

# GNSS 浮標潮位分析研究

林演斌<sup>1</sup> 黃清哲<sup>2</sup> 高家俊<sup>3</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學近海水文中心計畫經理

<sup>2</sup>國立成功大學水利及海洋工程學系教授/國立成功大學近海水文中心主任

<sup>3</sup>國立成功大學水利及海洋工程學系名譽教授/國立成功大學近海水文中心顧問

## 摘要

GNSS 浮標能同時觀測波浪及潮位，然而其縱搖與橫搖運動對潮位觀測結果之影響仍待研究。此外，GNSS 浮標應用 VBS-RTK 解算獲得公分等級精度資料，RTK 解算成功率亦待探討。因此本研究針對此二主題探討。發現在實驗室環境，RTK 解算成功率達 99.9%，而在現場有 89.3% 之逐時平均潮位資料能合乎作業化觀測之最低要求。現場試驗時，GNSS 天線與靜水面距離為 2.26 m，在此條件下，研究發現當 GNSS 浮標總傾角增大至 10 度時，未修正的潮位低於修正後的潮位 4.9 cm，而當 GNSS 浮標總傾角再增大至 16.1 度時，未修正的潮位低於修正後的潮位 11.8 cm，同時亦發現 GNSS 浮標潮位誤差對總傾角之關係為非線性，以二次多項式配適結果良好。根據分析結果可知，GNSS 浮標之 RTK 解算成功率已接近作業化觀測潮位水準，且觀測時應一併量測兩正交軸傾角並修正，始能獲得較準確的潮位資料。

關鍵詞：VBS-RTK、GNSS 浮標、即時、潮位

## Analyzing tides data of the GNSS buoy

Yen-Pin Lin\* Ching-Jer Huang Chia Chuen Kao

\* Project Manager, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

## ABSTRACT

The GNSS buoy for monitoring tides and waves was developed. When measuring tides, the pitch and the roll lead to errors and the successful rate of RTK is not discussed. This research aims to discuss these two topics. We find that for the laboratory test, the rate reaches 99.9%. For the field test, 89.3% of hourly averaged tide data reach the demand of operational observation. The difference in height between the GNSS antenna and the mean sea level is 2.26 m. Under this condition, when the total inclination is 10/16.1 degrees, the difference in the tide level between the uncorrected and the corrected data is -4.9/-11.8 cm. We also find the relation between errors of tides data and total inclinations is non-linear and it's fitted by using a quadratic curve. According to these results, the GNSS buoy is capable of observing tides operationally. The pitch and the roll should be measured simultaneously and they have to be utilized to correct tides data. Thus the accuracy of tides data will be upgraded.

Keywords: VBS-RTK; GNSS buoy; real-time; tide

## 一、研究目的

海上的實測潮位對於防災是重要資料，能驗證模式預測的潮位資料，提高潮位預測準確度，對於許多應用皆有助益，例如河口潮位預測為防災決策所需，海堤前之潮位預測為潮升推估之重要輸入條件。

依據以往研究，GPS 浮標為一種觀測潮位方法，Watson (2005)將 GPS 浮標區分為小型 GPS 浮標、小型自動 GPS 浮標及大型 GPS 浮標等三種。該研究指出，大型 GPS 浮標之缺點為 GPS 天線運動未能完全跟隨瞬間的水面運動，不易精確量測 GPS 天線相對於水面之位置。

林等(2012, 2014, 2015)及 Lin et al. (2014)引用 VBS-RTK (Virtual Base Station Real-Time Kinematics) 技術研發 GNSS (Global Navigation Satellite System) 浮標，可同時獲得潮位及波浪資料，其優勢為能克服高程測量與即時傳輸困難，獲得以基隆平均海平面為基準的潮位資料。根據研究成果，GNSS 浮標與鄰近潮位站潮位資料之均方根誤差小於 10 cm。本研究團隊所使用的 GNSS 浮標相當於 Watson (2005)所稱之大型浮標，存在其所稱之誤差因素，因此本研究目的之一為探討潮位資料誤差受到浮標體總傾角之影響程度，作為日後規劃 GNSS 浮標作業化觀測系統的參考依據。

此外，GNSS 浮標使用之 VBS-RTK 服務為 GPS 及 GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) 雙衛星系統，GNSS 浮標透過網路連線至該系統，即時地取得虛擬基準站訊號，並即時地進行 RTK 解算，在 RTK 解算成功後能獲得公分等級精度的定位資料。從此過程可知 RTK 解算是否能成功，受到 VBS-RTK 服務系統運作、網路訊號品質、虛擬基準站訊號品質、資料擷取方式等因素影響，在這些因素影響下，GNSS 浮標觀測時能達到的 RTK 解算成功率高低，攸關其作業化觀測效能。因此，本研究以獲得固定解(fixed ambiguity)為 RTK 解算成功，分析 GNSS 浮標 RTK 解算成功率。

