

臺北港資料浮標監測剖面流場特徵之初探

吳立中^{1*} 饒國清² 羅冠顯³

^{1*}國立成功大學近海水文中心 副研究員

²國立成功大學近海水文中心 計畫經理

³交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

摘要

受到潮汐、海溫、風與波浪等不同環境條件外力之驅動，都會造成不同程度的海水流動現象。海流的速度與流向是港灣營運管理與引水操船之關鍵。往昔已有相關研究針對港區的海流特徵進行數值模擬與實測近表層流資料的分析。有鑑於不同深度流場會對不同吃水深度的船艦造成影響，本文將研究重點聚焦於剖面流場特徵之探討。交通部運輸研究所港灣技術研究中心於 2021 年 1 月下旬在臺北港海域建置有作業化之海氣象資料浮標，逐時取得並回傳風、波浪與剖面流的觀測數據。本研究針對臺北港資料浮標 2~3 月份觀測所得之海流剖面資料，搭配臺北港岸邊潮位站的同步潮位觀測數據進行初步之分析與探討。確認不同深度的分潮流速強度並不相同，但潮流橢圓長軸流向大致維持東北西南走向，此一方向與當地海岸線方向大致平行。

關鍵詞：資料浮標、海流剖面

Preliminary Study on the Ocean Current Profile near Taipei Port

Li-Chung Wu^{*}, Kuo-Ching Jao, Guan-Sian Luo

^{*} Associate Research Fellow, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

ABSTRACT

Ocean current is one of the most important factors that affect ship safety. To fully understand the current's effect on navigational issues, the Harbor and Marine Technology Center established a data buoy station near the Taipei Port in January 2021. This data buoy equipped with a down-looking ADCP which is capable of measuring real-time current profile. This study focused on the features of ocean current profile near the Taipei Port.

Keywords: Data Buoy; Current Profile

一、前言

臺灣位處全球最大洋以及最大陸域的交界處，是東亞島弧的重要樞紐。本島四面環海，東部濱臨太平洋；西部面向臺灣海峽；北部海域與中國大陸的東海相接；南部則與巴士海峽相鄰。此一特殊的海洋環境，再加上大氣、地形以及天候等條件之影響，致使臺灣周圍海域的流場特徵相當複雜多變。海流資訊不僅為海洋物理研究的重要依據，同時在

實務應用上，對海上救難支援、海洋污染事件處理以及政府海洋政策之制定等均有相當之貢獻。海流的速度與流向也是港灣營運管理與引水操船之關鍵。過往國內就曾發生過因海流影響，船艦不慎撞上海口防坡堤之意外。

往昔已有相關研究針對港區附近海域的海流特徵進行數值模擬與實測近表層流資料的分析(曾，1990；蘇等，1996；蘇等，2003)，並取得豐碩之研究成果。根據力學理論，不同深度之流場會對不同

吃水深度的船艦造成影響。然而不同深度的流場特徵可能會有顯著之差異，進而造成港灣附近船艦操作之挑戰。有鑑於此，本研究聚焦於剖面流場特徵之探討，嘗試透過實測海流剖面的資料分析，從中檢討海流在不同深度之特徵。資料取得說明與分析結果依序說明如下。

二、觀測系統簡介

2.1 觀測平臺說明

過去海流觀測方法一般常使用底碇式量測或船碇式觀測。底碇式量測是將剖面流速儀固定於海底床，感測探頭朝上量測流速剖面。其所必須克服的挑戰包括有：1.水下儀器的電池電力有限，無法長時間作業，若使用海底電纜傳輸電力與資料，雖然可以延長觀測時間，但布放費用較高且容易損壞；2.布放於底床的儀器設備容易遭受漁船底拖網破壞及底床砂石掩埋或傾斜，造成無法量測、儀器損壞或遺失，3.水深超過 40 m 以上潛水員無法長時間進行水下布放回收作業。船碇式觀測則是在研究船下方加裝剖面流速儀，向下量測，其使用上通常並不會在同一地點進行長時間觀測，須配合船期以及海象條件。

國際間皆有大量利用資料浮標加掛海流儀作為海流剖面作業化監測之案例與研究(Locke, L.K. and R. Crout, 2009)。交通部運輸研究所港灣技術研究中心於 2021 年 1 月下旬在臺北港海域建置有作業化之海氣象資料浮標，設置之位置如圖 1 所示。逐時取得並回傳風、波浪與剖面流的觀測數據。

