

88-研(七)

花蓮港波浪預警系統之應用研究

台灣省政府交通處
港灣技術研究所

中華民國八十八年六月

花蓮港波浪預警系統之應用研究

執行單位

海岸工程組

計畫召集人

何良勝

第一子計畫主持人

何良勝

第二子計畫主持人

邱永芳

第三子計畫主持人

洪憲忠

參與人員

張富東

江金德

林受勳

蔡金吉

目 錄

表目錄

圖目錄

第一章 緒論.....	1-1
第二章 花蓮港外波浪動態之特性.....	2-1
2-1 前言.....	2-1
2-2 颱風波浪特性.....	2-5
2-3 應用類神經網路於波浪推算.....	2-49
2-4 波浪統計推算.....	2-60
第三章 花蓮港內波浪自動量測系統.....	3-1
3-1 前言.....	3-1
3-2 容量式波高自動量測系統介紹.....	3-1
3-3 設備規範.....	3-6
3-4 多重入反射下波高與波壓間轉換關係.....	3-10
3-5 量測系統遭遇困難.....	3-13
第四章 花蓮港內船舶繫纜受力之特性.....	4-1
4-1 前言.....	4-1
4-2 座標系.....	4-2
4-3 運動方程式.....	4-5
4-4 計算例.....	4-12
4-5 結語.....	4-38
第五章 結論.....	5-1
參考文獻.....	6-1

表 目 錄

表 2-1 颱風侵襲台灣各月之次數及比率 (1897-1992)

表 2-2 港研所量測到颱風波浪之時間

表 2-3 測站 1 三種類型迴歸颱風波浪之係數

表 2-4 測站 2 三種類型迴歸颱風波浪之係數

表 4-1 民國 83 年花蓮港各類貨輪進港船長分佈

表 4-2 供試船之主要尺寸

表 4-3 供試船繫纜之輸入條件

圖 目 錄

- 圖 2-1 侵台颱風路徑分類統計(1897~1992)
- 圖 2-2 花蓮港附近海域海象觀測點
- 圖 2-3 羅賓(Robyn)颱風路徑及其規模
- 圖 2-4 楊希(Yancy)颱風路徑及其規模
- 圖 2-5 亞伯(Abe)颱風路徑及其規模
- 圖 2-6 艾法(Ed)颱風路徑及其規模
- 圖 2-7 艾密(Amy)颱風路徑及其規模
- 圖 2-8 布萊登(Bredan)颱風路徑及其規模
- 圖 2-9 艾利(Ellie)颱風路徑及其規模
- 圖 2-10 耐特(Net)颱風路徑及其規模
- 圖 2-11 密雷爾(Mireill)颱風路徑及其規模
- 圖 2-12 露絲(Ruth)颱風路徑及其規模
- 圖 2-13 芭比(Bobbie)颱風路徑及其規模
- 圖 2-14 馬克(Mark)颱風路徑及其規模
- 圖 2-15 寶莉(Polly)颱風路徑及其規模
- 圖 2-16 歐馬(Omar)颱風路徑及其規模
- 圖 2-17 蓋伊(Gay)颱風路徑及其規模
- 圖 2-18 珂茵(Koryn)颱風路徑及其規模
- 圖 2-19 提姆(Tim)颱風路徑及其規模
- 圖 2-20 弗雷特(Fred)颱風路徑及其規模
- 圖 2-21 葛拉絲(Gladys)颱風路徑及其規模
- 圖 2-22 席絲(Seth)颱風路徑及其規模
- 圖 2-23 Robyn 颱風之示性波高及示性週期實測值
- 圖 2-24 Yancy 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-25Abe 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-26Ed 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-27Amy 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-28Brendan 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-29Ellie 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-30Nat 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-31Mireill 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-32Ruth 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-33Bobbie 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-34Mark 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-35Polly 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-36Omar 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-37Elsie 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-38Hunt 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-39Gay 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-40Kroyn 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-41Tim 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-42Gladys 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-43Fred 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-44Seth 颱風之示性波高及示性週期實測值

圖 2-45 人工神經元模型示意圖

圖 2-46 人工神經網路結構模型示意圖

圖 2-47 學習速率與均方根誤差關係圖

圖 2-48 示性波高之實測值與預測值之比較

圖 2-49 示性週期之實測值與預測值之比較

圖 2-50 推算艾蜜(Amy)颱風之示性波高與實測值之比較

圖 2-51 推算艾蜜(Amy)颱風之示性週期與實測值之比較

圖 2-52 推算露絲颱風之示性波高與實測值之比較

圖 2-53 推算露絲颱風之示性週期與實測值之比較

圖 2-54 波浪推算方法分類

圖 2-55 颱風內傾度風及風速的合成

圖 2-56 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖

圖 2-57(a)測站 1 風浪示性波高線性推算值與實測值之比較

圖 2-57(b)測站 1 風浪示性週期線性推算值與實測值之比較

圖 2-58(a)測站 湧浪示性波高線性推算值與實測值之比較

圖 2-58(b)測站 1 湧浪示性週期線性推算值與實測值之比較

圖 2-59(a)測站 1 全部資料示性波高線性推算值與實測值之比較

圖 2-59(b)測站 1 全部資料示性週期線性推算值與實測值之比較

圖 2-60(a)測站 1 風浪示性波高非線性推算值與實測值之比較

圖 2-60(b)測站 1 風浪示性週期非線性推算值與實測值之比較

圖 2-61(a)測站 1 湧浪示性波高非線性推算值與實測值之比較

圖 2-61(b)測站 1 湧浪示性週期非線性推算值與實測值之比較

圖 2-62(a)測站 1 全部資料示性波高非線性推算值與實測值之比較

圖 2-62(b)測站 1 全部資料示性週期非線性推算值與實測值之比較

圖 2-63(a)測站 2 風浪示性波高線性推算值與實測值之比較

圖 2-63(b)測站 2 風浪示性週期線性推算值與實測值之比較

圖 2-64(a)測站 2 湧浪示性波高線性推算值與實測值之比較

圖 2-64(b)測站 2 湧浪示性週期線性推算值與實測值之比較

圖 2-65(a)測站 2 全部資料示性波高線性推算值與實測值之比較

圖 2-65(b)測站 2 全部資料示性週期線性值推算值與實測值之比較

圖 2-66(a)測站 2 風浪示性波高非線性推算值與實測值之比較
圖 2-66(b)測站 2 風浪示性週期非線性推算值與實測值之比較
圖 2-67(a)測站 2 湧浪示性波高非線性推算值與實測值之比較
圖 2-67(b)測站 2 湧浪示性週期非線性推算值與實測值之比較
圖 2-68(a)測站 2 全部資料示性波高非線性推算值與實測值之比較
圖 2-68(b)測站 2 全部資料示性週期非線性推算值與實測值之比較
圖 3-1 波浪水位監測系統架構圖
圖 3-2 移動式無線波高計系統功能方塊圖
圖 3-3(a)容量式波高計量測之波高延時訊號
圖 3-3(b)容量式波高計量測之波高頻譜圖
圖 3-4(a)壓力式波高計經線性理論轉換之波高延時訊號
圖 3-4(b)壓力式波高計經線性理論轉換之波高頻譜圖
圖 3-5 波高頻譜比較圖
圖 3-6 水位歷時圖(1999/7/1 15:21~15:39)
圖 3-7 水位歷時圖(1999/7/1 16:33~17:00)
圖 3-8 水位歷時圖(1999/7/1 17:00~17:30)
圖 3-9 水位歷時圖(1999/7/1 17:30~18:00)
圖 3-10 水位歷時圖(1999/7/1 18:00~18:30)
圖 3-11 水位歷時圖(1999/7/1 18:30~19:00)
圖 4-1 船舶運動座標系統
圖 4-2 三維船舶運動形態
圖 4-3 繫纜佈置
圖 4-4 波向定義
圖 4-5 花蓮港佈置圖
圖 4-6(a)花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Sway)

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(b)花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Heave)

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(c)花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Roll)

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(d)花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Pitch)

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(e)花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Yaw)

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(f)花蓮港外港東北季風期間繫纜線 1 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(g)花蓮港外港東北季風期間繫纜線 2 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(h)花蓮港外港東北季風期間繫纜線 3 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(i)花蓮港外港東北季風期間繫纜線 4 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(j)花蓮港外港東北季風期間繫纜線 5 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-6(k)花蓮港外港東北季風期間繫纜線 6 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

圖 4-7(a)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Sway)

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(b)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Heave)

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(c)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Roll)

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(d)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Pitch)

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(e)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Yaw)

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(f)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 1 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(g)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 2 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(h)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 3 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(i)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 4 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(j)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 5 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-7(k)花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 6 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

圖 4-8(a)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Sway)

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(b)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Heave)

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(c)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Roll)

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(d)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Pitch)

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(e)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Yaw)

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(f)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 1 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(g)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 2 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(h)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 3 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(i)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 4 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(j)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 5 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

圖 4-8(k)花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 6 之拉力

(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

第一章 緒 論

從事港灣工程規劃設計者冀望以長期可靠之海氣象資料，作為港內設施、船隻碇泊及改善之依據，尤其當颱風或異常波浪來襲時，能及時的預警港內船隻作有效的防護措施。往昔雖有專家加以現場資料分析或數值模擬方式預測港內、外各種海氣象現象，然仍無法達到應用性之預警作用。

鑑於波浪預警系統對港內設施及船隻碇泊的重要性，本研究擬針對花蓮港，以港內外波浪相關聯情況，建立一套港內波浪自動擷取及傳輸系統，同時配合港內船隻繫纜受力計算系統，提供船隻碇泊及離港疏散之用。

本研究係以三個研究子題：(1)港內波浪動態特性，(2)港內波浪自動量測系統，(3)港內船舶繫纜受力特性等整合而成。本報告乃依此編撰內容，其中，第二章主要應用花蓮港附近海域現有的波浪及颱風模式特性資料，以類神經網路及多變數非線性統計方法，建立花蓮港附近海域之颱風波浪推算模式。第三章則為針對花蓮港內設計一套容量式波高計的波高直接量測系統，並以無線電傳輸及個人電腦直接接收以紀錄資料，同時輔以壓力式波高計來探討波高與波壓在多重入反射下的轉換關係。第四章則介紹一套計算船舶運動與繫纜力反應函數之程式，當輸入繫纜位置、方向、彈性常數等，可進行繫纜船舶運動與繫纜力之統計分析。最後，並於第五章作一本研究報告之結論。

第二章 花蓮港外波浪動態之研究

2-1 前言

台灣處於太平洋之西，屬於颱風最易形成區域（ $N10^{\circ} \sim N15^{\circ}$ 間）之行經路徑上，所以時常面臨颱風之威脅。因颱風所造成的波浪具有較長週期及較高波高，波浪能量較一般季節風強，相對於海岸或海岸結構物則常造成侵蝕及災害，因此，研究台灣東部海域波浪或波浪推算是有其必要性的。

颱風常發生於夏秋之際，而冬春二季則較少，因為夏秋二季太陽直射北半球較多，海面上產生較高的氣溫及大量的水汽，而易發生對流作用，加上不同方向、不同性質的風，造成旋渦狀之颱風。反之，過了秋季，太陽直射南半球，南半球之東南信風不能侵入北半球，形成颱風機會自然降低。根據統計，全球每年約有 79 個颱風生成，以生成於北太平洋西部及中國南海地區的颱風最多也最強，自 1897 年至 1992 年間共有 2234 個颱風在此區生成，平均每年約有 23 個，一半以上發生在七、八、九等三個月份。台灣中央氣象局統計 1897-1992 年共有 335 個颱風侵襲台灣，平均每年約有 3.5 次，最多一年有 8 次颱風侵襲的記錄（西元 1914 年）。每月發生颱風的機率如表 2-1 所示，及氣象局根據颱風路徑分類成六種，示如圖 2-1。

表 2-1 颱風侵襲台灣各月之次數及比率(1897-1992)

月份	四	五	六	七	八	九	十	十一	全年
次數	2	12	25	82	104	77	26	7	335
百分比	0.6	3.6	7.5	24.5	31.0	23.0	7.8	2.1	100

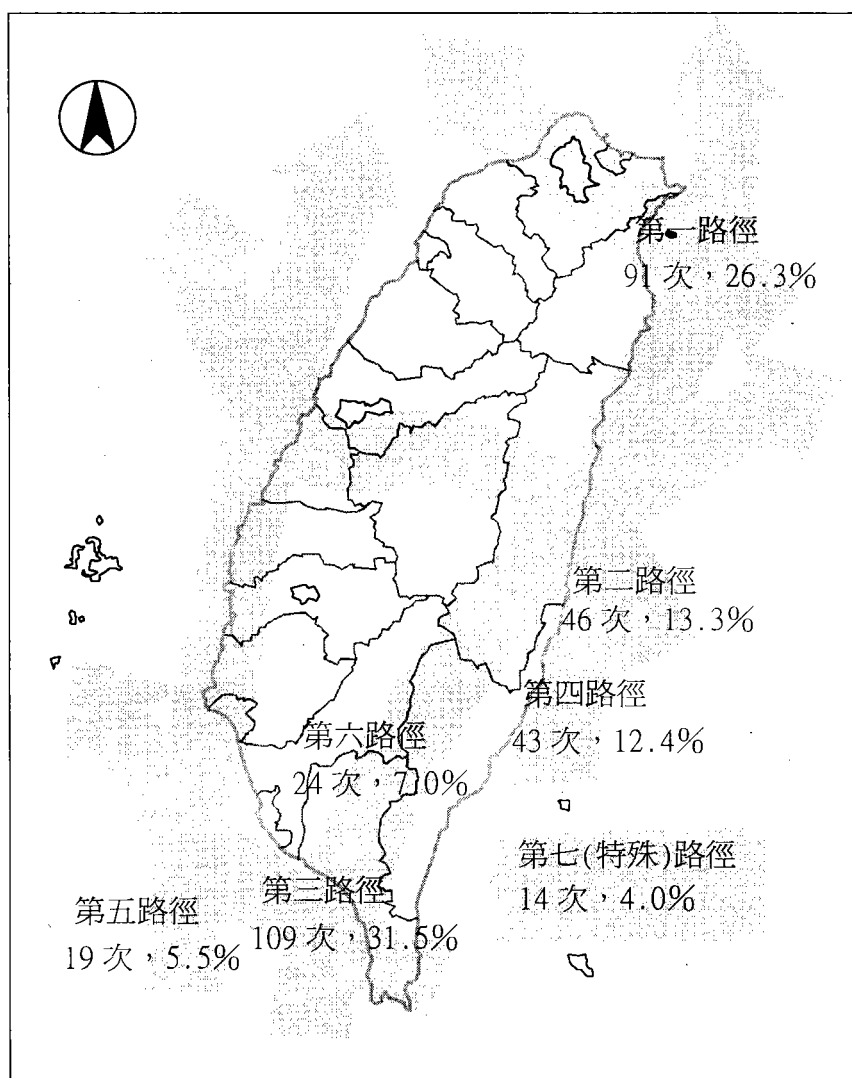


圖 2-1 侵台颱風路徑分類統計(1897~1992)

根據上述的颱風路徑，對於東部海域有較大影響的路徑為第二、四及六路徑，而第一、三路徑則影響較為次之。前者所佔的百分比即高達 32.7%，而後者佔有 57.8%，所以，花蓮海域所需面對颱風及颱風波浪的機會每年約有 2-3 次的機會。

根據張（1996）年分析花蓮港長波與碇泊船隻動態關係，在有資料分析下，發現花蓮港自民國 74 年夏季起，每年至少一次颱風波浪造成港內船隻需出港避風浪，甚至一年發生 5、6 次因颱風因素需

要疏散船隻的現象。張（1996）指出雖然颱風發生離花蓮一段距離的遠方，但其湧浪卻是造成船隻出港的主要因素。對於颱風波浪及湧浪的推算結果對於花蓮港振盪有參考的價值。

對於風所造成波浪的推算，早期 Beaufort 所提出蒲福風級推算法，此法乃依經驗法則，風速等級，說明各級風之波浪的現象及波高，然而，此法相當的粗糙地估算波浪特性。隨著高精度測量儀器發展，統計方法的改善及電腦計算能力得提升，新的波浪推算方法，逐漸被提出。

比較整合發展的推算波浪模式為 WAM 模式。其中數值方法乃將風吹水面形成風浪的機制即波浪交互作用，碎波能量消散等能量傳遞(energy transfer)之外力因素合併考慮在風浪能量平衡方程式(energy equation)。此方法依據不同的數值技巧，有不同的模式被推出，而且此方法需要有電腦程式及物理觀念的專業人士方能推展，對於風場及波場的瞭解均要相當程度的深入，一般都要有一組各方專長的研究團隊才能推出較為完整的模式。

另外，波浪推算的方法乃以統計方法來推估波浪特性。其中較為有名的公式為 SWAMP 提出季節風波浪的示性波高及示性週期經驗式。其他學者尚有討論此類統計推算的適用性。此統計推算法乃根據實測波場及風場資料，以統計方法迴歸二者之相關性，而推出公式。目前此類統計推算大部分以季節風波浪為主。

本研究考慮波浪推算之往昔研究發展條件。主要應用現有波浪特性及颱風模式特性資料，以類神經網路及多變數非線性統計技術來建立二者之關係。類神經網路技巧為新發展出的科技，此方法乃模擬人類神經網傳遞訊息原理所發展而出的。類神經網路有學習、判斷等能力，可以從輸入資料即輸出目標間之現有資料，學習出其中的法則，而此法則建立後，即可輸入風場條件，即可得出波浪場的結果。自我學習的優良，可以避免人力判斷、及誤差嚐試的缺點，所以，本文首先選擇類神經網路之技巧來推算颱風波浪之示性波高

及示性週期。

本文另外一個研究方法為多變數線性迴歸。影響波浪的風場特性有許多參數，如颱風的中心氣壓、颱風半徑及推算距離等，此多種參數對波浪特性影響程度到底如何，本文利用 SPSS 統計軟體的迴歸功能來分析風場特性參數對波浪特性的關係。

2-2 颱風波浪特性

2-2-1 波浪觀測

花蓮海域之波浪觀測主要由台灣省港灣技術研究所長期進行。78 年 12 月至 82 年 3 月，使用浮球式波浪儀，記錄波浪時間為每小時 20 分，原始波浪資料之取樣頻率為 1.28Hz 。測點之位置編號 st.1，其測點經緯度為 ($N23^{\circ}58'45''$, $E121^{\circ}37'46''$)。

自 82 年 3 月以後測點位置從港口往北移動，編號 st.2，其經緯度為 ($N23^{\circ}59'57''$, $E121^{\circ}38'19''$)。測量波浪儀器更改使用 Datawell 公司出品之浮球方向波浪儀(Directional Waverider)，每小時記錄 34 分，原始資料的取樣頻率為 1Hz 。測站 st.1 及 st.2 之位置示如圖 2-2。

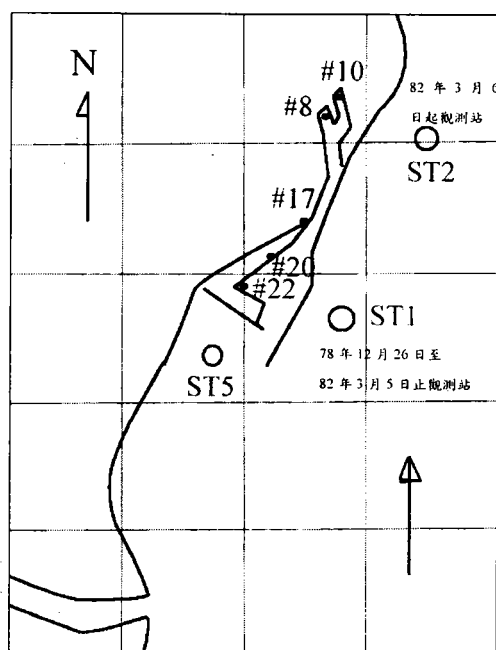


圖 2-2 花蓮港附近海域海象觀測點

2-2-2 颱風波浪特性

根據港灣技術研究所量測到之颱風波浪資料如表 2-2 所示。其測

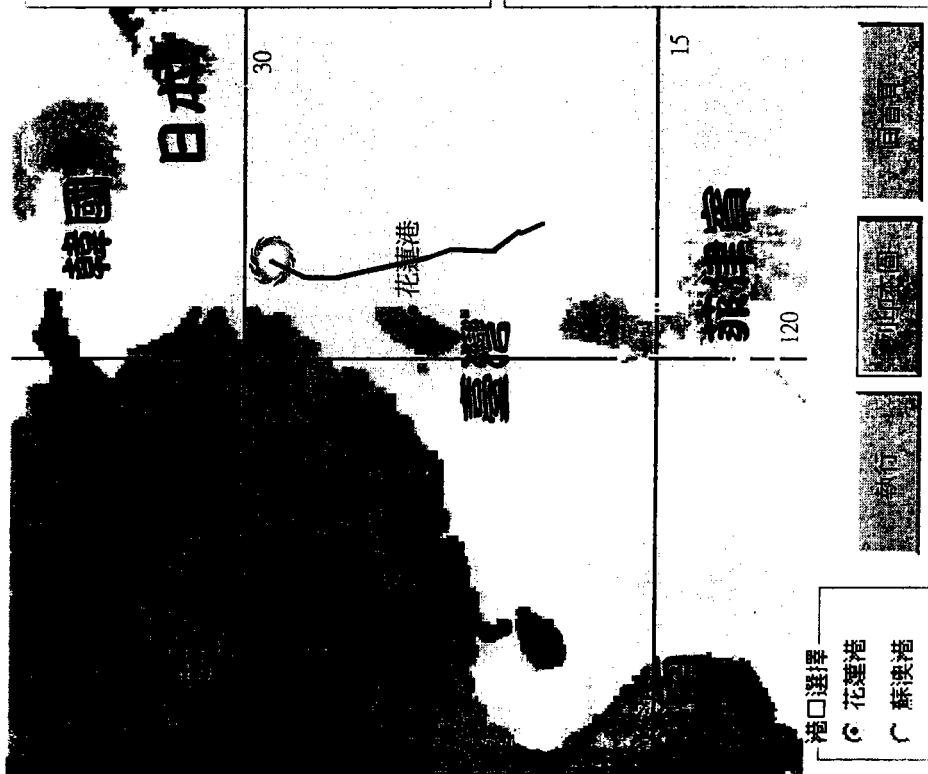
量時間從 79 年至 83 年為止，共有 22 個波浪資料。

至於各測量到颱風波浪，相對颱風的路徑與規模，分別示如圖 2-3 至圖 2-22。其中艾爾西(Elsie)及漢特(Hunt)颱風離台灣較遠，遂無畫制其路徑。

至於實測各種颱風示性波高及示性週期如圖 2-23 至圖 2-44 所示。各圖中(a)代表歷時示性波高，圖(b)為歷時示性週期。本文即根據此實測數據進行類神經網路推算及統計推算。

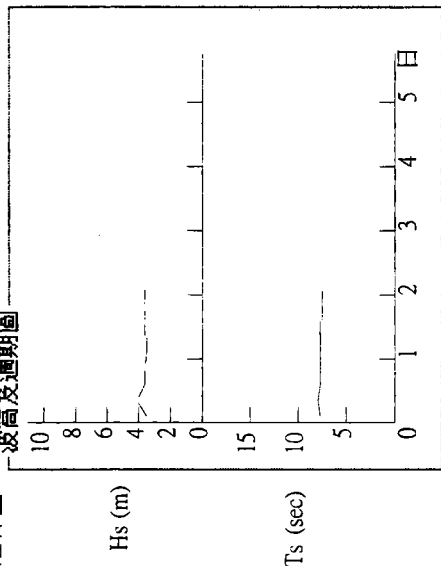
表 2-2 港研所量測到颱風波浪之時間

年代	颱風名稱	波浪記錄時間	測站
79	羅賓(Robyn)	7 月 9 日 8 時-7 月 10 日 20 時	1
	楊希(Yancy)	8 月 17 日 8 時-8 月 17 日 16 時	1
	亞伯(Abe)	8 月 29 日 8 時-8 月 31 日 8 時	1
	艾法(Ed)	9 月 14 日 6 時-9 月 15 日 8 時	1
80	艾密(Amy)	7 月 17 日 14 時-7 月 19 日 20 時	1
	布萊登(Bredan)	7 月 21 日 14 時-7 月 19 日 20 時	1
	艾利(Ellie)	8 月 16 日 2 時-8 月 19 日 2 時	1
	耐特(Net)	9 月 22 日 8 時-9 月 24 日 17 時	1
	密雷爾(Mireill)	9 月 25 日 8 時-9 月 27 日 5 時	1
	露絲(Ruth)	10 月 26 日 7 時-10 月 30 日 8 時	1
81	芭比(Bobbie)	6 月 26 日 14 時-6 月 28 日 20 時	1
	馬克(Mark)	8 月 16 日 14 時-8 月 19 日 14 時	1
	寶莉(Polly)	8 月 27 日 8 時-8 月 31 日 8 時	1
	歐馬(Omar)	9 月 3 日 8 時 -9 月 5 日 17 時	1
	艾爾西(Elsie)	10 月 31 日 8 時-10 月 7 日 8 時	1
	漢特(Hunt)	11 月 17 日 8 時-11 月 22 日 2 時	1
	蓋伊(Gay)	11 月 21 日 8 時-11 月 30 日 2 時	1
82	珂茵(Koryn)	6 月 20 日 8 時-6 月 28 日 8 時	1
83	提姆(Tim)	7 月 9 日 8 時-7 月 10 日 17 時	2
	弗雷特(Fred)	8 月 19 日 2 時-8 月 20 日 4 時	2
	葛拉絲(Gladys)	8 月 31 日 2 時-9 月 2 日 2 時	2
	席斯(Seth)	10 月 7 日 14 時-10 月 11 日 4 時	2



推算圖

波高及週期圖



robym. bct

筆數	時間	經度	緯度	氣壓	風速	半徑	距離
第1筆	7月9日2時	125	19.3	995	18	150	618
第2筆	7月9日8時	124.6	20.1	990	20	150	520
第3筆	7月9日14時	123.9	21.1	994	18	150	387
第4筆	7月9日20時	124	22.7	994	18	150	267
第5筆	7月10日2時	123.7	23.5	995	18	150	201
第6筆	7月10日8時	123.2	25.8	995	18	150	244
第7筆	7月10日14時	123	26.7	995	18	100	323
第8筆	7月10日20時	123	27.8	995	18	100	439
第9筆	7月11日2時	123.6	29	995	18	100	584