## 二、研究方法

### 2.1 RTK 解算成功率

本研究採用之 VBS-RTK 服務係由內政部國土測繪中心提供，其詳細說明可參考林等(2012, 2014, 2015a, 2015b)及 Lin et al. (2014)。本節說明 RTK 解算成功率定義及以傾角修正 GNSS 浮標觀測潮位方法。

GNSS 浮標觀測頻率為 1 Hz，每秒觀測瞬間，GNSS 浮標視獲得固定解為 RTK 解算成功，累計解算成功資料數，並以式(1)計算 RTK 解算成功率(the percentage of good altitude data)，以 GNSS 浮標而言，式(1)的總資料數為 600 個。

$$\text{解算成功率} = \frac{\text{解算成功資料數}}{\text{總資料數}} \quad (1)$$

### 2.2 傾角修正方法

GNSS 浮標與船舶同為浮體，其在海上之運動方式可應用船體運動說明。以正交座標系統而言，GNSS 浮標運動包含有縱移(surge)、橫移(sway)、起伏(heave)、縱搖(pitch)、橫搖(roll)、橫擺(yaw)六個運動，其中縱移與橫移為水平方向移動，而橫擺為水平方向轉動，三者皆不影響 GNSS 浮標觀測潮位。起伏雖為以平均海面為基準的上下運動，以某一瞬間觀測潮位而言，會造成潮位觀測數據偏高或偏低，但由於 GNSS 浮標係分析平均潮位，亦即為 10 分鐘期間內，所取得之每一秒鐘潮位，經濾除異常值後之平均值，在計算過程，起伏所引起的偏高及偏低誤差可互相抵銷，本研究認為起伏幾乎不影響 GNSS 浮標觀測潮位，因此僅針對縱搖與橫搖之影響進行修正。

RTK GNSS 天線正高(orthometric height)為  $H$ ，當資料浮標總傾角為零度時，天線與海面距離為  $D$ ，在此瞬間，海面高度為  $H-D$ 。另外，當資料浮標的縱搖、橫搖角度分別為  $P$  及  $R$  時， $H-D$  為未修正(uncorrected)海面高度  $E_u$ ，而修正後(corrected)海面高度  $E_c$  如式(2)，潮位誤差  $\Delta E$  以式(3)表示。

$$E_c = H - D \times \cos P \times \cos R \quad (2)$$

$$\Delta E = E_u - E_c \quad (3)$$

GNSS 浮標量測的縱搖、橫搖角度分別為橫軸、縱軸的旋轉角度，此時 GNSS 浮標相對於水平面之總傾角  $I$  以式(4)計算。

$$I = \cos^{-1}(\cos P \times \cos R) \quad (4)$$

### 三、結果與討論

#### 3.1 VBS-RTK 服務之 RTK 解算成功率

本團隊首次應用 VBS-RTK 服務研究 GNSS 波潮浮標，為探討 VBS-RTK 服務之 RTK 解算成功率，本研究在成功大學大樓頂樓進行靜態試驗，試驗地點之高度為 13 樓，視野極為空曠，且網路連線品質佳，在此環境條件下進行靜態試驗，期間為 2016 年 9 月 1 日 17 時 24 分 56 秒至 9 月 2 日 17 時 24 分 55 秒，期間為連續 24 小時，擷取頻率為 1 Hz，共取得 86,400 個樣本，其中獲得固定解之樣本數為 86,318，以式(1)計算 RTK 解算成功率為 99.9%，高度資料組體圖如圖 1。依據靜態試驗結果，可知在網路連線品質佳及視野空曠之情況下，VBS-RTK 服務之 RTK 解算成功率能達到 99.9%。實測高度標準偏差為 1.28 cm，小於 VBS-RTK 服務 5 cm 之高度標準偏差(Wu et al., 2013)。圖 1 中，實測高度資料之全距(最高減最低)為 25 cm。

