115-021-7E21
MOTC-IOT-114-H3CA001d

# 花蓮海域海象模擬分析

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 9 月

115-021-7E21
MOTC-IOT-114-H3CA001d

# 花蓮海域海象模擬分析

著者：陳鈞彥、林雅雯

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 9 月

115

# 花蓮海域海象模擬分析

交通部運輸研究所

GPN：1011500184
定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

花蓮海域海象模擬分析 / 陳鈞彥, 林雅雯著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民115.09
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-742-3(平裝)

1.CST: 海洋氣象 2.CST: 監視系統 3.CST: 港埠管理

444.94 115001232

花蓮海域海象模擬分析

著　　者：陳鈞彥、林雅雯
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市松山區敦化北路 240 號
網　　址：www.iot.gov.tw (中文版＞數位典藏＞本所出版品)
電　　話：(04)2658-7200
出版年月：中華民國 115 年 9 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：300 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中區中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1011500184　　ISBN：978-986-531-742-3（平裝）
著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

# 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：花蓮海域海象模擬分析</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）<br>ISBN978-986-531-742-3(平裝)</td><td>政府出版品統一編號<br>1011500184</td><td>運輸研究所出版品編號<br>115-021-7E21</td><td>計畫編號<br>MOTC-IOT-114-H3CA001d</td></tr>
<tr><td colspan="3">本所主辦單位： 運輸技術研究中心<br>主管：蔡立宏<br>計畫主持人：林雅雯<br>研究人員：陳鈞彥<br>聯絡電話：(04)26587132<br>傳真號碼：(04)26564415</td><td>研究期間<br>自 114 年 4 月<br><br>至 114 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：WWM、SCHISM、數值模擬、波浪模式、花蓮港</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：<br>交通部運輸研究所發展作業化之臺灣近岸海象預測系統 TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，應用交通部中央氣象署風、氣壓場預報資訊，經遠域(大尺度)風浪模組、近域(中尺度)風浪模組及近海(小尺度)風浪模組，以 WAM、SWAN 等風浪模式，針對商港進行模擬計算，提供預測模擬資料，並進行長期性模式校驗及維運，為提升作業化之海象模擬預測，評估 SCHISM 跨尺度海洋數值模式 WWM-III 結合第三代波浪模式於港區近岸海項模擬，本計畫於建立 2 種不同範圍大小數值地形網格，建立耦合之風浪模式，針對花蓮港區進行數值模擬，及進行有無啟用波流耦合，以 2021 年至 2023 年共 5 場颱風為案例，模擬風浪情況，比較颱風期間波高、週期及波向模擬值與觀測值，評估未來將 SCHISM 模式導入 TaiCOMS 於港區波浪模擬之可行性。<br><br>成果效益及應用情形：<br>SCHISM-WWM 模式於花蓮港區之示性波高、尖峰週期及平均週期等模擬結果，其整體變化趨勢與觀測資料大致一致，顯示該模式能合理重現颱風期間花蓮海域之波浪演變特性，具備應用於港區近岸波浪模擬之可行性。綜合評估模式在港區應用之可行性與運算資源需求，建議可先以特定港區為試行對象，逐步建置作業化流程，並與既有 SWAN 模式進行並行模擬與成果比對，以降低系統轉換風險並確保預測穩定性。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>115 年 9 月</td><td>128</td><td>300</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本計畫之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**

**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**

**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE:Numerical simulation and analysis of marine conditions in the sea areas of Hualien.


| ISBN(OR ISSN) | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER | IOT SERIAL NUMBER | PROJECT NUMBER |
|---|---|---|---|
| 978-986-531-742-3(pbk) | 1011500184 | 115-021-7E21 | MOTC-IOT-114-H3CA001d |



DIVISION: Transportation Technology Research Center
DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-Wen Lin
PROJECT STAFF: Chun-Yen Chen
PHONE: (04)26587132
FAX: (04)26564415


PROJECT PERIOD

FROM January 2025
TO December 2025


KEY WORDS: WWM、SCHISM、Numerical Simulation、Wave Model、Hualien Harbor



ABSTRACT:

The Institute of Transportation (IOT), Ministry of Transportation and Communications (MOTC), has developed an operational Taiwan coastal oceanographic forecasting system, TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System). TaiCOMS utilizes forecast wind and atmospheric pressure fields provided by the Central Weather Administration (CWA), MOTC, and conducts simulations for commercial ports through a hierarchical modeling framework consisting of a far-field (large-scale), regional (mesoscale), and nearshore (small-scale) wave modeling system, employing wave models such as WAM and SWAN. The system provides forecast simulation data and is supported by long-term model calibration and operational maintenance.

To further enhance the operational capability of coastal oceanographic simulations and forecasts, this project evaluates the applicability of the SCHISM cross-scale ocean numerical model coupled with the third-generation wave model WWM-III for nearshore and port-area wave simulations. Two numerical bathymetric grids with different spatial extents were established to construct the coupled wave modeling system. Numerical simulations were conducted for the Hualien Port area, with and without wave–current coupling. Five typhoon events from 2021 to 2023 were selected as case studies to simulate wave conditions. Simulated wave height, period, and direction during typhoon events were compared with observational data to assess the feasibility of incorporating the SCHISM model into TaiCOMS for port-area wave simulations in the future.

Benefits of Research:

The simulation results of significant wave height, peak period, and mean period produced by the SCHISM-WWM model in the Hualien Port area show overall trends that are generally consistent with observational data, indicating that the model can reasonably reproduce the wave evolution characteristics during typhoon events and is suitable for nearshore wave simulations in port areas. Considering its applicability and computational requirements, it is recommended to initially implement the model in selected port areas, gradually establish an operational workflow, and conduct parallel simulations and performance comparisons with the existing SWAN model to reduce system transition risks and ensure forecasting stability.



| DATE OF PUBLICATION | NUMBER OF PAGES | PRICE |
|---|---|---|
| September 2026 | 128 | 300 |



The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

# 目 錄

**中文摘要.....III**
**英文摘要.....III**
**目 錄 III**
**圖 目 錄.....IIV**
**表 目 錄.....VII**
**第一章　緒論.....1-1**
1.1　計畫緣起與目的.....1-1
1.2　研究範圍.....1-1
1.3　計畫內容與工作項目.....1-2
**第二章　文獻蒐集.....2-1**
2.1　風浪模式介紹.....2-1
2.2　SCHISM-WWM 數值模式相關文獻.....2-2
2.3　SCHISM-WWM 數值模式說明.....2-8
**第三章　耦合模式建立.....3-1**
3.1　模式基本設定.....3-1
3.2　模式參數設定.....3-4
3.3　不同範圍網格模擬結果差異.....3-6
3.4　耦合與否模擬結果差異.....3-19
**第四章　即時影像監測設備更新汰換及系統維護.....4-1**
4.1 即時影像監測設備現況.....4-1
4.2 即時影像監測設備定期維護.....4-3
**第五章 結論與建議.....5-1**
5.1 結論.....5-1
5.2 建議.....5-2
5.3 成果效益及應用情形.....5-2
**參考文獻.....參-1**
**附錄一 期末報告審查意見回覆情形表.....附 1-1**
**附錄二 專家學者座談會會議紀錄.....附 2-1**
**附錄三 工作會議會議紀錄.....附 3-1**
**附錄四 期末審查簡報.....附 4-1**

# 圖 目 錄

圖 2.1 SCHISM-WWM 模式模擬臺南外海水深 24 m 至 34 m 海流 U、V 分量比對圖(邱等人，2019) ..... 2-3
圖 2.2 SCHISM-WWM 模式模擬後壁湖浮標水位即波揚比對圖(蕭等人，2019) ..... 2-4
圖 2.3 SCHISM-WWM 模式模擬龜山島浮標示性波高、平均週期、尖峰週期、烏石港水位比對圖(王等人，2020) ..... 2-4
圖 2.4 SCHISM-WWM 不同耦合方式模擬富貴角、龜山島、花蓮浮標波高、週期比對圖(蕭等人，2020) ..... 2-5
圖 2.5 SCHISM-WWM 模擬近岸 ADCP 波高與週期驗證比對圖( Fu 等人，2023) ..... 2-5
圖 2.6 SCHISM-WWM 模擬颱風事件花蓮浮標波浪及水位比對圖(吳等人，2024) ..... 2-6
圖 2.7 SCHISM-WWM 澳洲菲利浦灣內波浪比對圖(Tran HQ 等人，2024) ..... 2-6
圖 2.8 SCHISM-WWM 模式架構圖 ..... 2-10
圖 3.1 中央氣象署 WRF 成員 M04 範圍圖 ..... 3-2
圖 3.2 TaiCOMS 作業化風、氣壓場 WE01(左)、WE02(右)範圍圖 ..... 3-2
圖 3.3 較小範圍水深地形與網格分布(S) ..... 3-2
圖 3.4 較大範圍水深地形與網格分布(L) ..... 3-3
圖 3.5 花蓮海域風浪模擬比對位置 ..... 3-3
圖 3.6 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-9
圖 3.7 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-9
圖 3.8 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-9
圖 3.9 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-10
圖 3.10 璨樹颱風花蓮港平均風速歷線圖 ..... 3-10
圖 3.11 璨樹颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站) ..... 3-10
圖 3.12 圓規颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-10
圖 3.13 圓規颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-11
圖 3.14 圓規颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-11
圖 3.15 圓規颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-11
圖 3.16 圓規颱風花蓮港平均風速歷線圖 ..... 3-11

圖 3.17 圓規颱風路徑圖 ..... 3-12
圖 3.18 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-12
圖 3.19 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-12
圖 3.20 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-12
圖 3.21 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-13
圖 3.22 軒蘭諾颱風平均風速歷線圖 ..... 3-13
圖 3.23 軒蘭諾颱風路徑圖 ..... 3-13
圖 3.24 梅花颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-13
圖 3.25 梅花颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-14
圖 3.26 梅花颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-14
圖 3.27 梅花颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-14
圖 3.28 梅花颱風花蓮港平均風速歷線圖 ..... 3-14
圖 3.29 梅花颱風路徑圖 ..... 3-15
圖 3.30 小犬颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-15
圖 3.31 小犬颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-15
圖 3.32 小犬颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-15
圖 3.33 小犬颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-16
圖 3.34 小犬颱風花蓮港平均風速歷線圖 ..... 3-16
圖 3.35 小犬颱風路徑圖 ..... 3-16
圖 3.36 璨樹颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-20
圖 3.37 璨樹颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-21
圖 3.38 璨樹颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-21
圖 3.39 璨樹颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-21
圖 3.40 璨樹颱風花蓮港平均流速歷線圖 ..... 3-21
圖 3.41 圓規颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-21
圖 3.42 圓規颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-22
圖 3.43 圓規颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-22
圖 3.44 圓規颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-22
圖 3.45 圓規颱風花蓮港平均流速歷線圖 ..... 3-22
圖 3.46 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-22
圖 3.47 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-23
圖 3.48 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-23
圖 3.49 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-23

圖 3.50 軒蘭諾颱風平均流速歷線圖 ..... 3-23
圖 3.51 梅花颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-23
圖 3.52 梅花颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-24
圖 3.53 梅花颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-24
圖 3.54 梅花颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-24
圖 3.55 梅花颱風花蓮港平均流速歷線圖 ..... 3-24
圖 3.56 小犬颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖 ..... 3-24
圖 3.57 小犬颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖 ..... 3-25
圖 3.58 小犬颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖 ..... 3-25
圖 3.59 小犬颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖 ..... 3-25
圖 3.60 小犬颱風花蓮港平均流速歷線圖 ..... 3-25
圖 4.1 花蓮港區即時影像位置圖 ..... 4-1
圖 4.2 台 11 線人定勝天路段即時影像位置圖 ..... 4-1
圖 4.3 花蓮港區即時影像系統截圖 ..... 4-2
圖 4.4 台 11 線人定勝天路段即時影像系統截圖 ..... 4-2
圖 4.5 花蓮港區即時影像第 1 季維護(a) ..... 4-3
圖 4.6 花蓮港區即時影像第 1 季維護(b) ..... 4-3
圖 4.7 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像更新維護 ..... 4-3
圖 4.8 花蓮港區即時影像第 2 季維護(a) ..... 4-4
圖 4.9 花蓮港區即時影像維護第 2 季(b) ..... 4-4
圖 4.10 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像第 2 季維護 ..... 4-4
圖 4.11 花蓮港區即時影像第 3 季維護(a) ..... 4-5
圖 4.12 花蓮港區即時影像第 3 季維護(b) ..... 4-5
圖 4.13 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像第 3 季維護 ..... 4-5
圖 4.11 花蓮港區即時影像第 4 季維護(a) ..... 4-6
圖 4.11 花蓮港區即時影像第 4 季維護(b) ..... 4-6
圖 4.16 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像第 4 季維護 ..... 4-6

# 表 目 錄

表 2-1 波浪浪數值模式比較表 ..... 2-7
表 3-1 中央氣象署 WRF 成員 M04 水平兩層巢狀網格資訊表 ..... 3-3
表 3-2 TaiCOMS 海象模擬作業化系統之風、氣壓場資料格式 ..... 3-4
表 3-3 不同範圍網格資訊 ..... 3-4
表 3-4 三波非線性交互作用參數表 ..... 3-5
表 3-5 四波非線性交互作用參數表 ..... 3-5
表 3-6 模式基本設定參數表 ..... 3-6
表 3-7 璨樹颱風不同範圍網格模擬誤差分析表 ..... 3-17
表 3-8 圓規颱風不同範圍網格模擬誤差分析表 ..... 3-17
表 3-9 軒蘭諾颱風不同範圍網格模擬誤差分析表 ..... 3-18
表 3-10 梅花颱風不同範圍網格模擬誤差分析表 ..... 3-18
表 3-11 小犬颱風不同範圍網格模擬誤差分析表 ..... 3-19
表 3-12 璨樹颱風有無耦合模擬誤差分析表 ..... 3-26
表 3-13 圓規颱風有無耦合模擬誤差分析表 ..... 3-26
表 3-14 軒蘭諾颱風有無耦合模擬誤差分析表 ..... 3-27
表 3-15 梅花颱風有無耦合模擬誤差分析表 ..... 3-27
表 3-16 小犬颱風有無耦合模擬誤差分析表 ..... 3-28
表 4-1 即時影像設備清單 ..... 4-2
表 4-2 即時影像監測設備維護紀錄表 ..... 4-7

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫緣起與目的

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)運輸技術研究中心為推動海岸災害防救科技發展，以提升商港海氣象模擬預測水準為主軸，維護與發展港灣風、波、潮及流模擬預測系統，配合運輸管理需求，於港灣環境資訊網對外提供資訊服務，進而促進維護進出港操航安全、提昇船席調配及港埠運作效率，並對於突發狀況快速研擬緊急因應對策，以達成防災、減災及促進經濟發展之目標，成為智慧港口不可缺少之一環。

本所作業化之臺灣近岸海象預測系統 TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，應用中央氣象署風壓場預報資訊，進行風浪模式、水動力模式等模擬計算並提供預測模擬資料，應用於國內主要商港及海岸公路波浪溯上模組，持續進行長期性模式校驗及維運，強化商港及近岸之海象模擬模組。111-112 年進行花蓮海域 SWAN 風浪模組白帽消散項參數敏感度分析、參數調整模擬測試，評估於波高、週期等模擬結果差異，113 年以 SCHISM-WWM 波流耦合數值模式，針對花蓮港區建立數值模型，初步波流耦合模擬颱風風浪情況，並評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬之可行性。

本(114)年持續應用 SCHISM-WWM 模式，探討與 SWAN 模式、加入波流耦合之波浪模擬結果差異，並提出導入 SCHISM 模式於 TaiCOMS 港區波浪模擬之建議。

## 1.2 研究範圍

本計畫以花蓮港區海域為目標，選取近年颱風事件為模擬案例，進行風浪模組數值模擬，與本所既有之 TaiCOMS 系統採用之風浪模式(SWAN)比較，及探討 SCHISM-WWM 耦合模式之模擬結果，提出 SCHISM 模式港區波浪模擬之導入建議。

## 1.3 研究內容與工作項目

本計畫研究內容係針對花蓮海域風浪模組內不同計算範圍、波流耦合設定與否於颱風期間模擬結果差異進行探討，以蒐集之花蓮港區觀測資料與數值模擬結果進行驗證，評估改善結果，提出精進建議。

本計畫內容及主要工作項目如下：

一、 文獻蒐集

蒐集 SCHISM-WWM 耦合模式、近岸及港區海象模擬應用之相關文獻、花蓮港季風及颱風期間波、流觀測資料、港區地形資料。

二、 SCHISM-WWM 耦合模式建立與港區風浪模擬分析

應用 SCHISM-WWM 建立花蓮海域之耦合模式進行不同網格風浪模擬，與 SWAN 模式比較颱風之風浪模擬結果。

三、 SCHISM-WWM 模式於花蓮港區波浪模擬成效評估

測試參數 SCHISM-WWM 耦合模式於颱風之風浪模擬結果，評估 SCHISM 模式於花蓮港區波浪模擬成效。

四、 辦理即時影像監測設備更新汰換及系統維護工作

持續進行花蓮港即時影像監測維護，提供即時影像供本所花蓮港靜穩展示頁面及越波研究(合作研究案)應用。

# 第二章 文獻蒐集

## 2.1 風浪模式介紹

有關風浪數值模擬應用之模式，目前以第三代數值波浪模式最為普遍，包括 WAM(WAve Model,WAMDI Group. 1988)、SWAN(Simulating WAves Nearshore, Booij et al. 1996)、NWW3(NOAA WAVEWATCH III, Tolman. 1997, 1999a, 2009)、及 WWM-III(Wind Wave Model III, Roland et al. 2012)等模式。

WAM 模式採用二維波浪能量平衡方程式，可描述方向波譜在時間、空間的變化過程，包括風浪的生成、波能的消散、底床摩擦效應，以及波與波之間非線性交互作用。SWAN 模式為荷蘭 Delft 大學主導發展之數值模式，除具有第三代風浪模式的特徵之外，同時考慮波浪在近岸海域的傳遞及變形效應，在能量成長與消散項的參數選擇上更具彈性，可以計算波浪在時間及控間領域之傳遞、波與波之間非線性的交互作用、波浪受風之成長、碎波之能量消散、底床摩擦，引起的能量損失、以及波浪受到海流及地形變化影響而產生的頻率位移、淺化與折射等物理過程，本所既有之作業化臺灣近岸海象預測系統(TaiCOMS 2.0)，其中的風浪模擬部分，即是採用 WAM、SWAN 模式，分別於遠域、近域及近海，構建成 3 層巢狀網格風浪模擬子系統，推算臺灣各商港區之波浪模擬預測資訊。

Tolman 基於 WAM 模式，在美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA)所發展之全波譜第三代波浪模式，可以多重網格的功能(包含非結構性網格)進行風浪模擬，與 SWAN 模式相似，可描述如風能輸入、非線性交互作用、波能消散、底床摩擦、碎波效應及波浪與底床交互作用產生的散射效應。

WWM-III(以下簡稱 WWM)模式，為 Hsu 等人(2005) 以有限元素法(Finite Element Method)，改良採用有限差分法(Finite Difference Method, FDM)SWAN 模式，能利用非結構化網格，在同一個離散計算域中同時解決大尺度海洋與小尺度海岸波浪，能更精確地描述淺水區的複雜地形與不規則邊界。

WWM 可描述風能輸入、白帽、破碎、底床摩擦及非線性交互作用等物理過程，可用於模擬近岸波場浪變化情況，亦可採用包含非結構性網格之多重網格的功能進行風浪模擬，WWM 可與 SCHISM 模式(水動力模式)介接進行波、流耦合模擬，本所預計於 115 年起逐步導入 SCHISM、WWM 模式於 TaiCOMS 港區波浪模擬，因此，本計畫應用 SCHISM 與 WWM 之耦合模式，以花蓮港為案例，進行港區風浪模擬。

## 2.2 SCHISM-WWM 數值模式相關文獻

依據過去文獻，SCHISM 模式及 SCHISM 結合 WWM 模式之耦合模擬可廣泛應用於海流、風浪模擬，並可應用於近岸海域之波流交互作用流場模擬。邱啟敏等人(2016)應用 SCHISM 模式結合二維溢油傳輸擴散模式(2D-VOILS)，評估適用於港區海域油污擴散模擬之適用性，邱等人(2019)應用 SCHISM-WWM 耦合模式，探討臺南海域之三維海流變化趨勢，並以模擬結果探討海域海底底床淘刷及侵蝕之情形(如圖 2.1)。

蕭等人(2019) 應用 SCHISM-WWM 耦合模式，測試以 ERA5、MERA5 風場進行波、流模擬，評估風暴波浪模擬之最佳風場來源，結果顯示，採用 MERA5 颱風風場進行顯著波高模擬之表現優於使用 ERA5 風場，於 104 年颱風蘇迪勒與 105 年梅姬颱風案例中，使用 MERA5 風場可使模擬之波高峰值(波揚)提升約 1 至 2 公尺(如圖 2.2)。

王等人(2020)以 SCHISM-WWM 耦合模式，探討裂流在宜蘭外澳近岸地區時空間的分布特性，模式可良好表現烏石漁港及龜山島近岸之波、流場特性(如圖 2.3)。

蕭等人(2020)應用 SCHISM-WWM 模式，以不同風場、不同波流耦合條件下，探討颱風波浪模擬之差異，分析結果指出，在臺灣北部近岸海域，由於潮流較強，潮流對颱風波浪模擬結果具有輕度敏感，潮流對東北部與東部海域對敏感性則較低(如圖 2.4)。

Fu 等人(2023)應用 SCHISM-WWM 模式並耦合輸沙模式(MORSELFE)，模擬評估中國海南島瓊海市外海，受人工島影響下，

近岸之波、流影響及漂沙、海岸侵淤與地形變遷情形，該文獻近岸波浪模擬結果驗證如圖 2.5。

吳等人(2024)以 SCHISM-WWM 耦合模式銜接 FUNWAVE 模式，以中央氣象署之花蓮浮標及潮位站觀測數據，驗證其花蓮海域波浪與水動力模擬結果(如圖 2.6)，進而模擬花蓮台 11 線人定勝天路段海岸之波浪溯升、越波情形，做為公路浪襲預警資料來源，Tran HQ 等人(2024)應用 SCHISM-WWM 模式，探討澳洲墨爾本菲利普港灣，在不同平均海平面對極端風浪、非線性湧浪之潛在影響，模式可表現菲利普港灣之封閉海灣內之波、流場特性，該文獻近岸波浪模擬結果驗證如圖 2.7。

依 WAM、SWAN 及 WWM-III 等模式使用手冊，各模式特性之比較如表 2-1 所示，因 WWM-III 具高效率且可採用結構、非結構或混合網格、並具備與 SCHISM 水動力模式波流耦合之優勢，本計畫採用 WWM-III 進行風浪數值模擬，並與本所作業化運行中 TaiCOMS 系統採用之 SWAN 模式比較模擬結果。

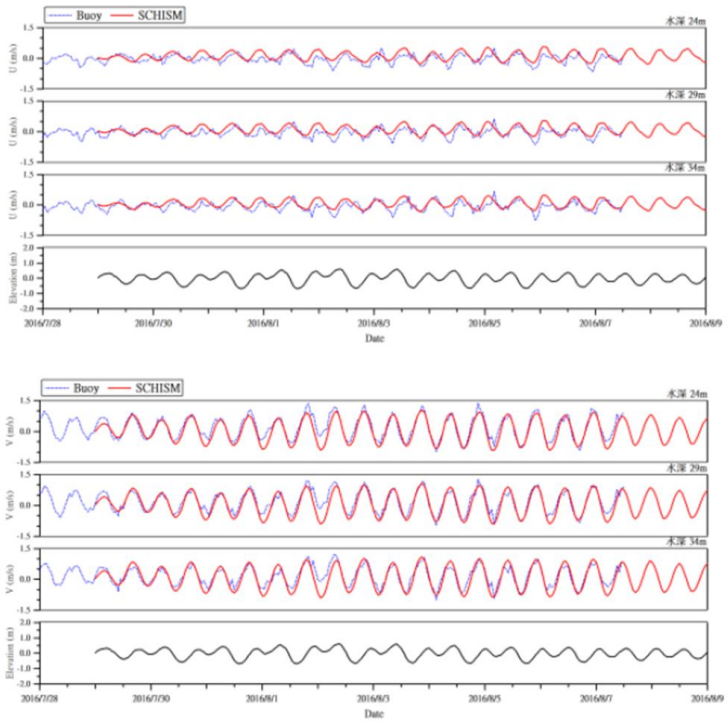



**圖 2.1 SCHISM-WWM 模式模擬臺南外海水深 24 m 至 34 m 海流 U、V 分量比對圖(邱等人，2019)**

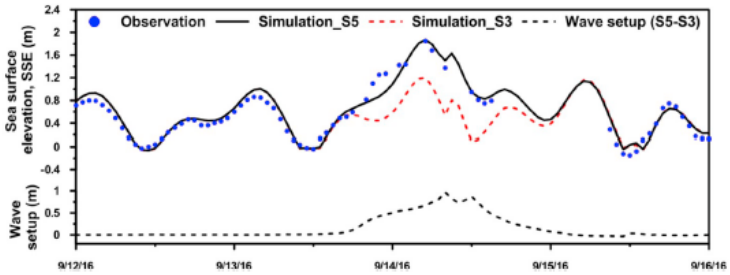



Fig. 9. Wave setup with tidal effects at the Houbihu tidal station during Super Typhoon Meranti in 2016.

