風力與波浪預測資料準確度分析

蔡世璿[1]、林雅雯[2]、謝佳紘[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科長
[3]國立成功大學水工試驗所研究助理

摘要

本研究探討交通部運輸研究所港灣環境資訊網海氣象模擬資料，針對臺灣近岸海象預測系統(TaiCOMS)所提供 1 日 4 次風力與波浪預測資料，藉由不同時間間隔進行資料擷取與重組，消除不同預測時間點的時間重疊與不一致，並以臺中港風力與波浪觀測資料做為比較對象，透過探討 2021 年各月份模擬資料與實際觀測資料之相關性，瞭解模擬資料於不同預測時間點的準確度差異。

一、前言

交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)運輸技術研究中心(前身為港灣技術研究中心)長期於國內主要商港建置海氣象觀測站，蒐集包括風力、波浪、潮位、海流及能見度等海氣象觀測資料，並自民國 92 年起發展臺灣近岸海象預測系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System, TaiCOMS)海象模擬預測作業，預測包含風場、波浪、水位、流場及海嘯等模擬資料，前述觀測與模擬成果均呈現於運研所維運之「港灣環境資訊網」(如圖 1)並對外服務展示，提供商港及港區附近海域海象觀測與模擬預測資訊，TaiCOMS 整體架構如圖 2 所示。

圖 1 港灣環境資訊網(https://isohe.ihmt.gov.tw)

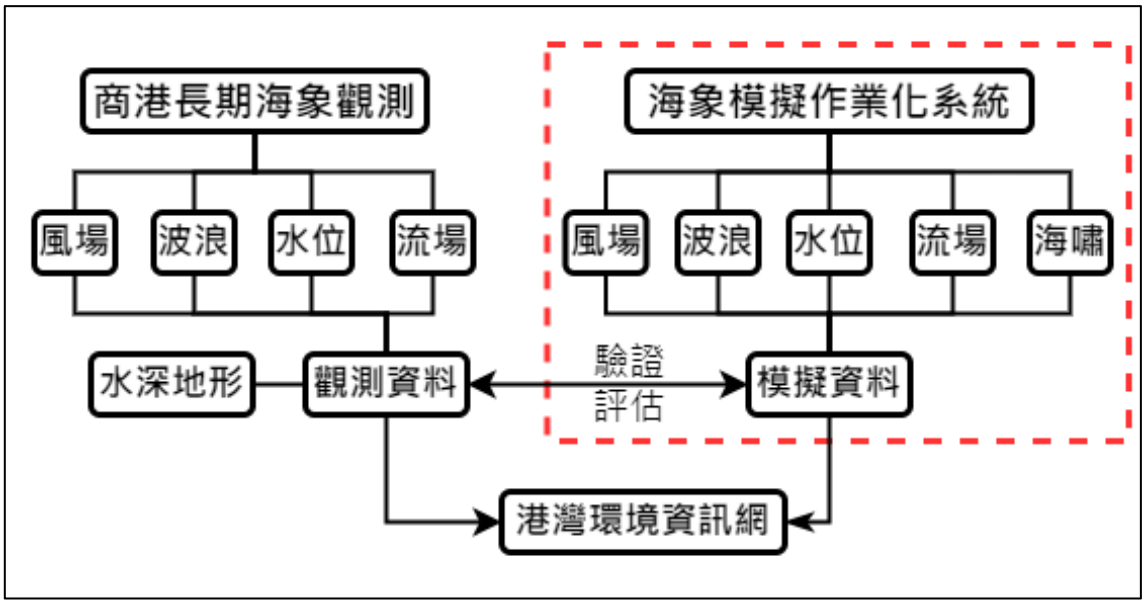

圖 2 臺灣近岸海項預測系統架構圖(TaiCOMS)

我國各商港港務管理單位為管理船舶作業的進出港管制任務，訂定相關船舶進出港管制標準，而管制標準中的海氣象資訊，又以風力與波浪兩者資訊最為重要，大型客輪、貨櫃輪及其他特種用途大型船舶由於船體與貨櫃高度比一般船舶高，因此，側向受風面積也較其他船舶大，進而導致風力影響操船的難易度；此外，惡劣的波浪條件亦可能使得船隻不穩，而導致船隻發生觸礁、碰撞甚至翻覆等意外。因此，港灣環境資訊網之海氣象觀測與模擬資訊扮演非常重要角色，本研究以臺中港風力與波浪資料為例，探討觀測資料與不同時間發布的模擬資料之相關性，藉此瞭解預測資料之準確度。

本研究透過運研所臺灣近岸海象預測系統 TaiCOMS「海象模擬作業化系統」產出之風力與波浪(模擬)資料(如圖 3)，將之與觀測資料進行相關性分析，以探討預測資料之準確度。TaiCOMS「海象模擬作業化系統」作業流程，如圖 4 所示，其中，本研究風力模擬資料係指呈現於「港灣環境資訊網」之風速預測值，該預測值係「海象模擬作業化系統」中的「風場處理系統」將中央氣象署所提供的天氣數值預報資料分別進行下載、解碼、重組及內插等作業後，產出每日 1 次與每日 4 次海象模擬預測所需的作業化風場與氣壓場資料，除了提供海象模擬中的「波浪模擬系統」與「水動力模擬系統」進行作業化模擬以外，更將處理後的 1 日 4 次風場資料針對各港口觀測資料的相應位置擷取風力資料，並上傳港灣環境資訊網供使用者瀏覽應用，作業流程如圖 5 所示。而中央氣象署的風場資料為 WRF(Weather Research and Forecasting)成員 M04 天氣數值預報資料，其中成員 M04 的資料解析度又可分為 15km 與 3km 網格，其資訊詳列如表 1。TaiCOMS 在重組後的風場與氣壓場資料屬於 10m 高度風場資料，依照資料範圍與網格解析度區分為西太平洋風場與氣壓(WE01)、臺灣海域風場與氣壓(WE02)，其資料格式如表 2 所列。網站上發布之風力資料即取自網格解析度為 3 公里的臺灣海域風場與氣壓(WE02)的 1 日 4 次(預測 72 小時)之風力資料。

