

臺灣周圍海域颱風暴潮模擬成果評估

劉正琪	國立成功大學水工試驗所研究員
李兆芳	國立成功大學水工試驗所特聘研究員
傅怡釗	交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
李俊穎	交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員兼科長
謝佳紘	國立成功大學水工試驗所研究助理

摘要

本研究目的為說明交通部運輸研究所港灣技術研究中心研發「臺灣近岸海象預測系統」，對臺灣周圍海域進行颱風暴潮作業化模擬之成果，以 2016 年 9 月連續遭遇強烈颱風莫蘭蒂、中度颱風馬勒卡及中度颱風梅姬之侵襲為例，分析各場颱風事件暴潮水位及暴潮偏差等，並利用基隆港、臺中港、高雄港及花蓮港等 4 港口潮位觀測資料及其分析值，校驗本研究颱風暴潮模擬成果。受到強烈颱風莫蘭蒂及中度颱風梅姬之影響，僅基隆港潮位觀測資料受影響較小，本研究以基隆港為例，分析颱風侵臺期間暴潮偏差模擬值與觀測分析值之均方根誤差及相關係數。結果顯示，最大暴潮偏差出現在梅姬颱風侵臺期間，觀測值為 0.302m、模擬值為 0.348m；均方根誤差為 0.079m，相關係數 R 為 0.865。

一、前言

臺灣位於歐亞陸棚、太平洋與菲律賓板塊交界，四面環海，東接太平洋、西隔臺灣海峽與中國大陸相對，南濱巴士海峽與菲律賓相望，北接東海。每年夏、秋之際為西太平洋颱風最活躍季節，在北半球颱風本質上屬於逆時鐘熱帶低氣壓氣旋，平均每年約有 3 到 4 個颱風侵襲臺灣。當颱風在海面上移動時，受到颱風低氣壓及強勁風力影響，

引起海水位上昇及湧升的現象，稱為颱風暴潮(storm surge)。颱風伴隨的強勁風力在下(迎)風面之河口、海岸或港口產生的海水面推昇作用，稱為風揚(wind setup)。反之，在上(背)風處造成河口、海岸或港口海水面下降。

颱風暴潮對港口之威脅，除了海水位上升引起的海水倒灌、溢淹外，還包括因海水位上昇導致颱風波浪對港灣構造物破壞力增強、越波風險增加、港池盪漾加劇等，嚴重影響港內船隻停泊靠安全。因此，基於防救災之考量，發展颱風暴潮之模擬與預測有其需求及必要性。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)長期推動發展近岸/近海防救災相關海象預測系統，颱風暴潮之模擬與預測為其關注課題之一(運研所^[1], 2020)，本研究說明港研中心發展之海象模擬作業化系統，模擬近年颱風暴潮及暴潮偏差分析之成果。

二、水動力數值模式介紹

2.1 基本控制方程式

系統使用二維水深積分平均水動力模式，其基本控制方程式如下：

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

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}q_x)}{\partial y} - fq_y = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial(p^s + \rho g \eta)}{\partial x} + \frac{(\tau_x^s - \tau_x^b)}{\rho_0} \dots\dots\dots (2)$$

$$+ \left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yx}}{\partial y} \right) + M_x$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}q_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}q_y)}{\partial y} + fq_x = -\frac{H}{\rho_0} \frac{\partial(p^s + \rho g \eta)}{\partial y} + \frac{(\tau_y^s - \tau_y^b)}{\rho_0} \dots\dots\dots (3)$$

$$+ \left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \right) + M_y$$

式中 H 為總水深($=h+\eta$)， 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

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

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

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

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

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

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； 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 $2\Omega \sin \varphi$ ，其中 Ω = 地球自轉之位相速度， φ = 計算領域所在位置之緯度。

邊界條件包括開放邊界之水位邊界條件及陸地流量邊界條件，其中流量邊界條件表示如下：

$$q_n = \alpha_{nx} q_x + \alpha_{ny} q_y = \hat{q}_n \dots\dots\dots (9a)$$

$$q_s = -\alpha_{ny} q_x + \alpha_{nx} q_y = \hat{q}_s \dots\dots\dots (9b)$$

其中 $\hat{q}_n$ 及 $\hat{q}_s$ 表示給定之邊界條件，下標 n 及 s 分別表示邊界之法線及切線方向，方向餘弦 α_{nx} 及 α_{ny} 分別表示 $\alpha_{nx} = \cos(n, x)$ ； $\alpha_{ny} = \cos(n, y)$ (10)

本研究水動力數值模式係採用有限元素數值方法求解控制方程式(1)~(3)式及其邊界值問題。簡言之，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，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 臺灣周圍海域水動力模組

