

應用系集同化方法於波浪預測- 以卸煤碼頭作業為例

范揚洺¹ 陳家銘² 黃清哲³

¹國立成功大學近海水文中心研發組組長

²國立成功大學近海水文中心研發工程師

³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

本研究目的為發展系集同化方法，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。波浪預測需要考慮之因素包括複雜近岸地形產生之複雜的波浪變化現象以及預測模式中存在的的不確定性。單一模式決定性的預測方法，無法完全掌握預測過程中的不確定性，系集預測的發展證實可彌補單一模式預測的不足。此外，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。研究成果顯示波浪預測準確率提高 10% 以上，證明結合資料同化技術與系集技術的波浪預測準確度較佳，此為國內波浪預測領域的創新技術。

關鍵詞：系集資料同化、波浪預測、卸煤碼頭

Ensemble-Based Data Assimilation for Wave Forecasting – Applicatio to Coal Unloading Terminal

Yang-Ming Fan* Jia-Ming Chen Ching-Jer Huang

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

ABSTRACT

The purpose of this study is to a develop an innovative technology of ensemble-based data assimilation method 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. The factors that need to be taken into account in the wave prediction include complex wave changes in the complex nearshore topography and uncertainties in the prediction wave model. The deterministic prediction can not fully grasp the uncertainties in the forecasting process, on the contrary, the development of the ensemble prediction can make up for the deficiency of the deterministic prediction. In addition, 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 is improved by more than 10%, which proves that the accuracy of wave prediction combined with data assimilation technique and ensemble technique is better.

Keywords: Ensemble-based data assimilation; Wave forecastsing; Coal unloading terminal

一、前言

波浪預測模式中存在著許多不確定性，包含初始資料的誤差或模式中的缺陷，皆可能影響波浪預測結果的準確度。目前單一模式決定性的預測方法，無法完全掌握預測過程中的不確定性，同時亦無法提供預測過程中的不確定性資訊，因此目前欲獲得所有可能的海象變化有其困難度。系集預測的發展是為了彌補單一模式預測的不足，藉由多個不同的系集成員預測，期望能包含模式預測的不確定性，並且將不確定性量化，以提供未來的預報機率(Leith, 1974)。Fan et al. (2011)與 Pan et al. (2012)分析系集波浪模擬結果實測波浪在成長或衰減過程中的變化趨勢皆在系集波浪預測的上下限內，明顯看出系集波浪預測有較佳的預測準確度。Fan et al. (2013)進一步以系集波浪模式探討颱風波浪的預測能力，由鄰近資料浮標站之波高系集預測結果顯示最大值的發生時間與最大值可更精確的掌握，證明颱風系集波浪預測確實可以彌補單一模式預測的不足。

資料同化方法是源自於氣象上的應用，最早出現於 1960 年代數值化的氣象預報研究中(Gandin,1963)，氣象學家利用即時氣壓觀測值繪製等壓線或應用於氣象上的數值模式，至今已成為氣象預報工作重要的一環。Fan et al. (2014)與 Fan et al. (2015)將資料同化演算程序應用於波浪預測，即作業化預測模式與作業化即時觀測網進行整合，利用即時資料對海況進行即時校正與現報(nowcast)，以提昇數值模式現報的準確度。

船舶在碼頭靠岸、離岸及作業期間，對於掌握未來波浪的變化有非常嚴謹的準確度要求，因此本研究目的是結合資料同化技術與系集技術，發展系集同化方法，藉以精確預測施工海域的海況。

二、系集同化方法

系集預測分為參數系集與模式系集兩種：參數系集為改變單一數值模式的參數值後產生系集預測成員；模式系集則為利用不同的數值模式模擬結果做為系集預測成員。由於本研究作業化數值波浪模式已經過校驗與準確度測試，可合理的預測波浪資訊，故本研究採用模式系集預測。又本研究以建立卸煤碼頭海域作業化系集預測為目標，因此高準確

度的風場資料才足以描述特定水域波浪變化，評估國際上可取得已作業化的風場資料包括 GFS(Global Forecast System)大氣模式、GSM(Global Spectral Model)大氣模式及 WRF(Weather Research and Forecast)大氣模式，三種大氣模式簡述如下：

GFS 大氣模式是由全球預報系統產出，此大氣資料模式系統所提供大氣預報資料空間解析度為 0.5 度，資料範圍涵蓋全球，時間解析度在預報時間 12 小時內為 3 小時，預報時間 12 小時外為 6 小時，預報長度為 72 小時；GSM 大氣模式是由全球頻譜模式產出，此大氣資料模式系統所提供大氣預報資料空間解析度為 0.5 度，資料範圍涵蓋全球，時間解析度為 6 小時，預報長度為 72 小時；WRF 區域數值預報模式所產出的氣象資料空間解析度分別為 45、15 及 5 公里，時間解析度為 1 小時，預報長度為 72 小時。

