

基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

李亭葦¹、陳鈞彥²、林雅雯³

¹交通部運輸研究所運輸技術研究中心助理研究員

²交通部運輸研究所運輸技術研究中心副研究員

³交通部運輸研究所運輸技術研究中心科長

摘要

本研究旨在探討基隆海域風浪模組進行模擬計算之成效評估，利用交通部運輸研究所(以下簡稱本所)作業化之臺灣近岸海象預測系統 TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)之 SWAN 波浪模式，調整風浪模組物理參數，模擬颱風和季風期間之影響，並將觀測資料與數值模擬資料進行驗證，提出精進建議，以期提升模擬結果之準確性，俾利臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)及航港局掌握港灣海象變化情勢，提供港灣營運管理與防災應用。

一、前言

本所運輸技術研究中心為推動海岸災害防救科技發展，提升商港海象模擬預測水準，研發作業化之臺灣近岸海象預測系統 TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，利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、海岸公路波浪溯上模組，並持續進行維運及模式校驗，強化商港及近岸之海象模擬。

本研究針對 TaiCOMS 基隆海域風浪模組進行模擬計算，探討基隆海域風浪模組中各項物理參數於季風、颱風期間等之影響差異，藉由蒐集觀測資料與數值模擬資料進行驗證，提出精進建議，以提升 TaiCOMS 模擬結果之準確性，俾利港務公司及航港局掌握港灣海象變化情勢。

二、文獻回顧

波浪成長與消散原因包含深水波與淺水波交互作用、白帽消散、底床摩擦、碎波...等因素，本研究以 SWAN 模式為工具，針對白帽消散機制進行初步探討，蒐集風浪模式之白帽消散機制相關文獻，以掌握目前 SWAN 風浪模式之數值模擬研究現況。

李(2006) 應用 SWAN 波浪模式推算波浪變化，探討波浪模式的原函數之各項能量變化，發現白帽消散項採用平均尖銳度來決定波浪是否消散，是導致高頻與低頻能量不合理消散的主因，故透過 Jacobian 轉換與分散關係式加入水深的效應，以避免波浪傳遞至近岸時受淺化影響產生不合理的消散，改善高頻高估與低頻低估的現象，並獲得較好的波浪週期推算結果。Adem

Akpınar 等人(2016)調整白帽消散係數(C_{ds})，結果顯示 Janssen 理論更適合黑海地區，且越低的 C_{ds} 參數越能提供更準確的模擬結果。Mohammad Nabi Allahdadi 等人(2019)以美國東岸沿海地區冬季風暴期間為例，探討 SWAN 模型中，Komen 理論和 Westhuysen 理論的白帽消散項，得出在使用預設參數的情況下，以上 2 種方法模擬之波高與觀測值相比，均有低估情形，而 Komen 理論模擬之平均週期則與觀測值較相符。

陳(2023)以 SWAN 模式針對花蓮海域 2021 年颱風及東北季風期間，透過調整白帽消散參數，比較模擬結果差異，模擬結果顯示，調整白帽消散對波數之依賴係數，對示性波高較無影響，而調整白帽消散速率(C_{ds})，則對示性波高較有影響，對平均週期差異不大。劉(2023)以本所發展之「臺灣近岸海象預測系統 2.0」(TaiCOMS 2.0)為基礎，利用第三代波譜風浪模式 WAM、SWAN 及港域波浪模式 FEMHW，建置基隆海域風浪模擬系統，並模擬 2021 年颱風期間波浪及港內靜穩情形。陳(2024)利用 TaiCOMS 系統，遠域、近域及花蓮海域之近海風浪，並以 SWAN 模式中第三代風浪模式不同理論之風浪成長項及白帽消散項參數(Janssen、Komen、Westhuysen)，針對 2022 及 2023 年對花蓮海域較有影響之 4 場颱風期間，比較其模擬結果差異，並進一步就 Komen 理論之各項參數中，選取白帽消散速率、PM 頻譜平均波浪尖銳度、波浪尖銳度之冪次等 3 種參數，比較模擬結果差異及探討參數敏感度。

三、模式介紹與參數設定

3.1 TaiCOMS 系統介紹

本研究之 TaiCOMS 架構採中央氣象署之 WRF (Weather Research and Forecast)成員之 M04 風、氣壓場預報資料，水平網格解析度為 15km 及 3km(如表 1 及圖 1)，分別以 WD01 及 WD02 表示，經擷取海平面高度 10m 之風場及氣壓場資料，提供 TaiCOMS 使用。透過 TaiCOMS 系統處理，產出西太平洋風壓場(WE01)及臺灣海域風壓場(WE02)，其風壓場資料詳如表 2。

TaiCOMS 波浪模擬系統包含大尺度風浪模組(WAM 模式)、中尺度及小尺度風浪模組(SWAN 模式)，本研究以大尺度風浪模組處理後之 WE01 風壓場資料進行模擬，產出中尺度風浪模組所需之邊界條件，接著加入處理後之 WE02 風壓場資料進行模擬，產出小尺度風浪模組所需之邊界條件，最後透過各海域商港模組，產出基隆海域預測模擬資料(波高、週期、波向等)。

表 1 WRF M04 巢狀網格資訊表

DMS FLAP	座標系統	格點數	解析度	格點位置 (資料走向為先橫軸西到東，再縱軸南到北)
WD01	Lambert conformal mapping	661×385	15km	起點 (1,1) 位置為 (-5.693677°N,78.02554°E)，終點 (661,385)位置為(43.28705°N,-179.5461°E)
WD02		1,158×63	3km	起點 (1,1) 位置為 (14.02224°N,105.2500°E)，終點 (1185,673)位置為(32.12021°N,140.91388°E)

