98-49-7405
MOTC-IOT-97-H3DA001

# 港灣環境資訊系統與數值模式應用研究（4/4）

交 通 部 運 輸 研 究 所
中華民國 98 年 4 月

98-49-7405
MOTC-IOT-97-H3DA001

# 港灣環境資訊系統與數值模式應用研究（4/4）

著 者：簡仲璟

交 通 部 運 輸 研 究 所
中華民國 98 年 4 月

港灣環境資訊系統與數值模式應用研究. (4/4)
/ 簡仲璟著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部
運研所, 民98.04
面 ; 公分

ISBN 978-986-01-8272-9(平裝)

1. 港埠管理 2. 數值分析 3. 地理資訊系統

443.2029 98006993

港灣環境資訊系統與數值模式應用研究（4/4）

著　　者：簡仲璟
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10458 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04) 26587176
出版年月：中華民國 98 年 4 月
印 刷 者：良機事務機器有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價： 500 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松山路 209 號 F1•電話：(02)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1009800944　　ISBN：978-986-01-8272-9（平裝）
著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

# 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：港灣環境資訊系統與數值模式應用研究（4/4）</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）<br>ISBN 978-986-01-8272-9 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號<br>1009800944</td><td>運輸研究所出版品編號<br>98-49-7405</td><td>計畫編號<br>97-H3DA001</td></tr>
<tr><td colspan="3">主辦單位：港灣技術研究中心<br>主管：邱永芳<br>計劃主持人：簡仲璟<br>研究人員：陳明宗、單誠基、李俊穎、劉清松<br>參與人員：陳正義、錢爾潔、馬維倫、張麗瓊<br>聯絡電話：04-26587131　傳真號碼：04-26564415</td><td>研究期間<br>自 97 年 01 月<br>至 97 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：花蓮港、港池共振、海氣象、即時傳輸、波譜參數</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：本報告包含 3 個研究子計畫（一）花蓮港港池共振機制研究（4/4）、（二）港灣環境資訊網規劃與建置維護(3/3)及（三）颱風波浪頻譜形狀參數之研究（4/4）。<br><br>（一）花蓮港港池共振機制研究（4/4）<br>本計畫為四年期計畫之第四年，本年度主要是持續進行花蓮港及附近海域現場波浪觀測與資料分析統計、以現場實測頻譜進行不規則波的港灣波動數值模擬，並與港內的實測值進行比較。綜合相關研究資料研判花蓮港港內的長週期振盪主要應是源自於外海波動，並由於港形的特殊，使得該成分的能量無法發散至外海而長時間累積引發港內振盪。未來有可能透過針對長週期波動的消波設施的研發來解決問題。<br><br>（二）港灣環境資訊網規劃與建置維護(3/3)<br>本計畫主要工作項目包括： 1. 建置一個由關聯式資料庫管理系統所構成的海情資料庫，以彙整現場觀測所得之資料及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊。2. 整合海氣象觀測子系統及數值預報子系統之系統介面控制軟體開發。3. 擴充建置臺中及蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統。4. 擴充建置港灣環境資訊管理系統，以確保整體系統運作之穩定性、資料品質可靠性以及系統保密與安全性。<br><br>（三）颱風波浪頻譜形狀參數之研究（4/4）<br>本研究利用花蓮港港外與港內同步之波浪觀測資料進行分析。由港外測點波譜能量分布之時空變化分析結果顯示港內之長週期成份波在港外就已存在，並非進入港內後再放大到相當能量。但港內測點之波譜能量在頻率大於 0.04Hz 時則大幅降低，此顯示花蓮港防波堤僅對週期小於 25sec 之成份波發揮有效之遮蔽作用。港內測點之各波譜形狀參數特性與港外測點相較則不相同，其原因主要為港內測點之主頻區能量大幅降低而低頻區則大約維持，造成能量尖峰不明顯之波譜形狀，此與港外測點有一能量尖峰的形狀不同。<br><br>本計畫所建置之「港灣環境資訊網」已能透過網頁查詢，提供國內各主要港口即時海氣象觀測資料，同時也可以和各港之船舶自動辨識系統（簡稱 AIS）進行連結，使船長及引水人在船上即可獲得即時海象資訊，本項系統功能目前已成功運用在臺中港，未來將積極推廣至其他港口，以提升 e 化航運之服務水準。本計畫對於花蓮港港內外波動能量之時空變化造成港池共振問題已獲得進一步釐清與證實，因此，其研究成果對於花蓮港及蘇澳港進行港池共振改善之研擬極具參考價值。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>98 年 4 月</td><td>558</td><td>500</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">機密等級：<br>□密 □機密 □極機密 □絕對機密<br>（解密條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，<br>□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）<br>■普通</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

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

TITLE: Applications of Harbor-Environment-Information-System and Mathematical Hydraulic Models（4/4）


| ISBN (OR ISSN) | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER | IOT SERIAL NUMBER | PROJECT NUMBER |
|---|---|---|---|
| ISBN978-986-01-8272-9 (pbk) | 1009800944 | 98-49-7405 | 97-H3DA001 |



DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien Chung-ching
PROJECT STAFF: Chen Ming-tzung, Shan Chen-Chi, Lee Chun-ying, Liu Ching-sung
Chen Cheng-yi, Chien Er-jier, Ma Wei-lun, Chang Lee-chung
PHONE: 886-4-26587131 FAX: 886-4-26564415


PROJECT PERIOD
FROM January 2008
TO December 2008


KEY WORDS: Hualien Harbor, Harbor Resonance, Oceanic and Meteorological, Real-time Transmission, Spectral Parameters



**ABSTRACT**: This report includes three sub-projects: (1) Harbor Resonance of Hualien Harbor (4/4), (2) Construction and Maintenance of the Harbor Environment Information System (3/3), and (3) Shape Parameters of Typhoon Wave Spectral (4/4). The summaries of the above three projects are as follows:

(1) Harbor Resonance of Hualien Harbor (4/4)

In the fourth year of a 4-year study, the harbor resonance problem of Hualien Harbor was studied. In this fourth year, we continue to study the transfer function, long period wave observations, and numerical simulations of harbor tranquilities induced by directional waves or practical irregular waves, and also the improvements of the long period oscillations of Hualien Harbor. From the information gathered from this 4-year project, the source that causes the long period oscillations inside the Hualien Harbor should come from the sea beyond, and is amplified the special layout and topography of Hualien Harbor. Wave dissipation facilities for long period waves should be studied to solve the problem.

(2) Construction and Maintenance of the Harbor Environment Information System (3/3)

Important tasks of this project include: (a) Building a database of ocean conditions constituted with relational database managing system, which can compile the winds speed and direction, tides level, wave height and period, current speed and direction obtained from on site observation, as well as forecast information on the ocean model at sea area near the harbor and obtained from simulation experiments. (b) Development of interface controlled software on integration of sub systems of weather observation and numerical forecast. (c) Planning for the construction of a real-time video monitoring and transmitted communication system in Hualien Harbor, as well as real-time images searching via a website. (d) Expansion of the harbor construction environment information management system, which ensures the stability of overall system operation, reliability of information quality, and system security and safety.

(3) Shape Parameters of Typhoon Wave Spectra (4/4)

This research is to analyze the wave data between the calendar year of 2005 to 2007 of Hualien Harbor observation located in the inner basin and outer harbor at the same time. After spectral energy distribution changing with time and space analyses, the result indicates that various components of spectral energy value are very close to observed points in the outer harbor under the condition of a frequency smaller than 0.04Hz (with a period equivalent to 25 seconds), none of spectral components energy are relatively large under certain frequencies. As to an observed point in the inner basin, some of various spectral components energy is the same under the condition of a frequency smaller than 0.04Hz, so the observed point performs like an outer harbor point. It indicates that for as long as there have been long-period waves in the inner basin, they have existed in the outer harbor. It is not growing to get stronger in the inner basin. However spectral energy drops drastically under the condition of a frequency larger than 0.04Hz, especially those close to main frequency. Various spectral shape parameters of observed points in the inner basin are quite different compared with ones in the outer harbor, such as parameters value domain changing and parameters relationship becoming weak. those changing are different among points because the main frequency area energy drops abruptly and the low frequency area is maintained causing peak point to be not sharp in spectral shape compared with ones in the outer harbor.



| DATE OF PUBLICATION | NUMBER OF PAGES | PRICE | CLASSIFICATION |
|---|---|---|---|
| April 2009 | 558 | 500 | ☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED |



The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

98

# 港灣環境資訊系統與數值模式應用研究(4/4)

交通部運輸研究所

GPN：1009600969

定價 500 元

# 港灣環境資訊系統與數值模式應用研究（3/4）

## 目　錄

中文摘要..... Ⅰ

英文摘要..... Ⅱ

目錄..... Ⅲ

第一子計畫: 花蓮港港池共振機制研究(4/4) ..... PART 1

第二子計畫: 港灣環境資訊網規劃與建置維護（3/3）..... PART 2

第三子計畫: 颱風波浪頻譜形狀參數之研究（4/4）..... PART 3

附錄 1. 期末審查會議紀錄 ..... 附 1-1

附錄 2. 期末審查簡報..... 附 2-1

# 第一子計畫

# 花蓮港港池共振機制研究（4/4）

# 花蓮港港池共振機制研究(4/4)

## 目 錄


目錄 ..... Ⅰ
圖目錄 ..... Ⅲ
表目錄 ..... ⅩⅡ
照片目錄 ..... ⅩⅢ
第一章 計畫背景分析 ..... 1-1
1.1 計畫目的 ..... 1-1
1.2 計畫重要性 ..... 1-2
1.3 相關研究 ..... 1-4
1.4 研究範圍與對象 ..... 1-7
1.5 研究內容與工作項目 ..... 1-7
1.6 重要文獻回顧 ..... 1-9
1.7 本年度各項工作項目的內容、研究方法與進度 ..... 1-12
第二章 波壓與波高轉換函數的相關研究 ..... 2-1
2.1 前人研究 ..... 2-1
2.2 波高波壓轉換函數的相關理論 ..... 2-2
2.3 頻譜轉換 ..... 2-7
2.4 現有試驗水面波動與水下波壓資料的分析 ..... 2-9
2.5 矩形港池平面遮蔽試驗 ..... 2-17
2.6 綜合討論 ..... 2-22
第三章 波浪觀測與資料分析統計 ..... 3-1
3.1 取樣頻率對波動資料分析的影響 ..... 3-1
3.2 Hilbert-Huang 轉換在波動分析上的應用 ..... 3-7
3.3 遮罩型經驗模態分解法 ..... 3-19
3.4 花蓮港港內波浪觀測分析 ..... 3-24
3.5 東海岸的聯合觀測 ..... 3-45
3.6 龜山島南側海域及花蓮鹽寮漁港之波浪觀測比較 ..... 3-66

第四章 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬.....4-1
4.1 無限元素港灣水面波動數值模式.....4-1
4.2 花蓮港的水深地形檔的整理.....4-7
4.3 規則波引致港灣波動數值模擬.....4-10
4.4 不規則波引致港灣波動數值模擬.....4-13
第五章 港池共振改善方案可行性評估.....5-1
5.1 水工模型試驗成果的回顧.....5-1
5.2 改善構想的研討.....5-14
5.3 改善方案的數值模擬與檢討.....5-17
第六章 結論與建議.....6-1
6.1 結論.....6-1
6.2 建議.....6-4
參考文獻.....7-1

# 圖目錄

圖 1.1 花蓮港位置示意圖.....1-3
圖 1.2 花蓮港現況配置圖.....1-3
圖 2.1 壓力與水位轉換水工試驗的斷面模型.....2-10
圖 2.2 波浪通過凹陷地形時水面波形與水中壓力波形間相關係數的水深變化圖.....2-12
圖 2.3 波浪通過等深地形時水面波形與水下壓力波形間相關係數的水深變化圖.....2-13
圖 2.4 規則波通過等深地形之波高比值沿水深變化圖.....2-14
圖 2.5 規則波通過凹陷地形之波高比值沿水深變化圖.....2-15
圖 2.6 波峰與波谷之垂直波壓分布.....2-16
圖 2.7 部份開口矩形港池之平面遮蔽試驗中壓力計(P)與波高計(W)之佈置情形.....2-19
圖 2.8 部份開口矩形港池之港內波高計量測波高與壓力計轉換波高比值圖(0°正向入射).....2-20
圖 2.8(續) 部份開口矩形港池之港內波高計量測波高與壓力計轉換波高比值圖(0°正向入射).....2-21
圖 3.1 週期 2.7 秒及 3.3 秒波形組合的不同取樣時間間隔測試.....3-2
圖 3.2 不同週期波形組合的不同取樣時間間隔測試.....3-3
圖 3.3 以花蓮港外港區實測資料進行不同取樣週期之測試.....3-4
圖 3.3(續) 以花蓮港外港區實測資料進行不同取樣週期之測試.....3-5
圖 3.3(續) 以花蓮港外港區實測資料進行不同取樣週期之測試.....3-6
圖 3.4 IMF 的範例(Huang and Shen, 2005).....3-12
圖 3.5 EMD 解析過程的說明例(Huang 等，2005).....3-16
圖 3.6 地球自轉的每日長度變化(Huang 等，2005) .....3-17
圖 3.7 利用 EMD 處理模態混疊訊號的問題.....3-21
圖 3.8 利用遮罩型 EMD 處理模態混疊訊號的問題.....3-21
圖 3.9 遮罩型 EMD 解析流程.....3-22
圖 3.10 改良遮罩型 EMD 解析流程.....3-23
圖 3.11 花蓮港潮位站(✦)安裝位置示意圖.....3-26

圖 3.12 潮位計檢測記錄.....3-27
圖 3.13 2005/4/5 0:00~2005/4/5 12:00 花蓮港各潮位站之水位變化時間序列圖.....3-28
圖 3.14 2005 年瑪莎颱風侵襲路徑.....3-28
圖 3.15 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖 ....3-29
圖 3.15(續) 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖3-30
圖 3.15(續) 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖3-31
圖 3.16 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF.....3-32
圖 3.16(續) 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF .....3-33
圖 3.16(續) 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF .....3-34
圖 3.16(續) 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF .....3-35
圖 3.17 凱米颱風時期之波高及週期聯合分佈圖.....3-37
圖 3.18 凱米颱風時期之港內波動分解 IMF 圖.....3-38
圖 3.19 桑美及寶發颱風時期之波高及週期聯合分佈圖.....3-39
圖 3.20 桑美及寶發颱風時期之港內波動分解 IMF 圖.....3-40
圖 3.21 冬季季風時期之波高及週期聯合分佈圖(2006 年 1 月).....3-41
圖 3.22 冬季季風時期之港內波動分解 IMF 圖 (2006 年 1 月).....3-42
圖 3.23 夏季季風時期之波高及週期聯合分佈圖(2006 年 6 月).....3-43
圖 3.24 夏季季風時期之港內波動分解 IMF 圖(2006 年 6 月).....3-44
圖 3.25 長週期波動之觀測.....3-49
圖 3.26 長週期波動之聯合觀測水位記錄(2006/8).....3-50
圖 3.27 長週期波動之聯合觀測頻譜(2006/8).....3-50
圖 3.28 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜.....3-51
圖 3.28(續) 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜.....3-52
圖 3.28(續) 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜.....3-53
圖 3.29 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜.....3-54
圖 3.29(續) 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜.....3-55
圖 3.29(續) 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜.....3-56
圖 3.30 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜.....3-57
圖 3.30(續) 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜.....3-58

圖 3.31 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜.....3-59
圖 3.31(續) 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜.....3-60
圖 3.32 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜.....3-61
圖 3.32(續) 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜.....3-62
圖 3.33 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜.....3-62
圖 3.33(續) 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜.....3-63
圖 3.34 石梯漁港水位觀測之分析頻譜.....3-64
圖 3.35 金樽漁港水位觀測之分析頻譜.....3-65
圖 3.36 龜山島南岸於奇比颱風(2001/06/22~2001/06/24)、尤特颱風(2001/07/03~2001/07/05)及潭美颱風(2001/07/10~2001/07/11)過境時之特性波高及週期變.....3-68
圖 3.37 龜山島南岸於玉兔颱風(2001/07/23~2001/07/24)及桃芝颱風(2001/07/28 ~2001/07/31)過境時之特性波高及週期變化圖 ...3-68
圖 3.38 龜山島南岸於納利颱風路徑圖(2001/09/11~2001/09/19)及利奇馬颱風路徑圖(2001/09/23~2001/09/28)過境時之特性波高及週期變化圖.....3-69
圖 3.39 龜山島南岸於海燕颱風路徑圖(2001/10/15~2001/10/16)過境時之特性波高及週期變化圖.....3-69
圖 3.40 花蓮鹽寮漁港於 2000 年 12 月至 2001 年 2 月之特性波高分佈時序圖.....3-70
圖 3.41 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 7 月至 2001 年 9 月之特性波高分佈時序圖.....3-70
圖 3.42 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 12 月至 2002 年 2 月之特性波高分佈時序圖.....3-71
圖 3.43 花蓮鹽寮漁港於 2000 年 12 月至 2001 年 2 月之波浪特性週期分佈時序圖.....3-71
圖 3.44 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 7 月至 2001 年 9 月之波浪特性週期分佈時序圖.....3-72
圖 3.45 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 12 月至 2002 年 2 月之波浪特性週期分佈時序圖.....3-72

圖 3.46 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-73
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-74
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-75
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-76
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-77
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-78
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-79
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-80
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-81
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-82
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-83
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-84
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-85
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-86
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-87

圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-88
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-89
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-90
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-91
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-92
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-93
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-94
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-95
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-96
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-97
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-98
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-99
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-100
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-101
圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-102

圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖 .....3-103
圖 4.1 港池水面波動邊界值問題定義圖.....4-2
圖 4.2 無限元素定義圖。(a)單節點無限元素；(b)雙節點無限元素 ...4-5
圖 4.3 花蓮港水域數值水深資料彙整情形.....4-8
圖 4.4 舊花蓮港水域數值水深地形.....4-9
圖 4.5 96 年新測之花蓮港水域數值水深地形.....4-9
圖 4.6 九個測站之波高增幅曲線圖(舊數值水深地形).....4-11
圖 4.7 九個測站之波高增幅曲線圖(新數值水深地形，岸壁完全反射) .....4-11
圖 4.8 九個測站之波高增幅曲線圖(新數值水深地形，海岸部分反射) .....4-12
圖 4.9 波高增幅係數 $K_D$ 分佈圖 .....4-12
圖 4.10 不規則波港灣波動數值模式的計算流程圖.....4-18
圖 4.11 長方形港池在不同成分波數目下的港灣波動 $K_D$ 分佈情形 ...4-21
圖 4.12 正方形港池在不同成分波數目下的港灣波動 $K_D$ 分佈情形 ...4-22
圖 4.13 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、240°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等頻率分割、n=30).....4-23
圖 4.14 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、240°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、混合分割、n=30).....4-23
圖 4.15 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、240°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等週期分割、n=30).....4-24
圖 4.16 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等頻率分割、n=30).....4-24
圖 4.17 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、混合分割、n=30).....4-25
圖 4.18 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等週期分割、n=30).....4-25
圖 4.19 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.0833Hz、$H_{1/3}$=3m、等頻率分割、n=30).....4-26

圖 4.20 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.0833Hz、$H_{1/3}$=3m、混合分割、n=30).....4-26
圖 4.21 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.0833Hz、$H_{1/3}$=3m、等週期分割、n=30).....4-27
圖 4.22 規則波作用下 $K_D$ 分佈圖(Ts=8s) .....4-28
圖 4.23 不規則波作用下 $(K_D)_{eff}$ 分佈圖(Ts=8s, Hs=6m) .....4-28
圖 4.24 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=8s，Hs=6m，B-M 頻譜) ....4-28
圖 4.25 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=8s，Hs=6m，JONSWAP 頻譜) .....4-28
圖 4.26 規則波作用下 $K_D$ 分佈圖(Ts=10s) .....4-29
圖 4.27 不規則波作用下 $(K_D)_{eff}$ 分佈圖(Ts=10s，Hs=6m) .....4-29
圖 4.28 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=10s，Hs=6m).....4-29
圖 4.29 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=10s，Hs=10m，式 4.40) ....4-29
圖 4.30 不規則波+84 秒長波作用下 $(K_D)_{eff}$ 分佈圖 .....4-30
圖 4.31 不規則波+1134 秒長波作用下 $(K_D)_{eff}$ 分佈圖 .....4-31
圖 4.32 不同主波方向之多方向不規則波作用下 $K_D$ 分佈圖(JONSWAP 頻譜、Ts=10s，Hs=6m) .....4-32
圖 4.33 提姆颱風(1994)行進路徑圖 .....4-33
圖 4.34 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬.....4-34
圖 4.34(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬 .....4-35
圖 4.35 提姆颱風(1994)過境時花蓮港實測頻譜 .....4-36
圖 4.36 2005 年龍王颱風路徑圖(2005/09/29-2005/10/03) .....4-37
圖 4.37 花蓮港區海域波浪儀儀器架安裝位置.....4-38
圖 4.38 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜 .....4-38
圖 4.38(續) 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜.....4-39
圖 4.38(續) 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜.....4-40
圖 4.38(續) 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜比較4-41
圖 4.39 港灣波浪預報的概念模式.....4-43
圖 4.40 TaiComs 模式系統中各計算領域範圍及水深地形 .....4-44
圖 4.41 RC/MC/HC 風場的計算範圍.....4-45

圖 4.42 相位測試的部分開口矩形港池水深分佈以及施測點位置 ....4-47
圖 4.43 相位測試的結果 ....4-48
圖 4.44 RC 風場(2005/10/01 12:00) ....4-50
圖 4.45 MC 風場(2005/10/01 12:00) ....4-50
圖 4.46 WAM 遠域波場(2005/10/01 12:00) ....4-51
圖 4.47 花蓮港附近的波高增幅係數$(K_D)_{eff}$分佈圖(2005/10/01 12:00)4-51
圖 5.1 水工模型試驗方案及測點位置圖 ....5-4
圖 5.2 水工模型試驗方案及測點位置圖 ....5-7
圖 5.2(續) 水工模型試驗方案及測點位置圖 ....5-8
圖 5.3 三種改善方案配置示意圖 ....5-11
圖 5.4 配置構想一 ....5-15
圖 5.5 配置構想二 ....5-15
圖 5.6 配置構想三 ....5-16
圖 5.7 配置構想四 ....5-16
圖 5.8 5 個碼頭的相對位置 ....5-20
圖 5.9 配置方案一，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖 ....5-21
圖 5.10 配置方案二，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖 ....5-21
圖 5.11 配置方案三，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖 ....5-22
圖 5.12 配置方案四，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖 ....5-22
圖 5.13 配置方案五，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖 ....5-23
圖 5.14 配置方案一，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖 ...5-24
圖 5.15 配置方案二，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖 ...5-25
圖 5.16 配置方案三，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖 ...5-26
圖 5.17 配置方案四，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖 ...5-27
圖 5.18 配置方案五，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖 ...5-28
圖 5.19 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線 ....5-29
圖 5.19(續) 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線 ....5-30
圖 5.20 九個測站之波高增幅係數曲線(配置方案一) ....5-31
圖 5.21 九個測站之波高增幅係數曲線(配置方案五) ....5-31
圖 5.22 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一及五) ....5-32

圖 5.23 削減長週期波反射能量之設施構想圖(#7 及#12 碼頭) .....5-32

# 表目錄

表 2.1 斷面試驗造波條件.....2-10
表 2.2 平面試驗造波條件.....2-17
表 3.1 2006 年各觀測站的資料收集範圍.....3-49
表 4.1 TaiComs 模式系統中各計算領域的相關資料.....4-44
表 4.2 港灣波動預報模式中各計算領域的相關資料.....4-49
表 5.1 各配置方案的差異比較.....5-3
表 5.2 JONSWAP 頻譜試驗波浪條件.....5-3
表 5.3 各配置方案的差異比較.....5-6
表 5.4 規則波試驗條件.....5-9
表 5.5 不規則波試驗條件.....5-9
表 5.6 規則波與不規則波造波條件.....5-10

# 照片目錄

照片 3.1 現場觀測使用的潮位計.....3-24
照片 3.2 潮位計安裝情形.....3-27

# 第一章 計畫背景分析

## 1.1 計畫目的

花蓮港為我國的國際商港之一，就地理位置來說對於臺灣東部地區的貨物運輸，應佔有相當重要的地位。然而，由於有些颱風侵襲期間，港內曾發生長週期蕩漾的現象，不利於船舶的靠泊與人員貨物的裝載，再加上東部的產業逐漸偏向於自然資源的利用與觀光產業的發展，因而導致花蓮港的貨運量偏低。然為了充分發揮花蓮港地利優勢，港灣的功能勢必轉型朝向多元化發展。在轉型的過程中，其服務範圍將由貨物運輸而逐漸偏向於海上遊憩的相關運輸行為，服務對象也將偏向於以人為主，相對地對於港灣的相關設施及功能，尤其是港灣的靜穩度的要求也會更高。

花蓮港由於海底地形與特有港形的緣故，在港內容易激發與港池特性長度相關的長週期振盪，嚴重影響港內船舶的靠泊。不僅影響船舶靠泊安全，也直接影響到人員登船與下船過程間的安全性。目前此一長週期蕩漾現象已經造成在惡劣天候下，尤其是在某些颱風侵襲之前，港內的船舶必須離港避難，明顯地違背港灣建設開發的目的。

為了瞭解花蓮港港池共振機制以及研提改善防治對策，有鑑於此，本所乃依據民國 94-97 年度科技研究計畫「港灣環境資訊系統及數值模式應用研究」之綱要計畫總目標擬定為期四年的研究計畫以進行與花蓮港港池共振機制相關的研究。其中，並配合本所的相關研究，從水工模型試驗、現場觀測、及數值模擬等方面探討花蓮港的港池共振機制。

由於引用的國外文獻甚多，為了避免混淆，本報告對於年代如未標示『民國』字眼者皆為西元年代。

## 1.2 計畫重要性

花蓮港為我國唯一為處於臺灣東部海岸的國際商港(如圖 1.1 所示)，就其位置性來說花蓮港對於臺灣東部地區的貨物運輸應佔有相當重要的地位，然而自四期擴建完成後由於港內經常發生長週期蕩漾的現象，不利於船舶的靠泊與人員貨物的裝載，再加上東部的產業逐漸偏向於自然資源的利用與觀光產業的發展，使得航商因為船舶安全以及成本業績的考量而裹足不前，因而導致花蓮港的貨運量偏低，與業務的衰退。就目前國內的經濟發展策略而言，由於相關的工業多集中在西部海岸，再加上北宜高速公路以及規劃中東部高速公路的開發，未來東部的工業發展仍會因為其地理位置、地質因素、以及政策的導向而趨於保守，自然資源、觀光產業及傳統農漁業仍可能主導花蓮港海洋運輸發展方向。

然而換另一角度，從地緣關係來看，花蓮縣位處臺灣東部海岸的中段，其海岸線綿延約 110 公里，且面臨太平洋遼闊的豐富漁場。在臺灣東部海岸，花蓮港以北較大的人工港灣(扣除特定用途的和平水泥專用港)就屬大約距離 60 公里外的蘇澳港，往南則也是大約 50 公里外的石梯漁港。以近海船舶的活動性與機動性來看，花蓮港的地理位置對發展東部海岸的各種型式的海洋事業或活動，不論是作為前進基地或是中繼站，都有其不可忽視的重要性。因此，為了充分發揮花蓮港地利優勢，花蓮港的功能勢須配合鐵公路交通的變革與發展，以及花東地區產業的發展結構，重新加以定位，並朝向多元性的港灣利用來進行規劃及轉型。在轉型的過程中，其服務的對象當然也可能由主要的貨物運輸而逐漸偏向於與海上遊憩的相關運輸行為。

由於服務對象將逐漸由以貨物為主移轉為以人為主，相對地對於港灣的相關設施及功能，尤其是港灣穩靜度的要求將會更加提高。然而目前花蓮港由於附近海底地形的陡峭與特有狹長港形的緣故(如圖 1.2 所示)，在港內容易激發與港池特性長度相關的長週期振盪，並嚴重地影響到港內船舶的靠泊，以及人員登船與下船過程間的安全性。目

前此一長週期蕩漾現象已經造成在惡劣天候下，尤其是颱風侵襲之前，花蓮港內的船舶必須離港避難，而明顯地違背港灣建設開發的目的。再加上由於花蓮港外海水深浪大，船舶的出海錨泊仍可能因為流錨而發生船舶擱淺的船難事件，所以基本上不應該是一標準正常的作業程序。

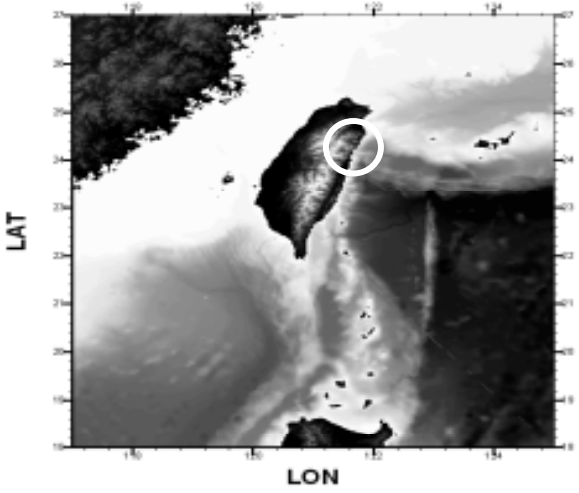



**圖 1.1 花蓮港位置示意圖**




**圖 1.2 花蓮港現況配置圖**

目前，花蓮港的水域屬於漁業與商業共用，其中漁業包括了傳統漁業及遊憩漁業，這些用途對水域的穩靜度有不同的要求。例如，位於花蓮港內的花蓮漁港原係由商港的小型船渠撥用改建，由於水域空間不足於民國 89 年起進行專用漁港的規劃設計與建設，原先有另外闢

建進出口航道的構想，但基於建設經費與港內穩靜度的考量，最後仍決定使用商港部份的航道作為漁船進出口。如果再加上花蓮港正在推動未來的海上遊樂船舶活動，則將使得對花蓮港港內穩靜度的要求更形提高，而如何解決港內長週期波動的需求也相對提高。

## 1.3 相關研究

為了找出花蓮港長週期振盪機制，在花蓮港務局的委託下，本所自民國 78 年起即陸續在港內及港外展開一系列的長期海氣象觀測，至民國 89 年更擴充至全港內與東防波堤外側多個測波站的同步觀測，其間也包括了許多自發性的研究計畫。由於收集的資料相當龐大，目前的資料分析僅完成初步港灣規劃、管理及工程設計所需的基本分析外，進一步的相關比對則仍陸續累積與整理當中。除了現場調查之外，本所也進行了相當多的數值模擬及水工模型試驗。為了探討花蓮港共振的問題，花蓮港務局與本所也曾於民國 85 年共同舉辦『花蓮港港池振盪及其改善方案研討會』。相關的研究有張及曾(1993)、張及曾(1995)、蘇及陳(1995)、曾及簡(1996)、蘇等人(1996)、簡及邱(1996)、張(1996)、曾(1998)、簡及曾(1999)、莊(2000)、莊及江(2000)、李等人(2001)、李(2001)、郭等人(2002)、蕭等人(2000)、邱等人(2003)、張及林(2003)、邱等人(2003)、蘇(2003)等、邱等人(2005)。為方便後續研究者的搜尋，相關文獻列於 1.6 節中。

邱等人(2005)的文獻中從改善花蓮港長週期振盪的出發點，整理了過去相關的現場觀測、模型試驗及數值分析的成果。在文章中指出有關現場觀測的資料分析部份，曾(1996)分析民國 79 至 85 年間的 31 個港外颱風波浪，其中民國 83 年的 6 個颱風(提姆、凱特琳、道格、弗雷特、葛拉絲及席斯)，以及民國 84 年的肯特颱風期間港內也進行了同步觀測。分析結果指出外海的颱風波能多集中在 11 至 15 秒之間，但在港口外側則顯示長週期成份波的能量顯著增加；內港區的長週期能量集中在 147 及 158 秒左右，而外港區則在 137、147 及 185 秒左右。由於

東防波堤的遮蔽效應，外港區池的短週期能量可以降低一階，而內港區池則降了兩階，然而 160 秒左右的波能卻增加二階。文中並指出可能引起港內超長重力波的機制有二：碎波點位置振盪所生的自由長波；或者伴隨短波群前進之強制長波。曾及簡(1996) 分析民國 78 年至 82 年的現場觀測資料也指出在民國 83 年提姆颱風侵襲期間港內有明顯的能量集中在 47、82、98、114 及 158 秒成份波處。簡及曾(1999)分析民國 79 年至 87 年間的 45 個颱風動態資料與現場波浪資料指出，颱風波浪的波高逐時變化除與颱風行進路徑、強度規模及移動速度有關外，也和背景波浪場、陸地遮蔽效應有密切關連。對花蓮港而言，颱風波浪的總作用時間大約 1 至 2 天；颱風波浪的明顯增大時間大約是颱風中心距花蓮港約 500~900 公里。郭等人(2002)利用民國 83 年至 86 年間的五個颱風時期所觀測的港內及港外波浪資料進行分析，以探討港池振盪的發生機制。其認為港內的振盪機制大致與線性波理論吻合，是由港外波浪低頻域能量所引起。但也指出港外風浪愈大，不一定港內振盪就大，必須視港外的低頻成份波的波向而定，而港外低頻波之波向也不一定與風浪主方向相同。顯示港池振盪的機制有著很複雜的關係。張及林(2003)利用最小二乘法發展出兩種可辨識水位訊號之主成份波週期及振幅的模式，並將其應用在花蓮港民國 83 年提姆(Tim)颱風的港內波動訊號上，辨識出港內主要成份波週期為 87.6 及 152 秒，而港外為 15、52、80 及 130 秒。

在數值模擬方面，蘇等人(1996)利用近岸波場推算數值模式-Model WP21 探討港內的波動，並指出當入射波週期為 42、87、92、118 及 155 秒時，港內會引起明顯的振盪。莊(2000)、莊及江(2000)應用 MIKE21-EMS 以數值模擬方式探討花蓮港於颱風期間的港池不穩靜機制，並認為亞重力波顯著支配花蓮港的共振特性。他同時指出當亞重力波之入射週期為 100、130、160 及 190 秒時，港內會引起程度不同的共振，而且若花蓮港外海存在具有較顯著振幅(能量)的 195 秒波動時，則花蓮港內港域各碼頭區將面對全面性之最嚴重共振波動振盪。蕭等人(2000)應用雙互換邊界元素法解析花蓮港的港池波動問題時，指

出港內增設消能池可改善長週期之波動，但港外設置潛堤則無多大效果。航道拓寬與航道浚深可降低波高增幅係數值，但可能引發新的共振週期。李等人(2001)利用緩坡方程式及邊界元素法進行解析並發現入射波週期為 48、56、96、116、140 及 160 秒時會引起港內的長週期振盪。以上數值模擬所得到的振盪週期略有出入，猜測其原因應是各項研究所用數值模擬技巧不同所致，例如數值方法、元素切割等。但是可以確認的是，從數值模擬上可以曉得花蓮港的共振週期特性。

在水工模型試驗方面，簡(1996)嘗試幾種不同的港內配置方案試圖改善港內的長週期共振，但只能獲得有限的效果。簡等人(1997)藉由探討舊東堤改建、美崙溪導流堤延伸改善港口淤積、及南濱海岸侵蝕的問題，提出多種配置方案探討港內的長浪防制問題。邱等人(2000)從拓寬內航道、以及在港外加設潛堤或突堤的方式來探討長浪可能的防制方法，其中共測試了三種颱風週期(12.6、13.5 及 15.3 秒)及四種長週期(40、100、140 及 160 秒)，並發現 140 及 160 秒的入射波會引起港內的長週期振盪。在水工模擬方面，由於經費、時程與計畫任務導向的限制，往往只能針對少數幾個特定波浪週期進行實驗，因此我們可以將其視為一項驗證的工作，瞭解某些週期的港遲波動情形，或是確認某些週期會引發共振，但是對於沒有進行的波浪週期則無法獲得任何資訊。

綜合過去的相關研究中可以發現花蓮港的港池共振週期特性已經透過現場觀測、模型試驗、以及數值模擬的方式加以探討多年，但是對於如何引發此一現象的機制：亞重力波、波群所附帶的長波、緣岸波、或是其他因素，卻仍是無法定論。蘇(2003)從物理性質的角度分析三種可能的長週期振盪發生機制：亞重力波、波群所附帶的長波、及緣岸波。其認為接近 80 至 90 秒或 130 至 160 秒週期的亞重力波很難在一般颱風區域內產生。而除非是很規則的湧浪，現場不規則波浪很難出現有規則性的群波，因此推論波群所附帶的長波不應該是有效引起港池共振的入射波。然而該文僅只是概念性地認為花蓮港的長週期振盪應是由緣岸波所造成，但未作任何證明。再者，緣波的理論主要說

明了入射波浪可以近似平行於海岸線走向的方向沿岸傳播，並可能攜帶大量能量入侵花蓮港。此一現象或許與花蓮港的共振有關，但就波浪週期而言，緣岸波並未改變外海波浪的週期結構，長週期波的存在並非因緣岸波現象而發生，因此猜測可能尚有其他的共振機制。

## 1.4 研究範圍與對象

本計畫主要是利用水工模型試驗、現場觀測、及數值模擬等方法探討花蓮港港池共振的機制。所有相關的模型試驗及現場觀測主要由本所辦哩，而計畫合作單位必須配合本所的內部研究，參與實驗或量測的規劃與資料的分析，必要時得配合進行附屬相關工作。

在為期四年的研究工作中，首先利用水工模型試驗討論波壓與波高的關係，以便確認適合花蓮港海底地形的波壓與波高的轉換關係。其後，利用現場波浪觀測資料進行統計及頻譜分析以了解花蓮港港內及港外的波浪特性。此外，建置花蓮港附近水域的單方向及多方向不規則波及任意地形之波浪折繞射模式，以探討花蓮港附近的波動與水流特性，藉此研擬改善防治對策。

## 1.5 研究內容與工作項目

本計畫設定執行四年，本年為第四個年度，各年之主要工作項目包括：

**第一年(民國 94 年)：**

1. 進行波壓與波高轉換函數相關的水工模型斷面試驗，建立港內波壓與波轉換關係
2. 針對花蓮港現場波浪觀測的資料作波浪特性的統計與分析

3. 建置花蓮港港灣波動數值模擬的模式，進行規則波的數值模擬，並與相關研究成果相比對

4. 花蓮港防波堤振動特性與沉箱變位資料分析

**第二年(民國 95 年)：**

1. 繼續進行波壓與波高轉換函數的相關水工模型平面試驗

2. 繼續進行花蓮港現場波浪觀測的資料分析與波浪特性統計

3. 規劃及設計三維潮流數值模式

**第三年(民國 96 年)：**

1. **持**續進行花蓮港及附近海域現場波浪觀測與資料分析統計

2. 以現場實測頻譜進行不規則波的港灣波動數值模擬，並與港內的實測值進行比較。同時，也進行多方向不規則波的數值模擬，以探討花蓮港港池共振機制

3. 港池共振改善方案可行性評估

**第四年(民國 97 年)：**

1. 持續進行花蓮港及附近海域現場波浪觀測與資料分析統計

2. 以規則波及不規則波的港灣波動數值模擬結果，對各改善方案之港池靜穩度進行評估

3. 配合貴中心民國 92~96 年「近岸數值模擬系統之建立」研究計畫成果，探討及測試港灣波動數值模式與近海波浪預報模式結合，建構花蓮港波浪預報模式

4. 解析花蓮港波浪特性及其與港池共振關聯性之綜合探討

5. 綜整四年研究成果進行總結報告

## 1.6 重要文獻回顧

### 1.6.1 已完成之相關研究計畫

| 報告編號 | 報 告 名 稱 |
|---|---|
| S760390 | 花蓮港舊東防波堤外側潛堤穩定性及效用斷面模型試驗 |
| S790630 | 花蓮港舊東防波堤身灌漿加固修護方法之可行性研究 |
| S830990 | 花蓮港與蘇澳港八十三年颱風災害探討 |
| S851260 | 花蓮港港灣設施改善計畫之研究第一子計畫現場海氣象調查 |
| S851270 | 花蓮港港灣設施改善計畫之研究第二子計畫水工模型試驗 |
| S851280 | 花蓮港港灣設施改善計畫之研究第三子計畫數值模擬 |
| S851290 | 花蓮港港灣設施改善計畫之研究第四子計畫水深測量與漂沙堆積分析 |
| S851300 | 花蓮港港灣設施改善計畫之研究第五子計畫防波堤改善方案 |
| S851310 | 花蓮港港灣設施改善計畫之研究第六子計畫綜合改善方案 |
| S861510 | 花蓮港整體規劃及未來發展計劃----長浪及漂砂防制研究第一子計畫：防波堤結構斷面型式試驗研究 |
| S861520 | 花蓮港整體規劃及未來發展計劃----長浪及漂砂防制研究第二子計畫：防波堤堤線配置平面試驗 |
| S861530 | 花蓮港整體規劃及未來發展計劃----長浪及漂砂防制研究第三子計畫：港口漂砂淤塞改善檢核試驗研究竟 |
| S861540 | 花蓮港整體規劃及未來發展計劃----長浪及漂砂防制研究第四子計畫：綜合改善方案研定 |
| B085031 | 臺灣五個國際港附近海域海氣象調查研究 |
| B085032 | 臺灣五個國際港海氣象資料庫查詢系統建立研究 |
| B085033 | 臺灣五個國際港波譜預測模式之研究 |
| B085080 | 花蓮和蘇澳港附近長波研究 85 |
| B088070 | 花蓮港波浪預警系統之應用研究 |
| B089180 | 花蓮港商漁港分道與港池穩靜水工模型試驗研究-可行性分析 |
| B089190 | 花蓮港商漁港分道與港池穩靜水工模型試驗研究-水工模型試驗報告 |
| B090020 | 花蓮港港內和港外長波數值模式研究 |
| B090030 | 臺灣地區整體國內商港暨漁港客貨碼頭發展規劃 |
| B090090 | 花蓮港共振強度估算模式研究 |
| B091009 | 臺灣國際五大港觀測潮汐資料專刊花蓮港) |

### 1.6.2 相關文獻


| | |
|---|---|
| 1 | 張金機、曾相茂(1993)「花蓮港港池不穩靜初步調查研究」，第 15 屆海洋工程研討會，第 489~502 頁。 |
| 2 | 張金機、曾相茂(1995)「花蓮港港池不穩靜初步調查研究」，第 17 屆海洋工程研討會暨兩岸港口及海洋工程研討會，第 131~143 頁。 |
| 3 | 蘇青和、陳明宗(1995)「花蓮港港池之共振特性探討」，第 17 屆海洋工程研討會，第 113~128 頁。 |
| 4 | 簡仲璟、邱永芳(1996)「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-模型試驗」，專刊 127 號，交通處港灣技術研究所。 |
| 5 | 張金機(1996)「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-綜合改善方案」，專刊 131 號，交通處港 |

| | |
|---|---|
| | 灣技術研究所。 |
| 6 | 曾相茂、簡仲璟(1996)「花蓮港海域海象現場調查與分析」，花蓮港港池振盪及其改善方案研討會，第 31~59 頁，交通處港灣技術研究所。 |
| 7 | 蘇青和、蔡丁貴、張金機(1996)「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-數值模擬」，專刊 128 號，交通處港灣技術研究所。 |
| 8 | 曾相茂(1998)「臺灣海域海岸現象調查與及時回報系統建立之應用研究」，87-研(三)，交通處港灣技術研究所。 |
| 9 | 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，第 55~62 頁。 |
| 10 | 蕭松山、王昭文、方惠民、陳建興(2000)「雙互換邊界元素法解析花蓮港港池波動問題」，第 22 屆海洋工程研討會，第 327~334 頁。 |
| 11 | 莊文傑(2000)「亞重力波與花蓮港之波動共振」，港灣報導，第 54 期，第 26~33 頁，交通處港灣技術研究所。 |
| 12 | 莊文傑、江中權(2000)「亞重力波引起花蓮港之共振機制與對策」，第 22 屆海洋工程研討會，第 578~585 頁。 |
| 13 | 邱永芳、蔡金吉、張金機(2000)「花蓮港商漁港分道與港池穩淨水工模型試驗研究-水工模型試驗報告」，MOTC-IOT-IHMT-CE-8801，交通處港灣技術研究所。 |
| 14 | 李兆芳(2001)「港池振盪之數值模擬計算」，2001 海洋數值模式研討會，第 4-1~4-20 頁。 |
| 15 | 李兆芳、劉正琪、張憲國(2001)「港池振盪之數值模擬計算」，海洋工程學刊，第一卷第一期，第 1~22 頁，海洋工程學會。 |
| 16 | 郭一羽、林明儀、曾相茂(2002)「花蓮港池振盪現象的探討」，海洋工程學刊，第二卷第一期，第 55~71 頁，海洋工程學會。 |
| 17 | 邱永芳、蔡瑤堂、張富東、蔡金吉(2003)「花蓮港商漁分道之可行性研究」，第 25 屆海洋工程研討會，第 897~902 頁。 |
| 18 | 邱永芳、蔡金吉、張富東 (2003)「花蓮港長浪防治之試驗研究」，第 25 屆海洋工程研討會，第 655~660 頁。 |
| 19 | 張憲國、林立青(2003)「花蓮港港池振盪之頻率與振幅辨識模式」，第 25 屆海洋工程研討會，第 103~110 頁。 |
| 20 | 蘇明陽(2003)「花蓮港港池振盪入射波種類之探討及建議」，第 25 屆海洋工程研討會，第 917~923 頁。 |
| 21 | 邱永芳、林炤圭、簡仲璟(2004)「花蓮港長浪特性試驗探討」海洋工程學刊 |


### 1.6.3 相關研究成果的檢討

就目前本計畫執行前已經完成的研究成果來看，其研究的方法與方向幾乎已經涵蓋了目前所有的海岸工程方面的知識與技術，然而花蓮港的長週期振盪的機制似乎仍無法明確定位。為此，本所乃決定重新審視過去所進行過的研究成果，以其尋找其中可能被忽略掉的資訊。本節將就從水工模型試驗、數值模擬及現場觀測三個方向，分析過去的研究中所可能遭遇到問題。

在水工模型試驗部份，本所已經從改變近海入射波能的結構、削減或消散入侵港灣的波能、及改變港灣自然振動週期的構想，進行過

多次的穩靜度改善試驗，但是發現都僅能夠做到有限程度的改善。邱等人(2004)彙整三個與花蓮港港池波動有關的水工模型試驗結果，包括本所於 1996、1997 及 2000 年專題計畫的試驗結果(其成果分別發表於簡及邱，1996、簡等人，1999 及邱等人，2003b)，進行綜合性的檢討。在這三個年度的計畫中，本所嘗試著由變化各種不同的外廓設施配置方案，以期能削減港內的長週期振盪的發生或其能量。然而，試驗的結果發現改善的成效有限，花蓮港的港內仍然會有共振的現象出現。邱等人(2004)指出一旦港灣的主體佈置定型後，任何局部性改善措施都只能產生有限的效果而已。

由於花費的人力、經費與時間龐大，以及模型縮尺的限制，水工模型試驗一般較屬於是被動性與趨勢性的研究方法。也就是說，先決定要試驗的狀況與條件後，才進行相關的佈置與試驗測試。因此，大多數的港灣遮蔽或是港灣波動折繞射試驗是在驗證或評估指定的波浪條件下的港灣內外波動情形，並藉以驗證理論分析、數值模擬的結果。花蓮港的相關水工模型試驗也有類似的情形：其主要是驗證了某些入射波週期會引起花蓮港的港內共振、港內的波動情形與消波效果，很難找到花蓮港的共振機制。

數值模擬部份則由於各個學者各時期所使用的數值模式的控制方程式、邊界條件與數值解析度不同，雖然其都確認了花蓮港有長週期的共振週期，但是各個數值試驗所得的共振週期都略有出入，而無法作成具體的結論。林(1997)曾指出數值模擬網格的不恰當切割可能導致港內共振週期的偏移。因此，如果要詳細驗證數值模擬的結果，可能先要確認各數值模式的收斂性與穩定性。

至於現場觀測部份則由於港灣附近的波浪量測在考量不影響船舶及其他水上活動的前提下，只能使用壓力式波高計。但由於壓力式波高計所需要的壓力與水位轉換關係仍未有定論，加上港內的波動可能屬於波動窄頻但多方向的狀況，其轉換函數可能與外海的寬頻但有主方向不同。因此，對於港內外的波浪觀測結果的分析仍有其不確定性。

## 1.7 本年度各項工作項目的內容、研究方法與進度

依照工作計畫書中之預定進度甘梯圖所示，本期中報告應進行的工作項目包含

**1. 持續進行花蓮港及附近海域現場波浪觀測與資料分析統計**

本項工作主要著重在長周期波的觀測及其頻譜特性與發生機制探討。其項目包含：

(1) 收集及整理現場波浪觀測資料

(2) 評估及進行濾波、以及波浪分析統計

(3) 港內港外波浪統計特性分析

目前進度主要以結合經驗模態分解法(empirical mode decomposition, EMD)與零上切法所構成的新波浪分析方法，並將其應用在實測波動的解析上面。為了瞭解長週期成分波的情形，本研究除了分析在花蓮港內所進行的水位觀測資料外，也對過去所收集的龜山島南岸波浪觀測及鹽寮漁港波浪觀測的資料進行分析及討論。由於資料量龐大，需要耗費大量的電腦設備及計算時間，有關東海岸的聯合觀測預定於下半年繼續進行。

**2. 以規則波及不規則波的港灣波動數值模擬結果，對各改善方案之港池靜穩度進行評估**

(1) 改善方案之研擬

(2) 進行多方向不規則波數值模擬及討論

由於花蓮港水深本年度進行重測，目前已經針對重測的水深資料進行模式的建置，待模式完成後將進行模擬計算與比對。在改善方案的研擬部分，本年度工作預定研擬可能的改善方案，初步構想將考慮改變港內的布置，以及配合南北濱的海岸保護，進行相關數值模

擬與評估。有關港池共振改善方案，如果參考過去的相關數值模擬以及水工模型試驗，如邱等(2004)的相關研究回顧，可發現過去的專家學者已經從破壞入射波結構、削減或發散港內波動能量等方向進行相當多的嘗試，也顯示一般的減少港內共振的方式可能不適合於外部水深坡陡的狹長型花蓮港。因此，基本上能夠思考的方向為改變港池的幾何形狀。除了延續 96 年的方案進行可行性外，也針對港外的部分進行可能的方案配置及比較。

**3. 探討及測試港灣波動數值模式與近海波浪預報模式結合，建構花蓮港波浪預報模式**

目前進度主要以建置港灣波浪預報系統為主，而且已經完成以 96 年龍王颱風為例的模擬計算。此項模擬結果亦提供給『近岸海象數值模擬與預警系統之建立』計畫參考。

**4. 解析花蓮港波浪特性及其與港池共振關聯性之綜合探討**

**5. 隨時根據量測及分析結果比較探討花蓮港的長週期振盪機制。**

# 第二章 波壓與波高轉換函數的相關研究

有關波壓與波高轉換函數的研究主要在 94 年度及 95 年度，試驗的項目包含針對針對水平底床與凹陷地形的水工模型斷面試驗及矩形港池的港內波壓與波高轉換關係。本研究計畫亦曾規劃在花蓮港進行現場之壓力式波高計與容量式波高計的聯合觀測，但因為現場的干擾太多而未能得到較明顯的關係。本章將就水工模型試驗的研究成果作一彙整報告。

## 2.1 前人研究

有關波壓與波高間的轉換關係，首先 Folsom 與 Seiwell(1947)利用線性波理論提出相關的轉換關係。然而由過去的模型實驗或現場觀測的結果比對，發現即使在規則波的情況下，亦無法正確地利用線性理論來描述波壓與波高間的關係。因此大多數學者皆認同於在波壓與波高間的轉換公式中加入一個經驗修正係數，以改善線性理論轉換時的不正確性。而此一經驗修正係數可能受到相當多參數的影響，例如相對水深、波浪尖銳度、壓力計設置深度、水流及雜訊等，且各參數間的關係亦相當複雜，導致至今壓力修正係數仍未能有一定論。

關於此一修正係數的研究自西元 1966 年起即陸續有許多學者提出相關研究與建議，相關的研究列於參考文獻，例如 Hom-ma et al.(1966)、Bergan et al.(1968)、Simpson(1969)、Esteva and Harris(1970)、Cavaleri(1980) 、 Biesel(1982) 、 Lee and Wang(1984) 、 Hameed and Baba(1985)、Gabriel and Hedges(1986)、Bishop and Donelan(1987)、郭(1983)、簡仲璟等(1990)、邱永芳等(1993)、黃家祥(1993)、張炯般(1995)、Huang et al.(1998)、Huang(2001)、陳松輝等(2003)。其中，Bergan et al.(1968)比較量測的壓力及 Stoke's 的理論結果，發現用 Stoke's 五階波差異性遠比線性波理論小。Lee and Wang(1984)用二階攝動法(perturbation technique)解弱非線性不規則波並發現由於線性及非線性

的轉換函數在中間性波至深水波的範圍中差異不大，因此判斷非線性的影響並不顯著。Wang et al.(1986)提出之修正線性濾波法(modified linear filter method)，其方法是將線性濾波法進行修正，以一簡單視窗轉換函數的型式應用於波壓與水位間的轉換。然而，一般研究都了解在淺水波的部分非線性的修正是相當重要的。Kuo and Chiu(1994)比較了量測波壓及線性波與 Stoke's 三階波理論，並發現在他們的實驗中非線性的波形尖銳度影響很小。然而，Baquerizo and Losada(1995)使用微小振幅波理論的推導，認為邱、郭與簡(1993)之經驗轉換函數中之常數項應為水深無因次項$\omega^2 d/g$ 之函數($\omega=2\pi f$ 為波浪之角週頻率；$f$ 為頻率；$d$ 為水深；$g$ 為重力加速度)，不應為一定值。黃明志也指出此一不一致的結論似乎祇反映了研究中的波浪條件不同而已。

## 2.2 波高波壓轉換函數的相關理論

依據線性波理論，二維進行波的波壓公式可表示為

$$p(x,y;t) = p_S - \rho g z + \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{1}{2}\rho\left(u^2 + w^2\right) \cdots\cdots (2.1)$$

其中，$t$ 為時間；x-軸為水平軸，z-軸為直立軸，以平均水面為零點並取向上為正；$p$ 為總水壓力；$p_S$ 為自由水面大氣壓力；$\rho$ 為水的密度；$g$ 為重力加速度；$\phi$為流體的速度勢(velocity potential)；$u=-\partial\phi/\partial x$ 為水平水分子速度；$v=-\partial\phi/\partial y$ 為垂直水分子速度。而單一波動的波形及相關速度勢函數為

$$\eta(x;t) = a\sin\left(kx - \omega t\right) \cdots\cdots (2.2)$$

$$\phi(x,z;t) = \frac{ag}{\omega}\frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}\cos(kx - \omega t) \cdots\cdots (2.3)$$

其中，而 $a$ 為波浪的振幅；$\omega=2\pi/T$ 為波動的角週頻率(angular frequency)；$T$ 為波浪週期；$h$ 為水深；$k=2\pi/L$ 為波數(wave number)；$L$ 為波長。$\omega$ 及 $k$ 滿足線性波的分散關係式

$$\omega^2 = gk\tanh kh \cdots\cdots (2.4)$$

其動壓部分可以表為

$$p_d(x,z;t) = \rho g K_{pL}\eta(x;t) = \rho g\frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}\eta(x;t) \cdots\cdots (2.5)$$

其中，$K_{pL}$稱為線性波的壓力轉換函數。依循類似的推導過程可得非線性波的波壓公式為

$$p_d(x,z;t) = \rho g K_{pN}\eta(x;t) \cdots\cdots (2.6)$$

對於量測及線性波理論間的差異性，一般提出一個經驗的修正係數 $N$

$$p_d(x,z;t) = \rho g K_{pC}\eta(x;t) = \rho g\frac{K_{pL}}{N}\eta(x;t) \cdots\cdots (2.7)$$

Forristal(1982)曾指出量測及線性波理論間差異性的可能原因為二階的動能項或是非線性波的影響未被考慮，或者是分析的方法不恰當。Bishop and Donelan(1987)：曾根據不同的試驗及現場資料對 N 值做了檢討。並依據他們自己的試驗，他們認為線性波理論在由水下壓力紀錄計算波高時還是正確的。一個設計良好的壓力式波高計系統估算水面波高應可達到 95%的準確性。他們也指出以前的修正係數可能受到不正確的波高量測、儀器限制(如訊號/雜訊比，率定誤差、動水壓力干擾等)、以及不恰當的分析方法(波別法 wave-by-wave method，頻譜洩漏 spectral leakage)的影響。Kuo and Chiu(1994)提出一動壓力的經驗公式

$$p_d(x,z;t) = \rho g K_{pE}\eta(x;t) \cdots\cdots (2.8)$$

其中，$K_{pE}$為經驗轉換函數，已由因次分析及中間性波與深水波的試驗資料的回歸得到下列的結果

$$K_{pE} = \exp(0.905\frac{\omega^2 z}{g} - 0027)\ ;\ 0.1 \le \frac{\omega^2|z|}{g} \le 5.0\ ,\ \frac{h}{L} \ge 0.07 \cdots\cdots (2.9)$$

由因次分析可以得到下列的函數關係

$$K_{pE} = f_1\left(\frac{\omega^2 z}{g}, \frac{\omega^2 h}{g}, \frac{\omega^2 H}{g}\right) = f_2\left(\frac{\omega^2 z}{g}, \frac{z}{h}, \frac{H}{L}\right) \cdots\cdots (2.10)$$

其中，$H$ 為波高；$\omega^2|z|/g$ 為頻率參數；$\omega^2 h/g$ 為水深參數；$H/L$ 為波形尖銳度；$|z|/h$ 為壓力計沒水深度參數。因此，式(2.9)是在中間性波及深水波的範疇內推導的，且僅在波性尖銳度影響較小及壓力計沒水深度參數可被忽略的情形下才適用。

Chen(2000)的沒水深度參數 0.9 的迴歸公式則表為

$$K_{pN} = \exp(0.711\frac{\omega^2 z}{g} + 0022) \cdots\cdots (2.11)$$

在 Kuo and Chiu(1994)中發現由於第三階壓力與第一階壓力的比值小於 1.08，因此非線性的效應很小。他們也認為"由於同一頻率波動及沒水深度的轉換函數在不同的水深處均沒改變"因此壓力計沒水深度參數是可以被忽略的。然而黃(2001)認為依據 Kuo and Chiu(1994)文章的第四圖即顯示此一結論不正確，即使是最簡單的線性波理論轉換函數也強烈地顯示其與沒水深度有關。當壓力計安置在底床時，Kuo and Chiu(1994)的經驗公式有比線性波理論較大的波高預測結果。Baqerizo and Losada(1995)對 Kuo and Chiu(1994)的建議是應該將該項試驗結論歸類在較小的深度參數或沒水深度參數中。公式(2.9)的另一個問題是在高頻區的資料過少可能導致迴歸推算時的誤差。由於在波壓轉換波高的過程中可能會引介入額外的高頻能量，因此在使用 Kuo and Chiu 的經驗公式時必須特別小心。

各種不同的壓力轉換函數也可以用對線性壓力轉換函數的修正係數來表示，即

$$K_{pN} = \frac{K_{pL}}{N}, \quad K_{pC} = \frac{K_{pL}}{N}, \quad K_{pE} = \frac{K_{pL}}{N} \cdots\cdots (2.12)$$

其中，$N$ 一般為相對水深、波形尖銳度及壓力計沒水深度的函數，可由

數值計算或實驗資料獲得。

一般進行因次分析時，主要的目標是將因變數推導轉換成多個由自變數所組成的無因次參數。因此，在推導波壓轉換函數的因次分析時，假設其為水深($h$)、波高($H$)與壓力計沒水深度($z$)的函數並表示成

$$K_P = f_1\left(\frac{\omega^2|z|}{g}, \frac{\omega^2 h}{g}, \frac{\omega^2 H}{g}\right) \quad \cdots\cdots (2.13)$$

依 Chiu & Kuo 的推導

$$K_{PE} = f_1\left(\frac{\omega^2|z|}{g}, \frac{|z|}{h}, \frac{H}{L}\right) \quad \cdots\cdots (2.14)$$

式中，$\omega^2|z|/g$ 為頻率參數(frequency parameter)；$|z|/h$ 為壓力計沒水參數(transducer submergence parameter)；$H/L$ 為波型尖銳度(wave steepness)。

黃正欣等(2003)利用斷面水槽進行一系列的模型試驗，包含五種不同水深、六種規則波週期、及六種相對應的不規則波示性波週期，以及多種入射波高，並發現壓力轉換函數仍與底床水深、波高及壓力計的放置水深都有關係。並利用回歸分析方式得到不同的參數如下所示：

$$K_p = \exp\left(-0.539\frac{\omega^2|z|}{g} - 0.067\right) \quad \text{Kuo 及 Chiu 模式} \cdots\cdots (2.15)$$

$$K_p = \exp\left(-\left(0.015\frac{\omega^2 d}{g} + 0.532\right)\frac{\omega^2|z|}{g} + \left(0.012\frac{\omega^2 d}{g} - 0.072\right)\right)$$

Baquerizo 及 Losada 模式 $\cdots\cdots$ (2.16)

而黃正欣等也提出自己的壓力轉換函數

$$K_p = \exp\left(-\left(0.151\frac{\omega^2 d}{g} - 0.460\frac{\omega^2 H}{g} + 0.498\right)\frac{\omega^2|z|}{g} + \left(0.189\frac{\omega^2 d}{g} - 0.838\frac{\omega^2 H}{g} - 0.059\right)\right) \quad \cdots\cdots (2.17)$$

並以壓力值 $p$ 取代較不容易獲得的波高值 $H$

$$K_p = \exp\left(-\left(0.106\frac{\omega^2 d}{g} - 0.114\frac{\omega^2 P}{g} + 0.517\right)\frac{\omega^2|z|}{g} + \left(0.157\frac{\omega^2 d}{g} - 0.797\frac{\omega^2 P}{g} - 0.057\right)\right) \quad \cdots\cdots (2.18)$$

然而，由於黃正欣等係採用回歸方法求得各項係數，利用壓力值 p 取代波高值 $H$，卻也連帶著變動了水深 $d$ 的係數，使得該公式仍存在有不確定性。也顯示出波高與波壓間的關係仍有深入探討的必要性。

有關頻率參數的部份似乎有些混淆，因為如果是頻率參數的話，則該參數中之自變數應是與波浪頻率直接相關的變數。然而，波浪頻率並不會隨壓力計沒水深度($z$)而變。而且

$$\frac{\omega^2|z|}{g} = \frac{\omega^2 h}{g} \times \frac{|z|}{h} \quad \cdots\cdots (2.19)$$

其實此一參數為$\omega^2 h/g$ 與$|z|/h$(壓力計沒水參數)的函數。因此，若重新整理 Chiu & Kuo 以及 Chen 的建議公式

$$K_{PE} = Exp(-0.905\frac{\omega^2 h}{g} \bullet \frac{|z|}{h} - 0.027) \qquad for\ 0.1 \le {\omega^2|z|}/{g} \le 5, \quad {h}/{L} \ge 0.07 \quad \cdots\cdots (2.20)$$

$$K_{PN} = Exp(-711\frac{\omega^2 h}{g} \bullet \frac{|z|}{h} + 0.022) \qquad for\ {|z|}/{h} = 0.9 \quad \cdots\cdots (2.21)$$

由公式中可知，蔡等所說 Chiu & Kuo 的經驗公式忽略了壓力計沒水參數，似乎有待商榷。不過值得一提的是，波形尖銳度目前沒有任

何理論可以說明。

至於不規則波之壓力和水位間的轉換關係，可分為兩種不同的轉換方式，一種方式是將量測到的壓力，先求出壓力頻譜，再利用壓力轉換函數將壓力頻譜轉換為水位頻譜，邱、郭與簡(1993)即是以此種方法對不規則波做分析。另一種方式則是將量測到的壓力，利用線性壓力轉換函數或邱、郭與簡(1993)之經驗公式轉換為水位，再由轉換得到的水位，求出水位頻譜，此方式所得之水位頻譜在高頻處會有急遽放大的不合理現象，因此轉換公式的頻率適用上限是一個重要的因子，而且必須適當的決定。另對於不規則波之轉換，Nielson(1986)提出局部波壓波形近似處理法(local approximation method)，係將局部波壓波形以正弦波形來描述，將求出之相對應局部頻率視為該點之頻率，再應用線性波理論加以轉換；張(1995)提出前後週期平均法，對轉換函數的頻率做一上限，再代入線性反應函數或經驗轉換函數加以轉換。

在考慮水流或非線性效應對轉換結果之影響方面，亦有學者提出相關文獻，如 Bergan et al.(1968)由風洞水槽模擬水深 20 公尺外之波浪，比較線性波浪理論與 Stokes 五階波浪理論之轉換結果，以頻譜及波高分析做估算，發現其誤差在 10%以內；Lee and Wang(1984)指出在淺水時需考慮水流及非線性效應之影響。

## 2.3 頻譜轉換

波浪能量譜可以由壓力譜得到

$$S_{\eta\eta}(f)=\frac{S_{pp}(f)}{[K_P(f)]^2} \quad \cdots\cdots (2.22)$$

其中，$f$為頻率；$S_{\eta\eta}$為波譜；$S_{pp}$為壓力譜；$K_p$為正確的壓力轉換函數，例如 $K_{pL}$，$K_{pN}$，$K_{pC}$，$K_{pE}$中的任何一個。Bergan et al.(1968)根據試驗室的資料發現利用線性壓力轉換函數所得的轉換頻譜與波譜相當接近。Esteva and Harris(1970) 根據現場的資料也指出有同樣的情形。Lee and

Wang(1984)也同樣地指出線性轉換函數在能量守恒的範圍內有很好的表現，但是在低頻部分有低估能量而高頻部分則有高估的情形。

由於沒水式波高計的壓力轉換函數受到水深增幅的影響而有隨著頻率增加而減小的情形，壓力譜的高頻的成分可能太小甚至因壓力計的解析度或精確度的極限，以及儀器本身的電子或數值上的雜訊干擾(noise)而完全漏失，Lee and Wang(1984)建議依據下式從高頻成分中完全移除雜訊部分

$$S_{\eta\eta}(f) = \frac{S_{pp}(f) - NL}{\left[K_P(f)\right]^2} \quad \cdots\cdots (2.23)$$

式中，NL 為高頻部分的平均雜訊部分(average noise level)。上式與 Huang and Chen(1998)所推導利用浮筒式(pitch roll buoy)波浪觀測的訊號中處理低頻雜訊的修正技巧類似。Lee and Wang(1984)也建議可以用如下所示的切除高頻的 windowed 轉換函數(windowed transfer function with high-frequency cut-off)處理

$$S_{pp}(f) = 0; \qquad f \geq f_C \quad \cdots\cdots (2.24)$$

利用式(2.24)從實際的波浪成分裡面移除額外的的雜訊部份(noise level)的一個好處是在轉換後的頻譜的高頻部分總是有一幅度較大的增量然後伴隨著快速地消減至零振幅的情形(Lee and Wang, 1984)

其他的雜訊修正技巧討論如下：

（1） 根據解析度或精確度的雜訊修正

假設壓力計受限於它的解析度或精確度，則可以這一極限值 $a_{ppl}$(例如壓力計的解析度為 0.1cm)作為整個雜訊部分的評估值(estimate)及設定振幅的切斷條件

$$a_{ppn}(f) = 0; \qquad a_{ppn}(f) \leq a_{ppl} \quad \cdots\cdots (2.25)$$

式中，$a_{ppn}$(f)為第 n 個壓力成分的振幅。同樣地，上式也可以改寫為頻

譜振幅的切斷條件

$$S_{ppn}(f)=0; \qquad S_{ppn}(f)\le S_{ppl} \cdots\cdots (2.26)$$

式中，$S_{ppn}(f)$及 $S_{ppl}$ 為與 $a_{ppn}(f)$及 $_{appl}$ 相關的頻譜振幅。

（2） 根據最大頻譜振幅的雜訊修正

在理論上，假如雜訊是個頻率的已知函數，則壓力訊號便可以被修正。然而實際上卻因為全部的雜訊部分(包含水動力雜訊、非線性及流的影響)乃是隨著海象而變。一個解決此一問題的方法是利用一個與最大頻譜振幅 $S_{ppm}$ 有關的固定比例係數 $R$ 作為切斷條件。

$$S_{ppn}(f)=0; \qquad S_{ppn}(f)\le R\cdot S_{ppm} \cdots\cdots (2.27)$$

假如 $R$ 值較小則相對的切斷頻率 $f_c$ 將會較高。

（3） 根據最小轉換函數值的雜訊修正

除了式(2.27)以外，我們也可以在高頻部分設定一最小轉換函數

$$K_p(f)=K_p(f_c); \qquad S_{ppn}(f)\le R\cdot S_{ppm} \cdots\cdots (2.28)$$

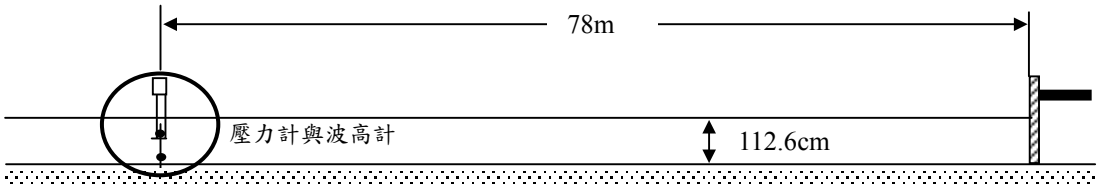
式中，$K_p$ 為正確的壓力轉換函數。這種方式等於是對轉換頻譜在切斷頻率 $f_c$ 以上的部分進行平滑化的處理。

## 2.4 現有試驗水面波動與水下波壓資料的分析

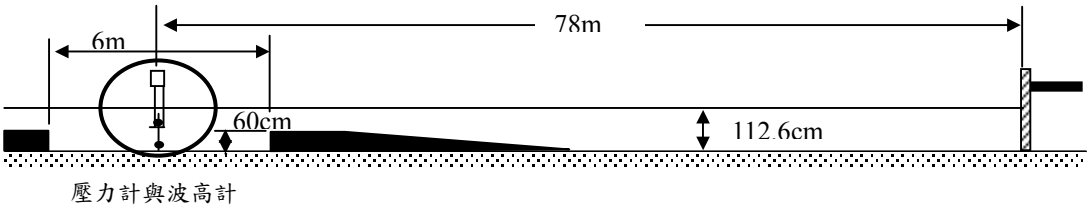
依據合作計畫單位與本所於民國 92 年合作在本所港研中心（以下簡稱本中心）的風洞實驗室中所進行有關壓力與水面波動轉換關係的試驗研究，試驗地形如圖 2.1 所示包含等深地形及凹陷地形兩種，除了在水面上設置容量式波高計(編號為 W0)外，也在同一點的不同深度處(12.6 cm 至 92.6 cm 每間隔 10 cm 一個，原點設在靜水面上，$Z$ 軸以向下為正)設置了 9 個壓力頭(由上而下分別編號為 P1～P9)。相關的造波條件如表 2.1 所示。從線性波理論而言，所試驗的波浪中，週期 1 秒的

