

92-85-764  
MOTC-IOT-91-HA14

# 台灣地區國際港港灣水理 數值模式應用研究(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國九十二年六月

MOTC-IOT-91-HA14-02

# 台灣地區國際港港灣水理數值模式 應用研究(2/4)

— 港池共振與池形狀相關研究 —

著 者：陳冠宇

交通部運輸研究所

中華民國九十二年六月

台灣地區國際港港灣水理數值模式應用研究 (2/4)

著 者：簡仲璟、陳冠宇

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十二年六月

印 刷 者：全能辦公事務用品有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

## 交通部運輸研究所出版品摘要表

<b>出版品名稱：台灣地區國際港灣水理數值模式應用研究（2/4）</b>			
<b>國際標準書號（或叢刊號）</b>	<b>政府出版品統一編號</b> 1009202116	<b>運輸研究所出版品編號</b> 92-85-764	<b>計畫編號</b> 91-HA14
<b>主辦單位：</b> 港灣技術研究中心 <b>主管：</b> 邱永芳 <b>計畫主持人：</b> 簡仲璟、陳冠宇 <b>研究人員：</b> 張金機、蘇青和、曾相茂 <b>聯絡電話：</b> 04-26587131、04-26587191 <b>傳真號碼：</b> 04-26564415			<b>研究期間</b>  自 91 年 01 月 至 91 年 12 月
<b>關鍵詞：颱風、群波、花蓮港、港池共振、亞重力波、邊緣波</b>			
<b>摘要：</b> 本報告包含兩個研究子計畫（1）颱風波浪之群波特性和（2）邊緣波引致花蓮港港池共振之研究。			
<p><b>（1）颱風波浪之群波特性和</b></p> <p>本研究介紹包絡線理論和平滑化瞬時波能歷程等二種研究波群的方法及其描述波浪群性的主要參數，並以花蓮港港內與港外實測之颱風波浪資料，利用群波高度參數分析比較其群波特性和進一步探討群波參數間的差異性。結果顯示颱風波浪的群性大小與波高及週期無關，波高大或週期長時群波現象不一定較明顯，有時小波高或短週期也會出現明顯的群波現象。此外，除 GHR 及 GFH 參數外，各群波參數於港外測站有較佳的相關性，港內測站則較差。在本研究之資料分析中 GHR 及 GFH 線性相關性非常明顯，可以近似依 <math>GHR=0.886GFH</math> 表示。</p> <p><b>（2）邊緣波引致花蓮港港池共振之研究</b></p> <p>關於花蓮港港池共振的問題，現有文獻則顯示二維的亞重力波不足以造成港池的不穩靜。另一方面，由於三維的亞重力波(邊緣波)存在的可能性甚高，因此本研究在回顧相關的研究後，針對 160 秒及 140 秒的邊緣波進行數值模擬。由於這兩者的特性均與現場的實測資料相符，大大提高了本研究指出邊緣波係花蓮港港池共振之主要原因的合理性。</p>			
<b>出版日期</b>	<b>頁數</b>	<b>定價</b>	<b>本出版品取得方式</b>
92 年 6 月	156	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<b>機密等級：</b> 限閱    機密    極機密    絕對機密 （解密【限】條件： 年    月    日解密，    公布後解密，    附件抽存後解密， 工作完成或會議終了時解密，    另行檢討後辦理解密） 普通			
<b>備註：</b> 本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE: Mathematical Hydraulic Models and Their Applications to Taiwan Harbors ( 2/4 )</b>			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009202116	IOT SERIAL NUMBER 92-85-764	PROJECT NUMBER 91-HA14
DIVISION: CENTER OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY DIVISION CHIEF: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-Ching Chien, Guan-Yu Chen PROJECT STAFF: Chien-Kee Chang, C.-H. Su, H.-M. Tzeng PHONE: 886-4-26587131, 886-4-26587191 FAX: 886-4-26564415			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2002 TO Dec. 2002
KEY WORDS: Typhoon, Wave groups, Hwa-Lien harbor, Harbor resonance, Infragravity wave, Edge wave			
<b>ABSTRACT:</b> This report comprises two sub-projects : ( 1 ) Characteristics of Typhoon Wave Groups ( 2 ) Wave Groups and Their Application to Coastal Freak Waves  ( 1 ) Characteristics of Typhoon Wave Groups  In this study, two methods for studying wave groups and their main parameters for describing wave groupiness were reviewed. Then they were analyzed and compared on the basis of field typhoon wave data at Hwa-Lien outer and inner harbor from aspect of group height parameter. The results showed that the groupiness parameters have no relationship with the wave height and the wave period. It means that the wave group phenomenon may be not well marked when the wave height or the wave period is bigger. However, there is a probability that the wave group might appear when the wave height or period is smaller. Furthermore, the interrelationship of groupiness parameters, which are better at outer harbor wave station than at inner harbors, except for GHR and GFH parameter. There is a linear correlation between GHR and GFH at both outer and inner harbor wave stations, which can be approximated by $GHR=0.886GFH$ .  ( 2 ) Wave Groups and Their Application to Coastal Freak Waves  A survey of the literature suggests that the 2-D infragravity waves are too small for Hua-Lien Harbor resonance, while the 3-D infragravity waves trapped along the coastline, also known as edge waves, are more likely to exist. Based on previous measurements, the response of Hua-Lien Harbor is best-simulated using edge waves of 160 and 140-second periods. The features are both consistent with the field measurement. Therefore, it is very possible that edge waves are the cause for the resonance of Hua-Lien Harbor.			
DATE OF PUBLICATION June 2003	NUMBER OF PAGES 156	PRICE 200	CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

## 目錄

第一章 簡 介 .....	1
第二章 邊緣波存在於花蓮港外的其他證據 .....	5
第三章 邊緣波的數值模擬探討 .....	7
第四章 邊緣波對花蓮港的影響模擬 .....	9
第五章 討論 .....	11
第六章 結論 .....	15
誌謝 .....	15
參考文獻 .....	31

## 圖目錄

圖一 兩個封閉反射面間的共振 .....	16
圖二 波浪由開放邊界傳入港池 .....	16
圖三 花蓮港模型試驗顯示的邊緣波.....	17
圖四 現場目擊觀察到的橫向振態 .....	17
圖五 花蓮港南側海岸近年來陸續建設的一系列離岸堤 .....	18
圖六 如模型試驗般以平面波入射之數值模式直接產生邊緣波現象 .	18
圖七 以平面波入射之數值模式中，一凸堤放置於外港區.....	19
圖八 沿海岸之波數可由海面水位獲得 .....	20
圖九 邊緣波之頻散關係 .....	21
圖十 邊緣波入射條件 .....	22
圖十一 週期 140 秒的邊緣波造成的橫方向共振現象.....	23
圖十二 週期 140 秒的邊緣波向花蓮港傳播，一凸堤放置於外港區 .	23
圖十三 週期 140 秒的二維平面波所造成的港內水體運動情形 .....	24
圖十四 週期為 160 秒的邊緣波造成的縱方向共振現象.....	24
圖十五 週期 160 秒的邊緣波向花蓮港傳播，一凸堤放置於外港區 .	25
圖十六 提姆颱風(Tim,1994 年 7 月)五個不同時段的實測頻譜 .....	26
圖十七 花蓮港波浪測站位置.....	27
圖十八 週期 140 秒的假想平面波引致的港池共振現象.....	28

圖十九 週期 140 秒的假想平面波由海岸向東傳播，一凸堤置於振盪方向中間.....	28
圖二十 簡(1997)的實驗中內港的共振現象.....	29



# 第一章 簡 介

## 1.1 港池共振簡介

眾所週知，當一振動系統的質點速度與週期性外力同相(in phase)時外力將對系統作功；對一線性的單一質點振動系統，此外力對振動會產生加強作用，使能量在系統裏一直累積。此時系統的振幅比受到非週期性外力時要大得多；這種大幅振盪的現象就稱為共振，振幅放大的比率則為放大倍率。單一質點系統發生共振的頻率只有一個，但是當系統包含兩個以上的質點時，就存在兩個以上的共振頻率。系統的每個質點對應於不同共振頻率下的放大倍率都不相同，這種與頻率相對應的振幅分佈稱為振態(mode)。

港池內水體受到入射波浪的激盪而振動；當入射波浪的頻率與共振頻率一致時，港池發生共振，使港內不穩靜。以花蓮港港池共振問題為例：花蓮港為台灣五大國際港之一，肩負東台灣主要貨物運輸的重任。但是常年以來，該港營運即深受颱風波浪引致港池共振之影響，而且常常當颱風暴風圈還遠在菲律賓東方海域附近，颱風波浪就已造成港口內水域不穩靜，導致船隻無法停泊的情況。

常見的港池共振振態有兩種(參見陳，2000)，一為兩個封閉邊界上之重複反射，一為一封閉邊界與一開放邊界上之重複反射；以下先就封閉反射邊界與開放反射邊界上之反射加以說明：

### (a)封閉反射邊界上之反射(參見圖 1)

當波浪在封閉反射邊界上反射，反射波可視為由反射面的"內部"往外傳播的波浪。此一封閉反射面為直立的不透水牆，因此入射波與反射波的和將使水粒子質點在反射面處只能作上下運動，而不能有水平的運動。要滿足此一條件，入射波與反射波必須相對於反射面互相對稱，如此水粒子的水平運動才能互相抵消。基於入射波與反射波的對稱性，兩者的振幅完

全相等。因此，對一理想的反射面，入射波會完全反射。而假想的由反射面內部向外傳的反射波，其波峰或波谷將與入射波的波峰或波谷同時到達反射面；反射波的相位即可藉此求得。駐波之流速示意參見圖二十八。

#### (b)開放反射邊界上之反射(參見圖 2)

當波浪在開放反射邊界上反射，其情況則稍有不同。如同封閉邊界的情況，我們將反射波視為由反射面的"內部"，亦即大海處往港池傳播的波浪。由於開放邊界鄰接的大海遠寬於反覆反射的港池，不會因港池傳來的波浪而引發振動，因此開放邊界的附近必存在一不會上下振動的節線。入射波與反射波的和將使此一節線處只有水平運動，亦即入、反射波的波高在此將互相抵消。要滿足此一條件，這兩種波必須相對於節線是反對稱才行。也就是說，當入射波的波峰或波谷到達節線時，反射波的波谷或波峰也必須同時到達；反射波的相位即可藉此求得。

## 1.2 花蓮港共振問題探討的回顧

為了解港池共振的現象並據以提出改善方案，港灣學者曾陸續對花蓮港進行許多研究。由於數值模擬方法在港池共振發展已趨成熟，所需成本相對較少，又能掌握整體的振盪特性，因此以數值方法進行的研究最多。目前為止已有 J. J. Lee (邊界元素法)，蘇青和等(邊界元素法與有限元素法，1996；另參見陳，2000)，張憲國等(有限元素法，1999)以及莊文傑等(有限差分法，2000)共進行四次的數值模擬。

這些模擬採用的模擬範圍都不相同:越是後來的研究其計算範圍越大。但是所有這些模擬都採用線性的波浪模式，也都採用平面波的方式入射。由於模式的線性特性，入射波浪的絕對波高並不影響計算結果，不同頻率組成的入射波浪也可分解成不同單一頻率波浪的和。因此這些研究大多是假設一單一頻率且振幅固定的入射波浪條件進行計算，計算結果與入射振幅的比則是港池內各點的放大倍率。藉由某些頻率範圍內採取有限個固定頻率分別計算，則可得到港池的反應頻譜(response spectra)。事實上，蘇等、張等、與莊等所得的反應頻譜都顯示了類似的花蓮港港池共振頻率；

亦即只要港外入射波浪符合這些頻率，共振現象即可能發生。

由於花蓮港發生較大放大倍率的頻率都在一分鐘以上(即亞重力波範疇)，因此以上這些數值模擬對港外波浪大都預設是雙峰型頻譜；即主要頻譜高峰的頻率較低(十秒左右)，而另有一較低頻率的高峰則屬於亞重力波(0.004Hz - 0.04Hz)。後者雖然港外振幅較低，但是在港內藉由共振放大卻成為引致港池不穩靜的主要因素(參見張與曾，1993)。這一點在港研中心的實測資料中可以得到證實(參見簡與曾，1998)。且日本港灣研究所由海岸延伸至水深二十餘米處的一系列波高計量測得到的亞重力波資料，也說明了亞重力波在碎波帶內普遍存在的事實(參見蔡，2000；莊等，2000)。

然而，此存在港外的亞重力波是否可以一二維平面波來表示則尚有商榷的餘地。誠然，對一線性系統，任意波動可藉傅立葉分析展開成所有可能方向與頻率的平面波之積分。但是在港池振盪的模擬時，除非我們對每一頻率考慮所有的入射方向，否則還是無法包含所有可能的入射波條件。以前面提到的各次模擬來說，即未針對每一個入射方向作全面的探討，因此所模擬的結果嚴格來講並不能完全代表花蓮港的振動特性。

但是由於港池共振可能的頻率範圍已包含相當多的頻率，若要再對每一入射方向作計算，實務上並不可能。更何況實際的共振狀態可能是兩個以上入射方向與頻率所造成，因此要瞭解其特性必須先對港外亞重力波的特性有一定的瞭解才行。

現有的波浪觀測資料一致顯示亞重力波無法形成於外海的風浪場(參見 Elgar et al., 1992)，因此只與近岸的作用有關--不是在短波群傳播到花蓮港近岸時所直接引致，就是在其它地區的海岸產生再反射到花蓮附近。後者因為花蓮外海並無島嶼反射南方來的颱風波浪，其發生的可能性較低，因此以下先就在近岸直接形成的亞重力波來進行探討。

### 1.3 亞重力波之特性與發生機制

亞重力波的形成，理論上大致可以分為兩類，即二維理論與三維理論。前者(二維理論)假設形成的亞重力波為二維平面波，又可分為由地形反射波群造成以及由波群碎波造成的兩種。徐(1994, 1995)以花蓮港外簡化後的地形進行推估，認為二維的亞重力波(自由長波)可能只有一公分，甚至更小；因此二維平面波恐怕不適合作花蓮港的入射外力。

三維的亞重力波即為所謂邊緣波。針對其發生機制，Gallagher(1971)、Foda & Mei(1981)、以及 Schaffer(1994)等人曾分別以非線性共振與波群碎波等原因嘗試建立理論來解釋。經由這些理論機制使颱風波浪的能量傳遞到較長的週期(亞重力波)範疇。此長波能量截留(trapped)在海岸附近並沿海岸向北傳播，經過漫長的海岸線而到達花蓮港外海。在傳播過程中，此邊緣波接受颱風波浪透過以上的機制傳遞的能量而不斷地加強。其間雖然可能因地形的影響而有部分能量滲漏到外海成為滲漏波(leaking mode)，但整體來說邊緣波的能量是呈一成長的狀態。此外，國外廣泛的研究證實亞重力波主要成分為邊緣波與滲漏波(參見 Holman et al.,1984；Oltman-Shay and Guza, 1987；Howd et al.,1991；Elgar et al.,1992；Schaffer,1994)；滲漏波因為花蓮外海並無島嶼反射南方來的颱風波浪，多已逸散至深海，與花蓮港港池共振無關。基於以上原因，港外亞重力波以邊緣波的形態出現(三維理論)，應該較二維平面波的形態要合理。因此本研究將針對邊緣波對花蓮港港池共振的影響進行進一步的探討。

## 第二章 邊緣波存在於花蓮港外的其他證據

一般港灣的開口大多正對著大海，港灣工程師在考慮港池共振問題時也都以外海傳來的平面波作為水面振動的外力項。然而也有部分港灣的開口方向並不朝著大海，而是與海岸線平行；花蓮港就是一個例子。對於這樣的港口配置，以平面波作為入射波浪的唯一來源仍有可以商榷的地方。事實上，目前已有的各種證據顯示邊緣波(edge wave)可能是這類港口港池共振的重要外力來源。

以花蓮港為例，邊緣波的證據可以分為以下三方面。首先，實驗室的花蓮港模型試驗顯示港口南邊外側的波動類似由南向北傳的邊緣波(圖 3；簡，1997)。

其次，現場目擊(參見圖 4)與實驗室觀察到的振動狀態都顯示在花蓮港外港區存在橫向的振態，而且實驗時當一凸堤放置於此振盪方向中間的 24 號碼頭東側，則共振現象就會被破壞；因此主要振態十分明顯是東西向。但是類似的振態與由南方入射的平面波入射造成的振態不同。由於已知花蓮港發生共振都是發生在颱風由南側向北移動時，共振若非由南向北的平面波所引起，應該就是由南向北的邊緣波所導致。

最後，根據平面波的港池共振理論，入射波浪由外海傳入港內，不會受到港外海岸條件的直接影響；唯一可能影響共振的海岸因素只有外海波浪在海岸的反射。花蓮港南側海岸原是沙灘，近幾年來則陸續建設一系列的離岸堤以保護海灘(參見圖 5)。這些改變對沙灘反射率的影響看似微不足道，但對共振的影響卻十分顯著--使共振發生時間較之前類似情況下延遲了一至二小時。這一看似難解的現象如果以邊緣波作為入射外力來解釋卻是相當合理：邊緣波的振幅集中在海岸線附近，能量最容易受離岸堤之類的海岸結構物所消滅；入射能量減少的結果，在港池內要造成大的動盪自然需要更多時間累積。

## 第三章 邊緣波的數值模擬探討

### 3.1 在數值計算時應以平面波抑或是邊緣波作為邊界條件？

簡(1997)的實驗顯示平面波即可造成沿著海岸傳播的邊緣波；因此學者或許會質疑為何不直接以平面波來製造邊緣波？

事實上，使數值模式如模型試驗般製造出邊緣波正是驗證數值模式的絕佳方法，而我們也正朝這個方向努力。目前已成功地以平面波入射來直接產生邊緣波現象(參見圖 6)，而且當一凸堤放置於外港區振盪方向中間的 24 號碼頭東側時，則共振現象就會被破壞(參見圖 7)；此點也和模型試驗相符。

然而如前所述，港外平面亞重力波的大小可能並不足以造成港內不穩靜；如果以邊緣波來計算應該更符合實際狀況。從模型試驗得知當地地形可很容易地產生邊緣波，但是限於模型尺度問題，對尚未靠近花蓮港外即已形成的邊緣波並無法模擬。而數值模式則不論引致港池共振的亞重力邊緣波是在尚未靠近花蓮港外即已形成，抑或是在接近港外才形成都能加以考慮。

### 3.2 邊緣波的數值模擬

波浪數值模式的研究與發展，常常是先設定其目的係為解決某一類的波浪問題；因此若是原始設定與欲解決的問題不盡相同時，模式往往必須經過重大的修改，甚至必須另外發展新的模式。

以邊緣波的模擬而言，先前模擬花蓮港所使用的模式在此全部不能適用。其中邊界元素法與有限元素法都把平面波入射的條件以解析的形式放入邊界，因此除非建立新的理論，否則不可能模擬邊緣波。莊等(2000)使用的 Mike21-EMS(Elliptic Mild Slope)模式是以造波線的方式產生波浪，每一造波線上的振幅是相等的。邊緣波的特性則是距海岸一定距離以後振幅會隨著距離而呈指數衰減，因此除非取得原始碼並加以修改，否則也無法

模擬邊緣波。

除了入射條件與平面波不同外，邊緣波的幅射邊界條件目前為止也還沒有很完整的理論處理，實務上只能採用海綿層(sponge layer)的方式以防止波浪在自由邊界的反射。既要容許入射振幅呈指數衰減，又要具有海綿層功能的波浪模式，目前只有丹麥水工(DHI)的 Mike 21-BW(Boussinesq Wave)模式較為成熟。因此本研究採用該模式進行模擬花蓮港受邊緣波入射引致的共振現象。Mike 21-BW 模式是以 Madsen 等人的理論為基礎，將 Boussinesq 方程的應用範圍由淺海推廣到較深的海域；惟其作為港池共振模式的缺點則是無法求得穩定解(steady state solution)，每一入射週期都必須進行長時間的模擬後，能量累積的現象才會出現。

附帶一提的是 Mike21 HD(水動力模式)也容許非平面波的入射邊界條件，但是水動力模式本身無頻散，也無法採用海綿層消波，因此並不適合波浪的模擬。由於 Mike 21-BW 為水深平均之二維模式，我們採用 Eckart 的淺水理論(參見 Mei, 1989)。當邊界的質量通量以邊緣波的理論值給定時，距邊界一段距離處水粒子的軌跡與邊緣波理論值十分接近；因此證明以 Mike21-BW 模式模擬邊緣波是可行的。一般來說邊緣波的 mode 有許多種，但是絕大多數的情形都是以最低的 mode (所謂 Stokes mode)為主，徐(2001)也證明了花蓮港附近地形只容許最低的三種邊緣波存在。因此本研究初步只選定 Stokes mode 進行模擬。

沿海岸之波數可由海面水位獲得(參見圖 8)；沿海岸之海底底床坡度不是常數，因此我們得到不同之波數值。頻散關係(參見圖 9)顯示底床坡度界於  $1/30$  到  $1/20$ 。數值模擬結果速度分佈方式與邊緣波是相似的；其時間序列參見圖 10。

## 第四章 邊緣波對花蓮港的影響模擬

### 4.1 邊緣波引致花蓮港港池共振之模擬

在成功地模擬邊緣波之後，接著進行港池現場的模擬，根據先前的數值計算與港內實測波浪的分析，花蓮港在週期 160 秒左右會產生顯著的共振。此外，物理模型試驗與港內實測值顯示 140 秒也是可能的共振週期。因此以下即選定 140 秒與 160 秒兩種週期的亞重力邊緣波進行模擬計算。

圖 11 所示是週期 140 秒的邊緣波沿海岸向花蓮港傳播造成的共振現象。圖中箭頭長度與方向代表瞬間水體移動的速度，其相對於港外速度的比值即相當於放大倍率。由圖中的箭頭方向可清楚的看出共振主要發生在東防波堤與 22 號碼頭中間，此現象與物理模型試驗時 22 號碼頭被水淹沒的現象一致。若一凸堤置於此振盪方向中間的 24 號碼頭東側，如圖 13 所示，則共振現象就會被破壞；此點也和模型試驗相符。

同樣是週期 140 秒沿著海岸的入射波，但波動形態是二維平面波所造成的港內水體運動情形則大不相同。此時港內相對於港外並無特殊不穩靜，共振現象不存在(參見圖 14)。

圖 15 是週期為 160 秒的邊緣波與平面波沿海岸入射造成的共振現象，與平面波入射的清況十分類似。兩種清況下港池內都產生港口與 7 號、12 號碼頭間的縱方向共振，與 140 秒共振時的橫方向振態有顯著的不同。由於振態的差異，如果和圖 12 一樣在 24 號碼頭東側放置凸堤，原來的共振形態並不受影響(參見圖 15)。

現場的實測資料(圖 16；波浪測站位置參見圖 17)顯示內港區(8 號與 10 號碼頭)160 秒附近頻譜的振幅明顯增大，而外港區(22 號碼頭)的頻譜在 140 秒左右有一高峰。前者是因為花蓮港存在 160 秒的縱向振態使內港區的振幅增大；後者則可解釋為外港區的 140 秒橫方向振盪所導致。由於這兩種特性均與現場的實測資料相符，大大提高了邊緣波係花蓮港港池共振之主要原因的合理性。



## 4.2 北濱海岸假想的波源效應模擬

由花蓮港物理模型試驗之紀錄影片可以看出波浪在港口西南側(所謂北濱海岸處)有沿岸邊傳遞與集中的邊緣波現象。之後在靠近美崙溪口處堆積，再向東傳播；最後在東堤處反射並在東堤與 22 號碼頭間來回振盪。為探討邊緣波引致港池振盪的機制，我們以一北濱的假想平面波代替遠處傳來的邊緣波。

圖 18 所示為一週期 140 秒的假想平面波由海岸向東傳播引致的港池共振現象。比較圖 18 與圖 12 可以看出兩者振態十分類似；若置一凸堤置於振盪方向中間的 24 號碼頭東側，共振現象就會被破壞(參見圖 19)。因此邊緣波引致港池共振的機制可以解釋作波浪在海岸堆積後向外海傳播，並在接觸到防波堤後反射造成的振盪；最終之振態類似兩個封閉反射面間的重複反射(參見圖 1)。

## 第五章 討論

### 5.1 波譜中亞重力波成份的意義

亞重力波一詞為 Munk 於 1951 年首度使用，意指頻率低於一般重力波的振盪。由於港外實測波譜確實存在亞重力波分量，部分港灣工程師以為直接以波譜中的亞重力波分量作為入面波的條件即能模擬現場的波浪，但是實際則不然；此可以由以下三點得知。首先，港外之單一波浪測站並無法分辨波浪是對著海岸入射抑或反射回大海；但是只有前者適合作為港池振盪的外力。其次，除非綜合研判數個不同位置的波高資料，否則無法分辨所測得的亞重力波分量是真正自由的亞重力波還是受束縛的長波(即 bound wave，因波浪非線性而與短波群一同移動並由短波群強制所產生)；後者可能與自由亞重力波的產生有關，但本身並無法引致港池的長週期振盪。第三個原因則是港外單一位置的波高記錄無法提供足夠的資料來判斷其形態是二維平面波抑或是三維的邊緣波。基於以上三點，波高記錄中亞重力波分量只有部分可視為二維的自由入射平面波，而且可能只是極小的部分。

### 5.2 入射的自由亞重力波是否以邊緣波為主？

目前各種相關研究顯示亞重力波並不存在於深海風浪頻譜中，因此其發生機制與波浪和海岸的交互作用有關。但是在近岸的實測研究中對亞重力波的成份並無一致的結論，因此無法據以認定引致花蓮港港池共振的亞重力波即為邊緣波。事實上，世界各地的近岸波浪特性往往反映鄰近之地形特性與陸地分佈，卻不見得適用於其它區域。例如日本港灣研究所測得的資料在十分靠近海岸處其亞重力波的能量甚至高於短波的能量；這種現象與我們對台灣海岸波浪的瞭解不一致，也不符合花蓮港外實測的波浪特性。因此這些分析的結果只能作為參考，不適合直接運用在花蓮港的波浪模擬。

在海岸附近，任何波動最後不是被地形所拘束而侷限在海岸地區，就是傳向外海。Munk 等人(1956)稱前者為侷限波，亦即侷限在海洋邊緣的邊緣波；後者則被稱為滲漏波，即由近岸地區滲漏能量到外海的波。理論計算(參見 Schaffer, 1994) 指出，當外海入射波浪與海岸近乎垂直時會產生最終向外滲漏的平面波，但是當入射方向不垂直時則有相當的波能成為邊緣波。由於花蓮港的港池共振發生在颱風前，因此與共振有關的亞重力波只與颱風有關。以颱風暴風圈到台灣東部的長直海岸線而言，其颱風波浪入射的角度大多與垂直入射有相當差異，因此邊緣波的形成較平面波來得容易。更何況台灣東岸外海即為廣大的太平洋，鮮少陸地，即使平面亞重力波能形成一定的強度，恐怕也早已滲漏到大洋中，不會影響花蓮港的穩靜。

以上所論並未考慮平面波群在港外形成平面亞重力波的情況；以下即針對其在港外形成平面亞重力波的情況分為短波群地形反射與短波群碎波兩種機制來討論。在假設亞重力波被海岸完全反射的情況下，離岸的亞重力波即相等於進入近岸區(或由港口入射)的亞重力波，因此其計算法與求滲漏波相同。第一種機制曾由徐針對花蓮地形進行估算，其結果在水深一百米處亞重力波波高大約只有數釐米到數公分。第二種機制牽涉深海波群的特性；根據數值估算的結果，亞重力波與短波群的振幅比小於參數(參見 Schaffer 圖 6，文章所舉算例的海底坡度都小於花蓮外海，而算例中坡度越大則亞重力波越小)。然而 必須考慮群波中振幅的變異，不易估算。但是簡(1997)的實驗則顯示至少對 140 秒的週期而言，花蓮港港外的地形可以將平面波轉成邊緣波；這可能是因為當地呈灣澳地形而非平直海岸，即外海的平面波對灣內的大部分海岸而言是屬於斜向入射，因此很容易侷限在海岸附近而形成邊緣波。

總而言之，不論引致港池共振的亞重力波在尚未靠近花蓮港外即已形成，抑或是在接近港外才形成，當它傳遞到港口附近(南濱海岸)時其形態應該都是以邊緣波為主。

### 5.3 日本港灣研究所測得的亞重力波資料於花蓮港之適用性探討

日本港灣研究所測得的亞重力波資料近年來迭有學者引用，但是其結果是否能直接運用在台灣海岸仍有待探討；以下將就其適用性加以討論。

以圖 22(測站位置與布置參見圖 20 與 21)為例，在靠近海岸處短波能量逐漸消散，因此波譜中亞重力波的比重漸漸增加；但是在十分靠近海岸處其亞重力波的能量甚至高於短波的能量；顯示亞重力波分量即使原來為受束縛的長波(即 bound wave，因波浪非線性而與短波群一同移動並由短波群強制所產生之長波)，但在靠近海岸處已轉為自由長波。又靠近海岸處亞重力能量未增加，表示淺化的結果不顯著，

然而，這種亞重力波的能量高於短波的能量現象與台灣海岸波浪不一致；因此只反映鄰近之地形特性與陸地分佈，其研究結論不能一體適用於其它區域。

## 5.4 淺化效應之影響

由於港口水深與波浪測站的水深並不相同，學者多認為港內波高與港外測站波高之比與數值計算所得的放大率並不相等，甚至認為極小的亞重力波在淺化作用與港內共振放大兩種效應相乘之下，即可能引致船隻無法停泊。

然而，仔細考察花蓮港附近水深，即可發現當地海底坡度相當陡，在離岸一公里處水深即達 60 米。由於坡度大於 1/30 以上即屬於 Green 定理適用的範圍(參見 Synolakis, 1993)，因此波高約與水深的  $1/4$  次方成反比。以水深 100 米處與港口附近(水深 16 米處)為例，其波高的變化還不到兩倍；因此淺化效應並不足以使波浪顯著放大。

## 5.5 以邊緣波或平面波入射引致的振盪有何顯著差異？

由於以平面波入射計算所得之花蓮港反應頻譜在 140 秒附近存在一較小的峰值，因此不免令人懷疑以邊緣波進行計算得到的結果與以平面波入射的情況並無顯著差異，且進而質疑採用邊緣波進行計算的必要性。但是

考查 140 秒平面波造成的振態後，則可發現共振主要是由於 22、23 號碼頭與新東堤鄰近舊東堤處(狀似喇叭的部分)反覆反射所造成，並非如邊緣波般是在較接近港口處反射。即使在 24 號碼頭設置突堤也無法有效減低其振盪；相反地，此突堤卻可有效減低邊緣波引致的振盪。因此，平面波與邊緣波引致的振態仍有相當的差異，兩者的防制方法也不同，有必要分別進行探討。

除非我們對每一頻率考慮所有的入射方向，否則還是無法包含所有可能的入射波條件。以前面提到的各次模擬來說，即未針對每一個入射方向作全面的探討，因此單一方向平面波入射所模擬的結果嚴格來講並不能完全代表花蓮港的振動特性。

140 秒週期的邊緣波會引起花蓮港橫方向的振盪，但是並不會引起縱方向的振盪。相反的，160 秒的平面波或是邊緣波都會引起縱方向的振盪，但是並不引起橫方向的共振。因此邊緣波共振的振態在某些情況下可能與一般平面波入射的情況有相當的差異。

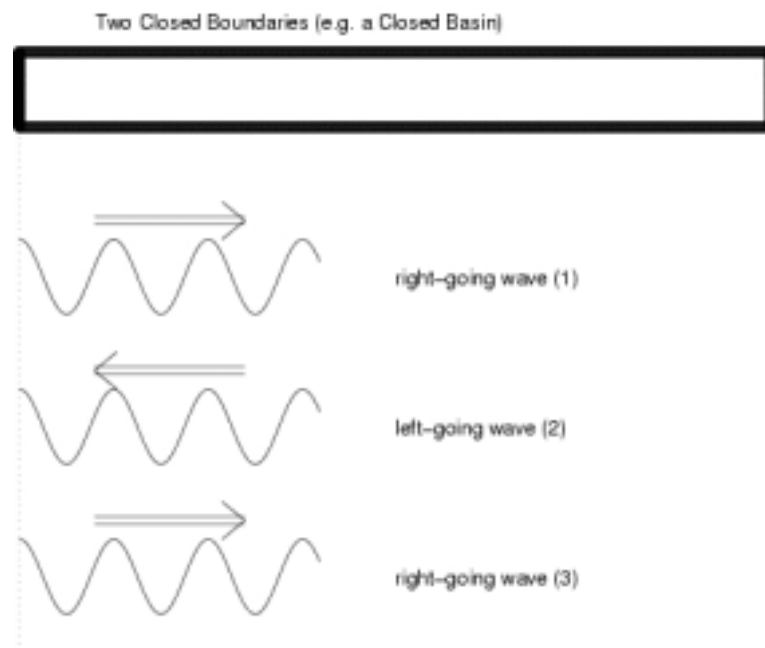
## 第六章 結論

本研究主要探討者為邊緣波是否係引致花蓮港這類港口方向與海岸相平行的港灣之港池共振的原因。如以上所提，數值試驗顯示 140 秒週期的邊緣波會引起花蓮港橫方向的振盪，但是並不會引起縱方向的振盪；相反的，160 秒的平面波或是邊緣波都會引起縱方向的振盪，但是並不引起橫方向的共振。因此邊緣波共振的振態在某些情況下可能與一般平面波入射的情況有相當的差異。

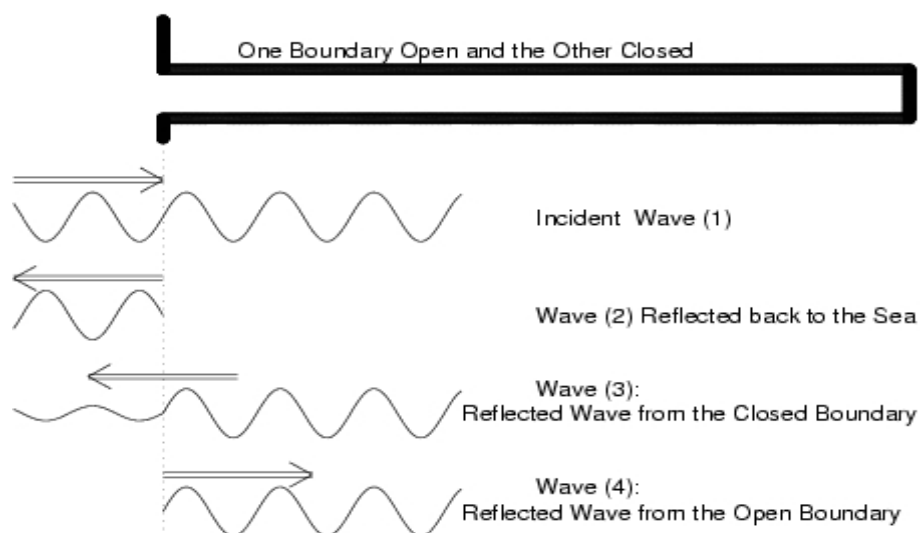
所有港池形狀都有可能造成不穩靜的共振頻率存在；是否會有共振發生端看港外波浪中是否存在共振頻率範圍的波譜成份。邊緣波現象不僅使風浪產生亞重力波，並且可能造成與平面波入射造成的振盪相異的振態。經數值與模型試驗之比較以及現場實測的現象後，說明了它確有可能是花蓮港共振的主要原因。

## 誌謝

感謝徐進華博士提供研究成果報告與林隆貞小姐協助打字。



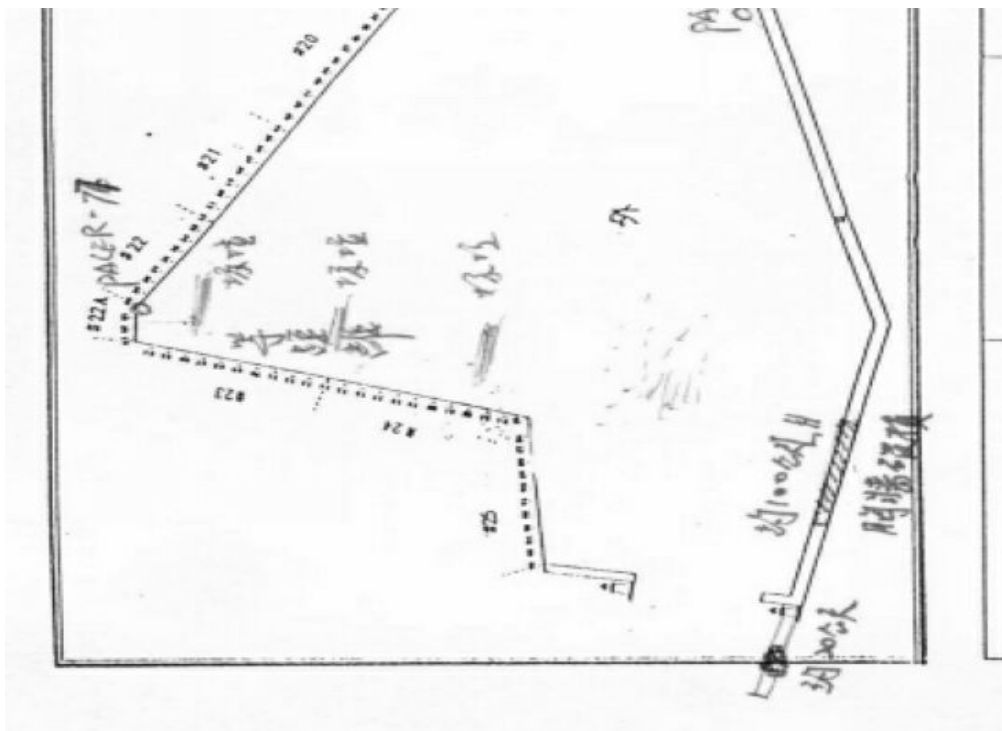
圖一 兩個封閉反射面間的共振：由左往右傳的波(波(1))在右反射面與左反射面兩次反射後的反射波為波(3)。如果波(3)與波(1)同相(in phase)，就會對波(1)產生反覆加強，共振現象於是發生。此時共振的條件為港池長度  $l = NL/2$



圖二 波浪(1)由開放邊界傳入港池：波(1)在封閉邊界反射產生波(3)，波(3)再於開放邊界反射產生波(4)，如果開放邊界恰為一節點(node)，而港池長度  $l = (N/2 + 1/4)L$ ，則波(4)恰與波(1)同相



圖三 花蓮港模型試驗(由花蓮港南方海岸朝港口方向拍攝)顯示港口南邊外側的波動集中於海岸附近，類似由南向北傳的邊緣波

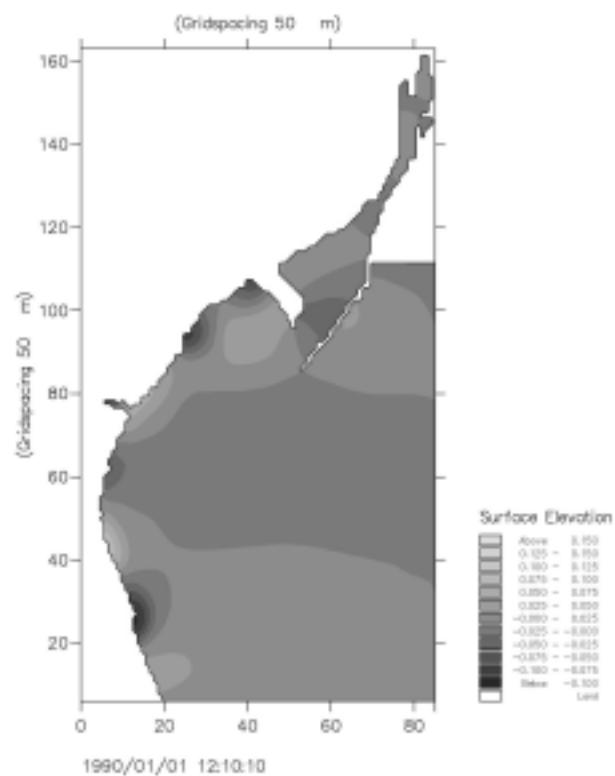


圖四 現場目擊(根據水面漂浮之木屑)觀察到花蓮港外港區存在橫向的振態

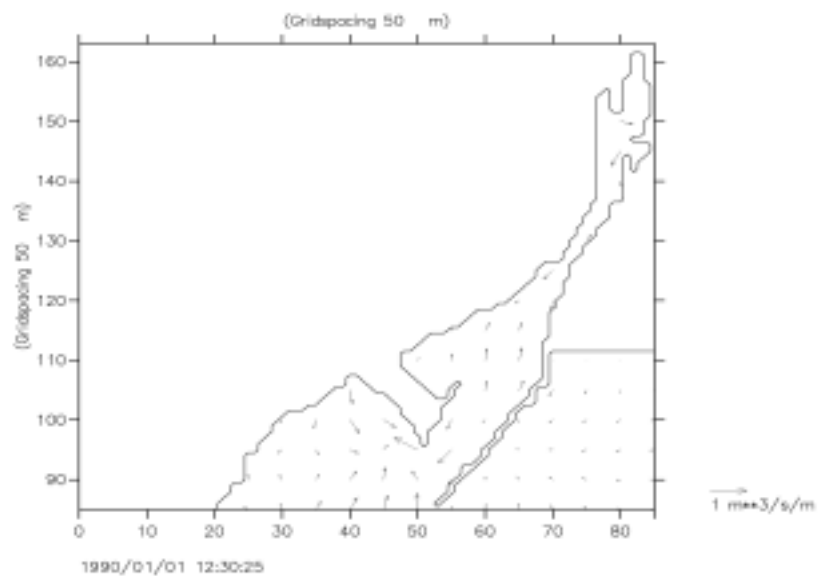




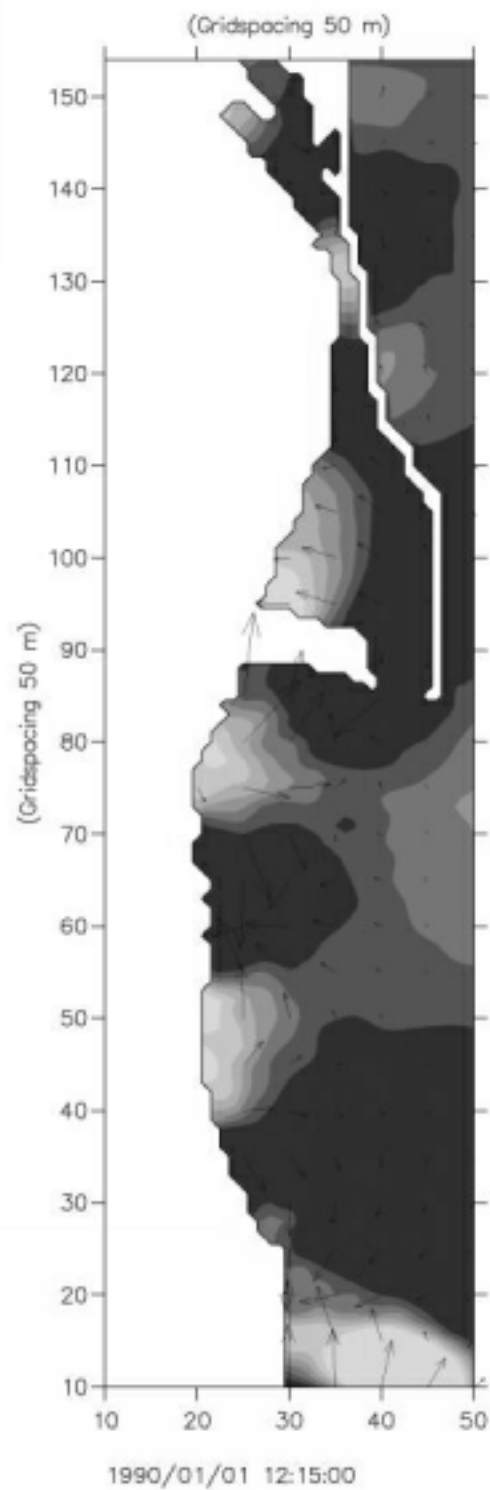
圖五 花蓮港南側海岸近年來陸續建設的一系列離岸堤



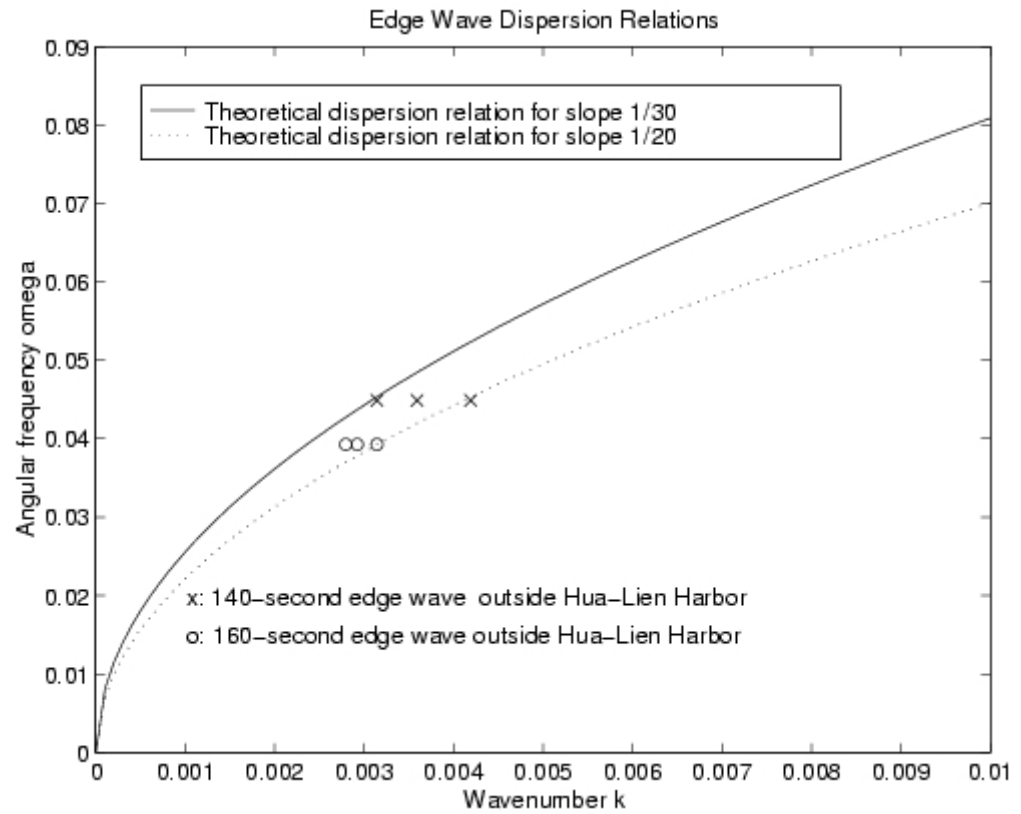
圖六 如模型試驗般以平面波入射之數值模式直接產生邊緣波現象



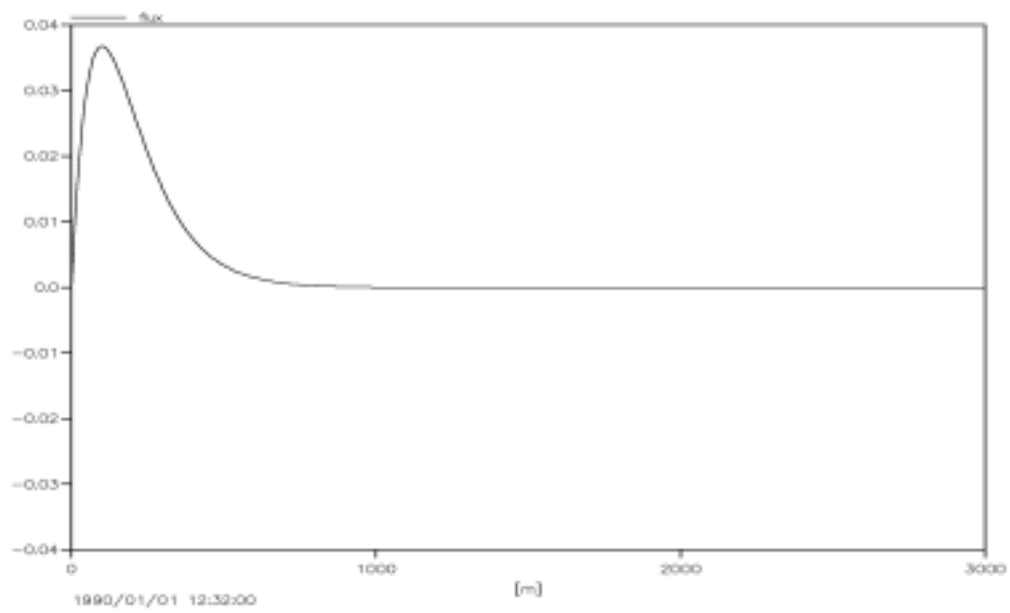
圖七 以平面波入射之數值模式中,當一凸堤放置於外港區振盪方向中間的 24 號碼頭東側,則共振現象就會被破壞



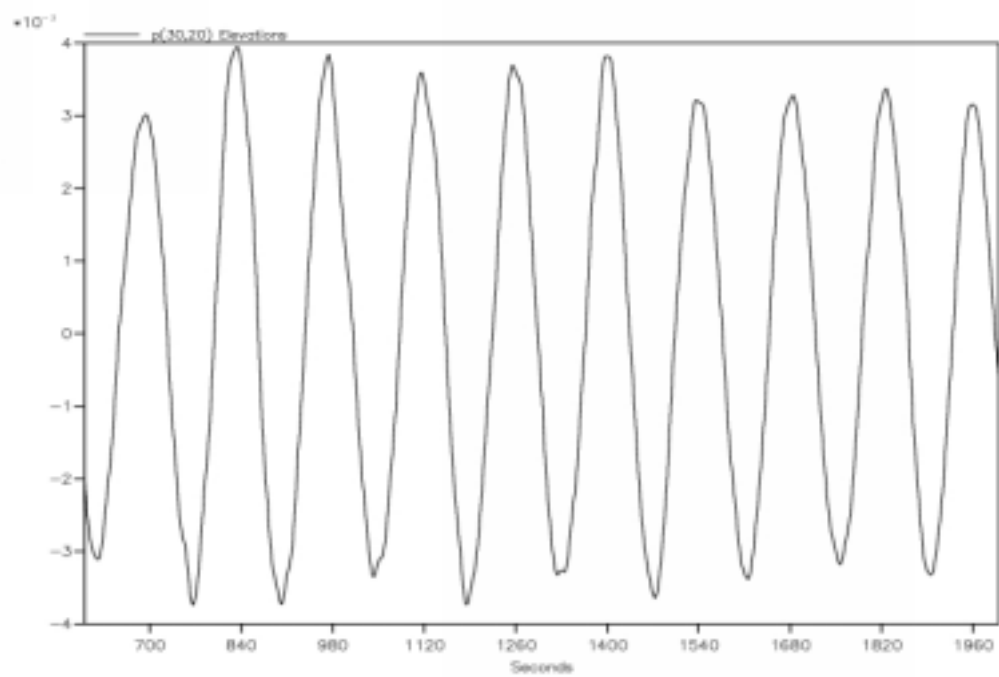
圖八 沿海岸之波數可由海面水位獲得；沿海岸之海底底床坡度不是常數，因此我們得到不同之波數值



圖九 邊緣波之頻散關係顯示底床坡度界於 1/30 到 1/20

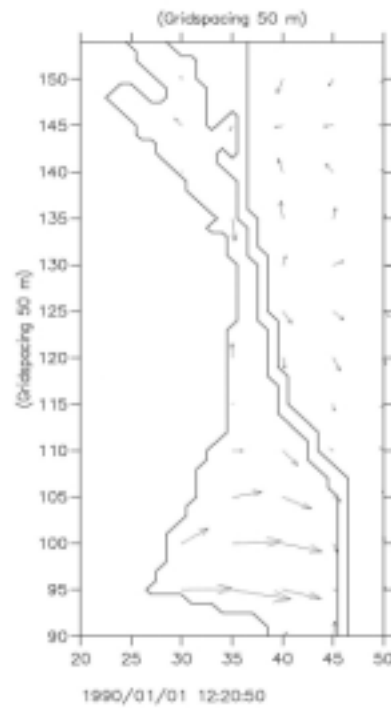


(a)

