

84-研(二)-3

台灣海域近岸海流特性之研究

港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十四年六月

台灣海域近岸海流特性之研究

執行單位 ： 海岸工程組
計畫主持人 ： 洪憲忠 副研究員
協同主持人 ： 廖慶堂 助理研究員
參與人員 ： 楊怡芸 行政助理
 ： 李江澤 研究助理

摘 要

本文以能譜分析的方法(FFT)將高雄港潮流由高雄港現場實測海潮流中分離出,再以旋轉能譜法分析該潮流之特性。首先,本文將高雄港現場實測海潮流之東西向及南北向流速資料,各別以能譜法分析後,並由東西向及南北向流速能譜中,將周期大於30小時之成份過濾掉,各自選出周期小於30小時之4個能譜極端值。此4個能譜極端值相對之餘弦函數振幅,周期及相位角同時被解析出。其次,各別將東西向及南北向流速能譜中之4個餘弦函數相加得到潮流的東西向及南北向流速資料之時間序列(time series)。此即本文中,由高雄港現場實測海潮流中分離出之高雄港潮流。最後,以旋轉能譜法分析潮流的東西向及南北向流速資料,以探討高雄港潮流的特性。

台灣海域近岸海流特性之研究

目 錄

中文摘要	i
壹、前 言	1
貳、旋轉能譜法基本理論	2
參、資料分析方法	5
肆、結果與討論	7
伍、結 論	18
參考文獻	19
附 表	20
附 圖	22

壹、前言

台灣四周環海,有關風、潮、浪、流等海氣象相關特性,對港灣工程之規劃及設計極為重要,其中潮流對於沿海地區之漂沙、污染、漁業、航運及船舶進出港之操船安全有很重要的影響。因此,對於近海潮流之研究乃構成海洋科學中一個重要的課題。

潮汐(tides)與潮流(tidal current)皆為天體運動時引起之周期性海水流動。潮流由潮汐所引起。潮汐乃海面之垂直起落為一度空間運動,台灣四周海域之潮汐主要為半日潮及全日潮。潮流則為二度空間之平面運動。兩者之周期自然有其相關性。

Mooers[1]及Gonella[2]提出旋轉能譜法,可將一個二度空間的速度向量分解成為很多不同頻率的橢圓運動之組合。朱祖佑、連三郎及侯永昌[3]利用旋轉能譜法分析鹿港外海之潮流。

本文則由黃煌輝&張金機[4]於高雄海域海氣象調查研究計畫之高雄港現場實測海潮流中,分離出高雄港潮流。再以旋轉能譜法分析高雄港之潮流,以探討其特性。

貳、 旋轉能譜法基本理論

旋轉能譜法(Rotary Spectrum Analysis) [3] 係由 Mooers [1]、Gonella [2] 等人所提出,係將一個二度空間的速度向量分解成為很多不同頻率的橢圓運動之組合,而每一個橢圓運動又可視為兩個反方向旋轉的圓運動所構成,反轉(反時鐘方向)圓運動的旋轉運動頻率為正,而順轉(順時鐘方向)圓運動的旋轉運動頻率為負,因此,任一二維空間的速度向量就可以看成是很多不同頻率反轉與順轉圓運動的組合。

旋轉能譜法之功用為

1. 求海流各成份所含能量的大小。
2. 求海流橢圓運動之旋轉方向。
3. 求海流橢圓運動之長軸指向。
4. 求海流運動的軌跡及形狀,即求橢圓運動之長、短軸長度。

旋轉能譜理論如下所述

取

$$\vec{u}(t) = u_1(t) + iu_2(t) \quad (2.1)$$

式中, $i = \sqrt{-1}$, 而 $u_1(t), u_2(t)$ 分別代表一二維空間向量 $\vec{u}(t)$ 之東西分量及南北分量,並假設 $u_1(t), u_2(t)$ 為連續(Continuous)、定常狀態(Stationary)且平均值為零的時間序列函數,其傅氏轉換(Fourier transform)表示如下:

$$u(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{u}(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2.2)$$

式中 T 為時間序列的全部時間, ω 為角頻率(Angular frequency), $\omega = 2\pi n/T$, n 為任一整數。

將方程式(2.1)代入方程式(2.2)得

$$u(\omega) = [A_1(\omega) - iB_1(\omega)] + i[A_2(\omega) - iB_2(\omega)] \quad (2.3)$$

式中

$$A_j(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T u_j(t) \cos \omega t dt \quad j = 1, 2 \quad (2.4)$$

$$B_j(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T u_j(t) \sin \omega t dt \quad j = 1, 2 \quad (2.5)$$

方程式(2.3)可改寫為

$$u(\omega) = [A_1(\omega) + B_2(\omega)] + i[A_2(\omega) - B_1(\omega)] \quad \omega > 0 \quad (2.6)$$

$$u(\omega) = [A_1(\omega) - B_2(\omega)] + i[A_2(\omega) + B_1(\omega)] \quad \omega < 0 \quad (2.7)$$

方程式(2.6)、(2.7)可經處理得

$$u(\omega) = A(\omega)e^{i\varphi(\omega)} \quad \omega > 0 \quad (2.8)$$

$$u(\omega) = C(\omega)e^{-i\theta(\omega)} \quad \omega < 0 \quad (2.9)$$

式中

$$A(\omega) = \{[A_1(\omega) + B_2(\omega)]^2 + [A_2(\omega) - B_1(\omega)]^2\}^{1/2} \quad (2.10)$$

$$C(\omega) = \{[A_1(\omega) - B_2(\omega)]^2 + [A_2(\omega) + B_1(\omega)]^2\}^{1/2} \quad (2.11)$$

$$\tan \theta(\omega) = \frac{-A_2(\omega) - B_1(\omega)}{A_1(\omega) - B_2(\omega)} \quad (2.12)$$

$$\tan \varphi(\omega) = \frac{A_2(\omega) - B_1(\omega)}{A_1(\omega) + B_2(\omega)} \quad (2.13)$$

A, φ 和 C, θ 各別代表反轉及順轉圓運動分量中之振幅 (amplitude) 及相角 (phase), $A+C$ 表示運動橢圓半長軸長度, $|A-C|$ 表示運動橢圓半短軸之長度, 而運動橢圓長軸之指向 α 則為 $\frac{\varphi-\theta}{2}$ 。橢圓半長軸長度, 半短軸長度及長軸指向, 如圖 2.1 所示。

反轉圓運動能譜密度為

$$S_a(\omega) = \langle u^*(\omega)u(\omega) \rangle \quad \omega > 0 \quad (2.16)$$

順轉圓運動能譜密度為

$$S_c(\omega) = \langle u^*(\omega)u(\omega) \rangle \quad \omega < 0 \quad (2.17)$$

全能譜密度為

$$S_t(\omega) = S_a(\omega) + S_c(\omega) \quad (2.18)$$

式中 * 表共軛複數, $\langle \rangle$ 表段平均值。

旋轉係數為

$$R_c(\omega) = (S_c(\omega) - S_a(\omega))/S_t(\omega) \quad (2.19)$$

- (1) 當 $R_c(\omega) > 0$, 表順時針旋轉之橢圓運動。
- (2) 當 $R_c(\omega) < 0$, 表反時針旋轉之橢圓運動。
- (3) 當 $R_c(\omega) = 0$, 表單一方向之往返運動。
- (4) 當 $R_c(\omega) = 1$, 表純粹順轉圓運動。
- (5) 當 $R_c(\omega) = -1$, 表純粹反轉圓運動。

參、資料分析方法

本文所分析高雄港海潮流流速觀測站,位置如圖 3.1 所示。水深分別為 10 公尺及 20 公尺。水深 10 公尺測站位置為北緯 22 度 31 分 30.4 秒,東經 120 度 18 分 54.6 秒。水深 20 公尺測站位置為北緯 22 度 30 分 41.8 秒,東經 120 度 17 分 50 秒。每一測站在上層與底層各安裝流速儀一台。

按月區分現場實測海潮流資料如表 3.1 所示。其中,8 月份(西南季風期)水深 10 米,儀器設置深度 8 米及 2 米之海潮流與對應之風速、風向,潮汐等之時間序列,各如圖 3.2 及圖 3.3 所示。水深 20 米,儀器設置深度 16 米及 4 米之海潮流與對應之風速、風向,潮汐等之時間序列,各如圖 3.4 及圖 3.5 所示。12 月份(東北季風期)水深 10 米,儀器設置深度 8 米及 2 米之海潮流與對應之風速、風向,潮汐等之時間序列,各如圖 3.6 及圖 3.7 所示。水深 20 米,儀器設置深度 16 米及 4 米之海潮流與對應之風速、風向,潮汐等之時間序列,各如圖 3.8 及圖 3.9 所示。

風向(由正北起算,順時針為正,單位為度)定義為風之來向,如圖 3.11 所示。海潮流流向(由正北起算,順時針為正,單位為度)定義為海潮流之去向,如圖 3.10 所示。

由於潮流乃由潮汐所引起,兩者之周期自然有其相關性。舉圖 3.3 所示之 8 月份高雄港潮汐及水深 10 米,儀器設置深度 2 米之現場實測海潮流為例。經能譜法分析,潮汐之 4 個連續能譜極端值之周期為 23.273 小時, 12.19 小時, 25.6 小時及 12.8 小時。海潮流東西向成份之 4 個連續能譜極端值之周期(小於 30 小時)為 23.273 小時, 12.19 小時, 25.6 小時及 12.8 小時。海潮流南北向成份之 4 個連續能譜極端值之周期(小於 30 小時)為 23.273 小時, 25.6 小時, 12.19 小時及 21.333 小時。經此分析得知,兩者之周期相關性已可確認。因此,本文將高雄港現場實測海潮流之東西向及南北向流速資料,各別以能譜法分析後,並由東西向及南北向流速能譜中,將周期大於 30 小時之成份過濾

掉,各自選出周期小於30小時之4個能譜極端值,視同潮流之成份,應為合理的處理。

基於此假設,本文首先將高雄港現場實測海潮流之東西向及南北向流速資料,各別以能譜法分析後,並由東西向及南北向流速能譜中,將周期大於30小時之成份過濾掉,各自選出周期小於30小時之4個能譜極端值。此4個能譜極端值相對之餘弦函數振幅,周期及相位角同時被解析出。

其次,各別將東西向及南北向流速能譜中之4個餘弦函數相加得到潮流的東西向及南北向流速資料之時間序列(time series)。此即本文中,由高雄港現場實測海潮流中分離出之高雄港潮流。舉圖3.3所示之8月份高雄港現場實測海潮流為例。此海潮流總流速及流向與由其分離出之潮流總流速及流向時間序列,如圖3.12所示。由圖可知海潮流因含平均流成份故流速較大且周期性較不明顯。

最後,以旋轉能譜法分析潮流的東西向及南北向流速資料,以探討高雄港潮流之正頻率能譜(反轉)、負頻率能譜(順轉)、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、長軸長度及短軸長度等等特性。

肆、結果與討論

根據表 3.1 所示之高雄港按月區分現場實測海潮流資料,高雄港水深 10 米,儀器設置深度 8 米之測站所測得海潮流之不同月份東西向及南北向流速,各別經過能譜分析,周期小於 30 小時之 4 個能譜極端值,其相對之餘弦函數周期(HOUR)、振幅(CM/SEC)及相位角(RADIAN)各別為

- 一月:東西向之(周期,振幅,相位角)為(23.273, 7.570, -0.567), (25.600, 7.396, 1.187), (28.444, 6.408, -2.947)及(21.333, 5.487, -0.833)而南北向之(周期,振幅,相位角)為(28.444, 7.450, 0.043), (23.273, 6.330, 2.920), (25.600, 6.297, -1.967)及(12.800, 4.923, -0.887)
- 三月:東西向之(周期,振幅,相位角)為(12.190, 6.982, 1.622), (13.474, 2.486, -0.689), (25.600, 2.435, 1.775)及(8.258, 2.182, 3.022)而南北向之(周期,振幅,相位角)為(12.190, 7.437, -0.992), (23.273, 2.859, -1.592), (19.692, 2.847, -1.631)及(12.800, 2.833, -0.687)
- 四月:東西向之(周期,振幅,相位角)為(23.273, 9.507, 0.651), (25.600, 5.879, 1.684), (12.800, 5.449, 2.692)及(12.190, 5.218, -0.347)而南北向之(周期,振幅,相位角)為(23.273, 6.795, -2.388), (12.800, 4.941, -0.204), (12.190, 4.789, 3.058)及(28.444, 4.643, 0.748)
- 五月:東西向之(周期,振幅,相位角)為(23.273,13.951, 1.277), (25.600,12.809, -1.578), (12.190,11.213, 2.917)及(12.800, 6.217, -0.759)而南北向之(周期,振幅,相位角)為(25.600,10.709, 1.744), (23.273,10.161, -1.771), (12.190, 7.077, -0.105)及(12.800, 6.005, 2.445)
- 六月:東西向之(周期,振幅,相位角)為(23.273,11.796, 1.770), (25.600,10.126, -1.461), (12.190, 7.798, 2.974)及(28.444, 5.008, -0.866)而南北向之(周期,振幅,相位角)為(23.273,10.734, -1.333), (25.600, 9.281, 1.633), (12.190, 5.346, -0.132)及(28.444, 4.132, 2.135)

- 七月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,14.041, 2.432), (25.600,12.218, -1.428), (12.190, 9.670, -1.864)及(28.444, 4.091, -0.480)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,12.065, -0.694), (25.600,11.388, 1.740), (12.190, 9.302, 1.477)及(28.444, 3.566, 2.727)
- 八月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 7.909, 2.720), (12.190, 7.081, 1.948), (25.600, 6.208, 1.862)及(13.474, 2.340, -1.699)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 9.650, -0.432), (12.190, 5.674, -0.962), (25.600, 5.127, -1.435)及(12.800, 3.222, -3.039)
- 十月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,10.873, -1.867), (23.273, 7.600, -2.694), (25.600, 7.570, 1.916)及(12.800, 2.528, -0.047)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,12.010, 1.616), (23.273, 6.037, 0.560), (25.600, 5.385, -1.259)及(12.800, 2.644, -3.039)
- 十一月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 8.848, -1.443), (23.273, 5.250, -1.560), (25.600, 4.987, 2.572)及(13.474, 2.313, 2.402)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 8.573, 1.871), (23.273, 4.593, 1.755), (25.600, 3.583, -0.484)及(13.474, 2.192, -0.677)
- 十二月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,11.996, -1.761), (25.600, 7.222, 1.826), (12.190, 6.447, -2.416)及(12.800, 4.348, 1.067)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 8.131, 1.368), (25.600, 7.086, -1.096), (12.800, 4.896, -2.084)及(12.190, 4.611, 0.720)

高雄港水深10米,儀器設置深度2米之測站所測得海潮流之不同月份東西向及南北向流速,各別經過能譜分析,周期小於30小時之4個能譜極端值,其相對之餘弦函數周期、振幅及相位角各別爲

- 一月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 7.038, -0.602), (28.444, 4.856, -3.058), (21.333, 4.431, 0.955)及(25.600, 4.413, 1.164)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(28.444, 6.619, 0.253), (23.273, 6.334, 2.744), (21.333,

4.637, 2.245)及(25.600, 4.496, -1.697)

三月：東西向之(周期, 振幅, 相位角)爲(12.190, 6.545, 1.768), (25.600, 2.613, 2.004), (23.273, 2.597, 1.839)及(11.636, 2.321, -3.023)而南北向之(周期, 振幅, 相位角)爲(12.190, 4.768, -1.244), (23.273, 2.818, -1.704), (19.692, 2.527, -1.706)及(18.286, 2.354, -0.504)

四月：東西向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 7.474, 0.705), (25.600, 6.331, 1.662), (12.190, 4.693, -0.191)及(12.800, 4.341, 2.451)而南北向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 7.642, -2.549), (25.600, 7.165, -1.486), (12.190, 5.632, 2.904)及(12.800, 4.901, -0.314)

五月：東西向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 12.798, 1.412), (25.600, 9.633, -1.591), (12.190, 8.572, 3.054)及(12.800, 5.284, -0.831)而南北向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 13.858, -1.710), (25.600, 11.235, 1.757), (12.190, 9.745, 0.024)及(13.474, 4.737, -2.162)

六月：東西向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 14.342, 1.989), (25.600, 12.790, -1.588), (12.190, 8.409, 3.123)及(28.444, 4.976, -1.067)而南北向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 12.958, -1.166), (25.600, 11.896, 1.521), (12.190, 7.821, 0.091)及(28.444, 5.106, 2.170)

七月：東西向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 16.643, 2.561), (12.190, 15.993, -2.000), (25.600, 15.087, -1.435)及(28.444, 7.317, -0.536)而南北向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 15.959, -0.581), (25.600, 13.512, 1.643), (12.190, 11.696, 1.217)及(28.444, 6.116, 2.552)

八月：東西向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 11.707, 2.733), (12.190, 9.147, 1.862), (25.600, 7.780, 1.775)及(12.800, 3.516, -0.139)而南北向之(周期, 振幅, 相位角)爲(23.273, 10.237, -0.323), (25.600, 7.955, -1.173), (12.190, 7.098, -1.376)及(21.333, 3.081, -2.313)

