

2022 年高雄港風力觀測資料品管與特性分析

曹勝傑¹ 許義宏² 李俊穎³ 蔡立宏⁴

¹ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

² 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

³ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長

⁴ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任

摘要

本文以 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) 原則，採合理性、連續性、相關性進行：以儀器之觀測性能做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，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，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。本文並依此方法補遺後資料探討各測站之風速風向特性差異，做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。

一、前言

強風係船舶航行、停靠與碼頭作業之重大風險因子，故港灣風力觀測對於國內海運之管理至關重要。爰此，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)長期於國內各主要商港進行海氣象觀測，提供即時風力資訊，並進行各商港之風力觀測年報及特性分析，旨為提供國內各商港管理單位做為預警及防災之參考應用。

風力觀測設備均設置於港灣環境，除須注意耐鹽、耐候之基本性能，更須考量電力供應及訊號傳輸之穩定，及避免外力破壞或動物之干擾，故品質良好且連續不中斷之風力資料極為珍貴。除儀器之功能強化及定期巡檢維護外，資料於後端之品管與補遺亦須持續精進，以提供更為完整及精確之資料品質，做為港灣風力分析研究之依據。

本文蒐集 2021 年 9 月至 2022 年 8 月高雄港各風力測站之資料進行資料品管及補遺，並將原始資料與品管及補遺後資料進行前後差異比較，並以補遺後資料進行各測站之特性分析。資料品管及補遺之方法參考美國國家資料浮標中心(National Data Buoy Center, NDBC) 之品管規範，以合理性、連續性以及關聯性三個原則進行。

二、高雄港各風力觀測站基本資料

2.1 各風力測站設置位置

港研中心於高雄港建置之風力觀測站，涵蓋第一港口及第二港口，並涵蓋堤頭以及陸上區域，計有以下 5 站，各站測站代碼、位置分布，如圖 1 所示，各站座標及儀器高程，如表 1 所示：

表 1 高雄港各測站設置位置

測站編號	儀器位置	X 座標	Y 座標	高程
KHWD01	10 號碼頭	120.2882° E	22.6144° N	9.63
KHWD04	第二港口北堤綠燈塔上方	120.3008° E	22.5511° N	16.73
KHWD05	第六貨櫃中心港警大樓頂樓	120.3266° E	22.5351° N	25.07
KHWD06	第 76、77 號碼頭交界，現代公司結構物頂樓	120.3269° E	22.5565° N	24.45
KHWD07	63、64 號碼頭，萬海公司結構物頂樓	120.3055° E	22.5779° N	16.23