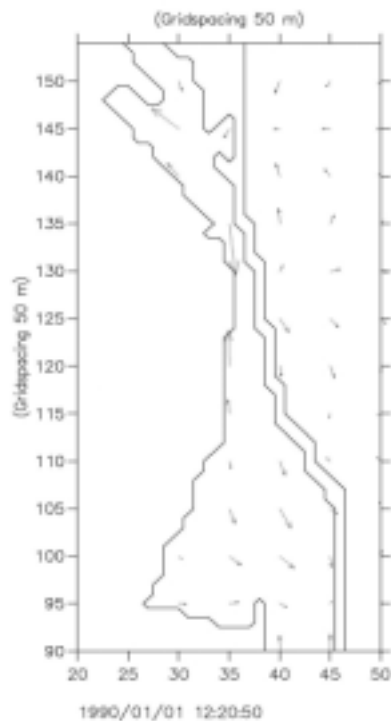


(b)

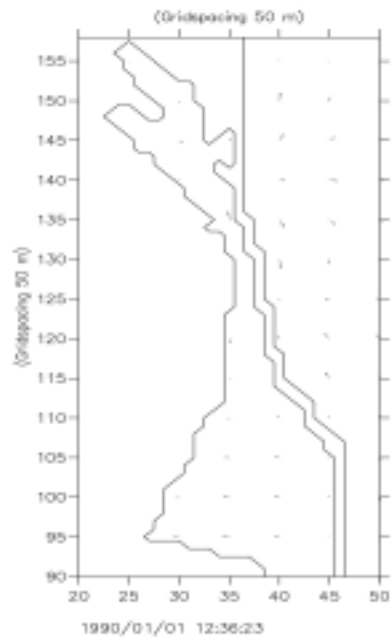
圖十 邊緣波入射條件之(a)空間分佈(離岸方向)與(b)時間序列



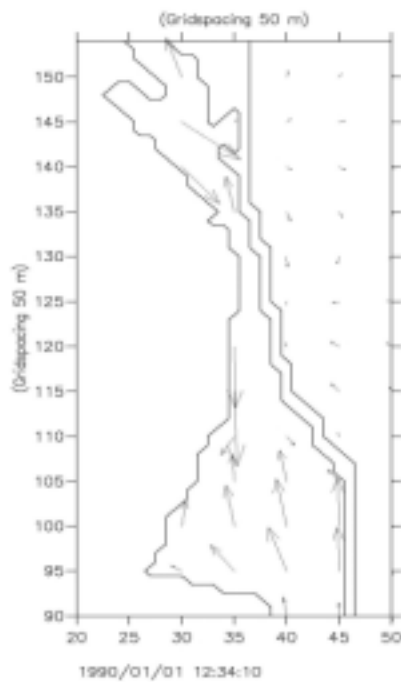
圖十一 週期 140 秒的邊緣波沿海岸向花蓮港傳播造成的橫方向共振現象



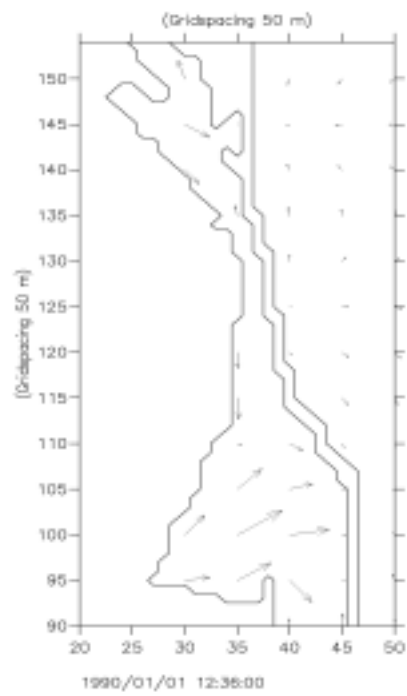
圖十二 週期 140 秒的邊緣波沿海岸向花蓮港傳播時，若置一凸堤置於振盪方向中間的 24 號碼頭東側，則共振現象就會被破壞



圖十三 同樣是週期 140 秒沿著海岸的入射波，但波動形態是二維平面波所造成的港內水體運動情形；此時港內相對於港外並無特殊不穩靜，共振現象不存在

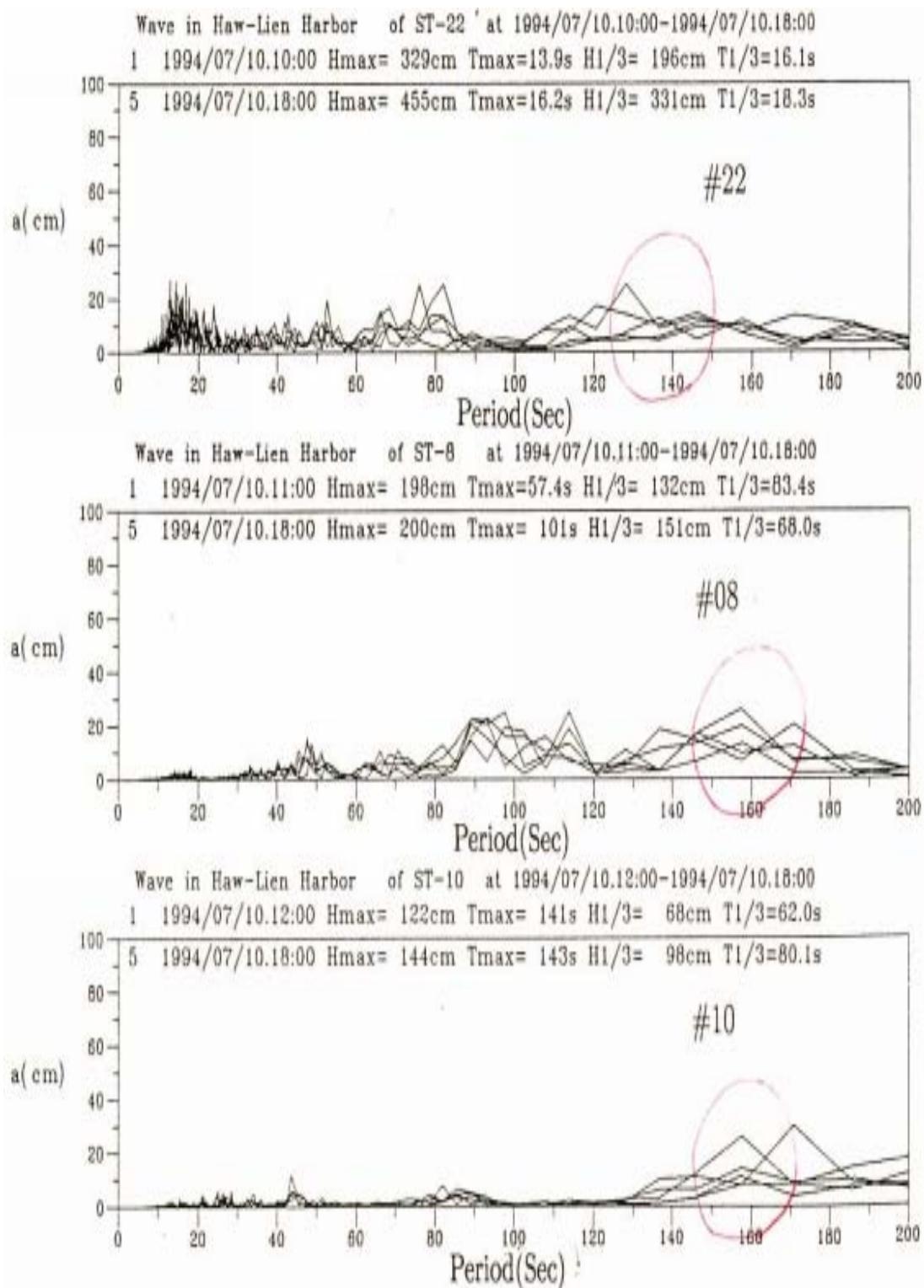


圖十四 週期為 160 秒的邊緣波造成的縱方向共振現象



圖十五 對週期為 160 秒的邊緣波，如果和圖 12 一樣在 24 號碼頭東側放置凸堤，原來的共振形態並不受影響





圖十六 提姆颱風(Tim,1994 年 7 月)五個不同時段實測頻譜顯示內港區(#08 號與#10)160 秒附近的頻譜明顯增大,而外港區(#22)的頻譜在 140 秒左右有一高峰

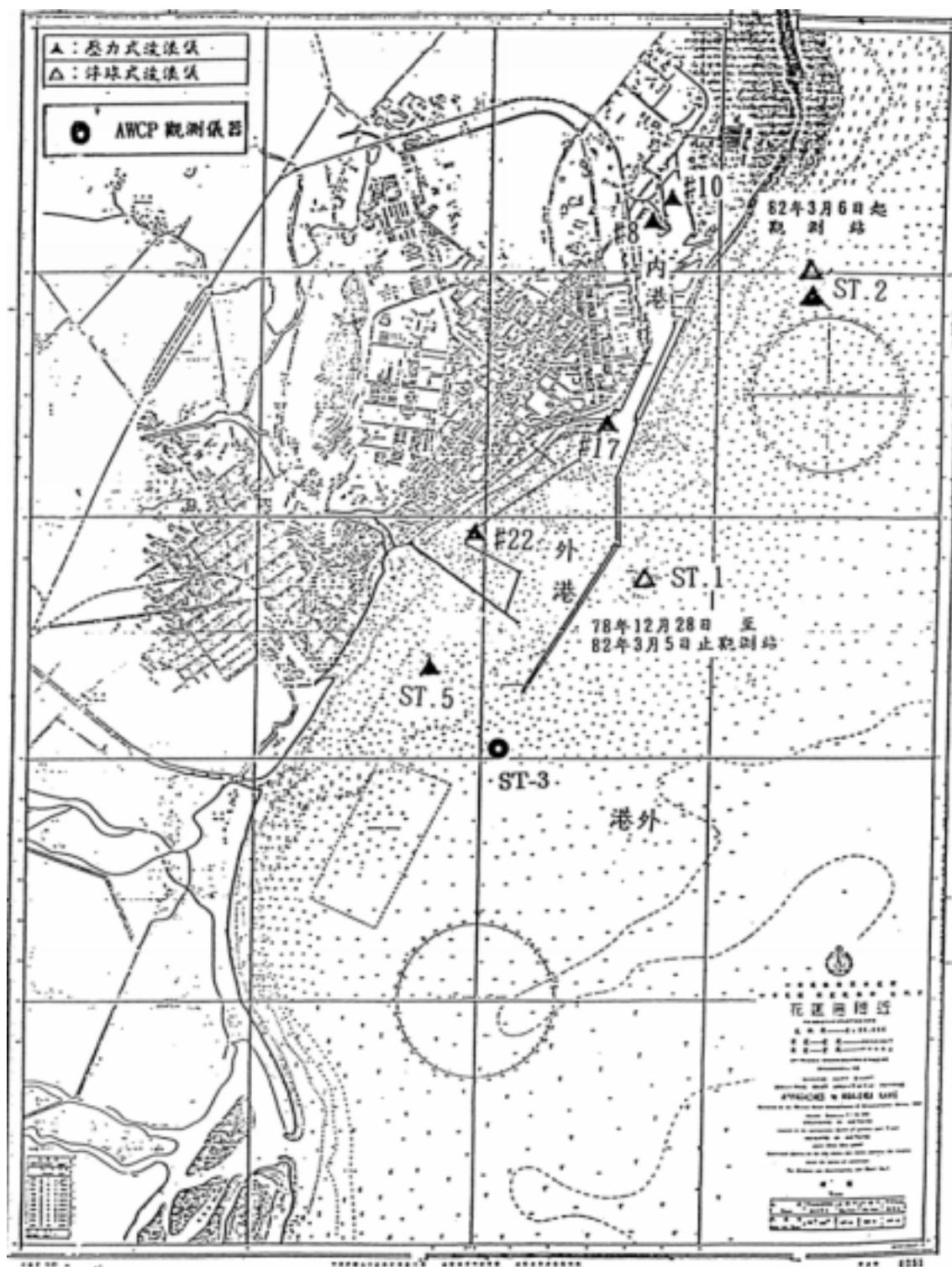
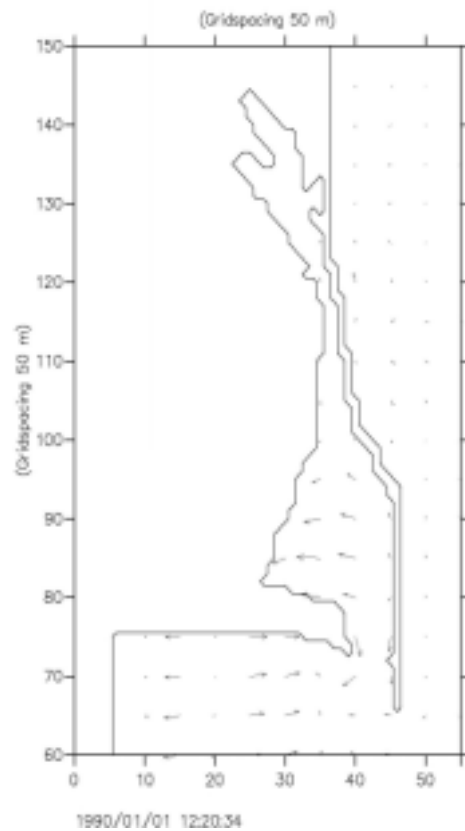
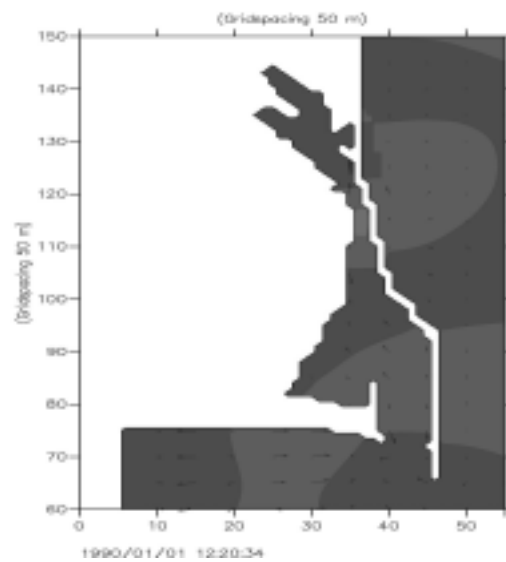


圖 2-1 花港港池形狀及海氣象觀測站位置示意圖

圖十七 花蓮港波浪測站位置



圖十八 週期 140 秒的假想平面波由海岸向東傳播引致的港池共振現象



圖十九 週期 140 秒的假想平面波由海岸向東傳播時，若置一凸堤置於振盪方向中間的 24 號碼頭東側，則共振現象就會被破壞



圖二十 簡(1997)的實驗中內港的共振現象

## 參考文獻

- [1.] 張金機，曾相茂(1993) "花蓮港現存問題之探討"。花蓮港現存問題及未來發展之探討研討會論文集，港灣技術研究所。
- [2.] 徐進華(1995) "長波非線性效應研究"，港灣技術研究所。
- [3.] 徐進華(1996) "花蓮和蘇澳港附近長波研究"，港灣技術研究所。
- [4.] 蘇青和等(1996) "花蓮港港灣設施改善計畫之研究-數值模擬"，期末報告，港灣技術研究所。
- [5.] 簡仲璟等(1997) "花蓮港長浪及飄沙防治研究-防波堤提線配置平面試驗"，期末報告，港灣技術研究所。
- [6.] 簡仲璟 曾相茂(1998) "台灣海域海氣象現場調查與即時回報系統建立之應用研究"，港灣技術研究所。
- [7.] 張憲國等(1999)"花蓮港共振機制研究"，交通大學土木研究所。
- [8.] 蔡瑤堂(2000)"日本創親水海岸的觀念介紹"港灣報導，No.52，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，6 頁-19 頁。
- [9.] 陳冠宇(2000)"港池共振機制探討"，港灣報導，No.52，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，30 頁-38 頁。
- [10.] 莊文傑、江中權(2000) "亞重力波與花蓮港之波動共振"，第二十一屆海洋工程研討會論文集。
- [11.] 徐進華(2001) "花蓮港港內和港外長波數值模式研究"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
- [12.] 陳冠宇、簡仲璟、蘇青和、曾相茂(2002) " 邊緣波引致港池共振的機制-以花蓮港為例",第十三屆水利工程研討會論文集。
- [13.] Elgar, S., T. H. C. Herbers, M. Okinaka, J. Oltman-Shay and R. T. Guza, "Observations of infragravity waves", J. Geophys. Res., 97(C10), 15,573-15,577(1992).

- [14.] Chiang C. Mei, The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Wiley, New York(1989).
- [15.] Mostafa A. Foda and Chiang C. Mei, "Nonlinear Excitation of Long-trapped Waves by a Group of Short Swells", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 111, pp. 319-345(1981).
- [16.] Gallagher, B., "Generation of surf beat by non-linear wave interactions", Journal of Fluid Mechanics, 49, 1-20(1971).
- [17.] Holman, R. A. and A. J. Bowen, "Longshore structure of infragravity wave motions", J. Geophys. Res., 89 (C4), 6446-6452(1984).
- [18.] Howd, P. A., A. J. Bowen and R. A. Holman, "Edge waves in the presence of strong longshore currents", J. Geophys. Res., 97(C7), 11,357-11,371(1992).
- [19.] Howd, P. A., J. Oltman-Shay and R. A. Holman, "Wave variance partitioning in the trough of a barred beach", J. Geophys. Res., 96(C7), 12,781-12,795, (1991).
- [20.] Oltman-Shay, J. and R. T. Guza, "Infragravity edge wave observations on two California beaches", Journal of Physical Oceanography, 17(5), 644-663(1987).
- [21.] Hemming A. Schaffer, "Edge Waves Forced by Short Wave Groups", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 259,pp.125--148 (1994).

# 台灣地區國際港港灣水理數值模式 應用研究（2/4）

—颱風波浪之群波特性分析研究—

著 者：簡仲璟

交通部運輸研究所

中華民國九十二年六月

# 颱風波浪之群波特性

## 目 錄

中文摘要.....	
英文摘要.....	
表目錄.....	
圖目錄.....	
第一章 前 言.....	1-1
第二章 資料蒐集與整理.....	2-1
2.1 颱風資料蒐集.....	2-1
2.2 颱風波浪蒐集與整理.....	2-2
第三章 群波分析相關理論.....	3-1
3.1 包絡線理論.....	3-1
3.2 波連的統計理論.....	3-4
3.3 平滑化瞬時波能歷程.....	3-4
第四章 群波與波譜參數.....	4-1
4.1 群波參數.....	4-1
4.2 波譜參數.....	4-4
第五章 颱風波浪之群波分析.....	5-1
5.1 波高、週期與各參數逐時變化.....	5-1
5.2 群波高度參數與波譜形狀參數.....	5-3
5.3 群波高度參數間比較.....	5-4
5.4 波譜參數間比較.....	5-6
5.5 各參數分佈比較.....	5-7
5.6 各參數與示性波高、週期.....	5-8
5.7 不同颱風或測站之各參數平均值.....	5-8
第六章 結論及建議.....	6-1
參考文獻.....	



## 表目錄

表 2-1 芭比 (Bobbie) 颱風相關資料表 .....	2-3
表 2-2 席斯 (Seth) 颱風相關資料表 .....	2-4
表 2-3 提姆 (Tim) 颱風相關資料表 .....	2-5
表 2-4 颱風波浪觀測資料表 .....	2-6

# 圖目錄

圖 2-1 提姆颱風衛星雲圖 ( 1994/07/10 12:34 ) .....	2-7
圖 2-2 提姆颱風衛星雲圖 ( 1994/07/11 06:32 ) .....	2-7
圖 2-3 芭比 ( Bobbie ) 颱風行進路徑圖 ( 1992/06 ) .....	2-8
圖 2-4 席斯 ( Seth ) 颱風行進路徑圖 ( 1994/10 ) .....	2-8
圖 2-5 提姆 ( Tim ) 颱風行進路徑圖 ( 1994/07 ) .....	2-9
圖 2-6 花蓮港波浪測站地理位置示意圖 .....	2-9
圖 5-1-1 示性波高、週期及各參數逐時變化圖 ( 芭比颱風 , ST.1 測站 ) .....	5-11
圖 5-1-2 示性波高、週期及各參數逐時變化圖 ( 席斯颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-12
圖 5-1-3 示性波高、週期及各參數逐時變化圖 ( 提姆颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-13
圖 5-1-4 示性波高、週期及各參數逐時變化圖 ( 提姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-14
圖 5-1-5 示性波高、週期及各參數逐時變化圖 ( 提姆颱風 , W08 測站 ) .....	5-15
圖 5-1-6 示性波高、週期及各參數逐時變化圖 ( 提姆颱風 , W10 測站 ) .....	5-16
圖 5-1-7 示性波高、週期及各參數逐時變化圖 ( 提姆颱風 , W22 測站 ) .....	5-17
圖 5-2-1 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 芭 比颱風 , ST.1 測站 ) .....	5-18

圖 5-2-2 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 席 斯颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-19
圖 5-2-3 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 提 姆颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-20
圖 5-2-4 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 提 姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-21
圖 5-2-5 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 提 姆颱風 , W08 測站 ) .....	5-22
圖 5-2-6 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 提 姆颱風 , W10 測站 ) .....	5-23
圖 5-2-7 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 提 姆颱風 , W22 測站 ) .....	5-24
圖 5-2-8 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖 ( 芭比颱風 , ST.1 測站 ) .....	5-25
圖 5-2-9 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖 ( 席斯颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-26
圖 5-2-10 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖 ( 提姆颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-27
圖 5-2-11 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖 ( 提姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-28
圖 5-2-12 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖 ( 提姆颱風 , W08 測站 ) .....	5-29
圖 5-2-13 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖 ( 提姆颱風 , W10 測站 ) .....	5-30

圖 5-2-14 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖 (提姆颱風, W22 測站)	5-31
圖 5-2-15 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖 (芭比颱風, ST.1 測站)	5-32
圖 5-2-16 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖 (席斯颱風, ST.2 測站)	5-33
圖 5-2-17 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖 (提姆颱風, ST.2 測站)	5-34
圖 5-2-18 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖 (提姆颱風, ST.5 測站)	5-35
圖 5-2-19 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖 (提姆颱風, W08 測站)	5-36
圖 5-2-20 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖 (提姆颱風, W10 測站)	5-37
圖 5-2-21 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖 (提姆颱風, W22 測站)	5-38
圖 5-3-1 各群波參數間之關係圖 (芭比颱風, ST.1 測站)	5-39
圖 5-3-1(續) 各群波參數間之關係圖(芭 比颱風, ST.1 測站)	5-40
圖 5-3-2 各群波參數間之關係圖 (席斯颱風, ST.2 測站)	5-41
圖 5-3-2(續) 各群波參數間之關係圖 (席斯颱風, ST.2 測站)	5-42
圖 5-3-3 各群波參數間之關係圖 (提姆颱風, ST.2 測站)	5-43

圖 5-3-3( 續 ) 各群波參數間之關係圖( 提 姆颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-44
圖 5-3-4 各群波參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-45
圖 5-3-4 ( 續 ) 各群波參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-46
圖 5-3-5 各群波參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , W08 測站 ) .....	5-47
圖 5-3-5 ( 續 ) 各群波參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , W08 測站 ) .....	5-48
圖 5-3-6 各群波參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , W10 測站 ) .....	5-49
圖 5-3-6 ( 續 ) 各群波參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , W10 測站 ) .....	5-50
圖 5-3-7 各群波參數間之關係圖( 提 姆颱風 , W22 測站 ) .....	5-51
圖 5-3-7( 續 ) 各群波參數間之關係圖( 提 姆颱風 , W22 測站 ) .....	5-52
圖 5-4-1 各波譜參數間之關係圖 ( 芭比颱風 , ST.1 測站 ) .....	5-53
圖 5-4-2 各波譜參數間之關係圖 ( 席斯颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-54
圖 5-4-3 各波譜參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-55
圖 5-4-4 各波譜參數間之關係圖 ( 提姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-56

圖 5-4-5 各波譜參數間之關係圖 (提姆颱風, W08 測站)	5-57
圖 5-4-6 各波譜參數間之關係圖 (提姆颱風, W10 測站)	5-58
圖 5-4-7 各波譜參數間之關係圖 (提姆颱風, W22 測站)	5-59
圖 5-5-1 各群波參數值與波譜參數值之分佈(芭 比颱風, ST.1 測站)	5-60
圖 5-5-2 各群波參數值與波譜參數值之分佈(席 斯颱風, ST.2 測站)	5-61
圖 5-5-3 各群波參數值與波譜參數值之分佈(提 姆颱風, ST.2 測站)	5-62
圖 5-5-4 各群波參數值與波譜參數值之分佈(提 姆颱風, ST.5 測站)	5-63
圖 5-5-5 各群波參數值與波譜參數值之分佈(提 姆颱風, W08 測站)	5-64
圖 5-5-6 各群波參數值與波譜參數值之分佈(提 姆颱風, W10 測站)	5-65
圖 5-5-7 各群波參數值與波譜參數值之分佈(提 姆颱風, W22 測站)	5-66
圖 5-6-1a 各參數與示性波高之相關圖 (芭比颱風, ST.1 測站)	5-67
圖 5-6-1b 各參數與示性週期之相關圖 (芭比颱風, ST.1 測站)	5-68
圖 5-6-2a 各參數與示性波高之相關圖 (席斯颱風, ST.2 測站)	5-69

圖 5-6-2b 各參數與示性週期之相關圖 ( 席斯颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-70
圖 5-6-3a 各參數與示性波高之相關圖 ( 提姆颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-71
圖 5-6-3b 各參數與示性週期之相關圖 ( 提姆颱風 , ST.2 測站 ) .....	5-72
圖 5-6-4a 各參數與示性波高之相關圖 ( 提姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-73
圖 5-6-4b 各參數與示性週期之相關圖 ( 提姆颱風 , ST.5 測站 ) .....	5-74
圖 5-6-5a 各參數與示性波高之相關圖 ( 提姆颱風 , W08 測站 ) .....	5-75
圖 5-6-5b 各參數與示性週期之相關圖 ( 提姆颱風 , W08 測站 ) .....	5-76
圖 5-6-6a 各參數與示性波高之相關圖 ( 提姆颱風 , W10 測站 ) .....	5-77
圖 5-6-6b 各參數與示性週期之相關圖 ( 提姆颱風 , W10 測站 ) .....	5-78
圖 5-6-7a 各參數與示性波高之相關圖 ( 提姆颱風 , W22 測站 ) .....	5-79
圖 5-6-7b 各參數與示性週期之相關圖 ( 提姆颱風 , W22 測站 ) .....	5-80

# 第一章 前 言

海洋波浪具有不規則的特性，以往不規則波常以波浪統計或波譜表示，這兩種表示方法雖能描述不規則波之主要特性，但仍有許多特性未包括在內，例如群波。波浪的群性是一種重要的特性，它對於近海和沿岸長波的生成、海洋災害（船舶傾覆、海堤和護岸的損毀）、港池共振、繫泊浮體的運動和纜力以及海洋結構物的設計等皆有明顯的影響，故受到海洋學家和工程師們的注意。近年來，許多研究報告中顯示，群波現象對海洋工程有很大的影響，曾（1988）指出，入射波的包絡線愈明顯（即群波現象愈明顯），斜坡上波浪的溯升高度愈高。Johnson et. al.（1978）由實驗中發現群波現象愈明顯，對堤前護坡塊的破壞力愈大。因為堤前護坡塊受大波浪作用可能略為搖動，若接連而來的是小波浪則可歸回原位，繼續發揮其防護作用；但如果是大波浪接踵而來，終究易位或受損破壞。錢等（1999）由實測資料分析，發現異常波浪發生機率與群波現象有強烈關係，其發生機率隨群波參數增大而變大。此外，外海連續大波高傳至淺灘時發生連續碎波，造成近岸地區水位堆升，使平均水位難以估算，對防波堤的高度設計造成困擾，亦使沿岸流流速及漂砂量不易估計。大波浪越過防波堤的週期，可能與港池振盪週期接近，引起港池盪漾，進而發生船舶裝卸及繫纜作業之危險。

花蓮港於夏季颱風期間，經常發生港灣結構物受到颱風波浪的侵襲，而造成損壞的情形。例如民國 79 年歐菲莉颱風造成花蓮港東防波堤胸牆受損；民國 83 年提姆颱風與道格颱風造成花蓮港舊東堤淘空、蘇澳港及龍洞遊艇港防波堤嚴重受損；民國 86 年安珀颱風造成花蓮港東防波堤胸牆受損；民國 89 年碧利斯颱風造成花蓮及蘇澳港防波堤再次受損。此外颱風發生期間，花蓮港港內泊靠船隻，由於港池不穩靜造成斷纜現象，而必須至港外避難，影響港埠正常營運作業。因此有



關颱風波浪的本質與特性，應深入加以研究，這也是本年度計畫的工作重點之一。然而颱風波浪現場觀測，由於天候惡劣成功獲得資料的機會較低，在資料缺乏情況下，有關的研究也相對較少。本中心在花蓮港歷經多年的努力，已蒐集豐富的颱風波浪實測資料，因此於本研究計畫年度（91 年度）將利用該資料，配合中央氣象局之颱風動態資料，先進行颱風波浪的群波特性研究，而有關季風波浪的部分，則於後續計畫年度進行。

對於群波目前普遍採用由組成波線性疊加成隨機群波的模型進行研究，並且得到實測資料的驗證。具體方法上可分為包絡線理論、連的統計理論和平滑化瞬時波能歷程線法等多種方法，也獲得不少成果，並建議多種表示群波的參數。但至今對群波的基本參數、影響群性的主要因素、群波的模擬方法以及群波對工程的作用等方面仍有分歧意見，實際應用上也仍有探討空間。Funke et al. (1980) 由平滑化瞬時波能歷程 (SIWEH) 定義群性因子 GF 作為基本的特徵參數，獲得不少學者的支持與採用。但 Medina et al. (1990) 和 List (1991) 指出 GF 對波譜頻峰週期很敏感，建議重新定義。線性理論的基本觀點是波譜愈窄，波浪的群性愈強，但 List (1991) 由實測資料發現從湧浪到風浪譜寬有相當大的變化，在不碎波的情況下波浪的群性基本不變。關於群波的模擬方法，Rye et al. (1982) 認為只需嚴格模擬波譜，而 Funke et al. (1980) 則認為尚需調變相位譜，並建議依 SIWEH 的方法模擬群波。本研究除了概述目前研究和描述群波的方法外，也利用本中心於花蓮港現場實測之颱風波浪資料進行群波分析，對各種方法及其主要參數進行比較，除了瞭解颱風波浪的群性外，也探討各參數間之相關性及適用性。

## 第二章 資料蒐集與整理

### 2.1 颱風資料蒐集

為探討颱風波浪的特性，需先瞭解颱風的變化過程。本研究利用中央氣象局所提供之颱風動態資料，作為波浪分析時之背景資料。該資料包含颱風中心位置經緯度、中心氣壓、近中心最大風速、中心移動速度、七級風暴風半徑與十級風暴風半徑及對應發生時間等。另外考量某些遠洋颱風由於對台灣陸地沒有明顯威脅，因此中央氣象局並未發布警報，但其湧浪對花蓮海域波浪仍有影響，對於這些颱風則參考國外網站 <http://weather.unisys.com> 所提供之颱風相關資料。此外另蒐集 GMS-5 氣象衛星所觀測之颱風衛星雲圖，如圖 2-1 及圖 2-2，由衛星雲圖可以初步瞭解颱風的位置、強度及規模結構，以作為颱風波浪分析時之輔助背景資料。以往相關研究中為探討颱風波浪之波高逐時變化與颱風相關參數（路徑、移動速度、強度變化等）間之關聯性，曾整理 1990 年至 1999 年 45 個颱風資料（可參考「台灣海域海氣象現場調查與網路系統建立之應用研究」，港灣技術研究所，88 研三）。由於資料眾多，因此，在本研究中先選取對花蓮港而言，較常發生的三個不同路徑之颱風進行探討。它們分別是 1992 年 6 月芭比（Bobbie）、1994 年 7 月提姆（Tim）及同年 10 月席斯（Seth）颱風，共七組波浪資料（各組資料內含多筆不同時間之波浪觀測紀錄）其相關資料及路徑圖分別如表 2-1~表 2-3 和圖 2-3~圖 2-5。芭比颱風其路徑為經台灣東部外海由西北轉東北行進，中心位置距台灣東部海岸超過 200 公里，故稱遠洋颱風。在其生命期中（此處所謂生命期係指颱風威脅花蓮港之期間）皆維持中度的強度規模（近中心最大風速介於 32.7~50.9 公尺/秒），且移動速度屬緩行颱風（移動速度介於 10~20 公里/小時），颱風侵襲期間最大示性波高為 5.28 公尺，示性週期為 13.8 秒。提姆颱風之路徑為經花蓮港南側跨越中央山脈西行，在其生命期中強度規模先由弱轉強再轉弱，移動速度大於 20 公里/小時故稱速行颱風，颱風侵襲期間最大示性波高達 10.76 公尺，示性週期為 13.4 秒。

席斯颱風之路徑為經台灣東部近海西北行進，中心位置距台灣東部海岸小於 200 公里。在其生命期中強度規模先由弱轉強再轉弱與提姆颱風相似，移動速度小於 20 公里/小時屬緩行颱風，颱風侵襲期間最大示性波高達 8.51 公尺，示性週期為 14.1 秒。

## 2.2 颱風波浪蒐集與整理

本中心歷年來持續進行之基本研究「台灣四周海氣象調查研究」，自民國 79 年起於花蓮港建立波浪長期測站，期間也曾多次測得寶貴之颱風波浪資料，累計目前為止約有 50 餘個颱風。測站 (ST.1) 原先位於花蓮港新東防波堤外海測，水深 30 公尺，測站經緯度為  $23^{\circ}58'45''\text{N}$ ,  $121^{\circ}37'46''\text{E}$ ，由於考量東防波堤可能造成反射而使量測波高偏大，故於 83 年 7 月北移至舊東防波堤外海側測站(ST.2)，水深 25 公尺之新位置至今，測站經緯度為  $23^{\circ}59'50''\text{N}$ ,  $121^{\circ}38'49''\text{E}$ ，測站地理示意位置如圖 2-6。波浪儀屬浮球式，為荷蘭 Datawell 公司製造之浮球式方向型波浪儀，搭載波浪儀之浮標其錨碇方式是以具伸長性之高張力橡膠索錨碇，以確保浮標隨波浪起伏時之運動能準確反應出波浪週期。在以往相關研究中為探討花蓮港之港池不穩靜現象，曾於颱風侵襲期間於該港港內、外同時進行波浪觀測。除上述 ST.1 及 ST.2 測站外，在提姆颱風侵襲期間於花蓮港港口外 ST.5 及港內 8 號 (W08)、10 號 (W10) 及 22 號 (W22) 碼頭同時佈放壓力式潮波儀進行量測。上節所述三個颱風各測站之波浪觀測資料如表 2-4，測站地理示意位置如圖 2-6。

**表 2-1 芭比 (Bobbie) 颱風相關資料表**

時間 月/日/時	經度	緯度	中心氣壓 ( mb )	中心風速 ( m/s )	十級風半徑 ( km )	七級風半徑 ( km )
06/26/14	125.5	17.3	970	35	100	200
06/26/20	125.0	18.2	970	35	100	200
06/27/02	124.3	19.1	950	43	100	200
06/27/08	124.2	20.0	948	48	100	200
06/27/14	123.6	21.2	948	48	100	200
06/27/20	123.5	22.1	948	48	100	200
06/28/02	123.5	22.6	950	45	100	200
06/28/08	124.0	23.6	960	40	100	200
06/28/14	124.7	24.2	970	35	100	200
06/28/20	125.6	24.8	965	35	100	200

表 2-2 席斯 ( Seth ) 颱風相關資料表

時間 月/日/時	經度	緯度	中心氣壓 ( mb )	中心風速 ( m/s )	十級風半徑 ( km )	七級風半徑 ( km )
10/07/14	128.7	16.9	950	45	150	300
10/07/17	128.0	17.2	935	48	150	300
10/07/20	127.2	17.5	925	51	150	300
10/07/23	126.8	17.8	925	51	150	300
10/08/02	126.5	18.3	925	51	150	350
10/08/05	126.2	18.7	925	51	150	350
10/08/08	125.9	19.0	925	51	150	350
10/08/11	125.6	19.4	925	51	150	350
10/08/14	125.3	19.7	925	51	150	350
10/08/17	125.0	20.2	935	48	150	350
10/08/20	124.6	20.6	935	48	150	350
10/08/23	124.4	20.9	935	48	150	350
10/09/02	124.1	21.2	935	48	150	350
10/09/05	123.8	21.6	935	48	150	350
10/09/08	123.7	22.0	935	48	150	350
10/09/11	123.7	22.4	935	48	150	350
10/09/14	123.7	22.9	935	48	150	350
10/09/17	123.8	23.7	935	48	150	350
10/09/20	123.6	24.0	935	48	150	350
10/09/23	123.4	24.3	940	45	150	350
10/10/02	123.0	25.0	940	45	150	350
10/10/05	122.7	25.6	950	43	150	350
10/10/08	122.6	25.7	955	40	120	350
10/10/11	122.5	25.9	955	40	120	350
10/10/14	122.6	26.3	960	38	100	300
10/10/17	122.9	26.8	960	38	100	300
10/10/20	123.0	27.3	960	38	80	250
10/10/23	123.2	27.9	970	33	80	250
10/11/02	123.3	28.2	975	30	80	250
10/11/05	123.5	28.9	975	30	0	250

表 2-3 提姆 ( Tim ) 颱風相關資料表

時間 月/日/時	經度	緯度	中心氣壓 ( mb )	中心風速 ( m/s )	十級風半徑 ( km )	七級風半徑 ( km )
07/09/08	127.0	18.0	970	35	80	200
07/09/14	125.8	18.6	962	40	100	200
07/09/20	125.3	18.9	952	48	100	250
07/10/02	124.3	19.9	950	51	120	250
07/10/08	123.5	20.7	950	51	120	250
07/10/14	122.6	21.8	945	53	120	250
07/10/20	121.5	23.4	945	53	120	250
07/11/02	119.8	24.5	955	45	100	250
07/11/08	118.5	25.4	970	35	50	200
07/11/14	117.5	26.5	985	25	0	180

表 2-4 颱風波浪觀測資料表

民國年月 西元年月	颱風 名稱	資料涵蓋期間 月/日/時分	波浪儀 型式	取樣間隔	取樣頻率	測站名稱
81/06 1992/06	Bobbie 芭比	06/26/0000 ~ 06/29/1600	浮球式	20min/1hour	2.56 Hz	ST.1
83/07 1994/07	Tim 提姆	07/08/0028 ~ 07/10/1734	方向性 浮球式	20min/2hour	1.28Hz	ST.2
83/07 1994/07	Tim 提姆	07/10/0000 ~ 07/11/0600	壓力式	17min/2hour	2.0Hz	ST.5
83/07 1994/07	Tim 提姆	07/10/1100 ~ 07/11/1400	壓力式	34min/1hour	1.9Hz	W08
83/07 1994/07	Tim 提姆	07/10/1200 ~ 07/11/1300	壓力式	34min/1hour	1.0Hz	W10
83/07 1994/07	Tim 提姆	07/10/0000 ~ 07/11/1400	壓力式	34min/1hour	1.0Hz	W22
83/10 1994/10	Seth 席斯	10/04/0024 ~ 10/12/1227	方向性 浮球式	20min/2hour	1.28Hz	ST.2

【備註】測站 ST.1：經緯度（23°58'45"N, 121°37'46"E），水深 30m

測站 ST.2：經緯度（23°59'51"N, 121°38'49"E），水深 25m

測站 ST.5：經緯度（23°58'00"N, 121°36'30"E），水深 13m

W08：水深 10.5m，W10：水深 9.5m，W22：水深 14.0m

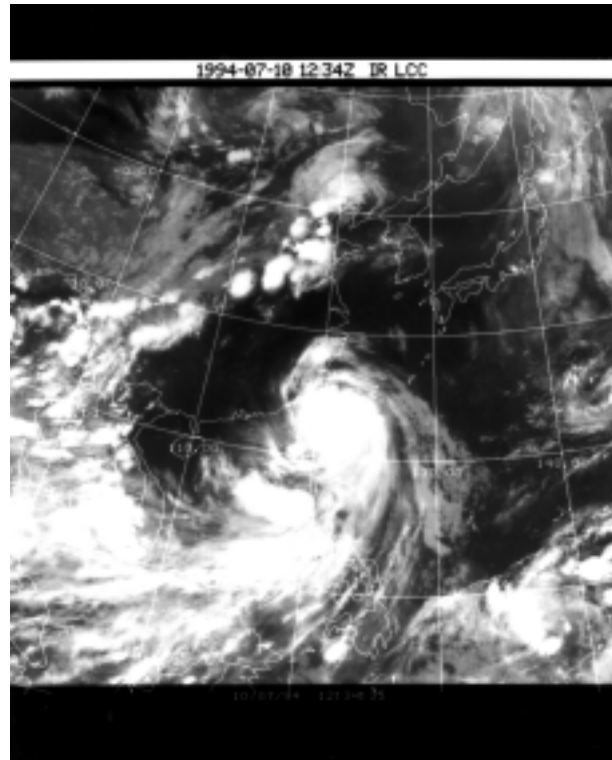


圖 2-1 提姆颱風衛星雲圖 ( 1994/07/10 12:34 )

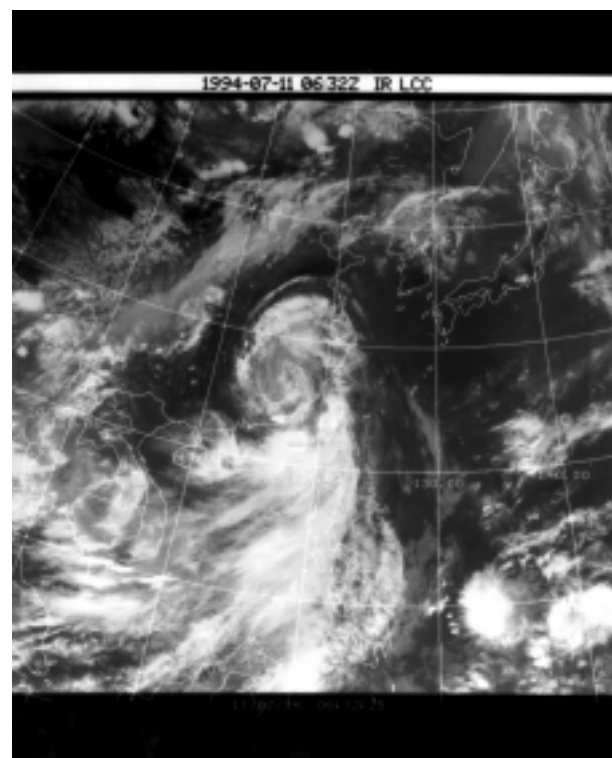


圖 2-2 提姆颱風衛星雲圖 ( 1994/07/11 06:32 )



Typhoon : BOBBIE ; Date : 06/26 14 ~ 06/28 20 (1992) TI : 6 hours

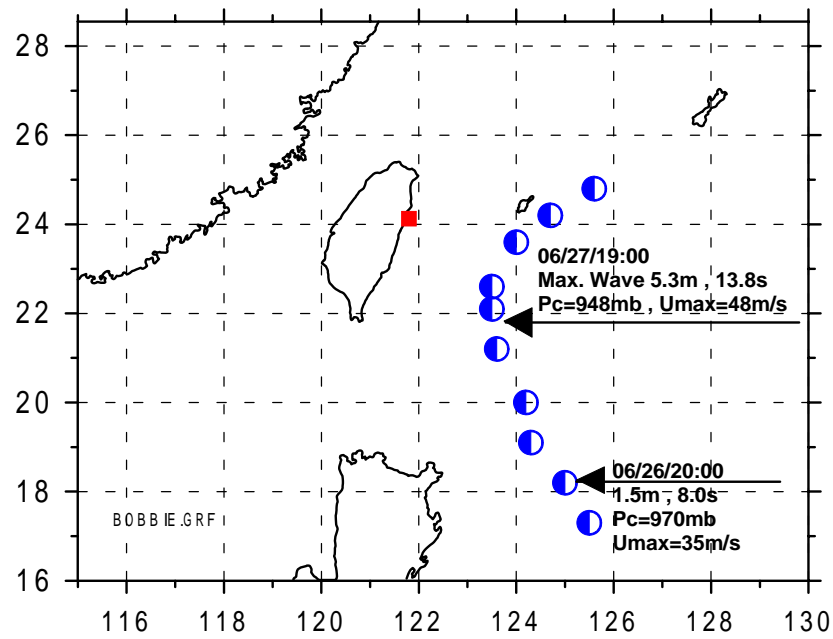


圖 2-3 芭比 (Bobbie) 颱風行進路徑圖 (1992/06)

Typhoon : SETH ; Date : 10/07 14 ~ 10/11 05 (1994) TI : 3 hours

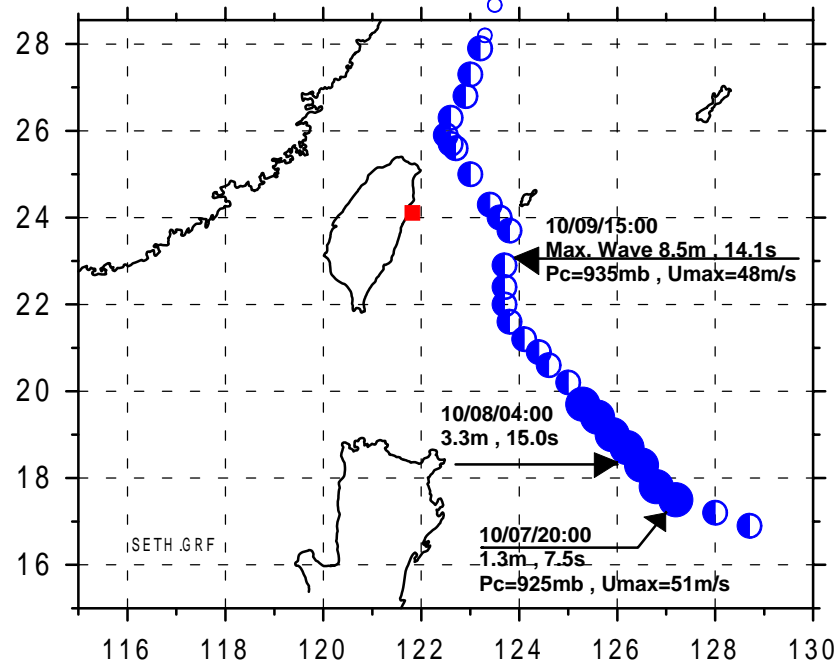


圖 2-4 席斯 (Seth) 颱風行進路徑圖 (1994/10)

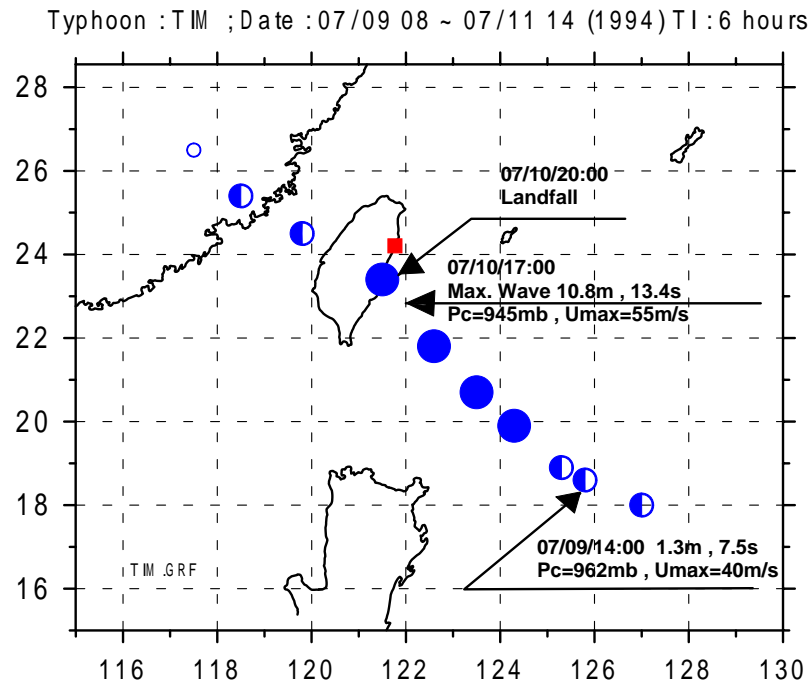
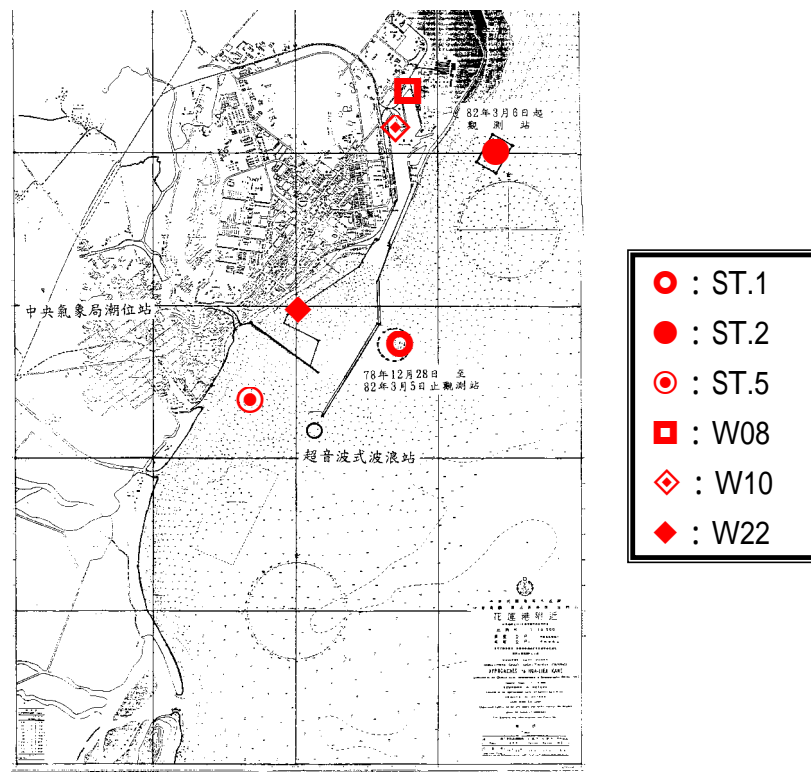


圖 2-5 提姆 ( Tim ) 颱風行進路徑圖 ( 1994/07 )



2-6 花蓮港波浪測站地理位置示意圖

### 第三章 群波分析相關理論

由波浪資料中可發現，大波浪經常成群出現，航海者早就知道群波的存在，但直到 70 年代初期，人們才開始對海浪群波進行系統的研究。目前普遍採用由組成波線性疊加成隨機波浪的模型研究群波，主要有下列幾種方法。

#### 3.1 包絡線理論

在古典水動力學中已提出群波和包絡線的概念，但實際之波浪非常複雜，假設在窄譜條件下，波形可用下式描述：

$$\eta(t) = A(t)\cos[\omega t + \theta(t)] \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

此處  $A(t)$  為波形隨時間變化之振幅，即波形各波峰連線所形成之包絡峰線。每個波群中所包含的波浪個數若以  $L_1$  表示，而  $L_{1a}$  表  $L_1$  之平均值；相鄰兩波群起點間的波浪個數若以  $L_2$  表示，而  $L_{2a}$  表  $L_2$  之平均值，則利用包絡線的譜矩可求算出  $L_{1a}$  及  $L_{2a}$ ，但其結果與實際相較常有偏小的現象。

List ( 1991 ) 認為由波形包絡線定義的參數能確切的描述群性，其處理方式為先把波形紀錄  $\eta(t)$  濾去  $< 0.05\text{Hz}$  的低頻波，然後對  $|\eta(t)|$  進行低通濾波，濾去原始波形而得到波形包絡線  $A(t) = \pi|\eta(t)|/2$ ，並進而定義群波參數  $GFL$

$$GFL = \sqrt{2}\sigma_A / \overline{A(t)} \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

上式中  $\sigma_A$  為包絡線的標準差， $\overline{A(t)}$  為包絡線的均值。 $GFL$  為一無因次參數，且分佈在  $0 \sim 1$  之間。但上述計算包絡線的方法，明顯受到濾波截止頻率的影響。

青島大學越錚等人（1990），認為用 Hilbert 轉換能準確而有效的從波形紀錄  $\eta(t)$  直接計算出包絡線  $A(t)$  而不需進行濾波，排除前述濾波截止頻率的問題，並進一步可求得包絡線譜  $S_A(f)$ 。假設波浪頻譜  $S(f)$  及包絡線譜的零階動差分別是  $m_0$  和  $m_{0A}$ ，則定義群波因子如下：

$$GA = m_{0A}/m_0 \dots\dots\dots (3-3)$$

$$\text{上式中 } m_0 = \int_0^\infty S(f)df, \quad m_{0A} = \int_0^\infty S_A(f)df$$

