

港內外潮位差異分析

林演斌¹ 陳聖學¹ 施孟憲¹ 滕春慈² 林燕璋²
國立成功大學近海水文中心¹ 中央氣象局海象測報中心²

摘要

潮位站大都設置在港內半封閉型水域之內，而全球衛星導航系統(global navigation satellite system, GNSS)浮標能在港外開闊水域觀測潮位與波浪，以往分析小琉球之港內、外潮位資料，發現港外潮時較港內提早，本研究進一步分析龍洞港內、外的分潮振幅與相位角，以及小琉球與龍洞兩處特定颱風期間的暴潮偏差，以探討港內、外潮位特性的差異。分析結果顯示港、內外各分潮振幅一致。其次，在兩處分別發現港內、外特定分潮之潮時不同，即便港內、外測站距離僅有0.4 km亦然。此外，港內、外最大暴潮偏差亦不同。由此可知港內潮位無法完全代表港外潮位，未來在收集更多地點之港內、外實測潮位資料後，可再進一步探討。

關鍵字：潮位、全球衛星導航系統、調和分析、暴潮偏差

一、前言

海上的實測潮位能驗證模式預測的潮位資料，提高潮位預測準確度。颱風期間河口實測潮位可反映颱風暴潮的特性，預測河口潮位對於陸地淹水具關鍵性影響，因為河口潮位太高使得河川洪水宣洩不易。此外，海堤前之實測潮位為驗證溯升推估模式之重要輸入條件之一，而近岸結構物的設計亦需潮位、波浪及地形水深等資料。顯示實測潮位之重要性。

維護海上資料浮標時，常需預測的外海朝夕資料，以預測流速，但國內的潮位站絕大多數位於港內，發現以港內的潮位預測值代替外海的預測潮位，時常有潮時預測失準之情形，進而影響潛水作業的時間估計，但未有外海實測數據佐證。

外海潮位隨地點而變化，Kim et al. (2018)以SELFE (Semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element)潮位模式模擬南中國海的潮汐，得出M2, K1, S2, O1, N2, P1, K2, and Q1等8個分潮的等振幅等值圖(Iso-amplitude contours)與等相位延遲等值圖(Iso-phase-lag contours)。從Kim et al. (2018)的圖可看出，M2, S2, N2, and K2等4個半日潮之振幅與相位延遲在南中國海的開闊海域中，等值線明顯較為稀疏，顯示振幅與相位之變化幅度小，而在臺灣海峽中隨著位置而變化之幅度相當大。可看出潮位受地形影響程度，然而Kim et al. (2018)的研究為大區域之模式模擬結果。

蔡(2013)運用NAO99b潮位模式模擬臺灣周圍海域各網格點之潮位，將整年潮位做調和分析，進而

繪製臺灣海域等潮時圖與等潮位圖，並疊合前述兩圖，建立潮位分區圖，以作為海域水深測量修正潮位之用。蔡(2013)指出，潮位模式受地形與人為結構物等影響而有不規律之模擬誤差。然而蔡(2013)亦為大區域之模式模擬結果。

張等人(2001)在臺灣西南海岸將軍、興達與枋寮設置臨時潮位站，並蒐集中央氣象局高雄等潮位站資料分析，結果發現，M2分潮振幅由將軍往南快速減小，至高雄最小，再往南至枋寮與後壁湖皆增，振幅約為將軍的一半。潮波自南部進入臺灣海峽後向北傳遞，將軍與高雄潮時相差3-4 hr以內，興達與高雄潮時相差1-1.5 hr以內，而枋寮與高雄潮時相差0.5-1 hr以內，並指出隨日期不同，潮時差變化亦不同。然而，張等人(2001)為較大範圍海域之實測資料分析結果。

林等人(2005)在基隆港內設置3處臨時潮位站，並引用同在基隆港內且最接近出海口的驗潮站資料，指出港內水域依受到潮汐的影響機制分為感潮段與壓力平衡段，港內平均水位在不同水域並非一定值，且港內感潮段的水位變化直接受外海潮汐波傳播影響，與港外有潮時差現象。然而該研究並未引用外海的潮位資料。此外，林等人(2005)以2004年11月幾天的潮位資料，分別繪製3座臨時潮位站與驗潮站每日水位變動差值比較圖，發現3條誤差曲線皆有長週期震盪，並指出此為某些水動力機制在影響感潮段與壓力平衡段之間水位的變化。