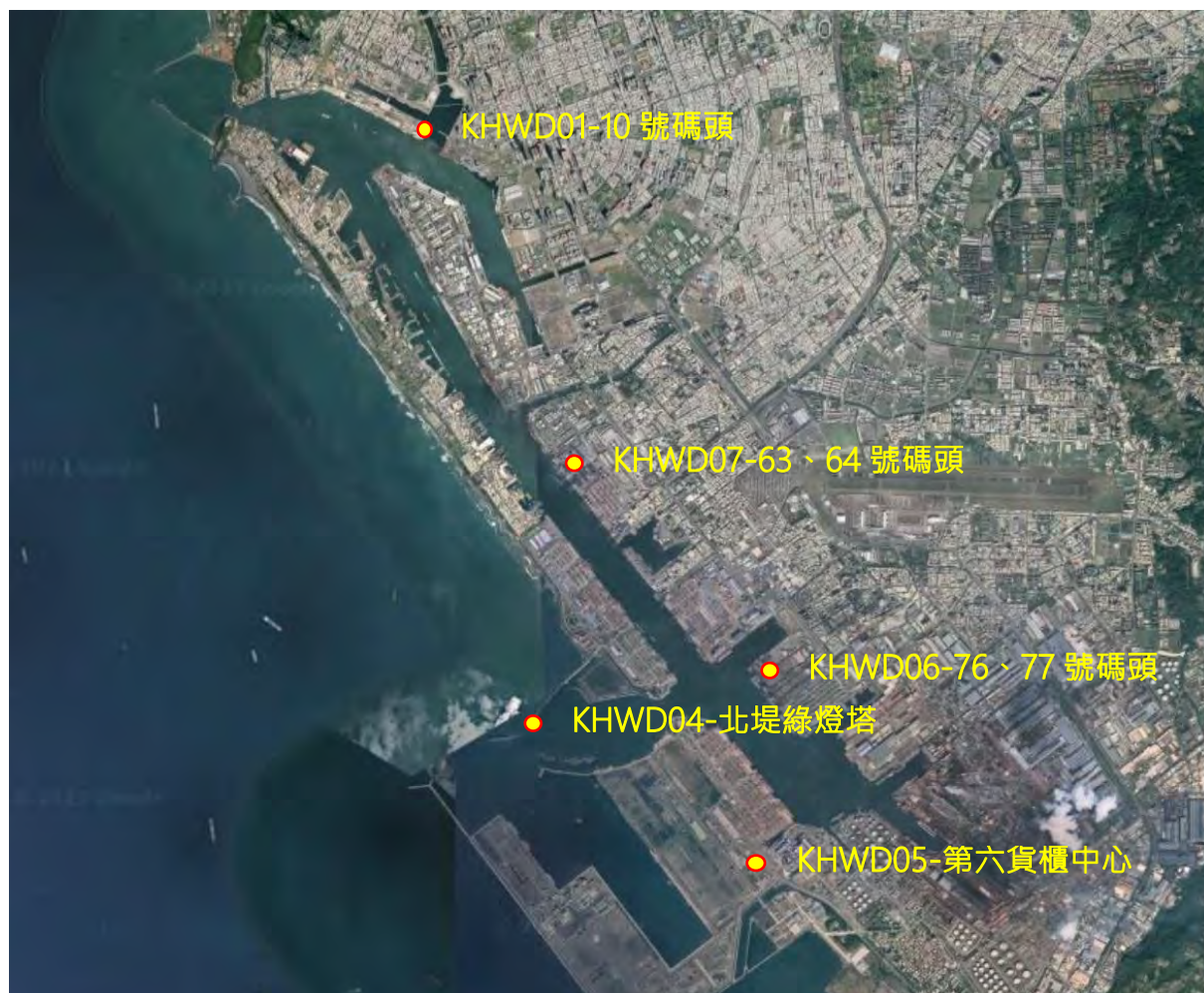


圖 1 高雄港各風力觀測站位置分布圖

2.2 風力觀測儀器簡介

港研中心於高雄港所建置之風力觀測站，皆使用二維超音波式風速計，其中 KHWD01 使用 Sonic SA-20 型，最大量測風速為 90m/s，KHWD04、KHWD05、KHWD06、KHWD07 則使用 Gill WindSonic 型，最大量測風速為 60m/s。現場係透過太陽能板或市電與電池構成電力供應，量測資料由儀器傳輸至數據機，再由數據機以 4G 訊號回傳港研中心資料庫，風力測站儀器系統架構，如圖 2 所示。各站量測頻率為每秒鐘 1 筆，並以每 10 分鐘一筆平均風速與平均風向、10 分鐘內最大風速與該時間風向之資料格式，存入資料庫中。



圖 2 風力測站儀器系統架構圖

2.3 各測站資料蒐集情形

本文蒐集高雄港各測站自 2021 年 9 月 1 日至 2022 年 8 月 31 日量測所有資料。若每 10 分鐘存入一筆資料，且資料傳輸完整未中斷，上述時間應有 52,560 筆資料寫入資料庫。惟資料蒐集率各站情況有所差異，如下列表 2 所示：

表 2 高雄港各測站資料蒐集情形

Station ID	位置	應蒐集筆數	實蒐集筆數	資料蒐集率
KHWD01	10 號碼頭	52,560	52,224	99.36%
KHWD04	第二港口北堤綠燈塔	52,560	16,651	31.68%
KHWD05	第六貨櫃中心港警大樓	52,560	40,300	76.67%
KHWD06	76、77 號碼頭交界	52,560	43,681	83.11%
KHWD07	63、64 號碼頭	52,560	47,988	91.30%

上述區間之資料蒐集率，以 KHWD01 最為完整，達 99.36%，次為 KHWD07，達 91.3%。而 KHWD04 資料蒐集率僅 31.68%，係因 2021 年 11 月至 2022 年 6 月數據機故障所致。

三、風力資料品質管與補遺之方法

本文參考美國國家資料浮標中心制定之品質管手冊(NDBC Technical Document 09-02)，採合理性、連續性、相關性之原則，進行資料之品質管與補遺作業。另外風向之原始資料係以來向 $0^\circ \sim 360^\circ$ 表示，本文先分解為南北分量及東西分量後，再進行處理。

3.1 合理性品質管

一般而言，依據使用儀器之性能，可確定儀器測量值之上下限，可視為品質管之硬限制，超出儀器性能之數據，視為不合理數據，應剔除之；而依據儀器所在區域之歷史測量資料，可取得日夜、季節變化之合理上下限，則做為品質管之軟限制，超出該上下限之數據，視為可疑數據，加入標記後再配合連續性、相關性等品質管後進行確認。本文使用儀器除 KHWD01 外，其餘測站風速測量上限皆為 60m/s。故原始數據皆先以 60m/s 為門檻檢視，如超出則以 NaN 代之。