本研究透過資料浮標所搭載的海流儀進行剖面之觀測。如圖 2 所示，資料浮標是用來進行海氣象觀測的設備，具有記錄如風向風速、水溫、波高、週期、水質等數據之功能，又稱「海上無人監測站」。資料浮標觀測系統的組成包括下列六子系統：

1. 浮標本體；
2. 錨繫系統；
3. 電力系統；
4. 儀器設備；
5. 數據擷取與控制系統；
6. 資料傳輸與接收系統。



圖 1 臺北港資料浮標之設置位置
(底圖來源：GoogleEarth)

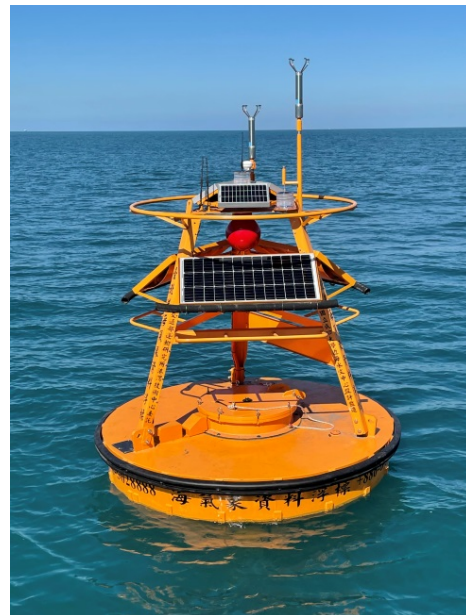


圖 2 臺北港資料浮標實體外觀

2.2 流速觀測說明

本研究運用海氣象資料浮標作為載臺，資料浮標下方支架加裝聲波式都卜勒剖面流速儀(圖 3)，利用水下訊號傳輸線將資料浮標電力傳送至流速儀，並且將資料傳輸至資料擷取系統，經由系統整合作業，配合流速儀資料格式及資料收發，獲得即時流速剖面資料。經由此種海流觀測方式，可獲得即時且長時間的流速剖面資料。觀測的流速剖面資料為每 6 分鐘 1 筆觀測結果，每小時共獲得 10 筆資料。其中每 6 分鐘所獲得的資料為這段時間中，自 0 秒開始每 2 秒 1 筆，直到 358 秒時平均為此 6 分鐘內

平均之資料。每筆流速剖面資料為每 1m 一層，流速資料標準偏差為 0.5 cm/s。資料浮標下方流速儀音鼓至水面之距離為 1.5m，而音鼓到第一層流速量測的空白距離為 2m，第一層流速資料距離海面約為 3.5m(圖 4)。

資料浮標在海面上受到波浪之影響雖為持續晃動之狀態，但引起的海流量測誤差極小，能確保資料品質。說明如下：

- A. 聲波在海水中的傳遞速度約為 1,500 m/s，而臺北港海氣象資料浮標觀測之深度範圍約為 25 m。由剖面流速儀探頭發射聲波反射至探頭接收回波之時間約為 0.02 sec，相對於最短週期波浪(3 sec)為 1%以下。剖面流速儀理論上可以量測到瞬間流速流向資料，而不受資料浮標隨波晃動的影響。
- B. 剖面流速儀量測容許擺動角度為 15°。資料浮標實際觀測時剖面流速儀傾角為 10° 以下，而以每 1 m 量測一層計算。當剖面流速儀傾斜 10° 時，垂直位置誤差為 3 cm，相當於 3%，於此水深下，傾角對流速觀測代表位置之影響極小。
- C. 選用之剖面流速儀有加裝 Bottom Tracking 功能，可以追蹤浮標相對於底床的運動速度，藉由此功能可以將浮標速度對於流速觀測的影響部分去除，求得正確海流之流速。
- D. 海流資料品管程序將傾角過大時之資料標記，可確保海流資料品質不受傾角的影響。當剖面流速儀傾角於容許擺動角度之內時，其影響極小，不需修正。