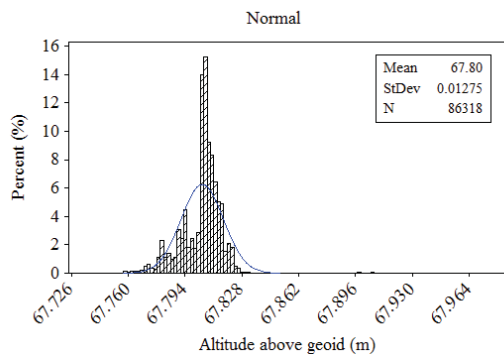


圖 1 靜態測試之高度資料組體圖

#### 3.2 現場試驗之 RTK 解算成功率

於探討現場試驗時，要得出合理的平均潮位數據所需之 RTK 解算成功率，可從兩方面考慮，其一為測量精度之要求，其二為波浪週期之影響。在測量精度要求方面，依據內政部國土測繪中心公布在網頁對於使用即時定位服務資料之建議，測量成果種類須為固定解，並建議高程定位之精度品質控制指標應小於 5 cm，且至少記錄 30 筆以上，再取算術平均作為最終定位坐標成果(參考文獻 10)。在波浪週期影響方面，依據海面上波動週期分類，海面風浪週期範圍為 0.1 ~ 23 sec (Garrison, 2013)，可知以 1 Hz

取樣頻率而言，須記錄 23 筆始足以代表一個以上的波浪週期。若要同時滿足以上兩個考慮因素，則所需之資料筆數至少應為 30 筆。

根據美國國家海洋暨大氣總署網頁(參考文獻 11)，與國內中央氣象局發表之研究論文(徐等，2008)，可知標準作業化潮位觀測時距均為 6 min，前述所需之 30 筆以上資料，以 6 min 採樣期間及 1 Hz 取樣頻率而言，RTK 解算成功率應為  $8.3\% \left( \frac{30}{6 \times 60} \right)$

以上，可將此標準視為作業化觀測潮位所需之最低 RTK 解算成功率。以每小時整點前 6 min 數據及式(1)計算灣裡 GNSS 浮標每小時的 RTK 解算成功率，於 8 月 1 日 0 時至 8 月 8 日 11 時共應獲得 180 個樣本，其中有 3 個樣本未取得，實得 177 個樣本，繪製實得樣本的 RTK 解算成功率累積機率組體圖，如圖 2 所示。發現 2015 年於灣裡測試期間，RTK 解算成功率大於 8.3% 的資料比例為 89.3%。可知當 GNSS 浮標以每小時整點前 6 分鐘之原始數據分析該小時平均潮位時，從 RTK 解算成功率觀之，有 89.3% 之平均潮位資料能達到最低作業化觀測水準，此一 RTK 解算成功率仍在設法提昇中。

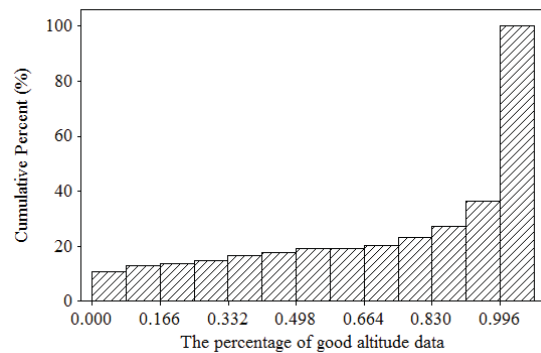


圖 2 2015 年灣裡測試之 RTK 解算成功率累積機率組體圖

#### 3.3 傾角對潮位觀測誤差之影響

以上述 6 min 平均潮位資料進一步分析傾角對潮位觀測誤差之影響，並從中挑選 RTK 解算成功率為 8.3% 以上的資料探討。圖 3 為 2015 年灣裡測試之未修正潮位、修正後潮位、潮位誤差及總傾角之逐時變化圖，測試時 GNSS 天線與靜水面距離為 2.26 m，測試位置位於二仁溪河口外海 1.8 km，測試期間

有蘇迪勒(SOUDELOR)颱風侵襲。

此外，從圖 3 亦可看出當總傾角變大時，潮位誤差變為負值，此時若未以 GNSS 浮標傾角修正潮位，則所觀測潮位會有偏低情形。

另外，總傾角呈週期性變化，其週期約為一日，總傾角極大值發生時間較潮位極大值發生時間延後，此時流速較大，其原因為當潮流流速變大時，資料浮標受到較大拖曳力而造成總傾角增大。

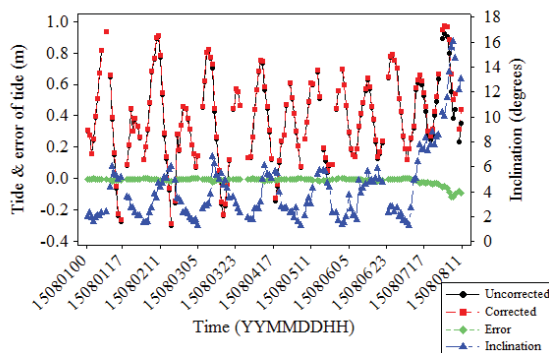


圖 3 灣裡測試潮位、潮位誤差及總傾角逐時變化圖

圖 4 為灣裡測試潮位誤差對於總傾角之關係圖，從該圖實測點可知當 GNSS 浮標總傾角大於 10 度時，潮位誤差始達 4.9 cm，而當 GNSS 浮標總傾角達 16.1 度時，潮位誤差提高至 11.8 cm。從圖中亦可迴歸 GNSS 浮標潮位誤差對總傾角之關係，以二次多項式配適，如圖中實線，獲得兩者關係如式(5)。

