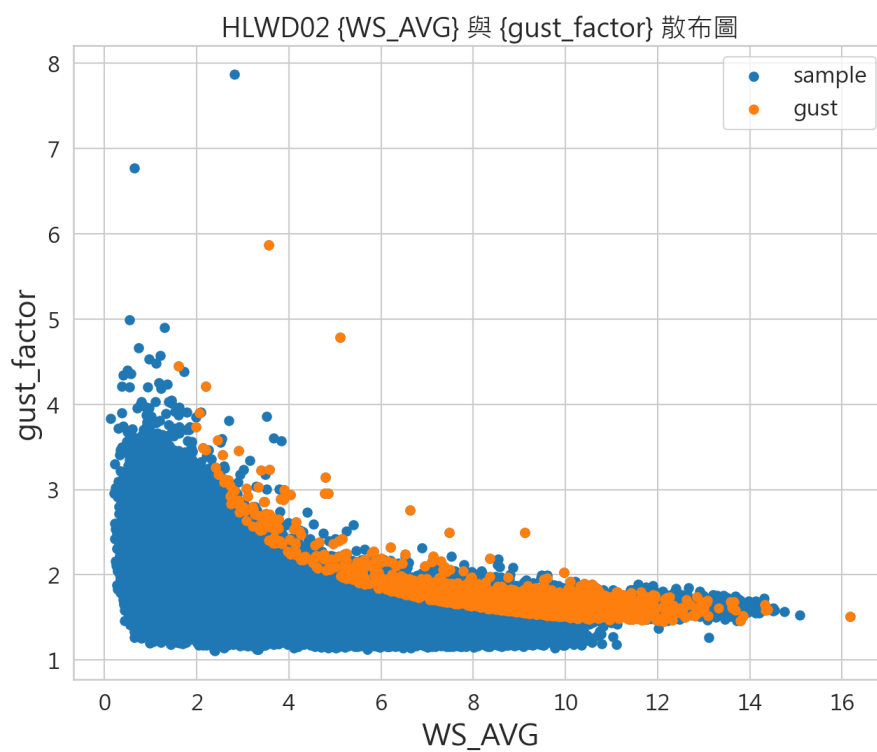


圖 4.19 花蓮港陣風因子與平均風速關係圖

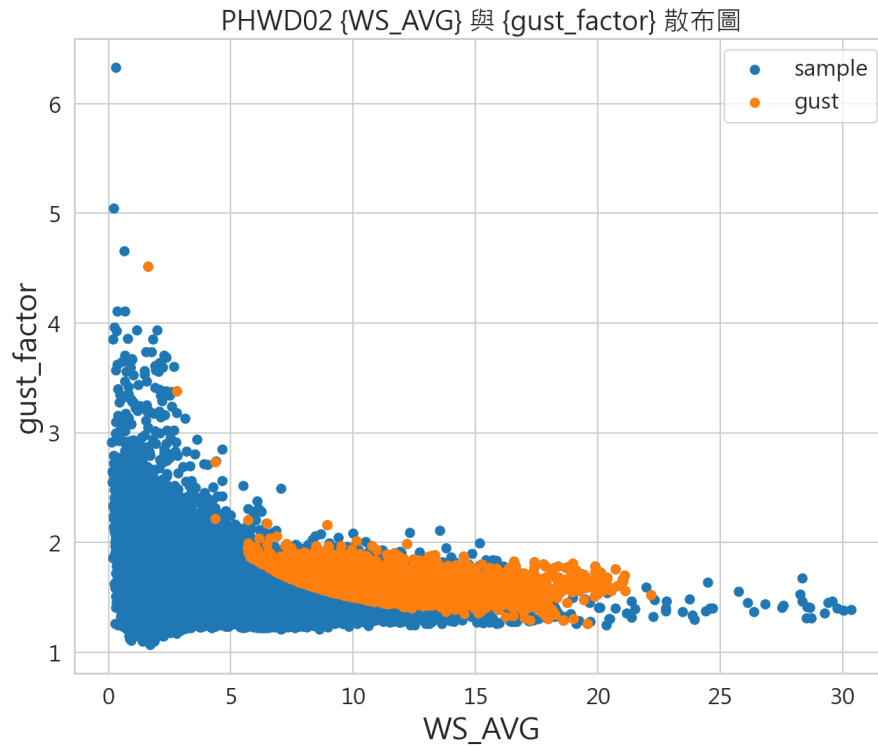


圖 4.20 澎湖港陣風因子與平均風速關係圖

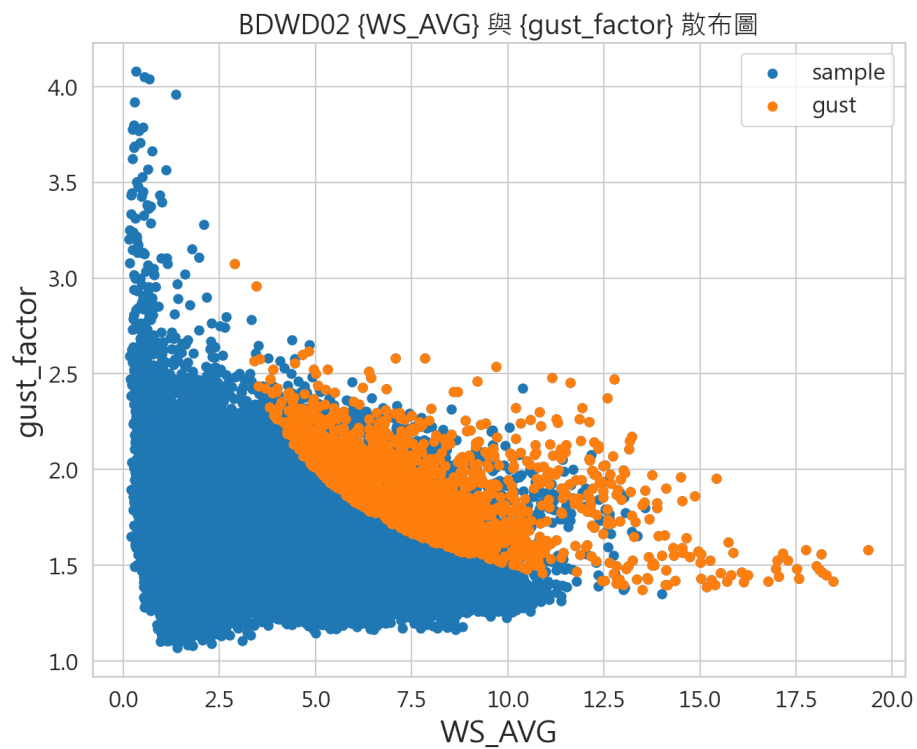


圖 4.21 布袋港陣風因子與平均風速關係圖

4.3 紊流強度之計算與應用

紊流強度(longitudinal turbulence intensity)定義為某一高度量測之主流向風速擾動速度之均方根值與同一位置量測之主流向平均風速之比值，亦即：

$$TI_u(z) = \frac{\sqrt{u(z)^2}}{\bar{U}(z)}$$

其中：

$TI_u(z)$ ：某一高度紊流強度

$u(z)$ ：某一高度量測之主流向風速擾動速度

$\bar{U}(z)$ ：同一位置量測之主流向平均風速

紊流強度係代表風場流速擾動大小的強弱(即紊流動能大小)之一種指標。其與地表粗糙度，以及距地面高度及大氣穩定度有關；一般而言，隨大氣不穩定及地表粗糙度之增加而變大。

各商港分析結果，如表 4-15，其中臺中港、安平港及高雄港之紊流強度平均值低於 0.1，屬於比較穩定風速的測站，而其餘港口之平均值介於 0.17~0.25 間，屬於有比較明顯紊流的測站。

在進一步針對不同季節、月份、風速分級及風向分析，如圖 4.22~圖 4.30 所示，可以發現臺中港 TCWD02 測站在正西及西北風向時，會出現較高的紊流強度，其主要原因在於該測站位於臺中港北堤綠燈塔之上方，其風速計位於該結構物主體之東側(如圖 4.31)，受到主體結構物影響導致下游空氣擾動，而影響其量測結果；臺北港 TPWD03 亦有受到結構物影響之相同情形。

表 4-15 各商港主要測站紊流強度百分比統計表

港區	代表測站	平均值 (%)	標準差
臺中港	TCWD02	8.06	9.71
布袋港	BDWD02	18.13	7.47
安平港	APWD01	6.67	3.67
高雄港	KHWD04	7.85	5.15
花蓮港	HLWD02	25.33	10.86
蘇澳港	SAWD01	17.50	13.68
基隆港	KLWD04	18.99	10.00
臺北港	TPWD03	21.48	12.22
澎湖港	PHWD02	17.94	7.62

