颱風期間極端波浪觀測與預測

劉彧愷1 陳泓杰1 馬家驎2 董東璟1

1國立成功大學水利及海洋工程學系

2經濟部水利署水文技術組

主題：B.水動力、潮波流及漂沙研究發展

國科會計畫：110-2221-E-006-072-MY3 (此論文若是國科會計畫請標明計畫編號，若否則可忽略)

**通訊作者：劉彧愷**

E-mail: yukailiu0620@gmail.com

Tel: 06-2757575 #63244-27

摘要

極端波浪(extreme wave)指的是在隨機波浪中，一波列中高度較高且不頻繁出現的波浪，過往對於極端波浪的研究較少，在颱風造成的極端波高方面，利用經驗公式推算仍有較大誤差(Young and Vinoth, 2013; Hwang, 2016)。本研究旨在修正前人公式中的等效風域計算方式，降低極端波高推估上的誤差。因此，本研究蒐集全球各地的實測波浪資料，將示性波高大於10公尺的波浪定義為極端波浪，收錄405筆符合極端波浪定義的案例，談討颱風造成之極端波浪特性。本研究修正Young and Vinoth (2013) 的經驗公式，提出等效風域修正係數，將估算值與實測資料間的誤差降低14%。

關鍵詞：颱風、極端波浪、波高預測

一、研究目的

極端波浪的估算在海事工程設計中是相當重要的參考依據，了解極端波浪的特性將能更加準確地預測極端波浪的波高與發生位置，能有效增加海事工程與海洋相關產業的安全性。

為了瞭解極端波浪的特性與成因，本研究主要蒐集台灣、美國的實測波浪資料庫，對其中的極端波浪資料做相關性分析，歸納出颱風極端波浪的特性。此外本研究修正颱風示性波高的經驗公式，以便更好估算颱風期間的極端波高，也帶入不同颱風條件，計算颱風期間可能產生的最大示性波高。

二、研究方法

本研究分析台灣中央氣象署(CWA)、美國國家資料浮標中心(NDBC)、日本氣象廳、澳洲海洋資料庫(AODN)的實測波浪資料，將資料庫中示性波高大於10公尺的案例特別挑出，視為極端波浪案例，總計有405筆極端波浪，其中篩選出372筆颱風造成之極端波浪。

為了解極端波浪的特性，本研究對蒐集的波浪資料進行波高分佈與波浪組成的分析。將案例依照波長與水深的比例化非維深度水深事件與中度水深事件資料中的一維波譜與JONSWAP譜套配，套配函數中的γ值越趨近於1則表示波浪發展程度越高。再將方向波譜與Mitsuyasu (1975)提出的方向分佈函數進行套配。觀察套配函數中的$s\_{max}$，該值越小表示波浪能量的方向分布越寬。

極端波高估算方法種類繁多，其經驗公式簡單、方便的特性能快速的進行極端波高的評估與計算。Young (1988) 利用數值模擬模型，分析不同颱風條件下波高的變化，得出等效風域 (equivalent fetch) 的計算公式，Young and Vinoth (2013) 又將上述公式修正為如下所示：

$x/R' =ψ\left(aV\_{max}^{2}+bV\_{max}V\_{fm}+cV\_{fm}^{2}+dV\_{max}+eV\_{fm}+f\right)$ (1)

式(1)中$x$為等效風域值，$V\_{max}$為颱風最大風速，$V\_{fm}$為颱風前進速度，$R$為颱風最大風速半徑。將等效風域值$x$帶入JONSWAP的風浪關係式中，便可推估出對應颱風條件下的最大示性波高。

Hwang (2016) 提出利用圓形賽道模型 (circular racetrack model) 將波場分成三個區塊，並分析不同區域中，風域與距離間的關係建立出風域推估式，將其帶回其研究推估的風浪關係式中，得到颱風不同位置下的示性波高推估結果。

在利用公式分析實測波浪資料庫時，應將測站與颱風的相對位置納入公式之中，才能有更好的估算結果。Hwang (2016) 公式中已考慮相對位置的影響，因此本研究利用JONSWAP風浪關係式回推得出的估算風域值定義出針對Young and Vinoth (2013)公式的風域修正係數。

$n=\left\{\begin{array}{c} -0.001×r+1.0486 0°\leq θ<135°\\ -2.1442×10^{-4}×r+1.0192 135°\leq θ<225°\\ 0.0014×r+0.9382 225°\leq θ<360°\end{array}\right.$ (2)

式(2)中n為等效風域修正係數，r為測站與颱風中心的距離，修正後的等效風域 $x'$=nx，x為修正前的等效風域值。

三、初步結果

本研究統計1985年~2021年間的台灣、美國的實測波浪資料庫，總計有405筆極端波浪資料，其主要成因為颱風，最大示性波高可達23.67公尺。利用水位資料計算極端波浪的短時波高分布，結果95%的資料符合雷禮分布。

本研究利用波齡分析法對資料庫中的一維波譜資料做組成分析，結果顯示共有298筆資料的波齡值小於1.22，占所有極端波浪資料筆數中的84%。一維波譜的套配結果如圖1所示，γ值在中度水深與深度水深條件下分別為1.18與1.44，均方根誤差為6.3%與7.1%。波浪組成分析與一維波譜分析的結果均顯示大部分的極端波浪為完全發展波。



圖1 實測資料波譜與JONSWAP譜套配結果圖(左圖為中度水深，右圖為深度水深)

將實測所得之方向分布函數與Mitsuyasu的方向分布函數做套配，發現套配所得的$s\_{max}$約在2~8之間，小於Mitsuyasu方向分佈函數所得的風浪$s\_{max}$平均值。代表在極端波浪環境下，波浪的方向分布較一般海況更寬，波浪能量在遠離主波向情況下的能量衰減率較不明顯。。

本研究修正Young and Vinoth (2013) 的經驗公式，計算修正前後的最大示性波高推估值與浮標數值間的無因次均方根誤差 (NRMSE)。結果分別為29%與15%，代表透過本研究的修正公式，能夠更準確的推估極端波高。表1整理了經驗公式修正前後誤差明顯減少的案例。

表1 修正效果顯著之案例

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Hs,max (m) | Young and Vinoth (2013) | Hwang(2016) | Chen(2023) |
| 1 | 11.12 | 31% | 32.6% | 9% |
| 2 | 12.15 | 39% | 23% | 2.6% |
| 3 | 10.64 | 57% | 19.6% | 12% |
| 4 | 10.60 | 71% | 47.2% | 0.7% |
| 5 | 10.32 | 61% | 33.4% | 0.2% |

此修正公式結合Holland (1980)提出的風速衰退公式可計算出最大示性波高與對應位置，未來將進行颱風範圍內的示性波高衰減程度分析。此外調整經驗公式中各個參數將會影響輸出的最大示性波高，此數值具有一極限最大值，若能找出正確的條件將可推算颱風條件下示性波高的極限最大值。