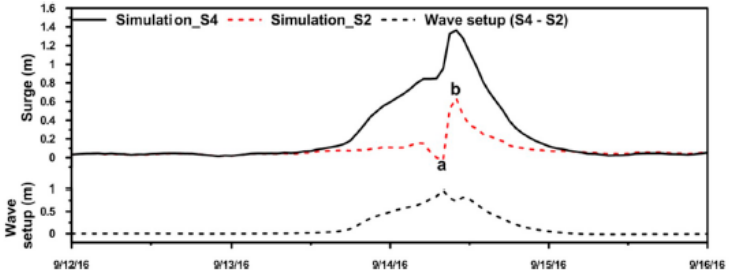



**圖 2.2 SCHISM-WWM 模式模擬後壁湖浮標水位即波揚比對圖(蕭等人，2019)**

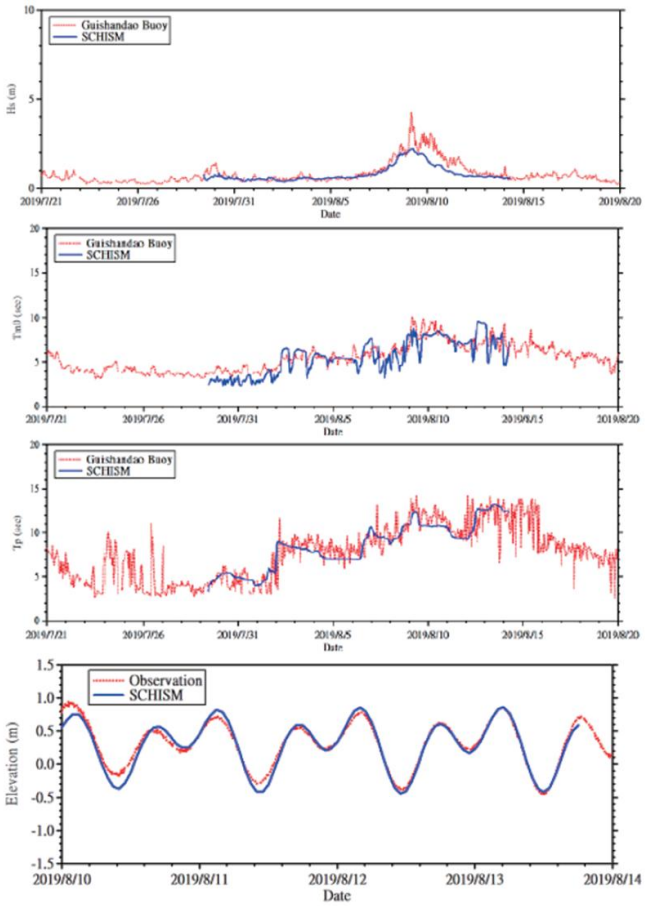



**圖 2.3 SCHISM-WWM 模式模擬龜山島浮標示性波高、平均週期、尖峰週期、烏石港水位比對圖(王等人，2020)**

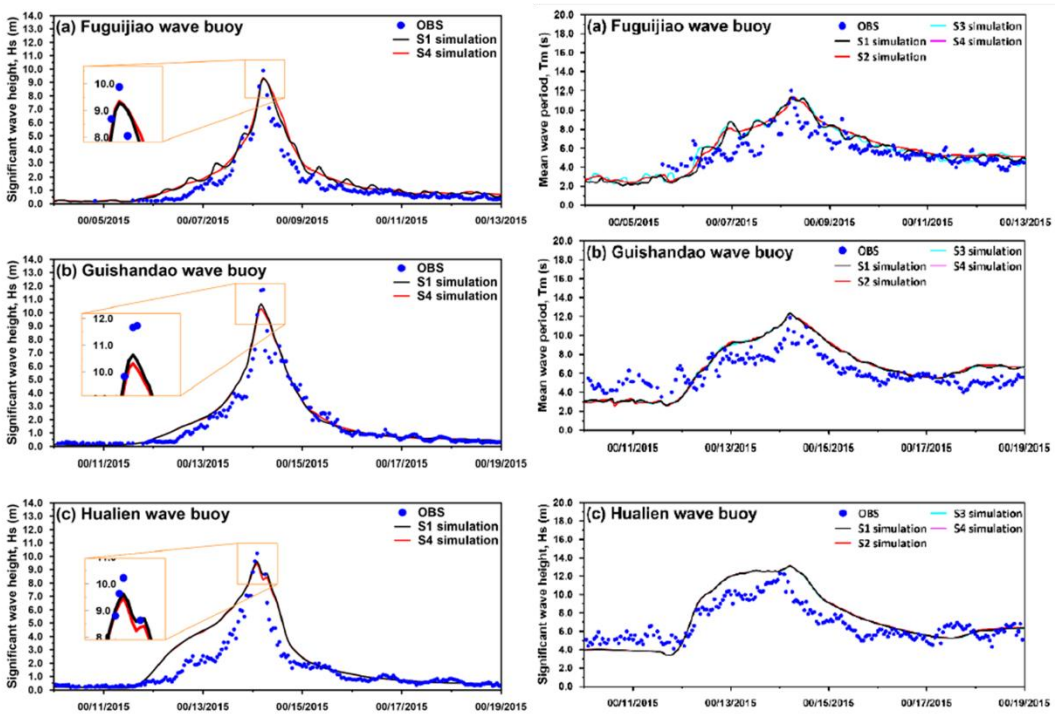



**圖 2.4 SCHISM-WWM 不同耦合方式模擬富貴角、龜山島、花蓮浮標波高、週期比對圖(蕭等人，2020)**

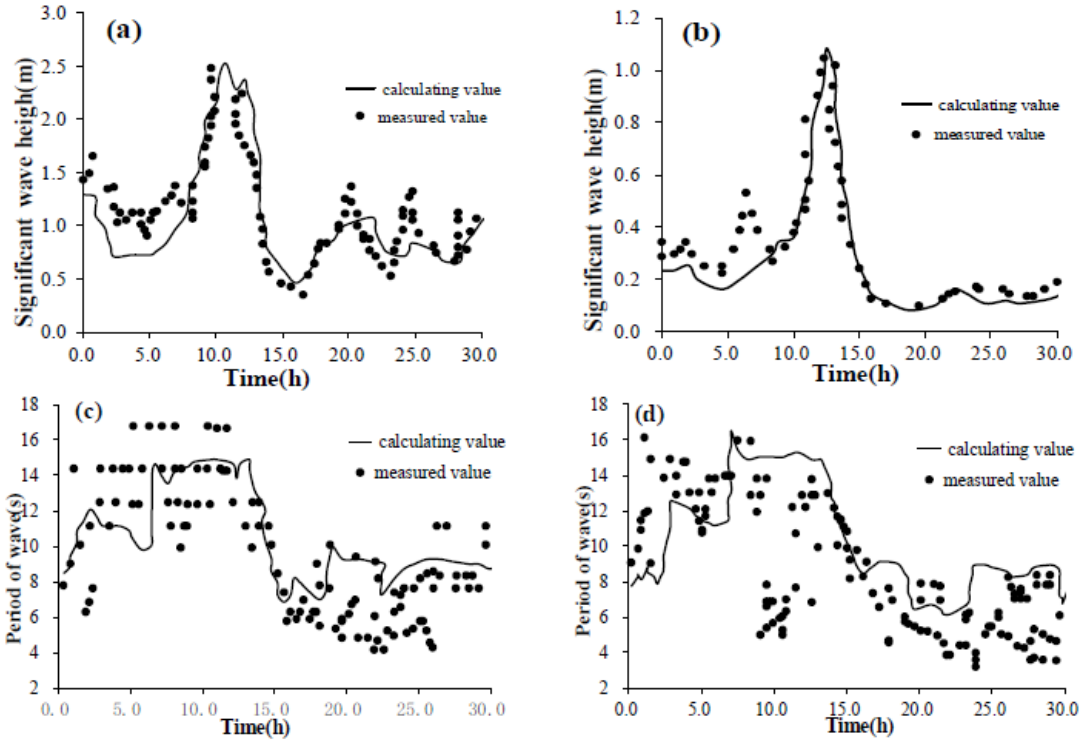



**圖 2.5 SCHISM-WWM 模擬近岸 ADCP 波高與週期驗證比對圖( Fu 等人，2023)**

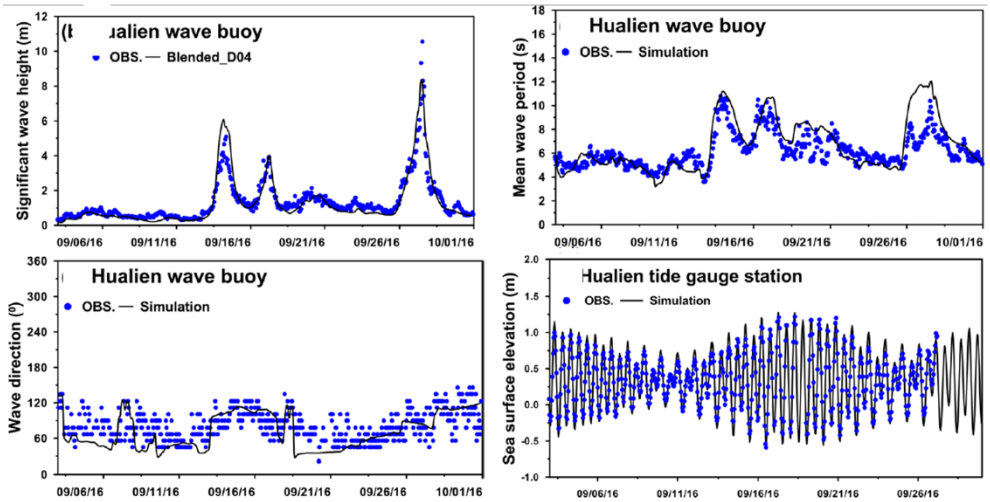



**圖 2.6 SCHISM-WWM 模擬颱風事件花蓮浮標波浪及水位比對圖(吳等人，2024)**

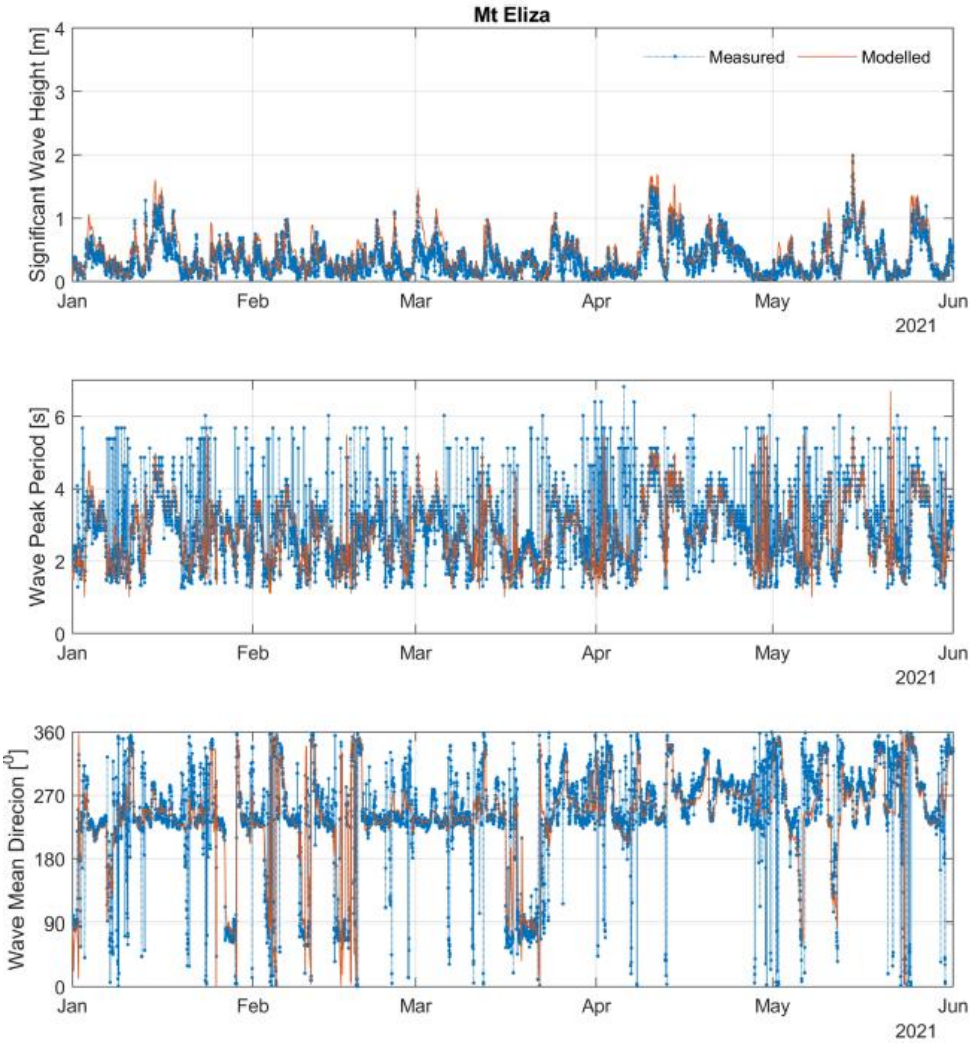



**圖 2.7 SCHISM-WWM 澳洲菲利浦灣內波浪比對圖(Tran HQ 等人，2024)**

## 表 2-1 波浪浪數值模式比較表

| 模式名稱 | WAM | SWAN | WWM-III |
|---|---|---|---|
| 主要開發單位 | ECMWF / WAM Group | Delft University of Technology | Roland、Zhang 等 (與 SCHISM 深度整合) |
| 原始設計尺度 | 深海、全球/盆地尺度 | 近岸、淺水、港灣尺度 (後期擴展支援跨區域) | 跨尺度(深海到近岸) |
| 計算網格 | 規則格網 (Structured grid) | 結構網格為主，40.85 版後支援非結構網格(Unstructured mesh) | 非結構網格 (Unstructured mesh) |
| 波浪控制方程 | 波浪力平衡作用方程 | 波浪力平衡作用方程 | 波浪力平衡作用方程 |
| 風輸入 (Wind input) | WAM Cycle 3/4 | 多種(Komen、Janssen…) | Ardhuin et al. (ST4) 為主 (物理項同 WaveWatch III) |
| 白化 (Whitecapping) | 有 | 有 | 有 |
| 四波交互作用 (SNL4) | 有(DIA) | 有(DIA) | 有(DIA) |
| 三波交互作用 (Triad) | 無 | 有(LTA) | 有(LTA) |
| 淺水碎波效應 | 無 | 有(BJ78) | 有(BJ78) |
| 底床摩擦 | JONSWAP 公式(常數係數) | JONSWAP、Madsen 公式 | JONSWAP、Madsen 公式 |
| 波流交互作用 (wave–current) | 有(有限) | 有 | 有 |
| 與水動力模式耦合 | 無/單向耦合 | 可(如 Delft3D、ADCIRC、ROMS) | 可(SCHISM) |
| 耦合方式 | 檔案傳遞 | 介面耦合 | 原生內嵌，通常同網格 |
| 計算效率(近岸) | 低 | 中 | 高 |
| 常見應用 | 全球/區域波浪預報、再分析 | 近岸波浪變形、工程應用 | 近岸置區域尺度高解析波流耦合研究 |

## 2.3 SCHISM-WWM 數值模式說明

本計畫使用 SCHISM-WWM 模式，模式主體為 SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model)模式，為 SELFE (Semi-implicit Eulerian-Lagrangian Finite Element model, Zhang and Baptista, 2008) 模式於 2014 年後修改之無縫跨尺度網格模式，可結合結構及非結構性網格，使用半隱式有限元素法，可使用較大時距(time step)進行數值計算，SCHISM 模式本身可介接多種物理模式(如圖 2.8)，可連帶模擬波浪、漂沙、油污、水質、生態、植生等議題，因具備可擴充性、穩定性及良好運算效能，而被廣泛應用。

由 SCHISM 模式結合 WWM 模式，可模擬風浪演變，透過 SCHISM 模式將風速、深度平均流速與水面高程傳遞至風浪模式；而 WWM-III 模式則將輻射應力傳遞二維海岸水動力模式，達到水動力與風浪耦合之計算效果。

SCHISM 模式採用水深積分之平面二維進行模擬，基於靜水壓假設與布氏近似假設(Boussinesq approximations)求解淺水方程式，其控制方程式包含連續方程式及動量方程式，卡式座標下二維表示是如(2.1)至(2.3)式。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial uH}{\partial x}+\frac{\partial vH}{\partial y}=0 \tag{2.1}$$

$$\frac{Du}{Dt}=fv-\frac{\partial}{\partial x}\left[g(\eta-\alpha\hat{\psi})+\frac{P_A}{\rho_0}\right]+\frac{\tau_{sx}+\tau_{rx}-\tau_{bx}}{\rho_0 H} \tag{2.2}$$

$$\frac{Dv}{Dt}=-fu-\frac{\partial}{\partial y}\left[g(\eta-\alpha\hat{\psi})+\frac{P_A}{\rho_0}\right]+\frac{\tau_{sy}+\tau_{ry}-\tau_{by}}{\rho_0 H} \tag{2.3}$$

其中 u = u(x,y,z,t)為水平速度，w = w(x,y,z,t)為垂直速度，$\eta(x,y,z)$為自由液面高程，h = h(x,y)為地形深度，$H=\eta(x,y)+h(x,y)$為總水深，g 為重力加速度，$\rho_0$為參考水體密度，$P_A$為大氣壓力，$f$為科氏力參數，α為效率地球彈性因子，$\hat{\psi}$為潮汐潛勢，$\tau_{sx}$、$\tau_{sy}$分別為風剪應力於 x、y 方向之分量，$\tau_{sx}$、$\tau_{sy}$可以(2.4)、(2.4)式表示：

$$\tau_{sx}=\rho_a C_s\sqrt{(W_x+W_x)^2 W_x} \tag{2.4}$$

$$\tau_{sy}=\rho_a C_s\sqrt{(W_x+W_x)^2 W_y} \tag{2.5}$$

其中，$W_x$和$W_y$為離自由液面 10 公尺高處之 $x$、$y$ 方向風速；$\rho_a$為空氣密度；$C_s$風拖曳係數，$C_s$的數值隨風速提高而增大，然而，Powell et al. (2003) 建議$C_s$數值需要設定上限。SCHISM-2D 中$C_s$與合成風速 W 的關係如(2.6)式：

$$C_s = 1.0^{-3}\begin{cases}(0.61+0.063\times 6) & W<6\\ (0.61+0.063W) & 6\le W\le 50\\ (0.61+0.063\times 50) & W>50\end{cases} \tag{2.6}$$

控制方程式中底床剪應力於 $x$、$y$ 方向分量$\tau_{bx}$、$\tau_{bx}$可以(2.7)、(2.8)式表示：

$$\tau_{bx} = \rho C_b\sqrt{(u+v)^2}u \tag{2.7}$$

$$\tau_{by} = \rho C_b\sqrt{(u+v)^2}v \tag{2.8}$$

其中$C_b$為底床拖曳係數，可透過曼寧公式計算後獲得如(2.9)式：

$$C_b = gn^2/H^{1/3} \tag{2.9}$$

參考吳等人(2024)文獻，根據臺灣海底底床地質特性，n 值於模式中設定為 0.025，$\tau_{rx}$與$\tau_{ry}$為風浪引起之輻射應力在 $x$、$y$ 方向之分量，採用 Longuet-Higgins and Stewart (1962,1964)研究所提，可以(2.10)至(2.14)式表示：

$$\tau_{rx} = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \tag{2.10}$$

$$\tau_{ry} = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \tag{2.11}$$

$$S_{xx} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty} N\sigma\frac{C_g}{C_p}\sin\theta\, d\theta d\sigma \tag{2.12}$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty} N\sigma\left[\frac{C_g}{C_p}(\cos^2\theta+1)-\frac{1}{2}\right]d\theta d\sigma \tag{2.13}$$

$$S_{yy} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty} N\sigma\left[\frac{C_g}{C_p}(\sin^2\theta+1)-\frac{1}{2}\right]d\theta d\sigma \tag{2.14}$$

其中$C_g$為波群速度，$C_p$為波相速度，N 為波作用密度，σ為風浪之相對角頻率，θ為波向。

WWM-III 模式依據波浪作用力平衡方程式(wave action balance

equation)，以及源函數項等求解波浪作用力密度波譜(action density spectrum)，於卡式座標下控制方程式如(2.15)至(2.19)式：

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial C_x N}{\partial x}+\frac{\partial C_y N}{\partial y}+\frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta}=\frac{S_{tot}}{\sigma} \tag{2.15}$$

$$c_x=\frac{dx}{dt}=C_g\cos\theta+U_x \tag{2.16}$$

$$c_y=\frac{dy}{dt}=C_g\sin\theta+U_y \tag{2.17}$$

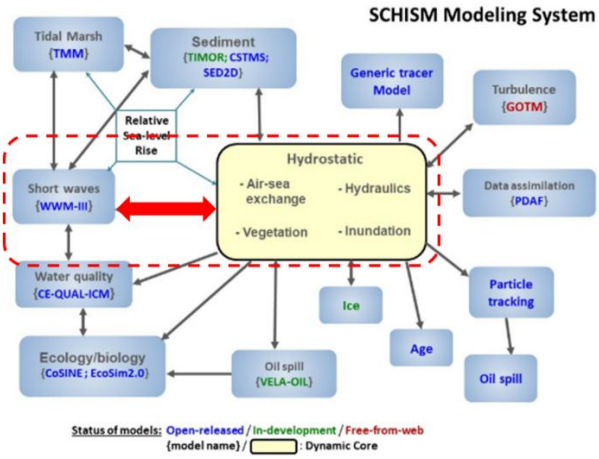
$$c_\theta=\frac{d\theta}{dt}=\frac{1}{k}\frac{\partial\sigma}{\partial d}\left(\sin\theta\frac{\partial d}{\partial x}-\cos\theta\frac{\partial d}{\partial y}\right)+\left(\sin\theta\frac{\partial U_s}{\partial x}-\cos\theta\frac{\partial U_s}{\partial y}\right) \tag{2.18}$$

$$c_\sigma=\frac{d\sigma}{dt}=\frac{\partial\sigma}{\partial d}\left(\frac{\partial d}{\partial t}+U_x\frac{\partial d}{\partial x}+U_y\frac{\partial d}{\partial y}\right)-C_g k\left(-\cos\theta\frac{\partial U_s}{\partial x}+\sin\theta\frac{\partial U_s}{\partial y}\right) \tag{2.19}$$

其中 N 為波浪作用力密度，$\sigma$為頻率、$\theta$為波浪方向角、x、y 為直角座標系統之座標方向，$c_x$、$c_y$、$c_\theta$分別為波浪作用力在 x、y、$\theta$方向之傳遞速度、$c_\sigma$為波浪作用力在頻率空間之傳遞速度、$C_g$為波群速度、$U_x$、$U_y$為流速在 x、y 方向之分量、k 為波數，$S_{tot}$為波浪成長與消散之源函數，可以(2.20)式表示：

$$S_{tot}=S_{in}+S_{nl3}+S_{nl4}+S_{ds,w}+S_{ds,b}+S_{ds,br} \tag{2.20}$$

其中$S_{in}$為風浪成長項、$S_{nl4}$、$S_{nl3}$為深海與淺水的波與波間非線性交互作用項，$S_{ds,w}$為白帽消散項、$S_{ds,b}$為底床摩擦項、$S_{ds,br}$為碎波消散項。




(資料來源 SCHISM 模式官網，https://ccrm.vims.edu/schismweb/)

**圖 2.8 SCHISM-WWM 模式架構圖**

# 第三章 耦合模式建立

## 3.1 模式基本設定

本計畫使用之 SCHISM-WWM 耦合模式，採用 Linux 作業系統執行模擬(Ubuntu 20.04.6 版)，

模式之輸入風、氣壓場參考運研所 TaiCOMS 架構，採用氣象署提供之 WRF(Weather Research and Forecast)成員之 M04 風、氣壓場資料(如圖 3.1 之紅框範圍)，經 TaiCOMS 之風場處理作業系統解算後得到該成員之 15km、3km 解析度之逐時資料，以 WD01 及 WD02 代號表示(如表 3)，分別擷取海平面高度 10m 之風場及海平面氣壓場資料後，提供 TaiCOMS 模擬使用，擷取後之資料依範圍及網格解析度，區分為西太平洋風場及氣壓(以 WE01 表示)及臺灣海域風場及氣壓(以 WE02 表示)資料，WE01 及 WE02 風、氣壓場之範圍與網格資料，如圖 3.2 及表 3-1，本計畫將 WE01 及 WE02 之追算風、氣壓場內插至數值地形網格做為使用之風、氣壓場，內插後之風、氣壓場資訊如表 3-2。

因 SCHISM 模式網格與 SMS (Surface Water Modeling System)模式使用網格格式相同，故本計畫使用 SMS 模式之網格製作工具產製數值地形網格，本計畫先建立 2 種不同大小範圍涵蓋臺灣之西太平洋海域範圍建立數值模式網格，相對較小範圍網格以東經 114°至 130°，北緯 19°至 29°，網格之節點數為 67746 個，共組成 132117 個三角形元素，較大範圍之網格東經 112°至 140°，北緯 16.5°至 29°，網格之節點數為 96339 個，共組成 187732 個三角形元素，於近岸處皆採用相對細緻網格，2 種不同大小範圍網格資訊整理如表 3-3，數值地形則由美國國家海洋暨大氣總署之 ETOPO1、ETOPO5、國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心之臺灣周圍海域 200m 解析度及花蓮港區 110 年水深測量資料為來源、以非結構性網格(三角形網格)建立，模式之網格及數值地形，如圖 3.3、圖 3.4 所示，模擬值輸出點位參考本所 TaiCOMS，選擇與其相同之輸出點，做為比對位置(如圖 3.5 中黃點位置)。

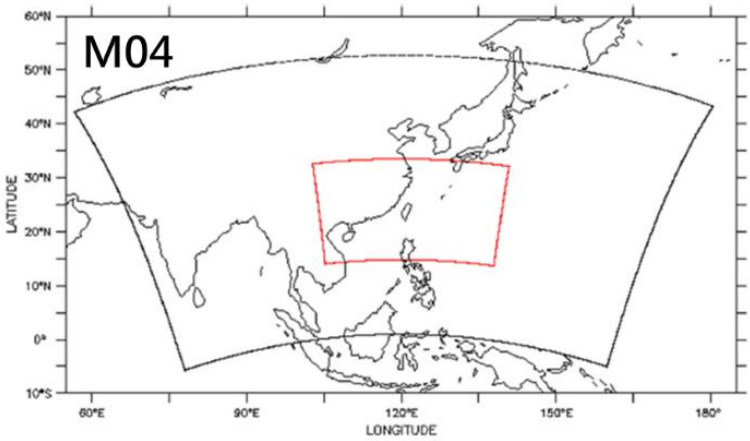



**圖 3.1 中央氣象署 WRF 成員 M04 範圍圖**

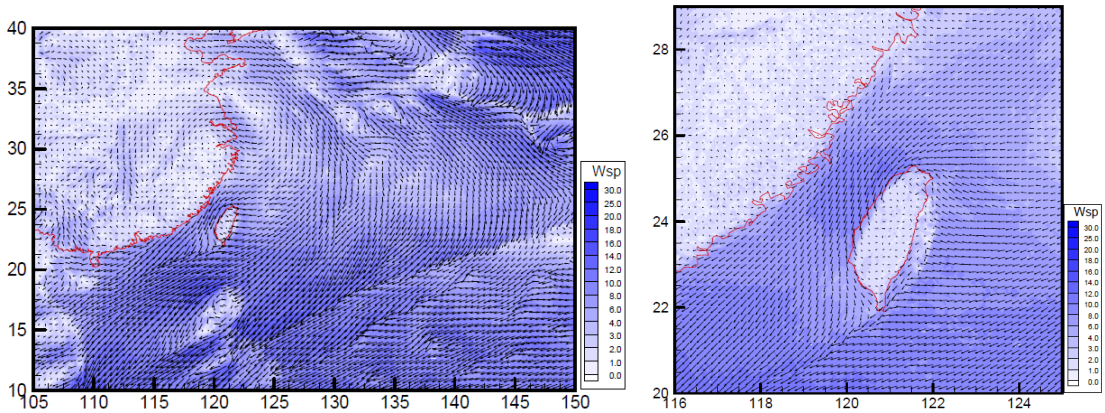



**圖 3.2 TaiCOMS 作業化風、氣壓場 WE01(左)、WE02(右)範圍圖**

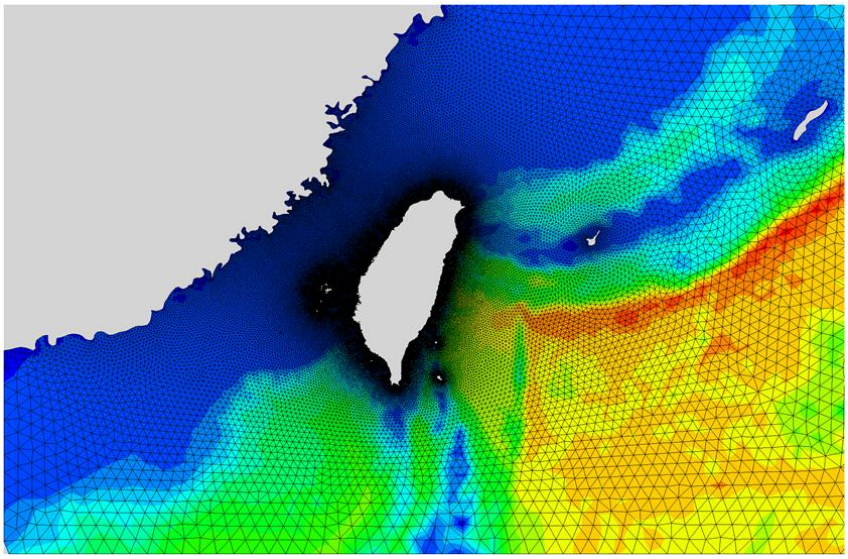


**圖 3.3 較小範圍水深地形與網格分布(S)**

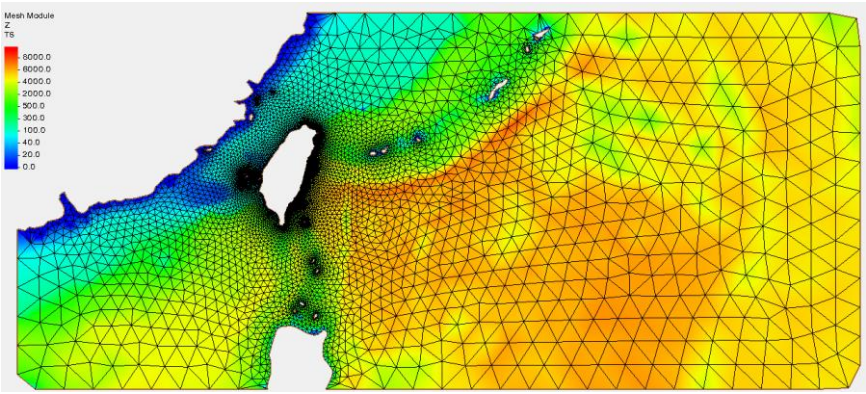



**圖 3.4 較大範圍水深地形與網格分布(L)**

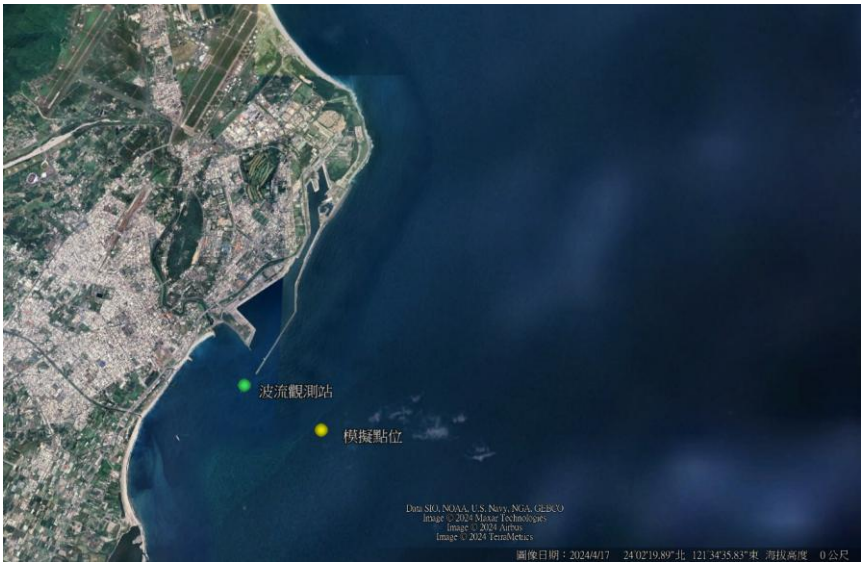



**圖 3.5 花蓮海域風浪模擬比對位置**

**表 3-1 中央氣象署 WRF 成員 M04 水平兩層巢狀網格資訊表**

| DMS FLAP | 座標系統 | Dimension | 解析度 | 格點位置 |
|---|---|---|---|---|
| WD01 | Lambert conformal mapping | 661×385 | 15km | Center(120E), true (10N, 40N)<br>中心點坐標為(331,192)位置位於(26.926N,118.5908E)<br>底圖 左下點(-5.693677ºN,78.02554ºE)<br>右上點(43.28705ºN,-179.5461ºE) |
| WD02 | | 1,158×673 | 3km | Center(120E), true (10N, 40N)<br>中心點坐標為(579.5,337)位置位於(24.1285N,121.7601E)<br>底圖 左下點(14.02224ºN,105.2500ºE)<br>右上點(32.12021ºN,140.91388ºE) |

