

115-020-7E20

MOTC-IOT-114-H3CA001c

# 花蓮港碼頭波高預測模式作業化 成果評估



交通部運輸研究所

中華民國 115 年 3 月

115-020-7E20

MOTC-IOT-114-H3CA001c

# 花蓮港碼頭波高預測模式作業化 成果評估

著者：傅怡釗、鄭采誼、王欣郁、林雅雯

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 3 月

GPN: 1011500185

定價: 200 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估 / 傅  
怡釗, 鄭采誼, 王欣郁, 林雅雯著. -- 初版.  
-- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 115.03  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-531-746-1(平裝)

1. CST: 波動 2. CST: 神經網路 3. CST: 數值  
分析 4. CST: 港埠

351.941

115001236

花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

著者：傅怡釗、鄭采誼、王欣郁、林雅雯

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](http://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 115 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 45 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資訊組•電話：(02)2349-6880

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：1011500185

ISBN：978-986-531-746-1(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份內容者，須徵求交通部運輸研究所  
書面授權。

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-746-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1011500185	運輸研究所出版品編號 115-020-7E20	計畫編號 114-H3CA001c
主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：林雅雯 研究人員：傅怡釗、鄭采誼、王欣郁 聯絡電話：04-26587134 傳真號碼：04-26564415			研究期間 自 114 年 1 月 至 114 年 12 月
關鍵詞：倒傳遞神經網路、花蓮港、波高預測模式			
摘要： <p>花蓮港東臨太平洋，港內常受長週期波（湧浪）影響產生震盪，導致船舶須出港避湧。目前花蓮港務分公司主要仰賴內、外港區碼頭之波高觀測即時資訊，執行船舶進出港管制作業。本計畫應用倒傳遞神經網路（BPNN），針對花蓮港 9 號、17 號及 25 號碼頭建構波高預測模型，並建立作業化流程，整合成「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」，提供各關鍵碼頭之波高變化趨勢，深具實務應用價值。</p> <p>針對位於內港區、對港外波浪較不敏銳之 9 號碼頭，本計畫提出優化對策：將 17 號碼頭之波高資訊納入 9 號碼頭 BPNN 模型之輸入層參數，經實證分析確實能提升預測精度，進一步制定獨立運作之「9 號碼頭波高預測作業化模式」，未來可採增加預測頻率，滾動式預測（Rolling Forecast），獲取最新 9 號碼頭波高預測資訊。本計畫同時維護「花蓮港區靜穩展示系統」，整合港內靜穩觀測、港外湧浪模擬及即時影像資訊，協助花蓮港務分公司精確掌握港區海氣象環境，俾利提升防災應變之決策效能。</p> <p>成果效益與應用情形：</p> <p>建置「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」及「9 號碼頭波高預測作業化模式」，提供外港區、內港區波高預測資訊；維運「花蓮港區靜穩展示頁面」提供花蓮港務分公司船舶進出港分區管制之決策支援。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
115 年 3 月	279	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 TRANSHARBORATION  
 MINISTRY OF TRANSHARBORATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Performance Evaluation of the Operational Wave Height Forecasting Model for Hualien Port Wharves			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-746-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011500185	IOT SERIAL NUMBER 115-020-7E20	PROJECT NUMBER 114-H3CA001c
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-Wen Lin PROJECT STAFF: Yi-Chuan Fu, Cai-Yi Jheng , Hsin Yu Wang PHONE: 886-4-26587134 FAX: 886-4-26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2025 TO December 2025
KEY WORDS: back-propagation neural network, Hualien Harbor, tranquility; forecasting wave heights models			
ABSTRACT: <p>Hualien Port, facing the Pacific Ocean to the east, frequently experiences harbor oscillations induced by long-period waves (swells), which necessitate vessel evacuation to avoid surge-related risks. Currently, Taiwan International Ports Corporation, Ltd., Hualien Port Branch (TIPC) primarily relies on real-time wave height observations from wharves in the inner and outer harbor areas for vessel traffic control. This study employs Back-Propagation Neural Networks (BPNN) to construct wave height prediction models for Wharves No. 9, 17, and 25. By establishing standardized operational workflows, these models are integrated into the "Operational Wave Height Forecasting Model for Hualien Port Wharves," providing trend analysis for key berths with significant practical value.</p> <p>To address the issue of Wharf No. 9, which is situated in the inner harbor and exhibits lower sensitivity to offshore wave conditions, this study proposes an optimization strategy: incorporating wave height data from Wharf No. 17 as an input layer parameter for the Wharf No. 9 BPNN model. Empirical analysis confirms that this approach effectively enhances prediction accuracy. Consequently, an independent "Operational Wave Height Forecasting Model for Wharf No. 9" was established. This model can increase prediction frequency via a rolling forecast mechanism to provide the most up-to-date wave height information for Wharf No. 9. Furthermore, this study maintains the " Hualien Harbor Area Stability Display Page" which integrates inner-harbor tranquility observations, offshore swell simulations, and real-time imagery. This system enables the Port Branch to precisely master the metocean environment, thereby improving decision-making efficiency for disaster prevention and emergency response.</p> <p>Key Benefits and Applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• System Implementation: “An Operationalized Wave Height Forecasting System for Hualien Port Berths “ and “An Operationalized Wave Height Forecasting System for Pier No. 9 of Hualien Port “, delivering real-time forecasting data for inner and outer harbor zones.</li> <li>• Decision Support: Maintained the " Hualien Harbor Area Stability Display Page, " enabling the Port Corporation to perform informed decision-making regarding zonal vessel traffic management and navigation control.</li> </ul>			
DATE OF PUBLICATION March 2026	NUMBER OF PAGES 279	PRICE 200	
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transharboration and Communications.			

# 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
目 錄 .....	III
圖目錄 .....	VI
表目錄 .....	IX
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1-1</b>
1.1 計畫緣起 .....	1-1
1.2 前期相關研究 .....	1-1
1.3 研究範圍與對象 .....	1-3
1.4 工作項目 .....	1-3
<b>第二章 神經網路簡介 .....</b>	<b>2-1</b>
2.1 神經元模型介紹 .....	2-1
2.1.1 生物神經元模型 .....	2-1
2.1.2 人工神經元模型 .....	2-2
2.1.3 神經網路學習推估 .....	2-3
2.1.4 神經網路特性及功能 .....	2-5
2.2 倒傳遞神經網路 .....	2-6
2.2.1 網路架構 .....	2-6
2.2.2 網路計算過程 .....	2-7
2.3 文獻回顧 .....	2-11
<b>第三章 花蓮港波浪觀測資料蒐集及分析 .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 港外波浪觀測資料蒐集及分析 .....	3-3
3.1.1 波流儀器簡介 .....	3-3

3.1.2 波浪觀測資料統計結果.....	3-3
3.1.3 波浪觀測資料長浪分析.....	3-6
3.2 港內碼頭波浪觀測資料蒐集及分析.....	3-10
3.2.1 碼頭波浪監測站簡介.....	3-10
3.2.2 碼頭波浪觀測資料蒐集及分析結果.....	3-11
3.3 小結.....	3-21
<b>第四章 重建碼頭波高預測神經網路模式.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 神經網路模式訓練、驗證及測試規劃.....	4-1
4.1.1 影響花蓮港域波浪之颱風事件.....	4-3
4.1.2 資料前處理、網路架構及學習訓練設定.....	4-10
4.2 重建 17 號碼頭波高預測神經網路模式.....	4-12
4.2.1 網路架構及使用資料說明(17 pier-BPNN).....	4-12
4.2.2 模式驗證結果(17 pier-BPNN).....	4-14
4.2.3 模式測試結果(17 pier-BPNN).....	4-17
4.3 重建 25 號碼頭波高預測神經網路模式.....	4-20
4.3.1 網路架構及使用資料說明(25 pier-BPNN).....	4-20
4.3.2 模式驗證結果(25 pier-BPNN).....	4-21
4.3.3 模式測試結果(25 pier-BPNN).....	4-24
4.4 重建 9 號碼頭波高預測神經網路模式.....	4-27
4.4.1 網路架構及使用資料說明(9 pier-BPNN).....	4-27
4.4.2 模式驗證結果(9 pier-BPNN).....	4-28
4.4.3 模式測試結果(9 pier-BPNN).....	4-30
4.5 小結.....	4-34
<b>第五章 作業化模式及測試執行情形.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 建置花蓮港碼頭波高預測作業化模式.....	5-1
5.1.1 第 1 階段作業化流程.....	5-1

5.1.2 第 2 階段作業化流程.....	5-4
5.2 花蓮港碼頭波高預測作業化模式測試執行情形.....	5-8
5.3 創建 9 號碼頭波高預測作業化模式.....	5-13
5.3.1 新建 9 號碼頭(含 17 號碼頭波高)之神經網路.....	5-13
5.3.2 創建 9 號碼頭波高預測作業化模式 (HLNNs_pier9.exe).....	5-24
5.3.3 評估 9 號碼頭波高預測作業化模式成果.....	5-28
5.4 小結.....	5-34
<b>第六章 花蓮港區靜穩展示網頁.....</b>	<b>6-1</b>
6.1 網頁簡介.....	6-1
6.2 網頁維護工作.....	6-5
<b>第七章 結論與建議.....</b>	<b>7-1</b>
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-3
7.3 計畫成果效益及應用.....	7-4
<b>參考文獻.....</b>	<b>參-1</b>
<b>附錄一 花蓮港 112~113 年波浪觀測資料處理及長浪分析歷線圖.....</b>	<b>附 1-1</b>
<b>附錄二 花蓮港 112~113 年碼頭各月波浪觀測資料統計及分析.....</b>	<b>附 2-1</b>
<b>附錄三 花蓮港船舶進出港管制相關規定及資料.....</b>	<b>附 3-1</b>
<b>附錄四 專家學者座談會及歷次工作會議紀要.....</b>	<b>附 4-1</b>
<b>附錄五 計畫簡報.....</b>	<b>附 5-1</b>
<b>附錄六 報告審查意見處理情形表.....</b>	<b>附 6-1</b>



## 圖目錄

圖 2.1 生物神經元模型 (葉怡成) .....	2-1
圖 2.2 人工神經元模型 .....	2-2
圖 2.3 轉換函數示意圖 .....	2-5
圖 2.4 倒傳遞神經網路基本架構示意圖 .....	2-7
圖 3.1 花蓮港外、港內波浪聯合觀測站網位置示意圖 .....	3-1
圖 3.2 水位訊號轉換長浪 ( $H_{m0swell}$ ) 示意圖 .....	3-7
圖 3.3 花蓮港 109 年 9 月 9 號及 17 號碼頭波高歷線圖 .....	3-18
圖 3.4 花蓮港 109 年 11 月 9 號及 17 號碼頭波高歷線圖 .....	3-19
圖 3.5 花蓮港 113 年 10 月 9 號、17 及 25 號碼頭波高歷線圖 .....	3-20
圖 3.6 花蓮港 113 年 11 月 9 號、17 及 25 號碼頭波高歷線圖 .....	3-21
圖 4.1 花蓮港碼頭靜穩監測站位置示意圖 .....	4-2
圖 4.2 花蓮港波浪模擬輸出點位示意圖 .....	4-2
圖 4.3 對應表 4-1 所列 109~111 年期間船舶避湧之颱風路徑圖 .....	4-5
圖 4.4 對應表 4-2 所列 112 年期間船舶避湧之颱風路徑圖 .....	4-6
圖 4.5 對應表 4-2 所列 113 年期間船舶避湧之颱風路徑圖 .....	4-7
圖 4.6 網路架構及訓練流程圖-以 17 號碼頭波高神經網路為例 .....	4-11
圖 4.7 花蓮港 17-H-BPNN 網路架構、驗證及測試流程 .....	4-13
圖 4.8 花蓮港 17-HTM-BPNN 網路架構、驗證及測試流程 .....	4-14
圖 4.9 花蓮港 17-H-BPNN 驗證結果 .....	4-15
圖 4.10 花蓮港 17-HTM-BPNN 驗證結果 .....	4-16
圖 4.11 花蓮港 17-H-BPNN 測試結果 .....	4-18
圖 4.12 花蓮港 17-HTM-BPNN 測試結果 .....	4-18
圖 4.13 花蓮港 25-H-BPNN 驗證結果 .....	4-22
圖 4.14 花蓮港 25-HTM-BPNN 驗證結果 .....	4-23

圖 4.15	花蓮港 25-H-BPNN 測試結果.....	4-26
圖 4.16	花蓮港 25-HTM-BPNN 測試結果 .....	4-26
圖 4.17	花蓮港 9-H-BPNN 驗證結果.....	4-29
圖 4.18	花蓮港 9-HTM-BPNN 驗證結果.....	4-29
圖 4.19	花蓮港 9-H-BPNN 測試結果.....	4-33
圖 4.20	花蓮港 9-HTM-BPNN 測試結果.....	4-34
圖 5.1	初始設定檔 set_conn.txt 內容 .....	5-3
圖 5.2	第 1 階段 main1_connSQL.exe 處理流程.....	5-4
圖 5.3	設定檔 set_NN.txt .....	5-4
圖 5.4	第 2 階段 main2_HLNNs.exe 處理流程-以 17 號碼頭為例.....	5-7
圖 5.5	連續預測流程示意圖 .....	5-7
圖 5.6	康芮颱風路徑示意圖 .....	5-9
圖 5.7	花蓮港 NN17_op2024.exe 於康芮颱風期間測試執行情形 .....	5-9
圖 5.8	花蓮港 NN17_op2024.exe 於康芮颱風期間資料中斷、恢復 .....	5-10
圖 5.9	使用 17-H-BPNN 架構，康芮颱風驗證（後測）結果 .....	5-10
圖 5.10	使用 17-HTM-BPNN 架構，康芮颱風驗證（後測）結果 .....	5-10
圖 5.11	花蓮港 HLNNs_op2024.exe 測試執行情形(5 月 8 日截圖).....	5-11
圖 5.12	花蓮港 HLNNs_op2024.exe 測試執行情形(10 月 21 日截圖).....	5-12
圖 5.13	花蓮港 HLNNs_op2025.exe 上線測試執行(11 月 8 日截圖).....	5-12
圖 5.14	花蓮港 9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN 架構說明及示意圖.....	5-14
圖 5.15	花蓮港 9 <sub>(&amp;17)</sub> - HTM -BPNN 架構說明及示意圖.....	5-14
圖 5.16	新建 9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN 驗證結果.....	5-16
圖 5.17	新建 9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN 驗證結果 .....	5-16
圖 5.18	新建 9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN 架構測試流程及說明.....	5-20
圖 5.19	新建 9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN 架構測試流程及說明 .....	5-20
圖 5.20	新建 9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN 測試結果.....	5-21

圖 5.21	新建 9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN 測試結果 .....	5-22
圖 5.22	花蓮港 HLNNs_pier9.exe 初始設定檔 set_conn.txt.....	5-26
圖 5.23	花蓮港 HLNNs_pier9.exe 設定檔 set_NN.txt 內容.....	5-26
圖 5.24	執行檔 main3_pier9.exe 流程圖 .....	5-27
圖 5.25	流程 A 路線，17 號及 9 號碼頭神經網路連續預測示意圖.....	5-27
圖 5.26	樺加沙強烈颱風路徑圖(114 年 9 月).....	5-28
圖 5.27	使用 H-BPNN 架構執行 9 月 22 日波高預測歷線圖.....	5-31
圖 5.28	作業化模式 9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN 之 1720 趟次預測評估.....	5-31
圖 5.29	作業化模式 9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN 之 1820 趟次預測評估.....	5-31
圖 5.30	使用 HTM-BPNN 架構執行 9 月 22 日波高預測歷線圖.....	5-33
圖 5.31	作業化模式 9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN 之 1720 趟次預測評估.....	5-33
圖 5.32	作業化模式 9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN 之 1820 趟次預測評估.....	5-34
圖 6.1	示警資訊頁面示意圖(113 年 7 月 24 日凱米颱風期間).....	6-3
圖 6.2	觀測模擬資訊頁面示意圖 .....	6-4
圖 6.3	歷線圖工具版本更新後，網頁展示狀況 1.....	6-5
圖 6.4	歷線圖工具版本更新後，網頁展示狀況 2.....	6-5
圖 6.5	網頁展示狀況 1，恢復展示功能.....	6-6
圖 6.6	網頁展示狀況 2，恢復展示功能.....	6-6



## 表 目 錄

表 3-1	花蓮港外、港內波浪聯合觀測站網基本資料 .....	3-2
表 3-2	花蓮港 109-113 年 AWAC 超音波訊號波浪觀測資料統計.....	3-5
表 3-3	波浪觀測資料長浪分析結果 .....	3-8
表 3-4	花蓮港 109~113 年 9 號碼頭波浪資料蒐集及統計分析 .....	3-11
表 3-5	花蓮港 109~113 年 17 號碼頭波浪資料蒐集及統計分析 .....	3-14
表 3-6	花蓮港 109~113 年 25 號碼頭波浪資料蒐集及統計分析 .....	3-16
表 4-1	花蓮港 109~111 年期間有發布船舶出港避湧之颱風事件 .....	4-3
表 4-2	花蓮港 112~113 年期間有發布船舶出港避湧之颱風事件 .....	4-3
表 4-3	花蓮港 109~111 年期間港域內波浪受颱風事件影響彙整表 .....	4-7
表 4-4	花蓮港 112~113 年期間港域內波浪受颱風事件影響彙整表 .....	4-9
表 4-5	本年度調整輸入層參數正規化之上、下限設定 .....	4-11
表 4-6	花蓮港 17 號碼頭訓練、驗證及測試集資料表 .....	4-13
表 4-7	同場颱風下，17 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果表 .....	4-16
表 4-8	同場颱風下，17 號碼頭 2 種網路架構之測試結果表 .....	4-19
表 4-9	花蓮港 25 號碼頭訓練、驗證及測試集資料表 .....	4-21
表 4-10	同場颱風下，25 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果表 .....	4-23
表 4-11	同場颱風下，25 號碼頭 2 種網路架構之測試結果表 .....	4-25
表 4-12	花蓮港 9 號碼頭訓練、驗證及測試集資料表 .....	4-28
表 4-13	同場颱風下，9 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果 .....	4-30
表 4-14	同場颱風下，9 號碼頭 2 種網路架構之測試結果 .....	4-32
表 5-1	花蓮港 9 號碼頭(含 17)訓練、驗證及測試集資料.....	5-15
表 5-2	同場颱風下，新建 9 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果比較 .....	5-17
表 5-3	同場颱風下，新建 9 號碼頭 2 種網路架構之測試結果比較 .....	5-23

表 5-4 花蓮港 9 號碼頭波高預測神經網路彙整說明 .....	5-23
表 6-1 各種船型之裝卸臨界波高 .....	6-2
表 6-3 113 年~114 年期間網頁維護紀錄.....	6-7
表 7-1 花蓮港碼頭波高預測神經網路模式彙整總表 .....	7-5

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫緣起

花蓮港東臨遼闊的太平洋，因其港型及港口開口方向關係，港內常受長浪(湧浪)影響振盪致使船舶出港避湧，臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司(以下簡稱花蓮港務分公司)自 110 年 4 月起以觀測內港區水尺(近 9 號碼頭)及外港區水尺(25 號碼頭對面東防波堤)之實際波浪情況，執行內港、外港區之分區管制工作，後於 111 年 5 月訂定、112 年 2 月及 114 年 7 月修正「花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」，定義颱風及湧浪期間的管制標準，係以觀測內港區及外港區湧浪起伏情況，適時採取內港、外港「進、出」管制工作，有關花蓮港船舶進出港管制相關規定及資料，詳報告書附錄三。

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)於 109 年 5 月起陸續於花蓮港 9 號碼頭(內港區)及 17、25 號碼頭(外港區)等 3 處設置浪潮即時監測站蒐集港內波浪觀測資料，並即時展示於「花蓮港區靜穩展示」網頁，供花蓮港務分公司使用。若能進一步提供 3 座碼頭波浪預測資料，將有助於花蓮港務分公司執行船舶進出港管制工作。

## 1.2 前期相關研究

有關本所辦理與本計畫相關之前期研究，分 3 方面說明如下：

### 1. 花蓮港外波浪觀測資料蒐集及長浪分析

本所於 106 年度進行「臺灣港灣海象模擬技術研發與防災之應用」，除了維運本所發展海象模擬作業化系統(TaiCOMS)以外，並建置東南海域海象模組，在花蓮港港外波浪觀測資料部分，進行花蓮港 105 年度觀測波浪之湧浪(長浪)分析。107 至 110 年執行「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究」期間，以花蓮港為研究對象，蒐集近 5

年港外波浪觀測資料並辦理長浪分析工作；將港內波浪觀測資料納入探討港區於颱風期間防颱避湧情形，應用 110 年度改善 TaiCOMS 之遠域風浪模組，據此提供長浪模擬預測資訊；同時開發客製化「花蓮港區靜穩展示網頁」，整合花蓮港海氣象觀測、港內靜穩觀測資訊，配合長浪模擬預警資訊，提供港外長浪及港內波高預警燈號示警資訊。

## 2. 花蓮港內波浪觀測資料蒐集與分析

本所於 109 年 5 月起陸續於花蓮港 9 號碼頭(內港區)及 17、25 號碼頭(外港區)等 3 處設置浪潮即時監測站，所蒐集之港內波浪觀測資料統計分析成果均在每年(自 109 起迄今)之港內浪潮即時監測及調查報告書做呈現說明。

## 3. 應用神經網路做碼頭波高預測

考量近年港務管理工作越來越重視港內碼頭波浪情況，本所在 111 年度執行「花蓮港內波浪預測方案初探」自行研究計畫，以 17 號碼頭為研究對象，分別使用倒傳遞神經網路(BPNN)及長短期記憶模型(LSTM)2 種方法，輸入層考量不同參數做方案測試，初步探討碼頭波高神經網路架構及評估 2 種方法成效，結果在使用倒傳遞神經網路(BPNN)及長短期記憶模型(LSTM)2 種方式，且考慮前 1 小時港外、港內波浪條件下，2 種方法預測能力均能達到不錯的效果且差異不大。接著，考量 17 號碼頭波浪資料有中斷之情況，若未來編寫作業化流程上線執行時，如遇輸入資料錯異常不合理或資料有中斷一段時間再恢復觀測之情況，使用倒傳遞神經網路方法建置波高預測神經網路，將較能應付前述情況，並可快速提供合理資料。故自 112 年起，本所執行「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」；在 113 年執行「花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究」，初步以建置之 17 號碼頭波高預測模式為例，規劃其作業化流程、預設預測執行時數為 24 小時，整體作業流程封包成執行檔(NN17\_op2024.exe)先於測試網頁上線運行，並由上線執行情形可知，

其模式預測成果主要提供港內碼頭波高未來變化趨勢，建議後續進行整合、精進花蓮港碼頭波高預測作業化模式工作，除了重新訓練 9、17 及 25 號碼頭神經網路部分以外，同時，可考慮減少作業化模式預設的預測時數。

本(114)年度即在上述研究成果基礎上，重建並整合 3 個碼頭波高預測模式，又依 113 年作業化模式執行情形，評估進行作業化流程改善工作、創建 9 號碼頭波高預測作業化模式，以符合後續研究成果落地應用之需求。

### 1.3 研究範圍與對象

本計畫以花蓮港為研究範圍，後續預測成果將規劃展示於「花蓮港區靜穩展示」網頁，提供花蓮港務分公司做船舶進出港分區管制之決策依據，維護船舶出港操航安全、提昇船席機動調配及港埠運作效率。

### 1.4 工作項目

本年度計畫內主要工作項目，說明如下：

#### 1. 文獻蒐集與回顧

以生成式 AI 協助蒐集神經網路應用於波浪預測、數值模式作業化研究等相關文獻。

#### 2. 花蓮港波浪觀測及模擬資料蒐集、統計及分析

整理花蓮港 113 年度港外 AWAC、港內 3 座碼頭波浪觀測資料，以及本所 TaiCOMS 2.0 系統產製花蓮港波浪模擬資料，並進行統計分析工作。

#### 3. 神經網路再訓練、驗證及測試

目前神經網路訓練集資料為 110~112 年止，故將 113 年度港外模擬資料、港內波浪觀測資料納入訓練，重建 9、17 及 25 號碼頭波高預測神經網路並辦理驗證及測試工作。

#### 4. 作業化模式執行及評估分析

將上述 3 座碼頭波高預測神經網路，整合納入「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」流程並先於測試網頁試行，針對其預測結果，以統計方法分時段評估其預測值與觀測值間之差異性。

#### 5. 維護及更新「花蓮港區靜穩展示」網頁

目前「花蓮港區靜穩展示」網頁整合本所於花蓮港辦理之靜穩觀測資訊、港外長浪模擬預測資訊、港區影像等成果，預計 114 年底前新增展示花蓮港碼頭波高變化趨勢之功能。

## 第二章 神經網路簡介

神經網路是一個可計算之多層網路，它使用大量簡單而具有平行處理能力之人工神經元來模擬人類學習行為，本章節針對神經元模型、神經網路的學習推估程、特性及功能，以及神經網路中之倒傳遞神經網路（Back Propagation Neural Network，BPNN）做介紹。

### 2.1 神經元模型介紹

#### 2.1.1 生物神經元模型

生物神經網路是由巨量的神經細胞(neuron, 又稱神經元)所組成，形成一個高度連結網狀的神經網路，資訊的處理工作即透過連結來進行。以人腦而言，人腦大約由 1,011 個神經元所組成，而每一個神經元約有 103 根連結與其他神經元相連，所以人腦中約有 104,133 根連結，因此人腦可以儲存大量而複雜的知識。神經元構造如圖 2.1 所示，其主要構造如下：

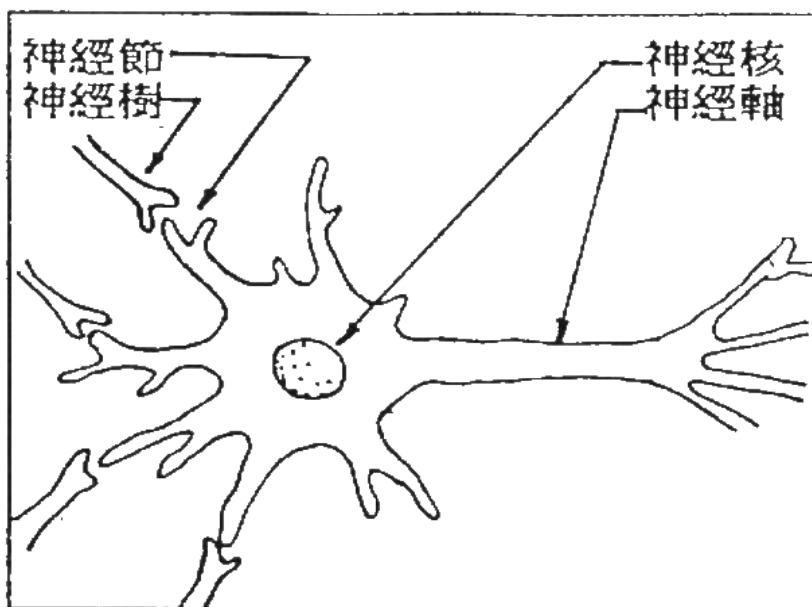


圖 2.1 生物神經元模型（葉怡成）

1. 神經核 (soma) :神經細胞的核心，為一呈核狀的處理機構。
2. 神經軸 (axon) :神經細胞呈軸索狀的輸送機構。
3. 神經樹 (dendrites) :神經細胞呈樹枝狀的輸出入機構。
4. 神經節 (synapse) :神經細胞神經樹上呈點狀的連結機構。

當神經細胞透過神經節與神經樹從其它神經元輸入脈波訊號後，經神經核處理，產生一個新的脈波訊號，這個訊號再經過神經軸傳送到神經樹，再透過神經節與神經樹成為其它神經元的輸入脈波訊號，如果脈波訊號是經過興奮神經節 (excitatory synapse)，則會增加脈波訊號的速率 (pulse rate)，如果脈波訊號是經過抑制神經節 (inhibitory synapse)，則會減少脈波訊號的速率。因此，脈波訊號的速率是同時取決於輸入脈波訊號的速率及神經節的強度，神經節的強度則視為神經網路儲存資訊之所在，神經網路的學習即在調整神經節的強度 (葉怡成，1994)。

### 2.1.2 人工神經元模型

依據神經細胞的結構與功能，從 40 年代開始，先後提出的神經元模型有數百種，其中對於腦模型、自動機、人工智慧有重大影響的是 1943 年由美國心理學家 McCulloch 和數學家 Pitts 共同提出的形式神經元模型，如圖 2.2 所示。此一模型具有將輸入變數與輸出變數間，複雜的內在對映關係充份呈現的功能，其為解決非線性動態問題的最佳工具之一。

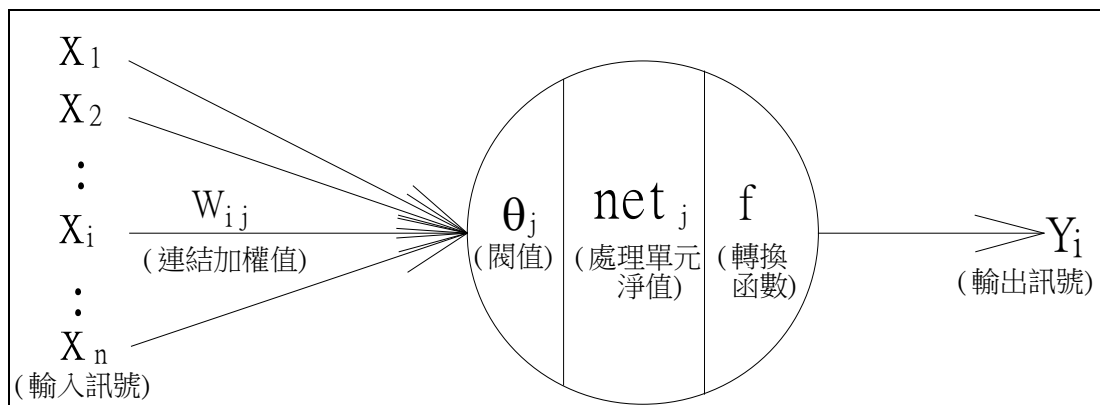


圖 2.2 人工神經元模型

此模型由許多人工神經元所組成，神經元又稱為節點 (node) 或臨  
界值元件 (threshold element)，其輸入端輸入各自之訊息，藉由各自權  
重加權總和後傳入節點，透過閾值的過濾，繼而經由轉換函數轉換後輸  
出，其數學表示式如下：

$$Y_j = f (net_j) , net_j = \sum_i W_{ij} X_i \pm b_j \dots\dots\dots (2-1)$$

其中：

- $Y_j$ ：為模仿生物神經元模型的輸出訊號。
- $f$ ：為模仿生物神經元模型的轉換函數 (transfer function)，將輸入  
值之連結加權值乘積和閾值和，轉換成處理單元輸出值。
- $W_{ij}$ ：為模仿生物神經元模型的神經節強度，又稱連結加權值。
- $X_i$ ：為模仿生物神經元模型的輸入訊號。
- $b_j$ ：為模仿生物神經元模型的閾值 (bias)。
- $net_j$ ：為輸入值之加權乘積和。
- $n$ ：為輸入訊號個數。

### 2.1.3 神經網路學習推估

神經網路的架構乃仿照人類腦部神經網路的模型而發展出來的，  
一個神經網路是由許多個人工神經元連結組成，並可以組成各種網路  
模式(葉怡成,1994)。整體學習推估分為2種過程:學習過程(Learning)，  
網路依學習演算法從範例中學習，調整網路權重值的過程；回想過程  
(Recalling)，網路依學習演算法，以輸入資料決定網路輸出資料的過  
程。以下說明學習過程分類及常用的轉換函數。

#### 1. 學習過程分類

##### (1) 監督式學習

從問題領域中取得訓練範例(有輸入變數值，也有輸出變數)，  
並從中學習輸入變數與輸出變數的內在對映規則，以應用於新的  
案例(只有輸入變數值，而需推論輸出變數值的應用)。感知機網

路、倒傳遞網路、機率神經網路、學習向量量化網路與反傳遞網路等五種神經網路皆屬監督式學習。

## (2) 無監督式學習

從問題領域中取得訓練範例（只有輸入變數值），並從中學習範例的內在集群規則，以應用於新的案例（有輸入變數值，而需推論它與那些訓練範例屬同一集群的應用）。自組織映射圖網路、自適應共振理論網路等 2 種神經網路皆屬無監督式學習。

## (3) 聯想式學習

從問題領域中取得訓練範例（狀態變數值），並從中學習範例的內在記憶規則，以應用於新的案例（只有不完整的狀態變數值，而需推論其完整的狀態變數值的應用）。霍普菲爾網路、雙向聯想記憶網路等 2 種神經網路皆屬聯想式學習。

## 2. 神經網路轉換函數

### (1) 對稱硬限制轉換函數（Symmetric hard-limit transfer function）：

臨界函數的輸出只隨輸入值的正副號所改變，如圖 2.3(a)圖所示，常用於分類問題，Matlab 函數指令為 `hardlims`。

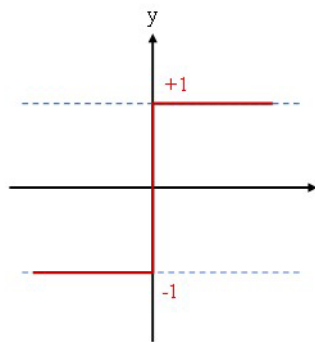
### (2) 線性轉換函數（Linear Transfer Function）：

函數輸入值與輸出值呈線性關係，如圖 2.3(b)圖所示，本計畫使用此函數做為隱藏層至輸出層間之轉換函數，函數指令為 `purelin`。

### (3) 正切雙彎曲轉換函數(Tan-Sigmoid Threshold Transfer Function)：

因函數型態具有可微分且連續等性質，此特質可應用到非線性的學習領域中，故是較常使用之轉換函數。本計畫使用此函數做為輸入層至隱藏層間之轉換函數，如圖 2.3(c)圖所示，函數指令為 `tansig`（Hyperbolic tangent sigmoid transfer function）。

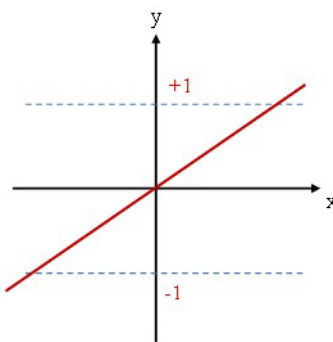
Symmetric Hard-limit Transfer Function



$$y=\text{hardlims}(x)$$

(a)

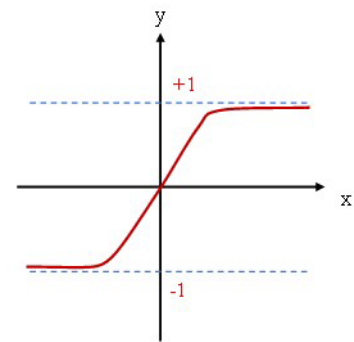
Linear Transfer Function



$$y=\text{purelin}(x)$$

(b)

Tan-Sigmoid Transfer Function



$$y=\text{tansig}(x)$$

(c)

圖 2.3 轉換函數示意圖

#### 2.1.4 神經網路特性及功能

神經網路發展迄今，具有以下特性及功能：

##### 1. 優異的容錯能力：

具容錯力，若輸入資料混雜少許的雜訊干擾，仍可正常運作。

##### 2. 數學模式簡單：

波浪模擬工作一般採以建置 2 維數值模式，以獲取預測波高資料，若以神經網路來建模，只需要足夠的輸入、輸出資料進行學習訓練，尋求輸入與輸出之映射關係，故可反應自然界參數因子間複雜的非線性關係。

##### 3. 高速的計算能力：

因資料是在網路中同一時段，以平行方式連結進行運作，具有平行處理資訊的能力，計算速度快，節省計算時間。

##### 4. 解決最佳化問題：

可用於處理非線性運算問題，並求得最佳解。

## 5. 超大型積體電路的實現：

神經網路的結構具有高度的互連性，且簡單有規則，易以超大型積體電路來實現。

## 2.2 倒傳遞神經網路

在監督式學習模式中，由 Rumelhart 等學者於 1986 年所發展的誤差向後推導或稱倒傳遞學習演算法（Backpropagation，簡稱 BP），其對多層神經網路進行梯度下降的演算法，也就是用鏈式法則以網路每層的權重為變數計算損失函數的梯度，以更新權重來最小化損失函數，是被廣泛使用的一種學習演算法。

### 2.2.1 網路架構

倒傳遞神經網路（簡稱 BPNN）基本架構主要分為輸入層、隱藏層及輸出層 3 部份，如圖 2.4 所示。其中，輸入層用以接受外在環境的訊息，其神經元數目則依問題而定；輸出層用以輸出訊息給外在環境，其神經元數目同樣依問題而定；輸入層及輸出層中間之隱藏層，其主要將輸入與輸出層各處理單元間的相互關係充份地表現出來，其神經元數目並無一定標準，通常使用試誤法決定，層與層之間由連結加權值及閾值所連結。

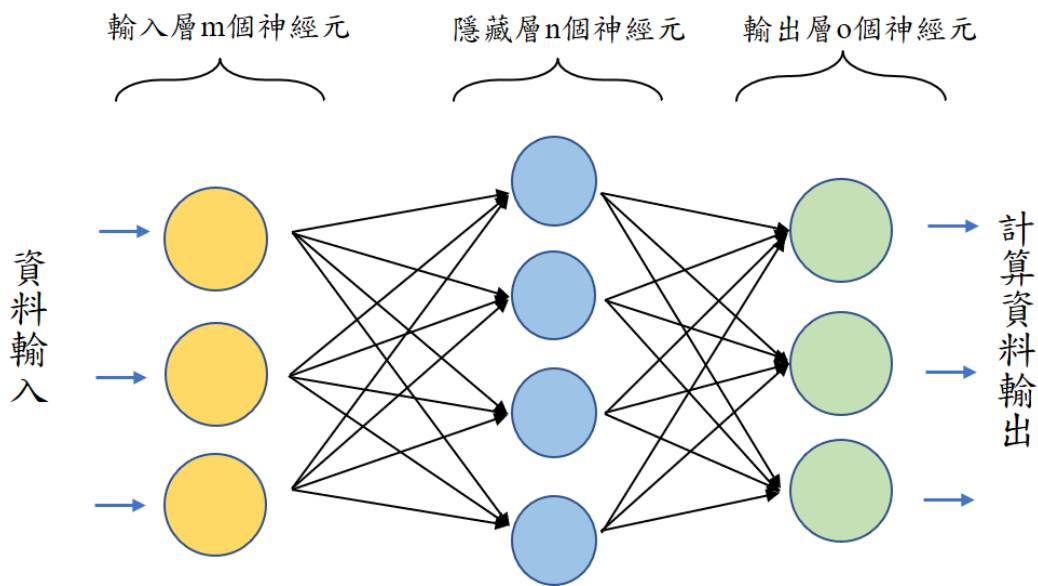


圖 2.4 倒傳遞神經網路基本架構示意圖

### 2.2.2 網路計算過程

BPNN 學習訓練方式由所探討問題中取得相當數量之訓練樣本，並從樣本中應用向前餽入與誤差向後推導 2 步驟，推求輸入變數與輸出變數的內在對映規則；再應用回想功能，針對新案例進行輸出變數值推估。下列為 BPNN 之學習與回想過程建立步驟，並對本計畫訓練 BPNN 所採用之演算法做說明：

#### 1. 學習過程的建立

- (1) 令輸入層、隱藏層與輸出層節點分別以  $i$ 、 $j$ 、 $k$  為下標符號，建立一輸入層、隱藏層與輸出層節點數分別為  $m$ 、 $n$ 、 $o$  個，以均勻分佈隨機亂數設定加權值矩陣  $W_{ij}$ 、 $W_{jk}$  與閥值  $b_j$ 、 $b_k$  的初始值。
- (2) 輸入一個訓練案例之輸入向量與目標輸出向量。

輸入向量:  $\vec{X} = [x_i]$ ， $i = 1, 2, 3 \dots m$

目標輸出向量:  $\vec{T} = [T_k]$ ， $k = 1, 2, 3 \dots o$

- (3) 計算推估輸出向量  $\vec{O}$ 。

(a) 隱藏層輸出向量 $H_j$ :

$$H_j = f_h(\text{net}_j), \text{net}_j = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} \pm b_j \dots \dots \dots (2-2)$$

$j = 1, 2, 3 \dots n$ ，其中 $f_h(x)$ 為隱藏層轉換函數。

(b) 計算輸出層輸出向量 $\vec{O}$

$$\vec{O}_k = f_o(\text{net}_k), \text{net}_k = \sum_{j=1}^o H_j w_{jk} - b_k \dots (2-3)$$

$k = 1, 2, 3 \dots o$ ，其中 $f_o(x)$ 為輸出層轉換函數。

(4) 計算加權值矩陣修正量 $\Delta w$ 及閾值修正量 $\Delta b$ 。

監督式學習的目的在於降低網路輸出單元目標輸出值，與推論輸出值之差距，以能量函數（又稱誤差函數）表示學習的品質：

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^o (O_k - T_k)^2 \dots \dots \dots (2-4)$$

因此網路的學習過程即為使能量函數最小化的過程，通常以最陡坡降法來使能量函數（誤差函數）最小化，即每次所有輸入訊號輸進網路輸入層傳遞到隱藏層，經過轉換函數轉換再傳遞到輸出層，再經轉換函數輸出計算結果，因網路起始權重及閾值均是隨機值，故一開始產生的輸出結果會與目標值有很大誤差，此時便進行反向傳遞網路以更新權重值和偏權值，調整的幅度和能量函數（誤差函數）對該加權值的敏感程度成正比，即與能量函數（誤差函數）對加權值的偏微分大小成正比：

$$\Delta w = -\eta \frac{\partial E}{\partial w}, \Delta w: \text{加權值調整的幅度} \dots \dots \dots (2-5)$$

$\eta$ 學習速率（learning rate），控制每次以最陡坡降法最小化誤差函數的步幅，其範圍為 $0 \leq \eta \leq 1$ ，可視所需狀況自行設定範圍容許內之值。經由一連串的代入及演算可推得以下各值：

(a) 輸出層

$$\Delta w_{jk} = \eta (T_k - O_k) \cdot df_o(\text{net}_k) \cdot H_j \dots \dots \dots (2-6)$$

$$\Delta b_k = -\eta (T_k - O_k) \cdot df_o(\text{net}_k) \dots \dots \dots (2-7)$$

其中  $df_0(x)$  為輸出層轉換函數之一階導函數，舉例說明：若以雙曲線正切函數  $f_0(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$  為輸出層之轉換函數，其一階導函數則為  $df_0(x) = \frac{4}{(e^x + e^{-x})^2}$ 。

(b) 隱藏層

$$\Delta w_{ij} = \eta (T_k - O_k) \cdot df_0(net_k) \cdot w_{jk} \cdot df_h(net_j) \cdot x_i \quad (2-8)$$

$$\Delta b_j = -\eta (T_k - O_k) \cdot df_0(net_k) \cdot w_{jk} \cdot df_h(net_j) \dots \quad (2-9)$$

其中  $df_h(x)$  為隱藏層轉換函數之一階導函數。

(5) 更新加權值矩陣與閾值

$$w_{new} = w_{old} + \Delta w \quad \dots \quad (2-10)$$

$$b_{new} = b_{old} + \Delta b \quad \dots \quad (2-11)$$

(6) 重覆步驟(2)至步驟(6)，直至收斂，即誤差不再有明顯變化且符合所要求的精度。

2. 回想過程的建立

(1) 讀入加權值矩陣與閾值矩陣。

(2) 輸入一個欲作檢定或驗證的案例之輸入向量

$$\vec{X}' = [x'_i] \quad i = 1, 2, \dots, m。$$

(3) 計算推估輸出向量  $\vec{O}'$ 。

(a) 計算隱藏層輸出向量  $\vec{H}'$

$$H_j' = f_h(net_j), \quad net_j = \sum_{i=1}^m x_i w_{ij} - b_j \quad \dots \quad (2-12)$$

計算輸出層輸出向量  $\vec{O}'$

$$\vec{O}'_k = f_o(net_k), \quad net_k = \sum_{j=1}^n H_j' w_{jk} - b_k \quad \dots \quad (2-13)$$

其中  $k = 1, 2, 3, \dots, o$

### 3. 演算法說明

在訓練最佳化技巧上可分 2 大類，第 1 大類為一階梯度法，其中包含梯度下降、最陡步階下降、共軛梯度下降；第 2 大類為二階梯度法，其中包含牛頓法、高斯牛頓法、擬牛頓法、Levenberg-Marquardt (LM) 法。二階梯度的訓練法比一階梯度訓練法快 10~100 倍，在函數逼近問題中，Levenberg-Marquardt 法會有最快的收斂，同時具有最低的均方誤差，因此，本計畫採用 Levenberg-Marquardt 演算法。Levenberg-Marquardt 演算法不必計算牛頓法中的 Hessian 矩陣，當性能函數具有平方和的形式時，Hessian 矩陣 H 可以逼近成下式：

$$H = J^T J \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

$$\text{計算梯度 } f = J^T e \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

其中 J 為 Jacobian 矩陣，它包含網路誤差對於權重值和偏權值的一階微分，e 是網路誤差向量，定義如下：

$$\|e\|^2 = \sum_i \left[ \left( X_i - \hat{X}_i \right)^2 + \left( Y_i - \hat{Y}_i \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

Jacobian 矩陣若用倒傳遞技巧計算會比 Hessian 矩陣複雜，Levenberg-Marquardt 演算法是將 Hessian 矩陣逼近使用，即將牛頓法的步驟改成如（式 2-17）

$$W_{k+1} = W_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

其中  $W_k$  代表在第 k 次疊代的參數向量（包含所有權重與偏權值），I 為單位矩陣， $\mu$  為常數。當  $\mu$  越大，表示（式 2-17）具有較小的步階大小之梯度下降； $\mu = 0$  時，則剛好是使用近似化 Hessian 矩陣的牛頓法。

## 2.3 文獻回顧

第一章 1.2 節主要說明本所於 113 年以前執行且與本計畫相關之計畫報告，本節則選擇近年應用神經網路於水利或波浪預測等相關研究做簡要說明。

### 1. 機器學習結合數值模式預報集水區土砂收支（何昊哲，2019）

使用機器學習結合數值模式，建立土砂收支預報模型，期望能迅速得出土砂在集水區的收支情況。學習方法選用倒傳遞神經（BPNN）、幅狀基底神經網路（RBFNN）及長短期記憶網路（LSTM）3 種神經網路，以潭美颱風期間，執行 HEC-HMS 集水區模式及輸砂模擬軟體 SRH-2D 產製輸砂量，提供神經網路訓練及驗證資料，訓練以考慮不同時刻之流量及砂量，預測下一時刻砂量。比較神經網路訓練效果，以 RBFNN 有良好訓練成果，LSTM 雖然有記憶前一時刻的輸入結果加以進行修正，但在不同訓練資料情況下，也不一定會有比較好結果。

### 2. 人工智慧演算法在瘋狗浪機率預警系統建置之研究（陳威成等人，2021）

以龍洞海岸為研究區域，使用支撐向量機方法建置瘋狗浪機率預警系統，選用 13 個影響瘋狗浪發生的潛在因子建立預測模式，結果顯示，使用全部因子來建置瘋狗浪預測模式，能得到最佳的結果。其中，以波向對結果的影響最顯著，代表波向是造成海岸瘋狗浪發生的重要關鍵。且當波浪週期較長、湧浪波高較高以及波向與風向方向較一致時，瘋狗浪有較高發生機率。

### 3. A Novel Model to Predict Significant Wave Height Based on Long Short-Term Memory Network（Fan, S., et al.,2020）

在全球 10 個不同環境條件浮標位置，建立長短期記憶神經網路（LSTM）以進行 1 小時及 6 小時波高預測。輸入參數選擇與示性波高具正相關之參數：風向（T）、風速（T-1）、風速（T-2）、風速

(T-3)、風速(T-4)、波高(T-1);輸出參數為波高(T)，並將 LSTM 預測結果與其他神經網路預測結果比較(BPNN、SVM、RF、ResNet、ELM)，結果顯現 LSTM 執行長期預測的強大能力(及穩定性較高)。隨著海洋工程領域範圍複雜性增加，對長期示性波高預測需求亦增加，隨機選擇數據量大之浮標站(41008)，進行 12 小時、1 日、2 日、3 日 LSTM 示性波高預測，以測試 LSTM 長期預測能力；接者，提出結合 SWAN-LSTM 進行單點預測，其預測結果優於標準 SWAN 模型，精度提高 65%以上。

#### 4. Wave forecasting within a port using WAVEWATCH III and artificial neural networks . (Zheng, Z.,et al.,2022)

以斯里蘭卡漢班托塔港為研究區域，此港口臨印度洋，港域波浪及營運深受長浪影響(週期 30sec to 300~400sec 的波浪)，2018 年於港外、港內布設 3 個波流儀(AWAC, G1 及 G2)，並使用前期研究建置之 Boussinesq 模型(BTM)探討港域振盪，生成數據集進行訓練及建置倒傳遞神經網路模型(BPNN)，預測漢班托塔港內的短波示性波高 $H_S$ (含風浪及湧浪，週期 30sec 以下)及低頻率波之波高 $H_{LH}$ (即長浪，週期 30sec ~400s)。採用 WAVEWATCH III(WW3)建置海洋波浪模組 WW3-D2 及近岸波浪模組 WW3-D3。經比較 WW3、線性插值及 BPNN 在港內 G2 波高模擬結果，線性插值及 BPNN 模擬結果較佳，考量自然物理現象屬非線性關係，採用 BPNN 模式用以模擬港內波高情形。故將預測港外波浪輸入至 BPNN 進行港內波浪預測工作，整合成 WW3- BPNN 模式，並進行 4 項測試評估。

- (1) 分別提取 WW3-D2(海洋模型)及 WW3-D3(近岸模型) P4 點位之波浪模擬條件，做為 BPNN 輸入參數評估 BPNN 預測結果: BPNN(WW3-D2)略低估港內 $H_S$ 、明顯低估 $H_{LH}$ ;BPNN(WW3-D3)略高估港內 $H_S$ ，使用 WW3-D3 或 WW3-D2 驅動 BPNN 模式，需在計算時間成本及預測準確度間衡量。
- (2) 比較由原本的混合波場(WW3-D3)驅動 BPNN 及後來分離湧浪場驅動 BPNN 之預測結果，2 者波浪場預測港內 $H_S$ 幾乎相同，但

湧浪場驅動下預測之 $H_{LH}$ 有明顯低估，此因無考慮到風浪對港內波浪的影響。

- (3) 檢視 ANN 使用 WW3 輸出點位不同對其預測結果影響:評估結果顯示輸出點位之位置影響不大，此因漢班托塔港口附近波浪繞射較弱，波浪方向和波浪高度空間變化不顯著，因此，選取 WW3 的輸出點可以在 BTM 南邊界附近，不一定要取造波帶區域點位。
  - (4) 針對 ANN 輸入參數（港外 $H_S$ 、 $T_P$ 及 $\theta_P$ ），將各參數增減 5%做敏感度分析:港外 $T_P$ 影響不大，港外 $H_S$ 及 $\theta_P$ 對 BPNN 預測結果具影響性，對於預測港內 $H_S$ ，以港外波向 $\theta_P$ 較敏感；對於預測港內 $H_{LH}$ ，以港外波高 $H_S$ 較敏感。
5. A Decision-Making Tool for Port Operations Based on Downtime Risk and Met-Ocean Conditions including Infragravity Wave Forecast (Raquel C.,et al.,2023)

以西班牙拉科魯尼亞港的外港 Punta Langosteira(蓬塔蘭戈斯特拉港)為研究區域，港內波浪亦受長周期波影響，先將港內各泊區波浪依週期(頻率)分 4 個頻率區段進行波高分析 swell(0 - 30 秒)、LIG (30 - 70 秒)、UIG (70 - 150 秒)、FIG (150 - 300 秒)，以機器學習 Gradient Boosting Machine(GBM)建置短波/長波之波高迴歸模型(Regression model)，其輸入參數為  $H_s$ 、 $T_p$ 、波向、潮位、風速、風向、NAO；接著，以 Gradient Boosting Machine 方法，使用 15 件停工事件紀錄海況資料建置分類模型 Clasification model，整合前述迴歸模型及分類模型，形成停工風險預測模式，其測試結果設定該港口預警門檻為連續 2 小時預測海況，且預測停工機率大於或等於 3.97%，則發布停工預警資訊，目前已應用於港口營運作業。



### 第三章 花蓮港波浪觀測資料蒐集及分析

本所於 89 年在花蓮港東防波堤外設置挪威 Nortek 公司底碇式波流儀 (Acoustic Waves and Currents, 以下簡稱 AWAC), 開始辦理花蓮港外波浪及海流觀測資料蒐集分析工作。近年, 考量花蓮港域內波浪震盪深受颱風長浪影響, 在 109 至 110 年期間於花蓮港內港區 9 號碼頭、外港區 17 號及 25 號碼頭 3 處設置浪潮即時監測站, 開始蒐集花蓮港內波浪資料, 形成花蓮港外、港內波浪即時觀測站網, 其位置分布如圖 3.1 所示, 測站基本資料說明詳表 3-1。

另本所於 107 年~110 年執行「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究」4 年期計畫 (以下簡稱前期計畫), 分析港外觀測波浪結果為「壓力訊號因受限於水深, 難以量測到深水波, 取得觀測資料易缺少低週期波浪解算結果, 轉換出來的示性波高 $H_{s(pre)}$ 亦有失真情形。」。故本章延續前期研究成果結論, 整理及分析 109 年 1 月~113 年 12 月期間花蓮港 AWAC 超音波訊號量測結果。

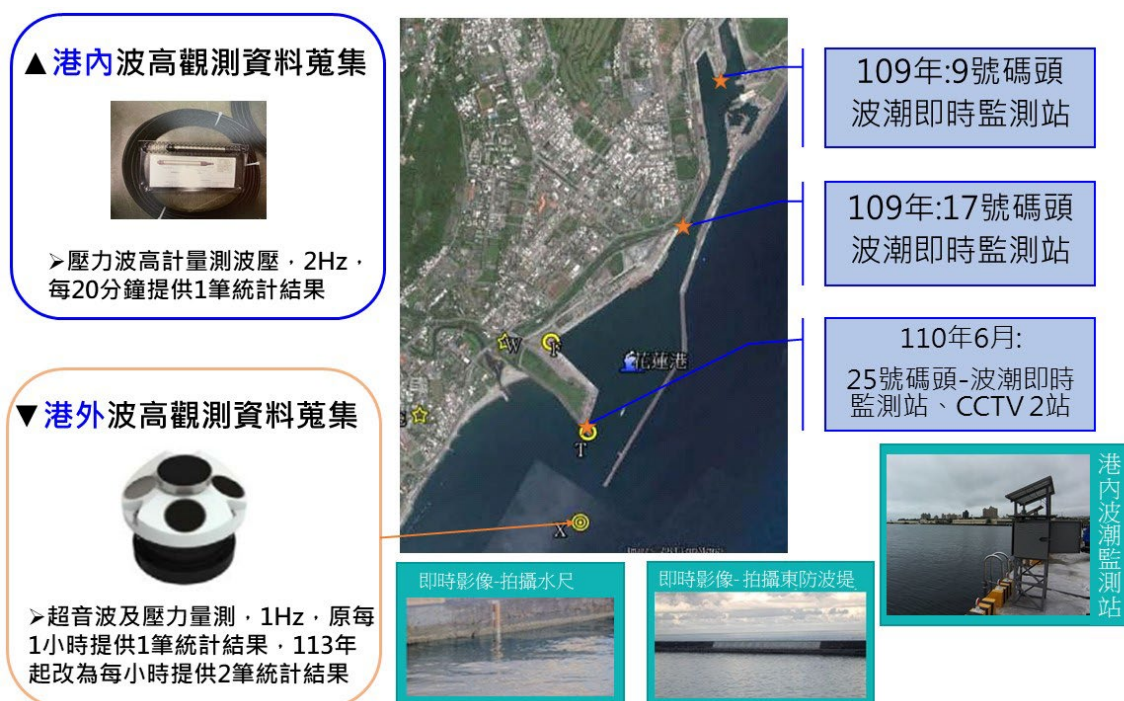


圖 3.1 花蓮港外、港內波浪聯合觀測站網位置示意圖

表 3-1 花蓮港外、港內波浪聯合觀測站網基本資料

花蓮港	位置		經度	緯度	觀測期間及頻率/說明
AWAC 波流儀 (港外)	東防波堤外 南邊 200m 外，水深 33m 處		23°58'00"N	121°37'34"E	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 89/09-迄今，1Hz。</li> <li>◇ 原每小時輸出 1 筆觀測資料；113 年 1 月 3 日下午 1 時開始，每 17 分鐘分析 1,024 筆觀測資料，故小時提供 2 筆波浪觀測統計結果。</li> </ul>
波潮即時 監測站 (港內)	內 港 區	9 號 碼頭	24°00'02.5"N	121°38'14.6"E	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 109/05-迄今，2Hz。</li> <li>◇ 每 20 分鐘輸出 1 筆觀測資料。</li> </ul>
	外 港 區	17 號 碼頭	23°59'19.8"N	121°38'3.8"E	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 109/05-110/10；</li> <li>◇ 111/06-迄今，2Hz。</li> <li>◇ 每 20 分鐘輸出 1 筆觀測資料。</li> <li>◇ 110 年 10 月 12 日因圓規颱風毀損，111 年 6 月完成復站</li> </ul>
		25 號 碼頭	23°58'24.9"N	121°37'35.9"E	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 110/06-迄今，2Hz。</li> <li>◇ 每 20 分鐘輸出 1 筆觀測資料。</li> <li>◇ 測站於 113 年 10 月 31 日康芮颱風期間有短暫資料中斷情形，已於 11 月上旬恢復。</li> </ul>

## 3.1 港外波浪觀測資料蒐集及分析

### 3.1.1 波流儀器簡介

本所運輸技術研究中心（以下簡稱運技中心）於 89 年起在主要商港裝設底碇式波流觀測設備，該設備為挪威 Nortek 公司生產（以下簡稱 AWAC，Acoustic Waves and Currents），可利用超音波及壓力感應設備，取得波浪與剖面海流資訊，應用儀器所提供 AWAC AST Dial-up 軟體可進行即時展示、處理、記錄及掌握逐時潮、波及流相關資料，並存入資料庫及對外提供每小時流速和波浪數據。其所傳送之副檔名為 wpr 資料（即 RAW data），可利用軟體轉出儀器觀測資料成美國標準資訊交換碼原始資料檔案（ASCII converted raw data files），以及處理後數據資料檔案（Post-processed data files），轉出檔案說明詳附錄一之 1.1 節。

花蓮港歷年長期波流觀測站（AWAC），觀測位置如圖 3.1 標示 X 處，為花蓮港東防波堤南邊 200 公尺外，水深約 33 公尺處，儀器高約 1.8 公尺。AWAC 儀器觀測設定原本為每小時第 10 分鐘開始，以 1Hz 連續觀測 2,048 筆資料，測量時間約 35 分鐘，經零上切法統計 2,048 筆水位時序列資料內最大波高（ $H_{max}$ ）、最大波週期（ $T_{max}$ ）、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$  及  $T_{1/10}$  等波浪參數，每小時 10 分提供 1 筆波浪觀測統計結果資料；自 112 年 1 月 3 日 13 時起，AWAC 儀器觀測設定改以 1Hz 連續觀測 1,024 筆資料，測量時間約 17 分鐘，經零上切法統計 1,024 筆水位時序列資料內最大波高（ $H_{max}$ ）、最大波週期（ $T_{max}$ ）、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$  及  $T_{1/10}$  等波浪參數，每小時 10 分、40 分，各提供 1 組觀測統計結果，故每小時有提供 2 筆波浪觀測統計結果資料，再經零上切法統計 1,024 筆水位時序列資料內最大波高（ $H_{max}$ ）、最大波週期（ $T_{max}$ ）、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$  及  $T_{1/10}$  等波浪參數。

### 3.1.2 波浪觀測資料統計結果

AWAC 儀器可利用超音波及壓力感應設備，取得波浪與剖面海流

資訊，故有超音波及壓力 2 種訊號量測結果，本節延續「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究」研究方法與結論，採用 109 年 1 月～113 年 12 月期間花蓮港 AWAC 超音波訊號量測所得之波浪觀測原始資料(.wad)，分析各月 $H_{m0(ast)}$ 、 $T_{m02(ast)}$ 、 $T_p(ast)$ 統計結果如表 3-2 所示，其資料處理分析方法詳附錄一之 1.2 節。

由表 3-2 可知，花蓮港外波浪觀測資料蒐集率，除了 109 年 3 月無資料，109 年 4 月蒐集率僅 51.53%、109 年 8 月蒐集率 87.77%，其餘月份蒐集率均達 90%～100%，整體花蓮港外波浪資料蒐集情況良好。

綜整 110～113 年期間花蓮港外波浪觀測資料，在 110～111 年期間，示性波高最大值為 4.96m，發生在 110 年 10 月圓規颱風期間；示性波高次大值為 4.27m，發生在 110 年 9 月璨樹颱風期間；在 112 年～113 年期間，示性波高最大值為 7.03m，發生在 113 年 10 月底之強烈康芮颱風期間，且觀測資料在 10 月 31 日～11 月 1 日明顯凌亂，部分資料因異常過大而剔除；示性波高次大值為 6.83m，亦發生在 113 年 7 月杜蘇芮颱風期間。

表 3-2 花蓮港 109-113 年 AWAC 超音波訊號波浪觀測資料統計

年/月	示性波高 $H_{m0(ast)}$ (m)			平均週期 $T_{m02(ast)}$ (sec)			譜峰週期 $T_p(ast)$ (sec)			蒐集率 (%)
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	
109/01	1.27	2.34	0.70	5.90	7.37	4.41	8.65	17.21	5.17	100.00
109/02	1.27	2.69	0.50	5.89	7.88	3.97	8.77	14.22	4.69	99.14
109/03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
109/04	1.12	2.21	0.47	5.43	7.34	3.82	8.06	14.42	4.17	51.53
109/05	0.83	1.51	0.45	5.48	7.79	4.01	7.80	11.91	3.70	100.00
109/06	0.77	1.50	0.39	4.81	6.63	3.44	6.51	11.91	3.24	100.00
109/07	0.67	1.43	0.36	4.80	6.69	3.40	7.15	10.89	3.35	100.00
109/08	0.87	2.36	0.35	5.35	8.78	3.93	7.55	13.93	4.00	87.77
109/09	0.94	2.62	0.39	5.90	10.16	3.39	9.23	17.07	3.24	98.06
109/10	1.40	2.56	0.53	6.00	7.51	4.38	8.61	15.06	5.28	90.73
109/11	1.69	3.06	0.83	6.51	8.31	4.35	9.28	12.41	4.80	98.33
109/12	1.98	3.54	0.80	6.61	8.27	4.68	9.59	13.93	6.67	97.72
110/01	1.53	3.00	0.69	6.21	7.86	4.92	9.10	12.34	5.08	99.60
110/02	1.34	3.46	0.51	6.23	8.93	3.55	9.02	13.74	4.90	99.70
110/03	1.14	2.78	0.51	6.02	8.76	4.00	8.89	12.72	5.38	100.00
110/04	1.45	3.82	0.58	6.52	9.43	4.61	9.92	15.52	5.60	99.44
110/05	0.84	1.47	0.47	5.03	6.84	3.58	7.58	14.32	3.06	99.60
110/06	0.70	1.40	0.37	5.26	6.71	3.75	7.46	14.42	3.85	98.33
110/07	1.06	3.88	0.33	5.93	10.75	3.48	8.45	14.73	3.76	98.92
110/08	0.77	2.18	0.26	5.32	8.98	3.65	7.53	13.47	3.71	99.73
110/09	0.88	4.27	0.34	5.97	9.23	3.68	8.93	15.88	4.02	99.86
110/10	1.48	4.96	0.67	6.22	8.98	4.58	9.32	15.88	4.77	100.00
110/11	1.39	3.31	0.67	6.01	8.43	4.59	8.06	12.64	4.32	99.86
110/12	1.62	3.17	0.86	6.39	8.08	4.38	9.12	13.39	5.40	99.73
111/01	1.47	2.44	0.65	6.07	7.90	4.73	8.54	11.70	5.45	99.73
111/02	1.69	3.62	0.93	6.28	8.33	4.72	9.02	13.21	5.21	99.70
111/03	1.17	3.15	0.65	5.77	7.60	4.21	8.16	11.64	4.80	99.60
111/04	1.27	2.64	0.62	5.91	8.95	3.65	9.11	15.06	3.84	99.44
111/05	1.01	2.28	0.41	5.53	7.96	3.90	7.53	10.95	4.01	99.46
111/06	0.69	1.52	0.33	4.89	7.10	3.28	6.38	9.85	2.25	99.17
111/07	0.68	1.43	0.31	5.25	8.53	3.46	7.89	12.88	3.17	99.87
111/08	0.67	1.80	0.30	5.39	7.89	3.46	8.32	16.65	3.39	99.60
111/09	1.25	3.50	0.52	6.17	9.58	4.21	9.31	16.25	4.05	99.72
111/10	1.52	3.51	0.46	6.01	8.02	3.62	8.73	13.39	3.87	99.46
111/11	1.29	3.11	0.57	5.86	7.35	4.02	7.85	14.73	4.46	99.44
111/12	1.79	3.17	0.70	6.52	8.15	4.84	9.59	13.47	5.24	99.46
112 年 1 月 3 日下午 13 時起，1 小時產製 2 筆波浪觀測統計結果資料										
112/01	1.61	3.86	0.71	6.21	8.14	3.97	9.07	15.06	6.32	95.83
112/02	1.50	2.95	0.74	6.06	7.94	4.15	8.80	12.05	5.20	99.93
112/03	1.13	2.86	0.55	5.78	7.51	4.02	8.24	12.96	4.08	99.66
112/04	1.04	2.52	0.46	5.68	8.58	3.13	8.47	14.42	2.54	99.79

年/月	示性波高 $H_{m0(ast)}$ (m)			平均週期 $T_{m02(ast)}$ (sec)			譜峰週期 $T_p(ast)$ (sec)			蒐集率 (%)
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	
112/05	1.24	4.48	0.47	5.82	10.30	3.37	8.72	18.29	3.34	92.74
112/06	0.93	3.44	0.37	5.32	9.80	3.09	7.85	14.63	2.70	90.76
112/07	1.11	4.73	0.34	5.66	10.25	3.18	7.91	14.84	3.00	93.55
112/08	0.92	3.71	0.27	6.54	10.92	3.87	10.22	16.52	3.97	95.23
112/09	0.87	5.47	0.29	5.69	9.85	3.78	8.69	13.30	6.06	95.00
112/10	1.21	3.91	0.52	5.79	9.16	4.19	8.01	15.28	4.28	99.40
112/11	1.26	2.83	0.66	5.93	7.81	4.41	8.23	11.77	4.76	97.78
112/12	1.52	3.38	0.70	6.34	8.26	4.56	8.95	12.96	5.92	97.24
113/01	1.26	2.53	0.49	5.90	7.39	4.39	8.41	13.30	3.97	97.11
113/02	1.16	2.05	0.57	5.79	7.91	3.96	8.30	12.05	3.57	97.56
113/03	1.13	2.60	0.51	5.76	8.80	4.03	8.28	13.84	4.06	96.84
113/04	0.88	1.92	0.44	5.41	7.21	3.53	7.64	14.42	3.32	98.75
113/05	0.92	1.75	0.53	5.64	7.44	3.71	8.03	11.77	3.44	95.50
113/06	0.77	1.79	0.40	4.82	6.91	3.35	6.69	15.28	3.02	99.38
113/07	1.08	6.83	0.39	5.20	10.00	3.37	7.35	13.84	2.68	99.40
113/08	0.52	1.34	0.23	5.76	10.09	2.94	9.02	15.28	2.28	99.46
113/09	1.06	4.15	0.33	6.20	10.57	3.64	9.01	17.36	3.66	99.10
113/10	1.50	5.93	0.52	6.28	10.05	4.54	8.87	16.52	5.00	95.56
113/11	1.53	7.03	0.77	6.12	8.29	4.00	8.72	16.52	5.25	99.51
113/12	1.49	2.87	0.67	6.09	7.75	4.42	8.65	11.77	4.55	100.00

註:109年1月至109年11月結果取自本所「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究」；109年12月至111年12月結果取自本所「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」；112年1月至113年12月結果為本計畫分析整理；-表示缺少觀測資料。

### 3.1.3 波浪觀測資料長浪分析

花蓮港東臨遼闊的太平洋，因其港型及港口開口方向關係，常有颱風未至，長浪（湧浪）先行到港，船舶常因港內波浪振盪明顯而提前出港避湧。本計畫引用「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究」，其定義8秒以上週期波浪為長浪周期，在分析超音波訊號量測之波浪觀測資料，進行傅立葉轉換波浪能譜並換算取得 $H_{m0}$ 、 $T_{m02}$ 、 $T_p$ 、 $H_{m0swell}$ 階段，擷取週期8秒以上波浪，並定義為長浪示性波高 $H_{m0swell}$ ，其波譜分析轉換成長浪，如圖3.2所示。花蓮港109年1月~113年12月期間之長浪分析結果，如表3-3所示。109年~111年長浪分析歷線圖，請參閱本所「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究」及「應用倒傳遞類神經網路

建置花蓮港碼頭波高預測模式」，112~113 年各月長浪分析歷線圖則詳附錄一之 1.3 節。

$$H_{m0swell} = 4 \sqrt{\int_0^{f_{swell}} f^0 S(f) df} \quad , \quad \text{其中 } f_{swell} = 0.125 \dots\dots\dots(3-1)$$

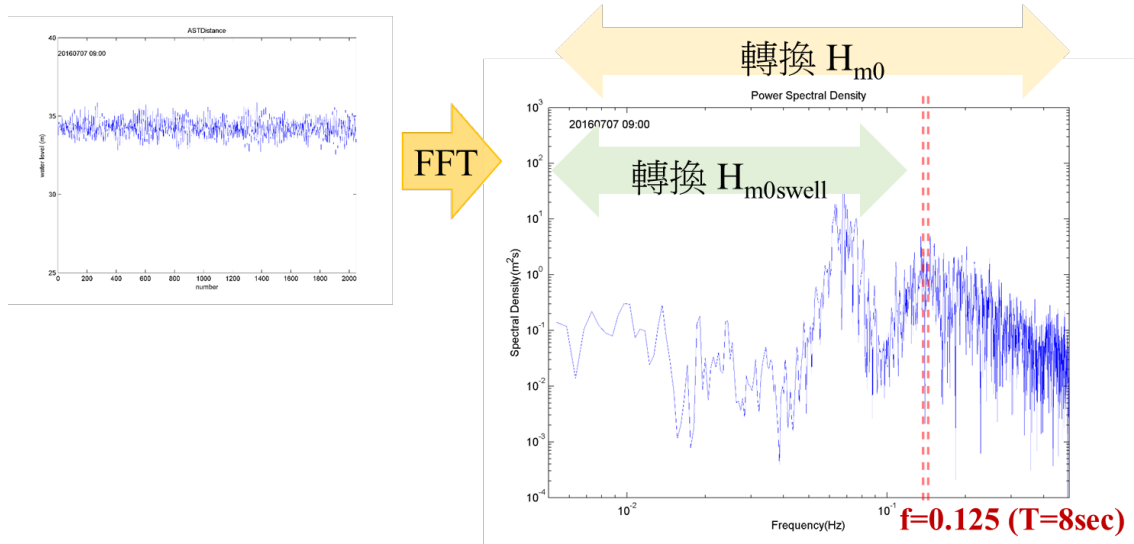


圖 3.2 水位訊號轉換長浪 ( $H_{m0swell}$ ) 示意圖

表 3-3 波浪觀測資料長浪分析結果

年/月	示性波高 $H_{m0(ast)}$ (m)			長浪波高 $H_{m0swell(ast)}$ (m)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
109/01	1.27	2.34	0.70	0.8	1.90	0.34
109/02	1.27	2.69	0.50	0.82	2.25	0.29
109/03	-	-	-	-	-	-
109/04	1.12	2.21	0.47	0.58	1.74	0.22
109/05	0.83	1.51	0.45	0.44	0.94	0.20
109/06	0.77	1.50	0.39	0.29	0.98	0.12
109/07	0.67	1.43	0.36	0.27	0.82	0.13
109/08	0.87	2.36	0.35	0.46	2.13	0.15
109/09	0.94	2.62	0.39	0.63	2.44	0.19
109/10	1.40	2.56	0.53	0.87	1.97	0.26
109/11	1.69	3.06	0.83	1.25	2.67	0.38
109/12	1.98	3.54	0.80	1.49	3.10	0.44
110/01	1.53	3.00	0.69	1.06	2.53	0.43
110/02	1.34	3.46	0.51	0.91	3.04	0.26
110/03	1.14	2.78	0.51	0.75	2.19	0.28
110/04	1.45	3.82	0.58	1.09	3.49	0.38
110/05	0.84	1.47	0.47	0.42	0.93	0.23
110/06	0.70	1.40	0.37	0.33	0.87	0.13
110/07	1.06	3.88	0.33	0.72	3.73	0.13
110/08	0.77	2.18	0.26	0.38	1.67	0.15
110/09	0.88	4.27	0.34	0.58	3.78	0.16
110/10	1.48	4.96	0.67	1.00	4.48	0.28
110/11	1.39	3.31	0.67	0.82	2.87	0.30
110/12	1.62	3.17	0.86	1.13	2.37	0.40
111/01	1.47	2.44	0.65	0.93	1.96	0.27
111/02	1.69	3.62	0.93	1.14	3.24	0.42
111/03	1.17	3.15	0.65	0.69	2.49	0.28
111/04	1.27	2.64	0.62	0.85	2.27	0.27
111/05	1.01	2.28	0.41	0.53	2.01	0.14
111/06	0.69	1.52	0.33	0.26	1.11	0.12
111/07	0.68	1.43	0.31	0.37	1.08	0.18
111/08	0.67	1.80	0.30	0.35	1.31	0.18
111/09	1.25	3.50	0.52	0.87	3.30	0.18
111/10	1.52	3.51	0.46	1.01	3.02	0.21
111/11	1.29	3.11	0.57	0.71	2.48	0.24
111/12	1.79	3.17	0.70	1.34	2.71	0.37

年/月	示性波高 $H_{m0(ast)}$ (m)			長浪波高 $H_{m0swell(ast)}$ (m)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
112/01	1.61	3.86	0.71	1.10	3.32	0.34
112/02	1.50	2.95	0.74	1.01	2.29	0.34
112/03	1.13	2.86	0.55	0.68	2.37	0.22
112/04	1.04	2.52	0.46	0.63	2.09	0.20
112/05	1.24	4.48	0.47	0.81	4.20	0.22
112/06	0.93	3.44	0.37	0.54	3.14	0.12
112/07	1.11	4.73	0.34	0.68	3.93	0.15
112/08	0.92	3.71	0.27	0.70	3.54	0.18
112/09	0.87	5.47	0.29	0.55	5.10	0.15
112/10	1.21	3.91	0.52	0.72	3.60	0.19
112/11	1.26	2.83	0.66	0.75	2.33	0.23
112/12	1.52	3.38	0.70	1.05	3.00	0.32
113/01	1.26	2.53	0.49	0.76	2.05	0.26
113/02	1.16	2.05	0.57	0.72	1.76	0.21
113/03	1.13	2.60	0.51	0.68	2.36	0.23
113/04	0.88	1.92	0.44	0.44	1.10	0.17
113/05	0.92	1.75	0.53	0.51	1.34	0.21
113/06	0.77	1.79	0.40	0.31	1.36	0.13
113/07	1.08	6.83	0.39	0.62	6.19	0.15
113/08	0.52	1.34	0.23	0.35	1.26	0.13
113/09	1.06	4.15	0.33	0.73	3.72	0.18
113/10	1.5	5.93	0.52	1.05	5.43	0.19
113/11	1.53	7.03	0.77	1.03	5.17	0.43
113/12	1.49	2.87	0.67	0.98	2.47	0.36

註:109年1月至109年11月結果取自本所「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究」；109年12月至111年12月結果取自本所「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」；112年1月至113年12月結果為本計畫分析整理；-表示缺少觀測資料。

## 3.2 港內碼頭波浪觀測資料蒐集及分析

本所於 109 年度分別在花蓮港 9 號碼頭及 17 號碼頭旁設置港內波潮即時靜穩監測站，110 年又於外港區 25 號碼頭新增 1 站港內波潮即時靜穩監測站，監測站位置及說明詳圖 3.1 及表 3-1，本節說明 109 年 1 月 1 日~113 年 12 月 31 日期間，蒐集花蓮港 9、17 及 25 號碼頭波浪觀測資料及統計分析結果，其中，碼頭波浪之譜峰週期( $T_p$ )呈現上下震盪，故不使用。

### 3.2.1 碼頭波浪監測站簡介

港內碼頭波浪即時觀測系統為太陽能自主供電系統，採用壓力式水位計量測碼頭附近水面波動，取樣頻率為 2Hz，採連續方式觀測，並透過 4GLTE 無線傳輸模組，即時將觀測訊號上傳至雲端伺服器，並進行 2 種方式波浪資料分析計算，分述如下：

#### 1. 波譜分析法：

觀測時間約耗費 17 分 04 秒，因此，波浪觀測系統設定每 20 分鐘輸出 1 筆波浪觀測統計資料，壓力波譜分析係將 2,048 筆分成數段，各段分別乘上 Hanning 視窗函數，再分別進行傅立葉轉換 (FFT)，得到各組壓力譜，最後將各組壓力譜平均，得到該組資料的波壓能譜密度，經壓力訊號相關公式處理後，獲得該組資料之示性波高 ( $H_s$ )、平均週期 ( $T_m$ )、譜峰週期 ( $T_p$ )、湧(長)浪波高 ( $H_{swell}$ ) 及湧(長)浪平均週期 ( $T_{swell}$ ) 等波浪參數。

#### 2. 逐波分析法：

依據壓力轉換之水深資料，利用零上切法統計 2,048 筆水位時序列資料內最大波高 ( $H_{max}$ )、最大波週期 ( $T_{max}$ )、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$  及  $T_{1/10}$  等波浪參數。

### 3.2.2 碼頭波浪觀測資料蒐集及分析結果

分析花蓮港 9、17、25 號碼頭監測站自 109 年 5 月起至 113 年 12 月期間之港內波浪觀測資料，其示性波高及平均週期統計結果如表 3-4～表 3-6 所示，其中，碼頭波浪之譜峰週期( $T_p$ )呈現上下震盪，故不使用。109 年~111 年期間 3 個碼頭各月  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖及相關性散布圖請參閱本所 112 年「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」報告書附錄二，112~113 年期間碼頭各月  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖及相關性散布圖，詳報告書附錄二。

由表 3-4～表 3-6 所示，各碼頭資料蒐集率良好，發生缺失資料情形，大都是因進行測站維護工作。在資料分析期間，9 號、17 號及 25 號碼頭在 113 年 10 月康芮颱風期間發生波高最大值，分別為 1.26m、3.82m 及 4.56m，其中，17 號碼頭當下有短暫資料中斷，颱風過後再回補資料，而 25 號碼頭在 10 月 31 日發生資料中斷，經查為充電控制器異常，故無法資料可回補，11 月 6 日恢復觀測。

表 3-4 花蓮港 109~113 年 9 號碼頭波浪資料蒐集及統計分析

年月份	示性波高 (m)			平均週期 (s)			蒐集率 (%)	備註
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值		
109/05	0.05	0.17	0.03	4.64	8.52	2.94	40.41	開始觀測
109/06	0.07	0.30	0.03	4.39	8.07	2.84	100.00	
109/07	0.07	0.25	0.03	4.22	8.20	2.71	100.00	
109/08	0.08	0.26	0.02	4.83	13.30	2.60	99.96	8 月 6 日維護
109/09	0.08	0.44	0.03	5.61	16.51	2.89	100.00	
109/10	0.08	0.21	0.03	5.87	12.73	3.06	100.00	
109/11	0.10	0.26	0.04	6.21	12.31	2.92	100.00	11 月 6 日維護
109/12	0.10	0.24	0.04	6.70	12.43	2.88	100.00	
110/01	0.08	0.23	0.04	5.85	12.29	2.82	100.00	
110/02	0.08	0.24	0.04	5.62	14.59	2.80	100.00	
110/03	0.07	0.20	0.04	5.22	10.89	2.65	100.00	
110/04	0.14	0.68	0.04	6.66	14.79	2.74	99.86	4 月 8 日維護

年月份	示性波高 (m)			平均週期 (s)			蒐集率 (%)	備註
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值		
110/05	0.07	0.23	0.03	4.27	10.11	2.73	99.91	5月14日維護
110/06	0.06	0.19	0.03	4.50	9.72	2.79	100.00	
110/07	0.08	0.36	0.03	5.45	15.84	2.57	100.00	
110/08	0.07	0.26	0.03	4.24	10.43	2.74	100.00	
110/09	0.10	0.61	0.02	5.59	13.69	2.48	99.86	9月8日維護
110/10	0.11	0.88	0.04	5.86	13.54	2.38	100.00	
110/11	0.08	0.31	0.04	5.21	10.00	2.79	99.91	11月26日維護
110/12	0.10	0.23	0.04	6.51	12.56	3.08	100.00	
111/01	0.08	0.26	0.04	5.82	17.66	2.96	100.00	
111/02	0.09	0.26	0.05	6.42	14.34	2.97	100.00	
111/03	0.07	0.32	0.04	5.24	11.13	2.80	92.34	
111/04	0.09	0.34	0.04	5.62	12.72	2.79	100.00	
111/05	0.06	0.20	0.03	4.68	8.97	2.74	100.00	
111/06	0.06	0.25	0.03	4.08	7.15	2.68	99.81	6月2日維護
111/07	0.08	0.28	0.03	4.37	8.71	2.86	100.00	
111/08	0.08	0.30	0.03	4.39	10.06	2.80	99.96	8月25日維護
111/09	0.09	0.39	0.03	6.02	16.46	2.94	99.91	9月29日維護
111/10	0.08	0.28	0.03	5.83	13.65	2.74	100.00	
111/11	0.07	0.22	0.04	5.19	11.24	2.93	99.91	11月23日維護
111/12	0.10	0.30	0.04	6.76	11.87	2.82	100.00	
112/01	0.10	0.28	0.04	6.09	12.62	3.04	100.00	
112/02	0.09	0.28	0.05	5.28	8.82	2.91	100.00	
112/03	0.08	0.21	0.04	4.15	8.12	2.72	100.00	
112/04	0.08	0.34	0.03	4.07	8.86	2.6	99.49	4月25日維護
112/05	0.15	1.09	0.03	5.75	15.11	2.87	99.33	
112/06	0.09	0.47	0.03	4.94	13.81	2.74	100.00	
112/07	0.11	0.54	0.03	4.84	11.03	2.90	99.64	7月5日維護
112/08	0.09	0.35	0.03	4.89	11.08	2.83	90.46	
112/09	0.08	0.59	0.02	4.59	11.17	2.75	99.63	9月19日維護
112/10	0.09	0.79	0.03	4.85	12.83	2.77	99.96	

年月份	示性波高 (m)			平均週期 (s)			蒐集率 (%)	備註
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值		
112/11	0.06	0.27	0.03	4.43	7.13	2.86	99.40	11月15日維護
112/12	0.07	0.22	0.03	5.01	7.97	2.81	97.22	
113/01	0.07	0.20	0.03	5.04	9.56	2.78	100.00	
113/02	0.07	0.28	0.04	4.86	7.9	2.77	100.00	
113/03	0.07	0.23	0.03	4.94	8.35	2.88	100.00	
113/04	0.07	0.47	0.03	4.32	9.03	2.66	99.86	4月17日維護
113/05	0.06	0.23	0.03	4.00	7.43	2.58	100.00	
113/06	0.07	0.26	0.03	3.85	7.38	2.63	100.00	
113/07	0.09	0.63	0.03	4.08	11.68	2.64	99.91	7月6日維護
113/08	0.07	0.28	0.03	4.09	9.16	2.36	100.00	
113/09	0.08	0.41	0.03	4.61	13.39	2.72	99.95	9月20日維護
113/10	0.11	1.26	0.03	5.12	11.82	2.64	100.00	
113/11	0.07	0.65	0.03	4.94	12.89	2.84	99.95	11月12日維護
113/12	0.06	0.24	0.03	4.48	6.68	2.81	100.00	

表 3-5 花蓮港 109~113 年 17 號碼頭波浪資料蒐集及統計分析

年月份	示性波高 (m)			平均週期 (s)			蒐集率 (%)	備註
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值		
109/05	0.11	0.33	0.07	7.41	10.60	4.03	39.63	開始觀測
109/06	0.14	0.35	0.06	6.36	10.50	3.73	100.00	
109/07	0.13	0.37	0.06	5.98	9.56	3.63	100.00	
109/08	0.17	1.26	0.06	6.88	12.14	3.79	99.91	8 月 6 日維護
109/09	0.19	1.20	0.08	8.22	16.72	3.85	100.00	
109/10	0.19	0.76	0.08	8.45	13.96	4.01	100.00	
109/11	0.28	1.23	0.09	9.04	12.25	4.48	99.91	11 月 6 日維護
109/12	0.30	0.62	0.10	9.5	14.40	3.89	100.00	
110/01	0.24	0.50	0.12	9.17	12.33	4.31	100.00	
110/02	0.23	0.63	0.11	8.75	12.35	4.29	100.00	
110/03	0.19	0.40	0.09	8.54	12.24	4.19	100.00	
110/04	0.45	2.16	0.12	9.87	14.06	4.16	99.77	4 月 8 日維護
110/05	0.15	0.36	0.08	7.04	10.87	3.62	99.87	5 月 14 日維護
110/06	0.14	0.40	0.07	7.13	11.92	4.21	100.00	
110/07	0.21	0.93	0.07	7.97	14.17	3.56	100.00	
110/08	0.17	0.81	0.07	6.47	12.01	3.77	100.00	
110/09	0.29	2.19	0.08	8.60	14.34	3.50	99.91	9 月 8 日維護
110/10	0.47	3.21	0.11	8.80	13.68	4.29	36.42	
測站因圓規颱風毀損，監測中斷								
111/07	0.17	0.43	0.08	6.85	11.21	3.80	100.00	
111/08	0.18	0.81	0.08	7.02	12.02	3.70	99.91	8 月 24 日維護
111/09	0.25	1.41	0.08	8.84	14.05	4.12	99.86	9 月 29 日維護
111/10	0.23	0.99	0.07	8.43	13.32	4.08	100.00	
111/11	0.18	0.49	0.10	7.90	12.44	4.16	99.86	11 月 24 日維護
111/12	0.28	0.66	0.12	9.71	13.40	5.03	100.00	
112/01	0.33	1.10	0.13	9.49	13.77	4.27	100.00	
112/02	0.29	1.02	0.13	9.04	11.51	4.16	100.00	
112/03	0.19	0.49	0.09	8.38	12.08	3.2	100.00	

年月份	示性波高 (m)			平均週期 (s)			蒐集率 (%)	備註
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值		
112/04	0.18	0.62	0.08	7.67	13.21	3.93	99.77	4月26日維護
112/05	0.42	3.37	0.09	8.48	15.50	4.14	100.00	
112/06	0.24	1.92	0.07	7.31	13.21	3.64	100.00	
112/07	0.33	2.30	0.06	7.39	12.91	3.8	99.46	7月6日維護
112/08	0.28	1.43	0.07	7.91	13.17	3.78	90.46	
112/09	0.21	2.86	0.07	7.60	12.89	3.51	99.58	9月20日維護
112/10	0.27	3.05	0.07	7.91	13.89	3.82	99.96	
112/11	0.17	0.33	0.07	7.65	9.75	4.04	99.35	11月16日維護
112/12	0.22	0.46	0.10	8.52	11.04	4.00	97.22	
113/01	0.17	0.45	0.06	8.82	12.02	3.61	100.00	
113/02	0.19	0.37	0.10	8.31	10.85	4.12	100.00	
113/03	0.19	0.39	0.09	8.38	10.87	3.53	100.00	
113/04	0.17	0.36	0.08	7.75	12.71	3.92	99.95	4月18日維護
113/05	0.14	0.32	0.07	7.24	10.76	3.75	84.54	5月1~6日維修
113/06	0.13	0.46	0.06	6.46	12.00	3.56	100.00	
113/07	0.22	2.24	0.07	6.83	12.83	3.49	99.91	7月7日維護
113/08	0.15	0.43	0.06	7.88	12.04	3.78	100.00	
113/09	0.24	2.06	0.07	7.95	14.45	3.78	99.95	9月21日維護
113/10	0.38	3.82	0.08	8.41	13.54	4.18	98.66	
113/11	0.24	1.68	0.08	8.39	13.73	4.05	99.95	11月13日維護
113/12	0.18	0.36	0.10	8.07	10.23	3.96	100.00	