林等人(2019)分析小琉球資料並指出港內潮位較之港外，相位有延遲現象，亦即港外高、低潮位之潮時較之港內提早。其次，港內、外潮位之相位差導致兩者潮位差值呈週期性震盪，潮位差值震盪週期與港內、外潮位週期相同。此外，港內、外潮差並無明顯差異。

有鑑於此，本研究選取小琉球GNSS (Global navigation satellite system)浮標(位於港外)、小琉球潮位站(位於港內)與龍洞GNSS浮標(位於港外)及龍洞潮位站(位於港內)實測的潮位資料，分別以兩處的港內、外資料分析比較，以瞭解小區域的港內與港外潮位特性差異。

二、研究方法

以往研究顯示，使用衛星高度計 (satellite altimetry)能觀測外海潮位，然而Dawidowicz (2014)指出衛星高度計在近岸海域觀測水位誤差較大。在近岸海域，GNSS浮標為一種可行的觀測潮位方法。

(一) GNSS 浮標觀測原理

GNSS浮標能接收GPS及GLONASS甚至更多的衛星訊號，並解算天線三維坐標，包括經緯度與高度。Lin et al. (2017)開發GNSS浮標，運用內政部國土測繪中心所提供之VBS-RTK (Virtual Base Station Real-Time Kinematics)服務，接收來自VBS-RTK控制中心之虛擬觀測數據，GNSS浮標利用本身接收之雙頻觀測數據與VBS-RTK控制中心回饋之虛擬觀測數據，解算整數週波未定值，在收斂獲得固定解(Fixed ambiguity)後，即可獲得cm等級精度之經緯度與高度資料。

林等人(2017)將量測天線之橢球高(Ellipsoidal height)換算為以基隆平均海平面為基準之高度，由於GNSS天線安裝高度超過2 m，且GNSS浮標隨波傾斜之故，進而以GNSS天線安裝高度與傾斜角計算獲得瞬時海面高度，此高度之基準為2001臺灣高程基準 (TaiWan Vertical Datum 2001, 簡稱TWVD 2001)。

(二) 現場觀測位置與資料選取

本研究使用之逐時潮位資料來自小琉球GNSS浮標、小琉球潮位站、龍洞GNSS浮標與龍洞潮位站，2座GNSS浮標位置如圖1，圖2、3分別為小琉球與龍洞兩處港內、外測站相對位置圖。小琉球資料期間為2017年11月 - 2019年2月，龍洞資料期間為2019年10月 - 2020年4月。小琉球GNSS浮標位於小琉球南方海域，水深約為100 m，距最近的岸邊約1.0 km，能作業化觀測港外潮位，小琉球潮位站位於小琉球白沙尾漁港內，小琉球GNSS浮標與小琉球潮位站之距離為4.9 km。龍洞GNSS浮標位於龍洞遊艇港外海，水深約為28 m，距最近的岸邊約0.6 km，亦能作業化觀測港外潮位，龍洞潮位站位於龍洞遊艇港內，龍洞GNSS浮標與龍洞潮位站之距離約為0.4 km。

GNSS浮標裝設有GNSS與傾角計，兩儀器取樣頻率為2 Hz，取樣期間為每小時的50 min起，共10 min，以54 min之後的6 min原始數據計算逐時平均潮位。由於上述每個瞬間GNSS之解算成果未必能收斂，因此本研究從上述6 min之數據中，僅挑選收斂

之瞬時海面高度數據，以第(一)小節所述方法計算瞬時海面高度，再以算術平均計算逐時平均潮位，此資料再經過資料品質檢查，剔除不合理的逐時資料後，即作為後續分析與比較使用。

小琉球與龍洞均為中央氣象局所有潮位站，潮位資料時距為6 min，本研究從中選取1 hr時距的資料進行分析與繪圖，其中1 hr時距的資料係採用與GNSS浮標同樣為54 min至整點之6 min平均潮位資料。