表 2 TaiCOMS 作業化風壓場資料表

模式	格點數	模式格網度(°)	格點位置
西太平洋風壓場(WE01)	271×181	1/6°≈0.167°	左下點(10N，105E) 右上點(40N，150E)
臺灣海域風壓場(WE02)	271×271	1/30°≈0.033°	左下點(20N，116E) 右上點(29N，125E)

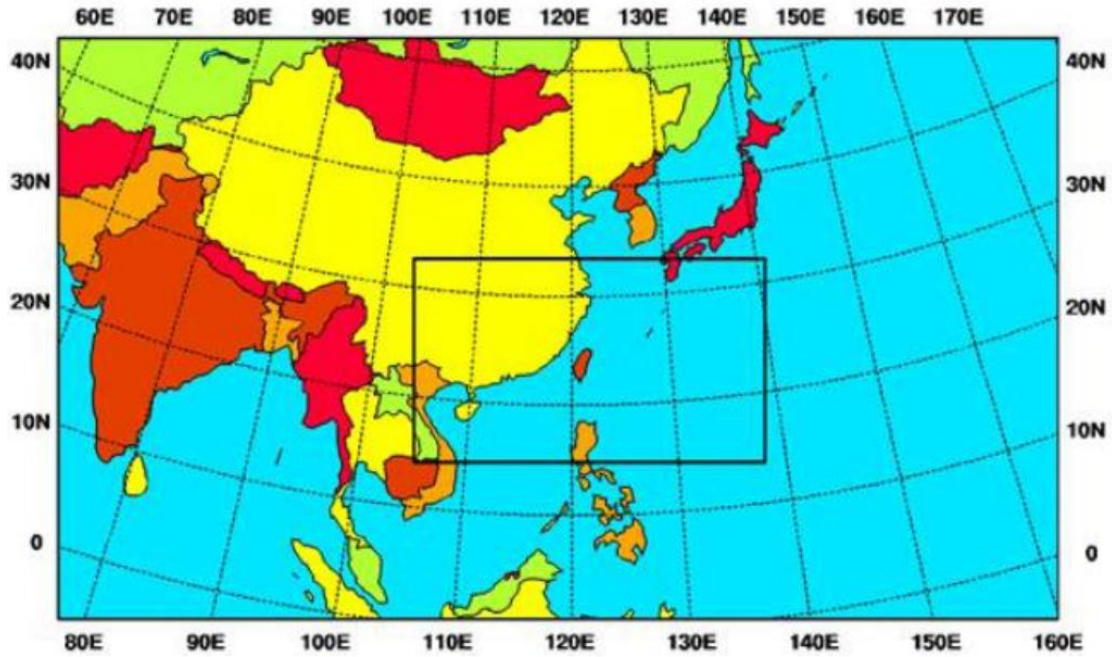


圖 1 WRF M04 模式網格設定範圍圖

3.2 SWAN 模式介紹

目前風浪模式主要為 WAM(Wave Model)、WAVEWATCH III、SWAN(Simulating Waves Nearshore)等，本研究以 SWAN 模式，模擬基隆港遠域、近域及近海之風浪。

SWAN(Simulating Waves Nearshore，Booij 等人，1996)模式是由荷蘭 Delft 大學主導發展之近海風浪波浪模式，能較精確計算風浪成長、碎波及底床摩擦影響之能量消散等過程，其主要透過控制方程式波浪作用力平衡方程式(wave action balance equation)，及源函數項等求解波浪作用力密度波譜(action density spectrum)，控制方程式如公式(1)~(5)。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial C_x N}{\partial x} + \frac{\partial C_y N}{\partial y} + \frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

$$C_x = \frac{dx}{dt} = C_g \cos \theta + U_x \quad (2)$$

$$C_y = \frac{dy}{dt} = C_g \sin \theta + U_y \quad (3)$$

$$C_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\sin \theta \frac{\partial d}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial d}{\partial y} \right) + \left(\sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$C_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\frac{\partial d}{\partial t} + U_x \frac{\partial d}{\partial x} + U_y \frac{\partial d}{\partial y} \right) - C_g k \left(-\cos \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial U_s}{\partial y} \right) \quad (5)$$

其中 N 為波浪作用力密度波譜， σ 及 θ 分別為波浪之頻率與方向角、 x 及 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， S_{tot} 為波浪成長與消散之源函數、 C_g 為波群速度、 U_x 、 U_y 為流速在 x 、 y 方向之分量、 U_s 為流速在波傳播方向之分量、 d 為水深、 k 為波數。此模式以有限差分法來求解(1)式，於邊界條件假設波浪能量到陸地邊界無能量反射，外海開放邊界條件假設無波浪能量進入計算區域，但允許波浪能量由開放邊界內自由離開計算領域。

在波浪成長與消散之源函數 S_{tot} 中，包含各物理作用項，控制方程式如公式(6)。

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad (6)$$

其中 S_{in} 為風浪成長項、 S_{nl3} 、 S_{nl4} 為淺水與深海的波與波非線性交互作用項， $S_{ds,w}$ 為白帽消散項、 $S_{ds,b}$ 為底床摩擦項、 $S_{ds,br}$ 為碎波消散項。本研究探討白帽消散項，透過調整控制方程式中物理參數，獲得波高、週期及波向之影響，白帽消散項方程式如公式(7)~(8)。

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{\tilde{k}} E(\sigma, \theta) \quad (7)$$

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds} \left[(1 - \delta) + \delta \frac{k}{\tilde{k}} \right] \left(\frac{\tilde{s}}{\tilde{s}_{PM}} \right) p \quad (8)$$

其中 σ 為頻率、 $\tilde{\sigma}$ 為平均頻率、 k 為波數、 $\tilde{k}$ 為平均波數、 Γ 為波浪尖銳度係數、 $\tilde{s}$ 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、 δ 為白帽消散對波數之依賴係數。Komen 等人(1984)、Janssen (1992)及 Günther 等人(1992)均對白帽消散控制方程式中 C_{ds} 及 δ 進行相關研究及模擬，故本研究針對 C_{ds} 及 δ 進行初步探討，測試 C_{ds} 及 δ 在不同處組合之下，對波浪模擬結果之影響。

