

評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性

陳鈞彥¹ 林雅雯²

¹交通部運輸研究所運輸技術研究中心副研究員

²交通部運輸研究所運輸技術研究中心研究員兼科長

摘要

交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)發展作業化之臺灣近岸海象預測系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System, TaiCOMS)，應用交通部中央氣象署(以下簡稱氣象署)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護，本研究評估三維跨尺度海洋數值模式 SCHISM 結合第三代波浪模式 WWM-III，針對花蓮港區建立耦合之風浪模式，以 2021 年璨樹及圓規颱風為案例，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。

一、前言

運研所作業化之臺灣近岸海象預測系統 TaiCOMS 應用氣象署風、氣壓場預報資訊，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，模擬成果應用於國內主要商港，提供波浪、水位及流場等海象模擬資訊，每年進行長期性模式校驗及維護，強化商港及近岸之海象模擬模組。本研究評估三維跨尺度海洋數值模式 SCHISM 結合第三代波浪模式 WWM-III，針對花蓮港區耦合模擬颱風風浪情況，與 TaiCOMS 系統中採用 WAM 銜接 SWAN 模式之模擬結果比較，評估未來導入 SCHISM-WWM 模式於 TaiCOMS 港區波浪模擬之可行性，做為後續提升模擬準確度參考，俾利臺灣港務股份有限公司及交通部航港局掌握港灣海象變化情勢。

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，邱啟敏等人(2019)應用 SCHISM-WWM 耦合模式，探討臺南海域之海流變化趨勢，王敍民等人(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，模式可表現烏石漁港及龜山島近岸之波、流場特性，吳昀達等人(2024)以 SCHISM-WWM 耦合模式銜接 FUNWAVE 模式，模擬花蓮台 11 線人定勝天路段海岸之波浪溯升、越波情形，Fu 等人(2023)應用 SCHISM-WWM 模式並耦合輸沙模式(MORSELE)，模擬評估中國海南島瓊海市近岸人工島周圍，受波、流影響之漂沙、海岸侵淤情形，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。

二、SCHISM 數值模式

2.1 模式介紹

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式，可結合結構及非結構性網格式，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 模式本身可介接物理模組(如圖 1)，可連帶模擬漂沙、油污、水質、生態等議題，因其具備可擴充性、穩定性及良好運算效能，而被廣泛應用。

WWM-III(Wind Wave Model III, Roland et al. 2012)為第三代頻譜風浪模式，可用於模擬近岸波場浪變化情況，可與 SCHISM 模式介接進行波、流耦合模擬，因此，本研究應用 SCHISM 與 WWM-III 之耦合模式進行港區風浪模擬。

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，連續方程式如(1)式。

$$\nabla \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

其中 $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x,y,z,t)$ 為水平速度， $w = w(x,y,z,t)$ 為垂直速度，為描述自由液面變化，可以水深積分求解將(1)式改寫為(2)式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \int_{-h}^{\eta} \mathbf{u} dz = 0 \quad (2)$$

其中 $\eta = \eta(x,y,t)$ 為自由液面高程， $h = h(x,y)$ 為地形深度，動量方程式如(3)式：

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -f\mathbf{k} \times \mathbf{u} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} \right) - g\nabla\eta - \frac{\nabla p_A}{\rho_0} + \alpha g \nabla \Psi + \nabla \cdot (\mu \nabla \mathbf{u}) + R_S \quad (3)$$

其中 ν 為垂直渦流黏度， g 為重力加速度， ρ_0 為參考水體密度， p_A 為大氣壓力， f 為科氏力參數， \mathbf{k} 為垂直方向(z 軸)單位， α 為效率地球彈性因子， Ψ 為潮汐潛勢， R_S 為輻射應力，輻射應力採用 Longuet-Higgins and Stewart (1962,1964) 研究所提，可以(4)至(8)式表示：

$$R_{sx} = -\frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (4)$$

$$R_{sy} = -\frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} \quad (5)$$

$$S_{xx} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N\sigma \frac{C_g}{C_p} \sin \theta d\theta d\sigma \quad (6)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N\sigma \left[\frac{C_g}{C_p} (\cos^2 \theta + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \quad (7)$$

$$S_{yy} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N\sigma \left[\frac{C_g}{C_p} (\sin^2 \theta + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \quad (8)$$

其中 $H = h + \eta$ 為總水深， S_{xy} 、 S_{yx} 、 S_{yy} 為輻射應力張量之分量，由風浪模式計算得到， C_g 為波群速度、 C_p 為波相速度。

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)，控制方程式如(9)至(13)式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial C_x N}{\partial x} + \frac{\partial C_y N}{\partial y} + \frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (9)$$

$$c_x = \frac{dx}{dt} = C_g \cos \theta + U_x \quad (10)$$

$$c_y = \frac{dy}{dt} = C_g \sin \theta + U_y \quad (11)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial d} (\sin \theta \frac{\partial d}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial y}) + (\sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial y}) \quad (12)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} (\frac{\partial d}{\partial t} + U_x \frac{\partial d}{\partial x} + U_y \frac{\partial d}{\partial y}) - C_g k (-\cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial y}) \quad (13)$$

其中 N 為波浪作用力密度， σ 為頻率、 θ 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_θ 分別為波浪作用力在 x 、 y 、 θ 方向之傳遞速度、 c_σ 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(14)式表示：

