

臺灣周圍海域潮位模擬結果比對分析

林勝豐¹ 馬名軍¹ 陳進益² 羅聖宗¹ 滕春慈²

¹工業技術研究院綠能與環境研究

²中央氣象局海象測報中心

摘要

本文分析美國Oregon State University Tidal Data Inversion TPXO8-Atlas、日本National Astronomical Observatory NAO99潮汐模式、以及我國工業技術研究院建置的臺灣周圍海域潮汐模式TWN5T的潮位模擬結果，與臺灣沿岸及離島之36個潮位站進行比對分析，比對的項目包含調和分析之分潮振幅與相位；時序分析之相關係數與潮高誤差；高低潮位分析之潮時與潮差等六項。比對分析的結果顯示，TWN5T於調和分析的振幅、時序分析的相關係數和潮高誤差、以及高低潮分析的潮差等四項上有較佳準確度，而調和分析的相位和高低潮分析的潮時則以TPXO8較佳。

關鍵字：潮汐模式，時序分析、調和分析、高低潮分析

一、前言

工業技術研究院於2002年建置臺灣周圍海域潮汐模式迄今，已更新至第5代(TWN5T)。其中模式範圍雖未改變，但水平解析度已自第一代之1/12度加密至1/24度，模式邊界條件亦從最初使用Schwiderski (1998)全球潮位模式(水平網格為1度)9個分潮，改用TPXO 7.1(水平網格為1/4度)11個分潮，並於2013年起完成第五代之更新，其邊界條件為TPXO8-Atlas(水平網格最大為1/6度)13個分潮。為檢討分析TWN5T潮汐模式的準確度，本文分析TPXO8和TWN5T，以及國內常用之日本NAO99等三個潮位模式的模擬結果，作為未來臺灣周圍海域潮汐模式改進的參考。

本文首先於第二節簡易說明各模式所涵蓋的範圍與分潮，於第三節針對模擬結果與觀測資料進行比對分析，評估項目包含：潮汐調和分析之各分潮振幅與相位；時序分析之相關係數與潮高誤差；高低潮位分析之潮時與潮差等六項指標。最後依據此次的比對結果，提出未來臺灣周圍海域潮汐模式TWN6T的改進建議。

二、潮汐模式

(一) TPXO8-Atlas 全球潮汐模式

TPXO8-Atlas為Oregon State University (OSU)以TOPEX/POSEIDON衛星測高資料與潮位站同化資料，所建立的潮汐模式的成果(Egbert and Erofeeva, 2002)。其模式包含全球與多個區域模式，全球模式的水平解析度為1/6度，中國海區域模式(China Seas 2010)為1/30度。TPXO8共可提供13個分潮的潮位和潮流調和常數，包含：M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1、M4、Ms4、Mn4、Mm、Mf。

(二) NAO99Jb 區域潮汐模式

NAO99Jb為National Astronomical Observatory in Japan以TOPEX/ POSEIDON衛星測高資料與日本沿岸潮位站同化資料，發展的區域潮汐模式(Matsumoto et al., 2000)。模式範圍涵蓋東經110~165度、北緯20~65度，水平解析度1/12度。可提供16個分潮的潮位調和常數，包含：M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1、M1、J1、OO1、2N2、Mu2、Nu2、L2、T2。另外，NAO99L則可提供無資料同化的全球潮汐模式之5個長周期分潮的潮位調和常數，包含：Mtm、Mf、Mm、Ssa、Sa。其中除Sa分潮的模式水平解析度為1度外，其餘4個分潮的模式水平解析度為0.5度。故NAO99共可以提供21個分潮的潮位調和常數。

(三) TWN5T 臺灣周圍海域潮流模式

TWN5T 為工業技術研究院以POM模式，所建立的第5代臺灣周圍海域潮汐模式。模式範圍東經自117度至125度，北緯自18度至27度，水平解析度1/24度。模式的開口邊界條件取自TPXO8 13個分潮合成的潮位變化和潮流流量。不同於上述兩個全球與區域模式，TWN5T潮汐模式並未進行資料同化程序。TWN5T模擬結果的時序資料，使用Institute of Ocean Sciences 之IOS Tidal Package (Forman, 1977)分析出同TPXO8的13個分潮(M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1、M4、Ms4、Mn4、Mm、Mf)潮位和潮流調和常數。

