

## GNSS 浮標效能與零上切波浪分析

林演斌<sup>1</sup> 黃清哲<sup>1</sup> 陳聖學<sup>1</sup> 高家俊<sup>1</sup> 林燕璋<sup>2</sup> 滕春慈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學近海水文中心  
<sup>2</sup>交通部中央氣象局海象測報中心

### 摘要

本文以全球衛星導航系統浮標(global navigation satellite system, GNSS)浮標在小琉球海域的現場試驗資料分析效能與零上切波浪統計代表值，結果顯示，在 5 個月期間，小琉球 GNSS 浮標之潮與波平均觀測成功率分別為 93%與 73%，顯示未來 GNSS 浮標仍需節電型 ATC (accelerometer-tilt-compass)波浪儀並行觀測，以修正水位時序列及補充波浪觀測成功率不足。其次，於 2016 年海馬颱風期間，整體而言小琉球海域的波高機率分布並非呈現 Rayleigh 與 Weibull 分布。另外，三分之一週期及零上切週期兩者關係為線性且相關度極高，然而迴歸式與前人研究之兩者關係式不同。

關鍵詞：GNSS 浮標、水位時序列、t 檢定

## The performance of the GNSS buoy and zero-up-crossing wave statistics

Yen-Pin Lin\* Ching-Jer Huang\*\* Sheng-Hsueh Chen\*\*\* Chia Chuen Kao\*\*\*\*  
Chuen Teyr Terng\*\*\*\*\* Yen-Chang Lin\*\*\*\*\*

\* Projects Manager, Coastal Ocean Monitoring Center (COMC), National Cheng Kung University (NCKU)

\*\* Director/Professor, COMC/Department of Hydraulics and Ocean Engineering, NCKU

\*\*\* QC Engineer, COMC, NCKU

\*\*\*\* Advisor/Honorary Professor, COMC/Department of Hydraulics and Ocean Engineering, NCKU

\*\*\*\*\* Director, Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau

\*\*\*\*\* Deputy Director, Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau

### ABSTRACT

This study analyze the Successful Observation Rate (SOR) for observing tides and ocean waves and zero-up-crossing wave statistics of the Small Liu-qiu GNSS (global navigation satellite system) buoy. First of all, According to the data with a duration of 5 months, the averaged SORs are 93% and 73% for observing tides and ocean waves, respectively, indicating that it will be necessary to utilize an ATC (accelerometer-tilt-compass) instrument on a GNSS buoy to reach higher SORs for observing ocean waves. Senond, the wave heights do not obey Rayleigh and Weibull distributions at Small Liu-qiu area during the influential period of typhoon HAIMA in 2016. Furthermore, the correlation between  $H_{1/3}$  and  $T_z$  is highly linear, however, it is different from that between  $H_{1/3}$  and  $\bar{T}$ .

Keywords: GNSS buoy; Water surface elevation; t-test

## 一、研究目的

近岸及河口的實測潮位是相當重要的資料，例如颱風期間河口實測潮位可反映颱風暴潮的特性，為防災決策所需的重要資訊。此外，近岸結構物的設計常需附近的潮位、波浪及地形水深等資料。然而，近岸及河口環境常缺乏架設陸基型潮位站所需的穩固平台，因此近岸及河口的潮位常付之闕如。為了滿足實際的需求，近岸及河口潮位常常是由鄰近的潮位站資料經由內插或外插求得。在平時，利用此方法所得結果與實際情況可能差異不大，但在極端海況下，如出現颱風所生成的暴潮或湧浪，局部區域的水位變化可能極為顯著，無法再由鄰近潮位站的水位資料估算求得。

浮標上常用的波浪觀測儀器為 ATC (accelerometer-tilt-compass)，例如 MacIsaac and Naeth (2013)的資料浮標，其功能為可提供頻率域利用波譜法及時間域利用零上切(zero-up-crossing)法分析之波浪統計代表值。然而 MacIsaac and Naeth (2013)並未直接觀測水位時序列，可知其零上切法分析所需的水位時序列是間接計算而得。