**表 3-2 TaiCOMS 海象模擬作業化系統之風、氣壓場資料格式**

| 模式 | dimension | 模式格網(°) | 格點位置 |
|---|---|---|---|
| 西太平洋風、氣壓 WE01 | 271×181 | 1/6°≈ 0.167° | 左下點(10N,105E)<br>右上點(40N,150E) |
| 臺灣海域風、氣壓 WE02 | 271×271 | 1/30°≈ 0.033° | 左下點(20N,116E)<br>右上點(29N,125E) |

**表 3-3 不同範圍網格資訊**

| 網格模式代號 | 網格範圍 | Nodes | Elements |
|---|---|---|---|
| S | 114ºE - 130ºE<br>19ºN - 29ºN | 67746 | 132117 |
| L | 112ºE - 140ºE<br>16.5ºN - 29ºN | 96339 | 187732 |

## 3.2 模式參數設定

根據(2.20)式，WWM 模式於風浪模擬個物理作用項之相關參數設定，風浪成長項白帽消散項與白帽消散項依模式使用手冊建議，根據 Hasselmann(1974)提出之理論，可表示如(3.1)、(3.2)式，其中$\tilde{\sigma}$為平均頻率、$\tilde{k}$為平均波數、$\Gamma$為波浪尖銳度係數、$E(\sigma,\theta)$為波能譜，$\tilde{S}$為平均波浪尖銳度、$\tilde{S}_{PM}$為 Pierson-Moskowitz 頻譜的平均波浪尖銳度，$C_{ds}$為白帽消散速率、$p$ 波浪尖銳度之冪次、$\delta$為白帽消散對波數之依賴係數，根據 Komen(1984)建議，模式以$C_{ds}$=2.36×10$^{-5}$、$\delta$=0、$p$=2、$\tilde{S}_{PM}$=3.02 × 10$^{-5}$為參數預設值。

$$S_{ds,w}(\sigma,\theta) = -\Gamma\tilde{\sigma}\frac{k}{\tilde{k}}E(\sigma,\theta) \tag{3.1}$$

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds}\left[(1-\delta)+\delta\frac{k}{\tilde{k}}\right](\frac{\tilde{S}}{\tilde{S}_{PM}})^p \tag{3.2}$$

波浪在接近淺水與深水區傳遞之非線性波與波之間交互作用分別為$S_{nl3}$、$S_{nl4}$，根據使用手冊，WWM 模式採用與 SWAN 模式相同設定，使用參數及參數建議值如表 3-4、表 3-5，底床摩擦項根據 Hasselmann(1973)之理論採用 JONSWAP 實驗歸納結果，可表示如(3.3)式，碎波消散項根據 Battjes & Janssen (1978)之理論，可表示如(3.4)式，

$$S_{ds,b} = -C_{bottom}\cdot\frac{\sigma^2}{g^2 sinh^2(kd)}\cdot E(\sigma,\theta) \tag{3.3}$$

$$S_{ds,br} = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} \cdot E(\sigma, \theta) \tag{3.4}$$

其中，$C_{bottom}$為底床摩擦係數，根據 Komen (1983)提出之建議，$C_{bottom}$=0.067m$^2$s$^{-3}$，$E_{tot}$為總波能、$D_{tot}$為消散波能，根據 Battjes and Stive(1985)提出之建議，碎波消散項由碎波指標 γ控制，γ 建議值為 0.78，如(3.5)式，其中 d 為水深、$H_{max}$為最大可能波高。

$$\gamma = \frac{H_{max}}{d} \tag{3.5}$$

表 3-6 所列為 WWM 執行時基本參數，波浪頻率設定於 0.03Hz 至 1Hz 間共分割 36 個頻率帶，波向於 0 至 360 度之間分割 40 個方向角，最小水深為 0.01m，時間步長為 120sec，耦合頻率為每 5 個時間步長(每 600sec)，由 SCHISM 模式將風速及潮位提供給 WWM 模式，WWM 模式提供給 SCHISM 模式，進行耦合計算。

邊界條件除採用 3.1 節所述，經處理後如表 3-2 之風、氣壓場資料提供 WWM 模式，於 SCHISM 模式之於計算域之開邊界以 Matsumoto 等人(2000)提出之 NAO99.JB 模型，調和常數之天文潮為水動力邊界條件(採用 M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1 等共 8 個主要分潮)。

**表 3-4 三波非線性交互作用參數表**

| 參數 | 參數值 |
|---|---|
| 相稱係數 Trfac | 0.05 |
| 最大頻率/平均頻率之比值 Cutfr | 2.5 |
| 臨界厄塞爾數(Ursell number)TRIURS | 0.2 |
| 最低厄塞爾數 Urslim | 0.01 |

**表 3-5 四波非線性交互作用參數表**

| 參數 | 參數值 |
|---|---|
| 四波配置係數 lambda | 2.5 |
| 四波相稱係數 Cnl4 | $3\times10^7$ |
| 淺水縮放係數 Cnl1 | 5.5 |
| 淺水縮放係數 Cnl2 | 0.8333 |
| 淺水縮放係數 Cnl3 | -1.25 |

**表 3-6 模式基本設定參數表**

| 參數 | 參數值 | 備註 |
|---|---|---|
| 頻率分割數 msc2 | 36 | 頻率最小值 = 0.03Hz<br>頻率最大值 = 1Hz |
| 角度分割數 mdc2 | 40 | |
| 最小水深 DMIN | 0.01m | |
| 時間步長 dt(time step) | 120 sec | |
| 耦合頻率 | 5 time steps = 600secs | |

## 3.3 不同範圍網格模擬結果差異

經前一節完成模式基本參數及各物理項參數設定後，針對 110 年 9、10 月之璨樹、圓規颱風，111 年 9 月之軒蘭諾、梅花颱風，及 112 年 10 月小犬颱風為模擬案例，此 5 場颱風事件之模擬示性波高、尖峰週期，平均週期、平均波向與觀測值之比較結果、颱風期間風速觀測與模擬值、及各颱風路徑如圖 3.6 至圖 3.35，其中黑線為觀測值，藍線為 SWAN(TaiCOMS)之模擬值，紅線及綠線分別為 SCHISM-WWM 模式表依據 3-3 中較小範圍及較大範圍網格之模擬值，而模擬值與觀測值之誤差分析比較，如表 3-7 至表 3-11，本計畫之誤差分析以平均絕對誤差、均方根誤差做為評估指標，如(3.6)、(3.7)式。

$$\text{平均絕對誤差(MAE)} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|y_i - x_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|e_i|}{n} \tag{3.6}$$

$$\text{均方根誤差(RMSD)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_t - x_t)^2}{n}} \tag{3.7}$$

由圖 3.6 至圖 3.33 之歷線圖可看出 2 種不同計算範圍之網格條件下，於模擬的 5 場颱風事件中，模擬值之趨勢變化皆與觀測值大致相符，以燦樹颱風而言，圖 3.6 顯示出 SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM 模擬示性波高與觀測值相比均偏高，且以 2 種 SCHISM-WWM 案例模擬之示性波高值高估大於 SWAN(TaiCOMS)，平均絕對誤差、均方根誤差以 SWAN(TaiCOMS)為最低，SCHISM-WWM_S 略高於 SCHISM-WWM_L，由圖 3.7 及圖 3.8 顯示出，受颱風影響之波高升高期間(2021/9/10~2021/9/14)，在尖峰週期與平均週期，亦呈現 3 種

模擬結果與觀測值相比皆高估之情形，但與示性波高不同的是，2 種 SCHISM-WWM 案例模擬之模擬值與 SWAN(TaiCOMS)相比為偏低，平均絕對誤差、均方根誤差以 SCHISM-WWM_L 為最低，反而是 SWAN(TaiCOMS)最高，平均波向(圖 3.9)則顯示 3 種模擬結果與觀測值皆相近，彼此誤差值相差不大，由圖 3.10 之風速歷線圖顯示出於 2021/9/11 14:00 至 2021/9/13 14:00 期間，風速模擬值大於觀測值，尤其於 2021/9/12 08:00，風速模擬值為 15.76m/s，明顯高於觀測值 4.97m/s，推測可能為波高及週期模擬結果均明顯高估之原因。

以圓規颱風而言，圖 3.12 顯示出 SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM 模擬示性波高變化趨勢皆相近，受颱風影響之波高升高期間(2021/10/11 至 2021/10/13)略有差異，與觀測值相比皆呈現偏高，從誤差來看 SCHISM-WWM_L 平均絕對誤差為 0.559、均方根誤差為 0.785，明顯大於 SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM_L，圖 3.13 及圖 3.14 尖峰週期與平均週期，3 種模擬結果之間差異不大，其中以 SCHISM-WWM_S 之模擬值稍大於其他 2 種模擬結果，尖峰週期之誤差比較為 SCHISM-WWM_L 及 SWAN(TaiCOMS)略低於 SCHISM-WWM_S，平均週期則為 SCHISM-WWM_S 及 SWAN(TaiCOMS)略低於 SCHISM-WWM_L，以尖峰及平均週期來看，並無明顯何種模擬值表現較佳，平均波向(圖 3.15)亦呈現 3 種模擬結果與觀測值皆相近，彼此誤差值相差亦不大，觀察圖 3.16 之風速歷線圖，可發現風速模擬值與觀測值相比為偏低，與璨樹颱風期間情形不同，示性波高模擬值高估之情形於此應非主因。

以軒蘭諾颱風而言，圖 3.18 之示性波高歷線圖顯示出 SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM 模擬示性波高與觀測值相比均偏高，於受颱風影響之波高升高期間(2022/9/1 至 2022/9/5)，SCHISM-WWM_S 與 SCHISM-WWM_M 之間差異不大且皆低於 SWAN(TaiCOMS)之模擬值，由表 3-9 可知示性波高之平均絕對誤差、均方根誤差以 SCHISM-WWM 優於 SWAN(TaiCOMS)，其中 SCHISM-WWM_S 為最低，圖 3.19 顯示出尖峰週期之 3 種模擬結果差異不大，其中 SCHISM-WWM_S 於 2022/9/1 前，與其他模擬值相比似有相位差之情形，其誤差以 SWAN(TaiCOMS)略低於 2 種

SCHISM-WWM 之模擬值(如表 3-9)，以平均週期而言(圖 3.20)，SCHISM-WWM_S 與 SCHISM-WWM_L 之模擬值差異很小，兩者皆略低於 SWAN(TaiCOMS)之模擬值，且誤差值皆低於 SWAN(TaiCOMS)之誤差值，平均波向亦呈現 3 種模擬結果與觀測值皆相近，誤差值以 SWAN(TaiCOMS)為最低，平均波向(圖 3.21)呈現 3 種模擬結果與觀測值皆相近，彼此誤差值相差亦不大，觀察圖 3.22 之風速歷線圖，風速模擬值與觀測值相比亦為偏低，尤其於 2022/9/2 7:00 至 2022/9/3 7:00，觀測風速平均高於模擬值約 2.8 倍，示性波高模擬值高估之情形於此應非主因。

以梅花颱風而言，圖 3.24 顯示出 SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM 之模擬示性波高變化趨勢相近，受颱風影響之波高升高期間(2022/9/10 至 2022/9/14)略有差異，與觀測值相比大致皆呈現偏高，其中 SWAN(TaiCOMS)較為偏高，其之誤差分析(表 3-10)可知，SCHISM-WWM_S 最低，其次 SCHISM-WWM_L，SWAN(TaiCOMS)則誤差較大，圖 3.25 及圖 3.26 可看出，尖峰週期與平均週期於 3 種模擬結果之間差異不大，但在尖峰週期亦有出現 SCHISM-WWM 與 SWAN(TaiCOMS)模式之模擬值，似有相位差情況，平均週期則三者皆相當接近，從表 3-10 之誤差分析可知，尖峰週期之誤差以 SWAN(TaiCOMS)為最低，平均週期反而是 SWAN(TaiCOMS)為最高，SCHISM-WWM_S 與 SCHISM-WWM_L 之誤差幾乎相近，由圖 3.27 可看出，SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM 模擬之平均波向趨勢皆相近，誤差值以 SCHISM-WWM_L 之模擬值略大於 SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM_S 之模擬值，由圖 3.28 之風速歷線圖之 2022/9/8 至 2021/9/11 及 2021/9/12 至 2021/9/13 期間，風速模擬值與觀測值相比亦為偏低。

以小犬颱風而言，圖 3.30 之示性波高歷線圖顯示出，SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM 之模擬示性波高變化趨勢大致相同，其中 SCHISM-WWM_S 與 SCHISM-WWM_L 於波高上升期間(2023/10/3 至 2023/10/6 12:00)與觀測值相比呈現高估情形，SWAN(TaiCOMS)則是於 2023/10/4 9:00 至 2023/10/6 12:00 期間，才出現高估於觀測值之情形，且 SWAN(TaiCOMS)於 10/3 前，均呈現

示性波高低估於觀測值之情形，由表 3-11 之誤差分析顯示，SCHISM-WWM_L 之誤差值大於 SWAN(TaiCOMS)及 SCHISM-WWM_S，由圖 3.31 及圖 3.32 顯示，尖峰週期與平均週期於 2023/10/3 至 2023/10/6 12:00 期間，週期模擬值均有高估情形其中以 SCHISM-WWM_L 高估最多，SCHISM-WWM_S 高估程度最少，觀察表 3-11 之誤差分析可知，3 種模擬結果之誤差值相差不大，以 SCHISM-WWM_S 之誤差最低，圖 3.33 顯示 3 種模擬結果之平均波向變化趨勢大致相同，平均波向之平均絕對誤差、均方根誤差以 SCHISM-WWM_S 為最低，SWAN(TaiCOMS)，由圖 3.34 之風速歷線圖之 2023/10/4 至 2023/10/4 期間，風速模擬值與觀測值相比有低估之情形。綜上 5 場颱風事件模擬，於 WRF 之模擬風速於璨樹颱風明顯高於觀測值(如圖 3.10)，其餘 4 場颱風期間大致低於觀測值，由此可能造成圖 3.6 中，數值模擬之波浪，明顯大於觀測值的情形。

