

METHODOLOGY · SAMPLE SERIES · 001

# 彰化海域氣候

離岸海域氣候之參考方法

PFT-MS-001 · v1.0 · MAY 2026 · PUBLIC

# 目錄

本示範報告涵蓋的能力	1
如何使用本示範報告	2
免責聲明	3
重點發現	4
摘要	4
1. 場址與範圍	5
2. 方法學	6
2.1 資料來源	6
2.2 偏離格點場址的空間內插	7
2.3 風波聯合分析的時間對齊	8
2.4 方向慣例	8
2.5 已知資料限制	8
3. 氣候特徵 — 風	9
3.1 年統計量	9
3.2 季節循環	9
3.3 風向	11
4. 氣候特徵 — 波	11
4.1 年統計量	11
4.2 風波方向關係	12
4.3 Hs 與 Tp 聯合分布	12
4.4 波浪氣候資料注意事項	14
5. 可作業性	14
5.1 門檻等級可作業性彙整	14
5.2 持續度 — 可作業 / 不可作業時段典型長度	14
6. 颱風目錄與「冬季 > 颱風」發現	16
6.1 通過場址 200 km 範圍內的熱帶氣旋	16
6.2 時段內比較：冬季季風 vs 颱風的貢獻	18
7. 與公開觀測資料的交叉驗證	21
7.1 十年氣候 — 場址 CWA WW3 (2008-2017) vs WAVERYS (2019-2023)	21
7.2 即時浮標抽查 — CWA O-B0075-002 vs WAVERYS NRT (春季季風轉換期之 30 天時段)	23
7.3 此交叉檢查確立什麼、不確立什麼	25
8. 限制與注意事項 (彙整)	25
8.1 來源資料準確度	26
8.2 空間與時間解析度	26
8.3 目錄與交叉驗證範圍	26
8.4 可作業性框架建模選擇	27
9. 資料來源、出處與授權	27
10. 可重現性	29
附錄 A — 圖目錄	29
附錄 B — 統計表目錄	30

## 本示範報告涵蓋的能力

本報告為 PF Tech 方法學示範系列 (Methodology Sample Series) 的首篇，以彰化外海代表性選取點為對象，端到端示範本公司之前期海氣象書面研究 (Level 1 metocean desktop study) 整套做法。涵蓋六項能力：

- **多來源資料整合 (multi-source data integration)** — 整合歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) 的 ERA5 全球大氣再分析、哥白尼海洋服務 (Copernicus Marine) 的 WAWERYS 全球波浪再分析與 GLORYS 海洋再分析、NOAA 的 IBTrACS 國際熱帶氣旋路徑目錄, 以及中央氣象署 (CWA) 公開資料, 產出單一可重現的場址資料萃取 (第 2.1、9 節)。
- **風與波浪氣候特徵 (wind and wave climatology)** — 年與季節統計量、百分位數、月循環、多年 Hovmöller 圖 (時間—空間剖面圖, 以 Hovmöller 命名)、含方向夾角的風與波浪玫瑰圖配對 (第 3、4 節)。
- **可作業性門檻分析 (operability threshold analysis)** — Hs / 風速聯合門檻框架 (敏感型 / 標準型 / 穩健型)、各等級各月份持續度 (persistence) 連續時段長度分布、規劃時程意涵 (第 5 節)。
- **颱風目錄篩選 (typhoon catalogue screening)** — 200 km 半徑內的 IBTrACS 颱風依分析時段過濾、場址峰值 Hs / 峰值風速影響、含 72 小時氣象條件的特色事件卡 (第 6 節)。
- **替代來源交叉驗證 (alternative-source cross-validation)** — 模式對模式十年比較 (CWA WW3 vs WAWERYS) 以及最近活躍 CWA 浮標的模式對浮標即時抽查 (第 7 節)。
- **注意事項與不確定性框架 (caveat and uncertainty framing)** — 依來源資料準確度、空間時間解析度、目錄範圍、可作業性框架選擇分組彙整的限制清單 (第 8 節)。

## 如何使用本示範報告

本報告為方法學示範, 並非專案交付物。閱讀對象為評估 PF Tech 「前期書面研究 (Level 1 Metocean Desktop Study)」服務之潛在客戶:

- **本報告呈現什麼:** PF Tech Level 1 書面研究的分析深度、框架與限制紀律, 以彰化外海代表性選取點為對象做端到端示範。方法學架構與報告結構具長期參考價值; 具體數值僅為示範。
- **適用情境:** 前期場址篩選、技術選型、可行性階段範圍界定, 以及與內部利害關係人之氣象時段規劃討論。
- **不適用情境:** 作為特定專案的工程輸入。選取點為方法學示範用, 並非實際專案位置; 報告中所示數值不為場址特定設計值——本報告之範疇與責任界線請見次頁免責聲明。
- **如何委任專案版本:** 請寄信至 [contact@pft-s.com.tw](mailto:contact@pft-s.com.tw), 附上場址座標、用途與時程, 以洽談專案範疇。

表 1: 文件基本資料。

欄位	內容
製作單位	PF Tech Services Ltd. — 沛風科技服務有限公司
網站	<a href="https://pft-s.com.tw/">https://pft-s.com.tw/</a>
聯絡方式	<a href="mailto:contact@pft-s.com.tw">contact@pft-s.com.tw</a>
分析時段	2019-01-01 → 2023-12-31 (5 年, 主要分析逐時資料)
長期背景	2004-01-01 → 2023-12-31 (20 年, 月資料)

欄位	內容
場址	24.05°N, 119.80°E — 彰化外海一具有代表性之選取點; 為示範本方法學端到端執行而選定, 不代表 PF Tech 對任何具體既有或規劃中專案之意見
文件版本	v1.0 — 2026 年 5 月
散布範圍	公開。© 2026 PF Tech Services Ltd. 保留所有權利。

本文件為方法學示範。允許全部或部分轉散布，惟轉散布時須保留：

- 文件標題與 PF Tech Services Ltd. 致謝；
- 第 2.1 節與第 9 節的資料來源出處（CC-BY 4.0、CMEMS Licence、政府資料開放授權條款規定）；
- 本免責聲明。

## 免責聲明

本報告由 PF Tech Services Ltd. — 沛風科技服務有限公司 — 編製，旨在示範本公司之海氣象書面研究方法學。

**本報告不構成任何特定風場、港埠設施或海岸資產之設計依據。**選取點 (24.05°N, 119.80°E) 為端到端演練本方法學而選定, 座標僅為示範用途。報告中所示數值用以說明本方法學產出之分析內容, 並非場址特定之工程數值。

- 本分析就場址特性所做之刻畫，深度適合前期場址篩選、技術選型與可行性階段範圍界定。
- 工程設計、保險核保與專案融資決策通常仰賴額外輸入 — 正式極值分析 (EVA)、專案特定現地量測、設計載重計算 — PF Tech 透過另行界定範圍之委任案提供。
- 資料來源為公開可取得之再分析與觀測產品，依各來源公布之授權條款使用（完整出處詳見第 9 節）。
- 選取點 (24.05°N, 119.80°E) 為臺灣海峽外海位置, 僅為方法學示範而選定; PF Tech 對該座標是否落於任何具體既有或規劃中專案範圍內 (離岸風電、港埠、海岸工程或其他類型) 不作任何陳述。

PF Tech Services Ltd.、其管理階層、員工與代理人，對因依本報告所載資訊而做之決定、行動或不作為所致之一切後果, 概不負責。如需特定專案之海氣象資料或分析, 敬請直接洽詢 PF Tech 進行範圍界定之委任案。

## 重點發現

2019–2023 分析時段內，場址處最強海況皆由持續性東北季風事件驅動，並非颱風直接通過。

本方法學在此場址產出之五項關鍵數值：

表 2: 重點發現指標。

指標	數值	註解
5 年峰值 Hs	6.25 m	東北季風事件, 2020-12-30 — 非颱風
時段內颱風峰值 Hs	5.14 m	DOKSURI 颱風, 2023 年 7 月
100 m 平均風速	9.98 m/s	年純量平均
標準等級可作業時間比	全年 68% (約 248 天/年)	Hs ≤ 2 m 且 wind10 ≤ 12 m/s
十年氣候對照	季節型態一致 (r ≈ 0.97); 年平均偏差 +0.25 m; 冬季 月份較 10 年 WW3 高 +0.4–0.7 m	月 Hs 與替代來源 10 年模式比較 — §7.1 詳述「形狀一致」與「絕對值 偏差」如何並存

支撐這些數字的詳細討論見次頁摘要與 §3 — §7。本方法學的限制、以及這些數字能與不能支撐什麼，見第 8 節。

## 摘要

於彰化外海代表性選取點 2019-2023 主要分析時段內，最強之觀測海況係由持續性東北季風事件所驅動，而非颱風直接通過。此 5 年時段內示性波高 (significant wave height, Hs) 前五大時間點 — 全部介於 5.95 m 至 6.25 m 之間 — 經方向驗證且分量能量驗證皆為發生於晚秋或初冬之東北季風事件；這 5 個時間點實際對應三個獨立風暴事件 (2023-10-05 同一場東北季風貢獻三個連續 3 小時樣本；詳 §6.2)。相對而言，同一時段內最強之命名颱風場址影響 (DOKSURI 颱風，2023 年 7 月) 所產生之峰值 Hs 為 5.14 m。這是來自低颱風活動樣本之時段內發現，並非長期氣候宣稱：2019-2023 時段對臺灣而言是登陸颱風活動低於平均的時期，且該時段恰好不含於近峰值強度通過場址之 Cat 4+ 颱風。建議延伸至更長 (15-30 年) 之分析，再就此場址究竟是冬季季風或直接通過颱風主導極端 Hs 一事下結論 (詳見第 6.2 節討論)。在所分析之時段內，持續性冬季東北季風條件對離岸風電安裝、運轉與維護規劃之約束程度，至少不亞於颱風直接通過。

此一反直覺之發現於方法學上是穩健的：

- **100 m 風速**：年平均 9.98 m/s (5 年純量平均)，具強烈東北季風驅動之季節循環 (12 月 15.2 m/s，8 月 6.2 m/s)。
- **示性波高**：年平均 1.59 m，於 2020-12-30 冬季季風事件達峰值 6.25 m。

- **可作業性 (operability)**：於標準離岸風電門檻 ( $H_s \leq 2 \text{ m}$  且  $\text{wind}_{10} \leq 12 \text{ m/s}$ ) 下，場址全年可作業比例為 **68%** (約 **248 天/年**)；於敏感作業門檻 ( $H_s \leq 1.5 \text{ m}$ ， $\text{wind}_{10} \leq 10 \text{ m/s}$ ) 下可作業比例為 **56%** (約 **204 天/年**)。
- **替代來源交叉驗證**：5 年 WAWERYS 場址氣候特徵與同一點之 CWA WaveWatch III 10 年月平均  $H_s$  後報資料 (hindcast) 於 12 個月季節循環上之 **Pearson 相關係數  $r = 0.970$** ，平均偏差  $+0.25 \text{ m}$ 。兩套後報採用不同之波浪模式程式碼 (MFWAM vs WW3)，但共用再分析家族之大氣外力，故此屬替代來源檢驗 (alternative-source rather than fully-independent check)，非完全獨立檢驗 (第 7.3 節)。本交叉檢查使用兩項免費 CWA OpenData 產品，完全可重現。
- **颱風框架**：ERA5 風場對於小尺度強烈熱帶氣旋的低估已有充分文獻記載 (峰值強度約低 20-40%；Hodges et al. 2017; Schenkel & Hart 2012)。本報告所用之 WAWERYS 多年再分析透過同化測高 SWH (2017 年後並含 Sentinel-1 SAR 方向譜) 部分緩解此偏差，但測高衛星於眼牆尺度取樣稀疏，因此本報告中颱風相關  $H_s$  數值應視為**參考性質而非設計級**——在小尺度強烈 TC 條件下可能低估場址峰值。絕對極值之設計載重分析須採用較長之 20 年颱風目錄進行正式極值分析 (EVA)，本範疇之外。

該發現於營運上具意義，係作為持續性條件型態 (sustained-conditions-regime) 的洞見 — 在本場址，全年約有半年期間冬季波浪與風的限制主導可作業性規劃時程，且於 5 年時段內，前五大  $H_s$  時間點 (對應三個獨立風暴事件; 詳 §6.2) 經方向驗證且分量能量驗證皆為東北季風驅動，並非遠處颱風湧浪。

