

臺灣周圍海域水位模擬改善研究

劉正琪¹ 傅怡釗² 李兆芳³ 林雅雯⁴ 謝佳紘⁵

¹ 國立成功大學水工試驗所 研究員

² 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

³ 國立成功大學水工試驗所 研究教授

⁴ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心簡任研究員兼科長

⁵ 國立成功大學水工試驗所研究助理

摘要

本研究旨在利用交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)潮位站之天文潮調和分析預測值，校驗潮位預測 NAO.99b 模式及臺海暴潮模組天文潮模擬值，以探討臺海暴潮模組誤差來源及研提改善對策。在探討誤差來源部分，經比較 NAO.99b 模式與臺海暴潮模組之模擬結果，除了基隆港半日潮(N_2 、 M_2 、 S_2)相位出現明顯差異且臺海暴潮模組模擬結果較佳以外，其餘港口分析結果相似，而 NAO.99b 模式在基隆港模擬結果較差原因，主要為半日潮相位出現較大偏差。探討各港口調和分析預測值與臺海暴潮模組天文潮模擬值間之誤差來源，在臺北港、臺中港及布袋港誤差來源以 M_2 分潮為主，分潮振幅差分別為臺北港約 0.13m、臺中港約 0.1m 及布袋港約 0.06m；相位差分別為臺北港約 5° (約 10.4 min)、臺中港及布袋港約 7° (約 14.5 min)，至於西南海域之安平港及高雄港，主要分潮之相位差均大於其他海域，爰判斷誤差來源關鍵因素主為相位差；臺海暴潮模組改善對策部分，本研究提出底床摩擦係數減縮 5% 及 20% 之模擬方案分析改善成效，結果顯示西北海域(如臺北港)減縮幅度約略大於 20%，中部海域(如臺中港至布袋港)減縮幅度略小於 5%，西南海域(如安平港及高雄港等)應朝向增加底床摩擦係數值方向修正，其他海域(如基隆港、蘇澳港及花蓮港等)則建議維持現況。研究成果除了提供港研中心後續辦理臺海暴潮模組精進之依據，亦可提供臺灣周圍海域水位模擬改善相關研究參考。

一、前言

港研中心致力於臺灣周圍海象模擬研究，針對國內各商港如基隆港(含蘇澳港、臺北港)、臺中港、高雄港(含布袋港、安平港)及花蓮港等港域及其近岸海域，發展出整合性的海象模擬作業化系統，並結合國內商港建置之長期海象觀測網站、港灣環境資訊網，組成臺灣近岸海象預測系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System, TaiCOMS)，如圖 1 所示。

海象模擬作業化系統之模擬項目涵蓋風場、波浪、水位、流場及海嘯等，其中水位及流場係由水動力理論推導取得。2009 年港研中心與國立成功大學合作，針對基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港、布袋港及安平港等 8 個國內商港，利用有限元素水動力數值模式，分別建構港區小尺度近岸水動力模組，模擬預測各商港港區水位及流場變化^[1]，當時各港區近岸

水動力模組海域開放邊界採用的水位預測條件，係利用各模組鄰近潮位站觀測值之天文潮調和常數(振幅及相位)建置，其中各模組採用的主要分潮包括 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等。

2011~2014 年期間，除了持續利用各港水位及海流觀測值，校驗各港區近岸水動力模組模擬結果外，同時導入 NAO.99b 模式(Matsumoto et al., 2000)，直接預測各港區近岸水動力模組海域開放邊界上各節點之天文潮水位值，完成各港區水動力模擬作業化系統，達成改善及精進水位及流場模擬目的。在 2014 年時，進一步結合有限元素水動力數值模式與颱風模型風場模式，發展成有限元素暴潮數值模式，並以臺灣周圍海域為系統模擬範圍，建構中尺度近域暴潮模組(簡稱臺海暴潮模組)，以模擬颱風侵臺期間各港區暴潮偏差^[6]。

2016 年港研中心著手港區水位及流場模擬與臺灣周圍海域水位模擬之垂直整合研究，包括臺海暴潮模組採用 NAO.99b 模式天文潮預測值做為開放海域之邊界條件，結合中央氣象局預報風壓場，藉以模擬預測臺灣周圍海域水位變化(含颱風期間)；利用臺灣周圍海域水位模擬預測結果，輸出各港區近岸水動力模組開放邊界上水位模擬預測值，進行各港區水位及流場模擬預測，達到中、小尺度水動力模組垂直整合目的，建構成臺海水動力模擬作業化系統，整體架構及模擬流程如圖 2 所示。此後，各港區水位及流場模擬預測與臺海暴潮模組水位模擬預測產生關聯(連動)性，故臺海暴潮模組之水位模擬值校驗成效，一直為各港區水動力模擬工作關注重點。

2019 年起迄今，港研中心則採用各港區潮位站天文潮調和分析預測值，校驗臺海暴潮模組各港口天文潮水位模擬值，如表 1 所示。由表 1 結果顯示，在臺灣西部海域如臺北港、臺中港及布袋港等港口，年均方根誤差值均超過 0.2m，明顯高於其他海域。本研究旨在以 NAO.99b 模式為對照，探討臺海暴潮模組天文潮模擬值在西部海域誤差偏大可能因素，提出數值模式改善對策及評估成效。