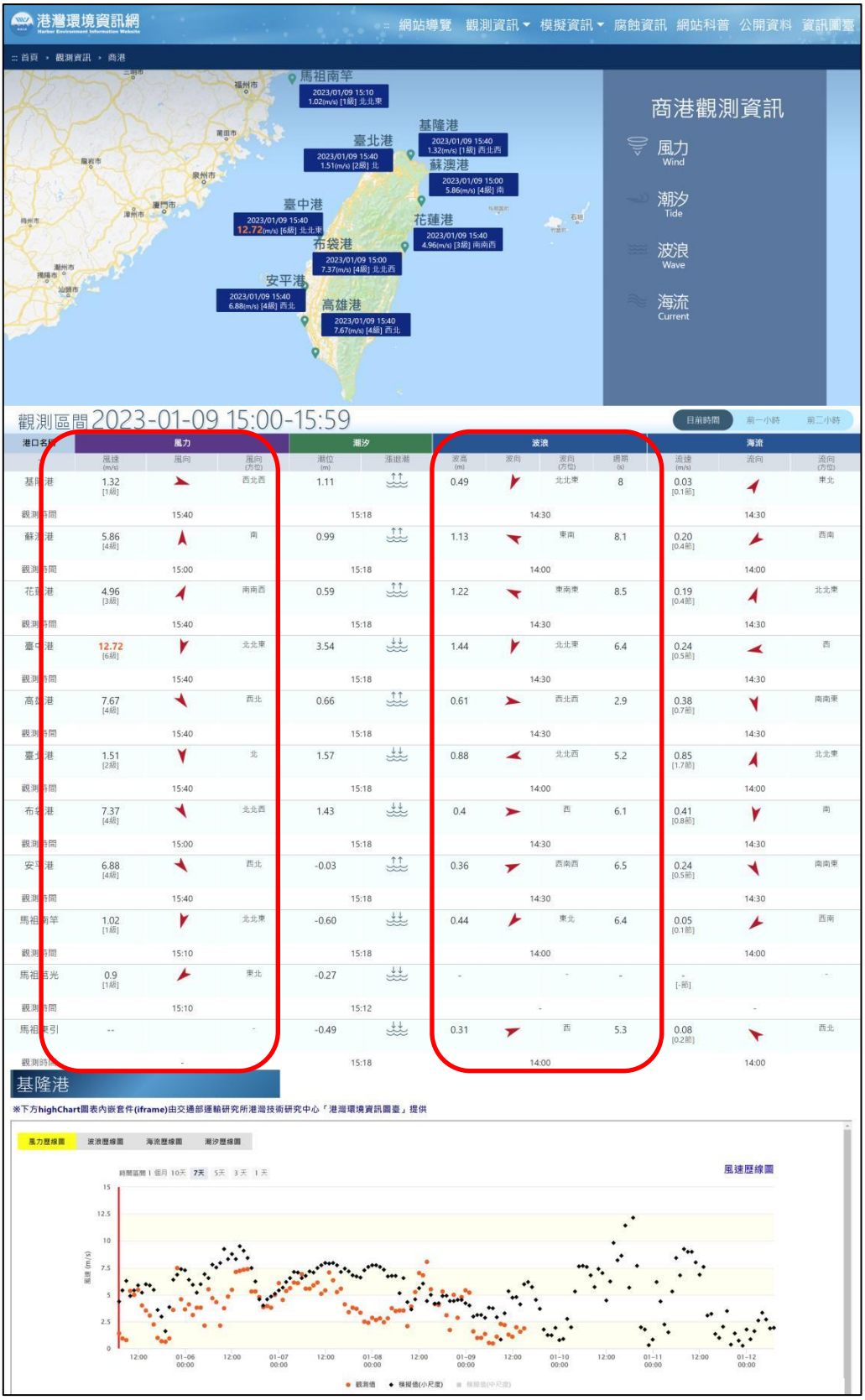

圖 3 港灣環境資訊網模擬資料

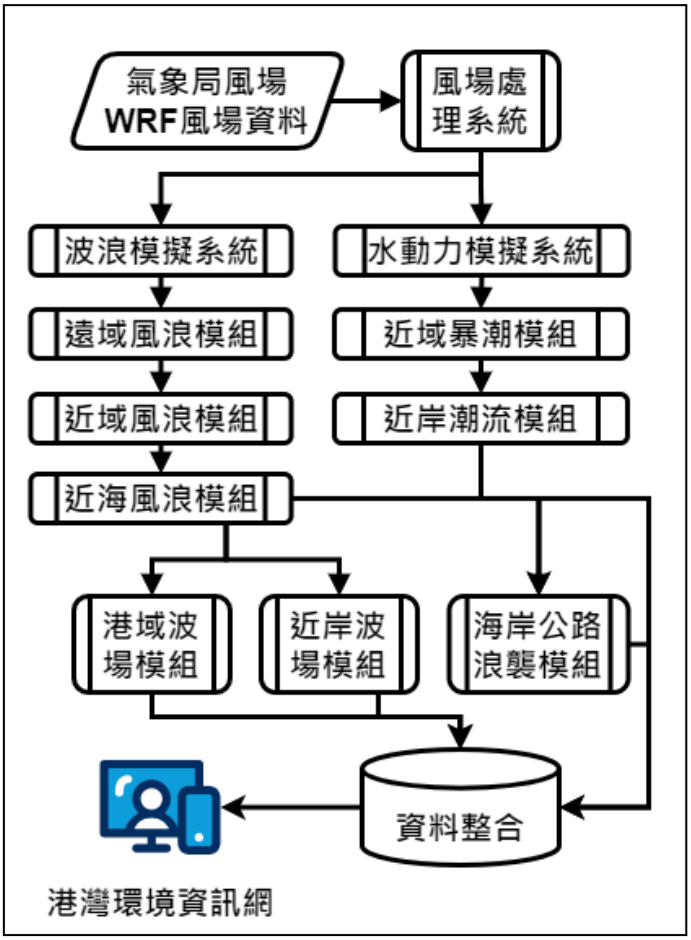

圖 4 海象模擬作業化系統流程圖

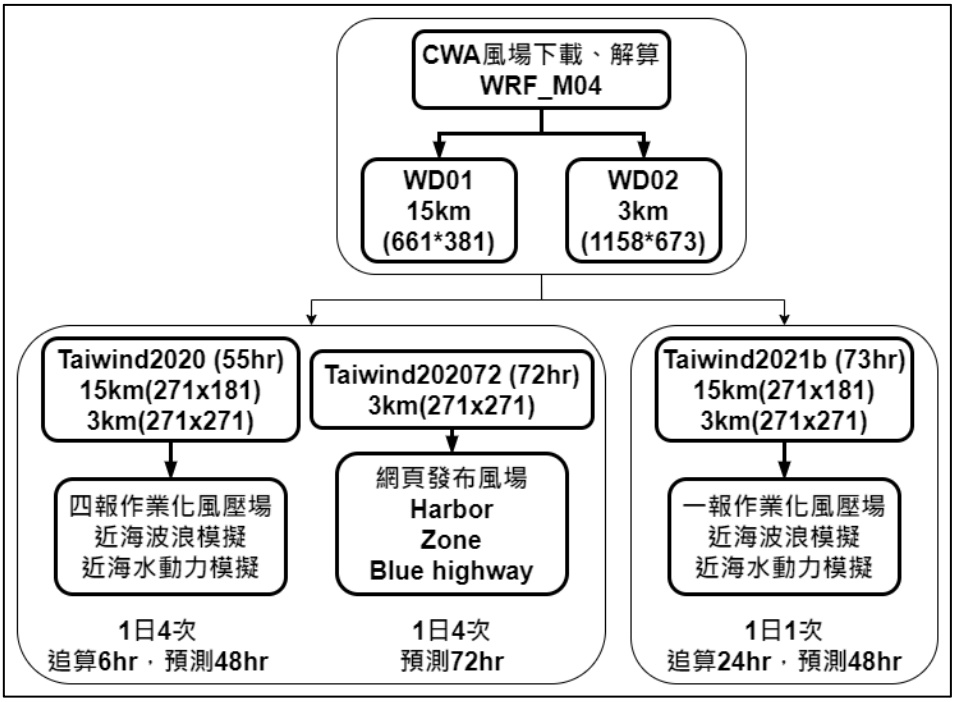

圖 5 風場處理作業系統流程圖

表 1 中央氣象署 WRF 成員 M04 水平兩層巢狀網格資訊

DMS FLAP	坐標系統	Dimension	Reolution	格點位置
WD01	Lammbert conformal mapping	661x385	15km	Center(120E), true (10N, 40N) 坐標(340, 214)位置位於(30N, 120E) 中心點坐標(331,192)位置位於(26.926N, 118.5908E) 底圖左下點(-5.693677N, 78.02554E) 右上點(43.28705N, 179.5461E)
WD02	Lammbert conformal mapping	1,158x673	3km	Center(120E), true (10N, 40N) 坐標(522, 547)位置位於(30N, 120E) 中心點坐標(579.5,337)位置位於(24.1285N, 121.7601E) 底圖左下點(14.02224N, 105.2500E) 右上點(32.12021N, 140.91388E)