臺中港TCWD02
(1min) 紊流強度

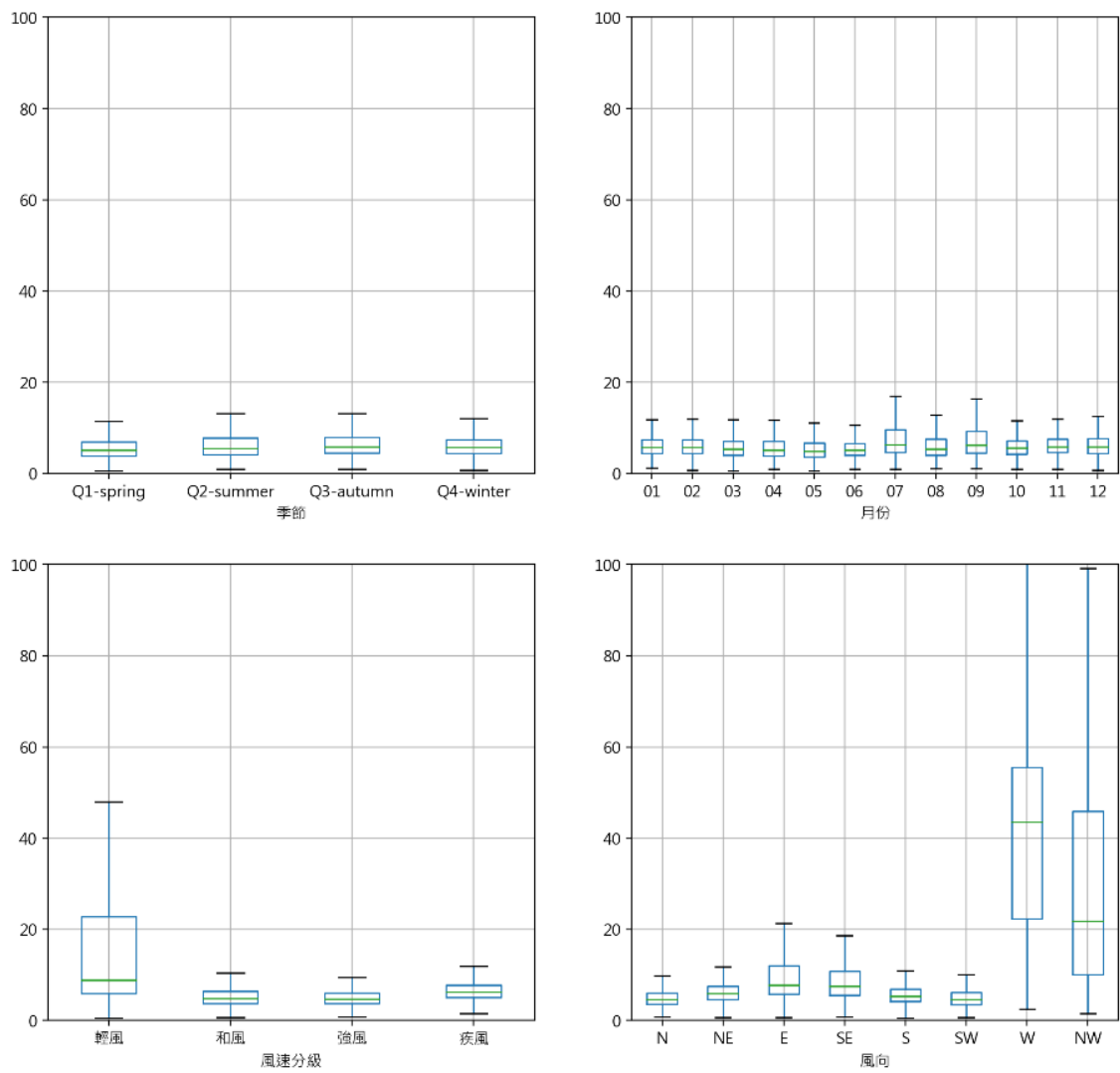


圖 4.22 臺中港紊流強度分析圖

布袋港BDWD02
(1min) 紊流強度

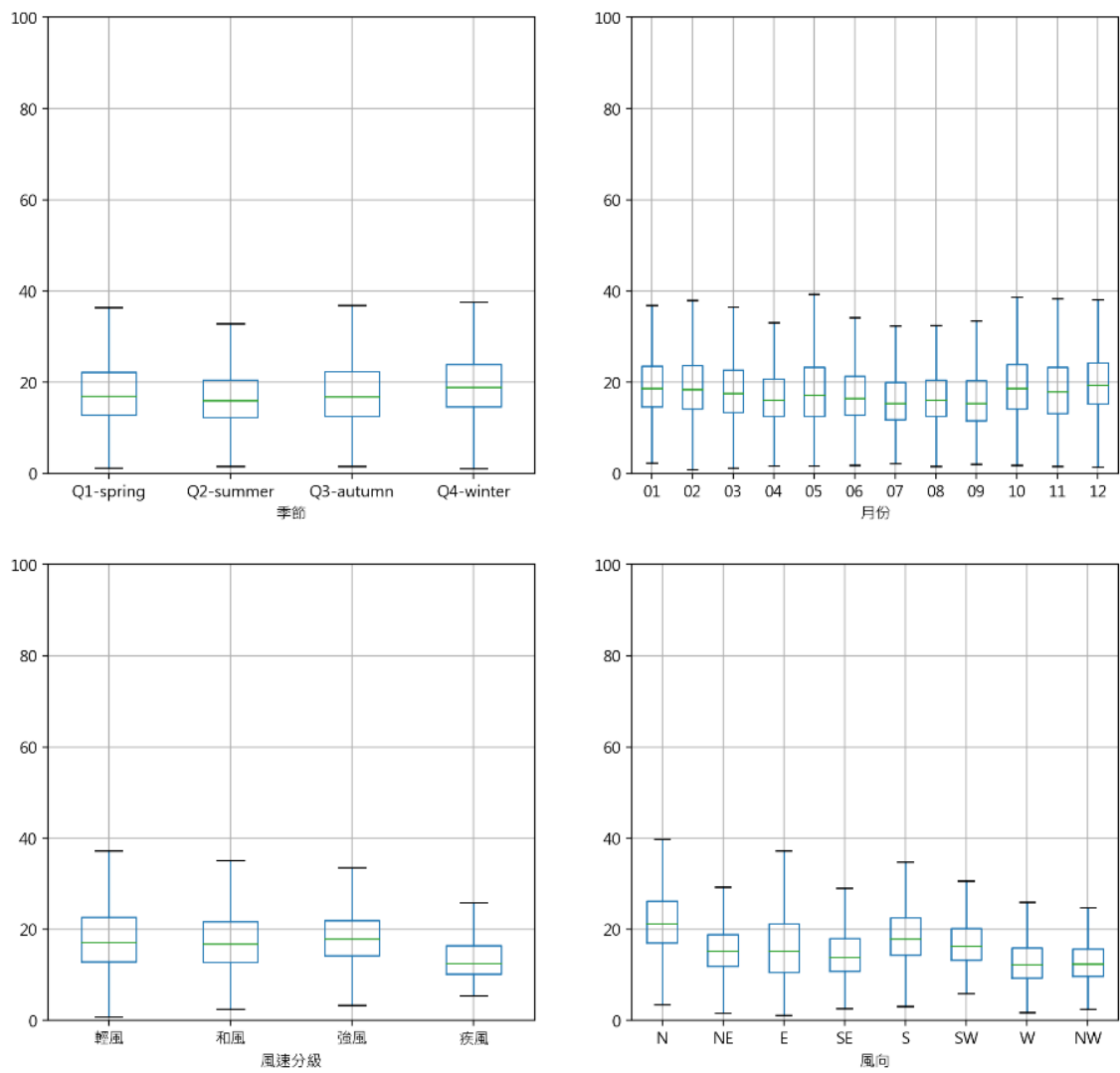


圖 4.23 布袋港紊流強度分析圖

安平港APWD01
(1min) 紊流強度

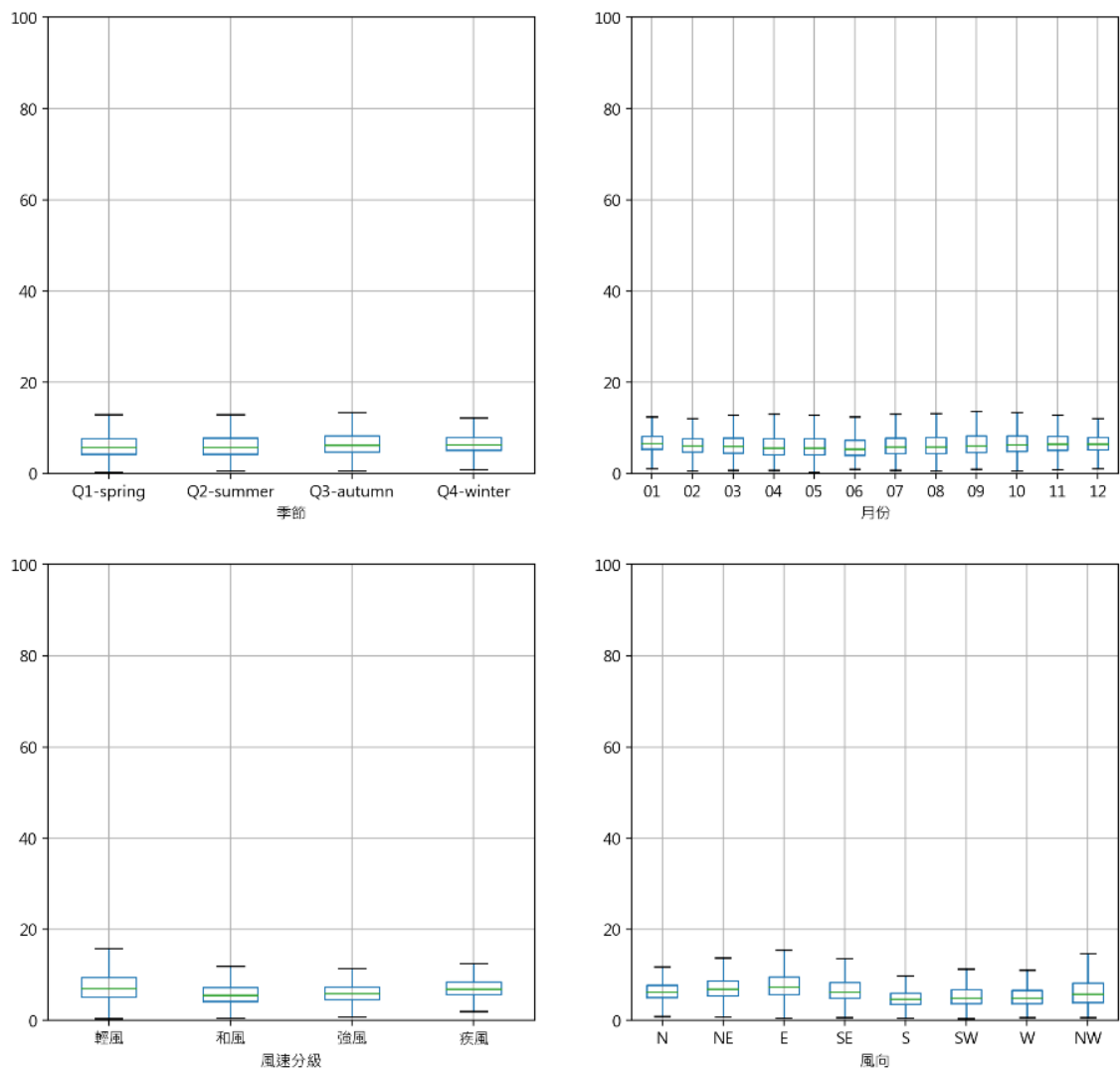


圖 4.24 安平港紊流強度分析圖

高雄港KHWD04
(1min) 紊流強度

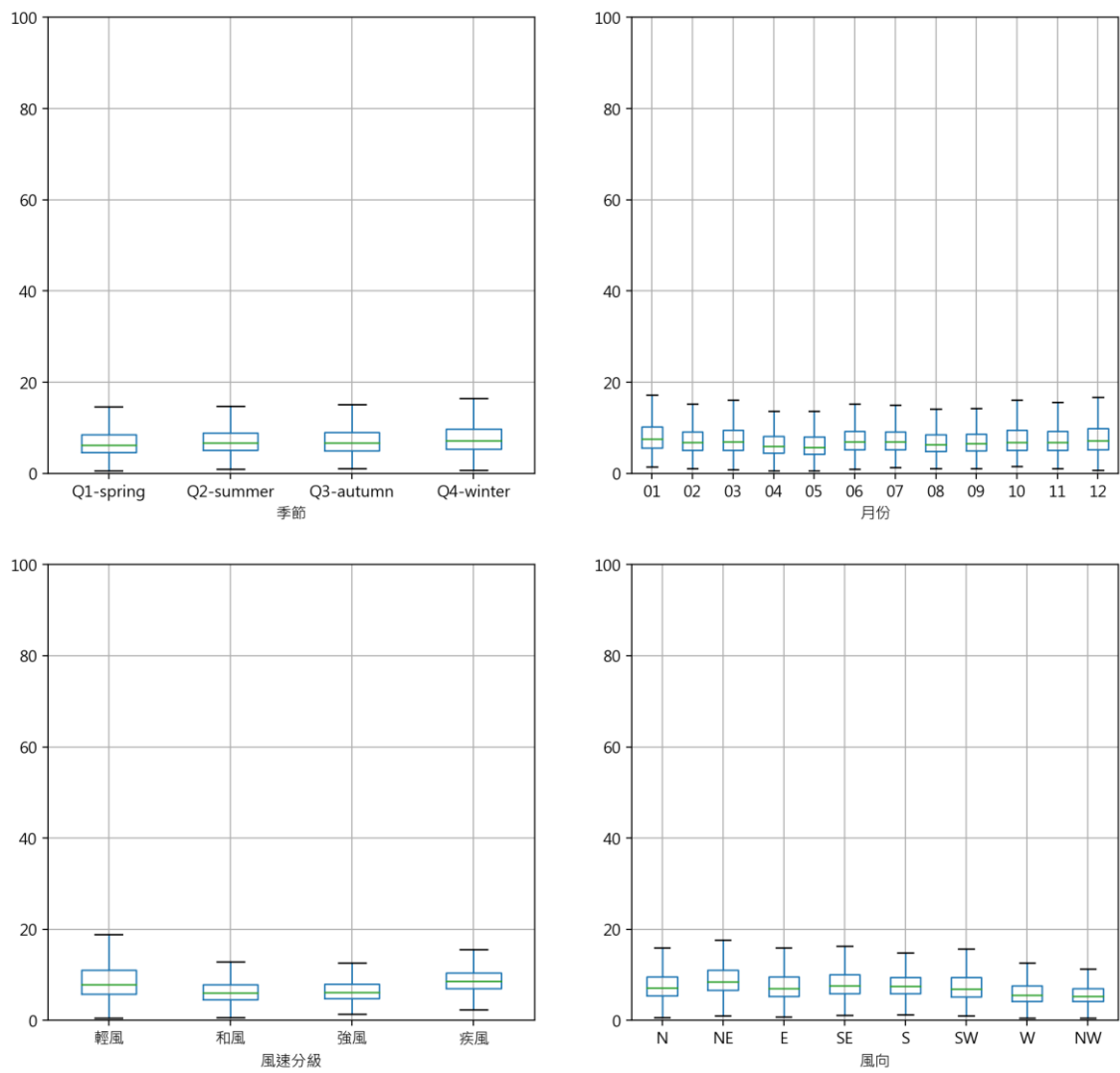


圖 4.25 高雄港紊流強度分析圖

花蓮港HLWD02
(1min) 紊流強度

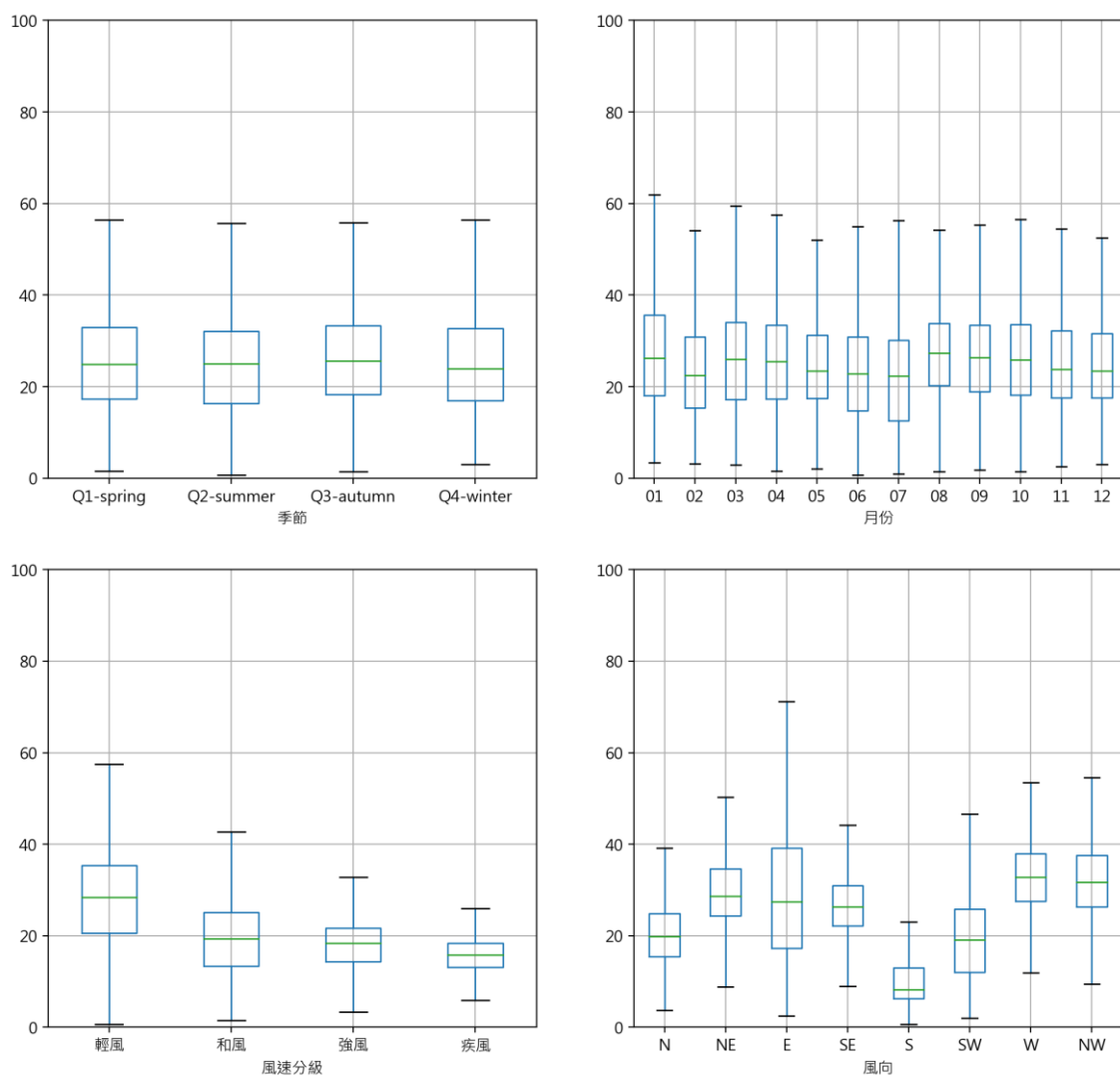


圖 4.26 花蓮港紊流強度分析圖

蘇澳港SAWD01
(1min) 紊流強度

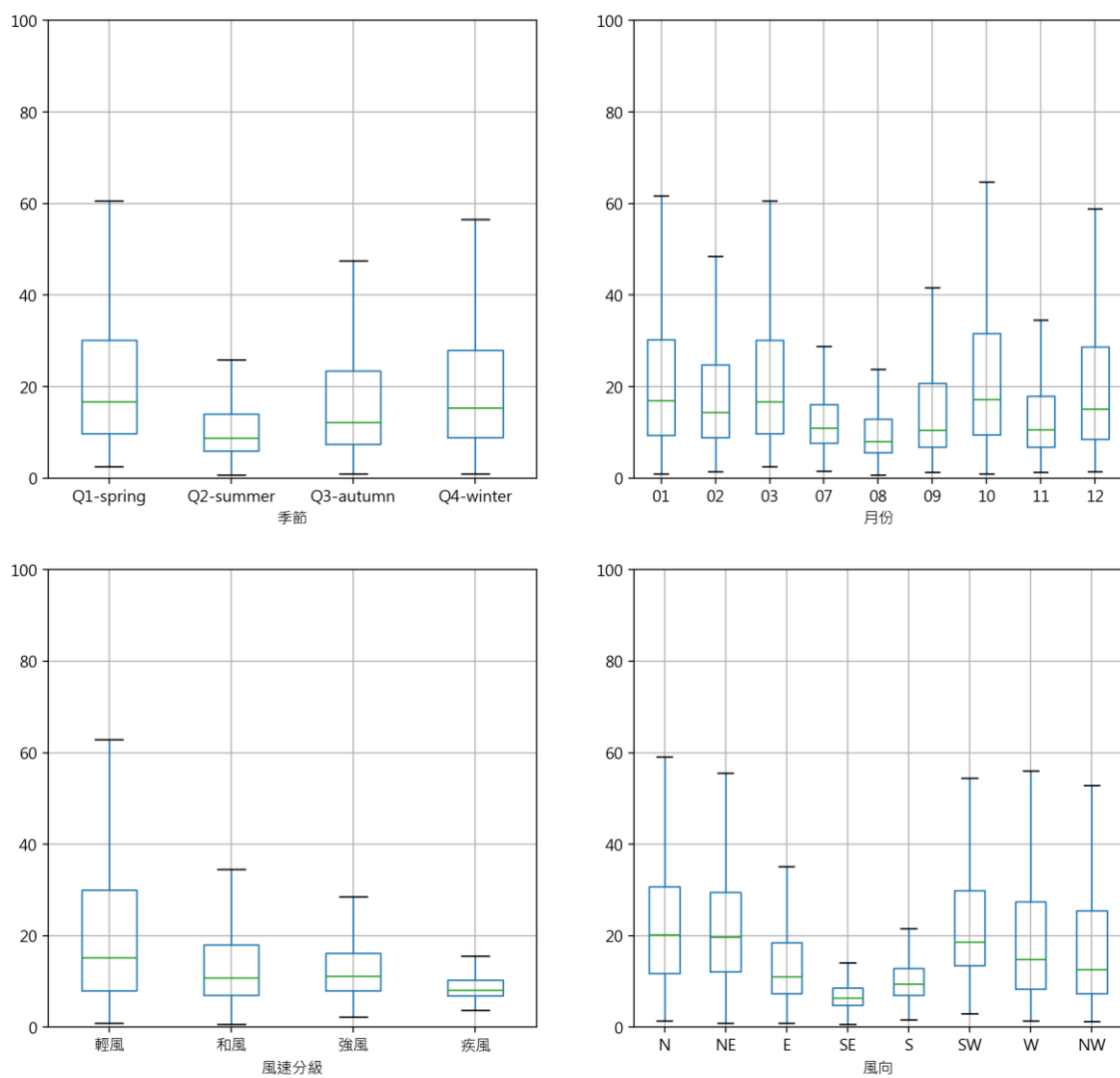


圖 4.27 蘇澳港紊流強度分析圖

基隆港KLWD04
(1min) 紊流強度

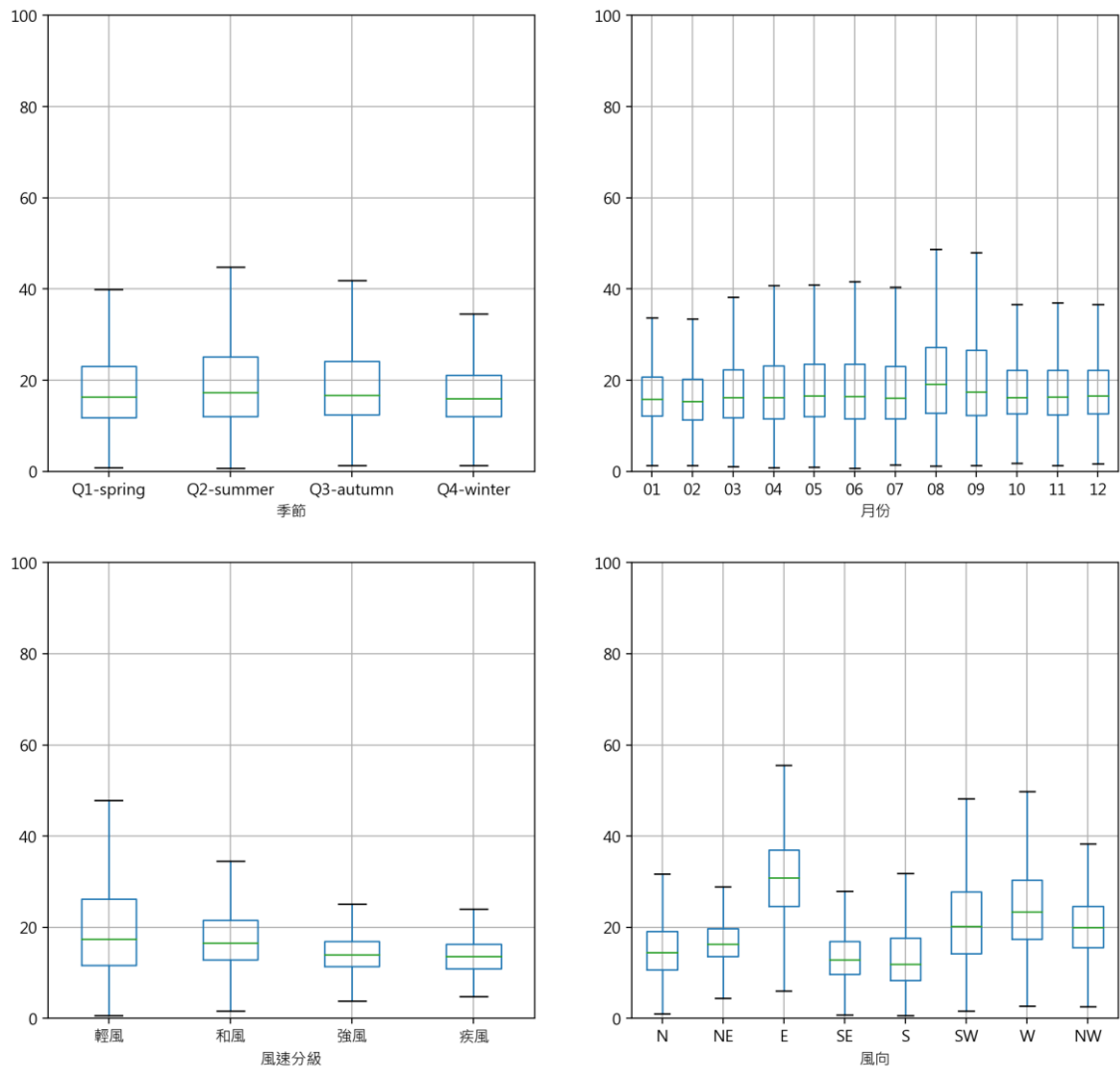


圖 4.28 基隆港紊流強度分析圖

臺北港TPWD03
(1min) 紊流強度

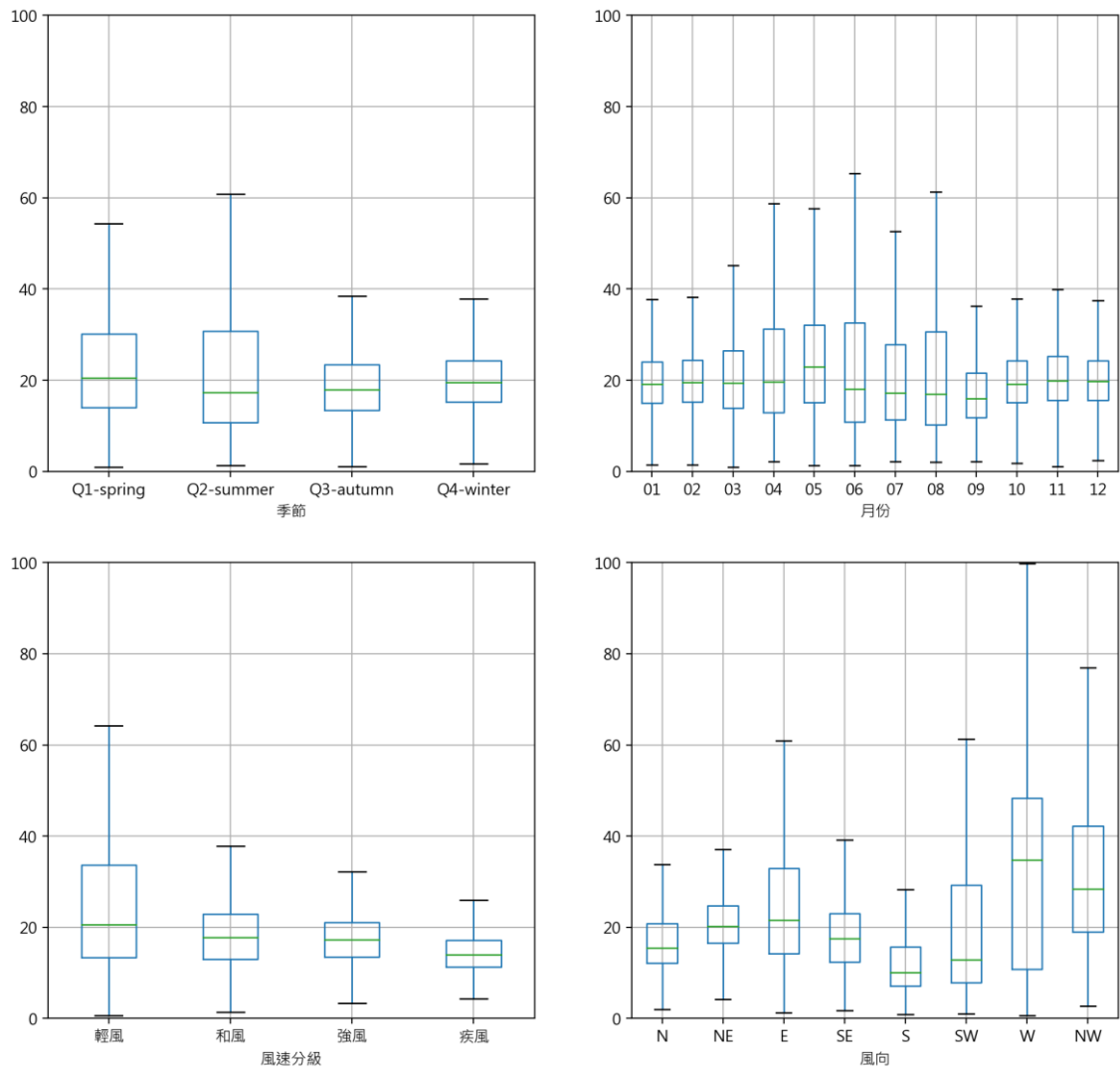


圖 4.29 臺北港紊流強度分析圖

澎湖港PHWD02
(1min) 紊流強度

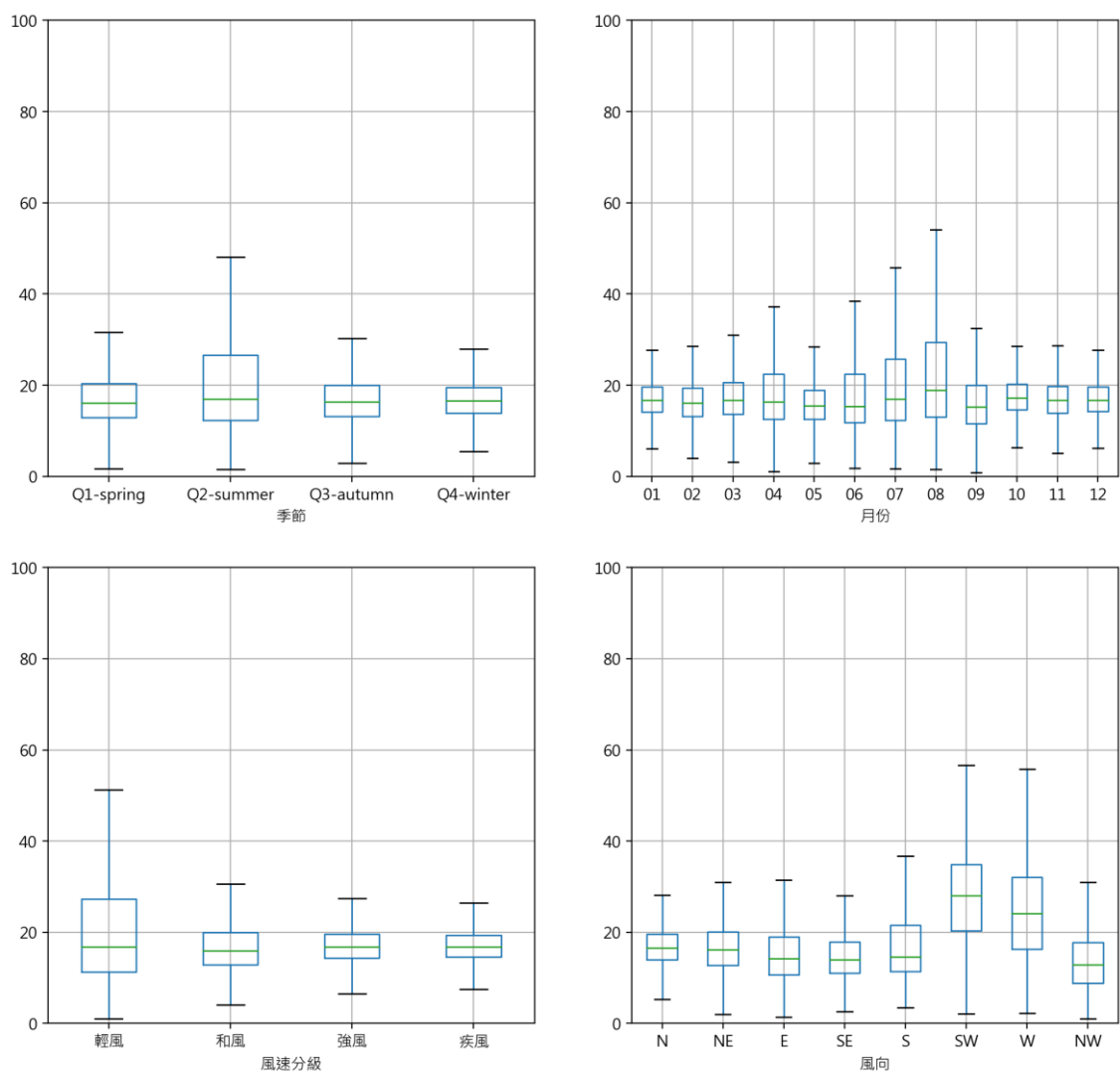
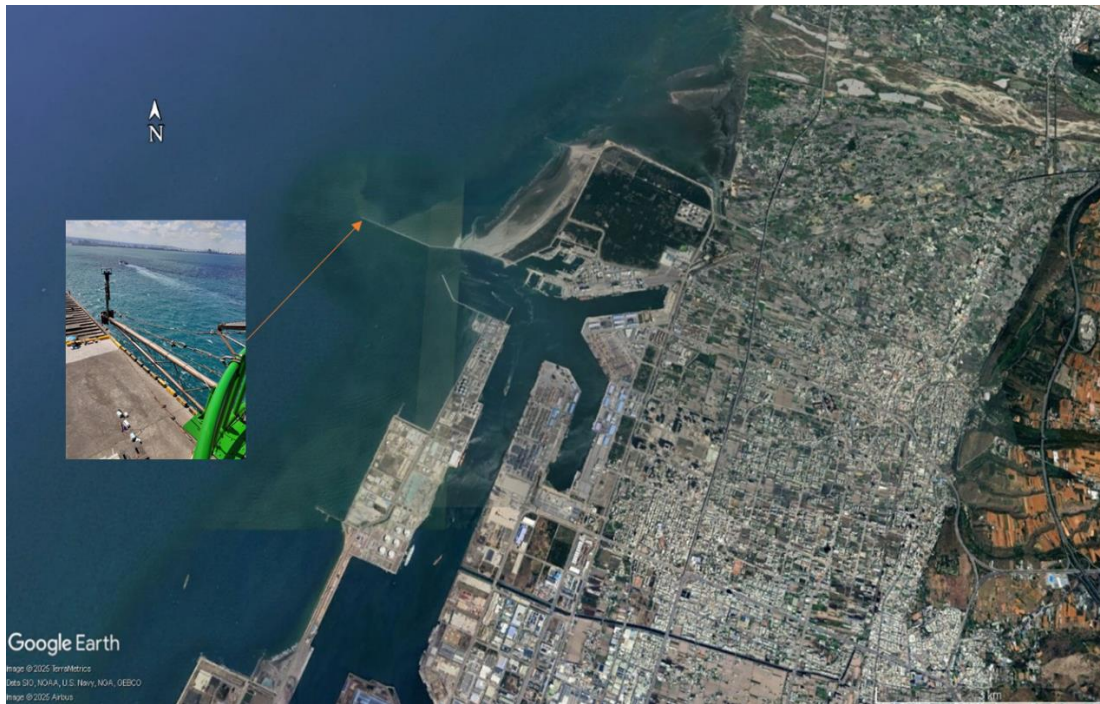