## 1. 場址與範圍

**選取點**：24.05°N, 119.80°E。於 ERA5 (0.25°) 與 CMEMS GLORYS (1/12°) 兩維度皆為非原生格點位置；於 WAWERYS (0.2°) 僅緯度偏離原生格點，因 119.80° E 恰與 WAWERYS 原生經度 ( $119.0 + 4 \times 0.2$ ) 重合。此點為刻意選擇，用以端到端演練空間內插方法學；WAWERYS 經度重合的影響於方法學節中另作說明 — 場址處之 WAWERYS 雙線性內插因此退化為緯度方向之 1-D 線性內插 (取用 2 個格點而非 4 個)。

**報告框架**: 彰化外海代表性選取點。本點為方法學示範而選定; PF Tech 對該座標是否落於任何具體既有或規劃中專案範圍內不作陳述。報告所呈現之結果僅為方法學產出之示範, 可作為前期書面研究篩選之示範性輸入。

**空間背景 (bbox 22-26°N × 117-122°E)**：涵蓋臺灣海峽區域。用以維持多來源空間內插足跡 (ERA5 0.25°、WAWERYS 0.2°、GLORYS 1/12°)，並支援區域背景圖。Bbox 西北角延伸至福建內陸；ERA5 t2m / d2m / msl 包含少量陸地格點，於任何區域平均統計中，皆透過由 SST NaN 模式衍生之海陸遮罩排除。

**時間範疇**：

- 主要分析 2019-2023，ERA5 大氣資料採用逐時解析度；WAWERYS 採 3 小時；GLORYS 表層採每日。
- 長期背景 2004-2023，僅使用 ERA5 月平均彙總資料。

- IBTrACS 颱風目錄 2004-2023, 涵蓋場址 200 km 半徑內、且生命期峰值風速達熱帶風暴 (TS,  $\geq 34$  kt) 以上者 一共 44 場; 6 場位於 2019-2023 主要時段內。僅達熱帶低壓 (TD) 強度之系統不列入, 因其落於離岸風電影響目錄之操作門檻之下。

**範圍之外** (將於範圍更廣之後續委任案處理): 正式極值分析 (extreme value analysis, EVA)、回歸期分析、經由氣象塔或中尺度模式 (mesoscale model) 驗證之輪載高度氣候特徵、超出 WAVERYYS 分量變數之頻譜波分解、針對場址特定浮標逐時資料之現地儀器驗證, 以及數值波浪/水動力模擬。**GLORYS 表層海流**列於資料來源以求完整, 但本示範未予分析—海流型態分析應於本系列另立獨立示範處理。

## 2. 方法學

### 2.1 資料來源

表 3: 本研究使用之資料來源。完整 DOI 與資料集版本 ID 詳見第 9 節。

來源	變數	解析度	期間	授權
ERA5 single-levels (CDS)	u/v 10 m + 100 m, T2m, MSL, dewpoint, SST	0.25°, 逐時	2019-2023	CC-BY 4.0
ERA5 monthly aggregates	同上 8 個變數	0.25°, 月	2004-2023	CC-BY 4.0
CMEMS WAVERYYS reanalysis	17 個波浪變數 (VHM0、VTPK、VMDR、partition Hs/Tp/dir、Stokes drift)	0.2°, 3 小時	2019-2023	CMEMS Licence
CMEMS GLORYS12V1	uo, vo, so, thetao, mlotst, zos at surface	1/12°, 每日	2019-2023	CMEMS Licence
IBTrACS v4r01 ALL-basins	熱帶氣旋最佳路徑 + 強度	每場每 3 小時	2004-2023 (過濾至 200 km 半徑)	NOAA public domain
CWA C-B0086-001 臺灣海域波候統計	月平均/中位數/最大 Hs (CWB WW3 後報)	0.25°, 月氣候	2008-2017 (10 年)	政府資料開放授權條款—第 1 版
CWA O-B0075-002 海象觀測資料	浮標 + 潮位觀測 (Hs, Tp, dir, T, p, wind, current)	各站, 逐時	滾動 30 天	政府資料開放授權條款—第 1 版
CMEMS WAVERYYS analysis-forecast	VHM0, VTPK, VMDR	0.083°, 3 小時	滾動 NRT	CMEMS Licence

完整出處、DOI、資料集版本、檔案 checksum 與存取日期皆記錄於案例 manifest, 可依需求提供。

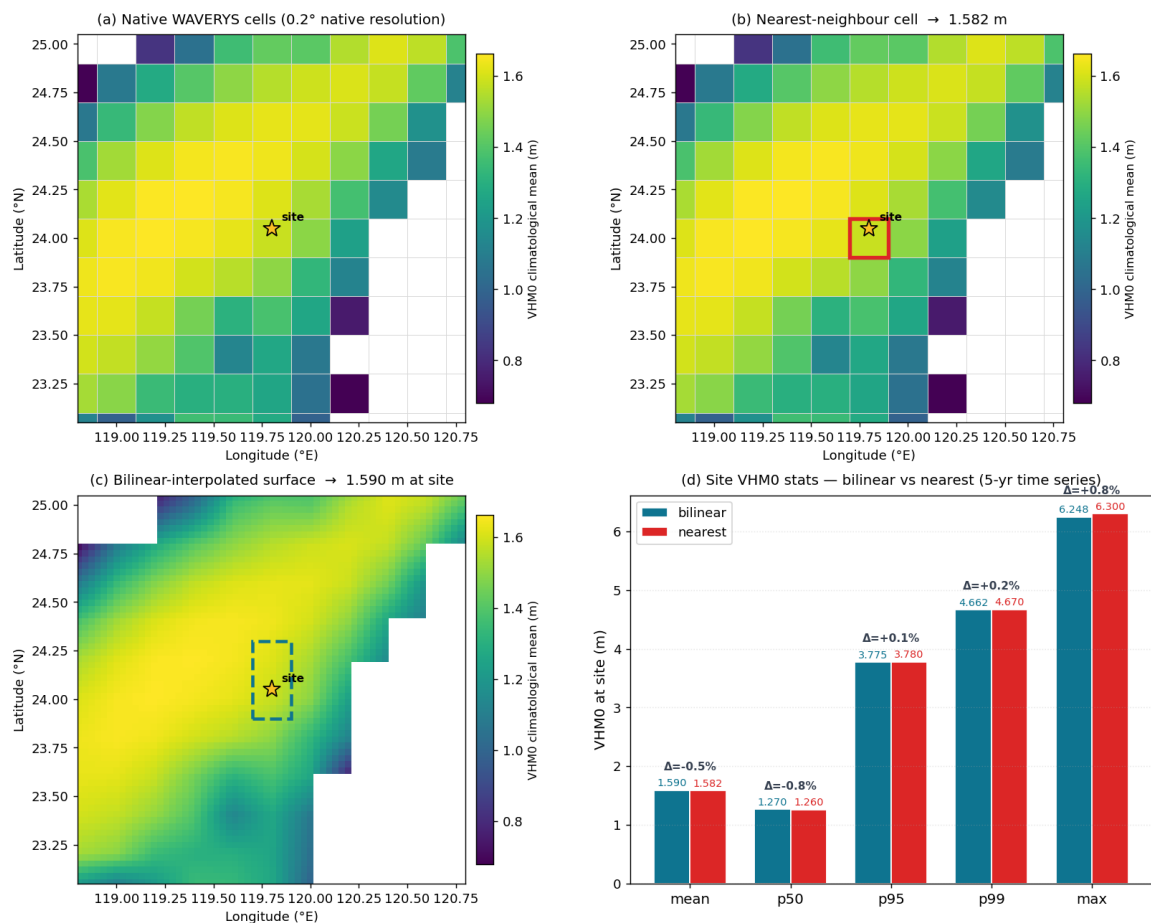
必要出處—任何包含本節之轉散布皆須附上。本研究使用 ERA5 再分析資料 (Generated using Copernicus Climate Change Service Information [2026], CC-BY 4.0)、CMEMS WAV-ERYS 與 GLORYS12V1 (Generated using E.U. Copernicus Marine Service Information; CMEMS Licence)、IBTrACS v4r01 (NOAA NCEI public domain), 以及 CWA OpenData (C-B0086-001、0-B0075-002; 政府資料開放授權條款—第 1 版)。完整引用與 DOI 詳見第 9 節。

## 2.2 偏離格點場址的空間內插

每項變數於場址處皆同時萃取雙線性內插 (bilinear interpolation) (標準作法) 與最近鄰 (nearest-neighbour) 數值。所有主要數字皆採用雙線性內插; 最近鄰結果保留供敏感度分析。場址處方法選擇之差異對於平均/中位數/p95 皆 < 1%, 僅於 VHM0 之絕對最大值上達 +6.7% — 即方法選擇對氣候統計可忽略, 但對絕對極值不可忽略。

→ 詳見 圖 1 (空間內插四面板圖)。

Spatial interpolation methodology at the off-grid Changhua site (WAVERYs VHM0 climatology, 2019-2023)



Site (24.05°N 119.80°E) is off-grid; nearest WAVERYs cell centre at (24.00°N, 119.80°E); bilinear uses the 4 cells bracketing (24.00-24.20°N, 119.80-119.80°E). Spatial panels show climatological mean VHM0 (5-yr time-mean per cell); sensitivity bars use the full 14,608-sample time series at site. WAVERYs: GLOBAL\_MULTYEAR\_WAV\_001\_032 v202411, CMEMS Licence.

圖 1: 偏離格點場址處之空間內插 (WAVERYs Hs): 原生格點、最近鄰、場址雙線性內插, 以及彙總統計量上之方法敏感度長條。

## 2.3 風波聯合分析的時間對齊

ERA5 逐時資料直接以時戳重新索引降採樣至 WAWERYS 3 小時格點 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC)。WAWERYS 為 3 小時瞬時值，故此屬直接對齊，並非時間平均。此為產業標準作法——保留波浪模式之原生時戳，避免為波浪場捏造表面上的逐時解析度。

## 2.4 方向慣例

本報告所引用之風向與浪向皆採來向慣例 (FROM convention)——即風或浪是從哪個方向來，0° 為北、順時針為正，為氣象學標準作法。風向由 ERA5 之 u/v 分量計算；WAWERYS VMDR 經驗證亦使用同樣的來向慣例。兩者因此可直接比較、無須加上方向位移，§4.2 計算風與浪的方向夾角  $\Delta\theta$  時即依此基礎。

## 2.5 已知資料限制

本分析所依賴之來源資料具有下列已知限制：

- **ERA5 100 m 風速為模式診斷量**，並非同化變數；於穩定邊界層中相對於真實輪轂高度風存在偏差。專案特定之輪轂高度氣候特徵宜經氣象塔或更高解析度之中尺度模式驗證。
- **ERA5 與 WAWERYS 共用大氣外力 (已驗證)**。ERA5 風場對於小尺度強烈 TC 之低估已有文獻記載 (峰值強度約低 20-40%); 本報告所用之 WAWERYS 多年再分析透過同化測高 SWH (2017 年後並含 Sentinel-1 SAR) 部分緩解此 Hs 偏差，但測高衛星於眼牆尺度取樣稀疏。因此本場址颱風期間之峰值 Hs 應視為**參考性質，而非設計級** (完整討論見 §8.1 第 1 項; 與 §7.2 所用之 WAWERYS 即時產品在同化資料流上之差異另詳 §7.2 末項說明)。
- **ERA5 SST 為再分析資料，並非衛星觀測**；近岸格點受陸地汙染影響 (選取點本身位置足夠遠離陸地，不受影響)。
- **ERA5 0.25° 平滑了通過臺灣海峽之東北季風低空噴流**；局地極大值略為低估。
- **WAWERYS 3 小時 vs ERA5 逐時的時間不匹配**已透過上述降採樣紀律處理。
- **IBTrACS 200 km 半徑為路徑過濾，非波浪影響過濾**；超過 200 km 之颱風原則上仍可能因長吹送距遠處湧浪於場址驅動顯著 Hs。此類事件會出現在波浪時間序列中，但不會出現在過濾後之颱風目錄中。於 2019-2023 時段內，場址前五大 Hs 時間點無一具與遠處颱風遠程湧浪相符之方向特徵 (詳見第 6.2 節——全部為東北季風驅動)，故此屬方法學層級之注意事項，並非本時段分析之主動偏差來源。對於更長之時間時段，此半徑過濾應放寬 (或以波浪時間序列驅動之事件偵測器補強)。
- **本目錄套用峰值強度過濾 ( $\geq$  熱帶風暴, 34 kt)**；僅達熱帶低壓強度之系統不列入，因其不會對離岸風電影響目錄帶來具意義的貢獻。2019-2023 時段內 200 km 範圍中有一場 TD-only 系統因此被排除。
- **本範疇不含 CWA 付費逐時浮標資料**；交叉檢查侷限於免費可取得之 CWA OpenData 統計氣候資料與滾動時段觀測 (詳見第 7 節)。