本研究海象模擬作業化系統(TaiCOMS)之水動力模擬子系統，其系統架構及作業化流程如圖 1 所示，其中包含中尺度水動力模組及小尺度水動力模組等 2 模組。

中尺度水動力模組又稱為臺灣周圍海域水動力模組(以下簡稱本研究模組)，其模擬範圍涵蓋自東經 116.5° 到 125°、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 2 所示。數值計算網格型式為三角網格，計有 8,237 個節點及 15,800 個三角形元素，如圖 3 所示，圖中網格坐標系統採用六度分帶投影座標系統。

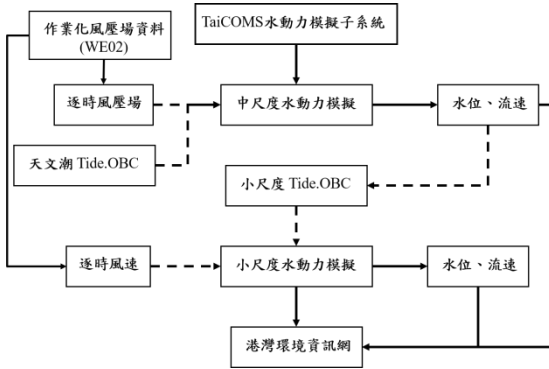


圖 1 水動力模擬子系統架構及作業化模擬流程

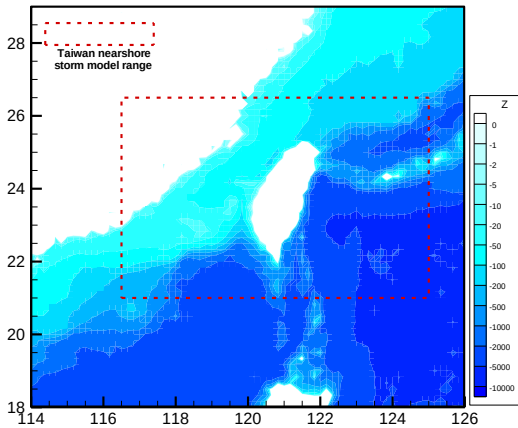


圖 2 本研究模組模擬範圍示意圖

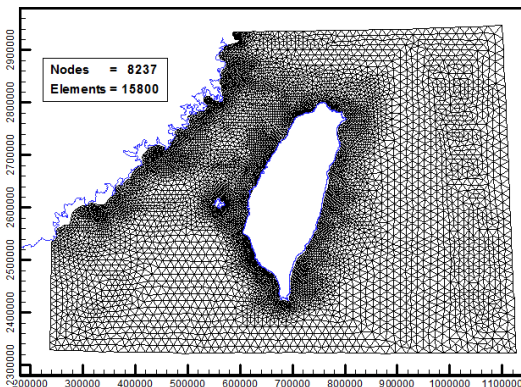


圖 3 本研究模組三角形網格示意圖

地形水深資料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，計算完成之數值水深示意圖，如圖 4 所示。

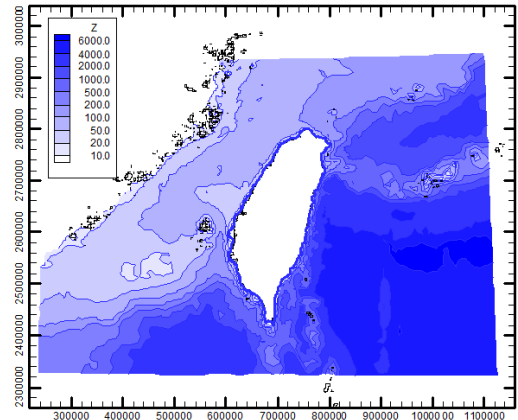


圖 4 數值水深示意圖

本研究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，其中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。海域開放邊界採用水位條件為邊界條件，即

$$\eta = \eta_A(t) + \frac{\Delta p(t)}{\rho g} \dots\dots\dots (11)$$

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。本文天文潮引起的水位變化採用 Matsumoto et al.(2000)發展的 NAO.99Jb 模式，預測數值計算網格開放邊界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。

