

潮位觀測技術盤點與評估

陳秋份¹ 林演斌¹ 馬家驊² 簡昭群²

¹國立成功大學近海水文中心

²經濟部水利署水文技術組

主題：C. 海洋及海岸規劃管理

通訊作者：陳秋份

E-mail: josie0946@gmail.com

Tel: 06-2744058

摘要

潮位觀測在海岸規劃管理與防災以及氣候變遷引致之海平面上升研究等方面都扮演極重要角色，直接觀測是潮位資料主要來源，衛星技術發展後，也可以從太空觀測潮位，本文盤點近代常見的潮位觀測技術，包含壓力式、音波式、雷達波、高度計(Altimeter)和 GNSS 等觀測方式，彙整各種觀測方式的儀器規格、解析度、儀器原理與適用場域，並以實際觀測作業評估音波式和壓力式觀測結果之差異，以及 GNSS 觀測準確性。透過本論文研究，可以掌握各式潮位觀測儀器的特性，提供實際有潮位觀測需求時選擇正確觀測方式之參考。

關鍵詞：潮位、觀測、音波式、GNSS

一、研究目的

潮位(Tide)主要是星球間引力造成之地球表面水體之升降現象，海岸邊的潮位變化代表著海岸水位的高低，過高的位(潮)位可能越過堤防造成淹水，颱風期間因為低氣壓引起的水位抬升稱為暴潮(storm surge)，它是造成海岸溢淹的主因之一。潮位的高低也高度影響海岸或河口地區生態環境，目前地球水位是一個平衡狀態，大部分地方潮差約 1 米上下，部份地區無潮差(譬如波羅的海)，部份地區潮差甚大(譬如加拿大芬迪灣)，當全球變暖造成氣候變遷，引起海平面上升，即便是每百年幾十公分的等級，依然可能對全球海岸生態造成莫大衝擊。因此，潮位資訊對於海岸防災、海岸生態、氣候變遷、海岸治理甚至軍事國防等領域都扮演重要的角色。

海洋潮位觀測可透過直接觀測或間接觀測獲得，直接觀測包含安裝壓力式儀器在海底量測水位變化、安裝音波式儀器在海底或海面結構物上、或改用雷

達波等方式；而間接的觀測方式包含透過衛星高度計(Altimeter)量測或透過 GPS/GNSS 解算。當然，近代的數值模式已經可以很準確地預測某處的潮(水)位變化，然而，模式的準確性仍然是建立在對實際潮位(分潮)的掌握下所獲得，現場實際潮位觀測是海洋觀測最早也是最重要的一環。本研究的目的即在於盤點近代潮位觀測技術、原理與特性，並透過實際觀測作業與成果探討其差異並評估其特性。

二、研究方法

早期潮位觀測大都在港邊的岩石或木板上刻上刻度，每天早晚用眼睛來觀測水位的高低，從英國的平均海平面永久服務中心(PMSL)紀錄顯示，阿姆斯特丹港口自 1700 年就有潮位觀測紀錄。直到 1830 年左右，潮位觀測才開始使用機械儀器紀錄，包含將浮子置於靜水井中，潮位的變化帶動浮子再連接到紀錄紙上，隨著電腦資訊的發展，開始將這些紀錄數位化，儀器部份，由於浮子容易受到環境的影響，解析

度也有所不足，因此，壓力式潮位計(pressure tide gauge)興起，開啟了潮位自動化觀測的時代。

壓力式潮位計是透過水壓與水位之間存在線性關係，量測水壓可以反算出水位，壓力式水位計通常安裝於海底，透過電纜線傳送量測結果上岸，它最大的問題是難以確定潮位計安裝在底床，因此難以獲得潮位絕對數值。

美國海洋大氣總署(NOAA)在 1980 年代開始發展第二代潮位觀測系統(NGWLMS)，它使用高精度的音波式水位計(acoustic gauge)，透過溫度同步量測修正音波速度，精度可達 mm 等級，該系統同步整合壓力式儀器，並具有多通道通訊系統，是目前台灣潮位現場觀測儀器的主力。

