

台灣沿岸海潮流短期量測與潮流預測技術引進

張國棟¹

邱啓敏¹

徐月娟²

林燕璋²

呂理弘²

國立高雄海洋科技大學海洋環境工程系¹

中央氣象局海象測報中心²

摘要

台灣為一海島地形，西側為水深較淺的台灣海峽，東部直接面鄰廣闊且在離岸數百公尺水深即可達近千公尺的太平洋，北部和南部分別鄰接著東海和巴士海峽，此二地區在台灣近岸的水深地形變化都十分複雜，使得此區域內的海流在有限範圍內即具有較大變異。海流對海洋中物質及能量的傳輸具有最主要的貢獻，大尺度海水流動所傳送的巨大能量，對天氣及氣候造成直接的影響，中小尺度的海流則對漁業、污染物擴散、漂流物漂移，以及船舶航行都至為重要。台灣四周的海流現象極為複雜多變，除了主要的潮流作用之外，台灣東部及西南部常受到強勁的黑潮(Kuroshio)作用，而在面臨台灣海峽且較近岸的地區，由於水深較淺，容易受到東北季風、西南季風，以及颱風的影響，產生相對較短期的海流變化；此外，近岸地區由於地形變化劇烈，以及受到波浪作用，更會導致近岸海流產生與較外海部份有不同特性的情形。

過去受限於海流量測與分析的儀器和技術，欲取得某一地點在一固定深度海流的資料都相當昂貴，因此台灣沿岸海流的資料都屬零星片斷，不足以提供海象資料分析參考。近年來由於觀測儀器與分析技術的提昇，使得長期且穩定可靠海流資料的取得較為可行，同時海流資料的量測能力從過去的一個測點進步為一整個剖面，如此可得到完整的海流數據，提供相關的分析以及預報參考。本研究配合中央氣象局建立海象資料庫以及海流測報作業需要，就台灣周圍近海重要地區進行海流的量測與分析，預定以兩年的時間，完成台灣北、西、南、東四區各選擇一個重要的地點，利用都普勒(Doppler)音波式海流儀，進行短期海流的量測與分析。並與美國海洋局(National Ocean Service/NOAA)合作，引進潮流分析及預測技術，依據實測海流資料，進行潮流的分析，經由潮流分析得到當地的潮流特性參數，由此可施行潮流的預報作業。第一年(2005)先選擇台灣北部龍洞外海進行短期海流的量測，依據實際觀測的海潮流資料，進行潮流的調和分析(harmonic analysis)，嘗試建立符合當地特性的潮流預報處理技術。第二年將第一年建立的量測與預報處理技術，延伸應用至台灣西、南及東部，以建立台灣沿岸海潮流的基本資料及預報技術。

關鍵字：潮流、調和分析、預報

一、前言

海洋中存在著各種不同規模之水流，通常概稱為海流，海流不但發生在海面附近，在海洋深層亦有海水的流動，海流可能受到輻射熱、蒸發、降水、海水溫度變化、海面風應力、波浪以及潮汐等作用造成。各種性質不同的水流可分為洋流、潮流、風流、補流等四種(中央氣象局網頁海象問答集—海流，2005)，其中洋流為發生於大洋中的水流，例如台灣東部及西南部常受到強烈的黑潮(Kuroshio)作用，而洋流又可分為密度流(density current)及吹送流(drift current)，密度流為不同鹽溫特性的水團形成不同密度而發生海水的流動，吹送流為受大氣環流風帶影響，一定方向之風在海面吹過較長時間，在空氣與海水之間因摩擦產生應力，使海水流動。其次潮流(tidal current)為海水受日、月引力產生潮波，產生伴隨漲落潮現象之水流。次之風流(wind current)為與前述吹送流性質相同，但此處指在沿岸之陸棚海

域，受季風影響，形成流向與流速不定之水流。最後補流(compensation current)為因流體有連續之性質，某處海水向他處移動，別處的海水來補其缺，而發生之海流。