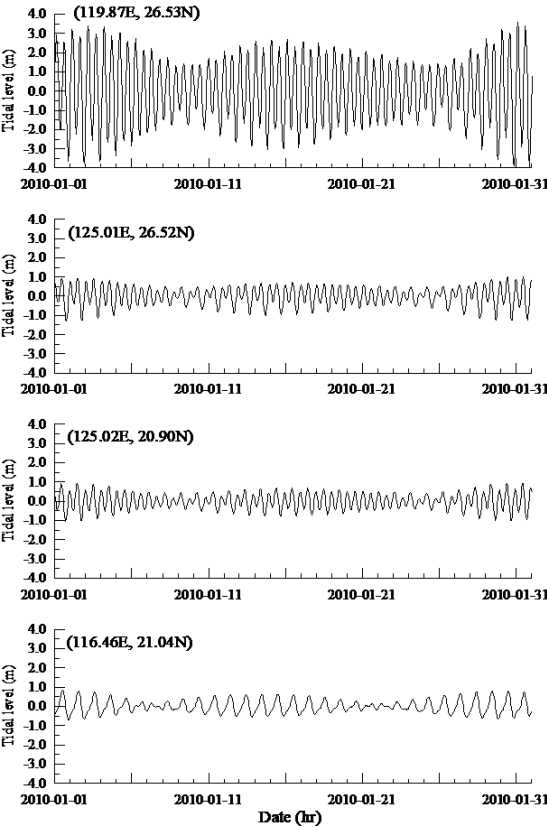


圖 5 本研究模組水位邊界使用之天文潮時序列資料

模式模擬之初始條件，在冷啟動(cold start)模擬狀況下，模式假設流場之初始速度及水位均為零；在熱啟動(hot start)模擬狀況下，作業化模擬則採用前次模擬結果儲存的流場速度及水位值為初始條件。

模組採用的參數如下：模式模擬之時間間距 Δt 為 2 sec，底床摩擦係數採用曼寧公式計算，其中曼寧係數 n 值為 0.02；渦動粘滯性係數採用 Connor and Wang (1975)之經驗關係式估算，即(12)式

$$E_{xx} \sim ag \left(\frac{\eta}{\bar{u}} \right) \bar{x} \dots\dots\dots (12)$$

其中 $\bar{x}$ 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 η

採用值為 1.25 m，代表性潮流流速 $\bar{u}$ 採用值為 0.5 m/s(劉等^[2]，2015)。

2.3 風、氣壓場資料

港研中心海象模擬作業化系統每日透過風(壓)場處理子系統，自中央氣象局 ftp 下載每日 4 報天氣數值預報資料，再執行資料解碼、重組及內插等工作，提供水動力模擬子系統每日作業化模擬所需之風、壓場逐時(0~72 時)資料。針對每日作業化模擬風壓場之重組方式，如圖 6 所示；即每日 2 時氣象局最新發布之天氣數值預報資料為 DD12.00~12.84，其預報時間為 GMT 前 1 日 12 時(相當於臺北時區前 1 日 20 時)。風(壓)場處理子系統於每日 3 時前完成最新發布天氣數值預報資料下載後，即選取最近 6 報天氣數值預報資料重新組成 0~72 時作業化風壓場，每報分別截取時段，如圖 6 所示，共計 73 小時，分別代表昨日、今日及明日之風壓場，其中 0~24 時代表昨日追算時段，25~72 時則代表今日及明日之預測階段。

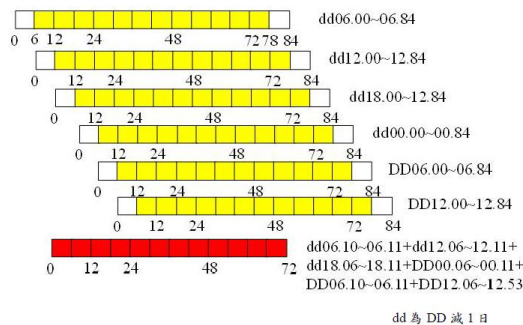


圖 6 風(壓)場處理子系統產生組合風場之資料擷取時段與組合示意圖

2017 年 7 月前採用氣象局提供的 WRF 模式之 M00 成員天氣預報資料，其水平網格解析度分為 45、15 及 5km，其中水動力模組採用的資料為解析度 15km 網格之風壓場。港研中心風(壓)場處理子系統重組產生網格(WA02)範圍為北緯 10°至 35°，東經 110°至 135°，網格採用解析度 1/12°(或 5')之球面座標

目前港研中心水動力模擬作業化系統每日執行 1 次水動力模擬預測作業，每次水位及流場數值模擬預測之時間長度為 72 小時(昨日、今日、明日)；其中前 24 小時代表水動力模擬追算之結果，後 48 小時代表水動力模擬預測推算之結果，如圖 9 所示。此模擬預測方式主要規劃目的是提供 24 小時數值模擬結果(含追算及預測)與即時海象觀測比對資訊，以利評估當日海象模擬及預測結果之可信度。