圖 4.30 澎湖港紊流強度分析圖



底圖來源：Google Earth

圖 4.31 臺中港北堤綠燈塔風速計位置圖

紊流強度可反映風速擾動情形，可作為在測站性能評估或環境風場變異性的指標之一，特別是在強陣風的分析上，可利用該指標進行陣風現象的評估與預測，如圖 4.32~圖 4.35 所示。

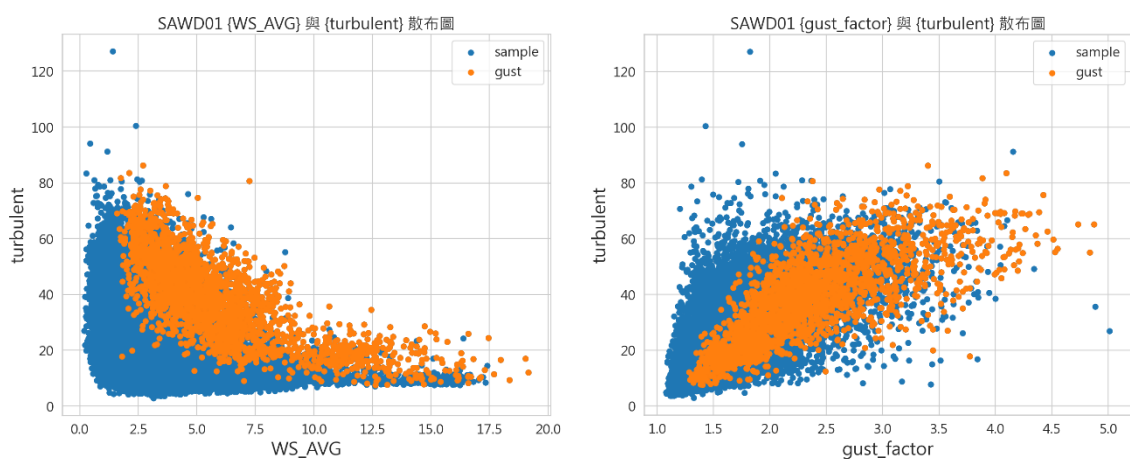


圖 4.32 蘇澳港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖

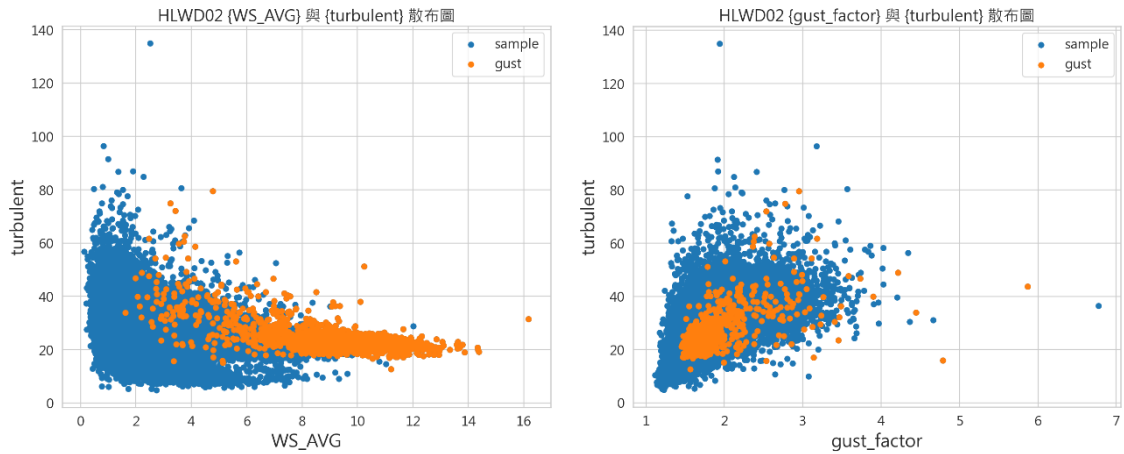


圖 4.33 花蓮港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖

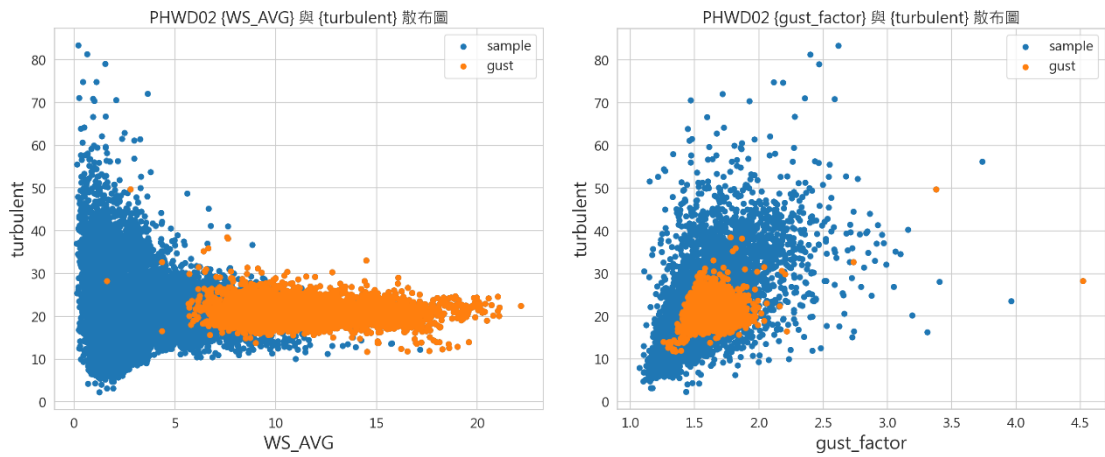


圖 4.34 澎湖港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖

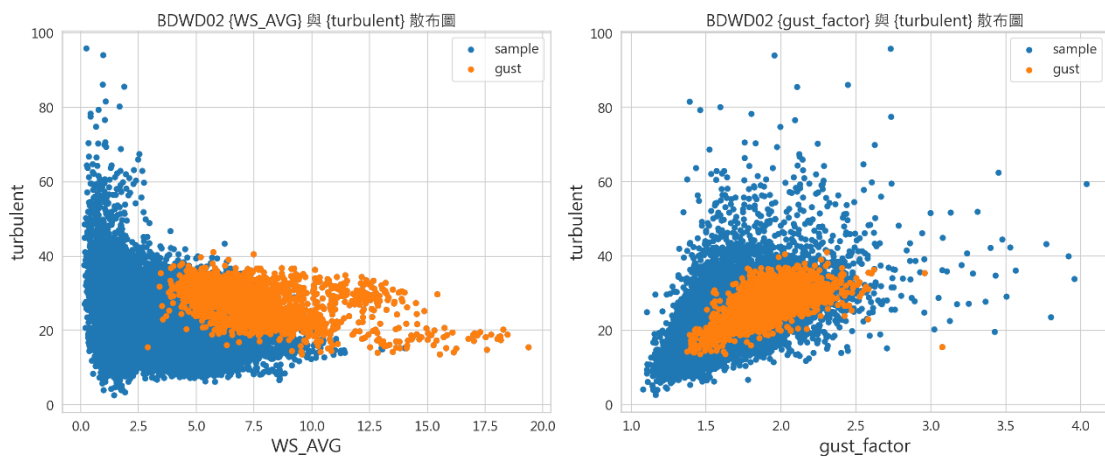


圖 4.35 布袋港紊流強度與風速及陣風因子之關係圖

4.4 颱風事件分析

2024 年中央氣象署有發警報之颱風列表如表 4-16，共有 2 個颱風，分別為凱米颱風及山陀兒颱風，該 2 個颱風均為強烈颱風，對臺灣本島均有相當大的影響。

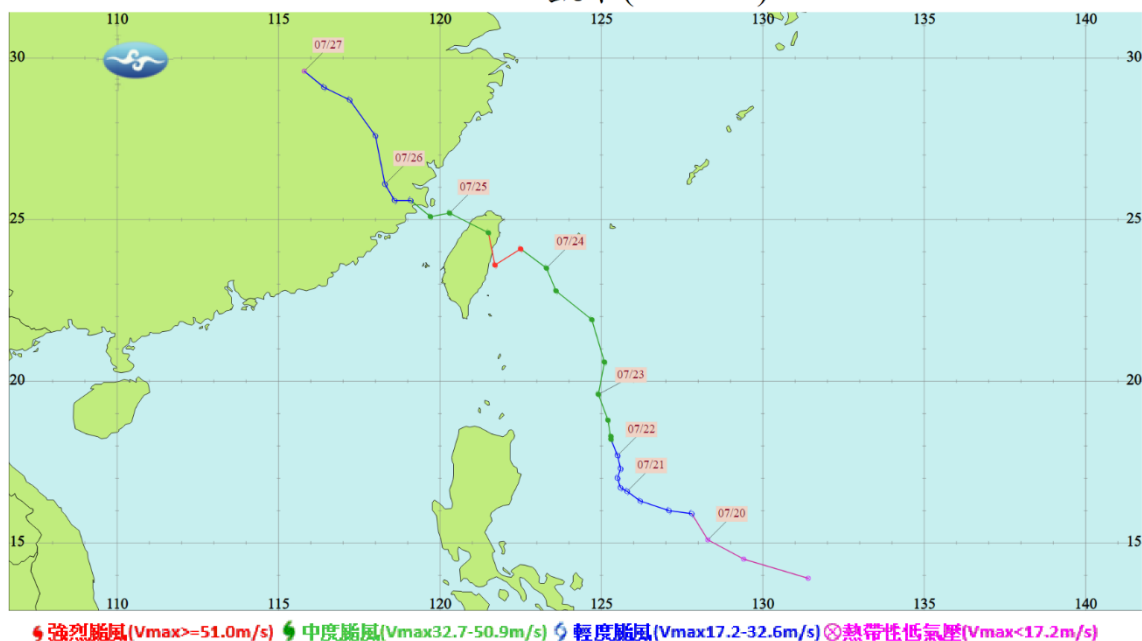
表 4-16 2024 年有發布警報之颱風列表

颱風編號	颱風名稱	侵臺路徑分類	警報期間	近臺強度	近臺最低氣壓(hPa)	近臺最大風速(m/s)	近臺 7 級風暴風半徑(km)	近臺 10 級風暴風半徑(km)	警報發布報數
202403	凱米 (GAEMI)	2	2024-07-22 23:30 2024-07-26 08:30	強烈	920	53	250	90	28
202418	山陀兒 (KRATHON)	7	2024-09-29 08:30 2024-10-04 05:30	強烈	910	55	220	80	40

資料來源：中央氣象署

根據中央氣象署資料顯示，凱米颱風 7 月 20 日 14 時於菲律賓東方海面生成後，向西北轉北北西朝臺灣東方海面接近，22 日 23 時 30 發布海上颱風警報。23 日 11 時 30 分暴風圈逐漸接近臺灣東方海面，對新北、宜蘭、花蓮、臺東構成威脅，發布陸上颱風警報。25 日 0 時颱風中心登陸宜蘭南澳，4 時 20 分颱風中心於桃園新屋出海，19 時登陸中國福建。26 日 8 時 30 時解除海上陸上颱風警報，如圖 4.36。另外，從各商港風力觀測資料分析顯示，如表 4-17 所示，以花蓮港及蘇澳港之風力影響較大，均有超過 40m/s 以上之強陣風，而高雄港、安平港及臺中港則有持續性的 7 級以上強風發生，其最長延續時間超過 30 小時以上。另外從颱風期間紊流強度與風速歷線圖來看，如圖 4.37~圖 4.41 所示，可明顯看出在強風發生前，其紊流強度常有較大趨勢。

202403 凱米 (GAEMI)



資料來源：中央氣象署

圖 4.36 凱米颱風路徑圖

表 4-17 凱米颱風期間各商港最大風力統計資料表

港區	最大風測站	最大平均風 (m/s)	最大瞬間風 (m/s)	7 級風以上之 最長延續時間 (hours)	7 級風以上之 總時間 (hours)
基隆港	KLWD04	22.13	36.43	9.0	13.1
臺北港	TPWD03	13.15	24.86	0	0
臺中港	TCWD02	27.23	39.16	30.8	57.0
布袋港	BDWD02	21.47	28.30	16.5	17.3
安平港	APWD04	27.70	34.67	42.5	54.0
高雄港	KHWD04	27.02	38.05	33.0	44.1
花蓮港	HLWD02	26.19	43.32	2.6	8.3
蘇澳港	SAWD01	27.12	42.84	14.0	28.6
澎湖港	PHWD02	23.03	38.29	6.1	23.0

