

馬祖北竿、莒光及東引港口海氣象特性分析

林有騰¹ 林雅雯² 蔡立宏³ 鄭采誼⁴

¹交通部運輸研究所運輸技術研究中心助理研究員

²交通部運輸研究所運輸技術研究中心科長

³交通部運輸研究所運輸技術研究中心主任

⁴數位地球科技有限公司駐點工程師

摘要

本研究基於交通部運輸研究所運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)「馬祖港埠建設計畫」,利用建置的海氣象觀測系統,針對北竿、西莒、東莒及東引之風力和波浪觀測站進行詳盡分析。分析結果顯示,各測站在夏季風速方面有所不同,而冬季風速多數站間達高度相關;各測站示性波高在夏季僅北竿及東引有達高度相關,冬季則為北竿及東莒有達高度相關。夏季風速主要分佈在 0.3-5m/s,惟東引 W11-1 及 W11-2 測站達 5-10m/s,除了東引 A9-1 及 A9-2 測站達 1-2m 外,夏季平均波高主要集中在<1m。冬季風力平均風速在 5-10m/s,其中西莒較低,東引較高。冬季平均波高除東引 A9-1 測站達 1-2m, A9-2 測站達 2-3m 外,多數保持在<1m 區間。由於颱風和地形阻隔對最大風速及波高產生巨大影響,各測站變化極為顯著。夏、冬季優勢風向、風速、波向及波高差異明顯,尤其在東引 W11-1、W11-2、A9-1 及 A9-2 測站,由於不受地形阻隔影響,更能代表馬祖地區受季風帶來的海氣象變化。海陸風分析顯示,風速大於等於 7m/s 區間,各測站風速增加比例無明顯趨勢;風速小於 7m/s 區間,除西莒 W6、東引 W11-1 及 W11-2 測站外,各站在上午 7 時至 9 時受海風影響,中午 12 時至下午 15 時達最強,晚上 18 時至 20 時轉為陸風,其中西莒 W6 測站位置特殊,受地形和海風影響顯著。四季風力分析結果顯示,陸上各站在夏季受海陸風效應影響最為顯著,與前人研究結果一致,具有代表性。本研究提供了馬祖地區海氣象的詳盡分析,並針對不同應用領域,如風能資源評估、工程建設、海氣象模擬和環境保護等,提供了實際應用的參考依據。

一、緒論

馬祖地區位於臺灣海峽西北方,主要包括南竿島、北竿島、西莒島、東莒島與東引島,島嶼眾多而分散,氣候屬亞熱帶海洋性氣候,深受季風、洋流及地理位置影響,四季分明,冬冷潮濕,春夏多霧,秋天則是一般穩定天候;北竿島地形狹長,呈彎月形狀,列島前 3 高山就有其 2(壁山及芹山),白沙港為其所屬港口,主要供交通船、小貨船及漁船等靠泊,西莒島為倒三角形島嶼,西側西路山為最高峰,整體地勢較高,青帆港為其所屬港口,屬澳口地形,東莒島地形南北狹長,屬菱形狀之島嶼,整體地勢較低,自西南至東北逐漸降低,西南側東犬山為最高峰,猛澳港為其所屬港口,主要供交通船、貨輪使用,東引島為東西引 2 島統稱,整體山勢皆為 200m

以下，惟坡度相當陡峭，僅東引島西部地勢較緩，中柱港為其所屬港口，主要規劃供貨輪、娛樂船及漁船使用。

連江縣政府委託運技中心辦理「臺灣國內商港未來發展及建設計畫(101-105)、(106-110)及(111-115)-馬祖港埠建設計畫」之「港埠經營管理資訊系統建置計畫」。該計畫所建置之海氣象觀測系統，包含風力、波浪、潮位及海流觀測資訊，本研究接續林^[2]南竿福澳港風力特性分析研究，延伸使用北竿白沙港 2 處風力觀測站及 1 處波浪觀測站、西莒青帆港 1 處風力觀測站、東莒猛澳港 2 處風力觀測站及 1 處波浪觀測站、東引中柱港 2 處風力觀測站及 2 處波浪觀測站、交通部中央氣象署(以下簡稱氣象署)1 處資料浮標觀測站(東引外海)做比較，確認各站蒐集率狀況，選定可供比較之時間及資料，透過品管方式優化資料，再藉由各因子相關性分析，呈現出各港區不同地形環境下海氣象狀況，接著進一步分析其特性及海陸風變化程度，藉此描繪出不同港區之風力及波浪特徵。

二、研究範圍及方法

2.1 研究範圍

本研究針對佈設於馬祖北竿、東西莒及東引海氣象觀測儀器之風力及波浪觀測資料，進行蒐集、品管、相關性比較及特性分析(測站位置如圖 1 至圖 4、觀測儀器位置如表 1、觀測儀器相關資料如表 2 所示)，藉由長期性監測資料的統計分析，可以一窺研究地區的海氣象特性，本研究使用運技中心之臺灣歷年海氣象觀測資料庫資料進行分析。



圖 1 北竿風力及波浪觀測儀器位置圖



圖 2 西莒風力觀測儀器位置圖

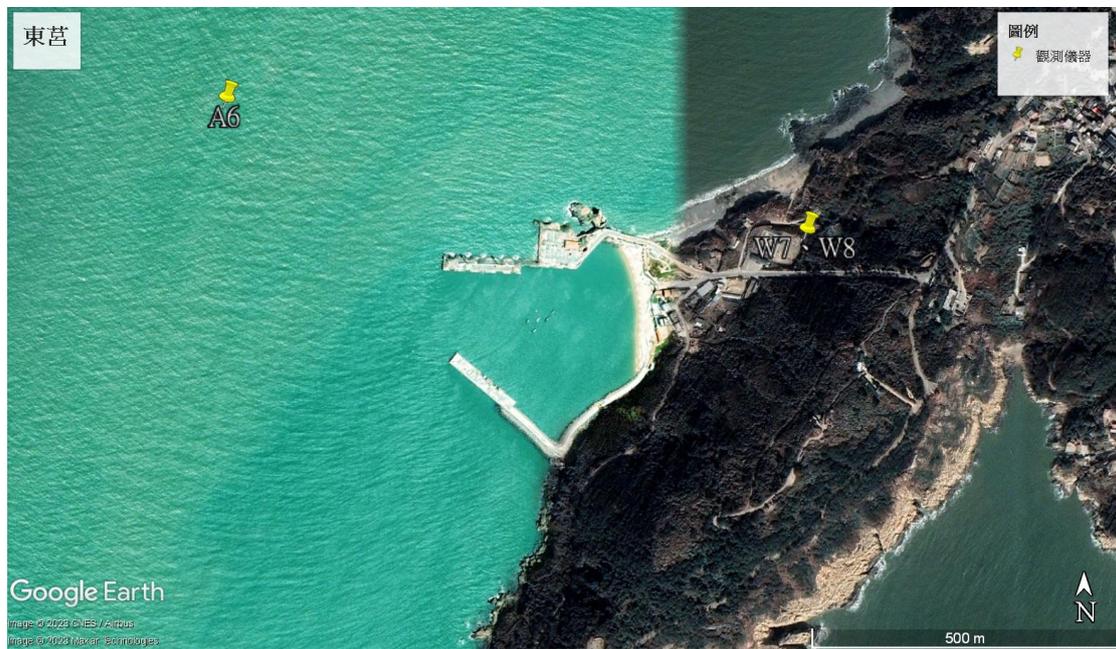


圖 3 東莒風力及波浪觀測儀器位置圖



圖 4 東引風力及波浪觀測儀器位置圖

表 1 北竿、東西莒及東引風力及波浪觀測儀器位置表

測站序號	位置	量測儀器(廠牌)	緯度	經度
W4、W5	北竿鄉白沙港(北堤起點處之小屋屋頂)	風速計(Gill Wind Sonic、Gill MetPak-多參數)	26°12'25"N	119°58'3"E
W6	莒光鄉西莒青帆港(南堤附近)	風速計(Gill Wind Sonic)	25°58'3.55"N	119°55'56.51"E
W7、W8	莒光鄉東莒猛澳港(直升機場停機坪附近)	風速計(Gill Wind Sonic、Gill MetPak-多參數)	25°57'30"N	119°58'5"E
W9、W10	東引鄉中柱港(碼頭棧橋邊小屋屋頂)	風速計(Gill Wind Sonic、Gill MetPak-多參數)	26°21'49"N	120°29'2.22"E
W11-1	東引鄉外海	資料浮標站	26°22'36"N	120°31'53"E
W11-2	東引鄉外海	資料浮標站	26°21'21"N"	120°30'49"E
A5	北竿鄉白沙港(港內)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°12'18"N	119°58'1"E
A6	莒光鄉東莒猛澳港(港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	25°57'37"N	119°57'31"E
A7	東引鄉中柱港(港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°21'48"N	120°28'40"E
A8	東引鄉中柱港(港區外海)	AWAC(底碇式波流觀測站)	26°21'50"N	120°28'45"E
A9-1	東引鄉外海	資料浮標站	26°22'36"N	120°31'53"E
A9-2	東引鄉外海	資料浮標站	26°21'21"N"	120°30'49"E

表 2 北竿、東西莒及東引海氣象觀測儀器相關資料表

測站序號	觀測期間	使用資料期間	年蒐集率 70%以上	觀測單位
W4	2016/01-2021/04(已回收)	2016-2021	2017	運技中心
W5	2019/06-2023(觀測中)	2019-2021	2022	運技中心
W6	2019/06-2020/10(已回收)	2017-2020	2019	運技中心
W7	2016/01-2020/03(已回收)	2017-2020	2019	運技中心
W8	2019/06-2023(觀測中)	2019-2022	2022	運技中心
W9	2016/01-2019/10(已回收)	2017-2019	2019	運技中心
W10	2019/06-2023(觀測中)	2020-2022	2020-2021	運技中心
W11-1	2010/07-2017(已遺失)	2015-2017	2015-2017	中央氣象署
W11-2	2018/04-2023(觀測中)	2019-2022	2019-2022	中央氣象署
A5	2015/09-2019/04(已回收)	2016-2019	2016-2017	運技中心
A6	2015/09-2023(觀測中)	2016-2021	無	運技中心
A7	2016/06-2020/03(已回收)	2017-2019	2018-2019	運技中心
A8	2019/10-2023(觀測中)	2020-2022	2022	運技中心
A9-1	2010/07-2017(已遺失)	2015-2017	2015-2017	中央氣象署
A9-2	2018/04-2023(觀測中)	2019-2022	2019-2022	中央氣象署

2.2 資料快速品管

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

本研究採用 QARTOD Manual 之檢測項目如下：

- (1)Test 1 - Timing/Gap Test(資料時序檢驗)：依使用者設定之觀測儀器取樣頻率，逐筆檢驗資料點的時間戳記，以及資料點之間的時距是否符合取樣頻率，若該頻率沒有資料，則視為資料遺失，標記為 9，否則標記為 1。
- (2)Test 4 - Gross Range Test(極限值檢驗)：介於儀器極限值範圍標記為 1，超過儀器極限值範圍標記為 4。
- (3)Test 5 - Climatology Test(季節性極限值檢驗)：小於該點測站的季節性極限值，檢驗標記為 1，大於該點測站的季節性極限值，檢驗標記為 3(可疑的資料)。

(4)Test 6 -Spike Test(尖峰值檢驗)：當筆資料減前後 2 筆資料之計算值(先相加除以 2)取絕對值後與離群值上下限值比較，大於上限值標記為 4，介於中間標記為 3，小於或等於下限值標記為 1。

(5)Test 7 - Rate of Change Test(資料變化率檢驗)：採取樣 24 小時資料做為樣本母體，若母體資料少於 8 小時，則標記為 2，若資料變化率小於 3 倍標準差，標記為 1，超過 3 倍標準差，標記為 3(可疑的資料)。

(6)Test 8 -Flat Line Test(觀測值無變動檢驗)：連續 3 筆資料相同，第 3 筆開始標記為 3，連續 5 筆資料相同，第 5 筆標記為 4，除資料遺失，其餘標記為 1。

表 3 QARTOD Manual 品管檢驗

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

表 4 QARTOD Manual 品管檢驗

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.

2.3 海陸風特性

因海洋與陸地受熱不均，陸地溫度在晝夜差異大，海洋晝夜溫差小，海陸溫差會造成每天的近岸風向有海風(空氣從海面上向陸地流動)或陸風(空氣從陸地向海洋流動)相反方向的現象，海陸風強度與海陸溫差大小有關，白天海陸溫差較大，夜間海陸溫差較小，一般而言，海風比陸風強，林^[2]研究提出馬祖南竿海陸風變化趨勢，海風約從上午 7 至 8 時開始發展，到了中午 12 時至下午 14 時達到最強，晚上則從 21 時至 22 時轉為陸風，風速變化日逐時趨勢與氣溫變化趨勢幾乎相同，大致而言，海陸風均是夏季較明顯且強盛^{[3][4]}，其他季節較微弱，根據朱^[5]研究，較大氣溫差異乃為海陸風發達之重要因素。

海風或陸風會造成不同的近岸風場，在波浪模擬上亦是重要考量因素，為了清楚判斷近岸風場海陸風效應，Simpson^[8]提出風速以 7m/s 為界定值，大於 7m/s 的風速，海陸風效應可以忽略，小於 7m/s 的風速，則可用來區分海陸風的組成，量化對於海陸風效應的認知^{[6][10]}；各地海風之風力強弱不一，隨地形而異，根據 Erwin R. Biel^[9]的研究，造成海風風力增強之主要因素如下：(1)海風來向與夏季季風環流盛行風向一致，則該地海風較強。(2)背倚山岳的濱海地區，若谷風與海風方向一致，風力增強。(3)海流對海風強弱亦有相當影響，凡寒流流經的海面，使海陸間溫差加大，海風因而增強，反之亦然。(4)延伸性海岸平原帶，晝間增熱快速致使海風增強。

三、研究成果

3.1 蒐集率分析

海氣象研究屬長期性作業，在統計學上的樣本數越多，其統計結果越具代表性，在描述某地區的海氣象統計性質時，可以區分為短期性及長期性統計特性，短期性海氣象統計特性，係指使用 1 年或 1 年以內的觀測資料進行之統計分析，長期性海氣象統計特性，則係指使用超過 1 年的觀測資料所進行之統計分析，而其中更重要的是觀測資料的完整性，因此，整理其蒐集情況實為第 1 要項，因馬祖係屬離島，交通不易，每年 3 至 6 月易受霧季影響，所需備品近年亦有缺料遞延，導致維修時程延遲問題，種種因素使得維持良好的海氣象觀測資料蒐集率實為一大艱鉅任務，因而，在年度蒐集率普遍低下的情況，透過適當篩選比較條件，藉以提升觀測資料的價值，亦是本研究重點內容之一。

