

台灣各港口潮汐相關性與預報模式研究

執行單位	數學模式組
計畫主持人	蘇青和
協同主持人	張金機
參與人員	陳明宗
	江中權
	陳冠宇
	曾文傑
	陳毓清

目 錄

表目錄	i
圖目錄	ii
摘要	vi
一、前言	1
二、潮汐資料蒐集	2
三、統計分析及能譜分析	3
四、相關性分析	6
五、調和分析	7
六、潮汐預報模式	18
七、討論及結論	19
八、參考文獻	20
誌謝	22
附錄A: 能譜分析原理	A1
附錄B: 潮汐預報模式使用手冊	B1
附錄C: 附表	C1
附錄D: 附圖	D1

表 目 錄

表2-1 本所收集潮位記錄之測站及記錄時段	C1
表2-2 各測站收集潮位實際資料分析記錄時段	C2
表3-1 各測站潮位及潮差基本統計量表	C3
表5-1 潮汐60個分潮角頻率	C4
表5-2.1 台中港各分潮振幅、遲角統計表	C5
表5-2.2 高雄港各分潮振幅、遲角統計表	C6
表5-2.3 外埔漁港各分潮振幅、遲角統計表	C7

圖 目 錄

圖 2-1 各潮汐測站位置圖	D1
圖 3-1.1 基隆港潮位實測資料圖	D2
圖 3-1.2 富基漁港潮位實測資料圖	D2
圖 3-1.3 淡水油車口潮位實測資料圖	D2
圖 3-1.4 竹圍潮位實測資料圖	D3
圖 3-1.5 永安漁港潮位實測資料圖	D3
圖 3-1.6 新竹漁港潮位實測資料圖	D3
圖 3-1.7 外埔漁港潮位實測資料圖	D4
圖 3-1.8 台中港潮位實測資料圖	D4
圖 3-1.9 箔子寮漁港潮位實測資料圖	D4
圖 3-1.10 布袋漁港潮位實測資料圖	D5
圖 3-1.11 將軍潮位實測資料圖	D5
圖 3-1.12 興達港漁港潮位實測資料圖	D5
圖 3-1.13 高雄港潮位實測資料圖	D6
圖 3-1.14 中芸漁港潮位實測資料圖	D6
圖 3-1.15 東港漁港潮位實測資料圖	D6
圖 3-1.16 枋寮漁港潮位實測資料圖	D7
圖 3-1.17 海口船澳潮位實測資料圖	D7
圖 3-1.18 後壁湖漁港潮位實測資料圖	D7
圖 3-1.19 澳底漁港潮位實測資料圖	D8
圖 3-1.20 大溪第二漁港潮位實測資料圖	D8
圖 3-1.21 蘇澳港潮位實測資料圖	D8
圖 3-1.22 花蓮港潮位實測資料圖	D9
圖 3-1.23 金樽漁港潮位實測資料圖	D9
圖 3-1.24 伽藍漁港潮位實測資料圖	D9
圖 3-1.25 赤崁漁港潮位實測資料圖	D10
圖 3-1.26 赤馬漁港潮位資料圖	D10
圖 3-2.1 基隆港潮差統計分佈圖	D11
圖 3-2.2 富基漁港潮差統計分佈圖	D11
圖 3-2.3 淡水油車口潮差統計分佈圖	D12
圖 3-2.4 竹圍潮差統計分佈圖	D12

圖 3-2.5 永安漁港潮差統計分佈圖	D13
圖 3-2.6 新竹漁港潮差統計分佈圖	D13
圖 3-2.7 外埔漁港潮差統計分佈圖	D14
圖 3-2.8 台中港潮差統計分佈圖	D14
圖 3-2.9 箔子寮漁港潮差統計分佈圖	D15
圖 3-2.10 布袋漁港潮差統計分佈圖	D15
圖 3-2.11 將軍潮差統計分佈圖	D16
圖 3-2.12 興達港漁港潮差統計分佈圖	D16
圖 3-2.13 高雄港潮差統計分佈圖	D17
圖 3-2.14 中芸漁港潮差統計分佈圖	D17
圖 3-2.15 東港漁港潮差統計分佈圖	D18
圖 3-2.16 枋寮漁港潮差統計分佈圖	D18
圖 3-2.17 海口船澳潮差統計分佈圖	D19
圖 3-2.18 後壁湖漁港潮差統計分佈圖	D19
圖 3-2.19 澳底漁港潮差統計分佈圖	D20
圖 3-2.20 大溪第二漁港潮差統計分佈圖	D20
圖 3-2.21 蘇澳港潮差統計分佈圖	D21
圖 3-2.22 花蓮港潮差統計分佈圖	D21
圖 3-2.23 金樽漁港潮差統計分佈圖	D22
圖 3-2.24 伽藍漁港潮差統計分佈圖	D22
圖 3-2.25 赤崁漁港潮差統計分佈圖	D23
圖 3-2.26 赤馬漁港潮差統計分佈圖	D23
圖 3-3.1 基隆港潮位能譜圖	D24
圖 3-3.2 富基漁港潮位能譜圖	D24
圖 3-3.3 淡水油車口潮位能譜圖	D25
圖 3-3.4 竹圍潮位站位能譜圖	D25
圖 3-3.5 永安漁港潮位能譜圖	D26
圖 3-3.6 新竹漁港潮位能譜圖	D26
圖 3-3.7 外埔漁港潮位能譜圖	D27
圖 3-3.8 台中港潮位能譜圖	D27
圖 3-3.9 箔子寮漁港潮位能譜圖	D28
圖 3-3.10 布袋漁港潮位能譜圖	D28

圖 3-3.11 將軍潮位能譜圖	D29
圖 3-3.12 興達港漁港潮位能譜圖	D29
圖 3-3.13 高雄港潮位能譜圖	D30
圖 3-3.14 中芸漁港潮位能譜圖	D30
圖 3-3.15 東港漁港潮位能譜圖	D31
圖 3-3.16 枋寮漁港潮位能譜圖	D31
圖 3-3.17 海口漁港潮位能譜圖	D32
圖 3-3.18 後壁湖漁港潮位能譜圖	D32
圖 3-3.19 澳底漁港基隆港潮位能譜圖	D33
圖 3-3.20 大溪第二漁港潮位能譜圖	D33
圖 3-3.21 蘇澳港潮位能譜圖	D34
圖 3-3.22 花蓮港潮位能譜圖	D34
圖 3-3.23 金樽漁港潮位能譜圖	D35
圖 3-3.24 伽藍漁港潮位能譜圖	D35
圖 3-3.25 赤崁港潮位能譜圖	D36
圖 3-3.26 赤馬漁港潮位能譜圖	D36
圖 4-1 永安港及台中港潮位自相關函數	D37
圖 4-2 永安港及台中港潮位互相關函數	D37
圖 4-3 永安港潮位自能譜	D38
圖 4-4 台中港潮位自能譜	D38
圖 4-5 永安港及台中港潮位相關譜	D39
圖 4-6 永安港及台中港潮位相位譜	D39
圖 4-7 永安港及台中港潮位頻率轉換函數之 GAIN	D40
圖 4-8 永安港及台中港潮位頻率轉換函數之相位差	D40
圖 4-9 基隆港及蘇澳港潮位自相關函數	D41
圖 4-10 基隆港及蘇澳港潮位互相關函數	D41
圖 4-11 基隆港潮位自能譜	D42
圖 4-12 蘇澳港潮位自能譜	D42
圖 4-13 基隆港及蘇澳港潮位相關譜	D43
圖 4-14 基隆港及蘇澳港潮位相位譜	D43
圖 4-15 基隆港及蘇澳港潮位頻率轉換函數之 GAIN	D44
圖 4-16 基隆港及蘇澳港潮位頻率轉換函數之相位差	D44

圖 5-1 潮位平衡引數及遲角之關係圖	D45
圖 5-2 台中港潮位實測值與自身預報值比較圖	D46
圖 5-3 台中港潮位實測值與預報值比較圖	D47
圖 5-4 高雄港潮位實測值與自身預報值比較圖	D48
圖 5-5 高雄港潮位實測值與預報值比較圖	D49
圖 5-6 外埔漁港潮位實測值與自身預報值比較圖	D50

摘 要

蒐集台灣四周大小港口 26 個測站之潮位觀測資料,經資料繪圖、統計分析、能譜分析,相關性分析及調和分析,探討台灣附近海域之潮汐變化現象。最後利用調和分析原理,在個人電腦系統上建立潮汐預報模式。預報模式操作使用簡易,將可提供相關單位從事潮汐預報工作。

一、前言

海岸工程、港灣工程之研究規畫及施工,潮汐資料之收集與分析為重要工作之一。在碼頭貨物裝卸,港灣工程施工潮汐預報之工作也甚為重要,其次軍事上正確的潮汐預報也是甚為重要的資訊。因此潮汐分析及預報為海岸工程甚為重要研究項目。

潮汐主要受天體運動影響,而天文學是一門古老的科學,因此潮汐基本理論已甚為完善,在開放海域的平衡潮(equilibrium tide)基本上可推甚為準確。然而對台灣本土四周圍的潮汐現象因地形效應,倍潮及複合潮的成份甚為重要,而且與地理位置關係甚為密切,必需利用實際觀測資料經由統計分析、能譜分析、調和分析等方法,才能求得實際潮位變化。

蘇青和[1]分析興達港外海潮位,周宗仁和施士力[2]分析淡水港潮汐,黃煌輝和蔡瓊林[3]分析南灣潮汐資料,邱應杰[4],吳建良和馮德崇[5]分析淡水感潮段潮汐變化,以上學者針對單一特區或港口研究潮汐現象。

吳旭朕[6],Hwung、Tsai and Wu[7]探討台灣四周海岸潮汐變化特性,陳怡發和黃煌輝[8]則針對台灣四周沿海潮汐做較深入的整理與分析。

劉肖孔[9]建立中國海域三度空間模式,李賢文[10]計算台灣海域分潮等潮線圖(cotidal chart),以上學者則以數值模式推算中國海域或台灣海域潮汐運動。

利用潮汐調和分析預測潮汐水位在國內已有相當多的研究,連三郎[11]已建立甚為完整的預報模式理論。調和分析基本原理為假設潮汐是由很多分潮(partial tide)的調和函數組合而成,而每一個成份分潮振幅(amplitude)及遲角(phase lag)隨地點不同而所改變,一般將由實測潮汐資料推算求得。如果知道各分潮振幅及遲角,則利用一些天文常數,加上時間變化,即可往後預報潮位變化。

隨著資訊科學之進步,電腦硬體功能增強,普及性高,早期需要在較大型的電腦計算之調和分析預報模式,目前可輕易的在個人電腦上執行,在配合上中文系統其實用性更佳。因此本研究擬發展容易使用及操作之預報模式,將可提供港務局使用。

二、潮汐資料蒐集

本所自75年度起配合年度基本研究開始作有系統之台灣四周海氣象資料觀測,蒐集及整理,將波浪,海流,季風,颱風及潮汐等現場觀測資料,在電腦建立標準資料庫。蒐集資料除年來本所自行觀測之資料外,並包括各港務局、學校系所、中央氣象局,海軍氣象中心,水利局,台電,各學術研究機關等單位提供之實測資料。目前本所資料庫蒐集之台灣四周之潮位各測站記錄經緯度及記錄時段,如附表2-1,其相關位置如附圖2-1。大小測站計有26個,記錄期間短者數月,長者有數年之久。

蒐集之資料中品質良莠不齊,除部分本所自行觀測且經進一步的整理分析,品質較確定外,甚多外來之資料,皆需從新再進一步整理,分析,修補。而且部分資料因記錄儀器故障或其他外力因素,造成資料中斷甚多,這對本研究調和分析法需要較長之觀測資料也造成甚大困擾。

除記錄中斷外,一般記錄常發生之錯誤,可能有下列幾項:

- (一) 儀器故障,造成誤載或記錄之時間位置錯亂。
- (二) 放置地點不佳受外力干擾或淤淺。
- (三) 人為處理讀錯記錄卡,包括判讀潮位大小及時間之錯誤。
- (四) 登錄記錄表或輸入電腦時之人為錯誤。

這些實測資料誤差的處理與修正為預報前首要的工作,也是最繁雜的項目。配合實測資料繪圖,統計分析,能譜分析,調和分析等一連串分析、反覆檢查資料品質良劣,方不致誤導預報之結果。

潮位資料中少數人為輸入異常,位相的不正常移動,暴潮偏差,短暫資料中斷等錯誤,皆可由反覆調和分析之結果做資料補遺,文中將做詳細的討論。

而經過一連串之資料整理、分析、修補,台灣各港口觀測站我們僅取一段或連續較長之觀測資料做分析,詳細記錄期間如附表2-2。

三、統計分析及能譜分析

(一) 潮位資料圖

將前述處理後的潮汐水位資料在一些明顯的錯誤修正後，抽取幾個港口測站描繪如圖3-1.1～圖3-1.26，由典型的實測資料圖，我們概略得出下列幾點特性：

1. 水位變化具有週期性，但型態各測站並不一致，而且從圖中並不能明顯看出週期成份。
2. 台中港潮差最大，乃其地理位置於台灣西岸中部，潮水因地理效應，南北兩側潮水在海峽造成推擠之故。
3. 西海岸地區如竹圍(圖3-1.4)，永安(圖3-1.5)，新竹(圖3-1.6)及外浦(圖3-1.7)等地潮差也較其他區域為大，基隆、高雄等地區(圖3-1.12，圖3-1.13)潮差並不大。
4. 東部海岸地區赤崁(圖3-1.25)及赤馬(圖3-1.26)潮差較大，其他潮差皆不甚大。
5. 季節變化對天文潮位改變並不明顯(圖3-1.13)，高雄港在8月17日～8月22日間潮位顯有異常增大，此乃因颱風造成之瀑潮。

上述實測潮汐片斷水位變化圖，僅能顯示水位變化一些概略性質，進一步要瞭解分潮成份及特性，尚需使用其他的方法。

(二) 統計分析

本節將探討潮汐水位變化及高低潮差這兩個物理量之統計性質。因各潮位站儀器安裝水平位置不一，我們以該段實測資料之平均潮位當作各港口之平均假想海平面。表3-1為各港口潮位及潮差的一些基本統計量，圖3-2.1至圖3-2.26為各港口潮差分佈圖。而根據表3-1及統計分佈圖3-2.1至圖3-2.26我們可歸納下面幾點統計特性：

1. 從表3-1可明顯看出在西部海岸，從北部基隆港至中部港台中港，平均潮差由0.67米增大至3.67米為最大值，由台中港向南到高雄則遞減至最小。

平均潮差1.16米。顯示台中港因地理適中,南北兩側在該點造成堆擠之故。

2. 東部海岸因濱臨太平洋,無海峽之潮汐堆擠效應,但花蓮港之平均潮差仍較其他測站為大。
3. 離島區赤崁漁港及赤馬漁港因海峽地理效應,平均潮差也較一般港口為大。
4. 而各測站潮差統計分佈圖(圖3-2.1~圖3-2.16),顯示各統計資料分佈近似常態分佈,資料為正常分配。

(三) 能譜分析

能譜分析在研究海洋及地球物理對於週期性的時序,是一種很有效的工具(Tukey [12]),能譜可以明白顯示海流、潮汐、波浪及風等週期性的成份大小與不同資料間各週期成份的相關大小及相位關係。本文將能譜分析簡略的理論列於附錄A。

對於一組一度空間的時序(或稱實數值時序)如潮汐,若在某週期的成份有較大的出現頻率,則在自能譜(autospectrum)上所對應的頻率(週期)處呈現一有效尖峰(significant peak)。能譜計算方法較常用的BT有法及FFT法(詳細說明如附錄A),根據我們測試之結果,他們之間差異不甚大,但整體而言FFT法較佳,因此本文取用FFT法來計算各潮位站之能譜。而其能譜圖分別如附圖3-3.1~圖3-3.26。在根據這些能譜圖我們歸納台灣各港口之潮汐有下列幾點重要特性:

1. 由各測站之能譜圖顯示主要分潮成份為半日潮及全日潮,且大部分測站半日潮之成份又遠較全日潮為大,主要原因為月亮之影響遠較太陽為大之故。但興達(圖3-3.12),將軍(圖3-3.11),東港(圖3-3.15),枋寮(圖3-3.16)及澳底(圖3-3.19)等測站半日潮及全日潮之成份相當。而海口船澳(圖3-3.17)全日潮反較半日潮為大,主要原因則為地形效應。
2. 各測站在長週期之處,存在相對極值,顯示有較長週期之分潮存在,但能譜計算點為2048點(小時),其較長週期之真正成份不易辦到。
3. 大部分測站在 $\frac{1}{3}$ 日或 $\frac{1}{4}$ 日或 $\frac{1}{6}$ 日分潮存在相對尖峰值,顯示不同測站有不同的分潮比例。

4. 能譜大小表示對應頻率(週期)分潮振幅之大小,辨定能譜圖中各分潮成份大小,可協助調和分析分潮之選取。

四、相關性分析

對二組實數值時序，例如不同測站的兩組潮汐水位資料，假如二組潮汐水位在某週期有較大的相關存在，則在相關平方譜上 (coherene-squared spectrum) 所對應的頻率呈現較大的相關平方值，且各測站的潮汐水位自能譜在所對應的頻率處亦存在尖峰值，而相位譜 (phase spectrum) 所對應的頻率處表示二組潮汐水位的相位差。相關譜及相位譜之定義說明如附錄 A。而利用二組實數值時序之頻率轉換函數 (frequency response function)，詳細定義如附錄 A，則可由已知測站之資料時序，透過頻率轉換函數推算另一測站之資料時序。此方法可應用於利用已有的資料，先建立二測站資料時序之頻率轉換函數，再由資料較充實的測站，推算另一資料欠缺測站，而達到預報之目的，例子說明可參考附錄 A。

我們將選取兩組潮位資料，以此說明相關分析之原理與方法。首先選取永安港與台中港，在 1988 年 1 月間同時段之潮汐水位資料作相關分析，圖 4-1 實線部分為永安港自相關函數曲線，虛線為台中港自相關函數曲線，顯示二站曲線非常近似，而二站之互相關函數曲線 (圖 4-2)，更顯示二站之相關係數大於 0.8 以上，而且成週期變化，相位差則永安站領先台中港 1 個小時。其次由二個測站之能譜圖 (圖 4-3 及圖 4-4) 也顯示其能譜之型態非常相似，主要潮汐分潮為半日潮及全日潮，再由相關譜 (圖 4-5)，也進一步顯示在半日潮及半日潮相對尖峰處，相關值接近於 1，而相位譜 (圖 4-6) 顯示二者相位差約 50 度左右。能譜轉換函數之 Gain 值 (圖 4-7)，則顯示台中港之半日潮振幅約為永安港處半日潮之振幅的 6 倍，相位差 (圖 4-8) 約為 50 度，全日潮二者大小相差不大，台中港振幅稍大，相位差約 50 度左右。

其次我們分析基隆港與蘇澳港在 1989 年 1 月間同時段之潮位相關性，從其自相關函數圖 (4-9)，互相關函數圖 (圖 4-10)，能譜圖 (圖 4-11 及圖 4-12)，相關圖 (圖 4-13)，相位譜 (圖 4-14) 及頻率轉換函數 (圖 4-15 及圖 4-16)，也同樣顯示二者之相關大小，各分潮振幅比值，相位差之關係值。

五、調和分析

(一) 基本理論介紹

潮汐調和分析法(Harmonic Analysis)基本原理為把任何地點之潮汐分成有限個潮汐分潮(component tide),每個分潮在數學視為一簡單的時間調和函數,理論上潮汐是包含無窮多的分潮,但是只有少數的分潮是主要的分潮,因此在實用上可視精確度的要求而選取分潮數目。

由牛頓的平衡理論及實際海岸,海底地形的影響,潮汐分潮可由下面一般化的公式來表示：

$$y^i(x, t) = f_i H_i \cos[\sigma_i t + (V_0 + U)_i - k_i], \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

式中 y^i 為在 x 位置及時間 t 第 i 個分潮潮高

H_i 為振幅 (Amplitude)

f_i 為修正係數 (factor of reduction)

σ_i 為分潮之角速度 (angular velocity)

m 為分潮之總數

$E_i = \sigma_i t + (V_0 + U)_i$ 為平衡引數 (equilibrium argument), 是時間函數。當 $t=0$, 則 $(V + U)_i$ 為起始時間之平衡引數, 以 E_{i0} 表示, 即 $E_{i0} = (V_0 + U)_i$ 。 k_i 為遲角 (phase angle), 其值相當於平衡潮汐理論推算的高潮時間與實際潮汐高潮時差 (如圖 5-1)。

分潮之振幅 H_i 及及遲角 k_i 稱為調和常數 (Harmonic constants), 其值係隨地點 (x) 及時間 (t) 而異, 必需由當地觀測的潮汐實測值來決定。而分潮之修正係數 f_i , 角速度 σ_i 及平衡引數 E_{i0} 則受天體運動之影響, 可由天體運動之公式求得。表示式 (1) 各變數之間的關係可由圖 5-1 說明。

根據上述分潮之調和函數, 任何地點 (x) 任何時間 (t) 之潮高為各分潮之總和, 表示式如下：

$$y(x, t) = H_0(x) + \sum_{i=1}^m y^i(x, t) \quad (2)$$

式中 $H_0(x)$ 為平均水位, $y^i(x,t)$ 為第 i 個分潮之潮高, 定義如(1)式, 由表示式(2), 如果知道平均水位 $H_0(x)$, 各分潮之振幅 H_i , 遲角 k_i , 修正係數 f_i , 角速度 σ_i 及平衡引數 E_{i0} , 則任何地點 (x) , 任何時間 (t) 之潮位 $y(x,t)$ 即可求得。

(二) 數值方法

利用三角函數之關係, 表示式(1)可展開為

$$y^i = a_i \cos(\sigma_i t) + b_i \sin(\sigma_i t), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

式中

$$a_i = f_i H_i \cos[(V_0 + U)_i - k_i] \quad (4a)$$

$$b_i = f_i H_i \sin[(V_0 + U)_i - k_i] \quad (4b)$$

而(2)式可展開為

$$y(x,t) = a_0 + \sum_{i=1}^m [a_i \cos(\sigma_i t) + b_i \sin(\sigma_i t)] \quad (5)$$

式中 $a_0 = H_0(x)$

在假設分潮角速度 σ_i , 修正係數 f_i 等皆已知之條件下, 以下我們將介紹如何由實測之資料推算平均水位 $a_0(H_0)$ 及係數 $a_i, b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$ 。

實際觀測為時間間格 Δt 的潮汐資料, 選定一時間當起始時間 $t=0$, 並在起始時間之前後各取 n 個觀測潮位值, 合計 $2n+1$ 個資料點, $y'(x, j\Delta t)$ 為在 x 點, 時間 $t = j\Delta t$ 時之潮位觀測值, $j=-n, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, n-1, n$, 而對應推算潮位 $y(x, j\Delta t)$ 表示為:

$$y(x, j\Delta t) = a_0 + \sum_{i=1}^m [a_i \cos(\sigma_i j\Delta t) + b_i \sin(\sigma_i j\Delta t)] \quad (6)$$

$$j = -n \dots -1, 0, 1, 2 \dots n-1, n$$

爲了使表示式(5)盡可能的描述實際的潮位變化,我們要求在任一觀測時間 $j\Delta t$,計算值 $y(x, j\Delta t)$ 與觀測值 $y'(x, j\Delta t)$ 相近,換言之,所求得之係數 a_0, a_i 及 $b_i, i = 1, 2, \dots, m$ 要使得 $y(x, j\Delta t)$ 與 $y'(x, j\Delta t)$ 之間誤差最小,如以最小二乘法觀念,必需使誤差之平方和爲最小,即下式之R值爲最小

$$R = \sum_{j=-n}^n [y(x, j\Delta t) - y'(x, j\Delta t)]^2 \quad (7)$$

上式包含未知係數 $a_0, a_i, b_i, i = 1, 2, 3 \dots m$,根據微積分基本原理,要求 a_0, a_i 及 b_i 值使得R值最小之條件,即R對 a_0, a_i 及 b_i 微分爲零:

$$\frac{\partial R}{\partial a_0} = 0 \quad (8a)$$

$$\frac{\partial R}{\partial a_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8b)$$

$$\frac{\partial R}{\partial b_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8c)$$

爲方便符號使用定義

$$y_j = y(x, j\Delta t) \quad (9a)$$

$$y'_j = y'(x, j\Delta t) \quad (9b)$$

(8a)式之展開式如下

$$\frac{\partial R}{\partial a_0} = \sum_{j=-n}^n (y_j - y'_j) \frac{\partial y_j}{\partial a_0} = \sum_{j=-n}^n (y_j - y'_j) = 0 \quad (10)$$

或

$$\sum_{j=-n}^n y_j = \sum_{j=-n}^n y'_j \quad (11)$$

即

$$\sum_{j=-n}^n \{a_0 + \sum_{j=-m}^m [a_i \cos(\sigma_i j \Delta t) + b_i \sin(\sigma_i j \Delta t)]\} = \sum_{j=-n}^n y'_j \quad (12)$$

利用下面三角函數關係

$$\sum_{j=-n}^n \cos(\sigma_i j \Delta t) = \frac{\sin[(2n+1)\sigma_i \Delta t/2]}{\sin(\sigma_i \Delta t/2)} \quad (13a)$$

$$\sum_{j=-n}^n \sin(\sigma_i j \Delta t) = 0 \quad (13b)$$

(12) 式可化簡為

$$\sum_{i=0}^m A_{i0} a_i = c_0 \quad (14)$$

式中

$$A_{00} = 1 \quad (15a)$$

$$A_{i0} = \frac{\sin[(2n+1)\sigma_i \Delta t/2]}{\sin(\sigma_i \Delta t/2)}, \quad i = 0, 1, 2, 3 \dots m \quad (15b)$$

$$c_0 = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=-n}^n y'_j \quad (15c)$$

同理(8b)式之展開式如下

$$\frac{\partial R}{\partial a_i} = \sum_{j=-n}^n (y_j - y'_j) \frac{\partial y_j}{\partial a_i} = \sum_{j=-n}^n (y_j - y'_j) \cos(\sigma_i j \Delta t) = 0 \quad i = 1, 2, \dots m \quad (16)$$

或

$$\sum_{j=-n}^n y_j \cos(\sigma_i j \Delta t) = \sum_{j=-n}^n y'_j \cos(\sigma_i j \Delta t) \quad i = 1, 2 \dots m \quad (17)$$

即

$$\begin{aligned}
& \sum_{j=-n}^n \left\{ a_0 + \sum_{k=-m}^m [a_k \cos(\sigma_k j \Delta t) + b_k \sin(\sigma_k j \Delta t)] \right\} \cos(\sigma_i j \Delta t) \\
&= \sum_{j=-n}^n y'_j \cos(\sigma_i j \Delta t), \quad i = 1, 2, \dots, m
\end{aligned} \tag{18}$$

並利用下列三角函數關係

$$\begin{aligned}
A_{ii} &= \sum_{j=-n}^n \cos^2(\sigma_i j \Delta t) = \frac{2n+1}{2} + \frac{\sin[\sigma_i(2n+1)\Delta t]}{2 \sin(\sigma_i \Delta t)}, \\
& \quad i = 1, 2, \dots, m
\end{aligned} \tag{19a}$$

$$\begin{aligned}
A_{ij} &= \sum_{k=-n}^n \cos(\sigma_i k \Delta t) \cos(\sigma_j k \Delta t) \\
&= \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sin[(\sigma_i - \sigma_j)(2n+1)\Delta t/2]}{\sin[(\sigma_i - \sigma_j)\Delta t/2]} + \frac{\sin[(\sigma_i + \sigma_j)(2n+1)\Delta t/2]}{\sin[(\sigma_i + \sigma_j)\Delta t/2]} \right\} \\
& \quad i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, m
\end{aligned} \tag{19b}$$

$$\sum_{k=-n}^n \sin(\sigma_i k \Delta t) \cos(\sigma_j k \Delta t) = 0 \quad i, j = 1, 2, \dots, m \tag{19c}$$

及在不影響計算結果之條件下可令

$$\sigma_0 = 0 \tag{19d}$$

將(19)式代入(18)式化簡為

$$\sum_{i=1}^m A_{ij} a_i = c_j \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{20}$$

式中 A_{ij} 定義如(19a)及(19b), 而 C_j 定義如下式

$$c_j = \sum_{k=-n}^n y'_k \cos(\sigma_j k \Delta t), \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

方程式(14)及(20)式合計 $m+1$ 有個方程式,可化爲矩陣方程式

$$[A]_{(m+1) \times (m+1)} \{a\}_{(m+1) \times 1} = \{c\}_{(m+1) \times 1} \quad (22a)$$

或

$$\sum_{i=0}^m A_{ij} a_i = c_j, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (22b)$$

係數 A_{ij}, c_j 分別定義如表示式(15), (19)式及(21)式,未知變數 a_i ,可由高斯消去法求得。

同樣(8c)式之展開式如下

$$\frac{\partial R}{\partial b_i} = \sum_{j=-n}^n (y_j - y'_j) \frac{\partial y_j}{\partial b_i} = \sum_{j=-n}^n (y_j - y'_j) \sin(\sigma_{ij} \Delta t) = 0 \quad (23)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

或

$$\sum_{j=-n}^n y_j \sin(\sigma_{ij} \Delta t) = \sum_{j=-n}^n y'_j \sin(\sigma_{ij} \Delta t), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

即

$$\sum_{j=-n}^n \left\{ a_0 + \sum_{k=-m}^m [a_k \cos(\sigma_k j \Delta t) + b_k \sin(\sigma_k j \Delta t)] \right\} \sin(\sigma_{ij} \Delta t)$$

$$= \sum_{j=-n}^n y'_j \sin(\sigma_{ij} \Delta t), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (25)$$

利用方程式(19)及下列三角函數關係式

$$B_{ii} = \sum_{j=-n}^n \sin^2(\sigma_i j \Delta t) = \frac{2n+1}{2} + \frac{\sin[\sigma_i(2n+1)\Delta t]}{2 \sin(\sigma_i \Delta t)} \quad (26a)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \sum_{k=-n}^n \sin(\sigma_i k \Delta t) \sin(\sigma_j k \Delta t) \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sin[(\sigma_i - \sigma_j)(2n+1)\Delta t/2]}{\sin[(\sigma_i - \sigma_j)\Delta t/2]} + \frac{\sin[(\sigma_i + \sigma_j)(2n+1)\Delta t/2]}{\sin[(\sigma_i + \sigma_j)\Delta t/2]} \right\} \\ &\quad i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (26b)$$

方程式(25)可化簡為

$$\sum_{i=1}^m a_i B_{ij} = d_j \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (27a)$$

或

$$[B]_{m \times m} \{a\}_{m \times 1} = \{d\}_{m \times 1} \quad (27b)$$

式中 B_{ij} 定義如(26)式, 而 d_j 定義如下:

$$d_j = \sum_{k=-n}^n y'_k \sin(\sigma_j k \Delta t) \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (28)$$

同理方程式(27)未知變數 b_i 可由高斯消去法求得。

因此由方程式(4)及(5)式, 利用求得之 a_0, a_i 及 $b_i, i = 1, 2, \dots, m$, 可求得下列調和常數表示式

$$H_0 = a_0 \quad (29a)$$

$$H_i = \frac{1}{f_i \sqrt{a_i^2 + b_i^2}} \quad (29b)$$

$$k_i = E_{i0} + \tan^{-1} \left(\frac{b_i}{a_i} \right) \quad i = 1, 2 \dots m \quad (29c)$$