十月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,15.403, -1.978), (23.273, 9.994, -2.556), (25.600, 8.986, 1.747)及(12.800, 3.712, -0.342)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,12.300, 1.392), (23.273, 7.783, 0.543), (25.600, 6.872, -1.204)及(21.333, 2.811, -0.799)

十一月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,11.571, -1.508), (23.273, 7.417, -1.639), (25.600, 4.638, 2.594)及(28.444, 2.789, 1.536)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,11.262, 1.782), (23.273, 7.082, 1.705), (25.600, 4.150, -0.256)及(28.444, 2.645, -1.343)

十二月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,15.887, -1.856), (25.600, 7.998, 1.924), (12.190, 7.596, -2.335)及(12.800, 4.991, 0.748)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 9.923, 1.373), (25.600, 7.794, -1.089), (12.190, 5.756, 0.892)及(12.800, 5.502, -2.108)

高雄港水深20米,儀器設置深度16米之測站所測得海潮流之不同月份東西向及南北向流速,各別經過能譜分析,周期小於30小時之4個能譜極端值,其相對之餘弦函數周期、振幅及相位角各別爲

一月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 5.652, -0.991), (25.600, 4.507, 0.527), (12.190, 3.801, 2.751)及(28.444, 3.504, 2.464)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 6.088, 2.055), (25.600, 4.127, -3.124), (28.444, 3.802, -0.314)及(12.190, 3.349, 0.611)

三月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 5.990, 1.775), (11.636, 2.373, -2.502), (23.273, 1.695, 2.715)及(13.474, 1.471, -0.737)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 3.853, -0.579), (23.273, 2.763, -1.343), (7.758, 1.484, 0.480)及(8.258, 1.482, -0.695)

四月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 7.877, 0.323), (12.190, 5.032, -0.390), (25.600, 4.694, 1.368)及(12.800, 4.110, 2.470)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 7.002, -2.692), (12.190, 6.588, 3.000), (25.600,

5.951, -1.881)及(12.800, 5.930, -0.101)

五月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(25.600,12.953, -1.981), (23.273,11.935, 0.959), (12.190, 7.881, 2.780)及(12.800, 6.134, -0.728)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(25.600,12.244, 1.034), (23.273, 9.618, -2.402), (12.190, 5.854, -0.269)及(12.800, 4.402, 2.251)

六月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,13.916, 1.619), (25.600, 7.595, -1.766), (12.190, 6.892, 2.657)及(28.444, 5.031, -0.957)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 7.027, -1.784), (25.600, 5.484, 1.269), (12.190, 4.299, 0.271)及(28.444, 3.872, 1.357)

七月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,12.657, 1.790), (25.600,12.298, -1.988), (12.190, 7.417, -2.542)及(28.444, 2.949, -0.743)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 8.842, 1.066), (23.273, 7.641, -1.495), (25.600, 7.387, 1.214)及(11.636, 3.013, 2.863)

八月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 6.752, 2.173), (12.190, 5.715, 1.936), (25.600, 4.803, 1.696)及(13.474, 2.277, -1.656)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 5.211, -0.571), (12.190, 3.894, -0.766), (25.600, 3.881, -1.657)及(12.800, 2.733, -3.071)

十月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 8.967, -2.017), (25.600, 5.859, 1.644), (23.273, 5.483, -3.033)及(8.258, 2.507, -1.650)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,10.158, 1.389), (25.600, 5.494, -1.445), (23.273, 3.827, 0.088)及(8.258, 2.407, 1.183)

十一月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 7.707, -1.591), (25.600, 3.618, 2.285), (23.273, 3.186, -1.861)及(13.474, 2.151, 2.372)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 8.192, 1.676), (23.273, 5.719, 1.144), (25.600, 4.286, -1.082)及(19.692, 2.340, -0.071)

十二月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,10.548, -2.025), (25.600, 6.186, 1.624), (12.190, 4.642, -2.494)及(12.800, 3.760, 0.712)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 9.009, 1.035), (25.600, 5.499, -1.489), (12.190, 5.254, 0.609)及(12.800, 3.992, -2.208)

高雄港水深20米,儀器設置深度4米之測站所測得海潮流之不同月份東西向及南北向流速,各別經過能譜分析,周期小於30小時之4個能譜極端值,其相對之餘弦函數周期、振幅及相位角各別爲

一月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 7.474, -0.756), (25.600, 5.617, 0.766), (12.190, 3.715, 2.767)及(28.444, 3.600, 2.942)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 9.541, 2.319), (28.444, 7.287, -0.339), (25.600, 6.803, -2.848)及(12.800, 5.906, -1.329)

三月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190, 5.006, 1.490), (23.273, 4.098, 1.389), (11.636, 2.496, 2.920)及(21.333, 2.353, -1.887)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(21.333, 3.723, -0.125), (12.190, 3.022, -0.175), (23.273, 2.983, -2.575)及(18.286, 2.462, -1.171)

四月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 8.501, 0.612), (25.600, 8.237, 1.455), (12.190, 4.688, -0.613)及(28.444, 4.593, -2.932)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,11.005, -3.099), (25.600, 9.955, -2.020), (12.190, 6.152, 2.706)及(28.444, 5.230, 0.025)

五月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(25.600,10.393, -2.047), (23.273,10.290, 1.172), (12.190, 8.988, 2.698)及(12.800, 6.736, -0.989) 而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(25.600,17.287, 0.988), (23.273,15.239, -2.394), (12.190,10.014, -0.532)及(12.800, 7.525, 2.095)

六月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 9.662, 1.917), (25.600, 9.472, -1.561), (12.190, 9.381, 2.792)及(28.444, 3.957, -1.547)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,17.598, -1.620), (25.600,11.537, 0.740), (12.190,

9.758, -0.278)及(21.333, 5.858, -1.596)

七月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,14.029, -2.052), (23.273,12.639, 2.191), (25.600,11.521, -1.454)及(28.444, 7.021, -1.019) 而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,19.944, -1.262), (25.600,15.873, 1.127), (12.190,15.273, 0.960)及(19.692, 7.667, -2.329)

八月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273, 9.553, 2.739), (12.190, 8.436, 1.658), (25.600, 6.340, 1.663)及(12.800, 3.083, 0.020)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,11.847, -0.856), (25.600, 9.993, -1.765), (12.190, 7.596, -1.369)及(13.474, 3.732, 1.128)

十月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,12.419, -2.282), (25.600,11.780, 1.660), (23.273, 9.458, -2.796)及(8.258, 3.021, -1.741) 而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,15.163, 1.051), (25.600,12.760, -1.828), (23.273,11.257, -0.123)及(8.258, 3.206, 0.994)

十一月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,10.187, -1.686), (23.273, 6.504, -1.994), (25.600, 4.192, 2.279)及(21.333, 2.259, 3.048)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(12.190,11.031, 1.419), (23.273, 7.668, 1.131), (25.600, 3.603, -0.791)及(28.444, 2.987, -2.130)

十二月：東西向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,15.673, -1.949), (25.600, 7.558, 1.542), (12.190, 6.406, -2.322)及(12.800, 4.778, 0.830)而南北向之(周期,振幅,相位角)爲(23.273,16.281, 1.098), (25.600, 8.364, -1.847), (12.800, 6.805, -2.336)及(12.190, 6.803, 0.758)

將上述各月各測站東西向及南北向流速能譜中之4個餘弦函數各別相加得到該月該測站潮流的東西向及南北向流速資料之時間序列。再經旋轉能譜法分析以上由海潮流分離出之潮流的東西向及南北向流速資料之時間序列,即可探討高雄港潮流的特性。

8月份(西南季風期)水深10米,儀器深8米時潮流之正頻率能譜(反轉)、負頻率能譜(順轉)、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖4.1到圖4.2所示。全能譜主頻為0.270 rad/hour (周期23.273小時)。其旋轉係數為0.01,為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為320.66度(由正北起算,順時針為正),約平行海岸。半長軸長度為12.477 (cm/sec),半短軸長度為0.064 (cm/sec)。第二能譜極端值頻率為0.515 rad/hour (周期12.19小時)。其旋轉係數為-0.224,為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為128.5度,約平行海岸。半長軸長度為9.02 (cm/sec),半短軸長度為1.02 (cm/sec)。第三能譜極端值頻率為0.245 rad/hour (周期25.6小時)。其旋轉係數為0.152,為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為129.5度,約平行海岸。半長軸長度為8.03 (cm/sec),半短軸長度為0.61 (cm/sec)。

8月份(西南季風期)水深10米,儀器深2米時潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖4.3到圖4.4所示。主頻為0.270 rad/hour (周期23.273小時)。其旋轉係數為-0.085,為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為311.15度(由正北起算,順時針為正),約平行海岸。半長軸長度為15.5 (cm/sec),半短軸長度為0.66 (cm/sec)。第二能譜極端值頻率為0.515 rad/hour (周期12.19小時)。其旋轉係數為0.09,為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為127.8度,約平行海岸。半長軸長度為11.6 (cm/sec),半短軸長度為0.54 (cm/sec)。第三能譜極端值頻率為0.245 rad/hour (周期25.6小時)。其旋轉係數為-0.19,為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為135.7度,約平行海岸。半長軸長度為11.07 (cm/sec),半短軸長度為1.08 (cm/sec)。

8月份(西南季風期)水深20米,儀器深16米時潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖4.5到圖4.6所示。主頻為0.270 rad/hour (周期23.273小時)。其旋轉係數為-0.375,為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為127.1度(由正北

起算,順時針爲正),約平行海岸。半長軸長度爲8.37 (cm/sec),半短軸長度爲1.63 (cm/sec)。第二能譜極端值頻率爲0.515 rad/hour (周期12.19小時)。其旋轉係數爲-0.396,爲逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向爲123.3度,約平行海岸。半長軸長度爲6.77 (cm/sec),半短軸長度爲1.40 (cm/sec)。第三能譜極端值頻率爲0.245 rad/hour (周期25.6小時)。其旋轉係數爲0.205,爲順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向爲128.8度,約平行海岸。半長軸長度爲6.14 (cm/sec),半短軸長度爲0.64 (cm/sec)。

8月份(西南季風期)水深20米,儀器深4米時潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖4.7到圖4.8所示。主頻爲0.270 rad/hour (周期23.273小時)。其旋轉係數爲0.428,爲順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向爲321.8度(由正北起算,順時針爲正),約平行海岸。半長軸長度爲14.85 (cm/sec),半短軸長度爲3.34 (cm/sec)。第二能譜極端值頻率爲0.245 rad/hour (周期25.6小時)。其旋轉係數爲0.256,爲順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向爲148.1度,約平行海岸。半長軸長度爲11.74 (cm/sec),半短軸長度爲1.53 (cm/sec)。第三能譜極端值頻率爲0.515 rad/hour (周期12.19小時)。其旋轉係數爲-0.114,爲逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向爲132.0度,約平行海岸。半長軸長度爲11.33 (cm/sec),半短軸長度爲0.65 (cm/sec)。

12月份(東北季風期)水深10米,儀器深8米時潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖4.9到圖4.10所示。主頻爲0.270 rad/hour (周期23.273小時)。其旋轉係數爲0.0117,爲順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向爲124.1度(由正北起算,順時針爲正),約平行海岸。半長軸長度爲14.49 (cm/sec),半短軸長度爲0.085 (cm/sec)。第二能譜極端值頻率爲0.245 rad/hour (周期25.6小時)。其旋轉係數爲-0.217,爲逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向爲134.4度,約平行海岸。半長軸長度爲10.06 (cm/sec),半短軸長度爲1.11 (cm/sec)

• 第三能譜極端值頻率為 0.515 rad/hour (周期 12.19 小時)。其旋轉係數為 0.0053 , 為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為 125.6 度, 約平行海岸。半長軸長度為 7.93 (cm/sec) , 半短軸長度為 0.021 (cm/sec) 。

12 月份 (東北季風期) 水深 10 米, 儀器深 2 米時潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖 4.11 到圖 4.12 所示。主頻為 0.270 rad/hour (周期 23.273 小時)。其旋轉係數為 -0.0784 , 為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為 122.0 度 (由正北起算, 順時針為正), 約平行海岸。半長軸長度為 18.72 (cm/sec) , 半短軸長度為 0.74 (cm/sec) 。第二能譜極端值頻率為 0.245 rad/hour (周期 25.6 小時)。其旋轉係數為 -0.128 , 為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為 134.3 度, 約平行海岸。半長軸長度為 11.15 (cm/sec) , 半短軸長度為 0.72 (cm/sec) 。第三能譜極端值頻率為 0.515 rad/hour (周期 12.19 小時)。其旋轉係數為 -0.082 , 為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為 127.1 度, 約平行海岸。半長軸長度為 9.52 (cm/sec) , 半短軸長度為 0.39 (cm/sec) 。

12 月份 (東北季風期) 水深 20 米, 儀器深 16 米時潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖 4.13 到圖 4.14 所示。主頻為 0.270 rad/hour (周期 23.273 小時)。其旋轉係數為 $.0805$, 為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為 130.5 度 (由正北起算, 順時針為正), 約平行海岸。半長軸長度為 13.86 (cm/sec) , 半短軸長度為 0.56 (cm/sec) 。第二能譜極端值頻率為 0.245 rad/hour (周期 25.6 小時)。其旋轉係數為 -0.0283 , 為逆時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為 131.6 度, 約平行海岸。半長軸長度為 8.28 (cm/sec) , 半短軸長度為 0.12 (cm/sec) 。第三能譜極端值頻率為 0.515 rad/hour (周期 12.19 小時)。其旋轉係數為 $.0382$, 為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為 318.5 度, 約平行海岸。半長軸長度為 7.01 (cm/sec) , 半短軸長度為 0.13 (cm/sec) 。

12 月份 (東北季風期) 水深 20 米, 儀器深 4 米時潮流之正頻率能譜、負

頻率能譜、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸長度及半短軸長度各如圖4.15到圖4.16所示。主頻為0.270 rad/hour (周期23.273小時)。其旋轉係數為.0943, 為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為136.1度(由正北起算, 順時針為正), 約平行海岸。半長軸長度為22.57 (cm/sec), 半短軸長度為1.07 (cm/sec)。橢圓運動如圖4.17所示。第二能譜極端值頻率為0.245 rad/hour (周期25.6小時)。其旋轉係數為.243, 為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為138.0度, 約平行海岸。半長軸長度為11.19 (cm/sec), 半短軸長度為1.38 (cm/sec)。第三能譜極端值頻率為0.515 rad/hour (周期12.19小時)。其旋轉係數為.0614, 為順時針方向旋轉之橢圓運動。長軸指向為316.7度, 約平行海岸。半長軸長度為9.34 (cm/sec), 半短軸長度為0.29 (cm/sec)。

伍、結 論

本文由高雄港現場實測海潮流流速資料中,分離出高雄港潮流流速主要組成成份。由這些潮流流速主要組成成份,經處理,可立即得到高雄港潮流東西向及南北向流速時間序列。

再以旋轉能譜法,對潮流流速資料加以分析,得到高雄港潮流特性資料。如高雄港潮流之正頻率能譜(反轉)、負頻率能譜(順轉)、全能譜、旋轉係數、橢圓長軸指向、長軸長度及短軸長度等等特性。

高雄港8月份(西南季風期)及12月份(東北季風期)潮流之上述特性已於本文描述。由分析得知,8月份及12月份潮流橢圓運動之長軸指向,均約平行海岸。主頻之橢圓長、短軸長度隨水深而遞減。8月份水深10米,儀器深8米時,主頻(周期23.273小時)之半長軸長度為12.477 (cm/sec),半短軸長度為0.064 (cm/sec)。8月份水深10米,儀器深2米時,主頻(周期23.273小時)之橢圓半長軸長度為15.5 (cm/sec),半短軸長度為0.66 (cm/sec)。8月份水深20米,儀器深16米時,主頻(周期23.273小時)之半長軸長度為8.37 (cm/sec),半短軸長度為1.63 (cm/sec)。8月份水深20米,儀器深4米時,主頻(周期23.273小時)之半長軸長度為14.85 (cm/sec),半短軸長度為3.34 (cm/sec)。

12月份水深10米,儀器深8米時,主頻(周期23.273小時)之半長軸長度為14.49 (cm/sec),半短軸長度為0.085 (cm/sec)。12月份水深10米,儀器深2米時,主頻(周期23.273小時)之半長軸長度為18.72 (cm/sec),半短軸長度為0.74 (cm/sec)。12月份水深20米,儀器深16米時,主頻(周期23.273小時)之半長軸長度為13.86 (cm/sec),半短軸長度為0.56 (cm/sec)。12月份水深20米,儀器深4米時,主頻(周期23.273小時)之半長軸長度為22.57 (cm/sec),半短軸長度為1.07 (cm/sec)。

參考文獻

1. Mooers, C.N.K. 1973 A technique for the Cross spectrum analysis of pairs of complex Valued time series, with emphasis on properties of polarized components and rotational invariants. Deep-sea Research, Vol. 20 , pp. 1129-1141.
2. Gonella,J. 1972 A rotary-component method for analyzing meteorological and Oceanographic Vector time series Deep-sea Research. Vol. 19, pp.833-846
3. 朱祖佑、連三郎、侯永昌 1978 台灣海峽近岸海流之研究,國立台灣大學海洋研究所專刊第16號。
4. 黃煌輝、張金機 1993 高雄海域海氣象調查研究,國立成功大學台南水工試驗所研究試驗報告第140號。