林等(2012, 2017)及 Lin et al. (2017)應用中華民國內政部國土測繪中心提供之 Virtual Base Station Real-Time Kinematics (VBS-RTK)服務，研發全球衛星導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)浮標，直接量測公分等級精度之天線高度，並換算獲得水位時序列資料，能同時分析潮位與波浪資料。惟林等(2017)分析 GNSS 浮標觀測潮位與波浪之有效資料比例，分別為 83.6%與 74.4%，與作業化資料浮標站網之平均效能比較，仍有改善空間。此外，該研究亦將 GNSS 所直接量測與 ATC 所間接計算之水位時序列互相比較，證實兩者一致。不過，在計算過程中，係在濾除加速度譜低頻雜訊後而獲得一維波譜，再得出水位時序列，因此可能受此低頻雜訊影響。

除了資料浮標上的 ATC 波浪儀之外，以往獲得水位時序列的方法尚有利用壓力間接計算與運用水下音波直接量測等，其中，前者係利用量測波浪動壓力變化，再間接計算，因此觀測水深受到限制。後者係於海床發出音波，並量測回波時間，再以聲速及回波時間計算距離，因此精度受到聲速影響。此外，當水深較大時，音束散射角度隨著增大，使得音束在水面之投射面積變大，因此量測精度亦受到水深增大

影響。

本文目的之一為分析潮位與波浪觀測成功率，以證實觀測效能之提昇。另外，利用 GNSS 浮標能直接量測水位時序列之特性，以零上切法分析，獲得時間域的波浪統計代表值，以探討波高代表值之間的相關性，並且觀察颱風大波浪之波型特徵。

## 二、研究方法

本文運用之研究方法有 GNSS 浮標量測水位時序列方法、數據收集方法、頻率域波浪分析方法，說明如下：

### (一) GNSS 浮標量測水位時序列原理

本文 GNSS 浮標外觀如圖 1，有關公分等級定位原理與頻率域波浪分析方法，可參照 Lin et al. (2017)。

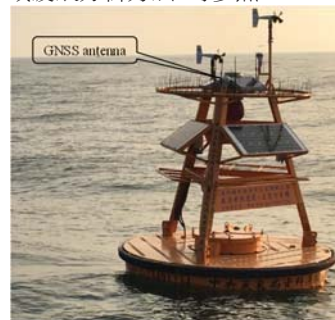


圖1 小琉球GNSS浮標外觀圖

### (二) 數據收集方法

本文收集小琉球 GNSS 浮標運用 VBS-RTK 定位技術所獲得原始數據分析，零上切波浪分析係採用 2016 年 10 月 15 至 31 日且解算成功率為 1.00 的資料，此期間包含海馬(HAIMA)颱風引起的湧浪資料，儀器規格與現場試驗布置及數據取樣等可參閱林等(2017)。而效能分析採用 2017 年 11 月至 2018 年 3 月期間資料，與 2016 年 10 月試驗不同之處為：2017 年 11 月以後小琉球 GNSS 浮標僅安裝 1 只節電型 ATC 波浪儀，同時，GNSS 與節電型 ATC 波浪儀之取樣頻率均為 2 Hz，此外，於 2017 年 11 月以後以 30 個以上解算成功的原始數據分析逐時潮位，且分析波浪之解算成功率門檻為 0.85。

### (三) t 檢定(t-test)

根據統計學理論(Bowerman et al., 2008)，本文運用其中的單一樣本 t 檢定(1-Sample t-test)方法，以檢

定波高統計值之比值是否等於特定數值。該方法係以統計量之樣本做假設檢定，以判定統計量是否落在顯著水準(significant level)臨界值( $\alpha$ ，本文採用0.05)外極端之區域。進行單一樣本 t 檢定時，設計虛無假設(null hypothesis,  $H_0$ )與對立假設(alternative hypothesis,  $H_1$ )如式(1)，檢定規則為依照樣本計算的機率值(p-value)  $\leq$  顯著水準臨界值，即拒絕(reject)虛無假設，代表對立假設成立，當 p-value 愈小時，拒絕虛無假設的證據愈加顯著。