表 3-6 花蓮港 109~113 年 25 號碼頭波浪資料蒐集及統計分析

年月份	示性波高 (m)			平均週期 (s)			蒐集率 (%)	備註
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值		
110/05	0.19	0.38	0.10	6.88	8.76	4.10	55.78	開始觀測
110/06	0.19	0.49	0.09	6.76	9.97	4.48	100.00	
110/07	0.26	1.44	0.09	7.59	11.50	4.16	100.00	
110/08	0.24	1.08	0.09	6.43	10.89	3.58	95.56	
110/09	0.33	2.77	0.10	7.92	12.57	3.97	99.91	9月8日維護
110/10	0.37	2.29	0.13	7.92	12.46	4.04	100.00	
110/11	0.29	1.18	0.13	7.41	10.52	3.33	99.86	11月26日維護
110/12	0.38	0.78	0.14	8.47	11.14	4.06	100.00	
111/01	0.29	0.88	0.12	7.92	9.77	4.11	100.00	
111/02	0.30	0.64	0.18	8.03	10.72	4.16	100.00	
111/03	0.25	0.43	0.13	7.59	9.85	4.58	92.38	
111/04	0.31	1.01	0.13	8.14	13.07	4.10	100.00	
111/05	0.20	0.55	0.08	7.04	9.79	3.93	100.00	
111/06	0.17	0.50	0.08	6.01	8.17	3.86	99.86	6月2日維護
111/07	0.21	0.55	0.10	6.50	10.77	3.88	100.00	
111/08	0.22	0.80	0.10	6.71	11.32	3.90	99.96	8月25日維護
111/09	0.28	1.15	0.10	7.97	12.65	3.97	99.81	9月29日維護
111/10	0.27	1.07	0.09	7.57	10.65	3.42	100.00	
111/11	0.24	0.49	0.12	7.27	10.29	3.05	99.86	11月24日維護
111/12	0.33	0.60	0.15	8.53	10.22	4.00	100.00	
112/01	0.41	0.96	0.14	8.32	11.05	3.51	100.00	
112/02	0.35	1.07	0.19	8.04	10.49	3.72	100.00	
112/03	0.25	0.51	0.13	7.82	9.85	4.03	100.00	
112/04	0.21	0.64	0.11	7.19	11.54	4.00	99.86	4月26日維護
112/05	0.42	3.23	0.11	8.02	15.01	4.02	100.00	
112/06	0.28	1.52	0.10	6.88	12.40	3.80	100.00	
112/07	0.40	2.53	0.09	7.03	11.74	3.74	99.51	7月6日維護
112/08	0.30	1.36	0.09	7.26	11.60	3.93	90.46	

年月份	示性波高 (m)			平均週期 (s)			蒐集率 (%)	備註
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值		
112/09	0.24	3.48	0.08	7.17	12.30	3.95	99.58	9月20日維護
112/10	0.29	2.61	0.10	7.32	12.00	3.91	99.96	
112/11	0.22	0.41	0.12	7.37	9.30	4.29	99.35	11月16日維護
112/12	0.30	0.66	0.15	7.90	10.14	3.90	97.18	
113/01	0.26	0.58	0.13	7.78	10.10	4.34	100.00	
113/02	0.26	0.42	0.13	7.78	9.85	4.16	100.00	
113/03	0.23	0.59	0.12	7.71	10.20	4.10	100.00	
113/04	0.23	0.68	0.11	7.13	10.98	4.02	99.95	4月18日維護
113/05	0.19	0.45	0.10	7.02	10.36	3.33	100.00	
113/06	0.18	0.59	0.09	6.08	9.24	3.76	100.00	
113/07	0.31	2.02	0.10	6.71	11.54	3.84	99.91	7月7日維護
113/08	0.17	0.61	0.08	7.15	11.07	3.61	100.00	
113/09	0.30	2.23	0.09	7.66	13.45	4.00	99.95	9月21日維護
113/10	0.42	4.56	0.10	7.71	11.82	3.94	98.66	10月31日~11月6日充電控制器異常
113/11	0.29	1.07	0.12	7.82	11.85	3.62	81.11	11月12日維護
113/12	0.25	0.52	0.14	7.43	9.31	2.83	100.00	

本節僅選取與第四章重建碼頭波高預測神經網路模式，其訓練、驗證及測試階段所提及之重要颱風事件，做3座碼頭波高 $H_s$ 歷線圖呈現說明，各碼頭各月 $H_s$ 、 $T_m$ 歷線圖及相關性散布圖，詳報告書附錄二。

### 1. 109年9月

此月在北太平洋西部海域有海神、紅霞、白海豚及鯨魚4個颱風生成，但因移動路徑及方向關係，無侵臺颱風，但花蓮港波浪仍有受海神（9月1日20時至9月8日2時，強烈颱風）、白海豚（9月21日06時至9月24日06時，輕度颱風）及鯨魚（9月27日00時至9月30日06時，輕度颱風）影響，9號碼頭示性波高 $H_s$

平均值 0.08m、最大值 0.44m、最小值 0.03m；17 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.19m、最大值 1.2m、最小值 0.08m，波高歷線圖如圖 3.3 所示。2 座碼頭波高最大值均發生在海神颱風期間，故在第四章中，海神颱風事件做為花蓮港 9 號及 17 號碼頭波高預測神經網路之颱風驗證及測試案例。

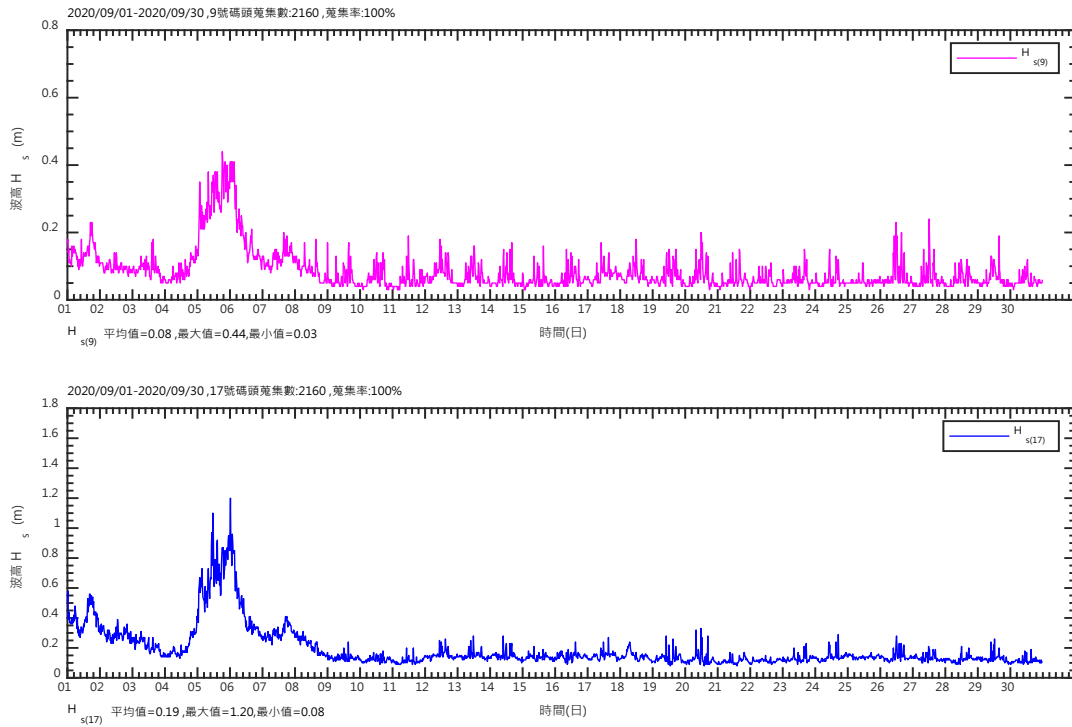


圖 3.3 花蓮港 109 年 9 月 9 號及 17 號碼頭波高歷線圖

## 2. 109 年 11 月

該月份北太平洋西部海域有天鵝、閃電、艾陶及梵高 4 個颱風生成，但具影響花蓮港波浪能力之颱風分別為天鵝（10 月 28 日 18 時至 11 月 05 日 18 時，強烈颱風）、閃電（10 月 29 日 12 時至 11 月 07 日 12 時，輕度颱風）及梵高颱風（11 月 9 日 06 時至 11 月 15 日 18 時，中度颱風），但僅有閃電颱風發布海上及陸上颱風警報，9 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.10m、最大值 0.26m、最小值 0.04m；17 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.28m、最大值 1.23m、最小值 0.09m，波高歷線圖如圖 3.4 所示。故在第四章中，閃電颱風事件做為花蓮港 9 號及 17 號碼頭波高預測神經網路之颱風驗證及測試案例。

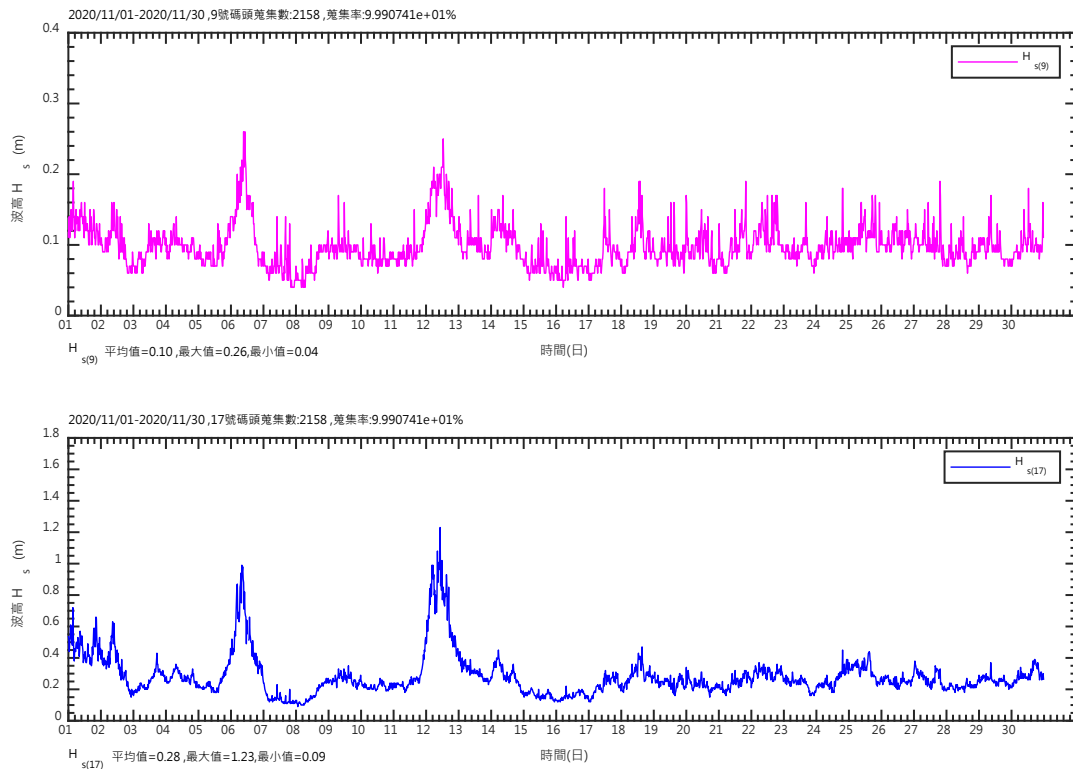


圖 3.4 花蓮港 109 年 11 月 9 號及 17 號碼頭波高歷線圖

### 3. 113 年 10 月

此月份在北太平洋西部海域有山陀兒、百里嘉、潭美及康芮等 4 個颱風生成，具影響花蓮港波浪能力之颱風分別為山陀兒颱風（9 月 28 日 00 時至 10 月 03 日 21 時，強烈颱風）、潭美颱風（10 月 21 日 18 時至 10 月 28 日 00 時，輕度颱風）及康芮颱風（10 月 25 日 00 時至 11 月 01 日 12 時，強烈颱風）3 個颱風，其中山陀兒颱風及康芮颱風等 2 颱風事件有發布海上及陸上颱風警報，且花蓮港務分公司有啟動船舶避湧機制，視內港區、外港區碼頭波高大小，做分區管制措施。此月份 9 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.11m、最大值 1.26m、最小值 0.03m；17 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.38m、最大值 3.82m、最小值 0.08m；25 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.42m、最大值 4.56m、最小值 0.10m，但在 10 月 31 日設備異常資料中斷，若無中斷應可量測到更高的波高資訊，3 座碼頭波高歷線圖如圖 3.5 所示。3 座碼頭波高最大值均發生在康芮颱風期間，9 號碼頭

因位屬內港區，資料蒐集齊全且穩定，17 號碼頭在康芮颱風期間資料凌亂、不穩定、25 號碼頭在康芮颱風期間充電控制器異常而中斷，故在第四章中，重建花蓮港 9 號碼頭波高預測神經網路工作，新增康芮颱風期間做測試案例；重建花蓮港 25 號碼頭波高預測神經網路工作，選擇潭美颱風期間做為颱風驗證及測試案例。

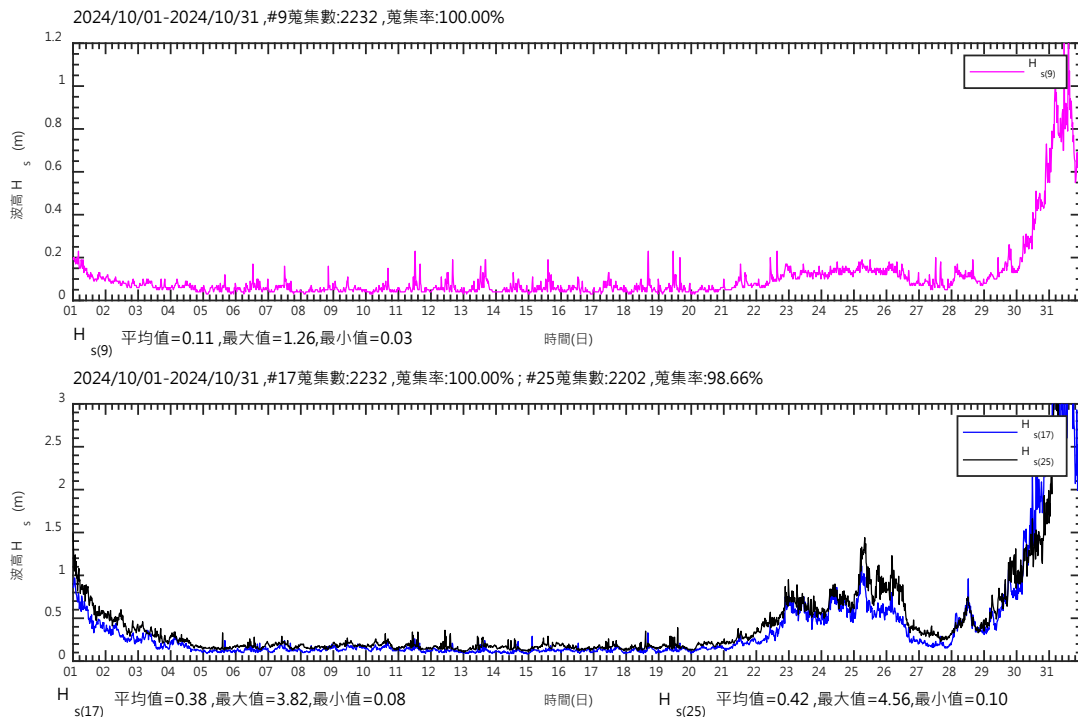


圖 3.5 花蓮港 113 年 10 月 9 號、17 及 25 號碼頭波高歷線圖

#### 4. 113 年 11 月

該月份在北太平洋西部海域有銀杏、桔梗、萬宜及天兔等 4 個颱風生成，此 4 個颱風亦具影響花蓮港波浪能力，其中僅天兔颱風發布海上及陸上颱風警報，花蓮港務分公司於天兔颱風期間有啟動船舶避湧機制。9 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.07m、最大值 0.65m、最小值 0.03m；17 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.24m、最大值 1.68m、最小值 0.08m；25 號碼頭示性波高  $H_s$  平均值 0.29m、最大值 1.07m、最小值 0.12m，波高歷線圖如圖 3.6 所示，在第四章中，萬宜颱風期間做為花蓮港 25 號碼頭波高預測神經網路之驗證及測試案例。

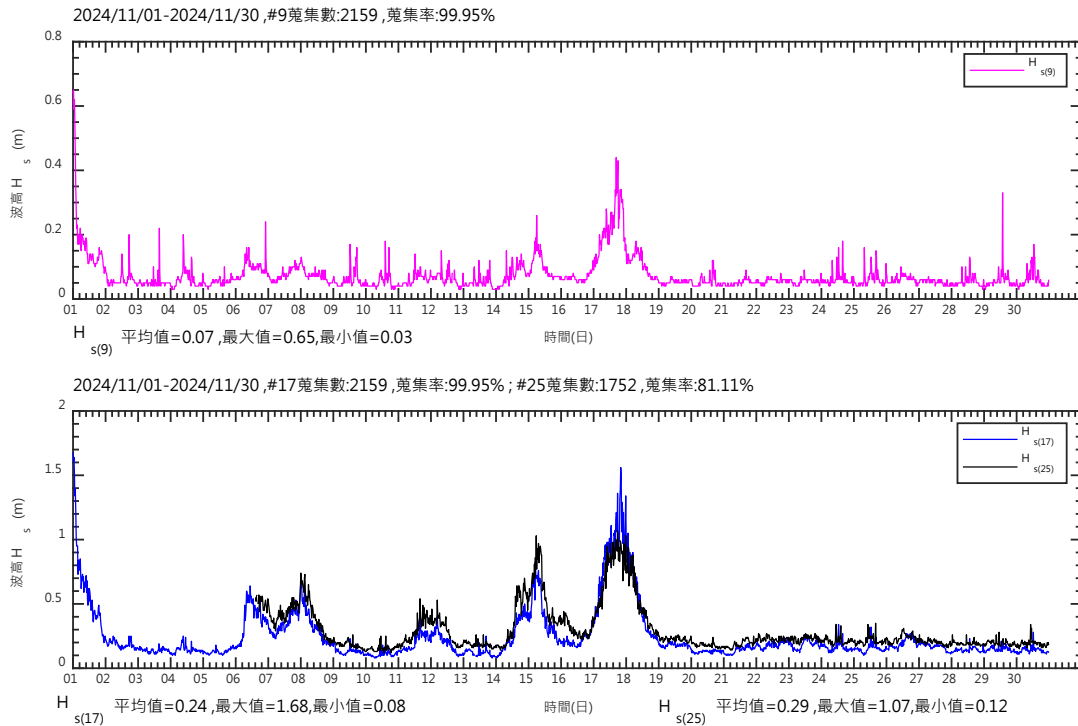


圖 3.6 花蓮港 113 年 11 月 9 號、17 及 25 號碼頭波高歷線圖

### 3.3 小結

本計畫延續前期計畫成果，統計 109 年 1 月至 113 年 12 月花蓮港外、港內波浪觀測資料分析，分析結果如下：

#### 1. 在港外波浪觀測資料分析部分:

使用超音波訊號量測資料做分析，在 109~111 年期間，示性波高最大值為 4.96m，發生在 110 年 10 月圓規颱風期間，分析之長浪示性波高為 4.48m；示性波高次大值為 4.27m，發生在 110 年 9 月璨樹颱風期間，分析長浪示性波高為 3.78 m；在 112~113 年期間，示性波高最大值為 7.03m，發生在 113 年 11 月初康芮颱風期間，分析之長浪示性波高為 5.17m，長浪占比約 73.5%，但其實康芮颱風期間(10 月底至 11 月初)資料不穩定；示性波高次大值為 6.83m，發生在 113 年 7 月凱米颱風期間，分析長浪示性波高為 6.19 m，長浪占比約 90.6%。

## 2. 在港內波浪觀測資料分析部分：

分析花蓮港 9、17、25 號碼頭監測站自 109 年起設置至 113 年 12 月港內波浪觀測資料，各碼頭資料蒐集率良好，發生缺失資料情形，大都是因進行測站維護工作。在 109~111 年期間，9 號碼頭在 110 年 10 月圓規颱風期間，發生波高最大值為 0.88m，17 號碼頭亦是波高最大值為 3.21m，25 號碼頭則是在 110 年 9 月璨樹颱風發生波高最大值為 2.77m，110 年 10 月圓規颱風波高為 2.29 m 次之；在 112~113 年期間，9 號碼頭在 113 年 10 月康芮颱風期間，發生波高最大值為 1.26m，17 號碼頭亦是波高最大值為 3.82m，25 號碼頭波高最大值為 4.56m，接著設備異常資料中斷。

## 第四章 重建碼頭波高預測神經網路模式

因本計畫研究目標為建立一碼頭波高預測作業化模式，輸入未來模擬預測波浪資料以獲取碼頭波高變化情形。本計畫自 112 年起，採用倒傳遞神經網路方法，建置 17、25、9 號碼頭波高預測模式；在 113 年執行「花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究」時，使用本所發展「臺灣近岸海象預測系統」(TaiCOMS 2.0)於 110~112 年期間產製之花蓮港之港外波浪模擬資料及 9、17、25 號碼頭港內波高觀測資料，建置 3 座碼頭波高預測模式。本(114)年度則將 113 年度花蓮港之港外波浪模擬資料及 9、17、25 號碼頭港內波高觀測資料納入訓練，資料前處理過程，重新檢視 109~113 年期間波浪狀況，重設各參數因子正規化上、下限，重建 3 個碼頭波高預測神經網路模式。

本章敘述順序為先說明重建外港區 17 號、25 號碼頭波高預測神經網路模式，再說明重建內港區 9 號碼頭波高預測神經網路模式。

### 4.1 神經網路模式訓練、驗證及測試規劃

花蓮港 17、25 及 9 號碼頭監測站位置及 TaiCOMS 2.0 系統在花蓮港之港外波浪模擬輸出點位，如圖 4.1 及圖 4.2 所示。4.1.1 節先統整近年影響花蓮港域波浪之颱風事件，據此規劃後續各碼頭神經網路訓練集、驗證集及測試集資料，4.1.2 節說明神經網路架構、學習訓練設定及本(114)年度在資料前處理過程，重設各參數因子正規化上、下限。



圖 4.1 花蓮港碼頭靜穩監測站位置示意圖

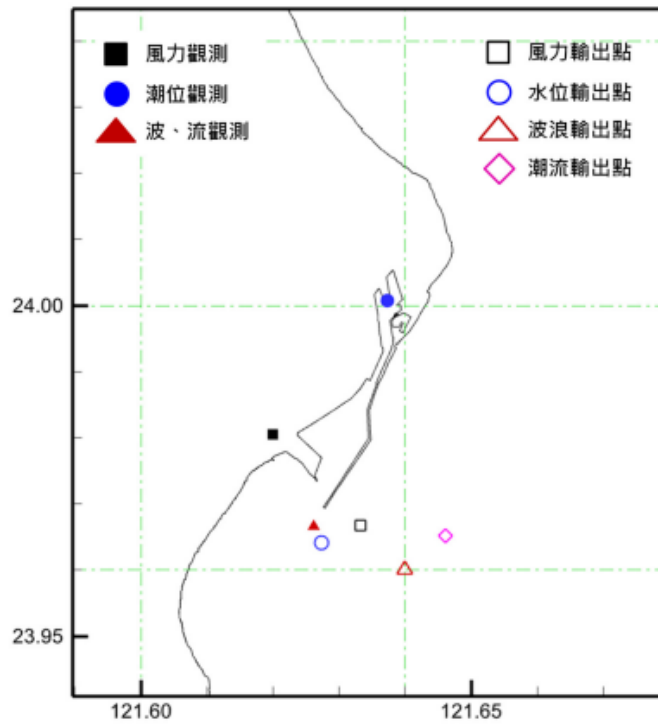


圖 4.2 花蓮港波浪模擬輸出點位示意圖

#### 4.1.1 影響花蓮港域波浪之颱風事件

在規劃本(114)年度花蓮港碼頭波高類神經網路所使用之訓練集、驗證集及測試集資料前，蒐集花蓮港務分公司於 109~113 年期間受颱風影響申請出港避湧之船舶，進而整理出花蓮港共有 19 場颱風事件，於颱風期間有發布船舶出港避湧通知書並執行進出港管制工作，如表 4-1 及表 4-2 所示。

**表 4-1 花蓮港 109~111 年期間有發布船舶出港避湧之颱風事件**

颱風	發布船舶出港避湧時間	恢復進港時間	避湧時間
海神	109 年 09 月 06 日 00 時	109 年 09 月 06 日 16 時	0 日 16 時
閃電*	109 年 11 月 06 日 07 時	109 年 11 月 07 日 07 時	0 日 24 時
舒力基	110 年 04 月 19 日 14 時	110 年 04 月 23 日 20 時	4 日 06 時
璨樹*	110 年 09 月 10 日 14 時	110 年 09 月 14 日 08 時	3 日 18 時
蒲公英	110 年 09 月 30 日 15 時	110 年 10 月 01 日 10 時	0 日 19 時
妮亞圖	110 年 11 月 29 日 11 時	110 年 12 月 01 日 10 時	1 日 23 時
軒蘭諾*	111 年 09 月 02 日 17 時	111 年 09 月 04 日 11 時	1 日 18 時
梅花*	111 年 09 月 11 日 11 時	111 年 9 月 12 日 16 時	1 日 5 時

註:\*表示有發布陸上或海上颱風警報之颱風

**表 4-2 花蓮港 112~113 年期間有發布船舶出港避湧之颱風事件**

颱風	發布船舶出港避湧時間	恢復進港時間	避湧時間
瑪娃*	112 年 05 月 28 日 12 時	112 年 06 月 01 日 07 時	3 日 19 時
谷超	112 年 06 月 09 日 18 時	112 年 06 月 11 日 12 時	1 日 18 時
杜蘇芮*	112 年 07 月 24 日 10 時	112 年 07 月 28 日 12 時	3 日 22 時
卡努*	112 年 07 月 31 日 23 時	112 年 08 月 01 日 15 時	0 日 16 時
蘇拉*	112 年 08 月 29 日 17 時	112 年 08 月 31 日 06 時	1 日 13 時
海葵*	112 年 09 月 02 日 10 時	112 年 09 月 04 日 16 時	2 日 06 時
小天*	112 年 10 月 03 日 10 時	112 年 10 月 06 日 10 時	3 日 00 時
凱米*	113 年 7 月 23 日 17 時	113 年 7 月 26 日 10 時	2 日 17 時
山陀兒*	113 年 9 月 30 日 08 時	113 年 10 月 4 日 10 時	4 日 02 時
康芮*	113 年 10 月 30 日 08 時 30 分	113 年 11 月 01 日 14 時 30 分	2 日 06 時
天兔*	113 年 11 月 17 日 15 時 30 分	113 年 11 月 18 日 10 時	0 日 17 時

註:\*表示有發布陸上或海上颱風警報之颱風

資料來源:臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司

其中有發布海上或陸上颱風警報有 14 場，而海神、舒力基、蒲公英、妮亞圖及谷超均是在西太平洋東經 135~150 度生成之颱風，於花蓮港外海東南方處向北行，均屬於不影響臺灣的颱風，但其生成的長浪明顯影響花蓮港域內波浪變化，颱風路徑如圖 4.3~圖 4.5 所示。

綜上，花蓮港因東臨太平洋且港型開口方向關係，港域波浪起伏不僅受季風及侵臺颱風風浪影響，亦受遠域颱風，如在花蓮港外海生成且向北行或向西行之颱風長浪影響。故查交通部中央氣象署颱風資料庫及比對花蓮港外波浪變化情形，整理 109 年~113 年期間具影響花蓮港域內波浪之颱風事件共計 64 件，其中有發布海上或陸上颱風警報者僅 15 件，如表 4-3 及表 4-4 所示。

經上述說明判斷 109~113 年期間影響花蓮港域內波浪之颱風事件實際應至少有 64 件，但有發布海上或陸上颱風警報之颱風事件卻只有 15 件，訓練資料若僅擷取臺灣有發布颱風警報之颱風時期波浪資料，尚有不足提供神經網路學習花蓮港域內波浪特性之疑慮；若本計畫使用 LSTM 方法建置碼頭波高神經網路，訓練資料必須選取不中斷的波浪時間序列時期，但 3 個碼頭監測起始時間不一致，17 號碼頭監測站在 110 年 10 月圓規颱風期間測站毀損中斷、111 年 6 月底復站，有資料中斷半年之情形，為讓本所蒐集 3 個碼頭波浪資料均能盡量使用、發揮最大的資料價值、避免浪費，本計畫自 112 年起，採用倒傳遞神經網路方法，建置 17、25、9 號碼頭波高預測神經網路模式，本(114)年度納入 113 年 TaiCOMS 產製之港外波浪模擬及港內碼頭波高觀測資料後，各碼頭波高神經網路模式使用之訓練、驗證及測試集資料，說明 4.2~4.4 節。

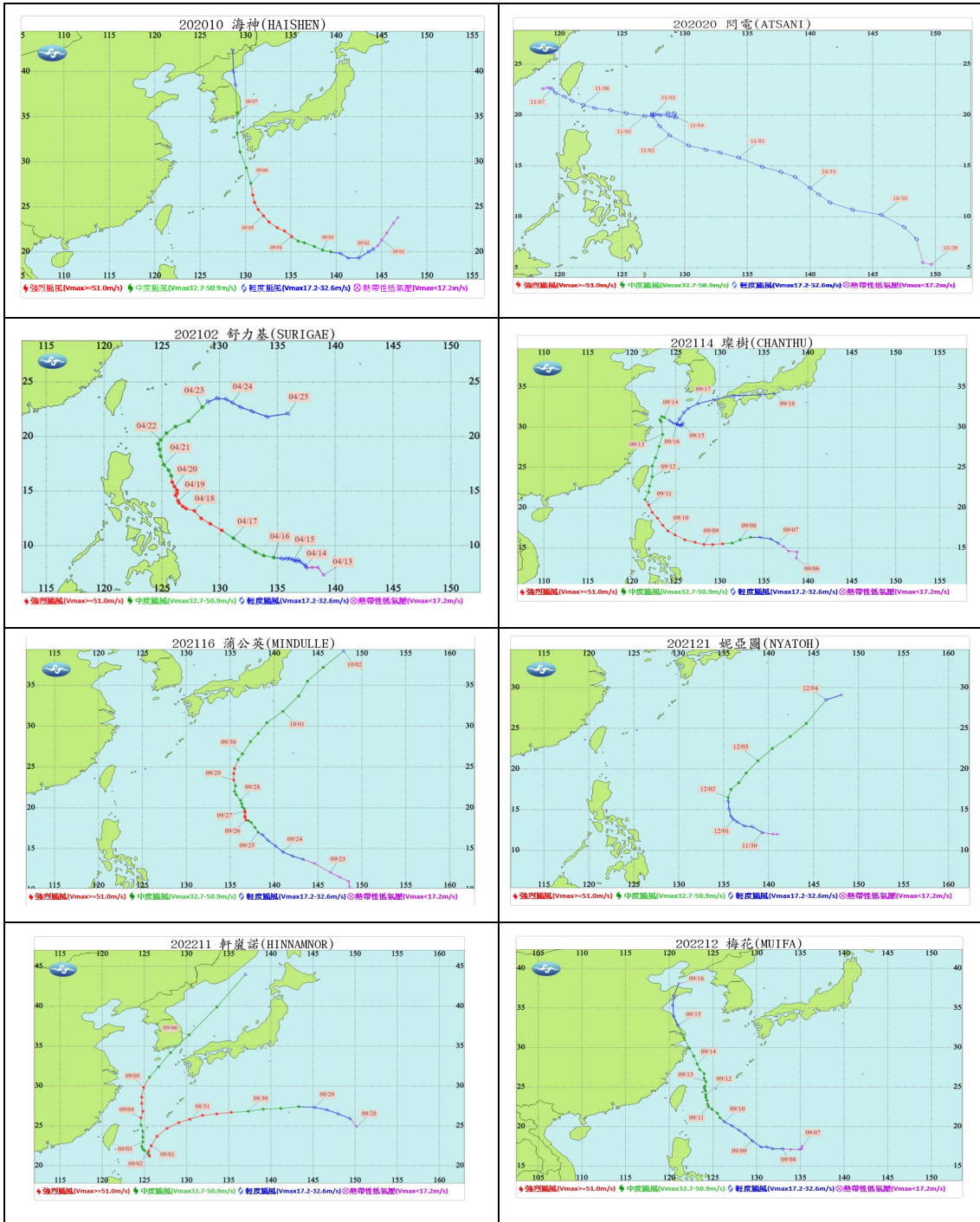


圖 4.3 對應表 4-1 所列 109~111 年期間船舶避湧之颱風路徑圖

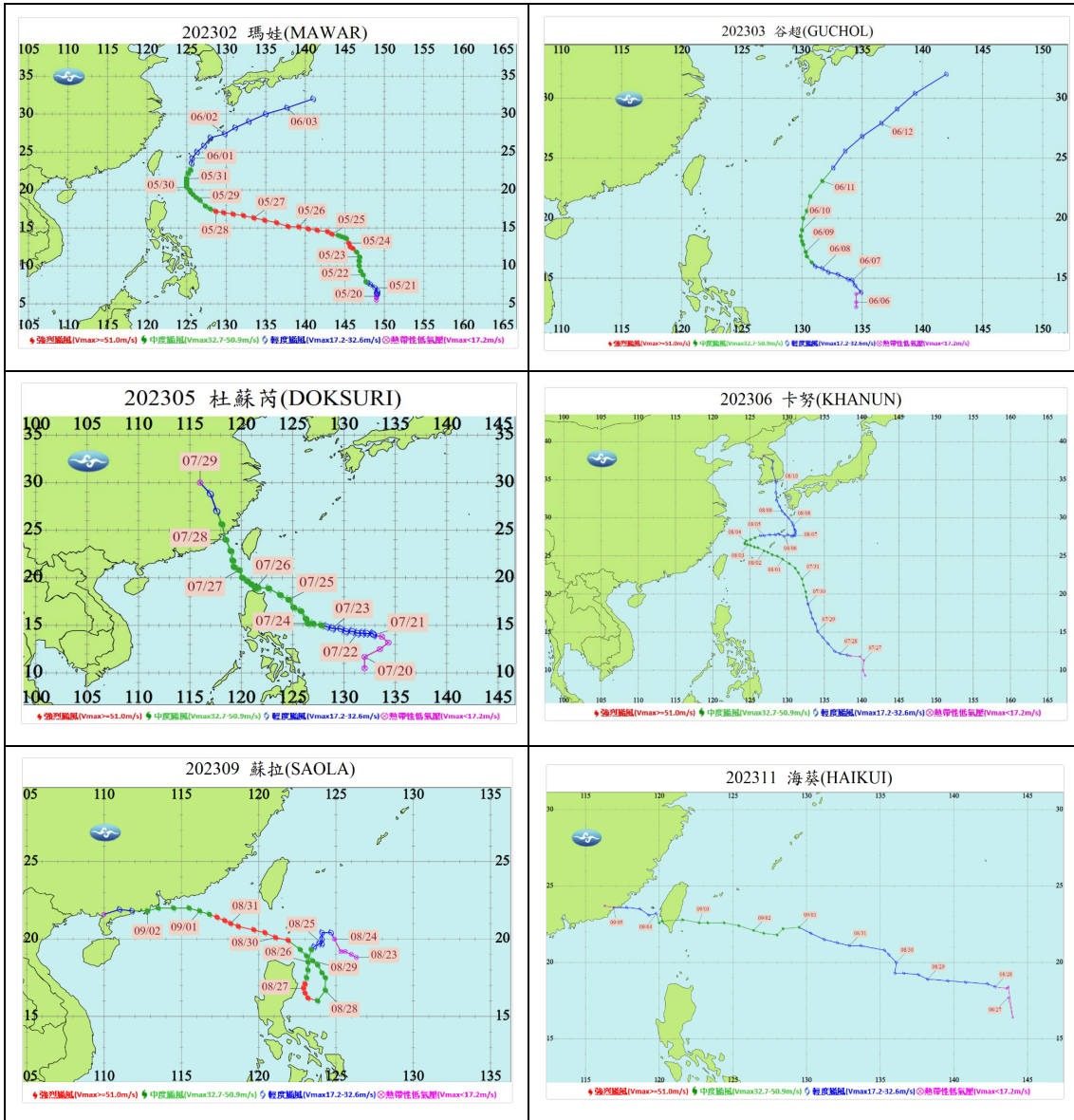


圖 4.4 對應表 4-2 所列 112 年期間船舶避湧之颱風路徑圖

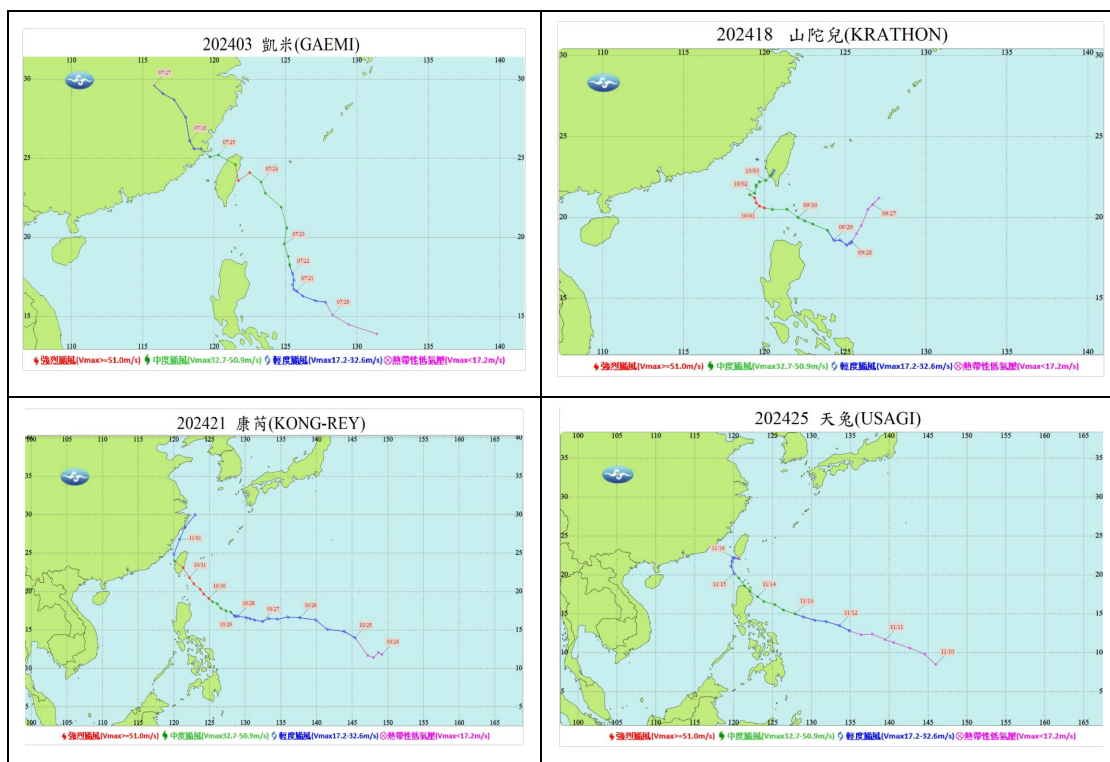


圖 4.5 對應表 4-2 所列 113 年期間船舶避湧之颱風路徑圖

表 4-3 花蓮港 109~111 年期間港域內波浪受颱風事件影響彙整表

項次	颱風名稱	生成時間	結束時間	強度
1	鸚鵡	109 年 06 月 12 日 12 時	109 年 06 月 14 日 06 時	輕度
2	哈格比	109 年 08 月 01 日 12 時	109 年 08 月 06 日 00 時	中度
3	薔蜜	109 年 08 月 08 日 18 時	109 年 08 月 11 日 00 時	輕度
4	巴威	109 年 08 月 22 日 00 時	109 年 08 月 27 日 12 時	中度
5	海神	109 年 09 月 01 日 12 時	109 年 09 月 07 日 18 時	強烈
6	白海豚	109 年 09 月 21 日 06 時	109 年 09 月 24 日 06 時	輕度
7	鯨魚	109 年 09 月 27 日 00 時	109 年 09 月 30 日 06 時	輕度
8	昌鴻	109 年 10 月 05 日 00 時	109 年 10 月 11 日 18 時	中度
9	沙德爾	109 年 10 月 20 日 00 時	109 年 10 月 25 日 18 時	中度
10	莫拉菲	109 年 10 月 24 日 18 時	109 年 10 月 28 日 18 時	中度
11	天鵝	109 年 10 月 28 日 18 時	109 年 11 月 05 日 18 時	強烈
12	閃電*	109 年 10 月 29 日 12 時	109 年 11 月 07 日 12 時	輕度
13	梵高	109 年 11 月 09 日 06 時	109 年 11 月 15 日 18 時	輕度

14	杜鵑	110年02月18日06時	110年02月22日00時	輕度
15	舒力基	110年04月13日12時	110年04月25日00時	強烈
16	彩雲	110年05月31日00時	110年06月04日12時	輕度
17	煙花	110年07月17日18時	110年07月27日18時	中度
18	尼伯特	110年07月23日12時	110年07月28日06時	輕度
19	銀河	110年08月05日06時	110年08月10日00時	輕度
20	奧麥斯	110年08月20日12時	110年08月23日06時	輕度
21	璨樹*	110年09月07日00時	110年09月18日00時	輕度
22	蒲公英	110年09月23日12時	110年10月02日00時	輕度
23	圓規*	110年10月08日06時	110年10月14日12時	輕度
24	南修	110年10月10日00時	110年10月17日00時	輕度
25	瑪瑙	110年10月25日00時	110年10月29日12時	中度
26	妮亞圖	110年11月30日00時	110年12月04日06時	中度
27	雷伊	110年12月13日06時	110年12月20日12時	強烈
28	馬勒卡	111年04月08日00時	111年04月15日18時	中度
29	艾利	111年07月01日00時	111年07月05日00時	輕颱
30	桑達	111年07月28日12時	111年07月31日18時	中度
31	米雷	111年08月11日18時	111年08月14日06時	輕度
32	馬鞍	111年08月22日06時	111年08月26日00時	輕度
33	蝎虎	111年08月22日06時	111年08月25日18時	中度
34	軒嵐諾*	111年08月28日06時	111年09月06日12時	強烈
35	梅花*	111年09月08日00時	111年09月16日00時	中度
36	南瑪都	111年09月13日18時	111年09月20日00時	強烈
37	塔拉斯	111年09月23日00時	111年09月24日00時	輕度
38	諾盧	111年09月23日06時	111年09月28日12時	中度
39	庫拉	111年09月26日00時	111年09月29日06時	輕度
40	洛克	111年09月28日12時	111年10月01日18時	中度
41	桑卡	111年10月14日06時	111年10月15日00時	輕度
42	尼莎*	111年10月15日06時	111年10月20日06時	中度
43	奈格	111年10月27日00時	111年11月03日00時	輕度
44	帕卡	111年12月11日12時	111年12月12日18時	輕度

註:\*表示有發布海上或陸上颱風警報之颱風

資料來源:1.交通部中央氣象署颱風資料庫 2.本計畫整理

表 4-4 花蓮港 112~113 年期間港域內波浪受颱風事件影響彙整表

項次	颱風名稱	生成時間	結束時間	強度
1	馬娃*	112 年 05 月 20 日 06 時	112 年 06 月 03 日 06 時	強烈
2	谷超	112 年 06 月 06 日 12 時	112 年 06 月 12 日 18 時	中度
3	泰利	112 年 07 月 15 日 06 時	112 年 07 月 18 日 12 時	中度
4	杜蘇芮*	112 年 07 月 21 日 00 時	112 年 07 月 29 日 00 時	中度
5	卡努*	112 年 07 月 27 日 18 時	112 年 08 月 10 日 18 時	中度
6	蘇拉*	112 年 08 月 24 日 06 時	112 年 09 月 02 日 18 時	中度
7	海葵*	112 年 08 月 28 日 00 時	112 年 09 月 05 日 00 時	中度
8	小犬*	112 年 09 月 29 日 18 時	112 年 10 月 09 日 12 時	中度
9	布拉萬	112 年 10 月 07 日 06 時	112 年 10 月 14 日 12 時	強烈
10	艾維尼	113 年 05 月 26 日 00 時	113 年 05 月 30 日 18 時	中度
11	凱米*	113 年 07 月 20 日 06 時	113 年 07 月 27 日 00 時	強烈
12	珊珊	113 年 08 月 21 日 18 時	113 年 08 月 31 日 00 時	中度
13	葡萄桑	113 年 09 月 15 日 12 時	113 年 09 月 21 日 06 時	輕度
14	山陀兒*	113 年 09 月 28 日 00 時	113 年 10 月 03 日 21 時	強烈
15	潭美	113 年 10 月 21 日 18 時	113 年 10 月 28 日 00 時	輕度
16	康芮*	113 年 10 月 25 日 00 時	113 年 11 月 01 日 12 時	強烈
17	銀杏	113 年 11 月 03 日 18 時	113 年 11 月 12 日 06 時	強烈
18	桔梗	113 年 11 月 09 日 06 時	113 年 11 月 14 日 06 時	中度
19	萬宜	113 年 11 月 09 日 06 時	113 年 11 月 20 日 00 時	強烈
20	天兔*	113 年 11 月 11 日 18 時	113 年 11 月 16 日 03 時	中度

註:\*表示有發布海上或陸上颱風警報之颱風

資料來源:1.交通部中央氣象署颱風資料庫 2.本計畫整理

#### 4.1.2 資料前處理、網路架構及學習訓練設定

本計畫延續 113 年「花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究」，輸入層參數選取 TaiCOMS 產製花蓮港外波浪模擬資料(波高、平均週期及波向)，以及各碼頭觀測之港內波高，但神經網路輸入資料，必須為時間間距相等、資料連續且不間斷的時間序列，花蓮港外波浪模擬資料因無缺漏，以線性內插方式將每小時波浪模擬資料改為每 20 分鐘 1 筆之時間序列資料；花蓮港內波浪觀測資料，原是每 20 分鐘 1 筆統計資料，其缺漏部分則以線性內插方式，補遺成每 20 分鐘 1 筆之時間序列資料。

接者，在進行神經網路訓練前，須將輸入參數無因次化並映射至固定範圍值域內，此稱為資料正規化。由於神經網路輸入層至隱藏層間之轉換函數使用雙曲線正切函數，其值域介於 1 與 -1，又因雙曲線正切函數轉換時，鄰近 1 與 -1 之曲線近乎為水平漸近線，資料若正規化、壓縮到此段，屬曲線最不敏感範圍。故為使每個參數在各時刻數值資料映射結果仍存在數值間差異性，本計畫將各輸入參數因子正規化壓縮到 -0.9 至 0.9 之間，另考量 112 年~113 年期間發生較多侵臺之颱風，本(114)年度重新檢視港外、港內波浪資料，調整各參數正規化之上、下限，如表 4-5 所示，俾利後續應用。

本計畫建置各碼頭波高神經網路均為 3 層，分別為輸入層、隱藏層及輸出層，各層神經元以  $i$ 、 $j$ 、 $k$  為下標符號做區分，神經元數量以  $m$ 、 $n$ 、 $o$  個表示。輸入層主要輸入前 1 小時( $t-20\text{min}$ 、 $t-40\text{min}$ 、 $t-60\text{min}$ )之港外波浪模擬資料及港內碼頭波高資料，其中港外波浪模擬資料又有只考慮輸入波高參數，即 6 個神經元架構(以下簡稱 H-BPNN 架構)，以及考慮輸入波高、週期及波向參數，即 12 個神經元架構(以下簡稱 HTM-BPNN 架構)；爰神經元輸入層數量( $m$ )以考慮港外、港內波浪參數多寡而定；輸出層主要以港內 17、25 或 9 號碼頭當時刻( $t$ 時刻)示性波高時間序列為目標序列，爰神經元數量( $o$ )為 1 個；至於隱藏層之神經元數量( $n$ )，以試誤法逐一增加測試，再經評估指標計算結果。據此，選定 3 座碼頭最終之網路架構，網路架構及訓練流程，如圖 4.6 所示，每個碼頭均有 2 種網路架構，其訓練、驗證及測試結果於本章第

4.2~4.4 節說明。在神經網路訓練設定部分，採用 MATLAB 2024b 之 Neural Network Toolbox 執行神經網路訓練、驗證及測試工作，各項資料在進入神經網路前先正規化至 -0.9~0.9 之間，採用 Levenberg-Marquardt (LM) 演算法，比傳統梯度下降法更能快速找到讓均方誤差 (MSE) 最小的權重與偏差，達到迅速收斂、解省時間的效果；輸入層至隱藏層間之轉換函數選擇雙曲線正切函數；隱藏層至輸出層間之轉換函數為線性函數；網路學習速率設定為 0.001，訓練精度目標為 0.00001，但為避免訓練時間過長，經檢視實際執行時收斂曲線變化，疊代至 250 次時訓練精度已趨於收斂，故訓練設定最大疊代次數為 300 次。

表 4-5 本年度調整輸入層參數正規化之上、下限設定

港外波浪	上限	下限	碼頭	上限	下限
波高 (m)	18	0.1	25 號波高 (m)	6.00	0.05
週期 (sec)	22.0	1.0	17 號波高 (m)	6.00	0.05
方向 (弧度)	6.2832	0	9 號波高 (m)	2.0	0.02

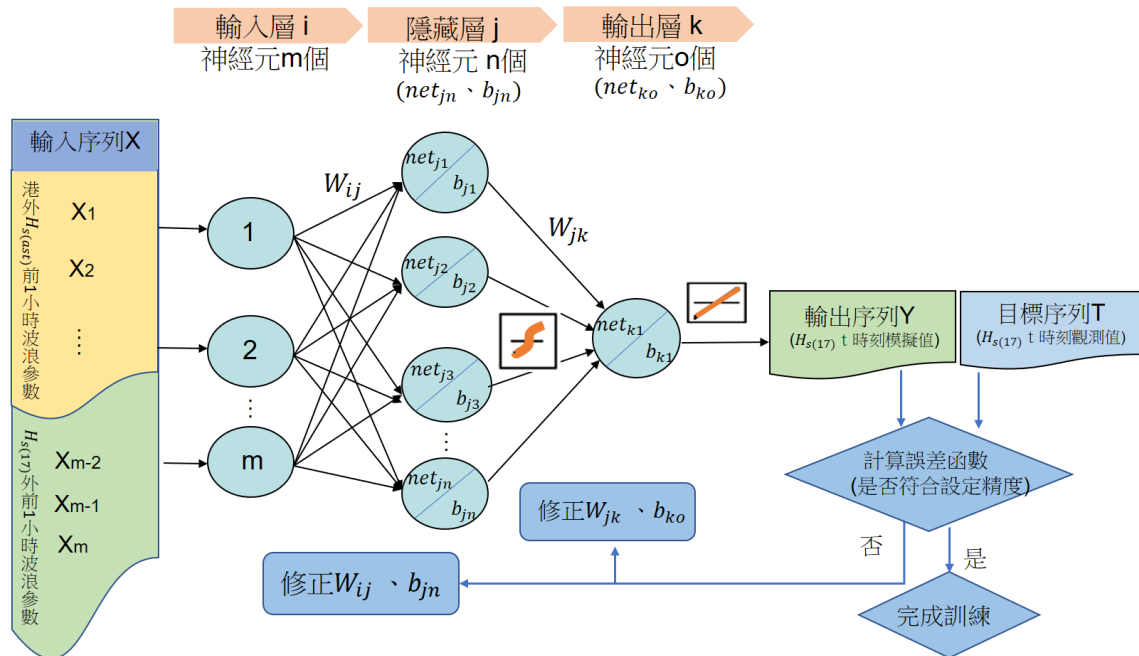


圖 4.6 網路架構及訓練流程圖-以 17 號碼頭波高神經網路為例

## 4.2 重建 17 號碼頭波高預測神經網路模式

本節將 113 年度 TaiCOMS 2.0 系統產製之花蓮港港外波浪模擬資料及 17 號碼頭港內波高觀測資料納入訓練、驗證及測試，重建 2 種網路架構之 17 號碼頭波高預測神經網路模式。

### 4.2.1 網路架構及使用資料說明(17 pier-BPNN)

在神經網路架構部分，分為 2 種網路架構，說明如下：

#### 1. 17-H-BPNN 架構

輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高模擬資料及港內 17 號碼頭波高資料，即輸入層為 6 個神經元；隱藏層神經元則在訓練過程，以試誤法尋找合適之神經元個數；輸出層參數則為 t 時刻 17 號碼頭波高，即輸出層為 1 個神經元，此網路架構訓練及驗證流程，如圖 4.7(左圖)所示(以下簡稱 17-H-BPNN 架構)。

#### 2. 17- HTM -BPNN 架構

輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高、平均周期及波向模擬資料及港內 17 號碼頭波高資料，即輸入層為 12 個神經元；隱藏層神經元則在訓練過程，以試誤法尋找合適之神經元個數；輸出層參數則為 t 時刻 17 號碼頭波高，即輸出層為 1 個神經元，此網路架構訓練及驗證流程，如圖 4.8(左圖) 所示(以下簡稱 17- HTM -BPNN 架構)。

在 17 號碼頭波高觀測資料部分，17 號碼頭監測站雖在 109 年 5 月中旬設站監測，但於 110 年 10 月 12 日因圓規颱風毀損，至 111 年 6 月 29 日才復站開始監測，其波浪資料蒐集有中斷情形；在 113 年康芮颱風時期，17 號碼頭波浪觀測資料有資料中斷、過了幾天才回補之情形，且查看康芮颱風期間之資料數值較為凌亂、異常過大不合理，不予採用。故本(114)年度重建 17 號碼頭波高預測神經網路模式，在訓練資料部分，

擷取 110 年 1 月 1 日 00 時至 110 年 10 月 12 日 06 時港外、港內波浪資料，以及 111 年 7 月 1 日 00 時至 113 年 10 月 24 日 23 時(康芮颱風前)港外、港內波浪資料，2 段資料做為訓練集資料。在模式驗證部分，以 109 年度海神颱風、閃電颱風做模式驗證案例；在模式測試部分，則以海神颱風及閃電颱風時期、以預測 20min 方式執行 8 天，其訓練集、驗證及測試集資料，如表 4-6 所示。將驗證、測試過程計算出 17 號碼頭示性波高模擬值與觀測值相比，並以相關係數 (R)、平均絕對誤差 (MAE)、均方根誤差 (RMSE) 做為驗證、測試結果的評估指標。

表 4-6 花蓮港 17 號碼頭訓練、驗證及測試集資料表

17 號碼頭訓練、驗證及測試集資料區間及資料筆數	
訓練	110 年 1 月 1 日 00 時 00 分-110 年 10 月 12 日 06 時 00 分； 111 年 7 月 1 日 00 時 00 分-113 年 10 月 24 日 23 時 00 分，共 81,443 筆
驗證	海神 109 年 9 月 01 日 20 時 00 分-109 年 9 月 08 日 02 時 00 分，共 451 筆
	閃電 109 年 11 月 01 日 20 時 00 分-109 年 11 月 07 日 12 時 00 分，共 469 筆
測試	海神起始日 109 年 9 月 01 日 20 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆
	閃電起始日 109 年 11 月 01 日 20 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆

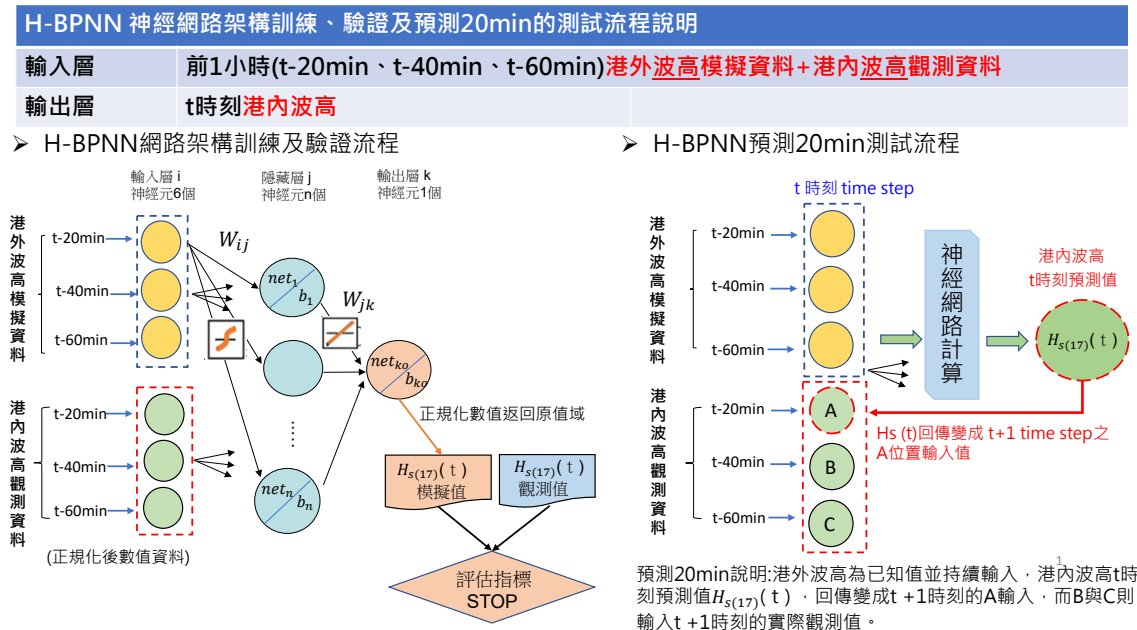
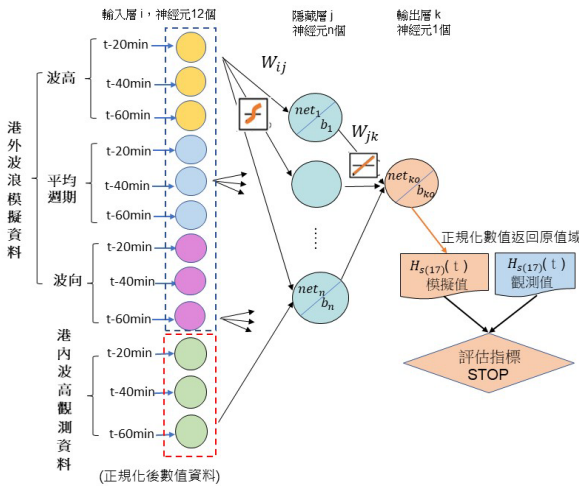


圖 4.7 花蓮港 17-H-BPNN 網路架構、驗證及測試流程

### HTM-BPNN 神經網路架構、驗證及預測20min的測試流程說明

輸入層	前1小時(t-20min、t-40min、t-60min)港外波高、週期及波向模擬資料+港內波高觀測資料
輸出層	t時刻港內波高

#### HTM-BPNN網路架構及驗證流程



#### HTM-BPNN預測20min的測試流程

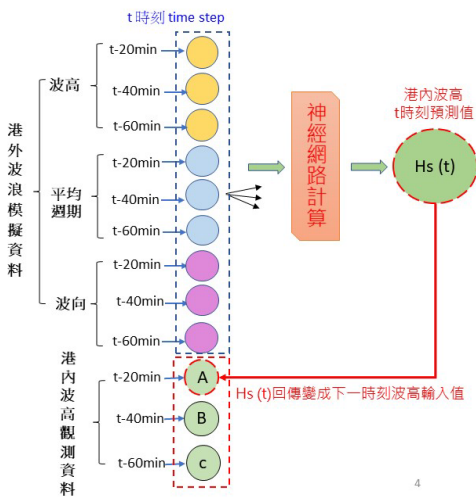


圖 4.8 花蓮港 17-HTM-BPNN 網路架構、驗證及測試流程

## 4.2.2 模式驗證結果(17 pier-BPNN)

在訓練過程中，隱藏層神經元由 1 個逐步增加至 15 個，在 112 年度以港外模擬資料訓練碼頭波高神經網路，發現隱藏層神經元個數越多，驗證結果反而有越不好趨勢，推測原因應是花蓮港外波浪模擬資料係由波浪數值模式 SWAN 經波浪作用力平衡方程式計算出來的數值資料，對使用 BPNN 方法學習數值模式與港內波浪間之特性是較容易的。

選取可同時通過驗證及測試階段，且在測試結果中相關性(R)最佳之網路架構，做為本計畫後續使用神經網路。以此原則，經執行海神、閃電 2 個驗證案例，以及在海神及閃電颱風起始日起，以預測 20min、執行 8 日後，在 17-H-BPNN 架構下，相關性較佳之網路架構為[6-1-1]，其驗證流程同圖 4.7(左圖)、驗證結果如圖 4.9 所示；在 17-HTM-BPNN 架構下，相關性較佳之網路架構為[12-1-1]，其驗證流程同圖 4.8(左圖)、驗證結果如圖 4.10 所示，整理在同場颱風下，2 者網路架構驗證結果如表 4-7 所示。

由表 4-7 可知，17 號碼頭類神經網路執行海神、閃電 2 個驗證案例結果，在海神颱風驗證結果，17-H-BPNN 及 17-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 0.959 及 0.958，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 為 0.036m 及 0.037m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.058m；在閃電颱風驗證結果，17-H-BPNN 及 17-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 均為 0.955，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.031m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.047m。整體而言，2 者架構驗證結果良好，近乎相同或差異不大。

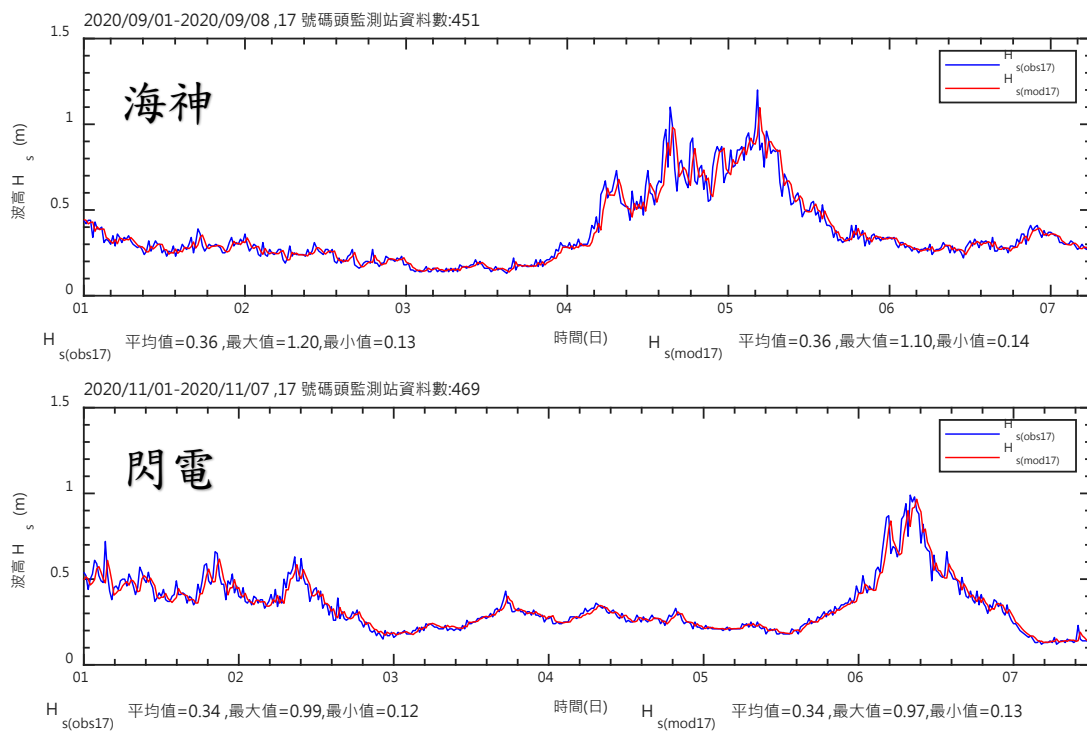


圖 4.9 花蓮港 17-H-BPNN 驗證結果

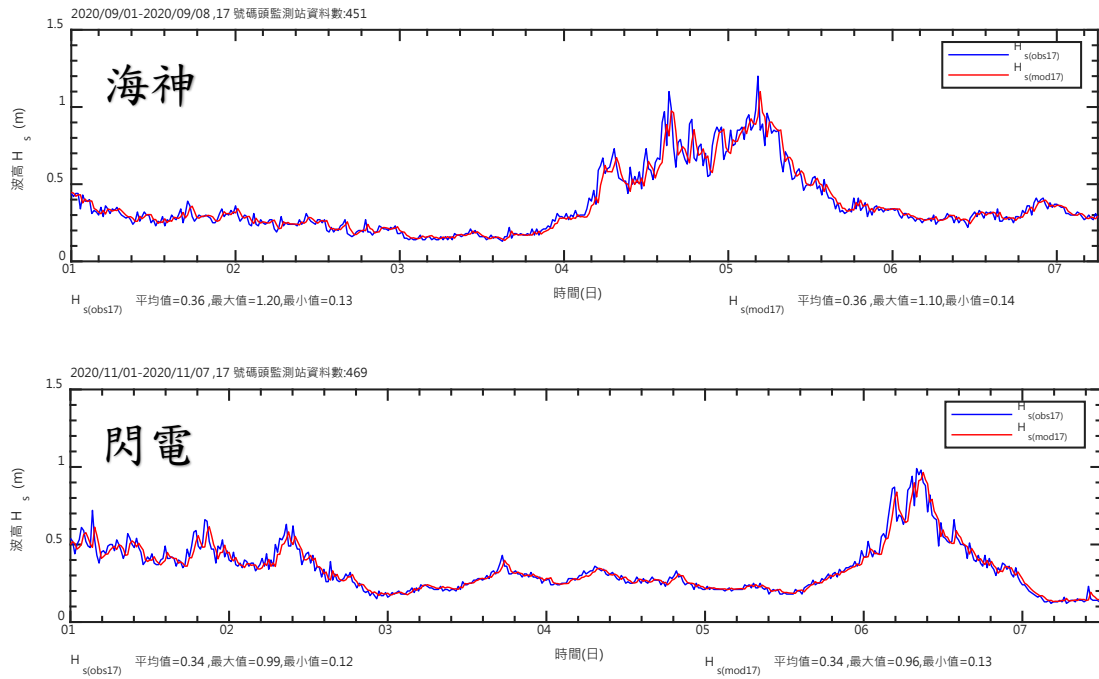


圖 4.10 花蓮港 17-HTM-BPNN 驗證結果

表 4-7 同場颱風下，17 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果表

訓練資料納入 113 年資料後重建-驗證結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.36	1.2	0.13	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.36	1.1	0.14	0.959	0.036	0.058
17-HTM-BPNN	模擬值	0.36	1.1	0.14	0.958	0.037	0.058
閃電	觀測值	0.34	0.99	0.12	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.34	0.97	0.13	0.955	0.031	0.047
17-HTM-BPNN	模擬值	0.34	0.96	0.13	0.955	0.031	0.047

### 4.2.3 模式測試結果(17 pier-BPNN)

在神經網路驗證後，進一步執行測試工作，以執行預測 20min (1 time step) 檢測其網路自身預測能力及穩定性，其執行方式為輸入層之港外波浪模擬資料參數(示性波高、平均周期或波向)均做為已知資訊，在每個時間步長(time step)持續輸入至神經網路並直至模擬時間結束；至於輸入層之港內 17 號碼頭示性波高觀測資料參數因子，在第 1 時間步長 (t 時刻) 帶入實際觀測值，經神經網路計算出 17 號碼頭下一時刻之示性波高預測值 $H_{s(17)}(t+1)^{(t \text{ 時刻})}$ ，將此預測值 $H_{s(17)}(t+1)^{(t \text{ 時刻})}$ 回傳至輸入層做為下一時間步長之 $H_{s(17)}(t-20\text{min})^{(t+1 \text{ 時刻})}$ 輸入值；在 t+1 時間步長計算時， $H_{s(17)}(t-20\text{min})^{(t+1 \text{ 時刻})}$ 是前時刻 (t 時刻) 計算出來預測值，此時 $H_{s(17)}(t-40\text{min})^{(t+1 \text{ 時刻})}$ 、 $H_{s(17)}(t-60\text{min})^{(t+1 \text{ 時刻})}$ 是實際觀測值，再進入神經網路計算，計算出預測值 $H_{s(17)}(t+2)^{(t+1 \text{ 時刻})}$ ，再回傳至輸入層做為下一時間步長之 $H_{s(17)}(t-20\text{min})^{(t+2 \text{ 時刻})}$ 輸入值；在 t+2 時間步長計算時， $H_{s(17)}(t-20\text{min})^{(t+2 \text{ 時刻})}$ 是前時刻 (t+1 時刻) 計算出來預測值，此時 $H_{s(17)}(t-40\text{min})^{(t+2 \text{ 時刻})}$ 、 $H_{s(17)}(t-60\text{min})^{(t+2 \text{ 時刻})}$ 是實際觀測值，再進入類神經網路計算，計算出預測值 $H_{s(17)}(t+3)^{(t+2 \text{ 時刻})}$ ，再回傳至輸入層做為下一時間步長之 $H_{s(17)}(t-20\text{min})^{(t+3 \text{ 時刻})}$ 輸入值，如此預測、回傳、再預測、再回傳直至模擬時間結束。爰 17 號碼頭除了第 1 時刻 $H_{s(17)}(t-20\text{min})$ 是實際觀測值，之後計算的每個時刻 $H_{s(17)}(t-20\text{min})$ 輸入值係由類神經網路前次計算預測得之，但每個時刻 $H_{s(17)}(t-40\text{min})$ 、 $H_{s(17)}(t-60\text{min})$ 輸入值均是實際觀測值，2 種架構之測試流程可詳圖 4.7(右圖) 及圖 4.8(右圖)。

本計畫選擇自海神及閃電 2 場颱風事件起始日起，以上述預測方式執行 8 日，據此做為對所建置神經網路之測試方式，再以相關係數 (R)、平均絕對誤差 (MAE)、均方根誤差 (RMSE) 做為測試結果的評估指標，2 種架構之測試結果可詳圖 4.11 及圖 4.12，整理在同場颱風下，2 者網路架構之測試結果，如表 4-8 所示。

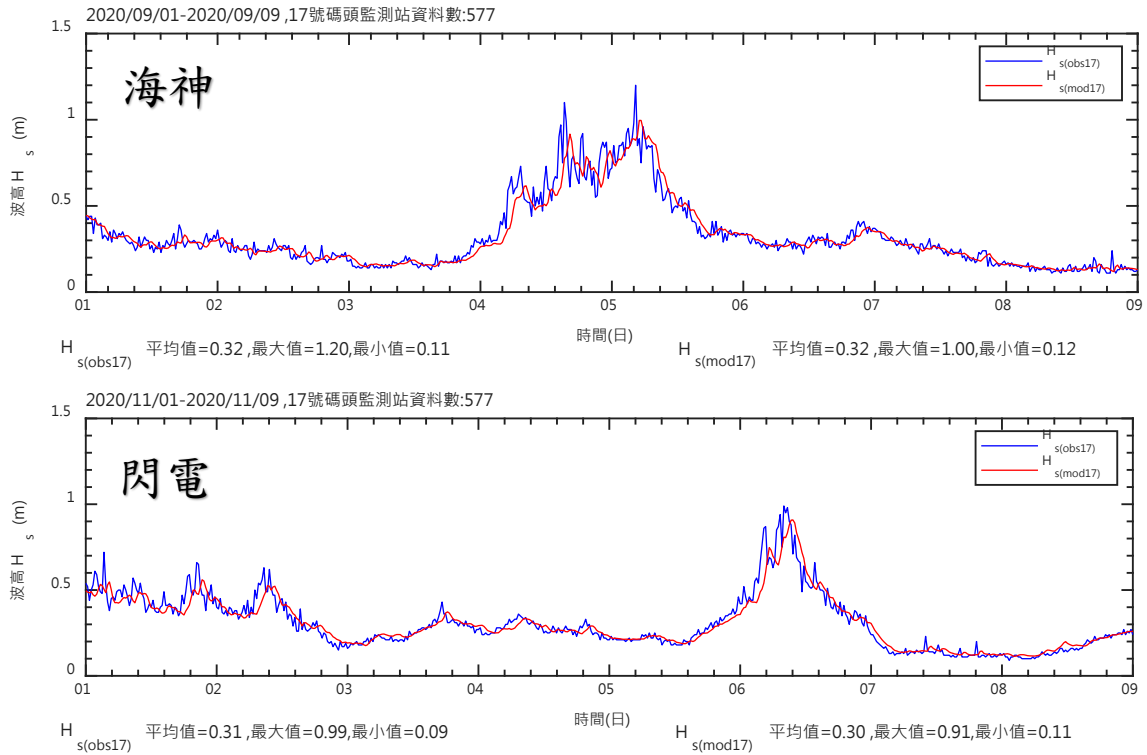


圖 4.11 花蓮港 17-H-BPNN 測試結果

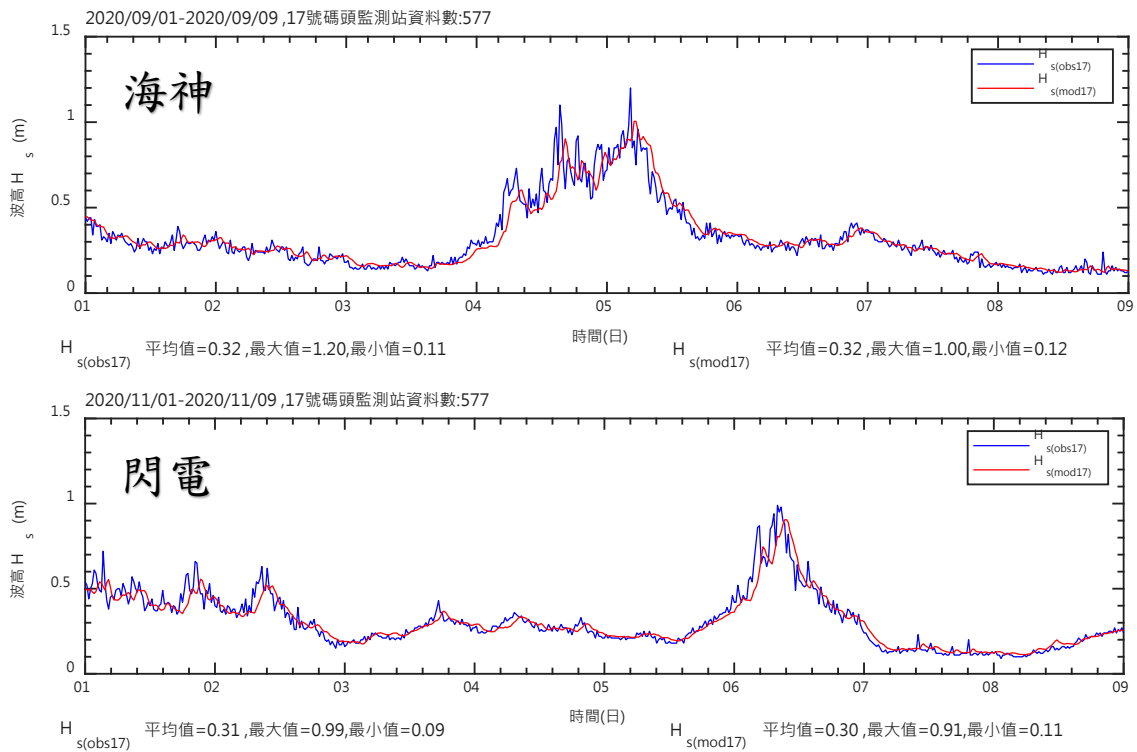


圖 4.12 花蓮港 17-HTM-BPNN 測試結果

由表 4-8 可知，17 號碼頭類神經網路執行海神、閃電 2 個測試案例結果，在海神颱風測試結果，17-H-BPNN 及 17-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 0.950 及 0.947，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 為 0.037m 及 0.039m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.062m 及 0.064m；在閃電颱風測試結果，17-H-BPNN 及 17-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.943 及 0.944，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.034m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.054m。整體而言，2 者架構測試結果良好，近乎相同或差異不大。

**表 4-8 同場颱風下，17 號碼頭 2 種網路架構之測試結果表**

以颱風起始日起，測試 20min、執行 8 日(577 筆)之測試結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.32	1.2	0.11	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.32	1.0	0.12	0.950	0.037	0.062
17-HTM-BPNN	模擬值	0.32	1.0	0.12	0.947	0.039	0.064
閃電	觀測值	0.31	0.99	0.09	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.30	0.91	0.11	0.943	0.034	0.054
17-HTM-BPNN	模擬值	0.30	0.91	0.11	0.944	0.034	0.054

### 4.3 重建 25 號碼頭波高預測神經網路模式

本節將 113 年度 TaiCOMS 2.0 系統產製之花蓮港港外波浪模擬資料及 25 號碼頭港內波高觀測資料納入訓練、驗證及測試，重建 2 種網路架構之 25 號碼頭波高預測神經網路模式。

#### 4.3.1 網路架構及使用資料說明(25 pier-BPNN)

在神經網路架構部分，分為 2 種網路架構，說明如下：

##### 1. 25-H-BPNN 架構

輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高模擬資料及港內 25 號碼頭波高觀測資料，即輸入層為 6 個神經元；隱藏層神經元則在訓練過程，以試誤法尋找合適之神經元個數；輸出層參數則為 t 時刻 25 號碼頭波高，即輸出層為 1 個神經元，此網路架構訓練及驗證流程同如圖 4.7(左圖)所示，惟圖中  $H_{s(17)}$  改為  $H_{s(25)}$  (以下簡稱 25-H-BPNN 架構)。

##### 2. 25- HTM -BPNN 架構

輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高、平均周期及波向模擬資料及港內 25 號碼頭波高觀測資料，即輸入層為 12 個神經元；隱藏層神經元則在訓練過程，以試誤法尋找合適之神經元個數；輸出層參數則為 t 時刻 25 號碼頭波高，即輸出層為 1 個神經元，此網路架構訓練及驗證流程如圖 4.8(左圖) 所示，惟圖中  $H_{s(17)}$  改為  $H_{s(25)}$  (以下簡稱 25-HTM -BPNN 架構)。

25 號碼頭監測站自 110 年 5 月中旬設站監測迄今，在康芮颱風期間資料中斷，11 月 6 日經廠商維護後才開始恢復觀測，故本(114)年度擷取 110 年 5 月 15 日 01 時 00 分至 113 年 10 月 21 日 18 時(潭美颱風前)港外、港內波浪資料做為訓練集資料；在模式驗證部分，以 113 年度潭美颱風、萬宜颱風做模式驗證案例；在模式測試部分，則以潭美颱

風起始時間起、以預測 20min 方式執行 7 天；以萬宜颱風起始時間起、以預測 20min 方式執行 11 天，其訓練集、驗證及測試案例資料區間及筆數如表 4-9 所示。

**表 4-9 花蓮港 25 號碼頭訓練、驗證及測試集資料表**

25 號碼頭訓練、驗證及測試集資料區間及資料筆數		
訓練	110 年 5 月 15 日 01 時 00 分~113 年 10 月 21 日 18 時，共 90,412 筆	
驗證	潭美	113 年 10 月 21 日 18 時 00 分~10 月 28 日 00 時 00 分，共 451 筆
	萬宜	113 年 11 月 09 日 06 時 00 分~11 月 20 日 00 時 00 分，共 775 筆
測試	潭美起始日 113 年 10 月 21 日 18 時 00 分，預測 20min，執行 7 日，共 505 筆	
	萬宜起始日 113 年 11 月 09 日 06 時 00 分，預測 20min，執行 11 日，共 806 筆	

#### 4.3.2 模式驗證結果(25 pier-BPNN)

同訓練 17 號碼頭波高神經網路方法，選取可同時通過驗證及測試階段且在測試結果中相關性(R)最佳之網路架構，做為本計畫 25 號碼頭波高預測神經網路模式。以此原則，經執行潭美颱風、萬宜颱風 2 個驗證案例，以及自潭美颱風起始日起，以預測 20min、執行 7 日，自萬宜颱風起始日起，以預測 20min、執行 11 日後，在 25-H-BPNN 架構下，相關性較佳之網路架構為[6-2-1]，其驗證流程同圖 4.7(左圖)、驗證結果，如圖 4.13 所示；在 25-HTM-BPNN 架構下，相關性較佳之網路架構為[12-6-1]，其驗證流程同圖 4.8(左圖)、驗證結果如圖 4.14 所示，整理在同場颱風下，2 者網路架構驗證結果，如表 4-10 所示。

由表 4-10 可知，25 號碼頭波高預測神經網路模式執行潭美、萬宜颱風 2 個驗證案例結果，在潭美颱風驗證結果，25-H-BPNN 及 25-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 均為 0.952，屬高度相關，絕對誤差

(MAE) 為 0.054m 及 0.053m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.077m；在萬宜颱風驗證結果，25-H-BPNN 及 25-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.975 及 0.976，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.031m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.049m 及 0.048m。整體而言，2 者架構驗證結果良好，近乎相同或差異不大。

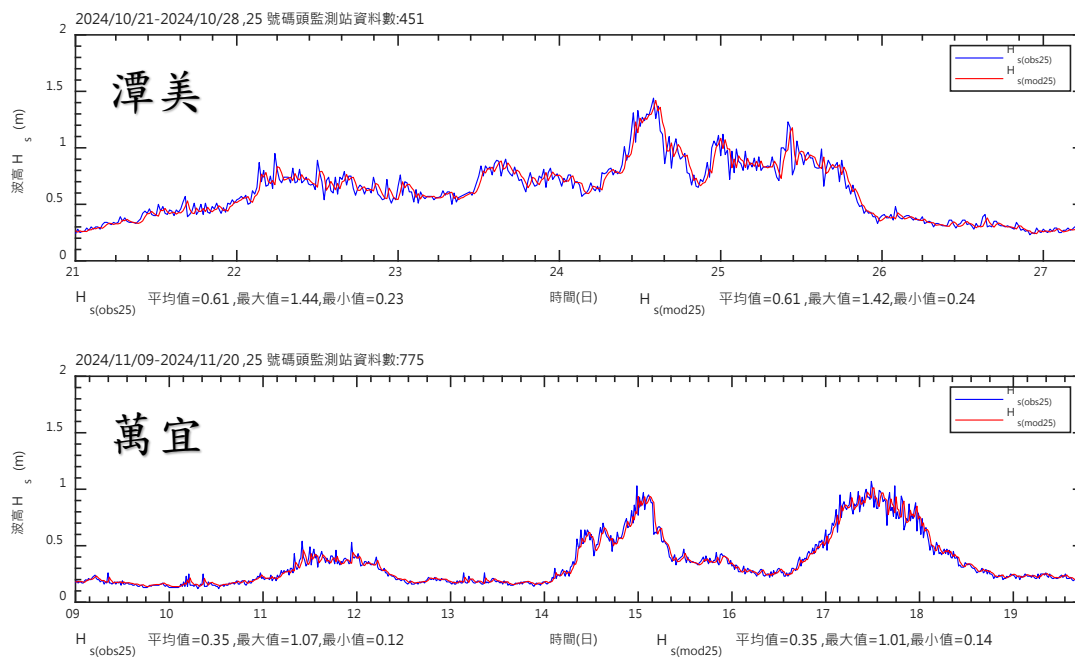


圖 4.13 花蓮港 25-H-BPNN 驗證結果

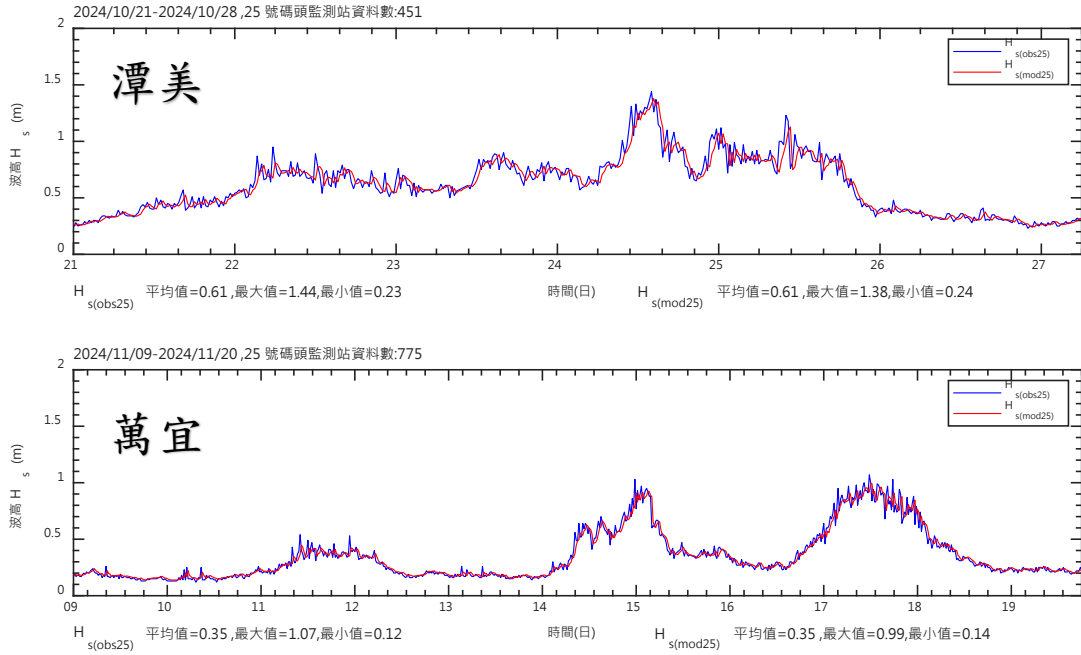


圖 4.14 花蓮港 25-HTM-BPNN 驗證結果

表 4-10 同場颱風下，25 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果表

訓練資料納入 113 年資料後-驗證結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
潭美	觀測值	0.61	1.44	0.23	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.61	1.42	0.24	0.952	0.054	0.077
25-HTM-BPNN	模擬值	0.61	1.38	0.24	0.952	0.053	0.077
萬宜	觀測值	0.35	1.07	0.12	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.35	1.01	0.14	0.975	0.031	0.049
25-HTM-BPNN	模擬值	0.35	0.99	0.14	0.976	0.031	0.048

### 4.3.3 模式測試結果(25 pier-BPNN)

在 25 號碼頭波高預測神經網路模式完成驗證後，進一步執行網路測試工作，以執行預測 20min (1 time step) 檢測其網路自身預測能力及穩定性，其執行方式為輸入層之港外波浪模擬資料參數因子(示性波高、平均周期或波向)均做為已知資訊，在每個時間步長 (time step) 持續輸入至神經網路且直至模擬時間結束；至於輸入層之港內 25 號碼頭示性波高觀測資料參數因子，在第 1 時間步長 (t 時刻) 帶入實際觀測值，經神經網路計算出 25 號碼頭下一時刻之示性波高預測值  $H_{s(25)}(t+1)$  (t 時刻)，將此預測值  $H_{s(25)}(t+1)$  (t 時刻) 回傳至輸入層做為下一時間步長之  $H_{s(25)}(t-20\text{min})$  (t+1 時刻) 輸入值；在 t+1 時間步長計算時， $H_{s(25)}(t-20\text{min})$  (t+1 時刻) 是前時刻 (t 時刻) 計算出來預測值，此時  $H_{s(25)}(t-40\text{min})$  (t+1 時刻)、 $H_{s(25)}(t-60\text{min})$  (t+1 時刻) 是實際觀測值，再進入神經網路計算，計算出預測值  $H_{s(25)}(t+2)$  (t+1 時刻)，再回傳至輸入層做為下一時間步長之  $H_{s(25)}(t-20\text{min})$  (t+2 時刻) 輸入值；在 t+2 時間步長計算時， $H_{s(25)}(t-20\text{min})$  (t+2 時刻) 是前時刻 (t+1 時刻) 計算出來預測值，此時  $H_{s(25)}(t-40\text{min})$  (t+2 時刻)、 $H_{s(25)}(t-60\text{min})$  (t+2 時刻) 是實際觀測值，再進入神經網路計算，計算出預測值  $H_{s(25)}(t+3)$  (t+2 時刻)，再回傳至輸入層做為下一時間步長之  $H_{s(25)}(t-20\text{min})$  (t+3 時刻) 輸入值，如此預測、回傳、再預測、再回傳直至模擬時間結束。爰 25 號碼頭除了第 1 時刻  $H_{s(25)}(t-20\text{min})$  是實際觀測值，之後計算的每個時刻  $H_{s(25)}(t-20\text{min})$  輸入值係由神經網路前次計算預測得之，但每個時刻  $H_{s(25)}(t-40\text{min})$ 、 $H_{s(25)}(t-60\text{min})$  輸入值均是實際觀測值，2 種架構之測試流程可詳圖 4.7(右圖) 及圖 4.8(右圖)，惟圖中  $H_{s(17)}$  改為  $H_{s(25)}$ 。

自潭美颱風事件起始日起，以上述測試方式執行 7 日，以及自萬宜颱風事件起始日起，以上述測試方式執行 11 日，據此做為對所建置神經網路之測試方式，再以相關係數 (R)、平均絕對誤差 (MAE)、均方根誤差 (RMSE) 做為測試結果的評估指標，2 種架構之測試結果