3.3 基隆海域風浪模組設定

基隆海域風浪模擬是以臺海風浪模擬系統為基礎，模擬臺灣周邊海域風浪，其中包含遠域風浪模擬、近域風浪模擬及近海風浪模擬(如圖 2)，遠域風浪模擬及近域風浪模擬，分別為大尺度及中尺度之風浪模組，近海風浪模擬則為小尺度風浪模組，本研究以基隆海域為模擬範圍。

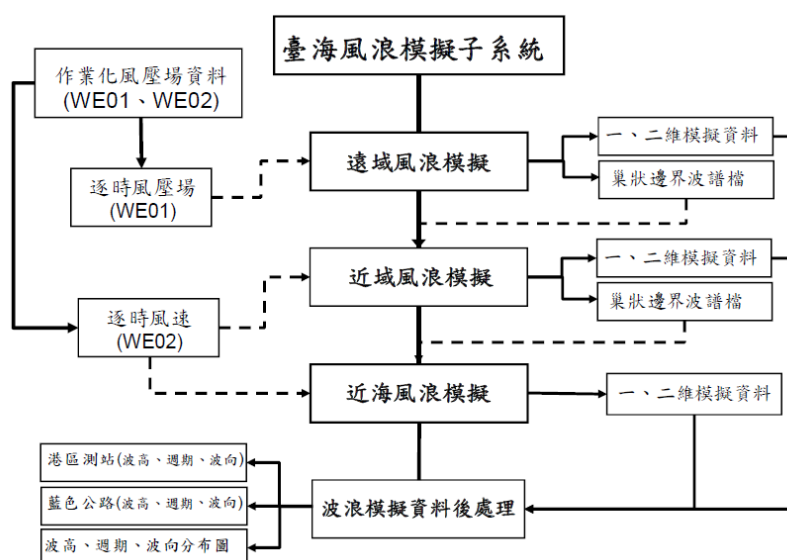


圖 2 臺海風浪模擬系統之架構及模擬流程圖

基隆海域風浪模組模擬範圍為臺灣北端海域北緯 25°至 25.8°，東經 121.56°至 122.4°之海域，以三層巢狀網格式度模擬，遠域風浪模組、近域風浪模組及基隆海域風浪模組之網格式度解析度依序分別為 0.2°、0.04°及 0.008°，網格式度數依序分別為 176×126、151×186 及 106×101(詳表 3)。

表 3 遠域、近域及基隆海域三層巢狀網格式度建置資訊表

網格式度名稱	範圍		網格式度解析度(°)	網格式度點數
	經度(°) 最小值/最大值	緯度(°) 最小值/最大值		
遠域風浪模組	110.00/145.00	10.00/35.00	0.2	176×126
近域風浪模組	117.60/123.60	20.60/28.00	0.04	151×186
基隆海域風浪模組	121.56/122.40	25.00/25.80	0.008	106×101

風浪模擬所需網格式度資訊尚包括波譜離散化網格式度資訊，如頻率(ML)及方向(KL)等；目前臺海風浪模擬系統採用的波譜網格式度為 31×36，其中波向網格式度解析度為 10°；離散化頻寬計算採用對數尺式度，即 $\Delta f/f = 1.1$ ，因此，波浪頻率模擬範圍可以表示如公式(9)。

$$f_{max}/f_{min} = (1.1)^{ML-1} \quad (9)$$

式中最小頻率值 $f_{min} = 0.04$ 。

邊界條件則為遠域大尺式度風浪模組處理後之 WE01 風壓場資料進行模擬，產出近域中尺式度風浪模組所需之邊界條件，接著加入處理後之 WE02 風壓場資料進行模擬，產出近海小尺式度風浪模組所需之邊界條件。

大尺式度遠域風浪模組網格式度水深資料建置來源為 ETOPO1 地形水深資料，中尺式度近域風浪模組網格式度水深資料來源為 ETOPO1、海洋科學及資訊研究中心(以下簡稱海科中心)公布的 Taidp

500m 及 Taidp 200m 網格數值地形水深資料；小尺度基隆海域風浪模組網格水深資料來源為海科中心公布的 Taidp200m 網格數值地形水深資料及內政部海域水深測量資料(詳表 4)。

表 4 海科中心臺灣周圍海域數值水深網格資料表

數值水深 格式名稱	範圍		解析度(m)	格點數
	經度(°) 最小值/最大值	緯度(°) 最小值/最大值		
Taidp500m	117.0/125.0	18.0/27.0	500	1601×1801
Taidp200m	119.0/123.0	21.0/26.0	200	2001×2501

本研究透過調整白帽消散速率參數(C_{ds})及白帽消散對波數之依賴係數(δ)，並以 3 種案例模擬基隆海域風浪，目前 TaiCOMS 之白帽消散參數，是依據 Komen(1984)提出之理論，以 $C_{ds}=2.36\times10^{-5}$ 、 $\delta=0$ 進行模擬；Case1 則參照 SWAN 技術手冊 Rogers 等人(2003)的研究，為改善波浪週期低估約 10%到 20%之情形，將參數 δ 從 0 調整到 1 進行模擬；依據 SWAN 技術手冊建議，若 δ 從 0 調整到 1，則 C_{ds} 應配合調整，故 Case2 將 C_{ds} 增加 10 倍，即為 $C_{ds}=2.36\times10^{-4}$ ， $\delta=1$ 進行模擬，測試 δ 相同情形下，不同 C_{ds} 之影響；針對上述 3 種情境參數設定表，詳表 5，探討各參數對基隆海域波高、週期與波向之影響。