表 2 TaiCOMS 海象模擬作業化系統之風壓場資料格式

模式	Dimension	網格解析度	資料範圍
西太平洋風場及氣壓 WE01	271x181	1/6˚(或 10')	北緯 10˚~40˚ 東經 105˚~150˚
臺灣海域風場及氣壓 WE02	271x271	1/30˚(或 2')	北緯 20˚~29˚ 東經 116˚~125˚

由前述風場處理結果可知，分別有西太平洋(WE01)與臺灣海域(WE02)2 種範圍尺度之風場與氣壓資料提供給 TaiCOMS「波浪模擬系統」進行海象模擬，因此，波浪模擬系統之模組尺度則由大到小，依序有「臺海風浪模擬子系統」、「港區近岸波浪模擬」及「港區靜穩模擬」等 3 個子系統所組成，其中，「臺海風浪模擬子系統」是由 3 層巢狀網格方式模擬臺灣周圍海域風浪，3 層巢狀網格從大到小分別是「大尺度遠域風浪模組(遠域風浪模組)」、「中尺度近域風浪模組(近域風浪模組)」及「小尺度近岸風浪模組(近岸風浪模組)」，其說明如表 3，架構圖如圖 6。本研究探討港灣環境資訊網之波浪模擬數值資料(如圖 7)，即是由「中尺度近域風浪模組」(SWAN)的波浪模擬 1 日 4 次的波浪模擬結果(分別於 3、9、15、21 時更新於網站)，本文以臺中港波浪模擬資料做為探討對象。

表 3 臺海風浪模擬子系統

模組	範圍	計算網格	數值模式
遠域風浪模組 (WE01 風場)	西太平洋 10°N~35°N；110°E~145°E	地球弧形網格 0.2°(或 12’)	WAM
近域風浪模組 (WE02 風場)	臺灣周圍海域 20.6°N~28°N；117.6°N~123.6°N	球面坐標規則網格 0.04°(或 2.4’)	SWAN
近海風浪模組	近岸風浪模組 澎湖海域、金門海域、馬祖海域、臺灣本島東南海域、西南海域、花蓮海域、蘇澳海域及基隆海域	數值計算網格 0.08°	SWAN

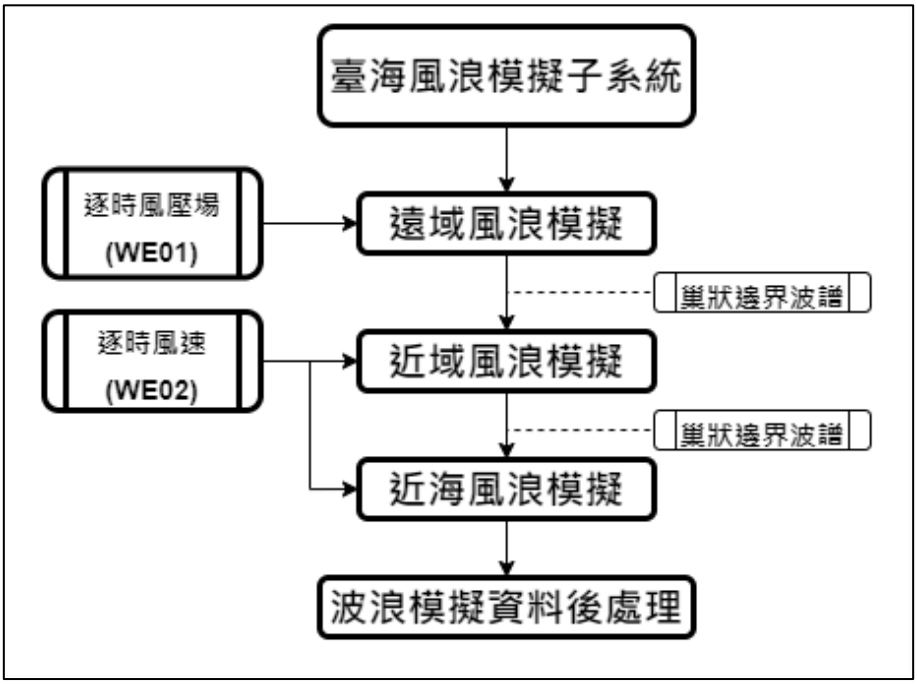

圖 6 臺海風浪模擬子系統架構示意圖

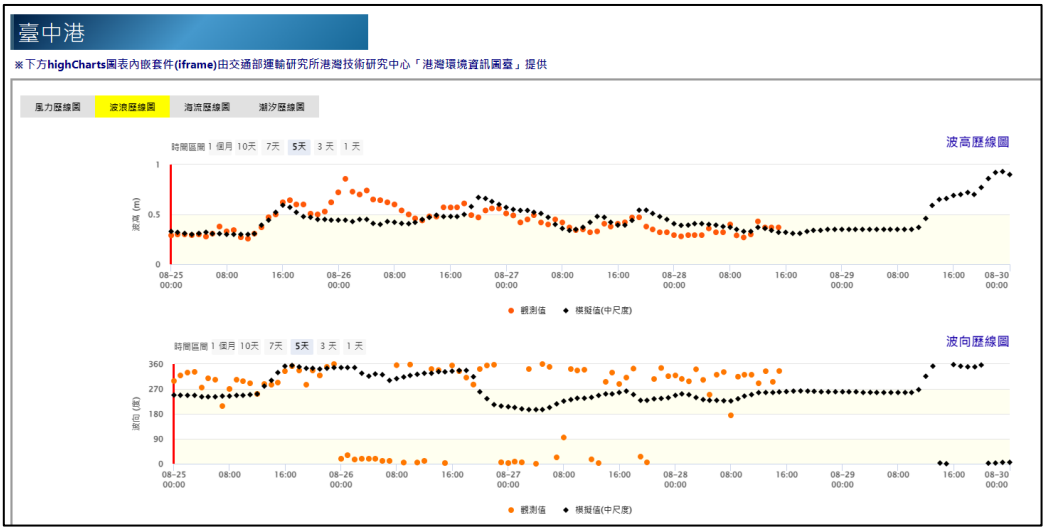

圖 7 港灣環境資訊網波浪預測與觀測資料

二、研究方法

港灣環境資訊網各商港區模擬資訊，除了提供如圖 3 後 1 小時到後 3 小時之風力、潮汐、波浪及海流模擬資訊以外，網頁可選擇特定商港之風力、波浪、海流或潮汐的歷線圖(含模擬值與觀測值)。其中，風力模擬預測歷線圖 1 日提供 4 次(更新時間為每日 3、9、15 及 21 時)預報資訊，每次預測 72 小時的風力資料；波浪部分則提供 1 日 4 次(更新時間為每日 3、9、15 及 21 時)每次預測 48 小時的歷線圖。