表 3.1 高雄港海潮流按月區分資料

序號	檔案名稱	水深 (公尺)	儀器深 (公尺)	起迄時間
1	KS01C001.1HM	10	8	1992 01/17 1300 - 1992 01/31 2300
2	KS01C002.1HM	10	2	1992 01/17 1300 - 1992 01/31 2300
3	KS01C003.1HM	20	16	1992 01/17 1300 - 1992 01/31 2300
4	KS01C004.1HM	20	4	1992 01/17 1300 - 1992 01/31 2300
1	KS03C001.1HM	10	8	1992 03/01 0000 - 1992 03/17 1000
2	KS03C002.1HM	10	2	1992 03/01 0000 - 1992 03/17 1000
3	KS03C003.1HM	20	16	1992 03/01 0000 - 1992 03/17 1000
4	KS03C004.1HM	20	4	1992 03/01 0000 - 1992 03/17 1000
1	KS04C001.1HM	10	8	1992 04/08 1100 - 1992 04/25 2100
2	KS04C002.1HM	10	2	1992 04/08 1100 - 1992 04/25 2100
3	KS04C003.1HM	20	16	1992 04/08 1100 - 1992 04/25 2100
4	KS04C004.1HM	20	4	1992 04/08 1100 - 1992 04/25 2100
5	KS05C005.1HM	10	8	1992 05/13 1100 - 1992 05/28 1000
6	KS05C006.1HM	10	2	1992 05/13 1100 - 1992 05/28 1000
7	KS05C007.1HM	20	16	1992 05/13 1100 - 1992 05/28 1000
8	KS05C008.1HM	20	4	1992 05/13 1100 - 1992 05/28 1000
5	KS06C005.1HM	10	8	1992 06/12 1200 - 1992 06/25 1100
6	KS06C006.1HM	10	2	1992 06/12 1200 - 1992 06/25 1100
7	KS06C007.1HM	20	16	1992 06/12 1200 - 1992 06/25 1100
8	KS06C008.1HM	20	4	1992 06/12 1200 - 1992 06/25 1100
1	KS07C001.1HM	10	8	1992 07/10 1200 - 1992 07/23 1000
2	KS07C002.1HM	10	2	1992 07/10 1200 - 1992 07/23 1000
3	KS07C003.1HM	20	16	1992 07/10 1200 - 1992 07/23 1000
4	KS07C004.1HM	20	4	1992 07/10 1200 - 1992 07/23 1000
1	KS08C001.1HM	10	8	1992 08/14 1100 - 1992 08/26 1000

2 KS08C002.1HM	10	2	1992 08/14 1100 - 1992 08/26 1000
3 KS08C003.1HM	20	16	1992 08/14 1100 - 1992 08/26 1000
4 KS08C004.1HM	20	4	1992 08/14 1100 - 1992 08/26 1000
1 KS10C001.1HM	10	8	1992 10/08 1100 - 1992 10/21 1000
2 KS10C002.1HM	10	2	1992 10/08 1100 - 1992 10/21 1000
3 KS10C003.1HM	20	16	1992 10/08 1100 - 1992 10/21 1000
4 KS10C004.1HM	20	4	1992 10/08 1100 - 1992 10/21 1000
1 KS11C001.1HM	10	8	1992 11/04 1100 - 1992 11/19 1000
2 KS11C002.1HM	10	2	1992 11/04 1100 - 1992 11/19 1000
3 KS11C003.1HM	20	16	1992 11/04 1100 - 1992 11/19 1000
4 KS11C004.1HM	20	4	1992 11/04 1100 - 1992 11/19 1000
5 KS12C005.1HM	10	8	1992 12/17 1000 - 1992 12/31 2300
6 KS12C006.1HM	10	2	1992 12/17 1000 - 1992 12/31 2300
7 KS12C007.1HM	20	16	1992 12/17 1000 - 1992 12/31 2300
8 KS12C008.1HM	20	4	1992 12/17 1000 - 1992 12/31 2300