$$H_0: \mu = \mu_0 \text{ versus } H_1: \mu \neq \mu_0 \quad (1)$$

其中 $\mu$ 為統計量之母體平均數， $\mu_0$ 為假定的統計量母體平均數，亦即式(2)–(7)之數值。

### 三、結果與討論

#### 3.1 觀測效能提昇

圖 2 為小琉球 GNSS 浮標與小琉球潮位站之逐時潮位變化圖，圖中小琉球 GNSS 浮標之高程基準為基隆平均海平面，亦即為內政部公布之 2001 臺灣高程基準(Taiwan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD 2001)，而小琉球潮位站資料本為當地基準，係經過調整為與小琉球 GNSS 浮標相同基準後之結果，可看出兩潮位變化趨勢一致。統計 5 個月期間小琉球 GNSS 浮標觀測潮位之平均觀測成功率達 93.0%，如表 1，與林等(2017)相較，提昇了 9.4%。此外，波浪之平均觀測成功率為 73.3%，與林等(2017)相較維持一致，原因為 VBS-RTK 服務中斷，與網路連線品質不十分穩定，以及電離層干擾等。由於這些外部的不利解算因素無法完全避免，因此未來 GNSS 浮標觀測波浪仍需節電型 ATC 波浪儀並行觀測，以便提供傾角修正水位時序列，以及補充波浪觀測成功率之不足。

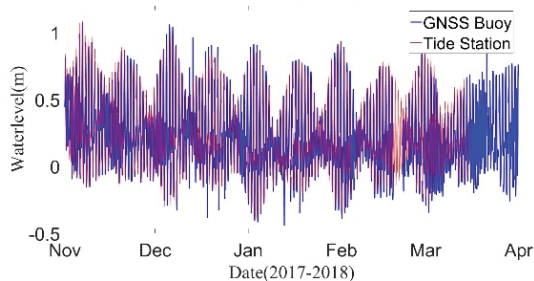


圖 2 小琉球 GNSS 浮標與潮位站逐時潮位變化圖

表 1 小琉球 GNSS 浮標觀測成功率表

Year/month	Tides (%)	Waves (%)
2017/11	96.4	79.9
2017/12	93.3	69.6
2018/01	95.3	80.1
2018/02	85.9	68.6
2018/03	94.2	68.3
Average	93.0	73.3

#### 3.2 直接量測之水位時序列

圖 3 為 2016 年 10 月 21 日 9 時量測之水位時序列，量測期間為 8 時 50 分 – 9 時 0 分前段的 512 個數據，取樣頻率為 1 s，並經過傾角修正與濾除 200 s 以下低頻訊號。由該圖可知，幾個較大個別波分別出現於 204 - 255 s 與 340 - 420 s 兩個時間段，圖 4 與 5 分別繪出兩個時間段之詳細水位時序列，圖 4 最大個別波高為 7.19 m，以距平均水位高度而言，波峰較波谷高，圖 5 最大個別波高為 8.02 m，以距平均水位高度而言，波谷反較波峰高。此說明從 GNSS 浮標直接量測並修正之水位時序列中，能獲得個別極端波浪之波形特徵與最大波高( $H_{max}$ )。