在各分潮之修正係數 f_i , 平衡引數 $E_{i0} = (V_0 + U)_i$ 及角速度 σ_i 已知條件下, 解出上述調和參數平均水位 H_0 , 振幅 H_i 及遲角 k_i , 則代入(2)式用以預測位置(x)之未來任何時間的潮位。

根據連三郎[11]解析結果, 一般基本分潮合計有六十個, 其角速度及對應之週期如附表5-1。而各分潮之平衡引數 E_{i0} 及修正係數 f_i 之計算方法, 連三郎[11]文中敘述甚為詳細, 因此本文不再引敘。

(三) 調和分析步驟及方法

由以上調和分析原理及數值方法討論的結果, 潮汐預報步驟及方法敘述如下:

1. 蒐集實測資料:

蒐集連續潮汐資料, 資料愈長, 調和分析效果愈好, 以1小時為一點計, 則資料長度至少需3個月以上, 調和分析結果才不至產生太大誤差, 而資料點數需為奇數。一般影響海面水面變化之主要外力有(1)潮汐(2)季風或颱風(3)氣壓(4)海流, 因此選取實測之海面水位變化資料應避免最後3項外力影響甚大之時段, 尤其有颱風產生之暴潮時段應避免選取。而記錄誤差也是造成調和分析誤差之重要因素, 因此把資料繪成水位隨時間變化曲線圖, 如果有異常點發生, 應先加合理的修改。事實上調和分析方法除可預報潮汐水位, 尚可應用於分離暴潮及實測資料欠缺或錯誤時之修補等功能。資料少數欠缺之值, 先以平均值取代, 待以後再以調和分析結果取代。最後我們在此強調實測資料品質好壞將決定調和分析預報結果之是否正確。

2. 實測資料統計分析

根據資料曲線圖, 選定品質較好且連續時段之潮位資料進一步做統計分析, 以了解於定點之潮位變化統計特性, 如高低潮差、平均潮差等統計量。

3. 實測資料能譜分析

利用快速傅立葉轉換法(FFT),計算實測資料之能譜,並繪製能譜圖,以了解該地點之潮汐週期成份及大小,以作為下一步驟選擇分潮之參考。

4. 選擇分潮個數

在理論上看來,潮汐是由無窮多的分潮相加而成的,但實際上,無法處理無窮多的分潮,因此要選擇有限個分潮作為調和分析之用。又因實際觀測的潮汐資料有限,因此從基本60個分潮中,選擇適當的分潮,作為調和分析之用,為影響預報結果好壞之甚為重要的一個步驟,如果實測資料不長,而全部取用60個分潮,將增加電腦計算之捨入誤差,並不理想,而且增加的分潮分量,將會扭曲調和常數之結果,因此不正常的多取或少取分潮個數皆會造成計算之誤差。一般來說,所選擇的分潮要包括下面幾個主要分潮: $O_1, P_1, K_1, N_2, M_2, S_2, K_2, M_4$ 以及 MS_4 等,然後再依測站當地的地形及環境情況,還有實測潮汐資料的長短,來增加其他的分潮。例如測站是在淺水區裡,則倍潮及複合潮就要多選些。

在解聯立方程式中,為減小運算之誤差,最好是每個方程式都能滿足對角線係數最大的條件,這一原則也能用來做為選擇分潮的判斷。根據連三郎[11]建議,在選擇分潮前,先找出較小的角速度差來,以測站之資料個數,可計算各角速度差之參考係數,由此可判斷所選擇之分潮是否會滿足對角線係數最大的條件。其詳細原理可參考原文。而根據此原則,兩鄰近分潮之角速度差最小值為0.041,只要有一年之潮汐資料則六十個基本分潮全可考慮。對兩分潮角速度差0.082而言,只要有半年以上的潮汐資料,即可被選用於調和分析。

所選用的分潮是不是適合,根據連三郎[11]之建議,也可由潮汐計算得的結果加以判斷。

- (1) 預測之潮汐值要合理,高低潮之潮差應接近觀測值之潮差。
- (2) 分潮之遲角應為一常數,變化不大,不適當之分潮會使得一些分潮之遲角變化很大。分潮之振幅也應合理,較大振幅之分潮只有少數,例如在台灣海峽 M_2 潮之振幅較大。
- (3) 一般潮汐每天有兩個高潮兩個低潮,因月亮繞地球一週的時間,每天相差約50分,故在每六、七天後,有一天之高低潮只有三次,如果印出來的結果每天只有三次高低潮之間隔為兩,三天,表示所選擇之分潮可能有

不適當的存在。

- (4) 在預測之時間裡，高低潮之計算無法全部完成，可能有不適當的分潮被選用到調和分析。

5. 執行調和分析

(1) 依序輸入下列參數及資料

(a) 輸入實測資料起始時間，終了時間，資料點數(奇數)及實測資料，則程式自動計算資料中點時間，並換算成格林威治時間，中點時間設定為調和分析之啓始時間($t=0$)，起始時間之前後各有 n 個相等數目的資料。

(b) 輸入相關年、月、日之天文常數，並由相關公式計算其他天文常數。

(c) 輸入60個分潮之序號，名稱及角速度。

(d) 輸入選定分潮個數 m 及序號，依相關公式計算各分潮之平衡引數 E_{i0} 及修正係數 $f_i, i = 1, 2 \dots m$ 。最後利用反矩陣法求解係數 $a_0, a_i, b_i, i = 1, 2 \dots m$ ，並利用(29)式求出調和常數 $H_0, H_i, k_i, i = 1, 2 \dots m$ 。

(e) 輸入擬預報之啓始時間及結束時間，預報之有效時間應是在觀測時間後與觀測時間同樣長短的一段時間，例如有1979年5月到8月的潮汐資料，用來計算所選擇各分潮之調和常數，預報公式即可用來預測1975年9月到12月的潮汐變化，假設用來預報更遠時間的潮汐，其準確度會較差。

(2) 輸出重要結果

(a) 輸出每個分潮之序號，名稱，角速度，平衡引數，修正係數，振幅，及遲角。

(b) 輸出平均潮位。

(c) 輸出自身預報結果之每點潮位變化，高潮，低潮，高低潮差等物理量及發生時間，並輸出誤差值，(實測值與預報值之差)及其相關誤差統計量。

(d) 輸出預報期間之每點潮位變化，高潮、低潮、高低潮差等物理量及發生時間。

- (3) 利用調和分析之推算潮位值,修正實測資料中記錄缺少,人為輸入錯誤,暴潮水位等點數。
- (4) 重複(1)之步驟,直到修正的實測值及分潮選定的個數得到合理的驗證。

(四) 調和分析結果與討論

根據上節調和分析步驟,我們選取台中港、高雄港、外埔港等三個港口之現場實測潮位資料做調和分析例子說明,各測站選取之分潮振幅,遲角計算值如表5-1至表5-3。而圖5-2~圖5-6,則為幾個測站自身預報值與實測值之比較,及往後預報值與實測值之比較圖。由此些圖表,我們可歸納以下一些重要特性。

圖5-2為台中港潮位自身預報計算值與觀測值比較圖,較細實線為觀測值,點線為計算值,粗實線為誤差值(計算值減觀測值),圖中顯示自身預報結果甚為理想,誤差值並不大,但圖中有三點誤差值甚大,則為觀測值人為輸入錯誤,可由計算值取代修正再從新計算。圖5-3則為預報值與觀測值之比較值,平均而言,誤差較自身預報結果為大,但以1975年觀測潮位推算值,預報1988年之潮位,所得預報結果而言已甚為理想。

圖5-4則為高雄自身預報計算結果與觀測值之比較圖,圖5-5則為利用自身預報計算結果往後預報與觀測值比較,平均而言,調和分析之預報結果尚稱理想。

圖5-5則為外埔港自身預報與觀測值比較,是一個甚為良好之預報結果。

六、潮汐預報模式

在個人電腦之計算能力及普級性甚佳之優良條件,我們將潮汐預報模式,建立在個人電腦系統上,並以套裝軟體的方式設計。本節我們將針對預報模式軟體之特性,功能及使用做簡略的說明,至於其詳細操作使用說明,則可參閱附錄B潮汐預報模式使用手冊。

(一) 預報模式特性

潮汐預報模式有下列幾種特性

1. 在個人電腦建立,軟體轉移容易。
2. 採交談式設計,操作使用方便。
3. 輸出不但提供報表格式,而且具有繪圖能力。
4. 主要語言設計為Fortran, Basic等,作業系統為MS-DOS,普級性佳。
5. 使用倚天中文系統,可讀性高。

(二) 預報模式功能

預報模式共有下列幾點功能

1. 模式說明
2. 查詢基本資料目錄
3. 預報參數之選定及執行
4. 輸出自身預報結果
5. 輸出預報之結果

(三) 預報模式之使用

按照使用手冊說明(附錄B)安裝在硬碟上,一般設定在C:\TPM次目錄上。輸入TPM

```
C:\TPM > TPM
```

即可進入預報模式,並列出主畫面,即可選定你想作的工作,開始你的潮汐分析及預報工作。

七、討論及結論

本計畫蒐集台灣四周海域26個潮位測站資料,經資料整理,資料繪圖,統計分析,能譜分析,相關分析及調和分析等方法深入探討台灣四周潮汐特性,並建立潮汐預報模式及操作手冊。

潮汐在台灣四周海域附近,因受地形效應之影響,要深入了解各地區潮汐特性,需固定的觀測做長期的連續記錄,再從長期的潮汐記錄中分析潮位特性,而潮汐預報工作之是否精確,完全取決於長期觀測資料。

本研究建立之預報模式適合於個人電腦系統,將轉移相關單位使用。模式將隨實測資料之更新而做進一步的改良。

八、參考文獻

1. 蘇青和, "興達港外泊地區海流特性及成因之研究", 國立台灣大學海洋研究所碩士論文, 1970。
2. 周宗仁, 施士力, "淡水港潮汐分析研究", 國立海洋大學, 河海工程學系, 河海研究第八號, 民國七十年四月。
3. 蔡瓊林, 黃煌輝, "台灣平均海水面特性變化研究(一)南灣實測資料之分析", 第六屆海洋工程研討會論文集, 民國七十一年九月。
4. 丘應杰, "淡水河感潮河段之天文潮水位分析", 碩士論文, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, 民國七十六年六月。
5. 吳建民和馮德榮, "淡水河感潮水位站調和分析", 第五屆水利工程研討會, 1990, PP.1023~1030。
6. 吳旭朕, "台灣西海岸潮位變化特性分析", 碩士論文, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, 民國七十五年六月。
7. Hwung, H.H., C. L. Tasi, and C.C. Wu, "Studies on the correlation of tidal elevation changes along the western coastline of Taiwan", Proc. 20th Coastal Eng. Conf., ASCE, PP.293-305, 1986.
8. 陳怡發, 黃煌輝, "台灣沿海潮汐資料之整理與分析", 第五屆水利工程研討會, 1990, PP.1050~1063。
9. 劉肖孔, "中國海域三度空間數學模式", 行政院科技組, 民國七十四年。
10. 李賢文, "台灣鄰近海域潮汐預報數值模式", 第二屆海洋數值模式研習會論文集, 180-195頁, 民國七十八年六月。
11. 連三郎, "潮汐預報電腦程式模型", 國立台灣國立大學海洋研究所, 民國六十六年五月。
12. Tukey, J. W. , "what can data analysis and statistics offer today? " In: Proc. of cofe. on Ocean Wave-spectral , PP. 347~351 ,1961.
13. Jenkins, G. M. and D. G. Watts , "Spectral analysis and its applications." ,San Francisco , Holden-Day , 1968.

14. Haubrich, R. A. (1965), "Earet noise 5 to 500 millcycles per second, Spectral stationarity, normality and nonlinearity." J. Geophys. Res. 70, PP. 1415 ~ 1427.
15. Welch, P. D. " The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra.", IEEE. Transaction on Audio and Electroacoustics. 15, pp70 ~ 73, 1967.

誌謝

感謝成功大學水工試驗所陳怡發先生提供甚多潮位實測資料,在資料整理及分析,提供甚多寶貴意見,謹此致謝。

附錄 A 能譜分析原理

一、基本理論

(一) 實數值時序能譜分析

1. 變異函數(covariance function)及相關函數(correlation function)：

若實數值時 $x(t)$, $y(t)$ 為定常, 零平均值, 則自變異函數(Auto-covariance function)與互變異函數(cross-covariance function)分別定義為

$$C_{xx}(\tau) = E[x(t)x(t + \tau)] \quad (A.1)$$

$$C_{xy}(\tau) = E[x(t)y(t + \tau)] \quad (A.2)$$

其中 $E[\]$ 表期望值, τ 為時間遲延(time lag)

自相關函數(Auto-correlation function)與互相關函數(cross-correlation function)分別定義為

$$R_{xx}(\tau) = C_{xx}(\tau)/C_{xx}(0) \quad (A.3)$$

$$R_{xy}(\tau) = C_{xy}(\tau)/C_{xy}(0) \quad (A.4)$$

(1) 自相關函數為偶函數, 即 $R_{xx}(-\tau) = R_{xx}(\tau)$ 且 $|R_{xx}(\tau)| \leq 1, |R_{xy}(\tau)| \leq 1$ 。

(2) $R_{xx}(\tau)$ 表示時序 $x(t)$ 在任兩點時間遲延為 τ 時之相關大小。

(3) $R_{xy}(\tau)$ 表示時序 $x(t)$ 與時序 $y(t)$ 在任二點時間遲延為 τ 時之相關大小。

2. 自能譜(auto-spectrum)與互能譜(cross-spectrum)：

時序 $x(t)$ 的自能譜密度函數定義為 $x(t)$ 自變異函數的傅立葉轉換(Jenkins and Watts [13])

$$S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{xx}(\tau)e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (A.5a)$$

或

$$S_{xx}(f) = X(f)X^*(f) \quad (A.5b)$$

其中 $X(f)$ 爲時序 $x(t)$ 的傅立葉轉換, * 表共軛複數。

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-2\pi ift} dt \quad (A.5c)$$

時序 $x(t)$ 與時 $y(t)$ 的互能譜密度函數定義爲 $x(t)$ 與 $y(t)$ 互變異函數的傅立葉轉換, 即

$$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{xy}(\tau)e^{-2\pi if\tau} d\tau \quad (A.6a)$$

或

$$S_{xy}(f) = X(f)Y^*(f) \quad (A.6b)$$

3. 相關平方譜 (Coherence-squared spectrum) 與相位譜 (phase-spectrum) (Jenkins and Watts [13]):

$$\begin{aligned} S_{xy}(f) &= P_{xy} - iQ_{xy}(f) \\ &= |S_{xy}(f)|e^{iF_{xy}(f)} \end{aligned} \quad (A.7a)$$

其中

$$|S_{xy}(f)| = \sqrt{P_{xy}^2 + Q_{xy}^2(f)} \quad (A.7b)$$

$$F_{xy}(f) = \tan^{-1} \left(-\frac{Q_{xy}(f)}{P_{xy}(f)} \right) \quad (A.7c)$$

$$CH_{xy}^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f) S_{yy}(f)} \quad (A.8)$$

$CH_{xy}(f)$ 稱爲時序 $x(t)$ 與 $y(t)$ 的相關平方譜, $F_{xy}(f)$ 稱相位譜。

(1) $S_{xx}(f)$ 爲正值函數。

(2) $S_{xx}(f)$ 表示時序 $x(t)$ 在頻率 f 之能量或出現頻率大小。

(3) $CH_{xy}(f)$ 表示時序 $x(t)$ 與時序 $y(t)$ 在頻率 f 之相關大小。

(4) $F_{xy}(f)$ 表示時序 $x(t)$ 與 $y(t)$ 在頻率 f 之相位差。

4. 頻率轉換函數 (frequency response function) :

x 序列對 y 序列之頻率轉換函數 $T_{xy}(f)$ 定義為

$$\begin{aligned} T_{xy}(f) &= \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \\ &= \frac{P_{xy}}{S_{xx}} - i \frac{Q_{xy}}{S_{xx}} \\ &= G_{xy}(f) \exp(iPH_{xy}(f)) \end{aligned} \quad (A.9a)$$

式中

$$G_{xy}(f) = \left| \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)} \right| \quad (A.9b)$$

$$PH_{xy}(f) = F_{xy}(f) \quad (A.9c)$$

$G_{xy}(f)$ 稱 Gain 函數, $PH_{xy}(f)$ 稱相位函數

(1) $G_{xy}(f)$ 表示時序 $y(f)$ 在頻率 f 與 $x(f)$ 之能量比值。

(2) $PH_{xy}(f)$ 表示時序 $x(t)$ 領先時序 $y(t)$ 在頻率 f 之相位差。

我們將以一個例子說明頻率轉換函數之觀念, 假設 x, y 時序分別定義如下:

$$x(t) = 2\cos(2\pi t/T_1) + \sin(2\pi t/T_2) \quad (A.10)$$

$$y(t) = 3\sin(2\pi t/T_1) + 2\sin(2\pi t/T_2) \quad (A.11)$$

表示時序 x 與時序 y 皆含有 T_1 及 T_2 兩性週期成份。對週期 T_1 (頻率 f_1) 而言, 時序 y 之振幅為時序 x 振幅之 1.5 倍, 相位差時序 y 領先時序 x 值為 0.5π , 或稱時序 y 落後時序 x 相位差為 1.5π 。其次對週期 T_2 (頻率 f_2) 而言, 時序 y 振幅為時序 x 振幅 2 倍, 但無相位差。

根據頻率轉換函數之定義, x 對 y 之頻率 Gain 函數及相位函數在頻率 f_1 及 f_2 分別為

$$G_{xy}(f_1) = 1.5^2 = 2.25 \quad (A.12a)$$

$$PH_{xy}(f_1) = \pi/2 \quad (A.12b)$$

$$G_{xy}(f_2) = 2^2 = 4 \quad (A.13a)$$

$$PH_{xy}(f_2) = 0 \quad (A.13b)$$

而在週期成份 T_1 及 T_2 之時間轉換函數(time response function)則可表示為

$$y_1(t) = 1.5x_1(t - \pi/2), \quad T = T_1 \quad (A.14a)$$

$$y_2(t) = 2x_2(t), \quad T = T_2 \quad (A.14b)$$

x 時序之 T_1 及 T_2 週期成份可由能譜分析原理求得, 其表示式為:

$$x_1 = 2\cos(2\pi t/T_1) \quad (A.15a)$$

$$x_2 = \sin(2\pi t/T_2) \quad (A.15b)$$

最後利用上述時間轉換函數之關係式, 即可求得 y 時序之 T_1 及 T_2 週期成份 y_1 及 y_2 。

5. 有限資料時序的估計能譜:

若實際觀測所得之資料時序 $x(k)$, $y(k)$, $k=0,1,2,\dots,n-1$, 為 n 個觀測值, 記錄間隔時間為 Δt , 則自變異函數估計為

$$\begin{aligned} C_{xx}(\tau) &= \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_1} x(t)x(t+|\tau|), & -m\Delta t \leq \tau \leq m\Delta t \\ &= 0, & \text{elsewhere} \end{aligned} \quad (A.16)$$

其中 $m\Delta t$ 為最大時間遲延, $n_1 = n - |\tau|$, $t = k\Delta t$, $\tau = r\Delta t$ 。

互變異函數估計為

$$\begin{aligned} C_{xy}(\tau) &= \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_1} x(t)y(t+|\tau|), & -m\Delta t \leq \tau \leq m\Delta t \\ &= 0, & \text{elsewhere} \end{aligned} \quad (A.17)$$

自相關函數估計為

$$R_{xx}(\tau) = C_{xx}(\tau)/C_{xx}(0) \quad (\text{A.18})$$

互相關函數估計為

$$R_{xy}(\tau) = C_{xy}(\tau)/C_{xy}(0) \quad (\text{A.19})$$

自能譜估計為

$$S_{xx}(f) = \sum_{r=-m}^m C_{xx}(\tau) e^{-2\pi i r q/n} \quad (\text{A.20})$$

$$q = -P, -P + 1, \dots, 0, 1, 2, \dots, P - 1$$

其中 $f = \frac{q}{n\Delta t}$, $n = 2P$, $\tau = r\Delta t$

或定義為

$$S_{xx}(f) = X(f)X^*(f) \quad (\text{A.21a})$$

$$X(f) = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-2\pi i k q/n} \quad (\text{A.21b})$$

$$q = -P, -P + 1, \dots, 0, 1, 2, \dots, P - 1$$

其中 $f = \frac{q}{n\Delta t}$, $n = 2P$, $\tau = k\Delta t$

互能譜估計為

$$S_{xy}(f) = \sum_{r=-m}^m C_{xy}(\tau) e^{-2\pi i r q/n} \quad (\text{A.22a})$$

$$q = -P, -P + 1, \dots, 0, 1, 2, \dots, P - 1$$

其中 $f = \frac{q}{n\Delta t}$, $n = 2P$, $\tau = r\Delta t$

或定義為

$$S_{xy}(f) = X(f)Y^*(f) \quad (\text{A.22b})$$

二、能譜的計算方法

目前較普遍的計算能譜有兩種方法：BT法(Blackman and Tukey method)及FFT法(Fast Fourier Transform method),我們將分別敘述於下：

(一)BT法(Haubrich [14])

先求自變異函數 $C_{xx}(\tau)$ 及互變異函數 $C_{xy}(\tau)$,再由此二者的傅立葉轉換,得到自能譜 $S_{xx}(f)$ 及互能譜 $S_{xy}(f)$ 。但為減少計算過程中所產生的變異(variability)和(leakage)的現象發生,我們採用(hanning)的平均方法,處理上述能譜,可得到較好的結果,其過程如下：

$$S_{xy}(0) = 0.5S_{xy}(0) + 0.5S_{xy}(1) \quad (A.23a)$$

$$S_{xy}(r) = 0.25S_{xy}(r-1) + 0.5S_{xy}(r) + 0.25S_{xy}(r+1) \quad (A.23b)$$

其中 $1 \leq r \leq m-1$, m 為最大時間遲延

$$S_{xy}(m) = 0.5S_{xy}(m-1) + 0.5S_{xy}(m) \quad (A.23c)$$

(二)FFT法(Welch [15])

將資料時序 $x(k)$, $k=0,1,2,\dots,n-1$,分成 b 段,每段長 $s = 2^a$, a 為正整數,每段允許 d 點重複使用, $s > d$,以 $x_m(k)$, $k = 1, 2, \dots, s$,表示第 m 段的 s 個資料,求出每段的傅立葉轉換,但為減少truncated error的現象發生,做轉換前先乘上Data window

$$W(k) = 1 - \left(\frac{k - \frac{s-1}{2}}{\frac{s+1}{2}} \right)^2, \quad k = 0, 1, 2, \dots, s-1 \quad (A.24)$$

表示為

$$X_m(r) = \sum_{k=0}^{s-1} x_m(k)W(k)e^{-2\pi ikr/s} \quad (A.25)$$

$$r = 0, 1, 2, \dots, s/2, \quad m = 1, 2, 3, \dots, b.$$

若時序 $x(t)$ 滿足 ergodic 的假設，則

$$S_{xx}(r) = \frac{1}{b E} \sum_{m=1}^b X_m^*(r) X_m(r) \quad (\text{A.26a})$$

$$r = 0, 1, 2, \dots, s/2$$

其中 E 為修正係數

$$E = \frac{1}{s} \sum_{k=0}^{s-1} W^2(k) \quad (\text{A.26b})$$

能譜密度值對應的振幅為

$$a(f) = 2 \sqrt{\frac{E S_{xy}(f)}{s}} \quad (\text{A.27})$$

同理

$$S_{xy}(r) = \frac{1}{b E} \sum_{m=1}^b X_m^*(r) Y_m(r) \quad (\text{A.28a})$$

$$r = 0, 1, 2, \dots, s/2$$

附錄B 潮汐預報使用手冊

(一) 硬體及軟體設備

1. 硬體設備

作業系統使用MS-DOS, 並可執行BIG-5碼中文系統(如: 倚天、國喬、零壹..等)的個人電腦均適用, 但為提高計算速度, 建議最好使用386以上主機。

(1) 主機: IBM PC, PC/XT, PC/AT, 386, 486系列和一般相容機型均可。

(a) 640K以上主記憶體(建議最好使用2MB以上)。

(b) 一個以上軟式磁碟機(360K, 726K, 1.2MB或1.44MB均可)。

(c) 一個10MB以上硬式磁碟機。

(2) 顯示卡: VGA, EGA或單色卡均可。

(3) 中文系統: 配合中文卡或中文碟皆可。

其他選擇性配備

(4) 繪圖機: HP或Roland系列。

(5) 印表機: EPSON系列。

(6) 雷射印表機: HP LaserJet系列。

(7) 噴墨式印表機: HP PaintJet或HP DeskJet系列。

(8) 80287, 80387輔助計算器, 可增快執行時間。

2. 軟體設備

(1) DOS 3.0以上作業系統。

其他選擇性配備

(2) MS Quick Basic(V4.5)。

(3) MS Fortran (V5.0)或Lahey Fortran。

[註]使用者如果想具有更新預報模式之能力, 需具備以上二種語言編輯程式。

(a) MS Fortran 在 DOS 作業系統, 程式記憶體受 640K 之限制。

(b) Lahey Fortran 在 DOS 作業系統, 程式可使用主機上所有的記憶體。

(二) 系統安裝

擬設定的硬碟 (C 或 D), 產生一子目錄, 其名稱爲 TPM, 並將系統磁片儲存於中。例如設定於硬碟 C 中, 則使用下列指令:

```
C > MD TPM
```

將系統磁片依序插入 A 磁碟或 B 磁碟, 儲存於硬碟:

```
C > CD \TPM
```

```
C:\TPM > COPY A:\*.*
```

```
或 > COPY B:\*.*
```

即安裝完成。

(三) 程式執行

1. 開機
2. 進入中文系統 (參閱相關手冊)
3. 執行預報模式進入系統子目錄, 輸入 TPM

例如:

```
C:\ > TPM
```

即可進入預報系統

(四) 使用說明

預報模式主功能表如下:

1. 模式說明
2. 查詢基本資料目錄
3. 預報參數選定及執行
4. 輸出自身預報結果
5. 輸出未來預報結果
6. 結束

輸入 1~6 數字即可執行你想要的工作。功能表說明甚為詳細,使用者可一目了然,在此一不再詳述。

(五) 系統檔案說明

下列幾個系統檔案,使用者可依預報測站之更動,觀測資料更新,分潮選取個數改變,而自行更改檔案內容(但檔名不能更動)。

1. 各測站名稱及緯度之檔名: STATION.DAT
2. 各測站名代碼及觀測資料檔名,觀測期間之檔名: DURATION.DAT
3. 各測站觀測資料檔,例如台中港(代碼為TC)之檔名為TC1.DAT
4. 各測站分潮選取個數檔,例如台中港(代碼為TC)之檔名為TC1.TID

下列幾個輸出檔如報表檔或繪圖檔,使用者可自行處理。

1. 輸出之報表檔(文字檔)一般名稱為*.RPT,使用者可下PRINT指令自行印出。

例:C > PRINT TC11.RPT

2. 輸出之繪圖檔(Binary 檔)一般名稱為*.PLT,使用者可下copy指令自行輸出LPT1 port 或COM1 port

例如

C > COPY TC11.PLT LPT1:/B

或C > COPY TC11.PLT COM1:/B

(六) 其他

有關軟體之使用或建議,請洽電:港灣技術研究所數學模式組(04)6564415
或(04)6568020。

附錄 C
附表

表 2-1 本所收集潮位記錄之測站及記錄時段

編號	測 站	經 度	緯 度	記 錄 時 段
1	基隆港	121° -44'23"	25° -08'28"	76.01-78.12
2	富基漁港	121° -31'32"	25° -17'38"	77.12-78.04
3	淡水油車口	121° -24'27"	25° -10'45"	73.12-75.01
4	竹圍潮位站	121° -14'11"	25° -07'10"	76.01-78.10
5	永安漁港	121° -00'33"	24° -59'54"	76.09-77.09
6	新竹漁港	120° -55'18"	24° -51'04"	75.09-76.08
7	外埔漁港	120° -45'49"	24° -39'13"	78.07-78.08
8	台中港	120° -29'28"	24° -17'38"	73.01.77.12
9	箔子寮漁港	120° -07'58"	23° -37'15"	77.11-78.08
10	布袋漁港	120° -08'59"	23° -22'57"	76.06-77.08
11	將軍潮位站	120° -05'24"	23° -13'22"	70.01-78.11
12	興達港漁港	120° -11'19"	22° -52'39"	75.05-77.05
13	高雄港	120° -16'02"	22° -37'04"	73.01-78.12
14	中芸漁港	120° -23'27"	22° -29'10"	76.08-77.09
15	東港漁港	120° -26'07"	22° -28'04"	76.08-77.07
16	枋寮漁港	120° -35'04"	22° -21'55"	77.10-78.08
17	海口船澳	120° -42'25"	22° -05'32"	77.11-78.06
18	後壁湖漁港	120° -44'11"	21° -56'47"	76.09-77.08
19	澳底漁港	121° -55'05"	25° -03'34"	77.11-78.07
20	大溪第二漁港	121° -53'24"	24° -56'36"	77.10-78.08
21	蘇澳港	121° -51'32"	24° -36'04"	77.05-78.09
22	花蓮港	121° -37'42"	23° -59'36"	77.01-78.12
23	金樽漁港	121° -17'06"	22° -57'29"	78.02-78.08
24	伽藍漁港	121° -11'35"	22° -48'50"	76.09-77.09
25	赤坎漁港	119° -35'43"	23° -40'07"	77.12-78.07
26	赤馬漁港	119° -30'20"	23° -35'01"	77.11-78.08

表 2-2 各測站收集潮位實際資料分析記錄時段

編號	測 站	英 文 名 稱	代 碼	記 錄 時 段	點 數 (小 時)	資 料 檔 名
1	基隆港	KEE-LONG	KL	89.01~89.12	8759	KL8901C1.DAT
2	富基漁港	FU-CHI	FG	88.12~89.07	3287	FG881251.DAT
3	淡水油車口	TAN-SHUI	TS	84.12~86.01	8857	TS8412C1.DAT
4	竹圍潮位站	CHU-WEI	JW	88.01~89.01	8857	JW8801C1.DAT
5	永安漁港	YUNG-AN	YA	87.09~88.01	8577	YA8709C1.DAT
6	新竹漁港	HSIN-CHU	SJ	86.09~87.08	7527	SJ8609B1.DAT
7	外埔漁港	WAI-PU	YP	89.07~89.08	1223	YP890721.DAT
8	台中港	TAI-CHUNG	TC	88.01~88.12	8783	TC8801C1.DAT
9	箔子寮漁港	PO-TZU-LIAO	BT	88.11~89.08	7271	BT8811A1.DAT
10	布袋漁港	PU-TAI	PD	87.09~88.08	8783	PD8709C1.DAT
11	將軍潮位站	CHIANG-CHUN	KG	88.11~89.08	7247	KG8811A1.DAT
12	興達港漁港	HSIN-TA	SD	87.08~88.06	7211	SD8708A1.DAT
13	高雄港	KAO-SHONG	KS	75.01~75.12	8759	KS7501C1.DAT
14	中芸漁港	CHUNG-YUN	CU	87.08~88.09	9038	CU8708E1.DAT
15	東港漁港	TUNG-KANG	DK	87.08~88.07	7901	DK8708C1.DAT
16	枋寮漁港	FANG-LIAO	FL	88.10~89.08	7583	FL8810B1.DAT
17	海口船澳	HAI-KAU	HK	88.11~89.06	5759	HK881181.DAT
18	後壁湖漁港	HOU-PI-HU	HB	87.09~88.08	8697	HB8709C1.DAT
19	澳底漁港	AO-TI	OD	88.11~89.07	6117	OD881191.DAT
20	大溪第二漁港	TA-CHI	BC	88.11~89.08	7751	BC8810B1.DAT
21	蘇澳港	SU-AO	SA	88.11~89.04	4343	SA881161.DAT
22	花蓮港	HAU-LIAN	HL	89.01~89.11	8015	HL8901B1.DAT
23	金樽漁港	CHIN-TSUNG	GC	89.02~89.08	5039	GC890271.DAT
24	伽藍漁港	CHIEN-LAN	GL	87.09~88.09	8911	GL8709D1.DAT
25	赤崁漁港	CHIH-KAN	CK	88.12~89.07	5279	CK881281.DAT
26	赤馬漁港	CHIH-MA	CH	88.11~89.08	6767	CH8811A1.DAT

