

# 杰拉華颱風期間台東外洋浮標風波流資料 特性分析

饒國清<sup>1</sup> 施孟憲<sup>2</sup> 陳聖學<sup>3</sup> 黃清哲<sup>4</sup> 滕春慈<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 國立成功大學近海水文中心組長

<sup>2,3</sup> 成功大學近海水文中心工程師

<sup>4</sup> 國立成功大學水利及海洋工程學系教授及近海水文中心主任

<sup>5</sup> 氣象局海象測報中心主任

## 摘要

本文分析氣象局的台東外洋資料浮標在 2012 年 9 月份強烈颱風杰拉華期間所測到風、波、流資料，並利用最大波浪尖銳度法、分水嶺法與 WWIII 模式對風浪、湧浪與颱風位置作特性分析及探討。根據分析結果顯示，颱風中心在 28 日 0 時至 5 時最接近浮標，且依序以南邊、西邊及北邊接觸及遠離浮標，浮標測到最大風浪的示性波高達 18.88 公尺，同時 WWIII 模式最大值 15.94 公尺也接近觀測值。湧浪波高及週期皆隨著颱風靠近浮標而逐漸變大，但在颱風最靠近浮標時則只有風浪成分。此外，根據波齡分析及湧浪波高變化，顯示颱風離開浮標後波浪成分是以湧浪為主。由浮標測到海流變化發現颱風最靠近浮標時，觀測到海流最大流速 147 公分/秒，且海流呈現 1.5 日順時針 360 度轉向的週期性變化。

關鍵詞：外洋資料浮標、風浪、湧浪、海流

## Wind & Wave and Ocean current Analysis for an Open Ocean Data Bouy at the Offshore of eastern Taiwan during JELAWAT Typhoon

Kuo-Ching Jao\* Mon-Shen Shi Sheng-Hsueh Chen Ching-Jer Huang  
Terng-Chuen Tey

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

## ABSTRACT

The wind, wave, ocean current data in September 2012 during the period of Jiela Typhoon were analyzed in this paper for eastern Taiwan data buoy of Central Weather Bureau. Wave Steepness Algorithm, watershed method and WWIII mode were used to discuss the relation between wind sea, swell and the typhoon location as well as its characterization. According to the analysis results, it was shown that the typhoon center at 0:00 to 5:00 on the 28<sup>th</sup> was nearest to the buoy, and it approached and left the buoy from the south, west and north in order. The maximum significant wind sea wave height was up to 18.88 m. In the mean time, the maximum values 15.79 m of WWIII mode were close to the maximum values collected by buoy. Swell wave height and period became larger as the typhoon gradually approached the buoy, which when the typhoon was nearest to the buoy, there were only wind sea. In addition, according to the analysis of wave age and the variation of swell wave height, it was displayed that swell was the primary components of wave after the typhoon left the buoy. From ocean current measurement by the buoy to which the typhoon was nearest, the maximum ocean current velocity was 147 cm/sec and it was shown that there were 1.5 days clockwise 360-degree turn change periodically.

Keywords: data buoy; wind sea; swell; ocean current

## 一、前言

中央氣象局為監測台灣環島海氣象資料及掌握颱風資訊，近年來已經從台灣四周海域所佈放六座近岸資料浮標，包括花蓮、新竹、龍洞、大鵬灣、小琉球、馬祖，延伸至外洋海域。對於位於颱風侵襲頻繁的台灣海域而言，近岸資料浮標位在離岸邊 2 至 10 公里以內，在觀測到即時颱風資料的同時，颱風已經對於台灣海岸及陸地造成了影響，對於颱風預測災害預警之幫助有限。氣象局因此決定將資料浮標觀測位置拓展至離岸更遠之外海，於 2006 年 5 月在台東外海約 250 公里處(加瓜海脊)成功佈放一座深海資料浮標，當地水深為 4800 米，當年成功觀測 6 個颱風的資料，此資料浮標更在珊珊颱風發佈海上警報期間，提供了第一手觀測資料，讓氣象局掌握颱風的規模及強度(李汙軍等，2007)。台東外洋資料浮標位於颱風是否影響台灣的關鍵位置，不但能協助預報員更完整掌握颱風環流的現況以及未來動向的預測，其所在位置的水深較深，觀測資料不受地形及水深影響，較具浮標觀測資料代表性。