或以相對均方根高  $GHR$  來表示群性

$$GHR = \sqrt{GA} = \sqrt{m_{0A}/m_0} \dots\dots\dots (3-4)$$

同時以波浪頻譜  $f_P$  和包絡線譜的峰頻  $f_{PA}$  之比來描述群波的長度特性，即

$$GLF = f_P/f_{PA} \dots\dots\dots (3-5)$$

此外越錚等人以包絡線譜零階動差的均方根來表示群性

$$GH = 2\sqrt{2m_{0A}} \dots\dots\dots (3-6)$$

利用 Hilbert 轉換可將一個時域實數訊號  $x(t)$  轉換成另一個時域實數訊號  $\tilde{x}(t)$ ， $x(t)$  及  $\tilde{x}(t)$  分別為一解析波  $z(t)$ （analytical signal）的實部訊號以及虛部訊號，可以  $z(t) = x(t) + j\tilde{x}(t)$  表示；或可以另外的型式

$$\tilde{x}(t) = \int_0^\infty \frac{x(u)}{\pi(t-u)} du \dots\dots\dots (3-7)$$

$z(t) = A(t)\exp[\theta(t)]$ ，其中  $A(t)$ （magnitude function）為原訊號  $x(t)$  的包絡線， $\theta(t)$ （phase function）表示  $x(t)$  之瞬時相位。以下概略說明 Hilbert 轉換的操作以供參考。

若有一個時域之實數訊號  $x(t)$ ，則其 Hilbert 轉換的表示式如(3-7)式，該積分式所代表的意義為將  $x(t)$  與  $1/\pi t$  經摺積運算（convolution integral）即可求得 Hilbert 轉換之結果，此即

$$\tilde{x}(t) = x(t) * \frac{1}{\pi t} \dots\dots\dots (3-8)$$

若直接以 (3-7) 式計算一般訊號的 Hilbert 轉換結果並不容易，但是利用傅立葉轉換則可快速求得 Hilbert 轉換結果。令  $X(f)$  為  $x(t)$  之傅立葉轉換結果， $\tilde{X}(f)$  為  $\tilde{x}(t)$  之傅立葉轉換結果， $Z(f)$  為  $z(t)$  之傅立葉轉換結果，則

$$\begin{aligned} Z(f) &= F[x(t) + j\tilde{x}(t)] \\ &= F[x(t)] + jF[\tilde{x}(t)] \dots\dots\dots(3-9) \\ &= X(f) + j\tilde{X}(f) \end{aligned}$$

其中， $F[\ ]$  表示傅立葉轉換；此外可求得

$$F\left[\frac{1}{\pi t}\right] = -j \operatorname{sgn} f = \begin{cases} -j & f > 0 \\ j & f < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(3-10)$$

則由 (3-8) 式及 (3-10) 式可得

$$\tilde{X}(f) = (-j \operatorname{sgn} f) X(f) \dots\dots\dots(3-11)$$

若將 (3-11) 式代入 (3-9) 式，可得

$$\begin{aligned} Z(f) &= X(f) + j[-j \operatorname{sgn} f] X(f) \\ &= (1 + \operatorname{sgn} f) X(f) \\ &= B(f) X(f) \dots\dots\dots(3-12) \end{aligned}$$

其中

$$B(f) = \begin{cases} 2 & f > 0 \\ 0 & f < 0 \end{cases}$$

所以

$$Z(f) = \begin{cases} 2X(f) & f > 0 \\ 0 & f < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(3-13)$$

將  $Z(f)$  經逆傅立葉轉換可得  $z(t)$ ，取其實部為原始訊號  $x(t)$ ，取其虛部為  $\tilde{x}(t)$ ，即可得到  $x(t)$  之 Hilbert 轉換結果。

$$x(t) = \text{Re}[2 \int_0^{\infty} X(f) \exp(j2\pi ft) df] \dots\dots\dots (3-14)$$

$$\tilde{x}(t) = \text{Im}[2 \int_0^{\infty} X(f) \exp(j2\pi ft) df] \dots\dots\dots (3-15)$$

$\text{Re}[\ ]$ 表示取一複數之實部， $\text{Im}[\ ]$ 表示取一複數虛部。

### 3.2 波連的統計理論

Goda (1970) 依向上零切法順序確定各個波浪的波高，然後定義超過某個預定門檻值  $H_c$  的連續波為波連。連內的波浪個數稱為連長以  $j_1$  表示；同時將波高超過  $H_c$  的波連其重複出現時段內的波浪個數稱為總連長以  $j_2$  表示。假定兩相鄰波高是相互獨立，則由概率分析法可導得連長的分佈以及平均連長和平均總連長的計算公式。但由於相鄰兩波高間，不可能認為毫無關聯，以現場觀測紀錄中，最大波高均發生在一串大波（一個波連）之中，因此，假設前後兩波高相關係數為零之前提下，所求的連長與總連長出現概率均較實際情況為小（一些實測波浪的波高相關係數為 0.24 ~ 0.4；對於遠洋傳來之湧浪則可達 0.5 ~ 0.8），故應由近因過程（Markov Chain）的理論推求才合理。Kimura (1980) 考量這種實際情況，依波高相關係數導出波浪連長的機率理論計算公式，由其公式計算所得之連長  $\bar{j}_1$  及總連長  $\bar{j}_2$  與觀測結果相當符合。由於本研究暫不進行波連計算，故本節有關波連的統計概率分析法及相關計算公式可參考湯麟武「波浪學綱要」第 363 頁至 376 頁，在此不再贅述。

### 3.3 平滑化瞬時波能歷程

出現連續大波的波連時，表示該時段內的波浪能量較其他時段為大，故 Funke (1980) 提出平滑化瞬時波能歷程 (Smooth Instantaneous Wave Energy History) 的概念，即水位平方  $[\eta(t)]^2$  的移動平均，平均範圍為  $T_p$  ( $T_p$  為波譜尖峰頻率  $f_p$  之倒數)。換言之，是取  $T_p$  時段內（或稱窗寬度為  $2T_p$  之時間窗  $T_w$  內）的波形方差，作為該時段中點處的瞬

時波能，而得到瞬時波能光滑歷程線  $E(t)$  為

$$E(t) = \frac{1}{T_p} \int_{T_p}^{T_p} \eta^2(t + \tau) Q_1(\tau) d\tau \dots\dots\dots (3-16)$$

式中平滑函數  $Q_1(\tau)$  取 Barlett 窗，即

$$Q_1(\tau) = 1 - |\tau|/T_p \quad -T_p \leq \tau \leq T_p \dots\dots\dots (3-17)$$

SIWEH 能顯示出群波情況，波浪的群性愈強， $E(t)$  的值愈大。為了進一步表現群性，計算 SIWEH 的頻譜  $S_e(f)$ ，而其零階動差為  $m_{0e}$ ，Funke et. al. ( 1980 ) 定義群波參數  $GF$  為

$$GF = \sqrt{\frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} [E(t) - \bar{E}]^2 dt} / \bar{E} = \sqrt{m_{0e}} / m_0 \dots\dots\dots (3-18)$$

式中  $T_n$  是波浪資料總長度。此外 Funke et. al. ( 1980 ) 還以向上零切法分析歷程線  $[E(t) - \bar{E}]$  而求出週期  $T_{SIWEH}$ ，進而定義另一個群波參數

$$\bar{T}_{SIWEH} = \frac{1}{T_p} \frac{1}{N_s} \sum_{j=1}^{N_s} (T_{SIWEH})_j \dots\dots\dots (3-19)$$

$\bar{T}_{SIWEH}$  近似的表示一個波群中的平均波浪個數。由 ( 3-16 ) 式計算 SIWEH 時，相當於採用截止頻率  $f_c = f_p$  進行低通濾波，因此， $GF$  受  $T_p$  值影響。

## 第四章 群波與波譜參數

### 4.1 群波參數

上一節中介紹群波的理論與分析方法，同時各方法也提出描述波浪群性的參數。進一步檢視這些參數，不外乎從兩個角度來描述群性，一是描述群波的高度特性，如上述不同定義的各個群波參數  $GFL$ 、 $GA$  和  $GF$  等；另一方面是描述群波的長度特性（或時間特性），如平均連長  $\bar{j}_1$ 、 $\bar{j}_2$  和群波參數  $GLF$  及  $\bar{T}_{SIWEH}$ 。以下分別對其在計算上之適用性及限制性做分析說明。

#### 4.1.1 群波高度參數

Funke et. al.( 1980 )由 SIWEH 導得的  $GF$  目前獲得最廣泛的應用，SIWEH 實際上是把  $T_p$  時段內原始波的高頻波濾掉，而把該時段內波列的光滑化平均能量作為中點時刻的瞬時能量，因而 SIWEH 和  $GF$  必然受到  $T_p$  值的影響。實際上採用波能歷程線法研究波群的各學者多採用不同的時間窗寬。俞等人(1988)根據渤海實測風浪資料分析  $GF$  的結果發現，發現  $GF$  受時間窗寬影響，例如當  $T_w$  由  $0.5T_p$  增大為  $2T_p$  時， $GF$  值可由 0.68 增大到 1.06。  $GF$  的另一個缺點是沒有限定的變化範圍，某些波列的  $GF$  值可比 1.0 大很多，因此在衡量群波高度的大小上方面不夠準確。

由於 List ( 1991 ) 所建議之  $GFL$  和越錕等人之  $GA$  參數都是從包絡線觀點出發而導得，所以它們之間有內在的關聯性。依第三章這兩個參數的定義，在假定波高符合雷禮分布(Rayleigh distribution)的情況下，它們之間有如下之關係

$$\sigma_A = \sqrt{m_{0A}} \quad , \quad A(t) = \sqrt{\pi m_0/2} \dots\dots\dots (4-1)$$

所以從理論上可以得到



$$GHR = \sqrt{GA} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} GFL = 0.886 GFL \dots\dots\dots (4-2)$$

計算  $GFL$  時要對原始波形進行高通和低通濾波，但這牽涉到截止頻率選取的問題，雖然 List 建議取低通截止頻率為 0.3Hz，然而俞等人 (1988) 對渤海風浪資料取四種不同的截止頻率，結果發現當截止頻率由 0.2Hz 增至 0.5Hz 時， $GFL$  值可由 0.84 減為 0.59，可見截止頻率對  $GFL$  的影響不可忽略。

第三章 (3-3) 式越錚等人 (1990) 所定義  $GA$  的包絡線是由 Hilbert 變換，直接由波形紀錄計算出來的，雖避免了截止頻率的影響，但  $GA$  值的變化範圍較小，俞等人 (1988) 由渤海波浪資料分析得  $GA$  侷限在 0.2 至 0.42 之間，故認為也難以作為群高的參數。此外越錚等人另提出  $GH = 2\sqrt{2m_{0A}}$  ( $m_{0A}$  為波譜之零階動差) 之群高參數，但此式是一個非無因次參數，且由其定義可知與波高有直接之密切關係，作為衡量群波高度仍有疑問。Medina (1990) 根據包絡線的波高  $H_A$  平方之標準差定義群高參數  $GF$  如下：

$$GF = \sigma_{H_A^2} / 8m_0 \dots\dots\dots (4-3)$$

此參數以包絡線波高的均方根與波譜零階動差之比作為群波參數，其主要認為群波現象大都發生在包絡線波列出現大波高的時候。俞等人 (1998) 在分析大量實測資料的基礎上，綜合上述各種方法的優點後，建議一個群波高參數  $GFH$  如下：

$$GFH = \sqrt{2}\sigma_A / \overline{A(t)} \dots\dots\dots (4-4)$$

式中  $\sigma_A$  與  $\overline{A(t)}$  分別為包絡線的方差和均值，包絡線為利用 Hilbert 轉換波形紀錄直接計算而得到的，此與 List (1991) 的包絡線求算方法不同，故兩者包絡線的方差與均值也不相等。波形  $\eta(t)$  的 Hilbert 轉換  $\hat{\eta}(t)$  定義為

$$\hat{\eta}(t) = \frac{P}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\eta(\tau)}{t - \tau} d\tau = \eta(t) * \frac{1}{\pi t} \dots\dots\dots (4-5)$$

式中  $P$  表示在  $t = \tau$  處取柯西主值， $*$  表示捲積。則波形的包絡線  $A(t)$  為

$$A(t) = [\eta^2(t) + \hat{\eta}^2(t)]^{1/2} \dots\dots\dots (4-6)$$

但由  $\eta(t)$  直接計算  $\hat{\eta}(t)$  式不容易的。通常利用 Hilbert 轉換的特性，可將波形紀錄  $\eta(t)$  作傅立葉變換得  $F\{\eta(t)\}$ ，然後將其  $\omega > 0$  的部分乘 2，將  $\omega < 0$  的部分取為零，得到  $H(\omega)$ ，再將  $H(\omega)$  作傅立葉逆變換，便得到  $\eta(t) + i\hat{\eta}(t)$ ，取其模即為包絡線  $A(t)$ 。經過這樣計算得到的包絡線沒有濾波截止頻率和其他因素的影響，且  $GFH$  的參數值介於 0~1 之間。俞等人（1998）由渤海風浪資料分析發現  $GFH = 0.48 \sim 0.87$ ，且群性大的  $GFH$  值大，包絡線譜值也大；群性小的  $GFH$  值小，包絡線譜值也小，顯示  $GFH$  描述群性是有效的。

#### 4.1.2 群波長度參數

不少實測資料已證明，Goda 建議的計算群波連長的方法，常得到偏小的結果。其原因為在假設前後兩波高相關係數為零之前提下，所求的連長與總連長出現概率均較實際情況為小。第三章所定義之  $GLF$  是波譜的峰頻  $f_p$  與包絡線譜峰頻  $f_{pA}$  的比值，所以  $GLF$  越大，包絡線的週期相對於波週期越大，也就是波群越長，從這個方面來看  $GLF$  參數的定義既簡單又實用。但實際分析計算結果發現， $f_{pA}$  值通常很小，故很難準確的計算。 $\bar{T}_{SIWEH}$  與  $GF$  一樣受到濾波頻率的影響，也難以應用。根據俞等人（1998）利用渤海的資料分析結果顯示，Kimura 考量波高相關係數所導出之平均連長  $\bar{j}_1$  與波譜形狀的峰度參數  $QP$ （定義如下節說明）、實測平均總連長  $j_2$  以及群波參數  $GFH$  也有較高的相關性，故建議採用。

## 4.2 波譜參數

對於波浪能量結構之組成，一般可藉由波譜分析所得之各頻率成分波能量大小獲得瞭解，並且也可由波譜形狀的變化得知各成份波間其能量的轉移情形。在本次研究中參考以往學者所提出的三種波譜形狀參數如下：

Goda(1976)所得出之波譜形狀峰度參數

$$QP = \frac{2}{m_0} \int_0^\infty f S^2(f) df \dots\dots\dots (4-7)$$

medina(1990)所提出之波譜形狀尖度參數

$$QE = 2m_1 \int_0^\infty S^2(f) df / m_0^3 \dots\dots\dots (4-8)$$

Longuet-Higgins(1975)所提出之波譜形狀窄度參數

$$Hig - v = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1} \dots\dots\dots (4-9)$$

上列各式中  $m_n = \int f^n S(f) df$  為波譜的  $n$  階動差。

## 第五章 颱風波浪之群波分析

本研究共選取 3 個不同路徑的颱風（芭比 Bobbie、提姆 Tim 及席斯 Seth），不同之 6 個測站共 7 組波浪資料進行分析，相關資料如表 2-4。這 6 個波浪測站依其在花蓮港區的分布位置，可分為港外測站 ST.1 及 ST.2；港口測站 ST.5 及港內測站 W08、W10 及 W22 等站。根據以往研究之分析結果發現，港內與港外波浪之組成成分有所差異，因此本文將港內、港外分析結果分別檢視。此外，本次研究先針對群高參數與波譜參數作探討，至於群長與波連統計則於後續研究（92 年度計畫）進行。

### 5.1 波高、週期與各參數逐時變化

本節主要探討各參數隨颱風波浪之波高及週期的逐時演變趨勢情形，解此明瞭在颱風波浪的成長或減衰過程中，各參數值的變化情形。

由港外測站檢視芭比颱風之波高、週期及各參數的逐時變化如圖 5-1-1，提姆及席斯颱風則分別如圖 5-1-2 及圖 5-1-3。圖中  $GFI$  表由 Funke 所定義之群波參數如 (3-18) 式； $GFL$  表由 List 所定義之群波參數如 (3-2) 式； $GF2$  表由 Medina 所定義之群波參數如 (4-3) 式； $GHR$  表由越錚等人所定義之群波參數如 (3-4) 式； $GFH$  表由俞等人所定義之群波參數如 (4-4) 式； $GH$  表由越錚等人所定義之群波參數如 (3-6) 式； $QP$  表由 Goda 所定義之波譜峰度參數如 (4-7) 式； $QE$  表由 Medina 所定義之波譜尖度參數如 (4-8) 式； $Hig-V$  則表由 Longuet-Higgins 所定義之波譜窄度參數如 (4-9) 式，以下各圖中符號同此說明。總計本研究共取 9 個參數（群波參數 6 個，波譜形狀參數 3 個）作分析、比較。

由圖 5-1-1~圖 5-1-3 中發現除了  $GH$  參數外，其他群波參數之逐時變化趨勢與波高或週期沒有明顯關聯性存在。換言之，在波高的增大

或減衰過程中，群波參數值並沒有隨同增大或減小，而大致維持在某區間內變動。也就是波浪的群性並沒有隨波高的增大及減小而有明顯的趨勢性改變。不過  $GH$  參數的逐時變化趨勢則與波高相當一致，當波高增大或減小時， $GH$  參數值也隨之增大或減小。由  $GH$  的定義可知其為包絡線譜零階動差的均方根，不是一個無因次參數（ $GH = 2\sqrt{2m_{0A}} \approx 2.828\sqrt{m_{0A}}$ ），事實上與包絡線的振幅大小有關，也就是若將包絡線波形視為一波列，則當波列之波高愈大時， $GH$  參數值也愈大。依此看來當原始波列（即水位變化紀錄）的波高愈大時，原始波列的包絡線所形成之波列的波高也愈大，故造成  $GH$  參數值便大，換言之，若  $GH$  參數是衡量群性的可靠參數，則波高愈大者則其群波特性愈明顯，但這種推論是有缺陷的，主要原因為  $GH$  並非是一個無因次參數。假設有 A、B 兩個波列，A 波列之波形群波現象明顯，但其波高較小；B 波列之波形群波現象不明顯，但其波高較大，依前述推論則 B 波列因波高較大，故群性較強，但此與假設矛盾。癥結在於何謂群波現象明顯？所謂群波現象明顯以直覺的波形變化外觀來看，是由大波高及小波高組成且波高值相近的波，相互緊鄰成群出現，若大波高、小波高相互夾雜依序出現則群波現象不明顯，或是大小波高值差異不大時群波現象也不明顯。由於  $GH$  不是無因次參數，因此，相較於其他無因次之群波參數，它難以衡量波浪群性。由圖 5-1-1~圖 5-1-3 中發現，波譜形狀參數與波高之逐時變化趨勢，同樣沒有明顯的關聯性存在。

提姆颱風在港口及港內測站之波高、週期與各參數的逐時變化分別如圖 5-1-4~圖 5-1-7。由各圖中發現除  $GH$  參數外，其他各參數與波高之逐時變化趨勢和港外測站同樣沒有明顯的關聯性。不過若以較寬鬆的標準檢視圖 5-1-4，則發現當波高大時各參數值較小（當然  $GH$  除外），其原因如何？由於僅一組數據無法做進一步考察，留待後續探討。

依本次研究採用之波浪資料分析，綜合而言，除  $GH$  參數外，其他各參數的逐時變化並未隨波高有明顯的趨勢性改變，即在颱風接近（或遠離）期間，波高雖然有增長（或衰減），但波浪的群性並沒有隨之增強或減弱的現象，且波譜形狀同樣也沒有一致性的趨勢變化，這種結果在港內或港外測站是一樣的。

## 5.2 群波高度參數與波譜形狀參數

本節主要在探討 6 個群波高度參數分別與 3 個波譜形狀參數間之關係，藉此明瞭當波浪群波現象明顯時，波譜形狀參數是否發生變化？或者當波譜形狀為窄頻時是否群波較明顯？還是寬頻時較明顯等等。

各颱風或測站之各群波高度參數與波譜形狀峰度參數  $QP$  之關係如圖 5-2-1~圖 5-2-7。從這些圖中發現波譜形狀峰度參數  $QP$  與各群波高度參數並沒有明顯的關聯性。由於一般風浪的峰度參數值約 2 左右，參數值愈大表湧浪成分愈大，由圖中  $QP$  的分布檢視，在港外測站其值大都介於 2.0~4.0 之間，因此研判波浪中含有不可忽略的湧浪成分，然而當  $QP$  值大時，群波高度參數並未隨之增大（或減小）。換言之，颱風湧浪的群波現象不一定較風浪明顯。不過若以較寬鬆的標準來看，則圖 5-2-2 席斯颱風之 ST.2 測站波浪的群波參數（ $GH$  除外）隨  $QP$  增大而增大，也就是颱風湧浪成分愈大，群波現象愈明顯。但圖 5-2-6 提姆颱風之 W10 測站波浪的群波參數僅  $GF1$  及  $GF2$  隨  $QP$  增大而增大， $GHR$  及  $GFH$  則減小，故仍無法歸納出一致的關係，不過要注意的是本圖中  $QP$  值皆小於 2.0，與一般風浪約 2 左右、湧浪則大於 2 的情況不同，這否意味著對於港內長週期波（其他相關研究已證明花蓮港內存在著 30 秒以上的長週期波）有其特殊性。此外，圖 5-2-7 提姆颱風之 W22 測站則僅有  $GF1$  及  $GF2$  隨  $QP$  增大而增大，與圖 5-2-6 不同的是  $QP$  值大都在 2 左右，此處要補充說明的是圖 5-2-6 及圖 5-2-7 皆是花蓮港港內的測站的分析結果。

圖 5-2-8~圖 5-2-14 為各群波高度參數與波譜形狀尖度參數  $QE$  之關係圖，從這些圖中發現  $QE$  參數與各群波高度參數同前述一樣沒有明顯的關聯性，並且各對應圖（指相同的颱風或測站數據如圖 5-2-1 與圖 5-2-8 同為芭比颱風 ST.1 測站）相比較非常相似，其原因為  $QP$  與  $QE$  兩參數相關性高，此部份將在後面章節再作說明。

圖 5-2-15~圖 5-2-21 為各群波高度參數與波譜形狀窄度參數  $Hig-V$  之關係圖，從這些圖中發現  $Hig-V$  參數與各群波高度參數同前述一樣也沒有明顯的關聯性，此表示颱風波浪群性與波譜窄度參數無關。

### 5.3 群波高度參數間比較

本研究共取 6 種群波高度參數，因此它們之相互之間共有 15 種關係，7 組實測颱風波浪資料其群波高度參數間之關係分別如圖 5-3-1~圖 5-3-7。由這些圖中可發現各參數間之相關性並不一致。依其相關性的大小可分，高度相關、中度相關及弱度相關等三類，和港外、港口及港內測站等三種。首先由港外測站檢視，如圖 5-3-1~圖 5-3-3 所示，除  $GH$  參數外， $GF1$  與其他參數間之關係呈現中度正相關，當  $GF1$  增大時其他參數也隨之增大。除  $GH$  與  $GF1$  外，其他四種群波參數相互間（ $GFL : GF2$ ）、（ $GFL : GHR$ ）、（ $GFL : GFH$ ）、（ $GF2 : GHR$ ）、（ $GF2 : GFH$ ）及（ $GHR : GFH$ ）之關係則呈現高度正相關，其中又以  $GHR$  與  $GFH$  相關性最高，呈現線性正比關係，約可以  $GHR = 0.886GFH$  來表示。這種關係的存在可由兩參數的定義獲得解釋，參照第三章  $GHR = \sqrt{m_{0A}/m_0}$ ，另參照第四章  $GFH = \sqrt{2\sigma_A/A(t)}$ ，當波高符合雷禮分布時

$$\sigma_A = \sqrt{m_{0A}} \quad \text{且} \quad A(t) = \sqrt{\pi m_0/2} ,$$

因此  $GHR = \sqrt{\pi} * GFH / 2 = 0.886GFH$ ，此類似第四章之（4-2）式  $GHR=0.886GFL$ 。不過要強調的是（4-2）式中  $GFL$  是由 List 所定義之

包絡線所求得，而  $GFH$  與  $GHR$  皆是由經 Hilbert 轉換之包絡線所求得。因此，只要波高符合雷禮分布則  $GHR=0.886GFH$ ；但由於計算包絡線的方法不同，即使波高符合雷禮分布， $GHR$  也不一定等於  $0.886GFL$ 。 $GF1$  參數與其他參數間相關性較低之原因，為  $GF1$  是由 SIWEH 的方法計算，與其他群波高度參數是由包絡線計算不同。 $GH$  與其他五種參數相關性弱的原因，為如前述  $GH$  並非是一個無因次參數，而是一個與波高有密切關係的參數。為了比較各參數間之相關性，今以下表表示。

	GFH	GHR	GH	GF2	GFL
GF1					
GFL	●	●		●	
GF2	●	●			
GH					
GHR	● ●				

表中空心單圓表弱度相關，空心雙圓表中度相關，實心圓表高度相關，雙實心圓則表最高度相關。

上述分析結果係針對港外測站，港口測站之參數相關性如圖 5-3-4，圖中顯示各參數間之相關趨勢大致與港外相似，只是相關性的強度除 ( $GFH : GHR$ ) 外，有略為變弱的情況。港內測站之參數相關性如圖 5-3-5~圖 5-3-7 所示，由這些圖中發現各參數間之相關性不明顯，此與港外測站的結果不同，但是 ( $GFH : GHR$ ) 的相關性還是很高，仍然是線性正比關係， $GHR=0.886GFH$  的關係也仍然符合。

綜合而言，各群波高度參數於港外測站有較佳的相關性，港內測站則不同，各參數間的相關性不明顯，此是否因為港內波浪的特性與港外不同所致，有待進一步探討。各群波參數由於處理觀點或計算手



法的不同，相互之間會存在差異，但若處理觀點相同則差異性降低，例如都是由包絡線觀點出發而計算之參數間相關性相當明顯，甚至兩者間只是簡單的線性關係。在本次分析中  $GHR$  與  $GFH$  兩參數，不管在港外或港內，線性相關性非常明顯，可以線性關係式  $GHR=0.886GFH$  來表示。但這兩個參數雖然都是 Hilbert 轉換波形而得到包絡線，但計算的方法並不相同，因此，一般情況下兩參數不一定會有圖中所顯示如此高的相關性存在，除非當波高為雷禮分佈時，則上述線性關係式存在。值得注意的是，此關係式在港內、外皆存在，因此推論港內、外波浪之波高分佈大致都符合雷禮分佈。實際情形是否如此？將在後續研究中進一步分析。

## 5.4 波譜參數間比較

本次研究共選取峰度  $QP$ 、尖度  $QE$  及窄度  $Hig-V$  等三種波譜形狀參數，其定義詳如第四章。各參數間之相關如圖 5-4-1~圖 5-4-7，由圖中顯示  $QP$  與  $QE$  兩參數相關性明顯，尤其在港外測站時，可視為簡單的線性正比關係。 $Hig-V$  與  $QP$  或  $QE$  的相關性皆不明顯，但在港內測站則有  $QP$  和  $QE$  隨  $Hig-V$  的增大而減小的趨勢如圖 5-4-5~圖 5-4-7。基本上，這三個參數皆與波譜的  $n$  階動差  $m_n = \int f^n S(f) df$  有關，其中  $QP$  為 0 階、 $QE$  為 1 階而  $Hig-V$  為 2 階。Rye 和 Goda 都指出波譜高頻部分，由於割棄 (cut-off) 的限界  $f_{max}$  (與取樣頻率有關， $f_{max} = 1/2\Delta t$ ) 對高階動差造成影響。本文三個參數中以  $Hig-V$  的動差階數最高，因此最不穩定，而造成該參數與其他兩個參數相關性低的原因。

綜合而言，三種波譜形狀參數中以  $QP$  和  $QE$  相關性高，可視為簡單的線性正比關係，但港內由於波浪特性差異，故相關性稍低。 $Hig-V$  由於含較高階的動差項故較不穩定，使得該參數與其他兩個參數相關性不明顯。

## 5.5 各參數分佈比較

本節將考察各參數值的分佈區間範圍，和依常態分佈標準，來檢視其集中程度與分佈形狀。如圖 5-5-1~圖 5-5-7 所示，*GF1* 的分布大致符合左偏之常態分布，港外、口測站較集中分布在 0.5~1.0；港內測站較分散分布在 0.0~1.0 之間。*GFL* 的分布大致也符合左偏之常態分布，分布區間之大小和位置隨測站各有不同，但集中程度則相似，其中測站 ST.5 有分離情況出現。*GF2* 的分布大致仍符合左偏之常態分布，港外、口測站相當集中分布在 0.75~1.15；港內測站較分散分布在 0.3~0.9 之較小值域間。*GH* 分布不符合常態分布，呈現相當分散的情形，此應與該參數是一個與波高有密切關係之非無因次參數有關。*GHR* 的分布大致符合常態分布，分布區間之大小和位置隨測站各有不同，但集中程度則相似，其中測站 ST.5 也有分離情況出現。*GFH* 參數如前述與 *GHR* 有非常密切之相關，故其分布與 *GHR* 非常相似。*QP* 在某些測站不符合常態分布，港外、口測站分布在 2.0~5.0；港內測站 W22 分布在較小的值域 1.0~4.0 之間，W08 和 W10 則分布在更小的值域 0.0~2.0 之間。*QE* 參數如前述與 *QP* 有非常密切之相關，故其分布與 *QP* 非常相似。*Hig-V* 的分布大致符合常態分布，但分布區間之大小和位置隨測站各有不同，港外、口測站較集中分布在 0.3~0.6；港內測站較分散分布在較大的值域之間，W08 分布在 1.0~1.5、W10 分布在 1.0~2.0、W22 分布在 0.3~0.75。

綜合而言，各群波參數及波譜參數的分布形狀、集中程度與分布區間位置與大小，隨參數不同而各有差異（相互關係密切參數除外），但即使同一參數，隨測站不同也會發生明顯的差異。站在衡量群波特性的觀點，參數分布愈廣愈能有效評估波浪的群性大小。依此看來 *GF1* 和 *GFH* 應是不錯的群性評量參數。

## 5.6 各參數與示性波高、週期

本節主要探討各參數與示性波高或週期之相關性,藉此明瞭是否於大波高(或小波高)時,群波參數值較大(或變小),波浪群性較強(或較弱)。圖 5-6-1~圖 5-6-7 為各參數與示性波高(a 圖)或週期(b 圖)之相關圖,由圖中顯示  $GH$  參數與  $H_{1/3}$ (示性波高)相關性很高,兩者關係密切,可視為線性正比關係,在不考量圖中  $GH$  和  $H_{1/3}$  的單位下,兩者可以  $H_{1/3} = 2*GH$  做近似表示。除 Seth 颱風之 ST.2 和港內測站外, $GH$  參數與  $T_{1/3}$ (示性週期)之相關性也不錯,但較  $GH$  與  $H_{1/3}$  之相關性稍差。 $GFL$  和  $H_{1/3}$  及  $T_{1/3}$  的相關性不明顯,不過在港外測站有些許呈現正比的趨勢變化,但港口測站則成反比。 $GF2$  和  $H_{1/3}$  及  $T_{1/3}$  的相關性也不明顯,在港口測站有些許呈現反比的趨勢變化。 $GHR$  與  $GF2$  相同和  $H_{1/3}$  及  $T_{1/3}$  的相關性也不明顯,同樣在港口測站有些許呈現反比的趨勢變化。由於  $GFH$  與  $GHR$  兩參數關係非常密切,故  $GFH$  與  $H_{1/3}$  及  $T_{1/3}$  的相關性結果同  $GHR$ 。其餘參數  $GF1$ 、 $QP$ 、 $QE$  及  $Hig-V$  和  $H_{1/3}$  或  $T_{1/3}$  皆無明顯相關性存在。

綜合而言,除  $GH$  參數外,各參數和  $H_{1/3}$  及  $T_{1/3}$  的相關性皆不明顯。對  $GFL$ 、 $GF2$ 、 $GHR$  及  $GFH$  等參數在港口測站與  $H_{1/3}$  及  $T_{1/3}$  的關係,呈現些許的反比趨勢變化,因此,港口之波浪特性與港外或港內相較可能存有差異。波高增大時群波參數並未隨之增大或減小,週期也是同樣情況。換言之,波浪的群性大小與波高及週期皆無關,波高大或長週期時群波現象不一定較明顯,有時小波高或短週期也會出現明顯的群波現象。只是小波高時之群波沒有大波高時之群波來得更具威脅性而已。

## 5.7 不同颱風或測站之各參數平均值

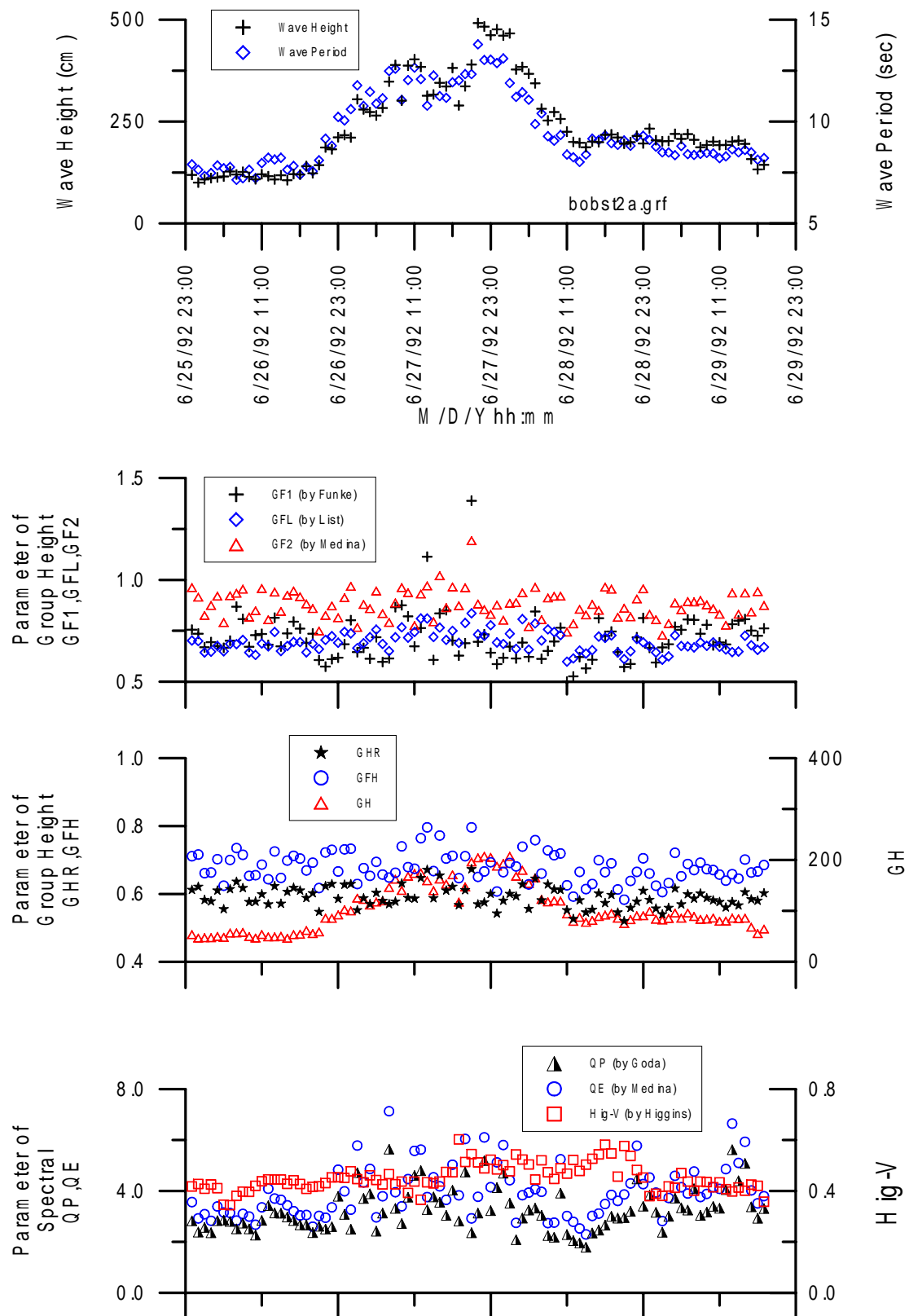
本節主要是以某一個颱風侵襲期間該組波浪之多筆資料平均,作為某一測站的參數平均值,來檢視其在不同測站與不同平均波高下之差異,其結果如下表。

颱風 - 測站	GF1	GFL	GF2	GH	GHR	GFH	QP	QE	Hig-V	H <sub>1/3</sub>
Bobbie---ST.1	0.714	0.695	0.879	103.3	0.591	0.679	3.22	3.93	0.451	236.9
Seth ---ST.2	0.681	0.634	0.848	99.5	0.561	0.648	3.19	4.01	0.525	227.4
Tim ---ST.2	0.780	0.652	0.885	128.0	0.592	0.683	3.78	4.51	0.441	282.7
Tim ---ST.5	0.604	0.664	0.645	172.7	0.536	0.599	3.76	3.97	0.335	420.1
Tim ---W08	0.441	0.713	0.799	51.1	0.561	0.636	1.71	2.82	1.266	106.8
Tim ---W10	0.426	0.742	0.560	38.1	0.602	0.691	1.13	2.55	1.52	65.0
Tim ---W22	0.520	0.732	0.670	81.2	0.546	0.622	2.47	2.49	0.595	181.9

由上表中之  $H_{1/3}$  為基準，比較各參數平均值隨颱風或測站之變化趨勢情形。港外三個測站（Bobbie-ST.1、Seth-ST.2、Tim-ST.2）的參數  $GF1$  隨  $H_{1/3}$  增大（減小）而增大（減小），例如 Tim-ST.2 的波高平均值為 282.7cm 對應  $GF1$  參數值為 0.780、Bobbie-ST.1 的波高平均值為 236.9cm 對應  $GF1$  參數值為 0.714 及 Seth-ST.2 的波高平均值為 227.4cm 對應  $GF1$  參數值為 0.681。一致的變化趨勢存在原因為  $GF1$  是由波能移動平均的方式求得，因此，當測站間（即不同組資料）波浪特性（與測站水深或波高分佈或波浪尖銳度有關的特性）相似時，波高愈大者波能也愈大，故參數  $GF1$  值也愈大，但這種解釋對同一測站（即同一組資料）的波浪則不適用。此外，港口及港內測站也保持相同的變化趨勢，不過若將港口測站 Tim-ST.5 與港外三個測站一併比較，則發現港口測站的  $H_{1/3}$  平均值最大，但其對應  $GF1$  參數平均值並非最大。因此，在比較上宜將港外、港口及港內測站分別分開，這種處理方式除了方便歸納外，也基於前述（如本章第 1~6 節）港口及港內測站之波浪特性有異於港外測站的事實。參數  $GFL$  的平均值與  $H_{1/3}$  之平均值變化無關，即參數  $GFL$  和  $H_{1/3}$  的變化趨勢無關，故無法歸納得到相同或相反的變化趨勢。參數  $GF2$  的平均值與  $H_{1/3}$  之平均值變化趨勢在港外一致，港口及港內測站則無關。參數  $GH$  的平均值與  $H_{1/3}$  之平均值變化趨勢在港外、港口及港內皆一致。其原因如本章前述， $GH$  與  $H_{1/3}$  兩參數間關係非常密切有關，可以線性關係式表示。參數  $GHR$  的平均值與  $H_{1/3}$  之平均值變化趨勢在港外一致，但港口及港內測

站則出現相反的變化趨勢，即波高愈大，參數  $GHR$  的平均值愈小。參數  $GFH$  由於與  $GHR$  關係非常密切，同樣可以線性關係式表示，故參數  $GFH$  與  $H_{1/3}$  的變化趨勢比較結果和參數  $GHR$  相同。參數  $QP$  的平均值與  $H_{1/3}$  之平均值變化趨勢在港外一致，而港口及港內測站也一致，即波高愈大參數  $QP$  的平均值愈大。換言之，波高愈大波譜形狀峰度參數也愈大。參數  $QE$  的平均值與  $H_{1/3}$  之平均值變化無關，即參數  $QE$  和  $H_{1/3}$  的變化趨勢無關，故和  $GFL$  一樣無法歸納得到相同或相反的變化趨勢。參數  $Hig-V$  的平均值與  $H_{1/3}$  之平均值變化趨勢在港外、港口及港內測站皆相反，即波高愈大參數  $Hig-V$  的平均值愈小。換言之，波高愈大波譜形狀窄度參數卻愈小。此與參數  $QP$  的結果相反，其原因如本章第四節所述  $Hig-V$  隨  $QP$ （或  $QE$ ）增大而減小有關，尤其是在港內測站。

綜合而言，對於港外測站， $GF1$ 、 $GF2$ 、 $GH$ 、 $GHR$ 、 $GFH$  及  $QP$  等之變化趨勢與  $H_{1/3}$  相同， $Hig-V$  則相反。對於港內測站， $GF1$ 、 $GH$  及  $QP$  等之變化趨勢與  $H_{1/3}$  相同， $GHR$ 、 $GFH$  及  $Hig-V$  則相反。至於港口測站各參數隨  $H_{1/3}$  之變化趨勢則無一定規則，如  $GH$ 、 $QP$  及  $Hig-V$  等參數隨  $H_{1/3}$  之變化趨勢與港外及港內一致，但  $GF1$ 、 $GHR$  及  $GFH$  等參數隨  $H_{1/3}$  之變化趨勢，則僅以港內測站一致。參數  $GFL$  及  $QE$  隨  $H_{1/3}$  之變化趨勢，無論在港外、港口或港內皆不一致，故無法得到相同或相反的變化趨勢。



5-1-1 示性波高、週期及各參數逐時變化圖（芭比颱風，ST.1 測站）

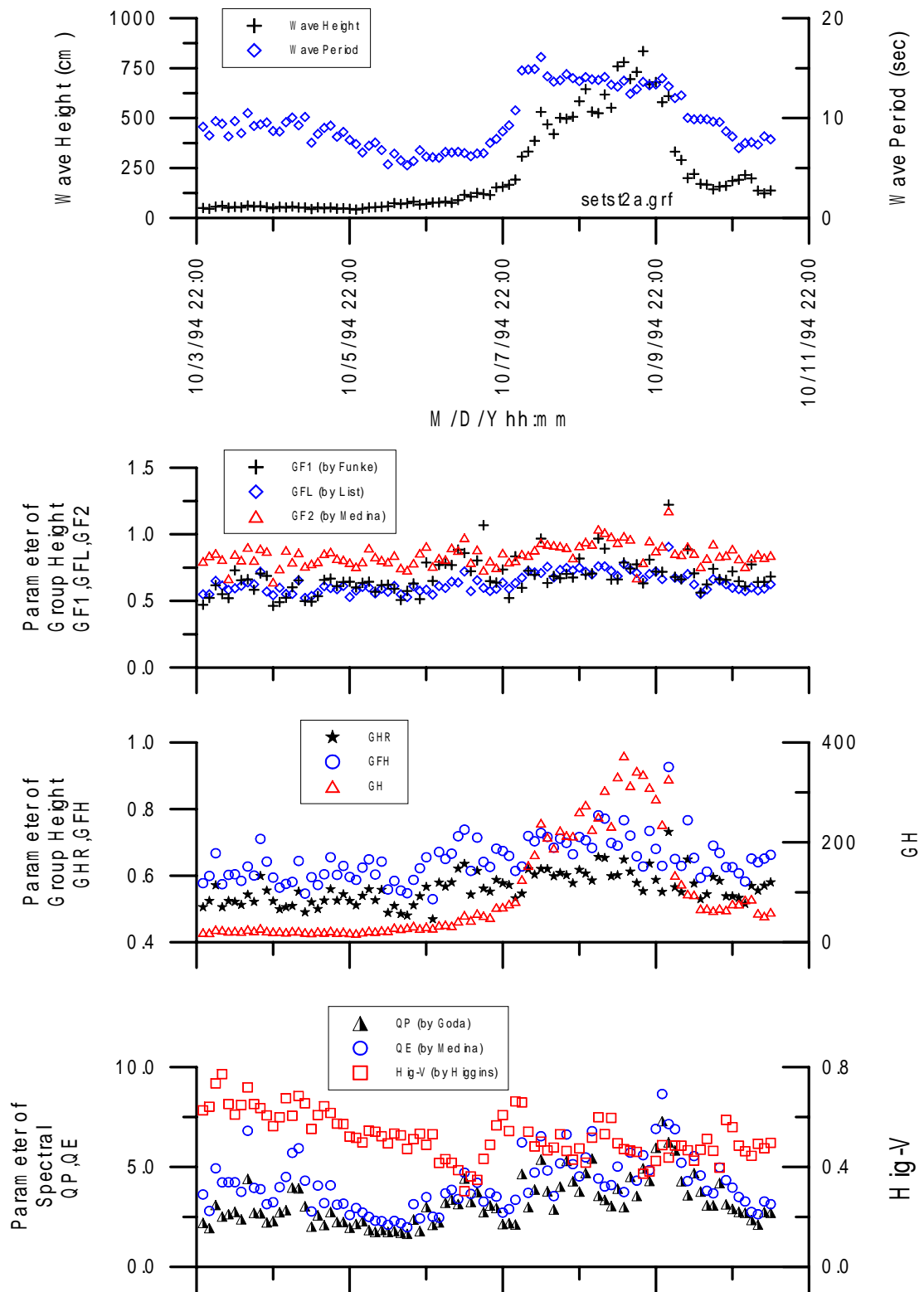


圖 5-1-2 示性波高、週期及各參數逐時變化圖(席斯颱風, ST.2 測站)

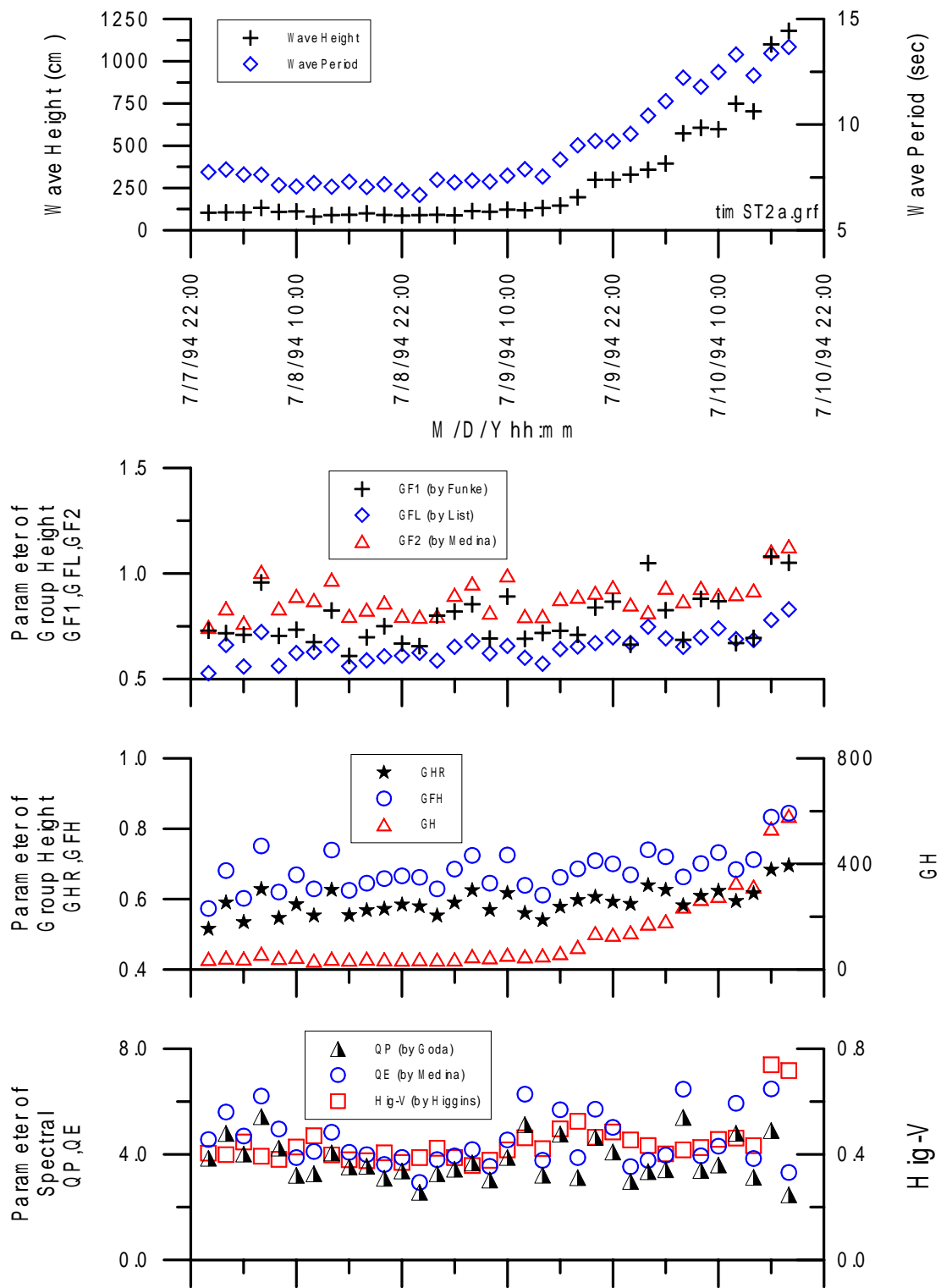


圖 5-1-3 示性波高、週期及各參數逐時變化圖（提姆颱風，ST.2 測站）



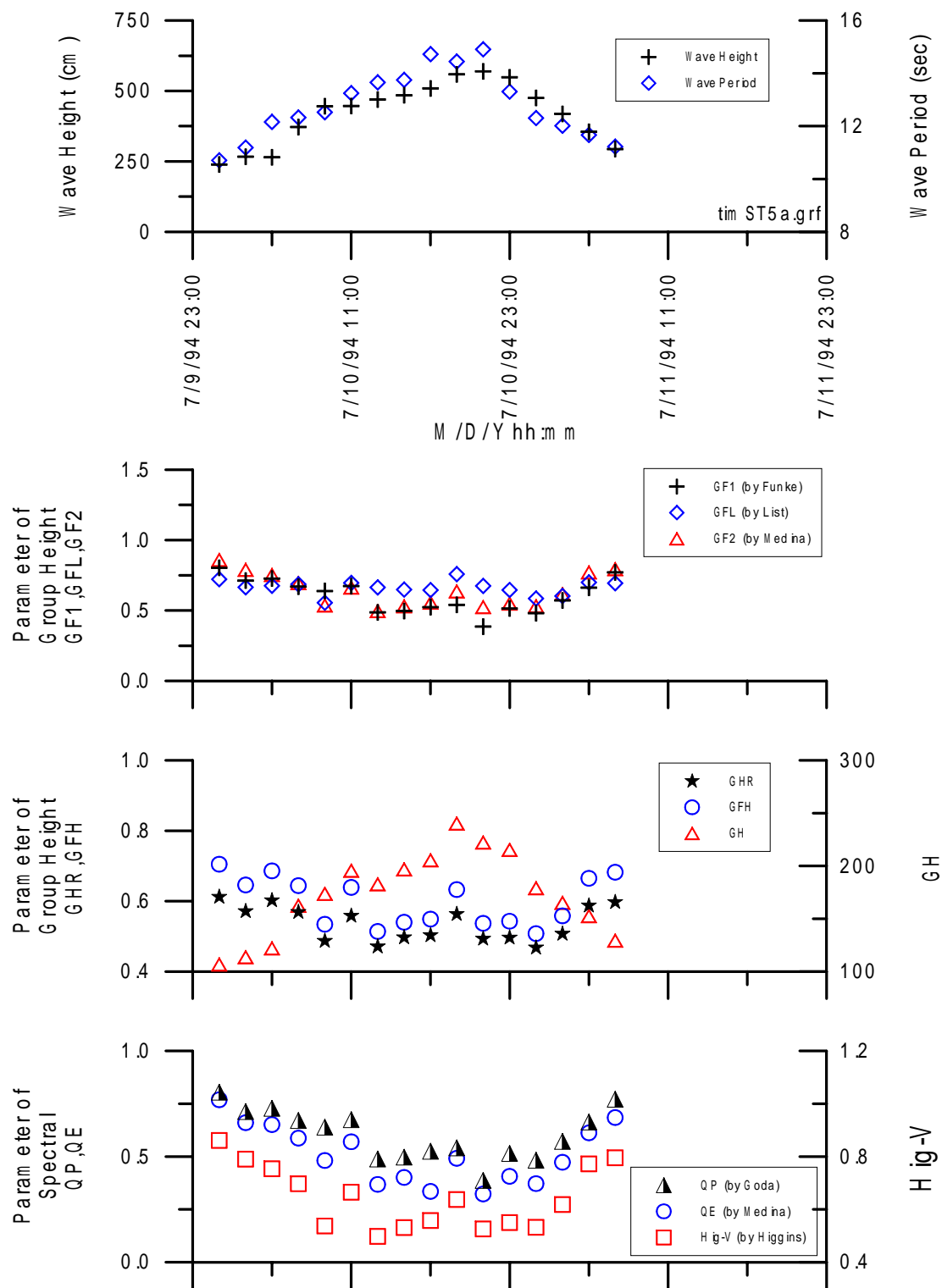


圖 5-1-4 示性波高、週期及各參數逐時變化圖(提姆颱風, ST.5 測站)