波浪在本試驗水深中屬於深水波，而其餘三種波浪週期皆屬於中間性波。






(a) 波浪通過等深地形的斷面模型




(b) 波浪通過凹陷砂槽的斷面模型

**圖 2.1 壓力與水位轉換水工試驗的斷面模型**

**表 2.1 斷面試驗造波條件**

| 規則波通過凹陷地形 | | |
|---|---|---|
| 週期(秒) | 波高(cm) | 代　號 |
| 1.0 | 5,8 | H05T10, H08T10 |
| 1.3 | 13 | H13T13 |
| 1.6 | 19 | H19T16 |
| 2.0 | 25 | H25T20 |
| 不規則波通過凹陷地形 | | |
| 頻率(Hz) | 波高(cm) | 代　號 |
| 0.9 | 8 | F09H08 |

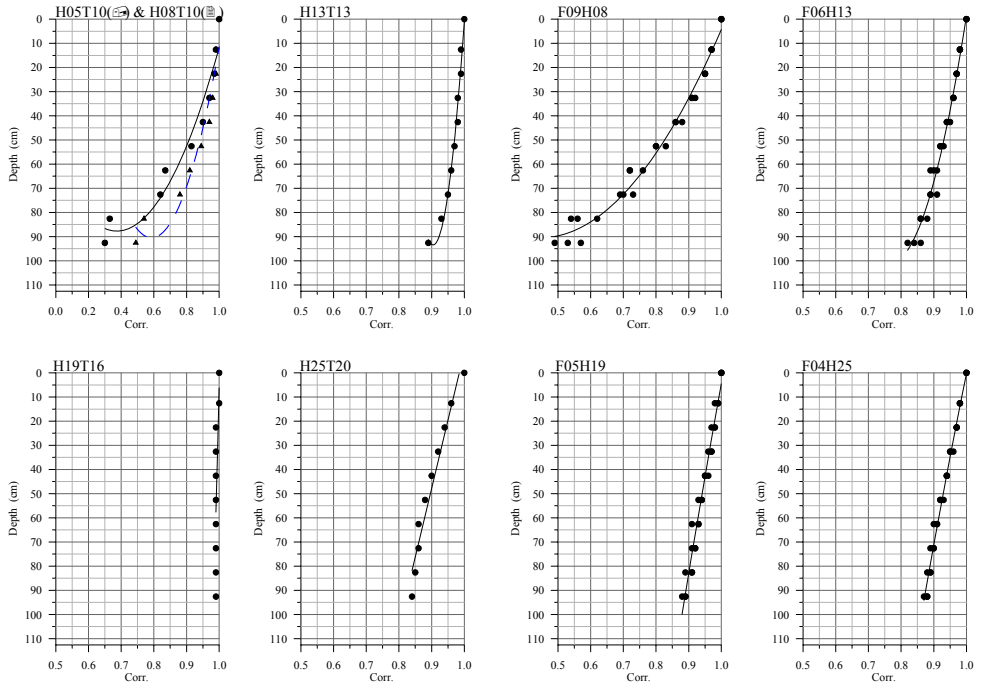
| | | |
|---|---|---|
| 0.6 | 13 | F06H13 |
| 0.5 | 19 | F05H19 |
| 0.4 | 25 | F04H25 |
| 規則波通過等深地形 | | |
| 週期(秒) | 波高(cm) | 代　號 |
| 1.0 | 8, 13, 19, 25 | H08T10, H13T10, H19T10, H25T10 |
| 1.3 | 8, 13, 19, 25 | H08T13, H13T13, H19T13, H25T13 |
| 1.6 | 8, 13, 19, 25 | H08T16, H13T16, H19T16, H25T16 |
| 2.0 | 8, 13, 19, 25 | H08T20, H13T20, H19T20, H25T20 |

為了瞭解波壓在水中的傳遞情形，本研究首先就水面波形與水中壓力波形的相關性進行探討，圖 2.2 及 2.3 分別顯示規則/不規則波浪通過凹陷地形，以及規則波通過水平底床時，不同水深處之壓力波形與水面波形間最大相關係數值隨水深的變化圖。由於凹陷地形為一有限長度(6 公尺)的矩形凹槽，可能與波長產生交互作用，因此圖 2.2(a)大致上顯示水面波形與水中壓力波形的相關性有隨著波浪週期的加長而加大。圖 2.2(b)中的不規則波作用下亦有相類似的趨勢。但是圖 2.2(a)中週期為 1 秒(深水波長為 156cm)的結果顯示相關係數值在水深大於 78cm 時便急遽減小。如果以線性波理論的二分之一波長的影響水深為準，則在 Z=78cm 處的最大相關係數約為 0.5。此外，同圖中也顯示波高的增加會提高水面波形與水中壓力的相關性。

當波浪通過水平底床時，圖 2.3 顯示不同造波週期之規則波水面波形與水中壓力波形間相關係數的水深變化圖，各圖中均含有四種不同波高的結果。就大趨勢而言，隨著造波週期的加長，水面波形與水中壓力波形間相關性就越高，在水深方向的相關性相對增大。除了週期為 1 秒的結果可能受到波形非線性的影響使得波高增大時其相關性有減小的趨勢外，其他週期裡的波高影響性不大。由於週期 1 秒的波浪屬於深水波，因此圖 2.3 之右上圖中可以發現水深大於 78cm 時，相關係數值有急遽變化。

圖 2.4 及 2.5 分別顯示在等深地形與凹陷地形中四種不同造波週期的波高比曲線。波高比值係以水面上的容量式波高計量測波高求各壓

力頭轉換波高的比值。圖中也比對了線性波理論、郭與邱、以及 Baquerio and Losada 的壓力水位轉換理論。其中可發現，不同的波高的差異性不大，但即使在等水深的情況下，各個理論仍與試驗值有一差距，而且似乎壓力的量測有發生衰減的現象(以 T=2 秒為例)。而當波浪通過凹陷地形時(圖 2.5)，此種衰減現象更是明顯。對於不同造波條件進行試驗所得的時間序列以及波高計與各壓力計所量測的水面波動變化關係，可參考 94 年度的期末報告之附錄 B 之圖 B-1 至圖 B-12。




(a) 規則波　　(b)不規則波

**圖 2.2 波浪通過凹陷地形時水面波形與水中壓力波形間相關係數的水深變化圖**

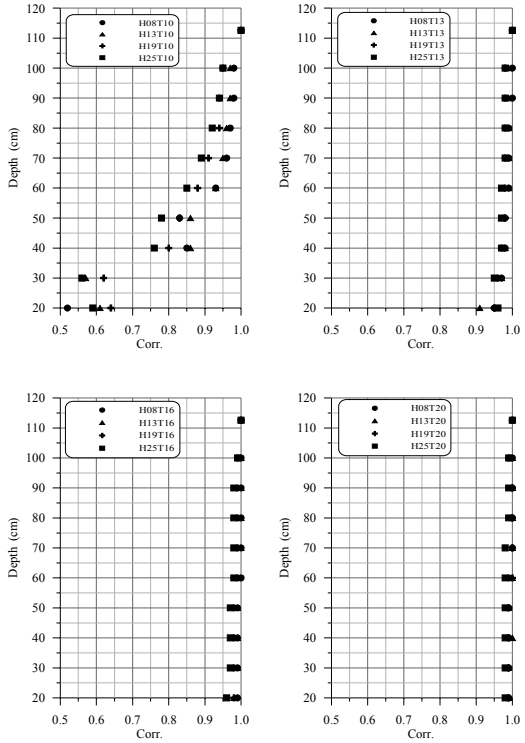
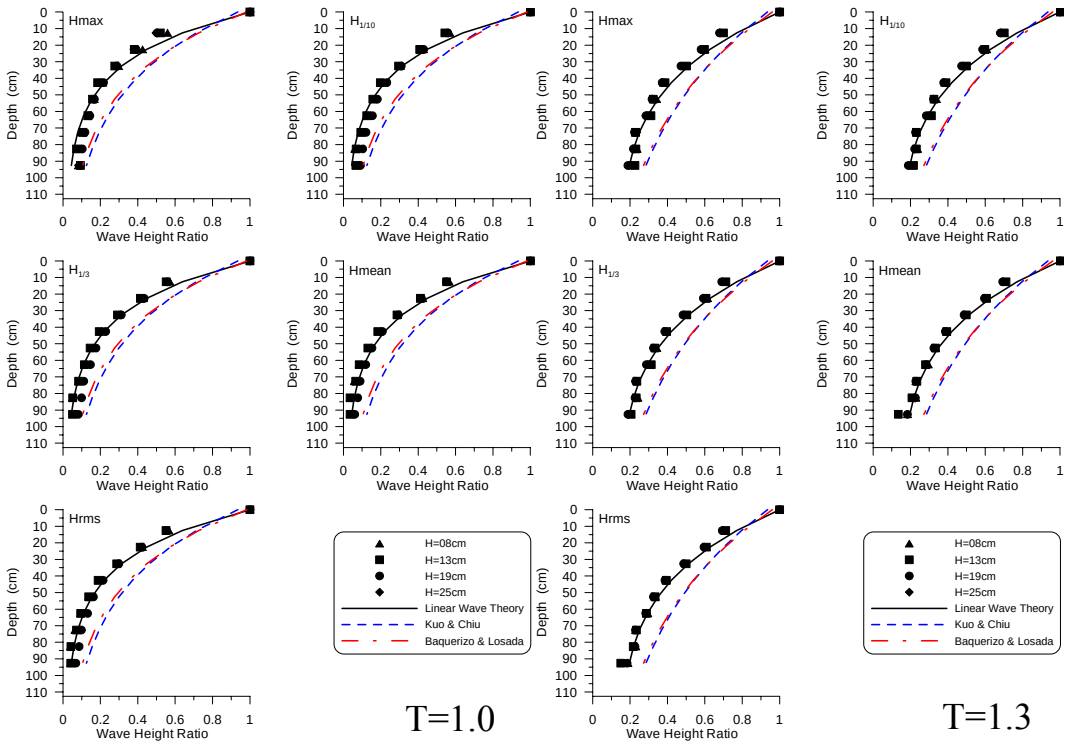



**圖 2.3 波浪通過等深地形時水面波形與水下壓力波形間相關係數的水深變化圖**



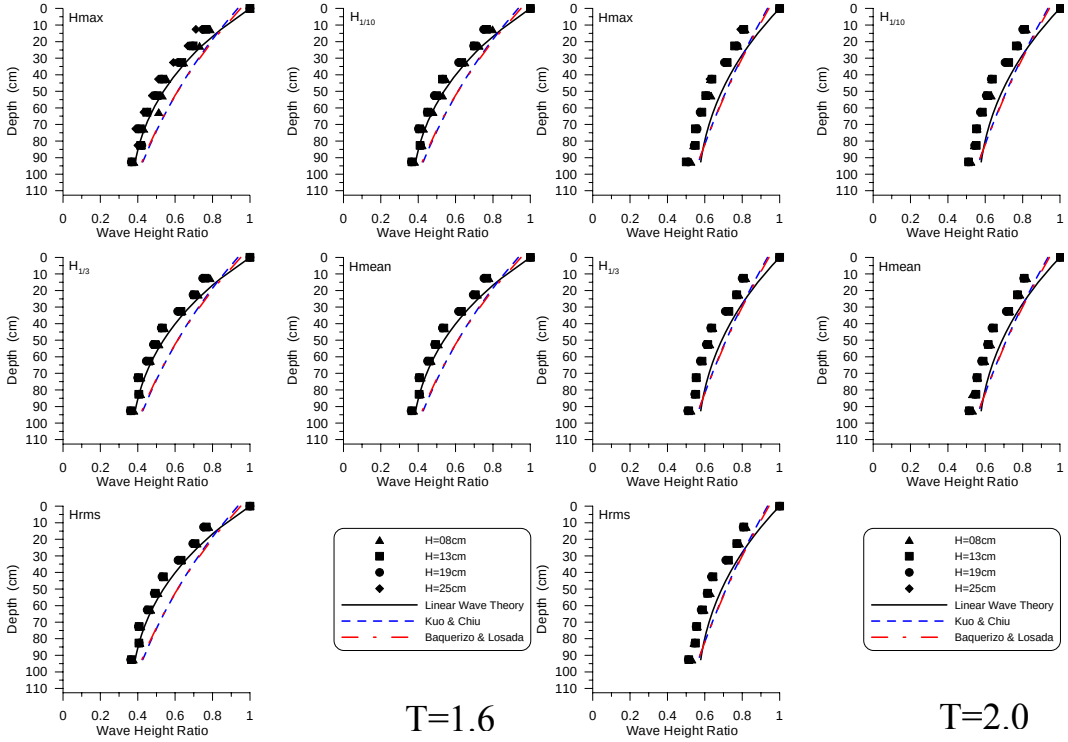
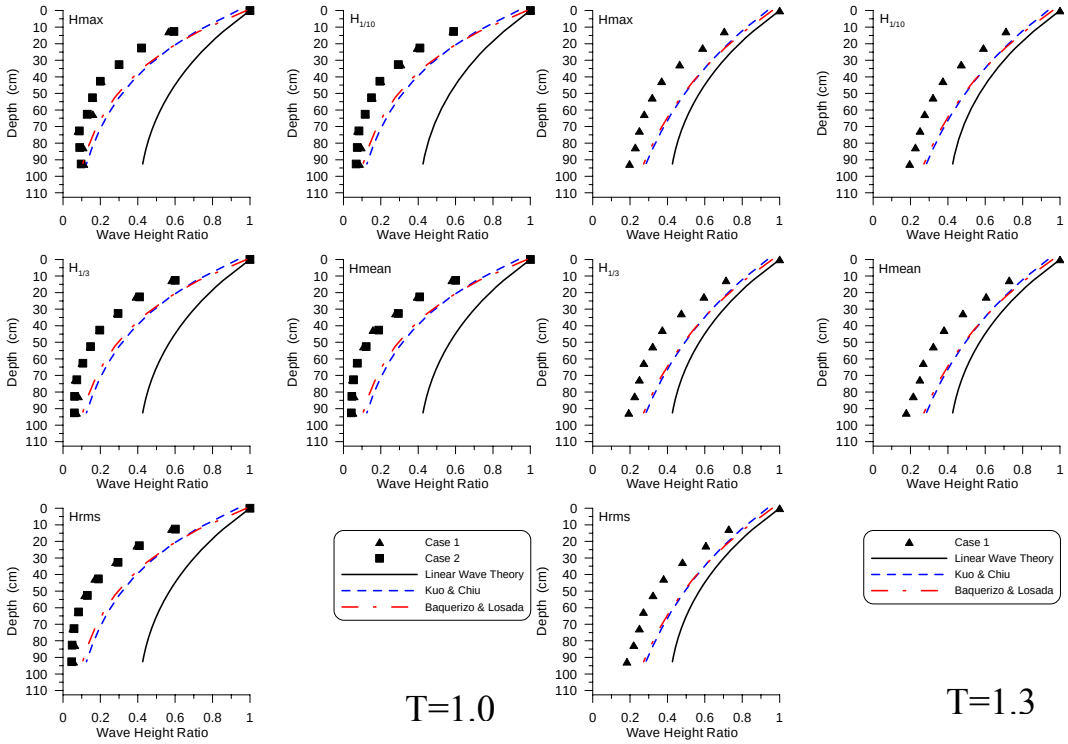



**圖 2.4 規則波通過等深地形之波高比值沿水深變化圖**



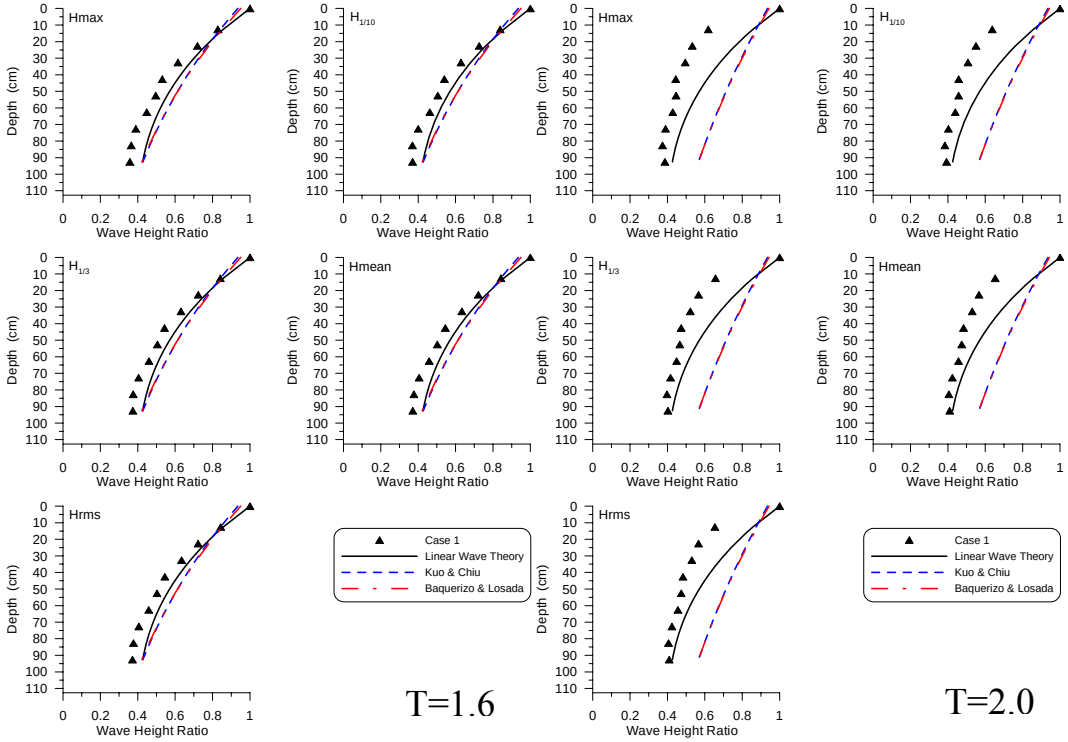



**圖 2.5 規則波通過凹陷地形之波高比值沿水深變化圖**

從相關研究裡可以得到一整體的印象就是隨著水深的加大，壓力頭所量測到水頭變化就相對減少，此與壓力與波形轉換的關係一致。也就是由於長週期波的水粒子可及於底床，因此水壓力變化也可以傳達到底床；而短週期波則因為水粒子運動不及於底床，因此較深水處的壓力計量到很小的壓力變化。在深水處的波形都有高頻振動的情形應是由於壓力計的體積所造成的擾動。未來將利用濾波的方式將此一干擾濾除再在進行比較。而需要注意到的是，即使是非線性波動，其壓力傳遞到某一水深(例如-42.5 cm)以下，所量測到的壓力都幾乎呈規則性變化的情形。即使由於波形尖銳度過大而形成不穩定波形的試驗中，壓力計所量測到的波形也都較為平滑，此與依波壓與水位轉換函數所述的關係應為形狀類似但振幅大小呈餘弦超越函數衰減的特性有不合之處。而由各試驗之水位高程變化比較中也發現，在短週期波(1秒)時深水處的波壓力近似於零，但仍有些微的週期性變化，而且其關係分佈明顯展現在波峰及波谷處的非線性現象。

綜合以上的觀察，顯示波動下的水壓力傳遞可能尚有其他機制，例如水力子的運動所造成的局部性流速，而非一般在流體力學中所認定的 $p=\gamma(h+\eta)$，h 及η係指某一點垂直方向的高度值，純粹以(非水平面)靜水壓的形式來計算，如圖 2.6 所示。壓力有隨水深重新分佈組合的情形。

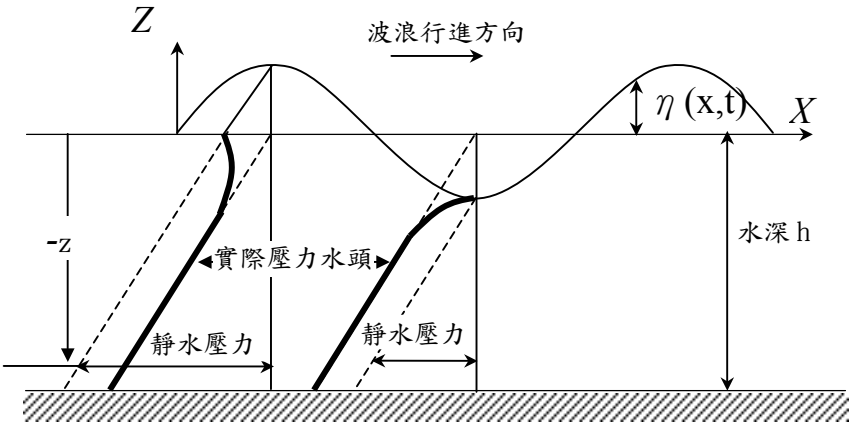



**圖 2.6 波峰與波谷之垂直波壓分布**

對規則進行波水面波形與水中壓力波形間的關係可能隨著波浪的

特性而不同，深水波的波壓力在二分之一波長之內的水深中，波壓力有隨水深衰減的情形，波高也顯示出有局部性的影響，而二分之一波長以下的水深中由於流體的質量與動量連續，仍然有某一程度的擾動；中間性波由於水粒子的運動幅度隨水深而不同，因此也有不同程度衰減；而淺水波則會有完全相關的性質。因此，線性波理論可能仍適合於解釋等水深地形上規則進行波水面波形與水中壓力波形間的關係，但需要加上一個隨水深、波浪週期及波高變化的比例係數進行修正。

## 2.5 矩形港池平面遮蔽試驗

為了瞭解波浪進入港灣後，由於港形所造成的多重反射後，港內水面波動與水下波壓間的關係，本中心利用一 6m×6m 的部份開口(2m)等水深矩形港池(水深為 40cm)進行平面遮蔽試驗，港口內外的壓力計(編號為 P01~P15)與容量式波高計(編號為 W16~W30)的佈置如圖 2.7 中所示。其中，P01~P11 壓力計與 W16~W26 波高計依序分別相對應地佈置於同一地點之水面及水底。實驗的波向共進行了正向(0°)及斜向(45°)兩種與規則及不規則造波，造波週期分布於 0.8~2.0 秒，而波高則分布於 2~14 公分之間，如表 2.2 所示。

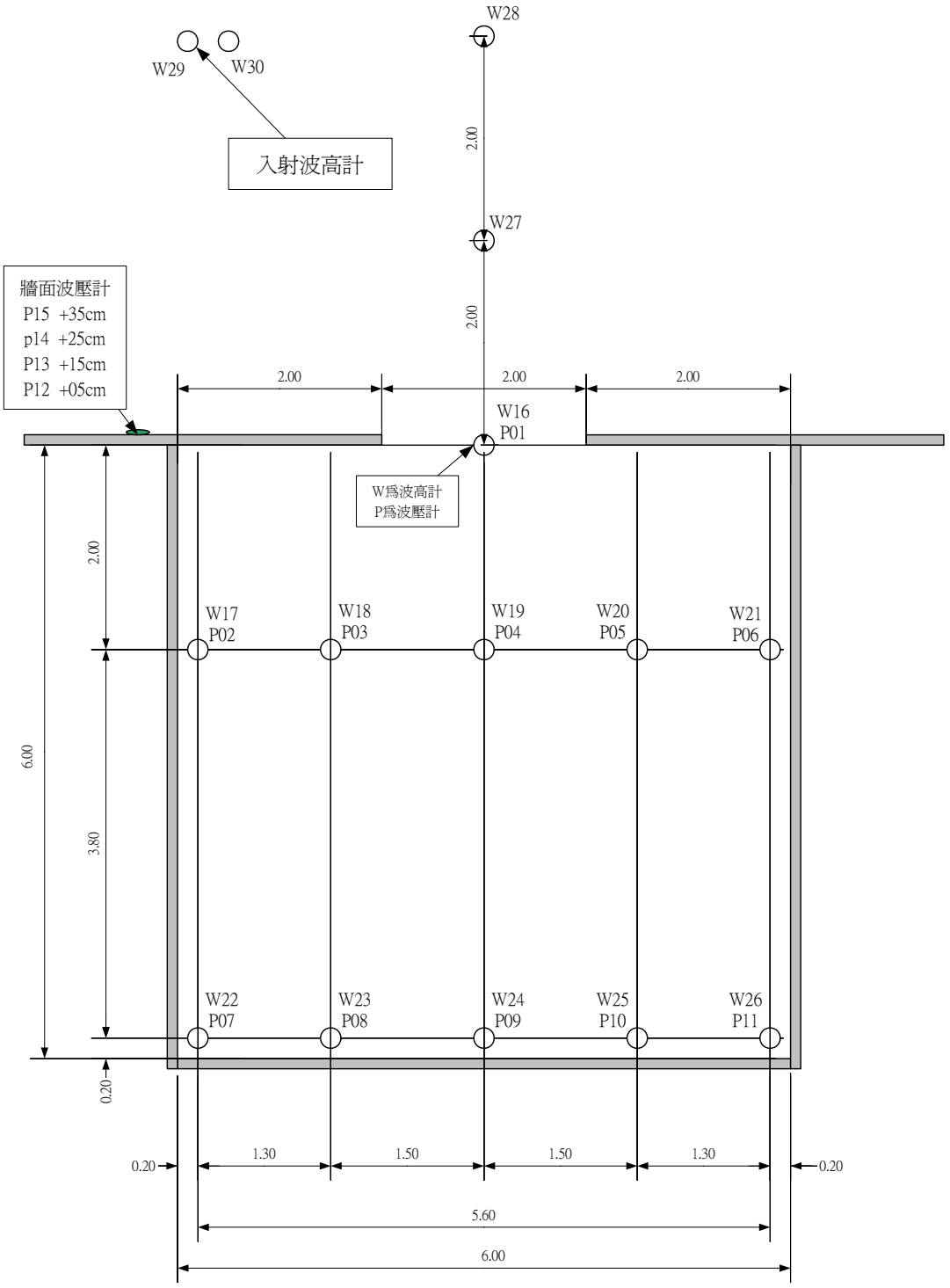
**表 2.2 平面試驗造波條件**

| 造波週期 ($T_{1/3}$, sec) | 0° 正向入射 | | 45° 斜向入射 | |
|---|---|---|---|---|
| | 規則波波高 ($H_{1/3}$, cm) | 不規則波波高 ($H_{1/3}$, cm) | 規則波波高 ($H_{1/3}$, cm) | 不規則波波高 ($H_{1/3}$, cm) |
| 0.8 | 2,3,4,6 | 2,5,8,10 | 3,5,10,12 | 3,6,7,8 |
| 1.0 | 2,4,5,6 | 2,3,5,6,10 | 3,6,8,10 | 6,7,8,9,10 |
| 1.2 | 6,8,10,12,14 | 3,6,7,10 | 5,8,10,12 | 4,6,7,8 |
| 1.4 | 4,6,8,10,12 | 3,6,10,12 | 4,7,10,12 | 2,4,6,8,9 |
| 1.6 | 3,6,10,14 | 4,6,9,12 | 5,8,12,14 | 2,4,7,8,9 |
| 1.8 | 4,8,12,14 | 2,5,8,12 | 5,7,9,10,12 | 2,4,5,7,8 |
| 2.0 | 6,8,12,13 | 3,6,10,13 | 4,8,10,12,14 | 2,4,5,6,8 |

試驗分析除了傳統的特性波高分析(時間域零上切法)與頻譜分析(頻率域)以外，也探討波高計所直接量測的水面波動與由不同水深所得

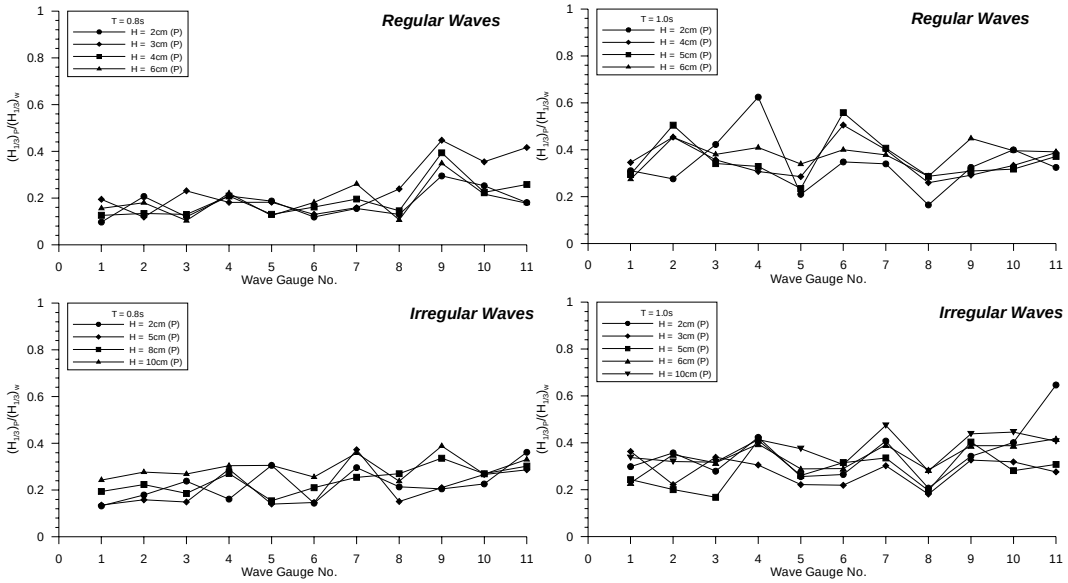
波壓記錄的換算水面波動的比較。但由於資料量過大，圖 2.8 顯示各測站的壓力計轉換波高與波高計量測波高的比值圖，而不規則波及規則波作用下波高計與壓力計所量測的水面波動變化關係可分別參考 94 年度報告之附錄 B 中圖 B.13 至圖 B.18 及圖 B.19 至圖 B.25。

綜合相關比較發現，壓力計所量測轉換的波高與波高計的量測波高變化趨勢還很類似，但是波高值就有很明顯的差異。在短週期波時此種差異較顯著，而長週期波時則波高值較為接近。而壓力計轉換波高與波高計量測波高比值的比較中則顯示不論是規則波或者是不規則波的作用，波高的比值不僅是不同造波條件就不一樣，同一造波條件中的不同量測位置亦明顯不同。從 94 年度報告之附錄 B 中圖 B.13 至圖 B.25 的波高計與壓力計所量測的水面波動變化關係也發現與前述斷面水槽中的試驗結果有明顯的差異性。即使水面波動變化不大時，卻仍可以量測到大幅度的壓力變化。

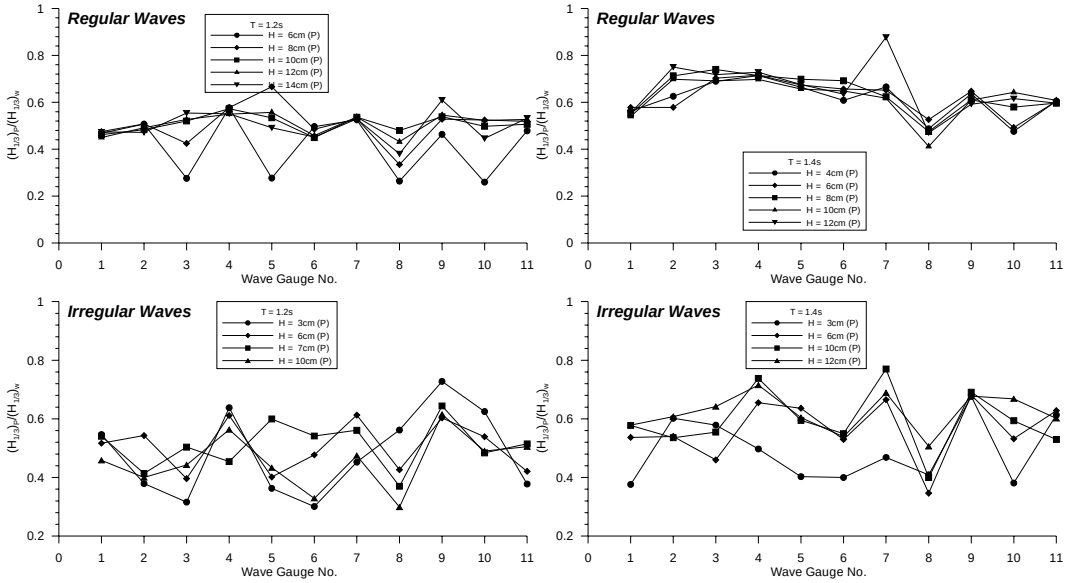



單位：cm

**圖 2.7 部份開口矩形港池之平面遮蔽試驗中壓力計(P)與波高計(W)之佈置情形**

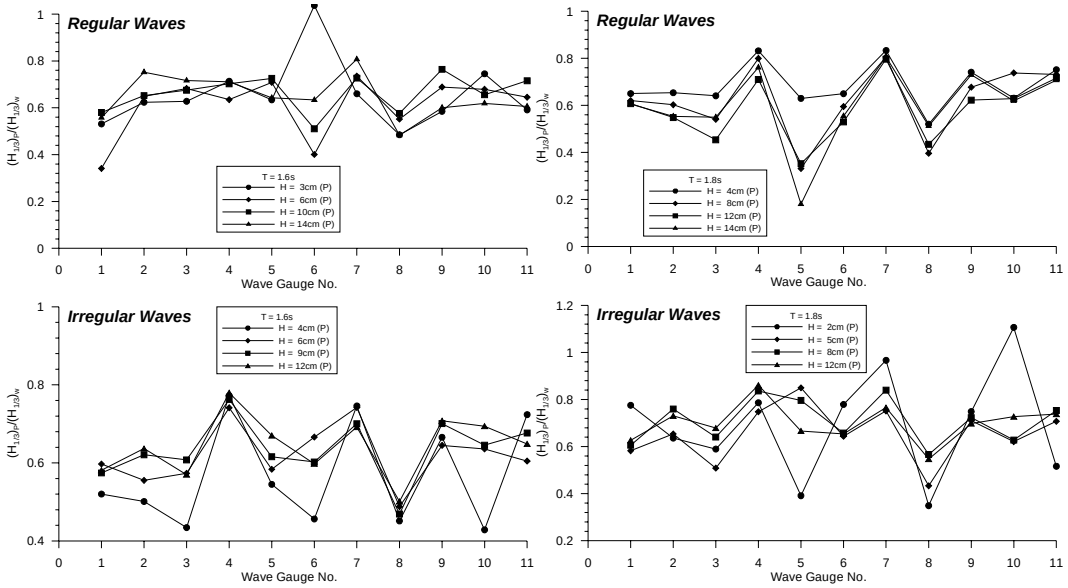



(a) T=0.8s (b) T=1.0s

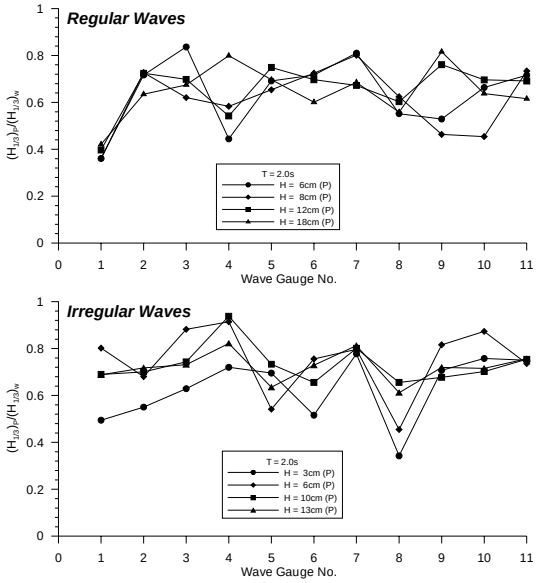



(c) T=1.2s (d) T=1.4s

**圖 2.8 部份開口矩形港池之港內波高計量測波高與壓力計轉換波高比值圖(0°正向入射)**




(e) T=1.6s (f) T=1.8s




(g) T=2.0s

**圖 2.8(續) 部份開口矩形港池之港內波高計量測波高與壓力計轉換波高比值圖(0°正向入射)**

## 2.6 綜合討論

綜合以上的試驗結果，包含斷面水槽試驗中規則進行波通過等深地形及凹陷地形，不規則進行波通過凹陷地形，以及平面水槽試驗中規則波正向入射進入等深地形與部分開口矩形港池內，可以發現並非如線性波浪理論以及一般所預期的簡單關係，在進行波的試驗結果中其水壓力與水面波動的轉換關係較符合線性波理論，但至少需要再進行一與波長、波高及水深相關的衰減修正。在港內的試驗結果，由於波浪係多方向且多重反射，即使是規則波的造波條件，其水壓力與水面波動的轉換關係就明顯與線性波理論不同。推測應是與水粒子的運動有關(區域性的流速)。所以，水壓力與水面波動的轉換關係除了與水位的變化有關外，應與水下個量測點附近的水粒子速度有強烈關係。目前無法得到一肯定的關係式，而且未來有必要再擴大試驗與現場觀測。

# 第三章 波浪觀測與資料分析統計

## 3.1 取樣頻率對波動資料分析的影響

為了進行長期的波浪觀測，本計畫考量到自記式波浪儀的記憶體容量，以及人力資源的使用，除了兩次聯合觀測中，配置了兩種不同廠牌的壓力式波高計，其中鎮儀公司的S700波高計係以0.5秒(2 Hz)進行連續取樣，而SeaBird的SBE39水位計則是以6秒(0.16667 Hz)進行取樣。在例行性的觀測工作中則僅以SBE39水位計進行6秒(0.16667 Hz)或15秒(0.06667 Hz)的連續取樣。由於取樣頻率的不同，也引發了訊號失真(aliasing)的疑慮。本章的測試即針對此一主題進行相關的探討。

測試的波形如下式所示，係由兩個餘弦波線性疊加而成。為了能避免原始訊號的失真，我們以0.01秒的時間解析度以及1000秒的時間長度進行訊號的建構。

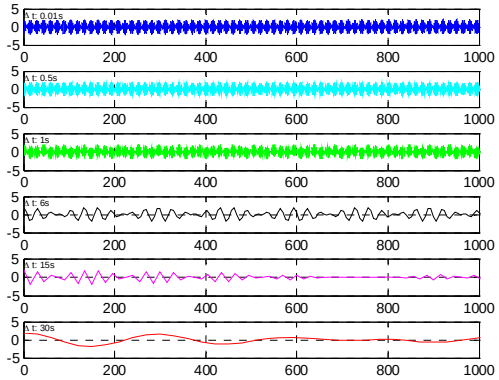
$$\eta(t)=\cos\left(\frac{2\pi}{T(1-\alpha)}t\right)+\cos\left(\frac{2\pi}{T(1+\alpha)}t\right) \quad \text{.....(3.1)}$$

式中，$T$ 為主要代表週期，介於 3 至 50 秒之間，間隔 1 秒；$\alpha$ 為週期調整值，以介於 0.02 至 0.2，間隔 0.02 進行相關的測試。在波形方面一共測試 480 種組合。為探討不同取樣頻率所可能造成的訊號失真問題，乃以不同的取樣時間間隔，如 0.5、1、6、15 及 30 秒等在原始波形上取樣，並進行 FFT 的頻譜分析，從頻譜上觀察訊號的失真情形。

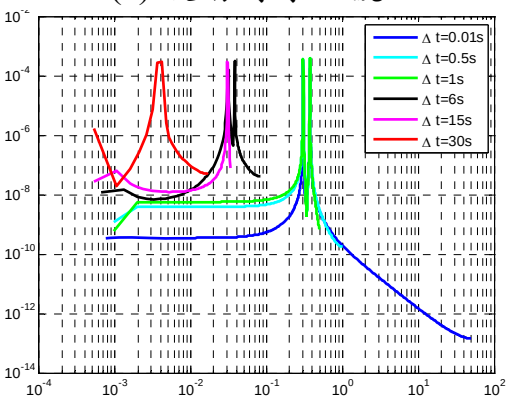
圖3.1為週期2.7秒與3.3秒之規則合成波形所進行的不同取樣頻率之波形記錄及分析頻譜。圖3.2中陳列對不同週期組成之規則合成波形所進行的不同取樣頻率之分析頻譜。從圖中可以看出不同週期的波浪在不同的取樣方式下，可能產生訊號的失真。例如當 $T=3s$ 、$T=5s$ 、$T=10s$ 及 $T=20s$ 時，取樣時間間隔大於1秒即發生訊號週期向長週期偏移的失真情形。而當 $T=30s$ 、$T=40s$ 及 $T=50s$ 時，取樣時間間隔大於

15秒才發生訊號週期向長週期偏移的失真情形。但是當$T \geq 100s$以上的測試中，即使取樣時間間隔等30秒也不發生訊號週期偏移的情形。因此，如同在Fourier頻譜分析中所要求的，只要所使用的取樣時間間隔能在一個波動中取得兩個點，在頻譜分析中的各成分波頻率便不致發生失真問題。

為了進一步瞭解aliasing現象在實測資料中的影響，圖3.3係以花蓮港外港區於2006年8月15日利用S700壓力式波高計(以2Hz取樣頻率連續記錄15000秒)觀測波動紀錄並分別以0.5、1、2、5、6、15秒等取樣週期擷取時間序列後之分析頻譜。從圖中可以發現，在實測頻譜中似乎並沒有因為取樣週期的不同而發生額外而明顯的譜峰頻率。依照以上的心得，本計畫所設定的波動觀測取樣時間間隔為6秒或15秒，應可以正確地抓取到週期12秒或30秒以上的波動成分。

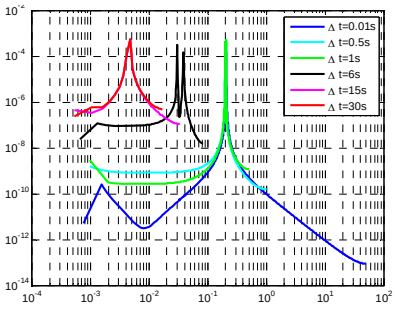


(a) 波動時序訊號

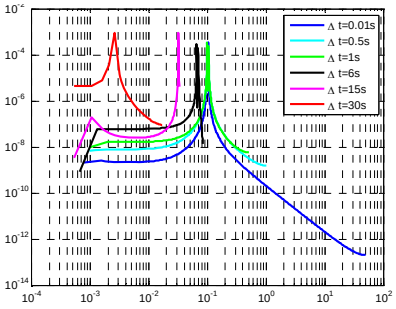



(b) 波動頻譜

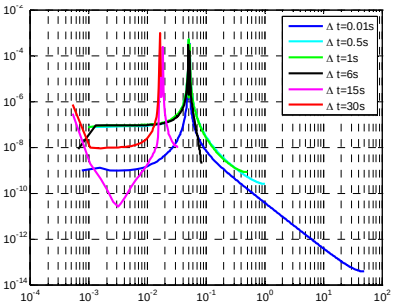
**圖 3.1 週期 2.7 秒及 3.3 秒波形組合的不同取樣時間間隔測試**



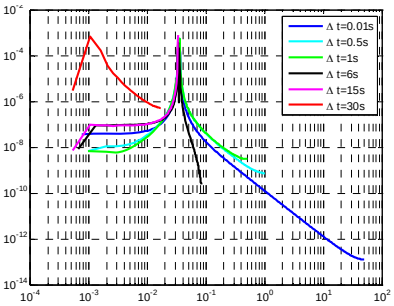

(a) 4.9 秒+5.1 秒



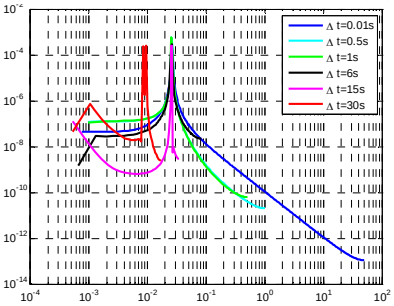

(b) 9.8 秒+10.2 秒



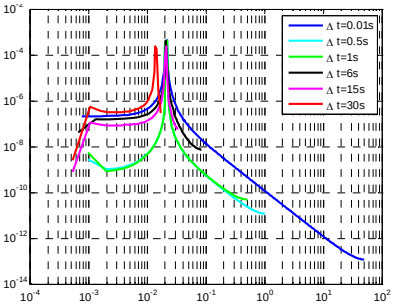

(c) 19.6 秒+20.4 秒



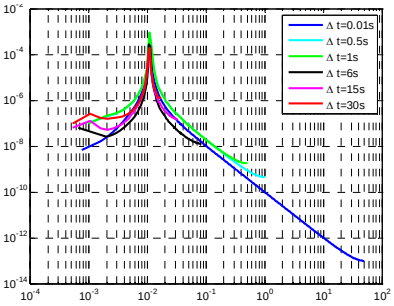

(d) 29.4 秒+30.6 秒



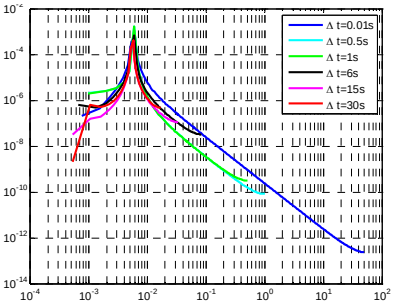

(e) 39.2 秒+40.8 秒




(f) 49 秒+51 秒

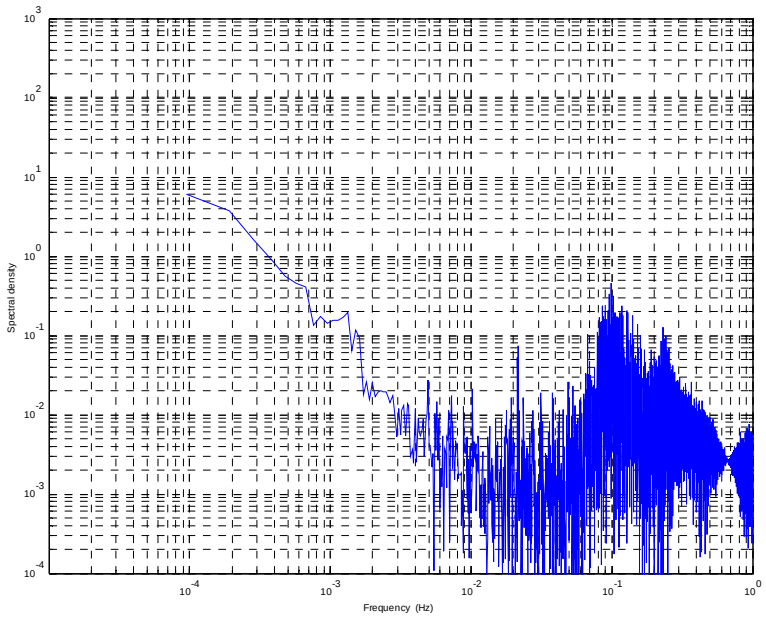



(g) 98 秒+102 秒

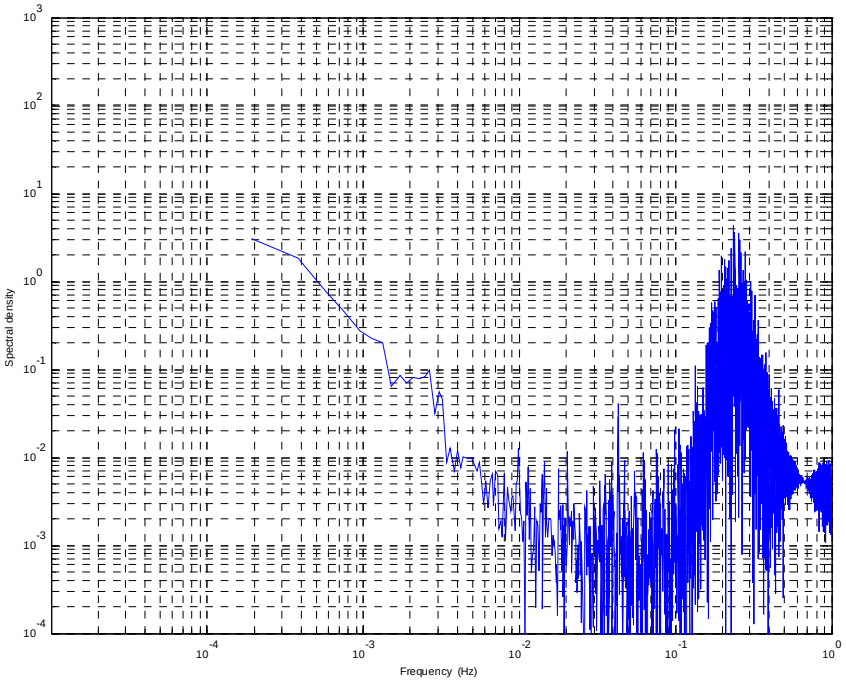



(h) 196 秒+204 秒

**圖 3.2 不同週期波形組合的不同取樣時間間隔測試**

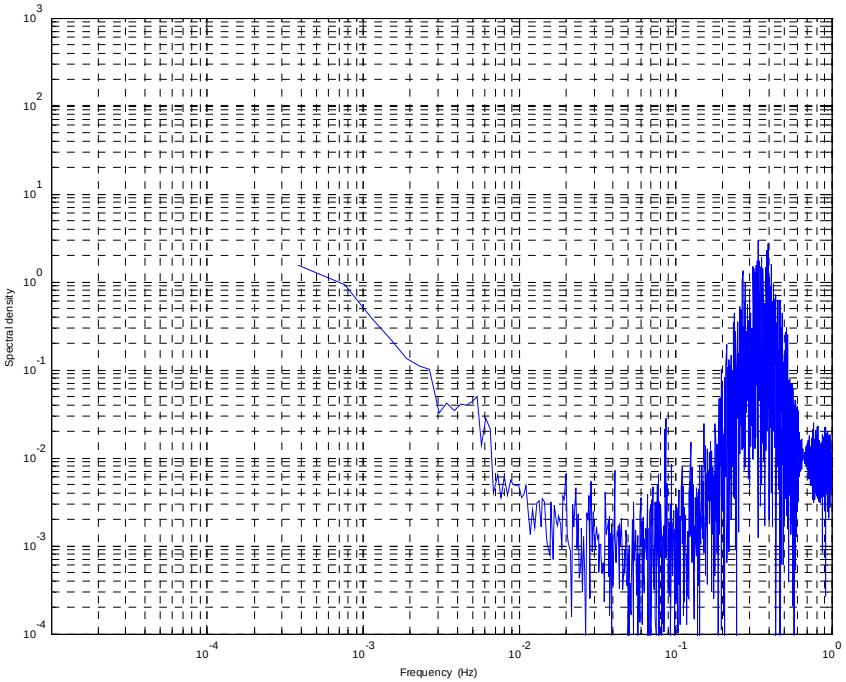



(a) 取樣週期：0.5 秒

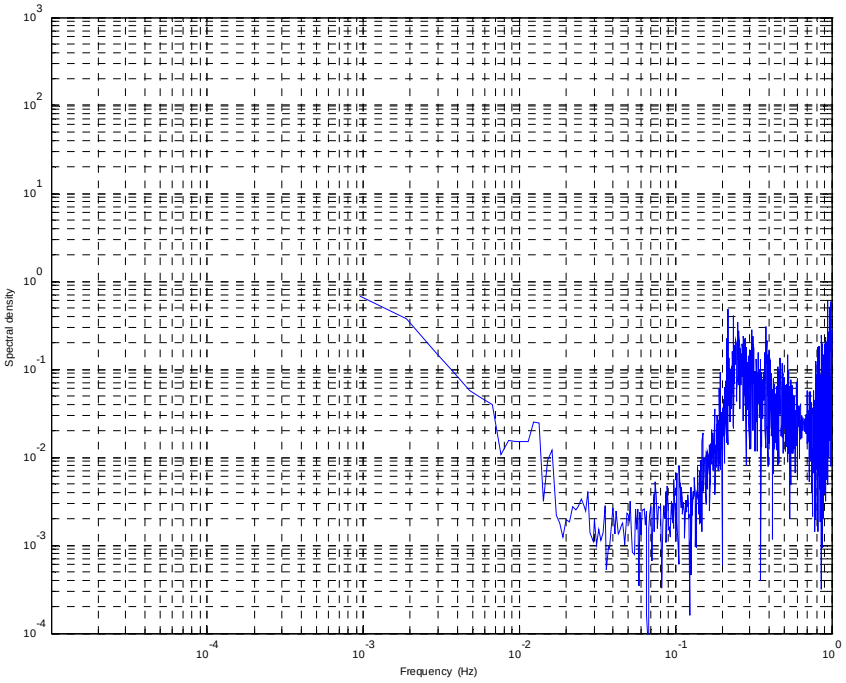



(b) 取樣週期：1 秒

**圖 3.3 以花蓮港外港區實測資料進行不同取樣週期之測試**

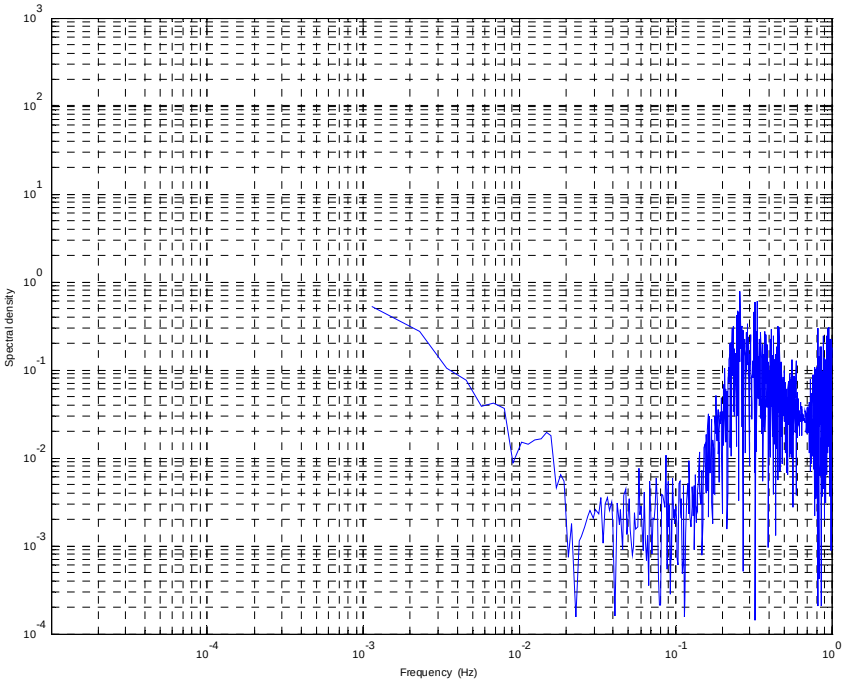



(c) 取樣週期：2 秒

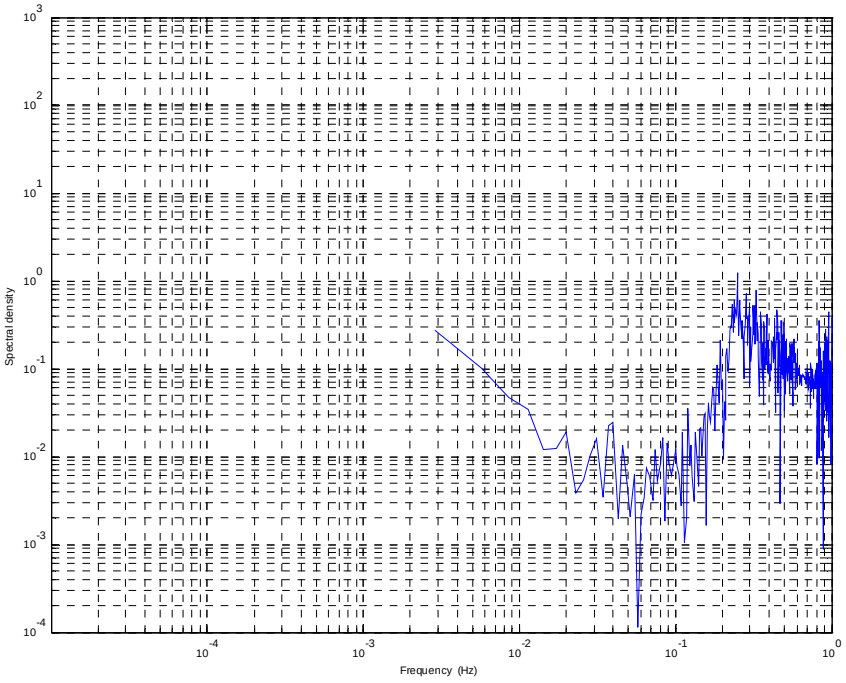



(d) 取樣週期：5 秒

**圖 3.3(續) 以花蓮港外港區實測資料進行不同取樣週期之測試**




(e) 取樣週期：6 秒




(f) 取樣週期：15 秒

**圖 3.3(續) 以花蓮港外港區實測資料進行不同取樣週期之測試**

## 3.2 Hilbert-Huang 轉換在波動分析上的應用

本文有關 Hilbert-Huang 轉換的簡介主要是參考 Huang 等(1996, 1998, 1999)及 Huang and Shen(2005)的著作。傳統的訊號分析方法多建立於線性及定常的假設之下，直到近幾年來才有新的方法用來分析非定常及非線性的資料。例如，小波分析(wavelet analysis)及 Wagner-Ville 分佈(Flandrin 1999; Gröchenig 2001)是用來分析線性但非定常的資料。而也有多種時間序列分析方法(如 Tong 1990; Kantz and Schreiber 1997; Diks 1999)被用來分析非線性但定常且確定性的系統(nonlinear but stationary and deterministic systems)。不巧的是，在大部分實際的系統中，不管是自然的或人為的，資料多半屬於非線性且非定常的。而要分析這種系統的資料是一件讓人非常氣餒的問題。即使是已經被廣泛接受建立在即時資訊準則上(a priori basis)的有關資料延伸數學演算也必須要避開，因為即時資訊準則的反覆計算可能會引發更多的問題。要表現非線性及非定常性資料的必要條件是必須要有一個適合的準則。一個由瞬間資訊所定義的函數，不論該基礎函數是多麼地精密，都無法被當成是一個基本成分。如 Windrow and Stearns (1985)的整理，只有很少的方法適合用於訊號的分析。然而，這些參考書裡所提供的方法都是針對定常過程的資料。對於非定常及非線性的資料，則尚無合適的方法。這樣的準則應該如何建立？這樣的準則具有什麼樣的數學特性及問題？建立一個資料分析的適當方法的目標應該如何進行？所謂的‘合適的’(adaptive)是指準則的定義必須是隨資料而變的(data-dependent)，是一個後定義(a posteriori-defined)的準則，是一個完全和已經建立有關資料分析的數學演算不同的方法。因此，這樣的定義要求將是數學家的一大挑戰。即使是個挑戰，一個可以檢視實際環境中的資料的新方法仍是需要的。一個最近由 Huang 等(1996, 1998, 1999)新發展的方法，Hilbert-Huang 轉換(Hilber-Huang Transform，以下簡稱 HHT)，似乎可以符合這項挑戰。

HHT 包含兩個主要步驟：經驗模態訊號分離(Empirical Mode Decomposition，以下簡稱 EMD)和 Hilbert 頻率譜分析(Hilbert Spectral

Analysis，以下簡稱 HSA)。本質上這個方法是可以用來分析非線性及非定常性的資料，尤其是在時間-頻率-能量相互間的表現。它也經過了相當多的測試與驗證(不過都是憑經驗與觀察所進行的！)，在所有研究的案例中，HHT 在時間-頻率-能量相互間的表現上可以得到比其他任何傳統的方法更明顯的結果。更進一步地，在許多實際的資料檢驗中，HHT 可以反映出實際的物理意義。主要是因為這個方法是完全依靠經驗的。不過，為了要讓這個方法更加地健全與精確，還有許多與 HHT 有關的重要數學問題必須要被解決。

EMD 的處理主要是在簡單假設任何資料都包含不同的簡單內隱模態的振動(intrinsic mode of oscillations)。每一個內隱形式，不管是線性的或是非線性的，代表一個具有相同數目的極值與零切點的簡單振動。簡言之，EMD 可以將時序波動訊號中的合成波形分離成許多個簡單且不需具有固定週期及振幅的時序波動訊號。在 HHT 中，時序訊號首先利用 EMD 的方法進行載波/騎乘波的訊號分離，每一個成功分離的時序訊號稱之為內隱模態函數(Intrinsic Mode Function，以下簡稱為 IMF)。而後再針對每一個 IMF 進行 Hilbert 轉換並進行能量加總以求得整個時序訊號的 Hilbert 頻率譜。在討論 EMD 之前，首先就與 HHT 相關的瞬時頻率(Instantaneous Frequency)及內隱模態函數(Intrinsic Mode Function)作一簡單介紹。

### 3.2.1 Hilbert 轉換與瞬時頻率(Instantaneous Frequency)

假設一任意的時序訊號，$X(t)$，我們可以從下列的公式計算得到它的 Hilbert 轉換，$Y(t)$，

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(t')}{t - t'} dt' \quad \text{.....(3.2)}$$

式中，$P$ 表示 Cauchy 主值(Cauchy principal value.)。這樣的轉換對所有的 $L_p$ 階函數都存在。根據這個定義，$X(t)$ 及 $Y(t)$ 形成一個共軛複數對，我們可以得到一個解析訊號，$Z(t)$，如下所示

$$Z(t) = X(t) + iY(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad \text{.....(3.3)}$$

其中，

$$a(t) = [X^2(t) + Y^2(t)]^{1/2}, \quad \theta(t) = \arctan(\frac{Y(t)}{X(t)}) \quad \text{.....(3.4)}$$

理論上來說，定義式(3.3)的虛數部的方法有無限多，不過 Hilbert 轉換提供了一個唯一的方法。因此它的結果是個解析函數。本質上，式(3.2)定義了 Hilbert 轉換為 $X(t)$ 以 $1/t$ 的旋轉，因此它強調了 $X(t)$ 的區域性特性。在式(3.3)中，極座標的表示方法更進一步地澄清此一表示式的區域性本質：它是一個對 $X(t)$ 以變動振幅與相位的三角函數進行的最佳區域性擬合。即使是利用 Hilbert 轉換，對瞬時頻率的定義，如式(3.5)所示，還是有相當多的爭議。

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad \text{.....(3.5)}$$

Cohen(1995)定義了一個單一成分函數(monocomponent function)。原則上，由於式(3.5)所定義的瞬時頻率在時間的單值函數，資料應該要有所限制。在任何時間上，都只有單一一個頻率值，因此只能代表一個成分，所以是單一成分。但不幸的是，對單一成分訊號並沒有明確的定義，以便作為到底函數是否為單一成分的判斷。基於缺乏正確的定義，窄頻(narrow band)被用來作為資料的限制以使瞬時頻率合理化(Schwartz et al. 1966)。

對於頻帶寬的定義一般有兩種：第一種是用在訊號及波動的機率特性的研究上，機率過程被假設為定常的及高斯分佈的。因此，帶寬可以被定義為如下式所示的頻譜矩的運算。單位時間裡零切點數的期待值被定義為

$$N_0 = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \quad \text{.....(3.6)}$$

單位時間裡極值點數的期待值被定義為

$$N_1 = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{m_4}{m_2}} \quad \text{.....(3.7)}$$

其中，$m_i$ 表示第 i 階的譜矩。因此，定義參數 $\nu$

$$N_1^2 - N_0^2 = \frac{1}{\pi^2}\frac{m_4 m_0 - m_2^2}{m_2 m_0} = \frac{1}{\pi^2}\nu^2 \quad \text{.....(3.8)}$$

為一標準的頻譜帶寬度量值。對於窄頻頻譜，其 $\nu = 0$，表示訊號中的零切點數與極值點數相同。

第二種定義是比較普遍的，它也是根據頻譜矩計算而得的，但計算方法不同。首先考慮一個在極座標上的複數函數

$$z(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad \text{.....(3.9)}$$

式中，$a(t)$ 及 $\theta(t)$ 是時間的函數。假如此一函數有頻譜 $\theta(t)$，則其平均頻率可以表為

$$\langle\omega\rangle = \int \omega |S(\omega)|^2 d\omega \quad \text{.....(3.10)}$$

也可以表示成其他的形式

$$\begin{aligned}\langle\omega\rangle &= \int z^*(t)\frac{1}{i}\frac{d}{dt}z(t)dt \\ &= \int\left(\dot{\theta}(t) - i\frac{\dot{a}(t)}{a(t)}\right)a^2(t)dt \quad \text{.....(3.11)} \\ &= \int \dot{\theta}(t)a^2(t)dt\end{aligned}$$

根據這個表示式，Cohen(1995)建議將 $\dot{\theta}(t)$ 視為瞬時頻率。因此，頻帶寬可以定義為

$$\nu^2 = \frac{\left(\omega - \langle\omega\rangle\right)^2}{\langle\omega\rangle^2} = \frac{1}{\langle\omega\rangle^2}\int \left(\omega - \langle\omega\rangle\right)^2 |S(\omega)|^2 d\omega$$

$$= \frac{1}{\langle\omega\rangle^2}\int z^*(t)\left(\frac{1}{i}\frac{d}{dt} - \langle\omega\rangle\right)^2 z(t)dt \qquad \text{.....(3.12)}$$

$$= \frac{1}{\langle\omega\rangle^2}\left[\int \dot{a}^2(t)dt + \int \left(\dot{\theta}(t) - \langle\omega\rangle\right)^2 a^2(t)dt\right]$$

對於一窄頻的訊號，此一值必須很小，而 $a(t)$ 及 $\theta(t)$ 都必須是緩變函數。不幸的是，式(3.8)及(3.12)所定義的頻寬都是全域性(global)的，它們同時都是過度限制且缺乏精度的。因此，Hilbert 轉換的頻寬限制其實是還沒有適當定義的。例如，Melville(1983)曾經成功地在帶寬中濾出訊號，但是仍然得到許多不具物理意義的負值頻率，在此也必須強調：利用濾波方式得到窄頻訊號是不被接受的，另一原因是濾出的資料已經被由於非線性及非定常性所產生的簡諧假訊號所污染。

為了得到有意義的瞬時頻率，有些限制條件被用在資料上，如 Gabor (1946), Bedrosian (1963) 及 Boashash (1992)：對於任何具有一個有意義瞬時頻率的函數，其 Fourier 轉換的實數部份必須只有正的頻率。這個限制可以從數學上來證明(Titchmarsh ，1948)，可是它仍然是全域性的。在資料分析上，我們必須要將這個要求轉換到物理上的執行步驟以發展一個簡單的方法以便應用。基於此一目的，我們必須要將限制條件從全域性的修改為區域性的，而準則也必須要滿足某些必要條件。

### 3.2.2 內隱型函數(Intrinsic Mode Function, IMF)

內隱型函數(IMF)是在 EMD 過程中所產生的時序訊號，它必須要滿足下列兩個條件：

1. 在整個資料列中，極值與零切點的數目必須相等或最多差 1；

2. 在任何點上，局部最大與局部最小包絡線的平均值必須為 0。

例如圖 3.4 即為一個 IMF。

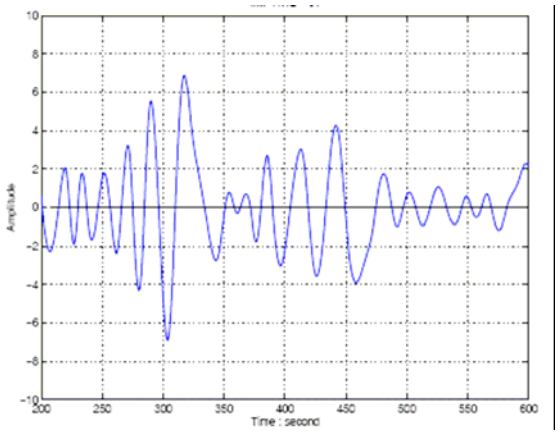



**圖 3.4 IMF 的範例(Huang and Shen, 2005)**

第一個條件類似於傳統的對一個定常高斯過程的窄頻要求。而第二個條件則是一個新的構想，它將古典的全域性要求修改為局部性要求。這個條件是必要的，因為它可以讓瞬時頻率不致因為不對稱性波形而產生不必要的震盪。理想狀況下，這一個要求應該是：'局部性的平均值為 0'(the local mean of the data being zero)。但對於非定常的資料而言，局部性平均值(local mean)的計算牽涉到一個無法定義的局部性時間尺度(local time scale)。因此，我們用極大值與極小值的包絡線的平均值以強迫局部性的對稱性來替代，這也是為了避開定義局部性時間尺度的必要近似方法。雖然它將會在非線性變形波動的瞬時頻率引發失真情形，但對於非線性的影響相較於對非定常的影響是較小的。利用以上定義的物理性質與近似方法，顯示這個方法並不保證在任何情況下都會得到一個完美的瞬時頻率。但無論如何，即使是在最差的情況下，計算出來的瞬時頻率仍能夠符合所研究問題的物理性。

IMF 的命名是因為它代表資料中隱藏的振動模態。透過這樣的定義，在每一個用零切點定義的循環中的 IMF 只包含有單一一個振動形式，不會出現複雜的騎乘波情形。根據這樣的定義，也顯示 IMF 並沒有限制必須為一個窄頻訊號，而且它允許振幅與頻率是可調整的。事實上。它也可以是非定常的。如上所討論的，單一頻率或振幅調變的函數都可以是 IMF，縱使依據傳統定義它們都是有限帶寬而非窄頻的。

在定義了 IMF 後，以下將說明式(3.5)是最佳的瞬時頻率定義。一個 IMF 經過 Hilbert 轉換後，可以表示為式(3.3)的形式。如果我們對式(3.3)的 $Z(t)$ 進行 Fourier 轉換的話，可以得到

$$W(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}a(t)e^{i\theta(t)}e^{-i\omega t}dt=\int_{-\infty}^{\infty}a(t)e^{i(\theta(t)-\omega t)}dt \quad \text{.....(3.132)}$$

透過定常相位方法(stationary phase method)，可參考 Copson (1967)，對 $W(\omega)$ 的最大貢獻可以從滿足下列條件的頻率得到

$$\frac{d}{dt}(\theta(t)-\omega t)=0 \quad \text{.....(3.14)}$$

因此，我們可以得到式(3.5)的表示式。雖然在數學上，定常相位方法對指數函數要求一個大的參數值，假如頻率，$\omega$，大於振幅變化的局部時間尺度的倒數的話，此處的推導是可以修正的。因此，瞬時頻率的定義符合逐漸變化頻率的最佳值。即使有這種情形，瞬時頻率仍優於零上切頻率，也優於 Cohen(1995)的積分定義，如式(3.11)所示，而且它也符合古典波浪理論的頻率定義，例如 Whitham(1975)。

如式(3.14)及式(3.3)至(3.5)所示，透過定常相位近似法所定義的頻率也與局部性的最佳三角函數近似符合，因此我們不需要整個振動週期就可以定義一個頻率值。我們可以在每一點上定義，並允許在各點之間變化。根據這樣的方法，即使是一個單調函數(monotonic function)也可以視為是一個振動函數的一部份，而且可以從式(3.5)計算出其瞬時頻率。任何頻率的變化稱之為調頻(frequency modulation)。實際上調頻有兩種：波與波之間的(interwave)及波內(intrawave)的調頻。第一種形式是在一個發散系統中振動的頻率在波動之間逐漸變化。在技術上，發散波群中頻率在一個波動中也會變化，但為了方便或因為缺乏一個較正確的頻率定義而沒有被提及。第二種形式也是個很普遍的現象，假如當一個波動的頻率隨時在改變，則它的波形將不再是簡單的三角函數。因此，任何從三角函數形式變形的波形就是波內調頻(intrawave frequency modulation)。在過去，這樣的現象被當成諧波變形

