

93-68-7101

MOTC-IOT-92-H3BA01-2

臺灣地區國際港港灣水理數值模式 應用研究（3/4）

— 颱風波浪之群波參數統計特性探討 —



交通部運輸研究所

中華民國九十三年四月

93-68-7101

MOTC-IOT-92-H3BA01-2

臺灣地區國際港港灣水理數值模式 應用研究（3/4） — 颱風波浪之群波參數統計特性探討 —

著 者：簡仲璟

交通部運輸研究所
中華民國九十三年四月

臺灣地區國際港港灣水理數值模式應用研究 (3/4)
— 颱風波浪之群波參數統計特性探討 —

著 者：簡仲璟

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/chinese/lib/lib.htm

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十三年四月

印 刷 者：

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： 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

臺灣地區國際港灣水理數值模式應用研究
(3/4)

——颱風波浪之群波參數統計特性探討

交通部運輸研究所

GPN: 1009301432
定價 元

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：臺灣地區國際港港灣水理數值模式應用研究（3/4） -颱風波浪之群波參數統計特性探討			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 1009301432	運輸研究所出版品編號 93-68-7101	計畫編號 92-H3BA01-2
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計劃主持人：簡仲璟 研究人員：張金機 聯絡電話：04-26587131 傳真號碼：04-26564415			研究期間 自 92 年 01 月 至 92 年 12 月
關鍵詞：颱風、群波、花蓮港			
摘要： 本研究比較探討目前幾種研究波群的方法及其描述波浪群性的主要參數，並以花蓮港實測之颱風波浪資料，利用群波高度參數及長度參數，分析其群波統計特性。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，但是群波現象經常在大波高或長週期時出現。若以群波高度參數作為衡量波浪群性的強弱，則群性強的波浪其平均連長不一定較大，但較大之平均連長其波浪群性則會較強些。這是群波高度參數與長度參數在衡量波浪群性的差異。此外，波浪的群性受颱風型態例如路徑、強度及移動速度的影響雖然不明顯，但在某些颱風型態其波浪群性稍大些。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
93 年 4 月	154		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。
機密等級： ☐ 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			
備註：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**

TITLE: Mathematical Hydraulic Models and Their Application in Taiwan Harbors (3/4) - Statistical Characteristics of Groupiness Parameter for Typhoon Waves			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009301432	IOT SERIAL NUMBER 93-68-7101	PROJECT NUMBER 92-H3BA01-2
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-Ching Chien PROJECT STAFF: Chien-Kee Chang PHONE: 886-4-26587131 FAX: 886-4-26564415			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2003 TO Dec. 2003
KEY WORDS: Typhoon, Wave groups, Hwa-Lien harbor			
ABSTRACT: In this paper, several major methods for studying wave groups and their main parameters for describing wave groupiness were examined and then analyzed and compared on the basis of field typhoon wave data at Hwa-Lien Harbor from statistical characteristics of both group height and group length parameters. The results showed that the groupiness of typhoon waves had no relationship with the wave height and the wave period, which meant that the wave group phenomenon of frequent occurrence, but might be not obvious when the wave height or the wave period is larger. There is a probability that the wave group might appear when the wave height or period was smaller. When using group height parameters to measure the wave groupiness, then the wave run length of group length parameter might be not larger when the group height parameters were larger, but the group height parameters were larger when the wave run length of group length parameter was larger. There was a difference between the group height and the group length parameters. Furthermore, the effect of typhoon types such as path, strength and moving speed on wave groupiness were not obvious, but the wave groupiness was slightly larger for some typhoon types.			
DATE OF PUBLICATION April 2004	NUMBER OF PAGES 154	PRICE	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

台灣地區國際港港灣水理數值模式應用研究

— 颱風波浪之群波參數統計特性探討 —

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
圖目錄	V
表目錄	VII
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 颱風分類	2-1
2.3 波浪資料蒐集與整理	2-3
第三章 群波分析相關理論	3-1
3.1 包絡線理論	3-1
3.2 平滑化瞬時波能歷程	3-4
3.3 局部離散度時間序列	3-5
3.4 波連的統計理論	3-5
3.5 群波分析方法比較	3-8

第四章 群波與波譜參數	4-1
4.1 群波參數	4-4
4.2 波譜參數	4-6
第五章 颱風波浪之群波分析	5-1
5.1 波高週期與各參數之變化趨勢比較.....	5-1
5.2 群波參數間之相關性	5-5
5.3 實測波連長與群波長度參數之比較.....	5-8
5.4 不同颱風型態下之群波參數	5-9
5.5 不同颱風型態下之波譜形狀參數.....	5-13
第六章 結論與建議	6-1
參考文獻	

圖 目 錄

圖 2-1	颱風路徑分類示意圖	2-9
圖 2-2	花蓮港波浪測站地理位置示意圖	2-9
圖 3-1	不同計算方法之群波波形比較	3-10
圖 5-1	示性波高、週期與群波參數變化圖(ABE 颱風).....	5-15
圖 5-2	示性波高、週期與群波參數變化圖(AMBER 颱風).....	5-17
圖 5-3	示性波高、週期與群波參數變化圖(AMY 颱風)	5-19
圖 5-4	示性波高、週期與群波參數變化圖(BECKY 颱風).....	5-21
圖 5-5	示性波高、週期與群波參數變化圖(BOBBIE 颱風)	5-23
圖 5-6	示性波高、週期與群波參數變化圖(BRENDAN 颱風) ...	5-25
圖 5-7	示性波高、週期與群波參數變化圖(CAITLIN 颱風).....	5-27
圖 5-8	示性波高、週期與群波參數變化圖(DAT 颱風)	5-29
圖 5-9	示性波高、週期與群波參數變化圖(ED 颱風).....	5-31
圖 5-10	示性波高、週期與群波參數變化圖(ELLIE 颱風)	5-33
圖 5-11	示性波高、週期與群波參數變化圖(ELSIE 颱風)	5-35
圖 5-12	示性波高、週期與群波參數變化圖(FRED 颱風)	5-37
圖 5-13	示性波高、週期與群波參數變化圖(GLADYS 颱風).....	5-39
圖 5-14	示性波高、週期與群波參數變化圖(HERB 颱風).....	5-41
圖 5-15	示性波高、週期與群波參數變化圖(HUNT 及 GAY 颱風). 5-43	
圖 5-16	示性波高、週期與群波參數變化圖(KORYN 颱風).....	5-49
圖 5-17	示性波高、週期與群波參數變化圖(MARK 颱風)	5-53
圖 5-18	示性波高、週期與群波參數變化圖(MIREILLE 颱風)....	5-55
圖 5-19	示性波高、週期與群波參數變化圖(NAT 颱風)	5-57
圖 5-20	示性波高、週期與群波參數變化圖(OFELIA 颱風).....	5-59
圖 5-21	示性波高、週期與群波參數變化圖(OMAR 颱風)	5-61

圖 5-22	示性波高、週期與群波參數變化圖(OTTO 颱風).....	5-63
圖 5-23	示性波高、週期與群波參數變化圖(POLLY 颱風)	5-65
圖 5-24	示性波高、週期與群波參數變化圖(ROBYN 颱風).....	5-67
圖 5-25	示性波高、週期與群波參數變化圖(RUTH 颱風).....	5-69
圖 5-26	示性波高、週期與群波參數變化圖(季風波浪 ST.5).....	5-73
圖 5-27	示性波高、週期與群波參數變化圖(TED 颱風).....	5-75
圖 5-28	示性波高、週期與群波參數變化圖(TIM 颱風)	5-79
圖 5-29	示性波高、週期與群波參數變化圖(YANCY 颱風).....	5-81
圖 5-30	示性波高、週期與群波參數變化圖(ZEB 颱風).....	5-85
圖 5-31	群波高度參數間之相關性比較	5-89
圖 5-32	群波長度參數間之相關性比較	5-90
圖 5-33	平均連長(K_{jl})與群波高度參數及波譜形狀參數之相關性比較.	5-91
圖 5-34	實測波連長與群波長度參數間之相關性比較.....	5-92

表 目 錄

表 2-1 芭比(Bobbie)颱風相關資料表	2-4
表 2-2 颱風分類及波浪統計相關資料表	2-5
表 2-3 波浪觀測相關資料表	2-7
表 5-1 群波高度參數統計表	5-94
表 5-2 不同颱風路徑之群波高度參數統計值	5-96
表 5-3 不同颱風強度之群波高度參數統計值	5-97
表 5-4 不同颱風移動型態之群波高度參數統計值	5-98
表 5-5 群波長度參數統計表	5-99
表 5-6 不同颱風路徑之群波長度參數統計值	5-103
表 5-7 不同颱風強度之群波長度參數統計值	5-104
表 5-8 不同颱風移動型態之群波長度參數統計值	5-106
表 5-9 波譜形狀參數統計表	5-107
表 5-10 不同颱風路徑之波譜形狀參數統計值	5-108
表 5-11 不同颱風強度之波譜形狀參數統計值	5-108
表 5-12 不同颱風移動型態之波譜形狀參數統計值	5-109

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。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（92 年度）將利用該資料，配合中央氣象局之颱風動態資料，進行颱風波浪的群性探討，以了解颱風波浪的群波現象強度及其與花蓮港港池不穩靜的關聯性。

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、波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。

本研究在 91 年度已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三個颱風波浪資料進行群波分析，對包絡線法及平滑化瞬時波能歷程線法索求得之群波高度參數進行比較，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。研究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 $GHR=0.886GFH$ 表示。

上一年度（91 年度）的研究中，僅選取三個不同路徑的颱風波浪資料進行分析，在樣本數不足之情況下，對颱風波浪的群性無法有明確的統計歸納結果。因此，本年度（92 年度）增加颱風案例達 30 個，其包含 7 種颱風路徑及各種不同的強度規模與移動型態。此外，上一年度的研究中，對波連的統計理論僅止於簡略敘述，並未進行平均連長或平均總連長的計算與比較。為了對颱風波浪的群性能有較完整的探討，本年度增加波連的統計分析，以求得代表群波長度參數之平均連長及平均總連長，並與其他代表群波高度之參數進行比較。最後利用總計 3,156 筆之颱風波浪資料所求得之各群波參數的最小值、最大值及平均值，同時配合颱風相關資料，探討颱風波浪的群性。另外，初步探討波譜形狀參數與群波參數的關聯性，並對目前廣泛使用之波譜形狀參數作一檢討，提出後續如何定義波譜形狀參數的新觀點。

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（以 Bobbie 颱風為例如表 2-1）。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佈警報，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。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，在本研究中選取 1990 年至 1998 年間 30 個颱風進行探討。

2.2 颱風分類

本研究是以探討花蓮港颱風波浪特性為目的，因此有關颱風資料的分類與一般氣象用途的處理方式或考量觀點稍有不同。對於颱風資料將進行（1）路徑型態（2）強度規模及（3）移動型態等分類。分類方法如下說明。

2.2.1. 颱風路徑型態分類

由於欲探討花蓮港之颱風波浪特性，因此在路徑型態分類上必須考量花蓮港波浪測站的相關地理位置。在本研究中共分 7 種路徑類型，示意圖如圖 2-1。

- （1）路徑 1：經台灣北部西行，以代號 "1" 表示。
- （2）路徑 2：經台灣南部西行，以代號 "2" 表示。

- (3) 路徑 3：經中央山脈東側北行，以代號 "3" 表示。
- (4) 路徑 4：經台灣海峽北行，以代號 "4" 表示。
- (5) 路徑 5：跨越中央山脈西行（5-1：經花蓮港北側；5-2：經花蓮港南側），以代號 "5-1" 或 "5-2" 表示。
- (6) 路徑 6：經台灣東部近海西北行（距岸 200 公里以內），以代號 "6" 表示。
- (7) 路徑 7：經台灣東部外海西北轉東北行（距岸 200 公里以外），以代號 "7" 表示。本路徑颱風又稱遠洋颱風。

2.2.2. 颱風強度規模分類

颱風在形成到消失的過程中，其強度可能有不同的變化，在本研究中參考中央氣象局對於颱風強度的定義，將其分成 6 類如下：

- (1) 近穩輕度颱風：輕度颱風（近中心最大風速 17.2~32.6m/sec），且在颱風生命期間皆維持輕度的強度規模，以代號 "S1" 表示。
- (2) 近穩中度颱風：中度颱風（近中心最大風速 32.7~50.9m/sec），且在颱風生命期間皆維持中度的強度規模，以代號 "S2" 表示。
- (3) 近穩強烈颱風：強烈颱風（近中心最大風速達 51m/sec），且在颱風生命期間皆維持強烈的強度規模，以代號 "S3" 表示。
- (4) 漸強颱風：在颱風生命期間其強度規模由弱轉強，以代號 "U+" 表示。
- (5) 漸弱颱風：在颱風生命期間其強度規模由強轉弱，以代號 "U-" 表示。
- (6) 漸強漸弱颱風：在颱風生命期間其強度規模先由弱轉強再轉弱，以代號 "U+-" 表示。

上述所謂颱風生命期是指該颱風對花蓮港的有效影響期間，與一般

之颱風生命期稍有不同，所謂有效影響是指颱風未受到台灣本島或菲律賓呂宋島所產生之陸地影響，或颱風進入中國大陸而言。不過路徑“4”除外。上述 6 種分類中前 3 者由於強度規模變化不明顯，因此又稱近穩型；後 3 者因強度規模有所轉變，故又稱變化型。

2.2.3. 颱風移動型態分類

颱風行進的過程中，其移動速度有快有慢，在本研究中將其分成 4 類如下：

- (1) 緩行颱風：移動速度介於 10~20 km/h，以“S”代號表示。
- (2) 速行颱風：移動速度大於 20 km/h，以“F”代號表示。
- (3) 滯留颱風：移動速度小於 10 km/h，以“B”代號表示。
- (4) 忽緩忽速颱風：移動速度不穩定，以“S+F”代號表示。

如此分類只是基於節大部分的颱風其移動速度大都介於 10~30 km/h 之間，因此取 20 km/h 的移動速度作為區分緩行或速行的判別值。全部 30 個颱風根據上述之分類方法區分後整理如表 2-2。表中強度規模欄裡除以上述強度規模代號表示外，另以“1”，“2”，及“3”等數字分別表示輕度、中度及強烈颱風，其中若帶有底線者表示該強度之颱風所處位置已受陸地影響。

2.3 波浪資料蒐集與整理

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°58'45"N, 121°37'46"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°59'50"N, 121°38'49"E，測站地理示意位置如圖 2-2。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（ST.1 測站不具方向型），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、凱特琳、弗雷特及葛拉絲等颱風侵襲期間，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。不過由於港內實測波浪資料數量有限，因此本研究僅就港外 ST.1 及 ST.2 之實測颱風波浪進行分析，經資料品管刪除品質不佳者後，總計有 3,049 筆之颱風波浪資料。另外為嘗試探討季風波浪之群性，故選取 1994 年 9 月 1 日至 11 日無颱風發生期間，總計 107 筆之季風波浪資料。颱風波浪觀測資料如表 2-3，波浪統計資料如表 2-2，測站地理示意位置如圖 2-2。

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 颱風分類及波浪統計相關資料表

民國年月 西元年月	颱風名稱	路徑 型態	強度 規模	移動 型態	最大示性 波高週期	發生 時間	波浪資 料筆數
79/08 1990/08	ABE 亞伯	1	S2 2	S+F	3.64 13.1	08/30 15:00	35
80/08 1991/08	ELLIE 愛麗	1	U- 2>1	S	1.90 11.4	08/19 23:00	112
83/08 1994/08	FRED 弗雷特	1	U- 3>2 <u>≥</u> 1	S	3.29 14.1	08/20 08:00	8
79/08 1990/08	BECKY 蓓琪	2	S1 1	F	2.50 7.9	08/27 12:00	47
79/09 1990/09	ED 艾德	2	U+ 1>2>1	F	4.15 9.1	09/15 10:00	32
80/07 1991/07	AMY 艾美	2	U+ 2>3 <u>≥</u> 2	F	9.69 12.2	07/19 04:00	98
80/07 1991/07	BRENDAN* 布藍登	2	U- 2>1	F	3.23 9.1	07/23 09:00	48
80/09 1991/09	NAT 耐特	2	U+ 2>3>2 <u>≥</u> 1	S	6.44 10.3	09/23 05:00	91
80/10 1991/10	RUTH* 露絲	2	U- 3>2>1	B+S	8.91 15.6	10/27 17:00	220
82/06 1993/06	KORYN 珂茵	2	U+ <u>1</u> >2>3>2 <u>≥</u> 1	F	5.43 14.6	06/26 15:00	250
79/06 1990/06	OFELIA 歐菲莉	3	U- 2>1	S	12.53* 14.5	06/23 12:00	101
81/09 1992/09	TED 泰德	3	S1 1	B+S+F	7.04 11.4	09/22 06:00	202
87/10 1998/10	ZEB* 瑞伯	3	U- <u>3</u> >2>1	S+F	7.51 11.9	10/16 03:40	274
81/08 1992/08	MARK 馬克	4	S1 1	B	1.64 8.8	08/19 19:00	96
81/08 1992/08	POLLY 寶莉	5-1	S1 1	S	4.35 9.5	08/30 21:00	102
83/09 1994/09	GLADYS 葛拉絲	5-1	U+ 1>2 <u>≥</u> 1	F	7.20 14.0	09/01 06:47	19
79/09 1990/09	DAT 黛特	5-2	U- 2 <u>≥</u> 1	F	4.48* 10.0	09/06 17:00	22
81/09 1992/09	OMAR 歐馬	5-2	U- 2 <u>≥</u> 1	S	5.35 11.9	09/05 05:00	99
83/07 1994/07	TIM 提姆	5-2	U+ 2>3>2 <u>≥</u> 1	F	10.76* 13.4	07/10 17:34	38
83/08 1994/08	CAITLIN 凱特琳	5-2	S1 1	F	5.25* 13.1	08/03 15:15	24

表 2-2 (續) 颱風分類及波浪統計相關資料表

民國年月 西元年月	颱風名稱	路徑 型態	強度 規模	移動 型態	最大示性 波高週期	發生 時間	波浪資 料筆數
86/08 1997/08	AMBER 安珀	5-2	S2 2	S	8.11* 12.4	08/28 22:52	49
87/08 1998/08	OTTO 奧托	5-2	S1 1	F	6.74 11.2	08/04 14:00	138
79/07 1990/07	ROBYN 蘿賓	6	S1 1	F	1.86 6.9	07/19 17:00	70
79/08 1990/08	YANCY 楊希	6 (5-1)	U- 2 $\geq$ 1	S+F+..	4.87 11.6	08/18 02:00	168
85/07 1996/07	HERB 賀伯	6 (5-1)	U- 3 $\geq$ 2	S	7.65 13.2	07/31 06:29	96
80/09 1991/09	MIREILLE 密瑞兒	7	S3 3	S	3.96 11.9	09/26 10:00	73
81/06 1992/06	BOBBIE 芭比	7	S2 2	S	5.28 13.8	06/27 19:00	105
81/10 1992/10	ELSIE 艾爾西	7	U+- 1>2>3>2	S+F	3.17 12.2	11/06 22:00	191
81/11 1992/11	HTUT 漢特	7	U+- 1>2>3>2	S+F	4.64 10.4	11/20 13:00	342
81/11 1992/11	GAY 蓋伊	7	U+- 3>2>3>2>1	S+F	4.21 10.2	11/26 19:00	

【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

表 2-3 波浪觀測相關資料表

民國年月 西元年月	颱風名稱	資料涵蓋期間 月/日/時/分	儀器型式	取樣間隔 分/時	取樣頻率 Hz	測站名稱
79/08 1990/08	ABE 亞伯	08/29/00/00 ~ 08/31/18/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
80/08 1991/08	ELLIE 愛麗	08/16/00/00 ~ 08/20/18/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
83/08 1994/08	FRED 弗雷特	08/19/12/00 ~ 08/21/06/00	壓力式	17/2	2.00	ST.5
79/08 1990/08	BECKY 蓓琪	08/25/00/00 ~ 08/28/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
79/09 1990/09	ED 艾德	09/14/06/00 ~ 09/16/18/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
80/07 1991/07	AMY 艾美	07/17/00/00 ~ 07/19/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
80/07 1991/07	BRENDAN* 布藍登	07/22/00/00 ~ 07/23/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
80/09 1991/09	NAT 耐特	09/22/00/00 ~ 09/24/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
80/10 1991/10	RUTH* 露絲	10/26/00/00 ~ 10/30/14/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
82/06 1993/06	KORYN 珂茵	06/20/00/00 ~ 06/30/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
79/06 1990/06	OFELIA 歐菲莉	06/21/00/00 ~ 06/23/11/53	浮球式	20/1	2.56	ST.1
81/09 1992/09	TED 泰德	09/20/00/00 ~ 09/26/16/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
87/10 1998/10	ZEB* 瑞伯	10/11/00/00 ~ 10/18/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.2
81/08 1992/08	MARK 馬克	08/16/00/00 ~ 08/19/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
81/08 1992/08	POLLY 寶莉	08/27/16/00 ~ 08/31/19/22	浮球式	20/1	2.56	ST.1
83/09 1994/09	GLADYS 葛拉絲	09/01/00/32 ~ 09/02/06/26	浮球式 (方向性)	20/2	1.28	ST.2
79/09 1990/09	DAT 黛特	09/05/06/00 ~ 09/06/18/03	浮球式	20/1	2.56	ST.1
81/09 1992/09	OMAR 歐馬	09/03/00/00 ~ 09/06/03/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
83/07 1994/07	TIM 提姆	07/08/00/28 ~ 07/10/17/34	浮球式 (方向性)	20/2	1.28	ST.2
83/08 1994/08	CAITLIN 凱特琳	08/01/07/47 ~ 08/03/16/43	浮球式 (方向性)	20/2	1.28	ST.2

表 2-3（續）波浪觀測相關資料表

民國年月 西元年月	颱風名稱	資料涵蓋期間 月/日/時/分	儀器型式	取樣間隔 分/時	取樣頻率 Hz	測站名稱
86/08 1997/08	AMBER 安珀	08/25/01/28 ~ 08/29/00/22	浮球式 (方向性)	20/2	1.28	ST.2
87/08 1998/08	OTTO 奧托	08/01/00/00 ~ 08/05/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.2
79/07 1990/07	ROBYN 蘿賓	07/09/00/00 ~ 07/11/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
79/08 1990/08	YANCY 楊希	08/17/00/00 ~ 08/21/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
85/07 1996/07	HERB 賀伯	07/27/00/00 ~ 08/01/23/00	浮球式 (方向性)	20/2	1.28	ST.2
80/09 1991/09	MIREILLE 密瑞兒	09/25/00/00 ~ 09/27/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
81/06 1992/06	BOBBIE 芭比	06/26/00/00 ~ 06/29/16/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
81/10 1992/10	ELSIE 艾爾西	10/31/00/00 ~ 11/07/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
81/11 1992/11	HTUT 漢特	11/17/00/00 ~ 11/30/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
81/11 1992/11	GAY 蓋伊	11/17/00/00 ~ 11/30/23/00	浮球式	20/1	2.56	ST.1
83/09 1994/09	季風波浪	09/01/00/00 ~ 09/11/10/00	壓力式	17/2	2.00	ST.5

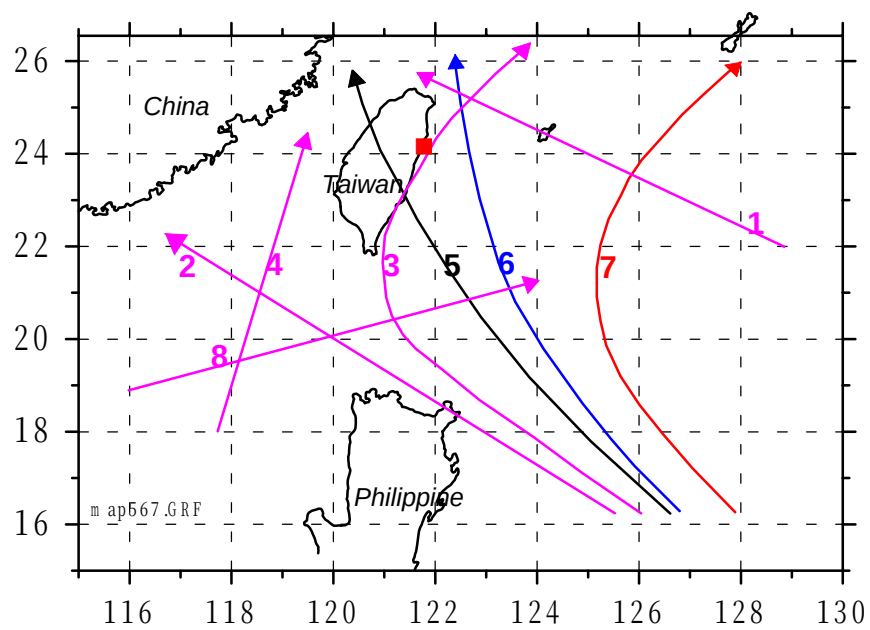


圖 2-1 颱風路徑分類示意圖

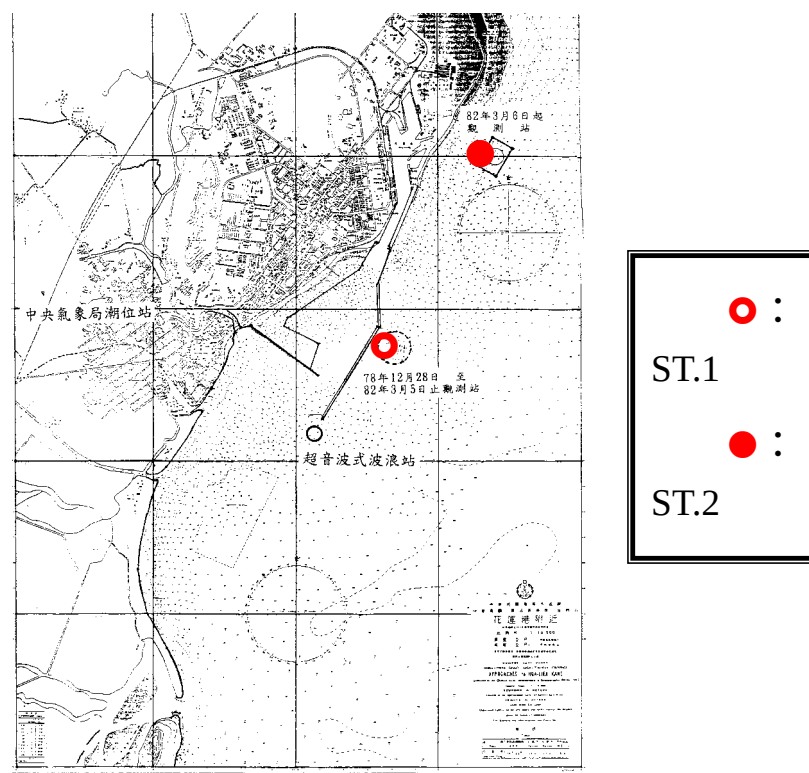


圖 2-2 花蓮港波浪測站地理位置示意圖

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，而航海者早就知道這些群波的存在，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：

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

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

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

上式中 σ_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。

青島大學越錕等人 (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：

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

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

或以相對均方根高 GHR 來表示群性

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

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

$$GLF = f_p / f_{pA} \quad (3-5)$$

此外越錕等人以包絡線譜零階動差的均方根來表示群性

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

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

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

$z(t) = A(t)\exp[\theta(t)]$ ，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

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

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

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

其中， $F[\]$ 表示傅立葉轉換；此外可求得

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

則由 (3-8) 式及 (3-10) 式可得

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

若將 (3-11) 式代入 (3-9) 式，可得

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

其中

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

所以

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

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。

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

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

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

3.2 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

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

式中平滑函數 $Q_1(\tau)$ 取 Barlett 窗，即

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

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 $GF1$ 為

$$GF1 = \sqrt{\frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} [E(t) - \bar{E}]^2 dt} / \bar{E} = \sqrt{m_{0e}} / m_0 \quad (3-18)$$

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

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

$\bar{T}_{SIWEH}$ 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， $GF1$ 受 T_p 值影響。

3.3 局部離散度時間序列

參照上一節類似的觀點，當波浪資料出現連續大波的波連時，表示該時段內的水面波動變化量較其他時段為大。因此，可以從波浪觀測之原始水位紀錄的局部離散度時間序列 Z_i 來定義波浪群性。

$$Z_i = \frac{1}{ni} \sum_{j=i}^{j=i+ni} \eta_j^2 - \left(\frac{1}{ni} \sum_{j=i}^{j=i+ni} \eta_j \right)^2 \quad i = 1, 2, \dots, n - ni \quad (3-20)$$

n ：水位數據資料 η_j 之總個數。

ni ： $2T_p$ 時間間距內之水位資料個數。

T_p ：尖峰頻率 f_p 之倒數 ($T_p = 1/f_p$)。

波浪群波參數 G 則定義為

$$G = \left(\frac{1}{n - ni} \sum_{i=1}^{i=n-ni} (Z_i - \bar{Z}_i)^2 \right)^{1/2} / \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \eta_i^2 \right) \quad (3-21)$$

$\bar{Z}_i$ 為 Z_i 之平均值，即

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{n - ni} \sum_{i=1}^{i=n-ni} Z_i \quad (3-22)$$

3.4 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），故應由馬柯夫鏈（Markov Chain）的理論（或稱近因過程）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，而求得之平均連長 $\bar{j}_1$ (K_{j1}) 及平均總連長 $\bar{j}_2$ (K_{j2})。假設連續兩波高間的相關係數 γ_{HH} 已知

$$\gamma_{HH} = \frac{1}{\sigma_H^2} \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (H_i - \bar{H})(H_{i+1} - \bar{H}) \quad (3-23)$$

$$= [E(\kappa) - (1 - \kappa^2)K(\kappa) / 2 - \pi / 4] / (1 - \pi / 4) \quad (3-24)$$

(3-24)式中 $E(\kappa)$ 及 $K(\kappa)$ 為以 κ 為模數之橢圓積分。當 H_i 及 H_{i+1} 的機率密度函數均為雷禮分佈(Rayleigh distribution)，但互不獨立時

$$\varphi(H_i, H_{i+1}) = \frac{4H_i H_{i+1}}{(1 - \kappa^2)(\tilde{H})^4} \exp\left(-\frac{H_i^2 + H_{i+1}^2}{(1 - \kappa^2)(\tilde{H})^2}\right) I_0\left(\frac{2\kappa H_i H_{i+1}}{(1 - \kappa^2)(\tilde{H})^2}\right) \quad (3-25)$$

上式中 $\tilde{H} = H_{rms}$ 即均方根波高，可由 $\tilde{H} = \sqrt{8m_0}$ 。而 m_0 為波譜零階動差 $m_0 = \int_0^\infty S(f)df$ 或水位變化離散度 $m_0 = \overline{\zeta^2}$ 求得。 I_0 為變形之 Bessel 函數(modified Bessel function)。依(3-23)式求得 γ_{HH} 後，以(3-24)式求得 κ ，代入(3-25)式即可得到 H_i 及 H_{i+1} 的機率密度函數 $\varphi(H_i, H_{i+1})$ ，然後代入

$$P_{11} = \int_0^{\hat{H}} \int_0^{\hat{H}} \varphi(H_i, H_{i+1}) dH_i dH_{i+1} / \int_0^{\hat{H}} \varphi(H) dH \quad (3-26)$$

$$P_{22} = \int_{\hat{H}}^\infty \int_{\hat{H}}^\infty \varphi(H_i, H_{i+1}) dH_i dH_{i+1} / \int_{\hat{H}}^\infty \varphi(H) dH \quad (3-27)$$

(3-26)及(3-27)式中之 $\hat{H}$ 表波高之門檻值，在本研究中為 $H_{1/3}$ 。 P_{11} 及 P_{22} 分別代入下式，可得平均連長 K_{j1} 及平均總連長 K_{j2}

$$K_{j1} = 1/(1 - P_{22}) \quad (3-28)$$

$$K_{j2} = 1/(1 - P_{11}) + 1/(1 - P_{22}) \quad (3-29)$$

假設前後兩波高之間相互獨立毫無關係時(即 $\gamma_{HH} = 0$)，且波高分佈符合雷禮分佈，則平均連長理論值為 1.158；平均總連長理論值為 8.574。但實測資料顯示上述理論值略為偏小，其原因乃在於假設不考慮前後兩波高間的相關性。換言之，實測波浪中前後兩波高間並非完全相互獨立(即 $\gamma_{HH} \neq 0$)，因此平均連長及平均總連長皆較理論值為大。

青島海洋大學越錕等人 (1990)，對平穩隨機過程 $[A(t) - \ddot{A}]$ 由概率方法導出門檻值 H_C (本研究 H_C 皆設定為 $H_{1/3}$) 的波群平均歷時長度 Q_{j1} (平均連長) 和平均波數 (平均總連長) Q_{j2}

$$Q_{j1} = \frac{2}{H_c} \sqrt{\pi m_0 / 2} e^{-\pi/4} \left(\frac{m_{0A}}{m_{2A}} \right)^{1/2} \quad (3-30)$$

$$Q_{j2} = \frac{2}{H_c} \sqrt{\pi m_0 / 2} e^{-\pi/4} \left(\frac{m_{0A} m_2}{m_{2A} m_0} \right)^{1/2} \quad (3-31)$$

m_0 及 m_2 ：分別為波譜之 0 階及 2 階動差

m_{0A} 及 m_{2A} ：分別為包絡波波譜之 0 階及 2 階動差

另外 Nottle-Hsu (1973) 也提出平均連長 N_{j1} 及平均總連長 N_{j2} 如下：

$$N_{j1} = \sqrt{m_2 / 2\pi\mu_2} \sqrt{m_0 / (H_{1/3} / 2)} \quad (3-32)$$

上式中 $\mu_2 = (2\pi)^2 (m_2 - m_1^2 / m_0)$

$$N_{j2} = N_{j1} * \exp((H_{1/3} / 2)^2 / 2m_0) \quad (3-33)$$

Goda (1970) 利用數值模擬研究波連的問題，發現平均連長及平均總連長與波譜形狀峰度參數 QP (定義詳見下章) 有相關性，因而提出平均連長 G_{j1} 如下：

$$G_{j1} = \frac{1}{1 - \exp(-1 / QL1)} \quad (3-34)$$

上式中 $QL1$ 為

$$QL1 = \frac{QP}{2\sqrt{2}H_C/H_{1/3}} \quad (3-35)$$

當門檻值 H_C 設定為 $H_{1/3}$ 時， $QL1 = QP/2\sqrt{2}$

3.5 群波分析方法比較

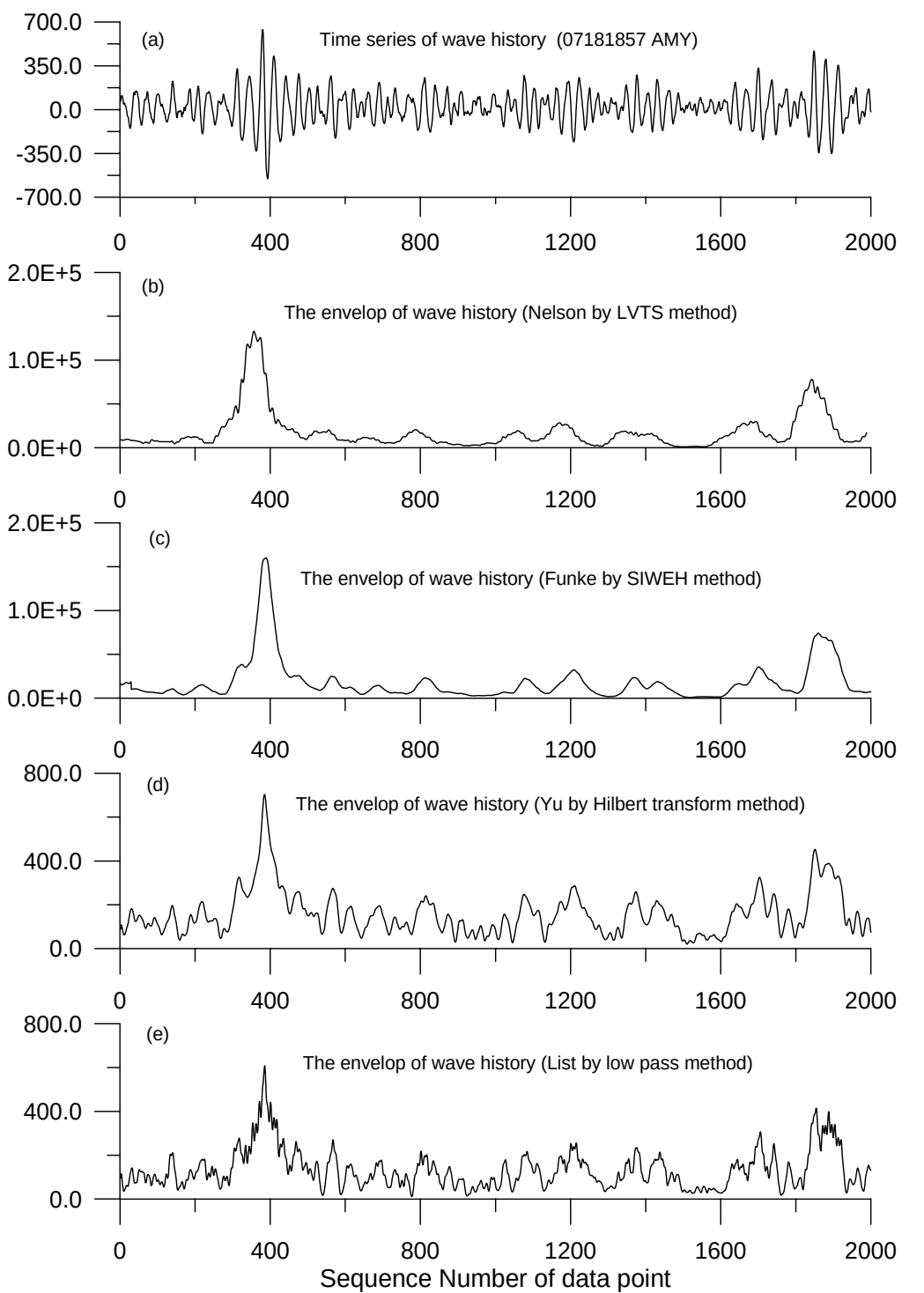
上述各節介紹群波的分析方法，由對波群的處理觀點大致上可分為兩類。第一類為由波形各波峰連線所形成之包絡線來處理，而包絡線的求得，又可分為兩種。第一種為先經低通濾波，濾去原始波形而得到波形包絡線，如 List (1991)；第二種為直接從波形紀錄經 Hilbert 轉換而得到波形包絡線，如越錚等人(1990)。第二類為由水位紀錄在某一設定之移動時間視窗內檢視其變動量，而變動量的求得，也可分為兩種。第一種為依設定時段寬度內的波形方差，作為該時段中點處的瞬時波能，而得到瞬時光滑波能歷程線，如 Funke (1980)；第二種為依設定時段寬度內水位紀錄的離散度，作為該時段起點處的離散度，而得到水位局部離散度之時間序列(Local Variance Time Series)。

本文取 AMY 颱風波浪紀錄中一筆資料，經上述四種方法計算後，所得之群波波形顯示如圖 3-1。圖中(a)圖為原始水位變化紀錄波形 (b)圖為水位局部離散度時間序列、(c)圖為瞬時光滑波能歷程線、(d)圖為經 Hilbert 轉換而得到波形包絡線及(e)圖為經低通濾波，濾去原始波形而得到波形包絡線。由圖中比較發現四種方法大致上皆能將波群明確的篩選出來。不過仔細比較屬於第一類之圖(b)或圖(c)及屬於第二類之圖(d)或圖(e)發現第一類群波波形較大，以資料點順序約 400 附近檢視，第一類群波波形高都約 150,000；而第二類群波波形高則都僅約 650。差異原因乃在於對波群的處理分析觀點不同所致，如果觀點相同(即相同類別)，則群波波形高及形狀皆較相近。此外，以包絡線為觀點之第一類群波波形高與原始水位變化紀錄波形的波峰連線相當符合，例如以資料點順序約 400 附近，檢視原始水位變化紀錄波形高也是接

近 650。

以同樣是第二類群波波形的圖(b)及圖(c)再做比較，發現圖(c)的群波波形較平滑，其原因為瞬時光滑波能歷程線在計算過程中加入平滑函數所致(如 3-16 式)，而水位局部離散度時間序列則未加入任何平滑函數。另外在波形相位上也有稍許差異，以資料點順序約 400 附近檢視，發現圖(b)的群波波形相位稍微領先圖(c)，其原因為水位局部離散度時間序列，是以時段起點處的離散度作計算，而瞬時光滑波能歷程線，則是以時段中點處的瞬時波能作計算。後續研究中對於水位局部離散度時間序列，將修正為以時段中點處的離散度作計算。

比較第一類群波波形的圖(d)及圖(e)，發現圖(d)的群波波形較平滑，其原因可能是以低通濾波濾去原始波形的計算過程中，高頻波濾不乾淨，造成圖(e)中仍出現一些較高頻波成分波。詳細情形後續將再做進一步考察。



envelop.grf

圖 3-1 不同計算方法之群波波形比較

第四章 群波與波譜參數

4.1 群波參數

前一章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 、 G 、 GHR 、 GA 和 $GF1$ 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 K_{j1} 、 Q_{j1} 、 N_{j1} 及 G_{j1} ，平均總連長 K_{j2} 、 Q_{j2} 及 N_{j2} 和群波參數 GLF 及 $\bar{T}_{SIWEH0}$ 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 $GF1$ 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 $GF1$ 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 $GF1$ 的結果發現，發現 $GF1$ 受時間窗寬影響，例如當 T_w 由 $0.5T_p$ 增大為 $2T_p$ 時， $GF1$ 值可由 0.68 增大到 1.06。 $GF1$ 的另一個缺點是沒有限定的變化範圍，某些波列的 $GF1$ 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 和越錚等人之 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佈(Rayleigh distribution)的情況下，它們之間有如下之關係

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

所以從理論上可以得到

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

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：

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

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：

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

式中 σ_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

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

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

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

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。Goda (1974) 以實測紀錄與數值模擬結果相比較，發現由實測紀錄求出的平均連長較大，但資料較散亂。大致而言，當門檻值為 $H_{1/3}$ 時，平均連長為 1.45；平均總連長為 10.7。Rye (1974) 在挪威外海的觀測資料則顯示，當波浪增強時平均連長為 1.41，平均總連長為 9.46；波浪減衰時連長較小，平均連長為 1.26，平均總連長為 8.52。此處所謂波浪減衰乃指瞬間風速變小的情況，波浪本身並未變成湧浪。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。不過 Kimura 的計算較複雜如(3-23)式至(3-29)式。

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

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

Medina(1990)所提出之波譜形狀尖度參數

$$QE = 2m_1 \int_0^{\infty} S^2(f) ds / m_0^3 \quad (4-8)$$

Longuet-Higgins(1975)所提出之波譜形狀窄度參數

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

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

本研究選取 30 個颱風案例，共計 29 組波浪資料及 1 組季風波浪資料（各組所含資料筆數如表 2-2）。依據第三、四章所說明之各種群波分析理論模式及其所定義之各種參數撰寫數值分析程式，進行各組波浪資料的各種參數計算及統計。本研究中共計算三類參數，他們分別是群波高度參數 GFL 、 G 、 GHR 、 GA 、 GFH 、 $GF2$ 和 $GF1$ ；群波長度參數 K_{j1} 、 Q_{j1} 、 N_{j1} 、 S_{j1} 、 G_{j1} 、 K_{j2} 、 Q_{j2} 、 N_{j2} 、 S_{j2} 、 GLF 和 $\bar{T}_{SIWEH}$ 及波譜形狀參數 QP 、 QE 和 $Hig-V$ 等。上述 GA 參數僅是 GHR 參數的平方，故可視為同一參數，而不納入討論。此外 S_{j1} 和 S_{j2} 分別是依向上零切法順序確定各個波浪的波高，然後定義超過門檻值 $H_{1/3}$ 的連續波為波連。連內的波浪平均個數稱為平均連長以 S_{j1} 表示；同時將波高超過 $H_{1/3}$ 的波連其重複出現時段內的波浪平均個數稱為總連長以 S_{j2} 表示。其餘參數之定義可參照第三、四章。

利用這些參數與對應波高或週期的變化趨勢比較，明瞭颱風波浪在成長（或衰退）過程中，各參數的變化情形。此外，也進行參數間的相關性比較，藉此明瞭其在衡量波浪群性的適用性。參照第二章之颱風分類方法，計算在不同颱風型態下之各參數的統計特性，以明瞭颱風波浪的群波特性，並進一步探討颱風波浪侵襲期間，花蓮港港池不穩靜的原因，究竟是否為群波效應所造成？以下分別對這些參數在計算上之適用性及限制性做分析說明。

5.1 波高週期與各參數之變化趨勢比較

本節主要探討各參數隨颱風波浪之波高或週期變化的演變趨勢情形，藉此明瞭颱風波浪在成長（或衰退）過程中，各參數值的變化，圖 5-1 至圖 5-30 為各颱風波高、週期及各參數的順序變化圖。由於波浪資料經過剔除水位變化不合理者（變化速率超過 30m/sec）之品質篩選過程，因此圖中並非逐時變化，而是依發生前後順序依序畫出。換言之，資料點之間格並非等時間。本研究颱風波浪案例眾多，無法一一說明，因此，挑選某些波高週期變化趨勢較明確的颱風案例

進行說明。

安珀 (Amber) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-2a 及圖 5-2b。圖 5-2a 顯示波高由 1m 左右逐漸增大至約 8m；週期也由 8sec 逐漸增大為 13sec 左右，然而群高參數並沒有隨波高或週期增大而增大，各參數值僅在一範圍內變動，沒有明顯的與波高或週期一致性之變化趨勢出現。圖 5-2b 顯示大體而言群長參數的變化趨勢同樣也與波高或週期不一致，各參數值也是在一範圍內作變動。不過進一步比較發現，參數 GLF 出現三個特別較大之值（約 60），其原因為包絡線譜峰頻 f_{PA} 的值係利用 F.F.T.法求算，而包絡線譜的峰頻與波浪譜峰頻相較為低頻，但 F.F.T.法的頻率解析度在愈低頻處愈差，使得 f_{PA} 的值有時會太小，故造成 GLF 出現較大之特異值。參數 Q_{j1} 隨波高及週期增大而有些微減小的趨勢，參數 G_{j1} 則有隨波高及週期增大而些微增大的趨勢。

艾美 (Amy) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-3a 及圖 5-3b。圖 5-3a 顯示波高由 1m 左右逐漸增大至約 10m，然後再逐漸降至 2m；週期也由 6sec 逐漸增大為 14sec 左右，然後再逐漸降至 8sec。群高參數大體而言僅在一範圍內變動，並沒有隨波高或週期增大（減小）而增大（減小）。不過當波高（或週期）較大時，參數 GFL 、 $GF2$ 、 GHR 及 GFH 其值變動性較大。圖 5-3b 顯示大體而言各群長參數值也是在一範圍內作變動。不過進一步比較發現，當波高（或週期）較大時 GLF 出現較多的較大之特異值，參數 Q_{j1} 有隨波高及週期增大（減小）而些微減小（增大）的趨勢，而參數 G_{j1} 則有隨波高及週期增大（減小）而些微增大（減小）的趨勢。

賀伯 (Herb) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-14a 及圖 5-14b。圖 5-14a 顯示波高先由 3m 左右逐漸減小至約 1m 再逐漸增大至約 8m，然後再逐漸降至 2m；週期也先由 8sec 逐漸減小至約 6sec 再迅速增大為 14sec 左右，然後隨同波高再逐漸降至 8sec。群高參數大體而言僅在一範圍內變動，並沒有隨波高或週期增大（減小）而增大（減小），不過較大的參數值皆發生在波高較大時。圖 5-14b 顯示大體而言各群長參數值也是在一範圍內作變動。不過進一步比較

發現，當波高（或週期）較大時 GLF 出現較多的較大之特異值， $\bar{T}_{SIWEH}$ 的較大值出現在大週期時，但並不是大波高的情況， Q_{j2} 隨週期變化的趨勢似乎較明顯，在大週期時 G_{j1} 出現較大值且較不穩定。

珂茵 (Koryn) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-16a 及圖 5-16b。圖 5-16a 顯示波高先在 0.5~1m 左右變動，然後逐漸增大至約 5m，然後再逐漸降至 1m；週期也是先在 4~7sec 間變動，然後逐漸增大至約 14sec 左右，然後再隨同波高逐漸降至 5sec 左右。當波高在 0.5~1m 變動的階段，群高參數大體而言維持在一範圍內變動。另外由圖中發現， $GF1$ 與 G 參數值變化曲線較相似，而 GHR 則與 GFH 較相似。此顯示相似的群波衡量觀點其參數值變化趨勢情形也會相似。當波高在逐漸增大與減小的階段中，群高參數值雖然較大但並不穩定。當波高降低並趨於穩定後，群高參數值也略為減小並趨於較穩定。圖 5-16b 顯示當波高在 0.5~1m 變動的階段，大體而言各群長參數值也是在一範圍內作變動。不過進一步比較發現，當波高在逐漸增大與減小的階段中， GLF 出現較多的較大之特異值，而 $\bar{T}_{SIWEH}$ 參數值雖然較大但並不穩定， K_{j1} 、 K_{j2} 及 Q_{j2} 也有相似情形。當波高降低並趨於穩定後，群高參數值也略為減小並趨於較穩定， GLF 出現較大特異值的情形也少很多。

歐菲莉 (Ofelia) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-20a 及圖 5-20b。圖 5-20a 顯示波高由 1m 左右逐漸增大至約 13m；週期也由 7sec 逐漸增大為 14sec 左右，然而群高參數值僅在一範圍內變動，沒有與波高或週期有明顯的一致性變化趨勢出現。圖 5-20b 顯示大體而言群長參數值也是在一範圍內作變動。不過進一步比較發現，隨波高逐漸增大， GLF 出現許多的較大特異值，參數 Q_{j1} 隨波高及週期增大而有些微減小的趨勢。由於歐菲莉颱風波浪的演變趨勢與安珀颱風非常類似，因此兩案例的群波參數變化情形也很類似。

奧拖 (Otto) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-22a 及圖 5-22b。圖 5-22a 顯示波高由 0.5m 左右快速增大至約 7m，然後再快速降至 1m；週期也由 6~8sec 增大為 12sec 左右，然後再逐漸降至 6sec。群高參數大體而言僅在一範圍內變動，沒有與波高或週期有

明顯的一致性變化趨勢出現。不過當波高增大時，參數值稍大些且變動性也較大。圖 5-22b 顯示大體而言各群長參數值也是在一範圍內作變動。不過進一步比較發現，在波高增大與減小過程中 GLF 較會出現較大之特異值， $\bar{T}_{SIWEH}$ 的較大值出現在週期約 8sec 但波高尚未增大的階段。奧拖颱風波浪的演變趨勢與艾美颱風雖相當類似，但奧拖颱風波浪成長及衰退皆較快速，因此兩案例的群波參數變化情形也有些差異。

泰德 (Ted) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-27a 及圖 5-27b。圖 5-27a 顯示波高約由 0.5m 逐漸增大至約 7m 左右，然後再逐漸降至 1m；週期也由 5sec 左右逐漸增大為約 13sec，然後再逐漸降至 5sec。群高參數大體而言僅在一範圍內變動，並沒有隨波高或週期增大而有明顯增大趨勢。不過當波高衰退減小時，則有些許降低的趨勢出現。圖 5-27b 顯示大體而言各群長參數值也是在一範圍內作變動，但在波高成長及衰退階段，參數值稍大些且變動性也較大。不過進一步比較發現，當波高（或週期）成長及衰退時 GLF 出現較多的較大之特異值，參數 Q_{j1} 有隨波高及週期增大（減小）而有些微減小（增大）的趨勢，而參數值 G_{j1} 在波高衰退階段出現隨波高降低而減小的趨勢。

瑞伯 (Zeb) 颱風波浪之波高、週期及其群波參數變化如圖 5-30a 及圖 5-30b。圖 5-30a 顯示波高先有一段維持在 0.5m，然後由 0.5m 左右逐漸增大至約 6m，再逐漸減小至約 2.5m，隨後又逐漸增加至 8m，然後再逐漸降至 2m，最後又稍微增大至 4m 左右後再逐漸降為 1m；週期也先有一段維持在 7sec 左右，然後由 7sec 逐漸增大至 15sec，再逐漸減小至約 10sec，然後再增大為 13sec 左右，然後隨同波高再逐漸降至 8sec，最後又增大至 12sec 左右，然後以不穩定的方式逐漸降至 7sec。波高及週期皆出現兩次明顯和一次較不明顯的成長與衰退過程。群高參數大體而言僅在一範圍內變動，並沒有隨波高或週期的成長或衰退，出現一致性的趨勢變化。不過較大的參數值大都發生在波浪成長階段。圖 5-30b 顯示大體而言各群長參數值也是在一範圍內作變動。不過進一步比較發現，在波浪成長或衰退階段， GLF 出現較多的較大之特異值， $\bar{T}_{SIWEH}$ 的較大值大部分也出現在此階段， Q_{j1} 的變

化趨勢似乎與波高（或週期）相反，在大週期時 G_{j1} 出現較大值且較不穩定。

由以上 8 個颱風案例綜合而言，群波高度參數值並沒有明顯隨波高（或週期）的成長或衰退，出現一致性的趨勢變化，而是維持在一侷限範圍內作變動。換言之，波高愈大或週期愈長，波浪的群性不一定愈明顯。此與一般認知不同，其原因在於何謂群波現象明顯？依群波的定義，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。因此，波高大時群波現象可能不明顯，而波高小時群波現象卻可能明顯出現。本研究雖然發現波浪的群性與波高或週期沒有明顯關係，但群波高參數的較大值大都發生在波高或週期較大時，此顯示波浪的群波現象在波高或週期大時比較有可能出現，群波長度參數的比較分析結果也同樣符合這觀點。

5.2 群波參數間之相關性

本節主要探討群波參數間之相關性及其在衡量群性強弱的差異性，以作為後續探討颱風波浪群性的參考。

5.2.1 群波高度參數間之相關性

各群波高度參數間之相互對應關係點繪如圖 5-31。 $GF1$ 與 G 之關係如圖 5-31 之 (a) 圖，圖中顯示 $GF1$ 與 G 呈現近似線性正比關係，回歸分析後可以線性關係式 $G=0.871*GF1-0.044$ 來表示，正比關係的存在原因可參考本報告第三章之 3.5 節。此外由圖中也發現 G 參數值不大於 $GF1$ ，其原因為計算 G 之包絡線值較小所致，請比較圖 3-1 之 (b) (c) 兩圖。 GFL 與 $GF2$ 之關係如圖 5-31 之 (b) 圖，圖中顯示 GFL 與 $GF2$ 呈現近似線性正比關係，可以線性關係式 $GF2=1.24*GFL+0.01$ 來表示。 GFH 與 GHR 之關係如圖 5-31 之 (c) 圖，圖中顯示 GFL 與 $GF2$ 呈現線性正比關係，且兩參數相關性非常密切，可以線性關係式 $GHR=0.741*GFH+0.081$ 來表示。在假定波高