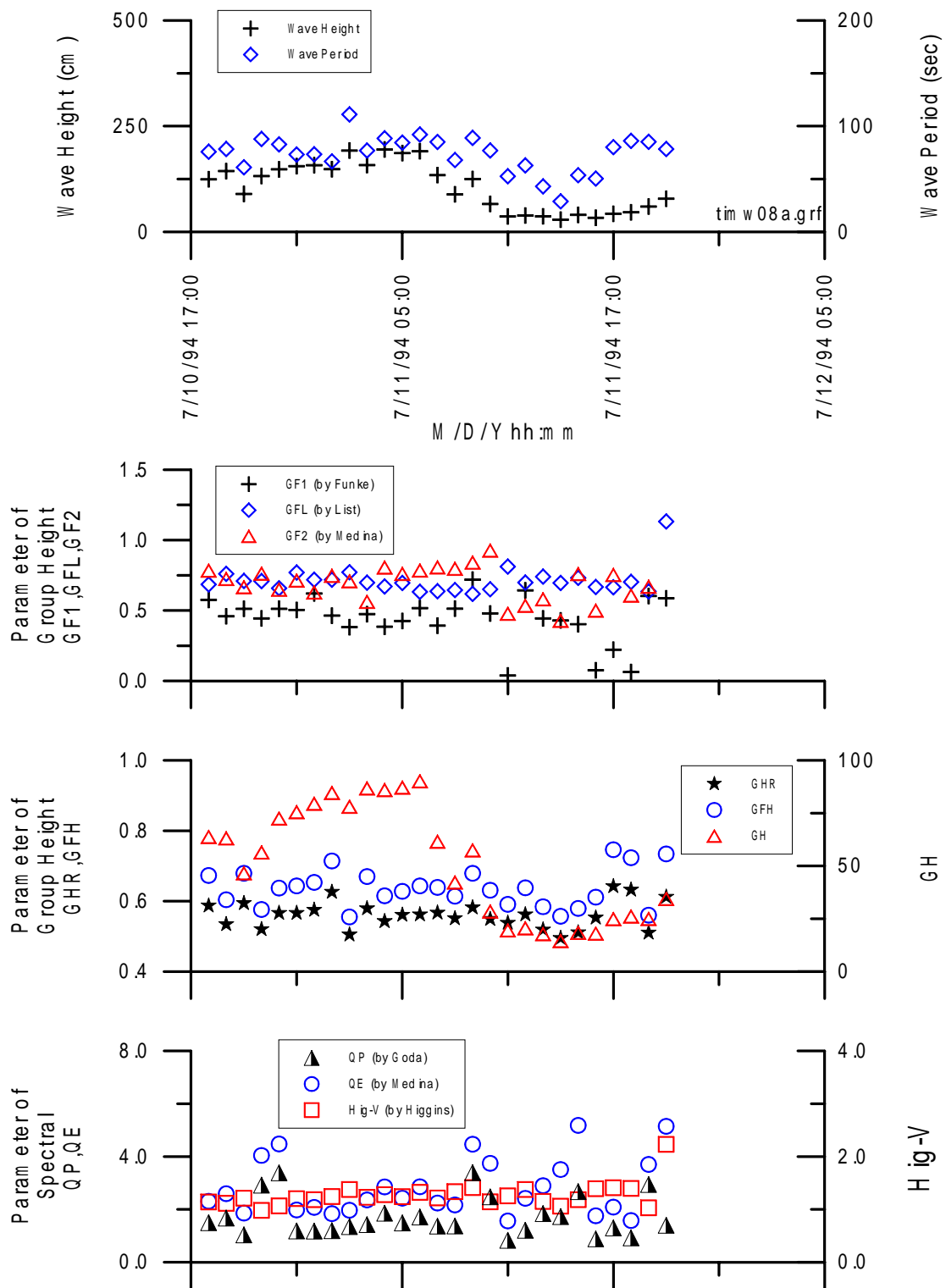


圖 5-1-5 示性波高、週期及各參數逐時變化圖（提姆颱風，W08 測站）

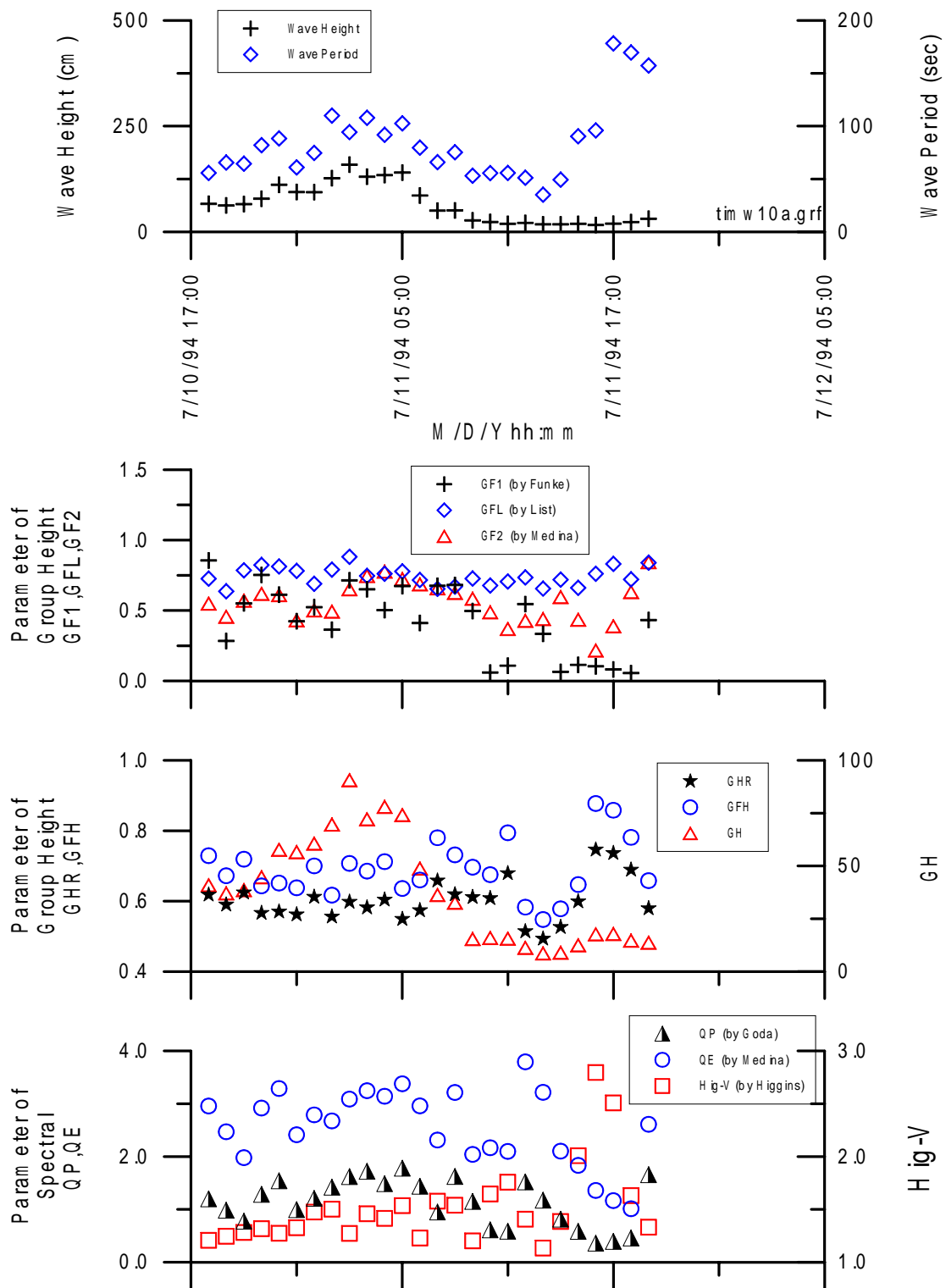


圖 5-1-6 示性波高、週期及各參數逐時變化圖（提姆颱風，W10 測站）

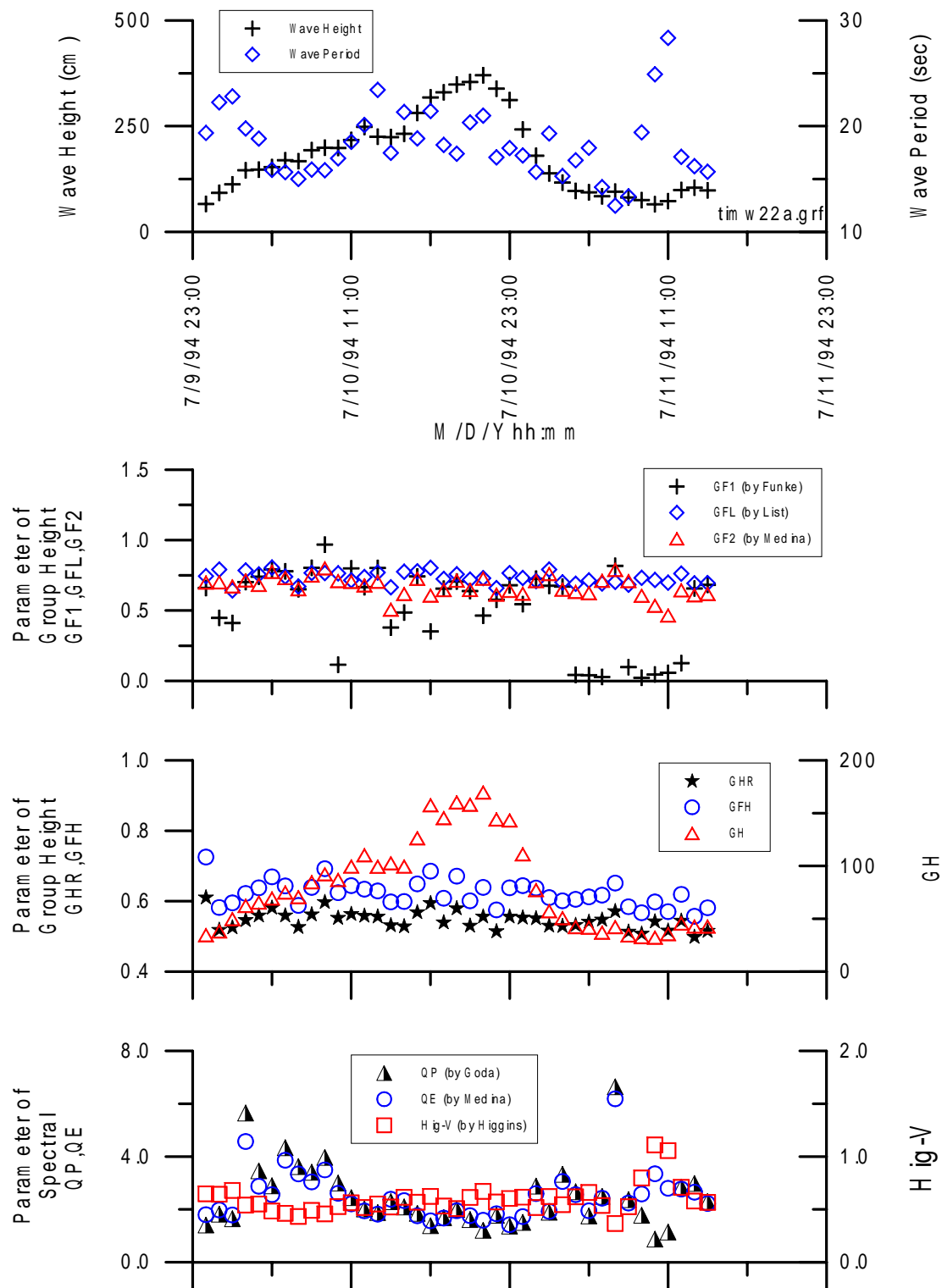


圖 5-1-7 示性波高、週期及各參數逐時變化圖（提姆颱風，W22 測站）

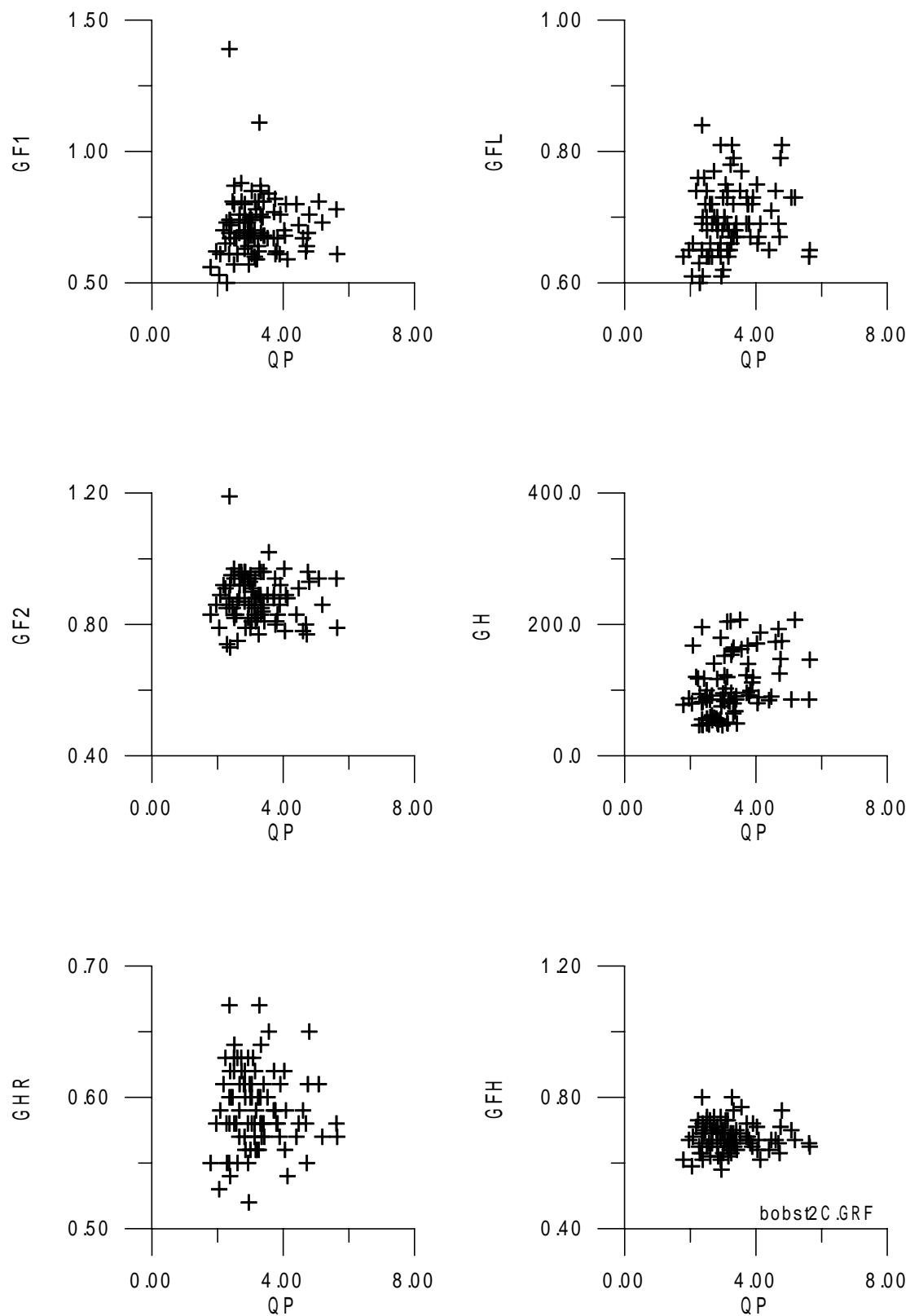


圖5-2-1 各群波參數與波譜峰度參數 $Q_P$ 之關係圖(芭比颱風, ST.1測站)

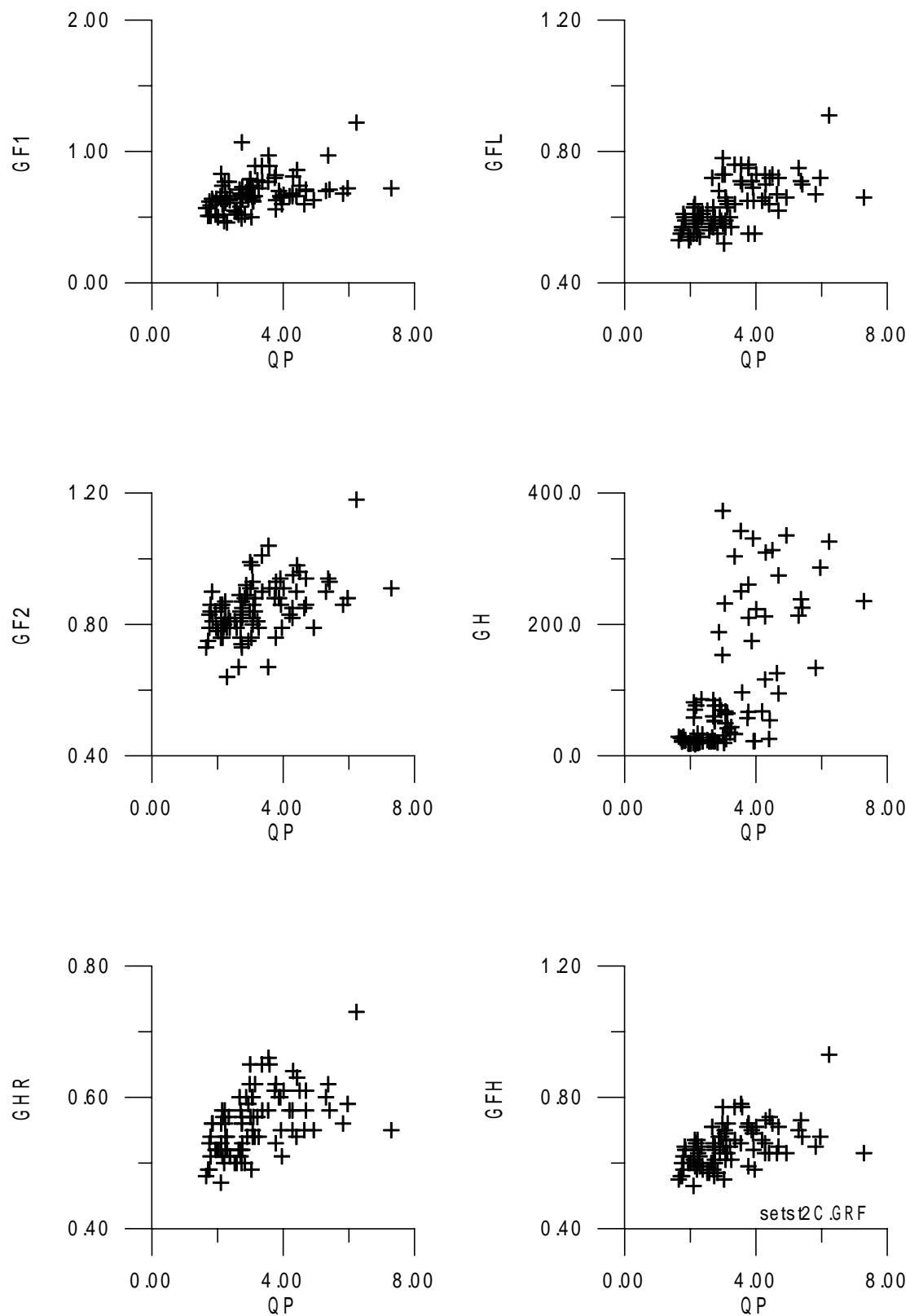


圖 5-2-2 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖( 席斯颱風,ST.2 測站)

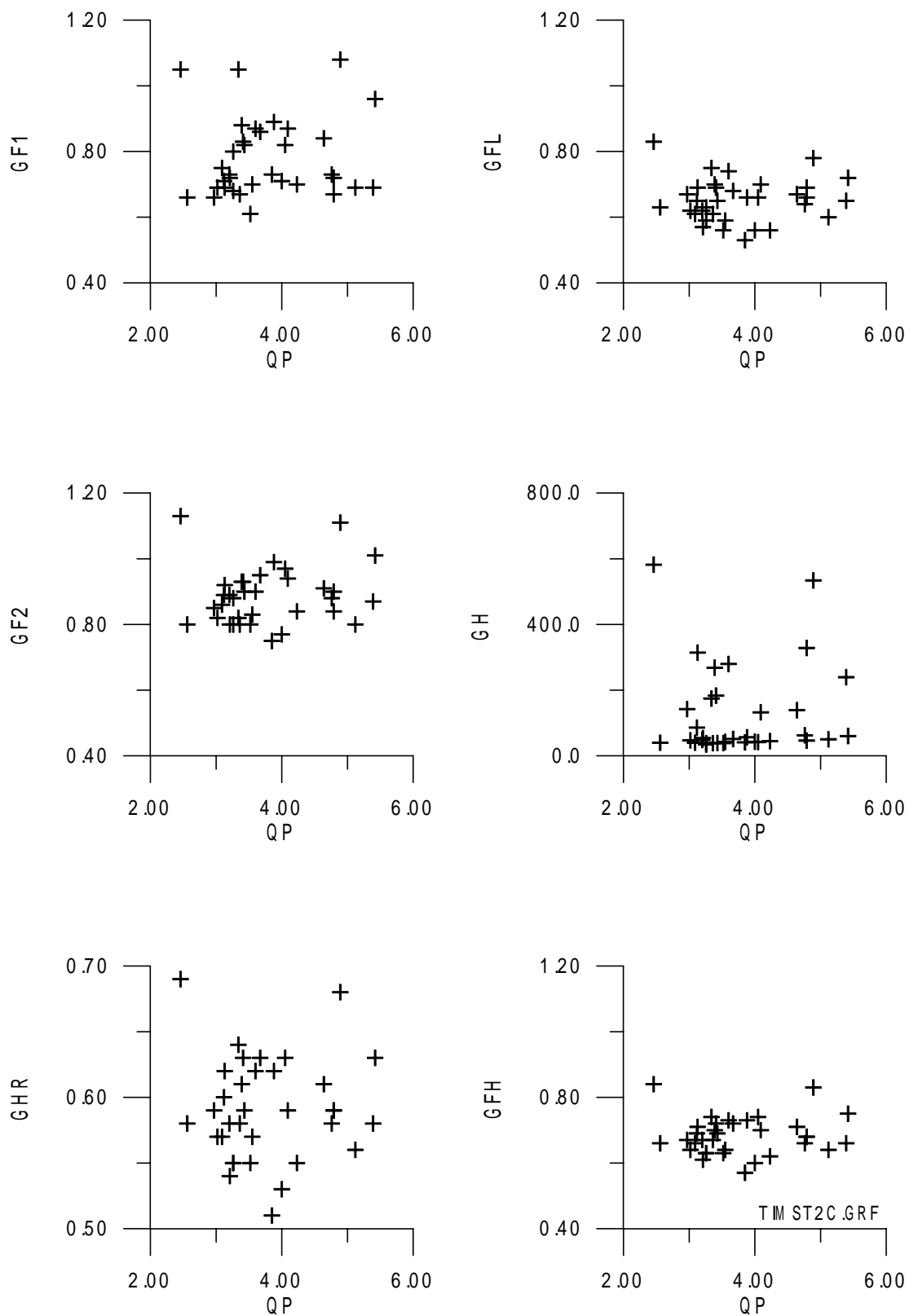


圖 5-2-3 各群波參數與波譜峰度參數  $QP$  之關係圖(提姆颱風, ST.2 測站)

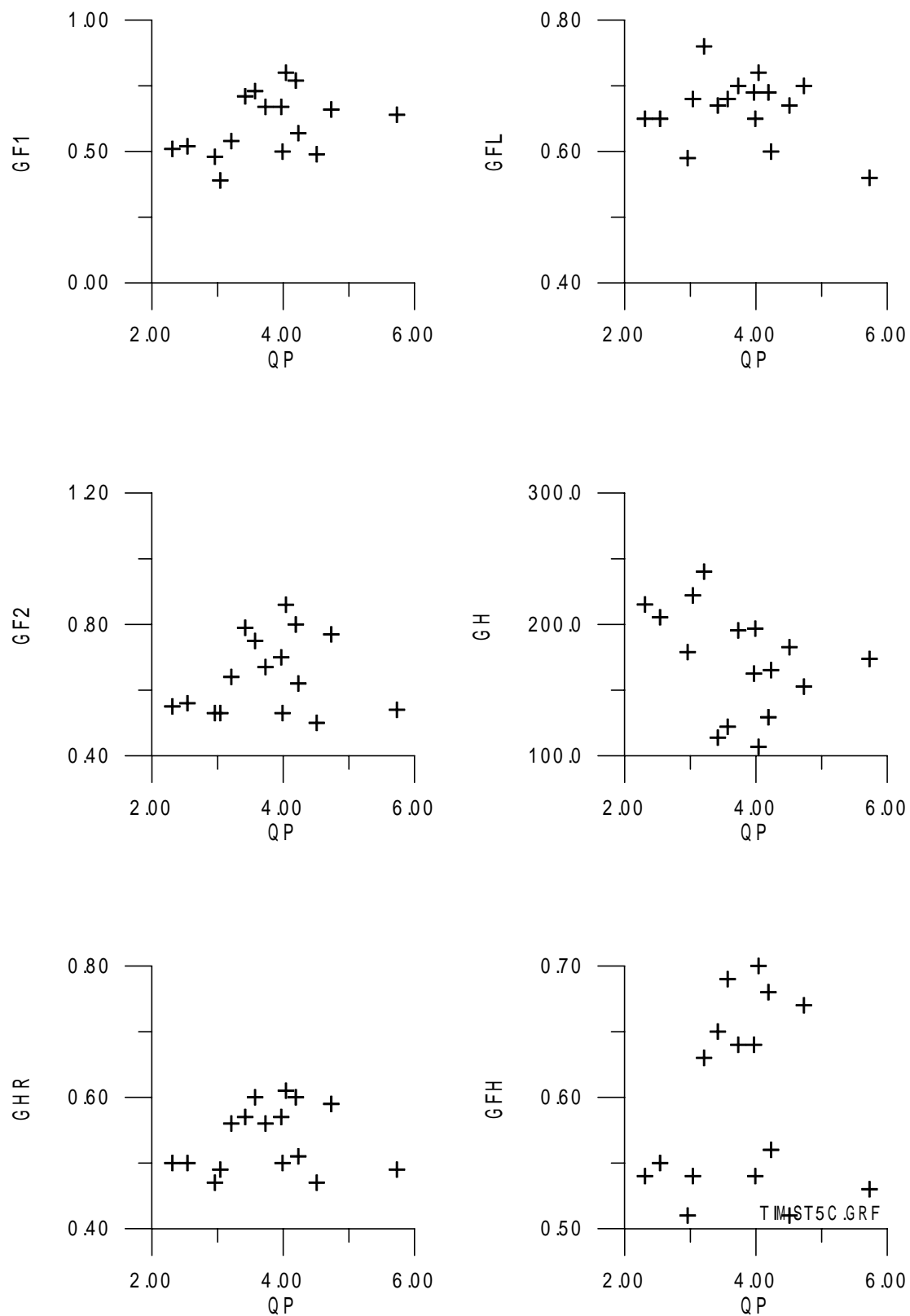


圖 5-2-4 各群波參數與波譜峰度參數  $QP$  之關係圖 (提姆颱風, ST.5 測站)



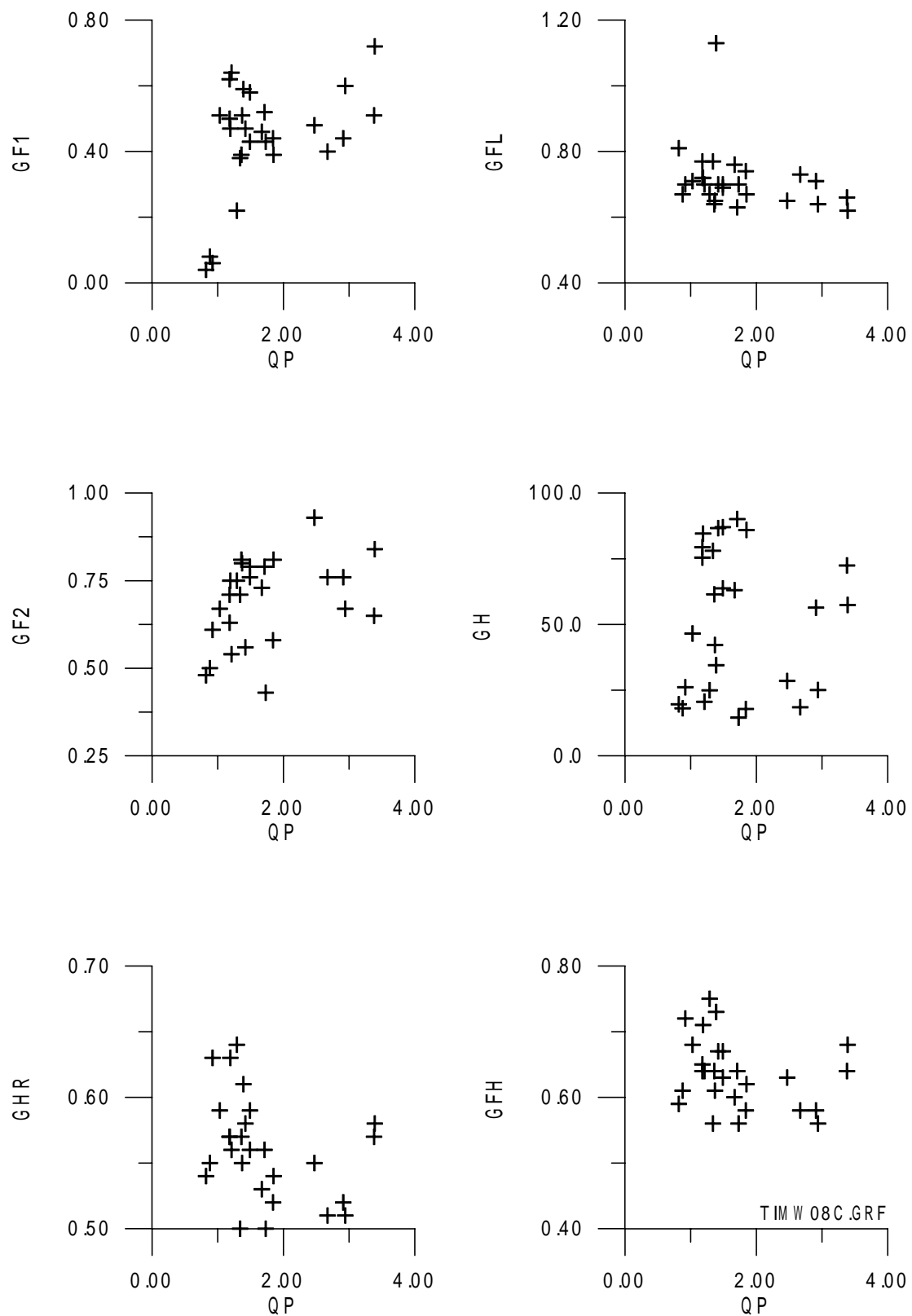


圖 5-2-5 各群波參數與波譜峰度參數  $QP$  之關係圖 (提姆颱風, W08 測站)

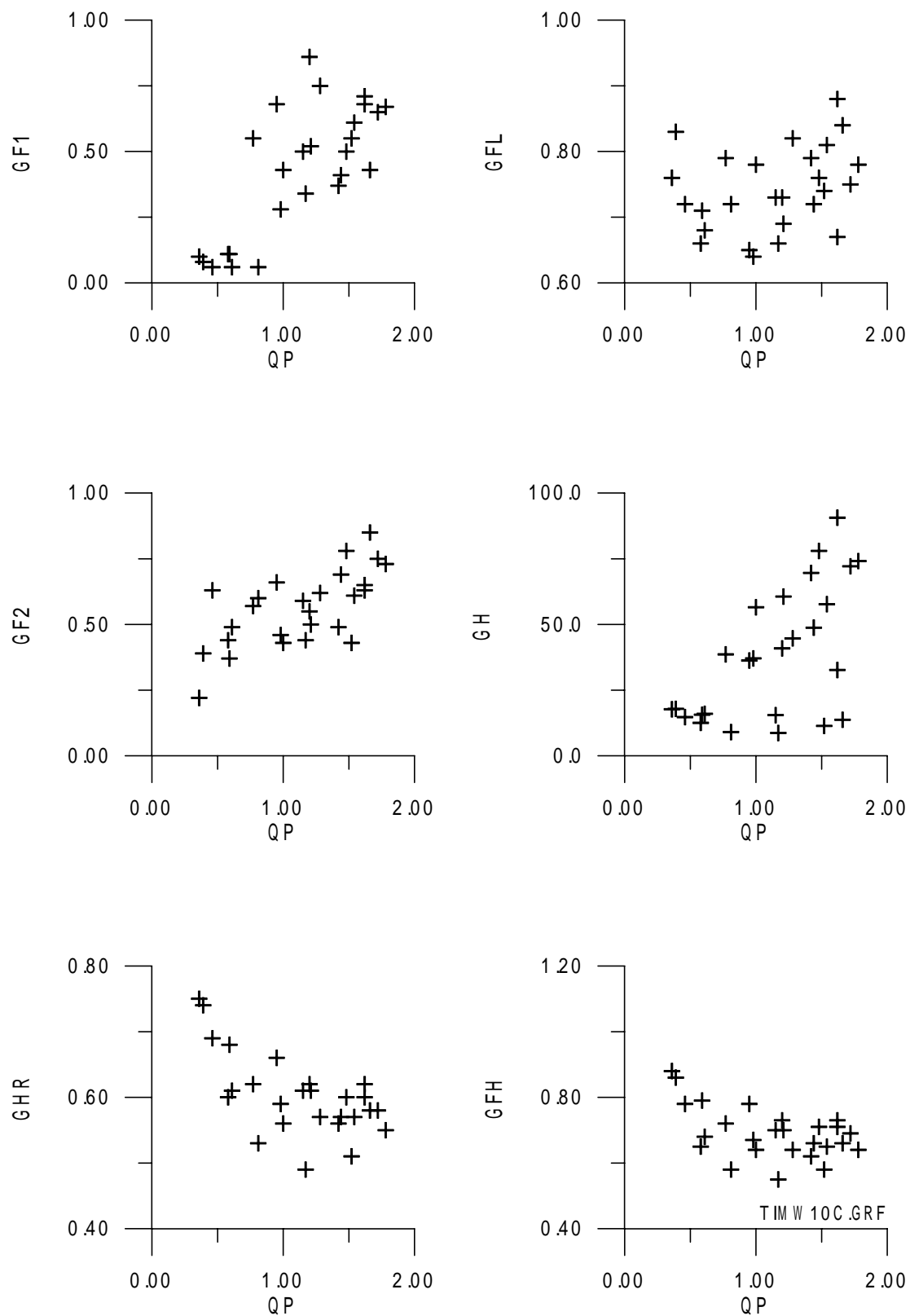


圖 5-2-6 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖 (提姆颱風, W10 測站)

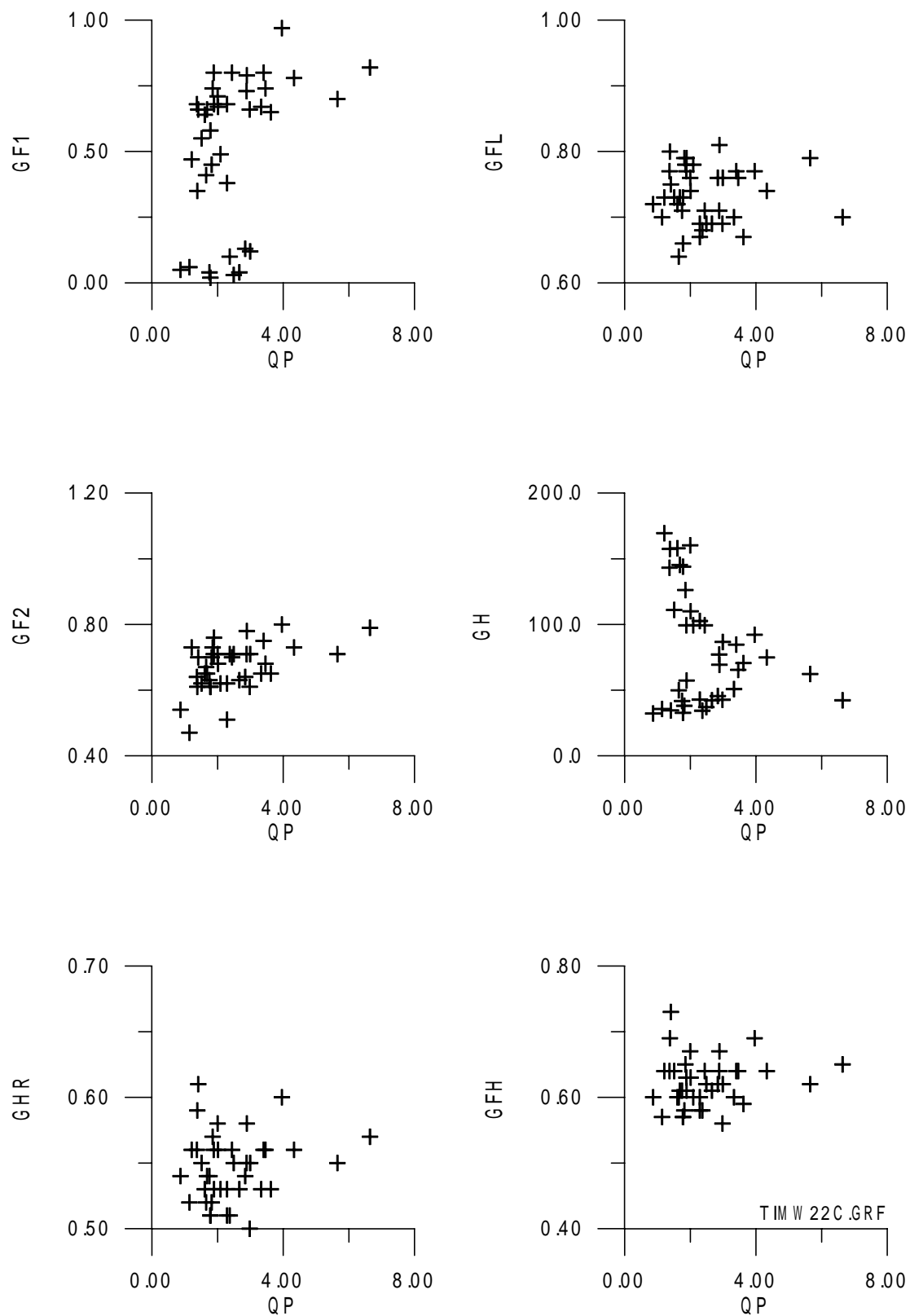


圖 5-2-7 各群波參數與波譜峰度參數 QP 之關係圖 (提姆颱風, W22 測站)

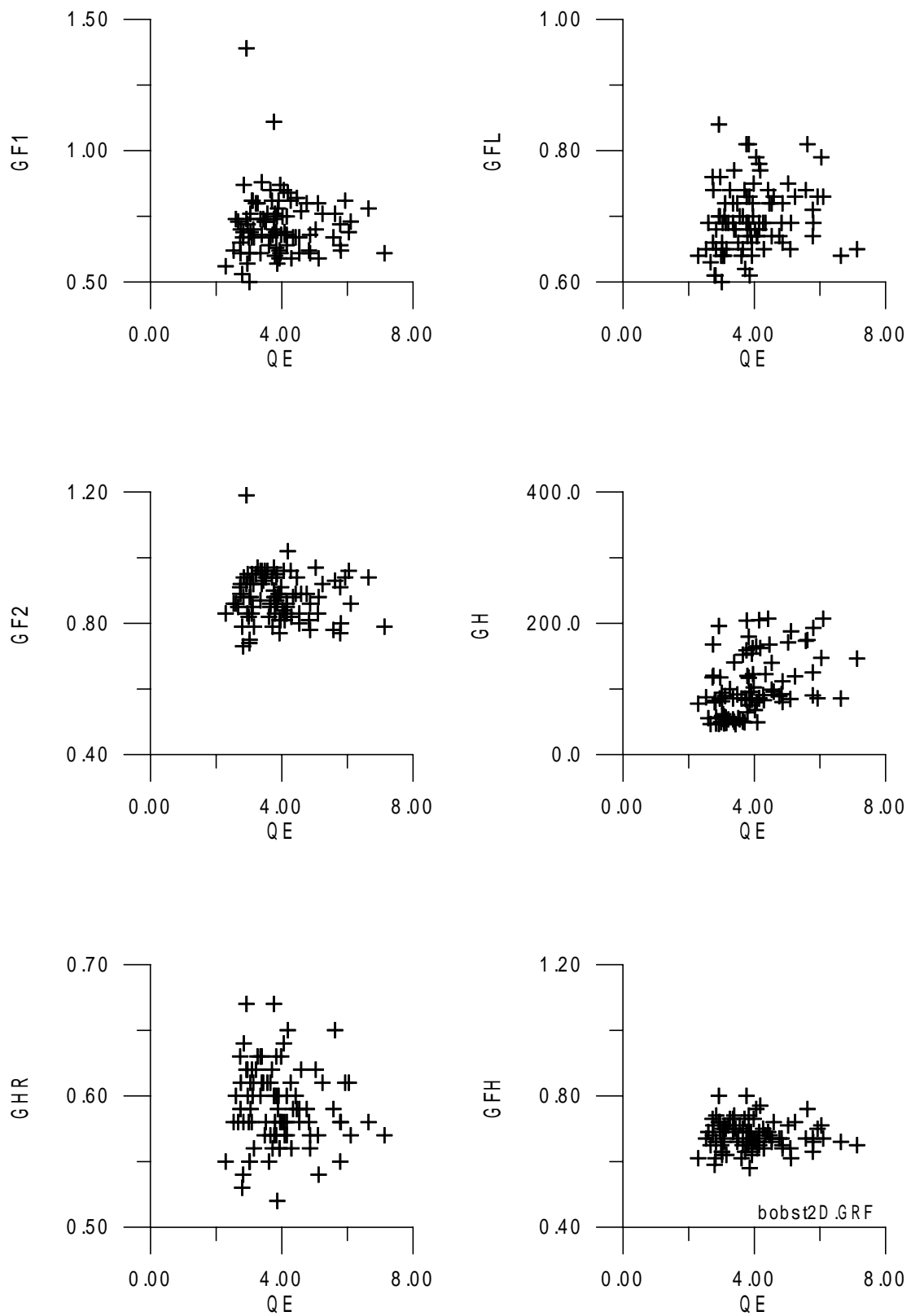


圖 5-2-8 各群波參數與波譜尖度參數  $QE$  之關係圖(芭比颱風, ST.1 測站)

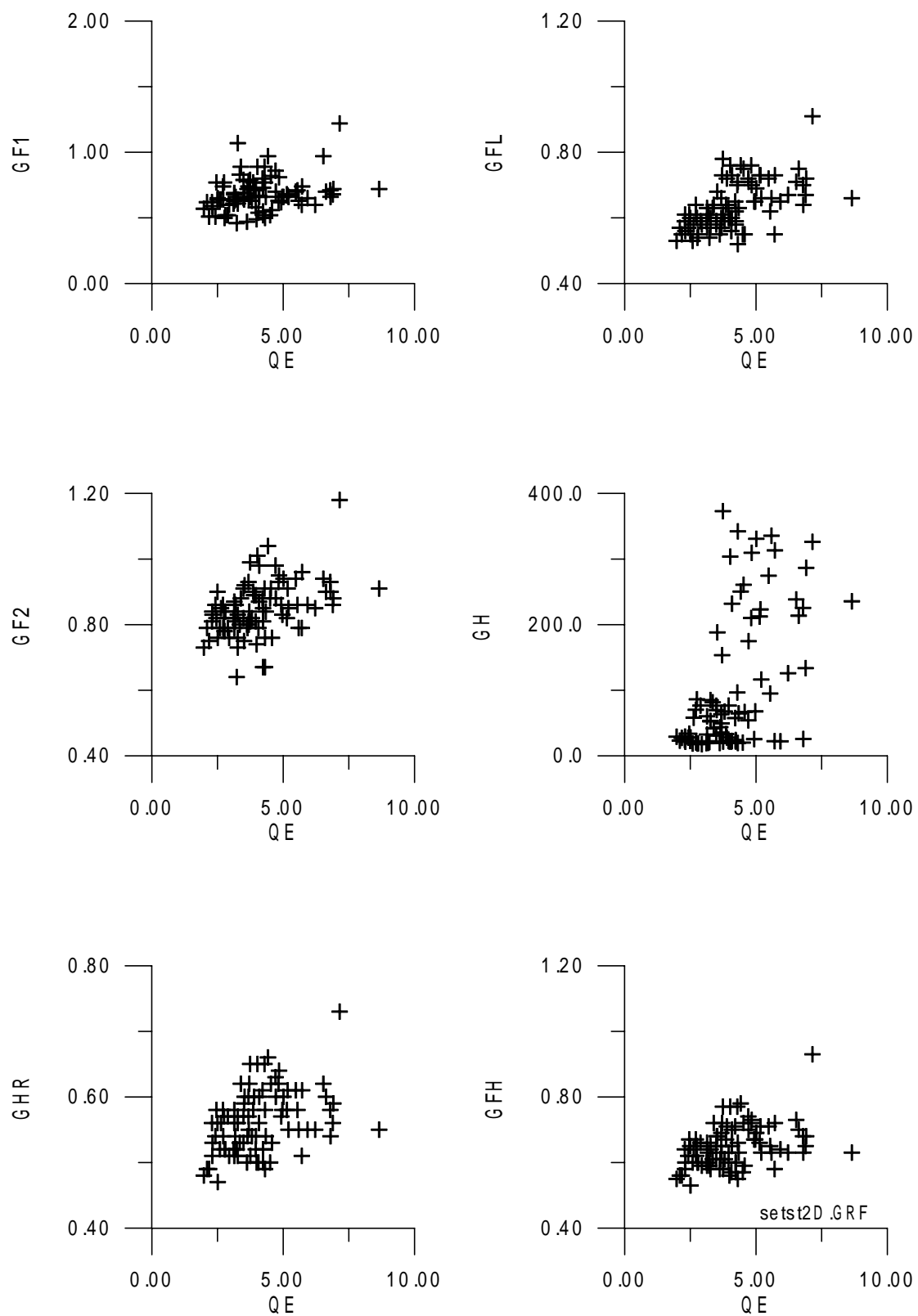


圖 5-2-9 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖( 席斯颱風, ST.2 測站)