表 3-1 各測站潮位及潮差基本統計量表

編號	測 站	平均潮位 (米)	最大潮位 (米)	最低潮位 (米)	潮位樣本 標準偏差	平均潮差 (米)	最大潮差 (米)	最小潮差 (米)	潮差樣本 標準偏差
1	基隆港	0.92	1.74	-0.01	0.29	0.67	1.35	0.02	0.31
2	富基漁港	0.01	1.29	-1.47	0.52	1.30	2.55	0.05	0.52
3	淡水油車口	0.03	1.91	-1.70	0.74	1.93	2.84	0.32	0.35
4	竹圍潮位站	-0.03	2.00	-2.40	0.95	2.50	3.90	1.34	0.51
5	永安漁港	-0.21	2.41	-2.86	1.17	3.17	4.64	1.55	0.63
6	新竹漁港	0.09	2.58	-2.47	1.19	3.21	4.74	0.52	0.80
7	外埔漁港	0.14	2.42	-2.53	1.29	3.47	4.73	1.69	0.77
8	台中港	2.62	7.45	-1.05	1.35	3.67	6.35	0.23	0.80
9	箔子寮漁港	0.52	2.06	-1.17	0.77	2.05	2.94	1.07	0.44
10	布袋漁港	0.96	2.45	-0.47	0.55	1.34	2.46	0.11	0.39
11	將軍潮位站	0.33	1.09	-0.70	0.39	0.95	1.68	0.30	0.37
12	興達港漁港	1.16	1.97	0.38	0.27	0.64	1.48	0.04	0.24
13	高雄港	0.73	1.50	0.07	0.24	0.58	1.16	0.10	0.21
14	中芸漁港	0.40	1.57	-0.36	0.28	0.69	1.59	0.02	0.32
15	東港漁港	1.23	2.41	0.37	0.32	0.72	1.47	0.01	0.29
16	枋寮漁港	0.45	1.38	-0.17	0.28	0.69	1.36	0.06	0.69
17	海口船澳	0.43	1.38	-0.38	0.33	0.71	1.23	0.08	0.25
18	後壁湖漁港	1.02	2.48	0.05	0.34	0.79	1.99	0.07	0.29
19	澳底漁港	0.35	1.02	-0.58	0.29	0.67	1.37	0.06	0.31
20	大溪第二漁港	-0.03	0.84	-1.04	0.35	0.85	1.64	0.01	0.39
21	蘇澳港	0.73	1.80	-0.35	0.38	0.99	1.66	0.24	0.26
22	花蓮港	1.63	3.64	0.21	0.62	1.06	3.16	0.22	0.40
23	金樽漁港	0.05	1.01	-1.10	0.38	0.91	1.75	0.05	0.41
24	伽藍漁港	0.77	1.98	-0.56	0.40	0.96	2.07	0.05	0.43
25	赤崁漁港	0.53	2.37	-1.48	0.91	2.42	3.61	1.07	0.53
26	赤馬漁港	0.39	1.93	-1.26	0.72	1.84	2.78	0.93	0.44

附註：各測站潮位樣本期間與時數和表2.2 所列時間及時數相同

表 5-1 潮汐 60 個分潮角頻率

編號	分潮	角頻率 (° /hr)	編號	分潮	角頻率 (° /hr)
1	S _a	.0410686	31	M ₂	28.9841042
2	S _{aa}	.0821373	32	MKS ₂	29.0662415
3	H _m	.5443747	33	λ ₂	29.4556253
4	M _{sf}	1.0158958	34	L ₂	29.5284789
5	M _f	1.0980331	35	T ₂	29.9589333
6	2Q ₁	12.8542862	36	S ₂	30.0000000
7	σ ₁	12.9271398	37	R ₂	30.0410667
8	Q ₁	13.3986609	38	K ₂	30.0821373
9	ρ ₁	13.4715145	39	MSN ₂	30.5443747
10	O ₁	13.9430356	40	KJ ₂	30.6265120
11	MP ₁	14.0251729	41	2SM ₂	31.0158958
12	M ₁	14.4920521	42	MO ₃	42.9271398
13	X ₁	14.5695476	43	M ₃	43.4761598
14	π ₁	14.9178647	44	SO ₃	43.9430356
15	P ₁	14.9589314	45	MK ₃	44.0251729
16	S ₁	15.0000000	46	SK ₃	45.0410686
17	K ₁	13.0410686	47	MN ₄	57.4238337
18	φ ₁	15.0821353	48	M ₄	57.9682084
19	φ ₁	15.1232059	49	SN ₄	58.4397295
20	θ ₁	15.5125897	50	MS ₄	58.9841042
21	J ₁	15.5854433	51	MK ₄	59.0662415
22	SO ₁	16.0569644	52	S ₄	60.0000000
23	OO ₁	16.1391017	53	SK ₄	60.0821373
24	OQ ₂	27.3416964	54	2MN ₆	86.4079380
25	MNS ₂	27.4238337	55	M ₆	86.9523127
26	2N ₂	27.8953548	56	MSN ₆	87.4238337
27	μ ₂	27.9682084	57	2MS ₆	87.9682084
28	N ₂	28.4397295	58	2MK ₆	88.0503457
29	ν ₂	28.5125831	59	2SM ₆	88.9841042
30	OP ₂	28.9019669	60	MSK ₆	89.0662415

表 5-2.1 台中港各分潮振幅、遲角統計表

[註] : 平均水位 2.70 (米)

分潮編號	分潮名稱	振幅(米)	遲角(度)	分潮編號	分潮名稱	振幅(米)	遲角(度)
1	H_m	0.032	103.36	21	MO_3	0.006	311.63
2	M_{sf}	0.026	40.597	22	M_3	0.000	155.17
3	$2Q_1$	0.008	-156.89	23	SO_3	0.007	248.10
4	ρ_1	0.027	304.88	24	MK_3	0.011	342.93
5	O_1	0.196	251.51	25	SK_3	0.003	332.20
6	M_1	0.021	269.83	26	MN_4	0.006	250.56
7	P_1	0.074	269.31	27	M_4	0.016	314.07
8	K_1	0.240	279.00	28	SN_4	0.002	23.58
9	θ_1	0.009	34.25	29	MS_4	0.008	325.08
10	SO_1	0.003	95.56	30	MK_4	0.004	99.72
11	OQ_2	0.010	13.05	31	S_4	0.001	1.51
12	MNS_2	0.032	133.90	32	SK_4	0.003	121.31
13	$2N_2$	0.030	13.58	33	$2MN_6$	0.008	213.75
14	N_2	0.388	329.38	34	M_6	0.007	276.46
15	M_2	1.767	0.22	35	MSN_6	0.003	196.71
16	L_2	0.158	50.75	36	$2MS_6$	0.006	291.99
17	S_2	0.515	35.38	37	$2MK_6$	0.003	108.03
18	K_2	0.117	44.45	38	$2SM_6$	0.002	307.96
19	MSN_2	0.018	259.81	39	MSK_6	0.002	201.16
20	$2SM_2$	0.033	262.32				

表 5-2.2 高雄港各分潮振幅、遲角統計表

[註] :平均水位 0.75 (米)

分潮 編號	分潮 名稱	振幅 (米)	遲角 (度)	分潮 編號	分潮 名稱	振幅 (米)	遲角 (度)
1	H_m	0.014	32.29	21	MO_3	0.002	339.03
2	M_{Sf}	0.004	53.76	22	M_3	0.004	336.94
3	$2Q_1$	0.156	81.06	23	SO_3	0.003	94.02
4	ρ_1	0.002	55.34	24	MK_3	0.001	85.71
5	O_1	0.014	89.84	25	SK_3	0.001	226.31
6	M_1	0.005	-62.44	26	MN_4	0.000	352.83
7	P_1	0.014	130.66	27	M_4	0.000	6.92
8	K_1	0.056	103.87	28	SN_4	0.001	205.43
9	θ_1	0.174	118.94	29	MS_4	0.001	69.81
10	SO_1	0.003	199.57	30	MK_4	0.001	232.09
11	OQ_2	0.006	27.29	31	S_4	0.000	132.05
12	MNS_2	0.010	-111.97	32	SK_4	0.000	4.22
13	$2N_2$	0.005	-163.28	33	$2MN_6$	0.000	101.15
14	N_2	0.045	-113.19	34	M_6	0.002	-256.98
15	M_2	0.008	-102.34	35	MSN_6	0.001	63.63
16	L_2	0.020	118.98	36	$2MS_6$	0.000	157.34
17	S_2	0.179	-106.31	37	$2MK_6$	0.000	19.83
18	K_2	0.018	-19.84	38	$2SM_6$	0.000	285.23
19	MSN_2	0.069	265.67	39	MSK_6	0.000	119.40
20	$2sM_2$	0.018	288.67				

表 5-2.3 外埔漁港各分潮振幅、遲角統計表

[註] : 平均水位 0.14 (米)

分潮編號	分潮名稱	振幅(米)	遲角(度)	分潮編號	分潮名稱	振幅(米)	遲角(度)
1	H_m	0.001	274.05	21	MO_3	0.036	285.09
2	M_{sf}	0.005	50.30	22	M_3	0.001	251.74
3	$2Q_1$	0.248	53.34	23	SO_3	0.000	208.51
4	ρ_1	0.045	301.72	24	MK_3	0.012	270.00
5	O_1	0.042	54.58	25	SK_3	0.000	265.01
6	M_1	0.046	261.33	26	MN_4	0.000	178.41
7	P_1	0.209	284.83	27	M_4	0.065	221.08
8	K_1	0.299	314.80	28	SN_4	0.000	187.36
9	θ_1	0.219	119.44	29	MS_4	0.000	329.97
10	SO_1	0.005	322.44	30	MK_4	0.030	170.62
11	OQ_2	0.001	215.89	31	S_4	0.000	111.26
12	MNS_2	0.023	243.18	32	SK_4	0.015	80.24
13	$2N_2$	0.041	118.89	33	$2MN_6$	0.000	69.99
14	N_2	0.233	321.08	34	M_6	0.025	210.26
15	M_2	0.033	112.66	35	MSN_6	0.000	193.85
16	L_2	0.090	120.85	36	$2MS_6$	0.015	253.65
17	S_2	1.882	351.89	37	$2MK_6$	0.000	62.34
18	K_2	0.065	138.26	38	$2SM_6$	0.002	86.97
19	MSN_2	0.471	35.67	39	MSK_6	0.004	277.17
20	$2SM_2$	0.003	316.39				

附錄 D
附圖

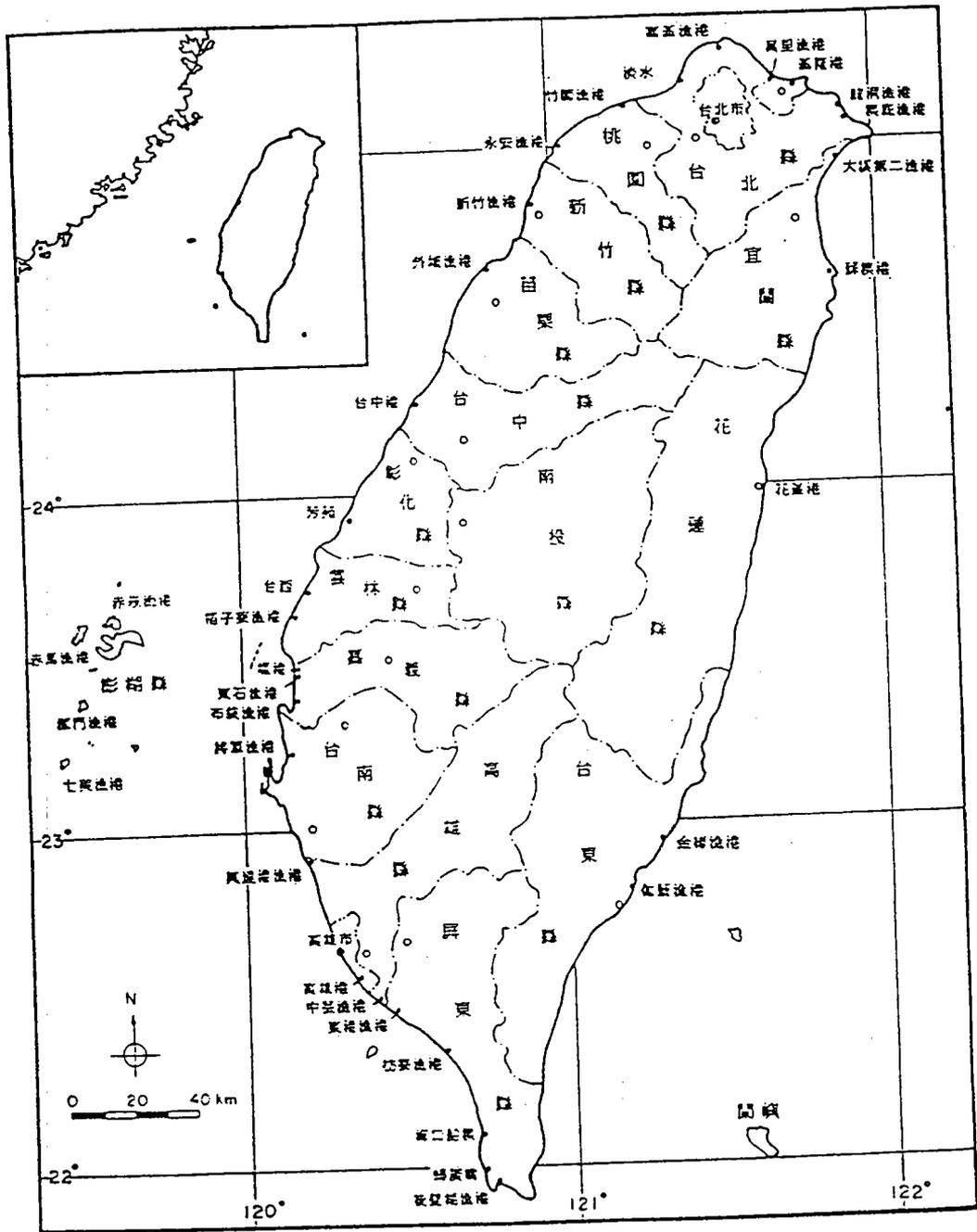
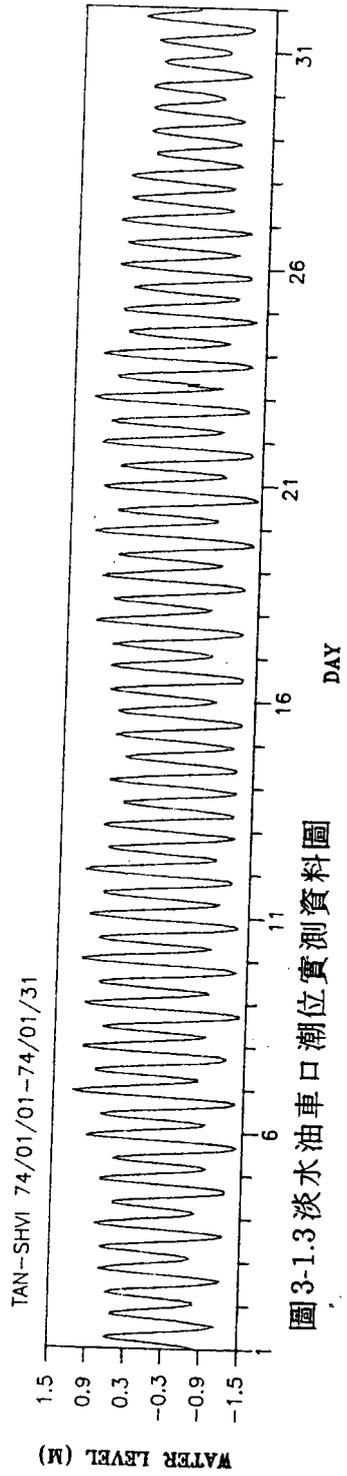
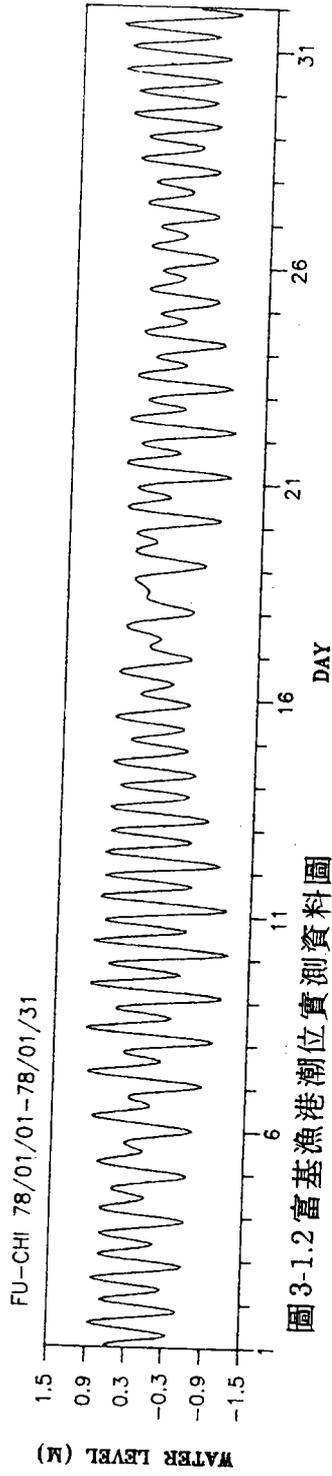
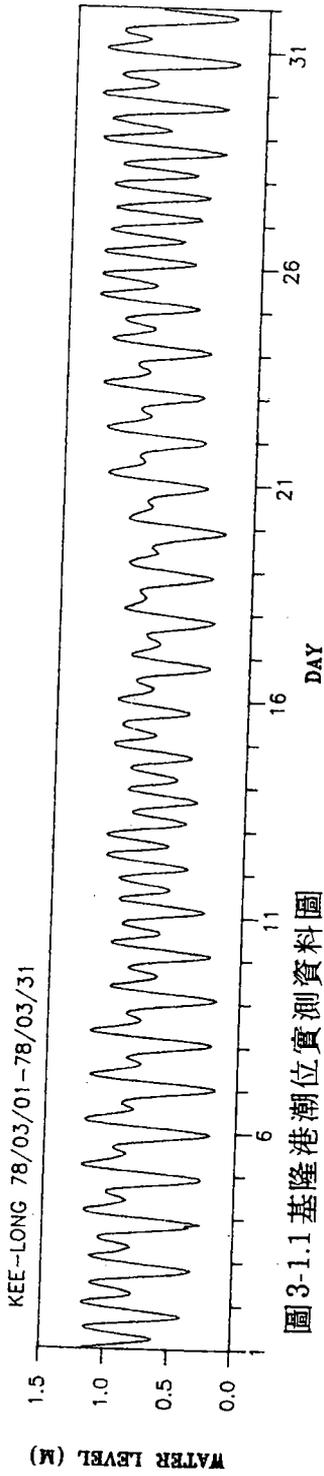
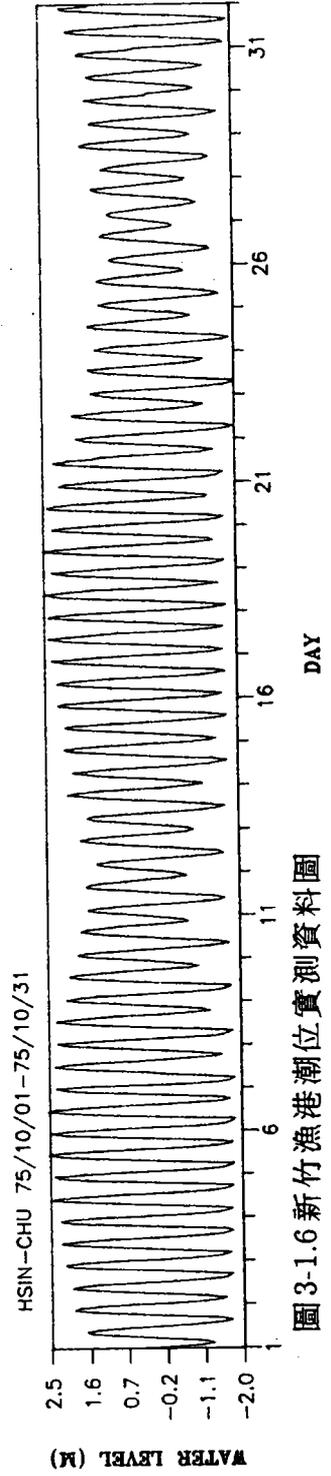
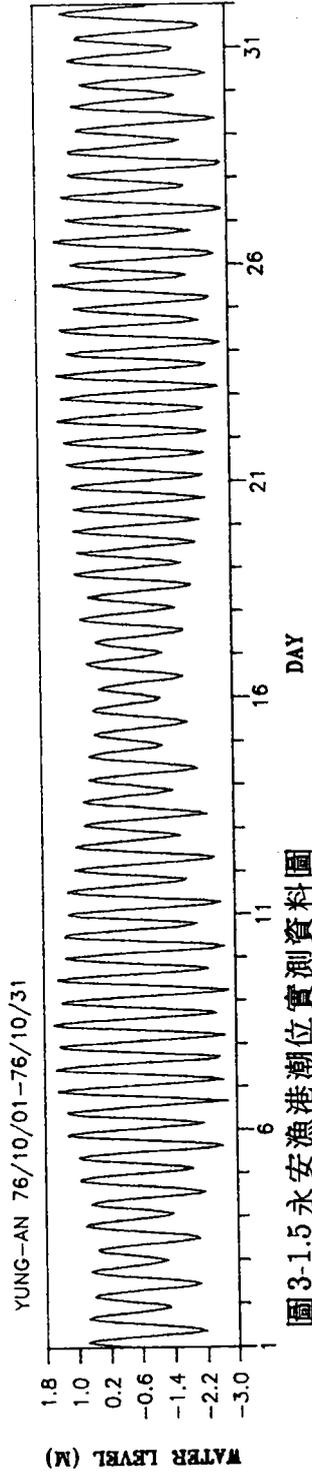
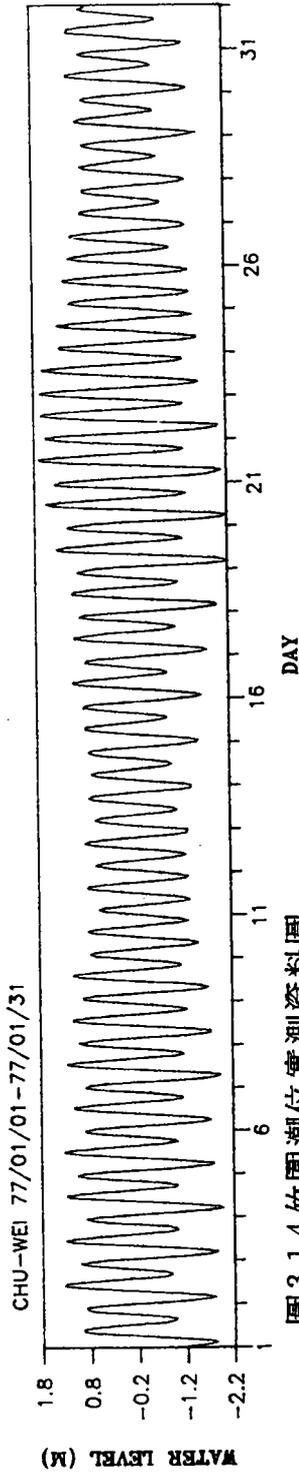
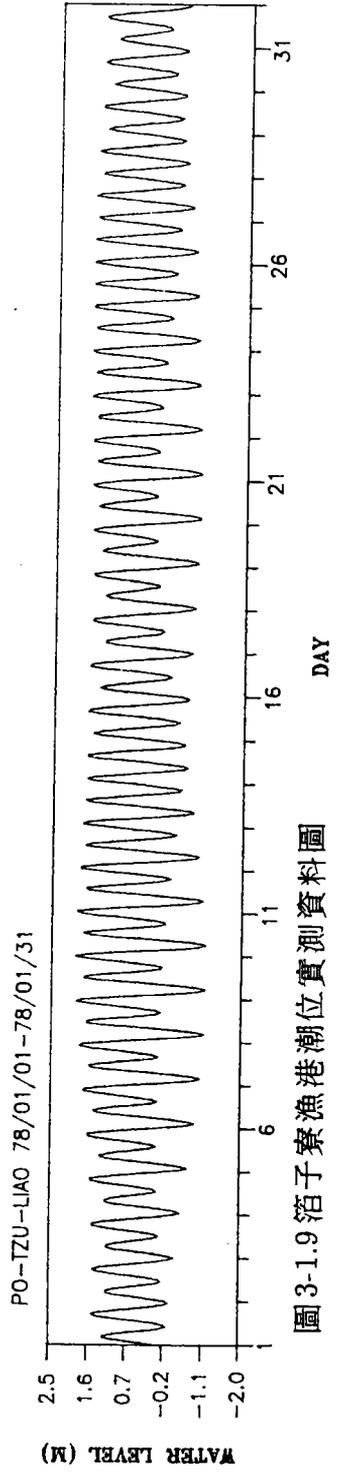
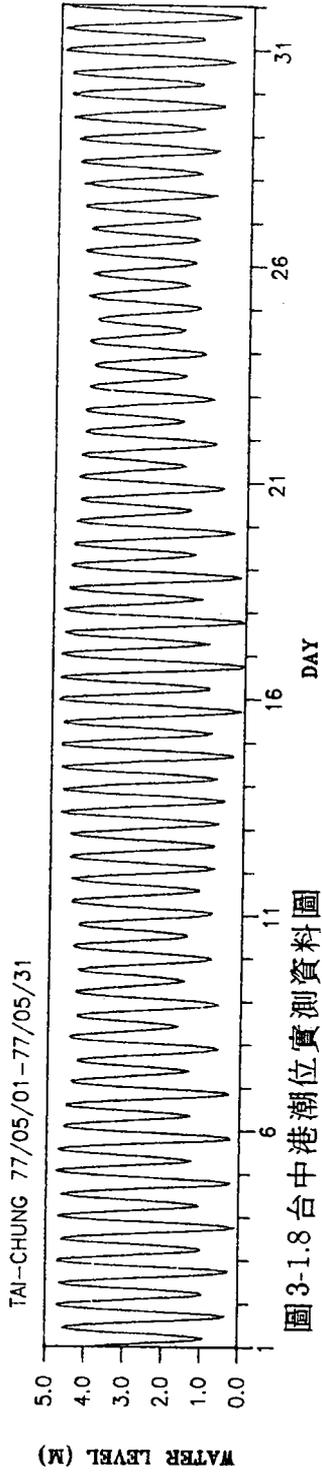
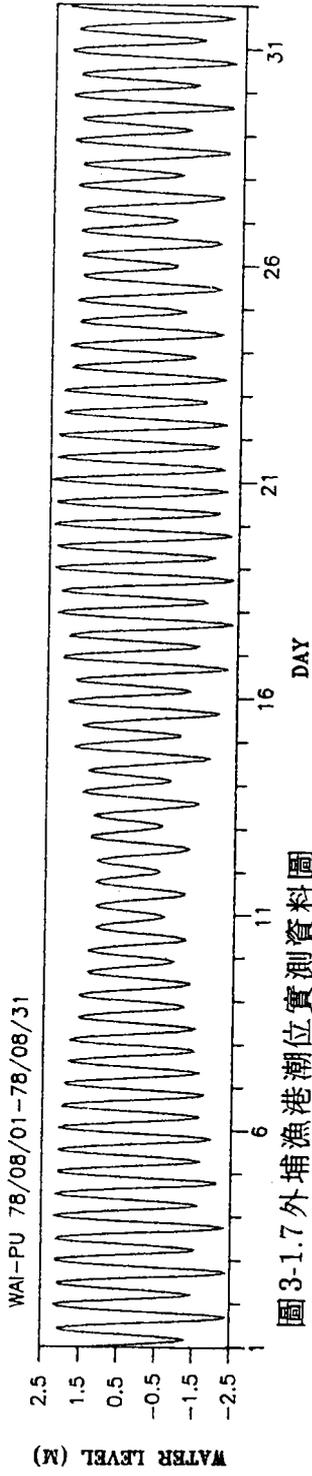