我國從 1986 年開始發展臺灣及各離島近海海域海氣象觀測技術，致力蒐集鄰近海域與港口的海氣象觀測資料，目前共計有氣象署、運技中心、成功大學近海水文中心等單位，多年來研究發展長期性海象預報內容，包括風力、波浪、潮汐及海流之海象觀測特性分析等，並且建立資料庫與資料年報之製作與分析，本節係針對馬祖北竿、東西莒及東引所建置之風力及波浪觀測站，蒐集彙整歷年觀測資料並做初步分析比較，各年度觀測資料統計範圍涵蓋自上一年度 12 月起至當年度 11 月，統計分析現場觀測資料共 12 個月份，其中，12 月至 2 月為冬季，3 月至 5 月為春季，6 月至 8 月為夏季，9 月至 11 月為秋季。

3.1.1 風力觀測資料蒐集

馬祖北竿、東西莒及東引風力觀測資料來源為運技中心及氣象署，計有 3 種不同形式風力觀測儀器(Gill Wind Sonic、Gill MetPak 及 Young Brand)，運技中心於北竿白沙港區、西莒青帆港區、東莒猛澳港區及東引中柱港區設置之風力觀測站序號分別為 W4、W5、W6、W7、W8、W9 及 W10，氣象署於東引外海設置資料浮標依年度區分有 W11-1 及 W11-2，資料頻率使用整點之 1 小時觀測資料做分析，為瞭解上述風力觀測儀器年度的蒐集率比較，整理如圖 5 所示。

以下針對馬祖北竿 W4 及 W5、西莒 W6、東莒 W7 及 W8、東引 W9、W10 及 W11 測站歷年風力觀測資料年蒐集率 70%以上做說明：2015 及 2016 年僅有 W11-1 測站達標，2017 年有 W4 及 W11-1 測站達標，2018 年僅有 W11-1 測站達標，2019 年有 W6、W7、W9 及 W11-2 測站達標，2020 及 2021 年有 W10 及 W11-2 測站達標，2022 年有 W5、W8 及 W11-2 測站達標，為深入瞭解各風力測站夏、冬 2 季特性與相關性，整理歷年資料蒐集率達標之各月份，用以呈現該港區季風期間風力特性，並且為瞭解各港區季風期間風力相關性，設定夏、冬 2 季各月份皆需達標之篩選條件，藉以將資料價值最大化使用，如表 5 及表 6。

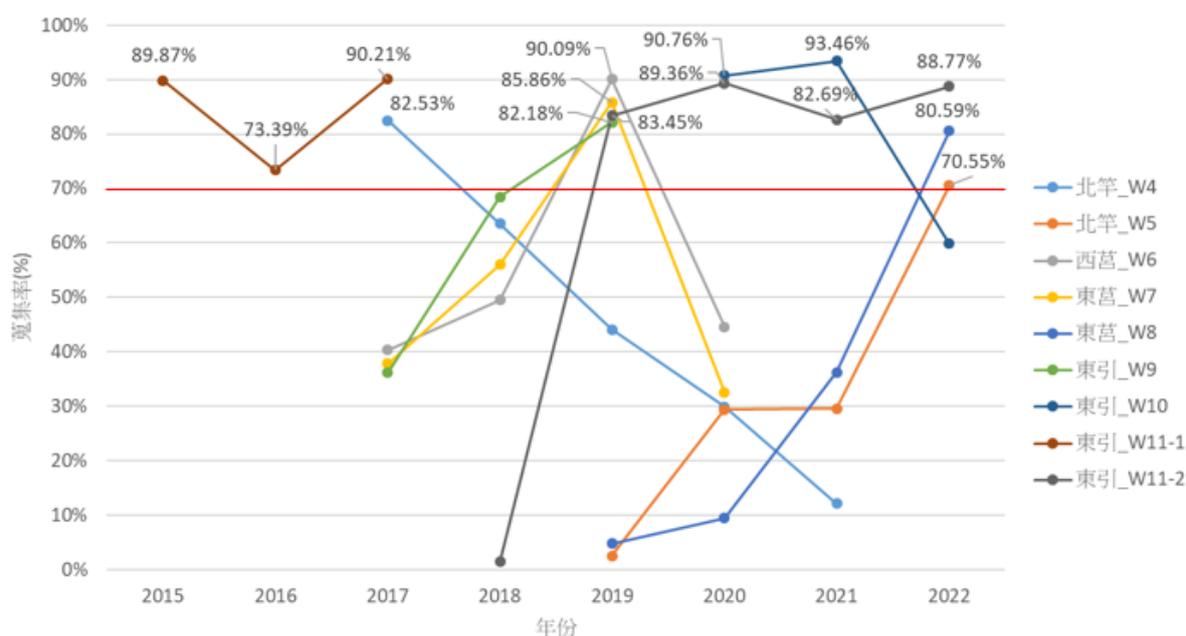


圖 5 北竿、莒光及東引歷年風力資料蒐集率比較

表 5 W4(2017-2019)夏季及冬季蒐集率 70%以上統計表(範例)

月份	年	2017	2018	2019
	1		99.9%	95.3%
2		100.0%	97.9%	18.8%
3		100.0%	37.5%	7.4%
4		91.8%	15.7%	0.0%
5		61.7%	34.7%	25.3%
6		86.4%	81.8%	84.4%
7		39.9%	47.7%	96.2%
8		59.3%	86.0%	88.7%
9		95.8%	83.9%	93.8%
10		77.2%	59.4%	73.9%
11		81.4%	27.1%	39.3%
12		99.6%	97.3%	0.0%
整年		82.5%	63.5%	44.1%
春		84.4%	29.4%	11.0%
夏		61.6%	71.7%	89.9%
秋		84.7%	56.8%	69.0%
冬		99.8%	96.8%	5.8%

表 6 W4 及 W6(2017 冬季及 2019 夏季)各月份蒐集率皆 70%以上統計表(範例)

月份	年	北竿 W4	西莒 W6	北竿 W4	西莒 W6
		2017(冬)		2019(夏)	
	1		99.9%	99.9%	0.0%
2		100.0%	100.0%	18.8%	78.1%
3		100.0%	100.0%	7.4%	92.3%
4		91.8%	88.1%	0.0%	82.4%
5		61.7%	0.0%	25.3%	95.3%
6		86.4%	0.0%	84.4%	89.7%
7		39.9%	0.0%	96.2%	99.5%
8		59.3%	0.0%	88.7%	94.8%
9		95.8%	0.0%	93.8%	82.5%
10		77.2%	0.0%	73.9%	83.1%
11		81.4%	0.0%	39.3%	94.9%
12		99.6%	100.0%	0.0%	98.3%
整年		82.5%	40.4%	44.1%	90.1%
春		84.4%	62.4%	11.0%	90.1%
夏		61.6%	0.0%	89.9%	94.7%
秋		84.7%	0.0%	69.0%	86.8%
冬		99.8%	100.0%	5.8%	88.8%

3.1.2 波浪觀測資料蒐集

馬祖北竿、東西莒及東引波浪觀測資料來源為運技中心及氣象署，計有 2 種不同形式波浪觀測儀器(AWAC_1MHz 及資料浮標)，運技中心於北竿白沙港區、東莒猛澳港區及東引中柱港區設置之波浪觀測站序號分別為 A5、A6、A7 及 A8，氣象署於東引外海設置資料浮標依年度區分有 A9-1 及 A9-2，資料頻率使用整點之 1 小時觀測資料做分析，為瞭解上述波浪觀測儀器年度的蒐集率比較，整理如圖 6 所示。

以下針對馬祖北竿 A5、東莒 A6、東引 A7 及 A8、A9-1 及 A9-2 測站歷年波浪觀測資料年蒐集率 70%以上做說明：2015 年僅有 A9-1 測站達標，2016 及 2017 年有 A5、A9-1 測站達標，2018 年僅有 A7 測站達標，2019 有 A7 及 A9-2 測站達標，2020 及 2021 年僅有 A9-2 測站達標，2022 年有 A8 及 A9-2 測站達標，普遍蒐集率狀況不佳，參照風力分析比較方式，整理歷年夏冬蒐集率達標之各月份用以呈現該港區季風期間波浪特性，並且為瞭解各港區季風期間波浪相關性，設定夏冬各月份皆需達標之篩選條件，藉以將資料價值最大化使用，如表 7 及表 8。

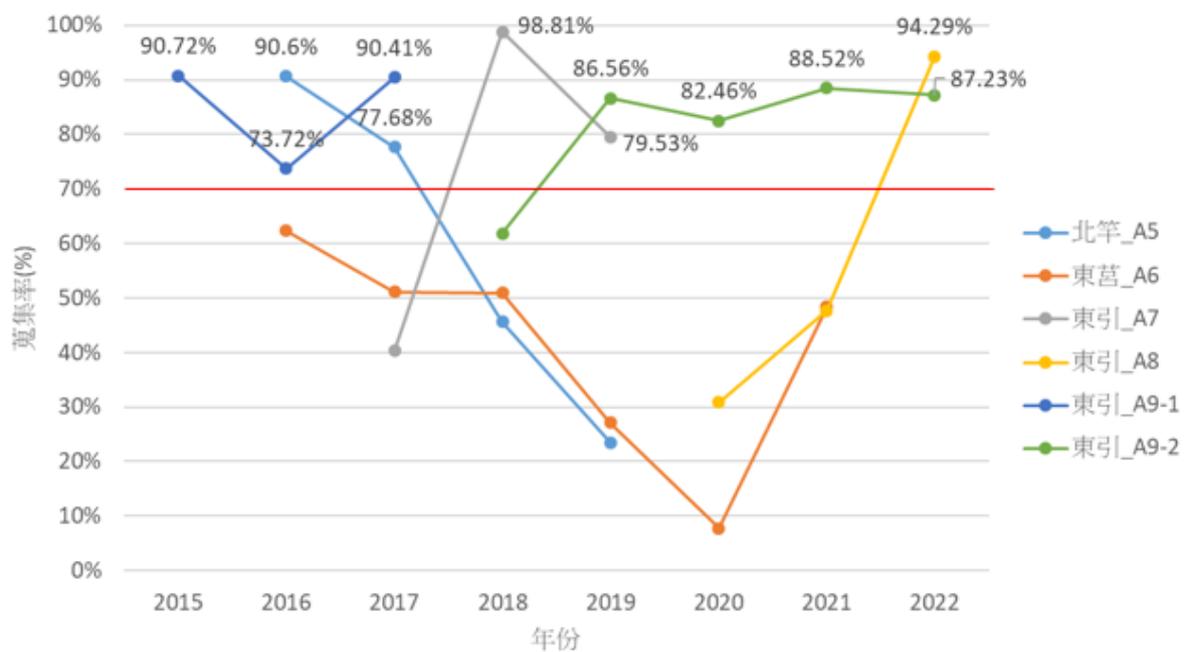


圖 6 北竿、莒光及東引歷年波浪資料蒐集率比較

表 7 A5(2016、2017 及 2019)夏季及冬季蒐集率 70%以上統計表(範例)

年 月份	2016	2017	2019
1	99.1%	97.7%	19.4%
2	99.3%	99.9%	11.2%
3	98.5%	99.9%	99.9%
4	99.2%	96.8%	51.7%
5	99.6%	54.7%	0.0%
6	97.5%	86.4%	0.0%
7	99.9%	89.5%	0.0%
8	99.6%	93.8%	0.0%
9	98.6%	96.4%	0.0%
10	99.5%	3.4%	0.0%
11	98.1%	16.8%	0.0%
12	0.0%	98.7%	99.7%
整年	90.6%	77.7%	23.5%
春	99.1%	83.7%	50.5%
夏	99.0%	89.9%	0.0%
秋	98.7%	38.5%	0.0%
冬	65.4%	98.7%	44.5%

表 8 A5 及 A9-1(2016 及 2017 夏季)各月份蒐集率皆 70%以上統計表(範例)

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

3.2 資料品管

3.2.1 流程說明及條件設定

本研究資料之品管採用 Test1、Test4、Test5、Test6、Test7 及 Test8，在初始資料處理上新增 Test0(在 Raw Data 時，即刪除資料表欄位[Status Description]異常之資料列)，考量颱風期間之海氣象觀測資料變化劇烈且極具研究價值，因此，保留其通過 Test6 且被標記為 4 之資料，2015 至 2022 年侵臺颱風依路徑統計如表 9(資料來源：氣象署)及圖 7；在大量資料品管上係依靠撰寫程式協助標記，並透過人工檢視觀測值及紀錄標記值，詳細品管流程如表 10，另外有關儀器極限值設定、風力及波浪季節性極限值(季節性極限值係以各觀測資料歷年紀錄累積機率 99.9%對應之觀測值)及離群值設定參考陳^[7]的研究，結果如表 11 至 13。

表 9 2015 至 2022 年侵臺颱風統計表(資料來源：中央氣象署_颱風資料庫)

颱風路徑	颱風編號	名稱	警報期間	強度
1	201808	瑪莉亞 (MARIA)	2018-07-09 14:30:00 2018-07-11 14:30:00	強烈
1	201909	利奇馬 (LEKIMA)	2019-08-07 17:30:00 2019-08-10 08:30:00	強烈
2	201521	杜鵑 (DUJUAN)	2015-09-27 08:30:00 2015-09-29 17:30:00	強烈
2	201709	尼莎 (NESAT)	2017-07-28 08:30:00 2017-07-30 10:15:00	中度
3	201513	蘇迪勒 (SOUDELOR)	2015-08-06 11:30:00 2015-08-09 08:30:00	中度
3	201617	梅姬 (MEGI)	2016-09-25 23:30:00 2016-09-28 17:30:00	中度
4	201601	尼伯特 (NEPARTAK)	2016-07-06 14:30:00 2016-07-09 14:30:00	強烈
4	201911	白鹿 (BAILU)	2019-08-23 05:30:00 2019-08-25 11:30:00	輕度
5	202020	閃電 (ATSANI)	2020-11-05 08:30:00 2020-11-07 14:30:00	輕度
6	201918	米塔 (MITAG)	2019-09-29 08:30:00 2019-10-01 11:30:00	中度
6	202114	璨樹 (CHANTHU)	2021-09-10 05:30:00 2021-09-13 02:30:00	強烈
6	202211	軒嵐諾 (HINNAMNOR)	2022-09-02 08:30:00 2022-09-04 20:30:00	強烈
7	201614	莫蘭蒂 (MERANTI)	2016-09-12 23:30:00 2016-09-15 11:30:00	強烈
7	201710	海棠 (HAITANG)	2017-07-30 11:30:00 2017-07-31 08:30:00	輕度