表 5 白帽消散參數設定表

模擬案例	白帽消散速率參數 (C_{ds})	白帽消散對波數之 依賴係數(δ)
TaiCOMS	2.36×10^{-5}	0
Case 1	2.36×10^{-5}	1
Case 2	2.36×10^{-4}	1

四、模擬結果分析

為驗證模擬值與觀測值之差異，查近年基隆海域波浪觀測資料，以 2022 年逐月觀測資料蒐集率較佳，故本研究以 2022 年 9 月梅花颱風(颱風路徑如圖 3)、10 月尼莎颱風(颱風路徑如圖 8)及 12 月東北季風為模擬案場，模擬期示性波高(H_s)、平均週期(T_m)、尖峰週期(T_p)及平均波向(Dir)，並依白帽消散參數設定表，分別呈現 TaiCOMS、Case1 及 Case2 之模擬結果，觀測值與模擬值之誤差分析，如表 6 至表 8。

以梅花颱風模擬結果(如圖 4 至圖 7)，示性波高(H_s)之 TaiCOMS 及 Case1 模擬結果較符合觀測值，其中以 TaiCOMS 平均誤差 0.0725m，及 Case1 平均絕對誤差 0.282m 為最低；平均週期(T_m)以 TaiCOMS 模擬結果較符合觀測值，平均誤差及平均絕對誤差均為最低；尖峰週期(T_p)之 Case2 在 9/12~9/14 間模擬值有偏高情形，以 TaiCOMS 及 Case1 模擬結果較符合觀測值，其中平均絕對誤差以 Case1 之 0.572m 為最低；平均波向(Dir)以 TaiCOMS 模擬結果較佳，平均誤差及平均絕對誤差均為最低；整體而言，Case2 模擬結果均與觀測值較不相符。

以尼莎颱風模擬結果(如圖 9 至圖 12)，示性波高(H_s)之 TaiCOMS 及 Case1 模擬結果較符合觀測值，其中以 TaiCOMS 之平均誤差 0.3586m，及平均絕對誤差 0.4189m 為最低；平均週期(T_m)以 Case1 模擬結果較符合觀測值，平均誤差及平均絕對誤差均為最低；尖峰週期(T_p)之 TaiCOMS、Case1 及 Case2 模擬結果差異不大，其中以 Case2 模擬結果較符合觀測值，平均誤差及平均絕對誤差均為最低；平均波向(Dir)自 10/18 起觀測值資料異常，波向均增加約 100° ，經查為觀測儀器 AWAC 傾斜，導致觀測結果異常；故觀測值與模擬結果無法比較差異。

以東北季風模擬結果(如圖 13 至圖 16)，示性波高(H_s)之 TaiCOMS 平均誤差及平均絕對誤差均為最低，分別為 0.1816m 及 0.3139m；平均週期(T_m)以 Case1 模擬結果較符合觀測值，平均誤差及平均絕對誤差均為最低；尖峰週期(T_p)之 TaiCOMS、Case1 及 Case2 模擬結果差異不大，其中以 Case2 模擬結果較符合觀測值，平均誤差及平均絕對誤差均為最低；平均波向(Dir)之 TaiCOMS、Case1 及 Case2 模擬結果差異不大，其中以 Case1 模擬結果較符合觀測值。