可詳圖 4.15 及圖 4.16，整理在同場颱風下，2 者網路架構之測試結果，如表 4-11 所示。

由表 4-11 可知，25 號碼頭類神經網路執行潭美、萬宜 2 個測試案例結果，在潭美颱風測試結果，25-H-BPNN 及 25-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 0.937 及 0.938，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 為 0.059m 及 0.058m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.086m 及 0.084m；在萬宜颱風測試結果，25-H-BPNN 及 25-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.970 及 0.971，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.034m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.052m。整體而言，2 者架構測試結果良好，近乎相同或差異不大。

**表 4-11 同場颱風下，25 號碼頭 2 種網路架構之測試結果表**

自颱風起始日起，測試 20min、執行 7 日、11 日之測試結果							
測試案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
潭美	觀測值	0.60	1.44	0.23	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.59	1.36	0.24	0.937	0.059	0.086
25-HTM-BPNN	模擬值	0.60	1.33	0.25	0.938	0.058	0.084
萬宜	觀測值	0.33	1.07	0.12	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.33	1.00	0.15	0.970	0.034	0.052
25-HTM-BPNN	模擬值	0.33	0.98	0.15	0.971	0.034	0.052

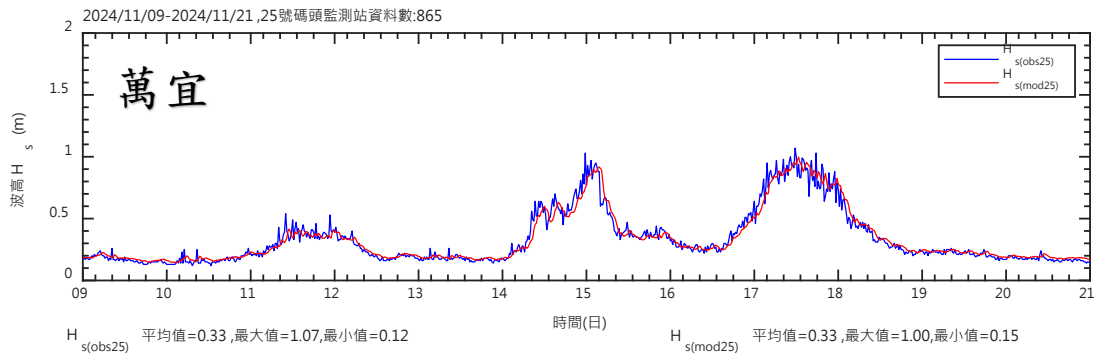
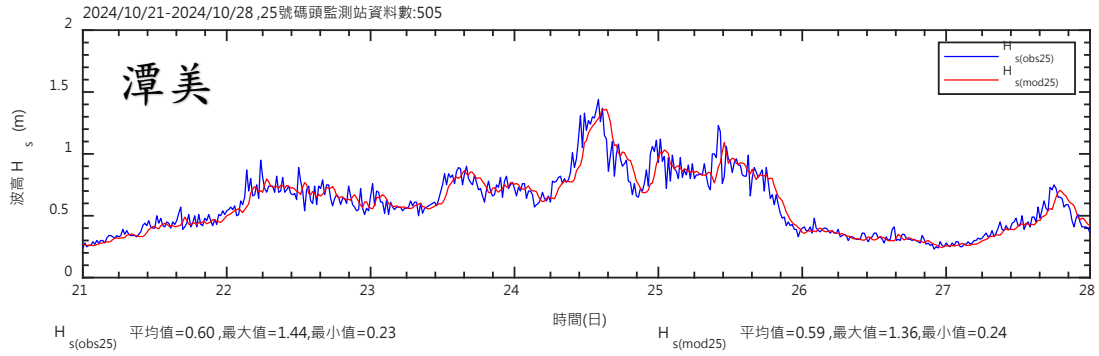


圖 4.15 花蓮港 25-H-BPNN 測試結果

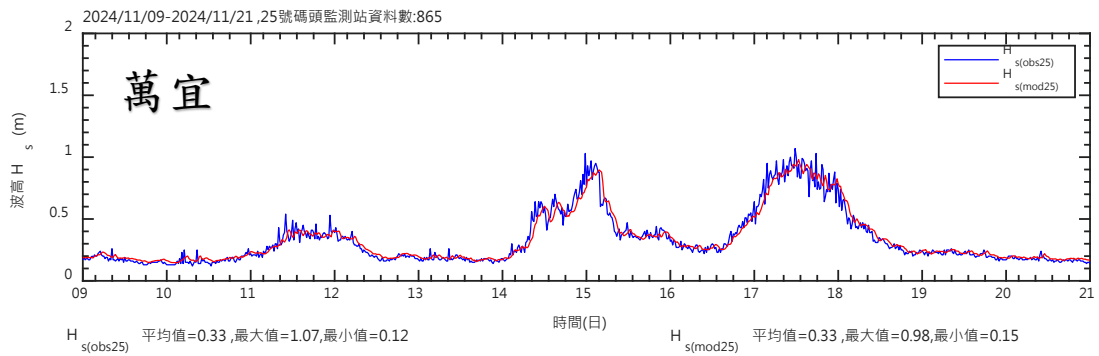
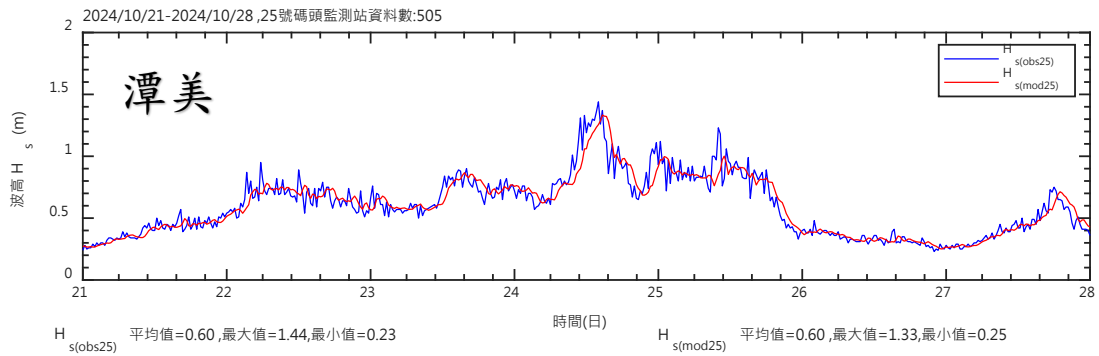


圖 4.16 花蓮港 25-HTM-BPNN 測試結果

## 4.4 重建 9 號碼頭波高預測神經網路模式

本節將 113 年度 TaiCOMS 2.0 系統產製之花蓮港港外波浪模擬資料及 9 號碼頭港內波高觀測資料納入訓練、驗證及測試，重建 2 種網路架構之 9 號碼頭波高預測神經網路模式。

### 4.4.1 網路架構及使用資料說明(9 pier-BPNN)

在神經網路架構部分，分為 2 種網路架構，說明如下：

#### 1. 9-H-BPNN 架構

輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高模擬資料及港內 9 號碼頭波高觀測資料，即輸入層為 6 個神經元；隱藏層神經元則在訓練過程，以試誤法尋找合適之神經元個數；輸出層參數則為 t 時刻 9 號碼頭波高，即輸出層為 1 個神經元，此網路架構訓練及驗證流程同圖 4.7(左圖)所示，惟圖中  $H_{s(17)}$  改為  $H_{s(9)}$  (以下簡稱 9-H-BPNN 架構)。

#### 2. 9- HTM -BPNN 架構

輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高、平均周期及波向模擬資料及港內 9 號碼頭波高觀測資料，即輸入層為 12 個神經元；隱藏層神經元則在訓練過程，以試誤法尋找合適之神經元個數；輸出層參數則為 t 時刻 9 號碼頭波高，即輸出層為 1 個神經元，此網路架構訓練及驗證流程如圖 4.8(左圖) 所示，惟圖中  $H_{s(17)}$  改為  $H_{s(9)}$  (以下簡稱 9- HTM -BPNN 架構)。

9 號碼頭監測站自 109 年 5 月中旬設站監測迄今，因為內港區監測站，波浪偏小，但資料穩定，其資料缺失情形主要係因執行監測站維護工作所致，僅 1~2 小時資料異常，較無長時間資料中斷情形，在 113 年 10 月康芮颱風期間，17 及 25 號碼頭均發生資料中斷一段時間情形，僅 9 號碼頭監測站未受颱風影響。故本(114)年度擷取 110 年 1 月 1 日

01 時 00 分至 113 年 10 月 24 日 23 時 00 分(康芮颱風前)港外波浪模擬資料及港內 9 號碼頭波浪觀測資料做為訓練集資料。在模式驗證部分，以 109 年度海神颱風、閃電颱風做模式驗證案例；在模式測試部分，則以海神颱風起始時間起、以預測 20min 方式執行 8 天；以閃電颱風起始時間起、以預測 20min 方式執行 8 天；以康芮颱風起始時間起、以預測 20min 方式執行 8 天，其訓練集、驗證及測試案例資料區間及筆數，如表 4-12 所示。

**表 4-12 花蓮港 9 號碼頭訓練、驗證及測試集資料表**

9 號碼頭訓練、驗證及測試集資料區間及資料筆數		
訓練	110 年 1 月 1 日 00 時 00 分~113 年 10 月 24 日 23 時 00 分，共 60,979 筆	
驗證	海神	109 年 9 月 01 日 20 時 00 分~109 年 9 月 8 日 02 時 00 分，共 451 筆
	閃電	109 年 11 月 01 日 20 時 00 分~109 年 11 月 07 日 12 時 00 分，共 469 筆
測試	海神起始日 109 年 9 月 01 日 20 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆	
	閃電起始日 109 年 11 月 01 日 20 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆	
	康芮起始日 113 年 10 月 25 日 00 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆	

#### 4.4.2 模式驗證結果(9 pier-BPNN)

同訓練 17 號碼頭波高神經網路方法，選取可同時通過驗證及測試階段且在測試結果中相關性(R)最佳之網路架構，做為本計畫 9 號碼頭波高預測神經網路模式。以此原則，經執行海神颱風、閃電颱風 2 個驗證案例，以及自海神、閃電及康芮颱風起始日起，以預測 20min、各執行 8 日後，在 9-H-BPNN 架構下，選擇網路架構為[6-1-1]，其驗證流程同圖 4.7(左圖)、驗證結果如圖 4.17 所示；在 9-HTM-BPNN 架構下，選擇網路架構為[12-1-1]，其驗證流程同圖 4.8(左圖)、驗證結果如圖 4.18 所示，整理同場颱風下，2 者網路架構驗證結果，如表 4-13 所示。

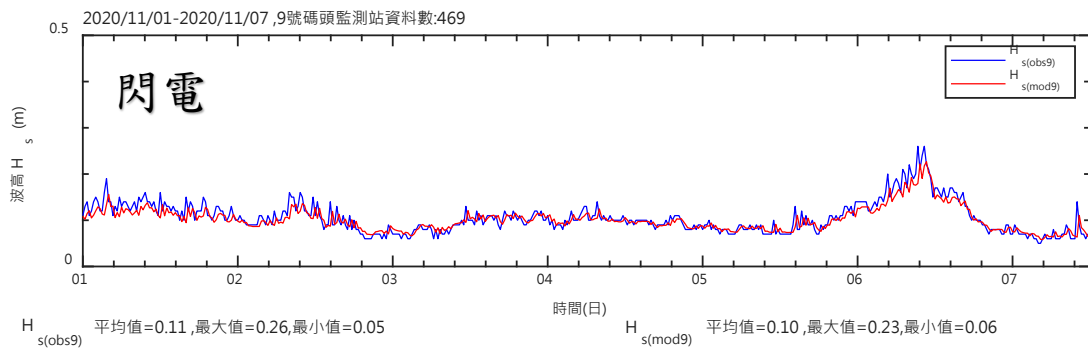
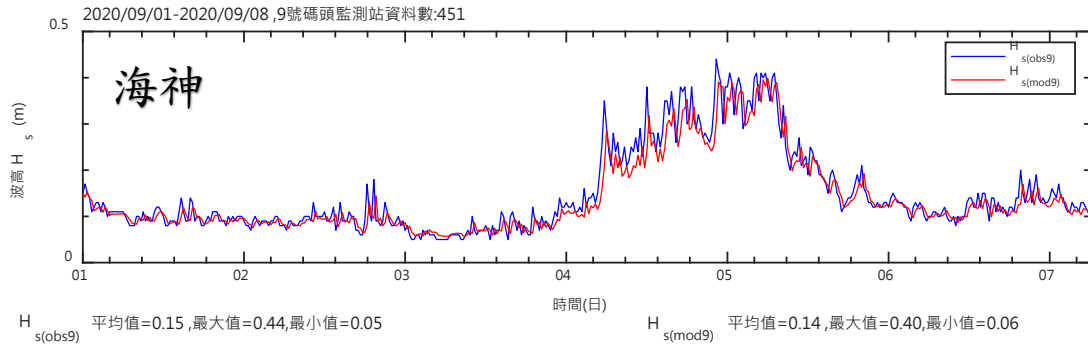


圖 4.17 花蓮港 9-H-BPNN 驗證結果

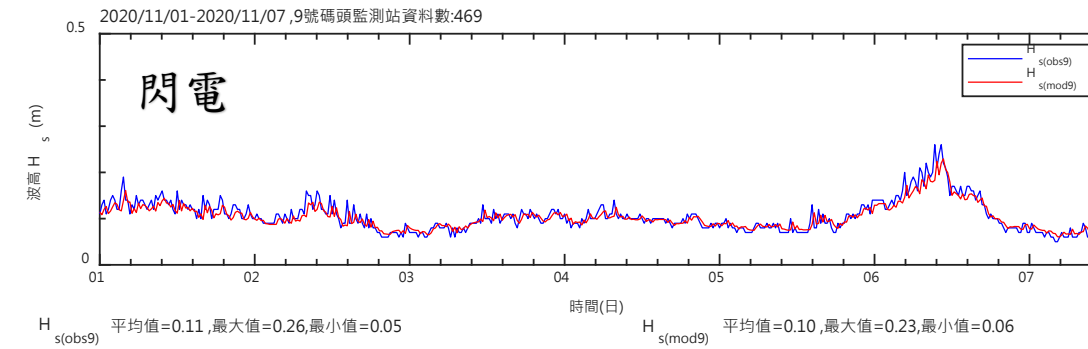
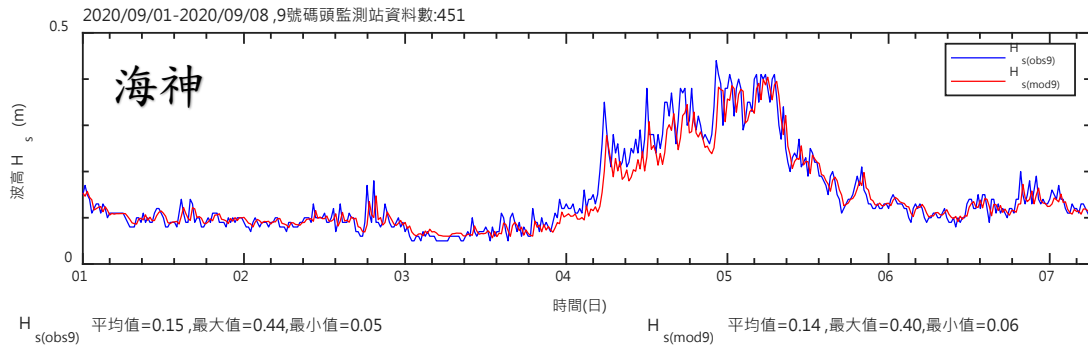


圖 4.18 花蓮港 9-HTM-BPNN 驗證結果

由表 4-13 可知，9 號碼頭波高預測神經網路模式執行海神颱風、閃電颱風 2 個驗證案例結果，在海神颱風驗證結果，9-H-BPNN 及 9-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.953 及 0.949，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 為 0.019m 及 0.020m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.029m 及 0.030m；在閃電颱風驗證結果，9-H-BPNN 及 9-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.884 及 0.891，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 為 0.012m 及 0.011m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.017m 及 0.016m。整體而言，2 者架構驗證結果良好，近乎相同或差異不大。

**表 4-13 同場颱風下，9 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果**

訓練資料納入 113 年資料後重建驗證結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.15	0.44	0.05	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.14	0.4	0.06	0.953	0.019	0.029
9-HTM-BPNN	模擬值	0.14	0.4	0.06	0.949	0.020	0.03
閃電	觀測值	0.11	0.26	0.05	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.10	0.23	0.06	0.884	0.012	0.017
9-HTM-BPNN	模擬值	0.10	0.23	0.06	0.891	0.011	0.016

#### 4.4.3 模式測試結果(9 pier-BPNN)

在 9 號碼頭波高預測神經網路模式完成驗證後，進一步執行網路測試工作，以執行預測 20min (1 time step) 檢測其網路自身預測能力及穩定性，其執行方式為輸入層之港外波浪模擬資料參數因子 (示性波高、平均周期或波向) 均做為已知資訊，在每個時間步長 (time step) 持續輸入至神經網路且直至模擬時間結束；至於輸入層之港內 9 號碼

頭示性波高觀測資料參數因子，在第 1 時間步長 ( $t$  時刻) 帶入實際觀測值，經神經網路計算出 9 號碼頭下一時刻之示性波高預測值  $H_{s(9)}(t+1)$  ( $t$  時刻)，將此預測值  $H_{s(9)}(t+1)$  ( $t$  時刻) 回傳至輸入層做為下一時間步長之  $H_{s(9)}(t-20\text{min})$  ( $t+1$  時刻) 輸入值；在  $t+1$  時間步長計算時， $H_{s(9)}(t-20\text{min})$  ( $t+1$  時刻) 是前時刻 ( $t$  時刻) 計算出來預測值，此時  $H_{s(9)}(t-40\text{min})$  ( $t+1$  時刻)、 $H_{s(9)}(t-60\text{min})$  ( $t+1$  時刻) 是實際觀測值，再進入神經網路計算，計算出預測值  $H_{s(9)}(t+2)$  ( $t+1$  時刻)，再回傳至輸入層做為下一時間步長之  $H_{s(9)}(t-20\text{min})$  ( $t+2$  時刻) 輸入值；在  $t+2$  時間步長計算時， $H_{s(9)}(t-20\text{min})$  ( $t+2$  時刻) 是前時刻 ( $t+1$  時刻) 計算出來預測值，此時  $H_{s(9)}(t-40\text{min})$  ( $t+2$  時刻)、 $H_{s(9)}(t-60\text{min})$  ( $t+2$  時刻) 是實際觀測值，再進入神經網路計算，計算出預測值  $H_{s(9)}(t+3)$  ( $t+2$  時刻)，再回傳至輸入層做為下一時間步長之  $H_{s(9)}(t-20\text{min})$  ( $t+3$  時刻) 輸入值，如此預測、回傳、再預測、再回傳直至模擬時間結束。爰 9 號碼頭除了第 1 時刻  $H_{s(9)}(t-20\text{min})$  是實際觀測值，之後計算的每個時刻  $H_{s(9)}(t-20\text{min})$  輸入值係由神經網路前次計算預測得之，但每個時刻  $H_{s(9)}(t-40\text{min})$ 、 $H_{s(9)}(t-60\text{min})$  輸入值均是實際觀測值，2 種架構之測試流程可詳圖 4.7(右圖) 及圖 4.8(右圖)，惟圖中  $H_{s(17)}$  改為  $H_{s(9)}$ 。

自海神颱風、電颱風及芮颱風事件起始日起，以上述測試方式執行 8 日，據此做為對所建置神經網路之測試方式，再以相關係數 (R)、平均絕對誤差 (MAE)、均方根誤差 (RMSE) 做為測試結果的評估指標，2 種架構之測試結果可詳圖 4.19 及圖 4.20，整理在同場颱風下，2 者網路架構之測試結果，如表 4-14 所示。

由表 4-14 可知，9 號碼頭類神經網路執行海神、閃電及康芮颱風 3 個測試案例結果，在海神颱風測試結果，9-H-BPNN 及 9-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.881 及 0.836，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.031m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.052m 及 0.051m；在閃電颱風驗證結果，9-H-BPNN 及 9-HTM-BPNN 架構下分別為相關性

(R) 為 0.782 及 0.855，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 為 0.018m 及 0.016m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.026m 及 0.022m；在康芮颱風驗證結果，9-H-BPNN 及 9-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.963 及 0.966，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 為 0.041m 及 0.037m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.069m 及 0.065m。整體而言，2 者架構測試結果良好，近乎相同或差異不大，但與 17 號碼頭波高預測神經網路測試海神颱風及閃電颱風結果相比則略差，此主要因為 9 號碼頭監測站波浪售內港區港型保護效益較明顯，且海神及閃電颱風路徑均是從花蓮外海向北行或向西行，而康芮颱風從臺灣東部登陸侵臺，明顯影響港域內波浪，在康芮颱風測試結果相關性達 0.9 以上。

**表 4-14 同場颱風下，9 號碼頭 2 種網路架構之測試結果**

以颱風起始日起，測試 20min、執行 8 日(577 筆)之測試結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.13	0.44	0.04	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.11	0.32	0.05	0.881	0.031	0.052
9-HTM-BPNN	模擬值	0.12	0.36	0.05	0.836	0.031	0.051
閃電	觀測值	0.10	0.26	0.04	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.09	0.16	0.06	0.782	0.018	0.026
9-HTM-BPNN	模擬值	0.09	0.17	0.06	0.854	0.016	0.022
康芮	觀測值	0.24	1.26	0.05			
9-H-BPNN	模擬值	0.24	0.98	0.07	0.963	0.041	0.069
9-HTM-BPNN	模擬值	0.24	0.98	0.07	0.966	0.037	0.065

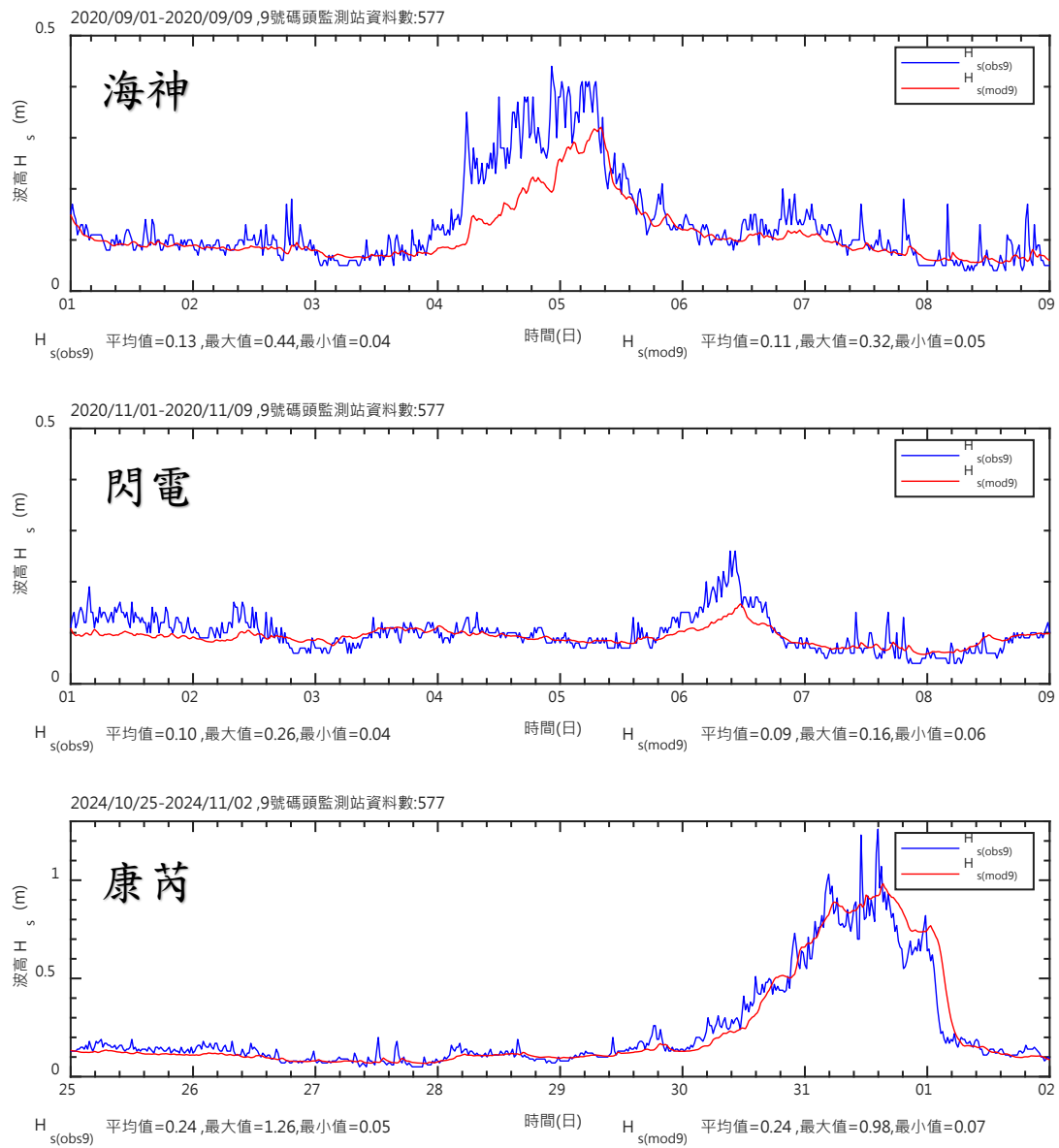


圖 4.19 花蓮港 9-H-BPNN 測試結果

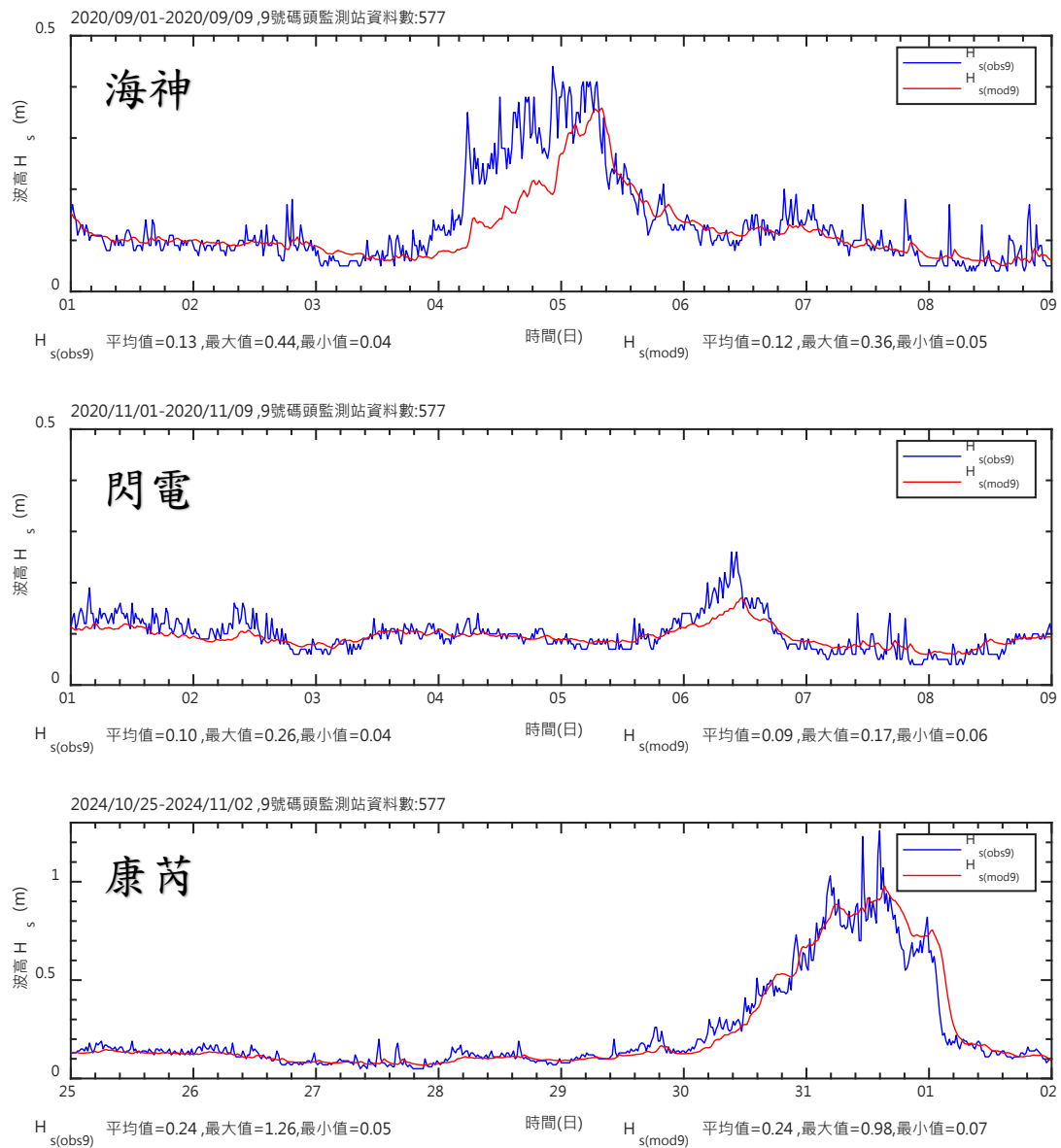


圖 4.20 花蓮港 9-HTM-BPNN 測試結果

## 4.5 小結

分析具影響花蓮港域內波浪之颱風事件共計 64 場颱風事件，其中僅 15 件颱風事件有發布陸上或海上颱風警報，故神經網路學習訓練集資料不能僅限於有發布颱風警報之颱風。

本計畫採用具備優異容錯能力與計算效率的「倒傳遞神經網路 (BPNN)」做為波高預測方法，以 110~113 年度之港外波浪模擬資料及港內碼頭波高觀測資料，重新訓練建置花蓮港 9、17 及 25 號碼頭波高預測神經網路模式，各碼頭分別有 H-BPNN 及 HTM-BPNN 等 2 種網路架構，經驗證及測試案例比較結果，2 種架構執行成果良好且結果相近、差異不大，後續若應用在歷史颱風事件模擬，皆會有良好模擬結果。



## 第五章 作業化模式及測試執行情形

本章整合第四章重建之 17、25 及 9 號碼頭波高預測神經網路模式，規劃作業化流程，每次程式啟動時，可下載 TaiCOMS 2.0 系統 1 日 1 次及 1 日 4 次之港外波浪模擬預測資料（最多 48 小時資料），以及花蓮港 17、25 及 9 號碼頭即時波高觀測資料，經處理後輸入至神經網路進行計算，以獲取 17、25 及 9 號碼頭波高預測資訊，完成「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」並初步展示執行情形，又經查看執行情形，創建「9 號碼頭波高預測作業化模式」。

### 5.1 建置花蓮港碼頭波高預測作業化模式

將第四章重建之 17、25 及 9 號碼頭波高預測神經網路（含 H-BPNN、HTM-BPNN 架構）整合並規劃作業化流程，完成「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」。整體作業化流程主要分 2 階段，即 2 個主程式 main1\_connSQL.exe、main2\_HLNNs.exe，其分別於 5.1.1 節及 5.1.2 節說明。

#### 5.1.1 第 1 階段作業化流程

第 1 階段主程式 main1\_connSQL.exe、初始設定檔 set\_conn.txt，如圖 5.1 所示，初始設定內容為下載花蓮港 17 號、25 號及 9 號碼頭港內波高資料，以及下載 TaiCOMS 花蓮港港外模擬資料 1 日 1 次及 1 日 4 次之波浪模擬資料；而在神經網路計算設定上，預設執行 24 小時預測工作（20 分鐘=1 個 time step，即執行 72 個 time step），各碼頭資料輸入時，使用 H-BPNN、HTM-BPNN 等 2 種神經網路架構，計算推估未來碼頭波高。

第一階段主程式為 main1\_connSQL.exe，執行流程如圖 5.2 所示。首先，先說明下載港內碼頭即時波高資料，再說明下載港外波高模擬資料部分。

下載花蓮港港內碼頭即時波高資料部分：連線至本所「港灣環境資訊平台」各商港碼頭即時波浪資料庫 (wap\_HSN)，下載 17、25 及 9 號 3 個碼頭之最近 1 小時內 3 筆港內波高觀測資料，若以圖 5.2 做說明，該次執行下載 17 號、25 號碼頭最新 3 筆波高資料時間 (yyyyMMddhhmmss)，時間由新到舊排序為 20241029102000、20241029100000、20241029094000 等 3 筆；接著，檢查下載的港內 3 筆波高資料是否為連續時間序列資料 (即檢查時間間隔是否都是 20 分鐘)，決定出本趟執行流程輸出第 1 筆預測時間為 20241029104000 (t+1 個 time step)，據此，做為該趟作業化流程所有輸出檔案的檔名時間資訊 (輸出檔名 \_ 20241029104000.txt)，同時，決定時間參數 "start\_time17"、"start\_time25" 及 "start\_time09" (在此案例 start\_time17、start\_time25 及 start\_time09 均為 20241029090000)，最後輸出下載之 3 筆港內波高資料，檔名為 pier17\_20241029104000.txt、pier25\_20241029104000.txt 及 pier09\_20241029104000.txt；若經檢查下載的 3 筆港內波高資料非連續時間序列資料 (有缺漏資料)，則將下載 3 筆波高時間資料進行內插，變成每 20 分鐘 1 筆資料，選取內插後 20241029102000、20241029100000、20241029094000 等 3 筆港內波高資料後再輸出。

下載花蓮港模擬預測資料部分：連線至「港灣環境資訊平台」儲存波浪模擬預測資料庫 (wap\_Forma1B)，TaiCOMS 2.0 系統之風浪模擬系統，其執行 1 日 1 次產製之波浪模擬預測資料存在 SimSwanUReal 資料表，執行 1 日 4 次產製之波浪模擬預測資料則存在 SimSwanUFTReal 資料表，以時間參數 start\_time17、start\_time25 及 start\_time09 為起始時間，在 2 個資料表自 start\_time17、start\_time25 或 start\_time09 開始下載、直至目前資料庫所有波浪模擬預測資料 (含波高、週期及波向)，以做為 17、25 號碼頭波高預測模式使用之港外波浪模擬輸入資料。

以啟動執行 17 號碼頭波高預測作業化模式為例，如自 20241029090000 起開始下載 1 日 1 次花蓮港外波浪模擬預測資料，實際下載到的波浪模擬預測資料時間為 20241029090000 起～

20241030000000 止，每小時 1 筆，共計 16 小時，並輸出至 readdata\taiHL17\_20241029104000.txt；若自 20241029090000 起開始下載 1 日 4 次花蓮港外波浪模擬預測資料，下載的波浪模擬資料時間則為自 2024102909000000 起~20241030120000 止，每小時 1 筆，共計 28 小時，並輸出至 readdata\taiHL17r4\_20241029104000.txt，最後依該次下載資料實際情況，製作第 2 階段設定檔 set\_NN.txt，如圖 5.3 所示，供第 2 階段執行碼頭波高預測模式使用。倘若下載之港外波浪模擬預測資料不足 24 小時，第 1 階段在製作 set\_NN.txt 時，圖 5.3 第 1 列會改輸出 16；即本計畫製作之作業化模式，需仰賴當下花蓮港外波浪模擬預測資料之時間長度，若當下港外模擬資料小於 24 小時，則視下載資料時間長度，更新設定的預測時間，如無下載到 1 日 1 次或 1 日 4 次之港外波浪模擬預測資料，本趟作業流程終止。

```

%%=====
%%      連線資料庫、下載設定
%%=====
1          %設定是否要下載17號碼頭資料 / 1下載 ; 0 不下載;
1          %設定是否要下載25號碼頭資料 / 1下載 ; 0 不下載;
1          %設定是否要下載09號碼頭資料 / 1下載 ; 0 不下載;
1          %設定是否要下載1日1run資料 / 1下載 ; 0 不下載;
1          %設定是否要下載1日4run資料 / 1下載 ; 0 不下載;
%%-----
%%      神經網路計算設定
%%-----
24         %設定BPNN預測時數，24小時
1          %是否使用 H-BPNN計算 / 1使用 ; 0 不使用;
1          %是否使用 HTM-BPNN計算 / 1使用 ; 0 不使用;

```

圖 5.1 初始設定檔 set\_conn.txt 內容

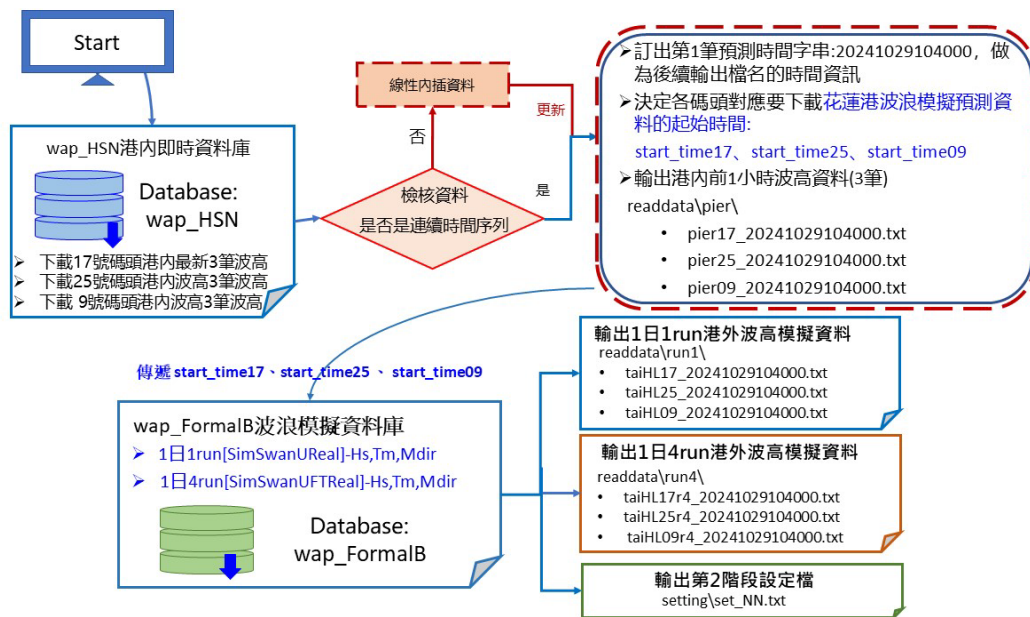


圖 5.2 第 1 階段 main1\_connSQL.exe 處理流程

```

24      %設定BPNN預測時數
1       %設定執行17號碼頭NN / 1執行 ; 0不執行
1       %設定執行25號碼頭NN / 1執行 ; 0不執行
1       %設定執行 9號碼頭NN / 1執行 ; 0不執行
1       %設定是否要使用1日1run data / 1執行 ; 0不執行
1       %設定是否要使用1日4run data / 1執行 ; 0不執行
1       %設定執行HBPN / 1執行 ; 0不執行
1       %設定執行HTMBPN / 1執行 ; 0不執行

```

圖 5.3 設定檔 set\_NN.txt

### 5.1.2 第 2 階段作業化流程

第 2 階段主程式 main2\_HLNNs.exe、讀取設定檔 set\_NN.txt (圖 5.3)，有關設定檔 set\_NN.txt，其內容會因應第 1 階段下載之港外、港內資料筆數變動，如 5.1.1 節，實際下載 1 日 1 次的花蓮港外波浪模擬預測資料(20241029090000 起~20241030000000)僅 16 小時，尚不足 24 小時，若遇此情況，在第 1 階段在製作 set\_NN.txt 時，圖 5.3 第 1 列會改輸出 16，故第 2 階段執行碼頭波高預測模式，將會依設定檔 set\_NN.txt 內容，採「連續預測」16 小時並輸出未來 16 小時預測波高方式辦理。

main2\_HLNNs.exe 主要將港外、港內資料讀取輸入，經資料檢核、

正規化後進入神經網路，神經網路以「連續預測方式」獲取預測波高，以啟動執行 17 號碼頭波高連續預測為例，說明各碼頭作業化流程，如圖 5.4 所示。

#### 1. 處理港內波高即時觀測資料:

讀取 pier17\_20241029104000.txt，因後續需以正規化數值輸入至神經網路運算，先檢核本次下載後之港內波高資料是否在設定波高最大值及最小值範圍內，若波高超過最大值則以最大值替換，若低於最小值則以最小值替換，以避免剛好下載到異常值波高，導致後續計算預測波高異常情形。港內波高資料經檢查後，正規化至 0.9 至 -0.9 間。

#### 2. 處理港外波浪模擬預測資料:

港外波高模擬預測資料，假設有 TaiCOMS 系統每日執行 1 日 1 次預測所得 taiHL17\_20241029110000.txt，及 1 日 4 次預測所得 taiHL17r4\_20241029110000.txt 等 2 種資料，先檢核輸入之港外波浪模擬預測資料（含波高、週期及波向）是否在設定波高、週期及波向之最大值及最小值範圍內，若波高、週期或波向超過最大值則以最大值替換，若低於最小值則以最小值替換，以避免遇到模擬資料經正規化後，還超過本計畫訓練神經網路時之資料設定範圍，導致後續計算預測波高異常；接著，再將檢核過的波浪資料（1 小時 1 筆）內差為每 20 分鐘 1 筆資料；最後，將資料正規化至 0.9 至 -0.9 間。

#### 3. 執行碼頭波高預測模式:

神經網路架構分別使用 H-BPNN 及 HTM-BPNN 等 2 種計算，故 1 日 1 次港外波浪資料 taiHL17\_20241029104000.txt 與港內波高資料 pier17\_20241029104000.txt，經正規化輸入至 H-BPNN 及 HTM-BPNN 神經網路架構，計算 H-BPNN、HTM-BPNN 2 種架構之神經

網路以「連續預測方式」獲取預測波高，如圖 5.5 所示，以下說明「連續預測方式」：

因港內波高僅提供 3 筆波高（即最近 1 小時資訊），而下載下來的港外波浪模擬資料包含最近 1 小時（已知歷史資料）至未來 10~48 小時不等之預測資料（每次下載的資料最多不超過 48 小時），在執行碼頭波高預測模式運算，係採連續預測方式，即在執行 72 個 time step ( $3 \times 24 = 72$ ) 過程中，每 1 次神經網路計算，港外波高模擬資料視為已知值且持續輸入；而港內波高資料僅已知 3 筆波高（即最近 1 小時資訊），在第 1 時間步長（time step=1）經神經網路計算獲得港內波高預測值  $H_s(t)^{\text{step}=1}$ ，回傳變成第 2 時間步長（time step=2）的 t-20min 輸入值，即圖 5.5 之 A 位置數值  $(\text{step}=2)$ ，原 A 位置數值  $(\text{step}=1)$  下移變成 B 位置數值  $(\text{step}=2)$ ，原 B 位置數值  $(\text{step}=1)$  下移變成 C 位置數值  $(\text{step}=2)$ ，再經神經網路計算獲得  $H_s(t+1)^{\text{step}=2}$ ，再回傳變成第 3 時間步長（time step=3）的 t-20min 輸入值，即圖 5.5 之 A 位置數值  $(\text{step}=3)$ ，原 A 位置數值  $(\text{step}=2)$  下移變成 B 位置數值  $(\text{step}=3)$ ，原 B 位置數值  $(\text{step}=2)$  下移變成 C 位置數值  $(\text{step}=3)$ ，再經神經網路計算獲得  $H_s(t+2)^{\text{step}=3}$ ，以此不斷回傳、預測、再回傳、再預測... 直至完成執行 72 個 time step，獲得未來 24 小時港內波高預測資料。其中，神經網路架構分別使用 H-BPNN 及 HTM-BPNN 等 2 種計算，故 1 日 1 次港外波浪資料 taiHL17\_20241029104000.txt 與港內波高資料 pier17\_20241029104000.txt，經正規化輸入至 H-BPNN 架構及 HTM-BPNN 架構進行神經網路計算，產出資料名稱分別為 nn17\_20241029104000data01H.txt(1 日 1 次且 H-BPNN 架構計算)，以及 nn17\_20241029104000data01HTM.txt(1 日 1 次且 HTM -BPNN 架構計算) 等 2 種資料；另 1 日 4 次港外波浪資料 taiHL17r4\_20241029104000.txt 與即時下載之 17 號碼頭波高資料 pier17\_20241029104000.txt，經正規化輸入至 H-BPNN 及 HTM-BPNN 神經網路架構計算，產出產出資料名稱分別為 nn17\_20241029104000data02H.txt(1 日 4 次且 H-BPNN 架構計算)、

及 nn17\_20241029104000data02HTM.txt(1 日 4 次且 HTM-BPNN 架構計算)等 2 種資料。

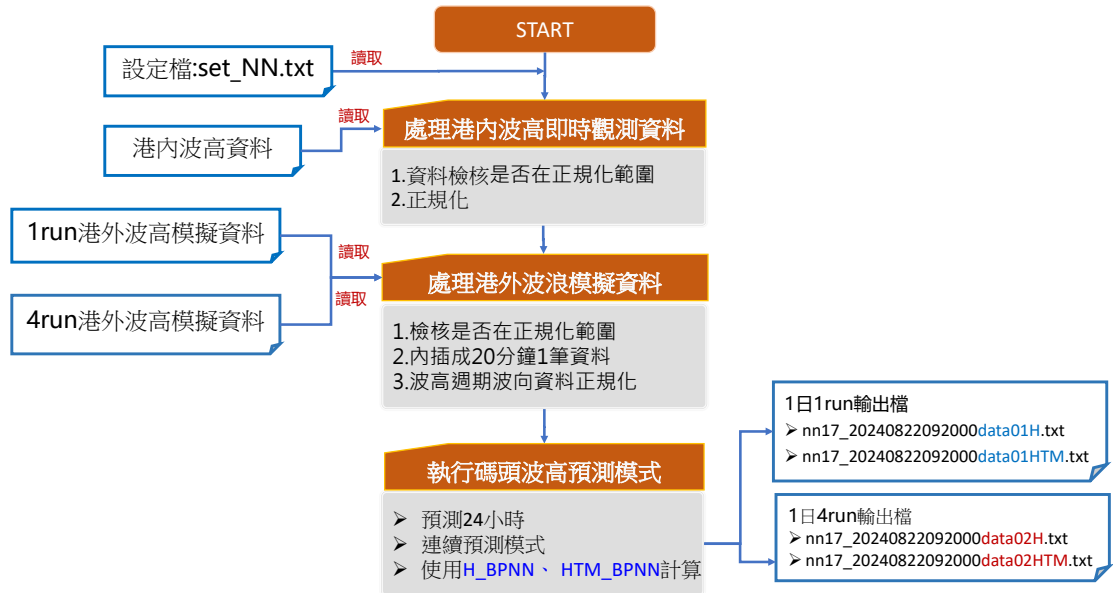
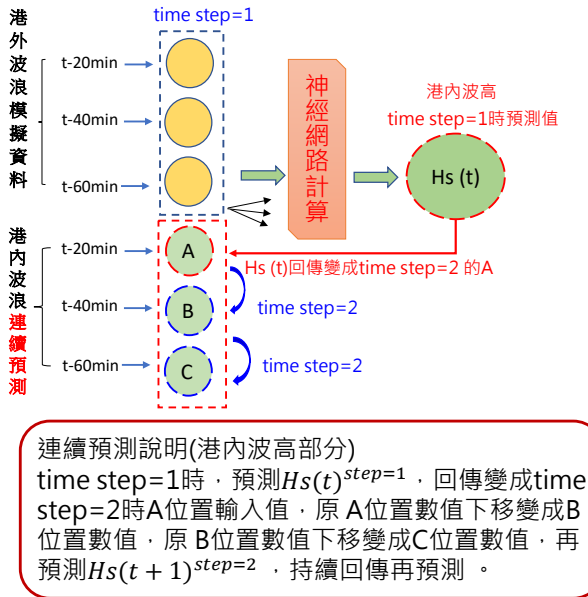


圖 5.4 第 2 階段 main2\_HLNNs.exe 處理流程-以 17 號碼頭為例

➢ H-BPNN連續預測流程示意圖



➢ HTM-BPNN連續預測流程示意圖

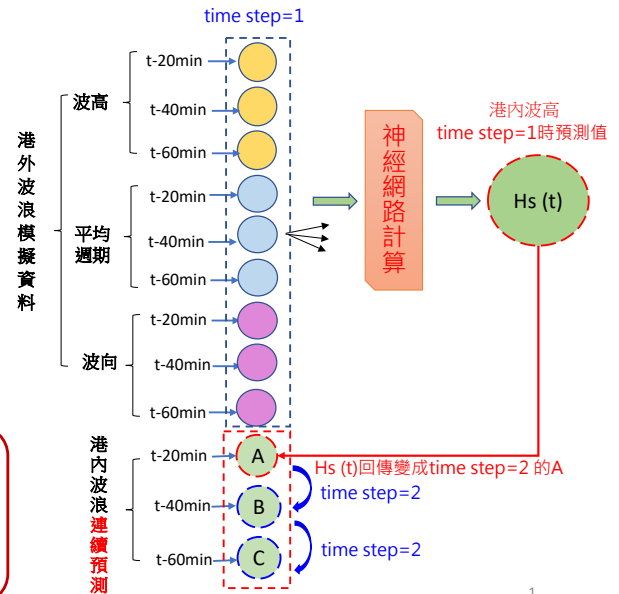


圖 5.5 連續預測流程示意圖

## 5.2 花蓮港碼頭波高預測作業化模式測試執行情形

以下說明本計畫製作之作業化模式，其發展歷程及測試執行情形：

### 1. 113 年初步測試階段執行情形(僅 17 號碼頭)

本計畫在前(113)年初步完成只有 17 號碼頭波高預測作業化模式時，先行封裝製成執行檔 NN17\_op2024.exe，並於 113 年 10 月中旬時放置於測試網頁試行，藉此先檢視規劃流程是否可行，試行運作有發生問題並已逐一排除，以下說明 17 號碼頭波高預測作業化模式 (NN17\_op2024.exe) 之上線執行情形。

執行檔設定每小時啟動 1 次，每次啟動會下載當時刻最新 3 筆花蓮港港內波高資料，以及當時刻起至未來數小時期間內，所有港外波浪模擬預測資料 (1 日 1 次及 1 日 4 次模擬資料)，再經資料檢核、正規化後輸入至 H-BPNN、HTM-BPNN 神經網路計算，故每執行 1 次會產出 4 種輸出資料 (詳圖 5.4)，程式預設預測時間為 24 小時，但實際則視當時刻下載港外波浪模擬預測資料時間長度，更新設定的預測時間。

在 17 號碼頭波高預測作業化模式上線後，遇康芮颱風 (113 年 10 月 25 日 00 時至 11 月 1 日 12 時)，路徑如圖 5.6 所示，擷取 10 月 29 日測試網頁並查看其執行情形，如圖 5.7 所示，此時康芮颱風為中度颱風，花蓮港 17 號碼頭觀測波高 (綠點) 已大於 0.5m 並仍持續上升，查看其預測資料推估情形，其呈現港內碼頭波高未來 24 小時內之變化趨勢；比較使用的港外波浪模擬資料差異，使用 1 日 4 次港外波高模擬預測資料，其碼頭波高預測結果均較使用 1 日 1 次港外波高模擬預測資料高 (02H>01H;02HTM>01HTM)；在使用同樣的港外波高模擬預測資料，比較使用神經網路架構差異，HTM-BPNN 之碼頭波高預測結果均會高於 H-BPNN 碼頭波高預測結果 (01HTM>01H;02HTM>02H)，推測因其架構考慮波高、週期及波向 3 種物理量，每個物理量模擬值與觀測值本身會有誤差，每經過 1 個 time step 亦會有誤差，預測係採用不斷連續預測方式，即本時

刻預測值會帶回輸入層做下 1 時刻輸入值，反覆預測、回傳、再預測、再回傳直至模擬時間結束，故在連續預測過程中，誤差會持續累積。

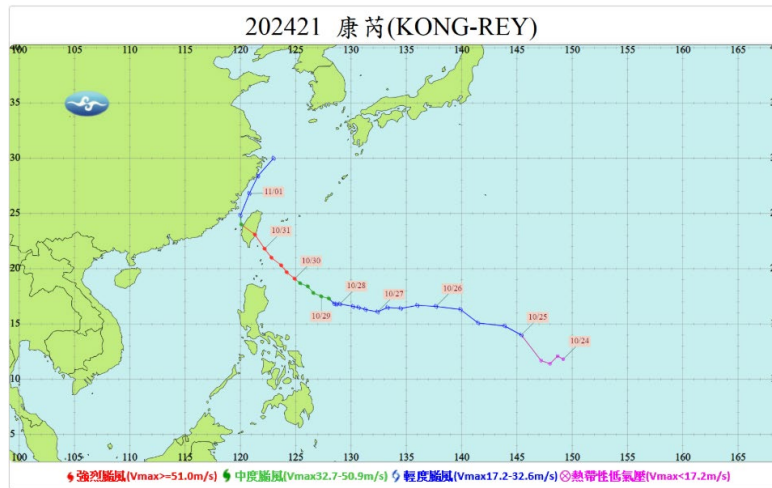


圖 5.6 康芮颱風路徑示意圖

17 號碼頭波高觀測資料因康芮颱風，於 10 月 31 日下午 4 時 20 分資料中斷，後於 11 月 1 日下午 3 時 20 分恢復。擷取 11 月 3 日 10 時測試網頁，如圖 5.8 所示，資料中斷後，每次啟動仍會下載最後 3 筆波高資料進行預測 24 小時工作，此時因每次下載港內資料均一樣，所以每次輸出 4 種資料亦一樣，直到 11 月 1 日下午港內觀測資料恢復後，依當下最新港內波高資料情形進行預測。另使用 1 日 1 次波浪模擬預測資料，以 H-BPNN、HTM-BPNN 進行康芮颱風驗證模擬（後測）結果，如圖 5.9 及圖 5.10，2 者神經網路架構驗證結果差異不大，且相關性均 0.985 屬高度相關。

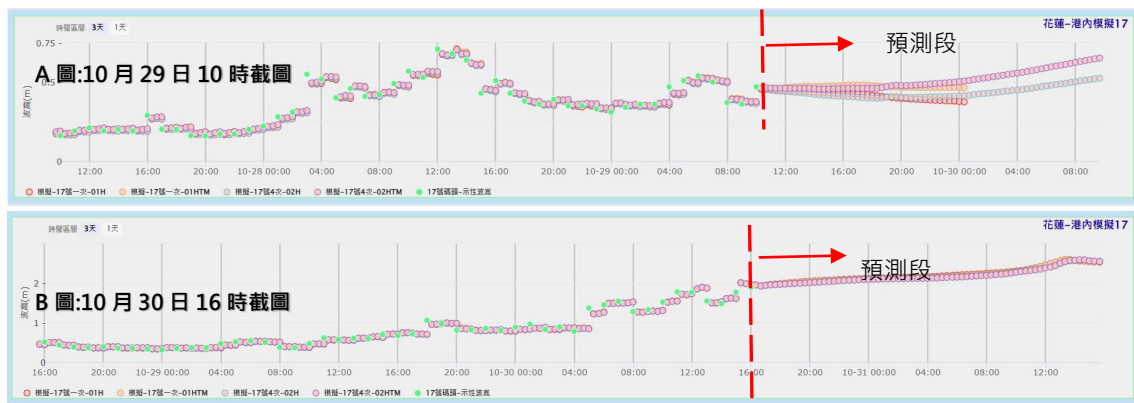


圖 5.7 花蓮港 NN17\_op2024.exe 於康芮颱風期間測試執行情形

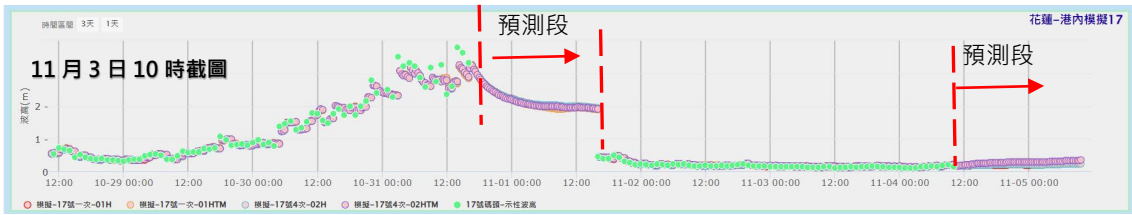


圖 5.8 花蓮港 NN17\_op2024.exe 於康芮颱風期間資料中斷、恢復

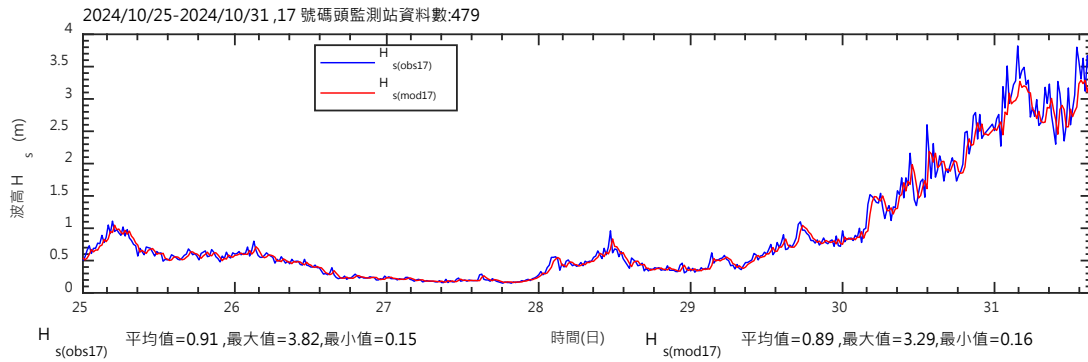


圖 5.9 使用 17-H-BPNN 架構，康芮颱風驗證（後測）結果

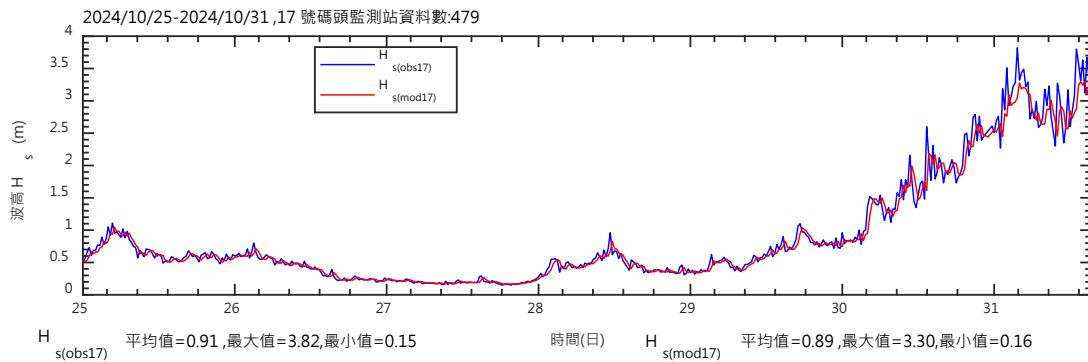


圖 5.10 使用 17-HTM-BPNN 架構，康芮颱風驗證（後測）結果

查看 NN17\_op2024.exe 在康芮颱風期間執行情形，主要以提供未來 24 小時內港內碼頭波高變化情形為主；而在康芮颱風驗證案例結果（後測結果），不管使用 H-BPNN 或 HTM-BPNN 網路架構，驗證結果均相關性高、誤差小且結果相似，顯示若僅是探討颱風案例或模擬其他歷史時間，使用本計畫建置之碼頭波高預測模式應會有良好的驗證模擬（後測）結果，但若應用在作業化層面上，則可視為提供港內碼頭波高未來變化趨勢之參採依據。

## 2. 114 年測試執行情形

經由前(113)年執行 17 號碼頭波高預測作業化模式(NN17\_op2024.exe)可知，在作業化應用上，可做為提供港內碼頭波高未來變化趨勢。本(114)年度先將前(113)年建置之 3 個碼頭波高預測神經網路整合成 5.1 節所述「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」，封包成執行檔 HLNNs\_op2024.exe 並於 4 月初步上線，排程設定每 1 小時啟動以執行波高預測工作，執行情形如圖 5.11 及圖 5.12 所示，藍色實心圓圈歷線代表使用 1 日 1 次港外波高模擬資料、輸入至 H-BPNN 架構所產製之碼頭波高，藍色空心圓圈歷線代表使用 1 日 1 次港外波高模擬資料、輸入至 HTM-BPNN 架構所產製之碼頭波高，橘色實心圓圈歷線代表使用 1 日 4 次港外波高模擬資料、輸入至 H-BPNN 架構所產製之碼頭波高，橘色空心圓圈歷線代表使用 1 日 4 次港外波高模擬資料、輸入至 HTM-BPNN 架構所產製之碼頭波高。

由圖 5.11 及圖 5.12 可知，若做為提供碼頭波高未來變化趨勢之應用，9 號碼頭波高預測情形恐不如預期，推測其原因，應是 9 號碼頭波高屬內港區，受港域地形影響及保護，波浪偏小，且離港外模擬點位更遠(與 17、25 號碼頭位置相比)，與港外波高資料相關性低、不敏感。

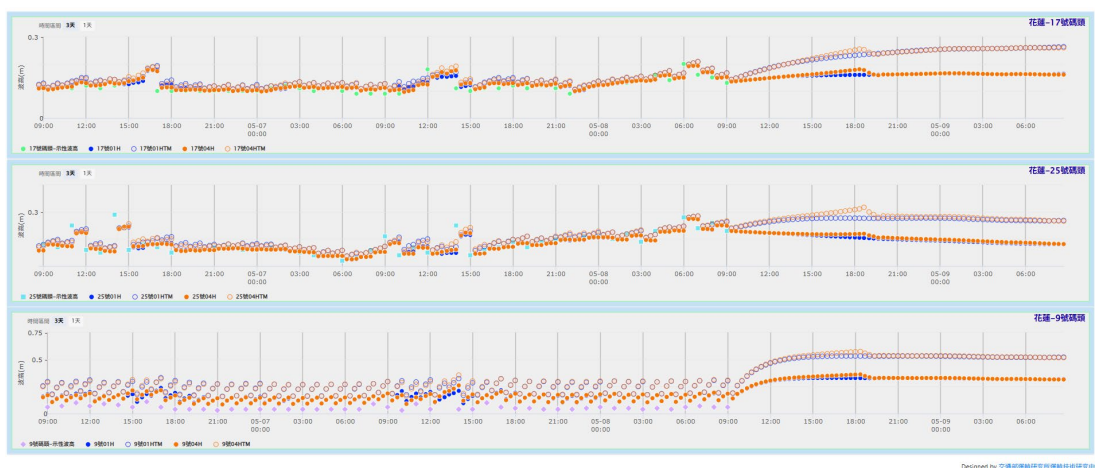


圖 5.11 花蓮港 HLNNs\_op2024.exe 測試執行情形(5 月 8 日截圖)



圖 5.12 花蓮港 HLNNs\_op2024.exe 測試執行情形(10 月 21 日截圖)

再經第四章納入 113 年度波浪資料，重建 17、25、9 號碼頭波高預測神經網路，重新修改流程並整合至「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」封包執行檔(HLNNs\_op2025.exe)，此執行檔於 11 月上線測試，排成設定每小時啟動執行波高預測工作，但發現在 25 號碼頭 1 日 1 次結果不合理，目前先撤下 HLNNs\_op2025.exe，後續會再查找原因，提供使用 1 日 4 次港外波高模擬資料之執行情形，如圖 5.13 所示。



圖 5.13 花蓮港 HLNNs\_op2025.exe 上線測試執行(11 月 8 日截圖)

## 5.3 創建 9 號碼頭波高預測作業化模式

經 5.2 節作業化模式測試執行情形結果可知，9 號碼頭波高預測作業化模擬結果較 17、25 號碼頭波高預測更不準確，為提升其預測結果應用性，9 號碼頭神經網路輸入層參數，增加 17 號碼頭前 1 小時波高資訊，故 5.3.1 節說明新建 9 號(含 17 號碼頭波高資訊)神經網路架構、訓練、驗證及測試結果；5.3.2 節說明整合新建 9 號(含 17 號碼頭波高資訊)神經網路及第四章建置 9 號碼頭波高預測神經網路，獨立創建 9 號碼頭波高預測作業化模式。

### 5.3.1 新建 9 號碼頭(含 17 號碼頭波高)之神經網路

本節先分別說明 9 號碼頭(含 17 號碼頭波高)神經網路架構，接著說明神經網路使用之訓練、驗證及測試集資料，最後呈現其驗證、測試結果。

#### 1. 新建 9<sub>(&17)</sub>號碼頭神經網路架構說明

9 號碼頭神經網路輸入層參數，新增 17 號碼頭前 1 小時波高資訊，在神經網路架構上，與 4.4 節同樣有 H-BPNN 及 HTM -BPNN 2 種網路架構，說明如下：

- (1) 9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 架構：輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高模擬資料及港內 17 號、9 號碼頭波高觀測資料，即輸入層變成 9 個神經元；隱藏層神經元則在訓練過程，以試誤法尋找合適之神經元個數；輸出層參數則為 t 時刻 9 號碼頭波高，即輸出層為 1 個神經元，此網路架構訓練架構如圖 5.14 所示(以下簡稱 9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 架構)，其驗證流程同第四章圖 4.7 左圖所示。
- (2) 9<sub>(&17)</sub>- HTM -BPNN 架構：輸入層參數為前 1 小時(t-20min、t-40min、t-60min)之港外波高、平均周期及波向模擬資料，以及港內 17 號、9 號碼頭波高觀測資料，即輸入層新增為 15 個神

經元;隱藏層神經元則在訓練過程,以試誤法尋找合適之神經元個數;輸出層參數則為  $t$  時刻 9 號碼頭波高,即輸出層為 1 個神經元,此網路架構之訓練架構,如圖 5.15 所示(以下簡稱  $9_{(&17)}$ - HTM -BPNN 架構),其驗證流程同第四章圖 4.8 左圖所示。

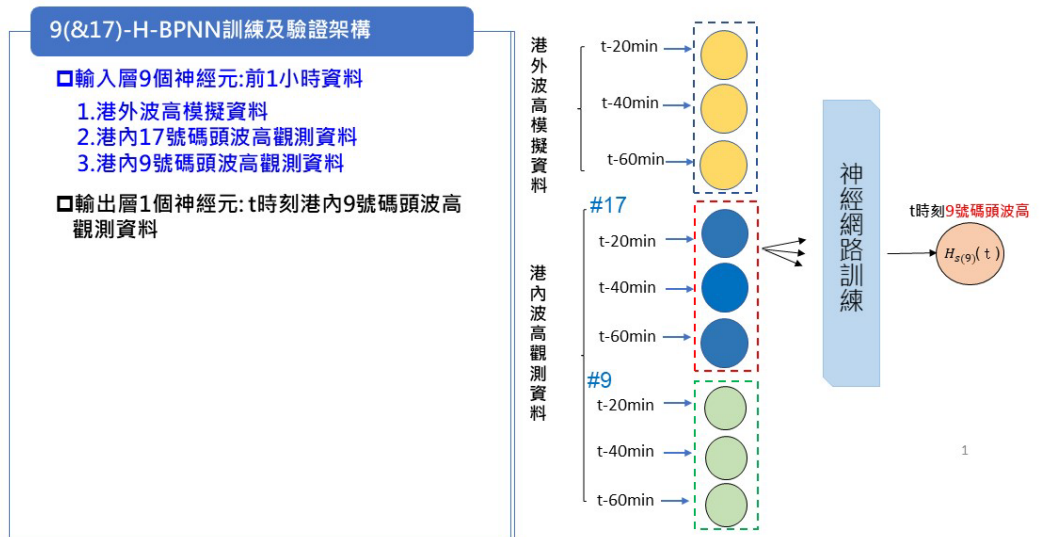


圖 5.14 花蓮港  $9_{(&17)}$ -H-BPNN 架構說明及示意圖

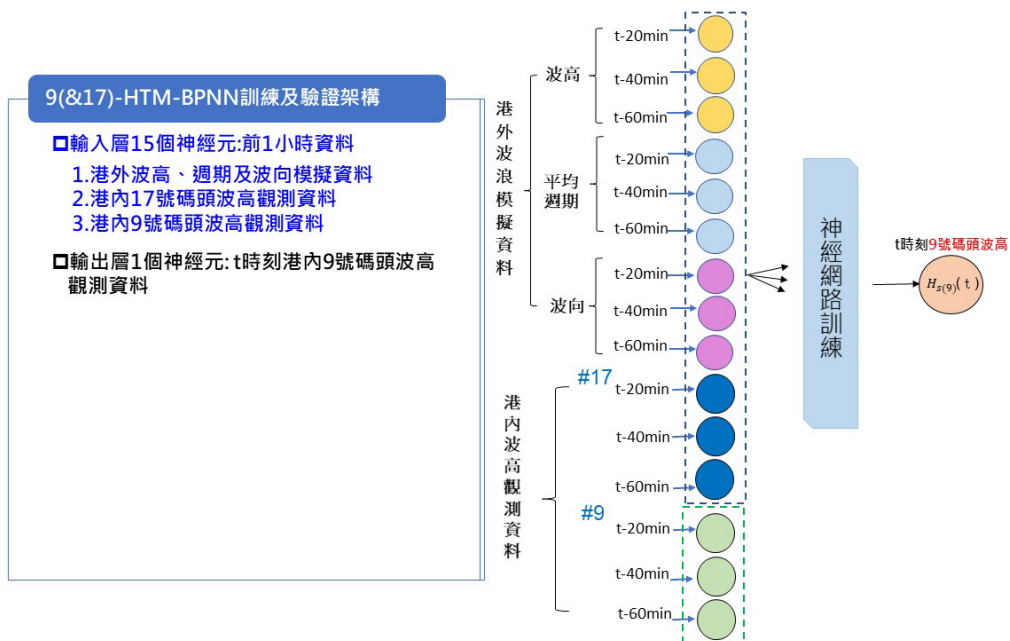


圖 5.15 花蓮港  $9_{(&17)}$ - HTM -BPNN 架構說明及示意圖

## 2. 訓練、驗證及測試集資料

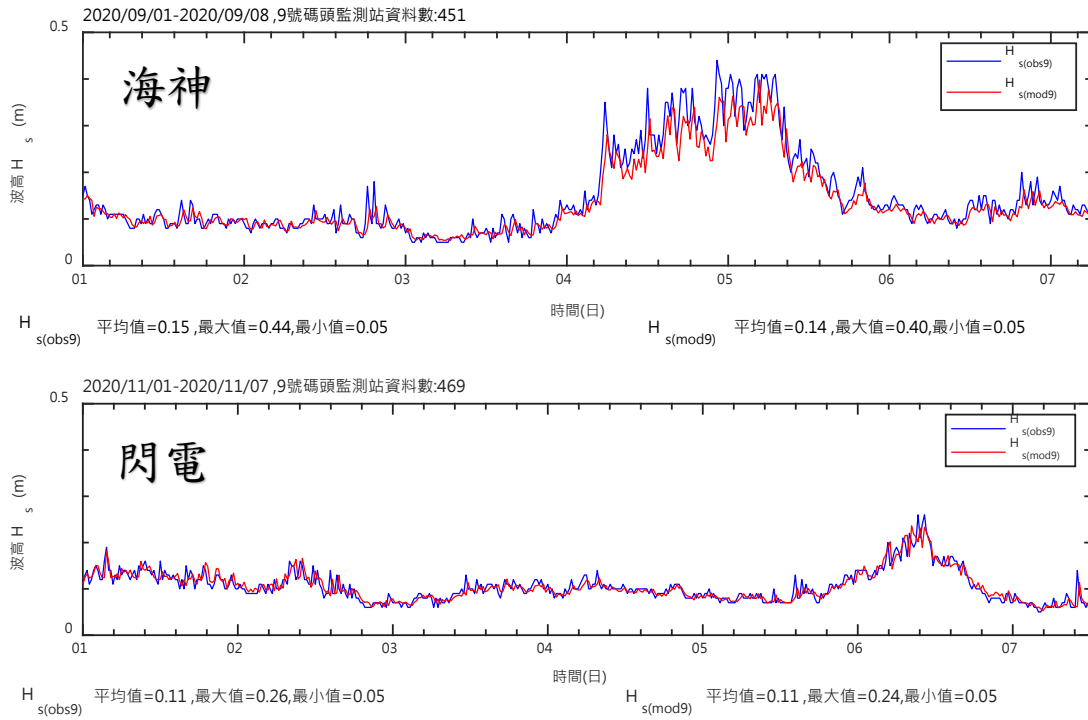
在訓練資料部份，因 17 號碼頭於 110 年 10 月中斷、111 年 7 月恢復觀測，故新建 9 號碼頭(含 17 號碼頭波高)波高預測神經網路之訓練集，配合 17 號碼頭觀測資料蒐集情形區分 2 段；在模式驗證部分，同 4.4 節以 109 年度海神颱風、閃電颱風做模式驗證案例；在模式測試部分，以海神、閃電及康芮颱風起始時間起、以預測 20min 方式執行 8 天；其訓練集、驗證集及測試集，如表 5-1 所示。

**表 5-1 花蓮港 9 號碼頭(含 17)訓練、驗證及測試集資料**

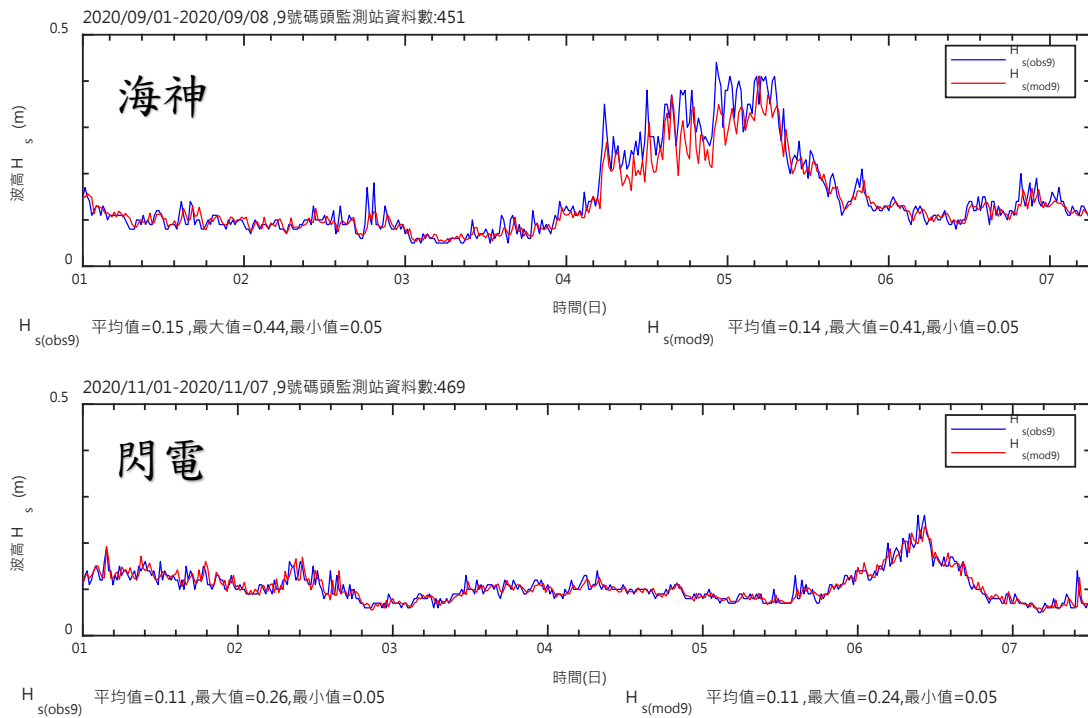
9 號碼頭(含 17 號碼頭波高資訊)訓練、驗證及測試集資料區間及資料筆數		
訓練	110 年 1 月 1 日 00 時 00 分~110 年 10 月 12 日 06 時 00 分； 111 年 7 月 1 日 00 時 00 分~113 年 10 月 24 日 23 時 00 分，共 81,443 筆	
驗證	海神	109 年 9 月 01 日 20 時 00 分~109 年 9 月 8 日 02 時 00 分，共 451 筆
	閃電	109 年 11 月 01 日 20 時 00 分~109 年 11 月 07 日 12 時 00 分，共 469 筆
測試	海神起始日 109 年 9 月 01 日 20 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆	
	閃電起始日 109 年 11 月 01 日 20 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆	
	康芮起始日 113 年 10 月 25 日 00 時 00 分，預測 20min，執行 8 日，共 577 筆	

## 3. 新建 9<sub>(&17)</sub>號碼頭神經網路模式驗證結果

經執行海神颱風、閃電颱風 2 個驗證案例，以及自海神、閃電及康芮颱風起始日起，以預測 20min、各執行 8 日後，在 9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 架構下，選擇網路架構為[9-1-1]，其驗證結果如圖 5.16 所示；在 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 架構下，選擇網路架構為[15-4-1]，其驗證結果如圖 5.17 所示，整理同場颱風下，2 者網路架構驗證結果，如表 5-2 所示。



**圖 5.16 新建 9(&17)-H-BPNN 驗證結果**



**圖 5.17 新建 9(&17)-HTM-BPNN 驗證結果**

表 5-2 同場颱風下，新建 9 號碼頭 2 種網路架構之驗證結果比較

訓練資料納入 113 年資料、輸入參數新增 17 號碼頭波高後之驗證結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.15	0.44	0.05	-	-	-
9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN	模擬值	0.14	0.40	0.05	0.960	0.02	0.03
9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN	模擬值	0.14	0.41	0.05	0.955	0.02	0.03
閃電	觀測值	0.11	0.26	0.05	-	-	-
9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN	模擬值	0.11	0.24	0.05	0.903	0.011	0.015
9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN	模擬值	0.11	0.24	0.05	0.905	0.011	0.015

由表 5-2 可知，9 號碼頭波高預測神經網路模式執行海神颱風、閃電颱風 2 個驗證案例結果，在海神颱風驗證結果，9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 及 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.960 及 0.955，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.020m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.03m；在閃電颱風驗證結果，9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 及 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 為 0.903 及 0.905，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.011m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.015m。整體而言，2 者架構驗證結果良好，近乎相同或差異不大。但若與第四章重建 9 號碼頭波高神經網路模式驗證結果相比，即由表 4-12 與表 5-2 相比可知：

(1) 在海神颱風驗證比較結果：

- (a) 同樣 H-BPNN 架構下，相關性從 0.953 提升至 0.960，絕對誤差 (MAE) 從 0.019m 略升至 0.02m，差異不大，均方根誤差 (RMSE) 從 0.029 略升為 0.03m，但差異不大。
- (b) 同樣 HTM-BPNN 架構下，相關性從 0.949 提升至 0.955，絕對誤差 (MAE) 均為 0.020m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.03m。

(2) 在閃電颱風驗證比較結果：

- (a) 同樣 H-BPNN 架構下，相關性從 0.884 提升至 0.903，絕對誤差(MAE)從 0.012m 略降為 0.011m，均方根誤差(RMSE)從 0.017 略降為 0.15m。
- (b) 同樣 HTM-BPNN 架構下，相關性從 0.891 提升至 0.905，絕對誤差 (MAE) 均為 0.011m，均方根誤差 (RMSE) 從 0.016 略降為 0.15m。

由上述驗證結果可知，輸入層納入 17 號碼頭波高資訊，絕對誤差 (MAE) 或均方根誤差 (RMSE) 僅些許略升或略降，差異不大，但對相關性具有明顯提升。

#### 4. 新建 9<sub>(&17)</sub>號碼頭神經網路模式測試結果

在神經網路模式完成驗證後，進一步執行網路測試工作，以執行預測 20min (1 time step) 檢測其網路自身預測能力及穩定性，其執行方式同 4.4.3 節，2 種架構測試流程及說明，如圖 5.18、圖 5.19 所示。

自海神颱風、電颱風及康芮颱風事件起始日起，以上述測試方式執行 8 日，再以相關係數 (R)、平均絕對誤差 (MAE)、均方根誤差 (RMSE) 做為測試結果的評估指標，3 場颱風測試結果歷線圖，如圖 5.20 及圖 5.21 所示，整理在同場颱風下，2 者網路架構之測試結果比較，如表 5-3 所示。

由表 5-3 可知，新建 9 號碼頭波高預測神經網路於海神颱風測試結果，9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 及 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 均為 0.944，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.022m，均方根誤差 (RMSE) 均為 0.035m；在閃電颱風驗證結果，9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 及 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 架構下分別為相關性 (R) 均為 0.91，屬高度相關，絕對誤差(MAE)為 0.011m，均方根誤差(RMSE)均為 0.015m；在康芮颱風驗證結果，9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 及 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 架構下

分別為相關性 (R) 均為 0.974，屬高度相關，絕對誤差 (MAE) 均為 0.032m，均方根誤差 (RMSE) 為 0.062m。整體而言，2 者架構測試結果良好且近乎相同。但若與第四章重建 9 號碼頭波高神經網路模式測試結果相比，即由表 4-13 與表 5-3 相比可知：

(1) 在海神颱風測試比較結果：

- (a) 同樣 H-BPNN 架構下，相關性從 0.881 提升至 0.944，絕對誤差 (MAE) 從 0.031m 降為 0.022m，均方根誤差 (RMSE) 從 0.052m 降為 0.035m。
- (b) 同樣 HTM-BPNN 架構下，相關性從 0.836 提升至 0.944，絕對誤差 (MAE) 從 0.031m 降為 0.022m，均方根誤差 (RMSE) 從 0.051m 降為 0.035m。

(2) 在閃電颱風測試比較結果：

- (a) 同樣 H-BPNN 架構下，相關性從 0.782 提升至 0.910，絕對誤差 (MAE) 從 0.018m 降為 0.011m，均方根誤差 (RMSE) 從 0.026m 降為 0.015m。
- (b) 同樣 HTM-BPNN 架構下，相關性從 0.854 提升至 0.905，絕對誤差 (MAE) 從 0.016m 降為 0.011m，均方根誤差 (RMSE) 從 0.022m 降為 0.015m。

(3) 在康芮颱風測試比較結果：

- (a) 同樣 H-BPNN 架構下，相關性從 0.963 提升至 0.974，絕對誤差 (MAE) 從 0.041m 降為 0.032m，均方根誤差 (RMSE) 從 0.069m 降為 0.062m。
- (b) 同樣 HTM-BPNN 架構下，相關性從 0.966 提升至 0.974，絕對誤差 (MAE) 從 0.037m 降為 0.032m，均方根誤差 (RMSE) 從 0.065m 降為 0.062m。

由上述比較結果可知，輸入層納入 17 號碼頭波高資訊，新建後 2

種架構測試結果近乎相同，差異不大，但預測結果更趨於穩定，具明顯提升 9 號碼頭波高神經網路預測之功效。

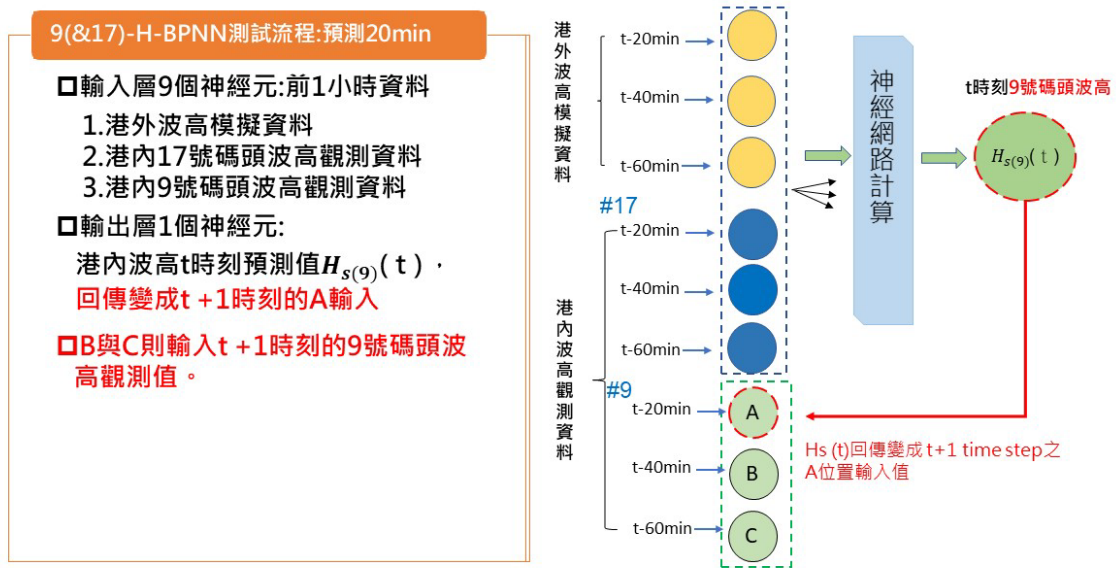


圖 5.18 新建 9(&17)-H-BPNN 架構測試流程及說明

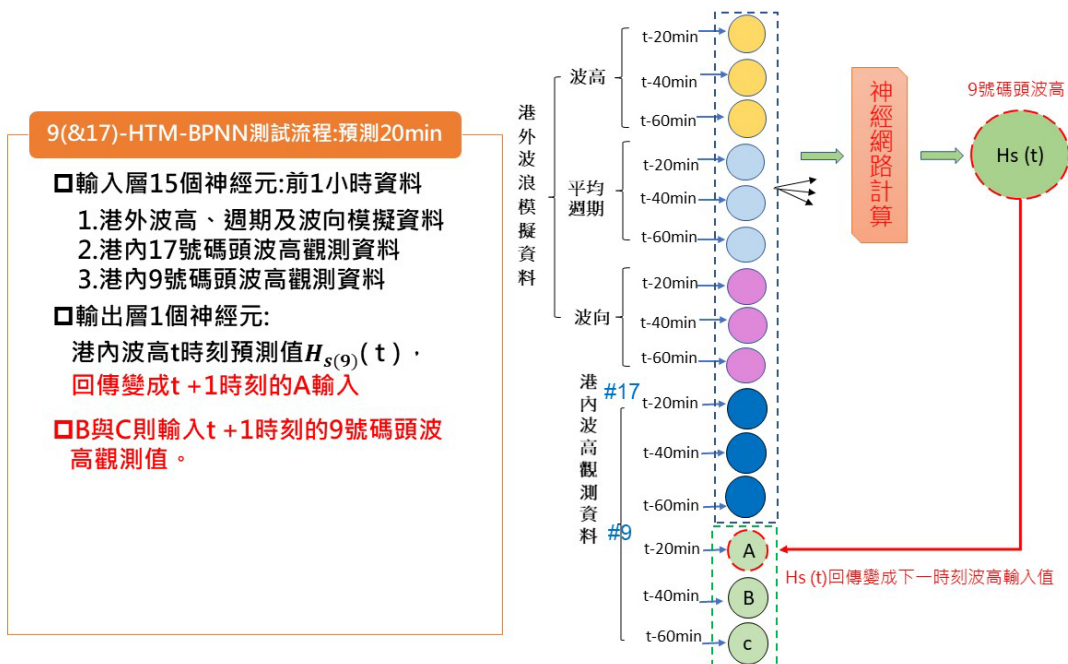


圖 5.19 新建 9(&17)-HTM-BPNN 架構測試流程及說明

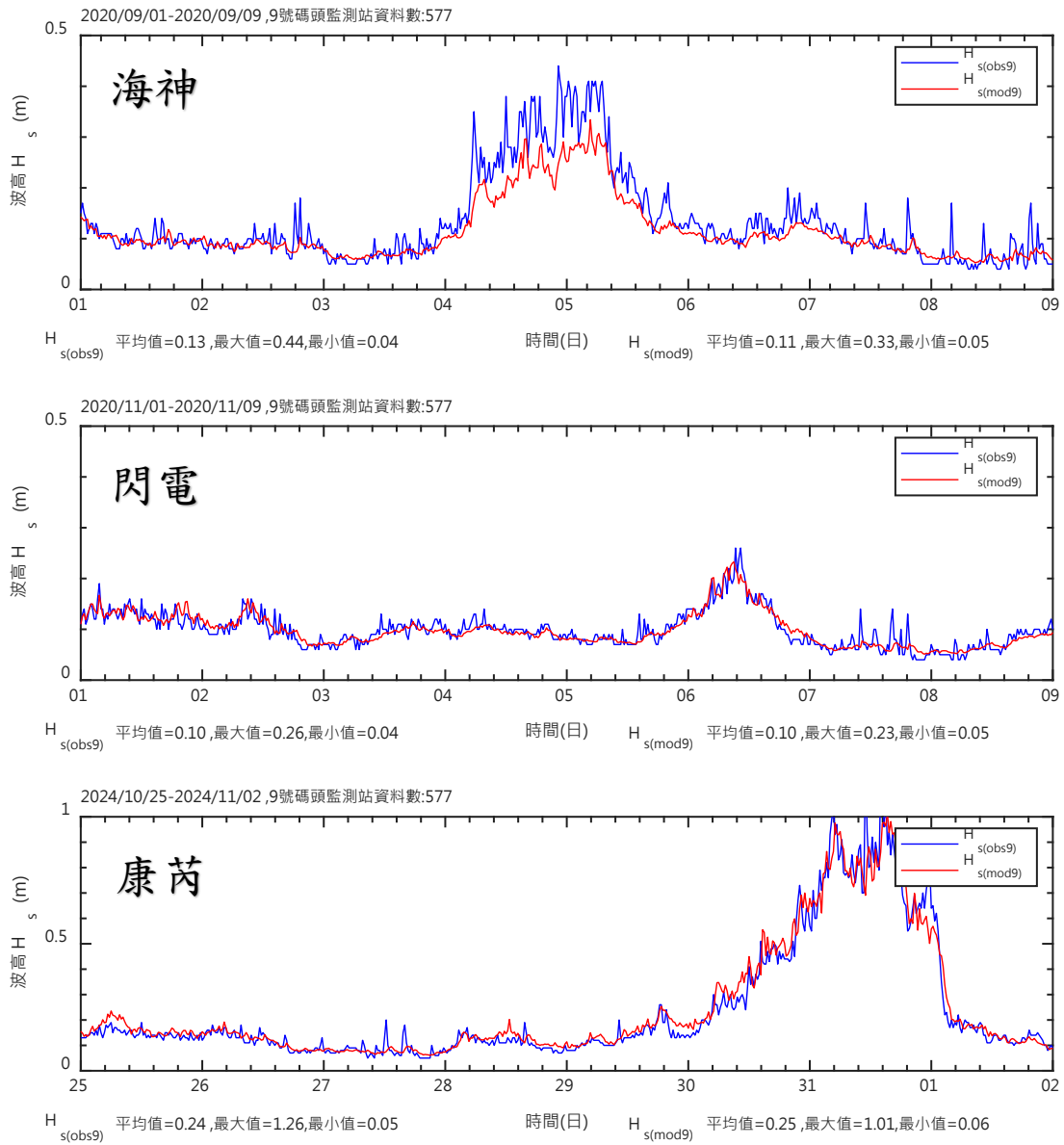


圖 5.20 新建 9(&17)-H-BPNN 測試結果

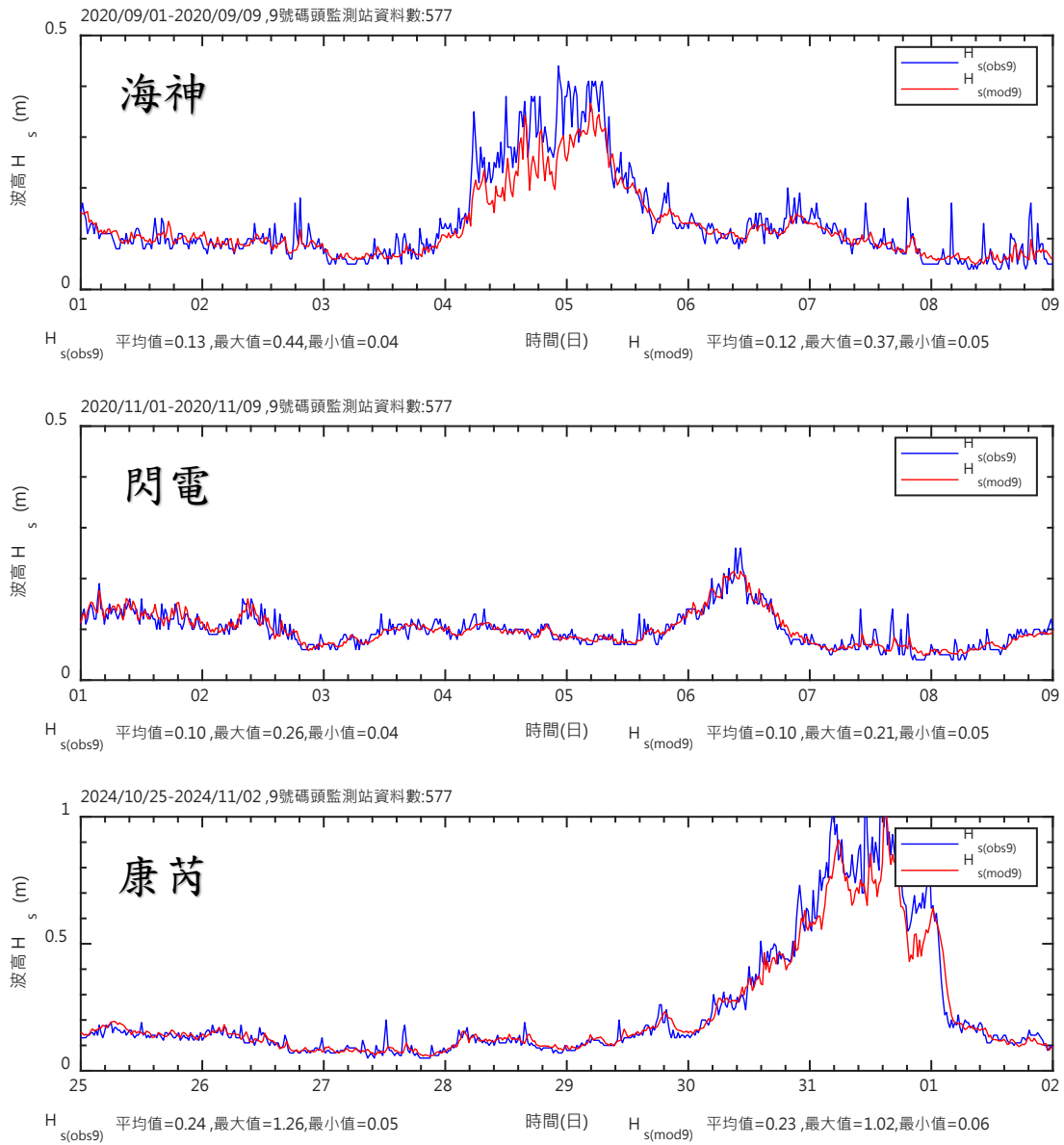


圖 5.21 新建 9(&17)-HTM-BPNN 測試結果

**表 5-3 同場颱風下，新建 9 號碼頭 2 種網路架構之測試結果比較**

以颱風起始日起，測試 20min、執行 8 日(577 筆)之測試結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.13	0.44	0.04	-	-	-
9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN	模擬值	0.12	0.37	0.05	0.944	0.022	0.035
9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN	模擬值	0.12	0.37	0.05	0.944	0.022	0.035
閃電	觀測值	0.10	0.26	0.04	-	-	-
9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN	模擬值	0.10	0.21	0.05	0.91	0.011	0.015
9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN	模擬值	0.10	0.21	0.05	0.91	0.011	0.015
康芮	觀測值	0.24	1.26	0.05			
9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN	模擬值	0.23	1.02	0.06	0.974	0.032	0.062
9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN	模擬值	0.23	1.02	0.06	0.974	0.032	0.062