圖 2-3 緯賓 (Kobyn) 颱風路徑及其規模

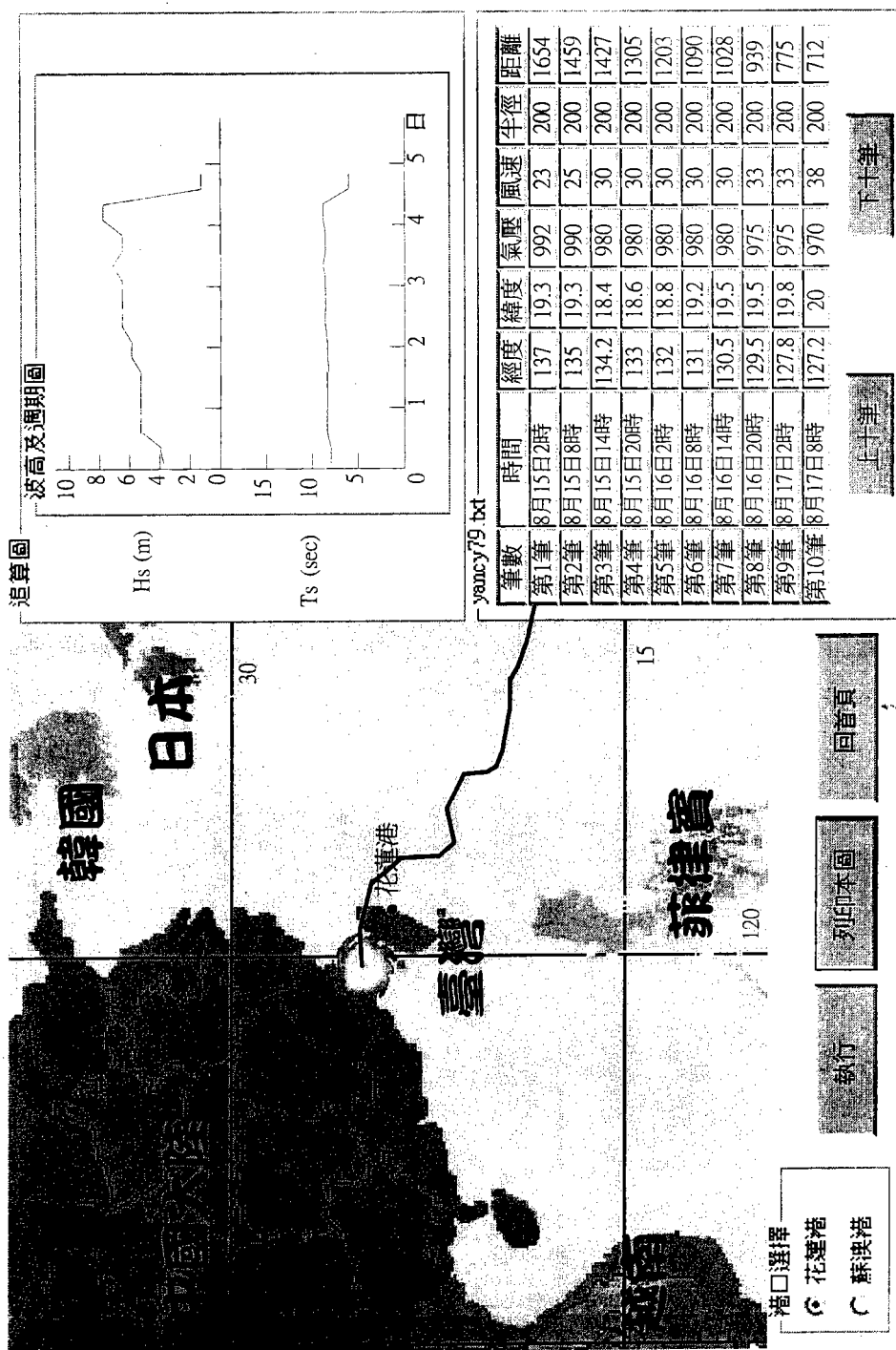


圖 2-4 楊希(Yancy)颱風路徑及其規模

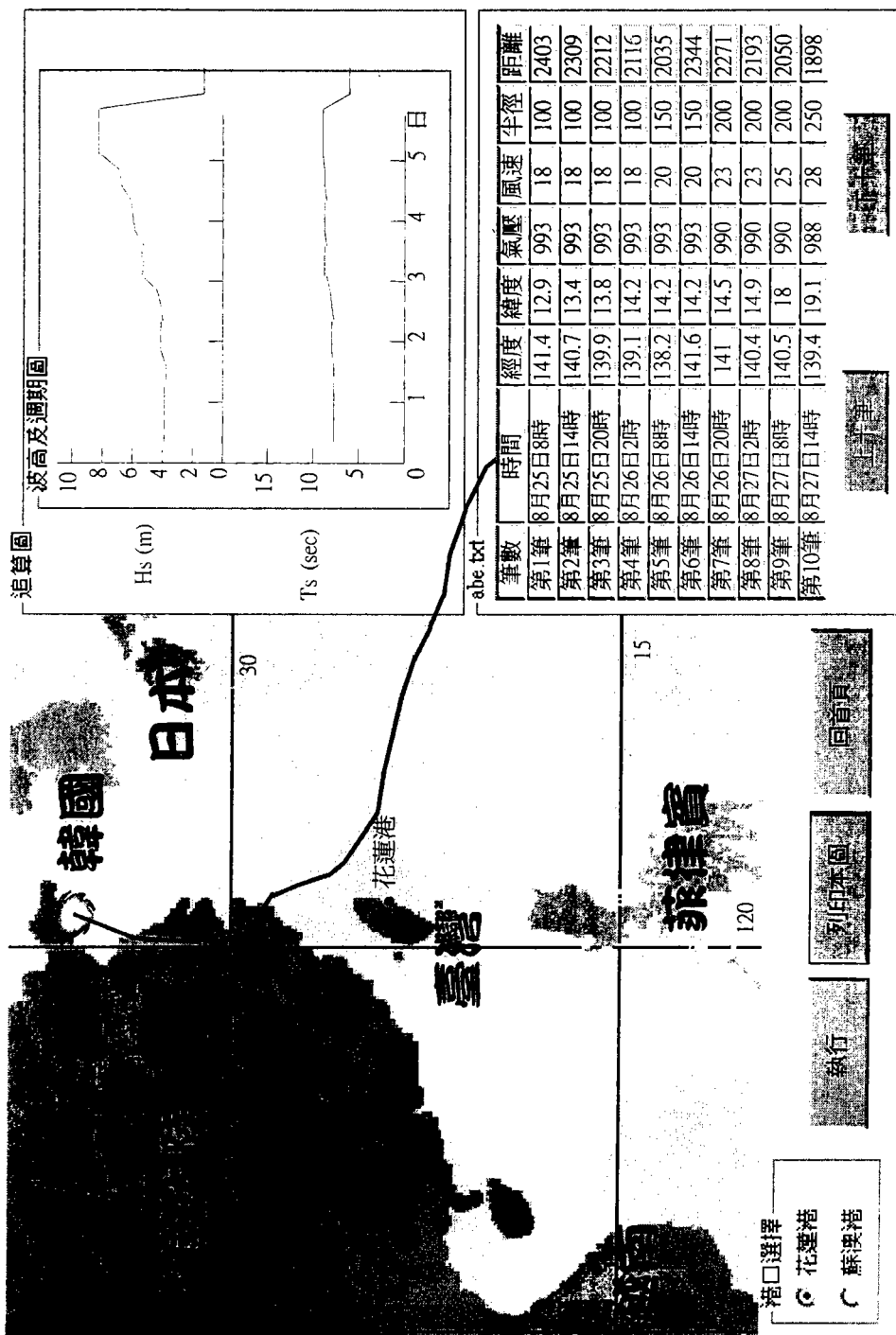


圖 2-5 亞伯(Abe)颱風路徑及其規模

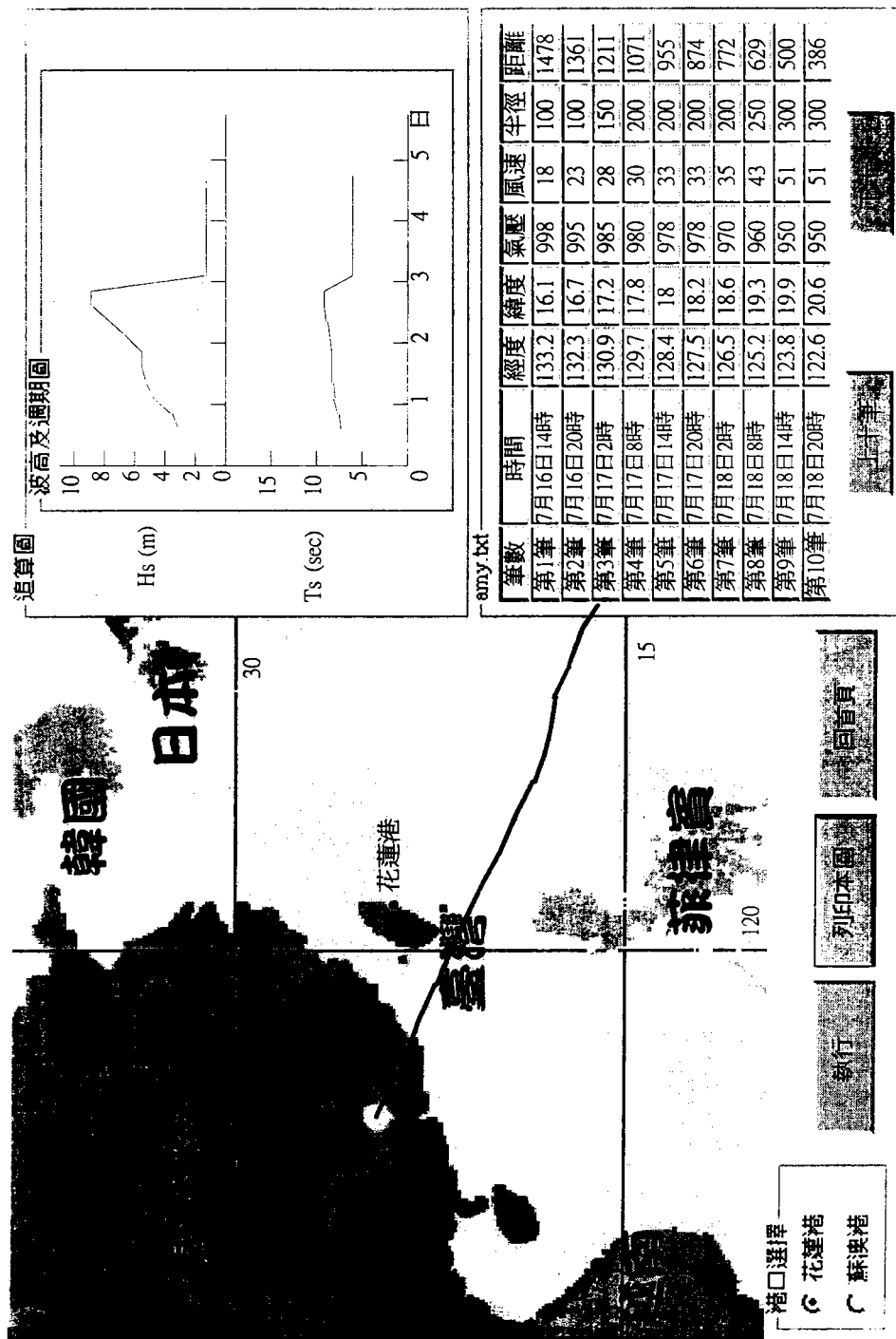


圖 2-7 艾密(Amy)颱風路徑及其規模

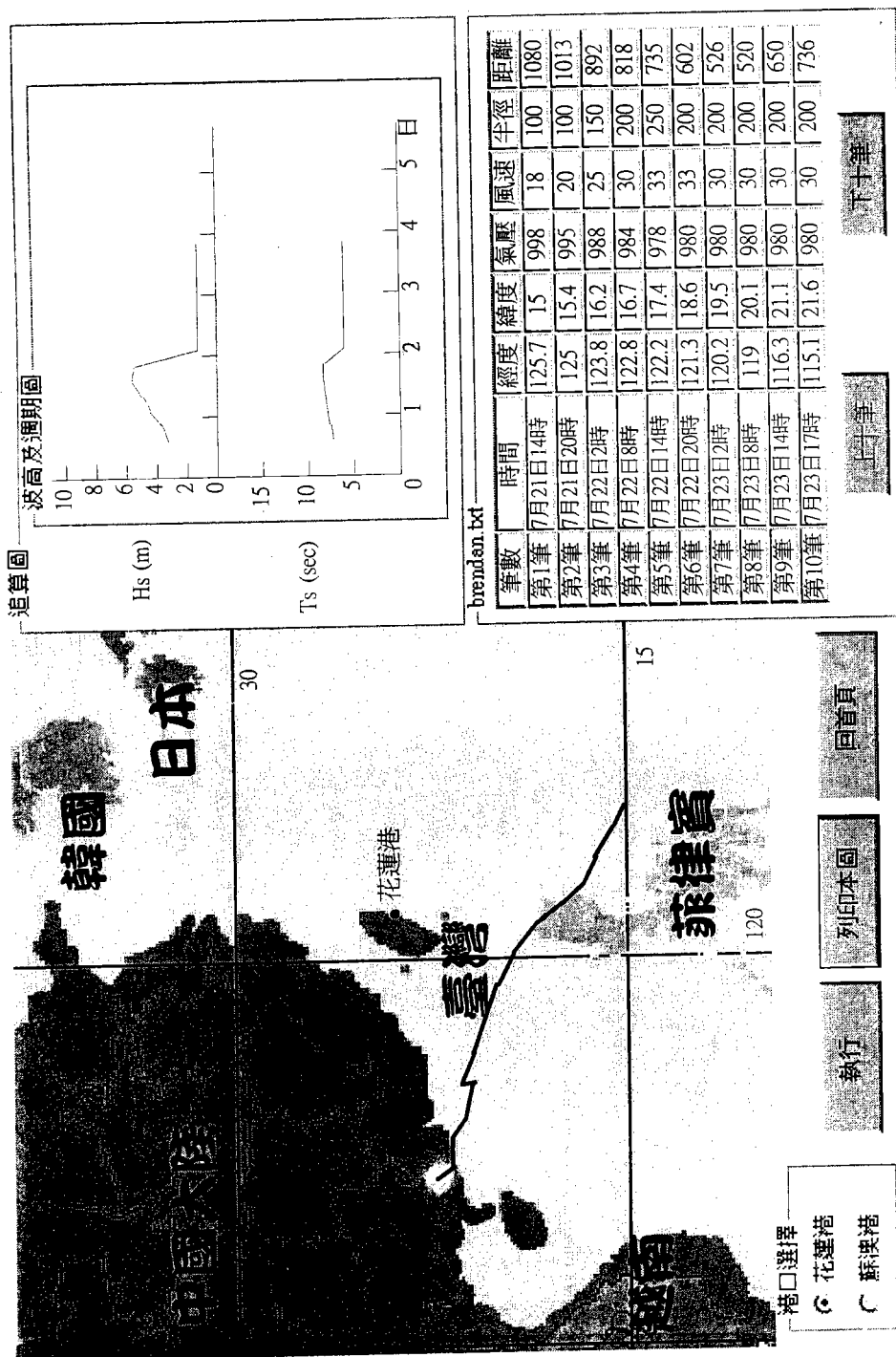


圖 2-8 布萊登(Brendan)颱風路徑及其規模

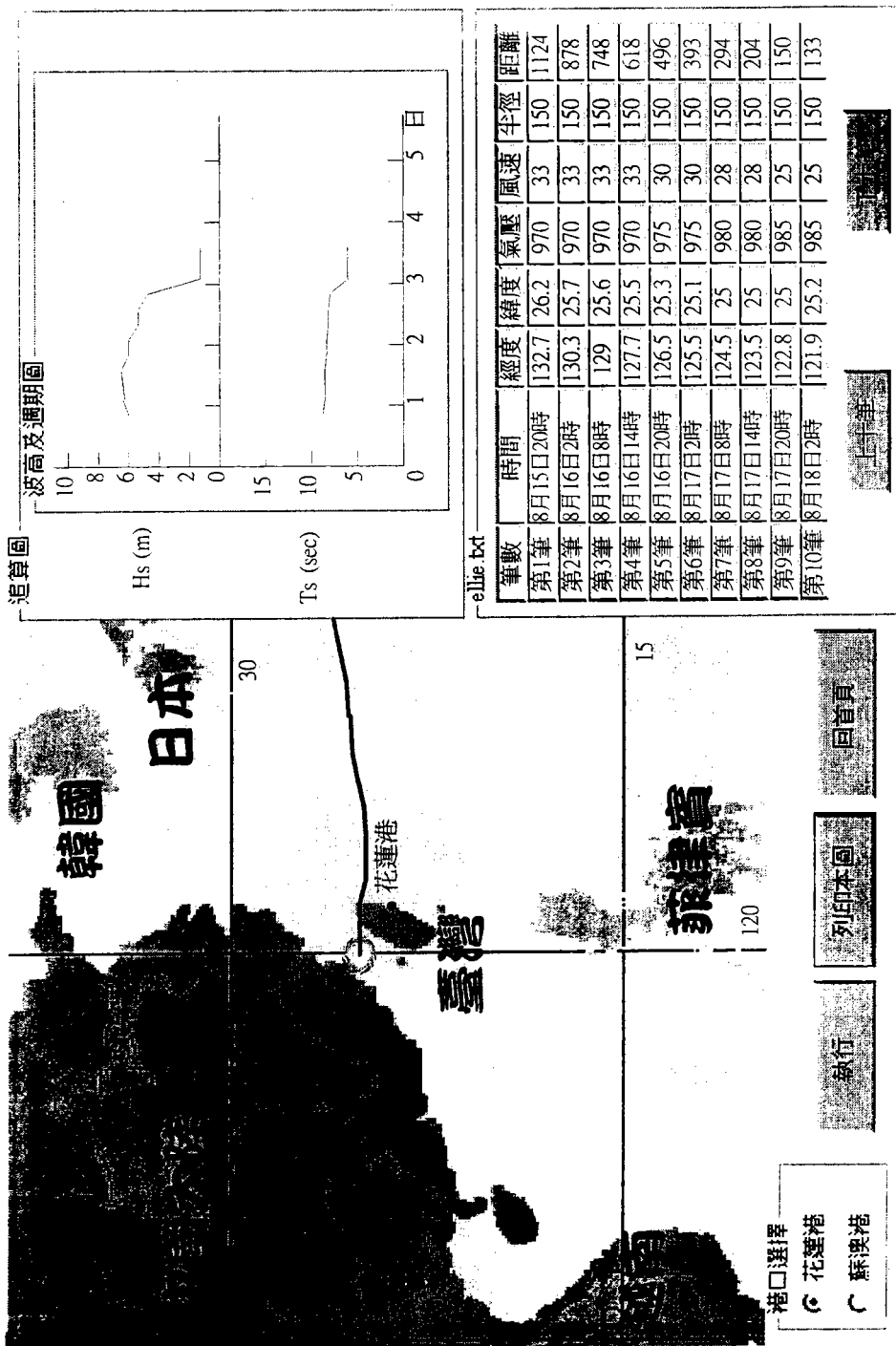


圖 2-9 艾利(Elle)颱風路徑及其規模

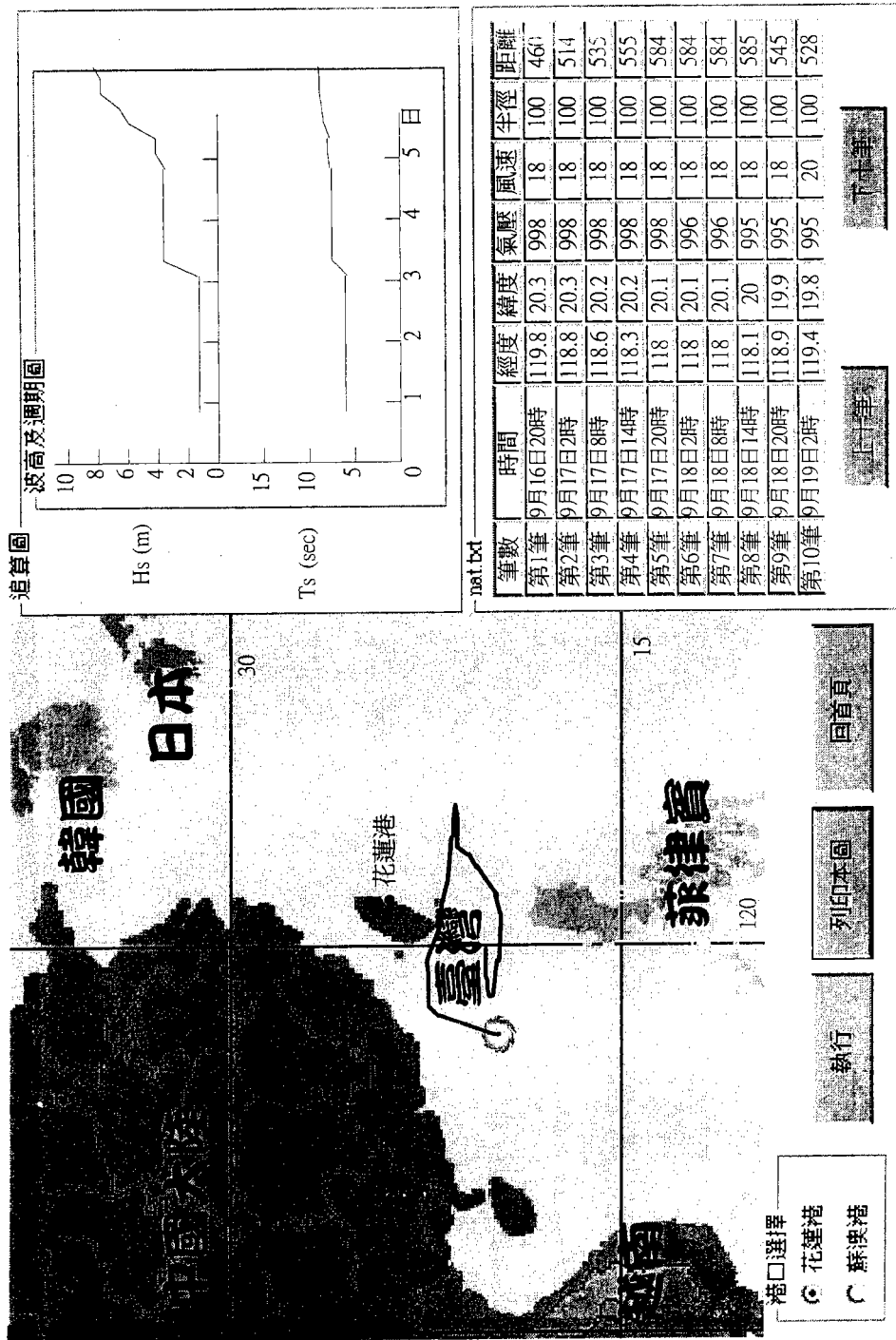


圖 2-10耐特(Net)颱風路徑及其規模

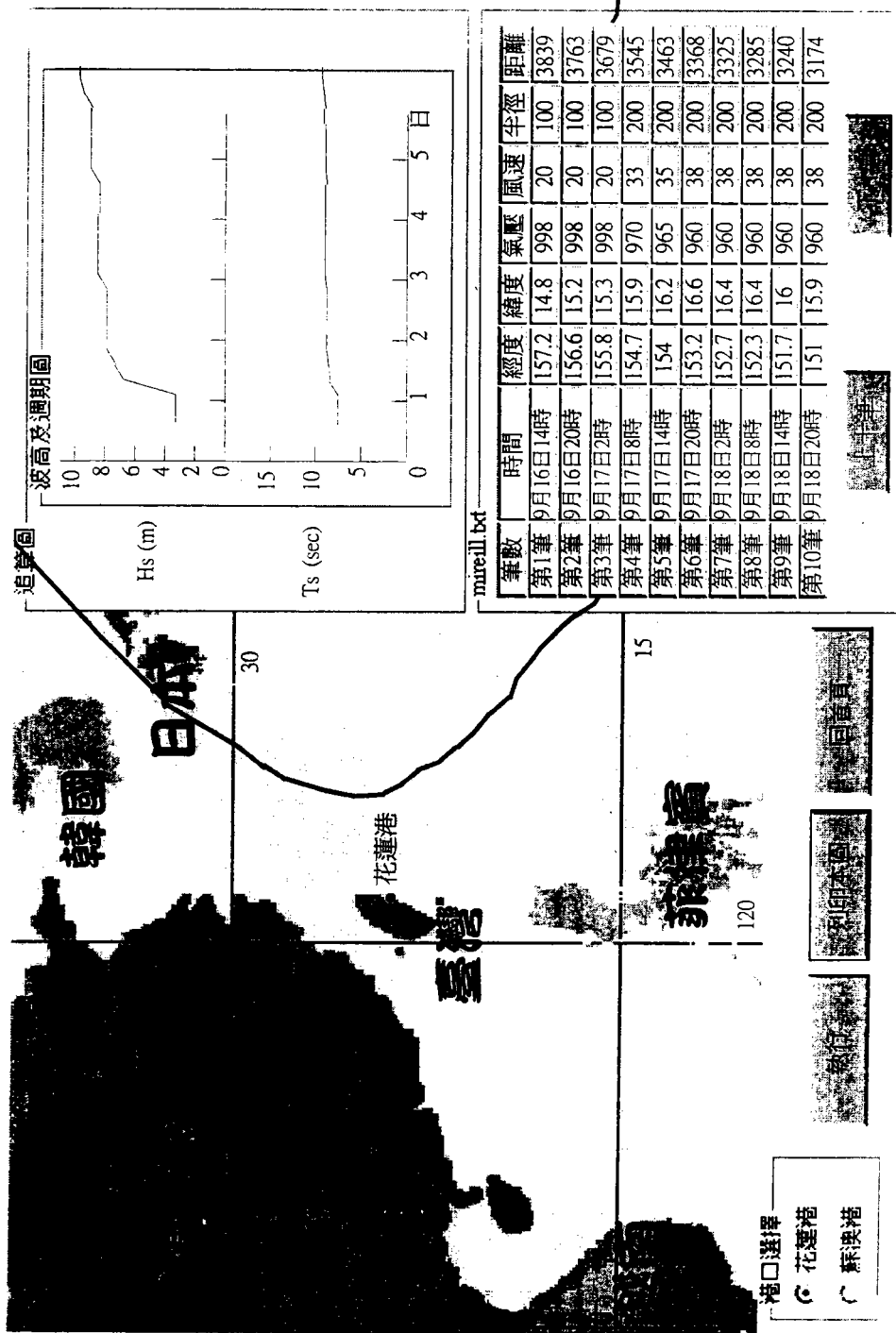


圖 2-11 密雷爾(Mireill)颱風路徑及其規模

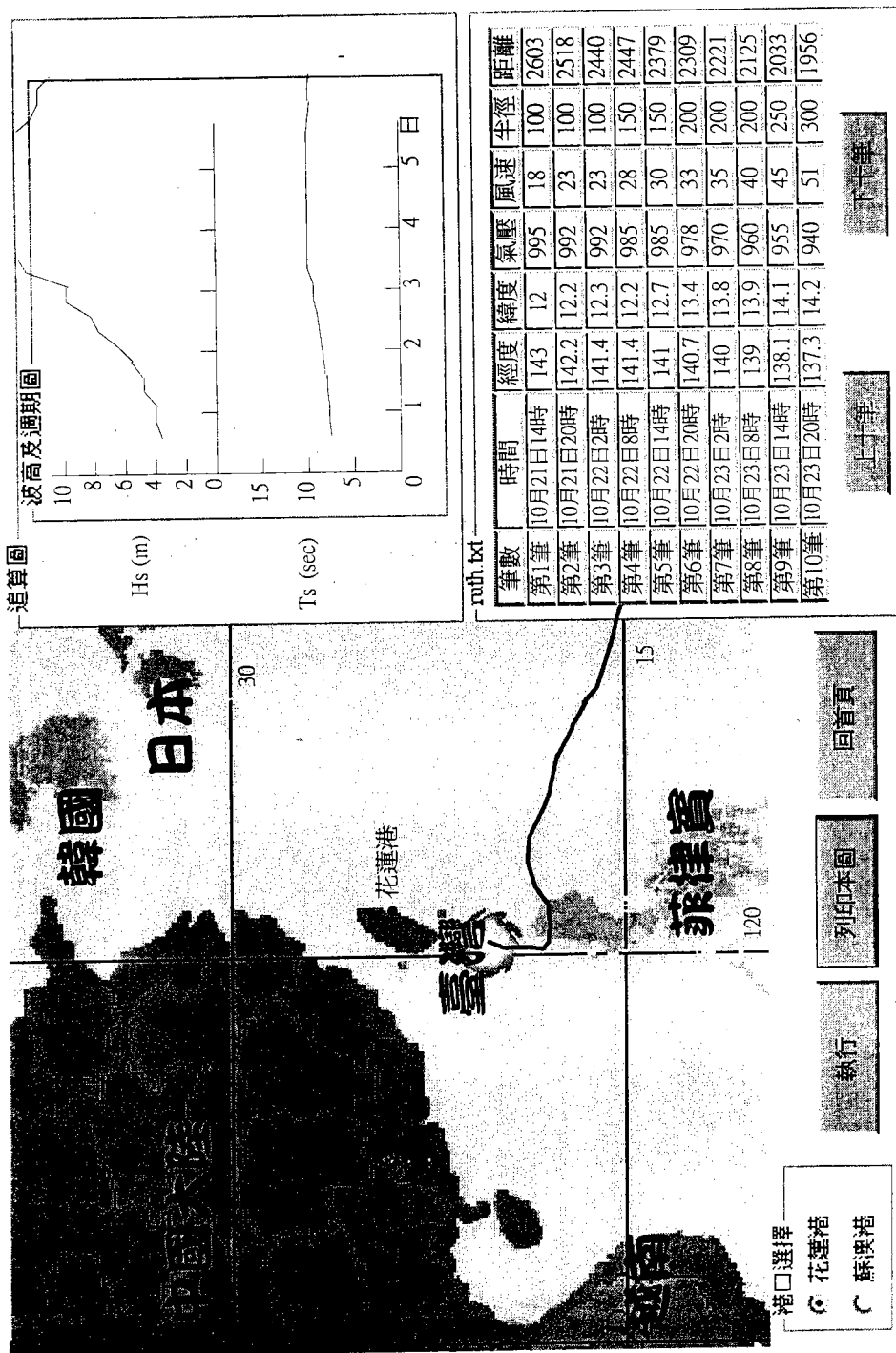


圖 2-12 露絲(Ruth)颱風路徑及其規模

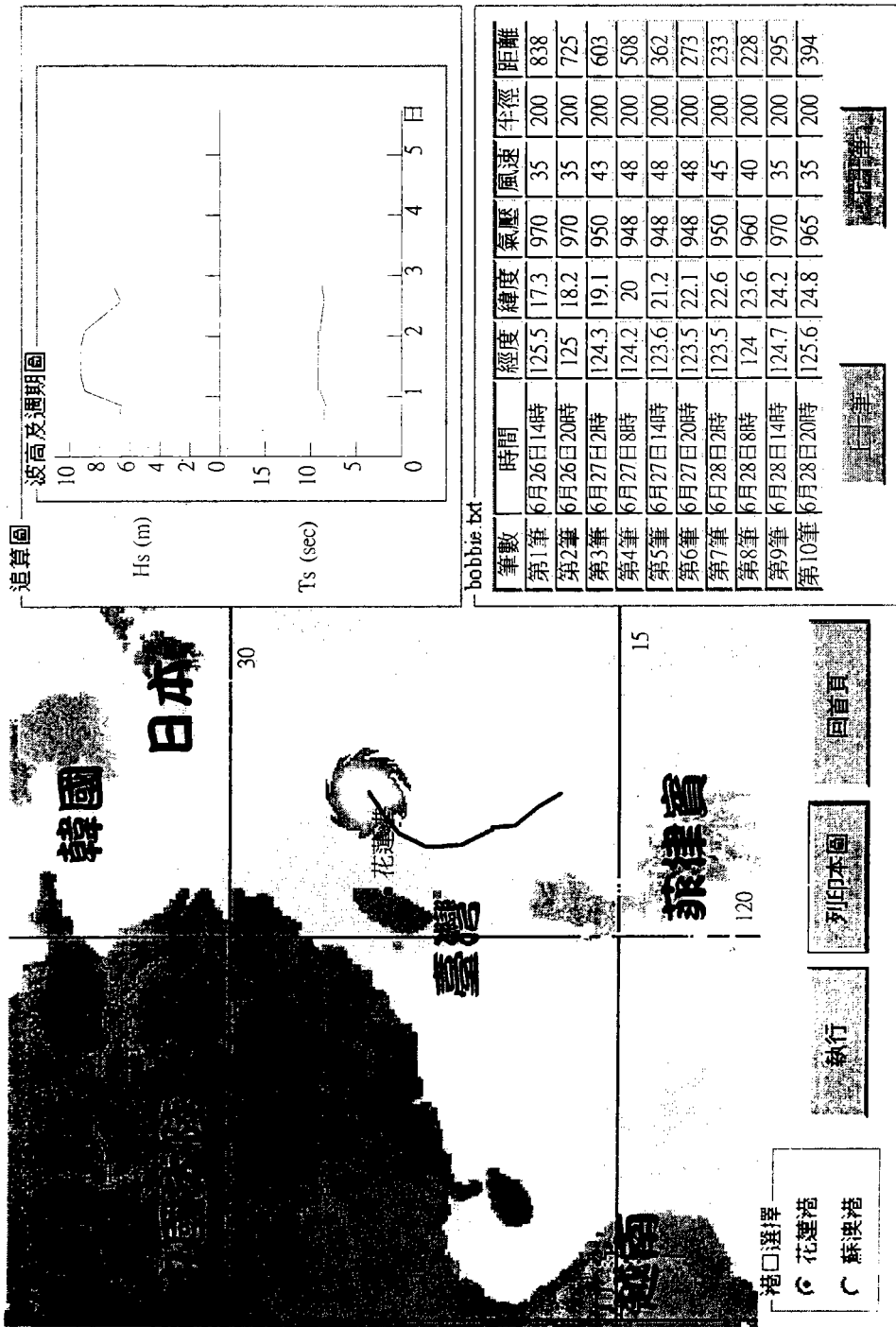


圖 2-13 芭比(Bobbie)颱風路徑及其規模

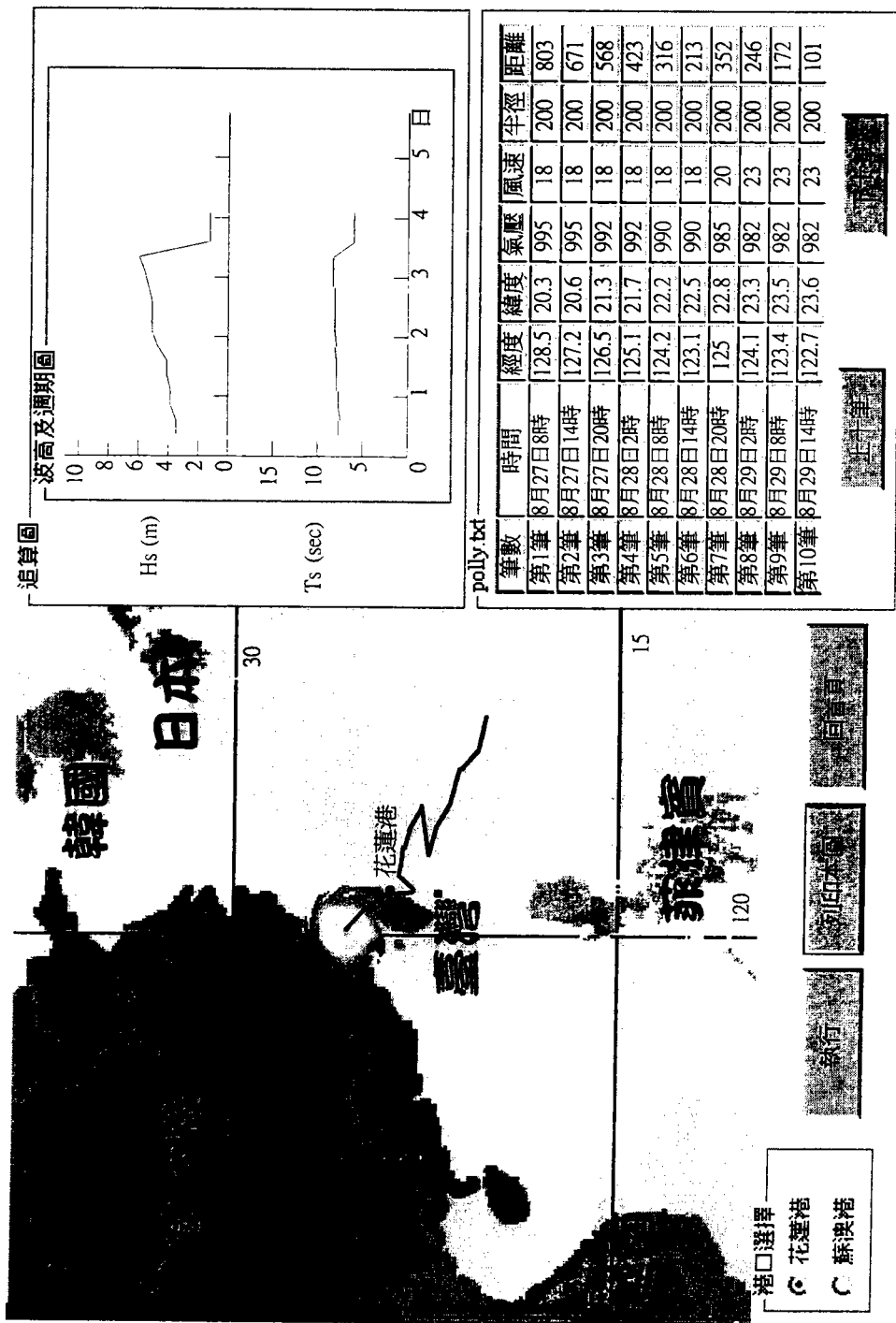


圖 2-15 寶莉(Polly)颱風路徑及其規模

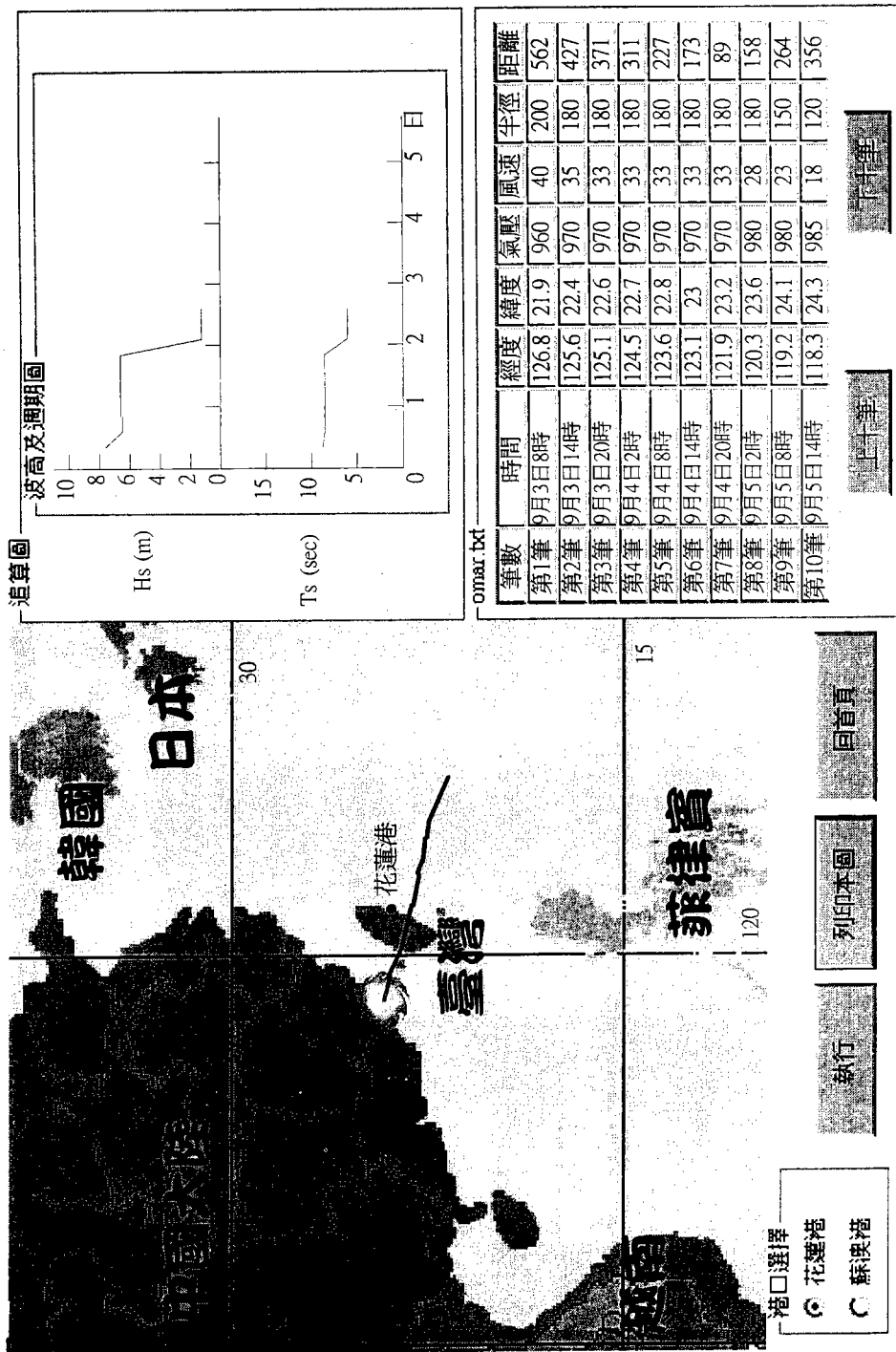


圖 2-16 歐馬(Omar)颱風路徑及其規模

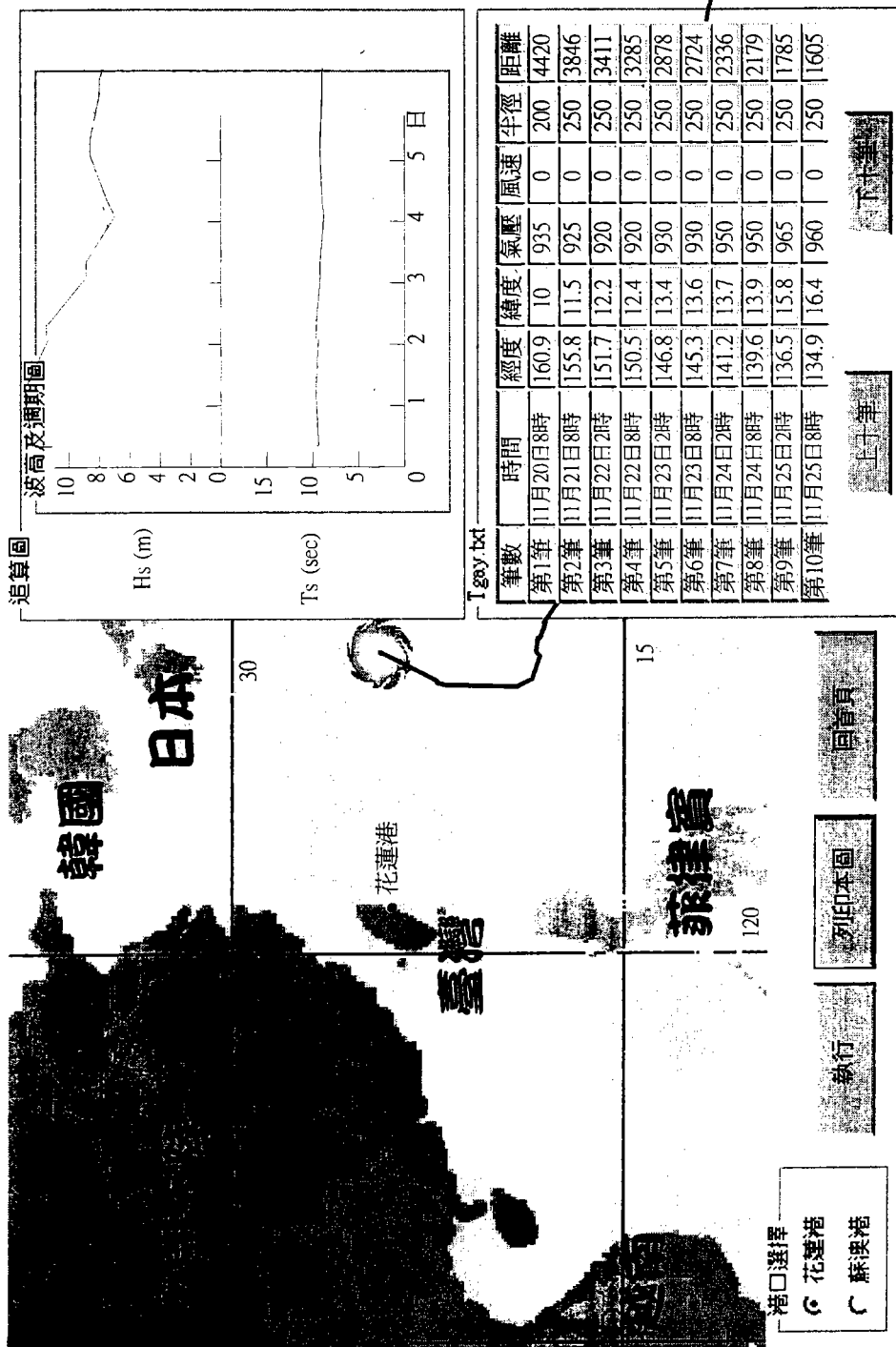


圖 2-17 蓋伊(Gay)颱風路徑及其規模

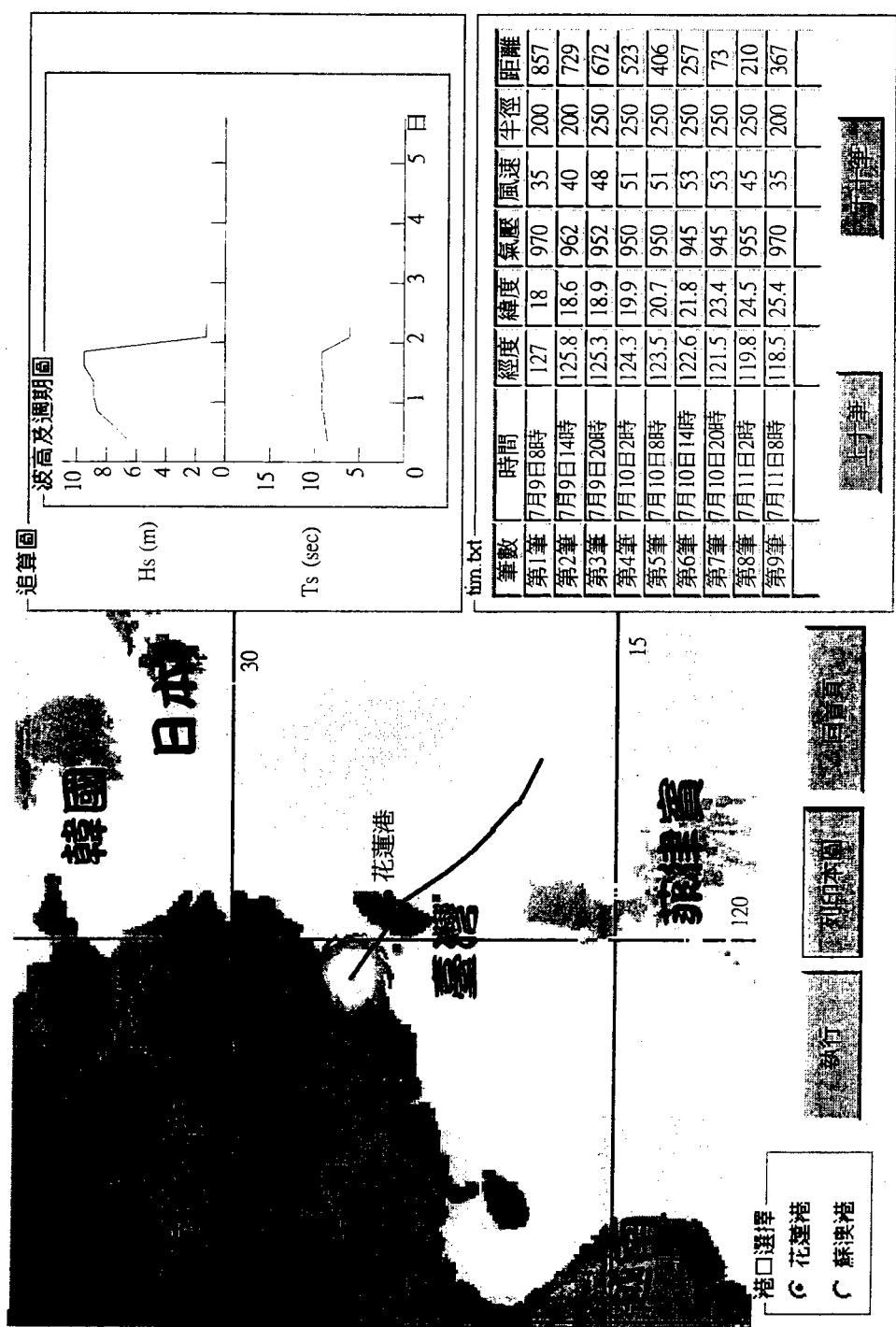


圖 2-19 提姆(Tim)颱風路徑及其規模

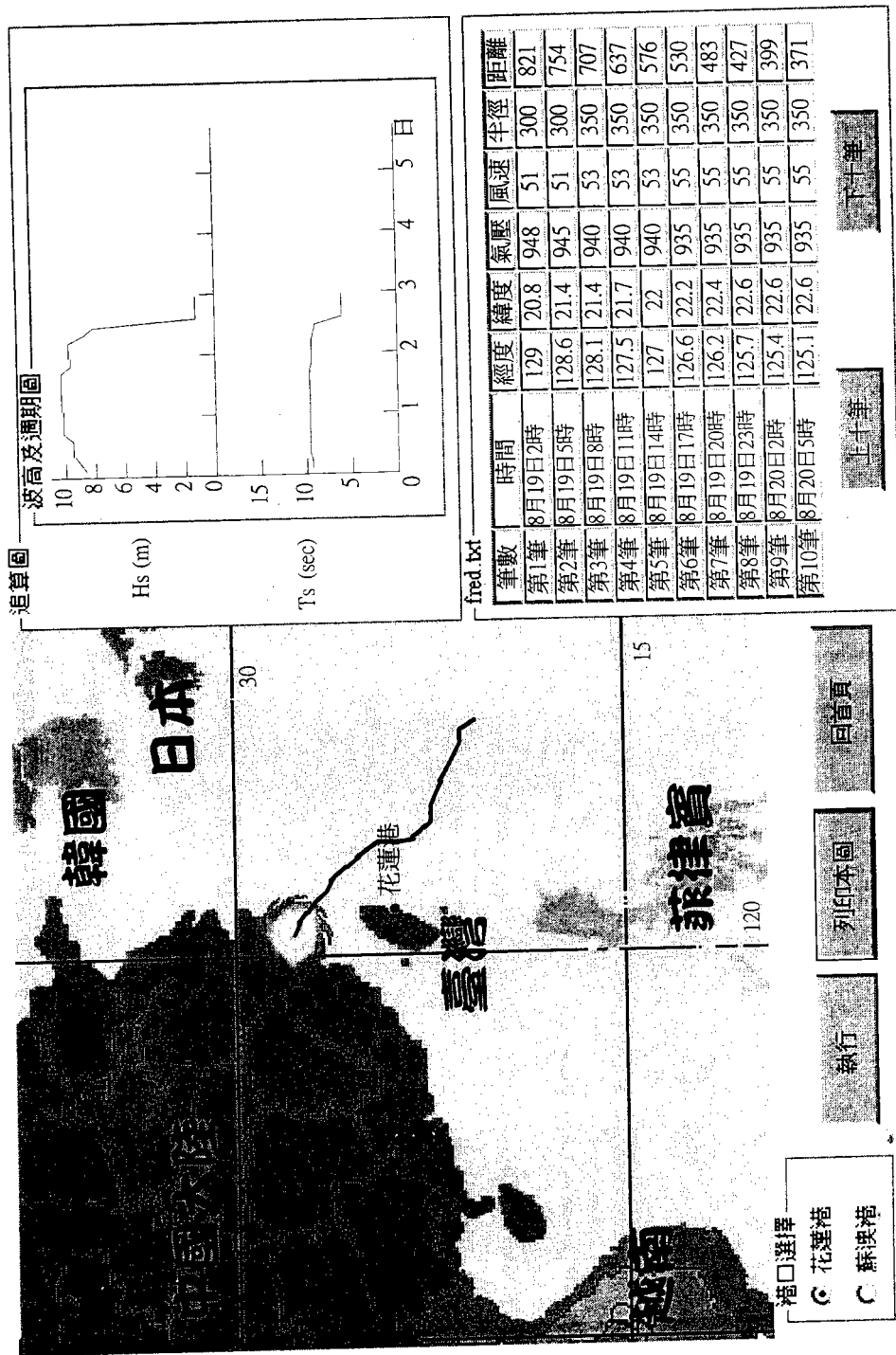


圖 2-20 弗雷特(Fred)颱風路徑及其規模

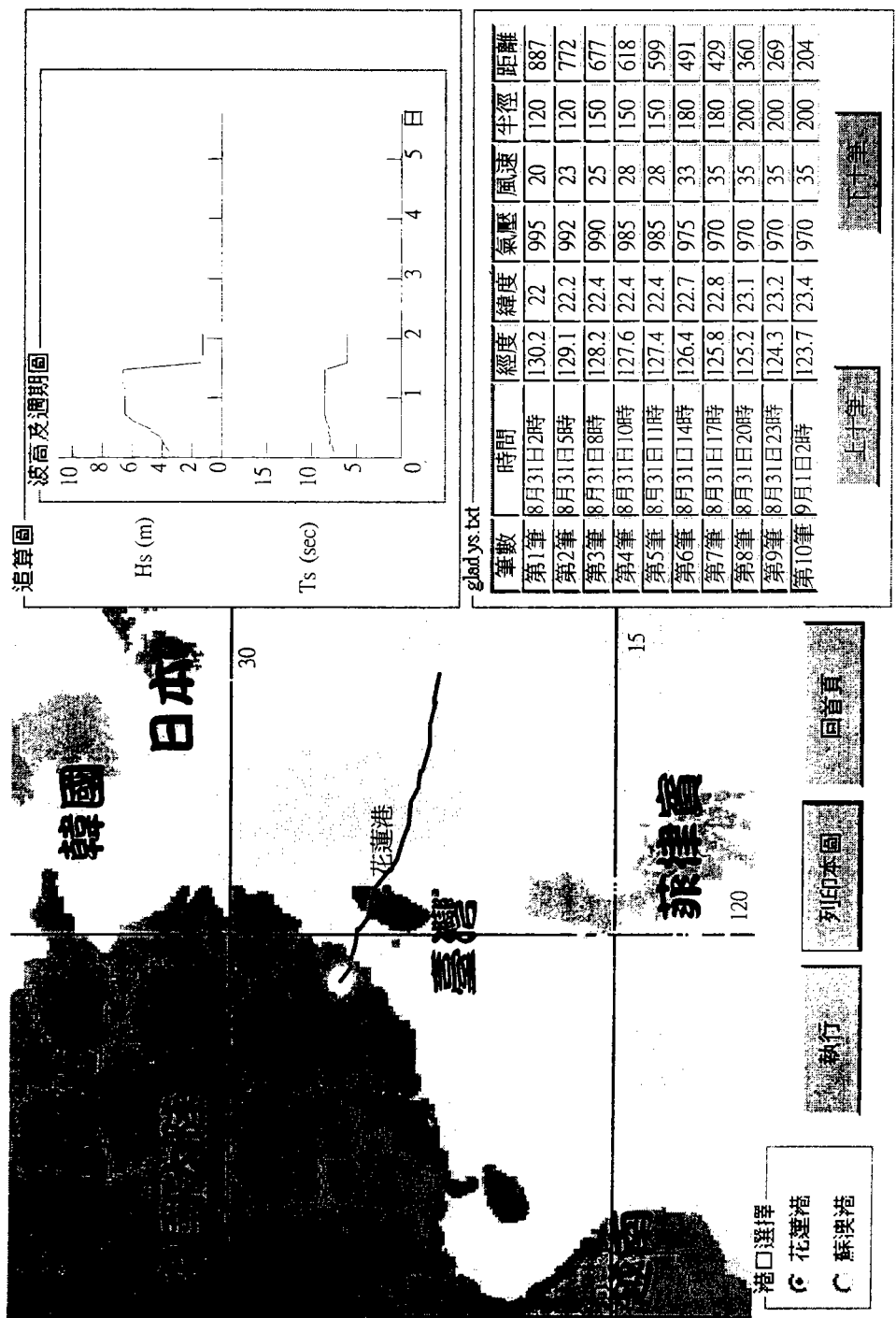
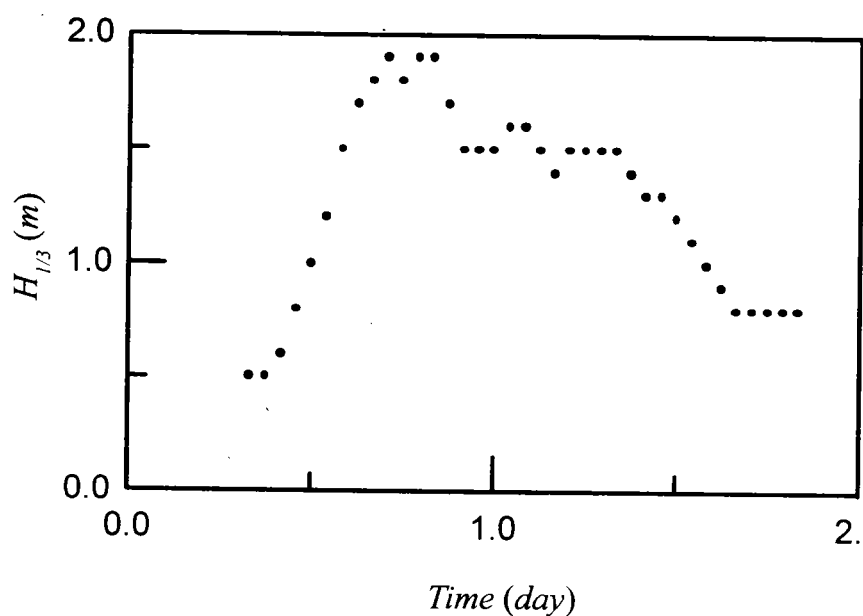
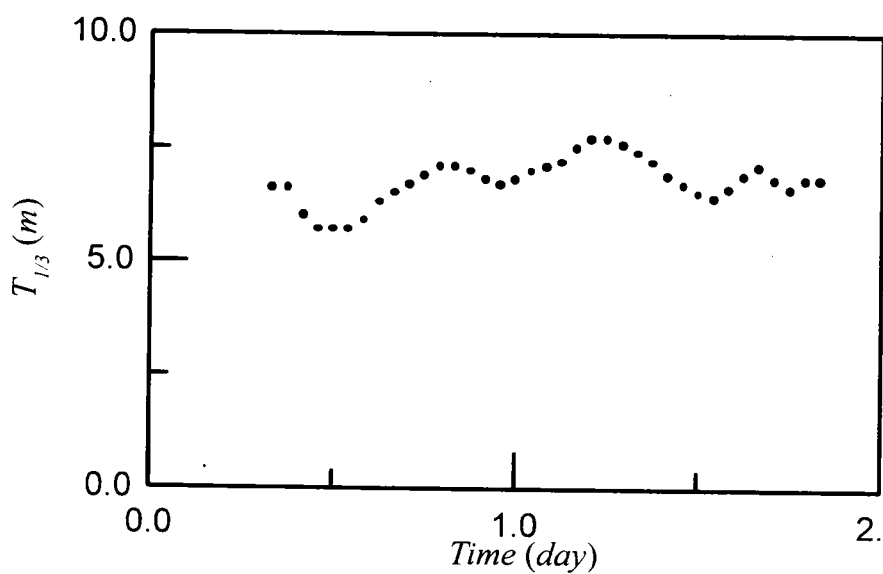