上述三種作業化大氣模式做為波浪預測模式驅動力產出系集波浪成員，再以系集方法求得系集波浪預測資訊。

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，本研究對象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。

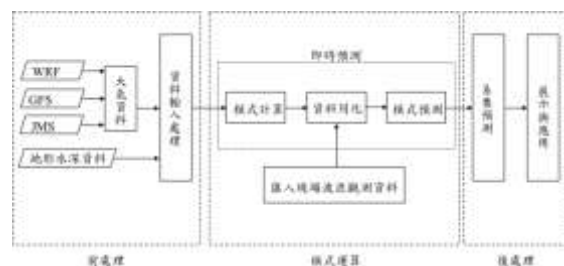


圖 1 波浪系集同化預測流程圖

三、現場波浪觀測系統

3.1 波浪觀測儀器系統測試

為了實測收集波浪，且即時提供波浪資訊，以作為準確度測試之依據，又為了避免海生物附著影響資料收集與品質，本研究採用三只雷達波水位計

收集波浪資料，是國內觀測技術的創新。波浪觀測儀器系統主要功能為每 15 分鐘觀測波浪一次，每次擷取數據完畢隨即進行傳輸、分析、自動資料品管，並更新即時資料展示。分析內容包含示性波高、最大波高、平均週期、最大週期及主波向等。

依據颱風與西南氣流下之觀測結果，顯示 MIROS 雷達波水位計在此二情況下之觀測結果均良好，而 Finetek 雷達波水位計在蘇迪勒颱風的強烈風雨影響下產生較多雜訊，但在西南氣流降雨影響下，雜訊仍在可接受範圍，結果亦良好。雖然颱風警報期間停止卸煤作業，但颱風來臨前後有可能出現強烈風雨，且颱風期間的波浪觀測資料對卸煤碼頭未來的營運有重要參考依據，因此選用 MIROS 雷達波水位計較為適宜。

3.2 觀測資料品管

引用錯誤資料的危險比沒有資料更為嚴重，本研究為了確認觀測資料的正確性，對即時觀測資料進行品管，品管標準包括一為依據雷達波水位計觀測結果的雜訊多寡品管來決定是否剔除不合理的觀測資料，如圖 2，MIROS 雷達波水位計的良好資料比例維持在 0.95 以上，但另兩只 Finetek 雷達波水位計的良好資料比例明顯降低，直到颱風後才逐漸恢復，因此颱風影響期間僅有 MIROS 雷達波水位計的觀測資料可以採用；二為觀測資料於前後時刻是否有連續性；三為依據一維波譜的能量大小，意即能量小代表以風浪為主，能量大時才有可能湧浪存在，如圖 3，104 年 12 月 4 日 19 時的觀測尖峰週期是 10 秒，但發現一維波譜的能量遠小於 $0.1 \text{ m}^2/\text{Hz}$ ，因此此時的尖峰週期必須被視為錯誤資料。