圖 6 為圖 3 水位時序列之組體圖，圖中實線為常態分布，經過統計的常態檢定(normality test)，該筆水位為常態分布，可知該水位時序列為線性。

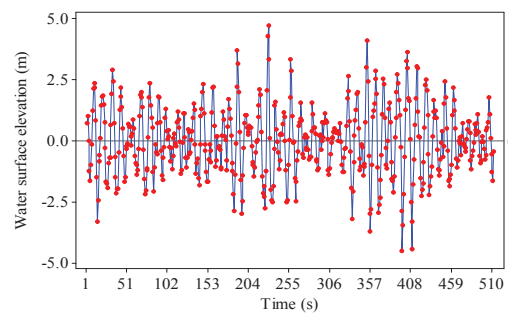


圖 3 10/21 09:00 小琉球 GNSS 浮標水位時序列圖

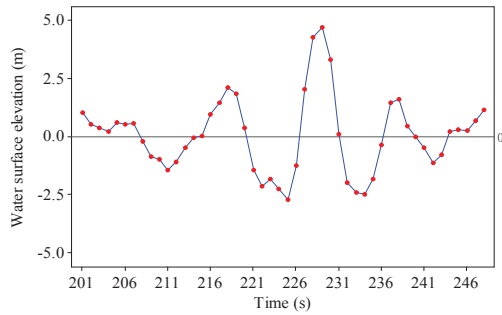


圖 4 10/21 09:00 小琉球 GNSS 浮標部分水位時序列圖

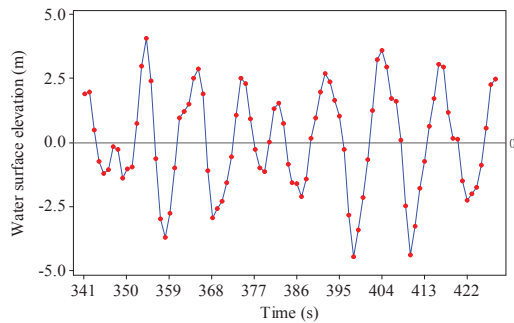


圖 5 10/21 09:00 小琉球 GNSS 浮標部分水位時序列圖

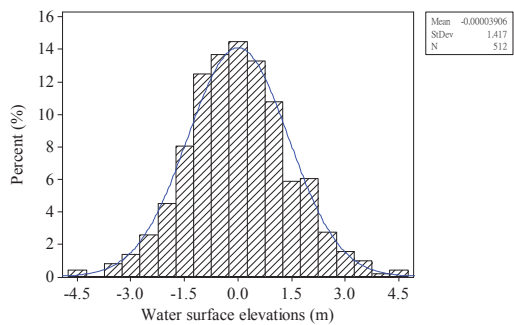


圖 6 10/21 09:00 小琉球 GNSS 浮標水位組體圖

### 3.3 波高代表值間之關係

郭(2001)指出，當波高的機率密度函數是 Rayleigh 與 Weibull 分布時，平均波高( $\bar{H}$ )、三分之一波高( $H_{1/3}$ )與十分之一波高( $H_{1/10}$ )對於波浪總能量根號值( $\sqrt{m_0}$ )之比值分別如式(2) – (4)與(5) – (7)，並指出以實際海洋波浪而言，式(2) – (4)稍微偏大，尤其當波浪具有若干非線性效應時，式(5) – (7)似乎較符合實際海面狀況。

$$\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}} = 2.51 \quad (2)$$

$$\frac{H_{1/3}}{\sqrt{m_0}} = 4.0 \quad (3)$$

$$\frac{H_{1/10}}{\sqrt{m_0}} = 5.09 \quad (4)$$

$$\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}} = 2.413 \quad (5)$$

$$\frac{H_{1/3}}{\sqrt{m_0}} = 3.774 \quad (6)$$

$$\frac{H_{1/10}}{\sqrt{m_0}} = 4.733 \quad (7)$$

本文以 2016 年海馬颱風期間小琉球 GNSS 浮標資料分析，圖 7 – 9 分別為  $\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}}$ 、 $\frac{H_{1/3}}{\sqrt{m_0}}$  與  $\frac{H_{1/10}}{\sqrt{m_0}}$  之逐時變化圖，於各圖中以參考線標示波高為 Weibull 分布計算之比值，圖 7、8 與 9 中的樣本以統計學的單一樣本 t 檢定結果，p-value 皆為 0.000，代表極為顯著地與 Rayleigh 及 Weibull 分布之比值(式(2) – (7))不相等，可知就整體而言，小琉球海域於 2016 年海馬颱風期間的波高機率分布並非呈現 Rayleigh 分布，亦非為 Weibull 分布，與郭(2001)指出的前人研究結果不一致。此外， $\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}}$ 、 $\frac{H_{1/3}}{\sqrt{m_0}}$  與  $\frac{H_{1/10}}{\sqrt{m_0}}$  在信心水準(confidence level)為 0.95 時之信賴區間(confidence interval)分別為 [2.332, 2.358]、[3.627, 3.667] 與 [4.529, 4.604]，而式(2) – (7)各個比值皆未落入此三區間內，依此結果亦可得知相同結果。然而此僅為 2016 年海馬颱風湧浪發生期間在小琉球海域之結果，至於其他颱風與一般夏、冬季期間，以及其他海域之特性，仍有待收集更多 GNSS 浮標觀測數據再持續探討。