圖 2-1 各潮汐測站位置圖







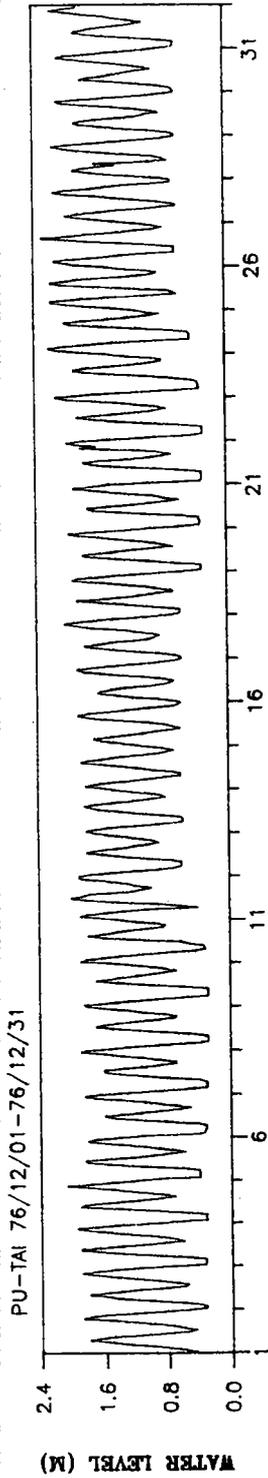


圖3-1.10 布袋漁港潮位實測資料圖

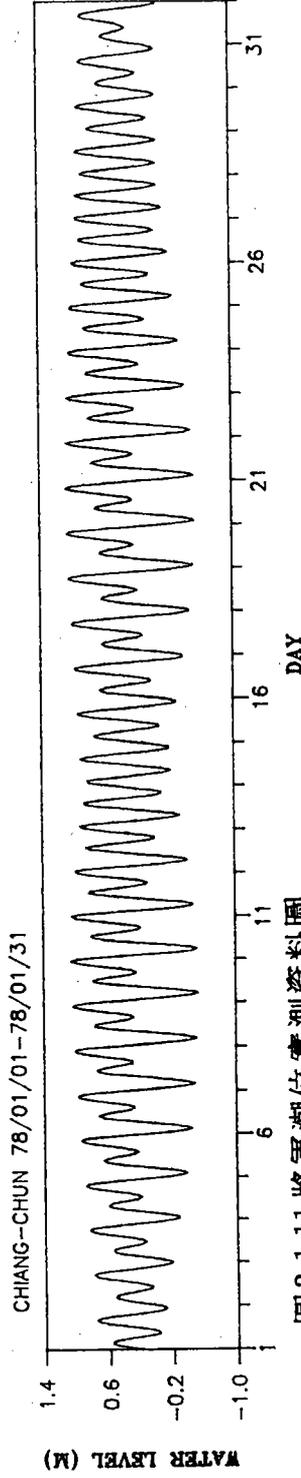


圖3-1.11 將軍潮位實測資料圖

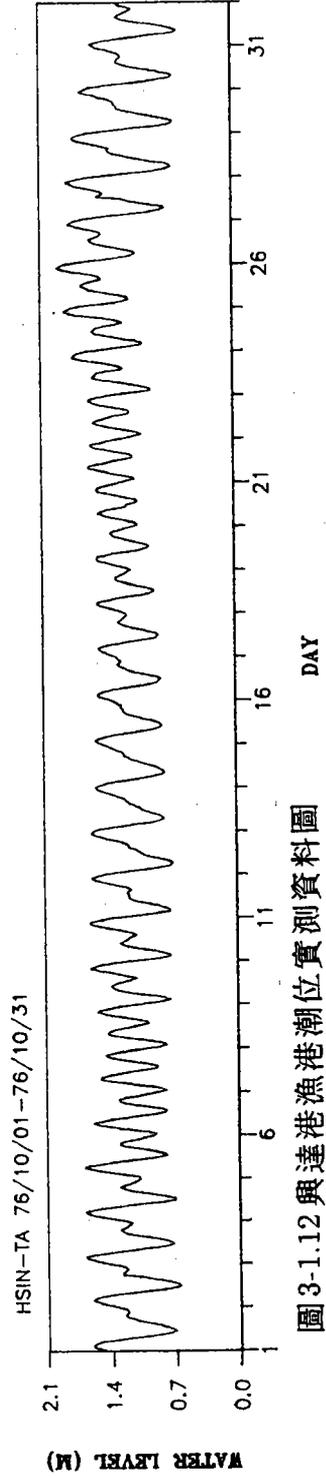
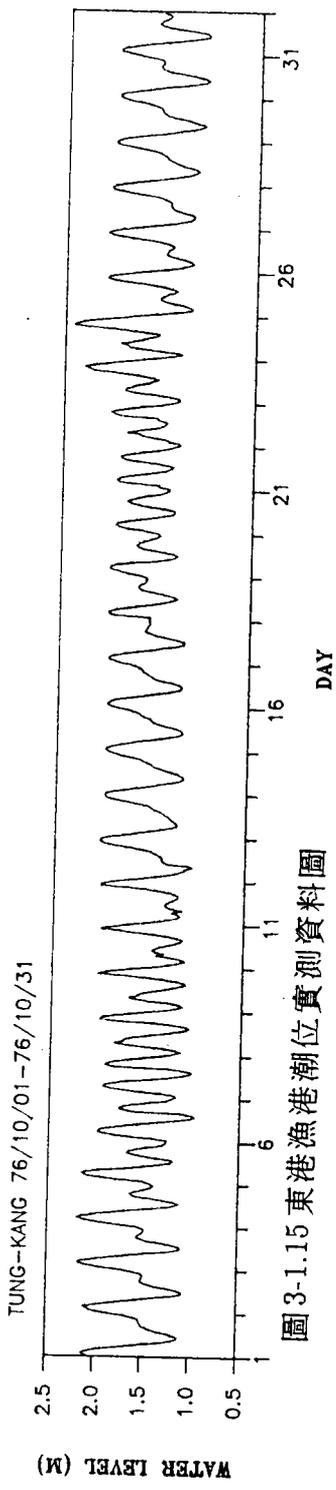
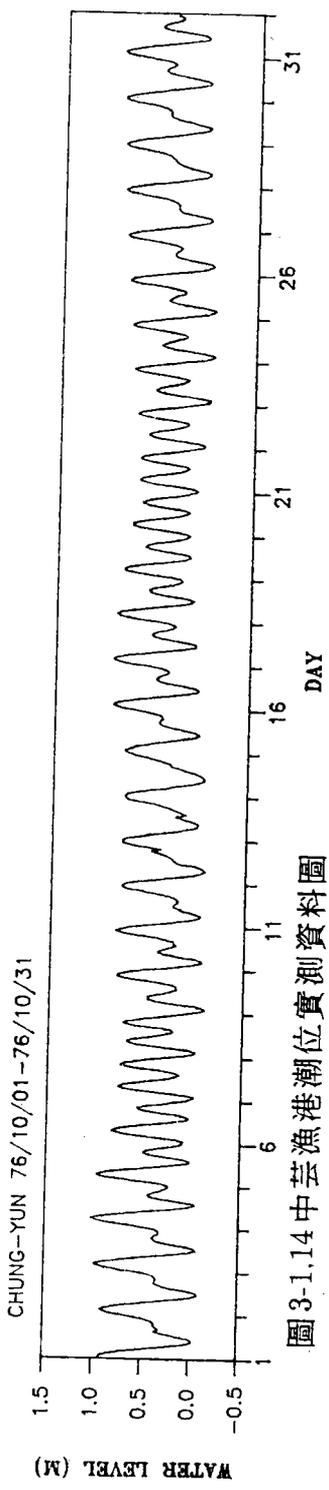
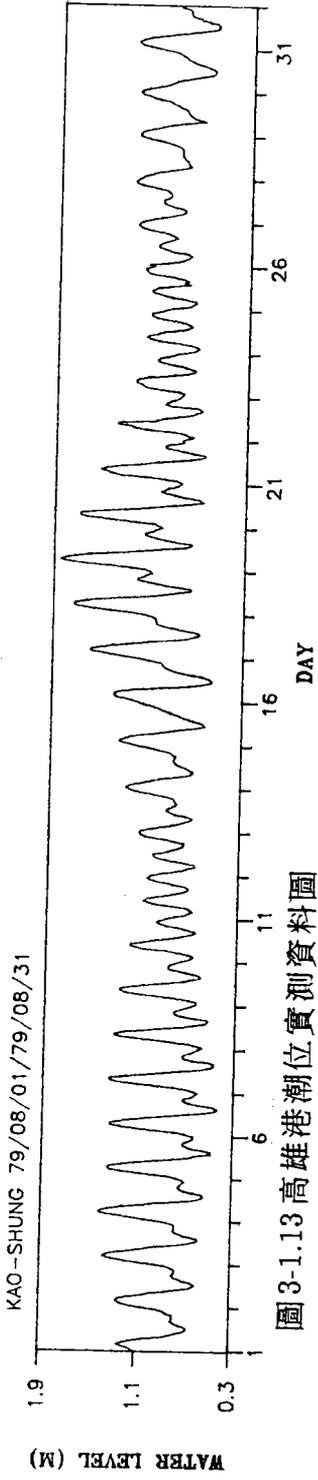


圖3-1.12 興達漁港潮位實測資料圖



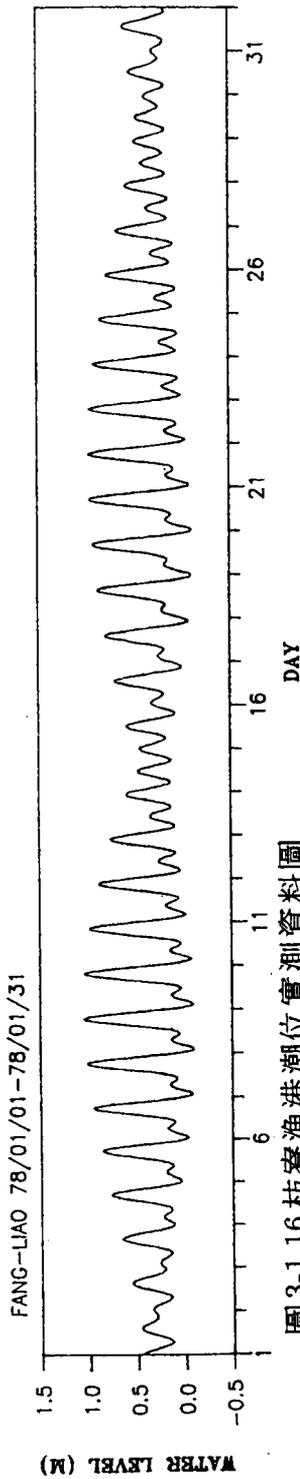


圖 3-1.16 枋寮漁港潮位實測資料圖

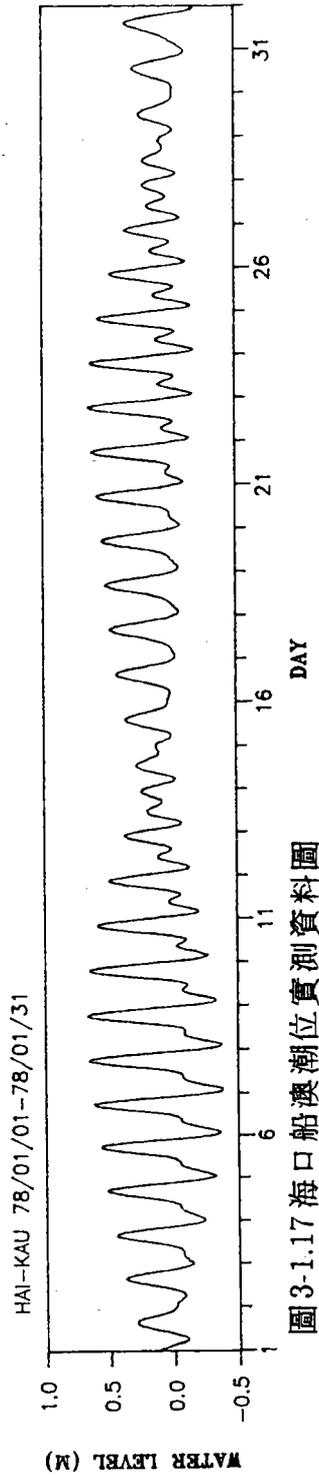


圖 3-1.17 海口船澳潮位實測資料圖

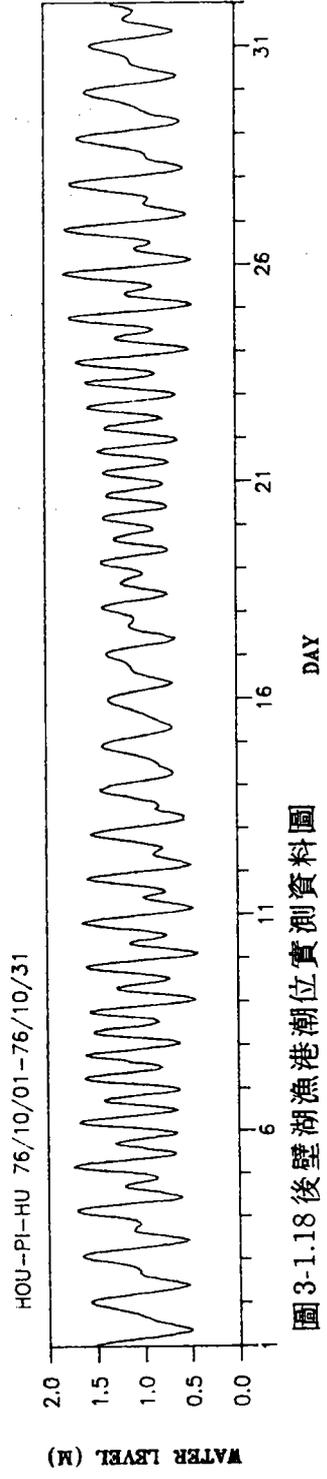
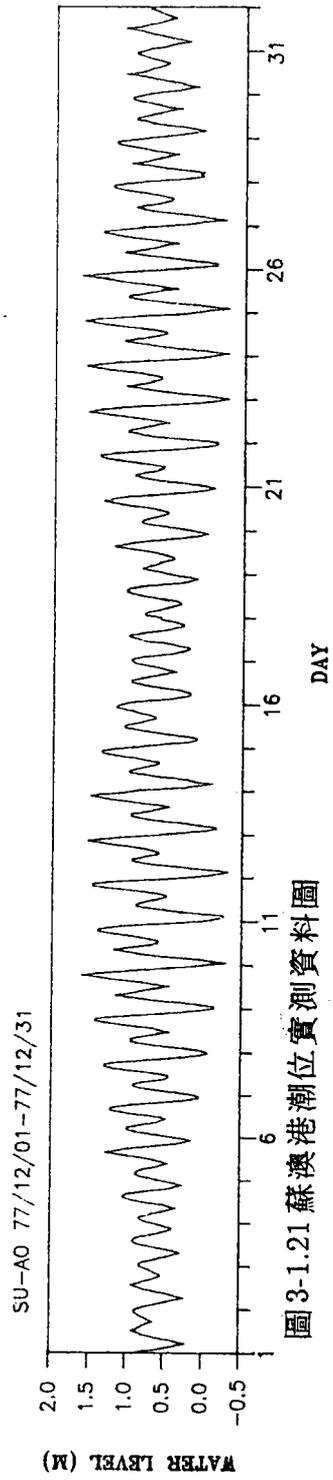
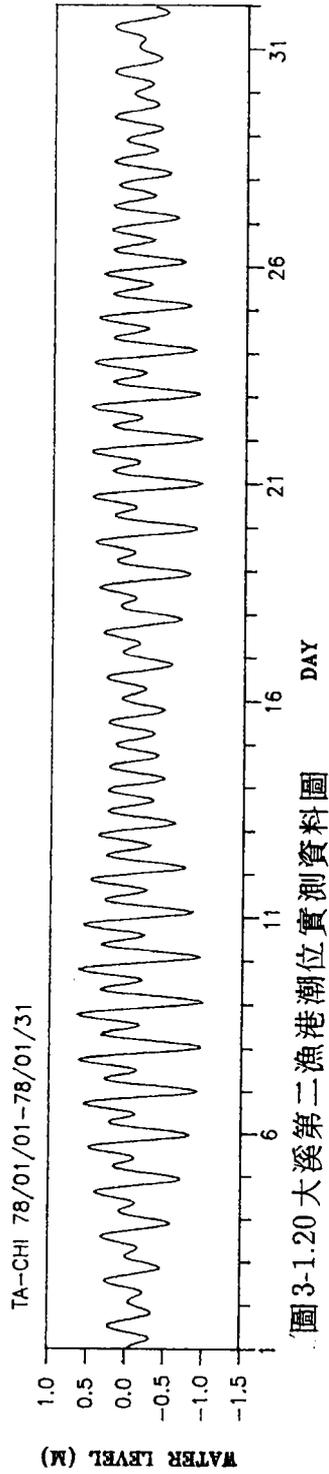
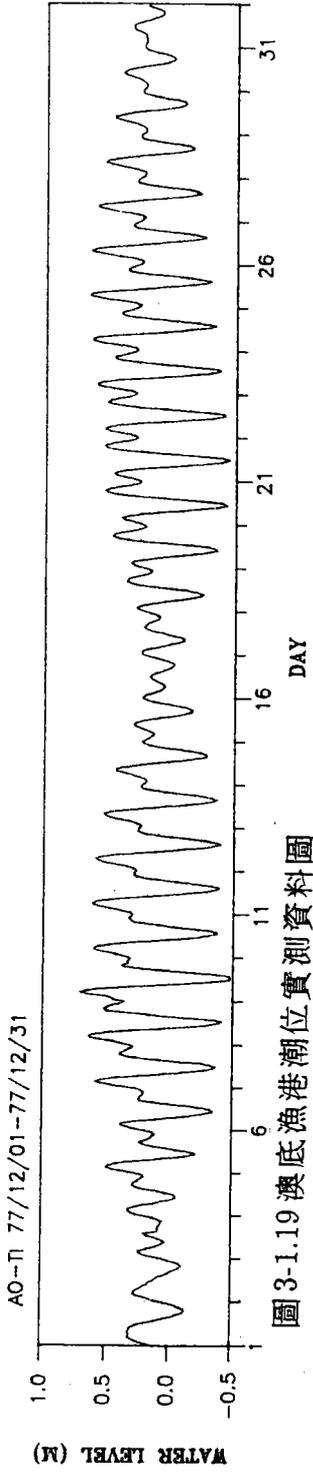


圖 3-1.18 後壁湖漁港潮位實測資料圖



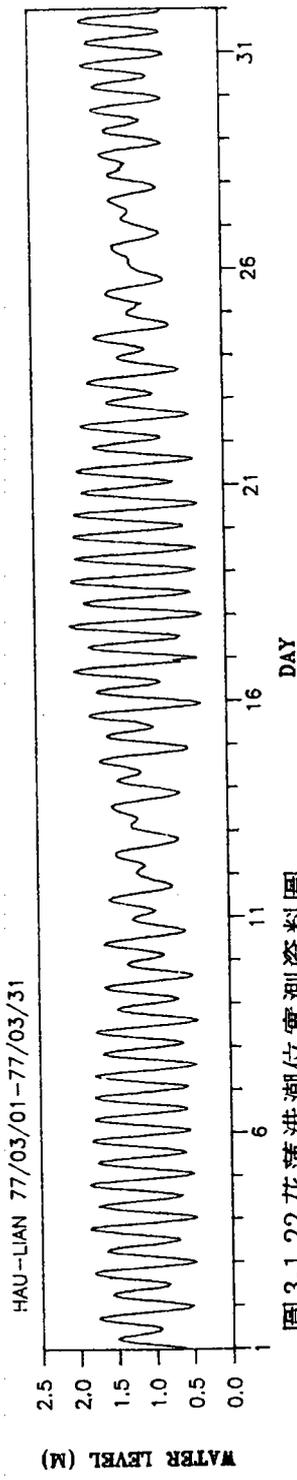


圖3-1.22 花蓮港潮位實測資料圖

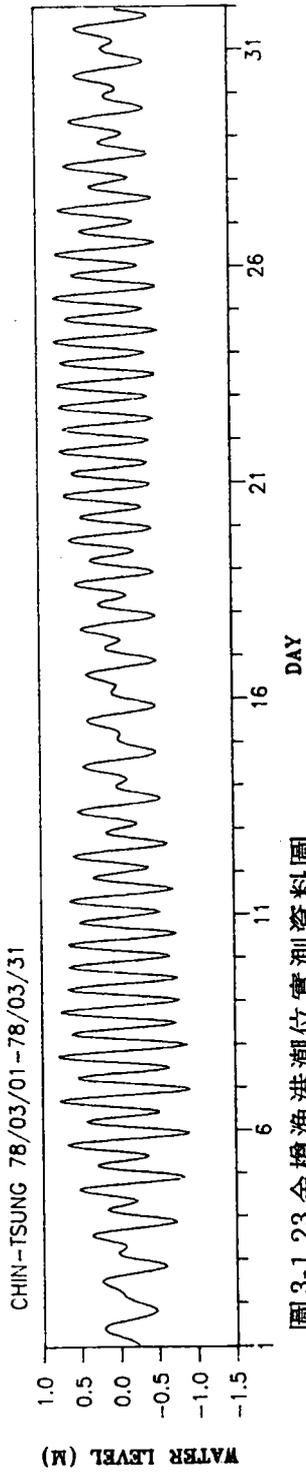


圖3-1.23 金樽漁港潮位實測資料圖

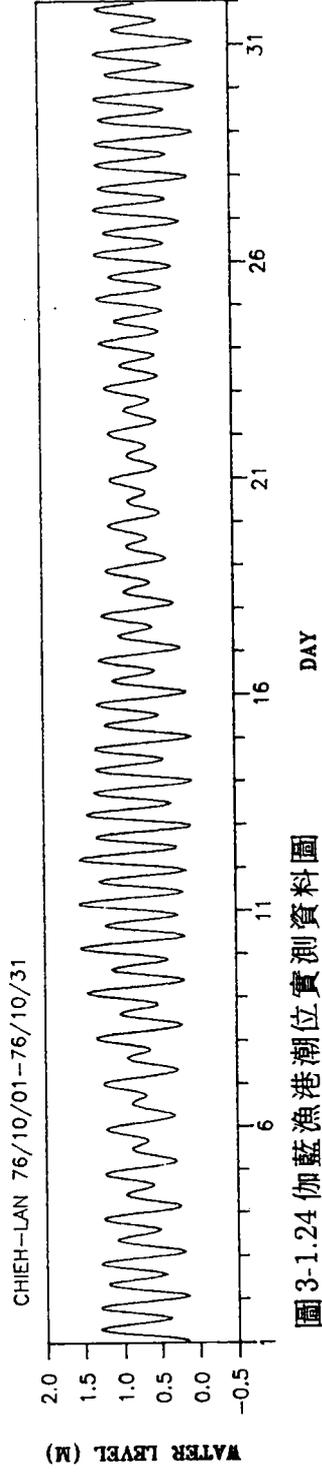
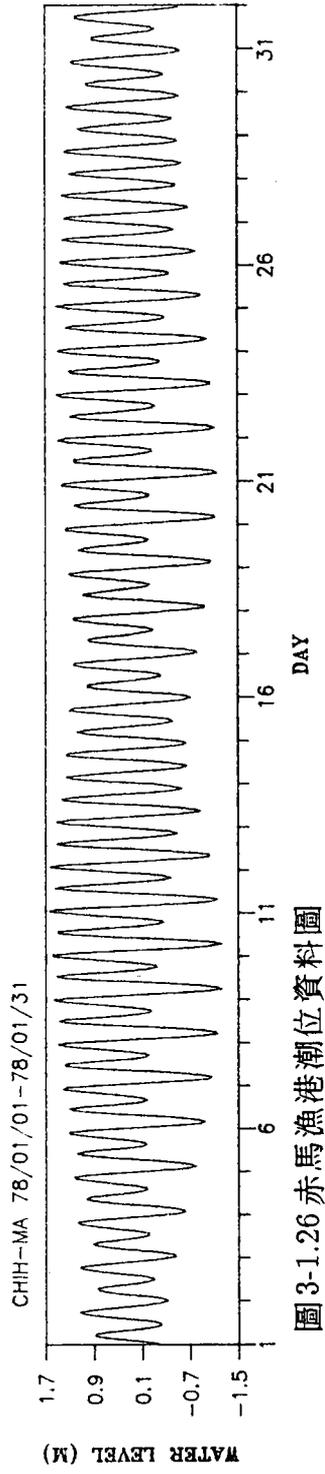
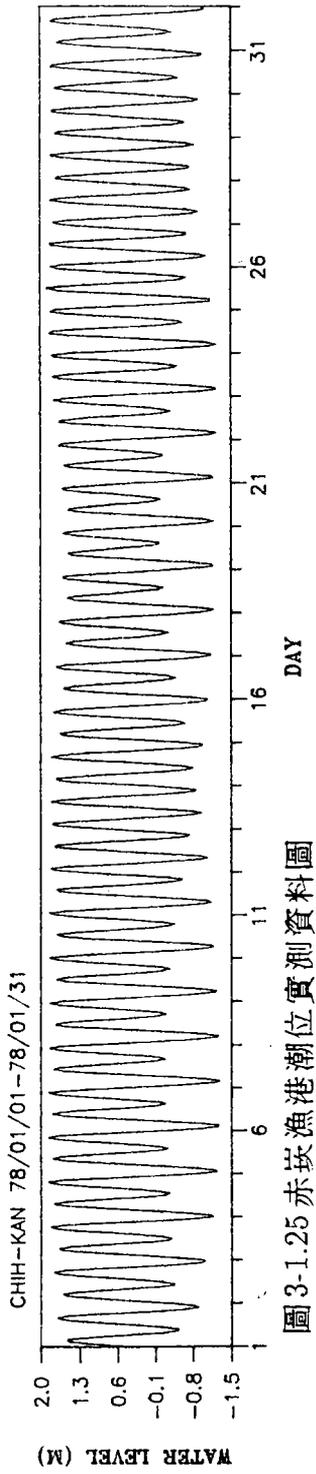


圖3-1.24 仰藍漁港潮位實測資料圖



KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N
 1989/01/01/00:-1989/12/31/22: 8759(0000)

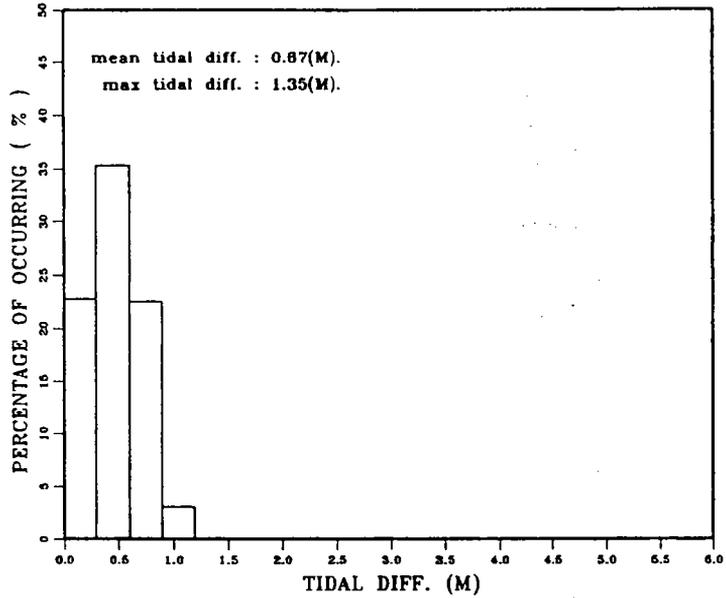


圖 3-2.1 基隆港潮差統計分佈圖

FU-CHI HARBOUR 121.31.32'E 25.17.38'N
 1988/12/15/00:-1989/04/30/23: 3288(0000)

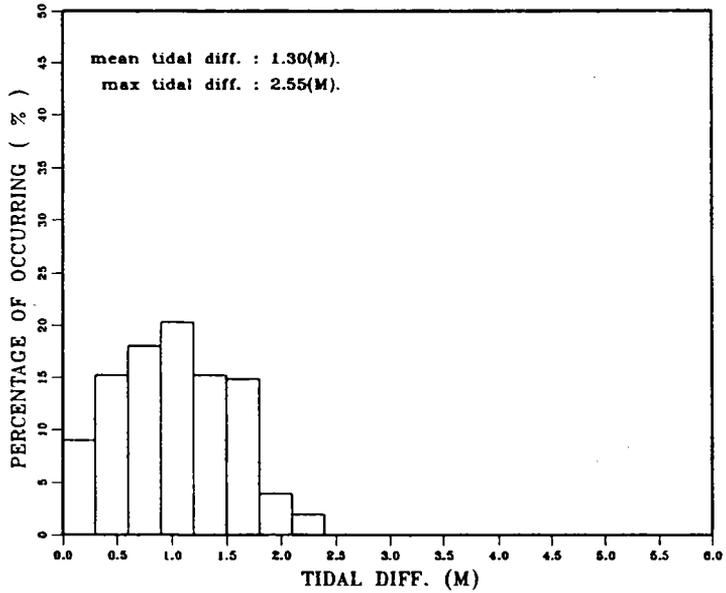


圖 3-2.2 富基漁港潮差統計分佈圖

TAN-SHUI STATION 121.24.27'E 25.10.45'N
 1984/12/28/00:-1986/01/01/00: 8857(0000)

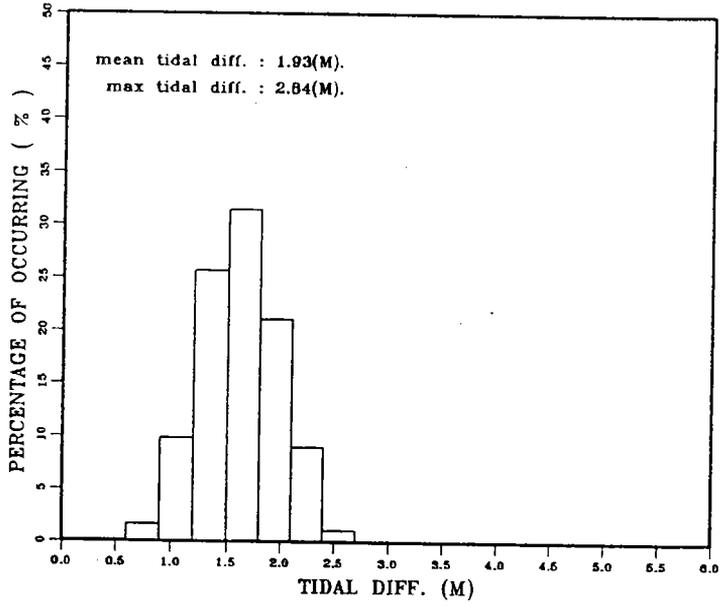


圖3-2.3 淡水油車口潮差統計分佈圖

CHU-WEI STATION 121.14.11'E 25.07.10'N
 1988/01/01/00:-1989/01/04/00: 8857(0000)

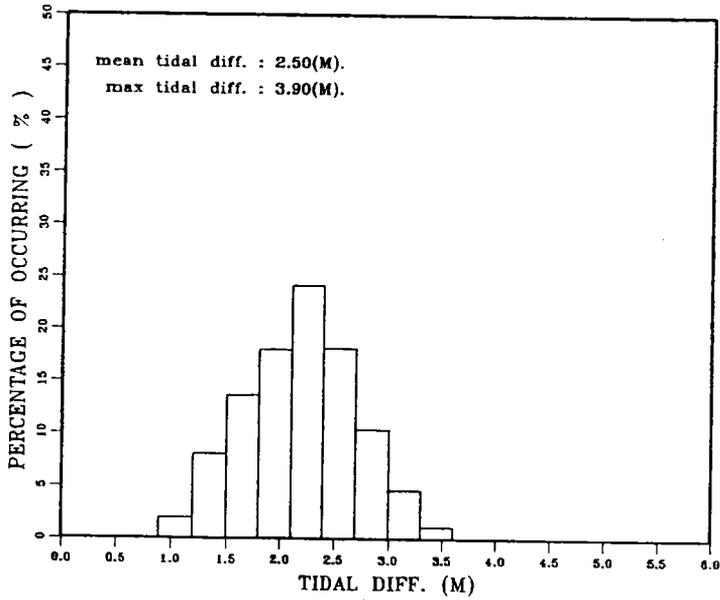


圖3-2.4 竹圍潮差統計分佈圖

YUNG-AN HARBOUR 121.00.33'E 24.59.54'N
 1987/09/16/00:-1988/09/07/08: 8577(0000)

