

氣候變遷對颱風波候影響之研究

范揚洺¹ 高家俊² 陳家銘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 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

³ 國立成功大學近海水文中心研究助理

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。本研究蒐集並模擬影響台灣海域之歷史颱風波浪資料，分別以線性趨勢模式與分段線性趨勢模式分析颱風波候變遷的分析結果，提出適用的趨勢模式。在不同的侵台颱風個數下，分析及探討影響颱風波候變遷之特性以及相互關係。

關鍵詞：颱風波候、數值波浪模式、氣候變遷

A study on the impact of climate change on the typhoon wave climate

Yang-Ming Fan* Chia Chuen Kao Jia-Ming Chen 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. 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 past project in 2011. Therefore, The SWAN numerical wave model is used to simulate typhoon waves, thus to establish database of 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 wave climate; Numerical wave model; Climate change

一、前言

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。又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。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 SWAN 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。100 年度完成建立長期颱風波浪資料庫，並完成颱風波候統計理論修正與颱風波候變化趨勢理論。本年度研究目的為提出台灣海域颱風波候未來可能變遷之趨勢，以颱風波候的變遷理論探討在不同的侵台颱風個數，分析及探討影響颱風波候變遷之特性以及相互關係。

二、理論分析

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。

2.1 颱風波候統計理論

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。

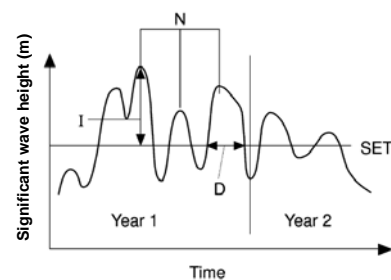


圖 1 極端事件統計參數定義之示意圖 (Weisse and Günther, 2007)

Weisse and Günther (2007) 探討暴風引起的波浪為議題，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，以作為波候趨勢分析使用。

2.2 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 表示任一年份。上述修正後的公式可視為分段線性趨勢模式。

三、結果與討論

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，歷史颱風事件的最大示性波高與其對應的平均週期如圖 2~圖 5 所示。圖中的 X 軸表示過去 20 年來每個颱風事件，Y 軸則分別表示每個颱風事件期間發生的最大示性波高與其對應的平均週期，圖 2 與圖 4 明顯看出示性波高明顯增大。進一步比較東部海域與西部海域的颱風波浪，東部海域的示性波高明顯較西部海域大。然而，近幾年的颱風波浪觀測資料顯示，處於半封閉海域的西部海域於颱風期間多次測得近 10

公尺之浪高，因此未來西部海域仍有可能發生超過 10 公尺的示性波高。每個颱風事件發生的平均週期方面，東部海域的平均週期介於 7-10 秒之間，西部海域的平均週期介於 6-12 秒之間。

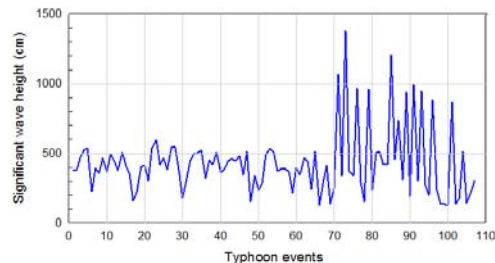


圖 2 東部海域歷年每個颱風事件的最大示性波高

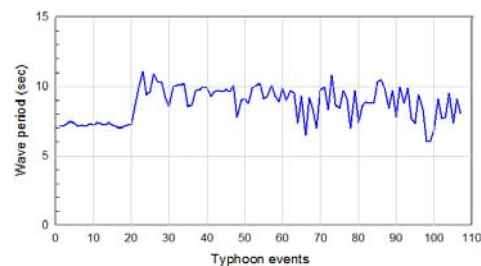


圖 3 東部海域歷年每個颱風事件的最大平均週期

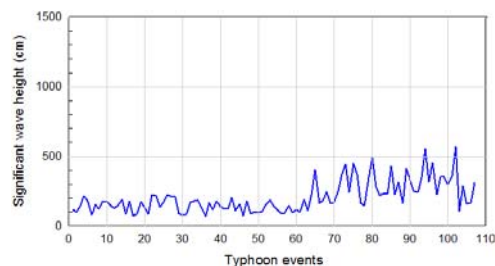


圖 4 西部海域歷年每個颱風事件的最大示性波高

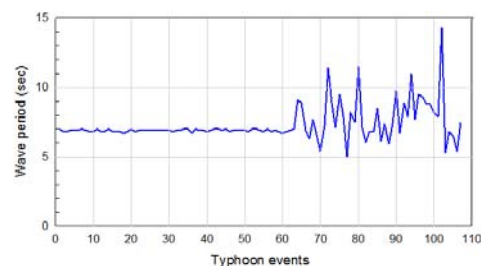


圖 5 西部海域歷年每個颱風事件的最大平均週期

除了上述定性描述外，接著以適用於探討波候的統計方法進行分析與討論，採用的研究方法與分析結果如下。

3.1 颱風波候統計理論修正

為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

術成果為基礎，依據颱風的特性進行統計分析，並對侵台颱風個數進行相關性討論，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)。