三、模式成果比對分析

(一) 調和分析

由於各模式所組成的分潮數量不相同，因此選擇8個主要分潮(M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1)的調和常數，與臺灣沿岸和離島36個潮位站資料進行

比對分析，圖1為3個模式中8個主要分潮調和常數誤差量的均方根。於振幅方面，4個主要半日潮之振幅均以TWN5T成果最好，而4個主要全日潮則以TPX08的表現最佳。

在相位方面，TPX08和TWN5T的成效較為相似，而NAO99Jb的誤差均方根都較為偏大。整體TPX08的振幅和相位誤差均方根分別為0.030m和6.4度，與TWN5T的0.027m和6.7度相似，而NAO99的振幅誤差均方根為0.031m與其它兩個模式差異不大，但其相位誤差均方根10.7度略較其它二模式大。

(二) 時序分析

將TPX08和NAO99所提供的分潮潮位調和常數，使用IOS Tidal Package分別合成為2013年的逐時潮位時序資料，再與TWN5T模擬輸出的時序資料，和36個潮位站實測資料進行相關係數與潮高誤差的比對分析，其結果如圖2所示。在相關係數方面，三個模式在36個測站的變化趨勢一致，例如在東北角(基隆、龍洞、福隆)、西南部(永安、高雄、東港、小琉球)、蘭嶼，三個模式與實測資料的時序相關係數均較低，其餘測站的相關係數大多有0.9以上。其中，三個模式在基隆的模擬成果都是測站中最不佳(小於0.76)，而在料羅灣三個模式與實測潮位的相關係數均為最高(大於0.98)。

潮高誤差均方根的分布，在東北角、西南部與東部相對較小，這與當地測站的潮差變動原本就較小有關。整體而言，TPX08、NAO99與TWN5T三個模式與實測潮位的相關係數以TWN5T最高為0.918，但其餘兩者的平均值與TWN5T差異不大。潮高誤差的均方根亦以TWN5T較低為0.226m，其餘兩者則大於0.230m。

(三) 高低潮分析

TPX08、NAO99、TWN5T與36個潮位站資料的2013年逐時資料，經IOS Tidal Package計算出2013年的高低潮潮時與潮高，再將高低潮高計算出每次的潮差，進行比對高低潮潮時與潮差的比對，其結果如圖3所示。在潮時方面，三個模式在36個測站中各有優劣，但在基隆三個模式的潮時成效均不佳，誤差均方根都超過50分鐘。潮時誤差均方根較小的測站，於TPX08、NAO99和TWN5T分別為綠島(9.7分鐘)、蘇澳(6.5分鐘)和竹圍(8.4分鐘)，顯示大範圍模式潮時較正確的地點是在靠大洋水深較深的地方。潮時誤差均方根小於10分鐘的測站數，於TPX08、NAO99與TWN5T分別有1站、11站、6站。顯示出NAO99與潮時上的表現較佳。

在潮差方面，TPX08、NAO99和TWN5T潮差誤差均方根較大的測站於分別為東石(0.319m)、澎湖(0.246m)和箔子寮(0.247m)，較小的測站分別為大武(0.068m)、大武(0.064m)、後壁湖(0.080m)，均方根小於0.15m分別有18站、21站和23站。

四、 結論與討論

本文以TPX08、NAO99和TWN5T等三個潮汐模式的模擬成果，與臺灣與離島地區共36個潮位站的實測資料進行比對分析，比對的項目包含：(A) 調和分析的主要8個分潮的振幅和相位誤差均方根；(B) 時序分析的相關係數平均值和潮高誤差均方根；(C) 高低潮分析的潮時與潮差誤差均方根，比對結果彙整於表1。針對潮位高程變化的比對項目(振幅、潮位、潮差)而言，TWN5T均表現較佳；但對潮位時間變化的比對項目(相位、潮時)而言，則以TPX08較佳。