中央氣象署每日提供4次風場預報資料，供下游各應用單位下載應用，運研所TaiCOMS為產生海象模擬預測系統所需的每日 1 次與每日 4 次作業化風場資料，已透過系統風場處理程式重組風場預報資料，重新組合方法如圖 8 所示，重組後之風場資料分別於每日 3 時與每日 3、9、15、21 時發布，最終呈現於港灣環境資訊網之風力預測資料，則為每日 4 次作業化風場資料(屬於 3 公里網格)。

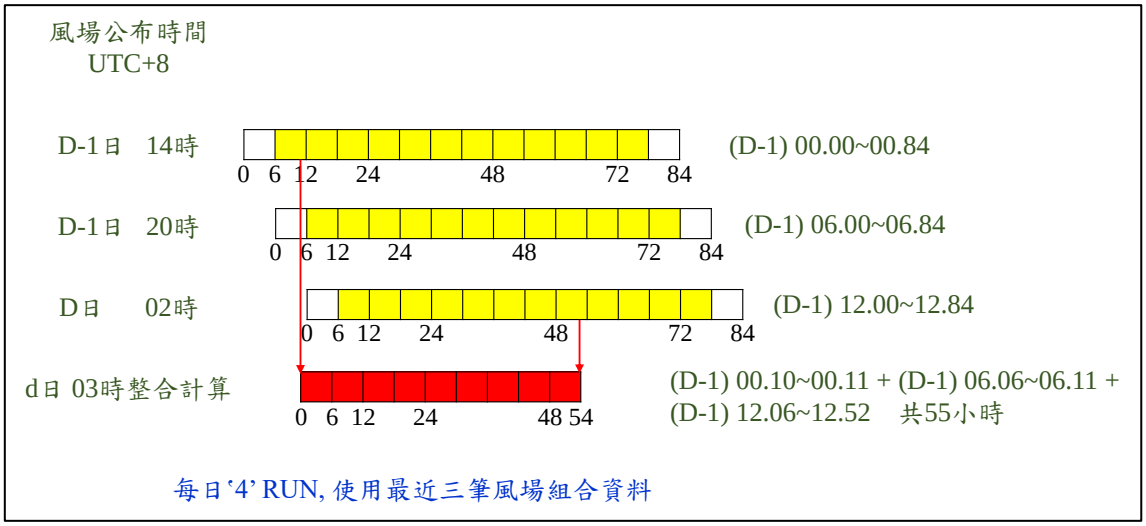

圖 8 每日 4 次的海象作業化模擬預測風場組合示意圖

本研究為比較預報資料準確度，須考量每次預報資料須有相同時間長度(例如，同為「72 小時的預報資料長度」或同為「48 小時的預報資料長度」)，並且 2 筆預報之間會有時間重疊的情況發生，此外，若將不同預報，相同時間的資料進行預測值的準確度比對，會有發布時間不一致的問題，例如：

① D 日 00 時發布 72 小時的預測資料，(預測時間為 D 日 01 時~D+2 日 24 時)

② D+1 日 00 時發布 72 小時的預測資料，(預測時間為 D+1 日 01 時~D+3 日 24 時)

若直接將 D+2 日的 01 時~24 時進行比較，也就是 D 日預報的第 49~72 時、D+1 日預報的第 25~48 時的預報資料，以及 D+2 日預報的第 1~24 時的預報資料直接比較，會有發布時間基準不同的問題，一般認知，離發布的時間越久，準確度便會越低。

因此，為了消除前述的疑慮，本研究將發布後的每筆資料，重新進行擷取與重組，重組原則有 2 項要點，首先係依照預報風場重組後的發布時間特性，將重組後的逐時風場資料依間隔時間擷取預報資料進行第 2 次重組，即(1)當預報發布的間隔時間為「1 日」發布 1 次時，則擷取每次預報時間「1 日」的時間長度，(2)若預報發布的間隔時間為「6 小時」發布 1 次，則擷取每次預報時間「6 小時」的時間長度；其次，當擷取重組後的預報資料時，均應取得該預報資料相同的第 i 小時。

依照前述原則，便能取得相同預報發布時間基準下的預報資料，並且在重組後達成預報資料的連續性，以 1 日 1 報為例：

① D 日 00 時發布 72 小時的預測資料，(預測時間為 D 日 01 時~D+2 日 24 時)

② D+1 日 00 時發布 72 小時的預測資料，(預測時間為 D+1 日 01 時~D+3 日 24 時)

③ D+2 日 00 時發布 72 小時的預測資料，(預測時間為 D+2 日 01 時~D+4 日 24 時)

透過前述兩項擷取預報資料的原則，先擷取每日預報的第 1~24 時，也就是將預報資料的 D 日發布的第 1~24 時、D+1 日發布的第 1~24 時以及 D+2 日發布的第 1~24 時擷取後重新組合，則第 2 次重組後的資料即組成為新的 D 日 1 時至 D+2 日 24 時的 72 小時預報資料，但不同的是，這一組 72 小時預報資料都源自於各預報發布日的第 1~24 時筆資料，概念如圖 9、圖 10 所示。實際擷取風場資料則如圖 11 所示(以每日 4 次的 6 小時風場為例，圖中 2020123100 分別代表西元年(yyyy)月(mm)日(dd)時(hh))。

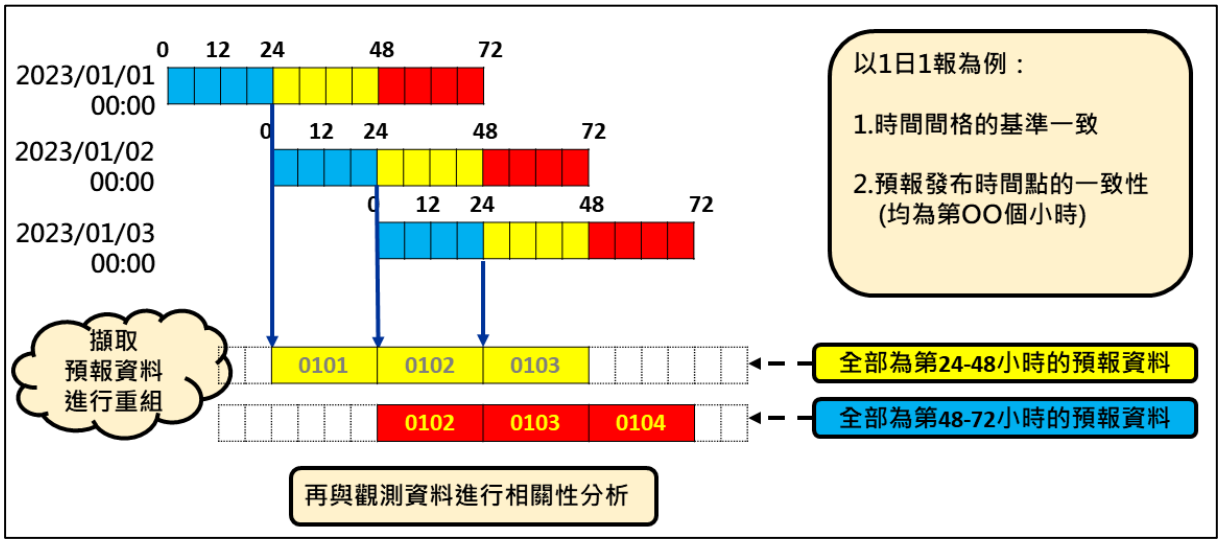

圖 9 重組預測資料概念圖(1 日 1 報)