符合雷禮分佈(Rayleigh distribution)的情況下，從理論上可以得到 $GHR=0.886*GFH$ 。此理論關係式與回歸所得之關係式有些許差異，其原因可能為現場觀測之颱風波浪其波高不完全符合雷禮分佈所致。另外要強調的這兩個參數雖然都是利用 Hilbert 轉換波形而得到包絡線，但參數值的計算方法並不相同。GF1 與 GFL 之關係如圖 5-31 之 (d) 圖，圖中顯示 GF1 與 GFL 呈現近似線性正比關係，經回歸分析後可以線性關係式 $GFL=0.568*GF1+0.273$ 來表示。而 GF1 與 GFH 之關係如圖 5-31 之 (e) 圖，圖中顯示 GF1 與 GFH 呈現近似線性正比關係，經回歸分析後可以線性關係式 $GFH=0.429*GF1+0.357$ 來表示。GFL 與 GFH 之關係如圖 5-31 之 (f) 圖，圖中顯示 GFL 與 GFH 呈現近似線性正比關係，經回歸分析後可以線性關係式 $GFL=0.91*GF1+0.035$ 來表示。

由以上相關性分析中可發現，各群波高度參數彼此之間呈現線性關係，雖然他們對於波群的處理觀點不相同，計算參數值的方法也不一樣，但顯然對於衡量波浪群性強弱有一致性的評斷，唯一的差別在於參數值的分佈範圍可能會影響計算群性大小的精準度。

5.2.2 群波長度參數間之相關性

各群波長度參數間之相互對應關係點繪如圖 5-32。 K_{b1} 與 K_{j2} 之關係如圖 5-32 之 (a) 圖，圖中顯示 K_{j1} 與 K_{j2} 呈現近似線性正比關係，回歸分析後可以線性關係式 $K_{j2}=8.25*K_{j1}-1.1$ 來表示。此說明依 Kimura (1980) 理論所計算之平均連長 K_{j1} 與平均總連長 K_{j2} 間有密切之線性正比關係。 Q_{j1} 與 Q_{j2} 之關係如圖 5-32 之 (b) 圖，圖中顯示 Q_{j1} 與 Q_{j2} 沒有明顯的相關性存在。此表示越猛等人 (1990) 所提出之波群平均歷時長度 Q_{j1} 和平均波數 Q_{j2} 兩者不相關。其原因可能是這兩參數的計算牽涉到波譜高階動差的不穩定所致。所以這兩個群波長度參數在使用上可能會出現疑問。 N_{j1} 與 N_{j2} 之關係如圖 5-32 之 (c) 圖，圖中顯示 N_{j1} 與 N_{j2} 呈現近似線性正比關係，回歸分析後可以線性關係式 $N_{j2}=6.552*N_{j1}-0.166$ 來表示。此說明 Nottle-Hsu (1973) 所提出的平均連長 N_{j1} 及平均總連長 N_{j2} 間有密切之線性正比關係。另外也發現 N_{j1} 大部分分佈在 0.30~0.75 之間，而 N_{j2} 則大部分分佈在 1.5~4.5

之間。 K_{j1} 與 $\bar{T}_{SIWEH}$ 之關係如圖 5-32 之 (d) 圖，圖中顯示 K_{j1} 與 $\bar{T}_{SIWEH}$ 之間線性關係不是很明顯，不過由資料的集中分佈區域來看，大致集中在圖中所示之“▼”三角形區域內。 K_{j1} 與 Q_{j1} 之關係如圖 5-32 之 (e) 圖，圖中 K_{j1} 與 Q_{j1} 之資料點分佈散亂，顯示兩參數間無相關性存在。其原因如上述 Q_{j1} 可能不是一個可靠的群波長度參數。 K_{j1} 與 N_{j1} 之關係如圖 5-32 之 (f) 圖，圖中 K_{j1} 與 N_{j1} 之資料點分佈也很散亂，顯示兩參數間也無相關性存在。但如上述這兩個參數與其個別對應之平均總連長間有密切之線性關係存在。因此這兩個參數對於群波之連長的估算，何者較佳？將在 5.3 節中進一步探討。

5.2.3 平均連長 K_{j1} 與群波高度及波譜形狀參數之相關性

由於 Kimura (1980) 理論所計算之平均連長 K_{j1} 受到廣泛的採用，因此本節針對 K_{j1} 與其他群波參數之相關性作一比較。 K_{j1} 與 $GF1$ 之關係如圖 5-33 之 (a) 圖，圖中顯示 K_{j1} 與 $GF1$ 之間線性關係不是很明顯，不過由資料的集中分佈區域來看，大致集中在圖中所示之“▼”三角形區域內。 K_{j1} 與 $GF1$ 及 GFH 之關係分別如圖 5-33 之 (b) 及 (c) 圖，圖中顯示 K_{j1} 與 $GF1$ 及 GFH 之間線性關係都不是很明顯，資料的集中分佈區域大致也在圖中所示之“▼”三角形區域內。此顯示平均連長 K_{j1} 與群波高度參數間的相關性並不高。不過由資料的集中分佈來檢視，則可推論當平均連長 K_{j1} 參數值大時，群波高度參數值 ($GF1$ 、 GFL 及 GFH) 也較大。但相反來說當群波高度參數值較大時，平均連長 K_{j1} 參數值不一定較大。換言之，若以群波高度參數作為衡量波浪群性的強弱，則群性強的波浪其平均連長 K_{j1} 不一定較大，但較大之平均連長 K_{j1} 其波浪群性則會較強些。 K_{j1} 與波譜形狀參數 $Hig-V$ 之關係如圖 5-33 之 (d) 圖，圖中顯示 K_{j1} 與 $Hig-V$ 之間線性關係不是很明顯， K_{j1} 與 $Hig-V$ 資料的集中分佈區域大致在圖中所示之“▲”三角形區域內，此顯示波譜形狀窄度參數值 $Hig-V$ 愈大時，平均連長 K_{j1} 愈小，但 $Hig-V$ 愈小時，平均連長 K_{j1} 不一定愈大。 K_{j1} 與波譜形狀參數 QP 之關係如圖 5-33 之 (e) 圖，圖中資料分佈有點散亂，但 K_{j1} 與 QP 之間有近似線性關係存在，但關係不是很明顯。 K_{j1} 與 QP 資料的集中分佈區域則大致在圖中所示之“●”橢圓形區域

內。 K_{j1} 與群波長度參數 G_{j1} 之關係如圖 5-33 之 (f) 圖，圖中資料分佈情況與 (e) 圖幾乎相似。其原因除參照第三章 G_{j1} 的定義 (3-34) 及 (3-35) 式可發現其和 QP 有非常密切的關係存在外，在 5.3 節中也將再作一比較說明。

5.3 實測波連長與群波長度參數之比較

實測平均連長 S_{j1} 及平均總連長 S_{j2} 譜與其他群波長度參數之關係如圖 5-34a 及圖 5-34b。 S_{j1} 與群波長度參數 K_{j1} 之關係如圖 5-34a 之 (a) 圖，圖中資料點有些散亂，但仍分佈在 $S_{j1}=K_{j1}$ 之直線兩側，此顯示 K_{j1} 大致能估算出實測平均連長，雖然其準確性不是很理想。 S_{j2} 與群波長度參數 K_{j2} 之關係如圖 5-34a 之 (b) 圖，圖中資料點也有些散亂，但仍分佈在 $S_{j2}=K_{j2}$ 之直線兩側，此同樣顯示 K_{j2} 大致也能估算出實測平均總連長。 S_{j1} 與群波長度參數 Q_{j1} 之關係如圖 5-34a 之 (c) 圖，圖中資料點集中在 Q_{j1} 為 0.5~1.0 之間，並沒有與 $S_{j1}=Q_{j1}$ 之直線重疊，此顯示 Q_{j1} 無法有效估算出實測平均連長。 S_{j2} 與群波長度參數 Q_{j2} 之關係如圖 5-34a 之 (d) 圖，圖中資料點有些散亂，且大都分佈在 $S_{j2}=Q_{j2}$ 之直線右下側，少部份與 $S_{j2}=Q_{j2}$ 之直線重疊，此顯示 Q_{j2} 也無法有效估算出實測平均總連長，且其估算值偏小。 S_{j1} 與群波長度參數 N_{j1} 之關係如圖 5-34a 之 (e) 圖，圖中資料點集中在 N_{j1} 為 0.5 附近，並沒有與 $S_{j1}=N_{j1}$ 之直線重疊，此顯示 N_{j1} 無法有效估算出實測平均連長。 S_{j2} 與群波長度參數 N_{j2} 之關係如圖 5-34a 之 (f) 圖，圖中資料點有些散亂，且都分佈在 $S_{j2}=N_{j2}$ 之直線右下側，沒有與 $S_{j2}=N_{j2}$ 之直線重疊，此顯示 N_{j2} 也無法有效估算出實測平均總連長。由以上分析比較可知，群波長度參數 K_{j1} 及 K_{j2} 度有較佳的連長估算能力。 S_{j1} 與群波長度參數 $\bar{T}_{SIWEH}$ 之關係如圖 5-34b 之 (a) 圖，圖中資料點集中在 $S_{j1}=\bar{T}_{SIWEH}$ 之直線左上側並沒有與該直線重疊，此顯示 $\bar{T}_{SIWEH}$ 無法有效估算出實測平均連長。 S_{j2} 與群波長度參數 $\bar{T}_{SIWEH}$ 之關係如圖 5-34b 之 (b) 圖，圖中資料點有些散亂，且大都分佈在 $S_{j2}=\bar{T}_{SIWEH}$ 之直線右下側，少部份與 $S_{j2}=\bar{T}_{SIWEH}$ 之直線重疊，此顯示 $\bar{T}_{SIWEH}$ 也無法有效估算出實測平均總連長，且其估算值明顯偏小。 S_{j1} 與群波長度參數 G_{j1} 之關係如圖 5-34b 之 (c) 圖，圖中資料點大部分分佈在 $S_{j1}=G_{j1}$ 之直線左上側，

其他則分佈在該直線右下側，此顯示 G_{j1} 大致上也能估算出實測平均連長，但其準確性較 K_{j1} 更差。 S_{j2} 與群波長度參數 G_{j1} 之關係如圖 5-34b 之 (d) 圖，圖中資料點有些散亂，且分佈在 $S_{j2} = G_{j1}$ 之直線右下側，並沒有與直線重疊，此顯示 G_{j1} 也無法有效估算出實測平均總連長。 S_{j1} 與 S_{j2} 之關係如圖 5-34b 之 (e) 圖，圖中資料點分佈有些散亂，兩參數間之相關性雖不高，但經回歸分析後，仍可以線性關係式 $S_{j2} = 5.333 * S_{j1} + 1.667$ 來表示。波譜形狀參數 QP 與群波長度參數 G_{j1} 之關係如圖 5-34b 之 (f) 圖，圖中資料點集中在一直線上，此顯示兩參數有非常密切關係，經回歸分析後，可以線性關係式 $G_{j1} = 0.347 * QP + 0.583$ 來表示。

由以上分析比較可知 Kimura (1980) 理論所計算之平均連長 K_{j1} 及平均總連長 K_{j2} 有較佳的估算能力，Goda (1970) 所提出之 G_{j1} 也能估算平均連長，但準確度不如 K_{j1} 。其他群波長度參數對連長的估算則皆不理想。

5.4 不同颱風型態下之群波參數

前面兩節已對群波參數間及與波高或週期之相關性進行分析比較。而本節主要是探討不同的颱風型態是否會影響群波參數之統計特性及颱風波浪之群性？利用第二章之颱風型態分類方法，將本次研究所採用之 30 個颱風進行分類，分類結果可參考表 2-2。依分類後之颱風案例檢視各類型態之群波參數之統計值。

5.4.1 群波高度參數與颱風型態

30 個颱風案例之群波高度參數統計結果如表 5-1。表中列出每個颱風案例之各個群波高度參數的最小值、最大值、平均值及標準差。另外也列出全部案例之統計值。由表中的平均值比較發現，雖然每個颱風型態不盡相同，但各個案例的群波高度參數平均值差異不大（以 GFH 為例，最小者為 DAT 颱風之 0.606；最大者為 AMBER 颱風之 0.694）。因此，假如這些群波高度參數是可以有效衡量波浪的群性強弱，則顯示雖然颱風波浪的波高、週期大小不同且演變趨勢（成長、

衰退或穩定)也不一樣,但波浪的群性強弱卻相近。以上是由平均值來檢視,換個角度由最小、最大值來考查,則發現群波高度參數的最小、最大值在不同案例有比較明顯的不同。此顯示在同一個颱風案例中(含有多筆波浪資料),不同筆之波浪資料其群性強弱有較大的差異(以 OFELIA 颱風之 $GF1$ 為例,最小值 0.456;最大值 1.586)。對於群性強弱明顯差異的波浪而言,若群波高度參數值僅侷限在一小範圍內,則顯然不是一個理想的參數。因此,群波高度參數的最小、最大值相差較大者,則可當作較佳之群波參數。依此參照表中全部案例之全體統計值發現,參數 $GF1$ 的最小、最大值相差最大,參數 GHR 的最小、最大值相差最小。換言之,在不考慮時間窗寬的影響下, $GF1$ 是理想的群波參數,相較 GHR 則可能不是理想參數。

以上是藉由比較各個颱風案例的群波高度參數平均值,來檢視颱風波浪的群性強弱。另外也依全部案例之全體最大、最小值的相差值,來檢視那一個群波高度參數是較理想的參數。然而一般認為不同的颱風型態(路徑、強度及移動速度等)所產生之波浪也就不同。在此情況下,群波高度參數是否也隨之不同?依群波高度參數所衡量之颱風波浪的群性強弱是否與颱風型態有關?是接下來要探討的問題。

參照第二章的颱風分類方法,將 30 個颱風依路徑型態、強度規模及移動型態加以分類。分類後各群波高度參數之統計值,如表 5-2~表 5-4。依路徑型態分類之結果如表 5-2,由表中之平均值比較發現,不同路徑之群波高度參數值很接近,此表示兩種可能,一是颱風波浪的群性強弱與颱風路徑沒有明顯關連;二是這些群波高度參數對波浪群性無法正確估算。不過這些群波高度參數是不同學者以不同理論觀點所定義,居然全部不適用,令人難以理解。因此,第二種可能似乎不成立。雖然颱風波浪的群性強弱與颱風路徑看似無關,但仔細比較不同路徑的群波高度參數平均值,則發現 $GF1$ 、 G 及 $GF2$ 在路徑 2 的平均值最大,而 GFL 、 GHR 及 GFH 則在路徑 3、6 的平均值最大。此顯示路徑 2、路徑 3 及路徑 6 的波浪群性較其他路徑稍強,此與實際情況相符。因為根據颱風期間花蓮港船舶動態資料,發現這三種路徑的颱風,港內波浪不穩靜的現象也最明顯。依強度規模分類之結果如表 5-3,由表中之平均值比較發現,不同強度之群波高度參數值也

很接近，依此來看颱風波浪的群性強弱與颱風強度看似無關。但仔細比較不同颱風強度的群波高度參數平均值，則發現 $GF1$ 、 G 及 $GF2$ 在近穩中度颱風（代號：S2）的平均值最大，而 GFL 、 GHR 及 GFH 則在近穩強烈颱風（代號：S3）的平均值最大。此顯示近穩中度、強烈颱風的波浪群性較其他颱風強度類型稍強。另外由群波高度參數最大值比較，發現在颱風強度為漸弱（代號：U-）或漸強漸弱（代號：U+-）的情況其最大值為最大。此顯示依本研究所分析之 30 個颱風案例而言，波浪群性最強的波浪資料是發生在颱風強度為漸弱或漸強漸弱的案例。前三個群波高度參數 $GF1$ 、 G 及 $GF2$ 後三個 GFL 、 GHR 及 GFH 受颱風強度的影響，各自分別一致。其原因在於對群波的處理觀點和方法，前三個相似但與後三個則不同，詳細情形可參閱第三章 3-5 節。依移動型態分類之結果如表 5-4，由表中之平均值比較發現，不同移動型態之群波高度參數值也很接近，依此來看颱風波浪的群性強弱與颱風移動型態看似無關。但仔細比較不同颱風移動型態的群波高度參數平均值，則發現在緩行颱風（代號：S）的平均值皆最大。此表示 6 個群波高度參數皆顯示緩行颱風的波浪群性較其他颱風移動類型稍強。

5.4.2 群波長度參數與颱風型態

30 個颱風案例之群波長度參數統計結果如表 5-5。表中列出每個颱風案例之各個群波長度參數的最小值、最大值、平均值及標準差，同時也列出對應的示性波高與週期之最小、大值及平均值。另外也列出全部案例之統計值。由表中的平均值比較發現，不同颱風案例的群波長度參數平均值有些差異，這和群波高度參數的結果不相同（以 G_{j1} 為例，最小者為 DAT 颱風之 1.453；最大者為 RUTH 颱風之 2.028）。若由全體平均值檢視，則同是代表平均連長之群波長度參數 K_{j1} 、 Q_{j1} 、 N_{j1} 及 S_{j1} 間有明顯差異，而代表平均總連長之群波長度參數 K_{j2} 、 Q_{j2} 、 N_{j2} 及 S_{j2} 間也有相似情形，例如 K_{j2} 為 11.0 而 N_{j2} 僅 3.019。換言之，不同之群波長度參數在估算連長上有差異。不過這些群波長度參數中 S_{j1} 及 S_{j2} 是依連長定義，直接由波形紀錄計算求得之平均連長及平均總連長，其他則是由理論求得。因此， S_{j1} 及 S_{j2} 應可視為實

際波連長，其他則為理論連長。由全體平均值比較發現 $K_{j1}=1.456$ ； $S_{j1}=1.422$ ； $K_{j2}=11.0$ ； $S_{j2}=9.832$ ，此顯示 Kimura (1980) 理論所計算之連長與實際連長最接近，這和 5.3 節之分析結果一致。另外 $G_{j1}=1.702$ ； $GLF=13.43$ ； $\bar{T}_{SIWEH}=4.926$ 分別和 S_{j1} 及 S_{j2} 相較，則顯示 G_{j1} 較接近平均連長， GLF 則較接近平均總連長（含較大之特異值計算結果）， $\bar{T}_{SIWEH}$ 則介於平均連長與平均總連長之間。比較各群波長度參數平均值在各案例之最大值發現並不一致，如 S_{j1} 及 S_{j2} 皆發生在 HERB 颱風， K_{j1} 及 K_{j2} 則分別發生在 AMY 及 AMBER 颱風。若群波長度參數愈大表示群性愈強的話，則各群波長度參數在衡量波浪群性強弱上並不一致。此和 5-2-3 節所述相同，若以群波高度參數作為衡量波浪群性的強弱，則群性強的波浪其群波長度參數不一定較大，但較大之群波長度參數其波浪群性則會較強些。綜合而言，由於 K_{j1} 及 K_{j2} 與實際連長值最接近，因此是較理想的群波長度參數。換言之，也是衡量波浪群性強弱的較佳參數。

以上是藉由比較各個颱風案例的群波長度參數平均值，來檢視颱風波浪的波連長度變化情形。另外也依全部案例之全體平均值，來檢視那一個群波長度參數是較理想的參數。在不同的颱風型態（路徑、強度及移動速度等）下，群波長度參數是否也隨之不同？依群波長度參數所衡量之颱風波浪的群性強弱是否與颱風型態有關？是接下來要探討的問題。

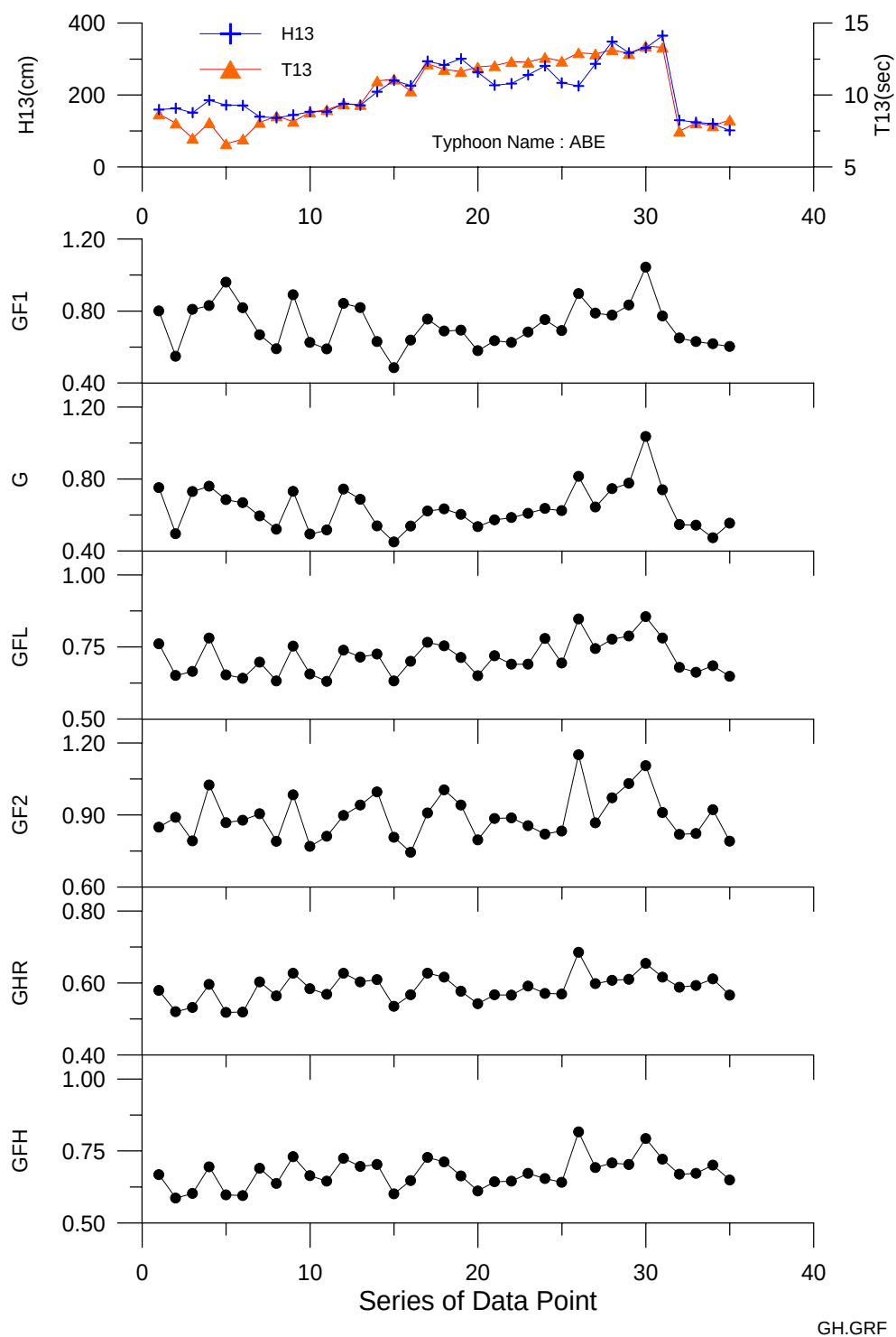
同樣參照第二章的颱風分類方法，各群波高度參數之統計值，如表 5-6~表 5-8。依路徑型態分類之結果如表 5-6，由表中之平均值比較發現，不同路徑之群波長度參數值很接近，此表示群波長度參數與颱風路徑沒有明顯關連。換言之，不同路徑的颱風波浪其群波連長沒有明顯差異。不過仔細比較，發現在路徑 2、路徑 3 及路徑 6 的波連連長稍大些，即波浪群性較其他路徑稍強，此與群波高度參數的情況相同。依強度規模分類之結果如表 5-7，由表中之平均值比較發現，不同強度之群波高度參數值也很接近，依此來看颱風波浪的波連長度與颱風強度看似無關。但仔細比較不同颱風強度的群波長度參數平均值，則發現在近穩型颱風時，群波參長度參數除 N_{j1} 、 N_{j2} 及 Q_{j1} 外大致隨颱風強度愈強其參數值愈大。此顯示近穩中度、強烈颱風的波浪

波連長度或群性較其他颱風強度類型稍大些或稍強些。不過值得注意的是，示性波高及週期也是隨颱風強度愈強而愈大，此是否意謂波高或週期愈大時波浪群性愈強？另外由群波長度參數最大值比較，發現在颱風強度為漸弱（代號：U-）或漸強漸弱（代號：U+-）的情況其最大值為最大。因此最大波連長或波浪群性最強的波浪資料是發生在颱風強度為漸弱或漸強漸弱的案例。這和群波高度參數有相同結果。依移動型態分類之結果如表 5-8，由表中之平均值比較發現，不同移動型態之群波長度參數值也很接近，依此來看颱風波浪的波連連長或群性強弱與颱風移動型態看似無關。但仔細比較不同颱風移動型態的群波長度參數平均值，發現除 N_{j1} 、 N_{j2} 及 Q_{j1} 外，在緩行颱風（代號：S）的平均值皆最大，速行颱風（代號：F）次之，滯留颱風（代號：B）再次之。此顯示緩行颱風的波浪波連長度或群性較其他颱風移動類型稍大些或稍強些。

5.5 不同颱風型態下之波譜形狀參數

本次研究所採用之三種波譜形狀參數統計值如表 5-9。表中列出每個颱風案例之各個形狀參數的最小值、最大值、平均值及標準差。另外也列出全部案例之統計值。由表中發現各案例之平均值有些差異，例如峰度參數 QP 平均值最大發生在 BOBBIE 颱風為 4.147；最小發生在 DAT 颱風為 2.416，尖度參數 QE 同樣發生在 BOBBIE 與 DAT 颱風分別為 5.094 與 3.150，而窄度參數 $Hig-V$ 則發生在 ED 與 ELSIE 颱風分別為 0.590 與 0.215。若考查各參數之最小、最大值，則峰度參數 QP 分佈在 1.381 至 10.90 之間；峰度參數 QE 分佈在 1.789 至 14.16 之間；窄度參數 $Hig-V$ 分佈在 0.181 至 0.885 之間，此顯示本研究所分析之颱風波浪其波譜形狀參數有明顯差異。其中峰度參數及尖度參數兩者在數值大小及變化趨勢上較相似。不過由最小、最大值來看兩參數之可能最小值應大於 1，但可能最大值則似乎無法確定，此造成使用上之不便。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。由表中峰度參數平均值發現皆大於 2，此顯示颱風波浪中含有不可忽略的湧浪成分。

同樣參照第二章的颱風分類方法，各波譜形狀參數之統計值，如表 5-10~表 5-12。依路徑型態分類之結果如表 5-10，由表中之平均值比較發現其差異不大，此顯示不同路徑之颱風波浪其波譜形狀差異不大。但仔細比較則發現，峰度參數 QP 在路徑 2；尖度參數 QE 在路徑 3；窄度參數 $Hig-V$ 在路徑 1 其平均值稍大些。依強度規模分類之結果如表 5-11，由表中之平均值比較發現其差異不大，此顯示不同強度規模之颱風波浪其波譜形狀差異也不大。但仔細比較則發現，各波譜形狀參數在近穩中度颱風之平均值稍大些。依移動型態分類之結果如表 5-12，由表中之平均值比較發現其差異不大，此顯示不同移動型態之颱風波浪其波譜形狀差異也不大。但仔細比較則發現，峰度參數及尖度參數在緩行颱風之平均值最大，速行颱風次之，滯留颱風再次之。此與群波長度參數之分析結果相同。



GH.GRF

圖 5-1 示性波高、週期與群波參數變化圖（ABE 颱風）

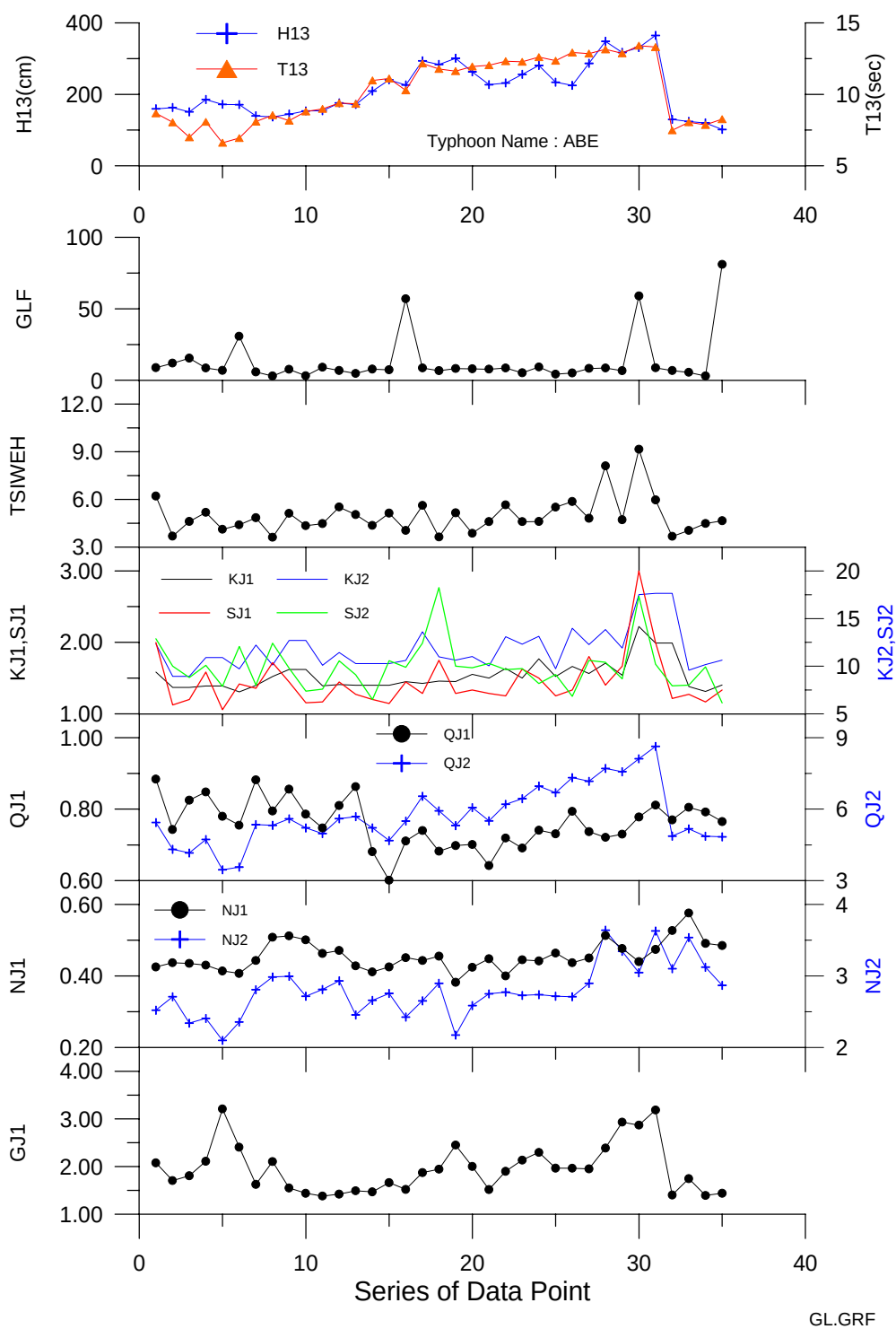


圖 5-1（續）示性波高、週期與群波參數變化圖（ABE 颱風）

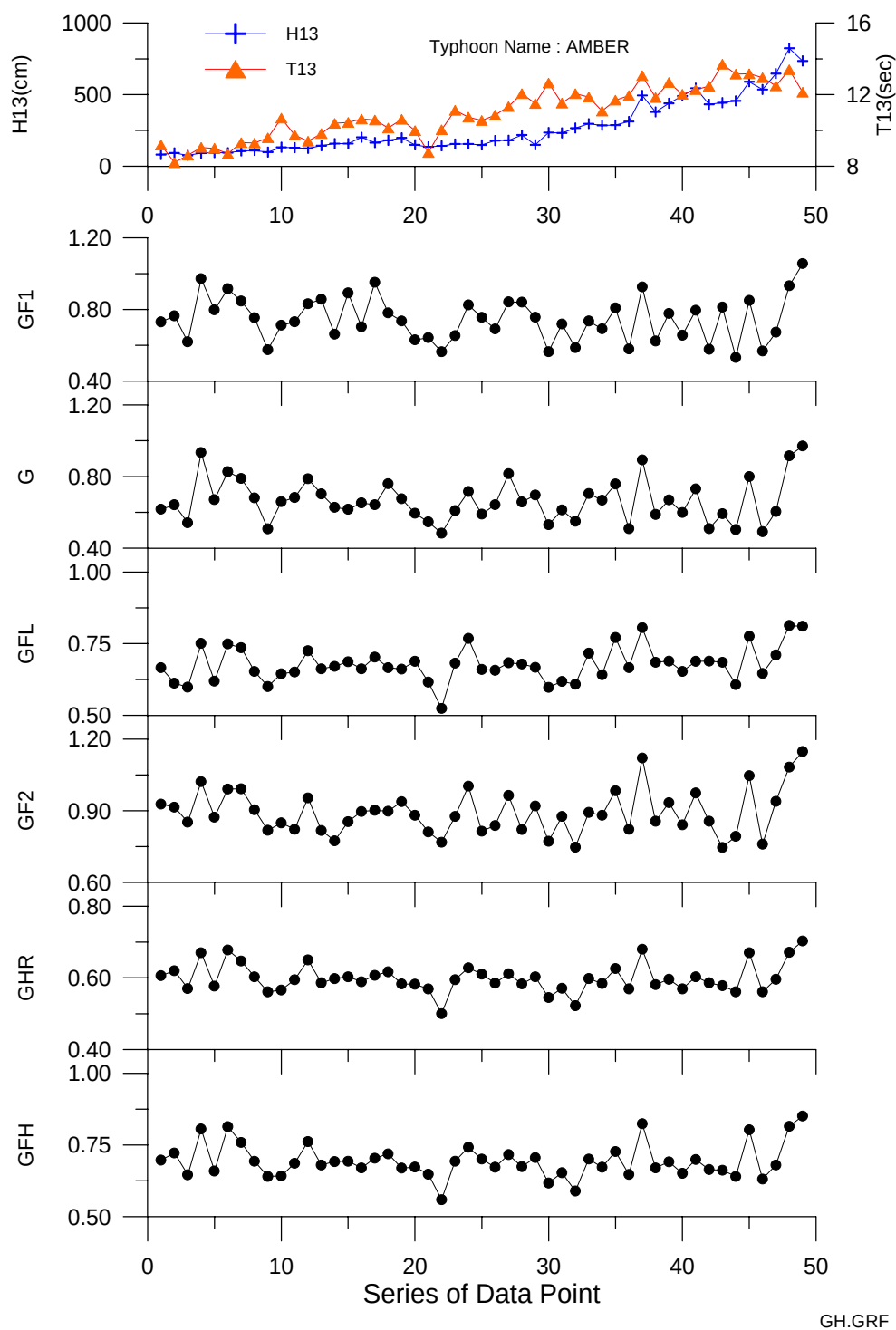


圖 5-2 示性波高、週期與群波參數變化圖（AMBER 颱風）

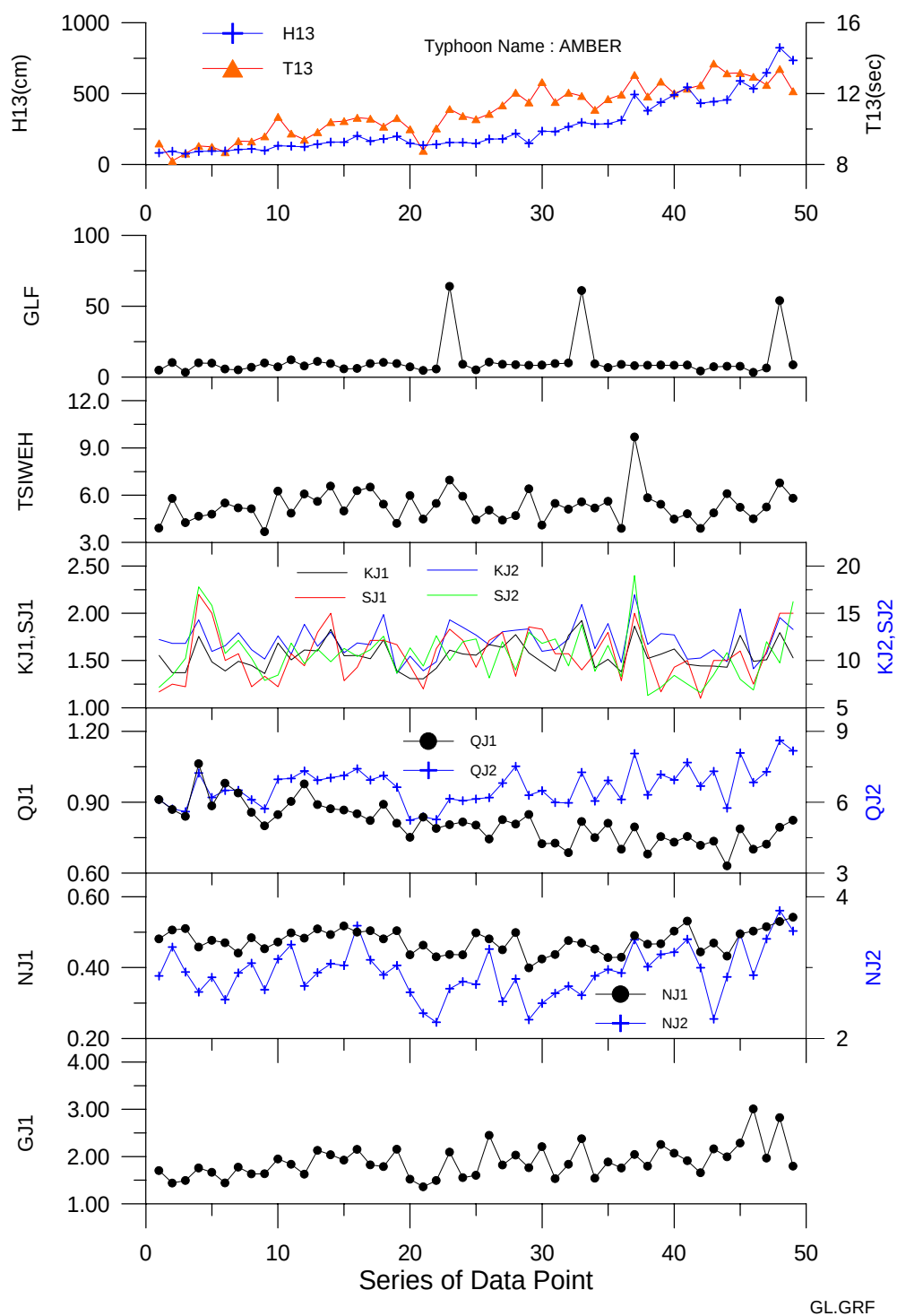
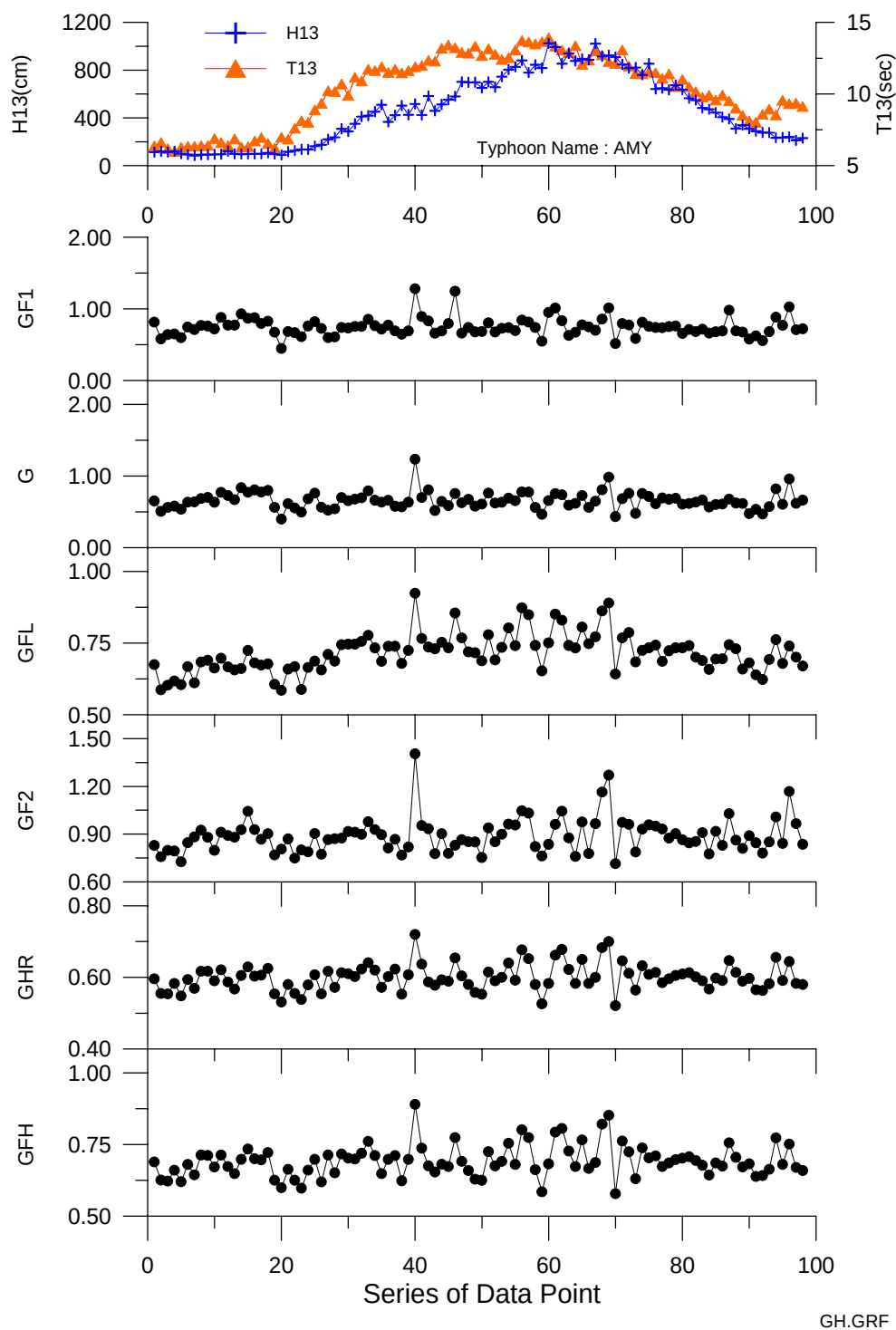


圖 5-2（續）示性波高、週期與群波參數變化圖（AMBER 颱風）



GH.GRF

圖 5-3 示性波高、週期與群波參數變化圖（AMY 颱風）

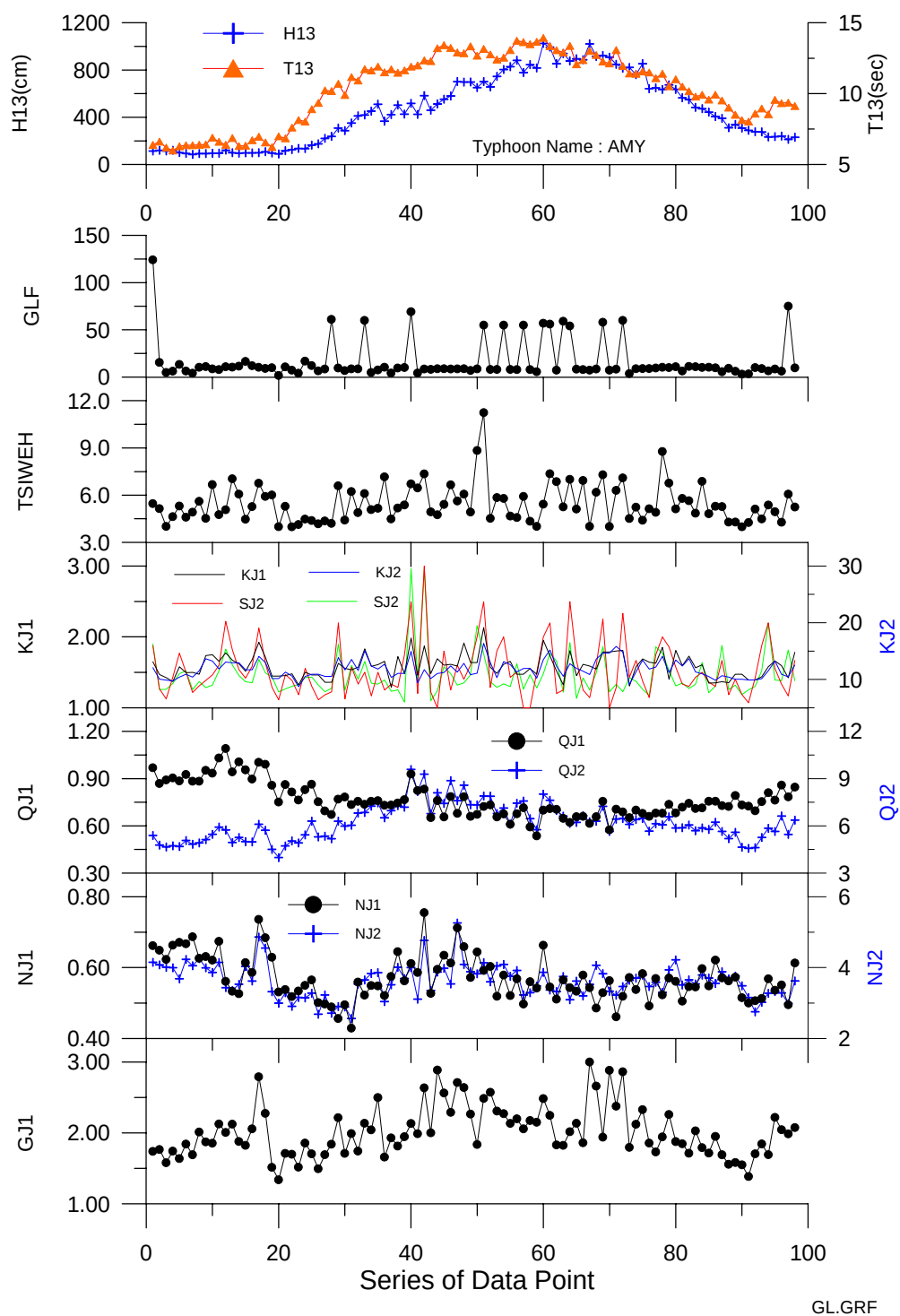


圖 5-3 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (AMY 颱風)

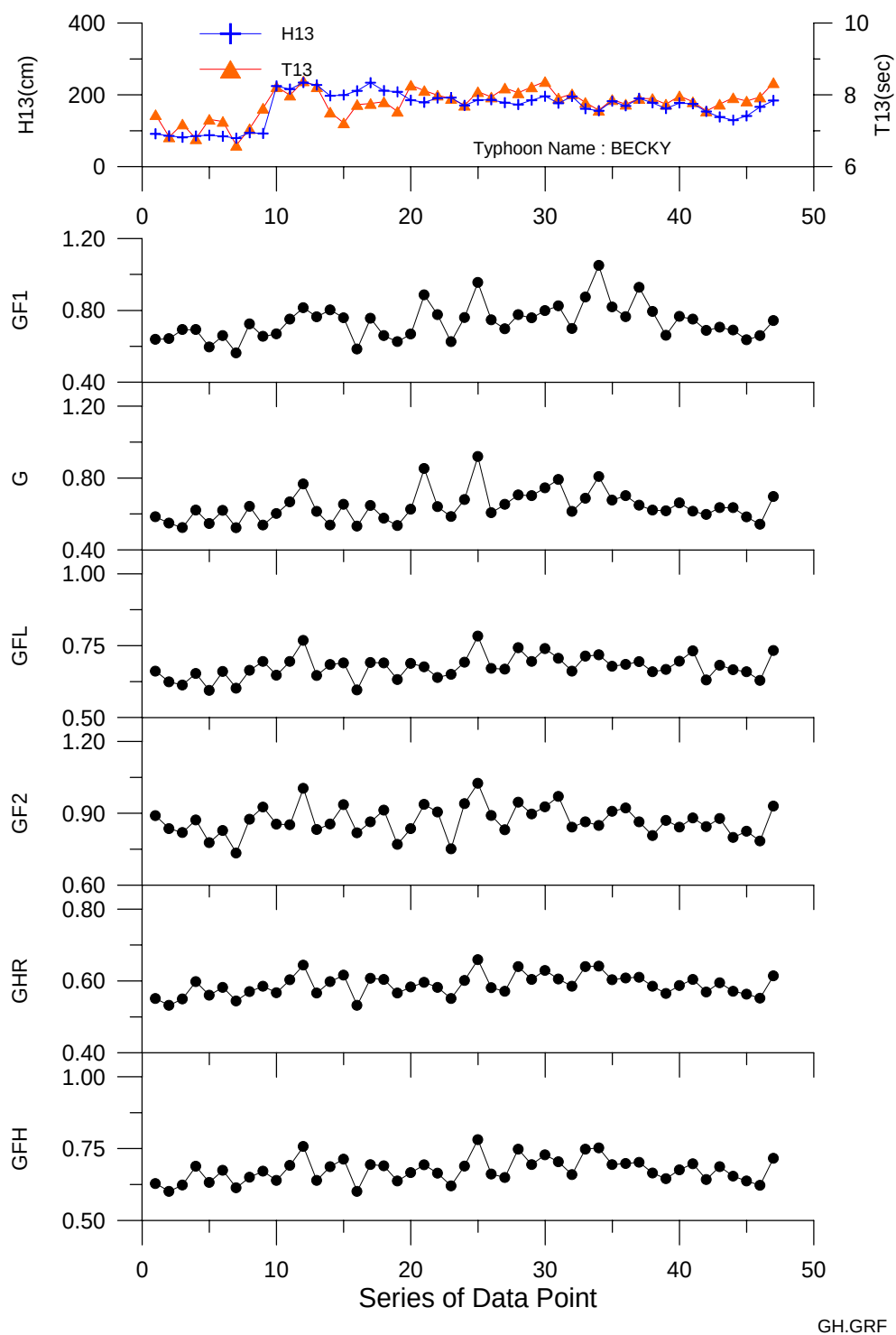


圖 5-4 示性波高、週期與群波參數變化圖 (BECKY 颱風)

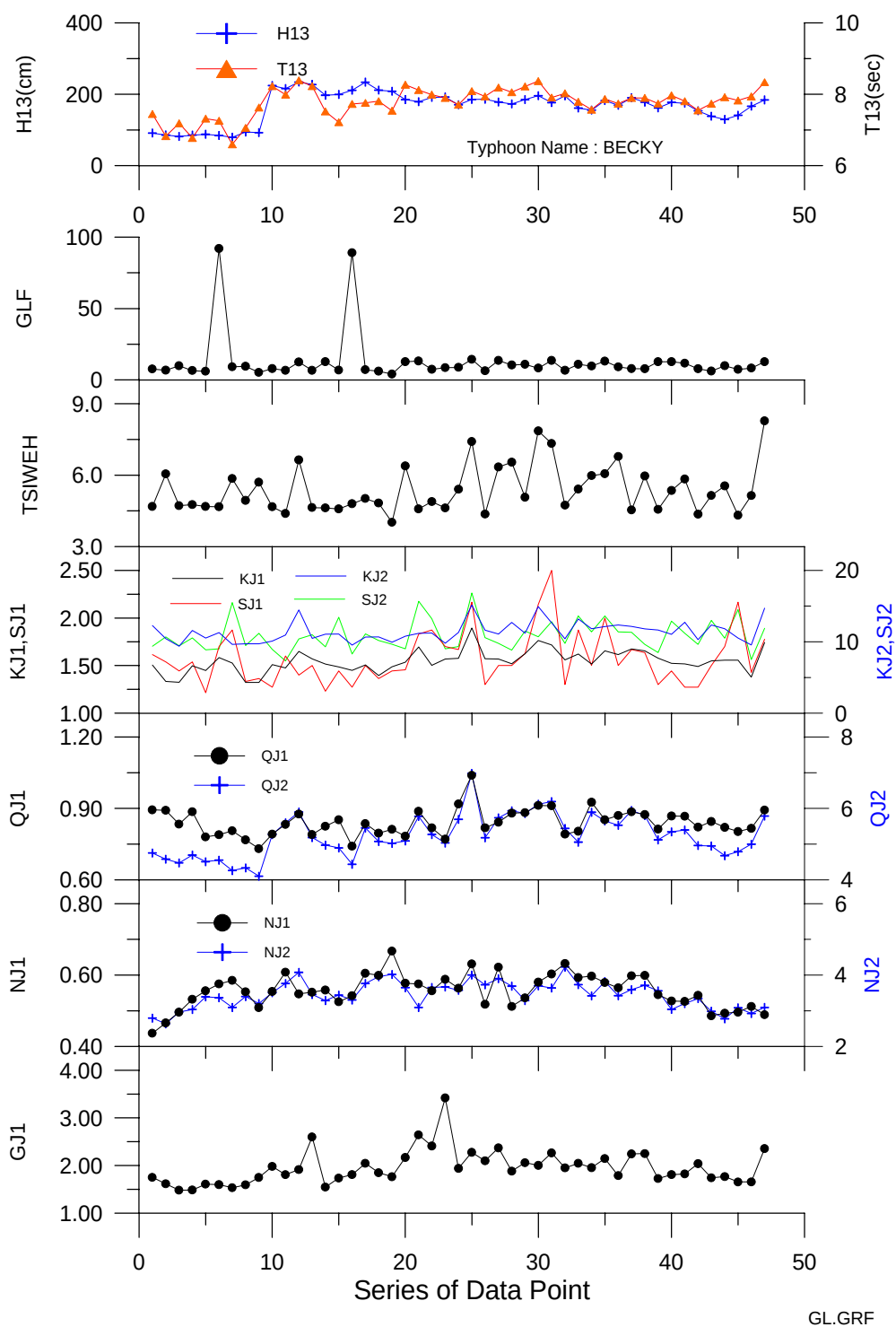


圖 5-4 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (BECKY 颱風)