NAO99水平解析度(1/12度)在三個模式中是最粗者。且在表1的比對項目中，雖然沒有一個項目是三個模式中有最佳的表現。但若針對潮時準確性而言，其誤差均方根小於20分鐘、15分鐘和10分鐘的測站數均是最多，分別有24站、21站和11站(圖3a)。相對於NAO99於單就8個主要分潮項位比對，其相位的誤差量是三個模式中最大的一個，但由21分潮合成的高低潮潮時比對上，則又顯示出良好的模擬結果。這顯示加入更多重要的分潮，會影響到潮時的準確性。根據36個潮位站的潮位資料調和分析主要振幅的平均值(如圖5)，可以發現主要振幅的平均值除在半日潮(M2、S2、N2、K2)、全日潮(K1、O1、P1、Q1)8個主要分潮外，還有一些長周期分潮(Sa、Ssa)和半日潮(Nu2、L2、Mu2)的平均振幅也是不小。

另外，根據調和分析的比對結果，可以發現雖然TWN5T在半日潮的模擬上雖然優於TPX08，但在全日潮頻段的模擬無論在振幅或是相位上，表現均差於TPX08。根據K1分潮的振幅和相位比對結果(圖4)，顯示在臺灣臺灣海峽內，TWN5T在全日潮振幅上略大於實際觀測值，這現象在M2分潮的振幅上也有相似的情況。在相位上則TWN5T略為偏小些。這可能與模式中底部摩擦力有關。胡智凱等人(2010)曾探討臺灣周遭海域二維潮汐模式的底部摩擦係數介於0.0015至0.00175之間，其模擬結果與實測資料的吻合度最佳，並以大範圍模式(NAO99Jb)模擬結果和潮位站實測資料，進行資料同化。

根據以上的比對分析結果，在我國自行建置的臺灣周圍海域潮汐模式上，可以再改進的地方包含：模式底部摩擦力和增加其它主要分潮兩大方面。於底部摩擦力，可調整模式之底部摩擦力機制與係數，並將水平網格加密以更真實描述更詳實的水深分布狀況。於增加分潮上，建議至少須考量其它種重要的分潮，如Sa、Ssa、Nu2、L2、Mu2。除此之外，資料同化亦是可於下一階段潮汐模式進行改善的考量。

參考文獻

- Schwiderski, E. W., 1980: On Charting Global Ocean Tides, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 18 (1), 243-268. Egbert, B., Erofeeva, S., 2002: "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides", *J. Atmos. Ocean. Technol.* 19, 183-204.

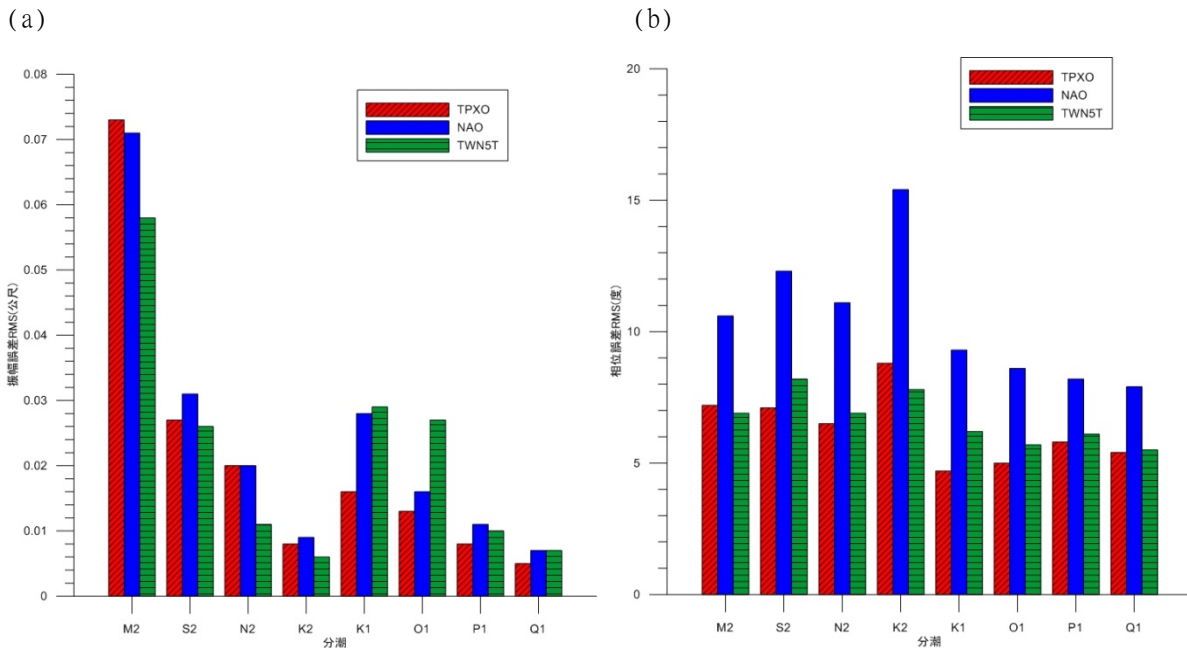
Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, 2000: "Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan", *Journal of Oceanography*, 56, 567-581.