綜合第四章 4.4 節及本節，本(114)年度 9 號碼頭共計製作出 4 種神經網路架構，其簡稱及架構彙整說明如表 5-4 所示。

**表 5-4 花蓮港 9 號碼頭波高預測神經網路彙整說明**

輸入層差異	簡稱	各層神經元數	備註
無 17 號碼頭前 1 小時波高資訊	9-HTM-BPNN	6-1-1	4.4 節製作並納入花蓮港 碼頭波高預測作業化模式 (HLNNs_op2025.exe) 及 9 號碼頭波高預測作業化模 式使用
	9-HTM-BPNN	12-1-1	
有 17 號碼頭前 1 小時波高資訊	9 <sub>(&amp;17)</sub> -H-BPNN	9-1-1	5.3 節製作，納入 9 號碼 頭波高預測作業化模式 (HLNNs_pier9.exe)使用
	9 <sub>(&amp;17)</sub> -HTM-BPNN	15-4-1	

### 5.3.2 創建 9 號碼頭波高預測作業化模式 ( HLNNs\_pier9.exe)

由 5.3.1 節雖證明輸入層參數納入 17 號碼頭前 1 小時波高資訊，有助於預測 9 號碼頭波高工作，若只將 5.1 節 HLNNs\_op2025.exe 作業化流程內使用之 9 號碼頭神經網路 9-HTM-BPNN 及 9-HTM-BPNN，更換成 9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 及 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN，則會面臨到輸入層參數部分，只有港外波浪模擬資料有前 1 小時~未來的模擬預測資料，港內 17 及 9 號碼頭波高資料只有最近 1 小時的資訊，17 號碼頭無未來預測資訊；此外，一旦連線資料庫下載最新 3 筆 17 及 9 號碼頭波高，發生無 17 號碼頭波高資料、或 17 號碼頭波高資料與 9 號碼頭波高資料時間不符，則流程會直接停止。

經上述考量及港內 9 號碼頭位屬內港區，本就對港外波浪較不敏感，且不想浪費第四章製作的 9-HTM-BPNN 及 9-HTM-BPNN2 種神經網路，決定創建可獨立運作之 9 號碼頭波高預測作業化模式，封包為 HLNNs\_pier9.exe，其內部作業化流程一樣分為 2 階段，本節以 9<sub>(&17)</sub>-H-BPNN 架構為例做說明。

#### 1. HLNNs\_pier9.exe 第 1 階段流程

第 1 階段主程式同樣使用 5.1 節 main1\_connSQL.exe、初始設定檔同樣使用 set\_conn.txt，只是關掉下載 25 號碼頭資料功能，如圖 5.22 所示，初始設定內容僅下載花蓮港 17 號及 9 號碼頭港內波高資料，以及下載 TaiCOMS 花蓮港港外模擬資料 1 日 1 次及 1 日 4 次之波浪模擬資料；而在神經網路計算設定上，預設執行 24 小時預測工作（20 分鐘=1 個 time step，即執行 72 個 time step），各碼頭資料輸入時，使用 H-BPNN、HTM-BPNN 等 2 種神經網路架構計算推估未來碼頭波高。執行流程同圖 5.2 所示，說明詳 5.1.1 節。

#### 2. HLNNs\_pier9.exe 第 2 階段流程

第 2 階段主程式 main3\_pier9.exe、讀取設定檔 set\_NN.txt，其內容會因應第 1 階段設定及下載之港外、港內資料筆數變動，如圖 5.23

所示。在 main3\_pier9.exe 啟動時，會先讀取港內 9 號及 17 號碼頭下載之最新 3 筆港內波高資料，檢核及判斷時間序列是否一致，若一致，則作業化流程走 A 路線，若不一致，作業化流程走 B 路線，如圖 5.24 所示，以下分述 2 種路線。

(1) A 路線：當 9 號及 17 號碼頭下載之最新 3 筆港內波高資料均為同時間的 3 筆波高資料，港外波高模擬資料及 17 號碼頭波高觀測資料先進行正規化後，輸入至 17-H-BPNN (或 17-HTM-BPNN) 架構計算，以連續預測方式獲得 17 號碼頭波高模擬預測正規化資訊；接著，港外波高模擬正規化資料與前述獲得的 17 號碼頭波高模擬正規化資訊一併輸入至  $9_{(&17)}$ -H-BPNN (或  $9_{(&17)}$ -HTM-BPNN)，藉此獲得 9 號碼頭波高模擬預測正規化資訊，再返回原值域並輸出，此流程如圖 5.25 所示。另在輸出資料部分，若是使用 1 日 1 次港外波浪資料 taiHL09\_20241029104000.txt，經過 17-H-BPNN 及 17-HTM-BPNN 架構計算，再輸入至  $9_{(&17)}$ -H-BPNN 及  $9_{(&17)}$ -HTM-BPNN，獲得 9 號碼頭波高模擬預測正規化資訊，正規化資訊再返回原值域並輸出，輸出資料為 nn09\_20241029104000data01H.txt 及 nn09\_20241029104000data01HTM.txt；若是使用 1 日 4 次港外波浪資料 taiHL09r4\_20241029104000.txt，經過 17-H-BPNN 及 17-HTM-BPNN 架構計算，再輸入至  $9_{(&17)}$ -H-BPNN 及  $9_{(&17)}$ -HTM-BPNN，獲得 9 號碼頭波高模擬預測正規化資訊，正規化資訊再返回原值域並輸出，輸出資料則為 nn09\_20241029104000data02H.txt 及 nn09\_20241029104000data02HTM.txt 等 2 種資料。

(2) B 路線：當 9 號及 17 號碼頭下載之最新 3 筆港內波高資料時間不相符，港外波高模擬資料及 9 號碼頭波高觀測資料先進行正規化後，輸入至第四章建置之 9-H-BPNN (或 9-HTM-BPNN) 架構計算，以連續預測方式獲得 9 號碼頭波高模擬預測正規化資訊，正規化資訊再返回原值域並輸出。另在輸出資料部分，

若是使用 1 日 1 次港外波浪資料 taiHL09\_20241029104000.txt，經過 9-H-BPNN 及 9-HTM-BPNN 架構計算，獲得 9 號碼頭波高模擬預測正規化資訊，正規化資訊再返回原值域並輸出，輸出資料名稱為(nn09\_20241029104000data01H.txt(1 日 1 次且 H-BPNN 架構計算)及 nn09\_20241029104000data01HTM.txt(1 日 1 次且 HTM -BPNN 架構計算)等 2 種資料；若是使用 1 日 4 次港外波浪資料 taiHL09r4\_20241029104000.txt，經過 9-H-BPNN 及 9-HTM-BPNN 架構計算，獲得 9 號碼頭波高模擬預測正規化資訊，正規化資訊再返回原值域並輸出，輸出資料則為 nn09\_20241029104000data02H.txt1 日 4 次且 H-BPNN 架構計算)及 nn09\_20241029104000data02HTM.txt(1 日 4 次且 HTM -BPNN 架構計算)等 2 種資料。

```

%%=====
%%          連線資料庫、下載設定
%%=====
1          %設定是否要下載17號碼頭資料 / 1下載 ; 0 不下載;
0          %設定是否要下載25號碼頭資料 / 1下載 ; 0 不下載;
1          %設定是否要下載09號碼頭資料 / 1下載 ; 0 不下載;
1          %設定是否要下載1日1run資料 / 1下載 ; 0 不下載;
1          %設定是否要下載1日4run資料 / 1下載 ; 0 不下載;
%%-----
%%          神經網路計算設定
%%-----
24         %設定BPNN預測時數
1          %是否使用 H-BPNN計算 / 1使用 ; 0 不使用;
1          %是否使用 HTM -BPNN計算 / 1使用 ; 0 不使用;

```

圖 5.22 花蓮港 HLNNs\_pier9.exe 初始設定檔 set\_conn.txt

```

24         %設定BPNN預測時數
1          %設定執行17號碼頭NN / 1執行 ; 0不執行
0          %設定執行25號碼頭NN / 1執行 ; 0不執行
1          %設定執行 9號碼頭NN / 1執行 ; 0不執行
1          %設定是否要使用1日1run data / 1執行 ; 0不執行
1          %設定是否要使用1日4run data / 1執行 ; 0不執行
1          %設定執行HBPNN / 1執行 ; 0不執行
1          %設定執行HTMBPNN / 1執行 ; 0不執行

```

圖 5.23 花蓮港 HLNNs\_pier9.exe 設定檔 set\_NN.txt 內容

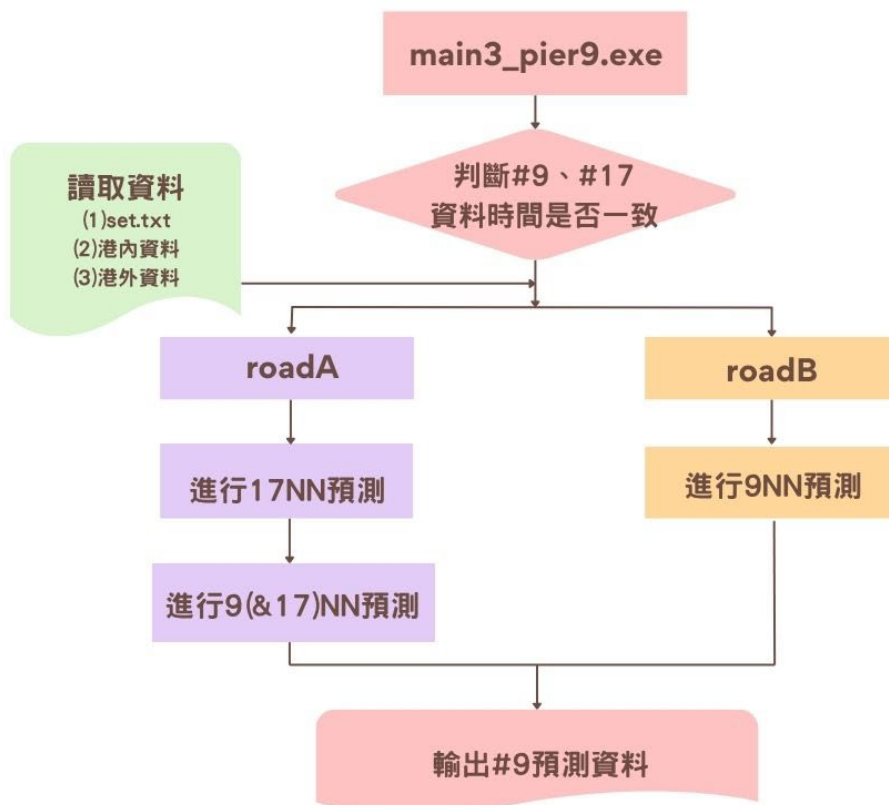
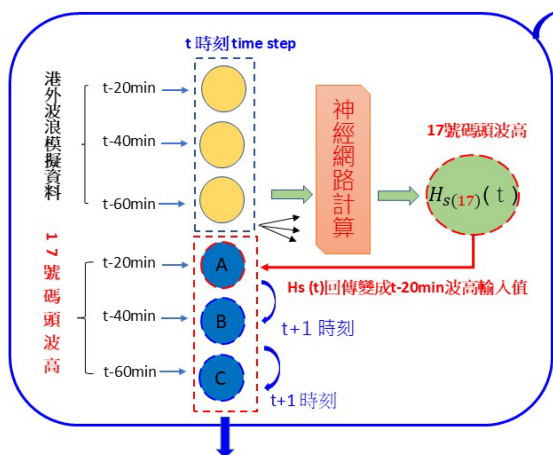


圖 5.24 執行檔 main3\_pier9.exe 流程圖

➤ A路線:先執行17號碼頭連續預測，再執行9號碼頭連續預測

□ 17-H-BPNN連續預測流程示意圖



17NN完連續預測後的輸入層矩陣，傳至9NN當作輸入矩陣

□ 9(&17)-H-BPNN連續預測流程示意圖

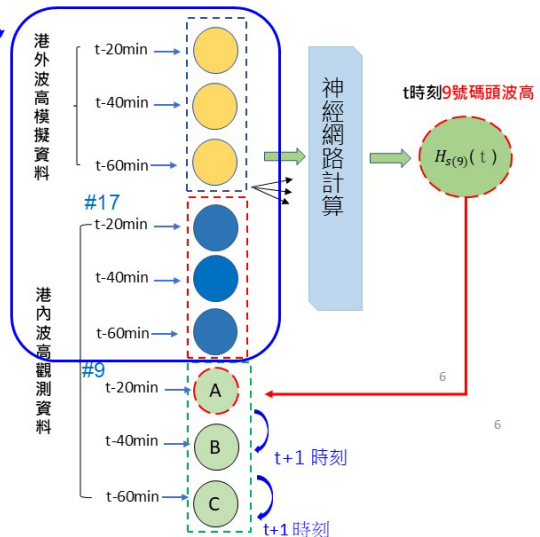


圖 5.25 流程 A 路線，17 號及 9 號碼頭神經網路連續預測示意圖

### 5.3.3 評估 9 號碼頭波高預測作業化模式成果

本節使用 5.3.2 節創建之「9 號碼頭波高預測作業化模式」(HLNNs\_pier9.exe)，選 114 年 9 月的樺加沙 (RAGASA) 颱風事件做為作業化模式測試及成果評估案例。

#### 1. 颱風事件簡介

樺加沙 (RAGASA) 颱風期間為 114 年 9 月 18 日 12 時至 114 年 9 月 25 日 6 時，其路徑通過呂宋島北方海域並向西移動，屬於未登陸臺灣、但其颱風長浪能量有傳遞至花蓮外海，進而對港域內波高造成影響之強烈颱風，其颱風路徑詳圖 5.26 所示。

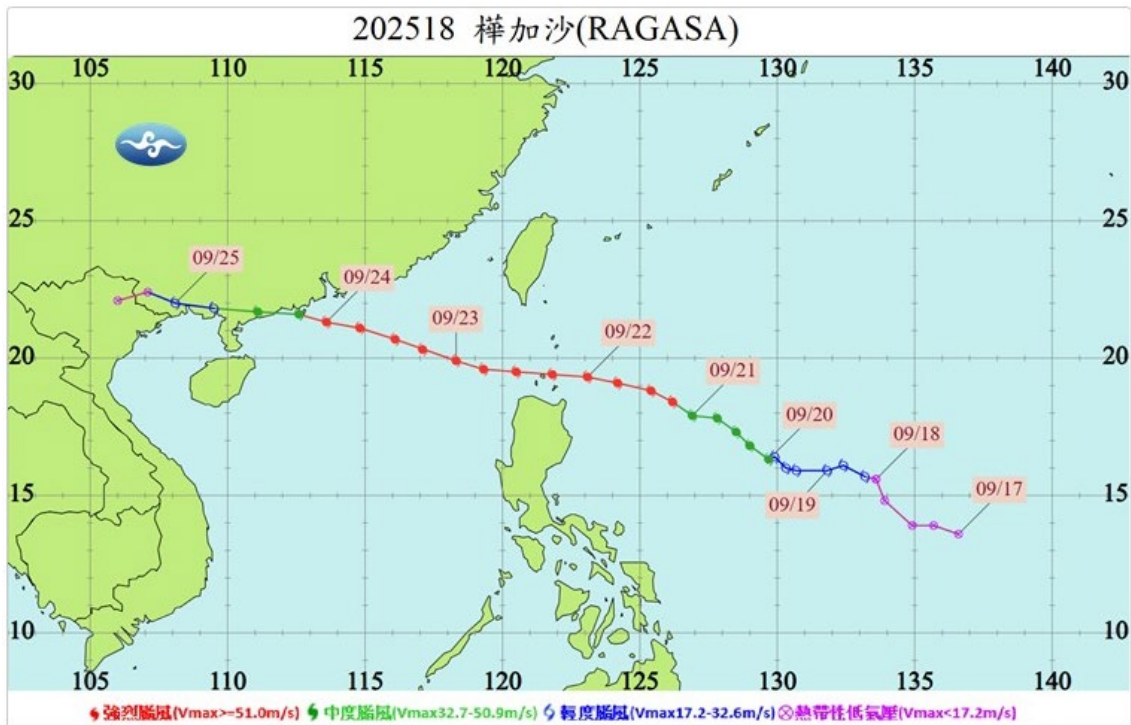


圖 5.26 樺加沙強烈颱風路徑圖(114 年 9 月)

#### 2. 選取評估期間

查看 9 號碼頭波高監測結果，樺加沙颱風對 9 號碼頭波高明顯影響時間約在 114 年 9 月 22 日開始持續震盪、上升，至發生波高最大值後於 9 月 23 日開始衰退，故本節聚焦於「9 號碼頭波高預測作業化模式」於 114 年 9 月 22 日之每小時作業化預測結果，以評

估作業化模式在颱風期間、波高由平穩轉為劇烈震盪過程中的預測效能。

### 3. 模式運作機制及成果評估分析

使用「9 號碼頭波高預測作業化模式」執行 114 年 9 月 22 日每小時作業化模擬預測未來 24 小時港內波高工作，其港外波高模擬資料使用 1 日 4 次之波高模擬預測資料，港內波高資料則同時使用 17 號及 9 號碼頭之即時 3 筆波高觀測資料，作業流程採 A 路線（詳圖 5.24 及圖 5.25），神經網路分別使用 9(17)-H-BPNN 及 9(17)-HTM-BPNN 架構，以連續預測方式計算，產製未來 24 小時港內碼頭預測結果，並將作業化預測結果與實測資料比對，以相關係數、均方根誤差(RMSE)及平均絕對誤差(MAE)做為評估指標評估其預測效能。

#### (1) 9(17)-H-BPNN 神經網路架構計算結果與評估分析

啟動「9 號碼頭波高預測作業化模式」，使用 9(17)-H-BPNN 架構，以連續預測方式計算，執行 114 年 9 月 22 日每小時作業化模擬預測、產製未來 24 小時港內碼頭預測結果，如圖 5.27 所示，圖上黑色實線為 9 號碼頭實測波高歷線（OBS），彩色虛線為作業化模式各整點啟動的預測波高歷線。

由圖 5.27 可知，當日海況極具挑戰性，實測波高由凌晨的 0.25m 一路攀升，呈現多峰值的劇烈震盪，最高峰值 0.89m。以下分 3 個時間區段進行說明：

- (a) 9 月 22 日 00:00 - 12:00 期間：受颱風長浪抵達影響，實測波高從 0.25m 快速上升，並在 07:00 左右出現第一個波峰（約 0.75m）。檢視早期預測歷線（預測趟次 0020~0720），雖然預測趨勢較為平滑，未能完全抓到 0.75m 的瞬間尖峰，但整體前期的預測趨勢呈現上升，預測趟次在 0520 趟次之預測結果，碼頭波高最大值發生在 07:20 分、約 0.6m；在 0620

趟次之預測結果，碼頭波高最大值發生在 06:20 分、約 0.71m；在 0720 趟次之預測結果，碼頭波高最大值發生在 07:20 分、約 0.76m，故預測成果呈現波高爬升趨勢，預測波高從 0.3m 至 0.76m；檢視 0820~1220 預測趟次，本區段實測波高處於上下震盪期間，預測結果亦呈現上升或下降趨勢，其中 1120 趟次結果，在 11:20 瞬間高估、再下降，查看其原因來自預測 17 號碼頭 11:20 之波高時，已有高估情形，進而影響到 9 號碼頭預測值。

- (b) 9 月 22 日 12:00 - 18:00 期間：實測波高屬於整體波高持續爬升並於 17:40 達到全日最高峰值 0.89m，此階段波高均大於 0.3m 以上，超過小型船裝卸臨界波高(詳 6.1 節)。檢視 1320~1820 預測趟次，其中在 1720 趟次，其預測峰值發生在 18:00 且為 0.72m，其評估結果如圖 5.28 所示，隨著預測時數越久，RMSE 及 MAE 遞增，整體預測成果(0-24 小時)相關性 0.9709、RMSE 為 0.2866m 及 MAE 為 0.2632m；1820 趟次結果，其預測峰值發生在 18:20 且為 0.84m，其評估結果如圖 5.29 所示，隨著預測時數越久，RMSE 及 MAE 遞增，整體預測成果(0-24 小時)相關性 0.9738、RMSE 為 0.3047m 及 MAE 為 0.2900m。
- (c) 9 月 22 日 18:00 - 23:40 期間：實測波高呈現斷崖式下跌，並在 6 小時內降回 0.3m 左右，檢視預測歷線之 1820~2020 趟次結果，預測歷線亦向下修正，不再維持高波高預測，而是跟隨實測趨勢下滑，之後的 2120、2220、2320 趟次因實測波高恰為局部上升情形，而呈現預測趨勢上升、再緩慢下降情形。



圖 5.27 使用 H-BPNN 架構執行 9 月 22 日波高預測歷線圖

分析檔案: nn9\_20250922172000data02H.txt  
 預測起始時間: 2025-09-22 17:20:00

預報時效	數據點數	相關係數	RMSE(m)	MAE(m)
0-3 小時	10	0.8142	0.0777	0.0595
0-6 小時	19	0.9428	0.1120	0.0937
0-9 小時	28	0.9746	0.1841	0.1525
0-12 小時	37	0.9722	0.2167	0.1871
0-15 小時	46	0.9762	0.2457	0.2169
0-18 小時	55	0.9734	0.2631	0.2365
0-21 小時	64	0.9744	0.2794	0.2542
0-24 小時	71	0.9709	0.2866	0.2632

圖 5.28 作業化模式 9(&17)-H-BPNN 之 1720 趟次預測評估

分析檔案: nn9\_20250922182000data02H.txt  
 預測起始時間: 2025-09-22 18:20:00

預報時效	數據點數	相關係數	RMSE(m)	MAE(m)
0-3 小時	10	0.8264	0.1191	0.1091
0-6 小時	19	0.9308	0.1677	0.1534
0-9 小時	28	0.9587	0.2303	0.2083
0-12 小時	37	0.9657	0.2537	0.2340
0-15 小時	46	0.9689	0.2720	0.2540
0-18 小時	55	0.9740	0.2887	0.2716
0-21 小時	64	0.9761	0.3005	0.2845
0-24 小時	71	0.9738	0.3047	0.2900

圖 5.29 作業化模式 9(&17)-H-BPNN 之 1820 趟次預測評估

## (2) 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 神經網路架構計算結果與評估分析

啟動「9 號碼頭波高預測作業化模式」，使用 9<sub>(&17)</sub>-HTM-BPNN 架構，以連續預測方式計算，執行 114 年 9 月 22 日每小時作業化模擬預測、產製未來 24 小時港內碼頭預測結果，如圖 5.30 所示，圖上黑色實線為 9 號碼頭實測波高歷線 (OBS)，彩色虛線為作業化模式各整點啟動的預測波高歷線。由圖 5.30 可知，分 3 個時間區段進行說明：

- (a) 9 月 22 日 00:00 - 12:00 期間，受颱風長浪抵達影響，實測波高從 0.25m 快速上升，並在 07:00 左右出現第一個波峰 (約 0.75m)，檢視 0620 趟次已預測波高將持續上升，至 0720 趟次之預測值迅速拉升至 0.8m 甚至更高，雖然捕捉到了高波能的訊號，但呈現高估的現象，推測模式因增加週期及波向參數，累積誤差增加，故放大預測結果。
- (b) 9 月 22 日 12:00 - 18:00 期間，實測波高屬於整體波高持續爬升並於 17:40 達到全日最高峰值 0.89m，此階段波高均大於 0.3m 以上，超過小型船裝卸臨界波高(詳 6.1 節)。檢視 1320~1820 預測趟次，預測線間離散程度較大(與圖 5.27 相比)，其中在 1720 趟次，其預測峰值發生在 17:40 且為 0.749m，其評估結果如圖 5.31 所示，隨著預測時數越久，RMSE 及 MAE 遞增，整體預測成果(0-24 小時)相關性 0.8371、RMSE 為 0.2912m 及 MAE 為 0.2726m；1820 趟次結果，其在 18:20 預測值為 0.849，之後波高持續上升至 20:20 時發生預測峰值為 0.8555 再緩慢下降，其評估結果如圖 5.32 所示，隨著預測時數越久，RMSE 及 MAE 遞增，整體預測成果(0-24 小時)相關性 0.8724、RMSE 為 0.3501m 及 MAE 為 0.3405m。
- (c) 9 月 22 日 18:00 - 23:40 期間，實測波高呈現斷崖式下跌，並在 6 小時內降回 0.3m 左右，檢視 1820~2320 預測趟次，預測歷線向下修正，雖然同樣具備校正能力，但反應略顯遲

滯。觀察 18:20 之後的預測線，雖然趨勢向下，但下降斜率較緩，部分預測線在 22:00 仍預測有 0.5m 的波高（實測已降至 0.3m）。

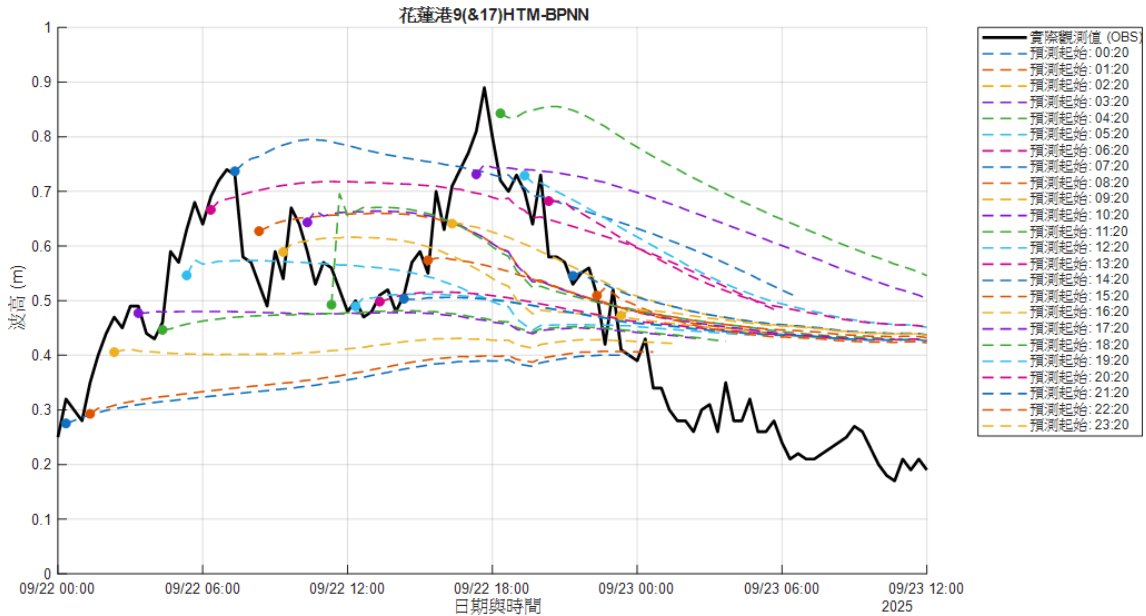


圖 5.30 使用 HTM-BPNN 架構執行 9 月 22 日波高預測歷線圖

分析檔案: nn9\_20250922172000data02HTM.txt  
 預測起始時間: 2025-09-22 17:20:00

預報時效	數據點數	相關係數	RMSE(m)	MAE(m)
0-3 小時	10	0.4258	0.0821	0.0653
0-6 小時	19	0.8478	0.1575	0.1317
0-9 小時	28	0.9225	0.2370	0.2009
0-12 小時	37	0.8756	0.2671	0.2355
0-15 小時	46	0.8699	0.2865	0.2588
0-18 小時	55	0.8519	0.2917	0.2682
0-21 小時	64	0.8485	0.2939	0.2735
0-24 小時	71	0.8371	0.2912	0.2726

圖 5.31 作業化模式 9(&17)-HTM-BPNN 之 1720 趟次預測評估

分析檔案: nn9\_20250922182000data02HTM.txt  
預測起始時間: 2025-09-22 18:20:00

預報時效	數據點數	相關係數	RMSE(m)	MAE(m)
0-3 小時	10	-0.6330	0.2138	0.1992
0-6 小時	19	0.7404	0.2842	0.2672
0-9 小時	28	0.8985	0.3407	0.3215
0-12 小時	37	0.8905	0.3544	0.3389
0-15 小時	46	0.8840	0.3595	0.3466
0-18 小時	55	0.8921	0.3609	0.3500
0-21 小時	64	0.8876	0.3570	0.3474
0-24 小時	71	0.8724	0.3501	0.3405

圖 5.32 作業化模式 9(&17)-HTM-BPNN 之 1820 趟次預測評估

### (3) 綜合分析

由上述作業化模式成果評估分析，無論使用 H-BPNN 或 HTM-BPNN 架構計算，模式均能隨時間推進即時動態修正預測趨勢，具滾動式更新能力，且隨著預測時間拉長，逐漸呈現平緩收斂特徵，顯示現行預設之 24 小時預測在實務運作上之預測效益有限。建議優先採用 9(&17)-H-BPNN 架構，原因在於其預測歷線與實測值的相關性極高，且不易出現發散的預測值。

鑑於本節已規劃可獨立運作之「9 號碼頭波高預測作業化模式」，未來正式上線時，運作策略可更改啟動頻率由原設定每小時 1 次提升為每 20 分鐘 1 次（配合觀測資料更新頻率），並將預測時數由 24 小時調整為 12 小時。

## 5.4 小結

本章整合第四章 17、25、9 號碼頭波高預測神經網路模式，建置「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」於測試網頁上線執行，啟動頻率為每小時 1 次，每次啟動下載 TaiCOMS 2.0 系統 1 日 1 次及 1 日 4 次之港外波浪模擬預測資料，經過各碼頭 H-BPNN 及 HTM-BPNN 2 種神經網路架構計算，提供未來 24 小時碼頭波高預測資訊。經查看「花蓮

港碼頭波高預測作業化模式」初步上線執行情形，確實可提供 3 座碼頭波高預測趨勢。

9 號碼頭波高預測作業化模擬結果較 17、25 號碼頭波高預測結果不符合實際趨勢。故將外港 17 號碼頭波高資訊引入做為 9 號碼頭預測指引參數，經重新訓練、驗證及測試案例結果，顯示增加 17 號碼頭波高資訊，確實能提升 9 號碼頭波高預測神經網路模式之預測成果。進而創建可獨立運作之「9 號碼頭波高預測作業化模式」，並以 114 年樺加沙颱風做為作業化成果評估案例。

「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」及「9 號碼頭波高預測作業化模式」，無論使用 H-BPNN 或 HTM-BPNN 架構計算，模式均能隨時間推進即時動態修正預測趨勢，具滾動式更新能力，且隨著預測時間拉長，逐漸呈現平緩收斂特徵，顯示現行預設之 24 小時預測在實務運作上之預測效益有限。若以「輔助決策船舶進出」為首要目標，建議各碼頭優先採用 H-BPNN 架構，原因在於其預測歷線與實測值的相關性極高，且不易出現發散的預測值。

故「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」未來正式上線時之運作策略改為：啟動頻率每小時 1 次，預測時數改為 12 小時；「9 號碼頭波高預測作業化模式」未來正式上線時運作策略改為：啟動頻率配合觀測資料更新，每 20 分鐘 1 次（頻率），預測時數改為 12 小時。以聚焦於高準確度之短、中期預警資訊。



## 第六章 花蓮港區靜穩展示網頁

為提供花蓮港務分公司啟動避湧作業時之決策支援，前期計畫於 109 年度執行期間，發展「花蓮港區靜穩展示網頁」，內容整合花蓮港內波浪即時監測資料、花蓮港海象觀測及模擬資訊，並結合港區即時影像，波高情況以綠、黃、橙、紅燈號提供預警資訊，本計畫則持續進行網頁維護工作。

### 6.1 網頁簡介

網頁整合本所於花蓮港之觀測資訊、海象模擬資訊、影像資訊，建置靜穩展示頁面，期望提供花蓮港務分公司客製化資訊，網址為：<https://isohe.ihmt.gov.tw/station/display/hua/Hu-login.aspx>。其設計呈現資訊劃分成 2 頁面，分別為「示警資訊」及「觀測模擬資訊」。「示警資訊」主為提供簡單、明瞭的示警訊息，「觀測模擬資訊」則提供進一步較完整風力、波浪及潮汐觀測及模擬資訊查詢，頁面說明如下：

#### 1. 「示警資訊」頁面

本頁面構思為以直觀簡單方式提供示警資訊，包含燈號、港內即時觀測資訊、港外模擬資訊及即時影像，如圖 6.1 所示。其中示警資訊燈號分別應用港內靜穩觀測與港外長浪模擬資訊呈現。

- (1) 港區靜穩觀測：歷線圖資料係介接港內波潮即時監測站，每 20 分鐘 1 筆提供示性波高資料及依波高大小顯示對應燈號顏色指標。各燈號顏色指標考量依據港灣結構物設計基準(草案)，在不受湧浪(swell)及長週期波(Long period waves)影響下各種船型之裝卸臨界波高，如表 6-1 所示，並考量花蓮港防颱避湧作業為觀察 25 號碼頭浪湧起伏達 1 公尺以上，本頁面右側同時呈現 9 號、17 號及 25 號碼頭旁的示性波高，並採 25 號碼頭旁最新 1 筆觀測資料做為燈號展示顏色指標，各燈號指標為：

- a. 綠色：示性波高 0.3 公尺以下
- b. 黃色：示性波高 0.3 至 0.5 公尺間
- c. 橙色：示性波高 0.5 至 1 公尺間
- d. 紅色：示性波高 1 公尺以上

表 6-1 各種船型之裝卸臨界波高

船型	裝卸臨界波高( $H_{1/3}$ )
小型船(<500GT)	0.3m
中大型船(500GT~<50000GT)	0.5m
超大型船( $\geq 50000$ GT)	0.7~1.5m

(2) 港外長浪模擬：歷線圖資料係介接本所「臺灣近岸海象預測系統」之花蓮海域風浪模組模擬之長浪資料，每 1 小時 1 筆並預測未來近 40 小時內長浪變化情形；示警燈號則顯示長浪預測波高在未來 24 小時內發生之最大值，燈號顏色指標考量本計畫所分析結果，即當花蓮港港外長浪波高約達 2 公尺以上啟動避湧機制為基準，據以顯示研提燈號指標為：

- a. 綠色：長浪波高 1 公尺以下
- b. 黃色：長浪波高 1 至 1.5 公尺間
- c. 橙色：長浪波高 1.5 至 2 公尺間
- d. 紅色：長浪波高 2 公尺以上

(3) 即時影像：原整合本所於花蓮港架設 6 支即時影像鏡頭資訊，目前剩 4 支即時影像鏡頭。

- a. 花蓮西防波堤：監看外港區域
- b. 花蓮港務大樓：監看港口區域
- c. 亞洲水泥：監看內港區域
- d. 花蓮港 25 號碼頭：監看東防波堤

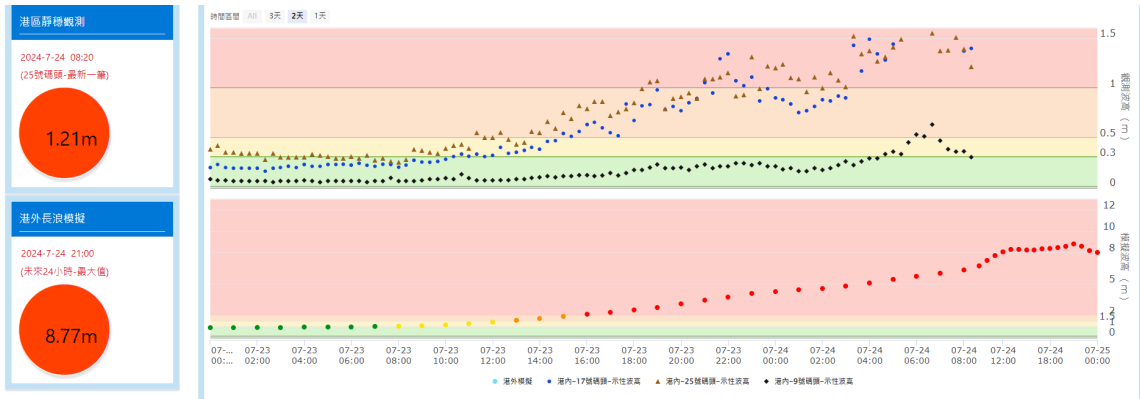


圖 6.1 示警資訊頁面示意圖(113 年 7 月 24 日凱米颱風期間)

## 2. 「觀測模擬資訊」頁面

該頁面綜整本所於花蓮港之觀測及模擬資訊，提供更多完整海象資訊查詢，包括港內靜穩資訊、港外觀測及模擬資訊、潮位及風速觀測及模擬資訊等，可分別查詢、俾利研判，如圖 6.2 所示。各項資訊內容分述如下：

### (1) 港內靜穩資訊-波高(每 20 分鐘 1 筆)

- 25 號碼頭靜穩測站：示性波高、長浪波高及最大波高
- 17 號碼頭旁靜穩測站：示性波高、長浪波高及最大波高
- 9 號碼頭靜穩測站：示性波高、長浪波高及最大波高

### (2) 港內靜穩資訊-週期(每 20 分鐘 1 筆)

- 25 號碼頭靜穩測站：平均週期、譜峰週期
- 17 號碼頭旁靜穩測站：平均週期、譜峰週期
- 9 號碼頭旁靜穩測站：平均週期、譜峰週期

### (3) 港外觀測及模擬資訊(每小時 1 筆)

- 港外觀測：示性波高、譜峰週期、最大波高
- 港外模擬：過去模擬波高、譜峰週期及近 40 小時示性波高、譜峰週期預測資訊

### (4) 潮位資訊

- a. 觀測潮位：基準採築港高程及內政部高程
- b. 模擬潮位：過去模擬潮位及近 40 小時潮位預測資訊

(5) 風速、風向資訊

- a. 觀測風速：本所風速測站資料、氣象局花蓮浮標觀測資料
- b. 模擬風速：過去模擬風速及近 40 小時預測風速

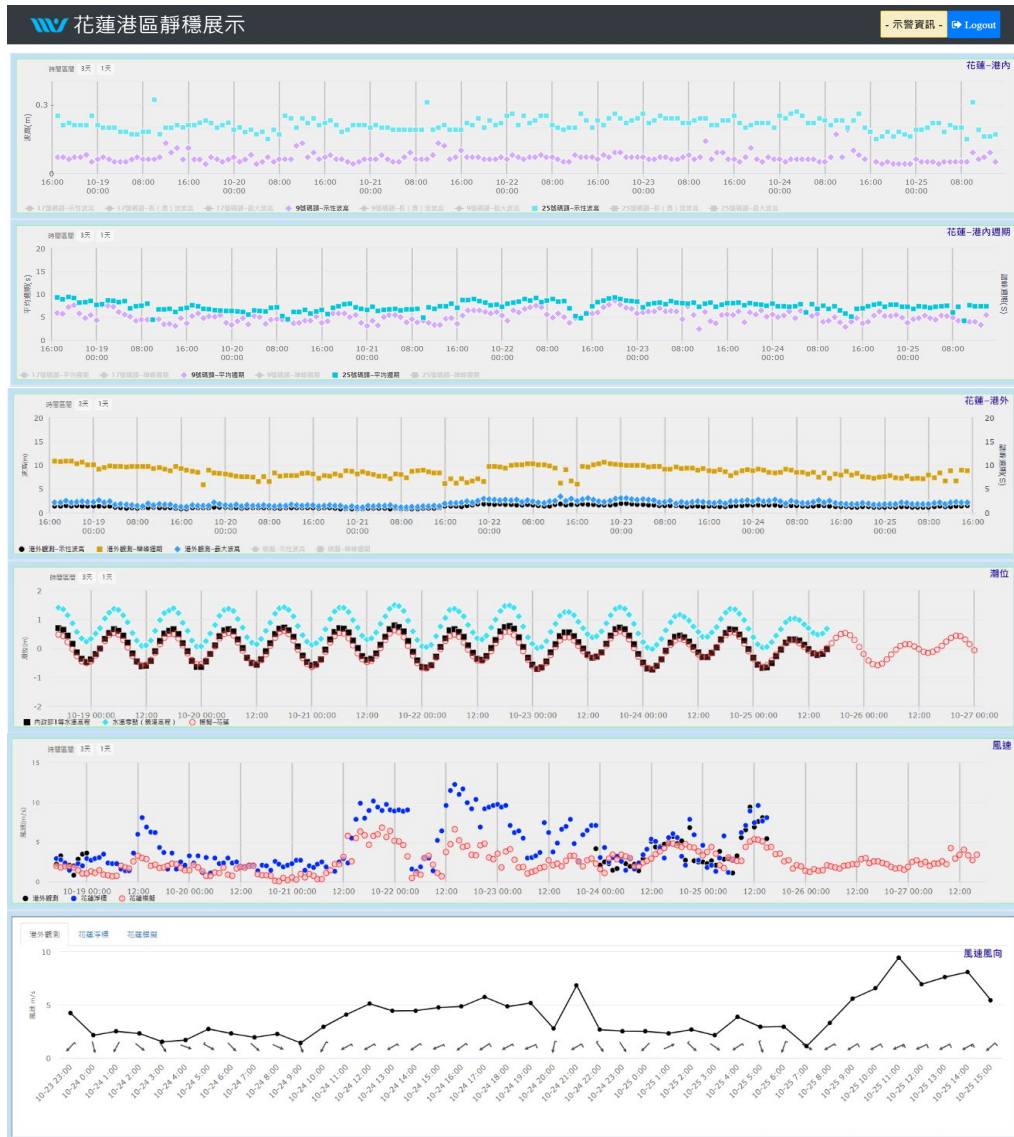


圖 6.2 觀測模擬資訊頁面示意圖

## 6.2 網頁維護工作

本(114)年度網頁維護工作，主要在 6~8 月因應資安要求，中心系統進行全面弱掃工作，又依據弱掃結果做網頁歷線圖工具版本更新、使用者登入驗證功能等工作，其中，歷線圖工具版本更新後，發生展示問題，如時間序列資料全擠在歷線圖右側、花蓮港風力標籤失效等情況，如圖 6.3 及圖 6.4 所示，皆調整恢復如圖 6.5 及圖 6.6 所示。



圖 6.3 歷線圖工具版本更新後，網頁展示狀況 1

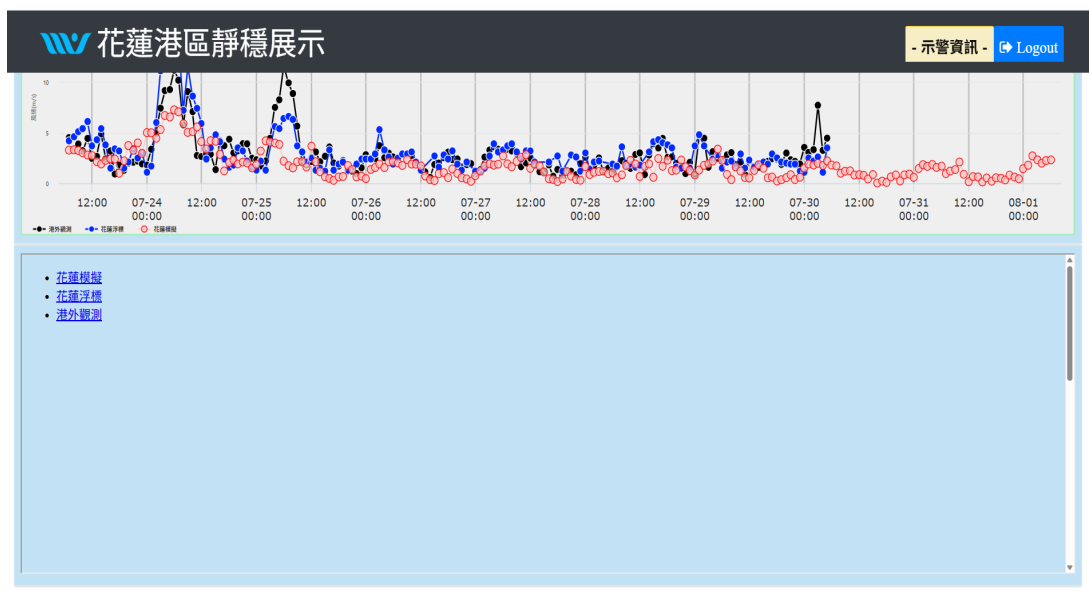


圖 6.4 歷線圖工具版本更新後，網頁展示狀況 2

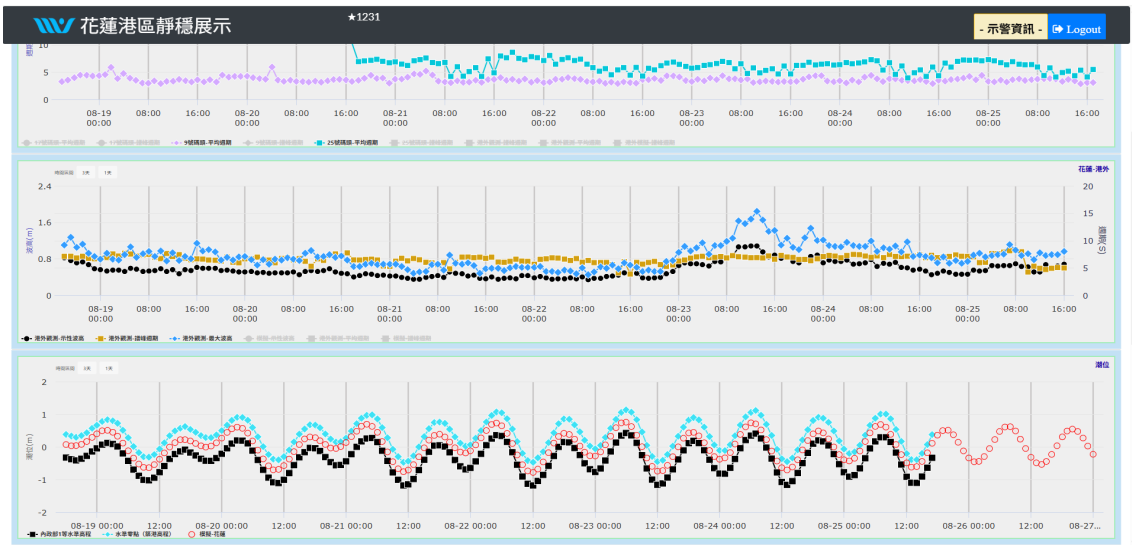


圖 6.5 網頁展示狀況 1，恢復展示功能

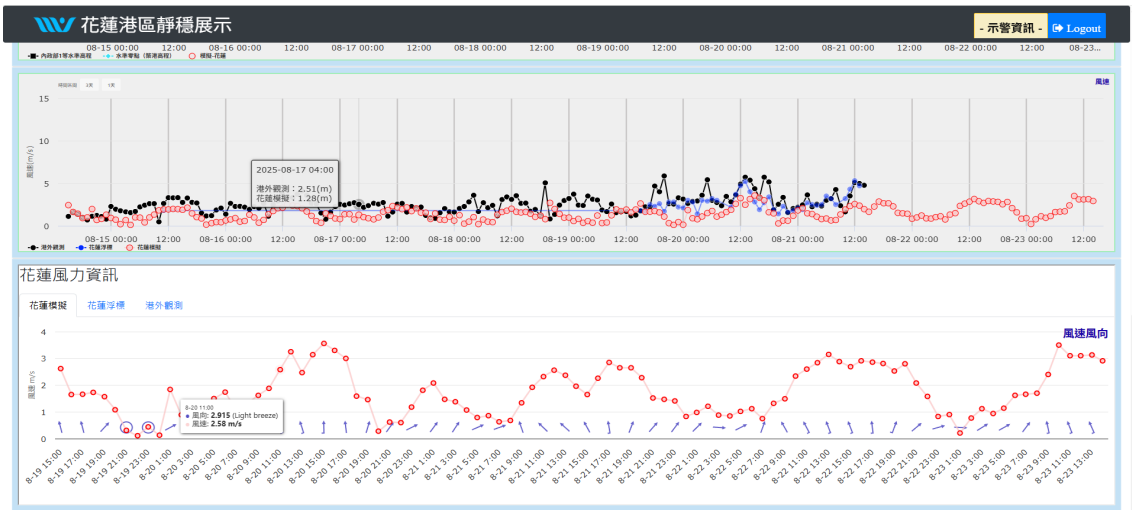


圖 6.6 網頁展示狀況 2，恢復展示功能

本計畫在 113 年至 114 年期間進行網頁維護工作，網頁維護紀錄如表 6-3 所示。

**表 6-3 113 年~114 年期間網頁維護紀錄**

日期	維護項目問題	處理結果
2024.01.22	模擬資料異常	待相關人員重新匯重生成
2024.02.20	功能討論，異動部份程式	確定調整之功能應用及排定建立新測試頁面
2024.03.01	9 號、17 號、25 號碼頭監測資料	資料匯整及備份
2024.03.22	歷線圖功能調整	部份新修改之相關資訊異動
2024.05.15	匯總資料	花蓮港 9、17、25 號碼頭觀測資料-113 年 1 月 1 日起至 5 月 14 日
2024.05.30	重新設定程式環境	SQL 存取權限之設定，重安相關套件
2024.06.14	取得新版程式，設定新的環境跑	先於本機測試，並設定其相關環境，再安裝至伺服器，並安裝其程式新的相關套件軟體
2024.06.17	程式排程設定原安排 20 分時觸發事件	依據操作手冊進行相關設定時間啟動程式
2024.06.20	改為 18 分觸發事件排程	近日操作資料匯總後，資料取得時間調整為 18 分觸發事件執行。
2024.06.25	將取得的資料解析	解析後資料匯入資料庫伺服器並設定工作排程運作
2024.06.27	將資料呈現於網頁-歷總圖	測試頁面資訊僅提供於內部網路查看
2024.06.28	檢視呈現網頁資料	資料進行比對，調整排程設定事宜
2024.07.09	取得的資料格式，解析有異常	增加 LOG 文檔，排錯之匯入 SQL 之程式改寫及調整設定
2024.07.10	程式測試觀察有異常狀況	針對例外狀況之產生資料處理方式
2024.08.01	展示頁面水位辨識攝影機連線中斷	先將此畫面下架，待後續討論

日期	維護項目問題	處理結果
2024.08.12	資料生成中斷-8/10	缺資料是資料庫路徑更改的關係，已調整
2024.08.24	伺服器異常	重掛伺服器
2024.09.02	新版程式-（一日一次及一日四次）	需更新程式，修改作業方式及增加資料表等設定事宜
2024.09.27	發布公告	因中心進行例行性維護
2024.10.04	發布公告	因機房進行設備作業，部份資料不全
2024.10.18	建立一日一次及一日四次之測試頁面	提供測試網頁進行觀察
2024.10.30	歷線圖名稱重新調整	針對相應代碼確定及資料比對
2025.05.05	檢視程式架構與套件版本	因應中心弱點掃描中風險版本須更新，套件進行比對與檢視程式
2025.05.20	檢查是否有 SRI（子資源完整性）支援—新增雜湊值：將每一個第三方 Script/鏈結元素支援新增至 SRI（子資源完整性）。	因應中心弱點掃描，修正中風險
2025.05.26	新增系統登入驗證碼功能，以免遭受自動化工具之攻擊	因應中心滲透測試，修正中風險
2025.05.29	未更新階段作業 ID--登入後變更階段作業 ID 值、不適當地封鎖帳戶--在數次登入嘗試失敗之後，強制封鎖帳戶	因應中心弱點掃描，修正中風險
2025.06.03	修正原碼掃描 Critical、High、Medium 之風險	因應中心原碼檢測掃描，修正嚴重、高、中風險
2025.06.05	弱掃修正：系統版本更新	因應中心原碼檢測掃描，修正嚴重、高、中風險
2025.06.27	警示燈號改回成 25 號碼頭資料	由於先前 25 號碼頭無資料，今已修復，改回展示 25 號碼頭資料。
2025.07.10	因應資安掃弱系統版本更新後原本 chart 失效，修正示警資訊頁面時間排序，還原系統展示	程式修正後還原系統展示
2025.07.16	修正 Hualien_il_2.aspx 測試頁面時間排序、展示時間與資料庫同步	更新程式後展示與時間排序與資料庫同步。
2025.07.30	檢視與修正花蓮港外歷線圖針對相應代碼確定及資料比對	檢視與修正該代碼花蓮港外歷線圖即正常顯示

日期	維護項目問題	處理結果
2025.08.12	因應資安掃弱系統版本更新後原本 chart 失效，修正觀測模擬資訊頁面時間排序，還原系統展示	更新程式後展示與時間排序街與資料庫同步。
2025.08.14	Hualien_i21.aspx 攝影機影像停掉	重啟 api
2025.08.20	因應資安掃弱系統版本更新，花蓮風力資訊標籤功能失效，根據 Bootstrap 5 結構修正還原系統展示	因應中心原碼檢測掃描，修正嚴重、高、中風險。
2025.09.27	針對中風險可繞過圖形驗證碼機制，Hu-login.aspx.cs 加入 txtCaptcha.Text = ""; 清空驗證碼欄位	因應中心滲透測試，修正中風險
2025.10.08	檢查是否有 SRI (子資源完整性) 支援，將每一個第三方 Script/鏈結元素支援新增至 SRI (子資源完整性)。修正 HLVideo1.html、HLVideo2.html、HLVideo3.html、HLVideo4.html、HLVideo5.html、HLVideo6.html、HLVideo7.html、HLVideo10.html、HLVideo11.html、HLVideo12.html、HLVideo21.html、HLVideo22.html、HLVideo61.html、HLVideo71.html。	因應中心弱點掃描，修正中風險
2025.10.15	移除不會再使用到的頁面 HLVideo9.html、HLVideo15.html	確認未使用，暫先移除。
2025.11.10	受鳳凰颱風影響，Hualien_i21.aspx 之觀測波高 y 軸調至 3m，模擬波高 y 軸放到 5.5m，並檢視修正模擬波高資料未顯示。	修正 SHt.js 調整 y 軸數值，並檢視資料為正常入庫。
2025.11.11	Hualien_i21.aspx 有弱點的元件，將 Bootstrap 升級至 5.3.8；並檢查是否有 SRI (子資源完整性) 支援，加上 SRI 資訊。	因應中心弱點掃描，修正中風險
2025.11.21	發布公告	因中心機房進行高低壓用電安全檢查，故部份模擬資料會受其影響。
2025.11.22	移除不會再使用到的頁面 Hualien_i21_1.aspx、Hualien_i2.aspx、Hualien_i1.aspx	確認未使用，暫先移除。

日期	維護項目問題	處理結果
2025.11.10	受鳳凰颱風影響，Hualien_i21.aspx 之觀測波高 y 軸調至 3m，模擬波高 y 軸放到 5.5m，並檢視修正模擬波高資料未顯示。	修正 SHt.js 調整 y 軸數值，並檢視資料為正常入庫。
2025.11.11	Hualien_i21.aspx 有弱點的元件，將 Bootstrap 升級至 5.3.8；並檢查是否有 SRI（子資源完整性）支援，加上 SRI 資訊。	因應中心弱點掃描，修正中風險
2025.11.21	發布公告	因中心機房進行高低壓用電安全檢查，故部份模擬資料會受其影響。
2025.11.22	移除不會再使用到的頁面 Hualien_i21_1.aspx、 Hualien_i2.aspx、Hualien_i1.aspx	確認未使用，暫先移除。

## 第七章 結論與建議

花蓮港務分公司現行船舶進出港管制作業係依據內、外港區之即時觀測波高進行分區管制，然而，僅靠「即時觀測」難以預警未來海況變化。本研究目的在於提供花蓮港 9 號、17 號及 25 號碼頭未來 24 小時的波高變化趨勢預測，協助港務單位提前判斷是否啟動船舶出港避湧或恢復進港作業，以維護操航安全、提升船席調度效率。

### 7.1 結論

1. 本計畫延續前期計畫成果，統計 109 年 1 月至 113 年 12 月花蓮港外、港內波浪觀測資料分析：

在港外波浪觀測資料分析部分，使用超音波訊號量測資料做分析，在 109~111 年期間，示性波高最大值為 4.96m，發生在 110 年 10 月圓規颱風期間，分析之長浪示性波高為 4.48m；示性波高次大值為 4.27m，發生在 110 年 9 月璨樹颱風期間，分析長浪示性波高為 3.78 m；在 112~113 年期間，示性波高最大值為 7.03m，發生在 113 年 11 月初康芮颱風期間，分析之長浪示性波高為 5.17m，長浪占比約 73.5%，但其實康芮颱風期間(10 月底至 11 月初)資料不穩定；示性波高次大值為 6.83m，發生在 113 年 7 月凱米颱風期間，分析長浪示性波高為 6.19 m，長浪占比約 90.6%。

在港內波浪觀測資料分析部分，分析花蓮港 9、17、25 號碼頭監測站自 109 年起設置至 113 年 12 月港內波浪觀測資料，各碼頭資料蒐集率良好，發生缺失資料情形，大都是因進行測站維護工作。在 109~111 年期間，9 號碼頭在 110 年 10 月圓規颱風期間，發生波高最大值為 0.88m，17 號碼頭亦是波高最大值為 3.21m，25 號碼頭則是在 110 年 9 月璨樹颱風發生波高最大值為 2.77m，110 年 10 月圓規颱風波高為 2.29 m 次之；在 112~113 年期間，9 號碼頭在 113 年 10 月康芮颱風期間，發生波高最大值為 1.26m，17 號碼頭亦是波高

最大值為 3.82m，25 號碼頭波高最大值為 4.56m，接著設備異常資料中斷。

2. 分析具影響花蓮港域內波浪之颱風事件，共計 64 場颱風事件，其中僅 15 件颱風事件有發布陸上或海上颱風警報，故神經網路學習訓練集資料，不能僅限於有發布颱風警報之颱風。
3. 本計畫採用具備優異容錯能力與計算效率的「倒傳遞神經網路 (BPNN)」做為波高預測方法，以 110 年~113 年度之港外波浪模擬資料及港內碼頭波高觀測資料，重新訓練建置花蓮港 17、25、9 號碼頭波高預測神經網路模式，分別有 H-BPNN 及 HTM-BPNN 等 2 種網路架構，各碼頭經驗證及測試案例比較結果，在 2 種架構下，執行成果良好且結果相近、差異不大，後續若應用在歷史颱風事件模擬，皆會有良好模擬結果。
4. 為了將研究成果實踐應用，發展「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」(HLNNs\_op2025.exe)，並封裝為可獨立執行之執行檔，使其具備自動連線資料庫、下載即時觀測與 TaiCOMS 2.0 系統模擬數據、執行資料檢核、補遺與正規化，輸入至 H-BPNN 及 HTM-BPNN 2 種架構之神經網路，以連續預測方式計算出 3 座碼頭未來 24 小時預測波高資訊，提供碼頭波高預測趨勢。
5. 改善內港區 9 號碼頭預測工作瓶頸，提出引入外港區 17 號碼頭即時波高資訊，做為輸入參數之改善策略，重新再建置對應之神經網路架構(9(&17)-H-BPNN 及 9(&17)-HTM-BPNN)，經驗證及測試案例結果顯示，確實提升預測能力，本計畫建置之各碼頭神經網路架構資料總彙整如表 7-1 所示。
6. 創建「9 號碼頭波高預測作業化模式」(HLNNs\_pier9.exe)，設計主要路線 A 及備援路線 B，以確保作業化模式上線運作，能穩定持續產生碼頭波高預測資訊。

7. 經查看「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」及「9 號碼頭波高預測作業化模式」之測試執行情形，無論使用 H-BPNN 或 HTM-BPNN 架構計算，模式均能隨時間推進即時動態修正預測，且隨著預測時間拉長，逐漸呈現平緩收斂特徵，顯示現行預設之 24 小時預測在實務運作上之預測效益有限，另使用 H-BPNN 架構計算，其預測歷線與實測值的相關性較高，且不易出現發散的預測值。
8. 本年度維護「花蓮港區靜穩展示」工作，主要配合資安需求，進行弱掃工作，再依據弱掃結果更新使用工具版本，調整及修改網頁展示功能。

## 7.2 建議

花蓮港船舶進出港管制作業已非常仰賴外港區及內港區碼頭波高觀測資訊，後續將持續進行作業化模式精進工作，臚列如下：

1. 經由作業化模式測試執行情形，建議各碼頭優先採用 H-BPNN 架構計算。
2. 依據本年度創建「9 號碼頭波高預測作業化模式」經驗，17 號及 25 號碼頭均屬外港區，2 測站波浪相關性較高，亦可再建置輸入層同時有 17 號及 25 號碼頭波高資訊之神經網路，以提升外港區碼頭波高預測成效。
3. 在作業化模式運作設定部分，「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」可改為啟動頻率每小時 1 次，預測時數改為 12 小時；「9 號碼頭波高預測作業化模式」啟動頻率則配合觀測資料更新頻率，每 20 分鐘 1 次，預測時數改為 12 小時。據此，聚焦於提供準確度較高之短、中期波高變化趨勢。

### 7.3 計畫成果效益及應用

#### 1. 成果效益：

- (1) 完成花蓮港 9、17、25 號碼頭波高預測神經網路模式，並整合至「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」。
- (2) 針對 9 號碼頭部分，新建含 17 號碼頭波高資訊架構之 9 號碼頭波高預測神經網路模式，並創建可獨立運作之「9 號碼頭波高預測作業化模式」，流程分為主要 A 路線及備援 B 路線，以確保模式能全天候穩定產出預測資訊。
- (3) 「花蓮港區靜穩展示」客製化網頁，提供花蓮港內靜穩觀測資訊、港外長浪模擬預測資訊、港區影像，使花蓮港務分公司迅速掌握港區海氣象環境，俾利辦理防災應變措施。

#### 2. 成果應用：

- (1) 建置 3 座碼頭波高預測神經網路模式，可供做碼頭波浪資料補遺方法或其他進行模擬歷史颱風事件之研究計畫應用。
- (2) 碼頭波高預測資訊後續若於「花蓮港區靜穩展示」展示，除了提供花蓮港務分公司碼頭波高變化趨勢以外，透過直觀的綠、黃、橙、紅之燈號示警，將複雜的海象變化及數值模擬結果，轉化為第一線人員易於理解的決策輔助資訊，落實智慧港灣之防災應用。

表 7-1 花蓮港碼頭波高預測神經網路模式彙整總表

一、花蓮港碼頭波高預測神經網路模式 (model-train)				
組合		H-BPNN 網路架構	HTM-BPNN 網路架構	章節內容
參數說明	輸入層	港外輸入 TaiCOMS 產製之花蓮港波高模擬資料；港內輸入碼頭波高觀測資料，共 6 個參數。	港外輸入 TaiCOMS 產製之花蓮港波高、週期及波向模擬資料；港內輸入碼頭波高觀測資料，共 12 個參數。	4.1
	輸出層	港內 t 時刻波高觀測資料	港內 t 時刻波高觀測資料	
碼頭		各層神經元個數 (輸入層-隱藏層-輸出層)	各層神經元個數 (輸入層-隱藏層-輸出層)	章節內容
17 號		6-1-1	12-1-1	4.2
25 號		6-2-1	12-6-1	4.3
9 號		6-1-1	12-1-1	4.4
二、9 號碼頭波高(含 17 號碼頭波高資訊)預測神經網路模式 (model-train)				
碼頭		H-BPNN 網路架構	HTM-BPNN 網路架構	章節內容
9 號		9-1-1	15-4-1	5.3



## 參考文獻

1. 李兆芳、劉正琪、傅怡釗、林雅雯、盧韋勳、劉正琪、江朕榮、謝佳紘 (2025),「海氣象預測模擬系統之維運精進 (3/4) -精進高雄海域模組」,交通部運輸研究所報告。
2. 傅怡釗、鄭采誼、林雅雯 (2024),「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」,交通部運輸研究所報告。
3. 劉正琪、傅怡釗、林雅雯、李兆芳、謝佳紘、江朕榮 (2024),「海氣象預測模擬系統之維運精進 (2/4) -建置高雄海域模組」,交通部運輸研究所報告。
4. 林達遠 (2024),「113 年港內波潮即時監測及調查」,交通部運輸研究所報告。
5. 林達遠 (2023),「112 年港內波潮即時監測及調查」,交通部運輸研究所報告。
6. 傅怡釗、林雅雯(2022),「花蓮港內波浪預測方案初探」,交通部運輸研究所,港灣季刊第 124 期,10-28 頁。
7. 傅怡釗、林雅雯、劉清松、陳鈞彥、謝佳紘、鄭采誼(2022),「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究」,交通部運輸研究所報告。
8. 林達遠(2022),「111 年港內波潮即時監測及調查」,交通部運輸研究所報告。
9. 李俊穎、傅怡釗、劉清松、陳鈞彥、謝佳紘、鄭采誼(2021),「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(3/4)-模擬評估及港內靜穩研究」,交通部運輸研究所報告。
10. 李兆芳、劉正琪、傅怡釗、李俊穎等,2021,「110 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」,交通部運輸研究所。
11. 林達遠(2021),「110 年港內波潮即時監測及調查」,交通部運輸研究所報告。
12. 趙偉廷、余鴻申、余欣卉(2021),「應用機器學習理論發展離岸風場之颱風波浪預測模式與極值分析」,國立臺灣海洋大學海洋工程科技中心報告。
13. 傅怡釗、羅冠顯、林達遠、鄭采誼(2021),「花蓮港防颱避湧作業波浪分析」,2021 臺灣災害管理研討會暨 110 年科技部自然科學及永續研究發展司防災科技學門計畫成果發表會論文集,245-255 頁。
14. 陳威成、陳盈智、陳憲宗、董東璟(2021),「人工智慧演算法在瘋狗

- 浪機率預警系統建置之研究」，第 43 屆海洋工程研討會論文集，331-336 頁。
15. 李兆芳、劉正琪、傅怡釗、李俊穎等，2020，「109 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所。
  16. 林達遠(2020)，「109 年港內波潮即時監測及調查」，交通部運輸研究所報告。
  17. 賴彥鈞、賴思璇、徐松圻(2020)，「人工智慧演算法在瘋狗浪機率預警系統建置之研究」，第 43 屆海洋工程研討會論文集，331-336 頁。
  18. 張書豪、何昊哲(2020)，「機器學習結合數值模式對集水區土砂收支預報之研究」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
  19. 李俊穎、謝佳紘、陳鈞彥、傅怡釗、羅冠顯，2019，「花蓮港 2016、2017 年度觀測長浪特性分析」，第 41 屆海洋工程研討會論文集。
  20. 李瑋辰、董東璟，2016，「從方向波譜分離風湧浪成分之研究」，第 38 屆海洋工程研討會暨科技部計畫成果發表會論文集。
  21. 簡仲璟、張富東、單誠基等，2009，「花蓮港颱風波浪之長週期波動之研究」，第 31 屆海洋工程研討會。
  22. 陳宇文、朱宏杰、張良正、傅怡釗，2009，「多湖區系統地表地下聯合操作之最佳化研究」，中國土木水利工程學刊，21(3)，295-305 頁。
  23. 張憲國、林立青、何良勝、李明璋，2006，「花蓮港船隻預警神經網路模式之研究」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，923-928 頁。
  24. 傅怡釗、張良正，2006，「多湖區系統最佳地表地下聯合操作之研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
  25. 陳昶憲、吳青俊、鍾侑達(2004)，「遞迴式類神經模式於日流量預測之應用」，中華水土保持學報，35(3)，187-195 頁。
  26. Raquel C., et al., (2023). A Decision-Making Tool for Port Operations Based on Downtime Risk and Met-Ocean Conditions including Infragravity Wave Forecast.
  27. RNN, LSTM & GRU, <http://dprogrammer.org/rnn-lstm-gru>。
  28. Juan, N. P., & Valdecantos, V. N. (2022). Review of the application of Artificial Neural Networks in ocean engineering. *Ocean Engineering*, 259, 111947.
  29. Yao, J., & Wu, W. (2022). Wave height forecast method with multi-step training set extension LSTM neural network. *Ocean Engineering*, 263, 112432.
  30. Zheng, Z., Ma, X., Huang, X., Ma, Y., & Dong, G. (2022). Wave forecasting within a port using WAVEWATCH III and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 255, 111475.

31. Jörges, C., Berkenbrink, C., & Stumpe, B.(2021). Prediction and reconstruction of ocean wave heights based on bathymetric data using LSTM neural networks. *Ocean Engineering*, 232, 109046.
32. Wei, Z. (2021). Forecasting wind waves in the US Atlantic Coast using an artificial neural network model: Towards an AI-based storm forecast system. *Ocean Engineering*, 237, 109646.
33. Fan, S., Xiao, N., & Dong, S.(2020). A novel model to predict significant wave height based on long short-term memory network. *Ocean Engineering*, 205, 107298.
34. Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1985). Learning internal representations by error propagation. California Univ San Diego La Jolla Inst for Cognitive Science.
35. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J.(1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.



## 附錄一

花蓮港 112~113 年波浪觀測資料

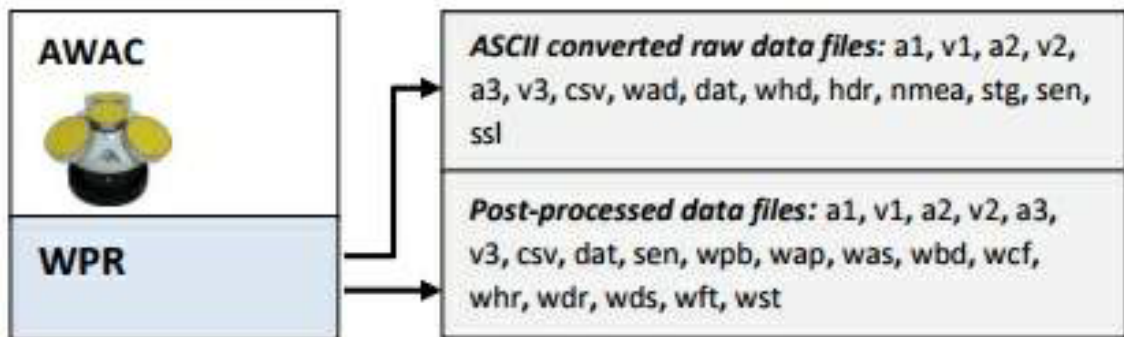
處理及長浪分析歷線圖



# 附錄一 分析花蓮港 112~113 年波浪原始觀測資料

## 1.1 Nortek AWAC 轉出波浪資料說明

Nortek AWAC 儀器波浪統計各項波浪參數說明，擷錄 NORTEK 產品說明文件。AWAC 所產出原始資料 wpr 檔，可轉出副檔名檔案如附圖 1.1 所示，其轉出後副檔名資料說明如 ASCII 轉化的原始數據資料檔案說明如附表 1-1、處理過數據資料檔案說明如附表 1-2，以及參數說明檔如附表 1-3 所示。



資料來源:AWAC 使用手冊

附圖 1.1 AWAC 內 wpr 轉出不同檔案

附表 1-1 ASCII 轉化的原始數據資料檔案說明表

A1	Amplitude data (Beam 1)
A2	Amplitude data (Beam 2)
A3	Amplitude data (Beam 3)
CSV	Profile data (Comma Separated Values file, Microsoft Excel-compatible format)
DAT	Velocity data
DIA	Diagnostic data
HDR	Header file (describes ASCII formats)
HR2	Lag2 data (when Extended Velocity Range were enabled)
NMEA	Raw data in NMEA format
PCK	Probe check data
SEN	Sensor data
SSL	System state file
STG	Stage data file (for diagnostic purposes)
V1	Velocity data (Beam 1 X East)
V2	Velocity data (Beam 2 Y North)
V3	Velocity data (Beam 3 Z Up)
VHD	Velocity header data (Vector)
WAD	Raw wave data
WHD	Wave header data
CPA	Continental data, disk recording, ASCII output
PRA	Aquapro data, disk recording, ASCII output
WPA	AWAC data, disk recording, ASCII output

資料來源:AWAC 使用手冊

附表 1-2 處理過數據資料檔案說明表

WAP	Wave parameter file
WAS	Wave energy spectra file
WBD	Wave band estimates file
WCF	Wave Fourier coefficient file
WDR	Wave directional spectra
WDS	Wave full directional spectra
WHR	Configuration header file
WPB	Processed binary data file
WST	Wave time series wile (AST time series)
WFT	Wavevector export (Waveforce Technologies Wavevector software)
A1	_p appended. Amplitude data (Beam 1)
A2	_p appended. Amplitude data (Beam 2)
A3	_p appended. Amplitude data (Beam 3)
CSV	_p appended. Profile data (Comma Separated Values file, Microsoft Excel-compatible format)
DAT	_p appended. Velocity data
SEN	_p appended. Sensor data
V1	_p appended. (Beam 1 X East)
V2	_p appended. (Beam 2 Y North)
V3	_p appended. (Beam 3 Z Up)

資料來源:AWAC使用手冊

附表 1-3 參數說明表

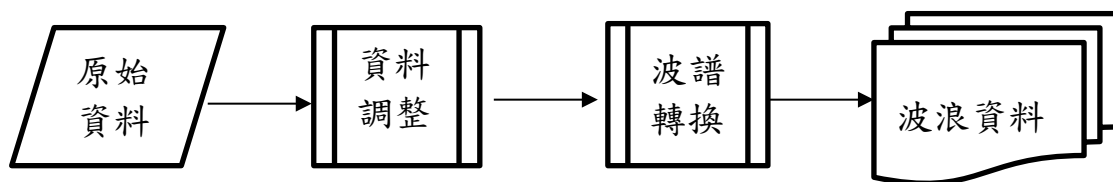
Acronyms	Description	Range	Note
Hm0	Calculated from energy spectrum. Known as Significant Wave Height, defined as the mean of the highest 1/3 of all waves in the record's ranking.	0-20 m	$Hm0 = 4.0 * \sqrt{m0}$ $m0$ represent the first moment of the power spectrum, defined as $m_q = \int_{f_{start}}^{f_{end}} S(f) f^q df$
H3	Time series based estimate. Mean of the 1/3 largest waves in a record.	Typically 5% larger than Hm0	AST only
H10	Time series based estimate. Mean of the 1/10 largest waves in a record.	1.27*Hm0	AST only
Hmax	Time series based estimate. Largest wave in a record.	1.67*Hm0	AST only
Hmean	Time series based estimate. Mean value of all waves in a record.		AST only
Tm02	Calculated from energy spectrum. Mean period.		
Tp	Calculated from energy spectrum. Peak period of the waves corresponding to the peak frequency.		
Tz	Time series based estimate. Mean period. This is a direct measurement unlike the spectral equivalent, Tm02.		AST only
T3	Time series based estimate. Period associated with the 1/3 largest wave in the record H3		AST only
T10	Time series based estimate. Period associated with the 1/10 largest wave in the record H10		AST only
Tmax	Time series based estimate. Period associated with the largest wave (Hmax) in a record		AST only
TpDir	Calculated from energy spectrum. Peak direction is the wave direction at the frequency at which a wave energy spectrum reaches its maximum.	0-360 degrees	Reported as "from"
Spr1	Calculated from energy spectrum. Measure of the directional variance at peak frequency.	0-360 degrees	
Mdir	Calculated from energy spectrum. Main direction. Weighted average of all the directions in the wave spectrum.	0-360 degrees	Reported as "from"
Unidir. index	Calculated from energy spectrum. Measure of how much of the wave energy over the full spectrum is from a single direction. Value of 1.0 indicates the energy is from one primary direction	0.0-1.0	

## 1.2 使用波浪觀測原始資料轉出 wad 檔之資料處理

本計畫資料處理方式係採用本所 107 年至 110 年執行「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究」之資料處理方法，原花蓮港 AWAC 儀器觀測設定為每小時第 10 分鐘開始，以 1Hz 連續觀測 2,048 筆資料，測量時間約 35 分鐘，經零上切法統計每組（2,048 筆水位時序列資料）之最大波高（ $H_{\max}$ ）、最大波週期（ $T_{\max}$ ）、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$  及  $T_{1/10}$  等波浪參數統計值，在每小時第 10 分提供波浪觀測統計結果；惟自 112 年 1 月 3 日 13 時起，花蓮港 AWAC 儀器觀測設定改以 1Hz 連續觀測 1,024 筆資料，測量時間約 17 分鐘，經零上切法計算出每組（1,024 筆水位時序列資料）之最大波高（ $H_{\max}$ ）、最大波週期（ $T_{\max}$ ）、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$  及  $T_{1/10}$  等波浪參數統計值，並在每小時第 10 分及 40 分提供波浪觀測統計結果，故現況每小時均有提供 2 組波浪觀測統計結果。本計畫資料處理流程說明如下：

### 一、資料處理流程

處理 wad 檔案流程如附圖 1.2 所示。獲得資料後進行調整及波譜轉換作業，取得相關波浪統計資訊。



附圖 1.2 資料處理流程圖

### 1. 原始資料讀取

花蓮港觀測站每日即時回傳之原始資料（RAW data）檔名為 HLAW01\_yyyy\_mm\_dd.wpr，其中 HLAW01 為每次放置觀測儀器的代號，yyyy\_mm\_dd 為年月日（如 HLAW01\_2024\_01\_01.wad）。每日回傳的 wpr 檔，經轉檔成超音波訊號資料後，轉出如附圖 1.1 所示之副檔名檔案，自 112 年 1 月 3 日 13 時起，其轉檔產製之 wad 檔，內容為 48 組且每組有 1,024 筆波浪量測資料；但若是由儀器端儲存設備直接下載

之自計式資料，檔名格式相同但 1 個檔案則包含數日以上資料。

## 2. 資料調整

經軟體轉換後之 wad 檔案資料，各組資料常有資料筆數缺失或有異常值存在情形，先以各組資料蒐集率達 95%以上者（即資料缺失筆數在 51 筆內， $1024*5\%=51$ ），進行資料調整；如蒐集率未達 95%者，則整組資料剔除，爰針對蒐集率達 95%以上之各組資料，其資料處理方式說明如下：

### (1) 四分位距(inter-quartile, IQR)

由於統計學之四分位距是考慮資料中間百分之五十的距離，較不受極端值的影響，因此本計畫採用四分位距(inter-quartile, IQR)方法處理。

將資料由小而大排序後，分為四等分，其分割點就稱為四分位數，所以會有第一四分位數  $Q_1$ 、第二四分位數  $Q_2$ （即中位數）、第三四分位數  $Q_3$ 。故  $Q_1$  代表在該組資料排序第 25%處， $Q_2$  代表在該組資料排序第 50%處（即為該組資料的中位數）， $Q_3$  代表在該組資料排序第 75%處。 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$  可用以描述資料之離散程度，IQR 為  $Q_3-Q_1$  的差距，稱為分位數間隔（interquartile range）。

各組資料蒐集率雖達 95%以上，但常會有缺失或含有異常訊號之情形，將資料調整區分 2 種情形做說明：

#### (A) 資料短缺：

缺失處先以中位數  $Q_2$  替補，最後計算出整組平均值後再回補平均值，以確保每組資料筆數均為 1,024 筆（112 年 1 月 3 日起），以利後續進行快速傅立葉轉換（FFT）工作。

#### (B) 資料短缺且含有異常訊號：

本計畫將大於  $Q_3$  與小於  $Q_1$  視為極值水位，1.5 倍與 3 倍的 IQR 分別定義為雜訊 (outlier) 與極端雜訊 (extreme outlier) 之界線，分離極端雜訊並剔除過程說明如下：

- a. 使用上述四分位距(IQR)方法計算之  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$  及 IQR，其中  $IQR = Q_3 - Q_1$ 。
- b. 以  $Q_1$  為起點，計算下圍籬值(lower fence)，即  $Q_1 - 3 IQR$ ，再以  $Q_3$  為起點，計算上圍籬值(upper fence)，即  $Q_3 + 3 IQR$ 。
- c. 觀測值若落在上、下圍籬值之外，即稱為偏離值，爰觀測值小於下圍籬值或大於上圍籬值時，將其剔除。
- d. 將偏離值剔除後，先以中位數  $Q_2$  替補，最後計算出整組平均值後再回補平均值。

此方式處理，除了確保避免有儀器或外部干擾導致異常極端值，影響換算結果以外，還能保持每組資料筆數均為 1,024 筆 (112 年 1 月 3 日起)，以利後續進行快速傅立葉轉換(FFT)。

### 3. 波譜轉換

主要分為超音波訊號、壓力訊號 2 類資料，處理說明及公式列如下 (本計畫第 3 章僅使用超音波訊號處理之資料做統計分析)：

#### (1) 超音波訊號處理

取出 wad 檔案超音波水位資料(AST Distance1)，利用 matlab 語言內建 detrends 函數移除訊號內線性趨勢，接續應用內建之 pwelch 函數，並指定漢尼視窗函數 hanning 進行轉換波浪能譜，依式 1.1~式 1.5，算得  $H_{m0(ast)}$ 、 $T_{m02(ast)}$ 、 $T_p(ast)$ 、 $H_{m0swell(ast)}$ 。

$$H_{m0} = 4 \sqrt{\int_0^{\infty} f^0 S(f) df} = 4 \sqrt{m_0} \dots \dots \dots \text{(附錄 1-1)}$$

$$T_{m02} = \sqrt{m_0/m_2} \dots \dots \dots \text{(附錄 1-2)}$$

$$T_p = \frac{1}{f_{peak}} \dots\dots\dots (附錄 1-3)$$

$$m_n = \int_0^\infty f^n S(f) df \dots\dots\dots (附錄 1-4)$$

$$H_{m0swell} = 4 \sqrt{\int_0^{f_{swell}} f^0 S(f) df} \dots\dots\dots (附錄 1-5)$$

## (2) 壓力訊號處理

取出 wad 檔案壓力訊號資料(Pressure)，利用 matlab 語言內建 detrends 函數移除訊號內線性趨勢，接續應用內建之 pwelch 函數，並依每小時水位變化求取各頻率之壓力轉換係數 $K_p$ 。透過式 1.6 及式 1.5 轉換成水位波譜，並算得 $H_{m0(pre)}$ 、 $T_{m02(pre)}$ 、 $T_{p(pre)}$ 、 $H_{m0swell(pre)}$

$$K_p = \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh(kh)} \dots\dots\dots (附錄 1-6)$$