3.2 連續性品質管與內插補遺

風速風向之時間變化，皆假設為連續性之變化，亦即某個時間點之物理量變化須符合其時間區段之物理量變化之合理範圍，亦即變化量應小於某一容許量，始符合該區域之物理特性。

本文先計算原始資料與移動平均 2 小時差值之標準差，當差值大於三倍標準差則視為離群異常值(即假設差值為常態分佈兩側機率各佔 0.15%者)，該原始資料先標記，並以移動平均值取代之。

另因各測站電力供應不穩定或數據機異常等因素，資料常有缺漏情形，本文針對缺漏 1 小時以內之中斷資料，以分段三次 hermite 內插進行資料補遺。分段三次 hermite 內插為利用資料中斷處之前後斷點值及一階導數，建立符合值與一階導數之三次多項式函數。 $f(x)$ 為函數值， f_0 、 f_1 為斷點值，斷點處之一階導數為 f'_0 、 f'_1 ， x 為自變數，可建立三次多項式如下：

$$f(x) = f_0 \left(1 + 2 \frac{x-x_0}{x_1-x_0} \right) \left(\frac{x-x_1}{x_0-x_1} \right)^2 + f_1 \left(1 + 2 \frac{x-x_1}{x_0-x_1} \right) \left(\frac{x-x_0}{x_1-x_0} \right)^2 + f'_0(x-x_0) \left(\frac{x-x_1}{x_0-x_1} \right)^2 + f'_1(x-x_1) \left(\frac{x-x_0}{x_1-x_0} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

本文假設風速或風向為時間之函數，以 x_0 、 x_1 為斷點之時間， f_0 、 f_1 為斷點處風速或風向值， f'_0 、 f'_1 則為斷點處風速或風向對時間的一階導數，依此推測資料中斷時間之風速或風向值 $f(x)$ 。惟須注意部分內插後資料出現風速小於 0，或是風向分量值大於 1 或小於 -1 之情形，係因多項式於接近斷點處發生龍格現象(Runge's phenomenon)，本文於該現象發生時，風速以 0 取代，風向分量值則以 1 或 -1 取代。內插後之風速資料，如圖 3 所示。

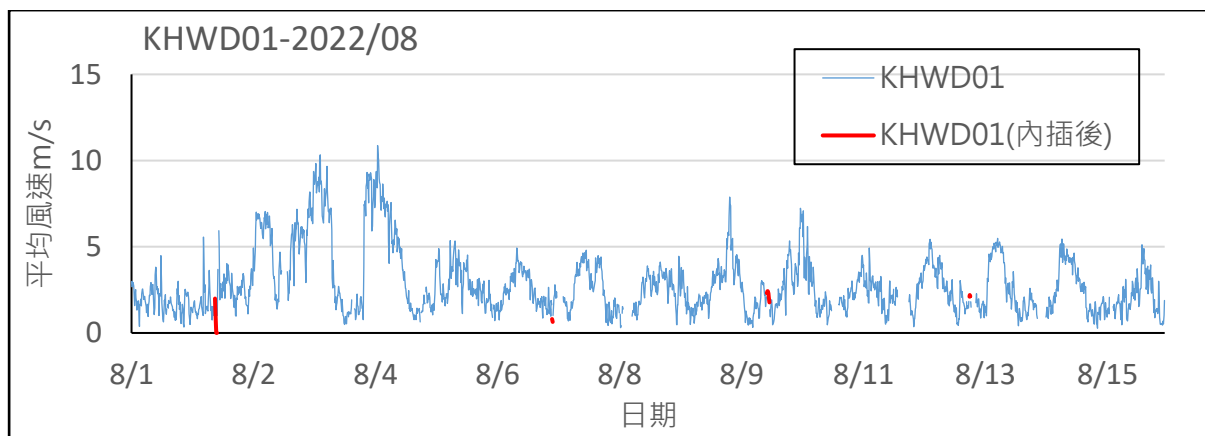


圖 3 經由分段三次 hermite 內插後之平均風速時序列資料

3.3 相關性分析與迴歸補遺

高雄港各風力測站之位置與地形條件不盡相同，可透過相關係數之檢查探討各站於風速、風向之相關性。又因各站尚有資料缺損而需補遺之時段，爰本文補遺之方法，除上一節將一小時內缺漏資料使用內插法補遺外，缺漏時間超過一小時者，係利用檢視各站相關性後，決定參考測站之選用順序，並分別建立迴歸關係式，再進行資料補遺。各測站風速、風向之相關性分析示意，如圖 4、圖 5。各測站之風速、風向相關係數，如表 3、表 4 所示。

