

颱風波候統計與變化趨勢之探討

范揚沼¹ 陳家銘² 高家俊³ 湯世燦⁴

¹ 國立成功大學水利及海洋工程學系博士後研究員

² 國立成功大學近海水文中心系統工程師

³ 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

⁴ 國立成功大學水利及海洋工程學系客座研究員

摘要

颱風期間所產生之颱風波浪不僅對海岸工程、海事結構物造成傷害，也嚴重威脅濱海居民之生命財產安全。本研究總目標為以海岸安全調適策略的觀點，探討台灣海域之近 50 年來颱風波候變化趨勢，藉由對歷史資料之統計分析得以探討到目前為止氣候變遷對海岸造成的衝擊，對未來變動有比較科學依據的預測。本研究已證明 SWAN 數值波浪模式可以合理模擬颱風波浪，由此研究成果進而建立長期颱風波浪資料庫，又為了有效建立與管理波浪資料庫，亦完成建立 SWAN 數值波浪模式模擬波浪資料的自動執行程序開發以模擬歷史波浪資料。為了分析颱風波候變化趨勢，本研究提出颱風波候統計理論與颱風波候變化趨勢理論，推導得到適用於檢測颱風波候變化趨勢的分段線性趨勢模式(Piecewise linear trends)。

關鍵詞：颱風波浪、颱風波候統計、分段線性趨勢模式

The Typhoon Wave Event Statistics and the Change Trends of Typhoon Wave Climate

Yang-Ming Fan* Jia-Ming Chen Chia-Chuen Kao Shih T. Tang

* Post-doctor, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

ABSTRACT

Typhoon waves which not only damage coastal engineering, marine structures, but also pose a threat to the safety of lives and properties of coastal residents. The target of this project is to explore how wave climate change? The trend of change? The speed of change? Numerical model is used in this project to explore Taiwan's trend of wave climate changes in the past 50 years. Further, this study is looking at the establishment relationship between the number of typhoon events invading Taiwan and the wave climate variability. It was proved that SWAN numerical wave model can be used in simulating typhoon wave reasonably in the last project in 2011. Therefore, The SWAN numerical wave model is used to simulate typhoon waves, thus to establish database of typhoon waves. Also, for the effective establishment and management of the database, automatic execution procedure has been done to simulate typhoon waves. In order to understand the change trends of typhoon wave climate, the theory of typhoon wave event statistics, and long-term variability and trends are being proposed in this study.

Keywords: Typhoon waves; Typhoon wave event statistics; Piecewise linear trends

一、前言

颱風為每年影響台灣最嚴重之天氣型態，平均

每年約有 3-4 個颱風侵襲台灣，期間所產生之颱風波浪不僅對海岸工程、海事結構物造成傷害也嚴重威脅濱海居民之生命財產安全。因此，研究颱風波

候變遷的趨勢可作為日後海岸保護、政策決策及工程設計時之參考。

探討颱風波候變遷需要長時間尺度以及均勻空間分佈的資料作為分析的依據，才能有效的了解波候於時間及空間上的變化趨勢。但台灣的海氣象觀測計錄顯示僅有近十年的波浪觀測資料，因此利用長時間尺度且均勻空間分佈的風場資料做為數值波浪模式的輸入值來推算颱風波浪，重建過去數十年之波浪資料，進而探討波候變遷之趨勢，此為可行之方法。由於本研究面對的課題是颱風波浪，颱風在極短時間內變化快速，NCEP/NCAR 的重建風場資料空間解析度是 200km X 200km，時間解析度是 6 小時，無法滿足需求，又風場資料是數值波浪模式重要的輸入值，因此若能以合理的高解析重建風場資料輸入數值波浪模式，預期可更詳細描述颱風波浪特性。德國 HZG 研究中心以動態格網細化 (Dynamical Downscaling) 重建近 50 年 (1958~2007) 歷史風場資料 (von Storch et al. 2000; Feser and von Storch 2007)。重建風場資料 (Reanalysis wind field) 在時間上的解析度是一天 24 次發佈地表氣壓與溫度分析場與地面 10 公尺風場分析場，空間上的網格解析度有兩種，一為 50 公里 (0.5 度)，另一為 18 公里 (0.165 度)。此高解析重建風場資料與實測資料比對驗證，已證明該風場的合理性，此重建風場資料為本研究重要資料來源。