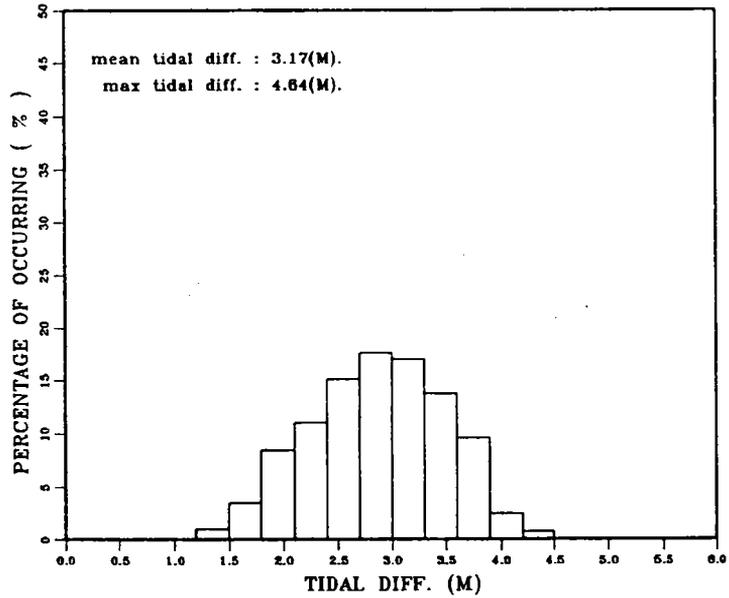


圖3-2.5 永安漁港潮差統計分佈圖

HSIN-CHU HARBOUR 120.55.18'E 24.51.04'N
 1986/09/26/00:-1987/08/05/14: 7527(0000)

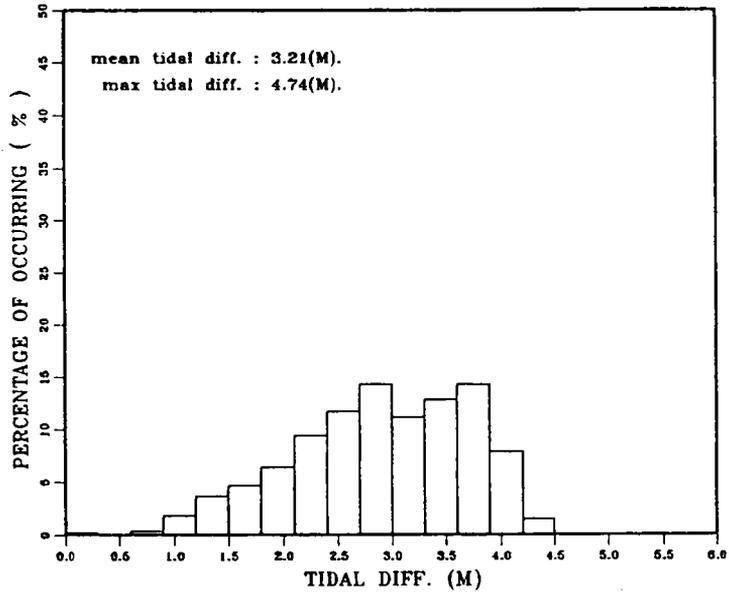


圖3-2.6 新竹漁港潮差統計分佈圖

WAI-PU HARBOUR 120.45.49'E 24.30.13'N
 1989/07/12/00:-1989/08/31/23: 1224(0000)

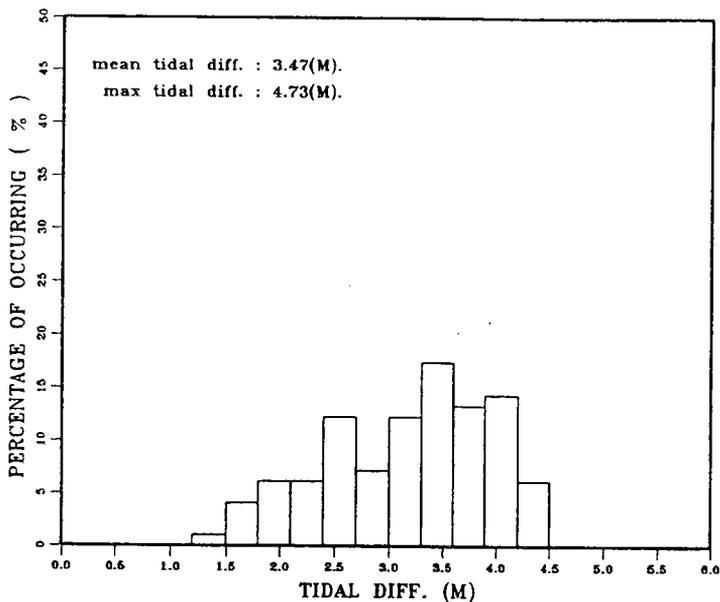


圖3-2.7 外埔漁港潮差統計分佈圖

TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N
 1988/01/01/00:-1988/12/31/23: 8784(0105)

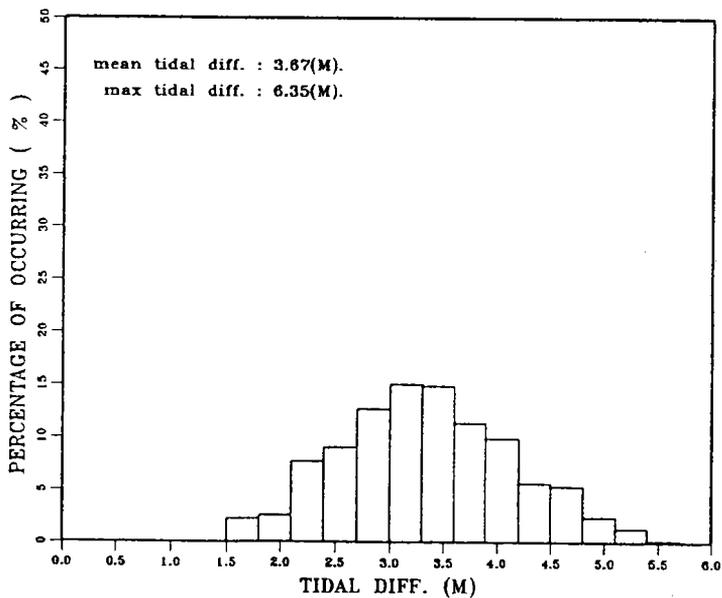


圖3-2.8 台中港潮差統計分佈圖

PO-TZU-LIAO HARBOUR 120.07.58'E 23.37.15'N
 1988/11/01/00:-1989/08/30/23: 7272(0000)

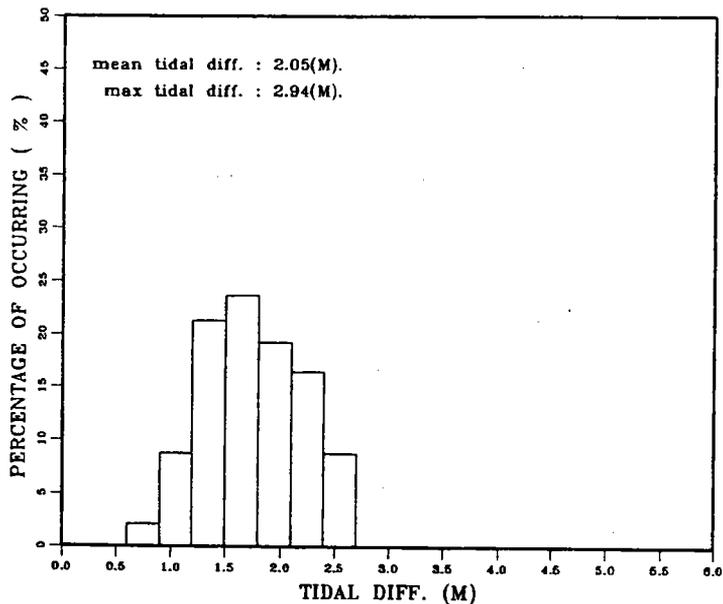


圖 3-2.9 箔子寮漁港潮差統計分佈圖

PU-TAI HARBOUR 120.08.59'E 23.22.57'N
 1987/09/01/00:-1988/08/31/23: 8784(0000)

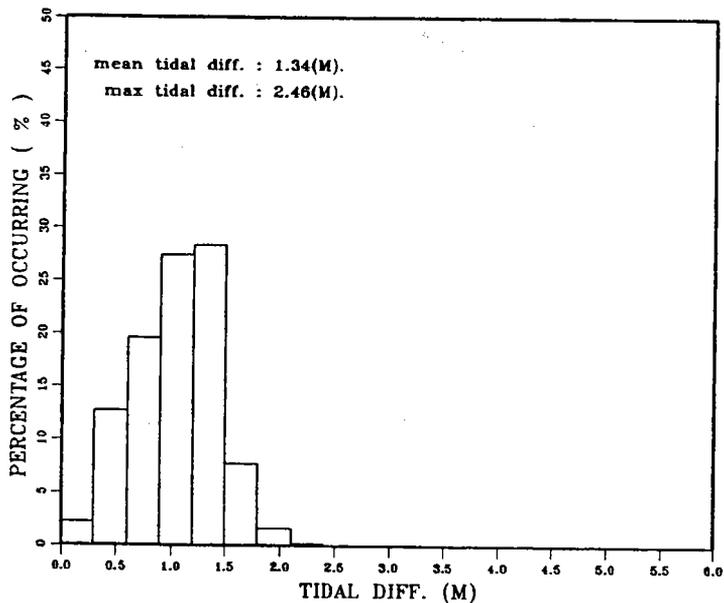


圖 3-2.10 布袋漁港潮差統計分佈圖

KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N
1989/01/01/00:-1989/12/31/22: 2048(0000)

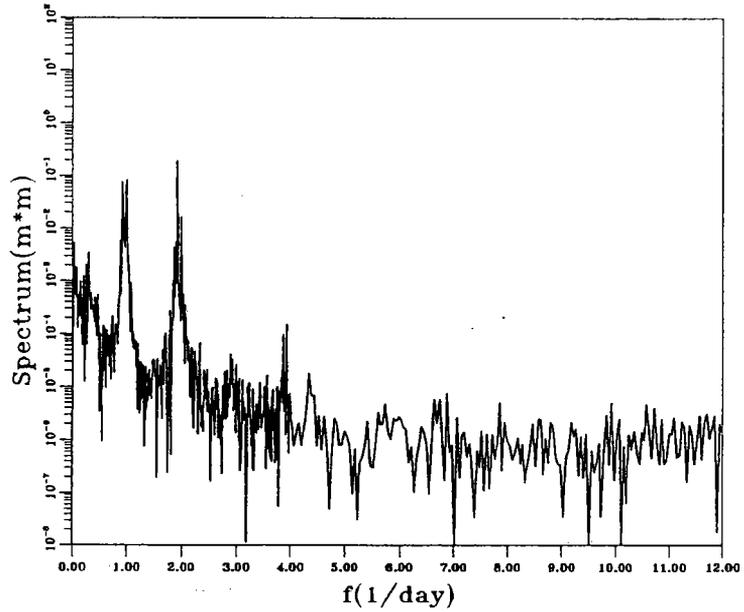


圖 3-3.1 基隆港潮位能譜圖

FU-CHI HARBOUR 121.31.32'E 25.17.38'N
1988/12/15/00:-1989/04/30/23: 2048(0000)

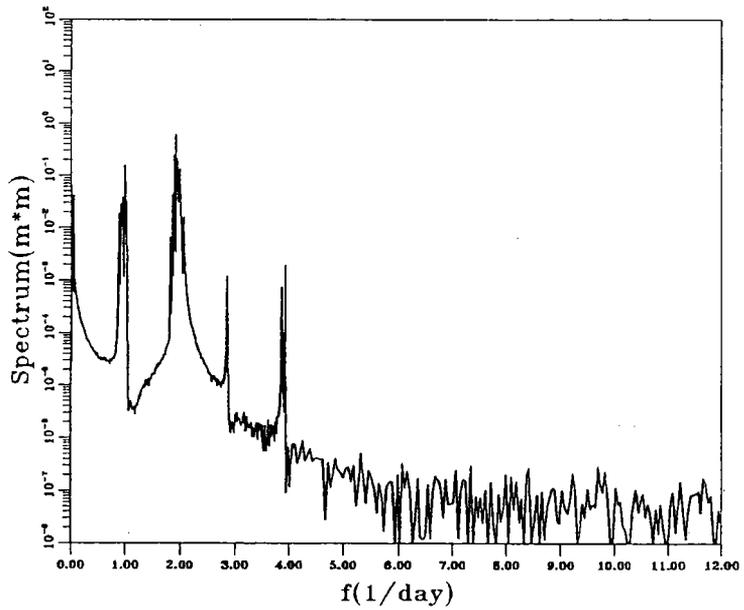


圖 3-3.2 富基漁港潮位能譜圖

KAO-SHONG HARBOUR 120.16.02'E 22.37.04'N
 1975/01/01/00:-1975/12/31/22: 8783(0000)

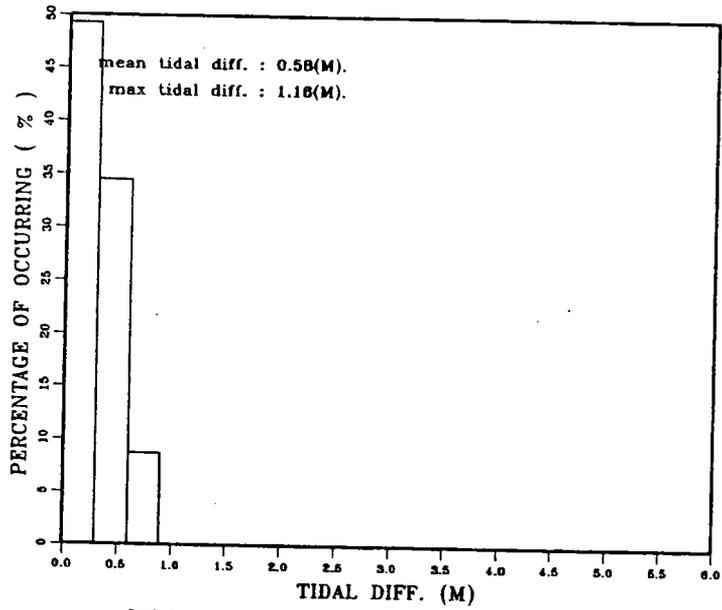


圖3-2.13 高雄港潮差統計分佈圖

CHUNG-YUN HARBOUR 120.23.27'E 22.29.10'N
 1987/08/28/00:-1988/09/04/22: 8975(0000)

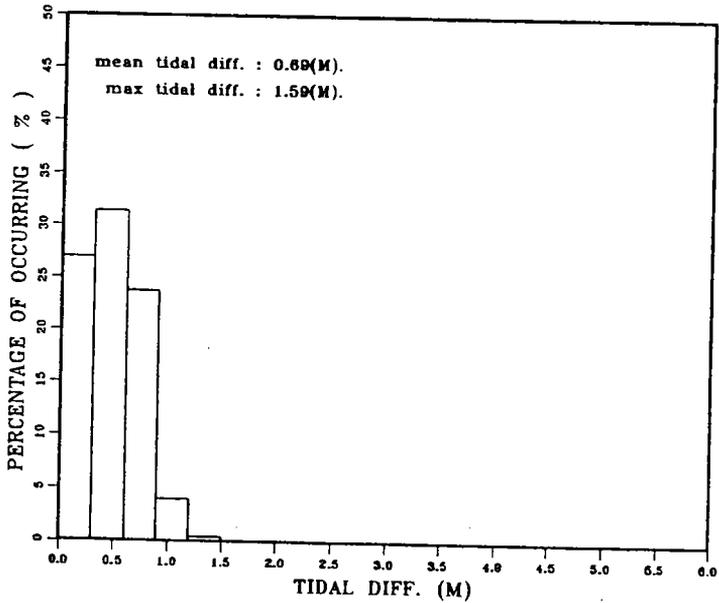


圖3-2.14 中芸漁港潮差統計分佈圖

TUNG-KANG HARBOUR 120.26.07'E 22.28.04'N
 1987/08/24/00:-1988/07/18/04: 7901(0000)

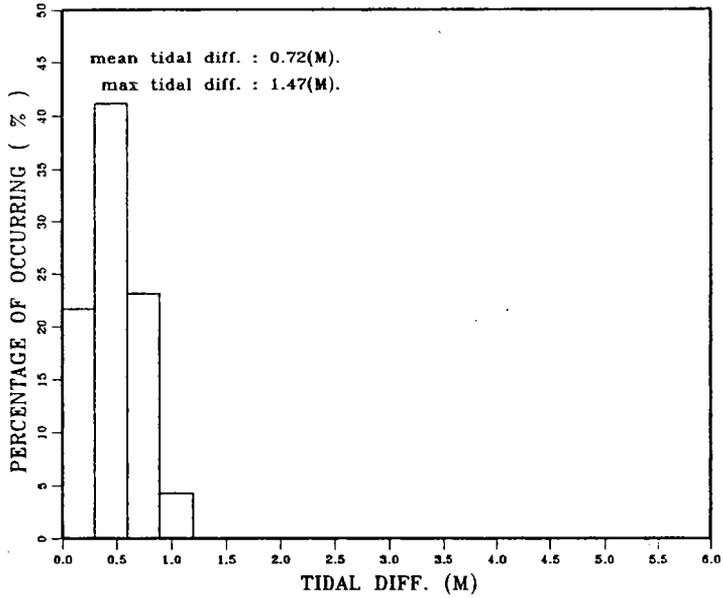


圖3-2.15 東港漁港潮差統計分佈圖

FANG-LIAO HARBOUR 120.35.04'E 22.21.55'N
 1988/10/20/00:-1989/08/31/23: 7584(0000)

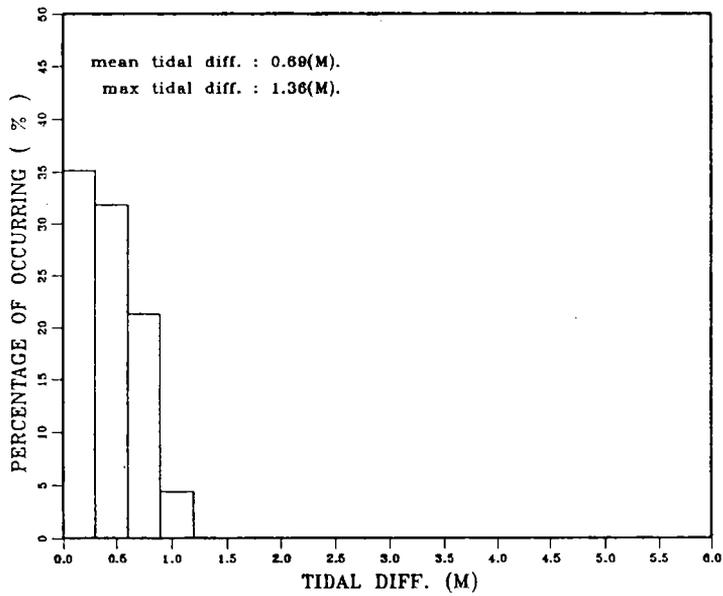


圖3-2.16 枋寮漁港潮差統計分佈圖

HAI-KAU STATION 120.42.25'E 22.05.32'N
 1988/11/03/00:-1989/06/30/23: 5760(0000)

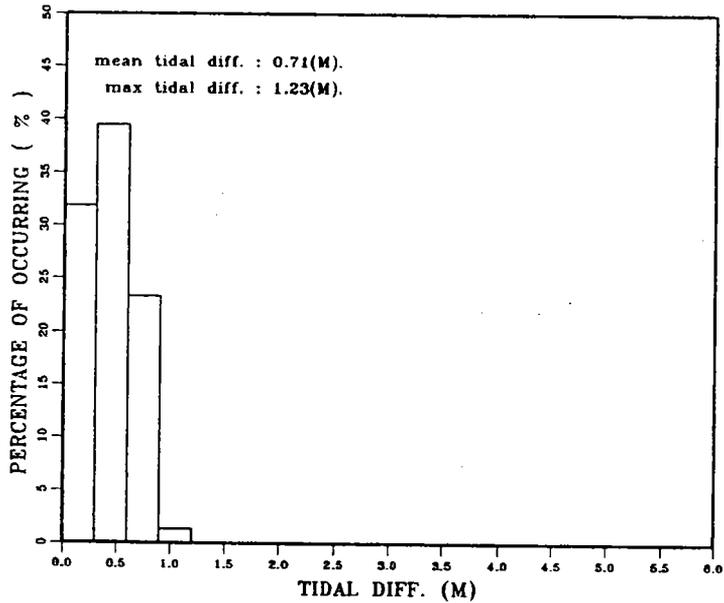


圖3-2.17 海口船澳潮差統計分佈圖

HOU-PI-HU HARBOUR 120.44.11'E 21.56.47'N
 1987/09/03/00:-1988/08/30/09: 8698(0000)

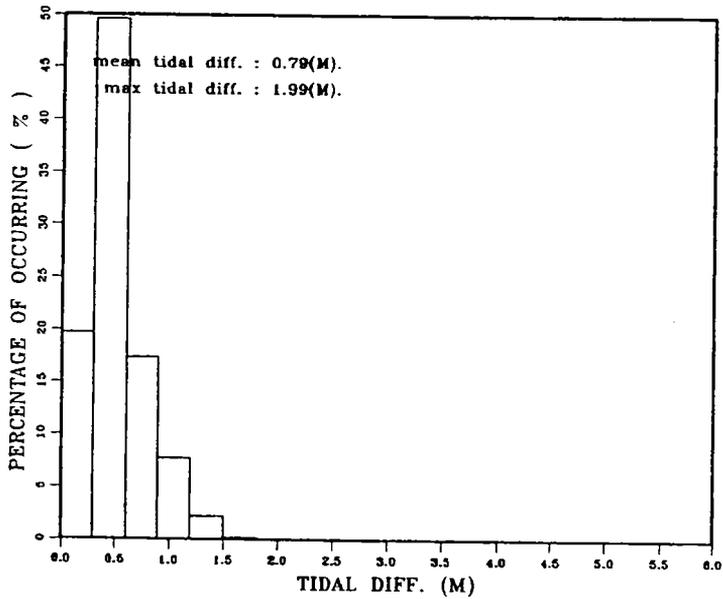


圖3-2.18 後壁湖漁港潮差統計分佈圖

AO-TI HARBOUR 121.55.05'E 25.03.34'N
 1988/11/04/00:-1989/07/16/20: 6117(0000)

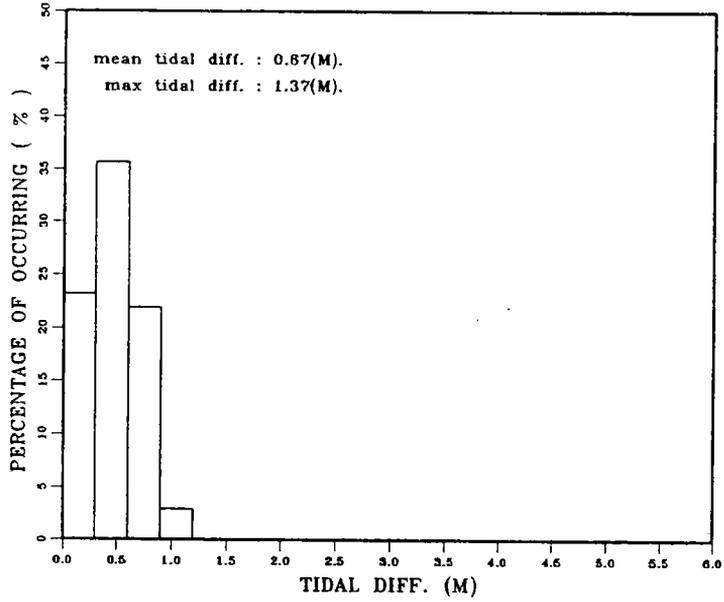


圖3-2.19 澳底漁港潮差統計分佈圖

TA-CHI HARBOUR 121.53.24'E 24.56.36'N
 1988/10/13/00:-1989/08/31/23: 7752(0000)

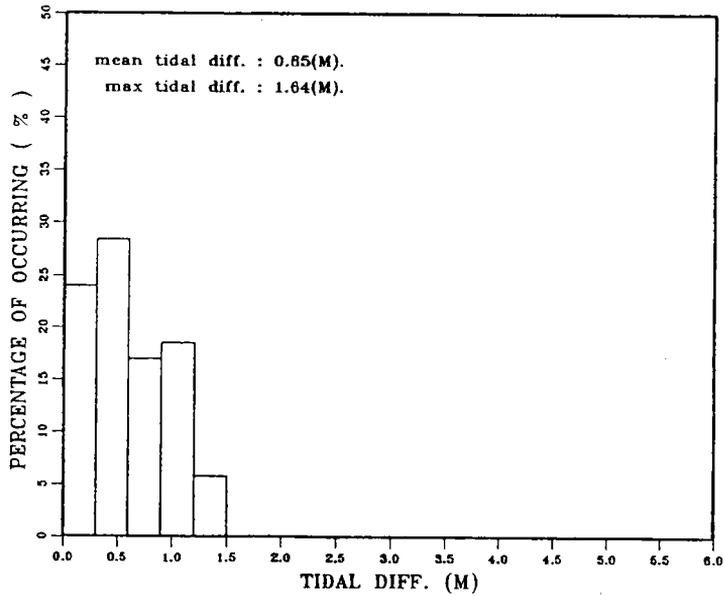


圖3-2.20 大溪第二漁港潮差統計分佈圖

SU-AO HARBOUR 121.51.32'E 24.36.04'N
 1988/11/01/00:-1989/04/30/23: 4344(0000)

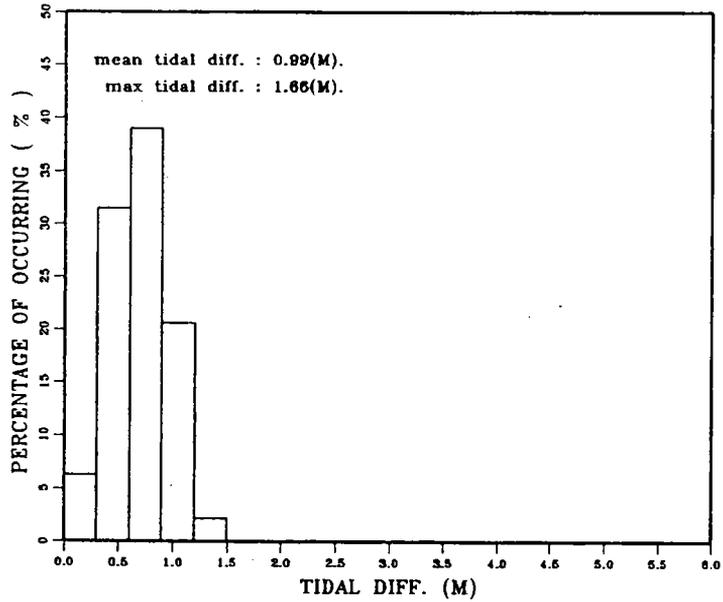


圖3-2.21 蘇澳港潮差統計分佈圖

HAU-LIAN HARBOUR 120.37.42'E 23.59.36'N
 1989/01/01/00:-1989/11/30/23: 8016(0649)

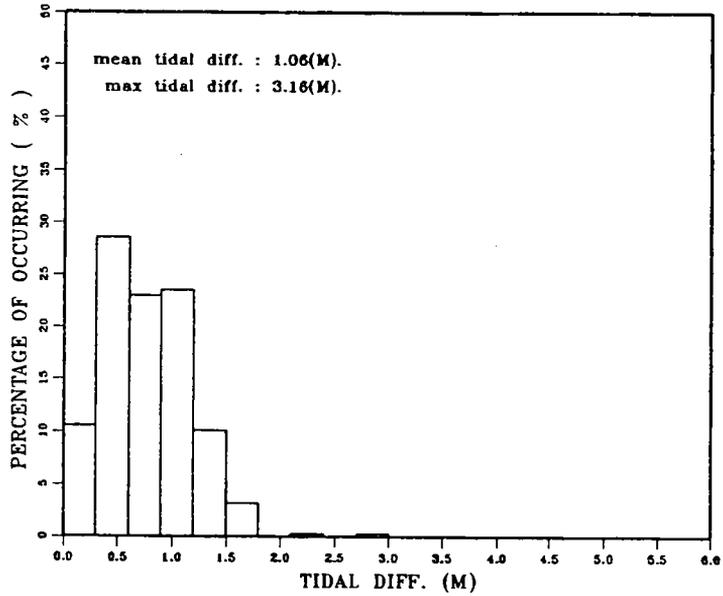


圖3-2.22 花蓮港潮差統計分佈圖

CHIN-TSUN HARBOUR 121.17.06'E 22.57.29'N
1989/02/03/00:-1989/08/31/23: 5040(0000)

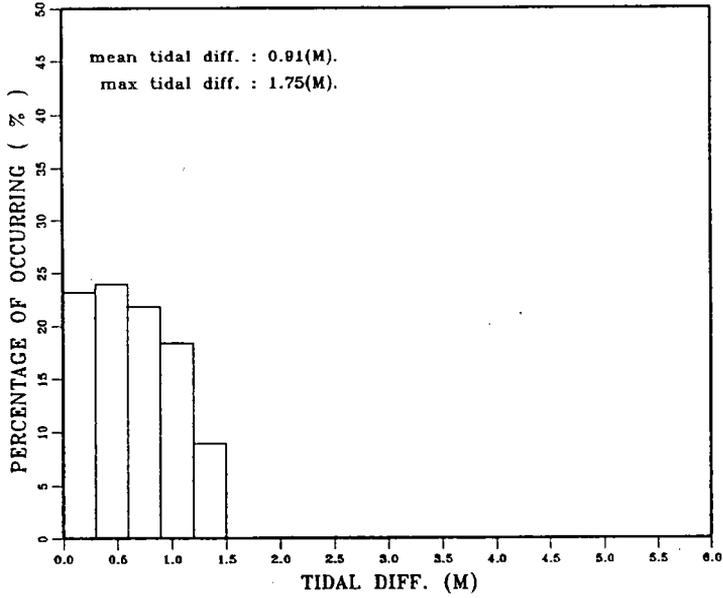


圖3-2.23 金樽漁港潮差統計分佈圖

CHIEH-LAN HARBOUR 121.11.35'E 22.48.50'N
1987/09/01/00:-1988/09/06/06: 8911(0000)

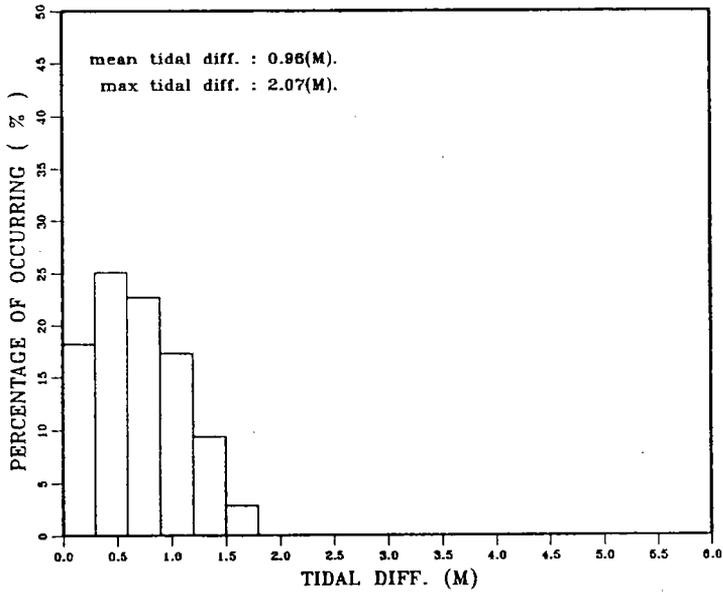


圖3-2.24 伽藍漁港潮差統計分佈圖

CHIH-KAN HARBOUR 119.35.43'E 23.40.07'N
 1988/12/23/00:-1989/07/30/23: 5280(0000)