Foreman, M. G. G., 1977: "Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction", Pacific Marine Science Report 77-10, Patricia Bay, Sidney, B.C.

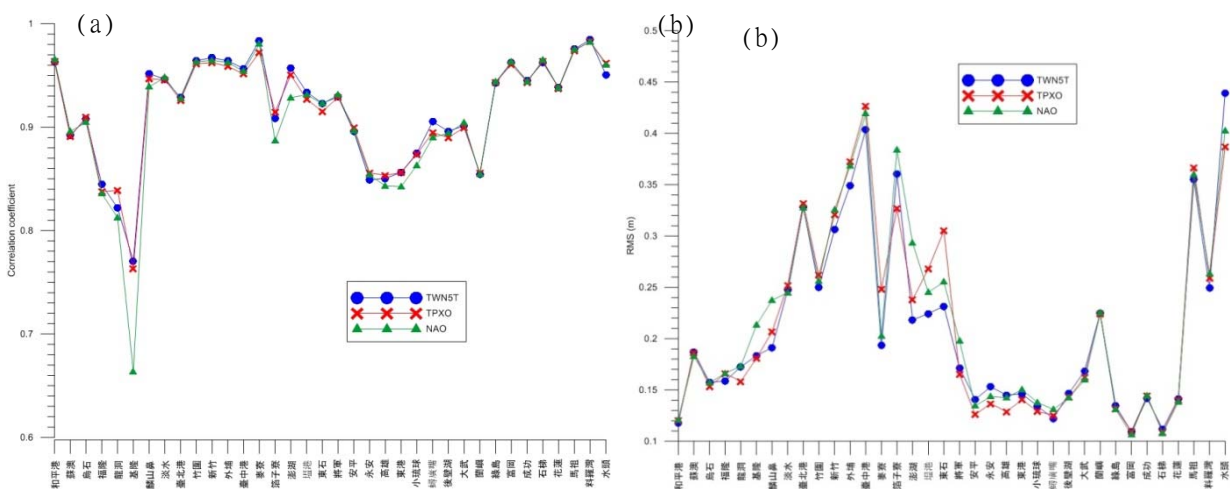
胡智凱、詹森、邱朝聰、陳少華，2010：臺灣周遭海域正壓潮汐之數值模擬研究。第 32 屆海洋工程研討會論文集，49-54。

Blumberg, A. F., and G. L. Mellor, 1987: A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Vol. 4, edited by N. Heaps, pp. 208, American Geophysical Union, Washington, D.C.

陳佑廷、蔡政翰，2011：臺灣海域一公里網格調和常數再探討。第 33 屆海洋工程研討會論文集，187-192。



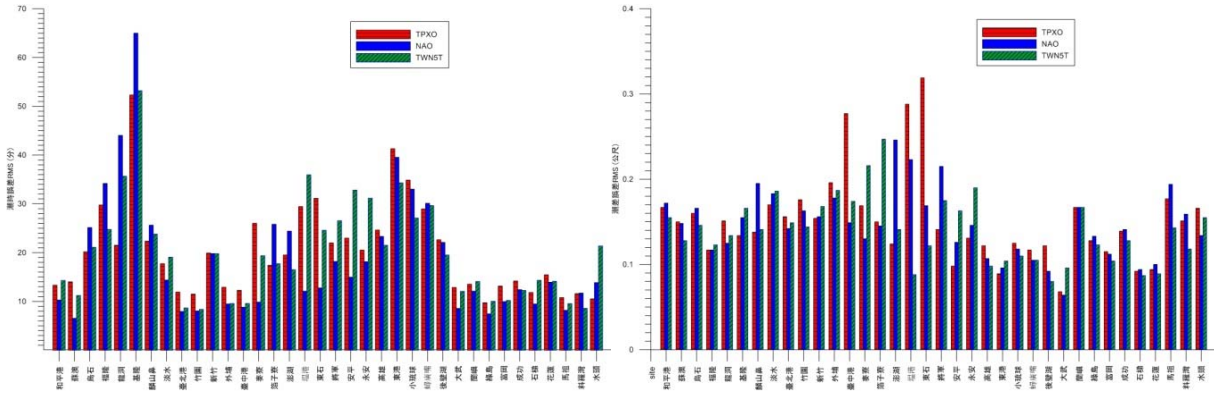
圖一：TPXO8(紅)、NAO99(藍)、TWN5T(綠)三個潮汐模式與 36 個潮位站之 8 個主要分潮(M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1)於(a)振幅和(b)相位之誤差均方根。