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad (14)$$

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。

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(15)、(16)式，其中 $\bar{\sigma}$ 為平均頻率、 \bar{k} 為平均波數、 Γ 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 波浪尖銳度之幕次、 δ 為白帽消散對波數之依賴係數，根據 Komen(1984)建議，模式以 $C_{ds}=2.36 \times 10^{-5}$ 、 $\delta=0$ 、 $p=2$ 、 $\tilde{S}_{PM}=3.02 \times 10^{-5}$ 為參數預設值。

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \bar{\sigma} \frac{k}{\bar{k}} E(\sigma, \theta) \quad (15)$$

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds} \left[(1 - \delta) + \delta \frac{k}{\bar{k}} \right] \left(\frac{\tilde{S}}{\tilde{S}_{PM}} \right)^p \quad (16)$$

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 1、表 2，底床摩擦

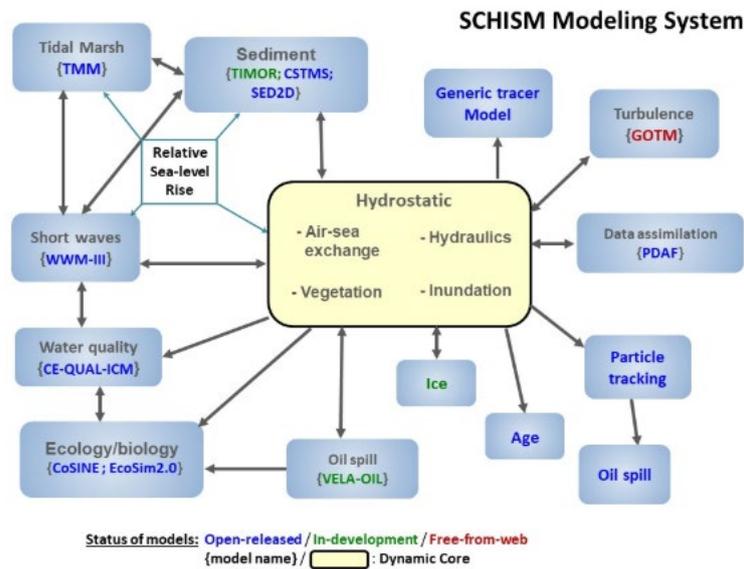
項根據 Hasselmann(1973)之理論採用 JONSWAP 實驗歸納結果，可表示如(17)式，碎波消散項根據 Battjes & Janssen (1978)之理論，可表示如(18)式，

$$S_{ds,b} = -C_{bottom} \cdot \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} \cdot E(\sigma, \theta) \quad (17)$$

$$S_{ds,br} = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} \cdot E(\sigma, \theta) \quad (18)$$

其中， C_{bottom} 為底床摩擦係數，根據 Komen (1983)提出之建議， $C_{bottom}=0.067m^2s^{-3}$ ， 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 0.73，如(19)式，其中 d 為水深、 H_{max} 為最大可能波高。

$$\gamma = \frac{H_{max}}{d} \quad (19)$$



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

圖 1 SCHISM-WWM 模式架構圖

2.2 模式設定

本研究使用 SCHISM-WWM 耦合模式，採用 Linux 作業系統執行模擬(本研究採用版本為 Ubuntu 20.04.6)，因模式網格與 SMS (Surface Water Modeling System)模式使用網格格式相同，故使用 SMS 模式之網格製作工具產製數值地形網格，以東經 114°至 130°，北緯 19°至 29°，涵蓋臺灣之西太平洋海域範圍建立數值模式網格，網格之節點數為 67746 個，共組成 132117 個三角形元素，數值地形則由美國國家海洋暨大氣總署之 ETOPO1、ETOPO5、及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 解析度水深資料為來源、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 2、圖 3 所示。

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 4 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 5 及表 4，本研究將 WE01 及 WE02 風、氣壓場內插至數值地形網格做為使用之風、氣壓場，風浪模組模擬值輸出點位參考 TaiCOMS，選擇圖 6 中黃點位置為輸出點。

SCHISM-WWM 模式於風浪模擬之基本設定參數，如表 5 所列，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)進行耦合。