杰拉華颱風(國際命名: JELAWAT)為 101 年度編號第 17 號的強度颱風。根據氣象局公告颱風資料(如圖 1)，杰拉華颱風於 9 月 21 日在馬尼拉東方 1150 公里之海面形成，9 月 27 日發布海上警報，9 月 28 日於台灣東方海面向北北東移動，9 月 28 日解除海上警報。這個強烈颱風在 9 月 28 日凌晨最接近台東外洋資料浮標，期間測到最大示性波高達 18.88 公尺，為浮標建站以來最大波高，而且在 27 日 12 時至 28 日 1 時之間，測到示性波高持續超過 11 公尺以上，這是一個國內外都很難得特殊案例，本文希望透過研究杰拉華颱風期間台東外洋資料浮標的風場、風浪、湧浪、海流特性，探討台灣東部海域的強烈颱風與海氣象之間關係。

## 二、台東外洋資料浮標

### 2.1 浮標位置與功能

台東外洋資料浮標位置決定是根據近十年通過台灣附近的颱風路徑統計而定，平均影響或侵襲台灣本島之颱風有超過 67% 於侵台之前通過台灣東方之海域，由台灣東岸海域西行為最常發生之侵台颱

風路徑。在考量可提前 24 小時掌握這些颱風環流特性，所以 2009 年起將資料浮標位置確定於台東的東南邊約 300 公里處(如圖 2)，水深達 5600 公尺，如此可協助預報員提早掌握颱風環流暴風半徑的大小，提昇颱風未來動向預報的能力。

### 2.2 浮標觀測系統

台東外洋資料浮標觀測項目包括兩組風速風向計、一組波浪儀、一組氣壓計、一組全球衛星定位系統、一組氣溫計及兩組水溫計。此外考量東部外洋為黑潮主要影響區域，所以 2012 年起亦新增一組剖面流速儀。

### 2.3 浮標監控品管

為了確保資料品質與正確性，安裝在浮標系統的觀測儀器皆通過氣象局檢校中心的檢校合格，並與標準站於浮標出廠前進行 7 天以上資料比對合格。外洋浮標資料在整點 10 分後透過衛星自動發報回傳至監控中心後，隨即由自動監控程式將資料自動品管與累積即時回傳近 24 小時的觀測成功率，並由專人定時執行人工品管，確認及過濾回傳資料的品質。

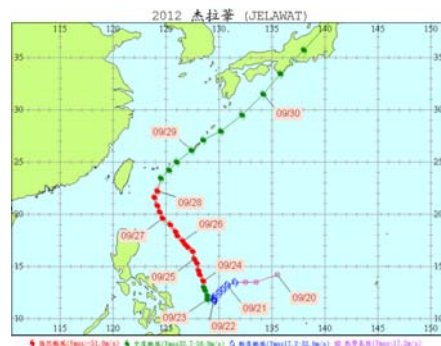


圖 1 杰拉華颱風路徑圖



圖 2 台東外洋資料浮標位置圖

### 三、研究方法

#### 3.1 風速及波浪分析方法

資料浮標風速觀測為整點前 10 分鐘記錄一次，取樣頻率為 2Hz，平均風速為 1,200 點原始資料平均值，平均風向為 1,200 點原始風向資料以向量法相加後平均值，陣風為 1,200 點原始資料中每 3 秒之平均值，其平均最大值即為陣風值。資料浮標波浪觀測亦為整點前 10 分鐘記錄一次，取樣頻率為 2Hz。由浮標隨波三維空間運動經過分析可獲得浮標加速度譜，再從浮標加速度譜減去雜訊修正函數後計算一維水位譜，最後利用一維水位譜及方向分布函數之乘積求得方向波譜。其中示性波高  $H_s$  為  $4.004 \times \sqrt{m_0}$ ，平均週期  $T_z$  為  $\sqrt{m_0/m_2}$ ，波向為方向波譜能量最大之處所對應之方向；式中  $m_0$  為波譜總能量， $m_2$  為波譜二次矩。