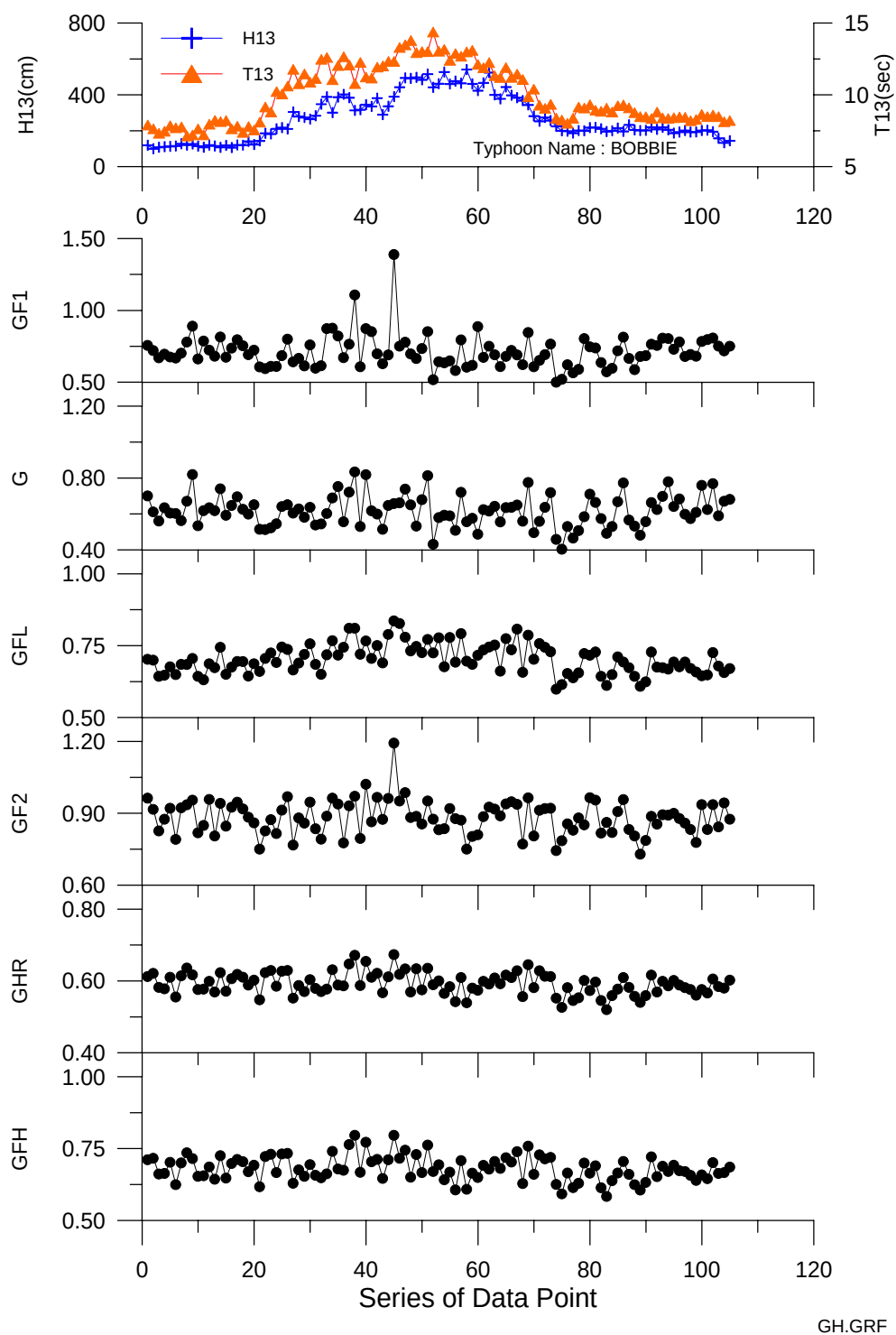


圖 5-5 示性波高、週期與群波參數變化圖（BOBBIE 颱風）

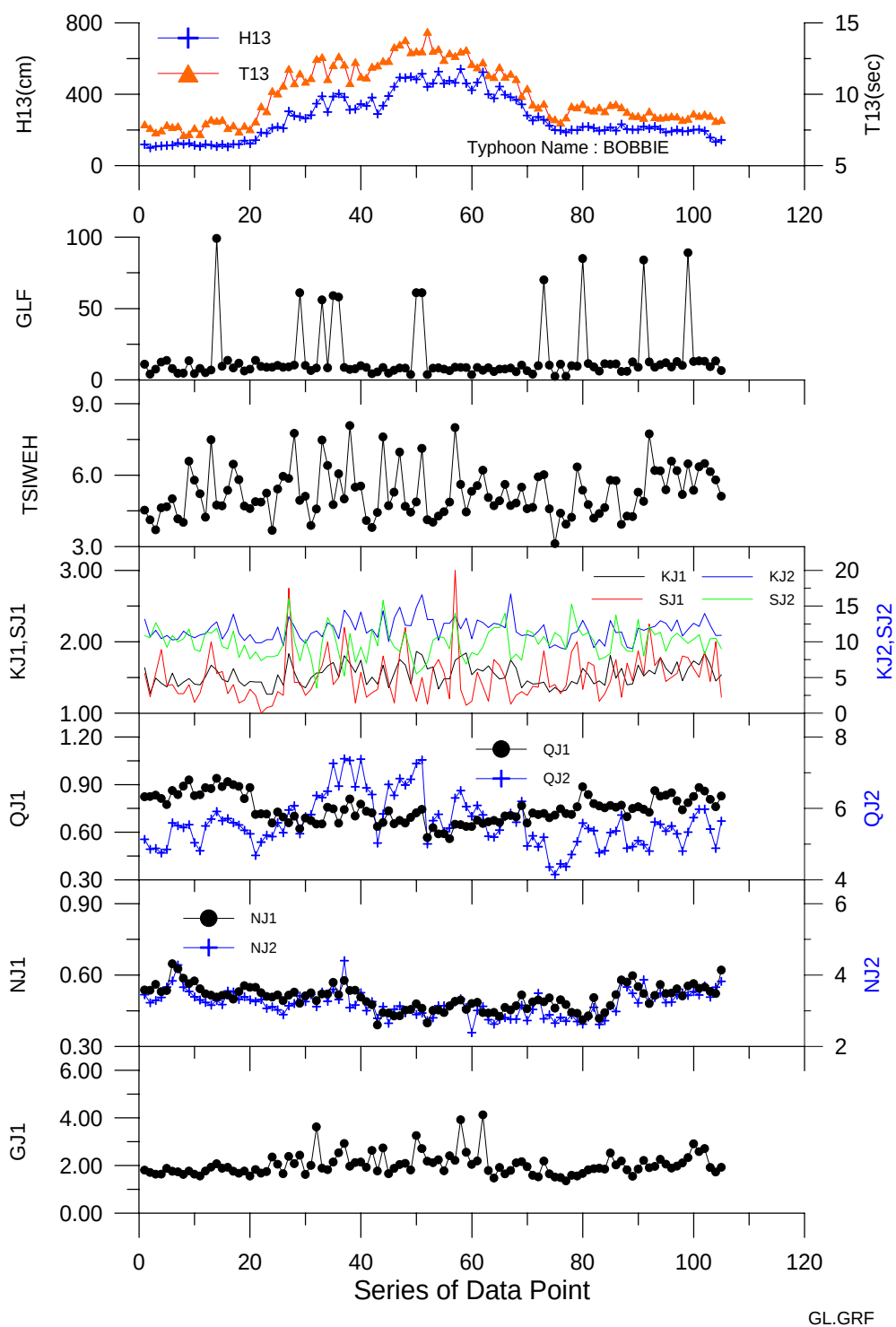


圖 5-5（續）示性波高、週期與群波參數變化圖（BOBBIE 颱風）

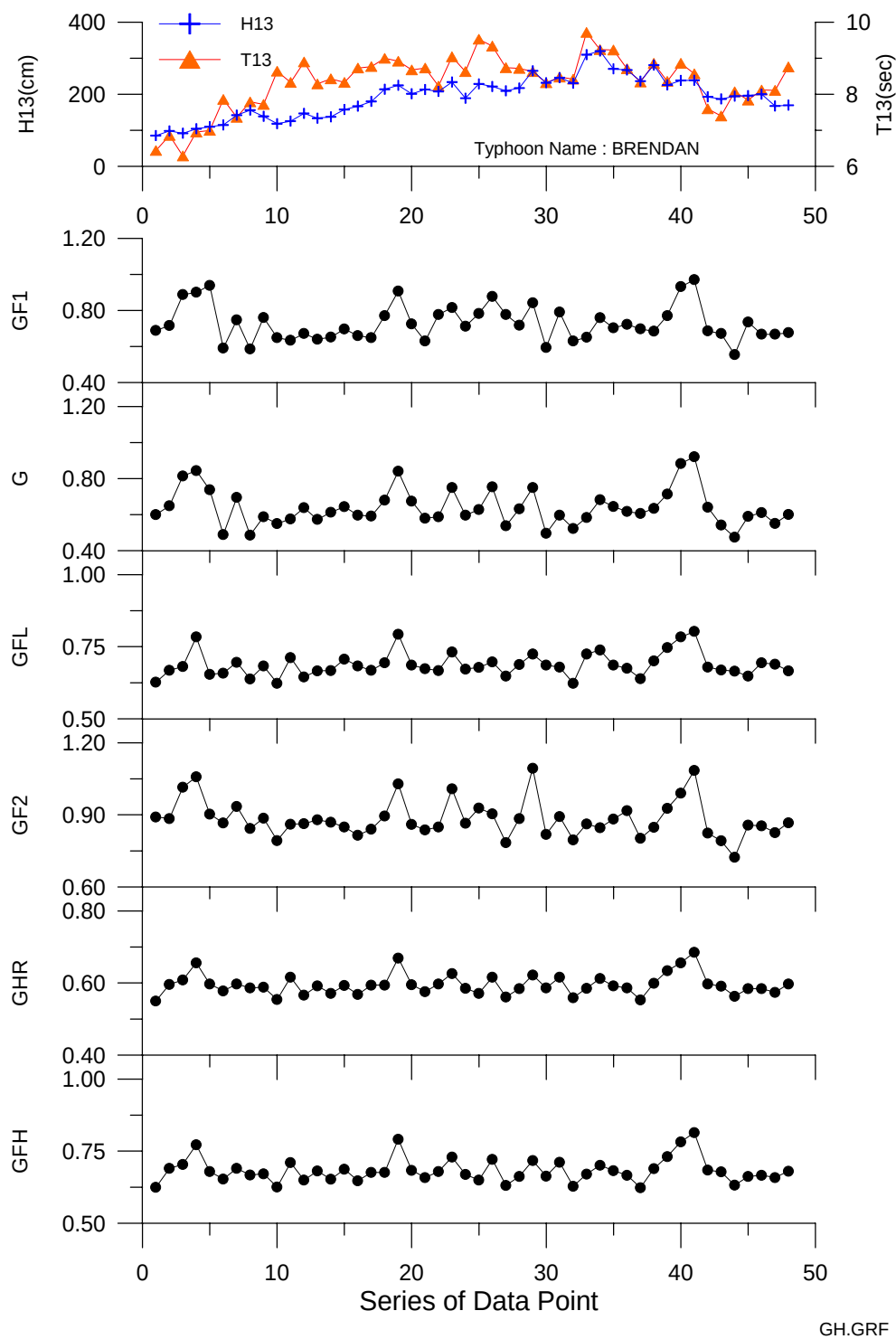


圖 5-6 示性波高、週期與群波參數變化圖（BRENDAN 颱風）

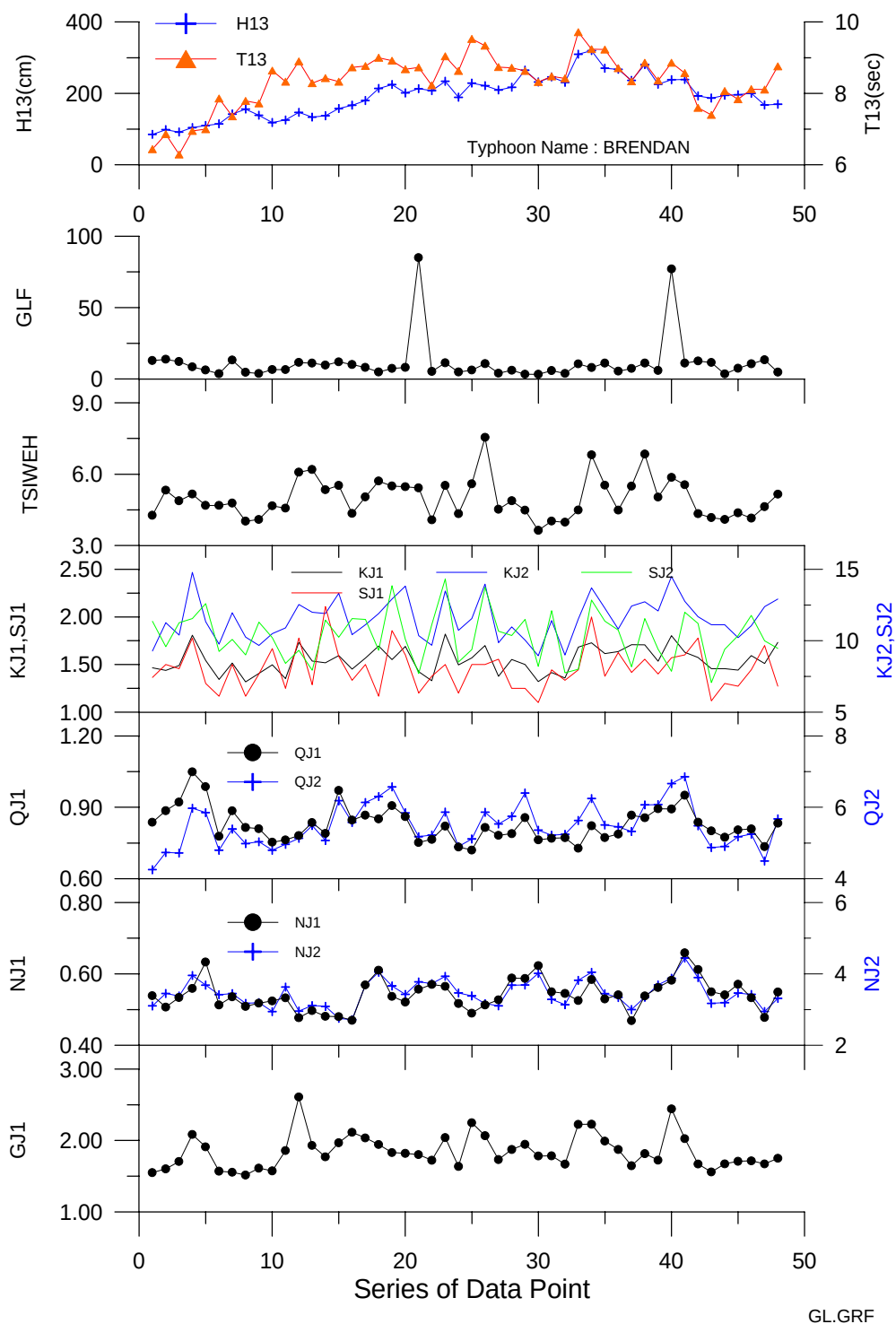


圖 5-6（續）示性波高、週期與群波參數變化圖（BRENDAN 颱風）

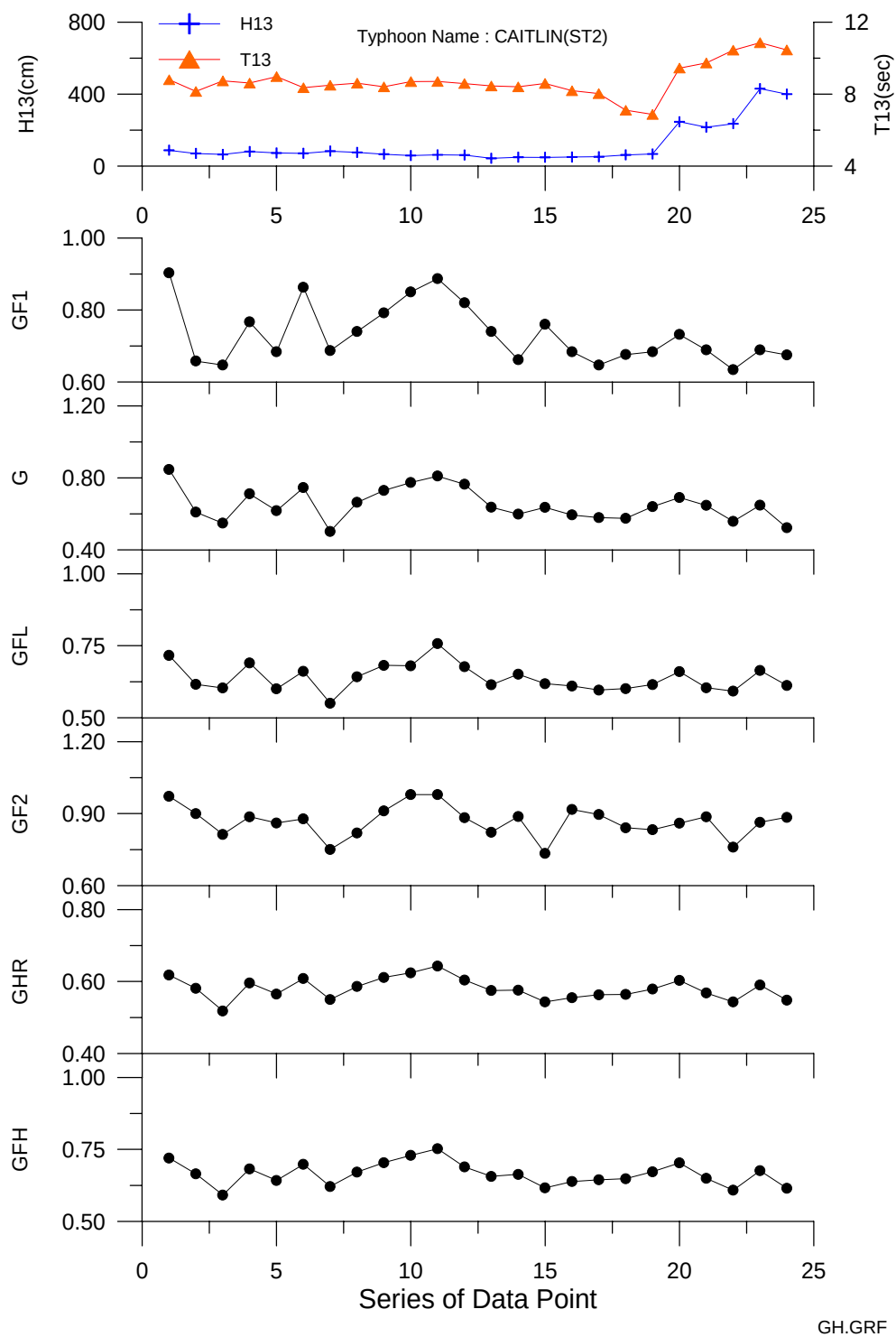


圖 5-7 示性波高、週期與群波參數變化圖 (CAITLIN 颱風)

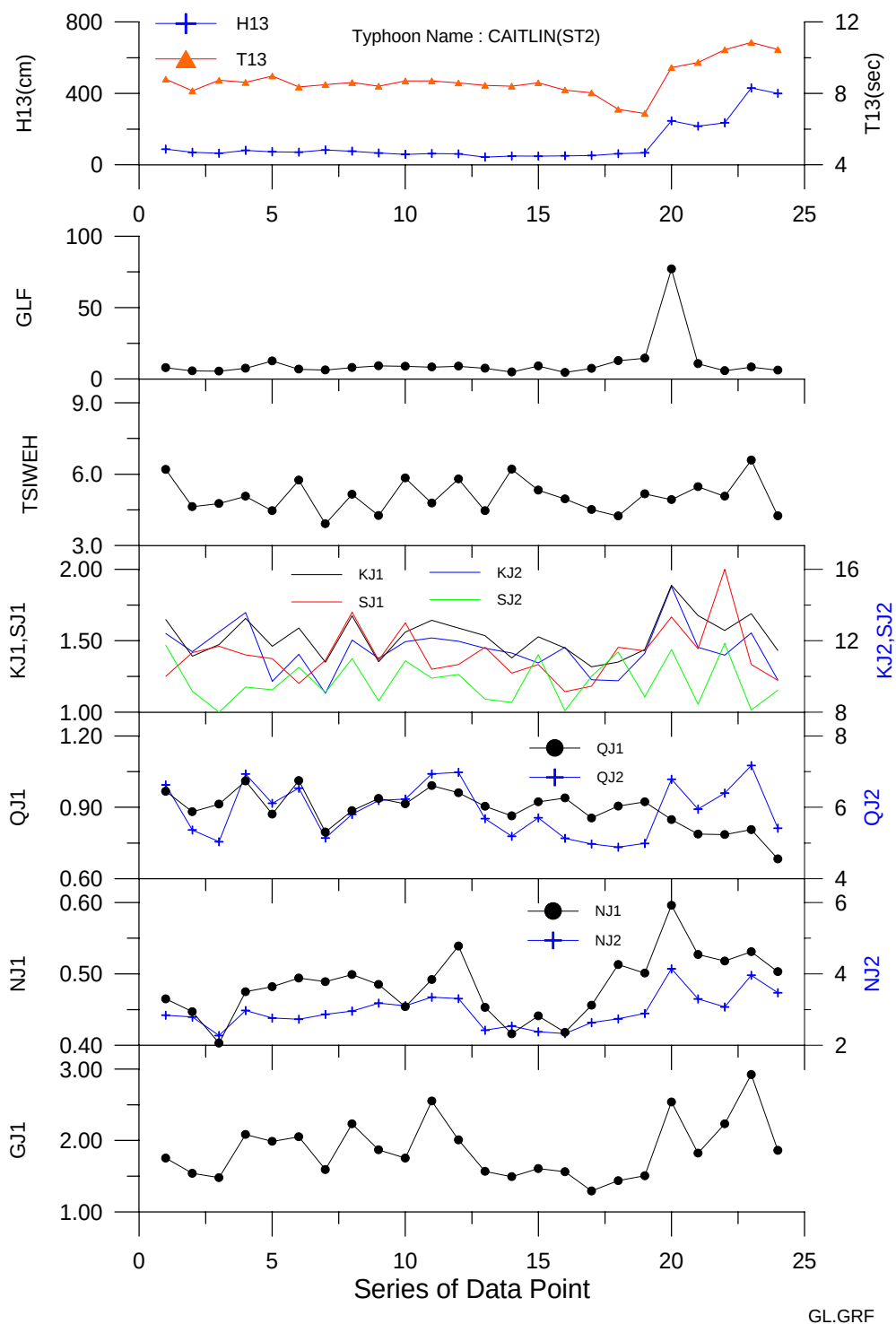


圖 5-7（續）示性波高、週期與群波參數變化圖（CAITLIN 颱風）

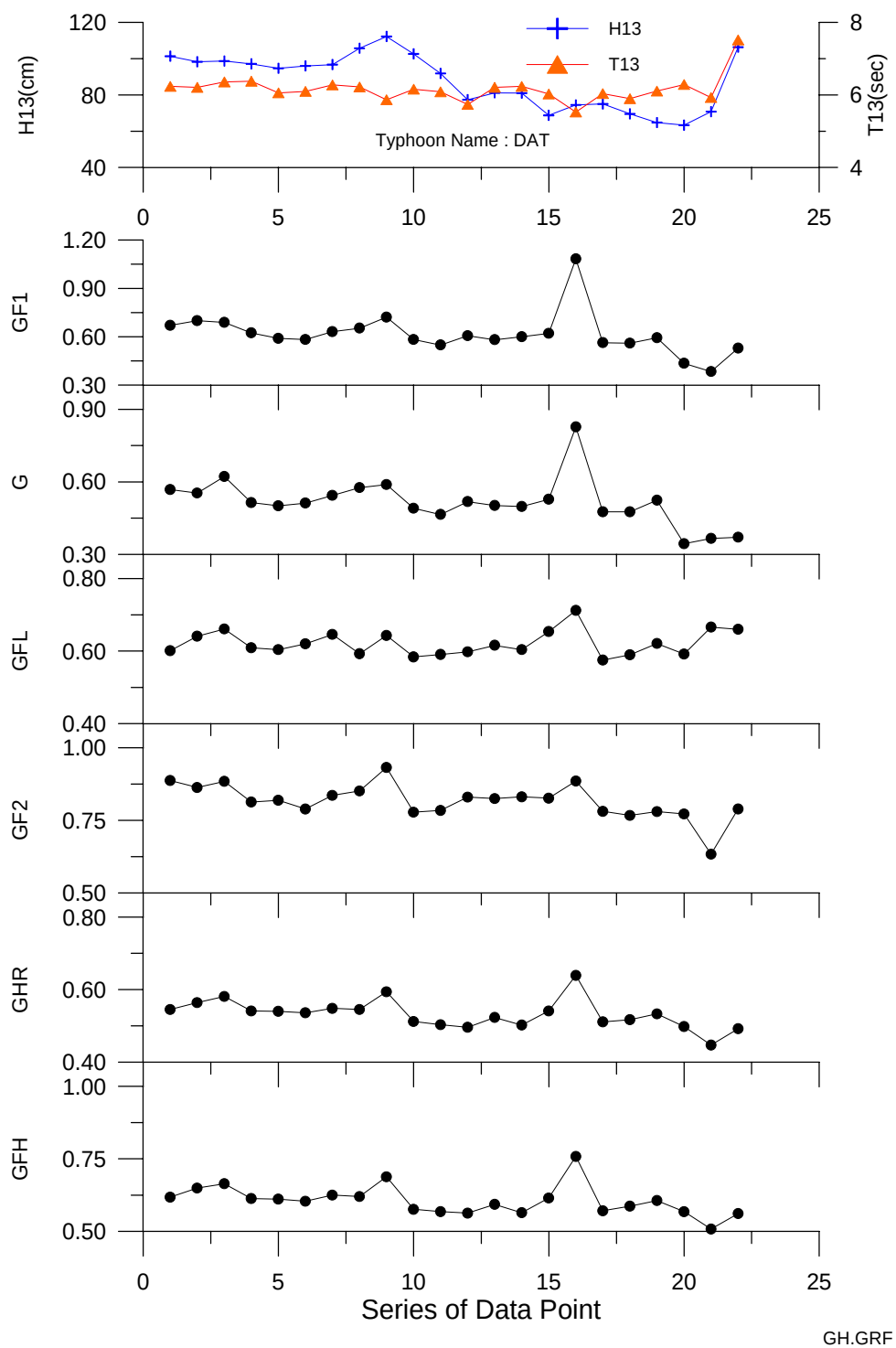


圖 5-8 示性波高、週期與群波參數變化圖 (DAT 颱風)

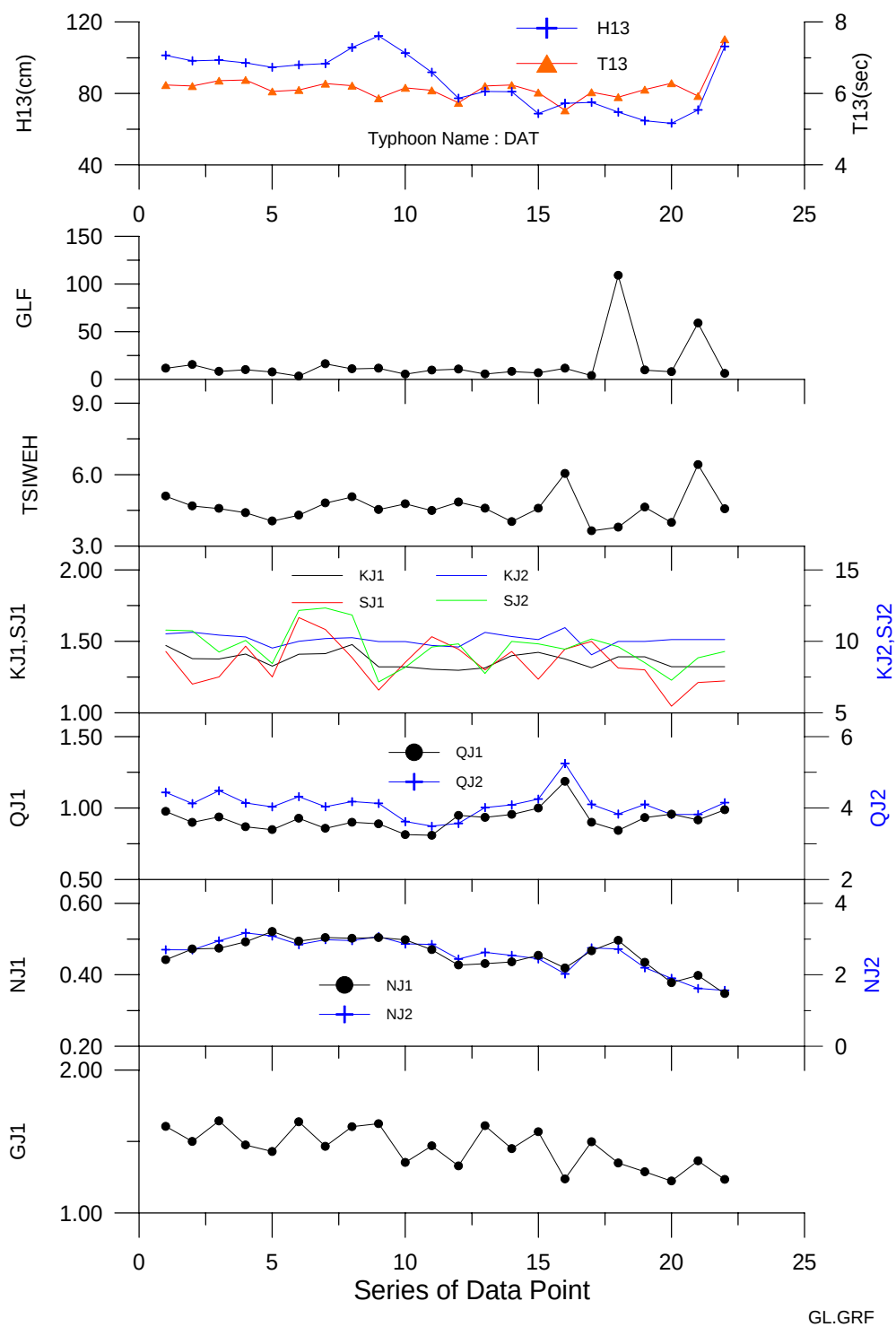


圖 5-8 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (DAT 颱風)

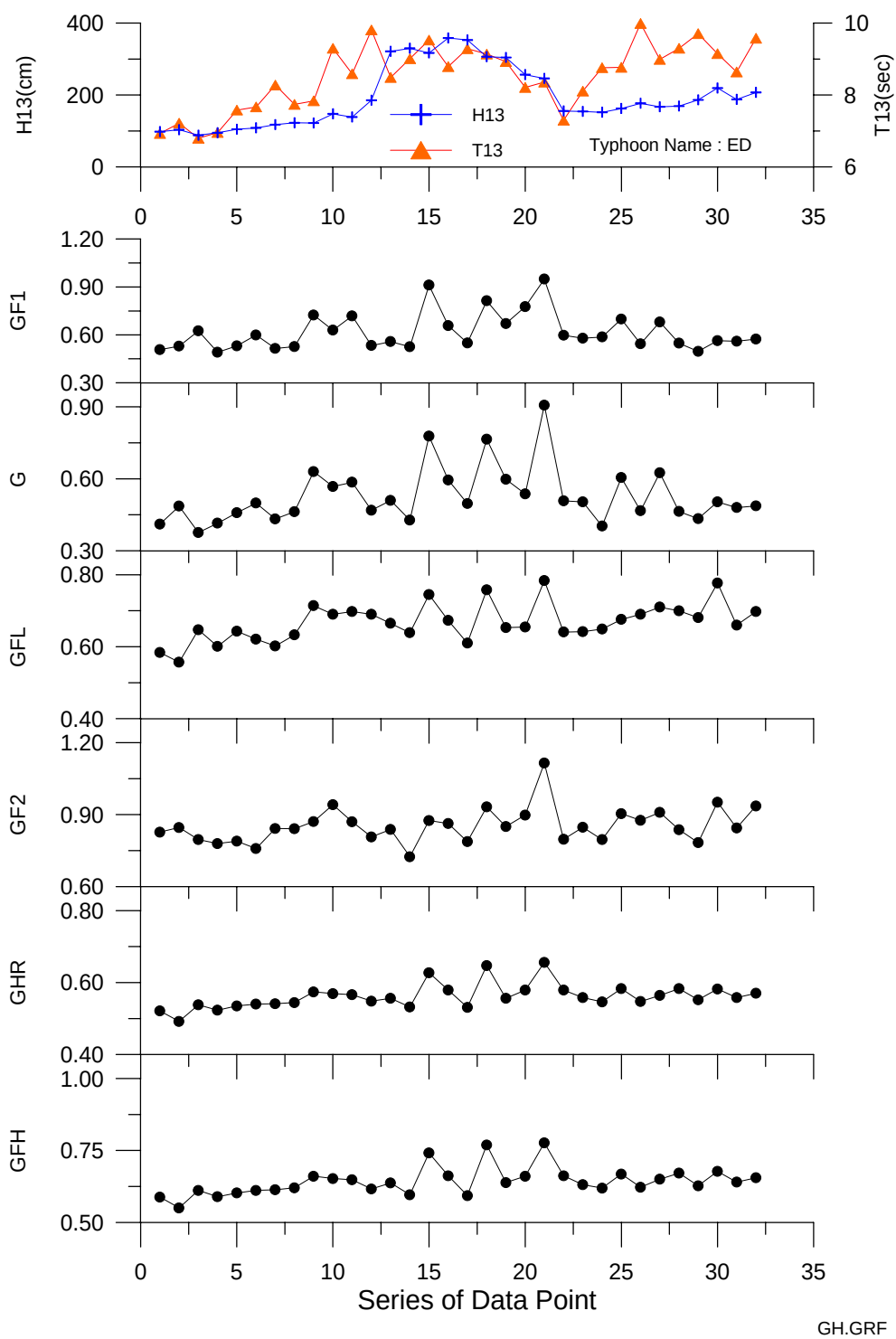


圖 5-9 示性波高、週期與群波參數變化圖（ED 颱風）

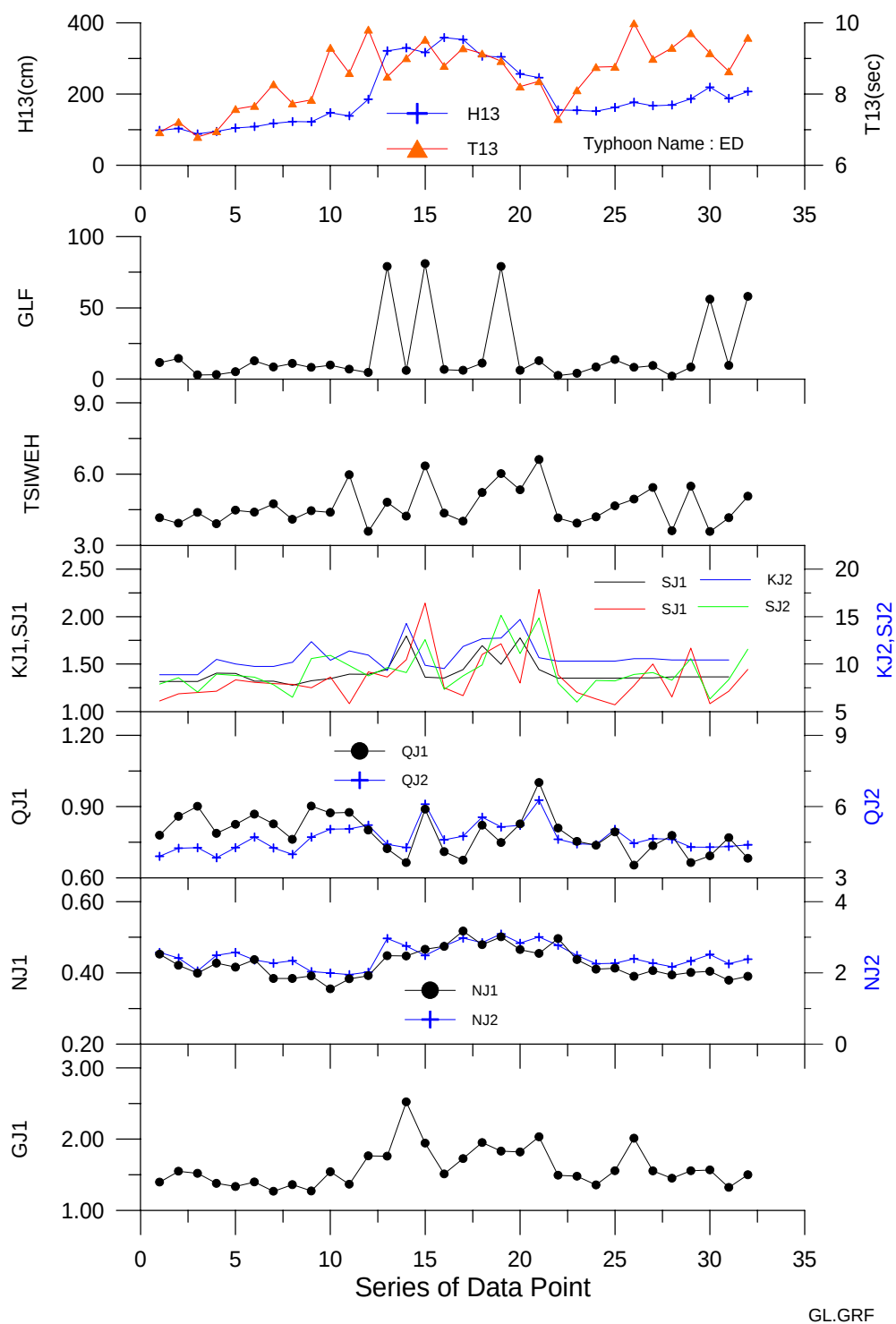


圖 5-9 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ED 颱風)

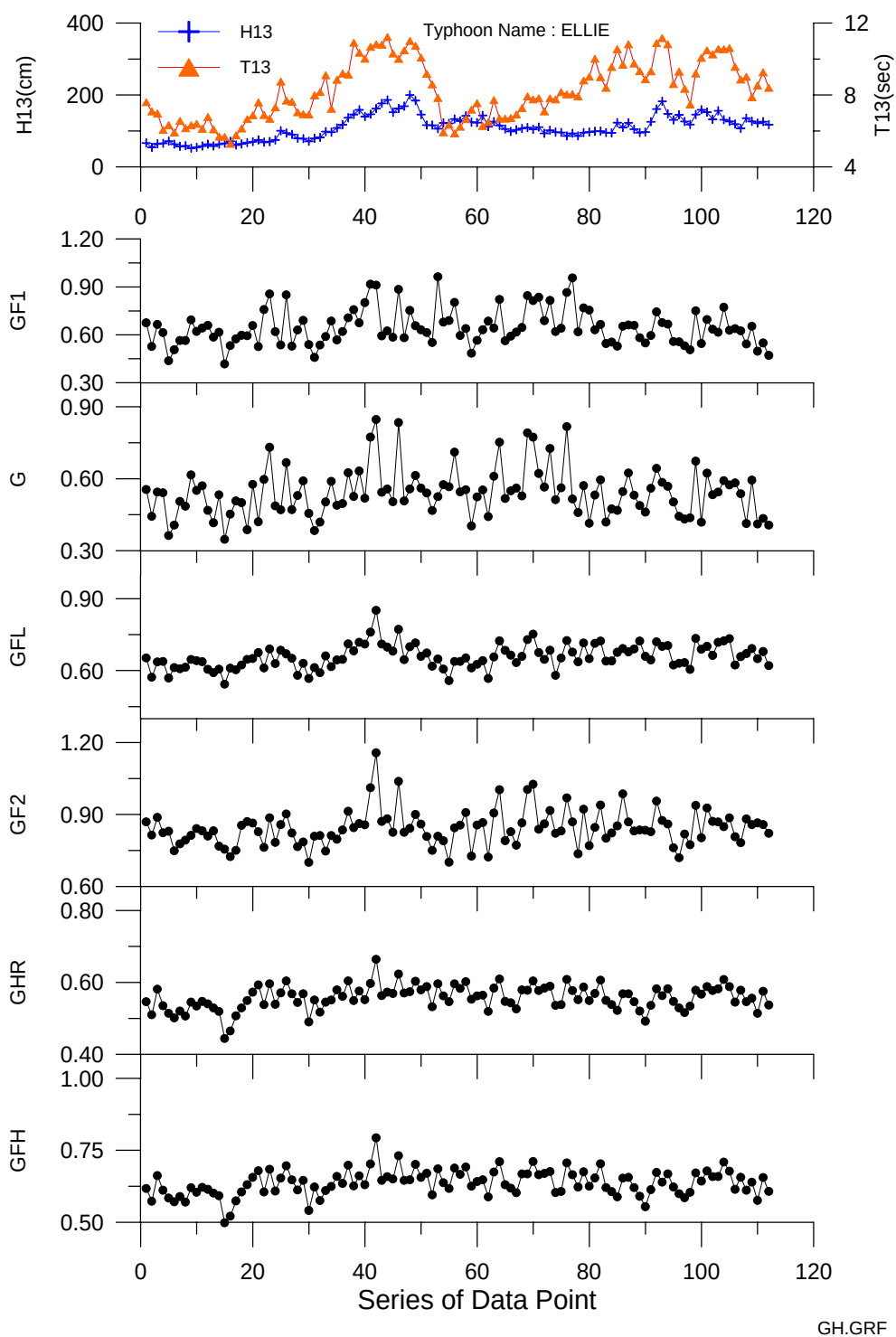


圖 5-10 示性波高、週期與群波參數變化圖（ELLIE 颱風）

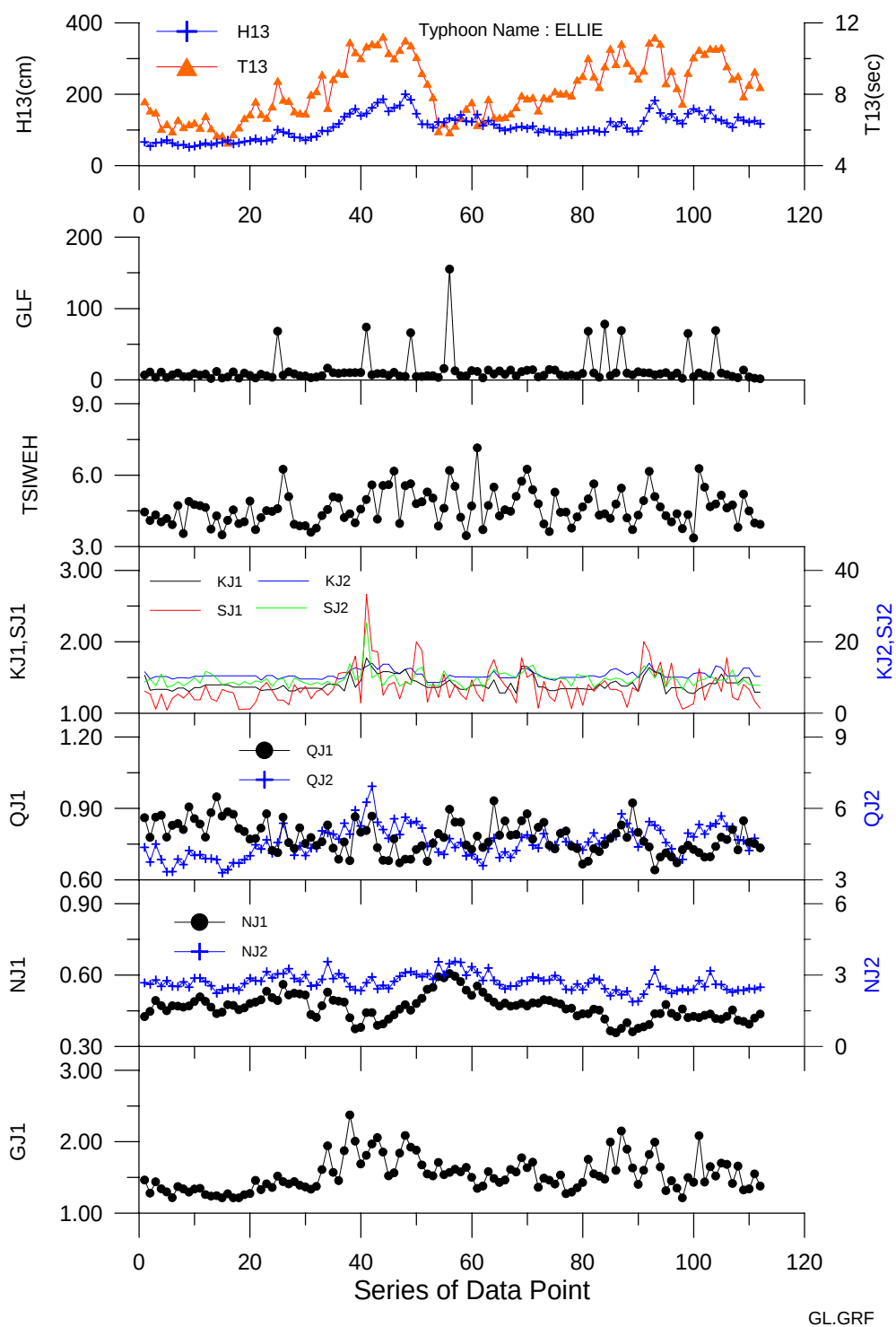


圖 5-10 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ELLIE 颱風)

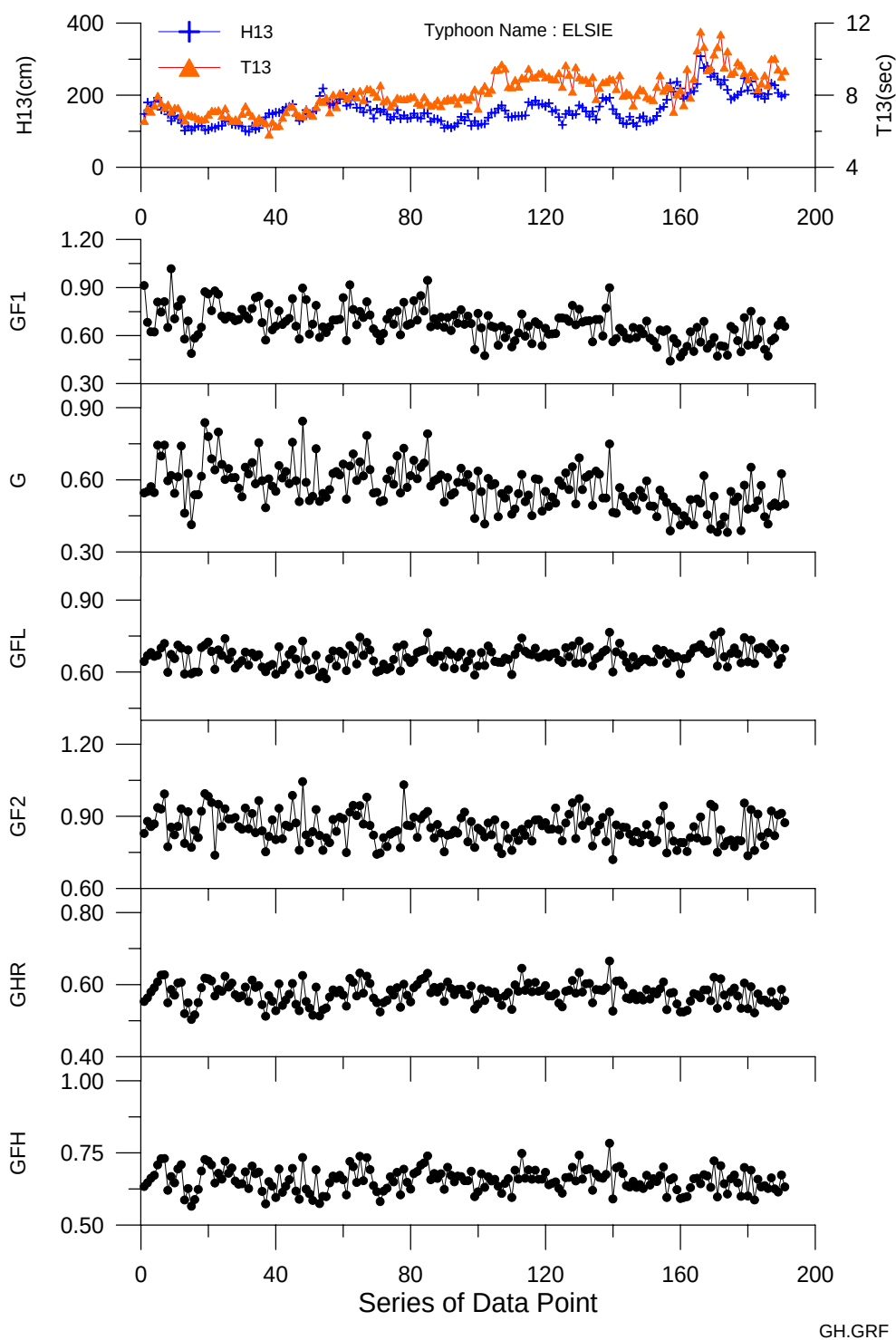


圖 5-11 示性波高、週期與群波參數變化圖（ELSIE 颱風）

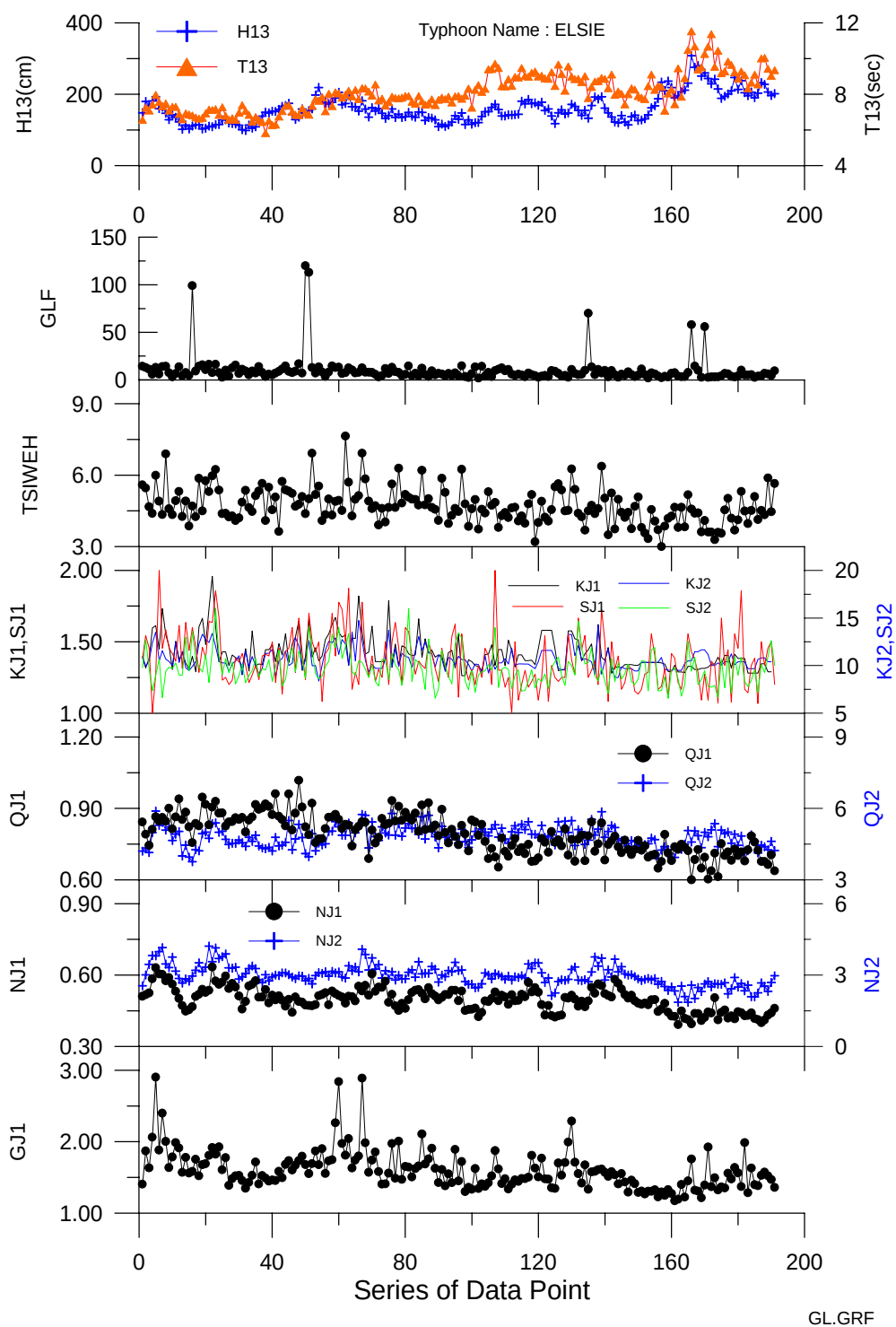


圖 5-11 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ELSIE 颱風)