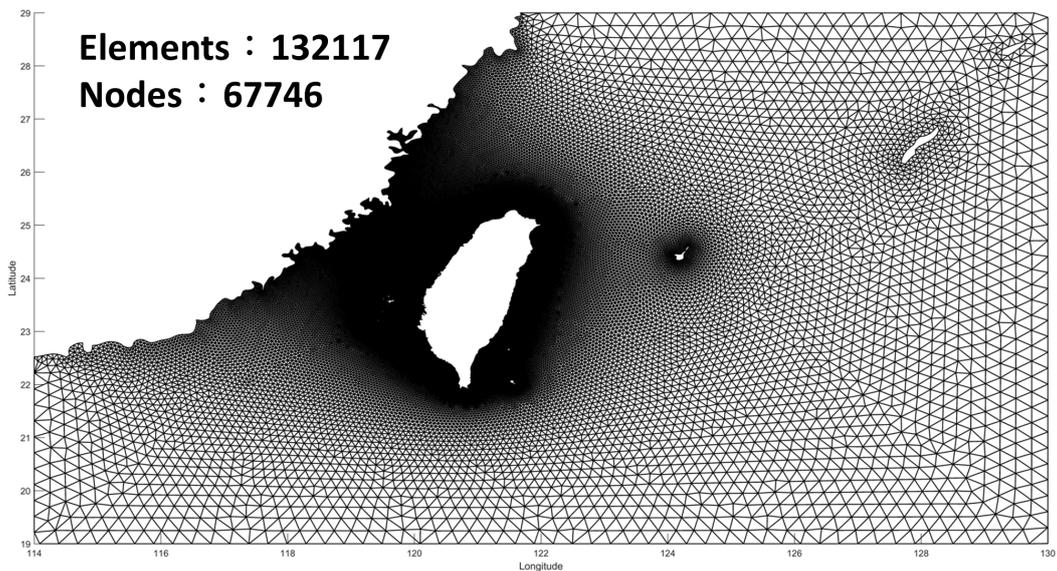


圖 2 SCHISM-WWM 數值模式網格圖

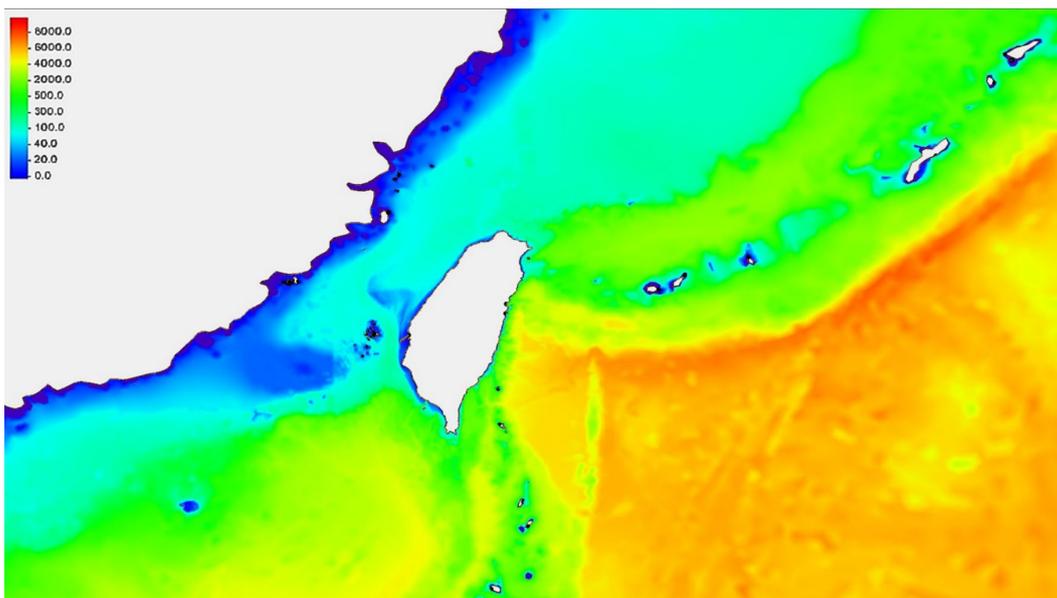


圖 3 SCHISM-WWM 數值地形圖

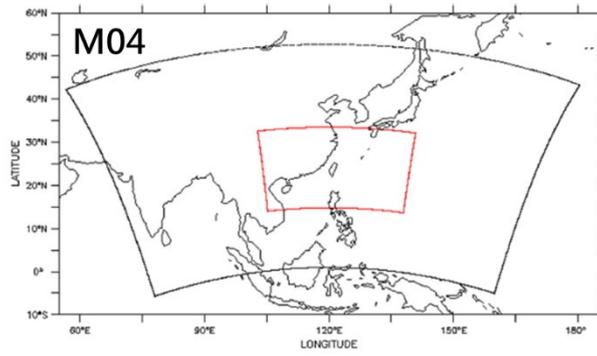


圖 4 中央氣象署 WRF 成員 M04 範圍圖

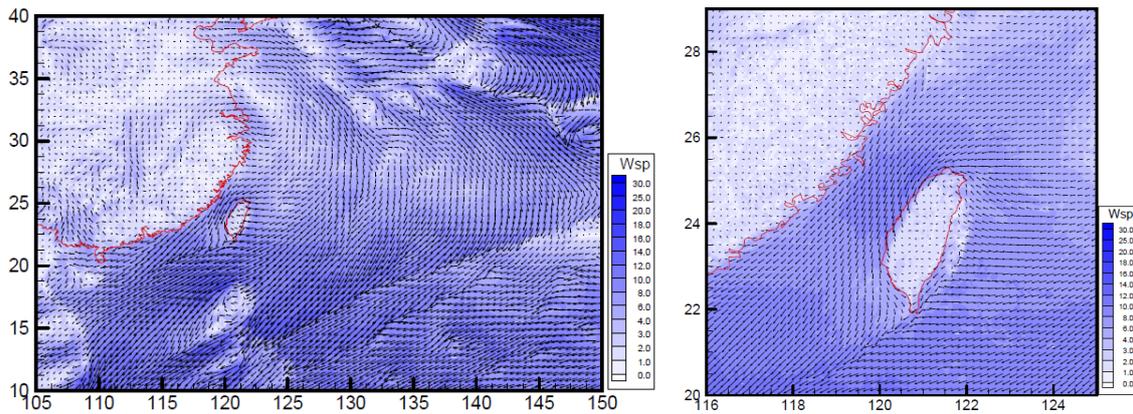


圖 5 TaiCOMS 作業化風、氣壓場 WE01(左)、WE02(右)範圍圖

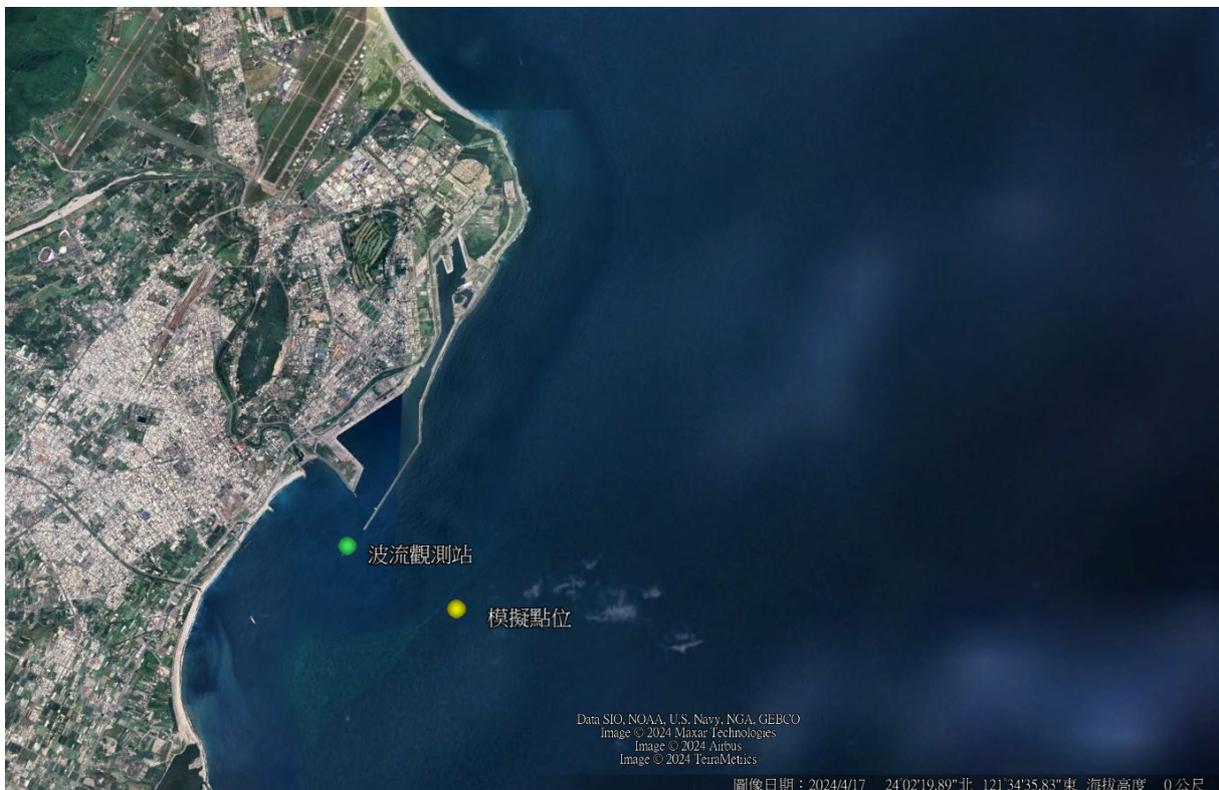


圖 6 花蓮海域風浪模擬比對位置

表 1 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 2 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 Cn14	3×10^7
淺水縮放係數 Cn11	5.5
淺水縮放係數 Cn12	0.8333
淺水縮放係數 Cn13	-1.25

表 3 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) 坐標(340,214)位置位於(30N,120E) 中心點坐標為(331,192)位置位於(26.926N,118.5908E) 底圖 左下點(-5.693677°N,78.02554°E) 右上點(43.28705°N,-179.5461°E)
WD02		1,158×673	3km	Center(120E), true (10N, 40N) 坐標(522,547)位置位於(30N,120E) 中心點坐標為(579.5,337)位置位於(24.1285N,121.7601E) 底圖 左下點(14.02224°N,105.2500°E) 右上點(32.12021°N,140.91388°E)

表 4 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	$1/6^\circ \approx 0.167^\circ$	左下點(10N,105E) 右上點(40N,150E)