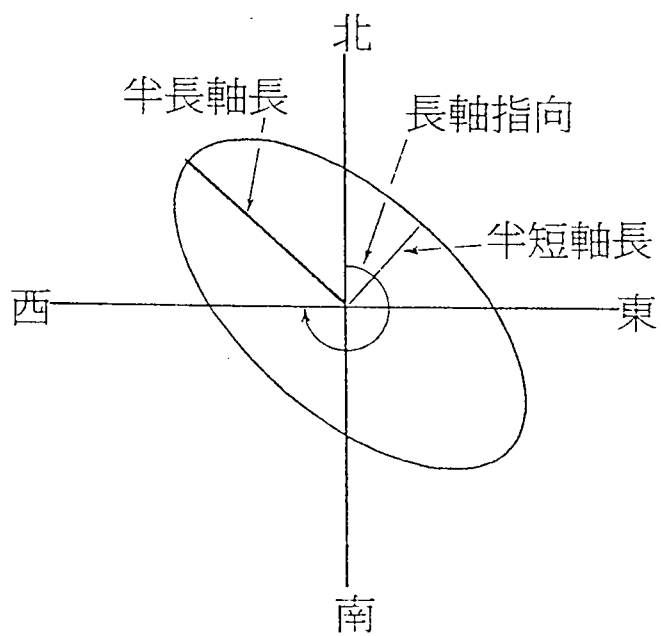


圖 2.1 橢圓特性定義

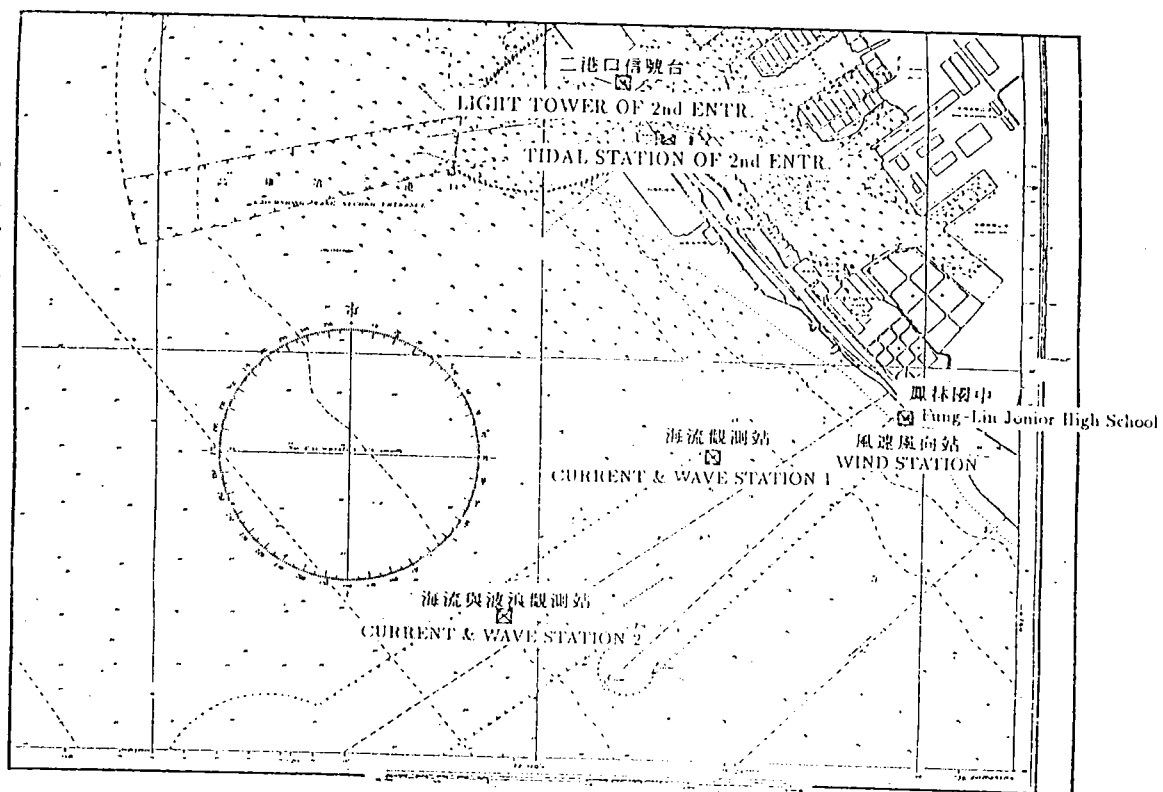


圖3.1 高雄港海潮流流速觀測站

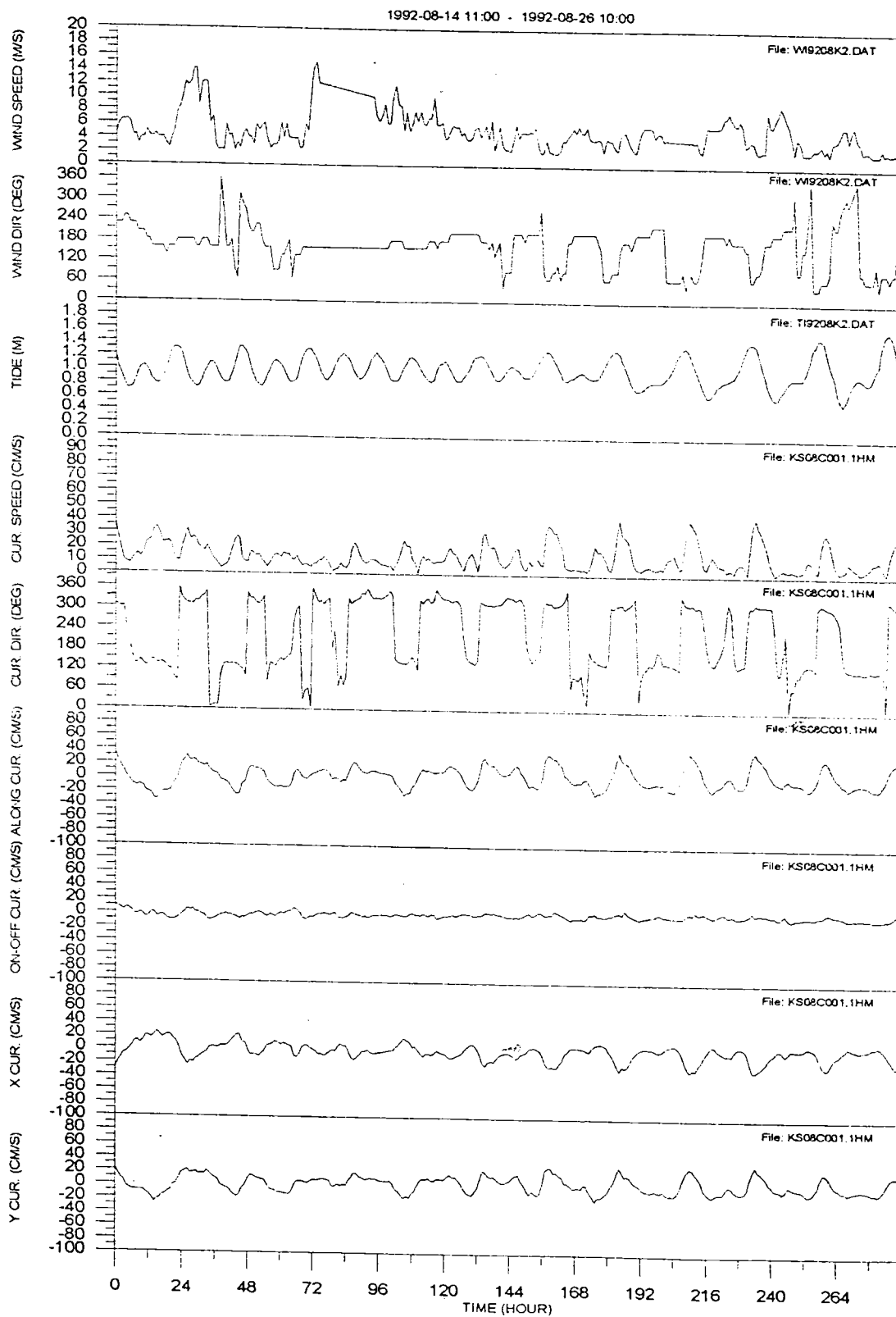


圖 3.2 高雄港8月份水深10米,儀器深8米時,海潮流,風,潮汐之時間序列

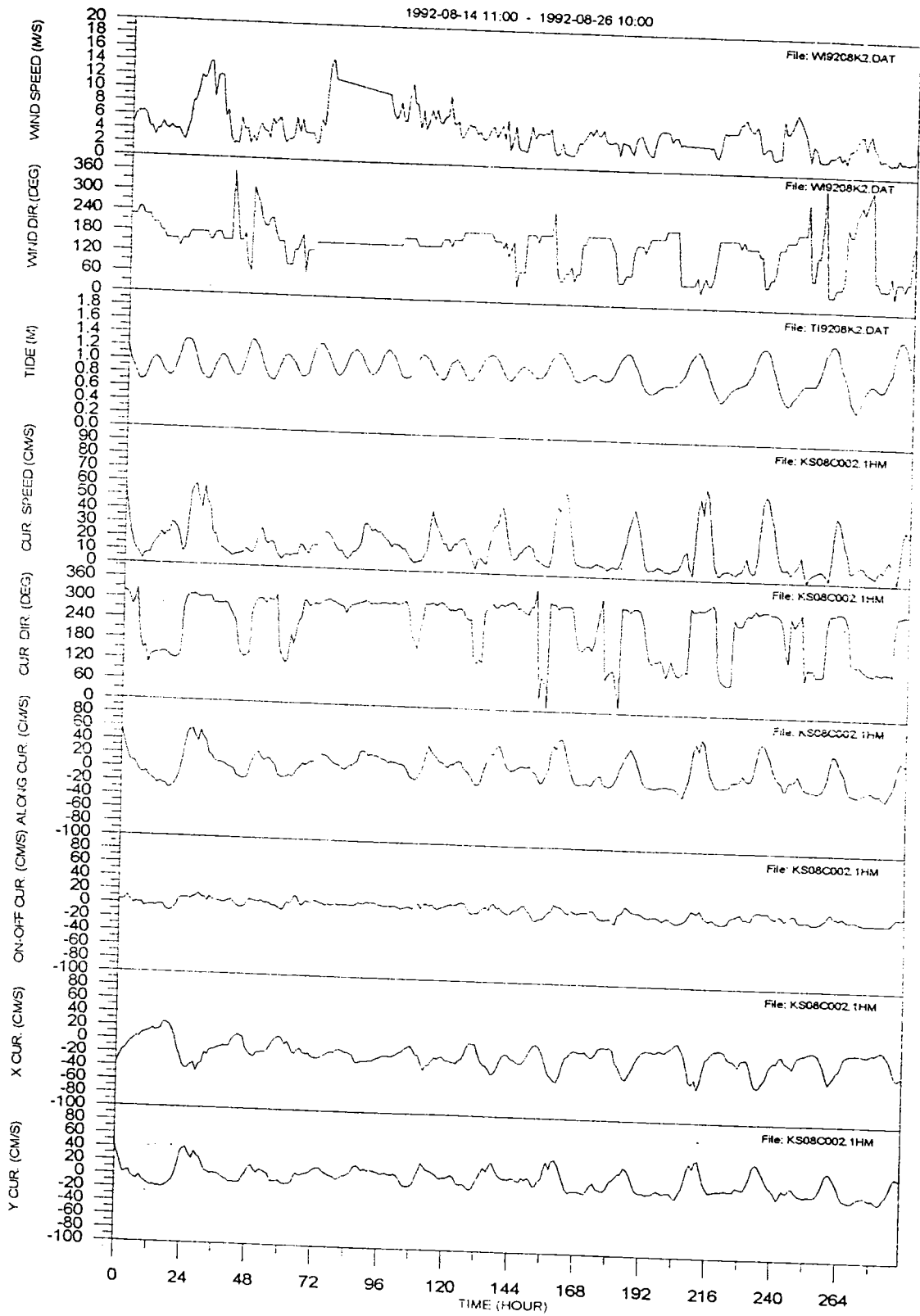


圖 3.3 高雄港8月份水深10米,儀器深2米時,海潮流,風,潮汐之時間序列

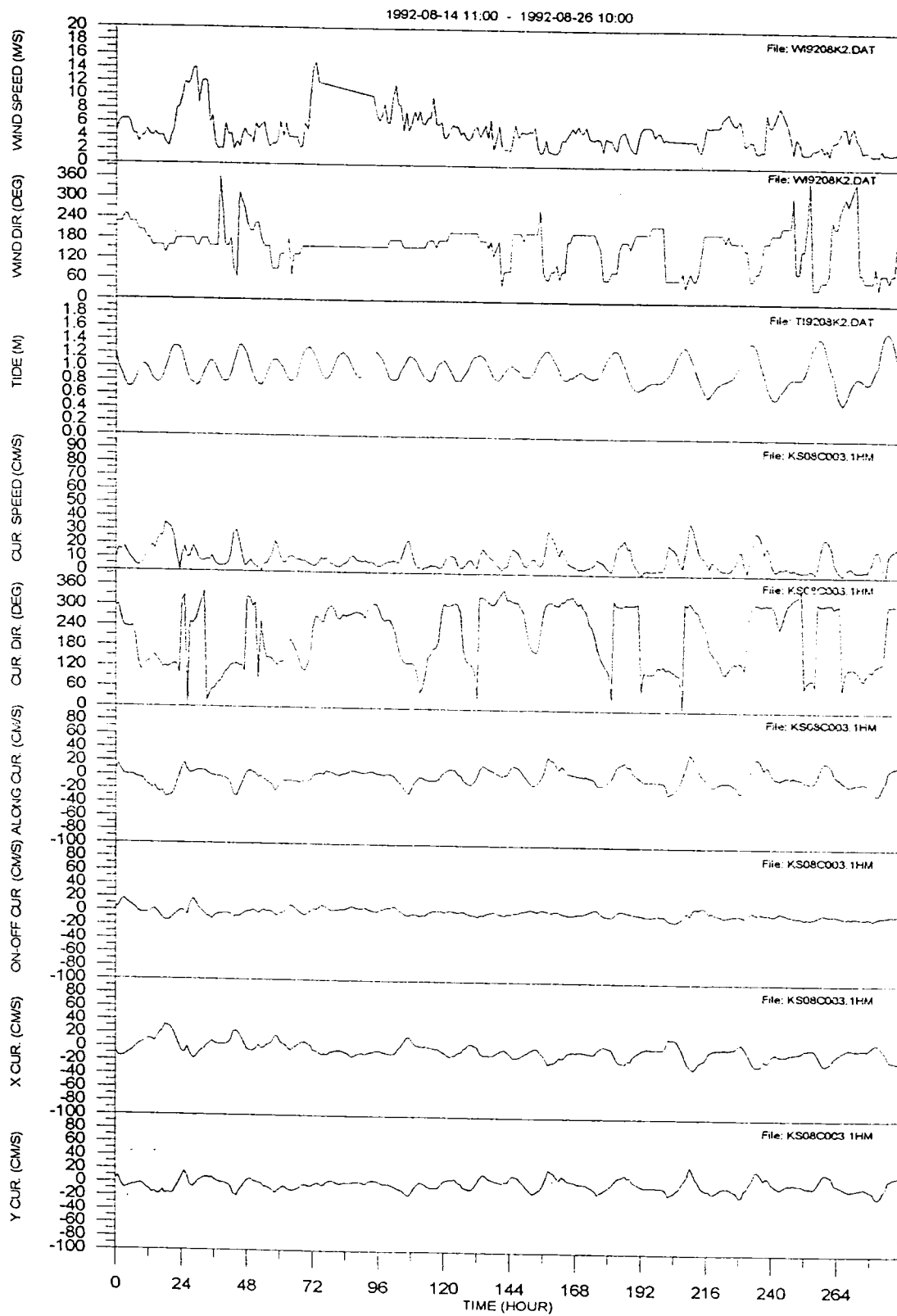


圖 3.4 高雄港 8 月份水深 20 米, 儀器深 16 米時, 海潮流, 風, 潮汐之時間序列

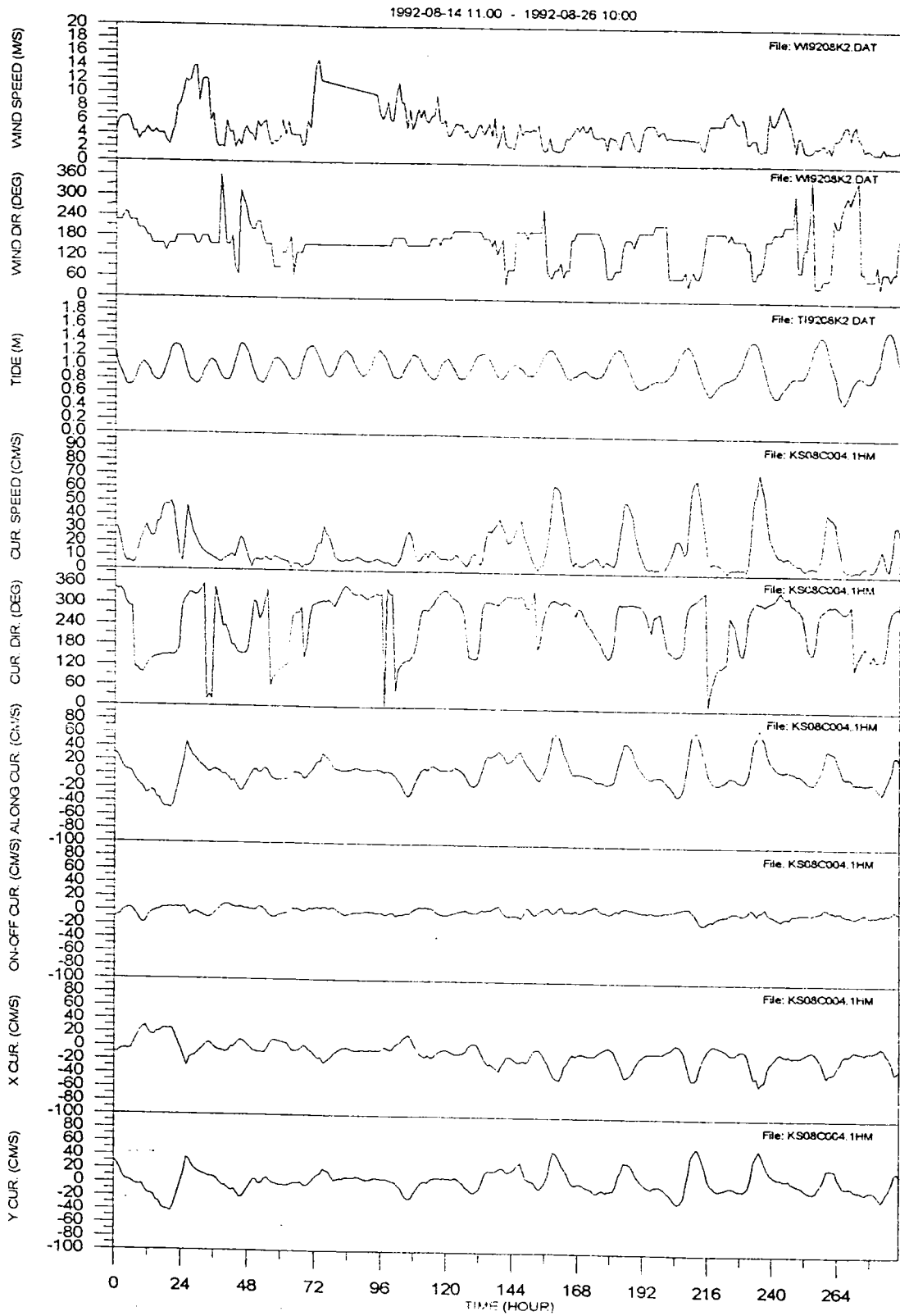


圖 3.5 高雄港8月份水深20米,儀器深4米時,海潮流,風,潮汐之時間序列

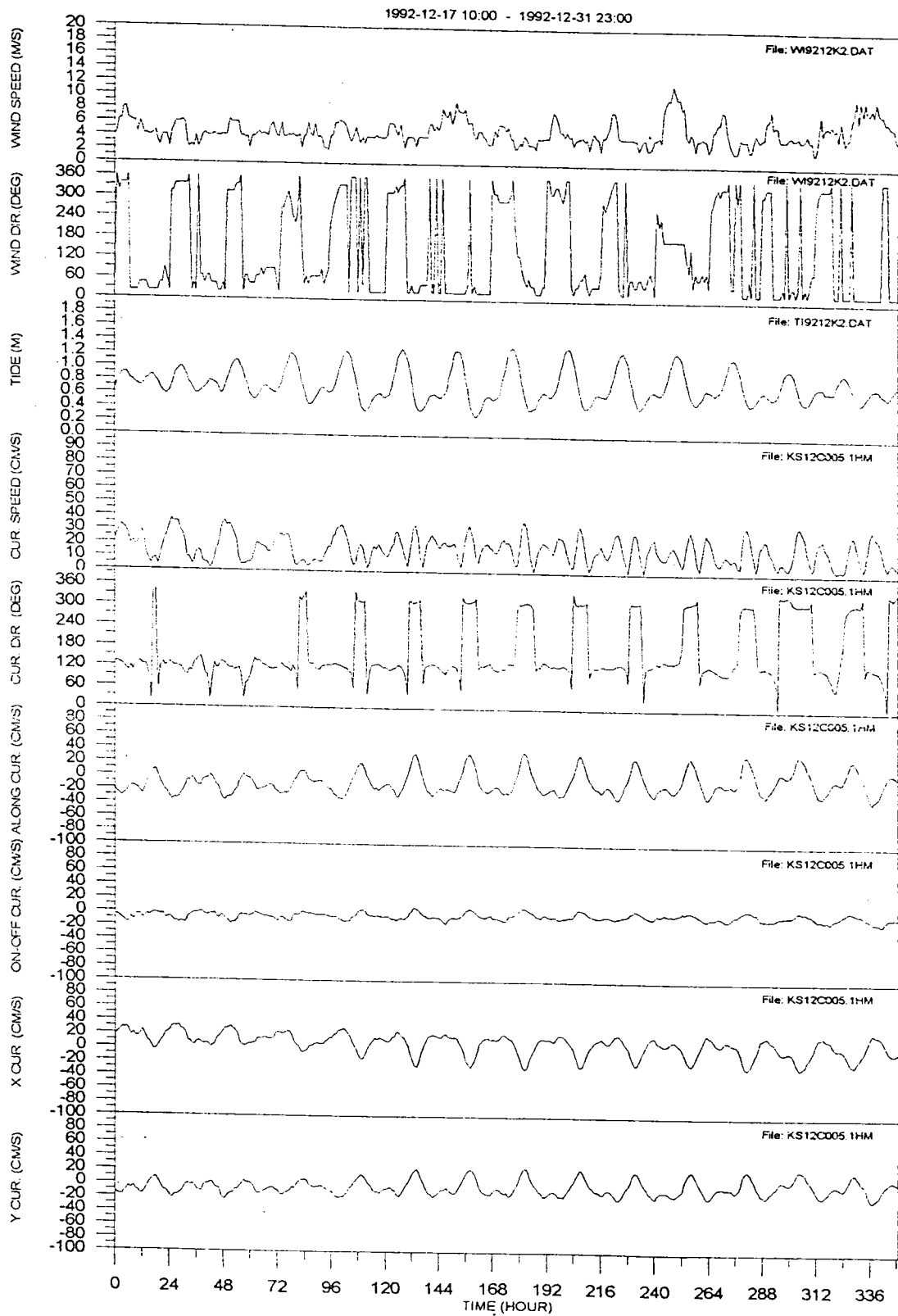


圖3.6 高雄港12月份水深10米,儀器深8米時,海潮流,風,潮汐之時間序列

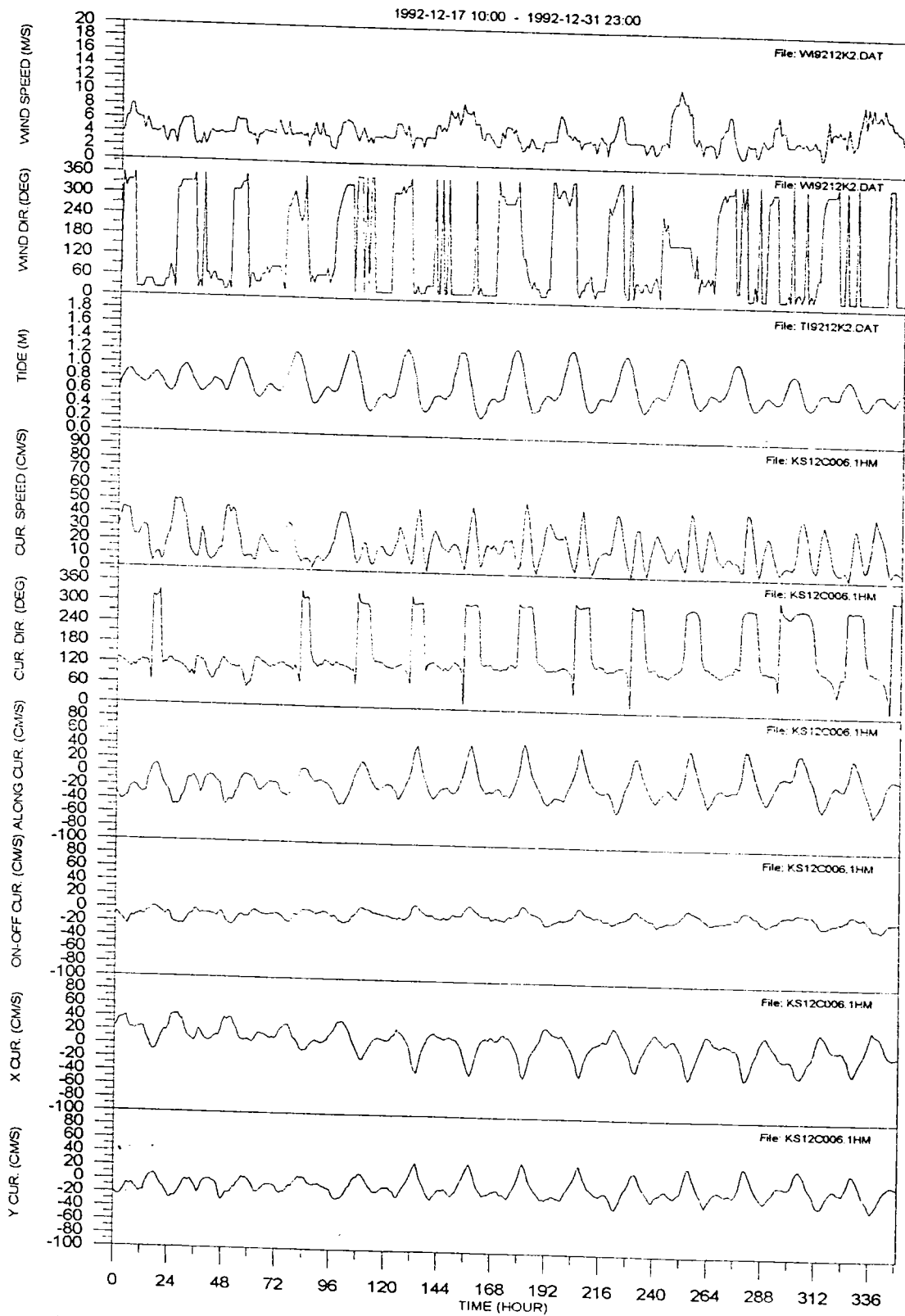


圖 3.7 高雄港 12 月份水深 10 米, 儀器深 2 米時, 海潮流, 風, 潮汐之時間序列