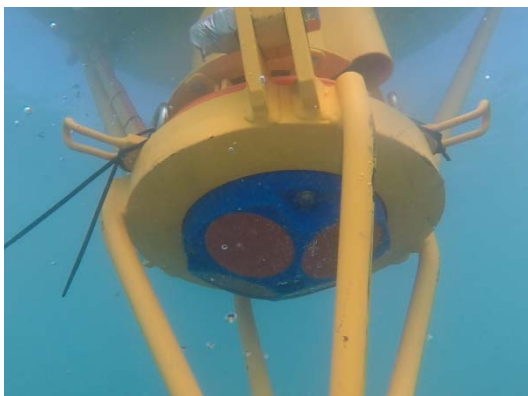


圖 3 臺北港資料浮標水下流速儀實景

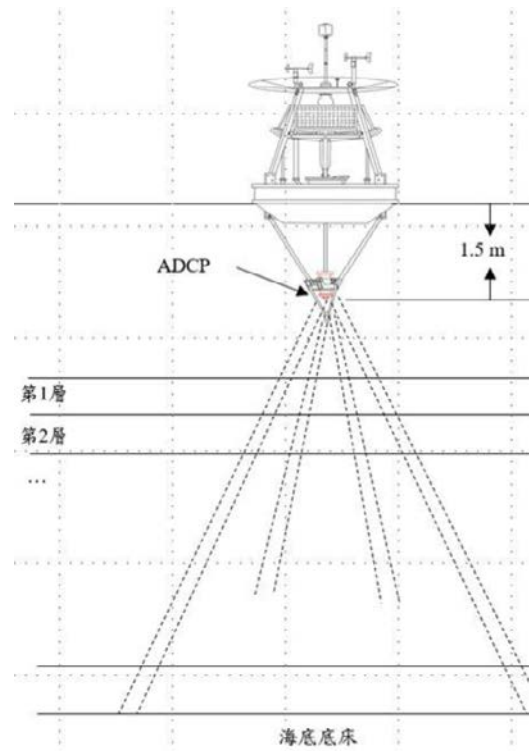


圖 4 資料浮標水下流速儀位置

三、海流剖面分析結果

本研究針對臺北港資料浮標 2021 年 2~3 月份觀測所得之海象資料，搭配臺北港岸邊潮位站的同步潮位觀測數據進行分析與探討。潮汐現象的主要機制為天體引力。潮汐變化所產生之海水面波動同時也會引發海水流動(潮流)。也因此，潮流週期基本上是與潮汐週期一致的，但潮汐與潮流波動之間通常會存在有一定程度之相位延遲(Boon, 2004)，也就是滿潮時並非是發生最強流速之時刻，反而通常會是流速最微弱的時刻。如圖 5 所示，為臺北港海流剖面與同步潮位資料之時間延遲分析結果。結果顯示，靠近海表面之海流與潮位之間的相位延遲為 3.2 小時，然而隨著觀測海流深度的改變，海流與潮位之間的相位延遲也隨之改變。就整體趨勢而言，近海表面之海流與潮位之間的相位延遲最明顯，但隨著海流觀測深度變大，相位延遲則有隨之遞減之趨勢。

本文進一步透過調和分析技術計算海流觀測數據中的潮流成份。如圖 6 所示，不同深度潮流之最強分潮皆為 M_2 分潮，第二強之分潮則皆為 S_2 。然

而，從第三排序強的分潮流在不同深度會有所差異。從圖 6 之分析結果亦顯示，流速強度會隨海流觀測深度變大而減小。

考慮到潮流為具有時變性之二維向量，除了流速強度之外，還需考慮流向特徵，藉此解析出潮流的旋轉特性。潮流橢圓是解析二維潮流特徵的重要工具。本研究透過調和分析搭配潮流橢圓解析臺北港 M_2 分潮流剖面如圖 7 所示。針對特定分潮週期內，二維分潮流的向量箭頭終點會隨時間持續變化，並形成一橢圓。橢圓之長半軸和短半軸則分別代表該分潮流的最大流速和最小流速。

