

海域施工用波潮流預測服務

范揚沼¹ 邱啟敏² Shunqi Pan³ Y. Joseph Zhang⁴ 陳家銘⁵ 黃清哲⁶

¹ 國立成功大學近海水文中心研發組組長

² 國立成功大學水利及海洋工程學系博士候選人

³ Professor in Coastal Engineering, School of Engineering, Cardiff University, Cardiff, UK

⁴ Associate Professor in Virginia Institute of Marine Science, College of William & Mary, USA

⁵ 國立成功大學近海水文中心研發工程師

⁶ 國立成功大學水利及海洋工程學系教授暨近海水文中心主任

摘要

本研究目的為發展波潮流預測系統，精準預測施工海域的海況。掌握海況是碼頭作業或海上施工作業是否順暢的重要關鍵因素之一，因為瞬變氣象所產生之危險海況對海事作業可能造成超出預期的傷害，也嚴重威脅人員之生命安全。相對於以漁業及航海為對象的大尺度海象預測，管理海事作業所需要的是近岸、小區域、高解析精度及更準確的預測。研究成果顯示結合資料同化技術與系集技術的波浪預測準確度較佳。此外，高準確的潮流預測系統不但對於水下施工安排有助益外，對於離岸風機基樁長年處於海流作用下，周遭海底床可能出現淘刷現象能提供海底海流資訊，進而提早提出預防因應之策。

關鍵詞：系集資料同化、波浪預測、潮流預測、海底淘刷、離岸風機、海事工程

Document Template of Ocean Engineering Conference in Taiwan

Yang-Ming Fan* Chi-Min Chiu Shunqi Pan

Y. Joseph Zhang Jia-Ming Chen Chiung-Chu Huang

* Leader, R&D Department, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop wave, tide and current predictions to accurately predict the sea condition. The mastery of the sea condition is one of the key factors for the smooth operation of the terminal operation or the offshore construction work. The dangerous sea condition caused by the transient weather may cause the harm to the maritime operation exceeding the expected and seriously threaten the life safety of the personnel. Compared to large-scale marine prediction for fisheries and navigation, management of maritime operations requires near-shore, small-area, high-resolution and more accurate predictions. The results show that the accuracy of wave prediction combined with data assimilation technique and ensemble technique is better. In addition, the high accuracy of the tidal current prediction system not only usefully for the underwater construction arrangements, but also can be offered seabed current for early response of the offshore wind foundation was effected by the seabed current resulting in seabed scour.

Keywords: Ensemble-based data assimilation; Wave prediction; Tidal current prediction; Seabed scour; offshore wind; Marine construction

一、前言

由於臺灣海域之地理特性，每年四月至十月的梅雨季、西南季風與颱風、十月至隔年三月間強勁的東北季風，造成臺灣海峽之海象及氣象(以下簡稱海氣象)具有高度的複雜性。其中所有登陸臺灣的颱風皆會影響臺灣海峽海域，因此臺灣海峽海域之海象是非常危險的地區。海氣象的各項條件均與離岸風場之規劃、海域環境之工程及船舶航行之安全息息相關，而掌握海洋與大氣環境特性是上述工作必要之途徑。海氣象變化萬千，掌握其特性可運用很多方式探索它，如理論解析、模式及觀測等，觀測是最直接的方法，模式可預測未來海氣象變化。海洋環境監測結果除了可提供規劃設計之需求外，亦可掌握區域的海氣象特性、擬定合適的工程施作季節、提供即時資訊予海上施工團隊、進行海象預測同化作業、評估適當的維護季節及建置該海域基本水文資料庫。此外，相對於以漁業及航海為對象的大尺度海氣象預報，海事工程施工所需要的是近岸、小區域、高解析精度及更準確的預報，為能減少代價付出的成本與時間，進行準確小區域的預報，掌控未來海象的動態至為必要。

二、預測平台概述

本平台提供定點、區域及大範圍的波浪預測與海潮流預測，波浪預測採用本研究團隊研發的系集同化波浪預測模式(范等人，2016)，潮流預測採用SCHISM 海洋模式，模式說明如下：