圖 2-21 葛拉絲(Gladys)颱風路徑及其規模

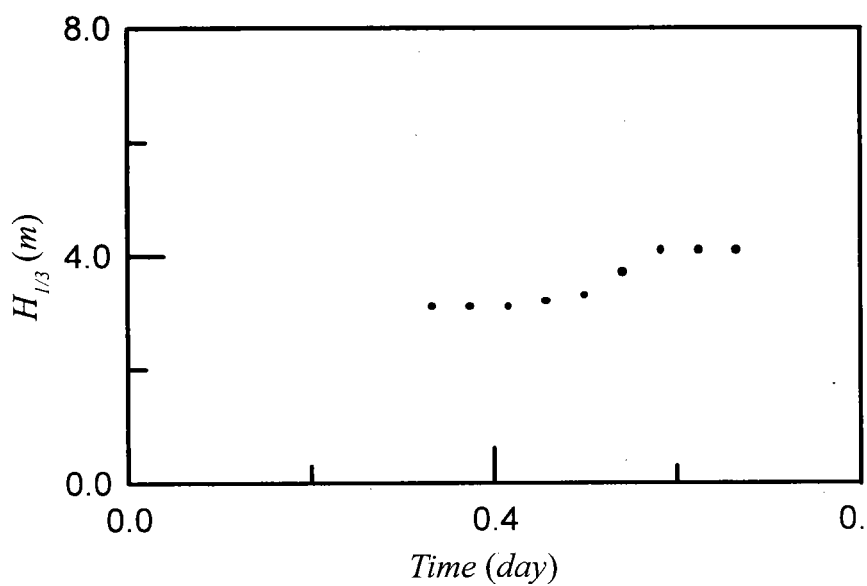


(a)歷時示性波高

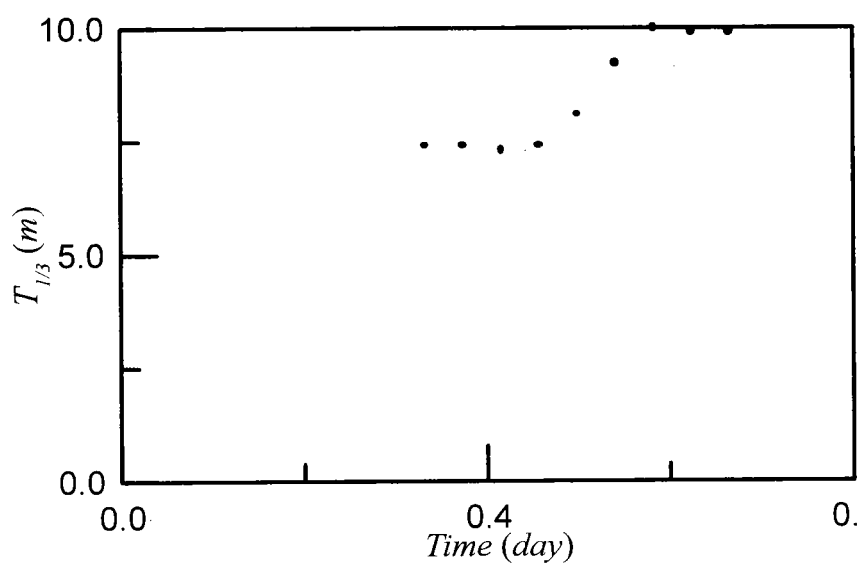


(b)歷時示性週期

圖 2-23 Robyn 颱風之示性波高及示性週期實測值

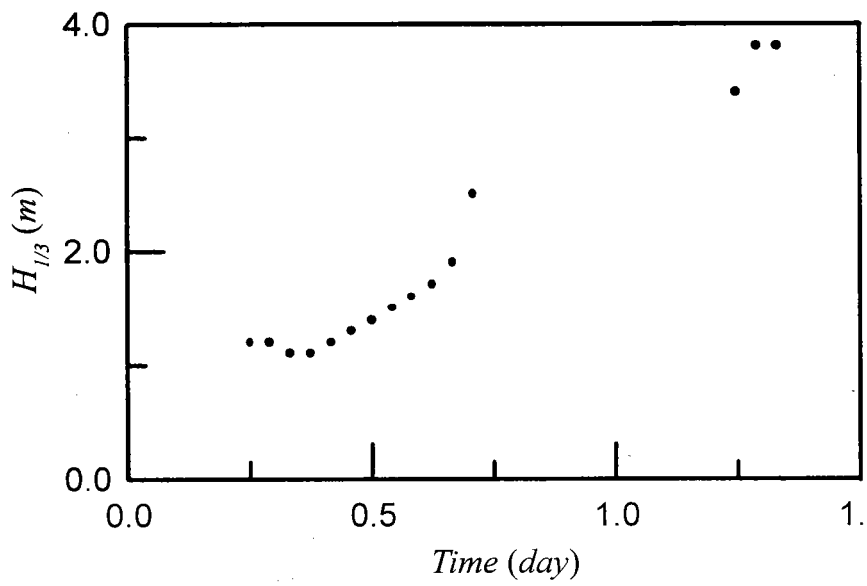


(a)歷時示性波高

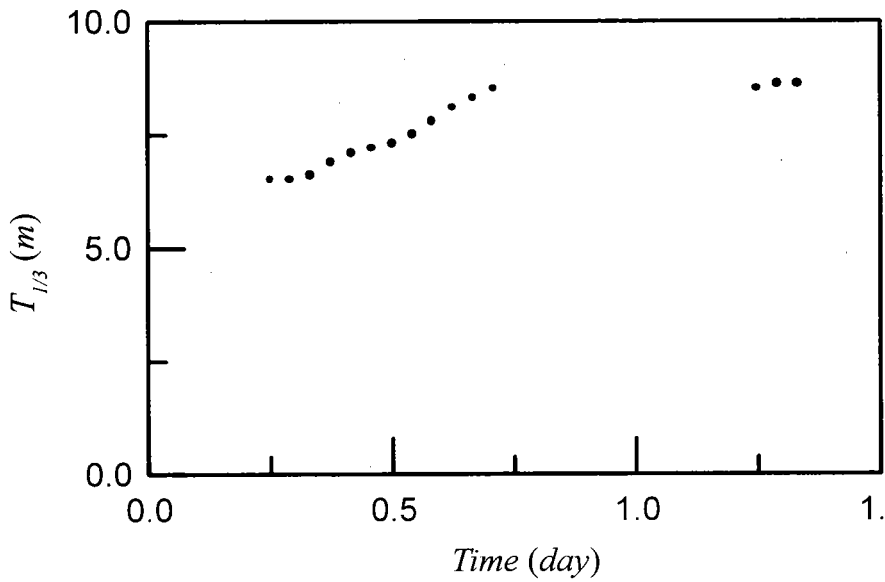


(b)歷時示性週期

圖 2-24 Yancy 颱風之示性波高及示性週期實測值

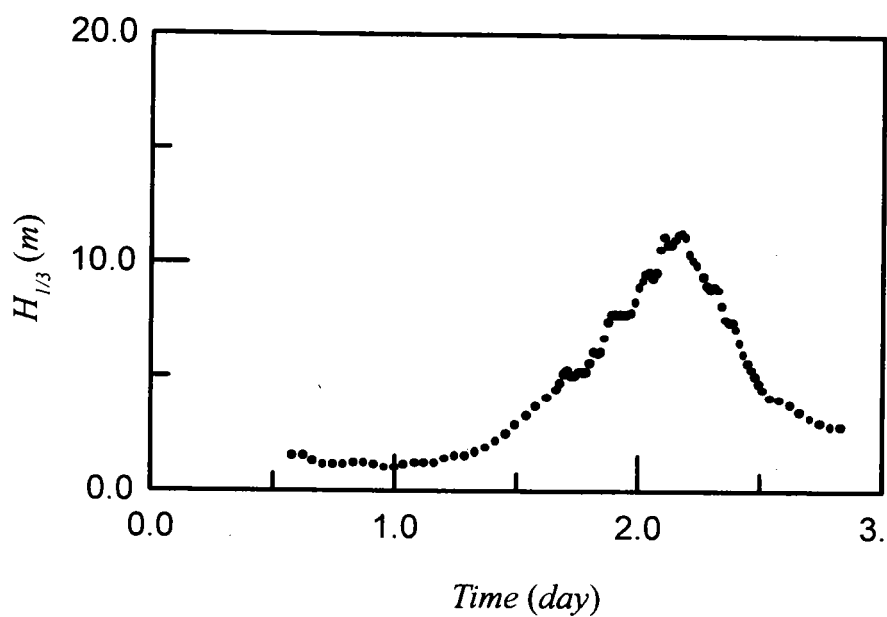


(a)歷時示性波高

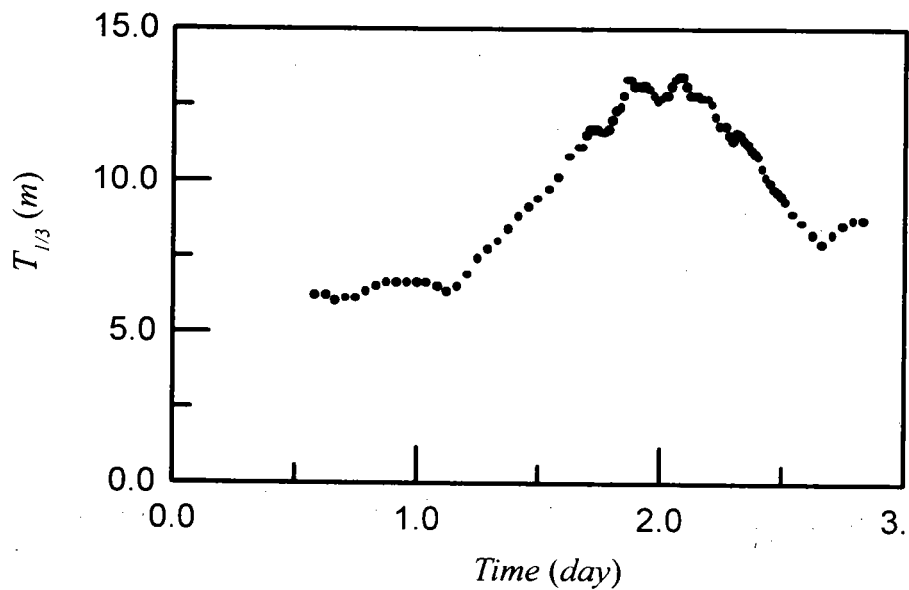


(b)歷時示性週期

圖 2-26 Ed 颱風之示性波高及示性週期實測值

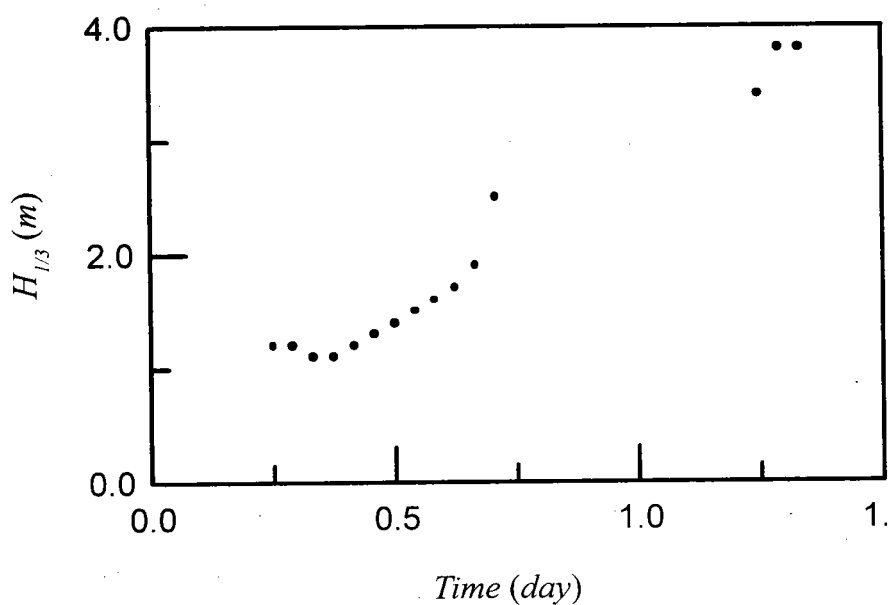


(a)歷時示性波高

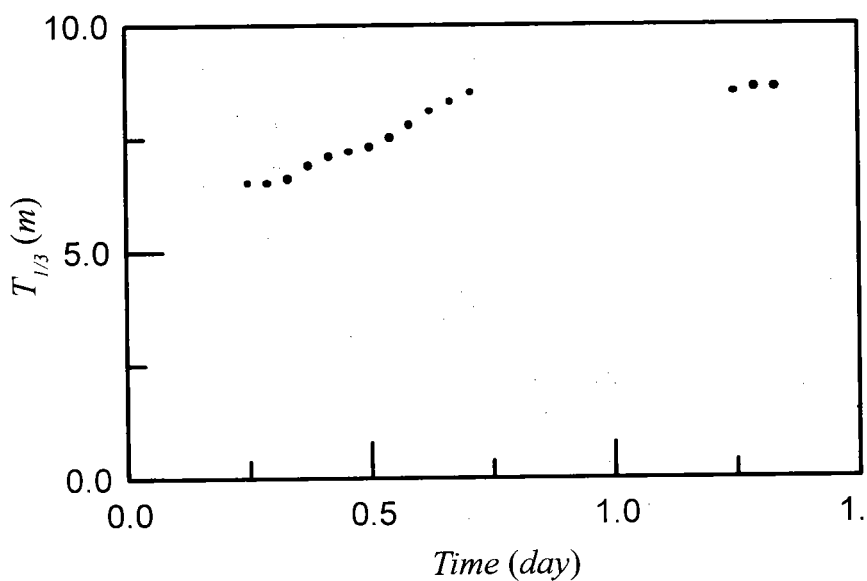


(b)歷時示性週期

圖 2-27 Amy 颱風之示性波高及示性週期實測值

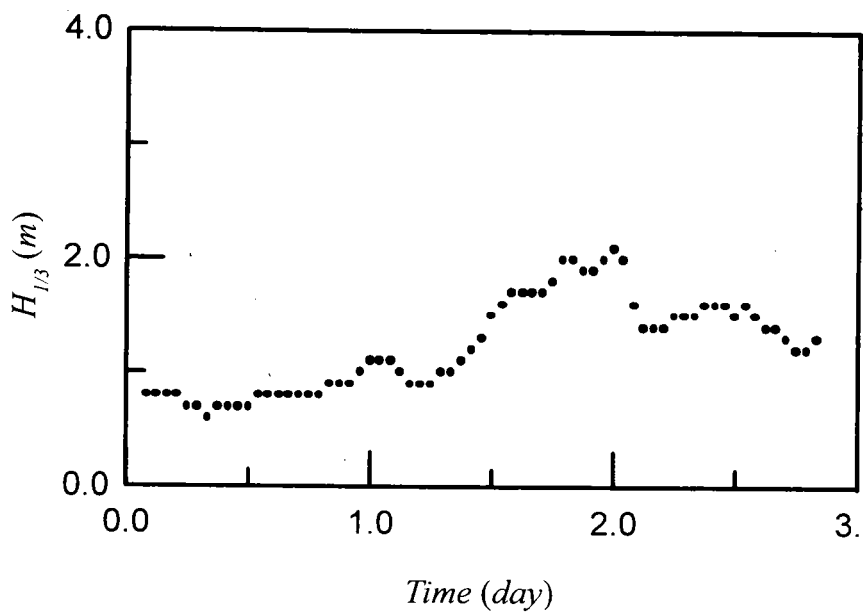


(a) 歷時示性波高

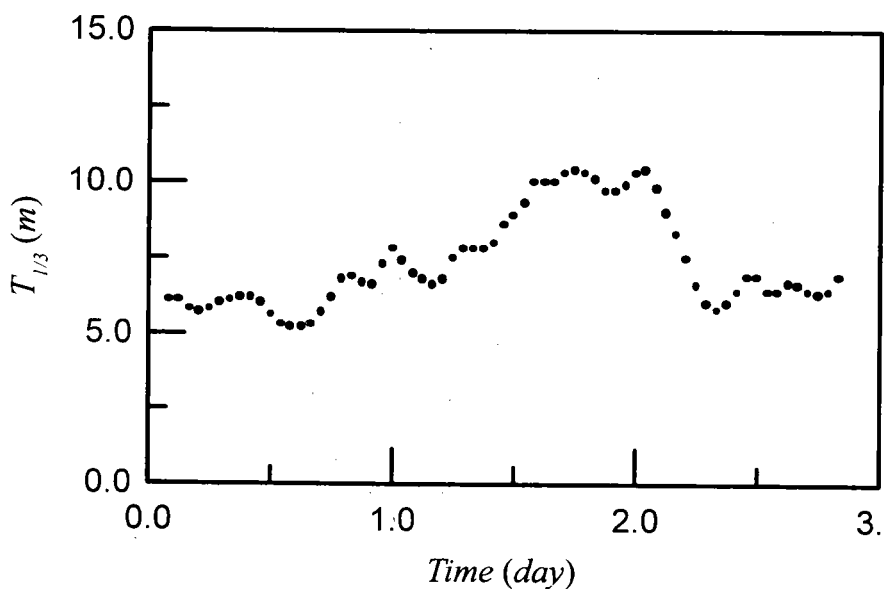


(b) 歷時示性週期

圖 2-28 Brendan 颱風之示性波高及示性週期實測值

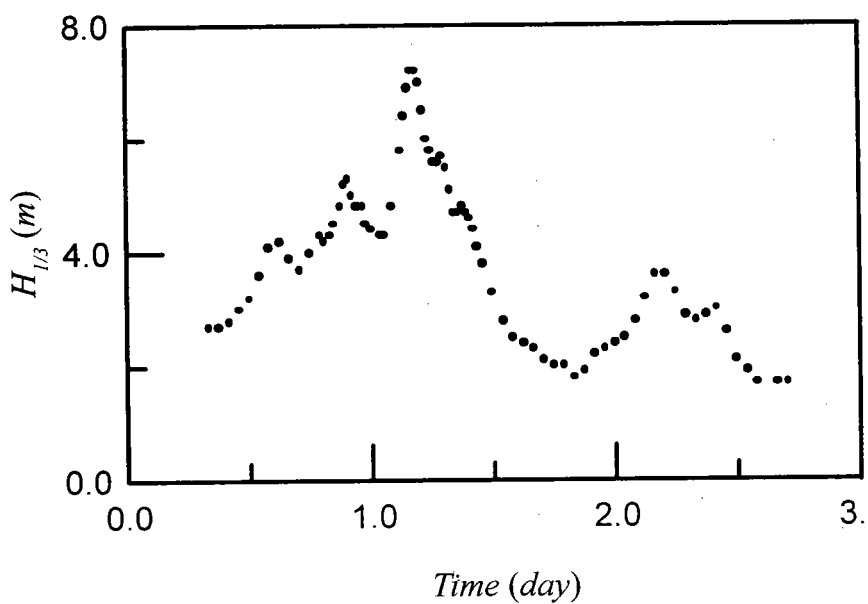


(a) 歷時示性波高

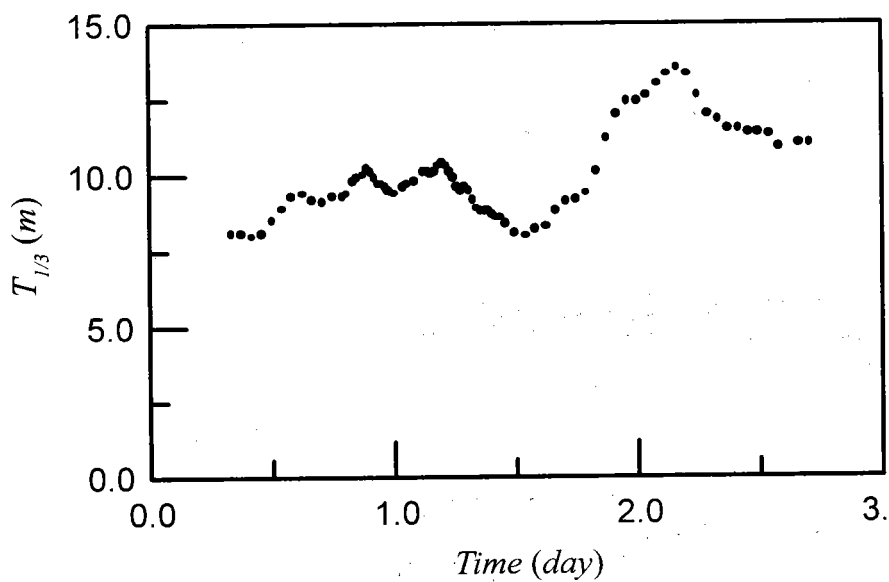


(b) 歷時示性週期

圖 2-29 Ellie 颱風之示性波高及示性週期實測值

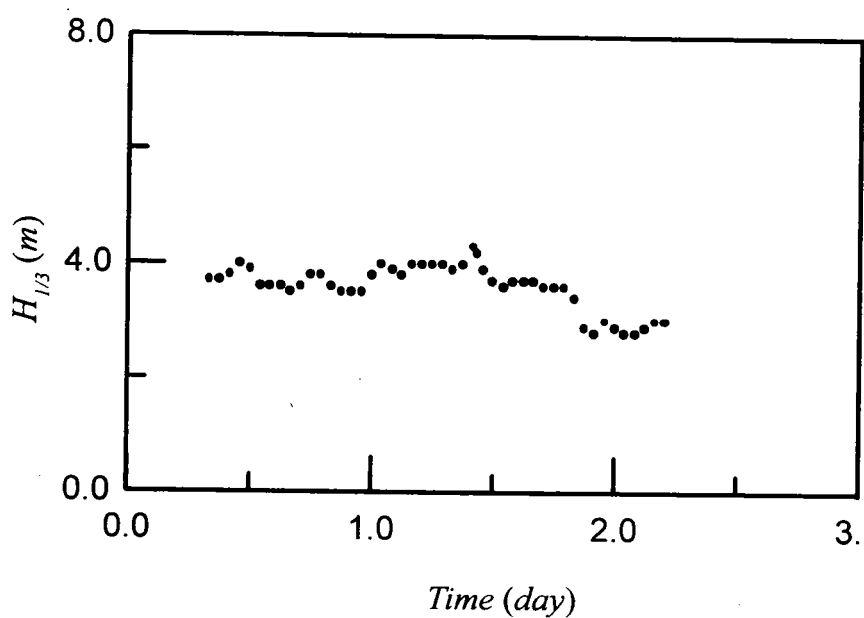


(a)歷時示性波高

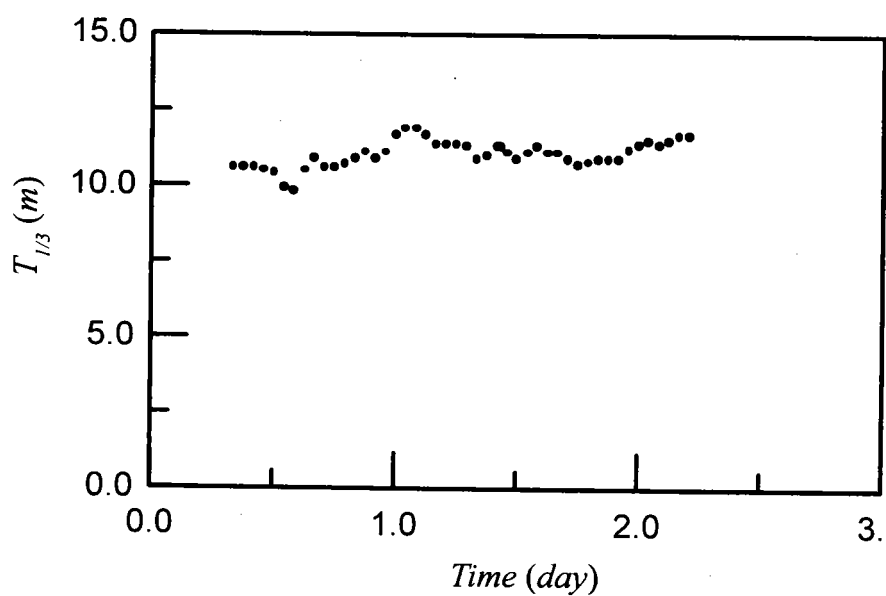


(b)歷時示性週期

圖 2-30 Nat 颱風之示性波高及示性週期實測值

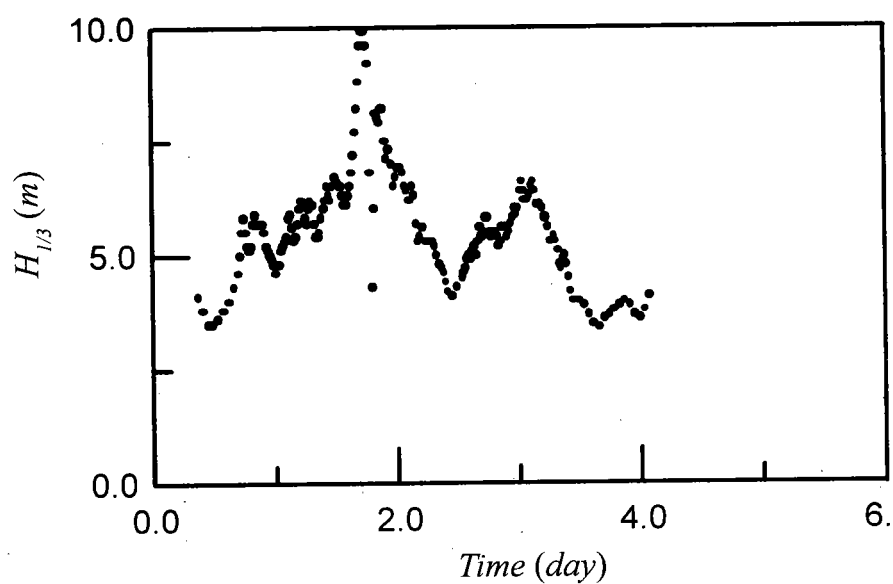


(a)歷時示性波高

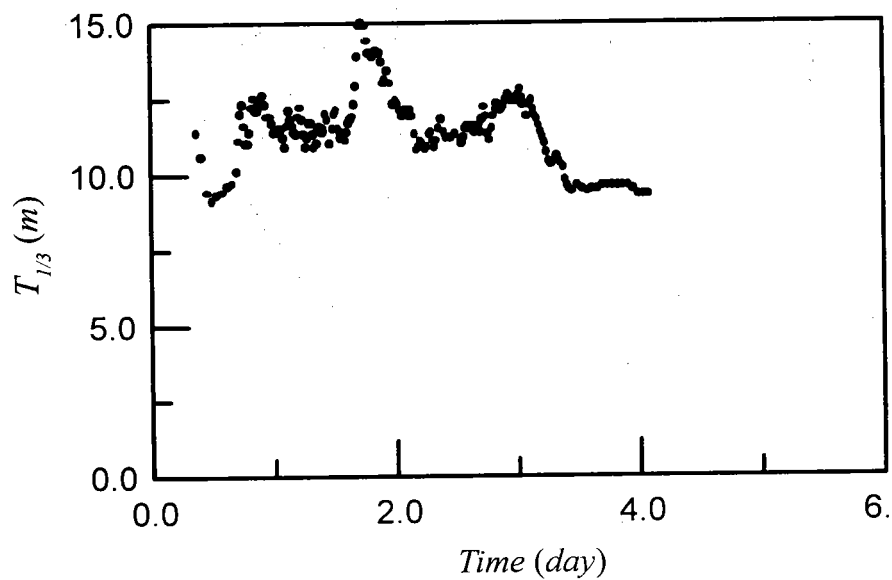


(b)歷時示性週期

圖 2-31 Mireill 颱風之示性波高及示性週期實測值

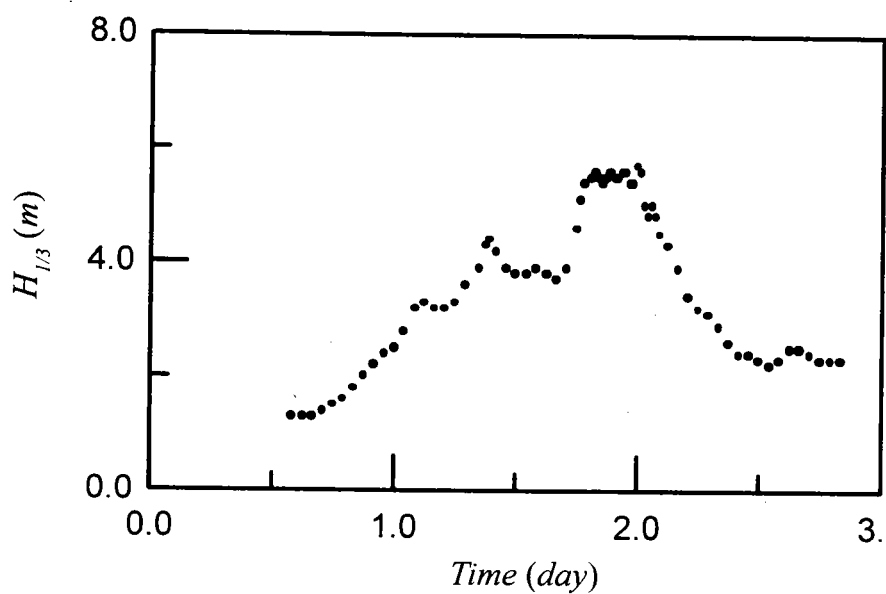


(a) 歷時示性波高

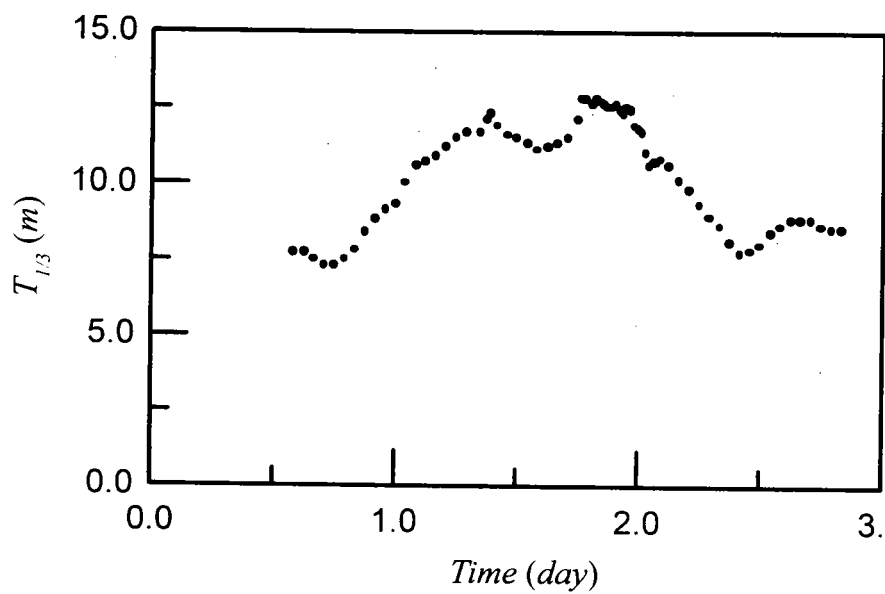


(b) 歷時示性週期

圖 2-32 Ruth 颱風之示性波高及示性週期實測值

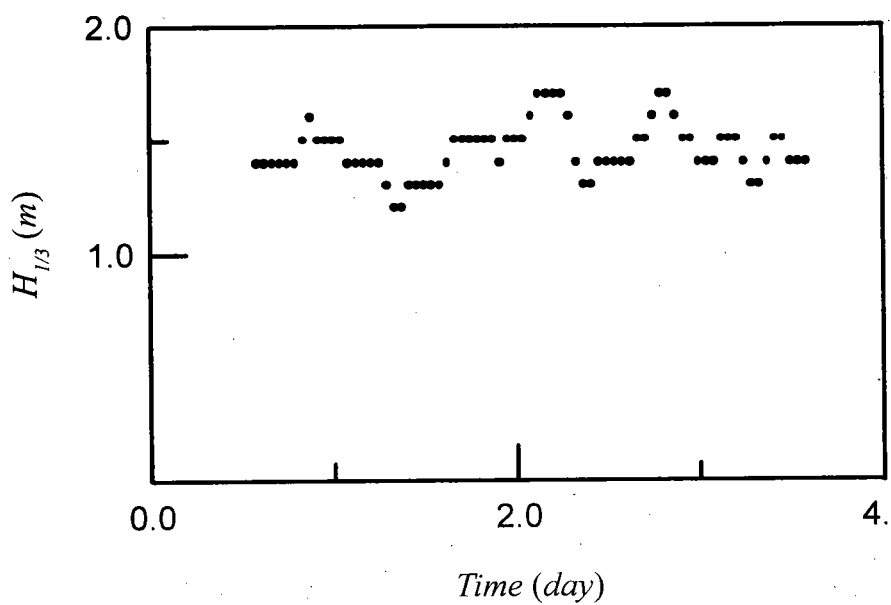


(a)歷時示性波高

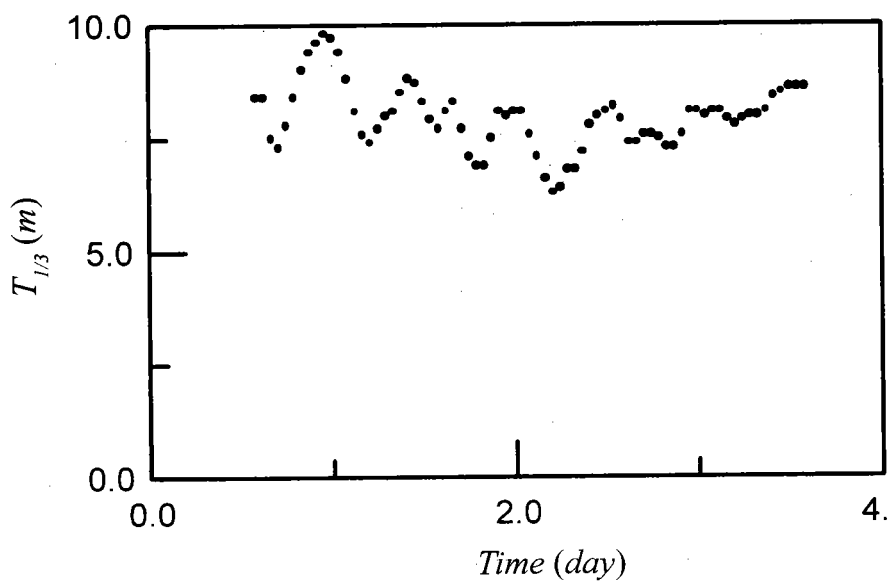


(b)歷時示性週期

圖 2-33 Bobbie 颱風之示性波高及示性週期實測值

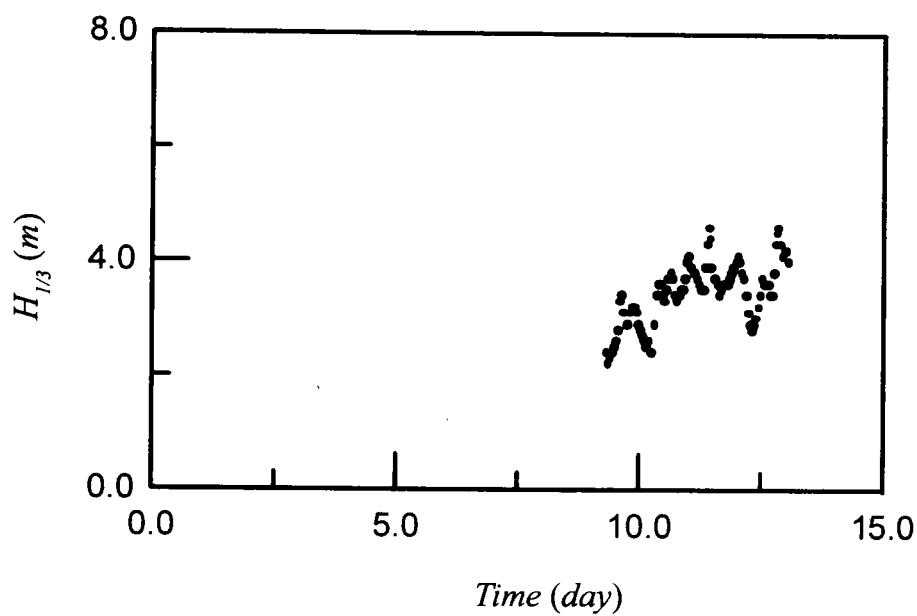


(a) 歷時示性波高

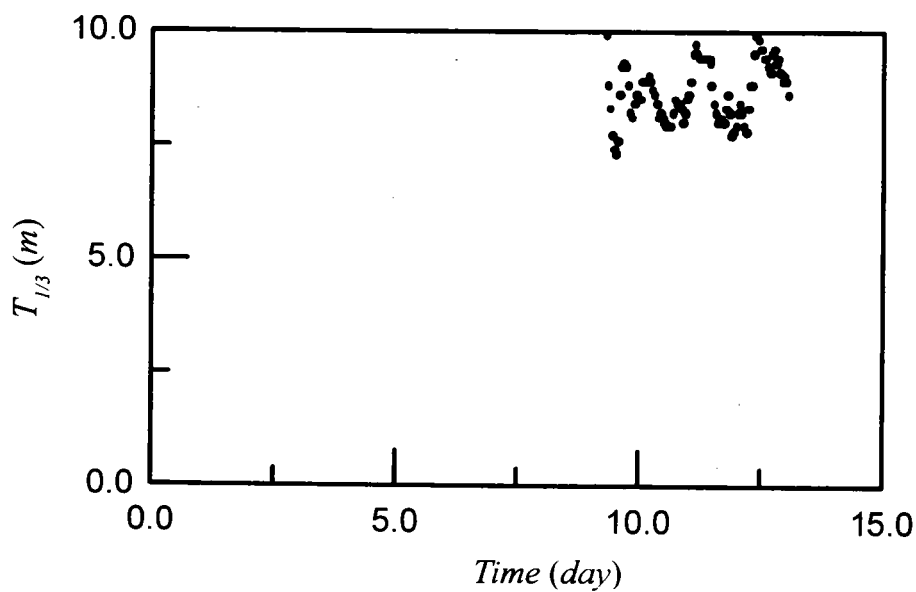


(b) 歷時示性週期

圖 2-34 Mark 颱風之示性波高及示性週期實測值

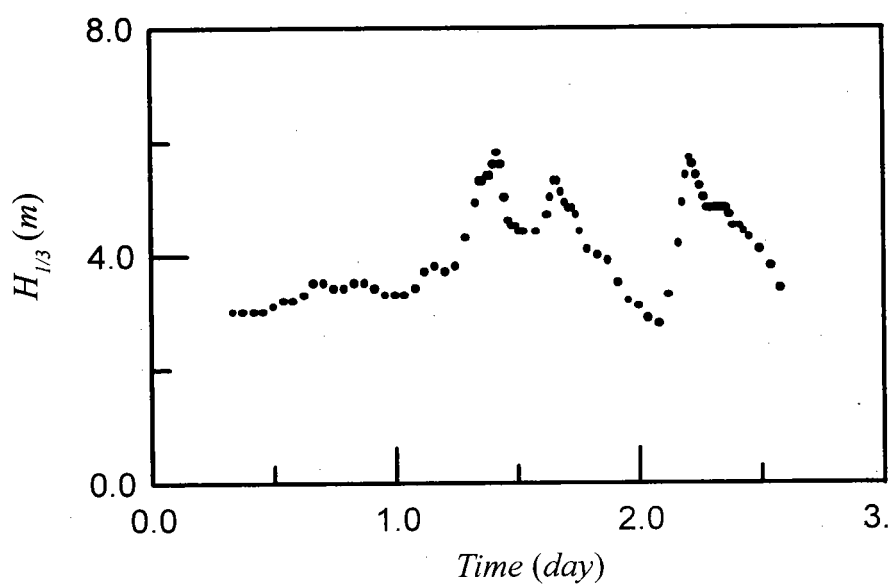


(a)歷時示性波高

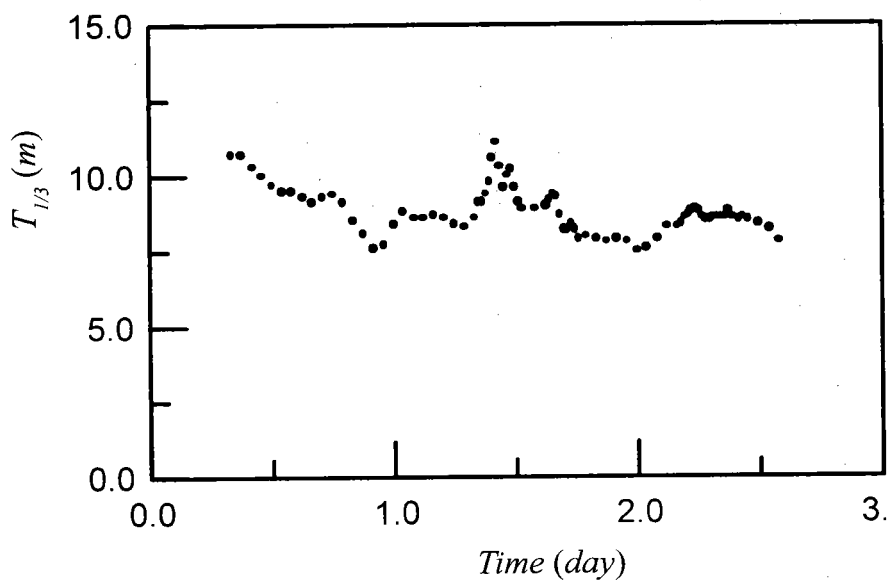


(b)歷時示性週期

圖 2-35 Polly 颱風之示性波高及示性週期實測值

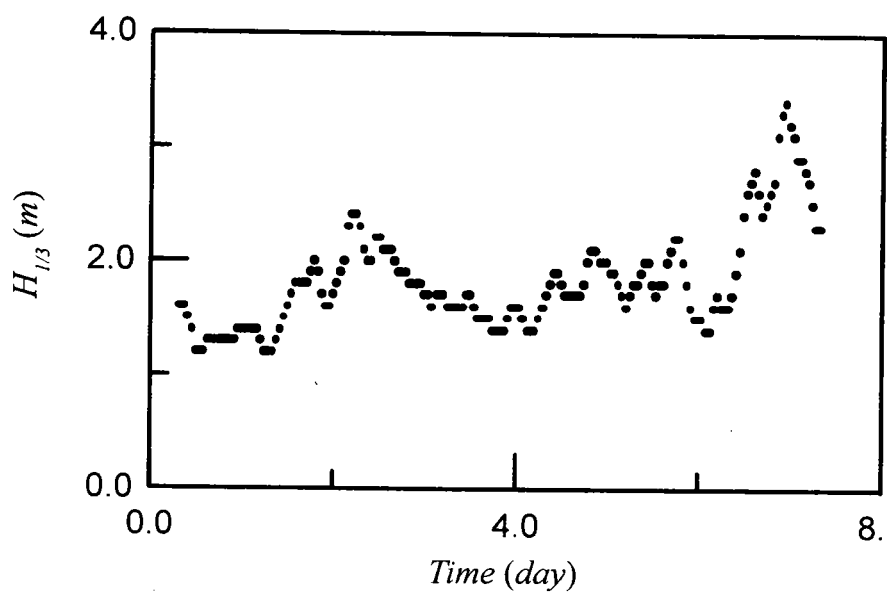


(a)歷時示性波高

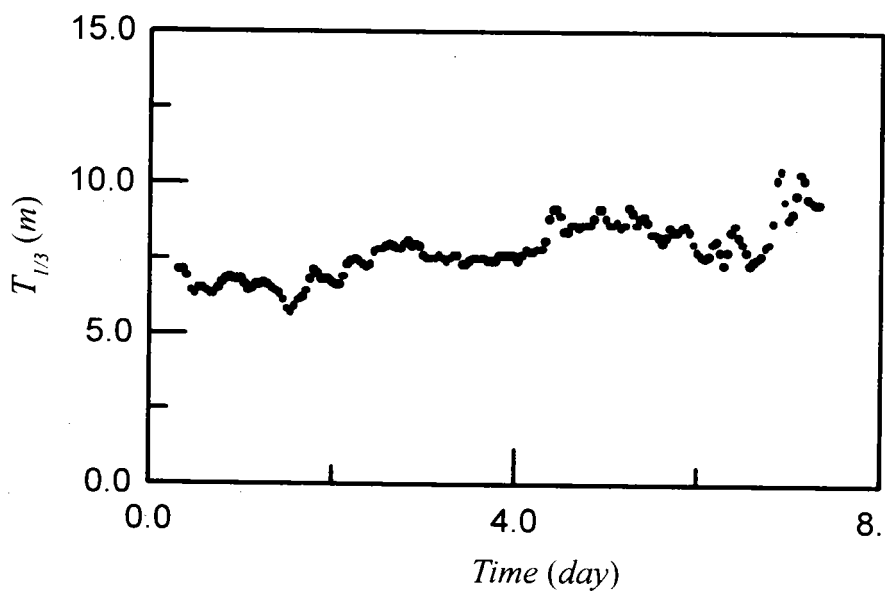


(b)歷時示性週期

圖 2-36 Omar 颱風之示性波高及示性週期實測值

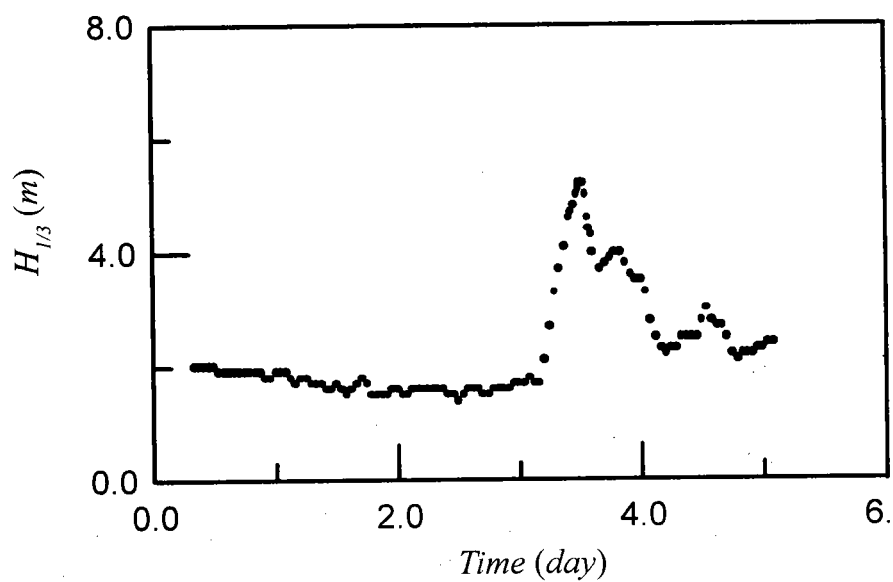


(a)歷時示性波高

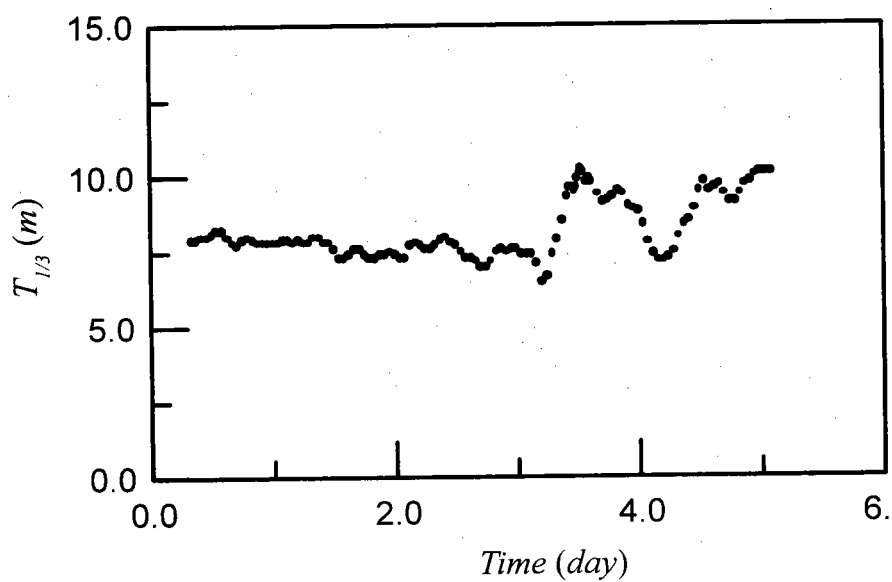


(b)歷時示性週期

圖 2-37 Elsie 颱風之示性波高及示性週期實測值

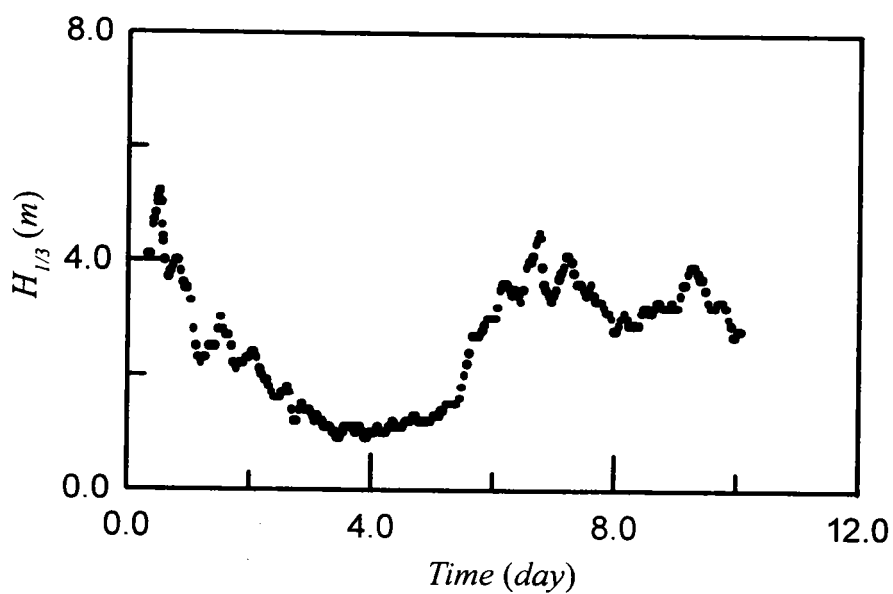


(a) 歷時示性波高

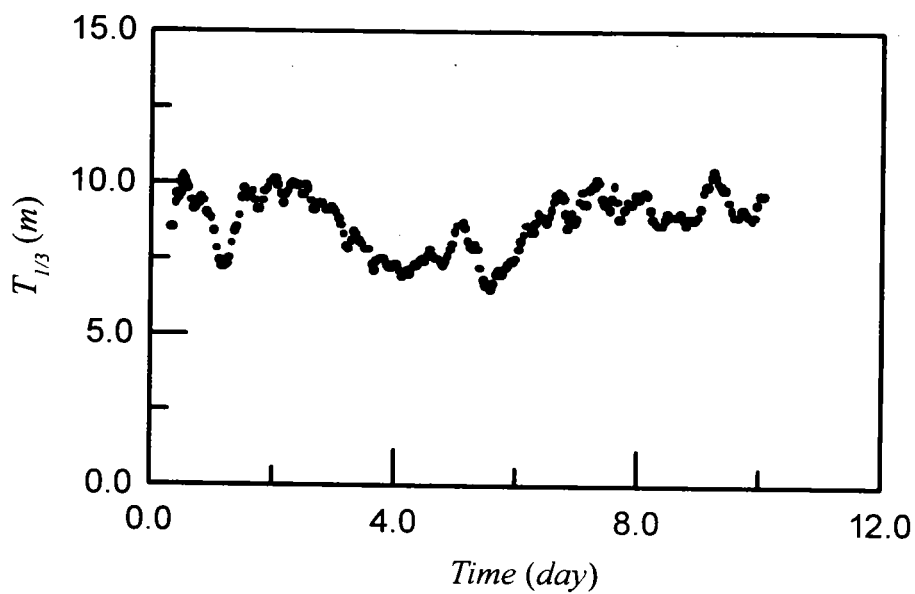


(b) 歷時示性週期

圖 2-38 Hunt 颱風之示性波高及示性週期實測值

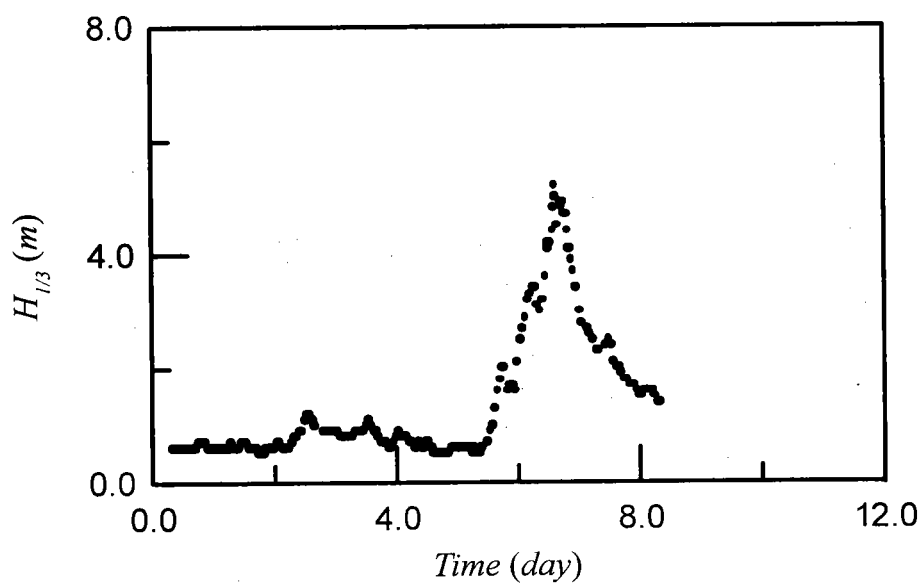


(a)歷時示性波高

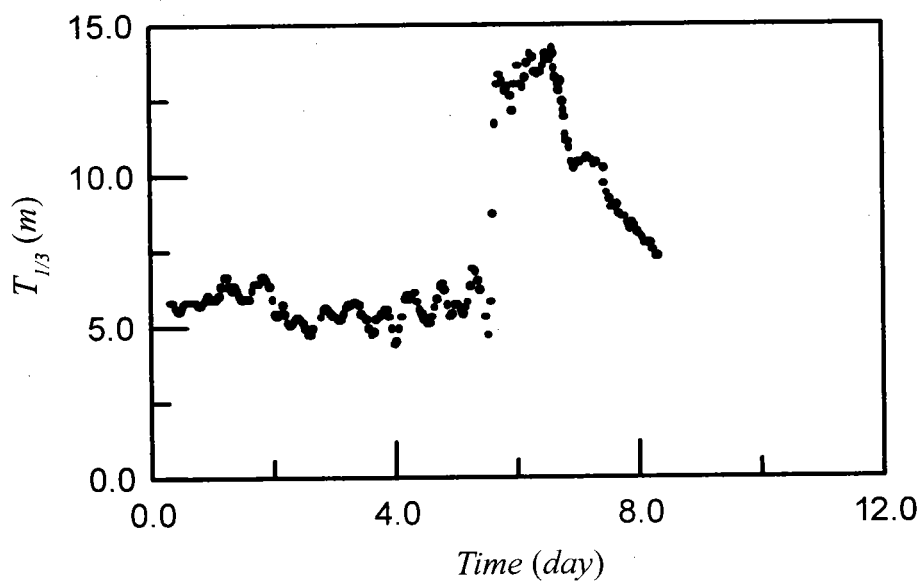


(b)歷時示性週期

圖 2-39 Gay 颱風之示性波高及示性週期實測值

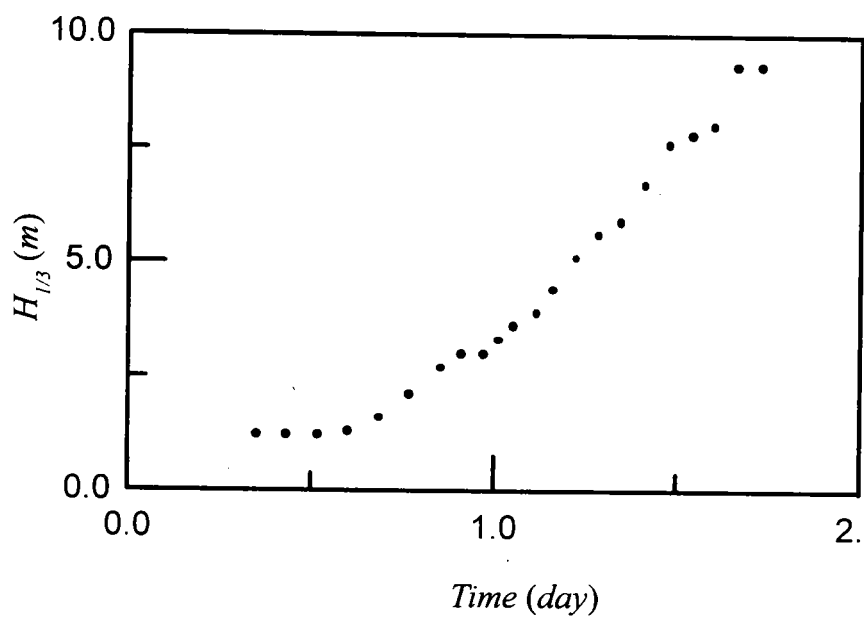


(a)歷時示性波高

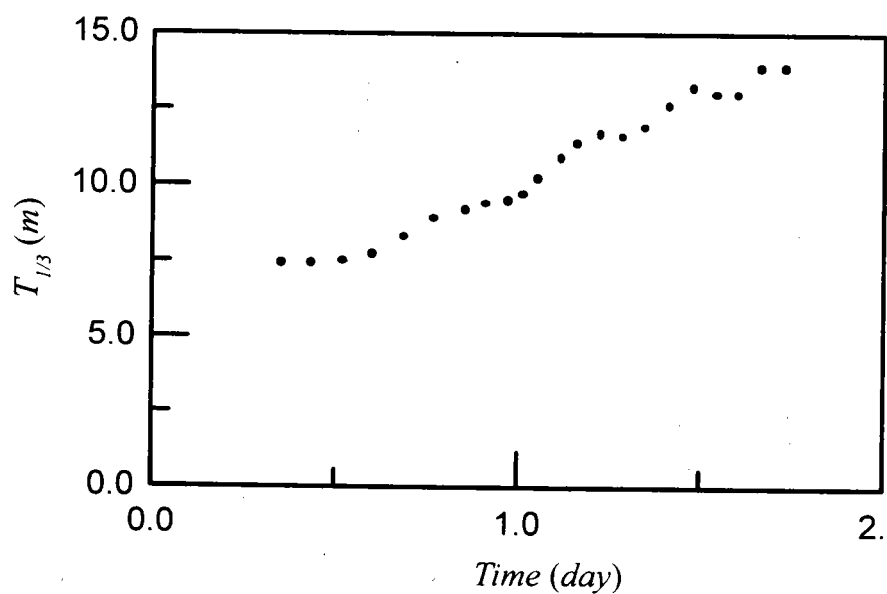


(b)歷時示性週期

圖 2- 40 Kroyn 颱風之示性波高及示性週期實測值

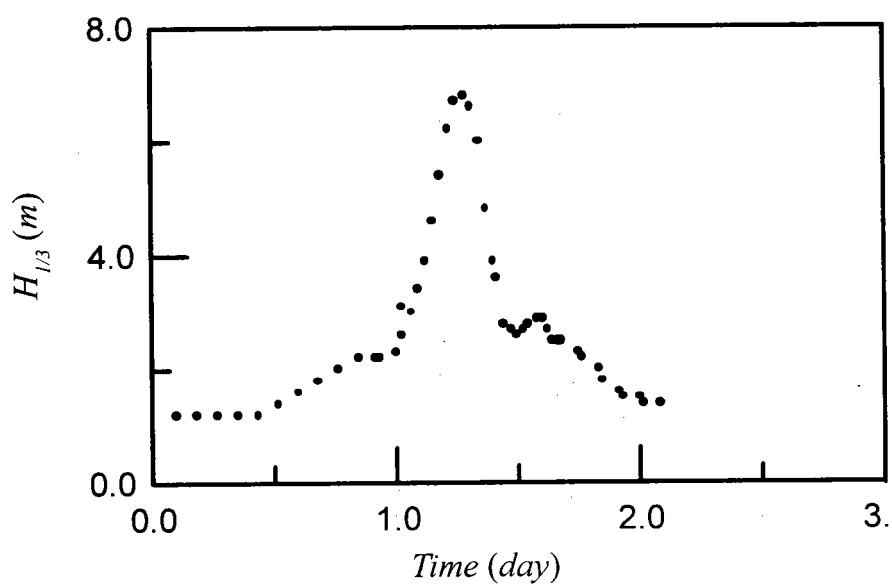


(a)歷時示性波高

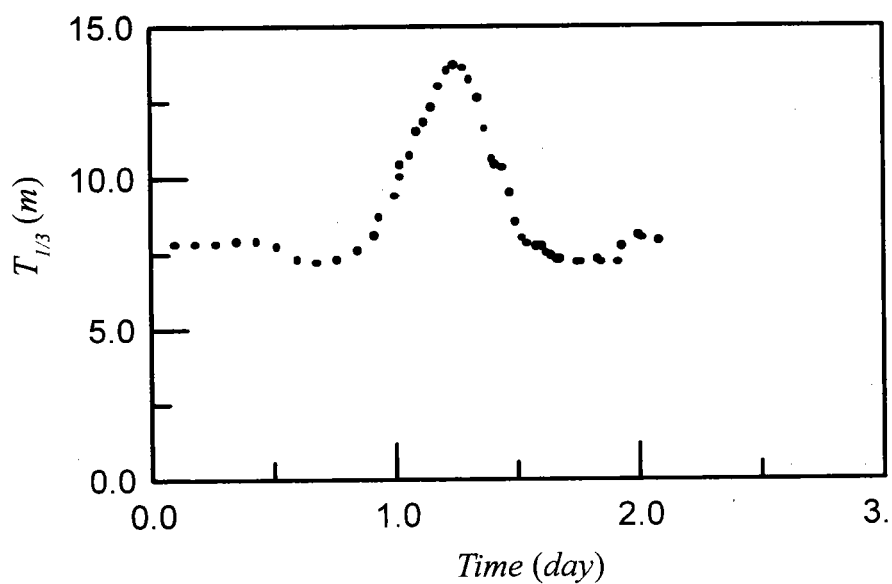


(b)歷時示性週期

圖 2- 41 Tim 颱風之示性波高及示性週期實測值

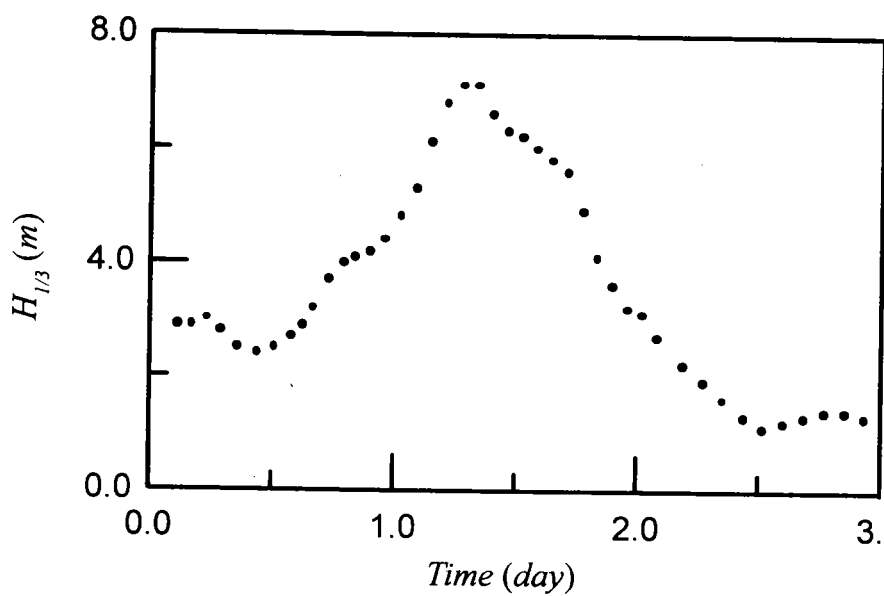


(a)歷時示性波高

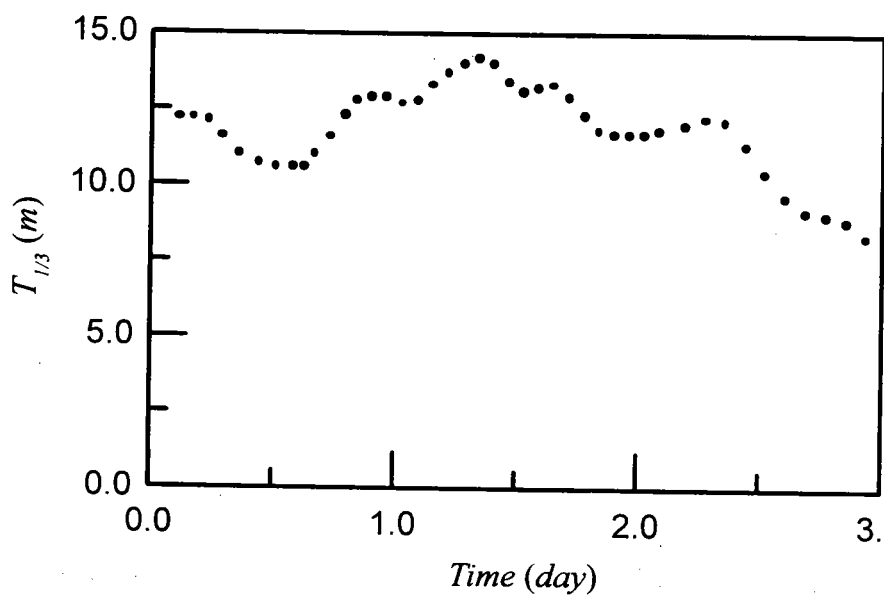


(b)歷時示性週期

圖 2-42 Gladys 颱風之示性波高及示性週期實測值

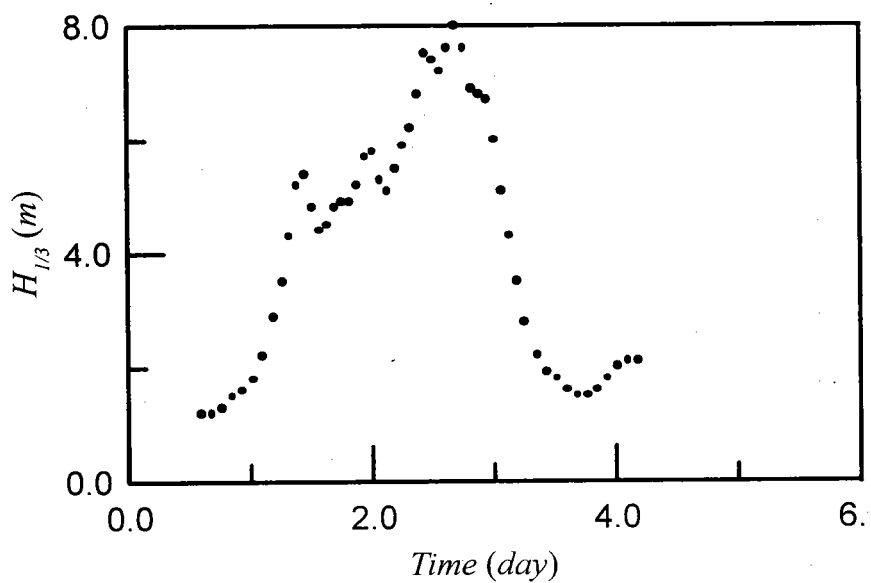


(a)歷時示性波高

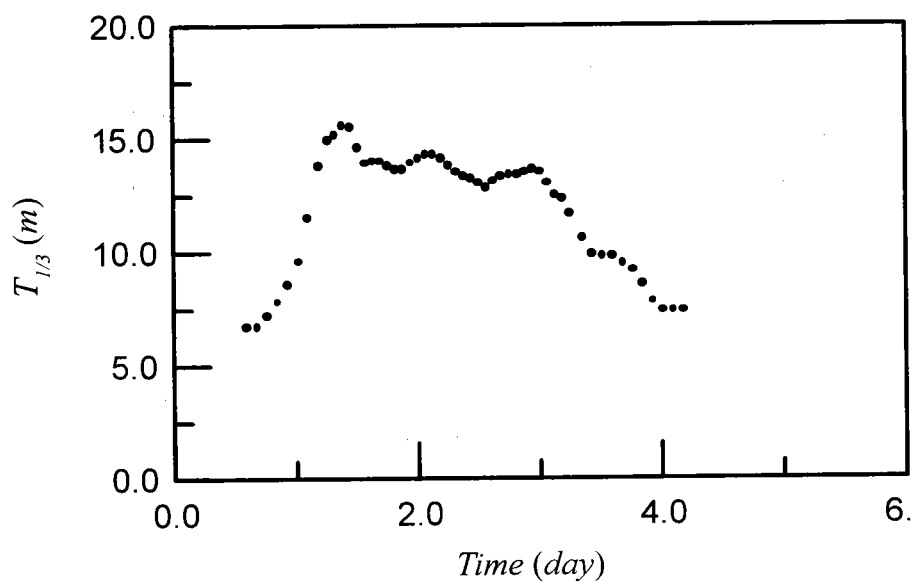


(b)歷時示性週期

圖 2-43 Fred 颱風之示性波高及示性週期實測值



(a)歷時示性波高



(b)歷時示性週期

圖 2-44 Seth 颱風之示性波高及示性週期實測值

2-3 應用類神經網路於波浪推算

類神經網路具備著一些優良的特性其中包括 (1) 高速的計算能力 (2) 自我學習能力 (3) 高容量的記憶力 (4) 容錯的能力。使得類神經網路對於一些複雜的多變數的特性有相當不錯的描述能力，因此類神經網路正逐漸被許多的領域廣泛的使用。

2-3-1 類神經網路的原理

2-3-1-1 類神經網路架構

類神經網路是由許多的人工神經元 (Artificial Neuron, AN) 或處理單元 (Processing Element) 所組成，每一個人工神經元的輸出值皆以放射方式輸出，將成為其他人工神經元的輸入。類神經網路大致包含輸入層、隱藏層及輸出層，每一個層內包含許多的人工神經元，輸入層處理人工神經元外來的資料訊息，隱藏層是類神經網路處理人工神經元交互作用及解決分析問題結構關係的部分，輸出層人工神經元輸出運算結果訊息。圖 2-45 為一個具有一層的類神經網路，而隱藏層的個數將依照設計者而調整，類神經網路結構功能的作用可簡化表示如圖 2-46 的形式。

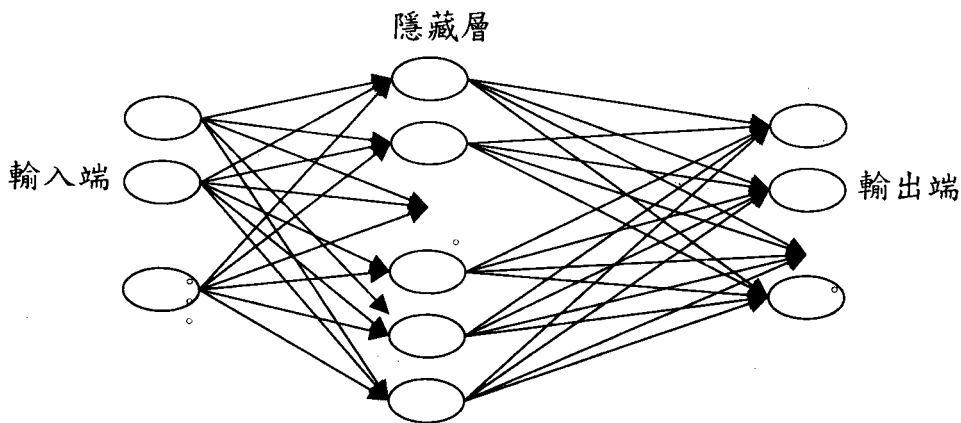


圖 2-45 人工神經元模型示意圖

人工神經元輸出值與輸入值的關係式可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} \cdot X_j - \theta_i\right) \quad (2-1)$$

其中 Y_i 為人工神經元模型的輸出訊號， f 為人工神經元模型的轉換函數 (transfer function)，將人工神經元的輸出經由轉換函數處理後，得到輸出訊號， W_{ij} 為人工神經元模型連結加權值， X_j 為人工神經元模型的輸入訊號， θ_i 為人工神經元模型的閾值。

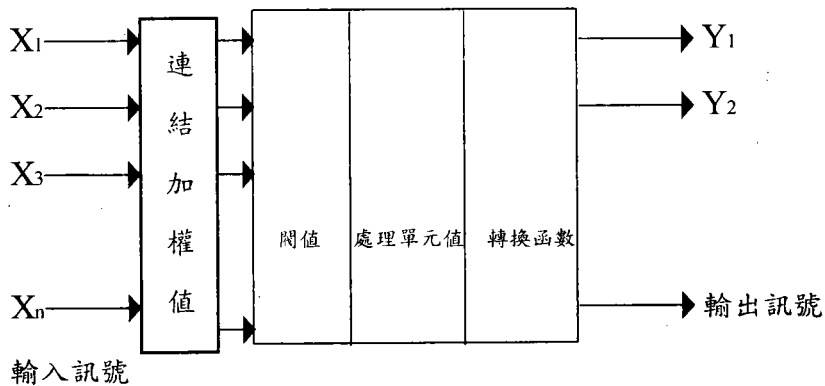


圖 2-46 人工神經網路結構模型示意圖

2-3-1-2 類神經網路的操作

類神經網路操作的過程大致上分為兩個階段。第一階段為學習、模擬過程；第二階段為回想測試過程。類神經網路利用這兩個操作過程達到模擬系統的目的，以下將對這兩個操作過程作一簡要介紹：

1. 學習、模擬過程

類神經網路依照選定的學習法則，針對學習的數據或對象進行學習模擬並調整網路連結的加權值，期望達到模擬學習的對象。而學習的法則大致可區分為三類：

(1) 監督式學習網路 (Supervised Learning Network)

監督式學習網路的主要精神在於降低網路輸出單元的輸出值與推論輸出值之差距。

(2) 無監督式學習網路 (Unsupervised Learning Network)

無監督式學習網路的每一個輸出單元代表一個聚集，網路的主要精神在於降低網路優選單元的連結加權值所構成的向量與輸入向量間的距離，藉以達到每一個輸出單元的連結加權值所構成的向量能代表訓練樣本在樣本空間中聚集形心的目的。

(3) 聯想式學習網路 (Associate Learning Network)。

聯想式學習網路的處理單元狀態變數所組成的向量是用來表示一個樣本網路的主要精神在於使初始狀態變數向量經聯想疊代所得的最終狀態變數向量，與網路記憶的樣本之一相同或類似。

2. 回想測試過程

類神經網路系統在這個過程中，將依照使用者提供的測試資料，對經由學習模擬過程後的類神經網路進行測試及驗證的工作，以了解使用者所建立的類神經網路是否能具體描述模擬的系統，並評估網路的學習精度。回想的過程亦分為三類：

(1) 監督式回想 (Supervised Recalling)

(2) 無監督式回想 (Unsupervised Recalling)

(3) 聯想式回想 (Associate Recalling)。

2-3-1-3 倒傳遞類神經網路 (Back-Propagation Neural Network, BPN)

依照類神經網路的架構大致可分成前向式架構 (Forward) 及回饋式架構 (Feedback) 兩種，配合神經元的組合方式就產生不同種類的類神經網路，其中較常使用的網路系統即為倒傳遞類神經網路，倒傳遞類神經網路屬於前向監督式學習網路，基本原理是利用最陡坡降法 (the Gradient Steepest Descent Method)，逐步修正誤差函數並使誤差函數最小化。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩

種如同其它的類神經網路，一為學習過程；就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值，另一種為回想過程；網路依照設定的回想法則，並以輸入資料決定輸出值。

倒傳遞類神經網路學習演算法中，加權值矩陣為 w_1 及 w_2 ，偏權值向量為 θ_1 及 θ_2 ，輸入向量為 X ，目標輸出向量為 T ，轉換函數採用雙曲函數（sigmoid function），而計算推論輸出向量為 Y ，網路的學習過程大致可分為下列幾個單元：