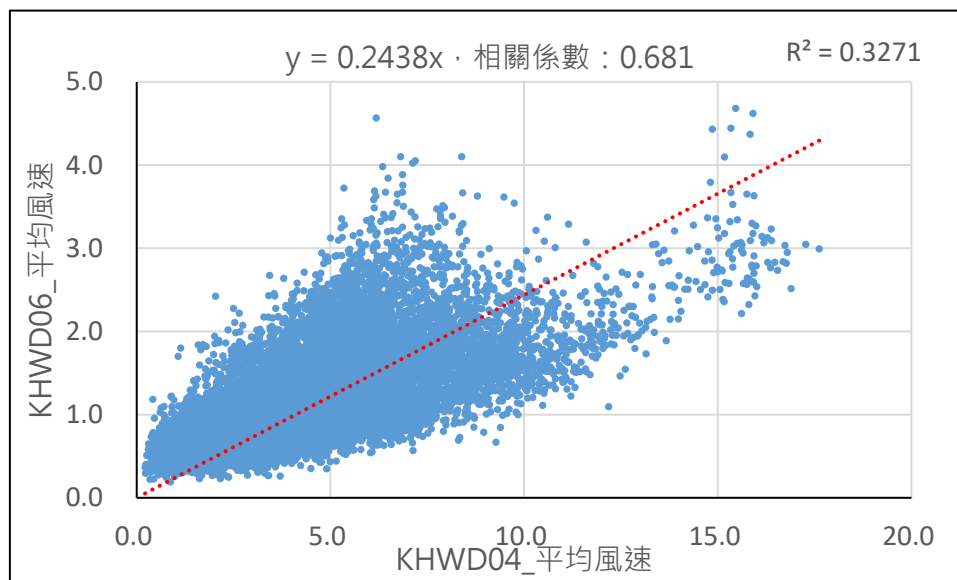


圖 4 KHWD04 與 KHWD06 平均風速散布圖

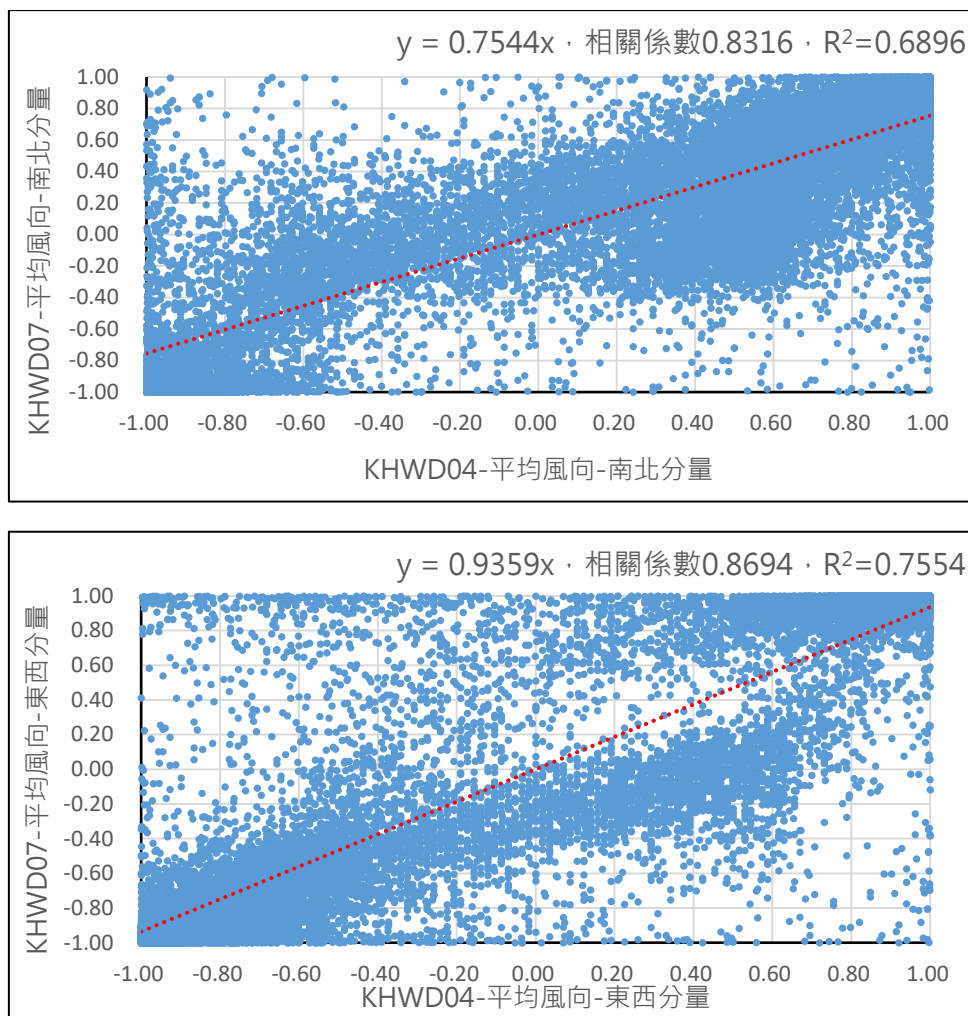


圖 5 KHWD04 與 KHWD07 平均風向散布圖

表 3 高雄港各測站平均風速、平均風向之相關係數

平均風速	KHWD01	KHWD04	KHWD05	KHWD06	KHWD07
KHWD01	--	0.577	0.327	0.259	0.211
KHWD04	0.577	--	0.561	0.681	0.513
KHWD05	0.327	0.561	--	0.472	0.495
KHWD06	0.259	0.681	0.472	--	0.600
KHWD07	0.211	0.513	0.495	0.600	--
平均風向-南北分量	KHWD01	KHWD04	KHWD05	KHWD06	KHWD07
KHWD01	--	0.6116	0.5991	0.1804	0.5993
KHWD04	0.6116	--	0.8677	0.0738	0.8316
KHWD05	0.5991	0.8677	--	0.2003	0.7948
KHWD06	0.1804	0.0738	0.2003	--	0.2946
KHWD07	0.5993	0.8316	0.7948	0.2946	--

平均風向-東西分量	KHWD01	KHWD04	KHWD05	KHWD06	KHWD07
KHWD01	--	0.5505	0.3581	0.3682	0.4250
KHWD04	0.5505	--	0.7674	0.7267	0.8694
KHWD05	0.3581	0.7674	--	0.5904	0.6951
KHWD06	0.3682	0.7267	0.5904	--	0.7757
KHWD07	0.4250	0.8694	0.6951	0.7757	--

表 4 高雄港各測站最大風速、最大風速時風向之相關係數