(harmonic distortions)，但視為波內調頻較具有物理意義。

### 3.2.3 經驗型分解法(EMD)

如 Huang 等(1996, 1998, 1999)文中的討論，EMD 是處理非定常及非線性過程的資料的必要方法。這個新的方法，和幾乎過去所有的方法不同，是根據資料的變化情形及一個後定義的準則，而建立的一種直覺性、直接的、及可調整的方法。訊號分離的方法是根據一個簡單的假設:任何資料是由不同的簡單內隱型振動所組成。每一個代表一種簡單的振動的內隱型函數，不論是線性的或非線性的，的極值點數與零切點數最多差 1。而且其振動對稱於區域性零點(local mean)，也就是符合前節所述的 IMF 的定義。在任何時間點上，分析資料都同時擁有許多不同振動型態(IMF)，而且一個疊加另一個之上，最後形成複雜的波動。

根據 IMF 的定義，我們可以進行波動時序訊號的分解(篩選處理，Sifting process)：

1. 取得待分析時序訊號資料$\eta_0$，如圖 2.2(a)所示。
2. 令$h_0 = \eta_0$
3. 搜尋$h_0$的所有極值(即波峰與波谷)和零切點。
4. 利用三次仿樣曲線求得極大值(極小值)的上(下)包絡線方程式，此二條曲線應該包圍了所有的資料點，如圖 3.5(b)所示。
5. 計算兩條包絡線的平均值曲線$m_1$，如圖 3.5(b)所示。
6. 計算$h_0$與$m_1$間的差值$h_1$，即$h_1 = h_0 - m_1$，如圖 3.5(c)所示。
7. 判斷$h_1$是否符合 IMF 的規定，如果不符合的話，令$c_0 = h_1$，重複步驟 3 至 7。

8. 如果$h_1$符合 IMF 的規定，則令$\eta_0 = \eta_0 - h_1$，繼續篩選其他的 IMF($h_i, i = 2,...$)。

9. 最後，$\eta_0$可以分解成$\sum_{i=1}^{n} c_i + r_n$，其中$r_n$為最後的殘差，可能是一個趨勢或是雜訊，但也可能是由於近似曲線計算而產生的誤差。

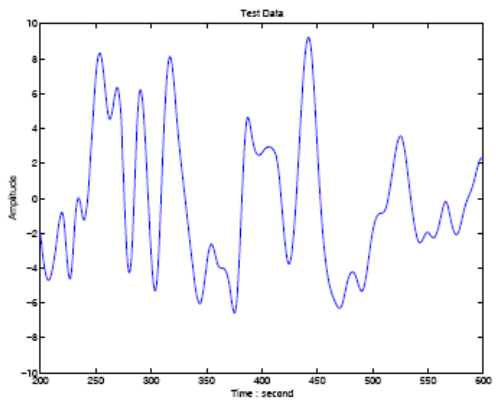
圖 3.5(d)為$h_1$、包絡線及$m_2$曲線圖；圖 3.5(e)為$h_2$、包絡線及$m_3$曲線圖；而圖 3.5(f)為經過 12 次迭代後所得到的第一個 IMF $c_1$。

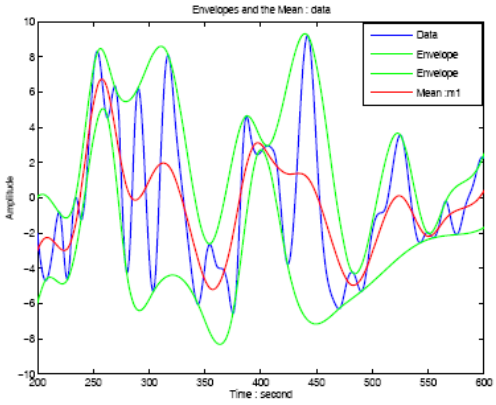
訊號篩選的處理必須要有停止準則，目前大致有兩個準則被提出來：第一個是 Huang 等(1998)根據 Cauchy 型的收斂測試(Cauchy type of convergence test)所提出。該測試要求在相鄰兩次篩選過程的訊號$h_{k-1}$及$h_k$的正規平方差和必須要小。

$$SD_k = \frac{\sum_{t=0}^{T} |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^{T} h_{k-1}^2(t)} \quad \text{.....(3.15)}$$

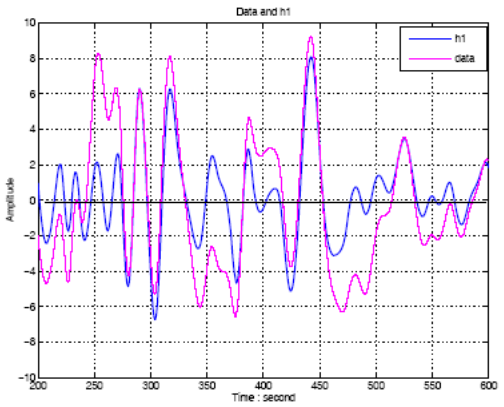
如果$SD_k$小於一個指定的容許值，則可以停止一個 IMF 的篩選過程。但此一看似簡單的準則在實用上並不容易達到。主要的問題在於到底容許值要多小才算合理？還有這個容許值是否應該隨著不同的 IMF 而變？第二種停止準則是 Huang 等(1999, 2003)所建議的：對篩選過程的迭代次數設定上限。當極值點數與零切點數持續保持相等或差 1 時，在迭代次數到達上限值時，停止篩選處理。同樣地，迭代次數的上限值應該為何？仍不能確認。Huang 等(2003)在經過無數次的測試後，建議以 4 至 8 次迭代為上限。

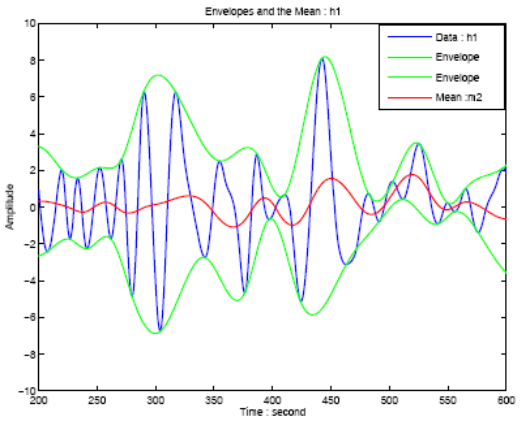
圖 3.6(a)是量測地球每天自轉一週所花時間與 24 小時的差異變化量，圖 3.6(b)及 3.6(c)採用多種不同的迭代停止次數進行測試後的九個不同平均 IMF 值以及其標準差。從圖中可以發現，不同的迭代停止次數準則會在訊號中不同的位置發生不等量的誤差。



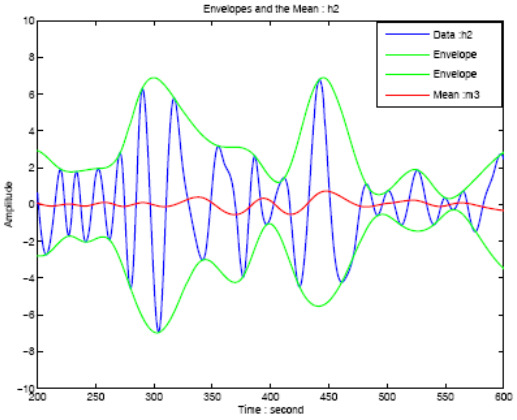



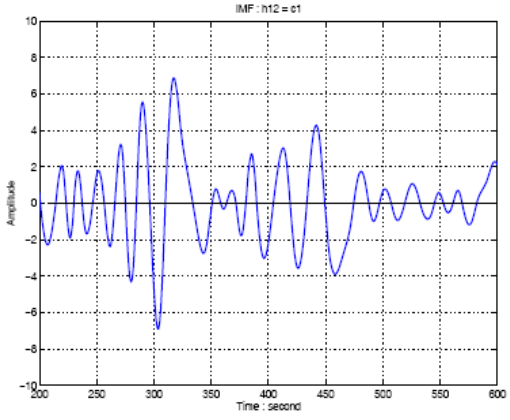

(a) 待分析時序訊號資料 (b) 兩條包絡線與平均值曲線 $m_1$



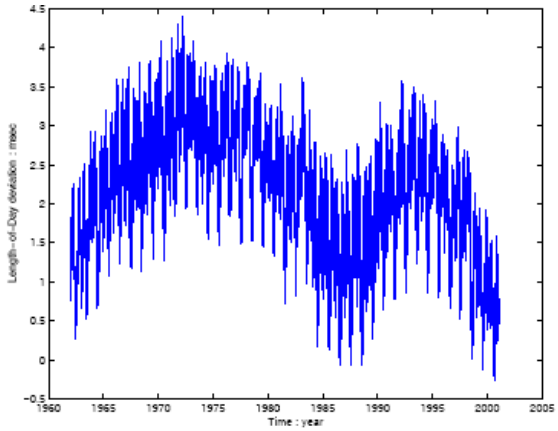

(c) 時序訊號及 $h_1$ (d) $h_1$ 、包絡線及 $m_2$



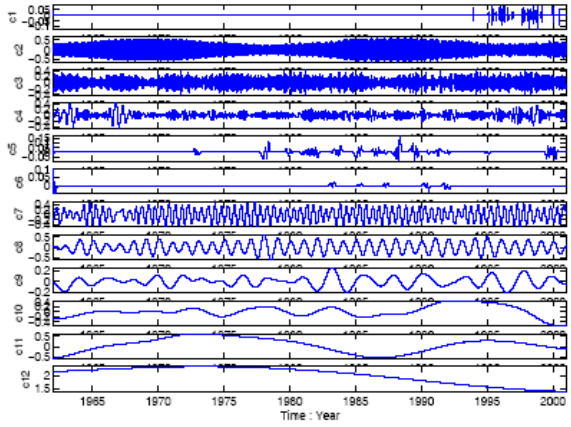




(e) $h_2$ 、包絡線及 $m_3$ (f) 第一個 IMF $c_1$ (12 次迭代後)

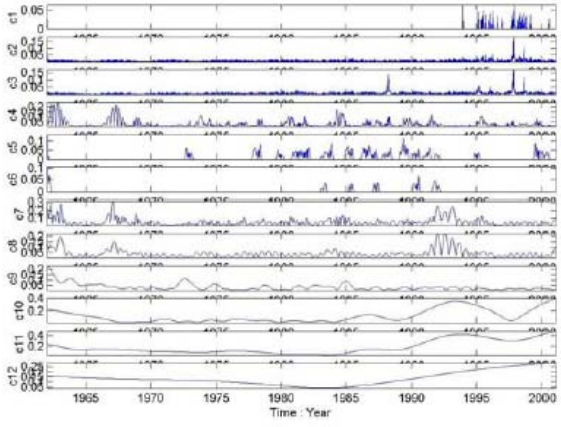
**圖 3.5 EMD 解析過程的說明例(Huang 等，2005)**




(a) 每日的長度差異值




(b) 用不同停止迭代次數所得之平均 IMF




(c) IMF 的標準差

**圖 3.6 地球自轉的每日長度變化(Huang 等，2005)**

### 3.2.4 HHT 的應用與發展

綜合而言，HHT 是由 EMD 及 HST 所組合而成，一個時序訊號首先利用 EMD 與適當的停止準則進行 IMF 的篩選處理，而後再利用 HST 計算各 IMF 的 Hilbert 頻率譜，並進行線性疊加。由於停止準則目前尚無確切且適當的選定建議，導致 HHT 仍必須以個案方式進行時序訊號的分解，但是由於它直接在時間域(time domain)中分解波動訊號，因此不致在處理非線性或非定常性的時序訊號時像 FFT 的處理中可能產生訊號的扭曲(例如，由許多個線性波組合成一個非線性波)。未來仍有相當大的發展與應用空間。Huang and Shen(2005)即提出一些最近的發展以及未來應繼續探討的相關課題。最近的發展包括：

1. Hilbert 轉換的正規化(normalized Hilbert transform)
2. 信賴限度(confidence limit)
3. IMF 的統計特性(statistical significance of the IMFs)

未來應繼續探討的問題主要與 HHT 在分解訊號時所使用的數學方法有關，如

1. 可調整資料分析方法的一般化(adaptive data analysis methodology in general)
2. 非線性系統的辨識方法(nonlinear system identification methods)
3. 非定常過程的預測問題--端點效應(prediction problem for nonstationary processes - end effect)
4. 仿樣曲線的問題，包括適合 HHT 的最佳仿樣曲線、收斂性與二維仿樣曲線(spline problem, including best spline implementation for the HHT, convergence and 2-D)

5. 最佳化問題，包括最佳 IMF 的選擇方式及唯一性(optimization problem, including the best IMF selection and uniqueness)

6. 近似問題，即 Hilbert 轉換及頻譜面積(approximation problems, including Hilbert transform and quadrature)

7. 其他相關的統計議題(miscellaneous statistical questions concerning the HHT)

## 3.3 遮罩型經驗模態分解法

由於利用三次仿樣曲線求極值包絡線時，常會因為仿樣曲線理論的特性而發生頻率太過接近導致無法分解的問題，如圖 3.7 即為一模態混疊(mode mixing)訊號所產生的問題。Deering 與 Kaiser(2005)提出在 EMD 過程使用遮罩訊號的觀念，其觀念是利用一個頻率相近的正弦波訊號作為遮罩訊號來凸顯原始訊號中的差異量，再進行 EMD 的分析以達到分離兩個頻率相近的成分波。圖 3.8 為 Deering 與 Kaiser(2005)的示範例，混疊訊號幾乎是完全分離。其原理大致說明如下：

由式(3.4)微分可得

$$\dot{\theta}(t) = \omega(t) = 2\pi f(t) \tag{3.16}$$

式(3.3)與(3.4)合併可得

$$\omega(t) = \frac{d}{dt}\left(\arctan\frac{Y(t)}{X(t)}\right) = \frac{X(t)\dot{Y}(t) - Y(t)\dot{X}(t)}{X(t)^2 + Y(t)^2} \tag{3.17}$$

合併上兩式後經離散希爾伯特轉換(discrete Hilbert transform，DHT)

$$\widetilde{f}(i) = \frac{X(i)(Y(i+1) - Y(i-1)) - Y(i)(X(i+1) - X(i-1))}{2\pi t_s (X(i)^2 + Y(i)^2)} \tag{3.18}$$

其中，$t_s$ 為取樣時間。由中心差分法(centered difference)得

$$f(i) = f_s \arcsin(\widetilde{f} / f_s) \tag{3.19}$$

其中，$f_s$ 為取樣頻率。

將 $f(i)$ 與原始訊號得到的 IMF 經過 DHT 轉換後求得 $a(i)$ 帶入計算能量加權平均(energy weighted mean) $\bar{f}$ ：

$$\bar{f} = \frac{\sum_{k=1}^{k} a(i) f^2(i)}{\sum_{k=1}^{k} a(i) f(i)} \tag{3.20}$$

其中，k 為原始訊號個數。完成計算後將 $f(i)$ 大於 $\bar{f}$ 的訊號挑出並再次套入(3.20)式計算能量加權平均，得到的 $\bar{f}$ 即為遮罩的頻率，而遮罩訊號則設為 $s(n) = a_0 \sin\left(2n\pi\bar{f} / f_s\right)$，其中振幅 $a_0$ 的選擇會影響到遮罩的效果。套入 EMD 的分析程序中形成

1. 利用原始訊號 $X(t)$ 求出第一個 IMF
2. 將第一個 IMF 經過 DHT 轉換求得振幅 $a(i)$ 及頻率 $f(i)$ 時間序列後，代入式(3.20)以求得能量加權平均頻率 $\bar{f}$ 。
3. 將 Hilbert 頻譜中 $f > \bar{f}$ 的部分再進行能量加權平均頻率 $\widetilde{f}$ ，並以此為遮罩頻率，求出遮罩訊號 $s(n) = a_0 \sin\left(2n\pi\widetilde{f} / f_s\right)$，其中 Deering 與 Kaiser(2005)建議振幅 $a_0$ 設為 1.6。
4. 把 $X(t)$ 與 $s(n)$ 相加和相減得到 $r_+ = X(t) + s(n)$ 與 $r_- = X(t) - s(n)$ 。
5. 將 $r_+$ 與 $r_-$ 分別進行 EMD 分析以得到所有的 IMF 分量 $c_+$ 與 $c_-$ 。
6. 將得到的對應分量 $c_+$ 與 $c_-$ 平均而得到 IMF 為 $C = (c_+ + c_-)/2$ 。

解析流程如圖 3.9 所示，然而在本研究的測試中發現 Deering 與 Kaiser(2005)的方法無法確實保所求得的成分訊號能符合 IMF 的定義，尤其當波動訊號充滿非線性特性時。本研究乃針對其特性在處理方法上做了些修改。修改的作業流程如圖 3.10 所示。

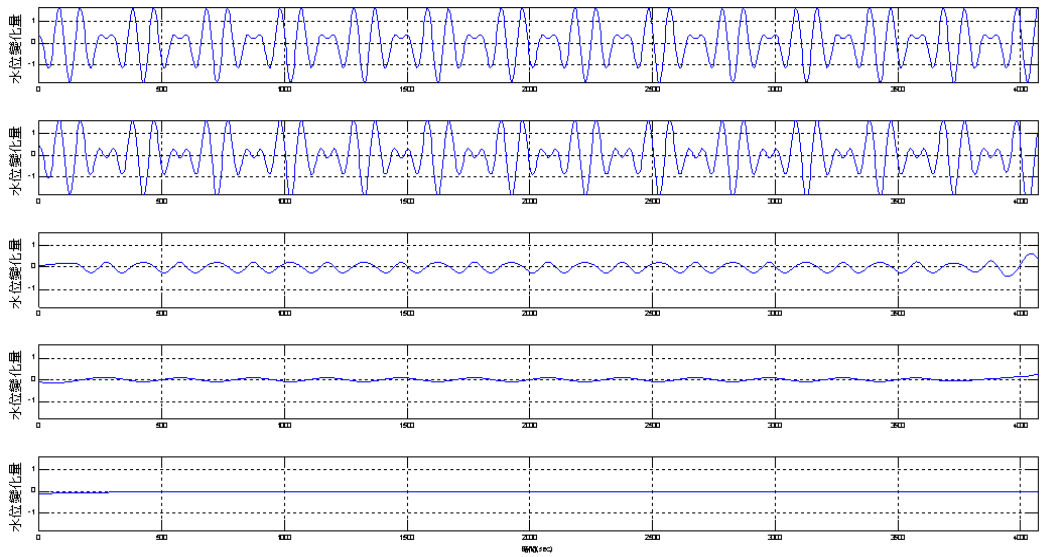


**圖 3.7 利用 EMD 處理模態混疊訊號的問題**

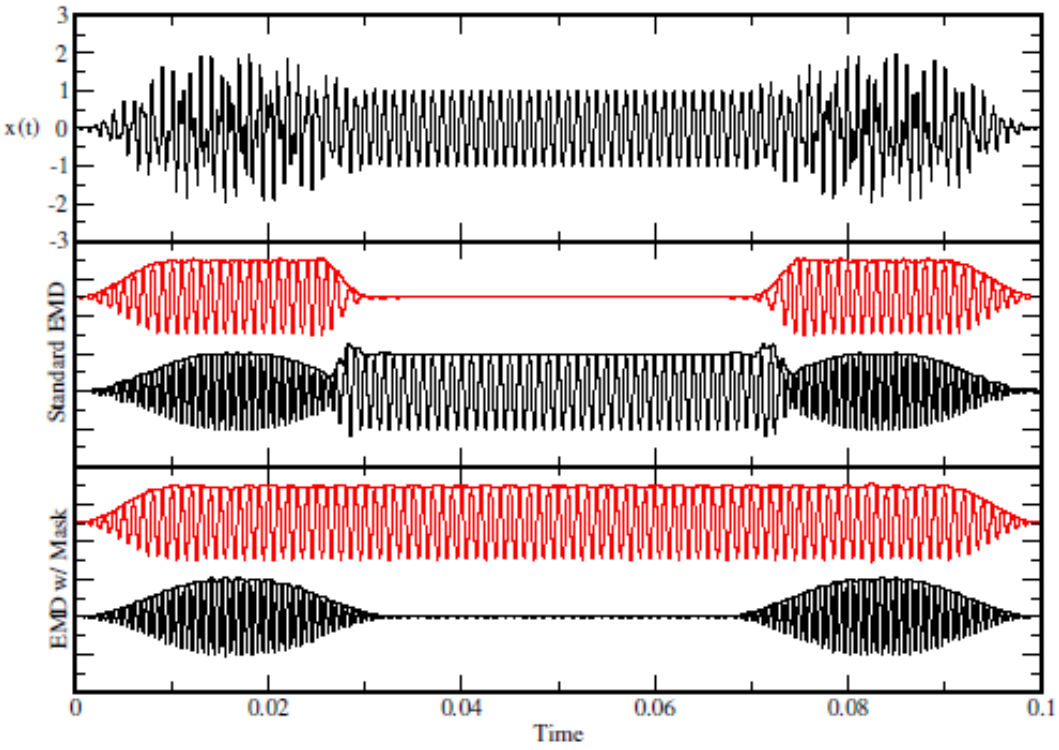



**圖 3.8 利用遮罩型 EMD 處理模態混疊訊號的問題**

(Deering and Kaiser，2005)

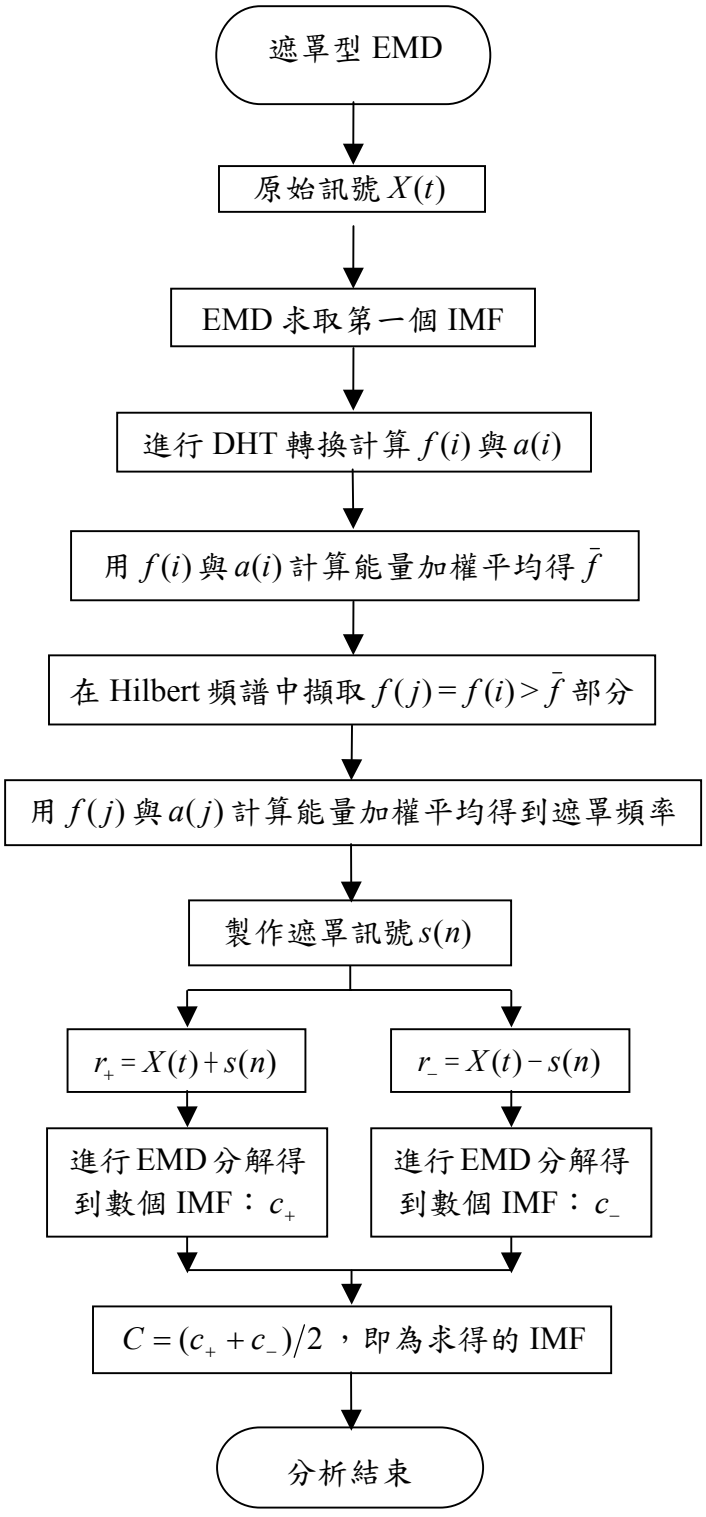



**圖 3.9 遮罩型 EMD 解析流程**

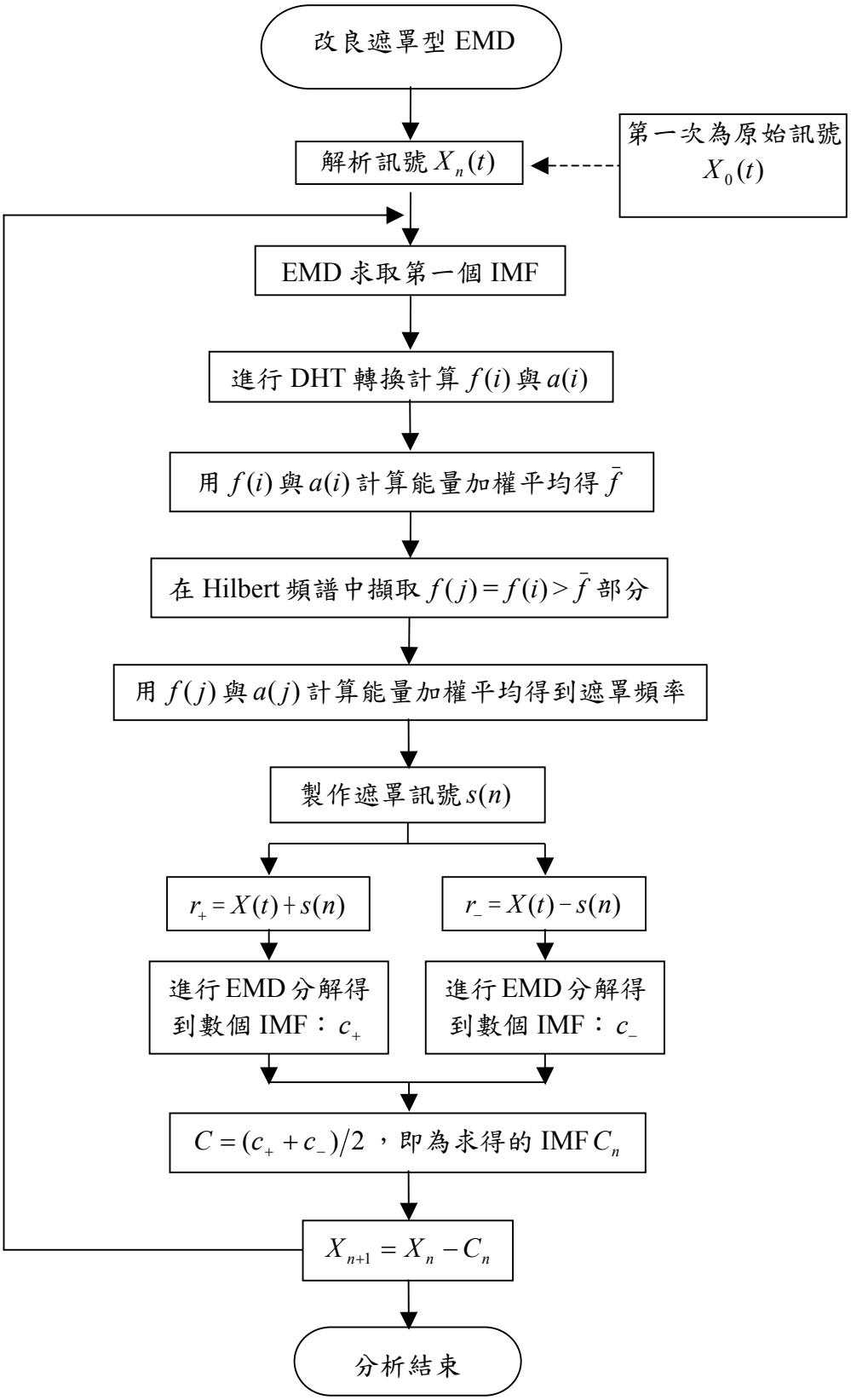



**圖 3.10 改良遮罩型 EMD 解析流程**

## 3.4 花蓮港港內波浪觀測分析

為了瞭解花蓮港內長週期波動成分，本計畫規劃了現場港內水位觀測計畫。所使用的潮位計係 Sea-Bird Electronics, Inc.出品的 SBE 39 型無電纜線的壓力式潮位計(如照片 3.1 所示)，配合自行設計訂製的觀測架，組裝成簡易的潮位站進行潮位觀測。此式無電纜線潮位儀使用長方型 9V 乾電池為供電來源，當電池裝置後，先使用 RS232 外接式電腦接續線，連接桌上型電腦或筆記型電腦進行潮位儀正確的日期、時間及觀測時間的間隔等調整，完成後放入自製的塑膠保護管內再以繩索連結、投入已架設在碼頭岸壁上的潮位觀測架之不鏽鋼保護外管內即可進行潮位觀測。




(a) SBE 39 型壓力式　(b) 壓力感應頭　(c) RS232 接續線

**照片 3.1 現場觀測使用的潮位計**

圖 3.11 所示是目前在花蓮港的港內水域配合實際環境所安裝的潮位站位置(以下討論分別以外港測站、中間水道測站及內港測站稱之)，照片 3.2 為潮位計的安裝情形。由於是採用乾電池自記式的潮位計，為了資料的安全性設計每隔約 15 天便取出潮位記下載資料、並重新設定後放回潮位站中繼續觀測。在進行現場水位觀測前，首先在波高計率定筒中進行水位的校定，並確認儀器本身是否有電子振盪訊號。圖 3.12 顯示 5 支潮位計在率定筒中以 6 秒的取樣週期對 0 m 至 5 m 每隔 1 m 水位進行約 40 分鐘的連續取樣的結果，由圖形曲線可以確認本研究所使用的潮位計相當穩定，而且沒有自身的振盪訊號。

由於花蓮港的碼頭設消波效果不佳，使得港內的波動無法儘速消除，其中尤其是船行波的部分在某些水域可以達到約 1 公尺的水位變化。圖 3.13 係 2005/4/5 0 時至 12 時的水位變化時間序列圖，從圖中可以看到與基隆港水位變化相類似的 20 分鐘長週期振盪，另外可能還有其他稍短的長週期振盪。但由於資料夾雜了太多雜訊，無法清楚辨別，必須透過濾波後再進行相關分析與討論。

圖 3.14 至圖 3.16 為西元 2005/8/1 至 2005/8/10 的水位觀測分析資料，在該期間紀錄了瑪莎颱風的侵襲過程 。圖 3.14 為瑪莎颱風的紀錄與行進路徑。瑪莎颱風係於 8/3 至 8/7 之間。由鵝鑾鼻的外海以由東南向西北的方向通過臺灣北部的外海。就整個侵襲過程來看，從圖中可明顯看到在 2005/8/2 上午花蓮港便開始感受到颱風波浪與水位的變化，而開始有長週期的水位變化。其中，又以中間水道測站反應最強、外港測站次之、而內港測站最小。當瑪莎颱風在花蓮的東方外海時(2005/8/3 中午至 2005/8/4 中午)，港內的水位變動最大。而颱風中心通過花蓮的緯度向上行進後，水面的波動便開始減小，內港在 2005/8/5 上午後便回復常時水位變化，但外港則一直到 2005/8/9 才恢復正常。圖 3.15 是 10 天的水位訊號經過低頻濾波分離潮汐波後的分析頻譜，各圖中左欄是外港測站、中欄是中間水道測站、而右欄是內港測站。從各圖中我們發現花蓮港的長週期振盪大約可以 0.0005Hz 及 0.002Hz 分成三個部分。外港水域介於 0.0005Hz 至 0.002Hz 間的波動明顯小於內港；但 0.002Hz 以上的能量則又以外港多於內。頻率在 0.0005Hz 以上的不論常時或颱風時期都始終存在於港內，其能量並未因颱風侵襲而增加太多。反而是 0.0005Hz 以下的低頻振盪則在颱風侵襲期間有很明顯地成長。如果就目前所觀測到的資料，則港內在颱風時期大量增加能量的部分是週期大約在 2000 秒以上的振盪，此一現象明顯與港灣共振的研究不同。至於這些成分是屬於港內特有，或是外海在颱風侵襲期間也有此一能量分佈，則因為無法在港外設置水位觀測儀器，而無法認定。

圖 3.16 係 10 天的水面波動時序訊號經過 EMD 解析後的所有 IMF 時序圖，每一個圖中各有 8 個小圖，由上而下依次為原始時間序列，以及 7 個 IMF(以 IMF_1 至 IMF_7 表示)，由各圖中可以發現 IMF_6 及 IMF_7 以及部分的 IMF_5 可能係 EMD 的數學解析過程所產生，因此此處僅討論至 IMF_5。由於 EMD 可以分離載波與騎乘波，因此我們可以在 IMF_4 及 INF_5 兩組時間序列中觀察到波列中含有極長週期的成分，包含數百秒至一千多秒的成分波動，不過它們的波高都在 10 公分以下。綜合來看，花蓮港的港內波動可能存在有三種成分：一般重力波、與港灣自然共振週期有關的振盪(週期介於 30 秒至 1250 秒之間)、以及屬於太平洋尺度的長週期波動(週期高於 1250 秒)。在常時波浪中，東部海岸的港灣都可能存在著 100 秒以上，甚至可高達 1000 秒以上的長週期波動，而花蓮港內港則因為對短週期波的遮蔽良好，主要波動應屬於後兩種成分。但颱風來襲期間，花蓮港內週期介於 100 秒至 500 秒的波動成分則有明顯能量增加的情形，顯示引發花蓮港共振問題的波動成分可能是該區段的成分波。

由於水位觀測是在 94 年度 4 月份才安裝，由於儀器的設定與操作不夠純熟(因經費不足，以人工方式下載資料及更換電池)，資料的收集一直斷斷續續，以致未能完整收集該年多次颱風侵襲期間的水位資料，相當可惜。




**圖 3.11 花蓮港潮位站(✦)安裝位置示意圖**

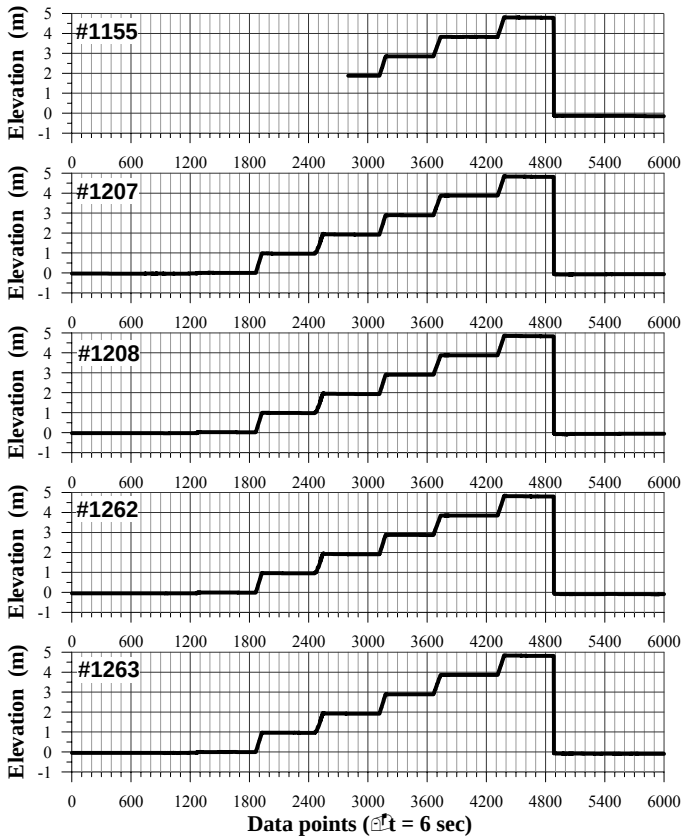
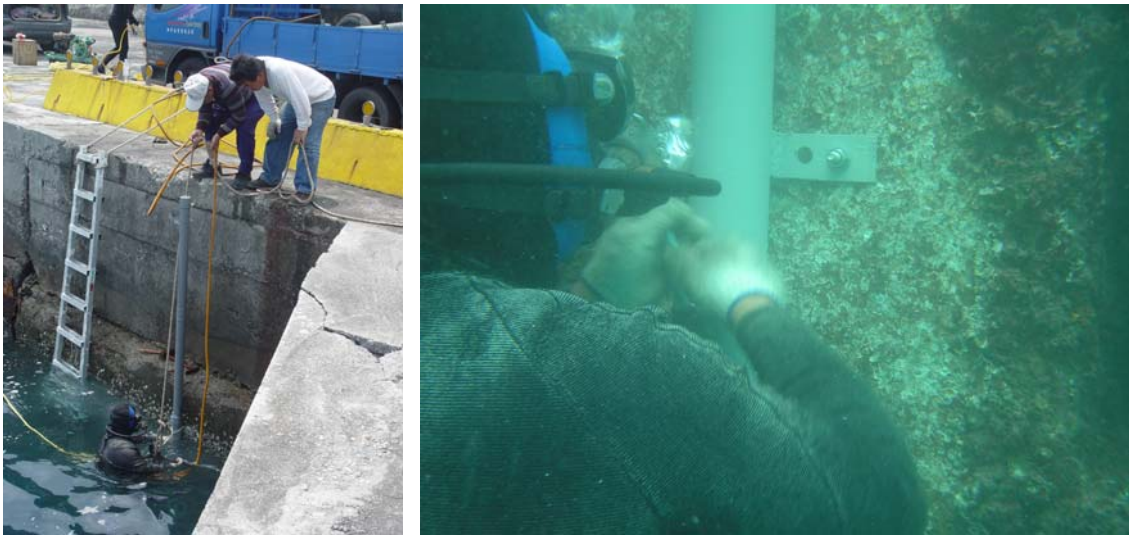



**圖 3.12 潮位計檢測記錄**



**照片 3.2 潮位計安裝情形**

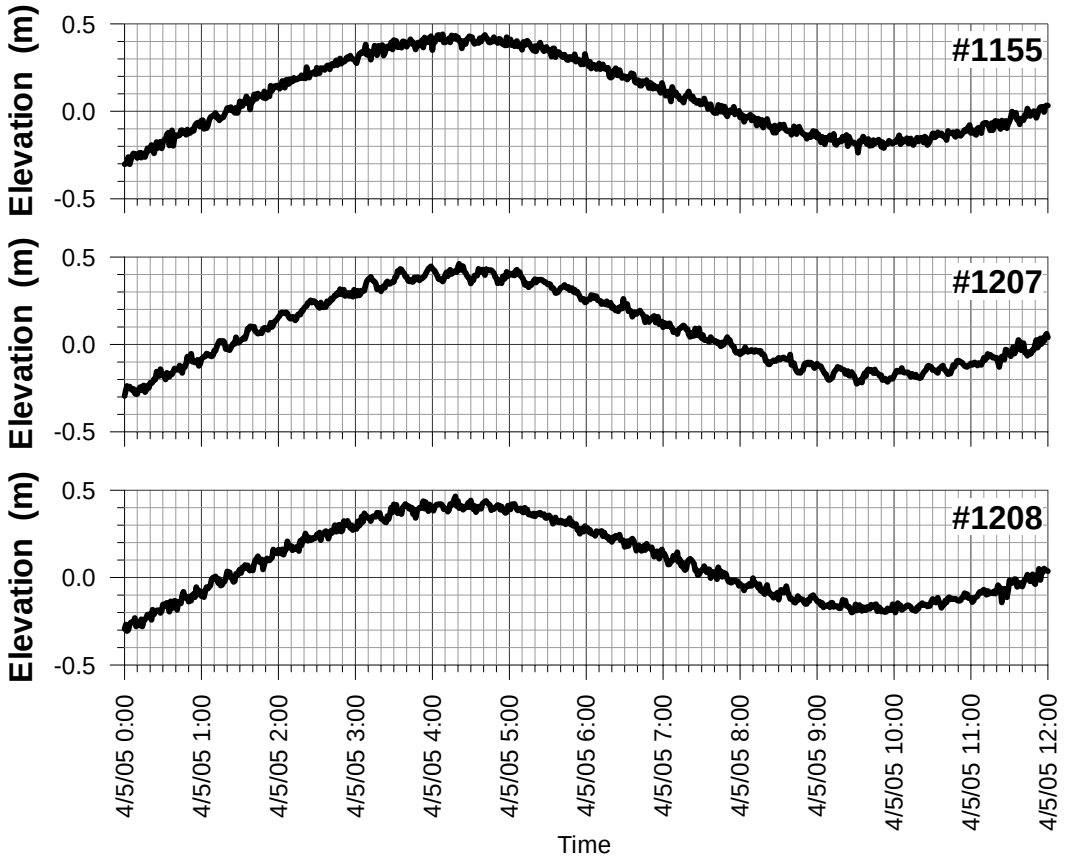



**圖 3.13 2005/4/5 0:00~2005/4/5 12:00 花蓮港各潮位站之水位變化時間序列圖**

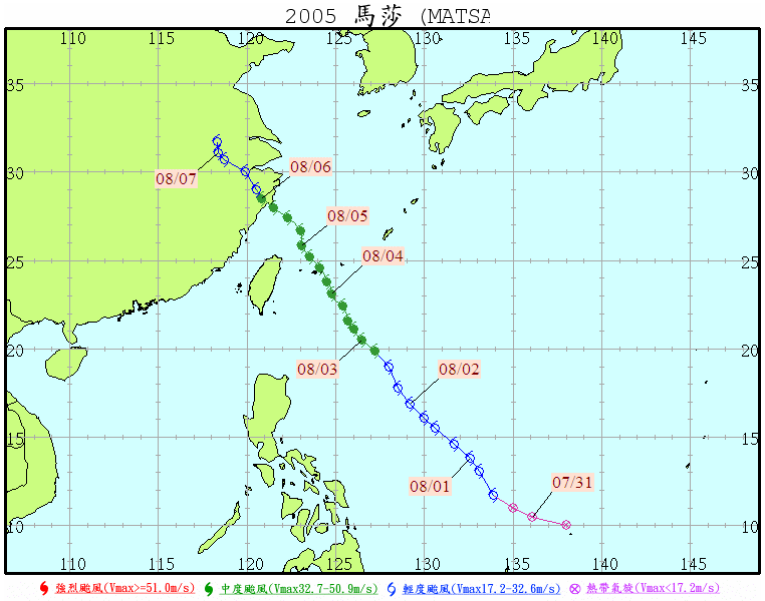



**圖 3.14 2005 年瑪莎颱風侵襲路徑**

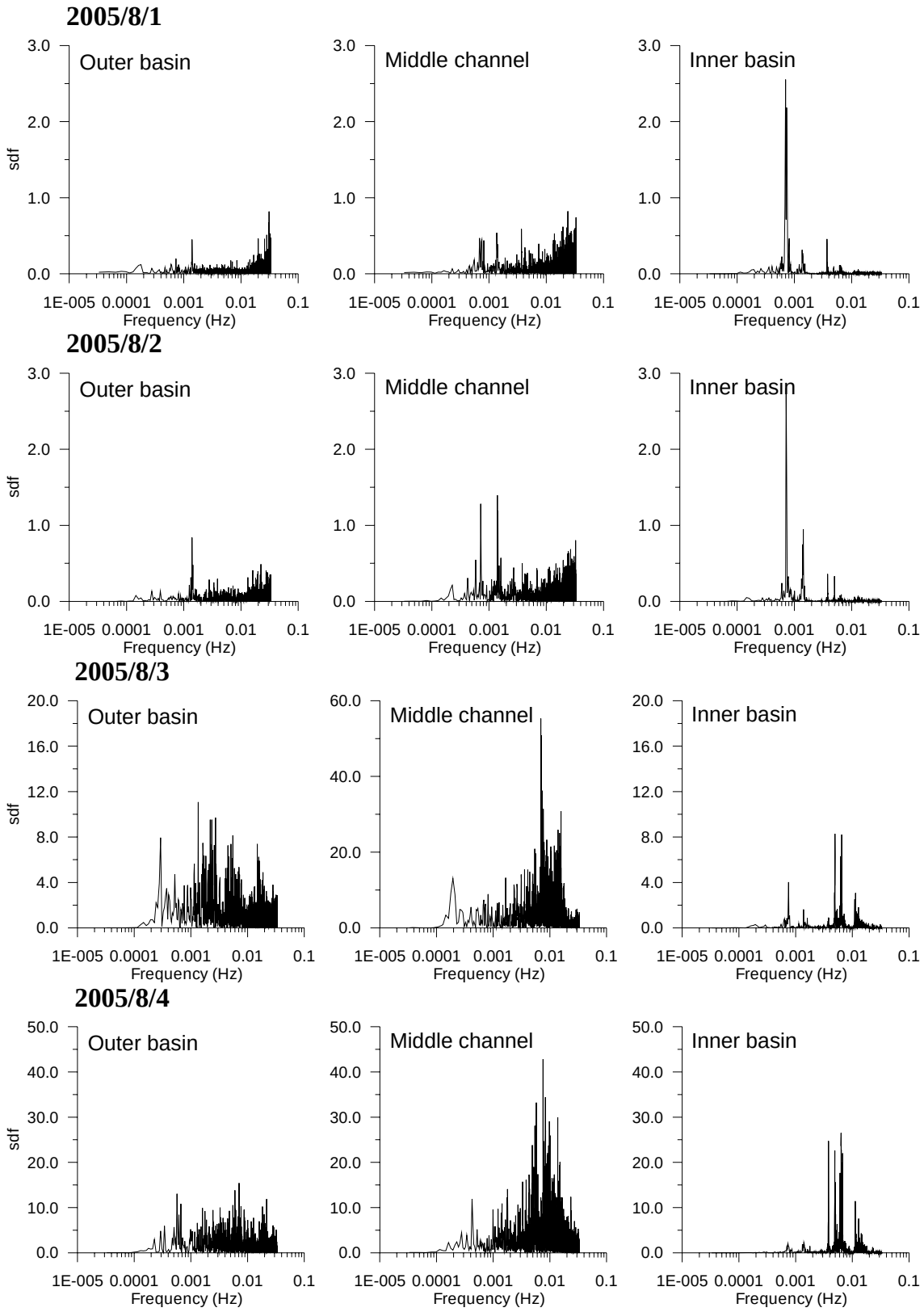



**圖 3.15 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖**

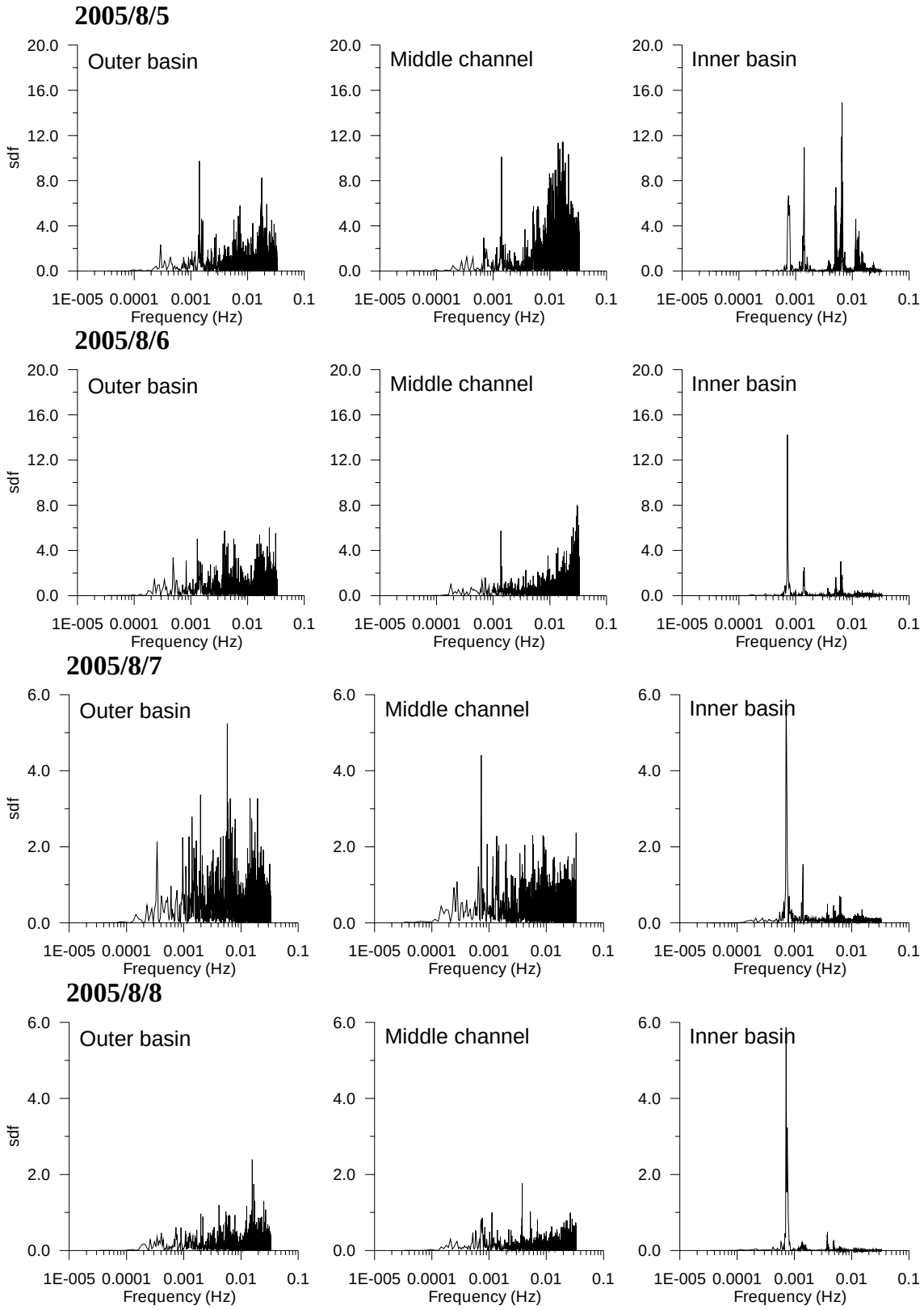



**圖 3.15(續) 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖**

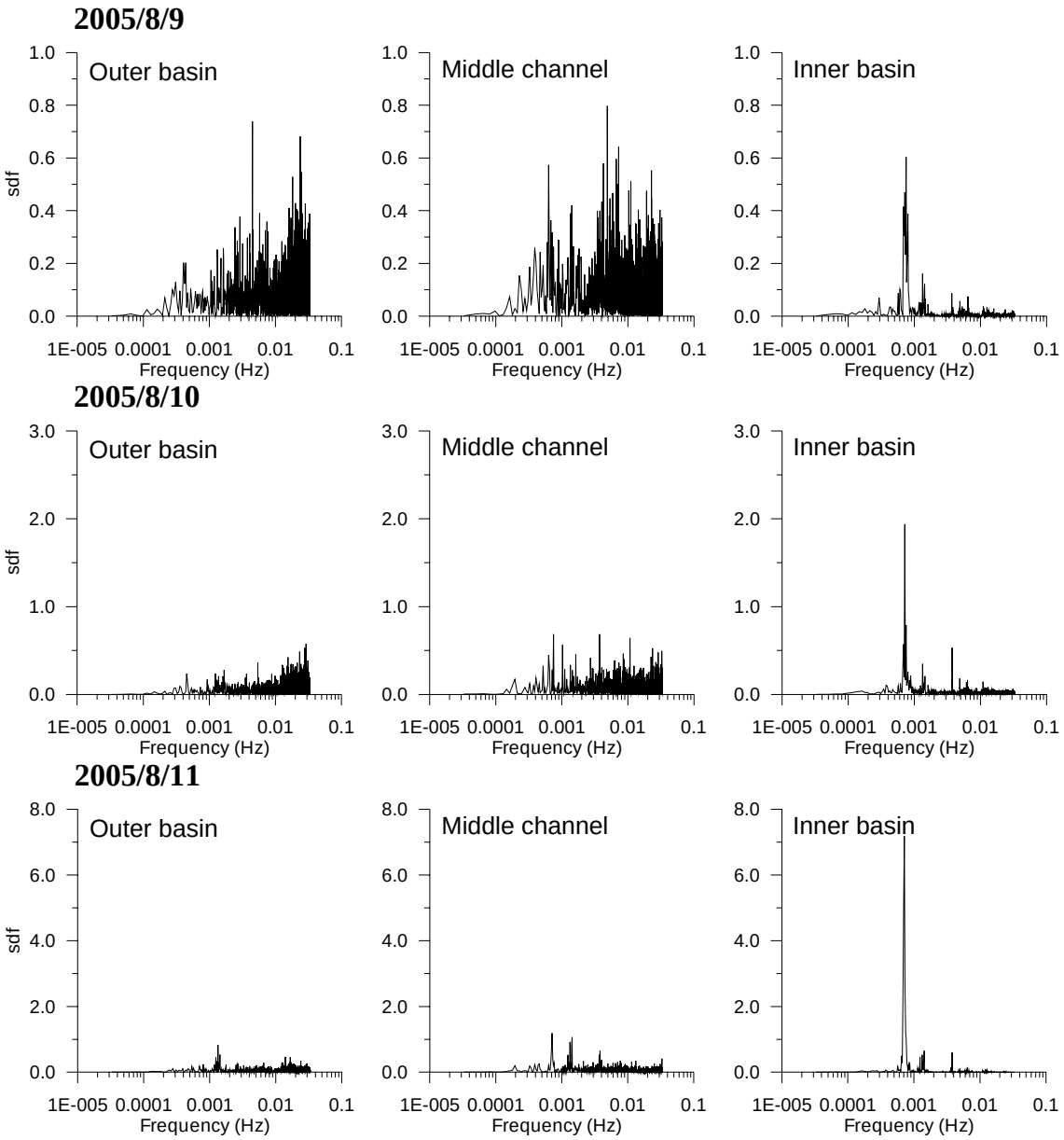
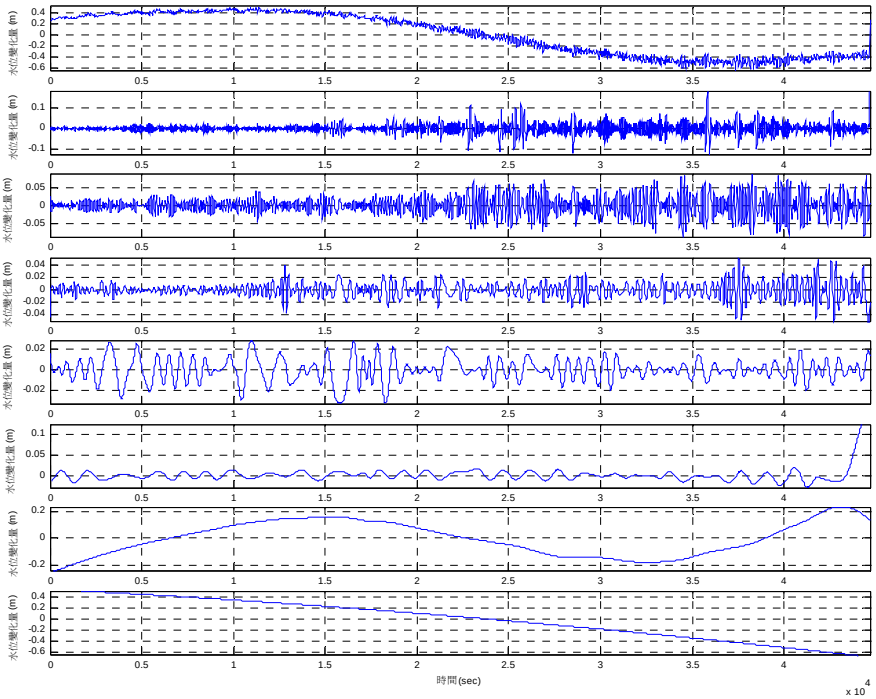
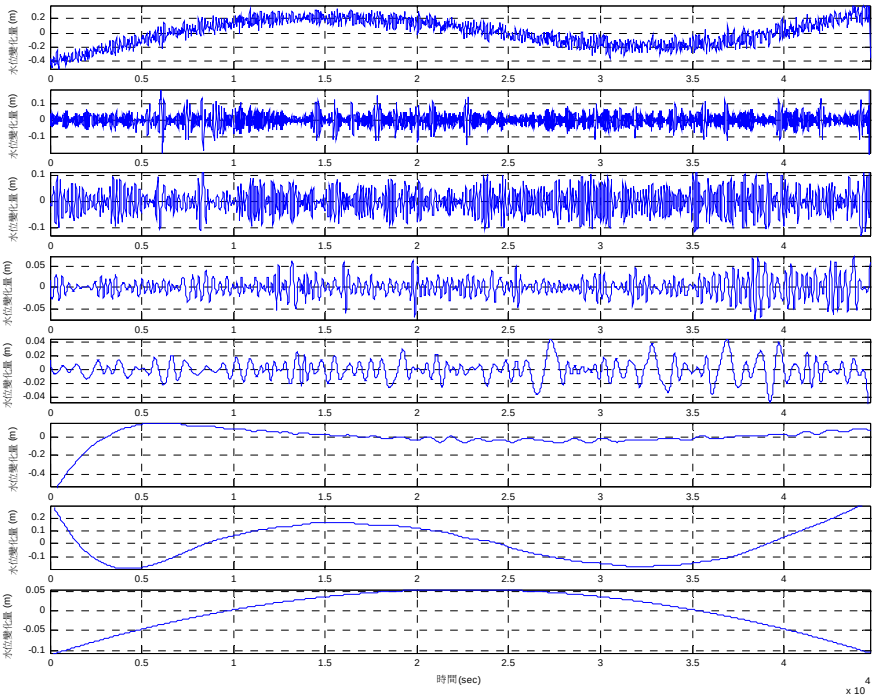



**圖 3.15(續) 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖**

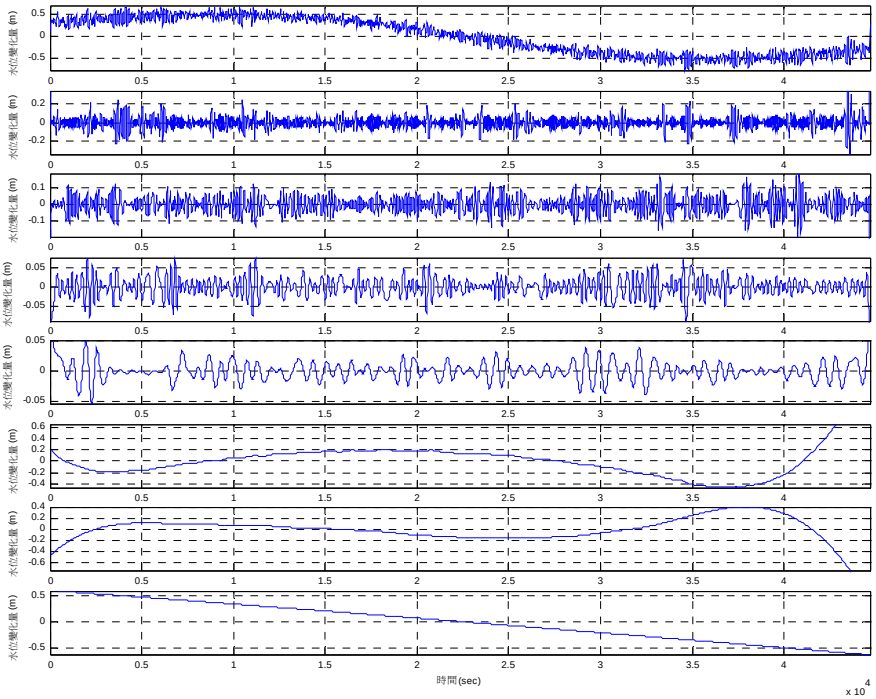



(a) 2005/8/3 01:40~2005/8/3 14:05

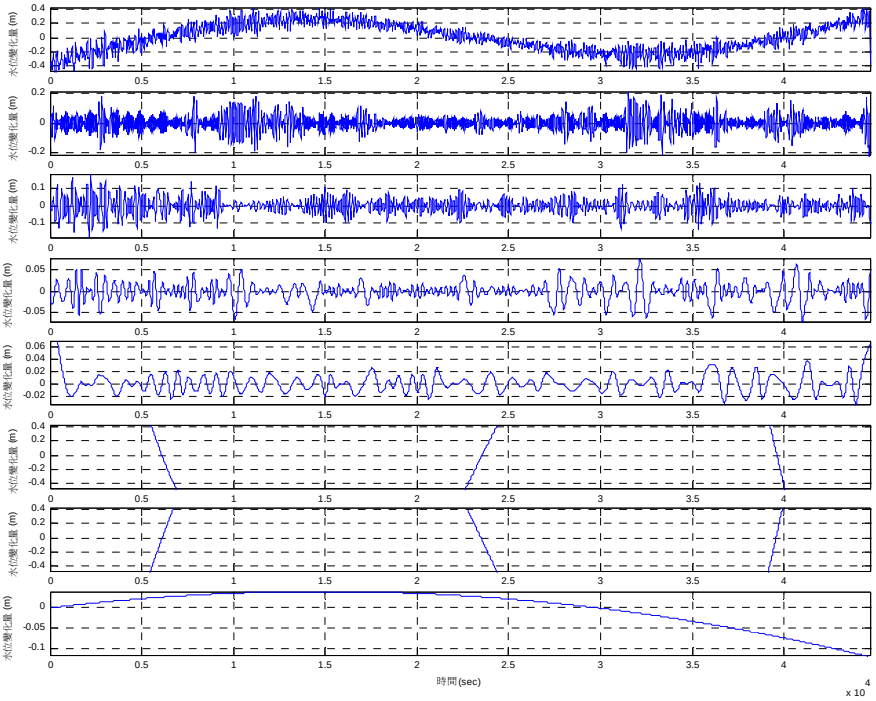



(b) 2005/8/3 14:05~2005/8/4 02:30

**圖 3.16 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF**

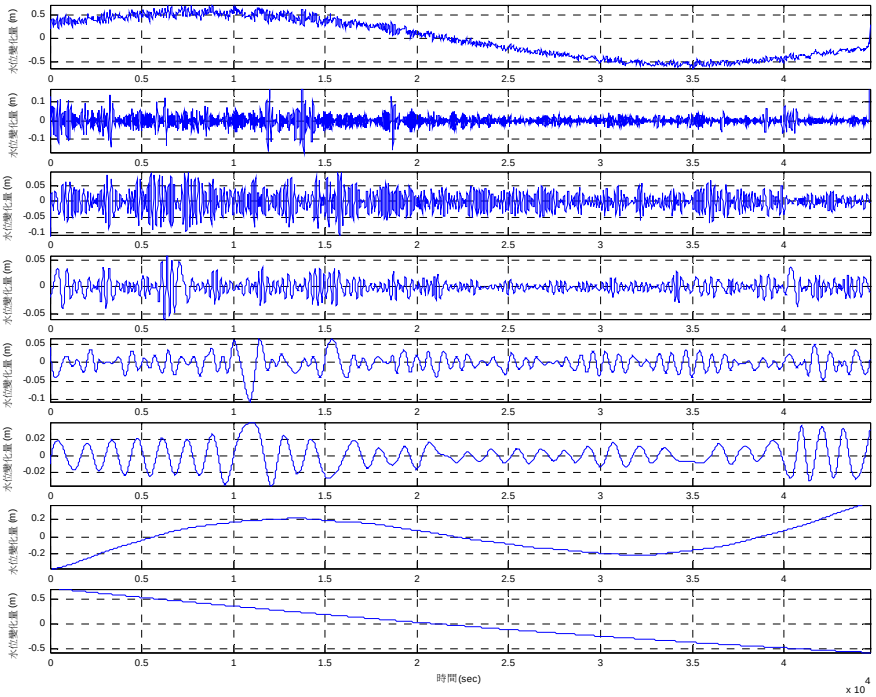



(c) 2005/8/4 02:30~2005/8/4 14:55

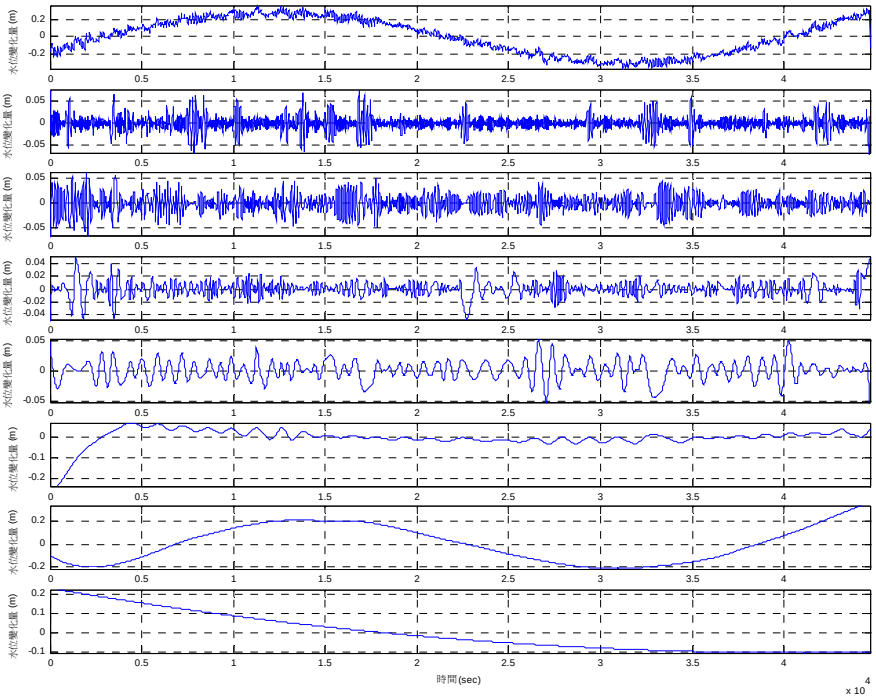



(d) 2005/8/4 14:55~2005/8/5 03:20

**圖 3.16(續) 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF**

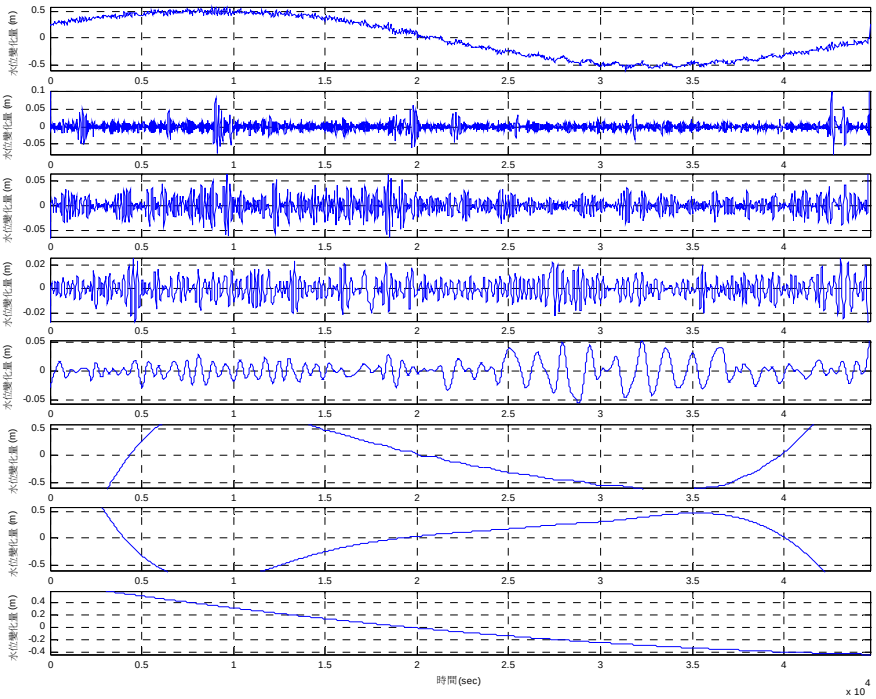



(e) 2005/8/5 03:20~2005/8/5 15:45

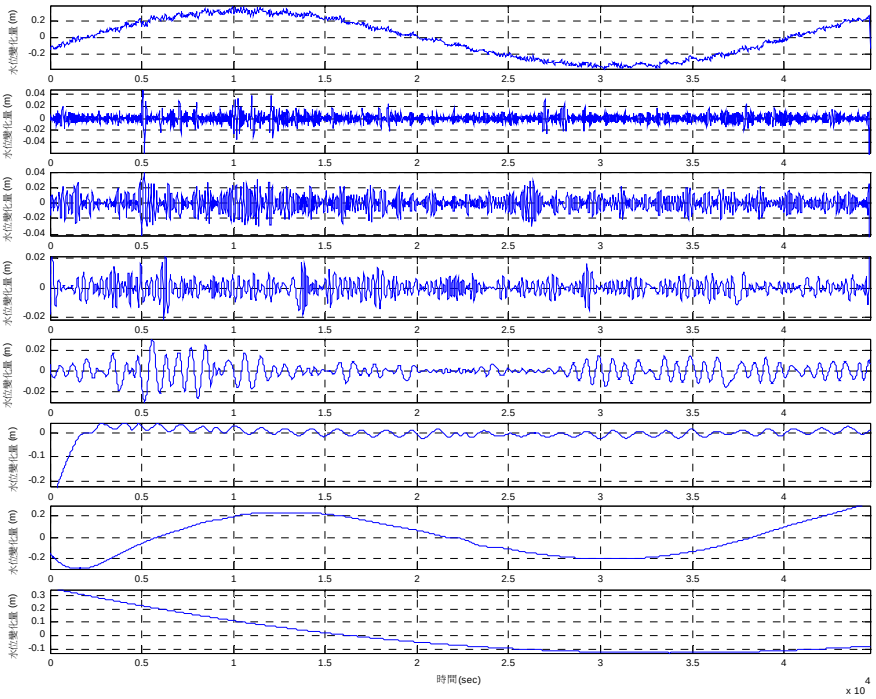



(f) 2005/8/5 15:45~2005/8/6 04:10

**圖 3.16(續) 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF**




(g) 2005/8/6 04:10~2005/8/5 16:35




(h) 2005/8/5 16:35~2005/8/7 05:00

**圖 3.16(續) 2005 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF**

為了進一步瞭解花蓮港內的長週期波動變化情形，本計畫從 2005 年至今一直在進行花蓮港內的水位觀測，在觀測期間共歷經 20 個颱風侵襲，包括海棠颱風 (2005/7/16~2005/7/20)、瑪莎颱風 (2005/8/3~2005/8/6)、珊瑚颱風 (2005/8/11~2005/8/13)、泰利颱風 (2005/8/30~2005/9/1)、卡努颱風 (2005/9/9~ 2005/9/11)、丹瑞颱風 (2005/9/21~2005/9/23)、龍王颱風 (2005/9/30~2005/10/ 3)、珍珠颱風 (2006/5/16~2006/5/18)、艾維尼颱風 (2006/7/7~ 2006/7/9)、碧利斯颱風 (2006/7/12~2006/7/15)、凱米颱風 (2006/7/23~ 2006/7/ 26)、桑美颱風 (2006/8/9~2006/8/10)、寶發颱風 (2006/8/7~2006/8/9)、珊珊颱風 (2006/9/14~2006/9/16)、帕布颱風 (2007/8/6~2007/8/8)、梧提颱風 (2007/8/8~2007/8/9)、聖帕颱風 (2007/8/16~2007/8/19)、韋帕颱風 (2007/9/17~2007/9/19)、柯羅莎颱風 (2007/10/4~2007/10/7)、米塔颱風 (2007/11/26~2007/11/27) 等。其中，海棠、瑪莎、卡努、凱米、桑美、寶發、珊珊、梧提、聖帕、柯羅莎等 10 個颱風有較完整的觀測。以下僅討論部分成果。