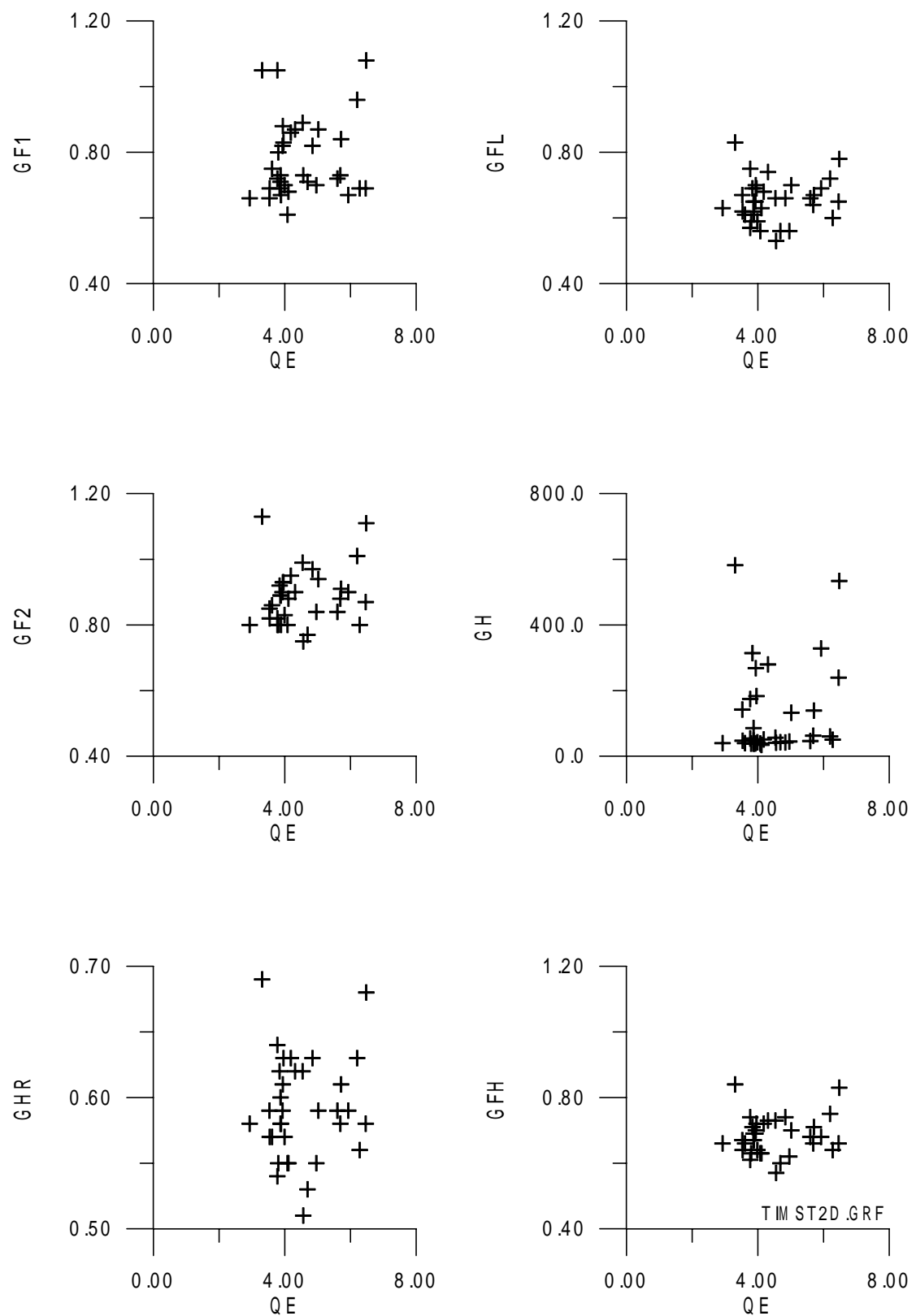


圖 5-2-10 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖（提姆颱風，ST.2 測站）

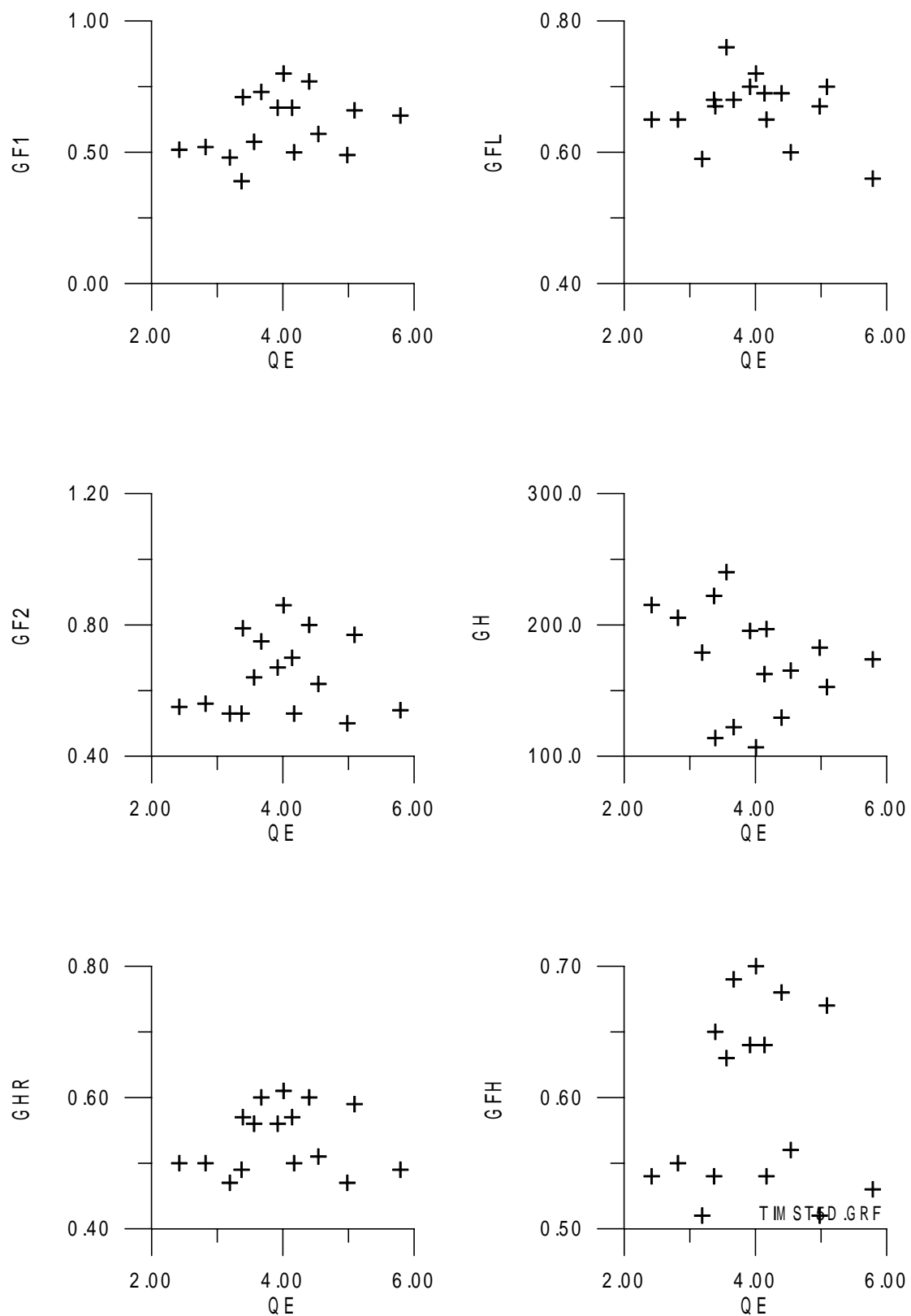


圖 5-2-11 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖（提姆颱風，ST.5 測站）

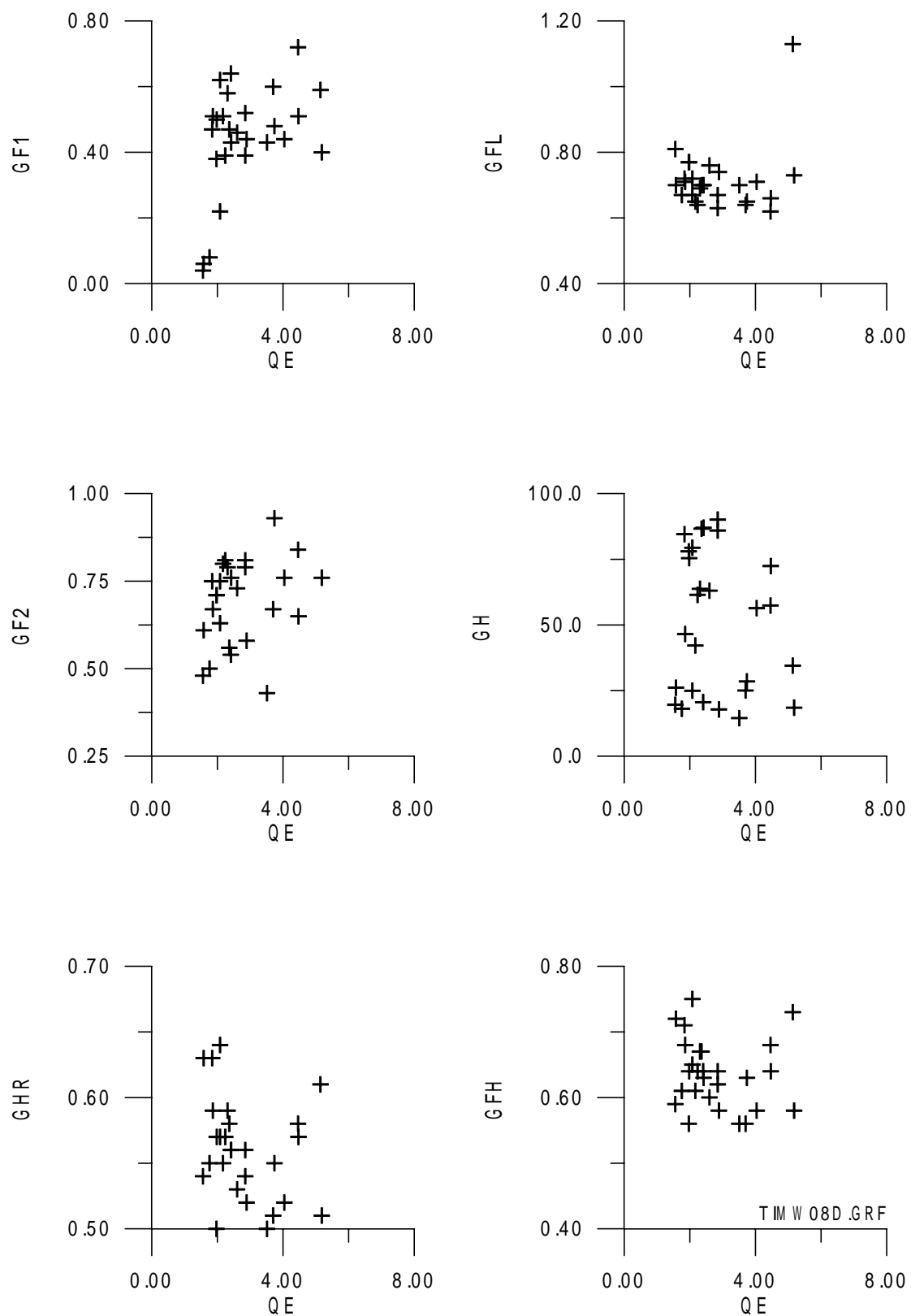


圖 5-2-12 各群波參數與波譜尖度參數 QE 之關係圖（提姆颱風，W08 測站）



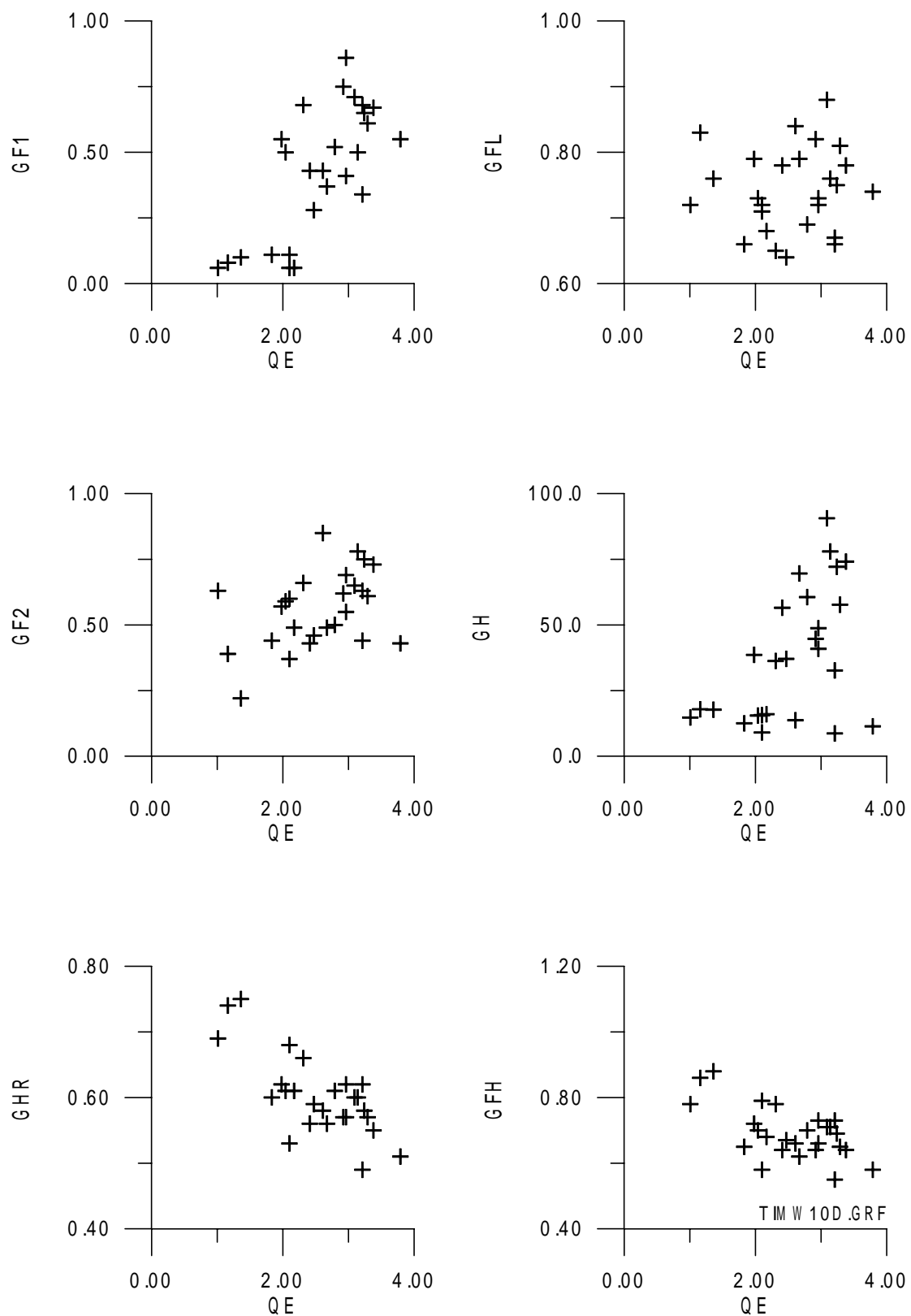


圖 5-2-13 各群波參數與波譜尖度參數  $QE$  之關係圖（提姆颱風，W10 測站）

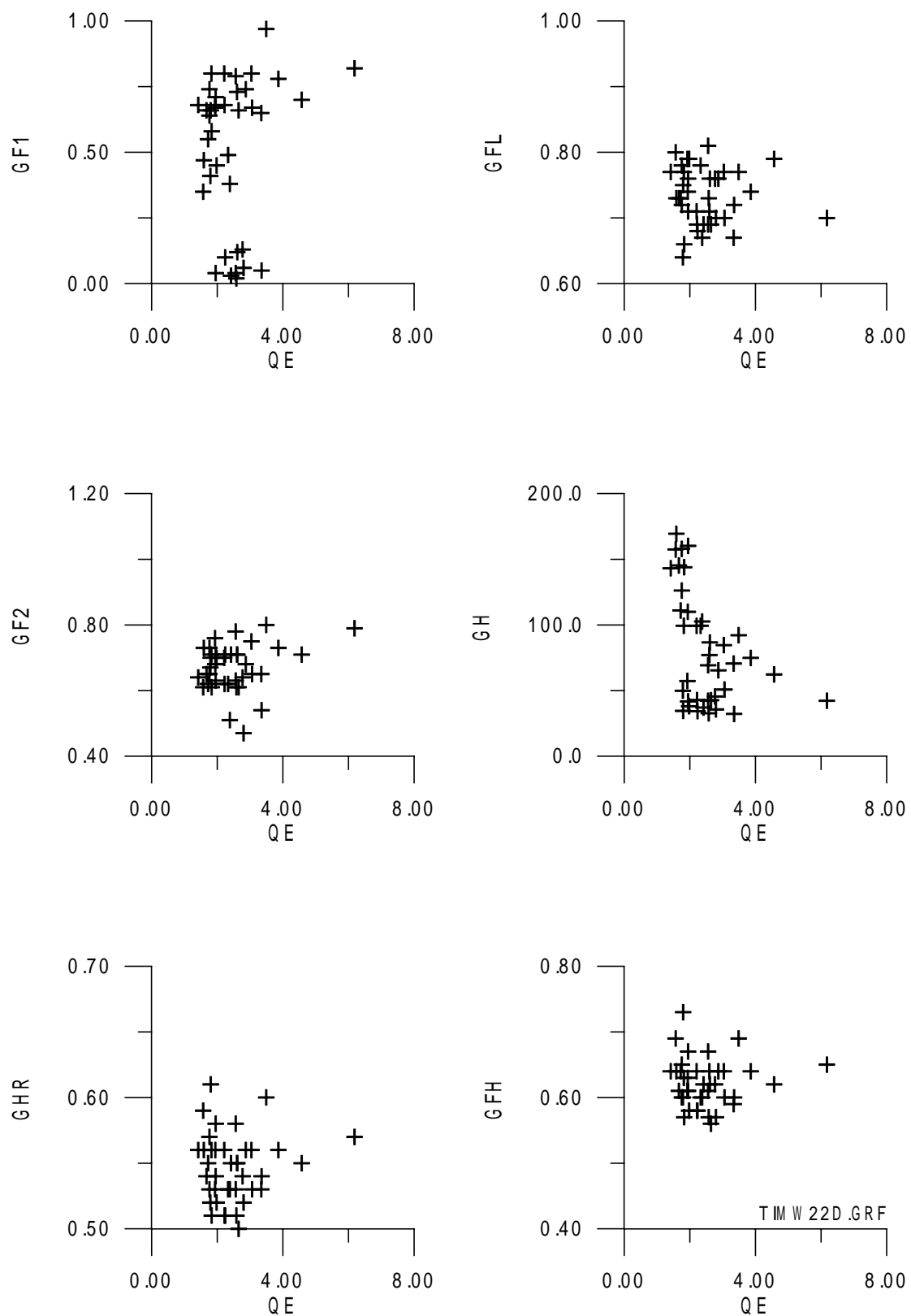


圖 5-2-14 各群波參數與波譜尖度參數  $QE$  之關係圖（提姆颱風，W22 測站）

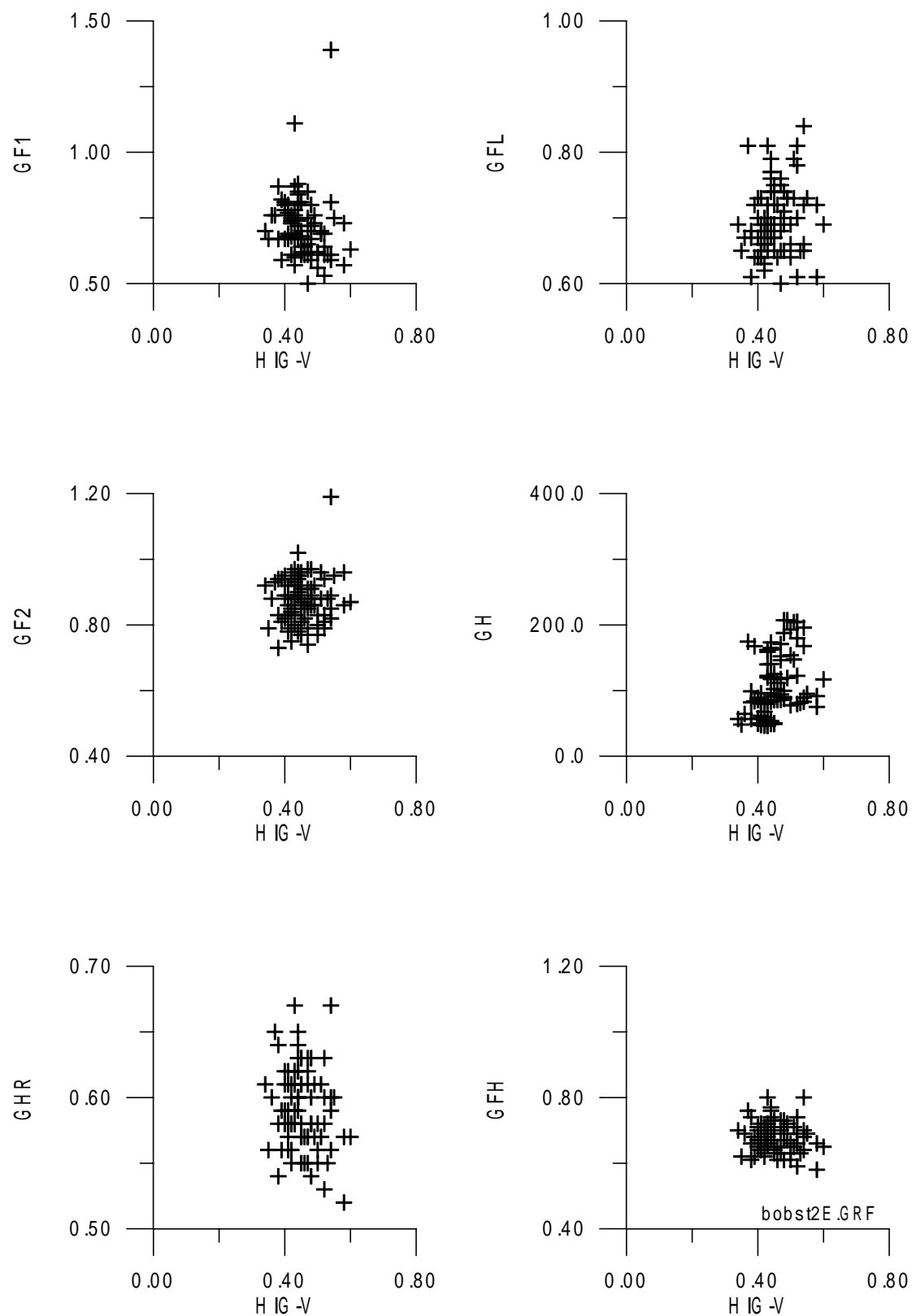


圖 5-2-15 各群波參數與波譜窄度參數  $H_{IG-V}$  之關係圖 (芭比颱風, ST.1 測站)

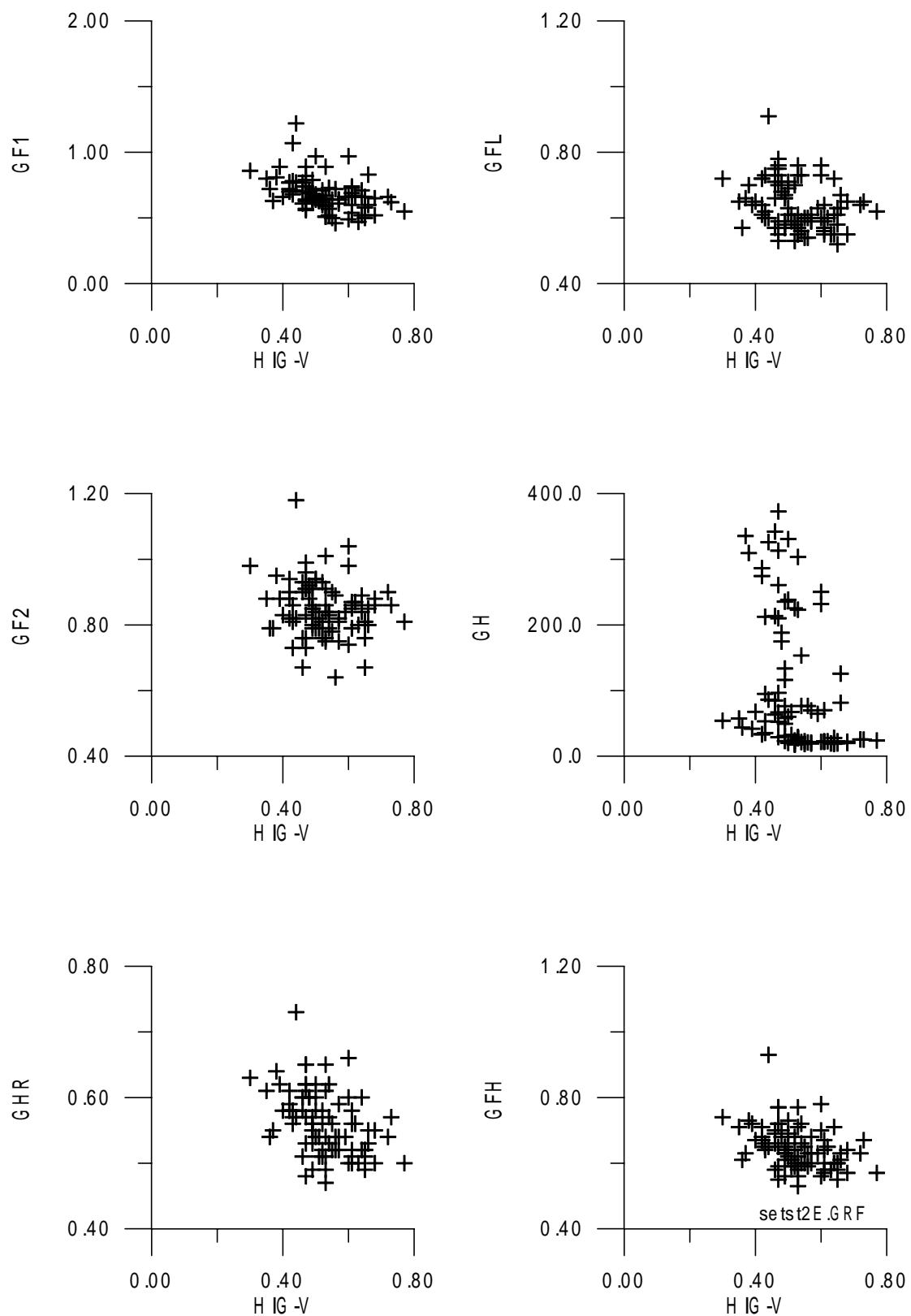


圖 5-2-16 各群波參數與波譜窄度參數  $H_{IG-V}$  之關係圖 (席斯颱風, ST.2 測站)

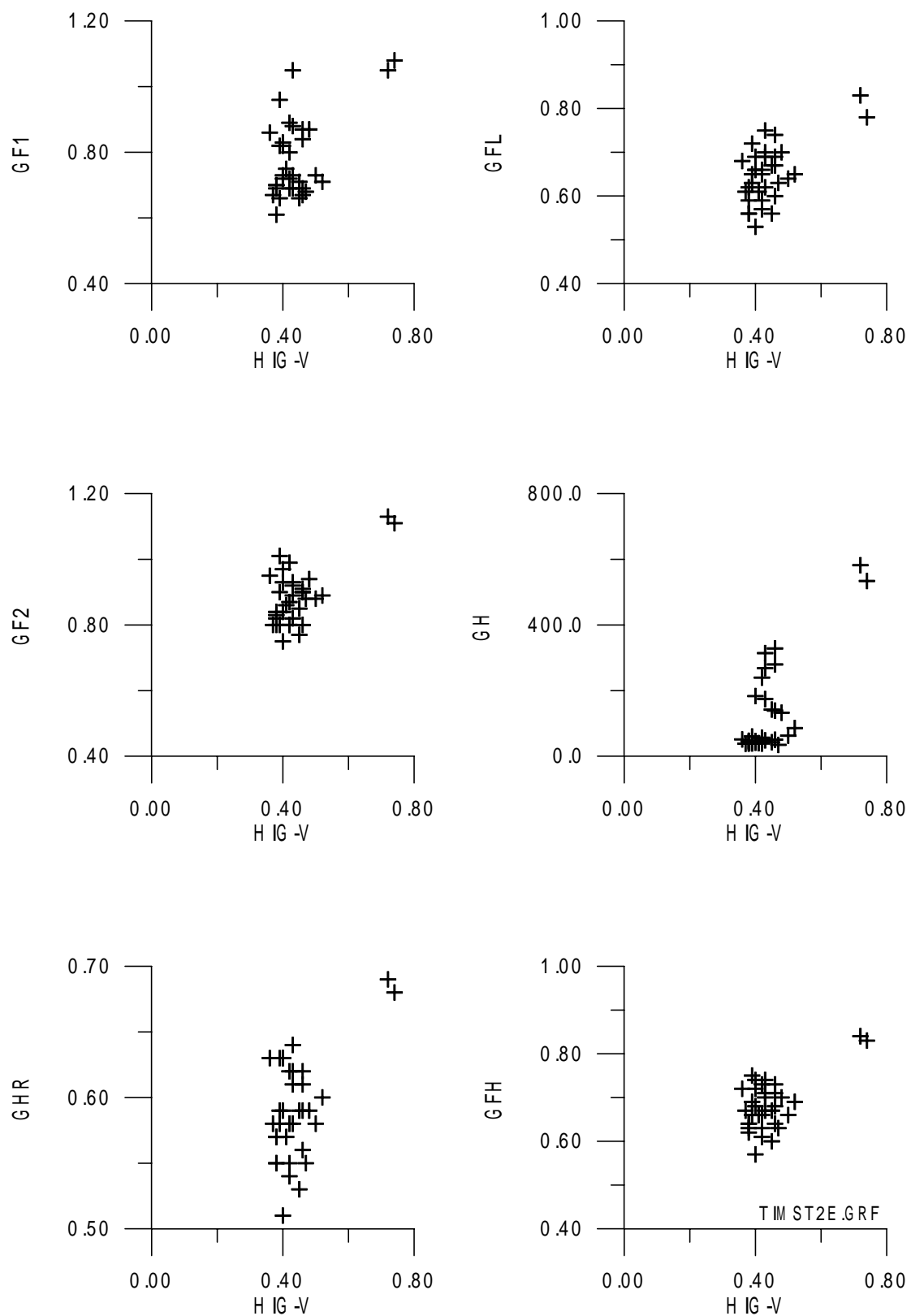


圖 5-2-17 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖(提姆颱風, ST.2 測站)

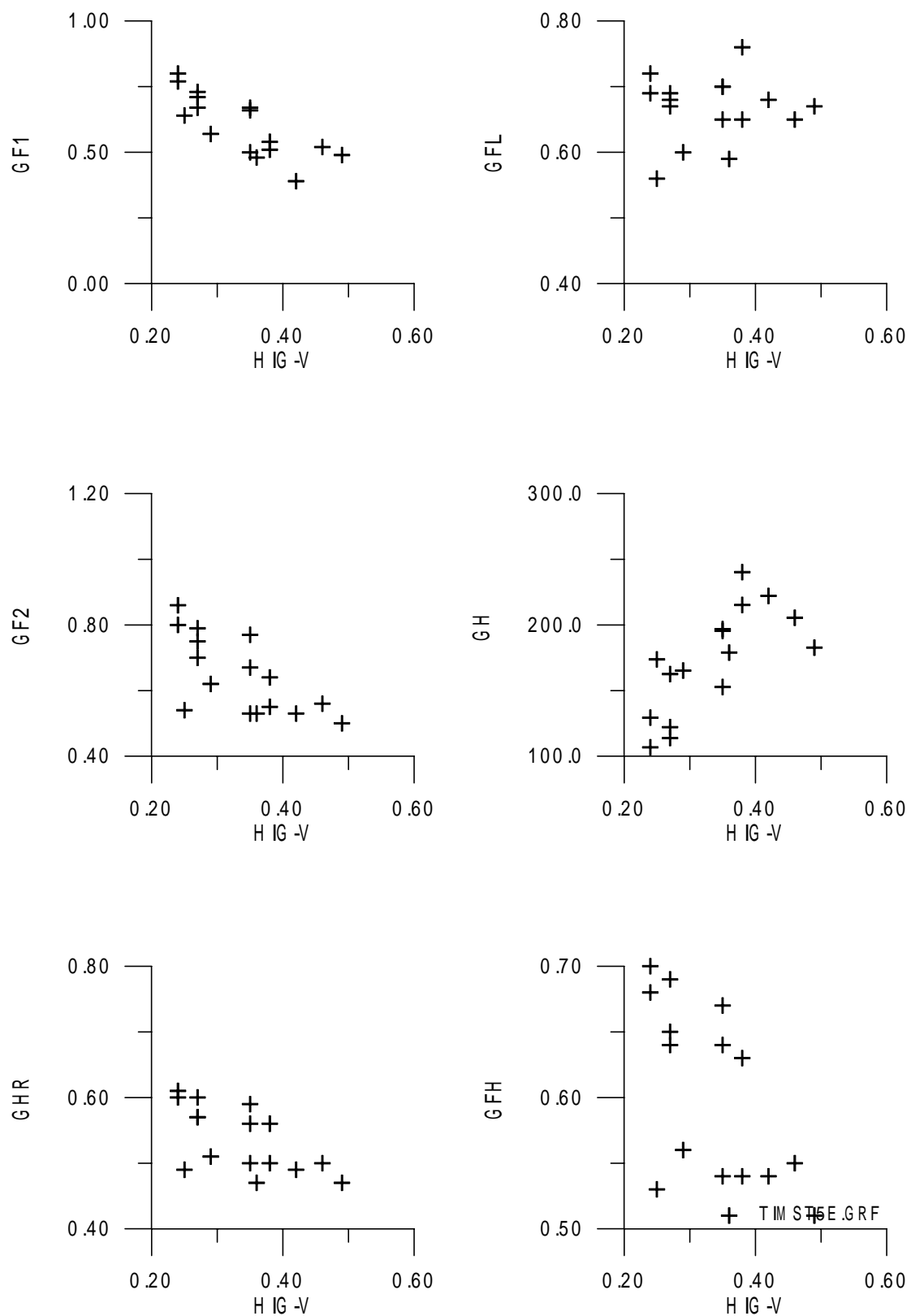


圖 5-2-18 各群波參數與波譜窄度參數  $HIG-V$  之關係圖(提姆颱風, ST.5 測站)

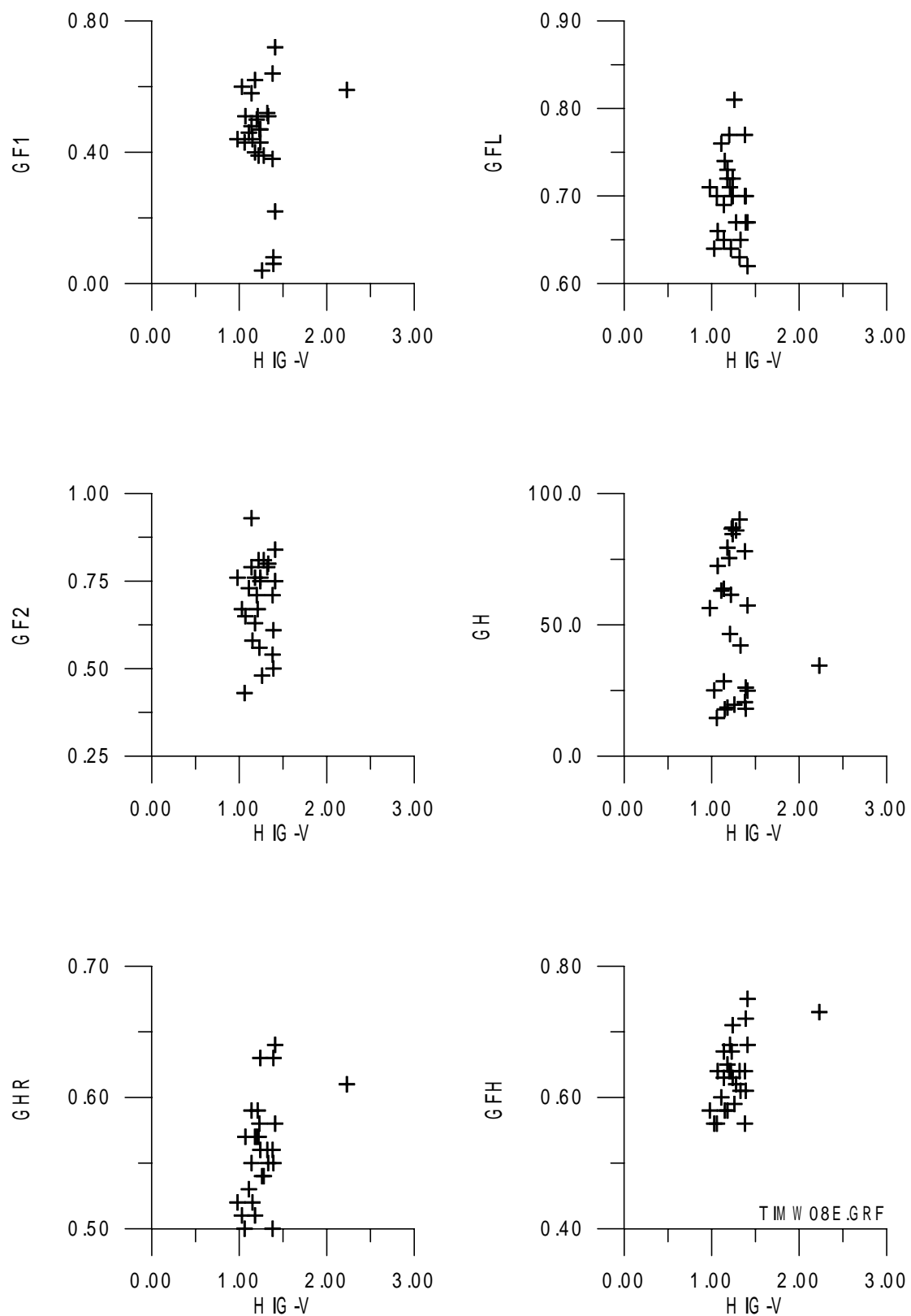


圖 5-2-19 各群波參數與波譜窄度參數  $H IG -V$  之關係圖 (提姆颱風, W08 測站)

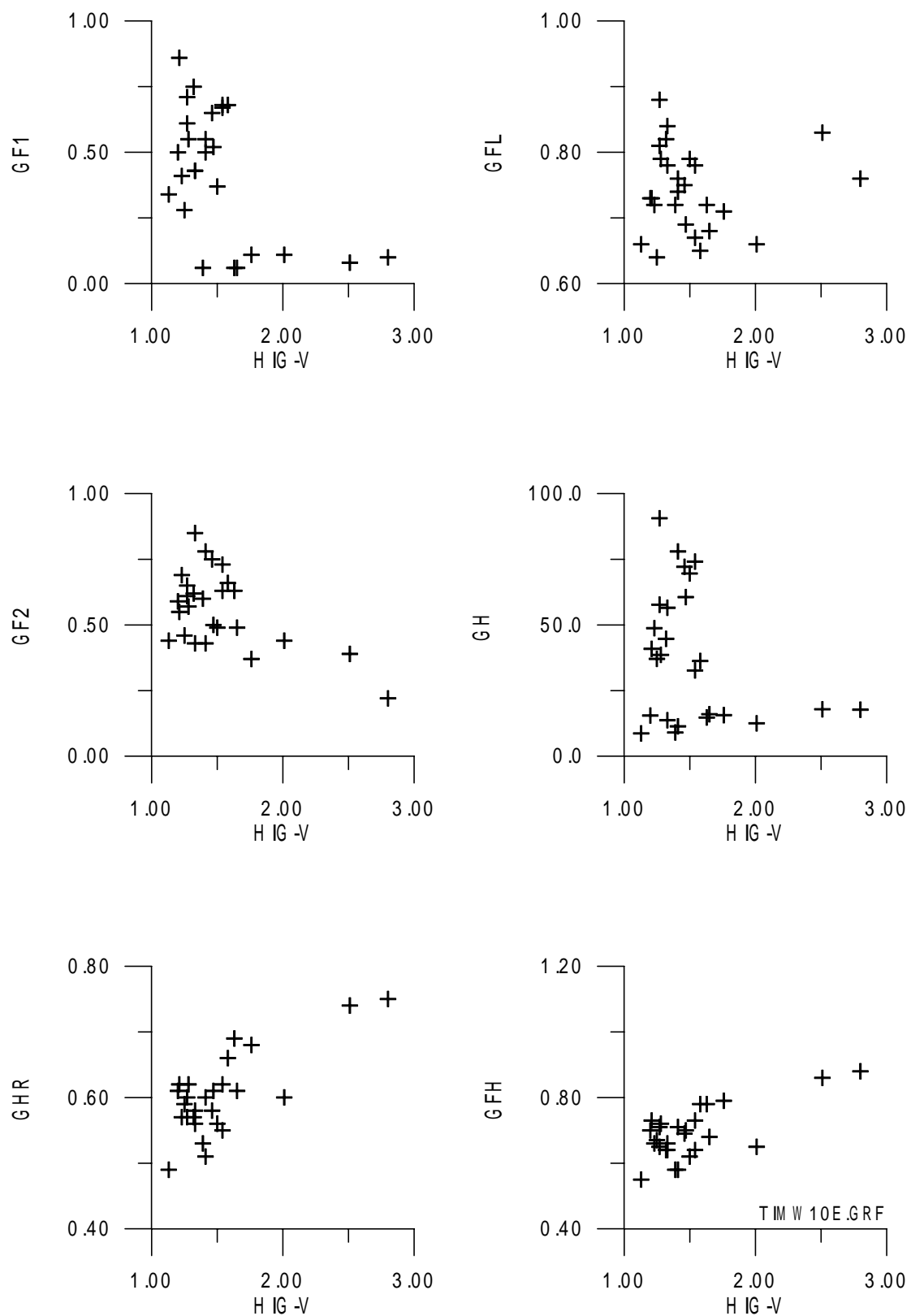


圖 5-2-20 各群波參數與波譜窄度參數 HIG-V 之關係圖(提姆颱風, W10 測站)



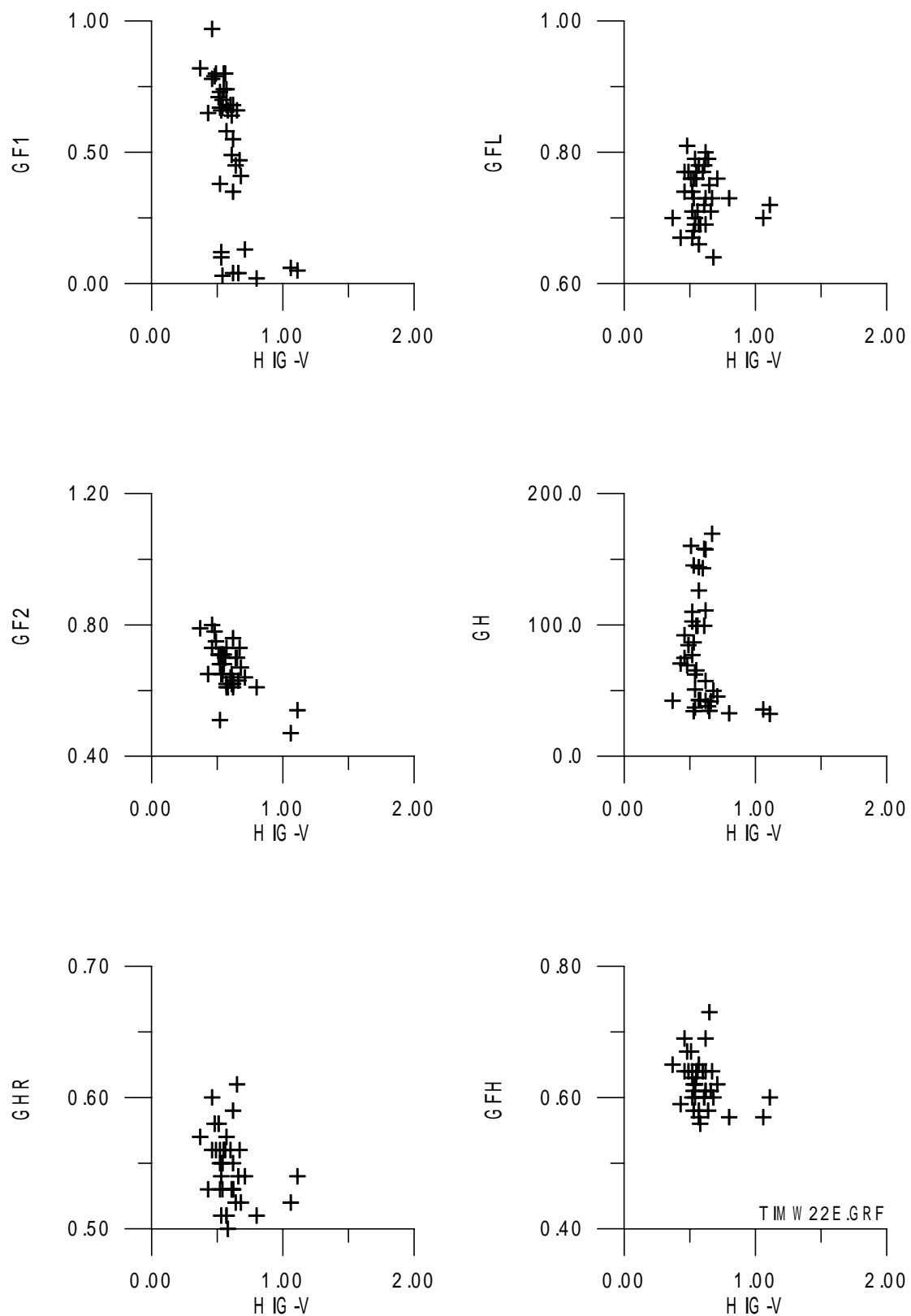


圖 5-2-21 各群波參數與波譜窄度參數  $H_{IG-V}$  之關係圖( 提姆颱風, W22 測站)

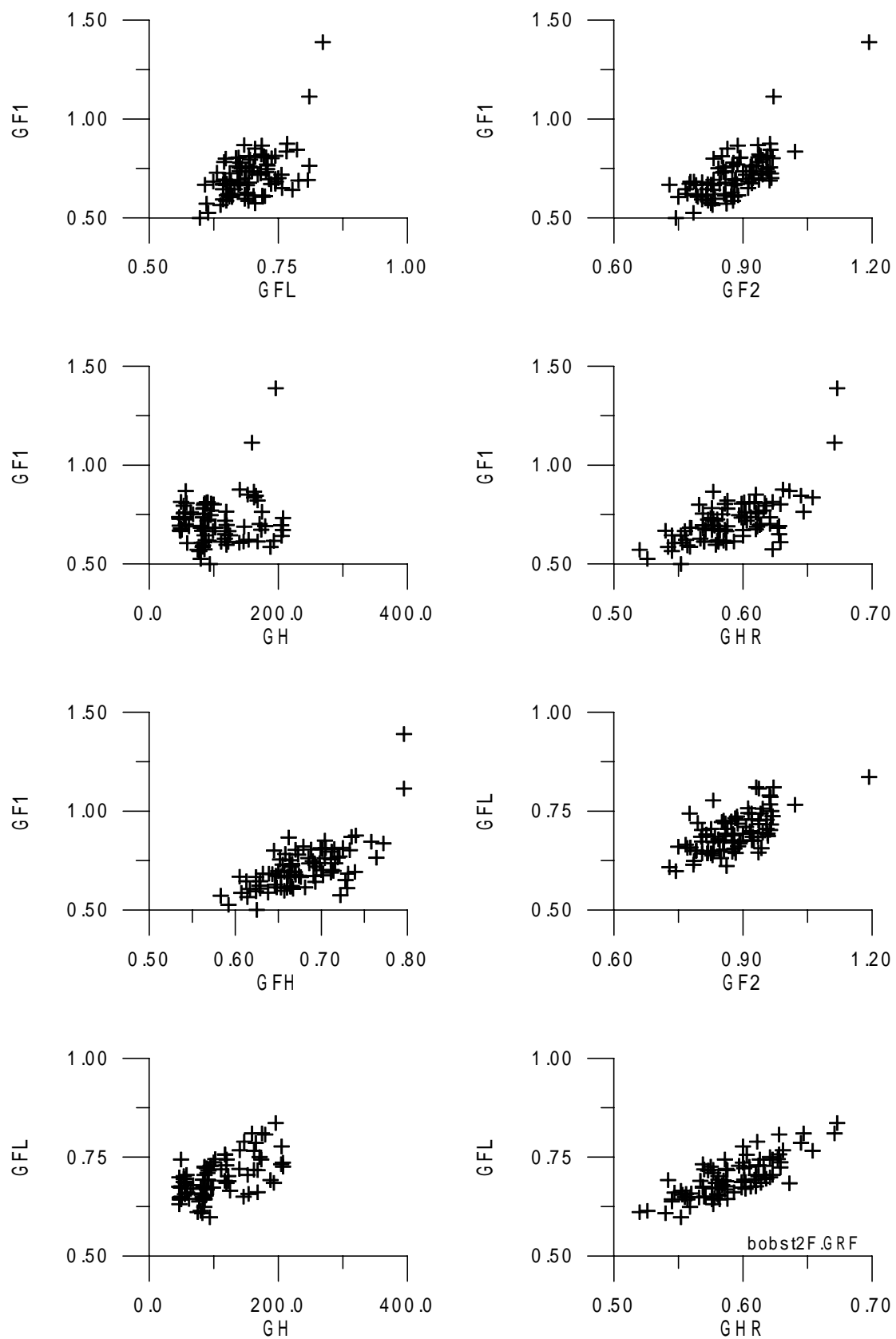


圖 5-3-1 各群波參數間之關係圖（芭比颱風，ST.1 測站）

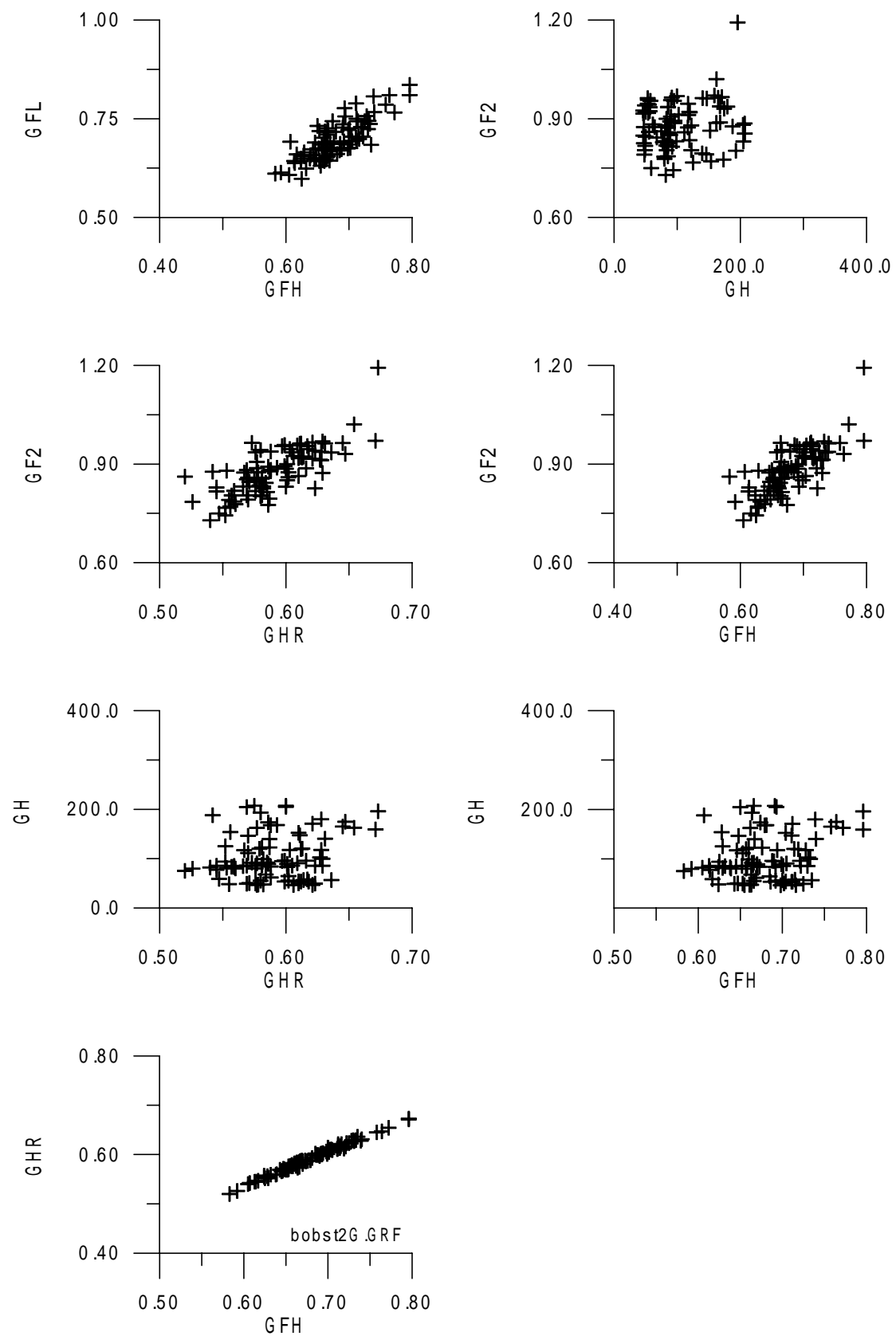


圖 5-3-1 (續) 各群波參數間之關係圖 (芭比颱風, ST.1 測站)

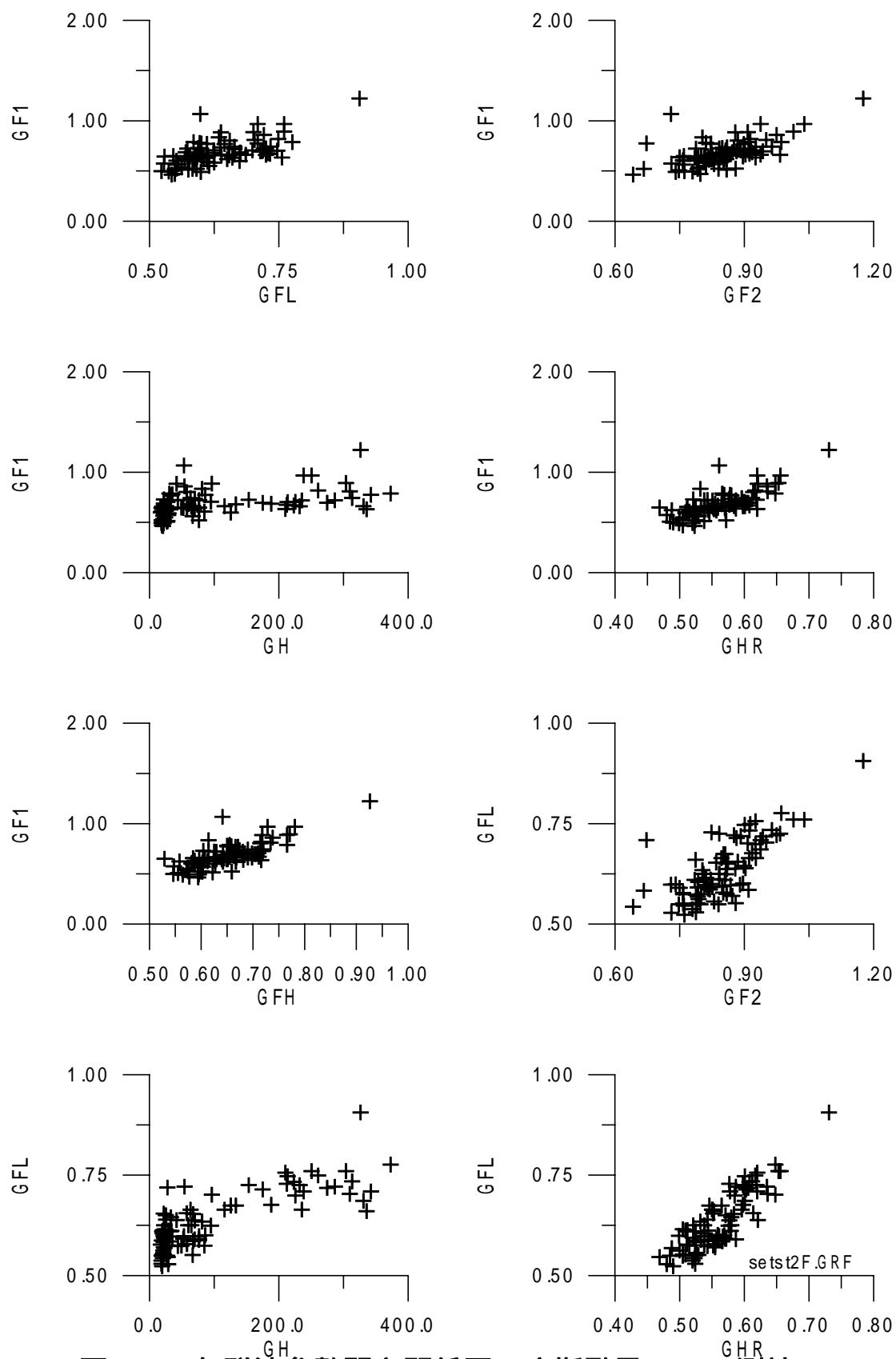


圖 5-3-2 各群波參數間之關係圖（席斯颱風，ST.2 測站）

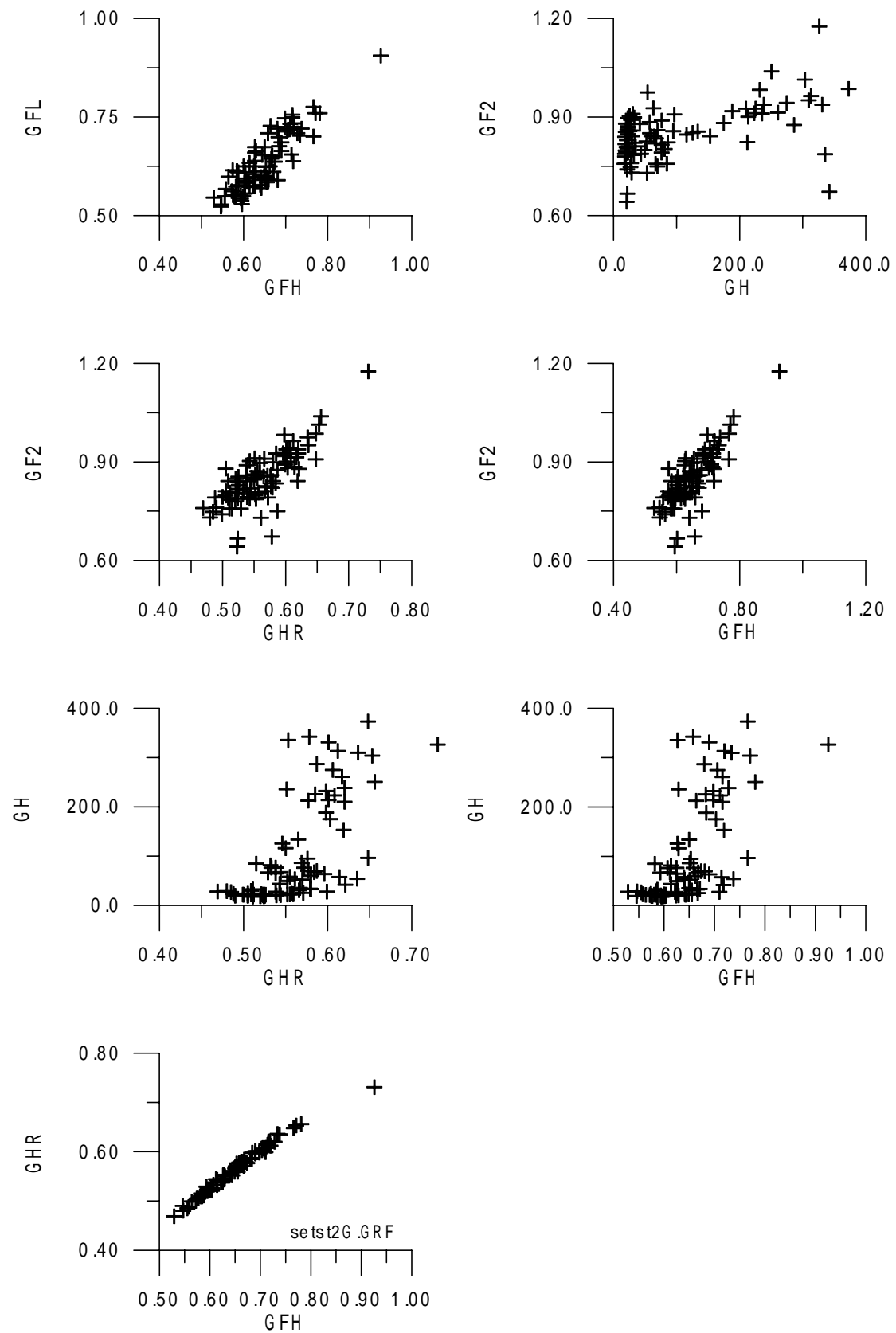


圖 5-3-2 (續) 各群波參數間之關係圖 (席斯颱風, ST.2 測站)