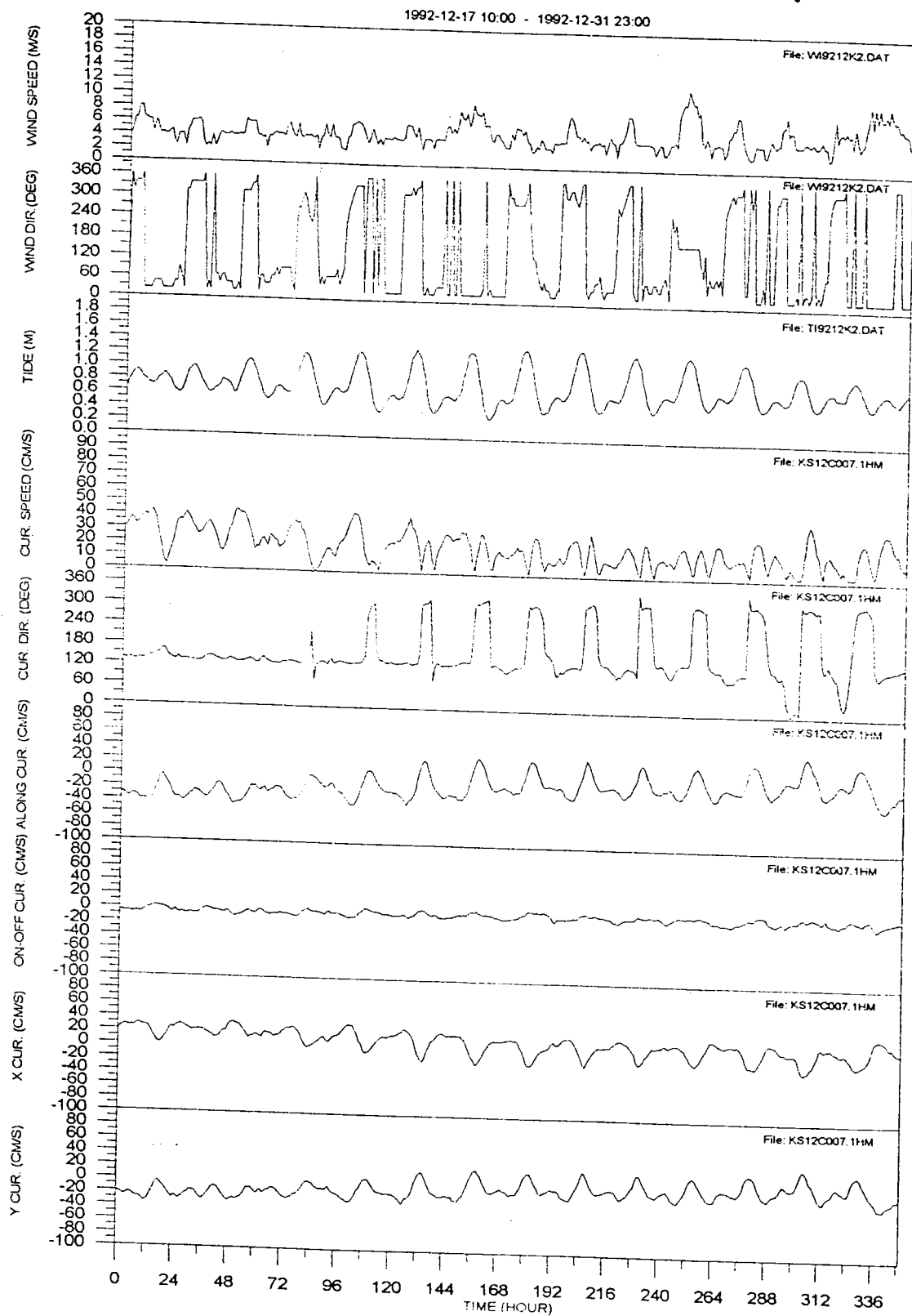


圖3.8 高雄港12月份水深20米,儀器深16米時,海潮流,風,潮汐之時間序列

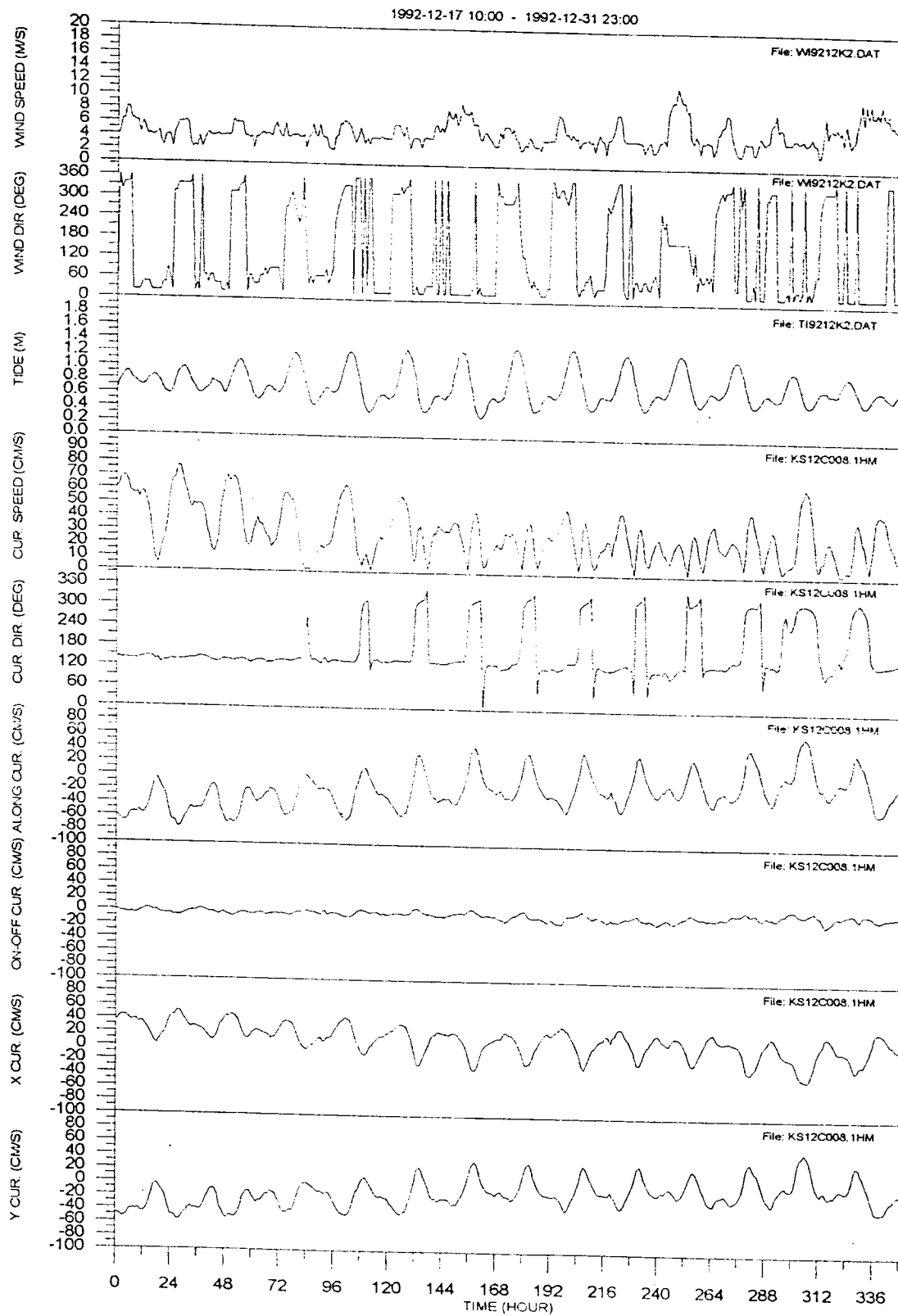


圖 3.9 高雄港 12 月份水深 20 米, 儀器深 4 米時, 海潮流, 風, 潮汐之時間序列

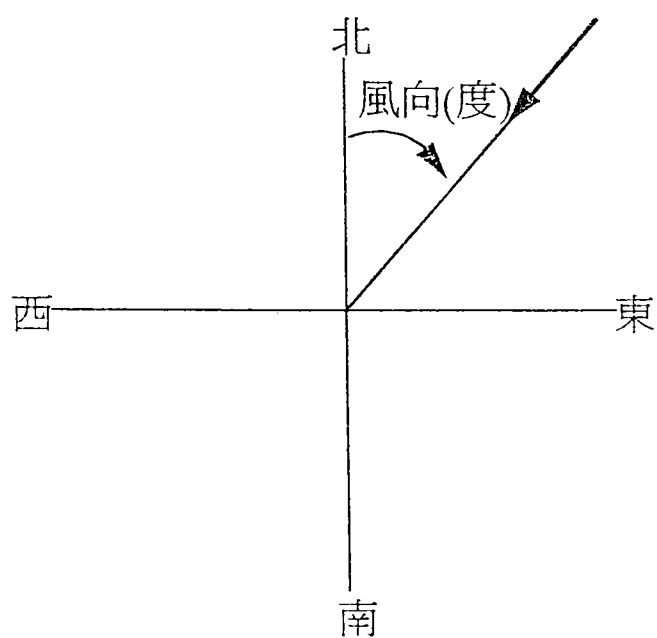


圖3.10 風向

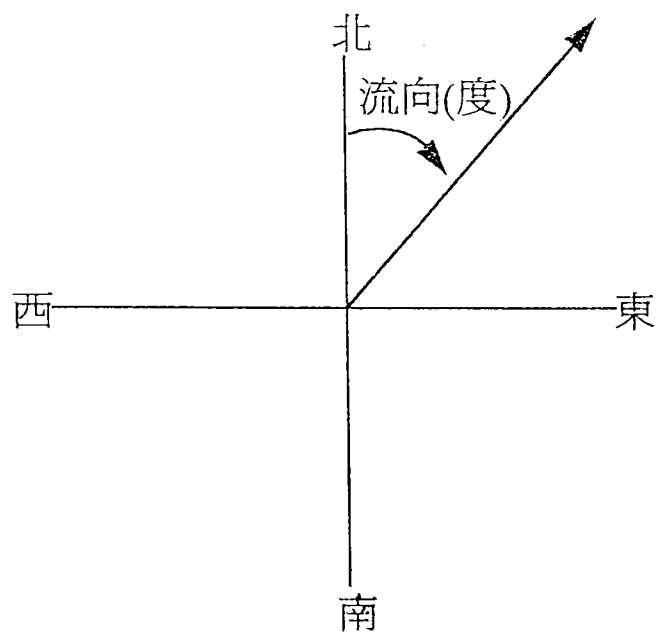


圖3.11 海潮流流向

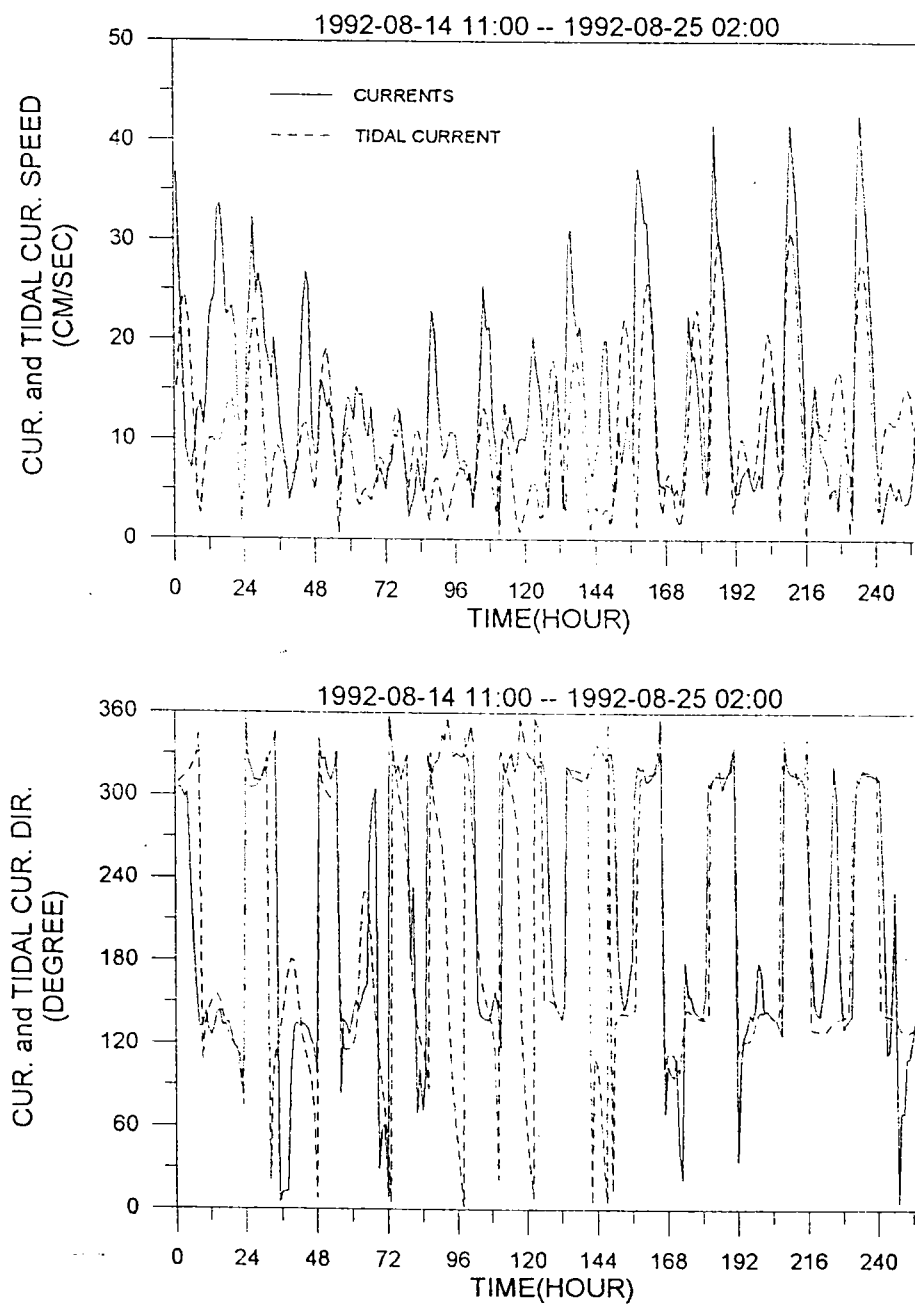


圖 3.12 海潮流與潮流流速及流向對照

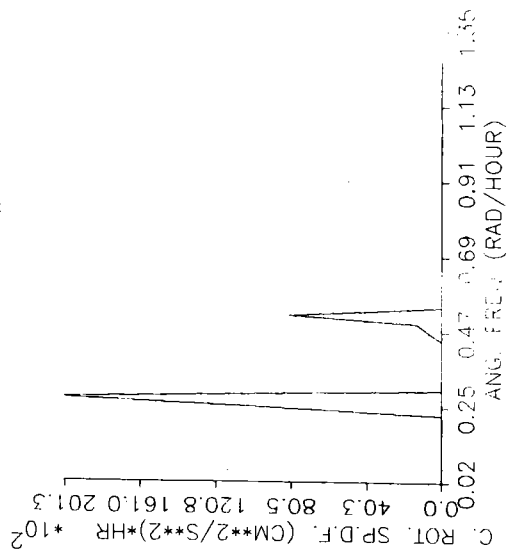
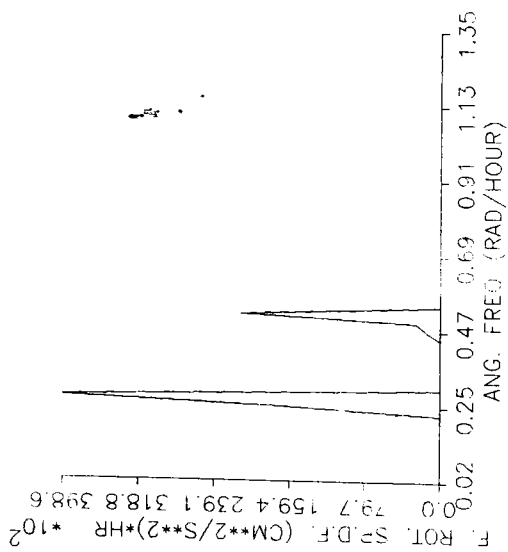
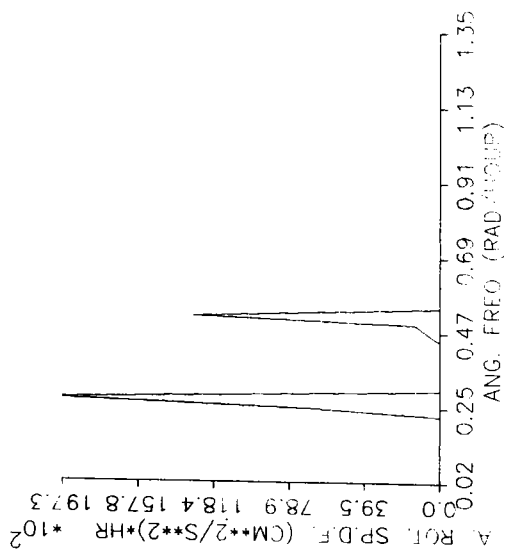


圖 4.1 高雄港8月份水深10米,儀器深8米時,潮流之正頻率
能譜(反轉)、負頻率能譜(順轉)、全能譜

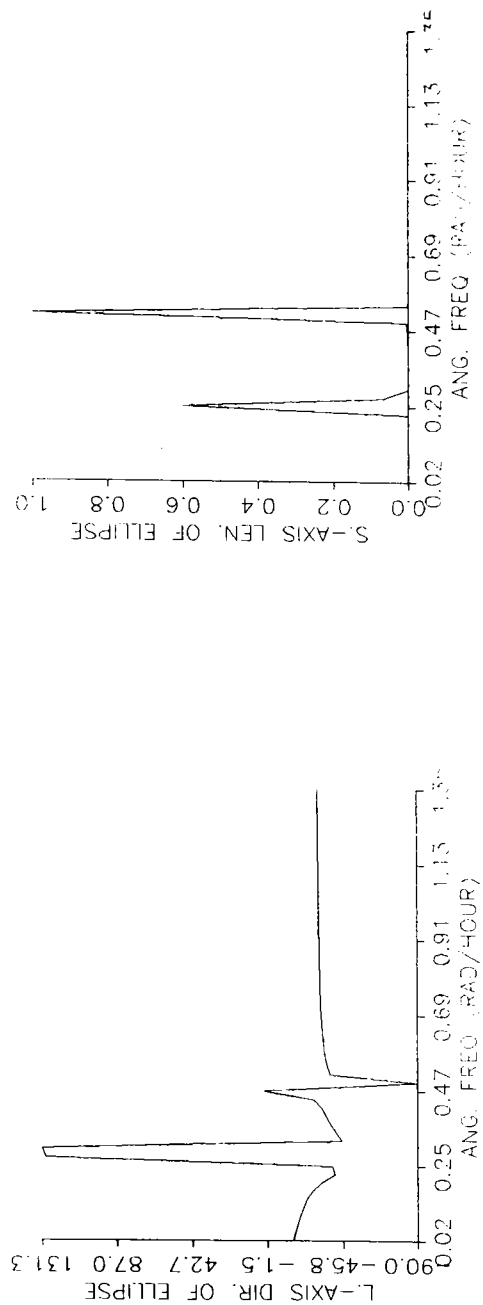
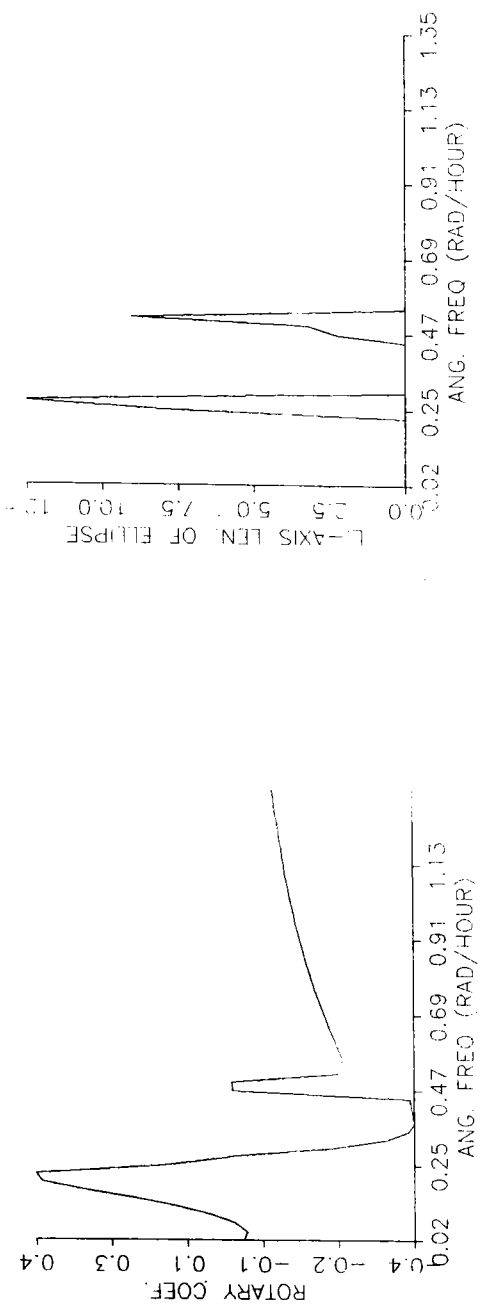