圖 3.17 與 3.18 為凱米颱風 (2006/7/23~2006/7/26) 時期的波高及週期聯合分佈圖與部分分解之 IMF 圖。圖 3.19 與 3.20 為桑美颱風 (2006/8/9~2006/8/10) 及寶發颱風 (2006/8/7~2006/8/9) 時期的波高及週期聯合分佈圖與部分分解之 IMF 圖。圖 3.21 與 3.22 為 2006 年 1 月冬季季風時期的波高及週期聯合分佈圖與部分分解之 IMF 圖。圖 3.23 與 3.24 為 2006 年 6 月夏季季風時期的波高及週期聯合分佈圖與部分分解之 IMF 圖。由於取樣頻率為 15 秒，因此本資料無法顯現一般重力波的出現比例。從圖中都發現不論是颱風波浪或是常時波浪，花蓮港內的長週期波動雖然能量不大，但卻佔有相當大的成分，尤其是週期介於 30 秒至 300 秒之間。而內港的波動也明顯地較外港為大。此一資料似乎說明花蓮港的長週期波動並非是颱風時期所特有，但是颱風期間其能量也有明顯增加。

| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.031570 | 0.000100 | | | | | | | | | | 0.000334 |
| | 400 – 500 | 0.009832 | | | | | | | | | | | 0.000100 |
| | 300 – 400 | 0.018728 | 0.000033 | | | | | | | | | | 0.000100 |
| | 200 – 300 | 0.035449 | 0.000702 | 0.000033 | | | | | | | | | 0.000268 |
| | 100 – 200 | 0.198348 | 0.011638 | 0.000100 | | | | | | | | | 0.001471 |
| | 50 – 100 | 0.376530 | 0.033075 | 0.000334 | | | | | | | | | 0.003612 |
| | 30 – 50 | 0.233663 | 0.015584 | | | | | | | | | | 0.001605 |
| | 15 – 30 | 0.025550 | 0.000535 | | | | | | | | | | 0.000702 |
| 總波數 20316 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(a) 外港

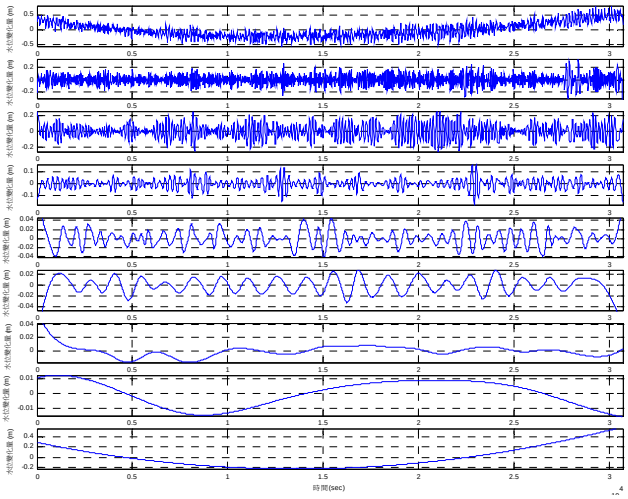
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.024104 | 0.001118 | 0.000057 | | 0.000029 | | | | | | | 0.000287 |
| | 400 – 500 | 0.008742 | 0.001032 | 0.000115 | | | | | | | | | 0.000057 |
| | 300 – 400 | 0.020378 | 0.002608 | 0.000287 | 0.000029 | | | | | 0.000029 | | | 0.000029 |
| | 200 – 300 | 0.041788 | 0.008799 | 0.001318 | 0.000143 | 0.000057 | 0.000029 | | | | | | 0.000201 |
| | 100 – 200 | 0.159817 | 0.041015 | 0.004529 | 0.000545 | 0.000143 | | | | | | | 0.000487 |
| | 50 – 100 | 0.321210 | 0.069132 | 0.005818 | 0.000602 | 0.000057 | | | | | | | 0.000344 |
| | 30 – 50 | 0.200831 | 0.042218 | 0.002006 | 0.000115 | 0.000057 | | | | | | | 0.000258 |
| | 15 – 30 | 0.033706 | 0.005532 | 0.000258 | | | | | | | | | 0.000086 |
| 總波數 34890 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(b) 束縮航道

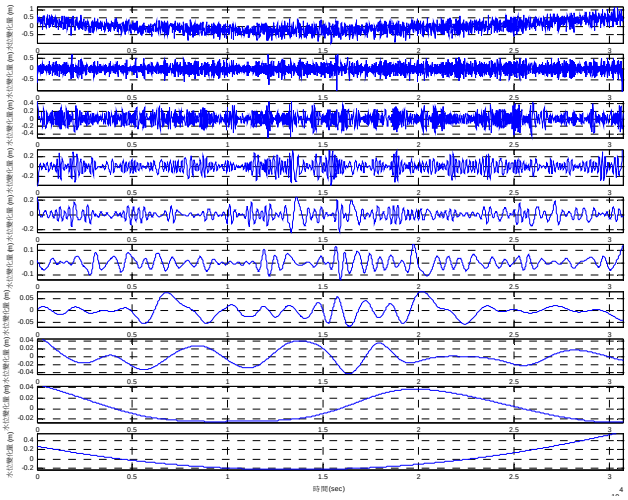
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.028178 | 0.001360 | 0.000058 | 0.000058 | | | | | | | | 0.000203 |
| | 400 – 500 | 0.008824 | 0.001244 | 0.000029 | | | | | | | | | 0.000116 |
| | 300 – 400 | 0.018602 | 0.003038 | 0.000347 | 0.000174 | | | | | | | | 0.000116 |
| | 200 – 300 | 0.038622 | 0.011109 | 0.000984 | 0.000579 | 0.000203 | 0.000029 | 0.000029 | | | | | 0.000087 |
| | 100 – 200 | 0.149743 | 0.046173 | 0.006220 | 0.001475 | 0.000781 | 0.000203 | 0.000029 | | | | | 0.000203 |
| | 50 – 100 | 0.307441 | 0.078719 | 0.016461 | 0.003443 | 0.001186 | 0.000203 | 0.000116 | | | | | 0.000492 |
| | 30 – 50 | 0.184169 | 0.041717 | 0.010328 | 0.001649 | 0.000116 | | | | | | | 0.000260 |
| | 15 – 30 | 0.027686 | 0.005757 | 0.001273 | 0.000029 | | | | | | | | 0.000145 |
| 總波數 34566 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(c) 內港

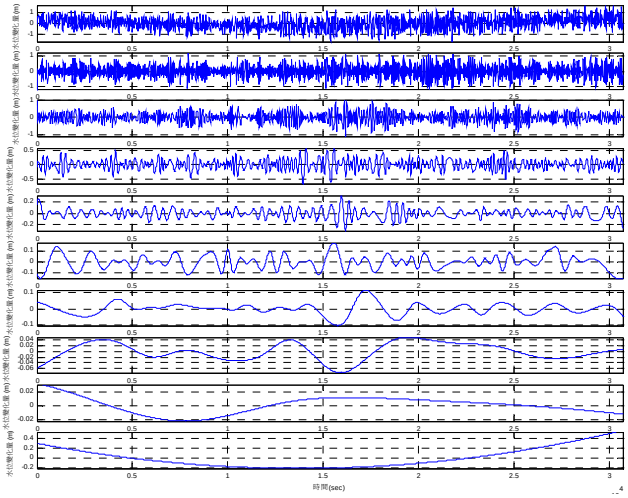
**圖 3.17 凱米颱風時期之波高及週期聯合分佈圖**



(a) 外港



(b) 束縮航道



(c) 內港

**圖 3.18 凱米颱風時期之港內波動分解 IMF 圖**

| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.029066 | 0.000082 | | | | | | | | | | 0.000300 |
| | 400 – 500 | 0.011708 | | | | | | | | | | | 0.000218 |
| | 300 – 400 | 0.021588 | | | | | | | | | | | 0.000109 |
| | 200 – 300 | 0.035152 | 0.000136 | | | | | | | | | | 0.000082 |
| | 100 – 200 | 0.214104 | 0.001310 | | | | | | | | | | 0.000628 |
| | 50 – 100 | 0.408886 | 0.005568 | | | | | | | | | | 0.002484 |
| | 30 – 50 | 0.239622 | 0.000437 | | | | | | | | | | 0.001556 |
| | 15 – 30 | 0.026173 | | | | | | | | | | | 0.000791 |
| 總波數 33641 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(a) 外港

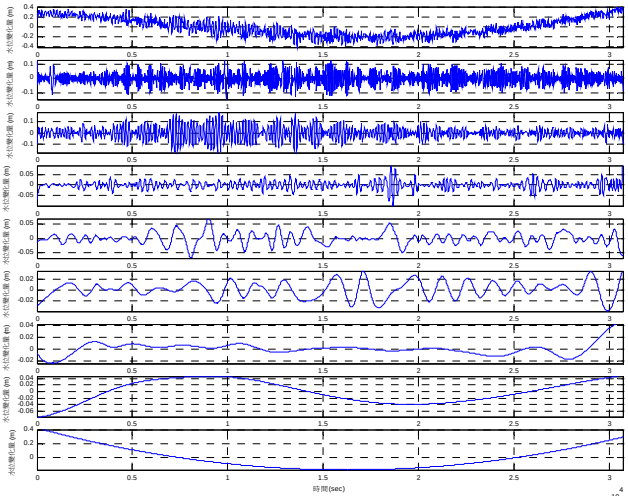
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.023362 | 0.000690 | | | | | | | | | | 0.000138 |
| | 400 – 500 | 0.009198 | 0.001702 | 0.000023 | | | | | | | | | 0.000000 |
| | 300 – 400 | 0.018143 | 0.004346 | 0.000046 | | | | | | | | | 0.000115 |
| | 200 – 300 | 0.039458 | 0.015107 | 0.000023 | | | | | | | | | 0.000115 |
| | 100 – 200 | 0.159627 | 0.046954 | 0.000253 | | | | | | | | | 0.000437 |
| | 50 – 100 | 0.344524 | 0.051645 | 0.000092 | | | | | | | | | 0.000414 |
| | 30 – 50 | 0.222010 | 0.018855 | 0.000023 | | | | | | | | | 0.000322 |
| | 15 – 30 | 0.040378 | 0.001817 | | | | | | | | | | 0.000184 |
| 總波數 43489 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(b) 束縮航道

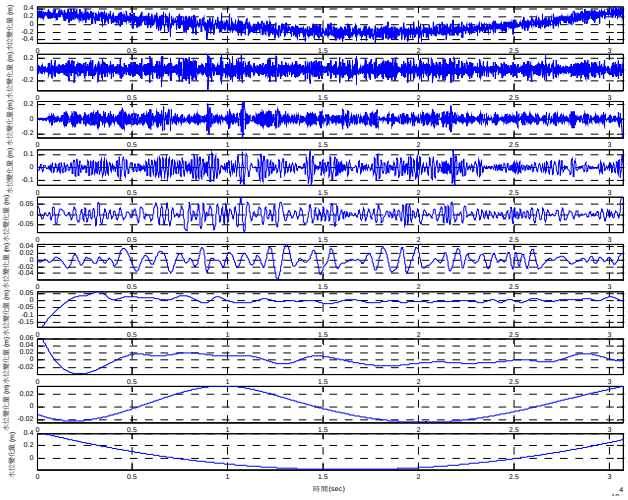
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.026019 | 0.000503 | 0.000046 | | | | | | | | | 0.000206 |
| | 400 – 500 | 0.007356 | 0.001531 | 0.000023 | | | | | | | | | 0.000069 |
| | 300 – 400 | 0.017864 | 0.004089 | 0.000251 | | | | | | | | | 0.000091 |
| | 200 – 300 | 0.038172 | 0.014940 | 0.000571 | 0.000023 | | | | | | | | 0.000137 |
| | 100 – 200 | 0.144600 | 0.058046 | 0.001439 | | | | | | | | | 0.000434 |
| | 50 – 100 | 0.326480 | 0.083265 | 0.000731 | 0.000023 | | | | | | | | 0.000228 |
| | 30 – 50 | 0.197688 | 0.037601 | 0.000228 | | | | | | | | | 0.000114 |
| | 15 – 30 | 0.033603 | 0.003495 | | | | | | | | | | 0.000137 |
| 總波數 43776 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(c) 內港

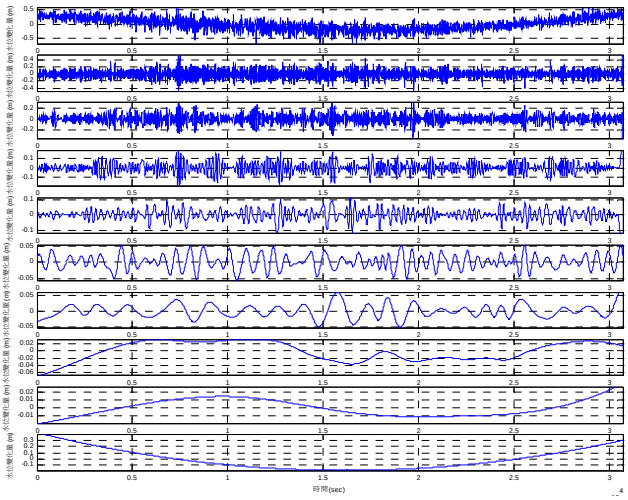
**圖 3.19 桑美及寶發颱風時期之波高及週期聯合分佈圖**



(a) 外港



(b) 束縮航道



(c) 內港

**圖 3.20 桑美及寶發颱風時期之港內波動分解 IMF 圖**

| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.028383 | 0.000194 | 0.000305 | 0.000028 | 0.000083 | 0.000028 | 0.000083 | | | | | 0.000361 |
| | 400 – 500 | 0.009720 | | | | | | | | | | | 0.000028 |
| | 300 – 400 | 0.018969 | 0.000111 | | | | | | | | | | 0.000083 |
| | 200 – 300 | 0.037798 | 0.000083 | | | | | | | | | | 0.000111 |
| | 100 – 200 | 0.203821 | 0.000278 | | | | | | | | | | 0.000278 |
| | 50 – 100 | 0.419502 | 0.000611 | | | | | | | | | | 0.001111 |
| | 30 – 50 | 0.250618 | 0.000028 | | | | | | | | | | 0.000778 |
| | 15 – 30 | 0.026356 | | | | | | | | | | | 0.000250 |
| 總波數 36007 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(a) 外港

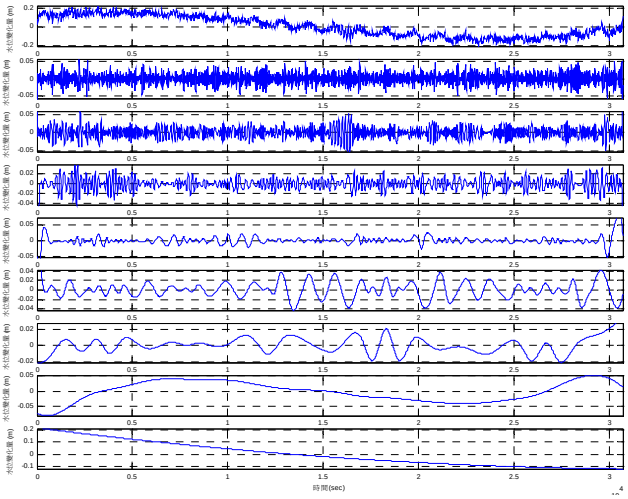
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.019466 | 0.000517 | 0.000197 | 0.000098 | 0.000025 | | | | | | 0.000025 | 0.000492 |
| | 400 – 500 | 0.009327 | 0.001477 | | | | | | | | | | 0.000049 |
| | 300 – 400 | 0.020648 | 0.003962 | 0.000025 | | | | | | | | | 0.000025 |
| | 200 – 300 | 0.039745 | 0.012576 | 0.000148 | | | | | | | | | 0.000000 |
| | 100 – 200 | 0.162696 | 0.042034 | 0.000345 | | | | | | | | | 0.000221 |
| | 50 – 100 | 0.354801 | 0.043929 | 0.000025 | | | | | | | | | 0.000172 |
| | 30 – 50 | 0.230054 | 0.015381 | | | | | | | | | | 0.000246 |
| | 15 – 30 | 0.040016 | 0.001255 | | | | | | | | | | 0.000025 |
| 總波數 40634 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(b) 束縮航道

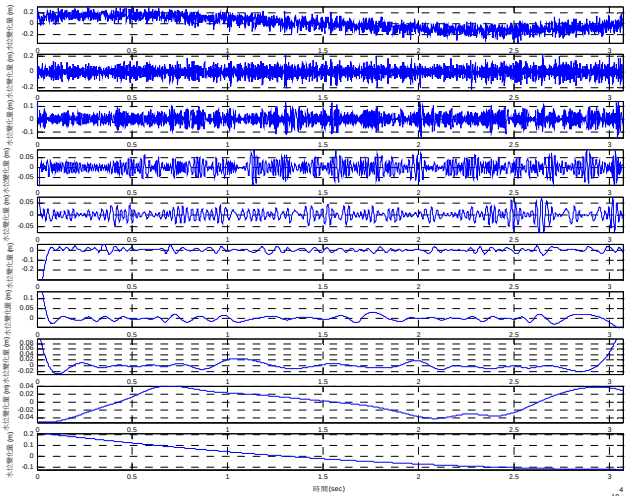
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.022484 | 0.000644 | 0.000077 | 0.000026 | 0.000052 | 0.000052 | 0.000026 | 0.000077 | | | | 0.000361 |
| | 400 – 500 | 0.009040 | 0.001082 | 0.000052 | | | | | | | | | 0.000052 |
| | 300 – 400 | 0.019445 | 0.003709 | 0.000155 | | | | | | | | | 0.000000 |
| | 200 – 300 | 0.038684 | 0.013290 | 0.000180 | | | | | | | | | 0.000052 |
| | 100 – 200 | 0.154480 | 0.048909 | 0.000695 | | | | | | | | | 0.000180 |
| | 50 – 100 | 0.343550 | 0.063950 | 0.000232 | | | | | | | | | 0.000155 |
| | 30 – 50 | 0.216550 | 0.026502 | | | | | | | | | | 0.000129 |
| | 15 – 30 | 0.032065 | 0.002988 | | | | | | | | | | 0.000077 |
| 總波數 38827 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(c) 內港

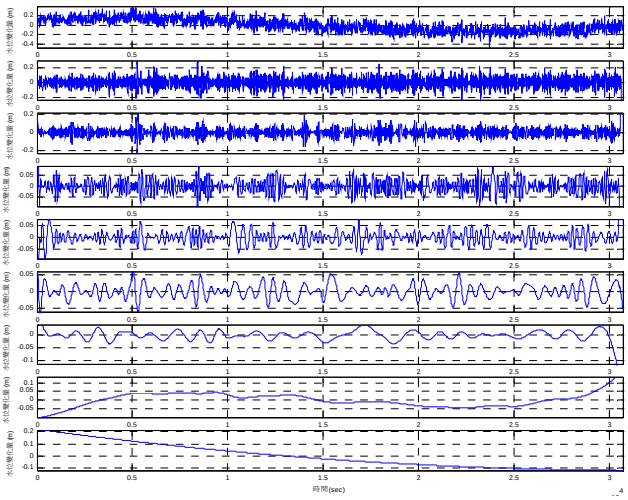
**圖 3.21 冬季季風時期之波高及週期聯合分佈圖(2006 年 1 月)**



(a) 外港



(b) 束縮航道



(c) 內港

**圖 3.22 冬季季風時期之港內波動分解 IMF 圖 (2006 年 1 月)**

| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.024555 | 0.000130 | 0.000078 | 0.000078 | 0.000078 | 0.000026 | 0.000104 | | 0.000104 | | 0.000026 | 0.000570 |
| | 400 – 500 | 0.010864 | | | 0.000026 | | | | | | | | |
| | 300 – 400 | 0.021806 | | | | | | | | | | | 0.000130 |
| | 200 – 300 | 0.032982 | 0.000026 | | | | | | | | | | 0.000182 |
| | 100 – 200 | 0.189903 | | | | | | | | | | | 0.000959 |
| | 50 – 100 | 0.417689 | | | | | | | | | | | 0.002385 |
| | 30 – 50 | 0.265642 | | | | | | | | | | | 0.002048 |
| | 15 – 30 | 0.028755 | | | | | | | | | | | 0.000856 |
| 總波數 38567 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(a) 外港

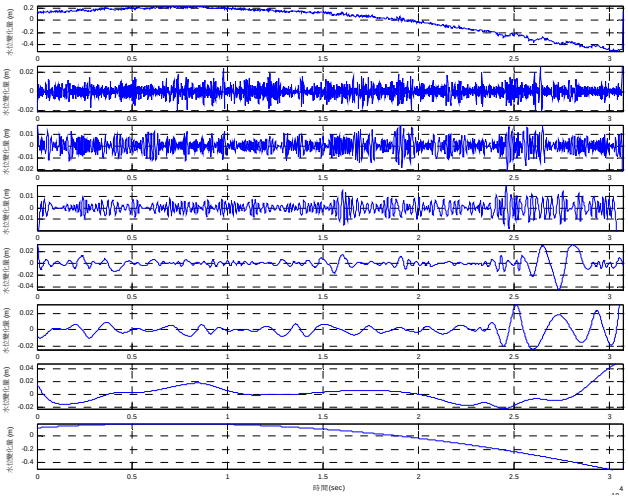
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.015373 | 0.000457 | 0.000065 | 0.000087 | 0.000044 | 0.000087 | | | 0.000044 | 0.000044 | | 0.000327 |
| | 400 – 500 | 0.009864 | 0.000370 | | | | | | | | | | 0.000065 |
| | 300 – 400 | 0.024060 | 0.001089 | | | | | | | | | | 0.000065 |
| | 200 – 300 | 0.048970 | 0.003854 | | | | | | | | | | 0.000109 |
| | 100 – 200 | 0.200823 | 0.011540 | | | | | | | | | | 0.000283 |
| | 50 – 100 | 0.391325 | 0.010626 | | | | | | | | | | 0.000610 |
| | 30 – 50 | 0.242477 | 0.001350 | | | | | | | | | | 0.000457 |
| | 15 – 30 | 0.035231 | 0.000044 | | | | | | | | | | 0.000261 |
| 總波數 45926 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(b) 束縮航道

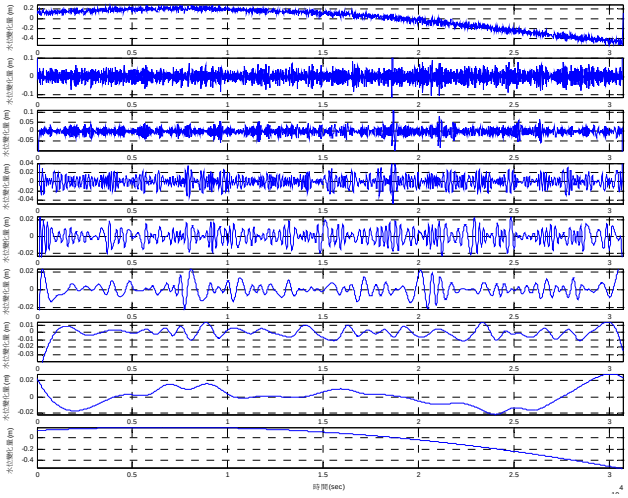
| 週期（秒） | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >500 | 0.020058 | 0.000247 | 0.000112 | 0.000045 | 0.000045 | 0.000045 | 0.000022 | 0.000045 | 0.000022 | | | 0.000583 |
| | 400 – 500 | 0.009917 | 0.000583 | | | | 0.000022 | | | | | | |
| | 300 – 400 | 0.022862 | 0.002221 | | 0.000022 | | | | | | | | 0.000112 |
| | 200 – 300 | 0.041911 | 0.006462 | | | | | | | | | | 0.000067 |
| | 100 – 200 | 0.184739 | 0.024455 | | | | | | | | | | 0.000224 |
| | 50 – 100 | 0.381234 | 0.026699 | | | | | | | | | | 0.000314 |
| | 30 – 50 | 0.238698 | 0.005272 | | | | | | | | | | 0.000224 |
| | 15 – 30 | 0.032330 | 0.000269 | | | | | | | | | | 0.000135 |
| 總波數 44571 | | 0 - 0.1 | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 1 | 1 – 1.5 | 1.5 - 2 | 2 – 2.5 | 2.5- 3 | 3 – 3.5 | 3.5 - 4 | 4- 4.5 | 4.5 - 5 | > 5 |
| | | 波高（公尺） | | | | | | | | | | | |

(c) 內港

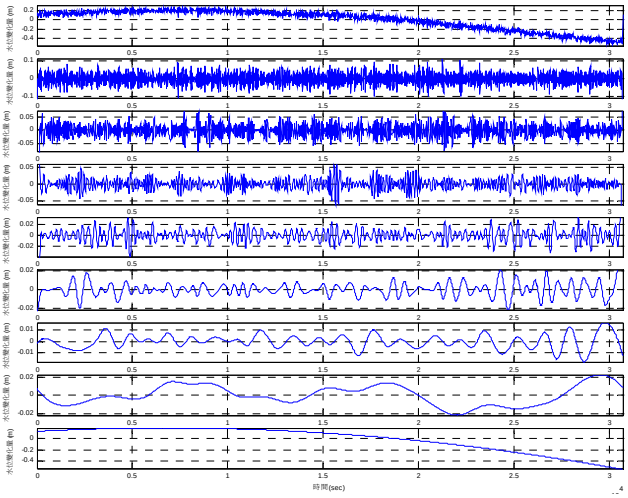
**圖 3.23 夏季季風時期之波高及週期聯合分佈圖(2006 年 6 月)**



(a) 外港



(b) 束縮航道



(c) 內港

**圖 3.24 夏季季風時期之港內波動分解 IMF 圖(2006 年 6 月)**

## 3.5 東海岸的聯合觀測

為瞭解花蓮港內的波動的特性，本計畫團隊檢討波浪觀測的傳統方法發現以 2 Hz 連續取樣 20 分鐘，或是以 4 Hz 取樣 10 分鐘，雖然均能夠提供 2048 個資料點進行頻譜分析，但是對於可以解析的最長成分波週期(即最頻率)則會受到限制。例如以以 2 Hz 取樣的 2048 個資料點可得到的最成週期為 512 秒；而以 4 Hz 取樣的 2048 個資料點可得到的最成週期為 256 秒。此一範圍如果是針對一般重力波範圍內的觀測應已可滿足。但是如果是要探討類似花蓮港內的長週期振盪，則仍嫌不足。由於花蓮港內可能有的最長週期為何尚不可知，本計畫乃嘗試以儀器可以記錄的最大能量進行長時間且連續的觀測，因此，採用 2 Hz 連續取樣 250 分鐘(即 15000 秒)，如表 3.1 所示在三個不同時期分別進行不同測站的同步觀測。再者，為了能釐清長週期振盪的成分是否起因於取樣頻率或儀器本身的問題，本計畫團隊於 2006 年 4 月在花蓮港的外港及內港水位觀測站附近，以現場容量式波高計、壓力式波高計(鎮儀公司，S700)及壓力式水位計(Sea Bird，SBR90)，以不同的取樣頻率同步進行約兩天的水位觀測。接著於 2006 年 6 月擴展至較南邊海岸的鹽寮漁港以壓力式波高計(鎮儀公司，S700)及壓力式水位計(Sea Bird，SBR90)設置觀測站進行短期性的觀測，花蓮港與鹽寮漁港的儀器佈放位置如圖 3.25 所示。此一同步觀測更於 2006 年 8 月擴大範圍至涵蓋東部海岸線以瞭解各地的波動特性的共通性，觀測地點包含了蘇澳港、花蓮港、鹽寮漁港、石梯漁港及金樽漁港。這三個時期的資料收集期間如表 3.1 所示。本節將主要針對以 2 Hz 取樣頻率進行連續觀測的 S700 壓力式波高計的觀測結果進行討論。其中為瞭解不同週期範圍的成分波變化情形，除了進行頻譜分析以外，也以數值濾波的方法分離各週期(頻率)範圍的成分波。圖 3.28 至圖 3.35 為三個時期觀測資料的分析頻譜。頻譜分析圖中(各圖之右圖，由上而下)顯示成分波頻率與頻譜密度，以及成分波週期與頻譜密度間的關係，以方便對各特性週期的分析。

### 3.5.1 2006 年 4 月的花蓮港港內水面波動聯合觀測

本觀測期間僅有氣象局預報低壓鋒面的可能到達外，並無其他異常氣象。圖 3.28 為內港的部分分析結果，圖 3.29 則為外港的部分分析結果。

從圖 3.28 及圖 3.29 中均可以看到在本段觀測期間花蓮港的內外水域都有明顯的譜峰出現在 165 秒、714 秒、1250 秒、4998 秒及 7498 秒附近，外港則有明顯譜峰出現在 714 秒、1250 秒、4998 秒及 7498 秒附近(因取樣頻率及頻譜解析度而會略微不同)，但這些譜峰並非在每一筆記錄中都有。另一個現象是：外港的 30 秒以下一般重力波波動的成分很多，但是內港則非常不明顯，反而是長週期波動主導內港的水面波動。顯示受限水道的規劃對阻擋一般重力波的入侵相當有成效，但是極長週期成分的波動則反而發生增幅現象。

### 3.5.2 2006 年 6 月鹽寮漁港的水位觀測

由於花蓮港的縱深約為 3000 公尺，如果以 10 至 18 公尺水深，以及四倍縱深的波長代入分散關係式可以概算出等深矩形港池的自然共振週期約 903 至 1212 秒之間，因此上節所發現的長週期成分中 1250 秒以下的成分可能與花蓮港的港池特性有關；但是 4998 秒及 7498 秒的週期成分的激發機制則仍不清楚。為了進一步瞭解各週期成分是屬於港池的尺度(在港內激發與增幅)還是屬於大洋的尺度(直接來至外海)，本計畫考量花蓮港外海設置水下觀測儀器的困難度，乃於 2006 年 6 月 10 日至 11 日期間在南方的鹽寮漁港中以相同的儀器進行資料觀測收集，共收集到 8 筆 15000 秒的資料，圖 3.30 為部分分析結果。

從圖 3.30 中可以明顯地看到在本觀測時段中鹽寮漁港附近水域的波動也含有週期大於 30 s 以上的長週期波動，有明顯的譜峰出現在 3749 秒、4998 秒及 7498 秒附近。在圖 3.40 也看到在 400 秒至 600 秒之間也有略小的譜峰，但察看其他記錄中並未出現，研判應該是屬於異常氣象所致。在一般頻譜分析中，一般認為分頻大約是一至二個解

析頻率(Δf=1/15000 Hz)的成分波，由於頻率過於接近頻率的解析度，屬於數學解析誤差的可能性極高而不予討論。

由於鹽寮漁港僅係為一簡易漁港，其防波堤及碼頭呈向南的 F 型佈置，屬於開放性空間，在更南側有拋放防止漂砂的消波塊群，而北側則已經因為淤積的緣故形成一新生海灘。潮位計是佈放於外防波堤的內側，由於該港的遮蔽效果並不好，反之可將其視為與外海聯繫良好的水域，因此在該處所量測到的水位變化除了區域性因為水深太淺所發生的短週期擾動外，對於潮汐或其他長週期波動的干擾應該較小。因此，該地區的長週期水位變化對外海的波動應該有相當地代表性。

綜合比較上節與本節的觀測分析結果，可以發現花蓮港內及鹽寮漁港都發現有數千秒的波動成分，依此研判花蓮港內之 4998 秒及 7498 秒的波動成分來自外海的可能性較高。但由於鹽寮漁港與花蓮港仍有一段距離，並非直接地在花蓮港外海，且兩處的觀測時間並未同步，因此無法做進一步的結論。

### 3.5.3 2006 年 8 月的聯合觀測

為了瞭解長週期成分波動的區域特性，在本次觀測中規劃了由花蓮港以北的蘇澳港，至以南的鹽寮漁港、石梯漁港及金樽漁港進行同步觀測。所選的漁港都屬於較為偏僻且單純的漁港，主要是為避開沿海遊憩的人潮，減少訊號受到船舶或人為的干擾，以及可能的遺失問題。但由所收集的資料中仍發現儀器曾經有被中途提出水面的紀錄情形，顯示要進行沿海的海象觀測，必須要顧慮到相當多的可能發生狀況。為了持續進行水位的觀測，本計畫也於 2006 年 9 月在鹽寮漁港安裝固定觀測架，但因為近岸波浪的強大而反覆作用下，不到一個星期儀器架就被波浪力從固定的螺栓處及銲接處撕裂而沉落海底底床。

由於儀器佈放的距離過長(宜蘭蘇澳港到台東金樽漁港)，波高計設定為提前一天啟動(2006/08/17 18 時)，因此各波高計所取得的資料筆數

不相一致。記錄的方式是以 2Hz 連續取樣 15000 秒(30000 個資料點)，以及連續觀測。各測站的觀測資料範圍如表 3.1 所示。圖 3.31 至圖 3.35 依序分別為本觀測時段在花蓮港內港及外港、鹽寮漁港、石梯漁港及金樽漁港的部分分析結果。從圖中均可以看到在本段觀測期間從花蓮港以南至金樽漁港的水域都含有週期大於 30 秒的水面振盪，但是由於觀測站散佈在各漁港中，觀測環境幾乎無法控制，因此所獲得的資料中常有一些干擾，使得可分析的資料長度可能不相同而造成比較上的困難(資料長度不同引出頻率解析度不同的問題)，本節將主要先針對各觀測站的資料分析結果進行討論。

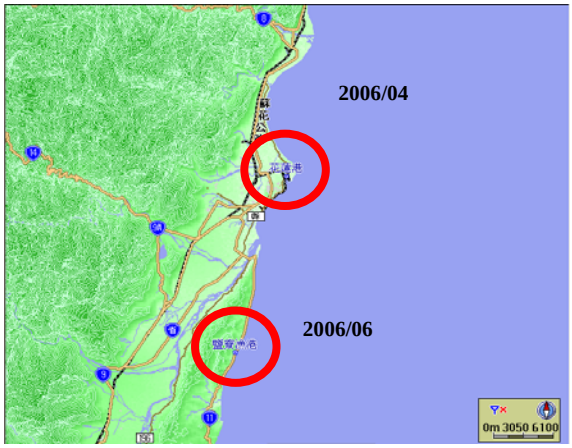
如果檢視各圖之週期與頻譜密度的關係，可發現內港水域有明顯的譜峰出現在 197 秒、263 秒、656 秒、999 秒、1250 秒、1272 秒、1363 秒、1500 秒、2798 秒、3749 秒、4998 秒、6998 秒及 7498 秒附近，外港則有明顯譜峰出現在 577 秒、656 秒、666 秒、714 秒、750 秒、1166 秒、1222 秒、1250 秒、3498 秒、3832 秒、4998 秒、5248 秒、5498 秒、5748 秒及 7498 秒附近而鹽寮漁港可發現明顯的譜峰出現在 1153 秒、2333 秒、2499 秒、3749 秒、4998 秒、6998 秒及 7498 秒等。石梯漁港的譜峰出現在 319 秒、384 秒、395 秒、405 秒、417 秒、428 秒、3749 秒、4998 秒及 7498 秒等。金樽漁港的譜峰出現在 349 秒、428 秒、484 秒、500 秒、600 秒、625 秒、789 秒、882、3749 秒、4998 秒及 7498 秒等。同樣的，由於有效解析資料的長度不同，譜峰會因為取樣頻率及頻譜解析度不同而變動，並非在每一筆記錄中都有上述的譜峰。

如果以同一觀測時段的五個觀測站的結果來比較，可以發現各個地點皆含有 3749 秒、4998 秒及 7498 秒等極長週期的波動成分。

### 3.5.4 綜合比較

綜合以上的分析，我們可以發現不論是花蓮港、鹽寮漁港、石梯漁港及金樽漁港，都含有長週期的成分，尤其是 3749 秒以上的成分波。就花蓮港而言，週期大於 30 秒至 1250 秒之間的波動可能與花蓮港的

自然共振特性有關，但是 1250 秒以上的波動則由與其他觀測站的結果比較，可發現其屬於大洋尺度特性的可能性極高。但是由於經費、時程及人力有限，目前無法進行更大規模的觀測與檢驗。




鎮儀S700壓力式波高計







**圖 3.25 長週期波動之觀測**

**表 3.1 2006 年各觀測站的資料收集範圍**

| 觀測位置 | 資料收集期間 | 使用儀器 |
|---|---|---|
| 蘇澳港 | 儀器故障 | 鎮儀公司 S700 壓力式波高計<br>Seabird 公司 SBR90 潮位儀 |
| 花蓮港內港 | 20060405 15:00 ~ 20060407 17:00(12 筆)<br>20060818 10:40 ~ 20060819 20:00(8 筆) | |
| 花蓮港外港 | 20060405 15:00 ~ 20060407 17:00(12 筆)<br>20060818 10:40 ~ 20060819 15:50(7 筆) | |
| 鹽寮漁港 | 20060610 06:00 ~ 20060412 15:20(8 筆)<br>20060818 10:40 ~ 20060819 07:30(5 筆) | |
| 石梯漁港 | 20060818 14:50 ~ 20060819 11:40(5 筆) | |
| 金樽漁港 | 20060818 19:00 ~ 20060819 11:40(4 筆) | |

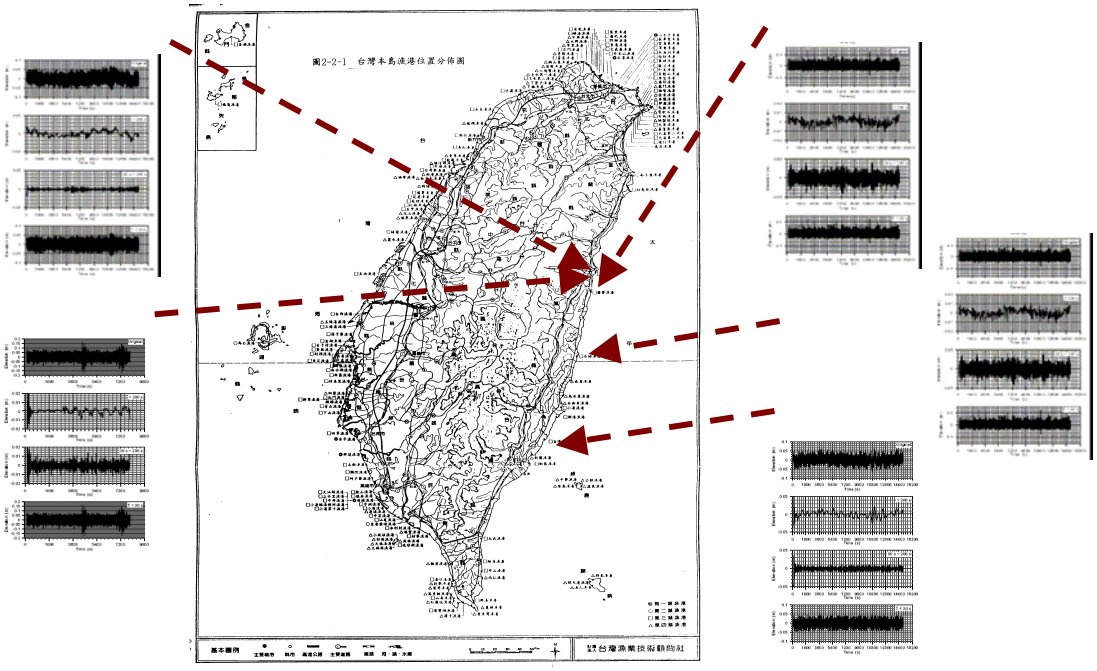


**圖 3.26 長週期波動之聯合觀測水位記錄(2006/8)**

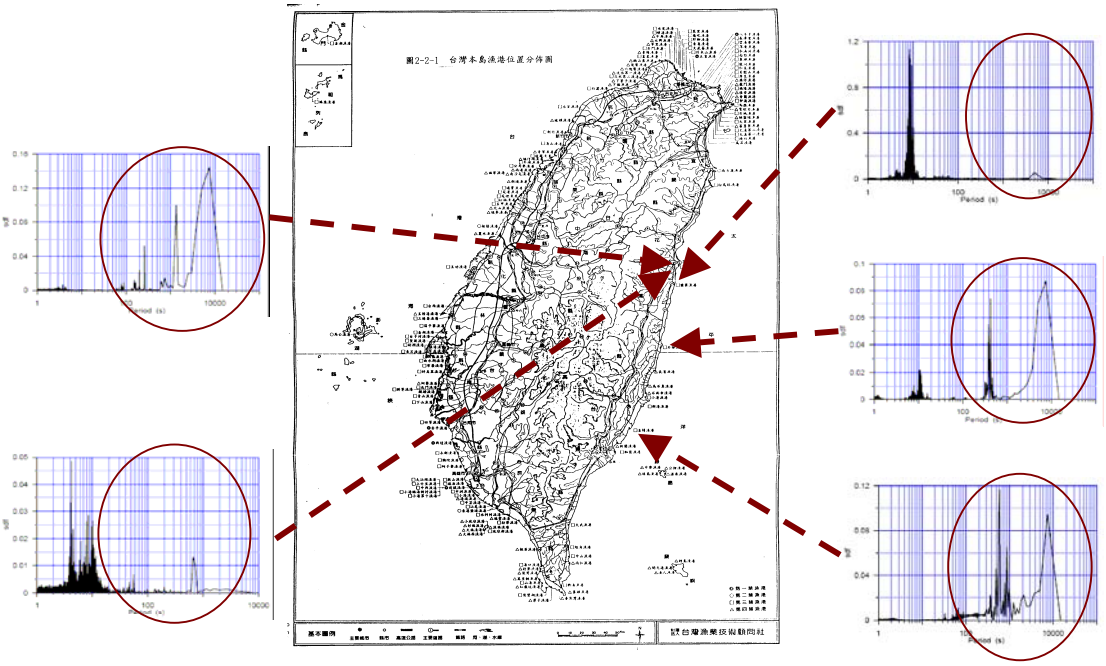
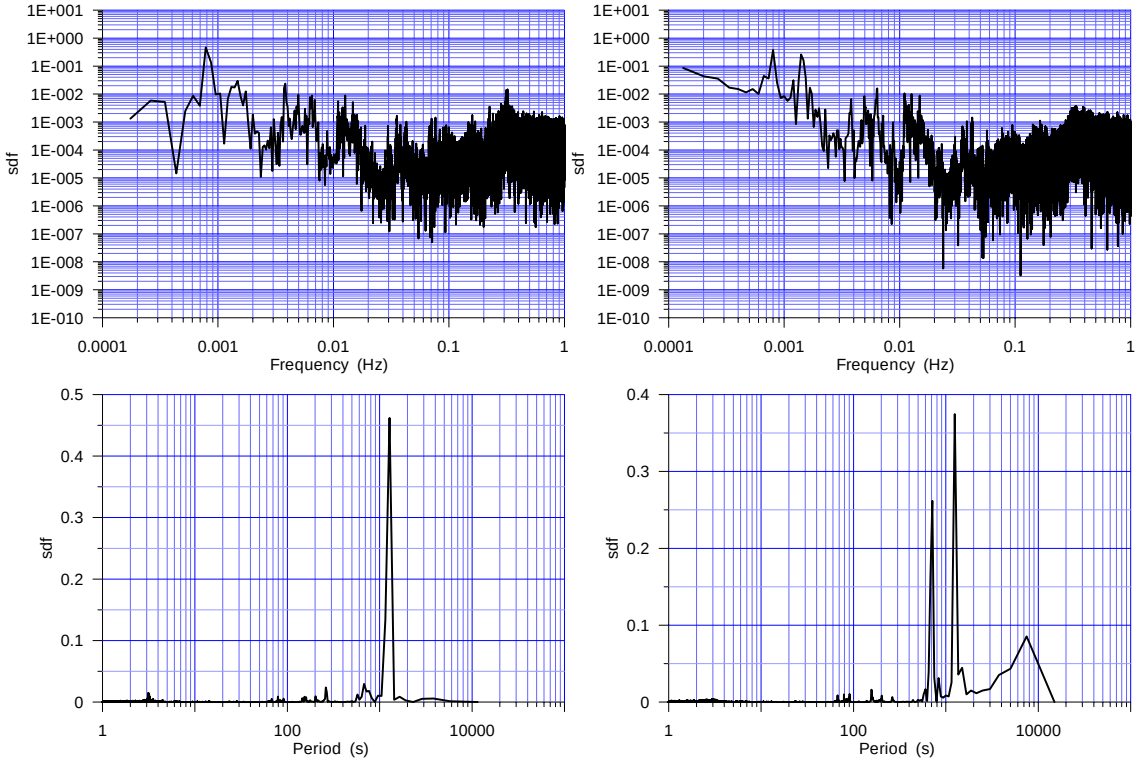
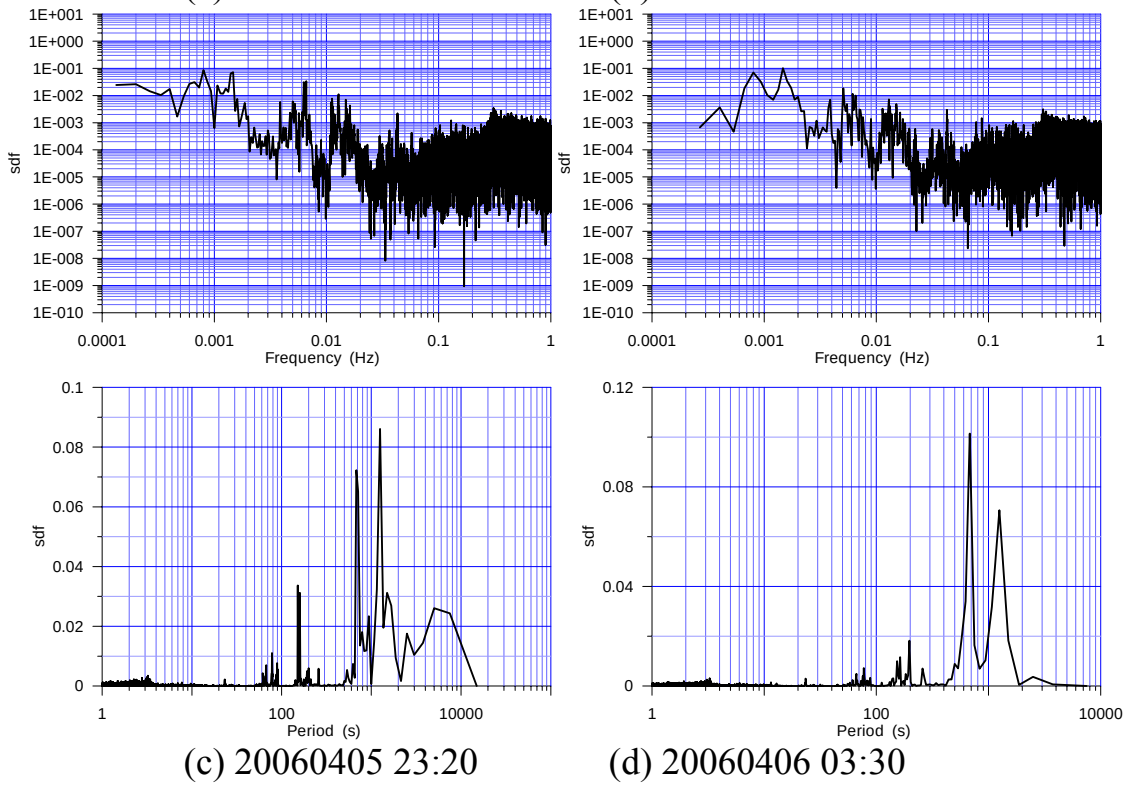


**圖 3.27 長週期波動之聯合觀測頻譜(2006/8)**

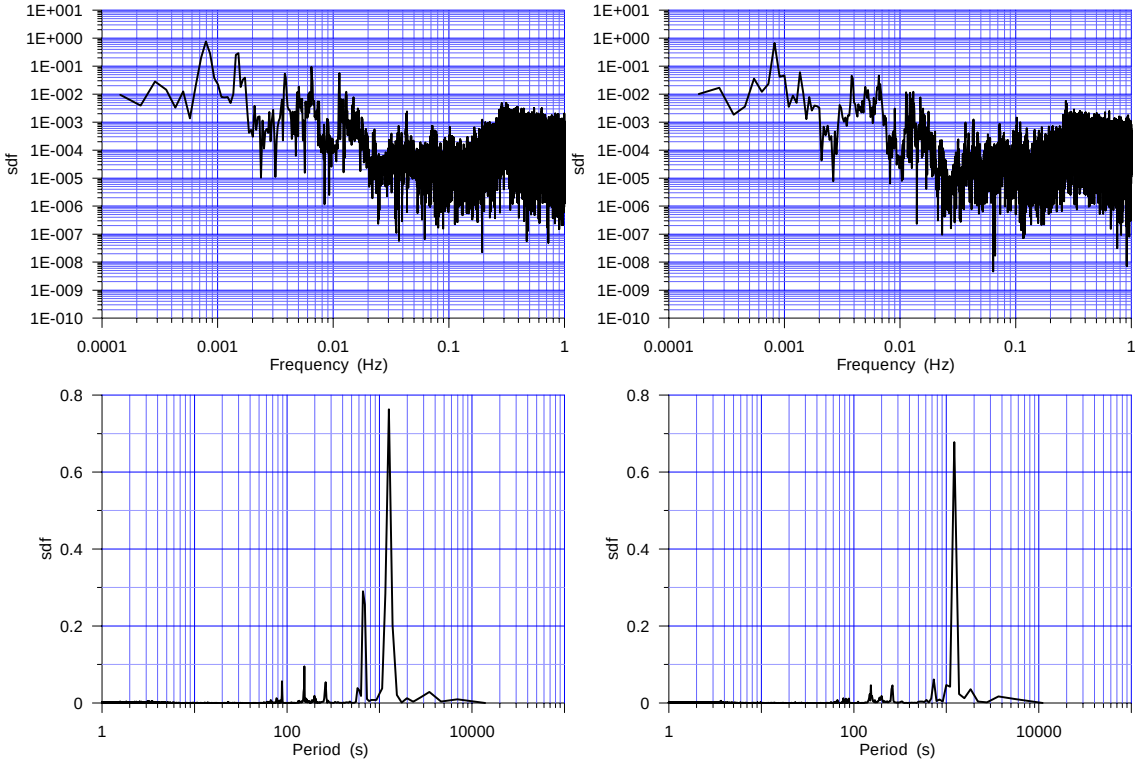



(a) 20060405 15:00 (b) 20060405 19:10

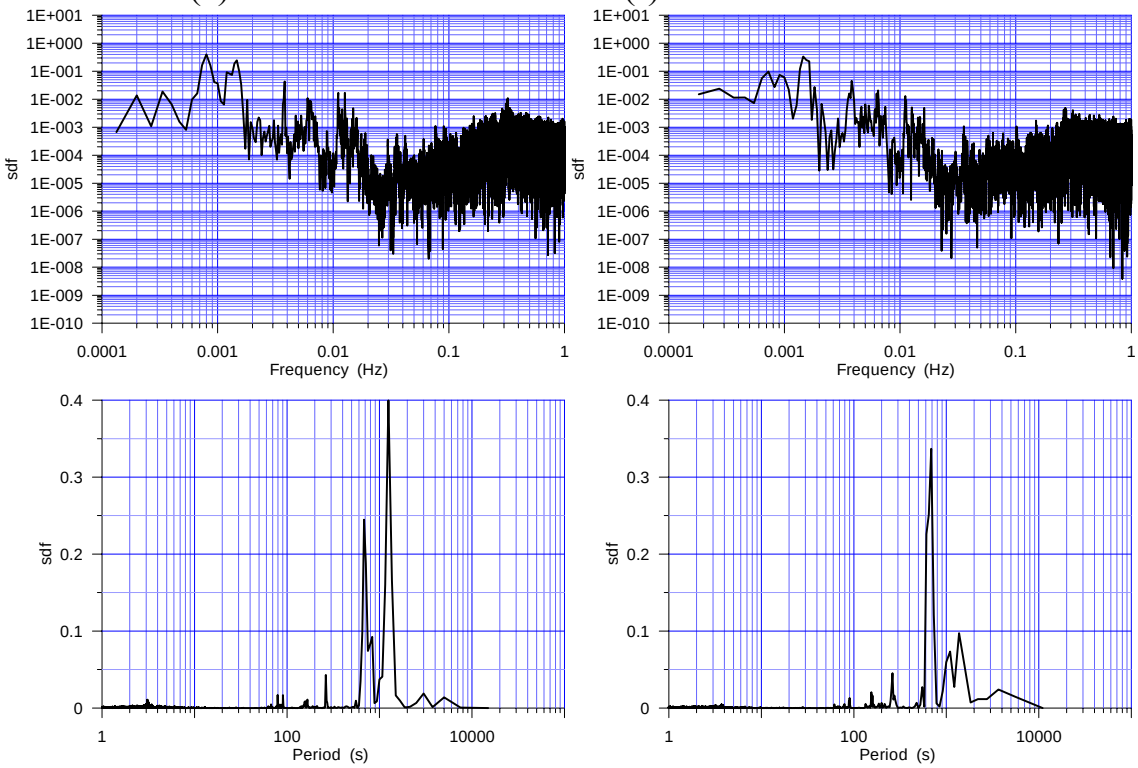



(c) 20060405 23:20 (d) 20060406 03:30

**圖 3.28 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜**

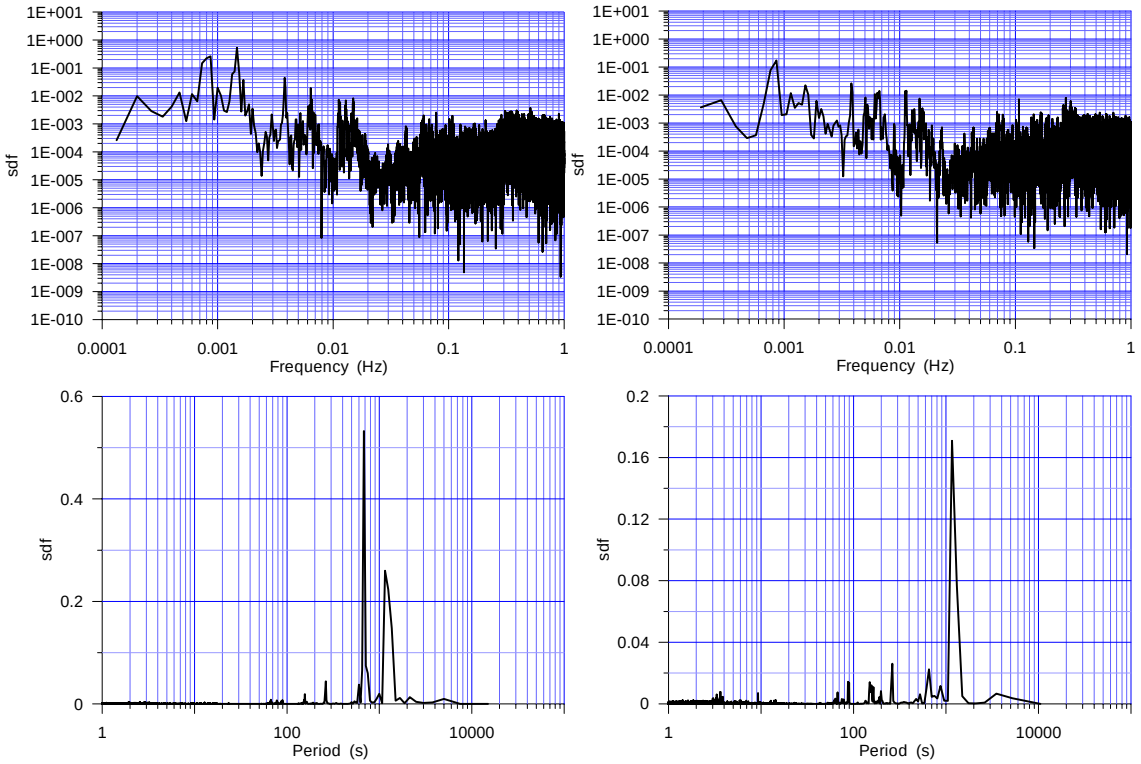



(e) 20060406 07:40　　(f) 20060406 11:50

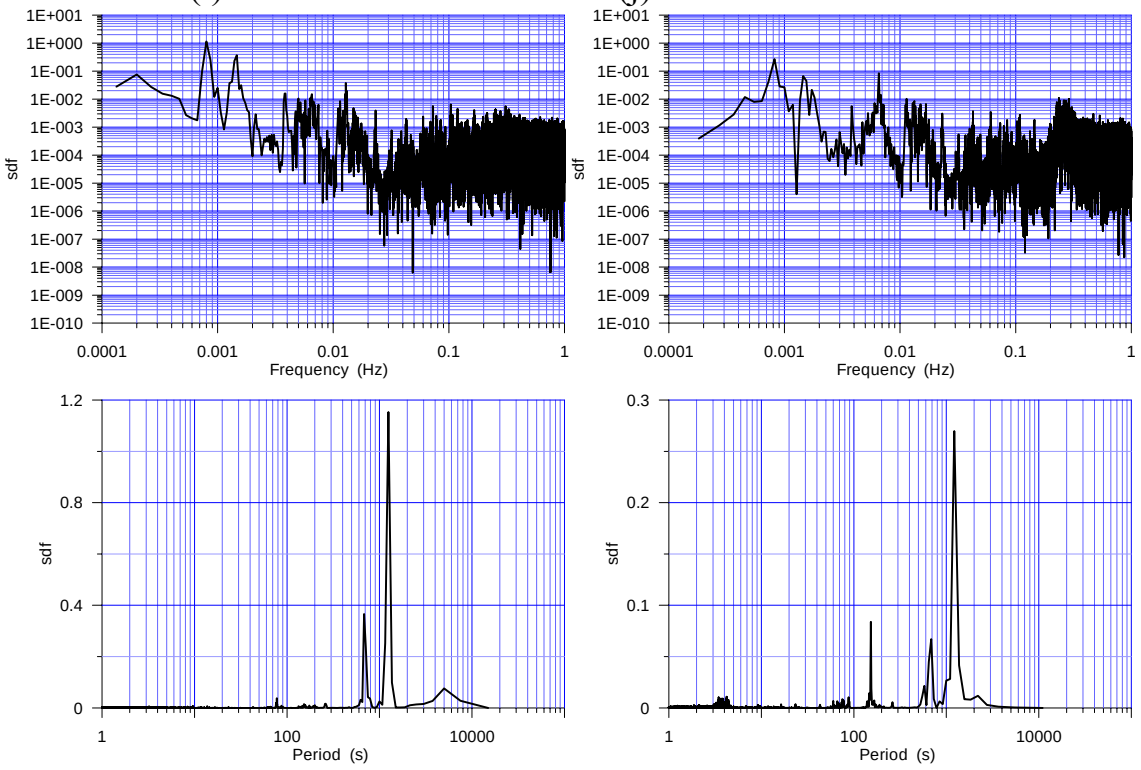



(g) 20060406 16:00　　(h) 20060406 20:10

**圖 3.28(續) 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜**

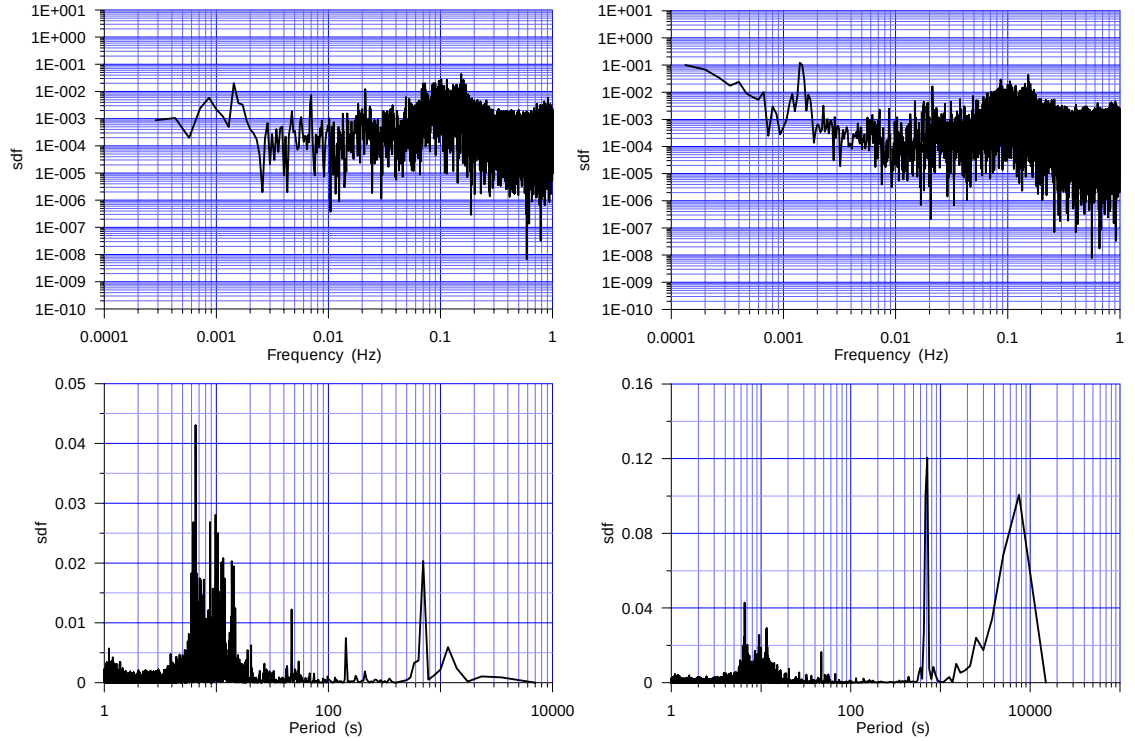



(i) 20060407 00:20　　(j) 20060407 04:30

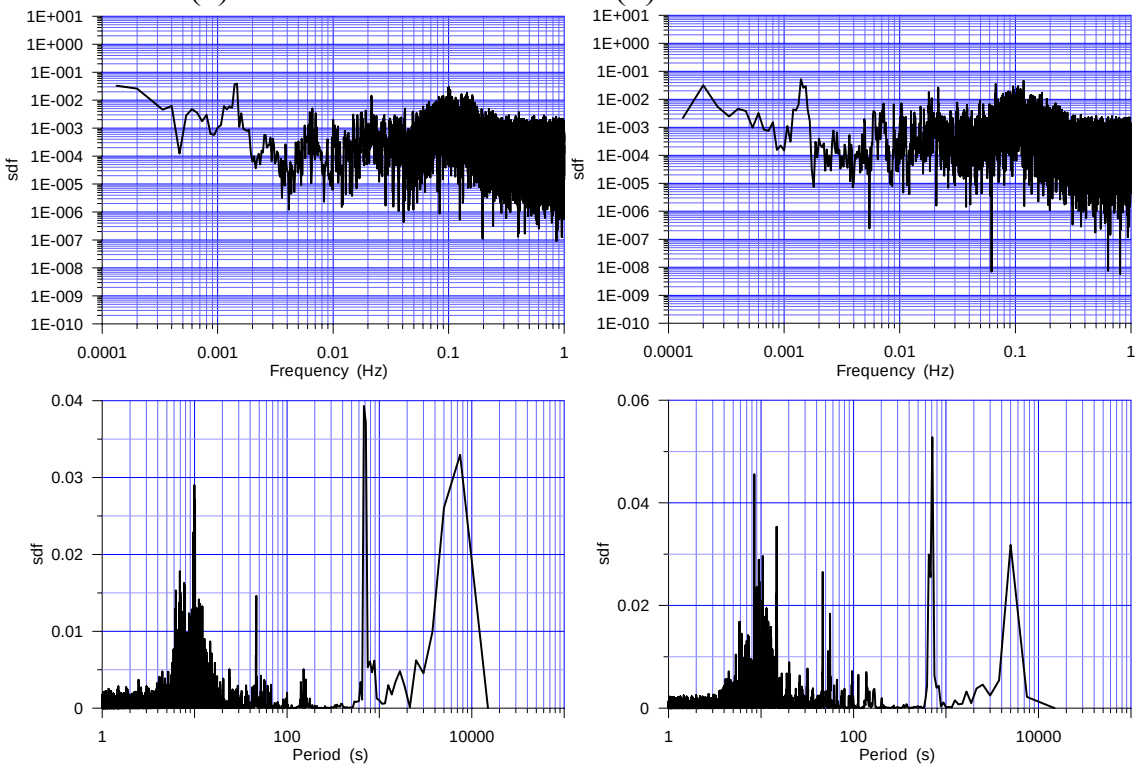



(k) 20060407 08:40　　(l) 20060407 12:50

**圖 3.28(續) 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜**

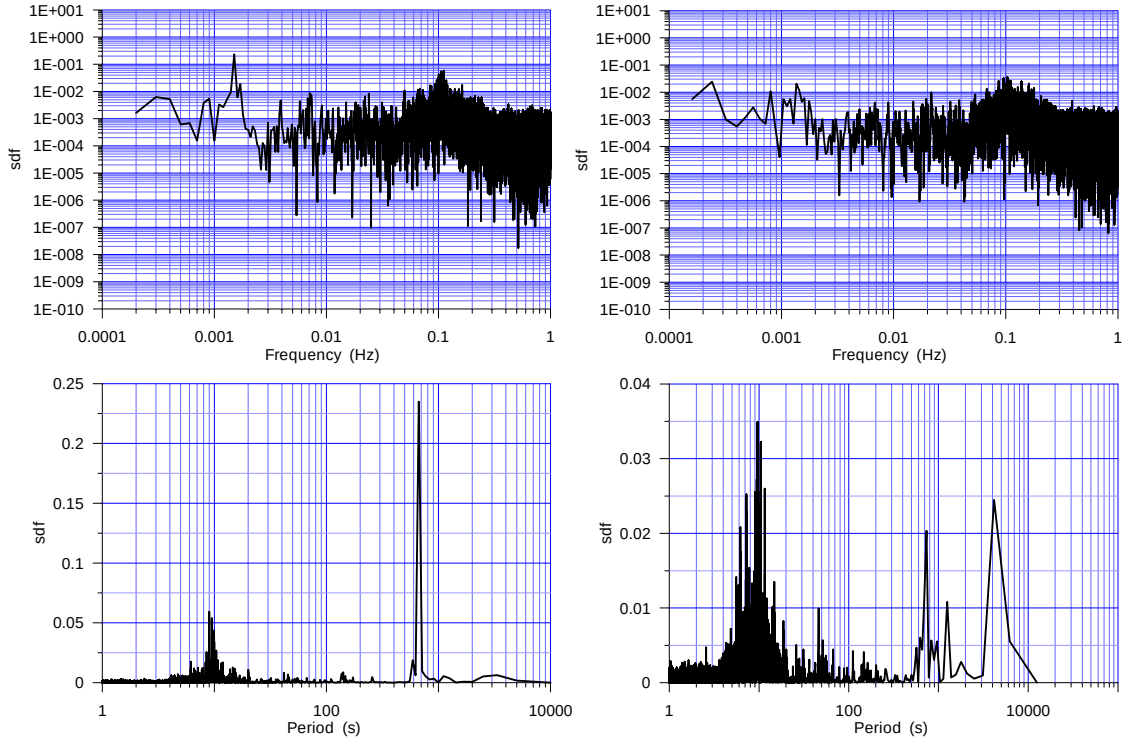



(a) 20060405 15:00 (b) 20060405 19:10




(c) 20060405 23:20 (d) 20060406 03:30

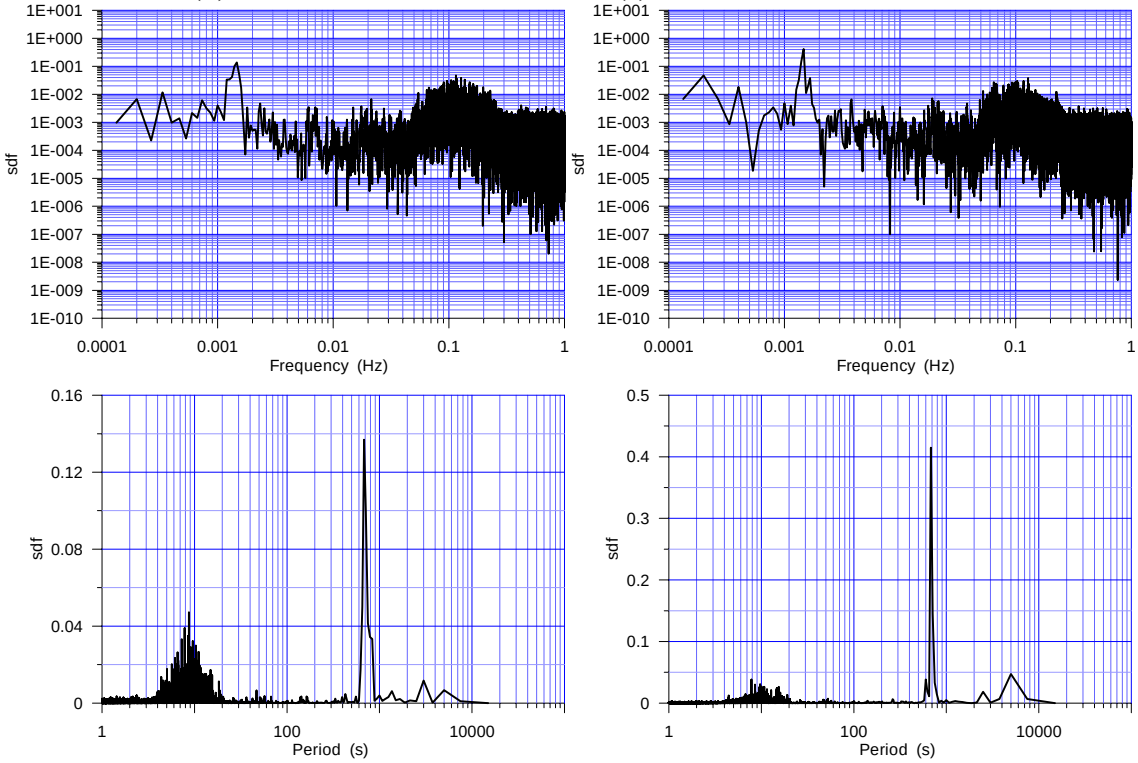
**圖 3.29 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜**