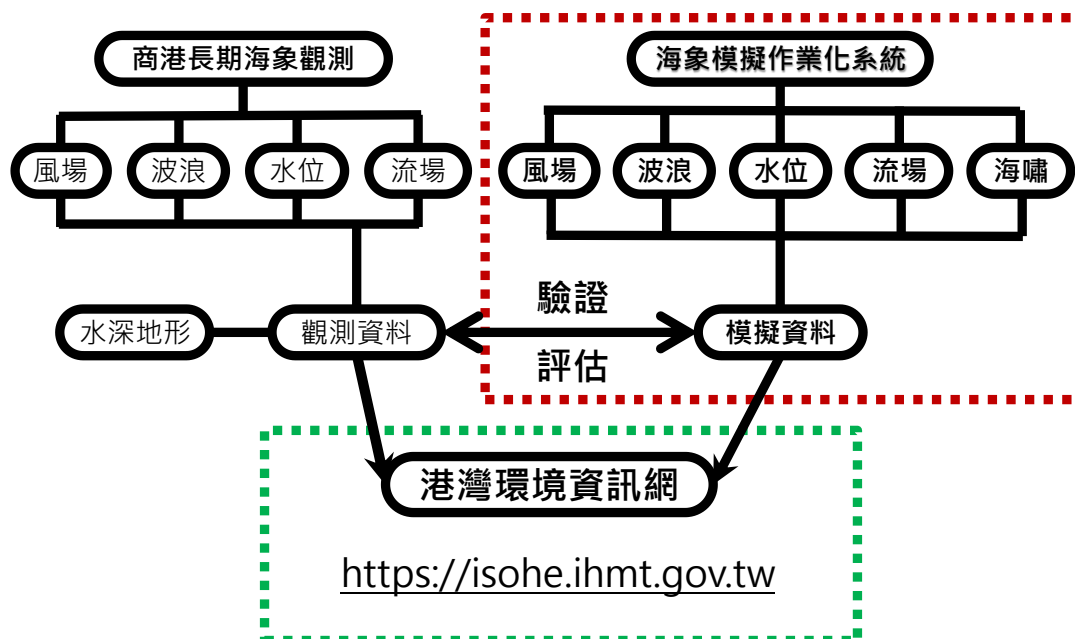


圖 1 臺灣近岸海象預測系統與商港長期海象觀測網站整合展示架構圖

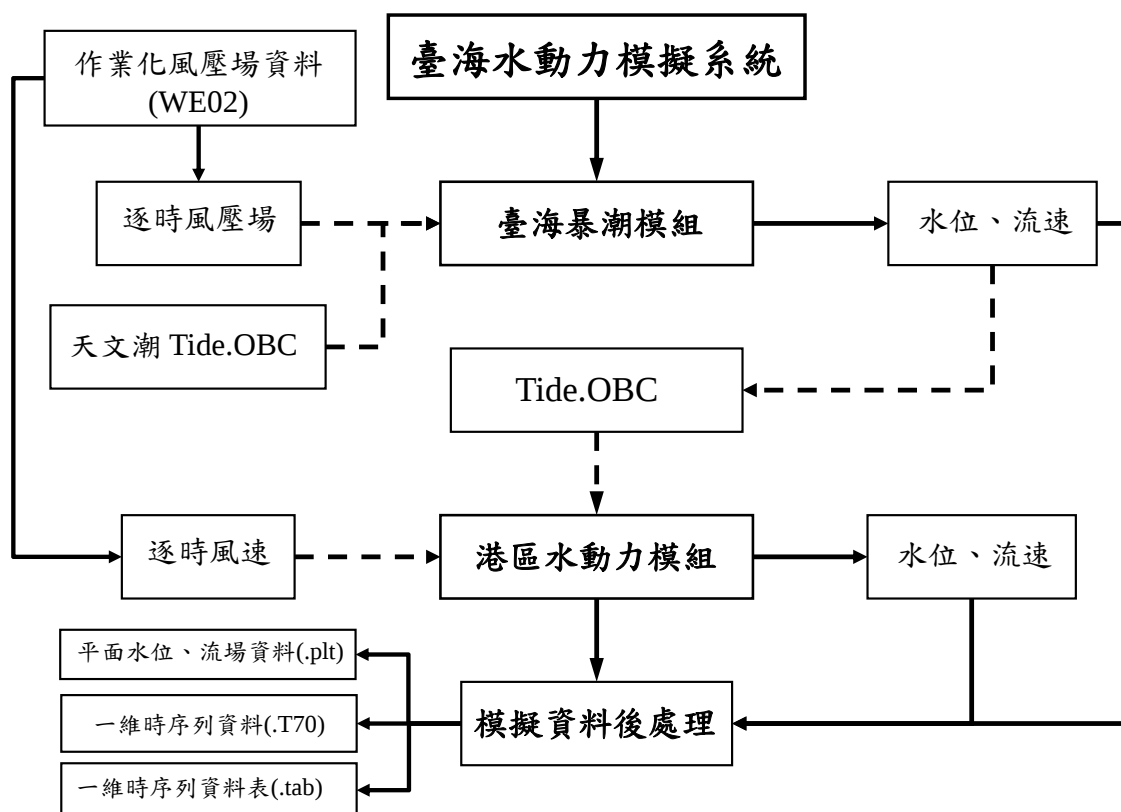


圖 2 臺海水動力模擬系統垂直整合架構及模擬流程圖

表 1 臺海暴潮模組天文潮水位模擬值之年均方根誤差分析成果表

年	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
2019 ^{*1}	0.094	0.099	0.131	—	0.242	—	—	0.173
2021 ^{*2}	0.087	0.114	0.117	0.205	0.223	0.259	0.123	0.111

*1：採用氣象局潮位站 2018 年觀測資料之天文潮調和常數預測 2019 年天文潮值
 *2：採用港研中心潮位站 2020 年觀測資料之天文潮調和常數預測 2021 年天文潮值

二、臺灣周圍海域暴潮模組介紹

2.1 基本控制方程式

臺灣周圍海域暴潮模組(以下簡稱臺海暴潮模組，Tai mode)係依據有限元素二維水動力數值模式建置，模式之基本控制方程式為二維水深積分平均之連續方程式及動量方程式，描述如下：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = Q_0 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}q_x)}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{v}q_x)}{\partial y} - f q_y = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial (p^s + \rho g \eta)}{\partial x} + \frac{(\tau_x^s - \tau_x^b)}{\rho_0} + \left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yx}}{\partial y} \right) + M_x \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}q_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}q_y)}{\partial y} + f q_x = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial(p^s + \rho g \eta)}{\partial y} + \frac{(\tau_y^s - \tau_y^b)}{\rho_0} + \left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \right) + M_y \dots\dots\dots(3)$$

式中 H 為總水深($H=h+\eta$)， h 為海面靜水深， η 為海面水位變化， g 為重力常數， p^s 為水面大氣壓力， ρ_0 為流體平均密度； Q_0 為單位面積水體質量增加率， M_x 及 M_y 分別為單位面積水體動量增加率； u 、 v 分別為水體在 x 及 y 方向之水平流速，則

$$q_x = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u}H \dots\dots\dots(4)$$

$$q_y = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v}H \dots\dots\dots(5)$$

$$\tau_i^b = C_f(q_x^2 + q_y^2) \frac{q_i}{H^2}, \quad i=x,y \dots\dots\dots(6)$$

$$\tau_i^s = \rho_a C_d |W_{10}| W_i, \quad i=x,y \dots\dots\dots(7)$$

$$F_{ij} = E_{ij}(q_{j,i} + q_{i,j}), \quad i,j=x,y \dots\dots\dots(8)$$

式中 q_x 、 q_y 分別為水體在 x 及 y 方向之流量， $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 分別為 x 及 y 方向水深平均之流速。 τ_x^b 、 τ_y^b 分別為 x 及 y 方向之底床剪應力， τ_x^s 、 τ_y^s 分別為 x 及 y 方向之表面風剪應力； ρ_a 為空氣密度， C_f 為底床摩擦係數， C_d 為風力係數， W_{10} 為海面上 10m 處之風速； F_{xx} 、 F_{xy} 、 F_{yy} 代表垂直平均之紊流應力(turbulent stresses)， E_{xx} 、 E_{xy} 、 E_{yy} 代表渦動黏滯係數(Eddy coefficient)。 f 為柯氏力參數(Coriolis parameter)，等於 $2\Omega \sin\phi$ ，其中 Ω = 地球自轉之相位速度， ϕ = 計算領域所在位置之緯度。

本研究數值模式係採用有限元素數值方法，求解上述控制方程式(1)~(3)式及其邊界值問題，即配合邊界條件利用加權殘差方法，將上述方程式轉化成積分方程式，再將計算領域任意分割成許多副領域(稱之為元素)，利用線性三角形元素之形狀函數來描述計算領域中之函數變化，進而將積分方程式離散化，並簡化為聯立的數值方程組，藉以求解計算領域中所取元素節點上之函數值。