台灣四周的海流現象極為複雜多變，且近岸地區由於地形變化劇烈，以及受到波浪作用，更會導致近岸海流產生與較外海部份有不同特性的情形，潮流伴隨著潮汐的漲落而流動，所以可使用潮汐分析所最常利用的調和分析(harmonic analysis)法進行潮流的分析。許多前人有進行潮流的分析與預測，例如張國棟(1990)曾以數學模式進行高雄港內潮流變化的模擬，由模擬結果得知漲潮期間，海水流入高雄港，退潮時則流出，與實測之海流變化型態大致相符；詹森等人(2001)以台灣海峽短期預報系統進行台灣海峽的潮流預報，其模式計算之潮流與實測的海流資料比較，主要的M₂潮其誤差在40%以下；莊文傑等人(2004)以MIKE21_HD二維水動力數值模式模擬蘇澳港海域海流(包含潮汐引起的潮流及風剪力所引致

之風趨流)的變化,由模擬結果得知,蘇澳港海域海流的流向在漲潮期間以北向為主,退潮期間則轉為南向,流速普遍在30cm/sec,此結果與實測海流具有甚佳之吻合度;林豐福等人(2004)利用許泰文等人(2002)所發展之潮流模式,模擬分析台北港附近海流流況,經模擬的結果得知台北港附近潮流流場在漲潮時由東北往西南方向前進,而退潮時則由西南向東北流動,大致上沿著岸線方向作週期性運動。

二、海流觀測方法

本研究為配合中央氣象局建立海象基本資料庫以及海流測報作業需要,本年先選擇在台灣北部龍洞外海進行海流的觀測,其原因為中央氣象局在龍洞游艇港內有設置一潮位站,潮位站能提供潮位觀測資料;而在龍洞外海也有設置一資料浮標,資料浮標能提供氣象(風速風向)、水溫、氣溫及波浪等資料。另龍洞南口游艇港是國內第一座游艇港,除了提供泊位、補給、維修等全功能服務外,並與龍洞南口海洋公園觀光資源結合,可成為東北角獨具風格的景點,也是全國唯一結合游艇港與海洋公園的海上主題樂園,其地理位置圖如圖1。

進行海流觀測作業所使用的海流儀為挪威 NORTEK 公司生產的 AQP 海流儀,此儀器可同時觀測在不同深度海流之流速及流向,基本上是屬於音波都普勒海流剖面儀「Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP」,可連續自動記錄海流的流速及流向資料,資料記錄的時間間隔可依需要設定。海流觀測作業設定的狀態是每 10 min 記錄一筆海流資料,觀測期間至少需 30 天以上。海流儀是以定點的方式進行海流觀測作業,採底碇式固定並與中央氣象局的龍洞資料浮標連結在一起,作業位置水深約 35m,於 2005 年 7 月 29 日至 9 月 8 日在龍洞外海共進行 41 天的海流觀測作業,圖 2 為台灣北部龍洞外海海流儀裝置佈放圖。

三、潮流資料分析

海洋中存在著各種不同規模之水流,通常概稱為海流,海流依各種不同的性質可分為洋流、潮流、風流、補流等四種(中央氣象局網頁海象問答集—海流, 2005)。台灣四周的海流現象極為複雜多變,且近岸地區由於地形變化劇烈,以及受到波浪作用,更會導致近岸海流產生與較外海部份有不同特性的情形,部份流動特性與潮流並不易分離判定,但潮流伴隨著潮汐的漲落而流動,所以可使用潮汐分析所最常利用的調和分析法進行潮流的分析,而其他流動的特性則待潮流分析完成有較具體的結果後,再分離其他流動的特性。

(一)、潮汐調和分析原理

引起潮汐的原因有天體萬有引力、地球公轉、地球自轉及氣象變化等多種因素,但最主要者為月球及太陽的引力,使海面產生一種週期性的升降運動。潮汐資料分析最廣泛使用的方法為調和分析,此方法假設潮汐由許多分潮(partial tides)相加而成,隨不同地點,由潮位紀錄可得出不同的分潮振幅及遲角,並可依據此結果進行潮汐預報。

潮汐的變化是種週期函數,所以理論上可以將潮汐觀測資料分解成許多不同振幅和週期的分潮,分潮的產生係由於地球周圍的行星與地球之間的相互吸引力,而使海面產生週期性的變化,每一個分潮則為簡單的時間調和函數,而只要將這些分潮再重新組合就可以很容易的預報潮汐了,因此如果以正弦函數來代表潮汐,任意時刻的潮高 H_t 可表示如下:

$$H_t = H_0 + \sum_{i=1}^M f_i h_i \cos[(V_0 + u)_i + \omega_i t - K_i] + \varepsilon \quad (1)$$