最大風速	KHWD01	KHWD04	KHWD05	KHWD06	KHWD07
KHWD01	--	0.596	0.401	0.373	0.351
KHWD04	0.596	--	0.824	0.802	0.756
KHWD05	0.401	0.824	--	0.771	0.758
KHWD06	0.373	0.802	0.771	--	0.755
KHWD07	0.351	0.756	0.758	0.755	--
最大風速時 風向-南北分量	KHWD01	KHWD04	KHWD05	KHWD06	KHWD07
KHWD01	--	0.5802	0.5828	0.4088	0.5429
KHWD04	0.5802	--	0.8659	0.5314	0.75
KHWD05	0.5828	0.8659	--	0.5769	0.7336
KHWD06	0.4088	0.5314	0.5769	--	0.5052
KHWD07	0.5429	0.75	0.7336	0.5052	--
最大風速時 風向-東西分量	KHWD01	KHWD04	KHWD05	KHWD06	KHWD07
KHWD01	--	0.5293	0.3668	0.3434	0.3803
KHWD04	0.5293	--	0.7929	0.7569	0.8234
KHWD05	0.3668	0.7929	--	0.6871	0.7013
KHWD06	0.3434	0.7569	0.6871	--	0.7277
KHWD07	0.3803	0.8234	0.7013	0.7277	--

依上述各測站之間相關係數，再依各測站間之相關性高低順序，決定參考測站之選用順序。順序決定後再分別依其迴歸斜率，建立線性迴歸式進行補遺。圖 6 以 KHWD05 於 2022 年 1 月 20 日至 2022 年 1 月 30 日之平均風速為例，其補遺資料選用順序為 KHWD07=> KHWD06=> KHWD01，KHWD04 則因該時段無資料而未被選用。