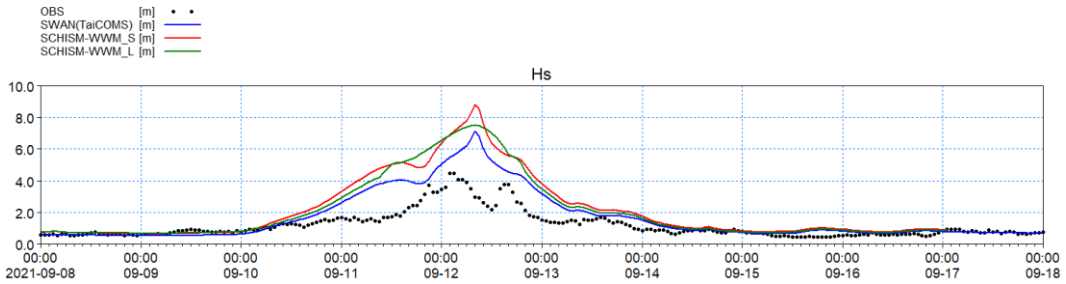



**圖 3.6 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖**

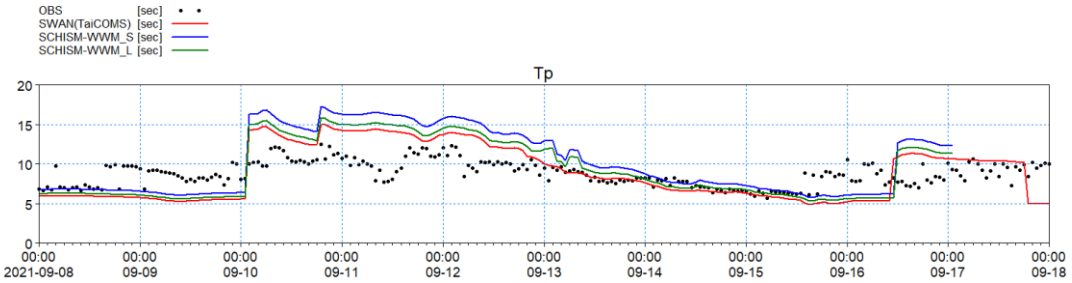



**圖 3.7 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖**

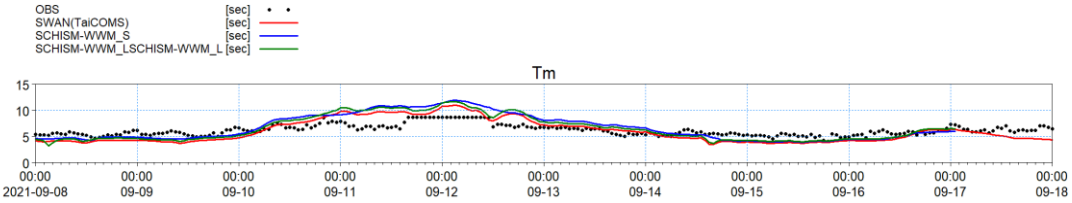



**圖 3.8 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖**

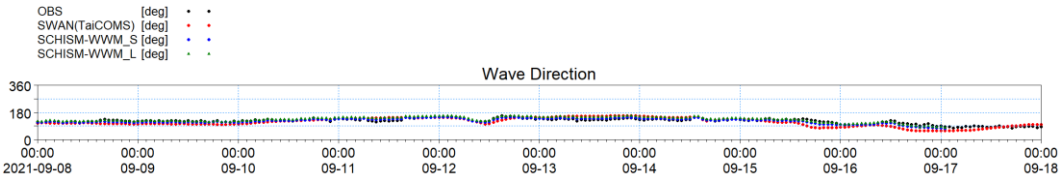



圖 3.9 璨樹颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖

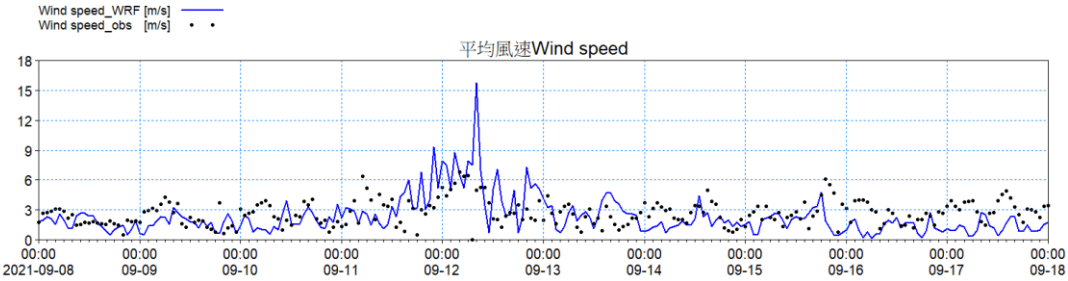



圖 3.10 璨樹颱風花蓮港平均風速歷線圖

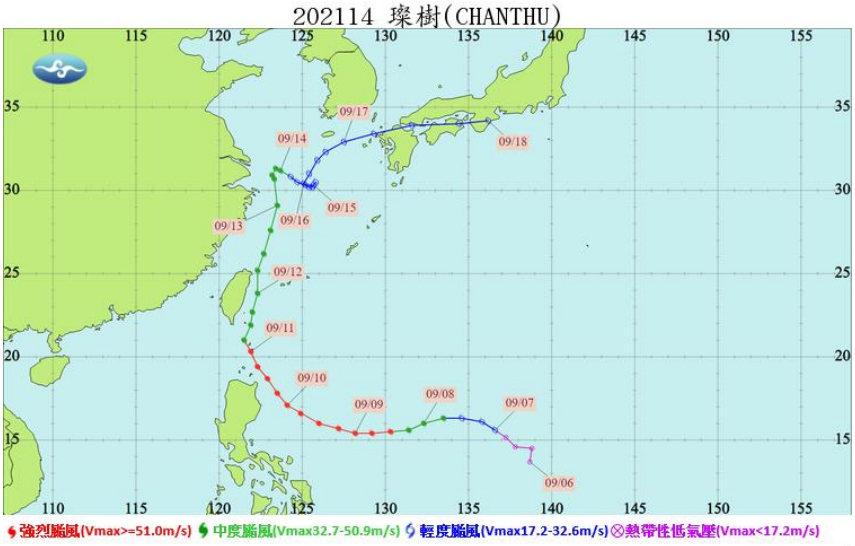



圖 3.11 璨樹颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

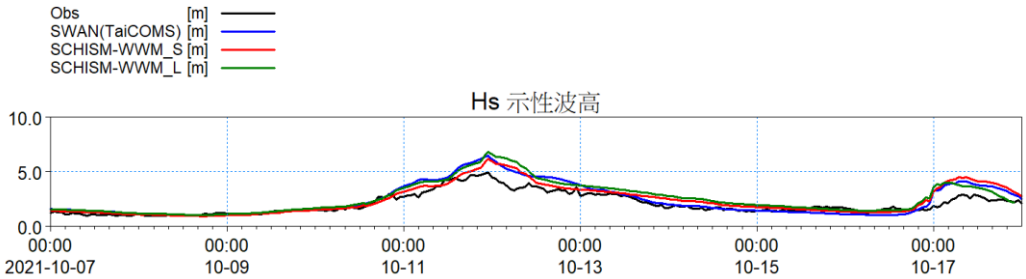



圖 3.12 圓規颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖

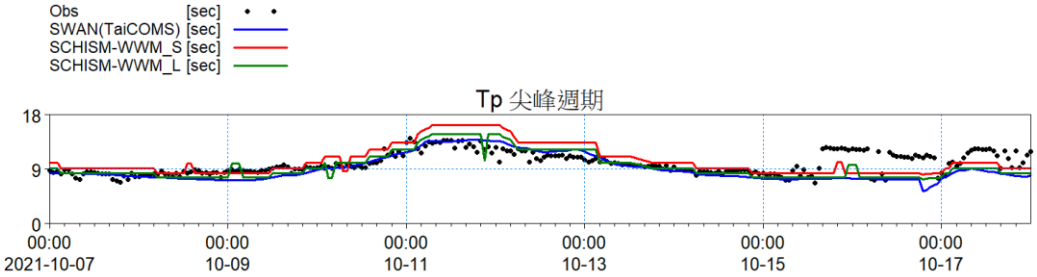



圖 3.13 圓規颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖

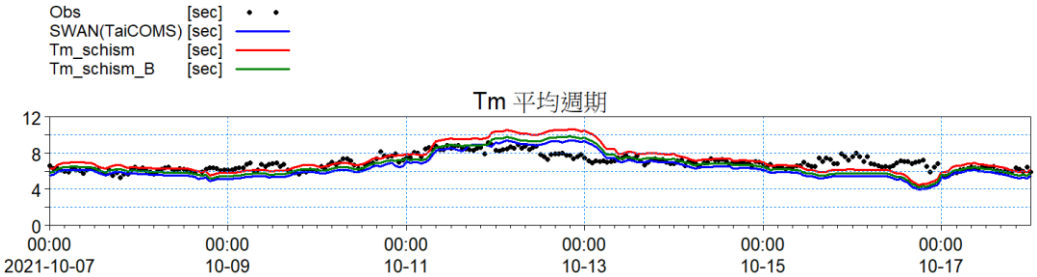



圖 3.14 圓規颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖

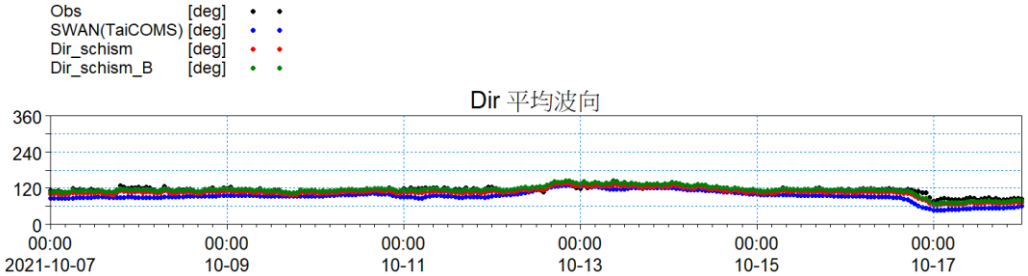



圖 3.15 圓規颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖

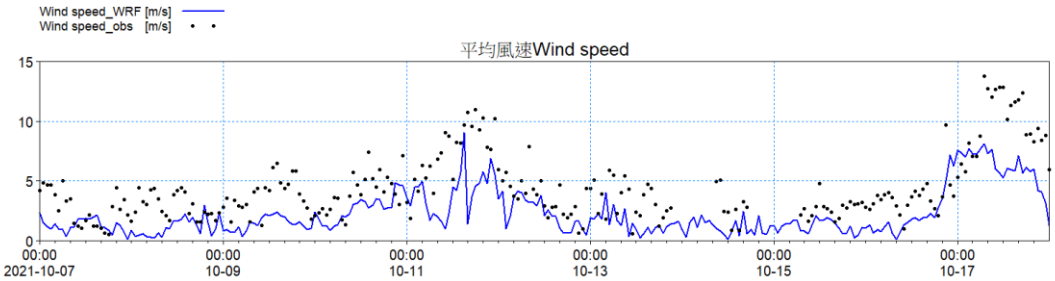



圖 3.16 圓規颱風花蓮港平均風速歷線圖

圖 3.17 圓規颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

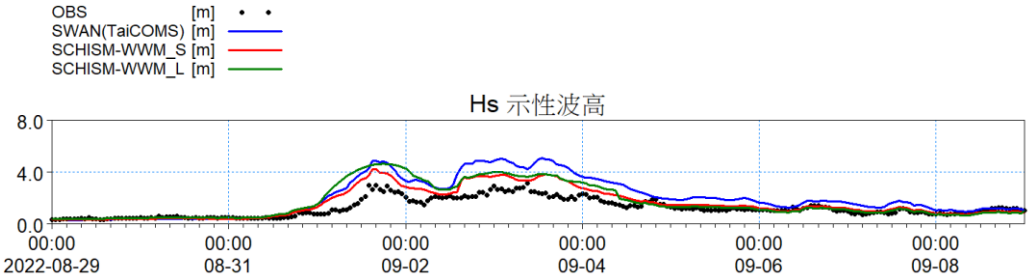



圖 3.18 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖

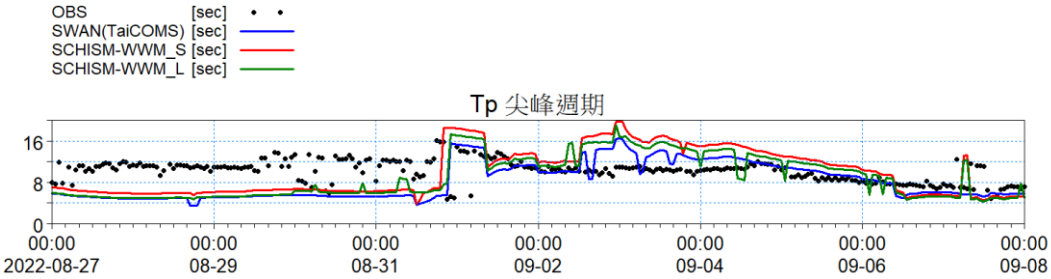



圖 3.19 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖

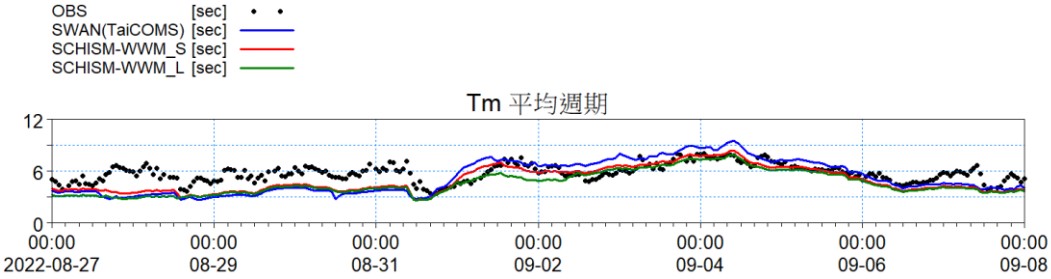



圖 3.20 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖

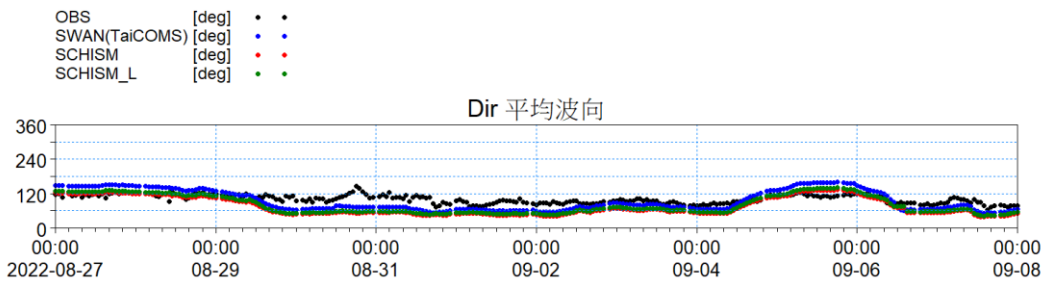



圖 3.21 軒蘭諾颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖

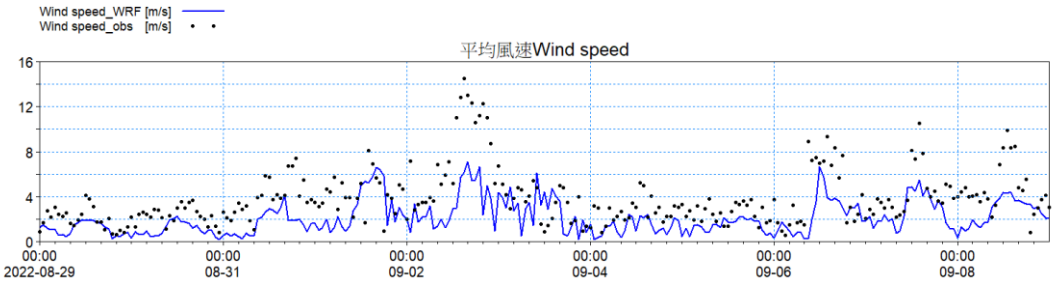



圖 3.22 軒蘭諾颱風平均風速歷線圖

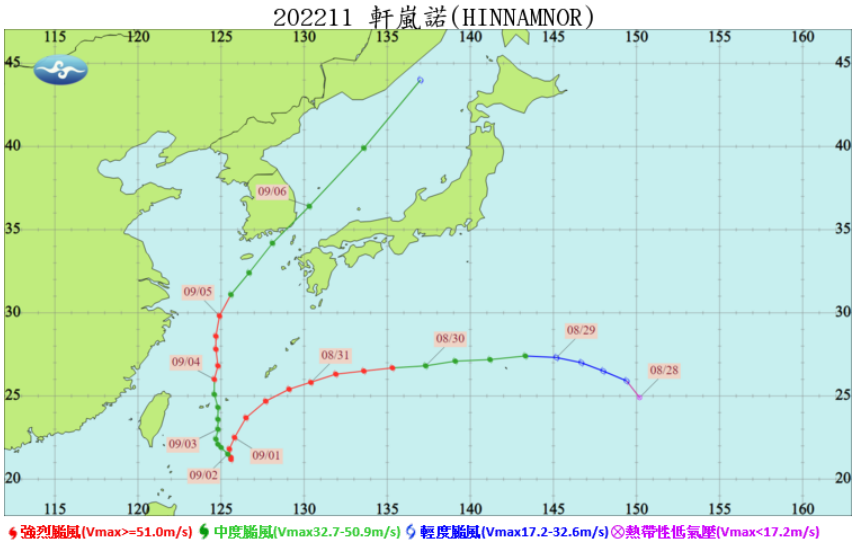



圖 3.23 軒蘭諾颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

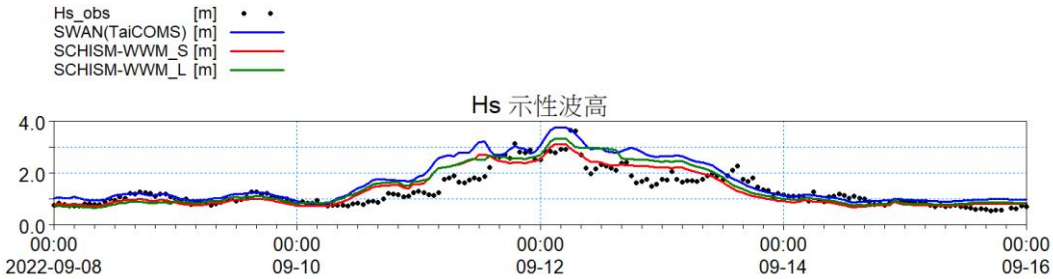



圖 3.24 梅花颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖

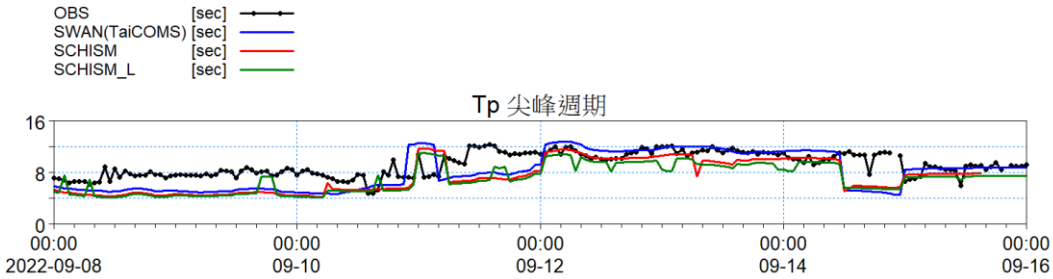



圖 3.25 梅花颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖

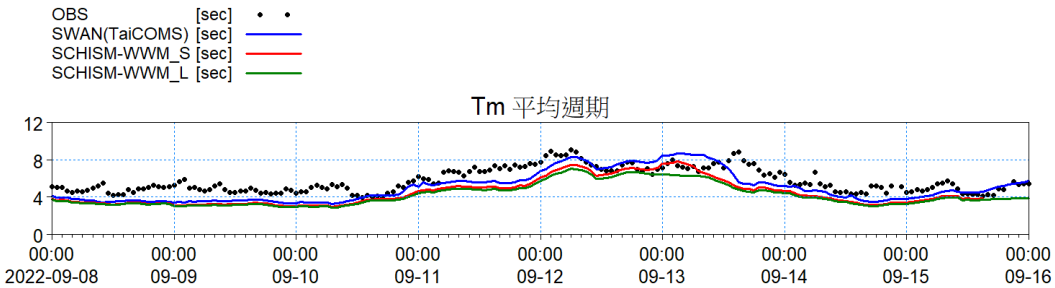



圖 3.26 梅花颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖

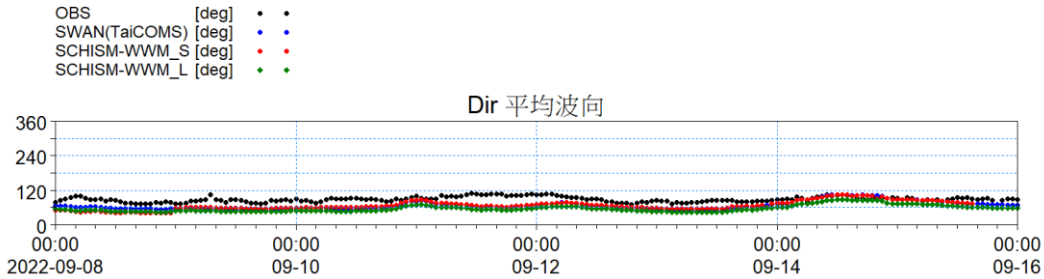



圖 3.27 梅花颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖

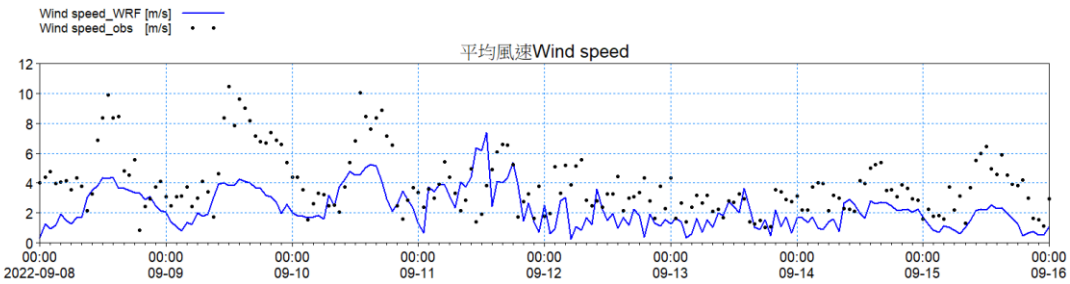



圖 3.28 梅花颱風花蓮港平均風速歷線圖

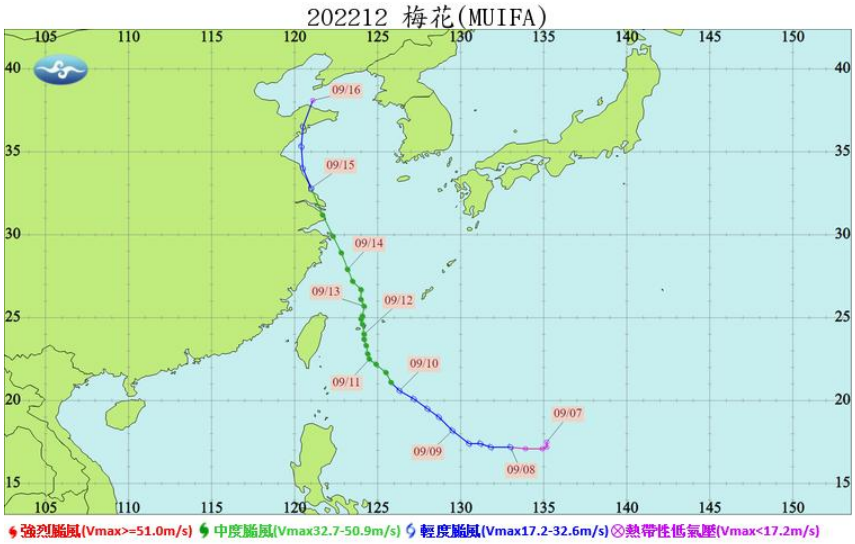



圖 3.29 梅花颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

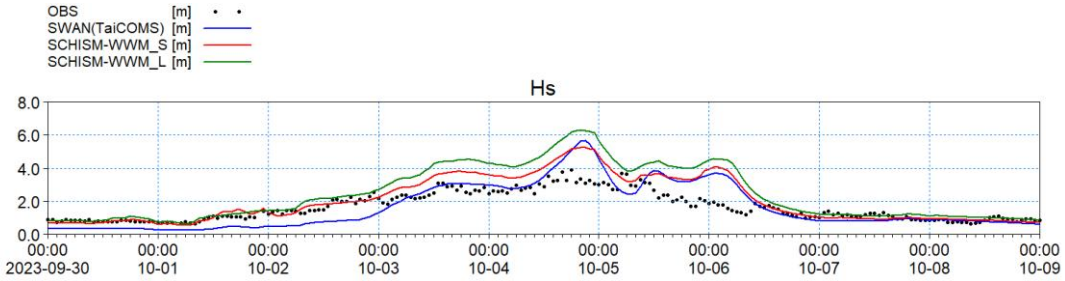



圖 3.30 小犬颱風不同範圍網格花蓮港示性波高歷線圖

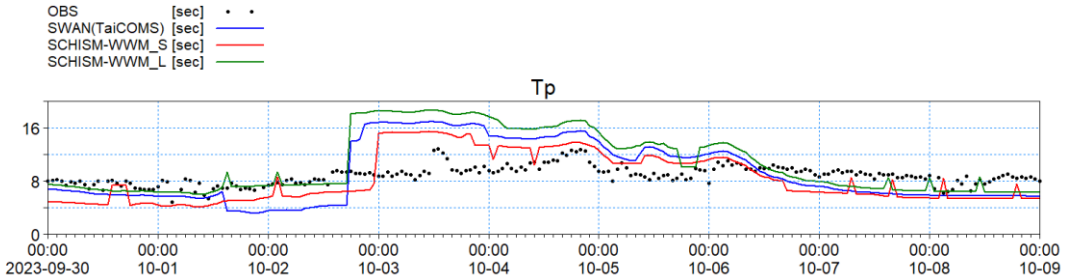



圖 3.31 小犬颱風不同範圍網格花蓮港尖峰週期歷線圖

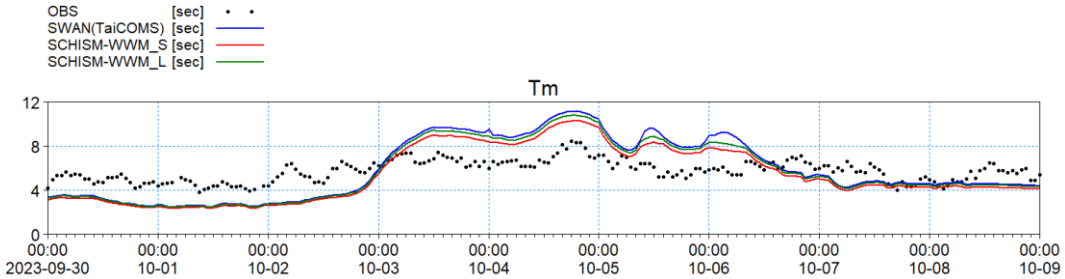



圖 3.32 小犬颱風不同範圍網格花蓮港平均週期歷線圖

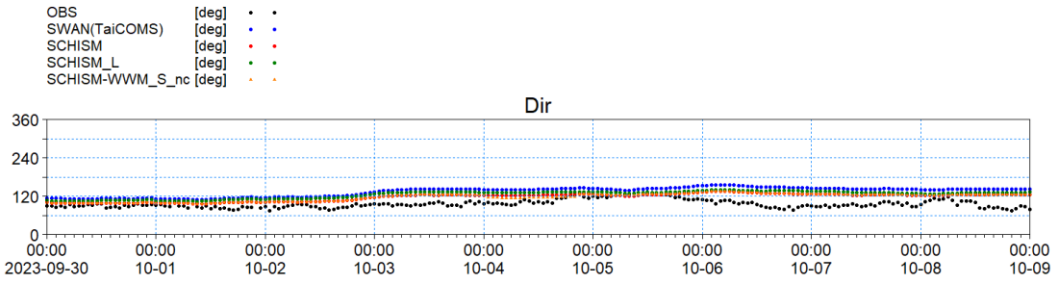



圖 3.33 小犬颱風不同範圍網格花蓮港平均波向歷線圖

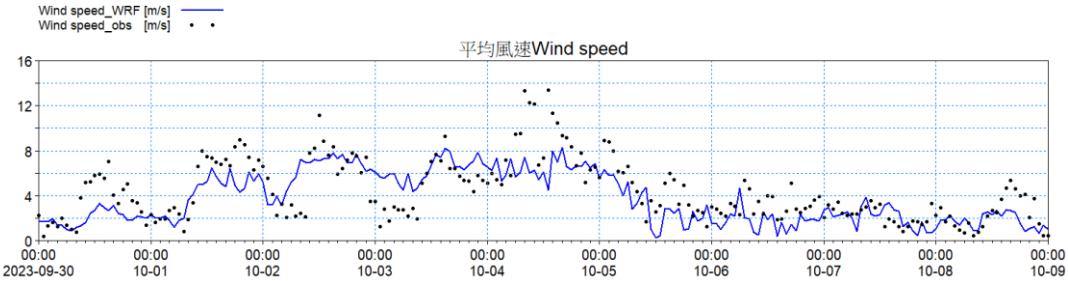



圖 3.34 小犬颱風花蓮港平均風速歷線圖

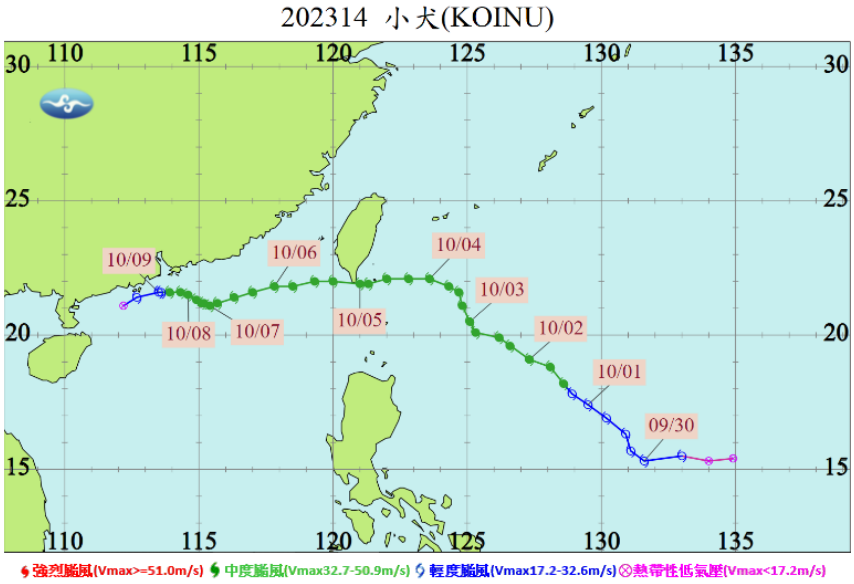



圖 3.35 小犬颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

## 表 3-7 璨樹颱風不同範圍網格模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.617 | 0.968 | 0.892 |
| 均方根誤差(m) | 1.012 | 1.558 | 1.485 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.211 | 2.857 | 2.446 |
| 均方根誤差(sec) | 2.707 | 3.534 | 2.98 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 1.187 | 1.457 | 1.284 |
| 均方根誤差(sec) | 1.382 | 1.861 | 1.556 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(°) | 15.56 | 6.107 | 8.365 |
| 均方根誤差(°) | 17.188 | 10.683 | 13.25 |

## 表 3-8 圓規颱風不同範圍網格模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.473 | 0.438 | 0.559 |
| 均方根誤差(m) | 0.671 | 0.656 | 0.785 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 1.289 | 1.519 | 1.246 |
| 均方根誤差(sec) | 1.893 | 1.928 | 1.744 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 0.832 | 0.816 | 2.628 |
| 均方根誤差(sec) | 1.083 | 1.143 | 3.1 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(°) | 19.759 | 18.124 | 15.446 |
| 均方根誤差(°) | 22.000 | 19.414 | 15.821 |

## 表 3-9 軒蘭諾颱風不同範圍網格模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.742 | 0.375 | 0.5008 |
| 均方根誤差(m) | 1.082 | 0.588 | 0.8442 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 3.53 | 4.137 | 3.9720 |
| 均方根誤差(sec) | 4.43 | 4.724 | 4.5934 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.86 | 1.072 | 1.2466 |
| 均方根誤差(sec) | 4.01 | 1.31 | 1.5269 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(°) | 24.425 | 29.684 | 26.494 |
| 均方根誤差(°) | 27.404 | 36.242 | 31.564 |

## 表 3-10 梅花颱風不同範圍網格模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.37 | 0.264 | 0.303 |
| 均方根誤差(m) | 0.515 | 0.349 | 0.400 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.01 | 2.488 | 2.452 |
| 均方根誤差(sec) | 2.581 | 3.216 | 2.878 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.493 | 1.502 | 1.557 |
| 均方根誤差(sec) | 3.262 | 1.808 | 1.700 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(°) | 22.92 | 25.433 | 32.452 |
| 均方根誤差(°) | 26.075 | 31.438 | 34.33 |

**表 3-11 小犬颱風不同範圍網格模擬誤差分析表**

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.589 | 0.528 | 0.813 |
| 均方根誤差(m) | 0.781 | 0.785 | 1.12 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 3.211 | 2.653 | 3.13 |
| 均方根誤差(sec) | 3.734 | 2.986 | 4.271 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(sec) | 1.853 | 1.700 | 1.767 |
| 均方根誤差(sec) | 2.101 | 1.867 | 1.969 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_L |
| 平均絕對誤差(°) | 38.657 | 22.133 | 29.57 |
| 均方根誤差(°) | 41.831 | 26.367 | 33.272 |

## 3.4 耦合與否模擬結果差異

經測試不同範圍網格模擬結果差異後，選擇較小範圍之地形網格為案例，進行 SCHISM-WWM 是否採用波流耦合為差異，比較模擬結果，無耦合模擬方式為 WWM 模擬過程中關閉即時耦合功能，改以 SCHISM 水動力模式產出之水位資料提供 WWM 模式，此 5 場颱風事件之模擬示性波高、尖峰週期，平均週期、平均波向與觀測值之比較結果如圖 3.36 至圖 3.60，其中黑線為觀測值，藍線為 SWAN(TaiCOMS)之模擬值、紅線為耦合模擬結果、橘線(以「_nc 標註」)為未開啟耦合之模擬結果，模擬值與觀測值之誤差分析比較，如表 3-12 至表 3-16 所示。

由圖 3.36 至圖 3.60 可看出有無開啟耦合功能之示性波高模擬結果，差異均極小，僅有一小段時間有極小差異(如圖 3.36、圖 3.41、圖 3.41、圖 3.46、圖 3.51)，於尖峰週期，平均週期、及平均波向，亦呈現有無開啟耦合對應之模擬結果差異極小之相同情形(如圖 3.37~圖 3.39、圖 3.42~圖 3.44、圖 3.47~圖 3.49、圖 3.52~圖 3.54、圖

3.57~圖 3.59)，因此，表 3-12 至表 3-16 中，有無耦合之平均絕對誤差、均方根誤差之間差異，可視為數值誤差，由圖 3.40、圖 3.45、圖 3.50、圖 3.55 及圖 3.60 之各颱風期間流速歷線圖可看出，流速模擬值均明顯低於觀測值，可推測於花蓮港區海域，流速對波浪模擬造成影響極小。

本計畫以不同範圍之地形網格模擬，可呈現花蓮港區近岸受颱風影響之波浪變化過程，但經示性波高、SWAN(TaiCOMS)在璨樹颱風期間誤差值最低，SCHISM-WWM_S 在梅花颱風期間誤差最低，無耦合之 SCHISM-WWM_S_nc 在圓規及軒蘭諾颱風誤差值最低，於尖峰週期方面，SWAN(TaiCOMS)在璨樹、圓規、軒蘭諾、梅花等 4 場颱風期間之誤差值皆最低，平均週期之誤差比較與尖峰週期不同，SWAN(TaiCOMS)在璨樹颱風期間模擬誤差最低，無耦合之 SCHISM-WWM_S_nc 在圓規、軒蘭諾及梅花颱風誤差值最低，綜觀以上，以無耦合之 SCHISM-WWM_S_nc 及本所現行 SWAN(TaiCOMS)有相對較佳之模擬結果，SCHISM-WWM_L 模擬結果未如其他兩者的原因可能為，數值地形、網格、邊界條件或是模擬設定(如時間步長等)，等需再進一步調整。

當進行以有無開啟 SCHISM-WWM 耦合功能模擬之測試，於選定 5 場颱風事件均得出差異不大的模擬結果，此結果與蕭等人(2020)文獻之部分結論相似，該文獻指出在潮差較大的區域，潮位對波浪模擬的影響較為顯著，該文獻根據交通部中央氣象署潮汐觀測資料統計，臺灣東部海域平均潮差為 1.0m。