(1) 計算隱藏層輸出向量 Z 與推論輸出向量 Y

$$net_1 = \sum_i W_{1i} \cdot X_i - \theta_1 \quad (2-2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{1}{1 + \exp^{-net_1}} \quad (2-3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} \cdot X_j - \theta_2 \quad (2-4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{1}{1 + \exp^{-net_2}} \quad (2-5)$$

(2) 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

$$\delta_1 = Y(1-Y)(Z-Y) \quad (2-6)$$

$$\delta_2 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \cdot \delta_j) \quad (2-7)$$

(3) 計算加權值矩陣的修正量 ΔW

由於監督式學習目的在降低網路輸出單元的目標輸出值 T_j 、推論輸出值 Y_j 間的差距，為了達到這個目的，我們以誤差函數 E 做為修正的加權值指標，並藉由轉換函數降低誤差函數值，誤差函數 E 表示為：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (2-8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (2-9)$$

其中 η 為學習速率 (Learning Rate) 控制每次誤差函數最小化的速率。

(4) 隱藏層與輸出層加權值矩陣 W_1 、 W_2 及偏權值向量 θ_1 、 θ_2 的更新：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (2-10)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (2-11)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (2-12)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (2-13)$$

當倒傳遞類神經網路學習過程經過以上幾個單元後，便算是經過一個學習循環，學習循環的次數將取決於誤差函數收斂與否，以及是否達到容許的誤差量。一般而言，倒傳遞類神經網路較其他的類神經網路需要較多的學習循環次數。由測試用的資料數據，利用學習完成的網路參數進行網路回想的過程，由網路回想過程得到的推論輸出值與目標輸出值比較，以評估網路學習的精度。

為了能評鑑倒傳遞類神經網路的網路學習的效能，本文將採用均方根誤差量 (Root Mean Squared Error) 做為評鑑指標，計算式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (T_i - Y_i)^2} \quad (2-14)$$

其中 n 為學習資料的筆數

2-3-2 類神經網路之波浪推算

本文以類神經網路建構臺灣東部港灣波浪預警系統的推算模式的過程分為三部分：第一部份為決定波浪預警系統類神經網路的基本架構，第二部分為進行波浪預警系統類神經網路模式之建立，第三部分波浪預警系統類神經網路的驗證與分析。

2-3-2-1 類神經網路推算模式之建構

由於影響臺灣東部港灣的水位及波浪最重要的因素就是颱風。因此對於臺灣東部港灣波浪預警系統的建立，將只需針對颱風所產生颱風波浪建構類神經網路推算模式。

1. 波浪預警系統輸入輸出參數的決定

影響颱風波浪的參數包括海底地形以及颱風作用期間的氣象資料；收集的資料中氣象資料為七級風暴風半徑 R_7 ；颱風移動速度 V_f ；颱風中心距測站的距離 D ；颱風中心氣壓差 ΔP ；颱風遮蔽陸地的面積百分率 A_S ；海底地形的參數部分將假設波浪觀測站海域的海底地形並不因為颱風而產生顯著的變化，因此將海底地形參數視為常數而不列為影響參數。在氣象資料中遮蔽陸地的面積百分率 A_S 為十級風暴風半徑 R_7 及颱風中心距測站的距離 D 的函數，故可將 A_S 的影響由 R_7 及 D 取代，因此波浪預警系統的輸入影響參數為 R_7 、 V_f 、 D 、 ΔP 。

波浪預警系統輸出參數為觀測站的示性波高及週期 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ ，即是颱風波浪建構類神經網路推算模式的模擬學習的目標值。

2. 類神經網路模式的決定

由於輸出參數在颱風逼近時資料數據有群聚的現象，考慮輸出參數變化敏感程度，類神經網路的模式將採用倒傳遞類神經網路系統作為波浪預警系統的核心。

類神經網路的結構將採用四個輸入單元；兩個隱藏層及兩個輸出單元。經過測試類神經網路系統之收斂速度與考慮如何描述複雜現象的程度，本文採用類神經網路的第一層隱藏層為 16 個神經元；第二層隱藏層採用 8 個神經元，以期能有效及精確的描述輸入參數與輸出參數間的關係。

2-3-2-2 類神經網路推算模式之操作

當輸入及輸出參數確立之後，便希望藉由所建構的類神經網路推算出輸入與輸出參數間的關係。類神經網路學習訓練的終止方式有兩種，一為設定均方根誤差量，另一為設定學習循環的次數。在進行類神經網路推算模式之操作時，首先需要先確定學習模擬輸出與訓練目標值間可容許的均方根誤差量，均方根誤差量也就是類神經網路學習訓練的終止目標，當學習訓練達到所設的均方根誤差量時類神經網路的學習訓練即終止。

至於設定學習循環的次數方面，當學習訓練調整每個神經元間的閾值次數達到設定時，類神經網路學習訓練的操作就停止。此種設定方法可以避免系統均方根誤差量不收斂時，所產生的無限制的學習，如當發生此種現象時，則須檢討輸入參數的性質以及類神經網路的結構。另外在訓練的資料中加入白色雜訊，來進行訓練學習的過程，則可增加類神經網路系統的抗雜訊及容錯能力。

類神經網路推算模式的學習目標是將均方根誤差量設定於 0.015，其學習次數與均方根誤差量的關係如圖 2-47 所示。由圖 2-47 可以觀察到當學習次數達到 200 次時，均方根誤差量的收斂速度就變緩慢，也就是表示若需要更低的均方根誤差量就需要更大量的學習次數和時間，因此訂定適當的均方根誤差量就是決定系統的學習時間。

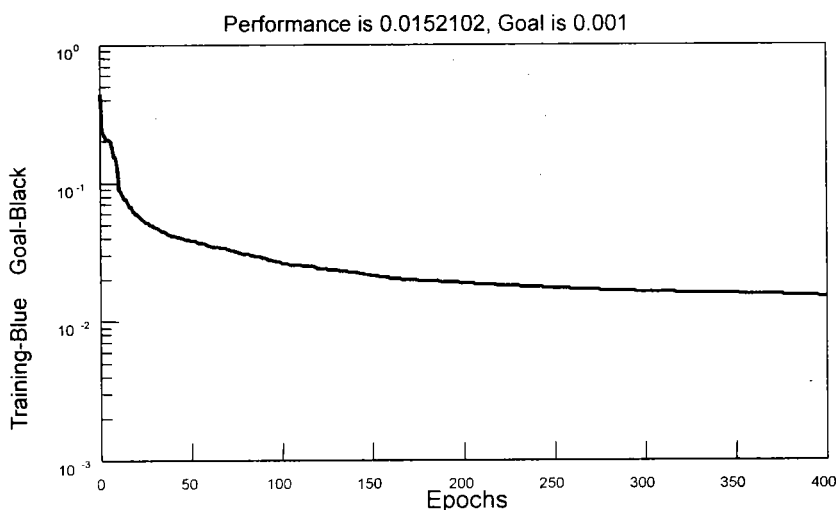


圖 2-47 學習速率與均方根誤差關係圖

2-3-2-3 類神經網路推算模式之結果

當類神經系統學習達到設定目標時便可進行系統回憶及驗證的工作，神經網路推算模式的驗證工作，首先將四個輸入參數帶入神經網路推算模式並將輸出結果 $H_{p1/3}$ 及 $T_{p1/3}$ 與觀測資料 $H_{m1/3}$ 及 $T_{m1/3}$ 比較，圖 2-48 及圖 2-49 所示。如果預測結果與實測結果相似的話，數據則會分散在 45° 傾斜線的附近，若預測愈準確，預測值與實測值之相關係數高。就圖 2-48 之波高預測之相關係數 R^2 為 0.91，而圖 2-49 之週期預測之相關係數 R^2 為 0.88。

其次我們將針對兩場颱風進行示性波高及示性週期之歷時模擬，圖 2-50 為艾蜜(Amy)颱風入侵時，測站 2 量測到的示性波高隨時間的改變量與神經網路推算模式計算的輸出量的比較。從圖 2-50 發現神經網路推算模式計算的輸出曲線較實測的曲線平滑，而整個模擬過程在颱風初期，推算的示性波高稍有高估約 0.1~0.5 公尺之現象，而到達最高峰時，推算值約有 1 公尺的低估，整體而言，本法所推算出來的示性波高與實測相當吻合。其原因來自於神經網路推算模式在訓練學習的過程加入了抗雜訊的訓練因此對於小的擾動較

不敏感。圖 2-51 為艾蜜颱風入侵時測站 2，量測到的示性週期隨時間的改變量與神經網路推算模式計算的輸出量的比較。圖 2-51 顯示颱風到達時示性週期隨著增加，預測的示性週期和實測的結果相當吻合。

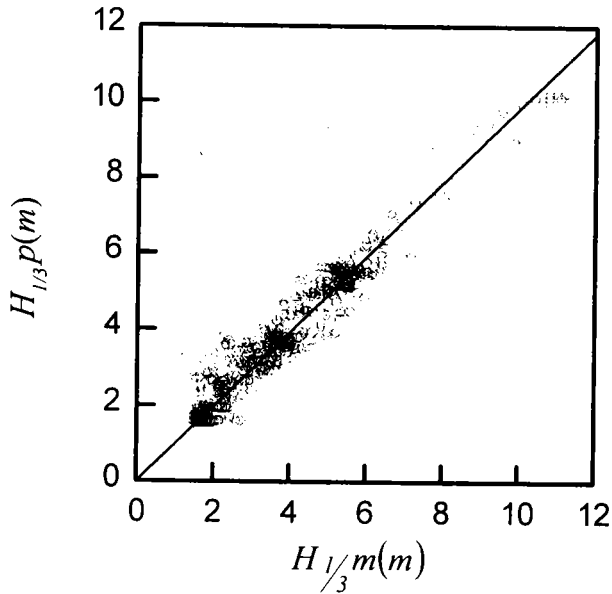


圖 2-48 示性波高之實測值與預測值之比較

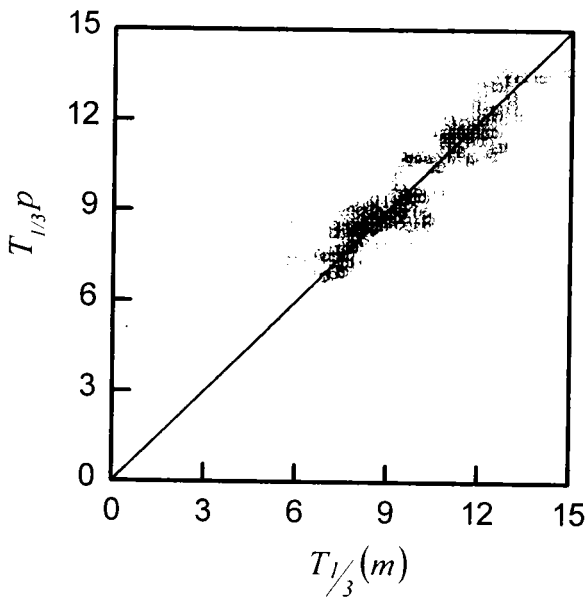


圖 2-49 示性週期之實測值與預測值之比較

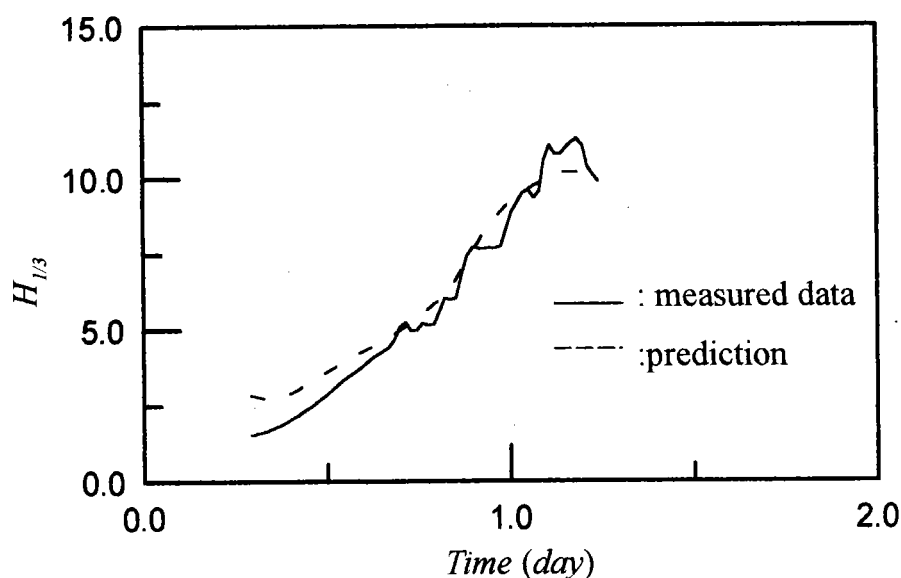


圖 2-50 推算艾蜜(Amy)颱風之示性波高與實測值之比較

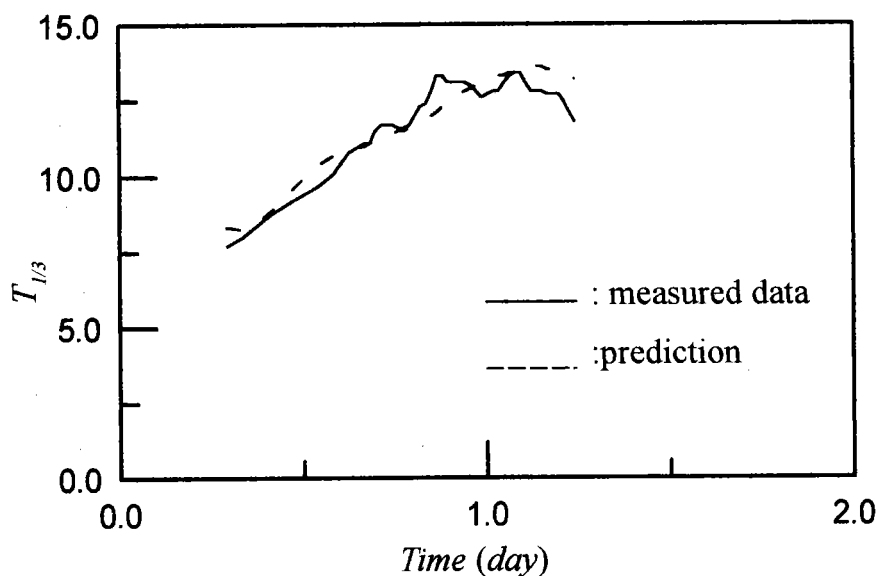


圖 2-51 推算艾蜜(Amy)颱風之示性週期與實測值之比較

另外，選擇露絲颱風推算示性波高與週期與實測值，分別示如圖 2-52 及圖 2-53 所示。此實測颱風波浪較為完整，示性波高約達到 10 公尺，而示性週期最高可達 15 秒。由圖 2-52 顯示預測值相當吻合於實測結果。但在示性週期方面，由圖 2-53 顯示在最大值約有 1

秒之低估現象，其他部分則頗為吻合。

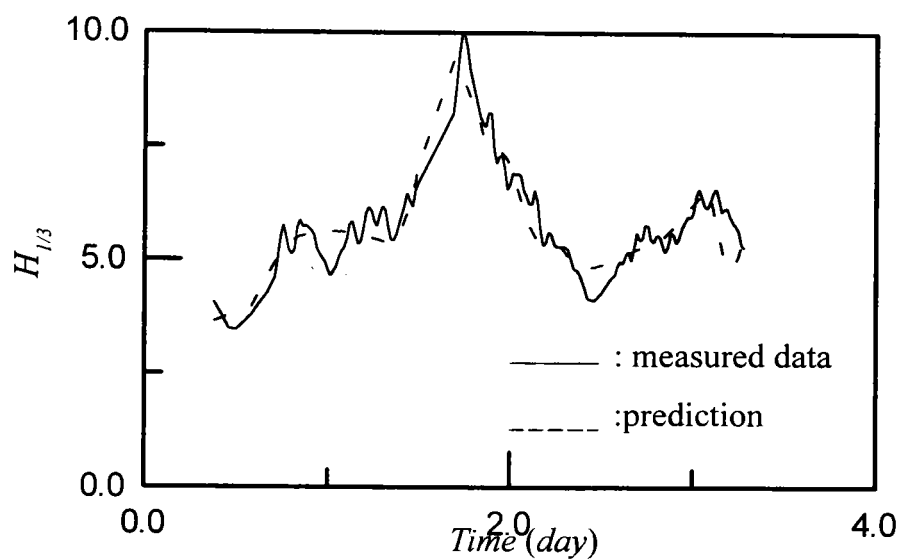


圖 2-52 推算露絲颱風之示性波高與實測值之比較

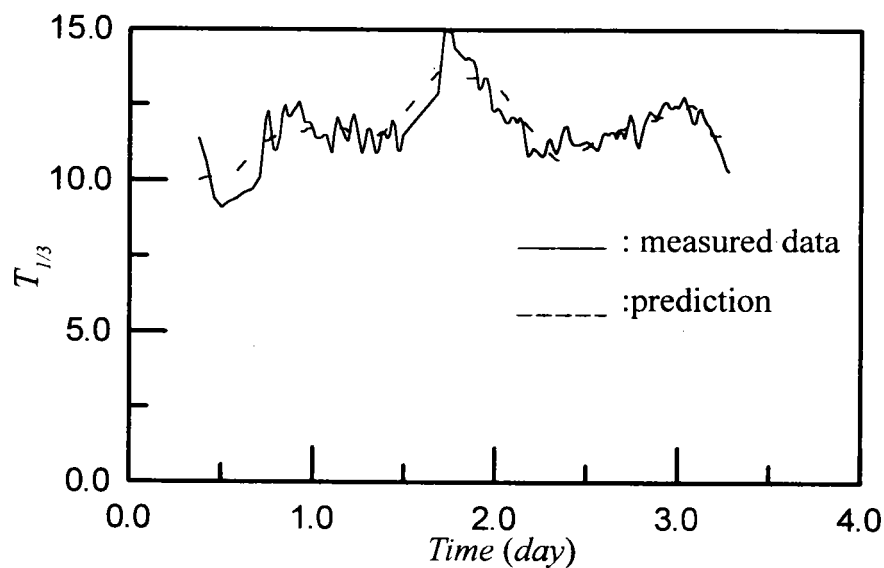


圖 2-53 推算露絲颱風之示性週期與實測值之比較

2-4 波浪統計推算

浪理論雖然已歷經百餘年的發展，但我們對於風浪成長發達的機構仍無法完全瞭解，然而在工程應用上，還是需從風場特性來計算波浪性質，以做為工程設計之用，而且很多有關海浪方面的研究，其目的是為求得高精度的波浪預測法。

一般波浪推算 (Wave Calculation) 必需配合適當的氣象資料及波浪資料，建立風與波浪之關係公式，以利於在實用上可以從風資料計算出波浪特性。光易(1990)提出波浪推算(Wave Caculation)的意義為，在氣象條件與海底地形已知的情況下，計算海面波浪狀況。若由過去風的記錄，推算過去發生的波浪特性，稱為波浪追算 (Wave Hindcasting)，相對的，若由過去或現在的氣象資料，先推算未來的風場資料，再來計算未來的波浪特性時，稱為波浪預測 (Wave Forecasting) 或稱波浪預報 (Wave Prediction)。不論過去、現在或者未來，凡從風場之結構來計算波浪性質，均稱為波浪推算 (Wave Calculation)。一般波浪推算的方法可分類如圖 2-54：

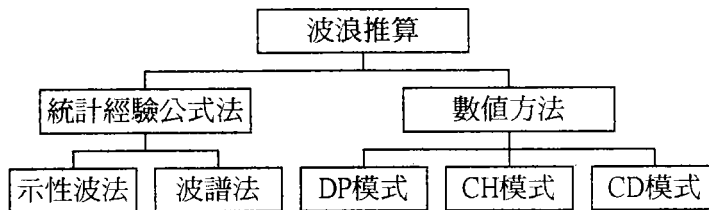


圖 2-54 波浪推算方法分類

統計經驗法中的示式波法的概念，是將紛紜變動的波浪，以統計平均值定量來描述波浪。由觀測的波浪資料分析區別為波浪產生、發達、傳播及衰減等過程，尋求示性波高(或示性週期)與發生波浪外在條件的關係式。這些外在條件包括：風速、颱風歷時、吹風距離、水深、壓力梯度等。

利用示性波法推算颱風波浪的方法，研究的學者甚多，考慮的外在條件各有不同，計算的方法也有繁簡之別，其推算結果也各有

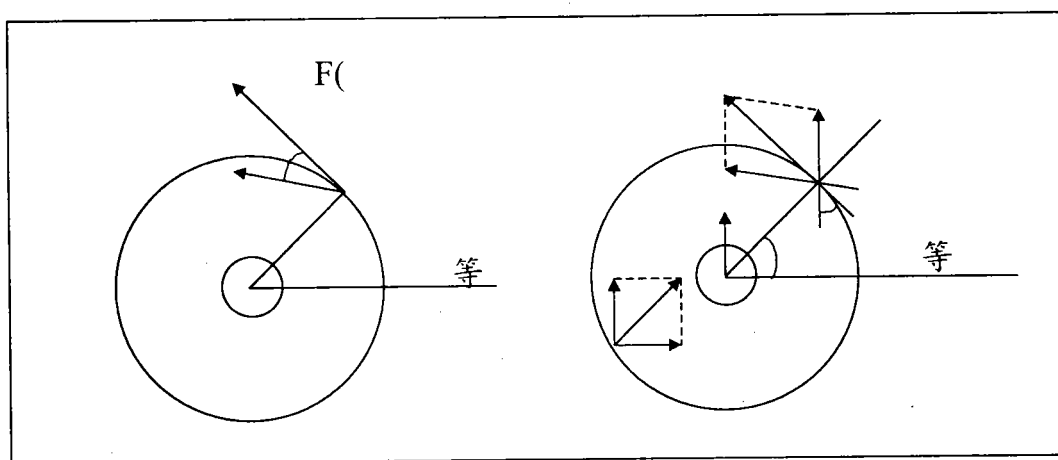
其適用範圍，其中較為人知者有美國工兵團的風浪推算模式及 Bretschneider 的推算模式。