2.2 數值計算網格

臺海暴潮模組模擬範圍涵蓋自東經 116.5° 到 125° 及北緯 21° 到 26.5° 間之海域，陸地包括臺灣本島、澎湖本島、中國大陸東南沿海等，如圖 3 所示。圖中數值計算網格採用三角形元素建構，計有 8,237 個節點及 15,800 個三角形元素，三角元素密集區主要分布在臺灣四周鄰近海域(含各主要商港)。

數值計算網格之地形水深資料係整合海科中心公布的臺灣附近海域 200m 格網數值水深資料及海軍測量局刊行的臺灣沿海五萬分之一海軍水道圖數化水深資料，再利用繪圖軟體內插工具，產生計算網格節點上水深值，如圖 4 所示。

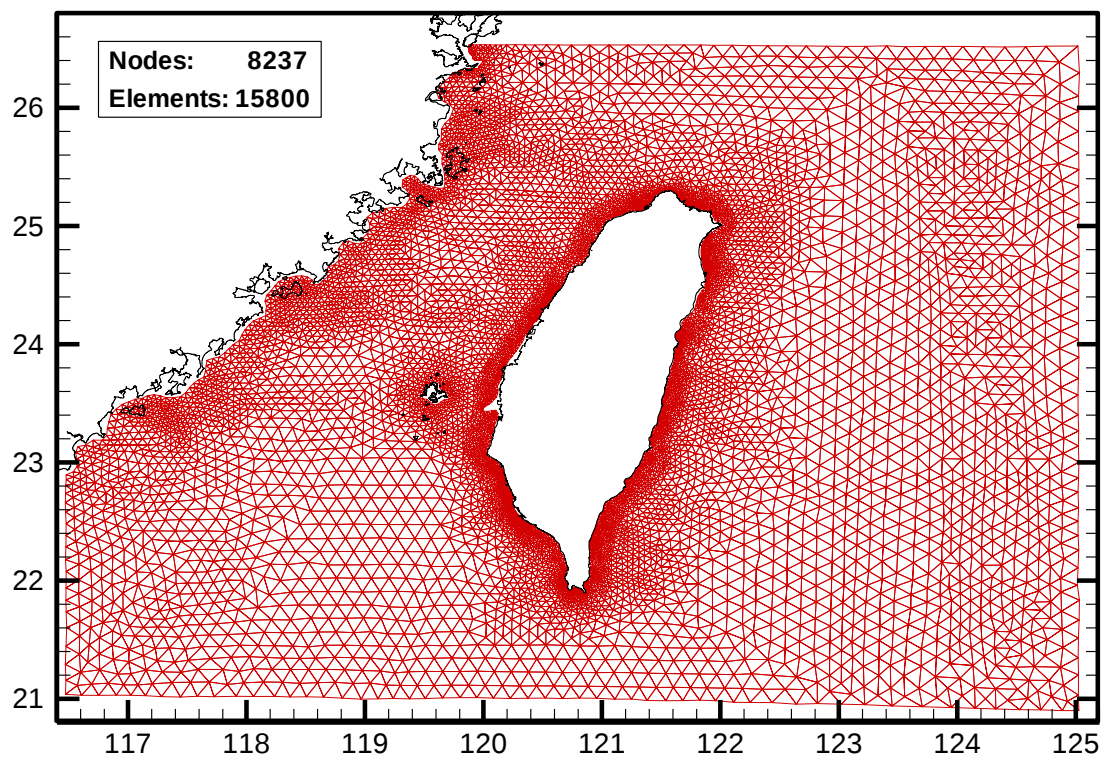


圖 3 臺海暴潮模組模擬範圍及三角元素計算網格圖

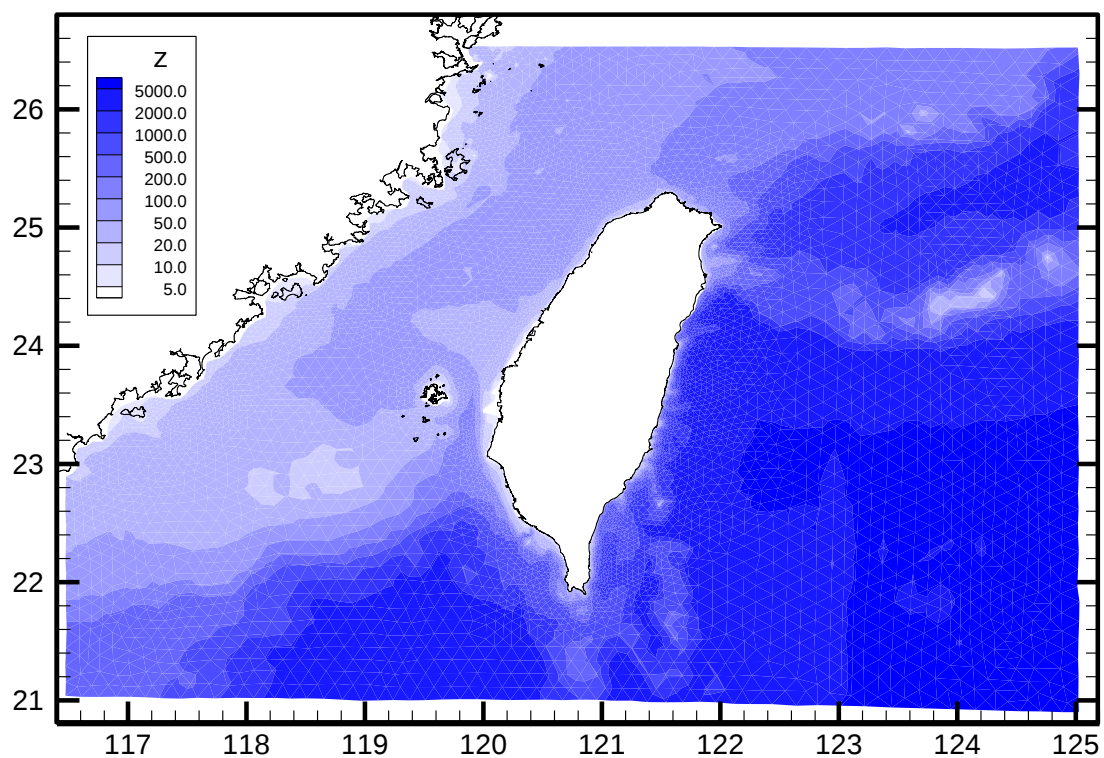


圖 4 臺灣周圍海域暴潮模組計算網格地形水深分布圖

2.3 側向邊界條件

臺海暴潮模組依其側向邊界之型態，可區分為海域開放邊界及陸地邊界，分述如後。

2.3.1 陸地邊界條件

陸地邊界條件分為滑動邊界條件及不滑動邊界條件，本研究陸地邊界採用不滑動邊界條件，即假設陸地邊界節點流速等於零。

2.3.2 海域開放邊界條件

海域開放邊界條件採用水位條件，本研究海域開放邊界水位條件表示如下：

$$\eta = \eta_A(t) + \frac{\Delta p(t)}{\rho g} \dots\dots\dots (9)$$

式中 $\eta_A(t)$ 代表天文潮引起的水位變化，第 2 項代表氣壓變化引起的水位變化。針對天文潮引起的水位變化，本研究採用 Matsumoto et al. (2000) 發展的 NAO.99b 模式，預測開放邊界各節點之天文潮水位時序列資料，做為模式之輸入條件，如圖 5 所示。圖 5 分別為計算網格開放邊界四個角落節點之天文潮時序列資料，顯示數值計算網格左上角鄰近陸地(中國大陸)之節點其天文潮位呈現半日潮型，臺灣東部太平洋海上開放邊界節點之天文潮位屬於混合潮型態，網格西南角落開放邊界節點之天文潮位則呈現全日潮型態，至於氣壓變化引起的水位增量，則採用氣象局天氣數值預報之氣壓場資料計算。