臺灣海域風、氣壓 WE02	271×271	$1/30^\circ \approx 0.033^\circ$	左下點(20N,116E) 右上點(29N,125E)

表 5 WWM 模式基本參數表

參數	參數值	備註
頻率分割數 mnc2	36	頻率最小值 = 0.03Hz 頻率最大值 = 1Hz
角度分割數 mnc2	40	
最小水深 DMIN	0.01m	
時間步長 dt(time step)	120 sec	
耦合頻率	5 time steps = 600 sec	

三、風浪模擬及分析

3.1 模擬測試

本研究之 SCHISM-WWM 耦合模式採歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)之風、氣壓場進行模擬，先以該風、氣壓場之 105 年 9 月梅姬颱風期間資料進行模擬測試後，再以 2.2 節所述，擷取氣象署提供之 WRF 之 M04 成員風、氣壓場，經內差後進行模擬。以 ECMWF 之風、氣壓場模擬梅姬颱風期間之示性波高、尖峰週期、平均波向與觀測值、TaiCOMS 模擬值以歷線圖繪出之比較，如圖 7 至圖 9，颱風路徑圖如圖 10，其中 SCHISM-WWM 模擬值以藍色表示，觀測值以黑色表示，TaiCOMS 之模擬值以紅色表示，可看出示性波高、尖峰週期、平均波向皆大致符合觀測值之變化趨勢，由圖 7 可看出 SCHISM-WWM 之示性波高於 9/26 15:00 前上升速度較慢，為低估之情形，但整體與觀測值相比為高估，TaiCOMS 之模擬值與觀測值相比為低估，由圖 8 可看出 SCHISM-WWM 之尖峰週期模擬結果亦呈現整體高估情形，以平均波向而言，由圖 9 可看出 SCHISM-WWM 及 TaiCOMS 模擬結果相近，僅 9/29 0:00 至 12:00 間有較明顯之差異。以梅姬颱風為案例模擬測試可知，本研究使用之 SCHISM-WWM 耦合模式可成功模擬風浪且大致能表現颱風期間之趨勢變化，於梅姬颱風事件中共模擬 15 日，模擬執行時間約為 2 日內完成。