衛星高度計(satellite altimetry)透過衛星上發射電磁波，藉由回波來估算海面投影區的相對高度，此資料在全球尺度上參考價值很高，有助於海平面上升的研究，但對於近岸海域可能會受限於空間解析度與地形效應導致誤差會較大些。

過去也常見使用全球定位系統(GPS)來量測潮位，但全球衛星導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)發展後，由於它可同步接收美國 GPS 及俄羅斯 GLONASS 衛星訊號，透過解算可獲得天線位置處的三維坐標，因此 GNSS 近年在海洋觀測領域發展很迅速。研究團隊過去透過接收 GNSS 訊號與內政部國土測繪中心所提供之 VBS-RTK (Virtual Base Station Real-Time Kinematics)解算服務，在收斂獲得固定解(Fixed ambiguity)後，獲得公分等級精度的經緯度與高度資料，可以獲得潮位觀測值，然而由於解算關係，僅能逐時觀測，另外，VBS-RTK GNSS 需上網始能傳輸即時修正訊號，使其布設位置受限(無法觀測外海潮位)。RTK 是一種差分的解算方法，測量領域常用運，但其定位精度受到基線距離的限制，因此在範圍外的定位需利用其他技術，譬如 RT-PPP (real-time precise point positioning)定位技術，有些系統商提供了全球多星系定位服務，支援星系包含 GPS、GLONASS、Galileo 與 BeiDou，包含電碼與載波偏差量，以及軌道與時表修正量，這些資料透過地球靜止軌道衛星直接廣播給 GNSS 接收器接收，以進行定位(包含高度)解算。

為了比較不同潮位觀測儀器量測結果的差異，本研究將 GNSS 接收器安裝於海上浮標上，海岸邊

設置有第二代潮位觀測系統(NGWLMS)，底床上則有壓力式潮位計，同步觀測進行比對探討。另外，本研究也將近代常見的潮位觀測儀器列表比較，提供優選潮位觀測方法之參考。

三、初步結果

本研究曾於 2017 年 11 月至 2018 年 4 月期間將 GNSS 接收器裝置於小琉球資料浮標上，如圖 1 所示，圖中 GNSS 量測潮位之高程基準為基隆平均海平面，而小琉球潮位站為當地基準，已調整為一致，結果可看出兩個潮位變化趨勢一致，相關係數達 0.98 以上。另外，為探索 GNSS 潮位觀測以 RT-PPP 與 VBS-RTK 解算潮位之差異，圖 2 為 GNSS 接收器安裝在安平浮標量測潮位減平均值後之比對圖，綠色菱形點線可知 RT-PPP 潮位最大高 VBS-RTK 解算結果約 0.38 m，均方根誤差(RMSE)為 0.11 m，平均絕對誤差(MAE)則為 0.08 m，量值看似小，但對於部份需求高精度潮位資料的應用來說不可謂不大，後續有賴加入與一般認為真值的岸邊潮位站做比較，同時也將增加納入衛星高度計的量測結果進行比較研究。

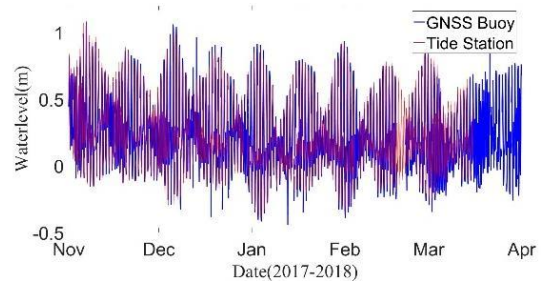


圖 1 GNSS 潮位觀測與第二代音波式潮位站觀測結果比較

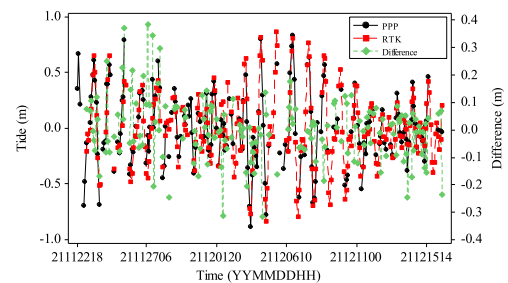


圖 2 兩種解算法(RT-PPP 與 VBS-RTK)在以 GNSS 觀測潮位結果之差異