圖1 小琉球與龍洞GNSS浮標位置圖

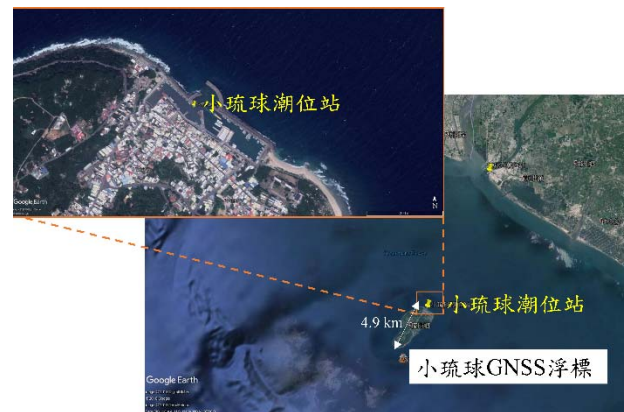


圖2 小琉球測站位置圖



圖3 龍洞測站位置圖

(三) 調和分析(Harmonic analysis)

引起潮汐的原因有：天體萬有引力、地球公轉、地球自轉、氣象變化等，但最主要者為太陽及月球

的引力，使海面產生一種週期性的升降運動，這種垂直方向的運動即稱為潮汐。

調和分析法乃基於天文潮理論，將各地實測所得之週期性潮位紀錄，視為多個具單一週期且為簡諧運動之潮汐分潮所組成。理論上潮汐應包括無限多的分潮成分，但實際應用上僅就主要分潮進行分析即可達到所需目的，其主要方法係利用最小二乘法(Least squares method)讓實際潮位與調和潮位誤差值達到最小。當潮位由調和分析之後即可得到各分潮之調和常數(包括各分潮之振幅及相位角等)，可據以計算各時刻之天文潮。

本研究採用Aslak Grinsted所發展之Tidal fitting toolbox Matlab程式進行分析，採用60個主要分潮進行計算，所得結果如後所述。

三、結果與討論

(一) 港內外潮差與潮時差異

本研究分別採用小琉球潮位站及GNSS浮標之逐時資料進行調和分析，表1為小琉球潮位站與GNSS浮標主要分潮之振幅與相位角，顯示港內、外之分潮振幅無明顯差異，但相位角有所不同。M2, S2, K1與O1四個主要分潮中，港外之M2分潮相位角明顯較港內小 6.47° ，亦即港外M2分潮相位較港外提早約13 min，而港內、外之S2, K1與O1分潮相位角無明顯差異。此外，由於N2, P1, K2與Q1分潮振幅較小，不予討論其分潮相位角之差異。

本研究分別採用龍洞潮位站及GNSS浮標之逐時資料，以2019年10月至2020年4月資料進行調和分析，所得之調和常數詳列如表2。表2為龍洞潮位站與GNSS浮標主要分潮之振幅與相位角，顯示港內、外之分潮振幅無明顯差異，但相位角有所不同。M2, S2, K1與O1四個主要分潮中，港外之S2分潮相位角明顯較港內小 8.01° ，亦即港外S2分潮相位較港外提早約16 min，而港內、外之M2, K1與O1分潮相位角無明顯差異。此外，由於N2, P1, K2與Q1分潮振幅較小，不予討論其分潮相位角之差異。

綜合小琉球與龍洞兩處之分析結果，港、內外各分潮之振幅一致，但在小琉球，港內、外M2分潮潮時不同，在龍洞，即便港內、外測站距離僅有0.4 km亦然，仍顯示出S2分潮潮時不同，可見港內潮位無法完全代表港外潮位。在小琉球與龍洞兩處，港內、外測站之距離與方位、港邊地形與人為結構物、水深皆不同，可能使得潮汐波動在行進時受到程度不等的影響，而分別顯現出特定分潮之潮時不同。此分析結果在未來收集更多地點港內、外實測潮位資料後，可再進一步探討。