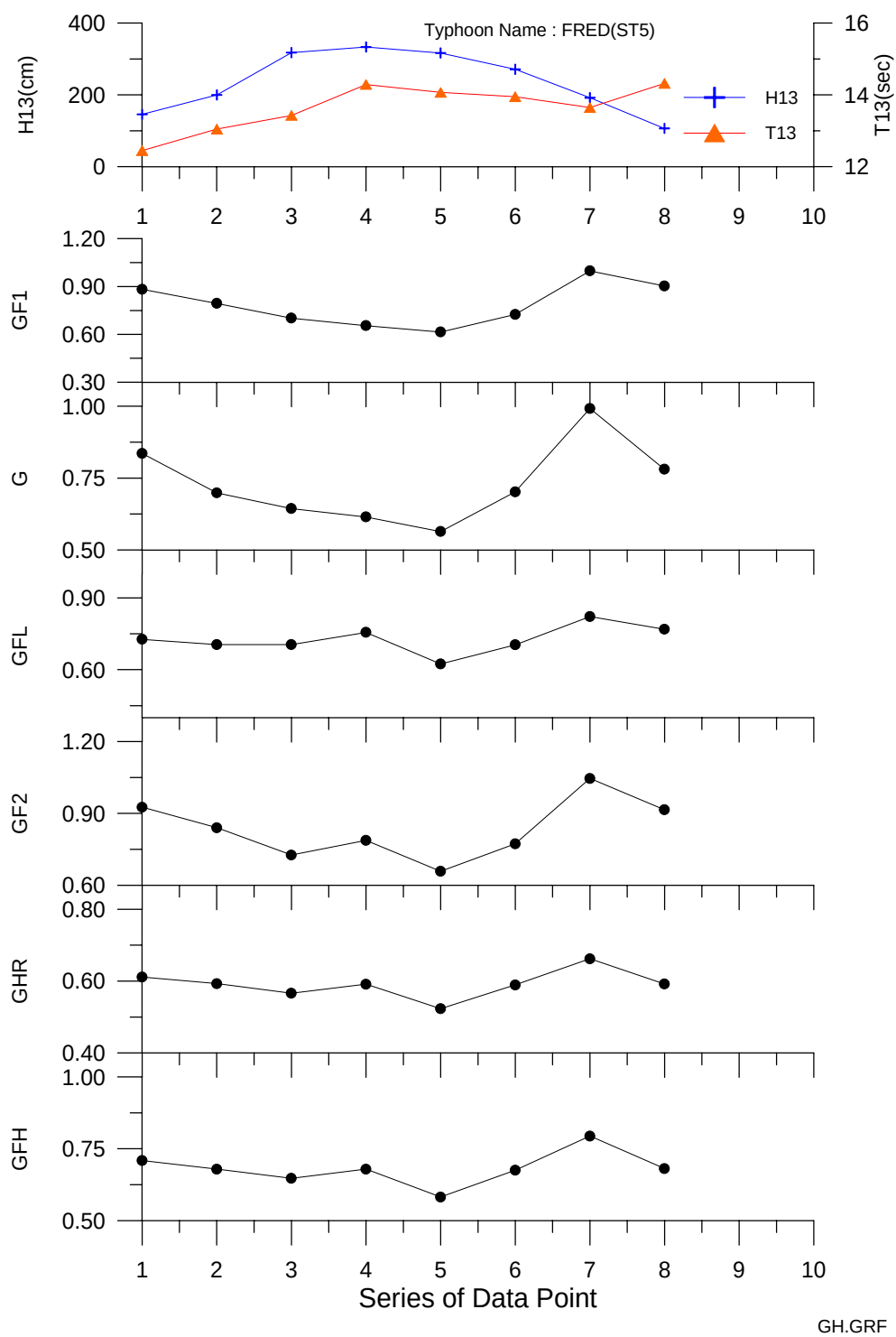


圖 5-12 示性波高、週期與群波參數變化圖 (FRED 颱風)

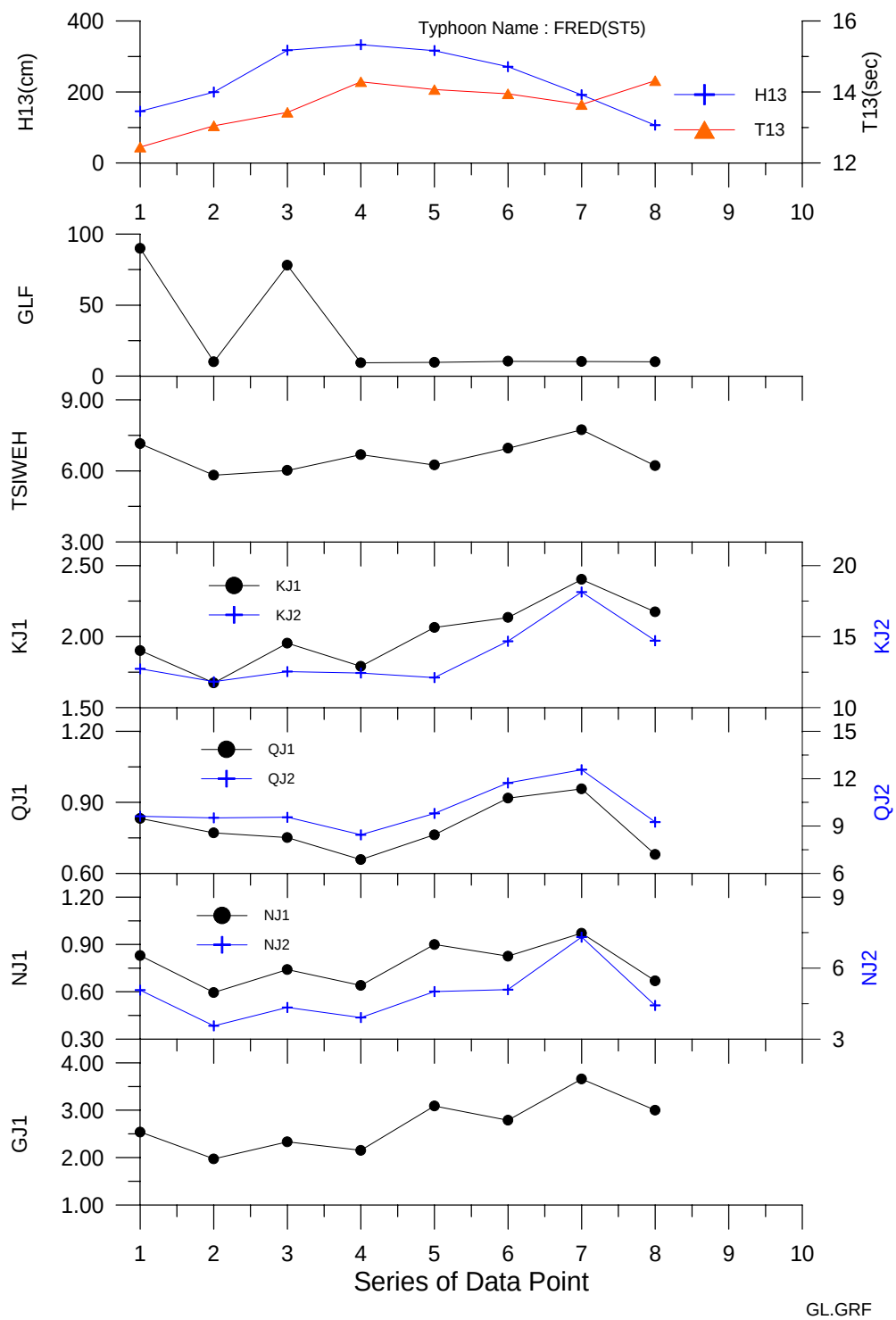


圖 5-12 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (FRED 颱風)

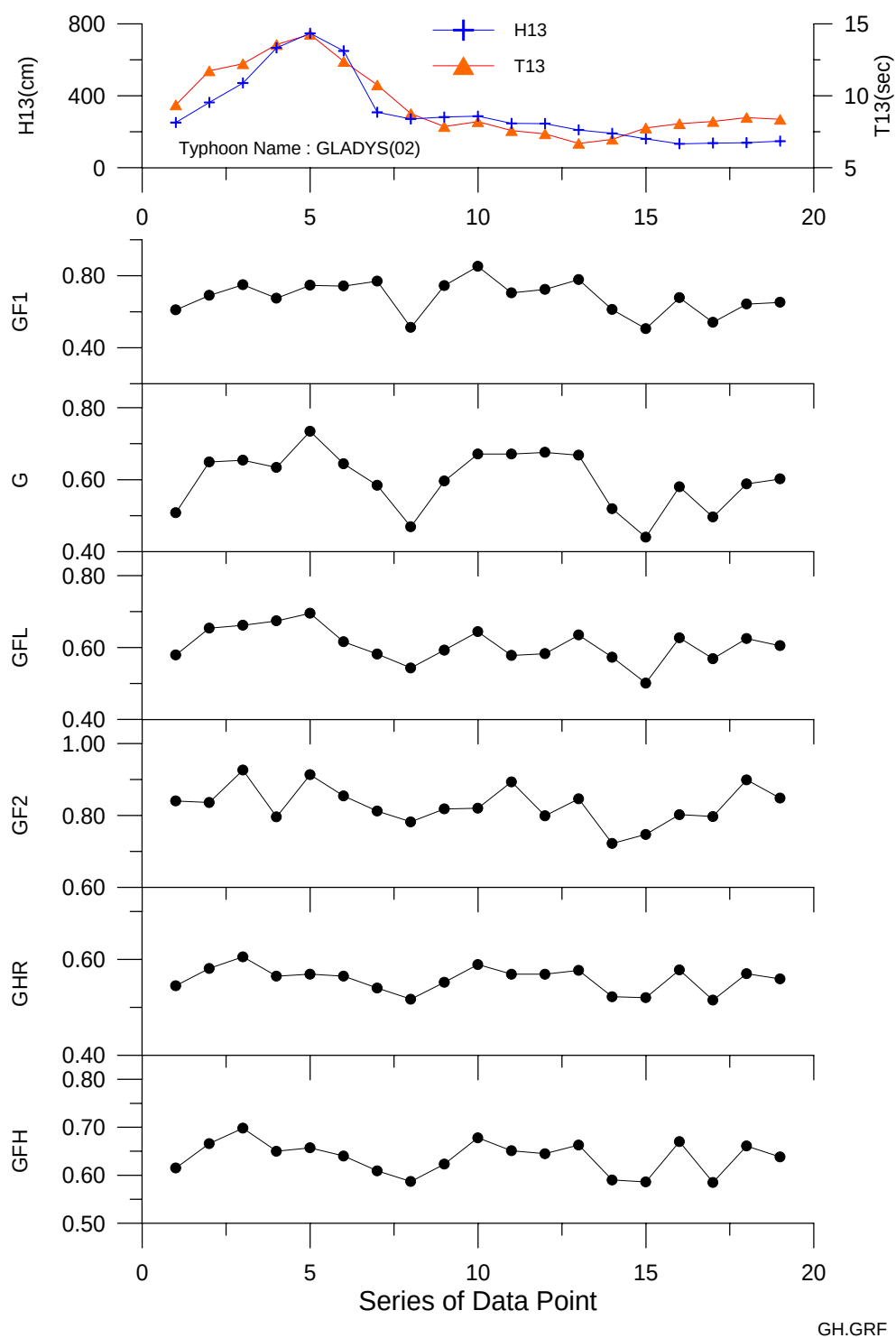


圖 5-13 示性波高、週期與群波參數變化圖（GLADYS 颱風）

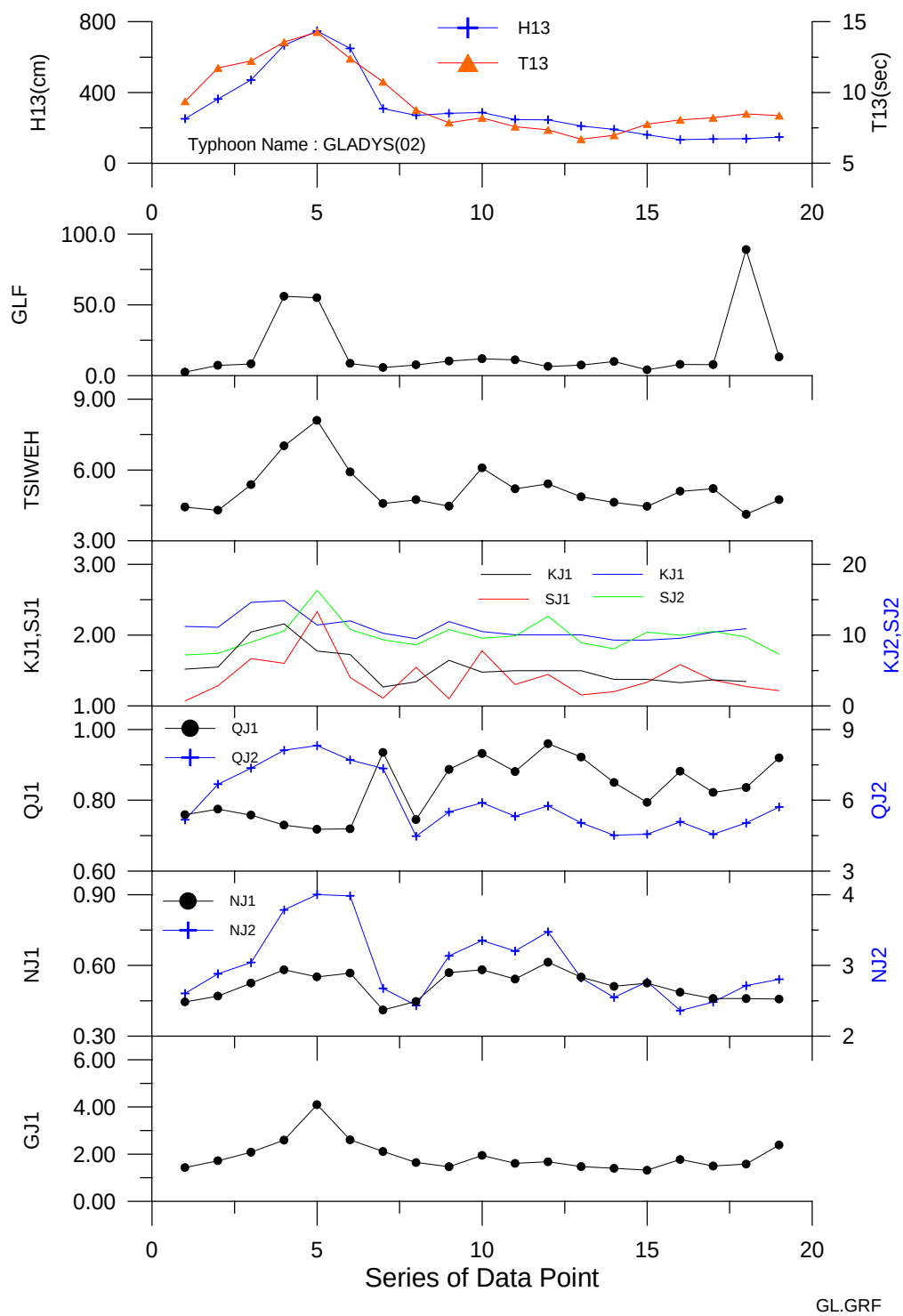


圖 5-13 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (GLADYS 颱風)

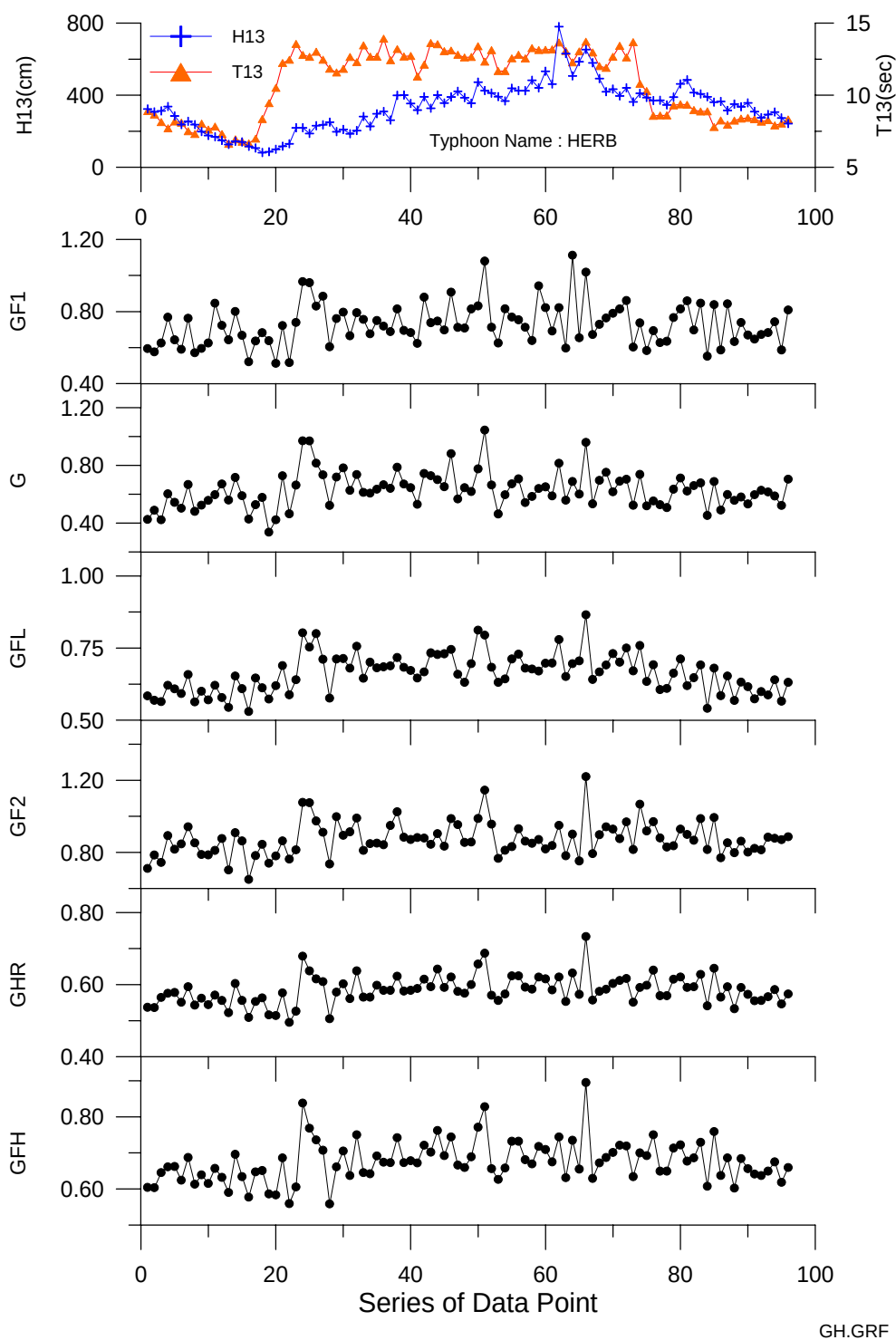


圖 5-14 示性波高、週期與群波參數變化圖 (HERB 颱風)

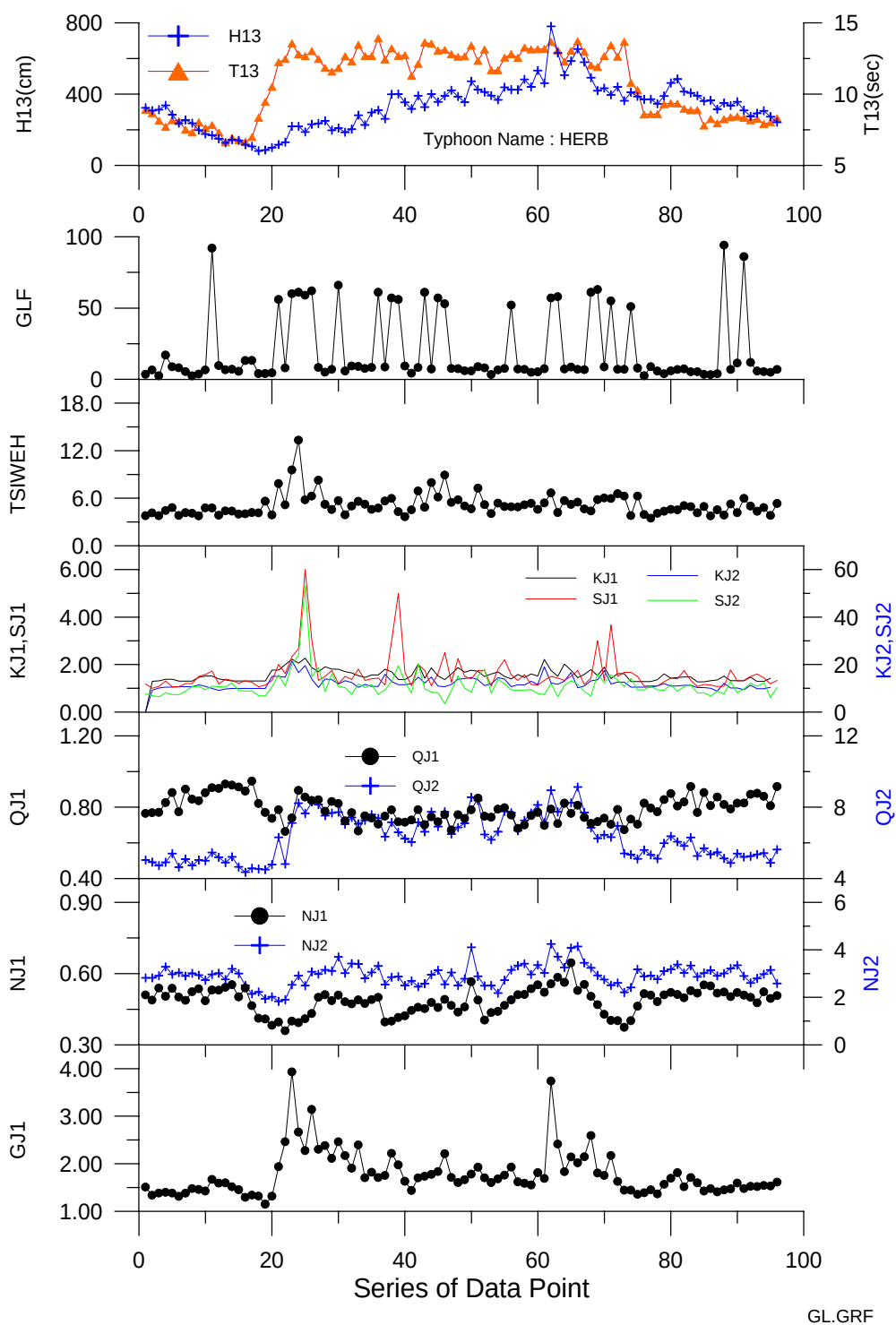


圖 5-14 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (HERB 颱風)

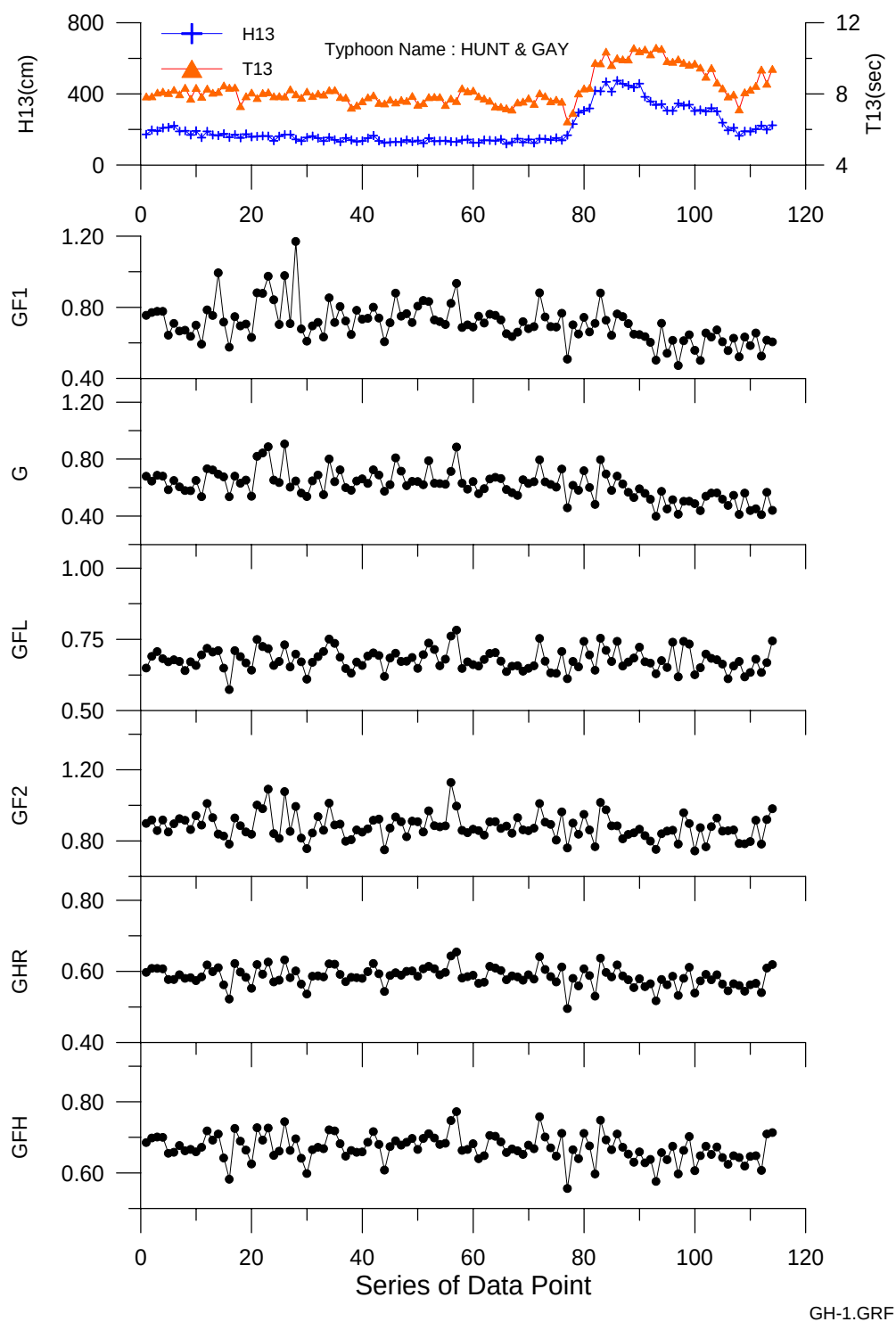
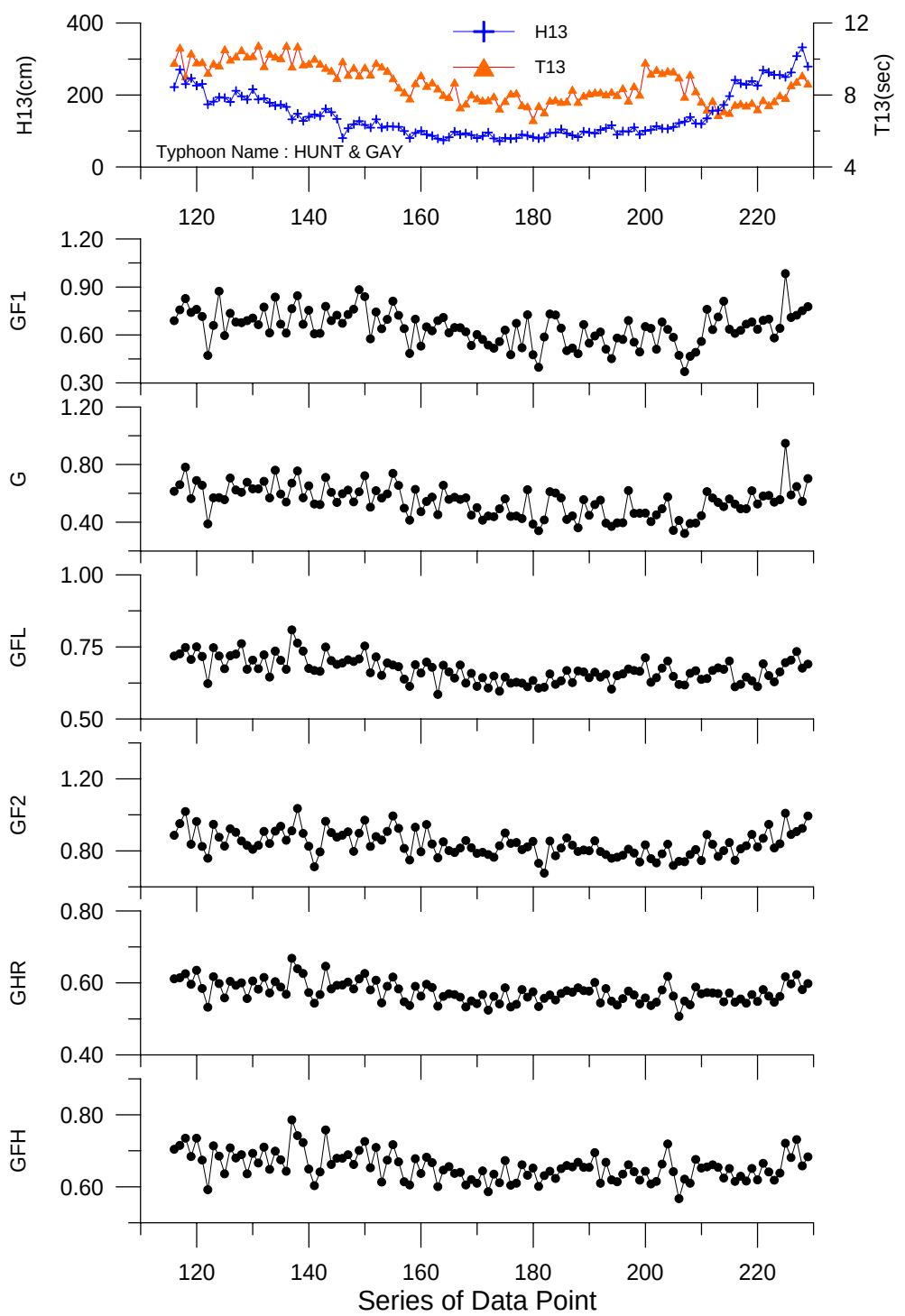
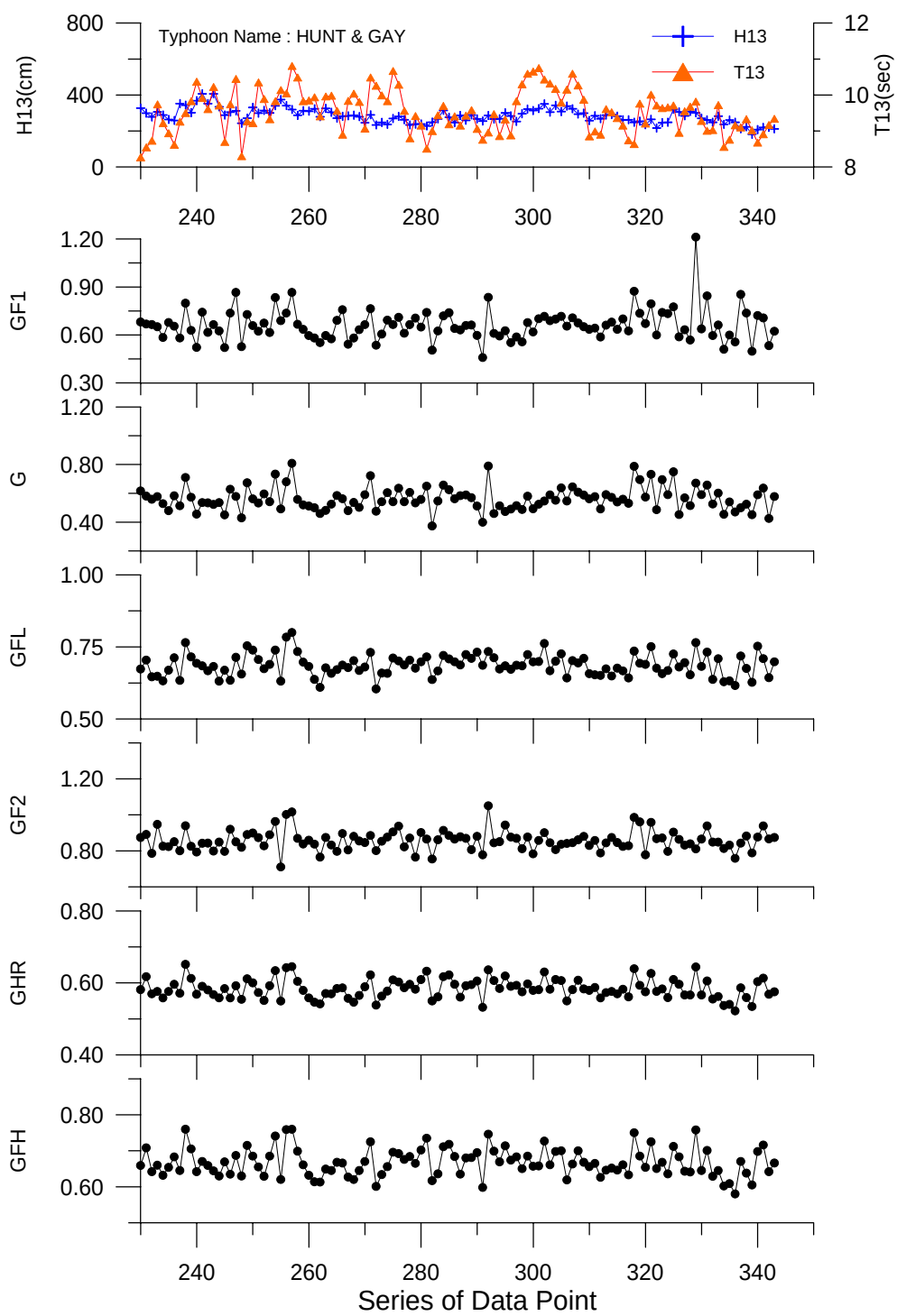


圖 5-15 示性波高、週期與群波參數變化圖（HUNT 及 GAY 颱風）



GH-2.GRF

圖 5-15（續）示性波高、週期與群波參數變化圖（HUNT 及 GAY 颱風）



GH-3.GRF

圖 5-15 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (HUNT 及 GAY 颱風)

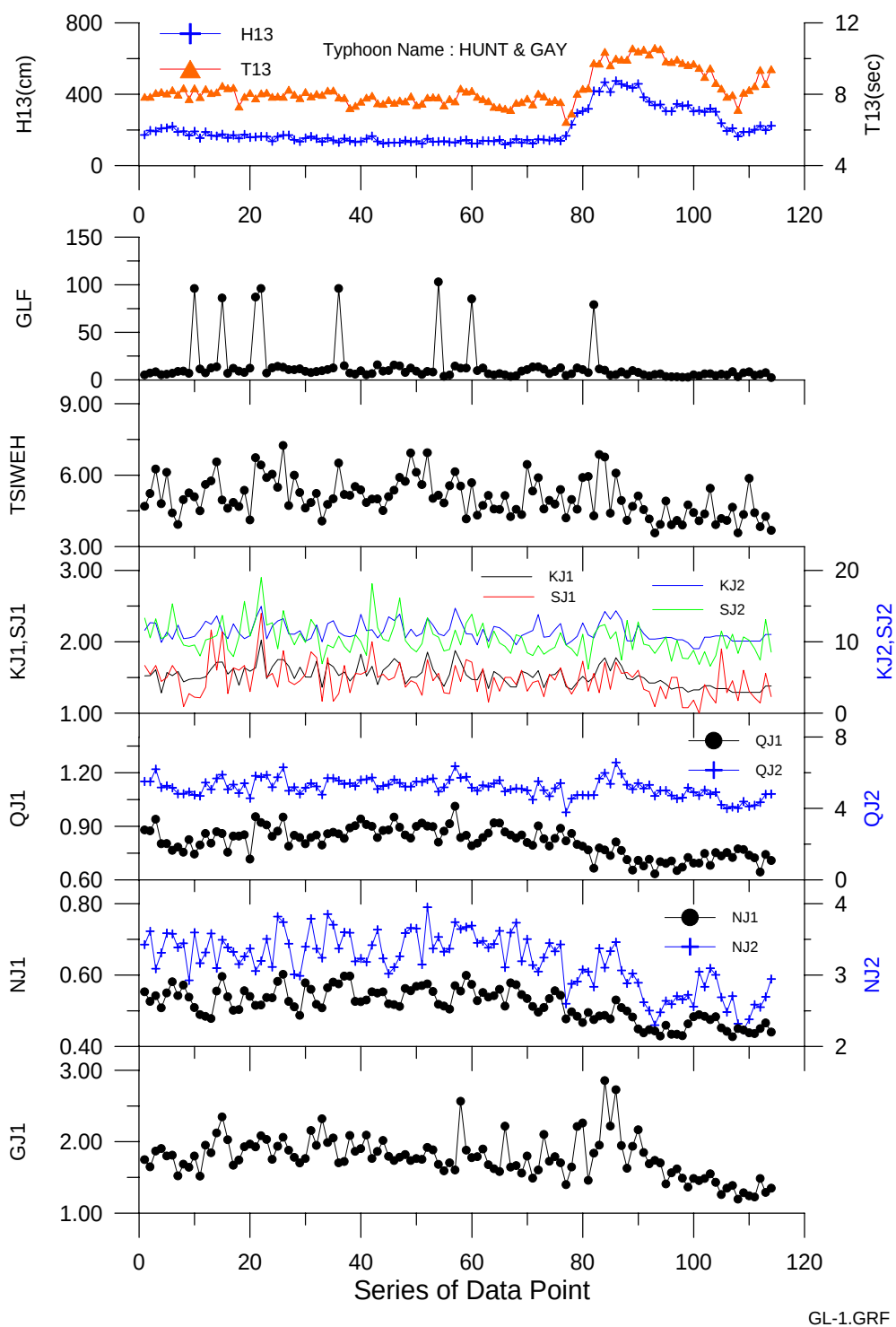


圖 5-15 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (HUNT 及 GAY 颱風)

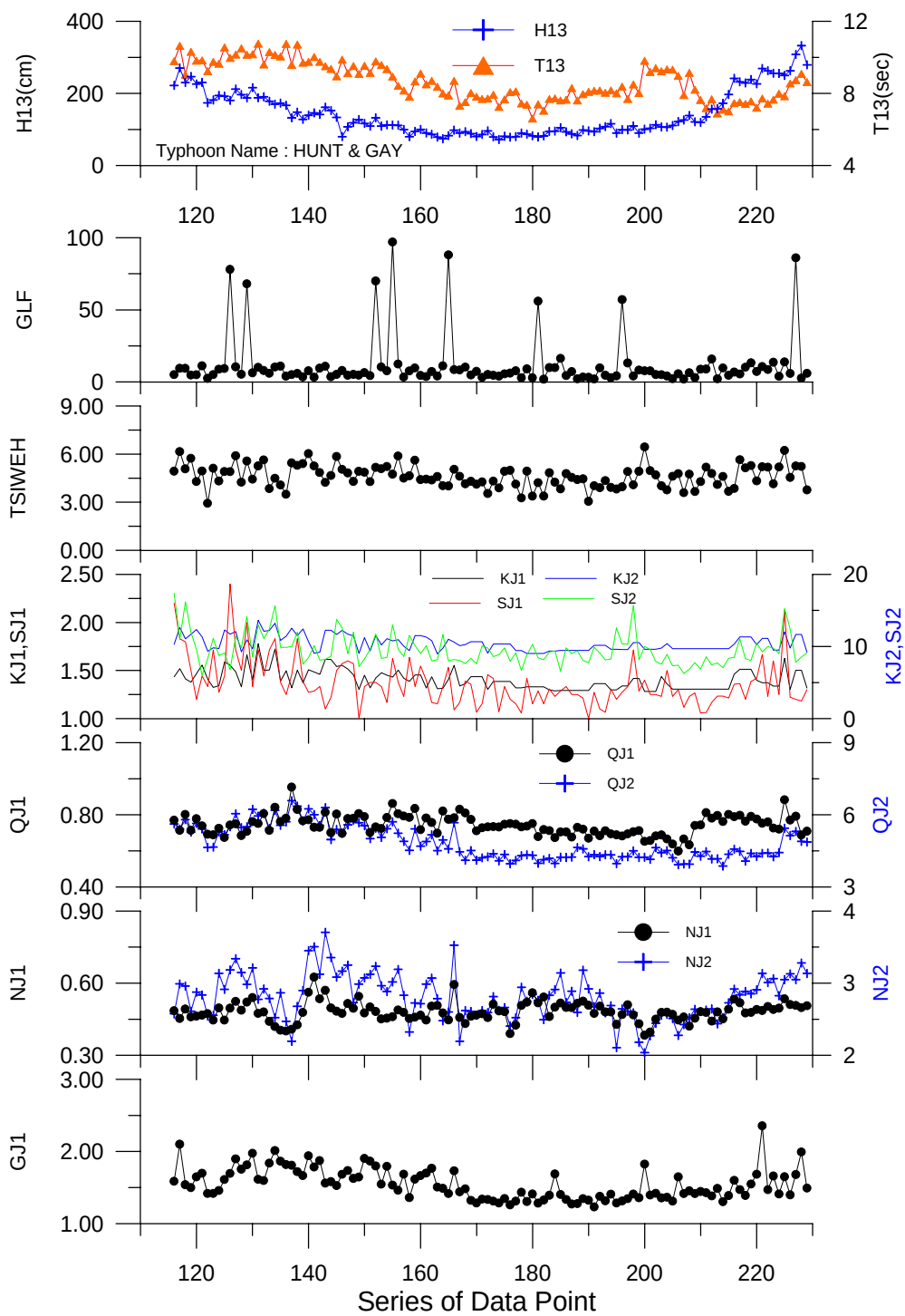
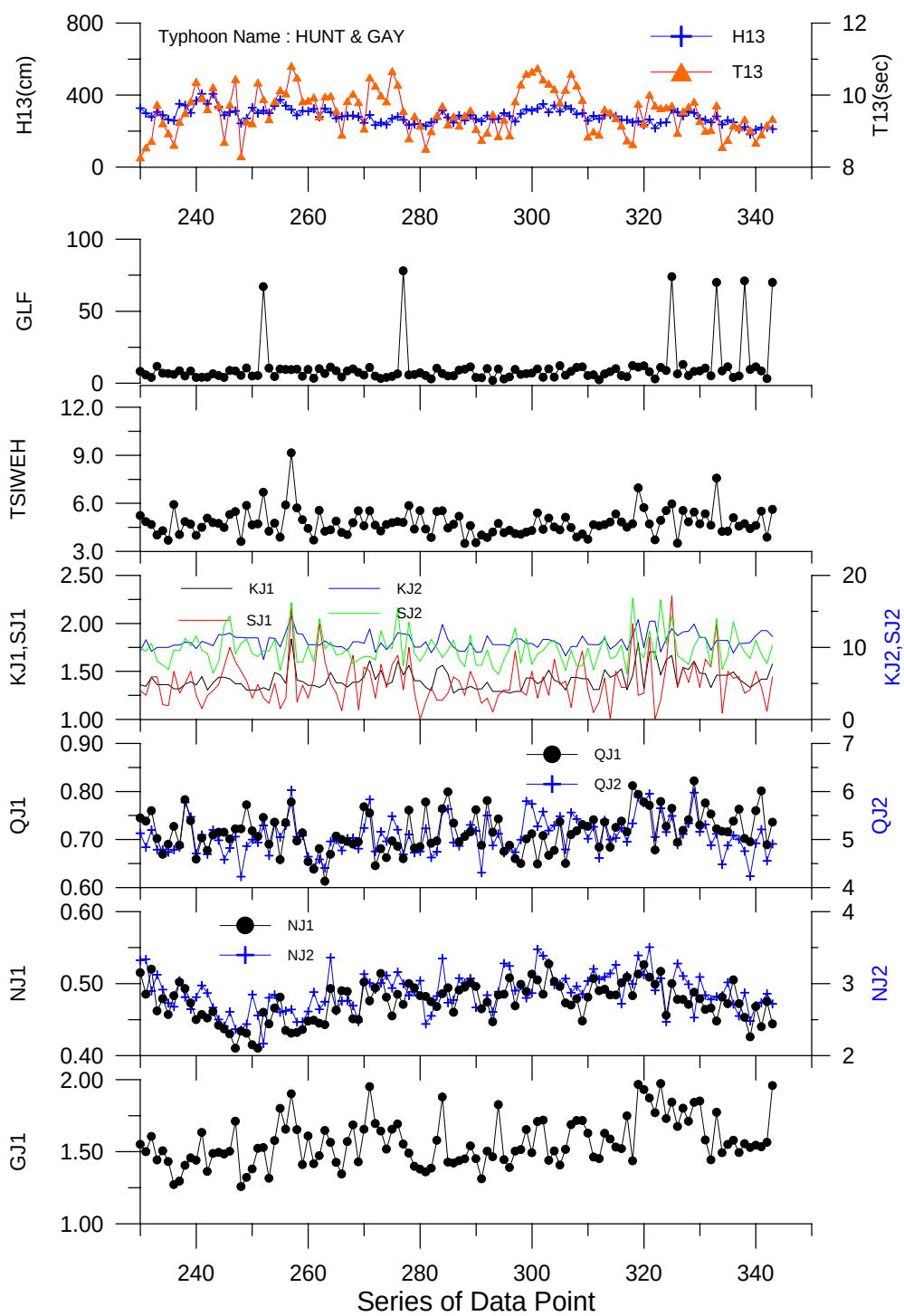


圖 5-15 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (HUNT 及 GAY 颱風)



GL-3.GRF

圖 5-15 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (HUNT 及 GAY 颱風)

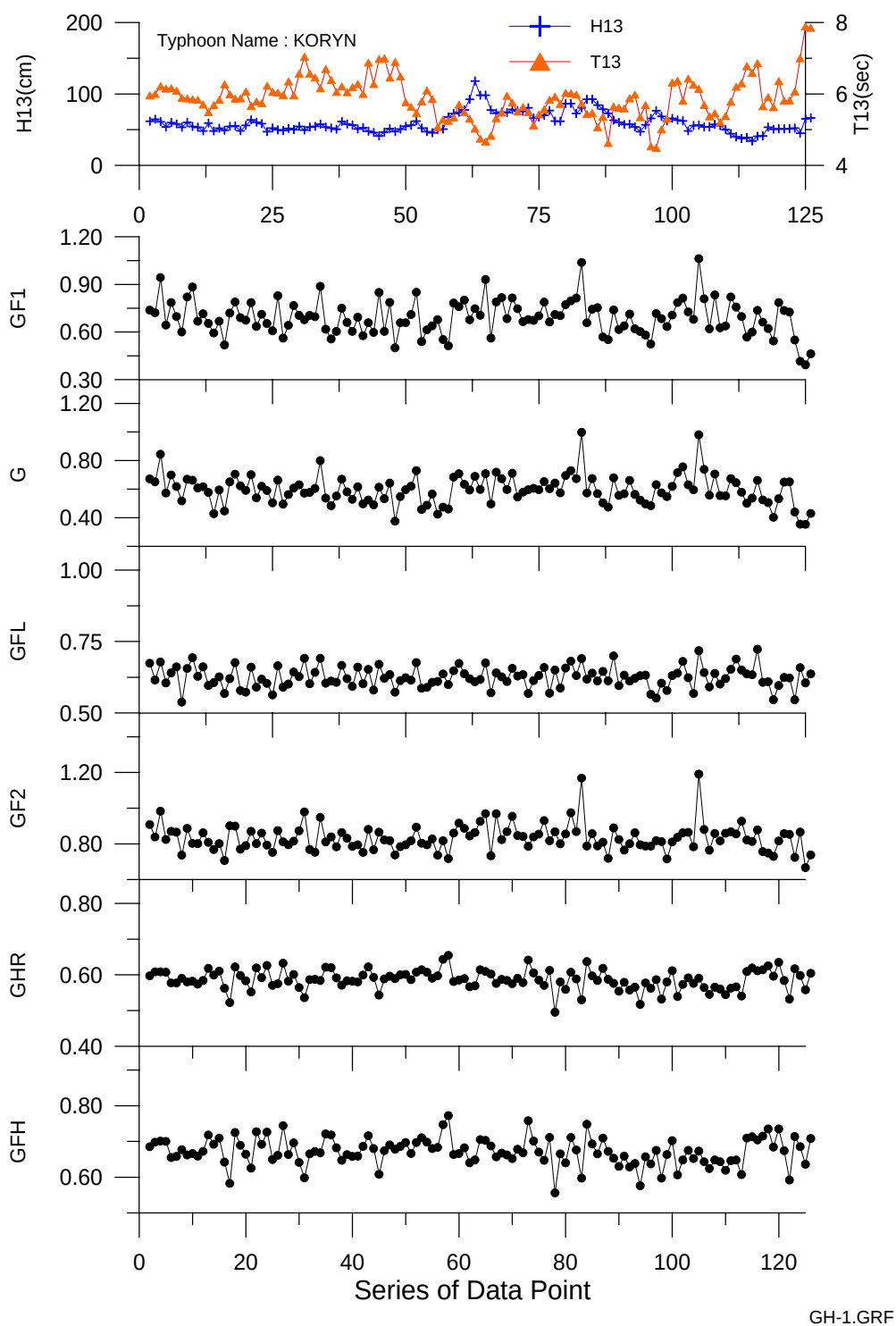


圖 5-16 示性波高、週期與群波參數變化圖（KORYN 颱風）

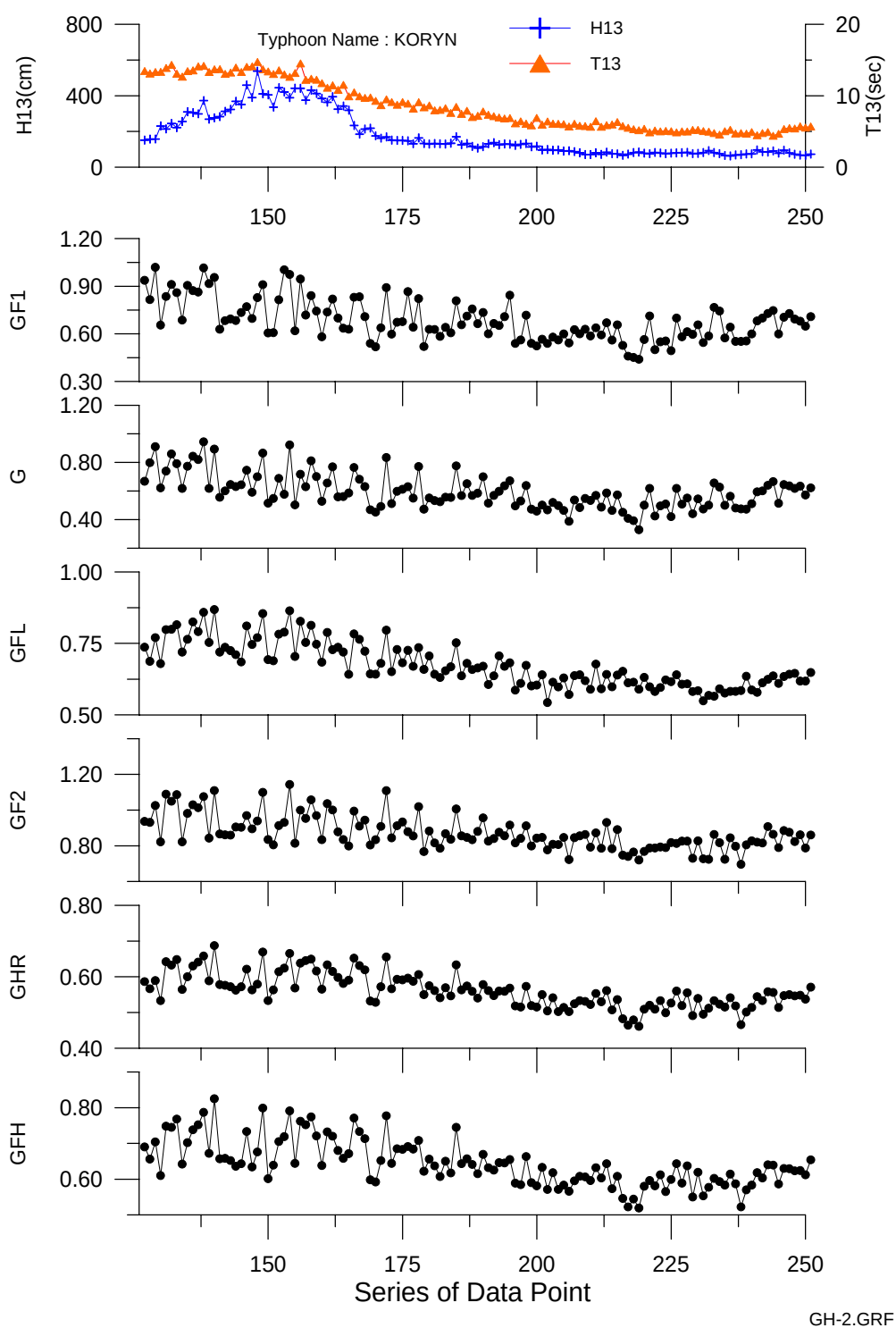


圖 5-16（續）示性波高、週期與群波參數變化圖（KORYN 颱風）

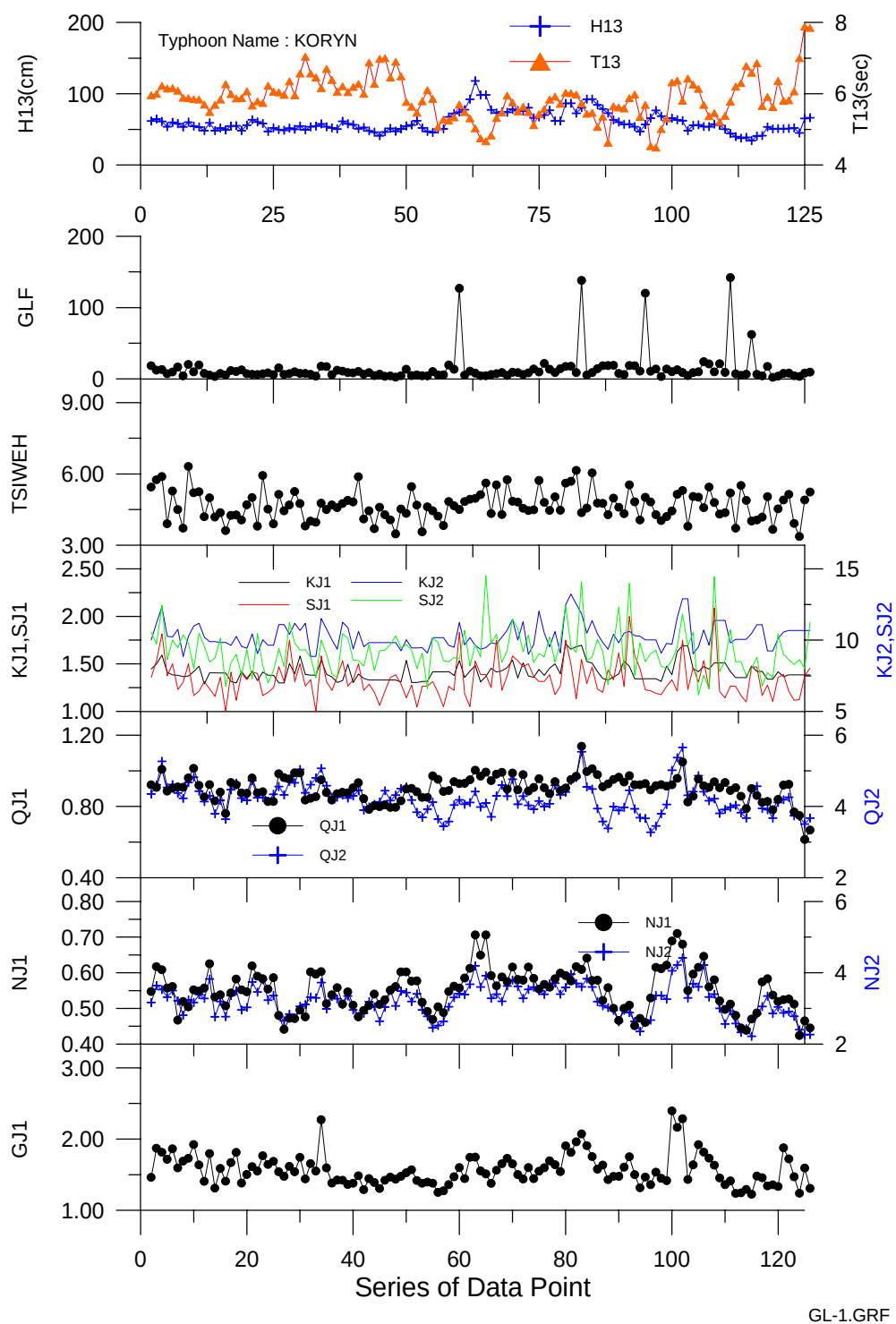


圖 5-16 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (KORYN 颱風)