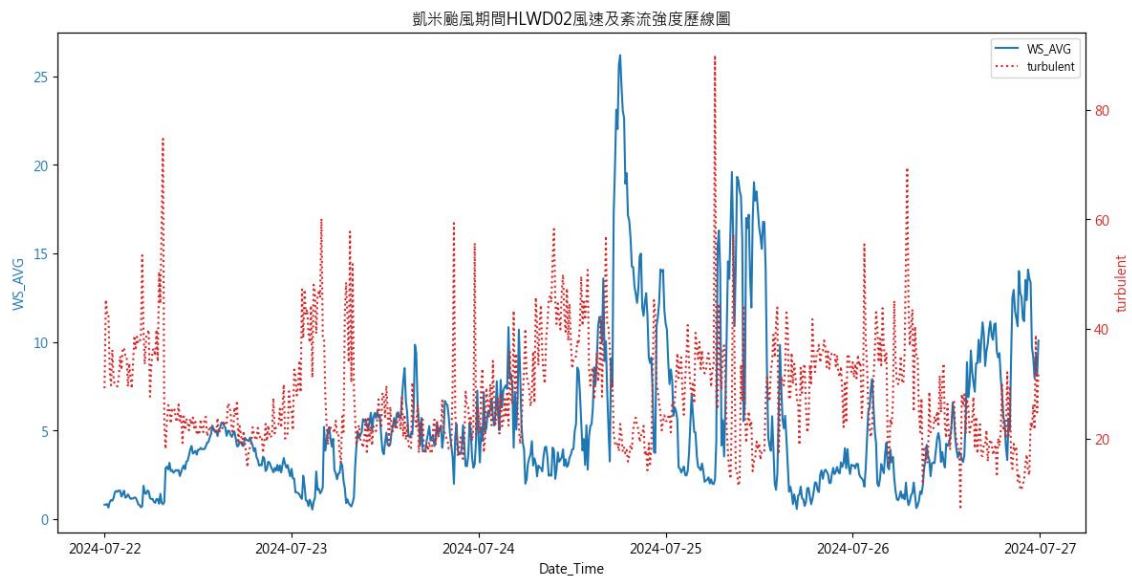


圖 4.37 凱米颱風期間花蓮港紊流強度與風速歷線圖

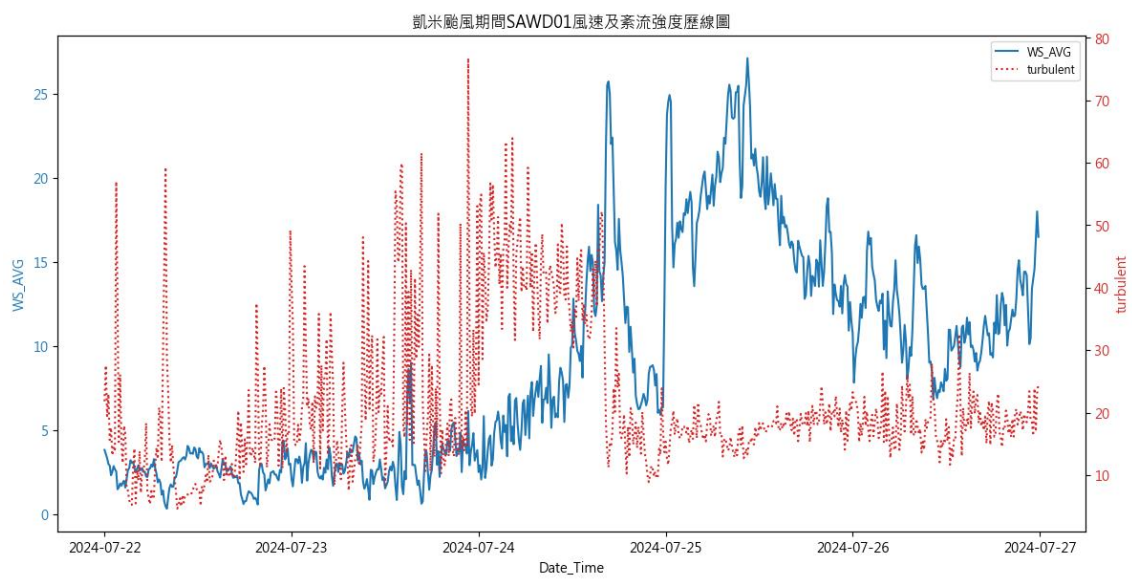


圖 4.38 凱米颱風期間蘇澳港紊流強度與風速歷線圖

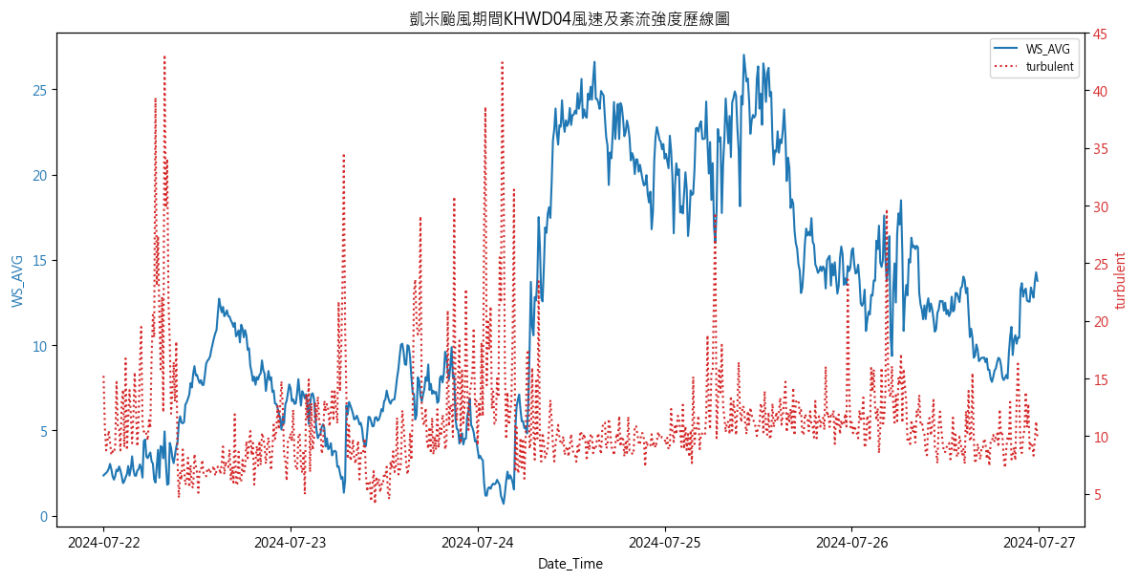


圖 4.39 凱米颱風期間高雄港紊流強度與風速歷線圖

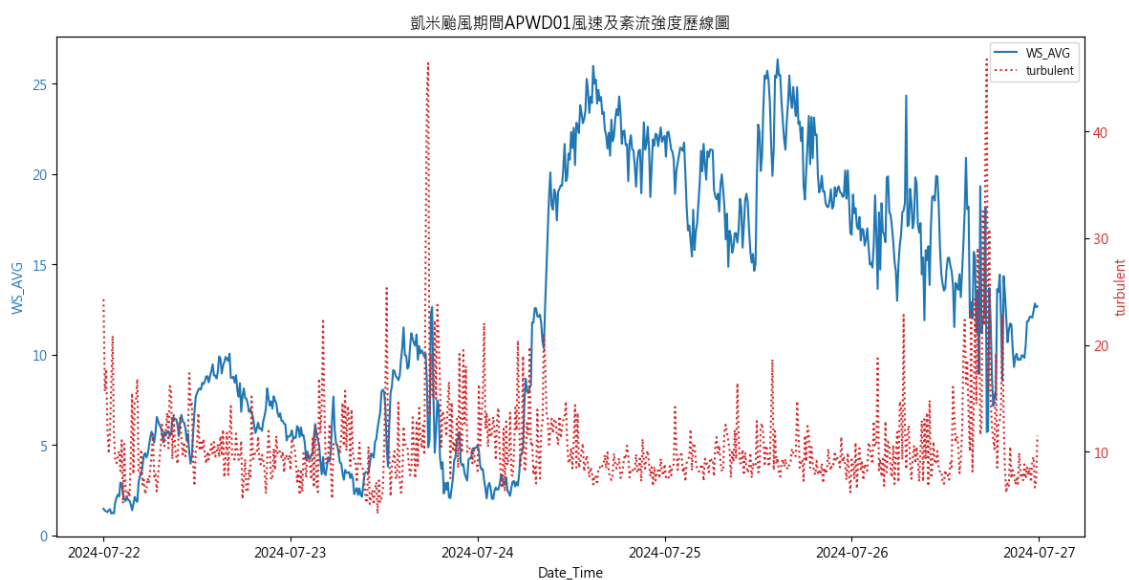


圖 4.40 凱米颱風期間安平港紊流強度與風速歷線圖

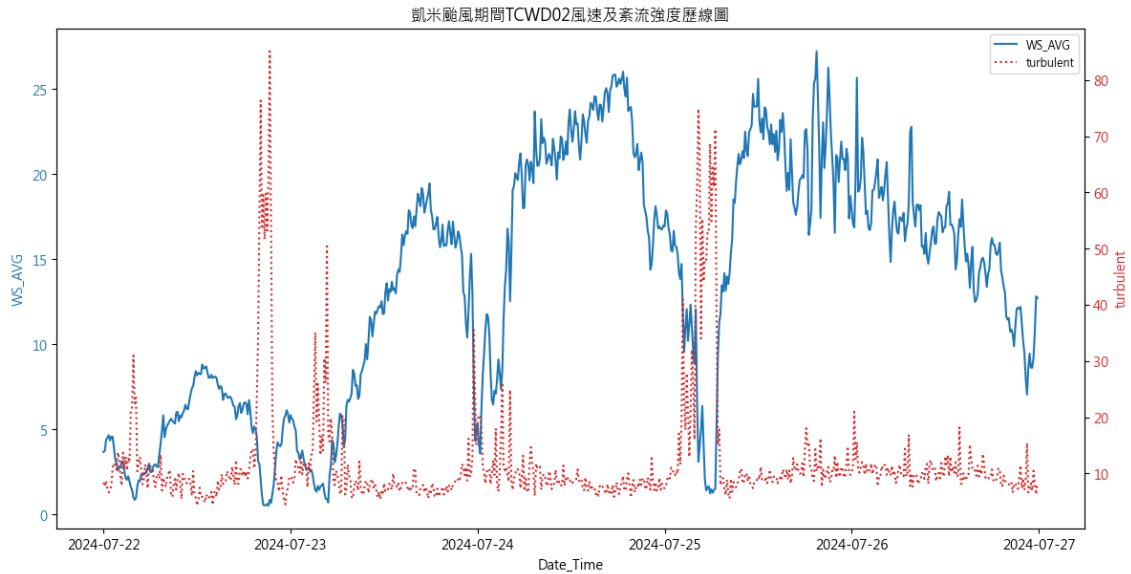
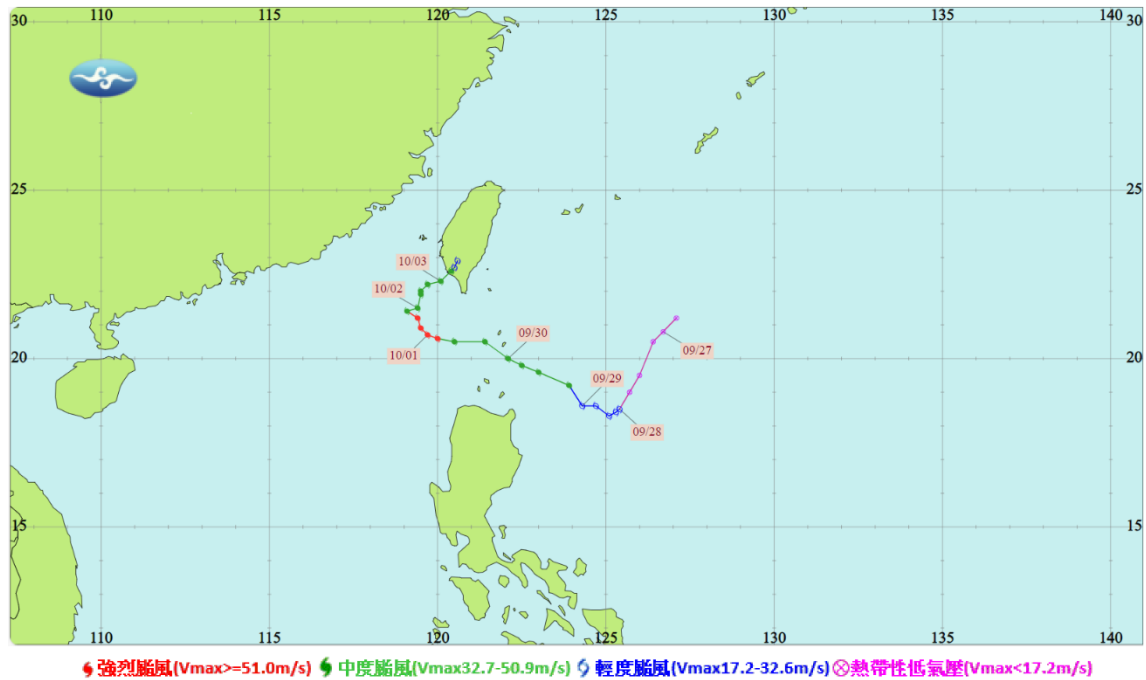


圖 4.41 凱米颱風期間臺中港紊流強度與風速歷線圖

山陀兒颱風，根據中央氣象署資料顯示，9 月 28 日 8 時於臺灣東方海面生成後，向西北朝巴士海峽接近，29 日 8 時 30 發布海上颱風警報。30 日 2 時 30 分暴風圈逐漸接近巴士海峽，對臺東、恆春半島構成威脅，發布陸上颱風警報。其移動速度緩慢，直到 3 日 12 時 40 分颱風中心登陸高雄小港，4 日清晨減弱為熱帶性低氣壓，5 時 30 分解除海上陸上颱風警報，如圖 4.42。另外，從各商港風力觀測資料分析顯示，如表 4-18 所示，以高雄港、澎湖港及臺中港之風力影響較大，均有超過 30m/s 以上之強陣風，其中高雄港二港口更測得 62.27m/s 之最大瞬間風；本次颱風期間另受到東北季風影響，高雄港、安平港及臺中港則有持續性的 7 級以上強風發生，其最長延續時間超過 20 小時以上。另外從颱風期間紊流強度與風速歷線圖來看，如圖 4.43~圖 4.46 所示，亦可明顯看出在強風發生前，其紊流強度常有較大趨勢。

202418 山陀兒(KRATHON)



資料來源：中央氣象署

圖 4.42 山陀兒颱風路徑圖

表 4-18 山陀兒颱風期間各商港最大風力統計資料表

港區	最大風測站	最大平均風 (m/s)	最大瞬間風 (m/s)	7 級風以上之 最長延續時間 (hours)	7 級風以上之 總時間 (hours)
基隆港	KLWD04	15.72	24.55	1.8	6.3
臺北港	TPWD03	15.04	25.50	0.5	2.0
臺中港	TCWD02	31.66	39.09	67.3	77.1
布袋港	BDWD01	12.68	23.43	0	0
安平港	APWD01	18.55	24.59	4.8	12.3
高雄港	KHWD04	43.77	62.27	22.0	29.6
花蓮港	HLWD02	15.58	23.98	0.1	0.1
蘇澳港	SAWD01	18.16	27.86	0.8	1.1
澎湖港	PHWD02	20.85	34.37	37.0	47.8

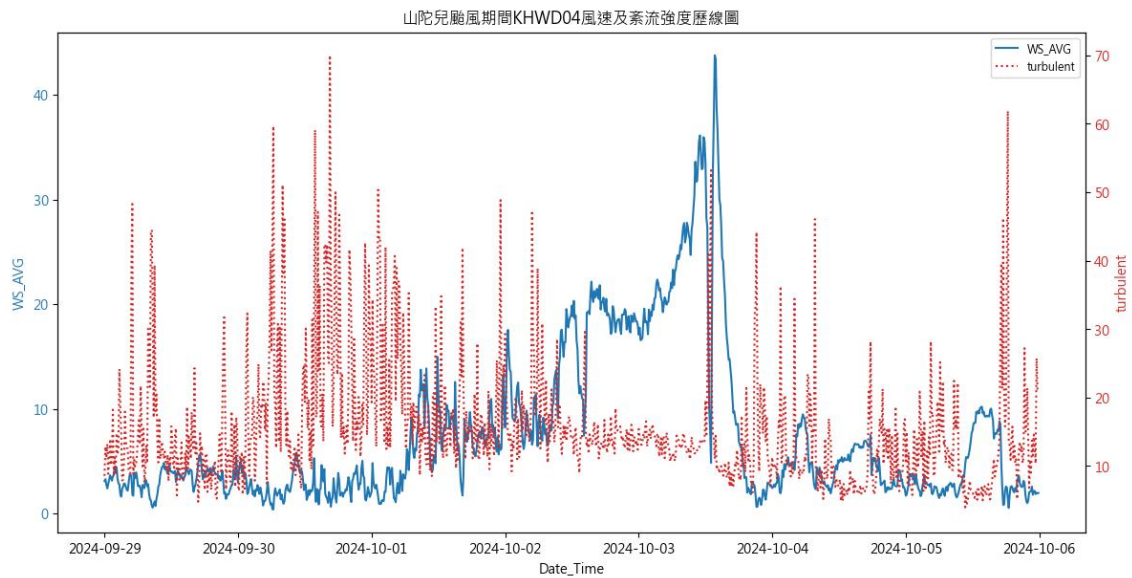


圖 4.43 山陀兒颱風期間高雄港紊流強度與風速歷線圖

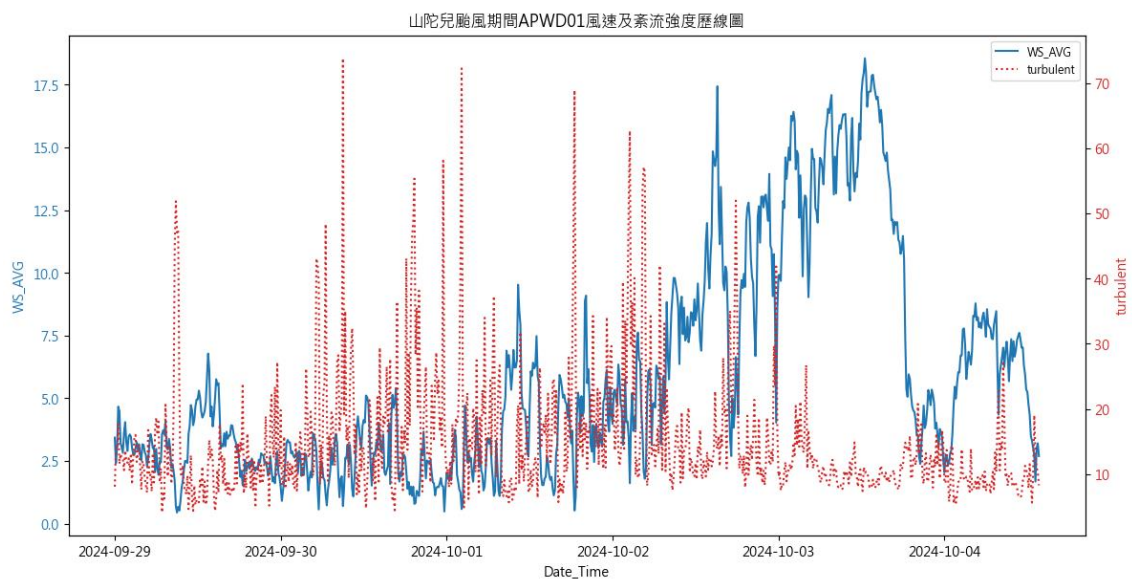


圖 4.44 山陀兒颱風期間安平港紊流強度與風速歷線圖

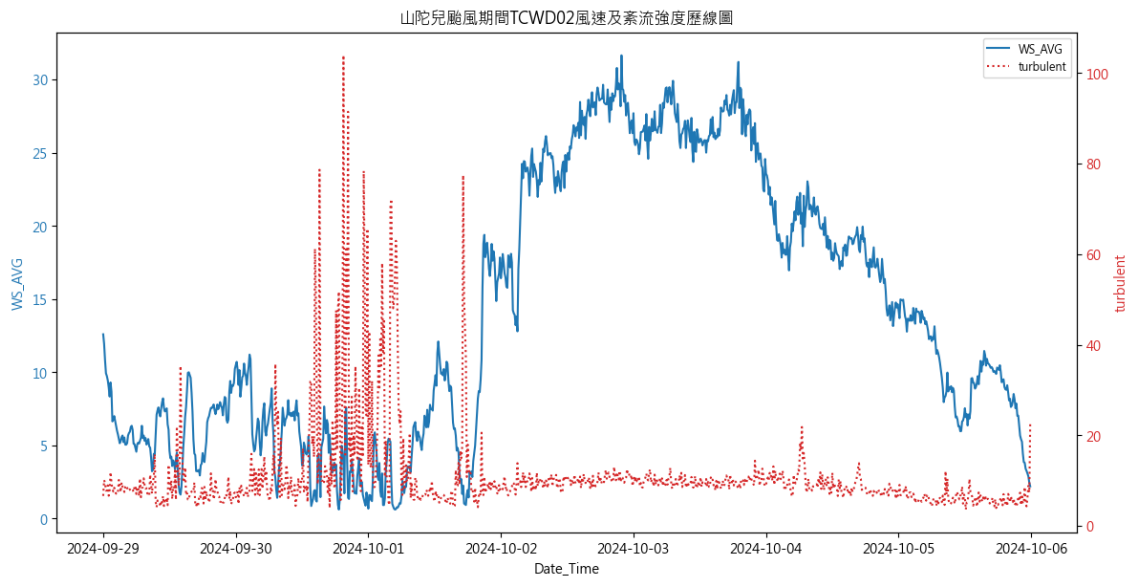


圖 4.45 山陀兒颱風期間臺中港紊流強度與風速歷線圖

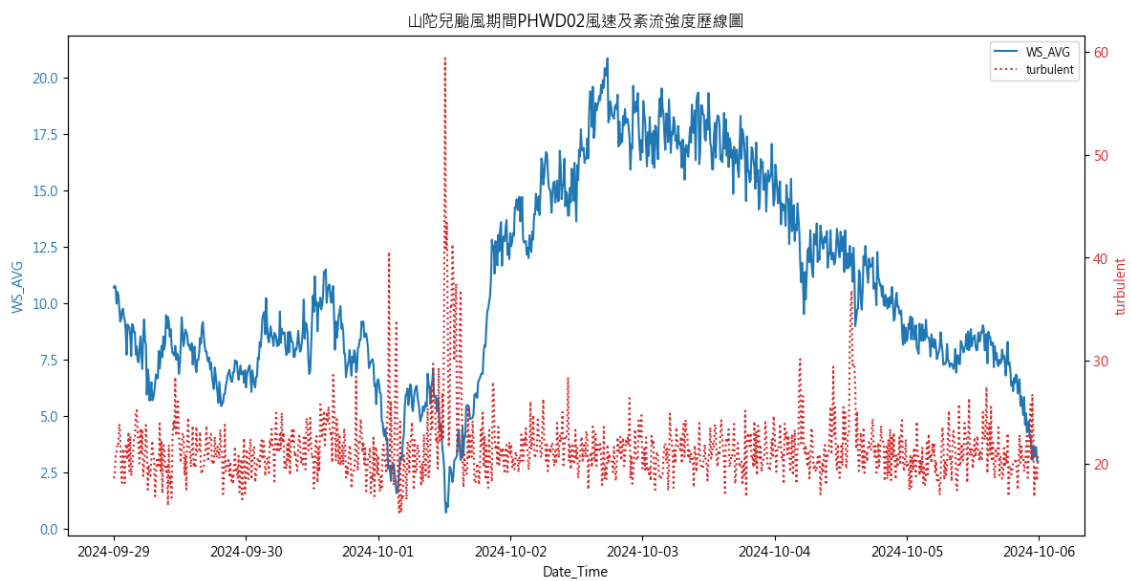


圖 4.46 山陀兒颱風期間澎湖港紊流強度與風速歷線圖

4.5 小結

本計畫除完成 2023 年臺灣海氣象觀測資料統計年報(8 港域觀測風力資料)外，進一步針對各商港不同月份之風速機率進行探討，從各港逐月的風速機率圖可以看出，在夏、秋季其風速機率比較類似右偏型的韋伯分布，而在高雄、花蓮、蘇澳及基隆港全年各月之機率分布較為類似，而在冬季季風期間，安平及布袋則有呈現左偏型態，顯示其強風比例有明顯增加，值得注意的是，在臺北、澎湖、臺中港之冬季等則有雙峰型態產生，甚至臺中港更有多峰型態的風速分布，顯示東北季風對這 3 個港區的影響較為顯著，且易有強風發生。

東部港口（蘇澳、花蓮）及離島港口（澎湖）之陣風發生比例最高，另外值得持續觀察的是布袋港為西部商港發生強陣風較高的港口之一。在陣風發生時間來看，除蘇澳港及布袋港有較明顯發生在下午時段外，其餘各港並不明顯，但容易發生於秋冬 2 季。本計畫在探討陣風現象時，透過陣風因子及紊流強度做為評估指標，其中陣風因子與平均風速的關係，大致呈現指數的關聯性，而紊流強度從目前研究資料中，並未發現與陣風存在線性關係，惟透過颱風事件之案例，仍顯示出在強風發生前，紊流強度有增大之趨勢，後續可進一步納入研究。

紊流強度除做為陣風預測的指標外，亦可用來評估測站之觀測性能，本計畫利用不同風向之紊流強度分析，可明顯看出風力測站受到方向結構物之影響，包括臺中港 TCWD02 測站在正西及西北風向時，會出現較高的紊流強度，其主要原因在於該測站位於臺中港北堤綠燈塔之上方，其風速計位於該結構物主體之東北側，受到主體結構物影響導致下游空氣擾動，而影響其量測結果；臺北港 TPWD03 亦有受到結構物影響之相同的情形。透過測站性能評估，可有效屏除失真數據，以確保觀測品質。

在 2024 年颱風事件分析，在高雄港二港口測得 62.27m/s 之最大瞬間風，其強風對港口之影響十分劇烈，特別是對於碼頭廠房之結構設計有極大的影響。本計畫除透過平均風速、瞬間風速等常用指標呈現風力之影響外，亦進一步將強風延續時間及累積時間做為評估之指標，後續可做為航港管理單位防災應變之參考依據。

第五章 結論與建議

為提供臺灣主要商港臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、澎湖港、臺中港域船舶停靠、船舶進出、碼頭作業、港區結構物設計與防災預警等所需相關資料，本計畫持續精進商港風力觀測技術，探討風力測站之觀測誤差量及儀器驗證測試，同時針對商港風速機率及變異性進行探討，並分析其強風特性，相關研究成果可提供航港局、港務公司及相關單位，做為船舶停靠、船舶進出、碼頭作業與防災預警等應用參據。本計畫結論與建議如下。

5.1 結論

1. 在精進商港風力觀測技術方面，本計畫除蒐集國內外主要風力觀測及統計之方法，並針對不同年期之超音波式風速計量測結果、不同儀器量測特性、最大風速之計算方法、平均風向之計算方法等內容進行探討及分析。其重要分析結論如下：

- (1) 針對不同年期之超音波式風速計差異探討，本計畫使用 2015、2017、2018、2022 及 2023 年出廠之儀器進行 10m/s、20m/s、30m/s、40m/s 及 50m/s 之風洞實驗室校驗測試，其中除 2023 出廠之風速計為全新以外，其他均為各港區汰換之風速計，其結果顯示其量測誤差值均在 $\pm 1\text{m/s}$ 以內；此外本計畫亦於臺中港及基隆港等 2 處分別進行不同年期及相同年期之實場域測試，其量測結果大致與風洞實驗相符，顯示風速計在正常使用下(固定保養)，均能達到很好的量測代表性。

- (2) 在不同儀器量測特性比對中，螺旋槳式、風杯式及超音波式風速計在 10 分鐘的量測統計，在 95% 的區間其風速差大致在 $\pm 2\text{m/s}$ 以內，其中螺旋槳式與超音波式風速計之量測結果，在低風速下(3.3m/s 以下)，其超音波式風速計之平均風速略高於螺旋槳式，在中風速(3.3m/s~13.8m/s)，2 款風速計之數值接近，而在高風速時(13.8m/s 以上)，螺旋槳式風速計有略高於超音波式風速計之趨勢，大致符合儀器特性與先驗知識。而在風杯式風速計與超音波式量測結果，在中低風速(7.9m/s 以下)，其結果大概與螺旋槳式分析結果接近，惟在中高風速(7.9m/s 以上)，分析結果與先驗知識有所悖離，初步