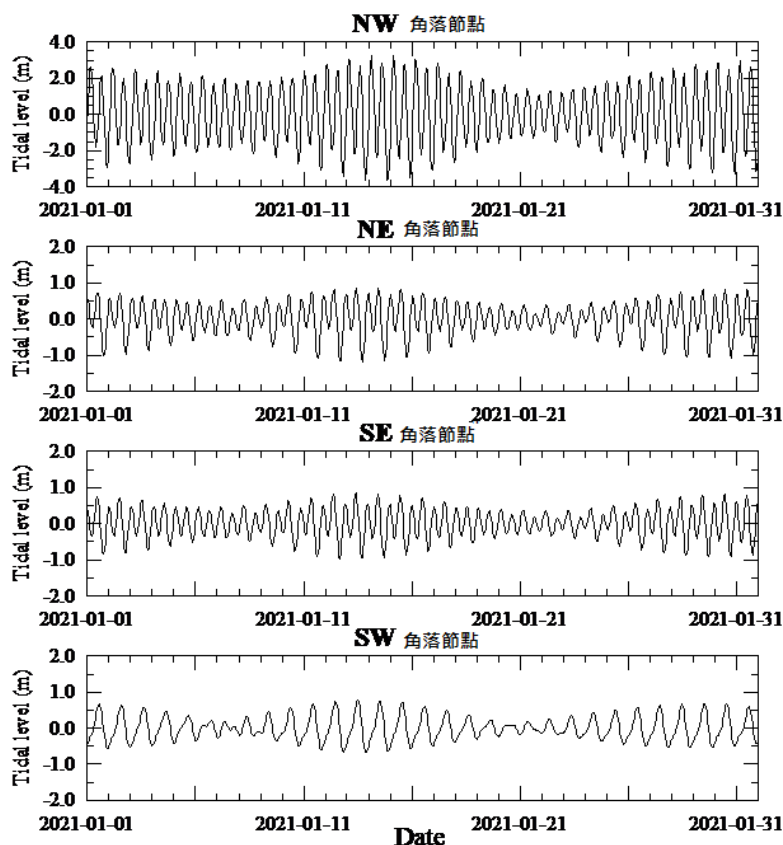


圖 5 臺灣周圍海域暴潮模組開放邊界節點之水位預測值歷線圖

2.4 模式物理參數設定值

模式之模擬時間間距 Δt 為 2.0 sec，底床摩擦係數採用曼寧公式計算，其中曼寧係數 n 值採用 0.02。渦動粘滯性係數 E_{xx} 採用 Connor and Wang (1975)之經驗關係式估算，即(10)式

$$E_{xx} \sim ag \left(\frac{\tilde{\eta}}{\tilde{u}} \right) \tilde{x} \dots\dots\dots (10)$$

其中 $\tilde{x}$ 為三角形元素代表性邊長，無因次係數 a 為 0.025，潮汐代表性潮差 $\tilde{\eta}$ 採用值為 1.25 m，代表性潮流流速 $\tilde{u}$ 採用值為 0.5 m/s(劉等^[2]，2015)。

三、臺灣周圍海域天文潮水位模擬值校驗

針對花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港及高雄港等 8 港口，蒐集港研中心潮位站觀測值、NAO.99b 模式天文潮水位預測值，以及臺海暴潮模組天文潮水位模擬值。

3.1 各港口天文潮調和分析預測值

針對港研中心 2020 年至 2021 年各港逐時水位觀測值，利用加拿大海洋科學研究所(Institute of Ocean Sciences,IOS)發展的潮位調和分析方法，執行各港口潮位調和分析，求得天文潮調和常數(分潮振幅及相位)。各港口潮位調和分析採用的資料長度為 366 天(或 8,784 小時)，使用的分潮數計 67 個(含 S_a 分潮)，如 2020 年潮位調和分析選取的資料時間段為 2020 年 1 月 1 日 0 時至 2020 年 12 月 31 日 23 時，2021 年為 2020 年 12 月 31 日 0 時至 2021 年 12 月 31 日 23 時。同時，本研究依據 2020 年各港天文分潮調和常數，預測各港口 2021 年天文潮逐時水位資料(以下簡稱各港口調和分析預測值)，做為 NAO.99b 模式及臺海暴潮模組天文潮水位模擬結果之校驗對象。

3.2 各港口 NAO.99b 模式預測值

為瞭解本研究臺海暴潮模組模擬結果與 NAO.99b 模式模擬結果之差異，利用 NAO.99b 模式預測 2020 及 2021 年天文潮逐時水位值，針對 2020 年 12 月 31 日 0 時至 2021 年 12 月 31 日 23 時逐時水位預測值，本研究同樣以 IOS 發展的潮位調和分析方法，求取 2021 年天文潮分潮調和常數。

3.3 臺海暴潮模組天文潮模擬值

使用 NAO.99 模式預測臺海暴潮模組開放邊界之天文潮水位做為邊界輸入條件，並忽略(9)式之氣壓差項，據以模擬 2020~2021 年臺灣周圍海域天文潮之變化，並輸出計算網格節點天文潮逐時水位模擬值。

3.3.1 臺海暴潮模組模擬水位檢核點評估

表 1 臺海暴潮模組採用的水位檢核點，係以 2016 年依據各港外海底碇式波流儀(AWAC)測站位置，在模組內選取與測站位置對應之鄰近節點為水位檢核點，如圖 6 所示，原規劃的水位模擬值校驗對象為港研中心各港 AWAC 之水深觀測資料。但自 2019 年起，臺海暴潮模組水位模擬值校驗的對象實為各港內潮位站之潮位觀測值，如 2019 年採用氣象局潮位站，2021 年採用港研中心潮位站等。基於水位模擬值校驗的對象與原(2016 年)規劃不一致，為與實務校驗位置相符，依據各港區潮位站位置，重新規劃鄰近潮位站之邊界節點為新的水位檢核點，同圖 6 所示。

為瞭解新、舊水位檢核點之差異，本研究利用年均方根誤差(RMSE)及相關係數(R)等評估指標，做為判斷 2 位置優劣之依據。先以臺海暴潮模組分別計算各港新、舊水位檢核點天文潮水位模擬值，與各港口調和分析預測值(3.1 節)之年均方根誤差及相關係數，比較結果列如表 2 及表 3。由表 2 及表 3 可知，新水位檢核點僅臺中港表現較舊水位檢核點略差，蘇澳港、基隆港及高雄港等 3 港口幾無影響外，其餘港口則有改善現象。其中布袋港之新、舊檢核點，均方根誤差及相關係數差異較明顯，其原因可能與數值計算網格外傘頂洲與陸地相連，致流場失真影響水位模擬值有關，爰本研究選取各港新水位檢核點做為後續資料處理之依據。