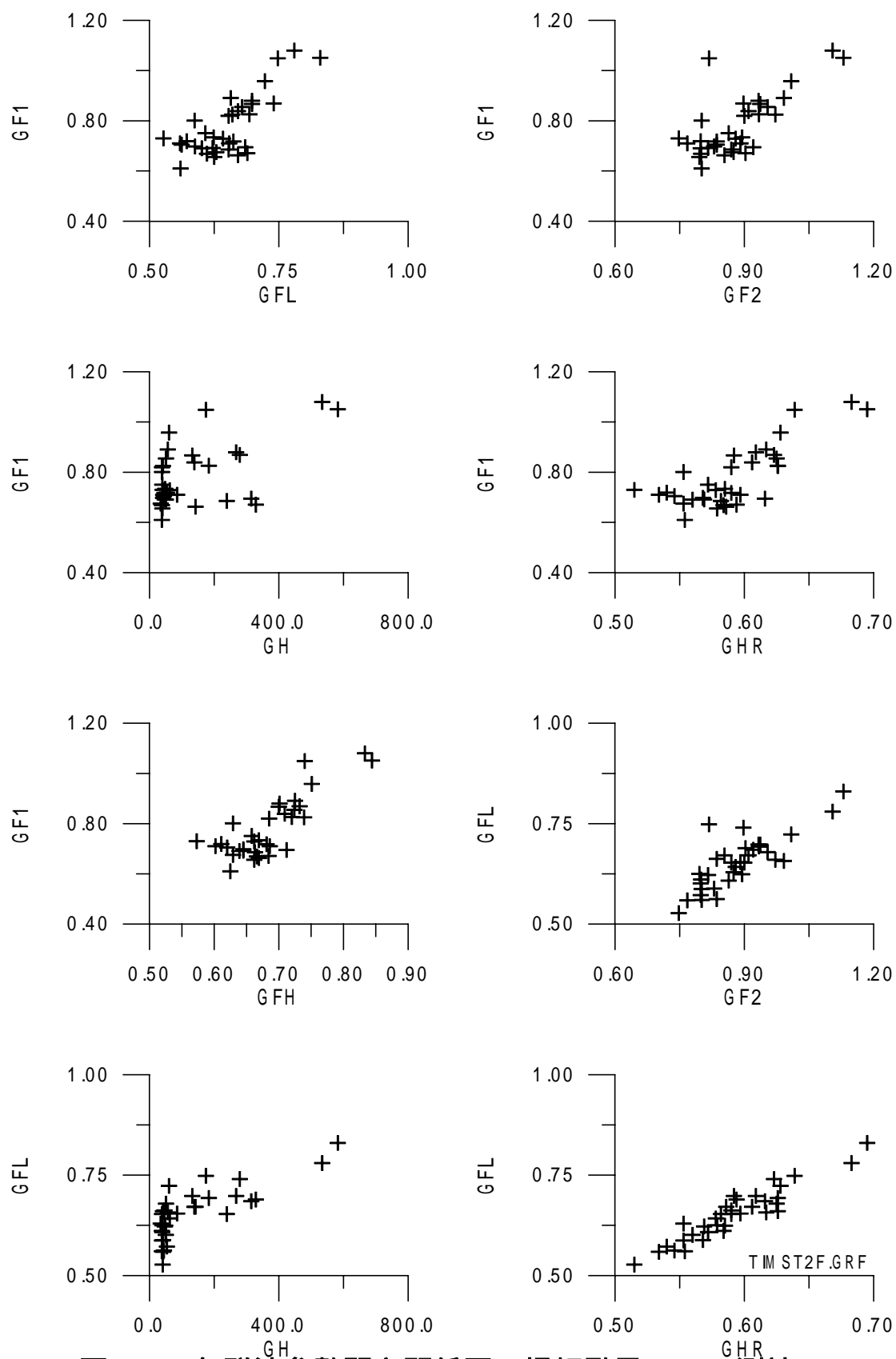


圖 5-3-3 各群波參數間之關係圖（提姆颱風，ST.2 測站）

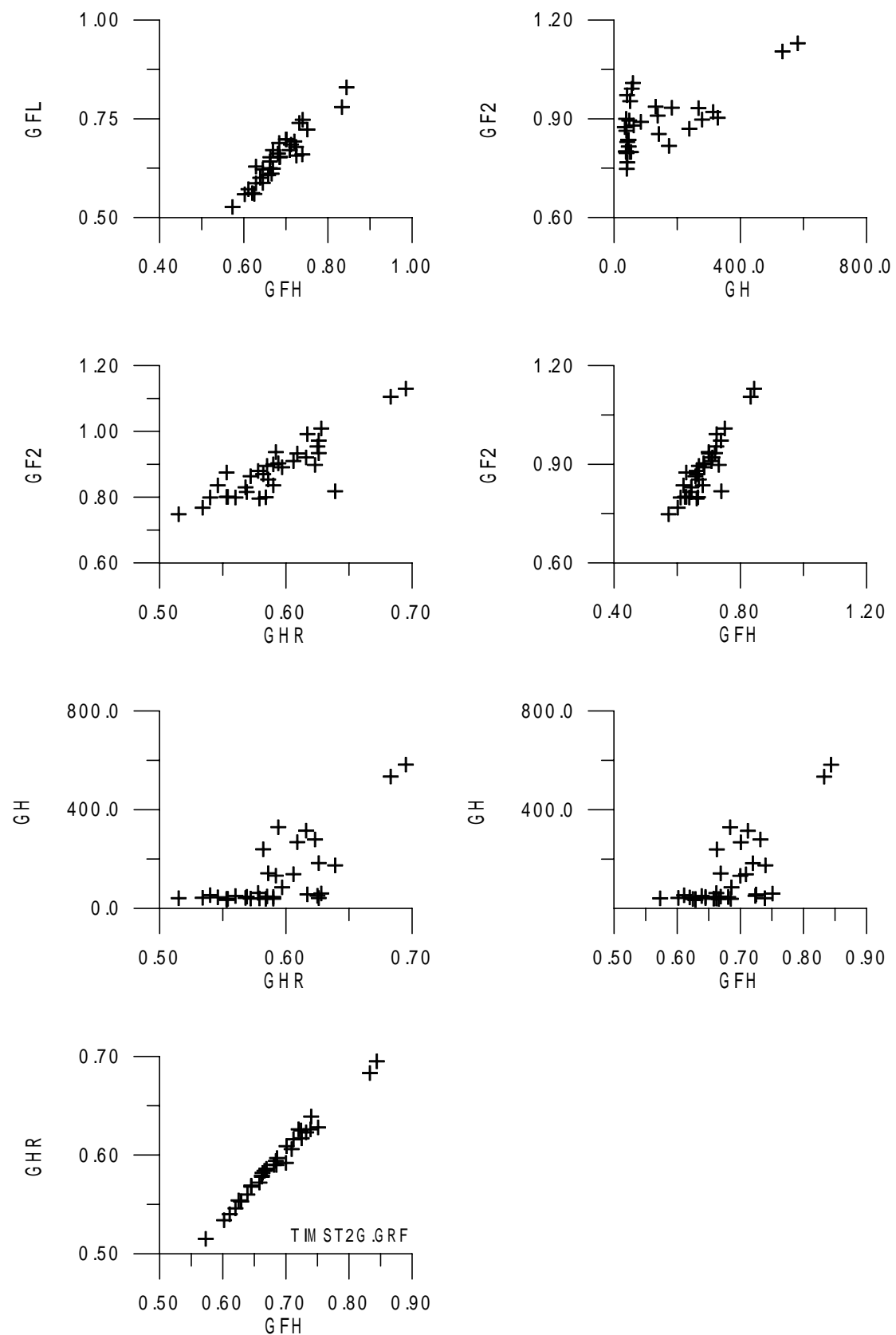


圖 5-3-3 (續) 各群波參數間之關係圖 (提姆颱風, ST.2 測站)

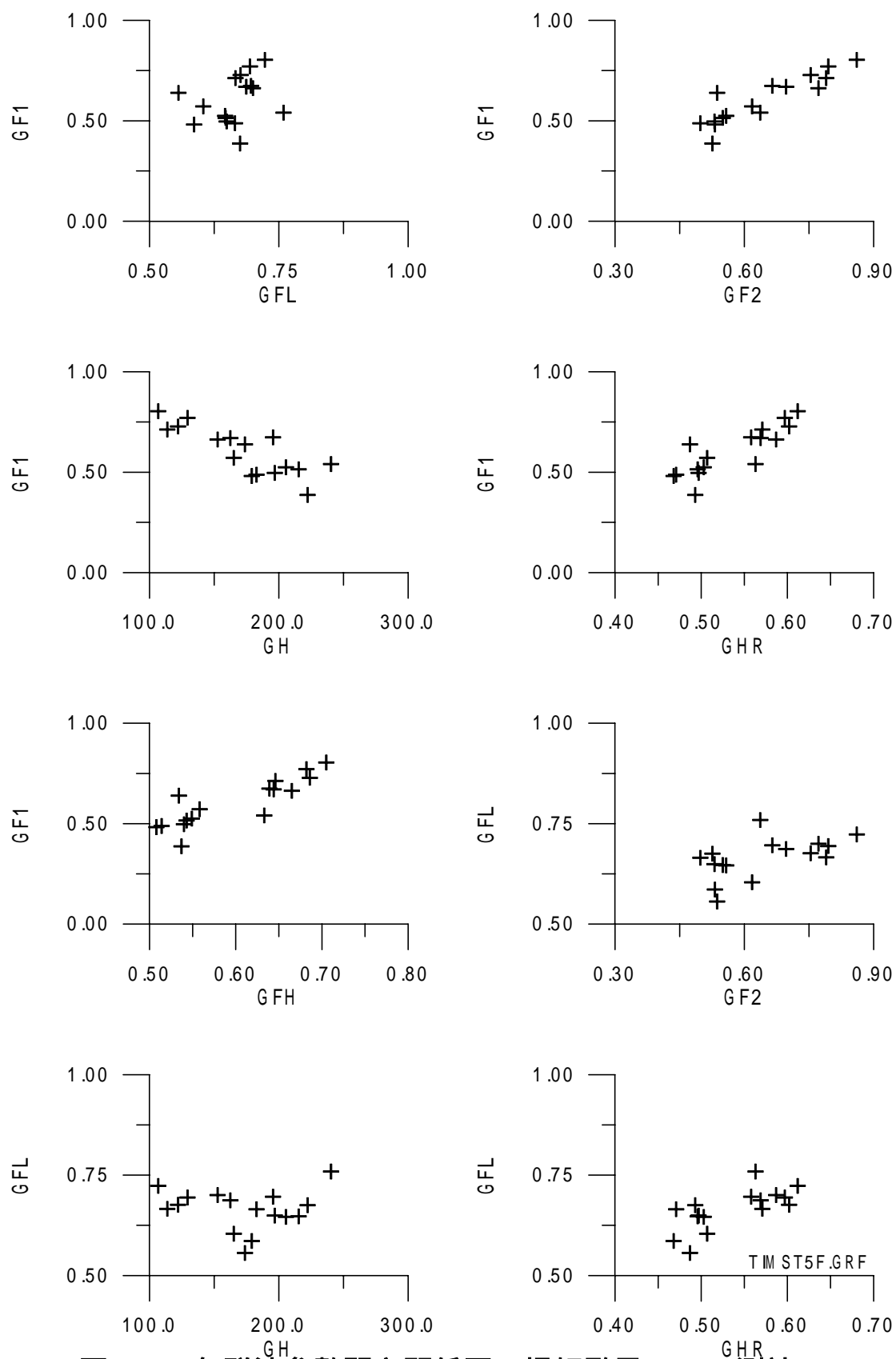


圖 5-3-4 各群波參數間之關係圖（提姆颱風，ST.5 測站）



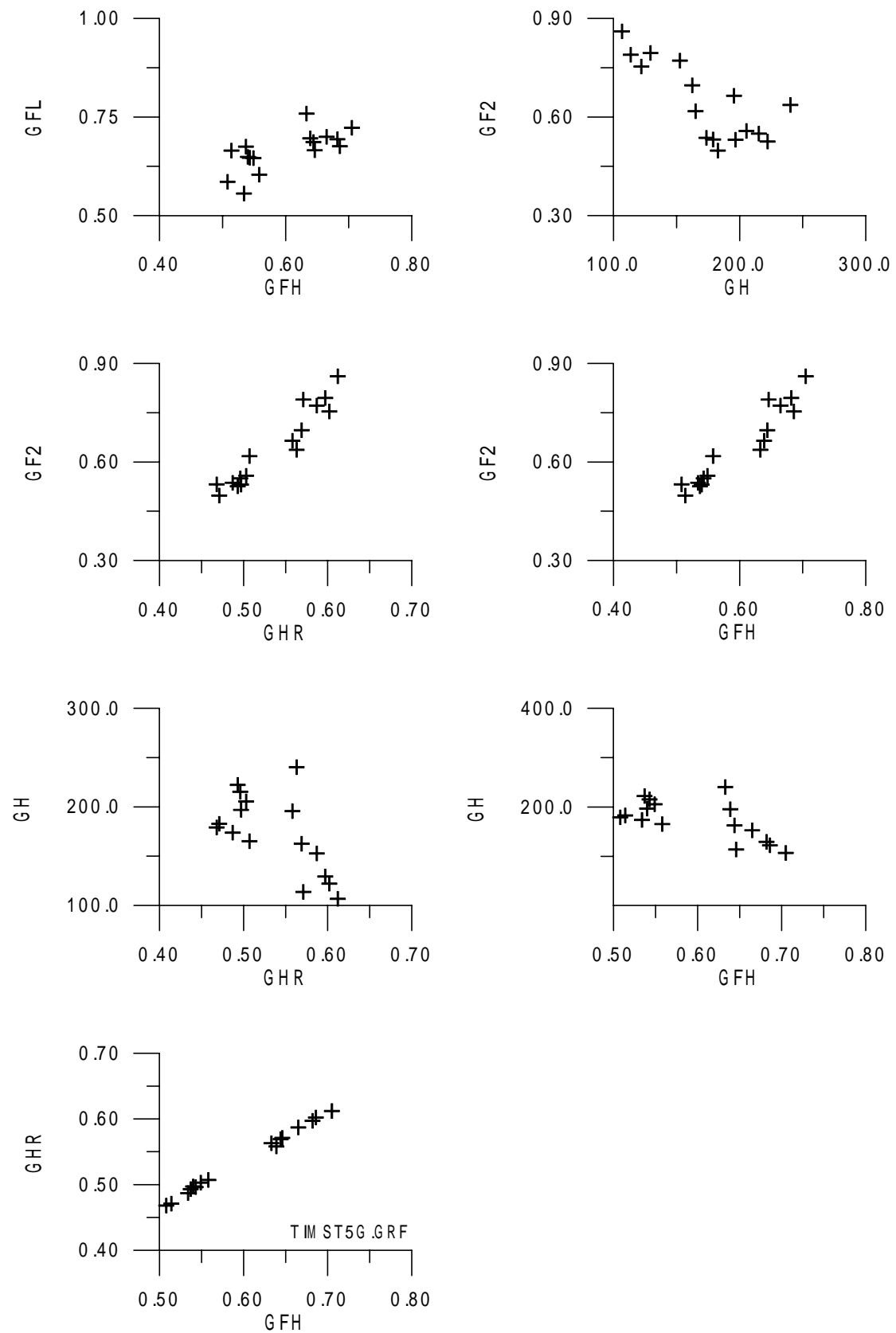


圖 5-3-4 (續) 各群波參數間之關係圖 (提姆颱風, ST.5 測站)

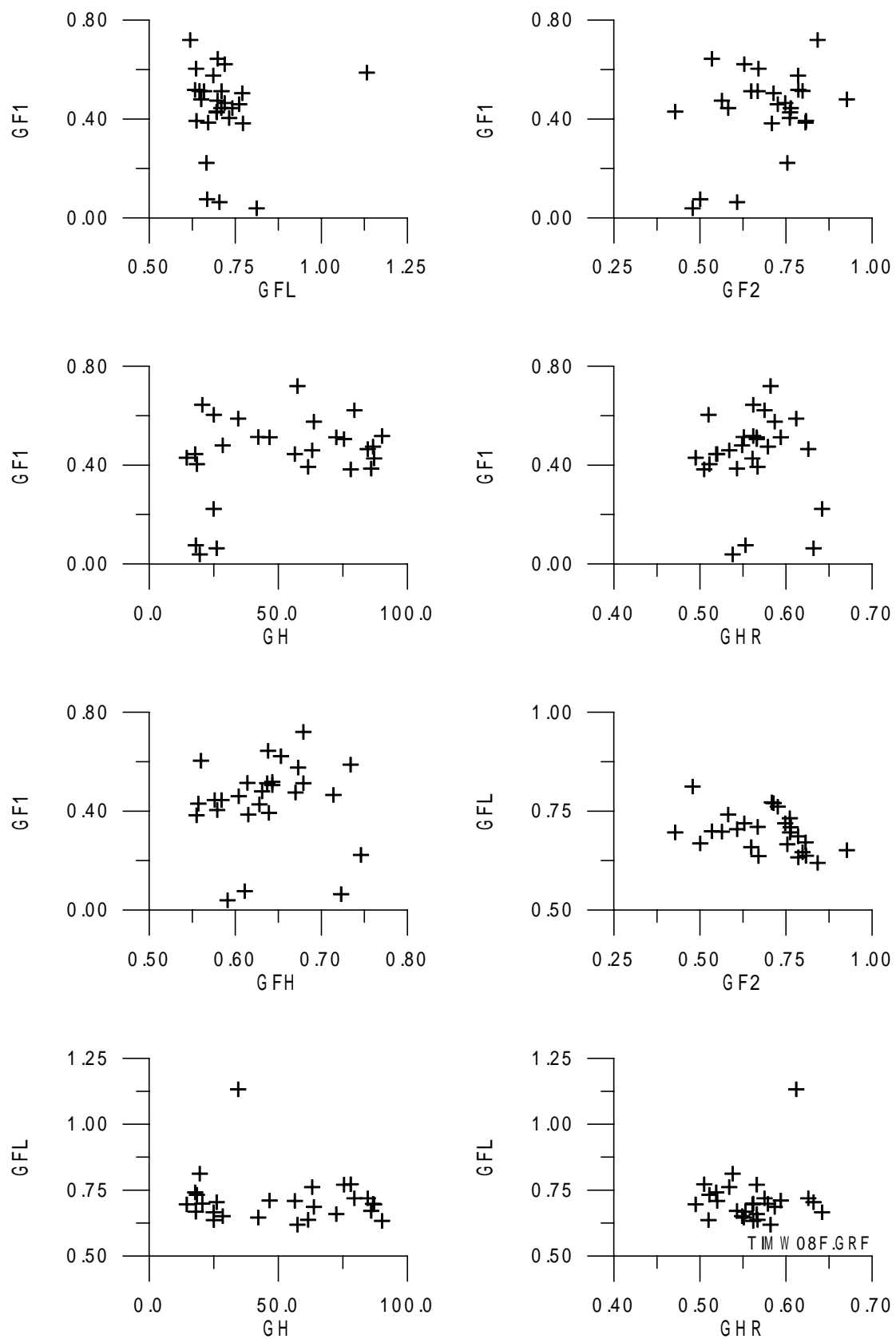


圖 5-3-5 各群波參數間之關係圖（提姆颱風，W08 測站）

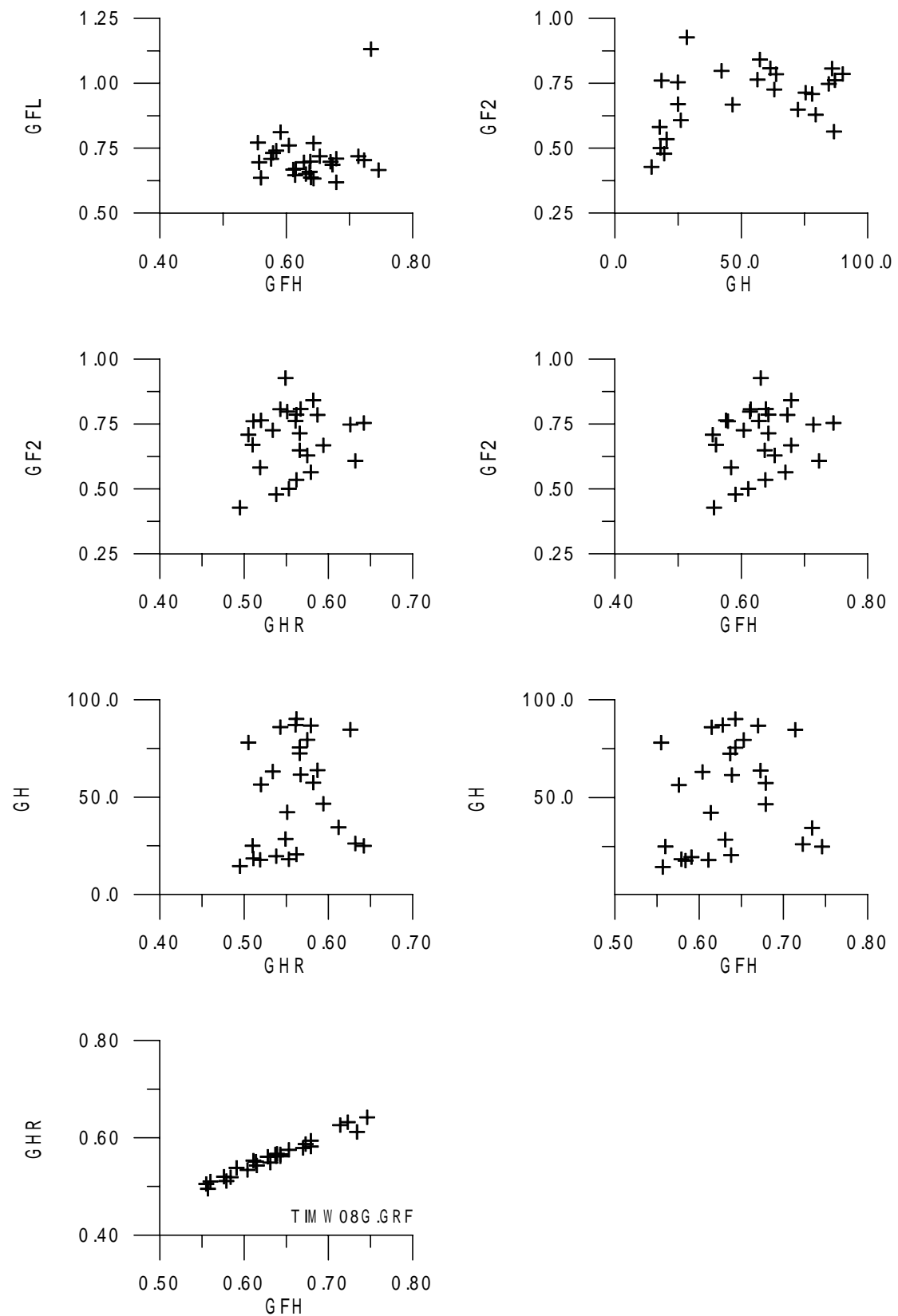


圖 5-3-5 (續) 各群波參數間之關係圖 (提姆颱風, W08 測站)

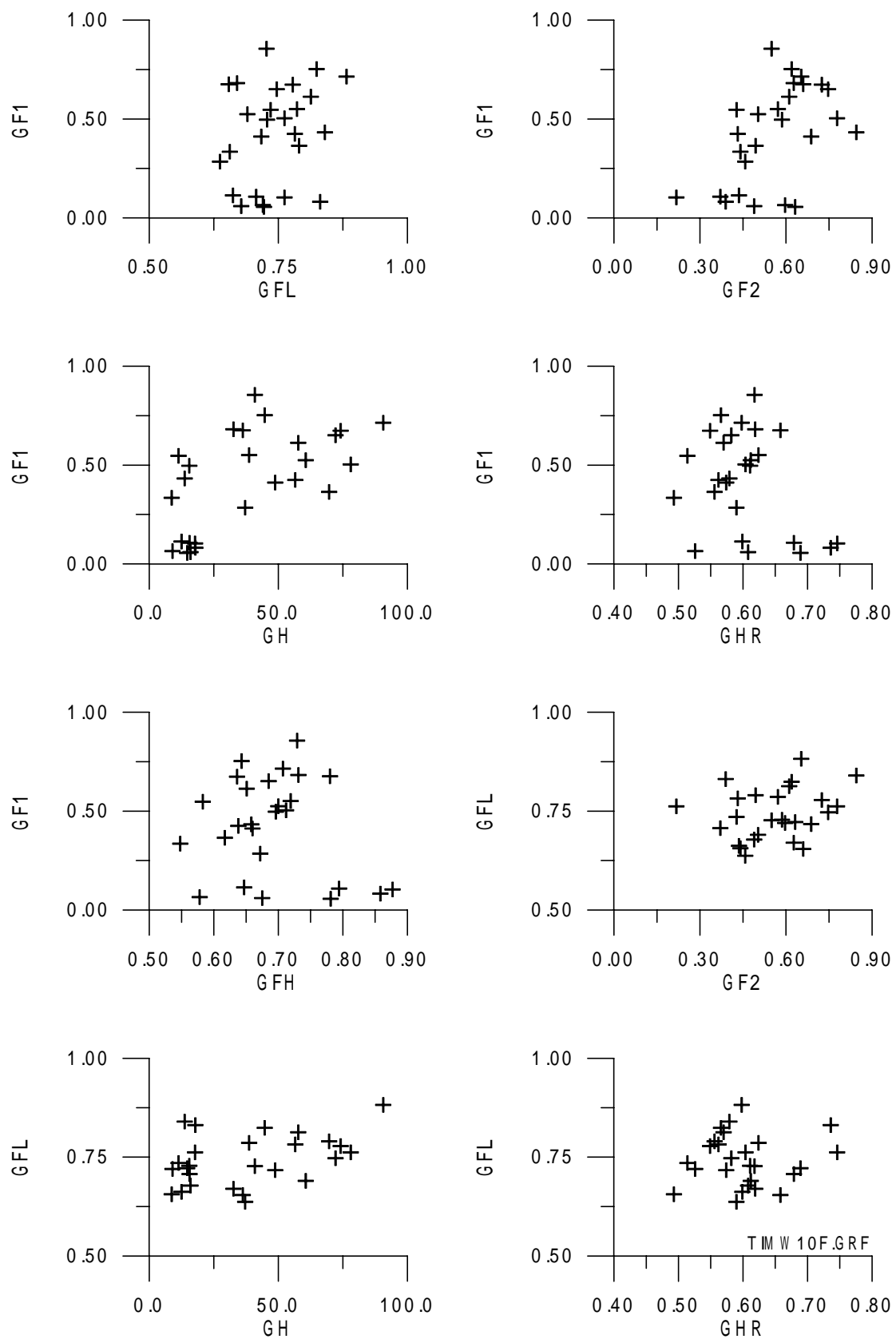


圖 5-3-6 各群波參數間之關係圖（提姆颱風，W10 測站）

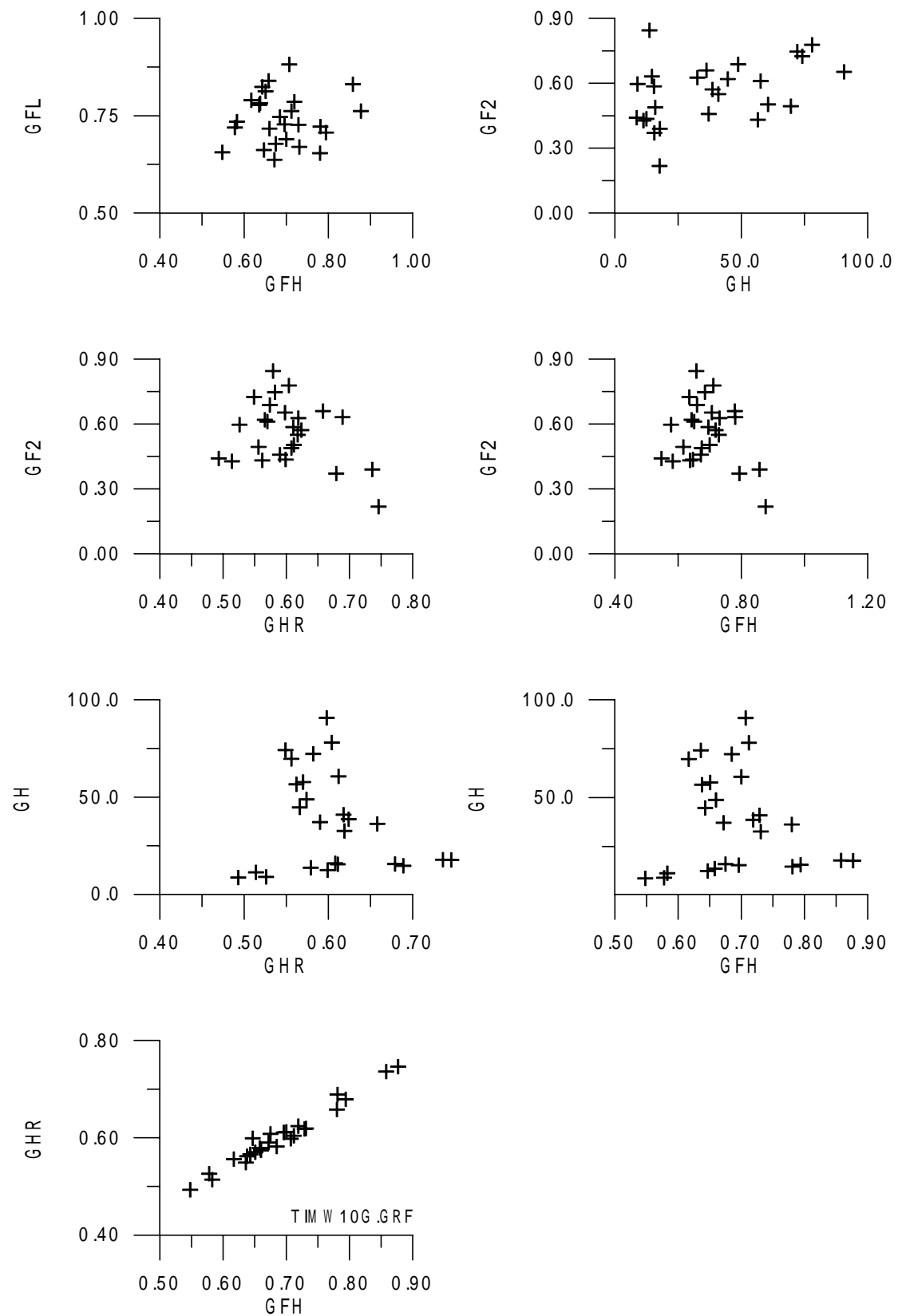


圖 5-3-6 (續) 各群波參數間之關係圖 (提姆颱風, W10 測站)

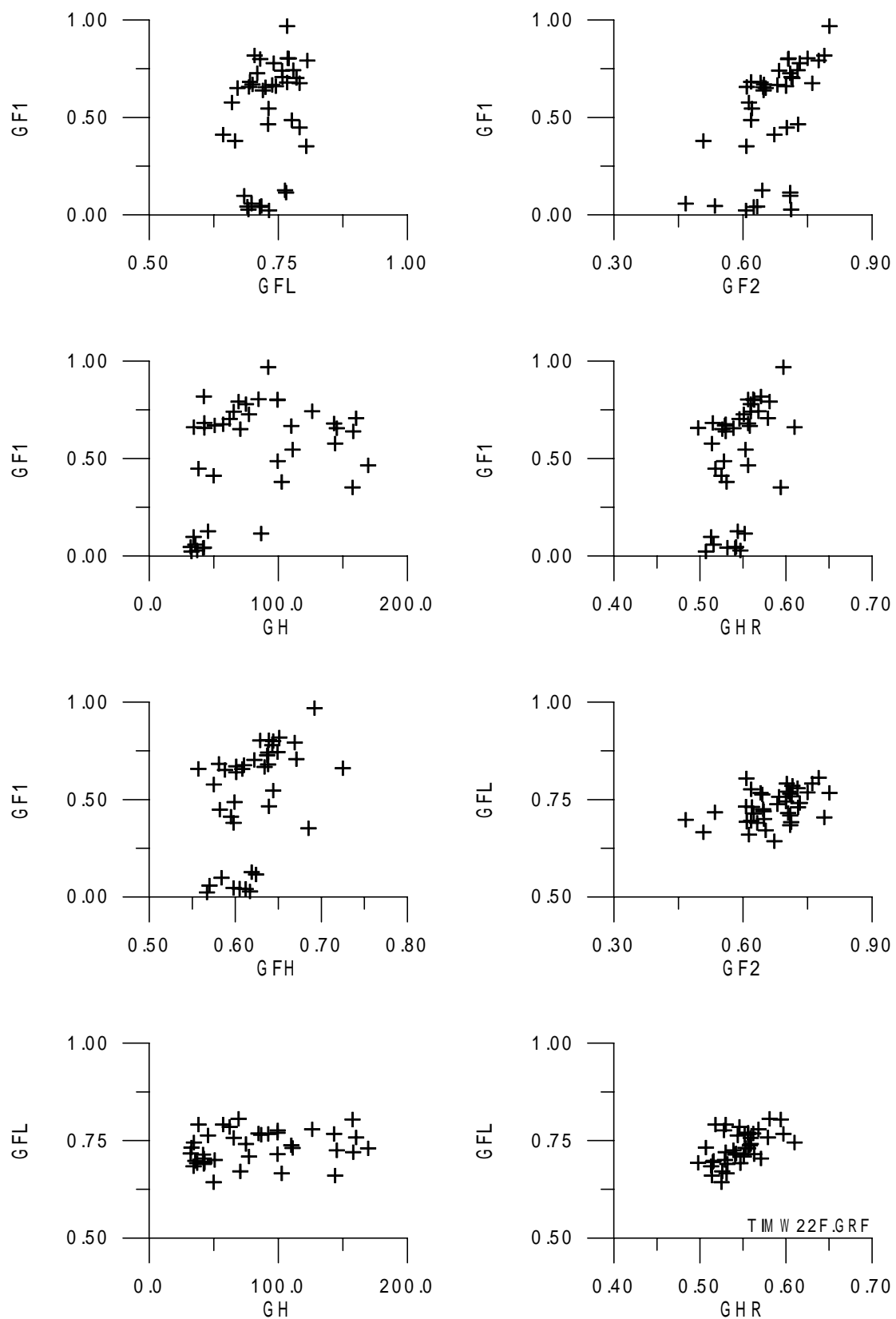


圖 5-3-7 各群波參數間之關係圖（提姆颱風，W22 測站）

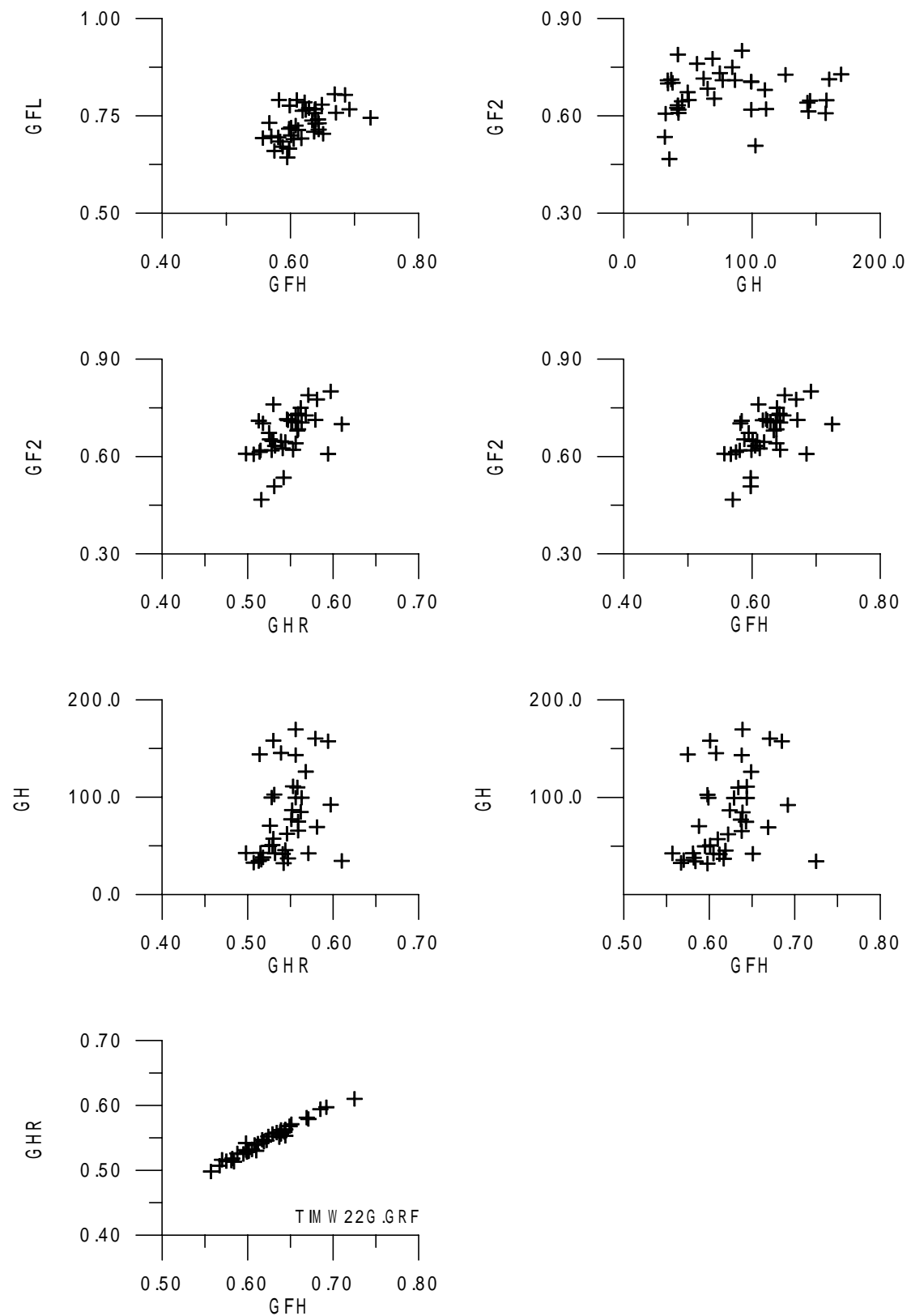


圖 5-3-7 (續) 各群波參數間之關係圖 (提姆颱風, W22 測站)

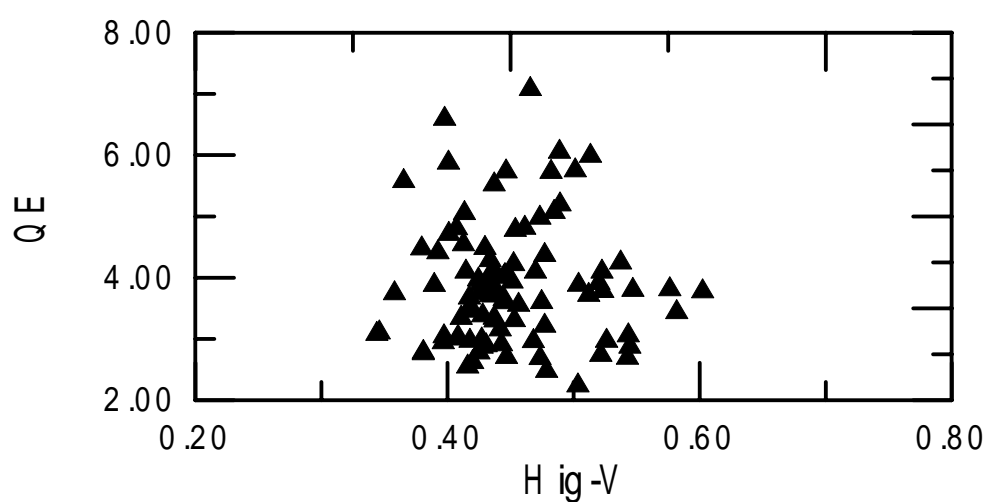
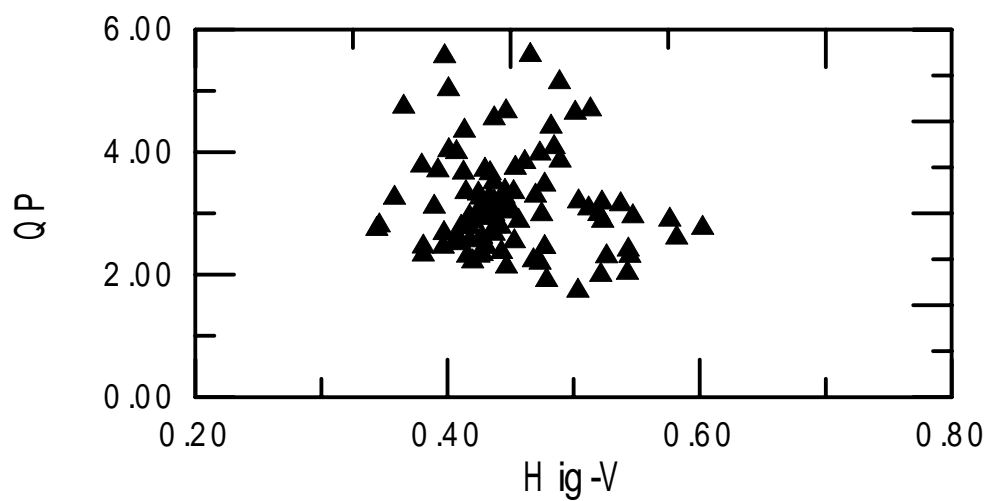
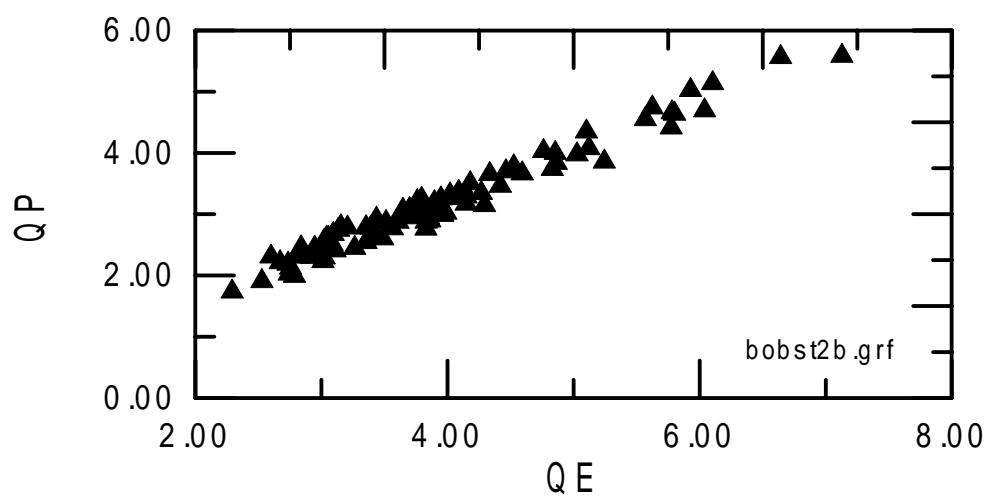