本章係基於方便工程使用的目的，採取颱風波浪發生時容易獲得的外在條件資料項目：壓力差(ΔP)、遮蔽面積(A_S)、颱風移動速度(V_f)、颱風距離(D)及七級風暴風半徑(R_7)等資料，嘗試利用統計迴歸的方法，求出針對颱風造成某推算點的颱風波浪的推算式，包括推算點在風域外的湧浪及推算點在風域中的風浪。

2-4-1 颱風風場特性

颱風結構呈漏斗狀之強烈渦流，下層空氣流向中心並向上竄升，高至 10 公里左右後，向四周流出，四周空氣涵蓋之範圍可達數百公里。由天氣圖上所見之颱風，約形成同心圓等壓線分佈之低氣壓，在近中心附近之壓力梯度愈大，風速愈強，但在颱風中心附近反呈無風狀態，天氣晴朗，稱為颱風眼。整個颱風風速分佈大約分為颱風內域與颱風外域。颱風內域為颱風眼至距離颱風中心約 40~60 km 之最大風速處，此段風速呈直線向外增加，而颱風外域為最大風速處至暴風半徑，此段風速與離中心 r 處呈 $1/\sqrt{r}$ 遞減，而在颱風圈外之風速與離中心距 r 呈反比。一般所指暴風半徑為風速大於 10 m/s (6 級風力) 以上之區域。

颱風詳細結構稍有不對稱現象並非上述完全對稱。颱風滯留時，氣壓梯度所造成之傾度風 (Gradient Wind), U_{gr} ，在北半球因受科氏力 (Coriolis Force) 影響，颱風會逆時鐘旋轉，風向一般會向中心傾斜 20~25 度左右，滯留風速與傾斜風速比值約為 0.6。若當颱風移動時，滯留風速與颱風前進速度合成之總風速在颱風之右邊，則總風速比滯留風速大，反之，若其在颱風之左邊，總風速小於滯留風速，其幾何示意圖如圖 2-55 所示。因此，颱風進行方向之右半圈稱為危險半圈，而左半圈稱為安全半圈。



(a)傾度風向中心傾斜角度

(b)風速的合成

圖 2-55 颱風內傾度風及風速的合成

颱風傾度風速之大小 Harris (1958)建議可表示為：

$$U_{gr} = \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_a} \frac{R}{r} e^{-\frac{R}{r}} + (r\Omega \sin\phi)^2} - r\Omega \sin\phi \quad (2-15)$$

式(2-15)中， $\Delta p = p_n - p_o$ ， p_n 為颱風外圈之氣壓， p_o 為中心氣壓， ρ_a 為空氣密度， $\rho_a \approx 1.025 \text{ kg/m}^3$ ， R 為最大風速半徑， r 為颱風中心之距離， Ω 為地球自轉之角速度，($\Omega = 2/24\pi \text{ rad/hr}$)， ϕ 為緯度 (Latitude)。最大風速半徑可由實測得知，或王(1978)以七級暴風半徑之十分之一近似，或由 Graham 和 Nunn (1959) 之經驗公式獲得。

$$R = 28.52 \tanh[0.087(\phi - 28)] + 12.22e^{-0.0394\Delta p} + 0.056V_F + 37.2$$

(2-16)

式(2-16)中， R 單位為 km ， Δp 之單位為 mmHg ， V_F 為颱風移動速度，單位為 m/s 。

2-4-2 颱風波浪推算法

根據美國海岸保護手冊(1984)，當颱風緩慢移動時，風域內最大示性波高及其週期，與能量指標 $R\Delta p$ (Energy Index) 有關，其公式

為

$$H_{1/3} = 5.03e^{\frac{R\Delta p}{4700}} \left[1 + \frac{0.29V_F}{\sqrt{U}} \right] \quad (2-17)$$

$$T_{1/3} = 8.60e^{\frac{R\Delta p}{9400}} \left[1 + \frac{0.145V_F}{\sqrt{U}} \right] \quad (2-18)$$

式(2-17)及式(2-18)中， $H_{1/3}$ 單位為 m ， U_R 為海面上 10 公尺處之最大風速，其單位為 m/s 。 U_R 可由下式求得

$$U_R = 0.387(14.5\Delta p^{1/2} - 0.62R\Omega \sin\phi) + 0.5V_F \quad (2-19)$$

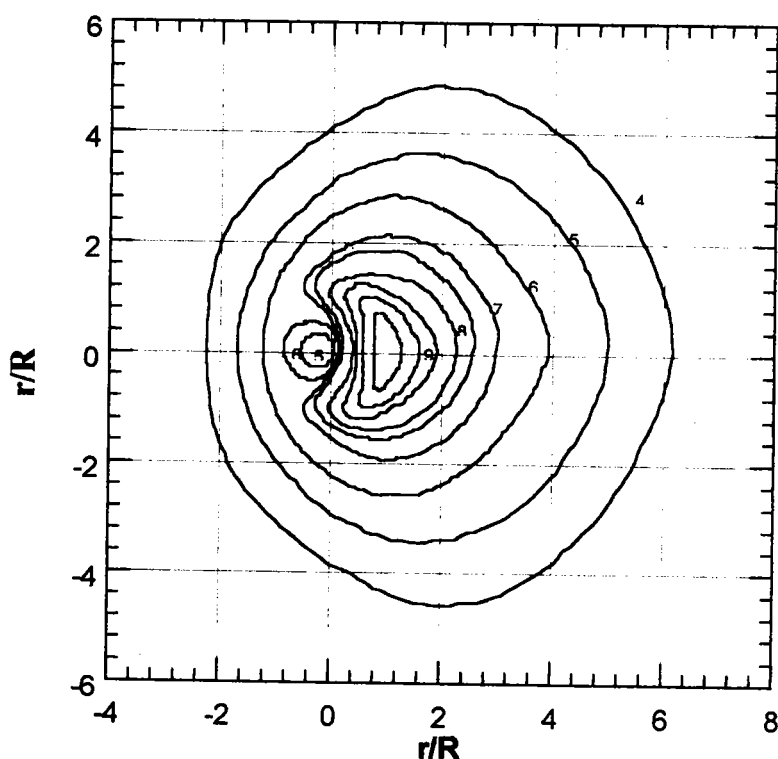


圖 2-56 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖
(Shore Protection Manual, 1984)

至於颱風圈內其他各處之示性波高分佈，示如圖 2-56。由圖 2-56

依相對座標位置查出相對波高值，再乘以最大示性波高即可得移動颱風內之波高，而此處波浪週期則可由式(2-20)表示

$$T_{1/3} = 3.83 \sqrt{H_{1/3}} \quad (2-20)$$

另外，Bretshneider(1976)提出推算滯留颱風波浪之方法為

$$H_R = K' \sqrt{R \Delta P} \quad (2-21)$$

式(2-21)之 H_R 為最大風速處之示性波高，其單位為 m ， K' 值為 Ω 、 $\sin\phi$ 、 R 及 U_R 之函數，經迴歸分析其結果可表為

$$K' = 0.3335 - 0.4493(X) + 0.4346(X)^2 - 0.153(X)^3 \quad (2-22)$$

$$X = \frac{2\Omega R \sin\phi}{U_R} \quad (2-23)$$

當颱風移動時，則風速增加量為

$$\Delta U = \frac{1}{2} V_F \cos(\theta + \beta) \quad (2-24)$$

式(2-24)中， θ 為等壓切線與颱風移動方向之夾角， β 為傾斜風向中心之夾角。移動颱風中最大風速處之波高則修正為

$$H_R' = H_R \left(1 + \frac{\Delta U}{U_R} \right) \quad (2-25)$$

至於颱風內之波高，則由圖 2-56 之相對位置，查圖中之比值，再乘以式(2-25)之最大波高即可。以上述方法求取波高 $H_{1/3}$ 後，波浪週則與 $H_{1/3}$ 及風速關係如下

$$T_{1/3} = 0.734U \tanh \left[1.07 \tanh^{-1} \left(\frac{34.81 H_{1/3}}{U^2} \right)^{0.6} \right] \quad (2-26)$$

上述颱風波浪推算法中，美國工兵團的風浪推算模式，僅能計

算風域內最大波高，不能計算風域外之湧浪，所以當推算點不在風域中時，此模式就無法適用；而 Bretschneider 的推算模式，則需查圖表，計算也過於繁瑣。

其他颱風波浪推算方法，尚有 Wilson (1955) 之移動風域法，Wilson (1955) 應用 SMB 之公式，以圖解或數值計算來推算颱風波浪，其基本觀念為以觀測點向外繪出射線，每一射線即為風域，在此線風域上風速的分量，即為造成此方向波浪。風場為時間與空間的函數，由起始點以逐時計算，求出觀測點之波高與週期，此法因需查圖方可推算，現今應用上較為不方便。

湯(1970)改善 Wilson 法，建立淺水風浪之關係，海底摩擦影響，湧浪推算及碎波後波浪計算法，直接由氣象資料推算颱風至近岸前之波浪狀況。此法的颱風路徑需指定之固定方向，即稱為模型颱風，方能計算，模型颱風與實際颱風移動有所差異，因為模型颱風為直線前進，風浪在推浪點上波能直線累加，而可能獲得較高之波浪推算值。

楊(1997)以壓力差(ΔP)、七級風暴風半徑(R_7)、颱風距離(D)等三個外在條件因子，求得颱風波浪之波高與週期推算式如下：

$$H_s = 1.3 + a \left(\frac{\Delta P}{100} \right) \left(\frac{1}{1 + b \times D / R_7} \right) (1 - A_s) \quad (2-27)$$

$$T_s = 6.0 + a \left(\frac{\Delta P}{100g} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{1 + b \times D / R_7} \right) \quad (2-28)$$

其中， a, b 為迴歸之待定係數。 A_s 為七級風暴圈受陸地遮蔽之面積比例。

2-4-3 示性波推算模式建立

根據上述學者對颱風波浪之推算的研究，影響颱風波浪的因子，可歸納為壓力差(ΔP)、最大風速(U_R)、颱風移動速度(V_f)、吹風距離(F)、最大風速半徑(R)、科氏參數(f)、風剪力因子(U_A)及遮蔽面

積(A_S)。但根據 Bishop 等(1992)的研究指出，考慮風速修正係數並不能更精確推算風浪，因此忽略風剪力因子(U_A)的影響，歸納颱風波浪的波高或週期為上述影響因子之函數：

$$H = f(\Delta P, U_R, V_f, F, f, R, A_S) \quad (2-29)$$

$$T = g(\Delta P, U_R, V_f, F, f, R, A_S) \quad (2-30)$$

但是，中央氣象局目前公布的颱風氣象資料，僅包括中心氣壓(P_a)、颱風中心經緯度(λ, ϕ)、七級風暴風半徑(R_7)及最大風速(U_R)等資料。因此必須就可獲得的氣象資料，加以歸納轉換成影響因子的變量。

其中，由颱風風場特性可得到壓力差(ΔP)與中心氣壓(P_a)、最大風速(U_R)及科氏參數(f)的關係式。

颱風吹風距離(F)可由颱風中心與推算點之距離(D)取代，其計算式如下：

$$D = 6371 \times \cos^{-1}(\sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)) \quad (2-31)$$

其中 ϕ_1 、 ϕ_2 為兩點之緯度， λ_1 、 λ_2 為兩點之經度。

一般而言，較強的颱風其暴風半徑範圍也較大，所以可用七級風暴風半徑(R_7)取代最大風速半徑(R)。

綜合上述因子的轉換，颱風波浪的特性可由壓力差(ΔP)、遮蔽面積(A_S)、颱風移動速度(V_f)、颱風距離(D)及七級風暴風半徑(R_7)五個因子來表示。本文將以觀測所得之颱風波浪實測資料，以推算點對風域的位置將波浪資料區分為風浪與湧浪，其中推算點在風域外為湧浪，推算點在風域中為風浪，再以 SPSS 統計軟體進行線性及非線性迴歸分析，求出適當的波浪推算式。

迴歸分析之基本式，分別選用楊(1997)之非線性推算式

$$H_s = c + a(\Delta P) \left(\frac{l}{1 + b \times D / R_7} \right) (1 - A_s) \quad (2-32)$$

$$T_s = c + a \left(\frac{\Delta P}{g} \right)^{1/2} \left(\frac{l}{1 + b \times D / R_7} \right) \quad (2-33)$$

與線性推算式

$$H_s = c + a \times \Delta P + b \times V_f + d \times D + e \times R_7 + g \times A_s \quad (2-34)$$

$$T_s = c + a \times \Delta P + b \times V_f + d \times D + e \times R_7 + g \times A_s \quad (2-35)$$

上述式中之 a、b、c、d、e、g 為迴歸待定係數。各因子物理量的單位如下：

H_s ：公分(cm)

T_s ：秒(sec)

ΔP ：公分汞柱(cm-Hg)

V_f ：公尺/秒(m/sec)

D ：公里(km)

R_7 ：公里(km)

A_s ：百分比(%)

2-4-4 統計推算結果

本研究用於迴歸分析之實測資料，係取自 1991 年至 1994 年分別由兩個測站觀測所得的颱風波浪資料為之。基本上，以個別測站對風域的位置將波浪資料區分為風浪與湧浪，再將風浪與湧浪資料合併，共有三類資料進行線性迴歸及非線性迴歸分析，迴歸所得之結果及推算波高(週期)與實測資料的相關係數，整理如表 2-3 及表 2-4。

以橫軸為實測波高，縱軸為推算波高，將上述結果分別繪圖表示，圖 2-57(a)至圖 2-68(a)。至於示性週期之預測值與實測值之比較如圖 2-57(b)至圖 2-68(b)所示。圖中橫軸為實測週期，縱軸為推算週期。

綜合整體結果顯示，測站一的波浪特性推算結果與實測資料的相關性較測站二為低，波浪示性週期的推算值與實測資料的相關係數較示性波高為高。而且不同的推算式對不同的測站有其較佳的適用性，線性波浪推算式在測站一的推算結果優於非線性波浪推算式；但非線性波浪推算式在測站二的推算結果則較線性推算式為佳。若波浪資料類型區分，以風浪的推算結果最吻合實測資料。

對於上述之結果，吾人推測每個颱風規模、結構特性均不盡相似，而測站的地理背景也不同，除了本文所列之影響因子外，仍應存在與波浪特性高相關性的因子(如颱風路徑是否直撲測站前進、路徑上水深變化等)有待判定區分；另外，實測資料的完整性對迴歸推算式的結果影響很大，檢視用於本研究分析之資料，測站二的資料為 1994 年內所記錄的四個颱風波浪資料，觀測資料較為完整，因此可迴歸得較佳的推算式；反觀測站一的資料則包含了 1991 至 1993 共三年的颱風波浪記錄，其資料的中斷處較多，因此迴歸出的推算式推算結果與實測值之相關性也相對為低。颱風的變化複雜，實際觀測又頗為困難，若能判定出直接影響颱風波浪的因子，再配合能有完整的颱風波浪記錄，則以統計迴歸方法所決定的颱風波浪推算式，應更能符合實際工程目的之使用。

表 2-3 測站 1 三種類型迴歸颱風波浪之係數

分類		係數 c	係數 a	係數 b	係數 d	係數 e	係數 g	相關係數	
風浪	線性	H _s	-434.343	80.673	35.977	0.163	2.225	-2.788	0.886
		T _s	3.298	0.179	0.120	0.0005	0.021	-0.543	0.813
	非線性	H _s	386.363	23.557	-0.653				0.325
		T _s	1.551	129.809	-0.0928				0.733
湧浪	線性	H _s	95.578	-1.647	1.430	-0.029	1.123	439.95	0.547
		T _s	7.443	0.472	0.031	-0.0006	0.0013	7.391	0.621
	非線性	H _s	259.373	68416973.56	1040836.87				0.484
		T _s	6.890	82.964	0.237				0.674
全部資料	線性	H _s	22.979	-4.473	3.263	-0.029	1.462	353.533	0.529
		T _s	5.705	0.242	0.038	-0.0004	0.013	2.221	0.515
	非線性	H _s	268.953	227.406	2.891				0.413
		T _s	6.117	78.962	0.108				0.639

表 2-4 測站 2 三種類型迴歸颱風波浪之係數

分類		係數 c	係數 a	係數 b	係數 d	係數 e	係數 g	相關係數	
風浪	線性	H _s	932.911	399.504	-63.309	-1.519	-5.385	-272.067	0.821
		T _s	12.455	1.278	-0.130	-0.007	-0.010	-5.416	0.844
	非線性	H _s	166.410	187.428	1.518				0.647
湧浪		T _s	1.296	159.411	0.034				0.720
	線性	H _s	234.327	152.541	-1.247	-0.714	-0.902	129.643	0.634
		T _s	1.700	1.860	0.248	-0.006	0.0068	-0.248	0.771
	非線性	H _s	87.923	-8210570215	-87825203.88				0.726
		T _s	-3.894	262.451	0.130				0.878
	線性	H _s	626.577	227.384	-29.455	-0.825	-2.749	-247.207	0.670
全部資料		T _s	7.770	1.753	-0.039	-0.006	-0.006	-3.240	0.719
	非線性	H _s	115.496	309.503	2.900				0.709
		T _s	-1.413	210.640	0.104				0.801

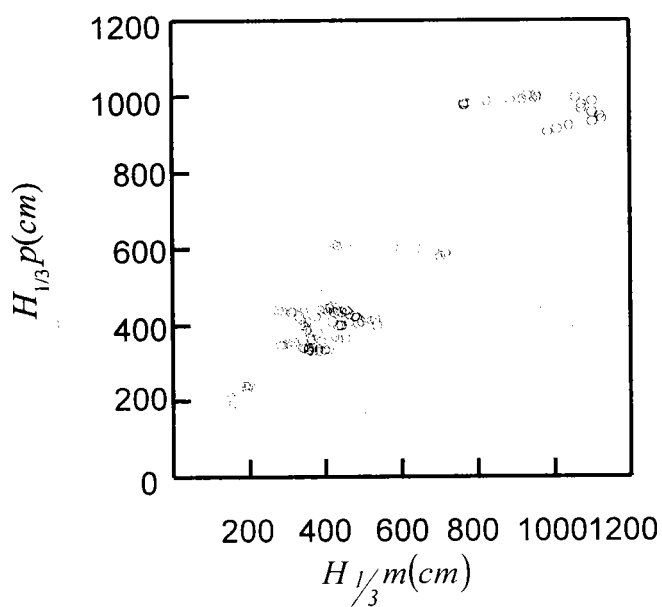


圖 2-57 (a) 測站 1 風浪示性波高線性推算值與實測值之比較

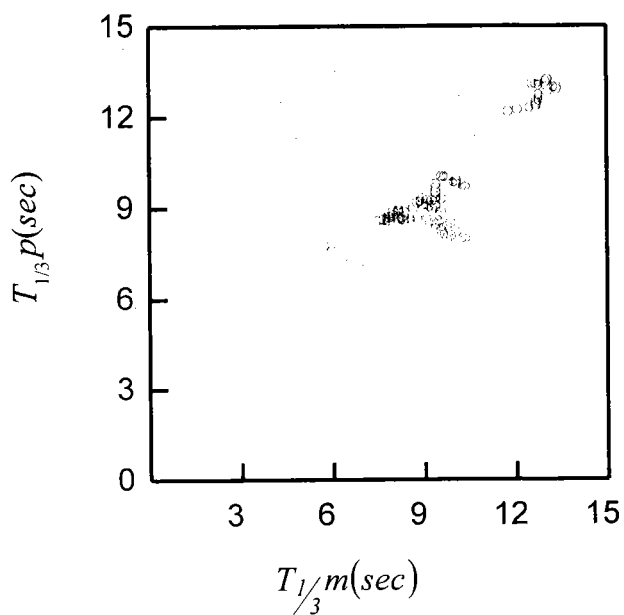


圖 2-57 (b) 測站 1 風浪示性週期線性推算值與實測值之比較

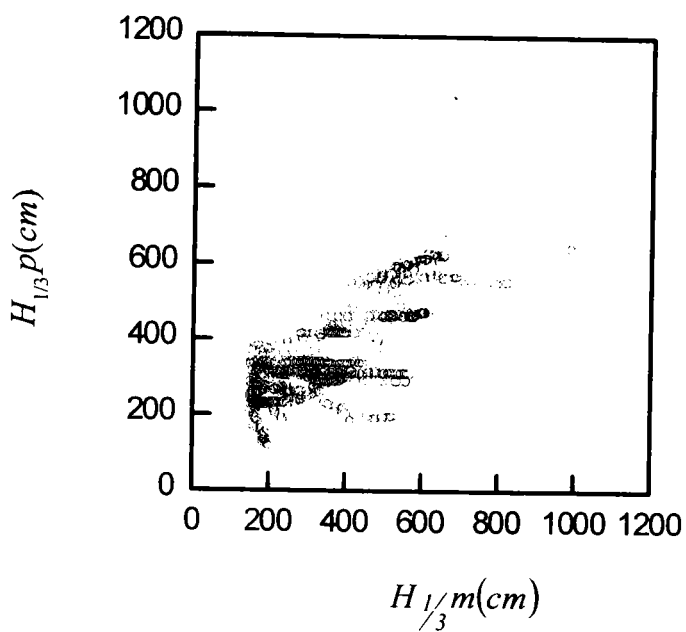


圖 2-58 (a) 測站湧浪示性波高線性推算值與實測值之比較

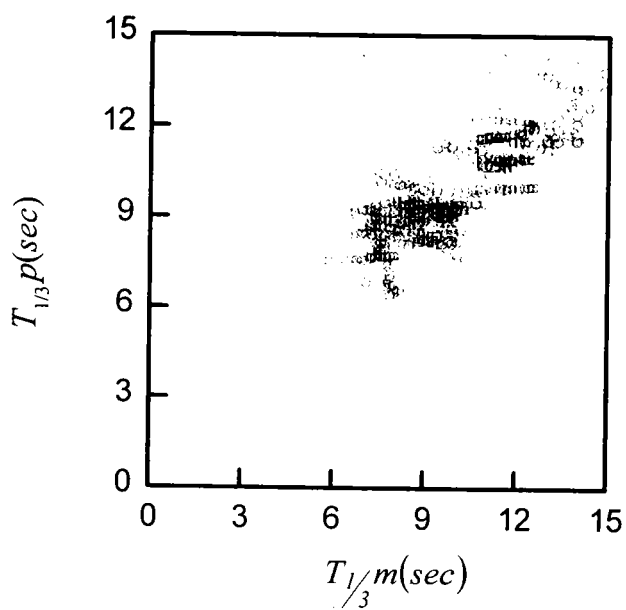


圖 2-58 (b) 測站 1 湧浪示性週期線性推算值與實測值之比較

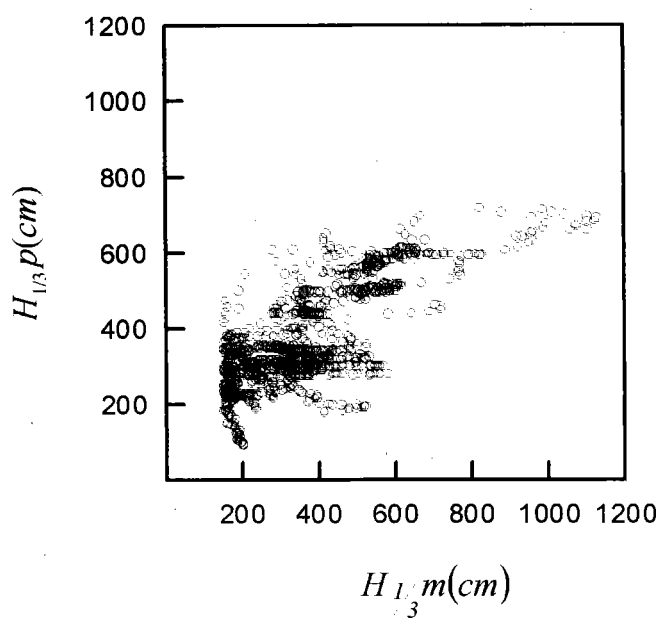


圖 2-59 (a) 測站 1 全部資料示性波高線性推算值與實測值之比較

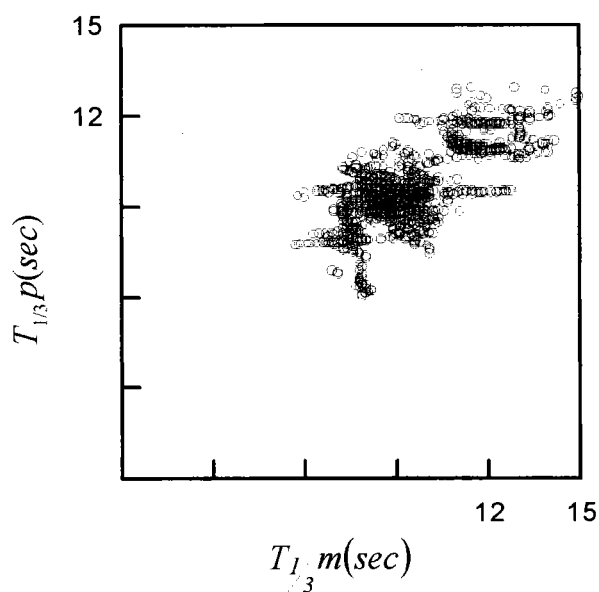


圖 2-59 (b) 測站 1 全部資料示性週期線性推算值與實測值之比較

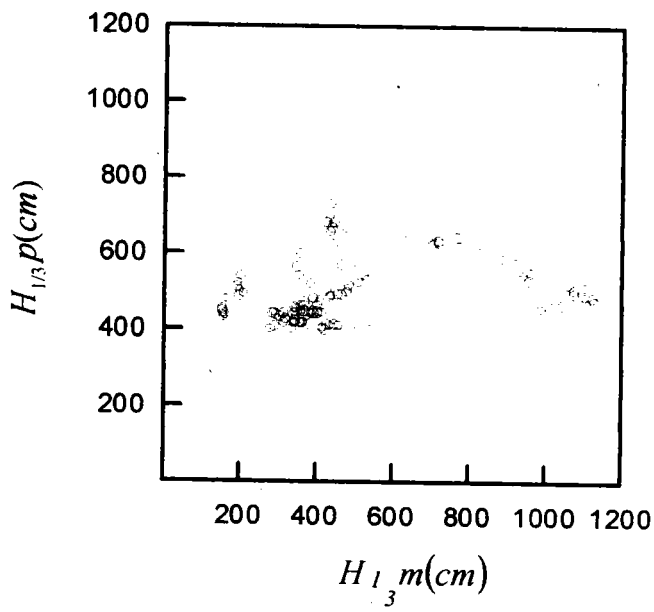


圖 2-60 (a) 測站 1 風浪示性波高非線性推算值與實測值之比較

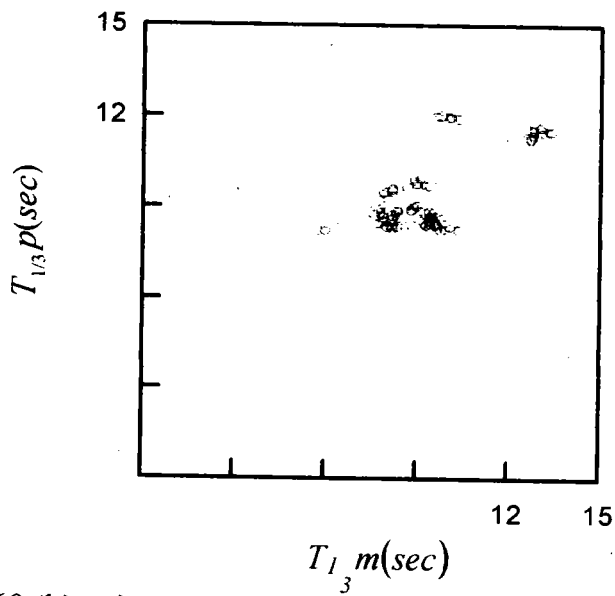


圖 2-60 (b) 測站 1 風浪示性週期非線性推算值與實測值之比較

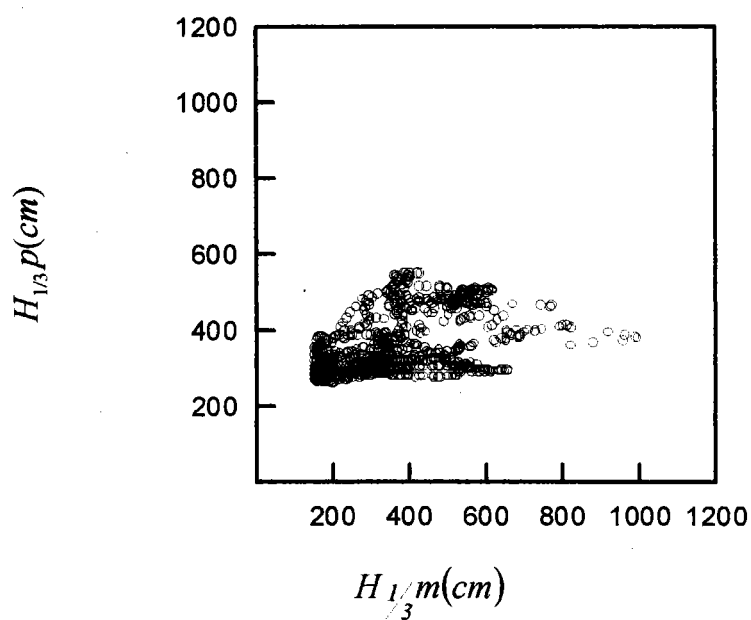


圖 2-61 (a) 測站 1 湧浪示性波高非線性推算值與實測值之比較

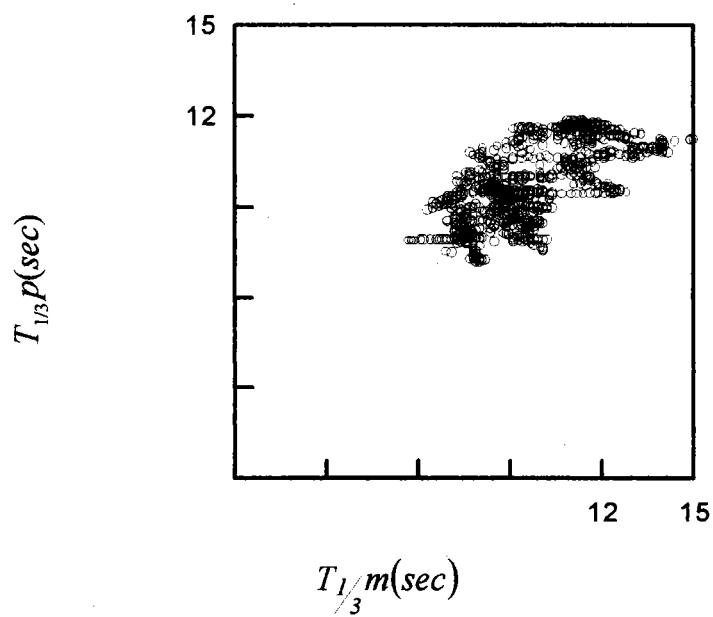


圖 2-61 (b) 測站 1 湧浪示性週期非線性推算值與實測值之比較

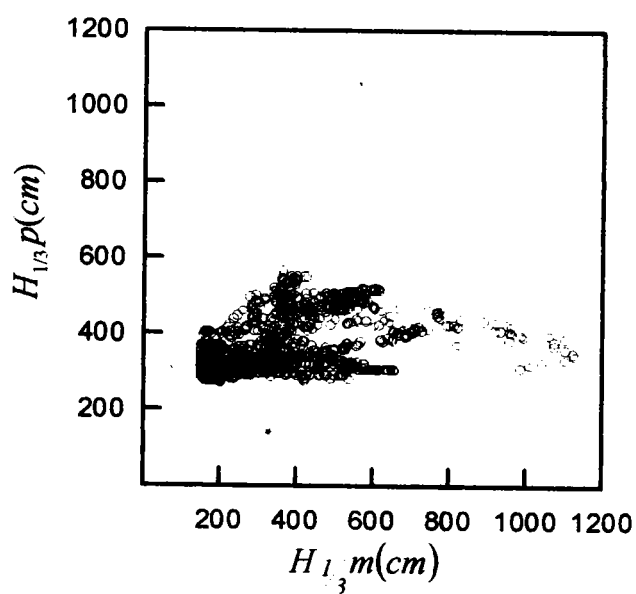


圖 2-62 (a) 測站 1 全部資料示性波高非線性推算值與實測值之比較

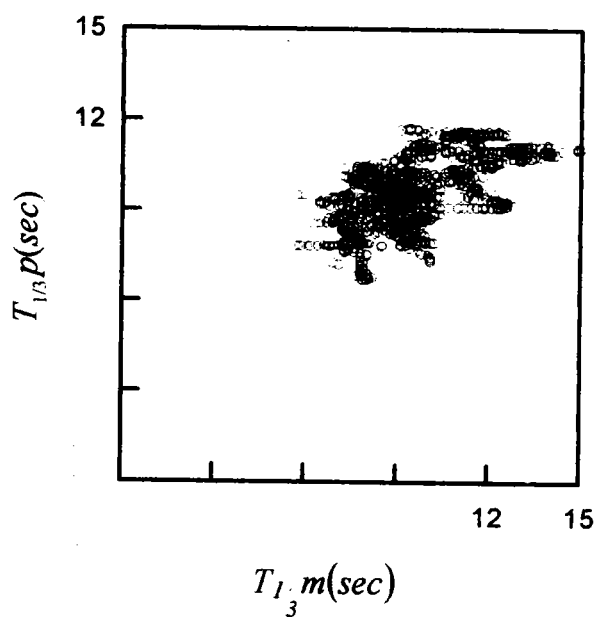


圖 2-62 (b) 測站 1 全部資料示性週期非線性推算值與實測值之比較

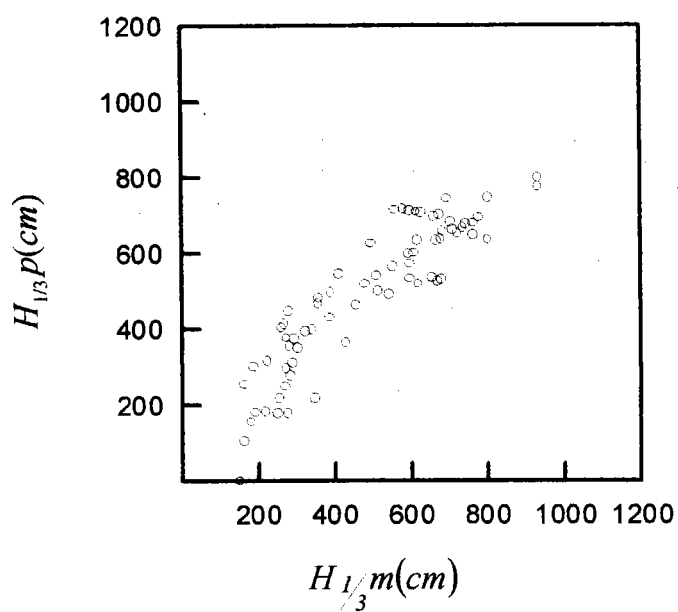


圖 2-63 (a) 測站 2 風浪示性波高線性推算值與實測值之比較

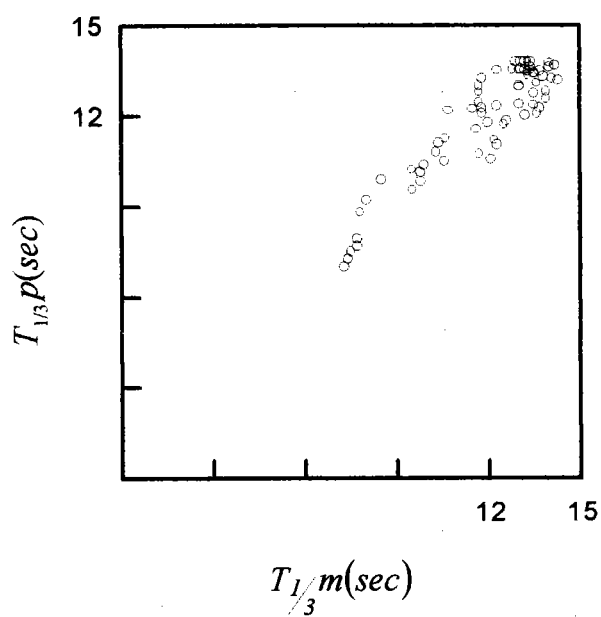


圖 2-63 (b) 測站 2 風浪示性週期線性推算值與實測值之比較

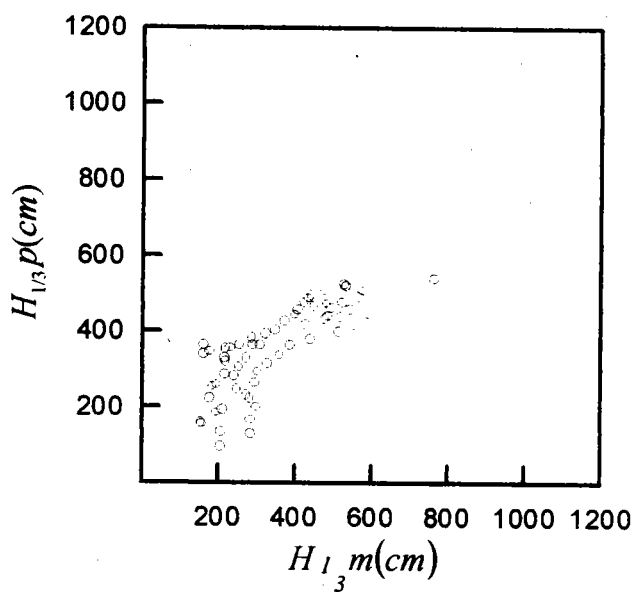


圖 2-64 (a) 測站 2 湧浪示性波高線性推算值與實測值之比較

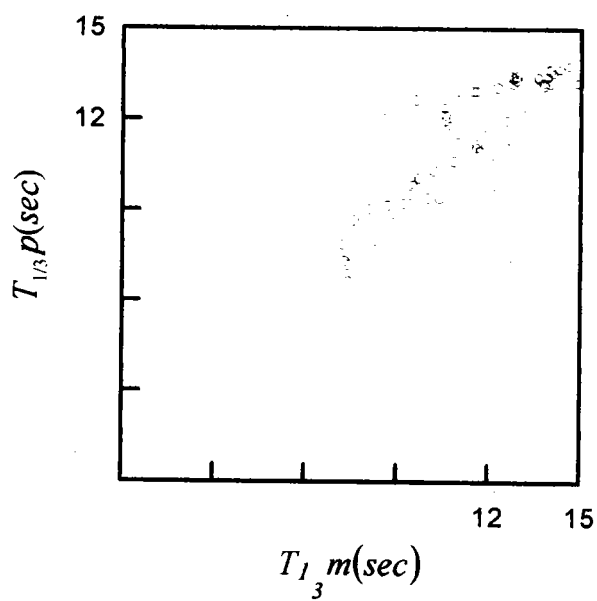


圖 2-64 (b) 測站 2 湧浪示性週期線性推算值與實測值之比較

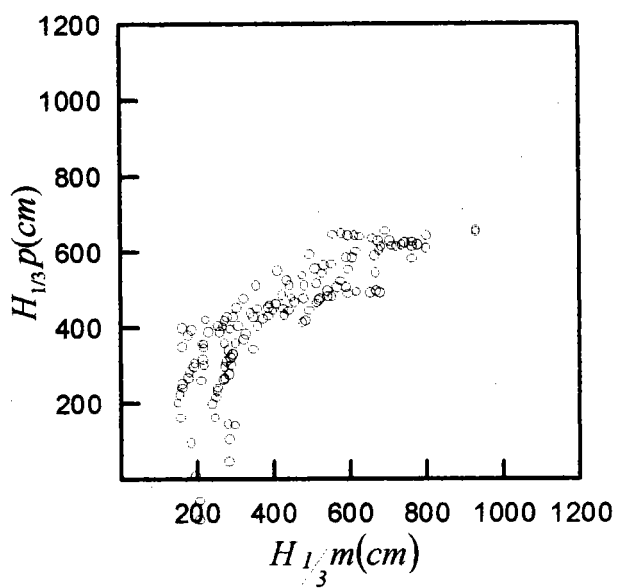


圖 2-65 (a) 測站 2 全部資料示性波高線性推算值與實測值之比較

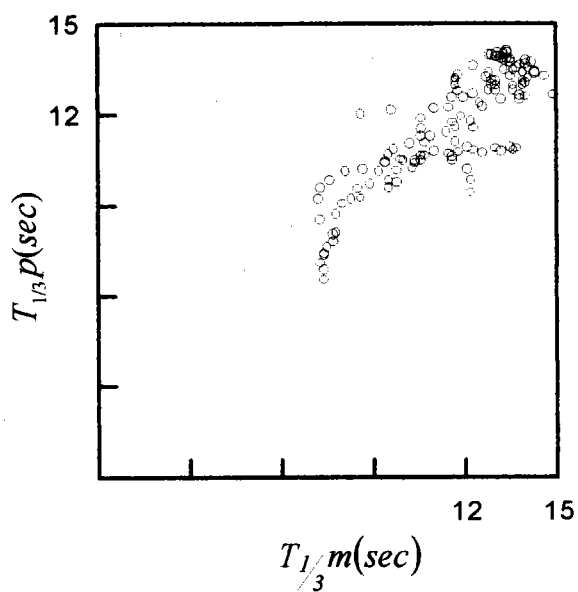


圖 2-65 (b) 測站 2 全部資料示性週期線性值推算值與實測值之比較

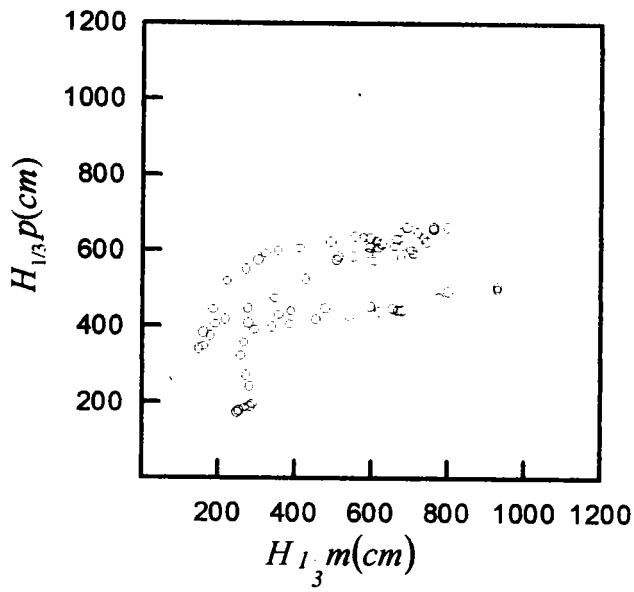


圖 2-66 (a) 測站 2 風浪示性波高非線性推算值與實測值之比較

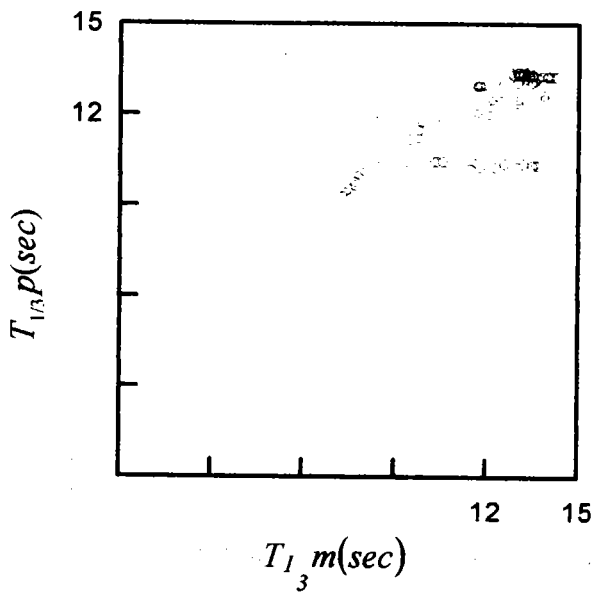


圖 2-66 (b) 測站 2 風浪示性週期非線性推算值與實測值之比較

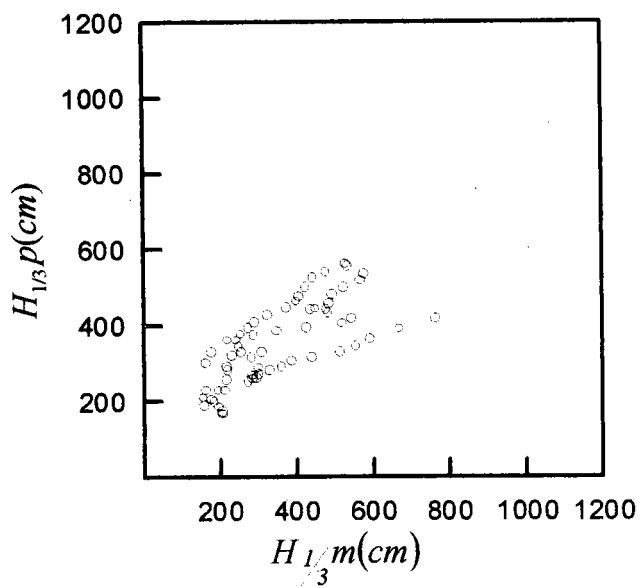


圖 2-67 (a) 測站 2 湧浪示性波高非線性推算值與實測值之比較

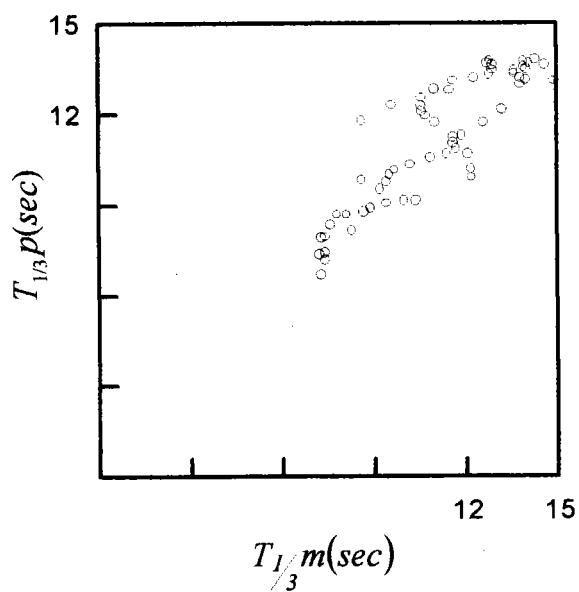


圖 2-67 (b) 測站 2 湧浪示性週期非線性推算值與實測值之比較

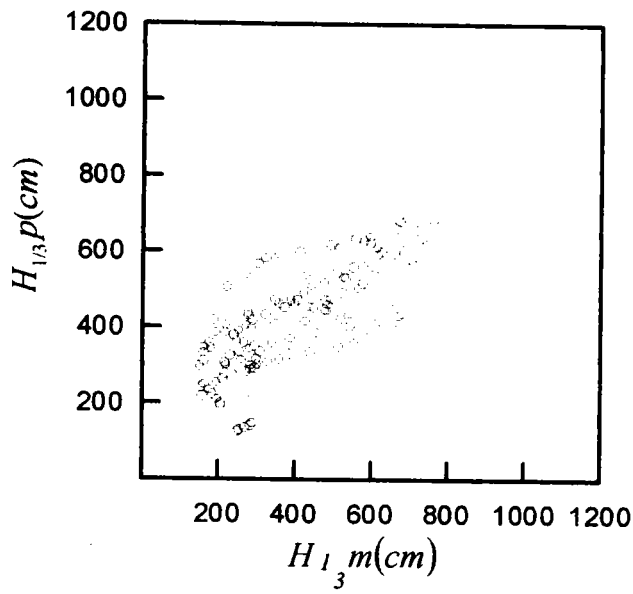


圖 2-68 (a) 測站 2 全部資料示性波高非線性推算值與實測值之比較

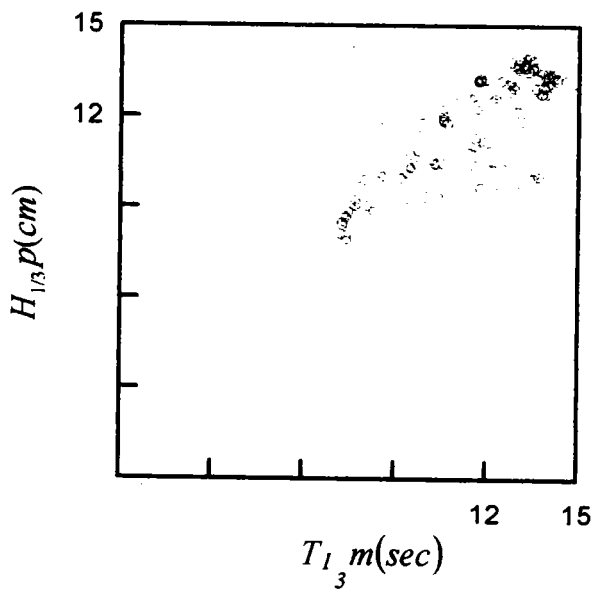


圖 2-68 (b) 測站 2 全部資料示性週期非線性推算值與實測值之比較

第三章 花蓮港內波浪自動量測系統

3-1 前言

波高量測方法包括超音波直接量測法，此方法在惡劣海洋環境下無法有效及精確量測水位變化，浮球式波高儀對長週期波有其量測限制，波壓量測間接推算波高方法，此法對較長週期波量測有較佳的精度，受到外在海洋環境影響較小……等，在多種波高直接量測或間接量測方法中，目前較廣泛使用的波高量測法仍以壓力式波高儀使用率較高。但壓力式波高儀量測精度直接受波壓與波高間的轉換函數影響甚巨，如採用轉換函數不適當即無法得到精確的水位變化值。往昔使用在波壓與波高間之轉換函數關係主要以進行波之線性理論，LCM 法，郭和邱(1994)的經驗公式為主。但此轉換函數皆以單純的進行波為其理論解析基礎，至於波浪經多重入反射波交會之合成波其波高波壓間的轉換關係是否尚能直接採用進行波的波壓和波高關係，值得進一步研究。本研究基於此，即針對花蓮港內設計一套容量式波高計的波高直接量測系統並以無線電輸及個人電腦直接接收以記錄資料系統，同時輔以壓力式波高計來探討波高與波壓在多重入反射下的轉換關係，本年度工作僅就自動量測系統設計組裝做檢討，下一年度再改進量測系統，並進一步做轉換關係之建立。