同時，以 NAO.99b 模式做為臺海暴潮模組之對照組，即依據各港口新水位檢核點輸出 2021 年逐時天文潮水位資料，並與各港口調和分析預測值(3.1 節) 計算年均方根誤差及相關係數，比較結果併列於表 2 及表 3。經比較 2 種模式誤差分析結果，除基隆港外，臺海暴潮模組與 NAO.99b 模式之評估指標值相當接近，代表本研究之臺海暴潮模組，其對天文潮水位模擬結果具合理性及信賴度。

表 2 各港口 2021 年天文潮水位模擬年均方根誤差分析成果表

模式	檢核點位置	花蓮港(m)	蘇澳港(m)	基隆港(m)	臺北港(m)	臺中港(m)	布袋港(m)	安平港(m)	高雄港(m)
臺海暴潮	Old C.P	0.087	0.114	0.117	0.205	0.223	0.259	0.123	0.111 (第二港口)
	New C.P.	0.078	0.114	0.117	0.186	0.236	0.172	0.110	0.111 (第一港口)
NAO.99b	New C.P.	0.084	0.111	0.181	0.179	0.241	0.186	0.098	0.113 (第一港口)

表 3 各港口 2021 年天文潮水位模擬相關係數分析成果表

模式	檢核點位置	花蓮港(m)	蘇澳港(m)	基隆港(m)	臺北港(m)	臺中港(m)	布袋港(m)	安平港(m)	高雄港(m)
臺海暴潮	Old C.P	0.977	0.960	0.912	0.980	0.988	0.906	0.932	0.900 (第二港口)
	New C.P.	0.981	0.962	0.911	0.980	0.986	0.953	0.938	0.900 (第一港口)
NAO.99b	New C.P.	0.977	0.963	0.771	0.982	0.985	0.950	0.946	0.907 (第一港口)

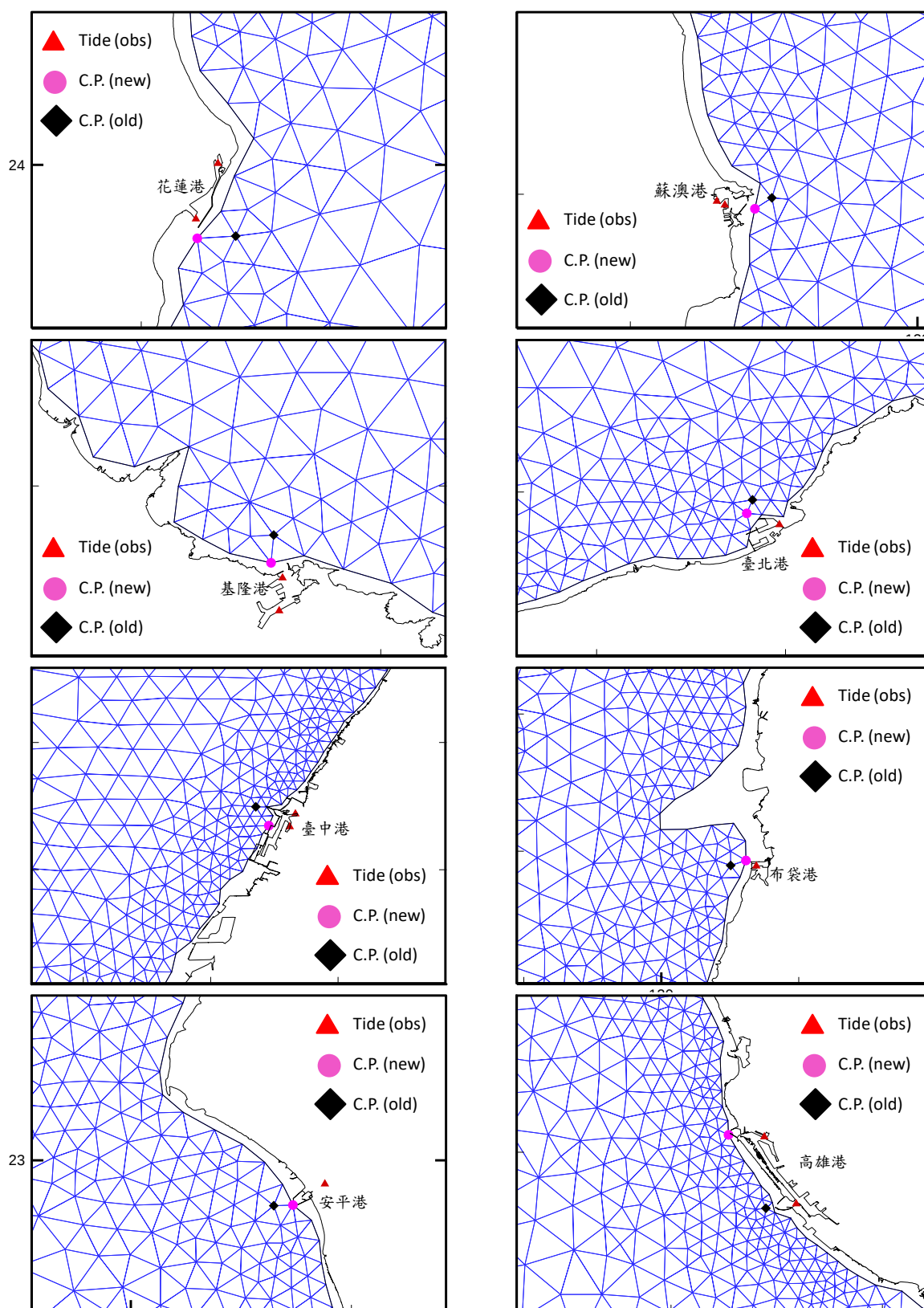


圖 6 臺海暴潮模組各港口新、舊水位檢核點與潮位測站位置圖

3.3.2 誤差來源探討

針對各港口調和分析預測值、NAO.99b 模式天文潮預測值，以及臺海暴潮模組天文潮模擬值等三組水位資料，本研究選取 2020 年 12 月 31 日 0 時至 2021 年 12 月 31 日 23 時逐時資料，以調和分析方法求取各分潮振幅及相位。為瞭解 3 組水位資料之差異來源，本研究選取全日潮 O_1 、 K_1 及半日潮 N_2 、 M_2 、 S_2 等主要分潮振幅及相位進行比較，如圖 7 及圖 8 所示(圖中藍色代表各港口調和分析預測值、紅色代表 NAO.99b 模式天文潮預測值、青色代表臺海暴潮模組天文潮模擬值)。