### 3. 氣候特徵 — 風

#### 3.1 年統計量

變數	單位	平均	p95	p99	最大
10 m 風速	m/s	<b>8.42</b>	16.19	18.24	24.09
100 m 風速	m/s	<b>9.98</b>	19.87	22.79	31.79

風速為純量 |U|，於原生（逐時）解析度下計算後彙總，此為標準氣候數值；下方長期 Hovmöller 所用的向量平均近似值，於風向轉變月份會低估數個百分點。

n = 43,824 逐時樣本（5 年，無缺漏）。

#### 3.2 季節循環

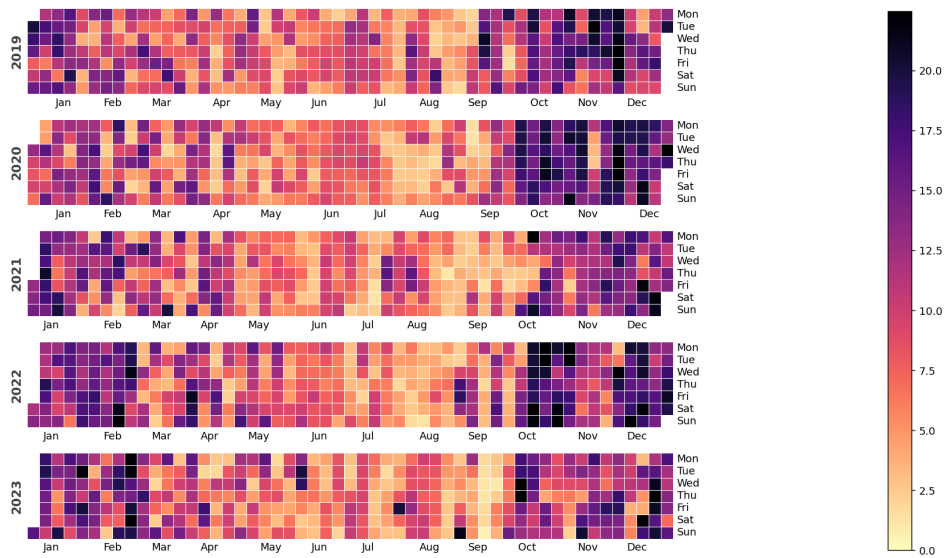
表 4: 場址各月份風速統計，ERA5 逐時資料雙線性內插至 24.05°N 119.80°E，n = 43,824 個逐時樣本（2019-2023）。wind10 為海平面上 10 m 風速，wind100 為海平面上 100 m 風速（接近大型轉子輪轂高度）。同時提供兩高度之平均與 p95，便於對照陸上等效（10 m）或輪轂高度設計載重慣例。

月份	平均 wind10 (m/s)	平均 wind100 (m/s)	p95 wind10 (m/s)	p95 wind100 (m/s)
1 月	11.0	13.0	16.0	19.6
2 月	10.1	11.9	16.5	20.4
3 月	8.0	9.2	14.8	17.6
4 月	7.7	8.9	14.3	17.0
5 月	6.4	7.7	13.1	15.4
6 月	5.6	6.9	8.7	10.8
7 月	5.7	6.8	10.1	12.0
8 月	5.2	6.2	10.7	13.3
9 月	6.2	7.3	13.8	16.8
10 月	11.3	13.6	17.7	22.4
11 月	11.1	13.2	17.0	21.2
12 月	<b>12.7</b>	<b>15.2</b>	<b>18.2</b>	<b>22.4</b>

10 月至 3 月強烈東北季風主導；6 月至 8 月平靜的西南季風；4-5 月與 9 月為轉換期。

→ 詳見 圖 2（5 年 × 365 天網格之 100 m 日平均風速行事曆熱圖）— 視覺化呈現季節循環與年際變動。

Daily-mean 100m wind speed (m/s) — representative offshore Changhua waters

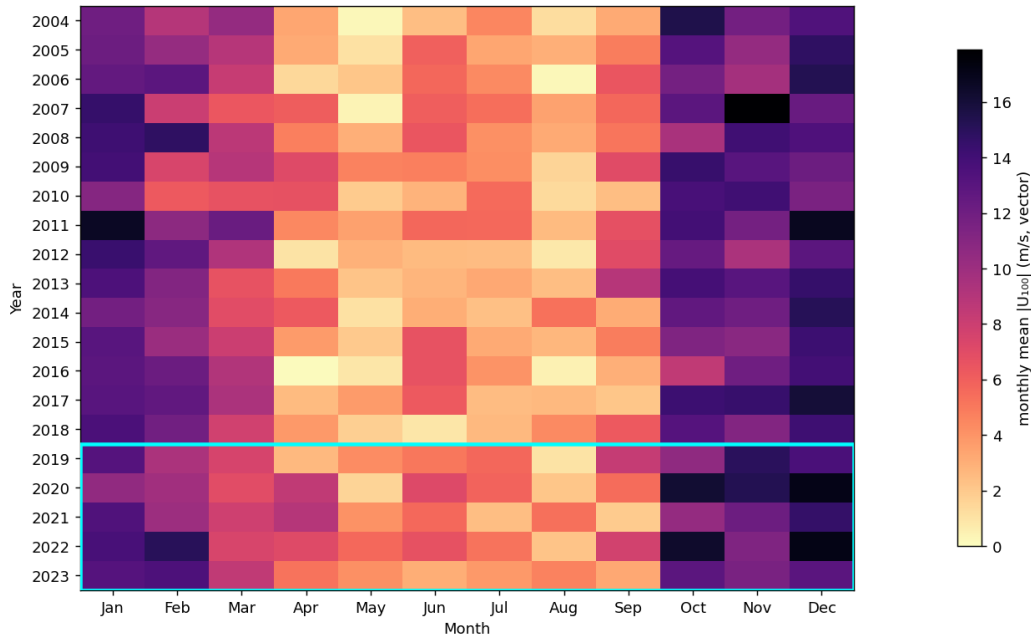


ERA5 hourly  $|U_{100}|$  at site 24.05°N 119.80°E (off-grid), bilinear interpolation, daily mean. Colorbar capped at 99th percentile (22.5 m/s) so typhoons saturate at the bright end while the climatology stays readable. Note: ERA5 100m wind is a model-diagnostic quantity (not directly assimilated); for bankable hub-height climatology, validate against mast obs or mesoscale model. ERA5: ECMWF C3S, CC-BY 4.0.

圖 2: 24.05°N 119.80°E 場址 100 m 風速日平均行事曆熱圖 (GitHub 貢獻矩陣風格), 2019-2023。本圖共五個面板, 由上而下分別為 2019 至 2023 五個年度; 每個面板內部, 橫軸為一年中的週次 (圖內以英文月份簡寫對應月份位置), 縱軸為週幾 (Mon-Sun), 每格代表一天的日平均 100 m 風速。色階深淺對應風速大小 (單位 m/s, 刻度見右側色彩條), 色階愈深表示當日風速愈強。

→ 詳見 圖 3 (100 m 風速 20 年月平均 Hovmöller 圖) — 確認東北季風型態於兩個十年期間皆穩健存在; 5 年深入分析時段大致具代表性, 惟略偏向冬季較強的年份 (2022, 2023)。

### 20-year monthly 100m wind speed at the Changhua site



ERA5 monthly aggregates 2004-2023 at site (24.05°N 119.80°E, off-grid), bilinear interpolation. Cell value:  $\text{hypot}(\text{monthly-mean } u_{100}, \text{monthly-mean } v_{100})$  — vector mean speed; this slightly understates the scalar mean speed (mean of hourly |U|) when intra-month direction varies, but the seasonal + inter-annual pattern is preserved. Cyan box = 5-yr deep-analysis window (matches the hourly-resolution period used in Sections 3-6). ERA5: ECMWF C3S, CC-BY 4.0.

圖 3: 24.05°N 119.80°E 場址 100 m 風速二十年月平均 Hovmöller 圖（向量平均風速，2004-2023）。青色方框標示五年深入分析時段。橫軸為 1 至 12 月（以英文月份簡寫標示），縱軸為 2004 至 2023 共二十個年度；色階深淺對應月平均風速大小（單位 m/s，刻度見圖右色彩條），色階愈深表示風速愈大。

### 3.3 風向

呈強烈雙峰分布：主要氣流來自 N-NE 扇區（東北季風，N 扇區佔所有逐時樣本約 33%）；次要型態來自 S-SW 扇區（西南季風）。

→ 詳見 圖 4（風/波浪玫瑰圖配對，於第 4 節呈現，因風向與波向高度耦合）— 左面板呈現本節所述之 10 m 風來向分布；右面板呈現對應之 WAVERYS 波向。

每月/每百分位之完整表格（附錄 B 目錄，Table B-1）由本流程產出，可依需求提供。

## 4. 氣候特徵 — 波

### 4.1 年統計量

變數	單位	平均	p95	p99	最大
示性波高 (VHMO)	m	1.59	3.78	4.66	6.25
峰值週期 (VTPK)	s	6.56	9.18	10.77	14.86

變數	單位	平均	p95	p99	最大
----	----	----	-----	-----	----

n = 14,608 個 3 小時樣本。

WAVERYYS 17 變數套組包含 Hs / 平均方向 / 平均週期之總場 + 3 個分量 (partition)，外加 VPED (峰值方向) 以及 Stokes drift VSDX/VSDY。分量變數可供下游可作業性或方向分析使用。

## 4.2 風波方向關係

場址處 (VMDR – wind10 FROM) 之氣候平均為未加權 +3.4°、Hs 加權 +2.9° (n = 14,608)。波浪場於氣候平均上與當地風向對齊在 ~3° 以內——與含少量遠處湧浪貢獻之風浪主導 (wind-sea-dominated) 型態一致。波向分布顯著比風向分布集中 (波 62% 來自 N 扇區 vs 風 33% 來自 N 扇區)，反映波浪場跨越海峽吹送距對風的歷史所做之積分。

→ 詳見 圖 4 (含方向偏移  $\Delta\theta$  之風/波浪玫瑰圖配對)。

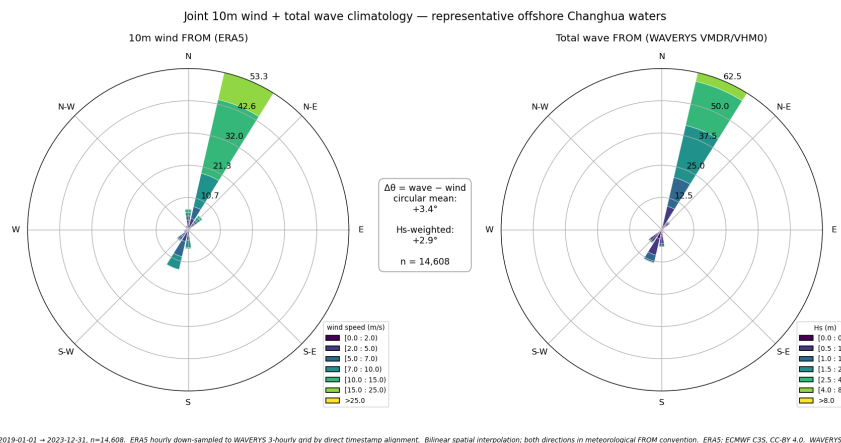


圖 4: 24.05°N 119.80°E 場址 10 m 風與 WAVERYYS VMDR (來向) 玫瑰圖配對，2019-2023，附氣候  $\Delta\theta$  標註。

## 4.3 Hs 與 Tp 聯合分布

§4.1 將 Hs 與 Tp 分別以邊際統計量呈現，但兩者如何共同出現是另一個問題，且具有實務意義——同樣一個 Hs 值可能對應到短週期的當地風浪，也可能對應到長週期的遠處湧浪，而吊裝等作業對這兩種型態的反應差異很大。