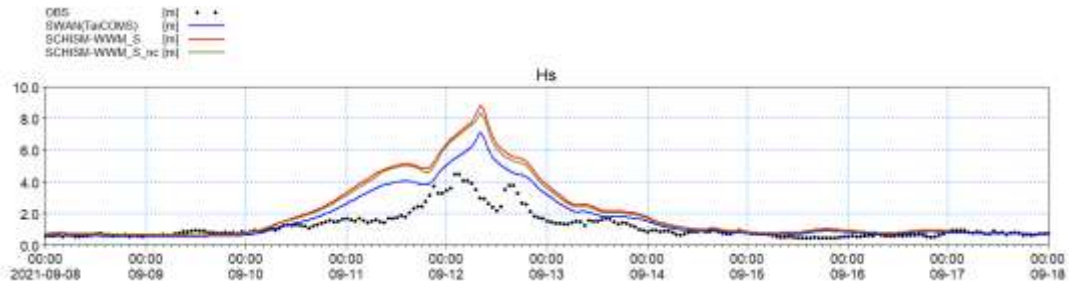



**圖 3.36 璨樹颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖**

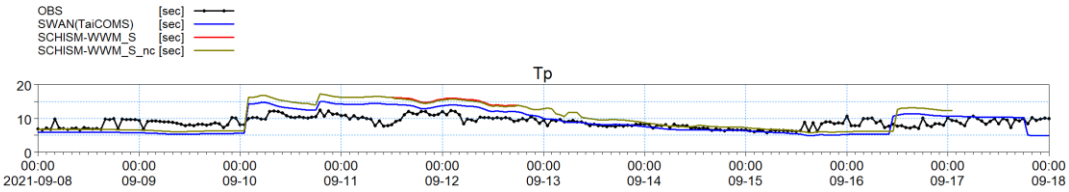



圖 3.37 璨樹颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖

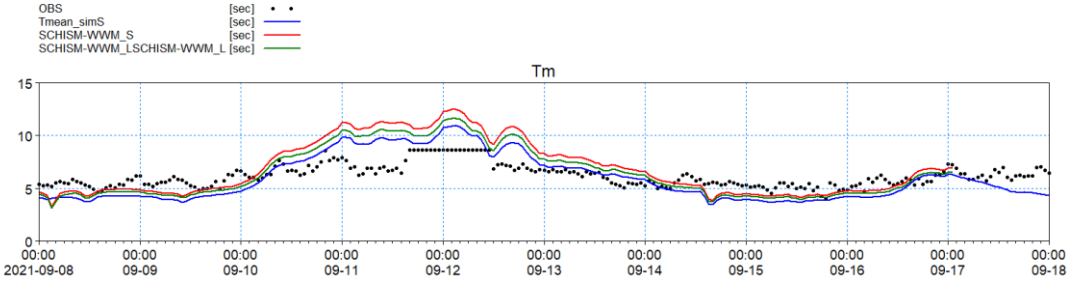



圖 3.38 璨樹颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖

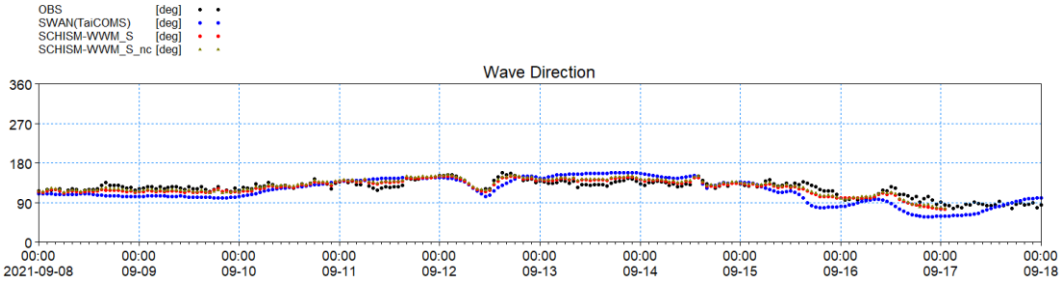



圖 3.39 璨樹颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖

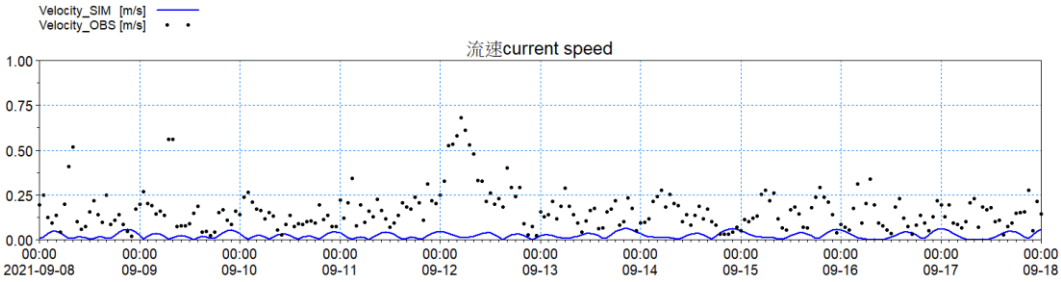



圖 3.40 璨樹颱風花蓮港平均流速歷線圖

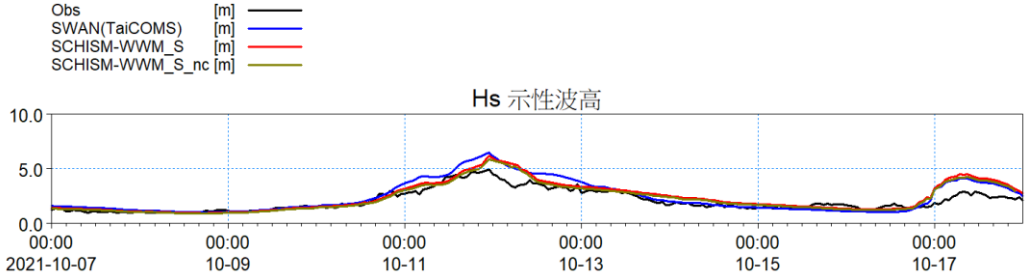



圖 3.41 圓規颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖

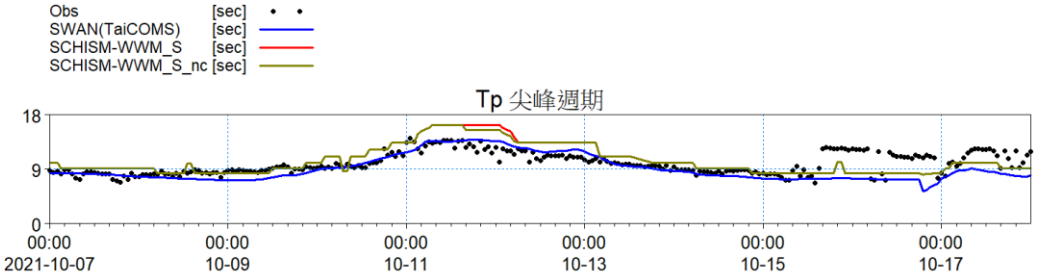



圖 3.42 圓規颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖

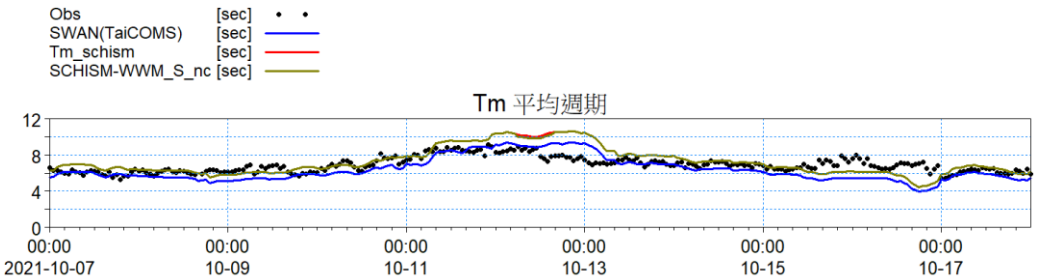



圖 3.43 圓規颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖

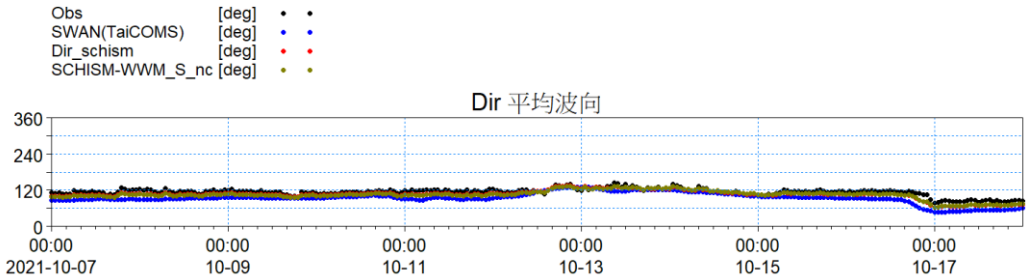



圖 3.44 圓規颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖

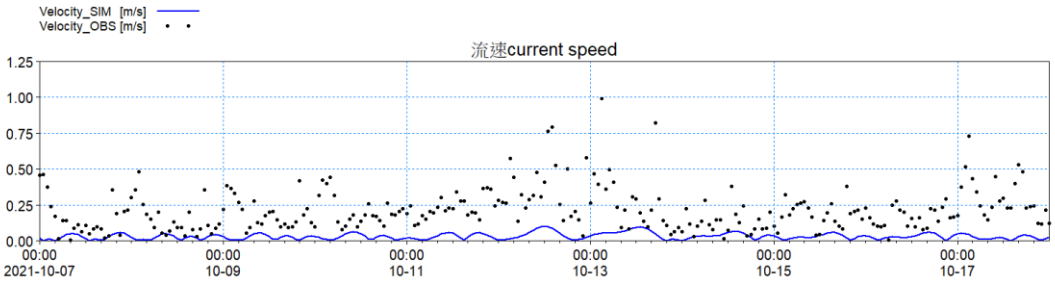



圖 3.45 圓規颱風花蓮港平均流速歷線圖

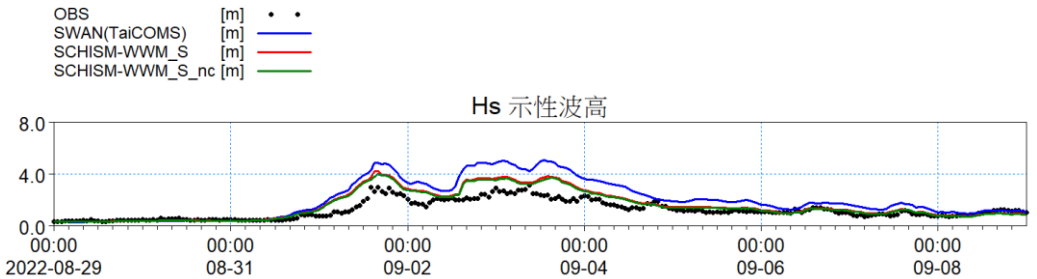



圖 3.46 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖

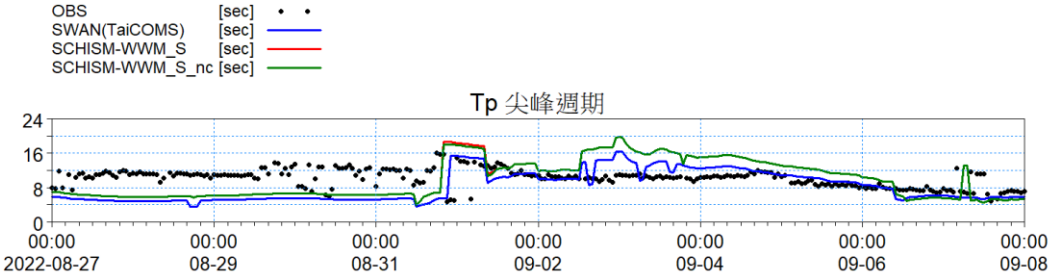



**圖 3.47 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖**

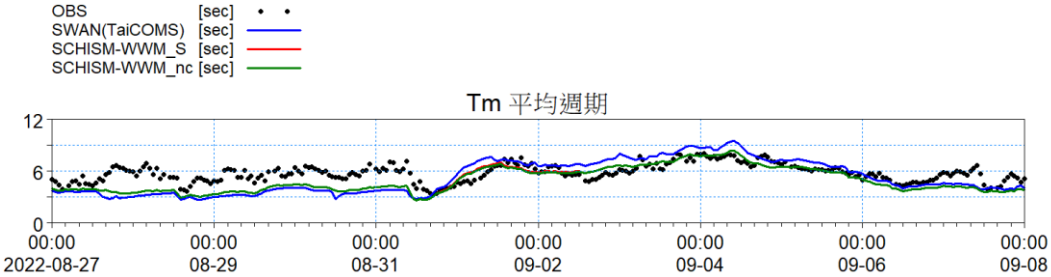



**圖 3.48 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖**

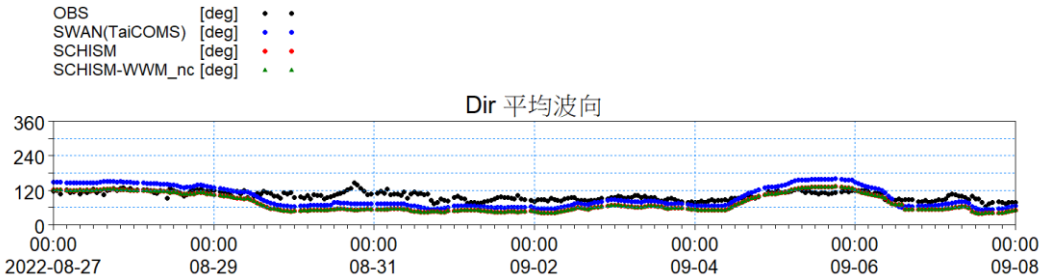



**圖 3.49 軒蘭諾颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖**

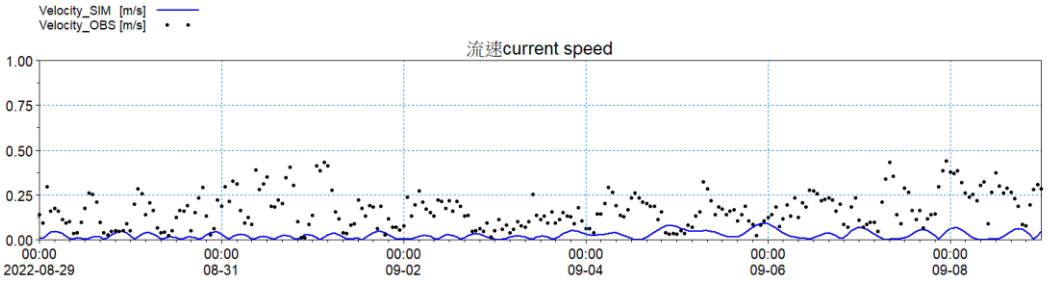



**圖 3.50 軒蘭諾颱風平均流速歷線圖**

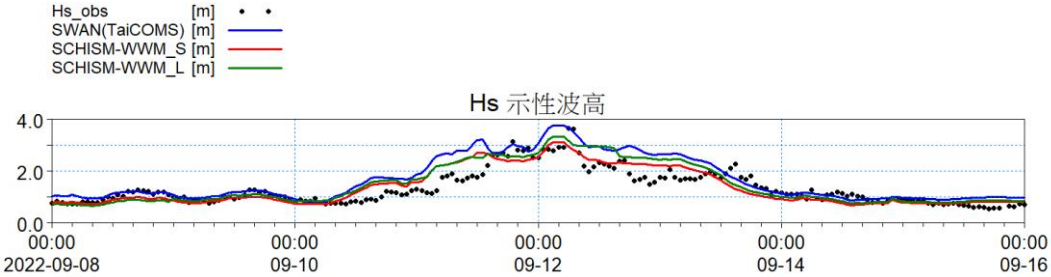



**圖 3.51 梅花颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖**

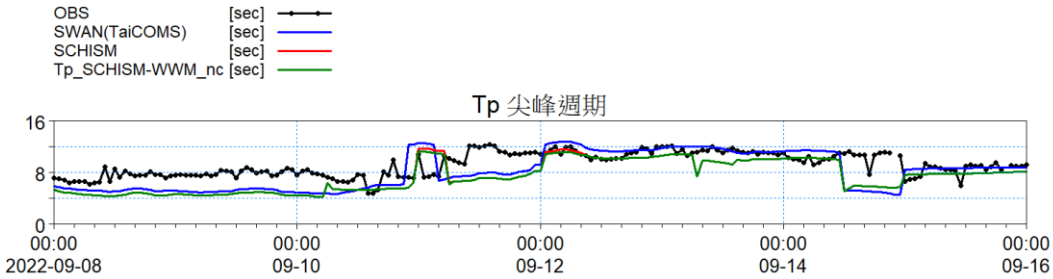



圖 3.52 梅花颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖

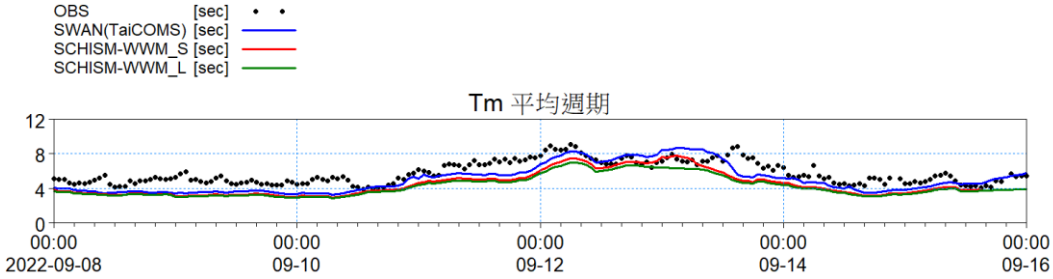



圖 3.53 梅花颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖

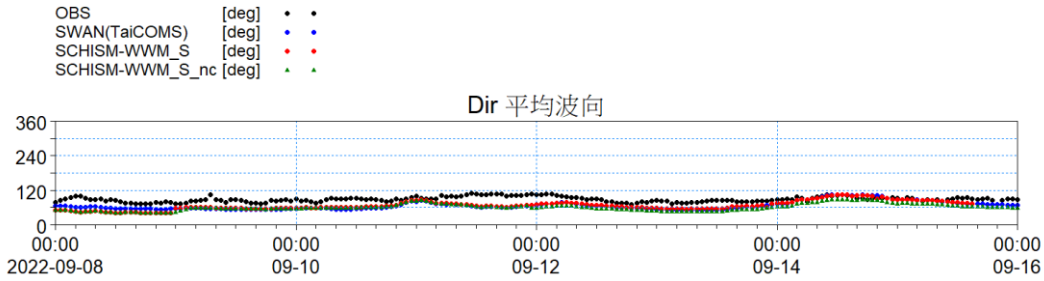



圖 3.54 梅花颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖

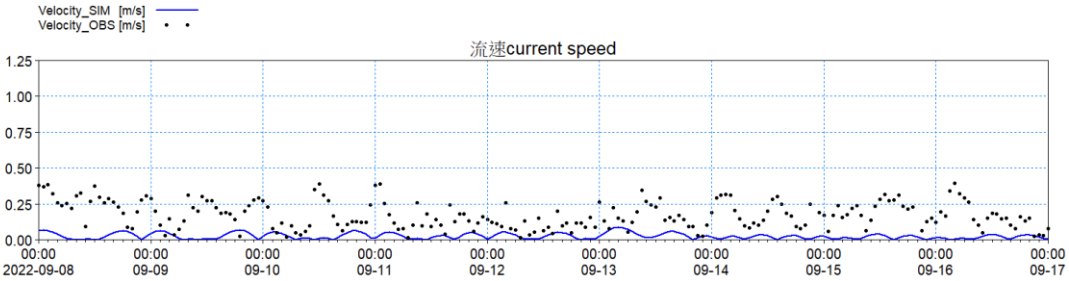



圖 3.55 梅花颱風花蓮港平均流速歷線圖

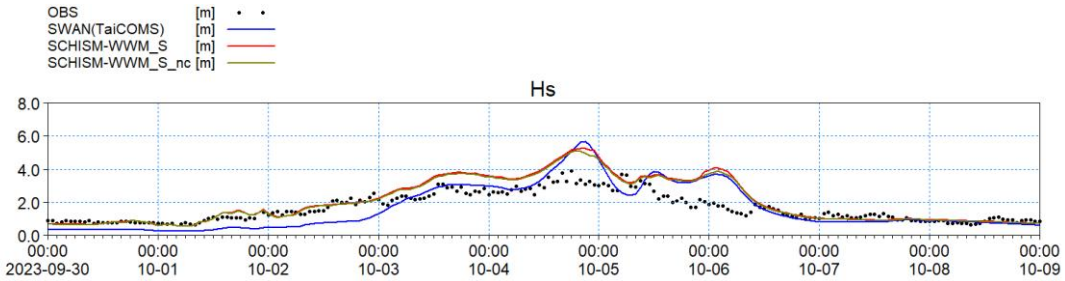



圖 3.56 小犬颱風有無耦合花蓮港示性波高歷線圖

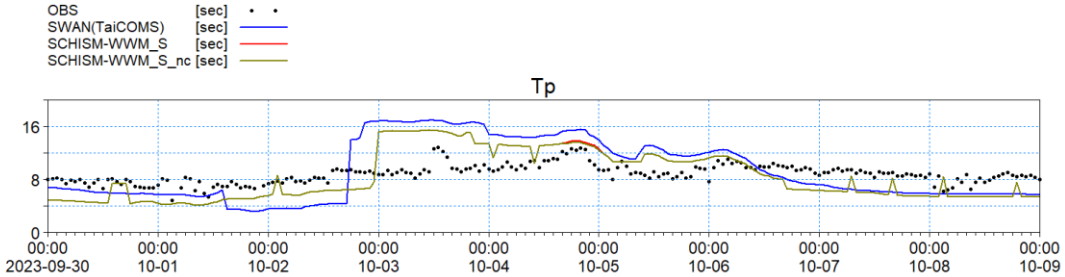



**圖 3.57 小犬颱風有無耦合花蓮港尖峰週期歷線圖**

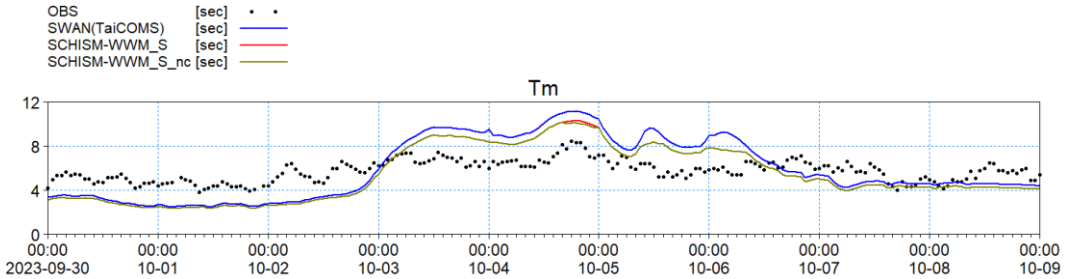



**圖 3.58 小犬颱風有無耦合花蓮港平均週期歷線圖**

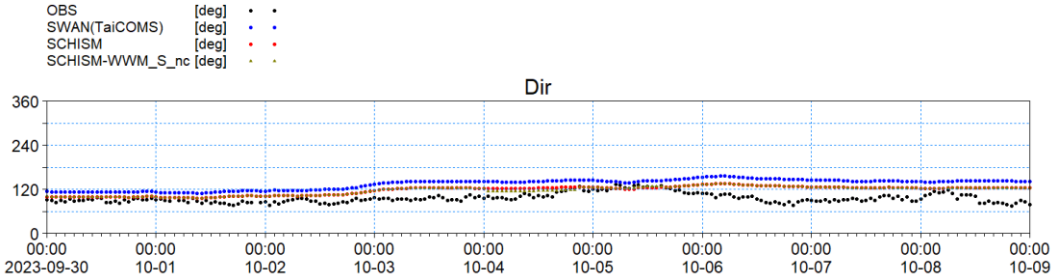



**圖 3.59 小犬颱風有無耦合花蓮港平均波向歷線圖**

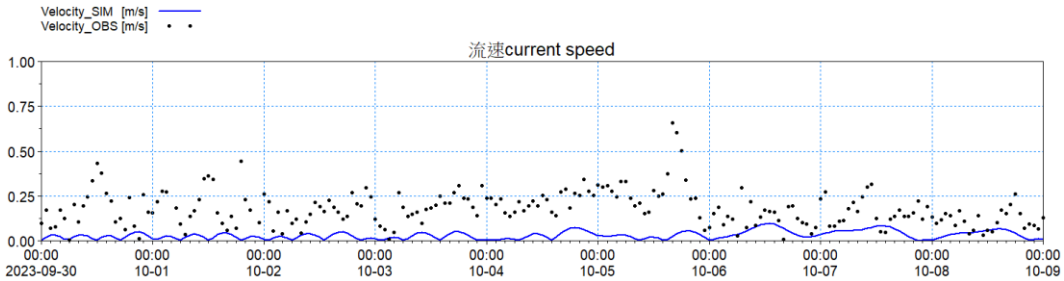



**圖 3.60 小犬颱風花蓮港平均流速歷線圖**

## 表 3-12 璨樹颱風有無耦合模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.617 | 0.968 | 0.885 |
| 均方根誤差(m) | 1.012 | 1.558 | 1.446 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.211 | 2.857 | 2.817 |
| 均方根誤差(sec) | 2.707 | 3.534 | 3.483 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 1.187 | 1.457 | 1.439 |
| 均方根誤差(sec) | 1.382 | 1.861 | 1.883 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(°) | 15.56 | 6.107 | 6.113 |
| 均方根誤差(°) | 17.188 | 10.683 | 11.465 |

## 表 3-13 圓規颱風有無耦合模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.617 | 0.438 | 0.386 |
| 均方根誤差(m) | 1.012 | 0.656 | 0.594 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.211 | 1.519 | 1.477 |
| 均方根誤差(sec) | 2.707 | 1.928 | 1.854 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 1.187 | 0.816 | 0.809 |
| 均方根誤差(sec) | 1.382 | 1.143 | 1.08 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(°) | 1.556 | 18.124 | 18.955 |
| 均方根誤差(°) | 17.188 | 19.414 | 20.21 |

## 表 3-14 軒蘭諾颱風有無耦合模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.742 | 0.375 | 0.340 |
| 均方根誤差(m) | 1.082 | 0.588 | 0.536 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 3.53 | 4.137 | 4.116 |
| 均方根誤差(sec) | 4.43 | 4.724 | 4.691 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.86 | 1.072 | 1.062 |
| 均方根誤差(sec) | 4.01 | 1.31 | 1.311 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(°) | 24.425 | 29.684 | 28.539 |
| 均方根誤差(°) | 27.404 | 36.242 | 34.211 |

## 表 3-15 梅花颱風有無耦合模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.37 | 0.264 | 0.267 |
| 均方根誤差(m) | 0.515 | 0.349 | 0.348 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.01 | 2.488 | 2.192 |
| 均方根誤差(sec) | 2.581 | 3.216 | 2.710 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 2.493 | 1.502 | 1.346 |
| 均方根誤差(sec) | 3.262 | 1.808 | 1.535 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(°) | 22.92 | 25.433 | 28.533 |
| 均方根誤差(°) | 26.075 | 31.438 | 30.596 |

## 表 3-16 小犬颱風有無耦合模擬誤差分析表

| Hs(示性波高) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
|---|---|---|---|
| 平均絕對誤差(m) | 0.589 | 0.5280 | 0.495 |
| 均方根誤差(m) | 0.781 | 0.7855 | 0.727 |
| Tp(尖峰週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 3.211 | 2.6534 | 2.646 |
| 均方根誤差(sec) | 3.734 | 2.9867 | 2.982 |
| Tmean(平均週期) | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(sec) | 1.853 | 1.7000 | 1.693 |
| 均方根誤差(sec) | 2.101 | 1.8670 | 1.859 |
| Dir 平均波向 | TaiCOMS | SCHISM-WWM_S | SCHISM-WWM_S_nc |
| 平均絕對誤差(°) | 38.657 | 22.13336 | 21.446 |
| 均方根誤差(°) | 41.831 | 26.36752 | 25.949 |

# 第四章 即時影像監測設備更新汰換及系統維護

## 4.1 即時影像監測設備現況

本計畫同時辦理本所於花蓮港區及花蓮縣台 11 線人定勝天路段設置之即時影像設備維護，設備資訊及位置，如圖 4.1 至圖 4.4、表 4-1 所示，即時影像資料提供本所辦理花蓮海岸公路及花蓮港區防波堤越波影像判釋、港區靜穩度系統與數值模擬等研究參考驗證應用，其中花蓮港區計有 7 台攝影機，台 11 線人定勝天路段計有 2 台攝影機。