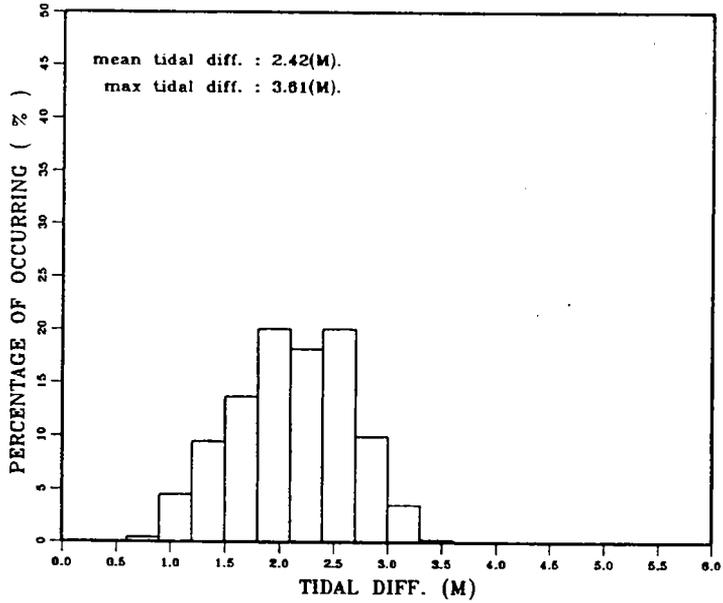


圖3-2.25 赤崁漁港潮差統計分佈圖

CHIH-MA HARBOUR 119.30.20'E 23.35.01'N
 1988/11/22/00:-1989/06/30/23: 6768(0000)

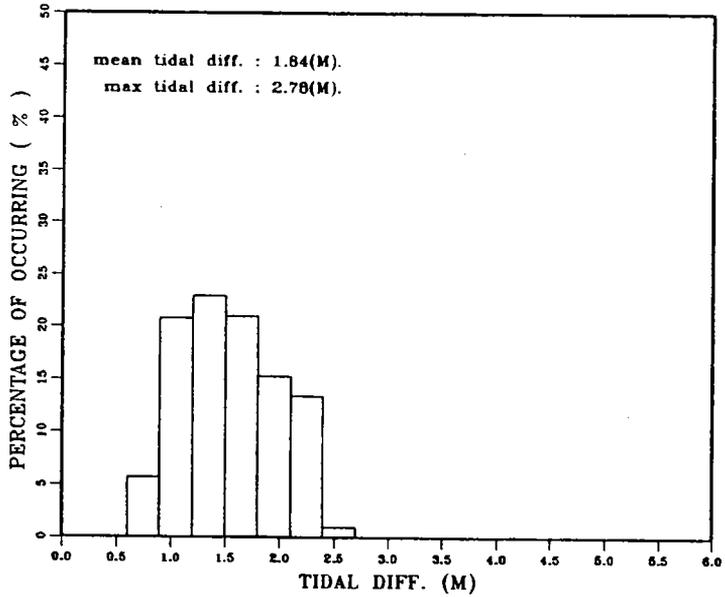


圖3-2.26 赤馬漁港潮差統計分佈圖

KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N
1989/01/01/00:-1989/12/31/22: 2048(0000)

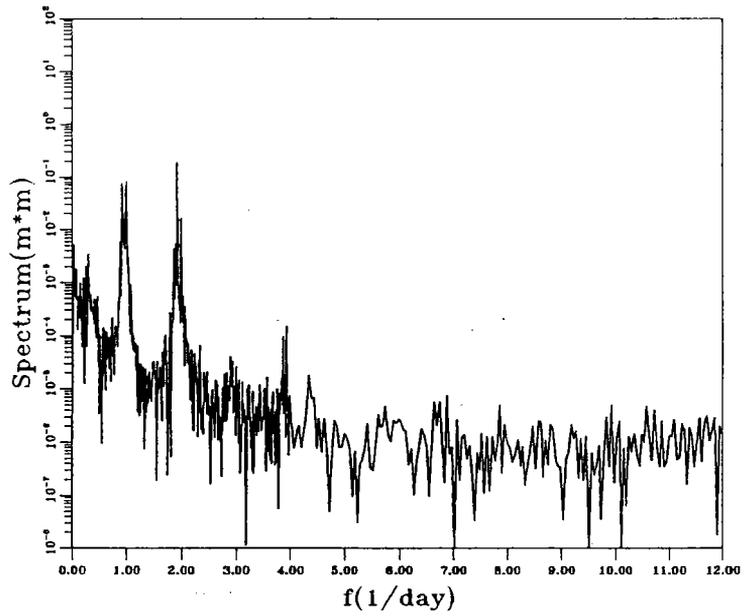


圖3-3.1 基隆港潮位能譜圖

FU-CHI HARBOUR 121.31.32'E 25.17.38'N
1988/12/15/00:-1989/04/30/23: 2048(0000)

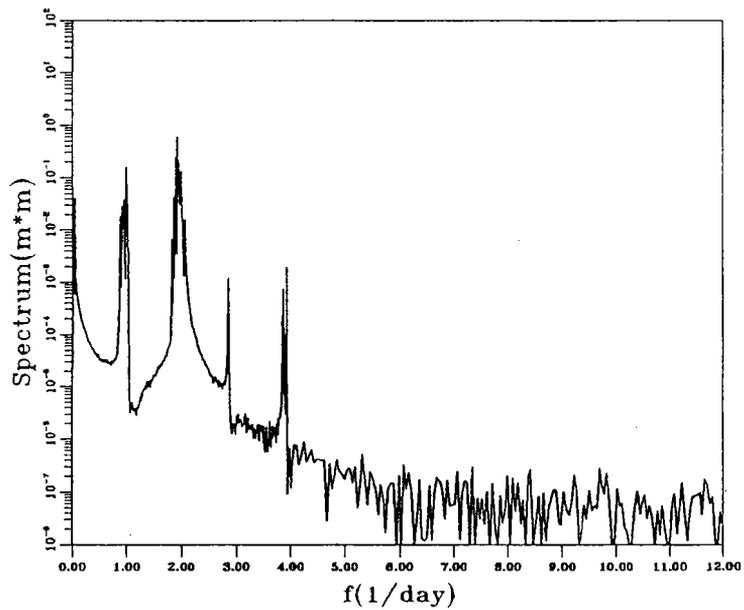


圖3-3.2 富基漁港潮位能譜圖

TAN-SHUI STATION 121.24.27'E 25.10.45'N
 1984/12/28/00:-1986/01/01/00: 2048(8000)

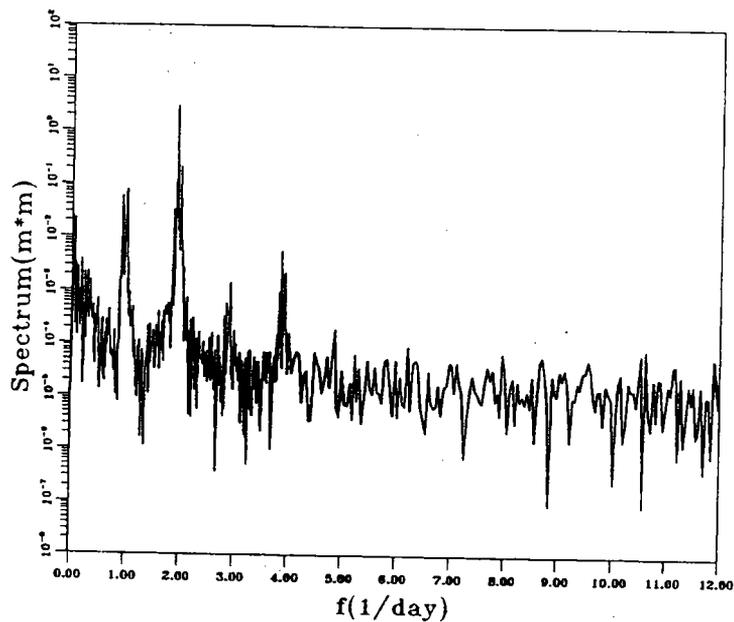


圖3-3.3 淡水油車口潮位能譜圖

CHU-WEI STATION 121.14.11'E 25.07.10'N
 1988/01/01/00:-1989/01/04/00: 2048(8000)

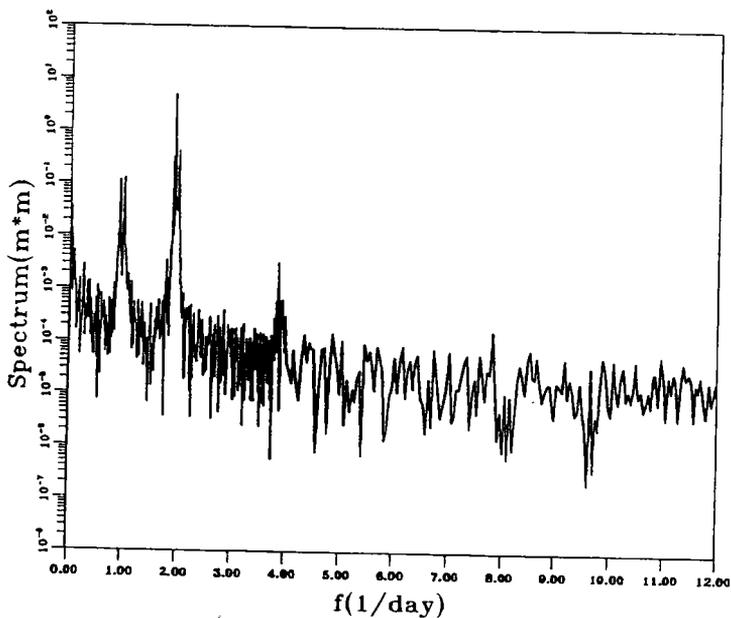


圖3-3.4 竹圍潮位站位能譜圖

YUNG-AN HARBOUR 121.00.33'E 24.59.54'N
1987/09/16/00:-1988/09/07/08: 2048(0000)

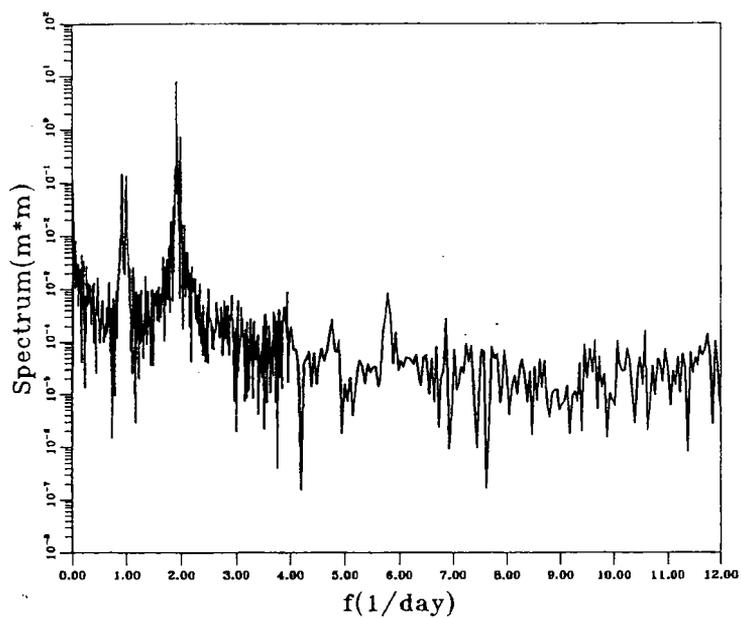


圖3-3.5 永安漁港潮位能譜圖

HSIN-CHU HARBOUR 120.55.18'E 24.51.04'N
1986/09/26/00:-1987/06/05/14: 2048(0000)

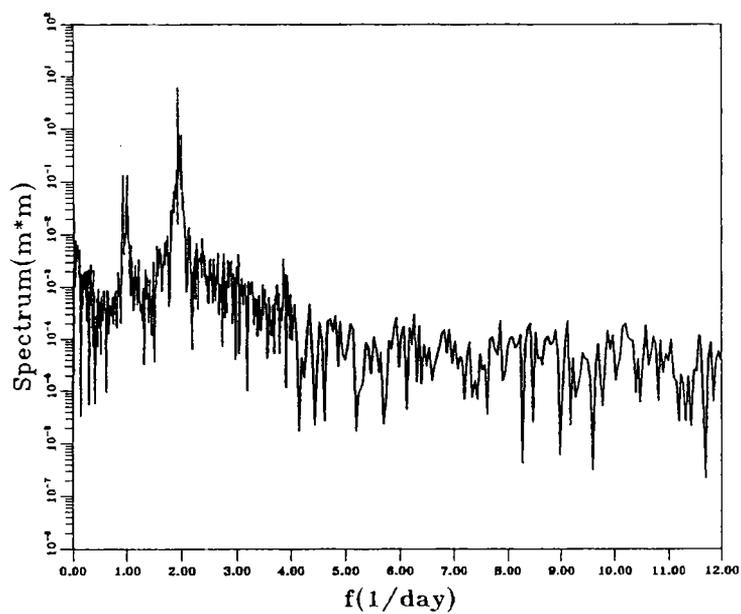


圖3-3.6 新竹漁港潮位能譜圖

WAI-PU HARBOUR 120.45.49'E 24.30.13'N
1989/07/12/00:-1989/08/31/23: 1024(0000)

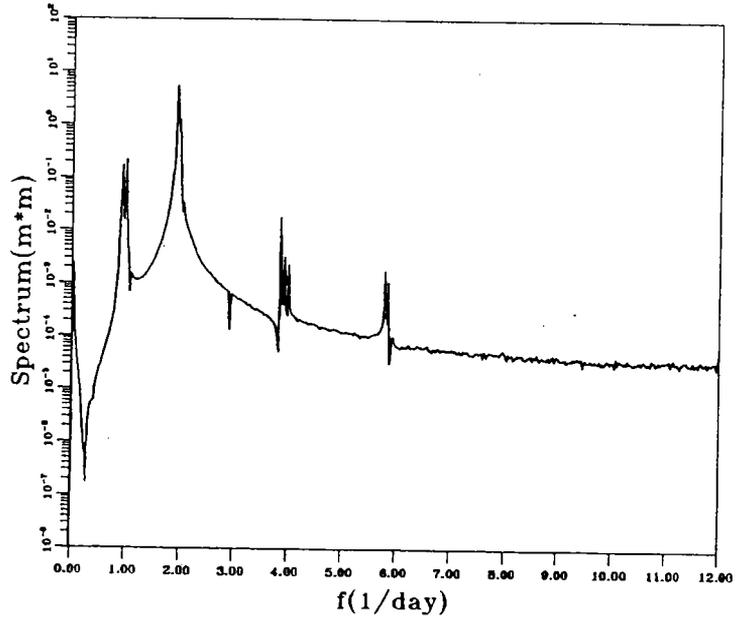


圖3-3.7 外埔漁港潮位能譜圖

TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N
1988/01/01/00:-1988/12/31/23: 2048(0000)

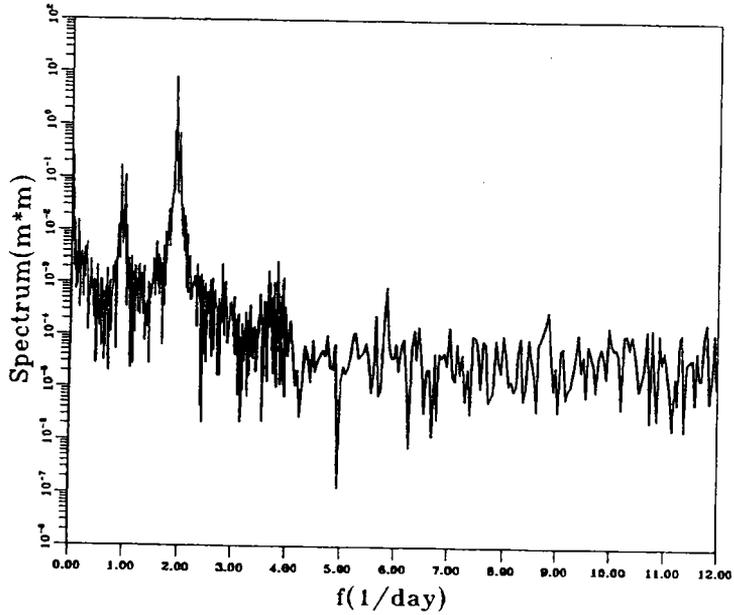


圖3-3.8 台中港潮位能譜圖

PO-TZU-LIAO HARBOUR 120.07.58'E 23.37.15'N
1988/11/01/00:-1989/08/30/23: 2048(0000)

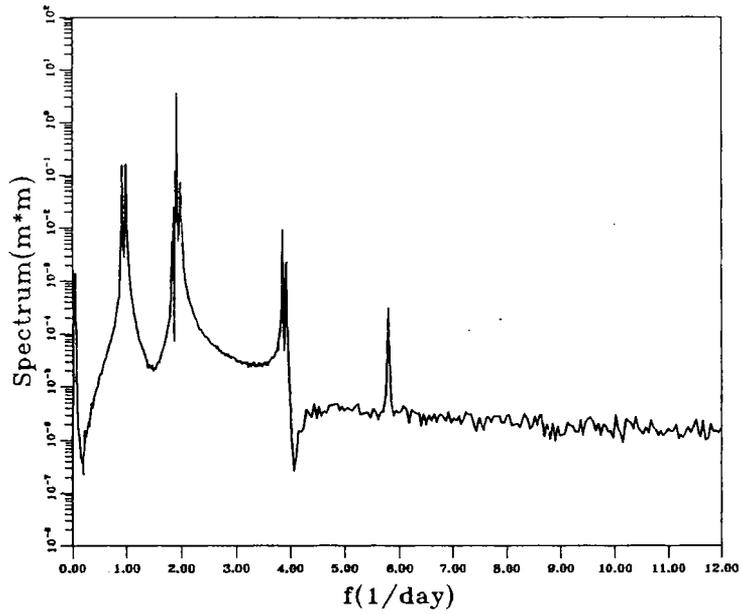


圖 3-3.9 箔子寮漁港潮位能譜圖

PU-TAI HARBOUR 120.06.59'E 23.22.57'N
1987/09/01/00:-1988/08/31/23: 2048(0000)

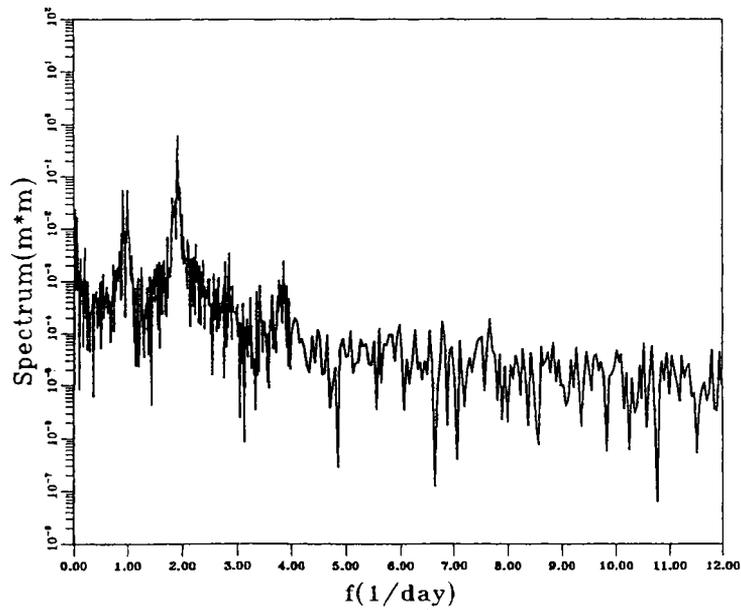


圖 3-3.10 布袋漁港潮位能譜圖

CHIANG-CHUN STATION 120.05.24'E 23.13.22'N
1988/11/03/00:-1989/08/31/23: 2048(0000)

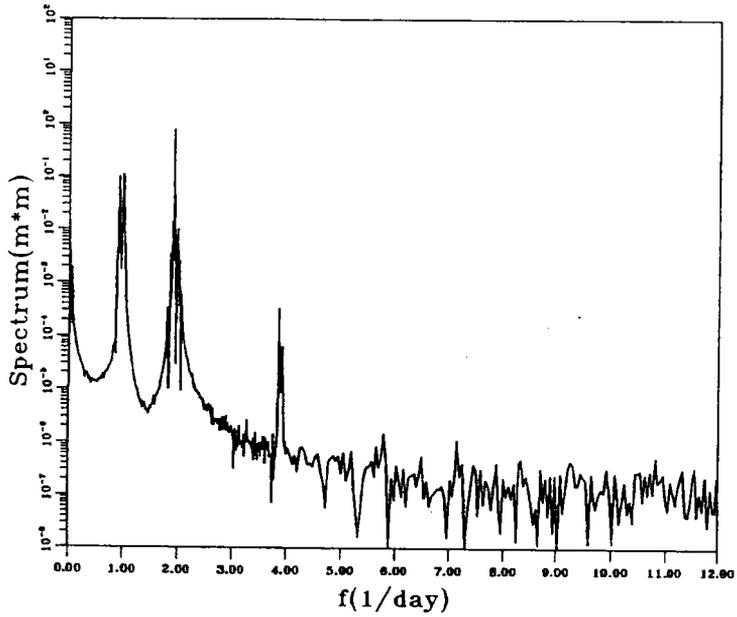


圖3-3.11 將軍潮位能譜圖

HAIN-TA HARBOUR 120.11.19'E 22.52.39'N
1987/06/25/00:-1988/06/23/10: 2048(0000)

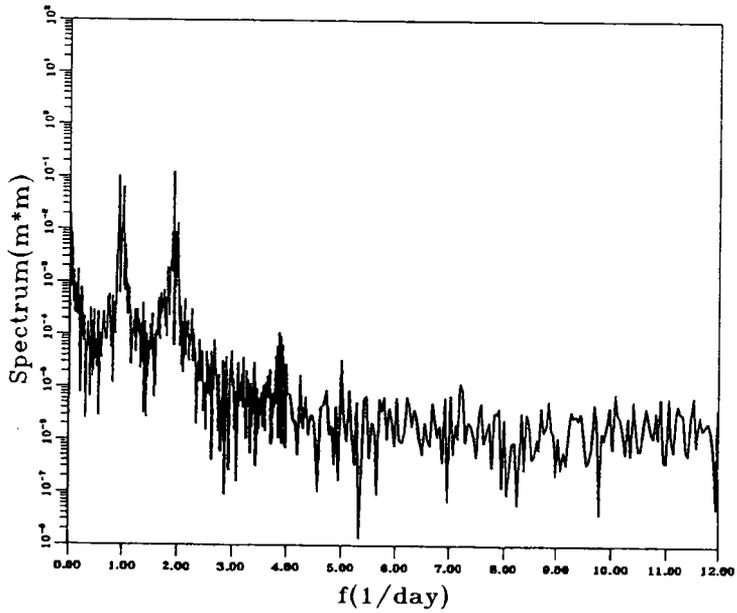


圖3-3.12 興達港漁港潮位能譜圖

KAO-SHONG HARBOUR 120.16.02'E 22.37.04'N
1975/01/01/00:-1975/12/31/22: 2048(0000)

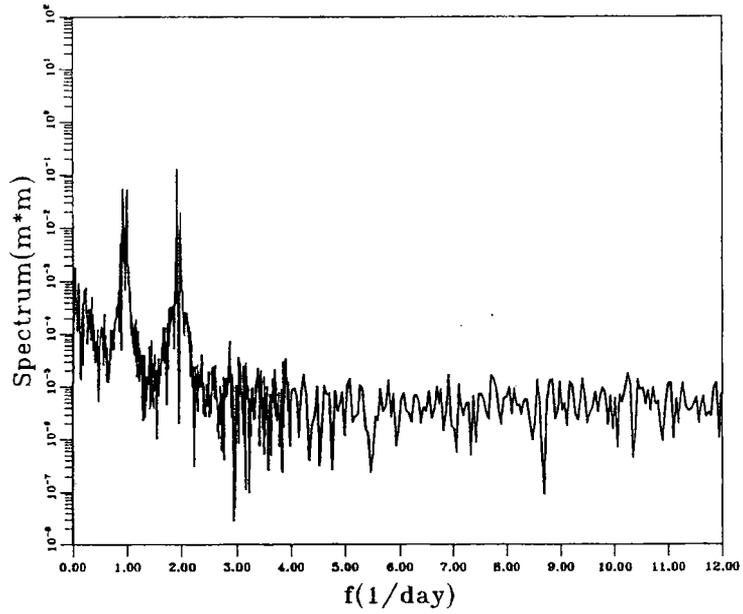


圖3-3.13 高雄港潮位能譜圖

CHUNG-YUN HARBOUR 120.23.27'E 22.29.10'N
1987/08/23/00:-1988/09/04/22: 2048(0000)

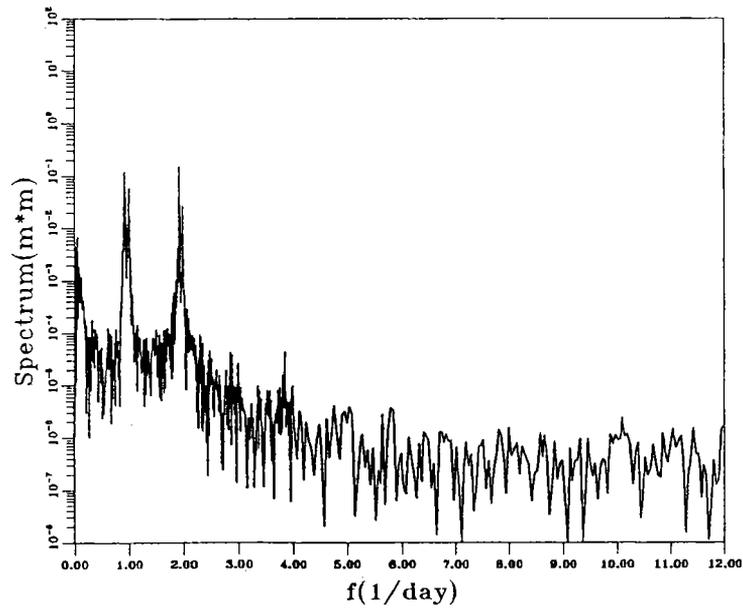


圖3-3.14 中芸漁港潮位能譜圖

TUNG-KANG HARBOUR 120.26.07'E 22.28.04'N
1987/08/24/00:-1988/07/18/04: 2048(0000)

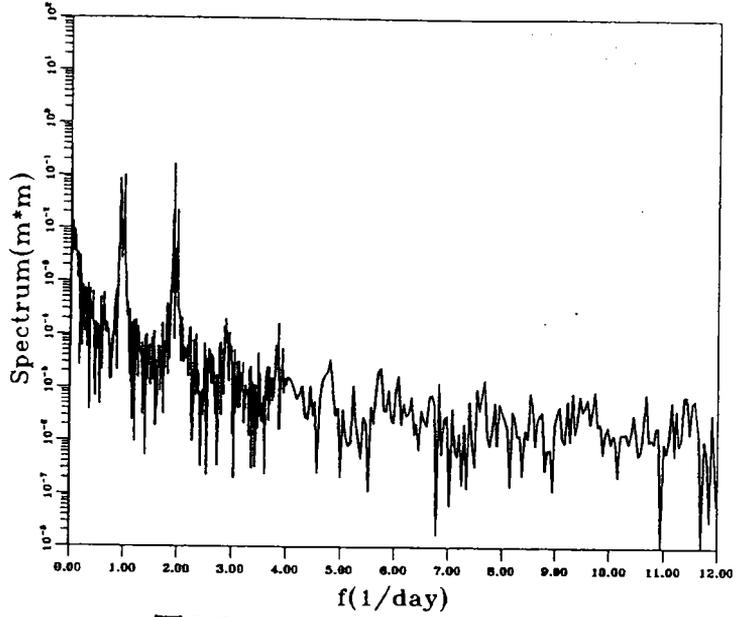


圖 3-3.15 東港漁港潮位能譜圖

FANG-LIAO HARBOUR 120.35.04'E 22.21.55'N
1988/10/20/00:-1989/08/31/23: 2048(0000)

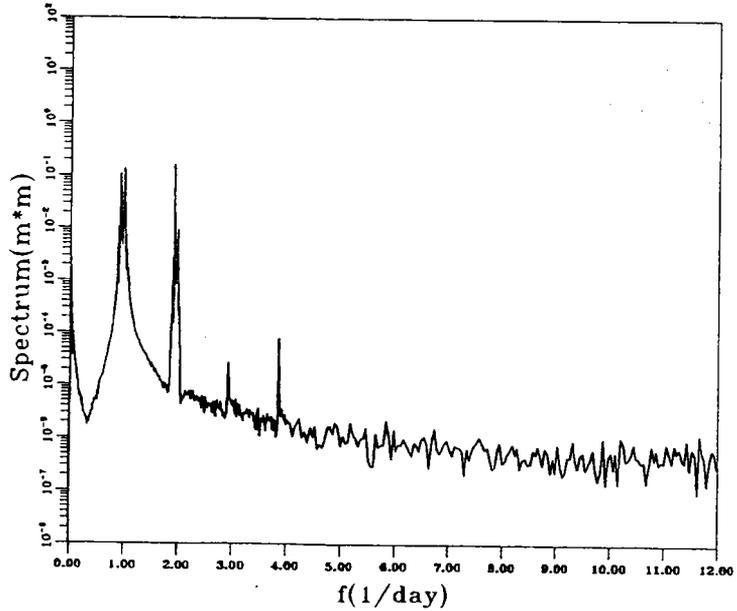


圖 3-3.16 枋寮漁港潮位能譜圖

HAI-KAU STATION 120.42.25'E 22.05.32'N
1988/11/03/00:-1989/06/30/23: 2048(0000)

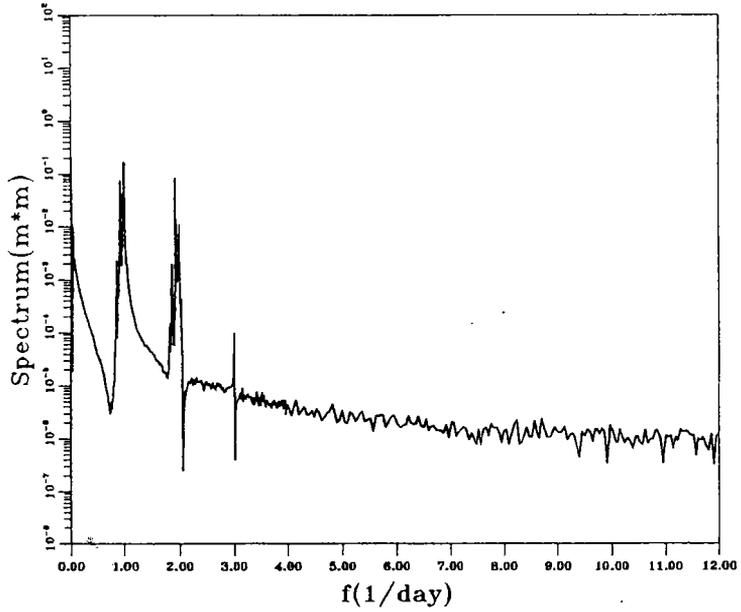


圖 3-3.17 海口漁港潮位能譜圖

HOU-PI-HU HARBOUR 120.44.11'E 21.56.47'N
1987/09/03/00:-1988/08/30/09: 2048(0000)