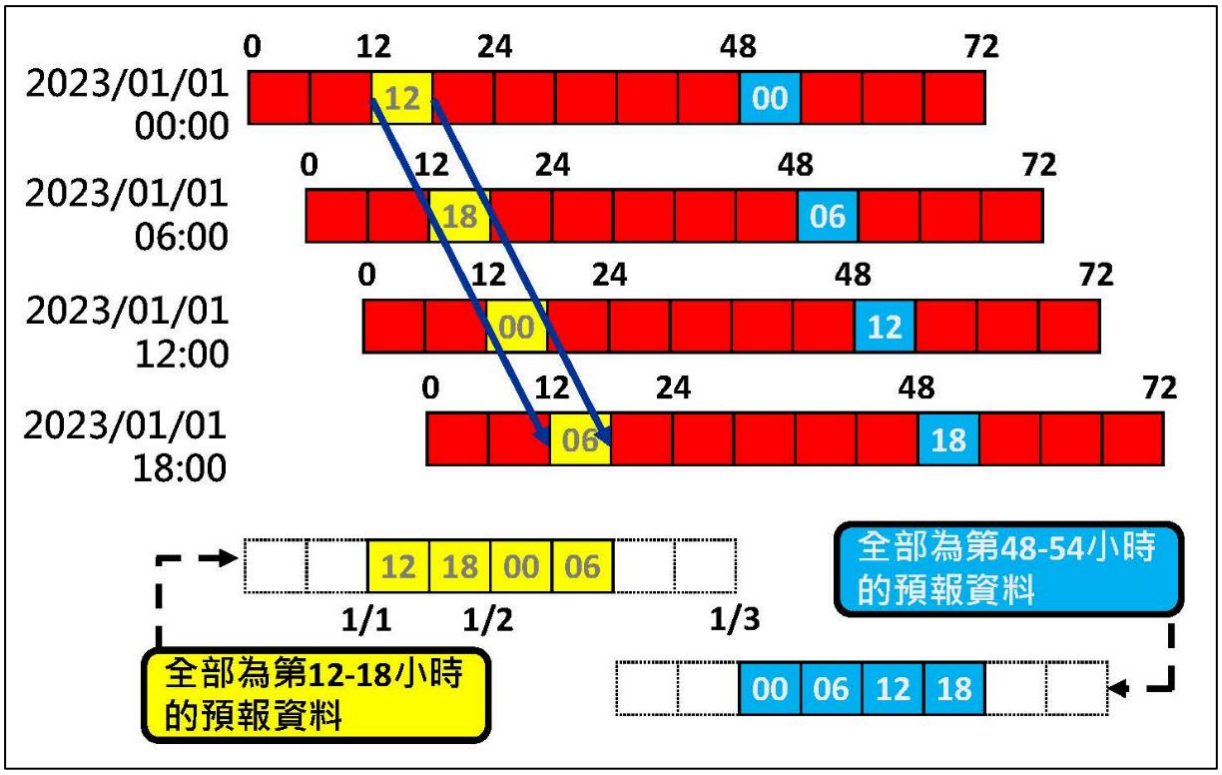

圖 10 重組預測資料概念圖(1 日 4 報)

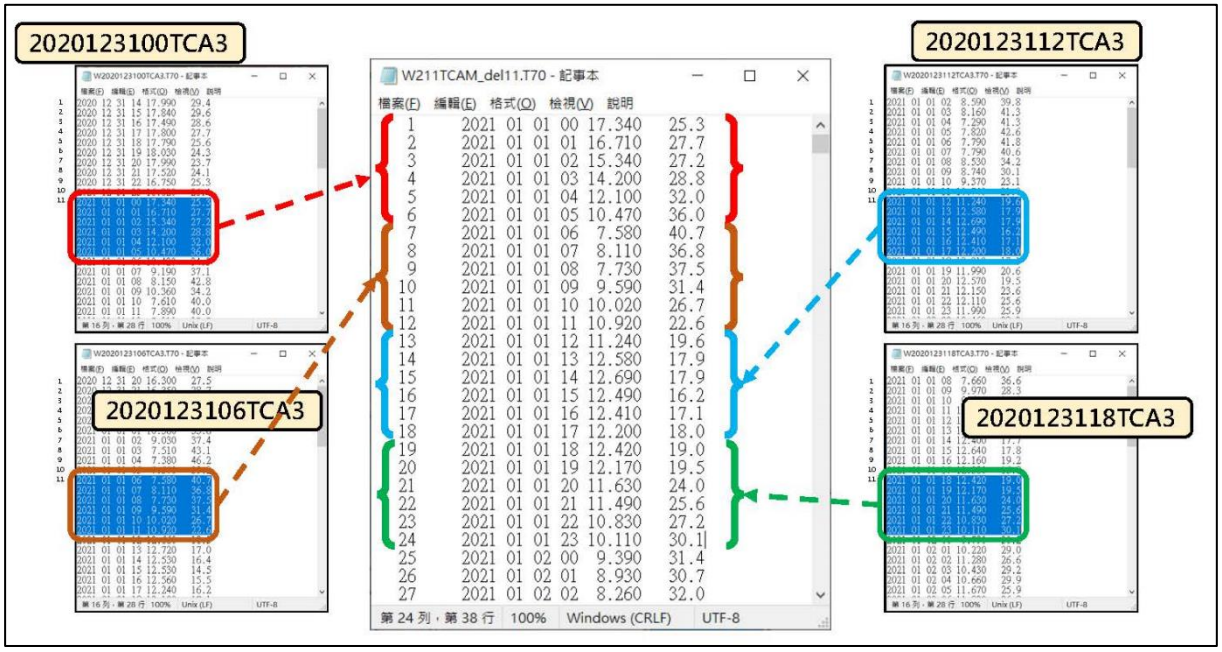

圖 11 再重組風場預測資料圖

三、模擬與觀測資料相關性分析

本研究觀測資料部分，風力資料以臺中港北堤綠燈塔觀測資料做為比較基準，該站為 Gill 2 維超音波式風速計，架設高度於離堤面 15.5 公尺，測站坐標為(24.29972˚N, 120.48666

˚E)，資料蒐集則採取每小時測定 10 分鐘風速並加以平均，得出該小時之平均風速；波浪觀測資料則以北堤綠燈塔西方約 630 公尺處的 AWAC 測站觀測資料做為比較基準，座標為(24.30333˚N, 120.48194˚E)；預報資料本研究均探討 2021 年的預測資訊的每日 4 報資料，預報風場坐標為(24.300˚N, 120.486˚E)；波浪模擬點位座標則為(24.32˚N, 120.44˚E)，其觀測與模擬取點的位置如圖 12 所示。