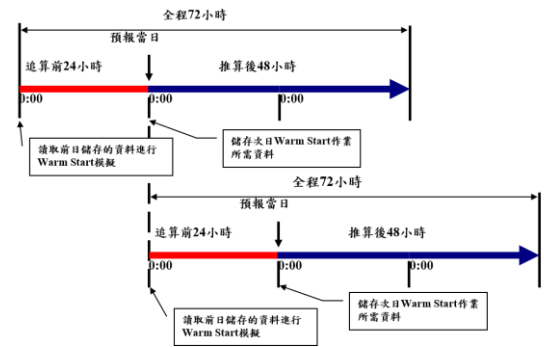


圖 9 水動力模擬作業化之追算與推算
時間示意圖

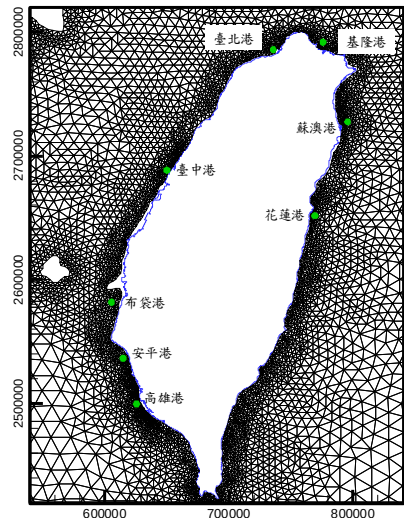


圖 10 臺灣主要商港水位模擬結果輸出點位置示意圖

針對臺灣本島主要商港如基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等，每日提供中尺度水動力模組 72 小時水位模擬預測值至港灣環境資訊網展出。各港口模擬預測值輸出點位與中尺度水動力模組數值計算網格之關係，如圖 10 所示。

三、天文潮水位模擬與評估

3.1 天文潮調和分析預測值

選取基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港等港口 2018 年潮位逐時觀測資料，利用調和分析方法求取天文潮各分潮之調和常數(振幅及相位)。再依據各港口潮位分析之天文潮分潮調和常數，預測各港口天文潮逐時潮位資料。表 1 為基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港等港口 2018 年整年觀測值與前述調和分析天文潮預測值之均方根誤差(RMSE)分析結果，其中，以花蓮港潮位觀測值與天文潮預測值間之均方根誤差值 0.106m 較大。

表 1 2018 年潮位觀測值與調和分析預測值之誤差分析結果表

觀測資料來源:氣象局				
測站	基隆港	臺中港	高雄港	花蓮港
RMSE(m)	0.075	0.097	0.058	0.106
資料數	7537	6842	6922	8390

3.2 天文潮模擬校驗

由 3.1 節獲得基隆港、臺中港、高雄港及花蓮港之天文潮分潮調和常數，本研究模組延續使用在模擬 2019 年臺灣周圍海域天文潮變化情形，於不考慮氣象因素(如風場及氣壓場)之情況下，模擬 4 港口 2019 年調和分析逐時天文潮預測值並做比較，結果如圖 11~圖 14 所示。

在誤差及相關性分析上，以逐月分析方式，將逐時天文潮模擬值與調和分

析預測值扣除月平均值，再計算二者之間均方根誤差，如表 2 所列；相關係數 R 分析結果，如表 3 所列。整體而言，在天文潮水位模擬方面，本研究模組於臺灣西部中部海域水位均方根誤差值呈現偏高的現象，此與中部海域潮差大而模擬值無法充份反應有關；同時，因中部海域半日潮特性顯著，故相關性分析仍呈現高度相關特性，如圖 12 所示。其次，高雄港海域不僅均方根誤差值介於 0.113m~0.132m，相關係數低於 0.9，雖與其他港口相關性分析結果相比略低，但相關性仍達 0.8 以上，如圖 13 所示。此可能與西南海域水深變化大，而本研究數值計算網格配置於西南海域，無法反應地形水深及天文潮傳遞特性有關。

表 2 2019 年天文潮模擬值與調和分析預測值之均方根誤差(m)分析表

月份	基隆港	臺中港	高雄港	花蓮港
1	0.052	0.226	0.120	0.062
2	0.040	0.228	0.119	0.065
3	0.040	0.203	0.115	0.067
4	0.039	0.181	0.113	0.064
5	0.042	0.148	0.113	0.064
6	0.044	0.144	0.120	0.066
7	0.043	0.151	0.128	0.060
8	0.043	0.201	0.130	0.058
9	0.050	0.234	0.129	0.061
10	0.059	0.238	0.131	0.061
11	0.059	0.237	0.132	0.059
12	0.053	0.239	0.127	0.058

表 3 2019 年天文潮模擬值與調和分析
預測值之相關係數分析表

月份	基隆港	臺中港	高雄港	花蓮港
1	0.981	0.988	0.876	0.988
2	0.988	0.989	0.861	0.988
3	0.985	0.991	0.847	0.987
4	0.986	0.992	0.852	0.989
5	0.985	0.995	0.867	0.988
6	0.985	0.995	0.871	0.987
7	0.987	0.995	0.866	0.989
8	0.986	0.993	0.848	0.990
9	0.978	0.990	0.807	0.989
10	0.971	0.990	0.808	0.989
11	0.975	0.988	0.843	0.989
12	0.981	0.986	0.871	0.989