3-2 容量式波高自動量測系統介紹

3-2-1 系統介紹

本自動化波浪水位監測系統之架構及功能方塊圖，如圖 3-1 與圖 3-2 所示。

在硬體架構之設計上兼顧可移動性與堅固耐用，因此附件之使用儘量採用體積小，且材質以牢固抗腐蝕為原則；而資料之輸入使

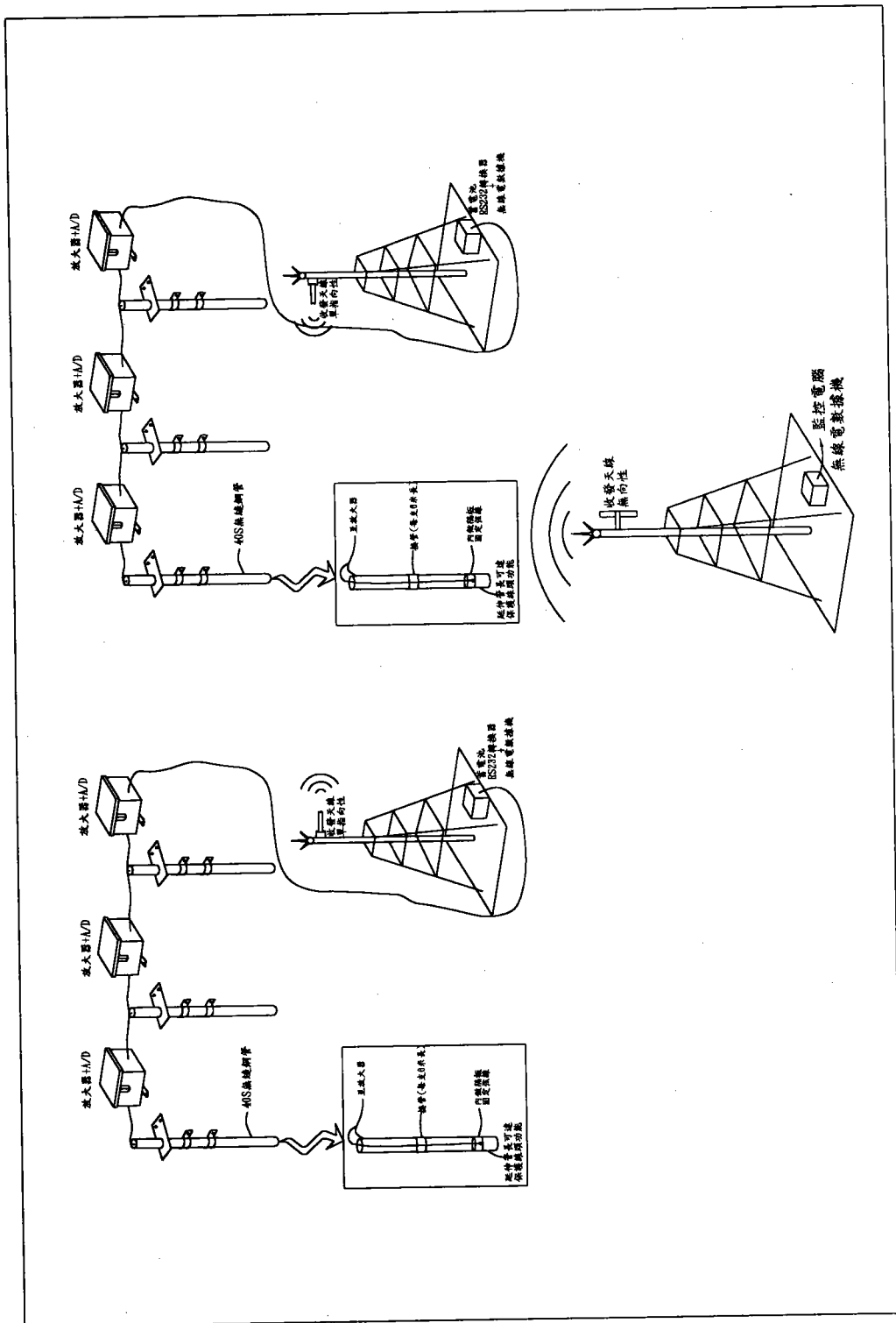


圖 3-1 波浪水位監測系架構圖

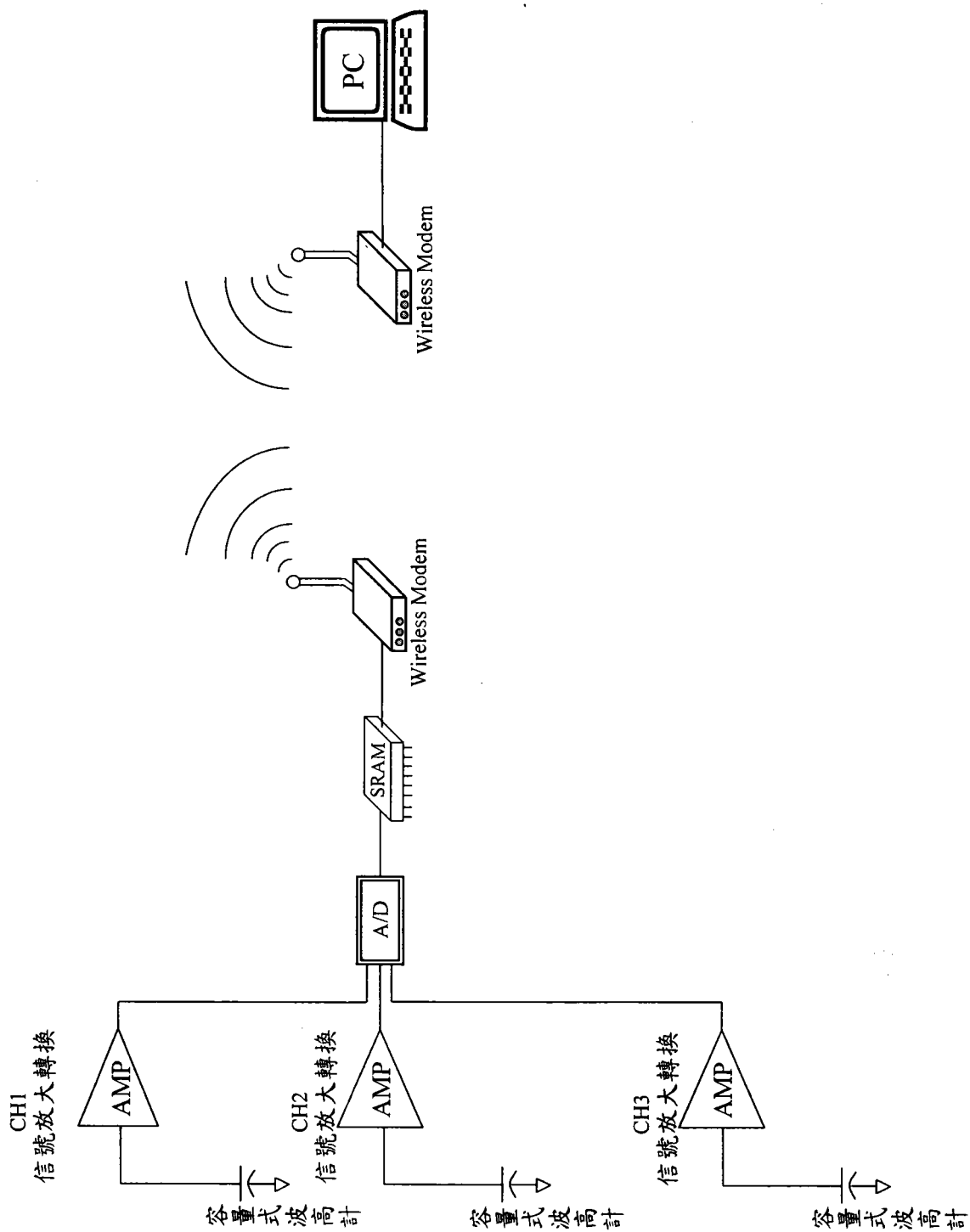


圖 3-2 移動式無線波高計系統功能方塊圖

用無線電為媒介，因此設計之考量重點資料保存之安全性以及通信傳輸之可靠度。

系統之整體依功能劃分為四大部份：

- (一) 水位感應器及信號轉換器
- (二) 類比數位轉換及資料擷取
- (三) 無線通信發射接收單元
- (四) 遠端監控單元

3-2-2 系統組成

以下分別就各單元部份之架構組成詳述之。

1. 水位感應器及信號轉換器

使用之水位感應器為容量式波高計，感測器之感應面為線弦式，但因須放至海中，為防海浪之衝擊力過大而致破壞弦體，因此使用不銹鋼管作為保護，確保體不會直接受力。感應器之輸出信號為電容變化，信號轉換器為類比電壓信號，信號轉換器之安裝位置為岸邊，必須考慮防水問題，因此保箱體為密閉式，且具防水性。

2. 類比/數位轉換及資料擷取

為解析度之考量類比/數位轉換器採用 16 位元，傳輸則以 RS-485 作序列通信。且考量通信在中斷情況下仍能保有資料之完整，所以選擇內附 SRAM 記憶體之資料擷取模組，達到記憶體保存同時兼顧資料即時傳送之功能。

在系統架構上，此信號轉換擷取單元亦為一信集中區，使用之模組具 8 通道多工輸入之功能，因此除了設計之 3 組感應

器之外尚有擴充性，可隨時增減感應器數量，而不須擴充設備。

資料擷取可定為定時擷取和不定時擷取，擷取資料頻率可自定，定時擷取為設定某一時間間距取樣，不定時擷取為任一時間皆可以手動方式擷取資料。取樣長度皆可自設。

3.無線通信發射及接收單元

本單元在地理上分為兩區，一為在量測現場之信號發射站，一為在監看區之信號接收站。因為現地量測環境嚴苛，因此選用之無線電設備須有高度穩定性，在傳輸過程中能確保通信通暢並防止界干擾源，因此選用具有展頻通信(Spread spectrum)能力之無線式數據機，通信頻帶為 2.4GHz～2.483GHz。

在量測現場之無線發射站亦為整個現場量測區的電源供應站，供應所有量測感應器、信號調整轉換器、類比/數位轉換器及無線電設備之電源，為顧及長時間量測，使用不斷電電系統(UPS)加上蓄電池為電力源，因此在有交流電源時可立即回充所有電瓶，而在失去電力時可由電瓶供應所有電力需求。

4.遠端監控單元

為一套應用程式，可掛於任何攜帶式或桌上型 PC，執行現場量測之控制，量測資料之即時顯示，以及資料保存等功能。在通信狀況良好時，量測資料應是同時存在於現場記錄器和監控的電腦系統中，因此資料具有雙重保障之安全性。

對現場之監控人機介面均採視窗圖控方式，現場量測結果立即顯示在畫面，可即時掌現場情況。

3-3 設備規範

1.波高計

電源需求	15Vdc~40Vdc
感應器長度	10M
輸出信號	±5Vdc
線性度	0.2%
精確度	0.4%
反應時間	2ms
操作環境溫度	-10°C ~+40°C

2.無線電數據機

收發頻帶	2.4~2.483GHz
無線技術	直接序列式展頻技術 (Direct Sequence Spread Spectrum technology)
調變	BPSK
非同步 RS-232 速度	2.4~38.4Kbps
無線傳輸速度	16~128Kbps
封包防干擾	CSMA/CDMA
封包大小	5~1024bytes
電源	10.5~13.8Vdc
操作環境溫度	-20°C ~+60°C
溫度	0~90% noncondensing

天線接頭(50Ω)

SMA 非標準

3.A/D 轉換模組

解析度

16bit

輸入頻率

6 個差數式+2 個單端式

輸入範圍

$\pm 150\text{mv}$, $\pm 500\text{mv}$, $\pm 1\text{v}$, $\pm 5\text{v}$,
 $\pm 10\text{v}$

隔離電壓

3000Vdc

取樣速度

10samples/sec

輸入阻抗

20MΩ

精確度

$\geq 0.1\%$

零點漂移

$\pm 6\mu\text{v}/^{\circ}\text{C}$

增益漂移

$\pm 25\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$

電源

+10 ~ +30vdc

電力消耗

1.2W

4.不斷電系統(UPS)

容量

1KVA

穩定功能

內含穩壓裝置(AVR)

功率因數

1.7~0.8

波形

PWM 階梯波

電池型式

12V 鉛酸免加水保養密閉式

5.資料擷取軟體

- ◆ 可於攜帶式 PC 或桌上型 PC
- ◆ 擷取之資料可即時顯示及儲存功能
- ◆ 現場之監控人機介面均採視窗圖控方式

6.儀器保護箱

儀器保養箱分為安裝波高計放大器及 A/D 的小箱及裝電池和無線電數據機之大箱，此二種防水保養箱皆以白鐵製作。

儀器保養箱尺寸(m)

- ◆ 大保養箱 600(L)×500(W)×350(H)
- ◆ 小保養箱 300(L)×200(W)×150(H)
- ◆ 對外接線均採防水快速接頭

7.避雷設施

保護儀器之避雷設備一套。包括四組不同功能之元件：

(1)電源避雷器

Power Source	110(Vac)
Discharge Capacity	20(KA)
Response Time	5(ns)

(2)無線電天線避雷器

Frequency Applications	2.5(GHz)
Insertion Loss	0.5(dB) at 2.5(GHz)
Discharge Capacity	10(KA)

(3)信號突波吸收器

Dc Breakdown Voltage(100V/s)	195-265(V)
Maximum Impulse Breakdown Voltage	650(V)
Nominal Impulse Discharge Current	20(KA)
Nominal AC Discharge Curen	20(A)
DC Holdover Voltage	135(V)
Minimum Insulation Resistance	10 ⁴ (MΩ)
Macimum Capacitance	1.5(pf)

(4)避雷器

銅質四爪導雷球

8.線材和天線架

連結各儀器之線材和收發天線之天線架可自行設計，以受風越小越好。

3-4 多重入反射下波高與波壓間轉換關係

3-4-1 理論解析

將多重入反射下之合成波在沒有以數值方式計算其水位變化時，沒有適當的理論來計算多重入反射下之波高變化，因此將其視為簡化的駐波來討論，利用陳陽益(1989)利用攝動展開法所推展的高階非線性駐波波動與波壓解析解來求得駐波波高與波壓間之轉換函數理論值，其駐波波高與波壓 5 階解為：

$$H = 2H_1\varepsilon + 2H_3\varepsilon^3 + 2H_5\varepsilon^5$$

$$P = 2\rho_1\varepsilon + 2\rho_3\varepsilon^3 + 2\rho_5\varepsilon^5$$

其轉換函數關係為：

$$TG = \frac{P}{H} = \frac{\rho_1\varepsilon + \rho_3\varepsilon^3 + \rho_5\varepsilon^5}{H_1\varepsilon + H_3\varepsilon^3 + H_5\varepsilon^5}$$

如取到線性階時，可簡化為

$$TG = \rho_1/H = \frac{\rho_1}{H}$$

因此

$$TG = \frac{\cosh k(z+D)}{\cosh kD}$$

其中：

ε ：為攝動展開之微小參數($\varepsilon = ka$)

H_1, H_3, H_5 ：分別為波高之 1 階量，3 階量，5 階量

ρ_1, ρ_3, ρ_5 : 分別為波壓之 1 階量, 3 階量, 5 階量

TG : 轉換函數

k : 波數

D : 水深

z : 壓力計置放深度(靜水位以下取負值)

如僅以進行波之線性理論來簡化說明時, 其轉換函數關係為:

$$\frac{\eta_\rho}{\rho g} = k_\rho \eta$$

$$k_\rho = \frac{\cosh k(D+z)}{\cosh kD}$$

由以上討論得知, 如以線性階來討論其波壓與波高間之轉換關係, 其結果相同。

$$TG = k_\rho$$

3-4-2 測試結果比較

本研究針對港區內使用壓力式波高計量測所得的壓力訊號如何直接轉換成水位訊號做初步探討並與進行波理論結果做比較分析。為取得同一位置上的波壓訊號和同時段的水位訊號，本文利用花蓮港內做現場調查，採用 pacer-77 壓力式波高儀設置在花蓮港東防波堤內側(即港內)，同時自行設計一長達 10 公尺精度為 1 公分的容量式波高計設置在東防波堤港內沉箱壁面上，直接量取水位訊號，量取之訊號再以無線電傳送到花蓮港務局辦公大樓六樓設一接收站接收資料並同時儲存。二種儀器設置地點相同，同時選取的位置雖有入反射波交會但尚屬較靠港口，波浪特性較單純，對波高與波壓間之比對較容易。本研究二種設備因受 pacer-77 量測資料長度之影響，壓力式波高儀以 2Hz 速率記錄連續取樣 2048 點，半小時記錄一次，本次試驗共連續取樣 27 小時，容量式波高計因為自行設計取樣儲存空間較大採連續取樣，取樣頻率 4Hz，每半小時記錄一次，連續記錄 10 小時。圖 3-3 表示容量式量測所得之波高延時訊號，圖 3-4 為波壓利用進行波線性理論，轉換而得之水位訊號，圖 3-5 為線性理論之間接量測和直接量測結果之比較，由以上各圖初步比較結果，發現在多重入反射波合成之合成波，其波高與波壓間之關係是乎無法有效以進行波理論做轉換，即港內或受反射影響很大之地點量測波高時如採用壓力式儀器應特別注意轉換關係的正確性。

3-5 量測系統遭遇困難

本系統建購至今，經多次測試發現其與預期效果，尚有偏差之處及待解決之問題，說明如下：

(1) 容量式波高計過長

波高計目前使用 10 公尺測試，發現波高或水位如超過某一水位，即會發生漂移現象，如將波高計改短或許較能線性化，目前正檢討如何修改放大器之電容範圍與線性度。

(2) 海生物附著影響

測桿放置在海下，受海生物附著係無法避免，海生物附著在測桿對電容函數的影響到底有多大，目前只知有影響，影響性的量尚無法確知，應進一步探討。

(3) 通信問題

原先構想以及時轉送資料的方式傳送記錄，因此採用 spread spectrum 來發射訊號與接收，初試時接收狀況良好，但經檢視所有資料時發現偶而會有異常訊號出現，尤其港內船隻運動頻繁時，雜訊更為嚴重，亦有短暫斷訊之可能。目前將改採整筆資料以數據傳送方式來記錄儲存資料。

(4) 波壓與波高間之轉換關係

經由測試結果之波壓和波高間之資料，以線性理論來討論其關係，出現無法掌握的現象，表示目前各種壓力式儀器無法量測港內經多重入反射下之波高變化，應再進一步討論其間之關係。

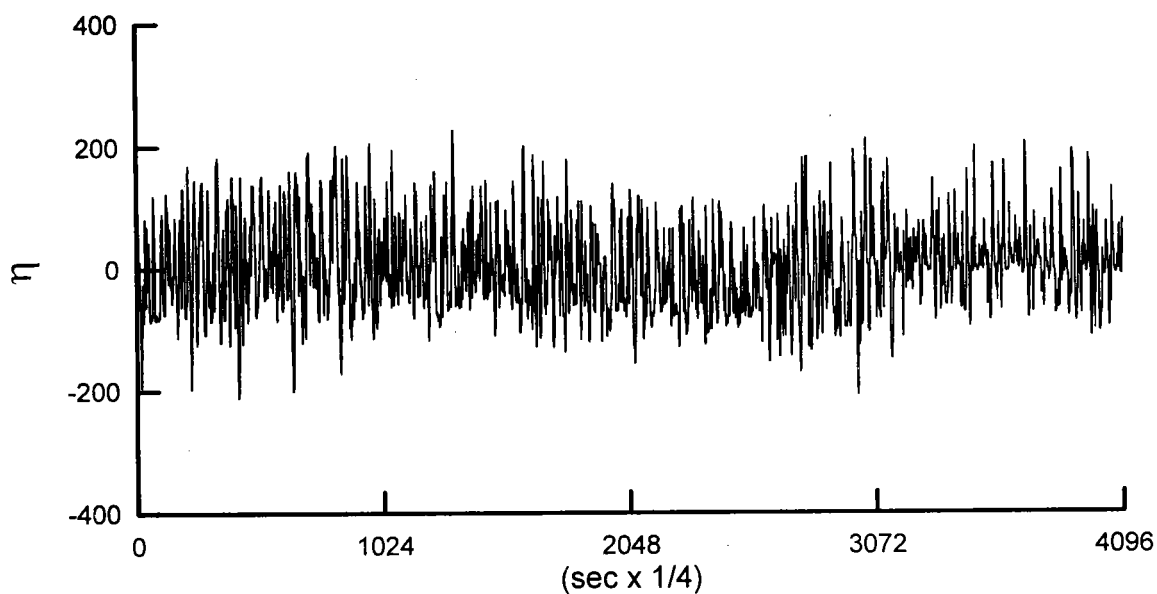


圖 3-3-a 容量式波高計量測之波高延時訊號

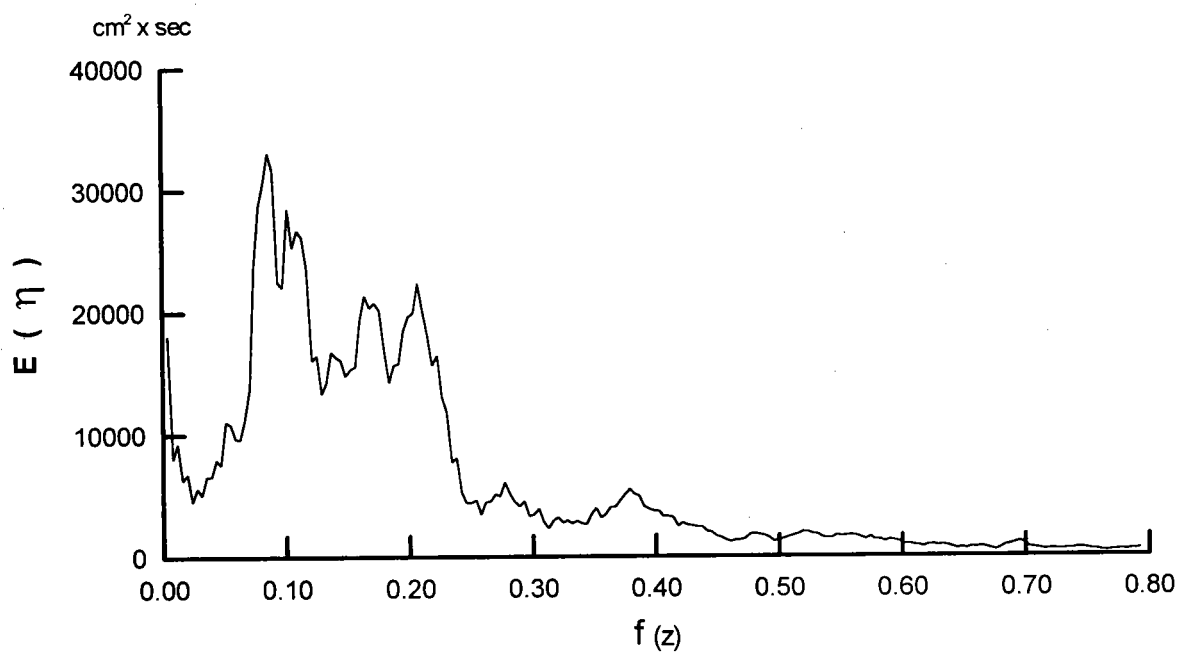


圖 3-3-b 容量式波高計量測之波高頻譜圖

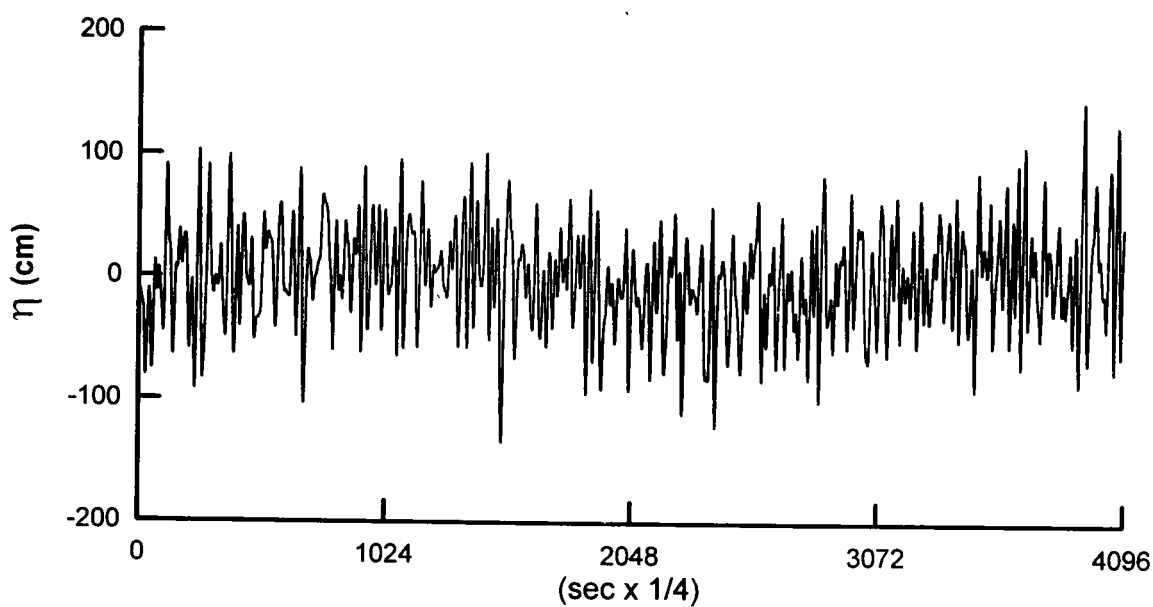


圖3-4a 壓力式波高計經線性理論轉換之波高延時訊號

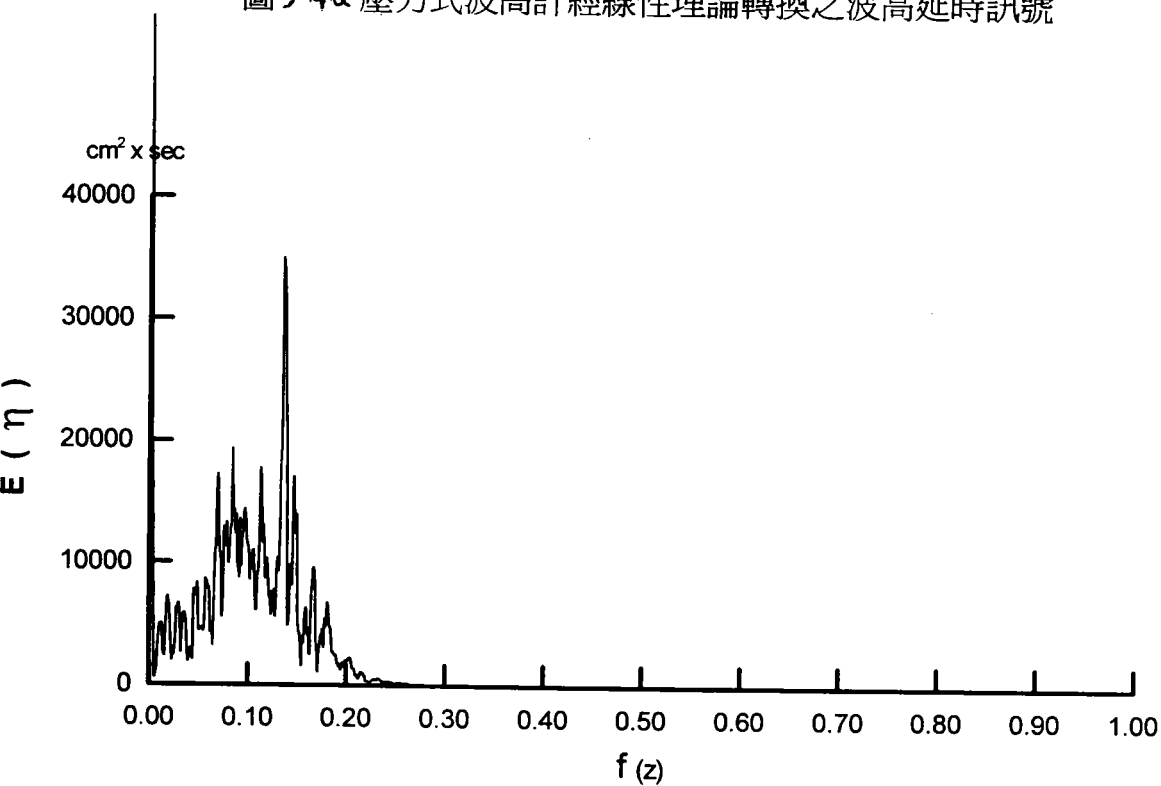


圖3-4b 壓力式波高計經線性理論轉換之波高頻譜圖

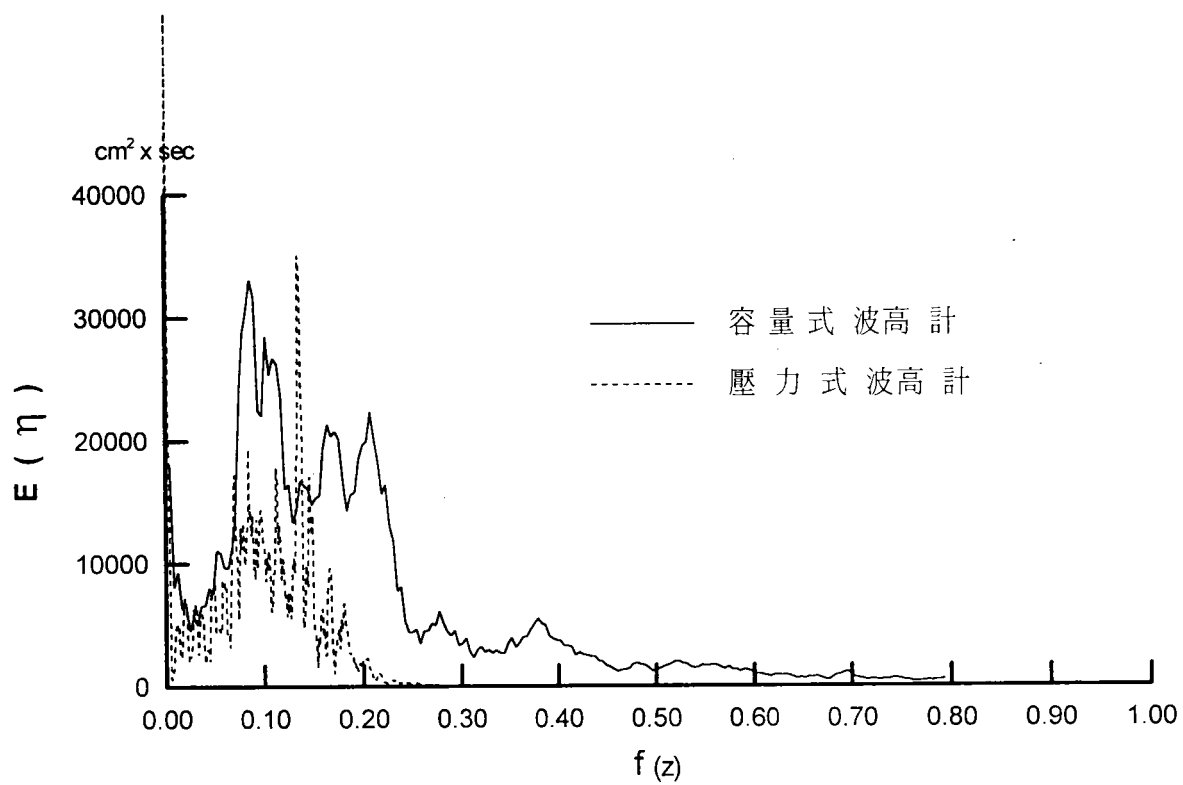
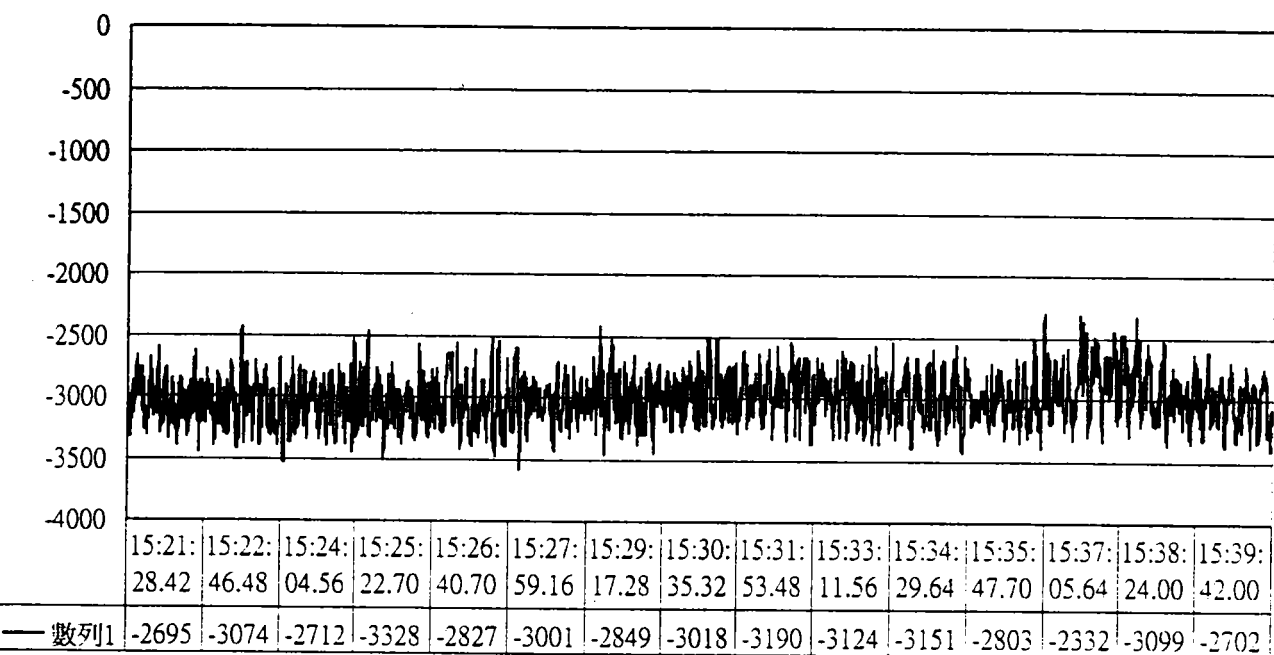
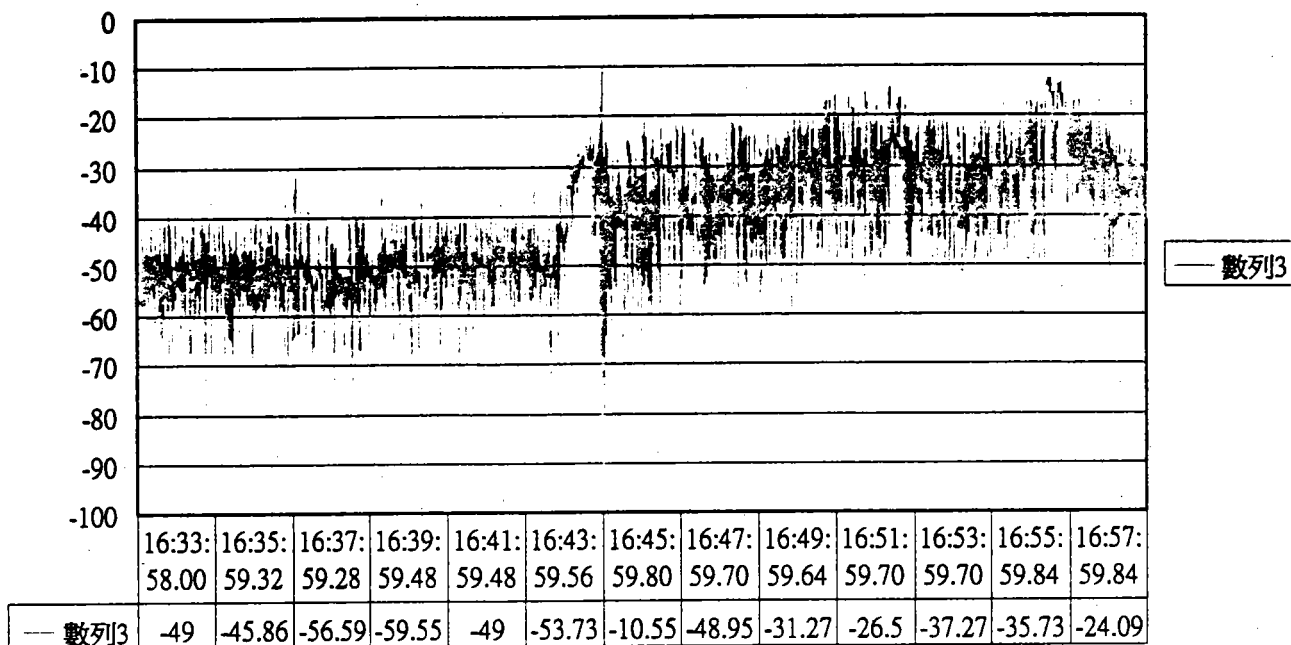


圖 3-5 波高頻譜比較圖



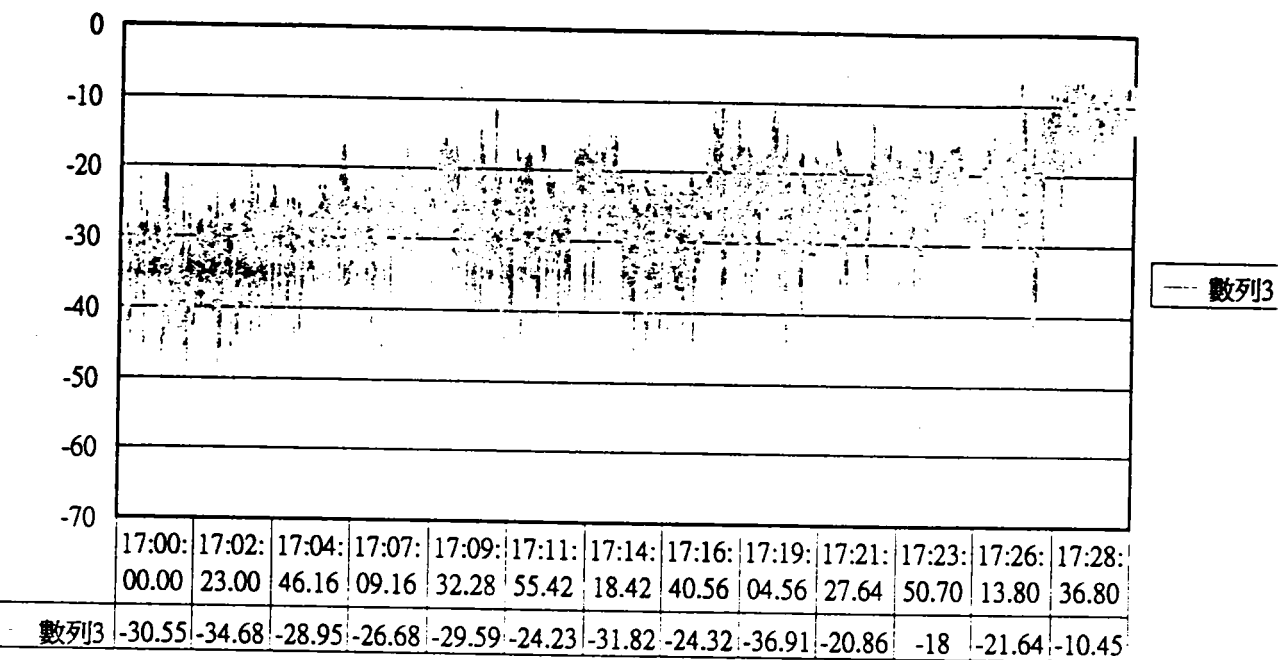
1999/7/1 15:21~15:39 CH1 收集的資料

圖 3-6 水位歷時圖(1999/7/1 15:21~15:39 CH1 收集的資料)



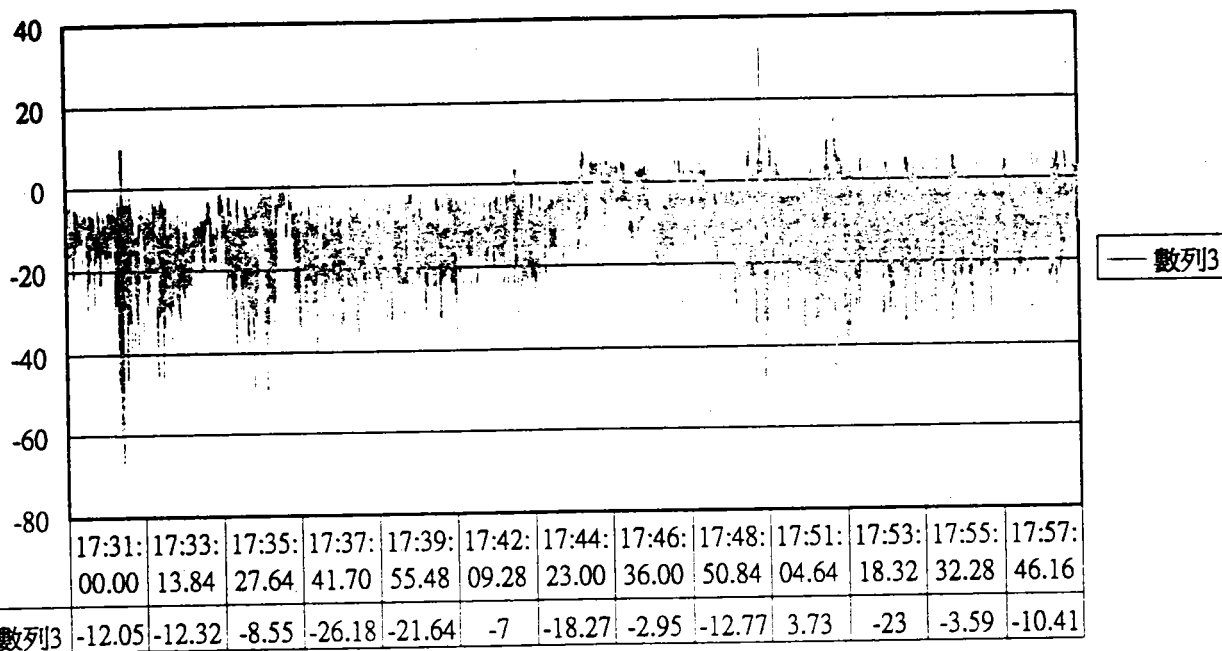
1999/7/1 16:33~17:00 CH3 收集的資料

圖 3-7 水位歷時圖(1999/7/1 16:33~17:00 CH3 收集的資料)