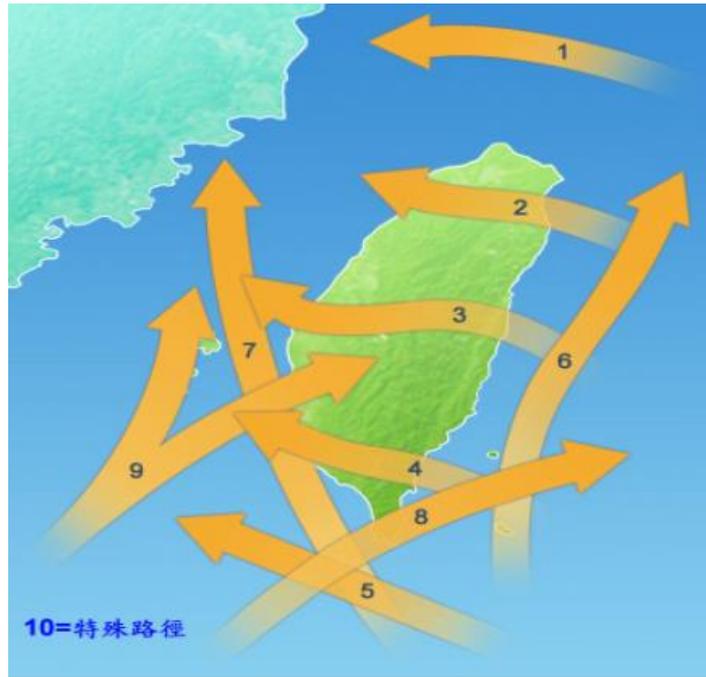


圖 7 2015 至 2022 年侵臺颱風路徑圖(資料來源：中央氣象署_颱風資料庫)

表 10 品管流程說明

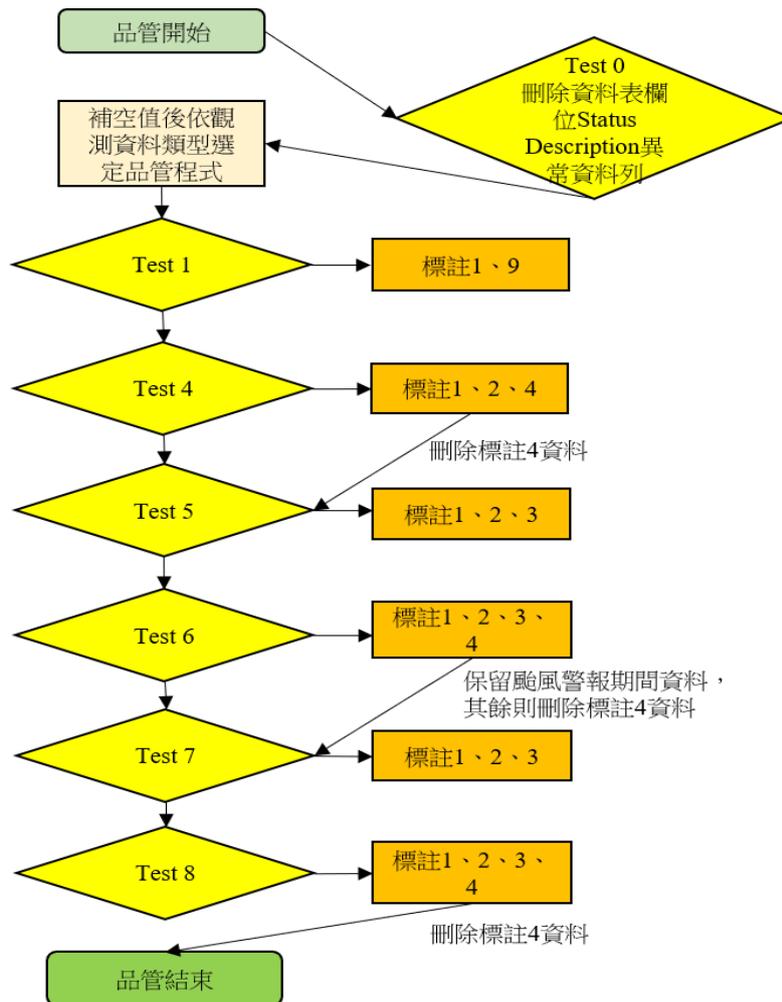


表 11 儀器極限值範圍

觀測資料	儀器型號	儀器極限值範圍
平均風速	GILL Windsonic MetPak Young Brand	0~60 m/s 0~90 m/s 0~100 m/s
示性波高	AWAC 1MHz	0~30 m
尖峰週期	AWAC 1MHz	0.5~50 s

表 12 風力及波浪歷年季節性極限值

觀測資料	馬祖	統計區間	春	夏	秋	冬
平均風速 (m/s)	北竿 W4	2019~2022	10.6	9.61	12.48	10.77
	北竿 W5	2017~2021	10.24	9.41	13.58	10.63
	西莒 W6	2017~2020	9.05	10.71	8.52	5.08
	東莒 W7	2019~2022	12.11	7.81	14.9	12.92
	東莒 W8	2017~2020	10.09	8.36	10.93	12.81
	東引 W9	2019~2022	12.83	11.65	15.65	15.83
	東引 W10	2016~2019	13.05	14.93	15.82	14.93
	東引 W11-1	2015~2017	14.4	19.3	18.8	14.7
	東引 W11-2	2018~2022	14.2	13.5	17.6	16.7
示性波高 (m)	北竿 A5	2016~2021	1.53	1.2	2.33	1.92
	東莒 A6	2016~2021	2.14	1.63	3.06	2.8
	東引 A7	2020~2022	1.47	1.81	1.16	1.06
	東引 A8	2017~2019	1.63	3.38	1.48	0.84
	東引 A9-1	2015~2017	4.54	9.87	8.35	4.82
	東引 A9-2	2018~2022	3.94	6.88	5.44	5.79
尖峰週期 (s)	北竿 A5	2016~2021	19.32	16.09	16.18	14.98
	東莒 A6	2016~2021	14.85	14.59	15.4	11.52
	東引 A7	2020~2022	14.84	14.9	15.01	16.18
	東引 A8	2017~2019	12.69	17.01	15.7	12.93
	東引 A9-1	2015~2017	16	17.6	16.5	11.1
	東引 A9-2	2018~2022	15	17.6	17	13.4

表 13 離群值設定

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

3.2.2 風力及波浪資料品管

首先定義品管起始年度最早為 2015 年，將觀測站年度觀測資料合併以完成資料連續性，接著執行品管程式，盡可能使每筆資料被檢驗，本研究整理各站各觀測資料品管結果，針對未通過資料筆數(標記 4)提出討論，分別有 TEST6 及 TEST8 檢驗，平均風速如圖 8 及圖 9，未通過資料點範例如圖 10 及圖 11，示性波高如圖 12 及圖 13，尖峰週期如圖 14 及圖 15，由範例可知標記 4 之資料點確實有必要被檢出及刪除，透過這樣的品管方式足以提升資料品質，接著分析及逐一檢視歷年各觀測站未通過筆數資料，同一觀測站不同年度被檢出 1 至 3 筆尚屬正常情況，針對未通過筆數異常集中之年度則需輔以人工檢核的方式判定，如 TEST6(尖峰週期)：北竿_A5 在 2018 年有 38 筆標記 4 之資料，東莒_A6 在 2017 年有 11 筆標記 4 之資料，經人工檢視資料狀況，未通過筆數較多時，常出現資料頻繁中斷現象，顯示儀器當下不穩定，資料頻繁出現高值，應可被檢出，惟當下高值前後缺資料，被程式標記 2(未檢驗)，此種需透過人工協助檢出，另外 TEST8(平均風速)：東引_W11-2 在 2019 及 2020 年各有 11 筆及 7 筆標記 4 之資料，經人工檢視資料狀況，異常資料皆是連續出現零值，此類型檢出可避免因儀器誤報，大量回傳同樣數值造成年度及四季觀測平均值誤差過大，再者，此種狀況亦可能為儀器或其他硬體設備出現異常的前兆，當好發此種現象時，後續觀測資料的檢核不可不慎。



圖 8 北竿、莒光及東引歷年平均風速品管_TEST6_未通過筆數

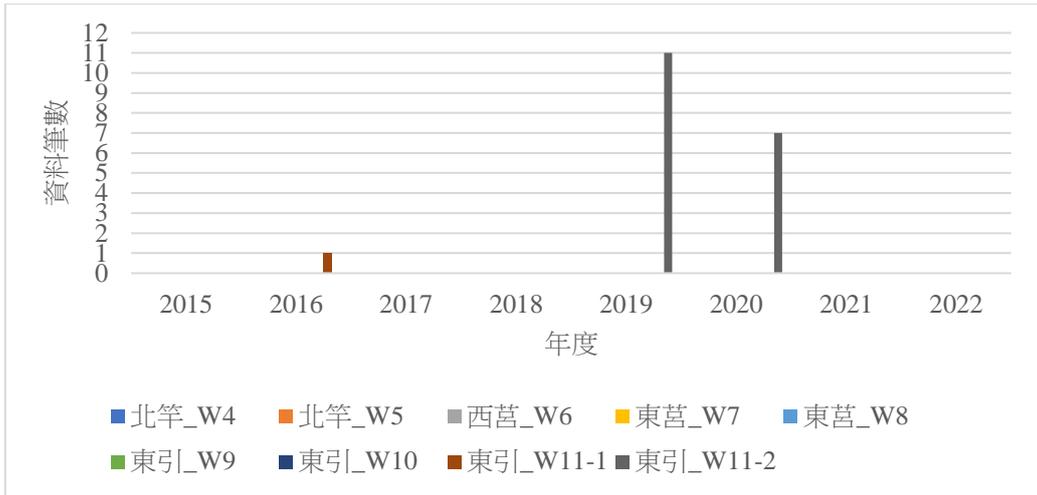


圖 9 北竿、莒光及東引歷年平均風速品管_TEST8_未通過筆數

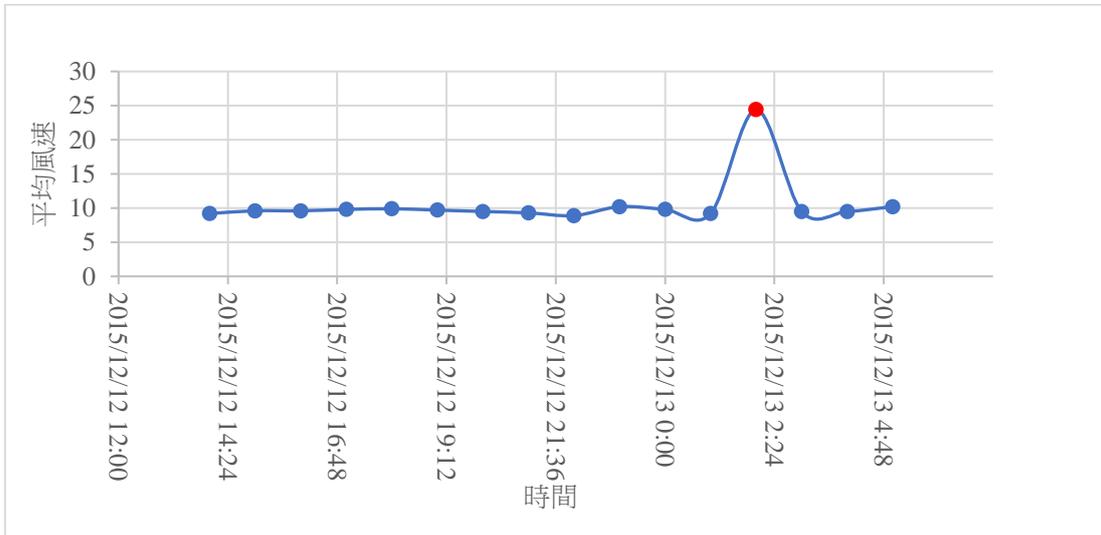


圖 10 東引_W11-1 2015 年平均風速品管_TEST6_未通過狀況(範例)

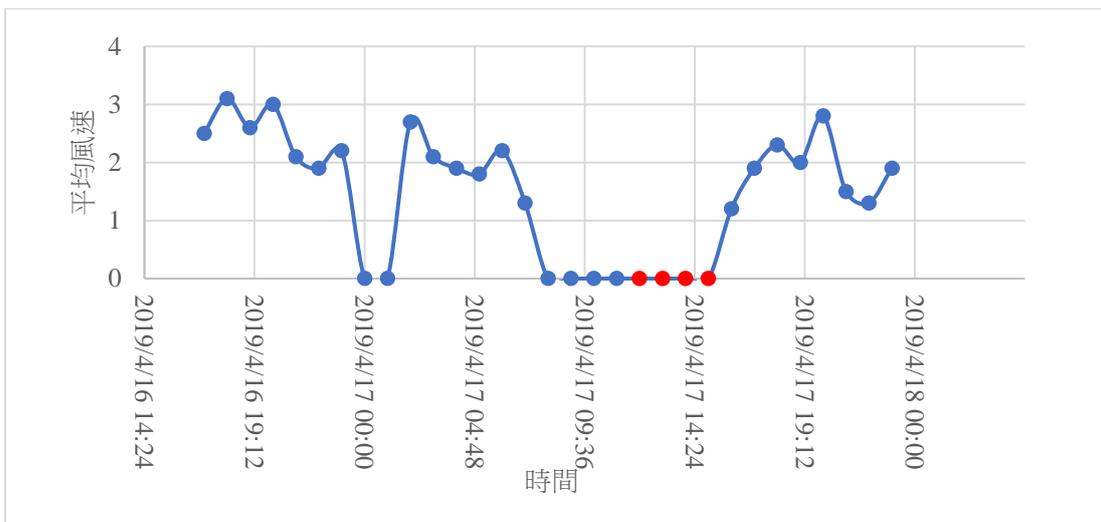


圖 11 北竿、莒光及東引歷年平均風速品管_TEST8_未通過狀況(範例)