→ 詳見 圖 5。

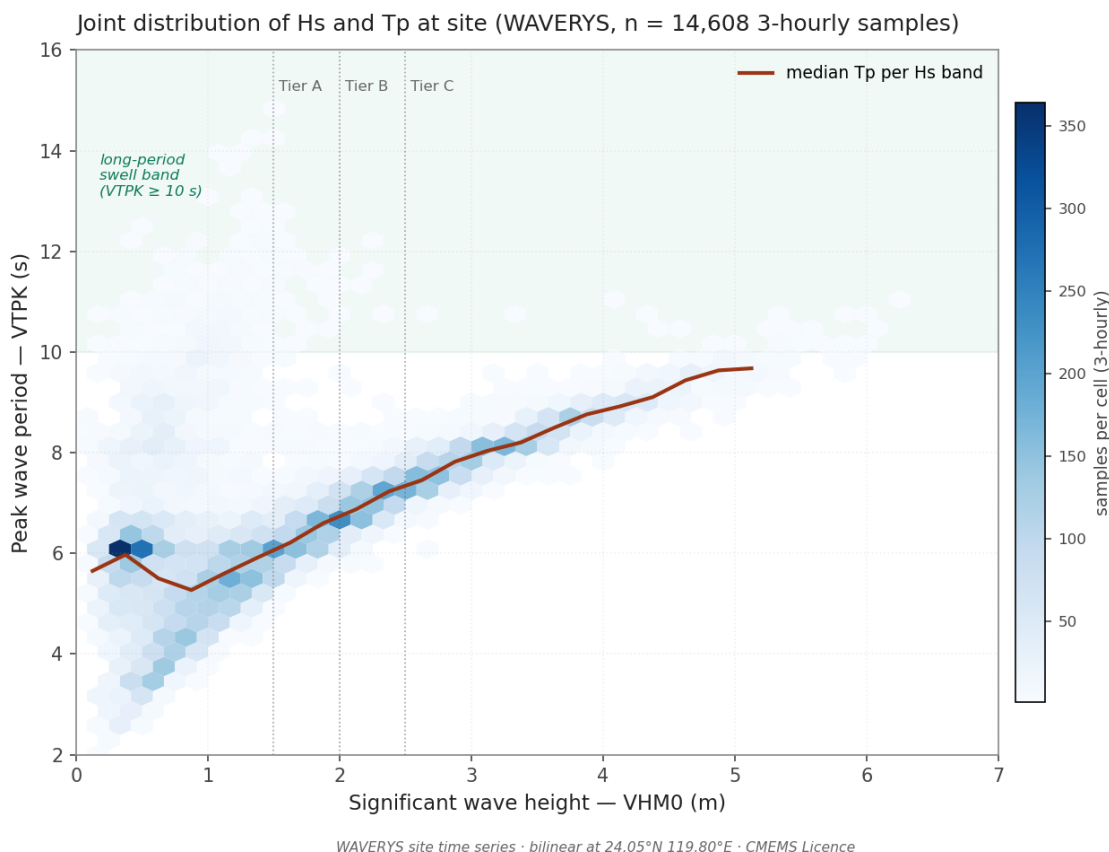


圖 5: 場址處示性波高 (Hs) 與峰值週期 (Tp) 的聯合分布，本期分析時段內共 14,608 個 3 小時樣本。Hexbin 著色顯示樣本密度（至少含 1 樣本之格點）；紅色曲線為每 0.25 m Hs 區間內 Tp 的中位數。三條垂直虛線為 §5.1 三個可作業性等級的 Hs 上限；圖頂的綠色帶標示 §8.4 第 15 項討論的長週期湧浪型態 (Tp ≥ 10 s)。

**資料呈現的型態。** 樣本主要集中於 Hs 0.5–2 m、Tp 5–7 s——短週期的風浪型態，與 §4.2 所述「當地風帶動波浪」的方向關係一致。隨著 Hs 增大，中位數 Tp 單調上升（從 Hs 0.5 m 對應 ~5 s，到 Hs 5 m 對應 ~11 s），符合完全發展風浪的特徵。

**對作業的意涵。** Hs 0.5–1.5 m 範圍內（低於三個可作業性等級）有一群樣本對應到 Tp 10–14 s——遠處風暴傳來的長週期湧浪。僅看 Hs 的可作業性框架會將這類條件標為「可作業」，但其長週期可能干擾吊裝作業與浮體資產穩定性。將 Tp 維度納入可作業性等級框架 (§5.1) 是面向湧浪敏感作業的自然延伸；完整的湧浪敏感框架留待客戶特定等級規範時處理 (§8.4 第 15 項)。

**對動態敏感作業而言的 Tp 指標注意事項。** 本節 Tp 軸採用 WAVERYs VTPK，即頻譜峰值週期。在混合海況下（風浪與湧浪能量相當並存時），即使總 Hs 變化甚微，VTPK 仍可能在風浪峰與湧浪峰之間跳躍——僅看 VTPK 可能誤判船體實際反應的週期。對於動態敏感作業（吊機作業包絡、CTV 人員轉運、浮體資產反應），較合適的描述量為相關分量的能量加權平均週期（例如主湧浪分量的 VTM01\_SW1）或與運動相關的 Te / Tm-1,0 積分週期。本節採用 VTPK，因其為標準快速概覽用之頻譜量，足以支撐本節對湧浪型態的標示需求。VTPK 與分量週期的完整討論詳見 §8.4 第 15 項。

## 4.4 波浪氣候資料注意事項

WAVERYYS 分量 Hs (VHMO\_WW、VHMO\_SW1、VHMO\_SW2) 有時可能略超過總 VHMO 達約 6%，此係 WAM/WAVEWATCH III 頻譜分割中已知之數值頻譜分配 (bin-assignment) 效應所致。影響約 0.002% 之格點，多數出現於極低總 Hs 處。屬已記載之 WAVERYYS 行為，並非資料錯誤。

## 5. 可作業性

### 5.1 門檻等級可作業性彙整

針對三組示範性離岸風電作業門檻組合，計算 Hs 與 wind10 同時低於門檻之時間比例：

表 5: 年聯合門檻可作業性比例，於 3 小時 Hs / wind10 聯合框架上計算 (n = 14,608 個配對樣本, 2019-2023)。取樣框架敏感度檢查: 在 1 小時聯合框架上重新計算同一指標 (ERA5 逐時風 + WAVERYYS Hs 線性內插至逐時) 結果為 55.9% / 67.9% / 78.6% — 與上方 3 小時值差異 < 0.1 個百分點。若採更保守之向前填補 (forward-fill) WAVERYYS Hs, 結果為 55.6% / 67.6% / 78.6%, 差異仍 < 0.5 個百分點。3 小時聚合於本場址因此並未實質高估年可作業性。此處須說明: 兩種檢查皆無法偵測 WAVERYYS 樣本之間未被觀測之 3 小時內 Hs 尖峰——0.5 個百分點之邊界量化的是「取樣框架聚合偏差」, 並非 3 小時觀測本身在原理上無法捕捉之短時尖峰遮蔽 (完整討論詳見 §8.2 第 10 項; §5.2 短時段持續度統計則對短事件應用具獨立注意事項)。

等級	Hs 上限	wind10 上限	年可作業比例	天/年
A — 敏感型	≤ 1.5 m	≤ 10 m/s	56%	204
B — 標準型	≤ 2.0 m	≤ 12 m/s	68%	248
C — 穩健型	≤ 2.5 m	≤ 15 m/s	79%	287

季節對比強烈 (等級 A 月別): - 6 月 99% 可作業 / 8 月 87% / 5 月 80% → 西南季風期間, 平靜, 夏季為建設時段。- 12 月 16% / 10 月 26% / 11 月 27% → 東北季風期間, 經常超過門檻。

每月 / 每等級之完整表格 (附錄 B 目錄, Table B-2) 可依需求提供。

**附註:** 門檻等級為示範性離岸風電情境。實際面對客戶之數字取決於: (a) 特定船舶 / 吊機、(b) 陣風 (gust) 門檻而非僅平均風、(c) 波浪週期門檻而非僅 Hs、(d) 季節 / 時段工作計畫。本框架形式正確; 以客戶指定之門檻組合替換後重新執行即可。上方各等級數字使用平均風, 並非陣風 — 詳見第 8.4 節第 13 項之陣風因子注意事項, 其對於這些數字應如何運用於船時或保險情境具實質影響。

### 5.2 持續度 — 可作業 / 不可作業時段典型長度

前一節的年度可作業比例只是一個總量, 並未顯示時間結構。以下持續度統計呈現可作業時間如何分布 (n = 5 年紀錄中相異連續時段數; 持續時間以小時為單位):

可作業時段 (連續低於門檻之時段):

等級	n	中位數 (h)	p90 (h)	最大 (h)
A	296	30	166	1215 (~50 d)
B	287	36	204	2535
C	254	54	267	3474 (~145 d)

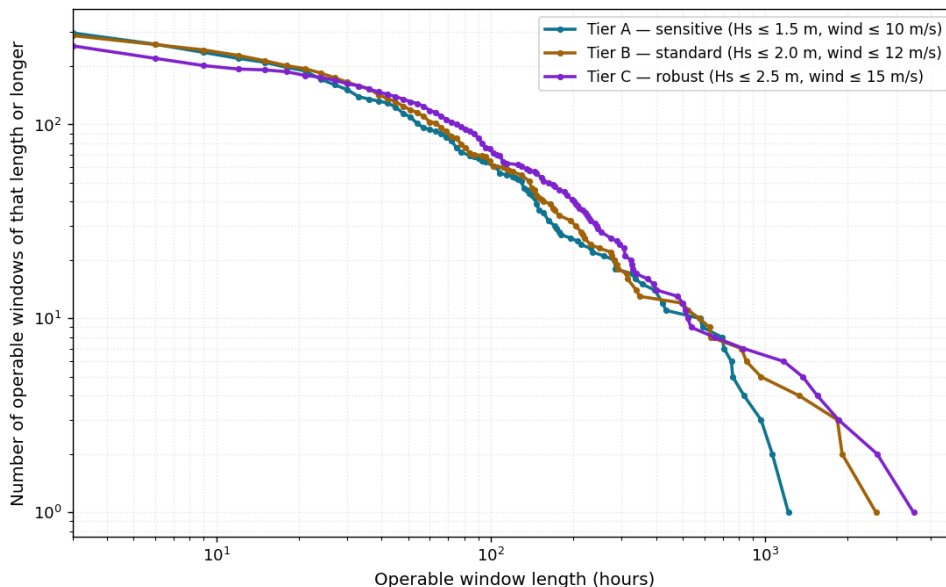
停工時段（連續超過門檻之時段）：

等級	n	中位數 (h)	最大 (h)
A	297	36	1035 (~43 d)
B	288	27	531
C	255	21	306

意涵如下：- 於敏感作業下，典型可作業時段僅約 **1.25 天**（中位數 30 h），但長尾延伸至多週的夏季無季風段落。- 於敏感作業下，冬季停工可持續 **4-6 週**（最大 1035 h ≈ 43 天）。這就是規劃時程的問題所在：保證敏感等級天氣以利安裝的合約，必須接受冬季可能延誤 1 個月以上的風險。- 中位數與最大值之間的**巨大落差**證實本場址氣候由強烈季節循環主導，並非均勻變動所致。

→ 詳見 **圖 6**（可作業性持續度生存曲線）。

**Operability persistence – survival curves (representative offshore Changhua waters, 2019-2023)**



3-hourly joint wind-wave samples; one operable window = a maximal contiguous run of samples meeting the tier threshold. Survival shows count of windows lasting ≥ x hours.