$$\Delta E = -0.000213 + 0.000221 \times I - 0.000492 \times I^2 \quad (5)$$

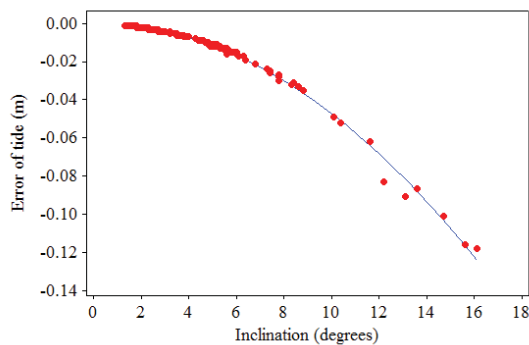


圖 4 灣裡測試潮位誤差對總傾角之關係圖

#### 四、結論

在網路連線品質佳及視野空曠之情況下，RTK 解算成功率達 99.9%，依據 2015 年灣裡現場試驗結果，當 GNSS 浮標以每小時整點前 6 分鐘之原始數據分析該小時平均潮位時，從 RTK 解算成功率觀之，有 89.3% 之平均潮位資料能達到作業化觀測之最低要求，此一 RTK 解算成功率仍可再設法提昇。另外，GNSS 浮標總傾角呈週期性變化，其週期約為一日，總傾角極大值發生時間落在潮位極大值發生時間之後流速較大時。2015 年灣裡現場試驗時，GNSS 天線與靜水面距離為 2.26 m，於此條件下，當 GNSS 浮標總傾角增大至 10 度時，未修正的潮位低於修正後的潮位達到 4.9 cm，而當 GNSS 浮標總傾角再增大達 16.1 度時，未修正的潮位低於修正後的潮位達 11.8 cm，同時亦發現 GNSS 浮標潮位誤差對總傾角之關係為非線性，以二次多項式配適結果良好。若未以 GNSS 浮標傾角修正潮位，則所觀測潮位會有偏低情形，因此當以 GNSS 浮標作業化觀測潮位時，應一併量測兩正交軸傾角，始能獲得較準確的潮位資料。

#### 謝誌

本論文採用之 2015 年灣裡試驗資料係「台南高雄海堤溢淹越波預警系統驗證及建置(1/2)」委託專業服務計畫之部分觀測成果，承蒙經濟部水利署第六河川局經費之補助使本研究得以進行現場作業，謹致謝忱。

#### 參考文獻

1. 徐月娟、呂理弘、陳伊秀(2008)「海嘯潮位監測站介紹」，天氣分析與預報研討會論文集，NO. 86，第 467-470 頁。
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、陳聖學、黃清哲、高家俊(2014)「潮位與波浪觀測 GPS 浮標之研發」，中央氣象局 103 年天氣分析與預報研討會，A8-18，第 1-6 頁。
4. 林演斌、范揚洛、吳立中(2015)「創新海岸防災觀測與預測科技」，*海洋及水下科技季刊*，第 25 卷，第 2 期，第 37-45 頁。
5. 林演斌、黃清哲、陳聖學(2015)「河口 GPS 浮標

觀測潮位波浪之探討」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，第 551-556 頁。

6. Garrison, T. (2013) *Oceanography-An invitation to marine science*, international edition, Brooks/Cole, Cengage Learning, eighth edition, p. 301.
7. Lin, Y.P., Huang, C.J. and Chen, S.H. (2014) “Development of a GPS-buoy for monitoring water surface elevations at estuaries,” OCEANS 2014-TAIPEI, IEEE, pp. 1-6.
8. Watson, C. S. (2005) “Satellite altimeter calibration and validation using GPS buoy technology,” University of Tasmania.
9. Wu, C.T., Hsiao, C.Y. and Hsieh, P.S. (2013) “Using UAV and VBS-RTK for rapid reconstruction of environmental 3D elevation data of the Typhoon Morakot disaster area and disaster scale assessment,” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(1), pp. 23-33.
10.  
<http://www.egnss.nlsc.gov.tw/content.aspx?i=20150625102717820>
11.  
<https://tidesandcurrents.noaa.gov/stations.html?type=Water+Levels>