

台灣沿岸海潮流短期量測與潮流預測技術引進 (II)

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

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，預定以兩年的時間，在台灣北部及西南部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。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測作業。未來，在重要地點除原有潮時、潮高預測外，增加潮流預測，充實我國在海象觀測與預測作業方面的專業能力，並提昇服務品質。

2005年已完成台灣北部地區龍洞（以下簡稱龍洞）海流的量測作業，2006年也已進行西南部高雄港二港口外海（以下簡稱二港口）海流的量測作業。本研究以龍洞及二港口的海流記錄資料進行分析及預測，建立此二地區基本的潮流預測參數，提供潮流預測作業參考。由於二港口海流儀尚未收回，因此蒐集港研中心於2005年在二港口外附近量測的海流記錄資料，暫時先以此海流資料進行潮流的分析及預測作業。進行龍洞及二港口海流特性分析，由結果可獲得龍洞及二港口海流時序列圖（配合潮位）、玫瑰圖、行進向量圖及統計分析海流流向與流速發生頻率等，並將海流紀錄分解為東西（u）及南北（v）方向的分量，分別進行能譜分析，由此可充份瞭解此二測站海流的性質。另將海流u及v分量進行帶通濾波處理，並使用調和分析進行潮流的分析及預測，由結果可知，實測與預測潮流變化的趨勢非常一致。藉由此研究，可增加海流的量測記錄資料，並提供中央氣象局未來進行潮流分析與預測作業上，能獲得良好的成果。

關鍵字：帶通濾波、調和分析、潮流預測

一、前言

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，在許多海岸地區，潮流都顯現重要的影響（The Open University, 1989）。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）法進行潮流的分析及預測。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。孫（2000）進行高雄港港池流場的現場觀測與數值模擬，由結果得知潮流類型是屬於以半日潮流為主的混合潮，一港口流速較二港口流速大，潮流機制為漲潮往東南流，退潮時向西北流，而數值模式結果在定性上相似，模擬的流速大小較實測結果小。莊與江（2002）以二維水動力計算模式MIKE21_HD，模擬計算並探討台灣南部及高雄港海域之潮流與潮汐特性，由結果顯示計算潮位與預報之實際潮位甚為吻合，但計算之海潮流速普遍較實測海潮流之流速低，流向之逐時變化亦具有相當偏差。楊等人（2004）研究報告中蒐集整理許多前人調查的海流資料，由結果得知高雄港二港口外

之海流於漲潮時流向為東南，退潮時流向為西北，海流流速大小約在25 cm/s ~ 50 cm/s之間；呂（2005）使用頻譜分析、調和分析及數值濾波等方法進行台南市海域之海流現場調查資料的分析，由分析結果顯示半日潮潮流在台南近岸海域並不存在駐波之形式。

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，預定以兩年的時間在台灣北部及西南部各選擇一個重要的地點，進行短期的海潮流量測與分析預測作業。本研究參考美國海洋局(National Ocean Service/NOAA)在海流量測及潮流預測的作業方法（Schureman, 2001；Zetler, 1982），建立一套適用於台灣地區的海潮流量測與潮流預測作業流程規範。2005年已經完成龍洞短期海潮流資料的量測作業，取得量測地區適當且可靠的海流記錄，建立龍洞地區基本的潮流預測參數，提供潮流預測作業參考，同時也建立初步的海潮流量測與預測作業流程規範。2006年已於二港口進行短期海潮流的量測作業，由於目前海流儀尚未收回，因此蒐集港研中心於2005年在二港口外附近量測的海流記錄資料，暫時先以此海流資料進行潮流的分析及預測作業，並建立台灣西南部地區(高雄外海)基本的潮流預測參數，提供潮流預測作業參考。

二、海流量測方法

台灣為一海島，近岸的水深地形變化十分複雜。海流對海洋中物質及能量的傳輸具有最主要的貢獻，中小尺度海流對漁業、污染物擴散、漂流物漂移，以及船舶航行都至為重要。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，由於量測儀器與分析技術的提昇，使得長期、穩定且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或區域面。