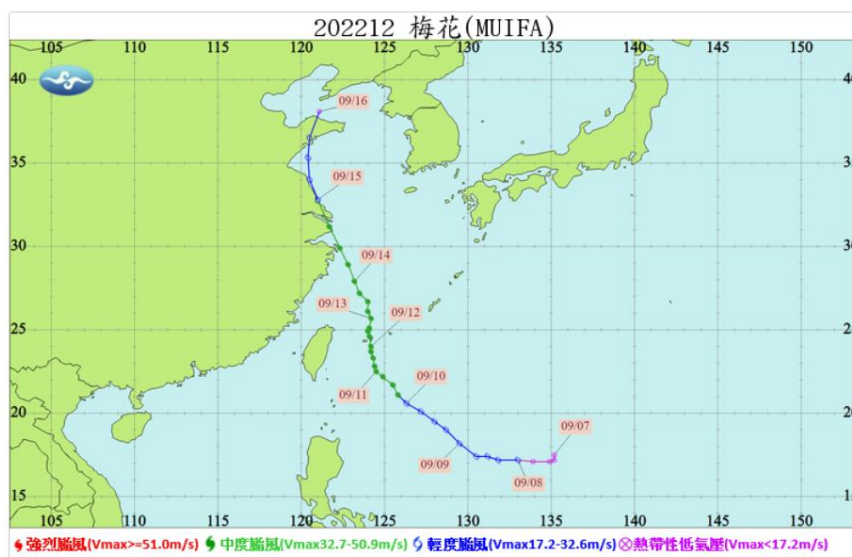


圖 3 梅花颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

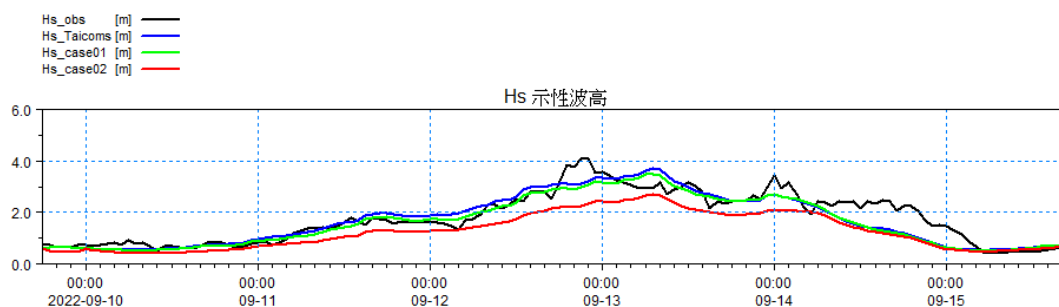


圖 4 梅花颱風期間基隆海域示性波高歷線圖

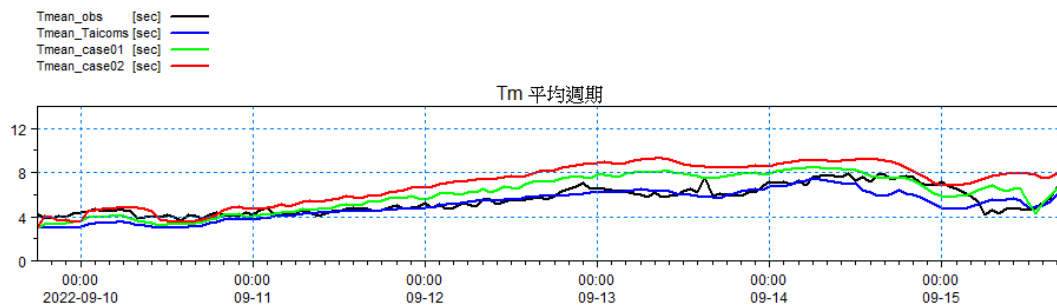


圖 5 梅花颱風期間基隆海域平均週期歷線圖

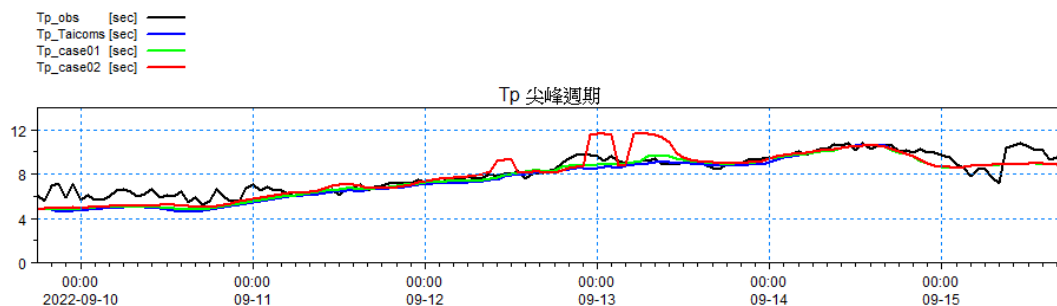


圖 6 梅花颱風期間基隆海域尖峰週期歷線圖

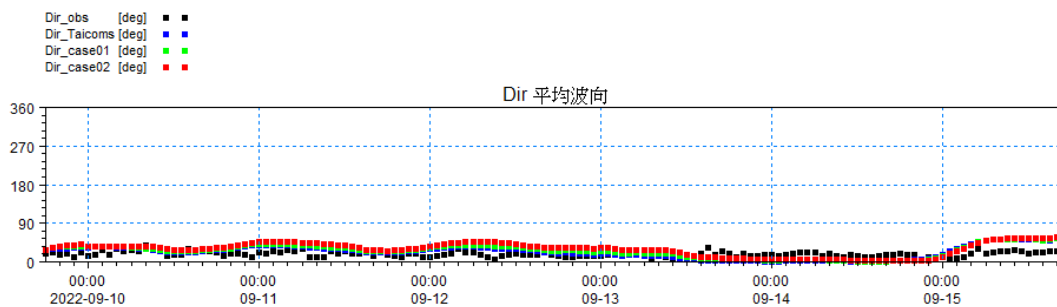


圖 7 梅花颱風期間基隆海域平均波向歷線圖

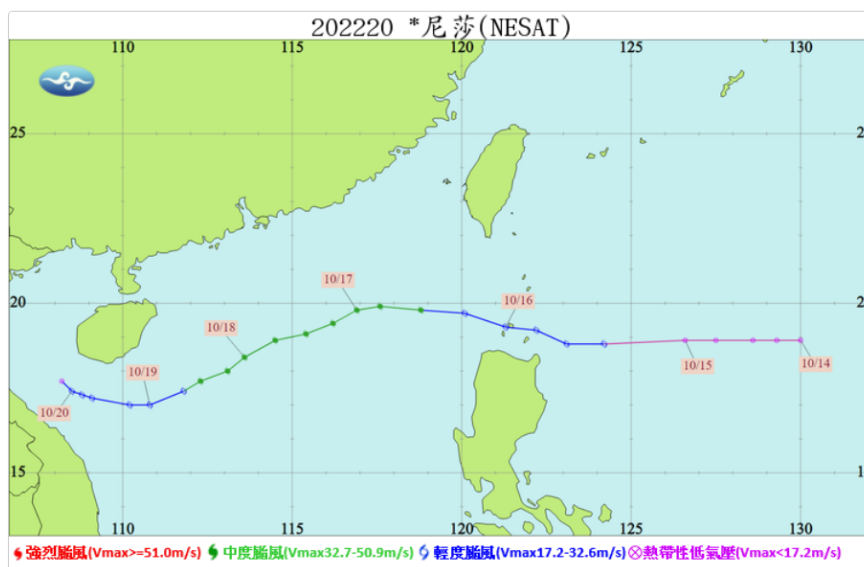


圖 8 尼莎颱風路徑圖(資料來源：交通部中央氣象署網站)