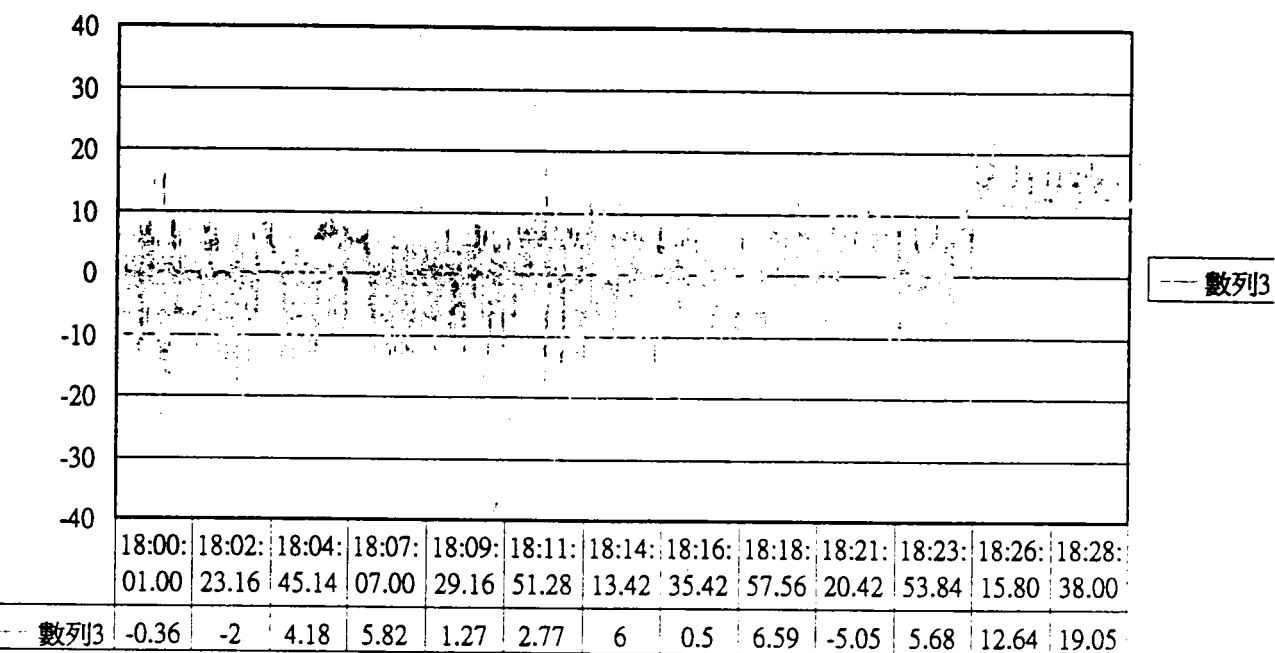
1999/7/1 17:00~17:30 CH3 收集的資料

圖 3-8 水位歷時圖(1999/7/1 17:00~17:30 CH3 收集的資料)



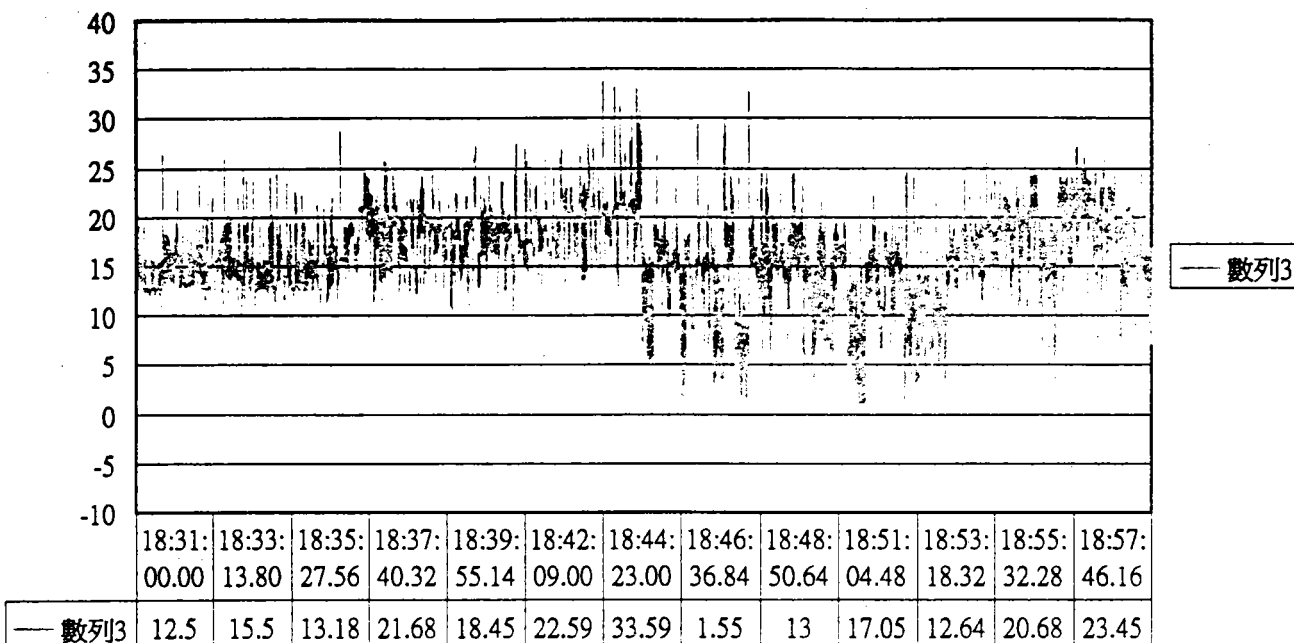
1999/7/1 17:30~18:00 CH3 收集的資料

圖 3-9 水位歷時圖(1999/7/1 17:30~18:00 CH3 收集的資料)



1999/7/1 18:00~18:30 CH3 收集的資料

圖 3-10 水位歷時圖(1999/7/1 18:00~18:30 CH3 收集的資料)



1999/7/1 18:30~19:00 CH3 收集的資料

圖 3-11 水位歷時圖(1999/7/1 18:30~19:00 CH3 收集的資料)

第四章 花蓮港內船舶繫纜受力之特性

4-1 前言

港內繫纜船舶之運動及繫纜力之估算在港埠規畫上頗為重要。在船舶運動方面，美國海軍研究中心以截片理論為架構所發展之船舶運動程式(SMP)是一套以航行中之船舶運動為對象，而廣泛被應用的實用程式，但因其理論係在線性假設之架構下發展，故在應用以及發展性上恐有較大之限制。是故，本研究理論採用邱、廖所發展之斜波中之非線性截片理論[16, 17]。本所與台大造船及海洋工程研究所基於此非線性截片理論，再考慮船舶繫纜的恢復力後，共同發展了一套對於繫纜船舶，可輸入繫纜位置、方向、彈性常數，而計算其船舶運動與繫纜力反應函數之程式[18]，以利進行繫纜船舶運動與繫纜力之統計分析。有助於考慮繫纜船舶運動及繫纜力之港埠規畫以及颱風來臨前船舶進出港之參考依據。本文繫纜船舶之運動及繫纜力並未考慮波浪之2階漂浮力、風、流以及護舷之影響。

4-2 座標系

本研究所用船舶運動座標系，如圖 4-1 所示[16][17][18]。

O-XYZ 為空間固定座標系(space-fixed frame F_O)，X-Y 平面置於靜水面上，Z 軸向下為正。o'-x'y'z'為隨航垂直座標系(vehicle-carried vertical frame F_V)，x'-y'平面亦置於靜水面上，o'-x' 軸與 O-X 軸之夾角為 χ ， F_V 沿 o'-x'軸方向以船之平均速度 U 等速移動，對繫纜船舶而言，則 $U=0$ ，當 $t=0$ ，船在靜水中開始遭遇波浪時，o'與 O 重合。o-xyz 為船舶固定座標系(body-fixed frame F_B)，原點 o 置於船重心(C.G.)，o-x 軸平行於基線(base line)，向船艏為正；o-z 軸平行於中線(center line)，向下為正，當 $t=0$ ，船在靜水中開始遭遇波浪時，o'與 O 皆與船舢斷面重合，而 o 點在 F_V 之座標為 (x'_o, y'_o, z'_o) ，o-x 軸與 x'-y'平面之夾角為 τ_i ， τ_i 為初始仰角(initial trim)。當 $t>0$ ，遭遇波浪時，即引起 o-x 軸與 x'-y'平面之夾角變化 θ ，亦即波浪中 o-x 軸與 x'-y'平面之夾角為 $\tau = \tau_i + \theta$ ，而 x-z'平面與 x'-z'平面之夾角為 ϕ ，x-z 平面與 x'-z'平面之夾角為 φ ；o 點在 o'-z'軸方向之位移變化為 ζ 。 ξ ， η ， ζ ， φ ， θ 及 ϕ 分別稱為縱移(surge)，側移(sway)，起伏(heave)，橫搖(roll angle)，縱搖(pitch angle)及平擺(yaw angle)，三維船舶運動形態，如圖 4-2 所示。

$O - XYZ : F_0$ Frame

$o' - x'y'z' : F_v$ Frame

$o - xyz : F_B$ Frame

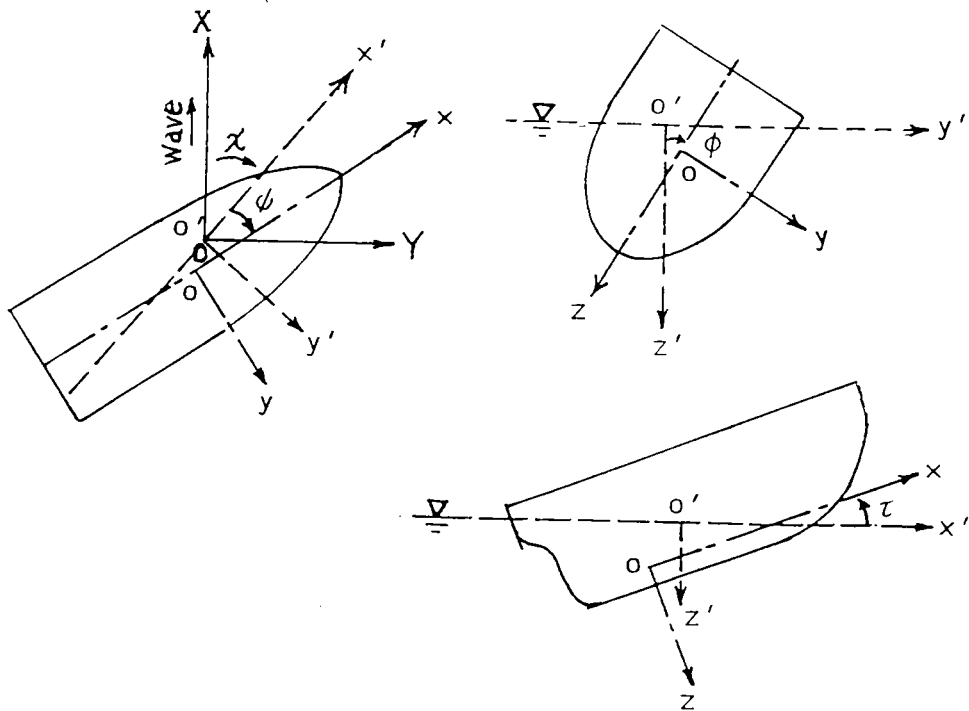


圖 4-1 船舶運動座標系統

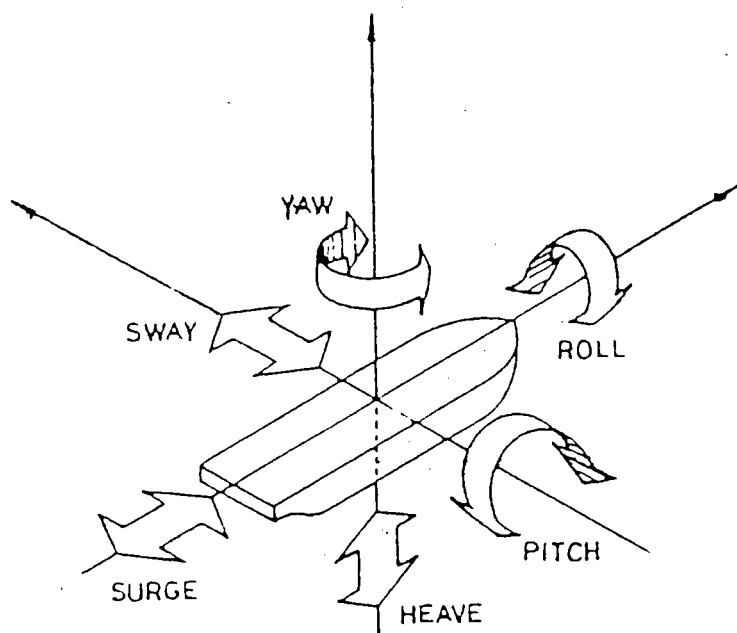


圖 4-2 三維船舶運動形態

4-3 運動方程式

由船舶固定座標系 F_B 描述之力與力矩平衡方程式如下述 [16][18]。其中繫纜船舶之運動及繫纜力並未考慮波浪之 2 階漂浮力、風、流以及護舷之影響。

$$v : - \int_A^F (F_y + N_y + f_{sy} + F_y^d + N_y^d) dx = 0$$

$$w : - \int_A^F (F_z + N_z + f_{sz} + F_z^d + N_z^d) dx = 0$$

$$p : - \int_A^F (M_x + N_x + f_{sx} + M_x^d + N_x^d) dx = 0$$

$$q : - \int_A^F (-x)(F_z + N_z + f_{sz} + F_z^d + N_z^d) dx = 0$$

$$r : - \int_A^F x(F_y + N_y + f_{sy} + F_y^d + N_y^d) dx = 0$$

式中 F_y, F_z, M_x ：二維斷面內運動量變化引起之作用力。

N_y, N_z, N_x ：二維斷面之興波減衰力。

f_{sy}, f_{sz}, f_{sx} ：二維斷面之復原力與 Froude-Krylov Force f 。

F_y^d, F_z^d, M_x^d ：二維斷面之 diffraction force 之中有關運動量變化引起之作用力。

N_y^d, N_z^d, N_x^d ：二維斷面之 diffraction force 之中有關興波減衰之作用力。

將上列諸式，加入繫纜復原力，整理如下：

$$\begin{pmatrix} m_{22} & \cdots & m_{26} \\ \vdots & & \\ m_{62} & \cdots & m_{66} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v} \\ \dot{w} \\ \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} N_{22} & \cdots & N_{26} \\ \vdots & & \\ N_{62} & \cdots & N_{66} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{Bmatrix} + \{R\} + \begin{Bmatrix} L_{BIV} & 0 \\ 0 & R \end{Bmatrix} \{K\} \begin{Bmatrix} \eta \\ \zeta \\ \phi \\ \tau \\ \psi \end{Bmatrix} = \{F\} + \{D\}$$

式中，各係數矩陣與向量之各成份如下：

$$m_{22} = \int (m + m_{yy}) dx$$

$$m_{23} = \int m_{yz} dx$$

$$m_{24} = \int m_{xy} dx$$

$$m_{25} = - \int m_{yz} \cdot x dx$$

$$m_{26} = \int (m + m_{yy}) x dx$$

$$m_{32} = \int m_{yz} dx$$

$$m_{33} = \int (m + m_{zz}) dx$$

$$m_{34} = \int m_{xz} dx$$

$$m_{35} = - \int (m + m_{zz}) x dx$$

$$m_{36} = \int m_{yz} x dx$$

$$m_{42} = \int m_{xy} dx$$

$$m_{43} = \int m_{xz} dx$$

$$m_{44} = \int (m_{xx} + i_{xx}) dx$$

$$m_{45} = - \int m_{xz} x dx$$

$$m_{46} = \int m_{xy} x dx$$

$$m_{52} = -x \int m_{yz} dx$$

$$m_{53} = - \int x(m + m_{zz}) dx$$

$$m_{54} = - \int x m_{xz} dx$$

$$m_{55} = + \int x^2 (m + m_{zz}) dx$$

$$m_{56} = - \int x^2 m_{yz} dx$$

$$m_{62} = \int x(m + m_{yy}) dx$$

$$m_{63} = \int x m_{yz} dx$$

$$m_{64} = + \int x m_{xy} dx$$

$$m_{65} = - \int x^2 m_{yz} dx$$

$$m_{66} = \int (m + m_{yy}) x^2 dx$$

$$N_{22} = \int \frac{\partial m_{yy}}{\partial t} dx + \int N_{yy} dx$$

$$N_{23} = \int \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx + \int N_{yz} dx$$

$$N_{24} = \int \frac{\partial m_{xy}}{\partial t} dx + \int N_{xy} dx$$

$$N_{25} = - \int x \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx - \int N_{yz} x dx$$

$$N_{26} = \int x \frac{\partial m_{yy}}{\partial t} dx + \int N_{yy} x dx$$

$$N_{32} = \int \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx + \int N_{yz} dx$$

$$N_{33} = \int \frac{\partial m_{zz}}{\partial t} dx + \int N_{zz} dx$$

$$N_{34} = \int \frac{\partial m_{xz}}{\partial t} dx + \int N_{xz} dx$$

$$N_{35} = - \int x \frac{\partial m_{zz}}{\partial t} dx - \int N_{zz} x dx$$

$$N_{36} = \int x \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx + \int N_{yz} x dx$$

$$\begin{aligned}
N_{42} &= \int \frac{\partial m_{xy}}{\partial t} dx + \int N_{xy} dx \\
N_{43} &= \int \frac{\partial m_{xz}}{\partial t} dx + \int N_{xz} dx \\
N_{44} &= \int \frac{\partial m_{xx}}{\partial t} dx + \int N_{xx} dx \\
N_{45} &= -\int x \frac{\partial m_{xz}}{\partial t} dx - \int N_{xz} x dx \\
N_{46} &= \int x \frac{\partial m_{xy}}{\partial t} dx + \int N_{xy} x dx \\
N_{52} &= -\int x \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx - \int x N_{yz} dx \\
N_{53} &= -\int x \frac{\partial m_{zz}}{\partial t} dx - \int x N_{zz} dx \\
N_{54} &= -\int x \frac{\partial m_{xz}}{\partial t} dx - \int x N_{xz} dx \\
N_{55} &= \int x^2 \frac{\partial m_{zz}}{\partial t} dx + \int x^2 N_{zz} dx \\
N_{56} &= -\int x^2 \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx - \int x^2 N_{yz} dx \\
N_{62} &= \int x \frac{\partial m_{yy}}{\partial t} dx + \int x N_{yy} dx \\
N_{63} &= \int x \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx + \int x N_{yz} dx \\
N_{64} &= \int x \frac{\partial m_{xy}}{\partial t} dx + \int x N_{xy} dx \\
N_{65} &= -\int x^2 \frac{\partial m_{yz}}{\partial t} dx - \int x^2 N_{yz} dx \\
N_{66} &= \int x^2 \frac{\partial m_{yy}}{\partial t} dx + \int x^2 N_{yy} dx
\end{aligned}$$

$$R_2 - F_2 = - \iint_x p dz dx$$

$$R_3 - F_3 = \iint_x p dy dx - \iint_{c_o} p_o dy dx$$

$$R_4 - F_4 = \iint_x p (y dy + z dz) dx - g \sin \phi \int m (z'_o - z'_g) dx \\ - g (1 - \cos \phi) \int m (y'_o - y'_g) dx$$

$$R_5 - F_5 = - \int x \int p dy dx + \int x \int_{c_o} p_o dy dx$$

$$R_6 - F_6 = - \int x \int p dz dx$$

$$D_2 = \int \{ m_{yy} \bar{\vec{V}}_y + m_{yz} \bar{\vec{V}}_z + m_{xy} \bar{\vec{p}}_w + (\frac{\partial m_{yy}}{\partial} + N_{yy}) \bar{V}_y \\ + (\frac{\partial m_{yz}}{\partial} + N_{yz}) \bar{V}_z + (\frac{\partial m_{xy}}{\partial} + N_{xy}) \bar{p}_w \} dx$$

$$D_3 = \int \{ m_{yz} \bar{\vec{V}}_y + m_{zz} \bar{\vec{V}}_z + m_{zx} \bar{\vec{p}}_w + (\frac{\partial m_{yz}}{\partial} + N_{yz}) \bar{V}_y \\ + (\frac{\partial m_{zz}}{\partial} + N_{zz}) \bar{V}_z + (N_{zx} + \frac{\partial m_{zx}}{\partial}) \bar{p}_w \} dx$$

$$D_4 = \int \{ m_{xy} \bar{\vec{V}}_y + m_{xz} \bar{\vec{V}}_z + m_{xx} \bar{\vec{p}}_w + (\frac{\partial m_{xy}}{\partial} + N_{xy}) \bar{V}_y \\ + (\frac{\partial m_{xz}}{\partial} + N_{xz}) \bar{V}_z + (\frac{\partial m_{xx}}{\partial} + N_{xx}) \bar{p}_w \} dx$$

$$D_5 = - \int x \{ m_{yz} \bar{\vec{V}}_y + m_{zz} \bar{\vec{V}}_z + m_{zx} \bar{\vec{p}}_w + (\frac{\partial m_{yz}}{\partial} + N_{yz}) \bar{V}_y \\ + (\frac{\partial m_{zz}}{\partial} + N_{zz}) \bar{V}_z + (\frac{\partial m_{zx}}{\partial} + N_{zx}) \bar{p}_w \} dx$$

$$D_6 = \int x \{ m_{yy} \bar{\vec{V}}_y + m_{yz} \bar{\vec{V}}_z + m_{xy} \bar{\vec{p}}_w + (\frac{\partial m_{yy}}{\partial} + N_{yy}) \bar{V}_y \\ + (\frac{\partial m_{yz}}{\partial} + N_{yz}) \bar{V}_z + (\frac{\partial m_{xy}}{\partial} + N_{xy}) \bar{p}_w \} dx$$

$$\begin{aligned}
K_{11} &= \sum_i K_i n_{xi}^2 \\
K_{12} &= \sum_i K_i n_{xi} n_{yi} \\
K_{13} &= \sum_i K_i n_{xi} n_{zi} \\
K_{14} &= \sum_i K_i n_{xi} (-z_i n_{yi} + y_i n_{zi}) \\
K_{15} &= \sum_i K_i n_{xi} (z_i n_{xi} - x_i n_{zi}) \\
K_{16} &= \sum_i K_i n_{xi} (-y_i n_{xi} + x_i n_{yi}) \\
K_{21} &= \sum_i K_i n_{yi} n_{xi} = K_{12} \\
K_{22} &= \sum_i K_i n_{yi}^2 \\
K_{23} &= \sum_i K_i n_{yi} n_{zi} \\
K_{24} &= \sum_i K_i n_{yi} (-z_i n_{yi} + y_i n_{zi}) \\
K_{25} &= \sum_i K_i n_{yi} (z_i n_{xi} - x_i n_{zi}) \\
K_{26} &= \sum_i K_i n_{yi} (-y_i n_{xi} + x_i n_{yi}) \\
K_{31} &= \sum_i K_i n_{zi}^2 \\
K_{32} &= \sum_i K_i n_{zi} n_{yi} = K_{23} \\
K_{33} &= \sum_i K_i n_{zi}^2 \\
K_{34} &= \sum_i K_i n_{zi} (-z_i n_{yi} + y_i n_{zi}) \\
K_{35} &= \sum_i K_i n_{zi} (z_i n_{xi} - x_i n_{zi}) \\
K_{36} &= \sum_i K_i n_{zi} (-y_i n_{xi} + x_i n_{yi}) \\
K_{41} &= \sum_i K_i (-z_i n_{yi} n_{xi} + y_i n_{zi} n_{xi}) \\
K_{42} &= \sum_i K_i (-z_i n_{yi}^2 + y_i n_{zi} n_{yi}) \\
K_{43} &= \sum_i K_i (-z_i n_{yi} n_{zi} + y_i n_{zi}^2) \\
K_{44} &= \sum_i K_i ((-z_i n_{yi} + y_i n_{zi}) \cdot (-z_i n_{yi} + y_i n_{zi}))
\end{aligned}$$

$$K_{51} = \sum_i K_i (-x_i n_{zi} + z_i n_{xi}) n_{xi} = K_{15}$$

$$K_{52} = \sum_i K_i (-x_i n_{zi} + z_i n_{xi}) n_{yi} = K_{25}$$

$$K_{53} = \sum_i K_i (-x_i n_{zi} + z_i n_{xi}) n_{zi} = K_{35}$$

$$K_{54} = \sum_i K_i (-x_i n_{zi} + z_i n_{xi}) (-z_i n_{yi} + y_i n_{zi}) = K_{45}$$

$$K_{55} = \sum_i K_i (-x_i n_{zi} + z_i n_{xi})^2$$

$$K_{56} = \sum_i K_i (-x_i n_{zi} + z_i n_{xi}) (-y_i n_{xi} + x_i n_{yi})$$

$$K_{61} = \sum_i K_i (x_i n_{yi} - y_i n_{xi}) n_{xi} = K_{16}$$

$$K_{62} = \sum_i K_i (x_i n_{yi} - y_i n_{xi}) n_{yi} = K_{26}$$

$$K_{63} = \sum_i K_i (x_i n_{yi} - y_i n_{xi}) n_{zi} = K_{36}$$

$$K_{64} = \sum_i K_i (x_i n_{yi} - y_i n_{xi}) (-z_i n_{yi} + y_i n_{zi}) = K_{46}$$

$$K_{65} = \sum_i K_i (x_i n_{yi} - y_i n_{xi}) (z_i n_{yi} - x_i n_{zi}) = K_{56}$$

$$K_{66} = \sum_i K_i (x_i n_{yi} - y_i n_{xi})^2$$

4-4 計算例

民國 83 年花蓮港各類貨輪進港船長分佈，如表 4-1 所示[19]。選取其中一最大油輪作為供試船進行繫纜狀態下，受斜向規則波作用時之船舶運動及繫纜力計算。

4-4-1 供試船

供試船為一艘全長 200 公尺排水量三萬五千噸之油輪，其主要尺寸如表 4-2 所示。

4-4-2 繫纜狀態

本計算所用繫纜數為 6 條，其繫纜佈置如圖 4-3 所示，各繫纜之輸入條件如表 4-3 所示。表中之數據是採用線型模座標(Offsets)描述上常用之座標系，即 x 軸以向船艏為正，正 y 軸向左舷， z 軸以向上為正，而原點置於基線上。繫纜力之單位法線向量係由船上之繫纜位置指向岸上之繫纜位置。計算程式在進行運動計算之前會自動先轉換至本文所用運動座標系。

表 4-1 民國 83 年花蓮港各類貨輪進港船長分佈

單位：艘次

船長 分佈 (m)	船 舶 種 類																	其它	合計								
	成品 油	水泥	亞泥	砂石	中鋼 礦石	煤	散 雜 貨																				
							花崗 岩	木片	石膏	銅渣	五金 機械	肥料	紙漿	滑石	工業 鹽	高粱 石	大理 石			石棉 瓦片	雜貨						
<50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	6
50~100	42	20	10	116	0	0	125	1	0	14	2	4	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	4	344	
100~150	0	20	249	72	91	0	60	16	15	2	6	1	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	539
150~175	0	2	0	16	12	0	5	22	2	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
175~200	13	0	0	0	0	0	47	16	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	85	
200~250	0	0	0	0	0	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
總 計	55	42	259	204	103	14	238	55	17	16	8	7	5	5	4	3	1	1	1	3	13	1053					

資料來源：花蓮港務局及本計畫整理

表 4-2 供試船之主要尺寸

全長	Loa	200 公尺
水線長	Lwl	198 公尺
模寬	B	38.33 公尺
吃水	d	6.00 公尺
排水量	Δ	35,000 噸

表 4-3 供試船繫纜之輸入條件

i	x_i (m)	y_i (m)	z_i (m)	n_{xi}	n_{yi}	n_{zi}	K(kgf/m)
1	100	0	14.2	0.769	0.629	-0.117	3500
2	100	0	14.2	0.504	0.850	-0.157	3500
3	90	8	14.2	-0.336	0.911	-0.240	3500
4	-92	11	14.2	0.431	0.861	-0.269	3500
5	-98	0	14.2	-0.372	0.913	-0.169	3500
6	-98	0	14.2	-0.726	0.676	-0.125	3500

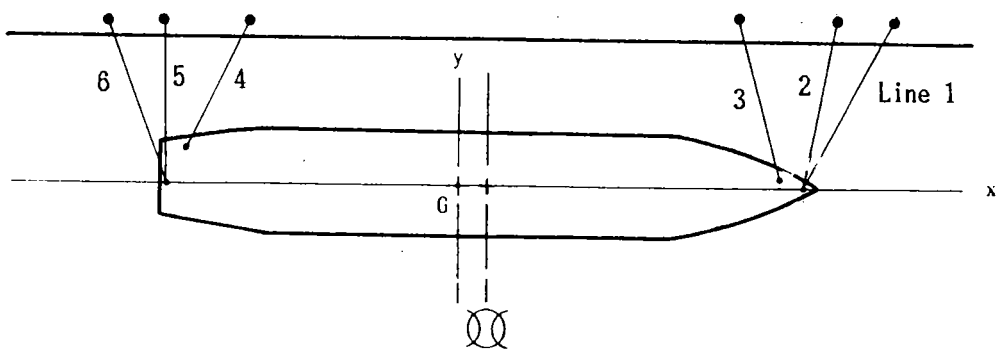


圖 4-3 繫纜佈置

4-4-3 波浪狀態

本報告考慮示性波高($H_{1/3}$)2 公尺(波振幅 1 公尺)，波向角 135 度(如圖 4-4 所示)之艏波(Bow Sea)為共同之入射波浪模擬計算條件，另外再依不同的波長船長比分開計算船舶五自由度運動及繫纜力。

1. case 1 :

入射波浪為東北季風期間，花蓮港外港(如圖 4-5 所示)水深-14m 處波浪($H_{1/3}=2.24$ m , $T_{1/3}=8$ sec) [20]，其示性波長船長比等於 0.5。

2. case 2 :

入射波浪為提姆颱風期間，花蓮港外港水深-14m 處波浪($H_{1/3}=3.55$ m , $T_{1/3}=20.4$ sec) [21]，示性波長船長比等於 1.0。

3. case 3 :

入射波浪為提姆颱風期間，花蓮港內港(如圖 4-5 所示)水深-10m 處波浪($H_{1/3}=1.6$ m , $T_{1/3}=91.9$ sec) [21]，示性波長船長比等於 10.0。

當示性波高($H_{1/3}$)不等於 2 公尺(即示性波振幅不是 1 公尺)時，可依示性波高，將船舶運動及繫纜力線性放大或縮小處理。

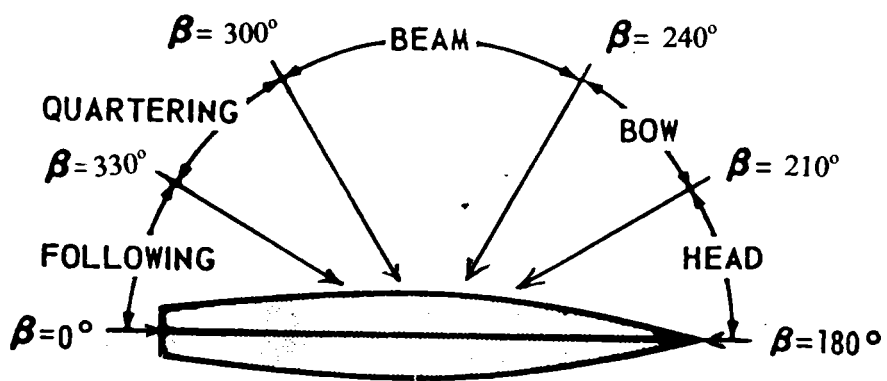
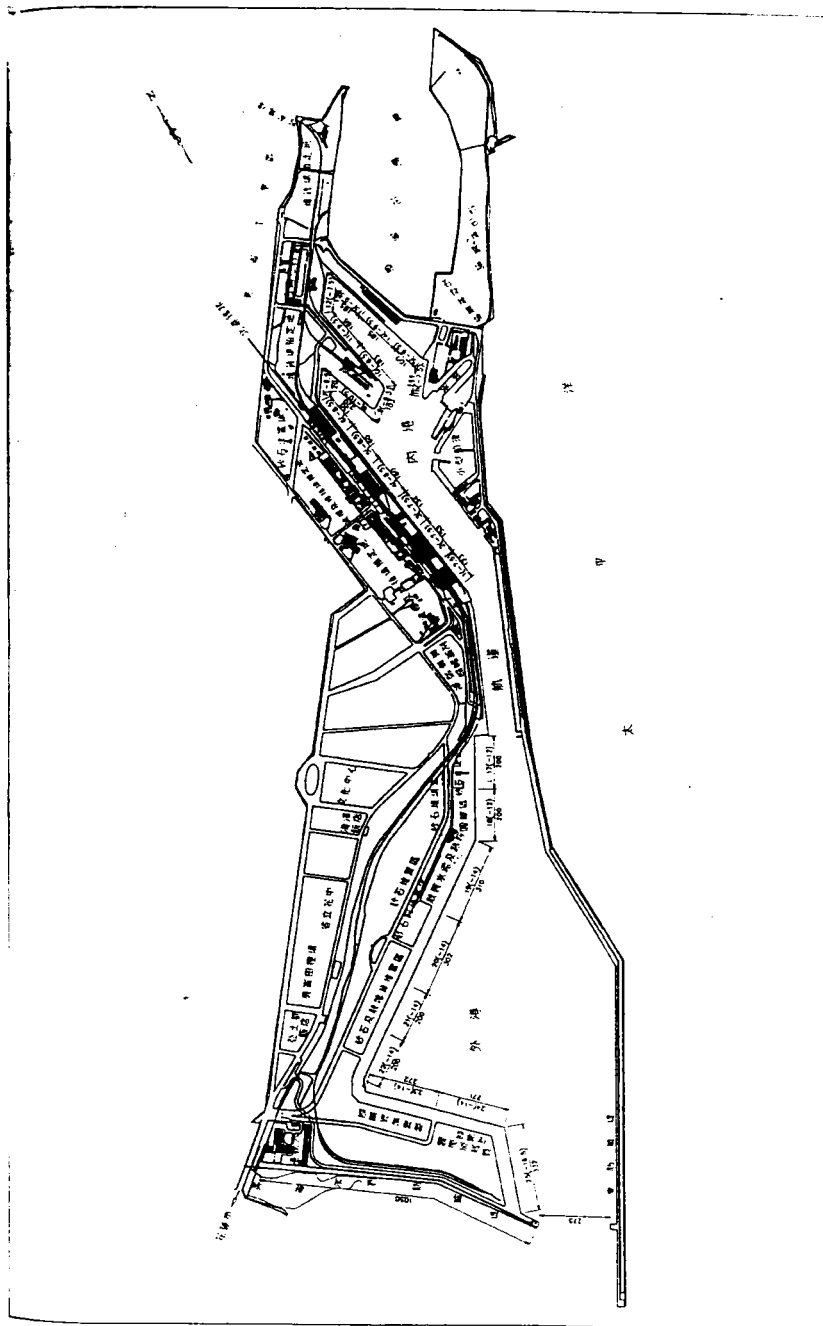


圖 4-4 波向定義



4-4-4 計算結果

針對以上各 Case 所算得側移(sway)，起伏(heave)，橫搖(roll)，縱搖(pitch)，平擺(yaw)等無因次繫纜船舶運動及各條繫纜拉力(Kgf)之時序列計算結果依序分別敘述如下。

1. case 1：

東北季風期間，花蓮港外港無因次繫纜船舶運動及各條繫纜拉力之時序列計算結果各如圖 4-6(a)-圖 4-6(e) 及圖 4-6(f)-圖 4-6(k) 所示。

2. case 2：

提姆颱風期間，花蓮港外港無因次繫纜船舶運動及各條繫纜拉力之時序列計算結果各如圖 4-7(a)-圖 4-7(e) 及圖 4-7(f)-圖 4-7(k) 所示。

3. case 3：

提姆颱風期間，花蓮港內港無因次繫纜船舶運動及各條繫纜拉力之時序列計算結果各如圖 4-8(a)-圖 4-8(e) 及圖 4-8(f)-圖 4-8(k) 所示。

無因次繫纜船舶運動各表示如下。

1. 無因次繫纜船舶 Sway 運動=船舶 Sway/波振幅
2. 無因次繫纜船舶 Heave 運動=船舶 Heave/波振幅
3. 無因次繫纜船舶 Roll 運動=船舶 Roll/波數/波振幅

綜合以上計算結果，可知提姆颱風期間，花蓮港內、外港繫纜船舶均有很大的 Heave 及 Pitch 簡諧運動，但東北季風期間則相對小很多。因此，颱風確實會造成花蓮港內、外港很大的繫纜船舶運動，相對地，其繫纜也受到很大的威脅。

本文繫纜船舶之運動及繫纜力，只考慮波浪之第一階振盪力 (Oscillation force)，並未考慮波浪之第二階漂浮力 (Drift force)、風、流以及護舷之影響。但由於波浪之第二階漂浮力、風、流以及護舷對繫纜船舶之運動及繫纜力均有不小之影響，因此，本計畫所用程式有待更進一步發展並擴充。

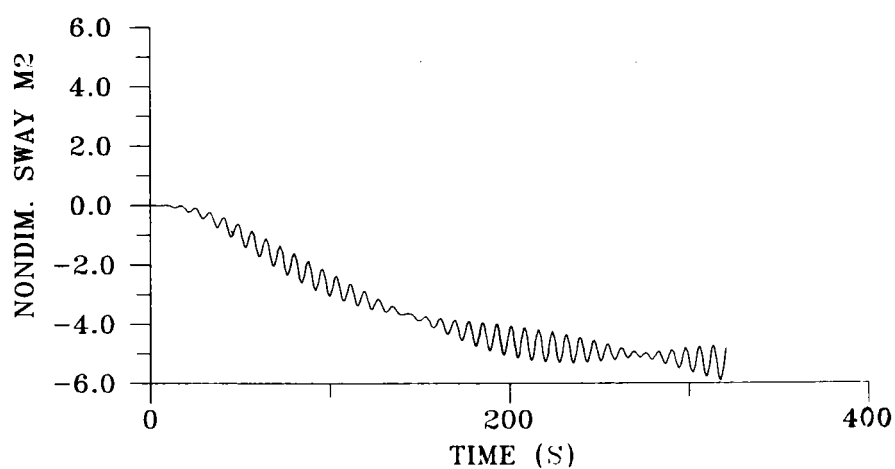


圖 4-6(a) 花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Sway)
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

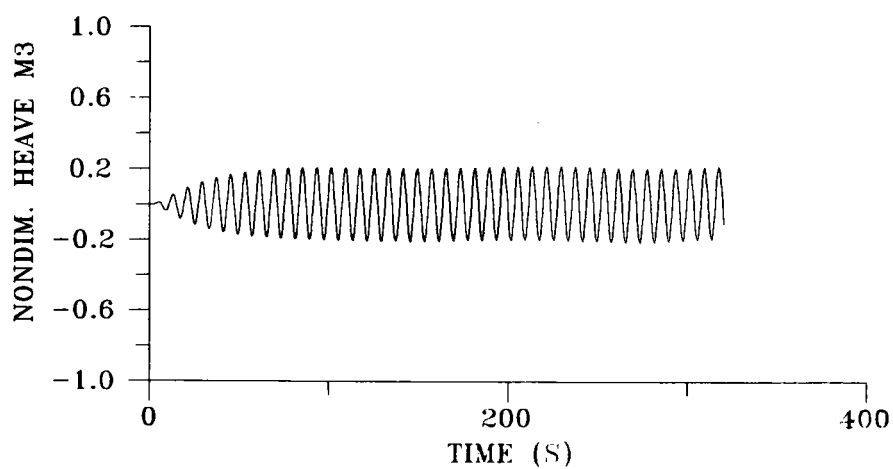


圖 4-6(b) 花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Heave)
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

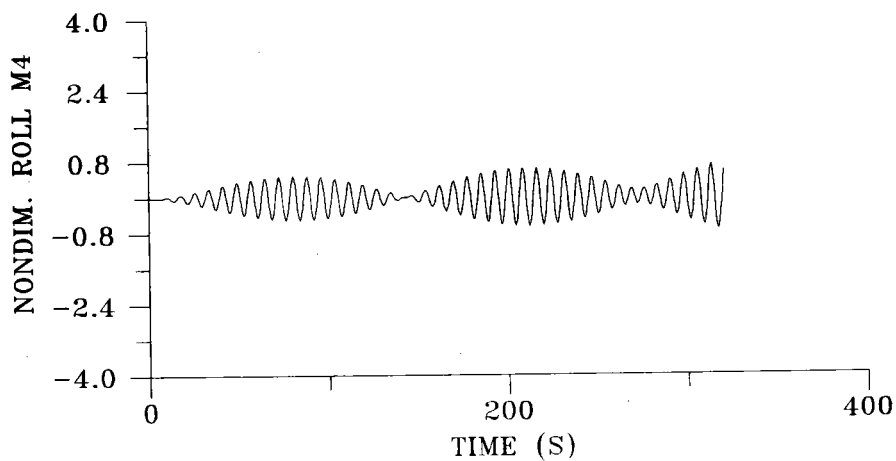


圖 4-6(c) 花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Roll)
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

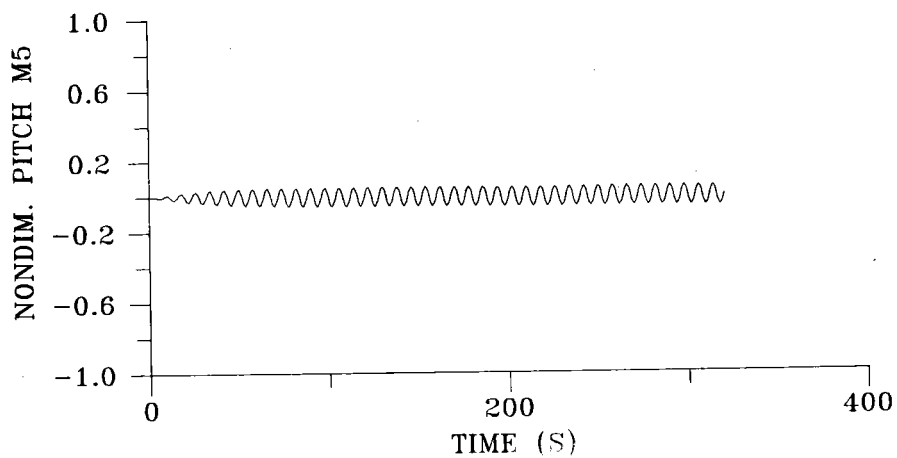


圖 4-6(d) 花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Pitch)
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

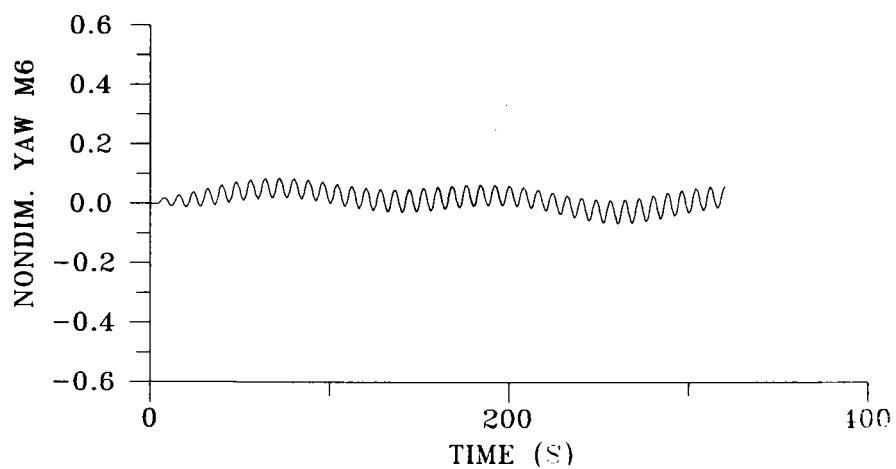


圖 4-6(e) 花蓮港外港東北季風期間繫纜船舶運動(Yaw)
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