其中, H_0 為平均海面, M 為分潮之總數, f_i 為修正係數(factor of reduction), h_i 為分潮之振幅, $(V_0 + u)_i$ 為起始時間之平衡引數(equilibrium argument), ω_i 為分潮之角速度, K_i 為相位角(phase angle), 分潮之振幅及相位角稱為調和常數(harmonic constants), ε 為氣壓、風、雨、溫度、海水密度等因素所造成之海面升降。在實際進行潮流的分析及預報過程中,忽略氣壓、風、雨、溫度、海水密度等因素所造成之海面升降,平衡引數和修正係數在不同地區為固定,因此,只要計算出分潮的振幅和相位角即能進行潮流的預報作業。

(二)、潮流分析方法

潮流與潮汐相同,約以半日週期或一日週期改變速度及方向,同時又因月齡潮流強度亦改變,由於潮流與潮汐有相近的週期性變化特性,因此可以使用與潮汐分析相同的方法進行潮流的分析。在進行潮流分析作業前需先將觀測記錄所得的海流資料分解成東西及南北成份的分量,並分別以兩種成份的分量進行調和分析,可計算出東西及南北成份各個分潮流的振幅及相位角,接著即能進行潮流在各該方向分量的預報,最後將兩分量預報結果合成一向量,此時可得到海流的預報資料。

本研究進行調和分析是採用 Forman (Patrick Caldwell, 1998) 的潮汐分析及預報電腦程式,依據該程式的操作手冊說明,進行調和分析的資料長度至少不可短於一個月,如資料長度短於一個月則無法進行分析及預報。本次觀測的海流資料長度共有 41 天(2005 年 7 月 29 日至 9 月 8 日),因此可嘗試進行潮流的分析與預報,並繪製海流流速流向逐時變化圖、海流玫瑰圖及海流向量行進圖等資料以供參考。

四、海流觀測資料的分析及預測

本年(2005)於台灣北部龍洞外海進行海流的觀測作業,取得連續41天不同深度的海流記錄資料,資料內容包含流速、流向隨時間的變化。將取得的海流資料進行分析處理,可分別繪成不同深度的海流流速流向逐時變化圖(配合潮位)、海流玫瑰圖及海流向量行進圖等資料以供參考。另將海流觀測記錄資料分解成東西及南北成份的分量,並分別以兩種成份的分量分別進行調和分析及預測處理,即可得到潮流在各該方向分量的預報,最後將兩分量預報結果合成一向量,此時可得到海流的預測資料。

(一)、海流觀測初步成果

圖3-(a)至圖3-(j)分別顯示2005年7月29日至9月8日龍洞外海水下8.5m至31.0m的海流及潮汐時序圖,由圖中結果可知海流在漲潮時,流向以東北方向為主,而退潮期間流向以西南方向較為明顯。

由於本次共有十層的海流記錄資料,限於論文的篇幅,因此在此僅顯示水下18.5m的海流玫瑰圖及海流向量行進圖。圖4為龍洞外海水下18.5m的海流玫瑰圖,由圖中顯示觀測期間海流在各方向發生的頻率,其中大部份集中在NNW、N及NNE的方向,其發生百分比合計大約57%,SSW及SW方向的海流發生的頻率也較其他方向為明顯,合計在20%左右,而其他方向發生的頻率較低。

圖5為顯示龍洞外海水下18.5m的海流向量行進圖,由圖中顯示可知在其海流的行進方向,大部份皆朝N及NNE的方向移動。

(二)、潮流分析及預測

將龍洞外海水下18.5m的海流記錄資料分解成u及v的分量,如圖6所示,由圖中資料顯示海流u及v之分量呈現與潮汐變動相類似的週期性變化。使用頻譜分析(spectrum analysis)來進行海流資料特性的分析,也就是將時間序列資料透過傅立葉轉換

(Fourier Transform)改變成頻譜序列資料,於是時序資料中不同機制的結果及不知其所以然的作用疊加的總和訊號得以被拆開呈現。圖7為海流u及v頻譜分析的結果,由頻譜中可清楚看見海流u及v分量的主要成份為半日潮。

使用調和分析法進行海流u及v分量的分析,首先採用2005年7月29日至8月31日共約34天的資料進行分析,接著再預測9月1日至8日海流u及v的分量。將實測與預測的海流u及v分量進行比較(如圖8所示),由圖中顯示可知,實測與預測的海流u及v分量隨時間變化的趨勢非常一致,唯9月1日及2日受到強烈侵台颱風泰利的影響,故實測及預測海流之間的差異略大。