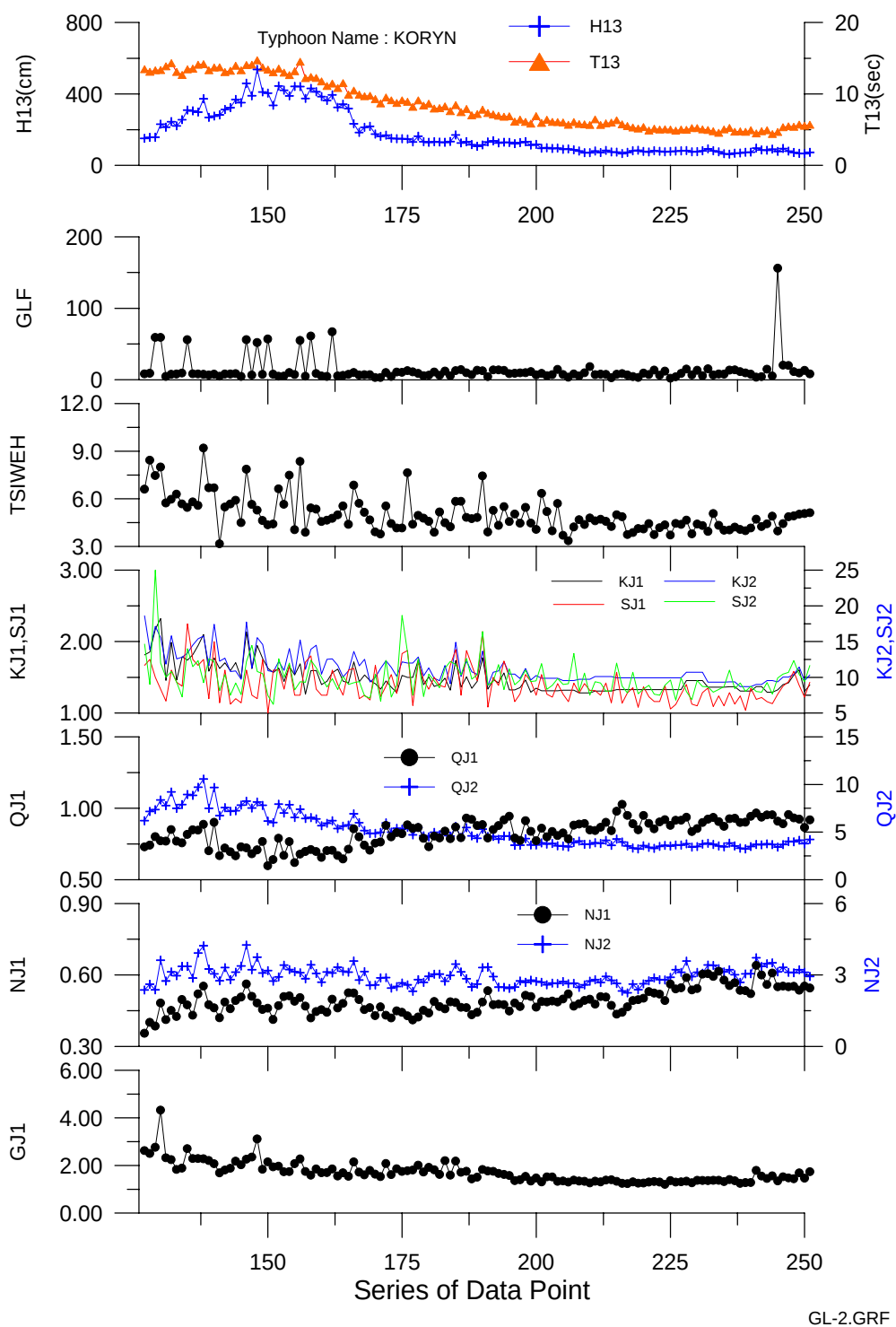
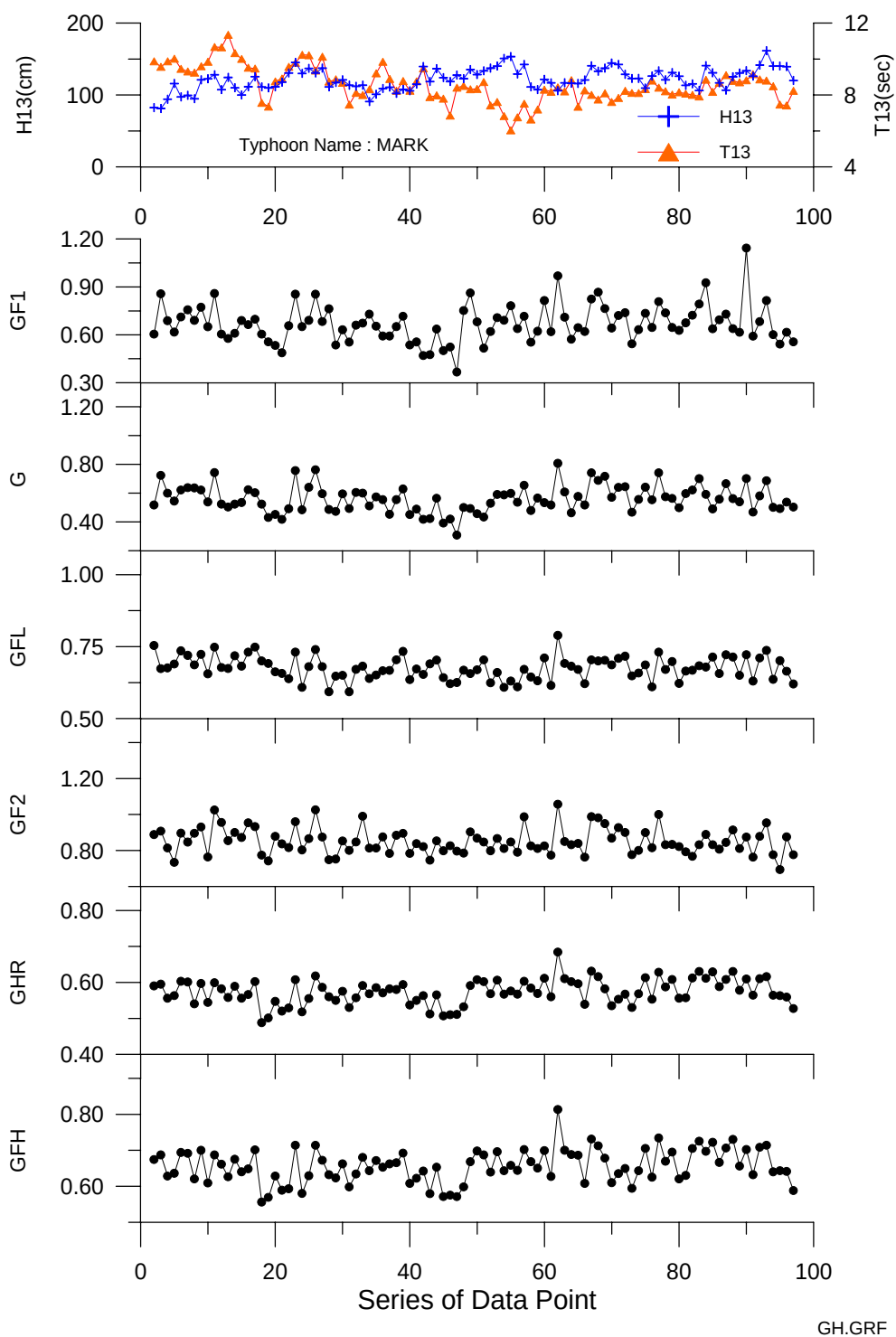


圖 5-16 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (KORYN 颱風)



GH.GRF

圖 5-17 示性波高、週期與群波參數變化圖（MARK 颱風）

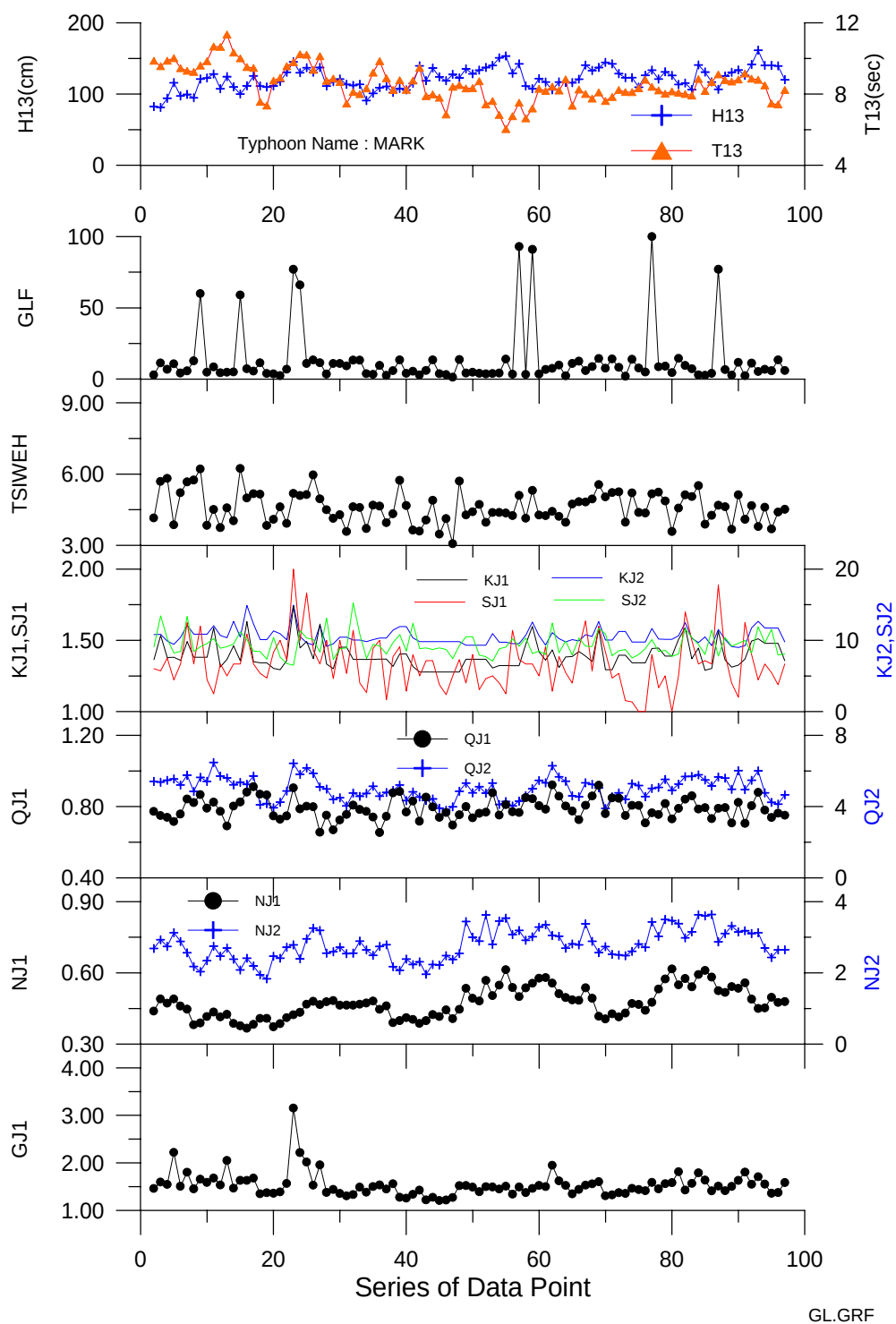


圖 5-17 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (MARK 颱風)

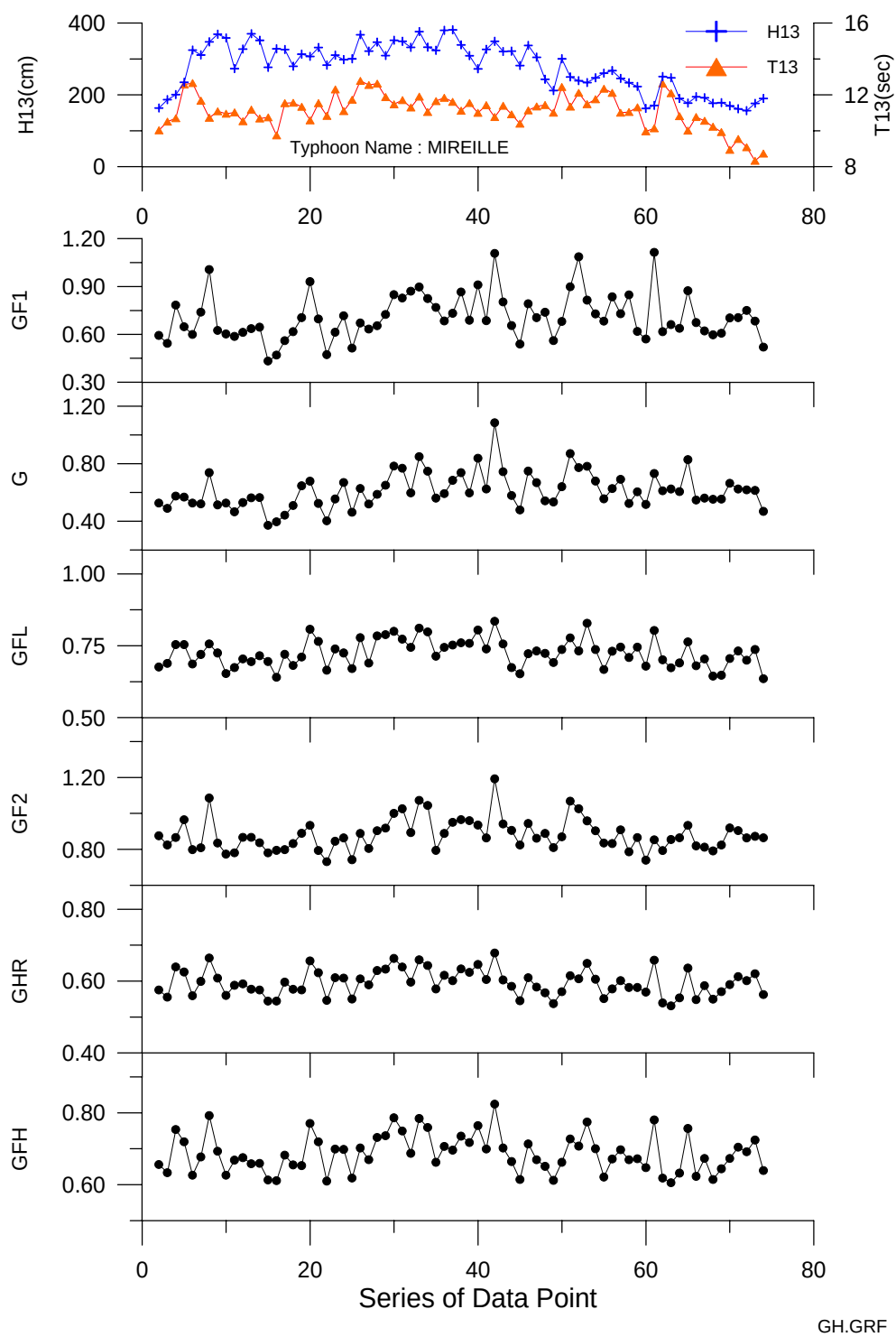


圖 5-18 示性波高、週期與群波參數變化圖 (MIREILLE 颱風)

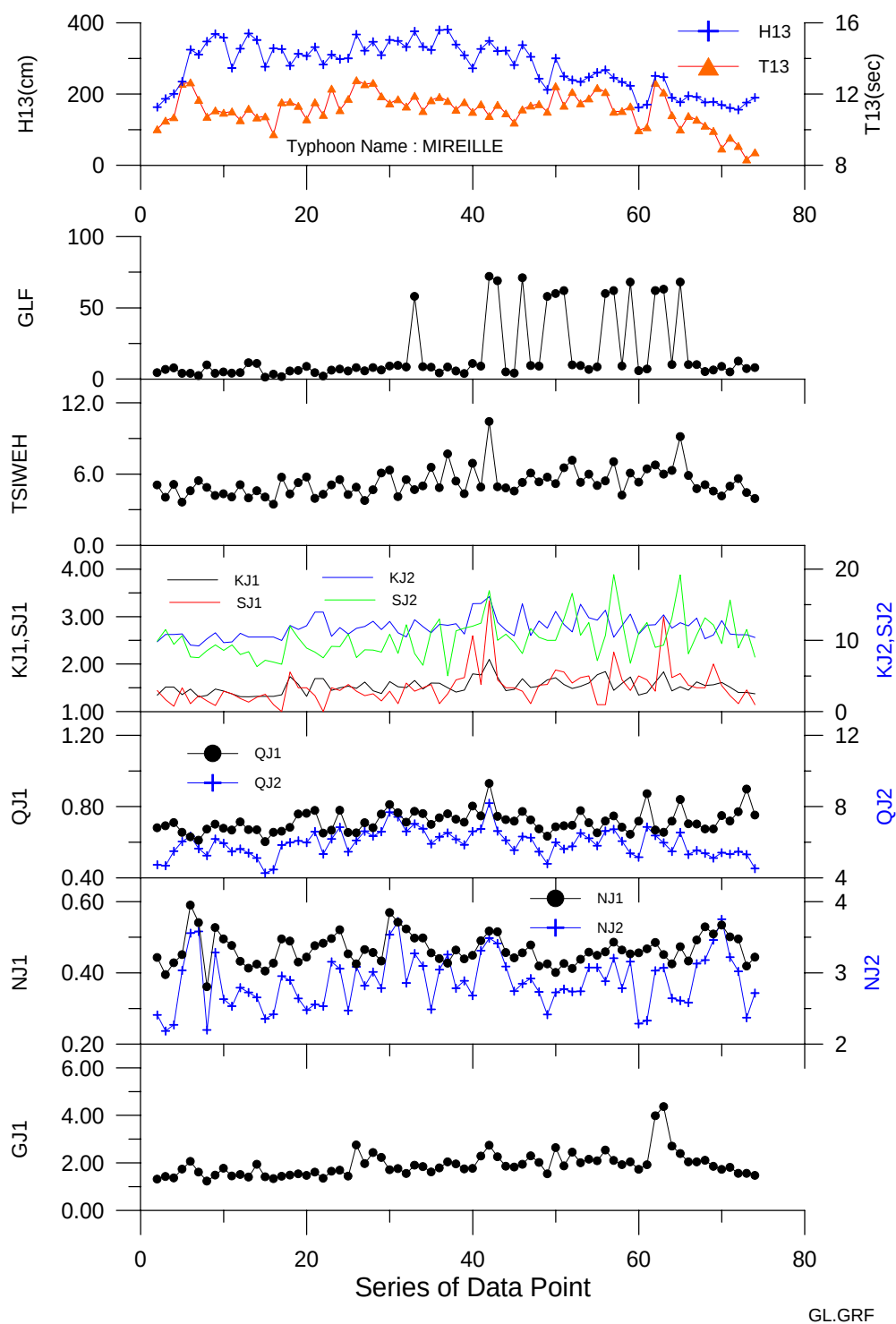


圖 5-18 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (MIREILLE 颱風)

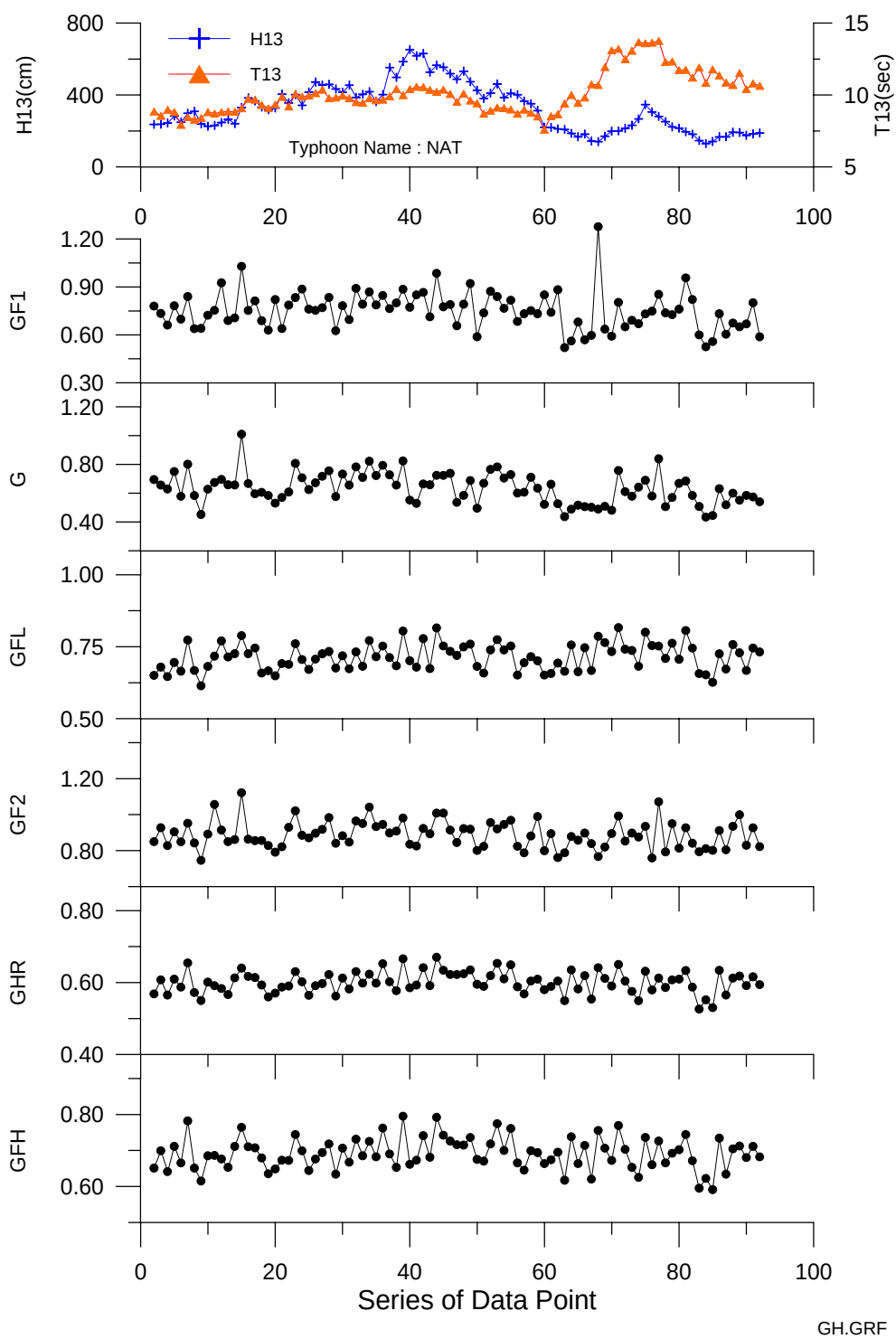


圖 5-19 示性波高、週期與群波參數變化圖（NAT 颱風）

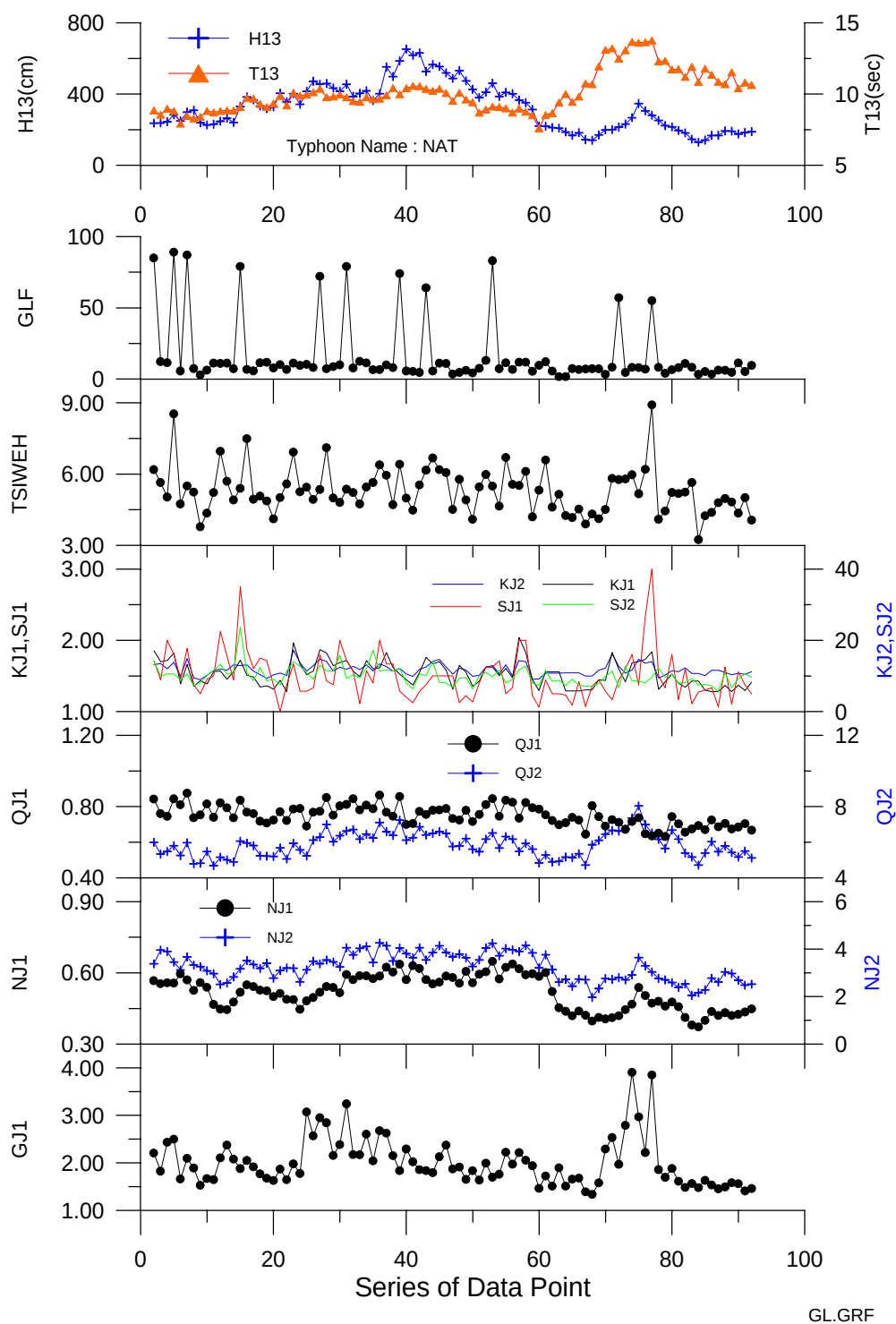


圖 5-19 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (NAT 颱風)

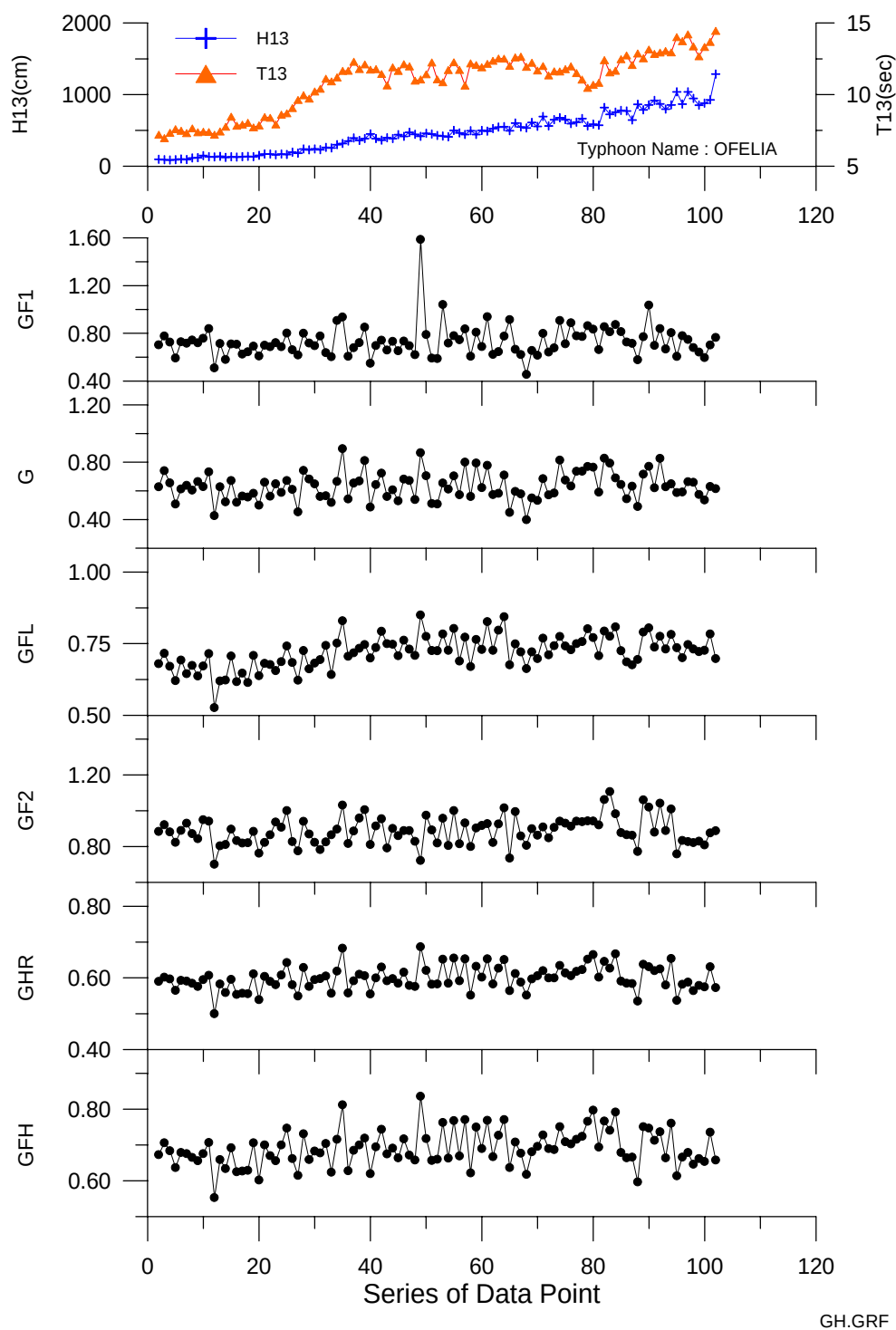


圖 5-20 示性波高、週期與群波參數變化圖（OFELIA 颱風）

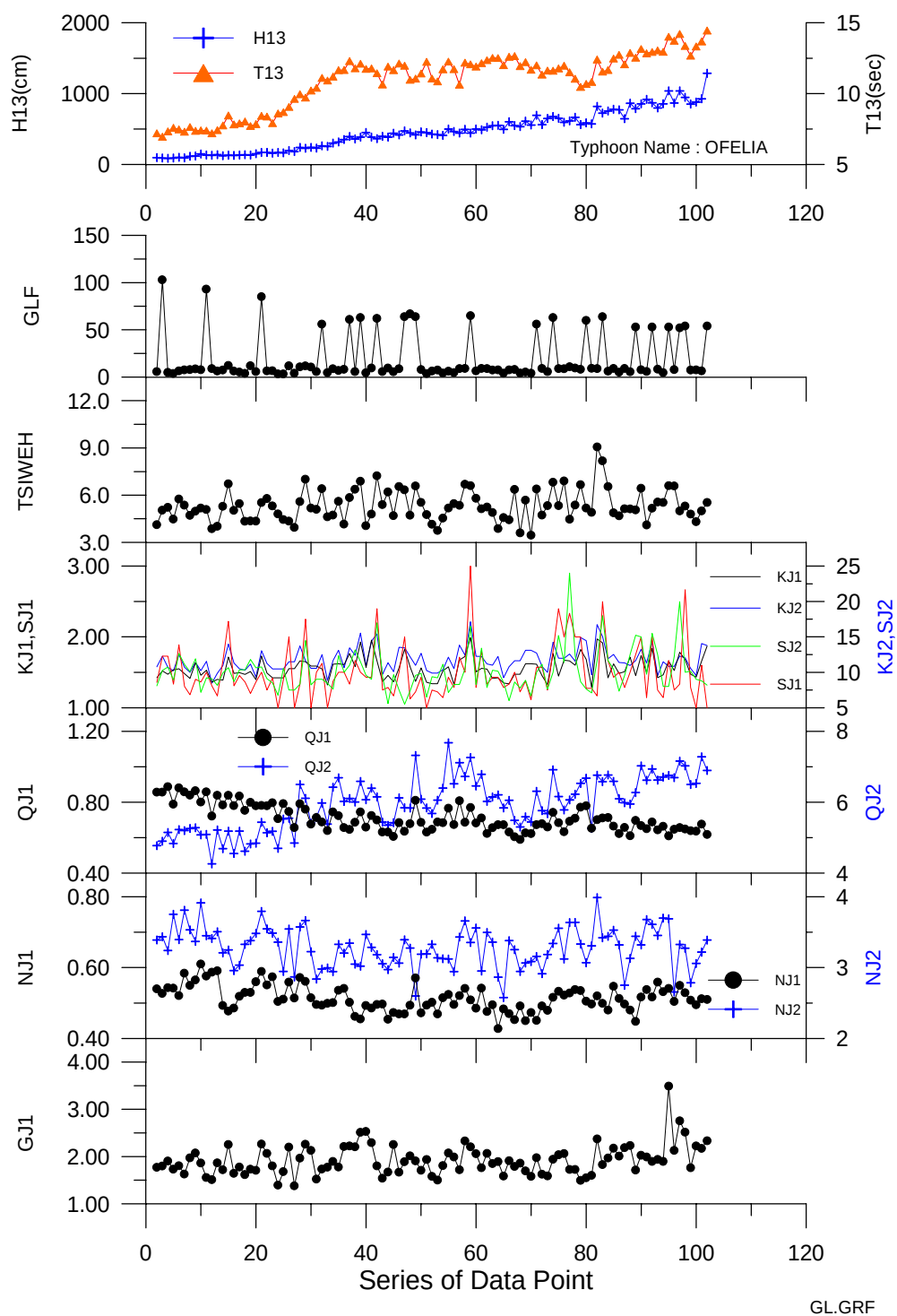


圖 5-20 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (OFELIA 颱風)

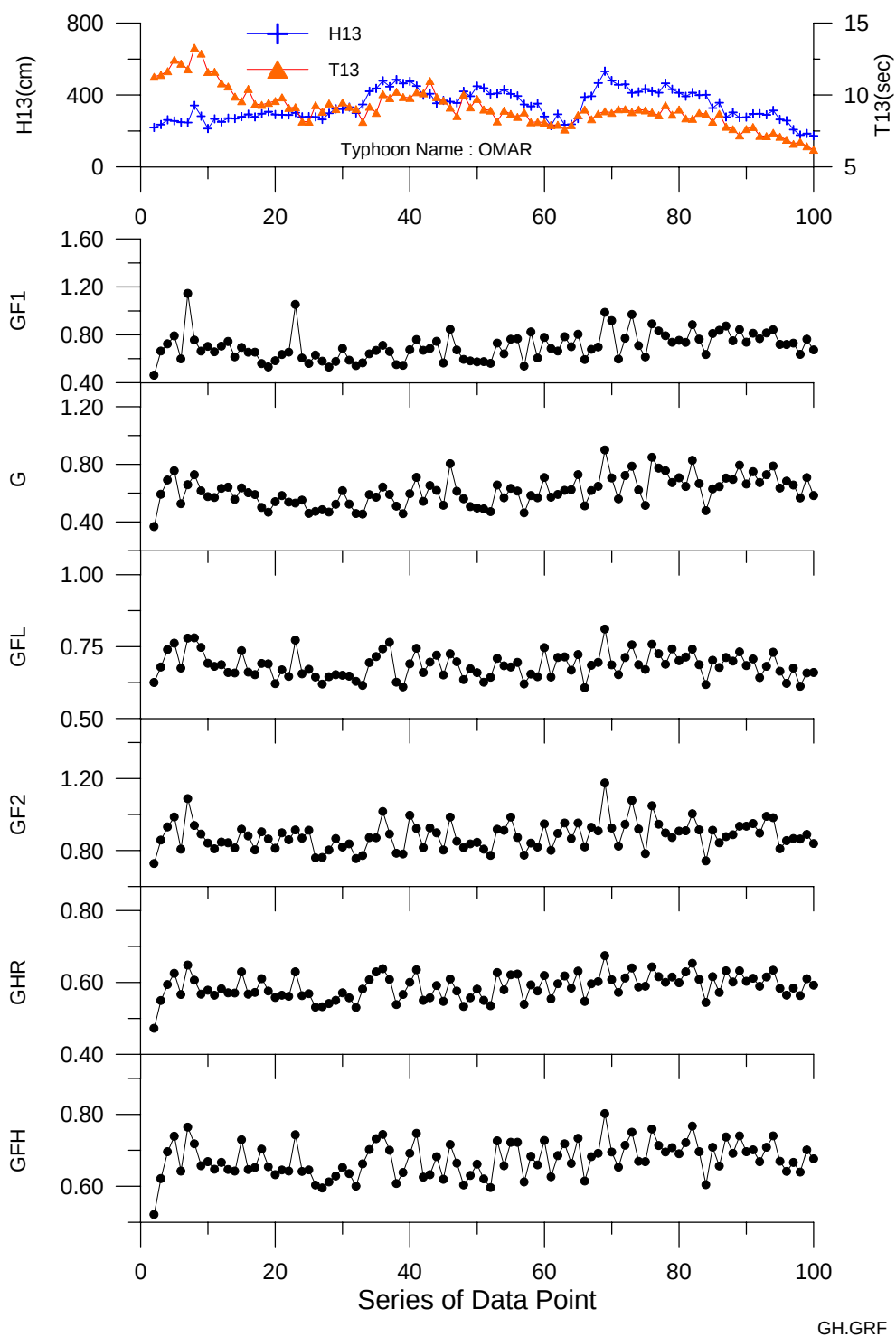


圖 5-21 示性波高、週期與群波參數變化圖（OMAR 颱風）

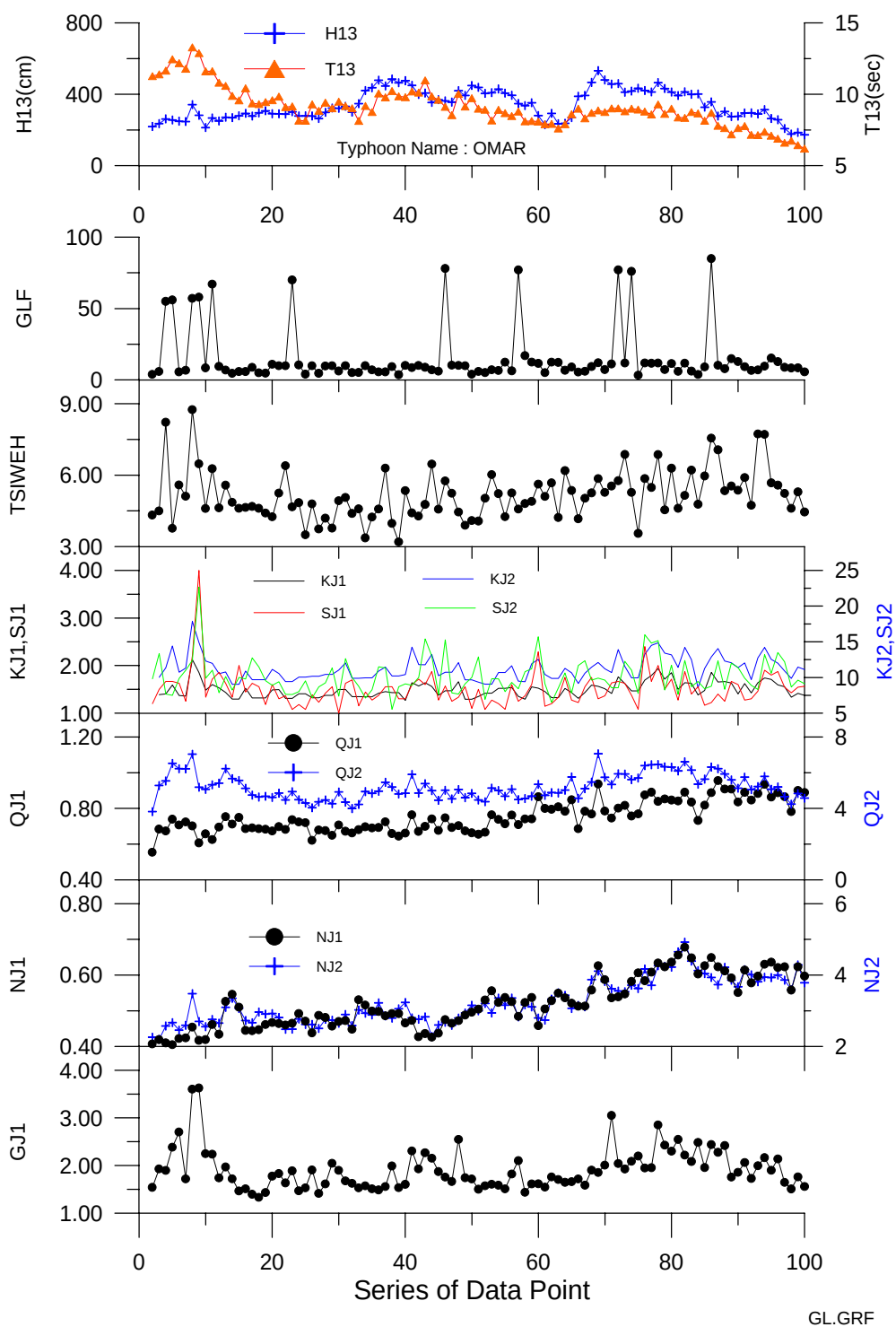


圖 5-21 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (OMAR 颱風)

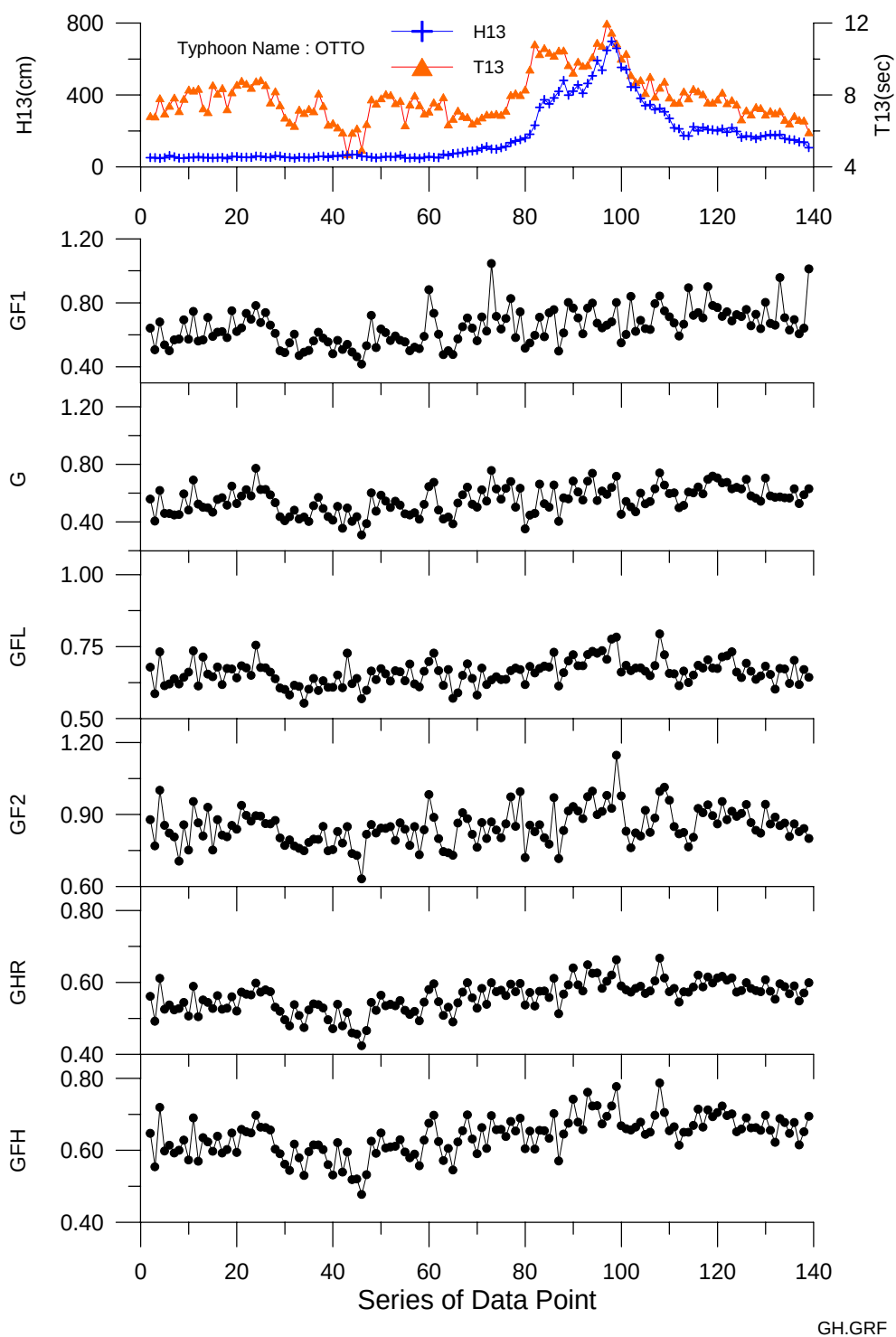


圖 5-22 示性波高、週期與群波參數變化圖 (OTTO 颱風)

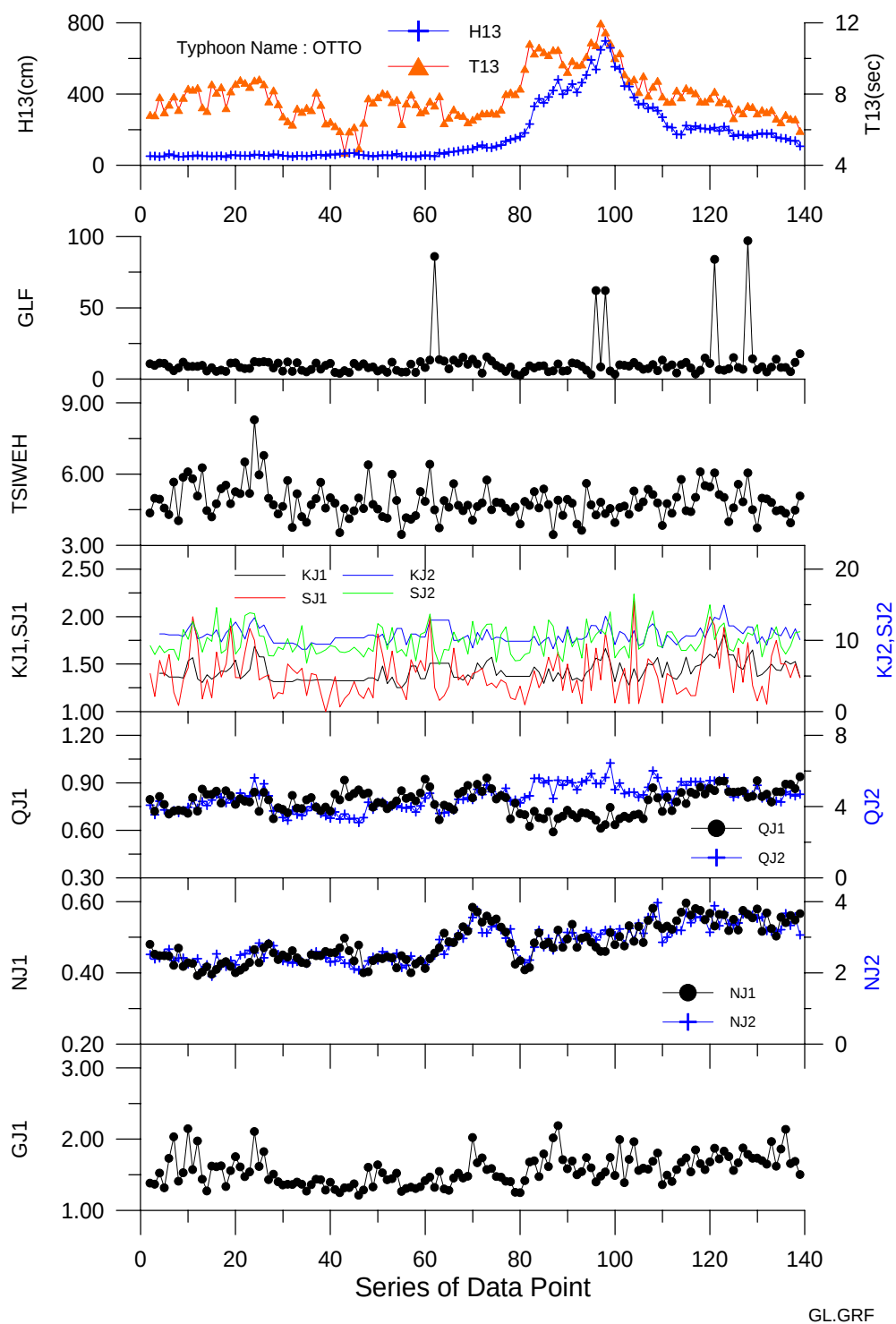


圖 5-22 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (OTTO 颱風)

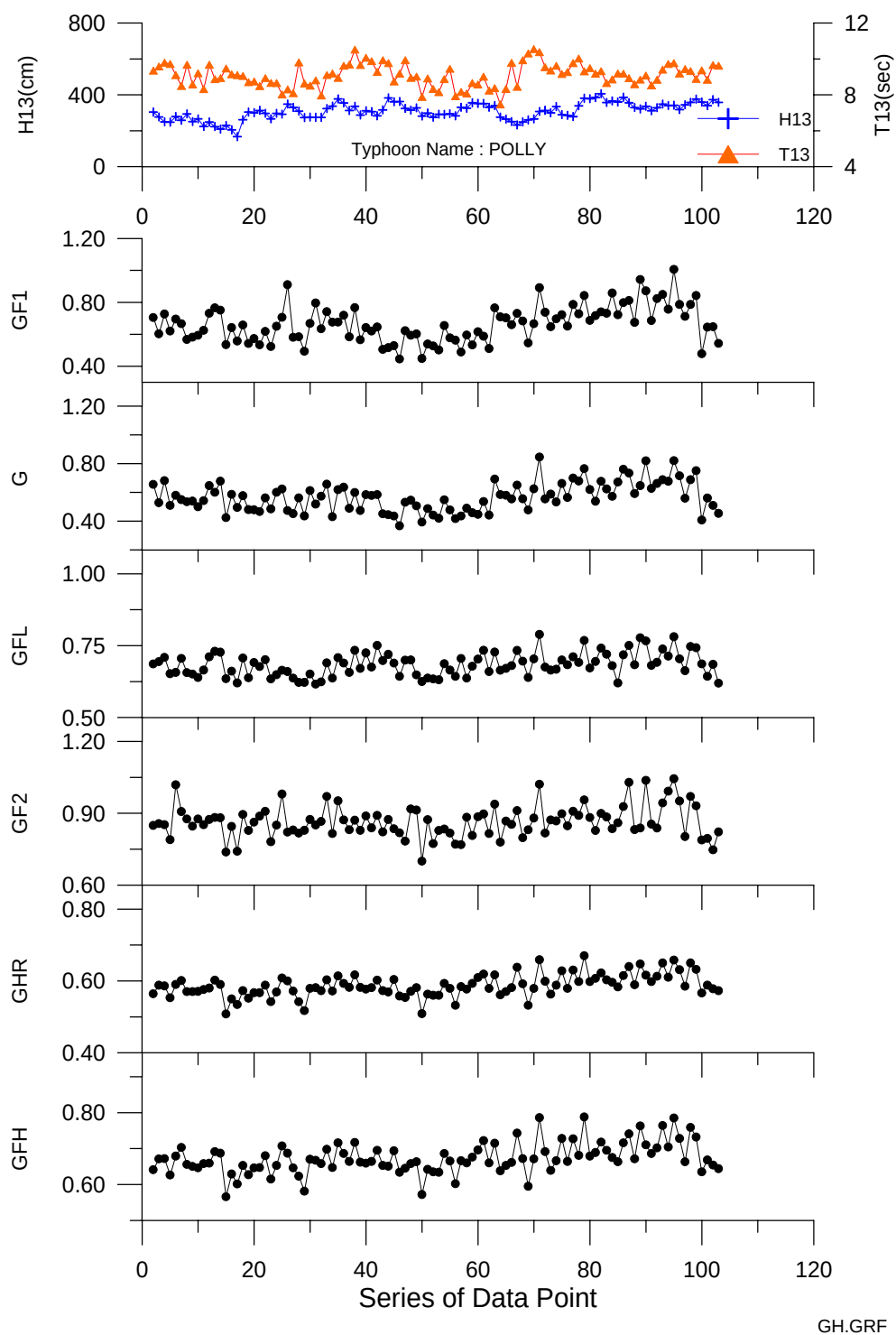


圖 5-23 示性波高、週期與群波參數變化圖（POLLY 颱風）

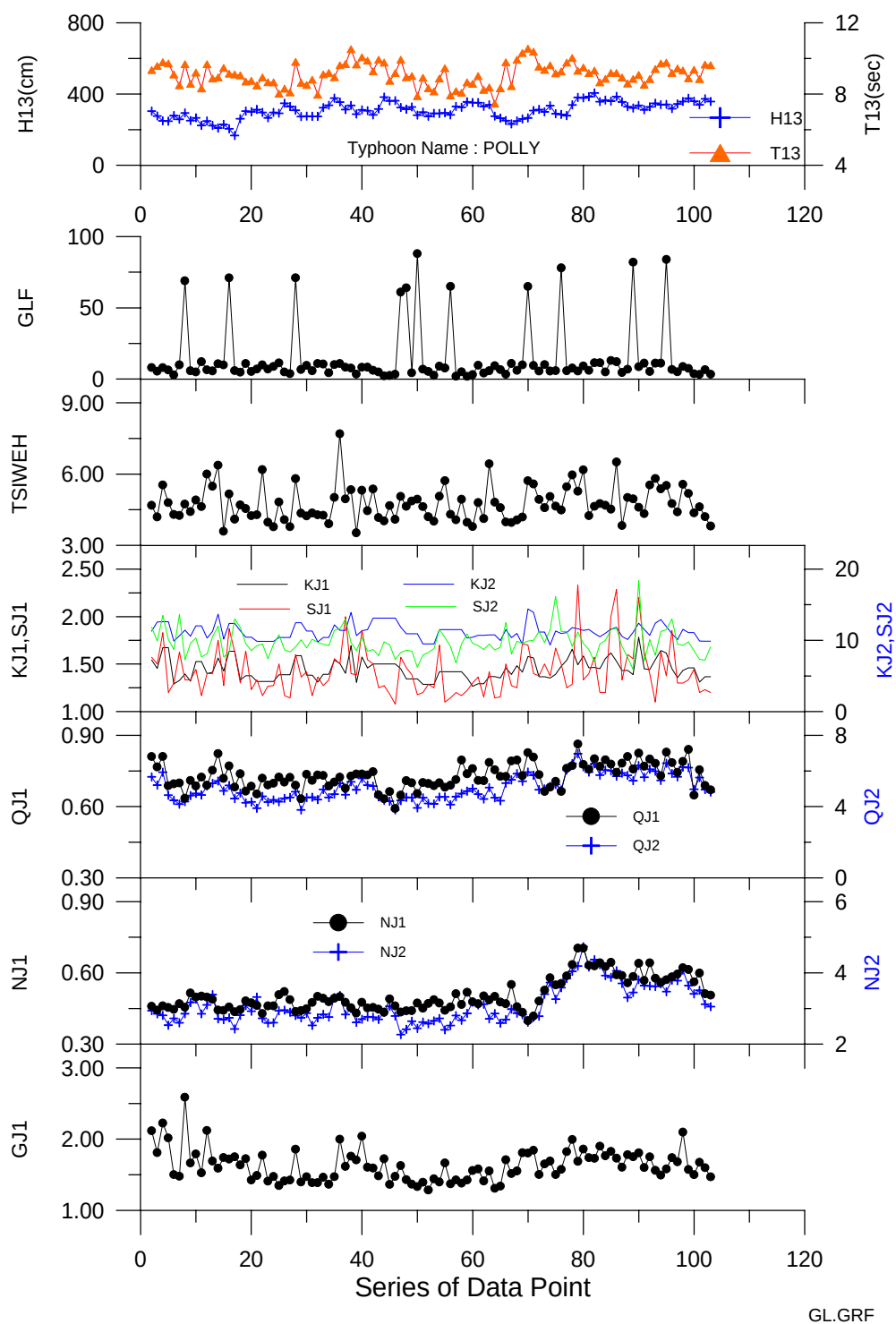


圖 5-23 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (POLLY 颱風)