(e) 20060406 07:40




(f) 20060406 11:50

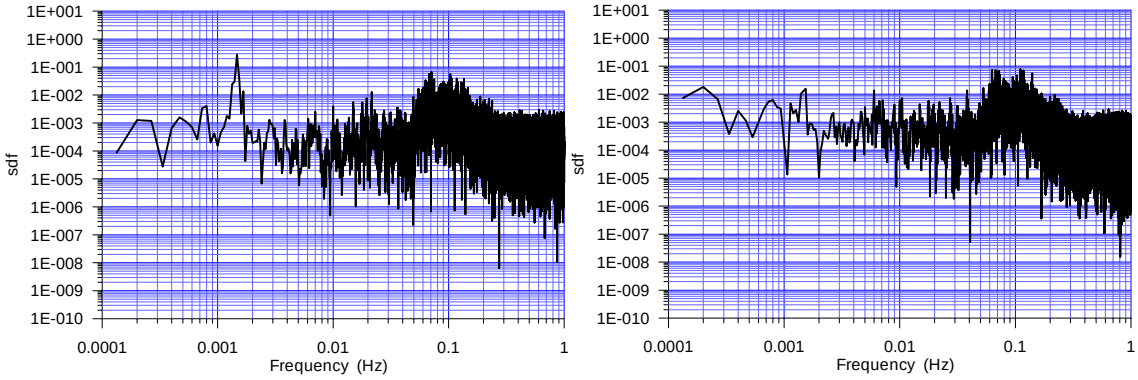


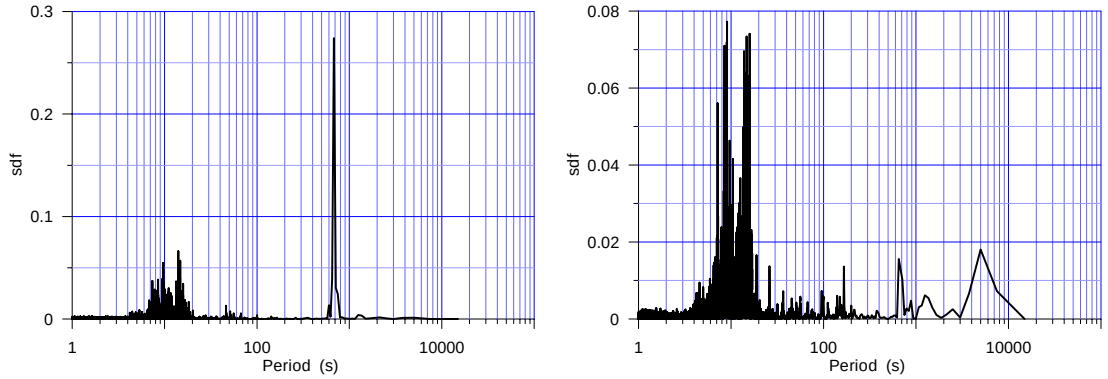

(g) 20060406 16:00




(h) 20060406 20:10

**圖 3.29(續) 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜**

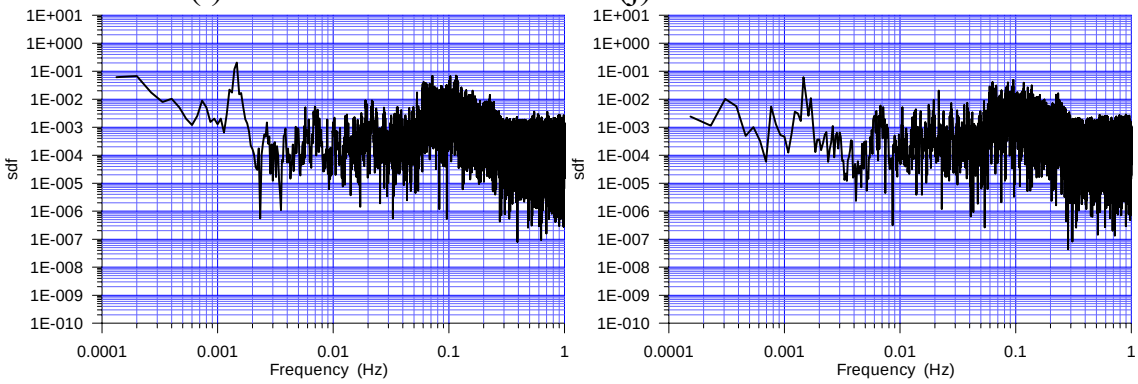


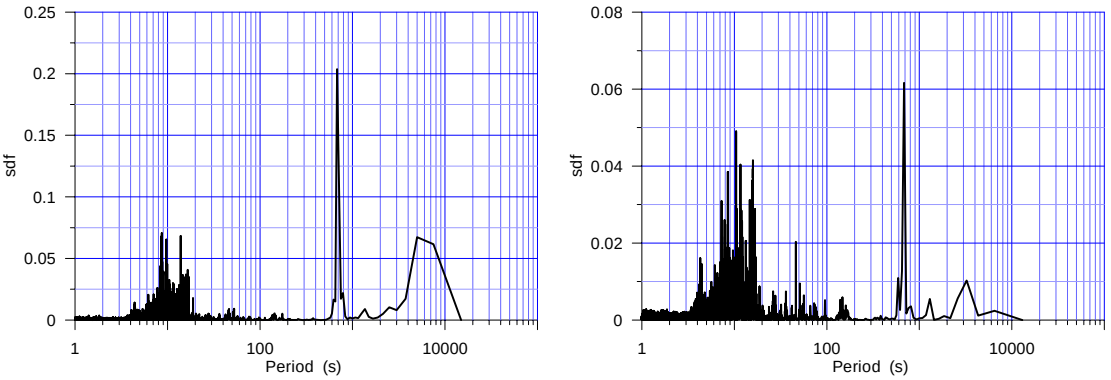




(i) 20060407 00:20




(j) 20060407 04:30



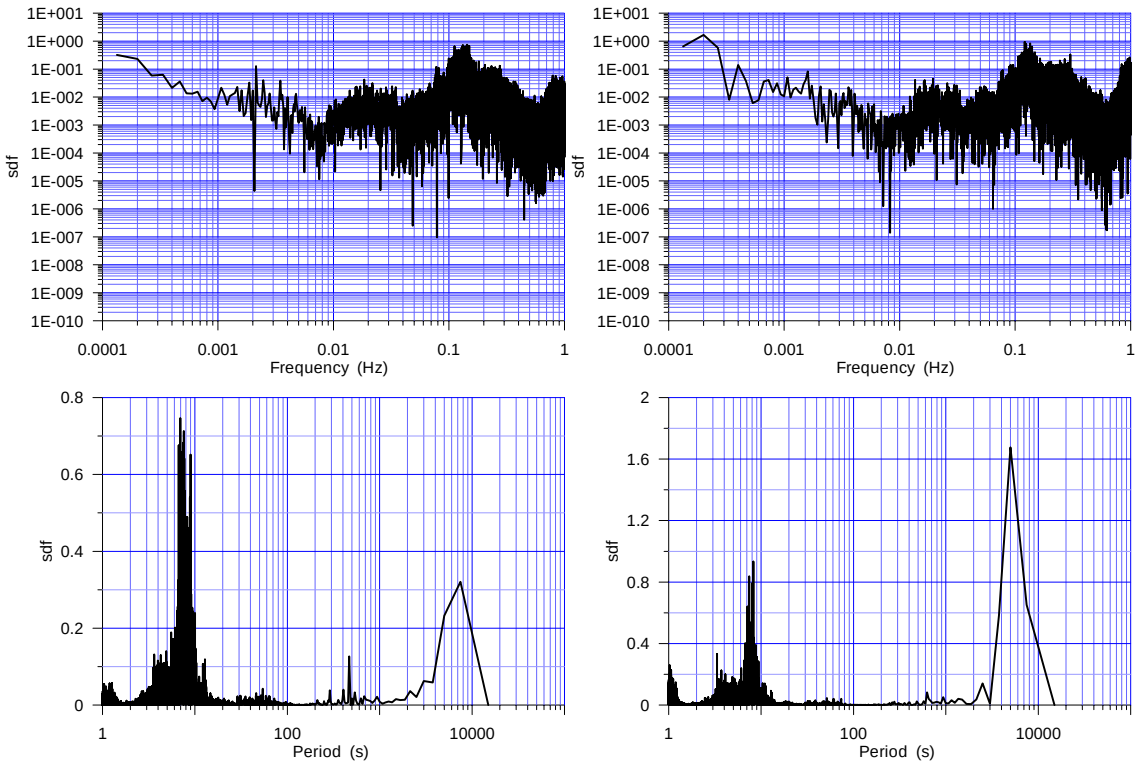




(k) 20060407 08:40

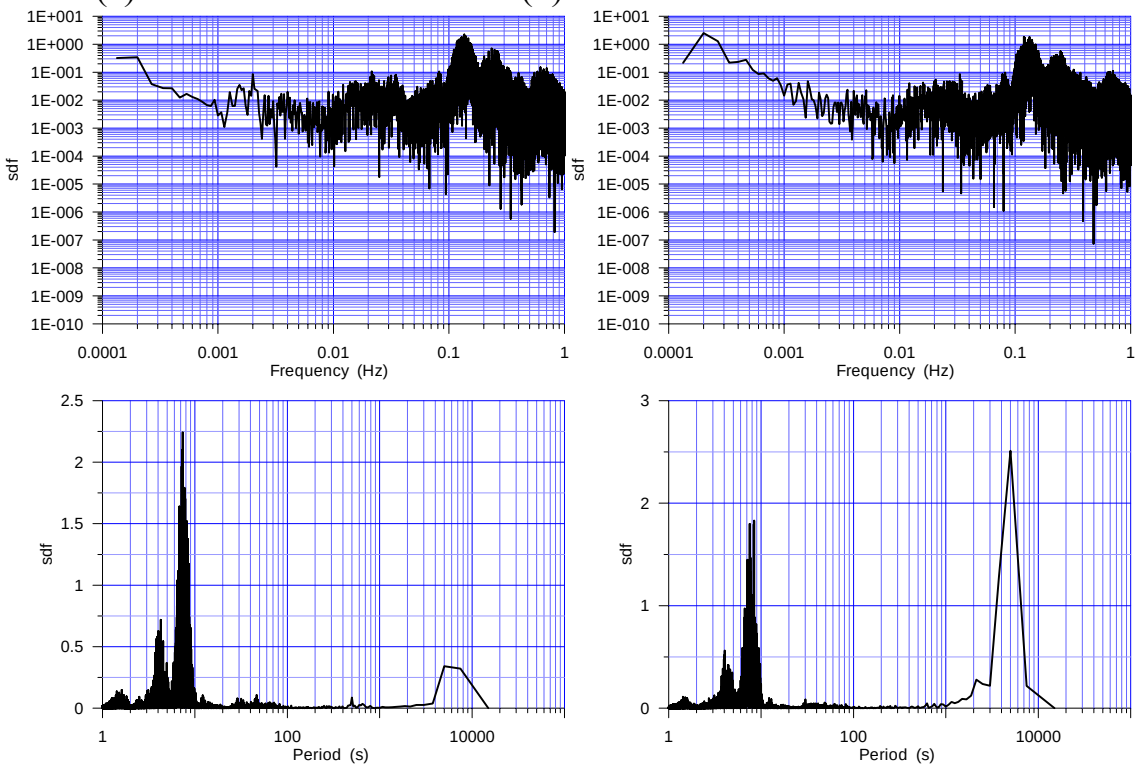



(l) 20060407 12:50

**圖 3.29(續) 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜**

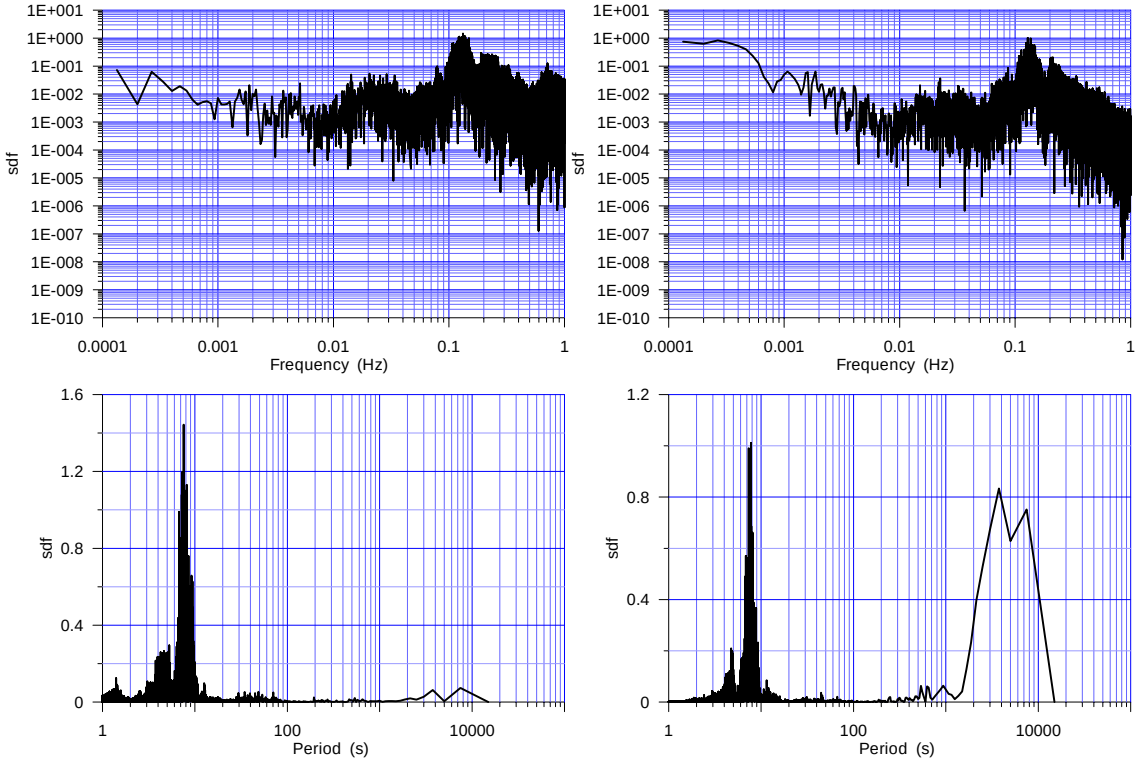



(a) 20060610 06:00　　(b) 20060610 10:10

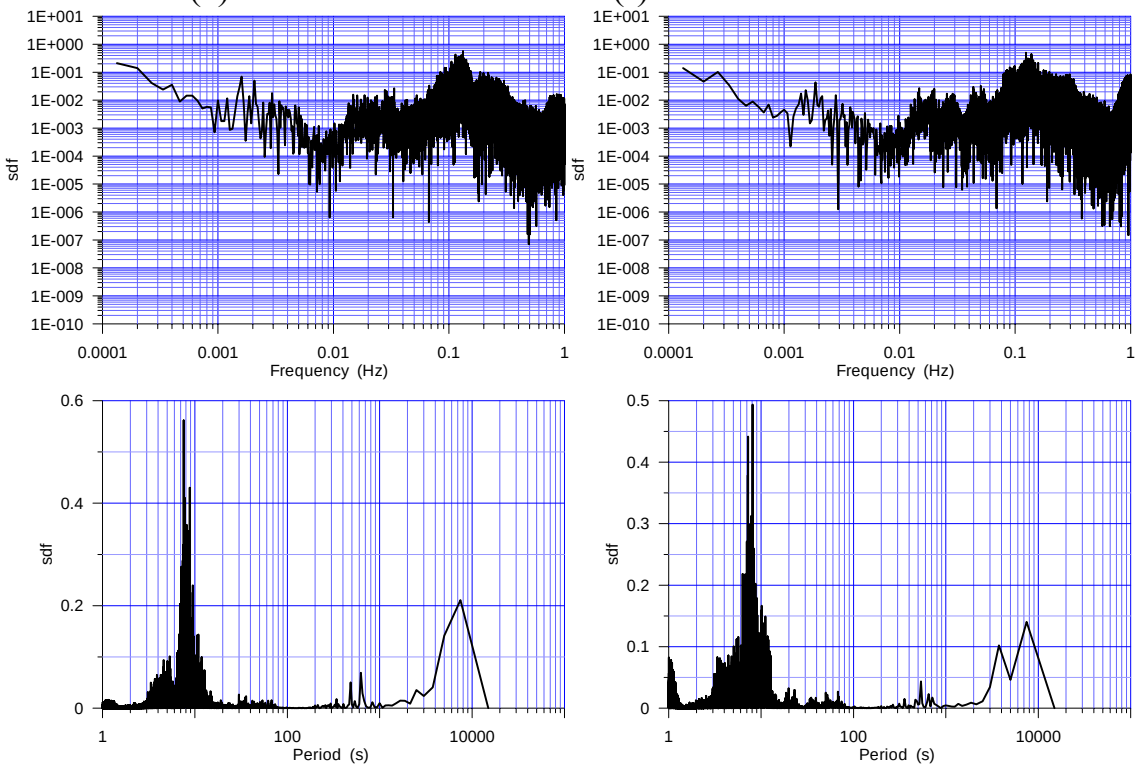



(c) 20060610 14:20　　(d) 20060610 18:30

**圖 3.30 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜**




(e) 20060611 22:40　　(f) 20060611 02:50




(g) 20060612 07:00　　(h) 20060612 11:10

**圖 3.30(續) 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜**

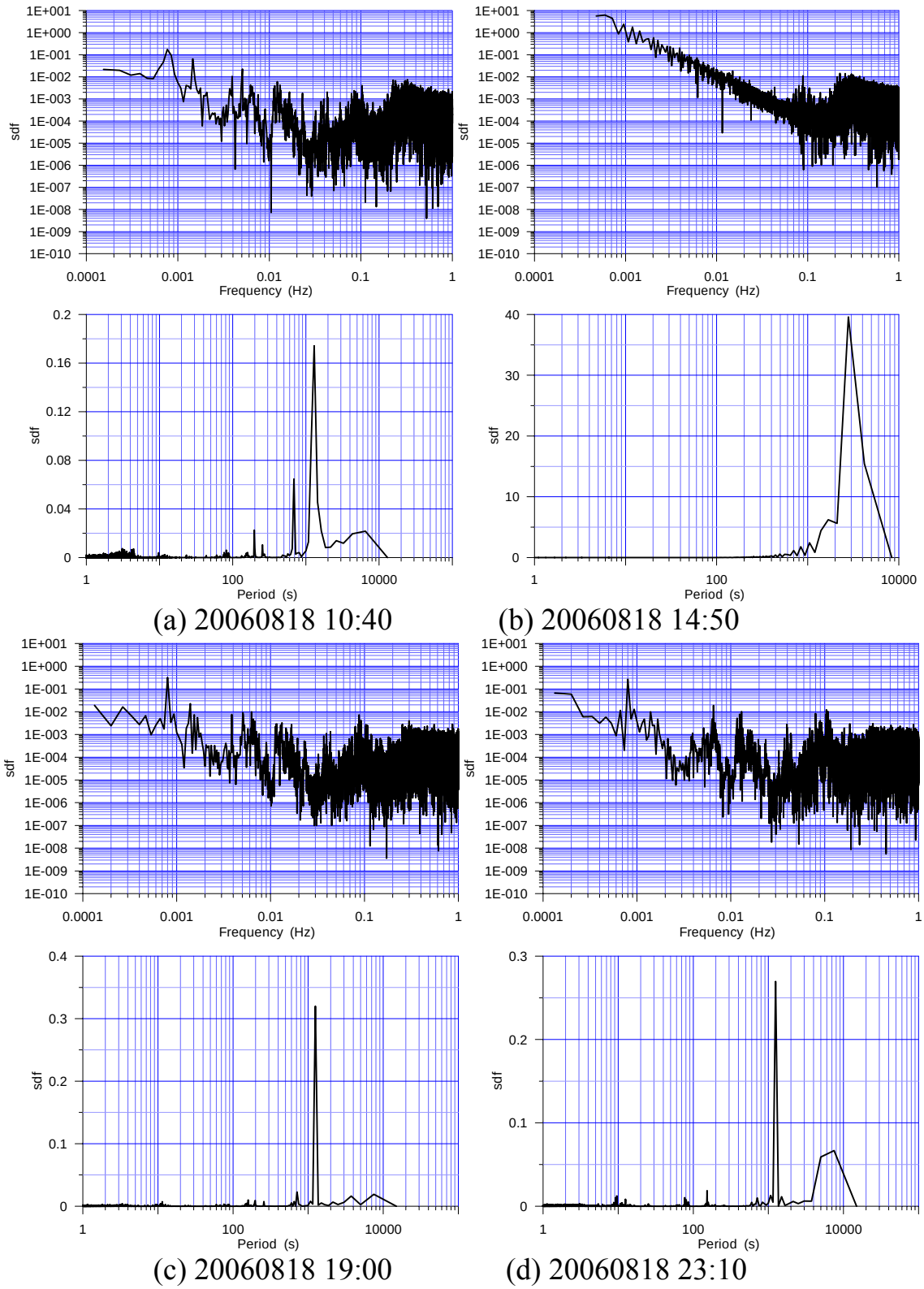
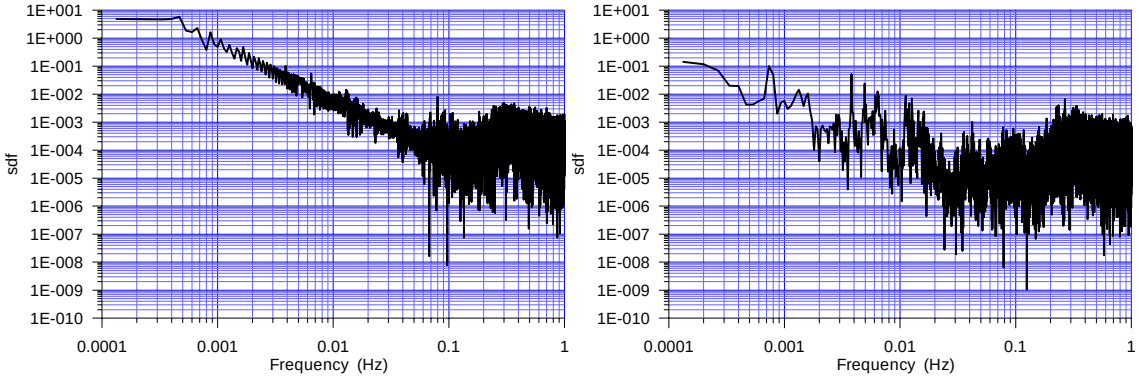
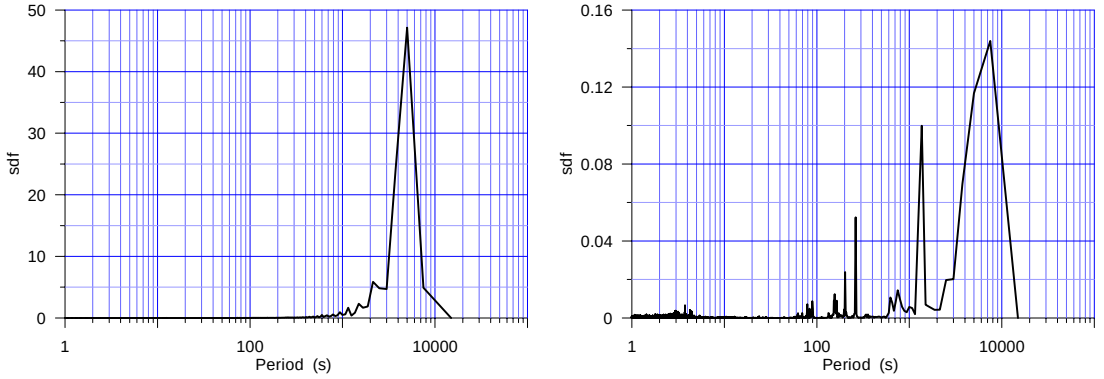
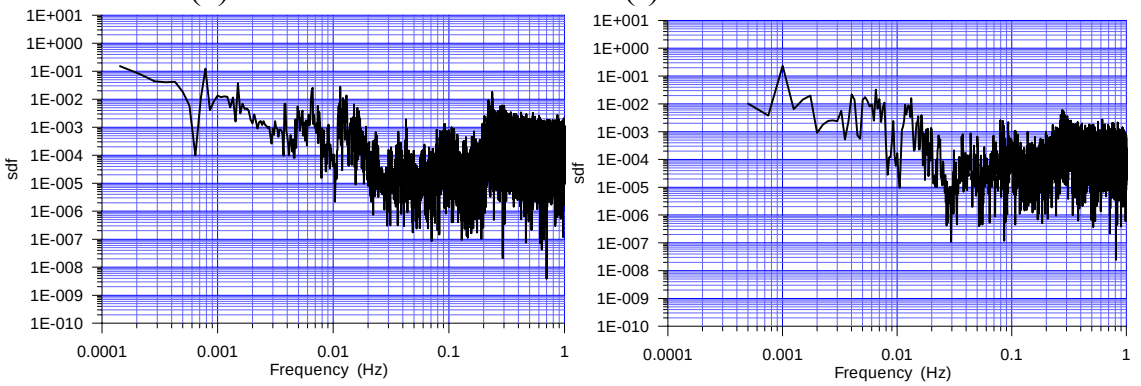


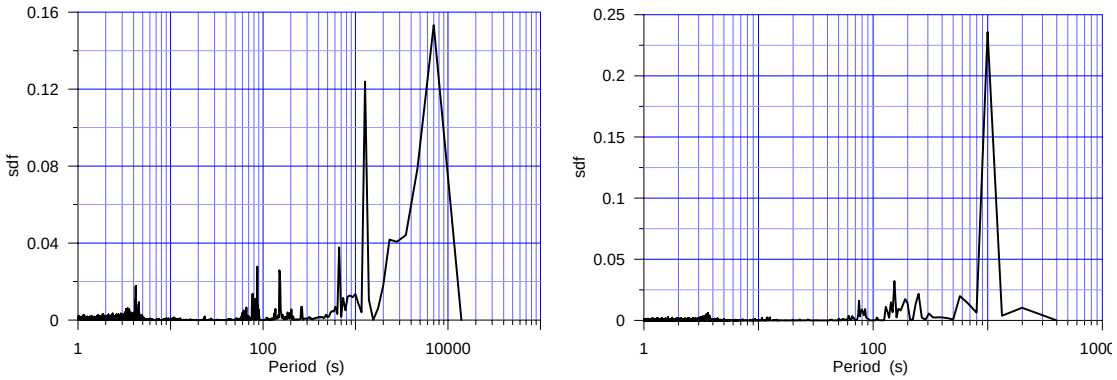

**圖 3.31 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜**



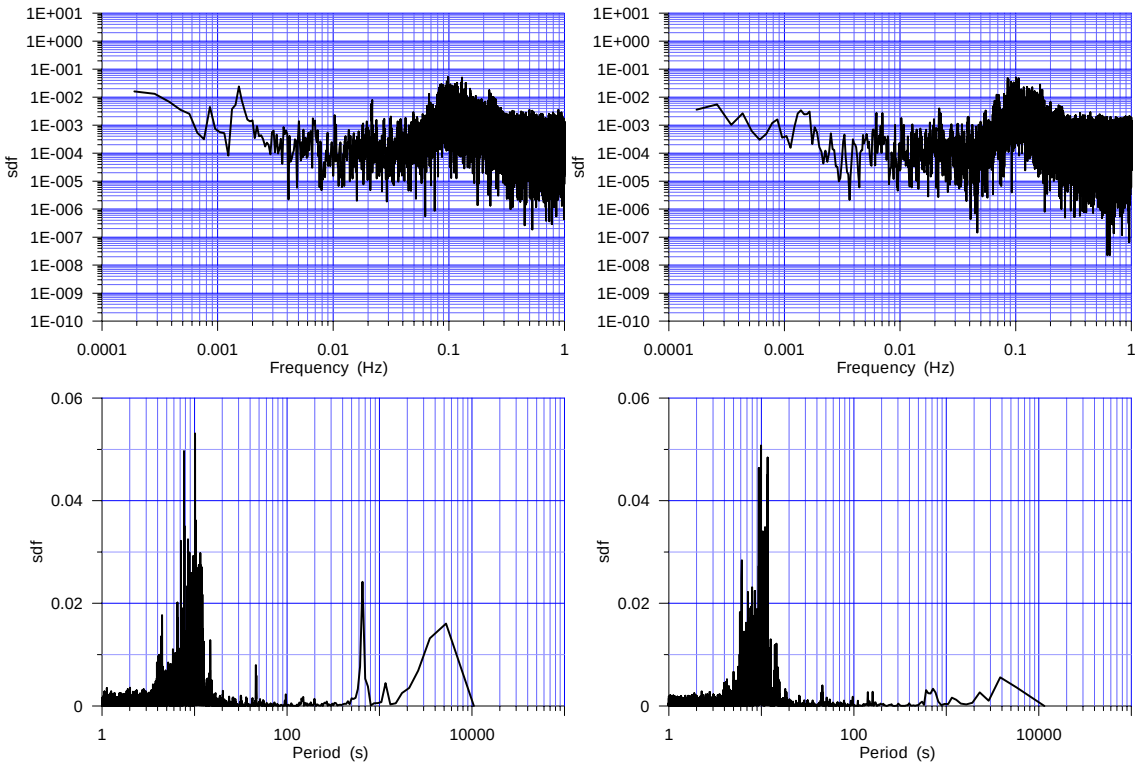

(e) 20060819 03:20 (f) 20060819 07:30



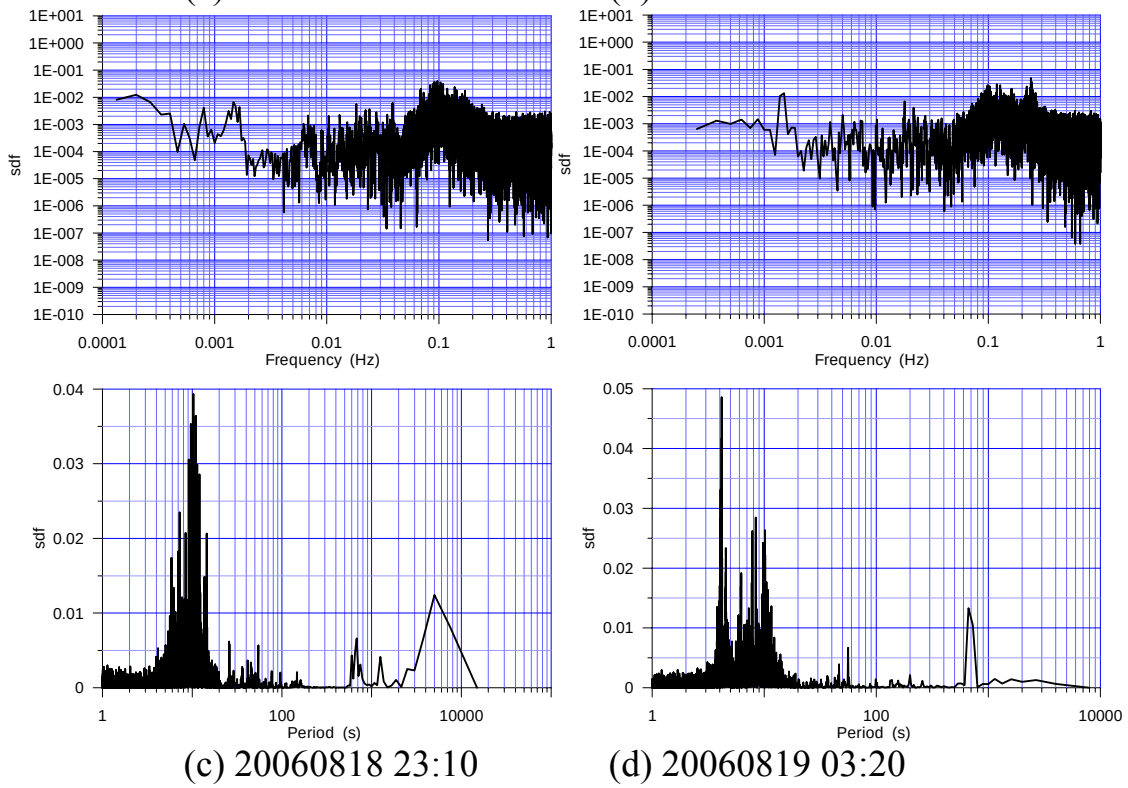




(g) 20060819 11:40 (h) 20060819 15:50

**圖 3.31(續) 花蓮港內港水位觀測之分析頻譜**

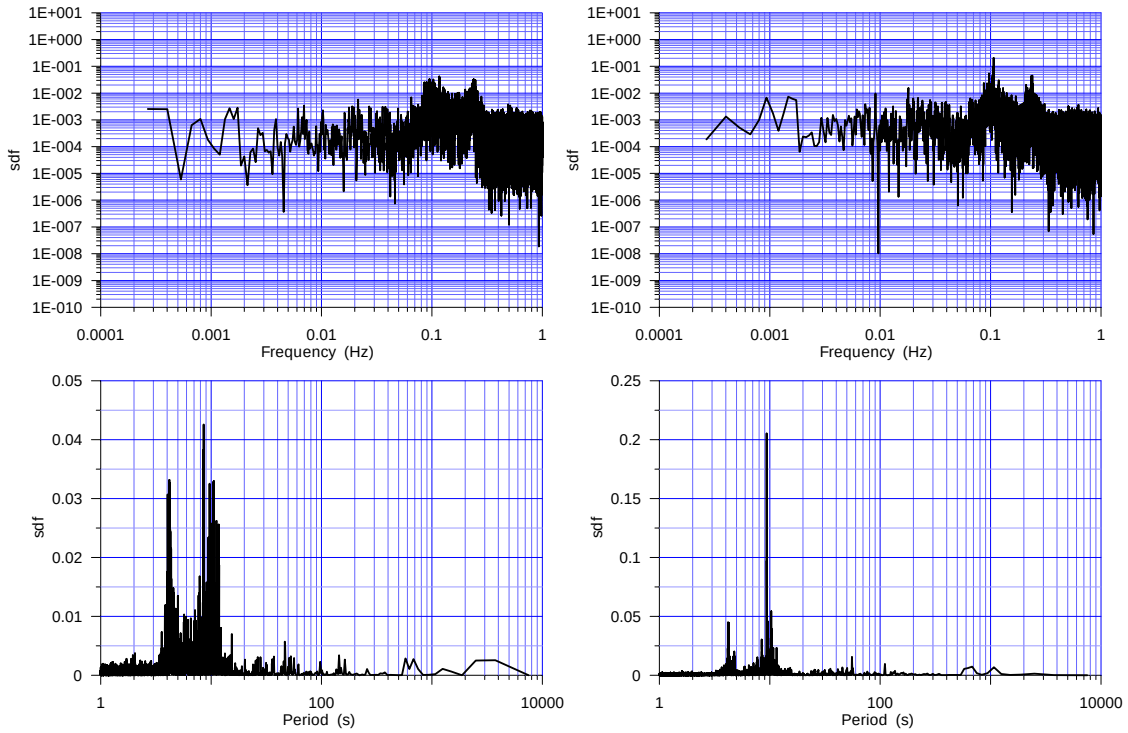



(a) 20060818 10:40　　(b) 20060818 19:00



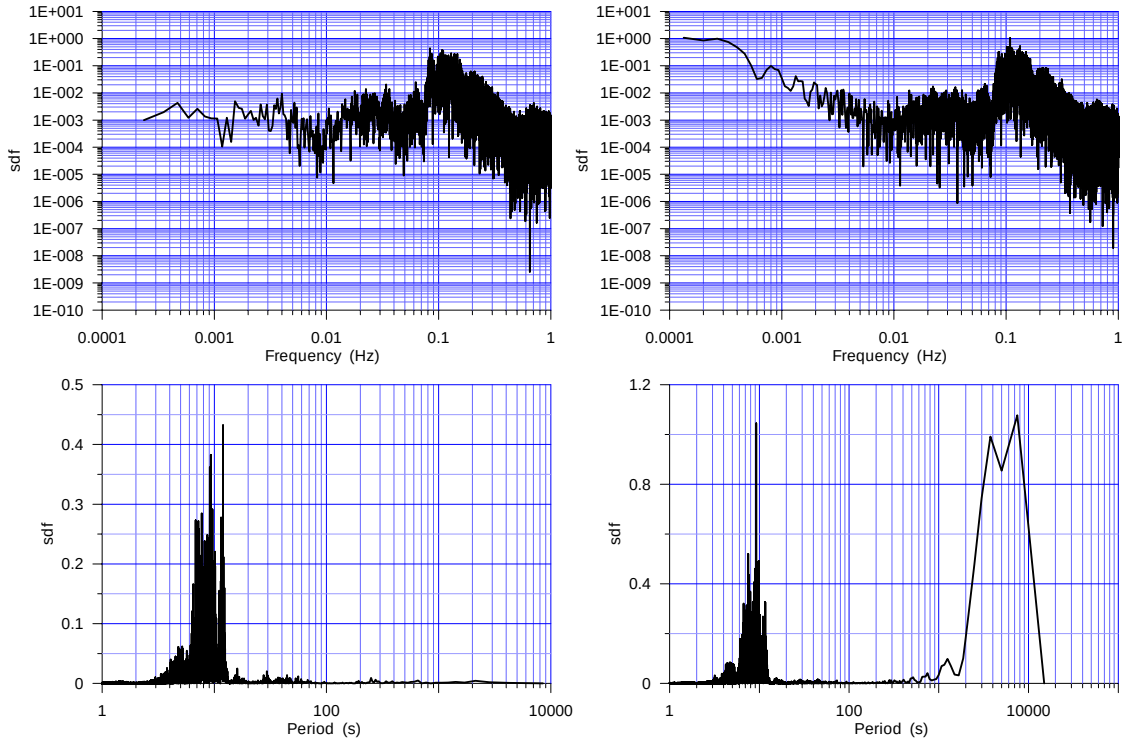

(c) 20060818 23:10　　(d) 20060819 03:20

**圖 3.32 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜**



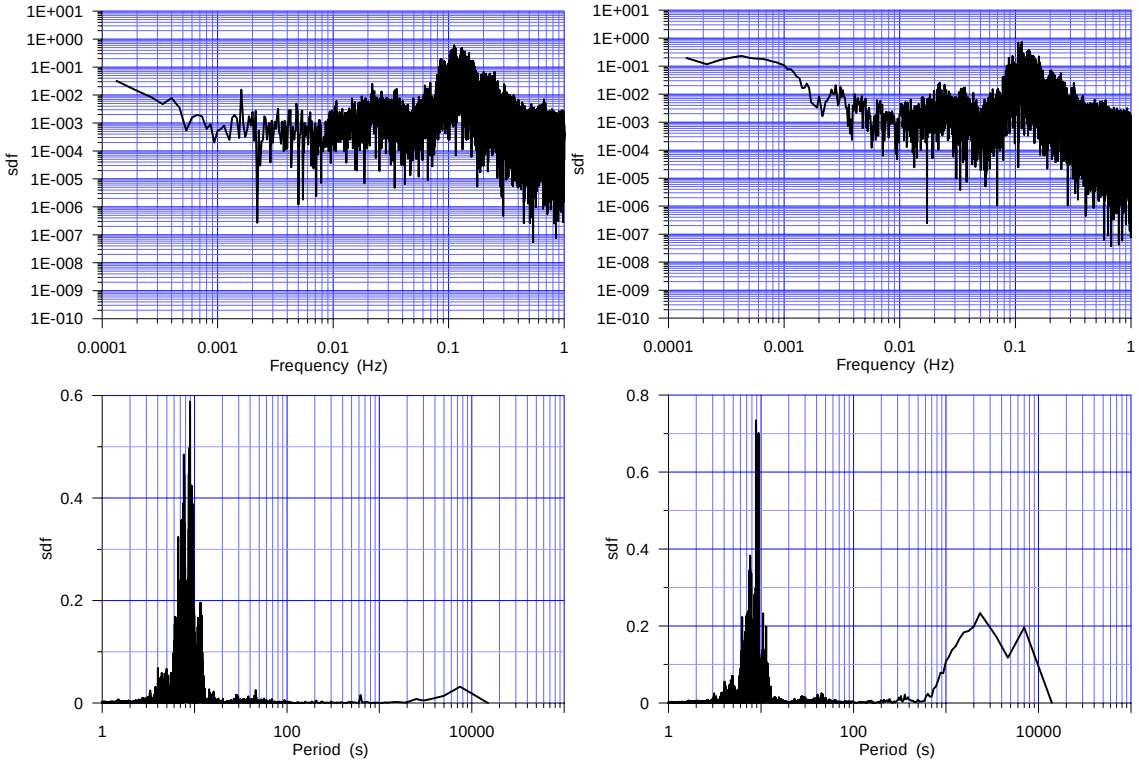

(e) 20060819 07:30　　(f) 20060819 11:40

**圖 3.32(續) 花蓮港外港水位觀測之分析頻譜**

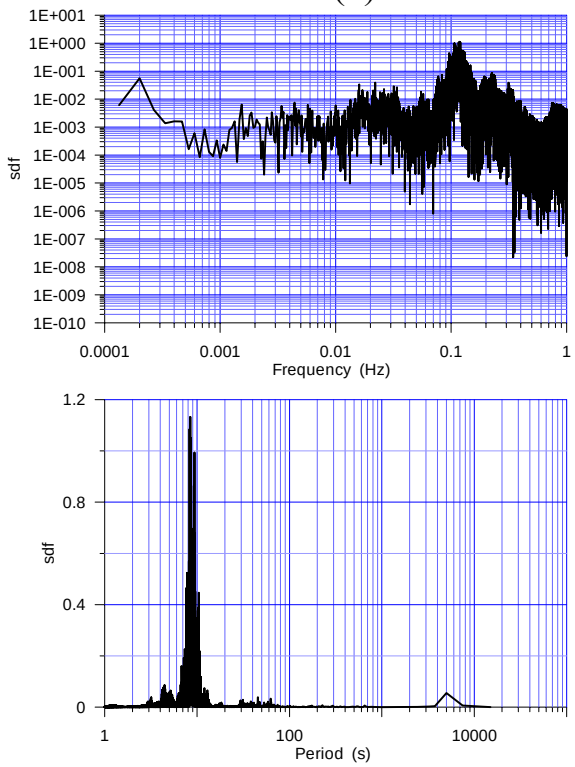



(a) 20060818 10:40　　(b) 20060818 14:50

**圖 3.33 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜**

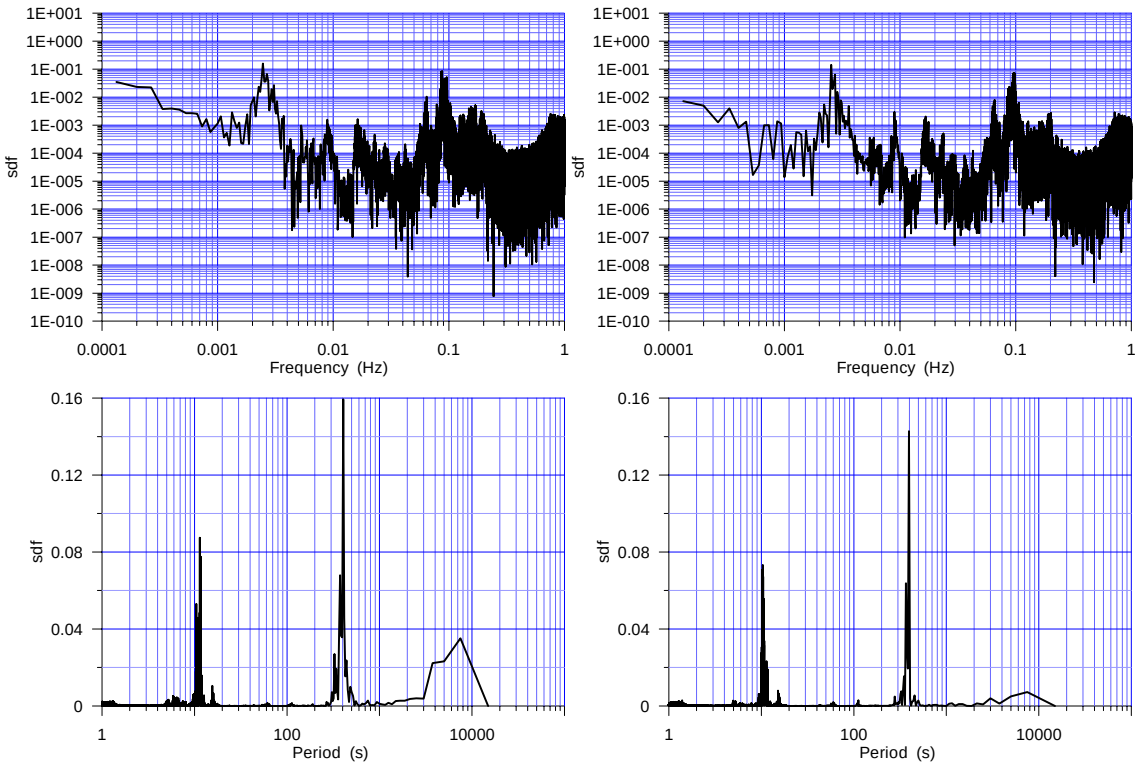



(c) 20060818 19:00　　(d) 20060818 23:10

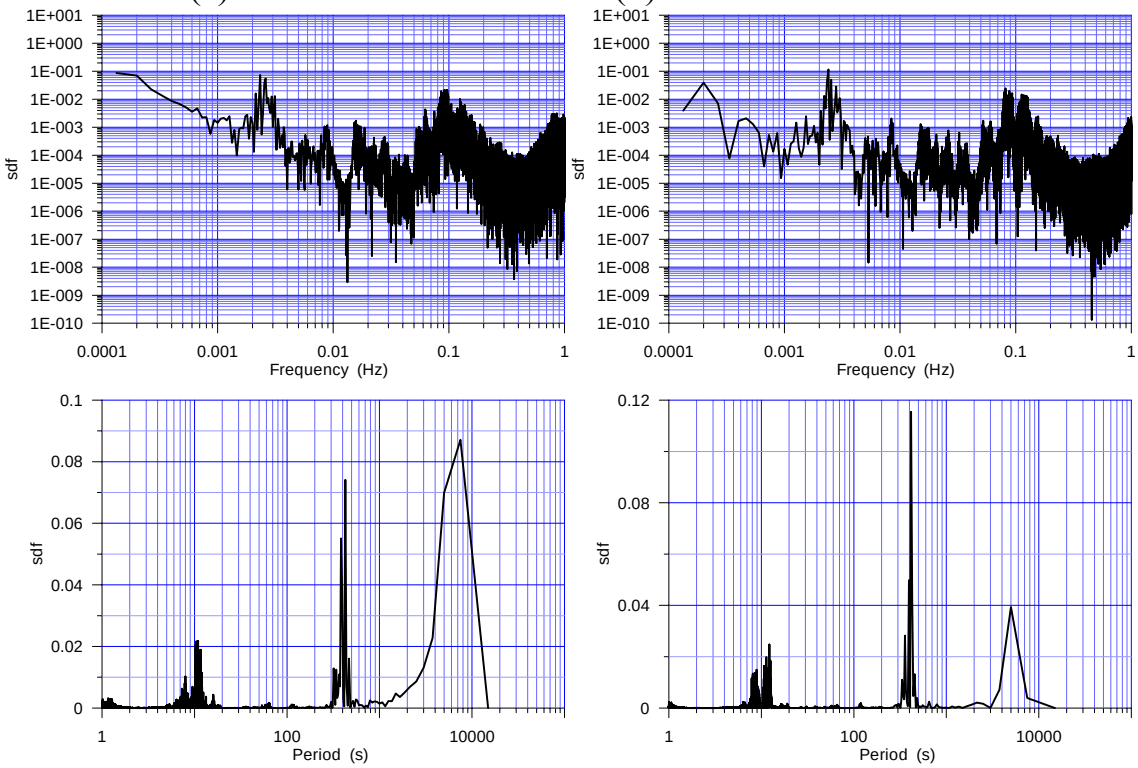



(e) 20060819 03:20

**圖 3.33(續) 鹽寮漁港水位觀測之分析頻譜**

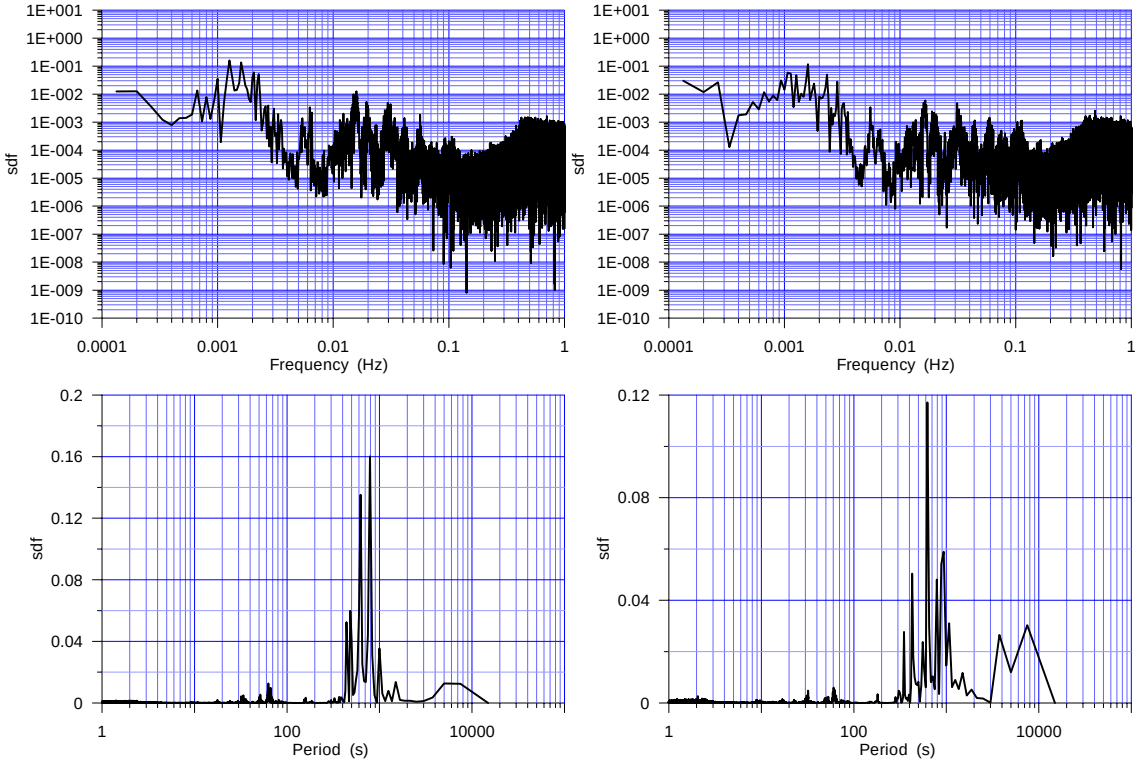



(a) 20060818 14:50　　(b) 20060818 19:00




(c) 20060819 03:20　　(d) 20060819 07:30

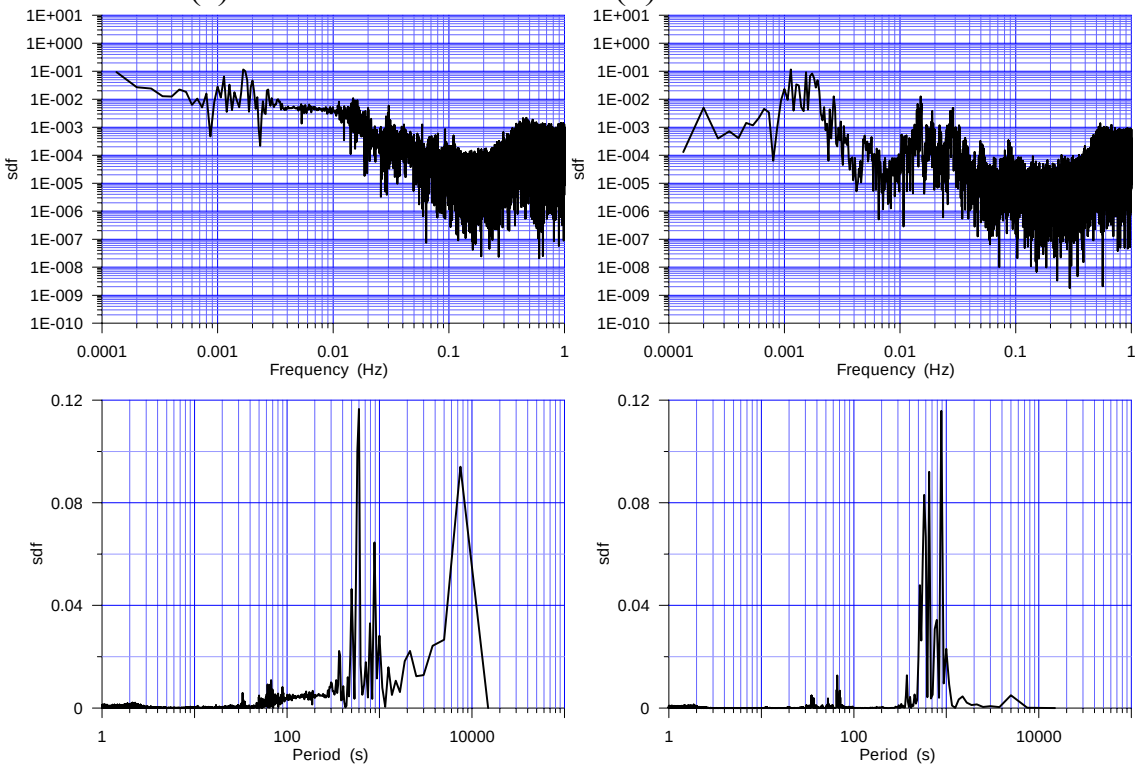
**圖 3.34 石梯漁港水位觀測之分析頻譜**




(a) 20060818 19:00




(b) 20060818 23:10




(c) 20060819 03:20




(d) 20060819 07:30

**圖 3.35 金樽漁港水位觀測之分析頻譜**

## 3.6 龜山島南側海域及花蓮鹽寮漁港之波浪觀測比較

為了進一步瞭解不同地點於同時期之海洋波浪成分的共通性，以期能釐清長週期波動存在的情形。本節收集了龜山島南側海域以及花蓮鹽寮漁港的波浪觀測資料，並進行相關的統計分析及比較。

龜山島南側海域的波浪觀測資料涵蓋了 2001 年 6 月 16 日至 2001 年 8 月 16 日以及 2001 年 8 月 15 日至 2001 年 10 月 27 日兩個時期。波浪觀測站係設於水深約 13.5 公尺處。波浪之觀測固定每隔兩小時以 2Hz 的取樣頻率連續記錄 20 分鐘的水面變動值。在觀測期間計有奇比颱風(2001/06/22~2001/06/24)、尤特颱風(2001/07/03~2001/07/05)、潭美颱風(2001/07/10~2001/07/11)、玉兔颱風(2001/07/23~2001/07/24)、桃芝颱風(2001/07/28~2001/07/31)、納利颱風(2001/09/11~2001/09/19)、利奇馬颱風(2001/09/23~2001/09/28)及海燕颱風(2001/10/15~ 2001/10/16)等八個颱風通過臺灣附近水域。

花蓮鹽寮漁港的波浪觀測資料涵蓋了 2000 年 12 月至 91 年 2 月期間。波浪觀測架放置的水深約為 14.5 公尺左右。波浪之觀測固定每隔兩小時以 2Hz 的取樣頻率連續記錄 20 分鐘的水面變動值。在觀測期間計有西馬隆颱風(2001/05/11~2001/05/16)奇比颱風(2001/06/22~2001/06/24)、尤特颱風(2001/07/03~2001/07/05)、潭美颱風(2001/07/10~2001/07/11)、玉兔颱風(2001/07/23~2001/07/24)、桃芝颱風(2001/07/28~ 2001/07/31)、納利颱風(2001/09/11~2001/09/19)、利奇馬颱風(2001/09/23~2001/09/28)及海燕颱風(2001/10/15~ 2001/10/16)等九個颱風通過臺灣附近水域。其中，2001 年夏季的波浪觀測期間計有發生玉兔颱風、桃芝颱風、納利颱風及利奇馬颱風等四個颱風。

圖 3.36 至圖 3.39 為龜山島南岸海域波浪觀測在各個颱風時期的特性波高及週期變化時序圖，圖 3.40 至圖 3.45 為花蓮鹽寮漁港於觀測期間內的特性波高及週期的時序變化圖。由圖中可以看出在颱風侵襲期間特性波高和週期都會明顯地加大，此處不再討論。

為瞭解海洋波動的共通性，本節同步擷取兩個觀測點在 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時間的波動頻譜圖，如圖 3.46 所示(圖中左欄為龜山島南岸的分析頻譜；右欄為花蓮鹽寮漁港的分析頻譜)，進行比較。在此期間，2001/9/23 20 時至 2001/9/28 9 時臺灣附近海域曾受到利奇馬颱風侵襲，本段資料正好用來觀察颱風來襲前後的波動變化情形。

就龜山島南岸而言，由於距離利奇馬颱風的行進路徑較遠，受到颱風波浪(包含湧浪)的影響應該較晚。但從圖中可以發現，大約在 2001/9/23 2 時(距離發佈海上颱風警報前 18 小時)週期大於 100 秒的波動能量即開始增加，研判應該是颱風行進過程中的湧浪已先行到達。而值得注意的是，在此之前，也就是 2001/9/21 20 時至 2001/9/23 2 時之間 30 秒以上的長週期波動成分一直存在，只是能量大約是一般重力波的十分之一。之後隨著颱風行徑的漂移，長週期成分時而增大時而減弱，2001/9/24 12 時以後減弱，而在 2001/9/26 0 時至 2001/9/27 16 時再度加大隨後減弱。此種變化應與颱風行進方向與龜山島的夾角有關。

就花蓮鹽寮漁港而言，騎距離利奇馬颱風的行進路徑較近，理應較早受到颱風波浪的影響，但從圖中可看出，其至 2001/9/23 14 時才開始有明顯的能量增加，而且增加的部分是 50 秒至 100 秒間的成分，在 2001/9/23 20 時以後 100 秒以上的成分波能量才明顯增加，但在 2001/9/24 4 時以後就減弱了。其後一直至 2001/9/26 2 時之前所增加的能量都在 50 秒至 100 秒間的成分，以後才又看到 100 秒以上成分波的能量明顯增加。但是在 2001/9/26 18 時以後能量就減到一般重力波的十分之一以下不再增加。

比較兩個觀測站的頻譜圖，我們可以發現：30 秒以上的長週期波動成分從來沒有缺席過。其波動能量在平時不大，振幅可能在 10 公分以下，但在颱風來襲期間，則明顯增加。此一訊息顯示在面對太平洋的臺灣東海岸沿海長週期波動的成分始終存在。花蓮鹽寮漁港可能由於直接面對開闊的太平洋，其波譜呈現較寬頻的情形，反之龜山島南岸則較為窄頻。但兩地皆顯示 30 秒以上的成分波動無法被忽略。