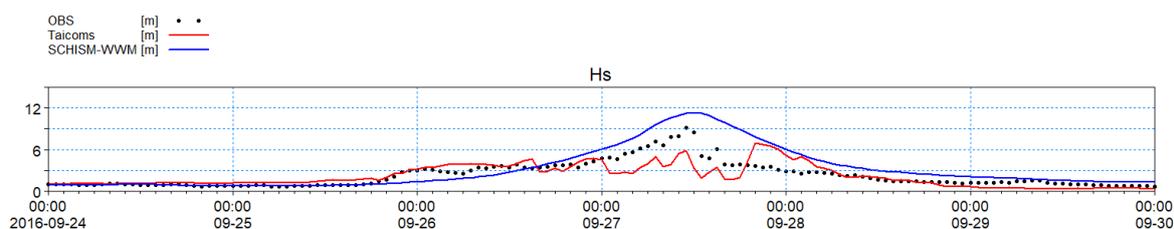


圖 7 梅姬颱風期間花蓮港示性波高歷線圖

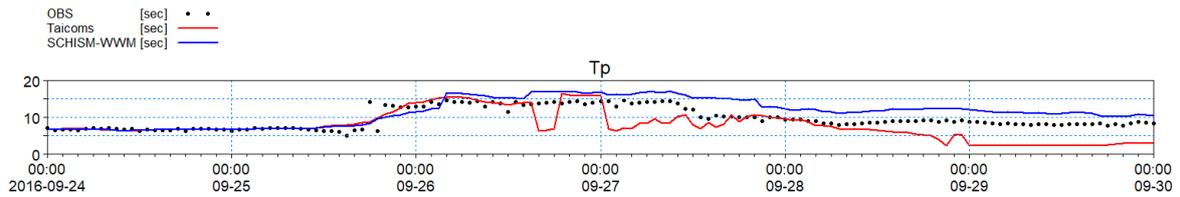


圖 8 梅姬颱風期間花蓮港尖峰週期歷線圖

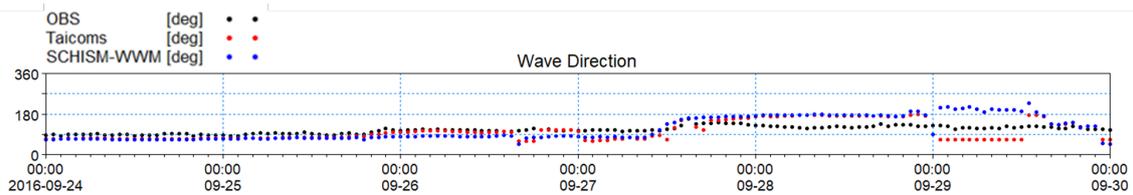


圖 9 梅姬颱風期間花蓮港平均波向歷線圖

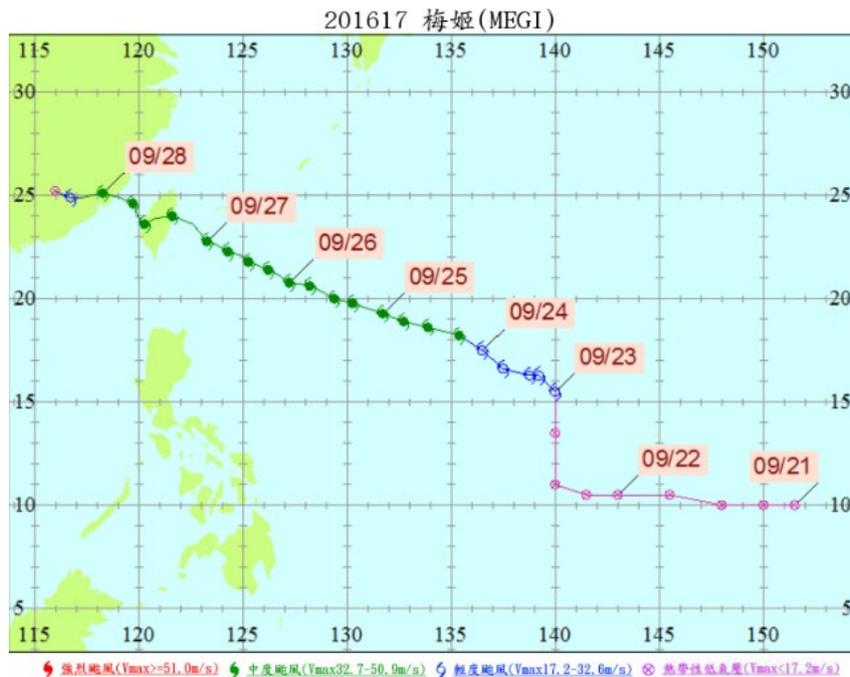


圖 10 梅姬颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

3.2 模擬結果

接著以經內插後之 WRF 風、氣壓場，針對 110 年 9 月之璨樹、10 月之圓規颱風期間進行模擬，璨樹颱風之模擬示性波高、尖峰週期，平均週期、波浪能譜、平均波向與觀測值之比較結果，如圖 11 至圖 14，颱風路徑圖如圖 15，圓規颱風之模擬與觀測值之比較結果，如圖 16 至圖 19，颱風路徑圖如圖 20，模擬值與觀測值之誤差分析，如表 6、表 7，誤差分析以平均絕對誤差、均方根誤差做為評估指標，如(20)、(21)式。

$$\text{平均絕對誤差(MAE)} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n} \quad (20)$$

$$\text{均方根誤差}(RMSD) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - x_t)^2}{n}} \quad (21)$$