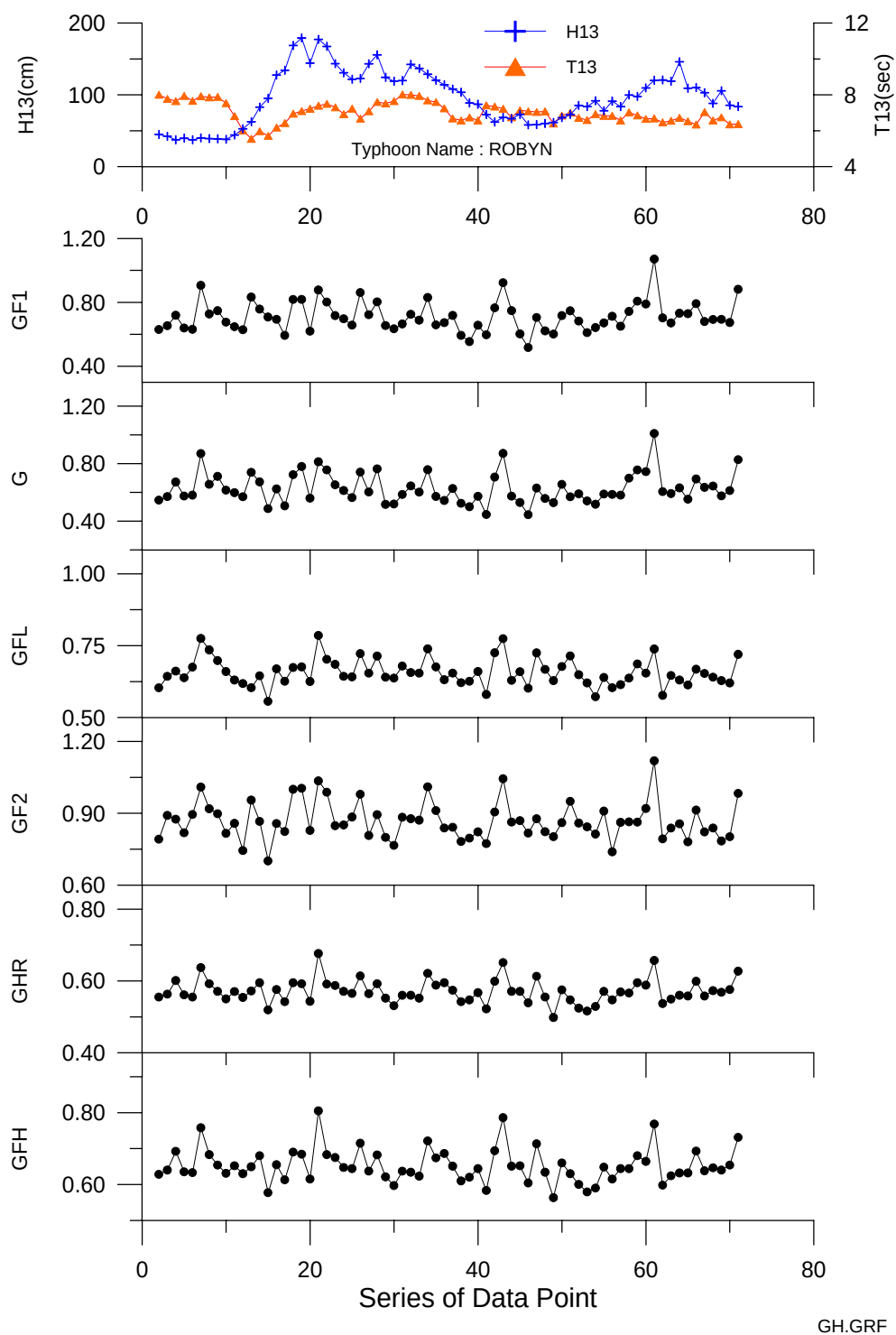


圖 5-24 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ROBYN 颱風)

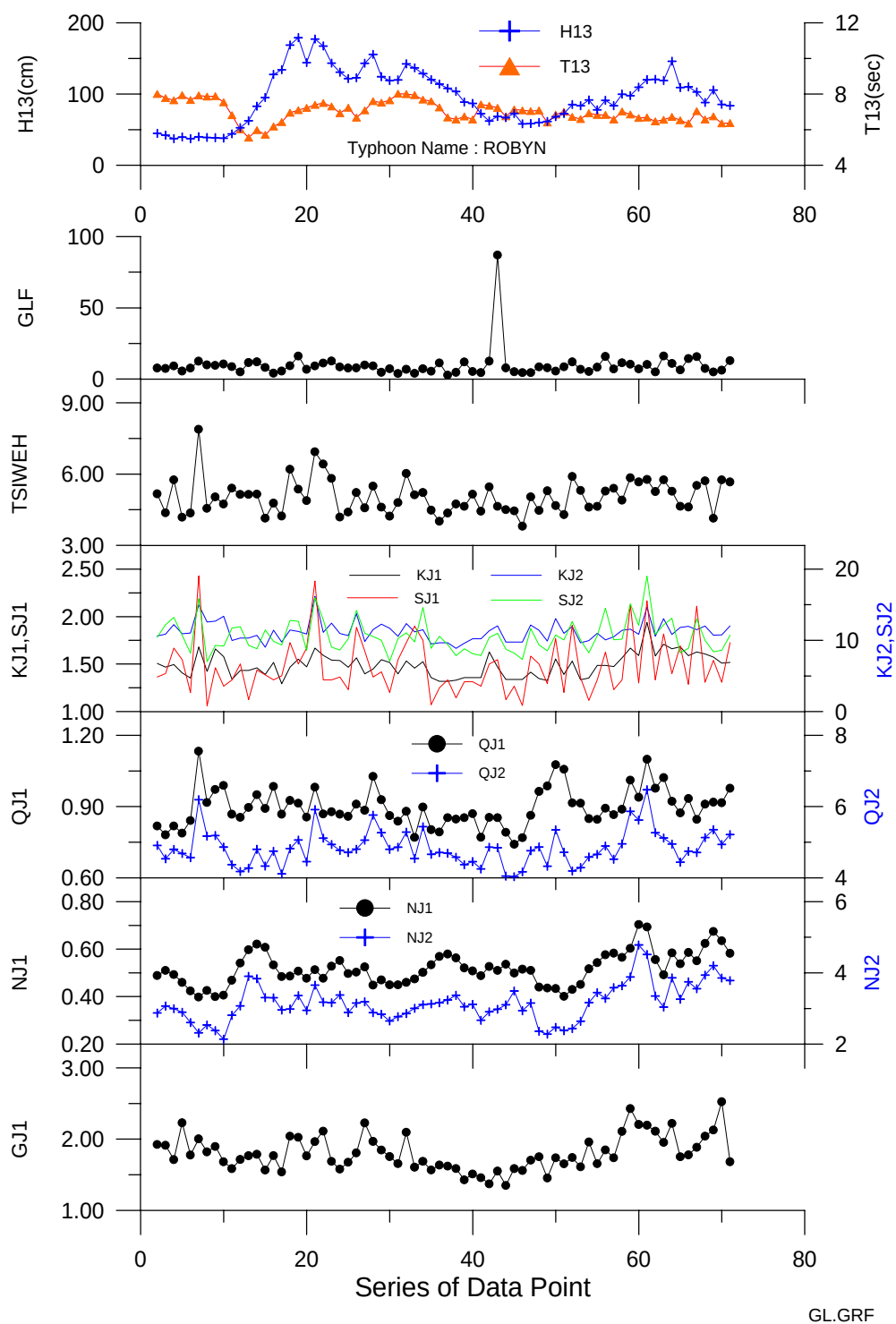
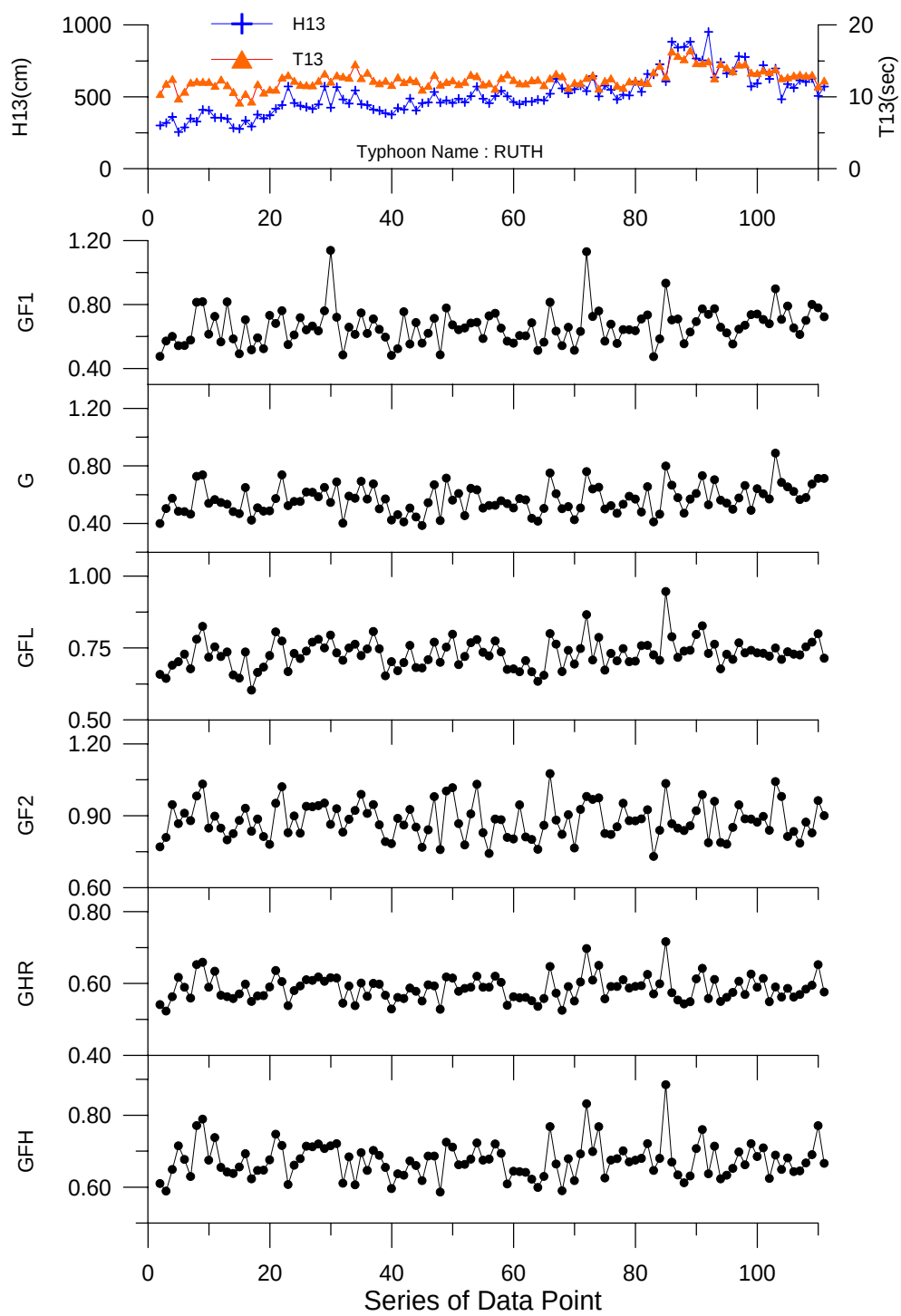


圖 5-24 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ROBYN 颱風)



GH-1.GRF

圖 5-25 示性波高、週期與群波參數變化圖（RUTH 颱風）

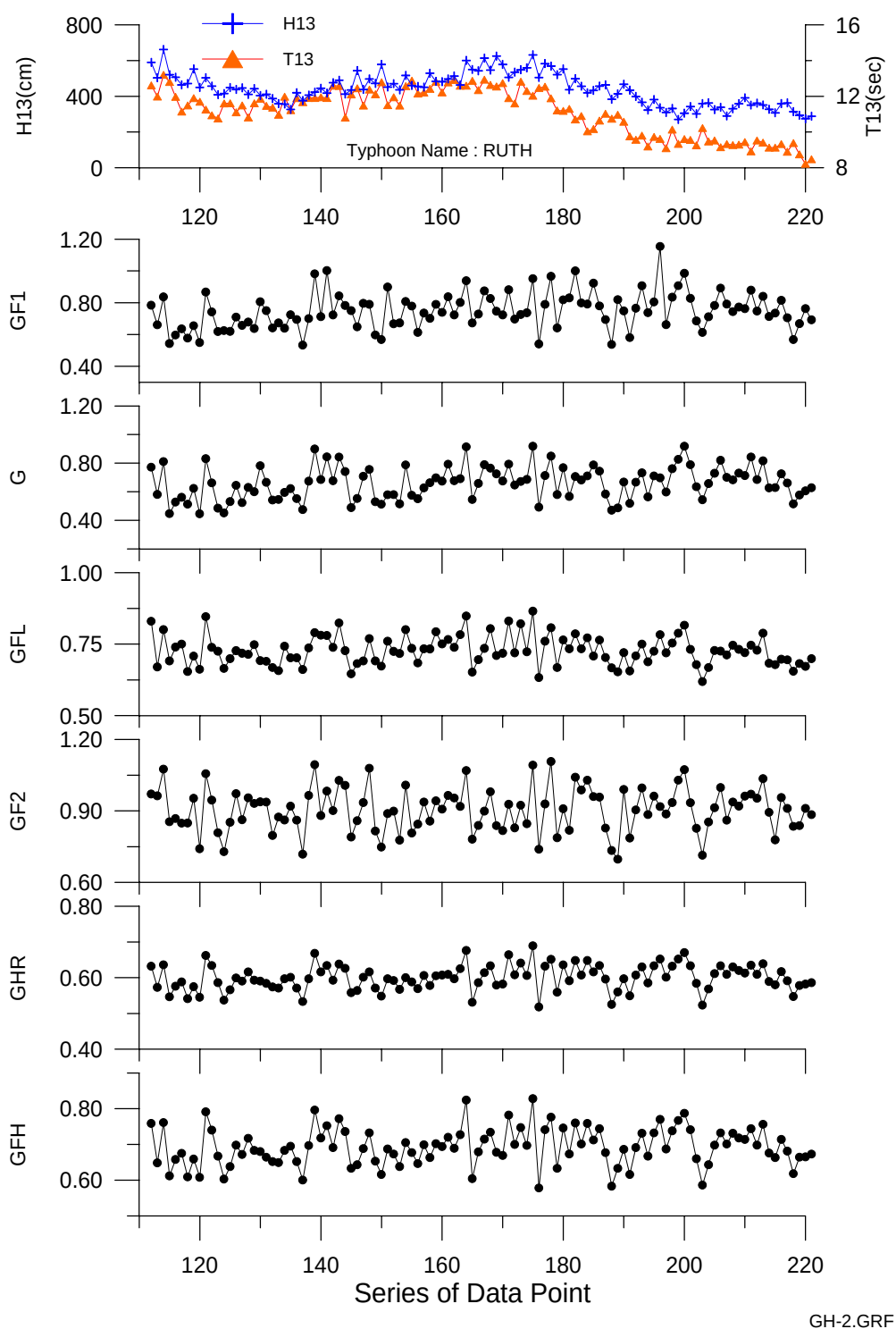
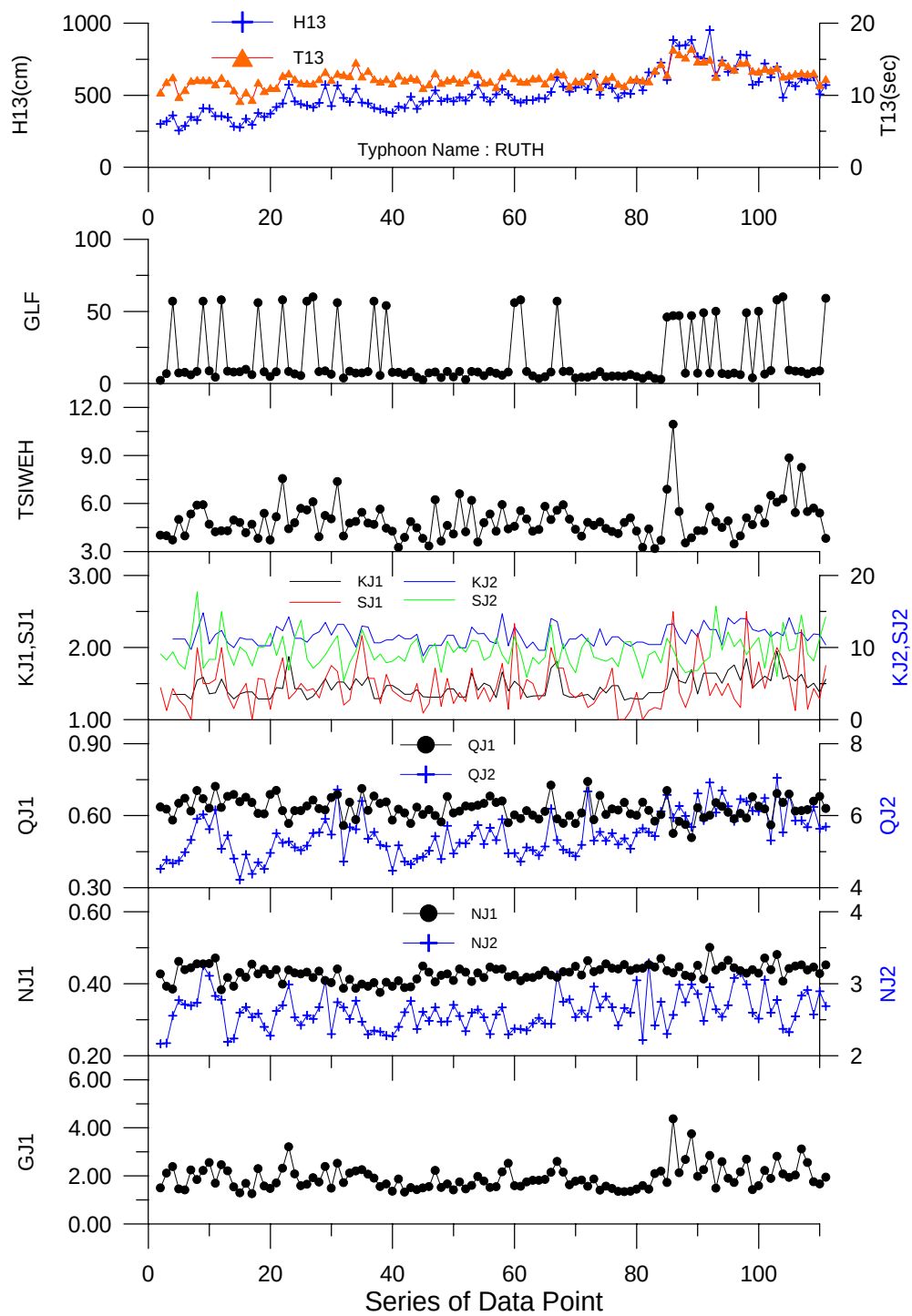


圖 5-25 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (RUTH 颱風)



GL-1.GRF

圖 5-25 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (RUTH 颱風)

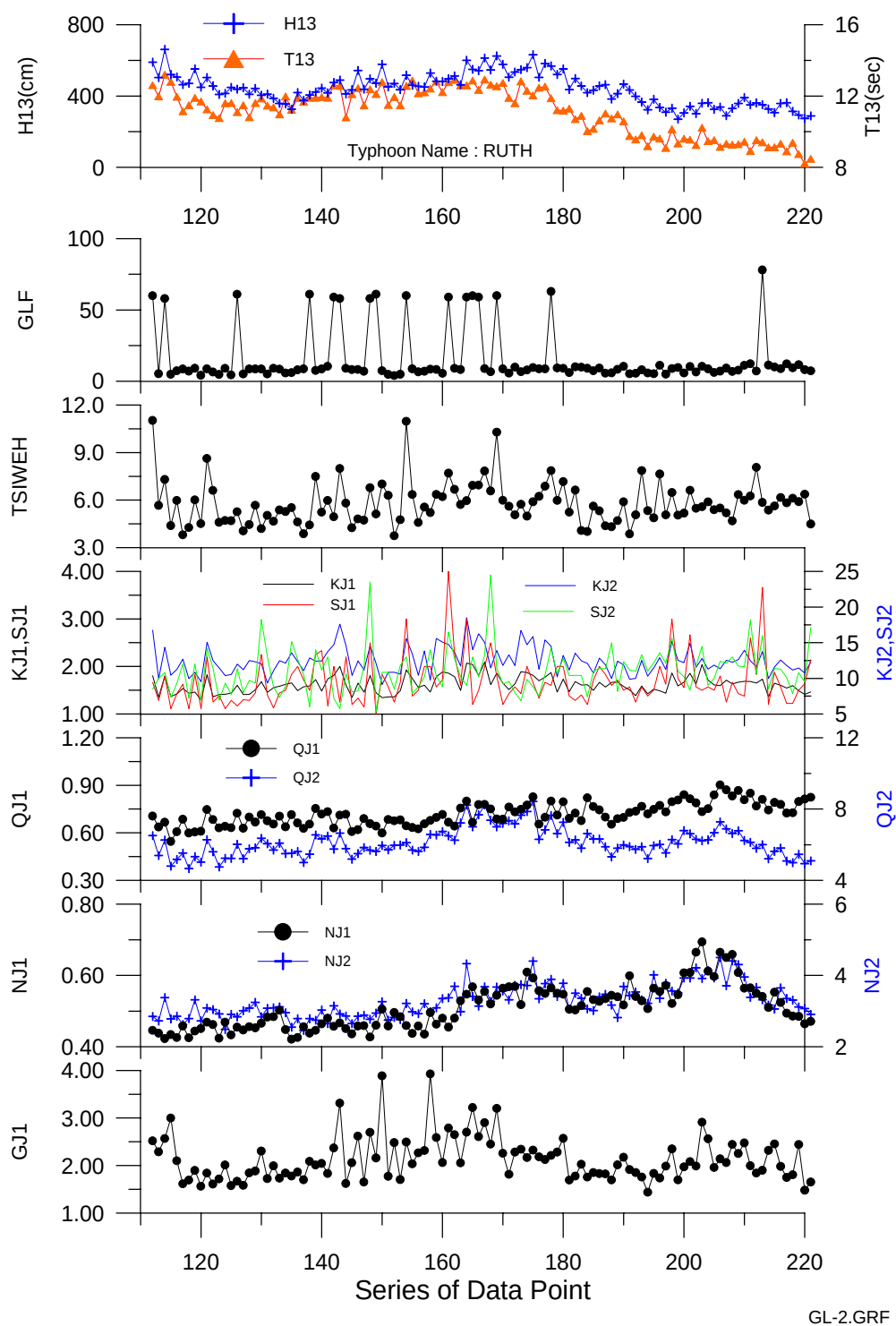


圖 5-25 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (RUTH 颱風)

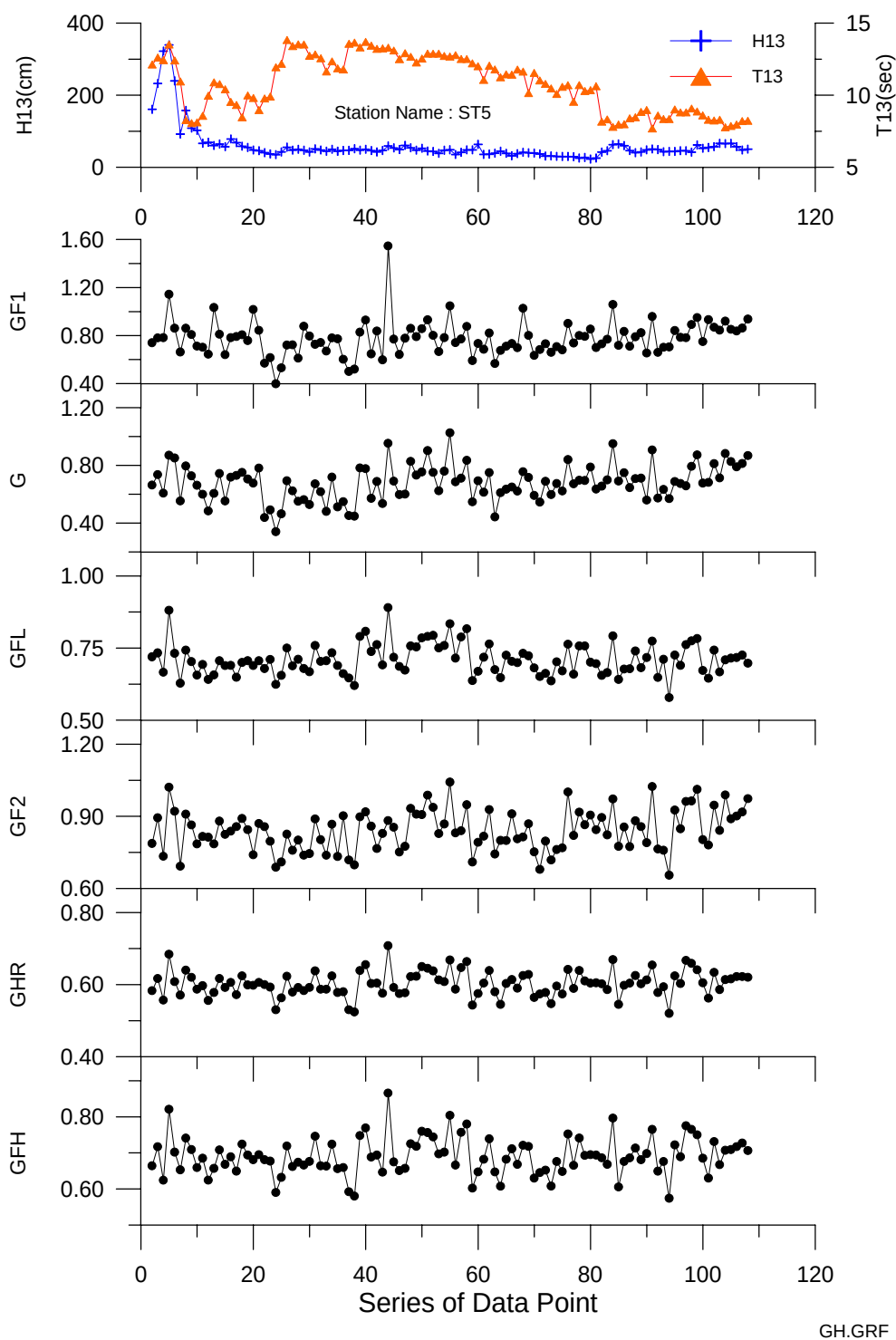


圖 5-26 示性波高、週期與群波參數變化圖（季風波浪 ST.5）

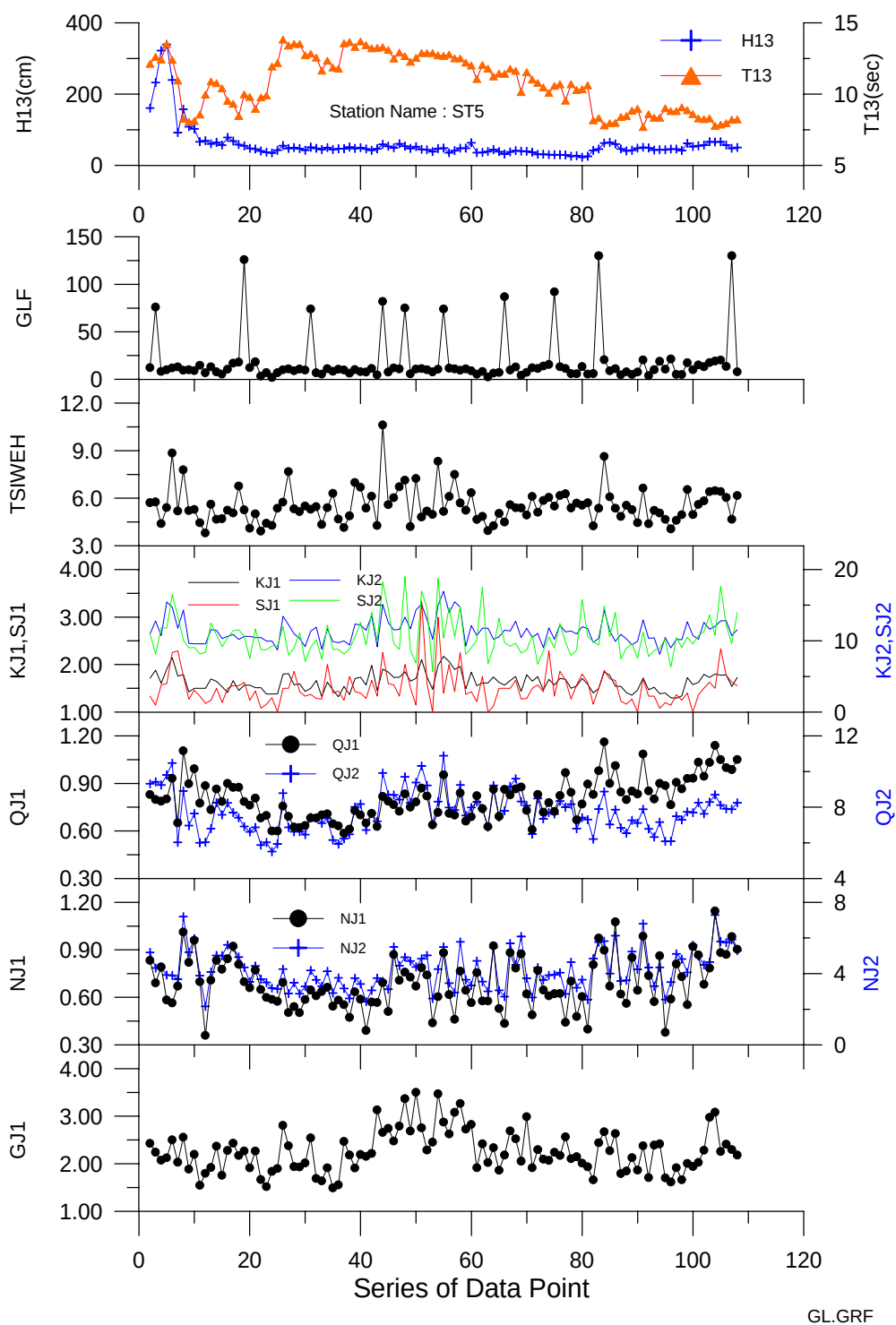
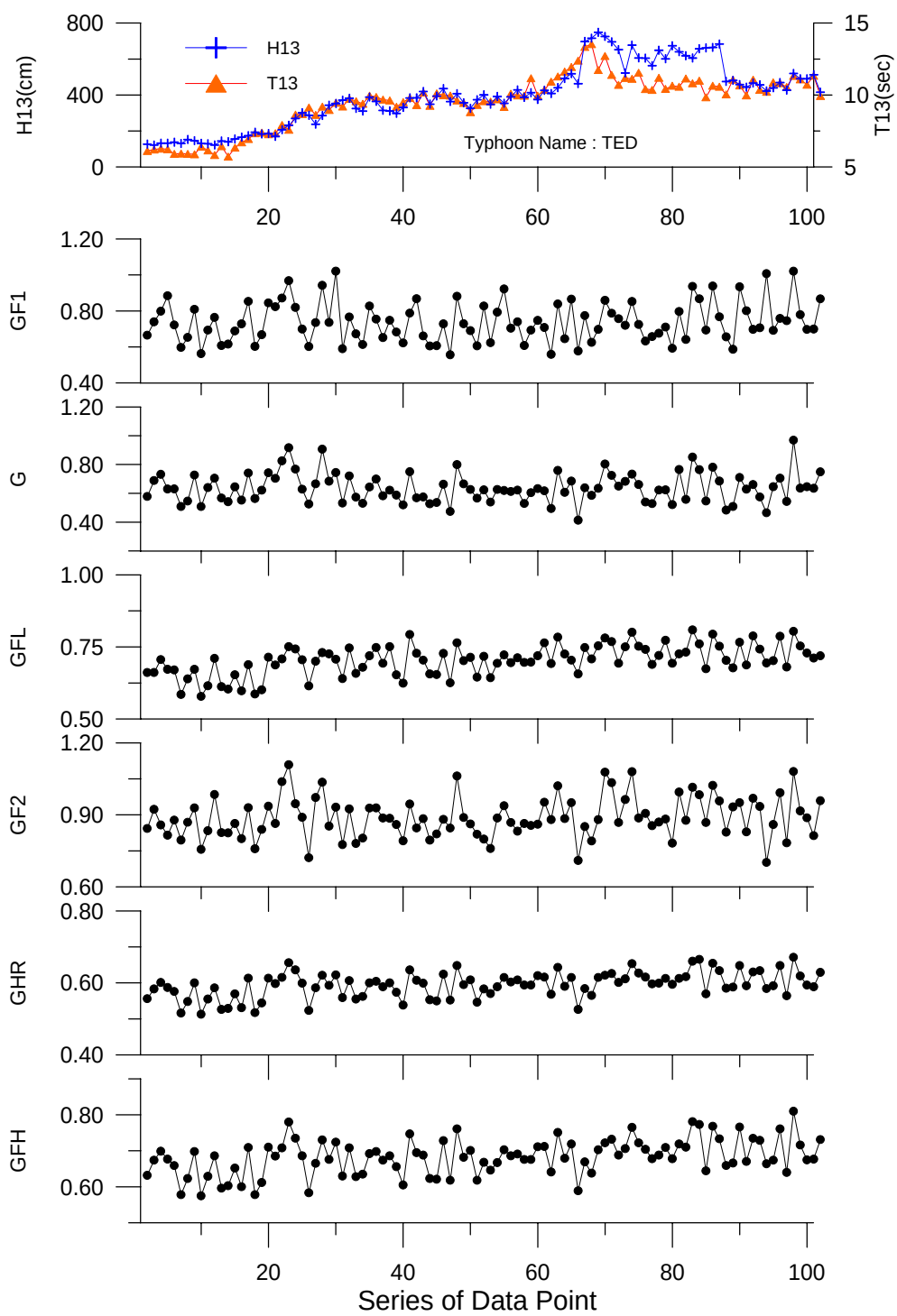
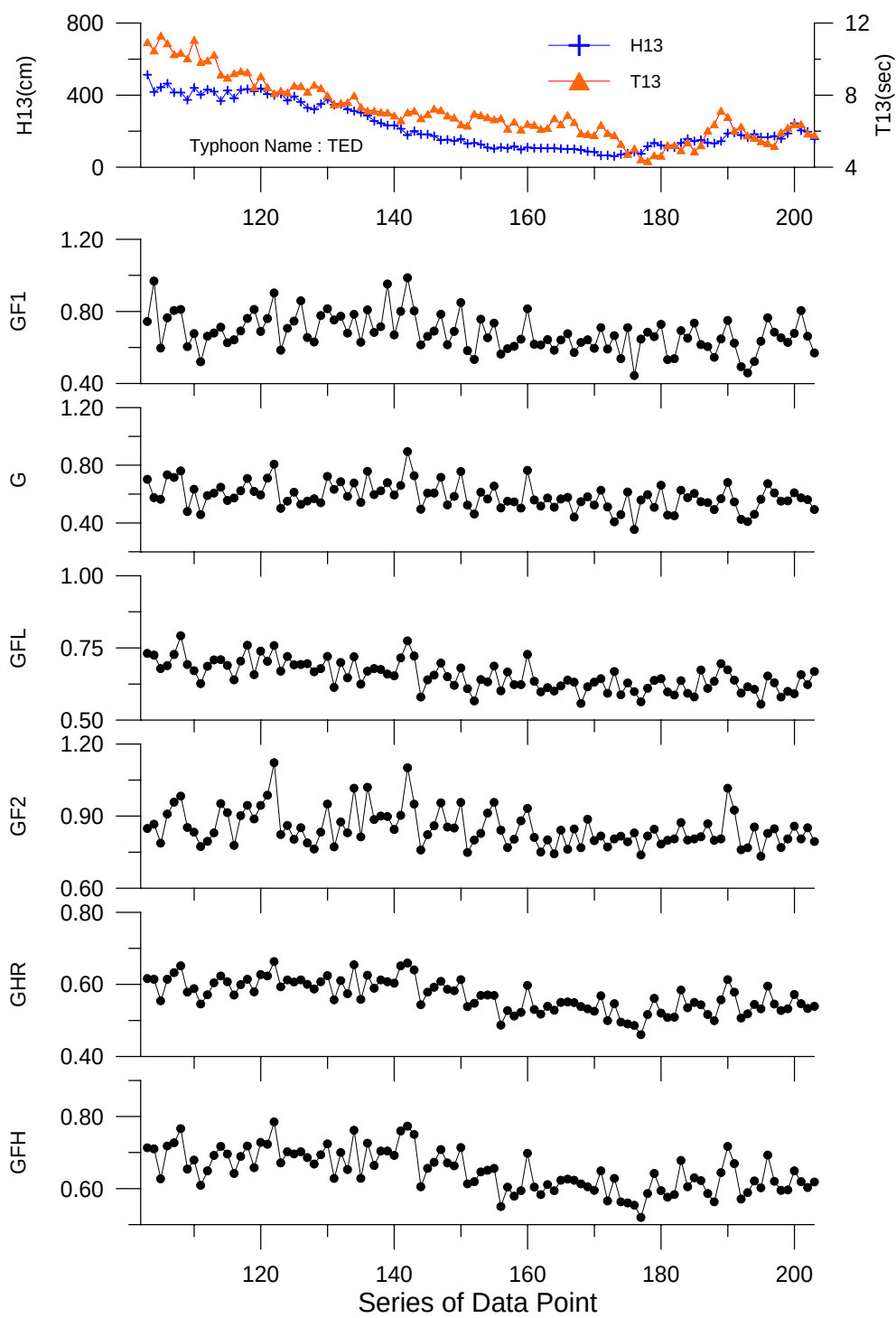


圖 5-26 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (季風波浪 ST.5)



GH-1.GRF

圖 5-27 示性波高、週期與群波參數變化圖（TED 颱風）



GH-2.GRF

圖 5-27 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (TED 颱風)

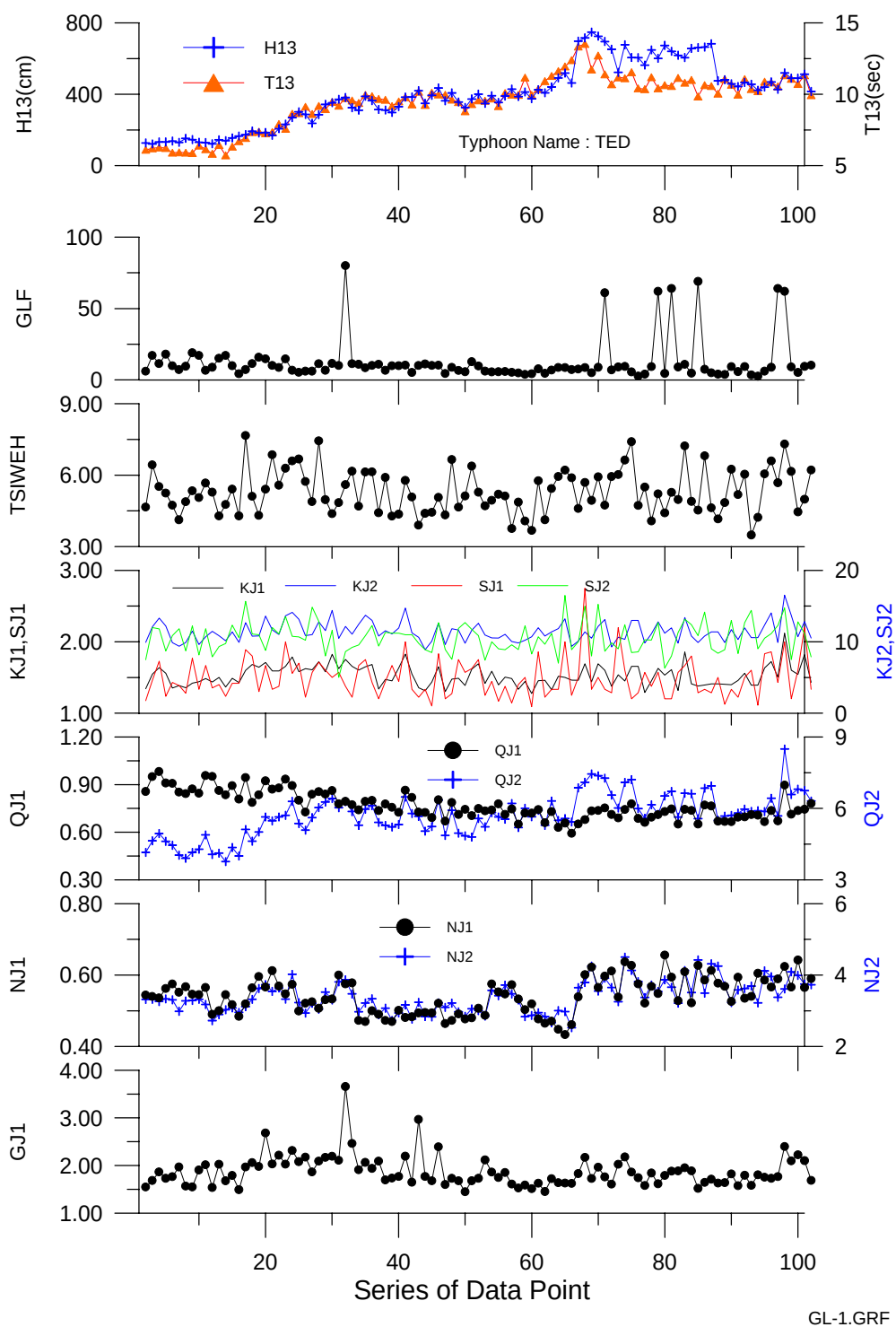
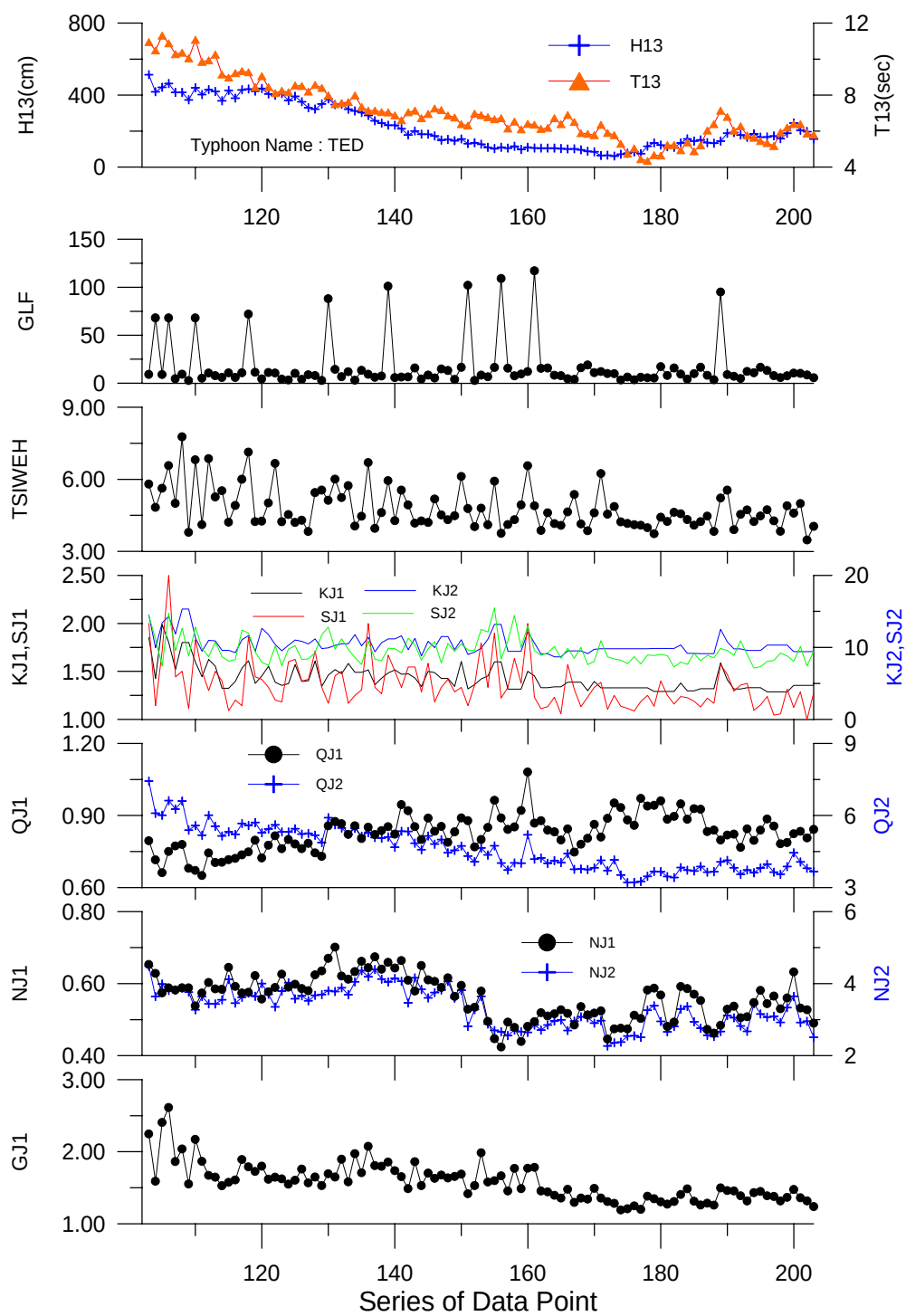


圖 5-27 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (TED 颱風)



GL-2.GRF

圖 5-27 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (TED 颱風)

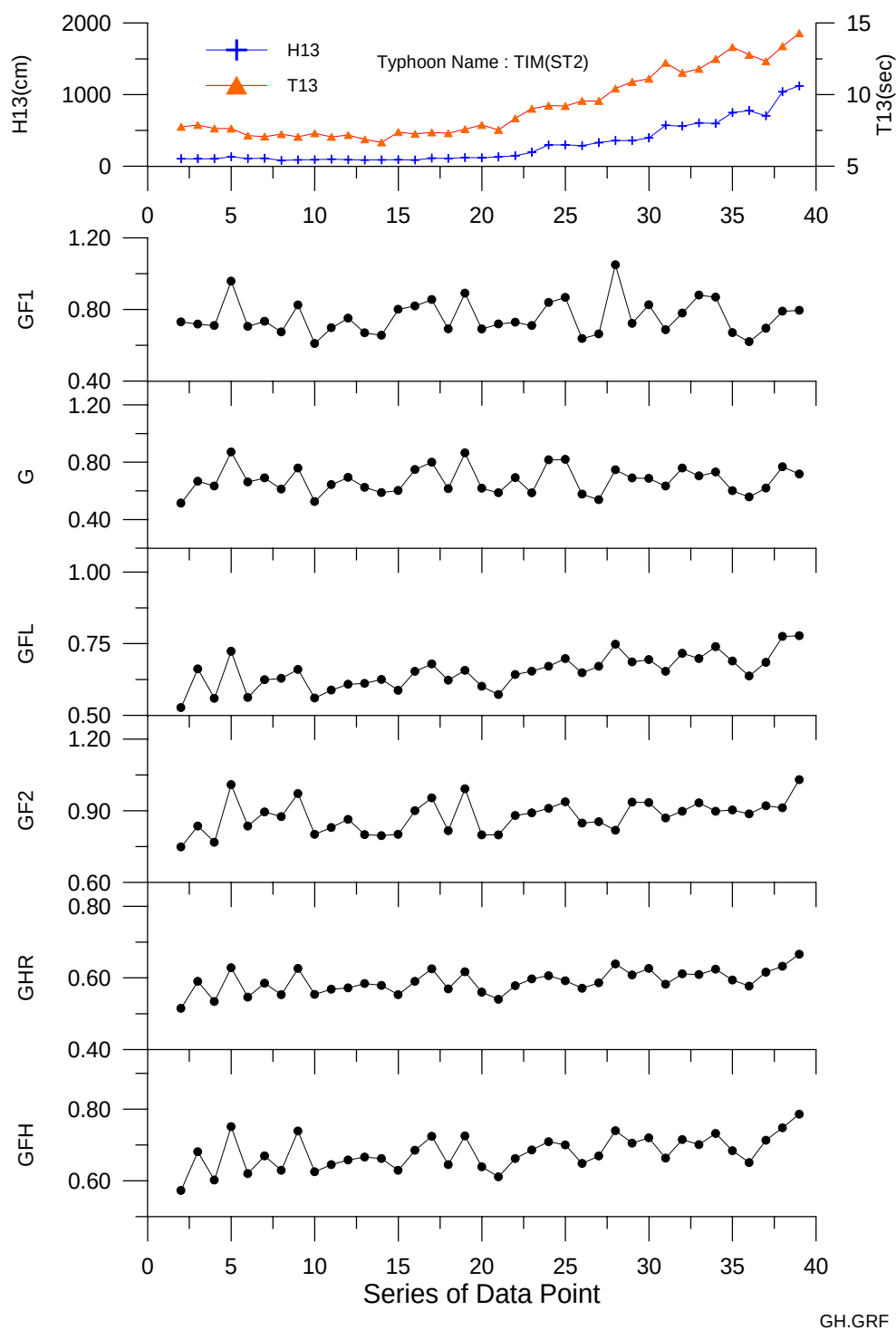


圖 5-28 示性波高、週期與群波參數變化圖 (TIM 颱風)