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，2005年選擇在龍洞進行海流的量測，其位置圖如圖1，2006年選擇在二港口外海進行海流量測，其位置圖如圖2，另港研中心於二港口外測站的位置也標示於圖2中。

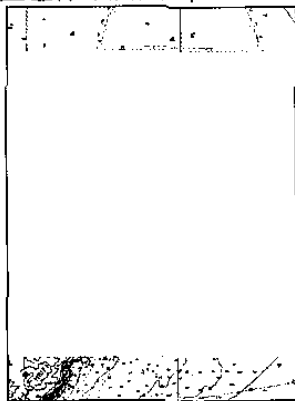


圖1 台灣北部龍洞海流量測點位置

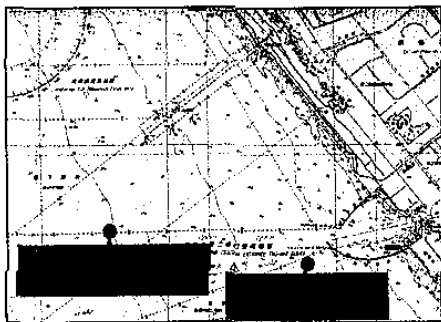


圖2 台灣西南部高雄外海海流量測點位置

進行海流量測作業所使用的海流儀為挪威 NORTEK公司生產的AQP海流儀，此儀器可同時量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。海流量測作業設定的狀態是每10 min記錄一筆海流資料，而港研中心海流資料為1 hr一筆海流資料，量測期間至少需30天以上。海流儀是以定點的方式進行海流量測作業，皆採用底碇式量測。海流量測作業位置水深約30m，海流量測的深度範圍為水下5.0 m至30.0 m，在此範圍內，可同時進行不同深度的海流量測並記錄資料，但

港研中心海流量測作業位置水深約20m。龍洞於2005年7月29日至9月8日共進行41天的海流量測作業，而二港口因海流儀尚未收回，所以先採用港研中心於二港口2005年8月26日至10月6日共約41天的海流記錄資料，分別進行海流資料的分析及預測作業（張等人，2005）。

三、海流資料分析方法

(一)海流特性分析

將龍洞與二港口測站的海流記錄資料，進行統計及分析處理，分別繪製此二測站海流時序列圖（配合潮位）、玫瑰圖、行進向量圖及統計分析海流流向與流速發生頻率等資料。海流時序列圖將逐時的海流資料，以流矢（flow arrow）表示成時間序列，並顯示出實測的潮位；玫瑰圖繪製是將海流流向分成16個方位，統計每個方位中不同流速分別所佔的比例，流速則分為5個等級，分別為小於25 cm/s、25~50 cm/s、50~75cm/s、75~100 cm/s以及大於100 cm/s；行進向量圖是將逐時海流的流速向量乘上流動的時間，可得出位移向量，再將各個時間的位移向量相連而得，由此可看出海流造成物質傳輸的方向；統計分析海流流向與流速發生頻率為分別進行16個方位海流流向及5個等級海流流速的統計。由以上結果可瞭解此二測站海流的變化特性。另將二測站海流資料分解成東西（u）及南北（v）成份的分量，分別進行頻譜分析（spectrum analysis），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，可看出海流主要能量的頻率分布，以瞭解此二測站海流的基本特性。

(二)潮流分析及預測

在近岸地區潮流常扮演重要角色，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，即調和分析法進行潮流的分析及預測。將實測海流資料的u及v分量，先利用帶通濾波（band-pass filter）濾除大部分非潮汐的成份，濾波條件為選擇濾除低於0.5hr及高於36hr的高頻及低頻訊號，再分別進行調和分析，並計算出海流u及v分量各個分潮流的振幅及相位角，由此可繪製四大主要分潮（M2、S2、K1、O1）的潮流橢圓圖，並探討潮流的特性。最後以潮流u及v分量之調和常數進行潮流的預測。為檢定其潮流預測的效果，利用統計學上的均方根誤差（Root Mean Square, RMS）及相關係數（Correlation Coefficient, CC）進行分析，探討此二測站海流u及v分量預測與實測的相關性。