本研究總目標為以海岸安全調適策略的觀點，探討台灣海域之近 50 年來颱風波候變化趨勢，藉由對歷史資料之統計分析得以探討到目前為止氣候變遷對海岸造成的衝擊，對未來變動有比較科學依據的預測。為了達成總目標，本研究已於 99 年度完成建立數值波浪模式開發環境及 WAN 數值波浪模式率訂與校驗，研究結果證明以 HZG 高解析度風場做為 SWAN 數值波浪模式的驅動力，SWAN 數值波浪模式可以合理模擬颱風波浪。本年度目標為建立長期颱風波浪資料庫，又為了有效建立與管理波浪資料庫，必須建立 SWAN 數值波浪模式模擬波浪資料的自動執行程序開發以模擬歷史波浪資料。為了瞭解颱風波候變化趨勢，本年度提出颱風波候統計理論與颱風波候變化趨勢理論。

二、文獻探討

波候變遷的研究最早由 WASA 研究團隊提出，這是歐盟研究計畫 (Waves and Storms in the North Atlantic, WASA, 1998) 的成果之一，由德國 GKSS 研究中心 Günther 等人 (1998) 利用數值波浪模式推算過去 40 年北大西洋的長期波浪與分析波候特性。之後，類似的研究應用於全球海洋的如 Sterl et al. (1998) 及 Cox and Swail (2001)；應用於北大西洋的研究指出 (Bacon and Carter, 1991, 1993; Gulev and Hasse, 1999; Wang and Swail 2001; Wang and Swail, 2002)：北大西洋的波候在近 40 年來產生了非常顯著的變化，這些研究針對長期海面實測資料與遙測資料進行統計研究，其中實測資料來自聯合國世界氣象組織的下的自願觀測船隊計畫 (Voluntary Observation Fleet) 與美國海洋大氣總署 (NOAA) 國家資料浮標中心 (National Data Buoy Center, NDBC) 的浮標現場長期觀測資料；遙測資料部份來自於 80 年代開始運行的 GEOSAT, ERS-1 及 TOPEX/POSEYDON 等衛星高度計 (Altimeter and Scatterometer array) (Cotton and Carter 1994)，這些研究發現北大西洋的波高以每年 1% 的速度增加。Calverley et al. (2005) 根據數值模式推算指出這樣 1% 增加的速度在 1996 年以後有更加快的趨勢。因此台灣海域的波候若受到氣候變遷的影響，則變遷的趨勢如何？變遷的速度多快？這將是人類即將面臨的重要議題，亦是本研究要探討的目標。

三、研究方法

若是以海岸安全調適策略為觀點，則相關波候特性必須考慮整個海域的波高。限於早期波浪觀測技術，研究若是以歷史觀測資料分析為研究方法，僅能針對單點的波高特性加以探討，對於其他的波浪特性變化完全無法掌握。為能達到探討波浪方向特性的目標，本研究與德國 HZG 研究中心共同合作，由德國 HZG 研究中心已建立的東南亞區域高解析重建風場資料 (Reanalysis wind field) 代入數值波浪模式中，推算台灣海域歷史波浪場，再以適用於探討波候的統計方法進行分析與討論，採用的研究方法說明如下。

3.1 颱風波候統計理論修正

由於惡劣海況對於海岸保護、船隻航行或近岸結構物設計具有嚴重影響，因此本研究將討論的焦

點集中於颱風波候的探討。爲了客觀的探討長期颱風波候變遷，以德國 HZG 研究中心(Weisse and Günther, 2007)提出的學術成果爲基礎，依據颱風的特性，進行波高、波向、風速及風向的統計分析，並對侵台颱風個數、影響天數進行相關性討論，期望瞭解颱風參數對於波候的可能影響。因此重新修訂 Weisse and Günther (2007)提出的極端事件門檻值(Severe event threshold, SET)相關定義如下(圖 1)：