#### 3.2 最大波浪尖銳度法分析

波浪在頻率域的分離風湧浪方法採用 Wang and Hung (2001) 所提出波浪尖銳度演算法 (Wave Steepness Algorithm)，此法是美國資料浮標中心 (NDBC) 所採用風湧浪的一維波譜分離法，利用計算波浪尖銳度的最大值來推算分離頻率，計算數學式如下：

$$\xi(f) = \frac{H_s(f)}{L(f)} = \frac{2\pi H_s(f)}{gT_z(f)^2} = \frac{8\pi m_2(f)}{g\sqrt{m_0(f)}} \quad (1)$$

其中

$$H_s(f) = 4\sqrt{m_0(f)}$$

$$T_z(f) = \sqrt{\frac{m_0(f)}{m_2(f)}} \quad (2)$$

$$m_n(f) = \int_{f_i}^{f_{\max}} f^n S(f) df, \quad n=0, 2$$

所以每個頻率  $f_i$  所求得波浪尖銳度為

$$\xi(f_i) = \frac{8\pi \left[ \int_{f_i}^{f_{\max}} f^2 S(f) df \right]}{g \left[ \int_{f_i}^{f_{\max}} S(f) df \right]^{1/2}} \quad (3)$$

根據 NDBC 的經驗公式，分離頻率  $f_{s\xi}$  與最大波浪尖銳度推算頻率  $f_m$  關係式如下：

$$f_{s\xi} = 0.75 f_m \quad (4)$$

但是此方法在風速小時會造成高估風浪的情形，可用成熟浪 P-M 譜的尖峰頻率來修正，其中

$$f_{PM} = 1.25C/U_{10} \quad (5)$$

根據 NDBC 的經驗  $C$  為 0.9，所以風湧浪分離頻率  $f_s$  是以波浪尖銳度推算分離頻率  $f_{s\xi}$  及 P-M 譜 (Pierson-Moskowitz spectrum) 推算分離頻率  $f_{PM}$  較大頻率來決定。

#### 3.3 分水嶺分析法

本文以分水嶺法將浮標方向譜做分區，在 41 分帶頻率及 32 個方位的方向譜能量先進行 9 點的移動平均，接者將方向譜矩陣輸入 Matlab 的內建 Watershed 函數做分群，分完之後的各群能量是由鄰近較低能量指向該群最大能量的尖峰頻率  $f_{Pi}$  處。

接者再對分群後的方向譜頻率帶及波向帶做風湧浪分離，其中頻率帶是以最大波浪尖銳度法所求得分離頻率  $f_s$  來分割。若該群能量之尖峰頻率  $f_{Pi}$  大於分離頻率  $f_s$  則為風浪；若該群能量之尖峰頻率  $f_{Pi}$  小於分離頻率  $f_s$ ，但主波向落在風向正負 45 度內則分類為風浪，其它能量群為湧浪。所以由分水嶺法所得的方向譜，可求得波浪統計值包括湧浪波高、湧浪週期、湧浪主波向、風浪波高、風浪週期及風浪主波向等。