四、結果與討論

將龍洞與二港口的海流資料，依據前述的分析方法進行海流特性分析，以及潮流分析及預測，初步的結果與討論分述如后：

(一)海流特性分析

圖3與圖4分別為龍洞與二港口的海流時序圖(配合潮位)，由圖中結果可知龍洞海流在漲潮時，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；二港口海流在漲潮時流向大約以東南方向為主，而退潮期間流向以西北方向較為明顯，此結果顯示龍洞與二港口海流流動與約海岸線平行，但二港口於部份漲潮期間的流向以西北方向較為明顯，也有部份時間顯現不同的流動特性，此顯示高雄外海海流的變化特性較為複雜。

圖5與圖6及表1與表2分別為龍洞與二港口的海流玫瑰圖及海流流速與流向頻率分析表，由圖5、圖6與表1的結果可知龍洞海流在各方向發生的頻率大部份集中在NNE及N的方向，其發生百分比分別為24.79%及18.79%之間，其他方向發生的百分比則小於10%；而二港口海流在各方向發生的頻率大部份集中在NW、NNW、S及SSE的方向，其發生百分比分別為15.27%、13.32%、12.19%及19.57%，其他方向發生的百分比則小於10%。另由表2結果可知，龍洞與二港口的海流流速以<25 cm/s發生之次數為最多，其次為25~50 cm/s，另龍洞發生最大流速為98.1 cm/s，二港口發生最大流速則為155.1 cm/s，此顯示二港口處流速略大於龍洞。圖7與圖8分別顯示龍洞與二港口的海流行進向量圖，由圖可知龍洞海流行進的方向，大部份皆朝NNE及N的方向移動，約與海岸線平行，而二港口海流行進的方向，大部份皆朝NW及SSE的方向移動，也約與海岸線平行，值得注意的是二港口海流行進方向雖主要為與海岸線平行，但有略朝西南方向偏移的趨勢。

另將龍洞與二港口的海流u及v分量分別進行頻譜分析，可得出此二測站海流u及v分量的能譜圖，如圖9及圖10，由圖中結果顯示，龍洞海流u及v分量大都以半日潮為主，而二港口大都以全日潮及半日潮為主，所以此二測站之海流受到潮流的影響較大。

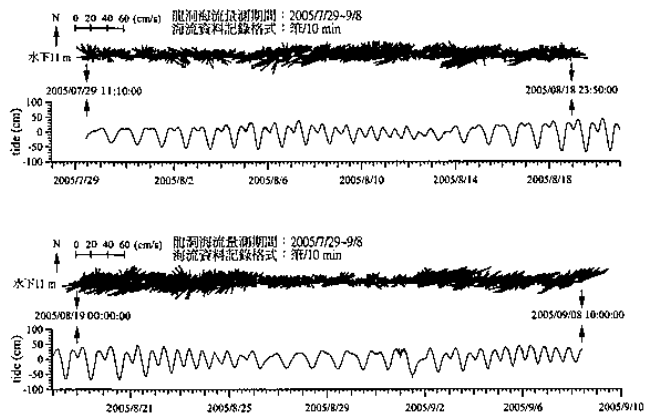


圖3 龍洞海流及潮汐時序圖(2005/7/29~9/8)

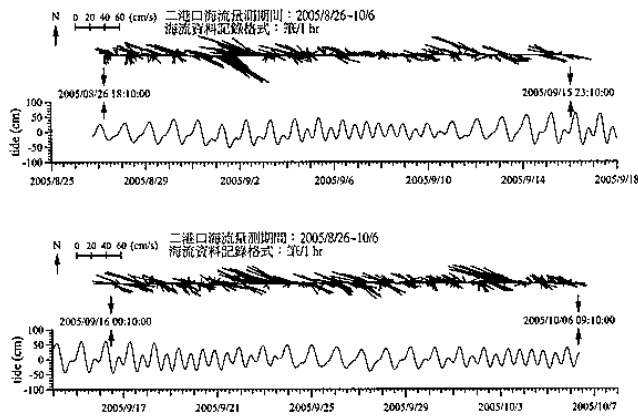


圖4 二港口海流及潮汐時序圖(2005/8/26~10/6)