五、初步結果與未來工作

本年(2005)於台灣北部地區龍洞外海進行海流的觀測作業,完成觀測作業後取得不同深度海流流速流向隨時間變化的記錄資料,資料長度為41天。將此期間海流資料進行分析處理,分別繪成不同深度的海流流速流向逐時變化圖(配合潮位)、海流玫瑰圖及海流向量行進圖等,由以上資料可知,在漲潮時海流流向以東北方向為主,而退潮期間流向以西南方向較為明顯;海流在各方向發生的頻率,大部份集中在NNW、N及NNE的方向,合計大約在57%之間,而SSW及SW方向的海流發生的頻率也較其他方向為明顯,大約在20%左右,其他方向發生的頻率較低;由海流向量行進圖顯示可知,其海流的行進方向,大部份皆朝N及NNE的方向移動。

使用頻譜分析來進行龍洞外海海流u及v分量的處理,由頻譜分析結果,可知海流u及v分量的主要成份為半日潮。

最後使用調和分析法進行海流u及v分量的分析及預測,由預測結果可知,實測與預測的海流u及v分量隨時間變化的趨勢非常一致,唯部分時間因受到強烈侵台颱風泰利的影響,實測與預測海流的差異略大。

未來將以本年建立的海潮流短期量測與潮流預測技術,完成在台灣西部、南部及東部等地區,進行海潮流短期量測與潮流預測,以建立台灣四周海流的基本資料以及海流預測的技術。

六、謝誌

本研究承蒙中央氣象局贊助部分經費,謹致感謝之意。此外,美國海洋局(NOS/NOAA)Dr. S.S. Shih提供許多研究方向的指導與執行建議,特誌謝忱。

七、參考文獻

1. 中央氣象局網頁, 2005: “海象問答集—海流”, <http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm>, 中央氣象局
2. 林豐福、洪憲忠、廖建明、林遠達、許泰文, 2004: “台北港海域潮流流場數值模擬分析”, 第26屆海洋工程研討會論文集, pp.175-182
3. 張國棟, 1990: “高雄港內潮汐潮流及擴散之數值模擬研究”, 國立高雄海事專科學校, 研究報告402
4. 許泰文、林銘崇、黃良雄、陳文俊、藍元志、廖建明, 2002: “建立波潮流與海岸變遷模式(3/4)”, 經濟部水利署水利規劃試驗所

- 莊文傑、江中權, 2004: “蘇澳港海域海流之數值模擬計算”, 第26屆海洋工程研討會論文集, pp.152-158
- 詹森、王玉懷、邱朝聰, 2001: “台灣海峽短期預報系統之發展”, 2001海洋數值模式研討會, pp.7-1-7-23
- Patrick Caldwell, 1998: “Sea Level Data Processing on IBM-PC Compatible Computers Version 3.0 (Year 2000 Compliant)”, University of Hawaii