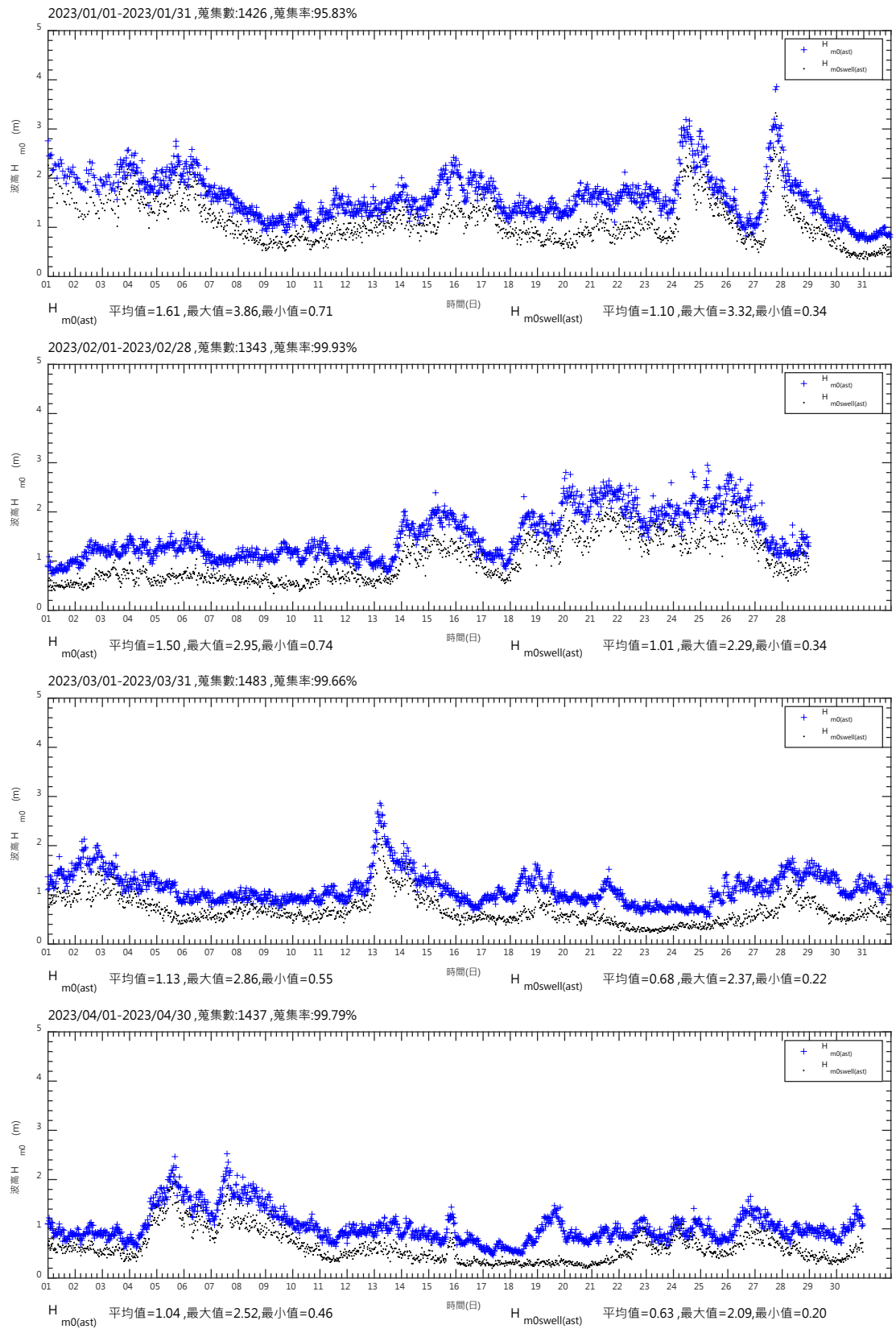
$k$ 為波數， $h$ 為水深， $z$ 為儀器高

$$S_{\eta\eta} = \frac{S_{pp}}{K_p^2} \dots\dots\dots (附錄 1-7)$$

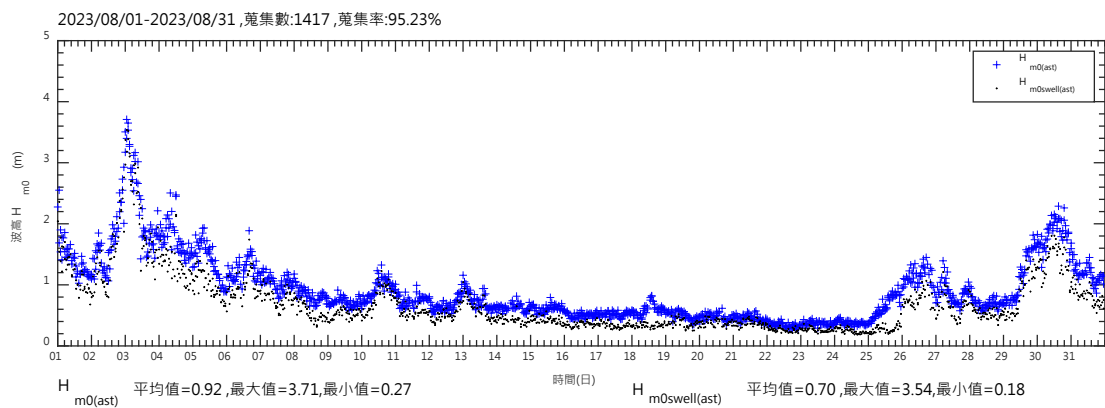
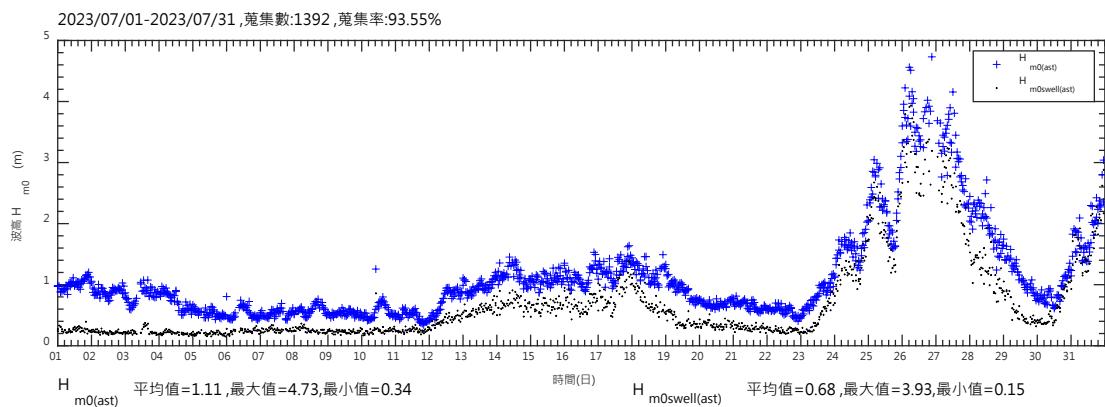
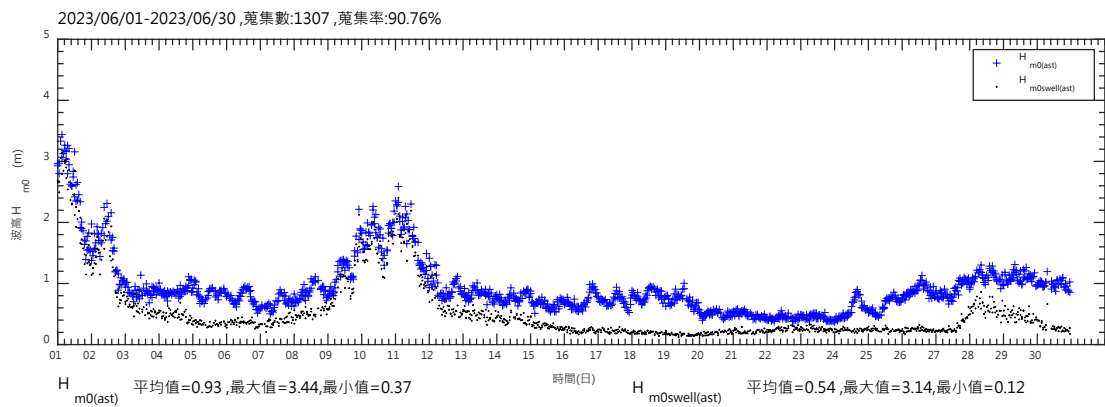
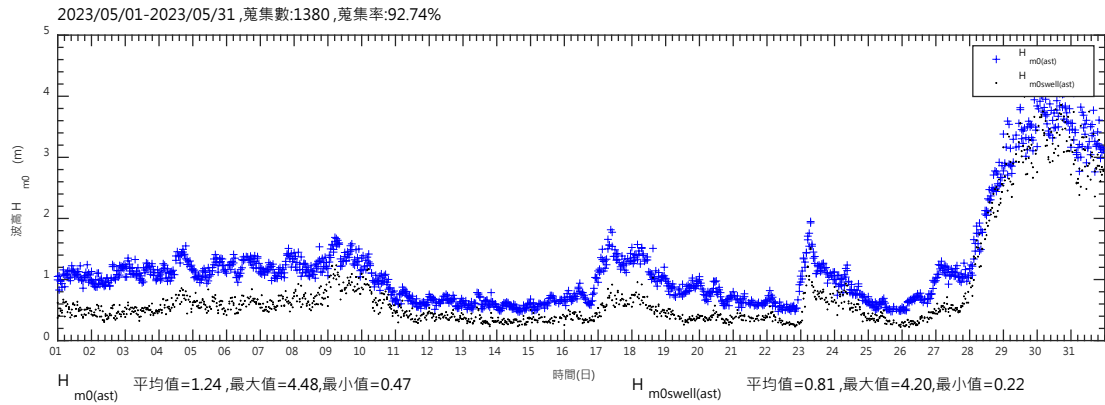
$S_{pp}$ 為實測底床動壓水頭能譜， $S_{\eta\eta}$ 為水位能譜。

## 1.3 長浪分析歷線圖

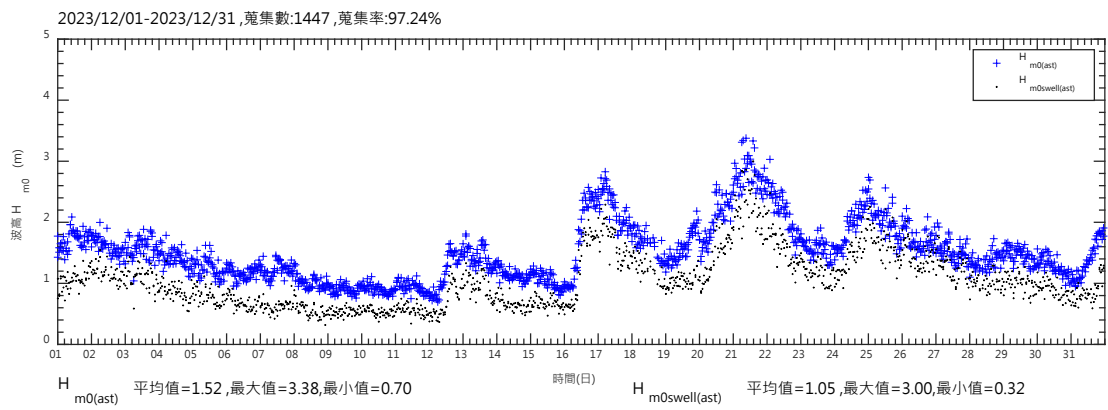
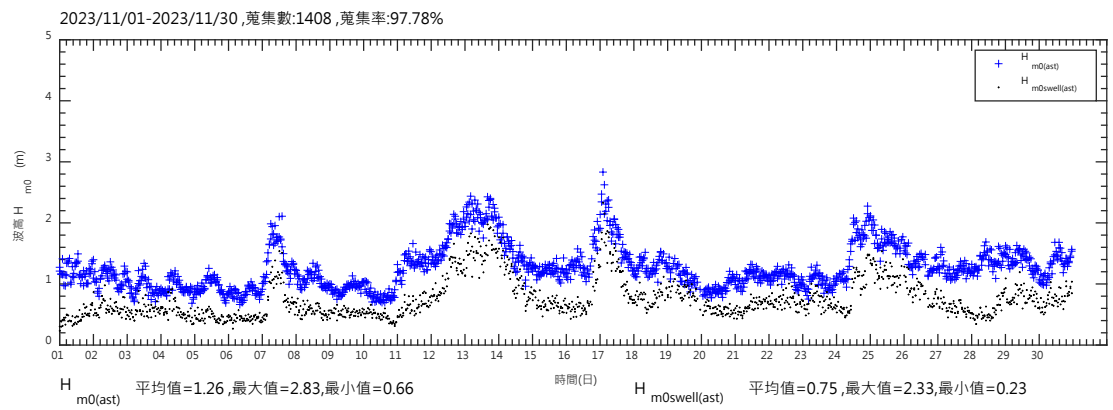
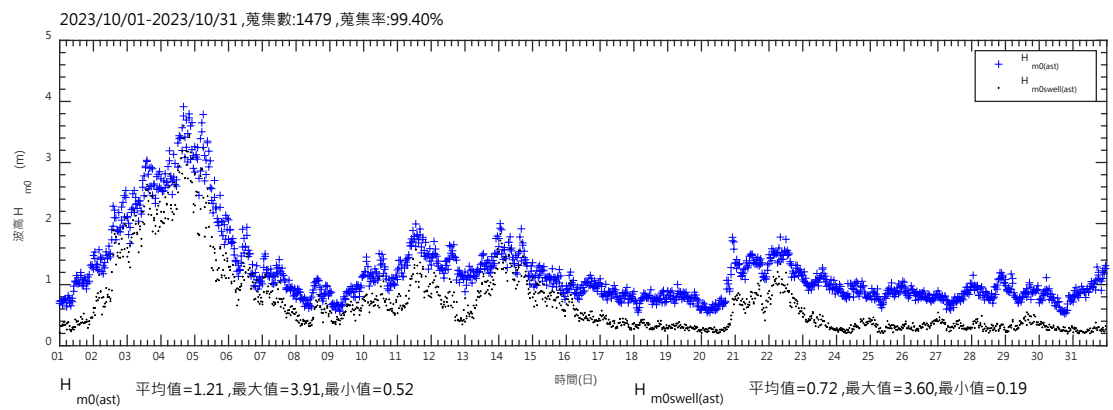
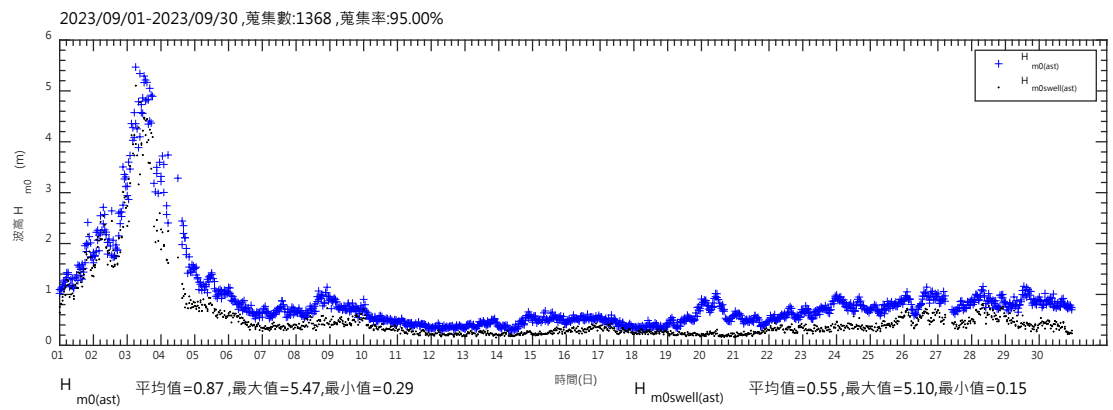
經品管處理過後之超音波訊號量測波浪觀測資料( $H_{m0(ast)}$ 、 $T_{m02(ast)}$ 、 $T_{p(ast)}$ )，在進行波譜轉換時，擷取 8 秒以上波浪週期，轉出長浪波高資訊 $H_{m0swell(ast)}$ ，並繪出各月 $H_{m0(ast)}$ 與 $H_{m0swell(ast)}$ 歷線圖，如附圖 1.3~附圖 1.8 所示。其中，109 年~111 年長浪分析歷線圖請參閱本所「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究」及「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」。



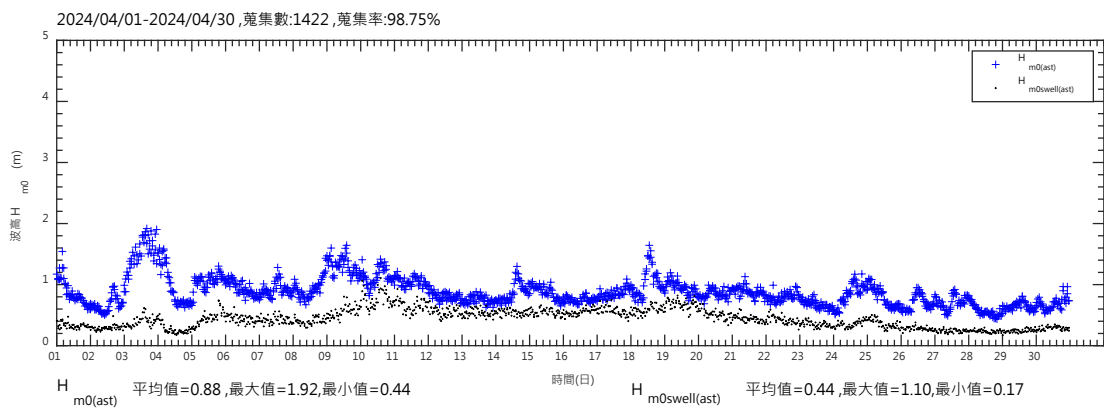
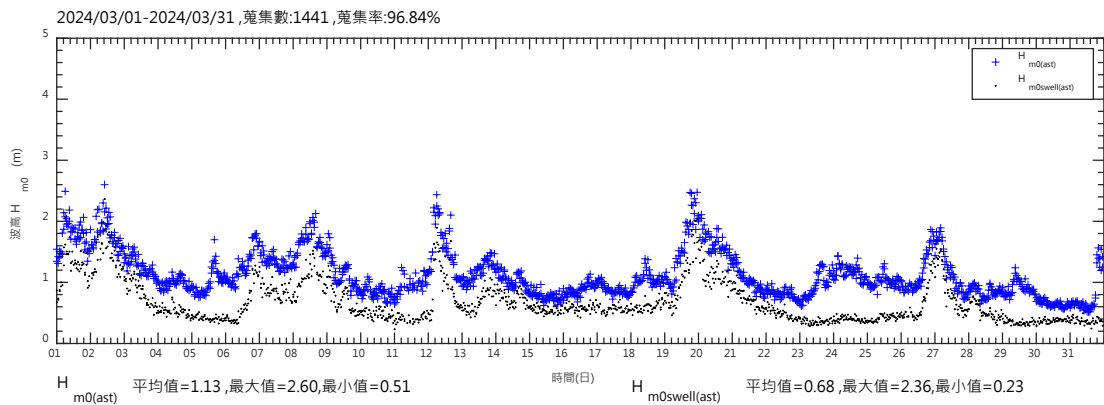
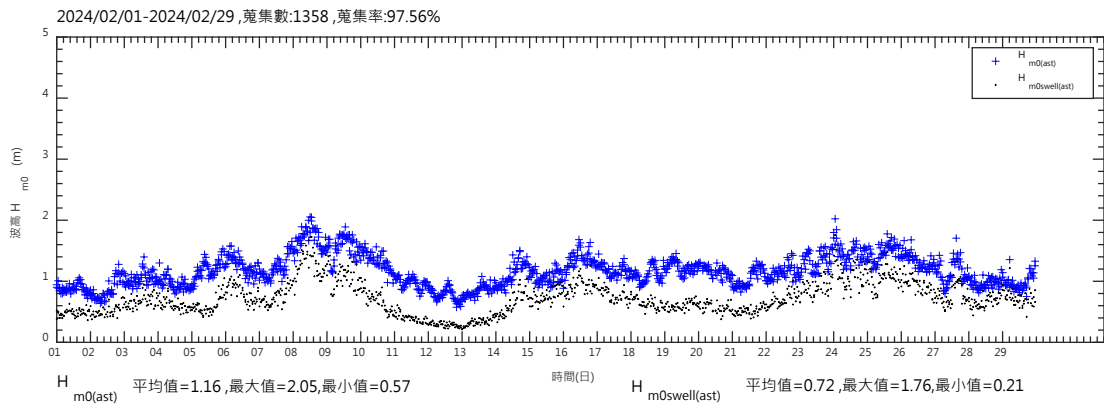
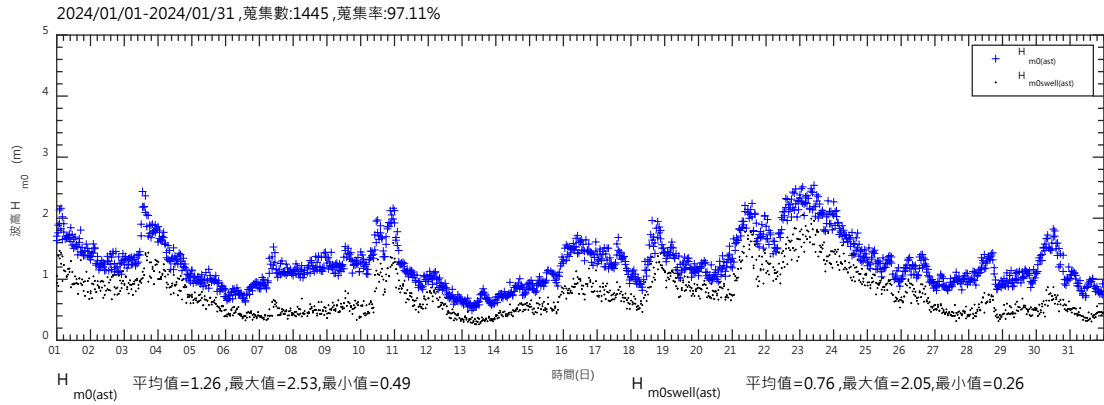
附圖 1.3 112 年 1 月~4 月  $H_{m0}(ast)$  及  $H_{m0swell}(ast)$  歷線圖



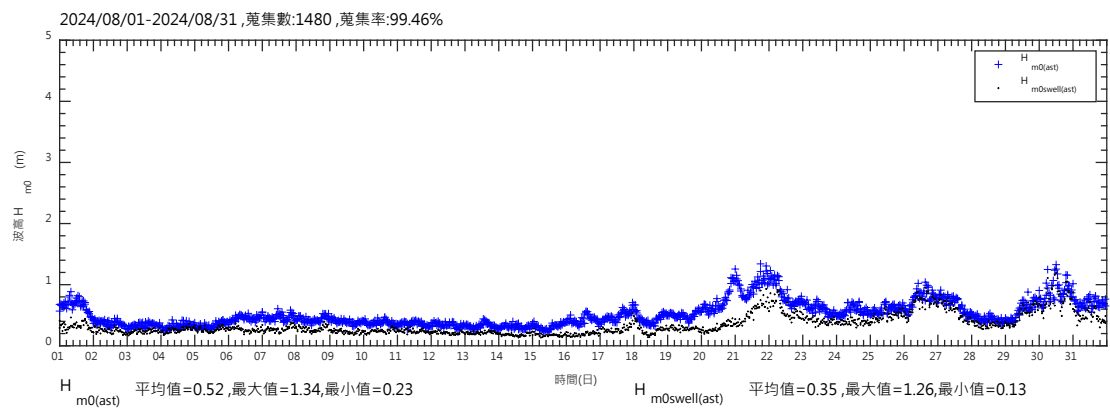
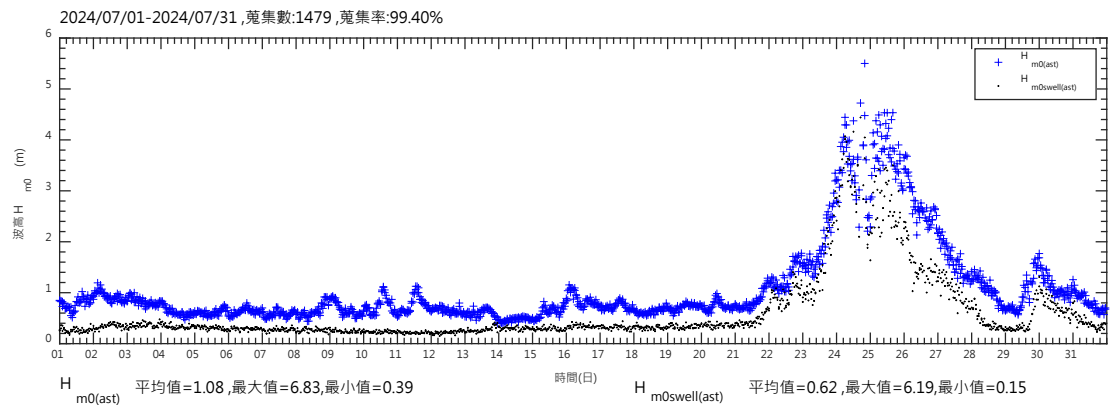
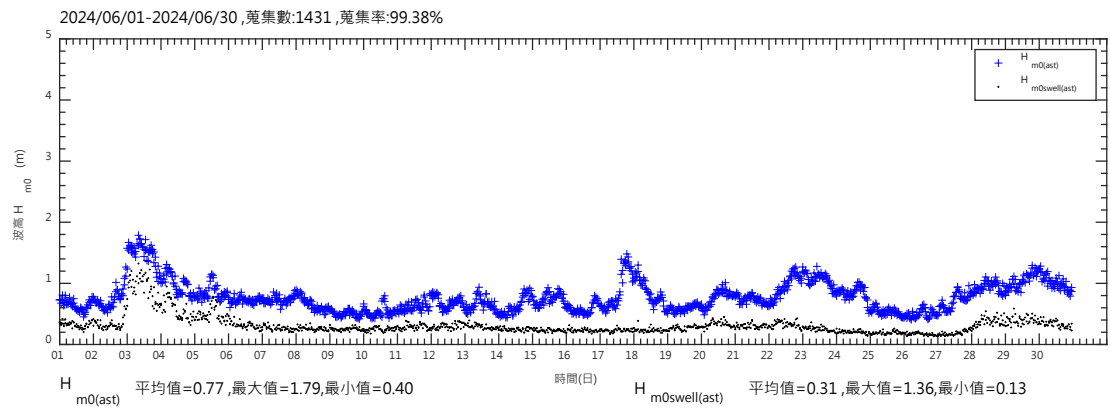
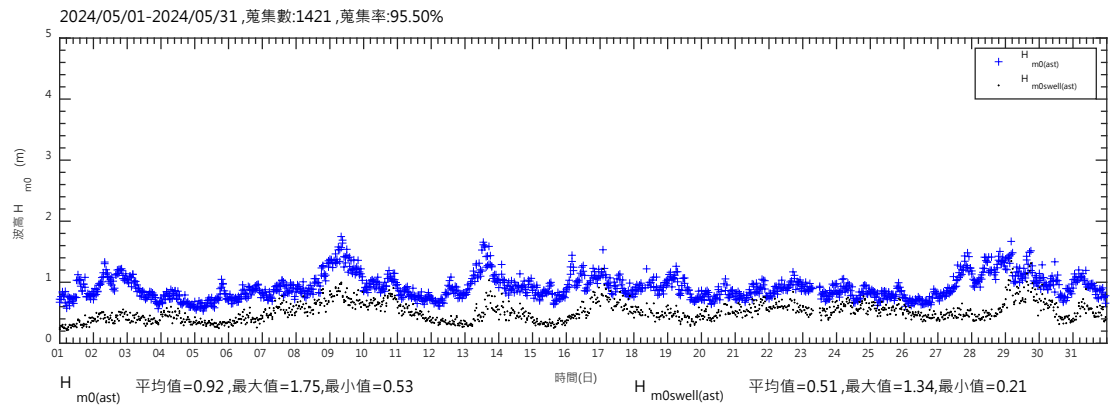
附圖 1.4 112 年 5 月~8 月  $H_{m0(ast)}$  及  $H_{m0swell(ast)}$  歷線圖



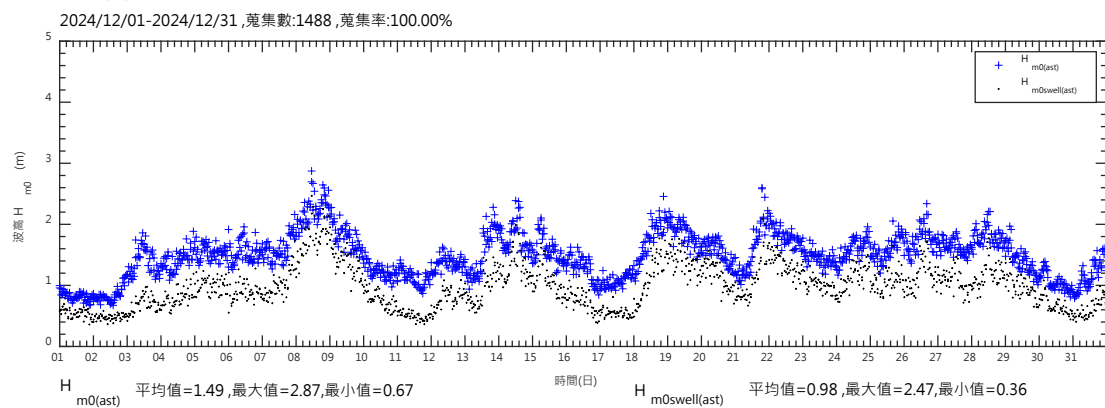
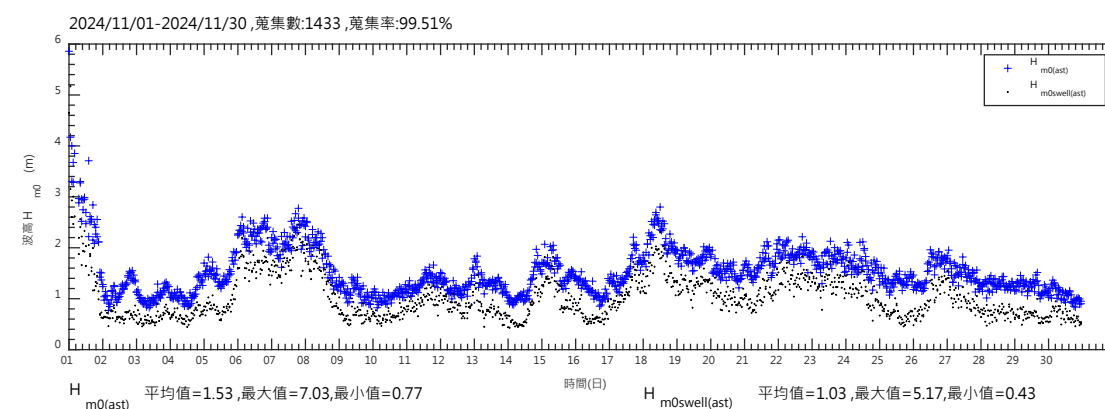
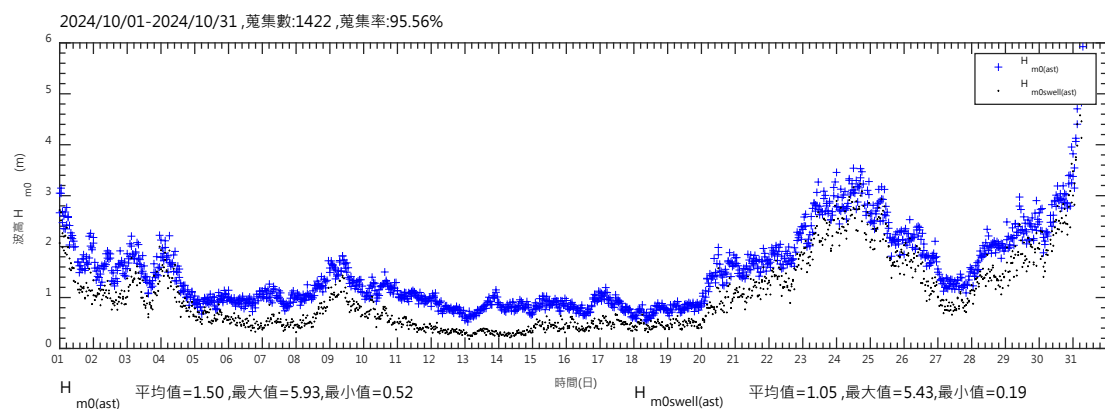
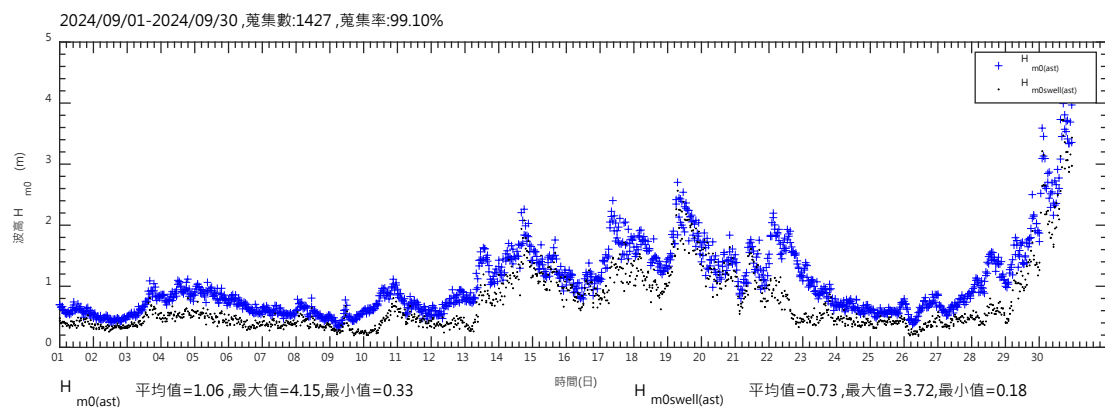
附圖 1.5 112 年 10 月~12 月  $H_{m0(ast)}$  及  $H_{m0swell(ast)}$  歷線圖



附圖 1.6 113 年 1 月~4 月  $H_{m0(ast)}$  及  $H_{m0swell(ast)}$  歷線圖



附圖 1.7 113 年 5 月~8 月  $H_{m0(ast)}$  及  $H_{m0swell(ast)}$  歷線圖



附圖 1.8 113 年 9 月~12 月  $H_{m0(ast)}$  及  $H_{m0swell(ast)}$  歷線圖

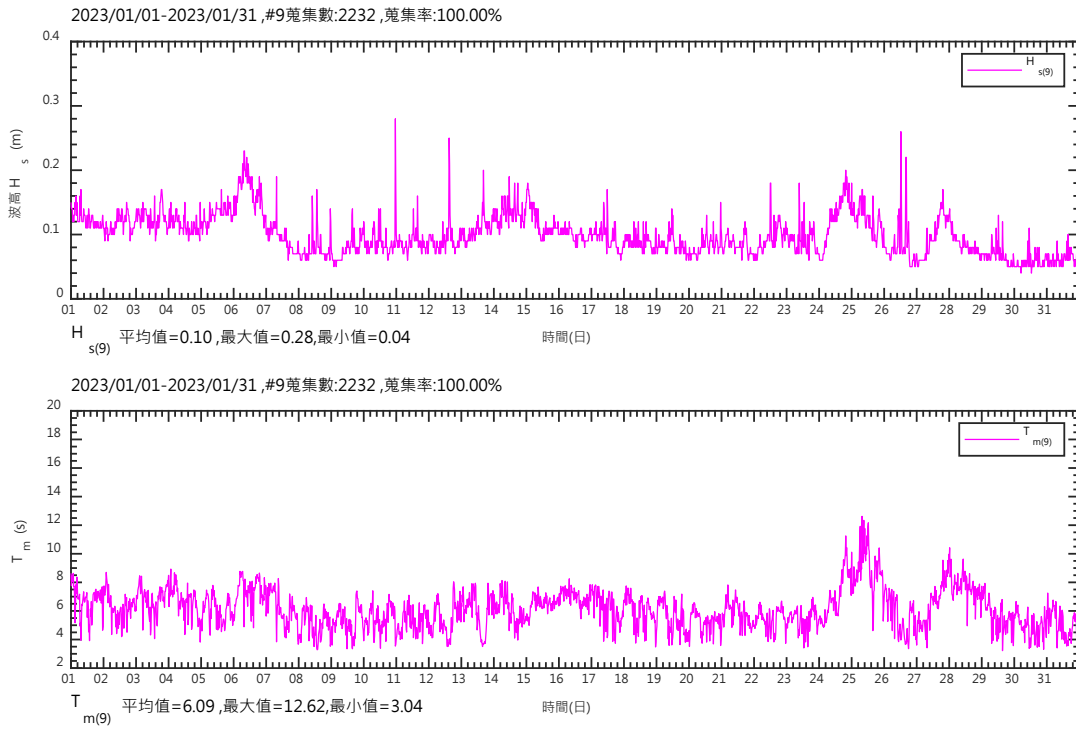


## 附錄二

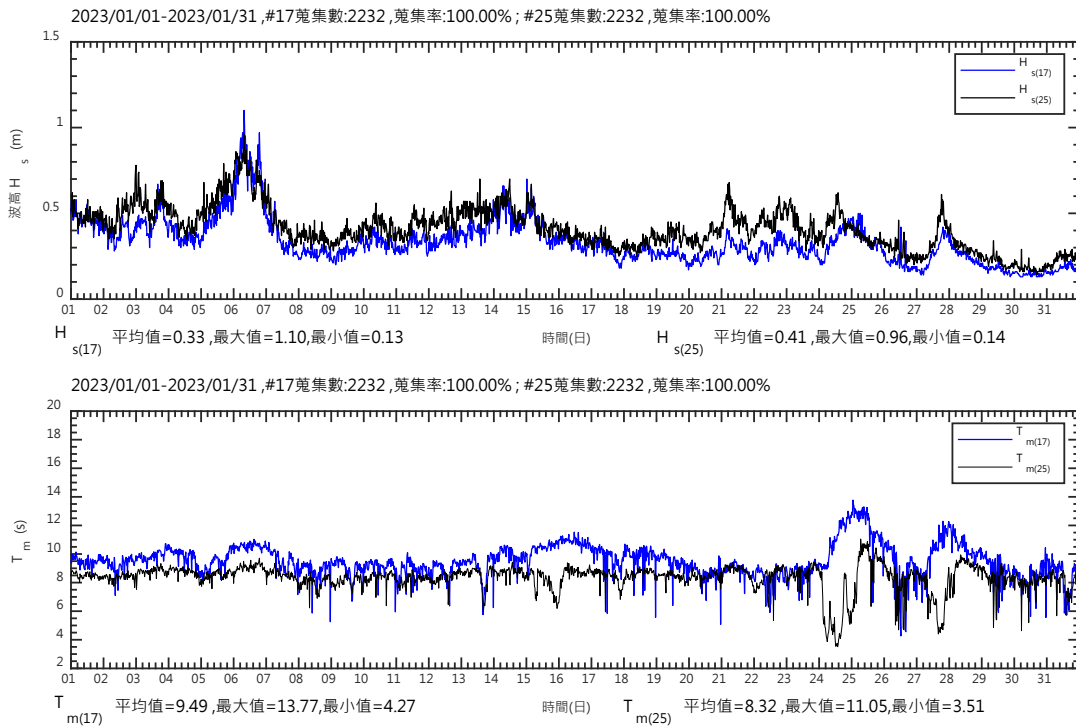
# 花蓮港 112-113 年碼頭各月波浪觀 測資料統計及分析



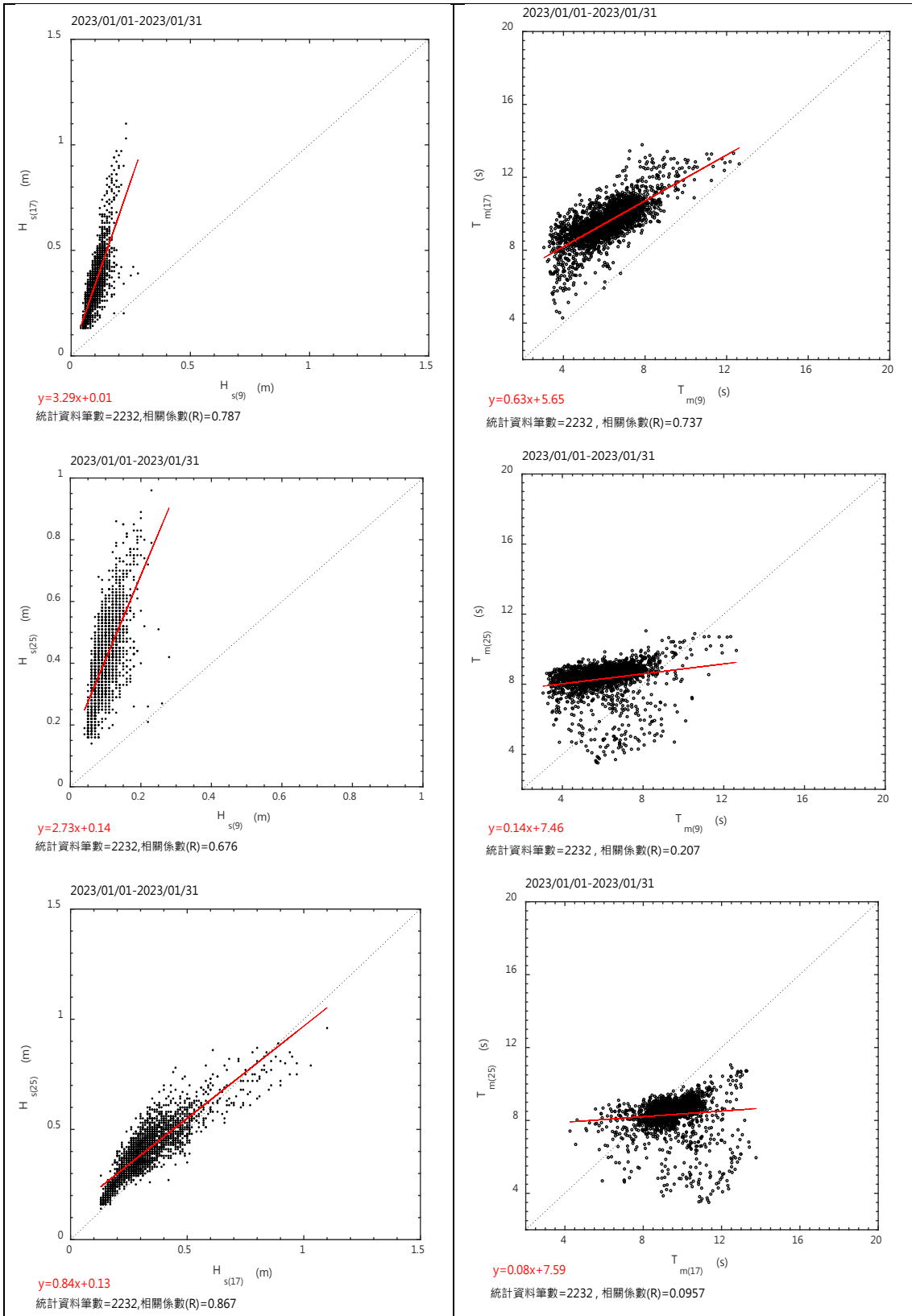
## 附錄二 花蓮港 112-113 年碼頭各月波浪觀測資料統計及分析



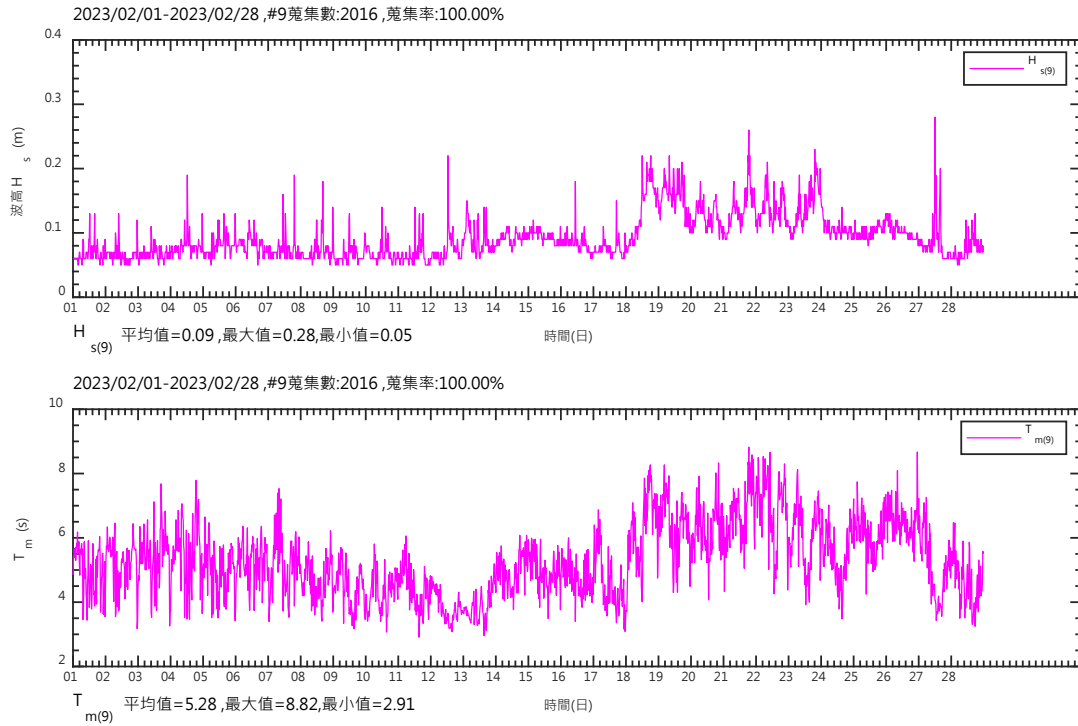
附圖 2.1a 112 年 1 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



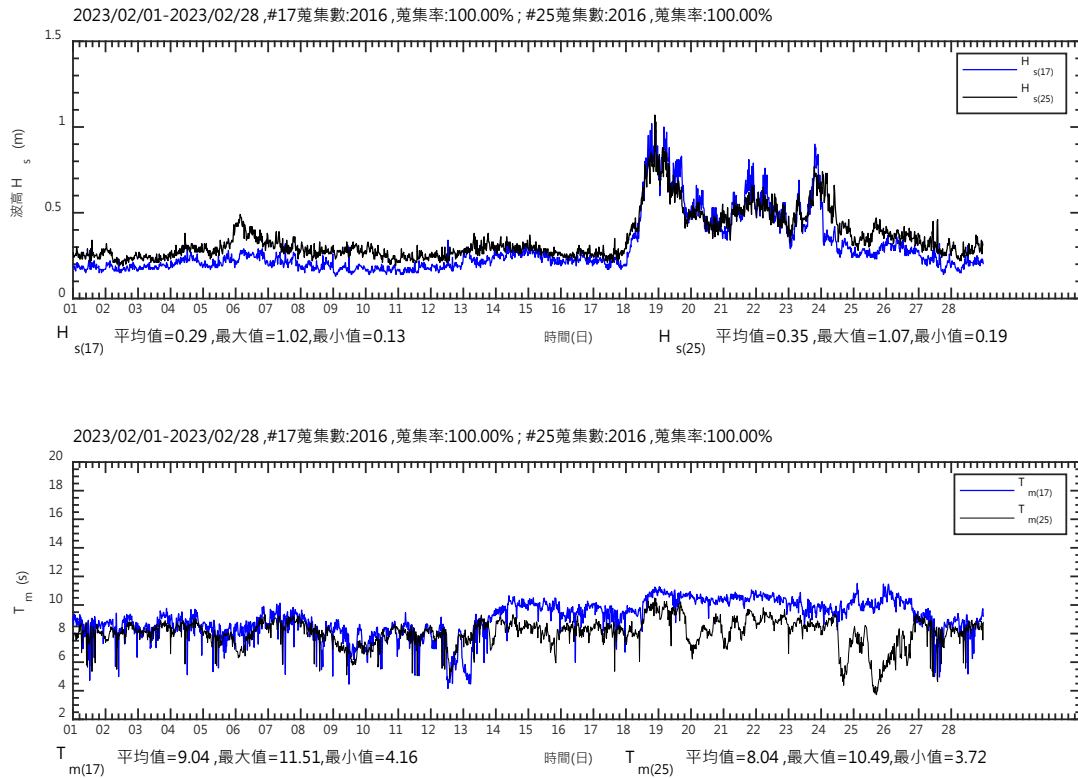
附圖 2.1b 112 年 1 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



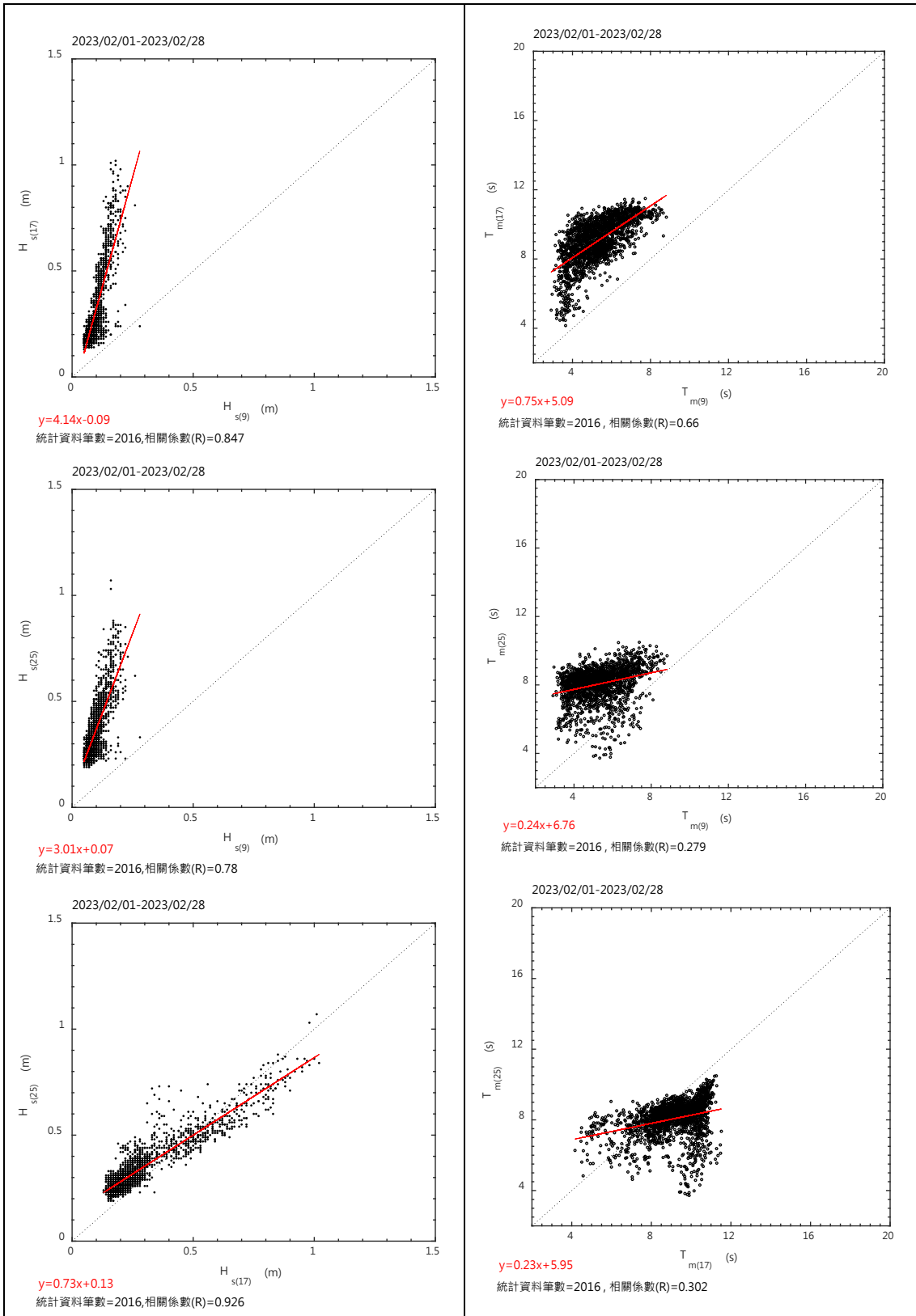
附圖 2.1c 112 年 1 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



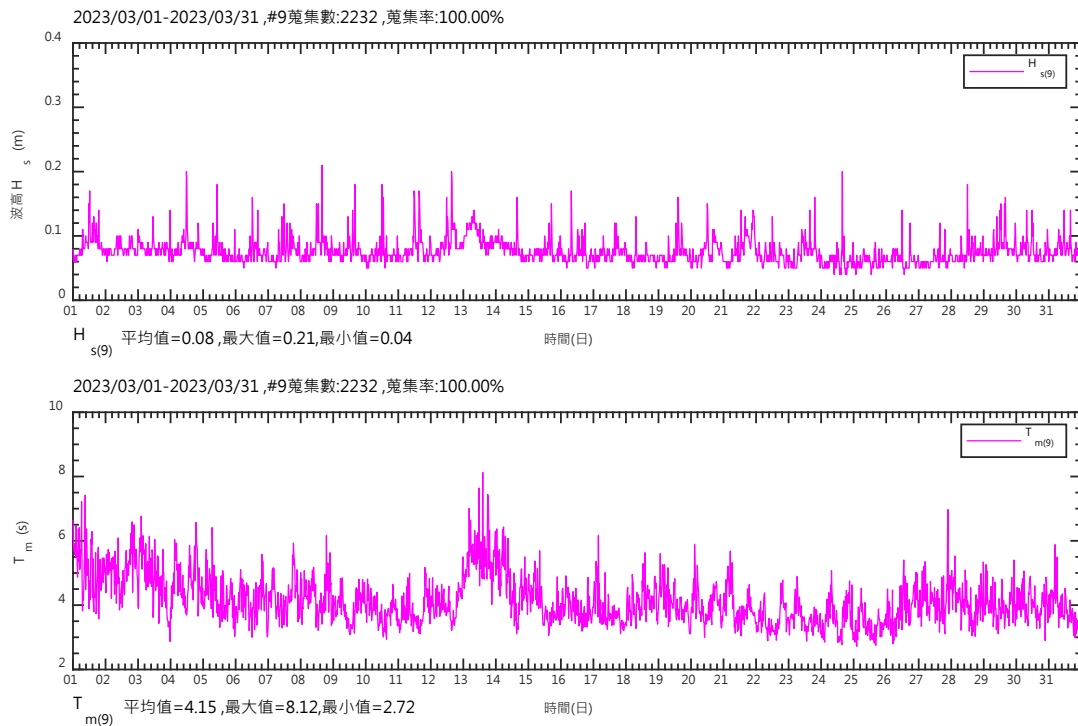
附圖 2.2a 112 年 2 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



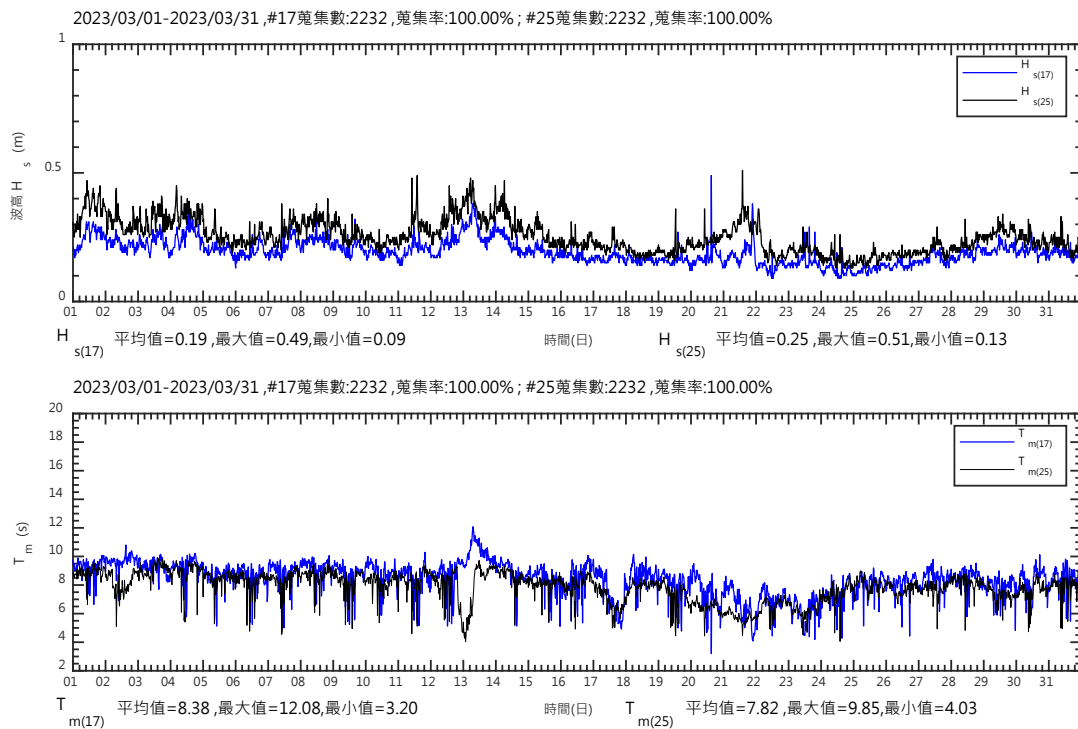
附圖 2.2b 112 年 2 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



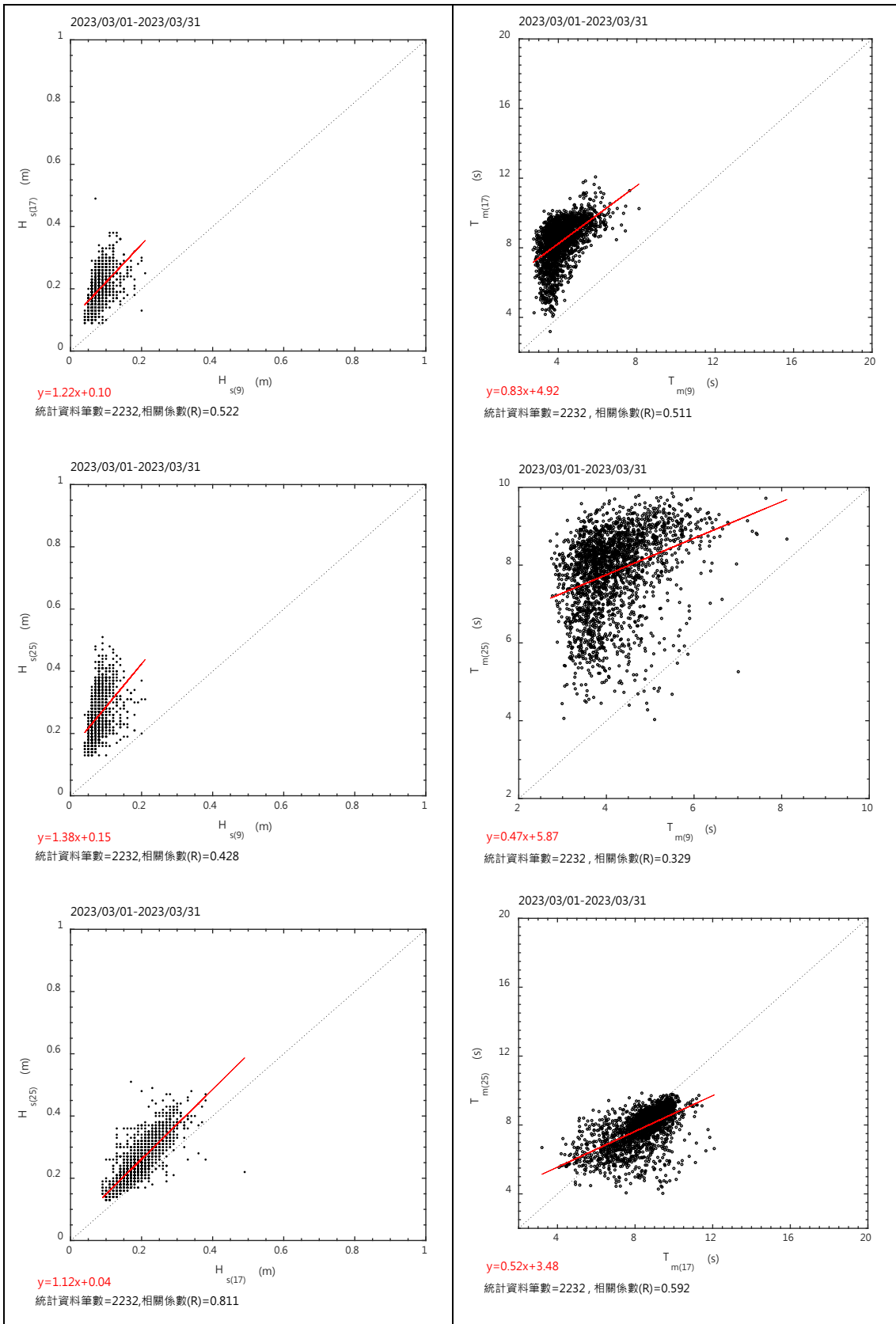
附圖 2.2c 112 年 2 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



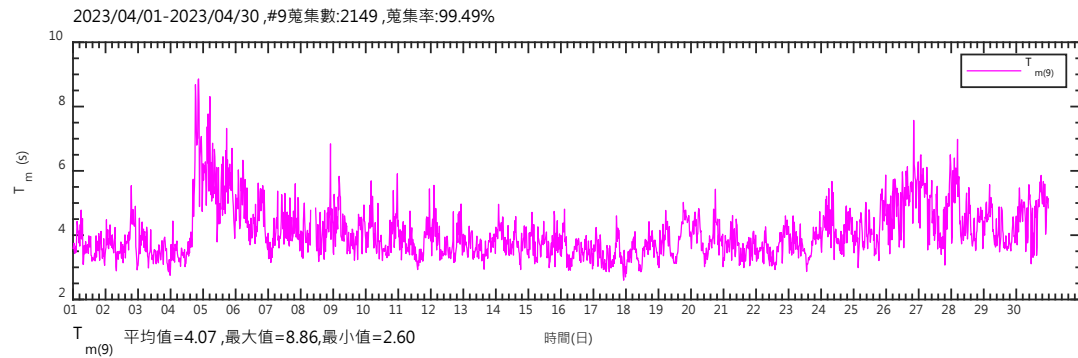
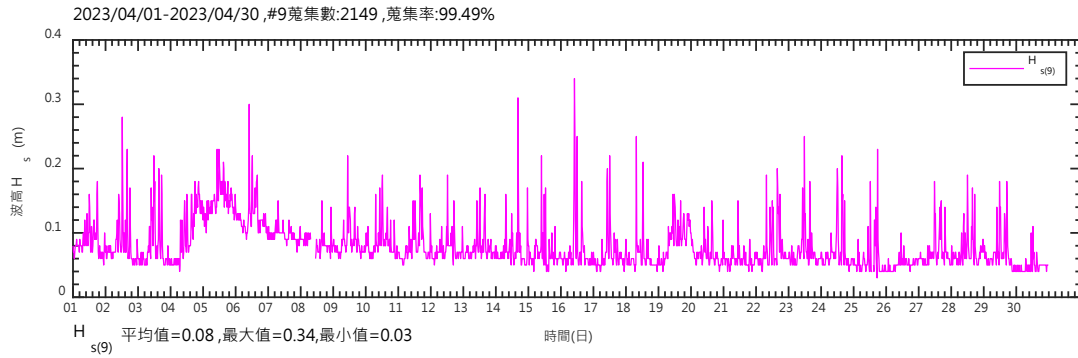
附圖 2.3a 112 年 3 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



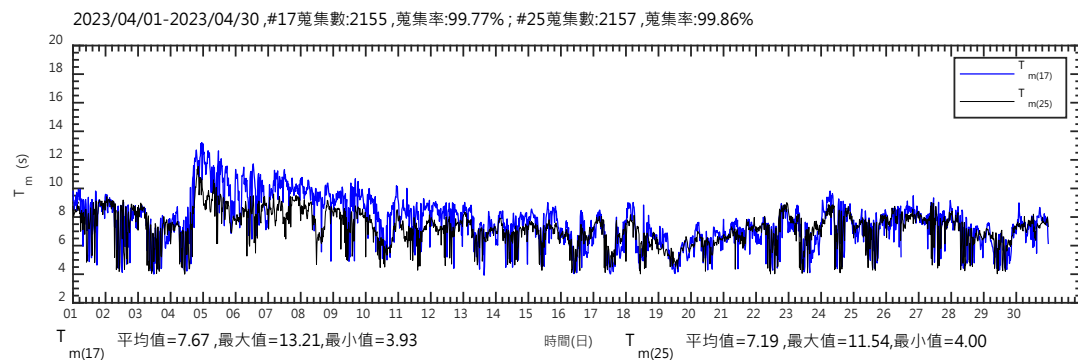
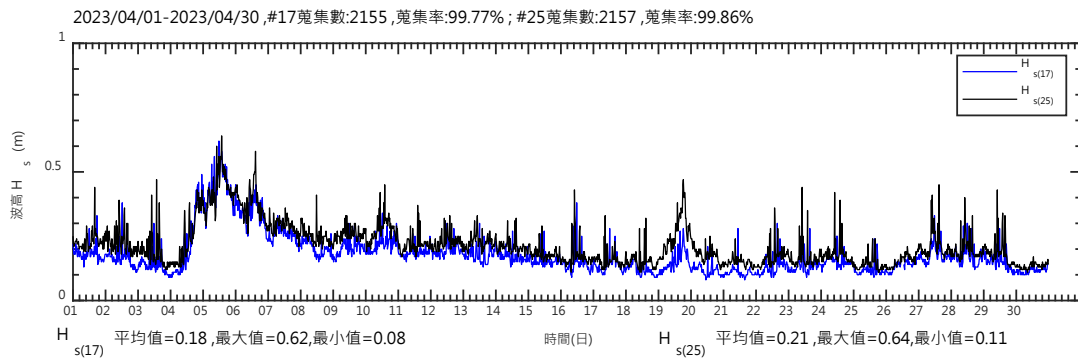
附圖 2.3b 112 年 3 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



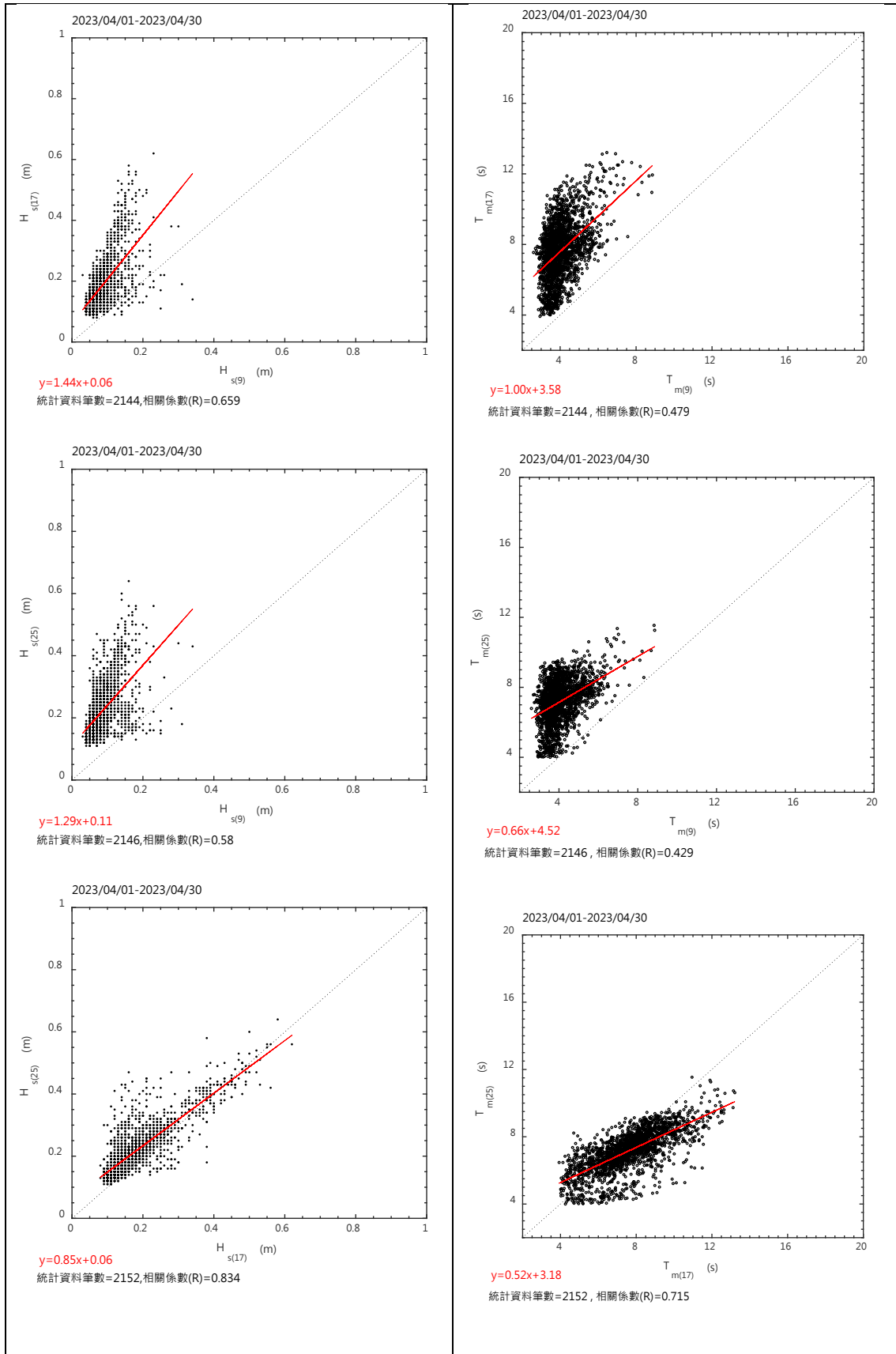
附圖 2.3c 112 年 3 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



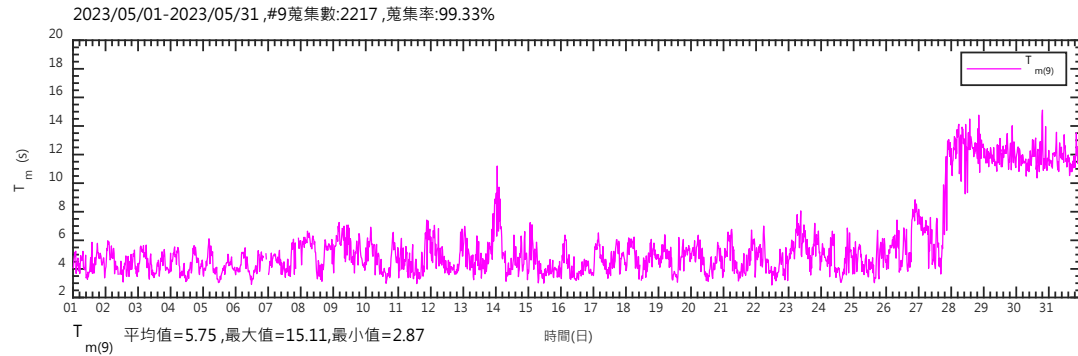
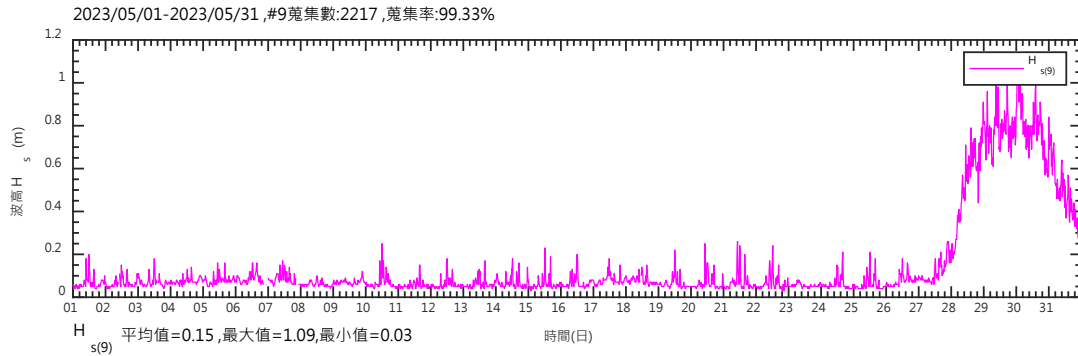
附圖 2.4a 112 年 4 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



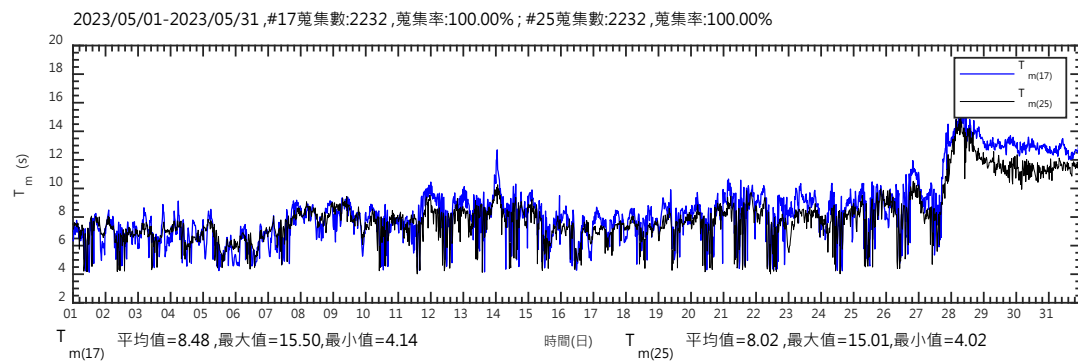
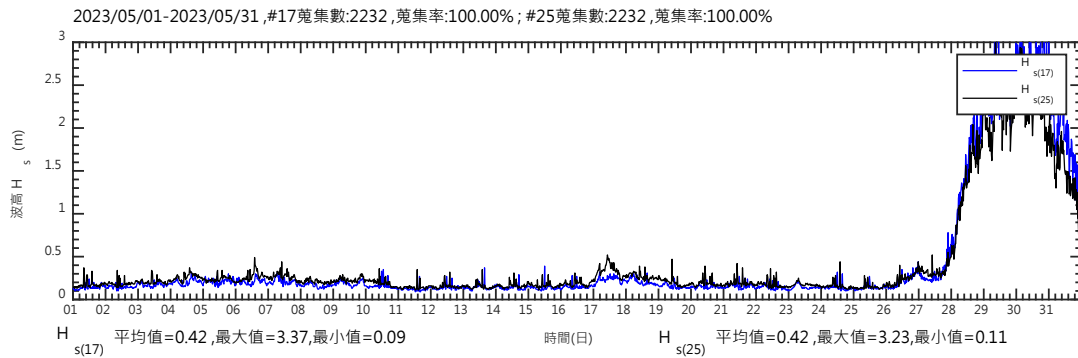
附圖 2.4b 112 年 4 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



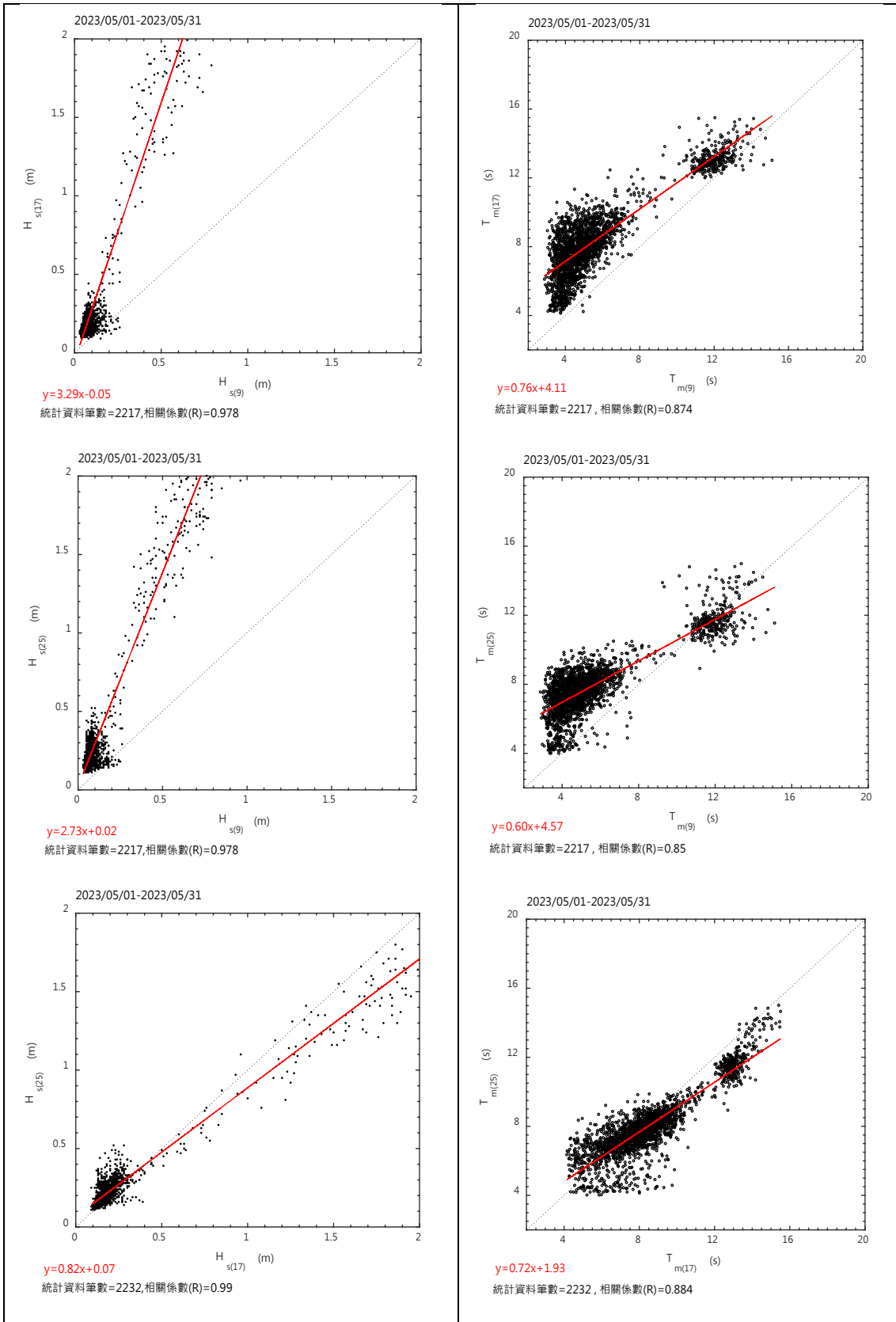
附圖 2.4c 112 年 4 月花蓮港 9 號、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



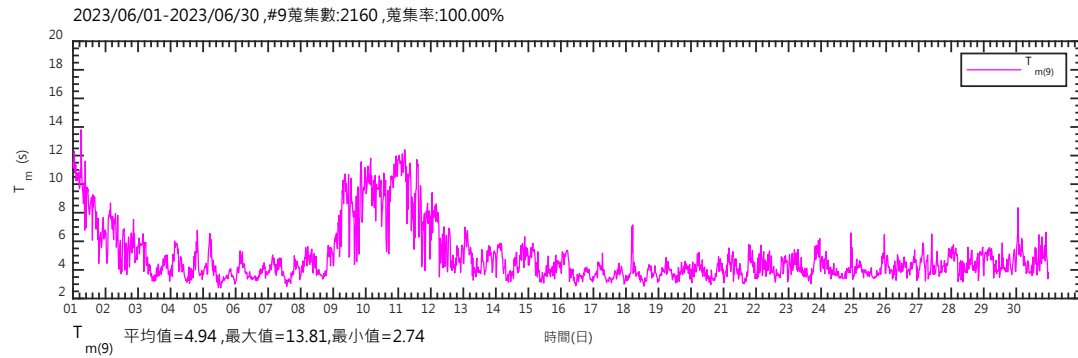
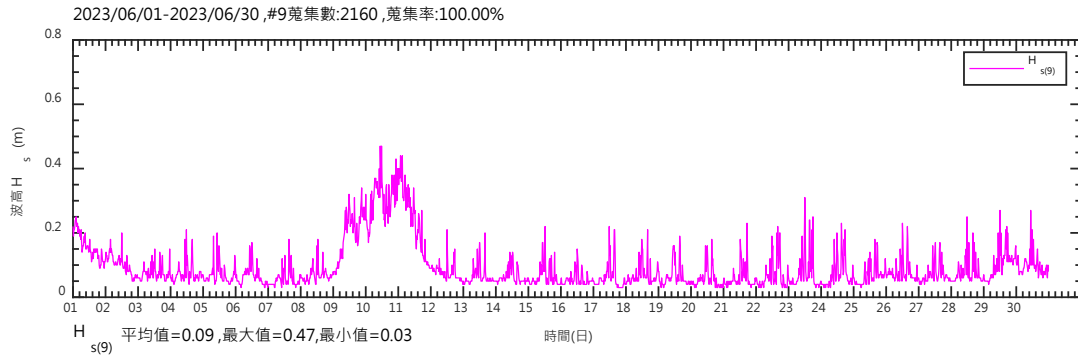
附圖 2.5a 112 年 5 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



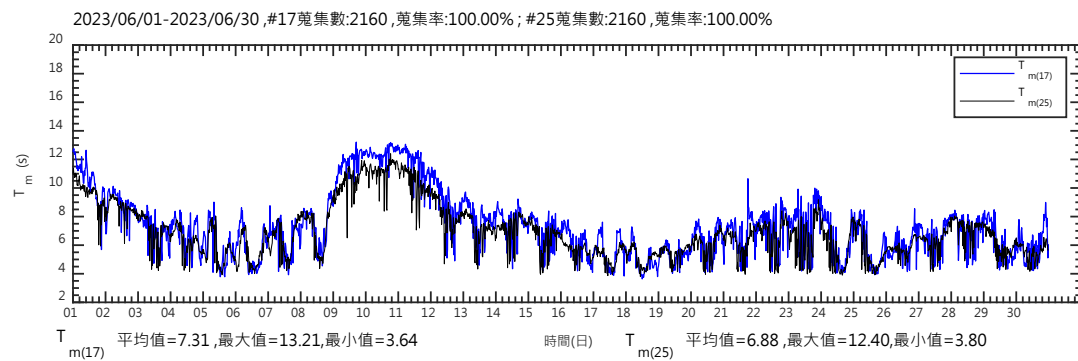
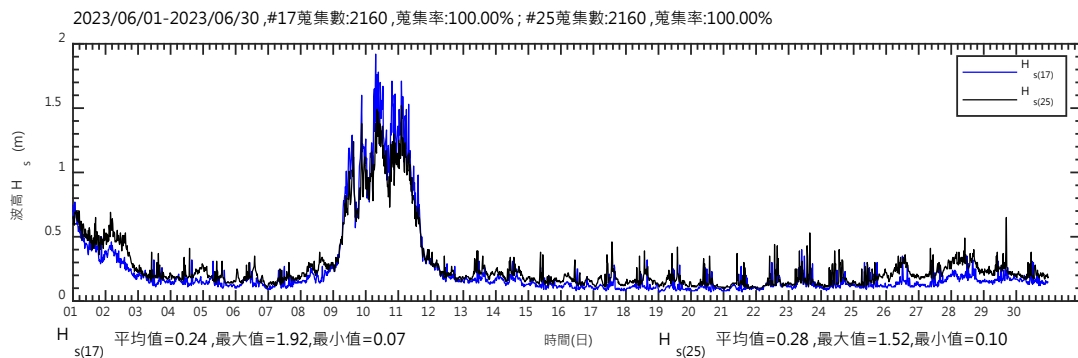
附圖 2.5b 112 年 5 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



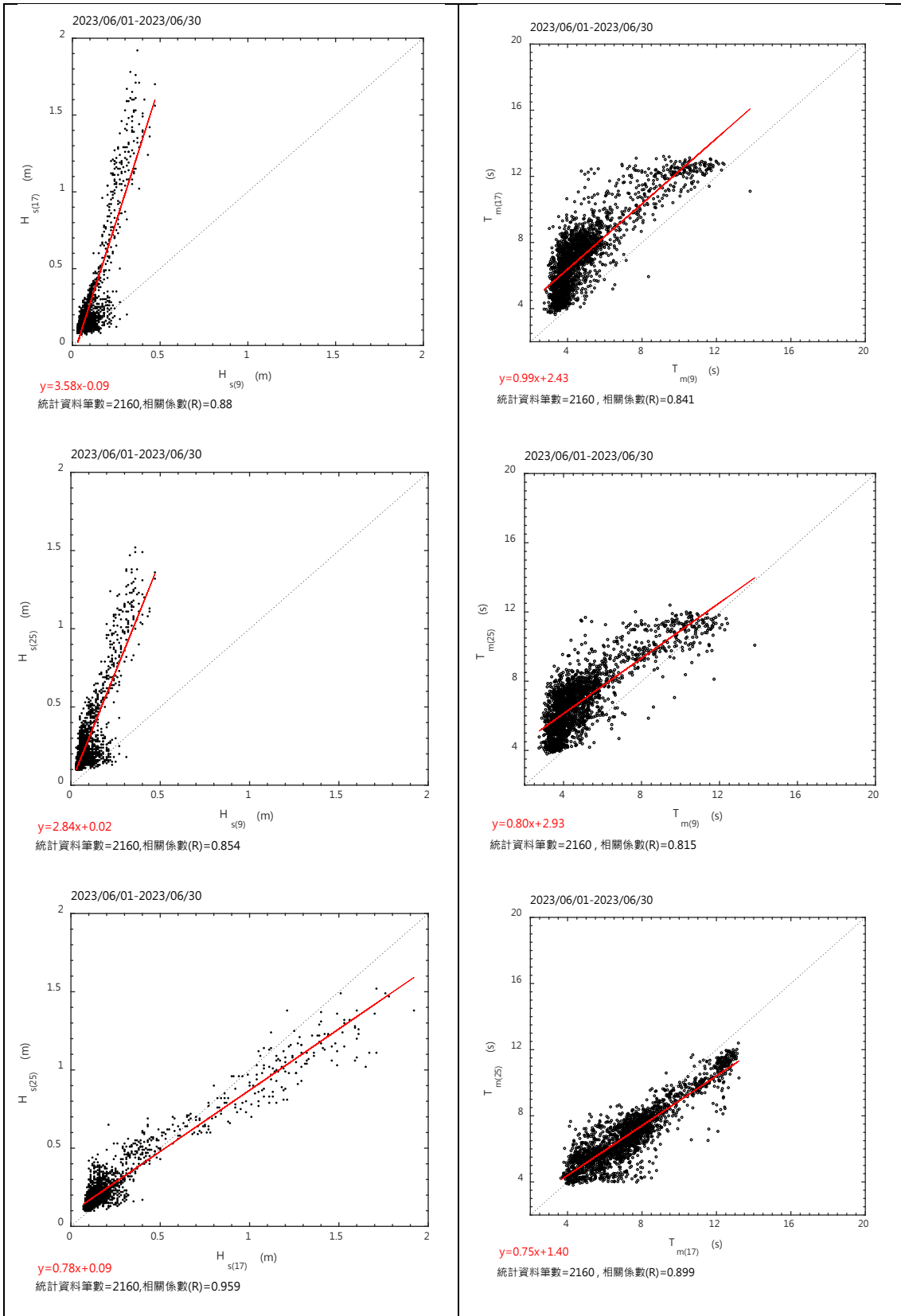
附圖 2.5c 112 年 5 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



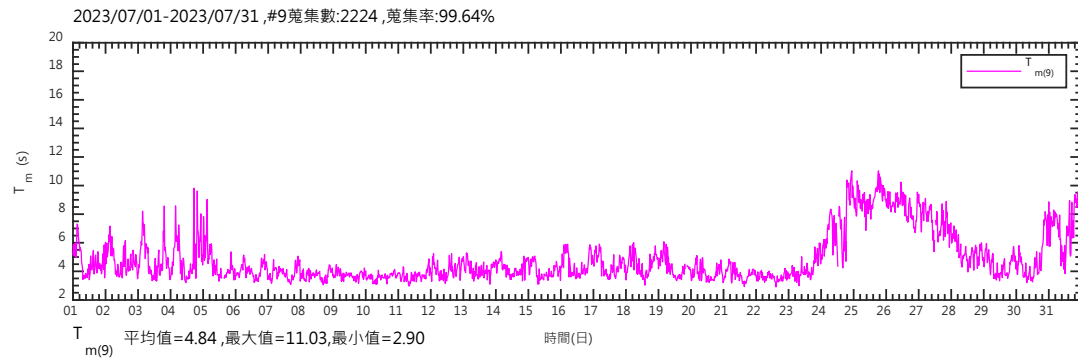
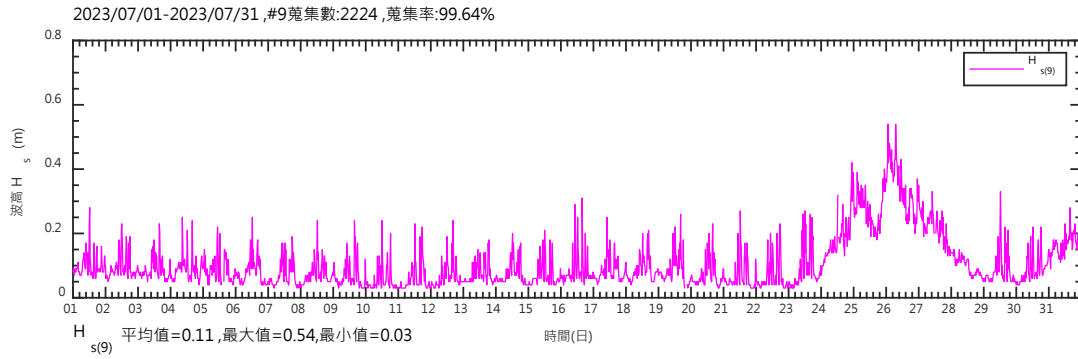
附圖 2.6a 112 年 6 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