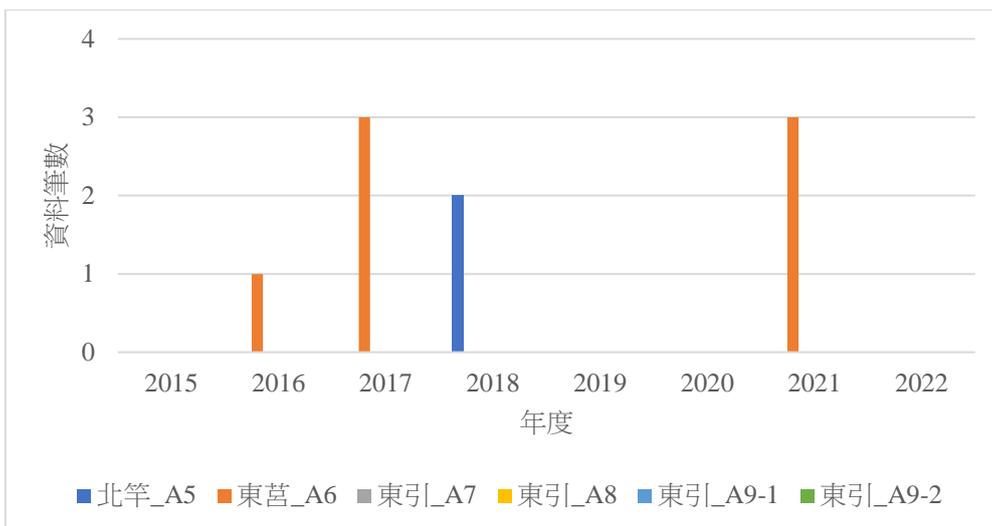


圖 12 北竿、莒光及東引歷年示性波高品管_TEST6_未通過筆數

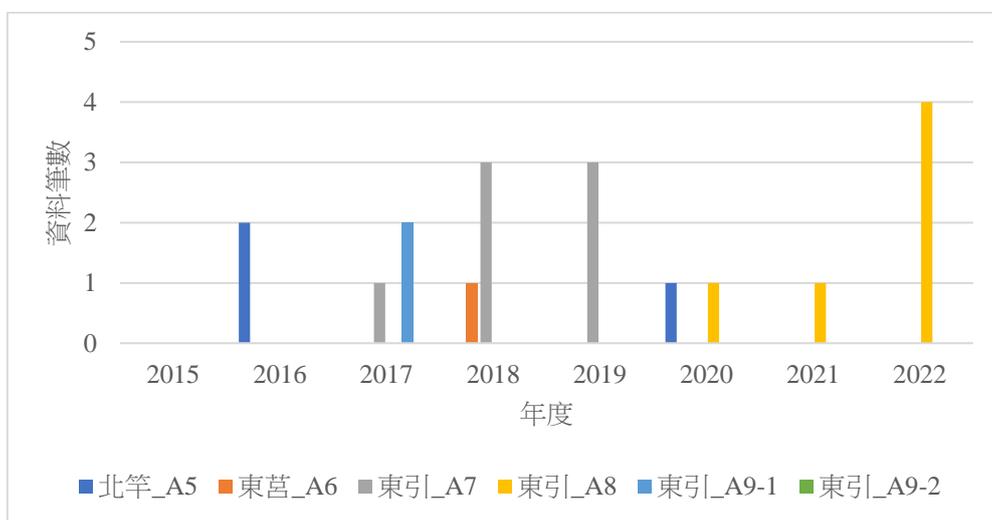


圖 13 北竿、莒光及東引歷年示性波高品管_TEST8_未通過筆數

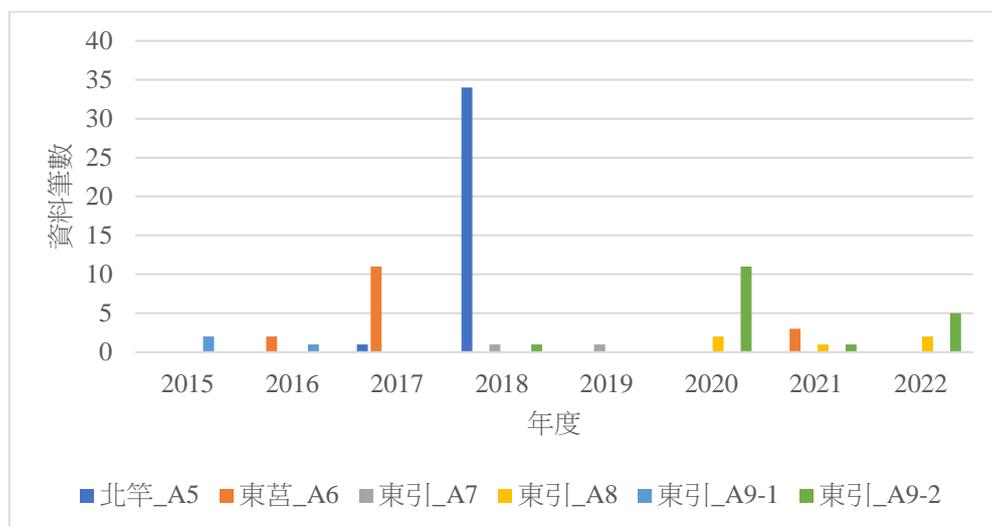


圖 14 北竿、莒光及東引歷年尖峰週期品管_TEST6_未通過筆數



圖 15 北竿、莒光及東引歷年尖峰週期品管_TEST8_未通過筆數

3.3 風力特性分析

3.3.1 風力資料相關性

由於馬祖地區各風力測站自 2015 至 2022 年普遍蒐集率不佳，為有效分析既有資料，取用四季中季風表現最為顯著的夏、冬 2 季進行分析比較(代表月份蒐集率皆需 70%以上)，使資料價值最大化，如表 14 及表 15；夏季使用年份為 2019、2020 及 2021 年，風速僅東引 W9 及 W10 測站分別與東引 W11-2 測站達高度相關，另外從風速與風向的分量來看，U 分量僅東莒 W7 與東引 W11-2 測站達高度相關，V 分量則北竿 W4、西莒 W6、東莒 W7、東引 W9 及東引 W11-2 各測站彼此間達高度相關，東引 W10 與東引 W11-2 測站亦是如此；冬季部分使用年份為 2017、2019 及 2020 年，北竿 W4、東莒 W7 及東引 W9 各測站彼此間達高度相關，惟西莒 W6 與其他各測站為中度相關，U 分量，北竿 W4、西莒 W6、東莒 W7 及東引 W9 測站彼此間皆無達高度相關，東莒 W7 與東引 W10 測站亦是如此，V 分量，北竿 W4、東莒 W7 及東引 W9 各測站彼此間達高度相關，東莒 W7 與東引 W10 測站亦是如此，值得一提的是，西莒 W6 分別與北竿 W4、東莒 W7 及東引 W9 測站相比仍為低度至中度相關。

表 14 夏季北竿、莒光及東引風速及其分量之相關性

年	測站	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V	風速	U	V
		北竿 W4			西莒 W6			東莒 W7			東引 W9			東引 W11-2		
2019	北竿 W4	1.00	1.00	1.00	0.63	0.43	0.86	0.40	0.42	0.78	0.47	0.06	0.86	0.67	0.54	0.87
	西莒 W6	0.63	0.43	0.86	1.00	1.00	1.00	0.37	0.14	0.78	0.29	-0.17	0.83	0.58	0.36	0.87
	東莒 W7	0.40	0.42	0.78	0.37	0.14	0.78	1.00	1.00	1.00	0.34	0.37	0.80	0.41	0.74	0.81
	東引 W9	0.47	0.06	0.86	0.29	-0.17	0.83	0.34	0.37	0.80	1.00	1.00	1.00	0.72	0.31	0.96
	東引 W11-2	0.67	0.54	0.87	0.58	0.36	0.87	0.41	0.74	0.81	0.72	0.31	0.96	1.00	1.00	1.00
2020	東引 W10													0.70	0.48	0.92
	東引 W11-2													1.00	1.00	1.00
2021	東引 W10													0.70	0.59	0.95
	東引 W11-2													1.00	1.00	1.00

表 15 冬季北竿、莒光及東引風速及其分量之相關性

年	測站	風速	U	V									
		北竿 W4			西莒 W6			東莒 W7			東引 W9		
2017	北竿 W4	1.00	1.00	1.00	0.52	-0.41	0.50	0.75	0.03	0.76	0.71	0.17	0.74
	西莒 W6	0.52	-0.41	0.50	1.00	1.00	1.00	0.47	-0.02	0.46	0.51	-0.37	0.55
	東莒 W7	0.75	0.03	0.76	0.47	0.03	0.46	1.00	1.00	1.00	0.76	0.19	0.75
	東引 W9	0.71	0.17	0.74	0.51	-0.37	0.55	0.76	0.19	0.75	1.00	1.00	1.00
2019	西莒 W6				1.00	1.00	1.00	0.51	-0.40	0.58	0.58	-0.34	0.65
	東莒 W7				0.51	-0.40	0.58	1.00	1.00	1.00	0.85	0.65	0.87
	東引 W9				0.58	-0.34	0.65	0.85	0.65	0.87	1.00	1.00	1.00
2020	東莒 W7							1.00	1.00	1.00			
	東引 W10							0.81	0.63	0.81			

3.3.2 風力資料特性

本研究使用風玫瑰圖的方式呈現北竿(W4 及 W5)、東西莒(W6、W7 及 W8)及東引(W9、W10、W11-1 及 W11-2)各風力測站觀測資料夏冬 2 季之特性，如圖 16，分述如下：

北竿 W4 測站夏季平均風速 4.07m/s，最大風速 11.61m/s(SSW)，優勢風向分別為 NNE(16.61%)、SSW(16.59%)及 N(16.35%)，優勢風速範圍為 0.3-5m/s(86.77%)；冬季平均風速 5.05m/s，最大風速 11.31m/s(NNE)，優勢風向為 N(54.98%)，優勢風速範圍分別為 0.3-5m/s(43.13%) 及 5-10m/s(56.43%)。

北竿 W5 測站夏季平均風速 3.45m/s，最大風速 10.13m/s(N)，優勢風向為 SSW(22.23%)、S(19.75%)及 N(16.78%)，優勢風速範圍為 0.3-5m/s(78.97%)。

西莒 W6 測站夏季平均風速 3.42m/s，最大風速 12.01m/s(SSE)，優勢風向為 NNW(25.07%) 及 SSW(16.73%)，優勢風速範圍為 0.3-5m/s(80.22%)；冬季平均風速 3.64m/s，最大風速 9.13m/s(NNW)，優勢風向為 NNW(52.12%)，優勢風速範圍為 0.3-5m/s(76.96%)。

東莒 W7 測站夏季平均風速 2.04m/s，最大風速 7.68m/s(NE)，優勢風向為 NE(35.81%)及 SSW(23.98%)，優勢風速範圍為 0.3-5m/s(91.84%)；冬季平均風速 5.71m/s，最大風速 13.34m/s(NNE)，優勢風向為 NNE(59.26%)，優勢風速範圍分別為 0.3-5m/s(40.16%) 及 5-10m/s(51.94%)。

東莒 W8 測站夏季平均風速 1.98m/s，最大風速 7.87m/s(NE)，優勢風向為 NE(22.95%)、SSW(20.38%)及 NNE(18.66%)，優勢風速範圍為 0.3-5m/s(96.07%)；冬季平均風速 6.64m/s，最大風速 13.25m/s(NNE)，優勢風向為 NNE(69.29%)，優勢風速範圍為 5-10m/s(70.26%)。

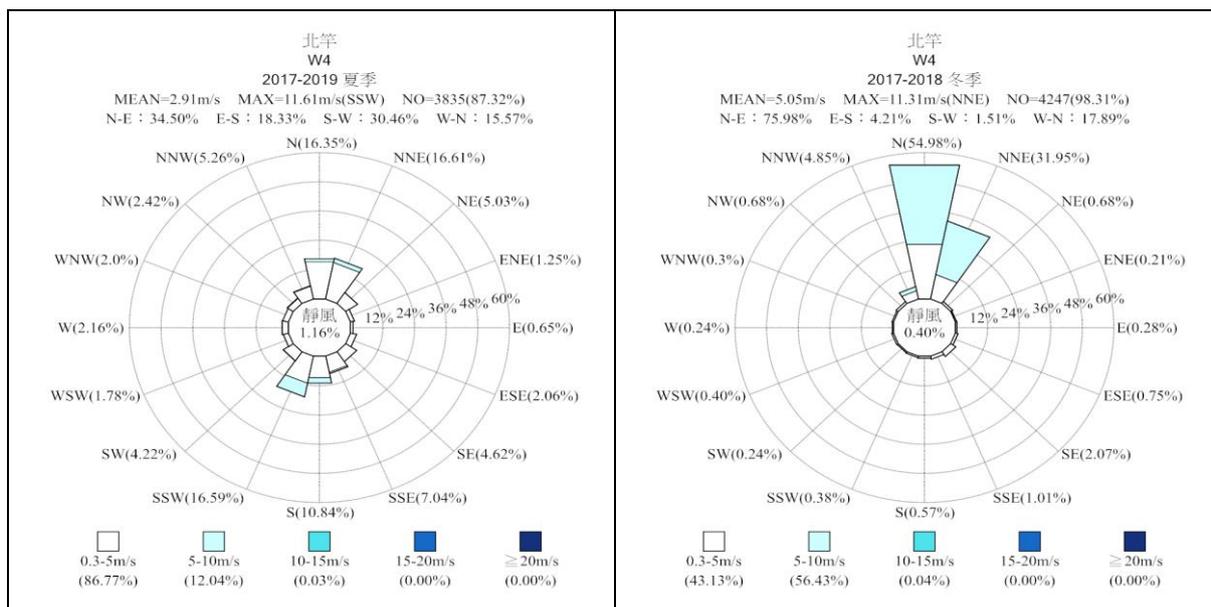
東引 W9 測站夏季平均風速 3.89m/s，最大風速 15.58m/s(N)，優勢風向為 NNE(38.14%)、SSE(18.34%)及 S(18.32%)，優勢風速範圍為 0.3-5m/s(71.7%)；冬季平均風速 7.75m/s，最大風速 15.58m/s(NNE)，優勢風向為 NNE(78.07%)，優勢風速範圍為 5-10m/s(57.83%)及 10-15m/s(24.27%)。