圖 12 風力觀測資料與模擬資料取點位置

3.1 風力資料相關性分析

風力預測資料係臺灣近岸海象預測系統(TaiCOMS)採自動化作業方式，將中央氣象署每日 4 報的 WRF 成員 M04 水平解析度 3 公里網格之風力預測資料透過解析重組後，將預測發布於港灣環境資訊網，本研究透過圖 10 的擷取方法，將 TaiCOMS 解析後的風力預測資料再進行擷取重組，擷取之預測資料以預測發布的時間為基準(港灣環境資訊網風力預測資料發布時間為每日 3、9、15、21 時)，分別有「未來第 1~6 小時預測」(F0106)、「未來第 25~30 小時預測」(F2530)以及「未來第 49~54 小時預測」(F4954)，將以上的擷取的時間區間重組後，再分別與觀測資料進行相關性比較。

本研究風速觀測資料採用內政部 104 年 1 月 1 日公布「建築物耐風設計規範及解說」的指數律公式求得 10 公尺高度的風速值，以利與「港灣環境資訊網」之風速預測值比較，其公式如下：

$$\frac{V_z}{V_{10}} = \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad 0 \le z \le z_g \cdots\cdots (1)$$

其中，V_z為 z 處的風速(m/sec)、V_{10}為 10 公尺高的風速(m/sec)、α為相對 10 分鐘平均風速之垂直分布法則的指數、z_g為梯度高度(m)，z_g及α都與地況種類有關，本研究α採用 0.15(如表 4)。

表 4 地況種類與相關參數

地況種類	地表特性	α	z_g
A	大城市市中心區，至少有 50%之建築物高度大於 20 公尺者。建築物迎風向之前方，至少 800 公尺或建築物高度 10 倍的範圍（兩者取大值）係屬此種條件下，才可使用地況 A。	0.32	500
B	大城市市郊、小市鎮或有許多像民舍高度（10~20 公尺），或較民舍為高之障礙物分布其間之地區者。建築物迎風向之前方至少 500 公尺或建築物高度 10 倍的範圍（兩者取大值）係屬此種條件下，方可使用地況 B。	0.25	400
C	平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區，其零星座落之障礙物高度小於 10 公尺者。	0.15	300

表 5 顯示 2021 年各月份模擬值與觀測值的相關係數(Cor.)與均方根誤差(RMSE)，同時亦顯示各月份觀測值蒐集率(obs)，2021 年度除了 1、2 及 12 月份蒐集率較低不足 70%以外，其他月份的觀測值蒐集率均有達 70%以上，而觀測資料蒐集率低於 50%的月份，即 1 月(obs = 25.94%)、12 月(obs = 32.39%)份 2 者的 RMSE 均為 10m/s 左右，顯示這 2 個月份的相關性雖屬於高度相關(Cor.大於 0.7)，但其預測數值偏差仍較大。

表 5 2021 年各月份風力觀測與模擬資料相關係數與均方根誤差

月份	obs(%)	F0106		F2530		F4954	
		Cor.	RMSE	Cor.	RMSE	Cor.	RMSE
1	25.94%	0.8777	3.48	0.7887	4.00	0.7633	3.90
2	56.70%	0.9228	3.35	0.9164	3.27	0.8792	3.40
3	91.67%	0.9145	3.48	0.9110	3.42	0.8577	3.52
4	93.61%	0.8942	2.88	0.8178	3.36	0.7829	3.58
5	70.56%	0.6901	3.27	0.5710	3.42	0.5739	3.68
6	73.75%	0.6938	2.93	0.6739	2.94	0.5967	3.03
7	99.87%	0.8732	2.65	0.8493	2.81	0.7881	3.11
8	83.87%	0.5599	2.66	0.5521	2.68	0.6126	2.65
9	98.19%	0.7235	2.47	0.6996	2.46	0.6544	2.59
10	100.00%	0.9307	3.29	0.9083	3.54	0.8901	3.59
11	86.81%	0.8839	3.10	0.8890	3.10	0.8068	3.38
12	32.39%	0.9362	3.59	0.9296	3.52	0.8916	3.65

註：(1)RMSE(均方根誤差，Root-Mean-Square Error)單位為 m/s，均方根誤差為衡量估計值與觀測值間差異的指標，當值為 0 的情況，表示兩者數據完全吻合。

(2)Cor.(相關係數，Correlation Coefficient)介於-1~1 之間，大於 0 代表兩者變數正相關，反之則負相關；大於 0.7 為高度相關，介於 0.4~0.7 為中度相關，小於 0.4 為低度相關。

2021 年整體的相關係數均大於 0.7，即模擬與觀測有高度相關性，即便已達 F4954(預測時間為 2 天以後)，大部分仍有高度相關，而在 5、6、8 月中，其相關性小於 0.7、大於 0.5，顯示這幾個月份的模擬資料僅有中度相關性，而此段期間也剛好屬於夏季，夏季的氣象條件在短時間內可能發生變化，例如，突發風暴、氣旋或降雨事件，都有可能導致風速急遽變化，進而影響預測資料，相對於冬季，在臺中港北堤綠燈塔的位置，有較穩定的風速條件，穩定的風速條件亦有可能跟強烈冷氣團或強勁的東北季風有所關聯。

將 F0106、F2530 以及 F4954 的相關係數，繪製成圖 13，由圖可知，當預測時間距離發布時間越久時，其相關係數原則上都呈現下降的走勢，顯示短時間內預測較準確，也符合在長時間的預測中，預測模型的不確定性可能逐漸累積，導致預測的不確定性增加，使得天氣系統的複雜性與不確定隨時間推移。再者，將每日分成凌晨(00-05)、上午(06-11)、下午(12-17)及晚上(18-23)做不同時段的預測資料討論，並依照表 6 選擇觀測資料蒐集率均達 85%以上的季節(秋季，9 月 98.19%、10 月 100.00%、11 月 86.81%)進行相關係數的討論如表 5 所示，在這 3 個月中，10、11 月份整體各時段的相關係數均與該月份的整體相關係數接近，只有在凌晨(00-05)時段的預測資料有較低的狀況發生，尤其 9 月份在凌晨時段的各預測時段(F0106、F2530 及 F4954)的預測資料都有相關係數較低的情形。而各月份的均方根誤差 RMSE，如圖 14 所示，全年的 RMSE 均小於 4.0m/s，又以 9 月份各預測時間約 2.5m/s 為最低，整體而言，模擬預測值與觀測值相當接近。