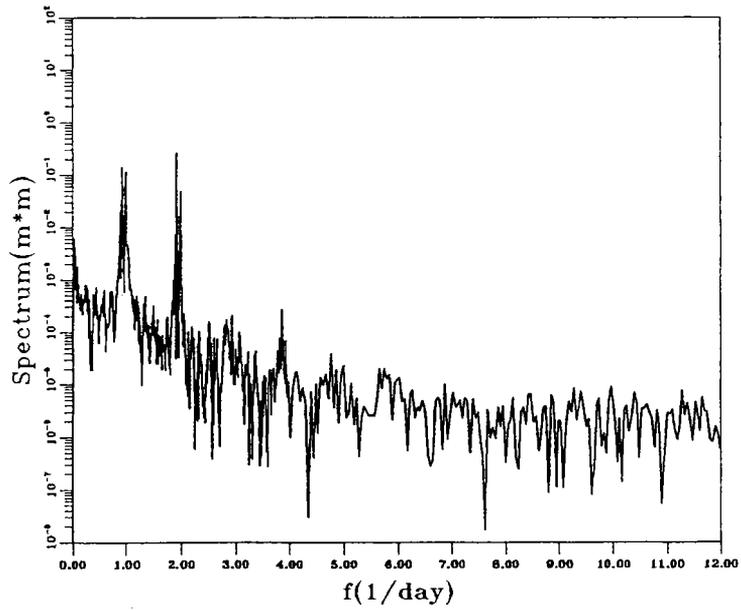


圖 3-3.18 後壁湖漁港潮位能譜圖

AO-TI HARBOUR 121.55.05'E 25.03.34'N
 1988/11/04/00:-1989/07/16/20: 2048(0000)

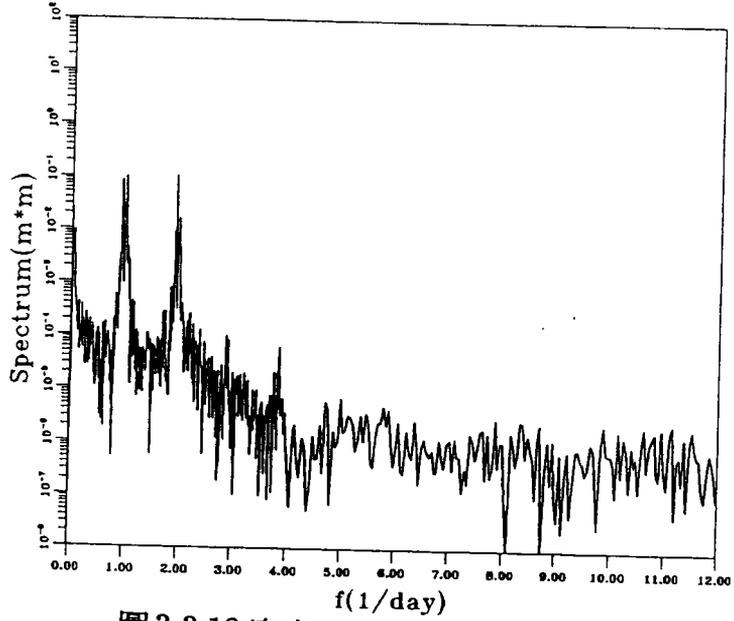


圖 3-3.19 澳底漁港基隆港潮位能譜圖

TA-CHI HARBOUR 121.53.24'E 24.56.36'N
 1988/10/13/00:-1989/08/31/23: 2048(0000)

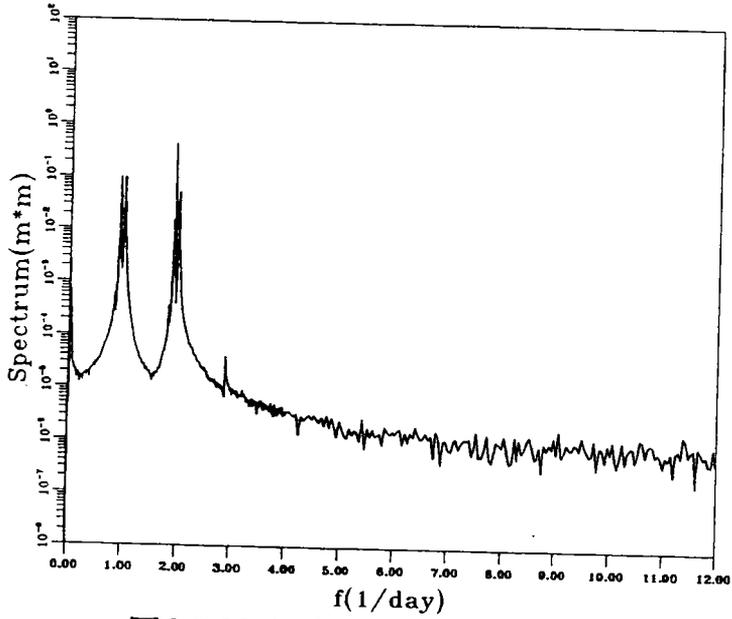


圖 3-3.20 大溪第二漁港潮位能譜圖

SU-A0 HARBOUR 121.51.32'E 24.36.04'N
1988/11/01/00:-1989/04/30/23: 2048(0000)

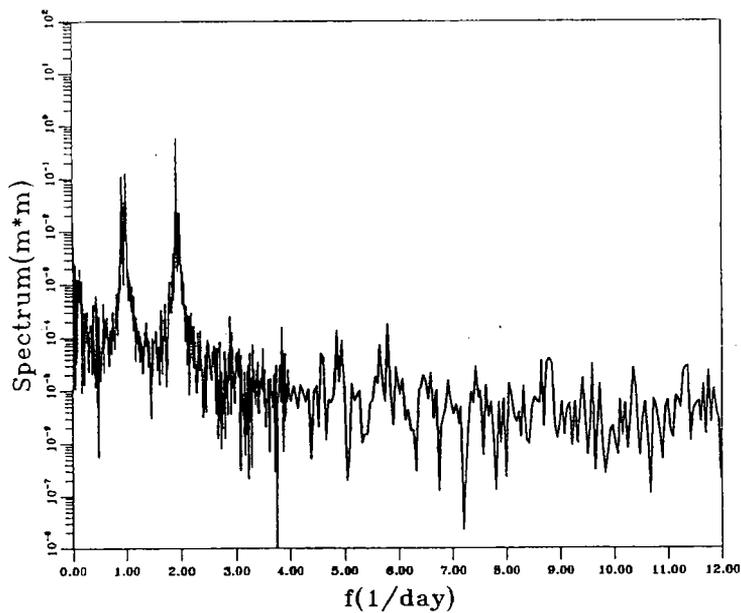


圖3-3.21 蘇澳港潮位能譜圖

HAU-LIAN HARBOUR 120.37.42'E 23.59.36'N
1989/01/01/00:-1989/11/30/23: 2048(0078)

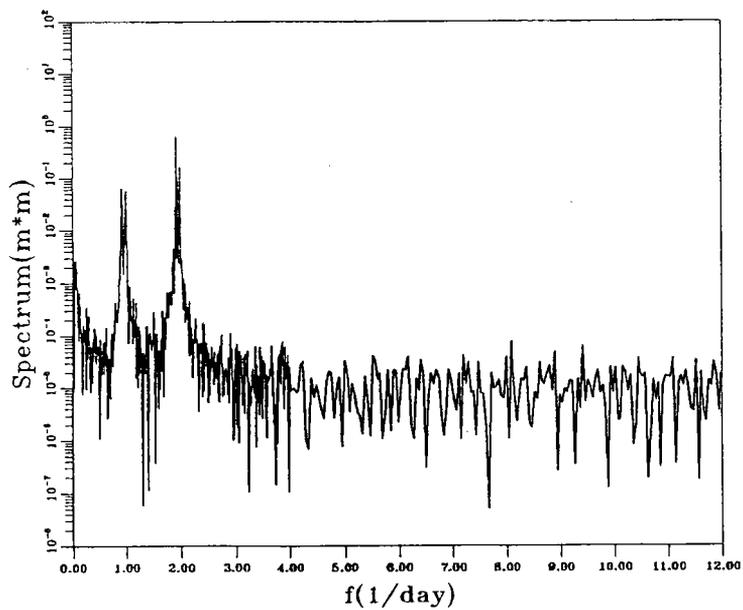


圖3-3.22 花蓮港潮位能譜圖

CHIN-TSUN HARBOUR 121.17.06'E 22.57.29'N
1989/02/03/00:-1989/06/31/23: 2048(0000)

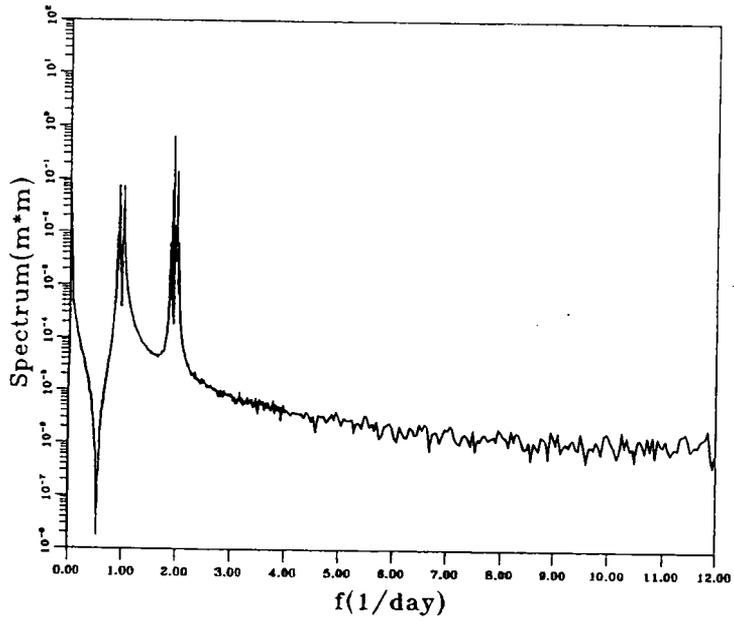


圖 3-3.23 金樽漁港潮位能譜圖

CHIEH-LAN HARBOUR 121.11.35'E 22.48.50'N
1987/09/01/00:-1988/09/06/06: 2048(0000)

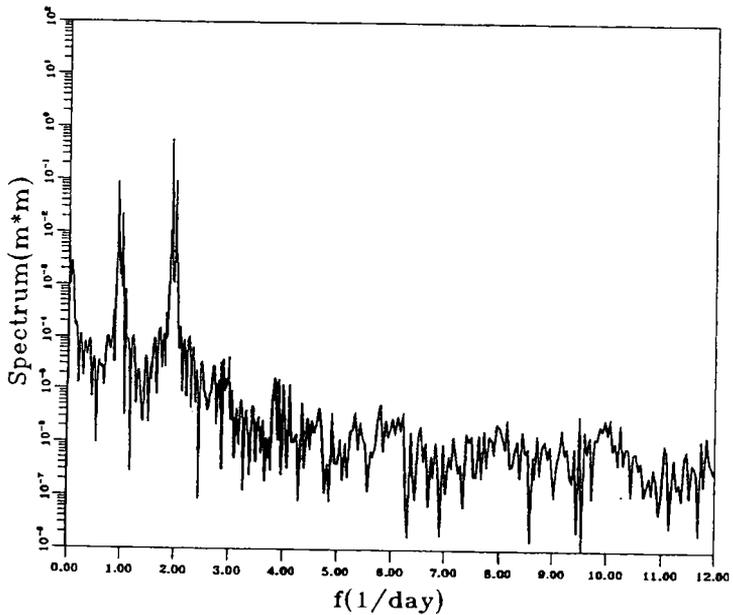


圖 3-3.24 伽藍漁港潮位能譜圖

CHIH-KAN HARBOUR 119.35.43'E 23.40.07'N
 1988/12/23/00:-1989/07/30/23: 2048(0000)

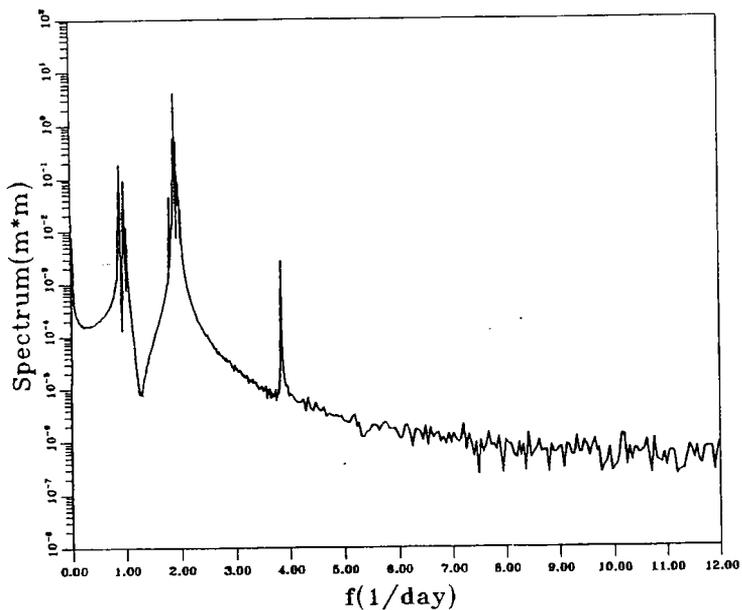


圖3-3.25 赤崁港潮位能譜圖

CHIH-MA HARBOUR 119.30.20'E 23.35.01'N
 1988/11/22/00:-1989/08/30/23: 2048(0000)

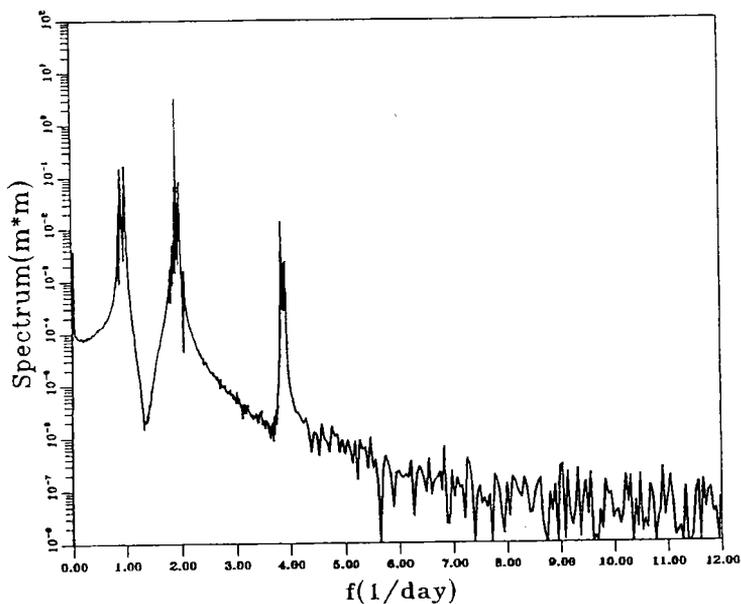


圖3-3.26 赤馬漁港潮位能譜圖

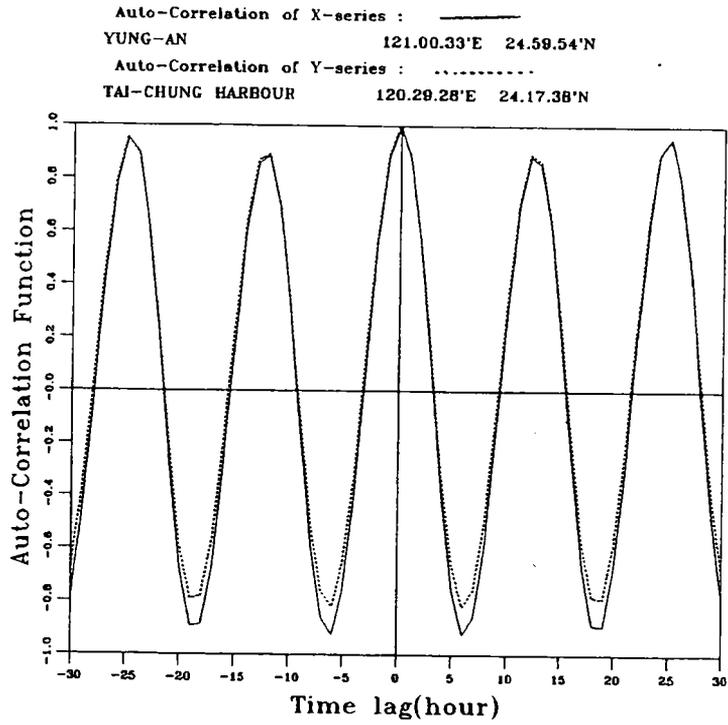


圖4-1 永安港及台中港潮位自相關函數

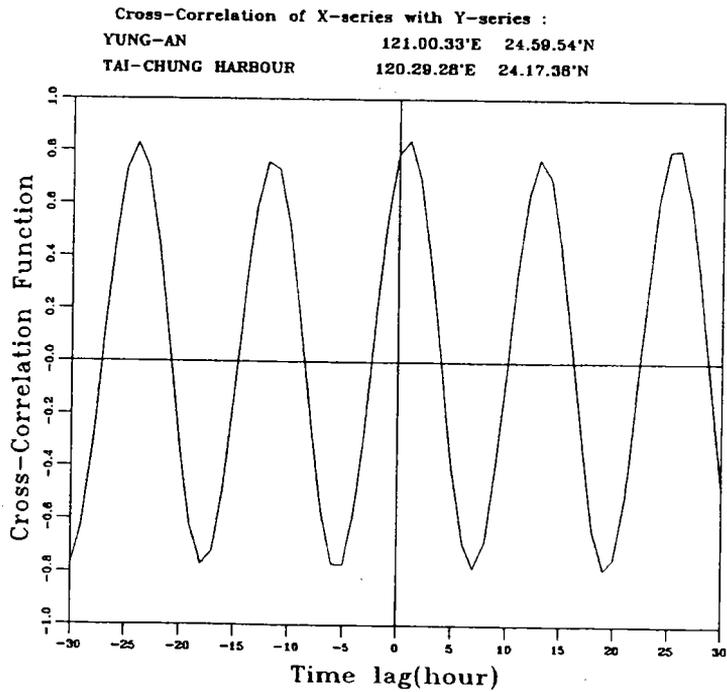


圖4-2 永安港及台中港潮位互相關函數

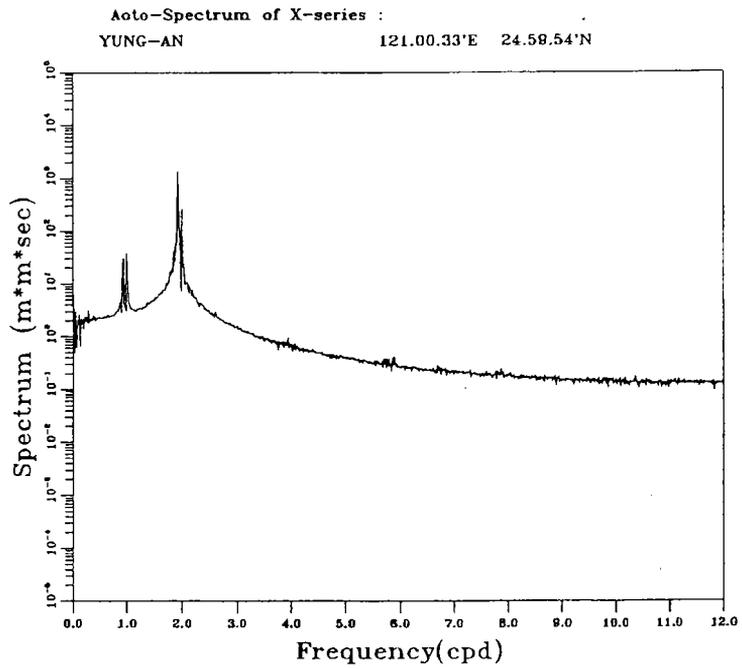


圖4-3 永安港潮位自能譜

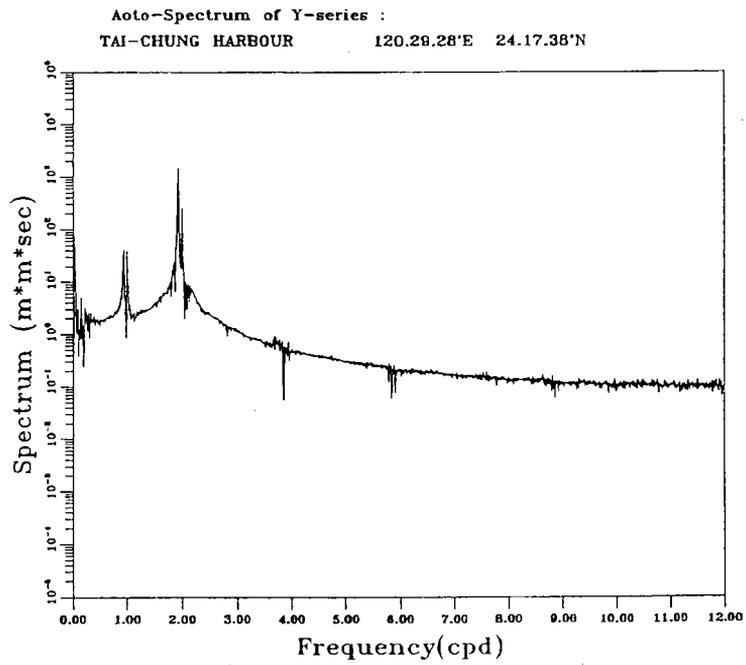


圖4-4 台中港潮位自能譜

Coherence-Spectrum of X with Y :
 YUNG-AN 121.00.33'E 24.59.54'N
 TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N

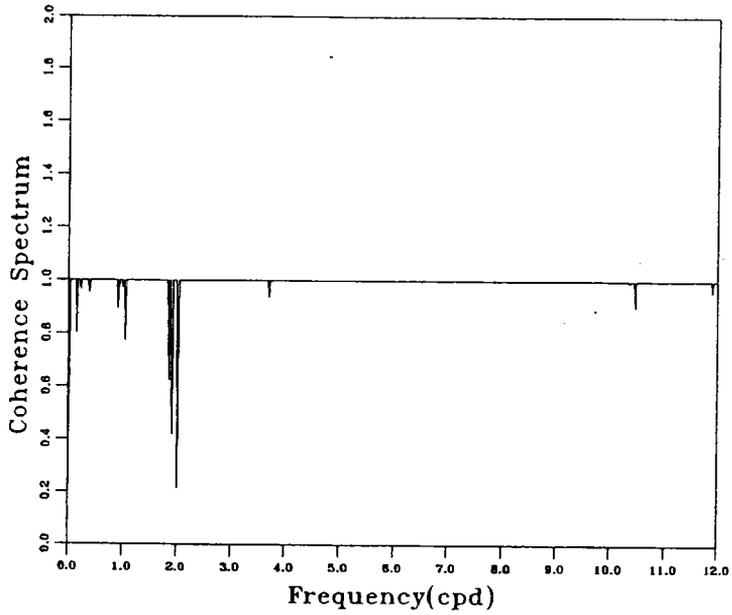


圖 4-5 永安港及台中港潮位相關譜

Phase-Spectrum of X with Y :
 YUNG-AN 121.00.33'E 24.59.54'N
 TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N

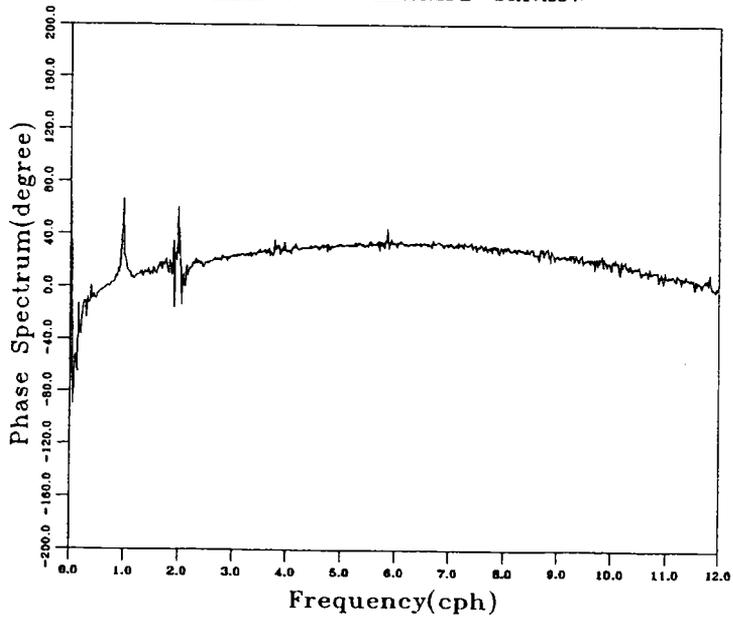


圖 4-6 永安港及台中港潮位相位譜

Gain of Frequency Response Function of X with Y
 YUNG-AN 121.00.33'E 24.59.54'N
 TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N

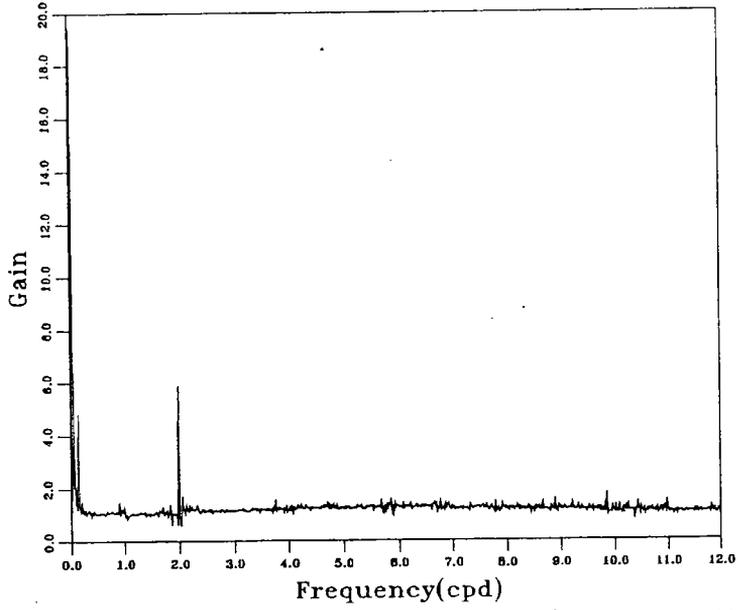


圖4-7 永安港及台中港潮位頻率轉換函數之GAIN

Phase of Frequency Response Function of X with Y
 YUNG-AN 121.00.33'E 24.59.54'N
 TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N

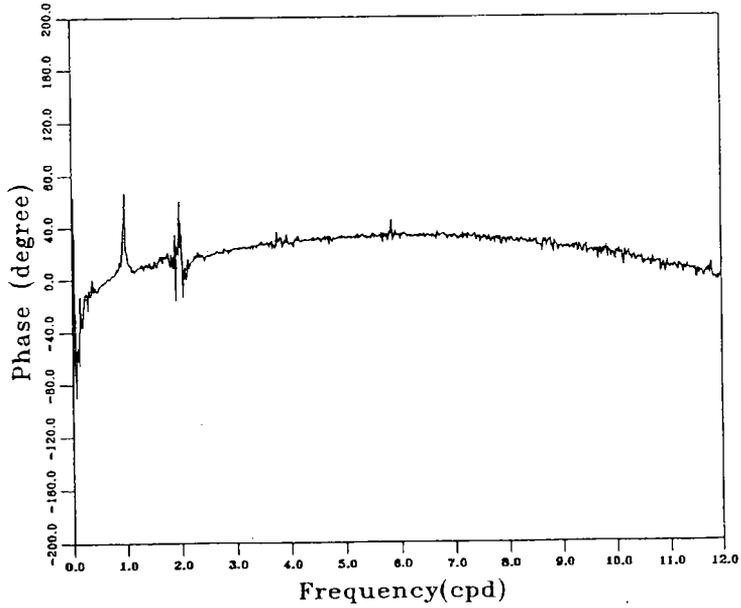


圖4-8 永安港及台中港潮位頻率轉換函數之相位差

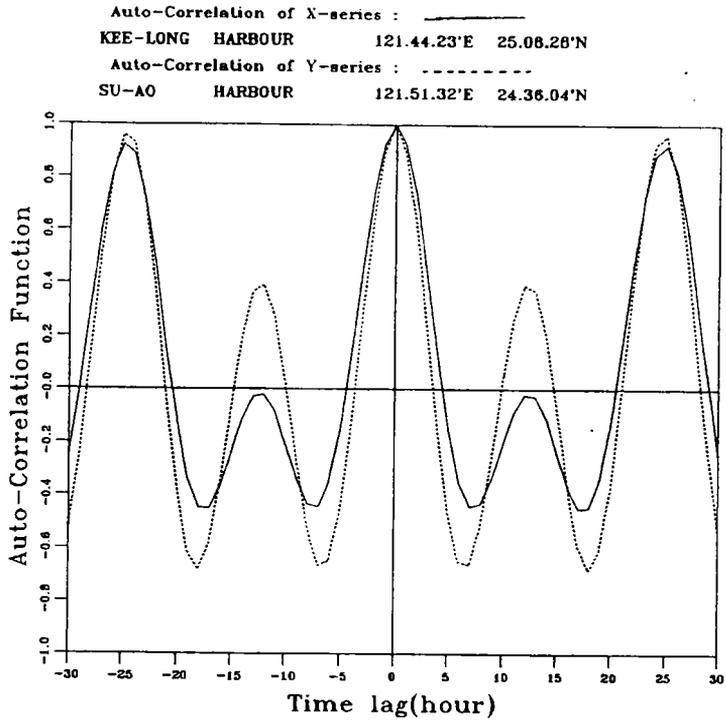


圖4-9基隆港及蘇澳港潮位自相關函數

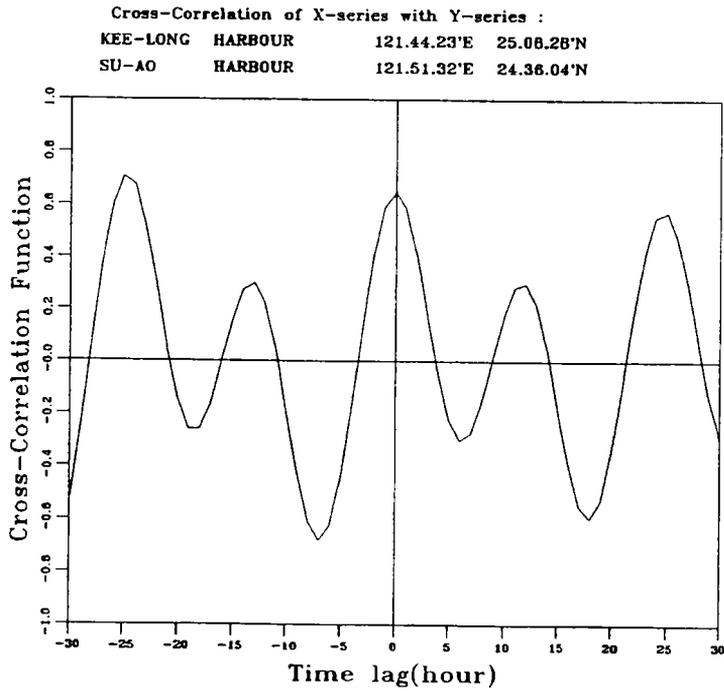


圖4-10基隆港及蘇澳港潮位互相關函數

Auto-Spectrum of X-series :
KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N