圖 4.2 高雄港 8 月份水深 10 米, 儀器深 8 米時, 潮流之旋轉係

數、橢圓長軸指向、半長軸及半短軸長度

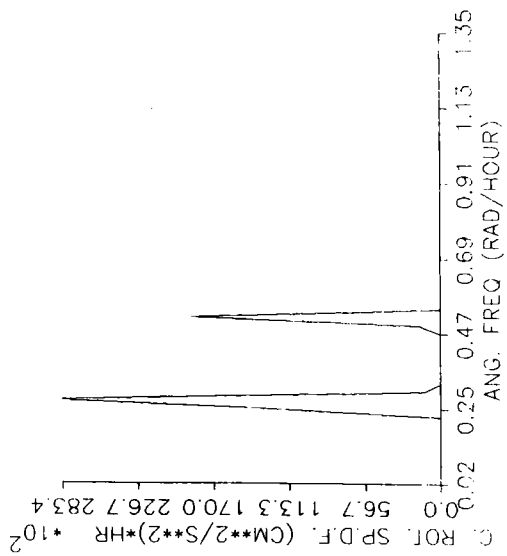
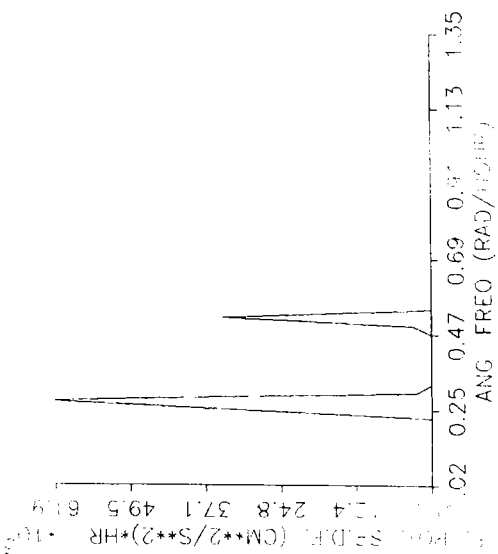
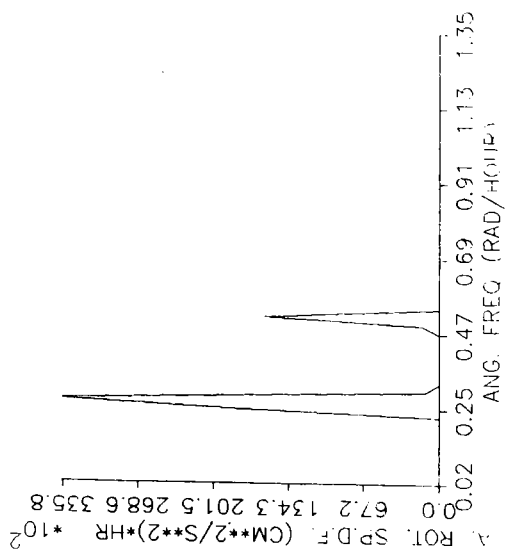


圖 4.3 高雄港 8 月份水深 10 米, 儀器深 2 米時, 潮流之正頻率
能譜、負頻率能譜、全能譜

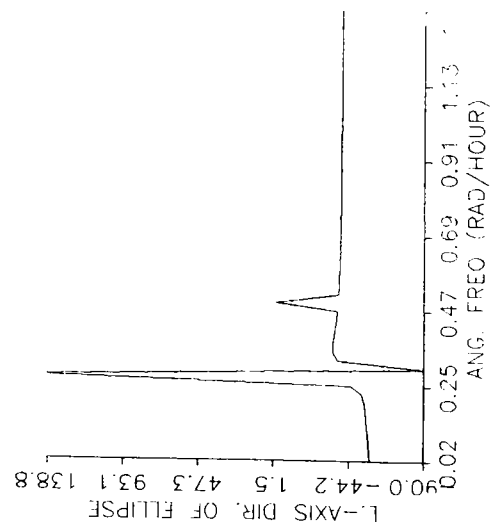
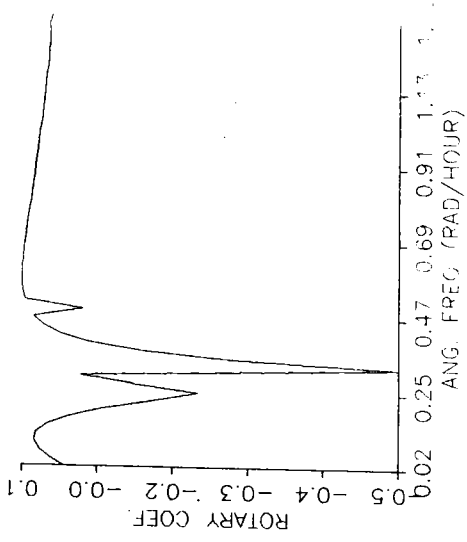
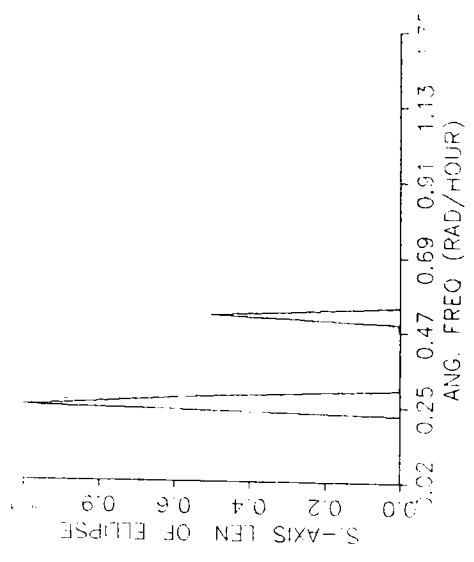
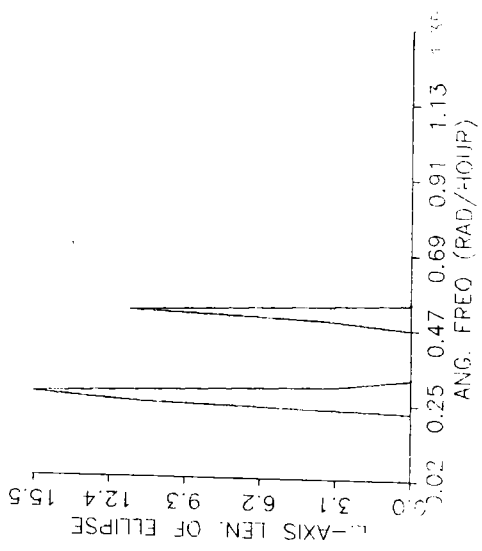


圖 4.4 高雄港8月份水深10米,儀器深2米時,潮流之旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸及半短軸長度

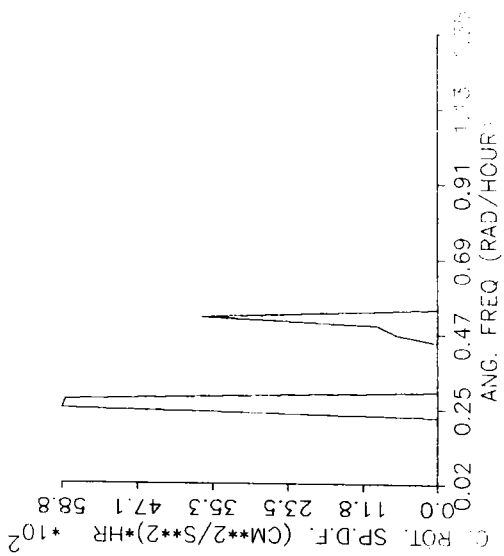
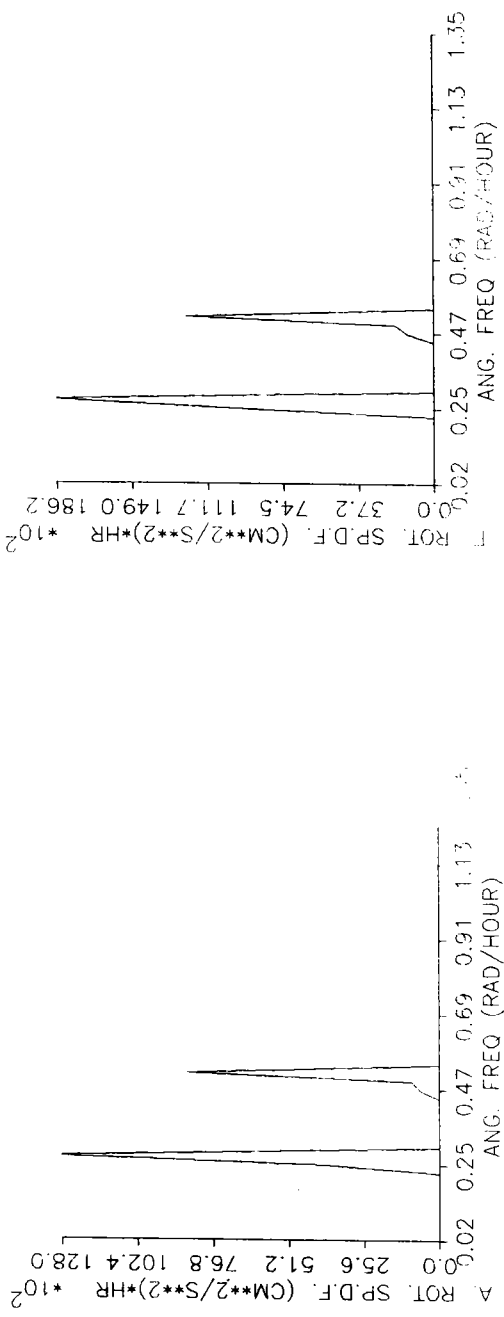


圖 4.5 高雄港8月份水深20米,儀器深16米時,潮流之正頻

率能譜 負頻率能譜 全能譜

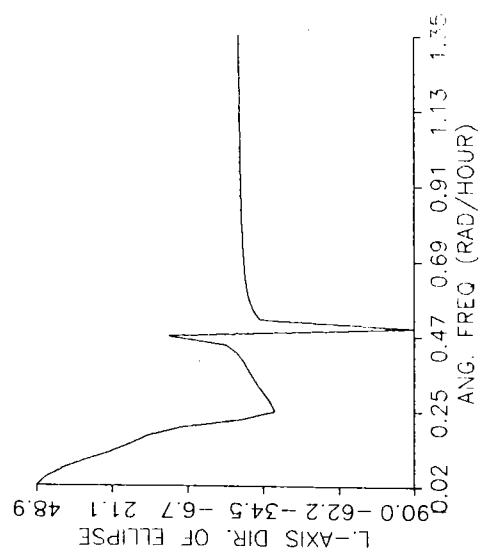
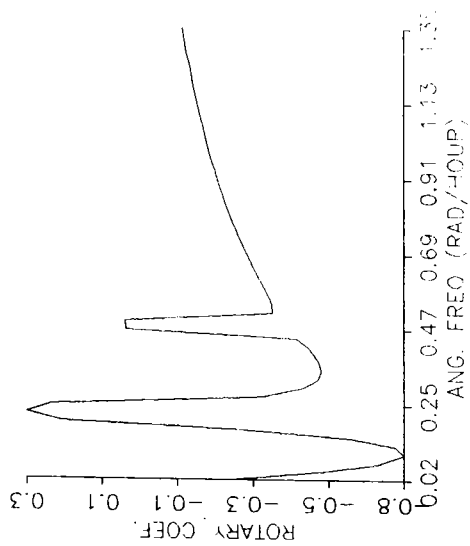
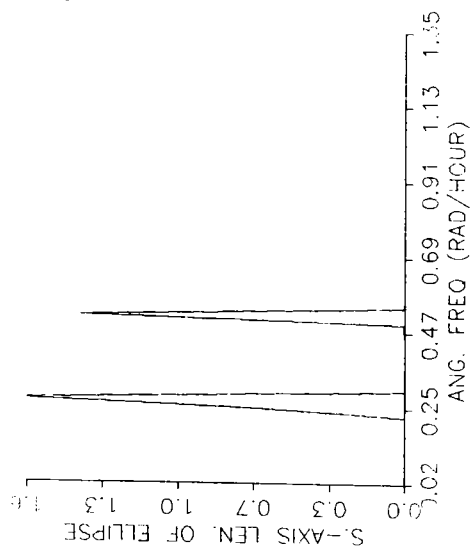
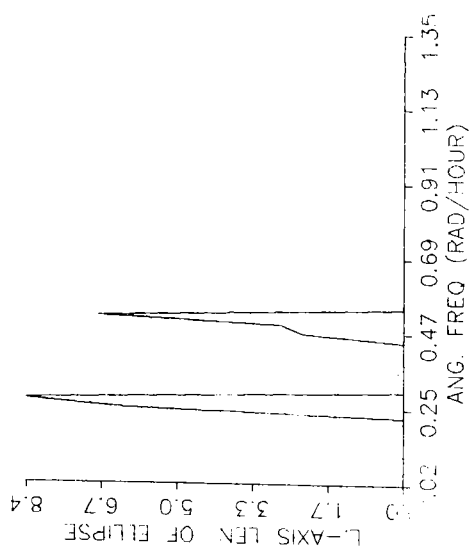


圖 4.6 高雄港 8 月份水深 20 米, 儀器深 16 米時, 潮流之旋轉

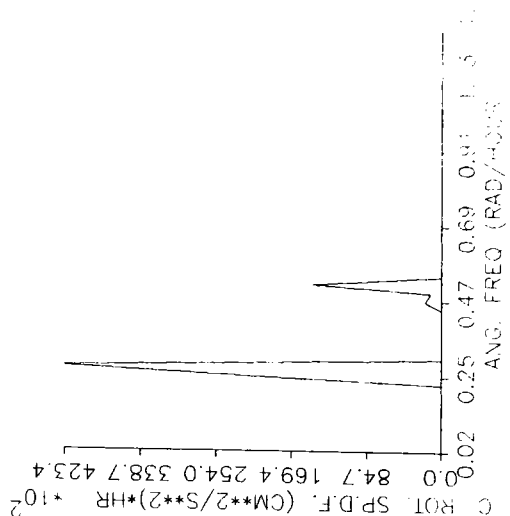
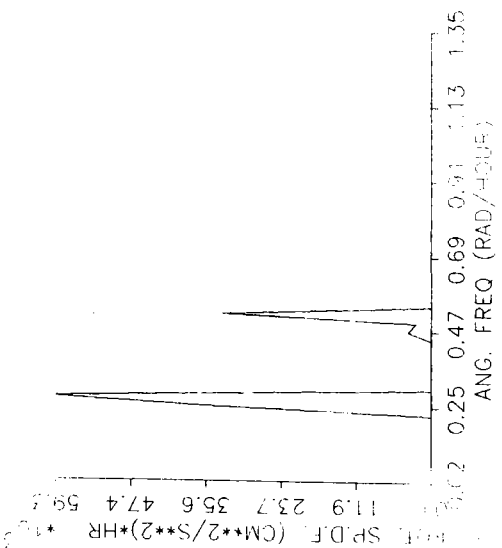
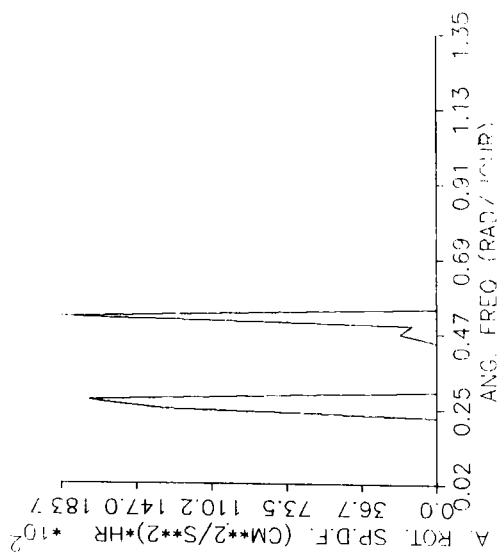