表1 小琉球潮位站與GNSS浮標主要分潮調和常數表

分潮	小琉球潮位站(港內)		GNSS浮標(港外)	
	振幅(m)	相位角(度)	振幅(m)	相位角(度)
M2	0.23	22.52	0.23	16.05
S2	0.08	234.45	0.09	235.73
K1	0.18	288.12	0.19	290.76
O1	0.15	42.35	0.16	43.48
N2	0.05	298.61	0.05	291.77
P1	0.06	291.62	0.06	292.23
K2	0.02	57.06	0.02	26.80
Q1	0.03	312.82	0.03	315.66

表2 龍洞潮位站與GNSS浮標主要分潮調和常數表

分潮	龍洞潮位站(港內)		GNSS浮標(港外)	
	振幅(m)	相位角(度)	振幅(m)	相位角(度)
M2	0.24	194.27	0.24	193.12
S2	0.11	48.28	0.11	40.27
K1	0.20	42.36	0.20	44.75
O1	0.16	166.71	0.16	167.19
N2	0.06	115.66	0.06	114.54
P1	0.07	46.38	0.08	50.46
K2	0.03	220.70	0.03	238.55
Q1	0.03	82.25	0.03	84.23

(二) 港內外暴潮偏差差異

為了解港內、外暴潮偏差之異同，分別選取小琉球與龍洞兩處各1個颱風期間逐時的資料分析暴潮偏差，結果分別如圖4、5。

圖4為2018年9月山竹颱風期間小琉球測站暴潮偏差變化圖，依據中央氣象局資料，山竹颱風在威克島南方海面生成後向西移動，9月14日20時其暴風圈逐漸進入巴士海峽，並轉西北西移動，9月15日凌晨2時登陸呂宋島北部，上午11時進入南海，於9月16日下午由廣東進入大陸，圖中實測水位基準為基隆平均海平面。依據圖4可看出，小琉球潮位站與GNSS浮標之最大暴潮偏差數值與發生時刻均不相等，小琉球潮位站之最大暴潮偏差為27 cm，而小琉球GNSS浮標為42.1 cm，港外較港內大。小琉球潮位站之最大暴潮偏差發生於9月16日上午10時，此時為天文潮漲潮時段，而小琉球GNSS浮標發生於9月16日凌晨4

時，此時為天文潮退潮時段，港外最大暴潮偏差發生時刻較港內早。

圖5為2019年9 - 10月米塔颱風期間龍洞測站暴潮偏差變化圖，依據圖6可知，米塔颱風於2019年9月30日下午最接近龍洞測站，此期間為中度颱風，圖中實測水位之基準為基隆平均海平面。從圖中發現在最大暴潮偏差發生時刻前後，兩測站之暴潮偏差變化曲線均明顯出現2次極值。此外，龍洞潮位站與GNSS浮標之最大暴潮偏差數值幾乎相等，分別為45.9與47.9 cm，但發生時刻不同，龍洞潮位站發生於2019/09/30 20:00，此時為天文潮高潮位時段，而龍洞GNSS浮標發生於2019/09/30 22:00，此時為接近天文潮高潮位之退潮時段，港外最大暴潮偏差發生時刻較港內晚2 hr。

綜合小琉球與龍洞兩處分析結果，可知在2018年山竹颱風期間，小琉球測站之最大暴潮偏差發生時刻，以港外較早，而在2019年米塔颱風期間，龍洞測站之最大暴潮偏差發生時刻，以港外較晚，兩處分析結果均顯示港內、外最大暴潮偏差發生時刻不同。此外，以最大暴潮偏差數值差異而言，在小琉球測站為港外較港內大，而在龍洞測站為港內、外幾乎相等，可說明港內、外最大暴潮偏差數值亦不一定相等。港內、外最大暴潮偏差不同之原因，亦可能為港內、外測站之距離與方位、港邊地形與人為結構物、水深不同，使得暴潮偏差水位受到程度不等的影響。此分析結果在收集更多地點之港內、外實測潮位資料後，可再進一步探討。