比較 NAO.99b 模式與臺海暴潮模組間之主要分潮振幅及相位結果，除了基隆港半日潮(N_2 、 M_2 、 S_2)相位出現明顯差異且臺海暴潮模組模擬結果較佳以外，其餘港口分析結果相似，NAO.99b 模式在基隆港較差的原因，主要來自於半日潮相位出現較大偏差所致。另以分潮振幅及相位差分析結果，探討各港口調和分析預測值與臺海暴潮模組天文潮模擬值間之誤差來源，其中，在半日潮顯著的海域，如臺北港、臺中港及布袋港等，誤差來源以 M_2 分潮為主，在分潮振幅差部分，臺北港約為 0.13m、臺中港約為 0.1m 及布袋港約為 0.06m；在相位差部分，臺北港約為 5° (約 10.4 min)、臺中港及布袋港約為 7° (約 14.5 min)。值得注意的是，在西南海域如安平港及高雄港，主要分潮之相位差均大於其他海域，因此，判斷誤差來源關鍵因素為相位差。

3.3.3 改善對策

臺海暴潮模組模擬值與各港調和分析預測值間誤差來源，包括分潮振幅差及相位差；誤差可能因素包括模組開放海域水位邊界條件、數值計算網格(含水深效應)、模式物理參數值(如底床摩擦係數)等。由開放海域水位邊界條件引起的誤差，主要與臺海暴潮模組引用的 NAO.99b 模式水位之精確性有關，其改善對策為改引用精度及準確性更高之全球天文潮預測模式，做為臺海暴潮模組海域開放邊界之水位資料；由計算網格引起的誤差，則包括網格解析度不足或地形水深與現況不符等，前者改善對策可考慮針對現有計算網格進行加密處理，後者可藉由蒐集臺灣周圍海地形水深調查資料、更新模組計算網格地形水深，進而獲得改善並符合現況海域地貌。

對水動力模式而言，底床摩擦係數是影響水位及流場模擬值之影響參數，如天文潮潮波在傳播過程中，摩擦引起的能量損失會導致潮波振幅變小及延遲潮波傳遞速度等現象，常見改善策略為透過率定校驗方式，逐步修正計算網格元素之底床摩擦係數值，故本研究針對臺海暴潮模組內設定之底床摩擦係數改善措施，說明如下：

利用試誤法率定計算網格元素底床摩擦係數，實施策略為針對計算網格元素，若底床摩擦係數值大於 0.001 者，採固定比率逐步減縮以率定元素底床摩擦係數值。本研究以方案 0 為底床摩擦係數維持現況、方案 1 為底床摩擦係數值縮減 5%，方案 2 為底床摩擦係數值縮減 20% 為例，說明底床摩擦係數對天文潮模擬結果之影響及改善成效評估。