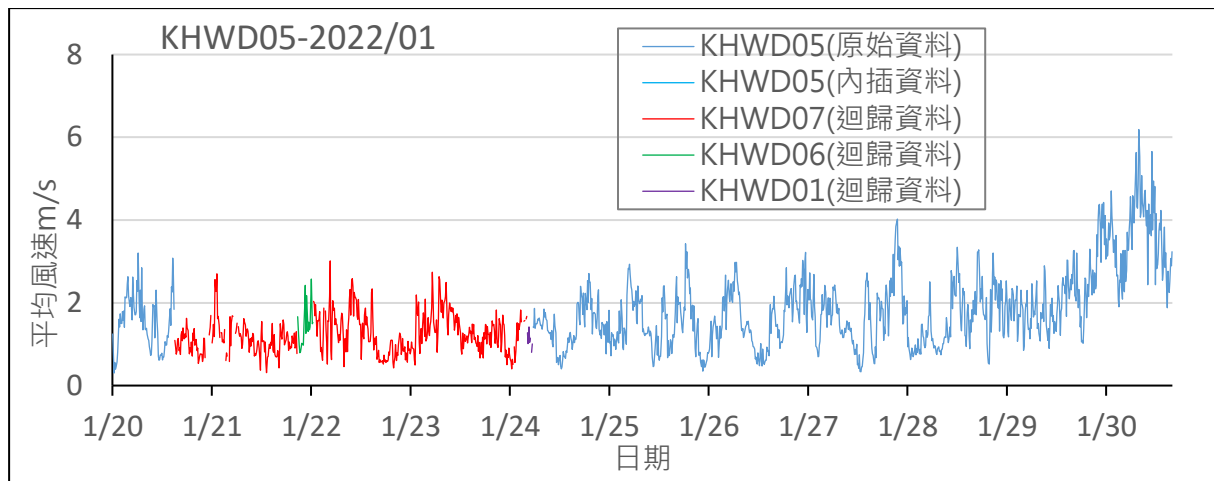


圖 6 經由相關性分析迴歸補遺後之 KHWD05 平均風速時序列資料

四、資料品管與補遺前後比較

本章探討資料品管與補遺前後比對分析結果。表 5 為各測站資料品管及補遺前後資料筆數統計，各測站補遺後資料完整度均能達 100%，顯示各站之原始資料並無同時間都發生遺漏之情形，資料品管後亦無產生各站資料有同時缺損之情形。

表 5 高雄港各測站資料品管及補遺前後資料筆數統計

Station ID	應蒐集筆數	原始資料蒐集筆數	原始資料蒐集率	品管及補遺後資料筆數	品管及補遺後資料完整度
KHWD01	52,560	52,224	99.36%	52,560	100%
KHWD04	52,560	16,651	31.68%	52,560	100%
KHWD05	52,560	40,300	76.67%	52,560	100%
KHWD06	52,560	43,681	83.11%	52,560	100%
KHWD07	52,560	47,988	91.30%	52,560	100%

比較各測站資料品管及補遺後之結果，KHWD01、KHWD05、KHWD06、KHWD07 之平均風速與最大風速於品管及補遺後均略小於原始值，風向趨勢也大致一致，故本文之資料品管與補遺方法具有可進一步統計分析之可行性。惟 KHWD04 自秋季至夏季因原始資料遺漏甚多，多為其餘測站之補遺資料，無法前後比較。圖 7 為 KHWD01 平均風速經品管及補遺前後之時序列比較。表 6 為各站平均風速風向之品管與補遺前後比較結果，表 7 為各測站最大風速風向之品管與補遺前後比較結果。