圖 6: 三個門檻等級之可作業性持續度生存曲線（圖中只繪可作業時段；停工時段統計見上方表格）。橫軸為連續時段長度（小時，對數尺度），縱軸為 5 年紀錄中持續達該長度以上的可作業時段數量（對數尺度，非機率）；曲線愈高表示該長度的可作業時段愈多。一個「可作業時段」定義為符合等級門檻的連續 3 小時樣本最大區段。

每月／每等級之完整表格（附錄 B 目錄，Table B-3）可依需求提供。

## 6. 颱風目錄與「冬季 > 颱風」發現

### 6.1 通過場址 200 km 範圍內的熱帶氣旋

於 2019-2023 期間, 共有 6 場 IBTrACS 目錄系統達熱帶風暴 (TS, 生命期峰值風速  $\geq 34$  kt) 以上強度, 並通過場址 200 km 範圍內。另有一場僅達熱帶低壓 (TD) 強度之系統, 因低於命名門檻而未列入本目錄。依場址影響 (颱風通過期間之峰值 Hs / 風) 排序:

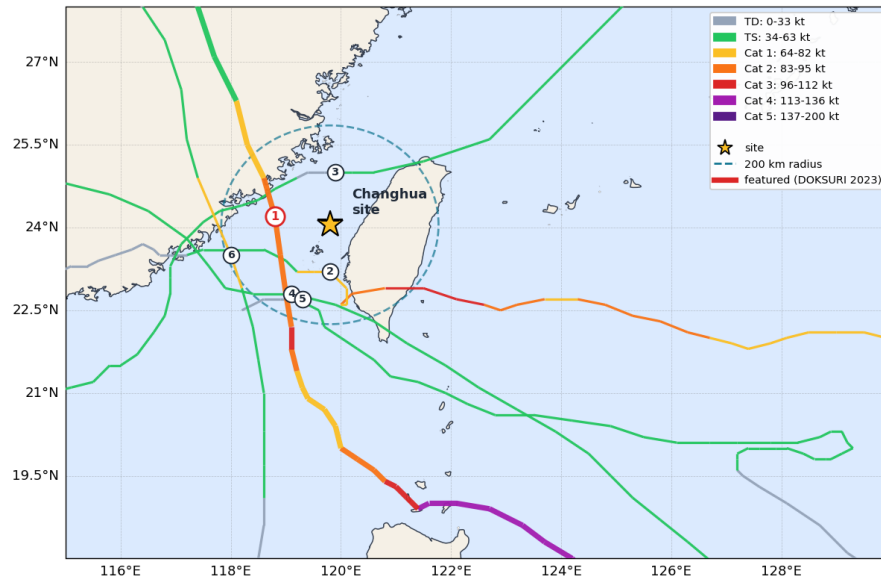
表 6: 通過場址 200 km 範圍內之熱帶氣旋, 2019-2023, 依場址峰值 Hs 排序。

颱風名	年份	IBTrACS 編號	最近距離 (km)	場址峰值 Hs (m)	場址峰值 10 m 風 (m/s)	最低氣壓 (hPa)
DOKSURI	2023	2023201N13134	103	<b>5.14</b>	<b>21.5</b>	928
HAIKUI	2023	2023239N18144	95	4.98	19.2	945
BAILU	2019	2019231N13135	156	4.29	17.8	979
ATSANI	2020	2020303N05149	159	3.99	17.8	993
LUPIT	2021	2021214N21110	106	3.23	15.6	976
MEKKHALA	2020	2020222N15117	193	2.39	13.2	980

**ATSANI 歸因釐清**。場址於 2020-11-11 觀測到之 6.05 m 峰值 Hs 應歸因於東北季風之開始, 而非 ATSANI 颱風: 該峰值發生於 ATSANI 最近通過時刻 (2020-11-07) 之**四天後**, 且周邊每日峰值序列顯示 11-07 → 11-10 為單調下降, 接續 11-11 為孤立峰值 — 此型態與颱風尾部衰減不一致。ATSANI 於最近通過  $\pm 48$  h 時段內之颱風期場址峰值為 3.99 m。此區辨並非無關緊要, 因 6.05 m 峰值為 5 年時段內前五大 Hs 時間點之一 (下方第 6.2 節); 若將其歸因於某條颱風路徑, 將會誤導時段內颱風 vs 季風之比較。

→ 詳見 **圖 7** (200 km 範圍內颱風路徑, 2019-2023)。

Typhoon tracks within 200 km of Changhua site (IBTrACS, 2019-2023)



Track colour = 1-min sustained wind (kt), Saffir-Simpson-style. Filter: storms whose tracks passed within 200 km of the site during 2019-2023 with peak intensity  $\geq$  TS (34 kt); 6 storms shown. Coastlines: Natural Earth. IBTrACS v4r01.

圖 7: 2019-2023 期間通過場址 200 km 範圍內之六場 IBTrACS 目錄熱帶氣旋路徑 (生命期峰值強度  $\geq$  熱帶風暴), 依 Saffir-Simpson 強度著色。一場僅達熱帶低壓強度之系統依目錄門檻已排除。

→ 詳見 圖 8 (DOKSURI 2023 事件卡)。

# TYPHOON DOKSURI

2023-07-20 – 2023-07-31 · WP basin

Featured event — representative offshore Changhua waters, 2019–2023

SITE PEAK HS

**5.14**

m

SITE PEAK WIND (10 M)

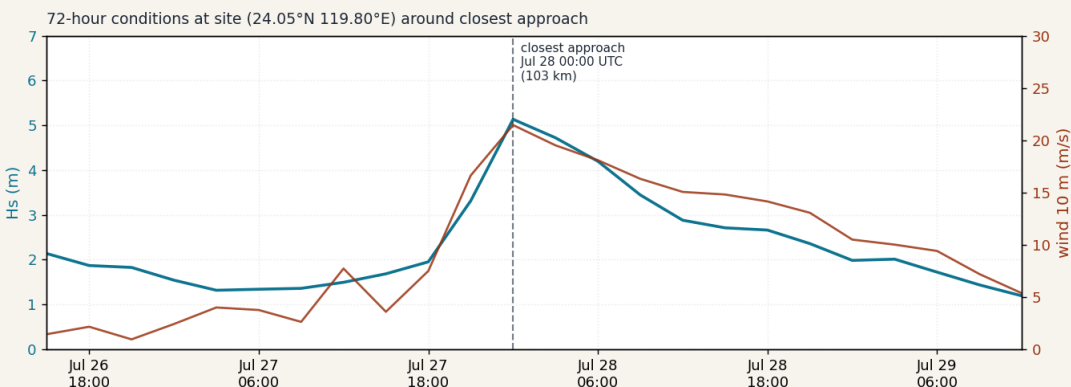
**21.5**

m/s

STORM MIN PRESSURE

**928**

hPa



IBTrACS sid 2023201N13134 · closest approach to site: 103 km · IBTrACS USA-agency peak wind 130 kt, min pres 928 hPa. Site peak Hs / wind from WAVERYS + ERA5 at site (bilinear at off-grid point). ERA5 CC-BY 4.0 · WAVERYS CMEMS Licence · IBTrACS NOAA public domain.

圖 8: DOKSURI 2023 事件卡：上方為三項關鍵指標（場址峰值 Hs、場址峰值 10 m 風速、風暴最低海平面氣壓），下方為通過最近距離前後 72 小時的場址 Hs 與 10 m 風速時間序列。

## 6.2 時段內比較：冬季季風 vs 颱風的貢獻

於 2019-2023 主要分析時段內，場址前五大 Hs 時間點並非由路徑通過 200 km 範圍內之颱風所驅動，且五者皆經方向驗證為東北季風驅動（波來向 21-28°、風來向 15-27°、峰值週期 10-11 s — 屬風浪／短湧浪特徵，非遠處颱風會產生之 14+ s 長週期特徵）：

排名	時間 (UTC)	Hs (m)	波來向 (°)	風來向 (°)	風速 (m/s)	Tp (s)
1	2020-12-30 03:00	<b>6.25</b>	28.5	25.5	18.8	11.0
2	2023-10-05 03:00	<b>6.12</b>	21.0	16.5	22.7	10.6
3	2020-11-11 09:00	<b>6.05</b>	27.7	26.5	17.0	10.1
4	2023-10-05 06:00	5.97	20.9	14.6	21.2	10.7
5	2023-10-05 09:00	5.95	21.8	19.0	20.9	10.7

逐項排名歸因：

- #1 — 冬季東北季風，±48 h 內無 IBTrACS 颱風。
- #2 — 東北季風開始；方向為當地 NE，與當時通過場址南方之 Koinu 颱風所致之遠處湧浪不一致。
- #3 — 東北季風早季；發生於 ATSANI 颱風最近通過 (2020-11-07) 之 4 天後，且未顯示颱風後衰減特徵。
- #4、#5 — #2 之延續（同一東北季風事件，分別於 3 h 與 6 h 後）。

相對而言，同一時段內最強之命名颱風場址峰值為 DOKSURI 2023 之 5.14 m（第 6.1 節）。

**頻譜分量能量驗證。**上述歸因依賴的是整體波場的三項特徵——峰值週期、平均波向 (VMDR)、以及與風向的對齊。同一份 WAVERYS 資料另外提供了**頻譜分量分解**（風浪 WW + 主湧浪 SW1 + 次湧浪 SW2）。前五大 Hs 各時間點的分量 Hs 與風浪能量佔比如下：

表 7: 前五大 Hs 時間點之頻譜分量能量分解。Hs(WW) 為風浪分量 Hs (VHMO\_WW)；Hs(SW1) / Hs(SW2) 為主 / 次湧浪分量 Hs (VHMO\_SW1 / VHMO\_SW2)。E(WW)/E\_total 為風浪能量佔總波浪能量比例 (風浪能量分率，無因次)，計算為  $VHMO\_WW^2 / VHMO^2$ 。本表 5 個值皆 < 100%；於低 Hs 區資料集其他位置中，WAVERYS 分量機制可能因頻譜 bin-assignment 行為產生略 > 100% 之值（詳 §4.4），但本表所列之高 Hs 子集已遠離該行為發生區間。排名 5 顯示 99.9% 而非由 2 位小數截斷算術所得之 100.0%，係因底層 VHMO 與 VHMO\_WW 在第三位小數有差異。VTM01\_WW 為風浪分量之平均週期（風浪分量之第一頻譜矩 Tm01；與 §4.1 所列之頻譜峰值週期 VTPK 不同，後者定義較短週期）。

排名	時間 (UTC)	總 Hs (m)	Hs(WW) (m)	Hs(SW1) (m)	Hs(SW2) (m)	E(WW)/E_total	VTM01_WW (s)
1	2020-12-30 03:00	6.25	<b>6.24</b>	0.23	0.13	<b>99.6%</b>	8.8
2	2023-10-05 03:00	6.12	<b>6.11</b>	0.15	0.12	<b>99.7%</b>	8.3
3	2020-11-11 09:00	6.05	<b>6.03</b>	0.25	0.16	<b>99.3%</b>	8.1
4	2023-10-05 06:00	5.97	<b>5.96</b>	0.21	0.10	<b>99.6%</b>	8.5
5	2023-10-05 09:00	5.95	<b>5.95</b>	0.22	0.11	<b>99.9%</b>	8.5

前五大 Hs 時間點**全部顯示總波浪能量 >99% 集中於風浪分量**，主湧浪與次湧浪分量合計貢獻 <1% 之能量。風浪分量平均週期 (VTM01\_WW ~ 8 s) 與當地風速 (18-23 m/s)、約 300-500 km 臺灣海峽吹送距下之受限風浪一致；遠處熱帶氣旋若產生  $T_p \geq 12-14$  s 之長週期湧浪，其等效一階矩週期 VTM01 約為 10-11 s，仍遠高於此處所見之 8 s，確認當地風浪主導。風浪分量方向 (WAVERYS 變數 VMDR\_WW；排名 1-5 各為 28°、21°、28°、21°、22°) 亦與 §6.2 上方表格中之當地風來向 (26°、17°、27°、15°、19°) 吻合於 1-7° 內。

附註：排名 2、4、5 為 2023-10-05 同一場東北季風事件之連續 3 小時樣本，5 個時間點實際對應**三個獨立風暴事件**（排名 1、排名 2/4/5 為同一事件、以及排名 3）。分量能量結果於 5 個樣本上一致，但時段內發現之有效獨立事件數為 3 個，並非 5 個。

此分量能量分解為 §6.2 東北季風歸因增添了頻譜能量上的封閉性：原始的論述僅依單一整體平均方向 (VMDR)，原則上仍存在無法解析的小型遠處湧浪疑慮；分量變數則直接量化湧浪分量能量，移除此一不確定性。本 5 年時段內「冬季 > 颱風」之發現因此倚賴**三個相互佐證的 WAVERYS 頻譜診斷量**——週期、整體平均方向、分量能量分解。三者皆出自同一模式執行，並非量測上互相獨立，但三者合一提供了 VMDR 單獨無法達到的能量量化封閉性。

此處方向慣例附註：VMDR 為 WAVERYS 平均波向（跨越完整海況頻譜以能量加權）。分量平均方向 (VMDR\_WW) 則僅限風浪頻譜峰。兩者均採氣象來向 (FROM) 慣例（即氣流或波浪之來源方向；§2.4）。

### 為何此時段內發現未經更長資料無法外推

此發現僅描述 2019-2023 時段。在就場址氣候上冬季季風 vs 颱風驅動極端 Hs 之相對權重下結論前，有兩個因素使更長時段分析有其必要：

- **5 年時段恰好不合於近峰值強度直接通過場址之 Cat 4+ 颱風。**經 20 年 IBTrACS 背景時段 (2004-2023) 驗證：兩個十年內僅有一場 Cat 4+ 颱風以近峰值強度進入場址 150 km 範圍 — MERANTI (2016)，其於 124 km 處通過，峰值風速 118 kt、最低氣壓 935 hPa。該事件落於第 4 節所用之 2019-2023 WAVERYS 萃取主分析時段之外，故本範例未對其進行萃取與分析 (WAVERYS 再分析本身涵蓋 1980 → 現今，延伸萃取時段即可納入)。另有兩場颱風地理上更接近 — SOUDELOR (2015) 約 21 km、NEPARTAK (2016) 約 49 km — 但於最近通過時刻，二者於越過臺灣中央山脈後皆已減弱至 Cat 1 / TS 強度，故其直接場址影響強度不大。
- **2019-2023 為臺灣登陸颱風頻率明顯低於平均之時期。**據 CWA 紀錄，1991-2020 基準期平均約 3 個颱風登陸/年；2019-2023 五年合計約 4 個，其中 2020 年與 2022 年皆為「零個直接登陸」(2020 年更是 CWA 紀錄上首次零登陸年)。本期所用之 5 年颱風目錄因此偏向長期分布之低端尾。