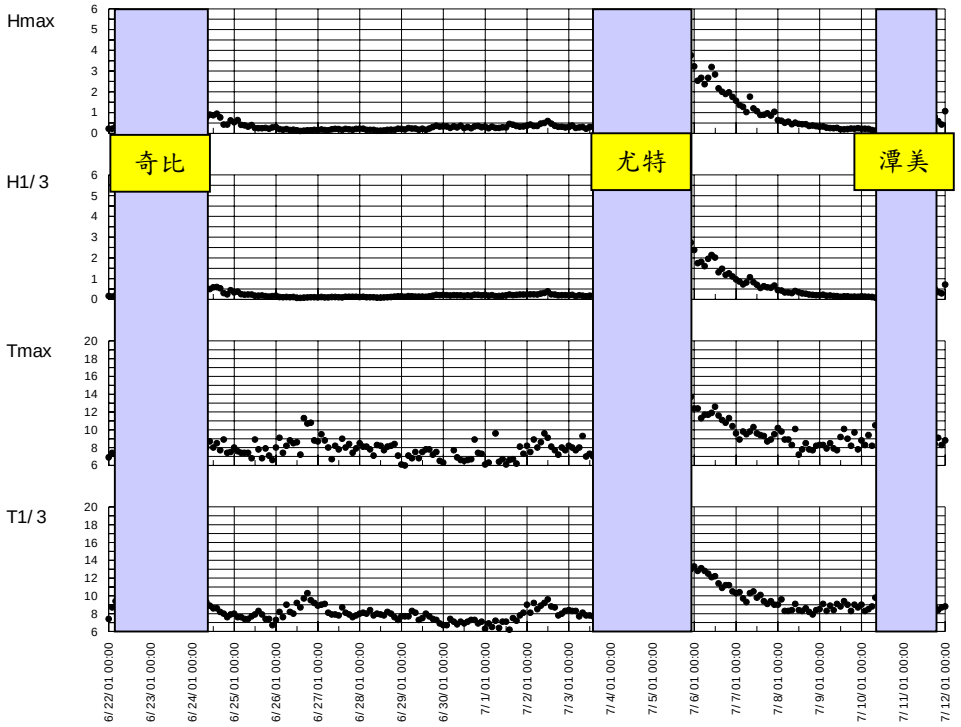



**圖 3.36 龜山島南岸於奇比颱風(2001/06/22~2001/06/24)、尤特颱風(2001/07/03~2001/07/05)及潭美颱風(2001/07/10~2001/07/11)過境時之特性波高及週期變化圖**

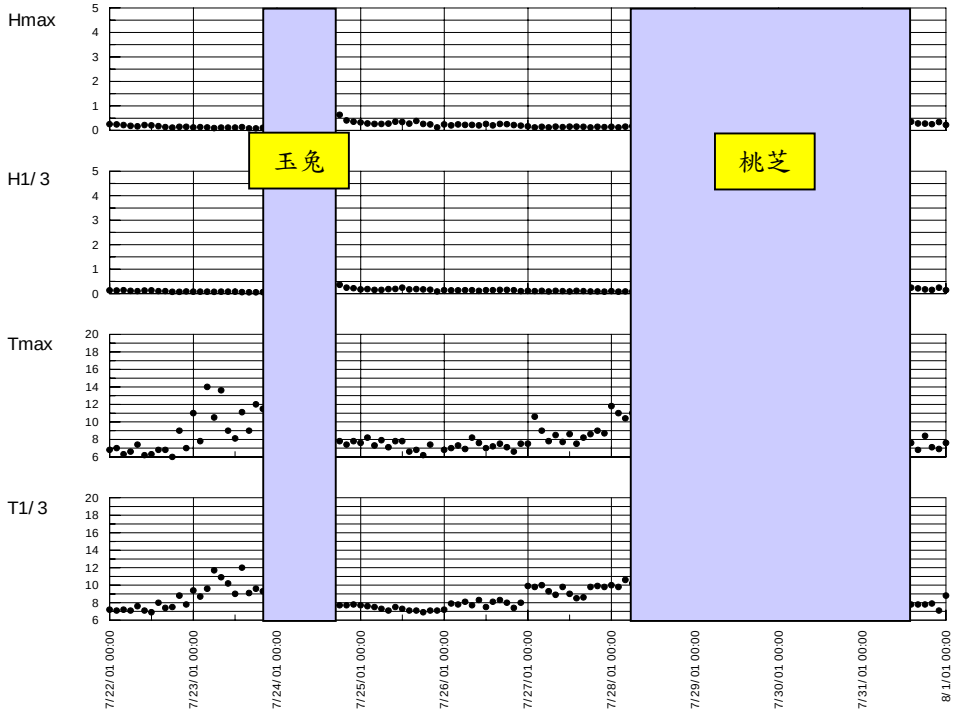



**圖 3.37 龜山島南岸於玉兔颱風(2001/07/23~2001/07/24)及桃芝颱風(2001/07/28 ~2001/07/31)過境時之特性波高及週期變化圖**

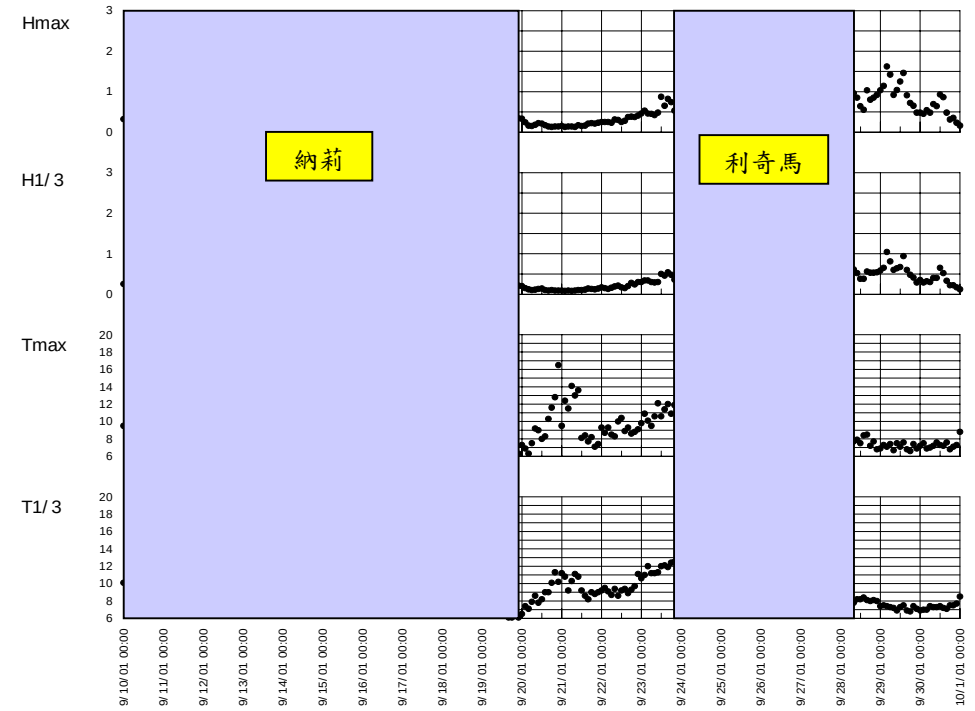



**圖 3.38 龜山島南岸於納利颱風路徑圖(2001/09/11~2001/09/19)及利奇馬颱風路徑圖(2001/09/23~2001/09/28)過境時之特性波高及週期變化圖**

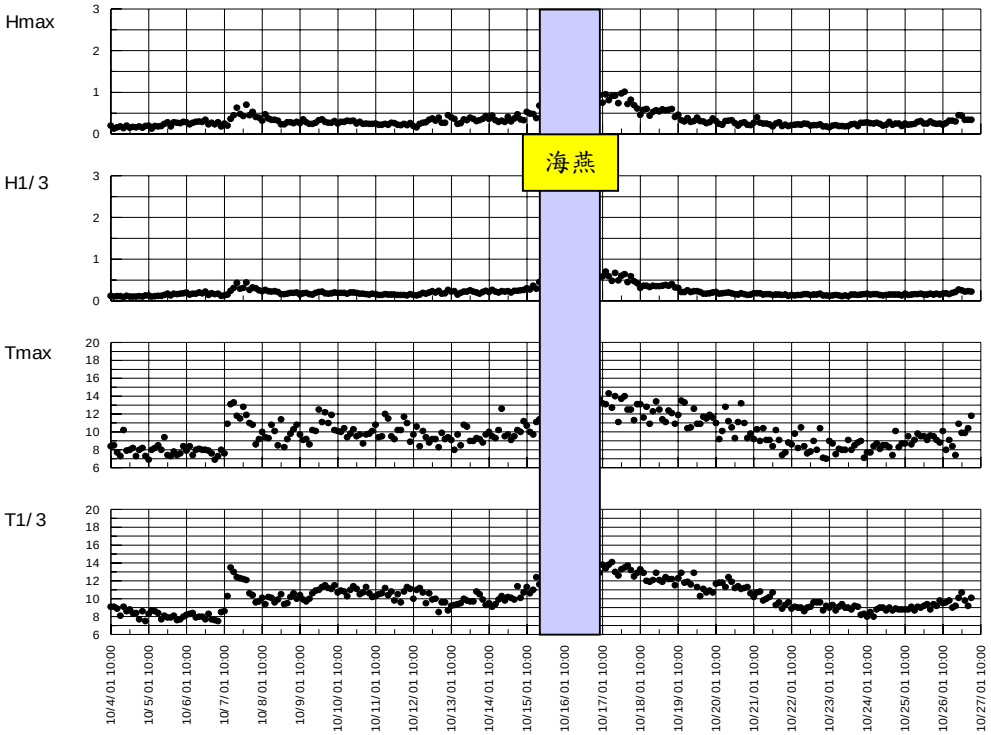



**圖 3.39 龜山島南岸於海燕颱風路徑圖(2001/10/15~2001/10/16)過境時之特性波高及週期變化圖**

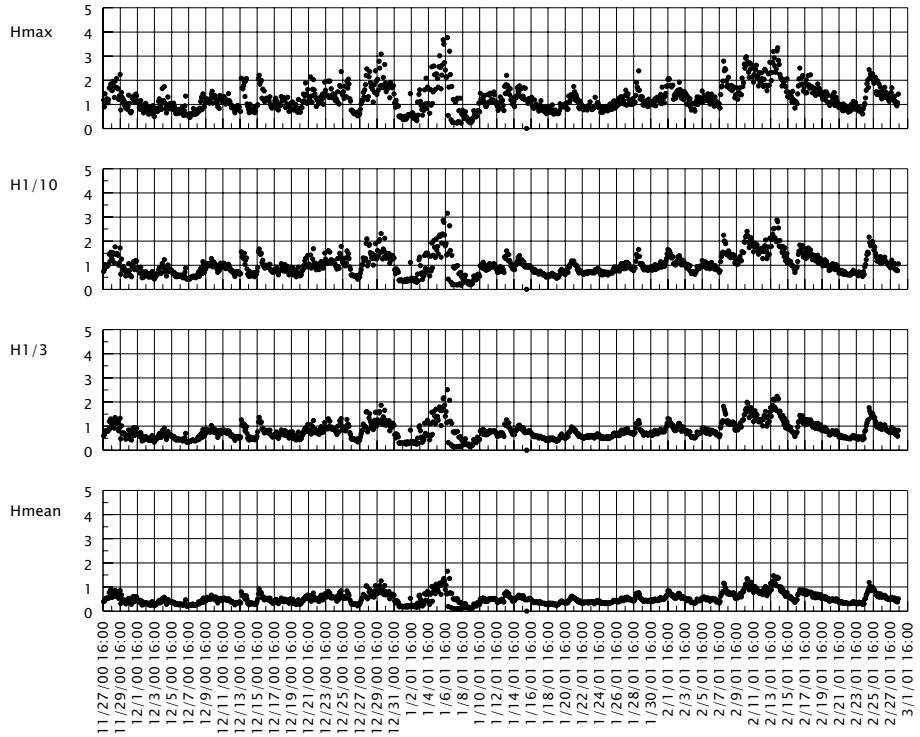



**圖 3.40 花蓮鹽寮漁港於 2000 年 12 月至 2001 年 2 月之特性波高分佈時序圖**

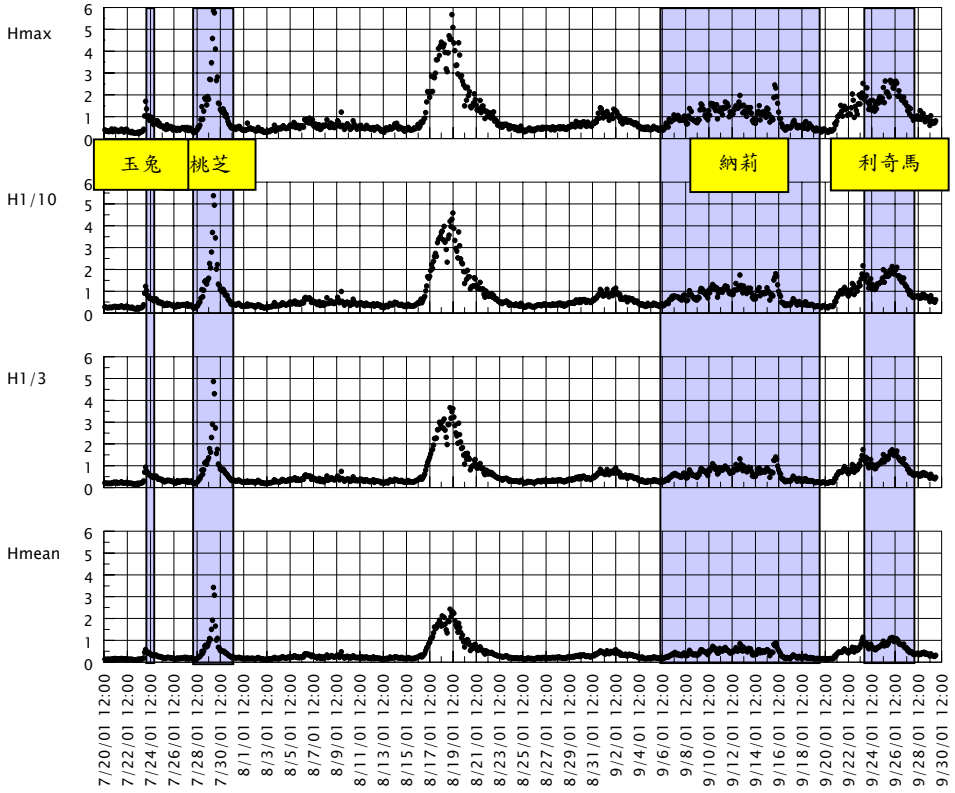



**圖 3.41 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 7 月至 2001 年 9 月之特性波高分佈時序圖**

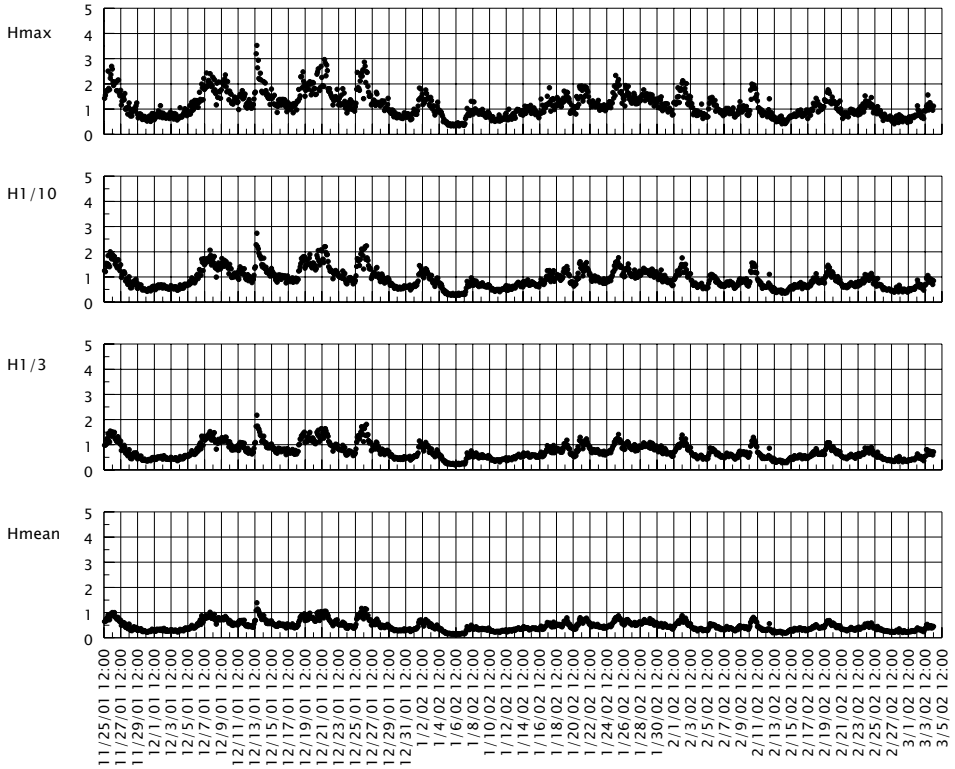



**圖 3.42 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 12 月至 2002 年 2 月之特性波高分佈時序圖**

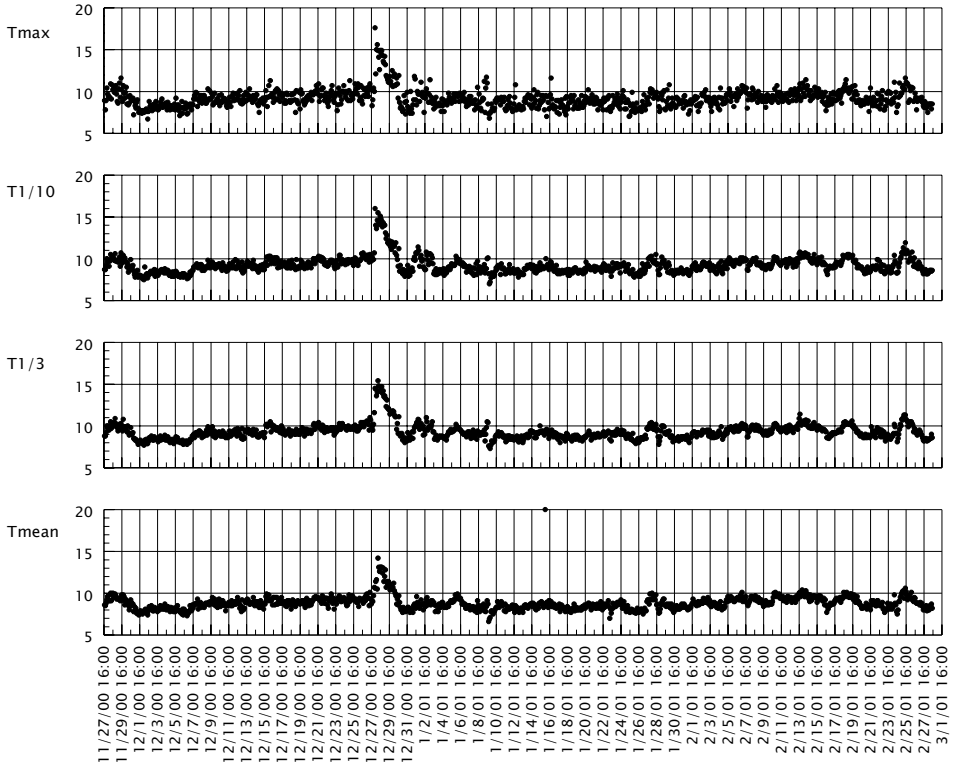



**圖 3.43 花蓮鹽寮漁港於 2000 年 12 月至 2001 年 2 月之波浪特性週期分佈時序圖**

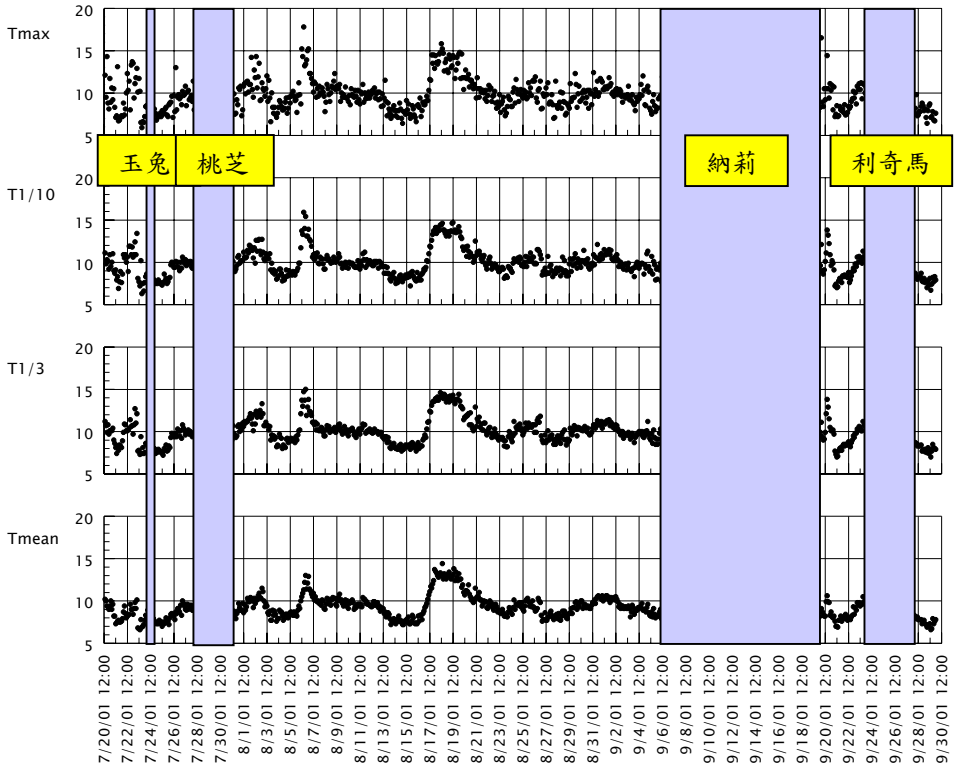



**圖 3.44 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 7 月至 2001 年 9 月之波浪特性週期分佈時序圖**

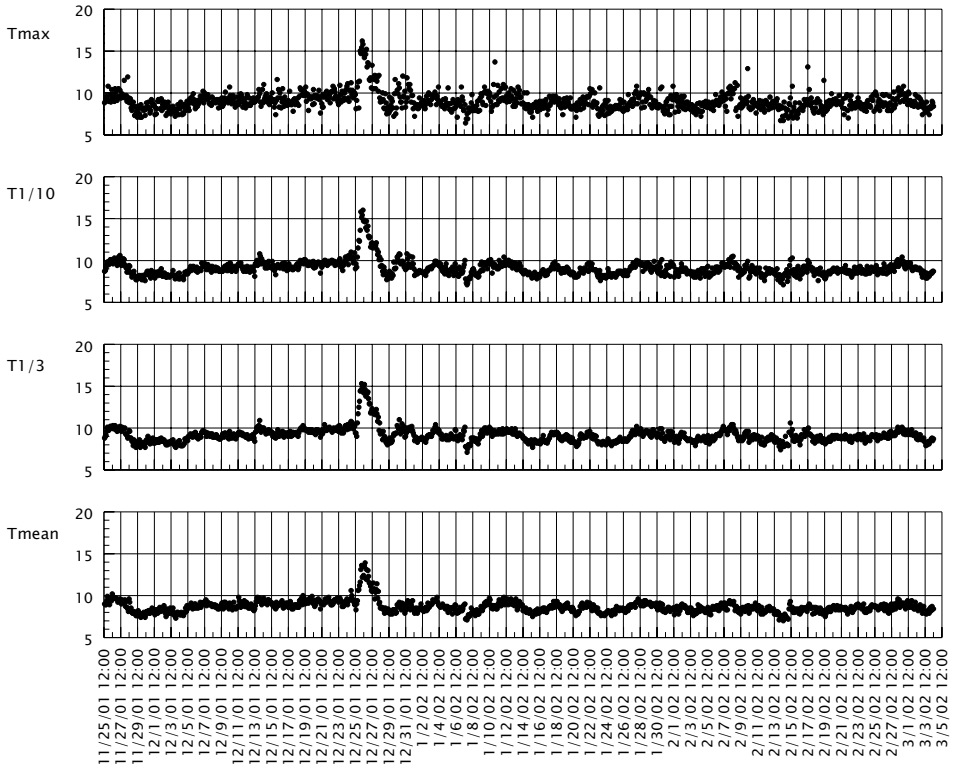
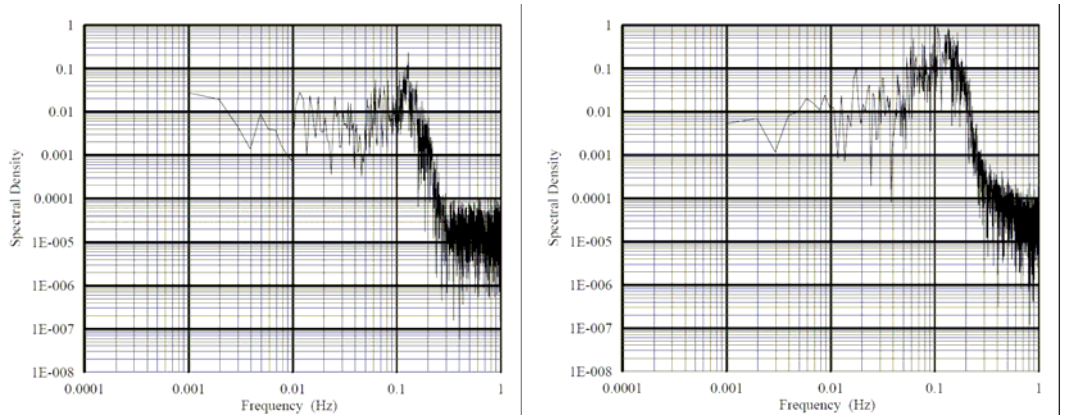
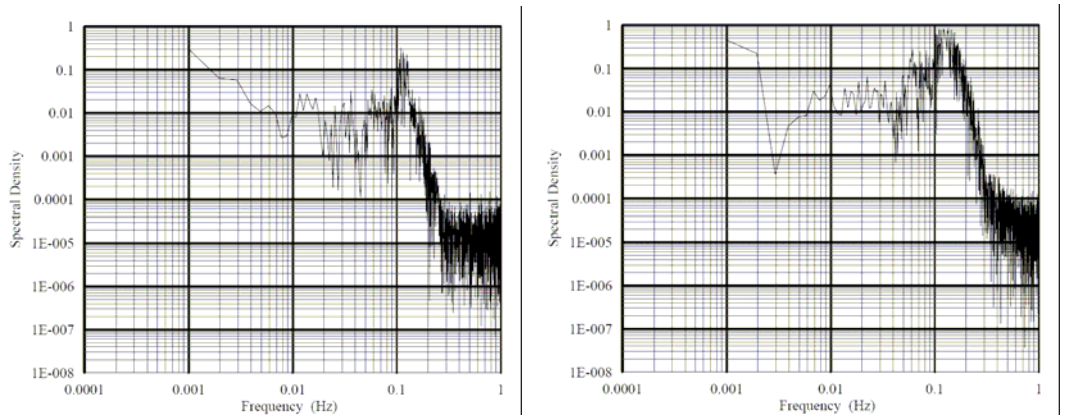


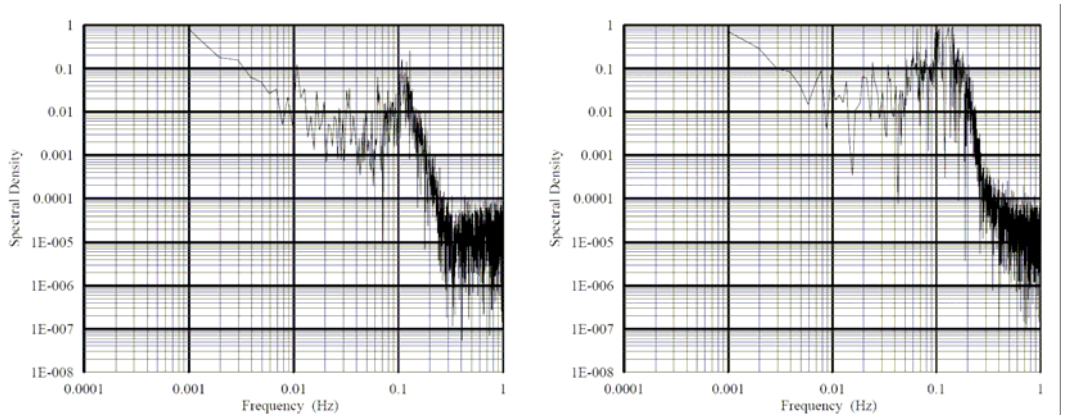

**圖 3.45 花蓮鹽寮漁港於 2001 年 12 月至 2002 年 2 月之波浪特性週期分佈時序圖**




2001/9/21 20 時

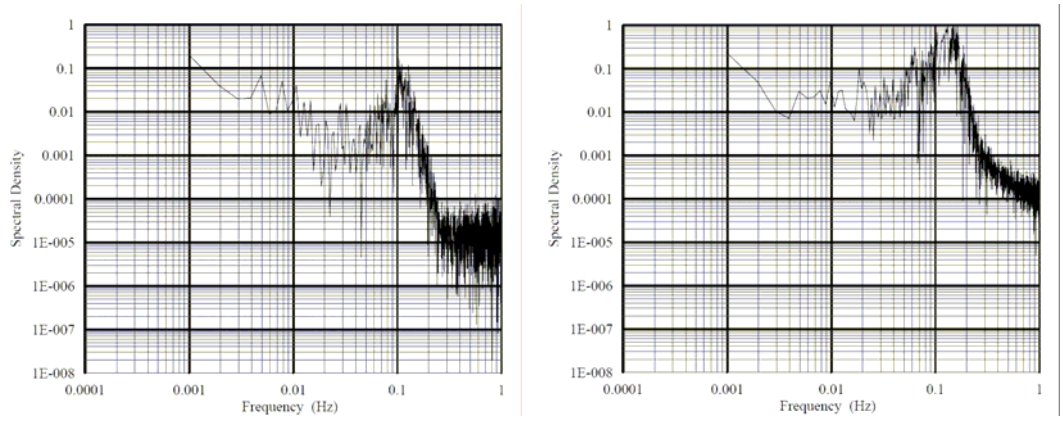



2001/9/21 22 時

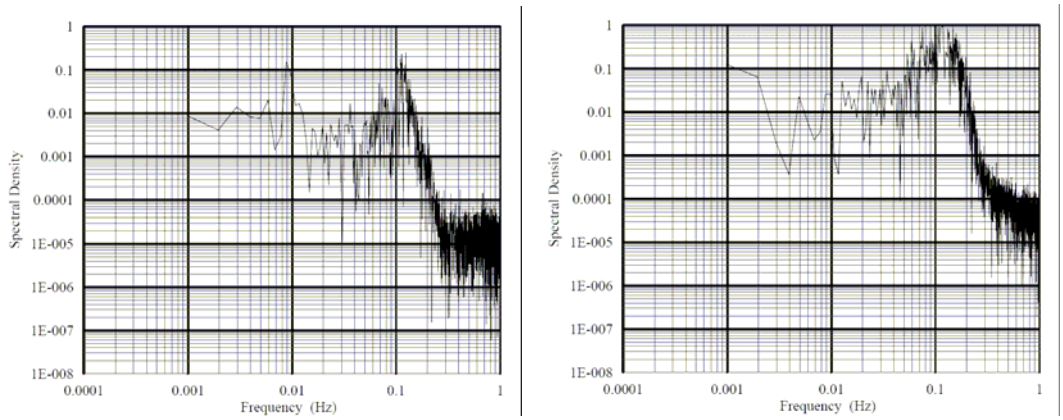



2001/9/22 0 時

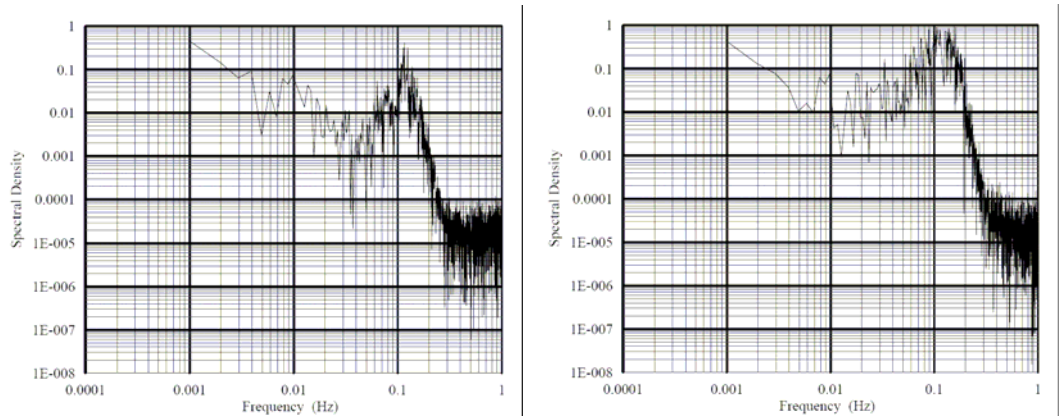
**圖 3.46 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/22 2 時

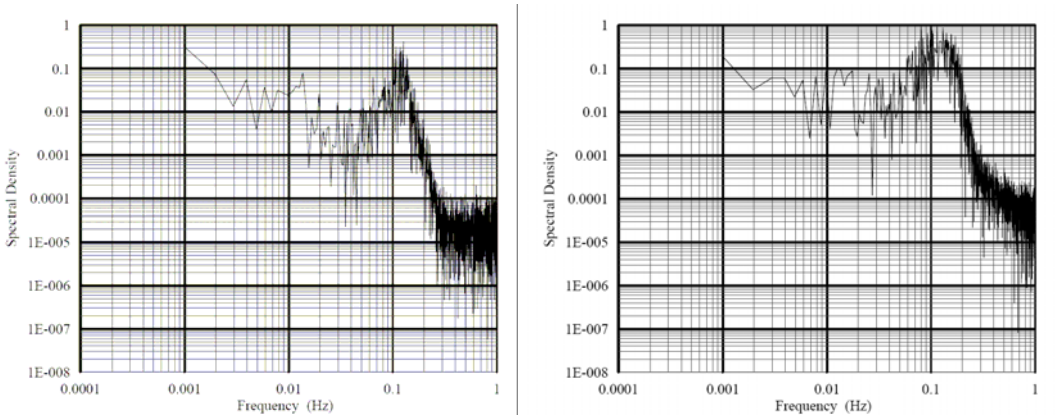



2001/9/22 4 時

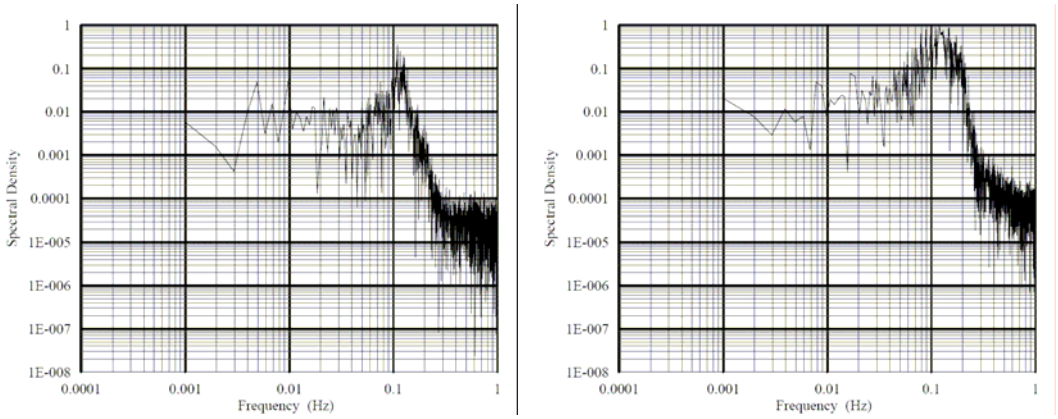



2001/9/22 6 時

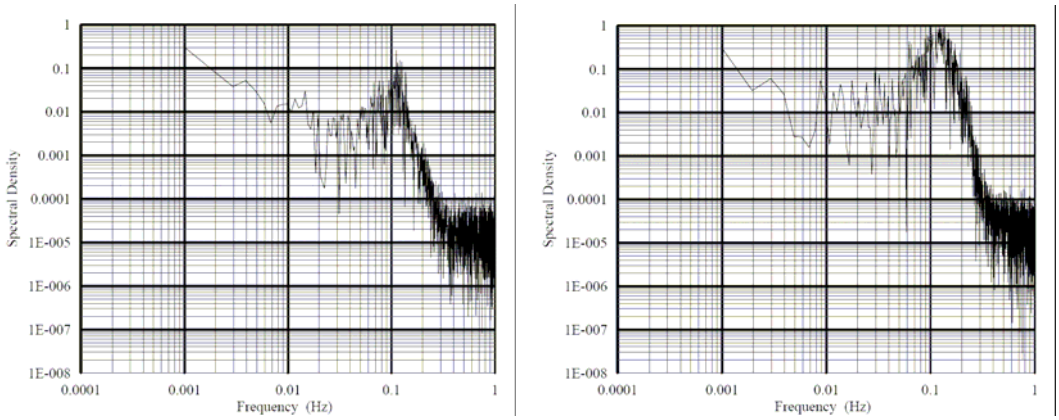
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/22 8 時

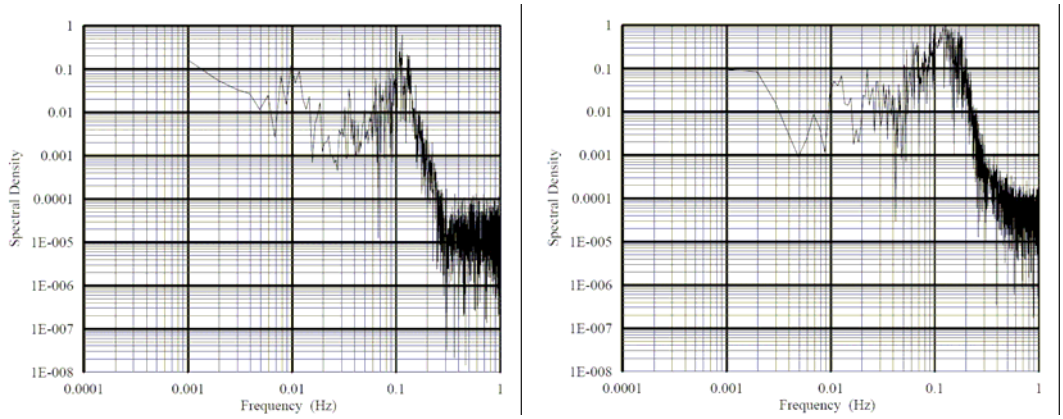



2001/9/22 10 時

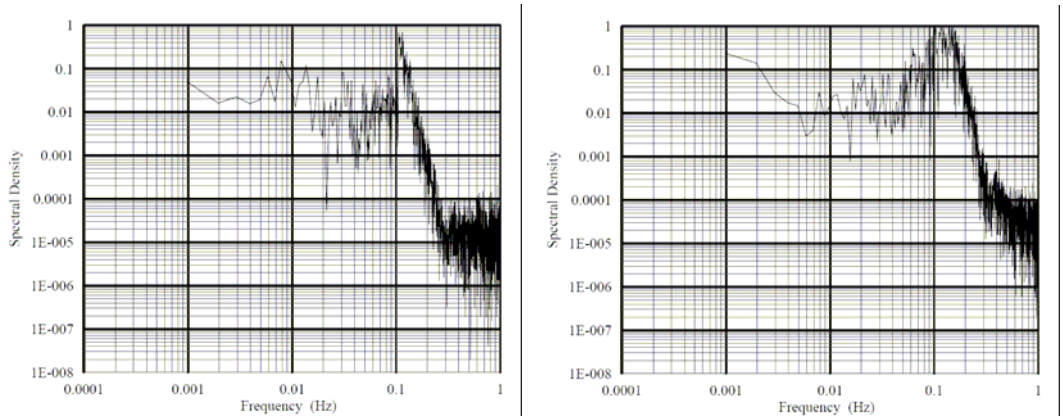



2001/9/22 12 時

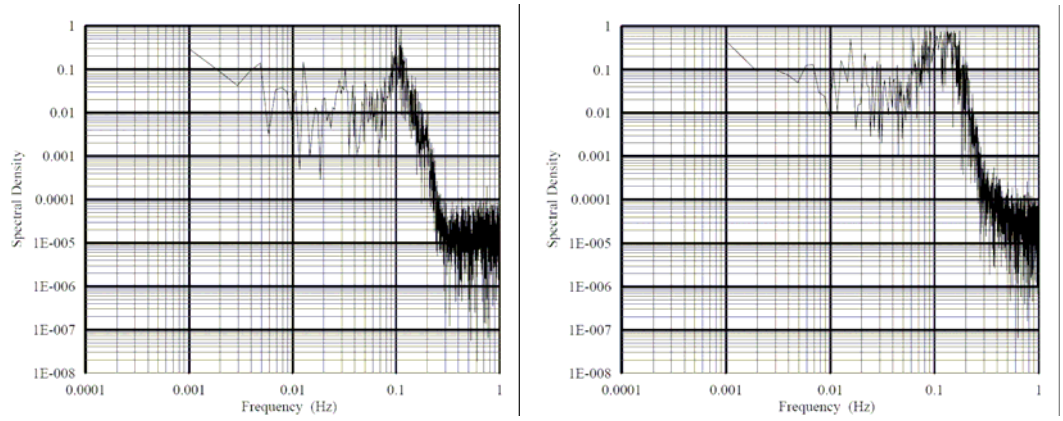
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/22 14 時

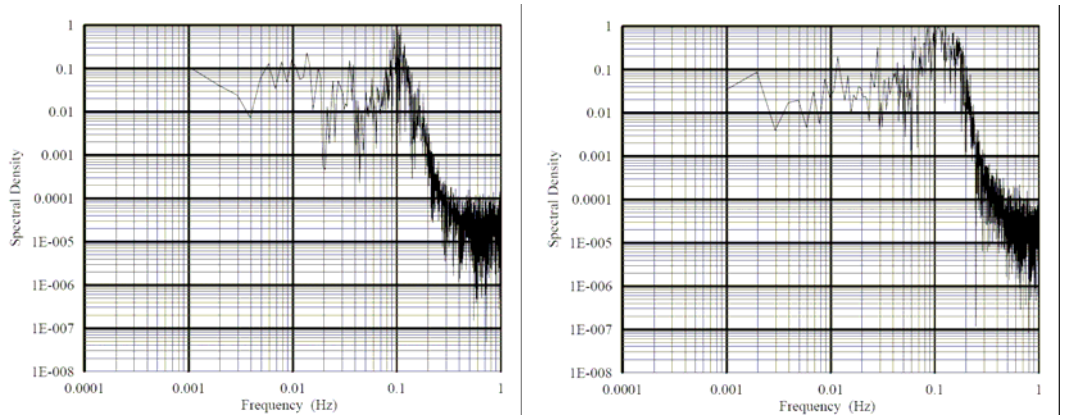



2001/9/22 16 時

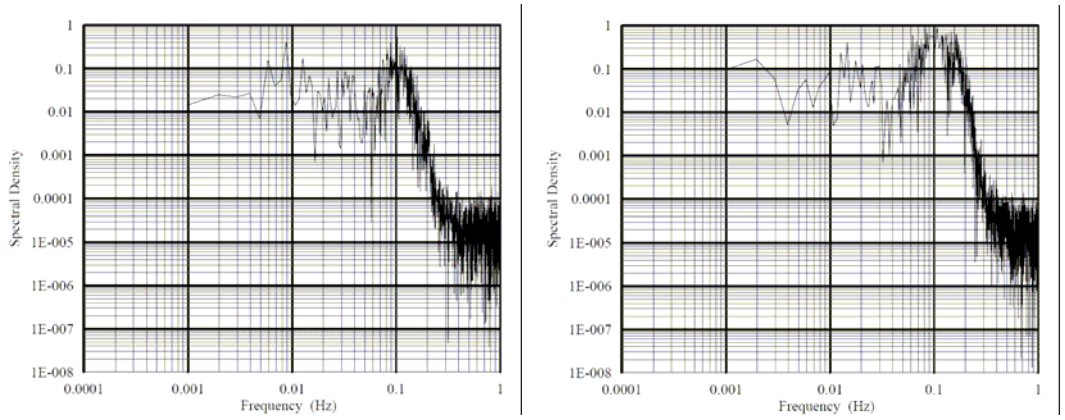



2001/9/22 18 時

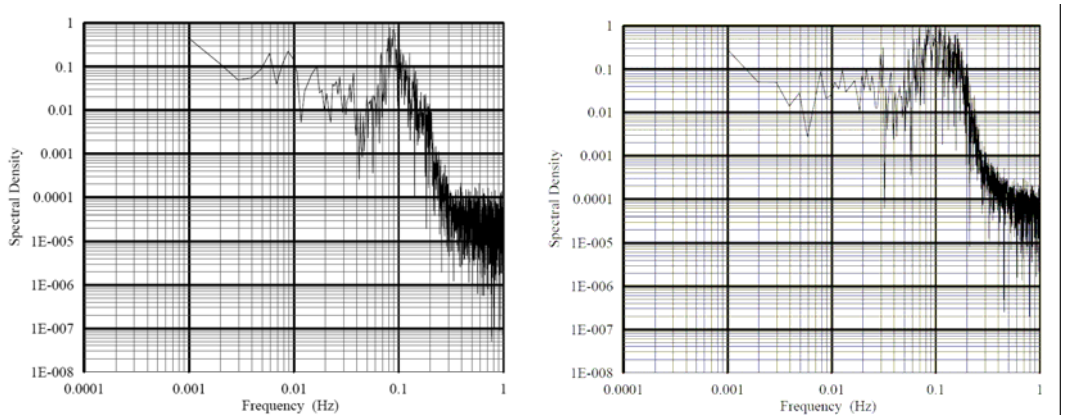
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/22 20 時

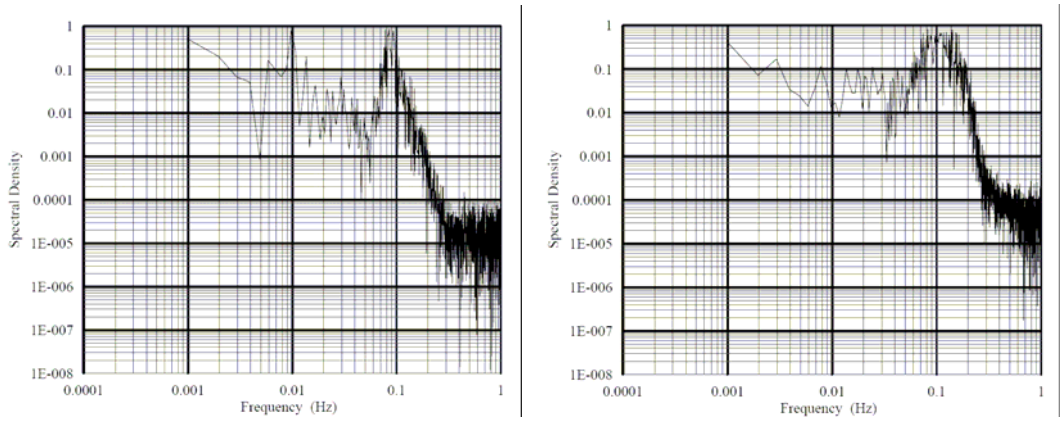



2001/9/22 22 時

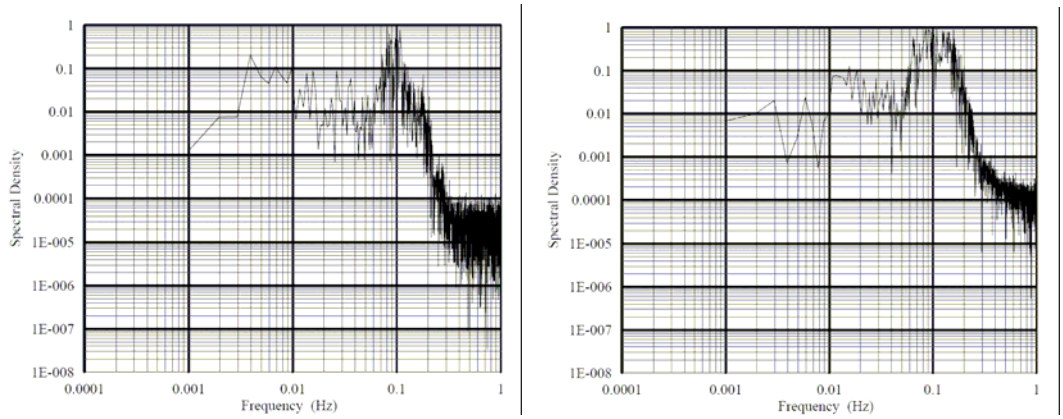



2001/9/23 0 時

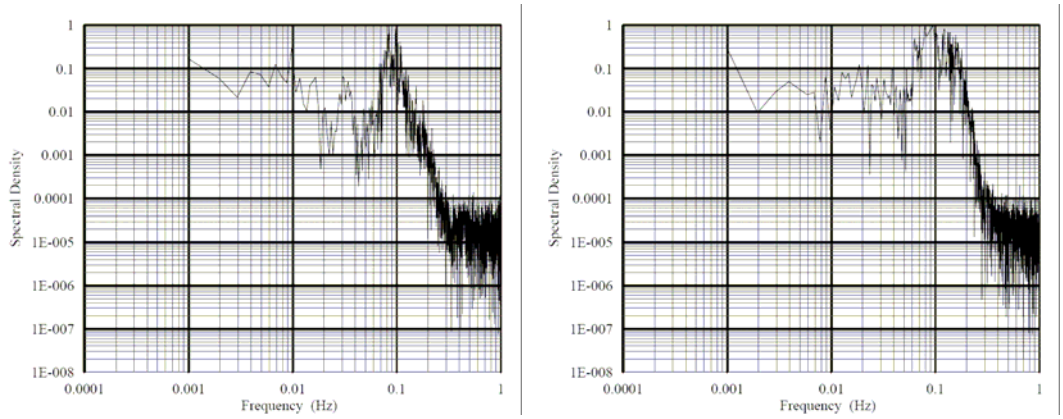
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/23 2 時

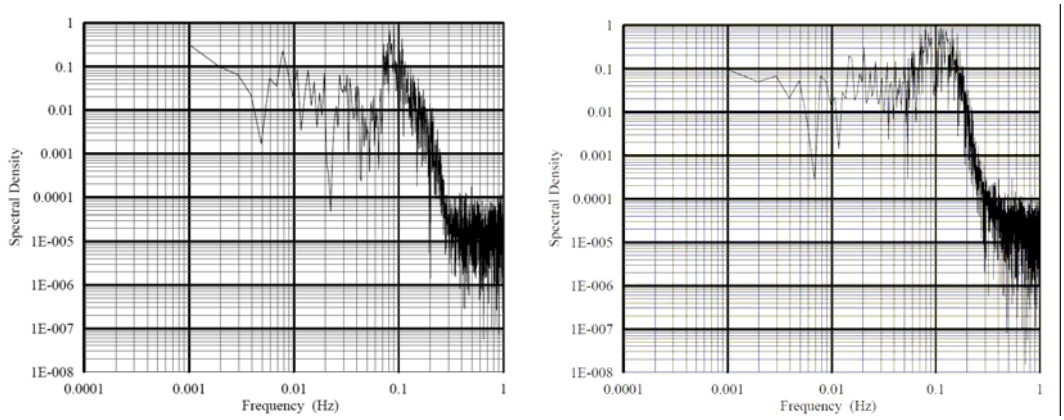



2001/9/23 4 時

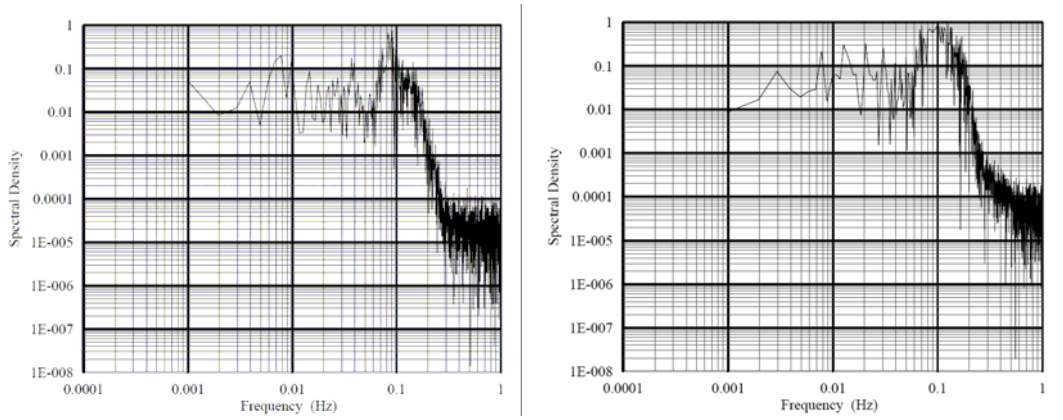



2001/9/23 6 時

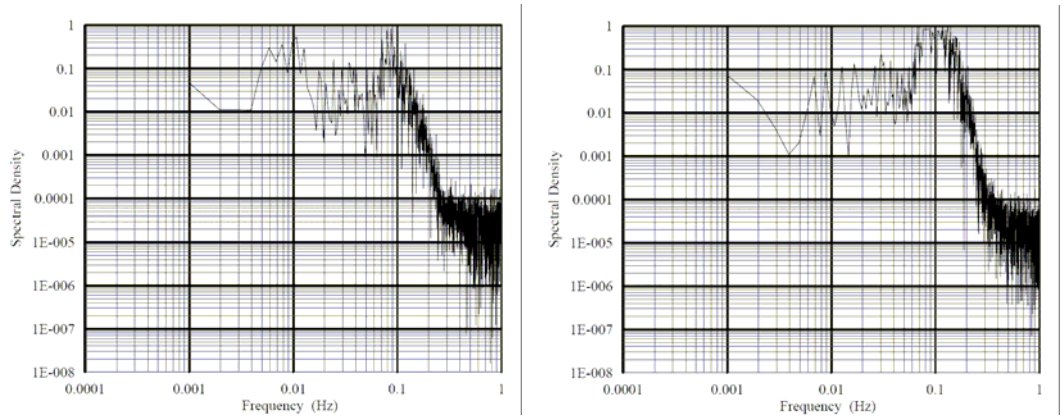
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/23 8 時

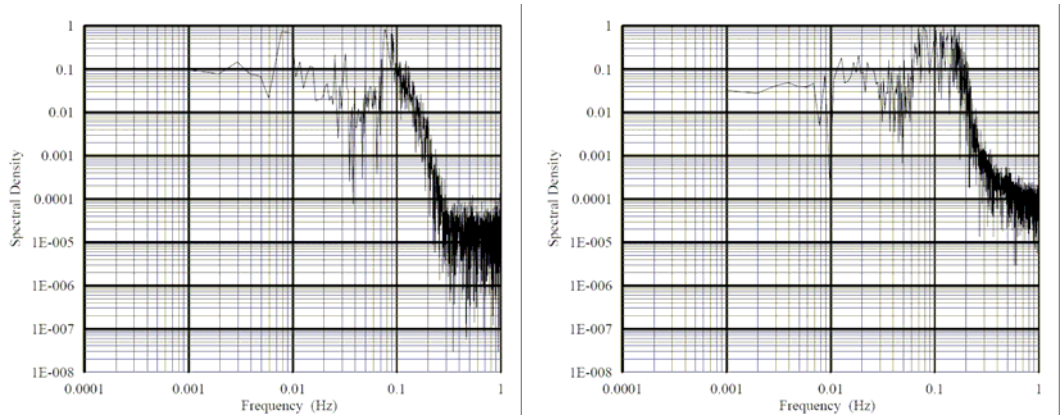



2001/9/23 10 時

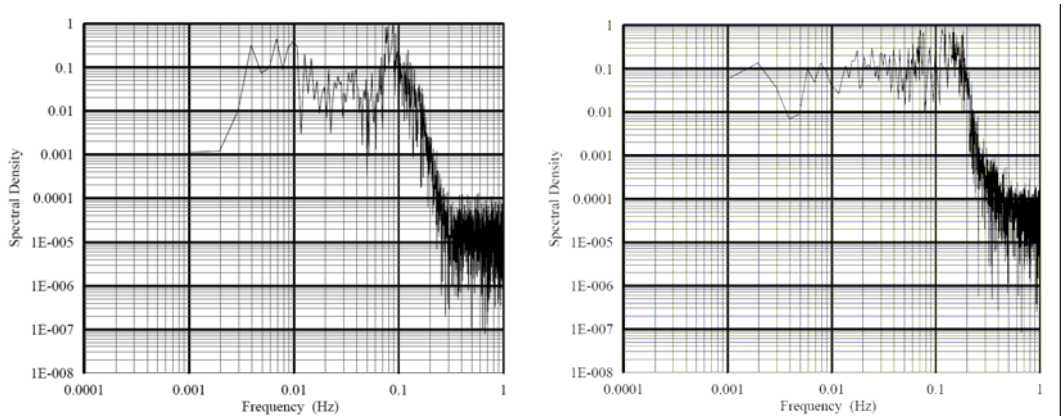



2001/9/23 12 時

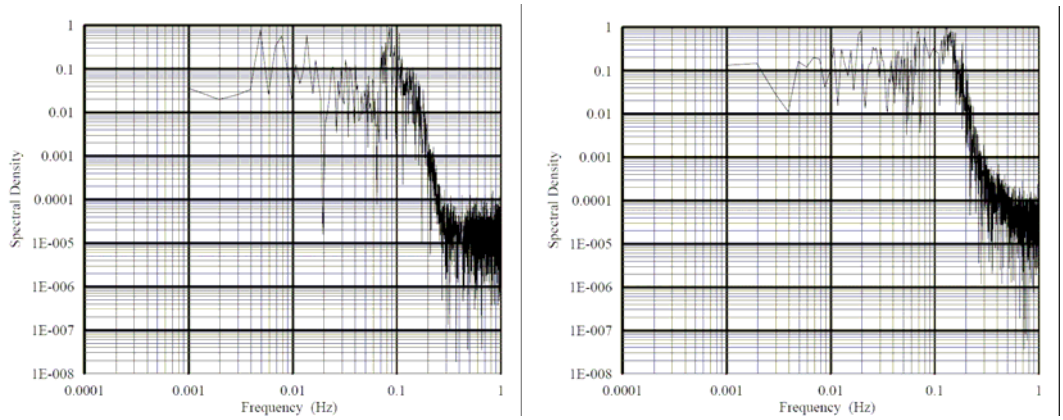
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/23 14 時

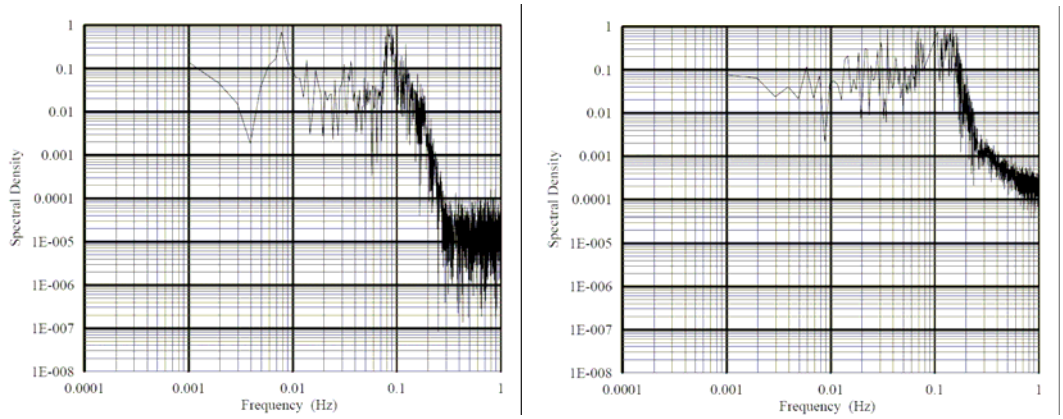



2001/9/23 16 時

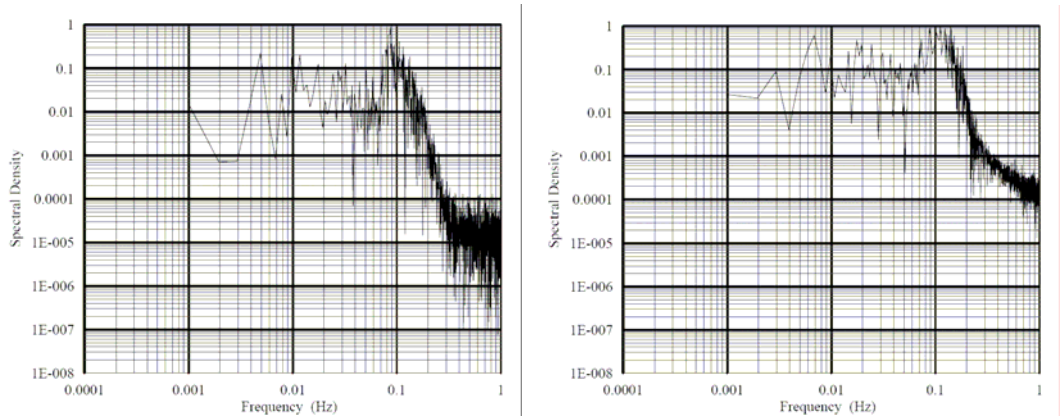



2001/9/23 18 時

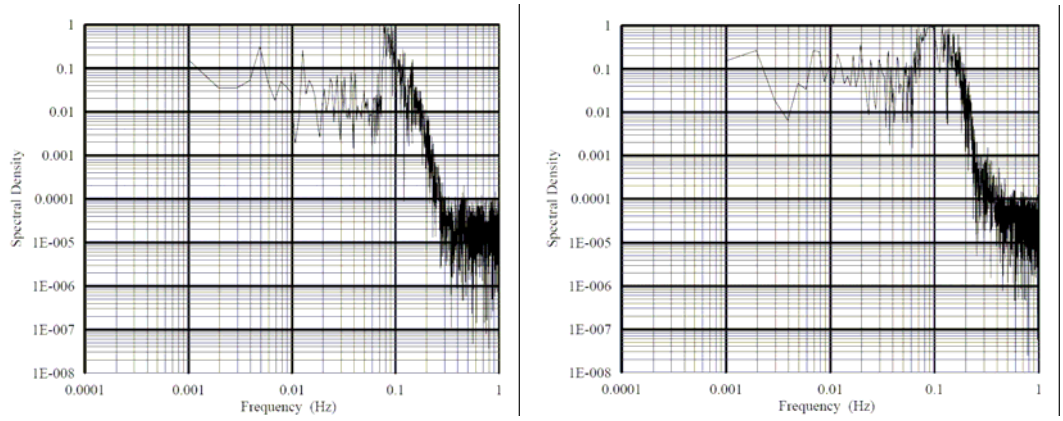
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/23 20 時

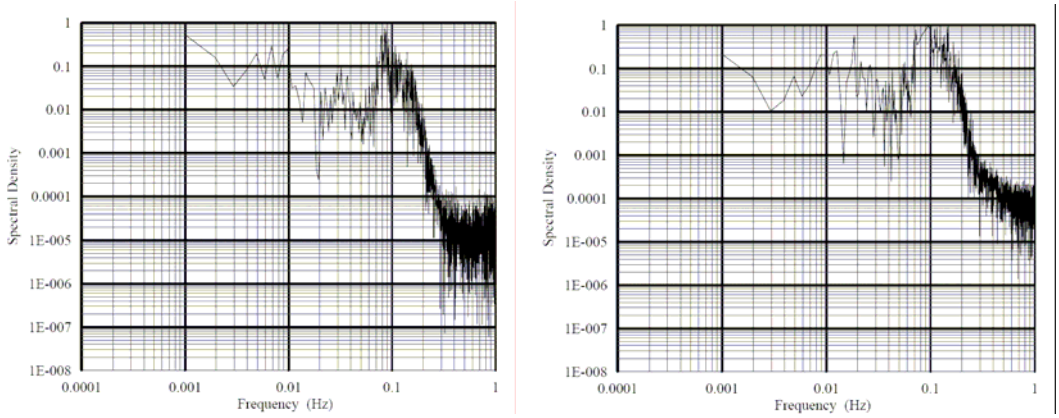



2001/9/23 22 時

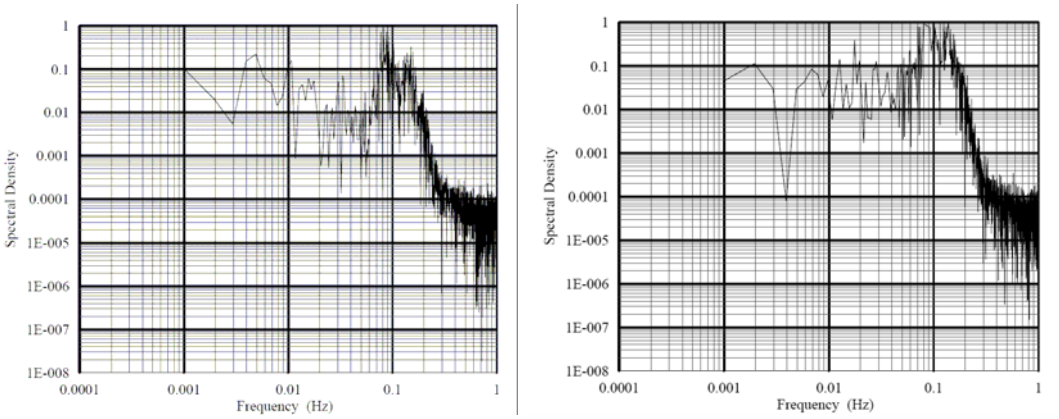



2001/9/24 0 時

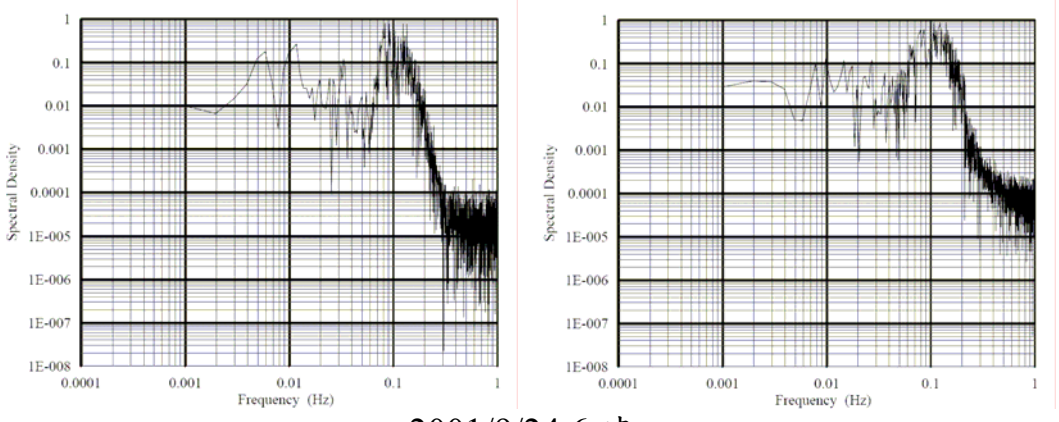
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/24 2 時

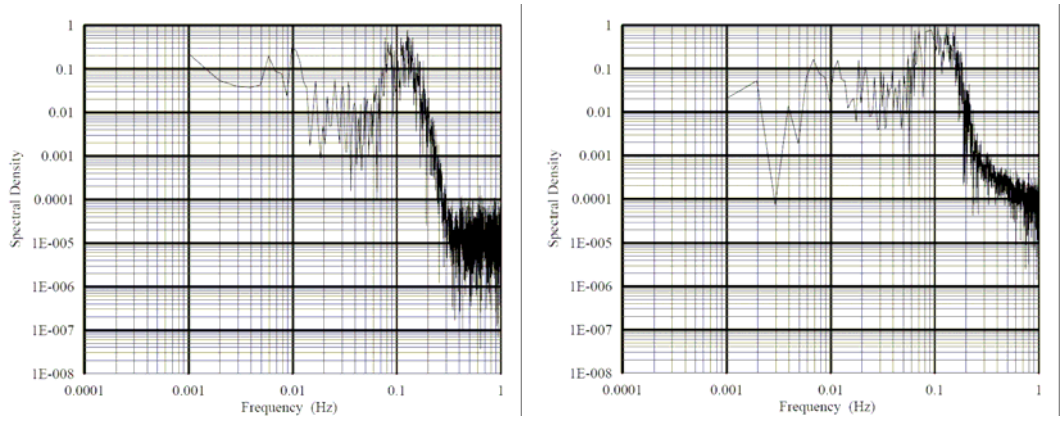



2001/9/24 4 時

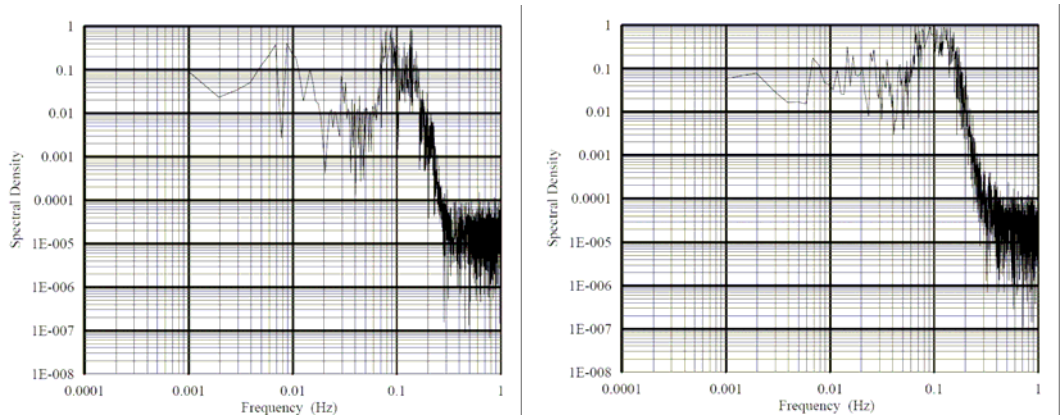



2001/9/24 6 時

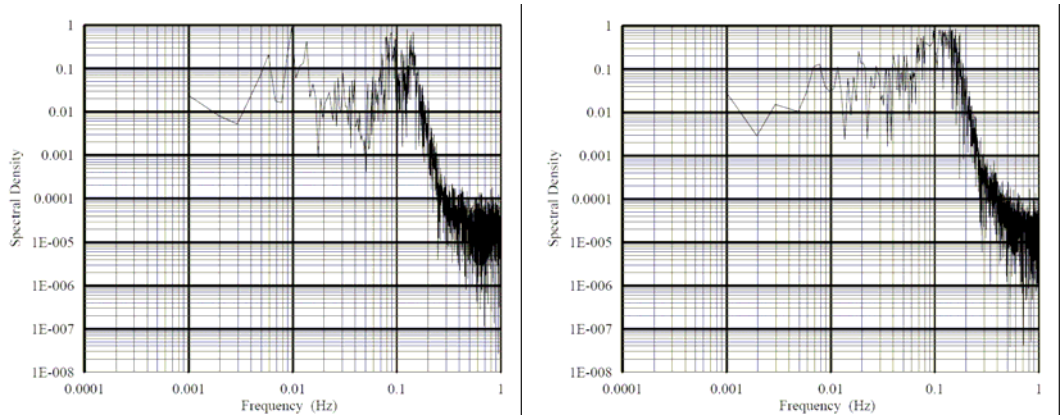
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/24 8 時

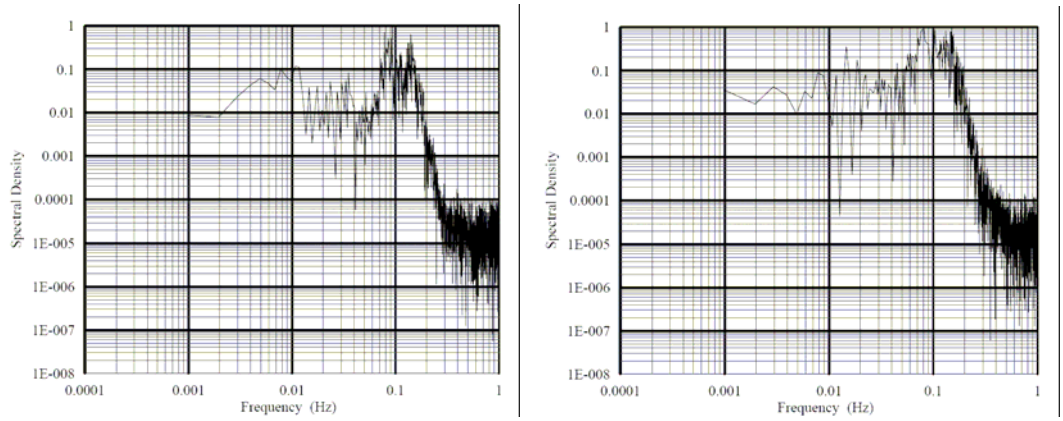



2001/9/24 10 時

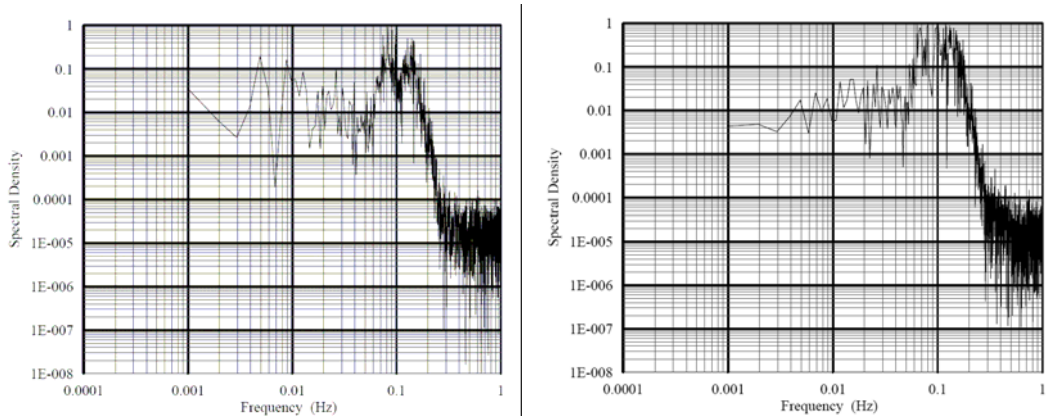



2001/9/24 12 時

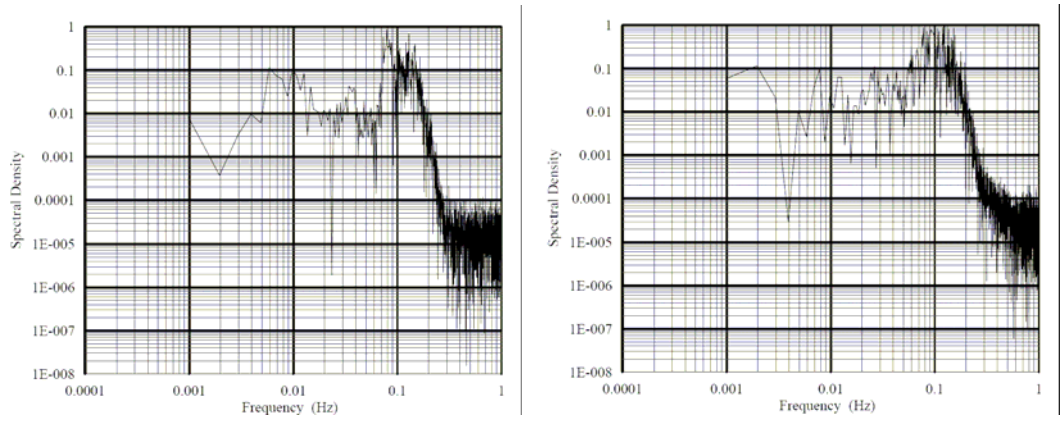
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/24 14 時

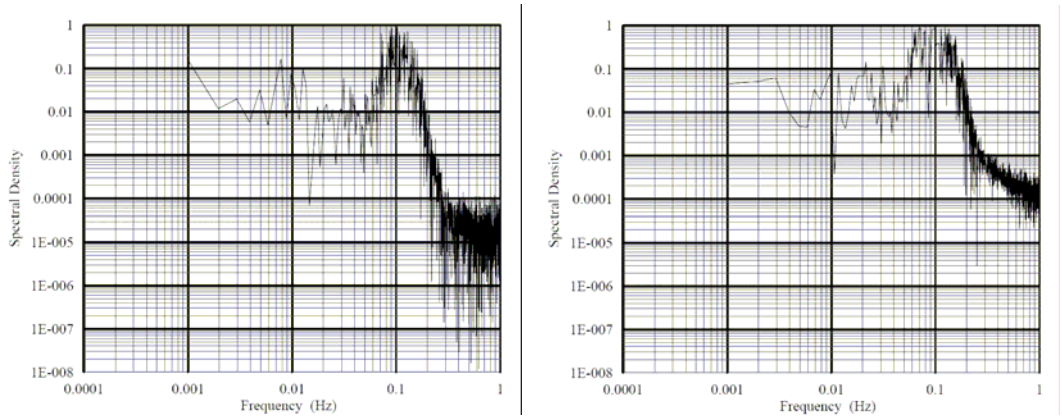



2001/9/24 16 時

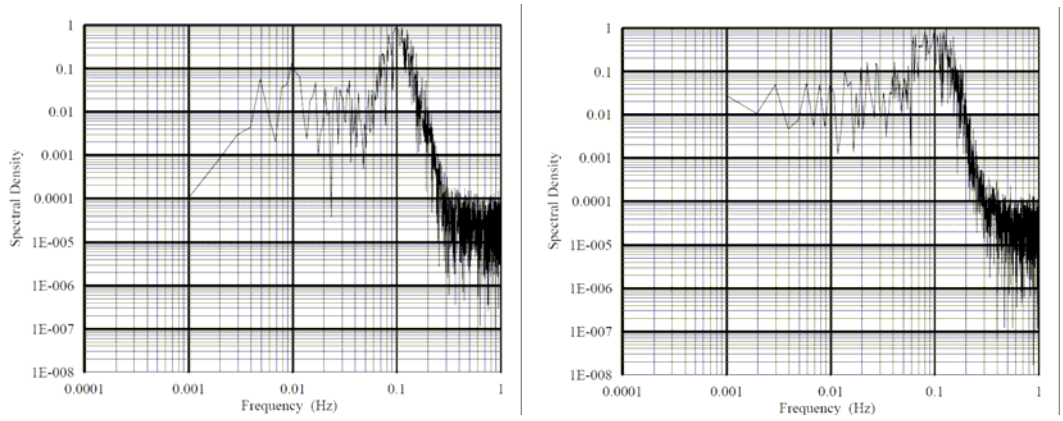



2001/9/24 18 時

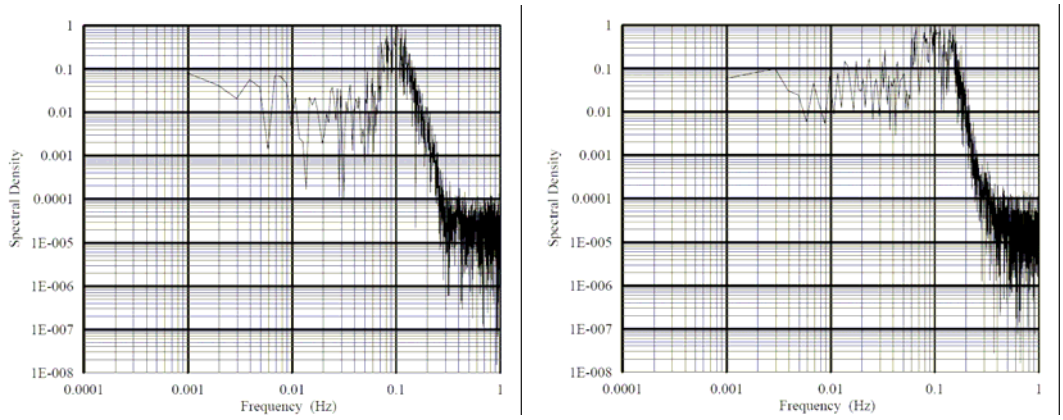
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/24 20 時

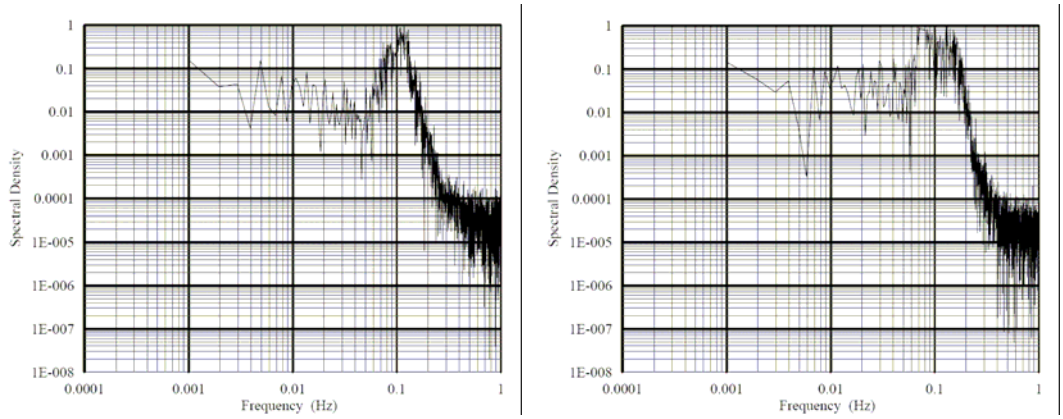



2001/9/24 22 時

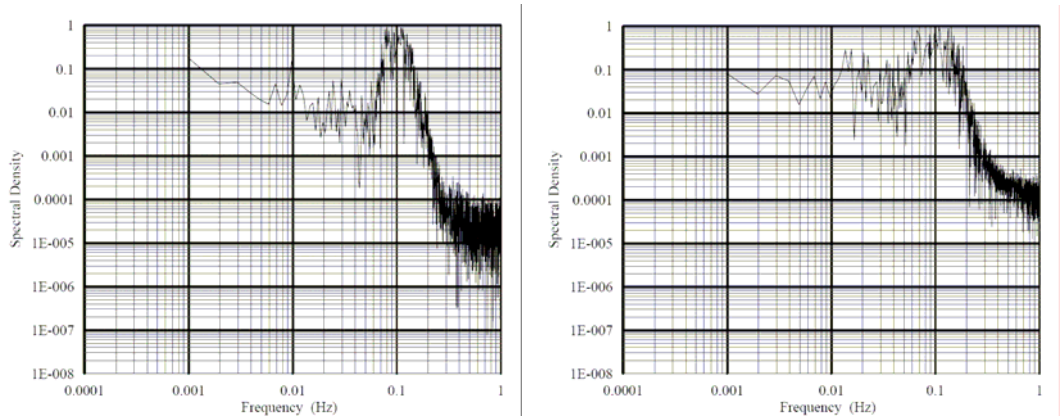



2001/9/25 0 時

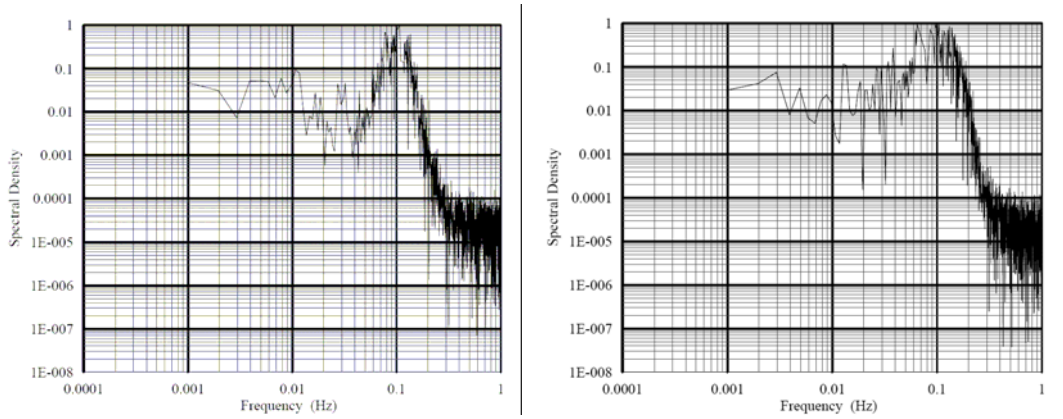
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/25 2 時