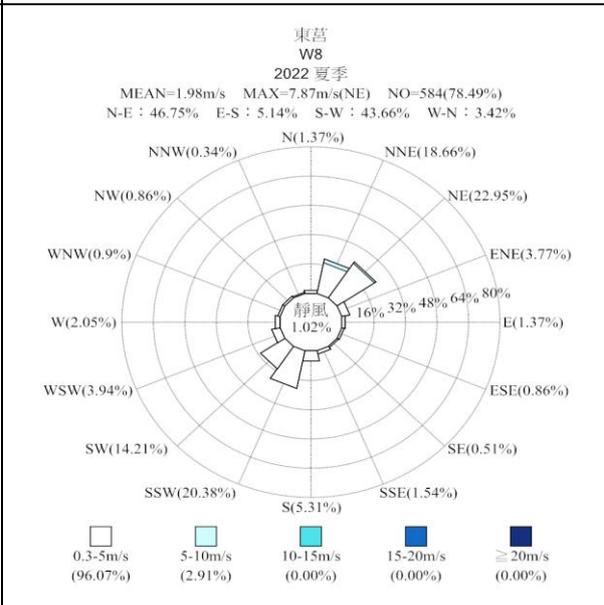
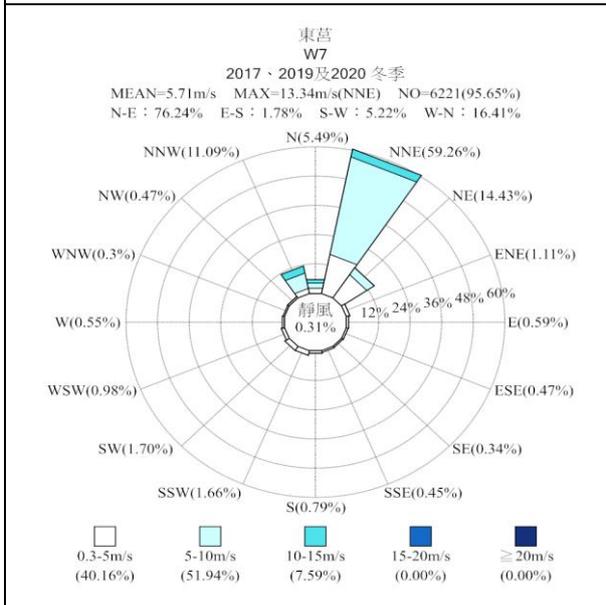
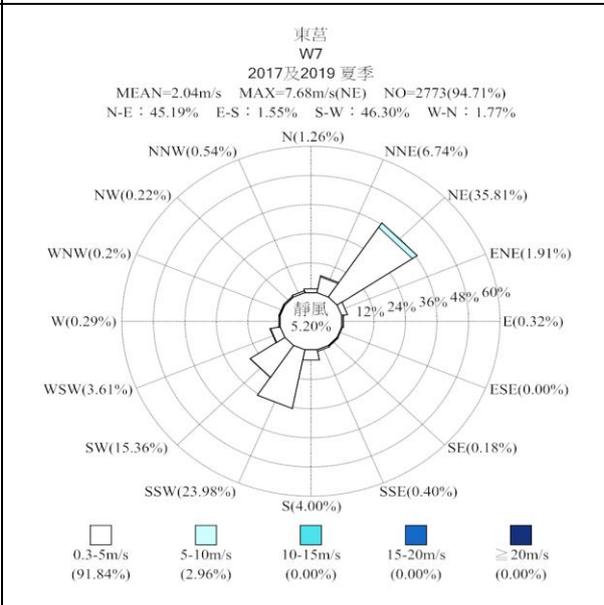
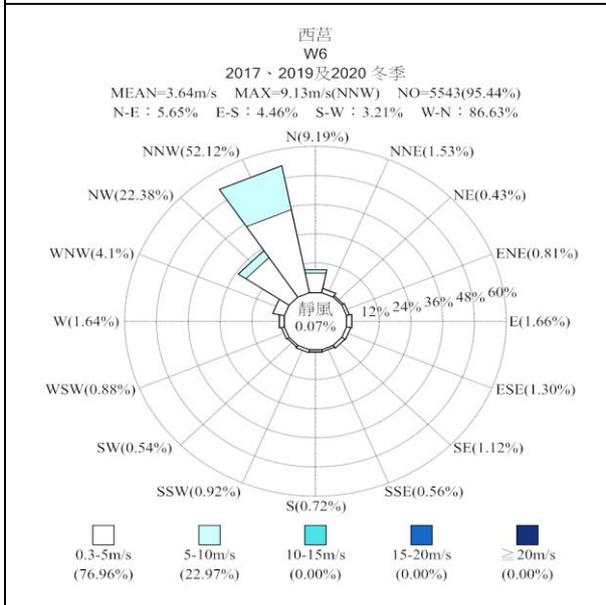
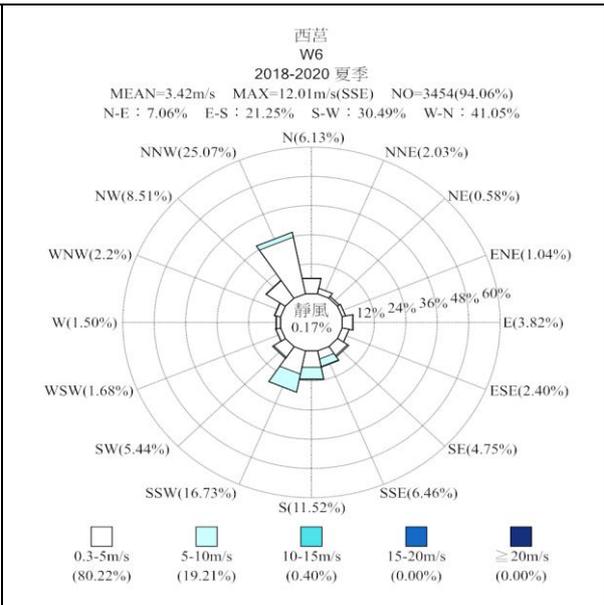
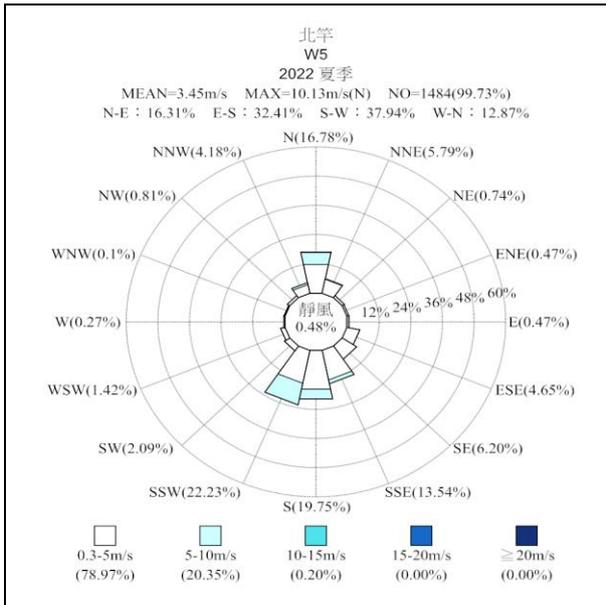
東引 W10 測站夏季平均風速 3.82m/s，最大風速 12.88m/s(NNE)，優勢風向為 S(39.48%)、SSE(17.52%)及 NNE(17.16%)；冬季平均風速 7.54m/s，最大風速 16.56m/s(NNE)，優勢風向為 NNE(63.52%)，優勢風速範圍為 5-10m/s(53.89%)及 10-15m/s(24.73%)。

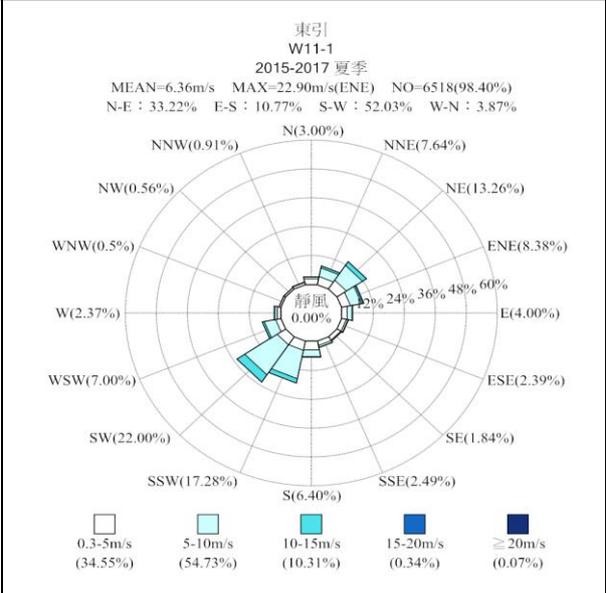
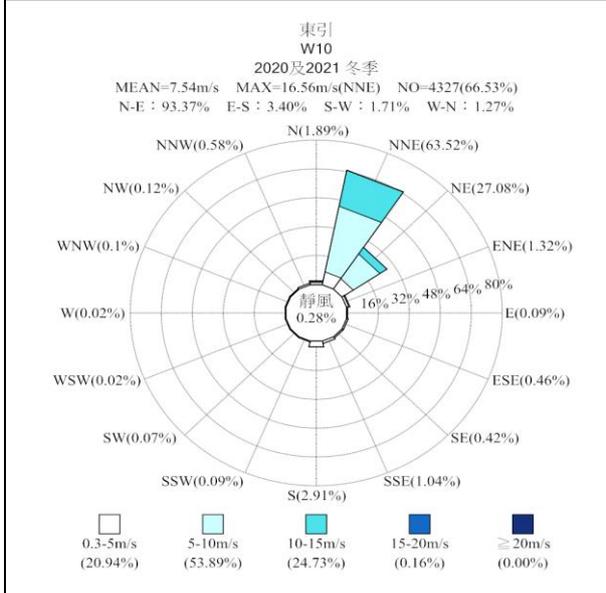
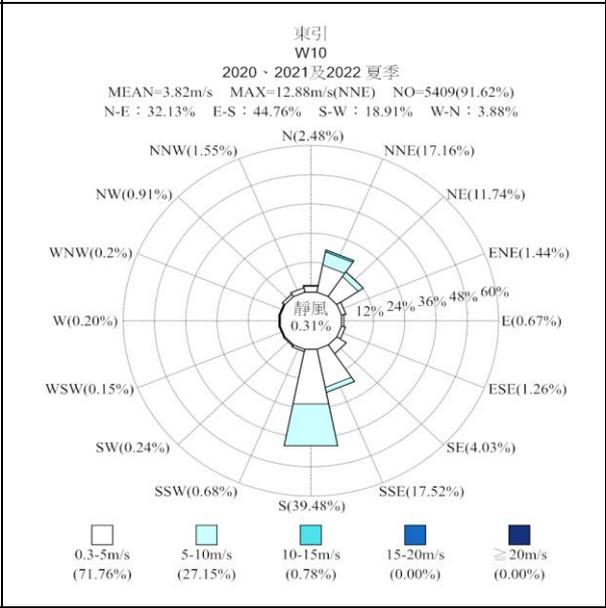
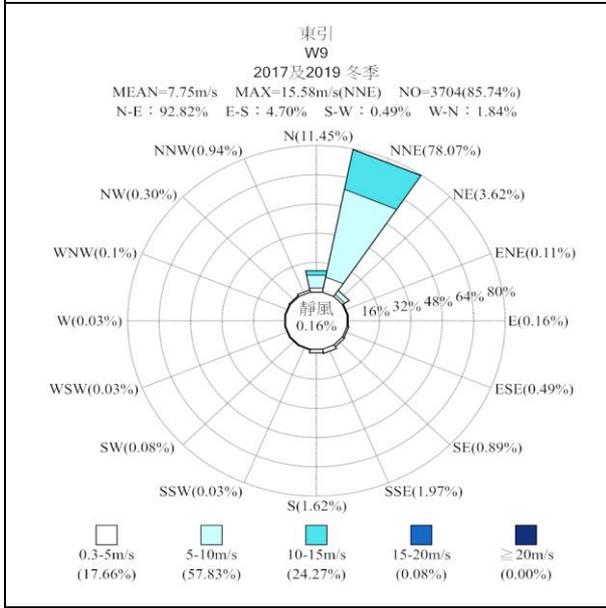
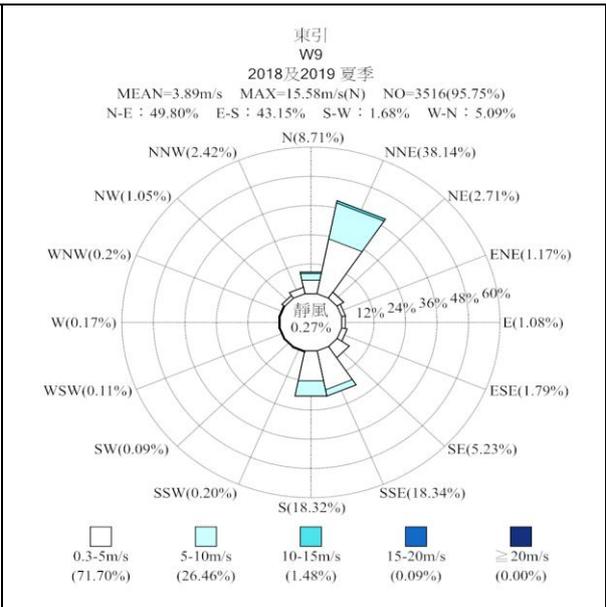
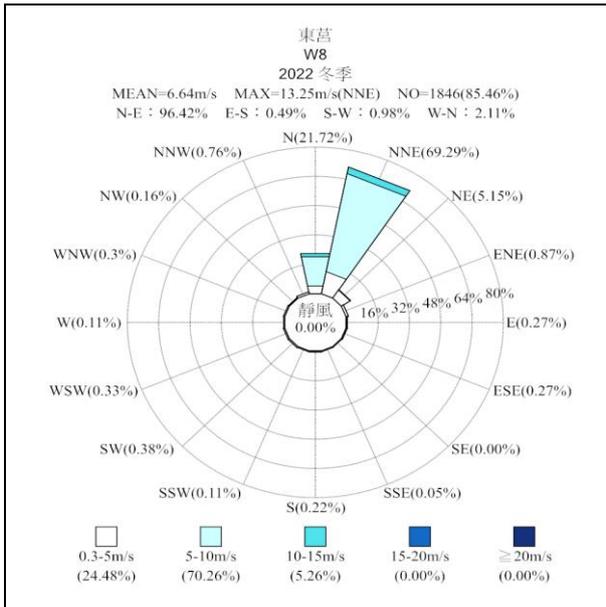
東引 W11-1 測站夏季平均風速為 6.36m/s，最大風速 22.9m/s(ENE)，優勢風向為 SW(22%)、SSW(17.28%)及 NE(13.26%)，優勢風速範圍為 5-10m/s(54.73%)及 0.3-5m/s(34.55%)；冬季平均風速 8.32m/s，最大風速 15.3m/s(NNE)，優勢風向為 NE(34.98%)及 NNE(32.54%)，優勢風速範圍為 5-10m/s(51.84%)及 10-15m/s(33.07%)。

東引 W11-2 測站夏季平均風速 6.32m/s，最大風速 14.9m/s(NNW)，優勢風向為 SW(33.19%)、SSW(19.13%)及 NE(10.66%)，優勢風速範圍為 5-10m/s(59.26%)及 0.3-5m/s(32.26%)；冬季平均風速 9.49m/s，最大風速 18.1m/s(NNE)，優勢風向為 NNE(52.21%)及 NE(30.17%)，優勢風速範圍為 10-15m/s(49.54%)及 5-10m/s(39.01%)。

比較各測站夏季風力特性，平均風速多數介於 0.3-5m/s 區間，惟東引 W11-1 及 W11-2 測站介於 5-10m/s，另針對冬季風力特性，各測站平均風速介於 5-10m/s 區間，惟西莒 W6 測站介於 0.3~5m/s，比其他測站略小，另外東引測站平均風速又比其他站略大，特別是不受地形因素影響的東引 W11-1 及東引 W11-2 測站，風速明顯大於其他測站；各測站最大風速大小與觀測年份是否有颱風，影響甚大，因此各測站最大風速變化較大，趨勢不一；有關夏季優勢風向部分，初始認為各島港口座落之處應該是冬季避湧最佳地點，除強烈東北季風才會受影響，於西南季風期間，來自東北向的風應占比不大，事實不然，各測站夏季來自 ESE 至 WSW 風向大部分僅有一半占比，反而，可能受地形影響 WNW 至 ENE 風向的風卻占了另一半，東引 W11-1 及東引 W11-2 測站不受地形影響，因此西南季風較其他測站明顯；有關冬季優勢風向部分，各測站大部分 N-E 向占比皆為 70%以上，顯示東北季風明顯強於西南季風，惟西莒 W6 測站受地形因素影響，NNW 向占比大於 50%，與其他測站趨勢差異較大。