推測與本計畫設定之取樣頻率過高以及儀器本身的解析度及準確度可能有關聯，後續可再調整相關設定後再探討相關原因。

- (3) 最大風速之計算方法探討，最大瞬間風與三秒移動平均最大風的方法，最大瞬間風(Peak Gust)的值通常會高於三秒移動平均(3-second Gust)最大風，因為它捕捉到了更短時間內的最大突發值，而三秒移動平均最大風被認為更好地代表了人們和建築物實際感受到的最大風力，因為它反映了一個較短的時間段內持續的最大風速，該2方法約有 21~25%的最大風速發生時間是相同的，而相差在 3 秒內的比例也在 73~85%，顯示就統計結果來看，最大風的發生時間並無太大差異；另外從 2 方法之風速差值來看，其差值平均值約介於 0.1~0.35m/s，最大瞬間風略高於三秒移動平均最大風。2 方法在高風速下，差值有較為明顯的現象，其原因在於突發性強陣風或地形結構之風速擾動影響。因此，不論採用最大瞬間風速與 3 秒移動平均法之最大風，原則沒有顯著差異。
 - (4) 平均風向的計算，向量平均法與單位向量平均法在實地測試結果，其角度差之平均值介於 0.1~2.4°，其中 10 分鐘平均值之角度差均略高於 1 分鐘，相差 10 度以內約占 97~99%，顯示在大多狀況下，2 方法之風向並無顯著差異。惟在風速較小之狀況下，2 方法之角度差有較高之趨勢，特別是在風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異。另外，從主風向來看，部分測站，如臺中港、花蓮港、蘇澳港及臺北港可能受到地形及結構物之影響，容易有紊流之狀況，其亦會影響 2 方法在統計上的差異。
2. 本計畫除完成 2023 年港灣海氣象觀測資料統計年報(8 港域觀測風力資料)外，進一步針對各商港不同月份之風速機率進行探討，從各港逐月的風速機率圖可以看出，在夏、秋季其風速機率比較類似右偏型的韋伯分布，而在高雄、花蓮、蘇澳及基隆港全年各月之機率分布較為類似，而在冬季季風期間，安平及布袋則有呈現左偏型態，顯示其強風比例有明顯增加，值得注意的是，在臺北、澎湖、臺中港之冬季等則有雙峰型態產生，甚至臺中港更有多峰型態的風速分布，顯示東北季風對這 3 個港區的影響較為顯著，且易有強風發生。
 3. 東部港口（蘇澳、花蓮）及離島港口（澎湖）之陣風發生比例最高，另外值得持續觀察的是布袋港為西部商港發生強陣風較高的港口之一。在

陣風發生時間來看，除蘇澳港及布袋港有較明顯發生在下午時段外，其餘各港並不明顯，但容易發生於秋冬 2 季。本計畫在探討陣風現象時，透過陣風因子及紊流強度做為評估指標，其中陣風因子與平均風速的關係，大致呈現指數的關聯性，而紊流強度從目前研究資料中，並未發現與陣風存在線性關係，惟透過颱風事件之案例，仍顯示出在強風發生前，紊流強度有增大之趨勢，後續可進一步納入研究。

4. 紊流強度除做為陣風預測的指標外，亦可用來評估測站之觀測性能，本計畫利用不同風向之紊流強度分析，可明顯看出風力測站受到方向結構物之影響，包括臺中港 TCWD02 測站在正西及西北風向時，會出現較高的紊流強度，其主要原因在於該測站位於臺中港北堤綠燈塔之上方，其風速計位於該結構物主體之東北側，受到主體結構物影響導致下游空氣擾動，而影響其量測結果；臺北港 TPWD03 亦有受到結構物影響之相同的情形。透過測站性能評估，可有效屏除失真數據，以確保觀測品質。
5. 在 2024 年颱風事件分析，在高雄港二港口測得 62.27m/s 之最大瞬間風，其強風對港口之影響十分劇烈，特別是對於碼頭廠房之結構設計有極大的影響。本計畫除透過平均風速、瞬間風速等常用指標呈現風力之影響外，亦進一步將強風延續時間及累積時間做為評估之指標，後續可做為航港管理單位防災應變之參考依據。

5.2 建議

1. 風速計設置位置易受到主體結構物影響導致下游空氣擾動，而影響其量測結果，本計畫透過不同風向角之紊流強度評估方式，提出測站性能評估之方法雛形，建議後續進一步透過鄰近測站間相關性分析，建立風力觀測資料修正因子及補遺方法，以提高港域風力觀測資料品質。
2. 本計畫在強陣風分析之多元指標探討中，除以強風延續時間及累積時間做為評估指標外，從資料分析結果顯示陣風因子與平均風速的關係，大致呈現指數的關聯性，而紊流強度從目前研究資料中，並未發現與陣風存在線性關係，惟透過颱風事件之案例，仍顯示出在強風發生前，紊流強度有增大之趨勢，建議後續可進一步納入研究。

5.3 成果效益與應用情形

1. 本計畫針對不同年期之超音波式風速計量測結果、不同儀器量測特性、最大風速之計算方法、平均風向之計算方法等內容進行探討及分析，分析結果可提供交通部航港局、中央氣象署、國家海洋研究院、經濟部水利署、環境部、臺灣港務股份有限公司等相關風力站設置及管理單位做為儀器選用、原始資料計算及發布之參考依據。
2. 完成 2023 年度風力觀測資料年報，提供各港風速、風向之歷線圖、風玫瑰圖、風速風向聯合機率分析表等圖表等資訊，並針對特定港口進行強陣風特性分析及 2024 年上半年侵台之颱風影響分析，提供交通部航港局、港務管理單位、工程顧問公司做為港灣工程規劃設計、港埠建設、航行安全及營運維護參考依據。
3. 面對極端氣候及港區防災應變需要，傳統以平均風力為主之統計指標已無法即時反映現場風力環境，航港管理單位需要掌握到 10 分鐘之平均風速，甚至於 1 分鐘之平均風速、最大風速及風力變動（如陣風或紊流強度等）情形，本計畫完成強陣風（包括強風延續時間、累積時間及陣風因子等）及測站紊流強度分析，並進一步針對風力變異性較大之特定港口（如臺中港、澎湖港、花蓮港、布袋港）分析其強陣風特性，以提供港務管理單位應用。

參考文獻

1. Gill, 2-D ultrasonic anemometer WindSonic user manual.
2. International Civil Aviation Organization (ICAO), Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation, Twentieth edition, 2018.
3. Integrated Ocean Observing System (IOOS), Manual for Real-Time Quality Control of Wind Data-A Guide to Quality Control and Quality Assurance for Coastal and Oceanic Wind Observations, 2017.
4. MacCready, P.B., 1966: Mean wind speed measurements in turbulence. *Journal of Applied Meteorology*, 5:219–225.
5. Patterson, J., 1926: The cup anemometer. *Transactions of the Royal Society of Canada*, 20(III):1–54.
6. Ricci, A., Vasaturo, R., & Blocken, B. (2023). An integrated tool to improve the safety of seaports and waterways under strong wind conditions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 234, Article 105327. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105327>
7. SONIC, 2-D ultrasonic anemometer SA-20 user manual.
8. Wieringa, J. Representativeness of wind observations at airports. *Bulletin of the American Meteorological Society* 1980, 61, 962–971.
9. World Meteorological Organization (WMO), Guide to Meteorological Observing and Information Distribution Systems for Aviation Weather Services (WMO-No. 731), 2014 edition.
10. World Meteorological Organization (WMO), Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), 2018 edition.
11. World Meteorological Organization (WMO), Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), 2021 edition.
12. World Meteorological Organization (WMO), Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), 2023 edition.
13. World Meteorological Organization (WMO), Manual on Codes - International Codes, Volume I.1, Annex II to the WMO Technical Regulations: part A- Alpha numeric Codes (WMO-No. 306), 2019 edition.
14. 中華民國風工程學會，風工程理論與應用（初版），2016年7月。
15. 朱佳仁著，風工程概論（初版），2006年3月。

16. 交通部中央氣象局，地面測報作業規範（第4版），2014年9月。
17. 交通部民用航空局，「航空氣象電碼彙編」，2016年10月。
18. 交通部民用航空局，「航空氣象規範」，2021年4月。
19. 交通部運輸研究所，國際商港強風及陣風特性分析(1/2)-以臺中港為例，2021年2月。
20. 交通部運輸研究所，109年臺灣中南港域海象觀測與特性分析，2021年2月。
21. 交通部運輸研究所，109年臺灣北東港域海象觀測與特性分析，2021年2月。
22. 交通部運輸研究所，臺中港海氣象觀測及特性分析，2021年2月。
23. 交通部運輸研究所，110年主要商港風潮觀測與特性分析，2022年3月。
24. 交通部運輸研究所，商港海氣象風力預警機制探討，2023年3月。
25. 交通部運輸研究所，商港風力觀測及統計分析，2024年3月。
26. 陳聖學等人，風觀測改良研究，第29屆海洋工程研討會論文集，2007年11月。
27. 曹勝傑等人，2022年高雄港風力觀測資料品質與特性分析，港灣季刊第124期，2023年2月。
28. 劉明揚著，大氣測計學，國立編譯館出版，2001年7月。
29. 蔣敏玲等人，商港海氣象風力、波浪示警機制影響評估，港灣季刊第128期，2024年6月。
30. 蕭葆義著，風工程（初版），2020年11月。
31. 蕭葆義，風與強風特性分析-以基隆海岸地區以及臺北市地區實場量測為例，中華民國風工程學會電子報第5期，2013年9月。
32. Integrated Ocean Observing System (<https://ioos.noaa.gov/project/qartod/>)。
33. 中央氣象局數位科普網 (<https://edu.cwb.gov.tw/PopularScience/>)。
34. 財團法人氣象應用推廣基金會網站 (<http://www.metapp.org.tw/>)。

附錄一

簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

期末簡報

大綱

- 一、前言
- 二、風力觀測系統概述
- 三、商港風力觀測技術精進
- 四、商港強風特性分析
- 五、結論與建議



一、前言

1. 港口和航運對全球經濟運作至關重要，促進了全球近80%以上的貿易活動，而我國為海洋國家，港口更是臺灣對外重要的航運樞紐。然而受到氣候變化和自然災害的威脅，強風等氣象因素造成的事故可能導致整個供應鏈的負面衝擊並造成經濟損失，同時船舶大型化亦導致船舶所受風力增大，使船舶操作及航行更加複雜。
2. 面對極端氣候及港區防災應變需要，傳統以平均風力為主之統計指標已無法即時反映現場風力環境，航港管理單位需要掌握到10分鐘之平均風速，甚至於1分鐘之平均風速、最大風速及風力變動（如陣風或紊流強度等）情形。爰本計畫將持續精進商港風力觀測技術，探討風力測站之觀測誤差量及儀器驗證測試，同時針對商港風速機率及變異性進行探討，並分析其強風特性。



二、風力觀測系統概述

1. 本計畫風力量測頻率為1Hz（即每分鐘量測60筆風速及風向資料）並進行統計分析，並依據港務管理單位需要，分別產出每分鐘1筆及每10分鐘1筆之平均風速、平均風向、最大風速及對應風向與最大風速時間。
2. 為強化風力觀測系統之穩定性，本所每年均針對風力觀測系統進行3次定期維護作業，每次施作前、後皆進行拍照留存備查；維護時依測站現地維護記錄表確實執行並記錄，用以檢視各測站系統單元運作是否正常，若有異常則一併檢修或提供改善建議。

- 目視檢查
- 基本檢測
- 維護保養
- 紀錄



測站：		座標：					
方法	儀器	良好	不佳				
太陽能板及支撐架	線路及接點是否正確測試及清潔太陽能板。						
市電線路	清潔及測試電線及接點。						
風速風向感測器	清潔及測試風速感測器，並校正風向。						
控制箱體及內部管線	檢視箱體內部及管線。						
控制箱體及內部管線	清潔箱體內部及管線。						
加濕器	更換新品。						
傳輸SIM卡	校對。						
（其它數據機）							
測風	市電電壓(V)	變壓器輸出電壓(V)	太陽能板輸入電壓(V)	太陽能板輸出電壓(V)	風速感測器輸出電壓(V)	風向感測器輸出電壓(V)	太陽能板電壓(V)
維護開始時間	結束維護時間	現場斷電時間	電壓恢復時間	電壓大小(V)	電壓大小(V)	電壓大小(V)	電壓大小(V)
備註							
各式維護、更換情形							
日期：		維護人員：					



二、風力觀測系統概述

1. 港區風力測站系統妥善率大多在90%以上，僅基隆港KLWD01因市電中斷造成系統停擺。經扣除系統故障日數後，於系統正常運作期間，各測站資料蒐集率均達90%以上，顯示本計畫在數據擷取、紀錄及傳輸模組十分穩定，且可達到全時不中斷運作之耐候條件。
2. 本計畫採用美國IOOS計畫辦公室之海洋即時資料品保手冊（QARTOD Manual），在風力資料之品管之9項品管程序。在品管通過率，從數據擷取並統計後之10分鐘資料，資料品質均十分良好，均達99%以上，亦即由現場回傳之資料，可直接提供即時展示使用，並具備良好之信賴條件，對於港區管理之應用有十足幫助。

商港	測站代碼	系統妥善率	資料蒐集率	品管通過率
基隆港	KLWD01	171 (46.85%)	23,790 (96.61%)	23,790 (100.0%)
基隆港	KLWD04	364 (99.73%)	52,167 (99.52%)	52,167 (99.99%)
基隆港	KLWD05	75 (100.0%)*	10,733 (99.35%)	10,733 (100.0%)
臺北港	TPWD03	365 (100.0%)	52,490 (99.87%)	52,489 (99.99%)
臺北港	TPWD05	304 (83.29%)	43,683 (99.79%)	43,683 (100.0%)
臺中港	TCWD02	363 (99.45%)	52,135 (99.45%)	52,134 (99.99%)
臺中港	TCWD03	353 (96.71%)	50,730 (99.80%)	50,730 (100.0%)
臺中港	TCWD07	364 (99.73%)	52,216 (99.62%)	52,215 (99.99%)
臺中港	TCWD08	364 (99.73%)	49,877 (95.16%)	49,877 (100.0%)
臺中港	TCWD13	362 (99.18%)	51,589 (98.97%)	51,585 (99.99%)
臺中港	TCWD14	365 (100.0%)	52,519 (99.92%)	52,518 (99.99%)
臺中港	TCWD15	330 (99.70%)	46,364 (97.57%)	46,364 (100.0%)
布袋港	BDWD01	365 (100.0%)	51,781 (98.52%)	51,781 (100.0%)
布袋港	BDWD02	359 (98.36%)	51,444 (99.51%)	51,444 (100.0%)
安平港	APWD01	363 (99.45%)	52,151 (99.77%)	52,150 (99.99%)
安平港	APWD04	363 (99.45%)	51,700 (98.91%)	51,700 (100.0%)
高雄港	KHWD01	319 (87.40%)	44,880 (97.70%)	44,879 (99.99%)
高雄港	KHWD04	365 (100.0%)	52,528 (99.94%)	52,527 (99.99%)
高雄港	KHWD05	365 (100.0%)	51,831 (98.61%)	51,829 (99.99%)
高雄港	KHWD06	360 (98.63%)	51,142 (98.65%)	51,139 (99.99%)
高雄港	KHWD07	364 (99.73%)	52,089 (99.38%)	52,089 (100.0%)
高雄港	KHWD08	364 (99.73%)	52,152 (99.50%)	52,152 (100.0%)
蘇澳港	SAWD01	364 (99.73%)	52,204 (99.60%)	52,199 (99.99%)
蘇澳港	SAWD04	364 (99.73%)	51,768 (98.76%)	51,763 (99.99%)
花蓮港	HLWD01	298 (81.64%)	30,603 (71.32%)	30,603 (100.0%)
花蓮港	HLWD02	363 (99.45%)	51,814 (99.12%)	51,814 (100.0%)
澎湖港	PHWD01	363 (99.45%)	51,997 (99.47%)	51,997 (100.0%)
澎湖港	PHWD02	355 (97.26%)	47,656 (93.22%)	47,183 (99.01%)
馬祖港	MTWD01	364 (99.73%)	51,558 (98.36%)	51,558 (100.0%)

備註：

1. 部分*測站為2023年新設之風力測站，妥善率計算以建站日期起算，另建站日數未達150日者，亦不納入計算。
2. 系統妥善率：系統正常運作日數/全年(或建站日起)總日數。
3. 資料蒐集率：資料回傳筆數/實際觀測日數之應測比數。
4. 品管通過率：品管通過筆數/(資料回傳筆數-無法檢查筆數)

三、商港風力觀測技術精進

- 氣象署目前主要有兩套系統：
 - ACOS系統 (通常為各縣市之有人氣象站，為本署最高等級觀測系統，27站)：使用3組風速計平均，每秒取樣，3秒滑動平均後儲存為秒資料，之後在往分、時計算。
 - AWS (自動觀測系統，含農業部、高公局等合作單位，有風力觀測者約650站)：使用1組風速計(僅少數高山及離島站有2組)，每秒取樣，資料紀錄儲存在資料處理器，以每小時之00、10、20、30、40、50分鐘整分前10分鐘風速平均值及風向向量平均值。
- 平均風速之計算，採用算術平均數，會針對離群值進行篩選。
- 平均風向之計算，採用向量平均法(即考慮風速)。
- 最大風速值之計算，
 - ACOS：採3秒滑動平均之最大值。
 - AWS：是直接採用瞬間最大值。
- 發布之風速資料，其觀測之時間點區間為發布時間之前10分鐘觀測值。

三、商港風力觀測技術精進

- 風力量測及統計之不確定性因素，一般可歸納為：
 - ✓ 儀器精度(風速計的校準和精度)、
 - ✓ 環境因素(如氣溫、氣壓、空氣密度及濕度等)、
 - ✓ 測量位置(建築物、樹木和其他障礙物影響)、
 - ✓ 測量高度(不同高度的風速可能不同，必須在相同高度進行比較)、
 - ✓ 測量時間(風速隨時間變化，瞬時測量可能不代表平均風速)、
 - ✓ 儀器安裝(儀器的安裝角度和穩定性會影響測量結果)、
 - ✓ 數據處理(數據分析方法造成的統計偏差)。
- 本計畫針對不同年期之超音波式風速計差異探討
 - ✓ 實驗室試驗：使用2015、2017、2018、2022及2023年出廠儀器
 - ✓ 實場域測試：使用2014年及2023年出廠儀器
 - ✓ 實場域測試(對照組)：使用2組相同年期(2023年)出廠儀器
- 超音波式風速計與螺旋槳式及風杯式現地量測之統計差異探討
- 最大風速之計算方法比較及探討
- 平均風向之計算方法比較及探討



7

三、商港風力觀測技術精進

- 不同年期之超音波式風速計差異探討
 - ✓ 使用2015、2017、2018、2022及2023年出廠儀器
 - ✓ 委託曜德光電校正實驗室依國家度量衡標準進行測試，針對10m/s、20m/s、30m/s、40m/s、50m/s等5個級距進行風洞試驗，其校正環境係在溫度 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、濕度 $45\pm 15\%\text{R.H}$ 下，涵蓋因子 $k=2$ ，進行待校設備測量30次之平均值

不同年期風速計之受測器差值彙整表 (單位：m/s)

儀器序號	15170021	17150101	18130073	22140194	23070200
測試風速	基隆港 拆回	安平港 拆回	澎湖馬公 拆回	澎湖龍門拆回	全新 未使用
10m/s	-0.2	0.1	0.0	0.2	0.3
20m/s	-0.2	0.0	0.2	0.2	0.4
30m/s	0.4	0.2	-0.8	0.3	-0.3
40m/s	0.1	0.0	-0.4	0.2	-0.1
50m/s	0.0	-0.5	-0.3	-0.4	-0.1



8

三、商港風力觀測技術精進

- 不同年期之超音波式風速計差異探討
 - ✓ 實場域測試：使用2014年及2023年出廠儀器
 - ✓ 實場域測試(對照組)：使用2組相同年期(2023年)出廠儀器



運技中心風速站現場配置圖
(2組超音波式及1組風杯式)



基隆港風速站現場配置圖
(2組超音波式及2組氣象署螺旋槳式)