2.1 波浪預測系統

波浪模式採用 WAVEWATCH III 波浪模式，中央氣象局於 99 年與 100 年委託本研究團隊建置 WW3 波浪模式(范等人，2011)，此模式已完成參數率定，且證實有效改善波浪模式計算結果。然而，不同天氣系統影響下，波浪預測結果具有某種程度的誤差，但系集統計的分析可將不可預期的誤差移除，經過分析後顯示系集預報的結果不但變化趨勢符合實測波浪，最大值的發生時間與最大值更可精確的掌握(Fan et al., 2011; Pan et al., 2012; Fan et al. 2013)。進一步研究發現系集成員反映在波高預測上的準確度各有優劣，若系集成員權重均等進行系集預測，無法每次準確預測颱風事件過程中的最大波

浪值，因此系集權重係數已被採用於現有平台(Pan et al., 2016)。

此外，資料同化應用於波浪預測方面，曾因為缺乏高品質的實測波浪資料而使得在發展上受到阻礙，本研究海域已建置即時波浪觀測系統，波浪觀測資料隨即由無線通訊方式將資料立即回傳，這些資料提供了絕佳的基礎與條件。因此，為了獲得較佳的初始值，進而產出更符合實際海況的預測資訊，本研究結合即時波浪觀測資料，發展架構於系集波浪預測模式之波浪資料同化預測技術，波浪預測流程如圖 1。

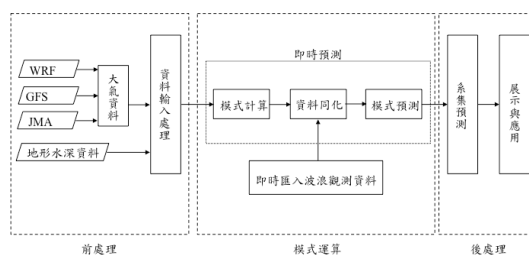


圖 1 波浪系集同化預測流程圖

2.2 潮流預測系統

全球使用的海洋模式眾多，早期純粹以海洋模式進行模擬河口的潮流及暴潮位的演變。近十年來，由於電腦科技迅速的進步，海洋模式已結合大氣及波浪模式，來提昇河口流體動力現象預測的精度。目前較常見結合大氣與波浪模式的海洋模式有 SCHISM、ADCIRC 及 FVCOM。Chen 等人(2013)利用此三套模式模擬美國麻薩諸塞州 (Massachusetts state) 的 Scituate 港口的流體動力現象，其中搭配的波浪模式依序為 WWM、SWAN、SWAVE。由模擬結果顯示，三套模式理論基礎皆採用淺水波方程架構，唯在水深地形方面因使用不同的數值技巧，以及水表面與底床摩擦係數差異，造成邊界處流體動力有些微的差異，但整體來說，三套模式模擬結果皆非常的相近。

眾多的海洋模式雖各具不同的優缺點，在理論基礎上各模式皆差異不大，唯一的差異即不同的數值技巧，但大家最後一致目標即希望能達到一套具備有快速的計算效率與精度佳的模式。做為海域施工用的海洋模式，也應具備模擬海海底床海流的能力。綜觀上述模式，如表 1，唯 SCHISM 模式具有此能力，且結合大氣與波浪模式能有更高精度的模

擬結果，另一重點是具有快速的電腦計算效率。海潮流預測模式採用三維跨尺度的 SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) 海洋數值模式，SCHISM 模式水平網格座標系統可結合非矩型與矩形網格，因應不同計算需求能選用卡式或球面座標系統；垂直網格可採用 SZ 及 LSC² 的座標系統，其中陡變地形是許多

海洋數值模式一項重要的挑戰，地形陡變會造成壓力梯度變化劇烈，在海洋數值模式計算中會產生偽流 (spurious flow) 的問題 (Zhang et al., 2015)，而 LSC² 座標系統即針對水域中地形陡變變化而發展一個新的數值方法，可有效避免因地形陡變產生偽流的計算誤差。