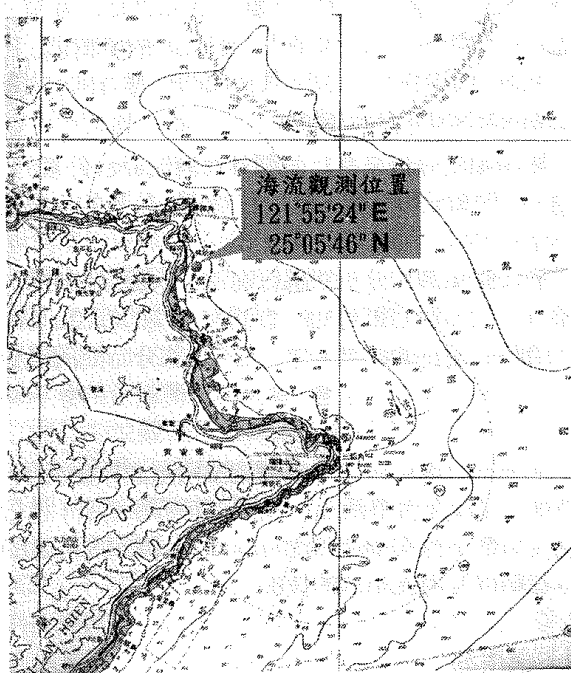


圖1 台灣北部海流觀測點的地理位置

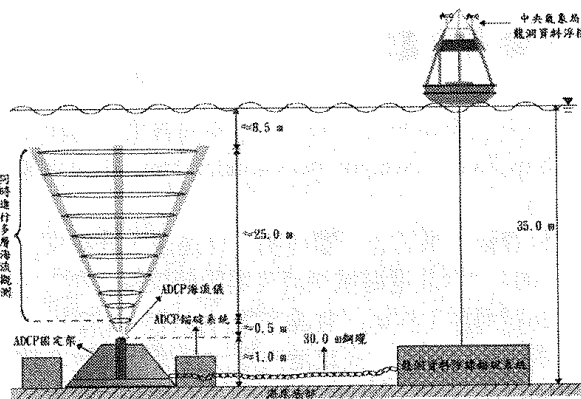


圖2 台灣北部龍洞外海海流儀裝置佈放圖

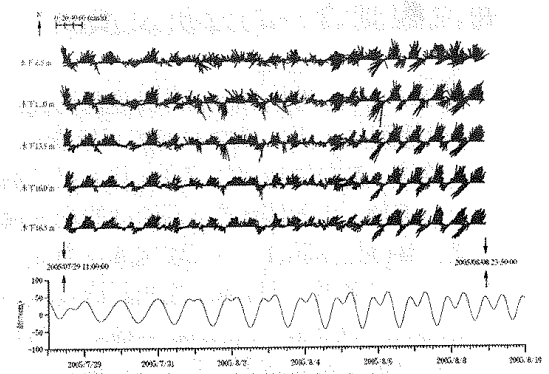


圖3-(a) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

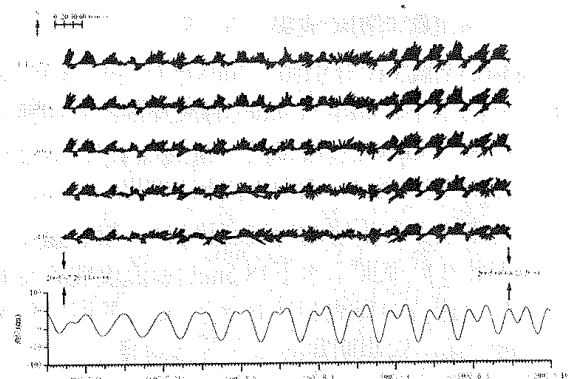


圖3-(b) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

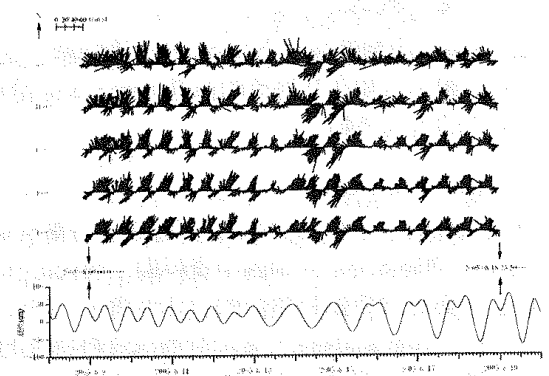


圖3-(c) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

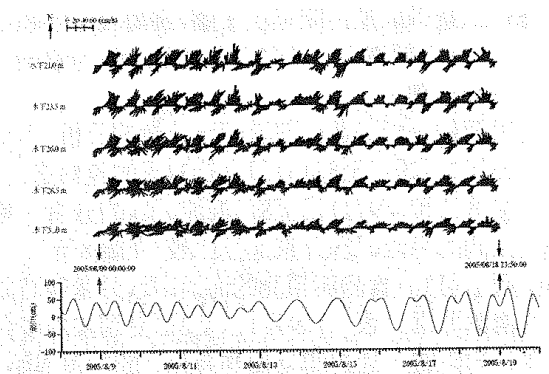


圖3-(d) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

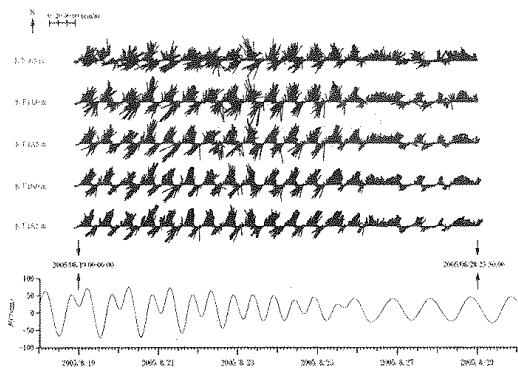


圖3-(c) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

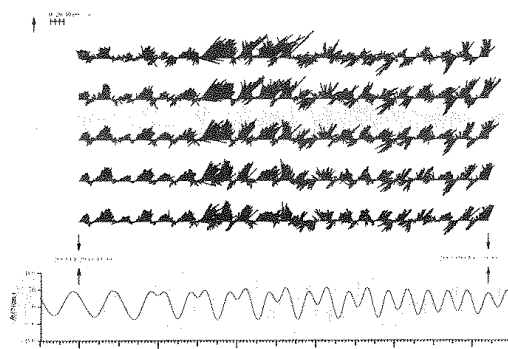


圖3-(i) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

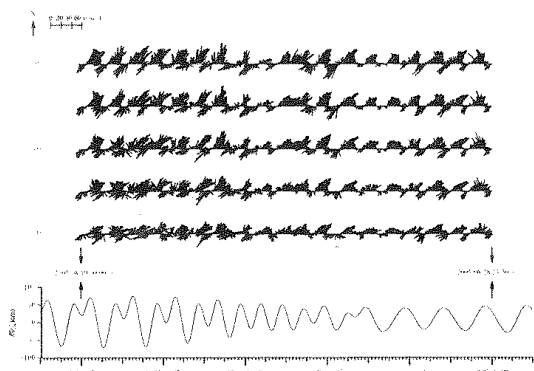


圖3-(f) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

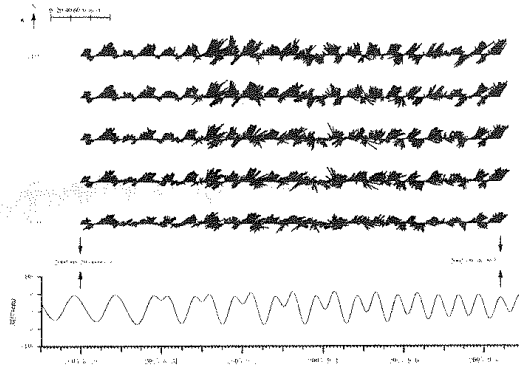


圖3-(j) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