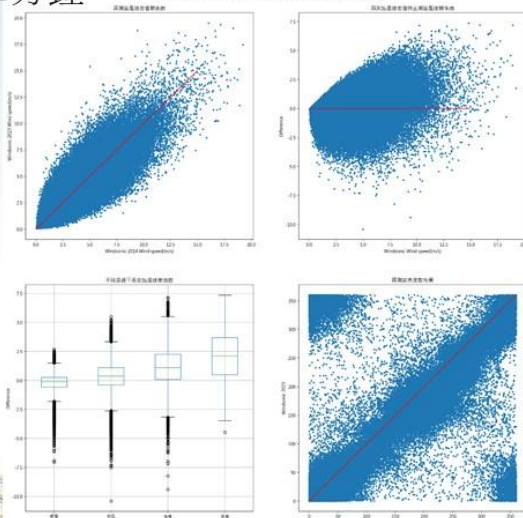
9

三、商港風力觀測技術精進

- 運技中心超音波式風速計比對結果

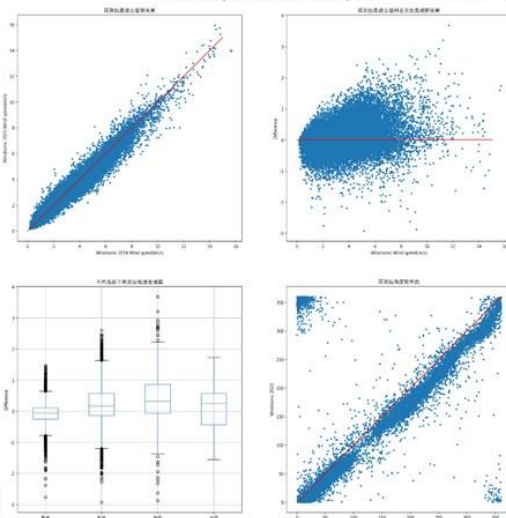
1分鐘

超音波式風速計(Windsonic 2014 vs 2023)比較圖

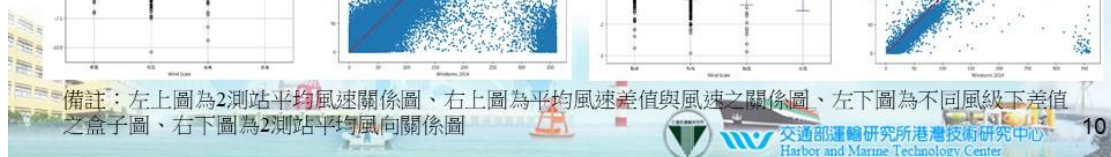


10分鐘

超音波式風速計(Windsonic 2014 vs 2023)比較圖



備註：左上圖為2測站平均風速關係圖、右上圖為平均風速差值與風速之關係圖、左下圖為不同風級下差值之盒子圖、右下圖為2測站平均風向關係圖



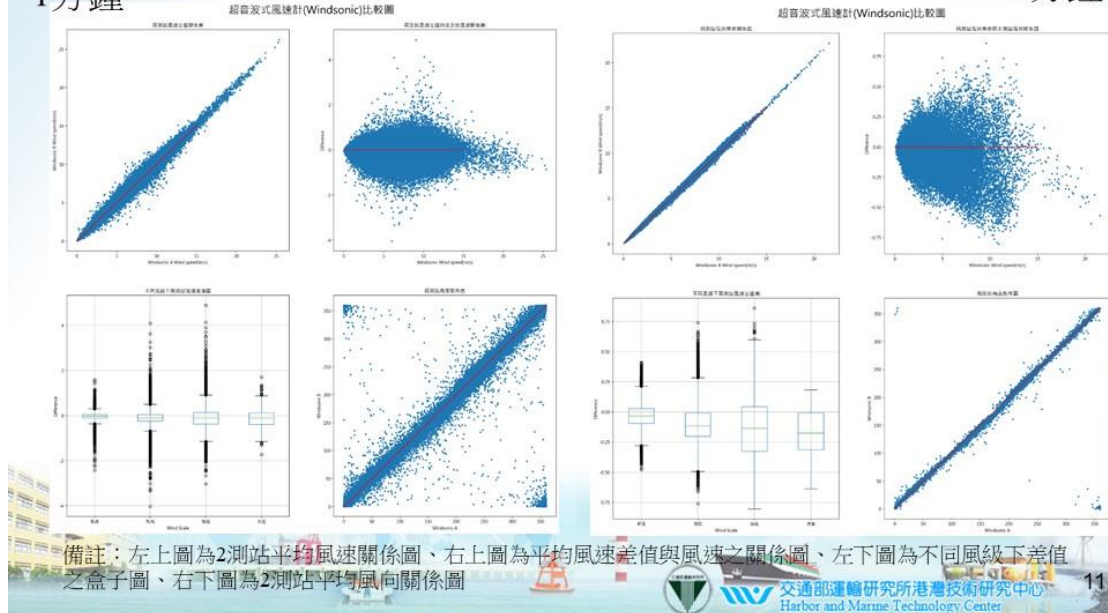
10

三、商港風力觀測技術精進

➤ 基隆港超音波式風速計比對結果

1分鐘

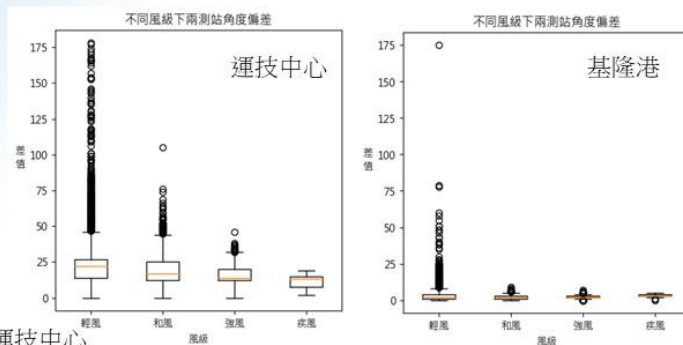
10分鐘



11

三、商港風力觀測技術精進

➤ 超音波式風速計比對結果(風向比對)



➤ 運技中心

- 在1分鐘比對結果，平均風速差值平均為0.06m/s，標準差為1.06，其差值最大為7.36m/s、最小為-10.40m/s，在平均風向差值平均為23.89°，
- 在10分鐘比對結果，平均風速差值平均為0.06m/s，標準差為0.47，其差值最大為3.68m/s、最小為-2.93m/s，在平均風向差值平均為20.54°，

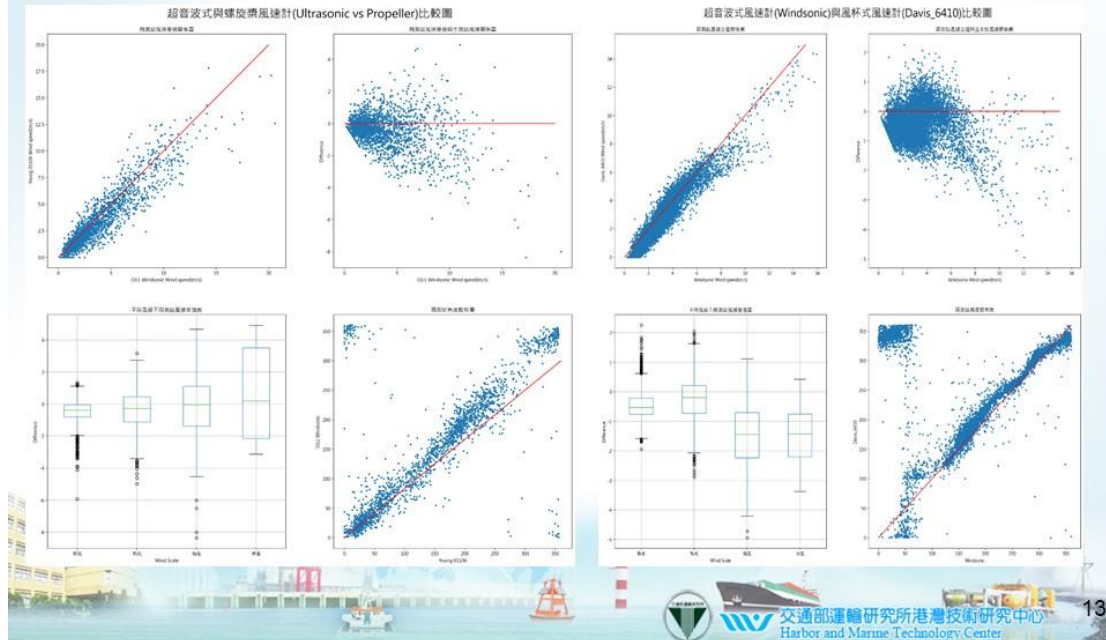
➤ 基隆港

- 在1分鐘比對結果，平均風速差值平均為-0.06m/s，標準差為0.14，其差值最大為4.89m/s、最小為-4.04m/s，在平均風向差值平均為2.91°。
- 在10分鐘比對結果，平均風速差值平均為-0.06m/s，標準差為0.22，其差值最大為0.86m/s、最小為-0.80m/s，在平均風向差值平均為2.25°。

12

三、商港風力觀測技術精進

➤ 超音波式風速計與螺旋槳式及風杯式現地量測之統計差異



13

三、商港風力觀測技術精進

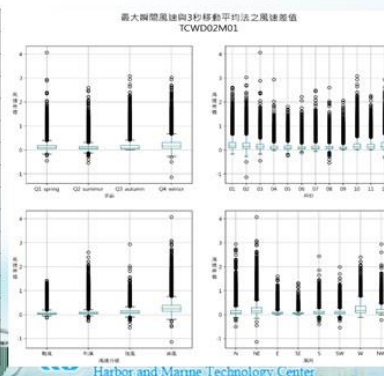
➤ 最大風速之計算方法比較及探討

- ✓ 最大瞬間風 (Peak Gust)、三秒移動平均最大風 (3-second Gust)

➤ 該2方法約有21~25%的最大風速發生時間是相同的，而相差在3秒內的比例也在73~85%，顯示就統計結果來看，最大風的發生時間並無太大差異；另外從2方法之風速差值來看，其差值平均值約介於0.1~0.35m/s，最大瞬間風略高於三秒移動平均最大風。2方法在高風速下，差值有較為明顯的現象，其原因在於突發性強陣風或地形結構之風速擾動影響。

➤ 除風速增大會增加2方法差值外，其餘在季節、月份及風向，並無顯著影響

港區	臺中港		臺北港	安平港	
測站代碼	TCWD02	TCWD07	TPWD03	APWD01	APWD04
樣本數	916,299	915,787	915,757	916,287	913,340
最大值之時間差佔比(%)					
相同	24.13	23.43	24.59	24.42	23.75
相差1秒	57.04	56.14	58.91	59.79	56.75
相差2秒	80.03	79.80	81.35	82.43	79.73
相差3秒	81.10	80.74	82.33	83.48	80.74
最大值之風速差(m/s)					
平均值	0.16	0.30	0.24	0.10	0.19
標準差	0.17	0.31	0.28	0.10	0.19
Min	-1.14	-1.34	-0.49	-0.43	-0.48
25%	0.05	0.10	0.06	0.03	0.07
50%	0.10	0.21	0.15	0.07	0.14
75%	0.20	0.41	0.32	0.13	0.25
Max	4.07	7.53	5.91	2.37	8.25

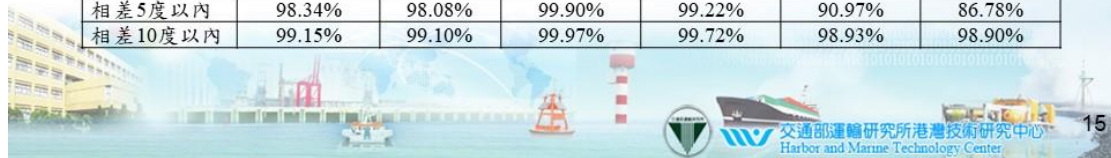


14

三、商港風力觀測技術精進

- 平均風向的計算與探討：
 - ✓ 向量平均法係將風速及風向分成U、V分量，計算其平均值後再合成風向；
 - ✓ 單位向量平均法則不考慮風速，僅將風向分成U、V分量，計算其平均值後再合成風向。
- 分別統計1分鐘及10分鐘之平均風向，並取風向角度之差值絕對值，計算2個方法之夾角。角度差之平均值介於0.1~2.4°，其中10分鐘平均值之角度差均略高於1分鐘，相差10度以內約占97~99%，顯示在大多狀況下，2方法之風向並無顯著差異。

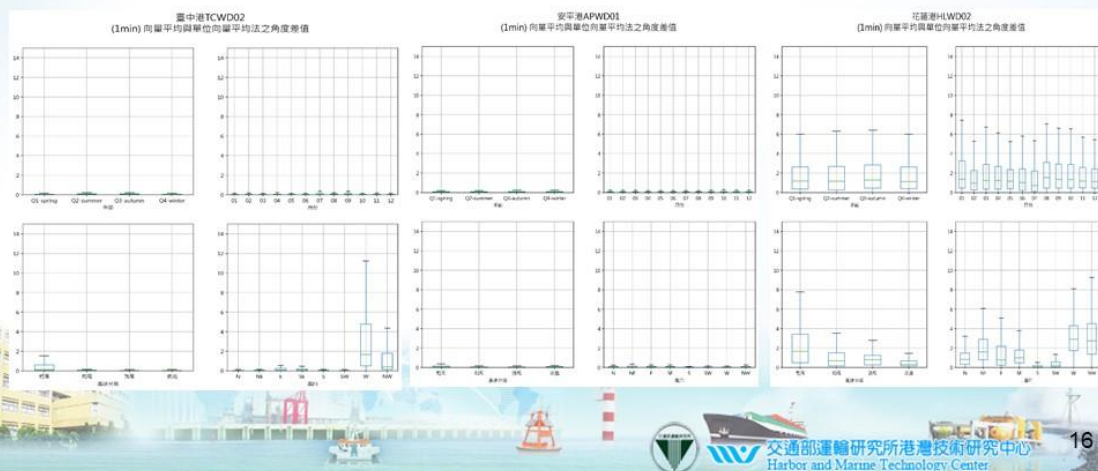
港區	臺中港(TCWD02)		安平港(APWD01)		花蓮港(HLWD02)	
統計區間	1min	10min	1min	10min	1min	10min
樣本數	611732	61176	669747	66980	640246	64069
平均值	0.44	0.57	0.11	0.31	1.95	2.44
標準差	3.83	4.57	0.55	1.64	2.38	2.80
相差5度以內	98.34%	98.08%	99.90%	99.22%	90.97%	86.78%
相差10度以內	99.15%	99.10%	99.97%	99.72%	98.93%	98.90%



15

三、商港風力觀測技術精進

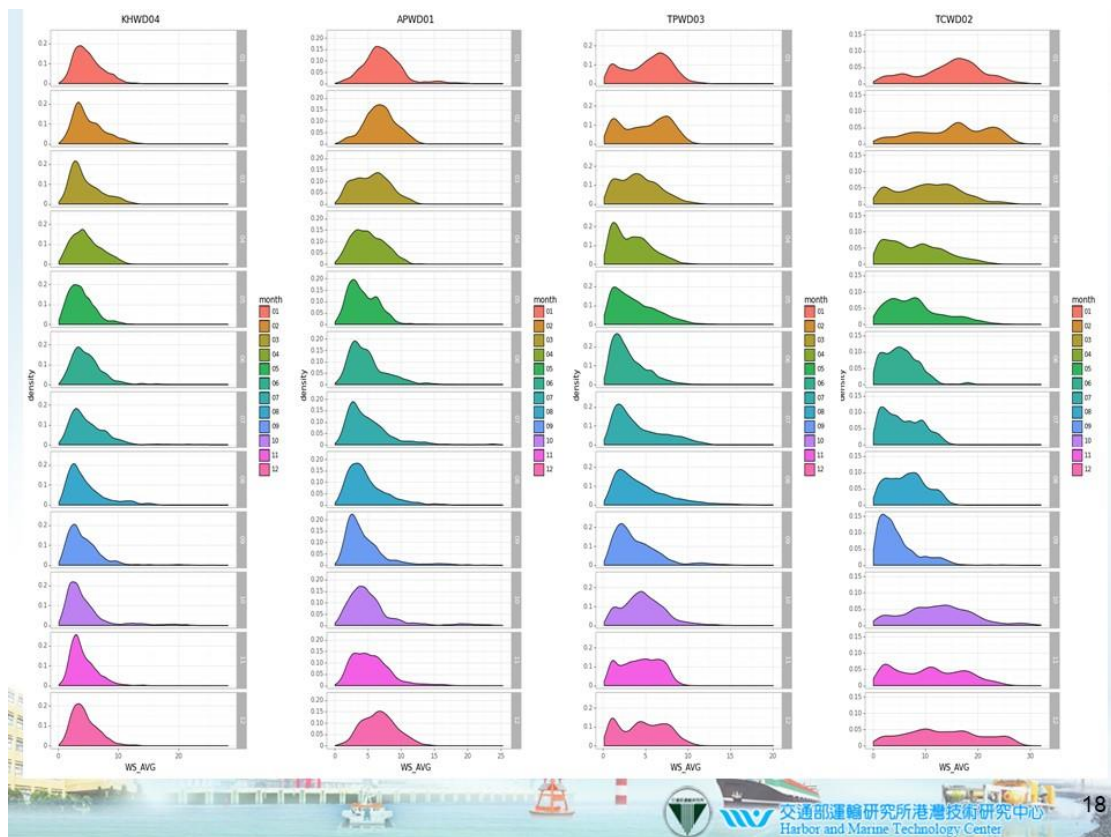
- 在風速較小之狀況下，2方法之角度差有較高之趨勢，特別是在風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異。另外，從主風向來看，部分測站，如臺中港、花蓮港、蘇澳港及臺北港可能受到地形及結構物之影響，容易有紊流之狀況，其亦會影響2方法在統計上的差異。



16

四、商港強風特性分析

- 瞭解一個區域的風速機率，可透過風速的分佈和變化，預測極端風速事件的可能性，從而制定相應的風險管理策略，另外，在航運、航空和建築等領域，風速機率分析有助於確保設施和操作的安全性，避免因風速過大而導致事故，在工程設計中，能夠指導結構物的設計和施工，確保其能夠抵禦預期的風力
- 從各港逐月的風速機率圖可以看出，在夏、秋季其風速機率比較類似右偏型的韋伯分布，而在高雄、花蓮、蘇澳及基隆港全年各月之機率分布較為類似，而在冬季季風期間，安平及布袋則有呈現左偏型態，顯示其強風比例有明顯增加，值得注意的是，在臺北、澎湖、臺中港之冬季等則有雙峰型態產生，甚至臺中港更有多峰型態的風速分布，顯示東北季風對這3個港區的影響較為顯著，且易有強風發生。



四、商港強風特性分析

- 在強風統計部分，本計畫定義之強風係指小時平均風速達10.8 m/s以上（採60分鐘之逐筆風速資料進行平均），經統計各港最大風力之測站強風延續時間。由各港強風延時觀察，主要以臺北港、臺中港及澎湖港（龍門尖山碼頭）具有較多強風現象，特別以臺中港強風現象達全年32~38%之時數。

各港區最大風力測站之強風延時

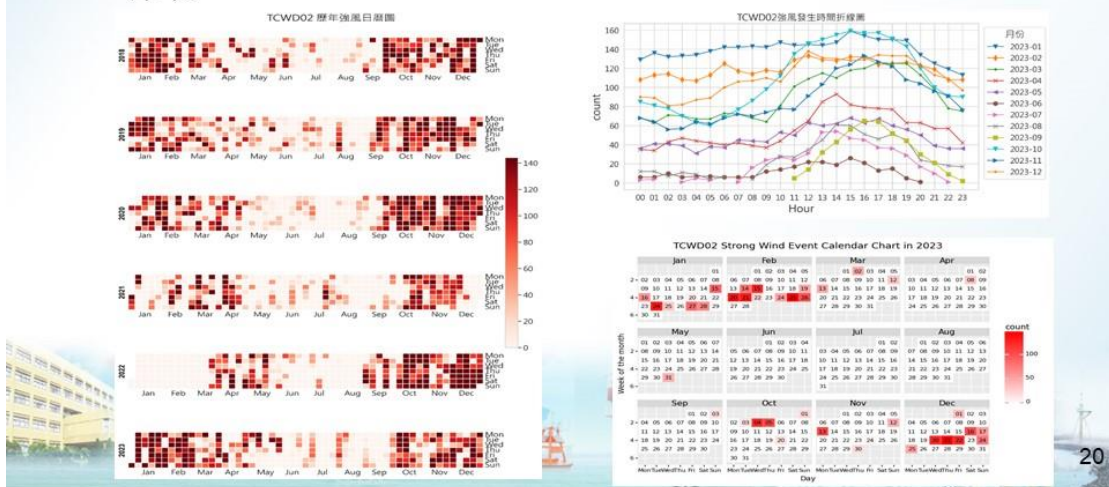
單位：小時

商港	測站	位置	2018	2019	2020	2021	2022	2023
臺北港	TPWD02M10	觀測樁	1114	1484	1147	752*	1151	--
臺北港	TPWD03M10	小綠燈塔	306	300	170	296	111	99
基隆港	KLWD01M10	光華塔	120	96	60*	91	99	145
蘇澳港	SAWD01M10	7號碼頭	67	41	76	67	24	105
花蓮港	HLWD01M10	訊號台	31	31	41	19*	25	13
高雄港	KHWD04M10	二港口綠燈塔	52	101	142	155	126	241
安平港	APWD01M10	南堤燈塔	154	177	207	272	432	389
布袋港	BDWD01M10	港務公司頂樓	122	68	66	66	157	110
臺中港	TCWD02M10	北堤綠燈塔	3183	3122	3311	2150*	2836	3334
澎湖港	PHWD02M10	龍門尖山	1391	1080	147*	532*	1220	1143



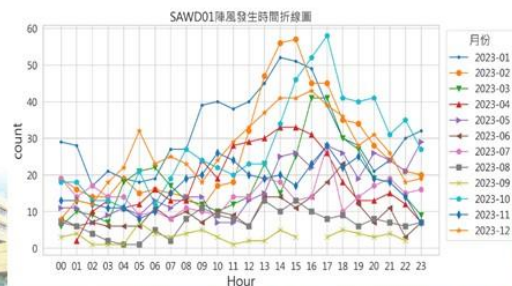
四、商港強風特性分析

- 從臺中港發生強風的時間點來看，以9月下旬至隔年2月底為主要東北季風期間，經常出現單日累積時數達15小時以上之強風事件。另以發生時間來看，則以上午10時至下午7時發生次數較高。
- 以臺中港北防坡堤風速達22 m/s進行2023年之強風分析，強風延時達453小時，其中最長延時為65小時，延時超過12小時至24小時者有3次，超過24小時之次數有9次。