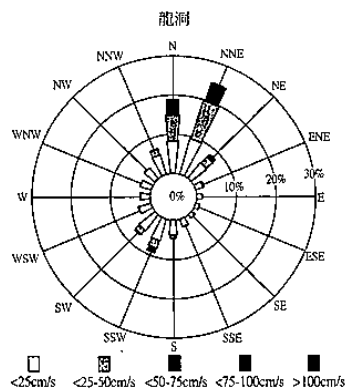


圖5 龍洞海流玫瑰圖

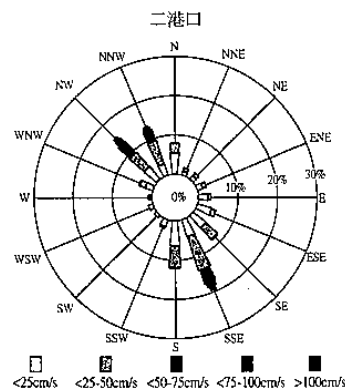


圖6 二港口海流玫瑰圖

表1 龍洞與二港口海流流向發生頻率分析表

龍洞測站各流向所佔百分比(%)								最多流向
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	
18.79	24.79	8.27	2.36	1.48	1.17	1.20	2.02	NNE
S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
4.92	9.16	7.00	3.27	2.39	2.73	3.56	6.90	
二港口測站各流向所佔百分比(%)								最多流向
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	
7.79	1.95	2.05	2.46	3.18	5.02	8.50	19.57	SSE
S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
12.19	2.36	0.72	1.13	0.80	3.69	15.27	13.32	

表 2 龍洞與二港口海流流速發生頻率分析表

測站	各流速所佔百分比(%)					最多流速 (cm/s)	最大流速 (cm/s)
	< 25 (cm/s)	25~50 (cm/s)	50~75 (cm/s)	75~100 (cm/s)	> 100 (cm/s)		
龍洞	53.36	34.42	11.41	0.81	0.00	< 25	98.1
二港口	43.65	39.55	11.27	3.18	2.36	< 25	155.1