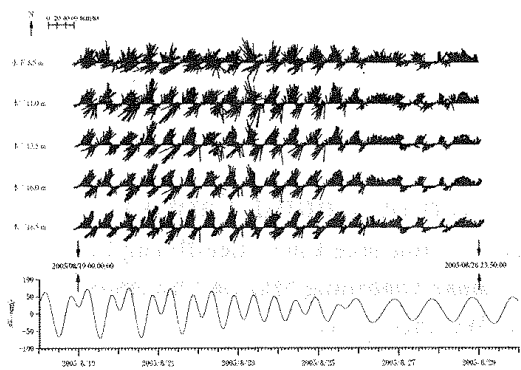


圖3-(g) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

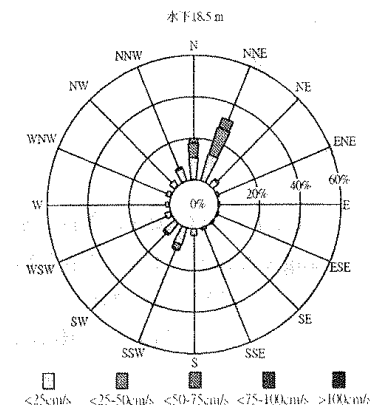


圖4 龍洞外海水下18.5m海流玫瑰圖

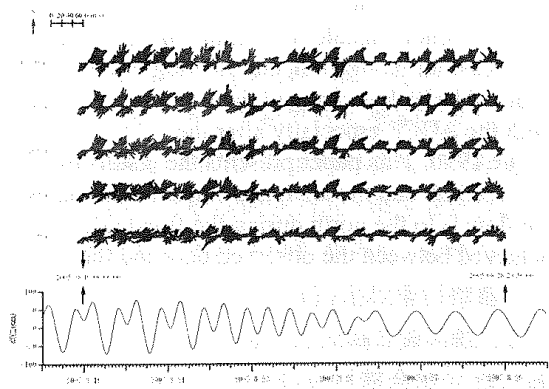


圖3-(h) 龍洞外海海流及潮汐時序圖

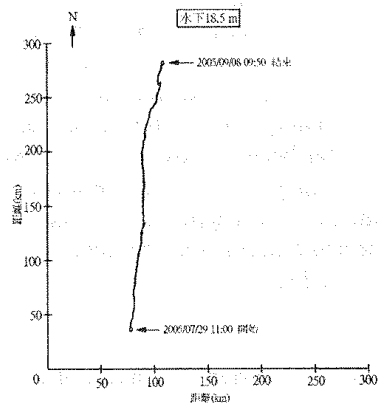


圖5 龍洞外海水下18.5m海流向量行進圖

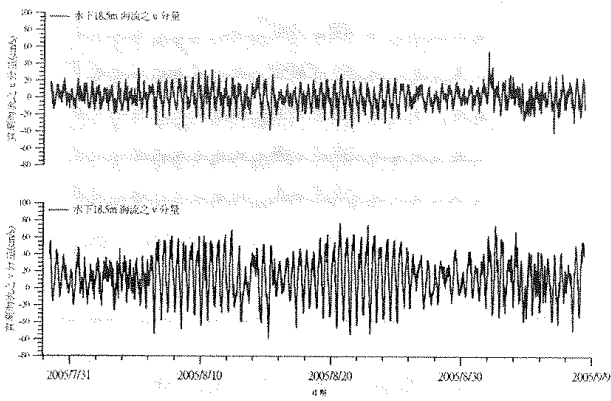


圖6 龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量

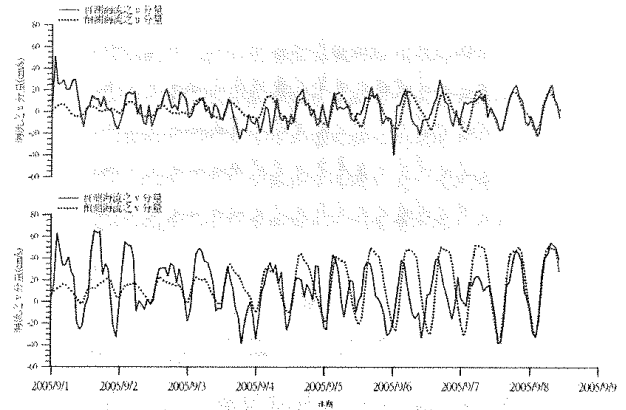


圖8 龍洞外海水下18.5m實測與預測海流u及v分量之比較

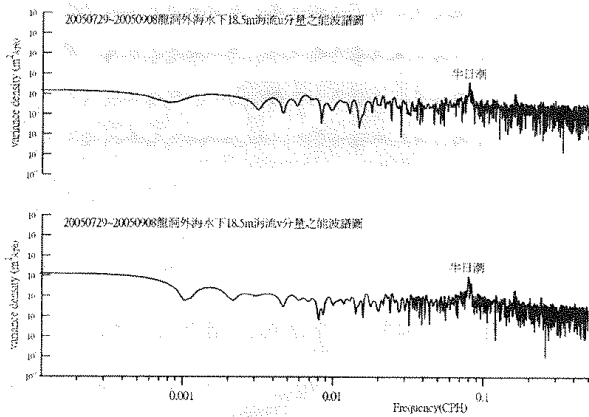


圖7 龍洞外海水下18.5m海流之u及v分量之頻譜分析圖

Tidal Current Measurement and Prediction around Taiwan

Kuo-Tung Chang¹ Chi-Min Chiu¹ Yueh-juan G. Hsu² Yann-jang Lin² Lee-Horng Leu²
 Department of Marine Environmental Engineering, National Kaohsiung Marine University¹
 Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau²

Abstract

Limited by instruments and techniques, current data in the coastal region around Taiwan are very limited for the past century. With sparse and discrete current data, it is not feasible for setting up a reliable current prediction system to provide appropriate tidal current forecast for navigation, engineering or other related applications in Taiwan. Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP, has changed the situation since mid-1990. Quality and reliable current data can be acquired with the ADCP especially after the instrument has been improved and approved worldwide in the late 1990. This paper presents the results of field current data in the northeastern coast of Taiwan by using an ADCP and the analyzed current data can predict the tidal current at the site. The current data showed the flow is to the north during the flood tide and to the south during the ebb tide. Good agreements were achieved between the observed data and the predicted results.

Key word: tidal current, harmonic analysis, forecasting