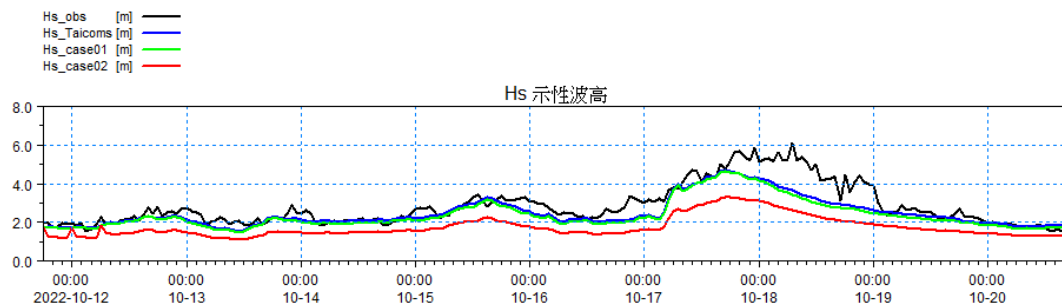


圖 9 尼莎颱風期間基隆海域示性波高歷線圖

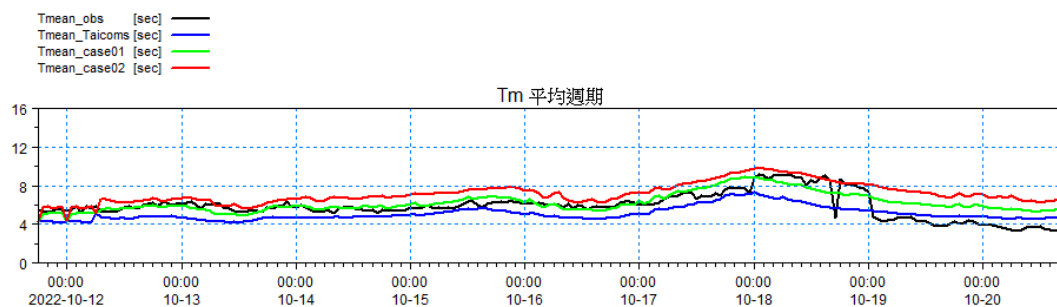


圖 10 尼莎颱風期間基隆海域平均週期歷線圖

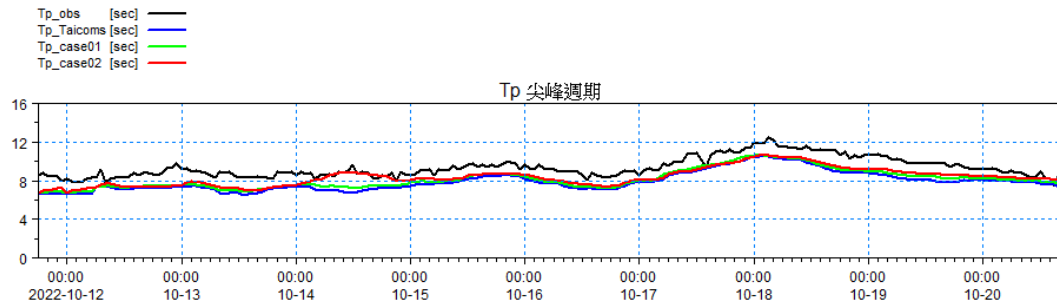


圖 11 尼莎颱風期間基隆海域尖峰週期歷線圖

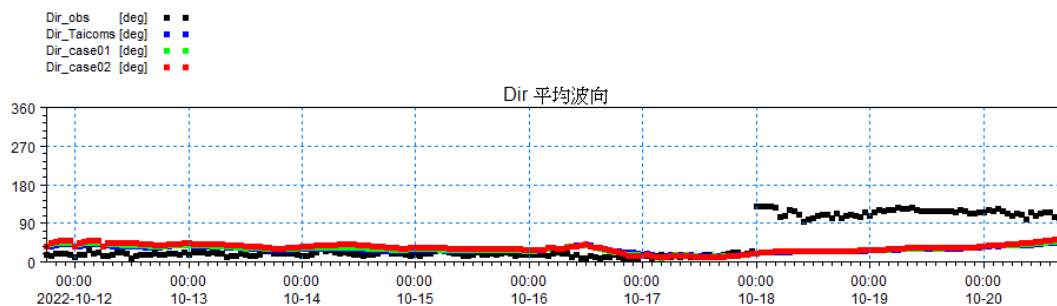


圖 12 尼莎颱風期間基隆海域平均波向歷線圖

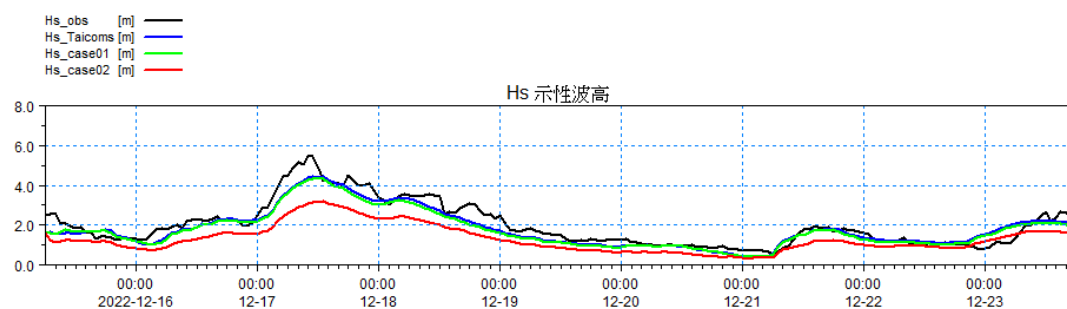


圖 13 東北季風期間基隆海域示性波高歷線圖

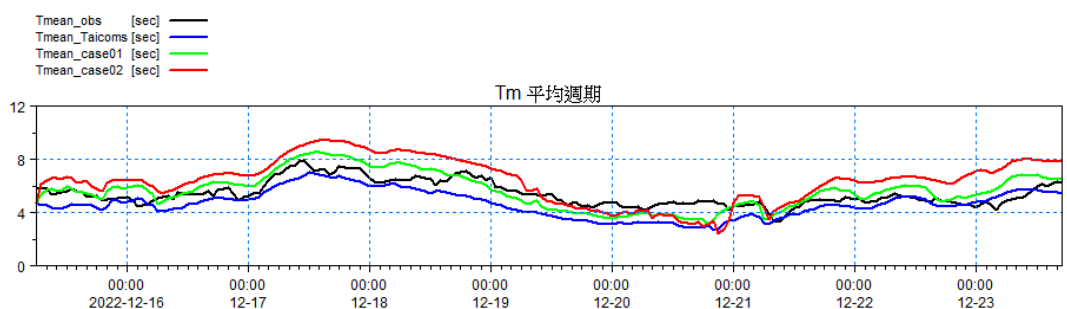


圖 14 東北季風期間基隆海域平均週期歷線圖

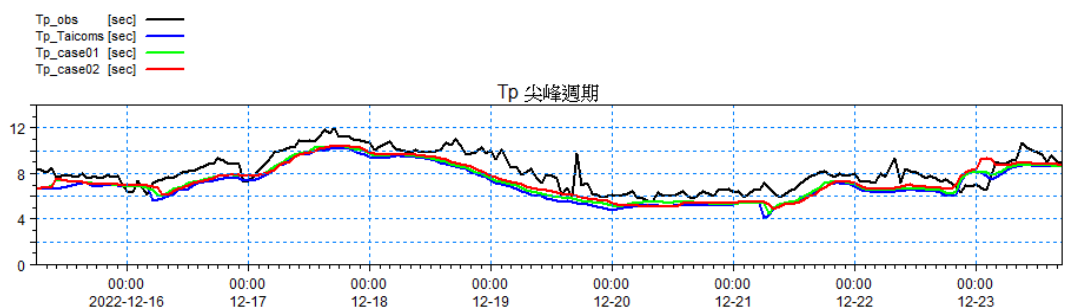


圖 15 東北季風期間基隆海域尖峰週期歷線圖

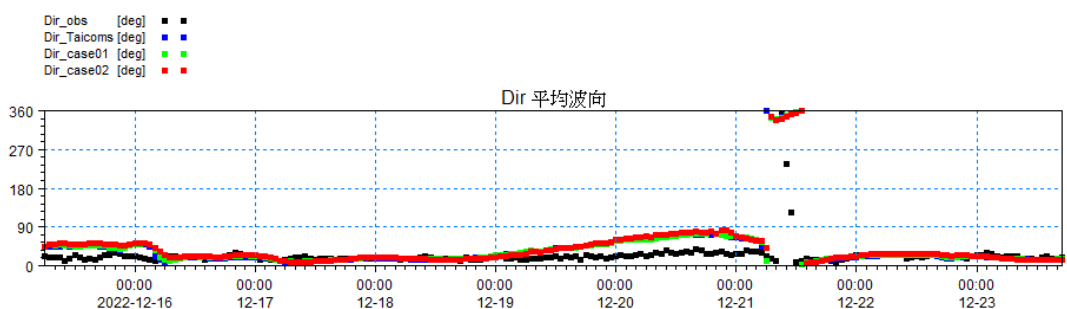


圖 16 東北季風期間基隆海域平均波向歷線圖

表 6 梅花颱風誤差分析表

	項目	單位	觀測值	TaiCOMS 模擬值	Case 1 模擬值	Case 2 模擬值
示性 波高 (H_s)	最小值 Minimum	m	0.42	0.526	0.4978	0.3977
	最大值 Maximum	m	4.14	3.7018	3.4825	2.681
	平均誤差 Mean Error	m	-	0.0725	0.1579	0.5012
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	m	-	0.3063	0.282	0.5109
平均 週期 (T_m)	最小值 Minimum	s	3.67	2.9585	3.031	3.031
	最大值 Maximum	s	7.91	7.5207	8.4718	9.2922
	平均誤差 Mean Error	s	-	0.3984	-0.5598	-1.4401
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	s	-	0.5954	0.8829	1.533
尖峰 週期 (T_p)	最小值 Minimum	s	5.26	4.5485	4.767	4.8185
	最大值 Maximum	s	10.76	10.6298	10.564	11.6652
	平均誤差 Mean Error	s	-	0.5252	0.4052	0.1224