以 2016 年 10 月 21 日 9 時量測之線性水位時序列而言， $\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}}$ 、 $\frac{H_{1/3}}{\sqrt{m_0}}$  與  $\frac{H_{1/10}}{\sqrt{m_0}}$  之比值分別為 2.40、4.04 與 5.20，除  $\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}}$  比值較接近 Weibull 波高分布計算比值外，其餘兩者均接近 Rayleigh 波高分布計算之比值。

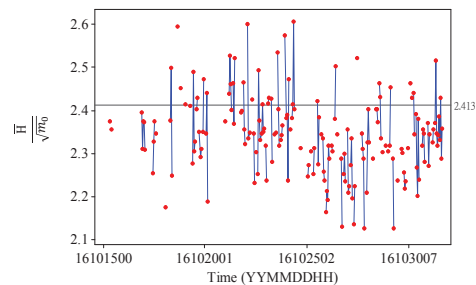


圖 7 小琉球 GNSS 浮標平均波高比值逐時變化圖

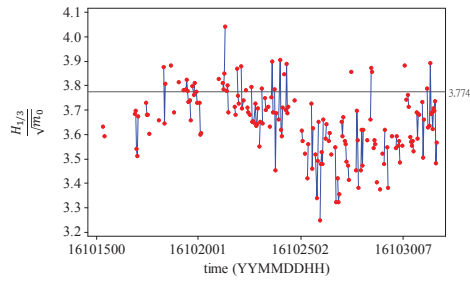


圖 8 小琉球 GNSS 浮標三分之一波高比值逐時變化圖

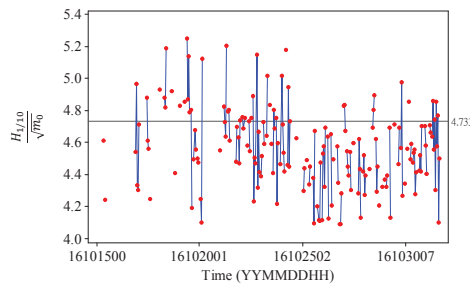


圖 9 小琉球 GNSS 浮標十分之一波高比值逐時變化圖

郭(2001)亦指出，當波高的機率密度函數是 Rayleigh 分布時， $\frac{H_{max}}{H_{1/3}}$  與波數有關，當波數為 100 時，比值為 1.52，且比值隨波數增加而遞增。可見此比值與波高機率分布及波數有關，會隨每次觀測而變化。圖 10 為  $H_{max}$ 、 $H_{1/3}$  與  $\frac{H_{max}}{H_{1/3}}$  之逐時變化圖，圖中 2016 年 10 月 21 日 9 時  $H_{max}$  為 8.01 m，波數為 53 個，依據 3.2 節所述該筆水位時序列為線性，表示波高應呈現 Rayleigh 分布，此時  $\frac{H_{max}}{H_{1/3}}$  為 1.40，較 1.52 小，此與郭(2001)指出之前人研究比值一致。