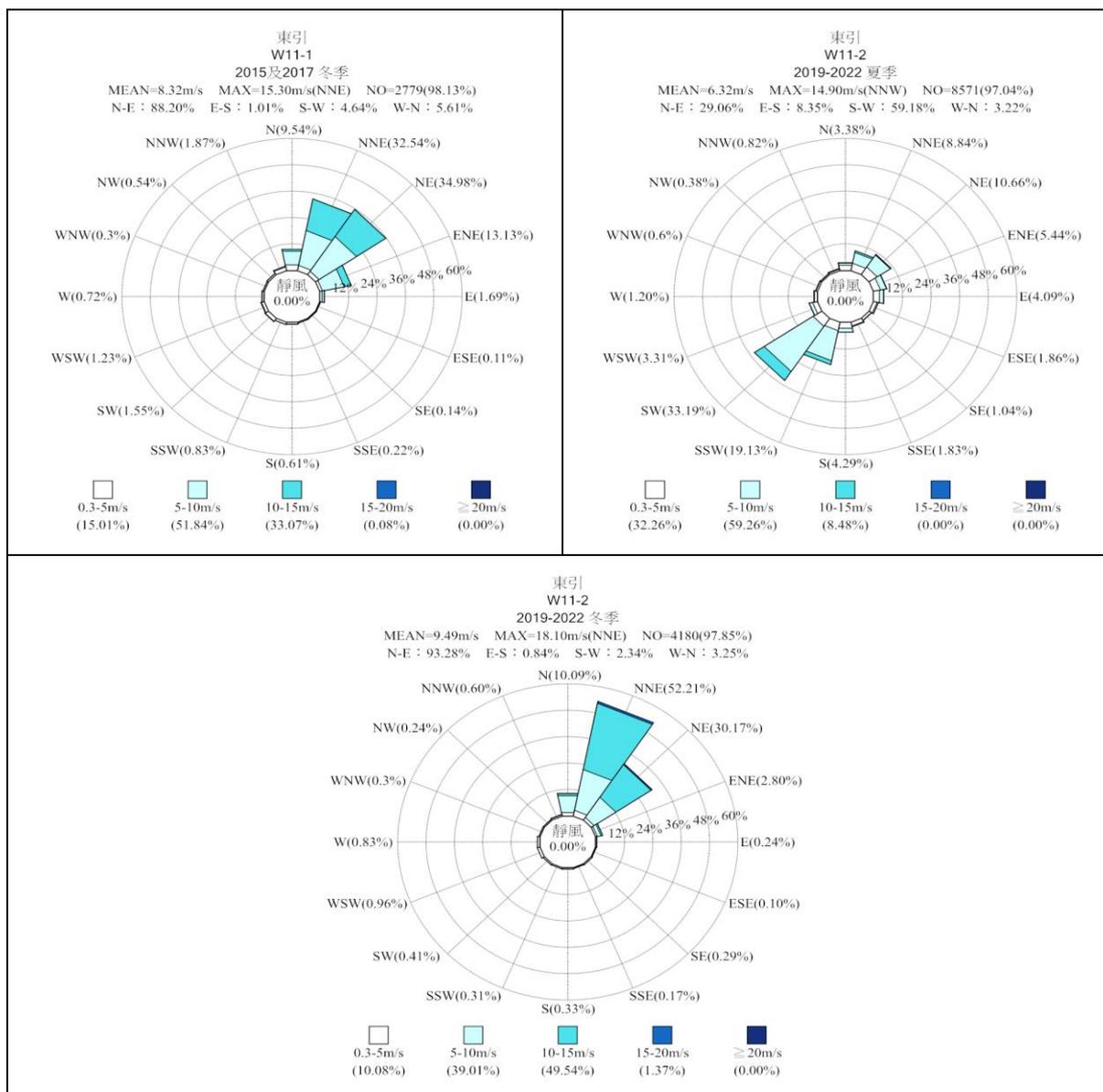


圖 16 北竿、莒光及東引風速夏季及冬季之風速玫瑰圖

3.4 波浪特性分析

3.4.1 波浪資料相關性

馬祖地區波浪測站 AWAC 易受船舶底拖影響，且離島交通不便，維護不易，資料中斷後恢復期較長，經整理各港口測站觀測資料，可知自 2015 至 2022 年普遍蒐集率不佳，惟東引 A9-1 及東引 A9-2 測站蒐集率表現較好，受限其他測站狀況，一樣取用四季中季風表現最為顯著的夏、冬 2 季來做分析比較，如表 16 及表 17；夏季部分使用年份為 2016、2017、2018、2019 及 2022 年，示性波高僅北竿 A5 及東引 A9-1 測站達高度相關，尖峰週期皆無達高度相關；冬季部分使用年份為 2017 年，示性波高僅北竿 A5 及東莒 A6 測站達高度相關，尖峰週期皆無達高度相關。

表 16 夏季北竿、莒光及東引示性波高及尖峰週期之相關性

夏季	測站	示性波高	尖峰週期	示性波高	尖峰週期	示性波高	尖峰週期	示性波高	尖峰週期	示性波高	尖峰週期
		北竿 A5		東引 A7		東引 A8		東引 A9-1		東引 A9-2	
2016	北竿 A5	1.00	1.00					0.80	0.62		
	東引 A9-1	0.80	0.62					1.00	1.00		
2017	北竿 A5	1.00	1.00					0.83	0.53		
	東引 A9-1	0.83	0.53					1.00	1.00		
2018	東引 A7			1.00	1.00					0.56	0.66
	東引 A9-2			0.56	0.66					1.00	1.00
2019	東引 A7			1.00	1.00					0.52	0.41
	東引 A9-2			0.52	0.41					1.00	1.00
2022	東引 A8					1.00	1.00			0.59	0.36
	東引 A9-2					0.59	0.36			1.00	1.00

表 17 冬季北竿、莒光示性波高及尖峰週期之相關性

冬季	測站	示性波高	尖峰週期
		北竿 A5	
2017	北竿 A5	1.00	1.00
	東莒 A6	0.71	0.35

3.4.2 波浪資料特性

本研究使用波浪玫瑰圖的方式呈現北竿 A5、東莒 A6 及東引(A7、A8、A9-1 及 A9-2)各波浪測站觀測資料夏、冬 2 季之特性(示性波高及波向)，如圖 17，分述如下：

北竿 A5 測站夏季平均波高 0.32m，最大波高 1.72m(S)，優勢波向分別為 S(16.23%)、SSW(12.49%)及 SSE(12.23%)，優勢波高範圍為<1m(99.58%)；冬季平均波高 0.49m，最大波高 1.44m(SSE)，優勢波向為 S(32.42%)，優勢波高範圍分別為<1m(99.58%)。

東莒 A6 測站夏季平均波高 0.48m，最大波高 1.79m(NNE)，優勢波向為 SW(25.94%)、N(20.20%)及 NNE(16.51%)，優勢波高範圍為<1m(97.56%)；冬季平均波高 0.76m，最大波高 4.29m(N)，優勢波向為 NNE(56.09%)及 N(30.49%)，優勢波高範圍為<1m(76.18%)。

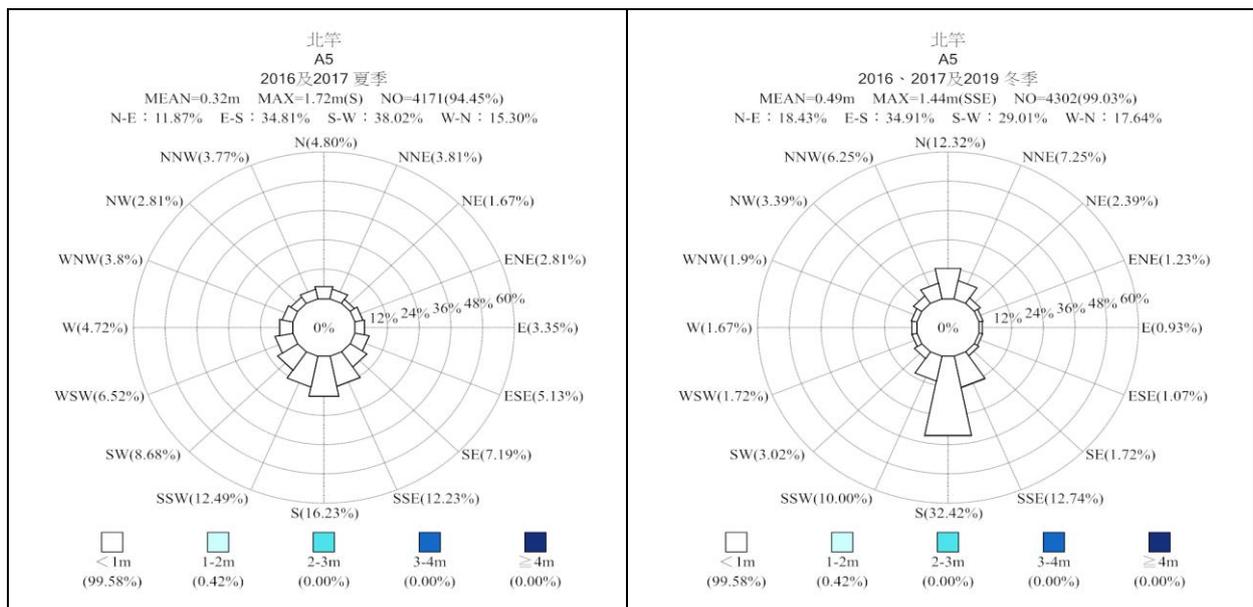
東引 A7 測站夏季平均波高 0.75m，最大波高為 4.41m(SSW)，優勢波向為 SSW(52.86%)，優勢波高範圍區間<1m(75.41%)；冬季平均波高 0.4m，最大波高 0.87m(WSW)，優勢波向為 WSW(33.99%)及 ENE(22.23%)，優勢波高範圍區間<1m(100%)。

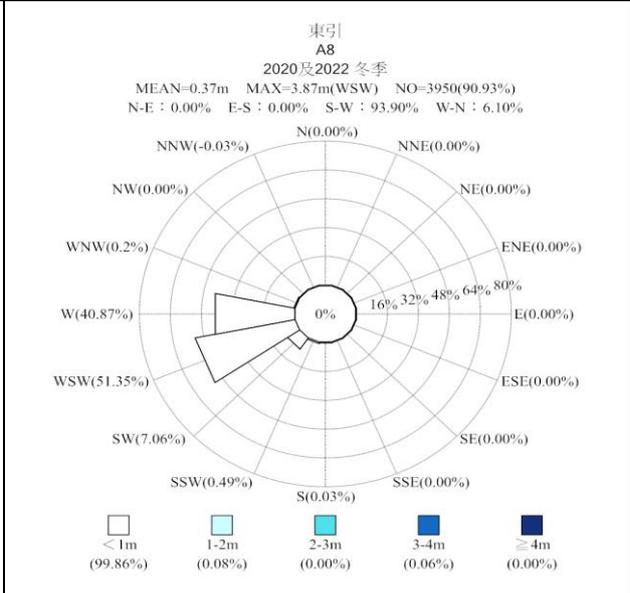
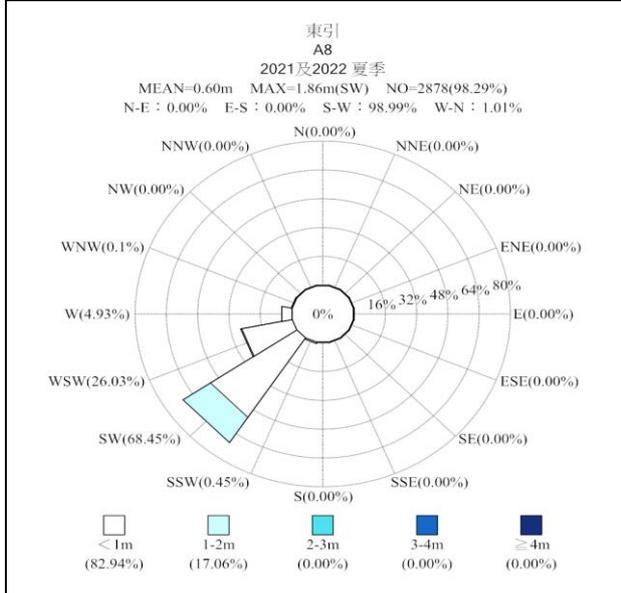
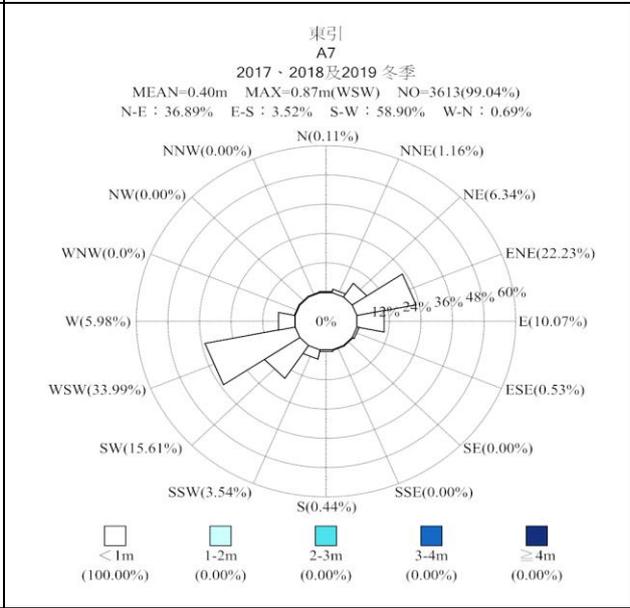
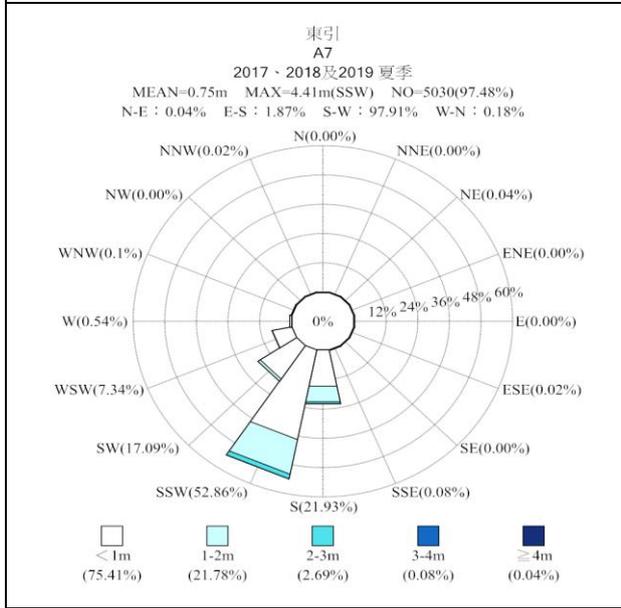
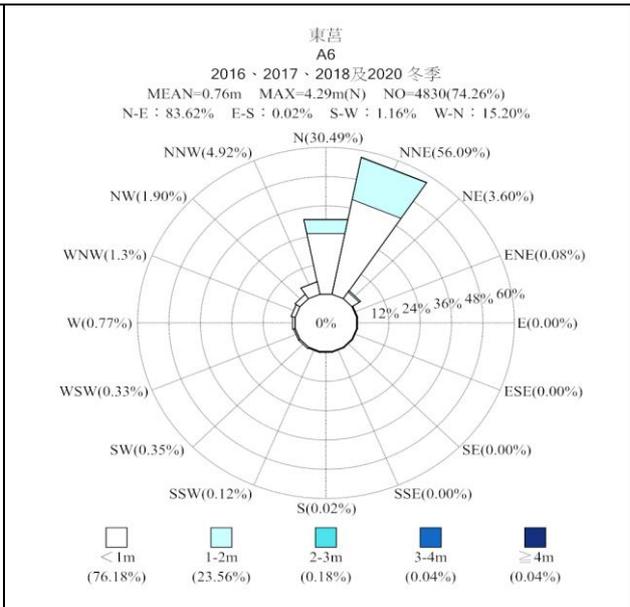
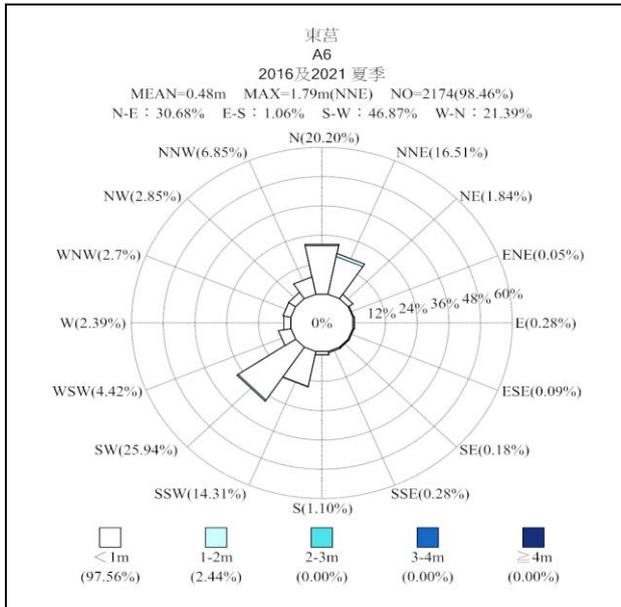
東引 A8 測站夏季平均波高 0.6m，最大波高 1.86m(SW)，優勢波向 SW(68.45%)，優勢波高範圍為<1m(82.94%)；冬季平均波高 0.37m，最大波高為 3.87m(WSW)，優勢波向為 WSW(51.35%)及 W(40.87%)，優勢波高範圍區間為<1m(99.86%)。