Weisse and Günther (2007)探討暴風引起的波浪為議題，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。然而在颱風事件個數有限下，若以每個颱風事件的最大波浪決定第 99 百分位數為 SET 值，其值即為唯一的最極端示性波高，換句話說沒有其他颱風事件的示性波高小於此數。因此本研究分別假設 SET 是第 99 百分位數(99%-ile)、第 95 百分位數(95%-ile)及第 90 百分位數(90%-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，同理，第 95 百分位數表示至少有 95%的示性波高值小於或等於此數；第 90 百分位數表示至少有 90%的示性波高值小於或等於此數。颱風波浪的 SET 值如表 1 所示，本研究選用第 90 百分位數(90%-ile)，N 為示性波高超過 SET 值的颱風事件，因此過去有 11 次超過 SET 值。東部海域在過去歷史颱風事件中，最大示性波高超過 SET 值的平均為 10 公尺，最大平均週期超過 SET 值的平均為 10.4 秒；西部海域最大示性波高超過 SET 值的平均為 4.5 公尺，最大平均週期超過 SET 值的平均為 10.3 秒。

表 1 最大示性波高的 SET 值統計表

百分位數	SET-西南海域 (m)	SET-東北海域 (m)	N
99%	5.7	13.8	1
95%	4.5	9.6	6
90%	3.7	7.4	11

表 2 最大平均週期的 SET 值統計表

百分位數	SET-西南海域 (sec)	SET-東北海域 (sec)	N
99%	14.3	11.1	1
95%	9.5	10.3	6
90%	8.9	10.1	11

3.2 颱風波候變化趨勢

以每年侵台的颱風個數做為颱風波浪特性為例，線性趨勢的經驗式求得如下：

$$y=0.0473x-89 \quad (2)$$

y 表示第 x 年的颱風波浪特性；x 是時間。

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)。根據中央氣象局歷史颱風資料庫，統計過去 50 年間影響台灣海域之歷史颱風資料，顯示自 1998 年以來其中有 3 年的侵台颱風個數高達 9 個，若以 10 年為單位，如表 3，結果顯示近 10 年颱風總數較過去明顯增加。

表 3 每 10 年侵台颱風個數統計表

年	個數
1958-1967	49
1968-1977	34
1978-1987	46
1988-1997	46
1998-2007	65

每年侵台颱風個數變化趨勢如圖 6 所示，X 軸表示年份，Y 軸表示每年侵台颱風個數，由統計的曲線初步以 1980 年為分段界線，因此對式(2)提出修正，重新定義 a 與 b，求得經驗式如下：

$$\begin{aligned} y &= -0.0731x + 148 & x \leq 1980 \\ y &= 0.083x - 160 & x \geq 1980 \end{aligned} \quad (3)$$

上述修正後的公式可視為分段線性趨勢模式，由公式初步推估在 1980 年以前，侵台颱風個數呈現下降趨勢，但 1980 年以後卻呈現上升趨勢。值得一提的是：此推估未來颱風波候變遷趨勢是以過去歷史資料推估，未來還需更多資料進行統計分析與驗證。

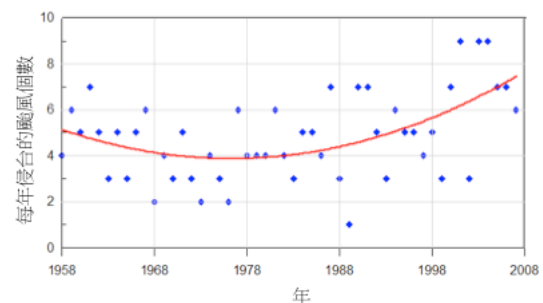


圖 6 1958-2007 年間每年侵台的颱風個數

四、結論

就整體歷史颱風波浪變化趨勢而言，東部海域的示性波高明顯較西部海域大，然而，近幾年的颱風波浪觀測資料顯示，處於半封閉海域的西部海域於颱風期間多次測得近 10 公尺之浪高，因此未來西部海域仍有可能發生超過 10 公尺的示性波高。每個颱風事件發生的平均週期方面，東部海域的平均週期介於 7-10 秒之間，西部海域的平均週期介於 6-12 秒之間。進一步定量分析結果顯示過去有 11 次颱風事件超過 SET 值。東部海域在過去歷史颱風事件中，最大示性波高超過 SET 值的平均為 10 公尺，最大平均週期超過 SET 值的平均為 10.4 秒；西部海域最大示性波高超過 SET 值的平均為 4.5 公尺，最大平均週期超過 SET 值的平均為 10.3 秒。

本研究修正分段線性趨勢模式的公式，由公式初步推估在 1980 年以前，侵台颱風個數呈現下降趨勢，但 1980 年以後卻呈現上升趨勢。值得一提的是：此推估未來颱風波候變遷趨勢是以過去歷史資料推估，未來還需更多資料進行統計分析與驗證。

謝誌

本論文係國科會專題研究計畫「氣候變遷對颱風波候影響之研究」(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

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Cotton 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.

14. Weisse, R., von Storch, H. and Feser, F. (2005) “Northeast Atlantic and North Sea Storminess as Simulated by a Regional Climate Model during 1958–2001 and Comparison with Observations,” *Journal of Climate*, Vol.18, 465–479.
15. Weisse, R. and Günther, H. (2007) “Wave Climate and Long-term Changes for the Southern North Sea Obtained from a High-resolution Hindcast 1958-2002,” *Ocean Dynamics*, Vol. 57, 161-172.