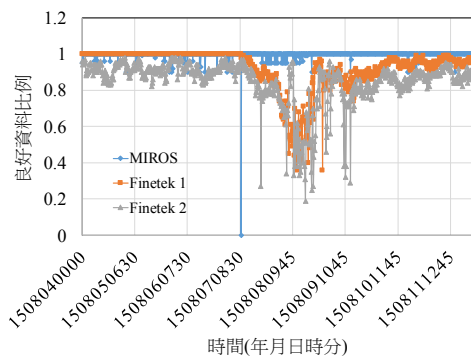


圖 2 蘇迪勒颱風期間良好水位資料比例

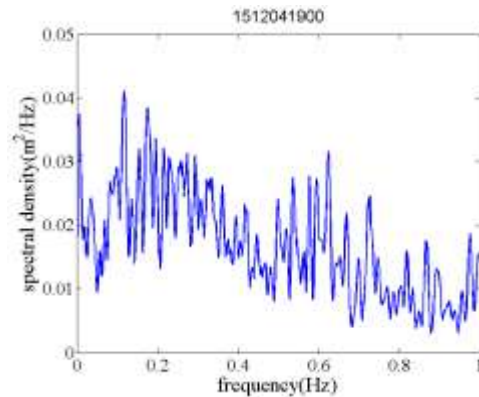


圖 3 風浪為主的一維波譜圖

四、系集同化對波浪預測影響

4.1 波浪預測模式架構

本研究於伺服器電腦上建立波浪預測模式之計算模組，為了有效率的進行波浪預測，又網格解析度與時間步長(Time Step)的搭配必須滿足 C.F.L. 條件，意即流體質點在一個時間步階 Δt 內，不能流過一個空間大於網格的距離 Δx 。因此本研究採用巢狀網格的進行波浪模擬，由深海計算到近岸共分為三層，第一層深海計算範圍為北緯 10 度至北緯 40 度，東經 110 度至東經 140 度，網格解析度為 0.25 度，如圖 4 所示。第二層計算範圍如圖中紅色虛線，北緯 21.5 度至北緯 25.5 度，東經 118.5 度至東經 122.5 度，網格解析度為 0.05 度。第三層計算範圍為外海卸煤碼頭附近海域，網格解析度為 500 公尺，如圖中紅色實線。第一層與第二層的地形水深資料使用美國 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 的國家地球物理資料中心 NGDC(National Geophysical Data Center) 的全球陸地與海底地形資料 ETOPO1，資料範圍涵蓋整個地球，資料格網間距為 1 弧分；第三層的地形水深資料部分，由於興達發電廠於外海卸煤碼頭水深量測資料範圍為不規則形狀，因此第三層的地形水深資料整合興達發電廠於外海卸煤碼頭水深量測資料與 ETOPO1。模式運算的地形資料範圍與空間解析度依照數值波浪模式的範圍與空間解析度進行設定。

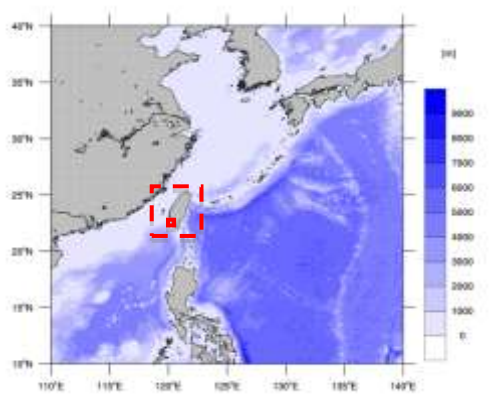


圖 4 計算區域水深圖與各層計算範圍

4.2 波浪預測準確度分析

將作業化波浪預測資料與作業化波浪觀測資料進行整合，先以資料同化技術對海況進行即時校正、再以系集方法消除波浪預測過程中的不確定性，此為創新技術。經由連續一個月預測與實測之間的平均絕對百分比誤差分析，系集同化波浪預測結果相較於未同化之波浪預測結果準確度提高 10%。以圖 5 為例，上圖為系集波浪預測結果，下圖為系集同化波浪預測結果，圖中長條柱狀為預測波高，圓點為觀測波高。圖中顯示結合資料同化技術與系集技術的波浪預測準確度較優。

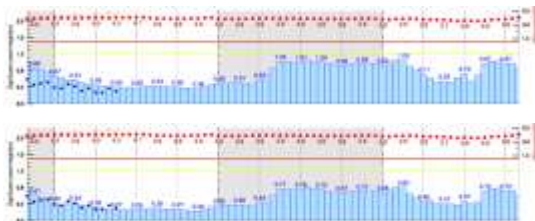


圖 2 波浪預測時序圖(上圖為系集波浪預測結果，下圖為系集同化波浪預測結果)

五、結論與建議

系集同化方法結合資料同化技術與系集技術，經由連續一個月的預測，證明提高波浪預測準確度。本研究發展的系集同化波浪預測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。

實測收集波浪，且即時提供波浪資訊是系集同化方法成功的關鍵之一，本研究採用雷達波水位計即時收集波浪資料期間發現，在颱風與西南氣流影響下，MIROS 雷達波水位計之觀測結果均良好，而 Finetek 雷達波水位計在蘇迪勒颱風的強烈風雨影響下產生較多雜訊，但在西南氣流降雨影響下，雜訊仍在可接受範圍，結果亦良好。

謝誌

本研究承蒙台灣電力股份有限公司協助，使本研究成果更臻完善。

參考文獻

1. Fan, Y.M., Günther H., Doong, D.J., and Kao, C.C. (2015) "Improved boundary values of ocean wave fields using a data assimilation scheme", *Journal of Marine Science and Technology*, 23, 6, 943-950.
2. Fan, Y.M., Günther H., Kao, C.C., and Lee, B.C. (2014) "Assimilation of decomposed in situ directional wave spectra into a numerical wave model of typhoon waves", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 73-80.
3. 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 10-13 June, 2013.
4. Fan, Y.M., Pan, Shunqi, 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.
5. Gandin, L.S. (1963) "Objective Analysis of Meteorological Fields", *Gidrometeoizdat Leningrd*, 242.
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. Leith, C.E. (1974) “Theoretical skill of Monte Carlo Forecasts”, *Monthly Weather Review*, 102, 409-418.
 8. Pan, Shunqi, 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.