東引 A9-1 測站夏季平均波高 1.25m，最大波高為 12.84m(SE)，優勢波向為 SW(19.35%)、SSW(18.7%)，優勢波高範圍區間為<1m(45.8%)及 1-2m(42.19%)；冬季平均波高 1.86m，最大波高為 5.1m(NE)，優勢波向為 ENE(26.46%)及 NE(24.71%)，優勢波高範圍區間為 1-2m(47.55%)及 2-3m(29.11%)。

東引 A9-2 測站夏季平均波高為 1.23m，最大波高為 10.89m(ENE)，優勢波向為 S(23.85%)及 SSW(16.54%)，優勢波高範圍區間為 1-2m(49.55%)及<1m(41.83%)；冬季平均波高為 2.28m，最大波高為 6.62m(NE)，優勢波向為 NE(38.44%)及 ENE(36.53%)，優勢波高範圍區間為 2-3m(32.18%)及 1-2m(30.06%)。

比較各測站夏季波浪特性，平均波高大都介於<1m 區間，惟東引 A9-1 及 A9-2 測站介於 1-2m，另針對冬季風力特性，各測站平均波高大都亦介於<1m 區間，惟東引 A9-1 測站介於 1-2m 區間，東引 A9-2 測站介於 2-3m 區間，整體來說，北竿 A5 為港內測站，夏季吹西南季風時，受堤防結構物影響，平均波高為各測站中最小，冬季吹東北季風時，北竿 A5、東引 A7 及東引 A8 測站之平均波高差異不大，推論應是東引島連接西引島間的中柱橋長堤影響了此處的風浪傳遞，大幅減低東北季風造成的風浪，另外位於東引外海的 A9-1 及 A9-2 測站與其他測站水深差異較大，離岸距離更遠，受地形影響較小，因此，夏冬季波高皆有比較高的數值；各測站最大波高大小與觀測年份是否有颱風及測站是否受地形阻隔，影響甚大；有關優勢波向部分，由於東引 A7 及 A8 測站在東北方向受中柱橋長堤及島嶼地形阻隔，西南季風帶來的風浪較不受其他風向干擾，東北季風時則仍以來自西南向風浪及東北向結構物反射波影響，北竿 A5 測站因港口開口朝西偏南向及受港池結構物反射，優勢波向偏南但佔比不大，波向組成來自各種方向，東莒 A6、東引 A9-1 及東引 A9-2 測站相似處係來自西南及東北之風浪較不會受到地形阻隔，惟東莒 A6 測站距岸較近，偏東的波向會受到阻隔，因此，東引 A9-1 及東引 A9-2 測站較能代表不受干擾時的夏、冬季波向。





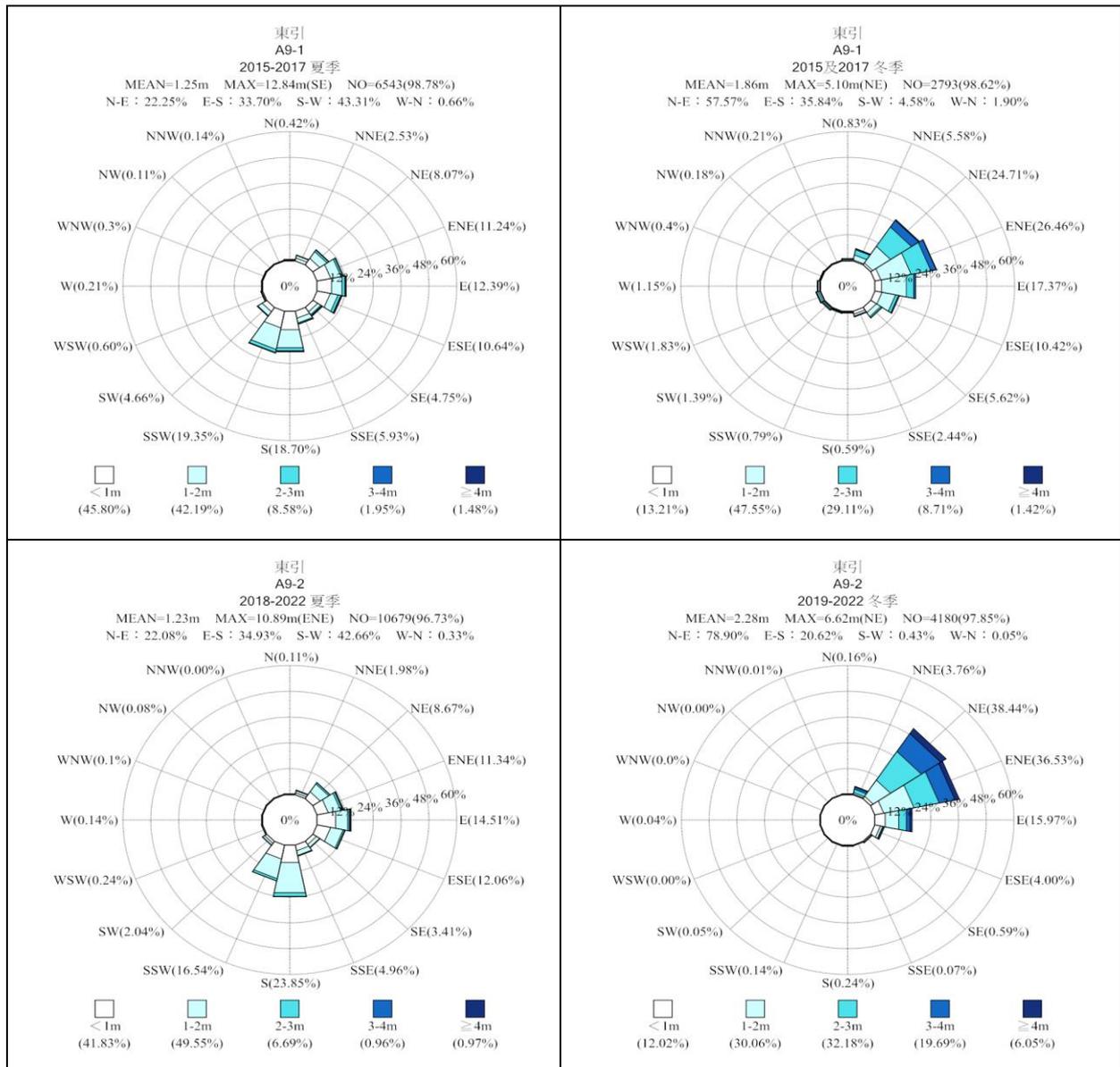


圖 17 北竿、莒光及東引示性波高夏季及冬季之波浪玫瑰圖

3.5 風力資料海陸風差異分析

馬祖北竿、東西莒及東引各風力測站位置有相鄰、有分散各島，後者彼此間有不同的地形阻隔，季風帶來的影響不管是風速上或風向上的變化，亦各自有所差異，為瞭解各站 1 日中各時段受海陸風影響程度，本研究選擇每個測站蒐集率達 70% 以上之年份進行分析，風速資料使用上區分為風速大於等於 7m/s 及風速小於 7m/s，影響程度計算方式係以觀測資料與不同風速區間平均值之差值，再除以後者所得出之比例，接著區分各時段(24HR)，並將分時比例加總平均來比較，如圖 18 及圖 19，由風速大於等於 7m/s 資料來看(可忽略海陸風效應)，各測站風速所增加之比例與各時段並無明顯趨勢，由於風速大於等於 7m/s 這個區間的資料比較少，個別時段若有單一資料數值出現偏離狀況，容易影響該時段整體的平均值，譬如，西莒 W6 測站早上 6 點及下午 14 點有數值偏大狀況，經檢視分別為單一資料數值偏大所致(品管檢核標註為 1)，由

風速小於 7m/s 資料來看，各測站(除西莒 W6、東引 W11-1 及東引 W11-2)皆從上午 7 時至 9 時受海風影響，到了中午 12 時至下午 15 時分別達到最強，晚上 18 時至 20 時轉為陸風影響，與林²結果相似；以下另外針對西莒 W6、東引 W11-1 及東引 W11-2 測站做分析，西莒 W6 測站各時段風力資料趨勢較為複雜，在海陸風效應上並沒有明顯趨勢，研判原因係該測站雖然設置於港區，卻是位於南堤附近(候船室 2 樓)，僅東北方鄰陸，其餘 3 方皆鄰海，鄰陸側又有 1 座丘陵阻隔，整體受海風及地形風影響甚大，東引 W11-1 及東引 W11-2 測站由於係為外海氣象浮標，皆受海風吹襲，明顯無海陸風效應。

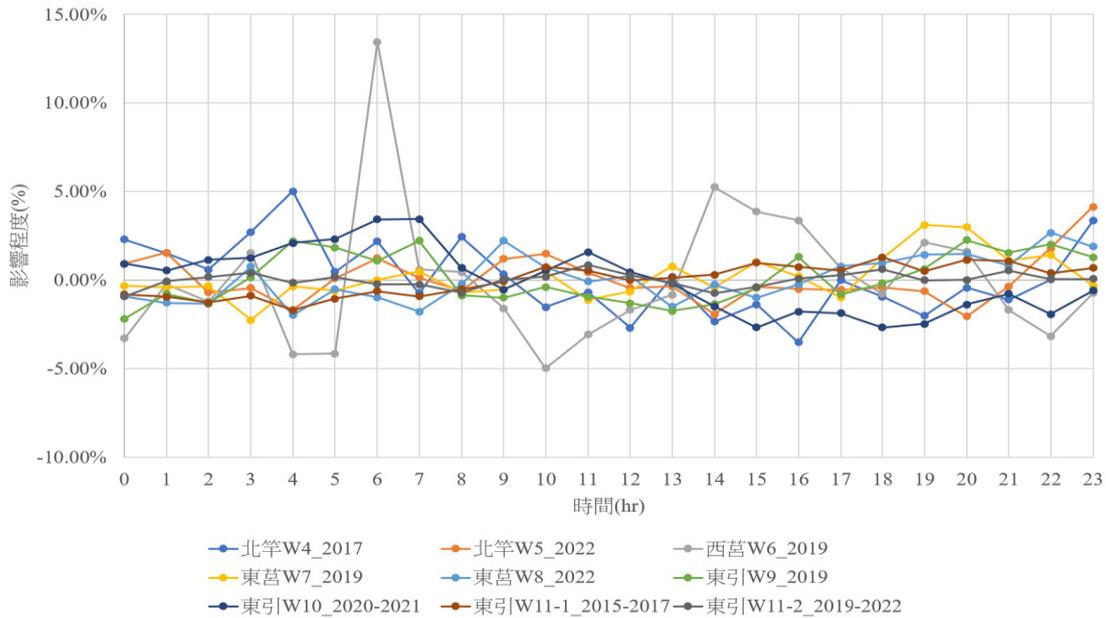


圖 18 北竿、莒光及東引各時段海陸風影響程度(風速大於等於 7m/s)