以璨樹颱風而言，由圖 11 可看出，SCHISM-WWM 之示性波高與觀測值相比，同 TaiCOMS 模擬值，均有偏高情形，但模擬值整體而言較 TaiCOMS 之模擬值為低，就平均絕對誤差與均方根誤差比較，以 SCHISM-WWM 之誤差較小，但兩模式皆無如觀測值於颱風期間達 3 次相對波浪最高值之情形，推測可能為璨樹颱風路徑為沿臺灣東部外海北上，該時段(9/11 至 9/13)於近岸海域風場變化較劇烈所致，以尖峰週期與平均週期而言(圖 12、圖 13)，SCHISM-WWM 與 TaiCOMS 之模擬結果差異不大，以颱風影響較大期間(9/10 至 9/14)來看，尖峰週期與平均週期模擬值皆高於觀測值，反之則低估，其平均絕對誤差、均方根誤差，皆以 TaiCOMS 表現較佳，以平均波向而言，SCHISM-WWM 及 TaiCOMS 之模擬結果差異不大(圖 14)，且皆大致符合觀測值之變化趨勢，璨樹颱風事件模擬 10 日(取後 9 日模擬結果繪製歷線圖比較)之模擬執行時間約為 2.5 日內完成。

以圓規颱風而言，由圖 16 可看出，SCHISM-WWM 及 TaiCOMS 之示性波高模擬結果，變化趨勢大致相同，於颱風影響較大期間(10/10 17:00 至 10/15)，與觀測值相比皆有高估情形，且 SCHISM-WWM 之示性波高模擬值大致大於 TaiCOMS 模擬值，平均絕對誤差與均方根誤差以 TaiCOMS 表現較佳，以尖峰週期、平均週期而言(圖 17、圖 18)，亦呈現 SCHISM-WWM 之週期模擬值略大於 TaiCOMS 模擬值之情形，整體變化趨勢皆大致符合觀測值，平均絕對誤差與均方根誤差皆以 TaiCOMS 模擬值表現較佳，以平均波向而言，SCHISM-WWM 及 TaiCOMS 之模擬結果差異不大，且皆大致符合觀測值之變化趨勢。

綜觀璨樹及圓規此 2 場颱風事件模擬結果，SCHISM-WWM 之示性波高模擬結果皆呈現高估情形，若與 TaiCOMS 模擬值相比，於璨樹颱風颱風影響較大期間(10/10 17:00 至 10/15)波高皆低於 TaiCOMS 之模擬值，於圓規颱風期間則皆高於 TaiCOMS 模擬值，以尖峰週期、平均週期而言，於 2 場颱風之模擬結果，SCHISM-WWM 之週期模擬值皆大於 TaiCOMS 週期模擬值，誤差分析中，尖峰週期、平均週期皆以 TaiCOMS 模擬值表現較佳(誤差低於 SCHISM-WWM 模擬值)，以平均波向而言，SCHISM-WWM 及 TaiCOMS 之模擬結果差異不大(圖 19)，且皆大致符合觀測值之變化趨勢，於誤差分析中，則以 SCHISM-WWM 之誤差較低，圓規颱風事件模擬 18 日(取後 17 日模擬結果繪製歷線圖比較)之模擬執行時間約為 2.8 日內完成。