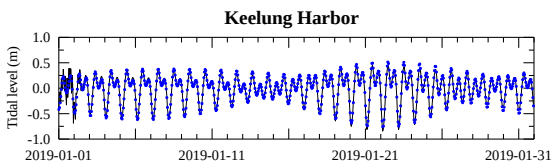


圖 11 基隆港天文潮水位模擬值(實線)
與調和分析預測值(點)之時序列比較圖

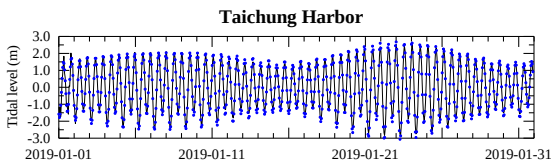


圖 12 臺中港天文潮水位模擬值(實線)
與調和分析預測值(點)之時序列比較圖

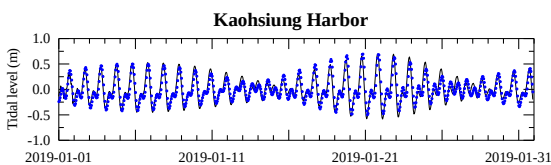


圖 13 高雄港天文潮水位模擬值(實線)
與調和分析預測值(點)之時序列比較圖

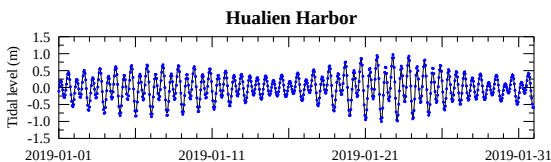


圖 14 花蓮港天文潮水位模擬值(實線)
與調和分析預測值(點)之時序列比較圖

四、颱風暴潮模擬與評估

藉由前節執行天文潮水位模擬及評估工作，驗證本研究模組確實具有可反應臺灣周圍海域天文潮特性，本章節進一步探討颱風期間引起之暴潮及推估其暴潮偏差量。

因 2016 年 9 月恰有連續 3 場颱風侵襲臺灣，爰選取強烈颱風莫蘭蒂(09/12~09/14)、中度颱風馬勒卡(09/15~09/18)及中度颱風梅姬(09/25~09/28)3 場颱風事件進行暴潮偏差分析。3 場颱風路徑分別如圖 15~圖 17 所示，圖中標示時間為格林威治(GMT)時間。