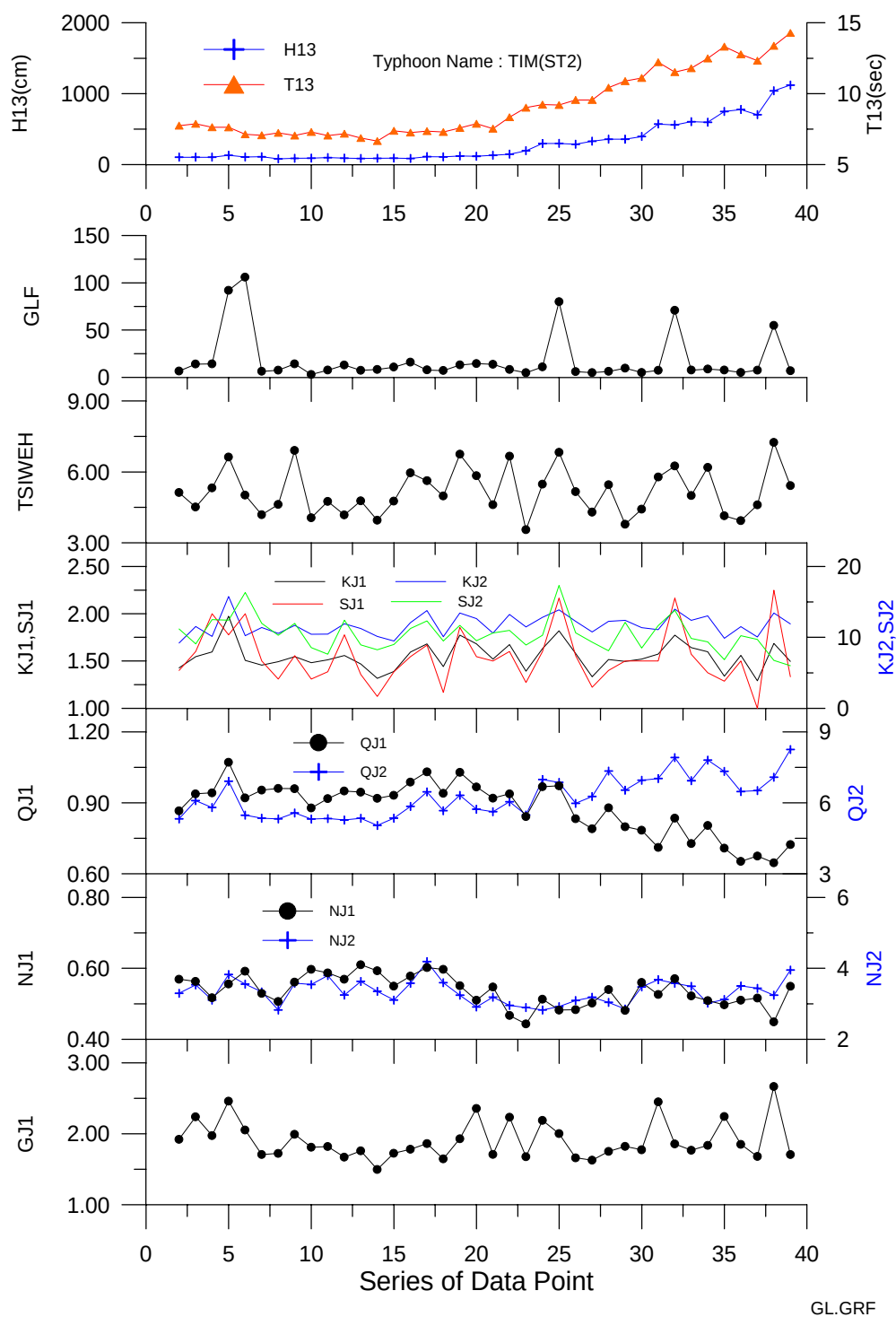
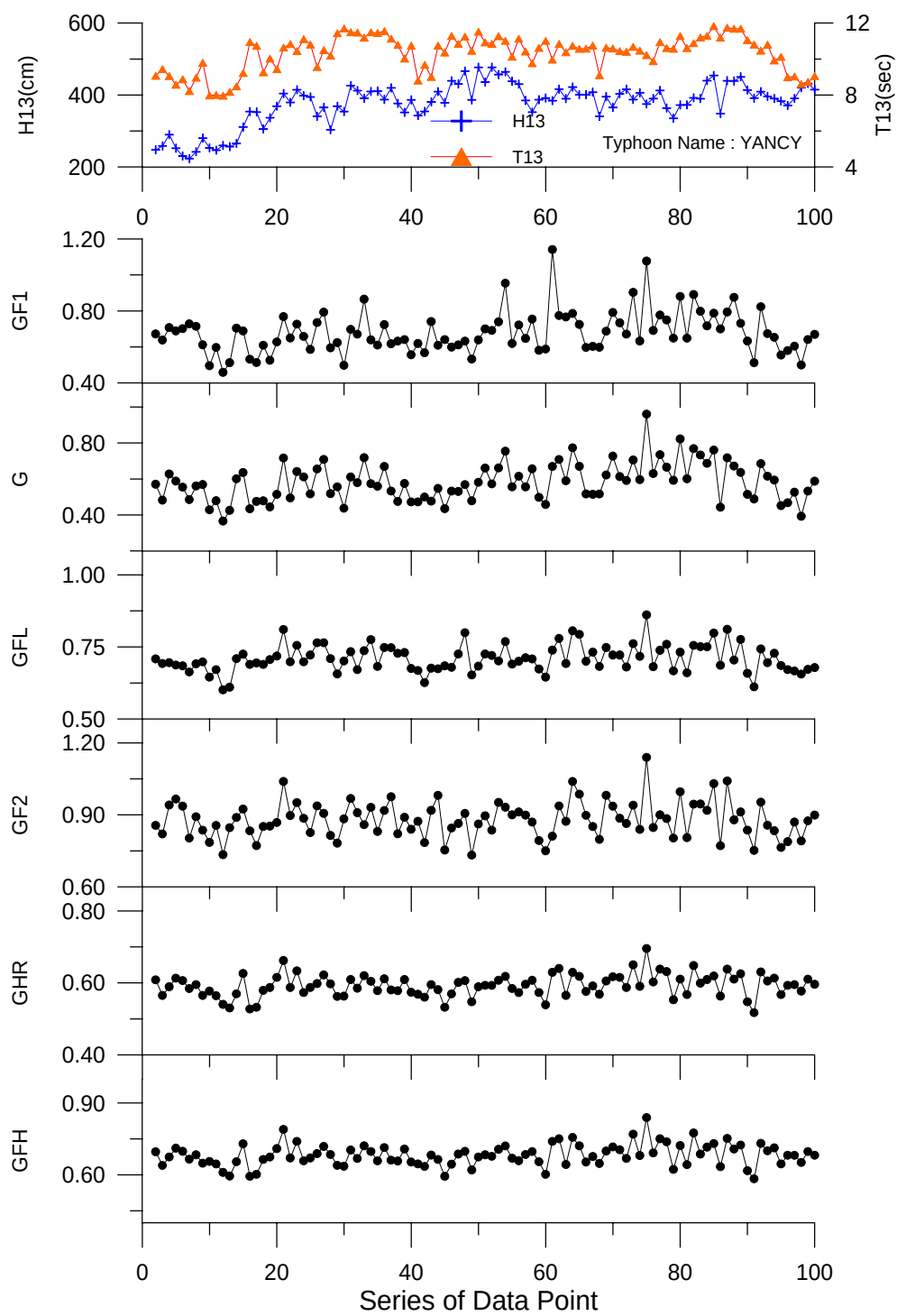


圖 5-28 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (TIM 颱風)



GH-1.GRF

圖 5-29 示性波高、週期與群波參數變化圖（YANCY 颱風）

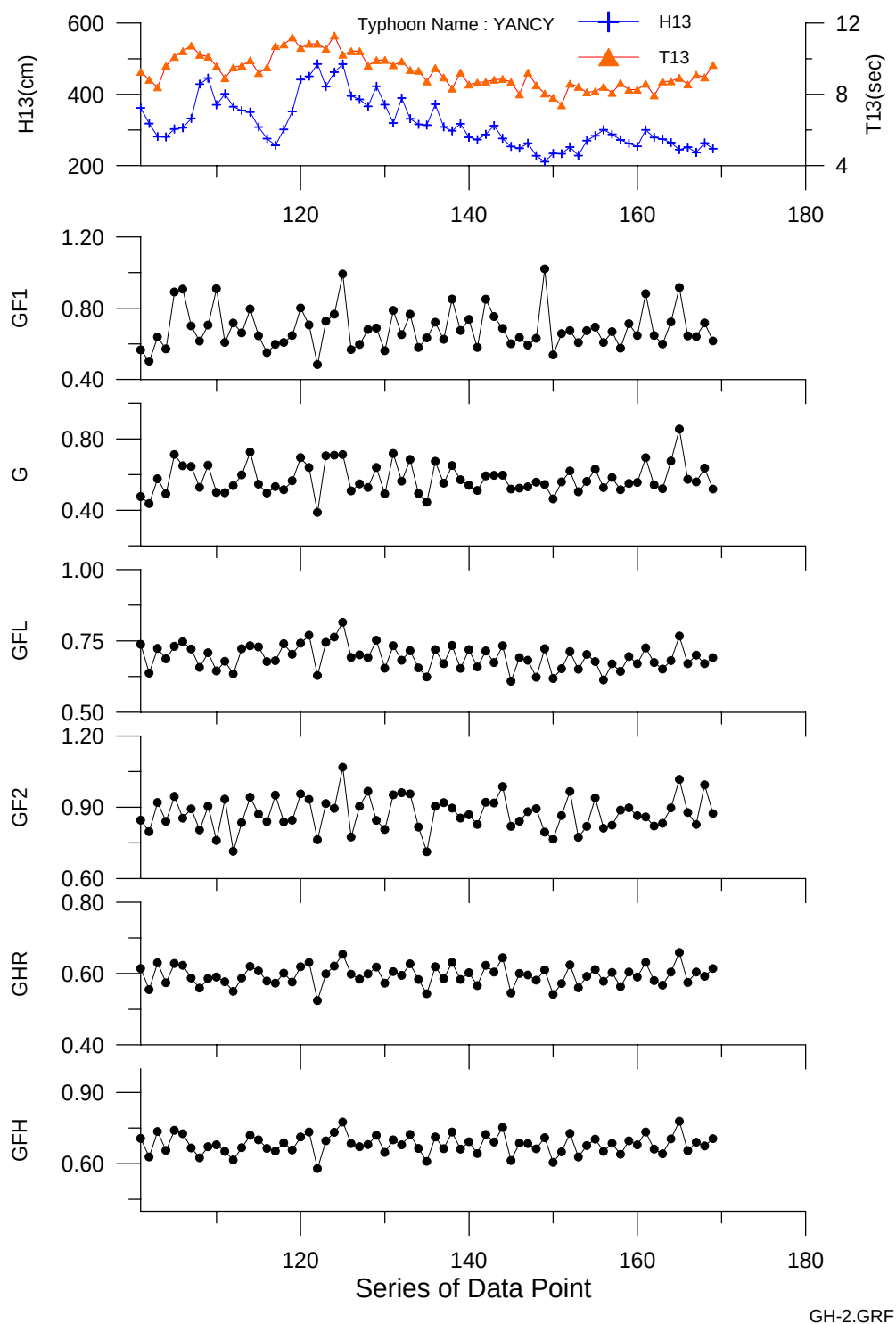


圖 5-29 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (YANCY 颱風)

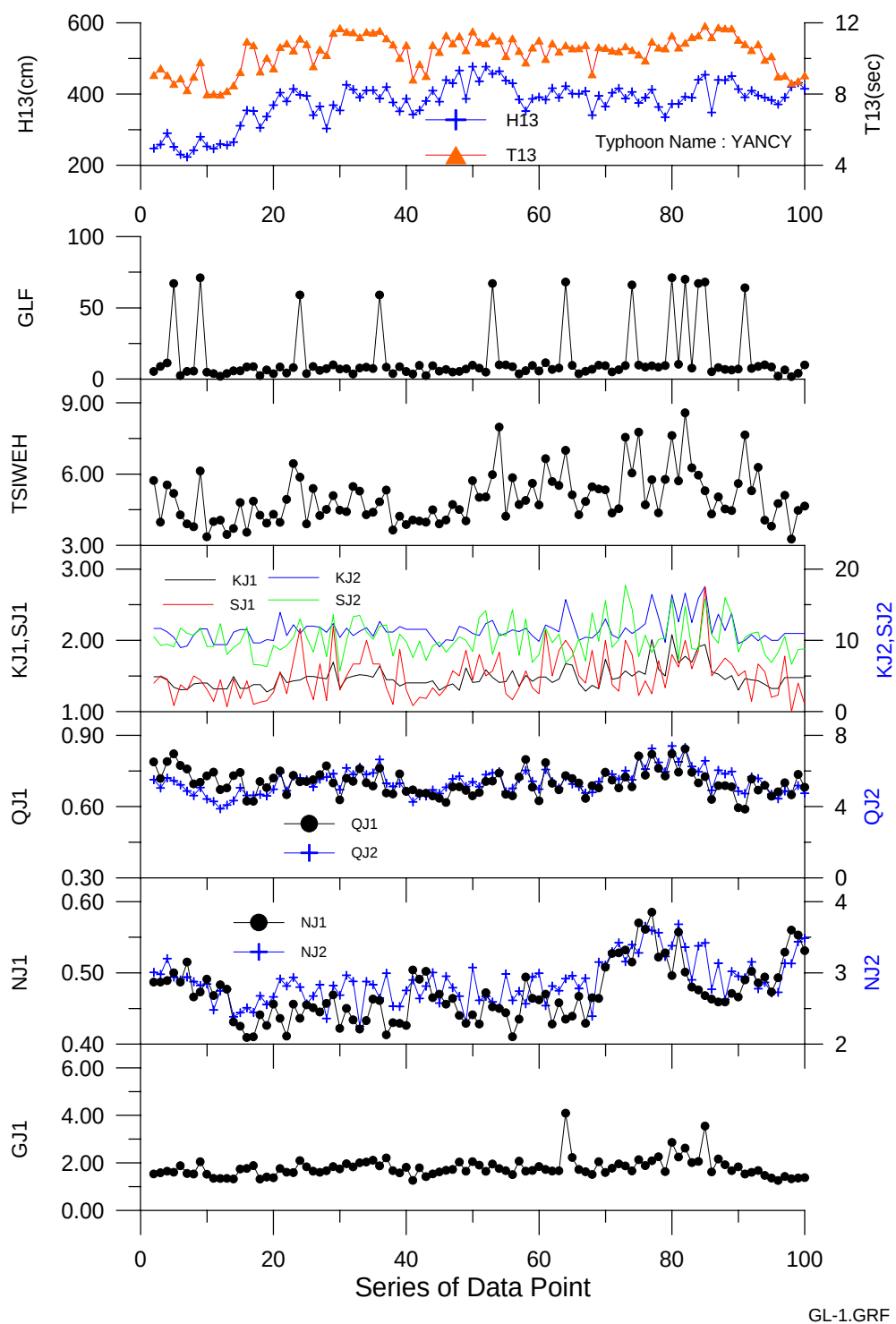


圖 5-29 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (YANCY 颱風)

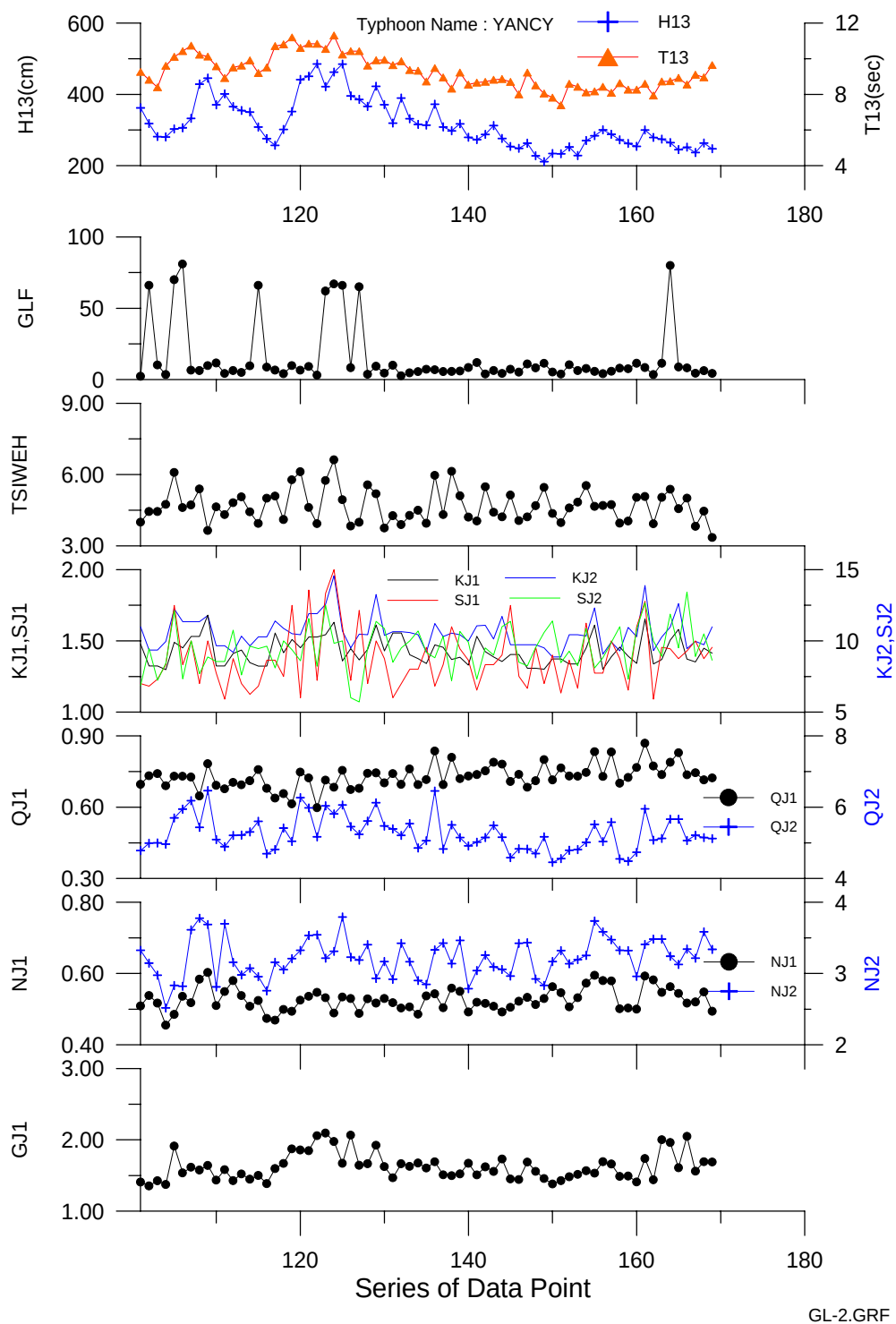
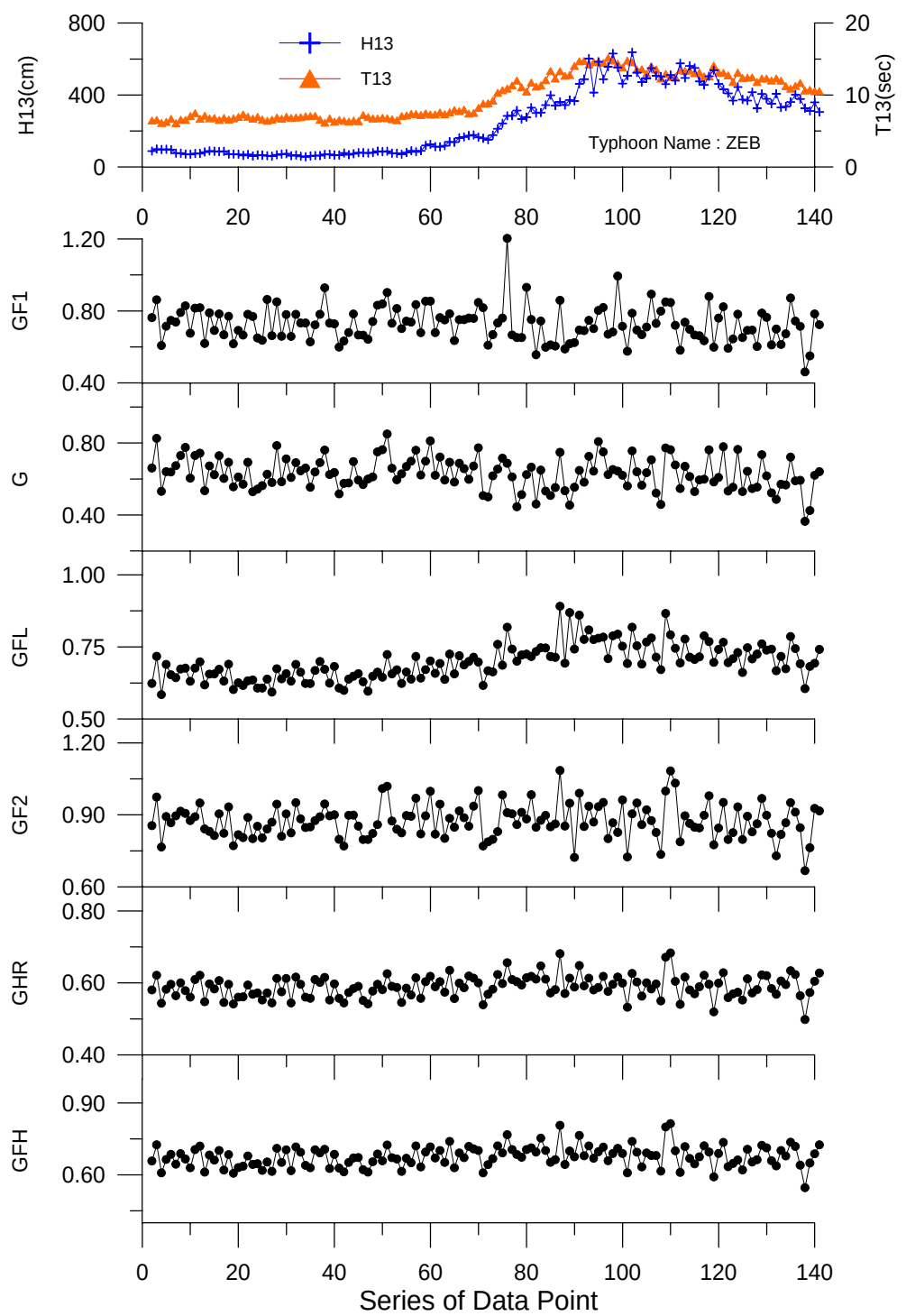


圖 5-29 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (YANCY 颱風)



GH-1.GRF

圖 5-30 示性波高、週期與群波參數變化圖（ZEB 颱風）

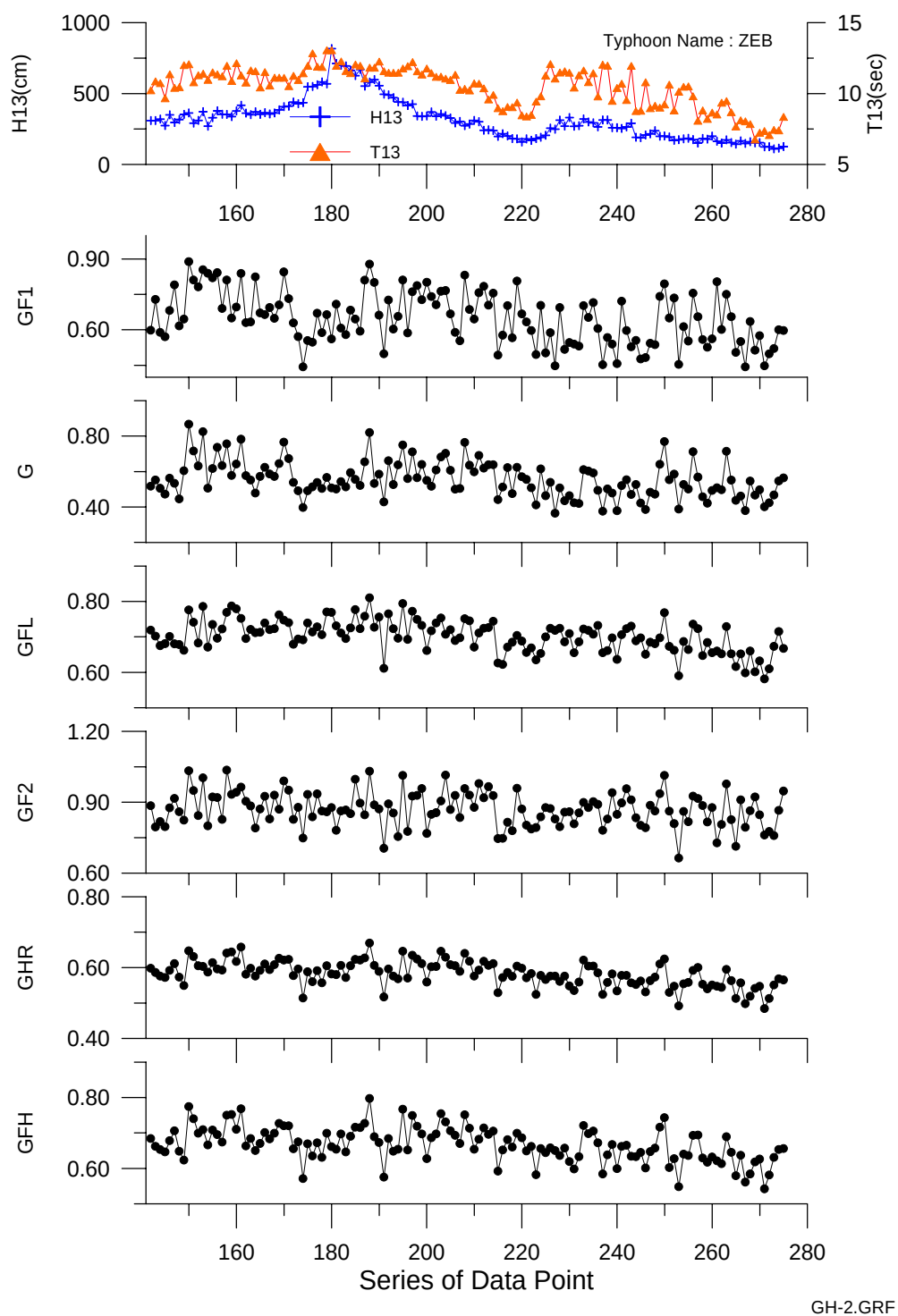


圖 5-30 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ZEB 颱風)

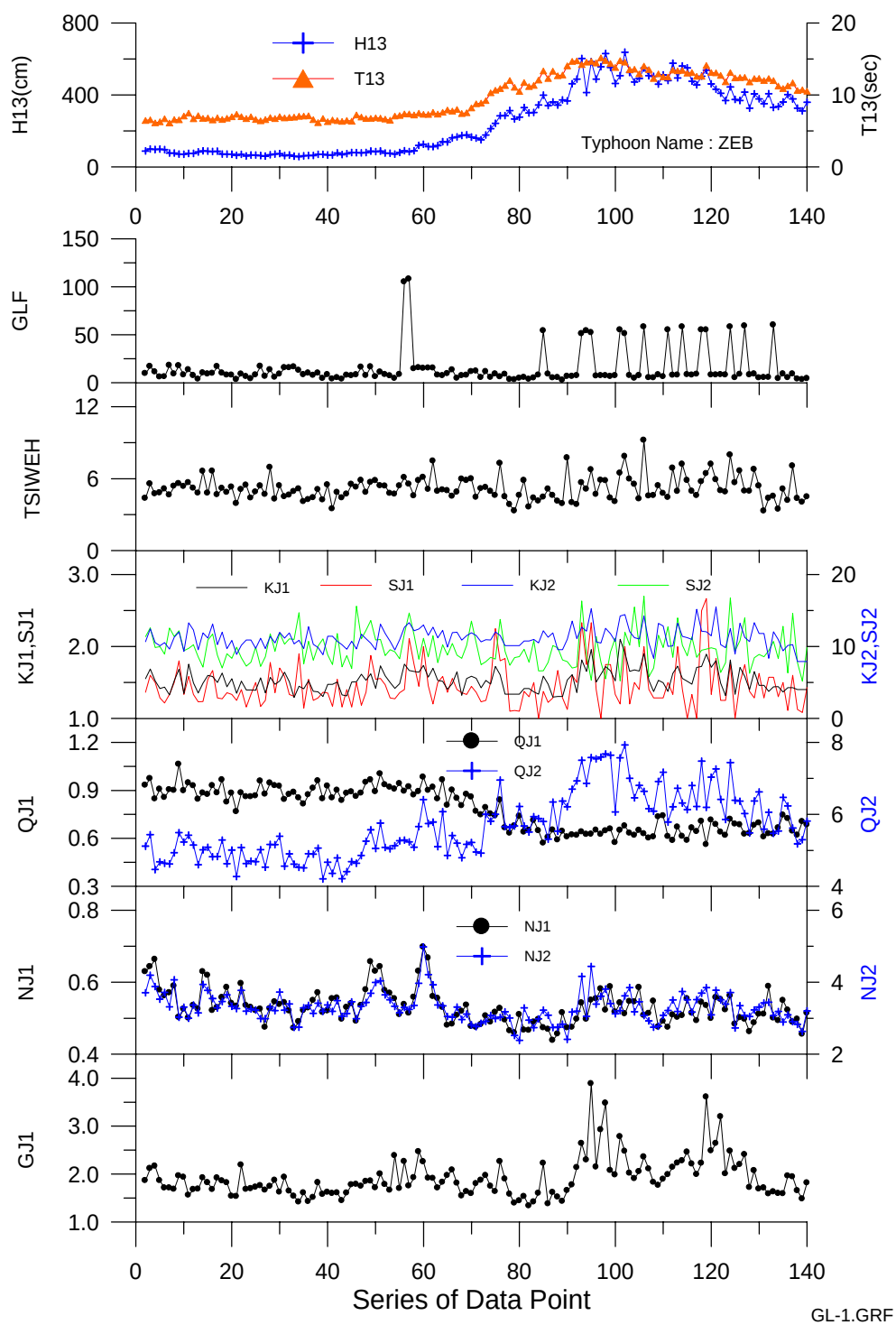


圖 5-30 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ZEB 颱風)

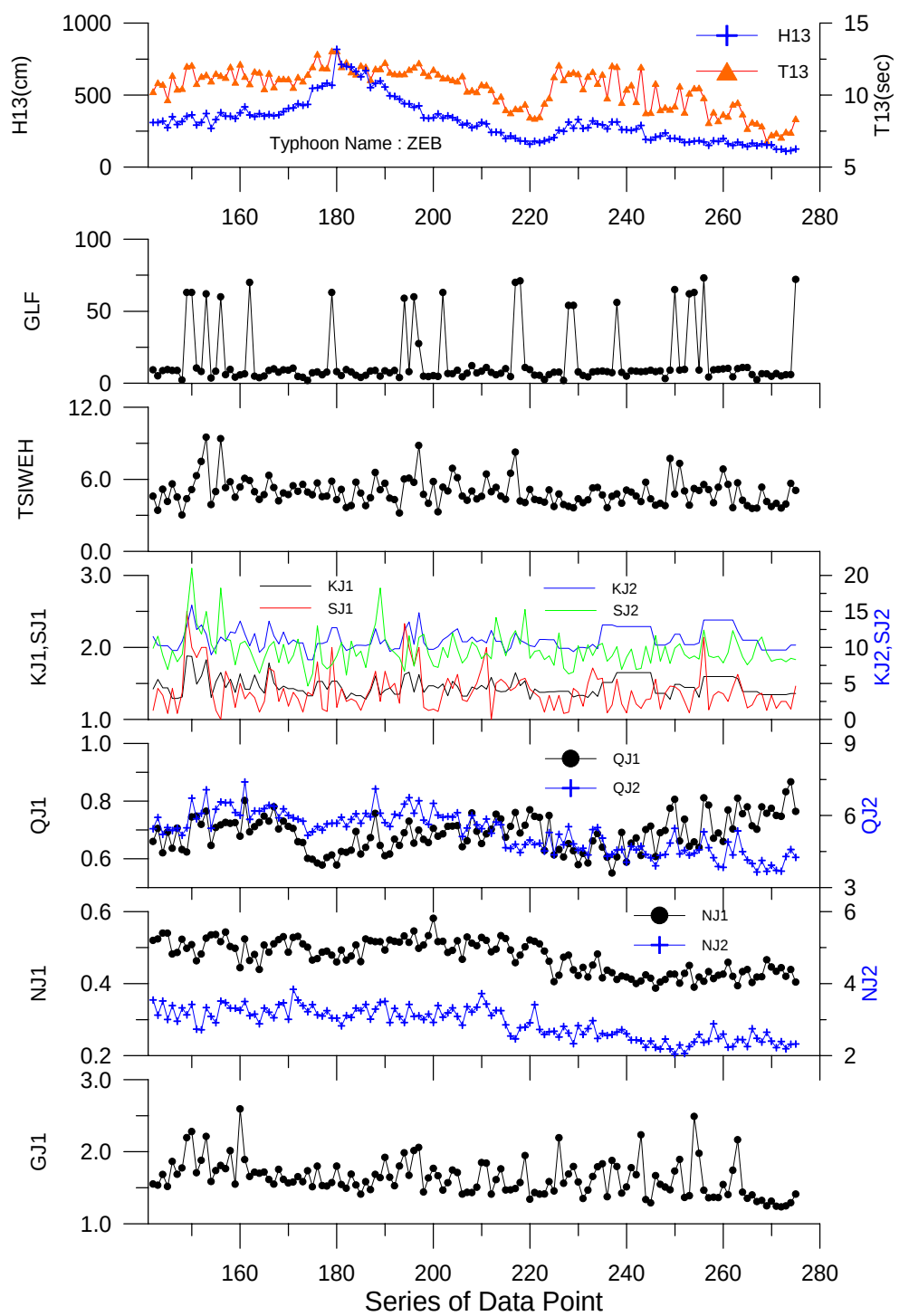


圖 5-30 (續) 示性波高、週期與群波參數變化圖 (ZEB 颱風)

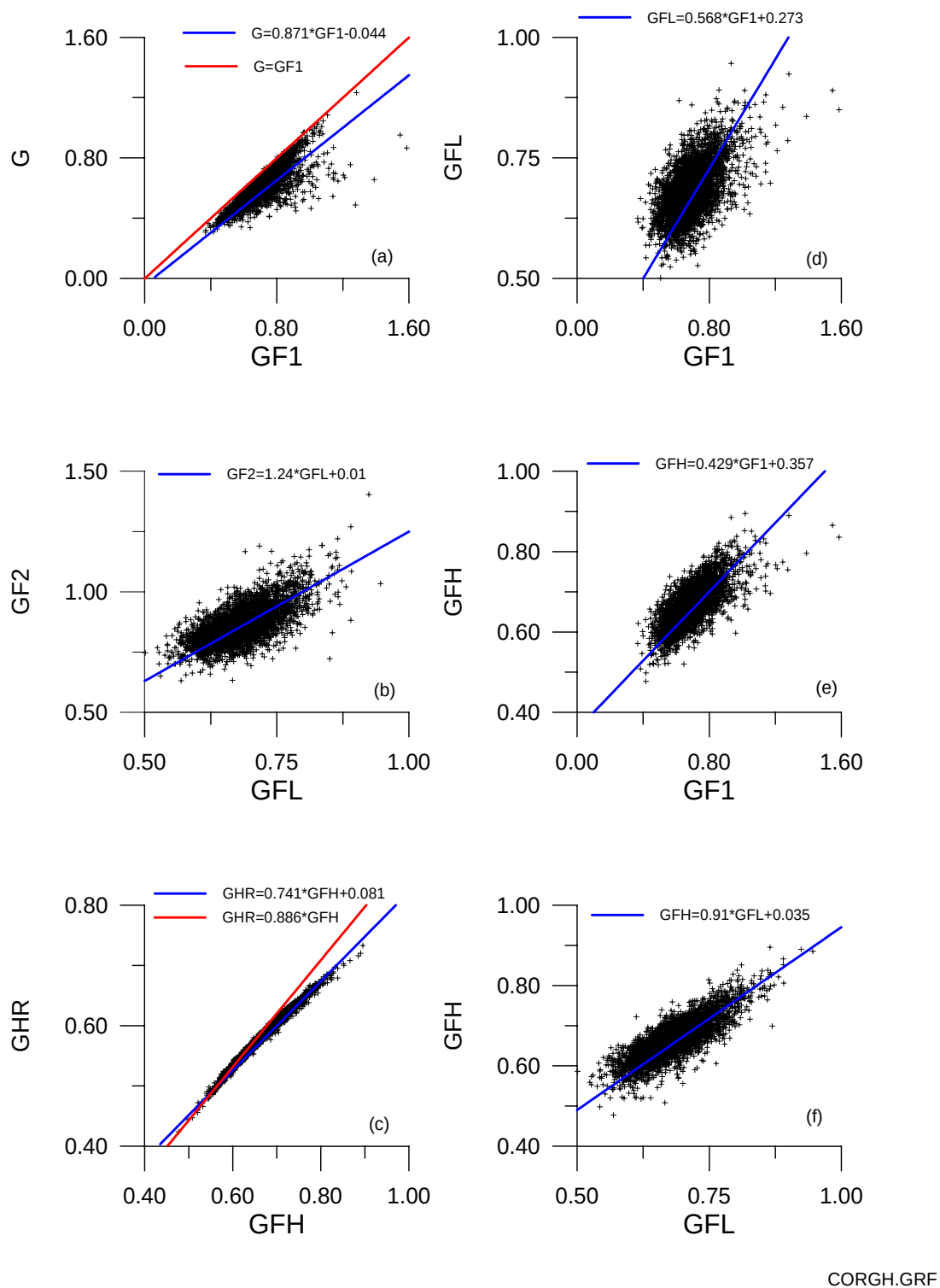
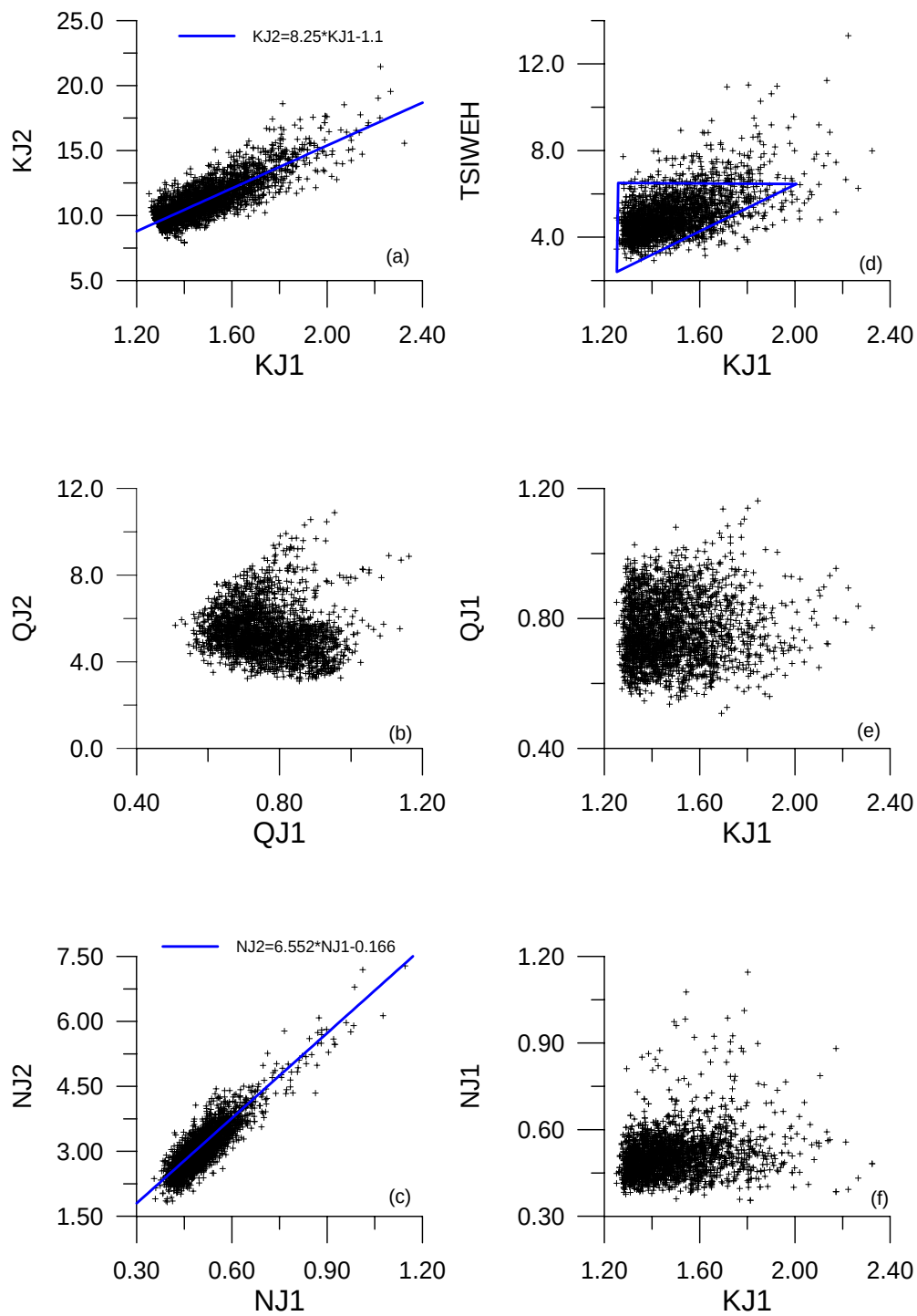


圖 5-31 群波高度參數間之相關性比較



CORGL.GRF

圖 5-32 群波長度參數間之相關性比較

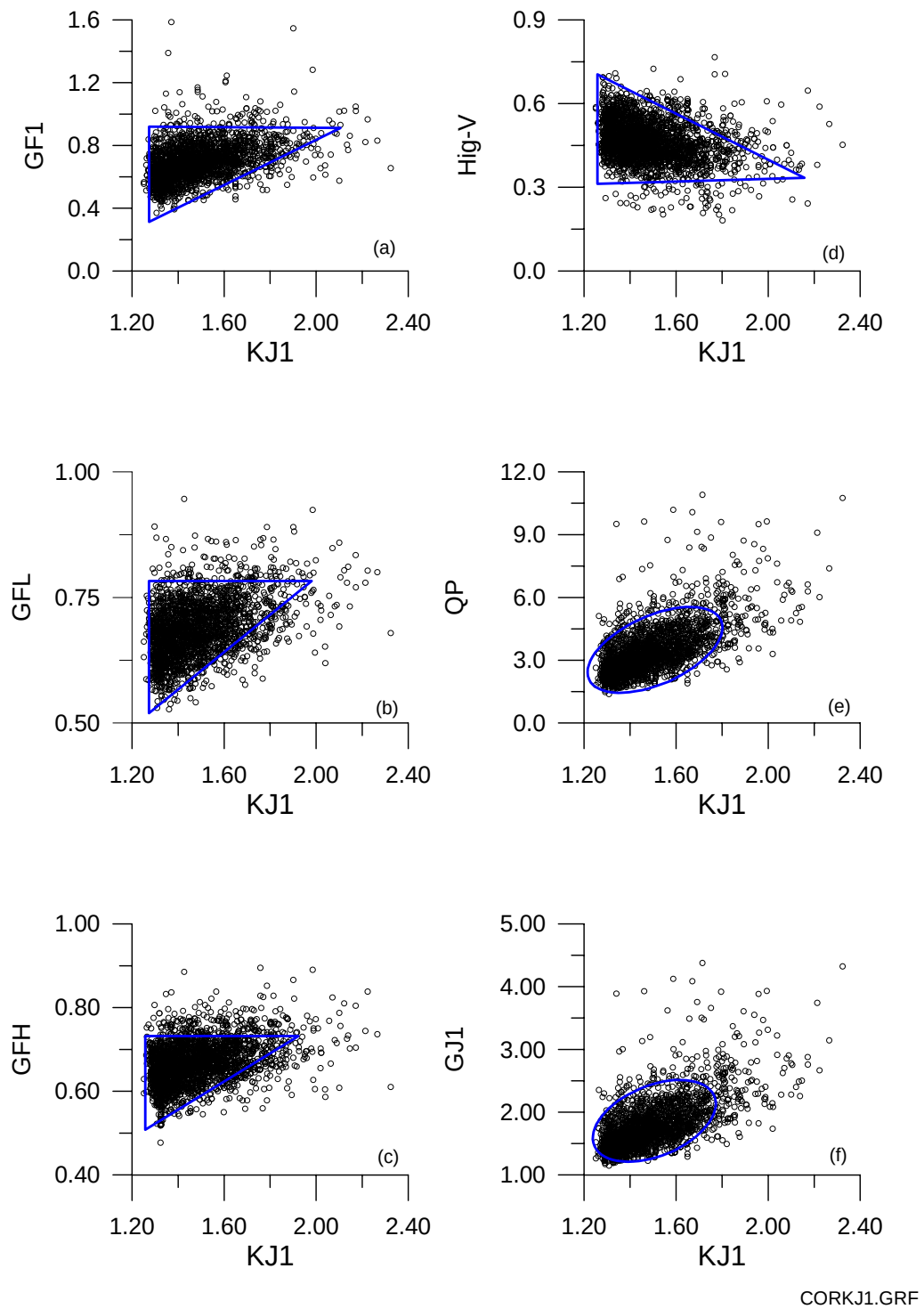
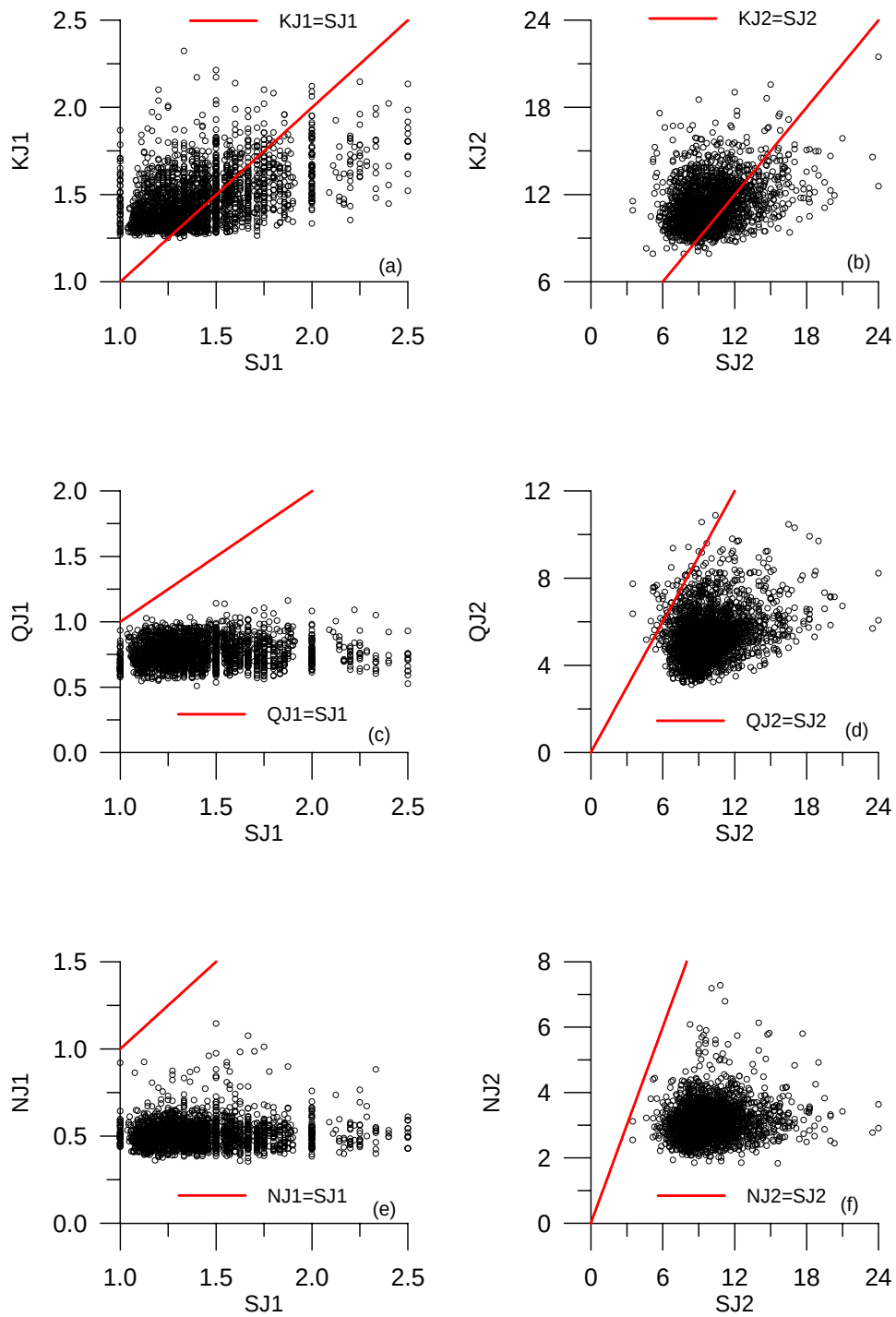
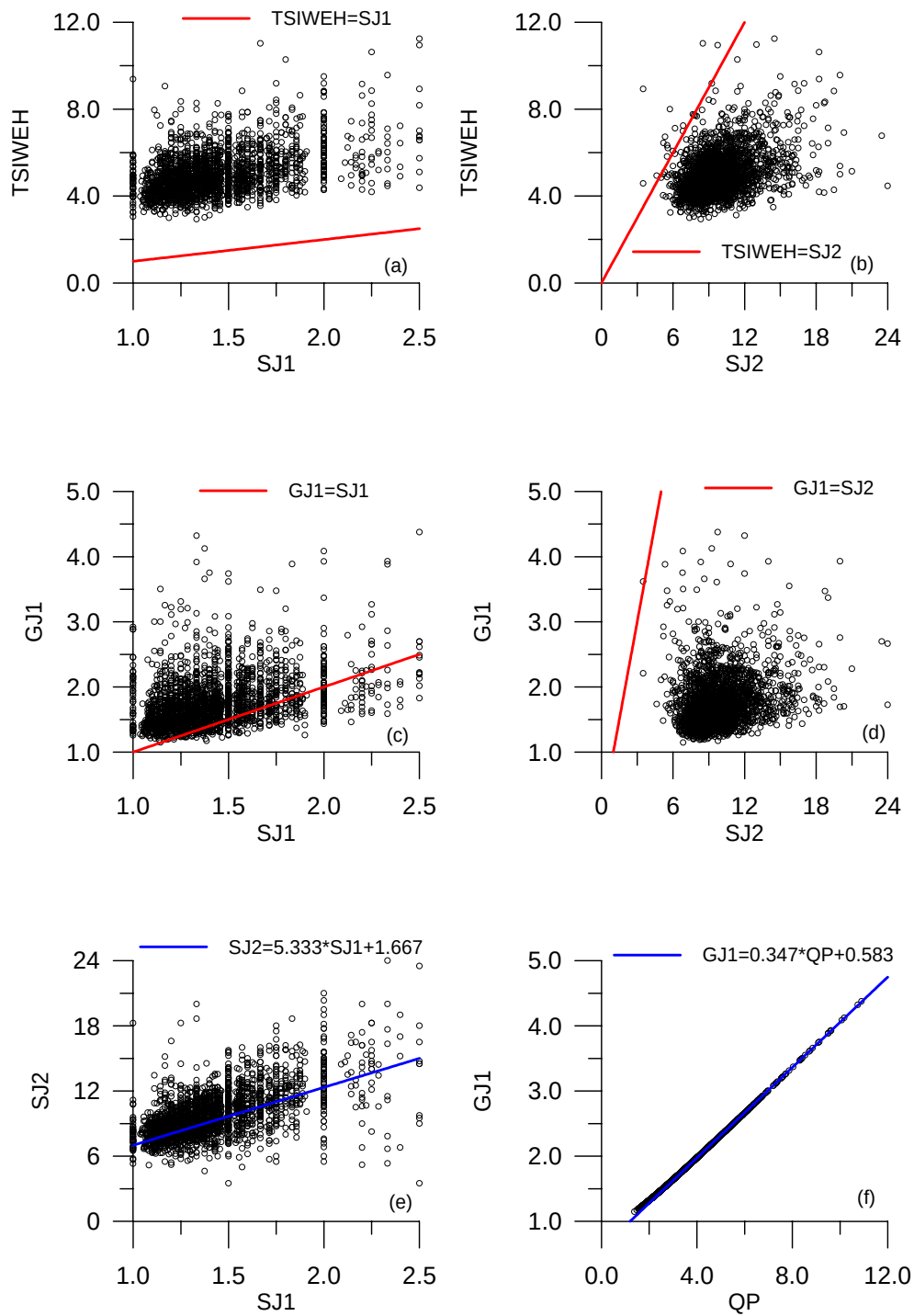


圖 5-33 平均連長(K_{J1})與群波高度參數及波譜形狀參數之相關性比較



CORSJ-A.GRF

圖 5-34 實測波連長與群波長度參數間之相關性比較



CORSJ-B.GRF

圖 5-34 (續) 實測波連長與群波長度參數間之相關性比較

表 5-1 群波高度參數統計表

颱風名稱	GF1				G				GFL				備註
	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	
ABE	0.485	1.043	0.722	0.125	0.450	1.036	0.634	0.120	0.630	0.855	0.713	0.060	
AMBER	0.532	1.056	0.745	0.124	0.484	0.971	0.665	0.118	0.524	0.813	0.678	0.060	
AMY	0.447	1.282	0.748	0.129	0.398	1.234	0.657	0.119	0.585	0.924	0.715	0.067	
BECKY	0.563	1.050	0.735	0.098	0.523	0.919	0.641	0.086	0.594	0.783	0.676	0.042	
BOBBIE	0.500	1.389	0.714	0.116	0.403	0.834	0.617	0.088	0.598	0.836	0.703	0.051	
BRENDAN	0.555	0.971	0.729	0.100	0.474	0.921	0.638	0.102	0.623	0.803	0.688	0.042	
CAITLIN	0.634	0.903	0.732	0.081	0.502	0.847	0.652	0.091	0.550	0.757	0.638	0.047	
DAT	0.384	1.083	0.616	0.130	0.344	0.827	0.517	0.098	0.575	0.712	0.622	0.034	
ED	0.492	0.949	0.618	0.116	0.376	0.907	0.528	0.117	0.557	0.784	0.668	0.053	
ELLIE	0.417	0.963	0.645	0.112	0.347	0.847	0.541	0.101	0.543	0.851	0.658	0.050	
ELSIE	0.440	1.017	0.668	0.103	0.381	0.844	0.569	0.092	0.572	0.767	0.664	0.040	
FRED	0.615	0.998	0.784	0.134	0.564	0.992	0.729	0.138	0.624	0.822	0.726	0.058	樣本不足
GLADYS	0.506	0.852	0.681	0.093	0.440	0.734	0.599	0.080	0.501	0.695	0.607	0.048	
HERB	0.512	1.112	0.729	0.118	0.337	1.045	0.630	0.125	0.530	0.865	0.662	0.067	
HUNT&GAY	0.370	1.211	0.673	0.108	0.321	0.947	0.575	0.103	0.573	0.809	0.679	0.040	
KORYN	0.391	1.062	0.687	0.120	0.328	0.997	0.596	0.113	0.538	0.868	0.649	0.066	
MARK	0.367	1.142	0.671	0.117	0.308	0.807	0.561	0.093	0.593	0.789	0.676	0.040	
MIREILLE	0.432	1.113	0.709	0.143	0.371	1.084	0.613	0.123	0.635	0.835	0.725	0.048	
NAT	0.520	1.276	0.751	0.118	0.433	1.009	0.634	0.107	0.614	0.816	0.715	0.046	
OFELIA	0.456	1.586	0.732	0.135	0.399	0.895	0.633	0.099	0.527	0.850	0.721	0.057	
OMAR	0.463	1.144	0.702	0.119	0.367	0.900	0.612	0.102	0.607	0.811	0.685	0.044	
OTTO	0.416	1.046	0.650	0.114	0.309	0.772	0.552	0.095	0.553	0.794	0.660	0.044	
POLLY	0.445	1.006	0.664	0.114	0.367	0.846	0.567	0.102	0.616	0.789	0.684	0.041	
ROBYN	0.517	1.071	0.711	0.095	0.444	1.009	0.628	0.106	0.556	0.785	0.657	0.048	
RUTH	0.473	1.154	0.705	0.123	0.384	0.918	0.613	0.117	0.603	0.946	0.729	0.051	
#####	0.399	1.546	0.777	0.146	0.340	1.025	0.679	0.124	0.578	0.890	0.710	0.054	季風波浪
TED	0.444	1.021	0.709	0.111	0.354	0.969	0.611	0.101	0.555	0.809	0.678	0.058	
TIM	0.610	1.049	0.756	0.097	0.515	0.872	0.673	0.093	0.527	0.778	0.652	0.060	
YANCY	0.459	1.141	0.681	0.114	0.366	0.960	0.579	0.097	0.601	0.861	0.703	0.046	
ZEB	0.443	1.203	0.689	0.112	0.364	0.867	0.594	0.104	0.581	0.891	0.699	0.054	
全體	0.367	1.586	0.682	0.113	0.308	1.234	0.586	0.104	0.501	0.946	0.682	0.051	