除了長軸與短軸之外，一般分潮流橢圓之主要構成，包括有：橢圓的軌跡、旋轉運動之起始點、長軸傾斜度、扁平度、及旋轉方向等要素(莊與張，2012)。為了簡化相關議題，本研究現階段僅針對潮流橢圓之長短軸特徵與方向進行檢討。如圖 8 所示，為 M_2 分潮流(最強分潮流)橢圓剖面之長軸流速特徵。分析結果顯示，長軸之流速強度會隨海流觀測深度變大而減小。從長軸的方向(圖 9)可判斷出該分潮流最強流速對應的方向雖然會隨著流剖面的深度有所變化，但不同深度的 M_2 分潮流最大流速時的方向基本上還是維持著 $40^\circ \sim 50^\circ$ 之間，也就是與鄰近岸線的走向大致相同。

潮流橢圓之長短軸比例則可辨斷出該分潮流橢圓的扁平程度。從圖 10 的分析結果顯示，不同深度的 M_2 分潮流橢圓短軸與長軸之間的比值都小於 0.2。換言之， M_2 分潮流所發生最小流速與最大流速之間的差異頗明顯。值得注意的是，在不同深度 M_2 分潮流橢圓仍有所差異。

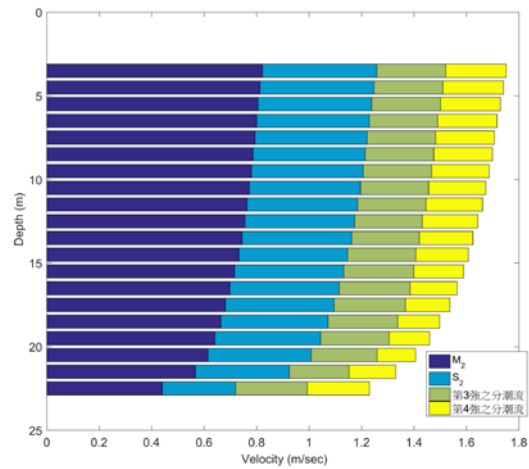


圖 6 前 4 強之分潮流剖面之流速特徵

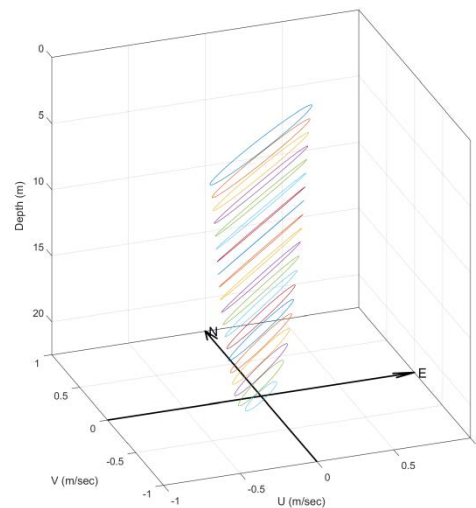


圖 7 臺北港測得最強分潮(M_2)之潮流橢圓剖面

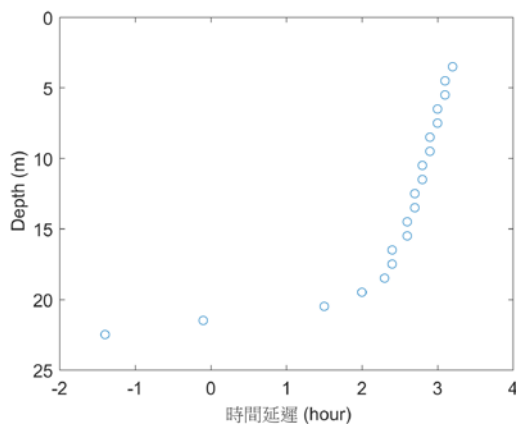


圖 5 海流剖面與潮位之時間延遲

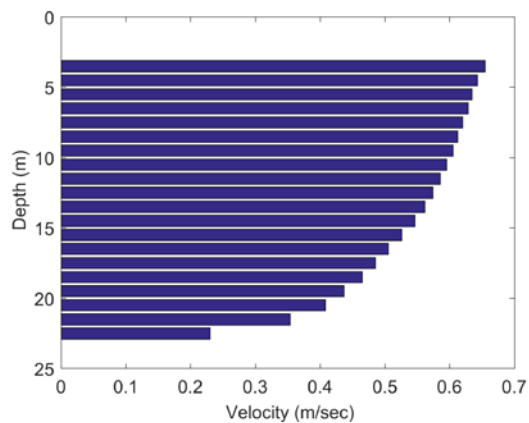


圖 8 M_2 潮流橢圓之長軸流速

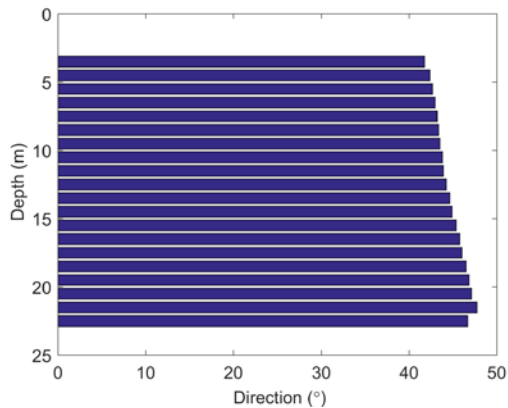


圖 9 M₂ 潮流橢圓之長軸方向

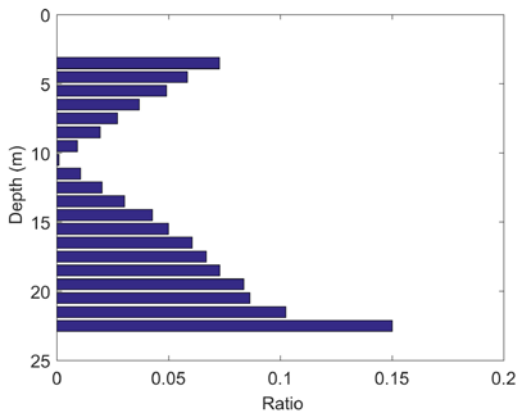


圖 10 M₂ 潮流橢圓之短長軸比例

四、結論

交通部運輸研究所港灣技術研究中心於 2021 年 1 月下旬在臺北港海域建置有作業化之海氣象資料浮標，逐時取得並回傳剖面海流的觀測數據。本研究針對臺北港資料浮標 2~3 月份觀測所得之海象資料，搭配臺北港岸邊潮位站的同步潮位觀測數據進行分析與探討。分析結果顯示，近海表面之海流與潮位之間的相位延遲約為半日潮週期的 1/4 (3.2 小時)，然而隨著觀測海流深度的改變，海流與潮位之間的相位延遲也隨之改變。