#### 3.4 波齡分析方法

本文利用波齡 (wave age) 值做為判斷風浪 (wind sea) 與湧浪 (swell) 之依據。波齡值定義為  $C_p/U_{10}$ ，其中  $C_p$  為波譜主頻之相位速度， $U_{10}$  為距離海面平面 10 公尺處之風速。當波齡小於 1，波速  $C_p$  低於風速  $U_{10}$ ，表示波浪屬於發展中之未成熟波；波齡接近 1 時，波速跟風速一致，表示波浪逐漸成熟；當  $C_p/U_{10}$  大於 1.0 時，相位速度大於 10 公尺處風速，表示風浪逐漸脫離風域形成湧浪。因此波齡值越大，表示資料越具有湧浪特性。依 P-M 波譜理論 (Pierson and Moskowitz, 1964)，波譜達到完全發展時波齡值約為 1.22。此外，Mitsuyasu (1981) 提出當波齡大於 1.4 時，此時波速已大於風速，表示波浪已經離開風域發展為湧浪。因此當波齡值小於 1.22，表示波浪為發展中風浪，若波齡值介在 1.22~1.4 之間時，表示當時波浪主要成分為完全成熟波，而若波齡值大於 1.4 以上，波浪主要成分為湧浪。

#### 3.5 WWIII 模式

本文使用為氣象局所採用的 WAVEWATCH III 最新湧浪及風浪預報模式版本 3.14 版，並選用美國

NCEP 風場，而且輸入風場及輸出波浪場的網格點間距皆為 0.25 度。此版本已包含數種可應用於深海及近岸波浪場之參數化物理源函數，如風能輸入、非線性交互作用、波能消散、底床摩擦、碎波效應及波浪與底床交互作用產生的散射效應。模式產出除了呈現波高外，更提供風浪週期、風浪波高、風浪波向、湧浪週期、湧浪波高及湧浪波向等資訊。

### 3.6 海流觀測分析

ADCP 的觀測原理為利用音鼓發射出固定頻率之聲波，當此聲波在水中碰到隨著海流移動的微小顆粒或懸浮物體時，該聲波將產生反射並傳回儀器，該聲波會改變頻率，將可依都卜勒效應公式，計算出海流流速。

觀測的流速剖面資料為每 6 分鐘平均 1 筆，每小時與資料浮標一起回傳共 10 筆資料，其中 6 分鐘平均 1 筆為每 2 秒觀測一次，每次自 0 秒開始每 2 秒 1 筆，直到 358 秒時平均為此 6 分鐘內平均之資料。每筆流速剖面資料為每 1m 一層，流速資料標準偏差為 0.5 cm/s。

## 四、結果與討論

### 4.1 颱風與浮標、模式的風速關係

從圖 1 及圖 3 可發現，杰拉華颱風逐漸接近台東外洋資料浮標過程中，台東外洋浮標平均風速值從 24 日的 2.0 公尺/秒增加到 27 日 23 時的最大值 30.4 公尺/秒，模式風場的最大風速發生時間 27 日 19 時，其值為 38.6 公尺/秒。

此外，依據風速變化，可看出颱風中心(眼)最接近浮標時段，風速會由最強轉弱隨即又恢復相同強度風速，即浮標平均風速由 27 日 23 時的 30.4 公尺/秒下降至 28 日 3 時 12.9 公尺/秒，隨即在 28 日 6 時又增加至 27.1 公尺/秒，進一步以氣象局公告颱風警報單的颱風中心位置及浮標 GPS 位置可得知，浮標由 28 日 2 時在颱風中心東北邊，轉至 28 日 5 時的東南邊，所以綜合研判，颱風中心(眼)應是在 28 日 0 時至 5 時通過浮標處海域，模式也有反應颱風眼通過時風速降低的現象，但其時間維持較久。

在颱風從菲律賓東邊海域逐漸向東北邊靠近浮標期間，浮標所量測到及模式的風向均保持在北向

至東北向之間，比對氣象局發佈的天氣訊息，這段期間除了颱風外，主要是受到東北季風影響。但颱風最靠浮標時，在 28 日 0 時至 15 時，浮標風向受到颱風移動而發生逐漸轉向的情形，由東北向轉為南南西向，而模式風向則是轉為西向。在 28 日 16 時至 29 日 2 時颱風在台灣東部及東北部海域的期間，浮標及模式的風向均保持在西南向至西向之間。颱風離開台灣東北部海域後，浮標及模式的風向均恢復為東北季風影響的北向。