- N：每年示性波高超過 SET 的颱風個數；
- D：在同一年中，示性波高超過 SET 的影響時間；
- I：某一颱風事件的最大示性波高與 SET 的差值。

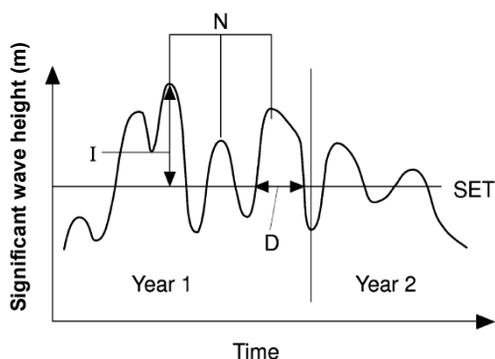


圖 1 極端事件統計參數定義之示意圖(Weisse and Günther, 2007)

Weisse and Günther (2007)探討暴風引起的波浪爲議題，因此定義 SET 是第 99 百分位數(99%-ile)，意即將一組示性波高從小到大排序，並計算相應的累計百分位，第 99 百分位數表示至少有 99%的示性波高值小於或等於此數，而同時也有 1%的示性波高值大於或等於此數。本研究探討 SET 值的設定，決定出適用於颱風波浪的 SET 值後，再統計上述三個參數值以作爲波候趨勢分析使用。

3.2 颱風波候變化趨勢理論

線性趨勢模式常被用來討論長時間的某參數變化，但考慮每年侵台的颱風總數不相同，若以線性趨勢模式有可能會高估或低估變化趨勢(Weisse et al., 2005; Weisse and Günther, 2007)。因此本研究除了以線性趨勢模式探討波候外，同時嘗試以分段線性趨勢模式(Piecewise linear trends)檢測波候變化的趨勢。

線性趨勢的理論式如下：

$$y_i = ax_i + b \quad (1)$$

y_i 表示第 i 年的颱風波浪特性； x 是時間； a 是線性趨勢。

Weisse et al. (2005)對式(1)提出修正，重新定義 a 與 b ，說明如下。

$$a, b = \begin{cases} a_1, b_1 & ; i \leq T \\ a_2, b_2 & ; i \geq T \end{cases}, \text{ 假設連續條件}$$

$$a_1 x_T + b_1 = a_2 x_T + b_2$$

其中 T 表示 1958~2007 的任一年份。上述修正後的公式可視爲分段線性趨勢模式。

四、結果與討論

4.1 波浪模擬自動執行程序開發

爲了整合風場解析、波浪模式模擬、波浪資料庫的管理以及後續波候資料分析等，因此採用 shell script (程式化腳本) 建立自動執行程序，shell script 具跨平台支援優點，即整合 shell 的語法與指令，搭配數據資料處理、管線命令與資料流重導向等功能。已完成跨平台研究工作，即 LINUX 與 Windows 兩大平台，並持續進行風場解析、颱風波浪模擬及波浪資料庫管理。

4.2 建立長期颱風波浪資料庫

爲了探討長期颱風波候變化趨勢，長期颱風波浪資料庫是分析的資料來源，因此利用 99 年度已完成校驗與驗證的 SWAN 數值波浪模式模擬颱風波浪。因爲模擬過去 50 年颱風波浪資料需耗費大量電腦計算，因此本研究以兩年完成歷史颱風波浪。根據由中央氣象局防災颱風資料庫網頁系統，本年度蒐集並模擬 1958-1987 年間影響台灣海域之歷史颱風資料，合計 232 個颱風，現階段伺服器系統已展開自動模擬颱風波浪，完成近 200 個颱風波浪模擬。

SWAN 數值波浪模式計算範圍繪於圖 2，涵蓋範圍包括自東經 115 度到東經 135 度及北緯 20 度到北緯 35 度間海域，網格解析度爲 0.5 度，共 41×31 個格點，時步長設爲 30 分鐘。水深資料來源爲 NGDC (National Geophysical Data Center) 之全球海底地形資料庫，其網格間距爲 1 弧分，資料範圍爲東經 115 至 135 度、北緯 20 到 35 度。