表 1 海洋模式比較表

海流模式	數值方法	驅動力	垂直方向座標系統	模組
NEMO	有限差分法	潮汐、各種氣象資料、河流等	S 座標 Z 座標 混合 SZ 座標	海冰、示踪劑、生物化學
COHERENS	有限差分法	潮汐、各種氣象資料、河流等	σ 座標系統	生態、漂砂、粒子追蹤
FVCOM	有限體積法	潮汐、各種氣象資料、河流等	σ 座標系統 S 座標系統	資料同化、系集卡門濾波、多層網格嵌套、三維乾濕處理、波浪、GOTM 紊流、三維漂砂、水質生態、追蹤顆粒、極區冰
HYCOM	有限差分法	各種氣象資料	垂向混合座標	
POM	有限差分法	潮汐、各種氣象資料、河流等	σ 座標系統	
ROMS	有限差分法	潮汐、各種氣象資料、河流等	S 座標系統	波浪、大氣、生態系統、資料同化、沉積、極區冰
SCHISM	有限元素法	潮汐、各種氣象資料、河流等	混合 SZ 座標或 S 座標 LSC ² 座標	油污擴散、波浪、生態系統、資料同化、漂砂、水質

三、預測準確度

3.1 波浪預測案例分析

圖 2 與圖 3 分別為蘇澳海域與富貴角海域的波高預測時序列圖，圖中呈現過去 48 小時及未來 72 小時內指定格點位置的系集同化後的波高預測變化趨勢。圖中紅色虛線所指的時間為最新預測時間，紅色虛線右邊為最新的系集同化後的波高預報變化趨勢，紅色虛線左邊為過去 48 小時的系集同化後的波高預測變化趨勢，圖中顯示作業化系集同化預測的結果顯示變化趨勢符合實測波浪，尤其富貴角海域的波高於 10 月 3 日 8 時開始成長期間，預測波高與實測一致，顯示本系統精確反映出波高的成長變化。

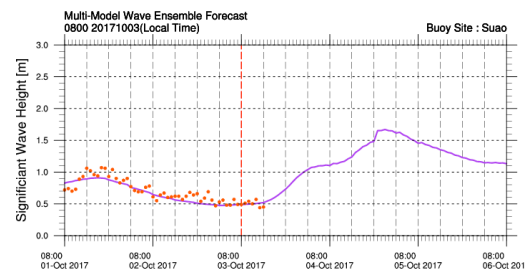


圖 2 蘇澳海域即時波高預測與實測

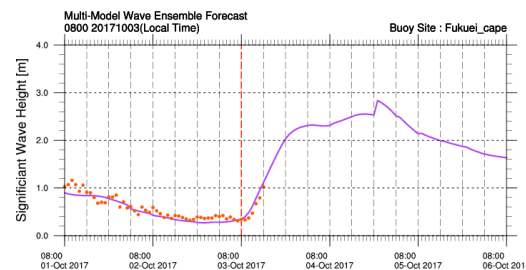


圖 3 富貴角海域即時波浪預測與實測

3.2 潮流預測案例分析

圖 4 為水位模擬結果與麥寮潮位站的實測水位

比對結果，結果顯示的模擬與實測的振幅與相位一致。又模式範圍涵蓋臺灣西南海域，海潮流模擬結果如圖 5，圖中的色階(color bar)表示水深(公尺)，黑色箭頭長度表示海流大小，黑色箭頭方向表示海流流向。進一步比對西南海域海潮流各層觀測資料，垂直分層的海流剖面模擬結果如圖 6，X 軸是時間(秒)，Y 軸是水深(公尺)，Z=-12 表示海表面下 12 公尺，圖中由左往右依序是海潮流的 U 分量、V 分量及合成，結果證明海潮流模擬結果與實測趨勢一致。