整體而言，浮標觀測值與模式的風速與風向與相近，且大部分時間呈現受到東北季風的影響，但隨颱風的移動軌跡靠近浮標，風速轉強，而且風向受到颱風與浮標之間方位關係，由吹著逆時針風向的颱風中心依序以南、西邊及北邊接觸及遠離浮標，造成浮標風向呈現東、南、西及北向的 360 度轉向變化。

### 4.2 風浪與浮標、模式風速關係

由圖 4 可看出浮標的示性波高從 0.66 公尺成長到 18.88 公尺，其中在風浪的波高部分，隨著杰拉華颱風靠近及風速轉強，浮標的波高觀測值及模式輸出值皆逐漸轉大，尤其是在颱風中心最靠近浮標之前，浮標的風浪達到最高值，由最大波浪尖銳度法及分水嶺法所分析出的風浪示性波高皆發生在 28 日 0 時為 18.88 公尺，與浮標的風速最大值的時間稽延為 1 小時，而模式輸出風浪最大波高發生在 27 日 22 時，風浪示性波高為 15.94 公尺，與模式風速最大值時間稽延為 3 小時。此外在颱風期間，所量測波浪的風浪成分明顯，除了颱風從台灣東北部海域逐漸遠離後，在 28 日 16 時至 29 日 06 時之間，風浪成分有明顯下降。但 29 日 06 時之後，最大波浪尖銳度法的風浪成分也大幅下降。

風浪週期部分，隨著颱風接近浮標，風浪平均週期逐漸增加，浮標的最大平均週期由兩種分析法皆為 11.4 秒，模式的輸出最大週期為 14.8 秒。然而颱風從台灣東北部海域逐漸遠離後，風浪週期有明顯降低，約在 28 日 16 時至 29 日 06 時之間，浮標分析法的平均週期約降至 3~8 秒之間，而模式風浪，平均週期下降幅度較小。29 日 6 時以後，颱風遠離台灣海域與往日本接近時，模式風浪及浮標分水嶺法週期又再次增加，但最大波浪尖銳度法的風浪週期則明顯變小。

風浪方向部分，分水嶺法的風浪方向與風的方向較為一致，大部分時間保持在北向至東北向之間，表示颱風期間，東北季風所造成的風浪也很明顯。當颱風靠近浮標前後，分水嶺法分析的風浪波向與風向皆呈現順時針的 360 度轉向變化，驗證風浪由風所造成合理性。此外模式所分析的風浪方向在 28 日 07 時以後為偏向南向，與浮標及模式的風向偏北至東北之間有所不同，是較不合理之處。

### 4.3 颱風對浮標處的湧浪影響

由圖 1 及圖 5 可看出颱風期間湧浪變化與颱風移動軌跡有關連性，湧浪波高及週期皆隨著颱風接近浮標而逐漸變大，但在颱風最靠近浮標時，浮標處風域的風速轉強，風浪達到最大，而湧浪則轉趨不明顯，颱風通過之後，湧浪再度轉強，直到颱風影響完全消失為止。

在颱風中心很靠近浮標時段，分水嶺法及最大波浪尖銳度法在 28 日 0 時至 13 時的分析值，模式分析在 27 日 18 時至 28 日 3 時的輸出值，波浪成分以風浪為主，同時間幾乎沒有湧浪存在。分水嶺法推算的最大湧浪發生在 27 日 19 時，比颱風中心最靠近浮標的 28 日 0 時提早約 5 小時，湧浪示性波高為 11.52 公尺、對應平均週期為 10.3 秒、主波向為 146 度(東南至南南東之間)，與當時颱風傳遞過來波浪方向一致。最大波浪尖銳度法推算的最大湧浪發生在 27 日 16 時，比颱風中心最靠近浮標的 28 日 0 時提早約 8 小時，湧浪示性波高 11.29 公尺、對應平均週期為 12.4 秒。模式分析湧浪的最大發生在 27 日 14 時，比颱風中心最靠近浮標的 28 日 0 時提早約 10 小時，湧浪示性波高 9.87 公尺、對應平均週期為 14.42 秒、主波向為 324 度(西北至北北西之間)。