中部臺灣海峽結構上是否較東部臺灣或南部臺灣不易暴露於峰值颱風強度，存在合理推論 — 中央山脈通常會在跨島颱風到達西部海峽前削弱其強度。若此結構性遮蔽假設成立，則「冬季季風為型態上具意義之 Hs 驅動因子」之框架在更長氣候中仍然成立。然而證明此事需要更長之分析時段，而非由 5 年樣本假設而來。

**建議：**將分析延伸至 15-30 年時段 — ERA5 (1979 年 → 現今) 與 WAVERYS 再分析 (1980 年 → 現今) 二者皆可支援 — 再就此場址冬季季風 vs 颱風驅動極端 Hs 之相對主導性下場址氣候結論。WMO 氣候慣例採用 30 年常態值；對於 Cat 4+ 等級之熱帶氣旋回歸期分析，短於 30 年之樣本期間可能會錯過任何特定場址之相關事件。

### 對可作業性規劃之實務意涵

儘管上述更長時段注意事項，時段內發現仍對下列一個型態具直接實用性：

- **持續性條件型態**（多日 Hs 超過 4 m，主導大部分作業規劃 — 安裝、人員轉運、吊裝氣象時段）：於本場址，冬季東北季風事件於 2019-2023 對作業之約束程度，至少不亞於颱風直接通過，且此型態共存模式不太可能於更長時段中消失 — 冬季東北季風事件每年皆會復發。
- **絕對極值型態**（回歸期分析、設計載重計算、峰值生存評估）：須採用較長（15-30 年）之颱風目錄進行正式極值分析，且極可能識別出直接通過 Cat 4+ 颱風為主導之單一事件災害。此型態超出本書面研究報告之範疇；詳見第 8 節限制 1。

**關於 200 km IBTrACS 過濾之方法學附註：**此為路徑型目錄，非波浪影響型目錄。超過 200 km 之颱風原則上仍可能因長吹送距遠處湧浪於場址驅動顯著 Hs，波浪時間序列 (WAVERYS) 會捕捉到，但颱風目錄不會。於 2019-2023 時段內，前五大 Hs 時間點無一具與此遠處湧浪情境一致之方向特

徵，故就此特定時段，颱風目錄之完整性並非限制因素。半徑過濾注意事項仍為任何單一場址氣候分析之一般考量。

## 7. 與公開觀測資料的交叉驗證

使用兩項免費可取得之 CWA OpenData 產品執行兩項互補交叉檢查。二者共同探測十年時段之季節氣候（模式對模式）以及 30 天時段之即時天氣尺度波浪場（模式對浮標）。

### 7.1 十年氣候 — 場址 CWA WW3 (2008-2017) vs WAVERYS (2019-2023)

來源：CWA OpenData C-B0086-001 (臺灣海域波候統計) — 為涵蓋 5°N-40°N × 110°E-160°E、0.25° 格點之 10 年 (2008-2017) 月 Hs 氣候資料，由 CWB 以 WaveWatch III 模擬產製。本資料集所以入選，是因為它與 WAVERYS 同屬模式產出 (model-based hindcast) — 兩者在十年月氣候尺度上做模式對模式比較，能就氣候結構互為對照；對應的浮標觀測對照則安排在 §7.2。

於場址 (24.05°N, 119.80°E) 對兩產品進行雙線性內插萃取，得到 12 個月季節循環比較：

月份	CWA WW3 (2008-17) 平均 Hs (m)	WAVERYS (2019-23) 平均 Hs (m)	偏差 (W-C)
1 月	1.94	2.16	+0.21
2 月	1.68	2.06	+0.38
3 月	1.38	1.45	+0.07
4 月	0.90	1.38	+0.48
5 月	0.78	1.02	+0.24
6 月	0.78	0.74	-0.04
7 月	0.76	0.79	+0.03
8 月	0.78	0.90	+0.12
9 月	1.20	1.24	+0.04
10 月	1.96	2.41	+0.44
11 月	1.86	2.24	+0.38
12 月	2.06	2.72	+0.65

**主要結果：**12 個月季節循環之月平均 Hs 偏差 = **+0.25 m**、RMSE = **0.32 m**、Pearson 相關係數  $r = 0.970$ 。註： $r$  於  $n = 12$  個月氣候平均上計算，反映**季節循環形狀的一致性**，而非獨立逐點樣本相關性；標準 Pearson 顯著性統計不適用於此小型、結構性相關之樣本。

**詮釋：**

- 月平均 Hs 之**季節循環**於彰化場址被 WAVERYS (5 年 2019-2023) 與 CWB WW3 (10 年 2008-2017) 後報以  $r \approx 0.97$  捕捉 — 主要的東北季風 (10-3 月) vs 西南季風 (6-8 月) 型態被一致重現。
- WAVERYS 於冬季月份 (10-2 月) 系統性地讀數高出 **+0.4 至 +0.7 m**。三個非互斥之解釋：

- (a) 2019-2023 冬季相對於 2008-2017 氣候異常強烈 — 與第 3.2 節 20 年 Hovmöller 顯示 2022 與 2023 冬季季風高於 20 年中位數一致。
  - (b) WAWERYS / MFWAM 於中至強風浪型態具已記載之輕微正偏差 (Stopa 2018; Copernicus Marine WAWERYS Quality Information Document)。
  - (c) 東亞冬季季風於 2008-2023 期間之十年尺度變動 (Li et al. 2022) 對跨期間差異有貢獻，且未經更長配對時段比較，此因素無法與 (a)、(b) 分離。
- 兩者為替代來源波浪後報 (不同模式程式碼：MFWAM vs WW3；不同作業外力鏈)。然而二者皆受再分析家族大氣外力驅動 — WAWERYS 直接由 ERA5 驅動，CWB WW3 由 CWB 內部 NWP 驅動，而後者本身又以 ECMWF 分析資料初始化。季節循環的一致性因此部分反映共用大氣輸入，而非完全獨立的波浪模式物理。在此注意事項下，本結果支持「本報告所用之 WAWERYS 場址氣候，在季節循環形狀上與替代來源十年後報於同一位置一致」之結論 — 屬形狀層次的方法學交叉檢查，並非絕對值層次的至場址驗證。

→ 詳見 圖 9 (WAWERYS vs CWA WW3 月 Hs 比較)。

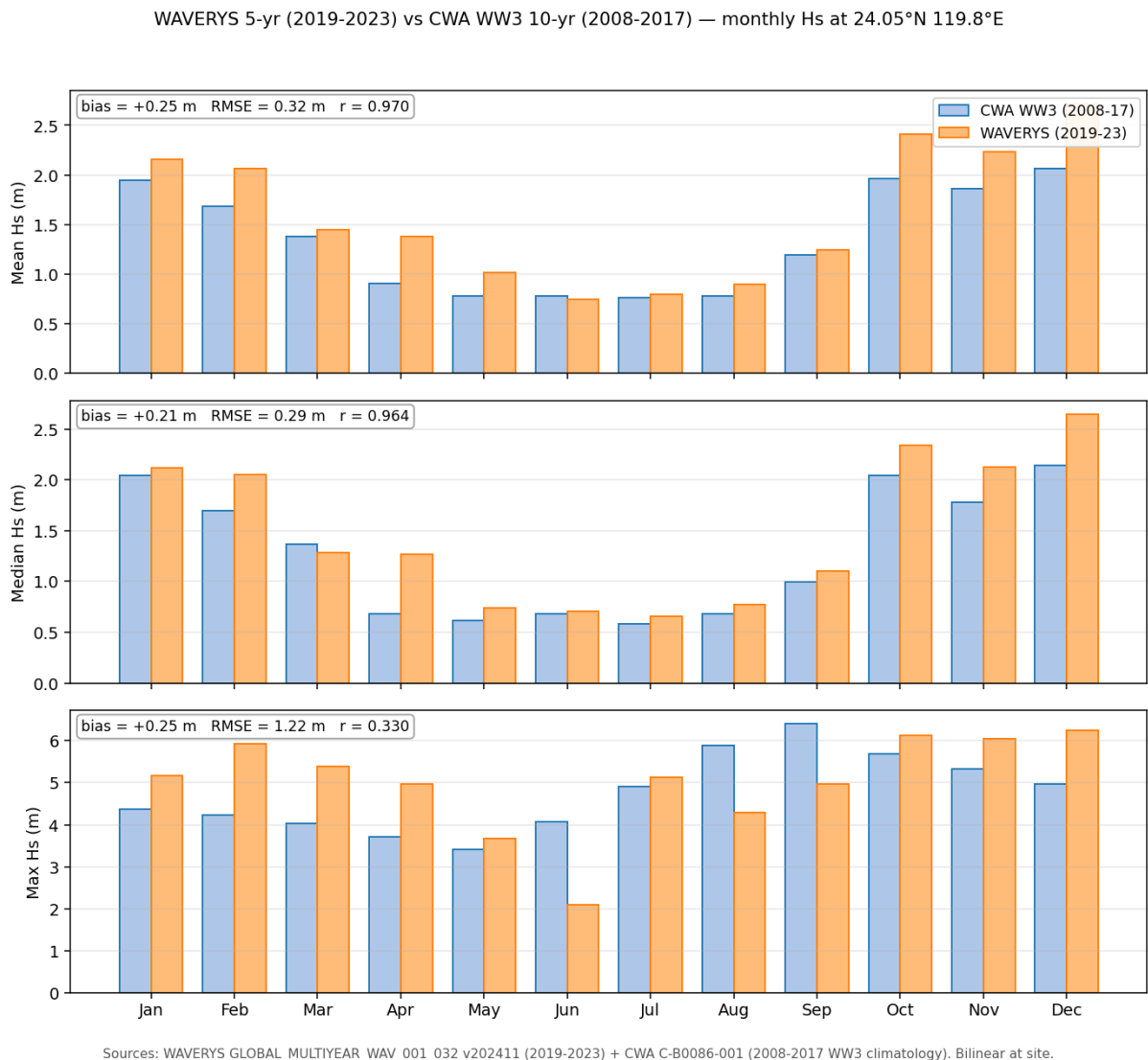


圖 9: 24.05°N 119.80°E 場址月 Hs 比較：WAWERYS 5 年 (2019-2023) vs CWA WW3 10 年 (2008-2017)。各面板呈現平均／中位數／最大值，含偏差、RMSE 與 Pearson 相關係數 r。

完整平均／中位數／最大表格（附錄 B 目錄，Table B-4）可依需求提供。

## 7.2 即時浮標抽查 — CWA O-B0075-002 vs WAVERYS NRT（春季季風轉換期之 30 天時段）

**來源：**CWA OpenData O-B0075-002（海象觀測資料）— 涵蓋 85 站之 30 天滾動浮標與潮位觀測。本檢查於同一浮標位置之重疊時段中，將 WAVERYS NRT 即時分析產品的波浪輸出與這些浮標實測值對比。

**時段說明。**本資料集為滾動 30 天產品。本報告所分析之時段（2026-04-06 → 2026-05-06）為分析時點所擷取之資料，季節上恰落在春季季風轉換期。若於日後重新執行同樣的交叉檢查，使用的會是不同的 30 天時段，所得之季節性偏差與 RMSE 也會不同。本節提供的價值在於對照方法學的一致性，並非特定時段的數值本身。

本報告所用、最接近彰化選取點且具波浪儀器之兩座浮標，皆位於同一臺灣海峽動力區內：

- **46757B 新竹浮標**— 24.7633°N, 120.8447°E，距場址 132 km NE。
- **C6W10 七美浮標**— 23.1911°N, 119.6538°E，距場址 96 km SSW。

30 天 Hs 比較統計（3 小時對齊，n 為消除缺漏後之配對樣本數）：

表 8: 30 天 Hs 比較統計（3 小時對齊；n 為消除缺漏後配對樣本數；偏差正值代表 WAVERYS 高於 CWA 浮標）。

站別	n	CWA 平均 (m)	WAVERYS 平均 (m)	偏差 W-C (m)	RMSE (m)	Pearson 相關係數 r
新竹	229	0.84	0.83	-0.01	0.25	0.847
七美	226	0.72	0.77	+0.05	0.23	0.883