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	s	-	0.6326	0.572	0.7005
平均 波向(Dir)	最小值 Minimum	°	5.54	0.033	0.103	1.722
	最大值 Maximum	°	37.26	55.888	57.004	58.074
	平均誤差 Mean Error	°	-	-5.1151	-7.7312	-11.3773
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	°	-	12.5249	13.832	16.5129

表 7 尼莎颱風誤差分析表

	項目	單位	觀測值	TaiCOMS 模擬值	Case 1 模擬值	Case 2 模擬值
示性 波高 (H_s)	最小值 Minimum	m	1.5	1.5392	1.4547	1.0697
	最大值 Maximum	m	6.09	4.7103	4.6468	3.3101
	平均誤差 Mean Error	m	-	0.3586	0.4653	1.0894
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	m	-	0.4189	0.4917	1.0894
平均 週期 (T_m)	最小值 Minimum	s	3.27	4.1622	4.3221	4.3221
	最大值 Maximum	s	9.22	7.3409	8.8778	9.7686
	平均誤差 Mean Error	s	-	0.793	-0.3365	-1.287
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	s	-	1.1155	0.7393	1.3272
尖峰 週期 (T_p)	最小值 Minimum	s	7.39	6.5312	6.7166	6.7166
	最大值 Maximum	s	12.41	10.4818	10.5867	10.5902
	平均誤差 Mean Error	s	-	1.4485	1.216	1.0018
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	s	-	1.4506	1.2206	1.0176
平均 波向(Dir)	最小值 Minimum	°	5.78	10.986	9.032	9.744
	最大值 Maximum	°	130.16	45.263	48.126	53.299
	平均誤差 Mean Error	°	-	17.8822	16.7034	14.6377
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	°	-	33.8863	34.4228	35.9474