備註：1.全體之平均值係以各颱風波浪資料筆數為權重計算所得。

2.FRED 颱風之波浪資料筆數太少，故不計。

表 5-1 (續) 群波高度參數統計表

颱風名稱	GF2				GHR				GFH				備註
	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	
ABE	0.744	1.151	0.893	0.095	0.518	0.685	0.586	0.038	0.586	0.816	0.673	0.052	
AMBER	0.746	1.148	0.893	0.094	0.500	0.703	0.599	0.040	0.559	0.851	0.694	0.060	
AMY	0.714	1.404	0.889	0.109	0.521	0.720	0.601	0.037	0.578	0.890	0.692	0.055	
BECKY	0.734	1.025	0.868	0.062	0.532	0.659	0.589	0.030	0.601	0.781	0.675	0.042	
BOBBIE	0.729	1.193	0.882	0.071	0.520	0.673	0.592	0.030	0.583	0.796	0.681	0.043	
BRENDAN	0.723	1.094	0.883	0.078	0.550	0.685	0.595	0.029	0.623	0.814	0.683	0.042	
CAITLIN	0.734	0.979	0.867	0.065	0.518	0.643	0.580	0.030	0.591	0.752	0.665	0.040	
DAT	0.663	0.932	0.816	0.060	0.447	0.639	0.532	0.040	0.508	0.758	0.606	0.052	
ED	0.724	1.115	0.854	0.073	0.492	0.656	0.562	0.034	0.550	0.776	0.642	0.049	
ELLIE	0.700	1.157	0.843	0.074	0.444	0.664	0.558	0.034	0.498	0.793	0.637	0.045	
ELSIE	0.719	1.044	0.851	0.064	0.503	0.665	0.574	0.029	0.565	0.783	0.656	0.040	
FRED	0.658	1.046	0.834	0.125	0.523	0.662	0.591	0.039	0.582	0.794	0.681	0.059	樣本不足
GLADYS	0.722	0.926	0.829	0.054	0.515	0.605	0.558	0.026	0.585	0.698	0.637	0.034	
HERB	0.650	1.220	0.874	0.093	0.495	0.733	0.585	0.040	0.558	0.895	0.676	0.058	
HUNT&GAY	0.676	1.128	0.860	0.069	0.495	0.668	0.581	0.028	0.556	0.786	0.665	0.039	
KORYN	0.666	1.190	0.852	0.088	0.461	0.687	0.559	0.042	0.519	0.825	0.640	0.056	
MARK	0.693	1.057	0.852	0.073	0.488	0.684	0.575	0.035	0.556	0.813	0.657	0.046	
MIREILLE	0.731	1.192	0.879	0.088	0.531	0.678	0.596	0.036	0.605	0.824	0.687	0.053	
NAT	0.745	1.121	0.888	0.076	0.526	0.670	0.601	0.030	0.591	0.795	0.692	0.044	
OFELIA	0.701	1.107	0.887	0.078	0.500	0.687	0.599	0.034	0.553	0.836	0.691	0.051	
OMAR	0.727	1.175	0.881	0.079	0.472	0.674	0.588	0.034	0.521	0.802	0.675	0.048	
OTTO	0.631	1.147	0.851	0.076	0.424	0.667	0.560	0.043	0.477	0.787	0.640	0.055	
POLLY	0.700	1.044	0.865	0.066	0.508	0.670	0.587	0.031	0.566	0.788	0.673	0.043	
ROBYN	0.701	1.119	0.869	0.079	0.498	0.676	0.571	0.033	0.563	0.805	0.653	0.047	
RUTH	0.697	1.107	0.893	0.085	0.518	0.716	0.593	0.036	0.578	0.885	0.684	0.052	
#####	0.655	1.042	0.841	0.085	0.520	0.708	0.603	0.035	0.574	0.866	0.691	0.052	季風波浪
TED	0.702	1.122	0.870	0.084	0.460	0.671	0.581	0.043	0.520	0.810	0.667	0.056	
TIM	0.748	1.030	0.878	0.067	0.515	0.666	0.590	0.033	0.573	0.786	0.679	0.047	
YANCY	0.712	1.139	0.877	0.073	0.517	0.695	0.594	0.030	0.579	0.838	0.682	0.043	
ZEB	0.663	1.085	0.873	0.072	0.484	0.683	0.586	0.033	0.542	0.813	0.672	0.046	
全體	0.631	1.404	0.865	0.076	0.424	0.733	0.578	0.035	0.477	0.895	0.662	0.048	

備註：1.全體之平均值係以各颱風波浪資料筆數為權重計算所得。

2.FRED 颱風之波浪資料筆數太少，故不計。

表 5-2 不同颱風路徑之群波高度參數統計值

颱風路徑 名稱代號	GF1			G			GFL			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
路徑 1	0.417	1.043	0.663	0.347	1.036	0.563	0.543	0.855	0.671	2
路徑 2	0.391	1.282	0.710	0.328	1.234	0.615	0.538	0.946	0.692	7
路徑 3	0.443	1.586	0.704	0.354	0.969	0.607	0.527	0.891	0.695	3
路徑 4	0.367	1.142	0.671	0.308	0.807	0.561	0.593	0.789	0.676	1
路徑 5	0.384	1.144	0.684	0.309	0.971	0.593	0.501	0.695	0.666	8
路徑 6	0.459	1.121	0.701	0.337	1.045	0.604	0.530	0.865	0.682	3
路徑 7	0.370	1.389	0.681	0.321	1.084	0.583	0.572	0.836	0.683	4

備註：路徑 1：經台灣北部西行。

路徑 2：經台灣南部西行。

路徑 3：經中央山脈東側北行。

路徑 4：經台灣海峽北行。

路徑 5：跨越中央山脈西行。

路徑 6：經台灣東部近海西北行（距岸 200 公里以內）。

路徑 7：經台灣東部外海西北轉東北行（距岸 200 公里以外）。本路徑又稱遠洋颱風。

表 5-2(續) 不同颱風路徑之群波高度參數統計值

颱風路徑 名稱代號	GF2			GHR			GFH			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
路徑 1	0.700	1.657	0.855	0.444	0.685	0.565	0.498	0.816	0.646	2
路徑 2	0.666	1.404	0.875	0.461	0.720	0.583	0.519	0.890	0.670	7
路徑 3	0.663	1.122	0.874	0.460	0.687	0.587	0.520	0.836	0.674	3
路徑 4	0.693	1.057	0.852	0.488	0.684	0.575	0.556	0.813	0.657	1
路徑 5	0.631	1.175	0.865	0.424	0.605	0.577	0.477	0.851	0.662	8
路徑 6	0.650	1.220	0.874	0.495	0.733	0.587	0.558	0.895	0.674	3
路徑 7	0.676	1.193	0.863	0.495	0.678	0.582	0.556	0.824	0.667	4

表 5-3 不同颱風強度之群波高度參數統計值

颱風強度 名稱代號	GF1			G			GFL			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S1	0.367	1.142	0.688	0.308	1.009	0.591	0.550	0.809	0.671	7
S2	0.485	1.389	0.724	0.403	1.036	0.633	0.524	0.855	0.698	3
S3	0.432	1.113	0.709	0.371	1.084	0.613	0.635	0.835	0.725	1
U-	0.384	1.586	0.695	0.337	1.045	0.599	0.527	0.946	0.697	9
U+-	0.370	1.282	0.690	0.321	1.234	0.594	0.501	0.695	0.673	8

備註：近穩輕度颱風(S1)：在颱風生命期間皆維持輕度颱風規模。

近穩中度颱風(S2)：在颱風生命期間皆維持中度颱風規模。

近穩強烈颱風(S3)：在颱風生命期間皆維持強烈颱風規模。

漸弱颱風(U-)：在颱風生命期間颱風強度規模由強轉弱。

漸強漸弱颱風(U+-)：在颱風生命期間颱風強度規模先由弱轉強再轉弱。

表 5-3(續) 不同颱風強度之群波高度參數統計值

颱風強度 名稱代號	GF2			GHR			GFH			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S1	0.631	1.147	0.862	0.424	0.684	0.576	0.477	0.813	0.660	7
S2	0.729	1.193	0.887	0.500	0.703	0.593	0.559	0.851	0.683	3
S3	0.731	1.192	0.879	0.531	0.678	0.596	0.605	0.824	0.687	1
U-	0.650	1.220	0.876	0.444	0.733	0.586	0.498	0.895	0.674	9
U+-	0.666	1.404	0.861	0.461	0.720	0.577	0.519	0.890	0.662	8

表 5-4 不同颱風移動型態之群波高度參數統計值

颱風移動 名稱代號	GF1			G			GFL			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S	0.417	1.586	0.706	0.337	1.084	0.608	0.524	0.865	0.692	9
F	0.384	1.282	0.695	0.309	1.234	0.605	0.501	0.695	0.663	11
B	0.367	1.142	0.671	0.308	0.807	0.561	0.593	0.789	0.676	1
S+F	0.370	1.211	0.688	0.321	1.036	0.591	0.555	0.946	0.692	7

備註：緩行颱風(S)：移動速度介於 10~20 km/h。

速行颱風(F)：移動速度大於 20 km/h。

滯留颱風(B)：移動速度小於 10 km/h。

忽緩忽速颱風(S+F)：移動速度不穩定。

表 5-4(續) 不同颱風移動型態之群波高度參數統計值

颱風移動 名稱代號	GF2			GHR			GFH			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S	0.650	1.220	0.875	0.444	0.733	0.588	0.498	0.895	0.676	9
F	0.631	1.404	0.861	0.424	0.720	0.571	0.477	0.890	0.654	11
B	0.693	1.057	0.852	0.488	0.684	0.575	0.556	0.813	0.657	1
S+F	0.663	1.151	0.869	0.460	0.716	0.585	0.520	0.885	0.671	7

表 5-5 群波長度參數統計表

颱風名稱	KJ1				KJ2				GJ1				備註
	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	
ABE	1.308	2.221	1.531	0.203	8.936	17.66	11.78	2.272	1.379	3.028	1.952	0.509	
AMBER	1.306	1.924	1.550	0.151	8.643	16.97	12.08	1.843	1.359	3.008	1.888	0.339	
AMY	1.286	2.134	1.585	0.168	8.685	16.38	11.80	1.591	1.337	3.000	2.016	0.358	
BECKY	1.322	1.895	1.545	0.117	9.394	15.16	11.41	1.422	1.481	3.419	1.955	0.361	
BOBBIE	1.265	1.865	1.536	0.149	8.947	16.71	11.70	1.529	1.350	4.123	2.027	0.476	
BRENDAN	1.317	1.821	1.545	0.138	8.941	14.80	11.53	1.411	1.516	2.608	1.845	0.240	
CAITLIN	1.317	1.889	1.527	0.142	9.051	15.05	11.47	1.136	1.292	2.922	1.864	0.407	
DAT	1.297	1.478	1.367	0.054	9.054	10.96	10.12	0.415	1.223	1.644	1.453	0.139	
ED	1.278	1.796	1.360	0.278	8.869	14.71	10.36	2.344	1.267	2.521	1.596	0.277	
ELLIE	1.271	1.774	1.402	0.099	8.597	13.99	10.68	1.170	1.212	2.373	1.537	0.239	
ELSIE	1.262	1.959	1.411	0.156	8.366	14.67	10.64	1.384	1.173	2.904	1.601	0.276	
FRED	1.674	2.403	2.012	0.232	11.82	18.14	13.65	2.127	1.972	3.657	2.691	0.555	樣本不足
GLADYS	1.267	2.161	1.462	0.427	9.299	14.87	10.38	2.963	1.319	4.097	1.915	0.659	
HERB	1.272	2.266	1.517	0.326	8.828	21.48	11.77	2.893	1.148	3.929	1.772	0.469	
HUNT&GAY	1.273	2.022	1.446	0.132	8.308	14.98	10.91	1.208	1.194	2.855	1.631	0.254	
KORYN	1.264	2.324	1.449	0.166	8.702	18.62	10.76	1.677	1.203	4.322	1.635	0.357	
MARK	1.277	1.742	1.392	0.092	8.977	14.97	10.57	1.137	1.207	3.153	1.533	0.256	
MIREILLE	1.307	2.096	1.526	0.155	9.218	16.14	11.82	1.511	1.230	4.366	1.910	0.531	
NAT	1.279	2.040	1.532	0.182	8.921	17.18	11.77	1.646	1.335	3.904	2.007	0.503	
OFELIA	1.290	1.989	1.556	0.159	8.470	17.15	11.78	1.685	1.380	3.489	1.924	0.315	
OMAR	1.269	2.123	1.478	0.221	8.557	17.87	11.10	1.986	1.332	3.628	1.903	0.423	
OTTO	1.252	1.812	1.401	0.199	8.745	14.96	10.60	1.710	1.210	2.187	1.563	0.216	
POLLY	1.265	1.784	1.443	0.109	9.364	14.41	11.24	1.088	1.285	2.587	1.631	0.224	
ROBYN	1.293	1.939	1.488	0.123	8.864	16.19	11.22	1.369	1.349	2.524	1.803	0.249	
RUTH	1.274	2.090	1.522	0.234	8.828	18.53	11.93	2.109	1.257	4.376	2.028	0.500	
#####	1.294	2.172	1.632	0.191	8.108	16.94	11.40	1.707	1.491	3.503	2.257	0.440	季風波浪
TED	1.275	2.122	1.476	0.151	8.677	16.55	10.94	1.464	1.190	3.659	1.725	0.329	
TIM	1.290	1.975	1.549	0.145	9.229	15.77	11.71	1.462	1.497	2.667	1.906	0.270	
YANCY	1.275	2.081	1.454	0.132	8.874	11.57	11.10	1.521	1.252	4.085	1.717	0.346	
ZEB	1.279	2.101	1.492	0.145	7.918	15.87	11.19	1.426	1.232	3.883	1.775	0.373	
全體	1.252	2.324	1.456	0.158	7.918	21.48	11.00	1.290	1.148	4.376	1.702	0.328	

備註：1.全體之平均值係以各颱風波浪資料筆數為權重計算所得。

2.FRED 颱風之波浪資料筆數太少，故不計。

3.KJ1 及 KJ2 為 0 者不計。

表 5-5 (續) 群波長度參數統計表

颱風名稱	QJ1				QJ2				GLF				備註
	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	
ABE	0.601	0.884	0.760	0.066	3.457	8.627	5.733	1.223	3.000	81.00	13.00	17.31	
AMBER	0.630	1.063	0.811	0.085	5.243	8.609	6.673	0.776	3.294	64.00	11.03	12.76	
AMY	0.536	1.091	0.776	0.110	3.990	9.583	6.199	1.127	1.667	124.0	16.43	20.83	
BECKY	0.731	1.039	0.841	0.056	4.100	6.979	5.238	0.593	4.130	92.00	12.70	16.79	
BOBBIE	0.559	0.939	0.747	0.087	4.146	7.388	5.609	0.713	2.483	99.00	15.10	20.02	
BRENDAN	0.720	1.049	0.827	0.071	4.253	6.856	5.481	0.590	3.304	85.00	11.19	15.08	
CAITLIN	0.683	1.012	0.890	0.079	4.881	7.168	5.922	0.748	4.526	77.00	11.02	14.28	
DAT	0.809	1.186	0.922	0.079	3.492	5.245	4.090	0.364	3.424	109.0	15.89	23.58	
ED	0.653	1.001	0.787	0.083	3.846	6.267	4.667	0.566	2.000	81.00	17.71	23.77	
ELLIE	0.641	0.948	0.778	0.066	3.290	6.924	4.585	0.642	1.457	155.0	13.38	21.26	
ELSIE	0.600	1.018	0.788	0.081	3.757	5.890	4.800	0.428	1.867	120.0	10.05	14.92	
FRED	0.658	0.957	0.791	0.106	8.441	12.56	10.06	1.370	9.429	90.00	28.52	34.40	樣本不足
GLADYS	0.718	0.960	0.833	0.082	4.478	8.313	5.903	1.283	2.471	89.00	17.37	23.00	
HERB	0.664	0.946	0.792	0.069	4.350	9.133	6.316	1.233	2.459	94.00	19.64	24.34	
HUNT&GAY	0.599	1.012	0.757	0.073	3.778	6.588	5.024	0.558	1.927	103.0	12.09	18.36	
KORYN	0.598	1.137	0.864	0.091	3.226	10.57	4.697	1.362	1.930	156.0	13.51	20.66	
MARK	0.654	0.922	0.789	0.059	3.791	6.470	5.016	0.619	1.341	100.0	13.08	20.43	
MIREILLE	0.603	0.930	0.716	0.062	4.268	8.186	5.942	0.736	1.227	72.00	17.07	22.25	
NAT	0.632	0.875	0.750	0.058	4.682	8.036	5.871	0.691	1.629	89.00	15.83	22.53	
OFELIA	0.590	0.887	0.711	0.075	4.259	7.676	5.951	0.744	3.217	103.0	19.01	24.05	
OMAR	0.554	0.956	0.754	0.088	3.818	7.064	5.214	0.707	3.269	85.00	15.09	19.56	
OTTO	0.589	0.938	0.779	0.074	3.105	6.437	4.505	0.690	2.433	97.00	11.15	13.66	
POLLY	0.592	0.863	0.730	0.064	3.808	6.965	5.049	0.709	1.861	88.00	14.12	20.78	
ROBYN	0.741	1.133	0.897	0.080	4.033	6.469	4.841	0.490	2.745	87.00	9.580	9.93	
RUTH	0.508	0.902	0.674	0.074	4.217	8.421	5.801	0.772	2.111	78.00	16.23	19.46	
#####	0.585	1.162	0.807	0.130	5.506	10.88	7.698	1.124	2.000	130.0	18.14	25.98	季風波浪
TED	0.593	1.081	0.798	0.086	3.213	8.494	5.152	1.042	2.625	117.0	14.67	20.69	
TIM	0.646	1.071	0.877	0.111	5.045	8.256	6.236	0.852	3.031	106.0	18.39	25.64	
YANCY	0.589	0.869	0.714	0.053	3.875	7.401	5.339	0.619	1.675	81.00	14.41	20.39	
ZEB	0.550	1.063	0.733	0.111	3.644	7.929	5.489	0.888	1.879	108.0	14.80	19.11	
全體	0.508	1.186	0.764	0.081	3.105	10.88	5.093	0.797	1.227	156.0	13.43	18.81	

備註：1.全體之平均值係以各颱風波浪資料筆數為權重計算所得。

2.FRED 颱風之波浪資料筆數太少，故不計。

表 5-5 (續) 群波長度參數統計表

颱風名稱	NJ1				NJ2				TSIWEH				備註
	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	
ABE	0.382	0.576	0.455	0.040	2.097	3.640	2.796	0.365	3.614	9.156	4.957	1.153	
AMBER	0.399	0.542	0.475	0.033	2.228	3.805	2.934	0.353	3.672	9.685	5.327	1.034	
AMY	0.429	0.755	0.570	0.062	2.560	5.261	3.617	0.469	3.989	11.24	5.460	1.214	
BECKY	0.437	0.667	0.555	0.047	2.635	4.224	3.444	0.370	4.017	8.281	5.386	1.006	
BOBBIE	0.390	0.647	0.504	0.050	2.387	4.402	3.197	0.356	3.122	8.080	5.258	1.044	
BRENDAN	0.469	0.659	0.542	0.043	2.715	4.443	3.450	0.374	3.636	7.542	4.989	0.829	
CAITLIN	0.403	0.596	0.483	0.044	2.271	4.141	2.958	0.471	3.914	6.591	5.075	0.708	
DAT	0.347	0.521	0.457	0.045	1.564	3.171	2.590	0.462	3.636	6.415	4.631	0.644	
ED	0.355	0.517	0.425	0.041	1.948	3.091	2.464	0.319	3.578	6.612	4.645	0.800	
ELLIE	0.357	0.606	0.464	0.052	1.875	3.566	2.698	0.342	3.357	7.143	4.618	0.728	
ELSIE	0.392	0.634	0.497	0.049	1.851	4.215	2.976	0.431	3.000	7.643	4.710	0.755	
FRED	0.595	0.971	0.771	0.132	3.562	7.311	4.840	1.144	5.818	7.737	6.605	0.648	樣本不足
GLADYS	0.411	0.613	0.513	0.058	2.362	4.000	3.003	0.509	4.123	8.102	5.196	1.001	
HERB	0.359	0.645	0.486	0.053	1.832	4.243	2.929	0.453	3.469	13.31	5.148	1.432	
HUNT&GAY	0.383	0.625	0.491	0.042	2.307	3.949	2.958	0.369	2.931	9.154	4.816	0.803	
KORYN	0.355	0.710	0.522	0.063	2.216	4.416	3.085	0.430	3.156	9.190	4.836	0.921	
MARK	0.367	0.616	0.474	0.063	1.829	3.634	2.781	0.430	3.068	6.233	4.597	0.663	
MIREILLE	0.361	0.590	0.465	0.043	2.184	3.752	2.879	0.373	3.450	10.42	5.274	1.193	
NAT	0.372	0.648	0.517	0.073	1.968	4.261	3.251	0.579	3.239	8.913	5.304	0.965	
OFELIA	0.428	0.610	0.513	0.037	2.576	3.987	3.281	0.283	3.461	9.061	5.322	0.990	
OMAR	0.405	0.678	0.520	0.072	2.200	4.920	3.237	0.608	3.190	8.750	5.163	1.040	
OTTO	0.392	0.596	0.484	0.054	1.902	3.966	2.830	0.491	3.450	8.282	4.834	0.726	
POLLY	0.399	0.704	0.507	0.069	2.265	4.735	3.090	0.519	3.525	7.699	4.762	0.735	
ROBYN	0.398	0.703	0.518	0.069	2.137	4.783	3.152	0.520	3.806	7.883	5.052	0.720	
RUTH	0.376	0.694	0.470	0.062	2.166	4.501	2.947	0.495	3.180	11.03	5.356	1.332	
#####	0.360	1.145	0.690	0.162	2.155	7.277	4.224	1.091	3.803	10.63	5.543	1.115	季風波浪
TED	0.424	0.701	0.552	0.057	2.264	4.502	3.356	0.493	3.472	7.767	5.053	0.934	
TIM	0.443	0.610	0.537	0.044	2.825	4.190	3.333	0.335	3.552	7.249	5.179	0.987	
YANCY	0.409	0.603	0.494	0.046	2.249	3.792	3.024	0.340	3.263	8.576	4.859	0.950	
ZEB	0.387	0.698	0.503	0.054	2.043	4.981	3.101	0.460	3.021	9.507	5.068	1.083	
全體	0.347	1.145	0.500	0.053	1.564	7.277	3.019	0.429	2.931	13.31	4.926	0.932	

備註：1.全體之平均值係以各颱風波浪資料筆數為權重計算所得。

2.FRED 颱風之波浪資料筆數太少，故不計。

表 5-5 (續) 群波長度參數統計表

颱風名稱	SJ1				SJ2				示性波高(cm)			示性週期(sec)		
	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
ABE	1.056	3.000	1.442	0.362	6.133	18.25	9.914	2.558	102.0	365.1	213.7	6.62	13.41	10.24
AMBER	1.100	2.200	1.561	0.268	6.286	19.00	10.59	2.762	76.3	823.6	265.1	8.20	13.70	10.99
AMY	1.000	3.000	1.531	0.391	6.000	29.50	10.78	3.899	85.0	1026	460.1	5.99	13.93	10.26
BECKY	1.214	2.500	1.580	0.283	7.300	16.83	10.83	2.154	79.7	234.3	166.2	6.60	8.39	7.77
BOBBIE	1.000	3.000	1.504	0.333	3.500	16.00	9.886	2.151	100.3	541.1	268.0	7.14	14.37	9.96
BRENDAN	1.100	2.111	1.455	0.225	7.059	14.33	10.34	1.731	85.4	320.0	192.6	6.29	9.72	8.33
CAITLIN	1.143	2.000	1.504	0.191	8.000	11.86	9.773	1.253	43.0	430.9	115.1	6.88	10.86	8.74
DAT	1.045	1.667	1.351	0.152	7.158	12.33	9.595	1.428	63.4	112.3	87.7	5.53	7.52	6.16
ED	1.071	2.286	1.361	0.279	6.000	15.14	9.257	2.119	88.3	358.6	192.7	6.80	9.99	8.52
ELLIE	1.043	2.667	1.361	0.251	6.333	25.33	9.515	2.177	52.0	200.1	109.5	5.29	11.23	8.26
ELSIE	1.000	2.000	1.371	0.187	6.556	16.00	9.692	1.775	98.5	308.2	159.8	5.83	11.53	8.11
FRED	1.200	3.000	1.823	0.590	7.167	24.50	12.49	5.671	106.6	333.3	235.4	12.45	14.32	13.65
GLADYS	1.071	2.333	1.408	0.302	7.214	16.33	9.854	2.097	133.7	748.1	311.4	6.70	14.27	9.41
HERB	1.000	6.000	1.597	0.748	3.500	53.00	11.15	5.554	81.7	780.2	332.8	6.63	13.92	10.76
HUNT&GAY	1.000	2.400	1.408	0.244	6.000	19.00	9.888	2.234	72.0	478.8	211.4	6.46	10.81	8.82
KORYN	1.000	2.250	1.365	0.219	6.154	25.00	9.574	2.078	34.2	537.6	119.2	4.41	14.74	7.21
MARK	1.000	2.000	1.336	0.182	6.500	15.29	9.361	1.593	81.3	161.6	121.8	6.04	11.35	8.58
MIREILLE	1.000	3.337	1.517	0.390	5.000	19.25	10.24	2.788	156.1	380.1	277.6	8.33	12.78	11.13
NAT	1.000	3.000	1.500	0.344	5.667	23.75	10.02	2.629	130.2	652.7	326.6	7.60	13.76	10.12
OFELIA	1.000	3.000	1.500	0.385	5.500	24.00	10.16	2.986	87.8	1286	464.2	6.96	14.46	10.91
OMAR	1.000	4.000	1.505	0.371	5.556	22.67	10.14	2.544	173.2	532.5	340.7	6.20	13.29	9.09
OTTO	1.000	2.167	1.388	0.234	6.588	16.50	9.808	1.975	47.0	698.0	168.9	4.71	11.97	7.87
POLLY	1.077	2.333	1.420	0.254	5.889	18.40	9.705	1.929	167.4	406.6	308.9	7.47	10.55	9.10
ROBYN	1.059	2.429	1.477	0.300	7.000	19.00	10.60	2.332	37.4	179.1	96.3	5.56	8.02	7.02
RUTH	1.000	4.000	1.575	0.440	5.300	24.50	10.24	2.806	255.6	952.4	478.7	8.22	16.46	11.81
###季風波浪	1.000	3.333	1.512	0.376	5.667	19.00	10.60	2.812	22.9	339.7	59.8	7.70	13.83	10.97
TED	1.000	2.750	1.423	0.274	5.000	16.50	10.07	2.037	61.9	748.7	310.8	4.35	13.53	8.31
TIM	1.000	2.250	1.541	0.290	6.000	17.33	10.43	2.368	81.5	1123	302.2	6.67	14.29	9.17
YANCY	1.000	2.750	1.450	0.278	5.700	17.75	9.901	2.175	211.3	485.5	352.3	7.39	11.83	9.89
ZEB	1.000	2.667	1.426	0.287	4.625	21.00	9.693	2.391	56.9	817.5	284.3	6.12	15.18	10.11
全體	1.000	6.000	1.422	0.270	3.500	53.00	9.832	2.208	34.2	1286	249.5	4.41	16.46	9.01

備註：1.全體之平均值係以各颱風波浪資料筆數為權重計算所得。

2.FRED 颱風之波浪資料筆數太少，故不計。

表 5-6 不同颱風路徑之群波長度參數統計值

颱風路徑 名稱代號	KJ1			KJ2			GJ1			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
路徑 1	1.271	2.224	1.433	8.597	17.66	10.94	1.212	3.028	1.636	2
路徑 2	1.264	2.324	1.504	8.685	14.71	11.40	1.203	4.376	1.866	7
路徑 3	1.275	1.989	1.498	7.918	15.87	11.21	1.190	3.489	1.784	3
路徑 4	1.277	1.742	1.392	8.977	14.97	10.57	1.207	3.153	1.533	1
路徑 5	1.252	2.161	1.459	8.557	17.87	11.08	1.210	4.097	1.728	8
路徑 6	1.272	1.939	1.479	8.828	21.48	11.32	1.148	4.085	1.751	3
路徑 7	1.262	2.096	1.458	8.308	16.71	11.05	1.173	4.366	1.710	4

備註：路徑 1：經台灣北部西行。

路徑 2：經台灣南部西行。

路徑 3：經中央山脈東側北行。

路徑 4：經台灣海峽北行。

路徑 5：跨越中央山脈西行。

路徑 6：經台灣東部近海西北行（距岸 200 公里以內）。

路徑 7：經台灣東部外海西北轉東北行（距岸 200 公里以外）。本路徑又稱遠洋颱風。

表 5-6（續） 不同颱風路徑之群波長度參數統計值

颱風路徑 名稱代號	QJ1			QJ2			GLF			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
路徑 1	0.601	0.948	0.774	3.290	8.627	4.858	1.457	155.0	13.29	2
路徑 2	0.508	1.137	0.780	3.226	10.57	5.048	1.629	156.0	14.88	7
路徑 3	0.550	1.086	0.752	3.213	8.494	5.452	1.879	117.0	15.49	3
路徑 4	0.603	0.930	0.716	4.268	8.186	5.942	1.227	72.00	17.07	1
路徑 5	0.554	1.186	0.788	3.105	8.609	5.216	1.861	109.0	13.56	8
路徑 6	0.589	1.133	0.775	3.875	9.133	5.515	1.675	94.00	14.90	3
路徑 7	0.559	1.018	0.760	3.775	8.186	5.144	1.227	120.0	12.50	4

表 5-6 (續) 不同颱風路徑之群波長度參數統計值

颱風路徑 名稱代號	NJ1			NJ2			TSIWEH			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
路徑 1	0.357	0.606	0.462	1.875	3.640	2.721	3.357	9.156	4.699	2
路徑 2	0.355	0.755	0.512	1.948	5.261	3.150	3.156	11.24	5.148	7
路徑 3	0.387	0.701	0.522	2.043	4.981	3.222	3.021	9.507	5.107	3
路徑 4	0.367	0.616	0.474	1.829	3.634	2.781	3.068	6.233	4.597	1
路徑 5	0.392	0.704	0.499	1.564	4.920	3.018	3.190	9.685	4.978	8
路徑 6	0.359	0.703	0.497	1.832	4.783	3.024	3.263	13.31	4.983	3
路徑 7	0.357	0.647	0.418	1.875	4.402	2.915	2.931	10.42	4.875	4

表 5-6 (續) 不同颱風路徑之群波長度參數統計值

颱風路徑 名稱代號	SJ1			SJ2			波高(cm)			週期(sec)		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
路徑 1	1.043	3.000	1.380	6.133	25.33	9.61	52.0	365.1	134.3	5.29	13.41	8.73
路徑 2	1.000	4.000	1.478	5.300	29.50	10.04	34.2	1026	296.6	4.41	16.46	9.37
路徑 3	1.000	2.667	1.437	4.625	24.00	9.907	56.9	1286	325.1	4.35	15.18	9.62
路徑 4	1.000	2.000	1.336	6.500	15.29	9.361	81.3	161.6	121.8	6.04	11.35	8.58
路徑 5	1.000	4.000	1.452	5.556	22.67	9.970	43.0	1123	251.8	4.71	14.29	8.81
路徑 6	1.000	6.000	1.498	3.500	53.00	10.41	37.4	780.2	293.0	5.56	13.92	9.54
路徑 7	1.000	3.337	1.421	3.500	25.33	9.824	52.0	541.1	199.2	5.29	14.37	9.08

表 5-7 不同颱風強度之群波長度參數統計值

颱風強度 名稱代號	KJ1			KJ2			GJ1			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S1	1.252	1.742	1.452	8.677	14.41	10.94	1.190	3.659	1.680	7
S2	1.265	1.865	1.539	8.643	16.71	11.81	1.350	3.008	1.977	3
S3	1.307	2.096	1.526	9.218	16.14	11.82	1.230	4.366	1.910	1
U-	1.269	2.266	1.490	7.918	21.48	11.36	1.516	4.376	1.813	9
U+-	1.262	2.324	1.462	8.308	18.62	10.98	1.173	4.322	1.708	8

備註：近穩輕度颱風(S1)：在颱風生命期間皆維持輕度颱風規模。

近穩中度颱風(S2)：在颱風生命期間皆維持中度颱風規模。

近穩強烈颱風(S3)：在颱風生命期間皆維持強烈颱風規模。

漸弱颱風(U-)：在颱風生命期間颱風強度規模由強轉弱。

漸強漸弱颱風(U+-)：在颱風生命期間颱風強度規模先由弱轉強再轉弱。

表 5-7 (續) 不同颱風強度之群波長度參數統計值

颱風強度 名稱代號	QJ1			QJ2			GLF			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S1	0.589	1.133	0.799	3.105	8.494	4.987	1.341	117.0	12.86	7
S2	0.559	1.063	0.766	3.457	8.627	5.908	2.483	99.0	13.66	3
S3	0.603	0.930	0.716	4.268	8.186	5.942	1.227	72.0	17.07	1
U-	0.508	1.186	0.736	3.290	9.133	5.498	1.457	155.0	15.55	9
U+-	0.536	1.137	0.796	3.226	10.57	5.136	1.629	156.0	13.27	8

表 5-7 (續) 不同颱風強度之群波長度參數統計值

颱風強度 名稱代號	NJ1			NJ2			TSIWEH			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S1	0.367	0.704	0.515	1.829	4.783	3.099	3.068	8.282	4.924	7
S2	0.382	0.647	0.487	2.097	4.402	3.055	3.122	9.685	5.220	3
S3	0.361	0.590	0.465	2.184	3.752	2.879	3.450	10.42	5.274	1
U-	0.347	0.698	0.493	1.564	4.981	3.038	3.021	13.31	5.074	9
U+-	0.355	0.755	0.509	1.851	5.261	3.077	2.931	11.24	4.918	8

表 5-7 (續) 不同颱風強度之群波長度參數統計值

颱風強度 名稱代號	SJ1			SJ2			波高(cm)			週期(sec)		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
S1	1.000	2.750	1.411	5.000	19.00	9.958	37.4	748.7	215.9	4.35	13.53	8.22
S2	1.000	3.000	1.507	3.500	19.00	10.07	76.3	823.6	257.2	6.62	14.37	10.28
S3	1.000	3.337	1.517	5.000	19.25	10.24	156.1	380.1	277.6	8.33	12.78	11.13
U-	1.000	6.000	1.479	3.500	53.00	10.04	52.0	1286	331.9	5.29	16.46	10.11
U+-	1.000	3.000	1.414	5.667	29.50	9.872	34.2	1026	217.7	4.41	14.74	8.57

表 5-8 不同颱風移動型態之群波長度參數統計值

颱風移動 名稱代號	KJ1			KJ2			GJ1			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S	1.265	2.266	1.499	8.470	21.48	11.49	1.148	4.366	1.834	9
F	1.252	2.324	1.474	8.685	16.38	11.01	1.203	4.322	1.737	11
B	1.277	1.742	1.392	8.977	14.97	10.57	1.207	3.153	1.533	1
S+F	1.262	2.221	1.469	7.918	18.53	11.13	1.173	4.376	1.747	7

備註：緩行颱風(S)：移動速度介於 10~20 km/h。

速行颱風(F)：移動速度大於 20 km/h。

滯留颱風(B)：移動速度小於 10 km/h。

忽緩忽速颱風(S+F)：移動速度不穩定。

表 5-8 （續）不同颱風移動型態之群波長度參數統計值

颱風移動 名稱代號	QJ1			QJ2			GLF			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S	0.554	1.063	0.752	3.290	9.133	5.599	1.227	155.0	15.76	9
F	0.536	1.186	0.837	3.105	10.57	5.066	1.667	156.0	13.41	11
B	0.654	0.922	0.789	3.791	6.470	5.016	1.241	100.0	13.08	1
S+F	0.508	1.081	0.745	3.213	8.627	5.275	1.675	120.0	13.63	7

表 5-8 （續）不同颱風移動型態之群波長度參數統計值

颱風移動 名稱代號	NJ1			NJ2			TSIWEH			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S	0.357	0.704	0.496	1.832	4.735	3.063	3.122	13.31	5.105	9
F	0.347	0.755	0.518	1.564	5.261	3.123	3.156	11.24	4.994	11
B	0.367	0.616	0.474	1.829	3.634	2.781	3.068	6.233	4.597	1
S+F	.376	0.701	0.499	1.851	4.981	3.046	2.931	11.03	4.975	7

表 5-8 （續）不同颱風移動型態之群波長度參數統計值

颱風移動 名稱代號	SJ1			SJ2			波高(cm)			週期(sec)		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
S	1.000	6.000	1.489	3.500	53.00	10.11	52.0	1286	298.9	5.29	14.46	9.91
F	1.000	3.000	1.431	6.000	29.50	10.02	34.2	1123	191.2	4.41	14.74	8.01
B	1.000	2.000	1.336	6.500	15.29	9.361	81.3	161.6	121.8	6.04	11.35	8.58
S+F	1.000	4.000	1.440	4.625	24.50	9.906	56.9	952.4	290.1	4.35	16.46	9.52

表 5-9 波譜形狀參數統計表

颱風名稱	QP				QE				Hig-V				備註
	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	最小值	最大值	平均值	標準差	
ABE	2.190	7.573	3.916	1.501	2.622	8.444	4.630	1.621	0.390	0.677	0.526	0.061	
AMBER	2.124	6.999	3.738	1.003	2.759	8.936	4.582	1.253	0.409	0.635	0.496	0.048	
AMY	2.053	6.975	4.118	1.053	2.443	8.524	4.862	1.258	0.286	0.566	0.398	0.049	
BECKY	2.516	8.174	3.939	1.058	3.111	9.714	4.700	1.224	0.333	0.538	0.411	0.044	
BOBBIE	2.095	10.18	4.147	1.388	2.677	12.81	5.094	1.700	0.344	0.602	0.459	0.055	
BRENDAN	2.625	5.848	3.615	0.710	3.194	7.535	4.313	0.892	0.326	0.508	0.419	0.041	
CAITLIN	1.901	6.751	3.659	1.207	2.324	7.899	4.313	1.340	0.362	0.629	0.491	0.063	
DAT	1.661	3.017	2.416	0.447	1.988	4.546	3.150	0.589	0.445	0.885	0.550	0.111	
ED	1.817	5.598	2.854	0.839	2.351	7.587	3.857	1.146	0.453	0.760	0.590	0.078	
ELLIE	1.621	5.169	2.673	0.737	1.989	6.839	3.454	1.027	0.376	0.768	0.528	0.076	
ELSIE	1.477	6.700	2.872	0.834	1.877	7.961	3.524	1.006	0.356	0.708	0.215	0.066	
FRED	3.998	8.854	6.080	1.600	4.076	8.924	6.196	1.610	0.208	0.379	0.287	0.056	樣本不足
GLADYS	1.991	10.11	3.799	1.925	2.436	11.61	4.583	2.182	0.373	0.581	0.466	0.068	
HERB	1.381	9.63	3.380	1.386	2.091	11.51	4.15	1.655	0.340	0.766	0.494	0.078	
HUNT&GAY	1.555	6.559	2.964	0.771	2.038	8.255	3.665	0.943	0.366	0.694	0.482	0.055	
KORYN	1.591	10.75	2.968	1.068	1.927	12.00	3.489	1.249	0.312	0.706	0.455	0.065	
MARK	1.603	7.414	2.664	0.774	2.116	9.288	3.289	0.943	0.370	0.697	0.517	0.088	
MIREILLE	1.687	10.87	3.793	1.556	1.982	13.40	4.698	1.912	0.381	0.712	0.512	0.061	
NAT	2.047	9.558	4.083	1.473	2.646	11.76	4.922	1.754	0.335	0.698	0.456	0.089	
OFELIA	2.192	8.375	3.849	0.927	2.573	10.08	4.664	1.118	0.361	0.544	0.444	0.035	
OMAR	2.036	8.771	3.780	1.244	2.613	11.82	4.729	1.563	0.309	0.625	0.453	0.079	
OTTO	1.614	4.627	2.758	0.664	2.161	6.683	3.543	0.832	0.375	0.691	0.502	0.078	
POLLY	1.880	5.788	2.969	0.679	2.380	8.515	3.768	0.884	0.303	0.603	0.468	0.071	
ROBYN	2.093	5.605	3.490	0.724	2.461	6.232	4.225	0.819	0.303	0.641	0.457	0.077	
RUTH	1.783	10.90	4.144	1.464	2.210	14.16	5.284	1.807	0.322	0.668	0.509	0.076	
#####	2.546	8.414	4.823	1.282	2.798	8.968	5.075	1.384	0.181	0.725	0.325	0.095	季風波浪
TED	1.543	8.859	3.245	0.986	1.789	10.36	3.871	1.192	0.321	0.572	0.420	0.056	
TIM	2.565	6.017	3.796	0.795	2.934	7.212	4.497	0.980	0.357	0.525	0.427	0.042	
YANCY	1.764	10.08	3.223	1.025	2.118	13.27	4.036	1.310	0.371	0.605	0.475	0.054	
ZEB	1.694	9.500	3.398	1.105	2.234	10.97	4.183	1.317	0.301	0.661	0.468	0.068	
全體	1.381	10.90	3.175	0.897	1.789	14.16	3.971	1.205	0.181	0.885	0.452	0.065	

備註：1.全體之平均值係以各颱風波浪資料筆數為權重計算所得。

2.FRED 颱風之波浪資料筆數太少，故不計。

表 5-10 不同颱風路徑之波譜形狀參數統計值

颱風路徑 名稱代號	QP			QE			Hig-V			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
路徑 1	1.621	7.573	2.969	1.989	8.444	3.734	0.376	0.768	0.528	2
路徑 2	1.591	10.90	3.663	1.927	14.16	4.466	0.286	0.760	0.464	7
路徑 3	1.543	9.500	3.423	1.789	10.97	5.158	0.301	0.661	0.447	3
路徑 4	1.603	7.414	2.664	2.116	9.288	3.289	0.370	0.697	0.517	1
路徑 5	1.614	10.11	3.255	1.988	11.82	4.067	0.303	0.885	0.479	8
路徑 6	1.381	10.08	3.324	2.091	13.27	4.108	0.303	0.766	0.477	3
路徑 7	1.477	10.87	3.200	1.877	13.40	3.944	0.344	0.712	0.410	4

備註：路徑 1：經台灣北部西行。

路徑 2：經台灣南部西行。

路徑 3：經中央山脈東側北行。

路徑 4：經台灣海峽北行。

路徑 5：跨越中央山脈西行。

路徑 6：經台灣東部近海西北行（距岸 200 公里以內）。

路徑 7：經台灣東部外海西北轉東北行（距岸 200 公里以外）。本路徑又稱遠洋颱風。

表 5-11 不同颱風強度之波譜形狀參數統計值

颱風強度 名稱代號	QP			QE			Hig-V			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S1	1.543	8.859	3.110	1.789	10.36	3.816	0.303	0.697	0.463	7
S2	2.095	10.18	3.998	2.622	12.81	4.875	0.344	0.677	0.481	3
S3	1.687	10.87	3.793	1.982	12.40	4.698	0.381	0.712	0.512	1
U-	1.381	10.90	3.507	1.988	14.16	4.375	0.301	0.885	0.481	9
U+-	1.477	10.75	3.195	1.877	12.00	3.869	0.286	0.760	0.419	8

備註：近穩輕度颱風(S1)：在颱風生命期間皆維持輕度颱風規模。

近穩中度颱風(S2)：在颱風生命期間皆維持中度颱風規模。

近穩強烈颱風(S3)：在颱風生命期間皆維持強烈颱風規模。

漸弱颱風(U-)：在颱風生命期間颱風強度規模由強轉弱。

漸強漸弱颱風(U+-)：在颱風生命期間颱風強度規模先由弱轉強再轉弱。

表 5-12 不同颱風移動型態之波譜形狀參數統計值

颱風移動 名稱代號	QP			QE			Hig-V			颱風 個數
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
S	1.381	10.87	3.571	1.982	12.81	4.419	0.303	0.768	0.477	9
F	1.591	10.11	3.280	1.927	12.00	3.964	0.286	0.885	0.460	11
B	1.603	7.414	2.664	2.116	9.288	3.289	0.370	0.697	0.517	1
S+F	1.477	10.90	3.309	1.789	14.16	4.090	0.301	0.708	0.439	7

備註：緩行颱風(S)：移動速度介於 10~20 km/h。

速行颱風(F)：移動速度大於 20 km/h。

滯留颱風(B)：移動速度小於 10 km/h。

忽緩忽速颱風(S+F)：移動速度不穩定。

第六章 結論與建議

本研究除了介紹說明各種衡量波浪群性強弱的群波參數外，同時利用花蓮港 30 個颱風實測波浪來探討波浪群性。由不同觀點所定義及不同計算方法所得之群波參數，基本上是有差異。依描述群性的角度而言，大致可分為群波高度與長度特性兩種。在描述群波高度特性之群波高度參數中，於本研究可分二類。第一類為由波形各波峰連線所形成之包絡線來處理，而包絡線的求得，又可分為兩種。第一種為先經低通濾波，濾去原始波形而得到波形包絡線，如 List (1991)之 *GFL*；第二種為直接從波形紀錄經 Hilbert 轉換而得到波形包絡線，如越錕等人(1990)之 *GHR* 及 *GFH*。第二類為由水位紀錄在某一設定之移動時間視窗內檢視其變動量，而變動量的求得，也可分為兩種。第一種為依設定時段寬度內的波形方差，作為該時段中點處的瞬時波能，而得到瞬時光滑波能歷程線，如 Funke (1980)之 *GF1*；第二種為依設定時段寬度內水位紀錄的離散度，作為該時段起點處的離散度，而得到水位局部離散度之時間序列(Local Variance Time Series)如 *G* 及 *GF2*。至於描述群波長度特性之群波長度參數，於本研究中可分四類。第一類為由相關波連統計理論所定義之平均連長及平均總連長，如 Kimura(1980)由波高相關係數導出之理論計算公式 K_{j1} 及 K_{j2} ；越錕等人(1990)以波形包絡線由概率方法，導出波群歷時長度（平均連長） Q_{j1} 和平均波數（平均總連長） Q_{j2} 。第二類為由波譜與連長之關聯性著手，如 Nottle-Hsu(1973)由波譜動差計算平均連長 N_{j1} 及平均總連長 N_{j2} ；又如 Goda(1970)由波譜形狀峰度參數定義連長 G_{j1} 。第三類為在定義群波高度參數時，依相同處理觀點所定義之群波長度參數，如 Funke et.al.(1980)以向上零切法分析波能歷程線而求出之群波長度參數 $\bar{T}_{SIWEH}$ 及越錕等人(1990)以波浪頻譜與包絡線頻譜的峰頻比值，所定義之群波長度參數 *GLF*。第四類則由波連的基本定義，直接分析波浪的波形變化而求出之平均連長 S_{j1} 及平均總連長 S_{j2} 。另外為了探討波譜形狀與群波之關係，本研究採用 Goda(1976)所得出之波譜形狀峰度參數 *QP*；Medina(1990)所提出之波譜形狀尖度參數 *QE* 及 Longuet-Higgins(1975)所提出之波譜形狀窄度參數 *Hig-V*。

根據上述這些群波高度參數及長度參數，探討其隨波高或週期的變化趨勢發現，群波高度參數並沒有明顯隨波高（或週期）的成長或衰退，出現一致性的趨勢變化，而是維持在一侷限範圍內作變動，而這種變動範圍在大波高或長週期時會較大。換言之，波高愈大或週期愈長，波浪的群性不一定愈明顯，不過在大波高或長週期時，比較有可能出現群性較強的波浪。

各群波高度參數彼此之間呈現線性關係，雖然他們對於波群的處理觀點不相同，計算參數值的方法也不一樣，但顯然對於衡量波浪群性強弱有一致性的評斷，唯一的差別在於參數值的分佈範圍可能會影響計算群性大小的精準度。群波長度參數間之相關性分析顯示， K_{j1} 與 K_{j2} ； N_{j1} 與 N_{j2} 皆有近似線性正比關係，而 Q_{j1} 與 Q_{j2} 可能受波譜高階動差的不穩定影響，沒有明顯的相關性存在。

當平均連長參數值愈大時，群波高度參數值也較大。但當群波高度參數值愈大時，平均連長參數值不一定較大。換言之，若以群波高度參數作為衡量波浪群性的強弱，則群性強的波浪其平均連長不一定較大，但較大之平均連長其波浪群性則會較強些。這是群波高度參數與長度參數在衡量波浪群性的差異。

Kimura (1980) 理論所計算之平均連長 K_{j1} 及平均總連長 K_{j2} ，由於分別與實測平均連長 S_{j1} 及平均總連長 S_{j2} 最接近，故是較理想的群波參數。Goda (1970) 所提出之 G_{j1} 雖也能估算平均連長，但準確度不如 K_{j1} 。其他群波長度參數對連長的估算則皆不理想。在不考慮時間窗寬的影響下，群波高度參數 $GF1$ 由於最小、最大值的相差值較大，故可能是理想的群波參數，而 GHR 則因相差值最小，故可能較不理想。

颱風型態的不同對各群波參數沒有顯著的影響。換言之，颱風波浪的群性強弱與颱風型態沒有明顯的關聯。不過仔細比較發現，群波高度與長度參數及波譜形狀參數受颱風型態的細微變化影響情形是一致的。因此，無論就群波高度參數或長度參數或波譜形狀參數而言，在颱風路徑型態方面，路徑 2、路徑 3 或路徑 6 之波浪群性較其他路徑稍強。此與實際情況相符。因為根據颱風期間花蓮港船舶動態

資料，發現這三種路徑的颱風，港內波浪不穩靜的現象也最明顯。在颱風強度規模方面，以近穩型颱風的波浪群性稍強，不過群性最強的波浪，則出現在漸弱或漸強漸弱型颱風。在移動型態方面，則以緩行颱風的波浪群性最強，速行颱風次之，滯留型颱風再次之。若以波譜峰度及尖度參數值大小來估量波浪群性強弱，則也有與上述相同情形。

季風波浪由於風浪生成條件及過程與颱風波浪不完全一樣，因此波浪的特性也有所差異。目前由於只進行一組季風波浪資料的分析，因此，本研究重點仍是以颱風波浪為主。關於季風風浪部分，依本次研究之一組資料分析結果顯示，季風波浪之群波特性與颱風波浪有所差異，不過資料樣本不足，目前未能有確切的歸納結果。後續將蒐集多組季風波浪樣本進行較完整的探討。相關研究指出，某些群波參數值的計算結果，會受到資料長度的影響。因此，對於群波分析而言，何種資料長度才符合需求？也是未來探討課題之一。本研究比較目前較常用之各種群波參數，並初步瞭解其間的差異，但何種群波參數對於波浪群性的強弱判斷是最理想？仍未有明確的結果。利用這些參數計算颱風波浪的群性，其結果雖然發現，波浪群性強弱受颱風型態的影響不明顯，但本次研究之波浪資料為花蓮港港外觀測數據，對於港內波浪的群波情形仍不清楚，例如港內波浪之群波現象是否較港外明顯？群性強弱是否受颱風型態影響？這些疑問在研提花蓮港港池不穩靜改善方案之前，必須先加以釐清。

參考文獻

- [1]簡仲璟、張金機(2003)，「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-」，交通部運輸研究所，出版品編號：92-85-764，GPN：1009202116。
- [2]簡仲璟、曾相茂(2002)，「颱風波浪之群波特性」，第 24 屆海洋工程研討會論文集，pp.411~pp.420。
- [3]簡仲璟、曾相茂(1999)，「花蓮港颱風波浪特性研究」，第 21 屆海洋工程研討會論文集，pp.55~pp.62。
- [4]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 87 研(三)。
- [5]曾相茂、簡仲璟(1999)，「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)。
- [6]錢樺、莊士賢、高家俊(1999)，「異常波浪原因解析」，第 21 屆海洋工程研討會論文集，pp.71~pp.78。
- [7]高家俊、徐士昇(1990)，「群波模擬」，第 12 屆海洋工程研討會論文集，pp.19~pp.38。
- [8]湯麟武(1986)，「波浪學綱要」，成功大學台南水工試驗所研究論文 No.11。
- [9]曾自慶(1988)「不規則波溯升之試驗研究」，碩士論文，成功大學水利及海洋工程研究所。
- [10]楊康宏、莊士賢、高家俊(1996)，「Hilbert 轉換於分析隨機波浪之應用」，第 17 屆海洋工程研討會論文集，pp.193~pp.206。
- [11]曹登皓、劉俊彬、聞慶璽(1999)，「群波的數值模擬及其波高統計特性」，第 21 屆海洋工程研討會論文集，pp.96~pp.100。

- [12]俞聿修 柳淑學(1988),「海浪的波群特性」,海岸工程 5, pp.1~pp.7。
- [13]俞聿修、桂滿海(1988),「海浪的群性及其主要特徵參數」,海洋工程, 16(3), pp.9~pp.21。
- [14]越錕 徐德倫 樓順里(1990),「Hilbert 變換在波群統計中的應用」,大連理工大學海洋學報, 12(3), pp.284~pp.297。
- [15]Yoshimi Goda (1983): Analysis of Wave Grouping and Spectra of Long- traveled Swell, Port and Harbor Research Institute, Vol.22, No.1。
- [16] Rye, H. (1982): Ocean wave groups, Dept. Marine Tech., Norwegian Inst. Technology, Rep. UR-82-18., 214P。
- [17] Kimura, A.(1980): Statistical properties of random wave groups, Proc. 17th Int. Conf. Coastal Eng. Sydney, PP.2955-2973。
- [18] Funke, E.R. and Mansard, E.P.D.(1980),「On the Synthesis of Realistic Sea States in Laboratory Flume」, Proc. 17th. Coastal Eng.Conf.,3,pp.2974~pp.2991。
- [19] Yu, Y.X. and Gui Manhan (1996),「The Groupiness of Sea Waves and Its Characteristics Parameters」, China Ocean Eng.10(1), pp.85~pp.98。
- [20] Medina J. and Hudspeth R.T.(1990),「A review of the analysis of Ocean wave groups」, Coastal Eng.14, pp.515~pp.542。
- [21] List, J.H.(1986),「Wave groupiness as a source of nearshore Long waves」,Coastal Eng. pp.497~pp.511。
- [22] Mase, H. and Iwagaki, Y. (1986),「Wave group property of wind waves from modulational instability」, Coastal Eng. pp.565~pp.577。
- [22] Nolte K G and Hsu F H, (1972),「Statistics of ocean wave groups」, Fourth Annual Offshore Tech. Conf. OTC 1688. 2. pp.637~pp.644。