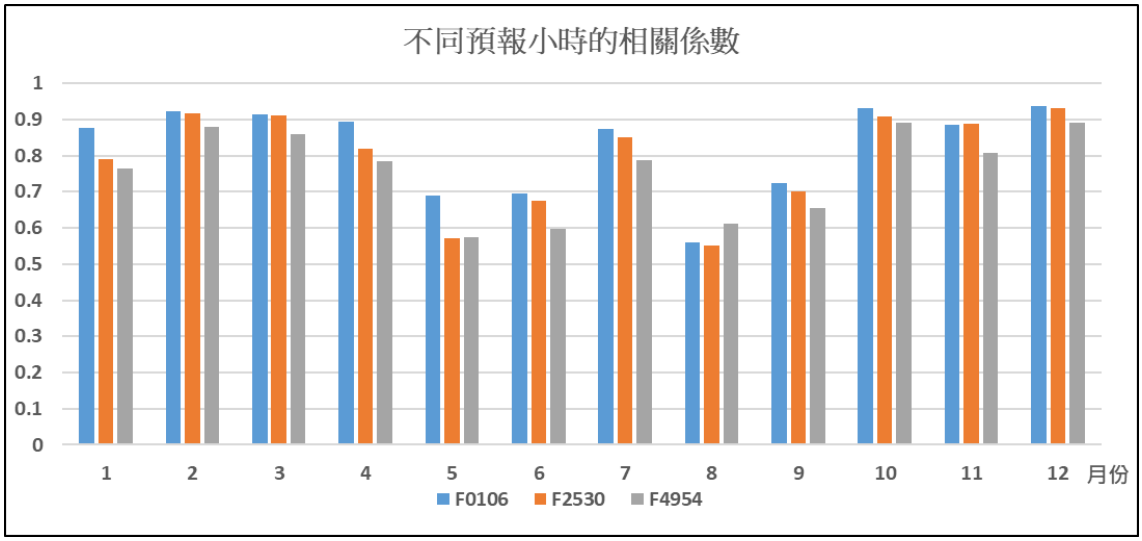

圖 13 2021 年各月份風力觀測與模擬資料相關係數

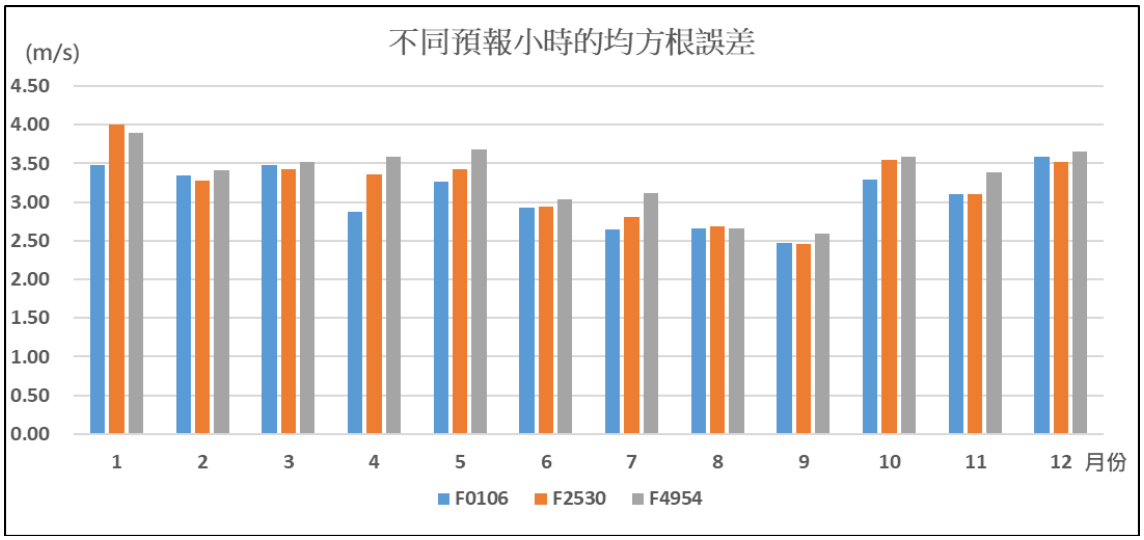

圖 14 2021 年各月份風力觀測與模擬資料均方根誤差

表 6 不同時段預測資料的相關係數(凌晨、早上、下午、晚上)

月份 小時	F0106	F2530	F4954	月份 小時	F0106	F2530	F4954	月份 小時	F0106	F2530	F4954
9	0.7235	0.6996	0.6544	10	0.9307	0.9083	0.8901	11	0.8839	0.8890	0.8068
00-05	0.52	0.39	0.42	00-05	0.93	0.88	0.86	00-05	0.84	0.83	0.64
06-11	0.60	0.53	0.59	06-11	0.92	0.89	0.88	06-11	0.89	0.92	0.86
12-17	0.73	0.82	0.74	12-17	0.93	0.90	0.89	12-17	0.89	0.92	0.85
18-23	0.79	0.76	0.66	18-23	0.94	0.95	0.93	18-23	0.93	0.91	0.89

3.2 波浪資料相關性分析

波浪資料的相關性分析取自 2021 年每日 4 報資料，在 TaiCOMS 系統中「中尺度近域風浪模組」(SWAN)的每日 4 報模擬結果，共有 55 小時的預測資料，其中前 6 小時是追算預測，後 48 小時為預測資料，因此，在波浪的相關性分析中，擷取 F0106、F1318、F2530、F3742 做為與觀測值進行相關性分析之片段比較。

表 7 顯示 2021 年各月份模擬值與觀測值的相關係數(Cor.)與均方根誤差(RMSE)，同時亦顯示各月份觀測值蒐集率(obs)，其中，2021 年的 4 月份因為儀器問題，均無觀測資料，而 3 月份(obs = 6.99%)與 5 月份(obs = 17.2%)的觀測值蒐集率都相當低(小於 20%)，其他月份除了 1、2 月份觀測蒐集率約 60%左右以外，其餘月份的觀測蒐集率均接近 100%。此外，2021 年除了 4 月以外，均方根誤差均小於 0.8m，顯示波浪模擬資料在相關係數不論高或低的情況下，波浪模擬資料均相當接近實際波浪觀測值。

將預測與觀測資料的相關係數繪整如圖 15，由柱狀圖的變化可知，2021 年(除 3、4、5 月)的預測時間不論在近期預測或遠期預測(F0106~F3742)，其相關性在 0.8 到 0.9 之間，顯示大部分的預測資料均呈現高度相關(大於 0.7)。就近期預測(F0106)到遠期預測(F3742)的趨勢來看，8 月份則由 0.834(F0106)稍微下降到 0.732(F3742)的趨勢，但仍屬於高度相關性。各月份的 RMSE 則繪整如圖 16，全年的 RMSE 除了 12 月份約為 0.8m/s 以外，其餘均小於 0.7m/s，其中 6 至 9 月份屬於浪況較為平穩的夏季季節，除了 7 月份的 RMSE 為 0.3m/s 至 0.5m/s 以外，其他月份均小於 0.3m/s，整體而言，波浪的預測結果均接近實測值。