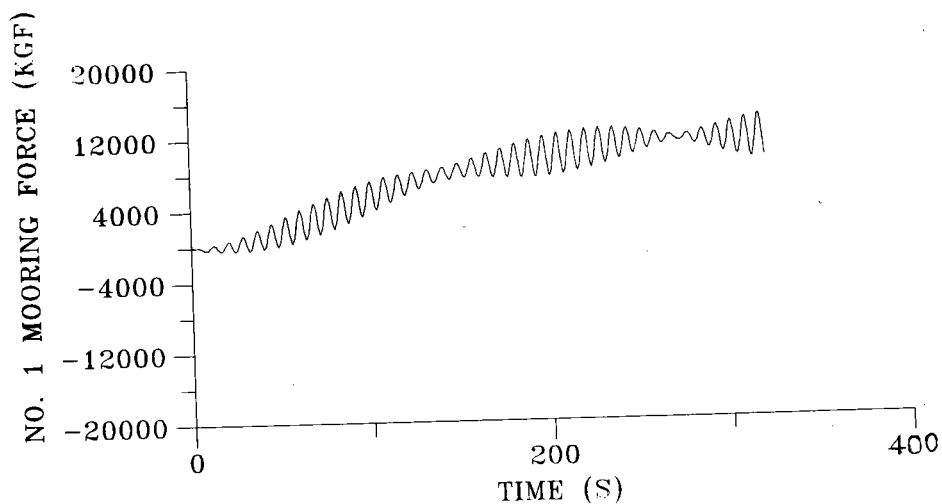


圖 4-6(f) 花蓮港外港東北季風期間繫纜線 1 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

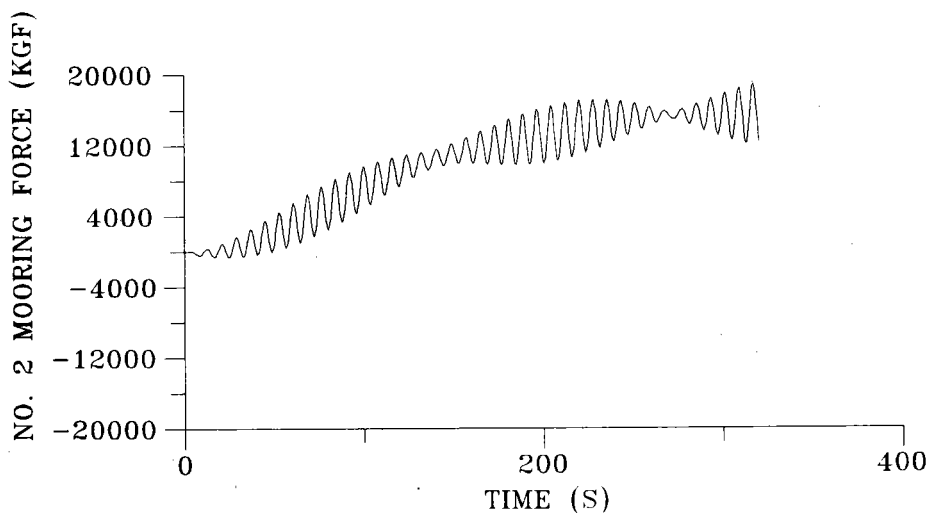


圖 4-6(g) 花蓮港外港東北季風期間繫纜線 2 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

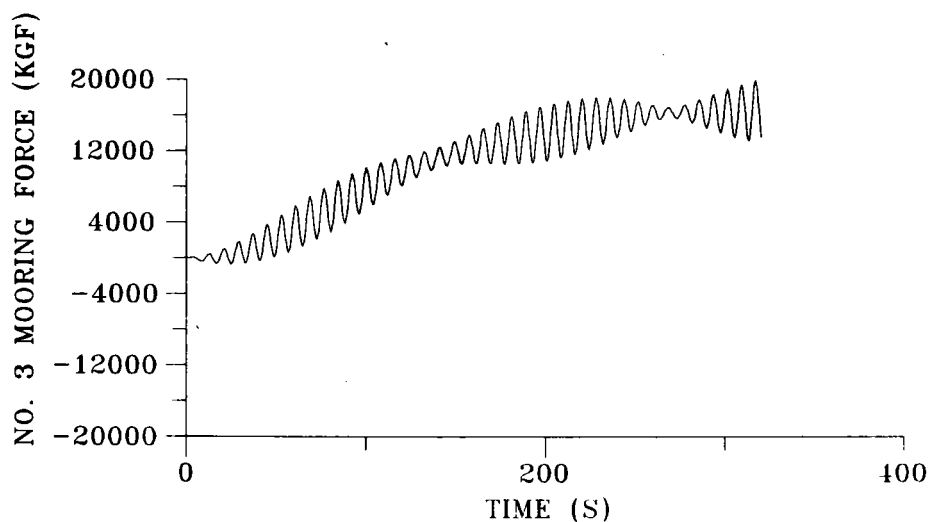


圖 4-6(h) 花蓮港外港東北季風期間繫纜線 3 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

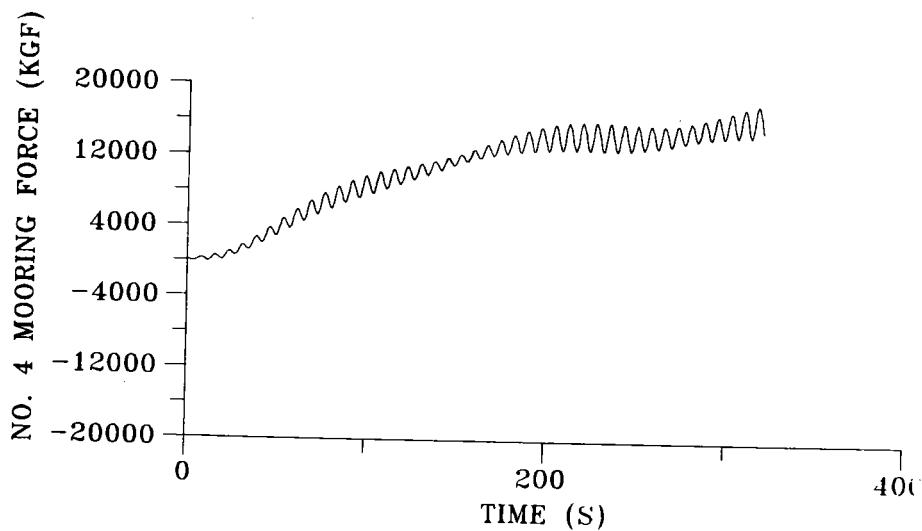


圖 4-6(i) 花蓮港外港東北季風期間繫纜線 4 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

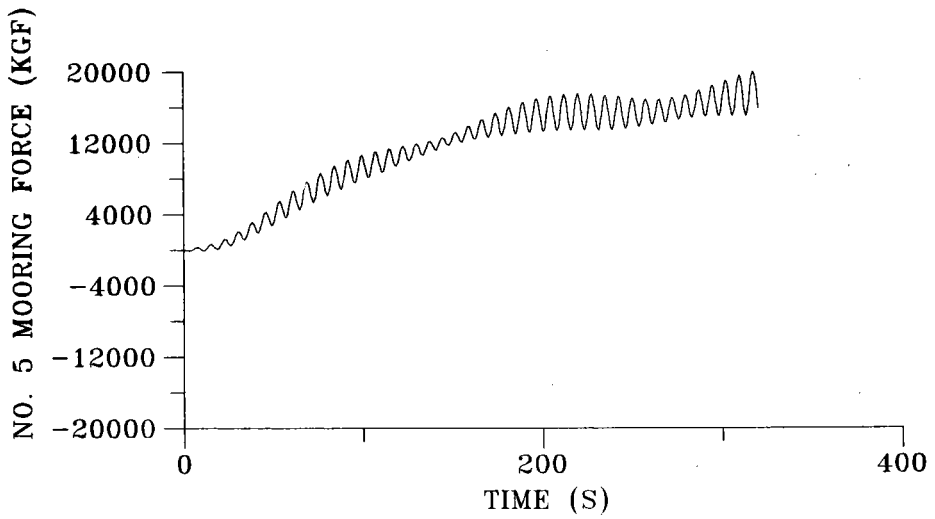


圖 4-6(j) 花蓮港外港東北季風期間繫纜線 5 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

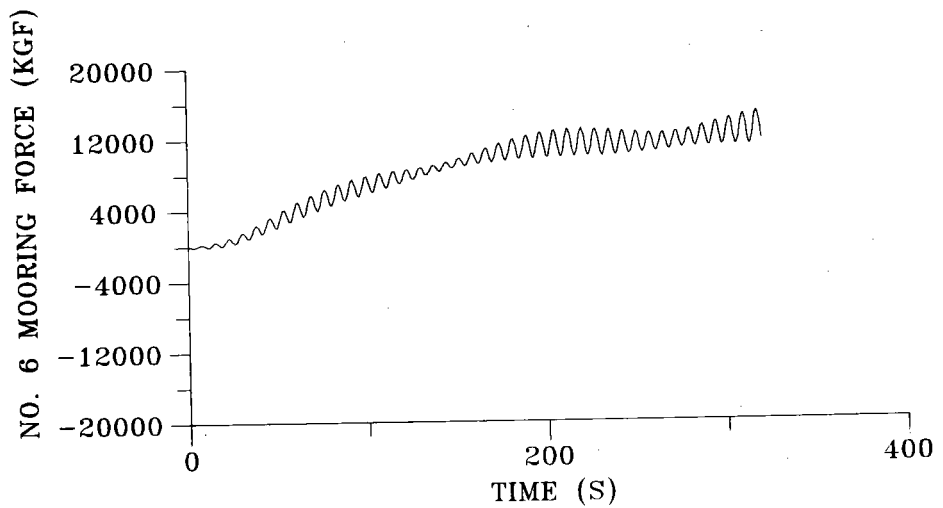


圖 4-6(k) 花蓮港外港東北季風期間繫纜線 6 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 0.5，波振幅 1m)

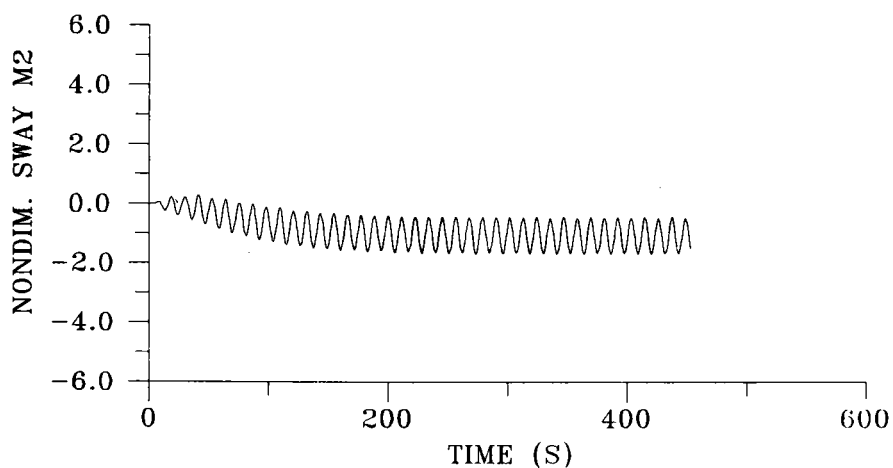


圖 4-7(a) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Sway)
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

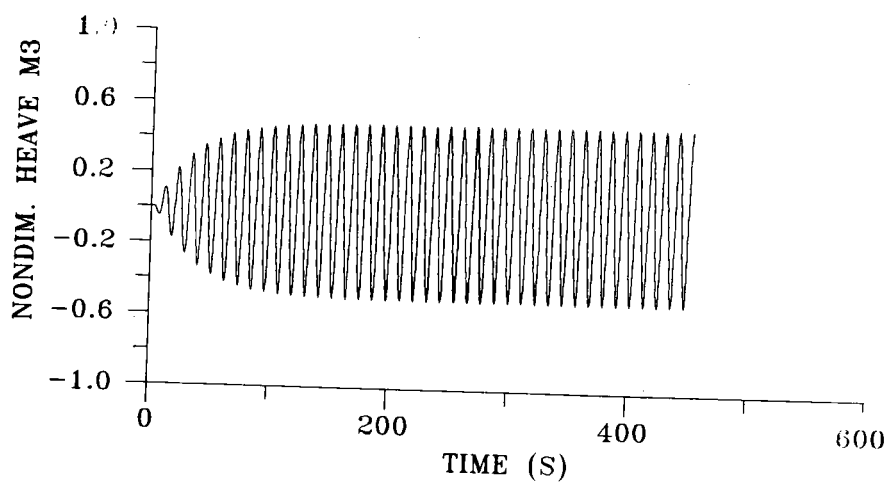


圖 4-7(b) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Heave)
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

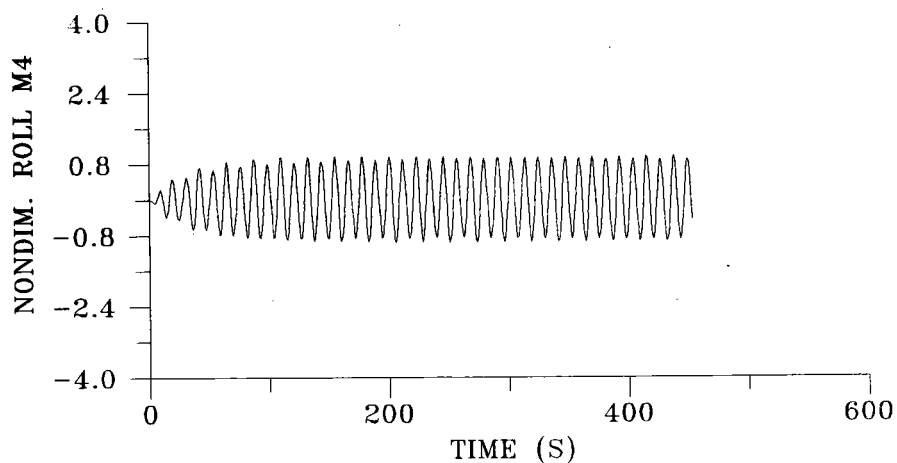


圖 4-7(c) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Roll)
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

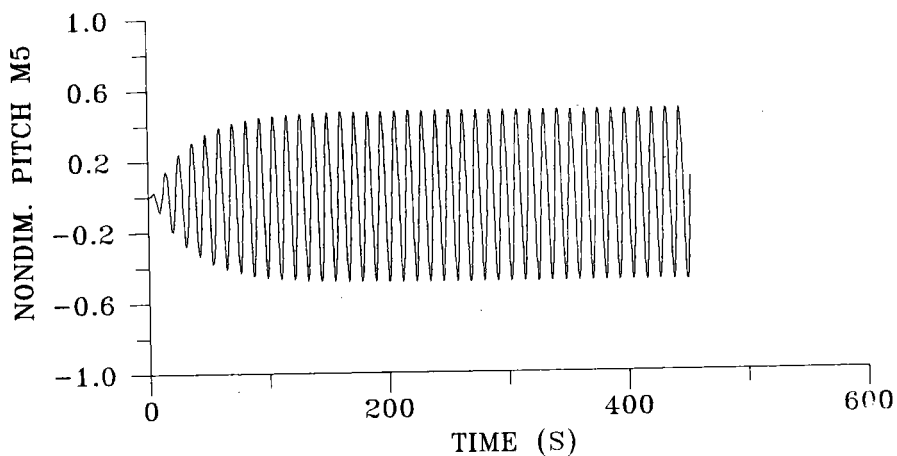


圖 4-7(d) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Pitch)
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

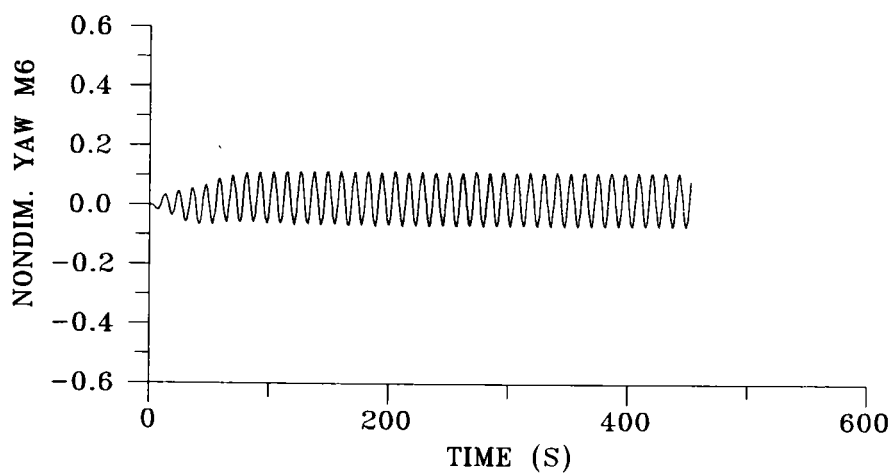


圖 4-7(e) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Yaw)
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

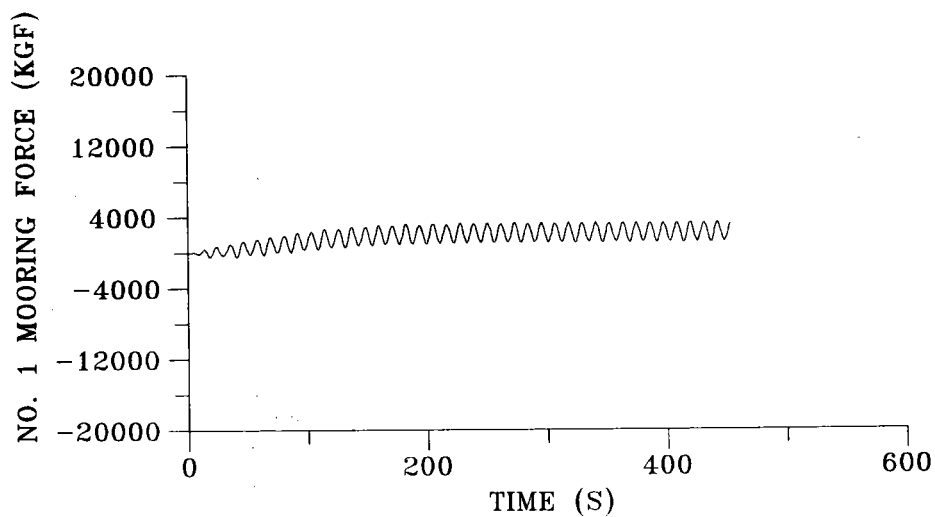


圖 4-7(f) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 1 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

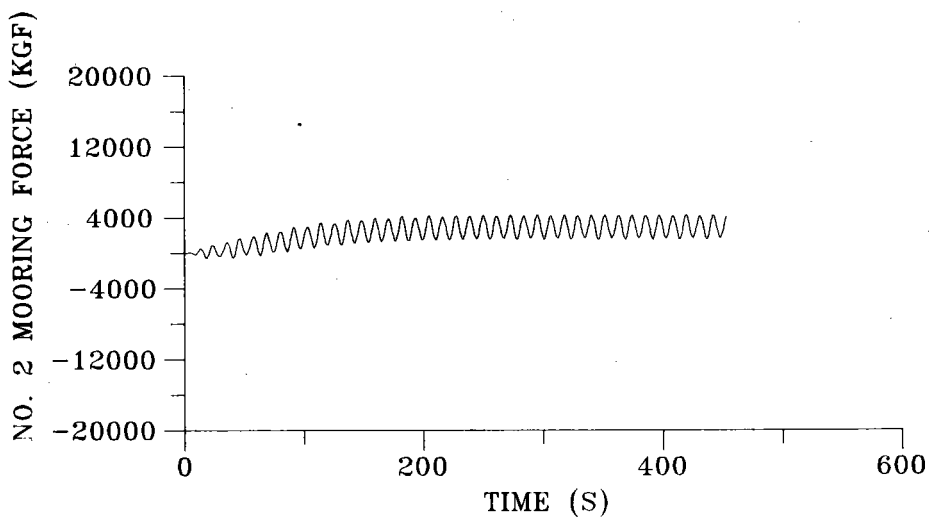


圖 4-7(g) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 2 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

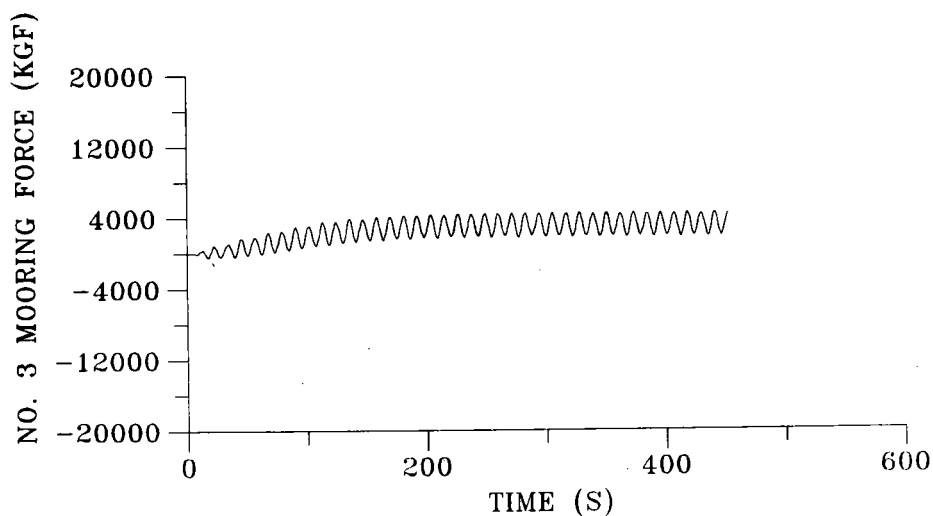


圖 4-7(h) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 3 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

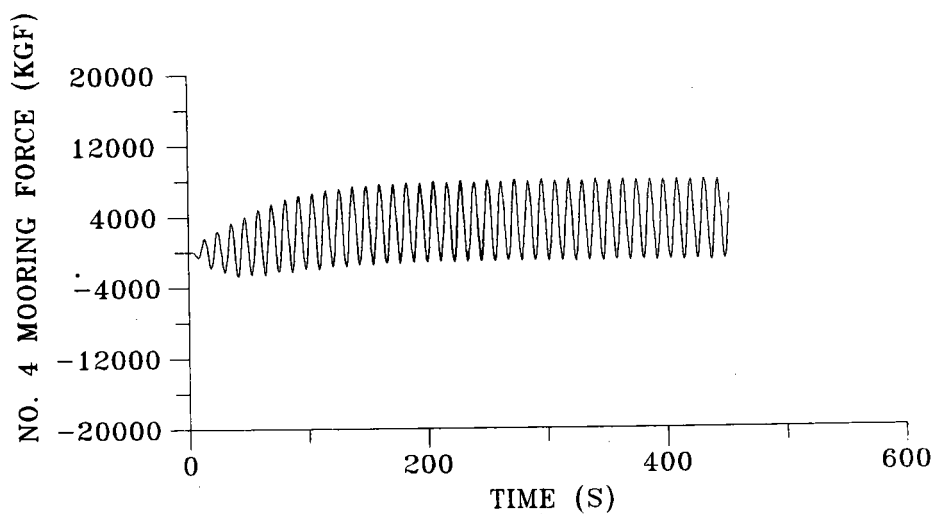


圖 4-7(i) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 4 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

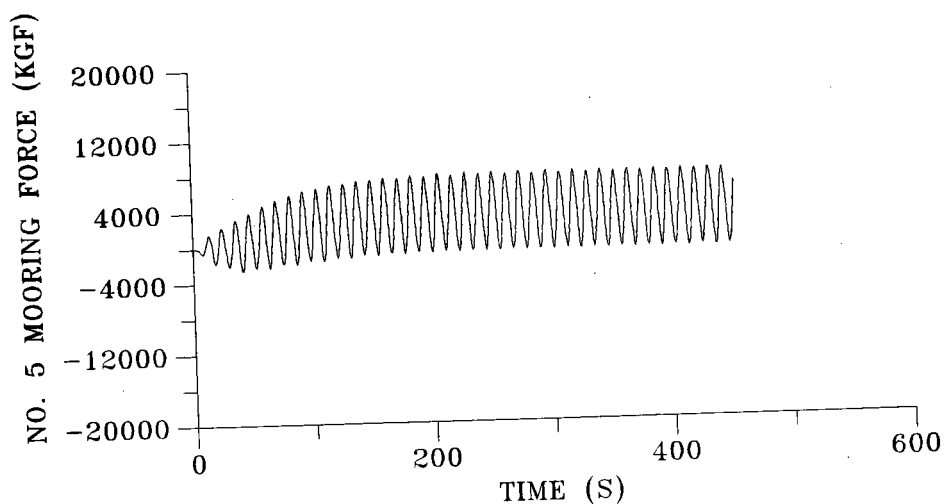


圖 4-7(j) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 5 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

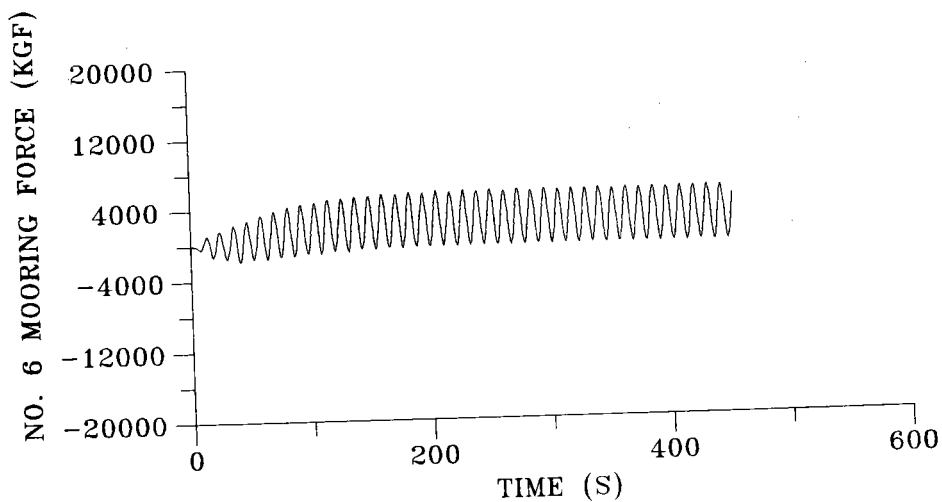


圖 4-7(k) 花蓮港外港提姆颱風期間繫纜線 6 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 1.0，波振幅 1m)

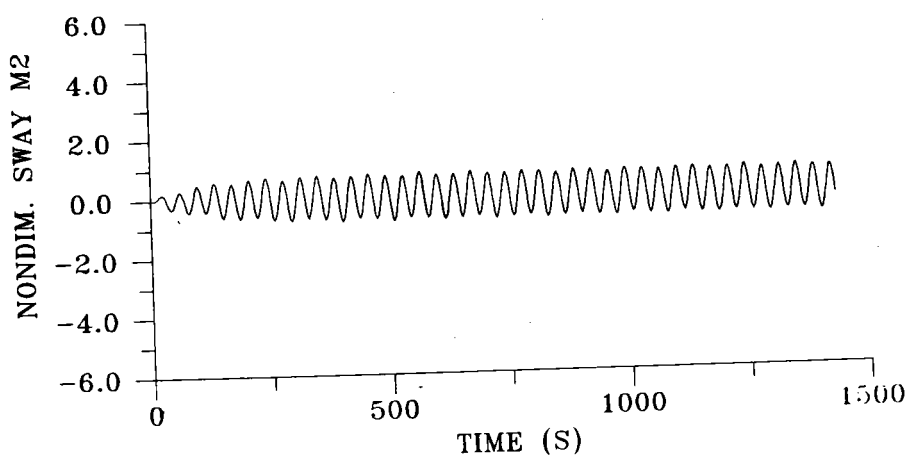


圖 4-8(a) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Sway)
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

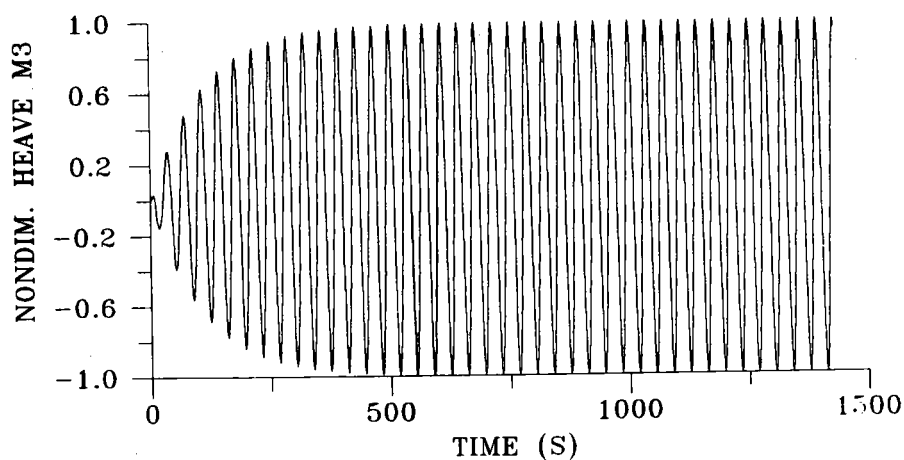


圖 4-8(b) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Heave)
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

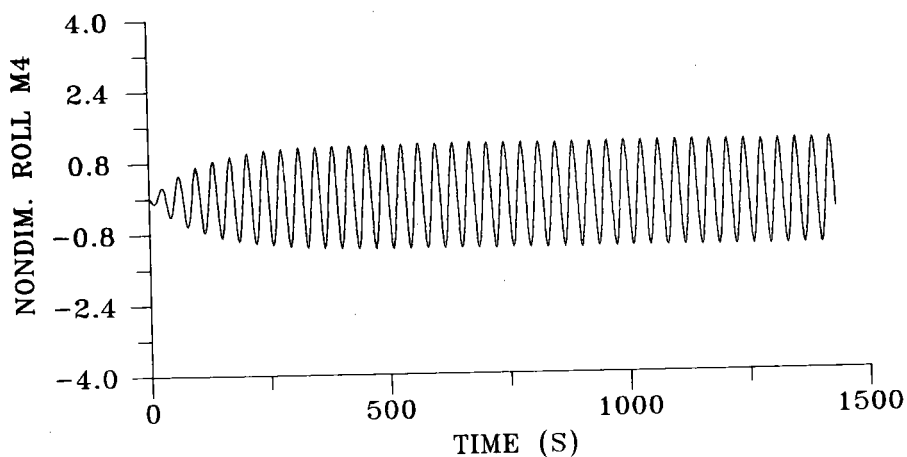


圖 4-8(c) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Roll)
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

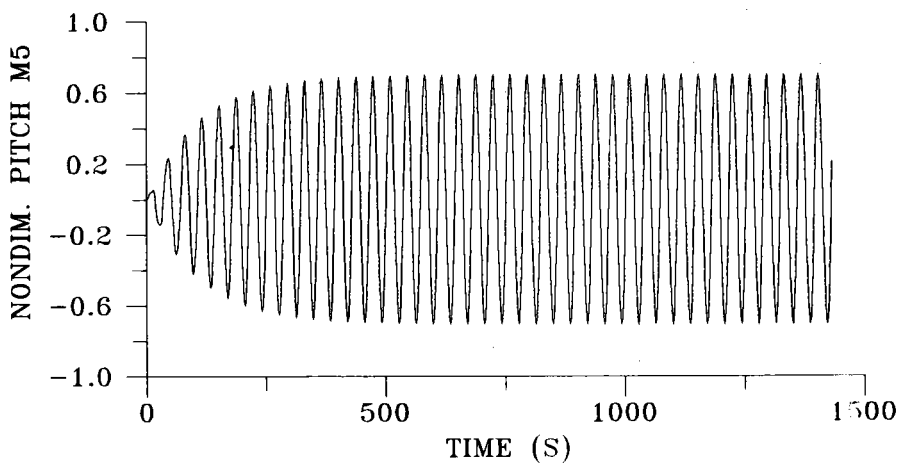


圖 4-8(d) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Pitch)
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

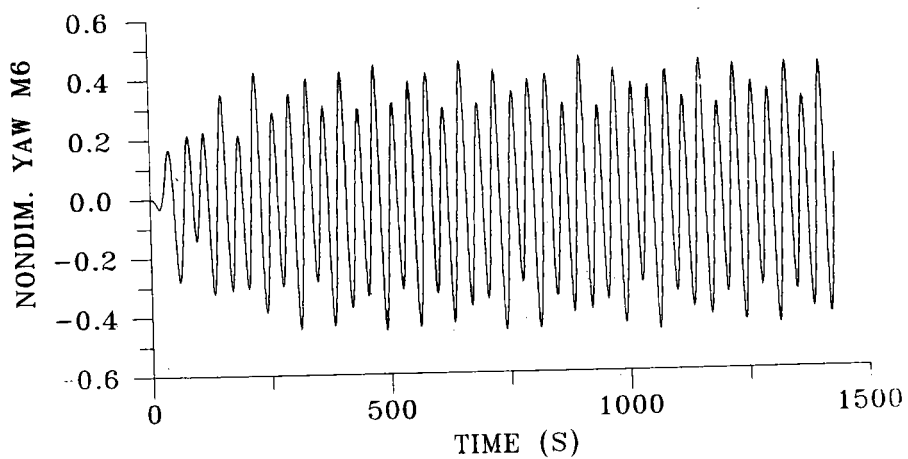


圖 4-8(e) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜船舶運動(Yaw)
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

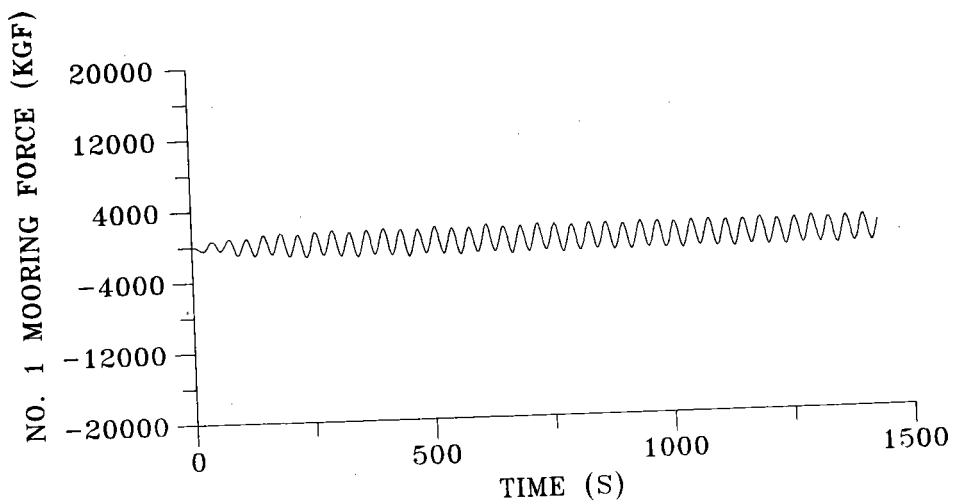


圖 4-8(f) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 1 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

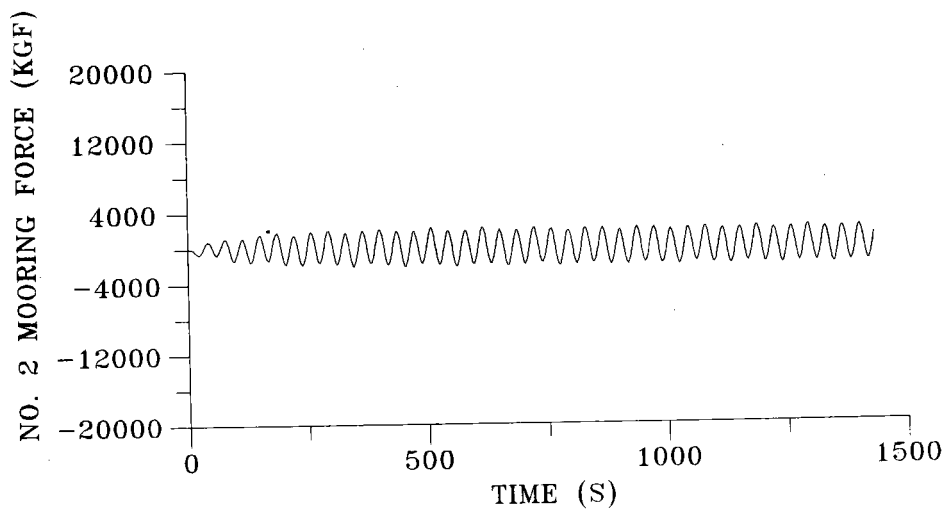


圖 4-8(g) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 2 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

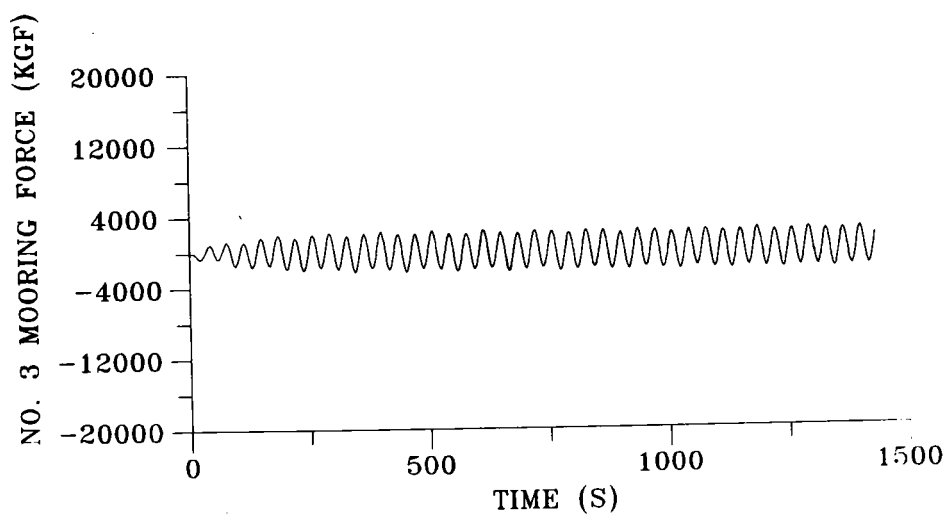


圖 4-8(h) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 3 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

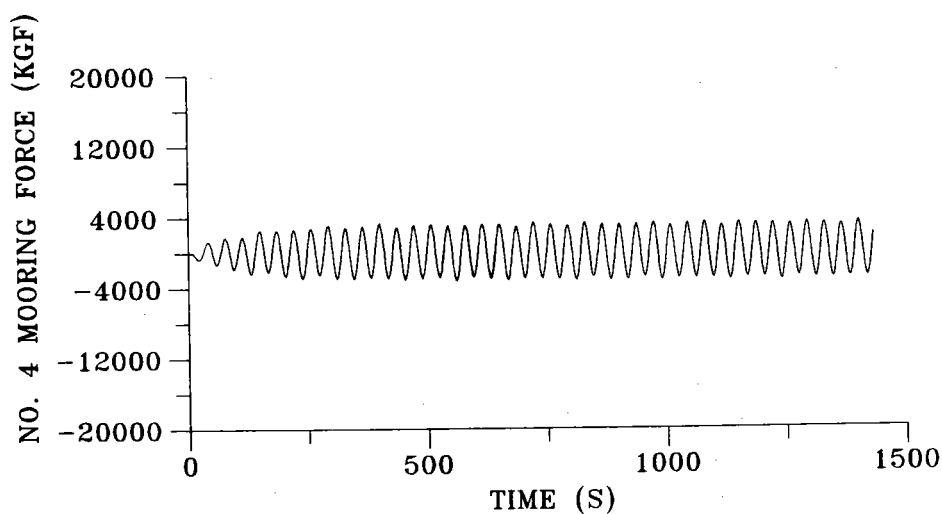


圖 4-8(i) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 4 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

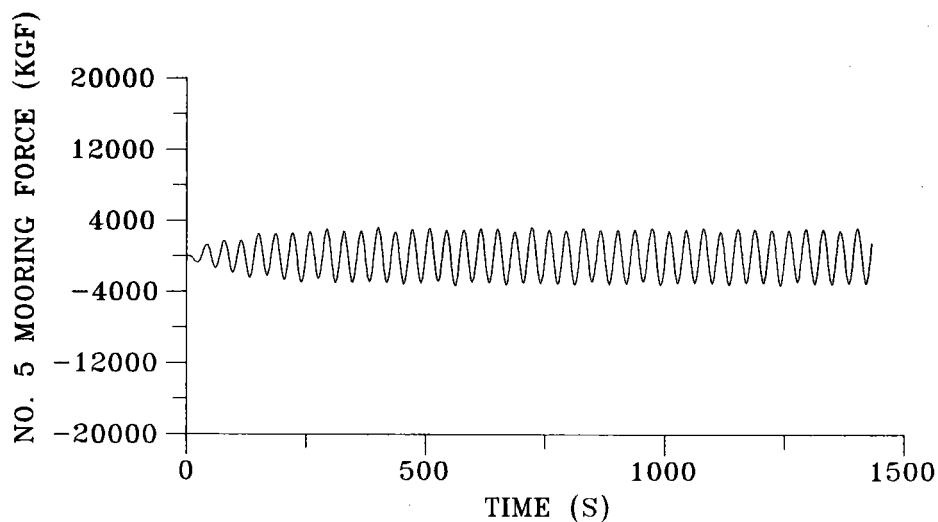


圖 4-8(j) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 5 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

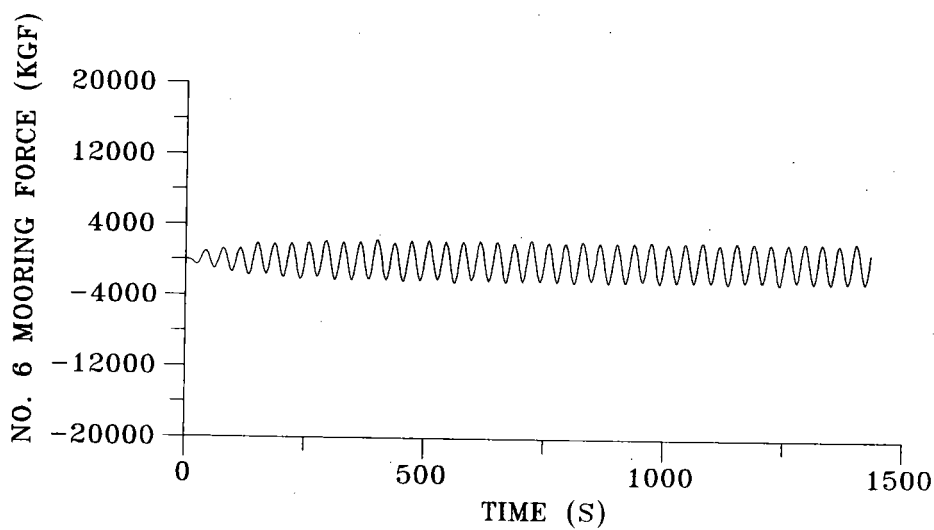


圖 4-8(k) 花蓮港內港提姆颱風期間繫纜線 6 之拉力
(入射波向 135 度，波長船長比為 10.0，波振幅 1m)

4-5 結論

由以上結果，可知颱風期間，花蓮港內、外港繫纜船舶均有很大的 Heave 及 Pitch 簡諧運動，但東北季風期間則相對小很多。因此，颱風確實會造成花蓮港內、外港很大的繫纜船舶運動，相對地，其繫纜也受到很大的威脅。

本文繫纜船舶之運動及繫纜力，只考慮波浪之第一階振盪力 (Oscillation force)，並未考慮波浪之第二階漂浮力 (Drift force)、風、流以及護舷之影響。但由於波浪之第二階漂浮力、風、流以及護舷對繫纜船舶之運動及繫纜力均有不小之影響，因此，本計畫所用程式有待更進一步發展並擴充，以供波浪預警系統之用。

第五章 結 論

應用花蓮附近海域颱風波浪推算模式，配合港內波浪自動擷取與分析系統以及船舶運動和繫纜受力之計算模式，建立一套可提供港內船隻碇泊及疏散作用的波浪預警系統模式，初步已獲致整合性的研究成效。綜合前各章的研究成果，可擷取以下數點結論：

- 一、利用類神經網路及非線性統計分析方法，有系統整理出花蓮港外自民國 79 年至 83 年間颱風波浪資料及相對應之颱風規模。
- 二、應用類神經網路方式，經過學習颱風波浪資料，可以更適切地推算花蓮港附近海域的颱風波浪。
- 三、應用非線性統計方法，目前尚未找出較相關性的經驗式，僅以線性迴歸找出適當推算波浪的方程式。
- 四、港內波高量測系統以及探討多重入反射下波高與波壓間轉換關係的理論解析已建構完成，經由現場量測資料和線性理論解析之比較，發現在多重入反射波合成的合成波，其波高與波壓間之關係，似乎無法有效以進行波理論做轉換。

五、應用非線性截片理論，再考慮船舶繫纜的恢復力所建立之船舶運動及繫纜力的分析模式，當颱風侵襲時，花蓮港內、外港區域繫纜船舶均有很大的 Heave 和 Pitch 之簡諧運動；但在冬季東北季風期間則相對小很多。

參考文獻

1. 梁乃匡，「颱風湧浪的預報方法」，第六屆海洋工程研討會論文集，第5-1~5-19頁(1982)。
2. 莊甲子，興基，周哲民，「台灣北部海岸風浪特性之研究」，第十四屆海洋工程研討會論文集，新竹，第92-106頁(1992)。
3. 湯麟武，「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」，成功大學土木水利學術彙刊第一期，第105~164頁(1970)。
4. 侯和雄，劉正宗，「台灣海峽風浪特性之研究」，第六屆海洋工程研討會論文集，第8-1~8-17頁(1982)。
5. 高治平，梁乃匡，「台灣北部海域波候研究」，第四屆海洋工程研討會論文集，第245~258頁(1980)。
6. Bishop, C. T., M. A. Donelan and K. K. Kahma, "Shore protection manual's wave prediction reviewed," Coastal Engineering, Vol.17, pp.41-48 (1992).
7. Bretschneider, C. L., "The generation and decay of wind waves in deep water," Transaction American Geophysical Union, Vol.33, No.3, pp.381-389 (1952).
8. Bretschneider, C. L. and E. E. Tamaye, "Hurricane wind and wave forecasting techniques," Proceedings of 15th Conference on Coastal Engineering, Hawaii, Vol.1, pp.202-237 (1976).
9. Ding, J., D. Song and R. Yang, "Further research on application of probability of the weighted moments in estimating parameters of the Pearson type three distribution," Journal of Hydrology, Vol.110, pp.239-257 (1989).
10. Harris, D. L. "Meteorological aspects of storm surge generation," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, No.HY7, paper1859, pp.25 (1958).
11. Helmholtz, H. V., "Über Atomosphärische Bewegungen," S. Ber. Preuss. Akad. Wiss., Berlin, Mathem-Physik, k1 (1888).
12. Liang, N. K., "A revised typhoon swell prediction method," Harbour Technology, Vol.4, pp.1-10 (1989).
13. Liu, Teh-Fu and Feng-Shi Ma, "Prediction of extreme wave heights and wind velocities," Journal of Waterways, Harbour, Coastal Engineering Division, ASCE, Vol.106(WW4), pp.469-479 (1980).

14. Muir, L. R. and A. H. El-Shaarawi, "On the calculation of extreme wave heights : a review, " Ocean Engineering, Vol.13, No.1, pp.93-118 (1986).
15. Pierson, W. J., G. Neumann and R. W. James, "Practical methods for observing and forecasting ocean wave by means of wave spectra and statistics, " U. S. Dept. of the Navy Hydrographic office Pull. No.603 , pp.284 (1955).
16. 邱逢琛、廖元進,
"高速船艦在斜波中之非線性運動", NTU-NAOE-Tech.Report 416, 1993。
17. 邱逢琛、廖元進,
"A Practical Method for Estimating Ship Motions of High-speed crafts in Oblique Waves", 日本造船學會論文集 174 號, 1993。
18. 邱逢琛, 蔣德普, 洪憲忠, 邱永芳,
"進出港操船及繫纜船舶運動計算系統之研究",
蘇澳港防波堤改善工程規劃第八子計劃,
港灣技術研究所研究專刊第 143 號, 1997。
19. "花蓮港整體規劃及未來發展計畫", 港灣技術研究所, 1996。
20. 簡仲璟, "台灣區域波浪統計特性比較研究",
中華民國第十七屆海洋工程研討會論文集, 1995。
21. 曾相茂, "花蓮港港灣設施改善計畫之研究-第一子計畫 現場海氣相調查", 港灣技術研究所研究專刊第 126 號, 1996。