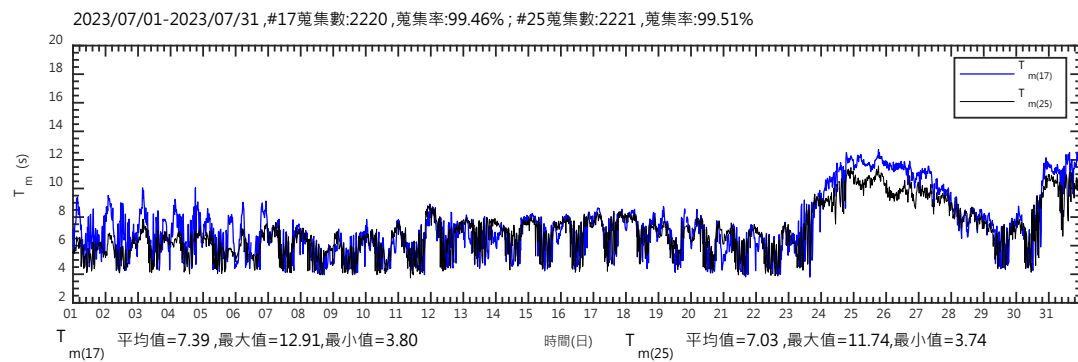
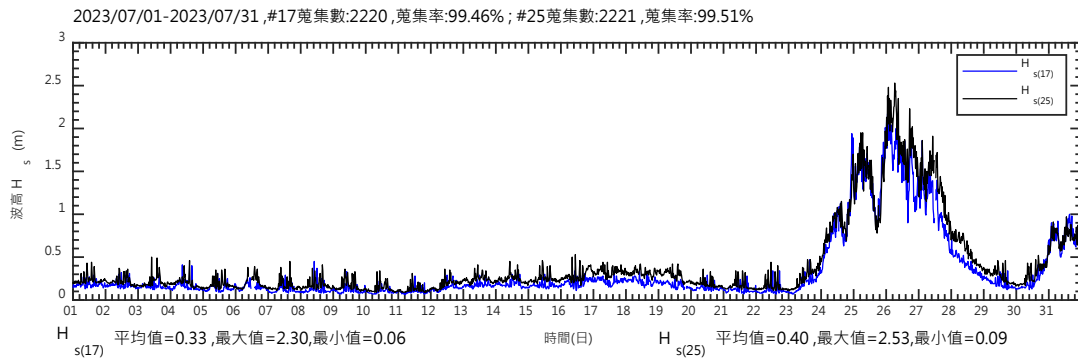
附圖 2.6b 112 年 6 月花蓮港 17、25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



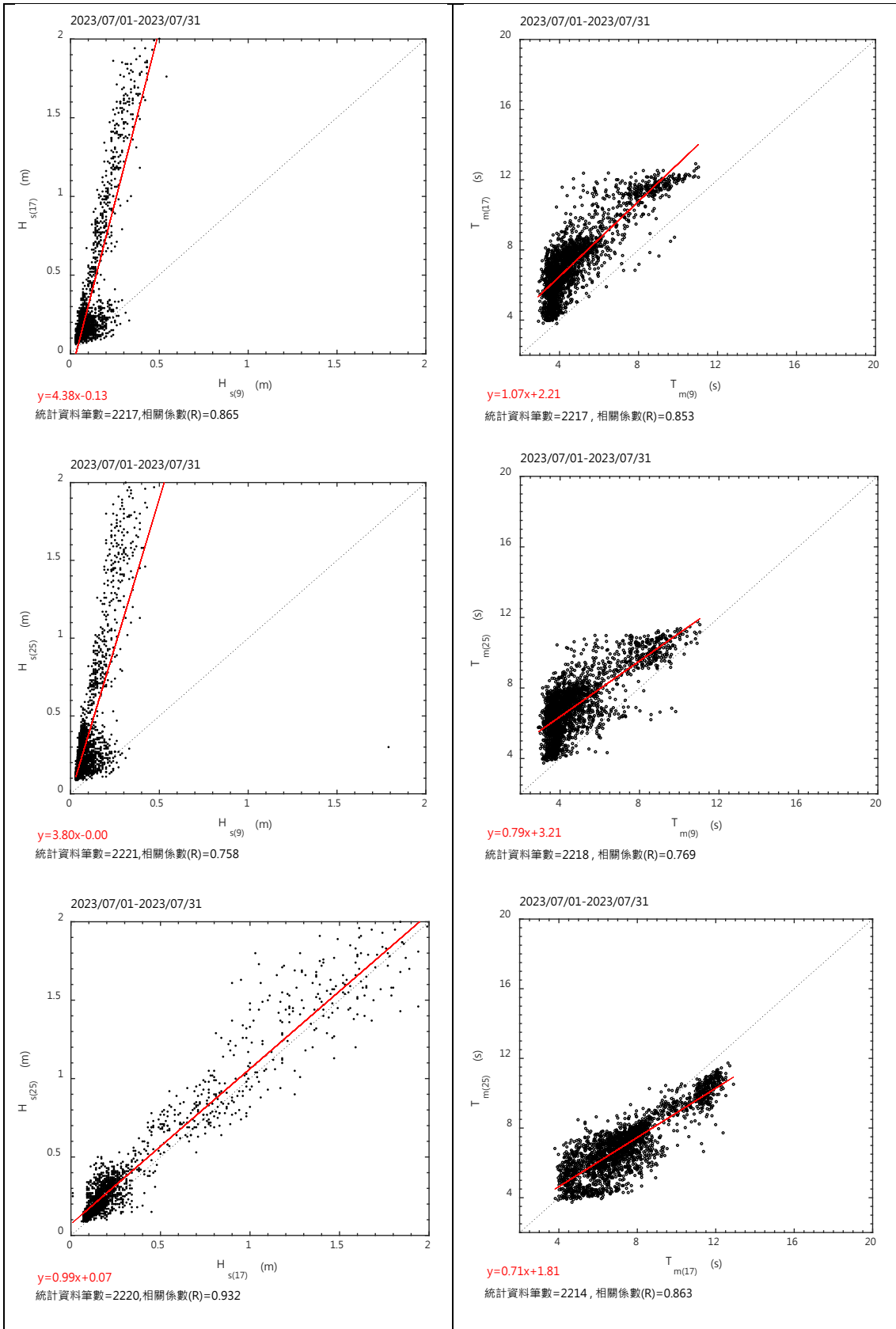
附圖 2.6c 112 年 6 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



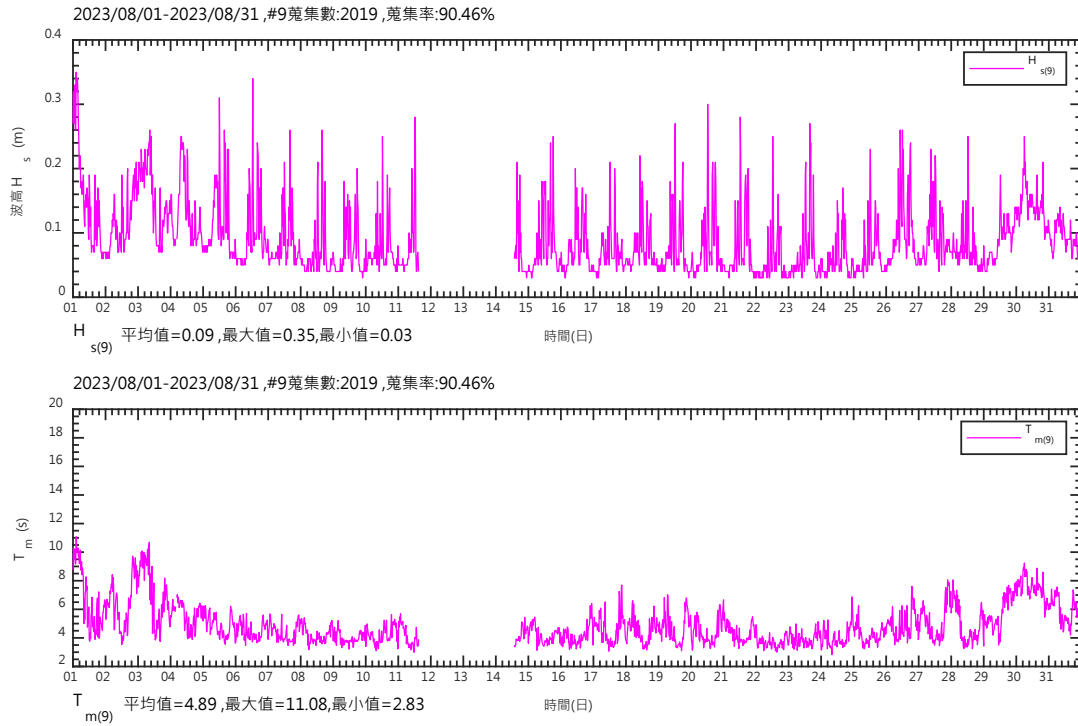
附圖 2.7a 112 年 7 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



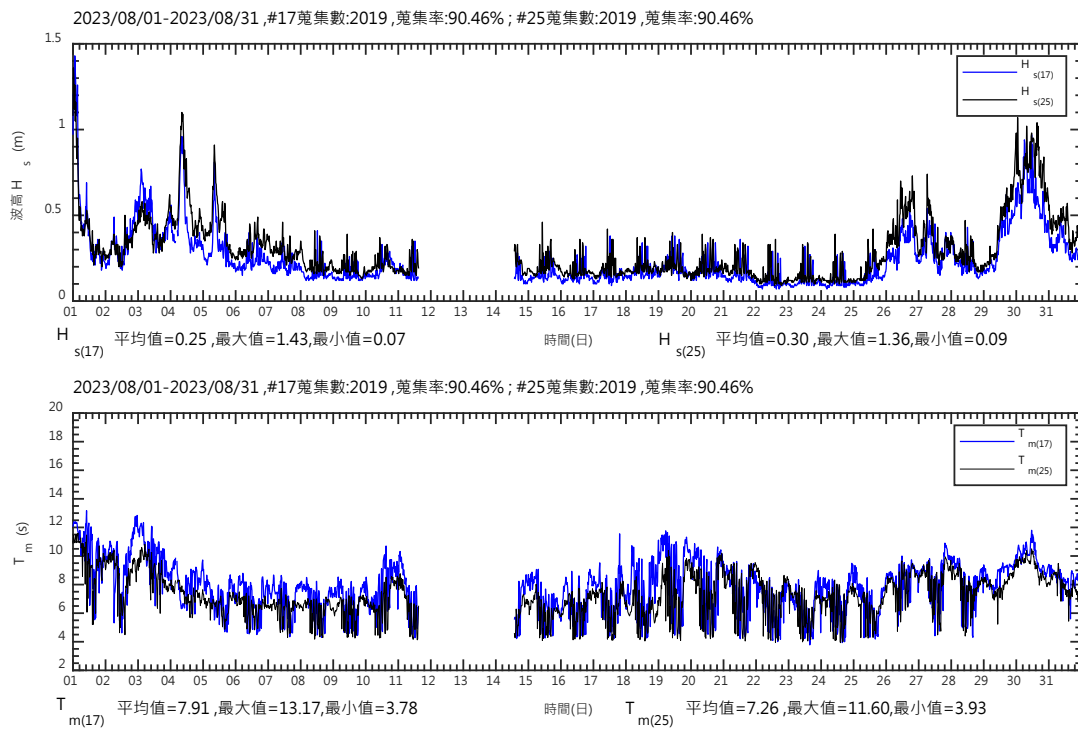
附圖 2.7b 112 年 7 月花蓮港 17、25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



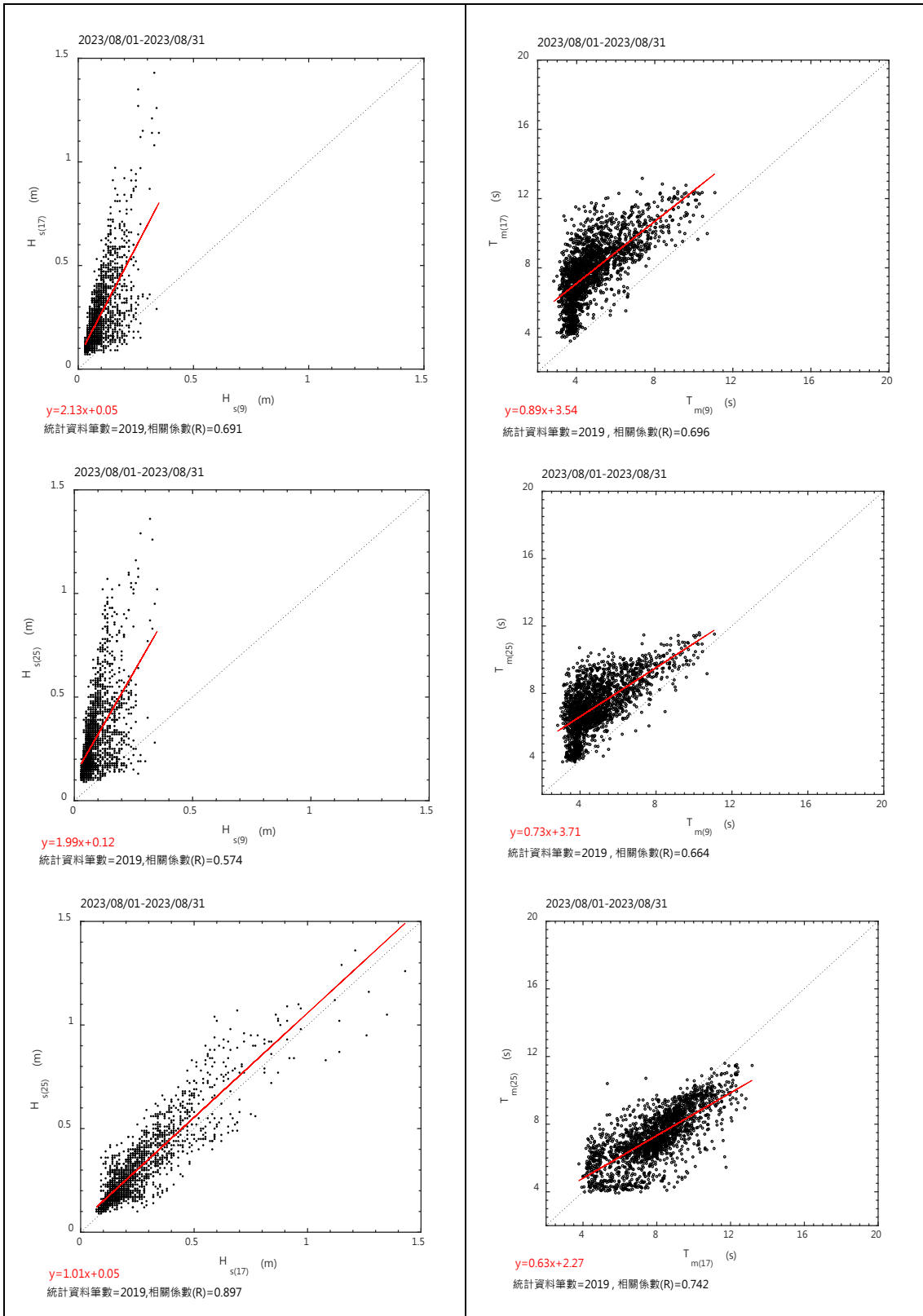
附圖 2.7c 112 年 7 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



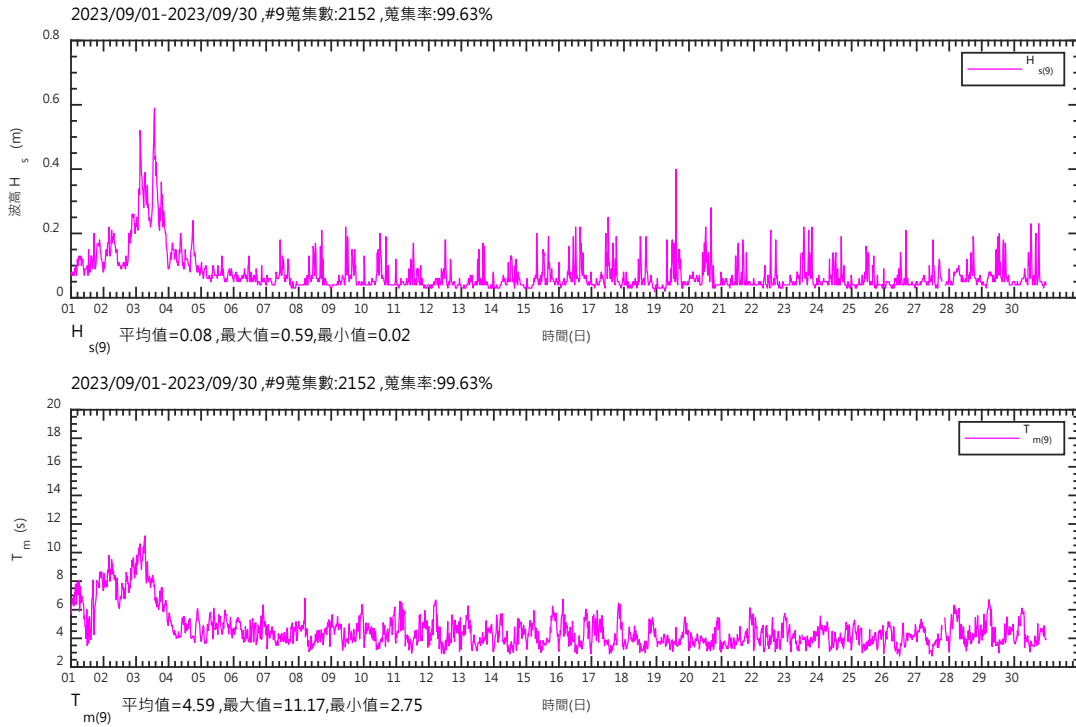
附圖 2.8a 112 年 8 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



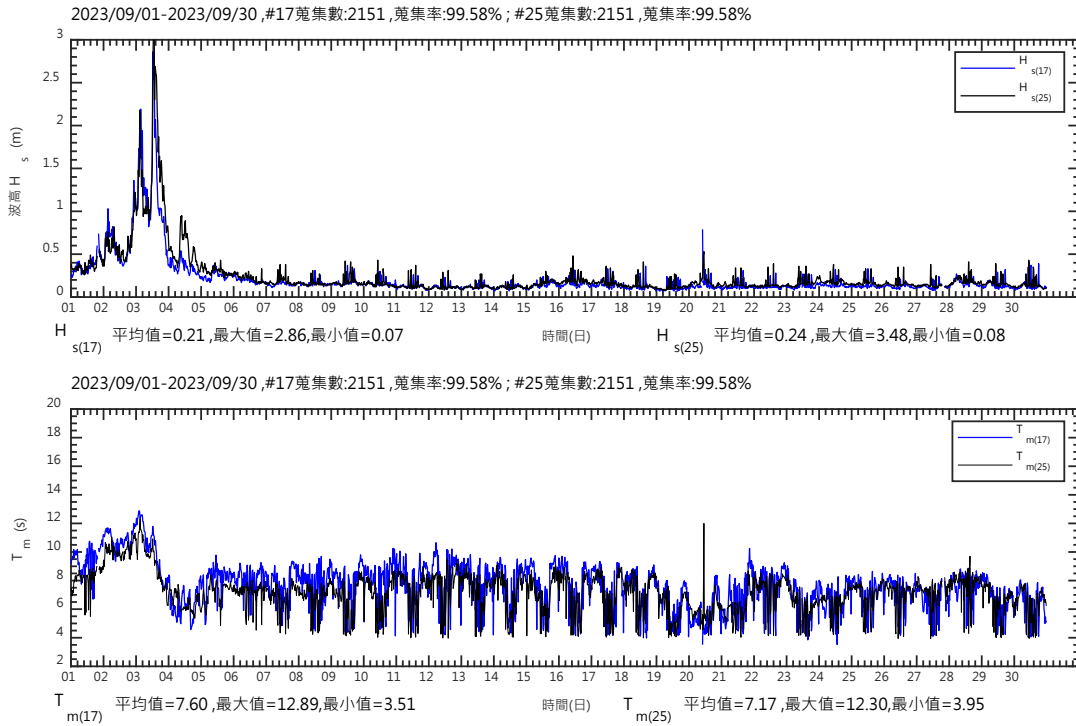
附圖 2.8b 112 年 8 月花蓮港 17、25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



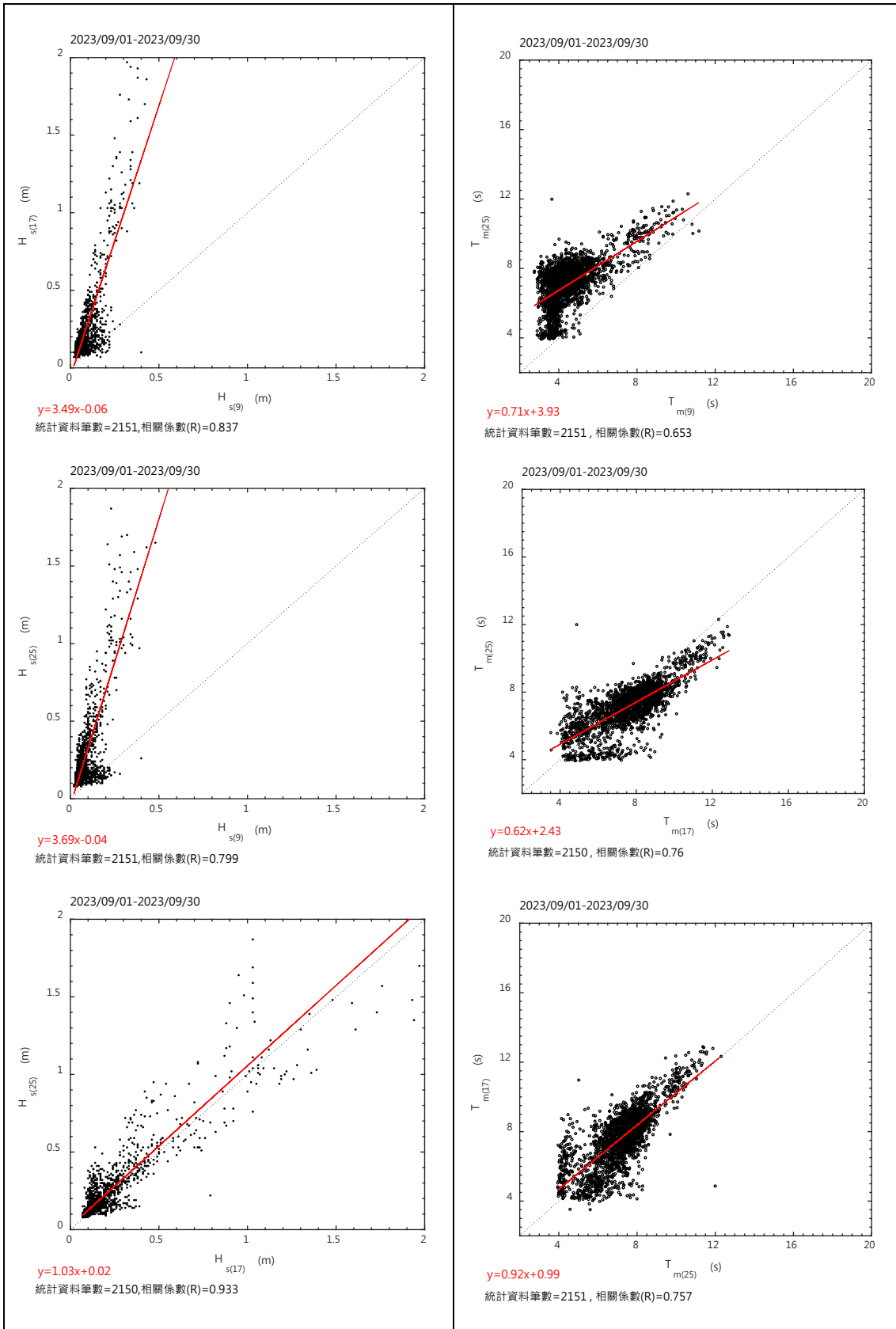
附圖 2.8c 112 年 8 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



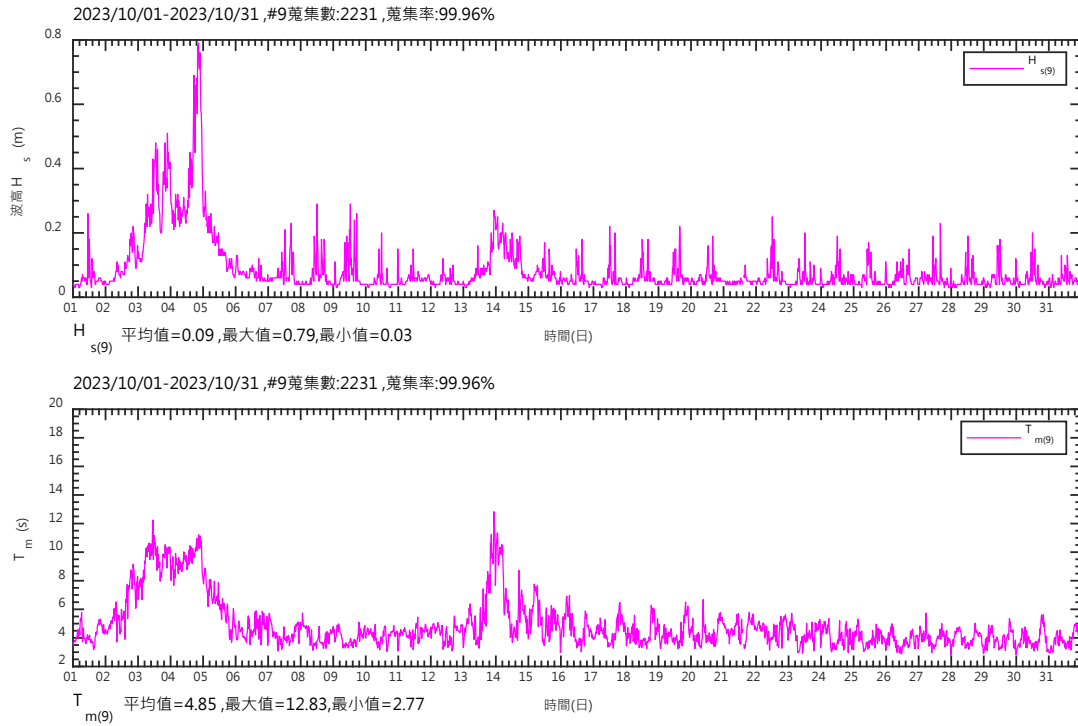
附圖 2.9a 112 年 9 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



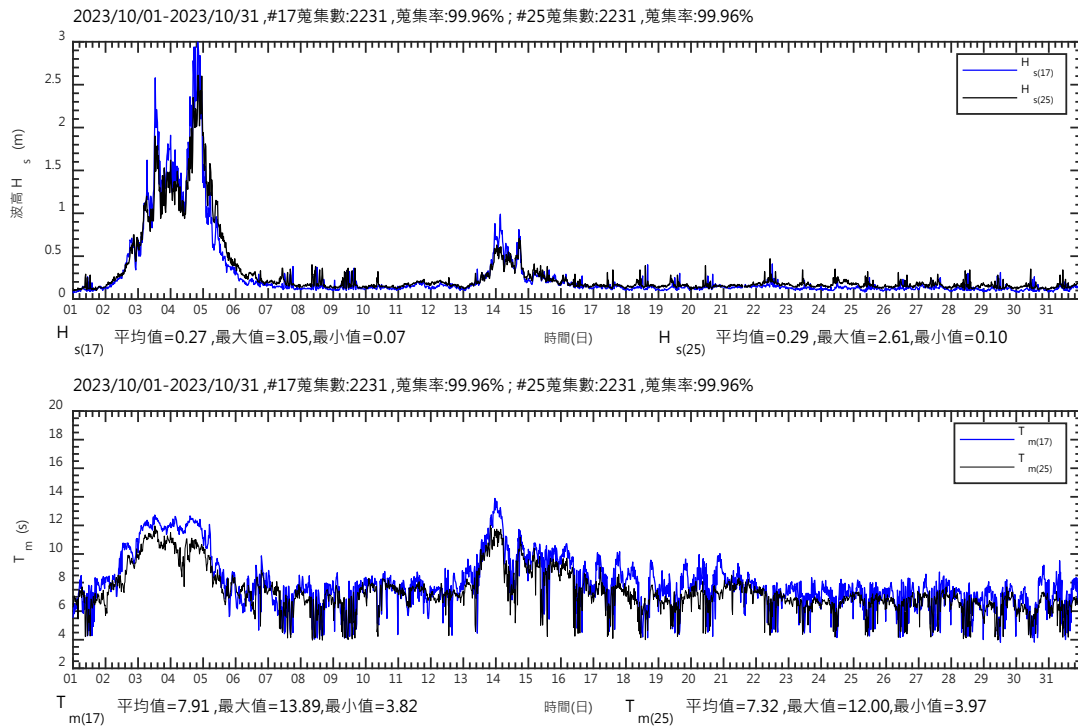
附圖 2.9b 112 年 9 月花蓮港 17、25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



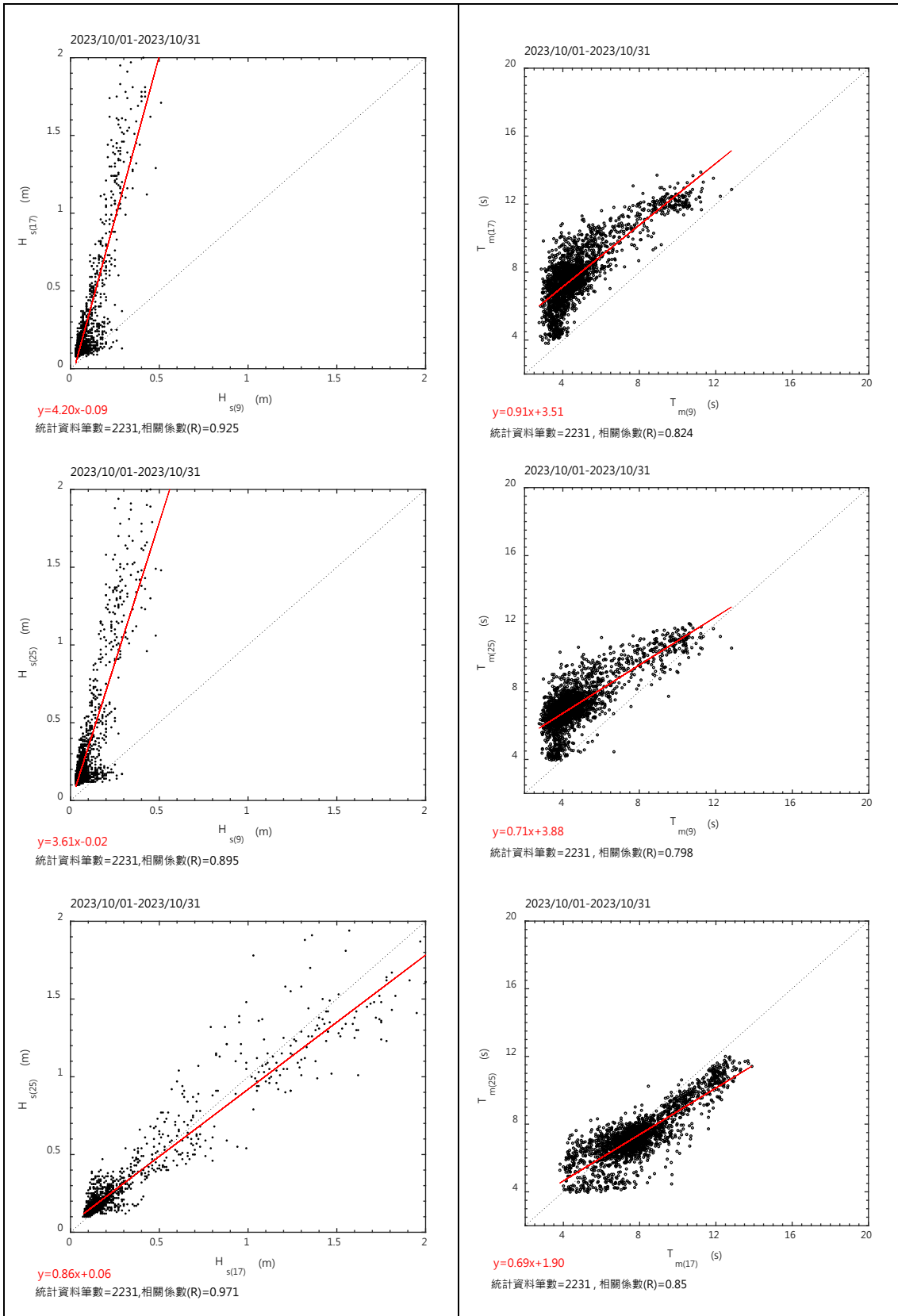
附圖 2.9c 112 年 9 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



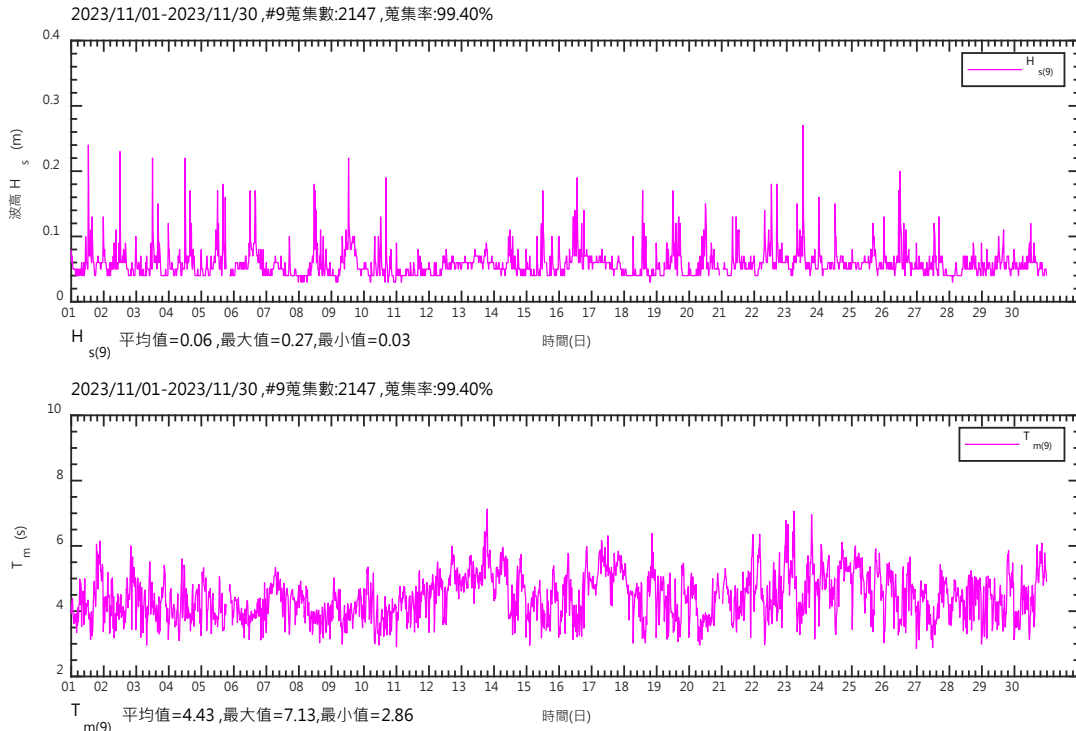
附圖 2.10a 112 年 10 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



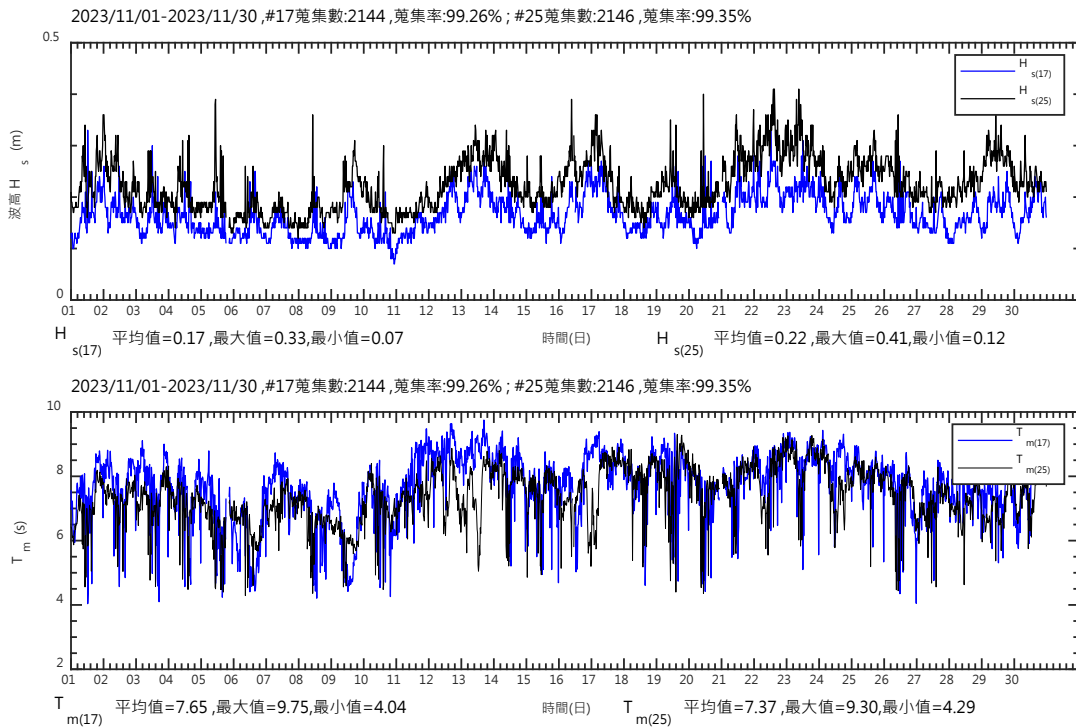
附圖 2.10b 112 年 10 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



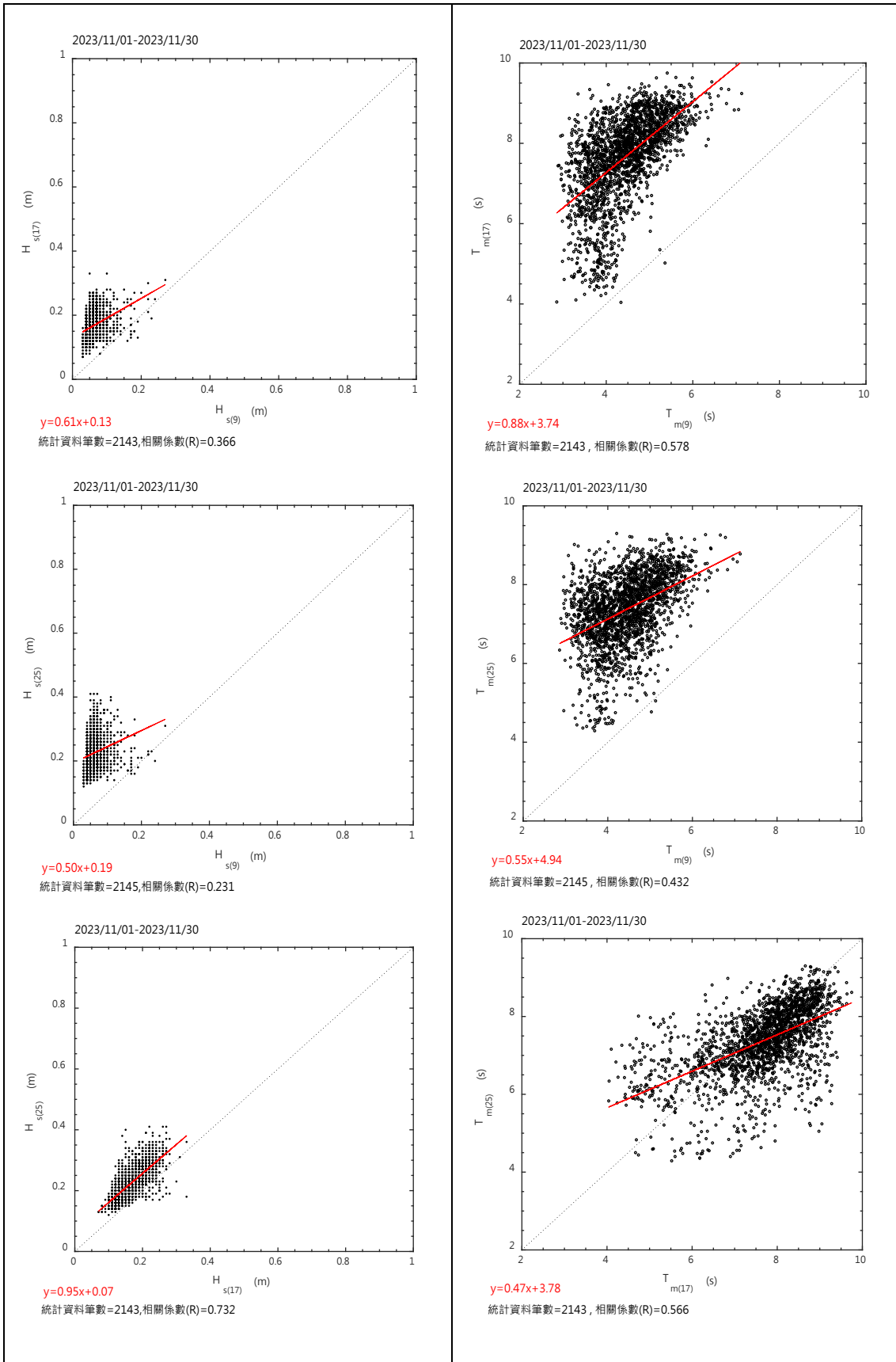
附圖 2.10c 112 年 10 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



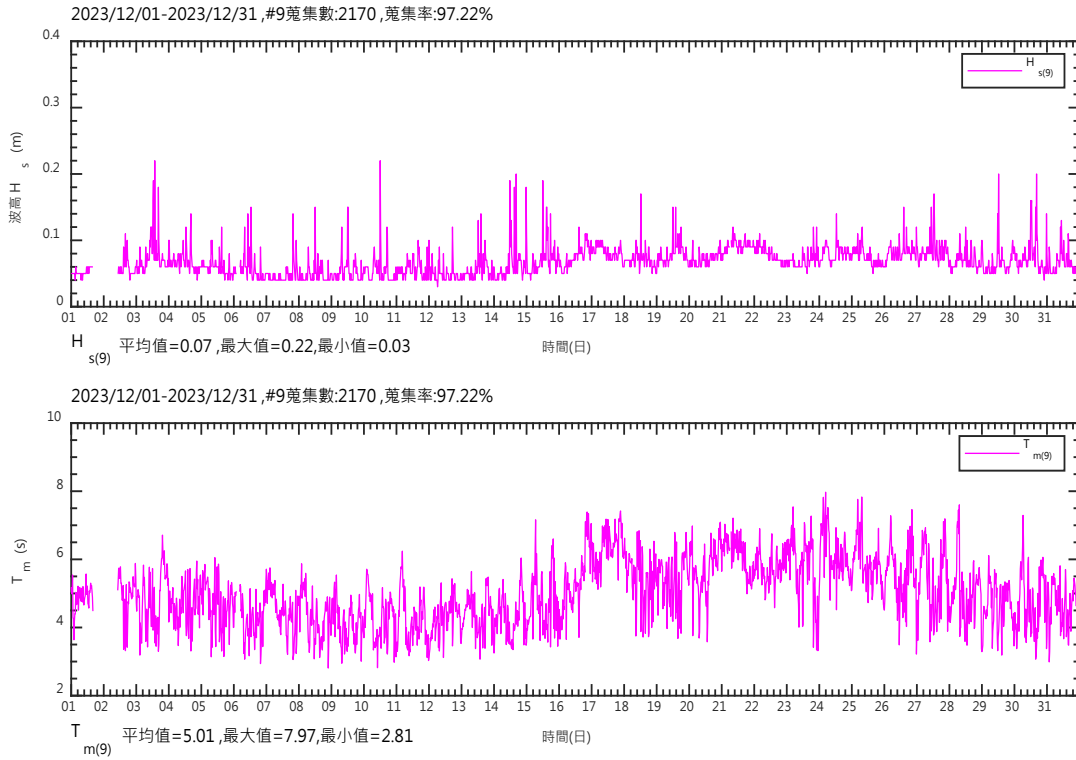
附圖 2.11a 112 年 11 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



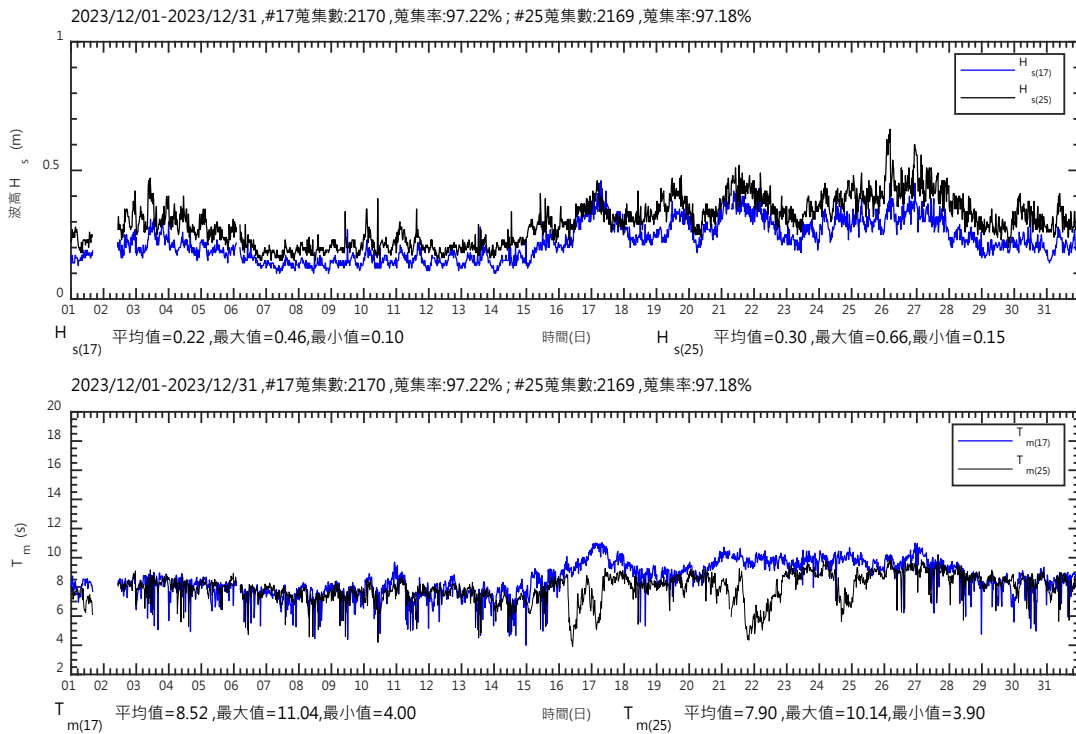
附圖 2.11b 112 年 11 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



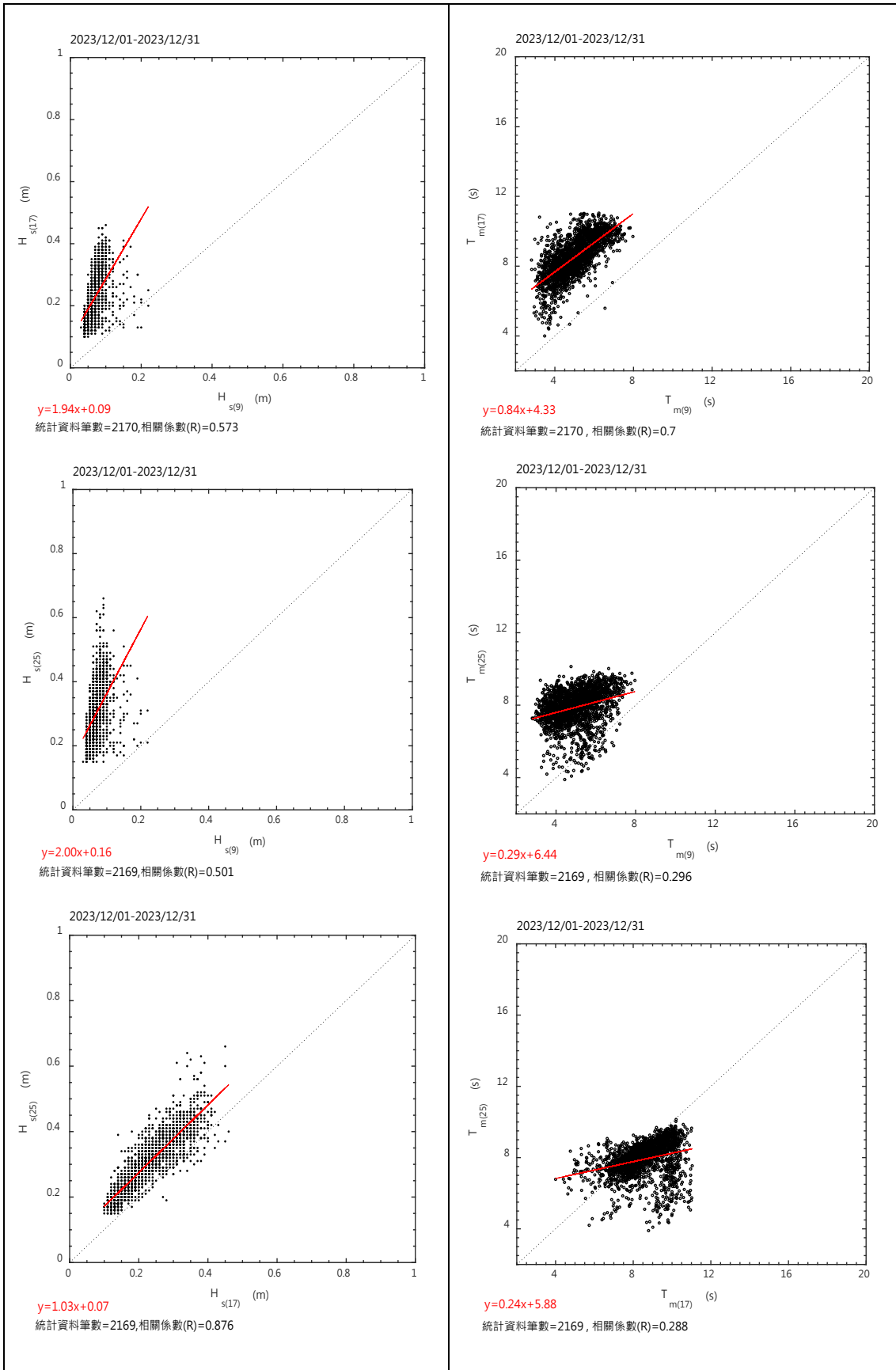
附圖 2.11c 112 年 11 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



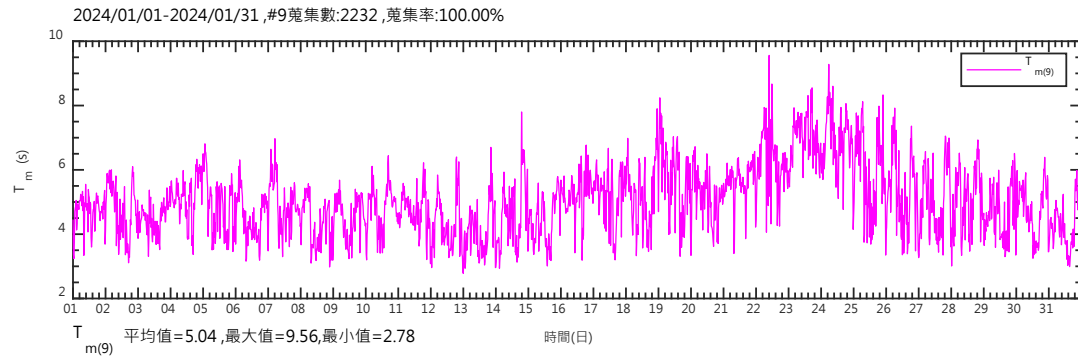
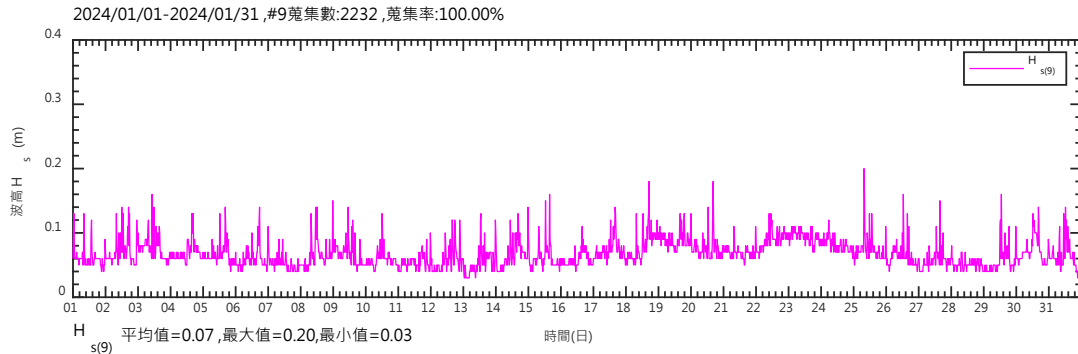
附圖 2.12a 112 年 12 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



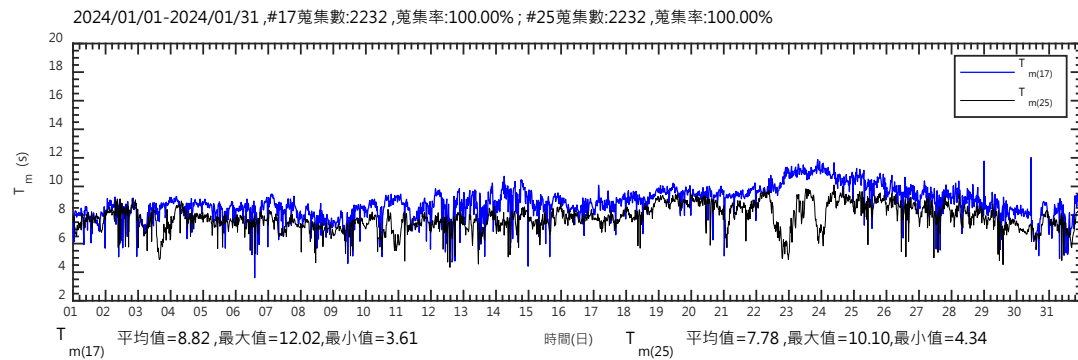
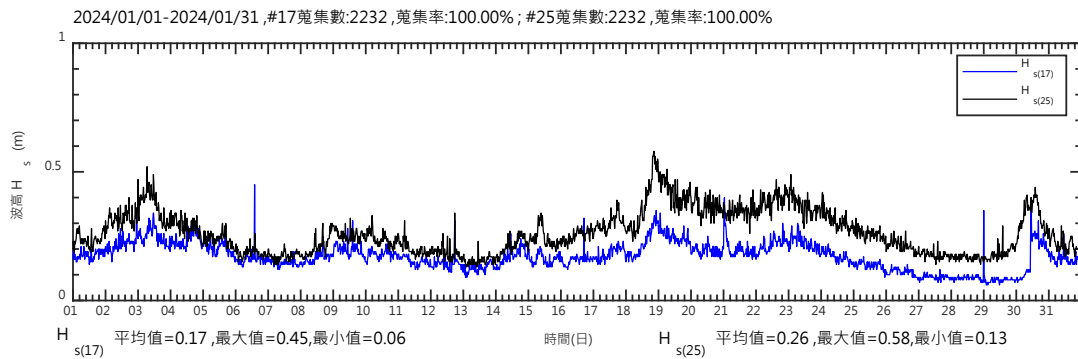
附圖 2.12b 112 年 12 月花蓮港 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



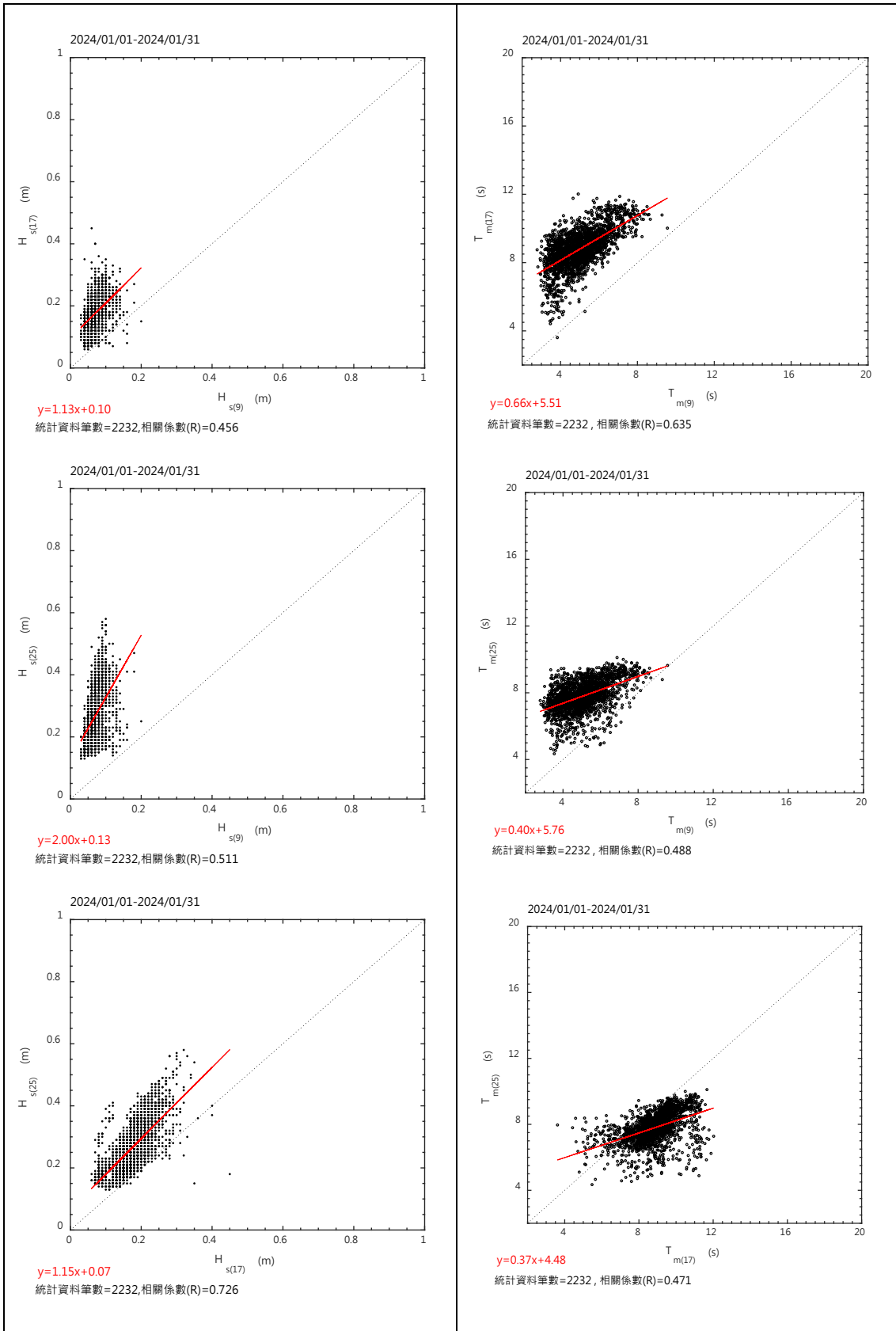
附圖 2.12c 112 年 12 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



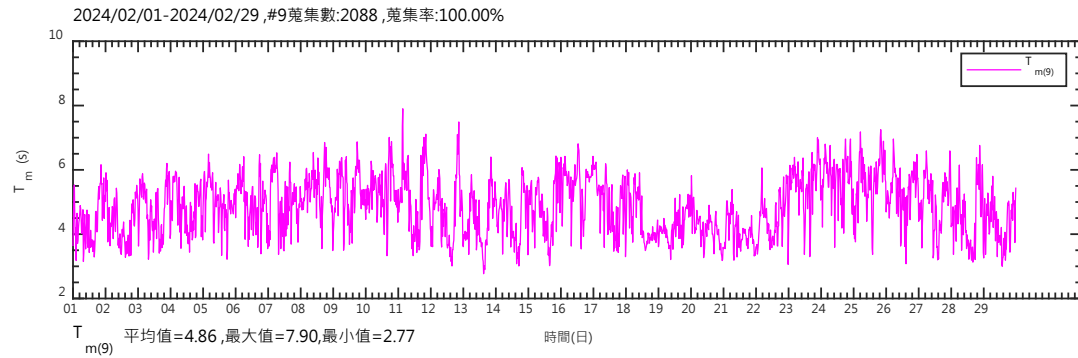
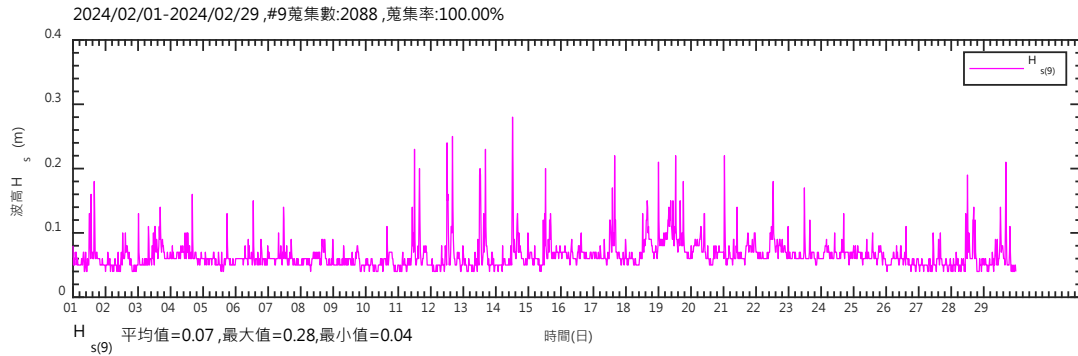
附圖 2.13a 113 年 1 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



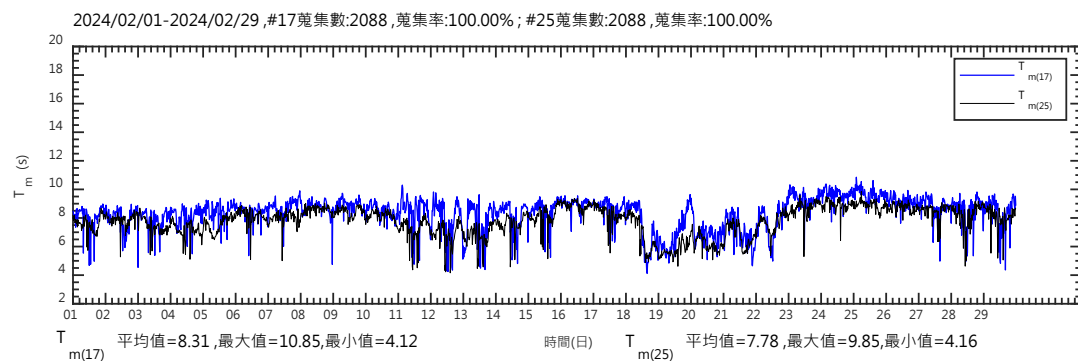
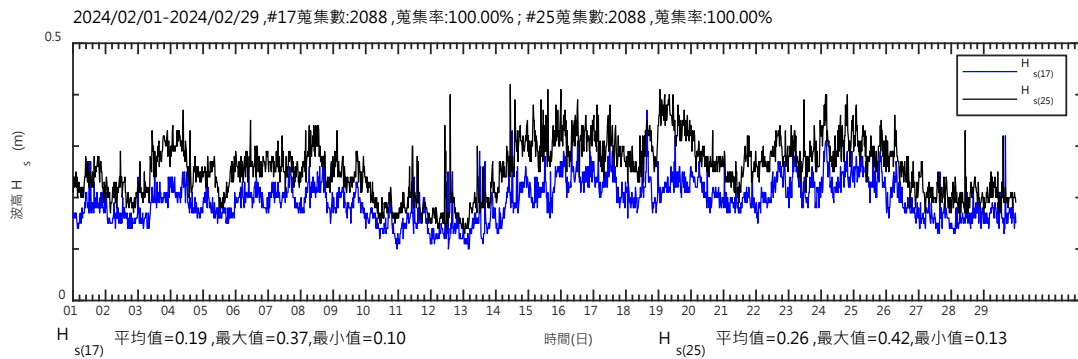
附圖 2.13b 113 年 1 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



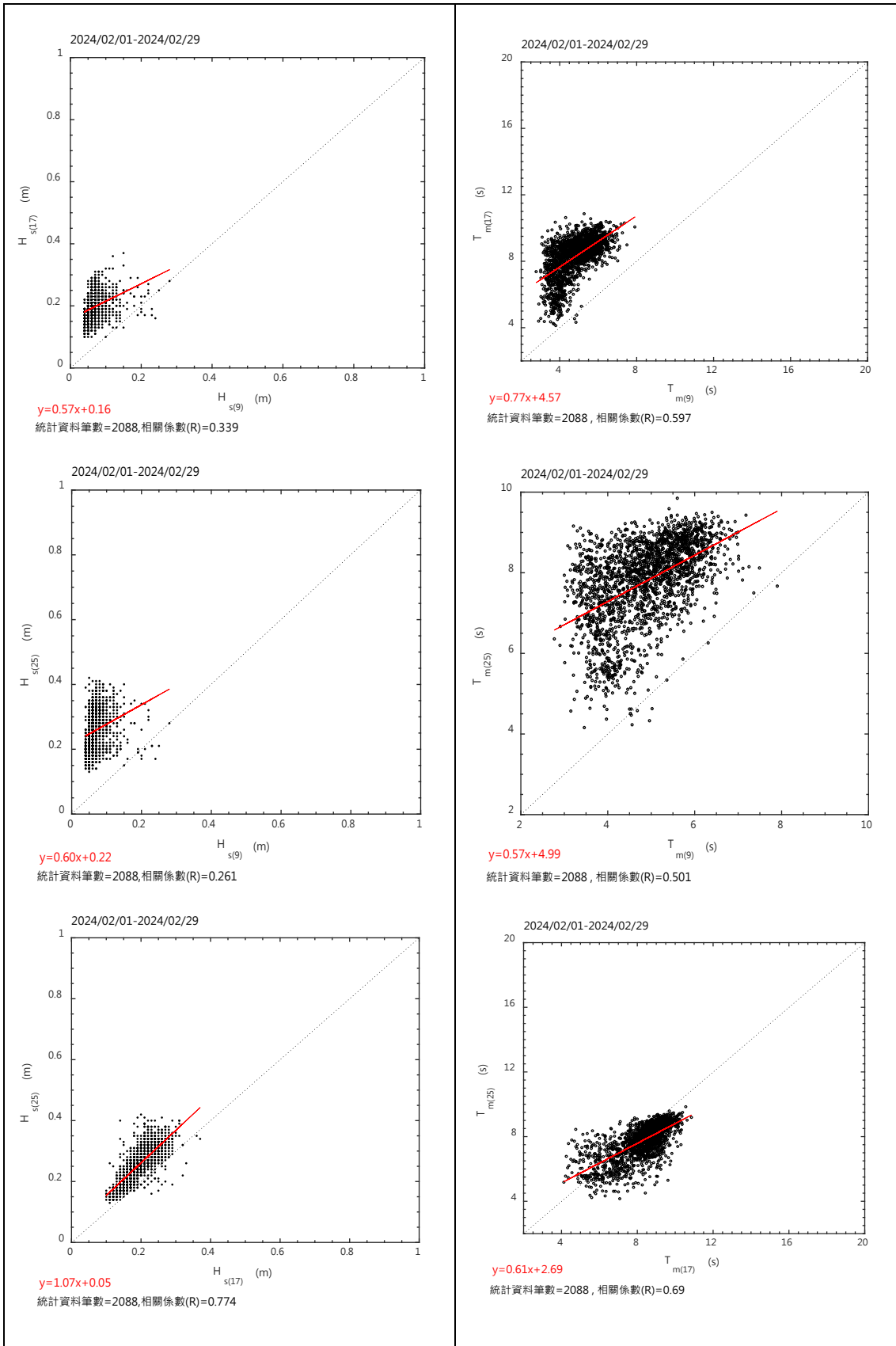
附圖 2.13c 113 年 1 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



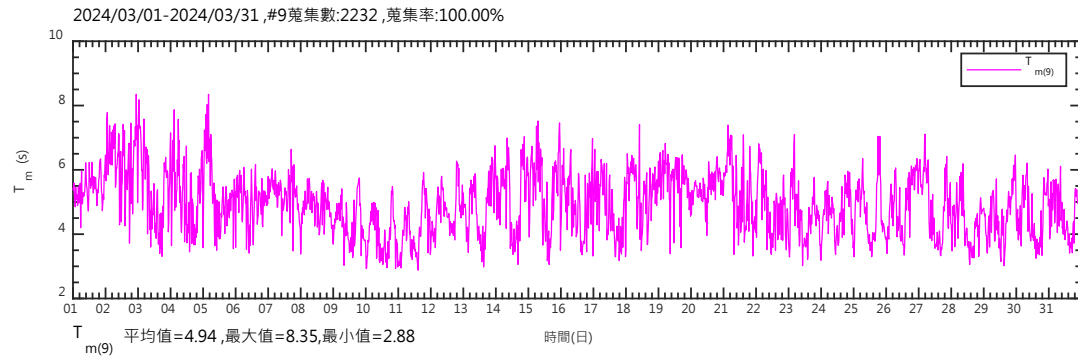
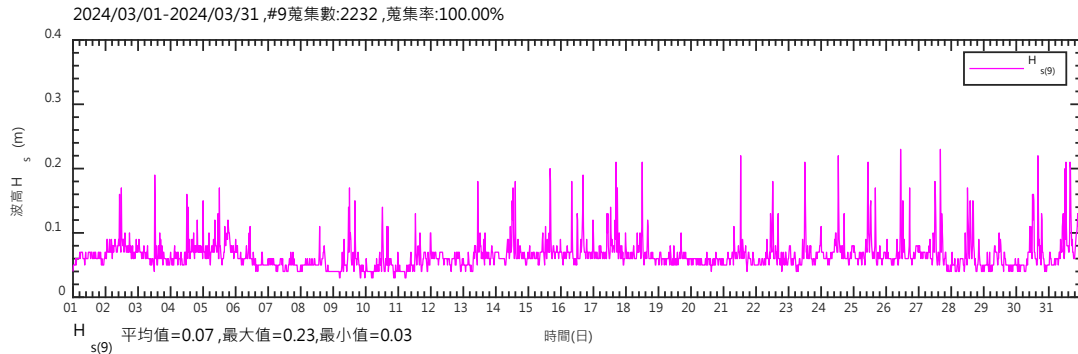
附圖 2.14a 113 年 2 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



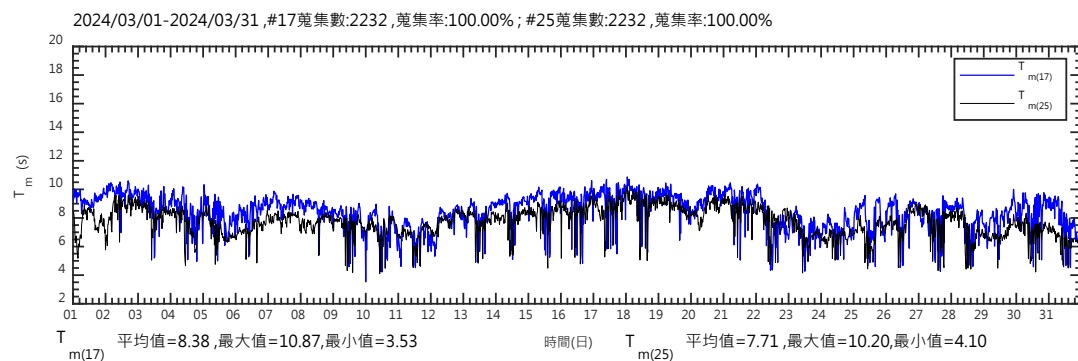
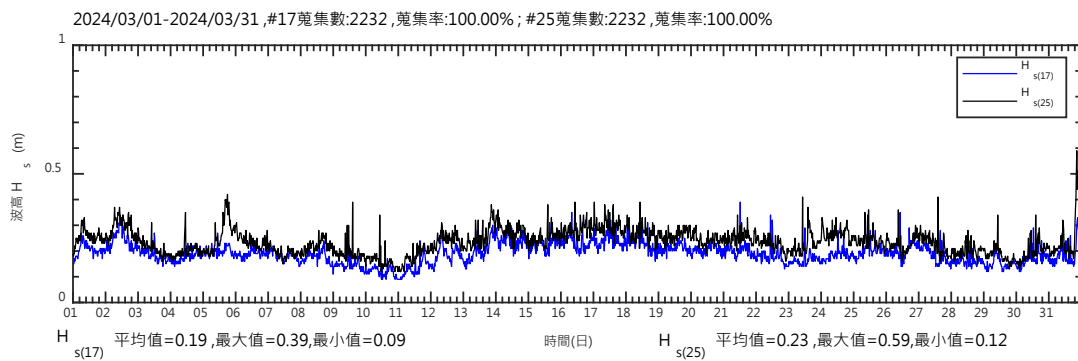
附圖 2.14b 113 年 2 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



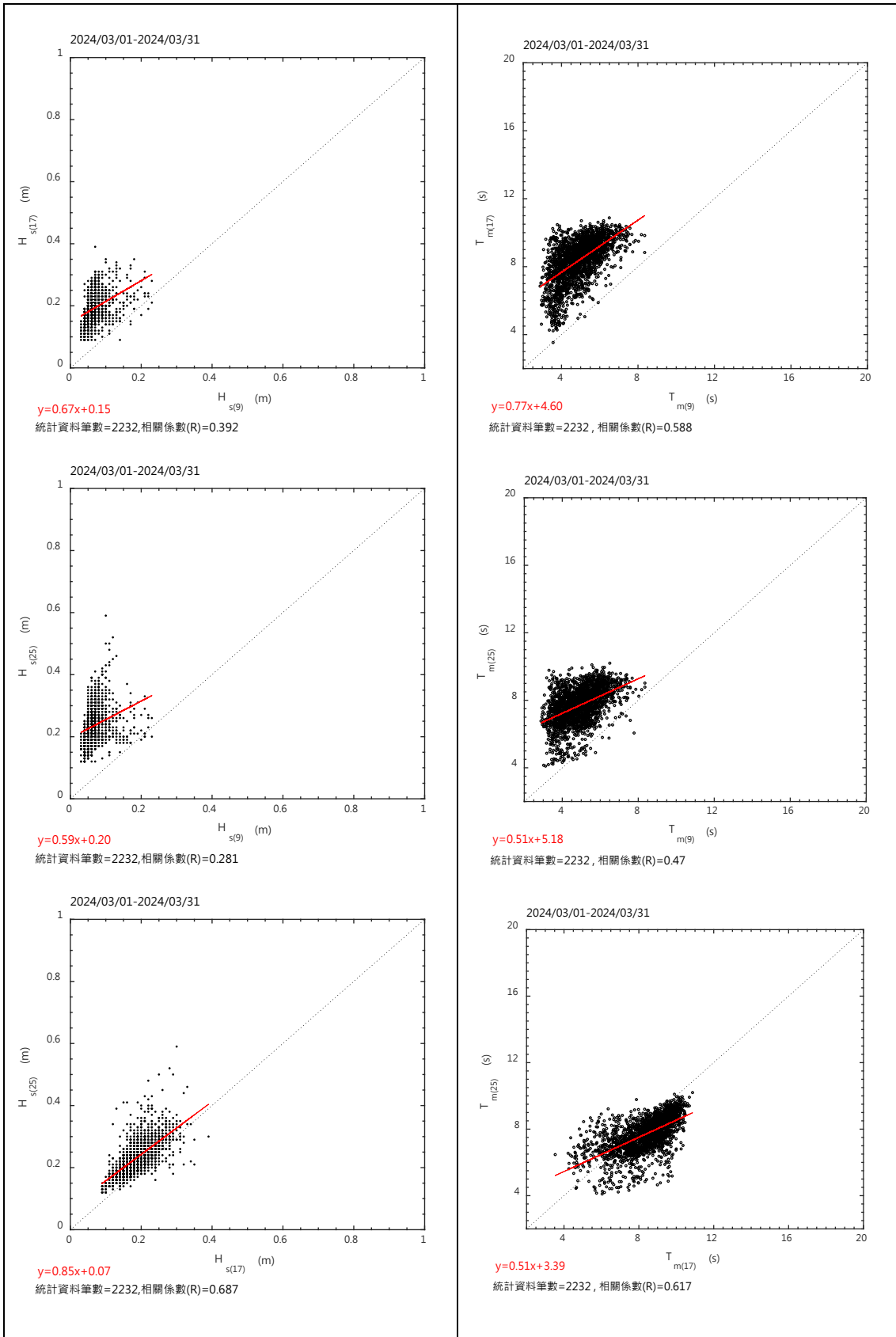
附圖 2.14c 113 年 2 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



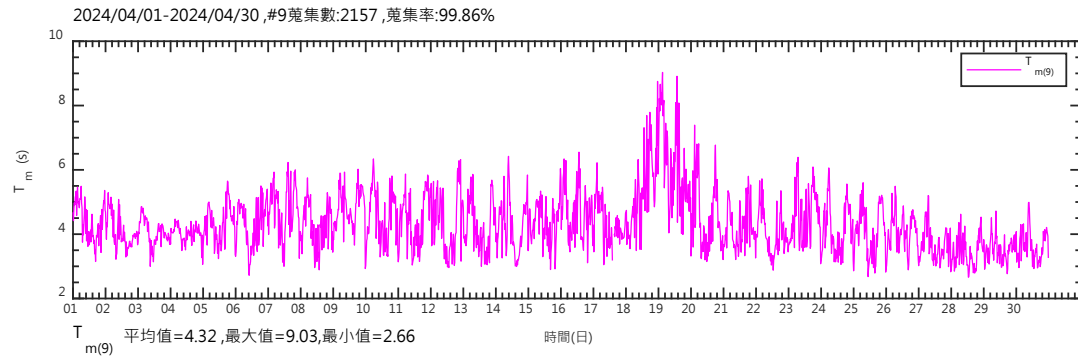
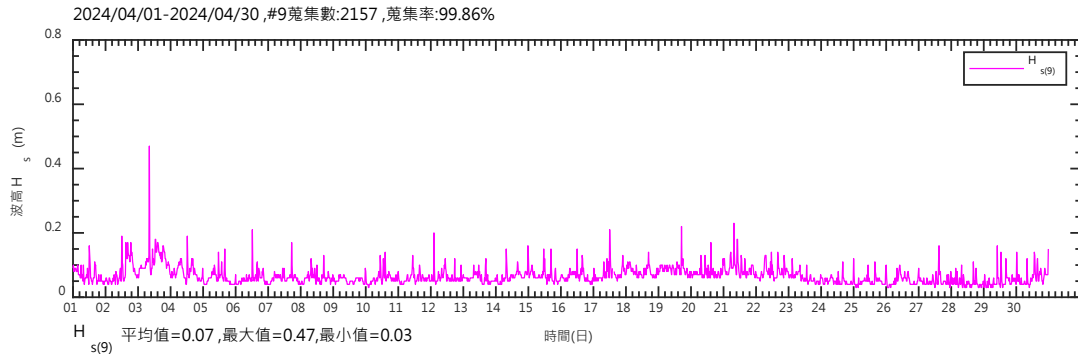
附圖 2.15a 113 年 3 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



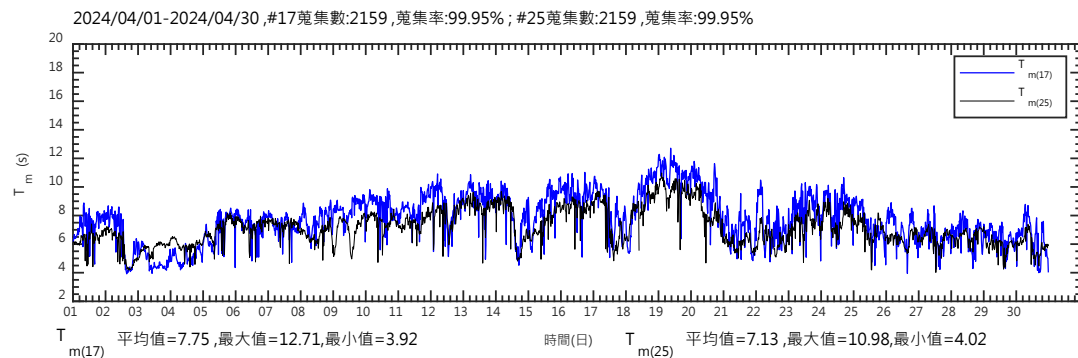
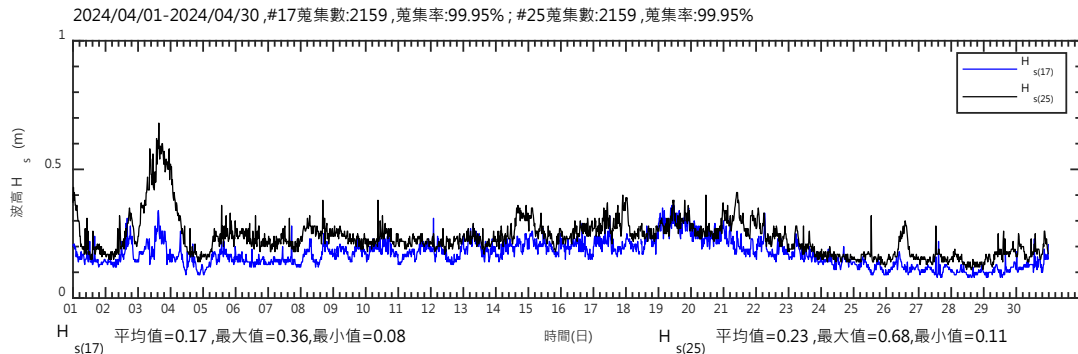
附圖 2.15b 113 年 3 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



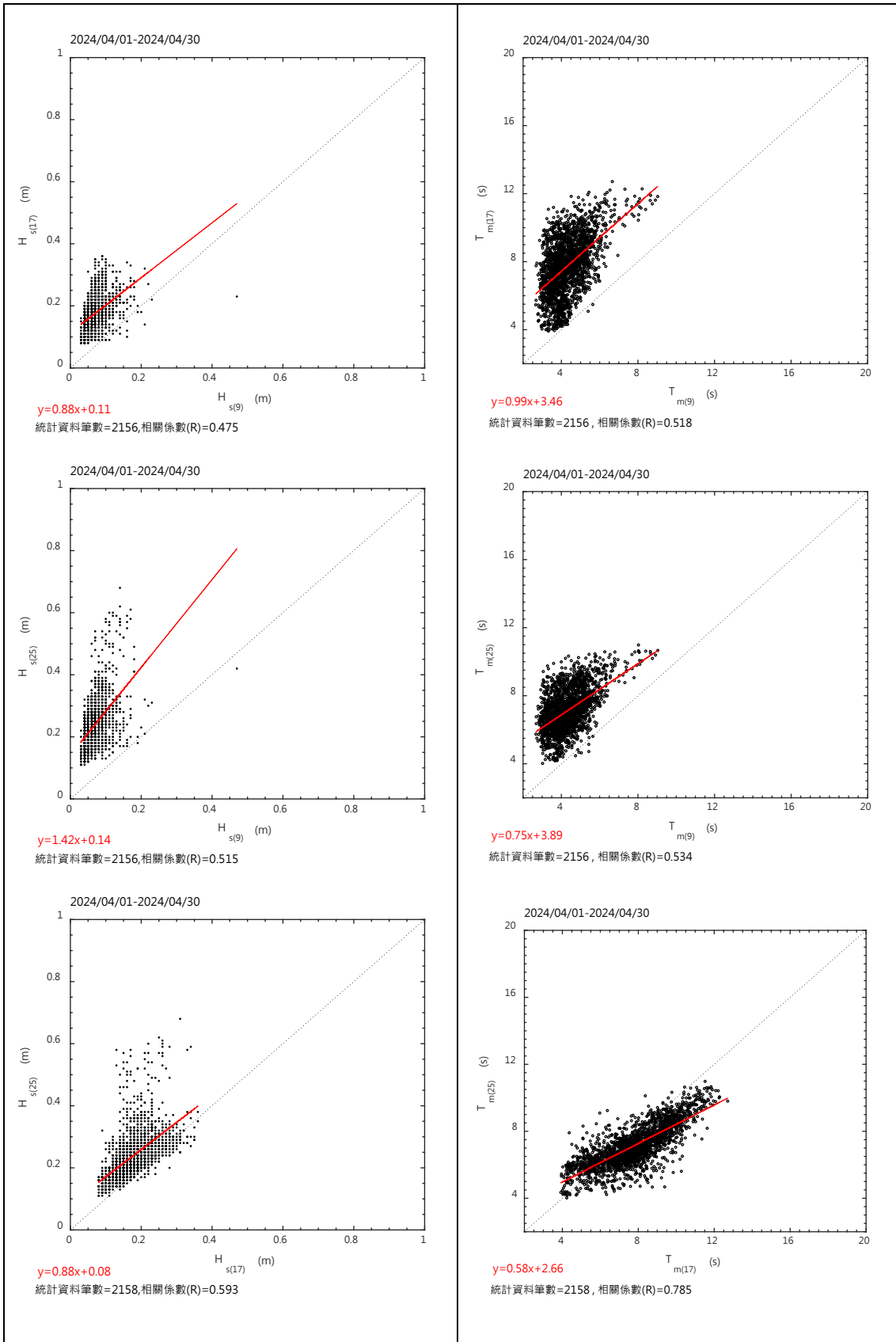
附圖 2.15c 113 年 3 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



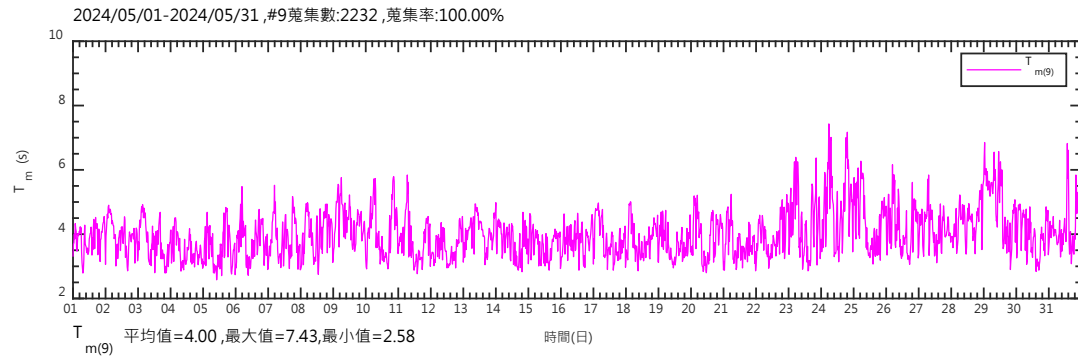
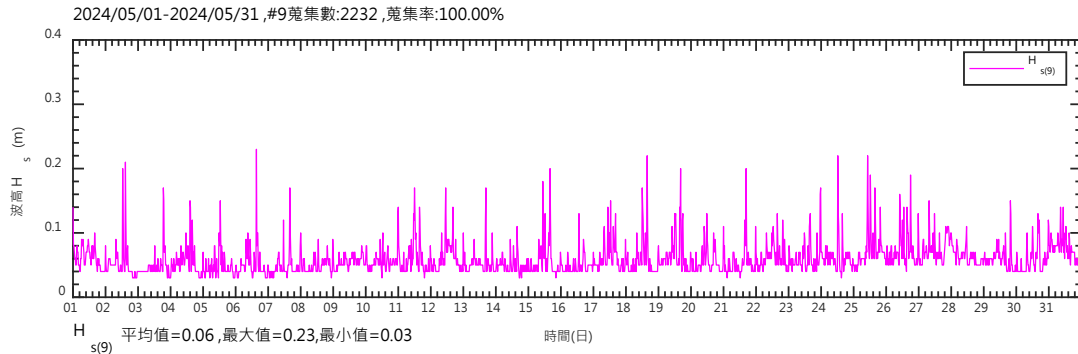
附圖 2.16a 113 年 4 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