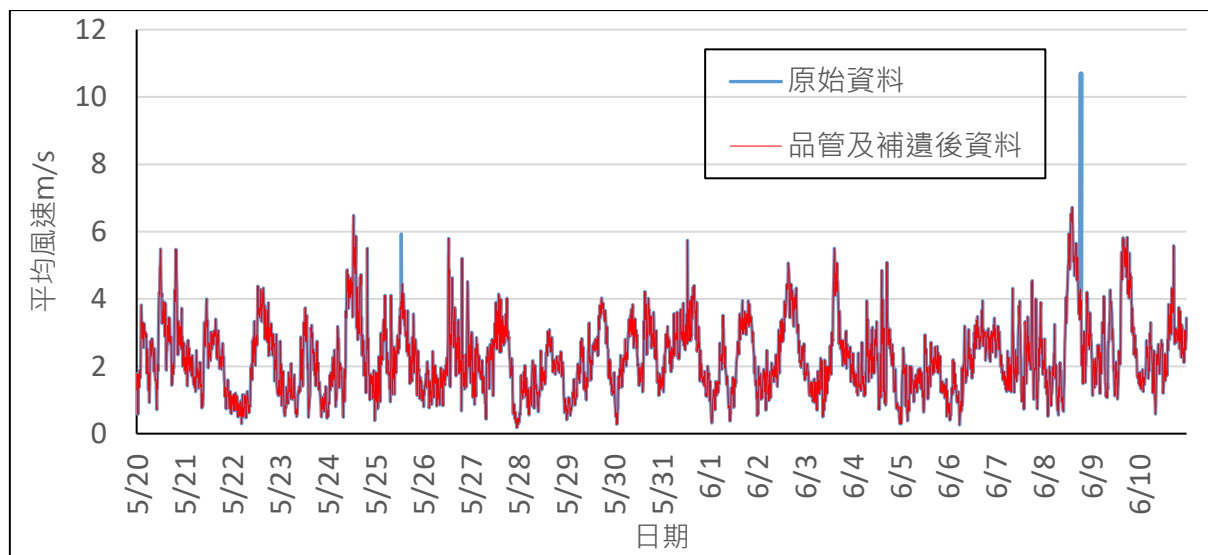


圖 7 KHWD01 平均風速經品管及補遺前後之時序列比較

表 6 高雄港各測站平均風速風向之品管與補遺前後比較

測站	季節	原始 平均風速(m/s)	補遺後 平均風速(m/s)	補遺後 風速 / 原始風速	原始 平均風向	補遺後 平均風向
KHWD01	秋	2.364	2.362	1.00	NW	NW
	冬	3.059	3.059	1.00	NNE	NNE
	春	2.544	2.543	1.00	WNW	WNW
	夏	2.821	2.798	0.99	W	W
	全年	2.695	2.689	1.00	WNW	WNW
KHWD04	秋	3.743	3.672	0.98	NW	WNW
	冬	無資料	3.984	無資料	無資料	NNE
	春	3.572	3.893	1.09	N	WNW
	夏	4.544	4.302	0.95	WNW	W
	全年	4.203	3.963	0.94	NW	WNW
KHWD05	秋	1.584	1.388	0.88	NNW	WNW
	冬	1.985	1.895	0.95	NNW	NNW
	春	1.577	1.576	1.00	WNW	WNW
	夏	1.669	1.665	1.00	W	W
	全年	1.720	1.630	0.95	NW	WNW
KHWD06	秋	1.154	1.022	0.89	WNW	WNW
	冬	1.130	1.122	0.99	ENE	ENE
	春	1.100	1.095	1.00	W	W
	夏	1.128	1.127	1.00	W	W
	全年	1.124	1.091	0.97	WNW	W
KHWD07	秋	1.655	1.638	0.99	WNW	WNW
	冬	1.485	1.477	0.99	NE	NE
	春	1.628	1.617	0.99	WNW	WNW
	夏	1.834	1.834	1.00	W	W
	全年	1.660	1.643	0.99	WNW	WNW

表 7 高雄港各測站最大風速風向之品管與補遺前後比較

測站	季節	原始最大風速 (m/s) (平均)	補遺後最大風速 (m/s) (平均)	補遺後 風速 / 原始風速	原始最大風速時 風向(平均)	補遺後最大風速 時風向(平均)
KHWD01	秋	4.544	4.409	0.97	WNW	WNW
	冬	5.661	5.658	1.00	NE	NE
	春	5.125	4.680	0.91	WNW	WNW
	夏	6.930	4.899	0.71	W	W
	全年	5.560	4.909	0.88	WNW	WNW
KHWD04	秋	4.806	4.936	1.03	NW	WNW
	冬	無資料	5.749	無資料	無資料	NW
	春	4.315	5.147	1.19	N	WNW
	夏	5.865	5.521	0.94	WNW	W
	全年	5.413	5.337	0.99	NW	WNW
KHWD05	秋	4.009	3.751	0.94	NNW	WNW
	冬	4.704	4.548	0.97	NW	NW
	春	4.101	4.101	1.00	WNW	WNW
	夏	4.416	4.362	0.99	W	W
	全年	4.364	4.190	0.96	WNW	WNW
KHWD06	秋	3.219	3.073	0.95	NW	WNW
	冬	3.467	3.440	0.99	NE	NE
	春	3.199	3.206	1.00	WNW	WNW
	夏	3.362	3.358	1.00	W	W
	全年	3.325	3.269	0.98	WNW	WNW
KHWD07	秋	3.548	3.563	1.00	WNW	WNW
	冬	5.408	3.651	0.68	NE	NE
	春	3.695	3.594	0.97	WNW	WNW
	夏	3.901	3.900	1.00	W	W
	全年	4.098	3.678	0.90	WNW	WNW

五、高雄港各風力測站資料品管及補遺後之特性分析

高雄港各測站分佈範圍廣大，自最北站 KHWD01 至最南站 KHWD05 直線距離 9.68 公里；最西站亦為 KHWD01，距最東站 KHWD06 直線距離 7.56 公里。在地形上，KHWD01 鄰近一港口，西北方鄰近高雄壽山；KHWD04 位於二港口綠燈塔頂層，屬 5 站中最靠近外海之測站；KHWD05、KHWD06、KHWD07 皆位於港內碼頭旁建築物頂樓。

本文將 2021 年 9 月至 2022 年 8 月前述品管及補遺後之各站資料，進行各站風速及風向之特性分析。表 8 為各季節各測站間平均風速及最大風速之比較，以 KHWD01 為參考，並列出其餘測站與 KHWD01 之風速比值。可看出 KHWD04 風速均值為各站最大，符合其座落地點最鄰近外海之特性；KHWD05、KHWD06、KHWD07 風速值均小於 KHWD01，尤其各季節皆以 KHWD06 風速值為最小，推測此 3 站風速可能受周遭建物等障礙物影響觀測，可進一步針對儀器設置地點環境進行討論釐清。