圖 4.7 高雄港 8 月份水深 20 米, 儀器深 4 米時, 潮流之正頻率
能譜、負頻率能譜、全能譜

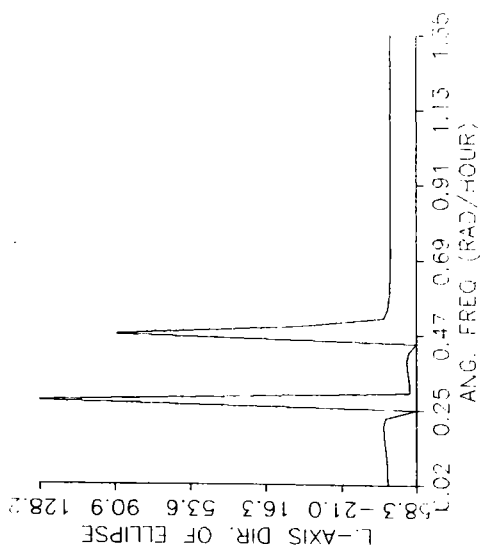
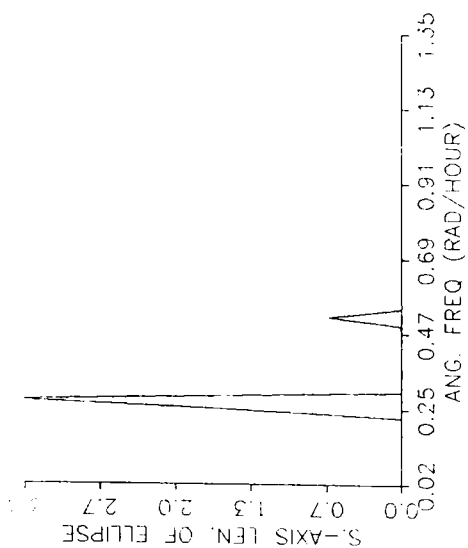
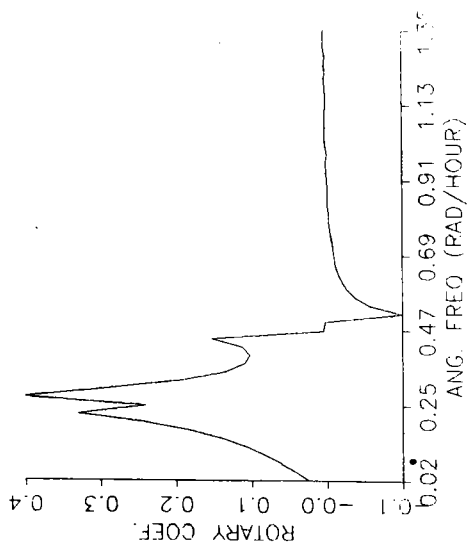
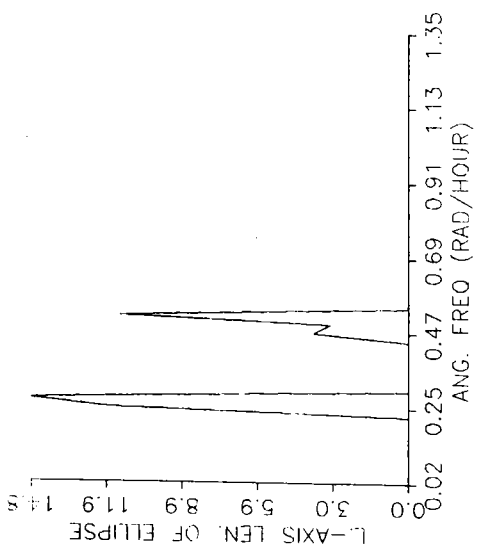


圖 4.8 高雄港 8 月份水深 20 米, 儀器深 4 米時, 潮流之旋轉係數、橢圓長軸指向、半長軸及半短軸長度

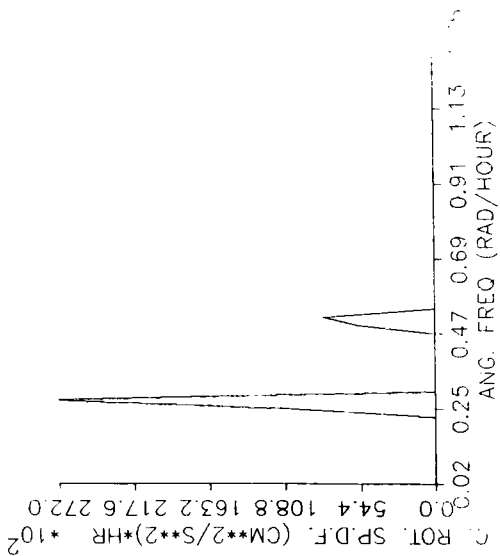
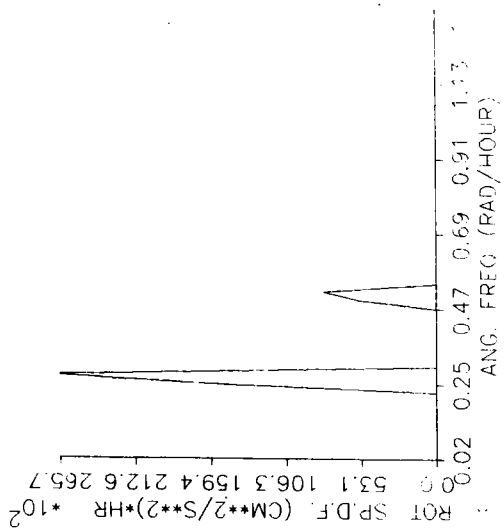
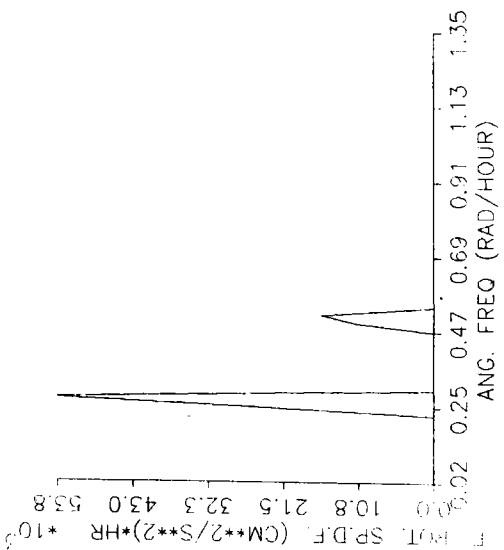


圖 4.9 高雄港 12 月份水深 10 米, 儀器深 8 米時, 潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜

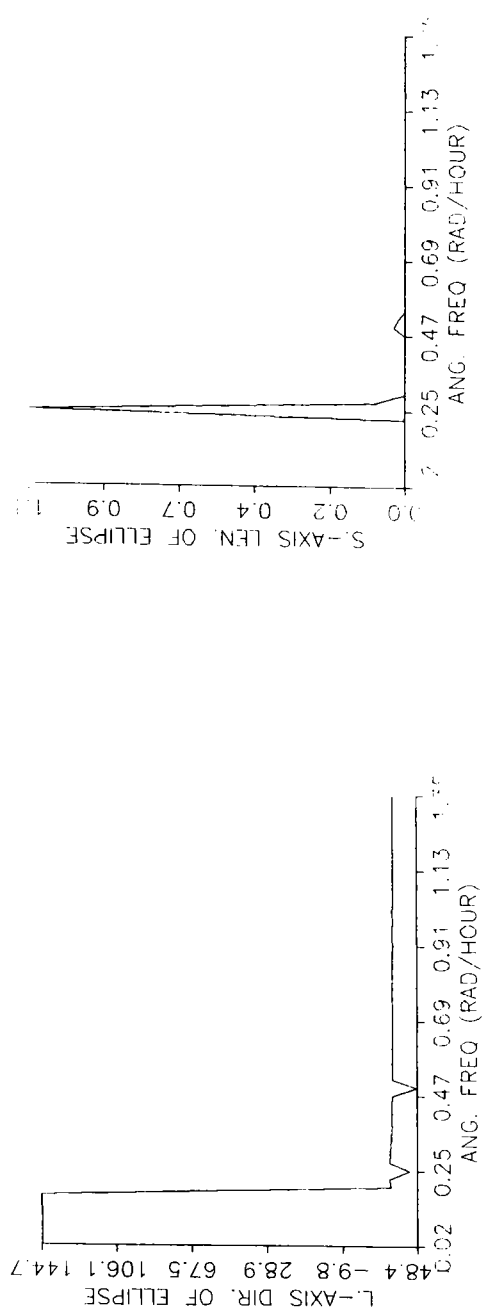
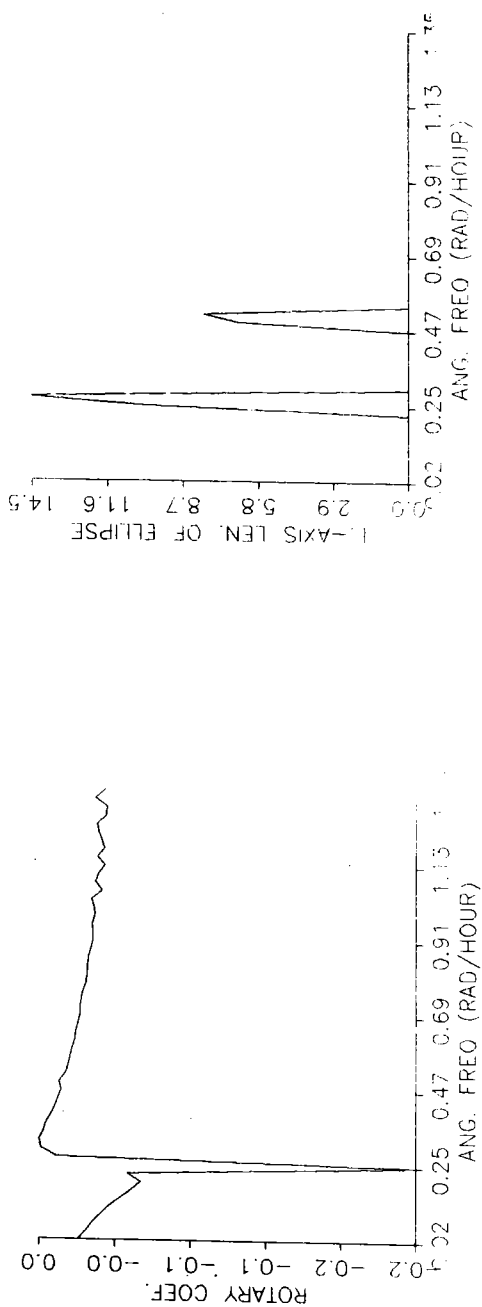


圖 4.10 高雄港 12 月份水深 10 米, 儀器深 8 米時, 潮流之旋轉
係數、橢圓長軸指向、半長軸及半短軸長度

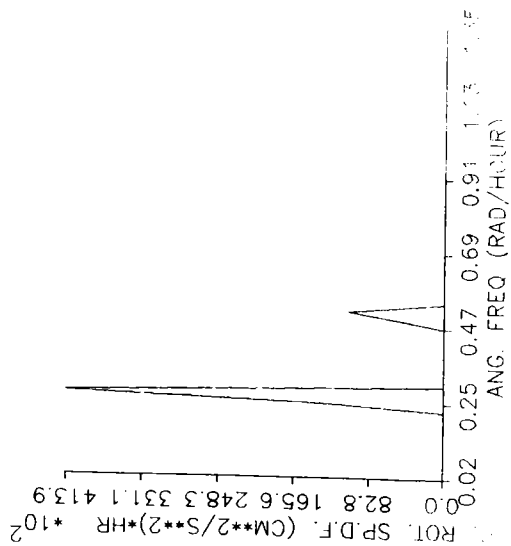
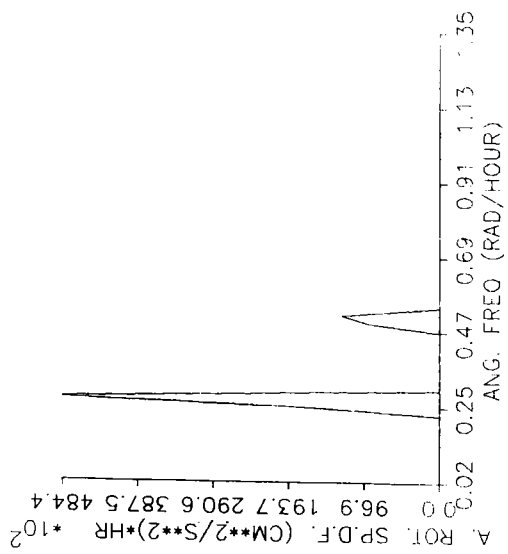
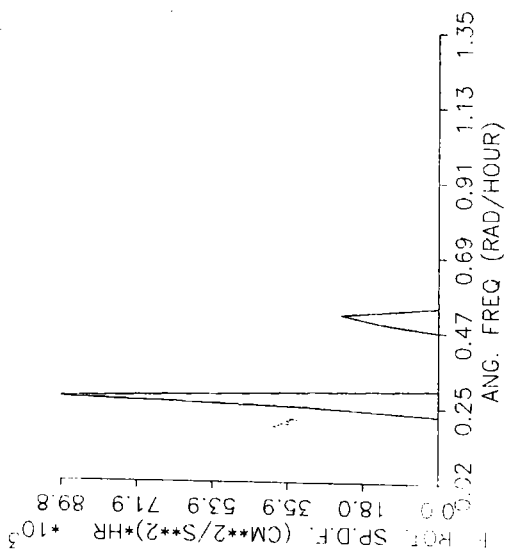


圖 4.11 高雄港 12 月份水深 10 米, 儀器深 2 米時, 潮流之正頻

平能譜 負頻率能譜 平能譜

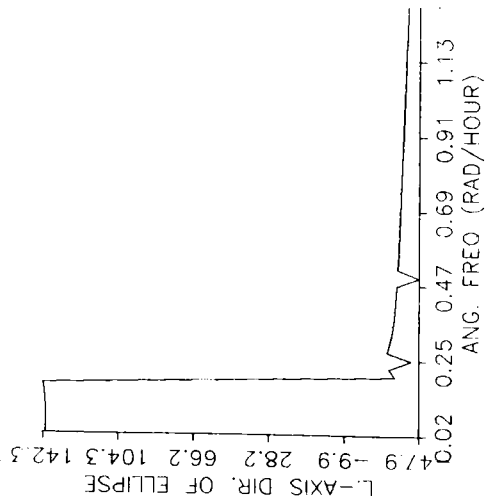
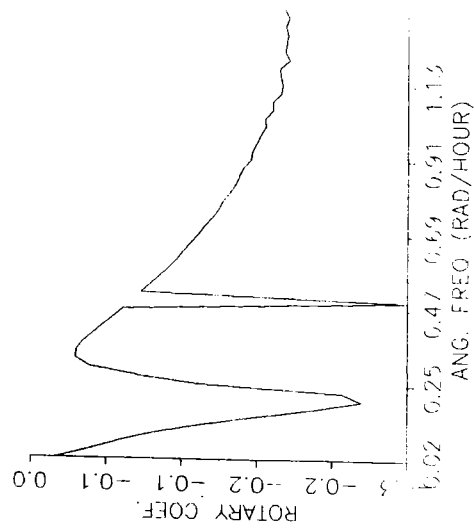
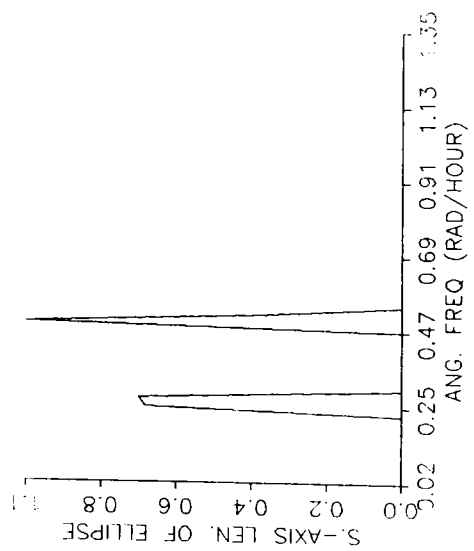
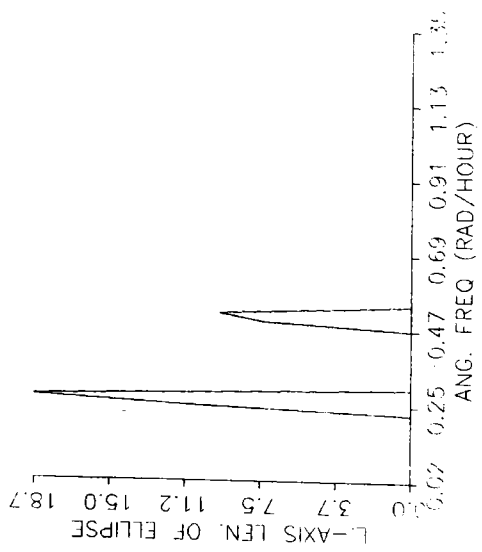