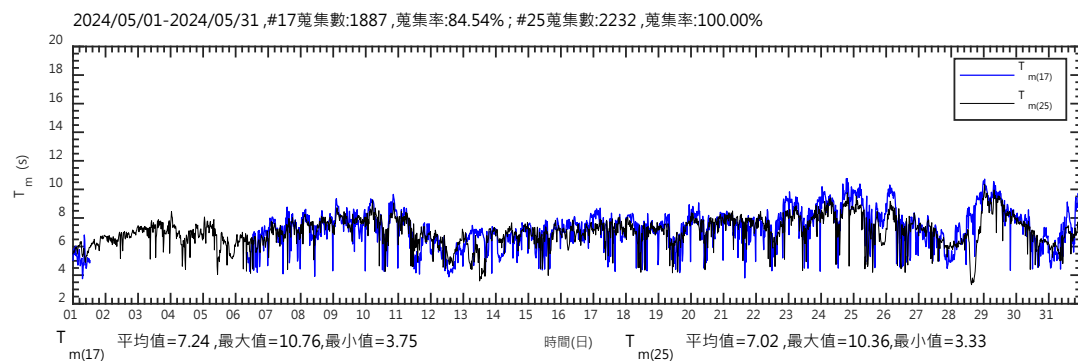
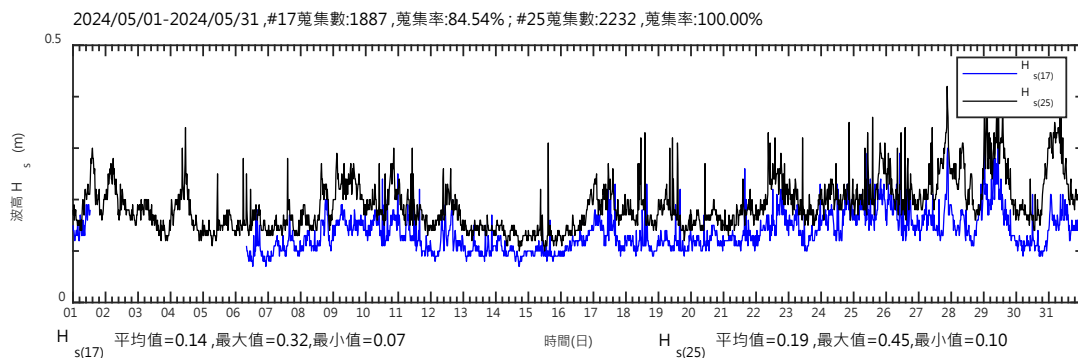
附圖 2.16b 113 年 4 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



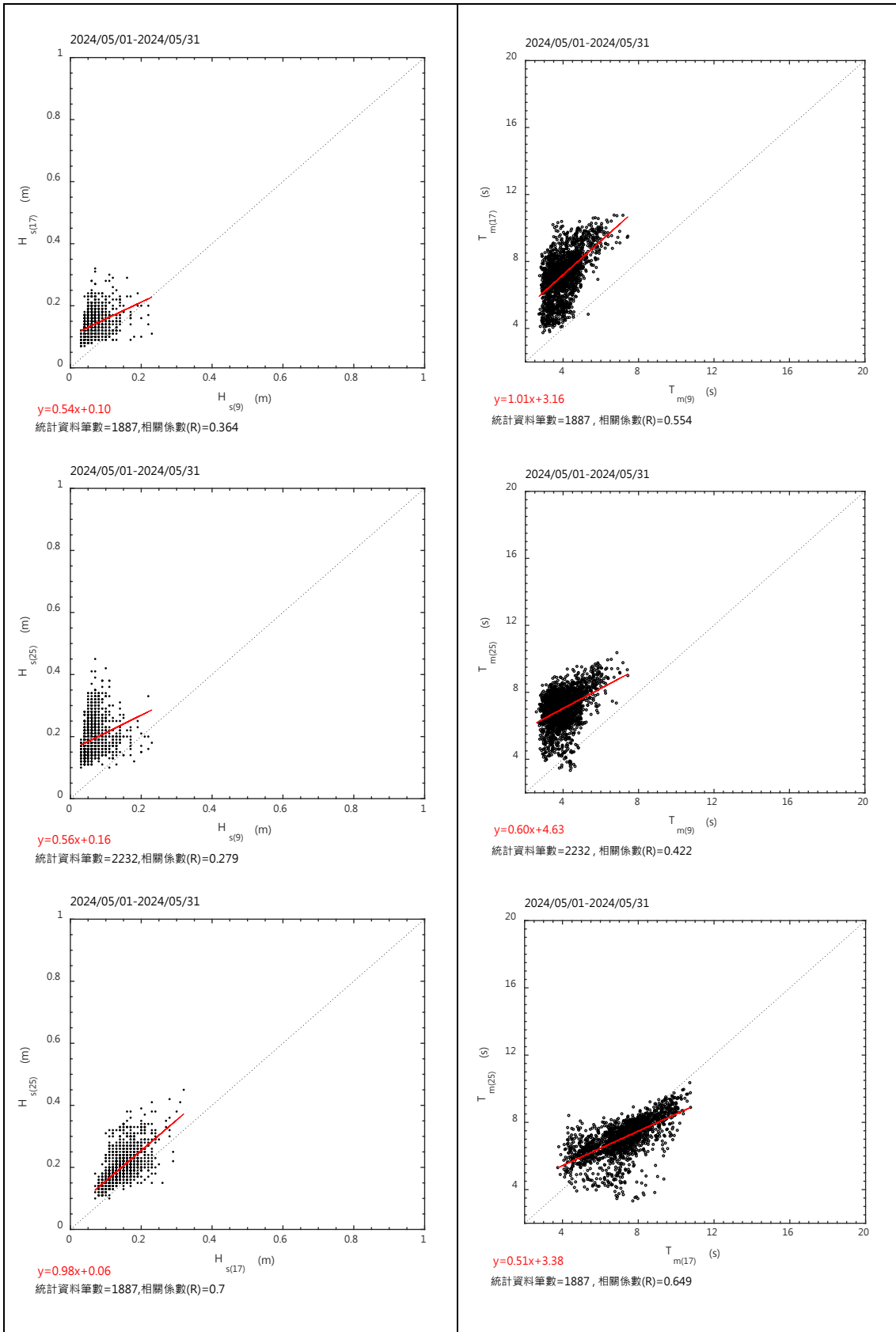
附圖 2.16c 113 年 4 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



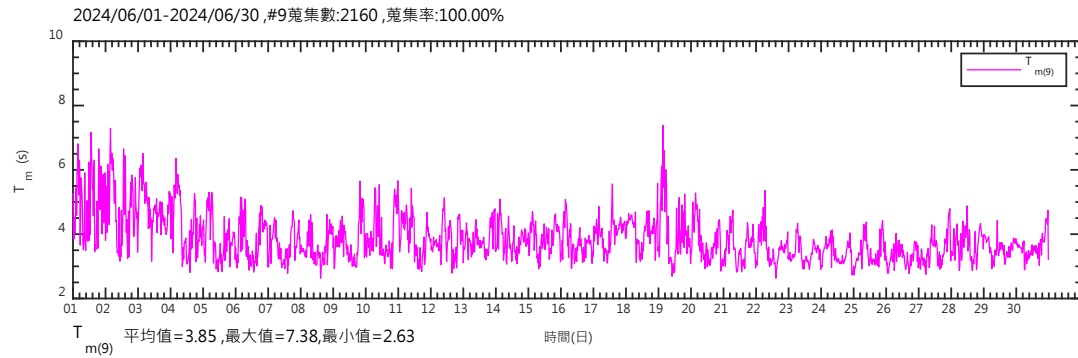
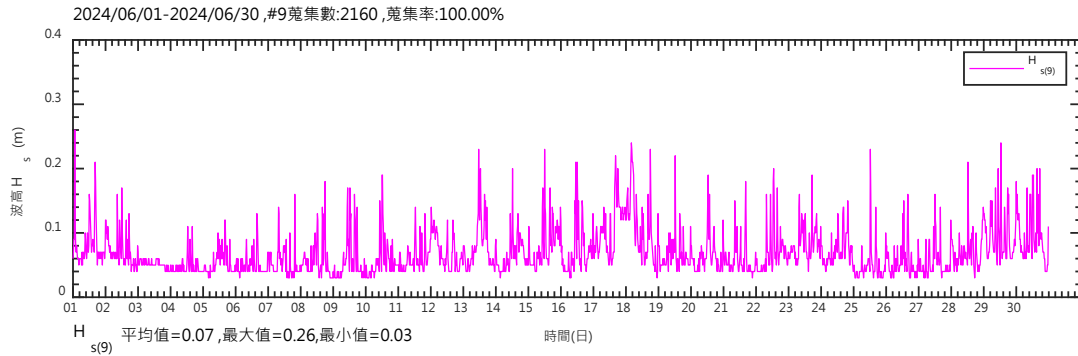
附圖 2.17a 113 年 5 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



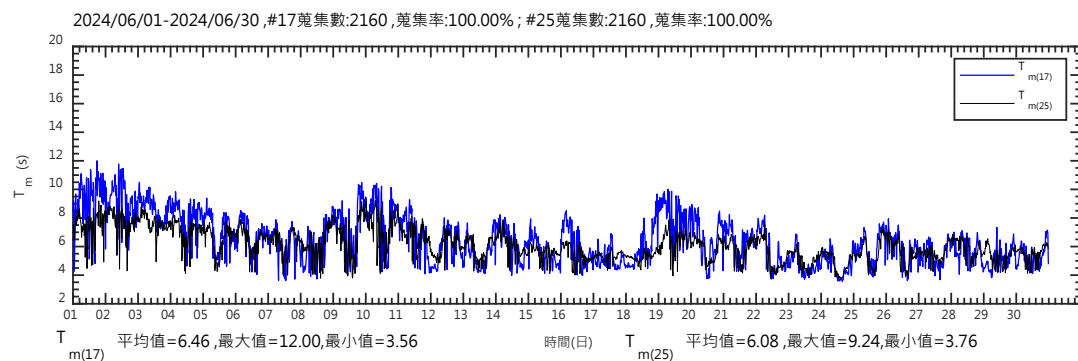
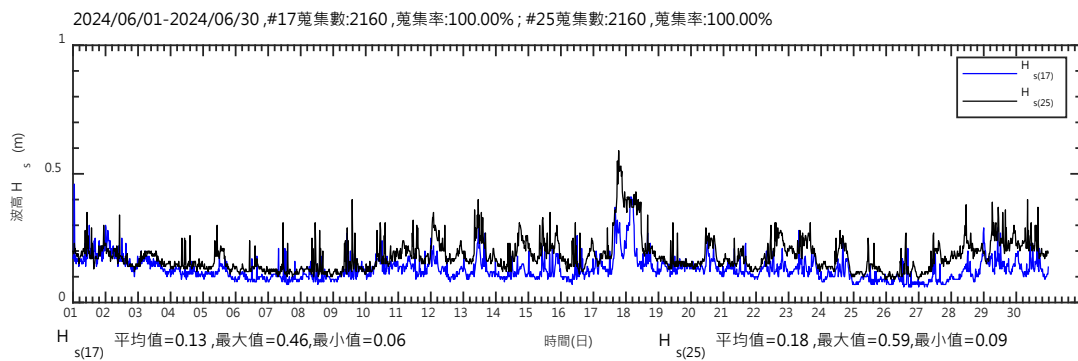
附圖 2.17b 113 年 5 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



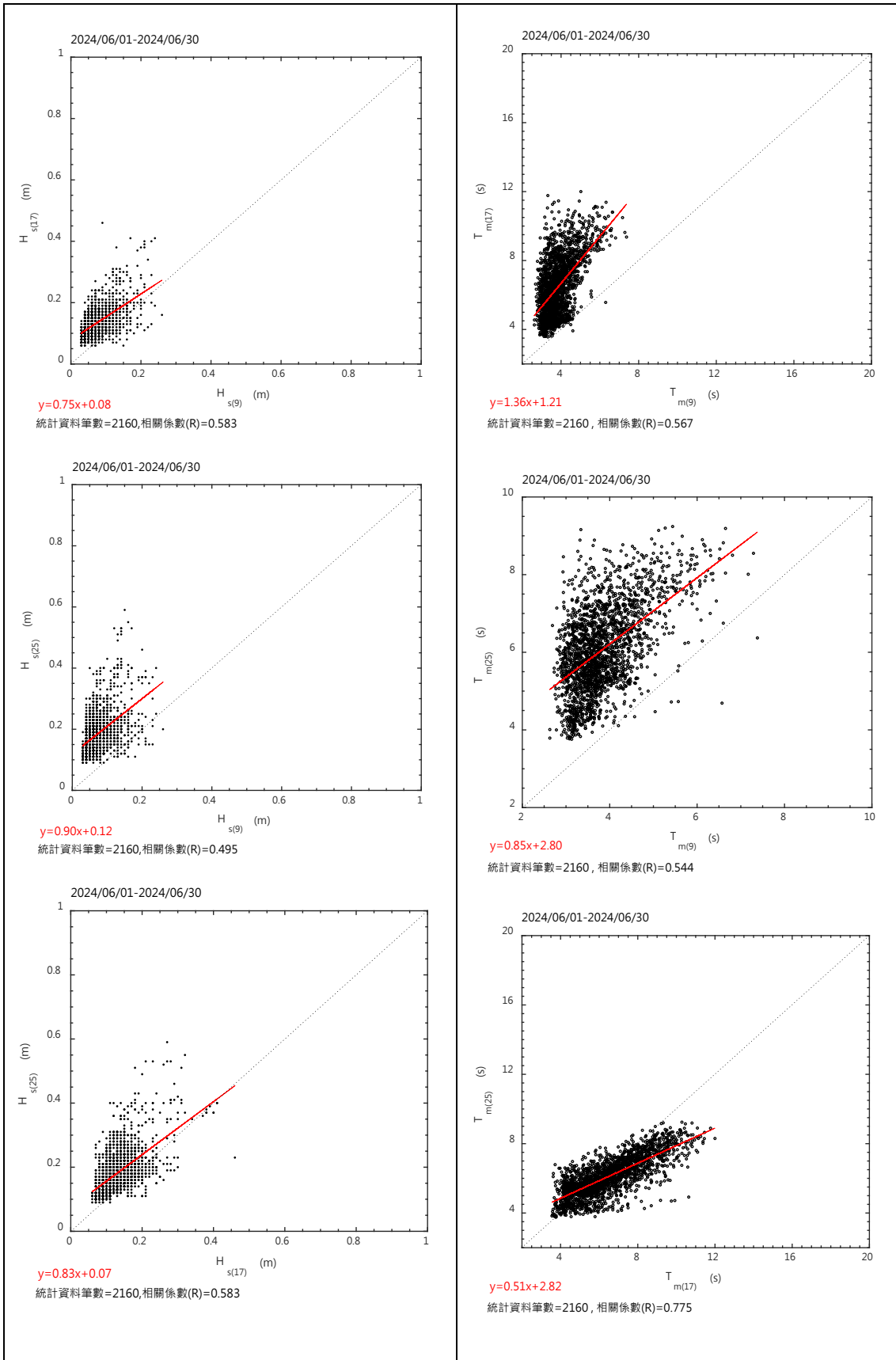
附圖 2.17c 113 年 5 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



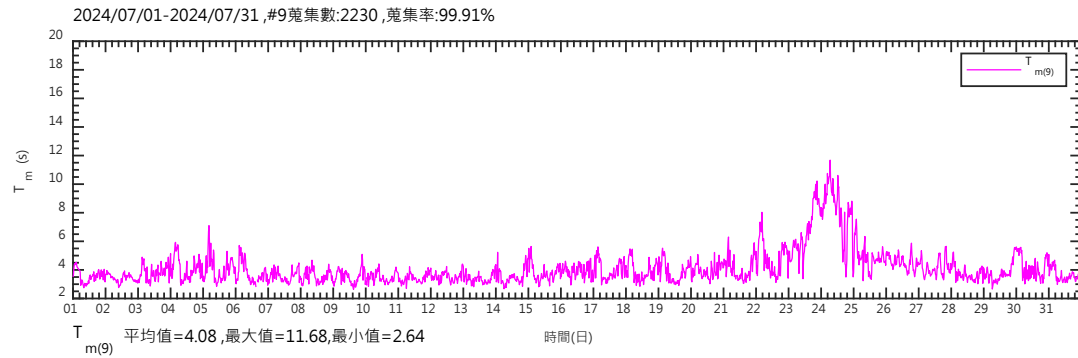
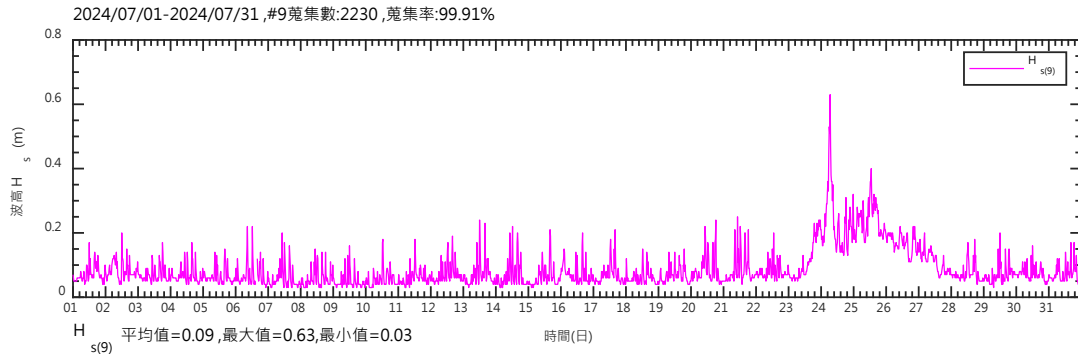
附圖 2.18a 113 年 6 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



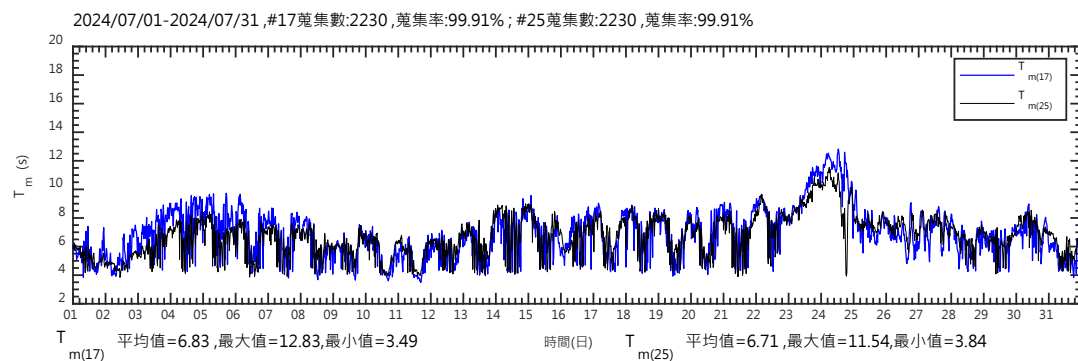
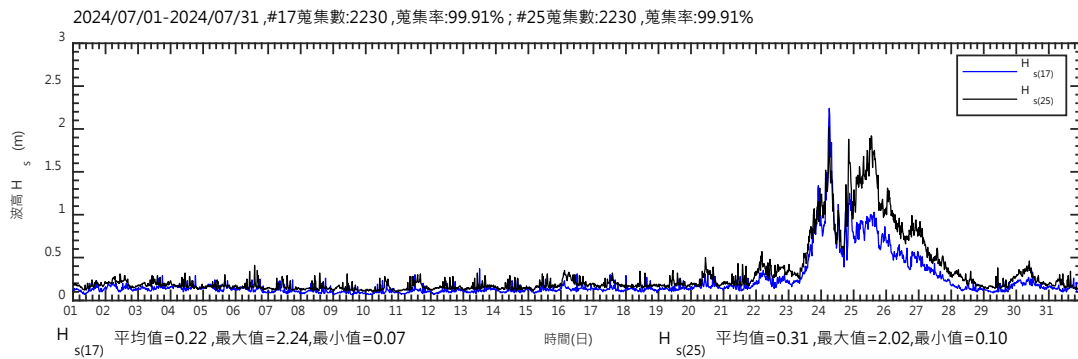
附圖 2.18b 113 年 6 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



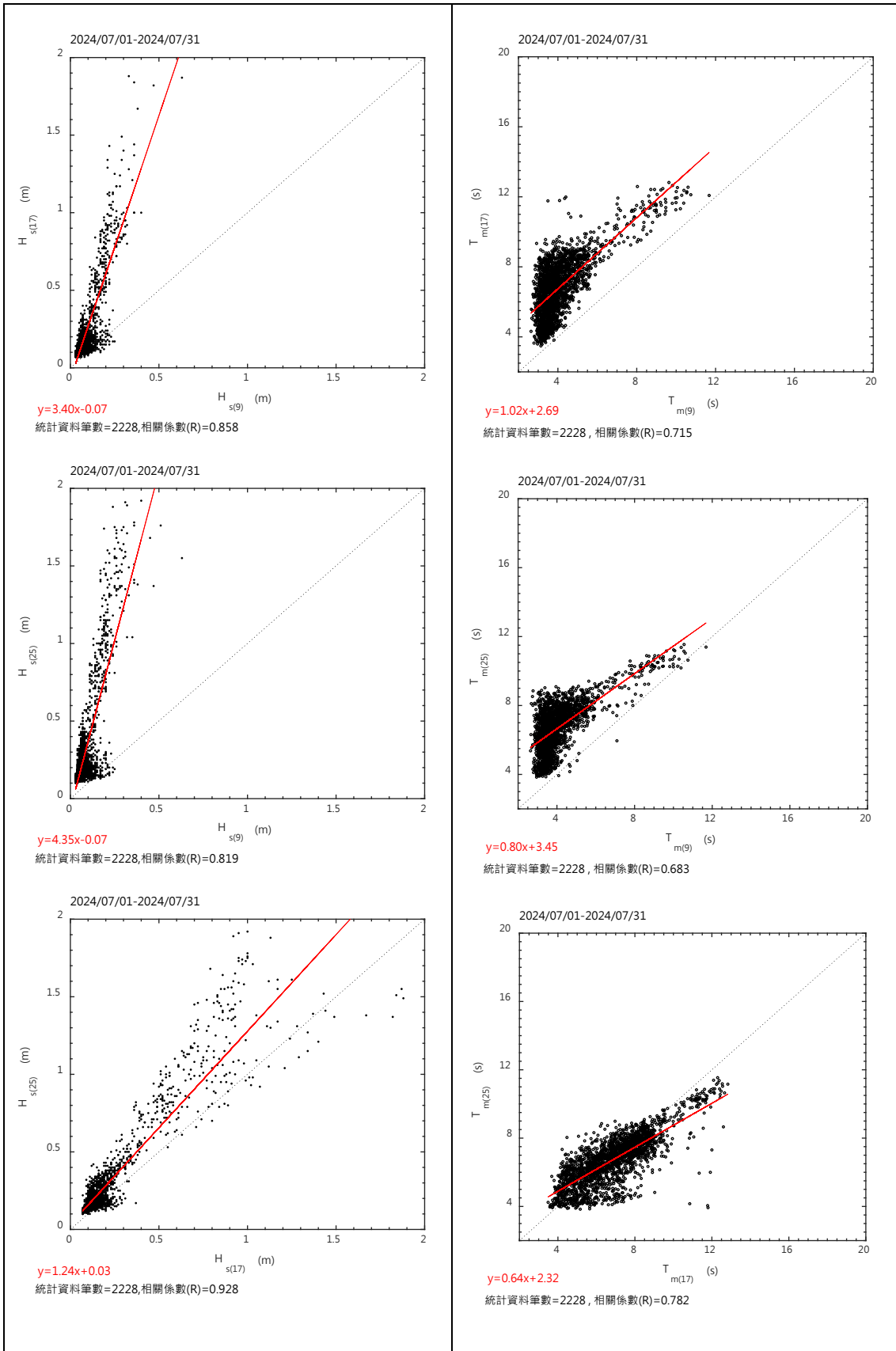
附圖 2.18c 113 年 6 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



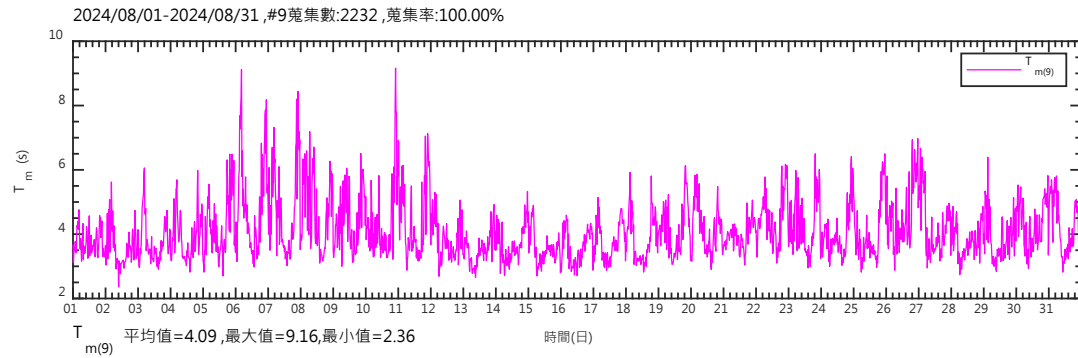
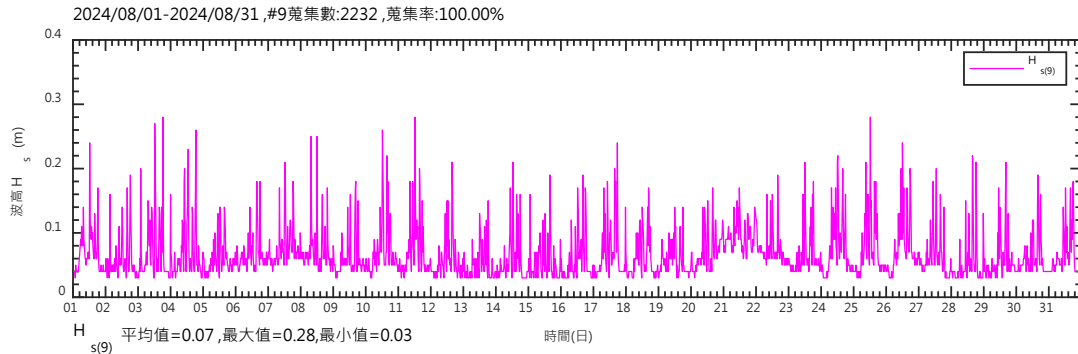
附圖 2.19a 113 年 7 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



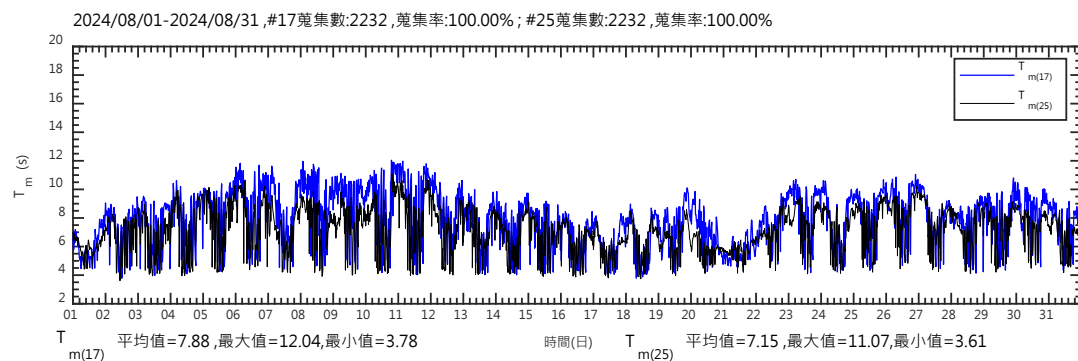
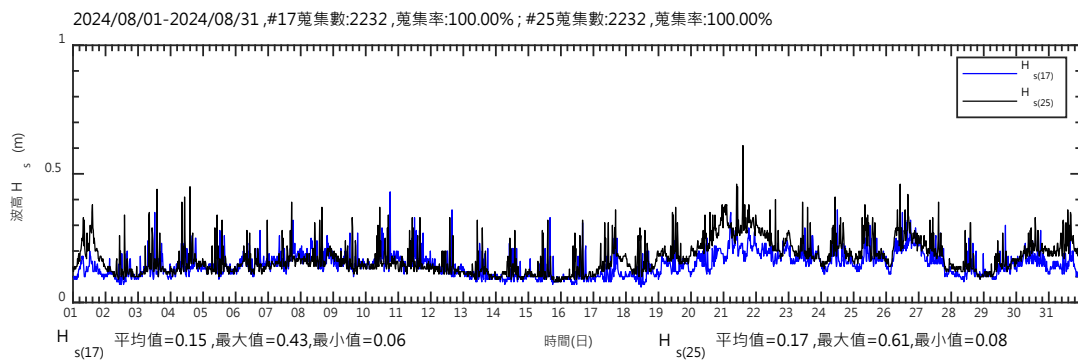
附圖 2.19b 113 年 7 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



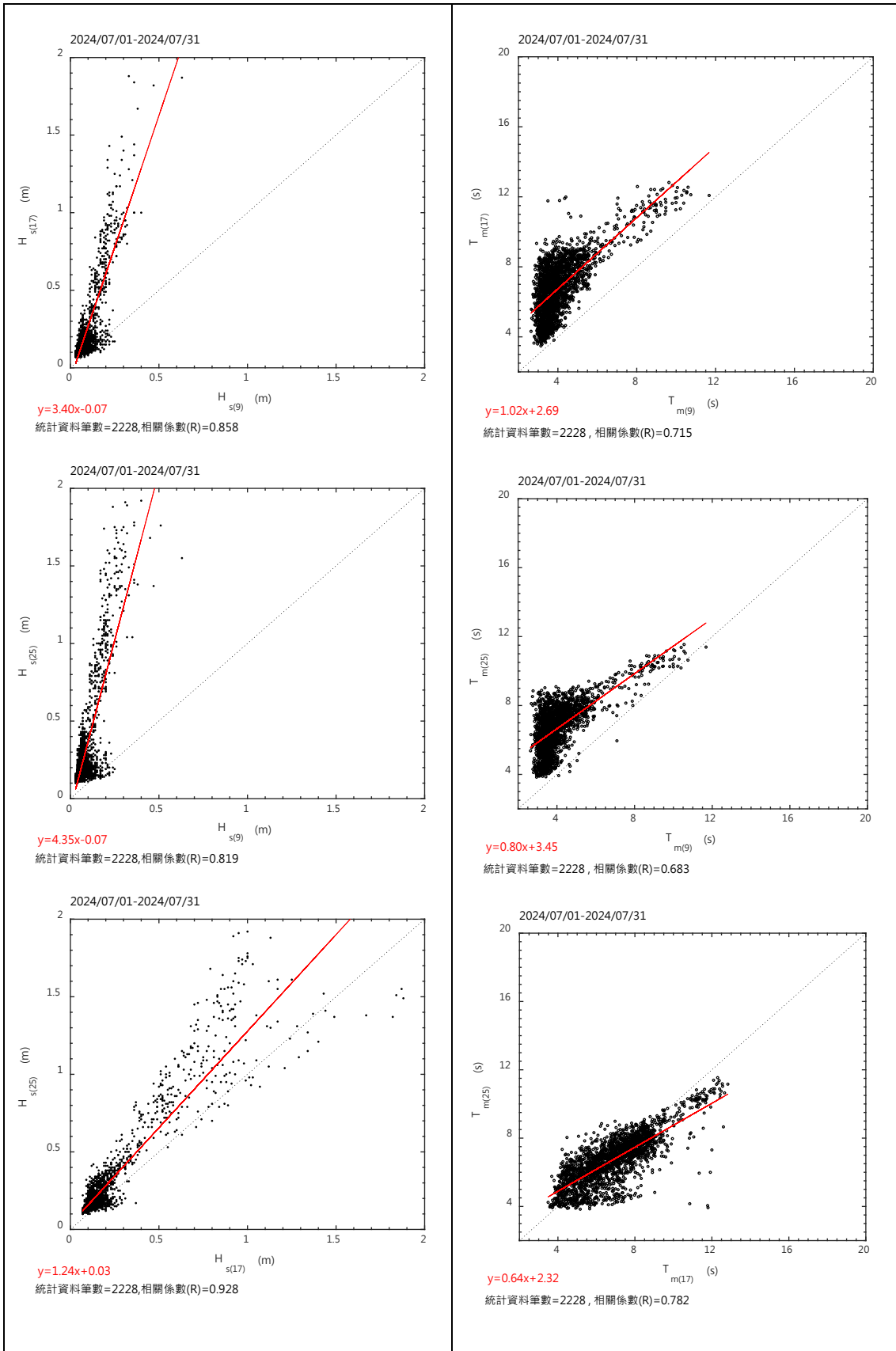
附圖 2.19c 113 年 7 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



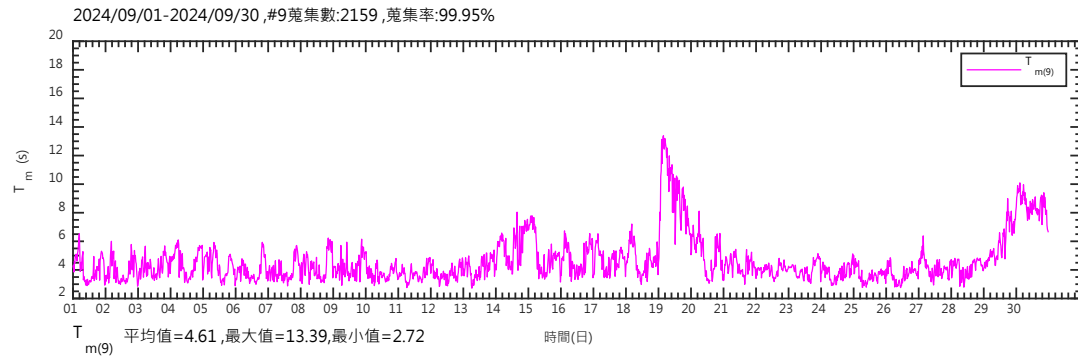
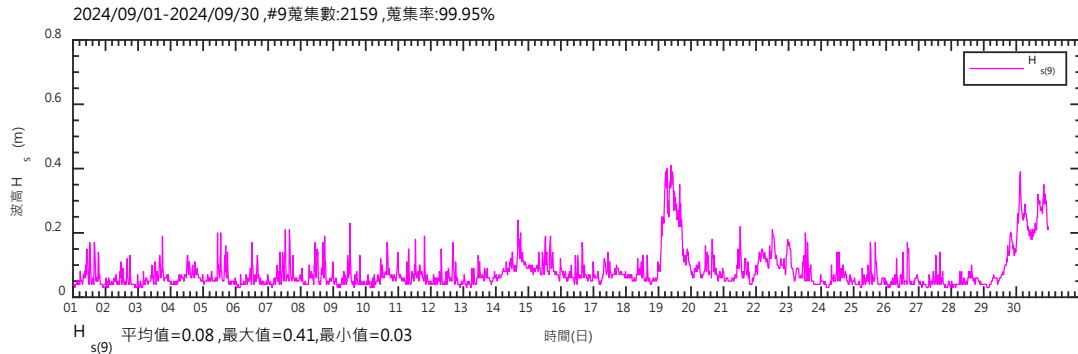
附圖 2.20a 113 年 8 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



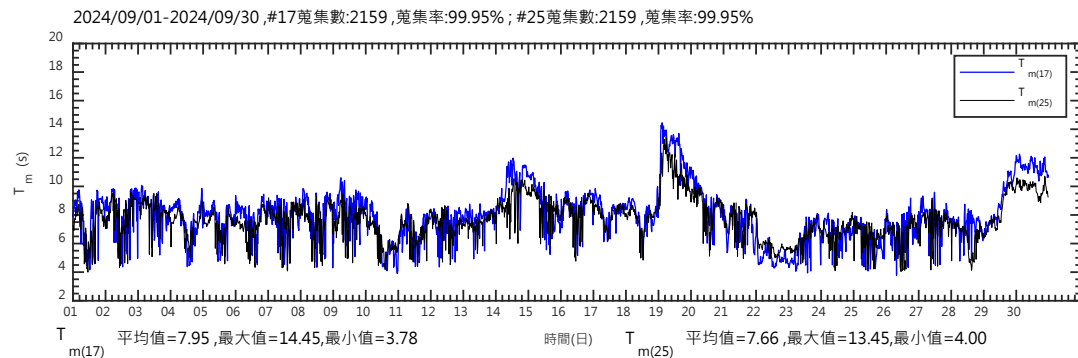
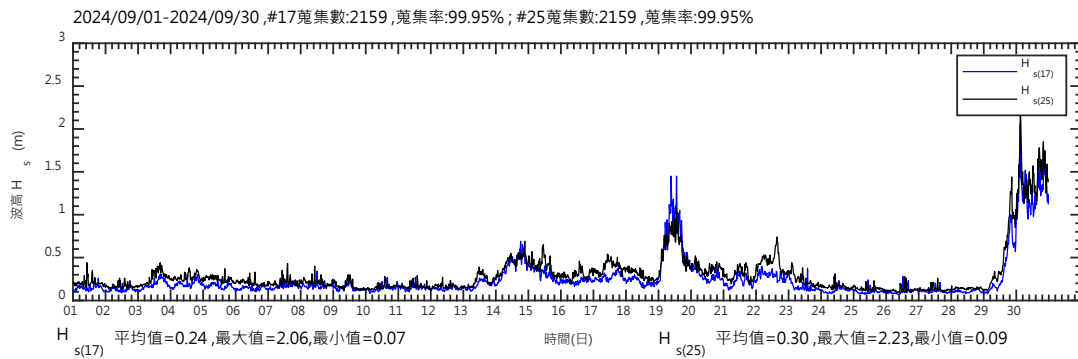
附圖 2.20b 113 年 8 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



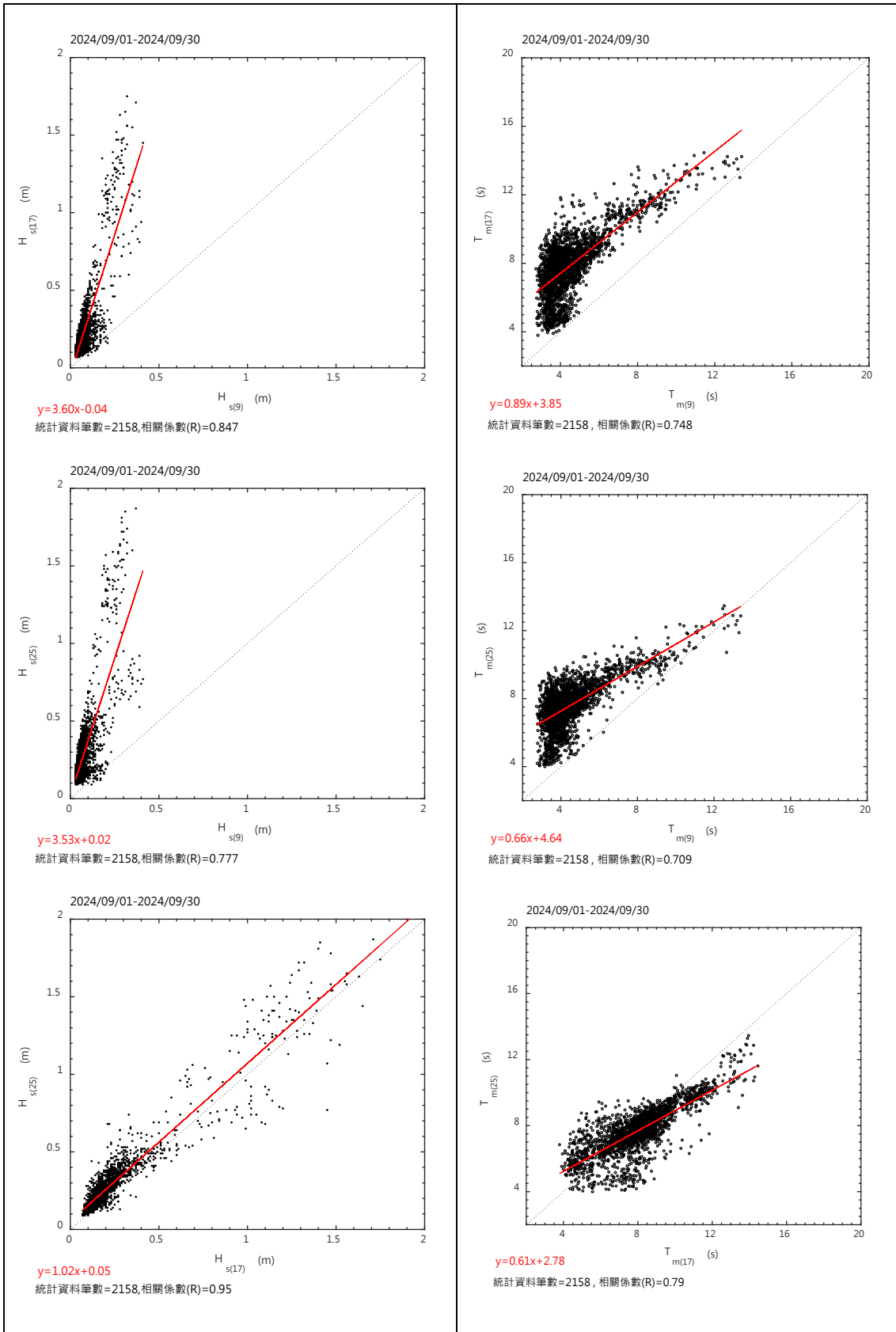
附圖 2.20c 113 年 8 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



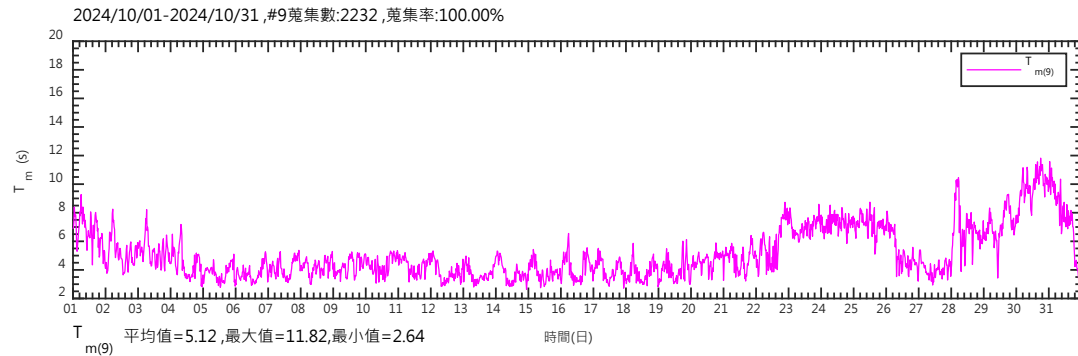
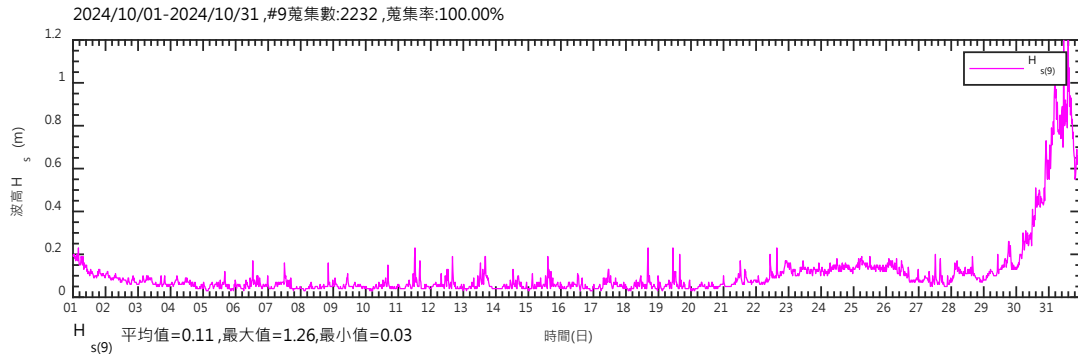
附圖 2.21a 113 年 9 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



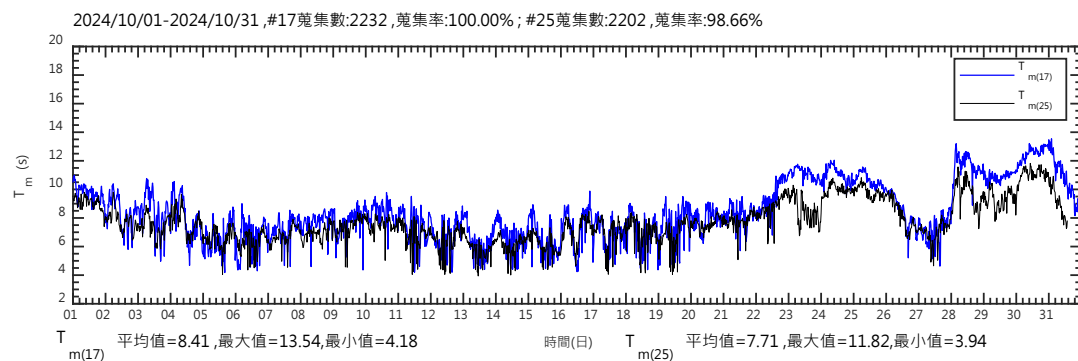
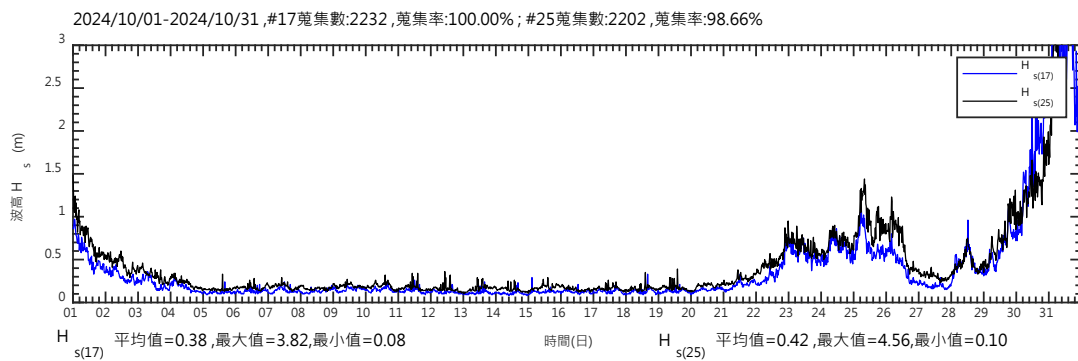
附圖 2.21b 113 年 9 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



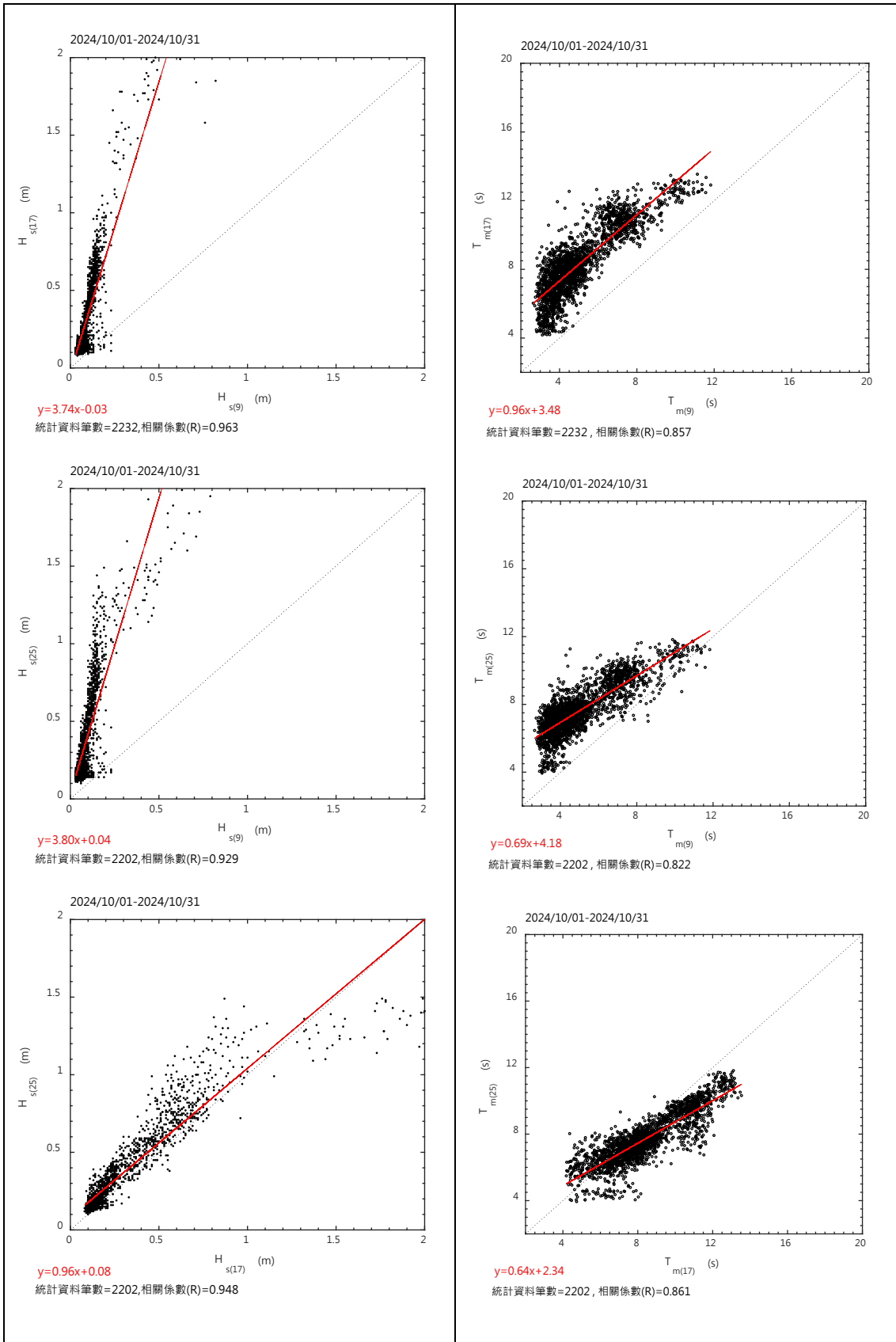
附圖 2.21c 113 年 9 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



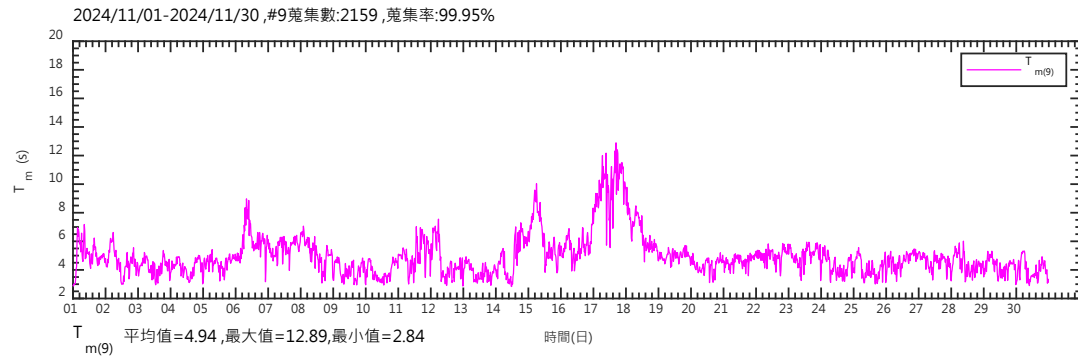
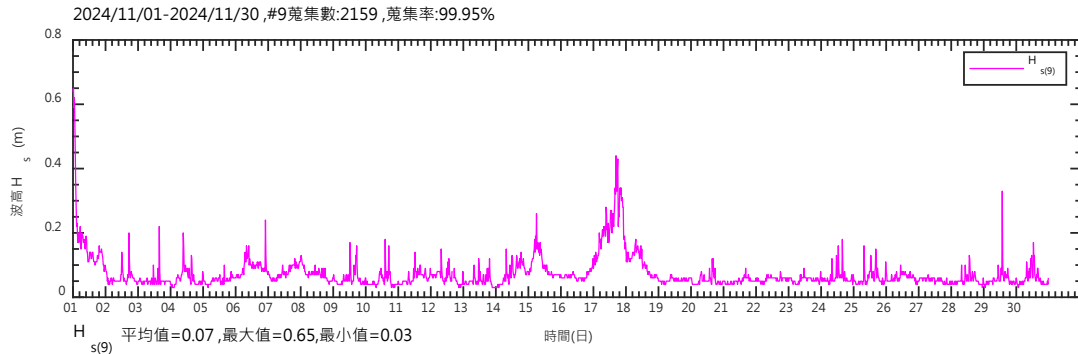
附圖 2.22a 113 年 10 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



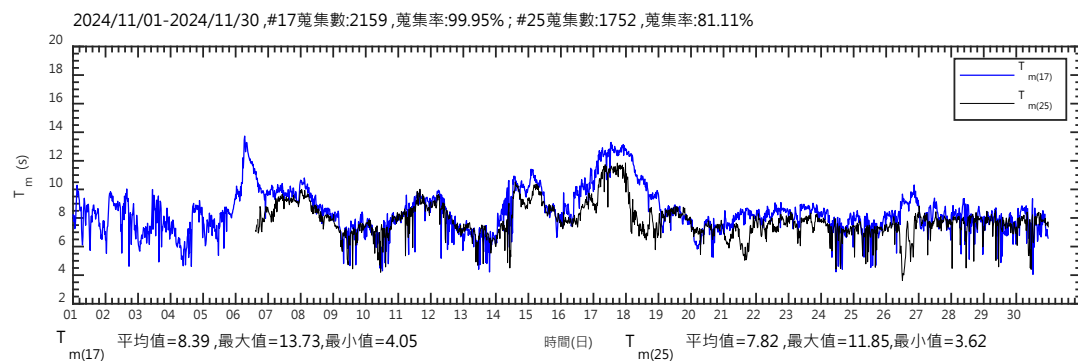
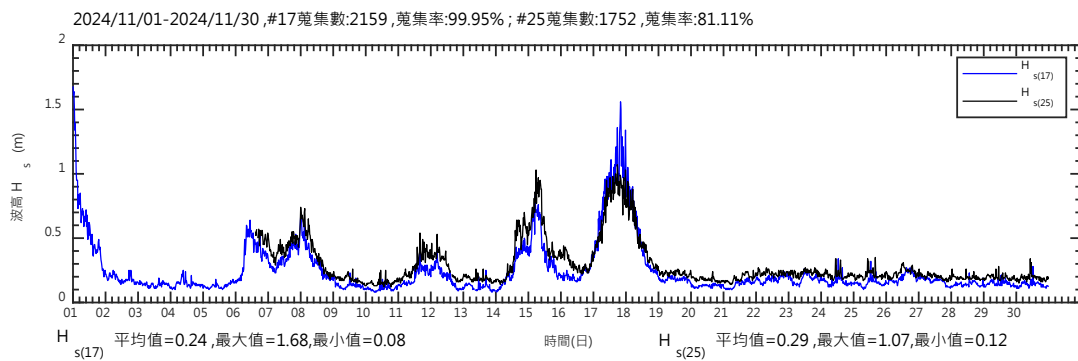
附圖 2.22b 113 年 10 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



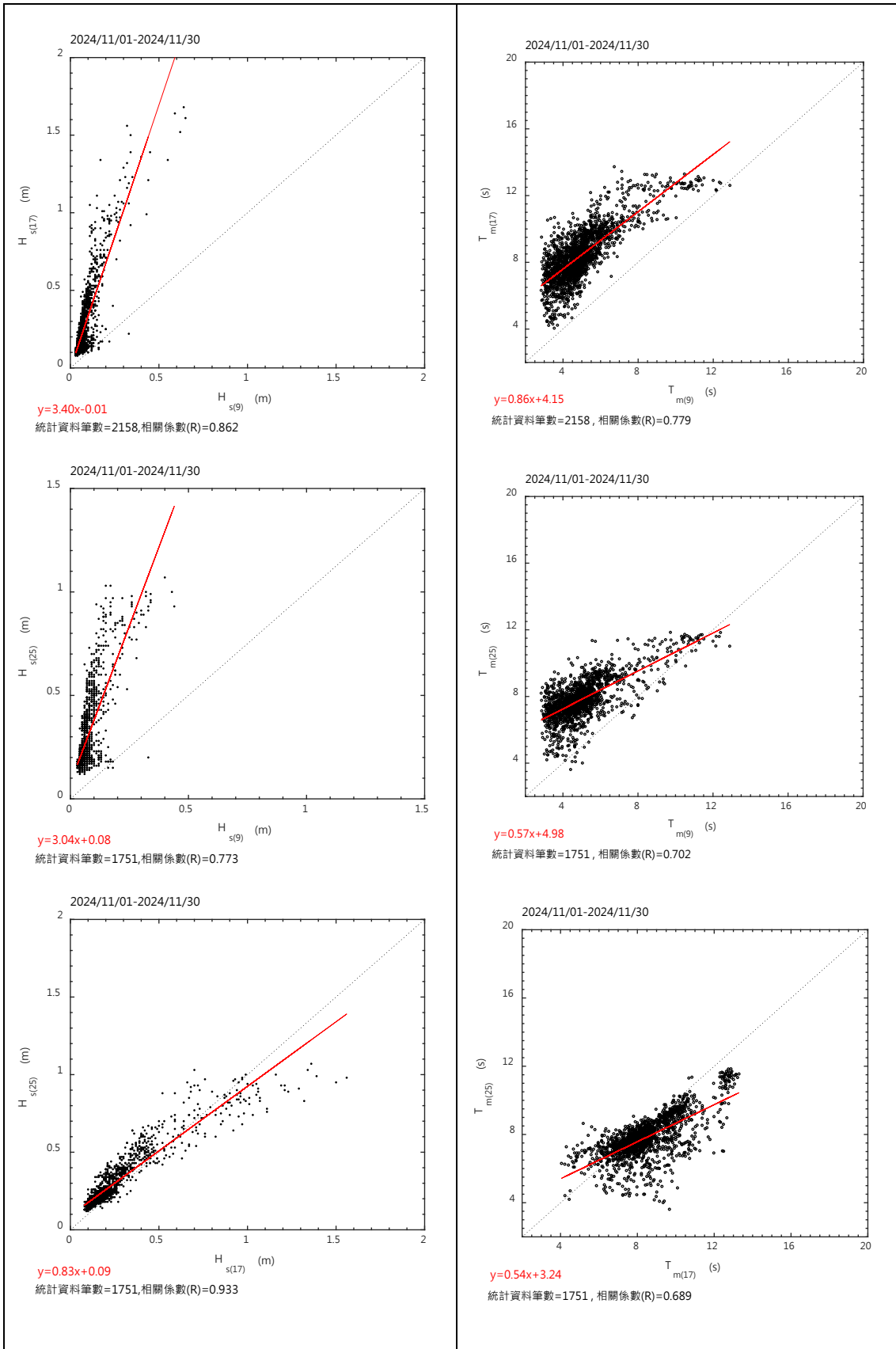
附圖 2.22c 113 年 10 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



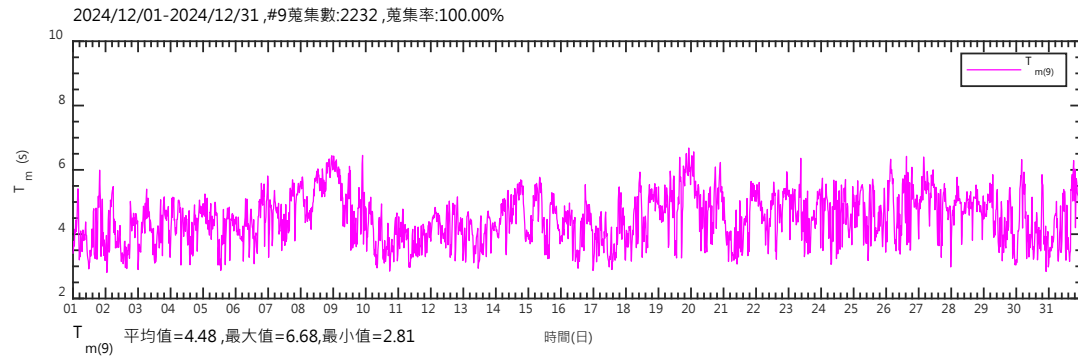
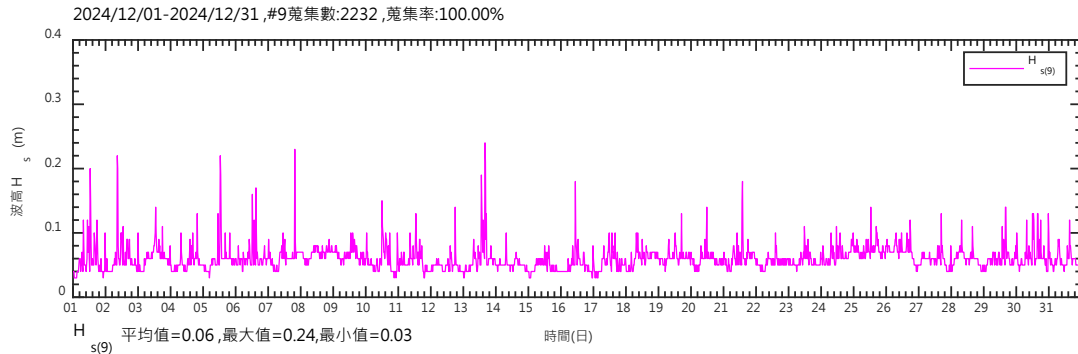
附圖 2.23a 113 年 11 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



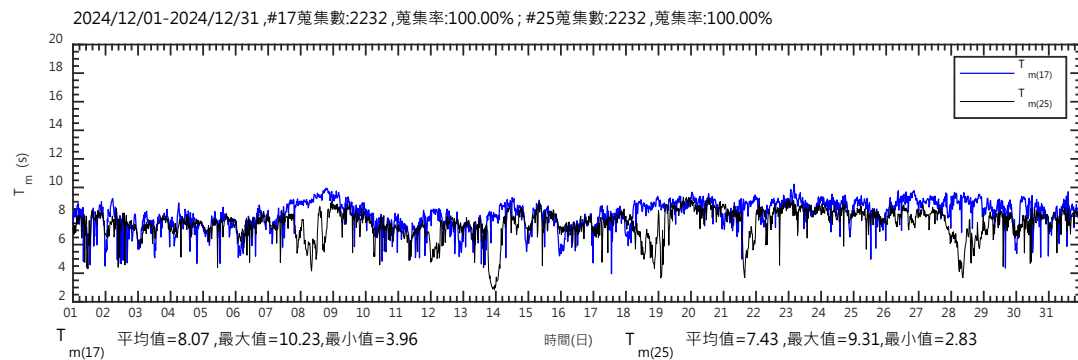
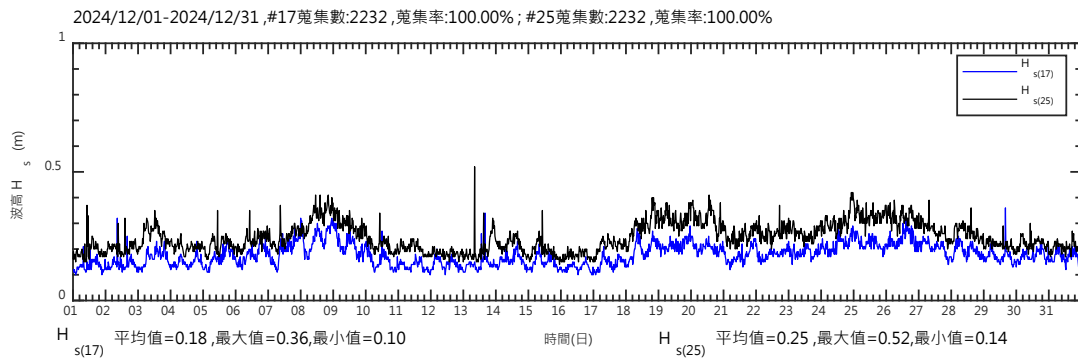
附圖 2.23b 113 年 11 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



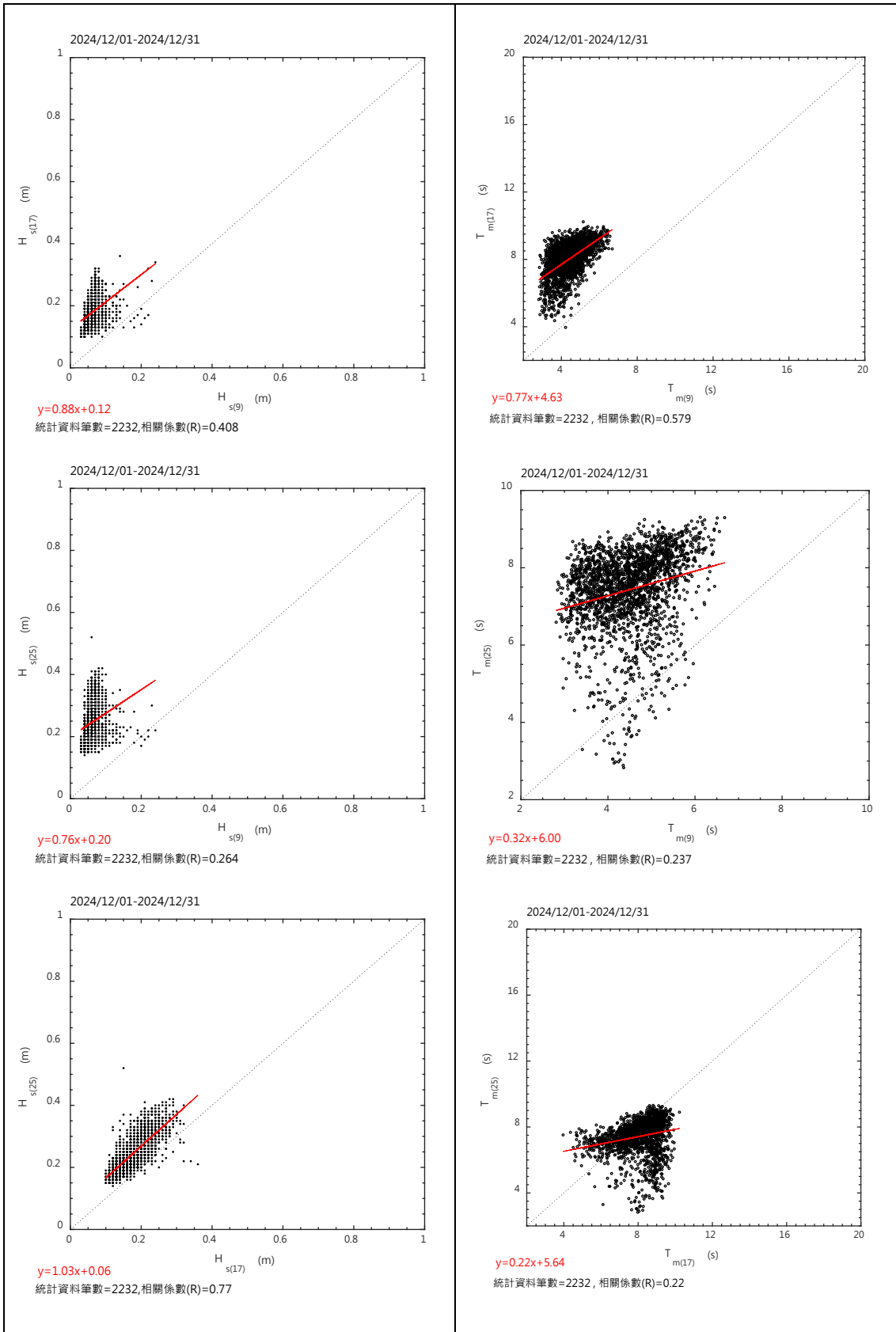
附圖 2.23c 113 年 11 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖



附圖 2.24a 113 年 12 月花蓮港 9 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



附圖 2.24b 113 年 12 月花蓮港 17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  歷線圖



附圖 2.24c 113 年 12 月花蓮港 9、17 及 25 號碼頭  $H_s$ 、 $T_m$  相關性圖

## 附錄三

# 花蓮港船舶進出港管制 相關規定及資料

- 1.「臺灣港務股份有限公司颱風期間船舶靠泊作業原則要點暨  
花蓮港作業摘要表」
- 2.「花蓮港濃霧管制標準及能見度儀設置研商」會議紀錄
- 3.花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項



## 臺灣港務股份有限公司颱風期間船舶靠泊作業原則要點

- 一、臺灣港務股份有限公司（以下簡稱本公司）為維護颱風期間本公司所屬各港碼頭設施及船舶進出港航行安全，特訂定本作業要點，供本公司各分公司（以下簡稱分公司）訂定所屬港口船舶靠泊作業細則。
- 二、定義：
  - （一）颱風期間：係指中央氣象局發布海上、陸上颱風警報（警戒區域涵蓋所屬各港地區）起至陸上颱風警報解除後 24 小時之時段。
  - （二）風力依據：
    - 1、船舶交通服務中心（以下簡稱為 VTS）海氣象儀測得平均風力。
    - 2、中央氣象局網站「藍色公路航段海象預報資訊系統」、「漁業氣象」之「三天漁業」、「臺灣近海」之氣象預報資料。
  - （三）平均風力：海氣象儀測數在 15 分鐘內之風力平均值。
- 三、海上颱風警報發佈後，請各輪船公司及船務代理公司注意颱風動態，欲進出港之船舶，應儘早辦好進出港手續，以免颱風接近港口風大浪高時，無法進出港。
- 四、各分公司應通知各輪船公司或船務代理公司告知商輪船長及船員務必於陸上颱風警報發布後，應自動回船以茲應變，共同維護船舶及港區之安全。
- 五、海上、陸上颱風警報發布後，經研判颱風可能侵襲所轄港口，該分公司商港港務單位應掌握在港船舶動態，並至少應於 7 級暴風圈預定抵達 6 小時前，決定港區內相關船舶出港時間，另儘早規劃船席調配事宜，必要時得移泊至安全船席或出港，以免發生斷纜、擱淺等事故。
- 六、各分公司各港務單位應考量所轄各港特性，依颱風級數、行徑、海（陸）上颱風警報發佈等情況，訂定颱風期間依船舶種類【如客輪（含國內、國際航線、兩岸）、危險品船和貨櫃船等】、噸數分級之進出港航行與靠泊作業細則，並得訂定漁船防颱或特殊與例外條件之相關作業辦法。
- 七、強制出港船舶得由各分公司依港口特性訂定出港作業優先順序，非強制出港船舶，如經現場判斷或跡象顯示具有危險性，得下令該船舶出港。

- 八、 可在港內滯港船舶，仍請審慎檢視船況、貨載情況，必要時及早出港。如決定滯港應依照各分公司規定加強繫纜並辦理各項防颱作業事宜；如決定出港應及早備便，在規定時間內出港。各分公司得訂定在港滯港船舶，加強繫纜之處理原則。
- 九、 颱風期間停泊港區船舶應有足夠人員留守，並須有高級船員留船，俾有足以操縱船舶航行及應付緊急事變之能力，機動船舶均應備便主機，俾必要時可立即應變。
- 十、 為加強國際航線及兩岸客輪進出港靠泊安全，各分公司應優先處理並儘早將颱風相關動態及港區管制措施，告知該輪船公司或船務代理有限公司以為因應。
- 十一、 船舶未依規定出港違規者，得要求前述違規船舶船長簽訂切結書，承諾滯港期間發生意外事故，由船長及船東自行負責。
- 十二、 本要點自公布日實施，如有未盡事宜，得適時檢討修訂之。



花蓮分公司花蓮港（客輪（含國內、國際線、兩岸）、危險品船、貨櫃船與其他船舶）颱風期間船舶靠泊作業規定摘要表

颱風級數	颱風行徑	作業規定（亦得分別制定海上、陸上颱風警報發布時之不同作業規定）	備註
強烈颱風	東部侵襲或巴士海峽侵襲。	<p>一、依據中央氣象局發布颱風形成或影響東部海域時，花蓮港務分公司（以下簡稱本分公司）港務處即通知各代理行轉知所代理之船舶應加強繫纜，並備足油、水及各項補給品，以便港內產生湧浪時能即出港避浪（湧）。</p> <p>二、依據中央氣象局對東部地區發布海上颱風警報，本分公司成立應變小組即通知港口相關單位召開防颱會議，並依決議執行防颱措施，在港船舶建議適時出港避颱，港灣作業採取只出不進管制方式。</p> <p>三、受颱風外圍影響時，船舶應加強繫纜並加掛防颱纜，如觀察外港 25 號碼頭浪湧起伏達 1 公尺以上，致使船舶靠泊碼頭有損害港埠設施或船舶安全顧慮時，本分公司得指示代理行辦理船舶出港避風（湧）。</p> <p>四、在港船舶因主機故障無法出港避浪（湧），本分公司得指示移泊，必要時可申請拖船協助推頂穩固，其曳船費用依規定辦理收費。</p> <p>五、颱風過後本分公司參酌港域湧浪狀況，視 25 號碼頭浪湧起</p>	

10160521040-11.doc





		伏在 1 公尺以下，再適時通知各船舶恢復進出港作業；如出港避浪（湧）船舶又再次預報進港裝卸貨作業，本港以先出港避颶之船舶於返抵後先行依序安排進港為原則，其次再排當日預報船舶進港作業。	
中度颶風	東部侵襲或巴士海峽侵襲。	同上	
輕度颶風	東部侵襲或巴士海峽侵襲。	同上	

# 「花蓮港濃霧管制標準及能見度儀設置研商」 會議紀錄

壹、會議時間：110年4月22日（星期四）下午15時00分

貳、會議地點：本分公司三樓會議室

參、主席：李港務長順益

記錄：甘知育

肆、出席人員：如簽到表

伍、主席致詞：略

陸、與會單位意見：

一、本分公司港務處：建議管制標準如下

（一）內港：以前後導燈連線延伸窄航道出口長度1,500公尺為內港進出港能見度管制標準下限。

（二）外港：以外港迴船池直徑700公尺為外港進出港能見度管制標準下限。

二、金澧有限公司：

（一）查閱友港管制標準有寬有鬆，建議參考友港標準，取其衡平之數值。

（二）建議訂定管制基準後，仍得以引水人之建議依現場狀況辦理。

三、花蓮港引水人辦事處：

（一）花蓮港確實有受間歇性豪大雨勢影響，能見度不佳，於窄航道出口無法判別堤口確切位置之情事。

（二）本辦事處建議低能見度管制標準：外港為引水站至堤口之距離、內港為堤口至窄航道口之距離，考量以上距離均約為1海浬，故建議以1海浬為本港低能見度

管制標準。

- (三) 能見度儀設置地點：建議以西堤靠 25 號碼頭處為佳。

## 柒、會議決議：

### 一、有關花蓮港濃霧管制標準及能見度儀設置：

- (一) 本港引水站距堤口紅燈塔為 1 海浬，據此花蓮港低能見度管制標準暫定為 1 海浬(1852 公尺)，如未達管制標準得依領港視本港現況停止領港作業。
- (二) 能見度儀設置區域以西堤堤頭附近處為原則。
- (三) 前項管制標準，俟能見度儀設置並測試穩定後再增修至「花蓮港船舶進出港指南」並公告，若有窒礙可再檢討之。

### 二、臨時動議：花蓮港出港避風避湧管制標準

應海上颱風警報發布，但警戒範圍不包含台灣東部海域，以及本港南方海域生成之颱風或熱帶低氣壓，其外圍環流長浪影響本港船舶進出港等情形，與會單位共同商議調整花蓮港颱風期間船舶進出港航行與靠泊作業規定如下：

發布管制		管制標準	
狀況	決策單位	內港	外港
海上颱風警報發布，且警戒範圍包含台灣東部海域	防颱會議(緊急應變小組)	25 號碼頭水尺 湧浪起伏達 1 公尺以上，內外港船舶依限出港避湧，實施內外港進出港管制。	
海上颱風警報發布，但警戒範圍不包含台灣東部海域	港務處 監控中心	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 25 號碼頭水尺湧浪起伏達 1 公尺以上，實施內港「進」港管制。</li> <li>● 8 號碼頭水尺湧浪起伏未達 1 公尺：內港船舶得於裝卸作業完成後再行出港<sup>*註 1</sup>。</li> <li>● 8 號碼頭水尺湧浪起伏達 1 公尺以上：內港船舶依限出港避湧，實施內港「出」港管制。</li> </ul>	25 號碼頭水尺湧浪起伏達 1 公尺以上，外港船舶依限出港避湧，實施外港「進、出」港管制。
颱風或熱帶低氣壓外圍環流影響			
註 1：裝卸期間，須由輪船長及船務代理行簽立切結書，自負靠泊安全及損害責任。			

柒、散會（下午 16 時 00 分）

# 臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司

## 花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項

111年5月26日花港港字第1114052368號函訂定  
112年2月18日花港港字第1128201081號函修正  
114年7月07日花港港字第1148204024號函修正

### 一、依據：

- (一) 災害防救法第十九條
- (二) 商港法第四十一條
- (三) 臺灣港務股份有限公司災害防救業務計畫
- (四) 臺灣港務股份有限公司颱風期間船舶靠泊作業原則要點

### 二、定義：

- (一) 颱風期間：係指中央氣象局發布海上、陸上颱風警報起至陸上颱風警報解除後二十四小時之時段。
- (二) 湧浪期間：係指中央氣象局未發布海上、陸上颱風警報，花蓮港受低氣壓外圍環流影響，依據交通部運輸研究所港灣技術研究中心-花蓮港區靜穩觀測系統觀測外港二十五號碼頭湧浪起伏達一公尺以上之時段。

### 三、決策單位：

- (一) 颱風期間決策單位：花蓮港務分公司防颱會議(緊急應變小組)。
- (二) 湧浪期間決策單位：花蓮港務分公司港務處監控中心。

### 四、營運船舶(含工作船)防颱作業原則如下，未達管制標準前決策單位得研判颱風後續路徑及湧浪趨勢，適時請在港船舶出港避風避湧，不受下列原則所限：

- (一) 颱風期間，警戒範圍含花蓮地區(花蓮港)
  - 1.如觀測外港二十五號碼頭湧浪起伏達一公尺以上，致使船舶靠泊碼頭有損害港埠設施或船舶安全顧慮時，內、外港船舶依限出港避湧，實施內外港「進、出」港管制。
  - 2.颱風過後，決策單位參酌港域湧浪狀況，視二十五號碼頭浪湧起伏在一公尺以下，再通知各船舶恢復進出港作業；如出港避浪(湧)船舶再次預報進港裝卸貨作業，以先出港避風之船舶於返抵後先行依序安排進港為原則，其次再當日預排船舶進港作業。
  - 3.總噸逾五百之船舶應於七級暴風圈抵達花蓮港至少十小時前出港或進入塢內避風避湧，船長應視颱風動態及自身船況提前出港避颱。
- (二) 颱風期間，警戒範圍不含花蓮地區(花蓮港)
  - 1.如觀測外港二十五號碼頭湧浪起伏達一公尺以上，進出港管制方式如下：

- (1)觀測外港二十五號碼頭湧浪起伏達一公尺以上、內港八號碼頭湧浪起伏未達一公尺時，外港船舶依限出港避湧，內港船舶得於裝卸作業完成後再行出港<sup>註一</sup>，實施外港「進、出」港管制、內港「進」港管制。
  - (2)觀測外港二十五號碼頭及內港八號碼頭湧浪起伏達一公尺以上，內、外港船舶依限出港避湧，實施內、外港「進、出」港管制。
- 2.外圍環流過後，決策單位參酌港域湧浪狀況，視二十五號碼頭浪湧起伏在一公尺以下，再通知各船舶恢復進出港作業；如出港避浪(湧)船舶再次預報進港裝卸貨作業，以先出港避湧之船舶於返抵後先行依序安排進港為原則，其次再當日預排船舶進港作業。
- (三) 湧浪期間

1.如觀測外港二十五號碼頭湧浪起伏達一公尺以上，進出港管制方式如下：

- (1)觀測外港二十五號碼頭湧浪起伏達一公尺以上、內港八號碼頭湧浪起伏未達一公尺時，外港船舶依限出港避湧，內港船舶得於裝卸作業完成後再行出港<sup>註一</sup>，實施外港「進、出」港管制、內港「進」港管制。
  - (2)觀測外港二十五號碼頭及內港八號碼頭湧浪起伏達一公尺以上，內、外港船舶依限出港避湧，實施內、外港「進、出」港管制。
- 2.外圍環流過後，決策單位視二十五號碼頭浪湧起伏在一公尺以下，再通知各船舶恢復進出港作業;如出港避浪(湧)船舶再次預報進港裝卸貨作業，以先出港避湧之船舶於返抵後先行依序安排進港為原則，其次再當日預排船舶進港作業。

五、依據中央氣象局長浪警報單，東部海域發生湧浪時，花蓮港務分公司即通知各代理行轉知所代理之船舶應加強繫纜，並備足油、水及各項補給品，以便港內產生湧浪時能即出港避浪（湧）。

六、颱風或湧浪期間，船舶(含遊艇、公務船舶)停靠應避免影響緊急救援任務，並應繫帶強度足夠之纜繩、注意船舶吃水變化與乾舷高度受風面之影響，適時調整纜繩使吃力平均，以及纜繩有無外力加注而易斷裂，避免斷纜造成災害。

七、在港船舶因主機故障無法出港避浪(湧)，花蓮港務分公司得指示移泊，必要時可申請拖船協助推頂穩固，其曳船費用依規定辦理收費。

註一:花蓮港務分公司發布外港出港避風湧通知書，內港船舶得於裝卸作業完成後再行出港，惟須由輪船長及船務代理行簽立切結書，自負靠泊、航行安全及損害責任。

## 花蓮港颱風湧浪期間切結書

本船長\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ 船務代理謹聲明：

\_\_\_\_\_ 輪所有船機、裝備及航行儀器，均處於良好使用狀況，於花蓮港務分公司發布出港避風湧通知書後，可安全停泊於花蓮港內港\_\_\_\_\_ 碼頭繼續裝卸事宜，在本船裝卸、出港期間，倘有任何肇致港埠設施或對他船之損害，船東及本人切結承擔一切之賠償責任。

船長：\_\_\_\_\_

船務代理：\_\_\_\_\_

此致 花蓮港務分公司監控中心

## 附錄四

# 專家學者座談會及 歷次工作會議紀要



## 附錄四 專家學者座談會及歷次工作會議紀要

### 交通部運輸研究所運輸技術研究中心會議紀錄

會議名稱：114 年度本所運輸技術研究中心第二科及第三科自行研究計畫專家學者座談會議

時間：114 年 5 月 14 日(星期三) 上午 10 時

地點：本所運輸技術研究中心 2 樓會議室

主持人：蔡立宏主任

紀錄：林英爵

出席單位及人員：如後附簽到表

壹、審查意見：

一、張家豪委員：

(一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

風力限制係船舶進出臺中港重要條件之一，目前航港局訂定之臺中港船舶進港風力管制標準係採用北堤運輸技術研究中心（以下簡稱運技中心）測站及南堤台灣中油股份有限公司（以下簡稱中油公司）測站風力數據之平均值，惟引水人反映中油公司南堤測站之數據並非公開資料，建議改採用南堤運技中心測站。但各測站因設置地點、障礙物、角度不同，測得之風力數據亦不同，如果可透過本研究之校正機制，採用運技中心南北堤兩個測站公開資料重新調整風力管制標準，亦可解決引水人因現行中油公司南堤測站資訊沒公開而無法即時判斷及預測風力大小的問題。

(二)澎湖港設計水位之探討：

1. 本研究之範圍界定無敘明清楚，請釐清是否只探討澎湖港碼頭設計水位，抑或有包括蒐集臺北港等 11 個商港之潮位觀測資料並進行分析。
2. 另請確認臺灣港務股份有限公司（以下簡稱港務公司）委託代管測站是否有包含馬祖港及金門港，因目前上述二港係由行政院指定連江及金門縣政府代管。

(三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(2/2)-水中無線通訊系統建置：

1. 計畫中說明113年於基隆港、114年於高雄港布設無線底碇式波流觀測站外，尚會優先針對易斷纜之港口規劃設置上述測站，目前尚有規劃哪些港口要設置。

2. 臺中港時常有海豚洄游至港區，本案利用聲波無線通訊取代傳輸纜線方式傳送資料，是否對海豚等水下生物聽覺造成影響，這部分可能成為另一個保育課題。

(四)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

據瞭解運輸研究所長期研究花蓮港港池靜穩度，本案為3年期計畫，今年為第3年，簡報亦說明將會研擬包括通水箱涵、消能碼頭及拋石消能設施等改善方案，由於用在港口公共基礎設施之航港建設基金建設經費逐年減少，在資源有限下，建議各方案可納入財務及經濟效益分析，以提供耗費少卻具改善效益之方案予港務公司參考。

(五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

P34-36本案3年期計畫第2年(113年)係選定花蓮港7號碼頭規劃改善為消能碼頭型式，第3年(114年)是否亦針對該碼頭之消能碼頭型式予以改良及精進。上述之研究成果是否有可能與第4案消能措施方案予以整合，以有效改善花蓮港內港區之水域靜穩度。

(六)智慧航安與海氣象資訊應用探討(4/4)-整合船舶智慧航行管理系統：

為了降低我國周邊海域船舶在劇烈海象下發生海難的風險，目前已由航港局協調中央氣象署進行優化災害性天氣及颱風期間近岸12浬淨空措施，依據該署新一代劇烈天氣監測系統(QPEplus)客製化逐3小時預報資料，規劃我國海域海象監控區域及設定預警閾值，當氣象單位預測劇烈海象即將影響某一海域時，航港局會至少於12小時前利用基隆海岸電台 NAVTEX、該局海事中心 AIS 信文廣播推播訊息及各港口 VTS 無線電通報等管道通知該海域警戒區滯留船舶勸離近岸12浬，以確保該等船舶在劇烈海象影響前具有充裕時間可航行至安全水域避風。建議未來也可以研議是否結合目前運輸研究所正在研究的特高頻資料交換系統(VDES)進行船舶資訊傳遞。另外航港局之航港1號智慧監控船舶亦可提供運輸研究所做為測試研究使用。

(七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(3/3)-船舶觀測分析：

報告中說明海洋陣列雷達船舶觀測資訊運用將有助於船舶航行安全，由於目前政府亦重視非本國籍船舶於領海內航行之國安問題，想瞭解目前海巡署利用岸際雷達監控近岸12浬可疑船舶，如運用海洋陣列雷達是否也可以強化船舶辨識及監控成效。

(八)港區水下巡查技術初探(3/3)-水下無人載具可應用性評估：

本案縱使於港區內水域海流亦非常強勁，是否亦需考量水下無人載具(ROV)抗流能力，以避免影響其檢測及辨識成效。另ROV運用面，除可使用於港區水下設施巡查外，當於港區內外沉船海難應變時，抽油業務係為優先處理項目，ROV是否也可以運用在船體外觀及船艙油櫃探測上，甚至是否也有鑽孔及抽油能力，亦值得研議。

(九)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

本案研究範圍係針對馬祖商港福澳碼頭鄰水區域進行影像辨識作業，由於該港係由連江縣政府經營，而非港務公司經營，建請修正。

(十)智慧港口環境資訊平臺探討：

經航港局中部航務中心分析去年臺中港發生之5起海事案件中，部分案件肇因受到風力及海流影響，進出港船舶無法控制航向，導致碰撞防波堤或其他靠泊船舶。本案研究成果倘可提供港務公司建置港區海氣象資訊平臺，利用視覺化及圖形化工具提供即時港區風波潮流等觀測與預測資訊，方便船長或引水人進出港或移泊時可即時參考及判斷，並適切操縱船舶航向及航速，將可降低非人為海事發生風險。

(十一)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究：

有關研究項目部分，想瞭解如何以生成式 AI 協助蒐集文獻。其他計畫是否也可以利用 AI 蒐集資料？

二、江文山委員：

(一)商港風力案，測站校正部分，建議考量納入預報數據，相關分析多著重在極端數據。

(二)港群流的觀測類型包含雷達表面流，底碇與航道水平海流等，

各項觀測之間的比較探討。

- (三)航安與海氣象資訊應用案，建議考量探討各項海氣象因子，利瞭解相項因子的重要性。
- (四)部分港的研究有多個單項各別探討，建議考量整合為一個整合性的計畫，提供更全面的成果。
- (五)花蓮碼頭波高預測，除以波高進行模式訓練以外，建議嘗試以波譜進行訓練，並比較其成果。
- (六)相關研究成果建議再考量對外推廣，以凸顯運技中心的研究能量。

### 三、林芳如委員：

- (一)大部分計畫與中央氣象署(海象氣候組)業務相關，希望相關成果可與該組交流分享。
- (二)感謝提供花蓮港即時影像監測資料，供中央氣象署發展異常波浪預報系統使用。
- (三)108年起中央氣象署即開始發展 schism-wwm 波潮流耦合模式，目前已作業化運作，並和該署 NWW3波浪作業模式結果做比較與相關校驗，相關波浪輸出已經可供波浪預報參考使用，相關報告與研究可提供運技中心建置模式參考。簡報內之計算網格範圍很大，未來是只分析花蓮港區或全部？因模式計算需耗費計算資源，建議可再加以評估。
- (四)單一港區如有多個數值模式模擬，可以系集方式呈現，供使用者一起參考。

### 四、鍾權宏委員：

#### (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 本計畫透過商港風力觀測資料檢核、風速測站相關性分析、各商港主要測站校正機制探討，預期完成「商港主要測站之相關性」，與「商港風力資料檢核機制」，應用面在於「建立各港區之風力資料校正係數與方法，提供港務管理單位做為即時資料修正、推估及模擬預測之應用參據」，以及「訂定適用商港風力觀測資料校正機制之作業流程」，做為未來運技中心建立自動化及作業化資料檢核及校正之

參考依據。請問本研究未來所提出的各港校正係數值(可能內港1個係數、外港1個係數)，將來應用上是預計哪一種方式：(1)港務單位在取得風速資料數列測值時，乘上該校正係數後，基本上就是信賴可靠的風速資料；(2)各港港務單位須先行參照運技中心112年建立9項風力資料品管程序，剔除異常數據後，在使用本研究所提出的修正係數；(3)運技中心港灣系統呈現的風力數據，即透過本研究所提的修正係數做校正後發布，各港港務單位無需自行檢視或修正。

2. 本研究所提修正係數，未來仍會因各港陸續建立的風速計數量位置與環境差異，而持續滾動調整，所以除此修正係數會持續更新外，使用上會是(3)較務實且充分發揮本研究之成效。

#### (二)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 本研究根據花蓮港湧浪特性，評估合適之消能方案，並將消能設施布設於花蓮港模型，再接續施以前期探討之湧浪條件，量測消能設施布設前後波高變化情形，進行後續數據處理，比對波浪能量削減成果，所以消能方案的選擇將是本研究重要關鍵，建議儘量蒐集相關國外針對長週期波的實務案例，也包含同樣到(3/3)期本次運技中心自行研究案「長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究」的方案結果。
2. 本案前兩期研究期間，花蓮港務分公司與運技中心實務交流期間也提到幾個方案(向)，目前所悉可能方向包括：
  - (1)#10~#16碼頭水域，以雙T塊堆築擋浪堤，圍築成一有限開口船渠，降低擋浪堤反射波對其他水域之影響。
  - (2)#7碼頭與#12碼頭屬重力式碼頭，改建為消能式碼頭，碼頭後現有大排水溝，可延長水體消能空間。
  - (3)新東堤0k+000~0k+500港側萬代福消波岸壁，增拋40噸雙T塊，削減正面入港之湧浪能量。
  - (4)受限航道400公尺長，東側為斜坡，西側為鋼板樁岸壁，可評估是否有適當消能設施導入的機會。

(三)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立：

1. 本研究以花蓮港區為主要研究範圍，依其水深地形、海象條件及港內結構特性進行數值模擬分析，模擬範圍涵蓋港外波浪傳遞至港內的過程，考慮波浪在港內的繞射、反射與消能情形，並針對港區內不同區域(如航道、碼頭等)進行波浪變化的比較與評估。針對以下兩種情境，建議可納入研究案作分析比較：

(1)依據113年10月30日康芮颱風來襲時，運技中心於花蓮港外港所拍攝的最大堤前浪高海氣象紀錄，納入本研究分析其影響。

(2)針對#10~#16碼頭水域，以雙 T 塊或其他形式堆築擋浪堤，圍築成一有限開口船渠，波浪在港內遭遇此擋浪堤之繞射、反射與消能情形，與擋浪堤本身造成反射波對其他水域之影響。

2. 113年10月的康芮颱風，將花蓮港新東堤約1,200公尺里程的第三道胸牆打落至港池，接下來的修復工程也將設計打除混凝土塊拋放至港側堤趾，修築增厚成為堤趾保護工，接下來製作約200顆40噸雙 T 塊，預計嘗試拋放新東堤0k+000~0k+500港側萬代福消波岸壁，完成時機預計在115年6月底，建議運技中心可配合設置相關監測設備，以進行相關研究分析，或於本案可做部分驗證。

(四)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

1. 進一步優化第2年的新型消能結構物並評估其可行性部分：

(1)113年(第2期)的研究方案已針對#7碼頭消能碼頭方案提出試驗結果分析，請問預期本(114)期的優化方向為何？

(2)花蓮港形狀似口袋，#7碼頭與#12碼頭都是位於袋底，而#7與#12碼頭後線均有大排水溝，可延長水體消能空間，建議可納入分析評估。

2. 航道消能方案的選擇部分，因航道寬度限制，所以消能方案的選擇上，不宜僅限於拋放預鑄混凝土消波構造(影響有效寬度)，如果國外有不錯的實務案例，縱使工程金額更高

(如岸壁改建為消能岸壁)，此在本階段執行研究方案評估上都可納入，未來可行性研究階段再去做財務面的考量。

#### 五、鄭志宏委員：

- (一)本案所提各研究案均非常有價值，非常肯定。
- (二)計畫可跟國內外研究單位或機構合作，如港務公司、工業技術研究院、成功大學、高雄科技大學、航港局、中央氣象署、海洋大學、船舶中心、引水人等交流。
- (三)研究內容包含之前研究案，希望可以公開分享。
- (四)未來商港如有擴建案，包含臺北港、臺中港、高雄港、基隆港，希望可以先研議。
- (五)澎湖水位案，希望可以整合海洋大學之成果一併檢討，並納入LAT高程討論。
- (六)花蓮研究案，希望可以納入管理機制。
- (七)水下無人載具，港務公司有成果可提供分享。
- (八)消能結構物，希望可以帶入港務公司消波式碼頭結構模型，提供消能碼頭反射係數研究。
- (九)馬祖北竿機場跑道刻正要辦理整建加長，可否協助分析海象。

#### 六、蘇仕峯委員：

- (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：
  1. 各港區風力觀測站校正因子訂定時，可考量未來氣候變遷對極端風力事件的影響。
  2. 如何評估測站位置具有代表性？即當初決定設定的位置所獲得的資料是否符合需求。
- (二)澎湖港設計水位之探討：
  1. 澎湖港設計水位分析時，是否蒐集歷年相關澎湖地區海岸及港灣工程規劃設計之報告，對這些工程規劃使用之設計水位是否有疑慮？
  2. 設計水位分析結果，可注意是否有極端水位發生，因為島嶼地貌和臺灣陸地邊界之潮位有所不同。
  3. 可應用到交通部觀光署，例如摩西分海等景點。
- (三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(2/2)：

水中無線通訊系統建置後，資料傳輸穩定性可與既有有線系統相比。

(四)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 水工模型試驗結果可結合數值模擬進行驗證，以提高方案適用性。
2. 試驗除了規則波，也要考量真實環境的不規則波。

(五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

長波不易消散能量，但可改變港型地貌，產生不同模態週期振盪，降低波高。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(3/3)：

1. 雷達訊號應用可比對現場觀測波浪與數值模擬結果。
2. 可積極與相關使用單位技術交流，例如國家海洋研究院。

(七)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

影像辨識系統可針對不同能見度(如濃霧)或夜間進行辨識精度驗證。

(八)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估：

9、17、25碼頭波浪觀測可與港外觀測波高建立關係，可以不用模擬資料。港外數據進一步和花蓮浮標比對。

(九)花蓮海域海象模擬分析：

1. SCHISM-WWM 與 SWAN 波浪模擬差異性不大，可以檢視模式之控制方程式。SCHISM 模式不適合用於港區波浪，適合於花蓮港近岸波流場。
2. 網域模擬納入黑潮，中央氣象署利用相同模式。

(十)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)：

馬祖島嶼礁岩多，地貌複雜，波浪有明顯繞射現象，利用 MIKE21水動力與波浪模組，如何訂定模式網格邊界潮位條件?(利用 SCHISM-WWM) 島嶼下風處繞射效應利用波浪模組能符合需求嗎?