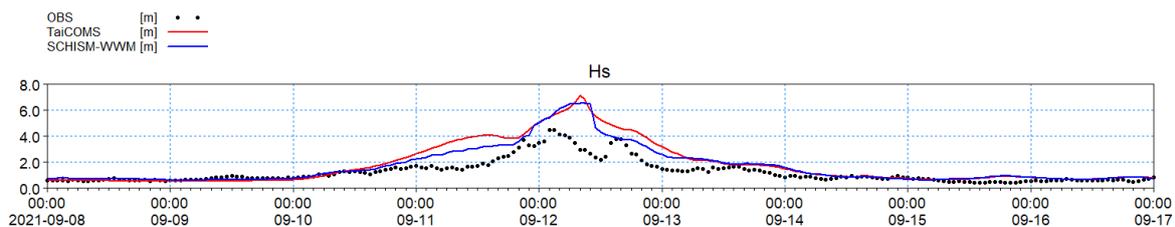


圖 11 璨樹颱風期間花蓮港示性波高歷線圖

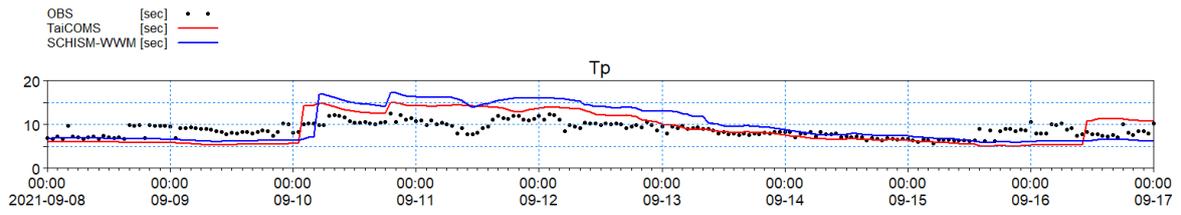


圖 12 璨樹颱風期間花蓮港尖峰週期歷線圖

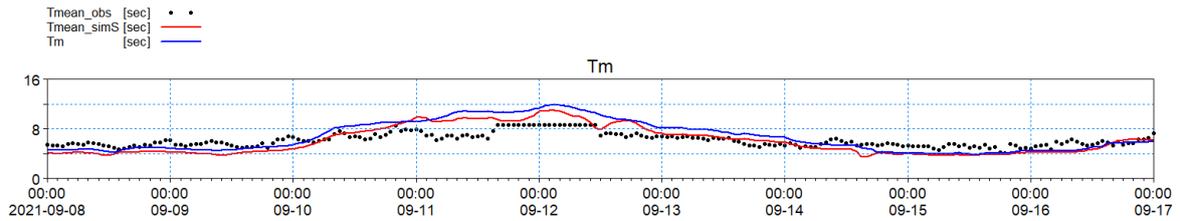


圖 13 璨樹颱風期間花蓮港平均週期歷線圖

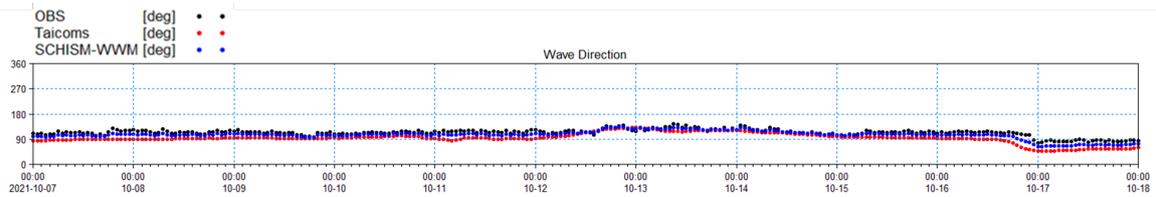


圖 14 璨樹颱風期間花蓮港平均波向歷線圖

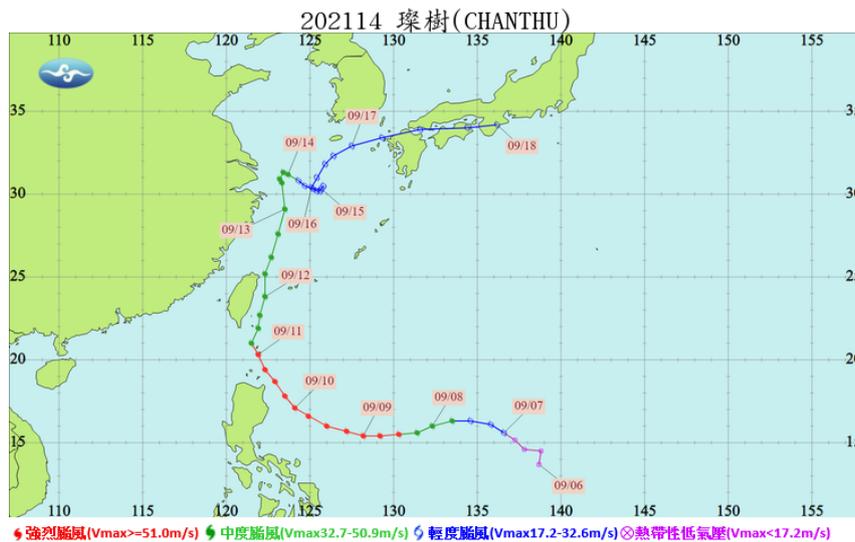


圖 15 璨樹颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

表 6 璨樹颱風期間模擬誤差分析表

Hs(示性波高)	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(m)	0.617	0.486
均方根誤差(m)	1.012	0.807
Tp(尖峰週期)	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(sec)	2.211	2.629
均方根誤差(sec)	2.707	3.240
Tmean(平均週期)	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(sec)	1.187	1.344
均方根誤差(sec)	1.382	1.640
Dir 平均波向	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(°)	1.556	6.107
均方根誤差(°)	17.188	7.683