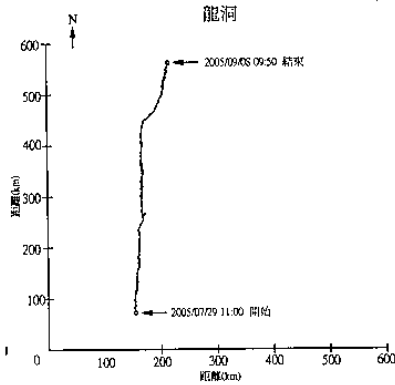


圖7 龍洞海流行進向量圖

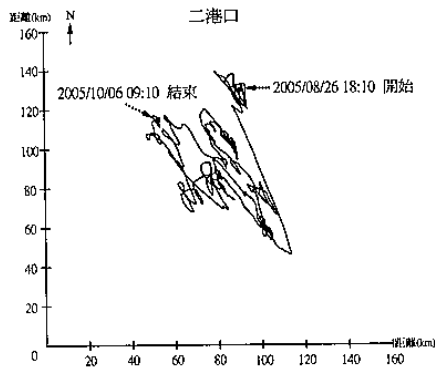


圖8 二港口海流行進向量圖

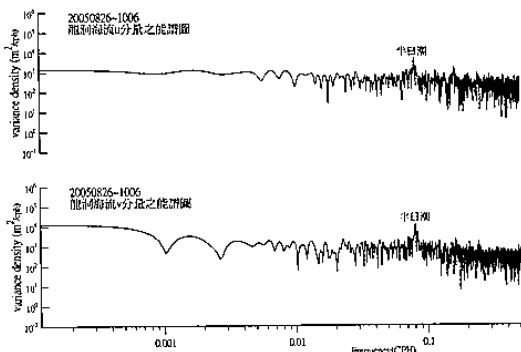


圖9 龍洞海流u及v分量之能譜圖

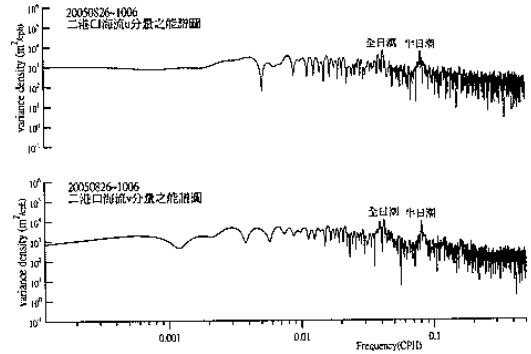


圖10 二港口海流u及v分量之能譜圖

(二)海潮流分析及預測

將龍洞及二港口海流u及v分量分別進行調和分析,可計算出海流u及v分量各個分潮的振幅及相位角(如表3)。將表3龍洞與二港口海流u及v分量的各個分潮分別合成,即可得到此二測站海流調和常數之振幅,如表4所示,由表中資料可知龍洞M2潮的振幅皆明顯大於S2、K1及O1潮,而二港口M2潮的振幅與K1及O1潮相差不大,但S2潮的振幅明顯較小,此結果顯示龍洞的潮流以半日潮較為明顯,二港口的潮流以混合潮較為明顯,此與前述海流u及v分量頻譜分析的結果一致。

龍洞與二港口各分潮的潮流橢圓圖(如圖11至圖14),另表5為龍洞與二港口各分潮流橢圓長短軸特性表。由表5與圖11至圖14中的資料可知,龍洞M2及S2潮約與海岸線平行,而K1及O1潮未與海岸線平行;而二港口除S2潮未與海岸線平行外,其他分潮流皆約與海岸線平行。龍洞及二港口的各分潮流橢圓的主軸方向僅M2潮呈現不一致的方向外,其他分潮流橢圓的主軸方向均為一致。由上述可知,龍洞的潮流以M2潮為主,其潮流橢圓的主軸方向約與海岸線平行,而二港口以K1、M2及O1潮為主要,其潮流橢圓的主軸方向也約與海岸線平行。

表 3 龍洞與二港口海流 u 及 v 分量之調和常數

分量	分潮	龍洞		二港口	
		振幅(cm)	相位角(°)	振幅(cm)	相位角(°)
u	M2	9.16	236.92	3.01	70.88
	S2	2.90	196.72	0.90	88.15
	K1	0.67	70.99	4.65	96.56
	O1	0.34	234.47	6.79	236.44
v	M2	24.02	252.66	10.45	216.01
	S2	10.05	230.04	3.88	152.48
	K1	1.35	304.88	11.26	306.46
	O1	1.45	89.49	7.75	108.19