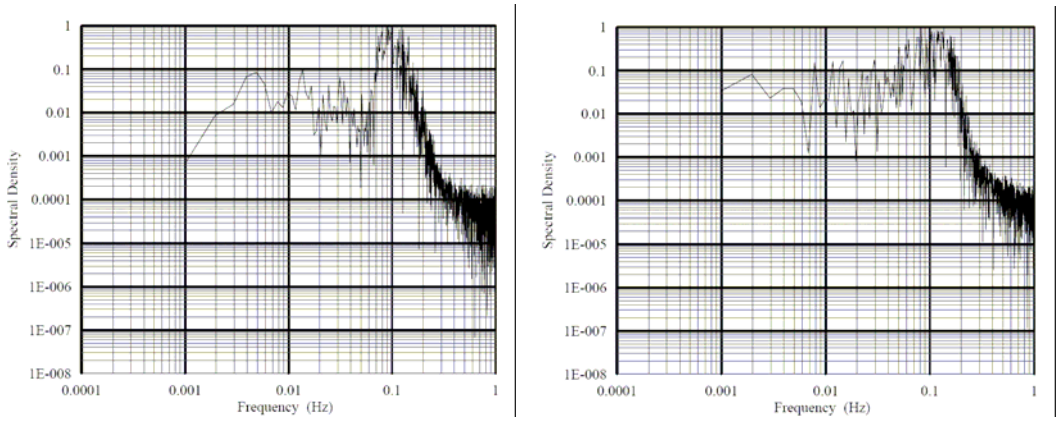



2001/9/25 4 時

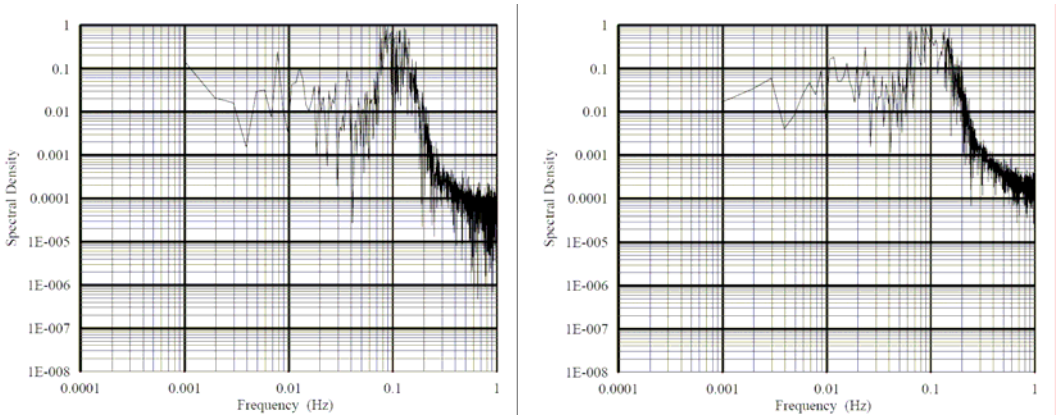



2001/9/25 6 時

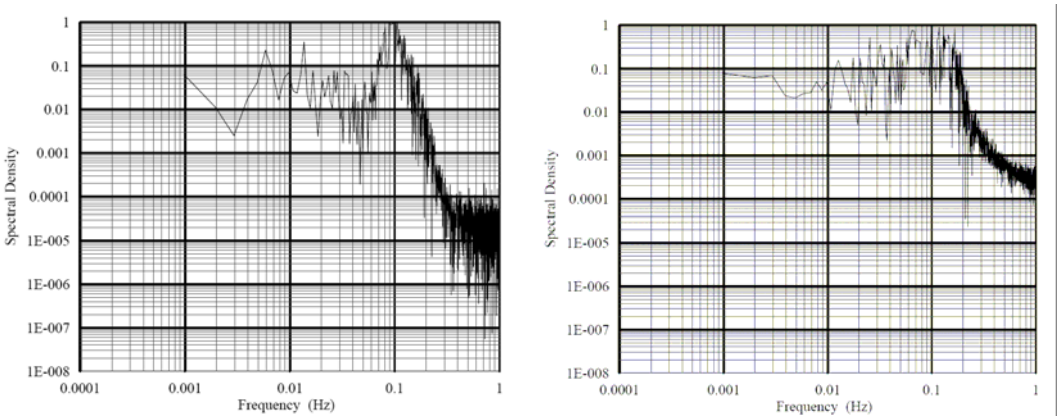
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/25 8 時

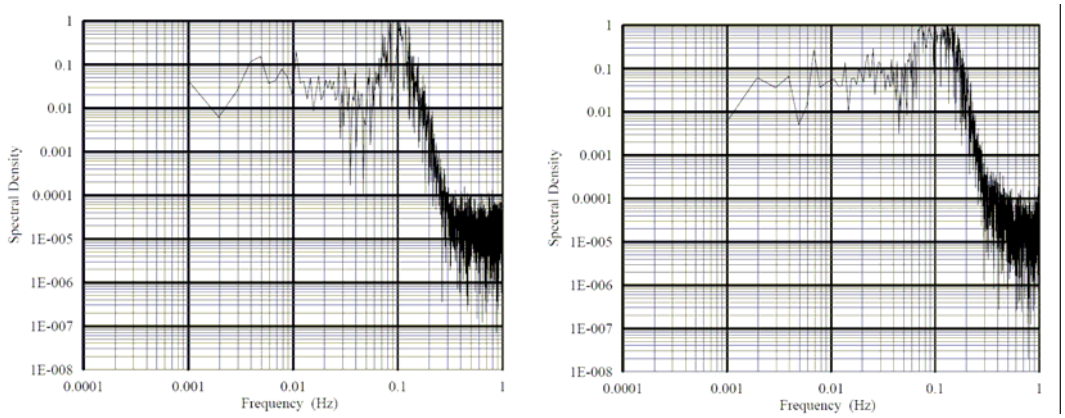



2001/9/25 10 時

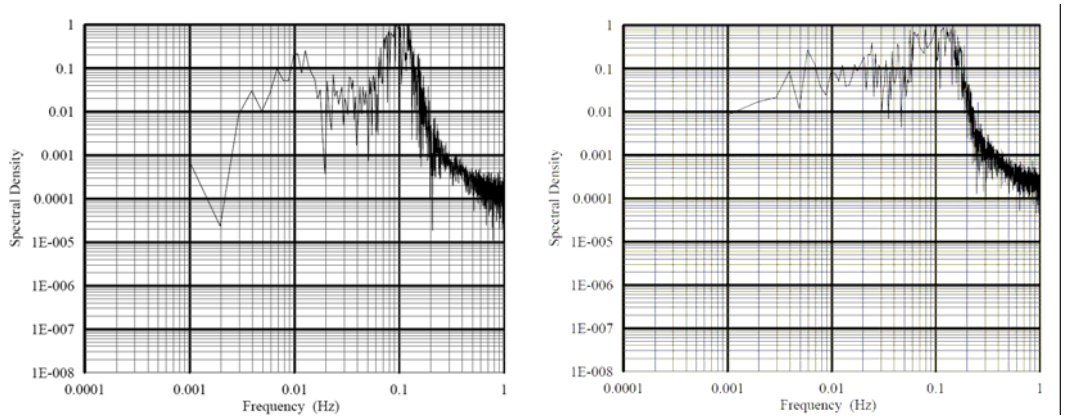



2001/9/25 12 時

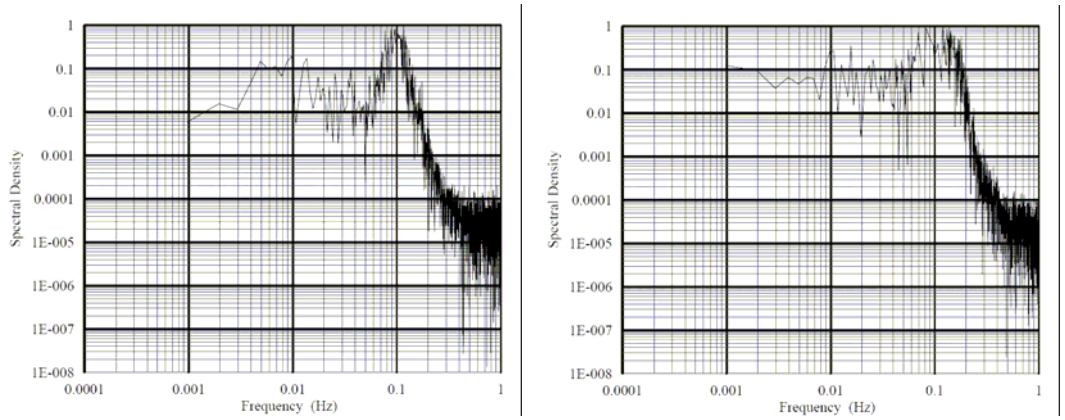
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/25 14 時

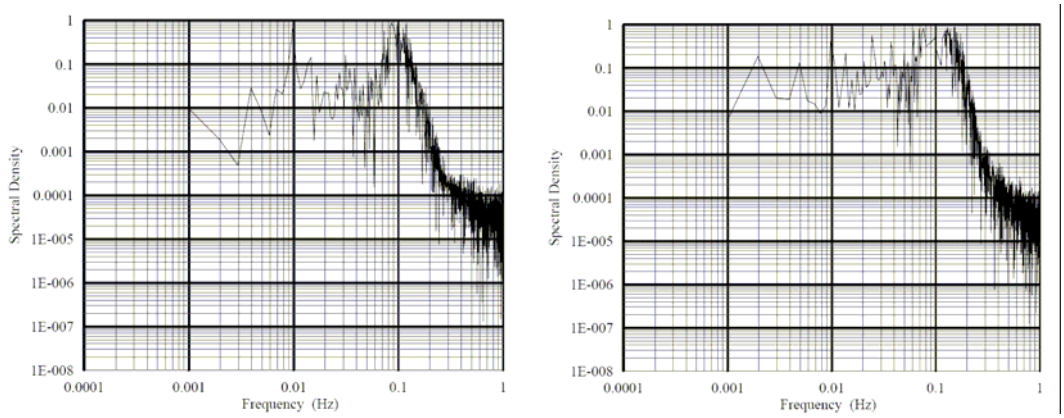



2001/9/25 16 時

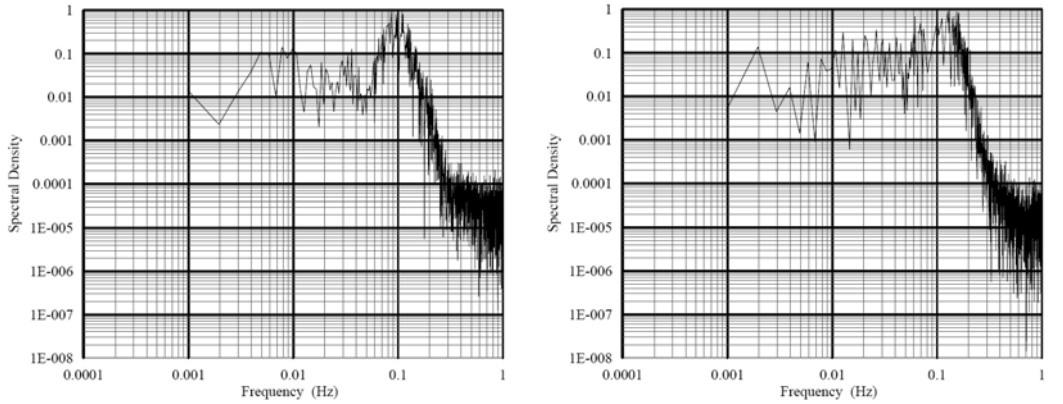



2001/9/25 18 時

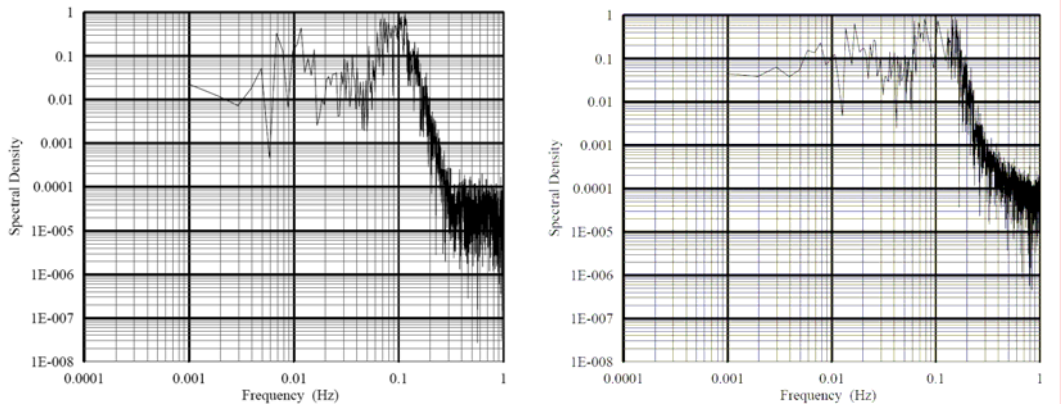
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/25 20 時

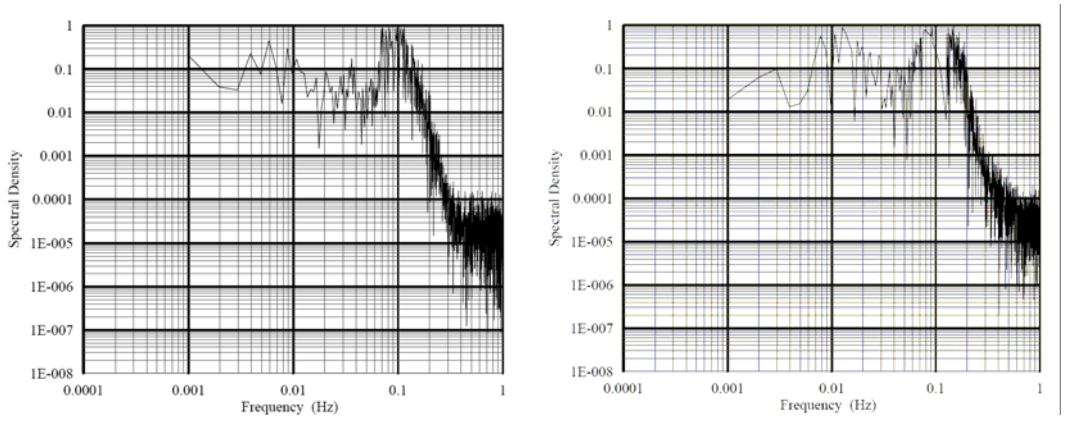



2001/9/25 22 時

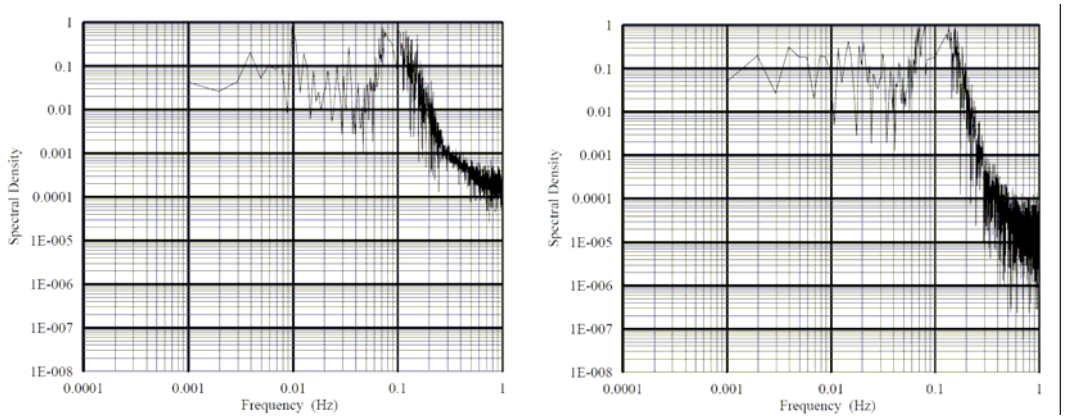



2001/9/26 0 時

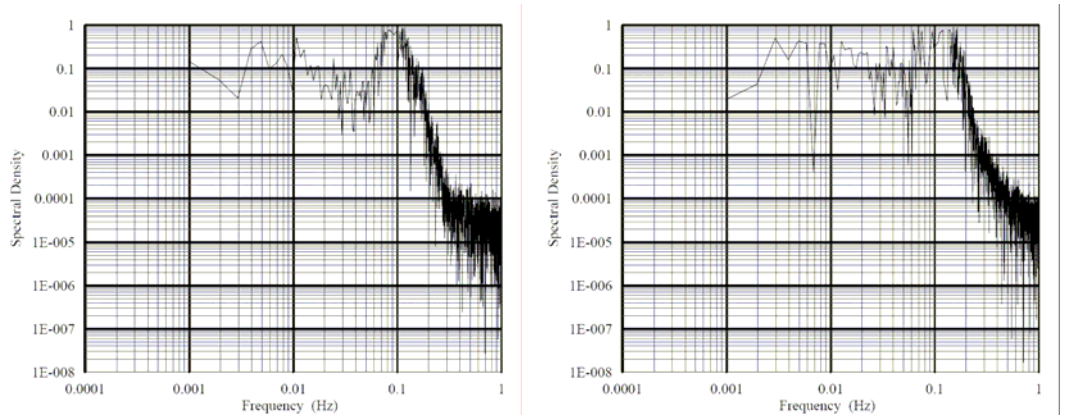
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/26 2 時

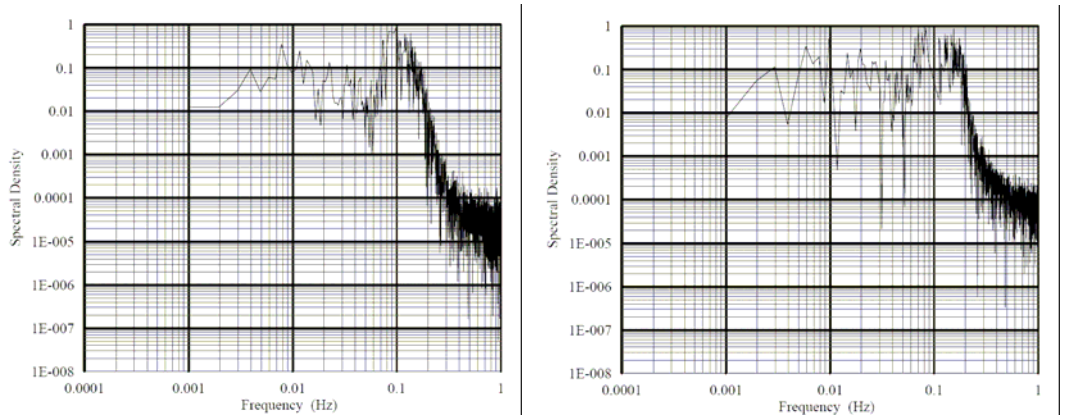



2001/9/26 4 時

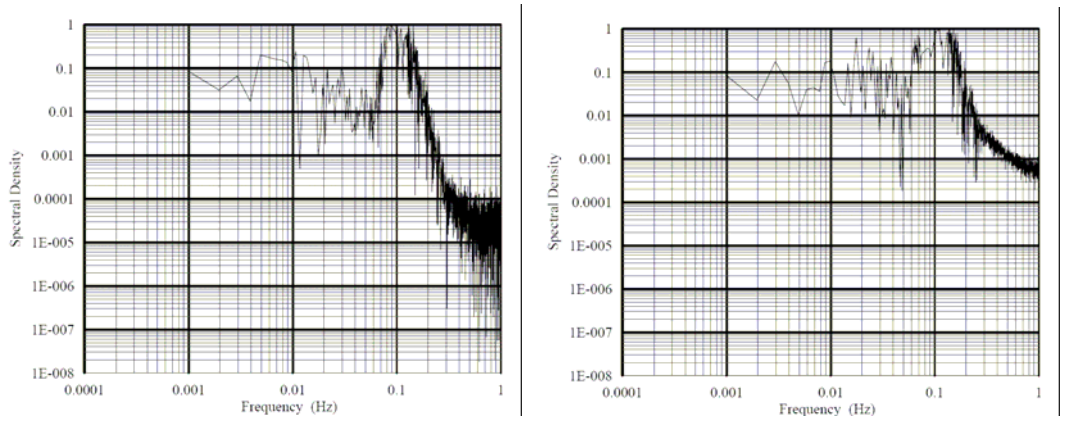



2001/9/26 6 時

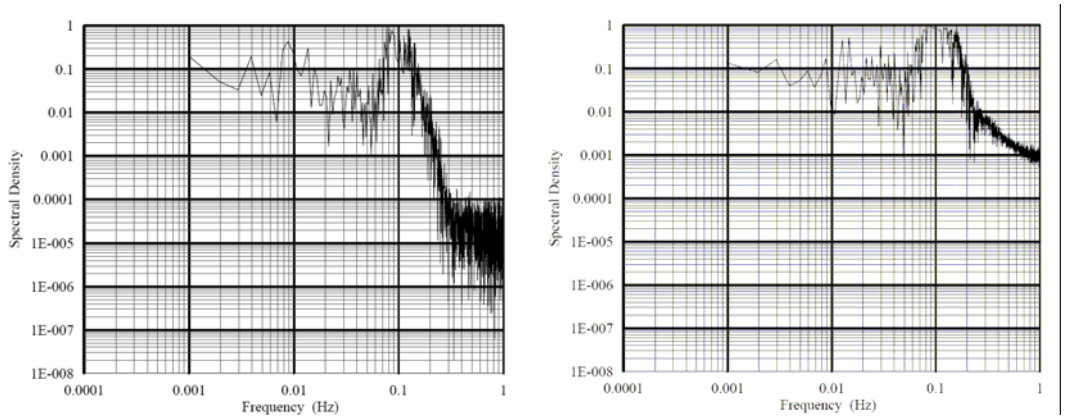
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/26 8 時

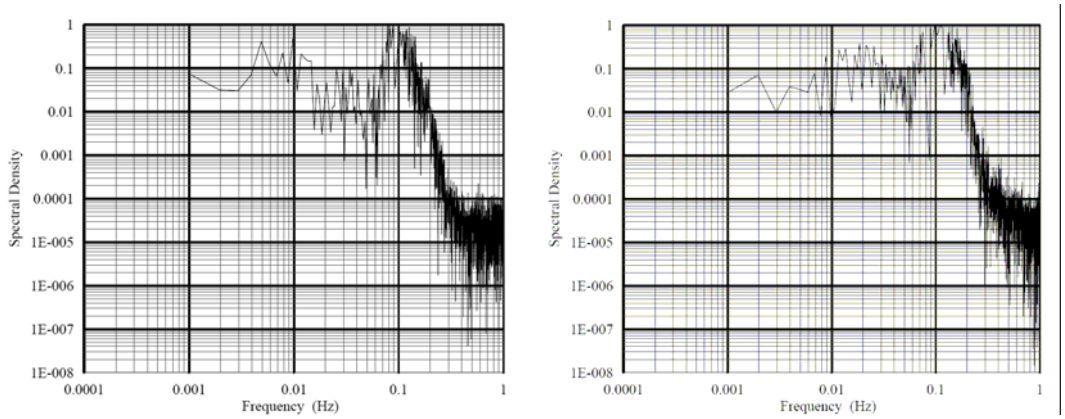



2001/9/26 10 時

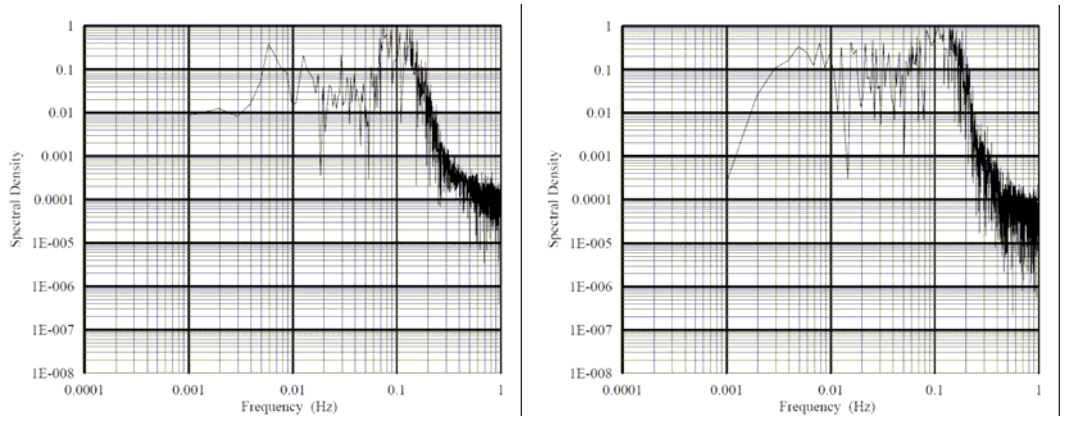



2001/9/26 12 時

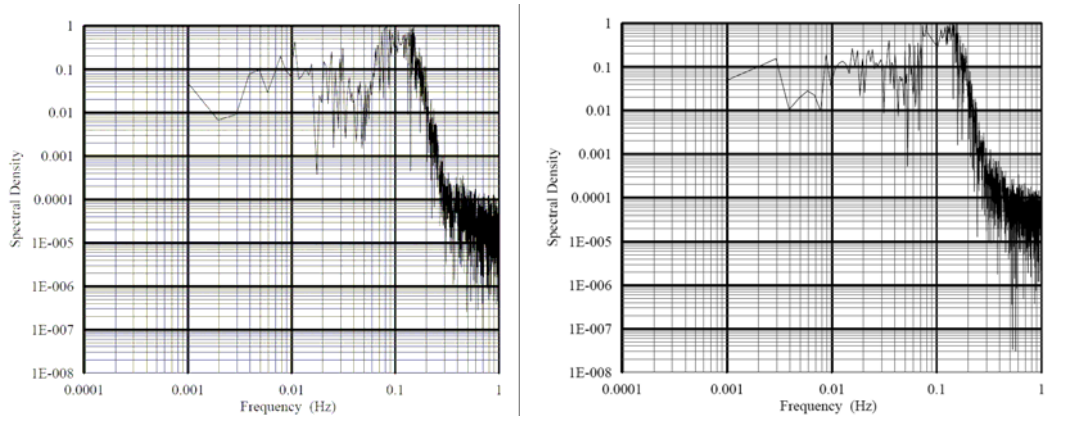
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/26 14 時

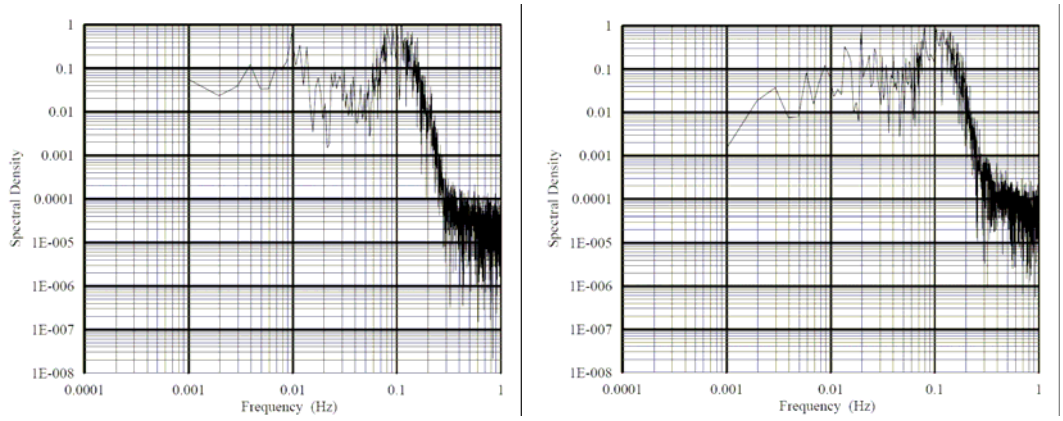



2001/9/26 16 時

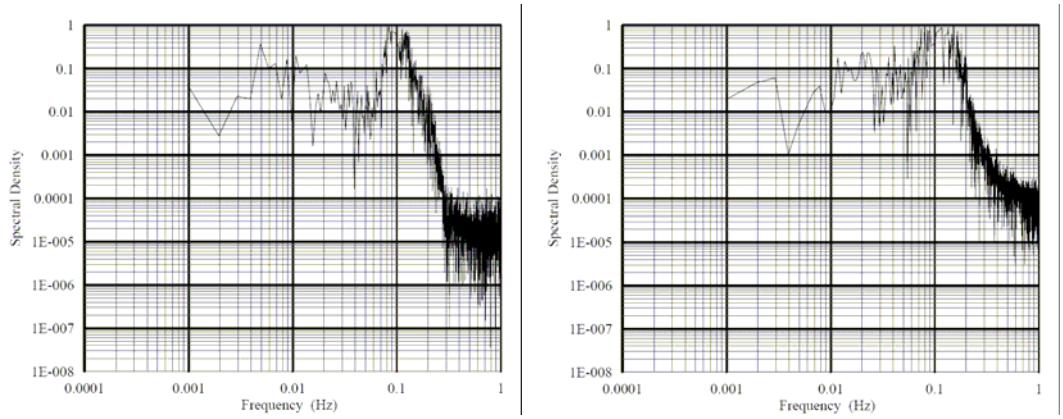



2001/9/26 18 時

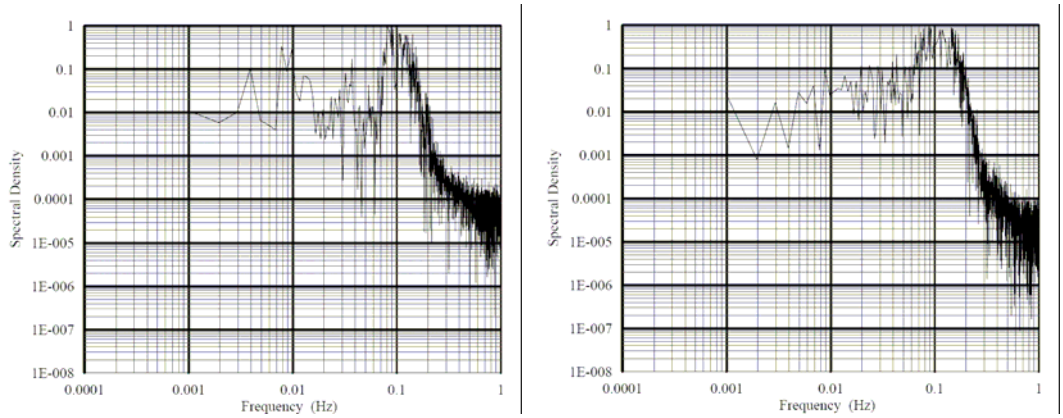
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/26 20 時

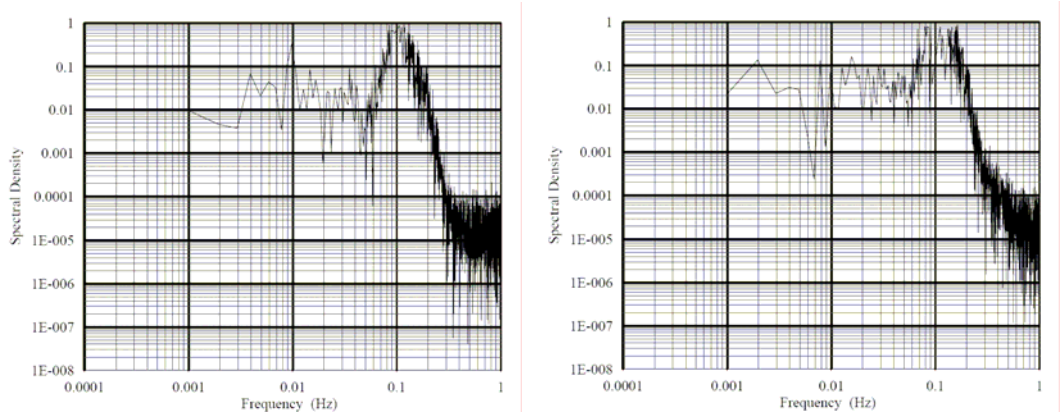



2001/9/26 22 時

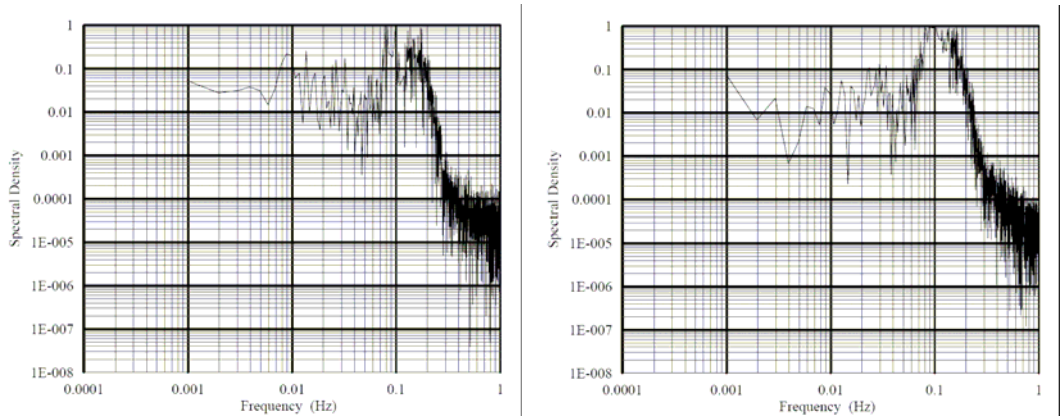



2001/9/27 0 時

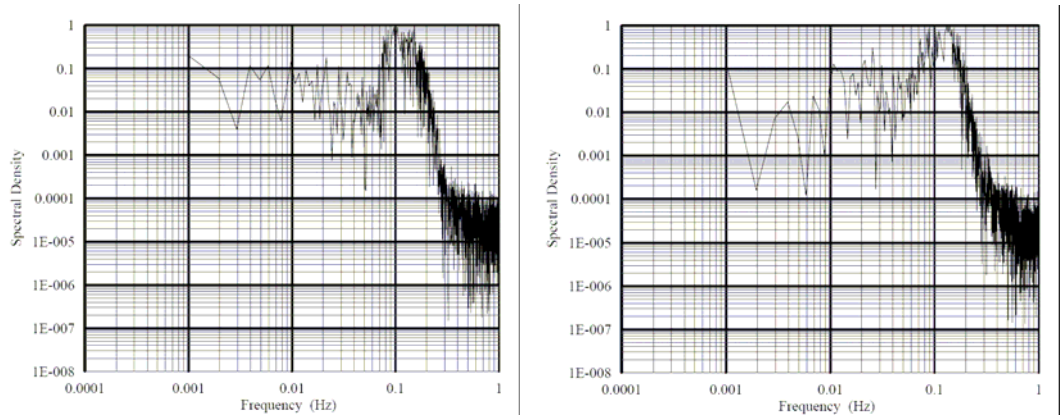
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/27 2 時

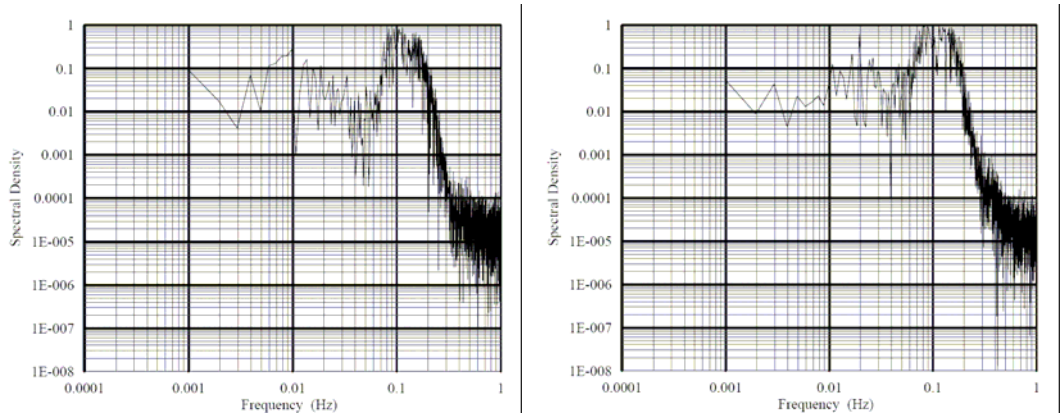



2001/9/27 4 時

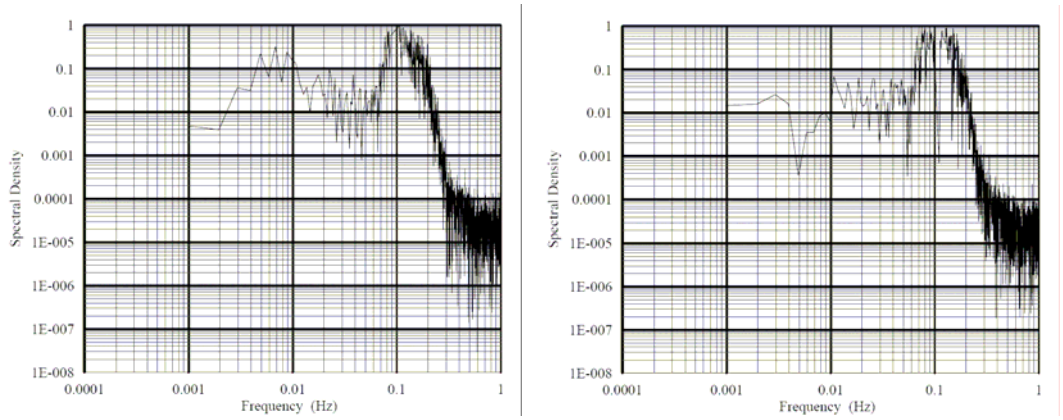



2001/9/27 6 時

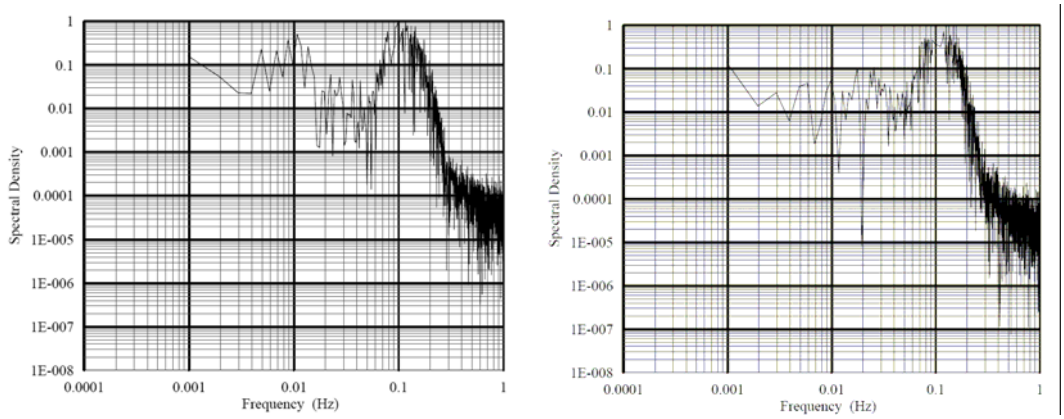
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/27 8 時

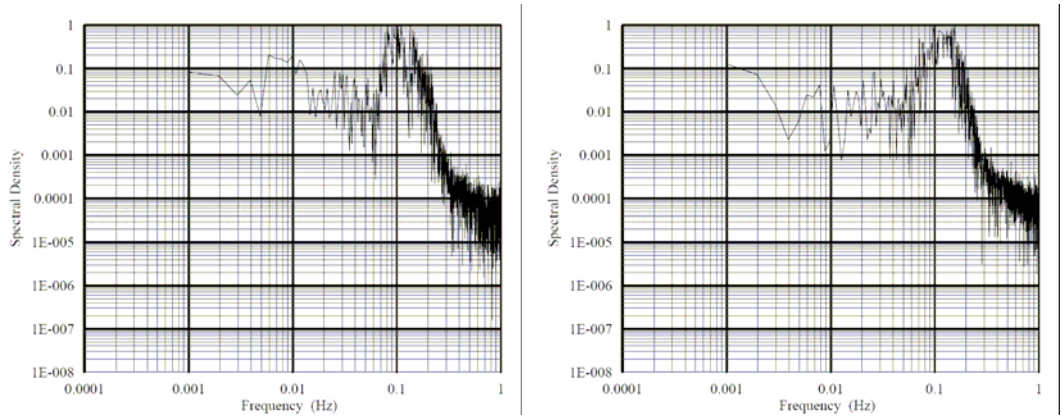



2001/9/27 10 時

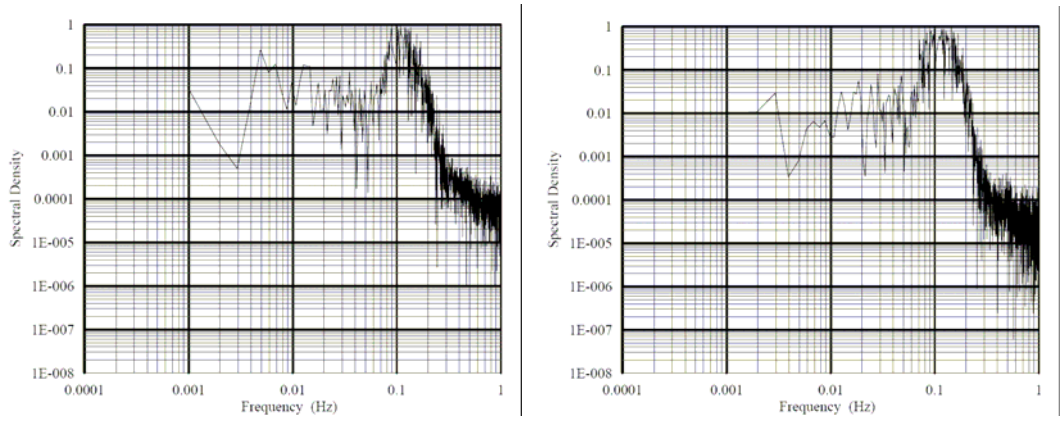



2001/9/27 12 時

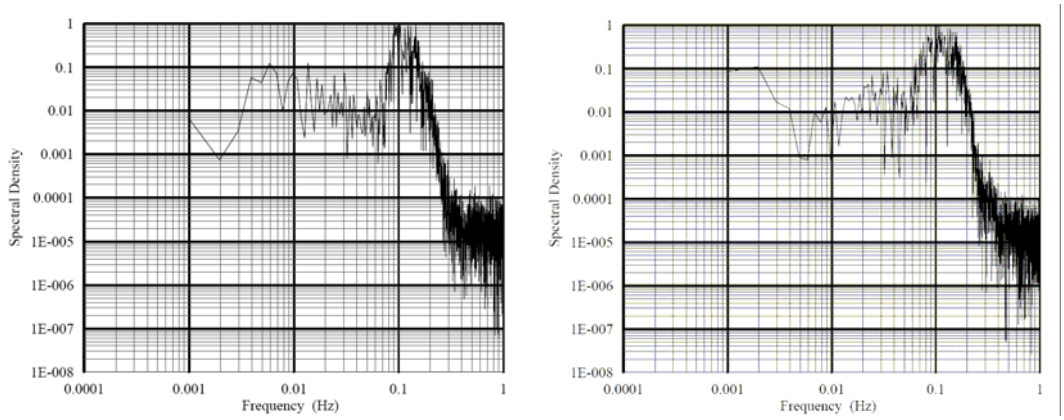
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/27 14 時

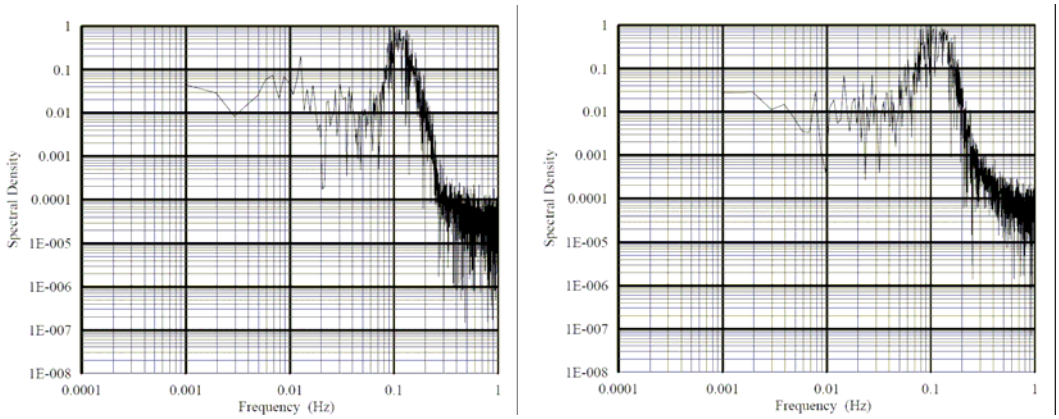



2001/9/27 16 時

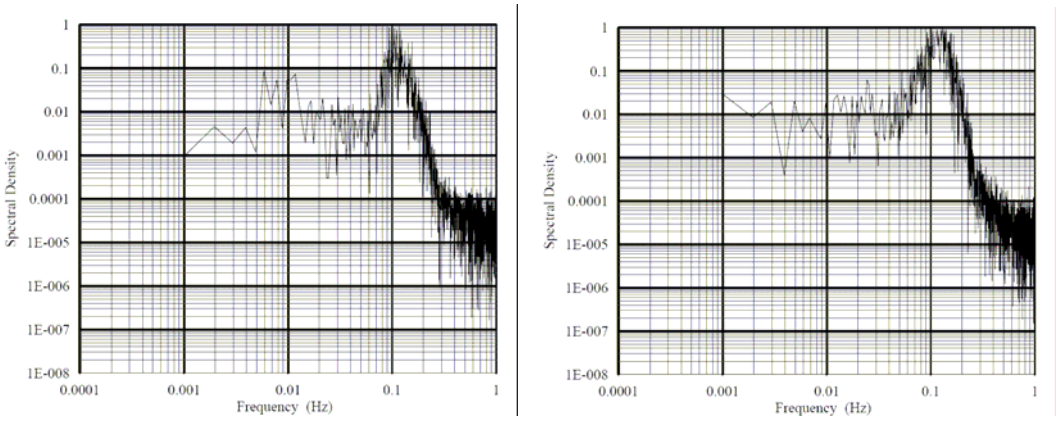



2001/9/27 18 時

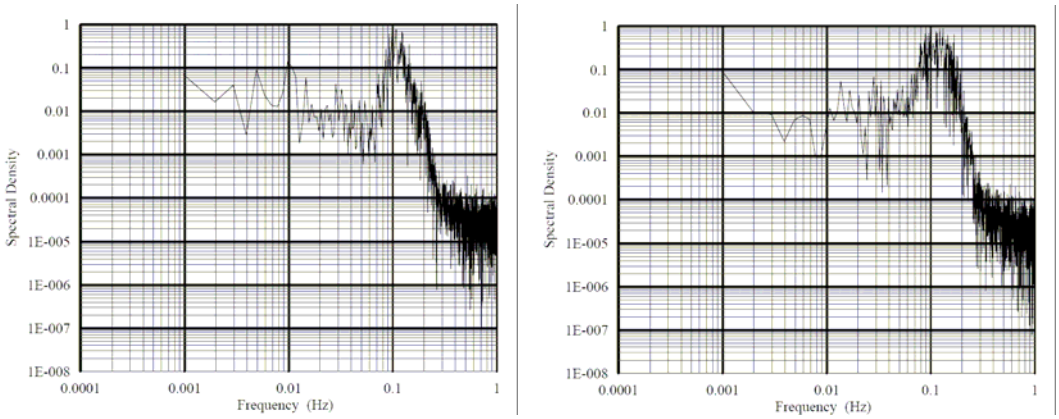
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/27 20 時

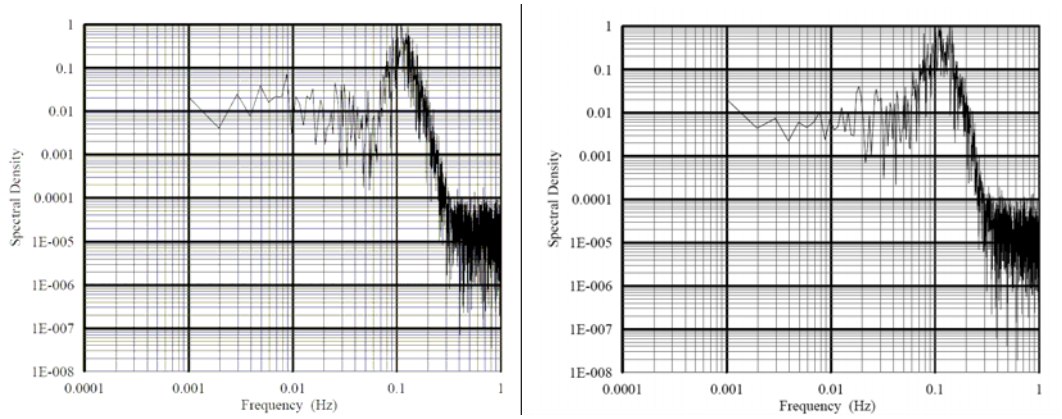



2001/9/27 22 時

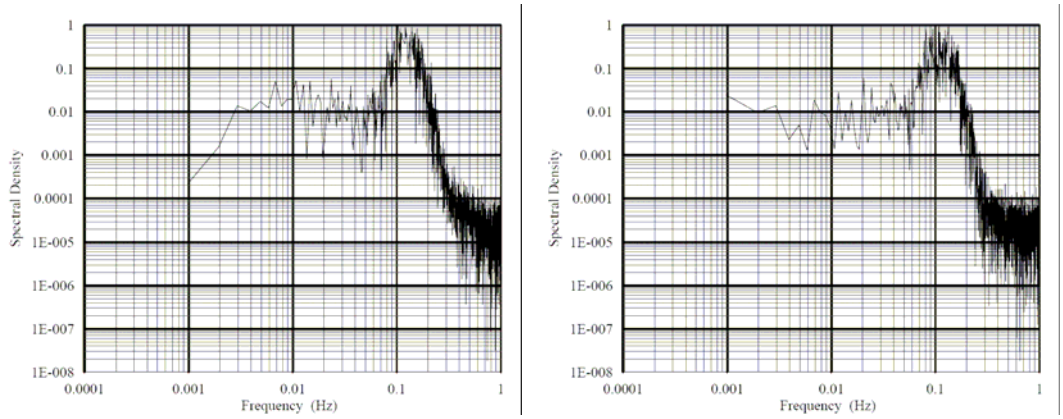



2001/9/28 0 時

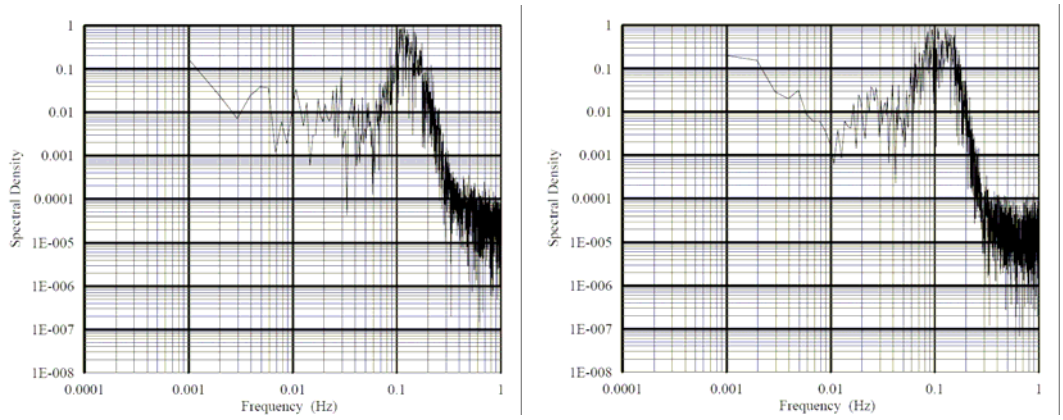
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/28 2 時

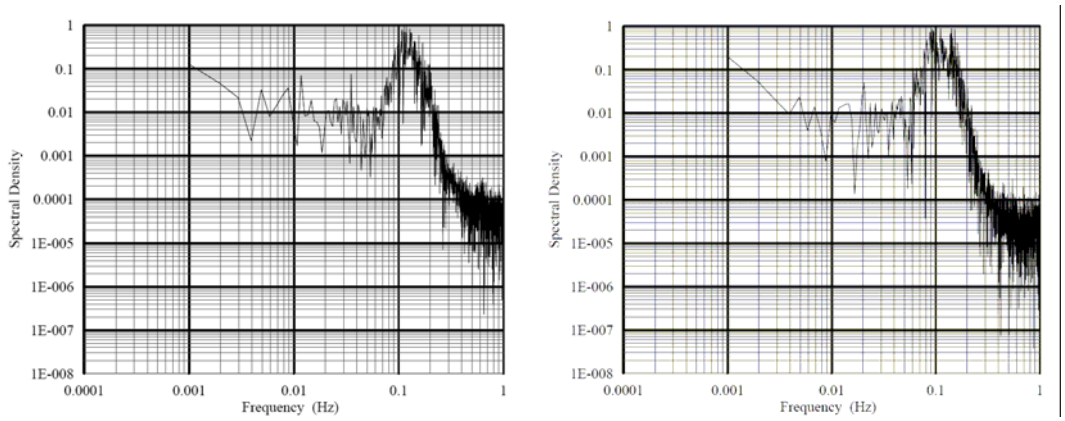



2001/9/28 4 時

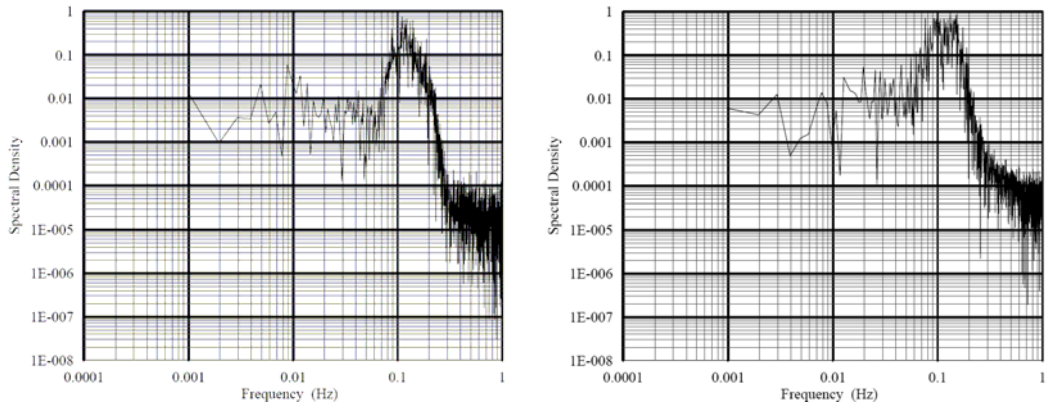



2001/9/28 6 時

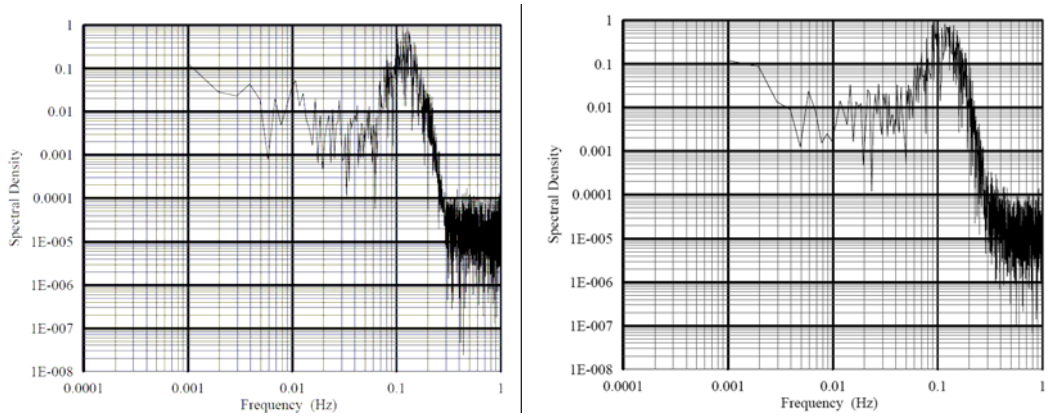
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/28 8 時

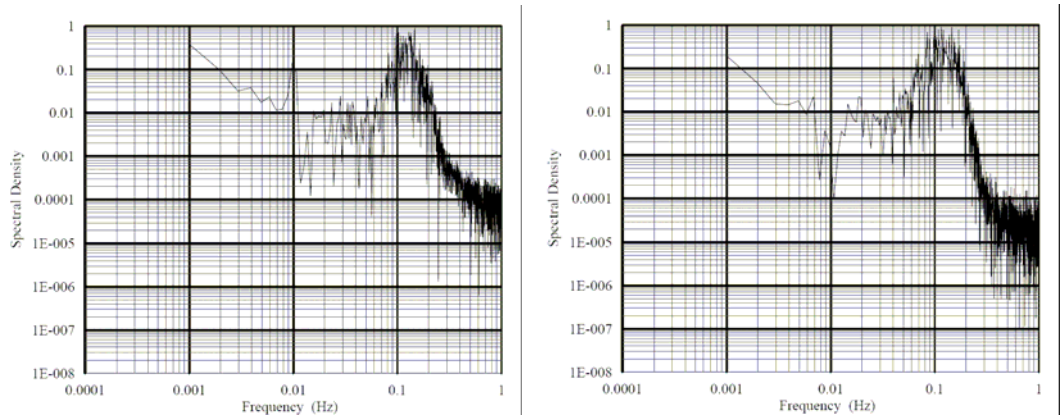



2001/9/28 10 時

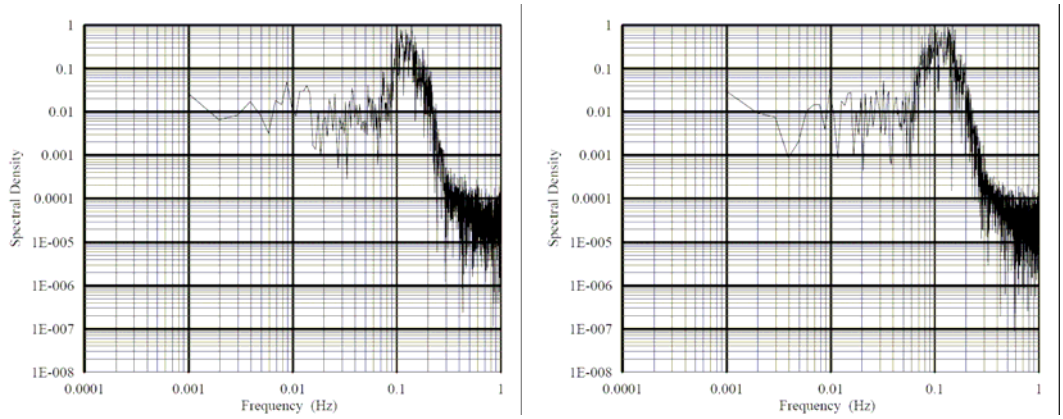



2001/9/28 12 時

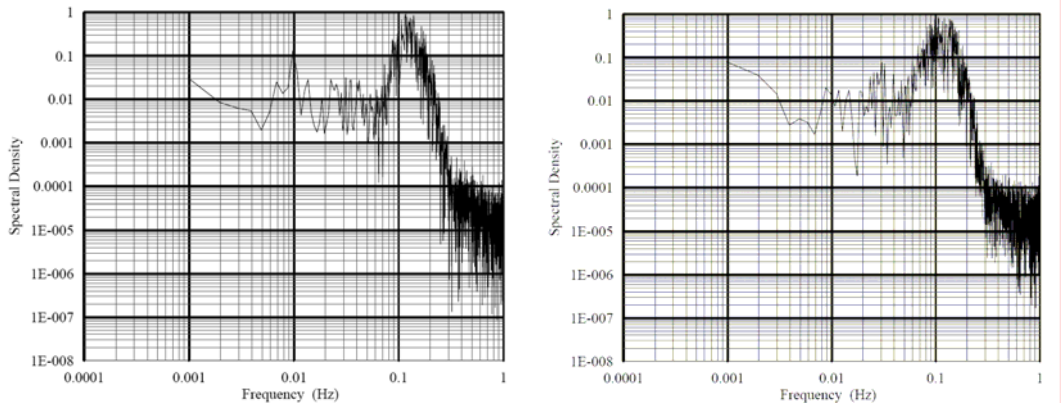
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/28 14 時

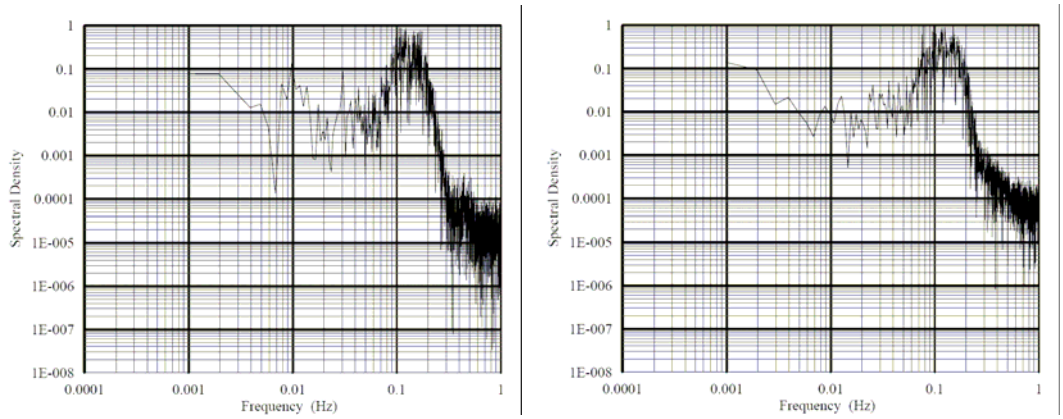



2001/9/28 16 時

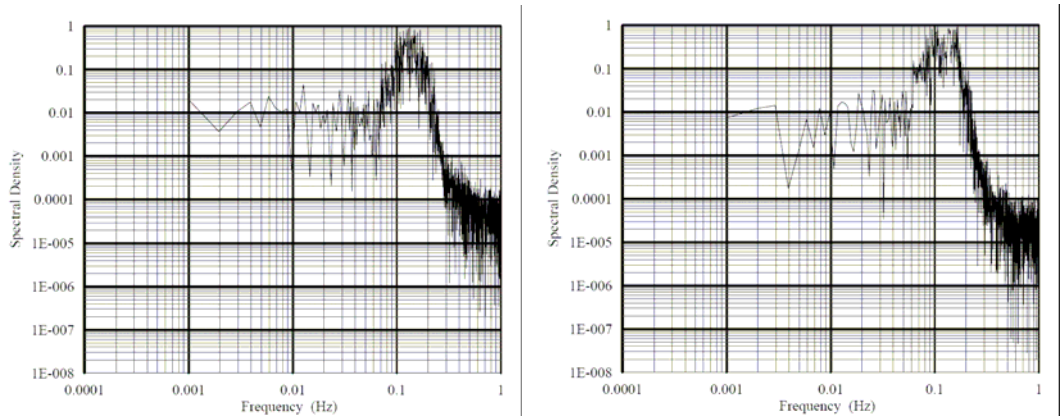



2001/9/28 18 時

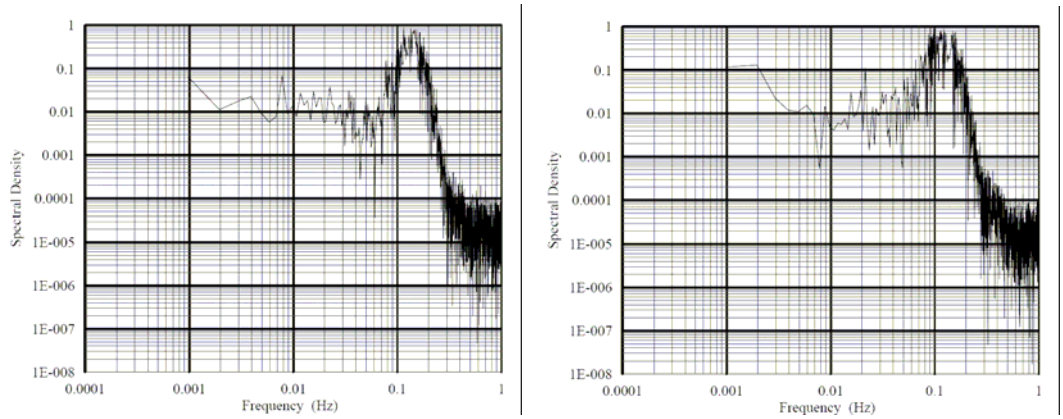
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/28 20 時

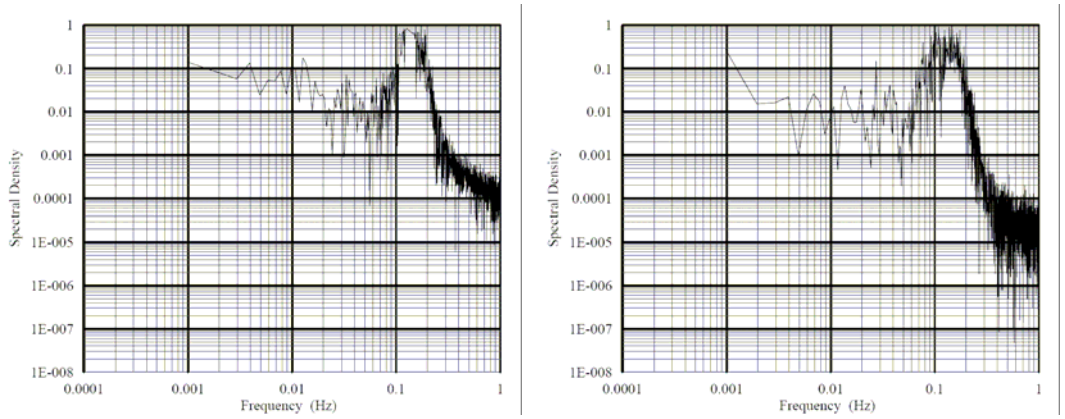



2001/9/28 22 時

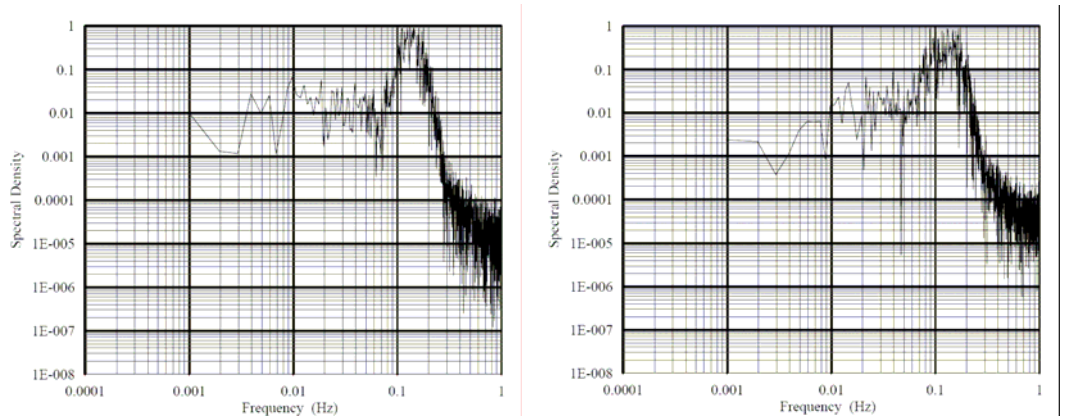



2001/9/29 0 時

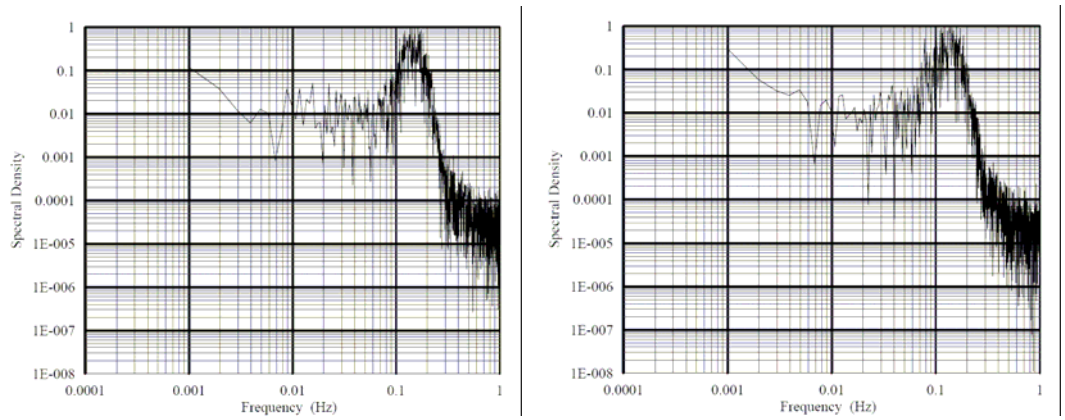
**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/29 2 時

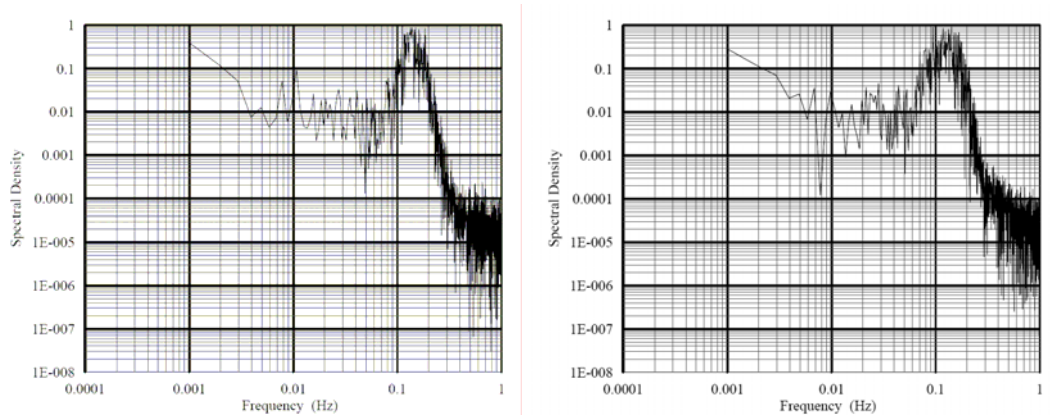



2001/9/29 4 時




2001/9/29 6 時

**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**




2001/9/29 8 時

**圖 3.46(續) 2001/9/21 20 時至 2001/9/29 8 時龜山島南岸(左欄)及花蓮鹽寮漁港(右欄)波浪觀測頻譜比較圖**

# 第四章 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

本項工作的目的是建置花蓮港港灣波動數值模式，包含規則波及不規則波模式。除了利用建置不規則波數值模擬之各成分波數值結果資料庫時，進行規則波的數值模擬，及以成分波能量線性疊加的方式整合為不規則波數值模擬結果外，也分別進行利用現場實測波浪進行之數值模擬,以及建置與 TAICOMS 波浪預報模式結合之花蓮港波浪預報模式。各相關的工作說明如以下各節。

## 4.1 無限元素港灣水面波動數值模式

本計畫所採用的港灣附近水面波動的數值計算模式是發展自陳炫杉博士(1990)的模式(林，1995)。該模式採用一般性的有限元素法解析假想邊界面以內水域的波動問題，並使用無限元素處理外海的散射波問題。與以前其他的數值模式不同的地方是：該模式假設外海為等坡度，而非等水深的海域。為了能考慮外海入射波的折射與淺化現象，該模式在給定假想邊界面上的入射波資料之前,先利用Snell's法則及能量守恒法則追蹤入射波自深海處(或波高測站處)向岸傳播的過程中，因為底床變化所產生的波向與波高的變化情形，一直到假想邊界面上為止。在計算出邊界面上各節點的入射波高、波向與相對相位差後，再進行港灣水面波動的模擬計算。