圖 5-4-1 各波譜參數間之關係圖（芭比颱風，ST.1 測站）



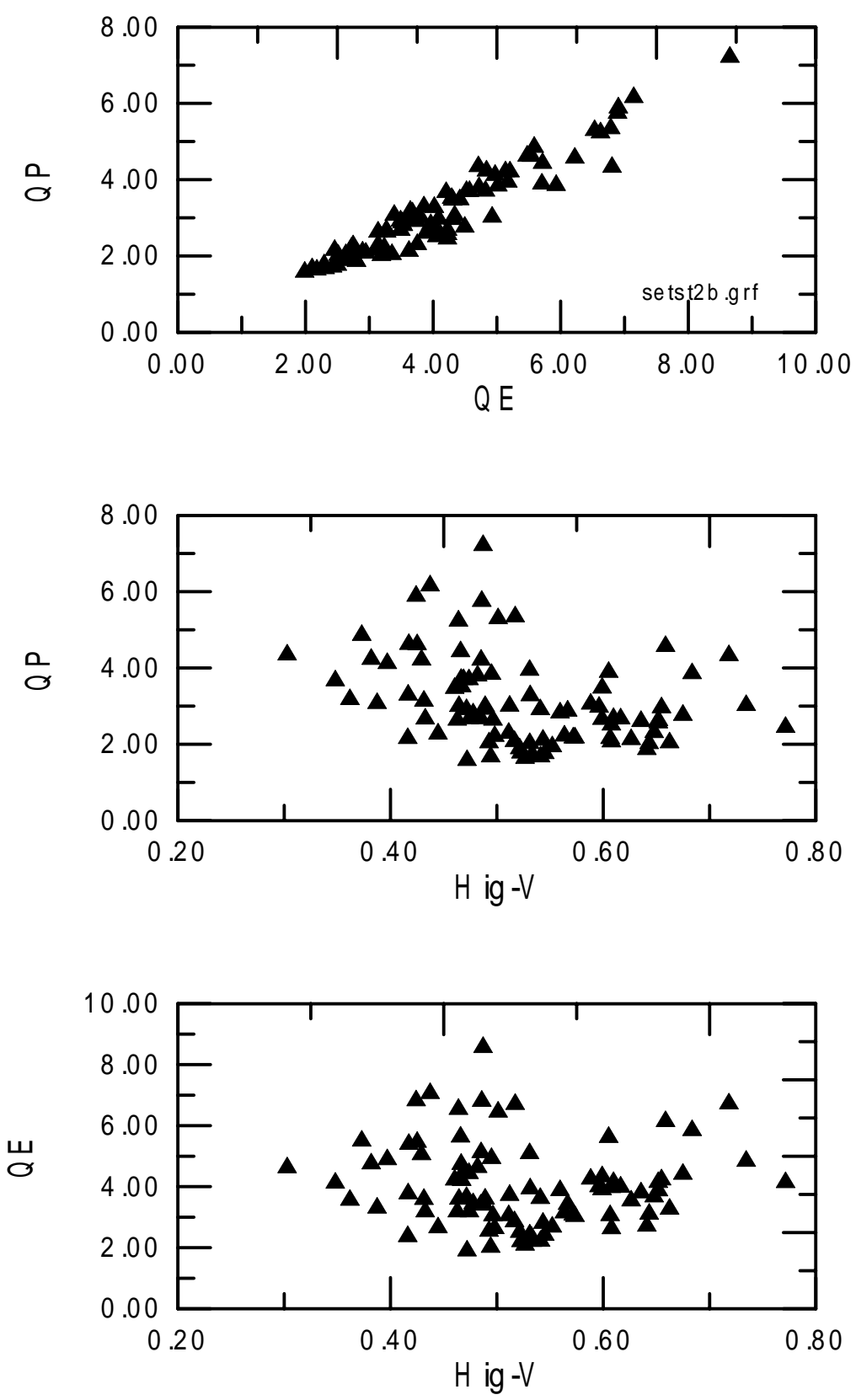


圖 5-4-2 各波譜參數間之關係圖（席斯颱風，ST.2 測站）

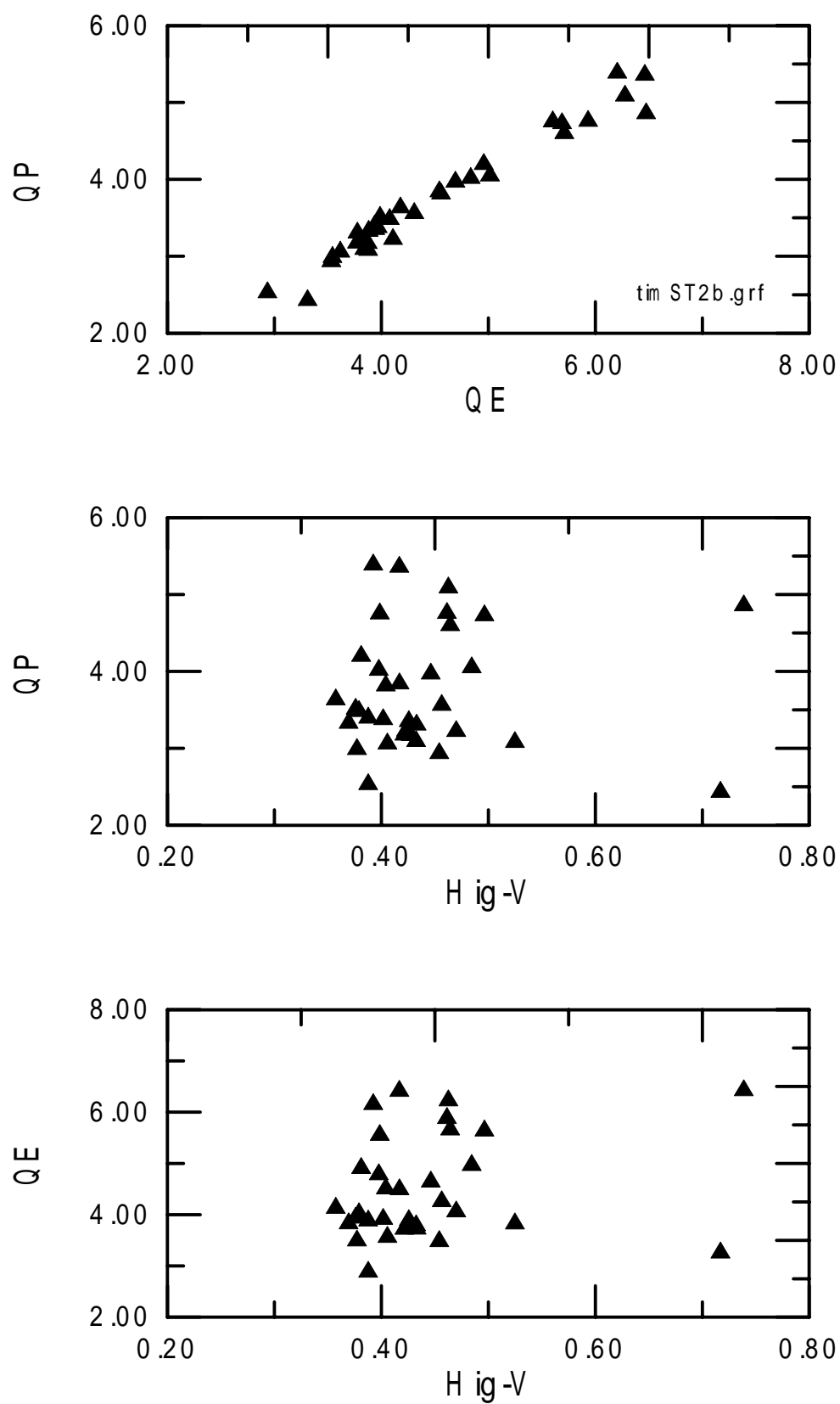


圖 5-4-3 各波譜參數間之關係圖（提姆颱風，ST.2 測站）

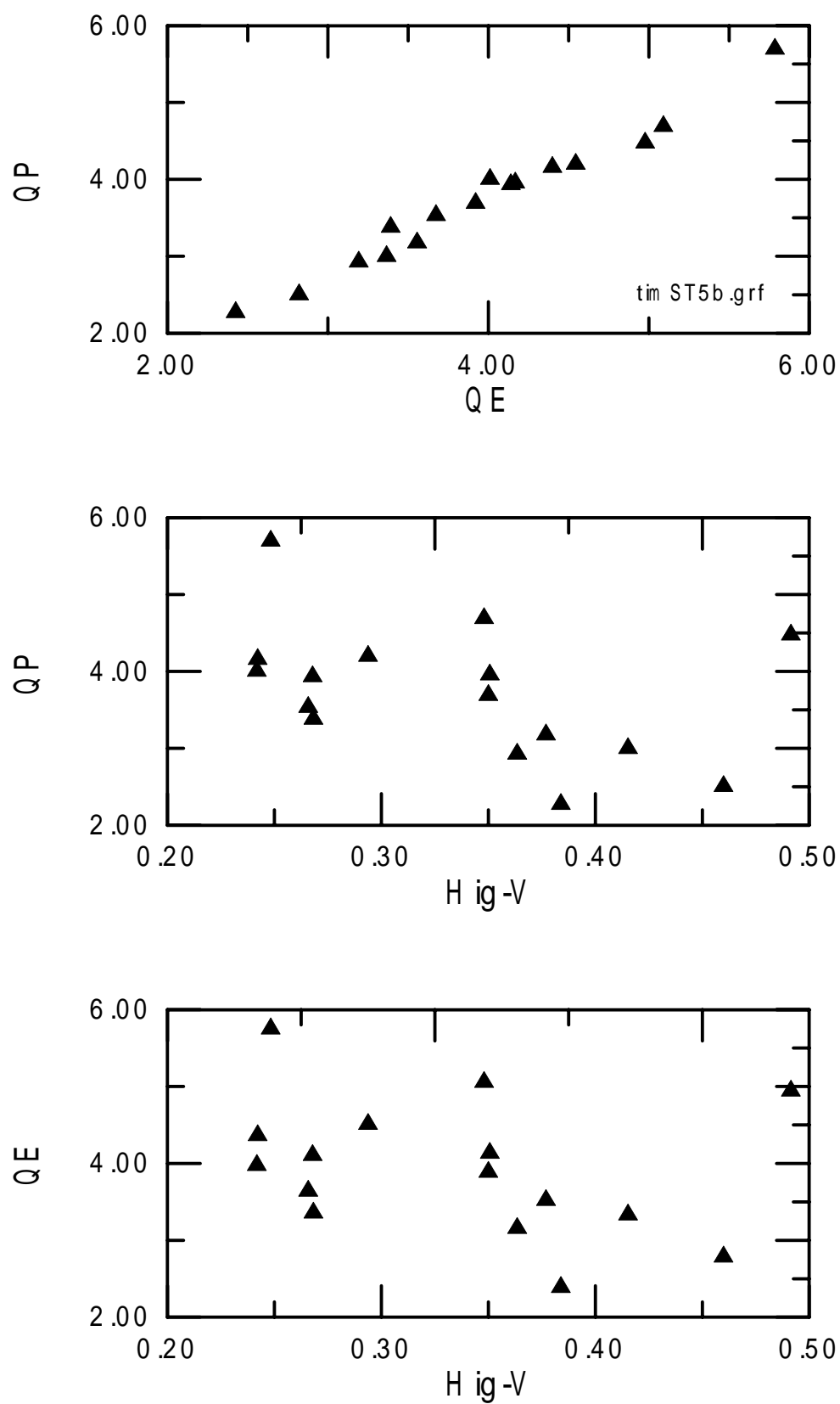


圖 5-4-4 各波譜參數間之關係圖（提姆颱風，ST.5 測站）

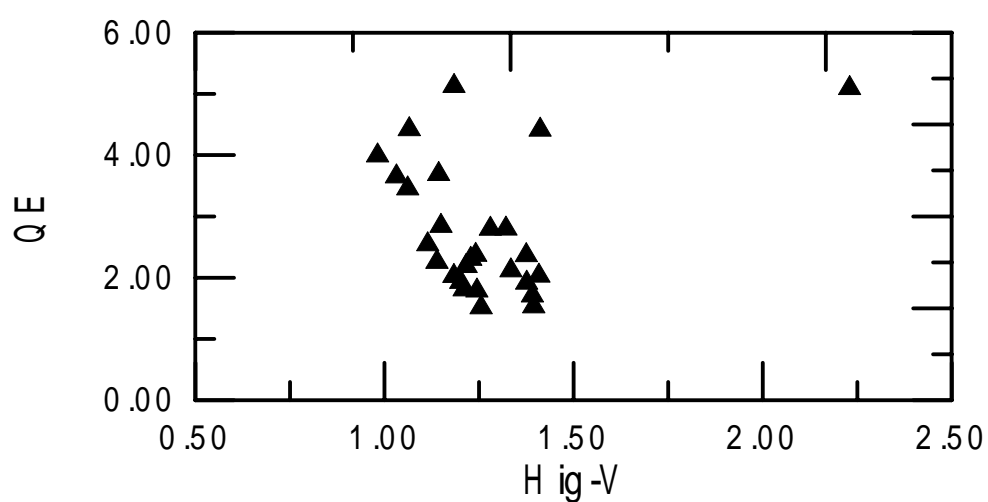
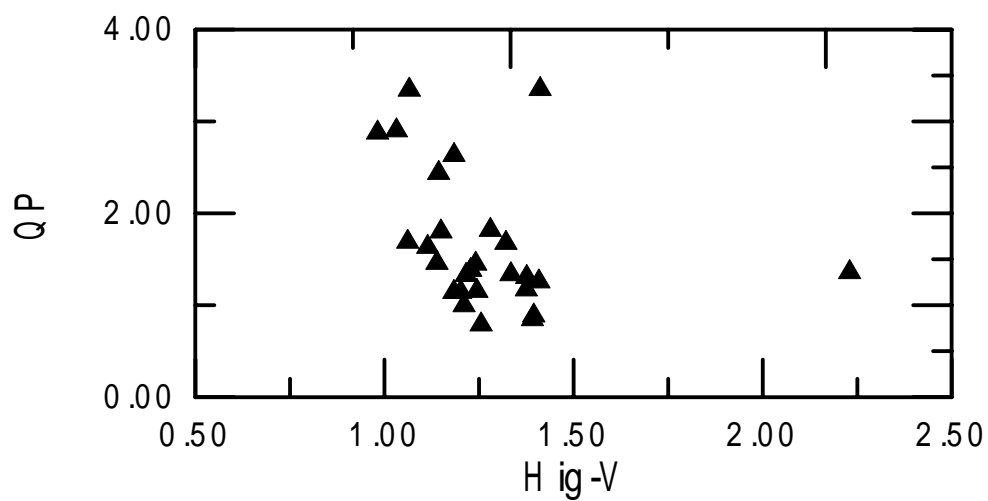
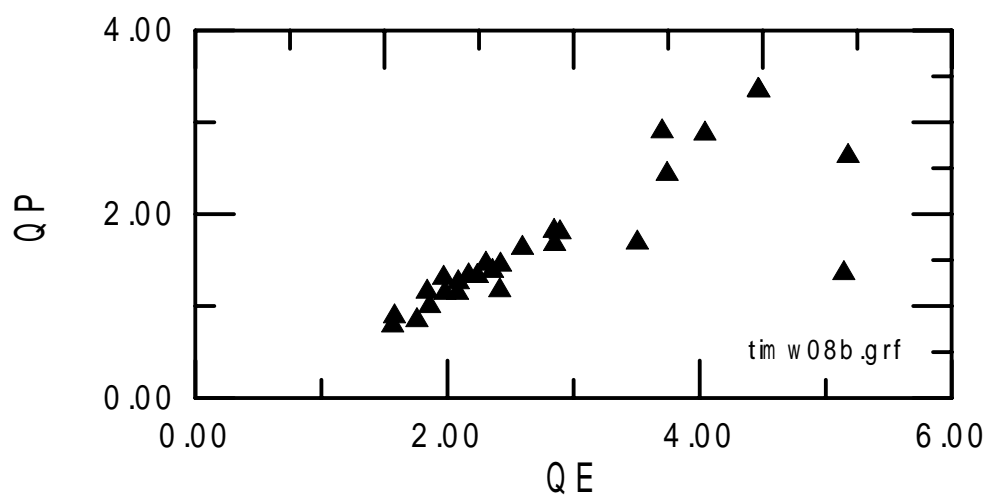


圖 5-4-5 各波譜參數間之關係圖（提姆颱風，W08 測站）

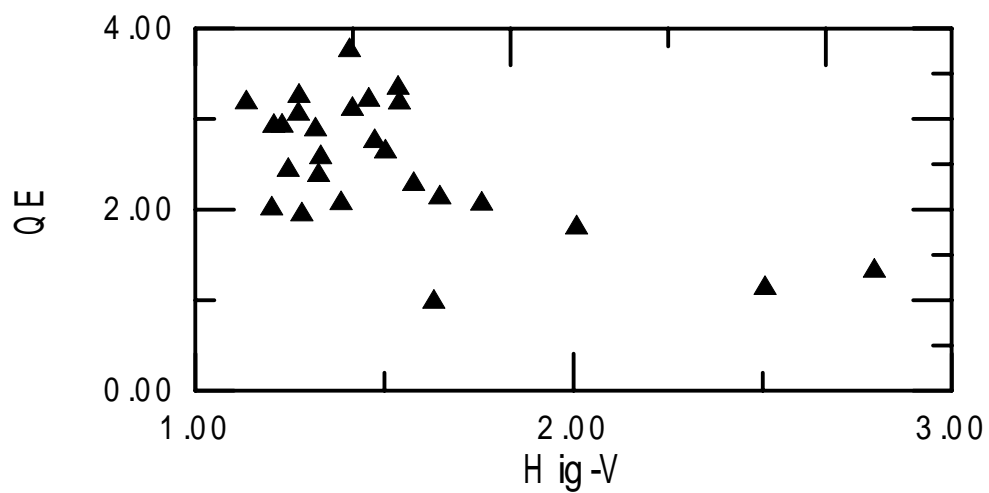
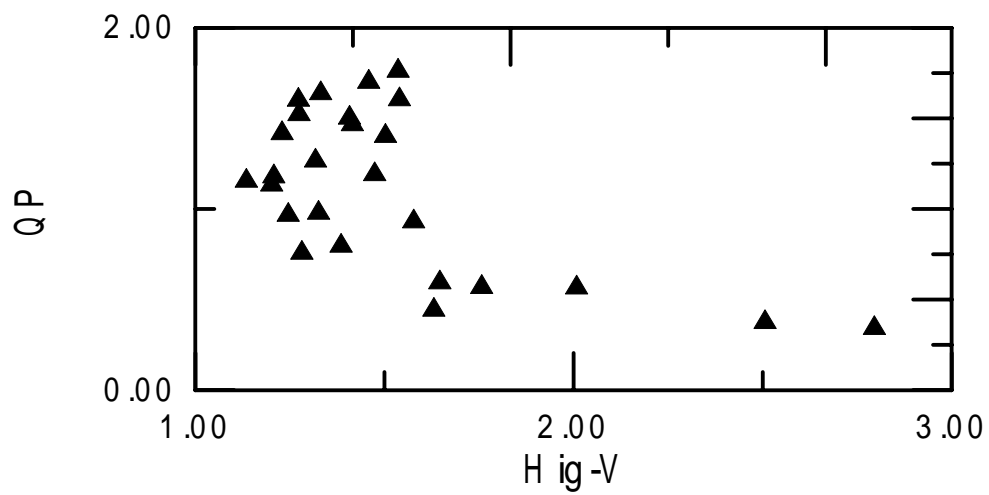
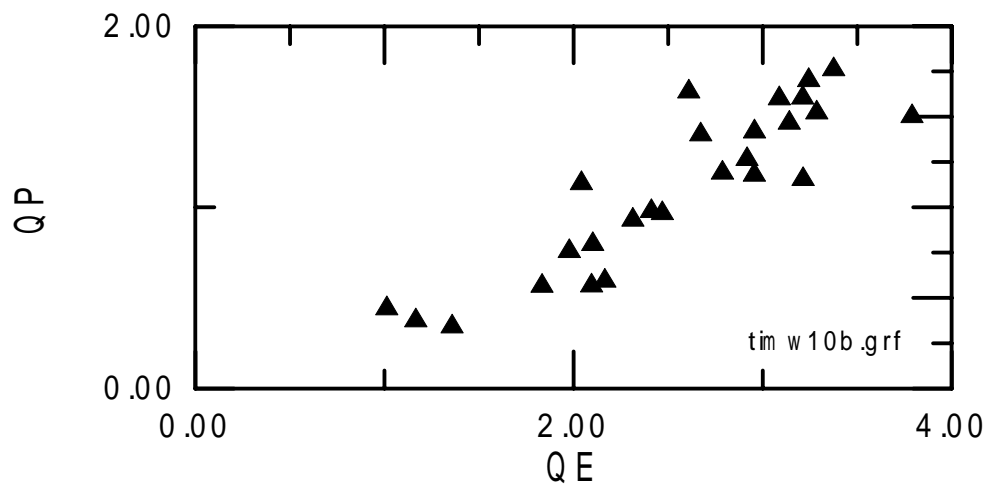


圖 5-4-6 各波譜參數間之關係圖（提姆颱風，W10 測站）

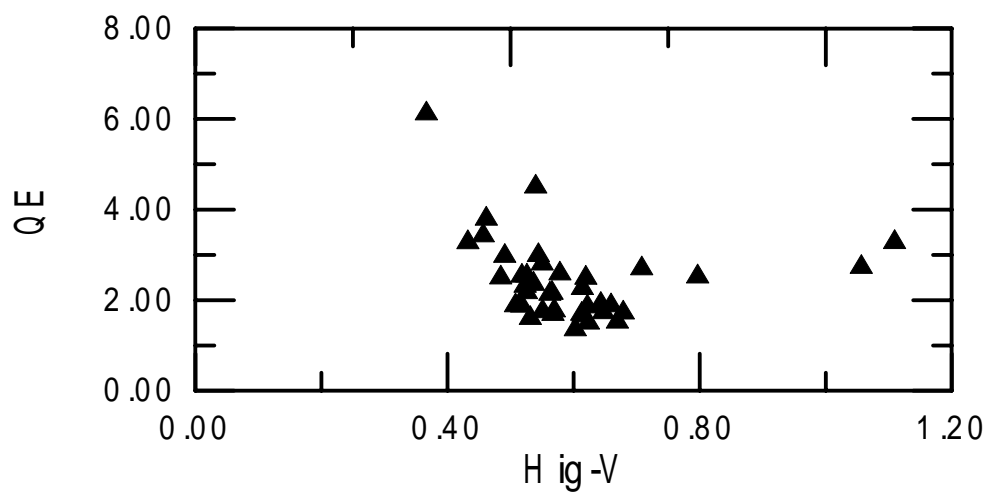
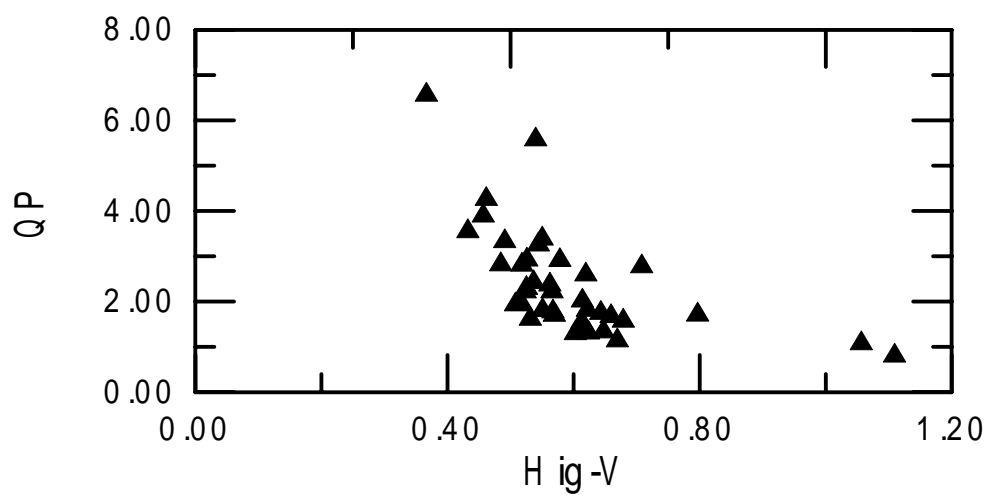
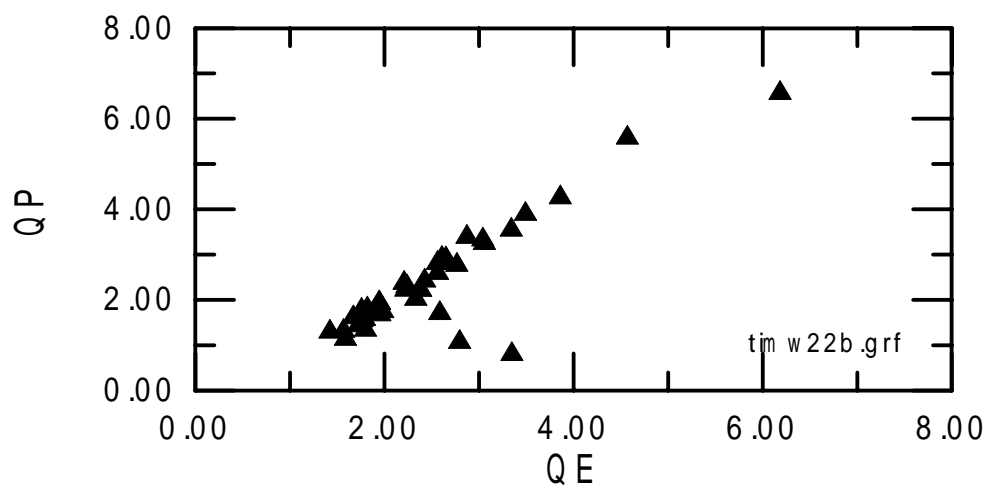