**詮釋：**

- 兩座浮標之 30 天 Hs 比較顯示**平均偏差 < 5 cm** 且 **r ≈ 0.85-0.88** — WAVERYS NRT 模式於本時段內捕捉到這些現地測站之天氣尺度 Hs 演化。
- 此為真正的模式對浮標比較（CWA 浮標 = 真實量測）。其提供區域低能量條件下的抽查證據，**支持 WAVERYS 家族波浪模式於臺灣海峽對天氣尺度 Hs 之追蹤能力**，與 7.1 節之氣候檢查互補（屬一致性支持，非至場址驗證）。
- **30 天時段 (2026-04-06 → 2026-05-06) 落於春季季風轉換期**，此時段 Hs 偏低（本時段新竹平均 0.84 m、七美平均 0.72 m），且變動性中等。本處所報之偏差與 r 因此代表低能量／季風轉換條件下之表現；模式於主導之東北季風季（11-2 月，場址平均 Hs 2-2.7 m）以及颱風事件期間之能力**並未**為此 30 天檢查所抽樣，需更長或更針對事件之比較。
- 本節用以與浮標比對的 WAVERYS 即時產品，與本報告其餘各節所用之多年再分析，在生產循環與同化資料流上不同。兩者共用相同的波浪模式架構 (MFWAM)。多年再分析同化測高 SWH 與 2017 年後 Sentinel-1 SAR 方向譜；即時產品則於作業循環中同化測高 SWH。大氣強迫亦不同：多年再分析以一致的 ERA5 風場強迫，經穩定的 reprocessing pass 重新處理；即時產品則使用作業分析風場，且為時效性需求採用較短的同化窗口。本節所列浮標一致性，因此可代表 WAVERYS 家族波浪模式於本區現地 Hs 之表現，但其偏差量級不能逐項直接套用至 §83-6 所用之多年再分析。

- 波向比較顯示 RMSE  $\approx 25\text{-}50^\circ$ ，視站別而定（新竹較佳）。 $T_p$  顯示  $+1.7$  至  $+2.0$  s 之系統性 WEVERYS 正偏差，係因週期定義不匹配所致（CWA 報平均波週期；WEVERYS VTPK 為峰值週期）。

**方法學附註:** 新竹浮標位於 WEVERYS  $0.083^\circ$  解析度的陸/淺海遮罩邊界，該位置直接提取為無效格點；本分析改採其朝海方向約  $9.7$  km 之最近有效海洋格點 ( $24.75^\circ\text{N}$ ,  $120.75^\circ\text{E}$ ) 作為對照。各測站之萃取作法詳載於分析 manifest 中，附錄 B 目錄 (Table B-5) 亦有引用。

→ 詳見 圖 10（新竹與七美浮標處之 30 天 Hs 時間序列疊圖）。

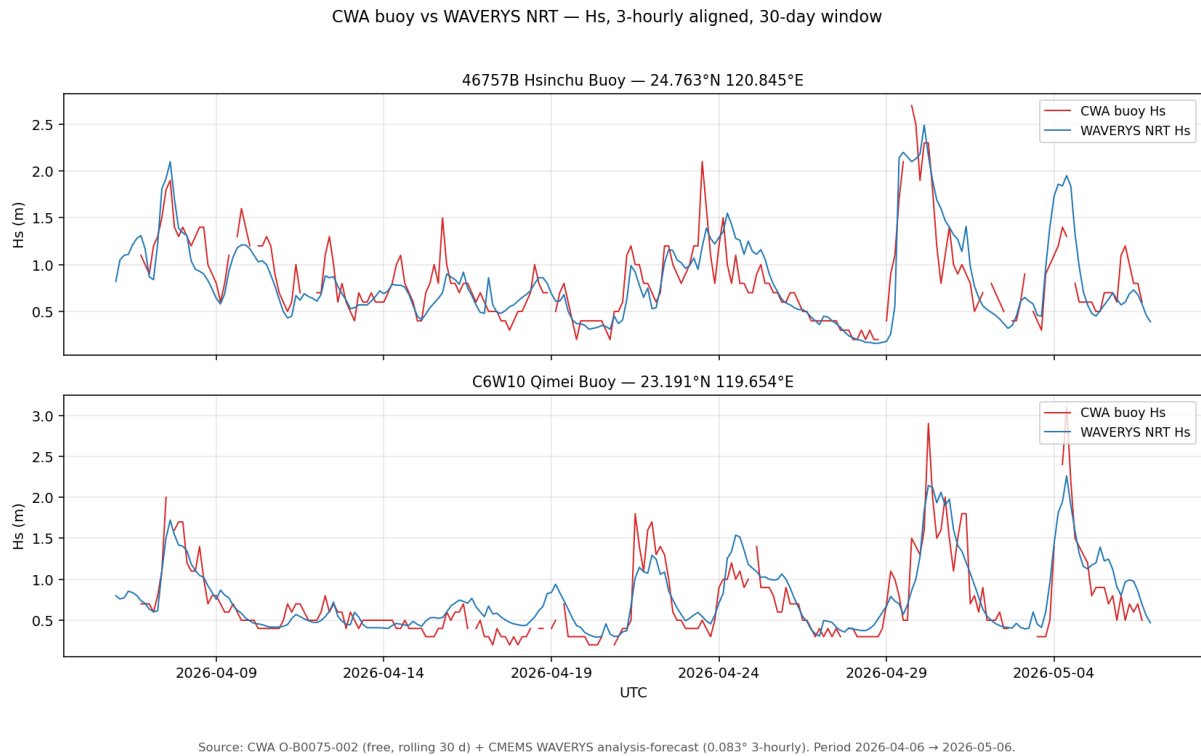


圖 10: 30 天 Hs 時間序列疊圖（3 小時對齊）：CWA 浮標觀測 vs WEVERYS NRT，分別於新竹浮標位置（上）與七美浮標位置（下）。上下兩面板的縱軸皆為 Hs (m)，橫軸為日期；圖內以英文圖例標示 CWA buoy 與 WEVERYS NRT 兩條時間序列。

→ 詳見 圖 11（30 天 Hs 散布圖 — WEVERYS NRT vs CWA 浮標）。

CWA buoy vs WAVERYS NRT — Hs cross-plot (3-hourly aligned)

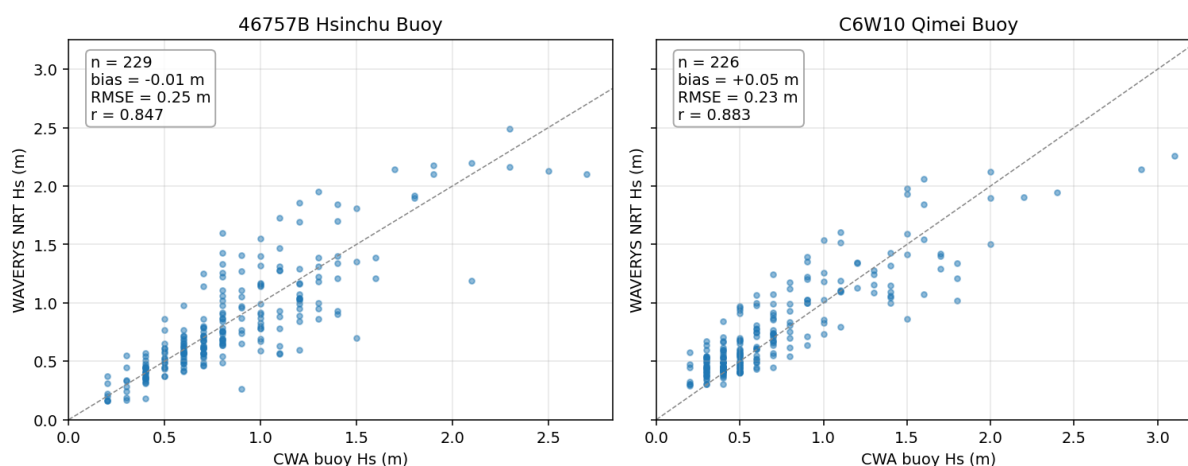


圖 11: 30 天 Hs 散布圖：WAVERYS NRT vs CWA 浮標於新竹與七美。各面板報告 n、偏差、RMSE 與 Pearson 相關係數 r。橫軸為 CWA 浮標 Hs (m)，縱軸為 WAVERYS NRT Hs (m)；對角線為理想完全一致參考線。

完整每測站／每變數表格（附錄 B 目錄，Table B-5）可依需求提供。

### 7.3 此交叉檢查確立什麼、不確立什麼

此處所用之兩項 CWA OpenData 產品皆為免費可取得，且可由 manifest 重現。二者共同支持：

- ✓ 場址處之 5 年 WAVERYS 再分析, 在季節循環形狀上與替代來源十年波浪後報於同一位置一致 (不同波浪模式程式碼; 部分共用之大氣外力鏈 — 詳見第 7.1 節 MFWAM-vs-WW3 / ERA5-vs-CWB-NWP 之討論)。
- ✓ WAVERYS 家族波浪模式於本 30 天低能量區域抽查中, 展現良好的天氣尺度 Hs 追蹤, 平均偏差 < 5 cm。

此交叉檢查不確立（並需另外界定範疇之工作）：

- 場址 5 年再分析對彰化區域現地浮標資料之逐點偏差量化。場址 ~95 km 範圍內並無 CWA 波浪儀器浮標（最近活躍之波浪浮標為新竹與七美，皆距場址約 100-130 km）。場址處之驗證需部署專案特定浮標，或經由申購向 CWA 購買彰化區域歷史浮標時間序列（依 CWA 規費收費標準 K0100008 計費）。
- 極端事件回歸期驗證。此處之交叉檢查為氣候與天氣尺度層級；設計載重之極值分析屬正式極值分析 (EVA) 範疇，本報告範圍之外。

## 8. 限制與注意事項（彙整）

適用於所有報告數字之注意事項，依主題組織以利讀者瀏覽，避免條列式之扁平清單。本清單之項數反映方法學紀律，並非未解問題 — 下列各項各自陳述本分析之一個已知邊界。

## 8.1 來源資料準確度

1. **再分析對小尺度強烈 TC 峰值之系統性低估。** 20-40% 的範圍在熱帶氣旋強度文獻中已有明確記載：Hodges et al. (2017) 與 Schenkel & Hart (2012) 報告 ERA-Interim、JRA-55 與更早的再分析對氣旋峰值風速低估約 20-40%；ERA5 (Hersbach et al. 2020) 提供更高的原生解析度與 4D-Var 同化，預期可縮小但無法消除此偏差，特別是對於強烈、半徑小的熱帶氣旋。本報告 §8.3-6 所用之 WAWERYS 多年再分析另外同化測高 SWH 與 2017 年後 Sentinel-1 SAR 方向譜 (§7.2 浮標檢查所用之 WAWERYS NRT 產品同化資料流不同 — 詳 §7.2 末項說明)，可部分緩解風場驅動之 Hs 偏差，但測高衛星於眼牆尺度取樣稀疏，因此小尺度強烈 TC 期間之場址 Hs 應視為**參考性質，而非設計級**。絕對極值分析需要採用偏差校正或不同的資料來源。
2. **ERA5 100 m 風為模式診斷量**，非同化變數。於穩定邊界層具偏差風險；專案特定輪轂高度氣候特徵宜經氣象塔或更高解析度之中尺度模式驗證。
3. **ERA5 0.25° 平滑了海峽中之東北季風低空噴流**。局地通道效應未完全解析；10-20 m/s 區間之平均風速略為低估。
4. **WAWERYS 分量 Hs 可能輕微超過總 Hs** (約 0.002% 格點下達 ~6%)，係已知之 WAM/WW3 頻譜分配 (bin-assignment) 行為。並非資料錯誤。
5. **GLORYS 表層 = 0-1 m 深度平均層** (技術用語精確)。表層海流為層平均，非點值。