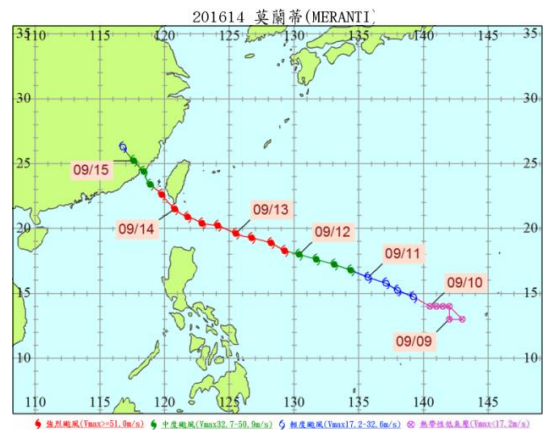


圖 15 2016 年強烈颱風莫蘭蒂路徑圖

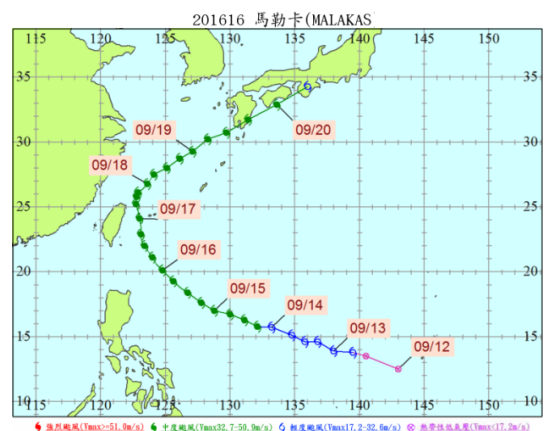


圖 16 2016 年中度颱風馬勒卡路徑圖

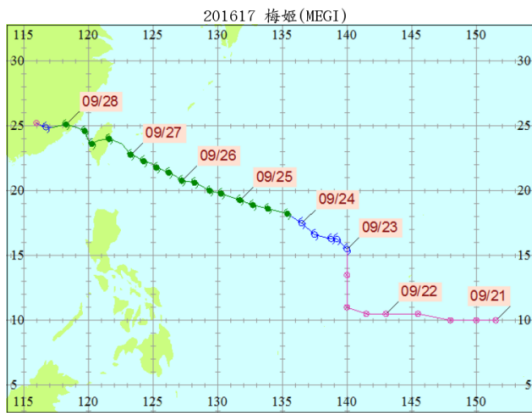


圖 17 2016 年中度颱風梅姬路徑圖

4.1 暴潮偏差分析

蒐集基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港等 4 港口港內潮位觀測資料，分析上述 3 場颱風侵臺期間，港內逐時暴潮偏差量，如圖 18~圖 21 所示。圖中天文潮歷線(實線)係採用 2016 年整年觀測值，再經調和分析得到的天文潮分析值；▲符號代表暴潮偏差(即觀測值(Obs.)與天文潮分析值(Ast.)之差值)。基隆港在強烈颱風莫蘭蒂及中度颱風梅姬侵臺期間出現明顯的負暴潮偏差，此應與港型狹長受到離岸風力作用有關。臺中港在強烈颱風莫蘭蒂接近時即發生故障，於中度颱風馬勒卡遠離後 19 日始修復，接著又於中度颱風梅姬發布海上警報期間故障。高雄港於強烈颱風莫蘭蒂侵臺期間分析結果可知觀測中斷前最大暴潮偏差出現在較低的潮位，降低發生暴潮溢淹風險；中度颱風馬勒卡及中度颱風梅姬侵臺期間則有觀測中斷情形，無法獲得暴潮水位。花蓮港在強烈颱風莫蘭蒂侵臺期間有部份觀測值遺漏，中度颱風馬勒卡及颱風梅姬侵臺期間則有觀測中斷情形，無法獲得暴潮水位。

針對 2016 年 9 月觀測資料與天文潮調和分析值進行誤差及相關性分析，如表 4 所列；各港均方根誤差均小於 0.1m，相關係數均高於 0.9，其中以基隆

港 0.943 最低，可能與其觀測資料遺漏較少，受颱風影響其偏差及一致性有關。整體而言，颱風期間測站超音波觀測儀器極易受到風力影響，導致不易於颱風期間觀測到暴潮水位最大值。

表 4 2016 年 9 月潮位觀測值與天文潮調和分析值之誤差及相關性分析表

測站	基隆港	臺中港	高雄港	花蓮港
RMSE(m)	0.081	0.073	0.061	0.067
R(相關性)	0.943	0.999	0.961	0.990
資料數	676	433	498	598

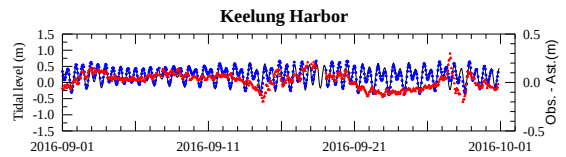


圖 18 基隆港 2016 年 9 月觀測暴潮歷線分析結果圖

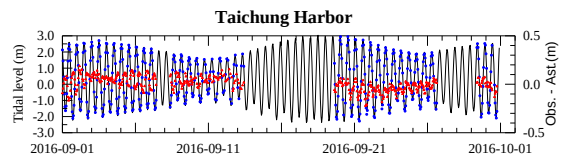


圖 19 臺中港 2016 年 9 月觀測暴潮歷線分析結果圖

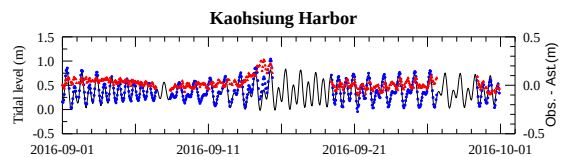


圖 20 高雄港 2016 年 9 月觀測暴潮歷線分析結果圖

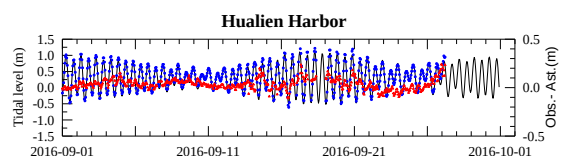


圖 21 花蓮港 2016 年 9 月暴潮歷線分析結果圖

4.2 暴潮水位及偏差模擬結果分析

本研究模組分別模擬，2016 年 9 月天文潮水位變化及含氣象因子(風力及氣壓變化)之潮汐水位變化(簡稱氣象潮)。暴潮偏差模擬值定義為氣象潮水位模擬值減去天文潮水位模擬值，其中，天文潮水位模擬參考 3.2 節所述。

將每日下載氣象局天氣數值預報資料，依 3.2 節產出的每日 73 小時作業化組合風壓場資料，作為本研究模組驅動力，並連續作業化模擬 30 日，再依基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港等港口每日水位模擬資料，選取前 24 小時(0~23 時)資料彙整成 9 月 10 日至 9 月 30 日逐時水位模擬(或追算)值。接著選取基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港等港內潮位觀測資料與各港口外海模擬值比對。