分水嶺法分析的湧浪方向在 25 日之前及 29 日以後，與浮標原來觀測到主要波向相同，這表示這段期間波浪主要成分為湧浪，且波向分別為東向及北向，而模式分析的湧浪方向在 25 日之前及 29 日之後為東向。此外，浮標分析的湧浪方向，25 日至 26 日為東轉南向，26 日至 27 日中午前為南轉西，至於颱風最靠近浮標的 27 日中午至 28 日，湧浪方向並不固定。

### 4.4 波齡與風湧浪關係

由圖 6 可看出，波齡在 25 日至 28 日之間保持在 1 以內，比對圖 4 風浪變化及圖 5 的湧浪變化可

驗證，此段時間浮標資料的確是以風浪為主，湧浪較不明顯，尤其是颱風中心在 28 日 0 時最靠近浮標時段之前，風浪達到最大，此時段附近波齡也是最小；但在 29 日之後，波齡則在 1~3 之間，最大波浪尖銳度法及分水嶺法所計算的湧浪也變的較明顯。上述說明顯示浮標分析波齡風浪與湧浪變化一致，但與 WWIII 模式湧浪變化則較不相同。由上述波齡分析結果證明浮標分析的風湧浪較 WWIII 模式產出風湧浪合理，這可能是因為模式尚未由實際觀測資料調整參數，而有偏差所致。

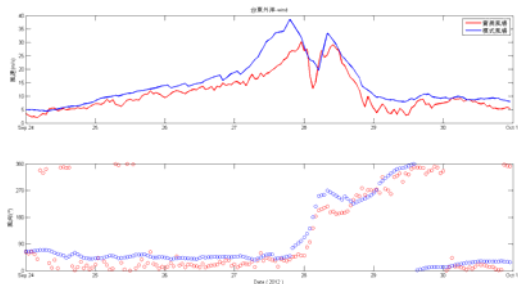


圖 3 台東外洋資料浮標與 WWIII 模式在杰拉華颱風期間風速變化

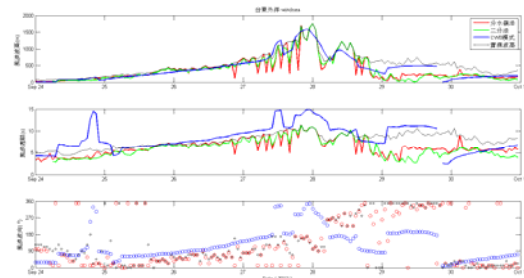


圖 4 台東外洋資料浮標與 WWIII 模式在杰拉華颱風期間風浪變化

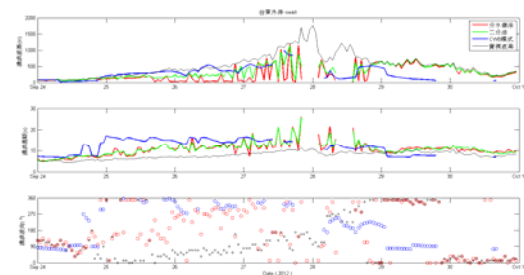


圖 5 台東外洋資料浮標與 WWIII 模式在杰拉華颱風期間湧浪變化



#### 4.5 颱風對海流影響

由圖 7 可看出在海流部分變化，28 日颱風接近浮標前的海流為向西偏北流向為主，且有約 1 日週期性的振幅變化，最大流速為 65 公分/秒。在 28 日颱風靠近浮標以後，海流呈現 1.5 日的週期性變化，以向北、向東、向南及向西流等順時針 360 度轉向，其中在 9 月 28 日 2 時有最大流速達 147 公分/秒。