表 8 東北季風誤差分析表

	項目	單位	觀測值	TaiCOMS 模擬值	Case 1 模擬值	Case 2 模擬值
示性 波高 (H_s)	最小值 Minimum	m	0.55	0.4104	0.4073	0.3223
	最大值 Maximum	m	5.48	4.4361	4.3466	3.1761
	平均誤差 Mean Error	m	-	0.1816	0.2479	0.6878
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	m	-	0.3139	0.3406	0.7123
平均 週期 (T_m)	最小值 Minimum	s	3.31	2.6996	3.1163	2.3895
	最大值 Maximum	s	7.94	7.023	8.5438	9.4021
	平均誤差 Mean Error	s	-	0.7468	-0.2365	-0.978
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	s	-	0.82	0.6794	1.2897
尖峰 週期 (T_p)	最小值 Minimum	s	5.53	4.0115	4.4612	4.8978
	最大值 Maximum	s	11.99	10.2024	10.3486	10.4121
	平均誤差 Mean Error	s	-	1.1132	0.9067	0.8183
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	s	-	1.1975	1.004	0.9735
平均 波向(Dir)	最小值 Minimum	°	8.19	2.814	3.503	4.882
	最大值 Maximum	°	350.56	359.257	358.09	359.811
	平均誤差 Mean Error	°	-	-17.3552	-16.7306	-19.8126
	平均絕對誤差 Mean Absolute Error	°	-	20.8023	19.4226	22.2399

五、結論

本研究利用本所運輸技術研究中心研發之 TaiCOMS 系統，採中央氣象署風壓場預報資訊，模擬基隆海域大尺度、中尺度及小尺度風浪，透過調整 SWAN 模式中第三代風浪模式之白帽消散速率(C_{ds})及依賴係數(δ)，探討基隆海域風浪資料，並與 2022 年梅花颱風、尼莎颱風及東北季風之觀測資料相互驗證。

模擬結果顯示，白帽消散係數(C_{ds})由 2.36×10^{-5} 改為 2.36×10^{-4} ，颱風與東北季風之示性波高模擬結果，Case2 均明顯低於 TaiCOMS 及 Case1，其中 TaiCOMS 及 Case1 較符合觀測值，對平均週期而言，Case2 則有明顯高於 TaiCOMS 及 Case1 之情形；白帽消散對波數之依賴係數(δ)，依 SWAN 技術手冊建議由 0 改為 1，對示性波高及波向無明顯影響，對平均週期而言，Case1 及 Case2 則高於 TaiCOMS 之模擬結果。

整體而言，TaiCOMS 及 Case1 模擬結果優於 Case2 模擬結果，其中，白帽消散係數 $C_{ds}=2.36 \times 10^{-5}$ ，示性波高模擬結果較符合觀測值，而白帽消散對波數之依賴係數 $\delta=0$ ，平均週期模擬結果較符合觀測值，若 $\delta=1$ ，則尖峰週期模擬結果較符合觀測值；故針對基隆海域風浪模擬參數設定，示性波高與平均週期，建議以 $C_{ds}=2.36 \times 10^{-5}$ 及 $\delta=0$ 進行模擬，而尖峰週期建議以 $\delta=1$ 進行模擬。

本研究係針對白帽消散係數做初步敏感度測試，以 2022 年 2 場颱風及東北季風做模擬及驗證，參數設定僅針對 C_{ds} 及 δ 做調整，模擬結果未能充分展現白帽消散係數之敏感度，白帽消散項參數調整後，示性波高模擬結果仍略低於實際觀測資料，故未來可針對調校白帽消散項、底床摩擦項及碎波消散項等參數，綜合比較，相互驗證，使模擬結果更符合實際波況。後續研究可納入更多颱風及季風案例，配合調整波浪成長項與消散項參數，相互驗證，並針對平日與颱風期間，做出不同的參數配置，以精進基隆海域風浪模組模擬之成效。

參考文獻

1. 李汴軍、鄭皓元、范揚洺、高家俊(2006)，區域化颱風波浪現報模式之研究(I)-SWAN 波浪模式推算週期之探討，第 28 屆海工研討會論文集，第 229-234 頁。
2. 陳鈞彥、林雅雯、羅冠顯、蔡立宏(2023)，花蓮海域風浪模組模擬成效評估及精進，港灣季刊第 125 期，第 1-20 頁。
3. 劉正琪、傅怡釧、李兆芳、林雅雯(2023)，基隆海域風浪及港域靜穩模擬系統，港灣季刊第 125 期，第 21-33 頁。
4. 劉正琪、傅怡釧、林雅雯、李兆芳、謝佳紘、江朕榮(2023)，海氣象預測模擬系統之維運與精進(1/4)－精進基隆海域模組，交通部運輸研究所。
5. 陳鈞彥、林雅雯(2024)，花蓮海域風浪模組模擬參數調校探討，交通部運輸研究所。

6. Komen, G.J., S. Hasselmann, and K. Hasselmann (1984). On the existence of a fully developed wind-sea spectrum, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1271-1285.
7. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris (1996). The "SWAN" wave model for shallow water, *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng.*, Orlando, 668-676.
8. Rogers, W.E., P.A. Hwang and D.W. Wang (2003). Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional-scale applications, *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 366-389.
9. Adem Akpınar, and Bilal Bingölbalı (2016). Comparison of the calibrated SWAN models' performances forcing with different winds in the Black Sea, 2nd International Conference on Sustainable Development.
10. Mohammad Nabi Allahdadi, Ruoying He, and Vincent S. Neary (2019). Predicting ocean waves along the US east coast during energetic winter storms: sensitivity to whitecapping parameterizations, *Ocean Science*, Volume 15 issue 3.
11. SWAN User Manual SWAN Cycle III version 41.31AB (2022). Delft University of Technology.
12. SWAN Scientific and Technical Documentation, SWAN Cycle III version 41.31AB (2022). Delft University of Technology.
13. 交通部中央氣象署，<https://www.cwa.gov.tw>。