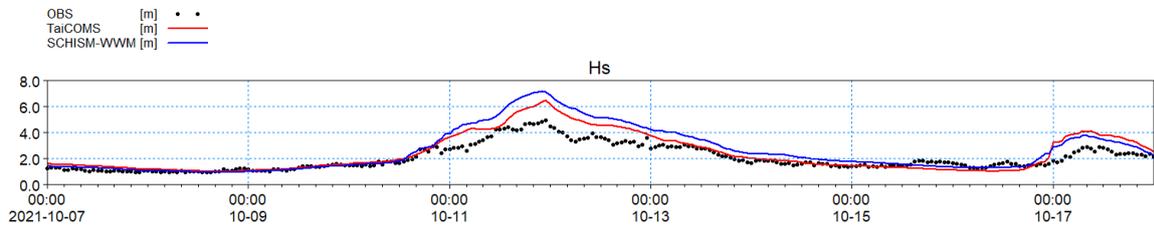


圖 16 圓規颱風期間花蓮港示性波高歷線圖

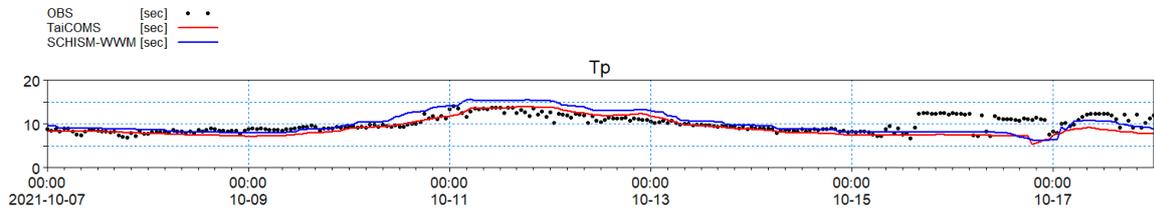


圖 17 圓規颱風期間花蓮港尖峰週期歷線圖

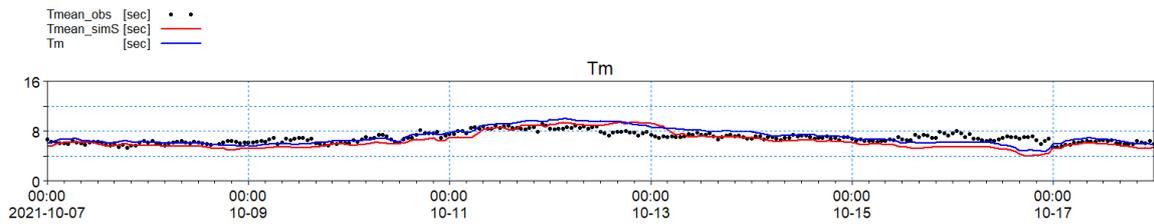


圖 18 圓規颱風期間花蓮港平均週期歷線圖

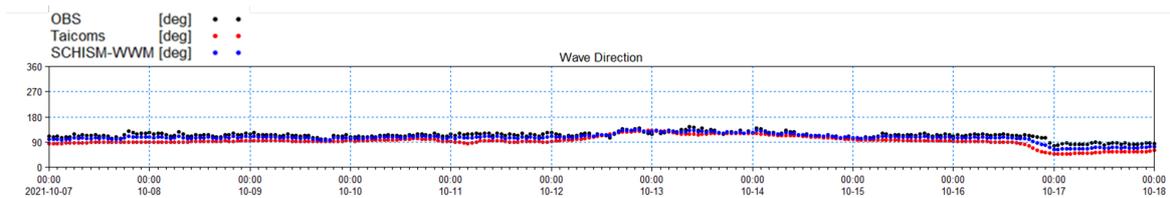


圖 19 圓規颱風期間花蓮港平均波向歷線圖



圖 20 圓規颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

表 7 圓規颱風期間模擬誤差分析表

Hs(示性波高)	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(m)	0.473	0.616
均方根誤差(m)	0.671	0.903
Tp(尖峰週期)	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(sec)	1.289	1.423
均方根誤差(sec)	1.893	1.898
Tmean(平均週期)	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(sec)	0.832	0.663
均方根誤差(sec)	1.083	0.894
Dir 平均波向	TaiCOMS	SCHISM-WWM
平均絕對誤差(°)	19.759	8.135
均方根誤差(°)	22.000	9.414

四、結論

本研究使用 SCHISM-WWM 耦合模式建立涵蓋臺灣之西太平洋海域範圍之數值模式網格，以 ECMWF 之 106 年 9 月之梅姬颱風期間風、氣壓場進行模擬測試，並參考運研所 TaiCOMS 系統架構，以氣象署提供之 WRF 風、氣壓場，針對 110 年 9 月之璨樹、10 月之圓規颱風進行風浪模擬，將模擬結果與觀測值及既有之 TaiCOMS 系統模擬值進行比較，SCHISM-WWM 之示性波高模擬結果，於璨樹颱風期間呈現高估，於圓規颱風期間呈現低估，尖峰週期、平均週期之模擬結果與觀測值相比大致呈現低估，平均波向則大致符合觀測值之變化趨勢，且與 TaiCOMS 之模擬值相差不大，誤差分析中，尖峰週期、平均週期皆以 TaiCOMS 之誤差較低，平均波向則以 SCHISM-WWM 之誤差較低，示性波高之誤差於此 2 場颱風中則無固定趨勢。

SCHISM-WWM 耦合模式之模擬結果於波高、週期皆有高估情形，但模擬值皆大致符合估測值之變化趨勢，由此可知 SCHISM 模式於 TaiCOMS 港區波浪模擬具可行性，建議可於後續相關研究納入更多颱風事件，或針對 SCHISM-WWM 模式中之網格調整，參數討論、計算效率改進進行研究，據以提出導入 SCHISM-WWM 模式於 TaiCOMS 系統之建議。

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. 王毅民、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. Aron Roland. Development of WWM II: Spectral wave modeling on unstructured meshes(2009).
8. Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E. V., & Grashorn, S(2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
9. SCHISM development teams, SCHISM v5.3.1 Manual(2018).
10. SWAN User Manual SWAN Cycle III version 41.31AB(2021).
11. SWAN Scientific and Technical Documentation, SWAN Cycle III version 41.41(2022).
12. Fu, G.; Li, J.; Yuan, K.; Song, Y.; Fu, M.; Wang, H.; Wan, X(2023). Wind-Wave-Current Coupled Modeling of the Effect of Artificial Island on the Coastal Environment. *Appl. Sci.* 13, 7171.
13. 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.