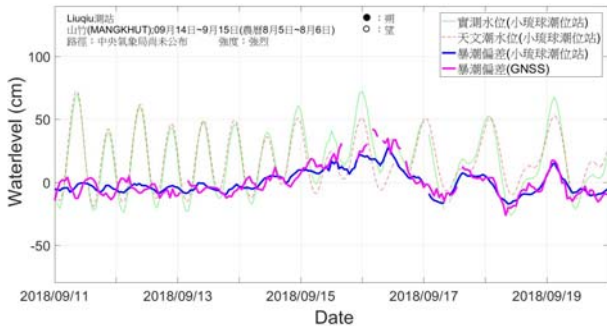


圖4 小琉球測站暴潮偏差變化圖

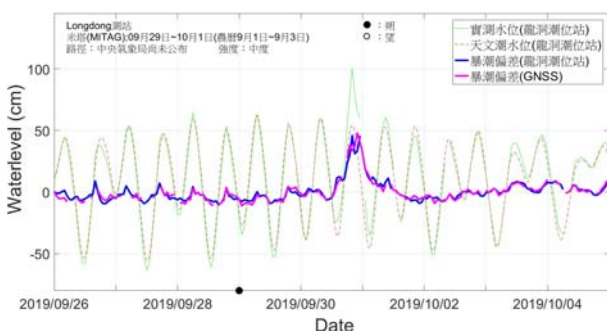


圖5 龍洞測站暴潮偏差變化圖

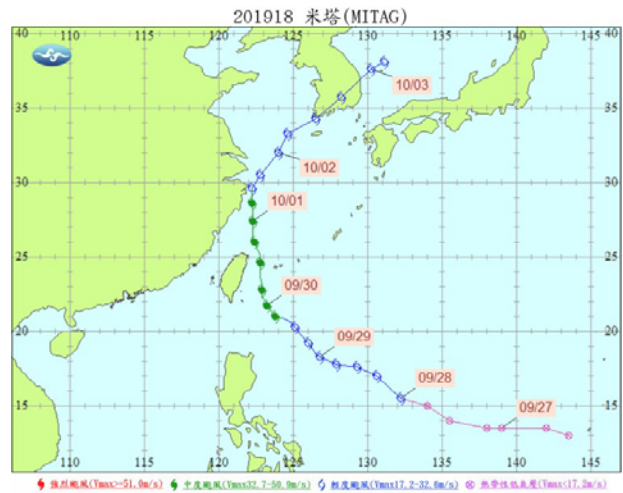


圖6 米塔颱風路徑圖

四、結論與建議

依據以上小琉球與龍洞兩處分析結果，獲致以下結論與建議：首先，港、內外各分潮之振幅一致。其次，在兩處均發現港內、外分別有特定分潮之潮時不同，即便在龍洞港內、外測站距離僅有0.4 km亦然。此外，港內、外最大暴潮偏差亦不同。綜合上述結果，可見港內潮位無法完全代表港外潮位，未來在收集更多地點之港內、外實測潮位資料後，可再進一步探討。

謝誌

感謝交通部中央氣象局提供本研究所需之GNSS浮標與潮位站資料，使本研究能順利進行。

參考文獻

1. 林昭圭、林玉峰、戴益寶, 2005: “基隆港及花蓮港的水位觀測研究”, 第27屆海洋工程研討會論文集, 949-956
2. 林寅斌、黃青哲、董東璟、高家俊, 2017: “近岸海成潮位與波浪觀測用GNSS浮標效能之研究”, 海洋工程學刊, 第17卷, 第3期, 175-196
3. 林寅斌、陳聖學、滕春慈、林燕璋, 2019: “港內外潮位分析”, 108年天氣分析與預報研討會, A7-14
4. 張國棟、何崇華、沈建全、陳昭憲, 2001: “臺灣西南海域潮汐特性分析”, 第23屆海洋工程研討會論文集, 112-119
5. 蔡宗旻, 2013: “臺灣海域網格化潮位分區及視窗化潮位加值模式從事水深測量之潮高修正”, 國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文, 263 pp
6. Dawidowicz, K., 2014: “Sea level changes monitoring using GNSS technology – a review of recent efforts”, Acta Adriatica 55(2), pp. 145-161
7. Kim, K.O., Choi, B.H., Lee, H.S., and Yuk, J.-H., 2018: “Regional realtime ocean tide and storm-surge simulation for the South China

Sea”, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers 30(2), pp. 69-83

8. 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