四、商港強風特性分析

- 2023年各商港風力測站之大、小強陣風發生比例，以東部港口（蘇澳、花蓮）及離島港口（澎湖）之陣風發生比例最高，另外值得持續觀察的是布袋港為西部商港發生強陣風較高的港口之一。
- 本計畫進一步從上述港口之陣風發生時間來看，除蘇澳港及布袋港有較明顯發生在下午時段外，其餘各港並不明顯；但在發生月份來看，則多於秋冬2季有陣風的現象發生。



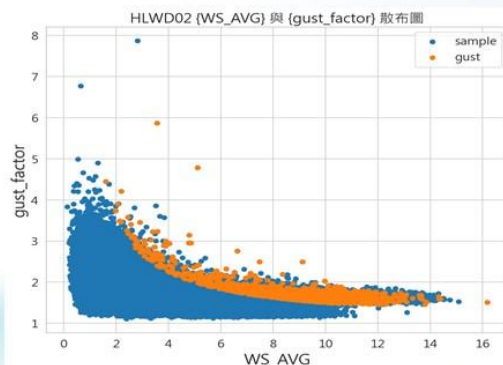
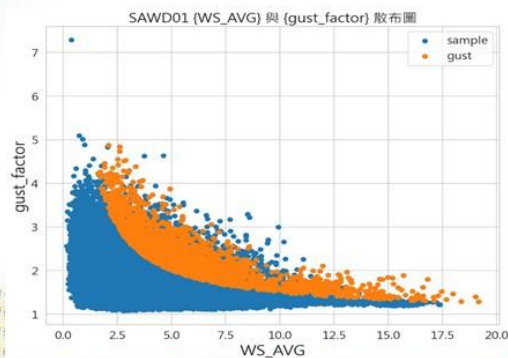
各商港2023年測站強陣風發生機率 單位：%

商港名稱	測站名稱	大強陣風	小強陣風	正常
臺北港	小綠燈塔	0.52	12.08	87.40
臺北港	北二碼頭	0.05	8.52	91.43
基隆港	光華塔	0.09	4.17	95.74
蘇澳港	綠燈塔	0.49	6.43	93.07
蘇澳港	信號臺	1.94	9.66	88.4
花蓮港	訊號臺	0.06	5.07	94.87
花蓮港	西突堤平台	0.04	7.13	92.83
高雄港	一港口信號臺	0.22	2.29	97.49
高雄港	二港口綠燈塔	0.03	0.77	99.20
高雄港	63-64碼頭	0.13	0.98	98.89
高雄港	10號碼頭	0.10	1.49	98.41
安平港	南堤燈塔	0.01	0.66	99.33
安平港	新信號臺	0.22	1.85	97.92
布袋港	行政大樓	0.25	5.65	94.10
布袋港	雷達塔柱	0.30	6.70	93.00
臺中港	北堤綠燈塔	0.01	3.80	96.19
臺中港	南堤紅燈塔	0.03	7.20	92.76
臺中港	防風林	1.02	17.92	81.06
臺中港	31號碼頭	1.18	18.30	80.52
臺中港	工專二	2.47	22.72	74.81
臺中港	選拔中心	2.21	13.16	84.63
澎湖港	馬公碼頭	0.89	24.93	74.18
澎湖港	龍門尖山	0.93	23.42	75.65

備註：
 1. 小強陣風係指平均風速大於10.8m/s，且平均風速及最大風速差值超過5m/s。
 2. 大強陣風係指平均風速大於10.8m/s，且平均風速及最大風速差值超過10m/s。

四、商港強風特性分析

- 陣風因子（Gust Factor）是氣象學中用來描述風速變化的一個指標。它通常是指瞬間最大風速與平均風速之比，經分析蘇澳港、花蓮港及澎湖港之陣風因子與平均風速的關係，可以發現2者有呈現指數的關聯性。
- 一般而言，受到低表粗糙度及鄰近建築物影響，陣風特性會較為明顯，因此蘇澳、花蓮、澎湖等港口，屬於天然港灣，受到港灣及鄰近地形影響，其陣風特性均較其他港口測站明顯。另外臺中港受強風影響，其在外港測站雖然較無陣風現象，但往內陸區域受到地表粗糙度及鄰近建築物影響，其風速變異程度較大，較易產生強陣風現象。

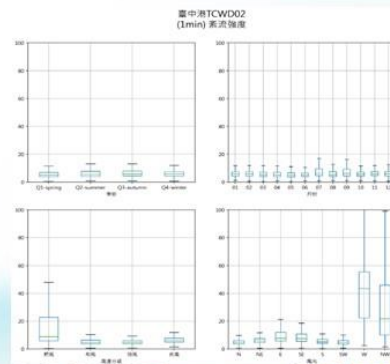


四、商港強風特性分析

- 紊流強度(longitudinal turbulence intensity)定義為某一高度量測之主流向風速擾動速度之均方根值與同一位置量測之主流向平均風速之比值
- 臺中港、安平港及高雄港之紊流強度平均值低於0.1，屬於比較穩定風速的測站，而其餘港口之平均值介於0.17~0.25間，屬於有比較明顯紊流的測站。
- 在進一步針對不同季節、月份、風速分級及風向分析，可以發現臺中港TCWD02測站在正西及西北風向時，會出現較高的紊流強度，其主要原因在於該測站位於臺中港北堤綠燈塔之上方，其風速計位於該結構物主體之東北側，受到主體結構物影響導致下游空氣擾動，而影響其量測結果；臺北港TPWD03亦有受到結構物影響之相同的情形

各商港主要測站紊流強度百分比統計表

港區	代表測站	平均值(%)	標準差
臺中港	TCWD02	8.06	9.71
布袋港	BDWD02	18.13	7.47
安平港	APWD01	6.67	3.67
高雄港	KHWD04	7.85	5.15
花蓮港	HLWD02	25.33	10.86
蘇澳港	SAWD01	17.50	13.68
基隆港	KLWD04	18.99	10.00
臺北港	TPWD03	21.48	12.22
澎湖港	PHWD02	17.94	7.62

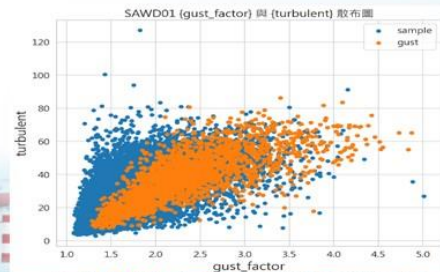
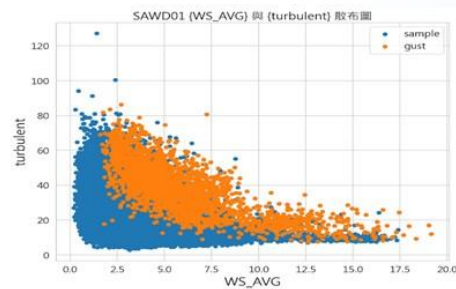
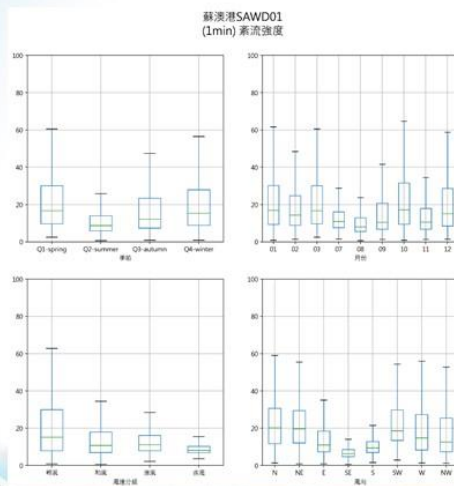


交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

23

四、商港強風特性分析

- 紊流強度可反映風速擾動情形，可作為在測站性能評估或環境風場變異性的指標之一，特別是在強陣風的分析上，可利用該指標進行陣風現象的評估與預測



交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

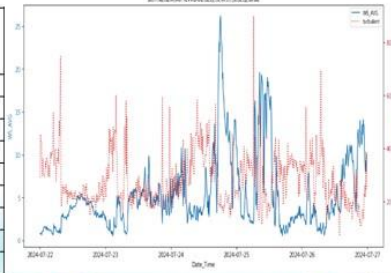
24

四、商港強風特性分析

- 颱風事件分析(凱米颱風)
- 以花蓮港及蘇澳港之風力影響較大，均有超過40m/s以上之強陣風，而高雄港、安平港及臺中港則有持續性的7級以上強風發生，其最長延續時間超過30小時以上。另外從颱風期間紊流強度與風速歷線圖來看，可明顯看出在強風發生前，其紊流強度常有較大趨勢。



港區	最大風測站	最大平均風 (m/s)	最大瞬間風 (m/s)	7級風以上之最長延續時間 (hours)	7級風以上之總時間 (hours)
基隆港	KLWD04	22.13	36.43	9.0	13.1
臺北港	TPWD03	13.15	24.86	0	0
臺中港	TCWD02	27.23	39.16	30.8	57.0
布袋港	BDWD02	21.47	28.30	16.5	17.3
安平港	APWD04	27.70	34.67	42.5	54.0
高雄港	KHWD04	27.02	38.05	33.0	44.1
花蓮港	HLWD02	26.19	43.32	2.6	8.3
蘇澳港	SAWD01	27.12	42.84	14.0	28.6
澎湖港	PHWD02	23.03	38.29	6.1	23.0

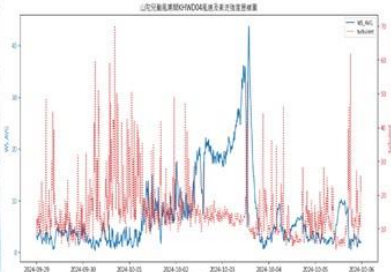


四、商港強風特性分析

- 颱風事件分析(山陀兒颱風)
- 以高雄港、澎湖港及臺中港之風力影響較大，均有超過30m/s以上之強陣風，其中高雄港二港口更測得62.27m/s之最大瞬間風；本次颱風期間另受到東北季風影響，高雄港、安平港及臺中港則有持續性的7級以上強風發生，其最長延續時間超過20小時以上。另外從颱風期間紊流強度與風速歷線圖來看，亦可明顯看出在強風發生前，其紊流強度常有較大趨勢。



港區	最大風測站	最大平均風 (m/s)	最大瞬間風 (m/s)	7級風以上之最長延續時間 (hours)	7級風以上之總時間 (hours)
基隆港	KLWD04	15.72	24.55	1.8	6.3
臺北港	TPWD03	15.04	25.50	0.5	2.0
臺中港	TCWD02	31.66	39.09	67.3	77.1
布袋港	BDWD01	12.68	23.43	0	0
安平港	APWD01	18.55	24.59	4.8	12.3
高雄港	KHWD04	43.77	62.27	22.0	29.6
花蓮港	HLWD02	15.58	23.98	0.1	0.1
蘇澳港	SAWD01	18.16	27.86	0.8	1.1
澎湖港	PHWD02	20.85	34.37	37.0	47.8



五、結論與建議

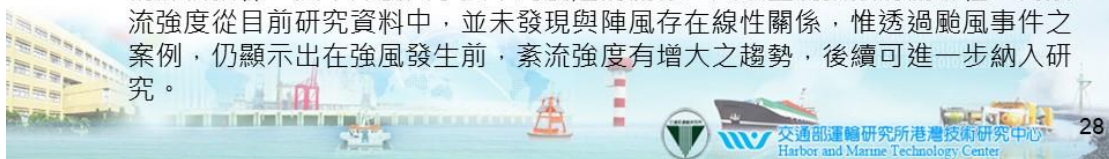
1. 為提供臺灣主要商港臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、澎湖港、臺中港域船舶停靠、船舶進出、碼頭作業、港區結構物設計與防災預警等所需相關資料，本計畫持續精進商港風力觀測技術，探討風力測站之觀測誤差量及儀器驗證測試，同時針對商港風速機率及變異性進行探討，並分析其強風特性，相關研究成果可提供航港局、港務公司及相關單位，做為船舶停靠、船舶進出、碼頭作業與防災預警等應用參據。
2. 針對不同年期之超音波式風速計差異探討，在風洞實驗室試驗結果顯示其量測誤差值均在 $\pm 1\text{m/s}$ 以內；此外本計畫亦於臺中港及基隆港等2處分別進行不同年期及相同年期之實場域測試，其量測結果大致與風洞實驗相符，顯示風速計在正常使用下(固定保養)，均能達到很好的量測代表性。
3. 在不同儀器量測特性比對中，螺旋槳式、風杯式及超音波式風速計在10分鐘的量測統計，在95%的區間其風速差大致在 $\pm 2\text{m/s}$ 以內。
4. 最大風速之計算方法探討，最大瞬間風與三秒移動平均最大風的方法，就統計結果來看，最大風的發生時間並無太大差異，另外從2方法之風速差值來看，其差值平均值約介於 $0.1\sim 0.35\text{m/s}$ ，最大瞬間風略高於三秒移動平均最大風。2方法在高風速下，差值有較為明顯的現象



27

五、結論與建議

5. 平均風向的計算，向量平均法與單位向量平均法在實地測試結果，其角度差之平均值介於 $0.1\sim 2.4^\circ$ ，其中10分鐘平均值之角度差均略高於1分鐘，相差10度以內約占97~97%，顯示在大多狀況下，2方法之風向並無顯著差異。惟在風速較小之狀況下，2方法之角度差有較高之趨勢，特別是在風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異。
6. 針對各商港不同月份之風速機率進行探討，從各港逐月的風速機率圖可以看出，在夏、秋季其風速機率比較類似右偏型的韋伯分布，而在高雄、花蓮、蘇澳及基隆港全年各月之機率分布較為類似，而在冬季季風期間，安平及布袋則有呈現左偏型態，顯示其強風比例有明顯增加，值得注意的是，在臺北、澎湖、臺中港之冬季等則有雙峰型態產生，甚至臺中港更有多峰型態的風速分布，顯示東北季風對這3個港區的影響較為顯著，且易有強風發生。
7. 東部港口（蘇澳、花蓮）及離島港口（澎湖）之陣風發生比例最高，另外值得持續觀察的是布袋港為西部商港發生強陣風較高的港口之一。在陣風發生時間來看，除蘇澳港及布袋港有較明顯發生在下午時段外，其餘各港並不明顯，但容易發生於秋冬2季。本計畫在探討陣風現象時，透過陣風因子及紊流強度做為評估指標，其中陣風因子與平均風速的關係，大致呈現指數的關聯性，而紊流強度從目前研究資料中，並未發現與陣風存在線性關係，惟透過颱風事件之案例，仍顯示出在強風發生前，紊流強度有增大之趨勢，後續可進一步納入研究。



28

五、結論與建議

8. 紊流強度除做為陣風預測的指標外，亦可用來評估測站之觀測性能，本計畫利用不同風向之紊流強度分析，可明顯看出風力測站受到方向結構物之影響。透過測站性能評估，可有效屏除失真數據，以確保觀測品質。
9. 在2024年颱風事件分析，在高雄港二港口測得62.27m/s之最大瞬間風，其強風對港口之影響十分劇烈，特別是對於碼頭廠房之結構設計有極大的影響。本計畫除透過平均風速、瞬間風速等常用指標呈現風力之影響外，亦進一步將強風延續時間及累積時間做為評估之指標，後續可做為航港管理單位防災應變之參考依據。。



五、結論與建議

建議：

1. 風速計設置位置易受到主體結構物影響導致下游空氣擾動，而影響其量測結果，本計畫透過不同風向角之紊流強度評估方式，提出測站性能評估之方法雛形，建議後續進一步透過鄰近測站間相關性分析，建立風力觀測資料修正因子及補遺方法，以提高港域風力觀測資料品質。
2. 本計畫在強陣風分析之多元指標探討中，除以強風延續時間及累積時間做為評估指標外，從資料分析結果顯示陣風因子與平均風速的關係，大致呈現指數的關聯性，而紊流強度從目前研究資料中，並未發現與陣風存在線性關係，惟透過颱風事件之案例，仍顯示出在強風發生前，紊流強度有增大之趨勢，建議後續可進一步納入研究。



五、結論與建議

成果效益與應用情形：

1. 本計畫針對不同年期之超音波式風速計量測結果、不同儀器量測特性、最大風速之計算方法、平均風向之計算方法等內容進行探討及分析，分析結果可提供交通部航港局、中央氣象署、國家海洋研究院、經濟部水利署、環境部、臺灣港務股份有限公司等相關風力站設置及管理單位做為儀器選用、原始資料計算及發布之參考依據。
2. 完成2023年度風力觀測資料年報，提供各港風速、風向之歷線圖、風玫瑰圖、風速風向聯合機率分析表等圖表等資訊，並針對特定港口進行強陣風特性分析及2024年上半年侵台之颱風影響分析，提供交通部航港局、港務管理單位、工程顧問公司做為港灣工程規劃設計、港埠建設、航行安全及營運維護參考依據。
3. 面對極端氣候及港區防災應變需要，傳統以平均風力為主之統計指標已無法即時反映現場風力環境，航港管理單位需要掌握到10分鐘之平均風速，甚至於1分鐘之平均風速、最大風速及風力變動（如陣風或紊流強度等）情形，本計畫完成強陣風（包括強風延續時間、累積時間及陣風因子等）及測站紊流強度分析，並進一步針對風力變異性較大之特定港口（如臺中港、澎湖港、花蓮港、布袋港）分析其強陣風特性，以提供港務管理單位應用。



31

簡報完畢
敬請指教



32

附錄二

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、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、交通部中央氣象署呂國臣副署長

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

- (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，若有需要可送到中央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中央氣象署的潮位站，2 站是否有合作或整併機制，可進一步去瞭解。
- (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；惟對公眾發布部分，可參考中央氣象署發布之港口客製化天氣預報，若需要有較特殊之天氣或海象預報，可逕與中央氣象署合作，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港務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港務分公司鄭璟生處長(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. 參考歷年運技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，臺灣港務股份有限公司亦於 114 年起提編 2,500 萬元預算辦理「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之鼎形塊或林克塊，臺灣港務股份有限公司可從 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，以削減長週期波波能，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，除運技中心建置的「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 年仍在進行文獻蒐集，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」之標的為何？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。

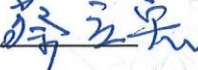
捌、散會：中午 12 時 40 分

會議簽到表

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



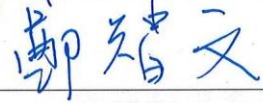
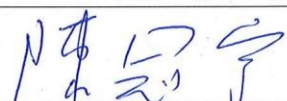
時間：113 年 4 月 29 日(星期一)上午 10 時

地點：本所運輸技術研究中心 2 樓簡報室

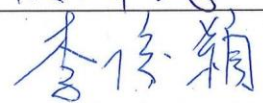
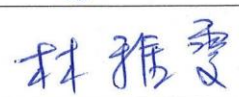
主持人：蔡立宏主任 

紀錄：蔡世璿

專家學者：

專家學者	簽名
呂國臣委員	
翁健二委員	
鄭智文委員	
鄭璟生委員	請假 提供書面意見
董東璟委員	請假 提供書面意見
陳冠宇委員	

出席單位與人員：

出席單位	職稱	簽名
交通部運輸研究所 運輸技術研究中心	科長	
	副研究員	
	科長	

單位	簽名
<p>交通部運輸研究所 運輸技術研究中心</p>	<p>陳建宏</p> <p>羅冠毅</p> <p>洪維倫</p> <p>傅怡釗</p> <p>蔣敏玲</p> <p>黃茂仁</p> <p>林有騰</p> <p>許義宏</p> <p>古政達</p> <p>蔡世瑜</p> <p>林夏和</p> <p>陳志恆</p> <p>曹騰陽</p> <p>劉清松</p>

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二科113年自行研究計畫第1次工作會議

時間：113年6月25日(星期二)上午10時00分至16時30分

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李俊穎 科長

彙整：廖慶堂

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 蒐集國內外風力觀測技術相關文獻。
2. 分析螺旋槳式風速計與超音波式風速計之量測差異。
3. 蒐集我國商港因強風事件封港之資料。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區暴潮資料文獻蒐集進度報告。
2. 馬祖地區海氣象設備維運作業情形摘要說明。
3. 馬祖地區南竿福澳港潮位資料統計分析報告。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 臺灣港群波流觀測系統更新、建置及遷移。
2. 水中無線通訊設備海域測試規劃。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 港灣消能措施文獻蒐集與回顧。
2. 花蓮港平面水工模型建置優化。
3. 花蓮港內消能設施研擬及佈設規劃。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善

研究初探

1. 消能碼頭及結構物文獻與資料蒐集研讀。
2. 選定標的碼頭位置及規劃消能碼頭型式。
3. 進行港灣內長週期波作用下斷面試驗前置作業。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況說明。
2. 臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流分析進度。
3. 海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用規劃情形。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 進行海洋雷達波浪觀測應用相關文獻回顧。
2. 辦理波浪資料品管與檢核工作，報告波浪品管之作業情形。
3. 進行海洋陣列雷達設備維護與保養作業，辦理陣列雷達站架高工作。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 現有測站資源盤點狀況說明。
2. 海氣象觀測作業數位管理系統委外開發進度說明。
3. 上次工作會議後修正情形說明。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 進行港埠設施分析及測試機型探討。
2. 進行港區水下巡查項目探討。
3. 進行港區 ROV 水下定位測試規劃。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 討論螺旋槳式風速計與超音波式風速計在不同風速下之差異及風向不確定性。。
2. 討論不同年期之超音波式風速計之實驗結果。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區暴潮相關報告、迴歸分析資料可信度討論。
2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式討論。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 臺灣港群波流觀測站建置概況及本年度現場作業期程討論。
2. 討論水中無線通訊設備實際海域測試規劃。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 建議評估花蓮港內消能設施型式佈設方式及考量其它方案。
2. 討論花蓮港平面水工模型建置內容。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 討論標的碼頭選定方式之評估方式與結果。
2. 評估新消能碼頭型式設計型式之可行性。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 蒐集國外 VDES 資料等相關船舶航行安全通訊技術。
2. 辦理芳苑燈塔 VDES 系統之天線移置作業。
3. 整合交通部航港局提供的船舶 AIS 動態資訊。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 討論海洋陣列雷達波浪觀測相關文獻。
2. 比較雷達站品管檢核資料情形。
3. 6月5日出席國家海洋研究院「113年第1次海洋雷達願景工作會議」，討論海洋雷達合作與應用服務推廣事宜。
4. 配合臺中港務分公司「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期工程」施工需要，於北側雷達站進行架高作業。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 現有測站資源盤點之討論。