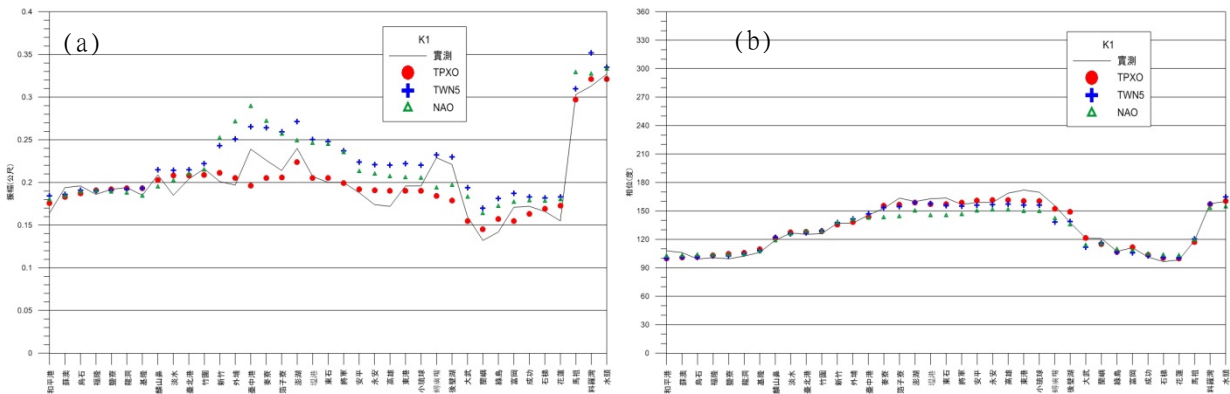
圖二：TPXO8、NAO99、TWN5T 三個潮汐模式與 36 個潮位站之潮位的(a)相關係數與(b)誤差均方根。

(a)

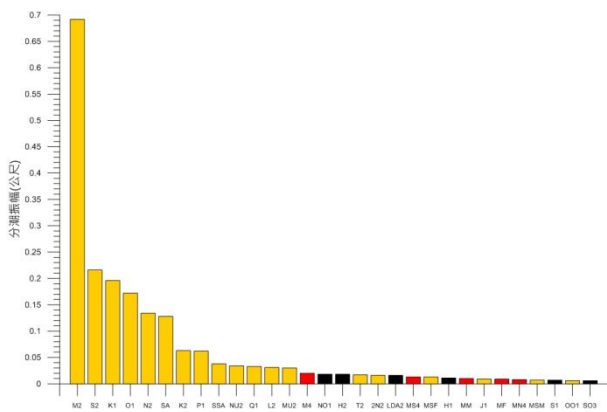
(b)



圖三: TPXO8、NAO99、TWN5T 三個潮汐模式與 36 個潮位站之潮位高低潮分析的(a)潮時與(b)潮差之誤差均方根。



圖四: TPXO8、NAO99、TWN5T 三個潮汐模式與 36 個潮位站之 K1 潮位調和分析之比對。



圖五: 臺灣沿岸與離島 36 個潮位站資料之調和分析之主要分潮的平均振幅。

表一: TPXO8、NAO99、TWN5T 模式成果與 36 個潮位站實測資料比對分析結果均方根一覽表。

比對項目		TPXO8	NAO99	TWN5T
調和分析	振幅誤差	0.030m	0.031m	0.027m
	相位誤差	6.4 度	10.7 度	6.7 度
時序分析	相關係數	0.917	0.912	0.918
	潮位誤差	0.231m	0.234m	0.226m
高低潮分析	潮時誤差	22.2 分	22.4 分	22.4 分
	潮差誤差	0.160m	0.151m	0.145m