## 8.2 空間與時間解析度

6. **場址經度 (119.80°) 對 WAWERYS 而言落於原生格點上 (0.2° 原生)**；僅緯度偏離格點。對 ERA5 (0.25°) 與 GLORYS (1/12°) 則兩維度皆偏離格點。
7. **場址處空間內插**：雙線性內插為標準作法；方法選擇對彙總統計差異 < 1%，於 VHM0 絕對最大值上差異 +6.7%。
8. **Bbox 西北角延伸入內陸**；ERA5 t2m / d2m / msl 包含若干陸地格點 (選取點本身位於海上)。區域平均統計使用海陸遮罩排除陸地格點。
9. **WAWERYS 3 小時 vs ERA5 逐時的時間不匹配**已透過直接降採樣處理，以支援聯合分析。
10. **聯合框架上的 3 小時取樣是 ERA5 逐時風與 WAWERYS 3 小時波之自然對齊**。第 5.1 節表格說明已附量化敏感度檢查：在 1 小時聯合框架上將 WAWERYS Hs 內插後重新計算，年可作業性差異 < **0.1 個百分點** (線性內插)，最壞情況之向前填補 (forward-fill) 下亦 < **0.5 個百分點**。本場址上 3 小時聚合並未實質高估年可作業性。任何殘餘樂觀偏差之方向一致——3 小時 WAWERYS 樣本之間的短暫 Hs 尖峰於聯合框架中無法被捕捉，且兩種敏感度檢查在原理上皆無法揭示——但量級遠低於任何客戶面之可作業性決策所需之精度。第 5.2 節之短時段持續度統計 (敏感型可作業時段中位數 30 小時) 對 3 小時內結構之敏感性更高，作為短事件應用之獨立注意事項仍適用。

## 8.3 目錄與交叉驗證範圍

11. **IBTrACS 目錄過濾**。本目錄限制為 (a) 路徑通過場址 200 km 範圍內，且 (b) 生命期峰值風速達熱帶風暴 ( $\geq 34$  kt) 以上之系統。組合後之意涵：
  - 超過 200 km 之颱風原則上仍可能因長吹送距遠處湧浪於場址驅動顯著 Hs。此類事件會出現在波浪時間序列中，但不會出現在過濾後之目錄中。於 2019-2023 時段內，場址前

五大 Hs 時間點無一具與此情境相符之方向特徵 (詳見 §6.2), 故此屬方法學層級之注意事項, 並非本時段分析之主動偏差來源。

- 僅達熱帶低壓強度之系統不列入; 2019-2023 / 200 km 時段中有一場 TD-only 系統因此被排除。若分析需求包含全部 TD 之氣旋計數 (例如風險篩選低能量事件時), 此過濾應放寬。

12. **CWA 交叉驗證範圍**: 第 7 節使用兩項免費 CWA OpenData 產品 (C-B0086-001 10 年 WW3 氣候資料 + 0-B0075-002 30 天浮標觀測) 作為方法學交叉檢查。**對彰化區域現地浮標逐時歷史資料之逐點驗證**並非免費等級之範疇, 未含於本報告; 最近的活躍 CWA 波浪儀器浮標位於新竹 (132 km NE) 與七美 (96 km SSW)。場址歷史浮標驗證需部署專案特定浮標, 或依 CWA 規費收費標準 KO100008 購買 CWA 歷史浮標時間序列。

#### 8.4 可作業性框架建模選擇

13. **可作業性等級的風門檻為平均風速**, 並非陣風速。此場址於例行東北季風條件下, ERA5 海上 3 秒陣風通常為平均風速的 1.3–1.5 倍; 於颱風眼牆對流下, 海上表面陣風因子可達 1.5–1.7 倍或更高, 需另行評估。若以陣風 10 m/s 為標準 (相對於等級 A 所採用之平均 10 m/s), 可作業性將顯著低於所報之 56%。實際面對客戶之可作業性, 應依特定船舶/吊機作業包絡所適用之陣風門檻重新製表。
14. **邊際分布統計無法線性組合為聯合可作業性**。本場址於東北季風期間 Hs 與 wind10 強烈相關 (高能量事件期間二者同時出現), 於西南季風期間則較接近獨立。等級 A/B/C 可作業性比例係由聯合框架針對所報特定門檻組合所做的聯合計算; 對於未特定計算的門檻, 無法由第 3 / 4 節的邊際分布反推得出。
15. **長週期湧浪未作為本報告之可作業性準則使用**。WAVERYS 分量變數 (VTM01\_SW1, VHMO\_SW1) 存於資料集中, 惟第 5.1 節可作業性等級僅用 Hs 與 wind10。於本場址, 9 月 WAVERYS VTPK (頻譜峰值週期—頻譜峰值之頻率, 非某些浮標所報之平均波週期 Tm01/Tm02) p99 為 10.9 s, 5 年最大 VTPK 為 14.9 s; 中等 Hs 下之長週期湧浪 (VTPK 10–14 s) 即使在 Hs 與風皆低於門檻時, 仍可能對吊裝作業具營運上之意義。具備湧浪週期意識之可作業性框架是已知遺漏, 延後至客戶特定等級規範時處理。**進一步說明**: 在混合海況下, VTPK 可能即使在總 Hs 變化甚微的情況下, 仍於風浪峰與湧浪峰之間切換 (§4.3 節末「對動態敏感作業而言的 Tp 指標注意事項」已先行引介); 對於船體運動敏感作業, 分量平均週期或能量加權週期 (Te / Tm-1,0) 為較合適的營運描述量。WAVERYS 已提供建構此類客戶特定框架所需的分量週期。

此種程度之明示限制乃書面研究姿態之一部分: 清楚說明本分析能承載與不能承載之事項。

#### 9. 資料來源、出處與授權

關於本節格式的說明。本節下方各英文出處段落 (ERA5、Copernicus Marine WAVERYS / GLO-RYS12V1、IBTrACS、CWA OpenData、Natural Earth) 為各資料提供者授權條款 (CC-BY 4.0、CMEMS Licence、政府資料開放授權條款—第 1 版、NOAA public domain) 所明定須逐字保留之屬名/致謝文字, 不得翻譯或改寫; 於本報告 (中/英文版) 任何形式之轉散布時, 這些英文出處段落必須

**維持原樣**。本中文導言段落與下方「引用文獻」段落為 PF Tech 自行加入之說明與學術慣例引用，不在「逐字保留」範圍內，重製者可依需要調整或翻譯。讀者若需各條目之中文摘要，可參考第 2.1 節資料來源表（已附中文說明）。

ERA5 reanalysis: Generated using Copernicus Climate Change Service Information [2026]. Licence: CC-BY 4.0. Source: Climate Data Store (cds.climate.copernicus.eu). Hourly: DOI 10.24381/cds.adbb2d47. Monthly: DOI 10.24381/cds.fl7050d7.

Copernicus Marine Waverys (GLOBAL\_MULTIYEAR\_WAV\_001\_032 v202411): Generated using E.U. Copernicus Marine Service Information; DOI 10.48670/moi-00022. Licence: CMEMS Licence.

Copernicus Marine GLORYS12V1 (GLOBAL\_MULTIYEAR\_PHY\_001\_030 v202311): Generated using E.U. Copernicus Marine Service Information; DOI 10.48670/moi-00021. Licence: CMEMS Licence.

IBTrACS v4r01: Knapp et al. 2010; Gahtan et al. 2024. NOAA National Centers for Environmental Information. DOI 10.25921/82ty-9e16.

CWA OpenData: 資料集 C-B0086-001（臺灣海域波候統計，2008-2017 月 Hs 氣候，由 CWB 以 WaveWatch III 模擬）以及 0-B0075-002（海象觀測資料，30 天滾動浮標 + 潮位觀測）。Source: 交通部中央氣象署 (Central Weather Administration), opendata.cwa.gov.tw. Licence: 政府資料開放授權條款—第 1 版（與 CC-BY 4.0 相容）。

海岸線（圖 7，§6.1 颱風路徑面板）：Natural Earth via cartopy。

## 引用文獻

- Hersbach, H., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049. DOI 10.1002/qj.3803.
- Hodges, K., Cobb, A., & Vidale, P. L. (2017). How well are tropical cyclones represented in reanalysis datasets? *Journal of Climate*, 30(14), 5243-5264. DOI 10.1175/JCLI-D-16-0557.1.
- Schenkel, B. A., & Hart, R. E. (2012). An examination of tropical cyclone position, intensity, and intensity life cycle within atmospheric reanalysis datasets. *Journal of Climate*, 25(10), 3453-3475. DOI 10.1175/2011JCLI4208.1.
- Stopa, J. E. (2018). Wind forcing calibration and wave hindcast comparison using multiple reanalysis and merged satellite wind datasets. *Ocean Modelling*, 127, 55-69. DOI 10.1016/j.ocemod.2018.04.008.
- Li, R. C. Y., et al. (2022). Decadal variability of the East Asian winter monsoon. *Journal of Climate*, 35(13), 4225-4242. DOI 10.1175/JCLI-D-21-0497.1.
- Copernicus Marine Service. Quality Information Document (QUID) for product GLOBAL\_MULTIYEAR\_WAV\_001\_032 (Waverys Global Wave Reanalysis). Available via the Copernicus Marine product catalogue.

各資料集之存取日期、來源檔案 checksum，以及下載與處理流程之版本紀錄 (commit sha) 皆記錄於案例 manifest，可依需求提供。

## 10. 可重現性

本報告中每項數值結果與圖皆可由版本化分析流程重新產生。本流程包含：

1. **資料擷取**: 由各供應商 (ERA5 逐時 + 月、CMEMS WAVERYS 再分析、CMEMS GLORYS、IB-TrACS、CWA OpenData) 重新取得來源資料, 並逐一記錄 SHA-256 checksum 於案例 manifest。
2. **場址萃取**: 於選取點進行雙線性內插, 並進行跨變數時間索引驗證以防範靜默 NaN-padding。
3. **統計分析**: 月與年氣候、聯合門檻可作業性等級, 以及可作業時段持續度 (連續時段長度分布)。
4. **交叉驗證**: 以 CWA OpenData 波候統計 (模式對模式, 十年月氣候) 以及滾動時段 CWA 浮標觀測 (模式對浮標, 30 天天氣尺度) 做替代來源比較。詳見第 7 節。
5. **視覺化**: 所有圖表皆由可重現之繪圖流程產製, 圖列於附錄 A。
6. **品保**: 對下載資料進行預期維度、邊界與 manifest checksum 之驗證。

**製作流程**。本報告以 AI 輔助流程產製。資料擷取、分析設計、圖表產出與報告撰寫皆於前述可重現流程內執行; 方法學假設、詮釋性宣稱與限制皆於正文中明示。本流程重視來源可追溯性與可重現性——每張圖說、每個表格數值、每段章節結論皆可回溯至特定的資料產品與處理步驟——並作為人為技術審查與責任之輔助而非取代: 每份報告於發布前皆由 PF Tech 工程師對照底層分析進行審查。PF Tech 認為「自動化透明度 + 人為技術責任」此一組合, 是快速且可辯護地完成海氣象書面研究應有的作法。(任何前期書面研究都有的範疇限制——與產製方式無關——詳見免責聲明與第 8 節。)

**取得方式**。程式碼庫、資料 manifest 與重現指引可依需求提供 — [contact@pft-s.com.tw](mailto:contact@pft-s.com.tw)。

## 附錄 A — 圖目錄

表 9: 圖目錄。

圖	章節	描述
1	2.2	場址空間內插四面板
2	3.2	100 m 風日平均行事曆熱圖, 2019-2023
3	3.2	100 m 風月平均 Hovmöller 圖, 2004-2023
4	4.2	風與波浪玫瑰圖配對 (含方向夾角 $\Delta\theta$ 標註)
5	4.3	場址 Hs–Tp 聯合分布 (hexbin 密度)
6	5.2	可作業性持續度生存曲線
7	6.1	場址 200 km 範圍內颱風路徑, 2019-2023
8	6.1	DOKSURI 2023 颱風事件卡
9	7.1	場址 Hs 月氣候對照 (十年模式比較)
10	7.2	兩個鄰近 CWA 浮標 30 天 Hs 時間序列
11	7.2	兩個鄰近 CWA 浮標 30 天 Hs 散布圖

所有圖表均由案例 manifest 所引用之可重現分析流程產出(可依需求提供)。

## 附錄 B — 統計表目錄

表 10: 統計表目錄。

#	表格
B-1	氣候主要統計 — wind 10 m、wind 100 m、Hs、Tp (每月 + 年; 平均 / 標準差 / 第 5 / 50 / 95 / 99 百分位 / 最大值)
B-2	可作業性 — Hs / wind10 聯合門檻 (3 個等級): 年比例、每年天數、月別細分
B-3	可作業性持續度 — 各等級各月之連續時段長度分布 (可作業 + 停工之中位數、p90、最大值)
B-4	場址處 CWA WW3 10 年 vs WAVERYS 5 年氣候交叉檢查 (月平均 / 中位數 / 最大 Hs)
B-5	CWA 浮標 30 天 vs WAVERYS NRT 抽查 (每測站 Hs / Tp / 方向; 每測站萃取方法附註)

此為本分析流程所產生之**支援統計表索引**。本報告主文以 ID (例如「Table B-2」) 引用以利追溯; 表格本身並未嵌入公開方法學示範。各表可依需求作為界定範圍委任案之一部分提供, 或於完整專案交付物中以 CSV / Parquet 格式同附。