4.3 完成颱風波浪統計理論修正

爲了客觀的探討長期颱風波候變遷，依據颱風的特性，已修正暴風引起極端事件統計方法(Weisse

and Günther, 2007), 以波高、波向、風速及風向對侵台颱風個數、影響天數進行分析與討論, 期望瞭解颱風參數對於波候的可能影響。

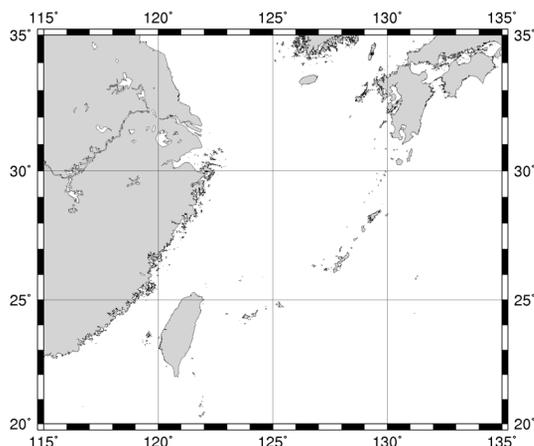


圖 2 SWAN 數值波浪模式計算範圍

謝誌

本論文係國科會專題研究計畫「台灣海域空間利用」(編號 NSC100-2221-E-006-008-MY2)之研究成果, 承蒙國科會經費之補助使本研究得以順利完成, 謹致謝忱。

參考文獻

- Bacon, S. and Carter, D.J.T. (1991) "Wave climate change in the north atlantic and north sea," *International Journal of Climatology*, Vol. 11, pp. 545-588.
- Bacon, S. and Carter, D.J.T. (1993) "A connection between mean wave height and atmospheric pressure gradient in the North Atlantic," *International Journal of Climatology*, Vol. 13, pp. 423-436.
- Calverley, M.J., Szabo, D., Cardone, V.J., Orelup, E.A. and Parsons, M.J. (2005) "Wave climate study of the Caribbean Sea," Unpublished manuscript from Oceanweather Company.
- Cottom P.D. and Carter, D.J.T. (1994) "Cross calibration of TOPEX, ERS-1, and geosat wave heights," *Journal of Geophysical Research*, 99 (C12), pp. 25025-25033.
- Cox, A. and Swail, V. (2001) "A global wave hindcast over the period 1958-1997: validation and climate assessment," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, No. C2, pp. 2313-2329.
- Feser F. and von Storch, H. (2007) "A dynamical downscaling case study for typhoons in southeast Asia using a regional climate model," *Monthly Weather Review*, Vol. 136, pp. 1806-1815.
- Günther H., Rosenthal, W., Stawarz, M., Carretero, J., Gomez, M., Lozano, I., Serrano, O. and Reistad, M. (1998) "The wave climate of the northeast Atlantic over the period 1955-1994: the WASA wave hindcast," *The Global Atmosphere and Ocean System*, Vol. 6, No. 2, pp. 121-164.
- Gulev, S.K. and Hasse, L. (1999) "Changes of wind waves in the north atlantic over the last 30 years," *International Journal of Climatology*, Vol. 19, pp. 1091-1117.
- Sterl A, Komen, G. and Cotton, P. (1998) "Fifteen years of global wave hindcast using winds from the european centre for medium-range weather forecast reanalysis: validation the reanalyzed winds and assessing wave climate," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, No. C3, pp. 5477-5492.
- The WASA-Group (1998) "Changing waves and storms in the northeast Atlantic?" *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 79, No. 5, pp. 741-760.
- von Storch, H., Langenberg, H. and Feser, F. (2000) "A spectral nudging technique for dynamical downscaling purpose," *Monthly Weather Review*, Vol. 128, pp. 3664-3673.
- Wang, X.L. and Swail, V.R. (2001) "Changes of extreme wave heights in northern hemisphere oceans and related atmospheric circulation regimes," *Journal of Climate*, 14, pp. 2204-2221.
- Wang, X.L. and Swail, V. (2002) "Trends of atlantic wave extremes as simulated in a 40-yr wave hindcast using kinematically reanalyzed wind fields," *Journal of Climate*, Vol. 15, No. 9, pp. 1020-1035.