針對海流中的潮流成份，經調和分析後確認，潮流之成份以 M₂ 分潮最為明顯，第二強之分潮則皆為 S₂，在不同深度皆是如此。雖然不同深度的分潮流速強度並不相同，但潮流橢圓長軸流向大致維持東北西南走向，此一方向與當地海岸線方向大致平行。

本研究先階段僅針對 2 個月時間內觀測所得的海流剖面相關特徵進行初步之分析與探討，未來待相關資料蒐集更為多元與完整之後，規劃將進一步針對不同海氣象條件與非潮流成份海流特徵之間的關聯性進行檢討。

謝誌

本研究承蒙交通部運輸研究所港灣技術研究中心提供海流剖面資料以及同步潮位觀測資料，使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. 曾相茂(1990) 「花蓮港附近海域波浪與海流之特性」，第十二屆海洋及海岸工程研討會論文集，彙編頁碼：828 頁-848 頁。
2. 蘇青和、莊文傑、陳明宗(1996) 「臺中港港口海流數值推算」，第十八屆海洋及海岸工程研討會論文集，彙編頁碼：389 頁-400 頁。
3. 蘇青和、吳基、廖慶堂、徐如娟(2003) 「臺北港港口區域潮汐及海流特性研究」，第二十五屆海洋及海岸工程研討會論文集，彙編頁碼：23 頁-30 頁。
4. 莊文傑、張憲國(2012) 「潮流橢圓所對應展現流速時變特性之探釋」，第三十四屆海洋及海岸工程研討會論文集，彙編頁碼：137 頁-142 頁。
5. Boon, J. (2004) *Secrets Of The Tide: Tide And Tidal Current Analysis And Applications, Storm Surges And Sea Level Trends*, Marine Science: Horwood Publishing Limited.
6. Locke, L.K. and R. Crout (2009) A study on the validity of buoy mounted Acoustic Doppler profilers: A comparison of upward and downward looking systems in Onslow Bay, NC, *OCEANS* 2009, 1-6.