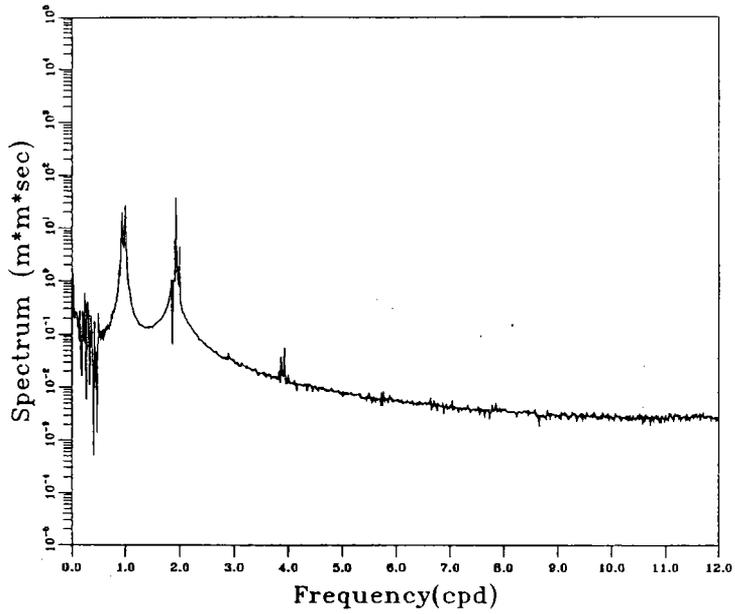


圖4-11基隆港潮位自能譜

Auto-Spectrum of Y-series :
SU-AO HARBOUR 121.51.32'E 24.36.04'N

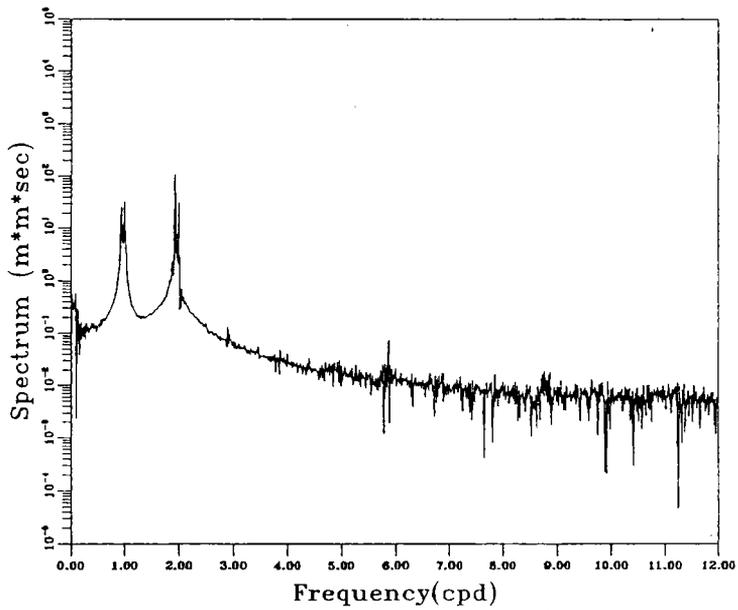


圖4-12蘇澳港潮位自能譜

Coherence-Spectrum of X with Y :
 KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N
 SU-A0 HARBOUR 121.51.32'E 24.36.04'N

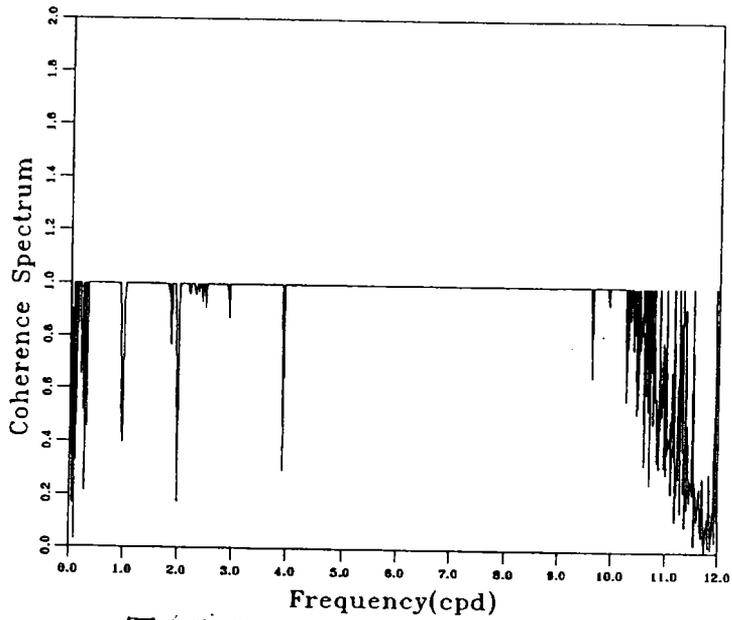


圖 4-13 基隆港及蘇澳港潮位相關譜

Phase-Spectrum of X with Y :
 KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N
 SU-A0 HARBOUR 121.51.32'E 24.36.04'N

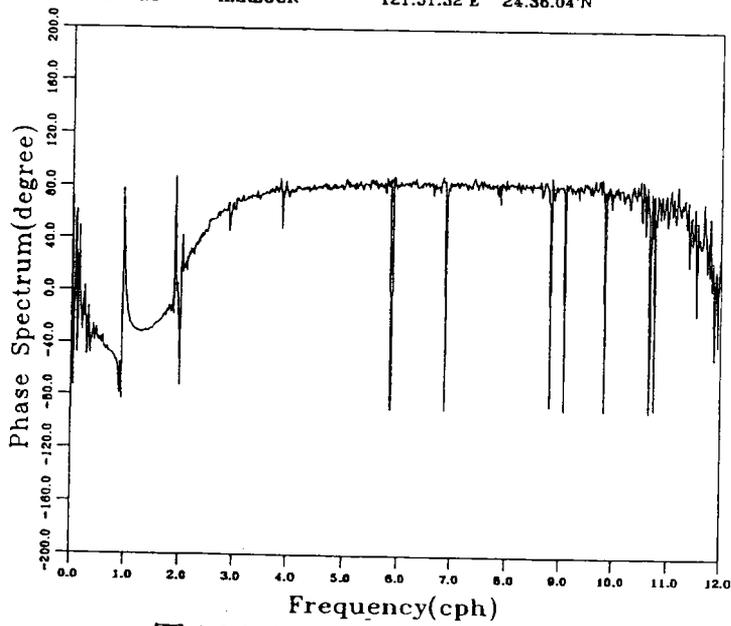


圖 4-14 基隆港及蘇澳港潮位相位譜

Gain of Frequency Response Function of X with Y
 KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N
 SU-AO HARBOUR 121.51.32'E 24.36.04'N

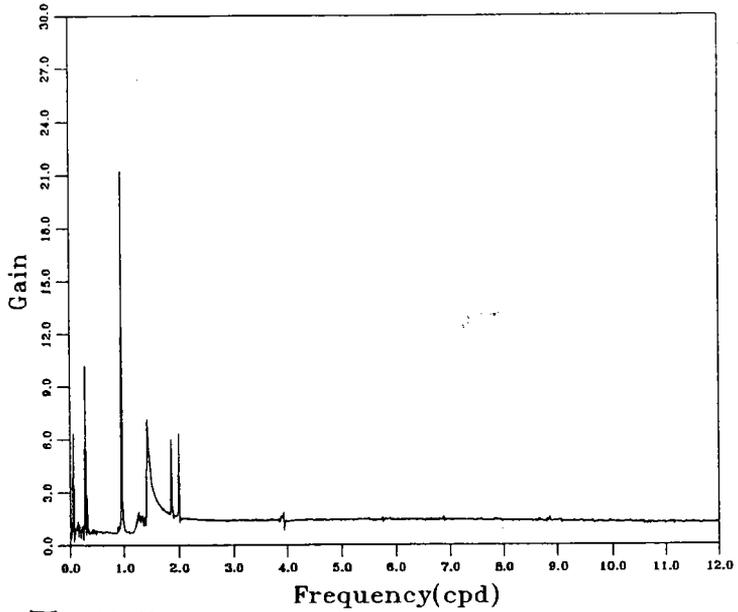


圖4-15 基隆港及蘇澳港潮位頻率轉換函數之GAIN

Phase of Frequency Response Function of X with Y
 KEE-LONG HARBOUR 121.44.23'E 25.08.28'N
 SU-AO HARBOUR 121.51.32'E 24.36.04'N

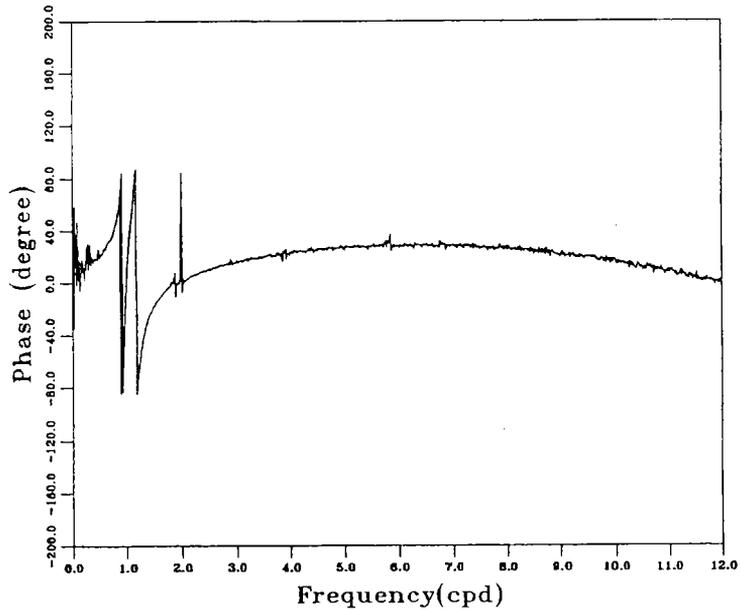


圖4-16 基隆港及蘇澳港潮位頻率轉換函數之相位差

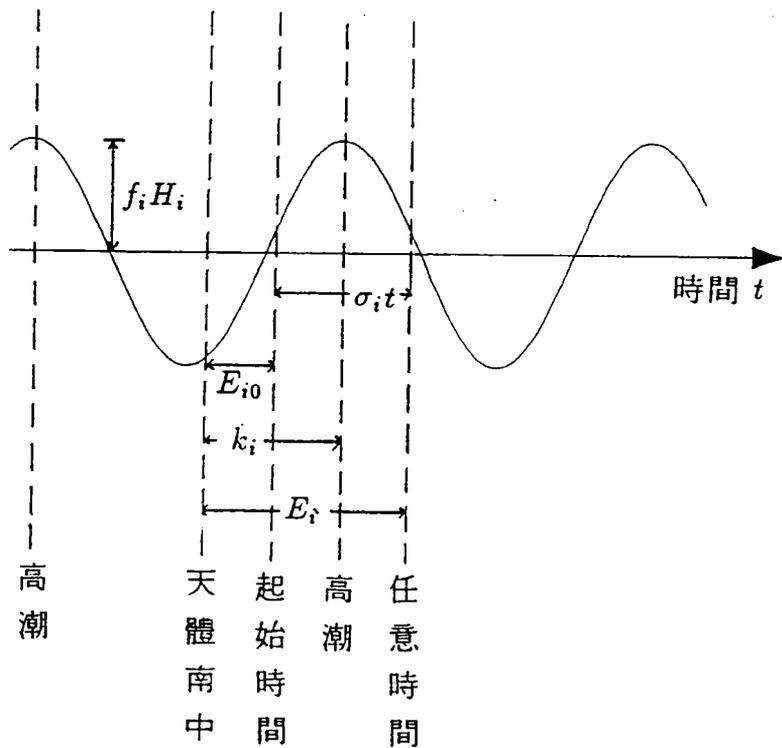


圖 5-1 潮位平衡引數及遲角之關係圖

TAI-CHUNG HARBOUR 120.30'E 24.18'N
 1975/ 9/15/ 0:-1975/12/31/22: (2591)

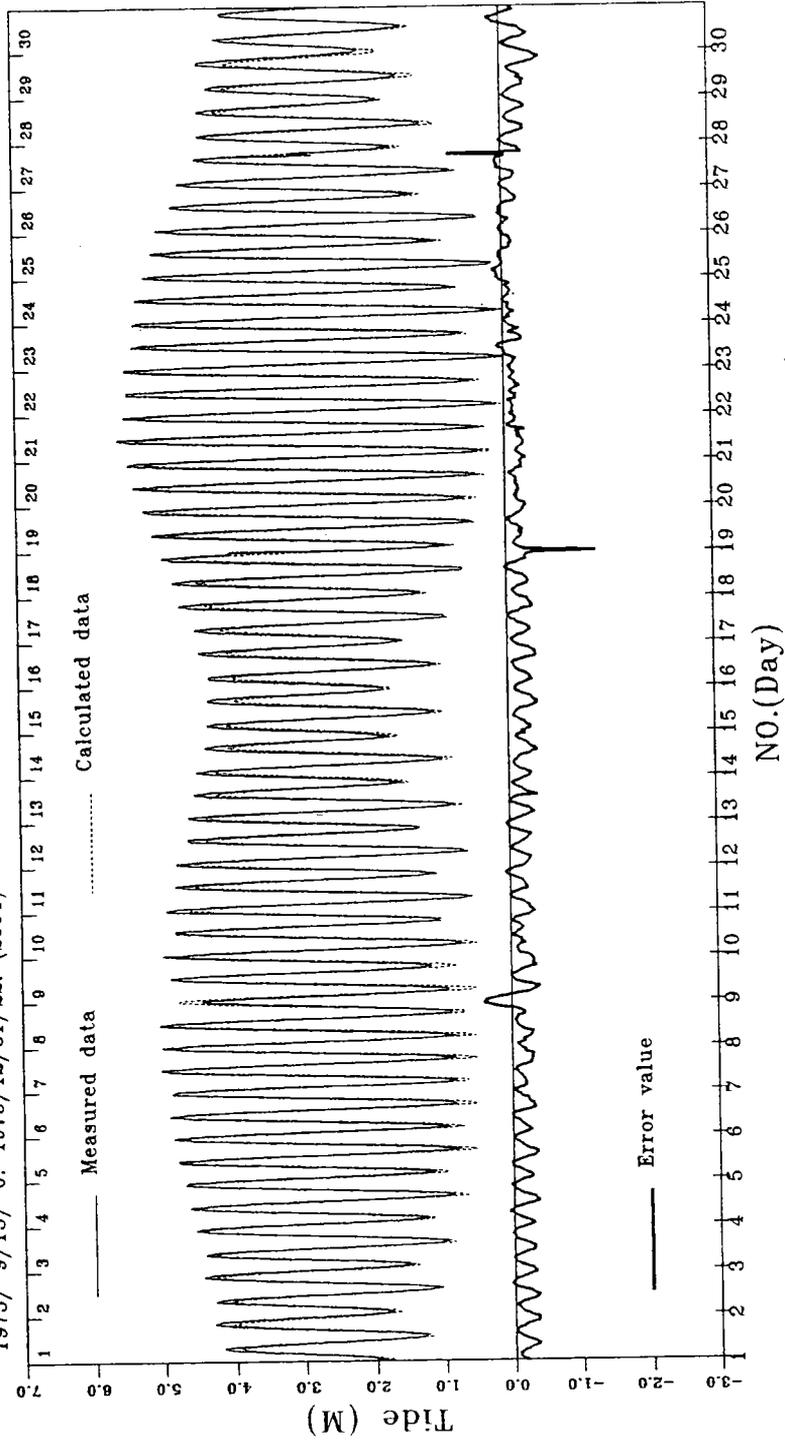


圖 5-2 台中港潮位實測值與自身預報值比較圖

TAI-CHUNG HARBOUR 120.30'E 24.18'N
 1988/ 5/ 1/ 0:-1988/ 7/31/22: (2207)

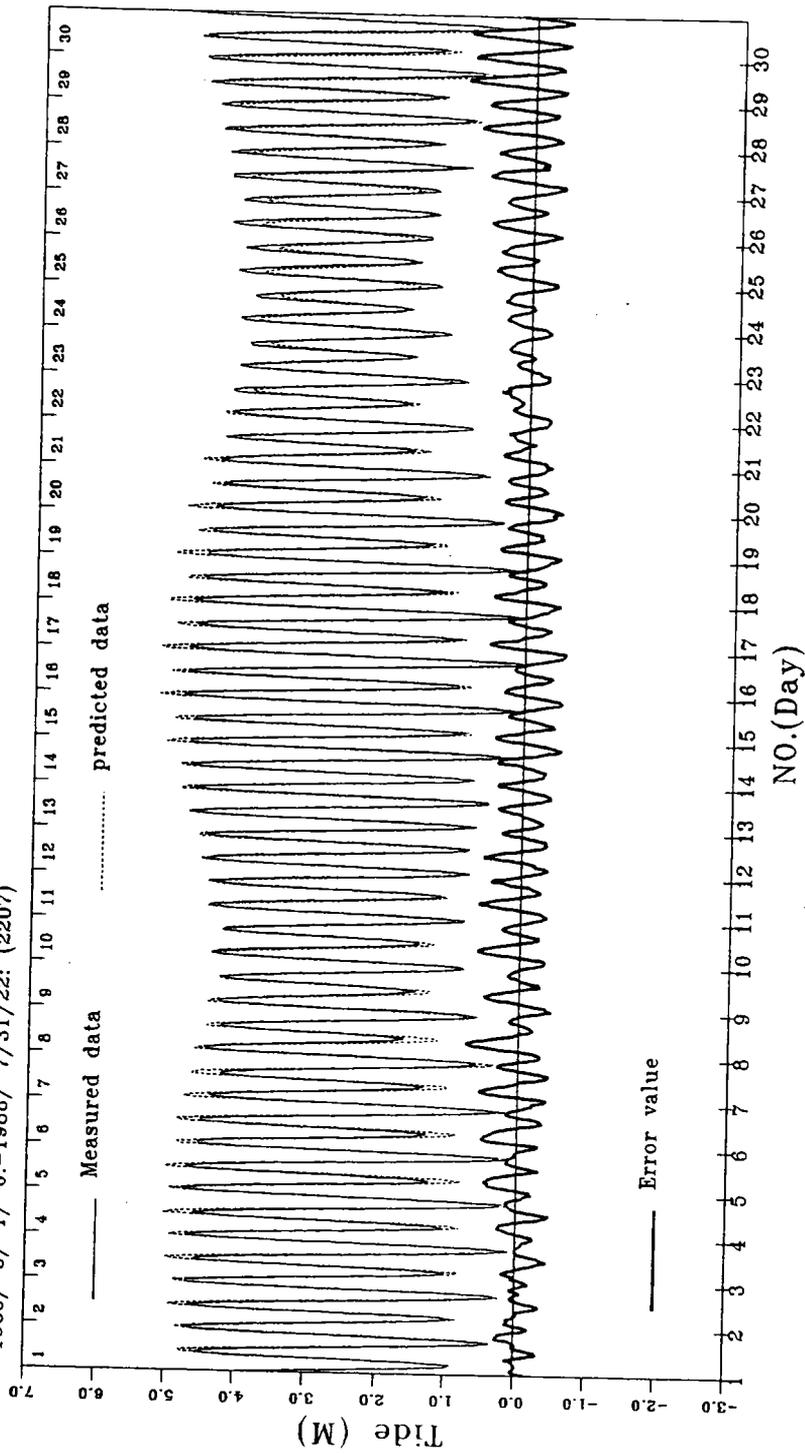


圖 5-3 台中港潮位實測值與預報值比較圖

KAO-SHONG HARBOUR 120.16'E 22.37'N
1975/ 1/ 1/ 0:-1975/ 6/30/22: (4343)

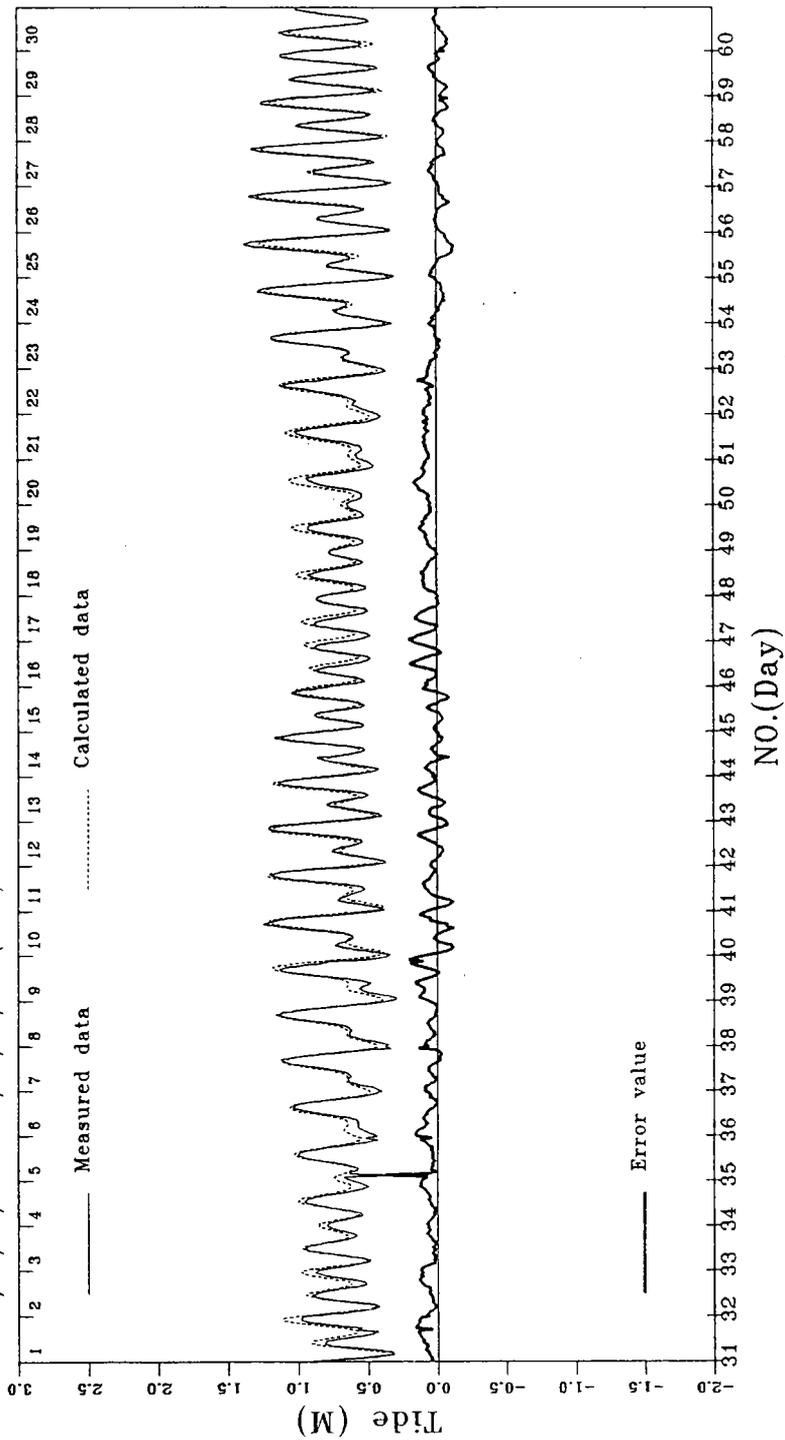


圖 5-4 高雄港潮位實測值與自身預報值比較圖

KAO-SHONG HARBOUR 120.16°E 22.37°N
 1975/ 6/ 1/ 0:-1975/ 8/30/22: (2183)

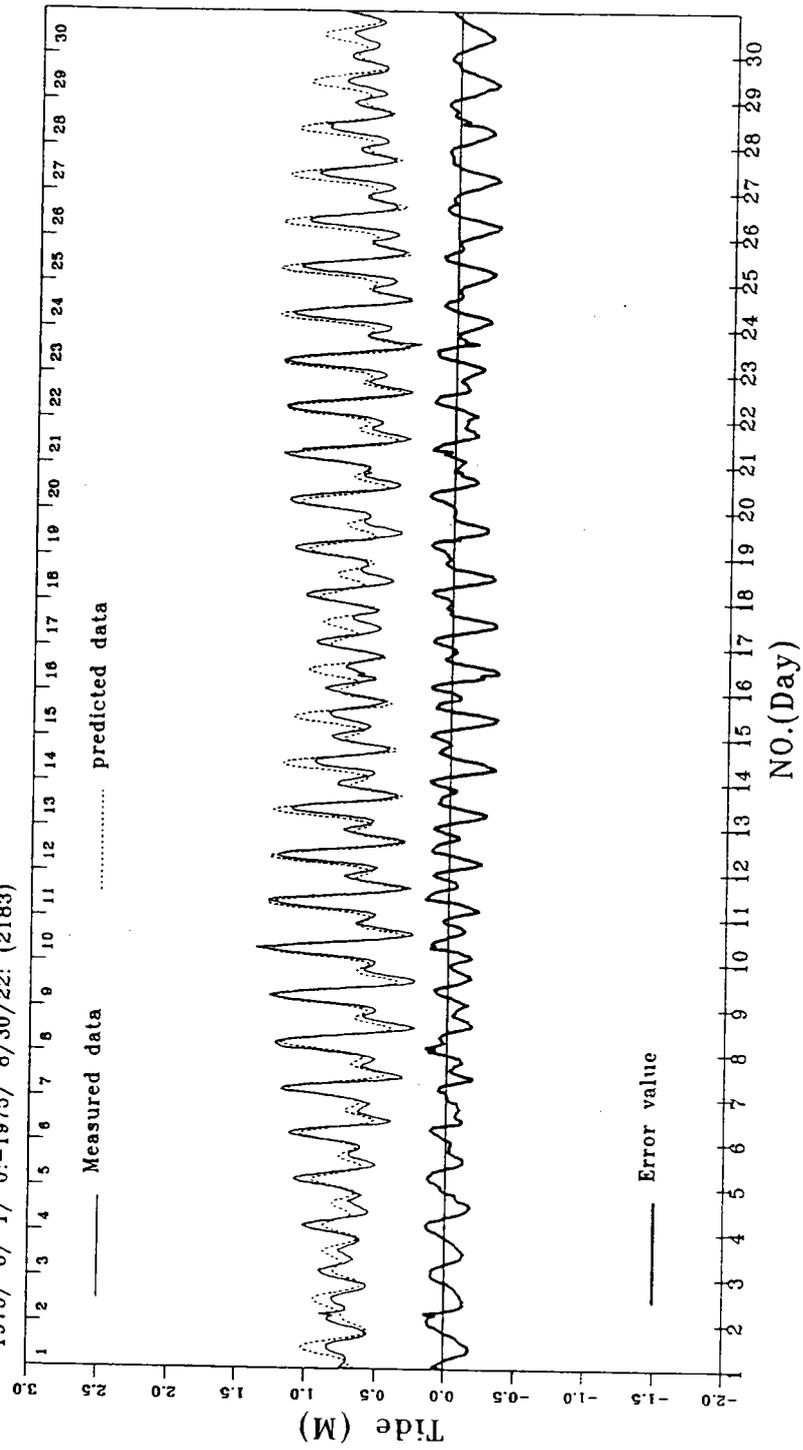


圖 5-5 高雄港潮位實測值與預報值比較圖

WAI-PU 120.45'E 24.30'N
1989/ 7/12/ 0:-1989/ 8/31/23: (1224)

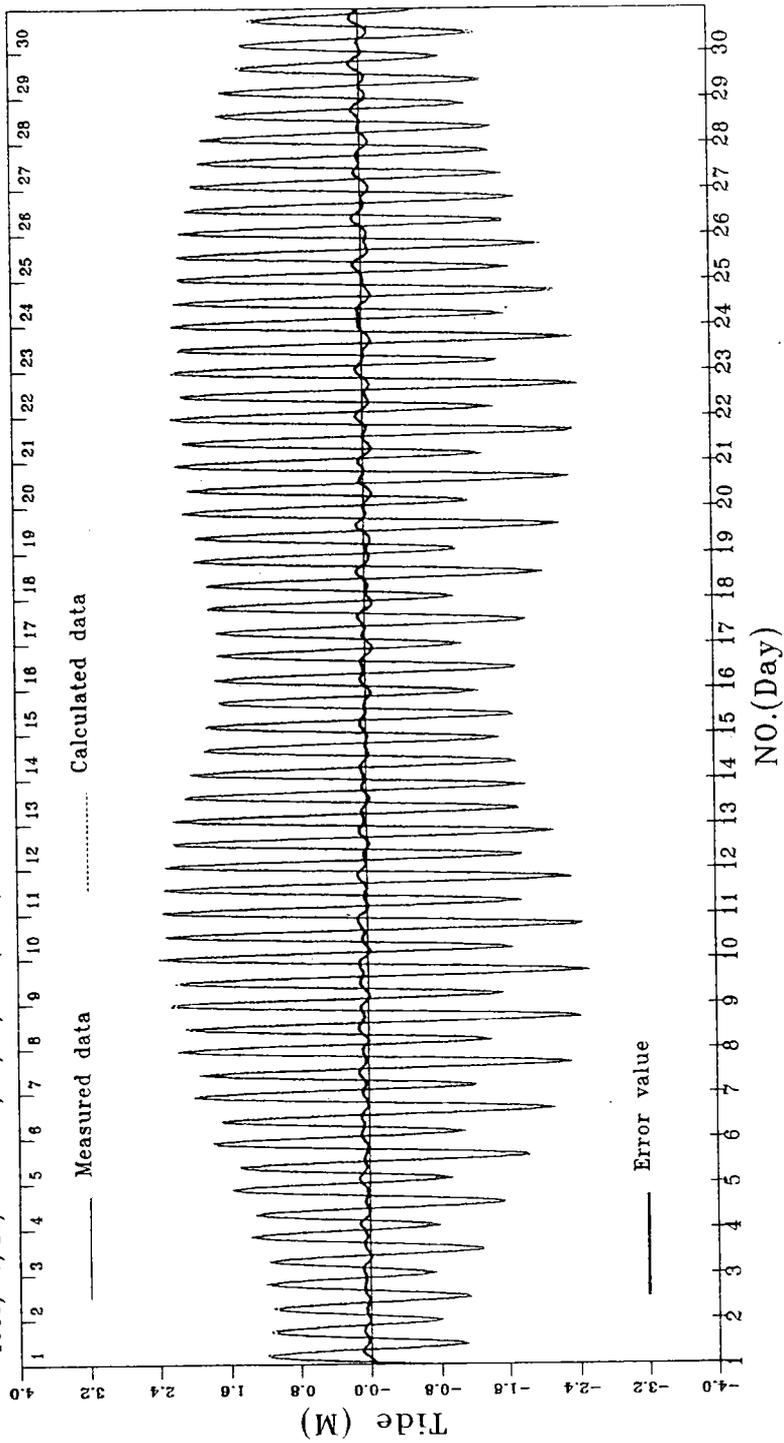


圖 5-6 外埔漁港潮位實測值與自身預報值比較圖