**圖 4.1 花蓮港區即時影像位置圖**

**圖 4.2 台 11 線人定勝天路段即時影像位置圖**

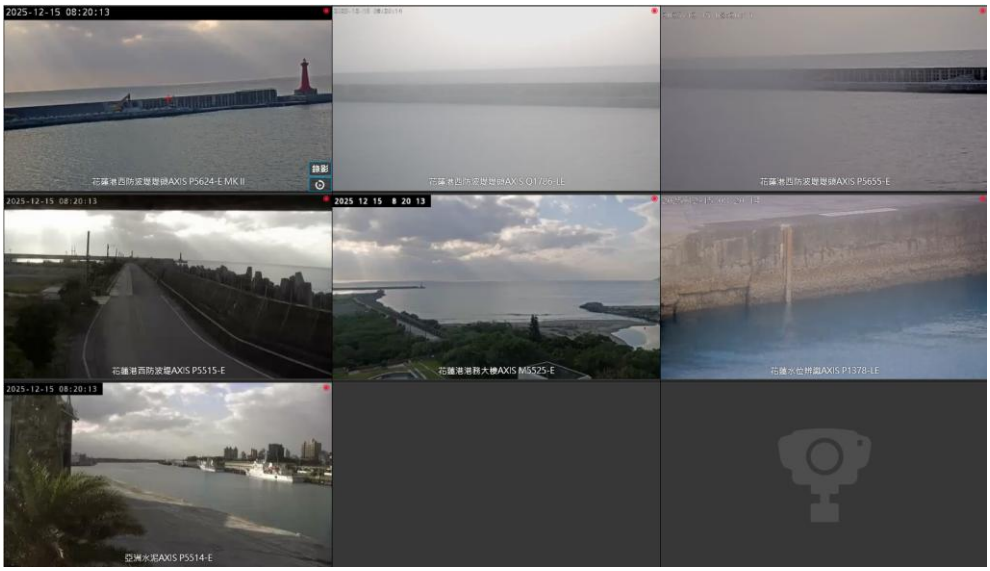



**圖 4.3 花蓮港區即時影像系統截圖**

**圖 4.4 台 11 線人定勝天路段即時影像系統截圖**

**表 4-1 即時影像設備清單**

| 項次 | 設備名稱及型號 | 位置 |
|---|---|---|
| 1 | 室外 PTZ 鏡頭(M5525-E) | 港務大樓 |
| 2 | 室外 PTZ 鏡頭(Q1786-LE) | 西防波堤燈塔 |
| 3 | 室外 PTZ 鏡頭(P5655-E) | 西防波堤燈塔 |
| 4 | 室外 PTZ 鏡頭(P5624-E MK II) | 西防波堤燈塔 |
| 5 | 室外 PTZ 水尺鏡頭 (Q1378-LE) | 西防波堤燈塔 |
| 6 | 室外 PTZ 鏡頭(P5514-E) | 亞洲水泥公司 |
| 7 | 室外 PTZ 鏡頭(P5655-E) | 台 11 線人定勝天路段 62.5K |
| 8 | 室外槍型熱成像鏡頭(Q1952) | 台 11 線人定勝天路段 62.5K |

## 4.2 即時影像監測設備定期維護

本作項目辦理方式為每季維護 1 次(共 4 次)，本年度第 1 至 4 季之現場維護照片節錄如圖 4.5 至 4.16，本年度即時影像監測設備維護紀錄表如表 4-2。

**圖 4.5 花蓮港區即時影像第 1 季維護(a)**

**圖 4.6 花蓮港區即時影像第 1 季維護(b)**

**圖 4.7 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像更新維護**

**圖 4.8 花蓮港區即時影像第 2 季維護(a)**

**圖 4.9 花蓮港區即時影像維護第 2 季(b)**

**圖 4.10 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像第 2 季維護**

**圖 4.11 花蓮港區即時影像第 3 季維護(a)**

**圖 4.12 花蓮港區即時影像第 3 季維護(b)**

**圖 4.13 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像第 3 季維護**

**圖 4.14 花蓮港區即時影像第 4 季維護(a)**

**圖 4.15 花蓮港區即時影像第 4 季維護(b)**

**圖 4.16 花蓮縣台 11 線人定勝天路段即時影像第 4 季維護**

## 表 4-2 即時影像監測設備維護紀錄表

| 維護<br>時間 | 異常<br>設備 | 異常設備<br>位置 | 異常<br>狀況 |
|---|---|---|---|
| 114.4.16<br>(第 1 季) | 室外 PTZ 鏡頭<br>(Q1786-LE) | 西防波堤燈塔 | 支架鏽蝕區域擴大，補漆處理，建議考量更換支架 |
| | 水尺鏡頭<br>(Q1738-LE) | 西防波堤燈塔 | 鏡頭可通電但無法完成開機，須將鏡頭拆下檢測，建議請原廠檢修。 |
| | 室外 PTZ 鏡頭<br>(P5655-E) | 台 11 線人定勝天路段 62.5K | 汰舊換新 |
| | 室外槍型熱成像鏡頭(Q1952) | 台 11 線人定勝天路段 62.5K | 汰舊換新 |
| | 其餘設備皆正常運作 | | |
| 114.7.2<br>(第 2 季) | 水尺鏡頭<br>(Q1738-LE) | 西防波堤燈塔 | 前次維護無法完成開機，本次發現異常線路，更換鏡頭側線路，電源供應器器接頭更換，鏡頭安裝復位後排除故障。 |
| | 室外 PTZ 鏡頭<br>(M5525-E) | 港務大樓 | 光電轉換器燈號異常，更換備品後排除故障。 |
| | 其餘設備皆正常運作 | | |
| 114.9.3<br>(第 3 季) | 所有設備皆正常運作 | | |
| 114.11.26<br>(第 4 季) | 所有設備皆正常運作 | | |

# 第五章 結論與建議

## 5.1 結論

本計畫以花蓮海域為研究案例，應用 SCHISM-WWM 跨尺度波流耦合數值模式，建立不同計算範圍之數值地形網格，並針對 2021 年至 2023 年間共五場颱風事件，進行港區風浪模擬分析，比較不同網格範圍及有無啟用波流耦合條件下之模擬成果，並與本所既有作業化 TaiCOMS 作業化系統所採用之 SWAN 模式模擬結果進行比較，主要結論如下：

1. 研究結果顯示，SCHISM-WWM 模式於花蓮港區之示性波高、尖峰週期及平均週期等模擬結果，整體變化趨勢與觀測資料大致相符，顯示該模式可合理描述颱風期間花蓮海域之波浪演變特性，可應用於港區近岸波浪模擬。
2. 在不同網格涵蓋範圍條件下，2 種 SCHISM-WWM 模擬結果於波浪歷線趨勢上表現相近，但在不同颱風案例中，SCHISM-WWM 模式或是現行 TaiCOMS 中之 SWAN 模式，並無明顯優劣之分，且在示性波高、尖峰週期及平均週期等模擬結果，亦無法明顯歸納出由特定模式有較佳之模擬表現，測試之模擬誤差改善幅度有限，顯示模式設定、地形網格或是邊界條件等仍需精進調整。
3. 比較有無啟用波流耦合之模擬結果發現，花蓮港區於颱風期間之波浪模擬，啟用波流耦合後，對示性波高及週期之差異幅度不明顯，顯示在本計畫案例中，潮流對港區波浪模擬結果之影響屬次要因素。
4. 現行 TaiCOMS 中之 SWAN 模式及 SCHISM-WWM 模式在颱風案例中對波高峰值有較高估之情形，但 SCHISM-WWM 模式可同時處理波浪與水動力耦合、並具備跨尺度非結構性網格之優勢，於港區複雜地形與後續多物理耦合應用上，仍具發展潛力。

## 5.2 建議

綜合本計畫之研究成果，針對 SCHISM-WWM 模式於港區波浪模擬之應用與後續精進方向，提出以下建議：

1. 考量 SCHISM-WWM 模式於港區波浪模擬之可行性與運算需求，建議可先以特定港區為目標，逐步導入作業化流程，並與既有 SWAN 模式並行比對，以降低系統轉換風險。
2. 建議後續可針對 WWM 模式之波浪成長與消散之源函數有關之物理作用像參數，如白帽消散、底床摩擦及碎波參數等進行進一步敏感度分析，並依港區特性調整網格解析度配置，以提升模擬精度並兼顧計算效率。
3. 為提升模式穩定性與準確度，建議納入更多歷史颱風事件及東北季風期間之案例進行校驗，以完整評估 SCHISM-WWM 模式於不同海象條件下之適用性。
4. 建議未來可將 SCHISM-WWM 模擬成果，進一步結合港區港池靜穩分析、越波預警相關研究，或是導入 AI 技術進行海象預測，提升研究成果於港區管理與防災應用。

## 5.3 成果效益及應用情形

本計畫之成果效益及應用情形，說明如下：

1. 本研究建立之 SCHISM-WWM 模式架構與花蓮海域非結構網格資料，可作為後續港區波浪與水動力耦合模擬之基礎，並可依需求延伸應用至其他商港或近岸海域，提升港區海象模擬能力。
2. 本計畫建立 SCHISM-WWM 波流耦合模式於花蓮海域之模擬分析成果，可作為本所未來推動跨尺度波流耦合模式之技術基礎，並提供本所於 115～116 年度辦理後續計畫，導入波流耦合模式於港區風浪模組及作業化預報系統參考依據，以逐步提升港區海象模擬與預報能力。

# 參考文獻


1. 交通部中央氣象署網站，https://www.cwb.gov.tw。
2. 邱啟敏、黃清哲、范揚洺、莊士賢、簡仲璟、李俊穎(2016)，港區海域油污擴散數值模式評估，港灣季刊第 103 期，交通部運輸研究所。
3. 邱啟敏、黃清哲、范揚洺、張應龍(2019)，應用 SCHISM 探討台南海域三維海流之演變，第 41 屆海洋工程研討會論文集。
4. 王敍民、邱啟敏、梁立翰、董東璟(2020)，應用 SCHISM 模式模擬裂流時空分布，第 42 屆海洋工程研討會論文集。
5. 李兆芳、江朕榮、傅怡釧、林雅雯、劉正琪、謝佳紘(2024)，海氣象預測模擬系統之維運與精進(2/4)－建置高雄海域模組，交通部運輸研究所。
6. 吳昀達、陳鈞彥、林雅雯、蕭士俊、吳漢倫、陳彥龍(2024)，應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(2/4)-夜間越波判釋，交通部運輸研究所。
7. Hsu, T.-W., S.-H. Ou and J.-M. Liau, 2005: Hindcasting nearshore wind waves using a FEM code for SWAN, Coastal Engineering, 52, 177-195
8. Aron Roland. Development of WWM II: Spectral wave modeling on unstructured meshes(2009).
9. Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E. V., & Grashorn, S., 2016. Seamless cross-scale modeling with SCHISM. Ocean Modelling, 102, 64-81.
10. SCHISM development teams, SCHISM v5.3.1 Manual(2018).
11. Shih-Chun Hsiao, Hongey Chen, Wei-Bo Chen, Chih-Hsin Chang, Lee-Yaw Lin, Quantifying the contribution of nonlinear interactions to storm tide simulations during a super typhoon event, Ocean Engineering, Volume 194, 2019, 106661, ISSN 0029-8018,
12. Hsiao, S.-C., Wu, H.-L., Chen, W.-B., Chang, C.-H., & Lin, L.-Y. (2020). On the Sensitivity of Typhoon Wave Simulations to Tidal Elevation and Current. Journal of Marine Science and Engineering, 8(9), 731.
13. SWAN User Manual SWAN Cycle III version 41.31AB(2021).
14. SWAN Scientific and Technical Documentation, SWAN Cycle III

version 41.41(2022).

15. Fu, G.; Li, J.; Yuan, K.; Song, Y.; Fu, M.;Wang, H.;Wan, X. Wind-Wave-Current Coupled Modeling of the Effect of Artificial Island on the Coastal Environment. Appl. Sci. 2023, 13, 7171.
16. 16.Tran HQ, Ayala Cruz F, McCarroll J and Babanin A (2024) Non-linear surges and extreme wind-waves in Port Phillip Bay under existing and future mean sea levels. Front. Mar. Sci. 11:1480054. doi: 10.3389/fmars.2024.1480054.

# 附錄一

# 期末報告審查意見回覆情形表

# 交通部運輸研究所技術中心會議紀錄

壹、 會議名稱：「 MOTC-IOT-114-H3CA001d 花蓮海域象模擬分析」自行研究計畫期末報告審查會議

貳、 時間：114年12月31日(星期三)下午3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　　紀錄：李亭葦

伍、 出席者：如後附簽到表

陸、 審查意見：

| 委員意見 | 意見回覆及處理情形表 |
|---|---|
| 許泰文委員 | |
| 1. 本計畫利用SCHISM-WWM模式模擬，應用於花蓮港波浪與週期數值模擬，作為船舶出入作業安全參考。 | 感謝委員肯定。 |
| 2. 文獻回顧建議加強蒐集SWAN、TaiCOMS、WWM(如Liau等人2005)等文獻，選擇SCHISM-WWM做為本計畫模式之使用原因，說明優劣勢、預報效率和精確度，是否為增加水動力與風浪結合之耦合模式。 | 已補充Liau等人2005文獻，以及WWM模式與SWAN之差異、優劣勢等，並說明於2.1節。 |
| 3. WRF風場解析度為km，波浪場網格解析度為m，風場必須內插以符合網格解析度一致性。 | 本計畫採用中央氣象署提供之M04風、氣壓場資料為15、3km解析度，均以空間內插至與數值網格解析度一致，做為模式風場輸入檔。 |
| 4. 白帽消散、碎波底床摩擦等參數設定宜更嚴謹，建議參考更 | 感謝委員建議，本計畫於模式參數，依據使用手冊中各學者研究結 |

| | |
|---|---|
| 多模式在參數之學理分析，才不會不同情況而有不同條件。 | 論建議之參數值(即為模式預設值)，以避免遇不同情況而有不同條件。 |
| 5. SWAN模式網格目前已有巢狀模式，本計畫應更新模式計算結果才具意義。 | 查SWAN模式於40.51版本已可採用巢狀模式，40.85版本後支援非結構化網格(期末簡報之比較表格已修正，亦補充於報告書2.2節)，為本所既有TaiCOMS為穩定運作多年之系統，且TaiCOMS中之SWAN模式，其邊界條件為WAM波浪模式提供，已有巢狀模式之概念，為確保作業化與即時模擬資訊提供之目的，尚無針對SWAN模式內巢狀模式設定之較大變動。 |
| 蕭士俊委員 | |
| 1. 本計畫在今年具有比較研究的特性，建議可以列一張表格說明目前使用的TaiCOMS與測試的SCHISM-WWM之優缺點，強化研究之動機。如TaiCOMS是否有耦合水動力？ | 感謝委員建議，不同數值模式優缺點，併同其他模式特性彙整於表2-1，另本所作業化運作中之TaiCOMS系統，採用之SWAN並無設定與水動力模式耦合模擬。 |
| 2. 比較2021-2023年間之5場颱風，其結論說明TaiCOMS與SCHISM-WWM在波浪預測部分無明顯優劣。原因為何？比較基準是否一樣？ | TaiCOMS(近岸波浪採用SWAN模式)與SCHISM-WWM於本計畫模擬，皆採用交通部中央氣象署提供之風、壓場資料，且WWM模式為Hsu等人(2005)以有限元素法改良SWAN模式，從兩模式中皆取相同位置比較模擬結果，為相同基準進行比較基準，於比較優劣上，TaiCOMS以穩定運作多年，本計畫採用WWM模式模擬，後續可能 |

| | |
|---|---|
| | 仍需優化調整地形網格，以求較具穩定、效率且正確之模擬結果。 |
| 3. 結論亦說明開啟耦合模式之結果在示性波高及週期差異不大，可能原因為何？學理上可以知道何時重要？ | 開啟耦合模式之結果在示性波高及週期差異不大，可能原因為模擬過程主要由風能輸入項主導，且流速模擬值均明顯低於觀測值(如圖3.40、圖3.45、圖3.50、圖3.55及圖3.60)，可推測於花蓮港區海域，流速對波浪模擬造成影響極小。 |
| 4. 模擬5場颱風結果之示性波高除梅花颱風外，都比Obs觀測值大，是否有截取過Obs位置的波高資訊？ | 本計畫與波浪觀測位置比對之模擬位置，比照本所既有Taicoms，取觀測位置周邊較近位置截取模擬波高，以代表花蓮港海域模擬結果。 |
| 5. 報告應再仔細校正，以確保其正確性。如p3-4提到表一及表二(應為表3-4及3-5？表3-4至3-6的說明都一樣，應修正)。圖的縱軸建議標示單位。 | 感謝委員指正，表3-4至表3-6之表格名稱與對應文字之說明，均已修正。 |
| 鍾權宏委員 | |
| 1. 研究成果具有實質應用成效，予以肯定。 | 感謝委員肯定。 |
| 本所運輸技術研究中心賴瑞應科長 | |
| 6. 報告提到模擬的花蓮港地形為0403花蓮地震前的地形，未來模式應用於花蓮港海象模擬應用，是否須以最新花蓮港地形做調整。 | 本計畫因使用花蓮港地形為0403花蓮地震前的地形，挑選颱風事件亦以0403花蓮地震前之颱風事件模擬，目前已有蒐集地震後之水深測量地形資料，後續模擬及導入將應用最新地形資料建置模式。 |
| 7. 報告指出，現行SWAN與新測試的SCHISM-WWM模式在颱風案例中，對波高峰值皆有較 | 感謝委員建議，模擬結果如皆有高估情形，確實有過度管制疑慮，本計畫目前為評估及比較不同模式模 |

| | |
|---|---|
| 為高估的情形，若此分析結果正確，從決策立場看，高估波高可能導致過度管制，建議在報告可進一步分析「高估幅度」與「實際港口操作門檻」的關係，提供更具彈性的決策參考指標。 | 擬準確度，與港區管理之操作門檻之連結可於後續計畫納入評估。 |
| 8. 報告顯示即時影像設備曾有故障維修紀錄(如西防波堤水尺鏡頭、港務大樓轉換器)，建議未來考量建立「數據中斷補償邏輯」，當實體監測站或影像中斷時，能自動調用SCHISM-WWM模擬值做為決策備援，確保智慧港口系統不因硬體受損而失效。 | 本計畫攝影機於重點監測位置有備用鏡頭機制，可於故障時由備用鏡頭繼續監測補足中斷期，中斷補償邏輯之建立可於後續就維護經費規模納入研議辦理。 |
| 本所運輸技術研究中心李俊穎科長 | |
| 1. 計畫內完成SCHISM-WWM用於花蓮港波流耦合模式，具後續參考性。 | 感謝委員肯定。 |
| 2. 建議後續計畫考量模式作業化時應評估作業時間。 | 感謝委員建議，將於接續計畫納入評估。 |
| 3. 建議後續計畫再評估波流耦合模式對作業化的必要性。 | 感謝委員建議，後續導入SCHISM-WWM模式波流耦合模式，將考量對波浪、海流模擬成效影響以評估必要性。 |
| 4. 建議後續計畫可另就季風條件(較穩定風場)評估模式正確性。 | 感謝委員建議，將於接續計畫納入評估。 |
| 本所運輸技術研究中心林雅雯科長 | |
| 5. 第3-19頁璨樹颱風用SCHISM+WWM的示性波高明 | 另有無耦合之相關歷線圖，已將橘色修改為綠色顯示(圖3.41至圖 |

| | |
|---|---|
| 顯較高，建議釐清原因，另有無耦合的線條顏色相近。 | 3.60)。 |
| 6. 建議了解颱風時期海流流速觀測與模擬結果，俾利選擇颱風及進行模擬驗證。 | 已將各颱風期間花蓮港風速、流速歷線圖及相關說明，補充於3.1節及3.2節。 |

# 附錄二

# 專家學者座談會會議紀錄

# 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，如果可透過本計畫之校正機制，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. 本計畫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閥值，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管，而非港務公司經管，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，以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。請問本計畫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，在使用本計畫所提出的修正係數；(3)運技中心港灣系統呈現的風力數據，即透過本計畫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. 本計畫所提修正係數，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計畫之成效。

(二)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 本計畫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計畫重要關鍵，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. 本計畫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2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，納入本計畫分析其影響。
   (2)針對#10~#16碼頭水域，以雙 T 塊或其他形式堆築擋浪提，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：蔡孟宏　　紀錄：林英爵

專家學者：

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

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 | 李修翔 |
| | 科長 | 林雅雯 |
| | 科長 | 賴瑞麟 |

| 單位 | 簽名 |
| --- | --- |
| 交通部運輸研究所<br>運輸技術研究中心 | 許義宏<br>林英爵<br>黃義信<br>羅晃影<br>劉慎明<br>孫達遠<br>郭瀚芬<br>劉淑敏<br>陳劍彤<br>盧昕彤<br>李以廷<br>曹騰隆<br>陳子健<br>陳天時<br>蕭安佑<br>許師瑜<br>劉清松<br>林有騰<br>傅怡創<br>顏麗香<br>李亭華<br>蔣敏玲<br>梁世琦<br>林文慧 |

# 附錄三

# 工作會議會議紀要

# 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. 討論本計畫後續可進行之方向。

(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. 颱風案例應避免路徑複雜、雙颱等特殊事件，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 | 賴瑞慧 |
| 本所運輸技術研究中心第二科 | 李俊穎 |
| 本所運輸技術研究中心第三科 | 陳鈞彥<br>李亭葦 劉清杉 蔡世瑜<br>林有騰 傅性創 蔣敏玲 |

# 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.討論本計畫後續可進行之方向。

(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孿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 Tp 及 Tm 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 | 差假 |
| 本所運輸技術研究中心第二科 | 差假 |
| 本所運輸技術研究中心第三科 | 傅怡釧 蔣敏玲 陳劍彥 劉清彬 林存騰 蔡世璿 李亭萱 |

# 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.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 | 賴瑞興 |
| 本所運輸技術研究中心第二科 | 李修穎 |
| 本所運輸技術研究中心第三科 | 陳鈞彥 蔣世珍 傅怡創 劉清松 李亭蓁 林有騰 蔣敏玲 |

# 附錄四

# 期末審查簡報

# 花蓮海域海象模擬分析

自辦期末報告審查

報告人：陳鈞彥
114.12.31

## 簡報大綱

- 計畫緣起與目的
- 文獻蒐集
- 耦合模式建立與模擬結果
- 即時影像監測設備更新汰換及系統維護工作
- 結論與建議

2

## 計畫緣起與目的

經費:50千元
來源:本所業務費

**研究緣起與目的(WHY)**

- ✓ 考量臺灣周遭水域的船舶與人員航行安全，以及水域環境維護之重要性，開發臺灣近岸海象預測系統（TaiCOMS)， 並持續維運及精進，提供港埠管理單位、國內外船舶業者及有關人員獲得港灣海氣象模擬資訊。
- ✓ 113年初步應用SCHISM-WWM耦合模式，模擬花蓮港區颱風波浪，評估導入SCHISM模式之可行性，114年進行SCHISM-WWM耦合模式風浪模擬分析及模擬成效評估，提供SCHISM模式於港區波浪模擬之導入建議，俾利臺灣港務公司、航港局掌握港灣海象變化情勢。

**研究範圍與應用單位(WHO)**

- ✓ 本計畫針對花蓮海域以SCHISM-WWM耦合模式進行風浪數值模擬，探討耦合模擬結果，提出導入SCHISM模式之建議。
- ✓ 研究成果提供航港局、臺灣港務公司及國內外船舶業者及有關人員做為船舶進出港操航安全之應用，及本所風浪模擬改善應用。

3

## 計畫緣起與目的

**研究項目與內容(WHAT)**

- ✓ 以生成式AI協助蒐集SCHISM-WWM等模式相關文獻、花蓮港區波浪觀測、地形資料。
- ✓ SCHISM-WWM耦合模式建立與港區風浪模擬分析。
- ✓ SCHISM-WWM模式於花蓮港區波浪模擬成效評估。
- ✓ 辦理花蓮港即時影像監測設備更新汰換及系統維護工作。

**辦理方式(HOW)**

- ✓ 以SCHISM-WWM耦合模式進行花蓮海域之颱風、季風期間之風浪模擬，測試波流是否耦合、模式不同參數模擬結果。
- ✓ 探討測試後參數之風浪模擬結果 (如波高、週期、波向等)，與本所TaiCOMS之SWAN模式之模擬結果比較，評估模擬成效。
- ✓ 提供SCHISM模式於港區波浪模擬之導入建議。

**預期成果、效益及應用**

- ✓ 預期成果(效益)
  - 完成SCHISM-WWM模式於花蓮港區之耦合、參數測試模擬結果，提供導入SCHISM模式於港區波浪模擬之建議。
- ✓ 應用:
  - 探討SCHISM-WWM耦合模式之風浪模擬成效與差異，提供後續導入SCHISM模式於TaiCOMS模擬預測改善應用。
  - 提高花蓮港區海象預測資訊準確度，俾利航港局、臺灣港務公司、船舶業者等相關單位，掌握港區經營管理及防救災等海情資訊。

4

# 計畫緣起與目的

辦理時程甘特圖(WHEN)

| 工作項目 \ 工作月 | 112年 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| 1.工作計畫書研擬/修訂 | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 2.文獻蒐集與回顧 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 3.SCHISM-WWM耦合模式建立與港區風浪模擬分析 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 4. SCHISM-WWM模式於花蓮港區波浪模擬成效評估 | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| 5.辦理即時影像監測設備更新汰換及系統維護工作 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 5.召開專家學者座談會 | | | | ※ | | | | | | | | |
| 6.辦理工作會議 | | | | | | ※ | | ※ | | ※ | | |
| 7.撰寫報告初稿 | | | | | | | | | | ■ | ■ | |
| 8.辦理報告審查 | | | | | | | | | | | | ■ |
| 9.報告書修訂/簽陳印製 | | | | | | | | | | | | ■ |
| 預定進度累計百分比 | 5% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 75% | 80% | 90% | 95% |

➢ 預定查核點

- ➢ 1. 114.4.30前召開專家學者座談會
- ➢ 2. 114.6.30、8.31、10.31前辦理工作會議
- ➢ 3. 114.11.30前完成期末報告初稿
- ➢ 4. 114.12.15前完成期末報告審查
- ➢ 5. 114.12.31前完成報告書修訂/簽陳印製
- ➢ 6. 115.2.28前完成報告書出版

5

# 文獻蒐集

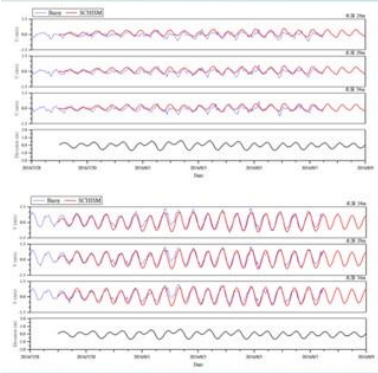
| 模式名稱 | WAM | SWAN | WWM-III |
|---|---|---|---|
| 主要開發單位 | ECMWF / WAM Group | Delft University of Technology | Roland、Zhang 等<br>(與 SCHISM 深度整合) |
| 原始設計尺度 | 深海、全球/盆地尺度 | 近岸、淺水、港灣尺度<br>(後期擴展支援跨區域) | 跨尺度(深海到近岸) |
| 計算網格 | 規則格網(Structured grid) | 結構網格為主，40.85版後支援非結構網格(Unstructured mesh) | 非結構網格(Unstructured mesh) |
| 波浪控制方程 | 波浪力平衡作用方程 | 波浪力平衡作用方程 | 波浪力平衡作用方程 |
| 風輸入(Wind input) | WAM Cycle 3/4 | 多種(Komen、Janssen…) | Ardhuin et al. (ST4) 為主<br>(物理項同 WaveWatch III) |
| 白化(Whitecapping) | 有 | 有 | 有 |
| 四波交互作用(SNL4) | 有(DIA) | 有(DIA) | 有(DIA) |
| 三波交互作用(Triad) | 無 | 有(LTA) | 有(LTA) |
| 淺水碎波效應 | 無 | 有(BJ78) | 有(BJ78) |
| 底床摩擦 | JONSWAP 公式(常數係數) | JONSWAP、Madsen公式 | JONSWAP、Madsen公式 |
| 波流交互作用(wave–current) | 有(有限) | 有 | 有 |
| 與水動力模式耦合 | 無/單向耦合 | 可(如Delft3D、ADCIRC、ROMS) | 可(SCHISM) |
| 耦合方式 | 檔案傳遞 | 介面耦合 | 原生內嵌，通常同網格 |
| 計算效率(近岸) | 低 | 中 | 高 |
| 常見應用 | 全球/區域波預報、再分析 | 近岸波浪變形、工程應用 | 近岸置區域尺度高解析波流耦合研究 |