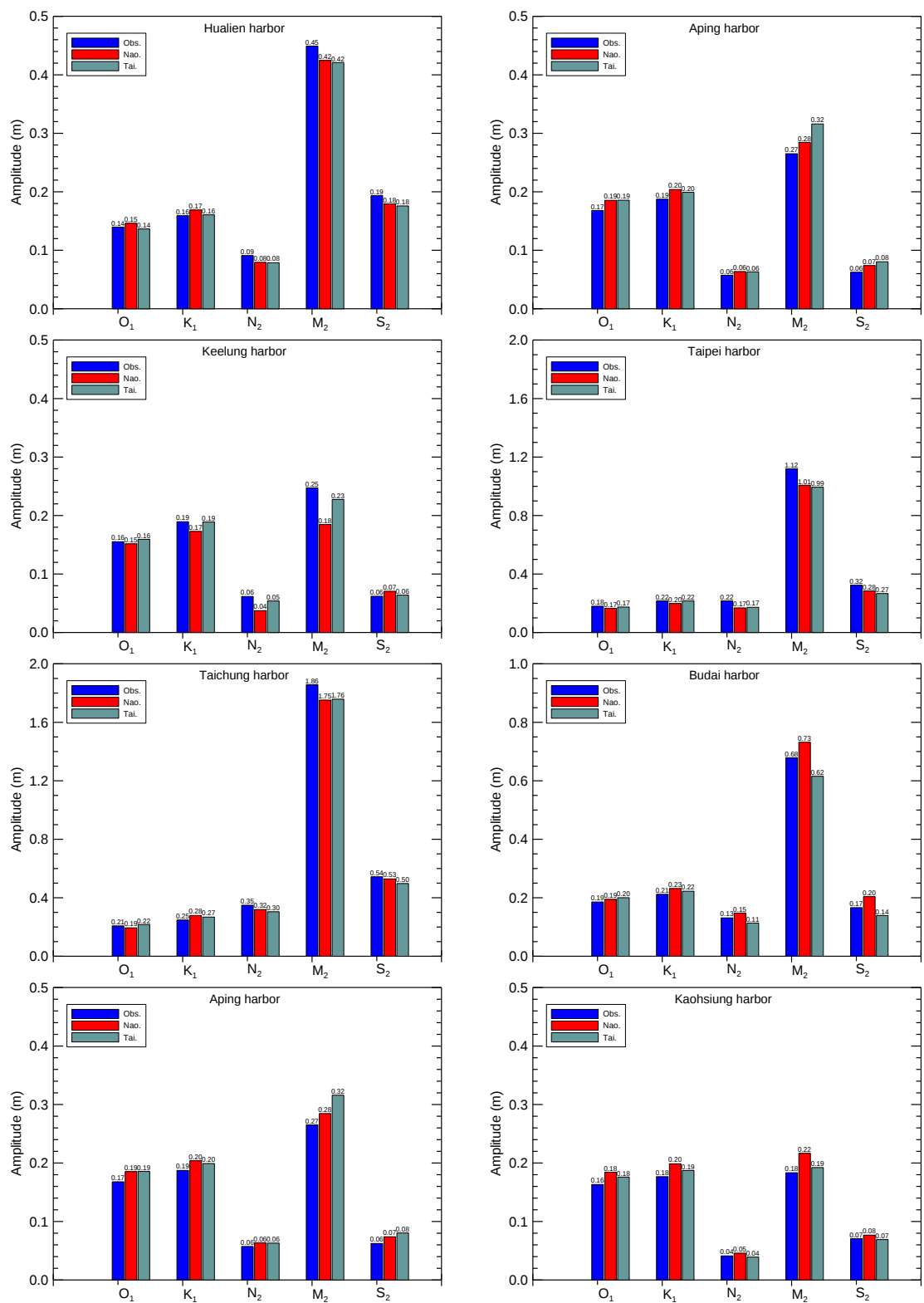


圖 7 8 港口主要天文分潮振幅比較圖

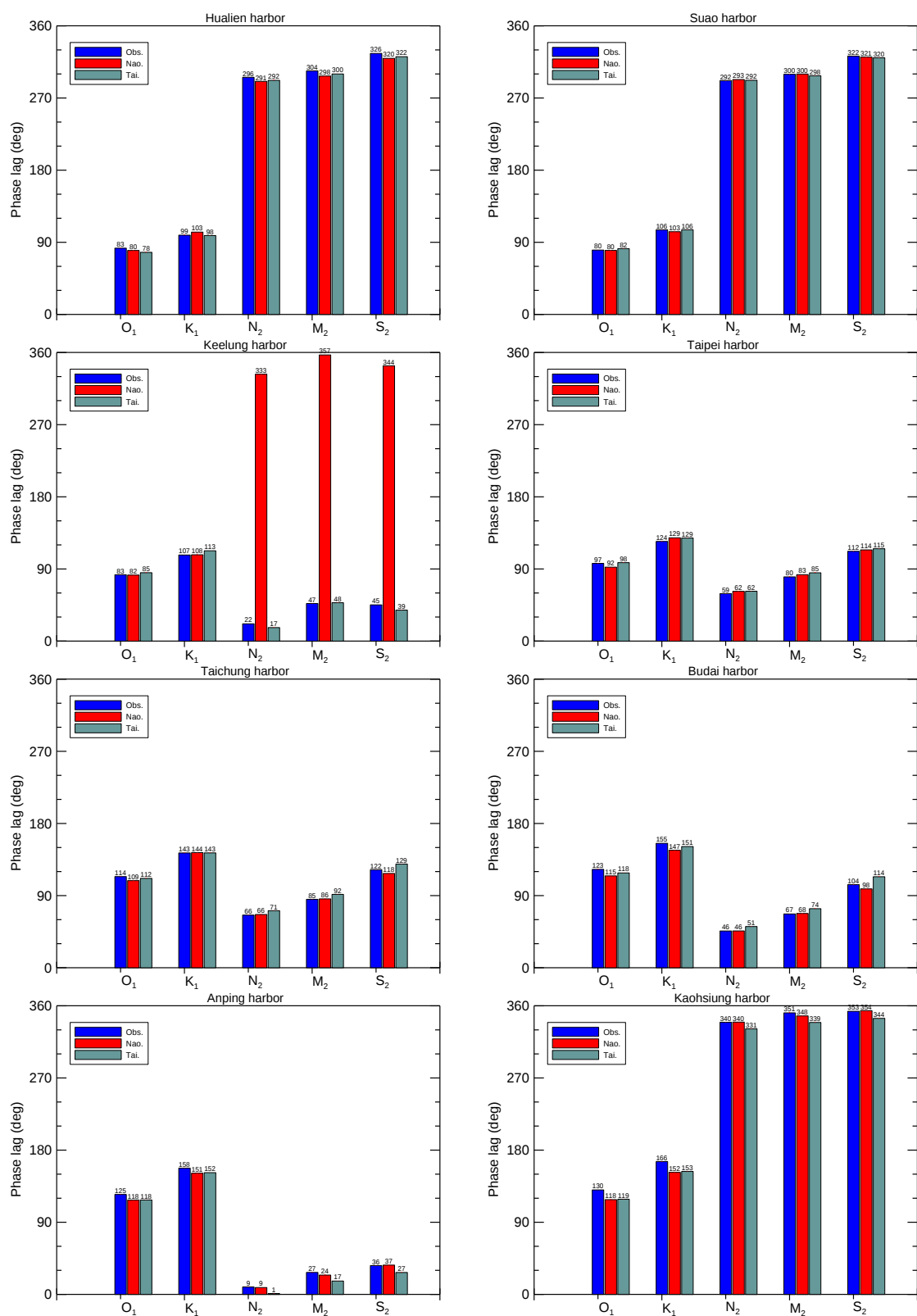


圖 8 8 港口主要天文分潮相位比較圖

模式模擬時間設定為 2021 年 2 月 1 日 0 時至 3 月 1 日 0 時，將臺海暴潮模組天文潮模擬結果與各港調和分析預測值做比較，並以標準偏差(SD)及均方根誤差(RMSE)為評估指標，分析成果列如表 4 及表 5。由表 4 及表 5 可知，本研究底床摩擦係數縮減方案對東部海域如花蓮港及蘇澳港等港口影響不顯著，基隆港及高雄港僅輕微的影響，臺北港、臺中港及布袋港等港口改善較為顯著，惟方案 2 在臺中港及布袋港等均方根誤差趨勢呈現反轉，代表方案 2 底床摩擦係數縮減過度，安平港呈現縮減方案無法達到改善目的。再針對臺北港、臺中港、布袋港及安平港港口，進一步分析其主要分潮振幅及相位角，分別如圖 9 至圖 12 所示，以 M₂ 分潮為判斷依據，得知海域底床摩擦係數在臺北港仍有下修空間，臺中港及布袋港減縮幅度略小於 5%，安平港則需朝向增加底床摩擦係數方向率定修正。

表 4 天文潮水位標準偏差分析成果表

天文潮資料來源	底床摩擦係數改善方案	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
各港調和分析預測值	無	0.383	0.377	0.261	0.844	1.379	0.554	0.260	0.223
臺海暴潮模組	方案 0	0.361	0.342	0.250	0.757	1.313	0.502	0.309	0.241
	方案 1	0.362	0.341	0.251	0.800	1.425	0.561	0.328	0.244
	方案 2	0.361	0.341	0.255	0.819	1.464	0.581	0.335	0.245

表 5 天文潮水位均方根誤差分析成果表

天文潮資料來源	底床摩擦係數改善方案	花蓮港 (m)	蘇澳港 (m)	基隆港 (m)	臺北港 (m)	臺中港 (m)	布袋港 (m)	安平港 (m)	高雄港 (m)
臺海暴潮模組	方案 0	0.040	0.043	0.037	0.144	0.232	0.113	0.068	0.049
	方案 1	0.040	0.044	0.040	0.108	0.151	0.083	0.089	0.049
	方案 2	0.040	0.044	0.040	0.099	0.163	0.089	0.098	0.049