2. 既有電子表單資料批次上傳之討論。

3. 系統委外開發進度及建議事項之討論。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) - 水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查作業之無人載具分析說明。

2. 港區水下設施之巡查方式說明。

3. ROV 水下定位測試方法討論。

貳、主要結論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 針對螺旋槳式風速計與超音波式風速計之量測不確定性問題，後續可與氣象署氣象儀器校正實驗室合作進行風洞試驗。

2. 為確保風力量測標準及數據品質，後續可向氣象署大氣觀測組瞭解現行風力編報之解算方式，以求一致性。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 建議持續針對馬祖地區暴潮資料文獻進行蒐集工作。

2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式建議利用調和分析結果，可降低人為校正所造成長週期水位變化消失之程度。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (1/2) - 水中無線通訊設備海域測試

1. 請依規劃期程督導廠商，使本年度波流觀測系統現場相關作業能如期如質完成。

2. 本年度將於實際海域執行水中通訊系統測試，請注意作業期間海況變化，以維人員安全。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 須確實掌握花蓮港試驗地形及平面水工模型鋪設進度。

2. 於執行試驗過程中，應滾動檢討港內消能設施型式。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 斷面試驗地形及水工模型建置案，需掌握採購規劃時程。

2. 加速進行新消能碼頭型式設計的定案，以免延誤試驗進程。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 有關船舶 VDES 或 AIS 訊號，可針對研究特定區域，自行接收訊號解碼使用。

2. 透過與丹麥 Sternula 討論國際 VDES 發展趨勢，藉以學習其系統架構。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 有關高頻雷達波浪資料品管與檢核部分，建議持續辦理品管作業，以維持海氣象資料之正確性。

2. 本年度報告書章節規劃尚屬合宜，惟主要研究項目之研究內容建議持續檢討。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 本案於建置階段之測站資料建檔，或驗證測試與完成後階段之維護紀錄填報，皆賴同仁配合協助進行。建議於系統提供好用及易用之功能，以增加同仁協助配合意願。

2. 測站維護時資料中斷之時間區間，建議於維護紀錄呈現。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查項目之檢測方法可再進行評估。

2. 水下無人載具之定位方式可再進行補述。

會議簽到表

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 113 年度自行研究計畫第 1 次工作會議

時間：113 年 6 月 25 日(星期二)上午 10 時 00 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞璽	
第三科科長	林雅雯	
第二科		
	黃茂信	
		顏震香
	羅冠群	郭慶芳
	洪維國	陳天呀
	李秋英	李之清
	柯振平	陳孟宏
	曹勝傑	劉淑敏
	洪子仁	許師瑜
	林受文	許義宏
	邱慶乾	孫達達

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二科113年自行研究計畫第2次工作會議

時間：113年9月2日(星期一) 10時至16時30分

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李俊穎 科長

紀錄：廖慶堂

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 蒐集國內外風力觀測技術相關文獻。
2. 探討最大瞬間風速與3秒移動平均法之差異，以及平均風向之計算方法差異。
3. 主要商港紊流強度計算及風速機率模型繪製。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區海氣象設備維運及建置辦理進度說明。
2. 馬祖地區南竿福澳港潮位資料統計分析報告。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 臺灣港群波流觀測系統建置情形說明。
2. 波流觀測系統於凱米颱風期間災損報告。
3. 水中無線通訊設備執行進度說明。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 花蓮港平面水工模型及消能設施建置。
2. 二廠棚天車操作平台故障修復進度說明。
3. 消能設施佈設方案評估。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 3種消能碼頭型式規劃完成。
2. 進行港灣內長週期波作用下斷面試驗準備工作。
3. 進行空水槽斷面試驗。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流分析。
3. 海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 辦理波浪資料品管與檢核工作，報告波浪品管之作業情形。
2. 進行波浪資料交互驗證工作，探討凱米颱風海象觀測分析。
3. 進行海洋陣列雷達設備維護與保養，完成架高作業驗收核付。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 海氣象觀測作業數位管理系統第一版測試狀況說明。
2. 海氣象觀測作業數位管理系統資料建置狀況說明。
3. 上次工作會議及委外契約期中審查後修正情形說明。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3)-水下無人載具測試分析

1. 進行港區水下巡查作業之無人載具分析。
2. 進行港區水下巡查項目探討。
3. 進行港區 ROV 水下定位測試。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 討論颱風期間平均風速與最大風速之差異。
2. 討論風速機率模型及強陣風比例之呈現方式。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區潮位資料可信度討論。
 2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式討論。
- (三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試
1. 臺灣港群波流觀測系統配置規劃。
 2. 水中無線通訊設備控制器處理邏輯討論。
- (四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估
1. 建議評估花蓮港內消能設施型式佈設方式及考量其它方案。
 2. 討論花蓮港平面水工模型建置優化內容。
- (五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探
1. 討論造波機控制及波高計資料擷取電腦之設置問題。
 2. 評估消能碼頭斷面水工模型試驗規劃期程。
- (六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用
1. 蒐集國外 VDES 資料等相關船舶航行安全通訊技術。
 2. 完成芳苑燈塔 VDES 系統不斷電系統架設。
 3. 完成臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流繪製。
- (七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析
1. 討論雷達站品管檢核資料情形。
 2. 討論凱米颱風海象觀測分析情形。
 3. 探討波浪與海流資料交互驗證工作。
- (八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置
1. 海氣象觀測作業數位管理系統第一版問題處理情形之討論。
 2. 海氣象觀測作業數位管理系統資料建置情形之討論。
 3. 港灣季刊投稿內容之討論。
- (九) 港區水下巡查技術初探(2/3)-水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查之無人載具定位方式說明。
2. 港區水下設施之使用儀器巡查方式說明。
3. ROV 水下定位測試方法討論。

貳、主要結論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 考量臺灣港務公司針對颱風期間風力量測之防災應變需要，建議可增加颱風事件之分析內容。
2. 風速機率模型圖之展示方式可清楚看出各月份之風力趨勢，建議可再調整各月份之圖形顏色呈現，以利閱讀。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 加速進行馬祖地區歷年潮位資料基準校正工作。
2. 建議開始著手進行港灣季刊投稿文章初稿撰寫工作。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 波流觀測站颱風災損修復請依規劃期程辦理，各港觀測站仍請持續監控，確保觀測系統正常運作。
2. 水中無線通訊設備控制器，需於無人職守狀態自動處理資料傳遞延遲或錯誤等情況，控制器處理邏輯編寫及測試需謹慎留意。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 須確實掌握花蓮港試驗地形及平面水工模型鋪設進度。
2. 於執行試驗過程中，應滾動檢討港內消能設施型式。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 斷面試驗地形及水工模型建置案，須儘快如期如質完成。
2. 斷面地形及水工模型設置完成後，應依期程加速進行消能碼頭斷面水工模型試驗，以免延誤後續工作及報告書撰寫進程。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控

預警系統之應用

1. 提早規劃針對後續於航港局智慧航安監控船「航港1號」上架設船舶 VDES 相關事宜。
2. 整理有關特高頻資料交換系統 (VDES)本所測試站之接收訊號發展及國際標準制定情形，以利投稿使用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 有關南側雷達站波浪訊號品質較差，請儘速安排人員前往排查，並應建立快速檢查機制，以維持海氣象資料之正確性。
2. 本年度報告書章節規劃尚屬合宜，惟主要研究之平面波浪特性，建議持續分析探討。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 本案擇日邀同仁一同測試運作，以利發現其他待修正部分。
2. 須持續按步測試並盤點問題，將問題彙整交由開發單位一次處理。並持續定期召開工作會議討論測試與修正情況。
3. 開發完成後須再執行系統弱點掃描。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查項目之檢測方法優先順序可再進行評估。
2. 水下無人載具之巡查作業時間可再進行補述。

會議簽到表

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 113 年度自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：113 年 9 月 2 日(星期一)上午 10 時 00 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞興	
第三科科長		
第二科		
	李仁澤	
	陳子健	劉淑敏
	黃易行	郭淑芳
	羅冠群	洪維新
	林夏以	李政文
	曹勝仁	許師瑜
	許義宏	葉安佑
	江永亮	林育廷
	陳天時	顏麗香

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二科113年自行研究計畫第3次工作會議

時間：113年10月29日(星期二)上午10時00分至16時00分

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李俊穎 科長

彙整：廖慶堂

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 蒐集國內外風力觀測技術相關文獻。
2. 進行商港強陣風特性分析。
3. 進行颱風事件分析。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區海氣象設備維運及建置辦理進度說明。
2. 馬祖地區南竿福澳港潮位資料統計分析及歷年潮位資料修正結果說明。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 波流觀測系統運作情形。
2. 統計年報及研究報告進度。
3. 水中無線通訊設備進度。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 試驗設備修復及率定佈設。
2. 消能設施研擬及佈設。
3. 觀測資料分析說明。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 進行港灣內長週期波作用下斷面水工模型試驗。
2. 分析斷面水工模型試驗結果及構思改善提案。
3. 開始撰寫期末報告初稿。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流分析。
3. 海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 辦理波浪資料品管與檢核工作，雷達南站橫向雜訊過高與訊躁比大於10dB，訊號品質不佳與品管改善情況。
2. 進行波浪資料交互驗證工作，探討凱米與山陀兒颱風波浪觀測與方向波譜分析之情形。
3. 進行海洋陣列雷達設備維護與保養，報告於10月8日突發北站電纜線挖掘斷裂改善事件。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 數位管理系統委外建置契約完工說明。
2. 數位管理系統資料持續建置狀況說明。
3. 114年度工作規劃情形說明。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3)-水下無人載具測試分析

1. 進行港區水下巡查作業之無人載具分析。
2. 進行港區水下巡查項目探討。
3. 進行港區 ROV 水下定位測試數據分析。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 討論臺中港強風日歷圖之展示方式及應用性。

2. 討論颱風事件之強陣風影響。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區潮位資料統計分析結果討論。

2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式討論。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 本年度觀測系統採購案執行情形、災損說明及修復規劃。

2. 水中無線通訊設備控制器處理邏輯測試成果及水密箱體製作。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 討論花蓮港平面水工模型試驗條件。

2. 討論水工模型改善方案內容。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 討論消能碼頭斷面水工模型試驗之反射率結果。

2. 評估碼頭改善提案方向。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 完成蒐集國外 VDES 資料等相關船舶航行安全通訊技術。

2. 完成臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流繪製。

3. 完成第46屆海洋工程研討會投稿。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 討論雷達站品管檢核資料情形，探討9月28日雷達訊號品管改善與雷達原廠溝通檢修之情形。

2. 討論凱米與山陀兒颱風海象觀測分析情形。

3. 探討波浪與海流資料交互驗證工作，實際與 AWAC 進行波浪與海流資料的比對情形。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 數位管理系統資料持續建置狀況之討論。

2. 數位管理系統問題修正建議方案之討論。

3. 數位管理系統浮標儀器管理追蹤之討論。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3)-水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查之無人載具定位方式說明。

2. 港區水下設施巡查儀器精度說明。

3. ROV 水下定位測試結果討論。

貳、主要結論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 2024年2起強烈颱風事件對港區之影響極大，建議於期末報告可將相關強陣風分析數據呈現，以提供港務公司參考。

2. 本計畫繪製臺中港強風日歷圖，可清楚看出東北季風期間之強風延續時間及對港口造成之影響，未來可將相關資料提供航港局及港務公司參考應用。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 建議將已知基準之歷年潮位資料結合已校正之(原基準偏移)歷年潮位資料進行分析，期獲得保留長周期之結果。

2. 請加速進行港灣季刊投稿文章初稿撰寫工作。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (1/2) -水中無線通訊設備海域測試

1. 颱風後現場勘災，務必謹慎小心，年報及研究報告請依預定期程辦理。

2. 水密箱體入水前，箱體密封性需多加測試，避免因水體滲漏造成控制器短路，影響測試成果。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 2023~2024年波浪觀測資料分析結果，可作為試驗內容基本資料。

2. 加速進行平面水工模型試驗，避免影響試驗進度。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改

善研究初探

1. 應加速進行消能碼頭斷面水工模型試驗。
2. 依期程分析斷面試驗結果及提出改善提案，如期完成報告書撰寫。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 安排規劃後續於航港局智慧航安監控船「航港1號」上架設船舶 VDES 相關事宜。
2. 整理本計畫相關成果，以利投稿港灣季刊使用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 有關雷達站10月份訊號品質劣化，請檢討是否發生於山陀兒颱風後，並敬請安排人員巡查解決，後續應評估建立快速檢查機制，以維持海氣象資料之正確性。
2. 有關 HF 雷達波譜部分，波譜外圍特性似乎消失，以及方向上偏移仍有待確認是否為單點與平面觀測間之差異，建議持續分析探討。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 系統修正測站資材導致歷程發生衝突等問題，建議系統表單連動保持部分彈性，如即時顯示明確錯誤訊息，減少因人員操作所導致系統問題。
2. 部分測站定義應更為明確，如資料浮標測站含有風速及波流等儀器資料，且需再加以管理其細部儀器之歷程。
3. 港灣季刊請於期限內完成投稿。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查項目之檢測方式，可分別進行效益評估。
2. 水下無人載具巡查拍攝影像，未來可進行後續影像拼接處理。

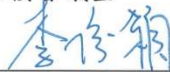
會議簽到表




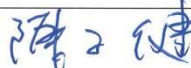

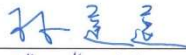




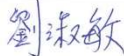




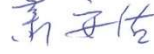



會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 113 年度自行研究計畫第 3 次工作會議

時間：113 年 10 月 29 日(星期二)上午 10 時 00 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長



出席單位	簽名	
第一科科长		
第三科科长		
第二科		
		
		
		
		
		
		
		
		
		

附錄三
期末報告審查意見處理情形

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：商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明
(一) 國立成功大學董東璟教授	
1. 報告內容詳盡，探討深入，予以肯定。	感謝委員肯定。
2. 若幾種形式的風速計量測結果不一致，如何判斷其準確性？	各型式風速計出廠時均存在器差值與精準度問題，在現場量測時，可透過資料品管與統計方式，降低量測誤差。
3. 風速小時的風向變化和大風速時的結果不同，進行相關探討時見亦可分開討論。	風速較小時，容易有風向變化較大的趨勢，其對於氣流紊亂程度亦較高，本計畫於今年度初步透過紊流強度計算後，亦有呈現該現象。
4. 建議應論述風速檢校相關議題，包含檢校的方法和頻率、檢校認證等。	本計畫今年度在風速計檢校係委託國內 TAF 評鑑合格之校正實驗室，該公司取得 ISO/IEC 17025 實驗室品質認證證書，其檢校方法、頻率等均符合國際標準。後續本計畫將再與中央氣象署氣象儀器校正實驗室合作，強化儀器校正機制與方法。
5. 根據本計畫的比較分析，是否可以有足夠科學證據何種風速計準確性較高？是否足夠支撐建議未來使用何種形式的風速計？	以現代儀器設備來說，均容易達到的所要求的不確定性控制，因此就準確性來說，本計畫比對之 3 種儀器均符合現場實地應用；惟各類儀器有其使用場地與量測基本特性，如以港區高濕高鹽之環境特性，仍建議採用超音波式風速計，其可避免螺旋槳式風速計內部機械軸承快速磨損所導致的量測偏差問題。
6. 報告中未附中英文摘要，建議補上。	已補充於定稿報告。
(二) 臺灣港務股份有限公司盧佩玟經理	
1. 本報告書具專業水準分析，予以肯定。	感謝委員肯定。

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明
2. 報告書中風力測站的代表站選擇的原因，是否能補充說明。	風力代表站選擇主要以可以反映該地區全年風力特徵、風速較高、符合該港決策之地點，一般以進出港之燈塔、信號臺為主。
3. 報告書 P2-4 及 P2-19 之各測站，相差安平港 APWD02，是否有何原因，請補充說明。	安平港 APWD02 因原該港舊訊號台於 2021 年 11 月拆除，該風速計已移至新址，並重編為 APWD04 測站。
4. 本次報告結論顯示風速計在正常使用下(固定保養)，能達到很好量測的代表性，是否代表可延長風速計的使用年限及估計約可延長幾年。	依目前實測結果在固定保養下，10 年以內之超音波式風速計均能達到良好的量測結果；惟該條件仍需考慮設置地點是否有懸浮微粒、漂飛沙或鹽分等可能磨損儀器探頭之因素。
5. 簡報 P19 臺北港 2018-2022 年強風延時均高於基隆港及蘇澳港，惟 2023 年低於該 2 港，是否有特殊原因。	2023 年因颱風路徑偏南，其南部港口之強風延時有較高的成長，另臺北港因近年擴建及地表摩擦、防風林擴增等因素，小綠燈塔測站風力疑有削減趨勢，可納入長期觀察。
6. 簡報 P29 強風對碼頭廠房之結構設計影響，所指結構設計是哪方面影響，如柱體結構或鐵皮屋頂等，建請再補充說明。	2024 年山陀兒颱風主要對於高雄港碼頭廠房之鐵皮屋頂有較大的影響，而隨著氣候變遷影響，應持續關注風力長期變化趨勢，並據以調整該地區之建築、設備及結構物之設計標準。
(三) 蘇青和博士	
1. 本計畫風速觀測為中心延續性基礎研究，有其重要性，今年研究成果亦甚佳。	感謝委員肯定。
2. 中心港區風速觀測統計有 10 個(缺金門)，2023 年資料蒐集率、品管通過率幾乎有超過 9 成，每個測站保養維護工作甚為理想，建議可利用不同測站相關性進行資料補遺的工作。	本計畫已規劃 114 年「商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究」，利用不同測站之相關性分析，建立資料校正機制，探討適用於港區風力資料補遺之方法。
3. 針對風力不同觀測儀器檢驗，風速較佳表示方式，也作深入探討分析，建議風	目前在風速定義及發佈方式，目前已參考國際氣象組織與中央氣象署之常用方法建立通用之統計量，並探討不同方法之差異。

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明
速的定義或表示方式，可與國內相關單位協商建立一致性的統計量。	
4. 港灣氣象觀測年報，提供當年度及歷年完整重要統計成果，對工程規劃設計、航運安全皆甚有助益。	感謝委員肯定。
5. 強陣風影響港灣航運安全及碼頭作業甚巨大，除探討陣風因子、紊流強度特性，也建議納入氣象因子，如氣壓、氣溫等影響。	氣壓與氣溫對風力影響屬於較大空間尺度之範圍，其需要考慮空間與時間遞延性問題，以及資料計算能量，以目前自行研究計畫規模較難執行。
(四) 本所運輸技術研究中心賴瑞應科長	
1. 本計畫完成螺旋槳式、風杯式及超音波式風速機的相關差異比較分析，研究成果可提供相關單位未來風速計量測結果決策的參考。	感謝委員肯定。
2. 本計畫完成不同港口不同季節及月份之風速、風向及強風機率分布分析與探討，研究成果可以提供港務公司營運管理及方救災決策之應用。	感謝委員肯定。
3. 風速計設置易受到主體結構物影響導致量測結果失真，建議後續能針對目前本所設置的風速計進行設置位置的檢討，並提出相關改善建議。	本計畫已規劃 114 年「商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究」，利用不同測站之相關性分析，建立資料校正機制；至於部分測站代表性不佳之問題，其遷移涉及土地使用及跨單位協調工作，後續將再與航港局及港務公司討論合適地點。
4. 報告格式建議依本所出版品格式調整，如缺中英文摘要、工作會議紀要等。	已補充於定稿報告。
5. P.5-2，「(4)…相差 10 度以內約占 97~97%」，請檢視修訂。	已修正為「(4)…相差 10 度以內約占 97~99%」。
(五) 本所運輸技術研究中心李俊穎科長	

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明
1. 本研究案完整討論商港風力觀測系統，並深入就儀器、強陣風及紊流強度探討，具實務參考性，值得肯定。	「(4)…相差 10 度以內約占 97~97%」
2. 第 3-3 頁建議加入海上資料浮標觀測風的方式。	已將氣象署海上資料浮標觀測風之方式補充於 P3-3。
3. 第 3-6 頁建議放入原廠規格併入討論。	已補充於 P3-4 表 3-1。
4. 第 3-19 頁建議補述觀測統計期間。	所使用之資料期間為 2022 年 9 月至 2024 年 8 月(部分測站因資料擷取系統更新較慢，僅使用 2023 年 9 月至 2024 年 8 月之資料)，已補充於 P3-18。
5. 第 4-26 頁建議補述風速擾動速度其擷取數據方式。	本計畫風力量測頻率為 1Hz（即每分鐘量測 60 筆風速及風向資料）並進行統計分析，並透過逐秒風速資料計算其紊流強度，其數據擷取方式已於 P2-1 風速系統概述中說明。
6. 第 4-26 頁可以直接與現場 TCWD02 測站布置對比說明，可更明確結構對紊流強度影響。	已補充圖例於 P4-36。
(六) 本所運輸技術研究中心陳鈞彥副研究員	
1. 超音速和風杯式在中高風速量測差異，其推測之可能原因，如有後續計畫，可納入分析。	初步推測與本計畫設定之取樣頻率過高以及儀器本身的解析度及準確度可能有關聯，後續可再調整相關設定後再探討相關原因。
2. 本計畫建立之資料品管流程健全且具即時性，可良好對外發佈觀測數據。	感謝委員肯定。