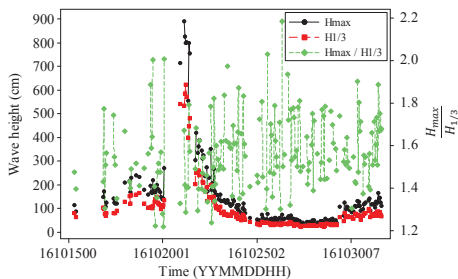


圖 10 小琉球 GNSS 浮標零上切波高及比值逐時變化圖

### 3.4 週期代表值間之關係

圖 11 為三分之一週期( $T_{1/3}$ )及依據一維波譜計算之零上切週期( $T_z$ )關係圖，可知兩者呈線性關係，且相關係數平方( $R^2$ )為 0.96，顯示兩者相關度極高，線性迴歸結果如式(8)，此與郭(2001)指出前人研究三分之一週期與平均週期之關係不同，然而此僅為 2016 年海馬颱風湧浪發生期間在小琉球海域之結果，至於其他颱風與一般夏、冬季期間，以及其他海域之關係，仍有待收集更多 GNSS 浮標觀測數據再持續探討。

$$T_{1/3} = 1.30T_z - 0.54 \quad (8)$$

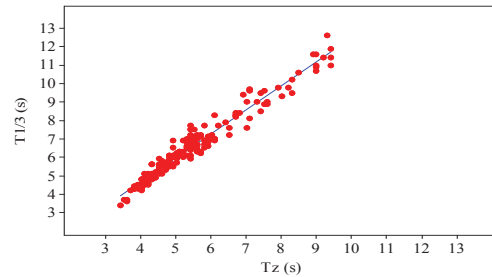


圖 11 小琉球 GNSS 浮標三分之一週期及零上切週期關係圖

## 四、結論

從以上試驗與分析，獲致以下成果：首先，小琉球 GNSS 浮標觀測逐時潮位之平均觀測成功率達 93% 以上，而波浪之平均觀測成功率為 73%，因此未來 GNSS 浮標仍需節電型 ATC 波浪儀並行觀測，除了提供傾角修正水位時序列之外，亦能補充波浪觀測成功率之不足。其次，經由統計學檢定結果，小琉球海域於 2016 年海馬颱風期間，整體的  $\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}}$ 、 $\frac{H_{1/3}}{\sqrt{m_0}}$  與  $\frac{H_{1/10}}{\sqrt{m_0}}$  皆極為顯著地與 Rayleigh 及 Weibull 分布比值不相等，代表整體而言，於 2016 年海馬颱風期間小琉球海域的波高機率分布並非呈現 Rayleigh 與 Weibull 分布。此外，三分之一週期及零上切週期兩者關係為線性且相關度極高，而迴歸式與前人研究之兩者關係式不同。不過上述波高比值與週期關係僅為 2016 年海馬颱風湧浪發生期間在小琉球海域之結果，至於其他颱風與一般夏、冬季期間，以及其他海域之比值與關係，仍有待收集更多 GNSS 浮標觀測數據再持續探討。

## 謝誌

感謝交通部中央氣象局提供節電型 ATC 波浪儀、GNSS 設備與小琉球浮標作為試驗平台，使本文能順利進行。

## 參考文獻

1. 郭一羽(2001)，*海岸工程學*，文山書局，初版。
2. 林演斌、陳聖學、湯世燦、黃清哲(2012)「GPS 浮標即時觀測潮位之研究」，*第34屆海洋工程研討會論文集*，第745-749頁。
3. 林演斌、黃清哲、董東璟、高家俊(2017)「潮位與波浪觀測用 GNSS 浮標效能之研究」，*海洋工程學刊*，第17卷，第3期，第175-196頁。
4. Bowerman, B.L., O'Connell, R.T., Orris, J.B., and Porter, D. (2008) *Essentials of Business Statistics*, McGraw-Hill Higher Education, a division of The McGraw-Hill Companies, Inc., NY.
5. Lin, Y.-P., Huang, C.-J., Chen, S.-H., Doong, D.-J., and Kao, C.C. (2017) Development of a GNSS Buoy for Monitoring Water Surface Elevations in Estuaries and Coastal Areas, *Sensors*, 17, 172, doi:10.3390/s17010172.
6. MacIsaac, C. and Naeth, S. (2013) TRIAXYS Next Wave II Directional Wave Sensor - the Evolution of Wave Measurements, OCEANS 2013 - San Diego, IEEE, 1-8.