6

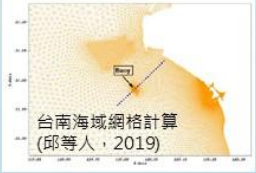
# 文獻蒐集

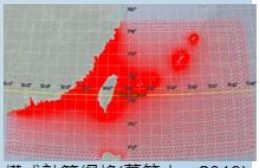
邱等人(2019)，SCHISM-WWM耦合模式，探討臺南海域之三維海流變化趨勢，並以模擬結果探討海域海底底床淘刷及侵蝕之情形。

蕭等人(2019) 應用SCHISM-WWM耦合模式，測試以ERA5、MERA5風場進行波、流模擬104年颱風蘇迪勒與105年梅姬颱風案例，評估風暴波浪模擬之最佳風場來源，結果顯示，採用MERA5風場進行顯著波高模擬之表現優於使用ERA5風場。

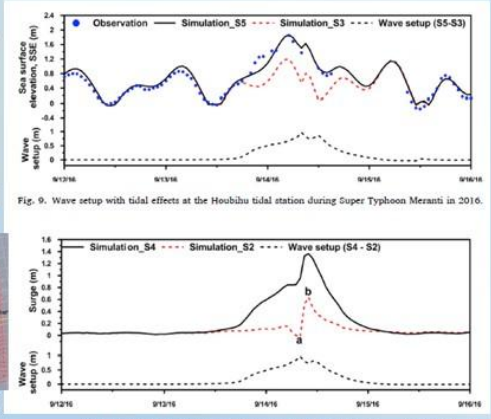


外海水深24m至34m海流模擬U、V分量比對圖(邱等人，2019)



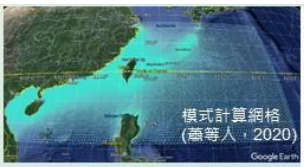
模式計算網格(蕭等人，2019)



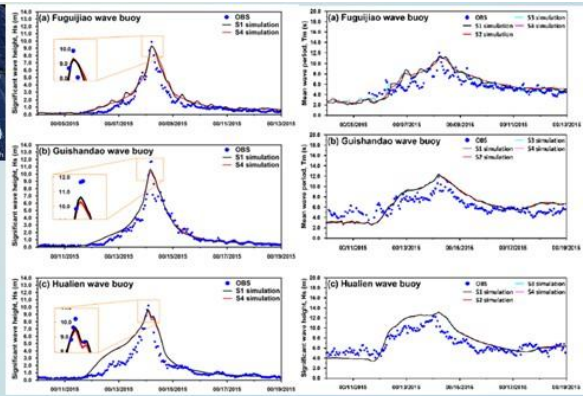

後壁湖浮標水位即波揚比對圖(蕭等人，2019)

7

# 文獻蒐集

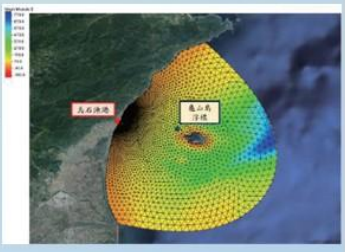


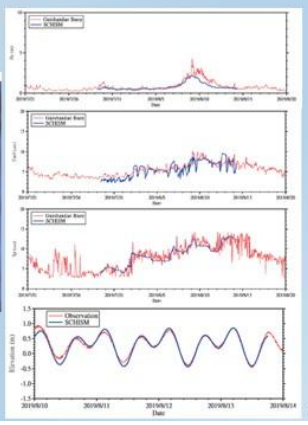

蕭等人(2020)，以不同風場、不同波流耦合條件，探討颱風波浪模擬之差異，分析結果指出，在臺灣北部近岸海域，由於潮流較強，潮流對颱風波浪模擬結果具有輕度敏感，潮流對東北部與東部海域對敏感性則較低。




不同耦合方式模擬富貴角、龜山島、花蓮浮標波高、週期比對圖(蕭等人，2020)

王等人(2020)，探討裂流在宜蘭外澳近岸地區時空間的分布特性，模式可良好表現烏石漁港及龜山島近岸之波、流場特性。

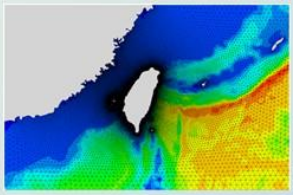


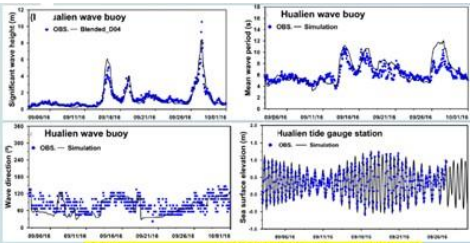


模式計算網格、模擬龜山島浮標示性波高、平均週期、尖峰週期、烏石港水位比對圖(王等人，2020)

8

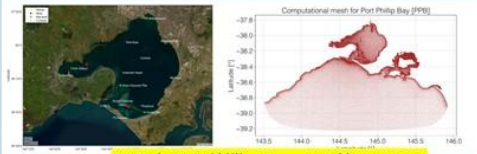
# 文獻蒐集



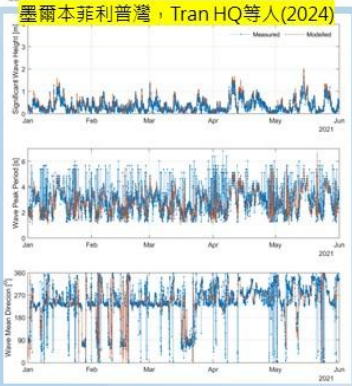


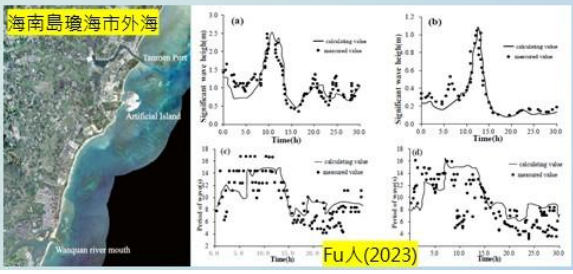

吳等人(2024)，花蓮浮標波浪、潮位驗證

- 吳等人(2024)，SCHISM-WWM銜接FUNWAVE，模擬花蓮台11線人定勝天路段海岸之波浪溯升、越波情形。
- Tran HQ等人(2024)，SCHISM-WWM模式，探討澳洲墨爾本菲利普灣，在不同平均海平面對極端風浪、非線性湧浪之潛在影響，模式可表現菲利普港灣之封閉海灣內之波、流場特性。
- Fu等人(2023)SCHISM-WWM模式耦合輸沙模式(MORSELFE)，評估中國海南島瓊海市外海，受人工島影響下，近岸之波、流影響及漂沙、海岸侵淤與地形變遷情形。



墨爾本菲利普灣，Tran HQ等人(2024)



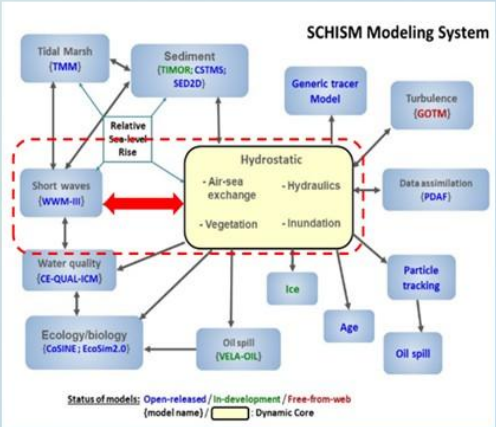



Fu人(2023)



# 文獻蒐集　SCHISM-WWM數值模式說明

模式主體為SCHISM水動力模式，可銜接WWM波浪模式，由SCHISM模式將風速、深度平均流速與水面高程傳遞至WWM；而WWM模式將輻射應力傳遞至水動力模式，達到耦合計算效果




## SCHISM 控制方程式

連續方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} = 0$$

動量方程式

$$\frac{Du}{Dt} = fv - \frac{\partial}{\partial x}\left[g(\eta - \alpha\hat{\psi}) + \frac{P_A}{\rho_0}\right] + \frac{\tau_{sx} + \tau_{rx} - \tau_{bx}}{\rho_0 H}$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -fu - \frac{\partial}{\partial y}\left[g(\eta - \alpha\hat{\psi}) + \frac{P_A}{\rho_0}\right] + \frac{\tau_{sy} + \tau_{ry} - \tau_{by}}{\rho_0 H}$$

u, w 水平、垂直速度　　h 地形深度

$\eta$ 自由液面高程　　$P_A$ 大氣壓力

$\rho_0$ 參考水體密度　　$\hat{\psi}$ 潮汐潛勢

$\alpha$ 效率地球彈性因子　　f 科氏力參數

# 文獻蒐集　SCHISM-WWM數值模式說明

## WWM控制方程式

$N$ 波浪作用力密度波譜，$t$ 時間

$\sigma$頻率，x,y 直角坐標，$\theta$ 波浪傳播方向

$c_x$、$c_y$、$c_\theta$ 波浪作用力在x、y、θ方向之傳遞速度

$S_{tot}$ 波浪成長與消散之源函數

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial C_x N}{\partial x}+\frac{\partial C_y N}{\partial y}+\frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta}=\frac{S_{tot}}{\sigma}$$

轉成卡式座標：

$$\begin{cases} c_x=\dfrac{dx}{dt}=C_g\cos\theta+U_x \qquad c_y=\dfrac{dy}{dt}=C_g\sin\theta+U_y \\ c_\theta=\dfrac{d\theta}{dt}=\dfrac{1}{k}\dfrac{\partial\sigma}{\partial d}\left(\sin\theta\dfrac{\partial d}{\partial x}-\cos\theta\dfrac{\partial d}{\partial y}\right)+\left(\sin\theta\dfrac{\partial U_s}{\partial x}-\cos\theta\dfrac{\partial U_s}{\partial y}\right) \\ c_\sigma=\dfrac{d\sigma}{dt}=\dfrac{\partial\sigma}{\partial d}\left(\dfrac{\partial d}{\partial t}+U_x\dfrac{\partial d}{\partial x}+U_y\dfrac{\partial d}{\partial y}\right)-C_g k\left(-\cos\theta\dfrac{\partial U_s}{\partial x}+\sin\theta\dfrac{\partial U_s}{\partial y}\right) \end{cases}$$

$$\boldsymbol{S_{tot}=S_{in}+S_{nl3}+S_{nl4}+S_{ds,w}+S_{ds,b}+S_{ds,br}}$$

源函數

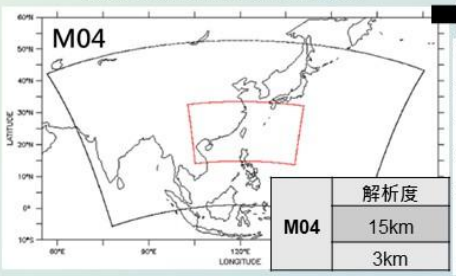
- $S_{in}$ 風浪成長項
- $S_{nl3}$ 波浪間非線性交互作用項(三波)
- $S_{nl4}$ 波浪間非線性交互作用項(四波)
- $S_{ds,w}$ 白帽消散項
- $S_{ds,b}$ 底床摩擦項
- $S_{ds,br}$ 碎波消散項

11

# 耦合模式建立　模式設定

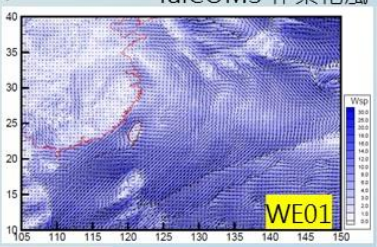
| 模式 | dimension | 解析度(∘) | 格點位置 |
|---|---|---|---|
| 西太平洋風、氣壓WE01 | 271×181 | 1/6° ≈0.167° | 左下點(10N,105E) 右上點(40N,150E) |
| 臺灣海域風、氣壓WE02 | 271×271 | 1/30° ≈0.033° | 左下點(20N,116E) 右上點(29N,125E) |

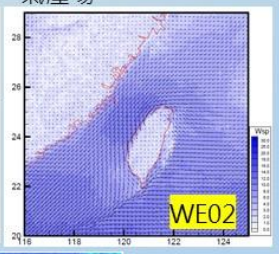
氣象署WRF成員M04風場

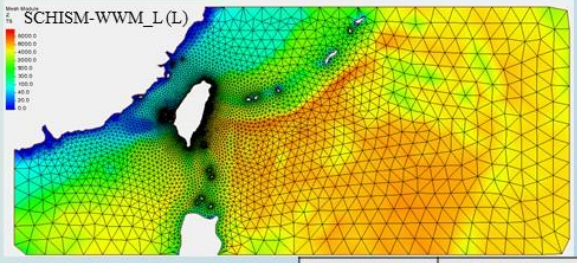


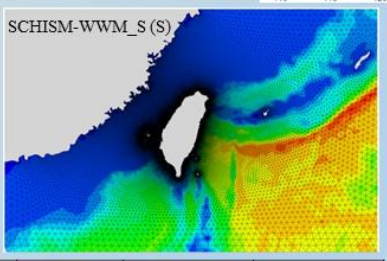

| M04 | 解析度 |
|---|---|
| | 15km |
| | 3km |

TaiCOMS 作業化風、氣壓場



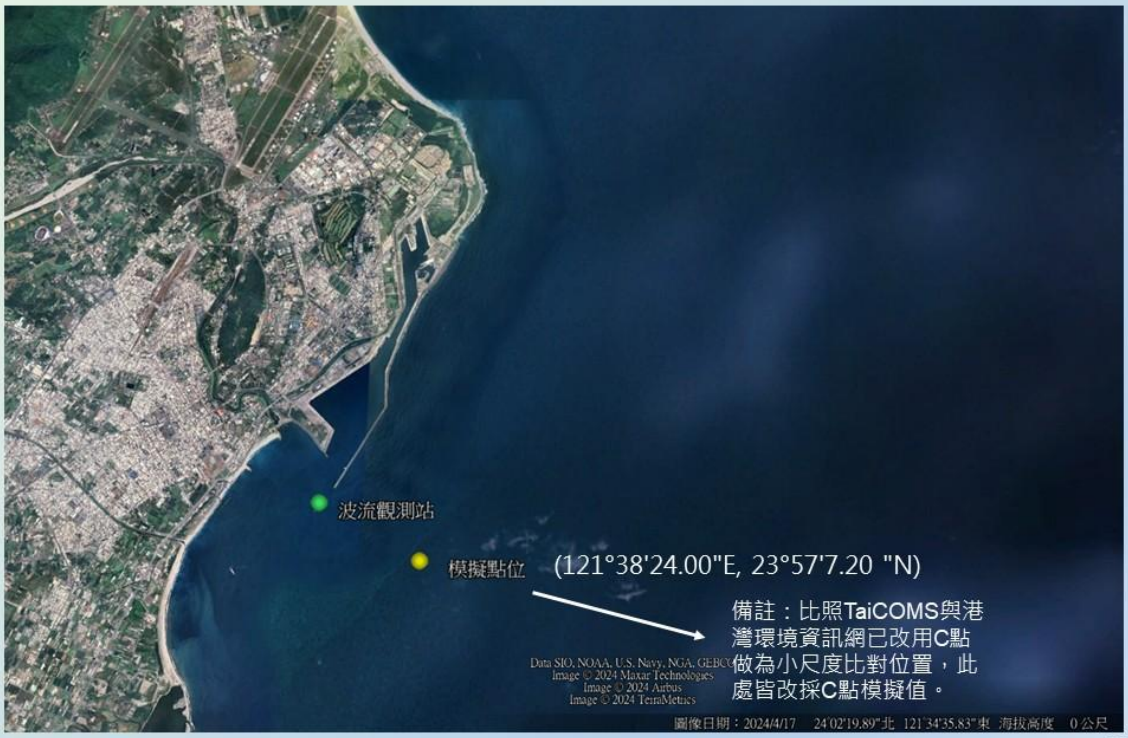




| 網格模式代號 | 網格範圍 | Nodes | Elements | 近岸解析度 |
|---|---|---|---|---|
| S | 114ºE - 130ºE 19ºN - 29ºN | 67746 | 132117 | 約200m |
| L | 112ºE - 140ºE 16.5ºN - 29ºN | 96339 | 187732 | 約200m |

12

## 耦合模式建立　模式設定




13

## 耦合模式建立　模式設定

**白帽消散項、風浪成長項**

$$S_{tot} = \boxed{S_{in}} + S_{nl3} + S_{nl4} + \boxed{S_{ds,w}} + S_{ds,bottom} + S_{ds,br}$$

- $S_{in}$ 風浪成長項
- $S_{nl3}$ 波浪間非線性交互作用項(三波)
- $S_{nl4}$ 波浪間非線性交互作用項(四波)
- $S_{ds,w}$ 白帽消散項
- $S_{ds,bottom}$ 底床摩擦項
- $S_{ds,br}$ 碎波消散項

Hasselmann(1974)

$$S_{ds,w}(\sigma,\theta) = -\Gamma\tilde{\sigma}\frac{k}{\tilde{k}}E(\sigma,\theta)$$

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds}\left[(1-\delta) + \delta\frac{k}{\tilde{k}}\right]\left(\frac{\tilde{S}}{\tilde{S}_{PM}}\right)^{p}$$

Komen(1984)

$C_{ds} = 2.36 \times 10^{-5}$
$\tilde{s}_{PM} = 3.02 \times 10^{-3}$
$\delta = 0$
$p = 2$

$\sigma$為頻率、$\tilde{\sigma}$為平均頻率、$k$為波數、$\tilde{k}$為平均波數
$\Gamma$：波浪尖銳度係數
$\tilde{s}$ ：平均波浪尖銳度
$\tilde{s}_{PM}$ ： Pierson-Moskowitz頻譜的平均波浪尖銳度
$C_{ds}$ ：為白帽消散速率
$p$ ：波浪尖銳度之冪次
$\delta$：白帽消散對波數之依賴係數

14

# 耦合模式建立　模式設定

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,bottom} + S_{ds,br}$$

## 波浪間非線性交互作用項

| 作用項 | 參數 | 參數定義 | 參數建議值 |
|---|---|---|---|
| $S_{nl3}$ TRIad 三波交互作用 | trfac | 相稱係數 | 0.05 |
| | cutfr | 最大頻率/平均頻率之比值 | 2.5 |
| | urcrit | 臨界厄塞爾數 (Ursell number) | 0.2 |
| | urslim | 最低厄塞爾數 (Ursell number) | 0.01 |
| $S_{nl4}$ QUADrupl 四波交互作用 | lambda | 四波配置係數 | 2.5 |
| | Cnl4 | 四波相稱係數 | $3\times10^7$ |
| | Csl1 | 淺水縮放係數 | 5.5 |
| | Cnl2 | 淺水縮放係數 | 0.8333 |
| | Cnl3 | 淺水縮放係數 | -1.25 |

和SWAN
相同設定

15

# 文獻蒐集　SWAN模式

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,bottmn} + S_{ds,br}$$

## 底床摩擦及碎波作用項

Hasselmann(1973)

$$S_{ds,bottom} = -C_{bottom} \cdot \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} \cdot E(\sigma,\theta)$$

Komen(1983)：$C_{bottom} = 0.067 m^2 s^{-3}$

Battjes and Stive(1978)

$$S_{ds,br} = \frac{D_{tot}(\text{消散波能})}{E_{tot}(\text{總波能})} \cdot E(\sigma,\theta)$$

Battjes and Stive(1985)　$\gamma = \frac{H_{max}}{d} = 0.78$

## 模式基本設定參數

| 參數 | 參數值 | 備註 |
|---|---|---|
| 頻率分割數 **msc2** | 36 | 頻率最小值 = 0.03Hz<br>頻率最大值 = 1Hz |
| 角度分割數 **mdc2** | 40 | |
| 最小水深 **DMIN** | 0.01m | |
| 時間步長 **dt(time step)** | 300 sec (5 min) | |
| 耦合頻率 | 3 time step = 15mins | |

## 模擬結果評估指標

$$\text{平均絕對誤差} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|y_i - x_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|e_i|}{n}$$

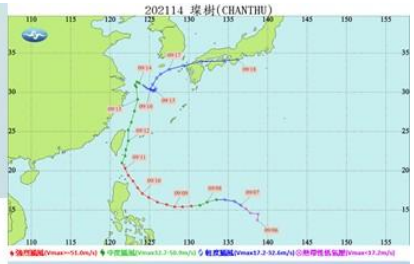
$$\text{均方根誤差} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_t - x_t)^2}{n}}$$

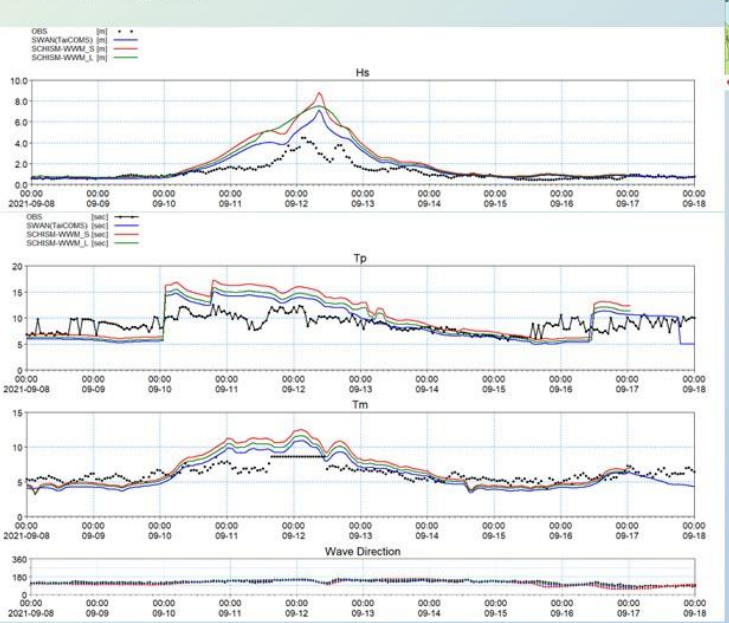
16

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2021.9 璨樹颱風




1. 示性波高、尖峰週期、平均週期略有差異、平均波向模擬結果相近。
2. 示性波高、週期：WWM_S > WWM_L > SWAN
3. 各模式模擬與觀測相比皆高估

颱風影響前，週期有低估情形

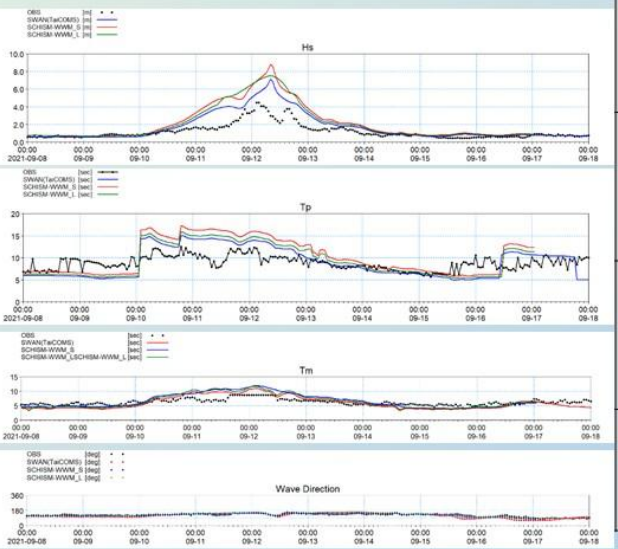
17

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2021.9 璨樹颱風

1. 波高、週期：SWAN > WWM_L > WWM_S
2. 波向：WWM_S > SWAN > WWM_L



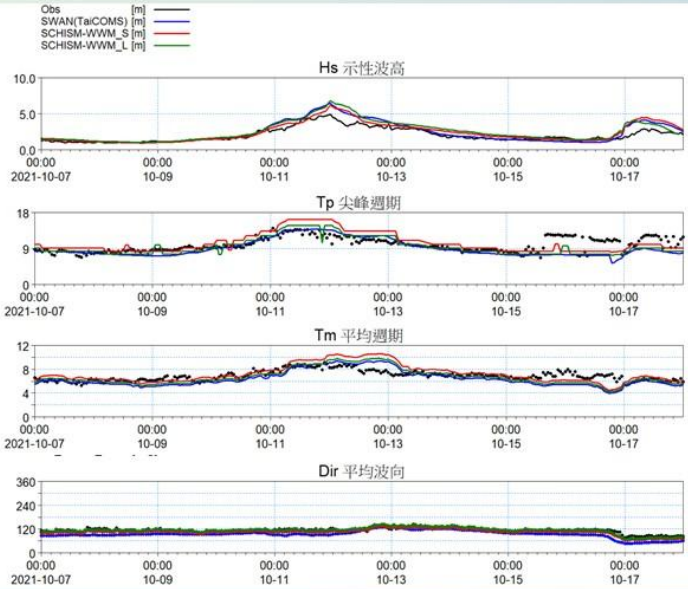

| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_L |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.617 | 0.968 | 0.892 |
| | 均方根誤差 | 1.012 | 1.558 | 1.485 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 2.211 | 2.857 | 2.446 |
| | 均方根誤差 | 2.707 | 3.534 | 2.98 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 1.187 | 1.457 | 1.284 |
| | 均方根誤差 | 1.382 | 1.861 | 1.556 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 15.56 | 6.107 | 8.365 |
| | 均方根誤差 | 17.188 | 10.683 | 13.25 |

18

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2021.10 圓規颱風




颱風影響期間

1. 示性波高、尖峰週期、平均週期差異不大，平均波向模擬結果相近。
2. 示性波高、週期：WWM_S > WWM_L > SWAN
3. 各模式模擬與觀測相比皆高估