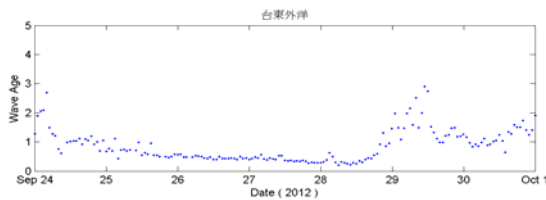


圖 6 台東外洋資料浮標杰拉華颱風期間波齡變化

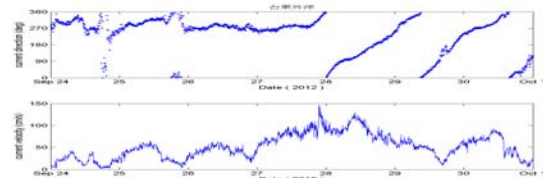


圖 7 台東外洋資料浮標在杰拉華颱風期間海流變化

### 五、結論

本文選擇台灣東南邊 300 公里外之開闊海域台東外洋資料浮標，並以 2012 年 9 月底強烈颱風杰拉華通過浮標期間的觀測資料，分析探討颱風軌跡、風場、風浪、湧浪及海流之間的變化及關連性。根據浮標所測到風速變化，包含東北季風及颱風的影響，在 27 日颱風外圍環流接觸到浮標以後，風力大小由原來只受東北季風影響轉強至颱風影響的強度，同時間風浪也大幅成長，在颱風中心最靠近浮標時，浮標在 27 日 23 時測到最大風速值 30.4 公尺/秒，而風浪在 28 日 0 時示性波高達 18.88 公尺。此外，由颱風中心位置、浮標位置、風速、風向及風浪方向研判，颱風中心在 28 日 0 時至 5 時最接近浮標，且依序以南、西邊及北邊接觸及遠離浮標。至於湧浪部分，湧浪波高及週期皆隨著颱風靠近浮標而逐漸變大，且在颱風中心靠近浮標前，浮標兩種分析法的最大湧浪波高達 11.52 公尺及 11.29 公尺，發生時間比颱風中心最靠近浮標的 28 日 0 時提早各約 5 及 8 小時。但在颱風中心最靠近浮標時，在 28 日 0 時至 13 時期間，則只有風浪成分，颱風離開浮

標後，湧浪再度轉趨明顯。此外，根據波齡分析及湧浪波高變化，顯示颱風離開浮標後，在 29 日至 30 日之間，波浪成分是以湧浪為主。最後由浮標觀測的海流變化，發現颱風最靠近浮標時，海流呈現 1.5 日順時針 360 度轉向的週期性變化，最大海流流速也是發生在颱風中心最靠近浮標的 9 月 28 日 2 時，最大流速達 147 公分/秒。

### 謝誌

本文作者感謝中央氣象局提供台東外洋資料浮標之觀測資料，使本論文得以順利完成。

### 參考文獻

1. 李汙軍、徐月娟、高家俊、饒國清、施孟憲 (2007) 「深海資料浮標作業能量建立」，*海洋及水下科技季刊*，第 17 卷第一期，第 36-39 頁。
2. Pierson, W.J. and Moskowitz, L. (1964) "A Proposed Spectral form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii," *Journal of Geophysical Reserach.*, pp. 5181-5190.
3. Mitsuyasu, H. (1981) "Directional Spectra of Ocean Waves in Generation Area," *Proc. Conf Directional Wave Spectra Appl.*, ASCE, pp. 87-102.
4. WANG, D. W.. and HWANG, P. A. (2001) "An Operational Method for Separating Wind Sea and Swell from Ocean Wave Spectra," *Journal of Atmospheric and oceanic technology*, pp. 2052-2062.