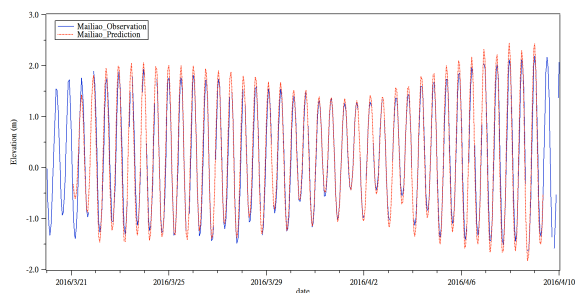


圖 4 麥寮潮位站的實測水位與模擬比對

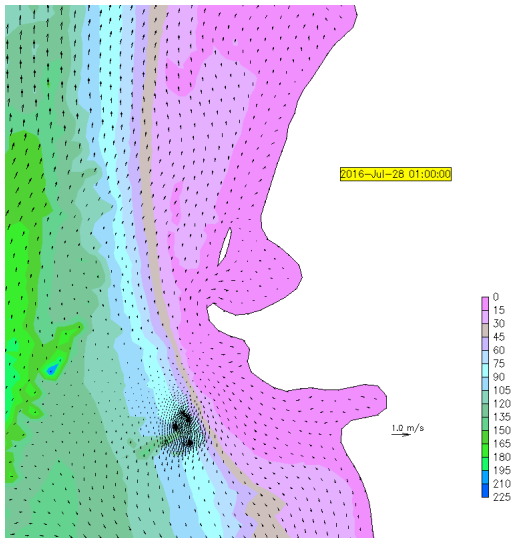


圖 5 西南海域海潮流模擬

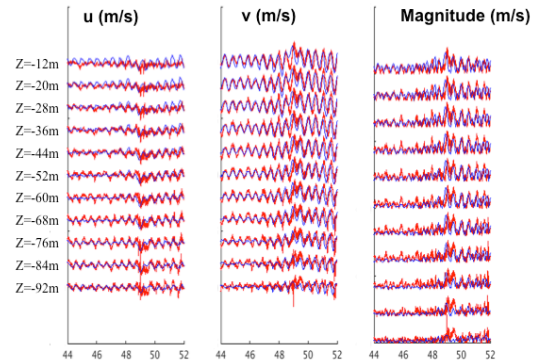


圖 6 西南海域海潮流各層觀測資料與模擬比對

四、結論

系集同化方法結合資料同化技術與系集技術已於臺灣附近海域執行作業化波浪預測，又海事工程施工所需要的是小區域、高解析精度及更準確的預報，因此本系統對於國內離岸卸煤作業、離岸風場開發與維運等海事工程，預期能為產業界減少付出的成本與時間，順利完成海事施工作業。

潮流預測系統的模擬結果顯示潮汐的振幅與相位、海表面到海底的海流皆有良好的模擬結果，不但對於水下施工安排有助益外，對於離岸風機基樁長年處於海流作用下，周遭海底床可能出現淘刷現象能提供海底海流資訊，進而提早提出預防因應之策。

結合波浪與潮流預測，本研究成果可依據施工海域的區域局部提高空間解析度，進而提供單點或全面性的波流預測資訊。

謝誌

本論文承蒙經濟部水利署、交通部氣象局及台灣中油股份有限公司提供實測資料使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. 范揚洺、陳家銘、黃清哲(2016)「應用系集同化方法於波浪預測—以卸煤碼頭作業為例」，第 38 屆海洋工程研討會論文集，第 113-117 頁。
2. 范揚洺、陳家銘、滕春慈、朱啟豪、李汴軍(2011)「台灣海域作業化 WAVEWATCH III 湧浪數值預報建置」，第 33 屆海洋工程研討會論文集。
3. Chen, C., Beardsley, R.C., Luettich Jr, R.A., Westerink, J.J., Wang, H., Perrie W., Xu, Q.,

- Donahue, A.S., Qi, J., Lin, h., Zhao, L., Kerr, P.C., Meng, Y., Toulany, B. (2013) Extratropical storm inundation testbed: Intermodel comparisons in Scituate, Massachusetts, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 1-20.
4. Fan, Y.M., Pan, Shunqi, Chen, J.M., Kao, C. C. (2013) Ensemble wave forecasting over typhoon period, OCEANS-Bergen, 2013 MTS/IEEE, Bergen, Norway.
 5. Fan, Y.M., Pan, S., Chen, J.M., Kao, C. C. (2011) Ensemble forecasting on wave modeling, Proceedings of the 10th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 11), Rhodes, Greece, Vol. 2, 809-820.
 6. Pan, S., Fan, Y.M., Chen, J.M., and Kao, C.C., (2016) Optimization of multi-model ensemble forecasting of typhoon waves, *Water Science and Engineering*, 9, 1, 52-57.
 7. Pan, S., Fan, Y.M., Chen, J.M., Kao, C. C. (2012) Ensemble forecasting on typhoon wave modeling, Proceeding of the 6th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, 473-480.
 8. Zhang, Y., Ateljevich, E., Yu, H.S., Wu, C.H., and Yu, J. (2015) A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model, *Ocean Modelling*, 85, 16-31.