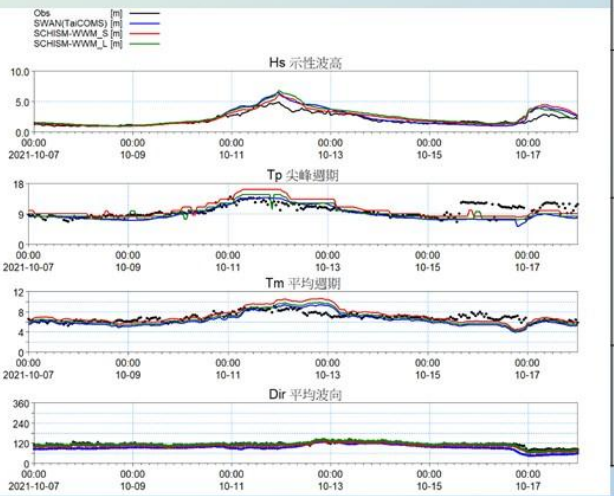
19

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2021.10 圓規颱風

1. 波高 WWM_S 表現較佳、尖峰週期 WWM_L 表現較佳，平均週期SWAN、 WWM_S相近，無明顯表現較佳的模擬。
2. 波向：三結果接近。



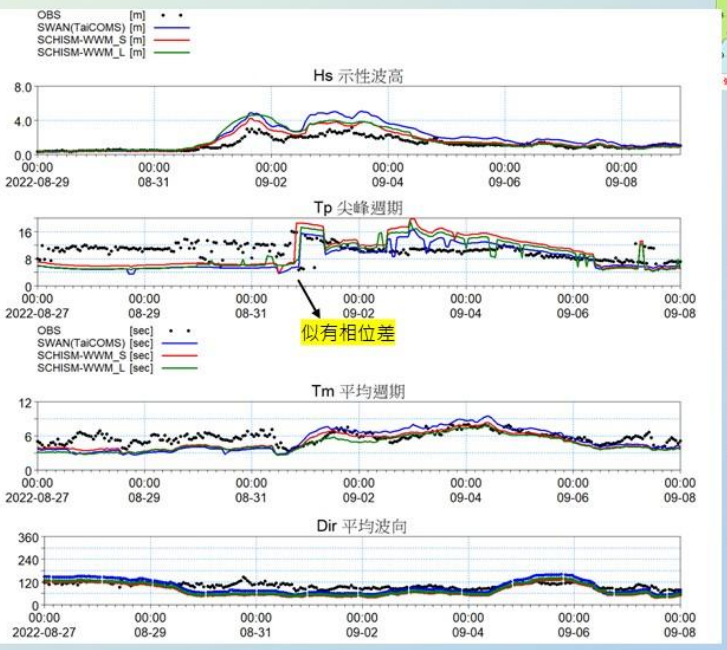

| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_L |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.473 | 0.438 | 0.559 |
| | 均方根誤差 | 0.671 | 0.656 | 0.785 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 1.289 | 1.519 | 1.246 |
| | 均方根誤差 | 1.893 | 1.928 | 1.744 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 0.832 | 0.816 | 2.628 |
| | 均方根誤差 | 1.083 | 1.143 | 3.1 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 19.759 | 18.124 | 15.446 |
| | 均方根誤差 | 22.000 | 19.414 | 15.821 |

20

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2022.9 軒蘭諾颱風



1. 示性波高略有差異，尖峰週期、平均週期、平均波向模擬結果相近。
2. 示性波高：SWAN > WWM_S > WWM_L
3. 尖峰週期： WWM_S > WWM_L > SWAN
4. 平均週期： SWAN > WWM_S > WWM_L (S,L差異很小)
5. 颱風影響期間，示性波高模擬與觀測相比為高估，尖峰週期、平均週期於9/1前為低估。

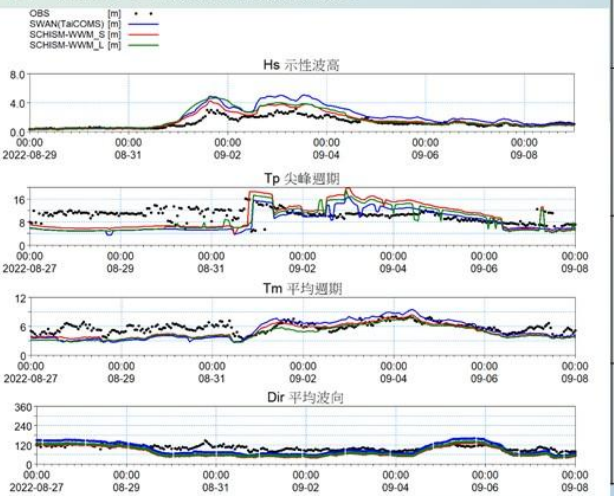
21

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2022.9 軒蘭諾颱風

1. 波高 WWM_S 表現較佳、尖峰週期 SWAN 表現較佳，平均週期 WWM_S 表現較佳，無明顯表現較佳的模擬。
2. 波向：三模擬結果誤差接近。



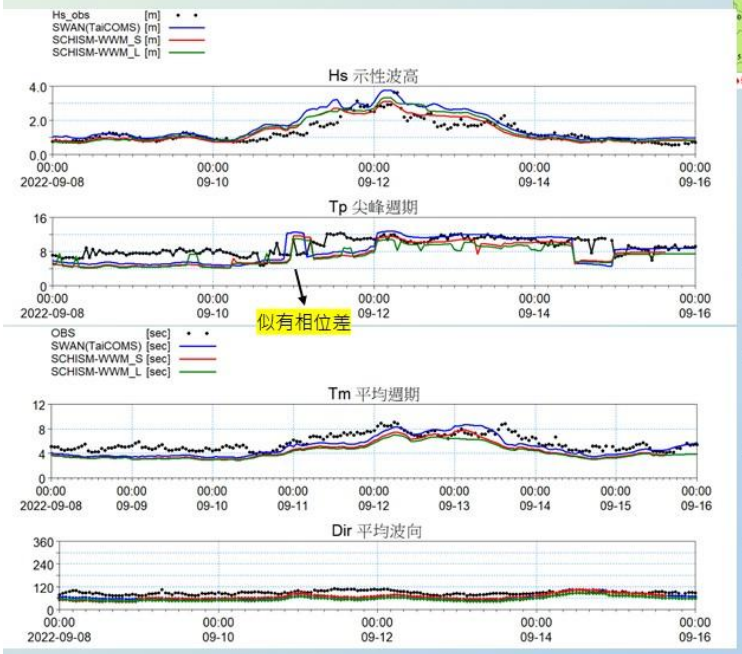

| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_L |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.742 | 0.375 | 0.5008 |
| | 均方根誤差 | 1.082 | 0.588 | 0.8442 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 3.53 | 4.137 | 3.9720 |
| | 均方根誤差 | 4.43 | 4.724 | 4.5934 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 2.86 | 1.072 | 1.2466 |
| | 均方根誤差 | 4.01 | 1.31 | 1.5269 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 24.425 | 29.684 | 26.494 |
| | 均方根誤差 | 27.404 | 36.242 | 31.564 |

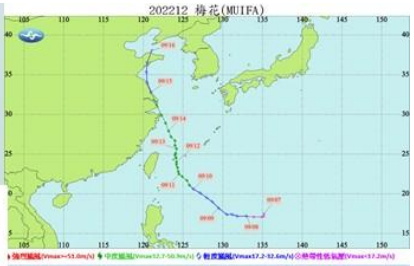
22

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2022.9 梅花颱風




1. 示性波高略有差異，尖峰週期、平均週期、平均波向模擬結果相近。
2. 示性波高：SWAN > WWM_L > WWM_S
3. 尖峰週期： WWM_S > WWM_L > SWAN
4. 平均週期： SWAN > WWM_S > WWM_L (S,L差異很小)
5. 颱風影響期間，示性波高模擬與觀測相比為高估，尖峰週期、平均週期於9/1前為低估。

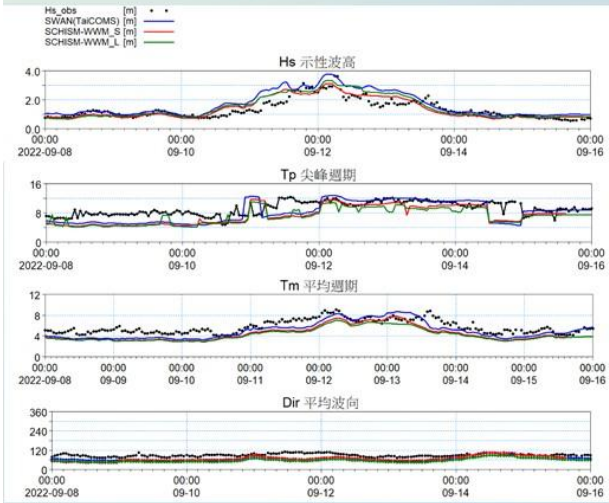
23

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2022.9 梅花颱風

1. 波高、平均週期 WWM_S 表現較佳、尖峰週期、波向SWAN 表現較佳，無明顯表現較佳的模擬。
2. 平均週期WWM_S、 WWM_L接近



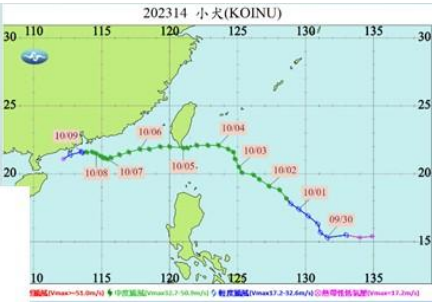

| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_L |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.37 | 0.264 | 0.303 |
| | 均方根誤差 | 0.515 | 0.349 | 0.400 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 2.01 | 2.488 | 2.452 |
| | 均方根誤差 | 2.581 | 3.216 | 2.878 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 2.493 | 1.502 | 1.557 |
| | 均方根誤差 | 3.262 | 1.808 | 1.700 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 22.92 | 25.433 | 32.452 |
| | 均方根誤差 | 26.075 | 31.438 | 34.33 |

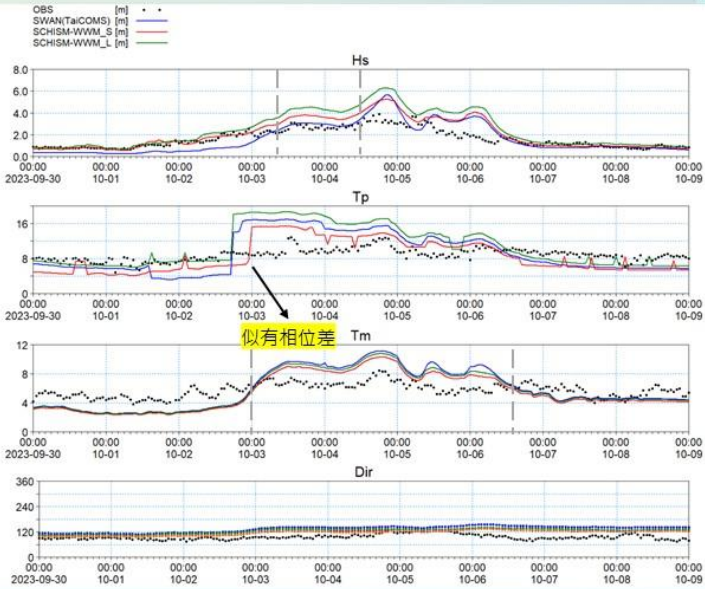
24

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2023.10 小犬颱風




1. 示性波高、尖峰週期略有差異，平均週期、平均波向模擬結果相近。
2. 示性波高：WWM_L > WWM_S > SWAN
3. 尖峰週期：WWM_L > SWAN > WWM_S
4. 平均週期： SWAN > WWM_L > WWM_S (S,L差異很小)
5. 颱風影響期間，波高、週期模擬與觀測相比為高估，於10/3前為低估。

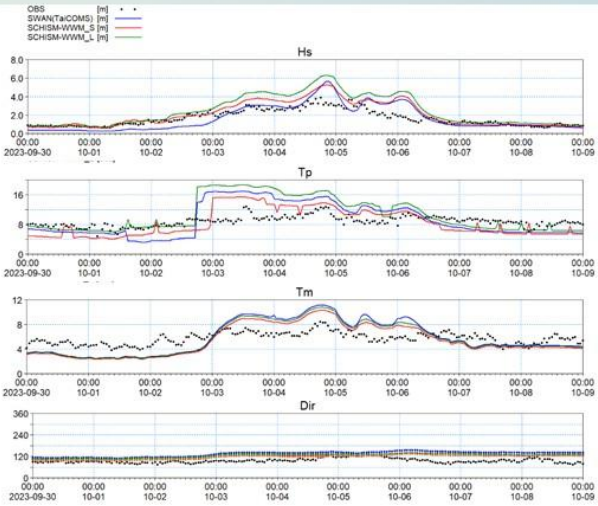
25

# 風浪模組參數測試及影響評估

不同範圍網格模擬結果比較

2023.10 小犬颱風

1. 波高、週期、波向WWM_S 表現較佳。
2. 波高SWAN、WWM_S差異相近，尖峰週期SWAN、WWM_L差異相近。




| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_L |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.589 | 0.528 | 0.813 |
| | 均方根誤差 | 0.781 | 0.785 | 1.12 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 3.211 | 2.653 | 3.13 |
| | 均方根誤差 | 3.734 | 2.986 | 4.271 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 1.853 | 1.700 | 1.767 |
| | 均方根誤差 | 2.101 | 1.867 | 1.969 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 38.657 | 22.133 | 29.57 |
| | 均方根誤差 | 41.831 | 26.367 | 33.272 |

26

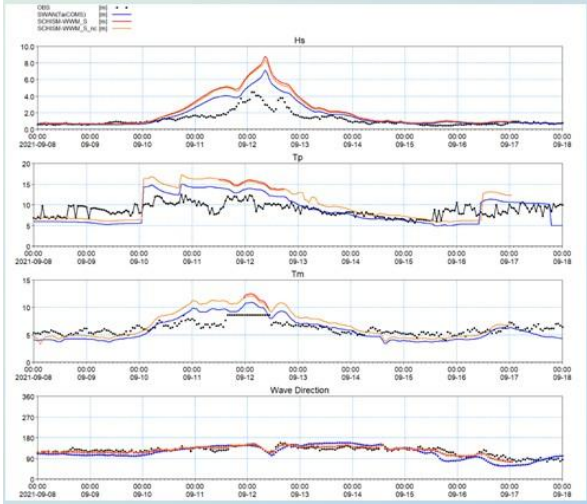
# 風浪模組參數測試及影響評估

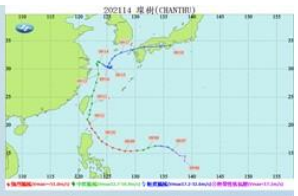
**耦合與否模擬結果比較**

**2021.9 璨樹颱風**

1. 示性波高、尖峰週期略有差異，平均週期、平均波向，有無偶和之模擬結果相近。

2. 波高、週期、SWAN 表現較佳，波向WWM 表現較佳。



| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_S_nc |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.617 | 0.968 | 0.885 |
| | 均方根誤差 | 1.012 | 1.558 | 1.446 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 2.211 | 2.857 | 2.817 |
| | 均方根誤差 | 2.707 | 3.534 | 3.483 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 1.187 | 1.457 | 1.439 |
| | 均方根誤差 | 1.382 | 1.861 | 1.883 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 15.56 | 6.107 | 6.113 |
| | 均方根誤差 | 17.188 | 10.683 | 11.465 |

27

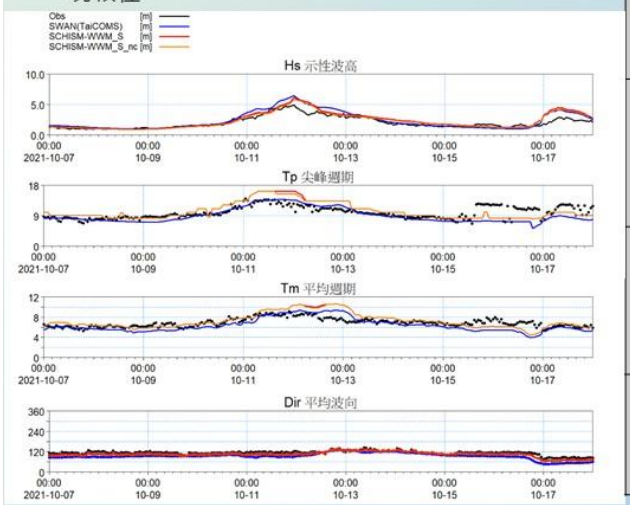
# 風浪模組參數測試及影響評估

**耦合與否模擬結果比較**

**2021.10 圓規颱風**

1. 示性波高、尖峰週期略有差異，平均週期、平均波向，有無偶和之模擬結果相近。

2. 波高、週期、 WWM 表現較佳，波向SWAN 表現較佳。



| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_S_nc |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.617 | 0.438 | 0.386 |
| | 均方根誤差 | 1.012 | 0.656 | 0.594 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 2.211 | 1.519 | 1.477 |
| | 均方根誤差 | 2.707 | 1.928 | 1.854 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 1.187 | 0.816 | 0.809 |
| | 均方根誤差 | 1.382 | 1.143 | 1.08 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 1.556 | 18.124 | 18.955 |
| | 均方根誤差 | 17.188 | 19.414 | 20.21 |

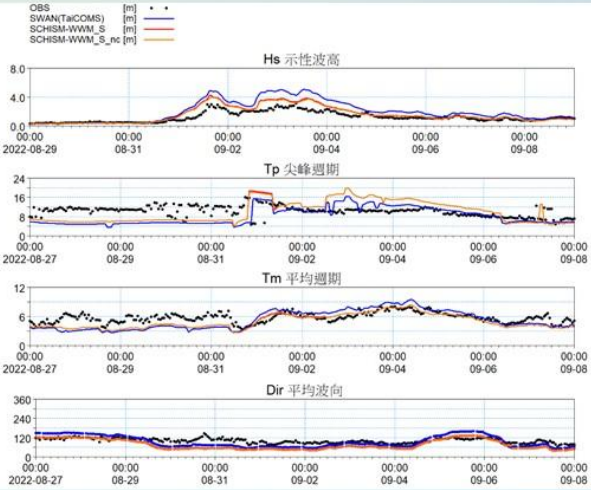
28

# 風浪模組參數測試及影響評估

**耦合與否模擬結果比較**

2022.9 軒蘭諾颱風

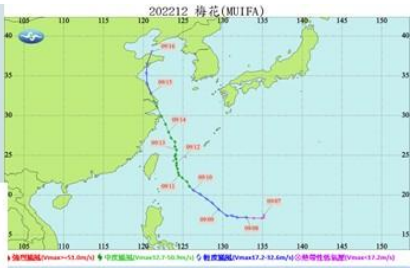
1. 示性波高、尖峰週期略有差異，平均週期、平均波向，有無偶和之模擬結果相近。
2. 波高、平均週期WWM 表現較佳，尖峰週期、波向 SWAN 表現較佳。




| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_S_nc |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.742 | 0.375 | 0.340 |
| | 均方根誤差 | 1.082 | 0.588 | 0.536 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 3.53 | 4.137 | 4.116 |
| | 均方根誤差 | 4.43 | 4.724 | 4.691 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 2.86 | 1.072 | 1.062 |
| | 均方根誤差 | 4.01 | 1.31 | 1.311 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 24.425 | 29.684 | 28.539 |
| | 均方根誤差 | 27.404 | 36.242 | 34.211 |

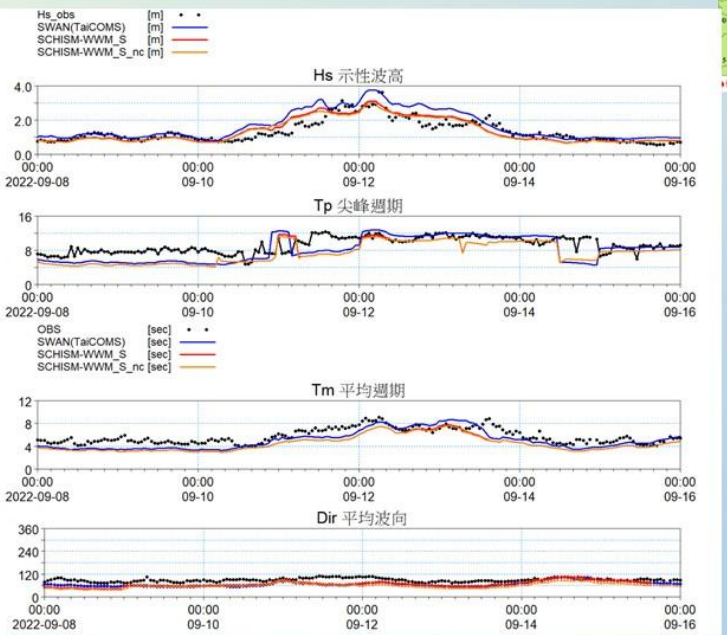
29

# 風浪模組參數測試及影響評估




**耦合與否模擬結果比較**

2022.9 梅花颱風




1. 示性波高、尖峰週期略有差異，平均週期、平均波向，有無偶和之模擬結果相近。

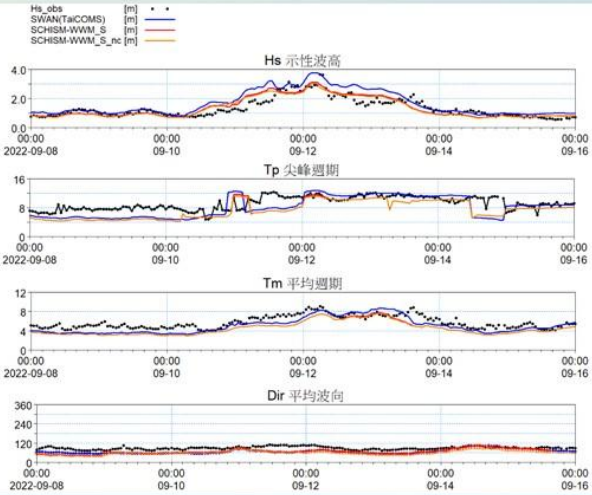
30

# 風浪模組參數測試及影響評估

**耦合與否模擬結果比較**

2022.9 梅花颱風

1. 波高、平均週期WWM 表現較佳，尖峰週期、波向 SWAN 表現較佳。




| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_S_nc |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.37 | 0.264 | 0.303 |
| | 均方根誤差 | 0.515 | 0.349 | 0.400 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 2.01 | 2.488 | 2.452 |
| | 均方根誤差 | 2.581 | 3.216 | 2.878 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 2.493 | 1.502 | 1.557 |
| | 均方根誤差 | 3.262 | 1.808 | 1.700 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 22.92 | 25.433 | 32.452 |
| | 均方根誤差 | 26.075 | 31.438 | 34.33 |

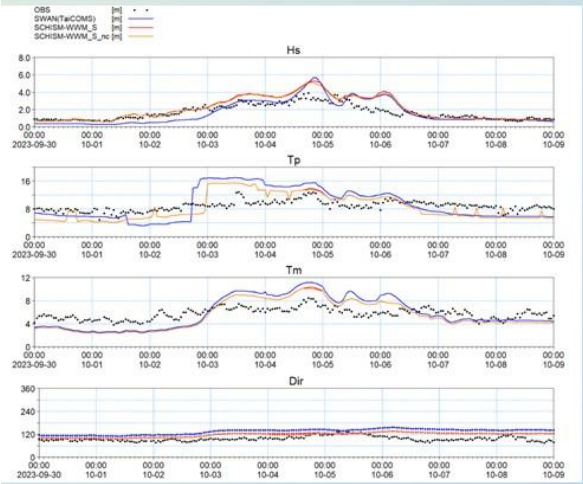
31

# 風浪模組參數測試及影響評估

**耦合與否模擬結果比較**

2023.10 小犬颱風

1. 示性波高、尖峰週期略有差異，平均週期、平均波向，有無偶和之模擬結果相近。
2. 波高、週期、波向均以 WWM 表現較佳。
3. 波高、平均週期，三者誤差接近。

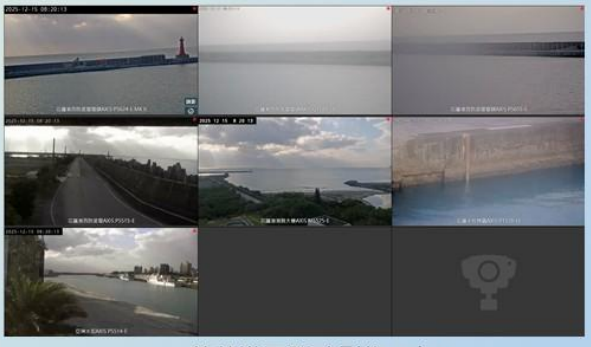



| | 評估指標 | SWAN | WWM_S | WWM_S_nc |
|---|---|---|---|---|
| 示性波高 (Hs) | 平均絕對誤差 | 0.589 | 0.5280 | 0.495 |
| | 均方根誤差 | 0.781 | 0.7855 | 0.727 |
| 尖峰週期 (Tp) | 平均絕對誤差 | 3.211 | 2.6534 | 2.646 |
| | 均方根誤差 | 3.734 | 2.9867 | 2.982 |
| 平均週期 (Tm) | 平均絕對誤差 | 1.853 | 1.7000 | 1.693 |
| | 均方根誤差 | 2.101 | 1.8670 | 1.859 |
| 平均波向 (Dir) | 平均絕對誤差 | 38.657 | 22.13336 | 21.446 |
| | 均方根誤差 | 41.831 | 26.36752 | 25.949 |

32

## 即時影像監測設備更新汰換及系統維護

於4/16 7/2、6/6、9/3、11/26
完成本年度4次定期維護工作



花蓮港區即時影像(7台)

人定勝天路段即時影像(2台)



## 即時影像監測設備更新汰換及系統維護

### 異常排除紀錄表

| 維護時間 | 異常設備 | 異常設備位置 | 異常狀況 |
|---|---|---|---|
| 114.4.16<br>(第1季) | 室外PTZ鏡頭<br>(Q1786-LE) | 西防波堤燈塔 | 支架鏽蝕區域擴大，補漆處理，建議考量更換支架 |
| | 水尺鏡頭<br>(Q1738-LE) | 西防波堤燈塔 | 鏡頭可通電但無法完成開機，須將鏡頭拆下檢測，建議請原廠檢修。 |
| | 室外PTZ鏡頭<br>(P5655-E) | 台11線人定勝天路段<br>62.5K | 汰舊換新 |
| | 室外槍型熱成像鏡頭<br>(Q1952) | 台11線人定勝天路段<br>62.5K | 汰舊換新 |
| | 其餘設備皆正常運作 | | |
| 114.7.2<br>(第2季) | 水尺鏡頭<br>(Q1738-LE) | 西防波堤燈塔 | 前次維護無法完成開機，本次發現異常線路，更換鏡頭側線路，電源供應器器接頭更換，鏡頭安裝復位後排除故障。 |
| | 室外PTZ鏡頭<br>(M5525-E) | 港務大樓 | 光電轉換器燈號異常，更換備品後排除故障。 |
| | 其餘設備皆正常運作 | | |
| 114.9.3<br>(第3季) | 所有設備皆正常運作 | | |
| 114.11.26<br>(第4季) | 所有設備皆正常運作 | | |

## 結論與建議

### ➢ 結論

1. SCHISM-WWM 模式於花蓮港區之示性波高、尖峰週期及平均週期等模擬結果，整體變化趨勢與觀測資料大致相符，可合理描述颱風期間波浪演變特性，可應用於港區近岸波浪模擬。
2. SCHISM-WWM 模擬2種不同範圍之結果於波浪歷線趨勢上表現相近，但SCHISM-WWM 模式或 SWAN 模式，在示性波高、尖峰週期及平均週期等結果，無法從5場颱風事件明顯歸納出特定模式有較佳之模擬表現，測試之模擬誤差改善幅度有限，顯示模式設定、地形網格或是邊界條件等仍需精進調整。
3. 比較有無啟用波流耦合之模擬結果發現，對示性波高及週期之差異幅度不明顯，顯示在本計畫案例中，潮流對港區波浪模擬結果之影響屬次要因素。
4. 現行TaiCOMS中之 SWAN 模式及SCHISM-WWM 模式在颱風案例中對波高峰值有較高估之情形，但SCHISM-WWM 模式可同時處理波浪與水動力耦合、並具備跨尺度非結構性網格之優勢，於港區複雜地形與後續多物理耦合應用上，仍具發展潛力。

35

## 結論與建議

### ➢ 建議

1. 考量 SCHISM-WWM 模式於港區波浪模擬之可行性與運算需求，建議可先以特定港區(ex：花蓮港)逐步導入作業化流程，並持續與既有 SWAN 模式並行比較，以降低系統轉換或上線風險。
2. 建議後續可針對WWM模式之波浪成長與消散之源函數有關之物理作用項參數，如白帽消散、底床摩擦及碎波參數等進行進一步敏感度分析，並依港區特性調整網格解析度配置，以提升模擬精度並兼顧計算效率。
3. 為提升模式穩定性與準確度，建議納入更多歷史颱風事件及東北季風期間之案例進行校驗，以完整評估 SCHISM-WWM 模式於不同海象條件下之適用性。
4. 建議未來可將 SCHISM-WWM 模擬成果，進一步結合港區港池靜穩分析、越波預警相關研究，或是導入AI技術進行海象預測，提升研究成果於港區管理與防災應用。

36

# 簡報結束
# 敬請指教

37