表 4 龍洞與二港口海流調和常數之振幅

分潮振幅(cm)	龍洞	二港口
M2	25.71	10.87
S2	10.46	3.98
K1	1.51	12.18
O1	1.49	10.30

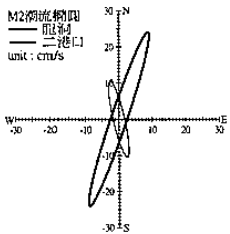


圖 11 龍洞及二港口 M2 潮流橢圓

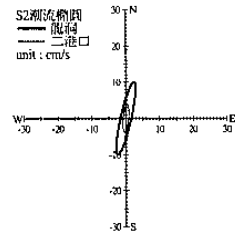


圖 12 龍洞及二港口 S2 潮流橢圓

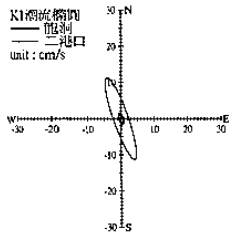


圖 13 龍洞及二港口 K1 潮流橢圓

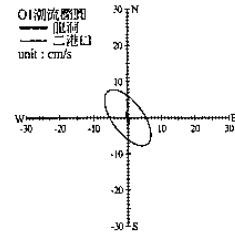


圖 14 龍洞及二港口 O1 潮流橢圓

表 5 龍洞及二港口各分潮流橢圓長短軸特性表

測站	分潮	長軸長度 (cm)	短軸長度 (cm)	方位角 (°)	方向
龍洞	M2	51.20	4.73	20.67	順時針
	S2	3.90	0.81	14.31	順時針
	K1	2.75	1.20	148.50	逆時針
	O1	2.95	0.46	167.84	逆時針
二港口	M2	21.46	3.53	165.90	順時針
	S2	7.80	1.62	14.01	順時針
	K1	23.97	5.16	158.46	逆時針
	O1	18.48	9.01	135.43	逆時針

分別將龍洞及二港口海流u及v分量進行帶通濾波，可將部份低頻及高頻的雜訊濾除，再使用調和分析法進行分析及預測。龍洞採用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4日至8日海流u及v的分量；二港口採用2005年8月26日至9月28日共約34天的資料進行分析，接著再預測9月29日至10月2日海流u及v的分量。

圖15及圖16分別為龍洞及二港口海流u及v分量經濾波後，其實測與預測之比較，由圖中顯示可知，龍洞與二港口實測與預測海流u及v分量隨時間變化的趨勢非常一致。

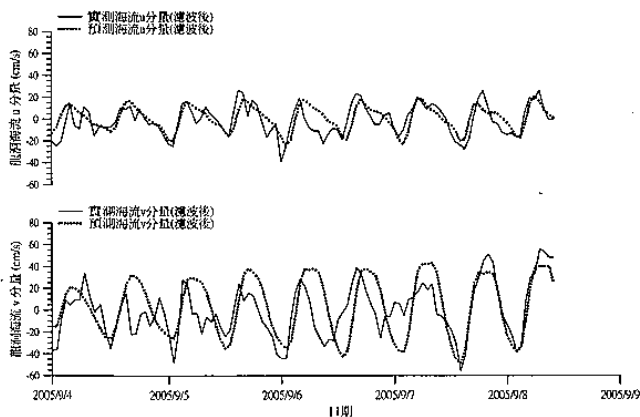


圖15 龍洞實測與預測海流u及v分量之比較

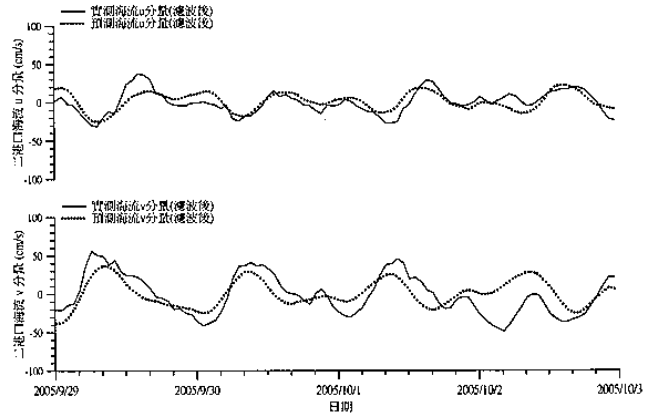


圖16 二港口實測與預測海流u及v分量之比較

將二測站實測與預測的海流u及v分量以均方根 (RMS) 及相關係數 (CC) 分別進行統計及分析，表6為龍洞及二港口海流實測及預測差異統計，由表中資料可知海流u及v分量經濾波後，其RMS的值有降低，且CC值有提高。總體而言，經濾波後海流u及v分量的實測及預測結果有改善的情況。

表 6 龍洞及二港口海流實測及預測差異統計

測站	海流分量	RMS(cm/s)		CC	
		濾波前	濾波後	濾波前	濾波後
龍洞	u	22.1	19.2	0.69	0.71
	v	41.5	38.4	0.61	0.62
二港口	u	20.5	20.1	0.72	0.73
	v	19.1	21.5	0.60	0.62