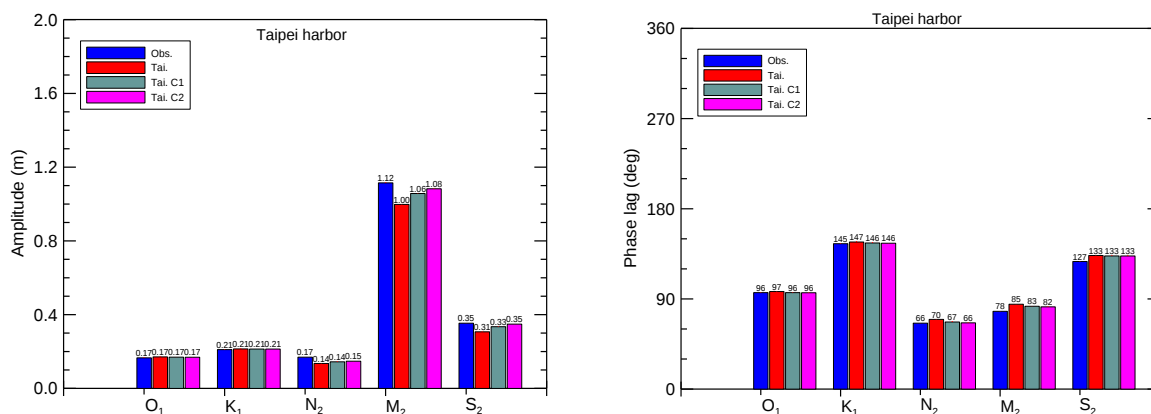


圖 9 臺北港等主要天文分潮振幅及相位比較圖

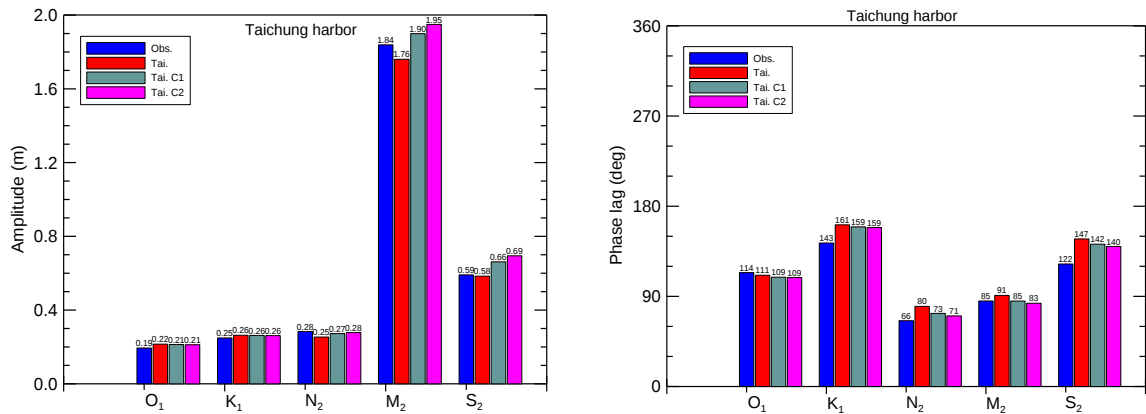


圖 10 臺中港等主要天文分潮振幅及相位比較圖

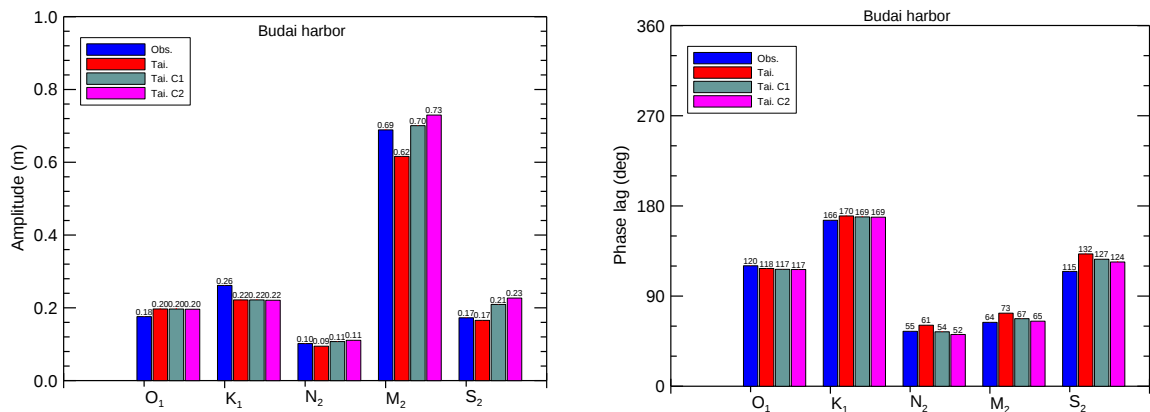


圖 11 布袋港等主要天文分潮振幅及相位比較圖

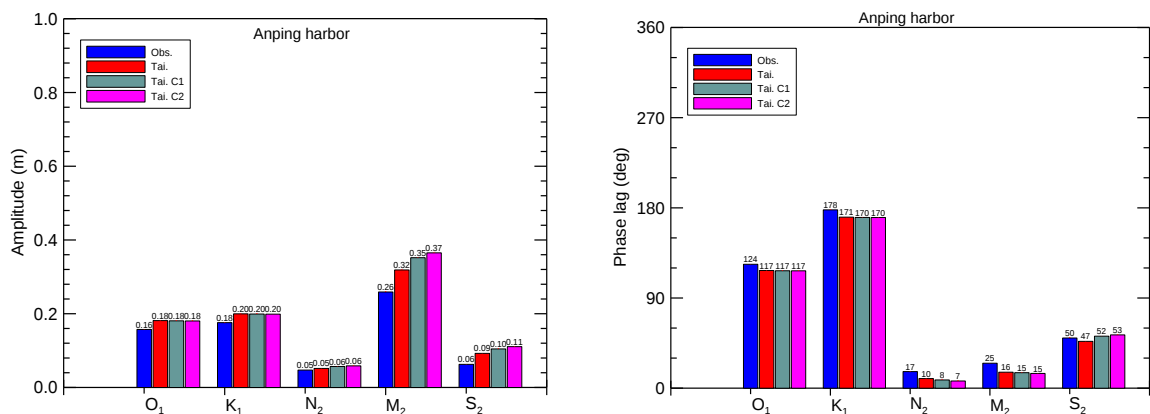


圖 12 安平港等主要天文分潮振幅及相位比較圖

四、結論

本研究利用港研中心各港口潮位站天文潮預測值，校驗臺海暴潮模組新水位檢核點之天文潮值，以 NAO.99b 模式為對照，證明臺海暴潮模組水位模擬具正確性。依據主要天文分潮(O₁、K₁、N₂、M₂ 及 S₂)振幅及相位角之比較，探討臺海暴潮模組水位模擬值與各港潮位站天文潮預測值間誤差來源及可能產生的原因，包括開放海域水位邊界條件、數值計算網格(含水深效應)、模式物理參數值(如底床摩擦係數)等。針對臺海暴潮模組水位模擬改善措施，本研究提出底床摩

擦係數減縮 5%及 20%模擬方案之改善成效分析，得知模組底床摩擦係數減縮幅度在西北海域(如臺北港)應略大於 20%，中部海域(臺中港至布袋港)海域減縮幅度略小於 5%，西南海域(如安平港、高雄港)則朝向增加底床摩擦係數值修正，其他海域(如花蓮港、蘇澳港及基隆港)則建議維持現況。研究成果除了提供港研中心後續辦理臺海暴潮模組精進之依據，亦可提供臺灣周圍海域水位模擬改善相關研究參考。

參考文獻

1. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、高政宏、林莉凰 (2010)，「近岸海象數值模擬及預警系統之建立(3/4)－水動力部份」，交通部運輸研究所研究報告。
2. 邱永芳、李兆芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏、鄭宇君、陳宜芝 (2012)，「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(1/4)」，交通部運輸研究所。
3. 李兆芳、邱永芳、蘇青和、陳明宗、劉正琪、李俊穎、涂力夫、高政宏 (2013)，「提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(2/4)」，交通部運輸研究所。
4. 李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、涂力夫、謝佳紘 (2015)，「臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運」，交通部運輸研究所。
5. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇、陳明宗、單誠基、謝佳紘 (2015)，「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(4/4)」，交通部運輸研究所。
6. 劉正琪、李兆芳、李俊穎、陳明宗 (2015)，「臺灣周圍海域暴潮模式建置研究」，港灣季刊，101，1-15 頁。
7. 李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、江朕榮、謝佳紘 (2016)，「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所。
8. 李兆芳、劉正琪、傅怡釧、李俊穎、蘇青和、謝佳紘、江朕榮 (2020)，「108 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所。
9. Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, (2000), Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan, J. Oceanogr., Vol.56, 567-581.