在觀測資料處理部分，先將逐時觀測值扣除觀測期間平均水位值與模式模擬期間模擬值平均水位之差值，此作法目的為降低觀測值與模擬值之間，因平均水位基準差及週期大於半年潮等成份潮對短期資料之影響性，以提升誤差分析可信度，且此法對相關性分析結果影響程度不顯著。爰此，本研究氣象潮水位模擬值與觀測值之差異分析結果，如表 5 所列。整體而言，水位模擬值與觀測值間誤差及相關性分析，大致上與前述表 2 及表 3 逐月分析結果相似，僅高雄港相關係數 R 值上升至 0.939 較為顯著。

表 5 2016 年 9 月潮位觀測值與本文模擬值誤差及相關性分析表

測站	基隆港	臺中港	高雄港	花蓮港
RMSE(m)	0.065	0.252	0.081	0.076
R	0.966	0.987	0.939	0.983
資料數	449	226	299	386
模擬資料數 481 (9 月 10 日 00 時~9 月 30 日 00 時)				

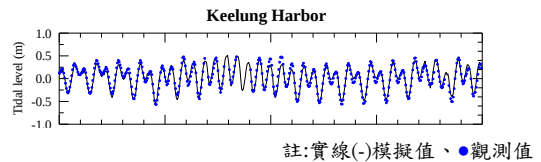


圖 22 基隆港 2016 年 9 月潮汐水位模擬值與觀測值比較圖

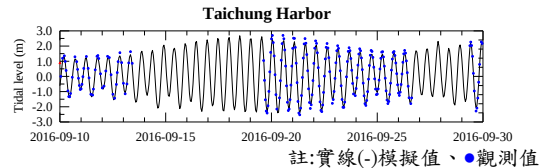


圖 23 臺中港 2016 年 9 月潮汐水位模擬值與觀測值比較圖

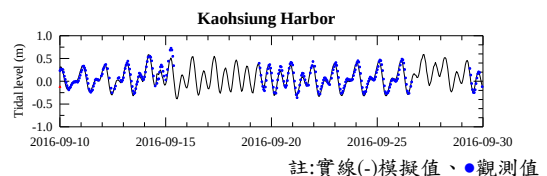


圖 24 高雄港 2016 年 9 月潮汐水位模擬值與觀測值比較圖

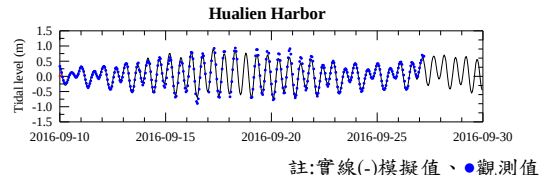


圖 25 花蓮港 2016 年 9 月潮汐水位模擬值與觀測值比較圖

各港時序列歷線比對結果，如圖 22~圖 25 所示，其中臺中港於大潮時期潮差模擬值明顯偏小，在莫蘭蒂侵臺期間高雄港潮位記錄中斷前水位高度明顯高於模擬值。

將前述彙整基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港 2016 年 9 月 10 日至 9 月 30 日逐時水位追算值，依前述暴潮偏差模擬值之定義減去天文潮水位模擬值，可得到各港口暴潮偏差模擬值。利用 4.1 節潮位觀測值之暴潮偏差分析值與模擬值相比較，如圖 26~圖 29 所示，顯示 9 月 3 場颱風侵臺期間，僅基隆港潮位觀

測資料之暴潮偏差分析值較為完整，臺中港於颱風侵臺期間均缺少潮位觀測資料。此外，莫蘭蒂侵臺期間，花蓮港有較完整的暴潮偏差分析值，高雄港則觀測到部份暴潮高水位資料。中度颱風梅姬侵臺期間，花蓮港及高雄港均因觀測資料中斷而無法獲取最大暴潮偏差觀測值；惟在資料中斷前，暴潮偏差分析值與模擬值之上升趨勢有高度相似性。

因基隆港潮位觀測資料之暴潮偏差分析值較為完整，爰以基隆港為例，分別討論莫蘭蒂、中度颱風馬勒卡及中度颱風梅姬侵臺期間之誤差及相關性分析，如表 6 所列。其中莫蘭蒂颱風因路徑因素對北臺灣(如基隆港)影響不明顯，暴潮偏差最大值小於 0.1m，僅負暴潮偏差小於(或超過)-0.1m。梅姬颱風於花蓮市附近登陸，因此，基隆港受到的影響遠超過強烈颱風莫蘭蒂，港內暴潮偏差分析值及港口模擬值均超過 0.3m。颱風馬勒卡因暴風有影響到臺灣陸地，有發布陸上颱風警報，在基隆港引起超過 0.2m 之暴潮偏差。在相關性分析結果顯示，以中度颱風梅姬模擬結果表現較佳，R 值約為 0.865；以颱風馬勒卡表現較差，R 值約為 0.699(接近 0.7)。