五、結論與建議

由龍洞及二港口的海流資料分析可知，於海流特性方面，龍洞與二港口海流流動約與海岸線平行。龍洞海流在漲潮時，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；二港口海流在漲潮時流向大約以東南方向為主，而退潮期間流向以西北方向較為明顯，但二港口於部份漲潮期間的流向以西北方向較為明顯，也有部份時間顯現不同的流動特性，此顯示高雄外海海流的變化特性較為複雜。而二測站的海流流速以 <25 cm/s發生之次數為最多，其次為 $25\sim 50$ cm/s，另龍洞發生最大流速為 98.1 cm/s，二港口發生最大流速則為 155.1 cm/s。由二測站海流行進向量的結果顯示，龍洞海流行進的方向，大部份皆朝NNE及N的方向移動，約與海岸線平行，而二港口海流行進的方向，大部份皆朝NW及SSE的方向移動，也約與海岸線平行，值得注意的是二港口海流行進方向雖主要為與海岸線平行，但有略朝西南方向偏移的趨勢。由頻譜分析結果顯示，龍洞海流u及v分量大都以半日潮為主，而二港口大都以全日潮及半日潮為主，此二測站之海流受到潮流的影響較大。

將二測站海流u及v分量進行帶通濾波，並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。

本研究建立的海潮流短期量測與潮流預測技術，希望未來能應用在台灣四周沿岸，進行海潮流量測與潮流預測，以建立台灣四周海流的基本資料以及潮流預測的技術。

六、謝誌

本研究承蒙中央氣象局贊助，及交通部運輸研究所港灣技術研究中心提供高雄二港口海流觀測資料以供本研究進行分析，謹致感謝之意。

七、參考文獻

1. 呂賜興, 2005: 台南市海域海流特性之分析, 國立成功大學碩士論文
2. 孫佩君, 2000: 高雄港港池流場的現場觀測與數值模擬, 國立中山大學碩士論文
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. 張國棟、邱啓敏、徐月娟、林燕璋、呂理弘, 2005: “台灣沿岸海潮流短期量測與潮流預測技術引進”, 2005年台灣海洋年-海洋資訊應用研討會, 71 -76
5. 莊文傑、江中權, 2002: 台灣四周海域海流數值模擬研究(二), 交通部運輸研究所
6. 楊德良、蘇青和、許正一、吳南靖、王鄭翰、吳宜嶺, 2004: 高雄港附近海域漂沙現場調查及數值模擬研究(2/2), 交通部運輸研究所
7. Schureman, P., 2001, : Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, special publication No. 98, U.S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey
8. The Open University., 1989 : Waves, Tides and Shallow-Water Processes, Prepared By An Open University Course Team
9. Zetler, B. D., 1982, : Computer Applications to tides in the National Ocean Survey-Supplement to Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Survey

Tidal Current Measurement and Prediction around Taiwan (II)

Kuo-Tung Chang¹ Chi-Min Chiu¹ Yueh-Jiuan G. Hsu² Yann-Jang Lin² Lee-Horng Leu²

¹Department of Marine Environmental Engineering, National Kaohsiung Marine University

²Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau

Abstract

Two sets of tidal current data, one from the northeastern coast and another from the southwestern coast of Taiwan, were collected for tidal data analysis and prediction. Each data covered about 40 days of current records. The characteristics of the two current data, including time series of current vector with tidal elevation, current rose diagram, progressive vector diagram, statistics of current speed and direction, and spectrum of u- and v- current components were analyzed. The results show that the current at both locations are tidal current dominated and the flow directions are mainly parallel to the shoreline. Tidal current prediction and verification based on different part of the measured current data appeared very good coincidence between the measured and predicted tidal current. The predicted results can be improved by a band-pass filter to filter out both high and low frequency signals first.

Key word: band-pass filter, harmonic analysis, tidal current forecasting