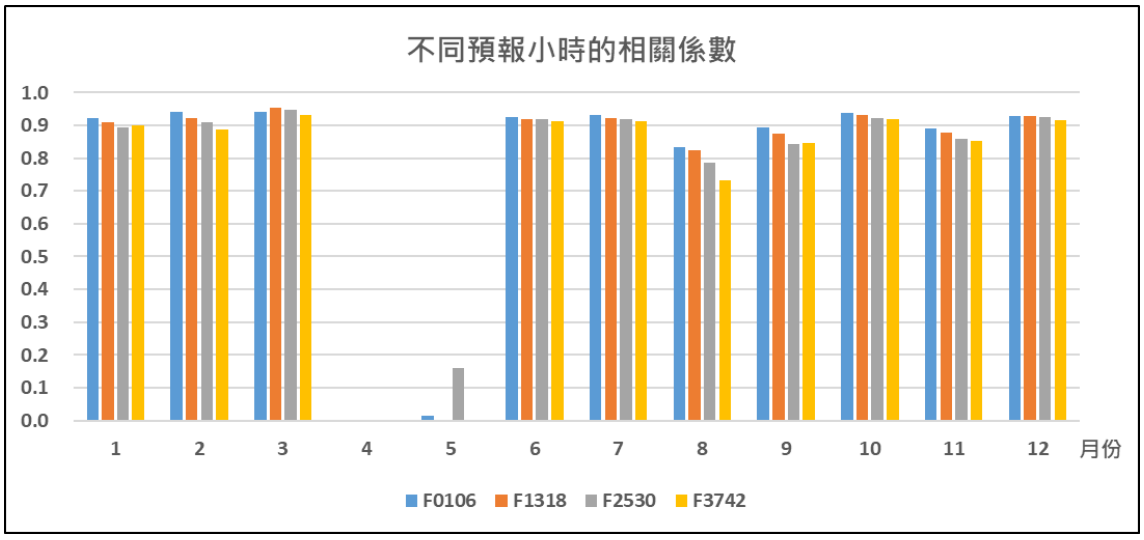

圖 15 2021 年各月份波浪觀測與模擬資料相關係數

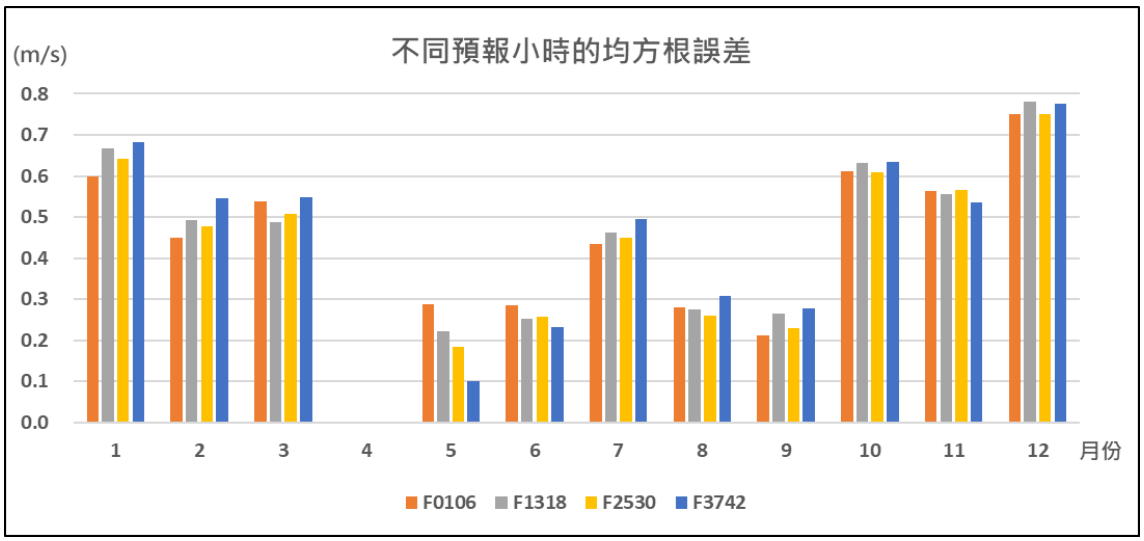

圖 16 2021 年各月份波浪觀測與模擬資料均方根誤差

表 7 2021 年各月份波浪觀測與模擬資料相關係數與均方根誤差

月份	obs(%)	F0106		F1318		F2530		F3742	
		Cor.	RMSE	Cor.	RMSE	Cor.	RMSE	Cor.	RMSE
1	61.42	0.923	0.60	0.909	0.67	0.894	0.64	0.900	0.68
2	62.20	0.940	0.45	0.924	0.49	0.911	0.48	0.888	0.55
3	6.99	0.942	0.54	0.953	0.49	0.946	0.51	0.930	0.55
4	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
5	17.20	0.014	0.29	-0.258	0.22	0.161	0.18	-0.131	0.10
6	99.72	0.924	0.28	0.920	0.25	0.919	0.26	0.912	0.23
7	98.52	0.931	0.43	0.922	0.46	0.920	0.45	0.912	0.49
8	99.46	0.834	0.28	0.823	0.27	0.920	0.26	0.732	0.31
9	99.58	0.894	0.21	0.874	0.27	0.785	0.23	0.847	0.28
10	99.60	0.939	0.61	0.933	0.63	0.843	0.61	0.919	0.63
11	97.36	0.892	0.56	0.878	0.55	0.922	0.57	0.853	0.54
12	99.87	0.929	0.75	0.927	0.78	0.860	0.75	0.915	0.78

註：(1)RMSE(均方根誤差，Root-Mean-Square Error)單位為 m/s，均方根誤差為衡量估計值與觀測值間差異的指標，當值為 0 的情況，表示兩者數據完全吻合。

(2)Cor.(相關係數，Correlation Coefficient)介於-1~1 之間，大於 0 代表兩者變數正相關，反之則負相關；大於 0.7 為高度相關，介於 0.4~0.7 為中度相關，小於 0.4 為低度相關。

四、結論

本研究主要分析運研所港灣環境資訊網臺灣近岸海象預測系統（TaiCOMS）所提供的海氣象模擬資料，特別是風力與波浪資料，與實際觀測資料的相關性，並以 2021 年的臺中港觀測資料做為比較對象。研究方法中針對風力與波浪資料的每日 4 次的發布預測特性，使用不同時間間隔進行資料擷取與重組，以消除不同預測時間點之間的時間重疊與不一致性。對風力資料相關性的分析顯示，整體而言，模擬與觀測資料之間具有高度相關性，尤其在近期的預測時間(F0106)內相關性較高，但在夏季月份可能受到西南氣流、颱風、午後雷陣雨等現象引發強風，使得模式對於這些瞬間變化的預測能力有限，使相關性稍有降低(8 月份相關係數僅 0.5599)。

波浪資料相關性分析顯示，除了 4 月份無觀測值、3 月份與 5 月份觀測值數量偏低以外，整體模擬預測與觀測資料的相關性均於 0.8~0.9 之間的高度相關性，僅有 8 月份於近期預測(F0106)的相關係數由 0.834 降至遠期預測(F3742)的相關係數 0.732，但仍大於 0.7 屬於高度相關性。

由本研究以臺中港的風力與波浪模擬資料兩者相關性分析可知，港灣環境資訊網臺中港的風力模擬資料，可能受不同月份的氣象條件變化影響，使得其相關性在不同月份的差異較大，而波浪模擬資料不論在較短的預測時間或到較長的預測時間，都有較高的相關性，顯示其模擬值有一定的參考價值。

參考文獻

1. 內政部，2015，建築物耐風設計規範與解說。
2. 曹勝傑, 許義宏, 林達遠, 羅冠顯, 劉明鑫, 蔡金吉, 張維庭, 陳子健, 陳孟宏, 李俊穎, (2022), 2021 年港灣海氣象觀測資料統計年報(8 港域觀測風力資料), 交通部運輸研究所。
3. 羅冠顯, 林達遠, 廖慶堂, 劉明鑫, 曹勝傑, 陳子健, 陳孟宏, 張維庭, 李俊穎, (2022), 2021 年港灣海氣象觀測資料統計年報(8 港域觀測波浪資料), 交通部運輸研究所。
4. 傅怡釧, 林雅雯, 劉清松, 陳鈞彥, 謝佳紘, 鄭采誼, (2022), 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. 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。
6. 林騰威, 劉清松, 林雅雯, 張永葵, 林珂如, (2023), 港灣環境資訊系統維護與精進(1/4)-海氣象資訊擴充整合建置, 交通部運輸研究所。