圖 5-4-7 各波譜參數間之關係圖（提姆颱風，W22 測站）

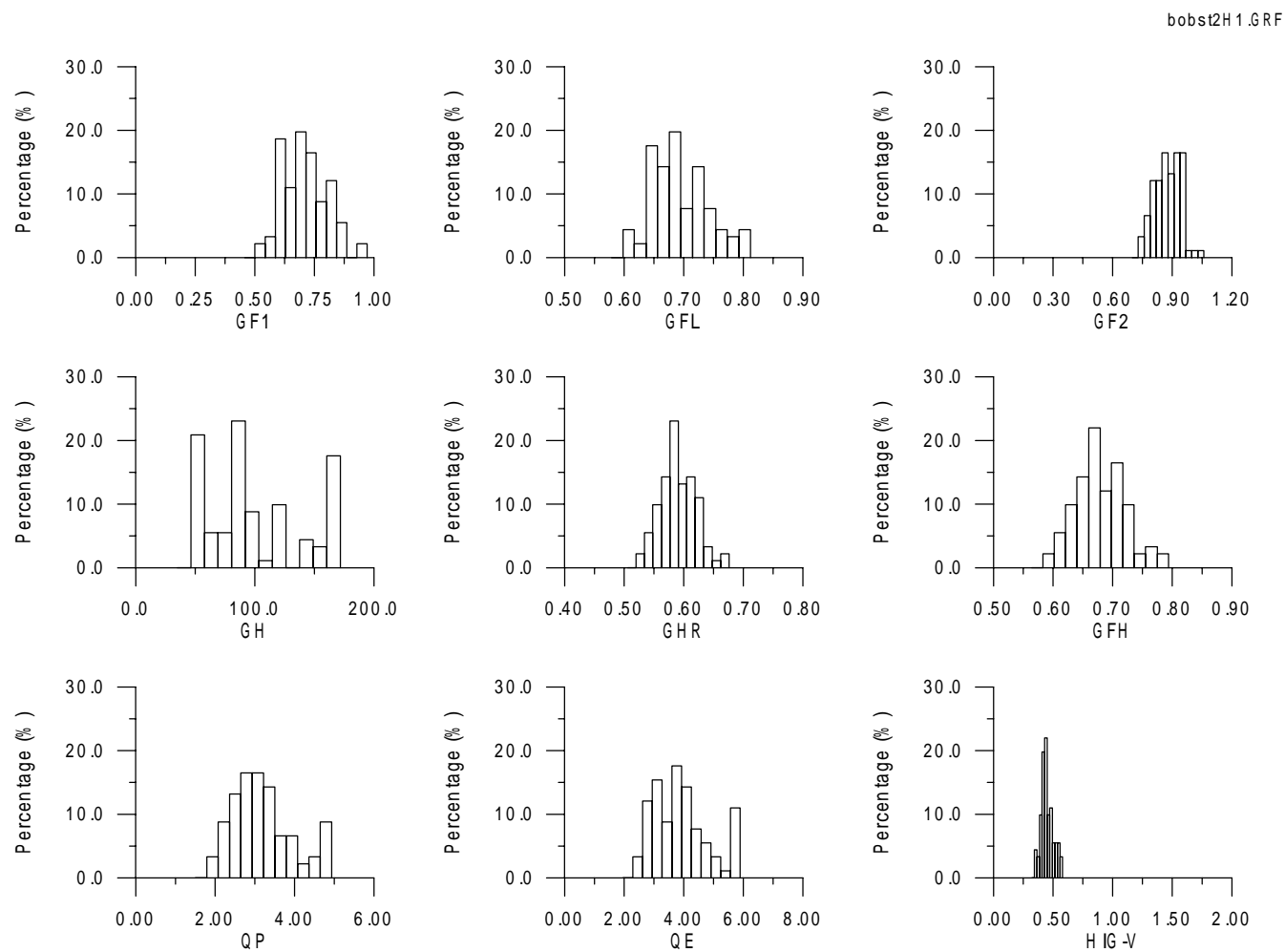


圖 5-5-1 各群波參數值與波譜參數值之分佈（芭比颱風，ST.1 測站）

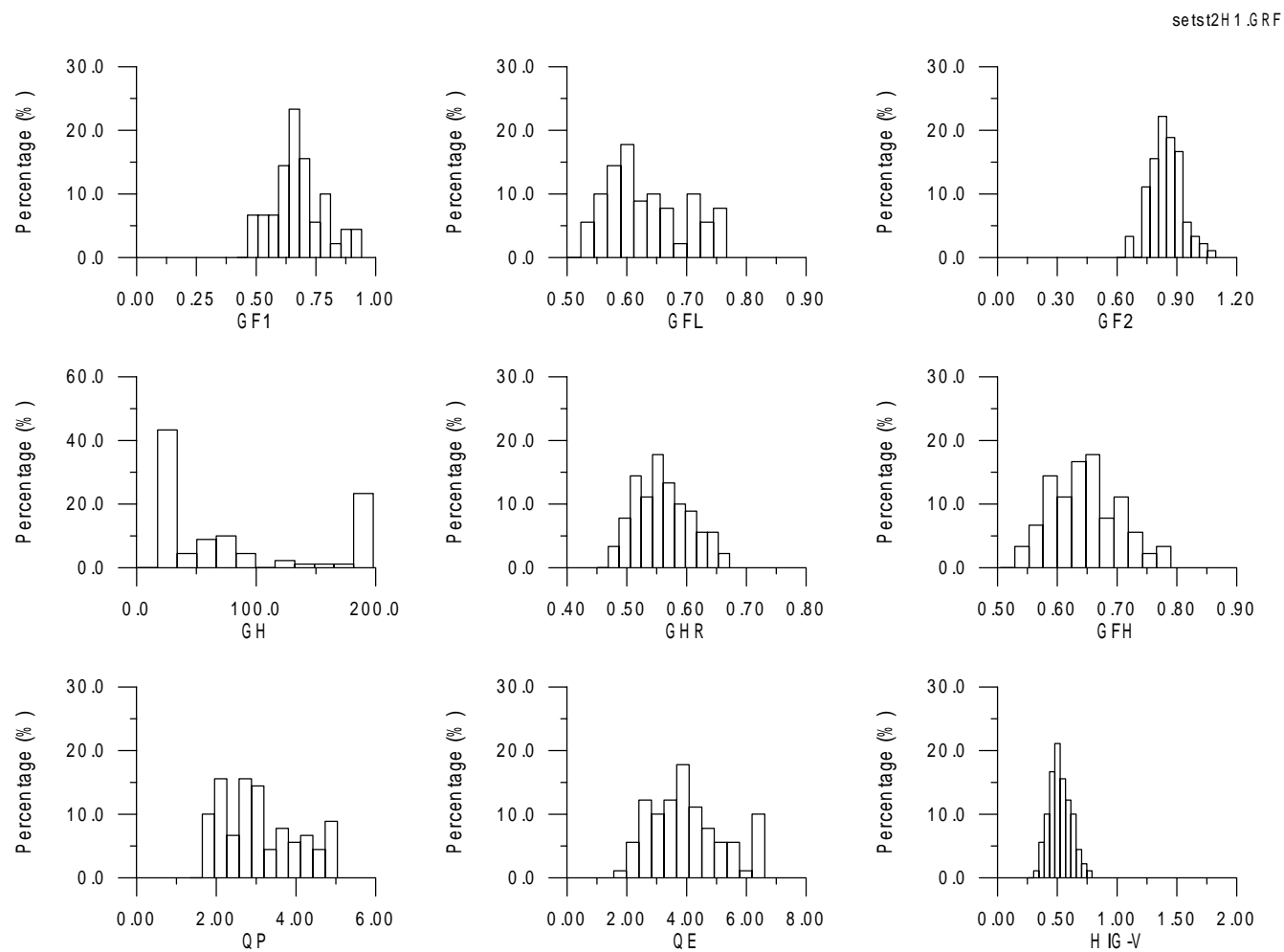


圖 5-5-2 各群波參數值與波譜參數值之分佈（席斯颱風，ST.2 測站）



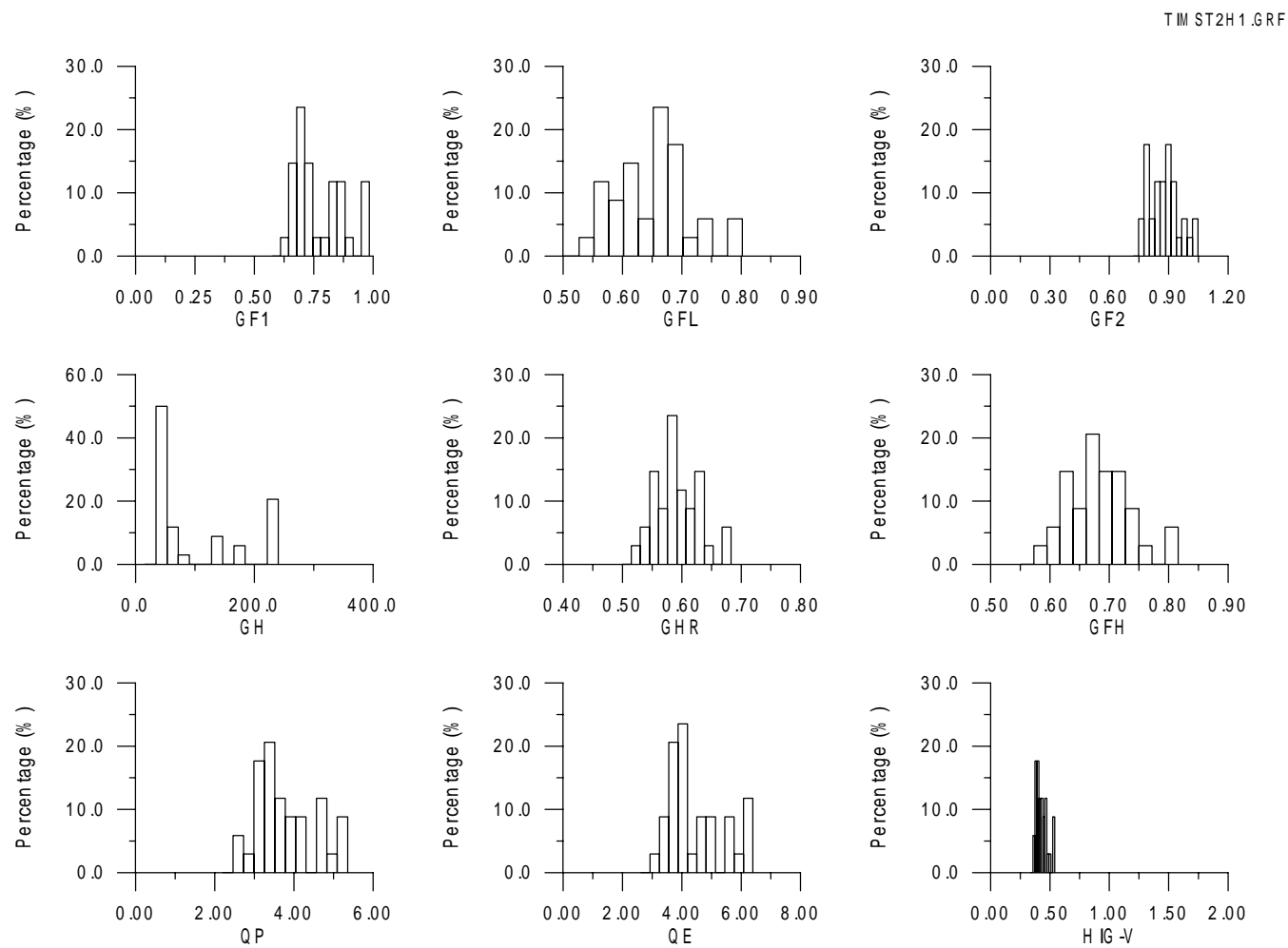


圖 5-5-3 各群波參數值與波譜參數值之分佈（提姆颱風，ST.2 測站）

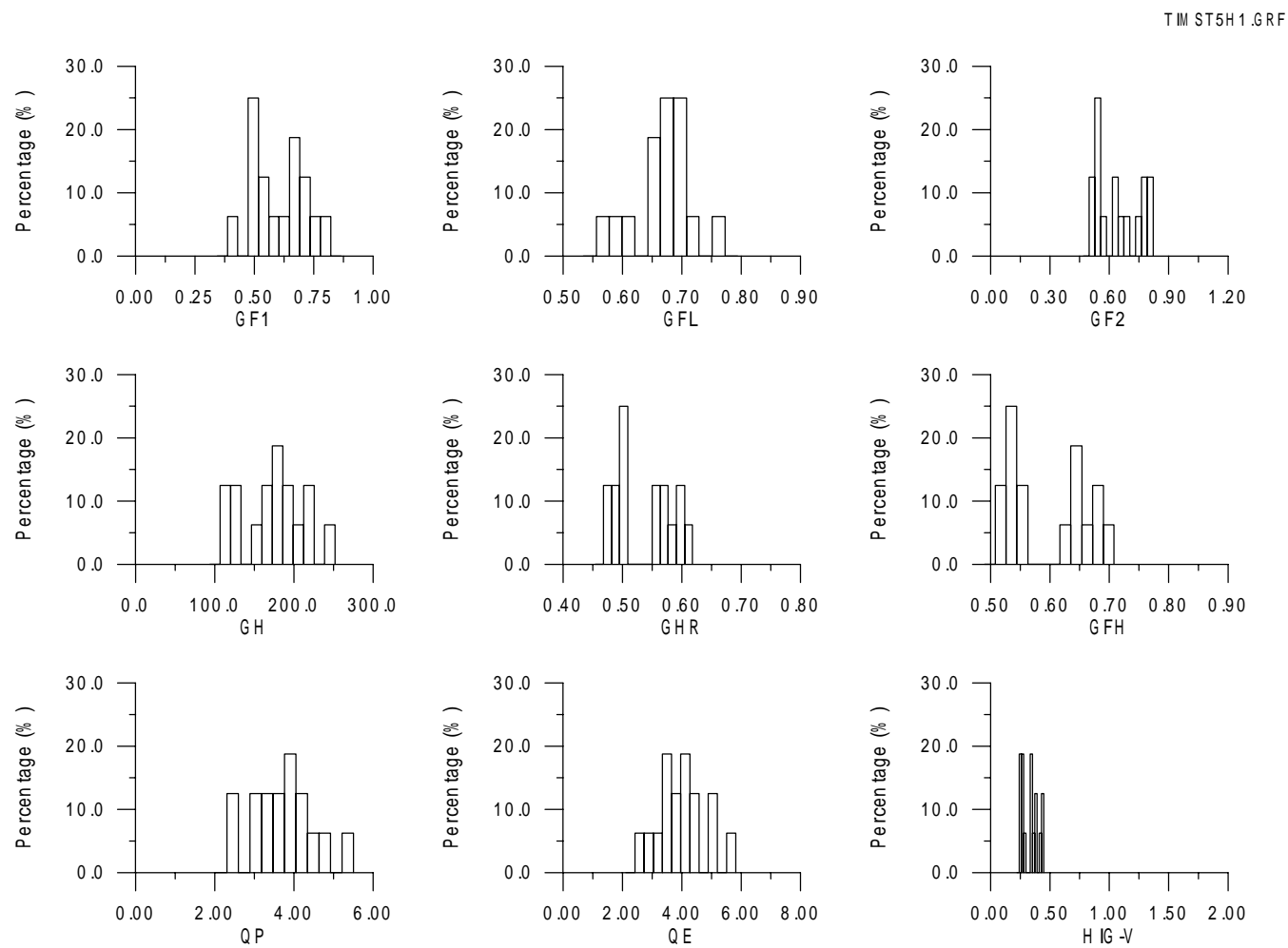


圖 5-5-4 各群波參數值與波譜參數值之分佈（提姆颱風，ST.5 測站）

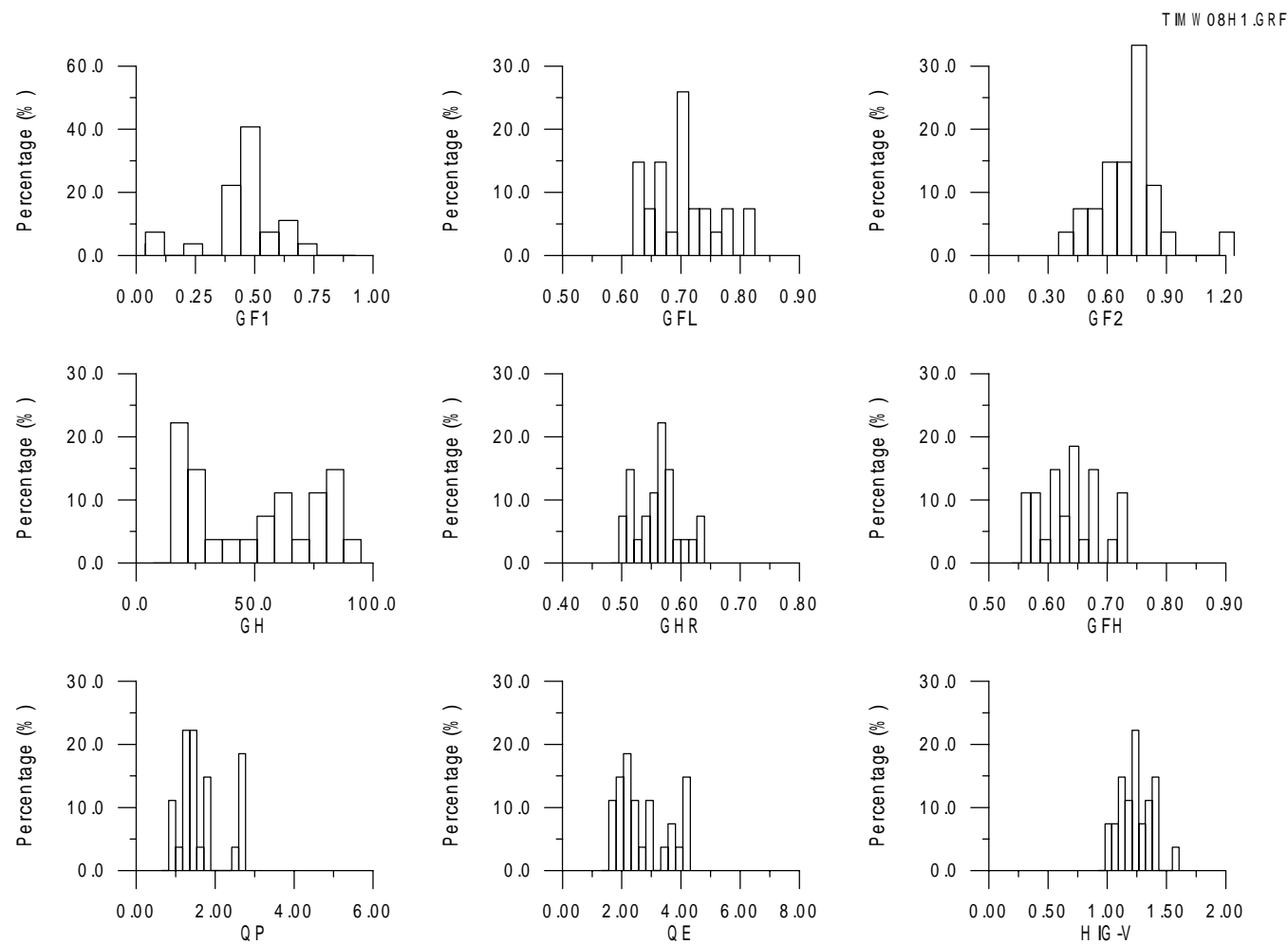


圖 5-5-5 各群波參數值與波譜參數值之分佈（提姆颱風，W08 測站）

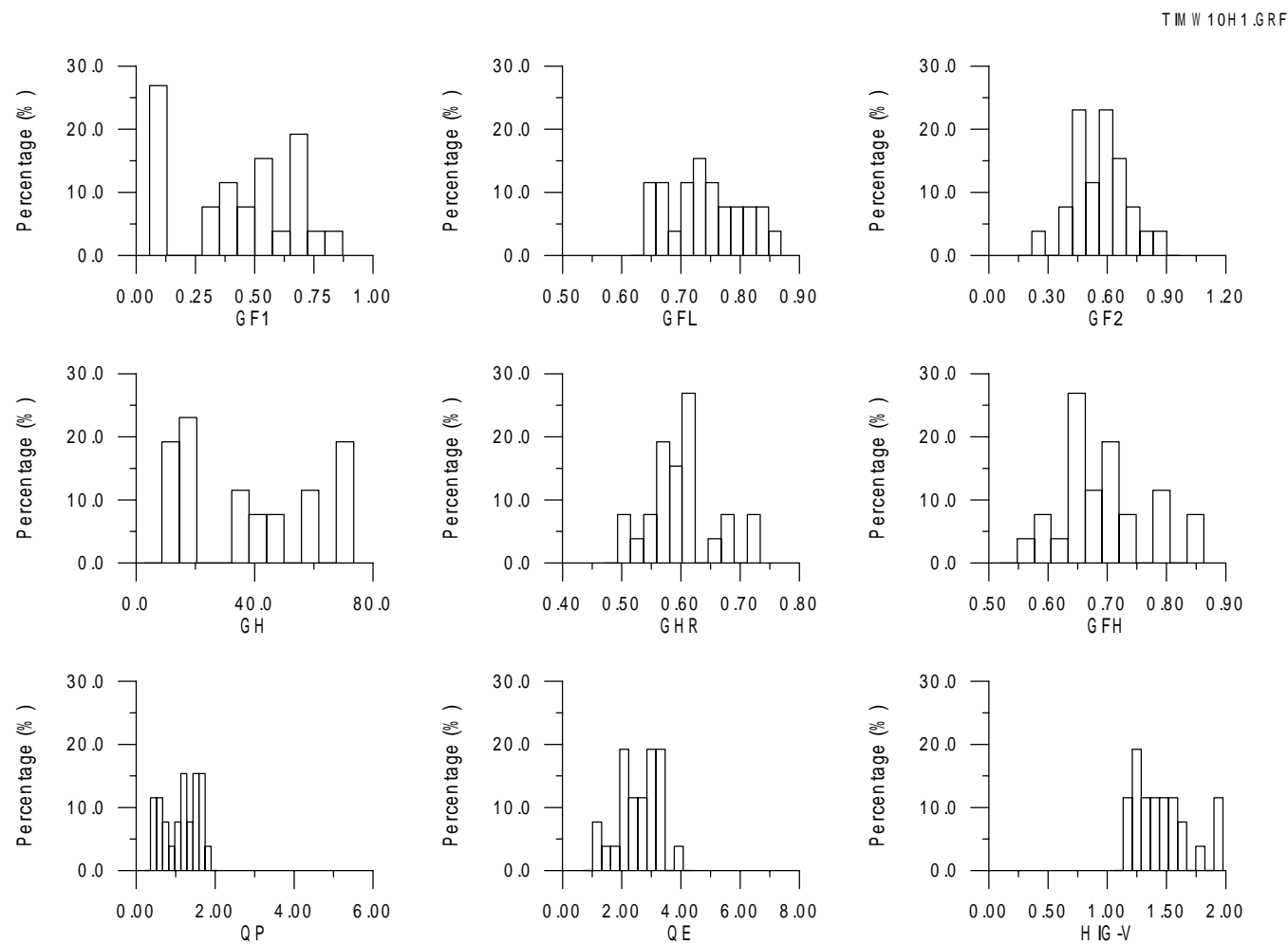


圖 5-5-6 各群波參數值與波譜參數值之分佈（提姆颱風，W10 測站）

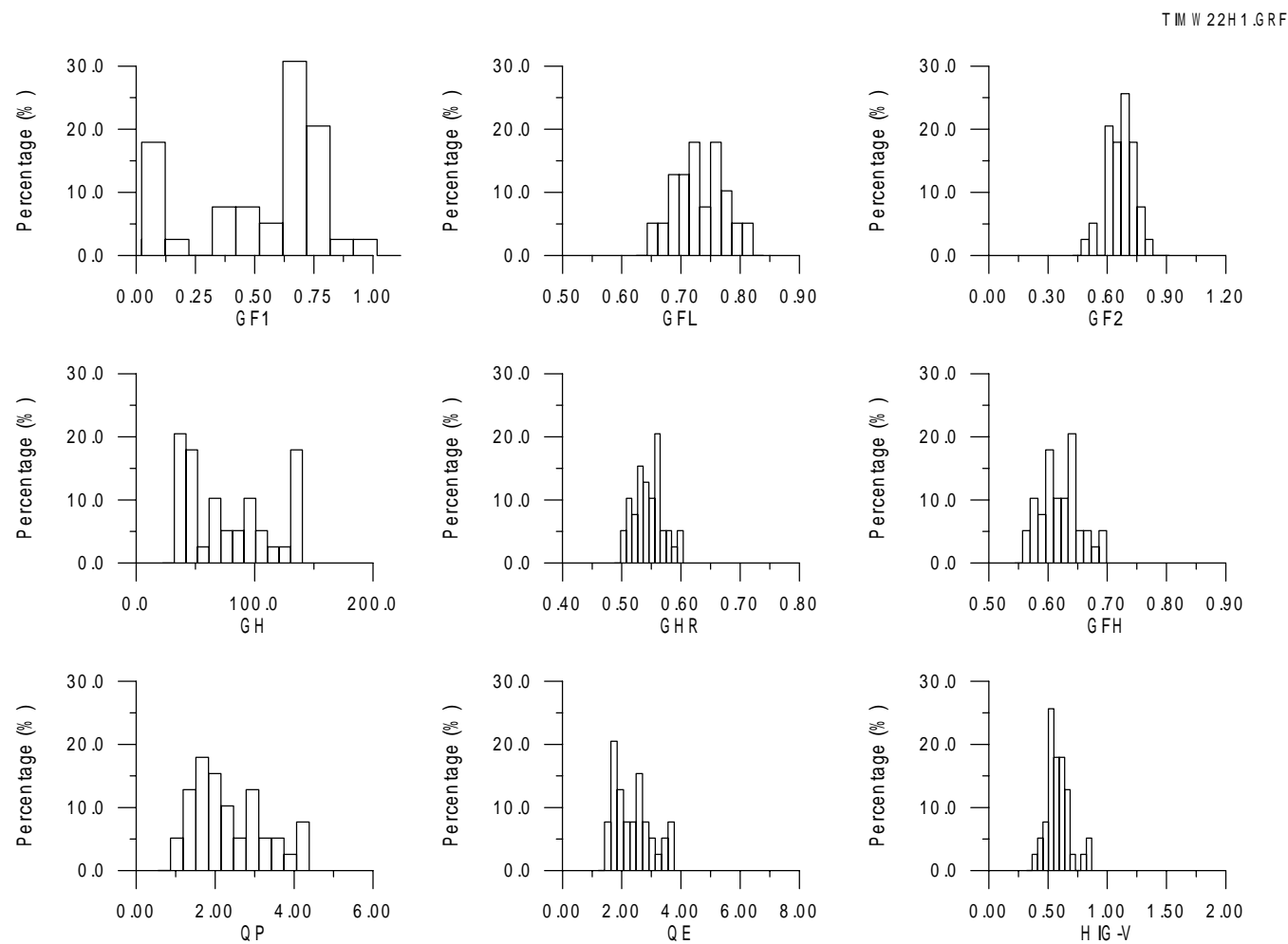


圖 5-5-7 各群波參數值與波譜參數值之分佈（提姆颱風，W22 測站）

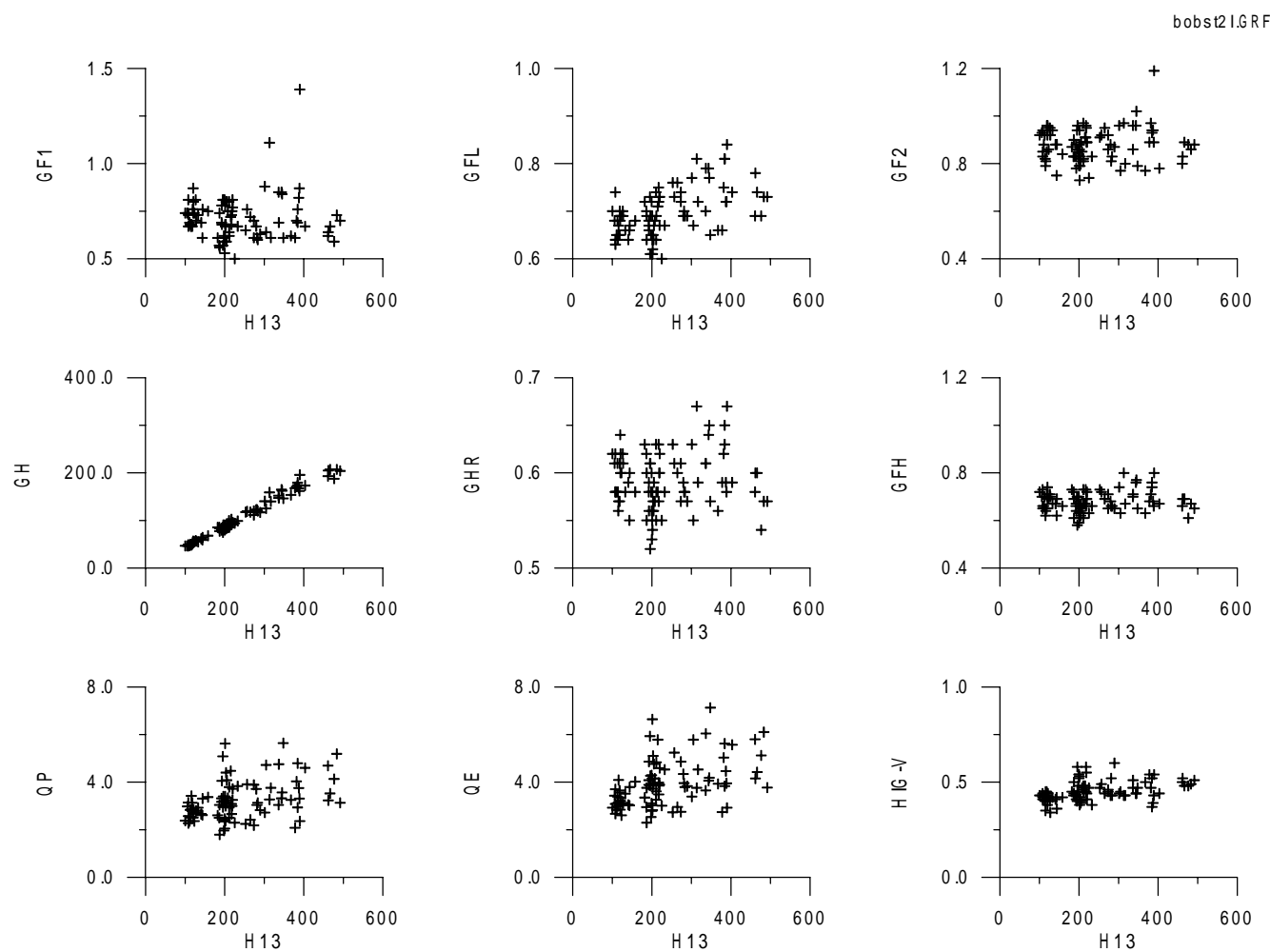


圖 5-6-1a 各參數與示性波高之相關圖（芭比颱風，ST.1 測站）

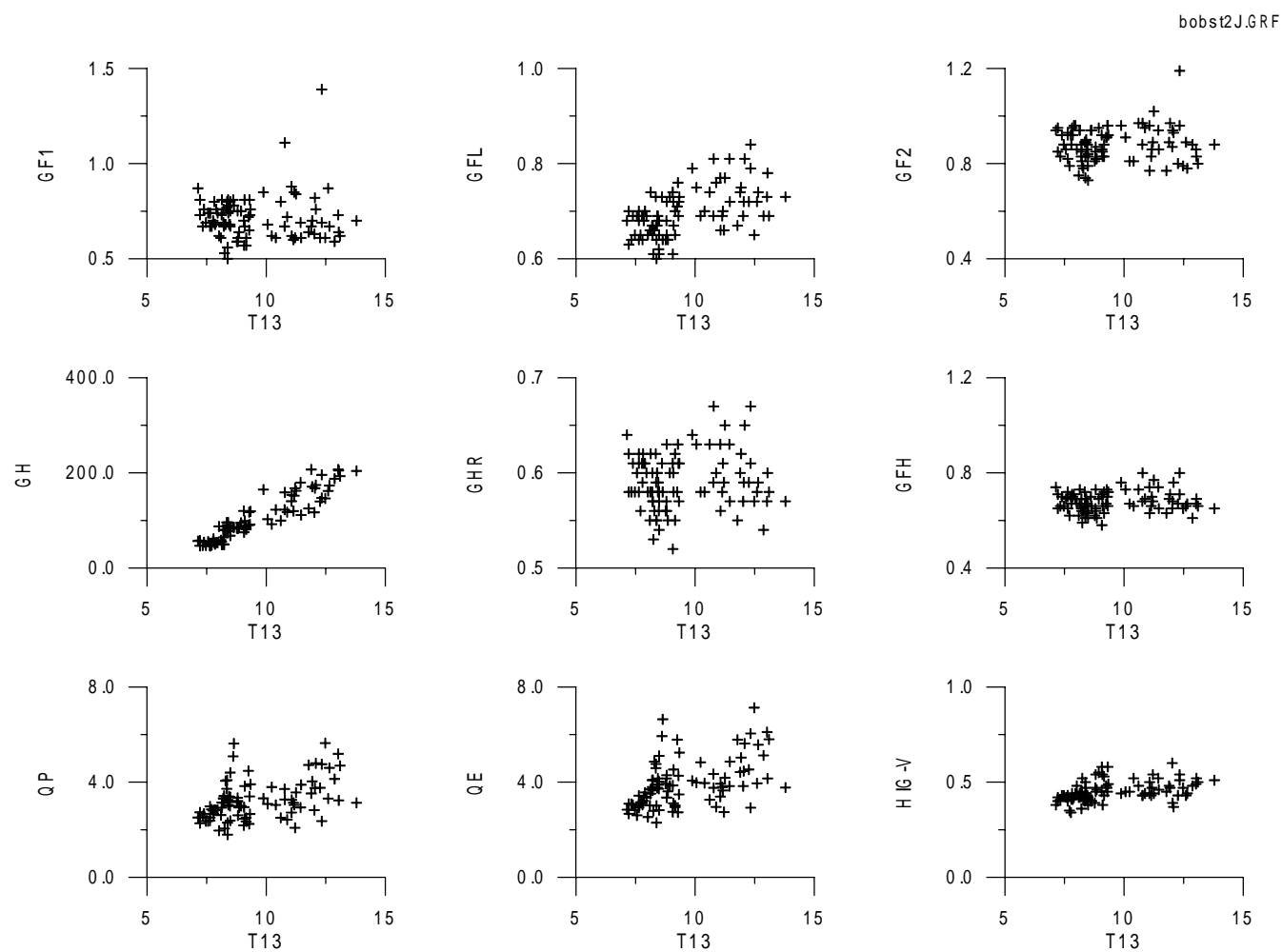


圖 5-6-1b 各參數與示性週期之相關圖（芭比颱風，ST.1 測站）

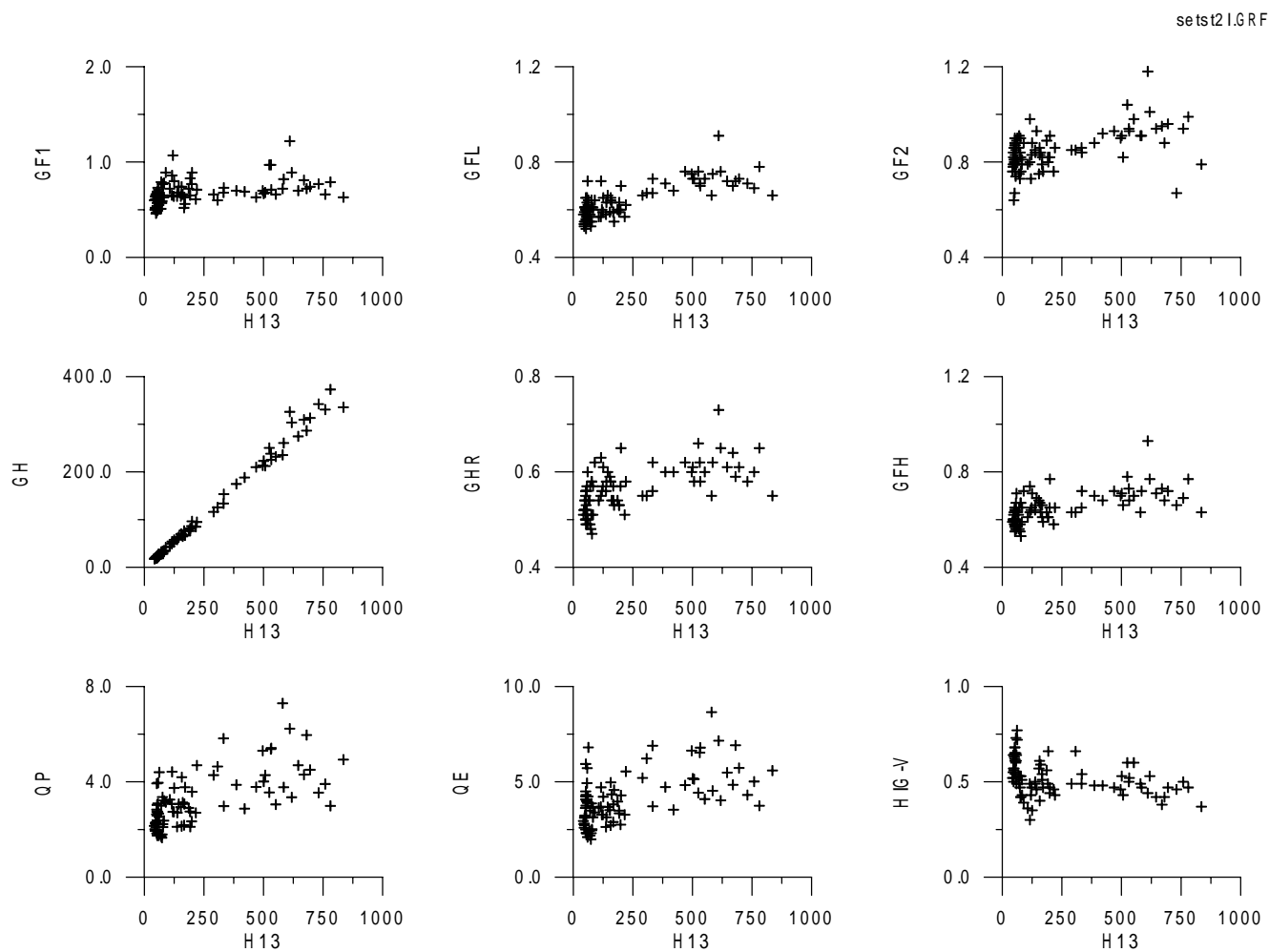


圖 5-6-2a 各參數與示性波高之相關圖（席斯颱風，ST.2 測站）



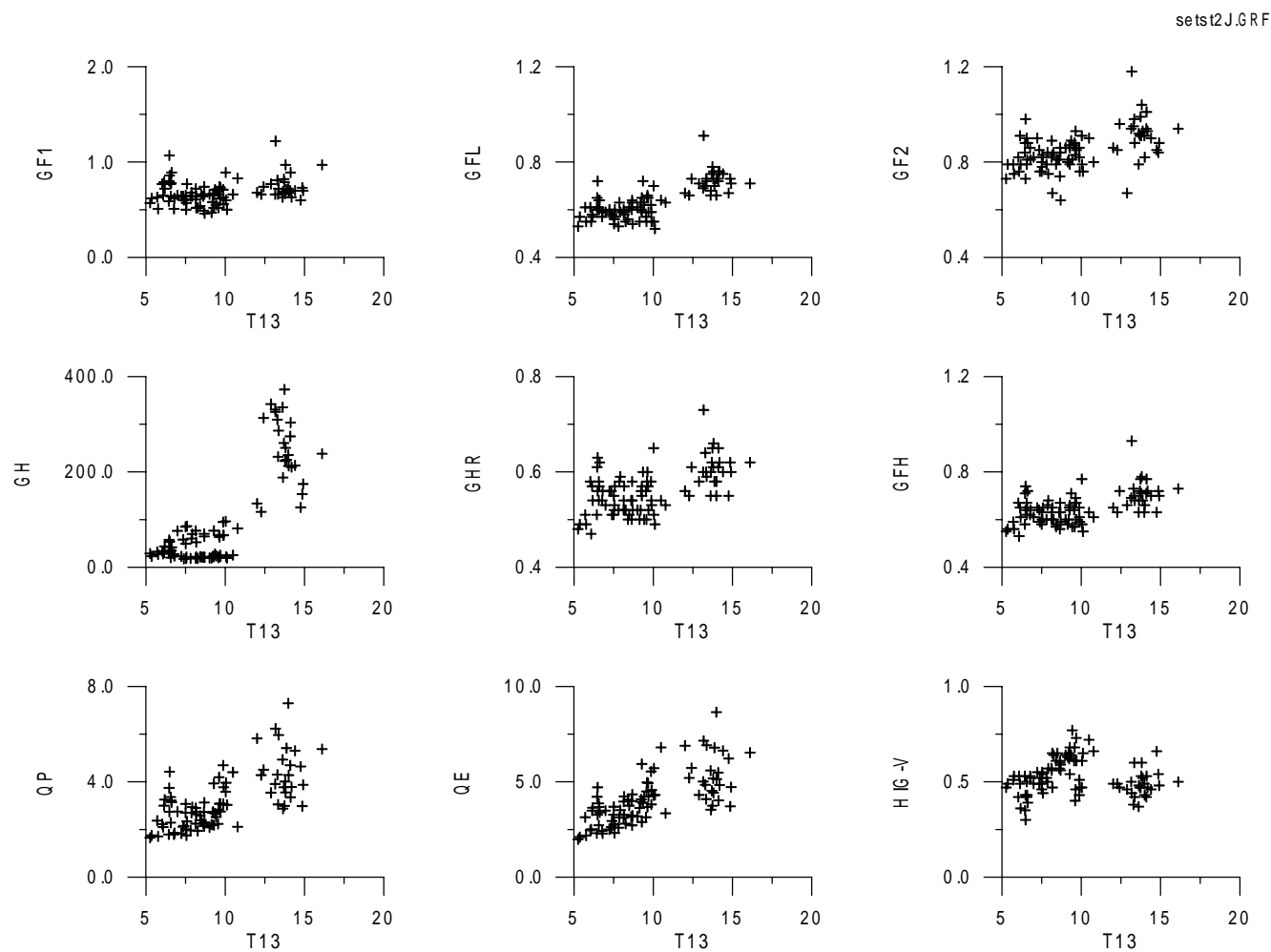


圖 5-6-2b 各參數與示性週期之相關圖（席斯颱風，ST.2 測站）

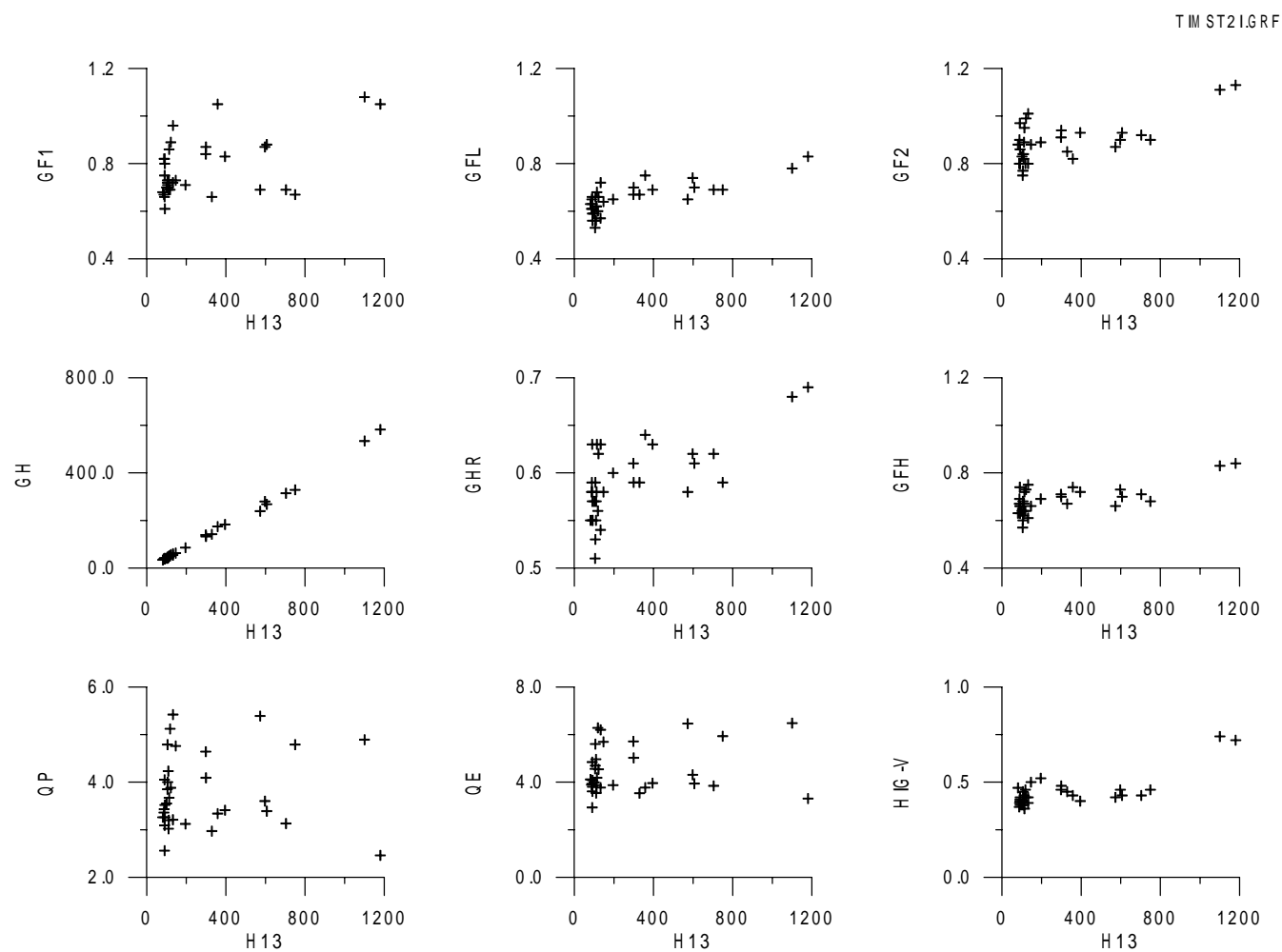


圖 5-6-3a 各參數與示性波高之相關圖（提姆颱風，ST.2 測站）

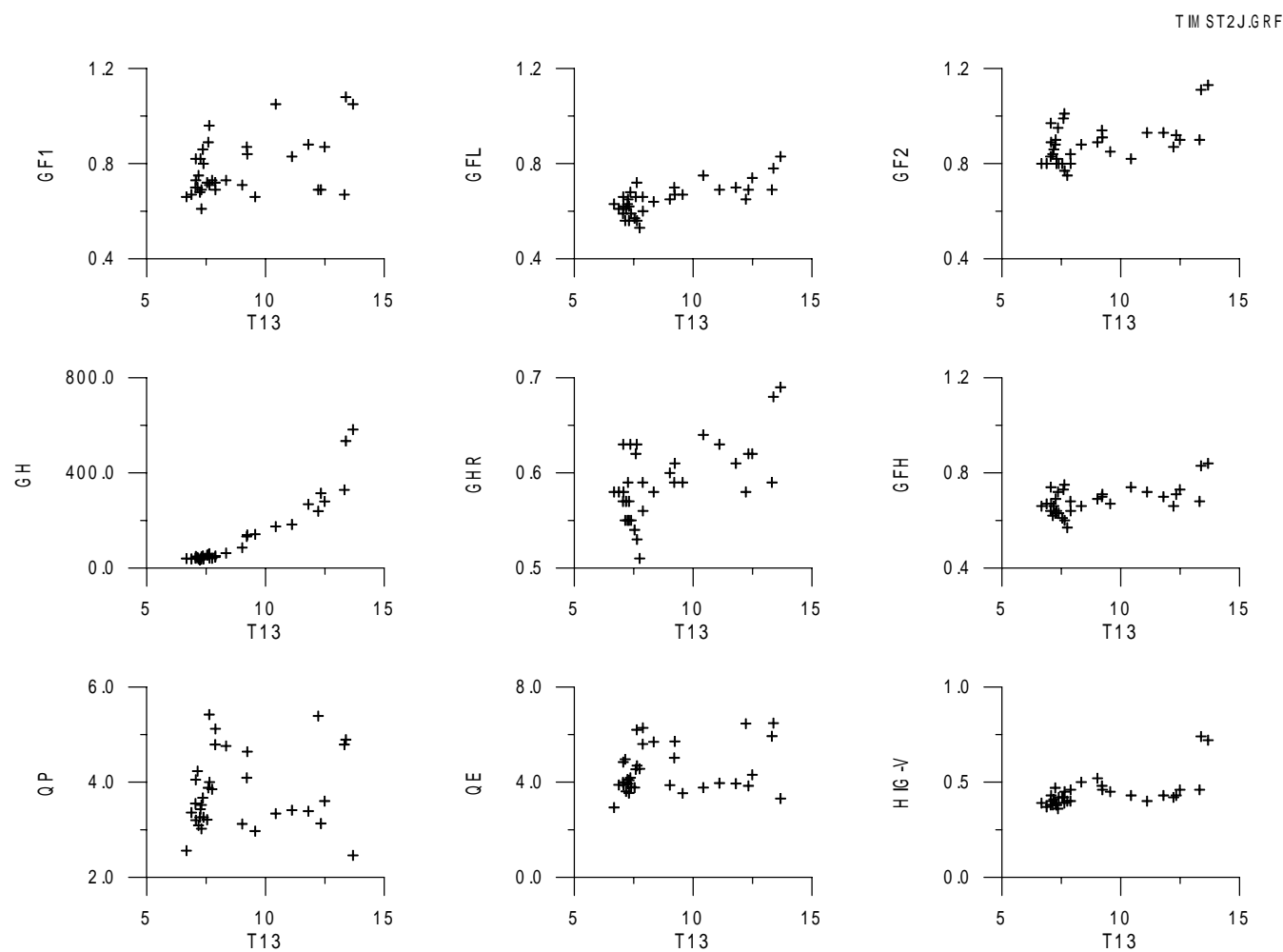


圖 5-6-3b 各參數與示性週期之相關圖（提姆颱風，ST.2 測站）

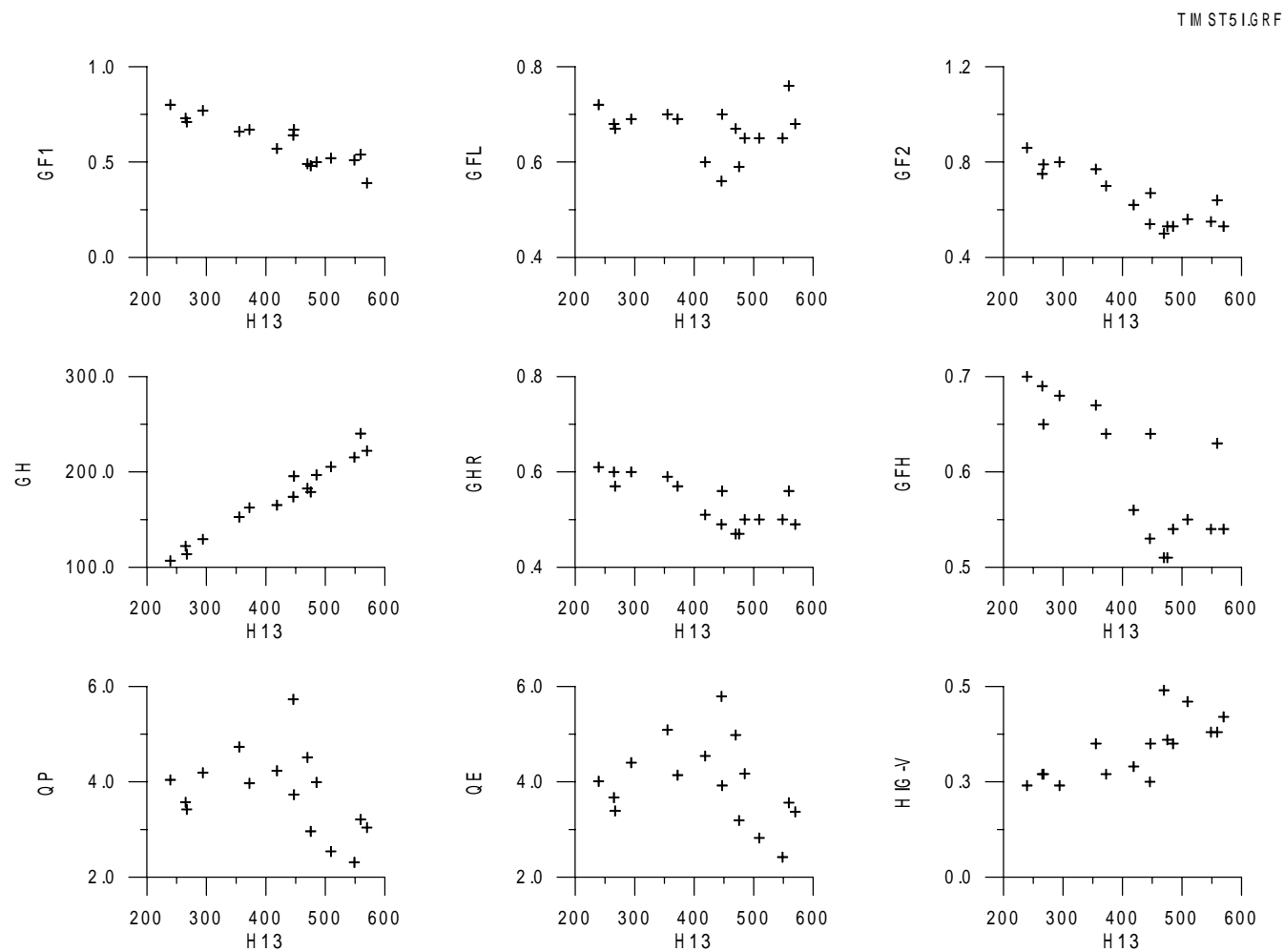


圖 5-6-4a 各參數與示性波高之相關圖（提姆颱風，ST.5 測站）

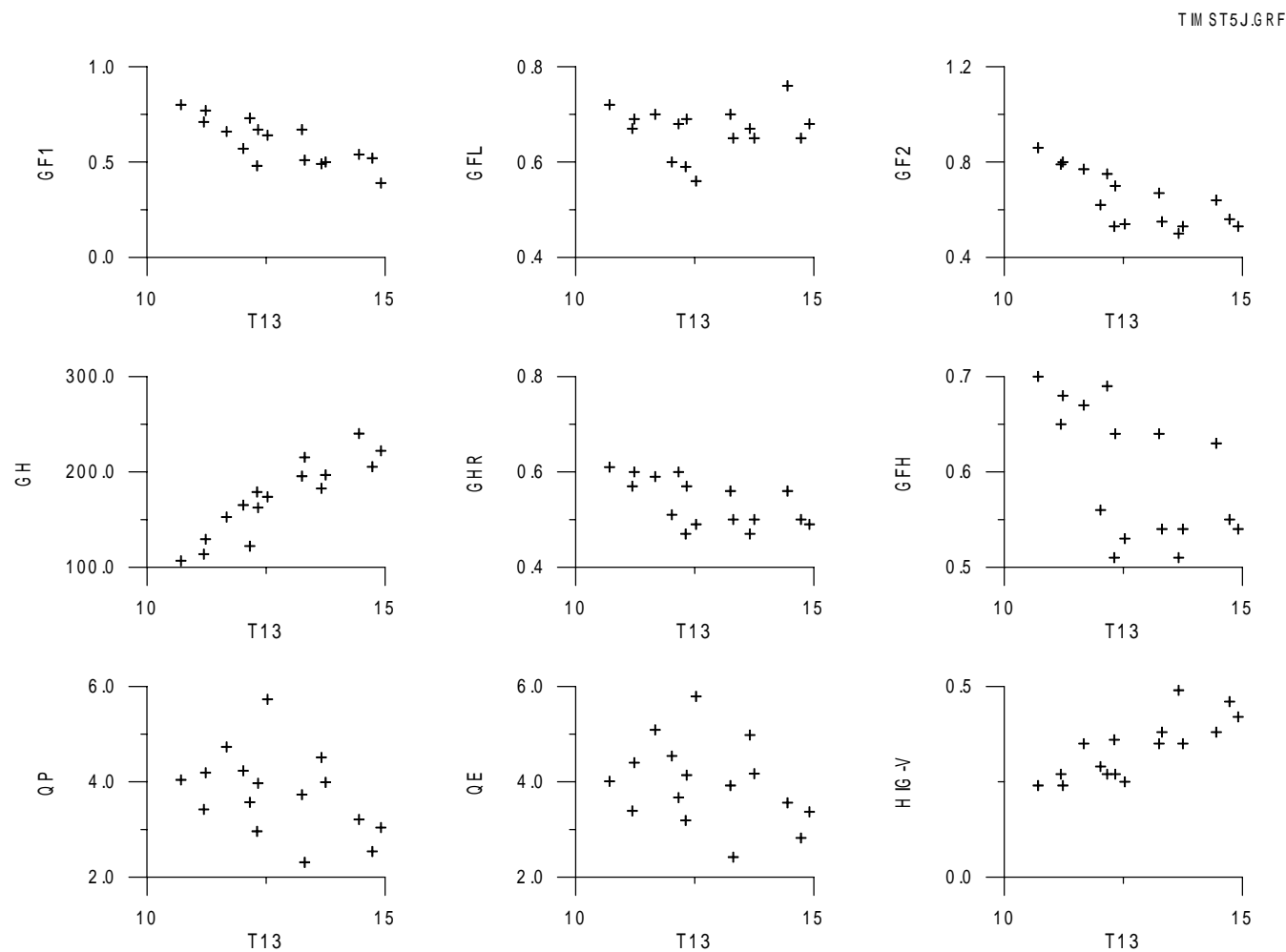


圖 5-6-4b 各參數與示性週期之相關圖（提姆颱風，ST.5 測站）

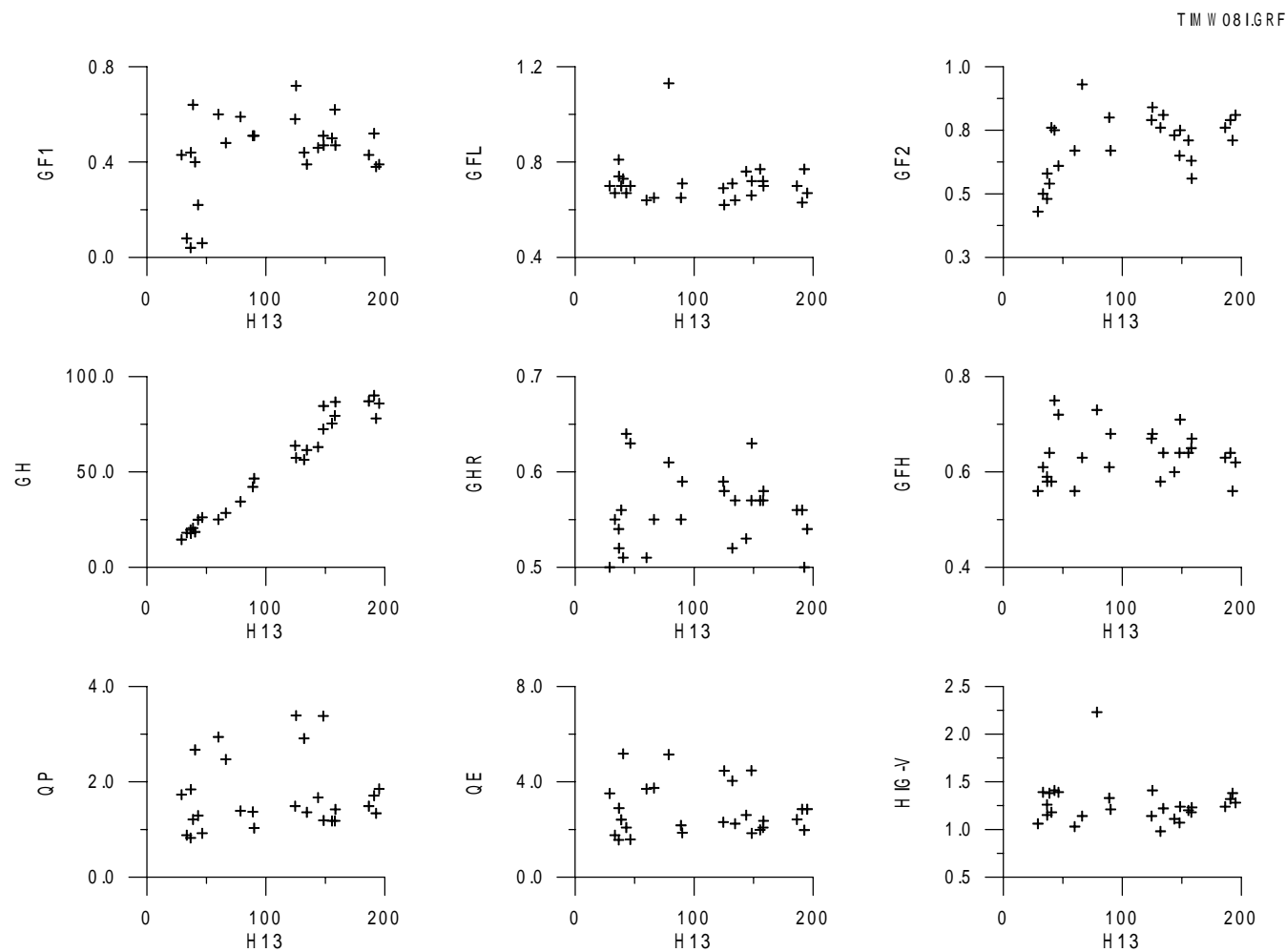


圖 5-6-5a 各參數與示性波高之相關圖（提姆颱風，W08 測站）

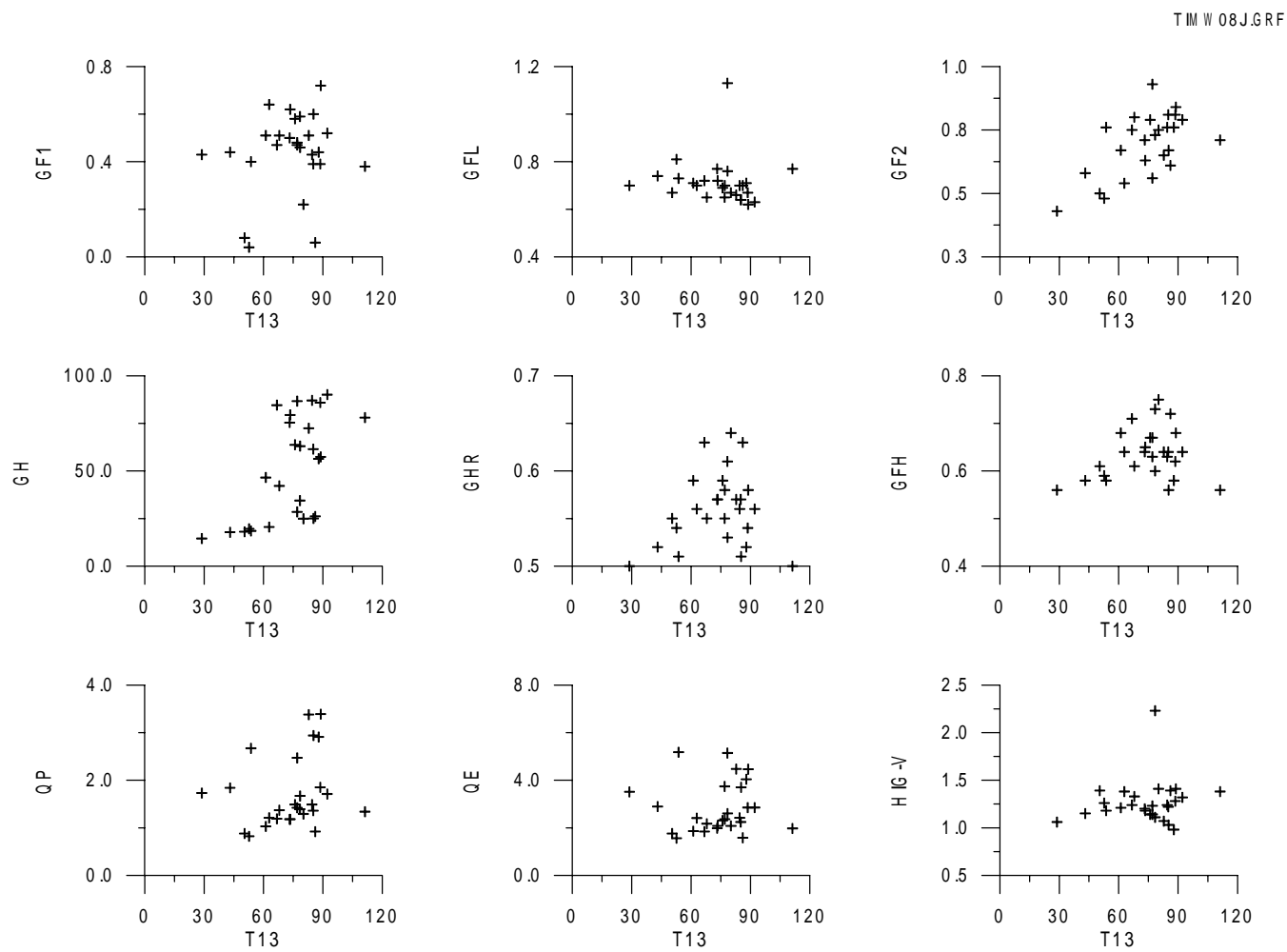


圖 5-6-5b 各參數與示性週期之相關圖（提姆颱風，W08 測站）

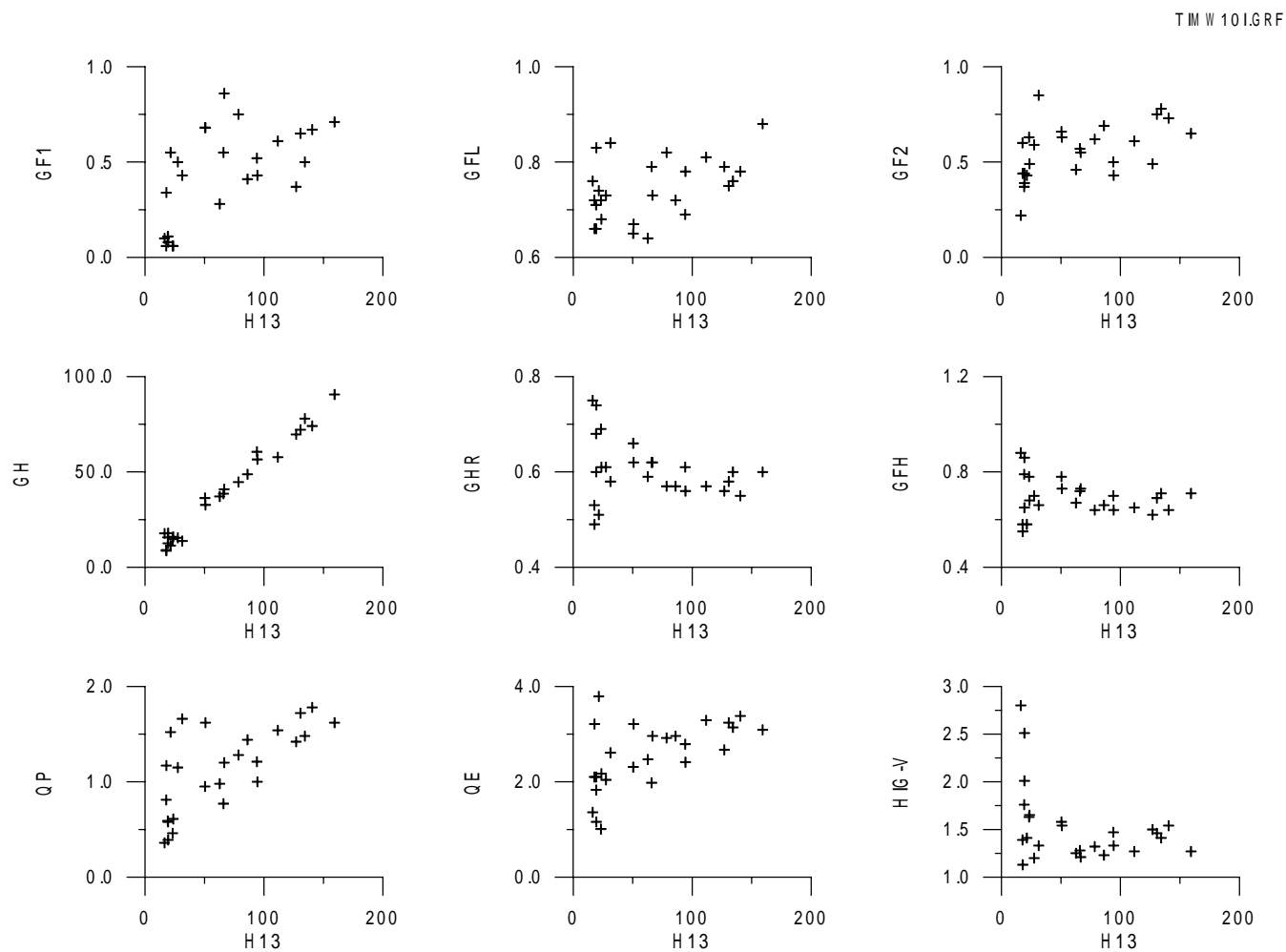


圖 5-6-6a 各參數與示性波高之相關圖（提姆颱風，W10 測站）



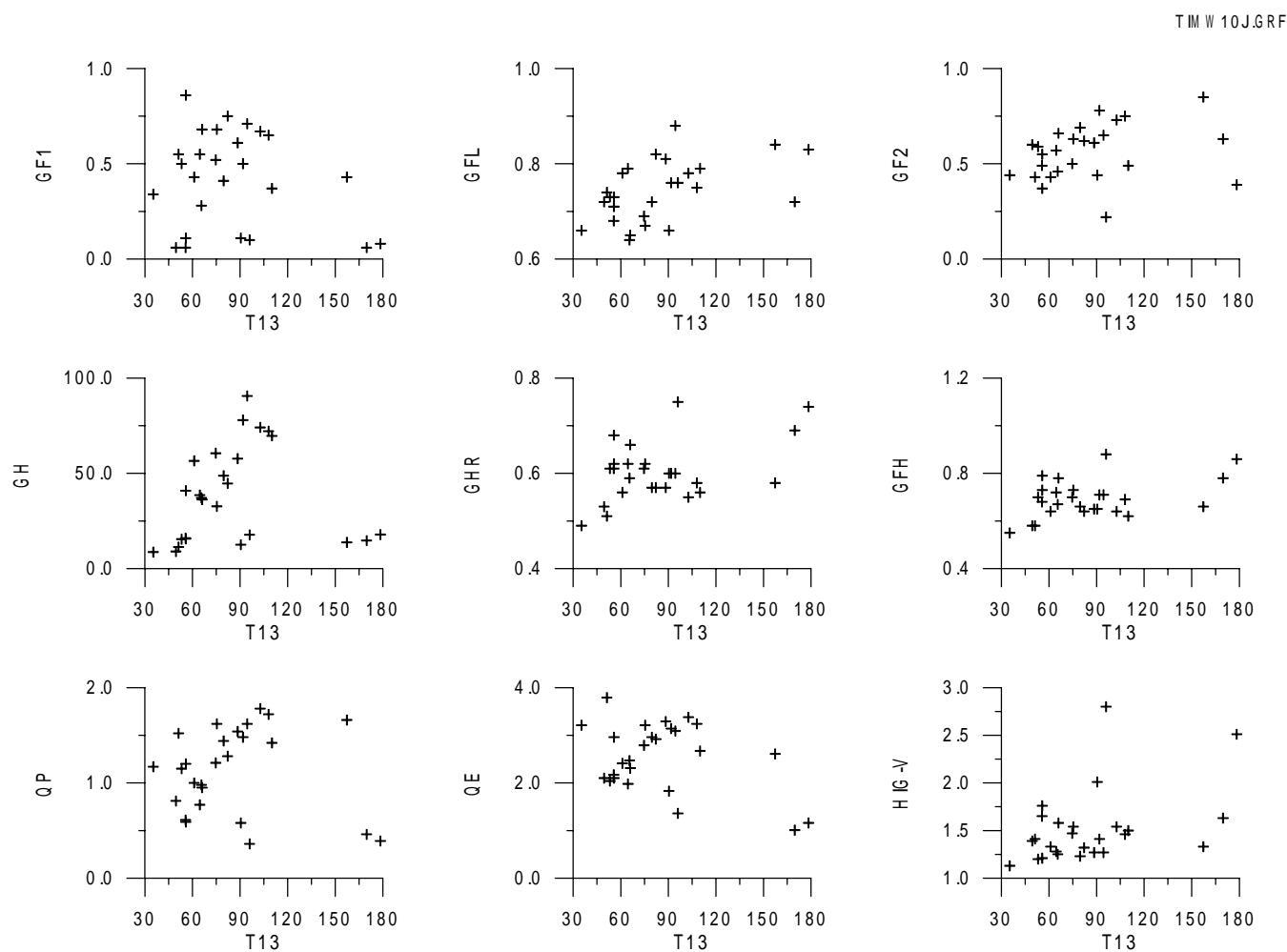


圖 5-6-6b 各參數與示性週期之相關圖（提姆颱風，W10 測站）

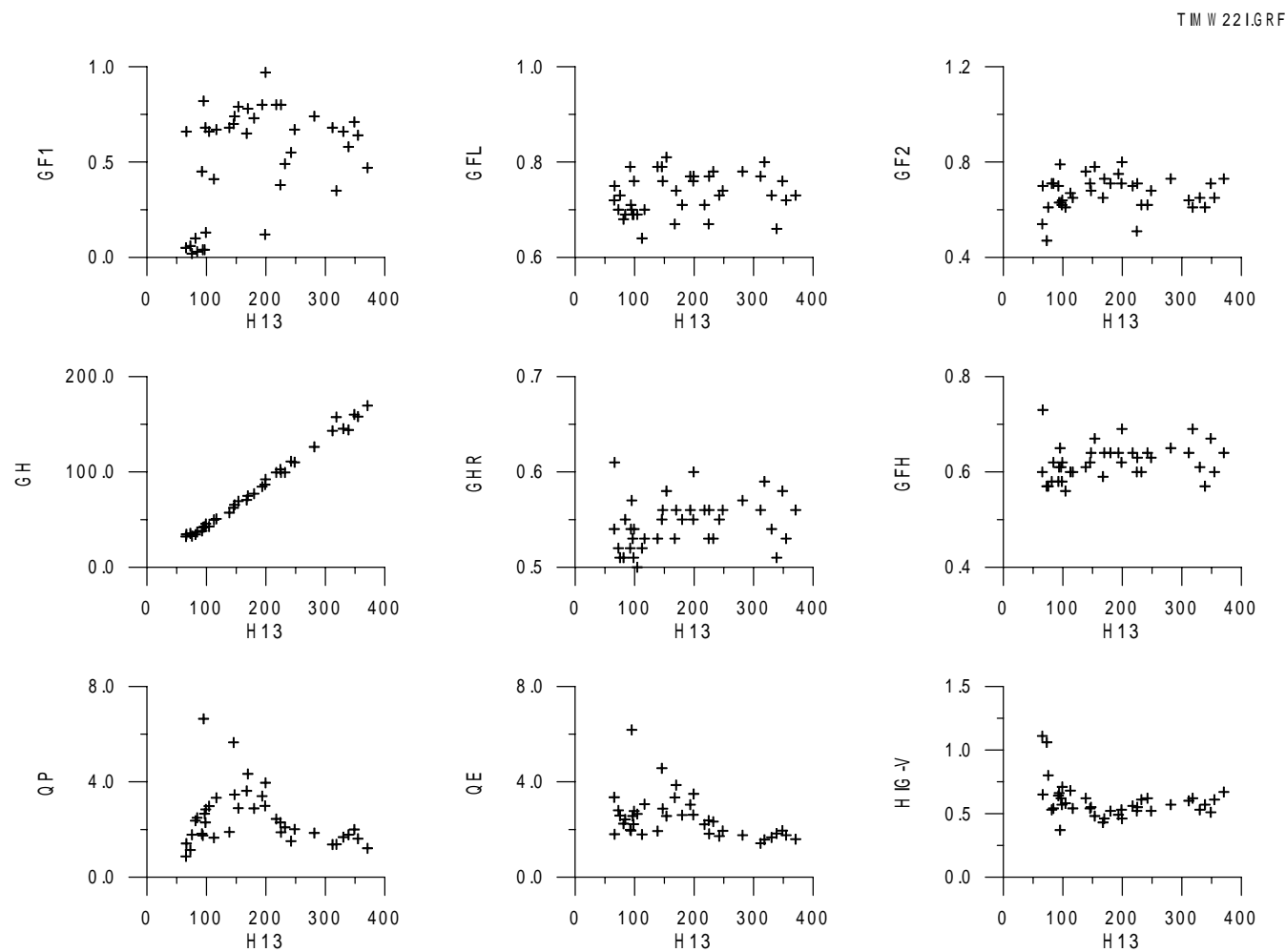


圖 5-6-7a 各參數與示性波高之相關圖（提姆颱風，W22 測站）

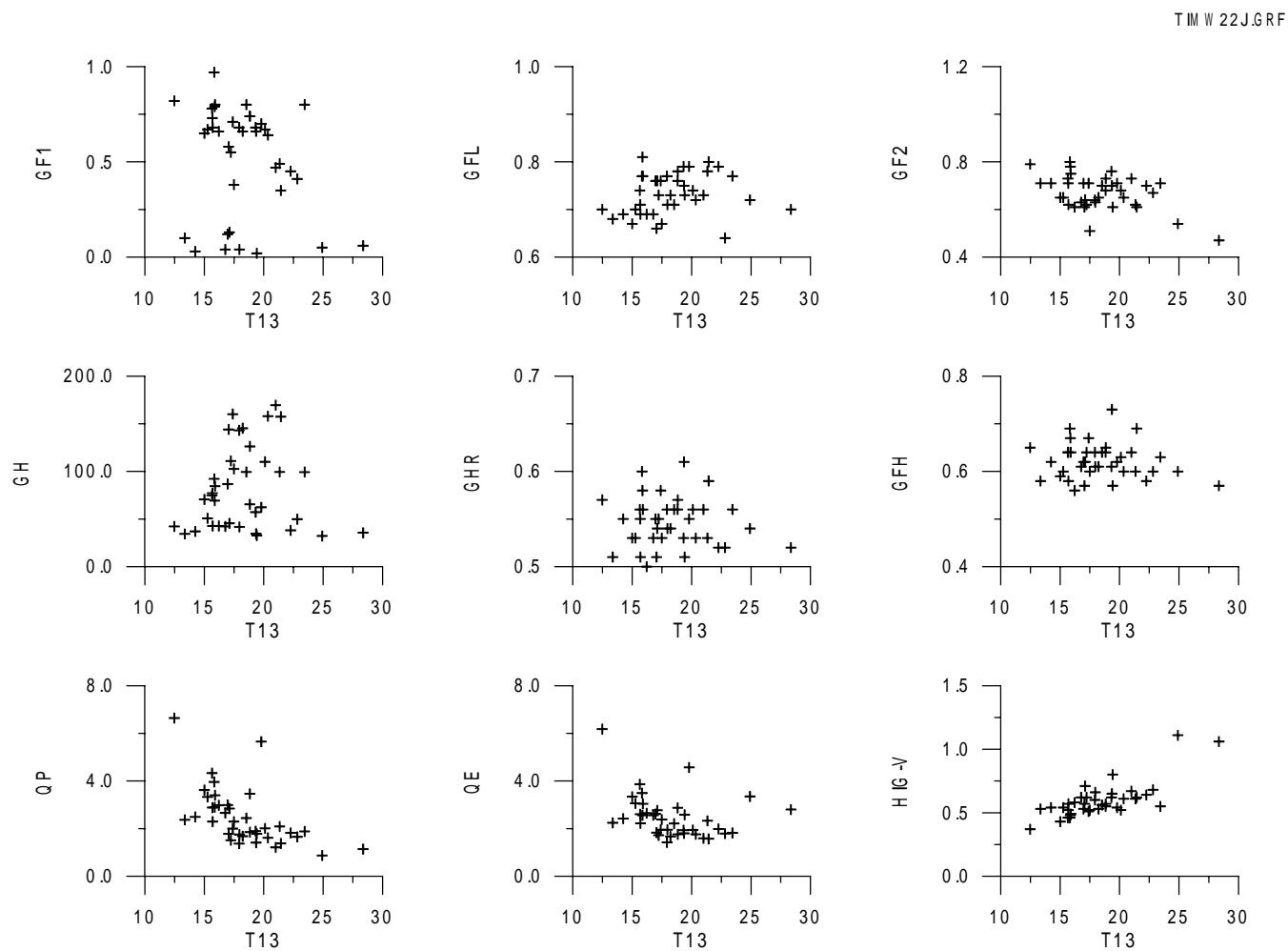


圖 5-6-7b 各參數與示性週期之相關圖 (提姆颱風, W22 測站)

## 第六章 結論及建議

本研究主要在探討颱風波浪的群波特性，由於資料繁雜、眾多，故初步先以 1992 及 1994 年之三個颱風波浪進行分析、比較，後續將納入更多資料探討。此外本研究目前僅以群波高度參數，探討波浪群性且重點在比較不同參數間之差異，以瞭解各群波參數對於評估波浪群性的適用性及限制性，作為後續比較不同颱風波浪的群性之用，群波長度參數則於後續研究再探討。因此本文中所謂群波參數皆指群波高度參數。對於由波連統計機率理論，求得之連長或總連長，也將於後續研究中一併進行。同時也參考本次分析心得，作更深入之研究。本研究之初步結論及建議如下：

1. 由不同觀點如包絡線或平滑化瞬時波能歷程所求得之群波參數間有差異性存在，即使相同的觀點，由於計算方法的不同，如不同的包絡線求算方式也會造成差異。因此，對同一筆波浪資料，不同的群波參數值不一定相同，但對多筆波浪資料比較而言則趨勢上仍相同。
2. 無論由群波參數或波譜參數的參數間相關性、參數值的分布、參數整體平均值的比較，皆可發現不同種類測站之波浪性質不同。依本研究所選取的 7 組波浪資料，可分為港外、港口及港內等三種測站類別。相同測站類別其參數的相關性較高，變化趨勢也較一致；不同測站類別則相關性較低，變化趨勢也不一致，甚至有相反的變化趨勢出現。因此，未來在比較不同颱風波浪的群性時，宜以相同測站類別作分析才適當。
3. 由於群波參數與波高、週期及波譜形狀沒有明顯相關性存在。換言之，大波高或長週期的波浪其群波現象不一定較明顯，有時小波高或短週期的波浪仍可能出現明顯群波現象。同樣波浪成分較單純其群波現象也不一定較明顯。

4. 本研究所採用之 6 種群波參數及 3 種波譜形狀參數間，波譜峰度參數  $QP$  及尖度參數  $QE$  相關性高，群波參數  $GHR$  及  $GFH$  相關性也很高，都可以用線性關係式來表示，故可視為同一參數。不過參數  $GFH$  是利用 Hilbert 轉換波形紀錄為包絡線，故不受截止頻率的影響，且  $GFH$  的參數值分布較廣，相對於  $GHR$  對於衡量波浪群性的解析度較佳。因此，相較於其他參數， $GFH$  最值得採用。
5. 若以各案例（共 7 組波浪資料案例）之參數整體平均值檢視，波高大者其群波參數也大，故波浪群性較明顯。但對同一組資料的各筆個別波浪而言，群波參數與個別波高沒有明顯相關性存在，故個別波高大者其波浪群性不一定較明顯。
6. 當波浪資料記錄長度不足時，群波參數的計算值會變得不穩定，若參考俞等人之研究結果，則本文所選用之資料長度顯然不夠，尤其是在港內波浪資料。因此，目前所歸納之結論，宜視為初步成果。未來將調整觀測方式以獲得足夠長度的波浪資料，作為後續分析之用。
7. 本研究目前僅選取 7 筆波浪資料的案例，進行群波參數的比較探討，在統計上樣本數不足。未來將利用本中心於花蓮港海域所蒐集到的 50 餘個颱風波浪資料，即 50 餘筆波浪資料的案例，作較完整的分析。
8. 依據以往的研究顯示，颱風的路徑、強度、移動型態與速度會影響波浪波高及週期的逐時演變特性。在本文中僅先以各種群波參數間的差異性、相關性做比較，對於群波現象與颱風動態間之關聯性，未來配合較多的案例分析結果再作探討。此外，對於單純之季風風浪及颱風湧浪的波浪群性差異也將做比較研究。
9. 本研究目前以包絡線法及波能歷程線法來計算群波參數，且僅以群波高度參數作探討。對於群波長度參數及其他不同的群波分析方法如波連統計概率法，同樣於後續研究中進行。

台灣地區國際港港灣水理數值模式應用研究  
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009202116

定價 200 元