表 8 高雄港各測站間平均風速與最大風速比較

季節	平均/最大	KHWD01	KHWD04		KHWD05		KHWD06		KHWD07	
		平均值	平均值	04 / 01	平均值	05 / 01	平均值	06 / 01	平均值	07 / 01
秋	平均風速	2.362	3.672	1.55	1.388	0.59	1.022	0.43	1.638	0.69
	最大風速	4.409	4.936	1.12	3.751	0.85	3.073	0.70	3.563	0.81
冬	平均風速	3.059	3.984	1.30	1.895	0.62	1.122	0.37	1.477	0.48
	最大風速	5.658	5.749	1.02	4.548	0.80	3.440	0.61	3.651	0.65
春	平均風速	2.543	3.893	1.53	1.576	0.62	1.095	0.43	1.617	0.64
	最大風速	4.680	5.147	1.10	4.101	0.88	3.206	0.69	3.594	0.77
夏	平均風速	2.798	4.302	1.54	1.665	0.59	1.127	0.40	1.834	0.66
	最大風速	4.899	5.521	1.13	4.362	0.89	3.358	0.69	3.900	0.80
全年	平均風速	2.689	3.963	1.47	1.630	0.61	1.091	0.41	1.643	0.61
	最大風速	4.909	5.337	1.09	4.190	0.85	3.269	0.67	3.678	0.75

表 9 為各季節各測站間平均風向及最大風速之風向之比較。可看出高雄港各站於平均風向與最大風速之風向，秋季多為 WNW、冬季多為 NE、春季多為 WNW、夏季多為 W，全年平均為 WNW，趨勢大致一致。觀察各測站之間差異，KHWD01 於秋季較其他測站風向較為偏北，KHWD05 於冬季風向較其他測站偏西，KHWD06 於春季風向較其他測站偏南。觀察各測站位置及地形，KHWD01 北面鄰近高雄壽山，KHWD05 及 KHWD06 雖位於高樓，惟儀器於觀測期間是否受其他物體干擾，可再檢視釐清。

表 9 高雄港各測站間平均風向與最大風速時風向比較

季節	平均/最大	KHWD01	KHWD04	KHWD05	KHWD06	KHWD07
秋	平均風向	NW	WNW	WNW	WNW	WNW
	最大風速時風向	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW
冬	平均風向	NNE	NNE	NNW	ENE	NE
	最大風速時風向	NE	NW	NW	NE	NE
春	平均風向	WNW	WNW	WNW	W	WNW
	最大風速時風向	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW
夏	平均風向	W	W	W	W	W
	最大風速時風向	W	W	W	W	W
全年	平均風向	WNW	WNW	WNW	W	WNW
	最大風速時風向	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW

六、結論

本文以高雄港 2021 年 9 月～2022 年 8 月之風力資料進行實測資料之品管與補遺，資料經品管與補遺前後趨勢一致，使資料更佳完備並且更為完整，除了加強資料參考與應用之價值，亦於過程中發現各測站於風速、風向之間之相關性，可供後續對於各測站之位置受地形或建物影響之程度，進行更細部之討論。

各測站補遺後資料經檢視其特性，風速方面以 KHWD04 為最大，符合鄰近外海之特性，KHWD05、KHWD06、KHWD07 量測風速偏低，可針對儀器設置環境進行後續探討；風向方面各站於各季節大致一致，惟 KHWD01 於秋季較其他測站風向較為偏北，KHWD05 於冬季風向較其他測站偏西，KHWD06 於春季風向較其他測站偏南，可再針對這 3 站之地形及環境障礙物等進行後續探討。

惟品管與補遺之過程尚有諸多可精進之處，例如，可再針對各測站資料以複回歸分析相關係數進行關聯性檢定，確定未通過連續性品管之資料是否有各站之相關性，可做為後續觀察陣風現象討論之參考探討，以及嘗試利用非線性迴歸方法建立迴歸式進行補遺，更能顯示各站間相關性及代表性。

參考文獻

1. 美國國家資料浮標中心 National Data Buoy Center(2009)，NDBC Technical Document 09-02，Chapter 4，31-51 頁
2. 蘇青和、衛紀淮、羅冠顯、陳子健、張維庭、朱美依(2021)，「國際商港強風及陣風特性分析(1/2)-以臺中港為例」，交通部運輸研究所
3. 衛紀淮、廖慶堂、李俊穎、張維庭、陳子健、陳孟宏(2022)，「110 年主要商港風潮觀測與特性分析」，交通部運輸研究所
4. 交通部運輸研究所(2022)，「2020 年臺灣海氣象觀測資料統計年報(9 港域風力觀測資料)」
5. 賴志峰、江文山、黃國展、蔡宜秦、衛紀淮 (2021)，「港區風力資料品管與補遺」，臺灣季刊 118 期，52-58 頁
6. 財團法人成大研究發展基金會(2022)，「111 年港區風力及能見度觀測系統建置維護與觀測資料品管統計-成果分析報告」
7. 陳聖學、滕春慈、林沛臻、陳秋份、董東璟(2022)，「海氣象觀測資料品管程序之精進」，第 44 屆海洋工程研討會