圖 4.12 高雄港 12 月份水深 10 米，儀器深 2 米時，潮流之旋轉

係數、橢圓長軸指向、半長軸及半短軸長度

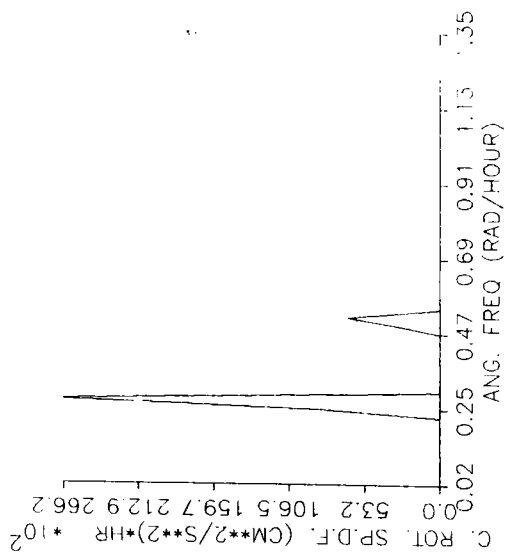
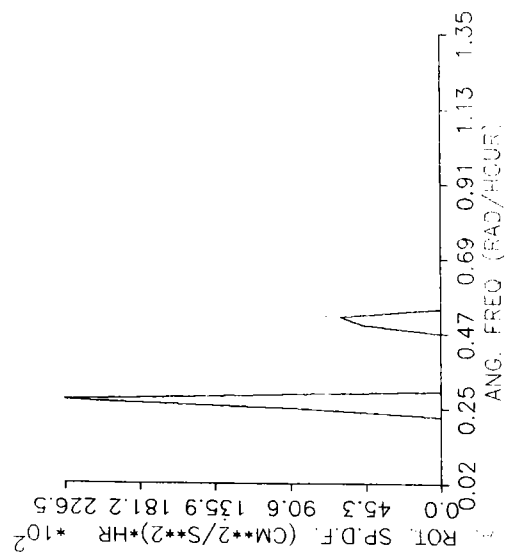
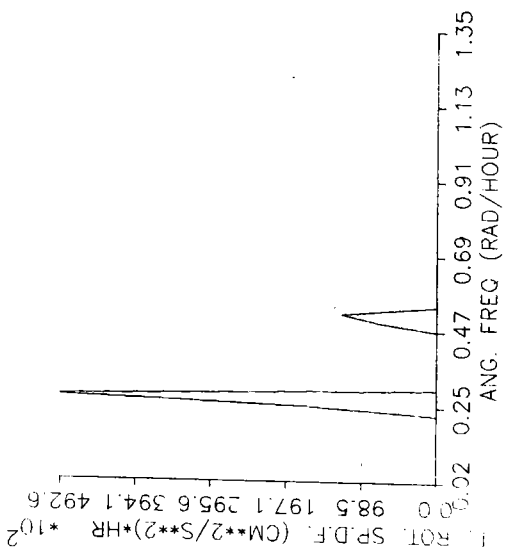


圖 4.13 高雄港 12 月份水深 20 米, 儀器深 16 米時, 潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜

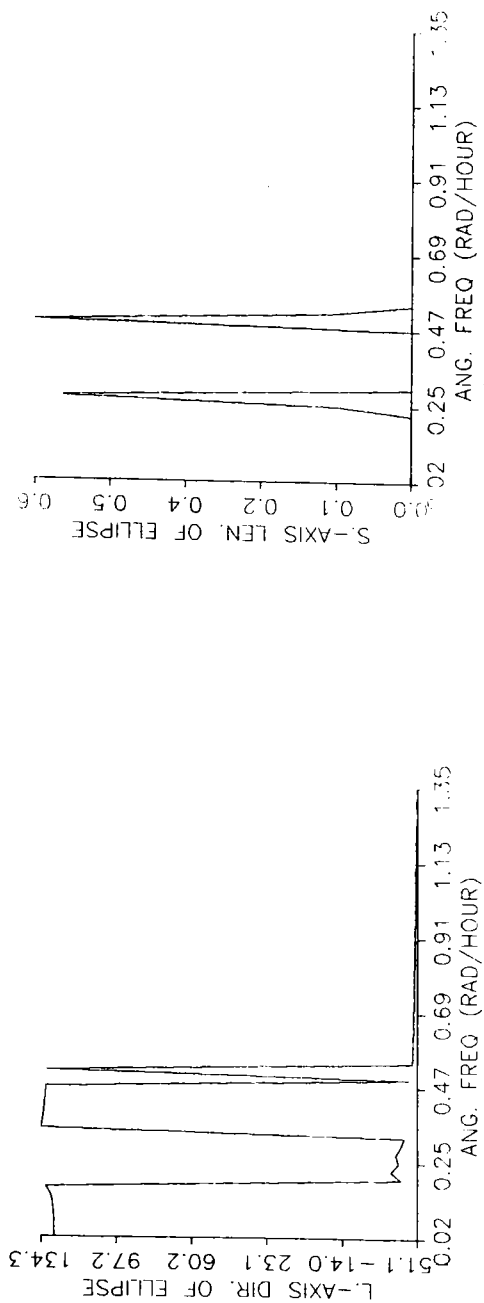
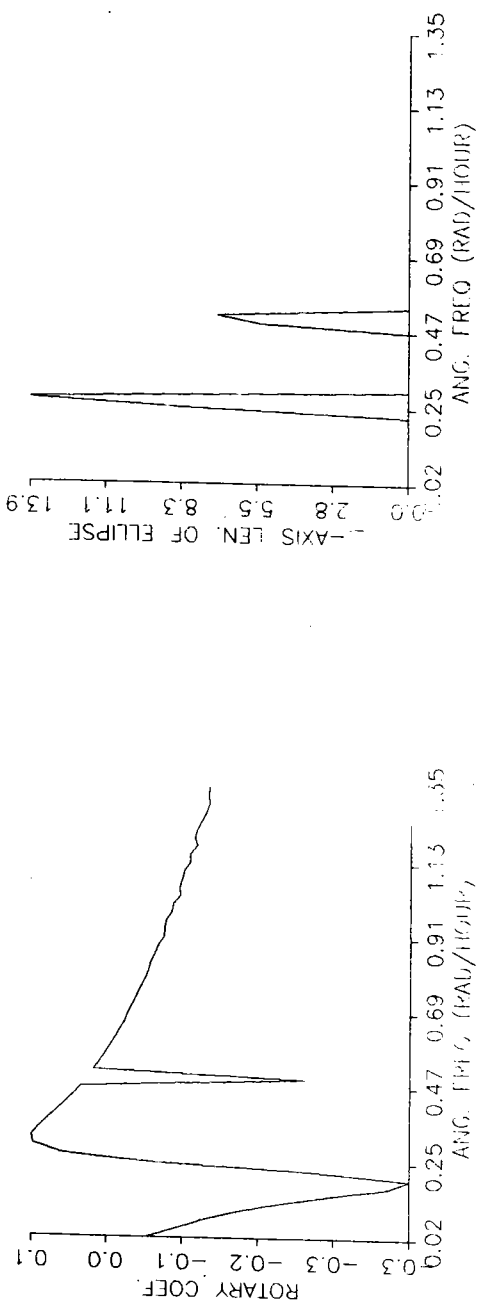


圖 4.14 高雄港 12 月份水深 20 米, 儀器深 16 米時, 潮流之旋轉
係數、橢圓長軸指向、半長軸及半短軸長度

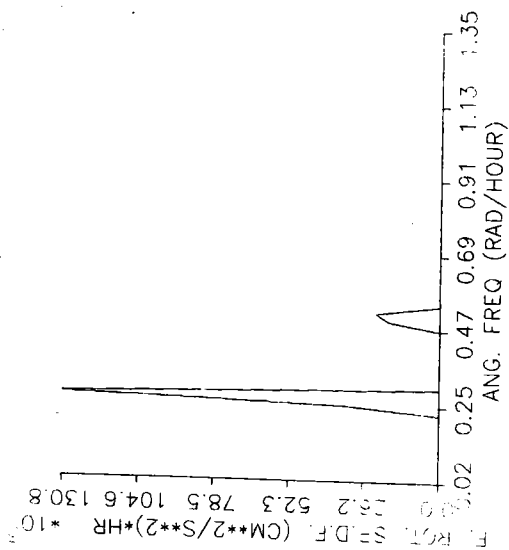
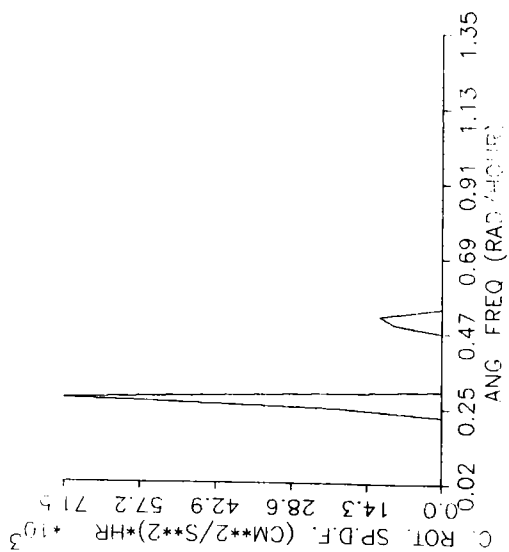
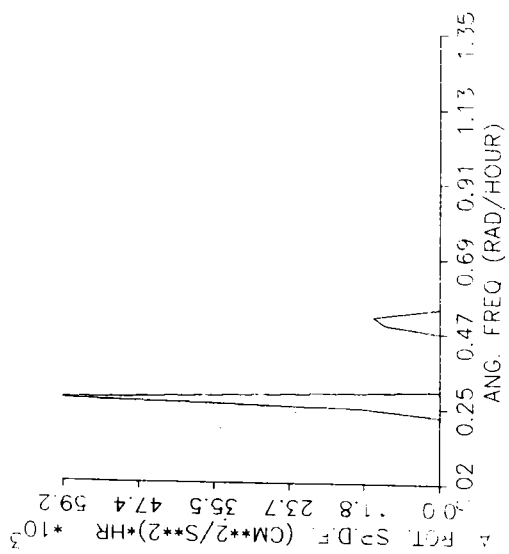


圖 4.15 高雄港 12 月份水深 20 米, 儀器深 4 米時, 潮流之正頻率能譜、負頻率能譜、全能譜

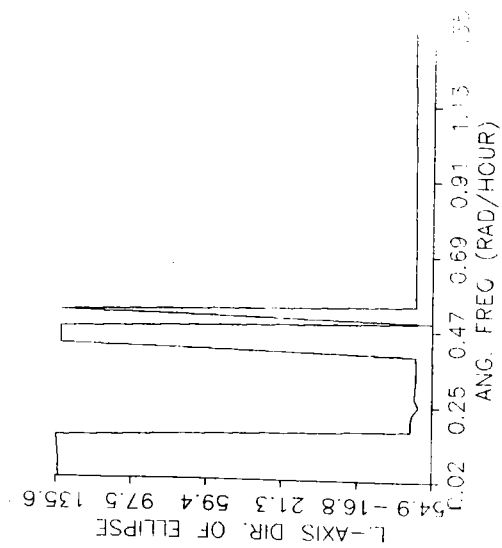
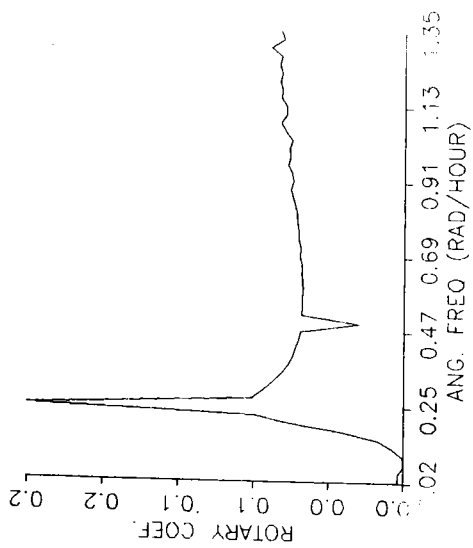
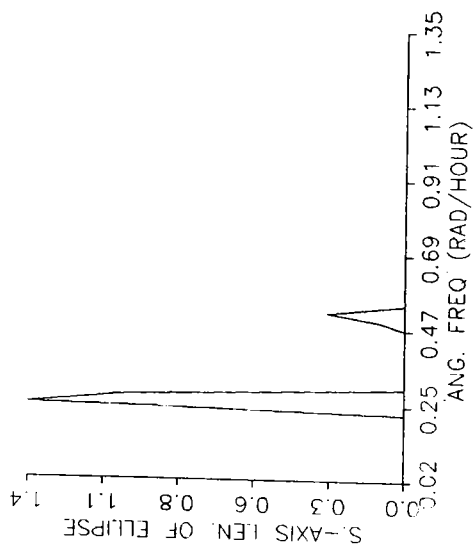
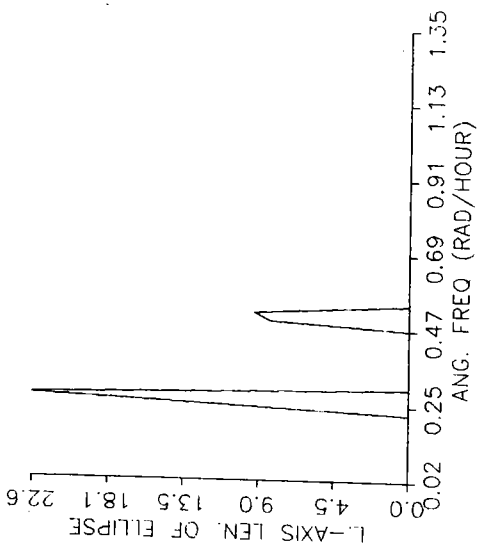


圖 4.16 高雄港 12 月份水深 20 米, 儀器深 4 米時, 潮流之旋轉
係數、橢圓長軸指向、半長軸及半短軸長度

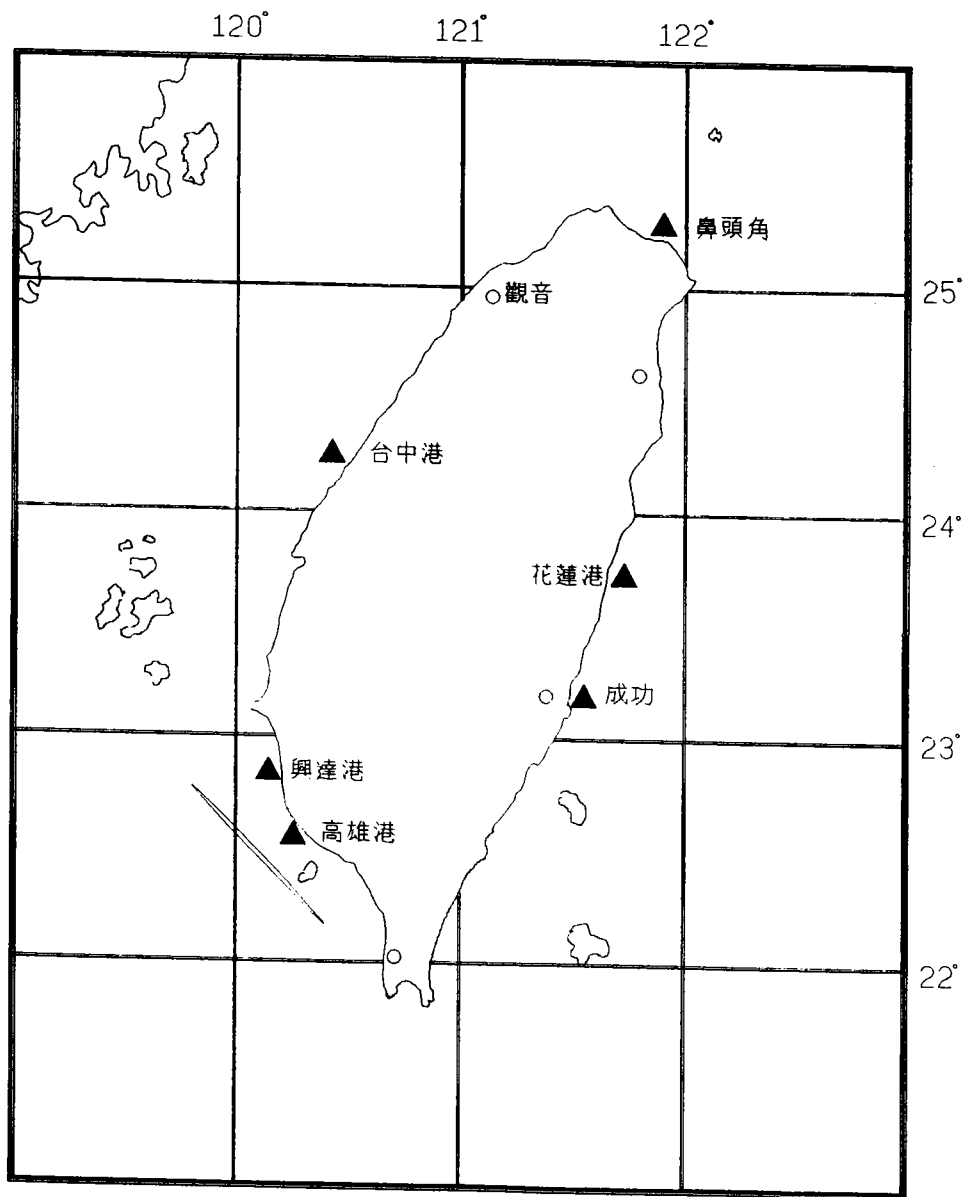


圖4.17 高雄港12月份水深20米,儀器深4米時,潮流之橢圓運動