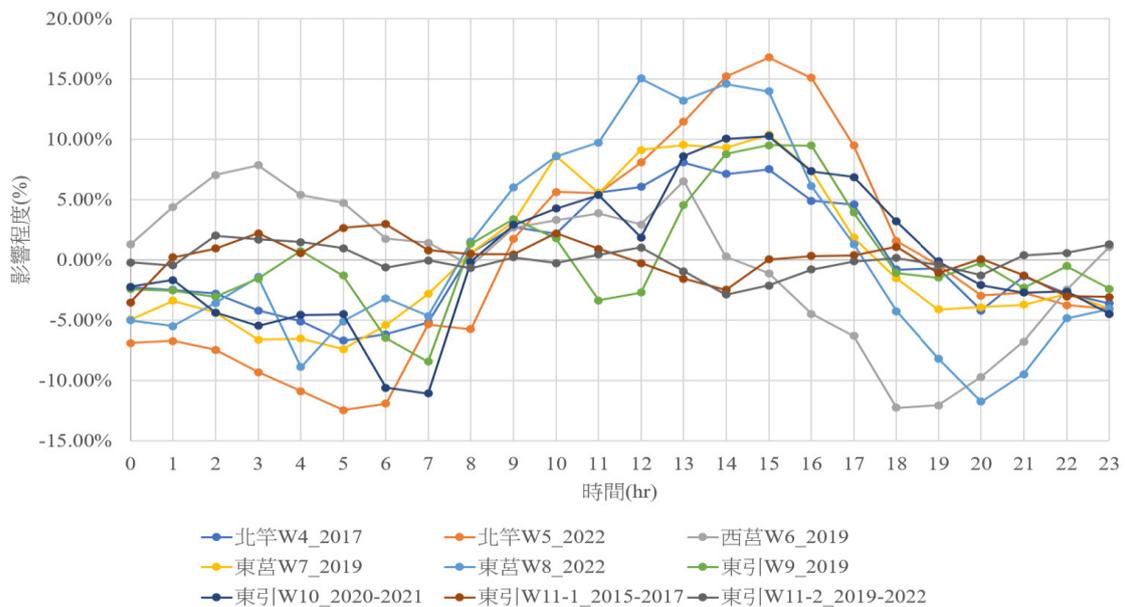
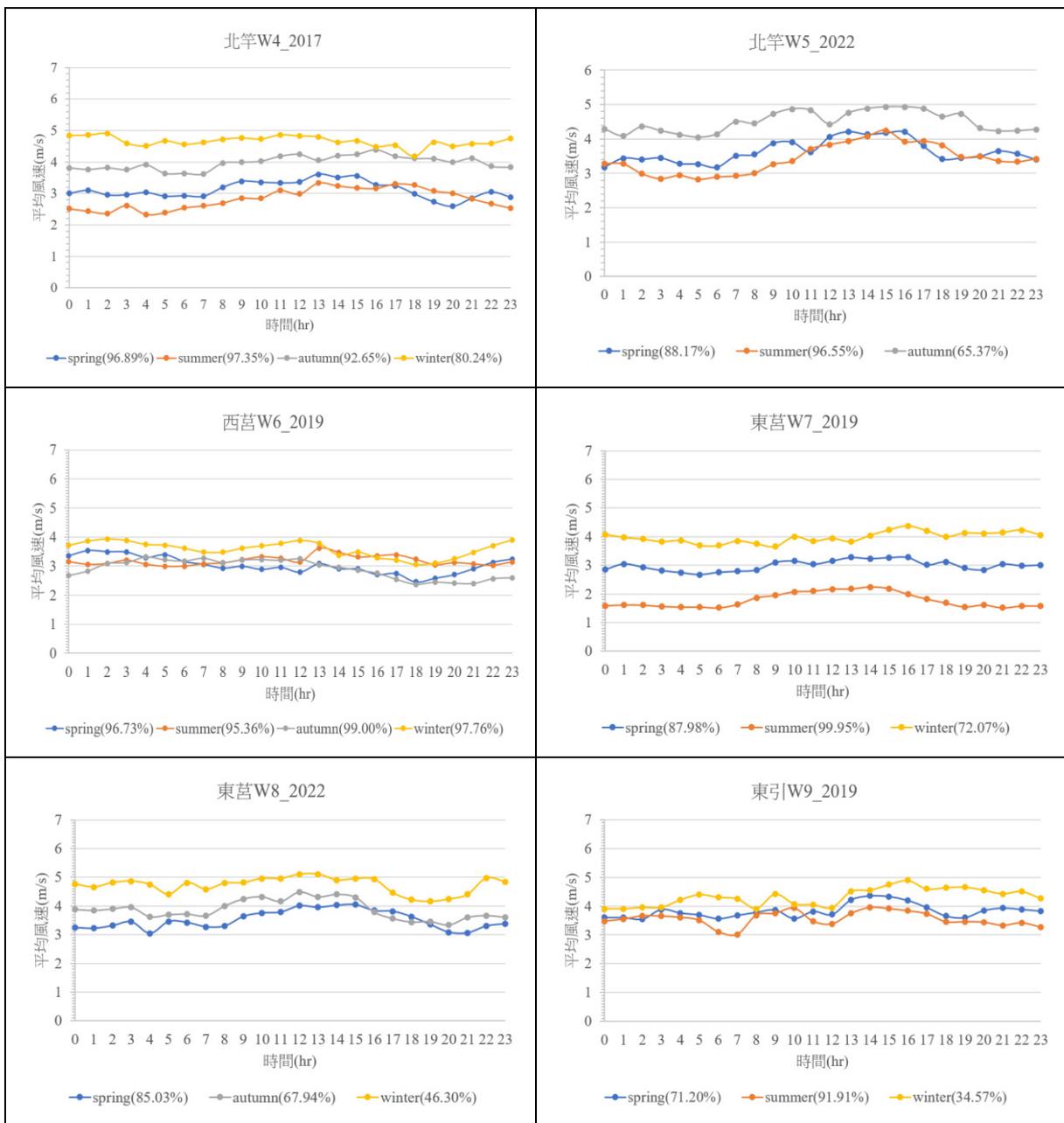


圖 19 北竿、莒光及東引各時段海陸風影響程度(風速小於 7m/s)

3.5.1 各風力測站四季日逐時風速差異分析

本研究另將各測站風速小於 7m/s 觀測資料區分成四季，以便觀察各季節受海陸風效應影響之狀況，百分比表示資料佔各季節觀測資料之比例，如圖 20，北竿 W4 及 W5 測站以春、夏季影響較為明顯，秋季次之，2 站相鄰且趨勢相近，西莒 W6 測站以夏季影響較為明顯，其餘無趨勢，東莒 W7 測站以夏季影響較為明顯，春季次之，東莒 W8 測站則以春、秋季影響較為明顯(無夏季資料)，其餘無趨勢，東引 W9 測站以春、夏及冬季影響較為明顯，東引 W10 測站則四季皆有明顯影響，2 站相鄰且趨勢相近，東引 W11-1 及 W11-2 測站無法從四季看出明顯趨勢，從陸上測站四季資料分析可印證夏季為受海陸風效應影響最大之季節，與前人之研究相符，顯示分析結果具有代表性。



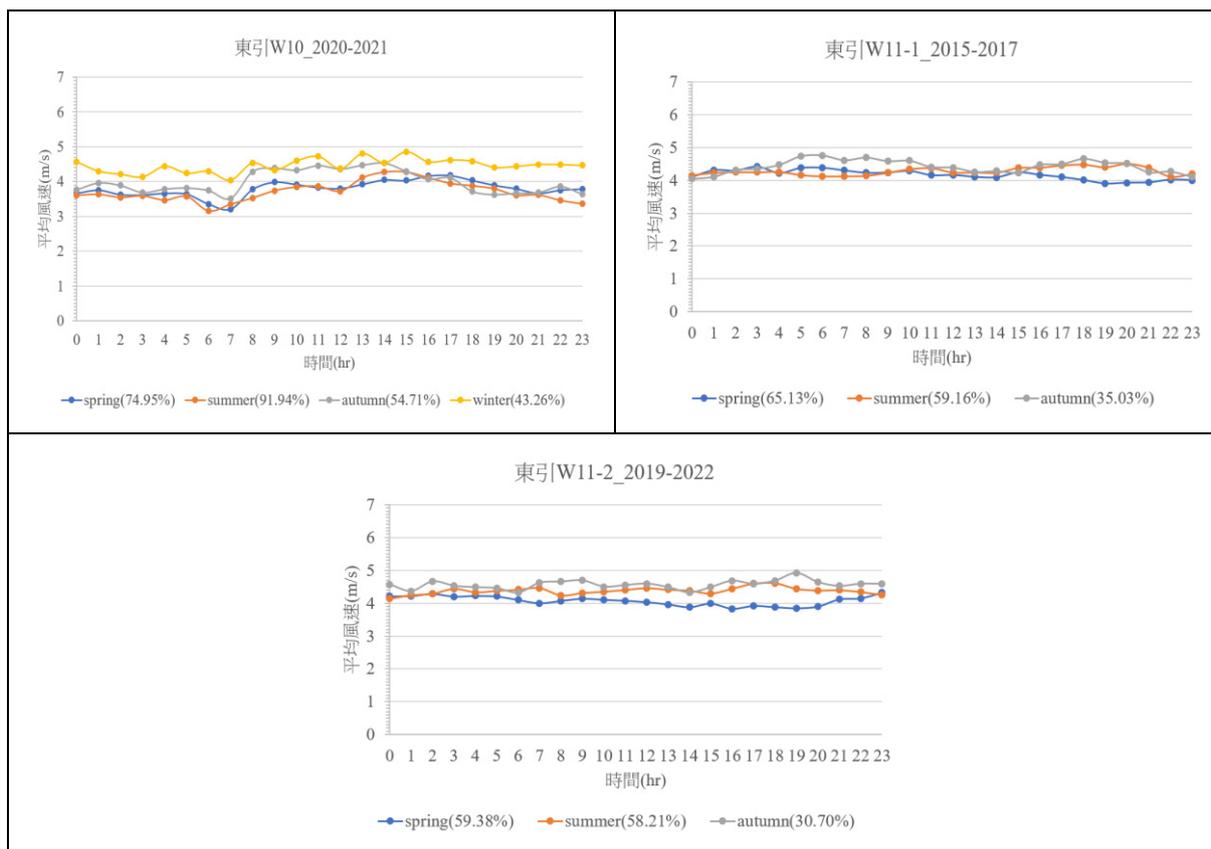


圖 20 北竿、莒光及東引各風力測站四季日逐時風速變化圖

四、結論

本研究在資料品管過程，將颱風期間的資料列保留為具有研究價值的資料，並且使用了多項品管手段（Test1、Test4、Test5、Test6、Test7、Test8），颱風期間被檢出資料異常筆數為 0，表示其他時間被檢出異常，確有必要刪除以提升資料品質，分析各觀測站歷年未通過品管的資料，發現同一觀測站於不同年度被檢出 1 至 3 筆的情況仍屬正常，而對於異常集中的情況，需要透過人工檢核進行判定，相關品管條件設定可供後續研究參酌。

在相關性部分，馬祖地區風力與波浪測站在 2015 至 2022 年間普遍資料蒐集率不佳，限制分析範疇。夏、冬兩季風力相關性分析顯示，夏季風速僅東引 W9 和 W10 與東引 W11-2 測站有高度相關，而 U 分量方面，僅東莒 W7 與東引 W11-2 測站達高度相關；V 分量方面，各測站間皆達高度相關；示性波高僅北竿 A5 及東引 A9-1 測站達高度相關，尖峰週期皆無達高度相關。冬季風速各測站間多數達高度相關；惟西莒 W6 測站皆中度相關，U 分量方面，各測站間皆無高度相關；V 分量方面，多數測站間達高度相關，惟西莒 W6 測站仍呈低度至中度相關；示性波高僅北竿 A5 及東莒 A6 測站達高度相關，尖峰週期皆無達高度相關。

透過玫瑰圖綜合比較各測站風力及波浪特性，各站夏季平均風速大多在 0.3-5m/s，惟東引 W11-1 及 W11-2 測站達 5-10m/s，平均波高大多數集中在<1m，惟東引 A9-1 及 A9-2 測站達 1-2m；冬季風力平均風速在 5-10m/s，西莒 W6 測站略小，而東引測站較大，平均波高多數在<1m

區間，惟東引 A9-1 測站達 1-2m，東引 A9-2 測站達 2-3m。最大風速及波高受觀測年份是否有颱風以及測站是否受地形阻隔影響甚鉅，各站變化甚大。夏、冬季優勢風向、風速、波向及波高差異明顯，且易受地形因素影響，尤其在東引 W11-1、W11-2、A9-1 及 A9-2 測站在資料呈現上更為明顯，不受地形阻隔干擾，較能代表馬祖地區受季風帶來的海氣象變化；總體而言，不同測站在風力及波浪特性上呈現多樣性，甚至 W11-1 及 W11-2 與 A9-1 及 A9-2 在東引外海相距不遠且不同年份的 2 測站，在風力及波浪特性上亦略有不同。

在海陸風差異分析上，風速大於等於 7m/s 區間，各測站風速增加比例無明顯趨勢。風速小於 7m/s 區間，除西莒 W6、東引 W11-1 及 W11-2 測站外，各站在上午 7 時至 9 時受海風影響，中午 12 時至下午 15 時達最強，晚上 18 時至 20 時轉為陸風。對於西莒 W6 測站，由於其特殊位置受海風及地形影響甚大；東引 W11-1 及 W11-2 測站為外海氣象浮標，明顯不受海陸風效應影響；另外以四季來進行分析，結果顯示，北竿 W4 及 W5 測站受春、夏季影響最為顯著，秋季次之；西莒 W6 測站夏季影響較大；東莒 W7 測站以夏、春季影響最為明顯，而東莒 W8 測站以春、秋季較明顯；東引 W9 測站受春、夏及冬季影響，而東引 W10 測站則四季皆有影響；東引 W11-1 及 W11-2 測站難以從四季資料中看出明顯趨勢。陸上測站的四季資料分析顯示，夏季受海陸風效應影響最大，結果與前人研究相符，具有代表性。

本研究成果可為相關領域的研究提供重要參考，特別是考慮到風能資源評估與利用、工程建設與設計、海氣象模擬精進及環境監測與保護等方面的應用。

參考文獻

1. 美國海洋綜合觀測系統(IOOS)，海洋即時資料品保手冊 (QARTODManual)： <https://www.oceanbestpractices.net/handle/11329/336>，2014 年。
2. 林有騰，馬祖南竿福澳港風力特性分析，2023 年，港灣季刊 124 期。
3. 王義發，海陸風效應對花蓮基地天氣之影響，2000 年，天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象署。
4. 吳基，臺灣地區國內商港附近海域海氣象觀測分析研究(2/4)，2007 年，交通部運輸研究所。
5. 朱學良，新竹海陸風之研究，1968 年，氣象學報第 14 卷第 2 期。
6. 吳俊達，由氣象浮標資料探討台灣附近海域的風場特性與風應力，2006 年，國立中山大學碩士論文。
7. 陳冠宇，應用智慧監測進行海象數值同化研究(1/4)-臺中港監測資料智慧檢核及補遺，2022 年，交通部運輸研究所。
8. Simpson, J. E. (1994), "Sea Breeze and Local Winds.", Cambridge University, UK.
9. Erwin R. Biel (1944), "Climatology of the Mediterranean Area.", University of Chicago Press.
10. Panofsky, H. and Dutton, J. (1984) Atmospheric Turbulence. John Wiley & Sons, New York.