(十一)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)：

可利用「花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估」之試驗結果進行模式驗證。

(十二)114年度運技中心期刊研討計畫：

1. 建議蒐集近20年知名國際期刊有關港灣工程或管理的論文，先瞭解鄰近國家在港灣方面的研究方向與成果。
2. 鼓勵投稿國際期刊，與國際學術機構合作，提升國際能見度與影響力。

(十三)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

SWAN 可與「花蓮海域海象模擬分析」之模擬結果比較，兩位置海象環境特性接近。

貳、結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

參、散會：中午12時15分

### 會議簽到表

會議名稱：114年度本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

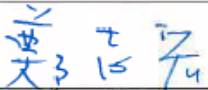



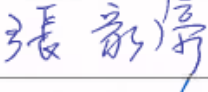
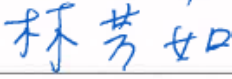
時間：114年5月14日(星期三)上午10時

地點：本所運輸技術研究中心2樓簡報室

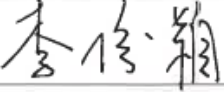
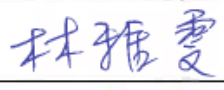

主持人：蔡立宏

紀錄：林英爵

專家學者：

專家學者	簽名
鄭志宏委員	
鍾權宏委員	
江文山委員	
蘇仕峯委員	
張家豪委員	
林芳如委員	

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	
	科長	
	科長	

單位	簽名
交通部運輸研究所 運輸技術研究中心	<p style="text-align: right;">許義宏</p> <p style="text-align: right;">林英爵</p> <p style="text-align: right;">黃長信</p> <p style="text-align: right;">孫達遠</p> <p style="text-align: right;">陳劍</p> <p style="text-align: right;">曹騰傑</p> <p style="text-align: right;">蕭安佑</p> <p style="text-align: right;">許師訓</p> <p style="text-align: right;">傅怡劍</p> <p style="text-align: right;">顏震香</p> <p style="text-align: right;">蔡世琦</p>

羅冠毅

郭慶芳

盧昕彤

陳子健

劉清玲

蔡敏玲

劉煥明

劉淑敏

李以廷

陳天時

林騰

李亭

林文華

# 114年6月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科114年自行研究計畫第1次工作會議

時間：114年6月27日(星期五)下午2時

地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

主持人：林雅雯科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第三科

紀錄：蔡世璿

## 壹、討論議題/計畫名稱

### 一、工作進度說明

#### (一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

1. 蒐集及回顧標竿智慧港海氣象環境資訊平臺之相關文獻和網站，瞭解其提供之資訊內容、加值應用情形等。
2. 研析及探討鹿特丹港、洛杉磯港、美國資料浮標中心、新加坡港、西班牙等海氣象環境資訊平臺。

#### (二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

1. 蒐集網站架構建構方式、網站組件功能與面臨資安風險安全防護應對方法之相關文獻。
2. 盤點運技中心網站架構、研析網站架構單元資安風險與近期資安事件彙整。

#### (三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

1. 完成花蓮港113年度AWAC測站之原始資料(Raw data)及港內9、17、25號碼頭波浪觀測資料統計分析。

2. 初步完成測試網頁以呈現3碼頭波高預測變化趨勢。

#### (四)花蓮海域海象模擬分析

1. 蒐集國內外參考文獻。
2. 初步以SCHISM-WWM數值模式完成2022年之軒蘭諾、梅花颱風波浪模擬，與本所既有TaiCOMS之波浪模擬值及觀測值(波高、週期、波向)進行比較。

#### (五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

1. 蒐集國內外參考文獻。
2. 使用MIKE21建置3種水動力模型並使用3種不同參數。
3. 選定3種評估指標、擬定權重及計算之處理方式。
4. 呈現1個颱風期間的模擬成果。

#### (六)FUNWAVE模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

1. 蒐集國內外參考文獻。
2. 建置花蓮港水深網格資料。
3. 初步進行FUNWAVE模式模擬並進行驗證。

#### (七)114年度運技中心期刊研討計畫

1. 已排定114年度各月份期刊研討主軸議題及期程分配。
2. 辦理114年第1次研討會議(4/23)、第2次研討會議(5/20)、第3次研討會議(6/26)。
3. 刻正辦理7月份期刊研討前置作業。

#### (八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

1. 蒐集基隆海域風浪模式、SWAN數值模式等相關文獻。
2. 蒐集2022年期間，基隆海域之颱風事件及觀測資料。
3. 研究SWAN各物理參數對模擬結果之影響。

4. 針對2022年9月侵襲基隆海域之軒蘭諾颱風，辦理情形如下：

(1) 颱風期間大尺度、中尺度及小尺度模擬結果分析。

(2) 颱風期間觀測資料與模擬結果分析及驗證。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

1. 討論各國海氣象環境資訊平臺可供國內參考應用之建議。

2. 討論本研究後續可進行之方向。

(二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

3. 討論網站面對資通安全法規範事項。

4. 討論網站使用元件所面臨主要風險。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

5. 針對花蓮港113年度AWAC測站之原始資料(Raw data)及港內9、17、25號碼頭波浪觀測資料統計分析結果討論。

6. 討論9、17、25號碼頭波高預測初步執行情形。

(四)花蓮海域海象模擬分析

7. 目前以SCHISM-WWM數值模式進行之模擬，係採用時間間隔為15分鐘、每1小時進行一次波流耦合之模擬結果。

8. 軒蘭諾颱風之路徑因有轉折，於波高觀測值出現雙峰現象，於數值模擬之比較上可能較為不易。

(五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

1. 針對水動力模式影響因子設定進行討論與建議。

2. 颱風期間考慮變因可增加暴潮。

3. 可同時比較TaiCOMS的模擬結果。

(六)FUNWAVE模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

1. 針對FUNWAVE模式設定進行討論與建議。
2. 討論數值模式結果的驗證方式。

#### (七)114年度運技中心期刊研討計畫

依規劃期程持續辦理。

#### (八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

1. 針對2022年度颱風事件之風浪進行討論。
2. 討論後續基隆海域風浪模擬方向，及參數設定建議。

### 貳、重點紀要/主要結論

#### (一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

1. 建議未來國內應用時可思考如何加入及展示湧浪及雷達的觀測資訊；另西班牙網站的相關名詞翻譯請再釐清。
2. 後續可更聚焦智慧港的網站及其海氣象資訊的應用情形。
3. 可再瞭解港務公司戰情系統對海氣象資訊的應用內容。

#### (二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

1. 建議可加入近幾年之網站弱點掃描，出現嚴重與高風險之項目。
2. 所內資安事件與資安公司之鑑識報告建議，可納入本中心資訊安全業務參考。

#### (三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

1. 因觀測資料統計分析結果，在康芮颱風期間，資料凌亂、不穩定，後續在神經網路納入113年資料重新訓練工作，訓練資料擷取到康芮颱風前。
2. 測試網頁部分，9號碼頭神經網路初步執行情形欠佳，後續可再針對9號碼頭神經網路做調整處理。
3. 因目前天氣穩定、碼頭波高小，可再持續觀察9、17、25號碼頭於

風浪較大時之波高預測執行情形。

#### (四)花蓮海域海象模擬分析

1. 後續將持續進行其他颱風事件模擬比較，另一進行範圍之模擬比較差異。
2. 建議可挑選路徑較為單純之颱風事件進行數值模擬之比較上可能較為不易。

#### (五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

1. 後續將加大模擬尺度並考慮2種潮位邊界條件一起比較。
2. 最後成果將與TaiCOMS模擬結果(流速及流向)做比較。

#### (六)FUNWAVE模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

1. 建議花蓮港區FUNWAVE模式的設定方式可參考蘇(2025)文獻進行設定。
2. 建議數值模擬的模擬結果可參考現場觀測資料進行驗證。

#### (七)114年度運技中心期刊研討計畫依規畫期程持續辦理。

#### (八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

1. 颱風案例應避免路徑複雜、雙颱風等特殊事件，建議選擇路徑較為單純之颱風事件，以利模擬成果展現。
2. 針對SWAN風浪模組之物理參數，應確實瞭解其物理意義及相關文獻，以利後續參數校調作業。

簽到表

壹、會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科 114 年自行研究計畫第 1 次  
工作會議

貳、時間：114 年 6 月 27 日(星期五) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	姓名
本所運輸技術研究中心 第一科	賴瑞慈
本所運輸技術研究中心 第二科	李怡穎
本所運輸技術研究中心 第三科	<p>陳鈞</p> <p>李亭亭      劉鴻彬      蔡世琦</p> <p>林有騰      傅怡創      蔣敏玲</p>

# 114年8月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科114年自行研究計畫第2次工作會議

時間：114年8月29日(星期五)下午2時

地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

主持人：林雅雯科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第三科

紀錄：蔡世璿

## 壹、討論議題/計畫名稱

### 一、工作進度說明

#### (一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

- 1.蒐集及回顧標竿智慧港海氣象環境資訊平臺之相關文獻和網站，瞭解其提供之資訊內容、加值應用情形等。
- 2.研析及探討韓國 NEAR-GOOS、歐盟 EMODnet、日本 NOWPHAS、氣象署-海象環境資訊平台、海委會-海域遊憩活動一站式資訊平臺、國海院-GoOcean 海洋遊憩風險資訊、內政部-多維度海域資訊服務平臺-3D 海洋圖臺、水利署-水文資訊網、NCDR-天氣與氣候監測網等海氣象環境資訊平臺。

#### (二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

- 1.說明本自辦研究計畫系統風險分析範圍。
- 2.分析112年、113年及114年網站嚴重風險、高風險、中風險弱點分佈與主要風險漏洞。

#### (三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

- 1.納入花蓮港113年度AWAC測站波浪資料及港內碼頭波浪觀測資料，進行碼頭神經網路重建工作。
- 2.進行「花蓮港區靜穩展示」維護工作。

#### (四)花蓮海域海象模擬分析

- 1.已再修正 SCHISM-WWM 較大範圍之數值地形網格，模擬 2021-2023年共5個颱風事件。
- 2.增加2023年小犬颱風為模擬案例。

#### (五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

- 1.蒐集國內外參考文獻。
- 2.使用 MIKE21建置新的水動力模型(模擬範圍包含四鄉五島，臨陸邊界更細緻化)。
- 3.參數設定並選定不同潮位邊界及耦合方式進行比較。
- 4.呈現各自不同潮位邊界及耦合方式之模擬成果。
- 5.呈現波浪及全耦合模式波高及波向模擬成果之比較。

#### (六)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

- 1.蒐集國內外參考文獻，根據蘇(2025)文獻所設定方式調整模擬範圍。
- 2.驗證模式適用之造波情況，並規劃模擬條件。
- 3.建置港內巢狀網格資料。

#### (七)114年度運技中心期刊研討計畫

- 1.已排定114年度各月份期刊研討主軸議題期及期程分配。
- 2.4月23日辦理114年第1次研討會議。
- 3.5月20日辦理114年第2次研討會議。
- 4.6月26日辦理114年第3次研討會議。
- 5.7月29日辦理114年第4次研討會議。
- 6.8月26日辦理114年第5次研討會議。
- 7.辦理9月份期刊研討前置作業。

#### (八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

- 1.蒐集基隆海域風浪模式、SWAN 數值模式等相關文獻。
- 2.蒐集2022年期間，基隆海域之颱風事件及觀測資料。
- 3.研究 SWAN 各物理參數對模擬結果之影響。
- 4.針對2022年侵襲基隆海域之梅花颱風，辦理情形如下：
  - (1)颱風期間大尺度、中尺度及小尺度模擬結果分析。

(2)颱風期間觀測資料與模擬結果分析及驗證。

## 二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

### (一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

- 1.討論各國海氣象環境資訊平臺可供國內參考應用之建議。
- 2.討論本研究後續可進行之方向。

### (二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

- 1.討論112年、113年及114年網站嚴重風險、高風險、中風險弱點分佈與主要風險漏洞。
- 2.討論3年所面對主要風險問題，與如何應對風險。
- 3.討論對外系統3年系統弱掃(VA)之功效。

### (三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

- 1.9號碼頭神經網路輸入層參數增加考慮17號碼頭前1小時波高資料，並納入113年港外、港內波浪資料及港內碼頭波浪觀測資料進行重新訓練工作，討論其驗證、測試結果。
- 2.因5~6月份進行「花蓮港區靜穩展示」網頁弱掃、系統版本更新，原本歷線圖設定失效，列出5~8月期間進行的維護工作項目，目前網頁恢復正常。

### (四)花蓮海域海象模擬分析

- 1.SCHISM-WWM 之波高模擬結果，於璨樹、圓規颱風高於 SWAN(TaiCOMS)，於軒蘭諾、梅花、小犬颱風則低於 SWAN(TaiCOMS)。
- 2.SCHISM-WWM 及 SWAN(TaiCOMS)模擬之尖峰週期、平均週期與觀測值相比，於颱風期間皆高估。

### (五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

- 1.針對水動力模式不同潮位邊界及耦合方式進行討論與建議。
- 2.討論不同潮位邊界及耦合方式模擬成果與觀測值之差異。
- 3.討論波浪及全耦合模式波高及波向模擬成果與觀測值之差異。

### (六)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

- 1.針對 FUNWAVE 模式設定進行討論與建議。
- 2.討論數值模式結果的驗證方式與模擬條件。

(七)114年度運技中心期刊研討計畫

依規劃期程持續辦理。

(八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

- 1.針對2022年梅花颱風事件之風浪模擬結果進行討論。
- 2.討論後續基隆海域風浪模擬方向，及參數設定建議。

**貳、重點紀要/主要結論**

(一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

- 1.後續可更聚焦智慧港數位學生的網站及其海氣象資訊的應用情形。
- 2.可再瞭解港務公司港棧處戰情系統對海氣象資訊的應用內容。
- 3.對未來應用建議可再釐清優先順序及必要性，突顯自身系統之優勢與提升正確性。

(二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

自本計畫研究分析結果發現，歷年系統風險弱點是經常重複發生，建議在系統風險弱點上，可化被動為主動，在網站資安尚未發生或出現系統風險，就提前通知防患於未然。

(三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

- 1.後續完成9號碼頭神經網路作業化流程編寫工作，先放置於測試網頁，俾利查看其改善情形。
- 2.本年度要出版報告書，請注意期程並完成後續工作。

(四)花蓮海域海象模擬分析

1. SCHISM-WWM 為水動力結合風浪之數值模式，建議亦可列出潮流模擬結果，比較與 TaiCOMS 之模擬結果有何差異。
- 2.建議可著重 SCHISM、SWAN 模式本身之差異，及本所於花蓮港區以外觀測點比較模擬差異。

(五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

- 1.建議波浪與全耦合模式在波浪因子比較上，可增加  $T_p$  及  $T_m$  之比較。
- 2.建議可以增加流速流向平面分布圖之探討。

(六)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

- 1.建議可參考成功大學模擬結果進行調整。

- 2.建議先驗證數值模擬的造波設定條件後再進行現場條件驗證。

(七)114年度運技中心期刊研討計畫

- 1.依規劃期程持續辦理。

- 2.彙整本年度期刊研討各單位提出建議，並調查本所各組辦理情形，做為115年期刊研討之參考依據。

(八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

- 1.應加強說明波浪消散參數設定依據。

- 2.東北季風期間之風浪模擬，可採季風最強之10天為期，縮短作業時間，提升模擬效率。

### 簽到表

壹、會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科 114 年自行研究計畫第 2 次  
工作會議

貳、時間：114 年 8 月 29 日(星期五)上午 10 時 30 分

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	姓名
本所運輸技術研究中心 第一科	姜假
本所運輸技術研究中心 第二科	姜假
本所運輸技術研究中心 第三科	傅怡劍      蔣敏玲 陳劍芳      劉清杉 林存騰      蔡世瑋 李亭亭

# 114年10月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科114年自行研究計畫第3次工作會議

時間：114年10月28日(星期二)上午9時30分

地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

主持人：林雅雯科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第三科

紀錄：蔡世璿

## 壹、討論議題/計畫名稱

### 一、工作進度說明

#### (一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

- 1.探討智慧港口之數位孿生案例。
- 2.探討國內智慧港推動現況，包含戰情系統及航管中心對海氣象應用情形。
- 3.提出國內應用建議。

#### (二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

- 1.說明本自辦研究計畫範圍。
- 2.說明近期資安事件分析。
- 3.提出網站架構資訊安全防護方法。

#### (三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

- 1.建立9號碼頭波高預測作業化流程。
- 2.納入花蓮港113年度港外波浪模擬資料及港內碼頭波浪觀測資料，進行17號及25號碼頭神經網路擴充訓練工作。

#### (四)花蓮海域海象模擬分析

- 1.針對 SCHISM-WWM 模式，採用波流未耦合條件下模擬2021-2023年共5場颱風事件，與耦合模擬比較結果差異。
- 2.已完成花蓮地區 CCTV 第3次定期維護。

#### (五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

- 1.觀測與各模擬成果間準確率分析。
- 2.不同水深(東引測站)的驗證。
- 3.TaiCOMS 作業化系統的近域水動力模擬流速流向比較(中尺度不規則三角網格)。

#### (六)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

- 1.蒐集國內外參考文獻，並於9月16日至成功大學進行模式研討，依照研討建議調整輸入設定檔。
- 2.進行颱風波浪條件模擬與分析。

#### (七)114年度運技中心期刊研討計畫

- 1.已排定114年度各月份期刊研討主軸議題期及期程分配。
- 2.4月23日辦理114年第1次研討會議。
- 3.5月20日辦理114年第2次研討會議。
- 4.6月26日辦理114年第3次研討會議。
- 5.7月29日辦理114年第4次研討會議。
- 6.8月26日辦理114年第5次研討會議。
- 7.9月30日辦理114年第6次研討會議。
- 8.本所各組期刊研討辦理情形調查。

#### (八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

- 1.蒐集基隆海域風浪模式、SWAN 數值模式等相關文獻。
- 2.蒐集2022年期間，基隆海域之颱風事件及觀測資料。
- 3.針對2022年侵襲基隆海域之梅花颱風，辦理情形如下：
  - (1)颱風期間大尺度、中尺度及小尺度模擬結果分析。
  - (2)颱風期間觀測資料與模擬結果分析及驗證。

## 二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

### (一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

- 1.討論國外智慧港數位孿生對海氣象資訊的應用內容。
- 2.討論港務公司港棧處戰情系統及航管中心對海氣象資訊的應用內容。

## (二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

- 1.討論運技中心網站面臨主要風險。
- 2.討論近期資安事件主要造成原因與建議應對方式。
- 3.討論網站資訊安全防護應對方法。

## (三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

- 1.完成9號碼頭波高預測作業化相關程式編寫工作並說明執行流程。
- 2.完成17號碼頭神經網路擴充訓練，刻正進行25號碼頭神經網路擴充訓練工作。

## (四)花蓮海域海象模擬分析

- 1.根據 Hsiao 等人(2020)文獻，是否採用波流耦合、及採用不同耦合方式，於波高、週期影響皆很小，本計畫模擬測試亦得到相似結果。
- 2.根據 Hsiao 等人(2019)文獻，採用波流耦合，對水位(潮位)有較顯著影響。

## (五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

- 1.針對觀測與各模擬成果間準確率進行討論。
- 2.討論不同水深(東引測站)的驗證之差異。
- 3.討論 TaiCOMS 作業化系統的近域水動力模擬流速流向比較之差異。

## (六)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

- 1.針對數值模擬條件(波向)與模擬現象進行討論。
- 2.討論巢狀網格的工作項目是否有執行必要。

## (七)114年度運技中心期刊研討計畫

依規劃期程持續辦理。

## (八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

- 1.針對2022年尼莎颱風事件之風浪模擬結果進行討論。
- 2.討論後續基隆海域風浪模擬方向與參數設定建議。

## 貳、重點紀要/主要結論

#### (一)標竿智慧港海氣象資訊平臺之探討及國內應用建議

- 1.可依國外智慧港數位孿生案例對海氣象資訊的應用情形，對國內商港海氣象資訊系統提出優化精進建議。
- 2.可在明年安排參訪港務公司戰情系統，以利更詳細瞭解對海氣象資訊的應用內容。

#### (二)強化運技中心資訊安全與發展(1/2)-網站資訊安全防護規劃

- 1.強化網頁撰寫工程師 OWASP TOP 10漏洞防禦能力(網頁工程師資安證照取得)。
- 2.風險管理的目標不是將風險降至「零」，因為此目標是不可能達成的，而是追求最低的防護成本投入下獲「最優化的安全性」。
- 3.為應對資安事件所導致的系統中斷，本所應建立一套明確的「主機與備援機上線標準作業流程(SOP)」。

#### (三)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

後續進行撰寫報告書工作，請注意計畫期程。

#### (四)花蓮海域海象模擬分析

- 1.SCHISM-WWM 波流耦合模式，建議亦可列出潮流模擬結果，比較有無耦合、與 TaiCOMS 之模擬結果差異。
- 2.請依契約時程完成花蓮地區 CCTV 第4次定期維護。

#### (五)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究

- 1.如果有位於同樣海域環境的測站，建議可增加比較及驗證。
- 2.請依規劃期程持續辦理。

#### (六)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立

- 1.建議再確認模擬結果的現象是否合理。
- 2.建議先專注於單一矩形網格的討論。
- 3.請注意計畫期程並持續辦理。

#### (七)114年度運技中心期刊研討計畫

- 1.依規劃期程持續辦理。
- 2.彙整本年度期刊研討各單位提出之建議。

(八)基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

- 1.針對尼莎颱風期間 AWAC 傾斜一案，應於報告中敘明波向觀測值異常原因。
- 2.東北季風期間之風浪模擬，請持續辦理。

簽到表

壹、會議名稱：本所運輸技術研究中心第三科 114 年自行研究計畫第 3 次  
工作會議

貳、時間：114 年 10 月 28 日(星期二)上午 9 時 30 分

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	姓名
本所運輸技術研究中心 第一科	賴瑞璽
本所運輸技術研究中心 第二科	李信穎
本所運輸技術研究中心 第三科	陳鈞彥 游世高 傅怡劍 吳清玲 李翠菁 林有騰 蔣敏玲

附錄五

計畫簡報



## 附錄五 計畫簡報

114年自行研究計畫報告審查會議

### 花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

研究人員:傅怡釗、鄭采誼、王欣郁、林雅雯

114年12月31日



#### 簡報大綱

- 一 研究緣起與目標
- 二 理論介紹
- 三 花蓮港波浪觀測資料蒐集及分析
- 四 重建碼頭波高預測神經網路模式
- 五 作業化模式及測試執行情形
- 六 花蓮港區靜穩展示網頁
- 七 結論與建議

#### 一、研究緣起與目標

#### 研究背景



##### □地理因素:

花蓮港東臨遼闊的太平洋，因其港型及港口開口方向，港內常受長浪(湧浪)振盪。

##### □營運挑戰:

船舶常需出港避湧，影響港埠運作效率與安全。

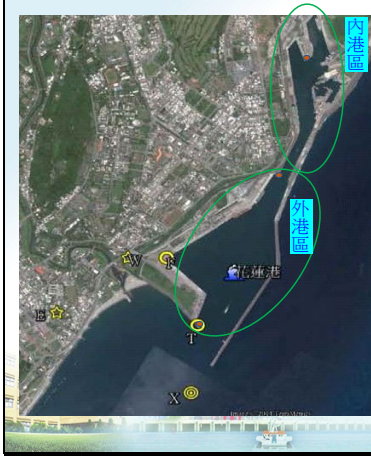
##### □現行管理措施:

花蓮港務分公司自110年4月起，訂定「颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」，依據內港區、外港區實際波浪情況，執行內港區、外港區分區管制措施。

■若能進一步提供3碼頭處未來波浪變化情形，將有助於港務公司執行管理工作。

## 一、研究緣起與目標

### 研究目標



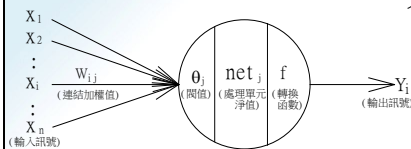
- 整合港外模擬資料與港內實測資料，建置倒傳遞神經網路 (BPNN) 預測模式
- 建立花蓮港內港區 (9號碼頭) 及外港區 (17、25號碼頭) 的波高預測模式。
- 將預測模式「作業化」(Operationalization)，提供未來波浪變化趨勢，支援船舶進出港管制決策。

## 二、理論介紹

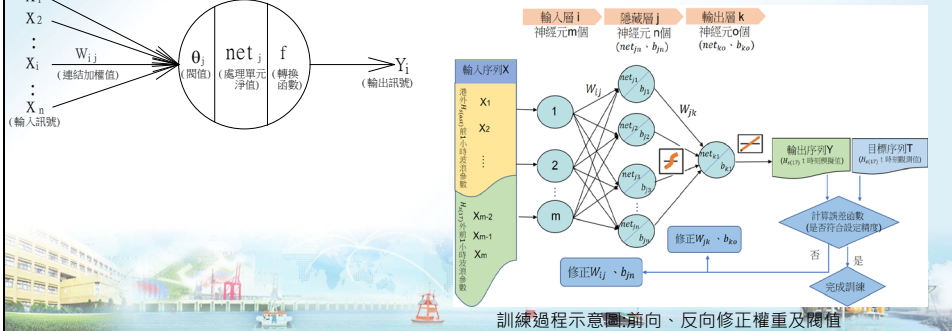
### 倒傳遞神經網路(BPNN)

#### 人工神經元

模仿生物神經元學習方式的計算模型。



架構分輸入層、隱藏層及輸出層。透過學習訓練與誤差向後推導2步驟，調整網路權重及閾值，之間誤差最小化，以推求輸入變數與輸出變數



訓練過程示意圖：前向、反向修正權重及閾值

## 二、理論介紹

### 倒傳遞神經網路(BPNN)

#### 為何使用神經網路?

- 傳統數值模式計算複雜費時，而神經網路經過訓練後，推估計算快、解省時間。
- 具有優異的容錯能力，輸入資料有少數異常雜訊，仍可正常運作。

#### 為何使用倒傳遞神經網路(BPNN)?

- 資料價值最大化：17號監測資料有中斷情形，為了讓收集到的資料能被盡量被使用、發揮最大價值，因此採用適合處理非連續資料的倒傳遞神經網路 (BPNN) 進行重建，而非使用LSTM方法 (要求時間序列絕對連續)
- 若遇資料中斷再恢復觀測之情況，仍可迅速提供合理預測值，適合應用在作業化系統運作

### 三、花蓮港波浪觀測資料蒐集及分析

#### 預測的基石: 港外、港內波浪聯合觀測站網

##### 港內波高觀測資料蒐集

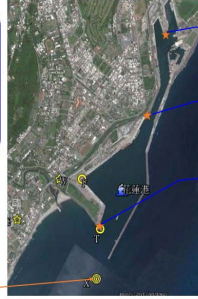


壓力波高計量測波壓，2Hz，每20分鐘提供1筆統計結果

##### 港外波高觀測資料蒐集



超音波及壓力量測，1Hz，原每1小時提供1筆統計結果，113年起改為每小時提供2筆統計結果



109年:9號碼頭  
波潮即時監測站

109年:17號碼頭  
波潮即時監測站

110年6月:  
25號碼頭-波潮即時  
監測站、CCTV 2站



##### 港外波浪觀測資料蒐集及分析

- 使用 107~110年「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究」研究方法
- 分析109年-113年港外波浪資料(超音波訊號量測)，示性波高 $H_{m0(ast)}$ 、平均週期 $T_{m02(ast)}$ 、譜峰週期 $T_p(ast)$ 。(表3-2)
- 長浪分析:擷取 $T=8$ 秒以上之為長浪示性波高 $H_{m0swell(ast)}$ 。(表3-3)

### 花蓮港外海波浪觀測解析 (109~113年)

本資訊圖整合 109~113年間，部署於花蓮港外海(東防波堤外南邊200公尺，水深33公尺處)的AWAC底底式波浪儀所測得的數據。旨在呈現該海域的波浪統計特徵，並特別分析對港口影響甚鉅的長浪成分。



#### 港外波浪總體統計

數據蒐集完整性高



90% - 100%

多數月份資料蒐集率達90%至100%，數據基礎穩固可靠。

颱風是極端浪高主因



7.03 公尺

最大示性波高 (113年11月 康芮颱風)  
期間測得最大示性波高為7.03公尺。

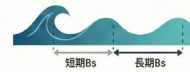
6.83 公尺

近五年第二高浪 (113年7月 杜蘇芮颱風)  
示性波高次大值為6.83公尺。

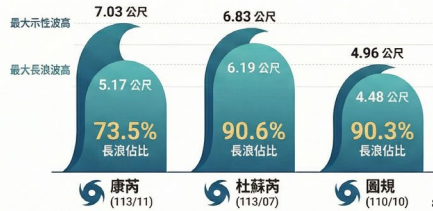
#### 長浪 (Swell) 成分分析

何謂「長浪」?

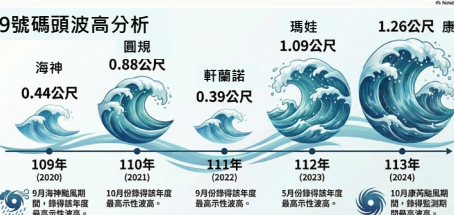
本分析定義週期超過8秒的波浪為長浪，是影響港內波浪震盪的關鍵因素。



極端天氣下的長浪主導地位

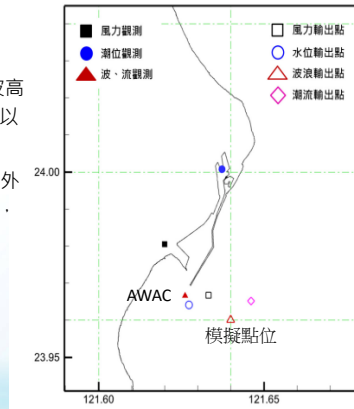


### 花蓮港內碼頭波浪統計分析



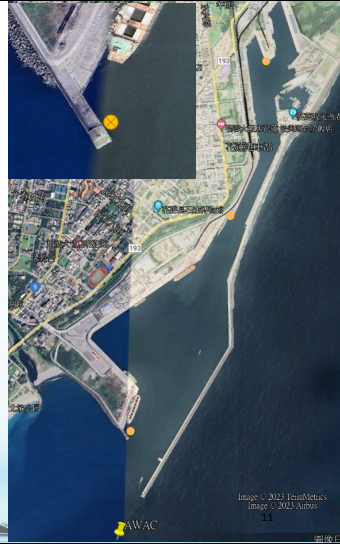
## 四、重建碼頭波高預測神經網路模式

- 研究目標為建立作業化模式
- 預測機制：輸入「未來模擬預測波浪資料」→ 獲取「碼頭波高未來變化趨勢」。因此，使用港外波高使用模擬資料訓練，以推求「系統預測值」與「港內實際反應」間的對應關係。
- 112年、113年使用 TaiCOMS 2.0 系統產製(110~112年) 港外模擬資料，與港內17號、25號及9號碼頭觀測資料進行訓練，建置碼頭波高預測神經網路模式。
- 本年度(114年)重建神經網路執行重點：
  - 資料擴充：納入 113年度 港外模擬及港內觀測資料。
  - 調整設定：重新檢視近4年波浪狀況，重設各參數正規化上、下限，確保數值映射的合理性與差異性。



## 四、資料前處理

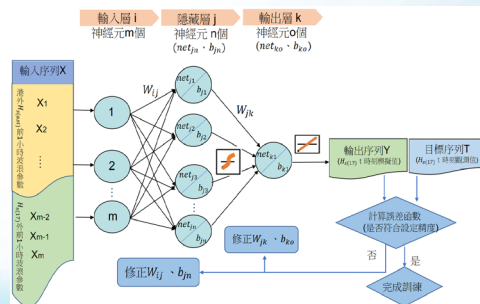
- 港外、港內資料有**缺失及時間間距不一致**情形：
  - 港外波浪模擬資料(每小時10分、40分1筆):無缺漏，以**線性內插**方式改為每20分鐘1筆港外波浪模擬資料。
  - 港內碼頭波浪觀測資料(每20分鐘1筆):偶有缺漏，以**線性方法**補遺每20分鐘1筆港外波資料。
- 資料正規化：
  - 本年度調整個參數因子上、下限。
  - 正規化至  $[-0.9, 0.9]$  區間。
- 訓練資料選擇：
  - 花蓮港務分公司於109~113年度啟動船舶避湧機制共計19次，其中僅14次是有發布海上或陸上颱風警報之颱風事件。實際上，許多未發布警報但從遠域(如西太平洋)生成的颱風長浪對港內波浪有顯著影響至少有64件(表4-3、表4-4)。因此，**訓練資料選擇涵蓋了這些實際影響波浪的時期，而不僅是有發布警報之颱風事件期間。**



## 四、網路架構及學習訓練設定

- 神經網路為3層，分別為輸入層、隱藏層及輸出層
  - 輸入層:考慮**前1小時**港外**模擬**波浪條件  
**前1小時**港內示性波高
  - 輸出層:t時刻港內示性波高
- 學習訓練設定
  - 轉換函數:雙曲線正切、線性函數
  - 演算法:Levenberg-Marquardt (LM) 演算法
  - 學習速率:0.001
  - 精度目標: $10^{-5}$

訓練過程示意圖:前向、反向修正權重及閾值



## 四、17號碼頭-訓練、驗證及測試規劃

17號碼頭訓練、驗證及測試集資料規劃如表所示。

17號碼頭訓練、驗證及測試集資料區間及資料筆數	
訓練	110年1月1日00時00分-110年10月12日06時00分； 111年7月1日00時00分-113年10月24日23時00分，共81,443筆
驗證	海神 109年9月01日20時00分-109年9月8日02時00分，共451筆 閃電 109年11月01日20時00分-109年11月07日12時00分，共469筆
測試	海神起始日109年9月01日20時00分，預測20min，執行8日，共577筆 閃電起始日109年11月01日20時00分，預測20min，執行8日，共577筆

各碼頭又依輸入層神經元考慮參數不同，而有2種網路架構

- H-BPNN：輸入層港外波高 + 港內波高（6個神經元）
- HTM-BPNN：輸入層港外波高、週期、波向 + 港內波高（12個神經元）

經訓練、驗證及測試後，選擇之神經網路架構

- H-BPNN：6-1-1
- HTM-BPNN：12-1-1

訓練過程：

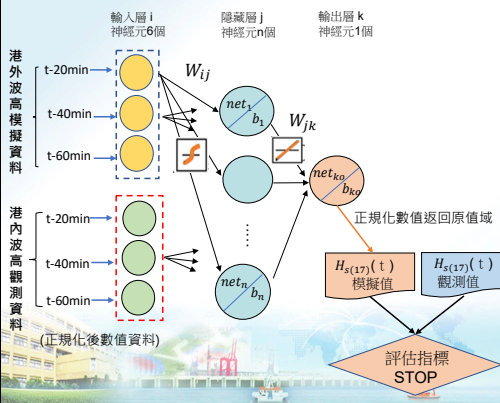
隱藏層神經元個數越多，驗證結果反而有越不好趨勢，推測應是花蓮港外波浪模擬資料係由波浪數值模式SWAN經波浪作用力平衡方程式計算出來的數值資料，學習數值模式與港內波浪間之特性是較容易的。

### 17-H-BPNN 神經網路架構驗證及預測20min的測試流程說明

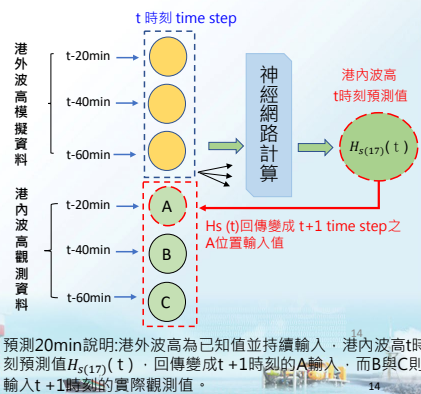
輸入層 前1小時(t-20min、t-40min、t-60min)港外波高模擬資料 + 港內波高觀測資料

輸出層 t時刻港內波高

H-BPNN網路架構驗證流程



H-BPNN預測20min測試流程

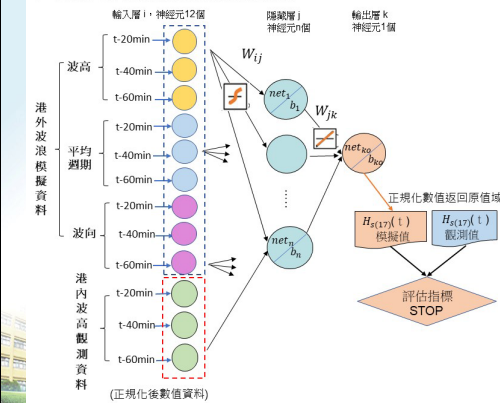


### 17-HTM-BPNN 神經網路架構驗證及預測20min的測試流程說明

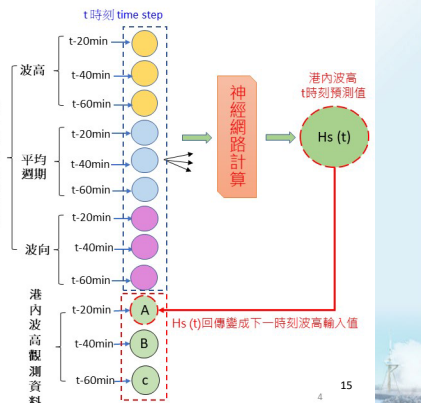
輸入層 前1小時(t-20min、t-40min、t-60min)港外波高、週期及波向模擬資料 + 港內波高觀測資料

輸出層 t時刻港內波高

HTM-BPNN網路架構及驗證流程



HTM-BPNN預測20min的測試流程



## 四、17號碼頭-驗證及測試結果

### □ 驗證結果(表4-6)

訓練資料納入113年資料後-驗證結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.36	1.2	0.13	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.36	1.1	0.14	0.959	0.036	0.058
17-HTM-BPNN	模擬值	0.36	1.1	0.14	0.958	0.037	0.058
閃電	觀測值	0.34	0.99	0.12	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.34	0.97	0.13	0.955	0.031	0.047
17-HTM-BPNN	模擬值	0.34	0.96	0.13	0.955	0.031	0.047

### □ 測試結果(表4-7):測試結果良好, 近乎相同或差異不大

以颱風起始日起, 測試20min、執行8日(577筆)之測試結果

測試案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.32	1.2	0.11	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.32	1.0	0.12	0.950	0.037	0.062
17-HTM-BPNN	模擬值	0.32	1.0	0.12	0.947	0.039	0.064
閃電	觀測值	0.31	0.99	0.09	-	-	-
17-H-BPNN	模擬值	0.30	0.91	0.11	0.943	0.034	0.054
17-HTM-BPNN	模擬值	0.30	0.91	0.11	0.944	0.034	0.054

### 測試結果

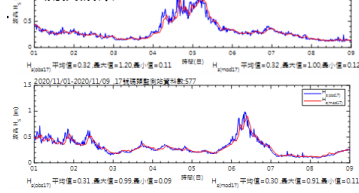


圖 4.11 花蓮港 17-H-BPNN 測試結果(上圖海神、下圖閃電)

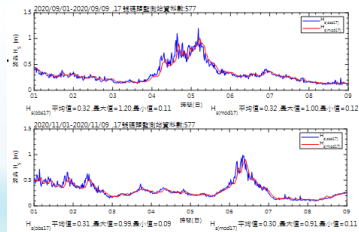


圖 4.12 花蓮港 17-HTM-BPNN 測試結果(上圖海神、下圖閃電)

## 四、25號碼頭-訓練、驗證及測試規劃

### □ 25號碼頭訓練、驗證及測試集資料規劃如表所示。

#### 25號碼頭訓練、驗證及測試集資料區間及資料筆數

訓練	110年5月15日01時00分起~至113年10月21日18時, 共90,412筆
驗證	潭美 113年10月21日18時00分_10月28日00時00分, 共451筆
	萬宜 113年11月09日06時00分_11月20日00時00分, 共775筆
測試	潭美起始日113年10月21日18時00分, 預測20min, 執行7日, 共505筆
	萬宜起始日113年11月09日06時00分, 預測20min, 執行11日, 共806筆

25號碼頭監測站自110年5月中旬設站監測迄今, 在康芮颱風期間資料中斷, 11月6日經廠商維護後才開始恢復觀測, 故本(114)年度擷取110年5月15日01時00分至113年10月21日18時(潭美颱風前)港外、港內波浪資料做為訓練集資料

### □ 各碼頭又依輸入層神經元考慮參數不同, 而有2種網路架構

- H-BPNN: 輸入層港外波高 + 港內波高 (6個神經元)
- HTM-BPNN: 輸入層港外波高、週期、波向 + 港內波高 (12個神經元)

### □ 經訓練、驗證及測試後, 選擇之神經網路架構

- H-BPNN: 6-2-1
- HTM-BPNN: 12-6-1

## 四、25號碼頭-驗證及測試結果

### □ 驗證結果(表4-9):驗證結果良好, 近乎相同或差異不大

訓練資料納入113年資料後-驗證結果							
驗證案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
潭美	觀測值	0.61	1.44	0.23	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.61	1.42	0.24	0.952	0.054	0.077
25-HTM-BPNN	模擬值	0.61	1.38	0.24	0.952	0.053	0.077
萬宜	觀測值	0.35	1.07	0.12	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.35	1.01	0.14	0.975	0.031	0.049
25-HTM-BPNN	模擬值	0.35	0.99	0.14	0.976	0.031	0.048

### □ 測試結果(表4-10):測試結果良好, 近乎相同或差異不大

測試案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
潭美	觀測值	0.61	1.44	0.23	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.59	1.36	0.24	0.937	0.059	0.086
25-HTM-BPNN	模擬值	0.60	1.33	0.25	0.938	0.058	0.084
萬宜	觀測值	0.33	1.07	0.12	-	-	-
25-H-BPNN	模擬值	0.33	1.00	0.15	0.970	0.034	0.052
25-HTM-BPNN	模擬值	0.33	0.98	0.15	0.971	0.034	0.052

### 測試結果

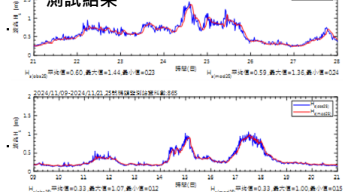


圖 4.15 花蓮港 25-H-BPNN 測試結果(上圖潭美、下圖萬宜)

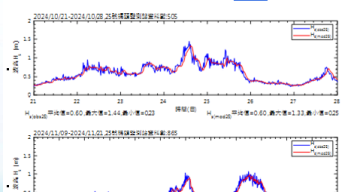


圖 4.16 花蓮港 25-HTM-BPNN 測試結果(上圖潭美、下圖萬宜)

## 四、9號碼頭-訓練、驗證及測試規劃

□ 9號碼頭訓練、驗證及測試集資料規劃如表所示。

9號碼頭訓練、驗證及測試集資料區間及資料筆數		
訓練	110年1月1日00時00分-113年10月24日23時00分，共60,979筆	
驗證	海神	109年9月01日20時00分-109年9月8日02時00分，共451筆
	閃電	109年11月01日20時00分-109年11月07日12時00分，共469筆
測試	海神起始日109年9月01日20時00分，預測20min，執行8日，共577筆	
	閃電起始日109年11月01日20時00分，預測20min，執行8日，共577筆	
	康芮起始日113年10月25日00時00分，預測20min，執行8日，共577筆	

9號碼頭監測站因為內港區監測站，波浪偏小，但資料穩定，在113年10月康芮颱風期間，17及25號碼頭均發生資料中斷一段時間情形，僅9號碼頭監測站未受颱風影響。在測試案例部分，新增康芮颱風期間。

□ 各碼頭又依輸入層神經元考慮參數不同，而有2種網路架構

- H-BPNN：輸入層港外波高 + 港內波高（6個神經元）
- HTM-BPNN：輸入層港外波高、週期、波向 + 港內波高（12個神經元）

□ 經訓練、驗證及測試後，選擇之神經網路架構

- H-BPNN：6-1-1
- HTM-BPNN：12-1-1

## 四、9號碼頭-驗證及測試結果

□ 驗證結果(表4-12)

訓練資料納入113年資料後-驗證結果							
驗證案例 / 架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.15	0.44	0.05	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.14	0.4	0.06	0.953	0.019	0.029
9-HTM-BPNN	模擬值	0.14	0.4	0.06	0.949	0.020	0.03
閃電	觀測值	0.11	0.26	0.05	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.10	0.23	0.06	0.884	0.012	0.017
9-HTM-BPNN	模擬值	0.10	0.23	0.06	0.891	0.011	0.016

□ 測試結果(表4-13)

測試案例/架構	資料	平均值 (m)	最大值 (m)	最小值 (m)	R	MAE (m)	RMSE (m)
海神	觀測值	0.13	0.44	0.04	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.11	0.32	0.05	0.881	0.031	0.052
9-HTM-BPNN	模擬值	0.12	0.36	0.05	0.836	0.031	0.051
閃電	觀測值	0.10	0.26	0.04	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.09	0.16	0.06	0.782	0.018	0.026
9-HTM-BPNN	模擬值	0.09	0.17	0.06	0.854	0.016	0.022
康芮	觀測值	0.24	1.26	0.05	-	-	-
9-H-BPNN	模擬值	0.24	0.98	0.07	0.963	0.041	0.069
9-HTM-BPNN	模擬值	0.24	0.98	0.07	0.966	0.037	0.065

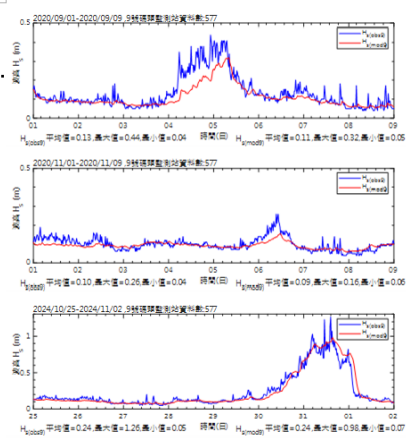


圖 4.19 花蓮港 9-H-BPNN 測試結果(上圖海神、中圖閃電、下圖康芮)

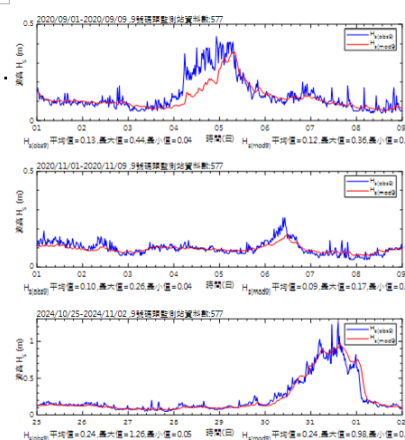


圖 4.20 花蓮港 9-HTM-BPNN 測試結果(上圖海神、中圖閃電、下圖康芮)

## 五、建置作業化模式及測試執行情形

### □從研究到落地應用·建置作業化模式

- 將第四章重建之17、25及9號碼頭波高預測神經網路（含H-BPNN、HTM-BPNN架構）·整合並規劃作業化流程·完成「[花蓮港碼頭波高預測作業化模式](#)」

### □花蓮港碼頭波高預測作業化模式（HLNNs\_op2024.exe / HLNNs\_op2025.exe）

- 排程1小時啟動1次
- 預設每次預測時數24小時，實際會依據每次下載模擬預測資料數量變動
- 初始設定-

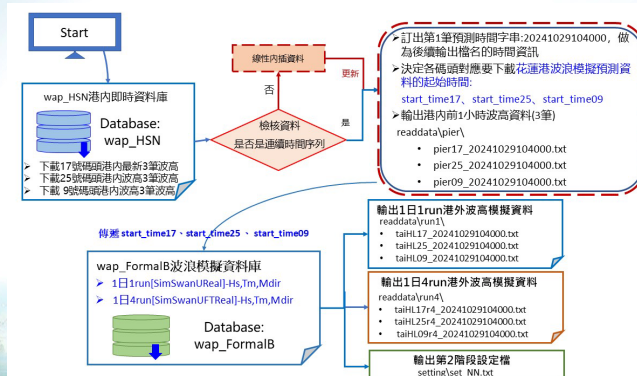
```

%%=====
%%          連線資料庫、下載設定
%%=====
1          %設定是否要下載17號碼頭資料 / 1下載；0 不下載；
1          %設定是否要下載25號碼頭資料 / 1下載；0 不下載；
1          %設定是否要下載09號碼頭資料 / 1下載；0 不下載；
1          %設定是否要下載1日1run資料 / 1下載；0 不下載；
1          %設定是否要下載1日4run資料 / 1下載；0 不下載；
%%-----
%%          神經網路計算設定
%%-----
24         %設定BPNN預測時數·24小時
1          %是否使用 H-BPNN計算 / 1使用；0 不使用；
1          %是否使用 HTM-BPNN計算 / 1使用；0 不使用；
    
```

## 五、建置作業化模式及測試執行情形

### 第1階段 (main1\_connSQL.exe) :

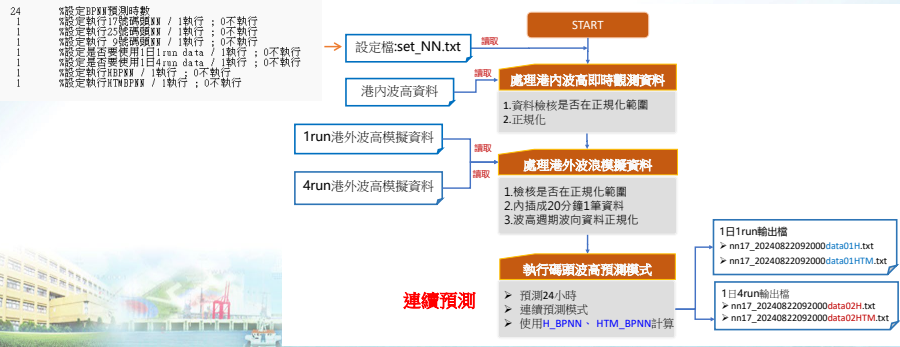
- ✓ 功能：自動連線資料庫，下載港內即時觀測波高（9, 17, 25號碼頭）及港外 TaiCOMS 港外模擬資料（1日1次及1日4次）。
- ✓ 檢核：檢查資料連續性，執行線性內插補遺。

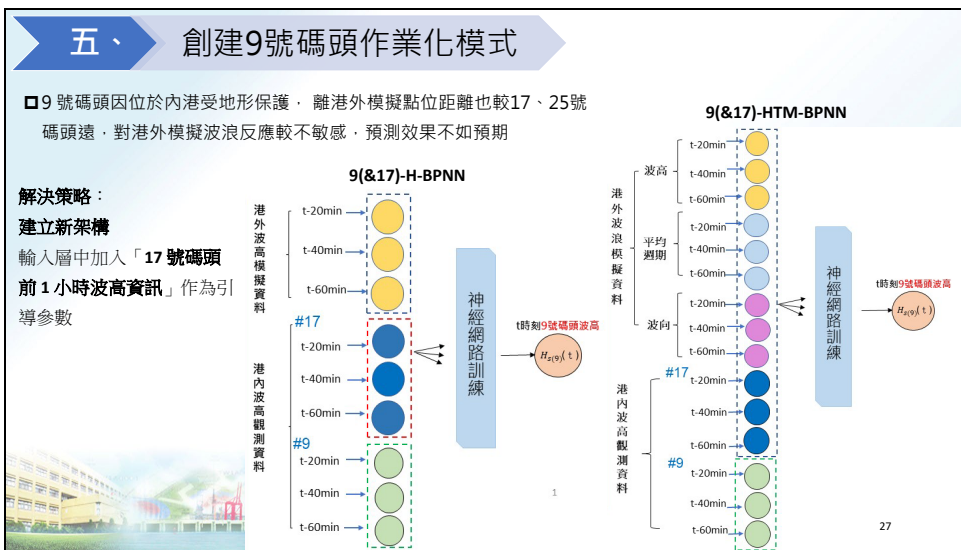
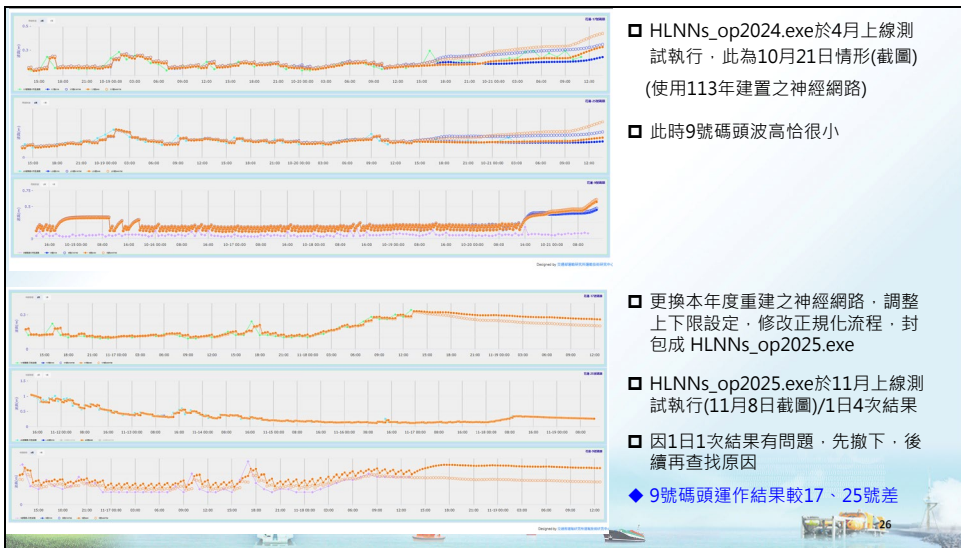
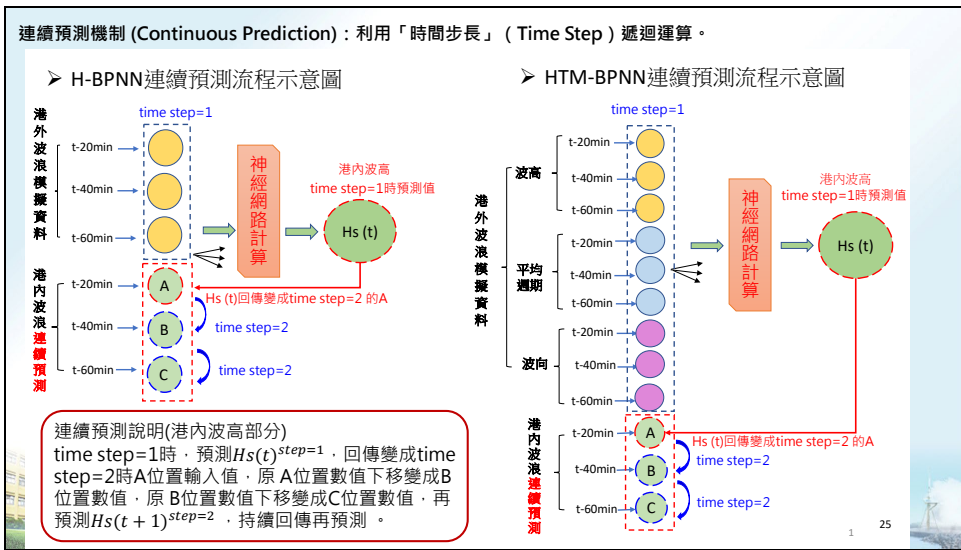


## 五、建置作業化模式及測試執行情形

### 第2階段 (main2\_HLNNs.exe) :

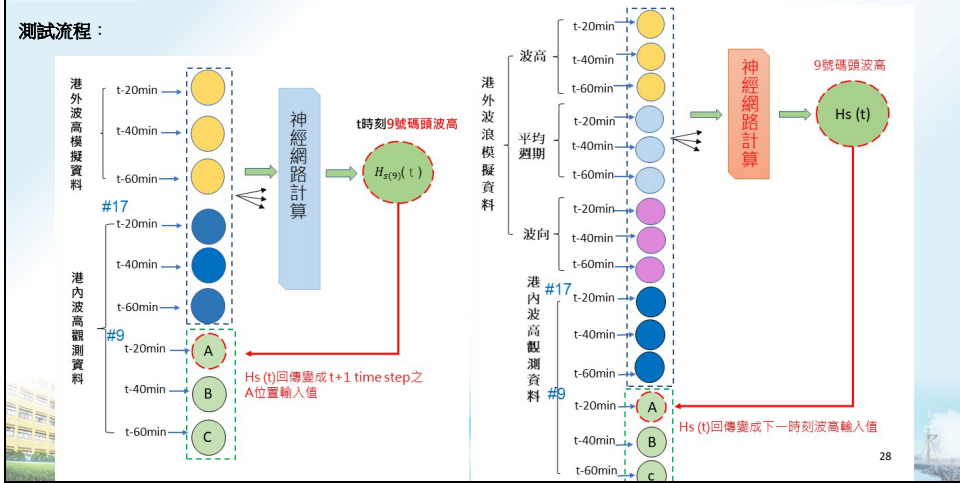
- ✓ 功能：資料正規化處理、執行H-BPNN及HTM-BPNN神經網路運算。
- ✓ 輸出：港外1日1次模擬資料→產出 H-BPNN 與 HTM-BPNN 兩種架構的預測結果  
港外1日4次模擬資料→產出 H-BPNN 與 HTM-BPNN 兩種架構的預測結果





## 五、創建9號碼頭作業化模式

測試流程：



## 五、創建9號碼頭作業化模式

□新建9號碼頭波高預測神經網路9(&17)-H-BPNN [9-1-1]、9(&17)-HTM-BPNN [15-4-1]，經同第四章資料訓練/驗證，並以海神、閃電及康芮颱風3場颱風事件為測試案例，2者近乎相同。但若與第四章9-H-BPNN、9-HTM-BPNN相比，相關性提升，誤差變小，故增加17號碼頭資訊確有預測提升之效。

測試案例/架構	第四章重建9號碼頭神經網路			測試案例/架構	新建9號碼頭(含17號碼頭波高資訊)		
海神	R	MAE (m)	RMSE (m)	海神	R	MAE (m)	RMSE (m)
9-H-BPNN	0.881	0.031	0.052	9(&17)-H-BPNN	0.944	0.022	0.035
9-HTM-BPNN	0.836	0.031	0.051	9(&17)-HTM-BPNN	0.944	0.022	0.035
閃電	R	MAE (m)	RMSE (m)	閃電	R	MAE (m)	RMSE (m)
9-H-BPNN	0.782	0.018	0.026	9(&17)-H-BPNN	0.91	0.011	0.015
9-HTM-BPNN	0.854	0.016	0.022	9(&17)-HTM-BPNN	0.91	0.011	0.015
康芮	R	MAE (m)	RMSE (m)	康芮	R	MAE (m)	RMSE (m)
9-H-BPNN	0.963	0.041	0.069	9(&17)-H-BPNN	0.974	0.032	0.062
9-HTM-BPNN	0.966	0.037	0.065	9(&17)-HTM-BPNN	0.974	0.032	0.062

## 五、創建9號碼頭作業化模式

□落實改善成果，創建可獨立運作之9號碼頭作業化模式

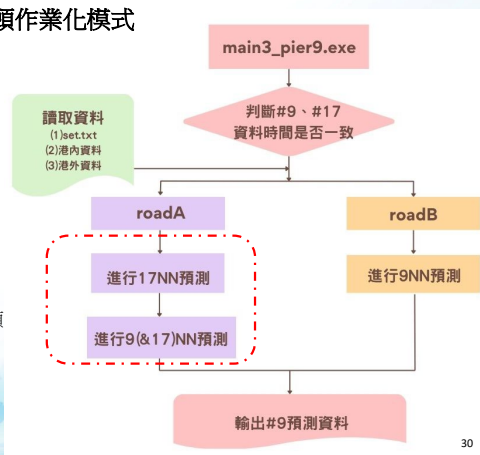
□主要分2階段作業

● 第1階段，使用main1\_connSQL.exe：

- ✓ 功能：自動連線資料庫，下載港內即時觀測波高(9、17號碼頭)及港外 TaiCOMS 港外模擬資料(1日1次及1日4次)。
- ✓ 檢核：檢查資料連續性，執行線性內插補遺。

● 第2階段，main3\_pier9.exe流程

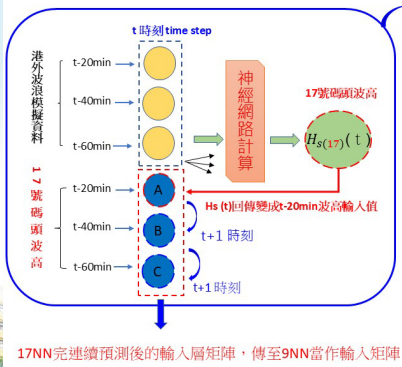
- Road A (優先)：若時間一致，先進行17號碼頭波高預測工作，再將其預測結果進入9(&17)-H-BPNN及9(&17)-HTM-BPNN，以預測9號碼頭波高
- Road B (備援)：若時間不一致，使用原本9-H-BPNN及9-HTM-BPNN，以預測9號碼頭波高。



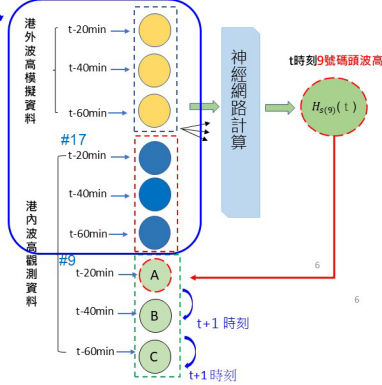
## 五、 創建9號碼頭作業化模式

➢ A路線:先執行17號碼頭連續預測,再執行9號碼頭連續預測

□ 17-H-BPNN連續預測流程示意圖

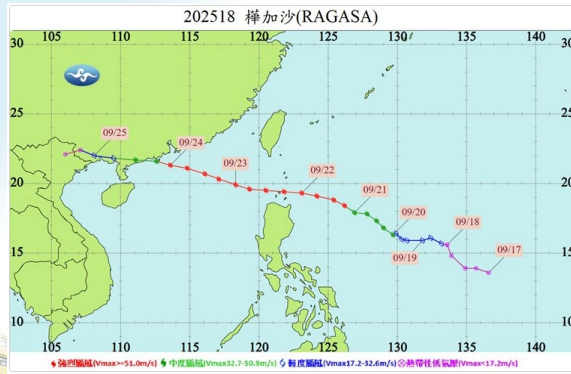


□ 9(&17)-H-BPNN連續預測流程示意圖

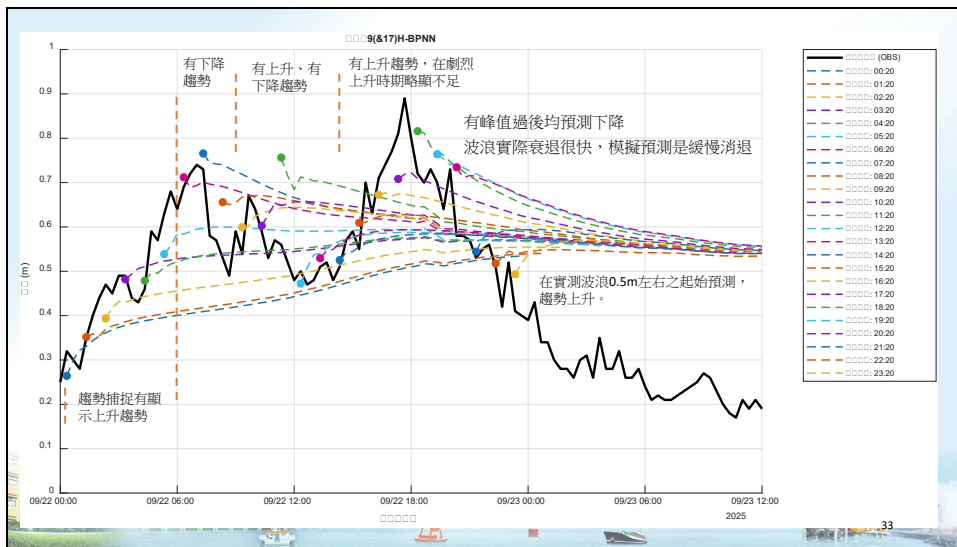


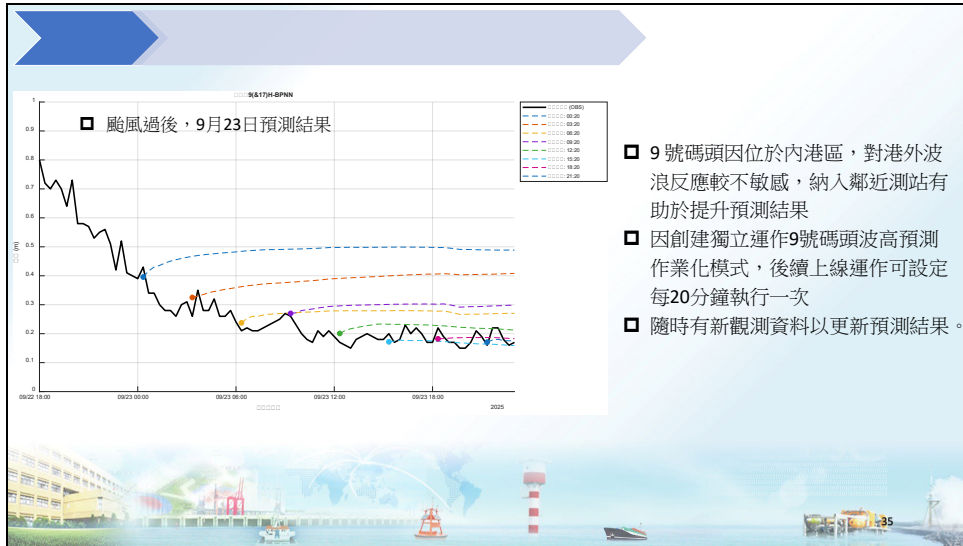
## 五、 9號碼頭作業化成果評估

颱風期間:114年9月18日12:00~9月25日06:00



作業化模式以9 (&17)- H-BPNN網路架構計算,在114年9月22日每次預測結果





## 六、花蓮港靜穩展示網頁

- 「花蓮港區靜穩展示網頁」:於109年度製作，花蓮港務分公司於110年11月18日開始使用「花蓮港區靜穩展示頁面」輔助其平日港務監控管理工作。
- 本年度進行的網頁維護工作，主要6~8月因應資安要求，進行弱掃，又依據弱掃結果做網頁歷線圖工具版本更新、使用者登入驗證功能等工作，歷線圖工具版本更新後，發生展示問題，如時間序列資料全擠在歷線圖右側、花蓮港風力標籤失效等，陸續調整恢復，維護紀錄詳報告書表6-3。

## 七、結論與建議(1/3)

### 結論(1/3)

- 本計畫進行109年1月至113年12月花蓮港外、港內波浪觀測資料分析：
  - 港外、港內波浪資料蒐集率高。
  - 在4年期間，花蓮港外示性波高最大值發生在113年10月底~11月初康芮颱風期間，示性波高為7.03m，分析之長浪示性波高為5.17m，長浪占比約73.5%；示性波高次大發生在113年7月凱米颱風期間，示性波高為6.83m，分析長浪示性波高為6.19m，長浪占比約90.6%。
  - 在4年期間，9號、17號及25號碼頭發生波高最大值均在113年10月底~11月初康芮颱風期間，分別為1.26m、3.82m及4.56m。
- 對照花蓮港波浪歷線圖，具影響花蓮港域內波浪之颱風事件約有64件，其中僅15件颱風事件有發布陸上或海上颱風警報，故神經網路學習訓練集資料不能僅限於有發布颱風警報之颱風。

## 七、結論與建議(2/3)

### 結論(2/3)

- 以110年~113年度之港外波浪模擬資料及港內碼頭波高觀測資料，訓練建置之花蓮港17、25、9號碼頭波高預測神經網路模式，並各有H-BPNN及HTM-BPNN等2種網路架構。經驗證及測試預測20min比較，在2種架構下，執行成果良好且結果相近、差異不大，後續若應用在歷史颱風事件模擬，皆會有良好模擬結果。
- 落地應用：整合3個碼頭神經網路，發展「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」，提供3個碼頭未來波高變化趨勢。
- 為改善9號碼頭波高預測情形，引入17號碼頭波高資訊，新建9號碼頭神經網路，經驗證及測試案例結果顯示，確實提升預測能力。
- 創建「9號碼頭波高預測作業化模式」(HLNNS\_pier9.exe)，設計主要路線A及備援路線B，以確保作業化模式上線運作，能穩定持續產生碼頭波高預測資訊。

## 七、結論與建議(3/3)

### 結論(3/3)

- 經查看「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」及「9號碼頭波高預測作業化模式」之測試執行情形，無論使用H-BPNN或HTM-BPNN架構計算，模式均能隨時間推進即時動態修正預測，且隨著預測時間拉長，逐漸呈現平緩收斂特徵，顯示現行預設之24小時預測在實務運作上之預測效益有限，另使用H-BPNN架構計算，其預測歷線與實測值的相關性較高且不易出現發散的預測值。
- 本年度維護「花蓮港區靜穩展示」工作，主要配合資安需求，進行弱掃工作，再依據弱掃結果更新使用工具版本，調整及修改網頁展示功能。

## 七、結論與建議(3/5)

### 建議

- 經由作業化模式測試執行情形，建議各碼頭優先採用 H-BPNN 架構計算。
- 依據本年度創建「9號碼頭波高預測作業化模式」經驗，17號及25號碼頭均屬外港區，2測站波浪相關性較高，亦可再建置輸入層同時有17號及25號碼頭波高資訊之神經網路，以提升外港區碼頭波高預測成效。
- 在作業化模式運作設定部分，「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」可改為啟動頻率每小時1次，預測時數改為12小時；「9號碼頭波高預測作業化模式」啟動頻率則配合觀測資料更新頻率，每20分鐘1次，預測時數改為12小時。據此，聚焦於提供準確度較高之短、中期波高變化趨勢。



## 七、結論與建議(4/5)

### 成果效益與應用

- 完成「花蓮港碼頭波高預測作業化模式」。
- 針對9號碼頭部分，創建「9號碼頭波高預測作業化模式」，未來可獨立上線運作。
- 維運「花蓮港區靜穩展示」客製化網頁。

### 成果應用

- 建置之3個碼頭波高預測神經網路，可供做碼頭波浪資料補遺或進行案例模擬(後測)相關研究計畫應用。
- 3個碼頭預測資訊後續若於「花蓮港區靜穩展示」展示，提供花蓮港務分公司碼頭波高變化趨勢，做為船舶進出港管制之決策依據。



## 附錄六

### 報告審查意見處理情形表



## 附錄六 報告審查意見處理情形表

### 交通部運輸研究所自行研究計畫 報告審查意見處理情形表

計畫名稱：花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估

參與審查人員及其所提之意見	處理情形
一、許泰文委員	
<p>1. 本計畫執行成果有助於花蓮港務分公司船舶進出依據系統預報波高、週期，在颱風波浪或長波執行船舶進出和作業安全參考，成果豐碩標的明確。</p> <p>2. TaiCOMS 作業系統，本模式為風浪模式，模式中參數率定至為重要，模式缺少波浪折繞射及反射，請增加模式率定和功能論述。</p> <p>3. 觀測資料品管和補遺，請補充。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 本所 TaiCOMS 2.0 系統每年均有發包相關計畫辦理系統維運及校驗工作，SWAN 模組率定及功能可參閱本所其他計畫報告書。本計畫僅直接使用該系統於 109~113 年期間產製之花蓮港波浪模擬資料，做為各碼頭神經網路輸入層代表港外波浪條件之參數資料，以做後續網路訓練及驗證等工作。</p> <p>3. 在港外觀測波浪部分，本計畫延續前期研究方法(港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究(4/4)-模擬評估及靜穩預警研究)與結論，採用 109 年 1 月~113 年 12 月期間花蓮港 AWAC 超音波訊號量測所得之波浪觀測原始資料(.wad)，分析各月 Hm0(ast)、Tm02(ast)、Tp(ast) 統計結果，如表 3-2 所示，其資料品管分析方法，詳附錄一之 1.2 節。因港外觀測波浪資料後續沒有應用在神經網路訓練工作上，爰無補遺事宜。在港內碼頭觀測波浪部分，本所建置波潮監測站均有發包維護案件，以進行測站維護及資料品管工作，由表 3-4~表 3-6 所示，各碼頭資料蒐集率良好，發生缺失資料情形，大都是因進行測站維護工作，維護工作大概需 1 小時，故每次進行維護時之異常資料大約會有 3 筆，筆數少故在後續第四章處理港</p>

參與審查人員及其所提之意見	處理情形
<p>4. 神經網路神經元個數，如何決定，是否依不同案例變動神經元架構，由前 1 小時推測 24 小時波況結果，以顯示預報。</p>	<p>內碼頭波浪資料補遺工作，主要是以內插方法處理，若遇長時間資料中斷就不補資料。</p> <p>4. 本計畫應用倒傳遞神經網路，其架構分為輸入層、隱藏層及輸出層，共 3 層，輸入層之神經元個數取決於考慮的物理參數因子，輸出層之神經元則代表 t 時刻波高，即個數 1 個，至於隱藏層神經元個數之決定，是以試誤法先從 3 個神經元逐一增加到 20 個神經元，通過驗證及測試階段，且在測試階段相關性最高的做為隱藏層神經元個數，此外，本計畫神經網路架構主要有 H-BPNN 及 HTM-BPNN 2 種，非依不同案例變動神經元架構，相關說明詳報告書第四章，神經網路在作業化模式以前 1 小時資訊，使用連續預測方法推測未來 24 小時資訊，相關說明詳報告書第 5.1.2 節。</p>

## 二、蕭世俊委員

<p>整個問題是透過 ML (HTM-BPNN) 的方式建立港外計算的波高、平均週期及波向與港內實測波高資料。輸入之資料為預測時間前 1 小時的資料，時間解析度為 20 分鐘。整體報告內容豐富，以下為幾個意見及建議：</p> <p>1. 數值計算的結果為每小時 1 筆，線性內差至 20 分鐘，為何選擇 1 小時當作輸入層應有更詳盡的說明。計算時間多久？另外，水位被排除在訓練，是否有其原因？</p>	<p>1. 感謝委員肯定。在 111 年辦理「花蓮港內波浪預測方案初探」時，有先以 17 號碼頭為例，建置過輸入層考慮前 6 小時、前 3 小時、前 2 小時及前 1 小時之港外、港內波高資訊神經網路，經驗證及測試結果發現，前置時間越多反而結果越不好，故訂下輸入層考慮前 1 小時之架構，訓練好的神經網路，其運算很快，且本計畫神經網路架構層數僅 3 層，神經元個數算少，每次運算時間均在幾分鐘內；在 112 年辦理「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」，有針對風速、風向、水位、港外波浪(波高、週期及波向)及港內碼頭波高做參數相關性分析，分析結果水位與 3 座碼頭波高相關性均低度相關或低度負相關，故不考慮水位。</p>
--	--

參與審查人員及其所提之意見	處理情形
<p>2. 從預測結果來看(如圖 4.9),觀測值與預測值有相位差(觀測值早發生)。看起來誤差的主因是相位差造成的。造成相位差的可能原因為何?</p> <p>3. 港外的實測資料可以用來做什麼?</p>	<p>2. 由第 3 章可知,碼頭測站資料蒐集為監測頻率 2Hz,持續觀測時間約 17 分 04 秒、蒐集到 1,024 筆資料後,進行統計分析,波浪統計值顯示於第 20 分鐘(時間戳記),故觀測資料在物理意義上,比其標示時間戳記發生得更早。預測模式運作邏輯係以 t-20min 的資料預測 t 時刻情形,如長浪於 10:10 抵達內港區,其波高開始上升情形,先反映在 10:20 時間戳記,在預測模式係使用 10:00 分資料去預測 10:20 分,然 10:00 此時尚未有長浪且波高尚屬平緩情形,以此預測 10:20 分波高資料,至讀取到 10:20 實測波高,才開始預測出波高上升情形,因此,在數學上,模式天生慢一步,產生相位差;在物理上,模式是基於尚未有長浪的歷史資料去進行推估,必然會慢於觀測值,後續研究再行研議調整輸入時間序列。</p> <p>3. 本(114)年度使用 109~113 年期間之港外波浪觀測資料做統計分析,以表達近年花蓮港外海波浪情況(詳第 3 章)。在 112 年辦理「應用倒傳遞類神經網路建置花蓮港碼頭波高預測模式」,有將港外實測資料做為神經網路訓練資料,後因考慮未來作業化模式上線運作機制為即時下載港外波浪模擬資料以推測未來的碼頭波高,故自 113 年起,改使用 TaiCOMS 花蓮港波高模擬資料做為神經網路訓練資料。</p>
<h3>三、鐘權宏委員</h3>	
<p>研究成果可提供花蓮港務分公司更精確地觀測內、外港區湧浪起伏情形,予以肯定。</p> <p>1. 本公司主要使用「商港海氣象資訊系統」查看各碼頭波高資訊。</p>	<p>1. 感謝委員意見,本所設置碼頭波潮監測站觀測資料原是即時展示於本計畫維護之「花蓮港區靜穩展示」,後又經由「商港海氣象資訊系統」增加展示各碼頭靜穩站資料功能,2 者網頁展示資料相同。</p>

參與審查人員及其所提之意見	處理情形
<p>2. 9、17 及 25 號碼頭波高資訊對本港管理作業很重要，請問每 20 分鐘 1 筆波高觀測資料是反應當下波高情形？還是統計值？</p>	<p>2. 本所設置碼頭波潮監測站，監測頻率 2Hz，以逐時量測，每蒐集約 1024 筆實測水位資料便以零上切法做波浪統計分析，分析該組資料整體的示性波高、平均週期，故網站上顯示每 20 分鐘 1 筆波高資訊非當下波高情形，而是前 17 分鐘波浪統計值。</p>
<p>四、本所運輸技術研究中心第一科賴瑞應科長</p>	
<p>1. 報告提到目前的示警燈號採單一指標（如 25 號碼頭示性波高達 1.0m 為紅燈）。然而，根據報告表 6-1，不同船型（小型船、中大型船、超大型船）的裝卸臨界波高差異甚大（0.3m 至 1.5m）。建議報告增列「分船型預警機制」的評估，將預測波高與特定席位靠泊船型的耐受度結合，使管制決策更具經濟效益，避免過度管制。</p> <p>2. 由於「連續預測」會隨時間產生誤差累積，建議後續網頁展示功能中，可加入預測誤差包絡線，告知領港或決策者該預測值的可靠區間，輔助判斷是否應在波高臨界點前執行船舶避湧。</p>	<p>1. 感謝科長建議，納入後續研究工作及網頁修改工作研議辦理。</p> <p>2. 感謝科長建議，納入後續研究工作研議辦理。</p>
<p>五、本所運輸技術研究中心第二科李俊穎科長</p>	
<p>1. 本計畫完成花蓮港 9、17、25 號碼頭波高預測神經網路模式並整合製作業化系統，成果具實務應用參考。</p> <p>2. 2024 年康芮颱風之波浪資料建議後續計畫可再拿收回自記資料再分析。</p> <p>3. 建議可將資料正規化過程再加以說明。</p> <p>4. 建議後續計畫輸入層之港外波高資料可考量 t 資料甚至加入 t+20min 等加強預測。</p> <p>5. 建議後續計畫在成果評估繪製歷線圖可考量放入 TaiCOMS 模擬值併入說明。</p>	<p>1. 感謝科長肯定。</p> <p>2. 碼頭波高波浪資料係使用後來回補的資料。</p> <p>3. 遵照辦理，已補充於報告書第 4.1 節內容。</p> <p>4. 感謝科長建議，納入後續研究計畫辦理。</p> <p>5. 感謝科長建議，納入後續研究計畫辦理。</p>

參與審查人員及其所提之意見	處理情形
六、本所運輸技術研究中心第三科林雅雯科長	
<p>1. 第 5-7 頁，以港外波浪前 1 小時資料預測港內波浪未來 24 小時資料是否足夠，後續年度可考量輸入前 6 小時港外 AWAC 模擬波高、前 6 小時港外 AWAC 實測波高資料以及港外 AWAC 未來 24 小時模擬波高資料。</p> <p>2. 報告中測試及驗證採用同一颱風是否適合？</p> <p>3. 第 3-4 頁倒數第 4 行，應為 113 年期間。</p> <p>4. 簡報新增內容，建議補充至報告書。</p>	<p>1. 感謝科長意見，在 111 年辦理「花蓮港內波浪預測方案初探」時，有先以 17 號碼頭為例，建置過輸入層考慮前 6 小時、前 3 小時、前 2 小時及前 1 小時之港外、港內波高資訊神經網路，經驗證及測試結果發現，前置時間越多反而結果越不好，故後續研究才訂下輸入層考慮前 1 小時之架構。</p> <p>2. 各碼頭均使用 2 個颱風事件做驗證案例，其主要目的是證明訓練好的神經網路沒有過度學習的情況，接著將通過驗證案例之神經網路架構，再進行同樣 2 場颱風事件之測試流程，但測試流程與驗證流程不相同(驗證及測試流程詳圖 4.7)，本計畫選取經過測試流程還能表現不錯之神經網路架構，代表其預測行為較為穩定，在後續整合進作業化模式時，神經網路會以連續預測方式計算(流程詳圖 5.5)，降低其預測結果發散、爆掉風險。</p> <p>3. 感謝科長意見，此段主要將 110~113 年期間港外波浪觀測資料，區分成 110~111 年及 112 年~113 年等 2 段時期，分別 2 時期內最大示性波高發生在哪場颱風事件，已微調該段敘述方式。</p> <p>4. 已於定稿報告書補充，詳 5.3.3 節。</p>