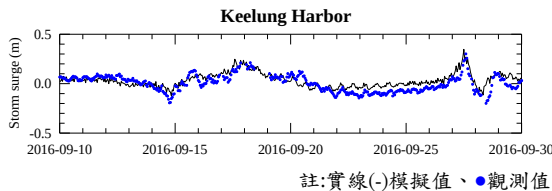


圖 26 基隆港 2016 年 9 月暴潮偏差模擬值與觀測分析值之比較圖

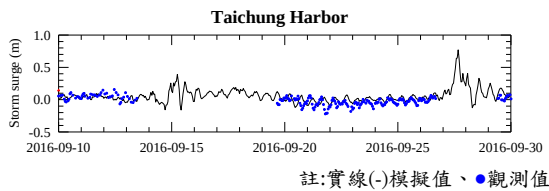


圖 27 臺中港 2016 年 9 月暴潮偏差模擬值與觀測分析值之比較圖

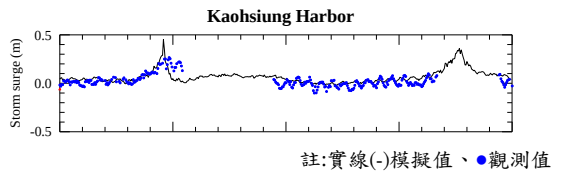


圖 28 高雄港 2016 年 9 月暴潮偏差模擬值與觀測分析值之比較圖

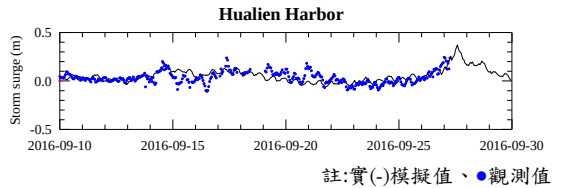


圖 29 花蓮港 2016 年 9 月暴潮偏差模擬值與觀測分析值之比較圖

表 6 2016 年 9 月基隆港暴潮偏差模擬值與觀測分析值之統計分析表

颱風	莫蘭蒂	馬勒卡	梅姬
侵臺時間	091200 091500	091500 091900	092500 092900
RMSE(m)	0.052	0.058	0.079
R	0.738	0.699	0.865
觀測最大偏差	不明顯	0.213m	0.302m
模擬最大偏差	不明顯	0.248m	0.348m
觀測資料數	73	73	92
模擬資料數	73	97	97

五、結論

本研究利用有限元素水動力模式，針對臺灣周圍海域建置中尺度臺灣周圍海域水動力模組，此模組不僅可以單獨模擬臺灣周圍海域天文潮水位變化，亦可配合港研中心利用中央氣象局天氣數值預報資料產出之作業化組合風壓場模擬資料，進行每日 72 小時作業化模擬預測，並提供相關模擬預測資訊至港灣環境資訊網即時展示。

在天文潮水位模擬成果上，利用基隆港、臺中港、高雄港及花蓮港等 4 港口 2019 年觀測潮位之天文潮調和分析值校驗模擬值，結果顯示均方根誤差以

臺中港較顯著，普遍高於 0.2m；相關係數以高雄港較差，R 值約介於 0.80~0.88 之間，臺中港潮差模擬及西南高雄海域天文潮相位等問題之改善，實為後續研究目標。

經由 2016 年 9 月連續 3 場颱風暴潮分析結果顯示，因觀測資料蒐集狀況普遍不佳，本研究選取基隆港分析颱風暴潮偏差模擬值與觀測分析值之統計特性。結果顯示在 3 場颱風事件中，最大暴潮偏差值發生於中度颱風梅姬，模擬值與觀測分析值分別為 0.348m 及 0.302m；均方根誤差為 0.079m，相關係數 R 為 0.865。

整體上，只要暴潮顯著發生時，模擬之暴潮偏差變化趨勢與觀測值分析之趨勢，大致上具有相當程度之一致性。後續仍應持續蒐集顯著暴潮分析值做為模式模擬結果之依據。

參考文獻

1. 交通部運輸研究，109 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運，2021 年。
2. 交通部運輸研究，108 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運，2020 年。
3. 劉正琪、李兆芳、李俊穎、陳明宗，「臺灣周圍海域暴潮模式建置研究」，港灣季刊，第 101 期，2015 年，1-15 頁。
4. Connor, J.J., and Wang, J.D. (1975) Mathematical Modelling of NearCoastal Circulation, Pentech Press.