### 4.1.1 基本控制方程式

如圖4.1所示，考慮一任意形狀及水深的港池，其外海為一緩坡度變化的地形。將直角座標系統的 $x-y$ 平面置於靜水面上，原點 $O$ 置於港池開口的正中央，x軸與海岸線的平均位置平行，正 $y$ 軸則面向外海方向，而 $z$ 軸為鉛直向上。入射波的角度 $\theta_I$ 係自正 $x$ 軸以逆時針方向量測。假設水面的波動是一無迴旋性的理想流體的微小振幅波動，海底底床為不透水且緩變的地形，而固體邊界如海岸線、防波堤、港內的

垂直岸壁及海底底床的波浪反射率，$K_R$，也分別假設為常數值。

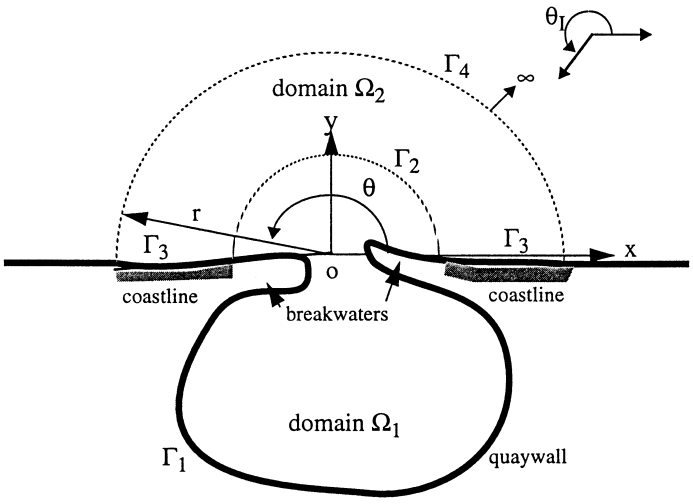



**圖 4.1 港池水面波動邊界值問題定義圖**

根據以上的假設，二維水面的波動現象可以滿足如下所示的緩坡度方程式

$$\nabla \bullet \left(CC_g \nabla \phi\right) + \omega^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0 \quad \text{.....(4.1)}$$

其中，$\nabla = \left(\partial/\partial x, \partial/\partial y\right)$；$C = L/T$ 為波速；$L$ 為波長；$T$ 為波浪週期；$C_g = nC$ 為群波速度；$n(x,y) = (1 + 2kh/\sinh 2kh)/2$；$k(x,y) = 2\pi/L$ 為波數；$h(x,y)$ 為水深；$\phi(x,y)$ 為複數型式的速度勢；而 $\omega = 2\pi/T$ 為角頻率。其中，波數 k 與角頻率 $\omega$ 間應滿足分散關係式，$\omega^2 = gk\tanh kh$，$g$ 為重力加速度。

為了考慮底床摩擦的影響，陳(1986)對上式引介了一個與底床摩擦有關的修正係數 $\lambda$。修正後的公式如下

$$\nabla \bullet \left(\lambda CC_g \nabla \phi\right) + CC_g k^2 \phi = 0 \quad \text{.....(4.2)}$$

其中，$\lambda = \left(1 + \left(i\beta a_I / h\sinh kh\right)e^{i\gamma}\right)^{-1}$；$i = \sqrt{-1}$；$\beta$ 為無因次量的摩擦係數；$a_I$ 為入射波振幅；$\gamma$ 為相位角。由於本文主要是建立數值波動模式，而且 $\beta$ 值必須經過實驗或現場實測決定，所以此處暫不考慮底床的摩擦，即

假設$\beta = 0$。

### 4.1.2 數值模式的建立

在建立數值模式時，使用了兩個半圓形的假想邊界面。如圖4.1中所示，$\Gamma_4$位於外海無窮遠處，而$\Gamma_2$則位於港外適當的延伸距離處。整個水域被區隔為兩個水域：有限範圍的港池區$\Omega_1$及無限範圍的外海區$\Omega_2$。港池區$\Omega_1$係一由港池岸壁、港外的海岸線、防波堤、假想邊界面$\Gamma_2$、自由水面及海底底床所包圍的水體；外海區$\Omega_2$則為一由海岸線、假想邊界面$\Gamma_2$及$\Gamma_4$、自由水面及海底底床所包圍的水體。港口外面的海底地形假設為坡度緩慢變化的直線海岸地形。港池區$\Omega_1$及外海區$\Omega_2$的水面波動均應分別滿足式(4.2)的控制方程式。兩個領域的控制方程式與相關的邊界條件分述如下：

1. 港池區$\Omega_1$的波動控制方程式為

$$\nabla \bullet \left(\lambda CC_g \nabla \phi_{\Omega_1}\right) + CC_g k^2 \phi_{\Omega_1} = 0 \quad \text{.....(4.3)}$$

其中，$\phi_{\Omega_1}$為港池區$\Omega_1$內的速度勢。

2. 在邊界$\Gamma_1$上的邊界條件分別為

$$\frac{\partial \phi_{\Omega_1}}{\partial n_{\Omega_1}} - \alpha \phi_{\Omega_1} = 0 \quad \text{.....(4.4)}$$

其中，$\alpha = ik[(1-K_R)/(1+K_R)]$，$K_R$為岸壁的反射係數，其值介於 0 至 1 之間；$n_{\Omega_1}$為單位法線向量並以向外為正。

3. 外海區$\Omega_2$的波動場可以分為兩個部份，其一為屬於已知條件的外海入射波與由海岸線引起的反射波波場，其二為因港口的存在所引起的散射波波場，整個波動場的速度勢$\phi_{\Omega_2}$可表示為

$$\phi_{\Omega_2} = \phi_0 + \phi_S = \left(\phi_I + \phi_R\right) + \phi_S \quad \text{.....(4.5)}$$

其中，$\phi_{\Omega_2}$ 為外海區 $\Omega_2$ 內的速度勢；$\phi_I$ 為入射波的速度勢；$\phi_R$ 為反射波的速度勢；而 $\phi_S$ 為散射波的速度勢。$\phi_{\Omega_2}$，$\phi_0$ 及 $\phi_S$ 應分別滿足式(4.2)的控制方程式，即

$$\nabla \bullet \left(\lambda CC_g \nabla \phi_{\Omega_2}\right) + CC_g k^2 \phi_{\Omega_2} = 0 \quad \text{.....(4.6)}$$

$$\nabla \bullet \left(\lambda CC_g \nabla \phi_0\right) + CC_g k^2 \phi_0 = 0 \quad \text{.....(4.7)}$$

及

$$\nabla \bullet \left(\lambda CC_g \nabla \phi_S\right) + CC_g k^2 \phi_S = 0 \quad \text{.....(4.8)}$$

4. 在邊界面 $\Gamma_3$ 上的邊界條件分別為

$$\frac{\partial \phi_{\Omega_2}}{\partial n_{\Omega_2}} - \alpha \phi_{\Omega_2} = 0 \quad \text{.....(4.9)}$$

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial n_{\Omega_2}} - \alpha \phi_0 = 0 \quad \text{.....(4.10)}$$

及

$$\frac{\partial \phi_S}{\partial n_{\Omega_2}} - \alpha \phi_S = 0 \quad \text{.....(4.11)}$$

5. 在邊界面 $\Gamma_4$ 上，散射波的速度勢 $\phi_S$ 應該滿足 Sommerfeld 的輻射條件，因此其邊界條件為

$$\lim_{r\to\infty} \sqrt{r}\left(\frac{\partial}{\partial r} - \frac{ik}{\sqrt{\lambda}}\right)\phi_S = 0 \quad \text{.....(4.12)}$$

其中，$r$ 是極座標系統裡自原點 $O$ 至指定點的距離（參考圖 4.1）。

6. 假想邊界面 $\Gamma_2$ 為港池區 $\Omega_1$ 與外海區 $\Omega_2$ 的相接邊界面，由邊界面的兩側其能量與動量必須連續的法則，其連續邊界條件可表為

$$\frac{\partial \phi_{\Omega_2}}{\partial n_{\Omega_2}} = -\frac{\partial \phi_{\Omega_1}}{\partial n_{\Omega_1}} \quad \text{.....(4.13)}$$

及

$$\phi_{\Omega_2} = \phi_{\Omega_1} \quad \text{.....(4.14)}$$

由上述兩個區域的控制方程式與邊界條件根據變分法的極小值原理，可以推導得到全水域的穩態泛函如下所示

$$F(\phi) = \frac{1}{2}\iint_{\Omega_1}\left(\lambda CC_g \nabla^2 \phi_{\Omega_1} - CC_g k^2 \phi_{\Omega_1}^2\right) dA + \frac{1}{2}\iint_{\Omega_2}\left(\lambda CC_g \nabla^2 \phi_S - CC_g k^2 \phi_S^2\right) dA$$
$$-\frac{1}{2}\int_{\Gamma_1} \alpha\lambda CC_g \phi_{\Omega_1}^2 dL + \int_{\Gamma_2} \lambda CC_g \frac{\partial \phi_0}{\partial n_{\Omega_2}} \phi_{\Omega_1} dL - \frac{1}{2}\int_{\Gamma_3} \alpha\lambda CC_g \phi_S^2 dL - \frac{1}{2}\int_{\Gamma_4} ik \frac{CC_g}{\sqrt{\lambda}} \phi_S^2 dL$$

.....(4.15)

透過離散化的處理，式(4.15)可以改寫成矩陣型式。式(4.15)中與港池區$\Omega_1$有關的第一項積分可利用一般的有限元素法來近似求得。常用的線性三角元素被用來分割該水域。線性的線段元素則用在邊界面$\Gamma_1$及$\Gamma_2$上。外海區$\Omega_2$是一個半無限大的水域，此處仍沿用Chen(1990)所建議的無限元素來處理與散射波有關的積分。雙節點的線性無限元素被用在式(4.15)的第二項積分，而單節點的無限元素則被用在邊界面$\Gamma_3$上的近似積分上。邊界面$\Gamma_4$上的積分由於散射波的速度勢$\phi_S$會消失在無窮遠處，因此該項積分予以忽略。

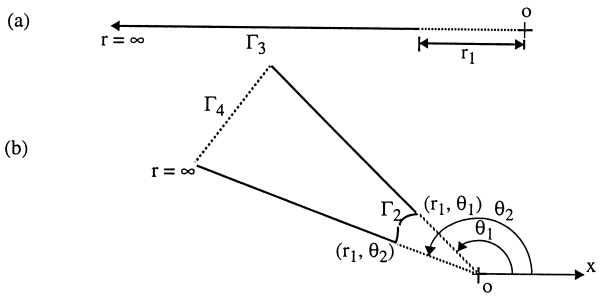



**圖 4.2 無限元素定義圖。(a)單節點無限元素；(b)雙節點無限元素**

如圖4.2所示，圖4.2(a)為單節點的無限元素，元素由距原點$r_1$處向無窮遠處延伸，它的形狀函數為

$$N_r = \sqrt{\frac{r_1}{r}} \exp\left( i \frac{k}{\sqrt{\lambda}} (r - r_1) \right), \qquad 0 \le r_1 \le r \le \infty \quad \text{.....(4.16)}$$

式中，$r_1$為無限元素與邊界$\Gamma_2$的交點至原點$O$的距離；$r$為無限元素與邊界$\Gamma_4$的交點至原點$O$的距離。此一元素上的散射波速度勢可以近似地表為

$$\phi_S(r) = N_r \phi_S(r_1) \quad \text{.....(4.17)}$$

圖4.2(b)為一雙節點的扇形無限元素，其相關的形狀函數為

$$N_{r\theta_1} = \frac{\theta_2 - \theta}{\Delta\theta} N_r, \quad N_{r\theta_2} = \frac{\theta - \theta_1}{\Delta\theta} N_r \quad \text{.....(4.18)}$$

其中，$\theta_1 \le \theta \le \theta_2$；$\Delta = \theta_2 - \theta_1$。則元素上散射波的速度勢可表示為

$$\phi_S(r,\theta) = N_{r\theta_1} \phi_S(r_1,\theta_1) + N_{r\theta_2} \phi_S(r_2,\theta_2) \quad \text{.....(4.19)}$$

經過有限元素法與無限元素的離散化處理後，式(4.15)可改寫為矩陣形式，並作泛函數的極小化處理，即

$$\frac{\partial F}{\partial \phi_i} = 0, \qquad i = 1...N \quad \text{.....(4.20)}$$

式中，$N$為總節點數。之後可用相關的矩陣運算求解各個節點的速度勢值，則各節點的繞射係數$K_D$值可由下式求得

$$(K_D) = \left| \frac{\phi_i}{2\phi_I} \right|, \qquad i = 1...N \quad \text{.....(4.21)}$$

此一部份較為詳細的相關推導可參考Chen(1990)或Lin(1995)。由式(4.21)顯示，在本模擬中，$K_D > 1.0$即表示有共振現象的發生。

### 4.1.1 入射波的傳播與變形

為了考慮外海底床坡度對港池水面波動數值模擬的影響，本研究對於上節所建立的數值模式中屬於已知資料的入射波條件，增加了波浪自外海向岸傳播時的追蹤與計算。Snell法則被用來計算波浪的行進方向，而能量守恒法則則被用來計算在不同水深處的波高變化。此外，本模式也追蹤了波浪沿波向線上的相位變化。相似的方法也用在追蹤反射波的波高、波向與相位的變化。所有有關入射波與反射波的計算均追蹤到邊界面$\Gamma_2$上的各個節點處。通常，對於海岸的消波能力常以一反射係數$K_R$來表示，因此各節點處的速度勢$\phi_0$可表示為$\phi_0 = \phi_I + K_R\phi_R$。

## 4.2 花蓮港的水深地形檔的整理

在花蓮港港灣波動模擬中除了必要的花蓮港的地形外，需考慮外海長週期入射波的折射與淺化，以及海岸及碼頭岸壁的非定值反射特性，以建構港灣波動數值模式。目前整個花蓮港內外的水深地形數值資料的取得，以及資料的一致性檢核。目前所知，如要建立花蓮港內外水域數值地形檔，將會需要花蓮港務局所測的港內水深地形、河川局的花蓮水深地形、以及國科會海科中心的外海水深方能竣工，然而其中的座標系統可能大不相同，而必須設法整合。在整合過程中發現，雖然各個測量系統可能使用不同的參考基準面，但其差值應僅在一至二公尺範圍，對供波浪折繞射計算的數值地形的建立尚不構成嚴重問題。比較顯著的問題是在各個水深測量系統的量測精度與解析度不同，再經過內插至較小網格時其誤差便以存在而且無法作有效地修正。

圖 4.3 是花蓮港水域數值水深資料彙整情形，由於上述的理由，我們可以發現外海的水深與灣內及港內的水深有一明顯的介面，而且外海水深過於規則應是在資料不足的情況下，利用較大網格的水深測量資料進行內插的結果。經過節點水深比較及部分平均化的處理後，得到圖 4.4 的數值水深地形，其差異性仍然存在，但已經較為緩和。在前三個年度本計畫係以此一數值地形進行花蓮港的波動模擬。該數值地

形的有限元素網格計有 5579 個節點，10799 個三角元素，比原始資料檔案的 10568 節點，20572 個三角元素精簡很多。在沒有其他任何分享之下，平均利用個人電腦的計算每個波浪條件約需 65 秒。民國 86 年，花蓮港進行水深地形測量，圖 4.5 為新的數值水深地形，該數值地形的有限元素網格計有 14642 個節點，28324 個三角元素，以雙 CPU 之工作站在 UNIX 系統及 Intel Fortran 作業環境裡每一個入射波條件大約執行 27 秒；以雙 CPU 之工作站在 Window 系統及 Visual Fortran 作業環境裡每一個入射波條件大約執行 39 秒。

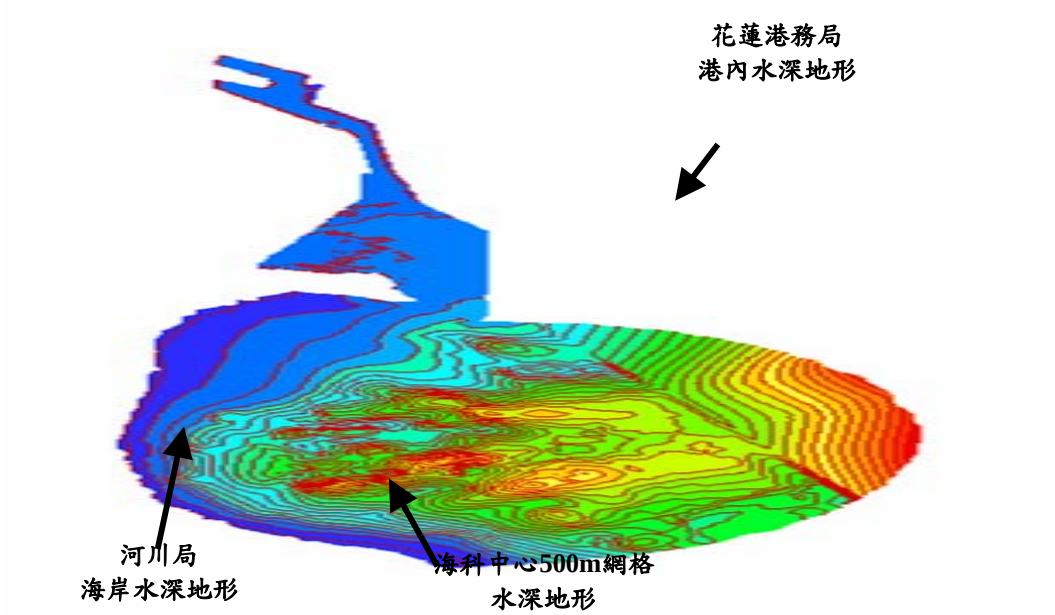



**圖 4.3 花蓮港水域數值水深資料彙整情形**

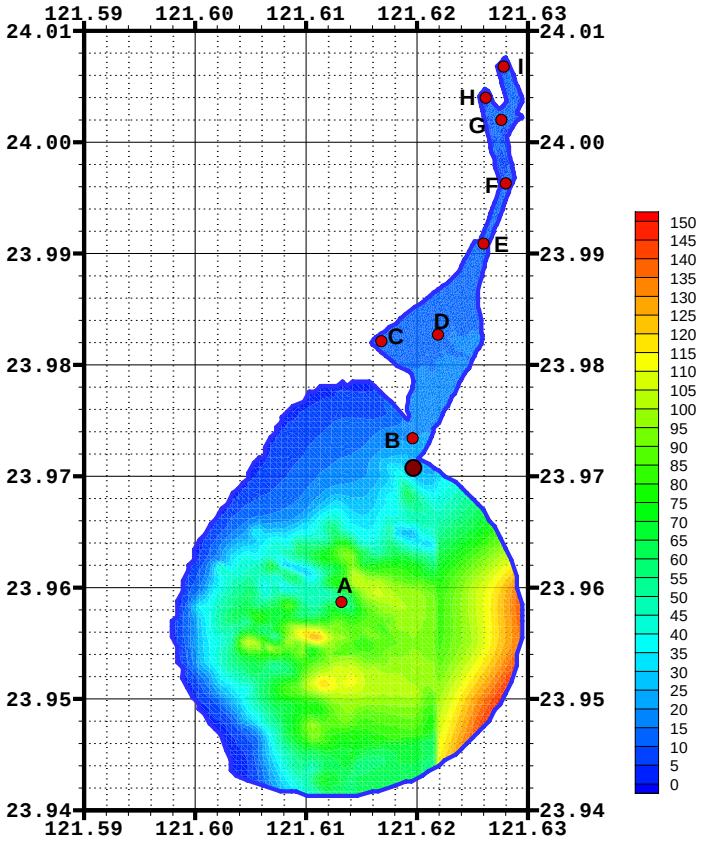



圖 4.4 舊花蓮港水域數值水深地形

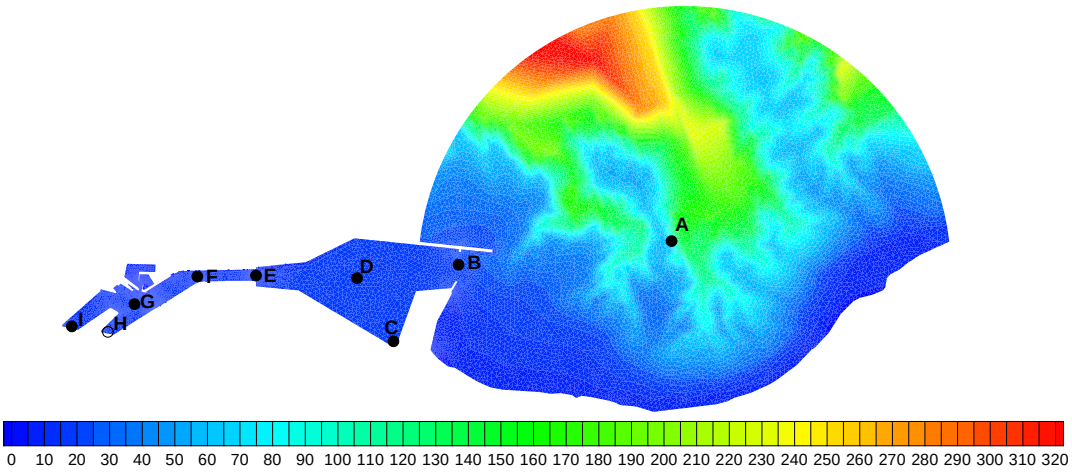



圖 4.5 96 年新測之花蓮港水域數值水深地形

## 4.3 規則波引致港灣波動數值模擬

為進行最惡劣情況的數值模擬，所有計算領域內的海岸均假設為完全反射($K_R$=1.0)。而為瞭解極長週期波作用下港內可能的波動情形，本計劃模擬的造波週期介於 3 至 200 秒。實際上，花蓮港港外的南北濱海岸為沙灘或人工堆石海岸，應該具備有相當程度的消波效果，未來可隨時配合實際情形修改邊界的反射條件。圖 4.6 為以舊水深地形模擬之九個測站(位置如圖 4.4 中所示)全部的波高增幅曲線圖，其中波浪反射率除了花蓮南北濱海岸的設為 0.5 以外，其餘均設為 1.0。圖 4.7 為以新測水深地形模擬之九個測站(位置如圖 4.5 中所示)全部的波高增幅曲線圖，所有岸壁的波浪反射率均設為 1.0。圖 4.8 為以新測水深地形模擬之九個測站(位置如圖 4.5 中所示)全部的波高增幅曲線圖，其中波浪反射率除了花蓮南北濱海岸的設為 0.5 以外，其餘均設為 1.0。從圖中可以發現水深、地形以及反射率的正確與否直接反映在波浪的增幅係數曲線上，也就是說直接影響到對港內水面波動的幅度及評估，尤其是共振週期的檢討。圖 4.7 與圖 4.8 均為新測水深地形，但南北濱海岸邊界的反射率不同，雖然主要的共振週期仍然相同，但是完全反射的岸壁可能引發更多的共振週期，共振幅度也較大。圖 4.6 與圖 4.8 的比較可以看出水深地形資料的不同可能引發不同的共振週期。此種情形除了可能導因於水深地形的不同外，計算領域(即假想邊界圓)的大小是否能涵蓋所有會影響港內波動的地形也是一種可能。

如果以新測水深地形，並假設花蓮南北濱海岸的波浪反射率為 0.5，其餘均設為 1.0 的狀況進行入射波週期介於 3 至 200 秒間的模擬及討論，從圖 4.8 可以看到，港外僅在 7 秒左右波浪作用有共振現；外港區在 21、25、28、44、51、55、65、75、109 秒等附近、以及 128 至 150 秒之間可能發生較大的波動；受限航道與外港區大致相同；內港區則在 33、40、49、53、58、66、74、79、85、129、149、193 秒等附近可能發生較大的波動。整個港區在 130 至 150 秒之間以及 193 秒處會整體性地引發共振現象($K_D$>1.0)，此一結論與以前的研究成果相當接近。圖 4.7 顯示入射波週期分別為 55、128、149 及 193 秒時之港區水

域波高增幅係數分佈圖。本節節錄部分成果進行說明。

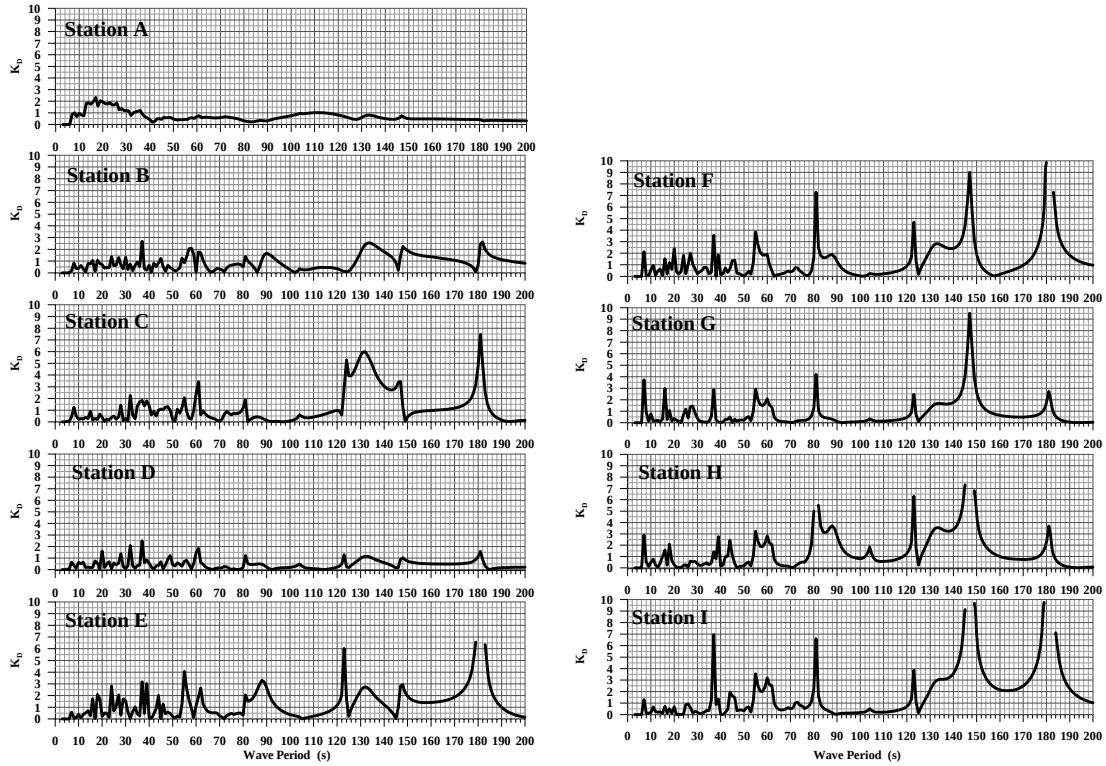



**圖 4.6 九個測站之波高增幅曲線圖(舊數值水深地形)**

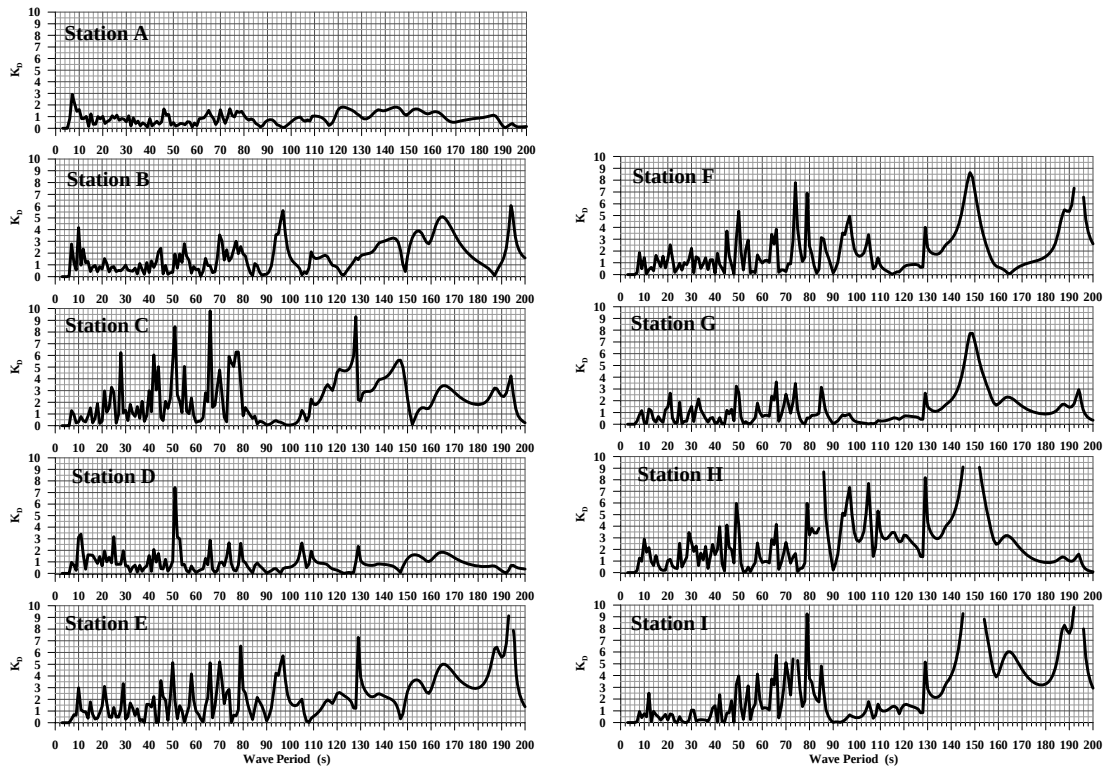



**圖 4.7 九個測站之波高增幅曲線圖(新數值水深地形，岸壁完全反射)**

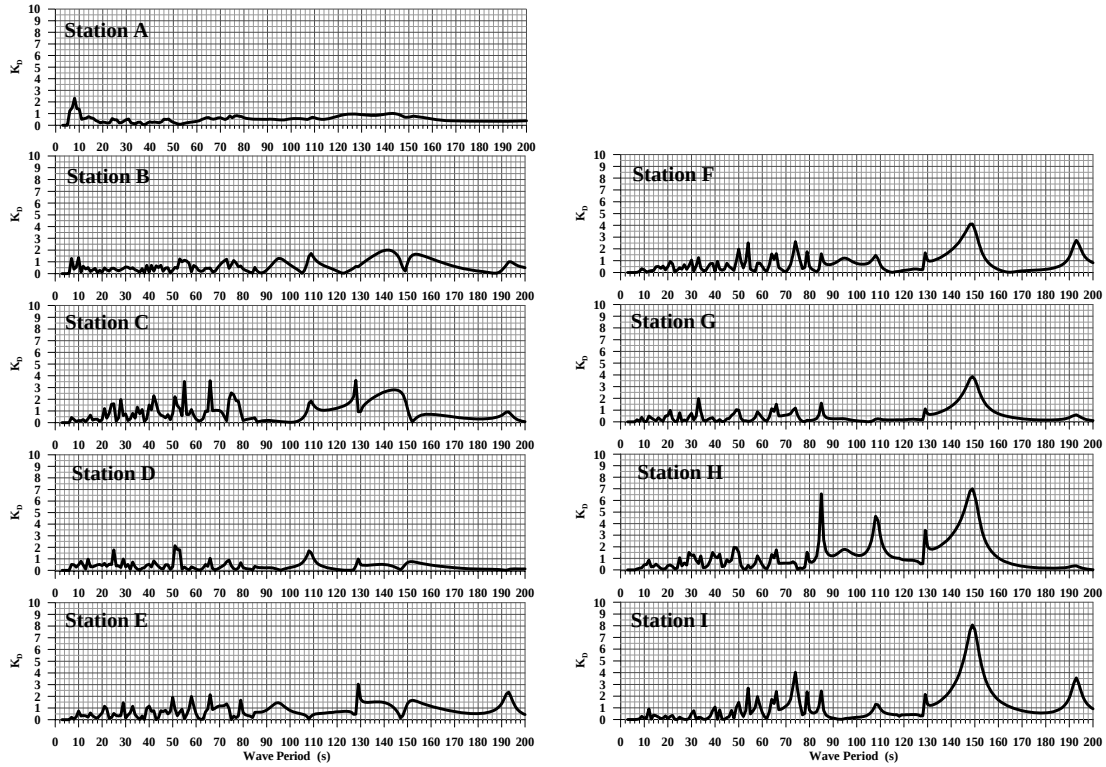
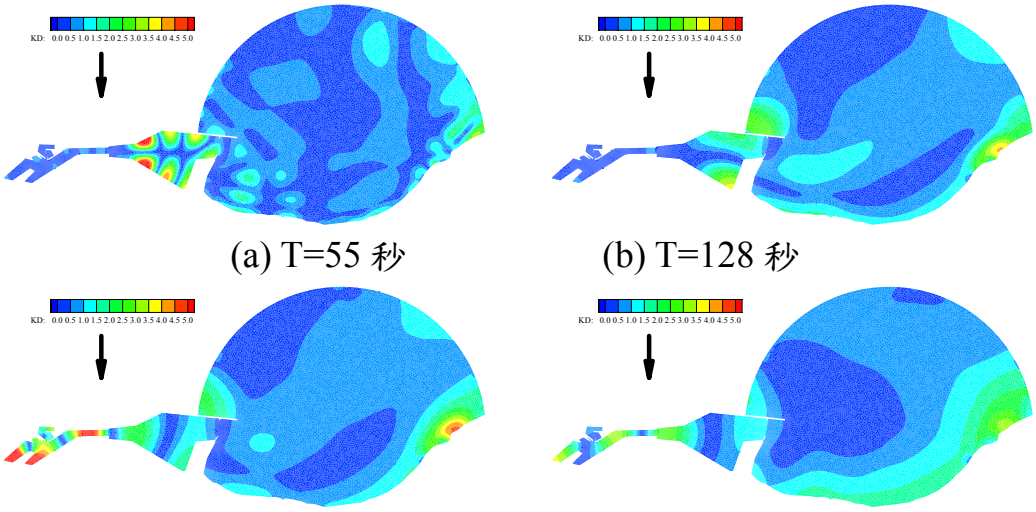



**圖 4.8 九個測站之波高增幅曲線圖(新數值水深地形，海岸部分反射)**



(a) T=55 秒　　(b) T=128 秒

(c) T=149 秒　　(d) T=193 秒

**圖 4.9 波高增幅係數 $K_D$ 分佈圖**

## 4.4 不規則波引致港灣波動數值模擬

### 4.4.1 理論波譜

(1) *Bretschneider 頻譜*

Bretschneider(1959)由無因次波高與無因次波長的聯合分佈函數所推導出之頻譜如下：

$$S(f)=3.437\frac{F_1^2}{F_2^4}\frac{g^2}{f^5}\exp\left[-0.675\frac{g^4}{(UF_2f)^4}\right] \quad \text{.....(4.22)}$$

其中，$F_1=g\overline{H}/U^2$，$F_2=g\overline{T}/(2\pi U)$，$U$ 為風速；$\overline{H}$ 為平均波高；$\overline{T}$ 為平均週期。

上式經過修正後，可以用示性波波高 $H_S$ 及譜峰頻率 $f_p$ 來表示：

$$S(f)=\frac{1.25}{4}\frac{f_p^4}{f^5}H_S^2\exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \quad \text{.....(4.23)}$$

修改後的頻譜不同的地方在於頻譜所使用的特徵參數不再是風速 $U$，而是使用示性波波高 $H_S$ 及譜峰頻率 $f_p$ 作為波譜的特徵參數，由於示性波波高 $H_S$ 與譜峰頻率 $f_p$ 可經由風速、吹風距離及吹風延時三者間的關係求得，因此此頻譜適用於成長階段或充分成長的風浪。

其後 Mitsuyasu(1970) 利用其觀測資料推得，譜峰週期 $T_p$ 或者其倒數譜峰頻率 $f_p$ 與示性波週期 $T_S$ 之間的關係為：$T_p=1.05T_S$。再針對式(4.23)中的係數作修改，修改後的公式如下：

$$S(f)=0.257H_S^2T_S^{-4}f^{-5}\exp\left[-1.03(T_Sf)^{-4}\right] \quad \text{.....(4.24)}$$

式(4.24)也被稱為 Bretschneider-Mitsuyasu 頻譜(B-M 譜)。

(2) *Pierson-Moskowitz 頻譜*

Pierson-Moskowitz 頻譜(P-M 譜)，這是最常被使用到的風浪頻譜之一，是 Pierson 與 Moskowitiz 在 1964 年時，根據在北大西洋的現場觀測資料，經過篩選分析所得出的風浪波譜，公式如下：

$$S(f) = 8.1\times10^{-3}(2\pi)^{-4} g^2 f^{-5} \exp\left[-0.74(g/2\pi fU)^4\right] \quad \text{.....(4.25)}$$

其中，$g$ 為重力加速度，單位為 $m/s^2$，$U$ 為在平均海水面上 19.5 公尺高度所觀測到的風速，單位為 $m/s$。

由於所觀測資料是在北大西洋收集到的，因此此風浪頻譜適用的範圍僅僅在外海遼闊且充分發展成熟的風浪。由於 P-M 頻譜公式需要風速作為輸入條件，若利用窄頻譜假設，可以得到譜峰頻率與風速間的轉換公式為：$f_p = 1.253/\sqrt{4.0\sqrt{2.84\times10^{-5}U^4}}$。將其代入原頻譜公式可以得到以下的公式：

$$S(f) = \frac{0.0081g^2}{(2\pi)^4}\frac{1}{f^5}\exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \quad \text{.....(4.26)}$$

(3) *JONSWAP 頻譜*

在 1968 至 1969 年間，由 Hasselmann 等人所進行的聯合北海波浪計畫(Joint Northsea Wave Project，簡稱 JONSWAP)，從丹麥、德國交界處西南岸的 Sylt 島沿西北方向布置一個測波段面，測站最大水深為 50 公尺。由所觀測到的資料得到有限風距下的風浪頻譜如下：

$$S(f) = \frac{\alpha_J g^2}{(2\pi)^4 f^5}\exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right]\gamma_J^{\varepsilon_f} \quad \text{.....(4.27)}$$

$$\alpha_J = \begin{cases} 0.07 & for\ f \le f_p \\ 0.09 & for\ f > f_p \end{cases} \text{：為能量尺度因子} \quad \text{.....(4.28)}$$

$$\varepsilon_f = \exp\left[-\frac{(f-f_p)^2}{2\alpha^2 f_p^2}\right] \quad \text{.....(4.29)}$$

$\gamma_J = \dfrac{S(f)_{\max}}{S(f)_{\max}^{PM}}$：稱為譜峰升高因子，為頻譜最大值與 P-M 頻譜最大值 $S(f)_{\max}^{PM}$ 之比

.....(4.30)

為了工程上的方便應用，Goda(1999)將原頻譜改寫成以示性波波高及尖峰週期表示的型式，改寫後的 JONSWAP 頻譜如下：

$$S(f) = \beta_J H_S^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp\left[-1.25(T_p f)^{-4}\right] \gamma_J^{\exp\left[-(T_p f-1)^2/2\alpha_J^2\right]} \quad \text{.....(4.31)}$$

$$\beta_J = \frac{0.06238}{0.23 + 0.0336\gamma_J - 0.185(1.9+\gamma_J)^{-1}}(1.094 - 0.01915\ln\gamma_J) \quad \text{.....(4.32)}$$

$$T_S = \left[1 - 0.132(\gamma_J + 0.2)^{-0.559}\right] T_p \quad \text{.....(4.33)}$$

$$\overline{T} = \left[1 - 0.532(\gamma_J + 2.5)^{-0.569}\right] T_p \quad \text{.....(4.34)}$$

$$\alpha_J = \begin{cases} 0.07 & for\ f \le f_p \\ 0.09 & for\ f > f_p \end{cases} \quad \text{.....(4.35)}$$

其中，$\overline{T}$ 表示為由零上切法所得到的平均週期；Hasselmann et al.(1973)建議 $\gamma_J$ 值的範圍為 1 到 7 之間，平均值為 3.3。

### 4.4.2 不規則波的波高增幅係數

一般在描述港灣附近的波動情況時，常利用繞射係數 $K_D$ (diffraction coefficient)來表示，繞射係數定義為港內之波高與港外入射波波高的比值，由繞射係數可以知道入射波浪對港灣內部所造成波高分佈之影響程度。由於港內波高並非為單一方向，與繞射係數的定義略有不同，因此後來對此一波高比改稱為波高增幅係數(wave amplification factor)，但是仍用 $K_D$ 表示。

有關港內水面波動的評估，以往都是用波高增幅係數分佈圖以及增幅曲線圖(共振曲線)。波高增幅係數分佈圖是在特定的入射波條件下描述計算水域的等增幅係數值分佈，藉以評估港內的波動情形；增幅

曲線圖是在指定的位置記錄不同外海入射波週期所引起的$K_D$變化情形，藉以瞭解港內特定點的波動自然頻率。然而這些計算多是在假設入射波週期以及入射波方向為一定的規則波條件下所求得的，與實際上的紛紜現象並不相同。

為了求不規則波作用下的水面波動情形，Goda 將方向波譜導入，以求得實際之繞射波高，其多方向不規則波之增幅係數公式如下：

$$(K_D)_{eff} = \left[ \frac{1}{m_0} \int_0^{\infty} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} S(f,\theta) K_D^2(f,\theta) d\theta df \right]^{1/2} \quad \text{.....(4.36)}$$

其中，$(K_D)_{eff}$表示不規則波之增幅係數；$K_D(f,\theta)$為在波浪頻率$f$且入射波向$\theta$條件下之成分波(規則波)所求得的增幅係數；$m_0$表示方向頻譜的零階面積矩，即

$$m_0 = \int_0^{\infty} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} S(f,\theta) d\theta df \quad \text{.....(4.37)}$$

而單方向不規則波之增幅係數則採用與 Goda 公式相同的方式來計算港內的增幅係數，即：

$$(K_D)_{eff} = \left[ \frac{1}{m_0} \int_0^{\infty} S(f) K_D^2(f) df \right]^{1/2} \quad \text{.....(4.38)}$$

由於波高與頻譜能量的關係一般在假設頻譜為單峰窄頻，且波高為 Raleigh 分佈時，可表示為

$$H_S = 4.004\sqrt{m_0} \quad \text{.....(4.39)}$$

而波高亦可以由傳統的增幅係數的定義求得

$$H = K_D H_I \quad \text{.....(4.40)}$$

為了瞭解這兩種波高的求取方法的差異性，本研究也進行比較。

### 4.4.3 單方向不規則波的模擬

如圖 4.10 所示為單方向不規則波作用下港灣波動數值模式的計算

流程，首先讀入港池的水深地形、計算領域的邊界及相關邊界條件，其此選擇欲計算的理論頻譜形狀，並輸入相關的參數值，如代表頻率、週期、及波高等。利用適當的成分波分割方法將指定的頻譜分割成 n 個成分波，並計算其代表頻率或週期，以及能量或波高等參數值。將各個成分波視為規則波，分別規則波的港灣波動數值模擬，並儲存各個造波條件的計算結果。利用計算領域內各點的增幅係數$K_D$值與外海入射波的成分波能量值計算該點的成分波能量值，將各個成分波的能量組合後得到港內任一點反應頻譜。最後利用各點的反應頻譜能量與外海入射波能量的比值開根號求得不規則波作用下的有效增幅係數$(K_D)_{eff}$值，以及利用頻譜距計算代表之平均週期$T_{0,1}$，並繪製其分佈圖。藉由港池相關資料的輸入與入射波頻譜的輸入，數值模式可以自動進行所有的相關計算，簡化了需要複雜處理程序的不規則波港灣波動數值模擬作業。

由於計畫時程有限，數值模擬所需時間較長，無法將過去三年的數值模擬全部重新執行，在本節討論中所用的部分數值結果仍為舊水深地形，新舊地形的區分可以從該圖的左上角是否顯示花蓮漁港的波動來區別。

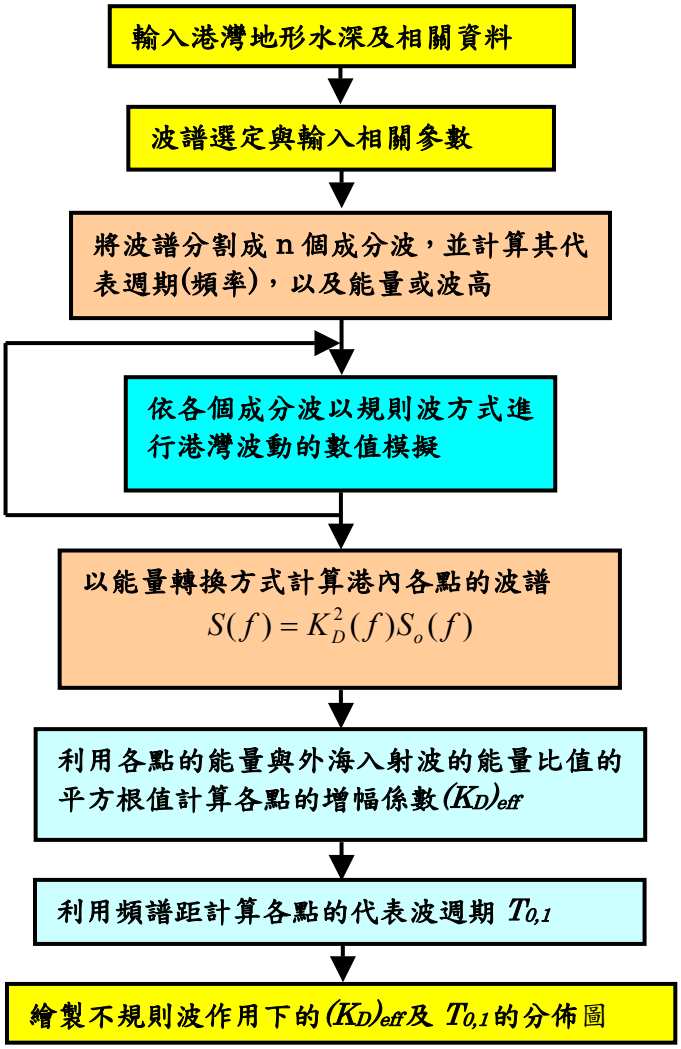



**圖 4.10 不規則波港灣波動數值模式的計算流程圖**

(1) 不同頻譜分割方法的比較

在不規則波模式中可引入的理論頻譜有 Pierson-Moskowitz 頻譜、Bretschneider-mitsuyasu 頻譜、以及 JONSWAP 頻譜。頻譜的分割方式則測試了等能量分割、等頻率分割、等週期分割、以及混合分割等方法。圖 4.11 及圖 4.12 是長方形港池及部分開口矩形港池用不同分割數的模擬結果，圖 4.13 至圖 4.21 是以 JONSWAP 理論頻譜為入射波頻譜的部分數值模擬結果。由於港灣波動對入射波的週期(頻率)相當敏感，目前的模擬與測試結果顯示以上所述的成分波分割方法在頻率介於 0.02 *Hz* 至五倍的譜峰頻率之間即使分割到 30 個成分波都還不能得到

趨於數值穩定的解，而且不同的分割方法或分割數可能會因為是否包含有會引發共振的成分波以及所含的能量而造成不同的數值結果，顯示成分波的分割方法與成分波的分割數對港灣波動的數值模擬相當重要。經過相關測試的結果，如要穩定地數值模擬不規則波港灣波動折繞射現象則不論是採用哪種成分波分割的方式，在重力波的範圍內都至少需要有 50 個成分波。

然而，就目前的模擬仍可以發現，港內的水面波動由於各點的增幅係數不同，而有不同的反應頻譜，以及不同的代表平均週期。港內各點的週期大多數情形是等於或短於入射波週期，但有些入射波條件作用下，港內則會發生大於入射波週期的波動。此一結果顯示過去採用規則波進行港灣波動模擬的方式，並不能說明港內波動週期的變化，也不應將波動週期視為不變。

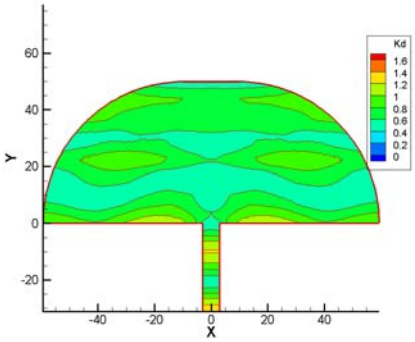
(2) 單方向不規則波的數值模擬

圖 4.22 及圖 4.23 係入射波代表週期 Ts=8s 時，利用規則波模式及不規則波模式(B-M 波譜及 JONSWAP 波譜，入射波代表波高為 Hs=6m，週期範圍 5s 至 30s)所計算之波高增幅係數分佈圖。從圖中可以發現，利用規則波進行的數值模擬結果較不規則波的數值來得小，但其他的入射波條件則可能增大。其原因應是港灣波動模擬對入射波週期的敏感度相當高，利用規則波進行模擬時，很容易反映出入射波週期與港灣的自然頻率的關係；反之，不規則波對入射波頻譜的能量是依理論頻譜規定的權重，將波能分配到所有的成分波裡，因此不同週期波動的線性疊加中，波浪能量便很容易地被分散掉。圖 4.23 中兩種不同理論頻譜的模擬結果則相當接近，應該與重力波範圍內(週期介於 5s 至 30s)的能量分配相近。但 JONSWAP 頻譜的模擬結果比 B-M 頻譜略大，應是與能量的集中情形有關。

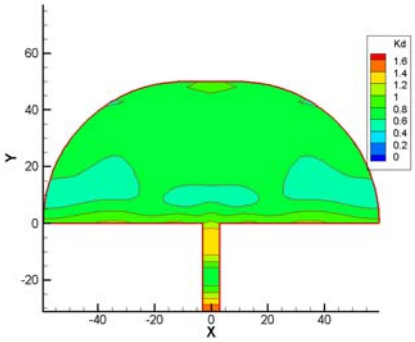
不規則波所引致的港灣水面波動在一般的認知裡面，常以波高增幅係數的分佈來闡釋無因次波高的變化情形，但是如果我們注意到不規則波的模擬是需要輸入有因次的特定頻譜，在該頻譜內包含了特定

的波能、波高及週期等參數資訊，而且不同的參數值就可能引發不同的反應。因此，用無因次的增幅係數來表示不規則波的波動在基本定義上是不像在模擬規則波波動上那麼肯定。目前有關不規則波的波高增幅係數可以有兩種不同的解讀：代表波高的比值，以及能量的比值開根號。其間的差異主要出在頻譜能量與波高間的關係，也就是說，一般在深海波時，如果波高滿足 Rayleigh 分佈，則示性波高等於頻譜能量開根值的 4.004 倍，但是港內的代表波高與頻譜能量間的關係則因為頻譜不屬於單峰的窄頻頻譜，波高分佈也不再是 Rayleigh 分佈，其間的關係是否能再適用，值得進一步思考。本研究在此先針對不規則波水面波動的表示方法進行探討於比較。圖 4.24 至圖 4.25 依序分別為以 B-M 頻譜及 JONSWAP 頻譜進行模擬，並分別以式(4.39)及式(4.40)的分別計算水面的波高分佈的數值結果。從圖中可以看出圖 4.24(a)及圖 4.25(a)間，以及圖 4.24(b)及圖 4.25(b)間的分佈極為相似，顯示在本模擬條件下，B-M 頻譜及 JONSWAP 頻譜的能量分佈差異性不大。但是比較圖 4.24 各圖，以及圖 4.25 各圖之間就發現其波高分佈有些差異。其可能的原因應是式(4.39)進行波高計算時係假設示性波高與頻譜能量開根值有 4.004 的比例，但目前在現場的波浪觀測中皆顯示大約在 3.8 左右，而且外海與港內可能有不同的係數。未來應針對此一部份進行探討。

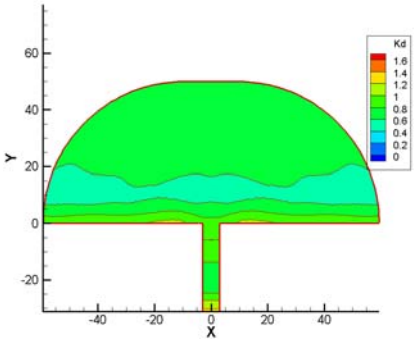
圖 4.26 及圖 4.27 為代表入射波週期為 Ts=10s 時，利用規則波模式及不規則波模式(JONSWAP 波譜，代表入射波波高分別為為 Hs=6m 及 10m，週期範圍 5s 至 30s)所計算之波高增幅係數分佈圖。從各圖的比較也可以發現規則波的波動分佈較大，而入射波波高較大的頻譜所得到的水面 $(K_D)_{eff}$ 分佈也相對提高，顯示不規則波的水面波動分佈受到入射波波高及週期的影響，這點與規則波模擬中的想法不同。圖 4.28 及圖 4.29 是由圖 4.27 之 $(K_D)_{eff}$ 分佈以式(4.39)及式(4.40)的分別計算水面的波高分佈。圖中也充分顯示入射波波高的影響。



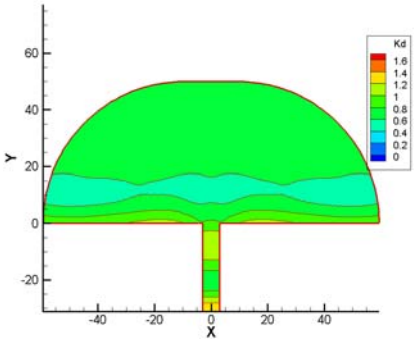

**(a)分割數 n=10**



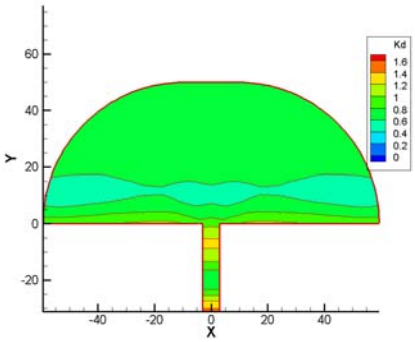

**(b)分割數 n=20**




**(c)分割數 n=30**



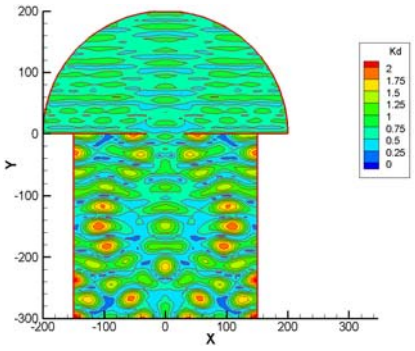

**(d)分割數 n=40**



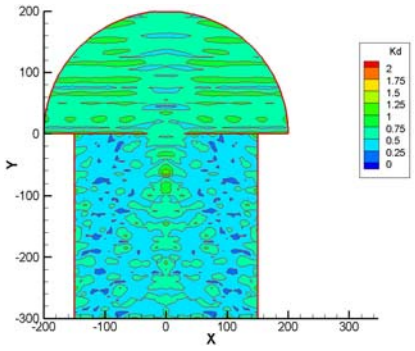

**(e)分割數 n=50**

**造波條件：**
**JONSWAP 頻譜**
**入射方向：正向 270°**
**頻譜分割方式：等頻率分割**
**波浪條件：H1/3=3m、T1/3=6s**

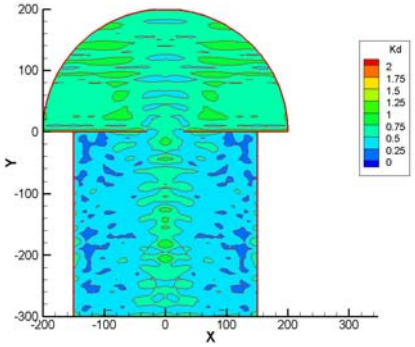
**圖 4.11 長方形港池在不同成分波數目下的港灣波動 $K_D$ 分佈情形**



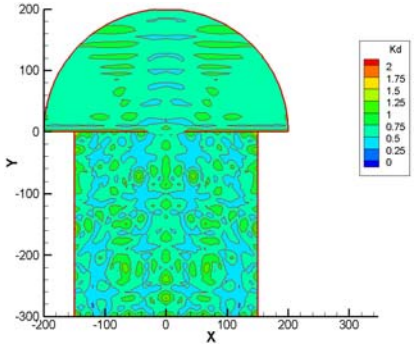

**(a)分割數 n=10**



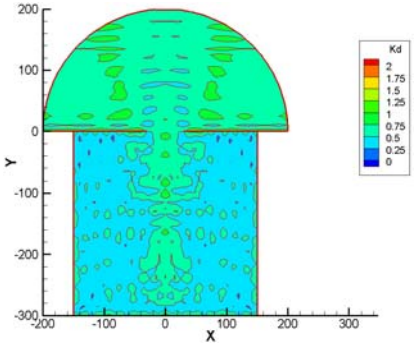

**(b)分割數 n=20**




**(c)分割數 n=30**



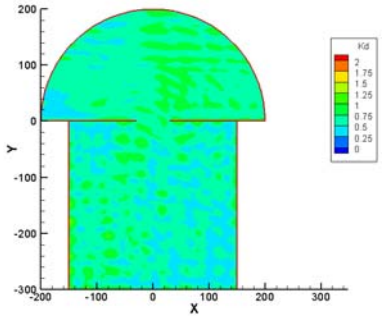

**(d)分割數 n=40**



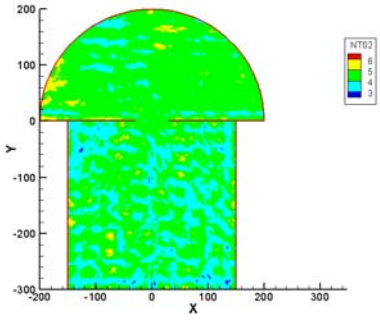

**(e)分割數 n=50**

**造波條件：**
**JONSWAP 頻譜**
**入射方向：正向 270°**
**頻譜分割方式：等頻率分割**
**波浪條件：H1/3=3m、T1/3=6s**

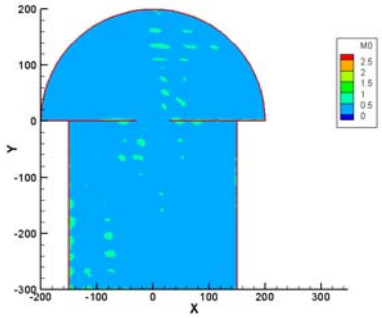
**圖 4.12 正方形港池在不同成分波數目下的港灣波動 $K_D$ 分佈情形**



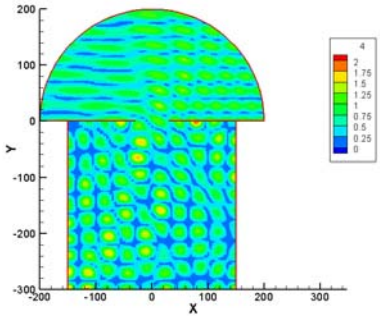

(a) $K_D$ 值分佈




(b)平均週期分佈

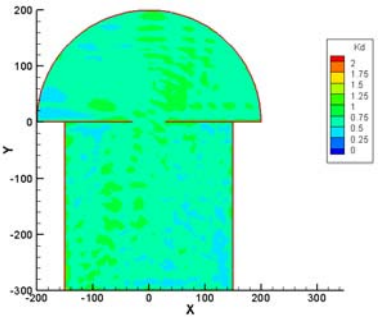



(c)零階矩分佈

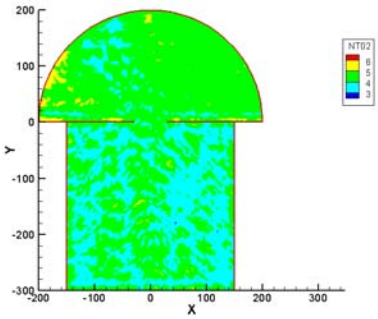



(d)譜峰頻率處之成分波 $K_D$ 值分佈

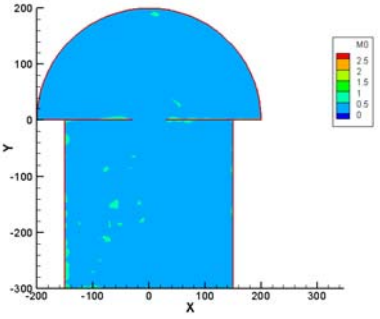
**圖 4.13 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、240°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等頻率分割、n=30)**



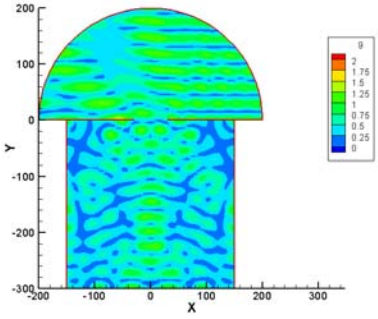

(a) $K_D$ 值分佈




(b)平均週期分佈

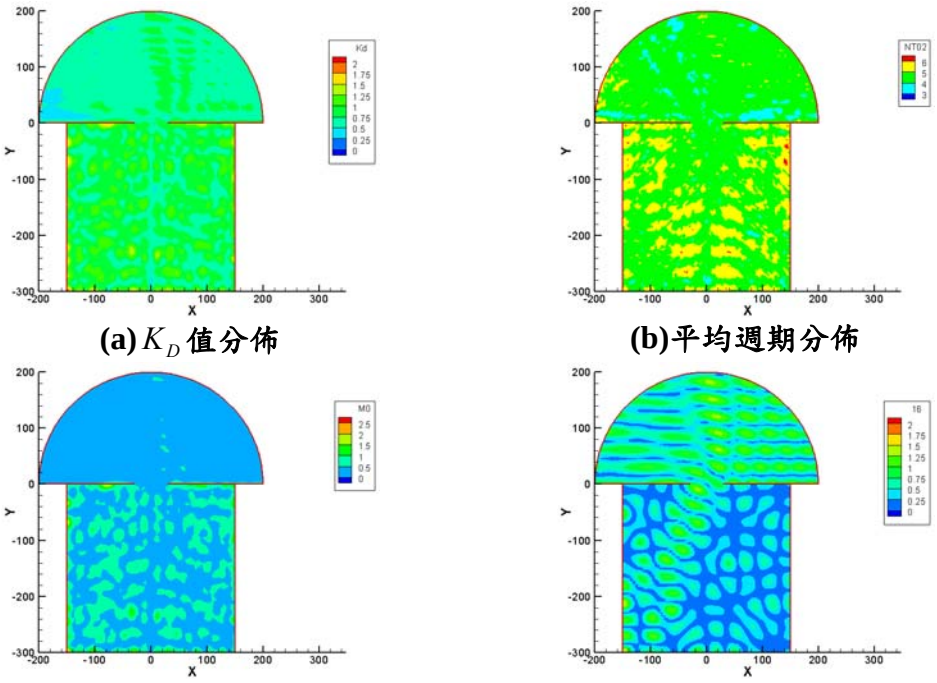



(c)零階矩分佈




(d)譜峰頻率處之成分波 $K_D$ 值分佈

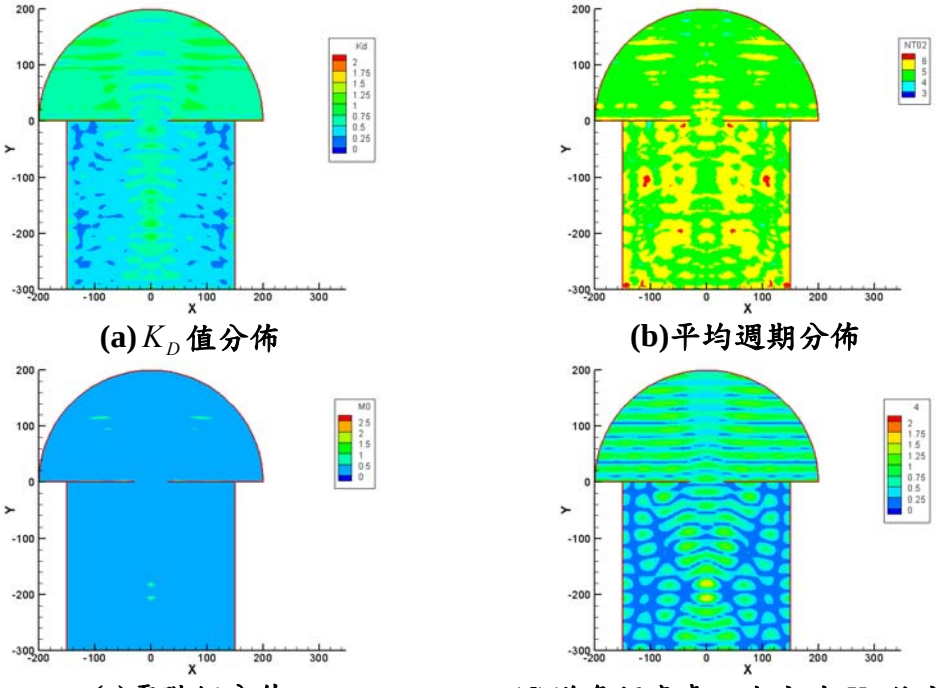
**圖 4.14 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、240°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、混合分割、n=30)**



(a)$K_D$值分佈　(b)平均週期分佈

(c)零階矩分佈　(d)譜峰頻率處之成分波$K_D$值分佈

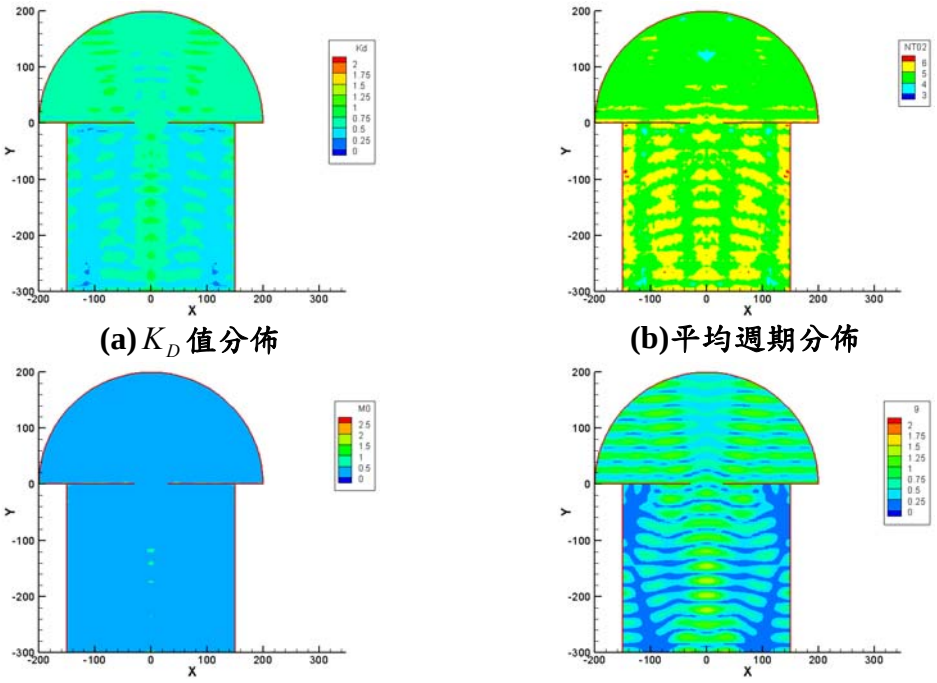
**圖 4.15 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、240°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等週期分割、n=30)**



(a)$K_D$值分佈　(b)平均週期分佈

(c)零階矩分佈　(d)譜峰頻率處之成分波$K_D$值分佈

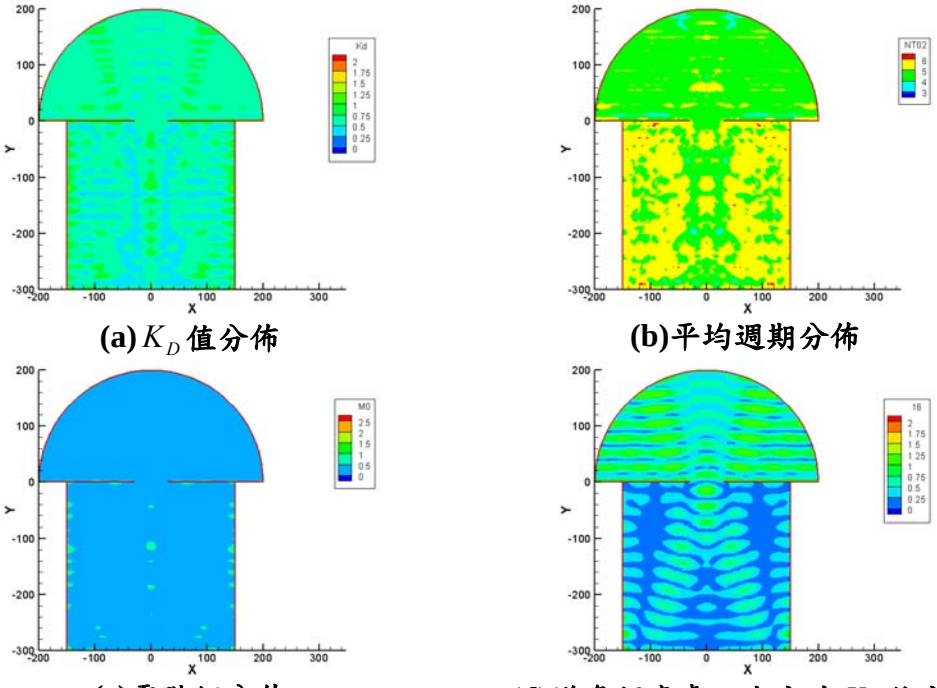
**圖 4.16 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等頻率分割、n=30)**



(a)$K_D$值分佈　(b)平均週期分佈

(c)零階矩分佈　(d)譜峰頻率處之成分波$K_D$值分佈

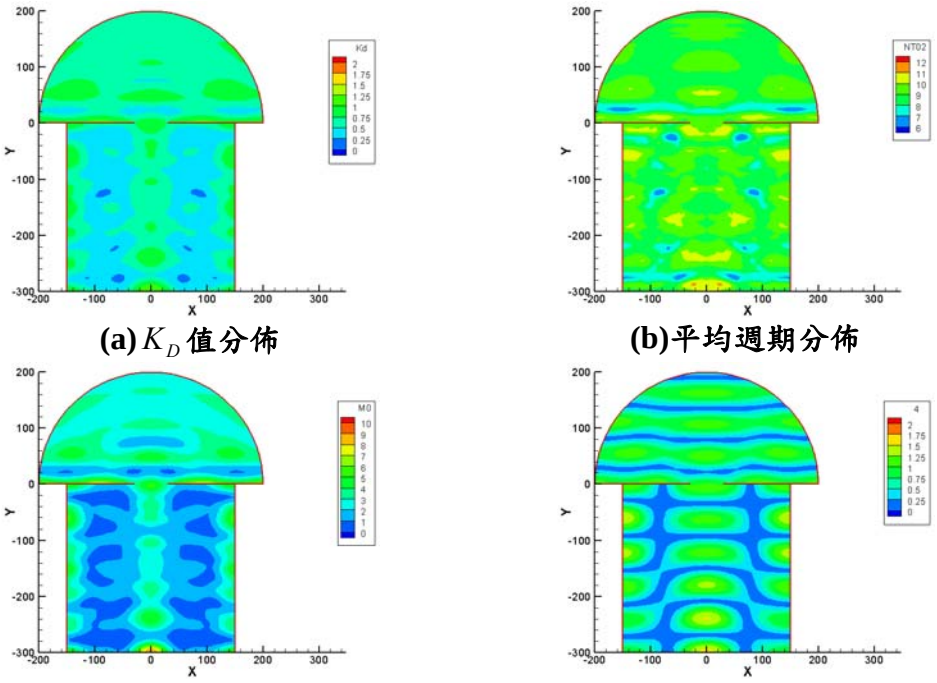
**圖 4.17 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、混合分割、n=30)**



(a)$K_D$值分佈　(b)平均週期分佈

(c)零階矩分佈　(d)譜峰頻率處之成分波$K_D$值分佈

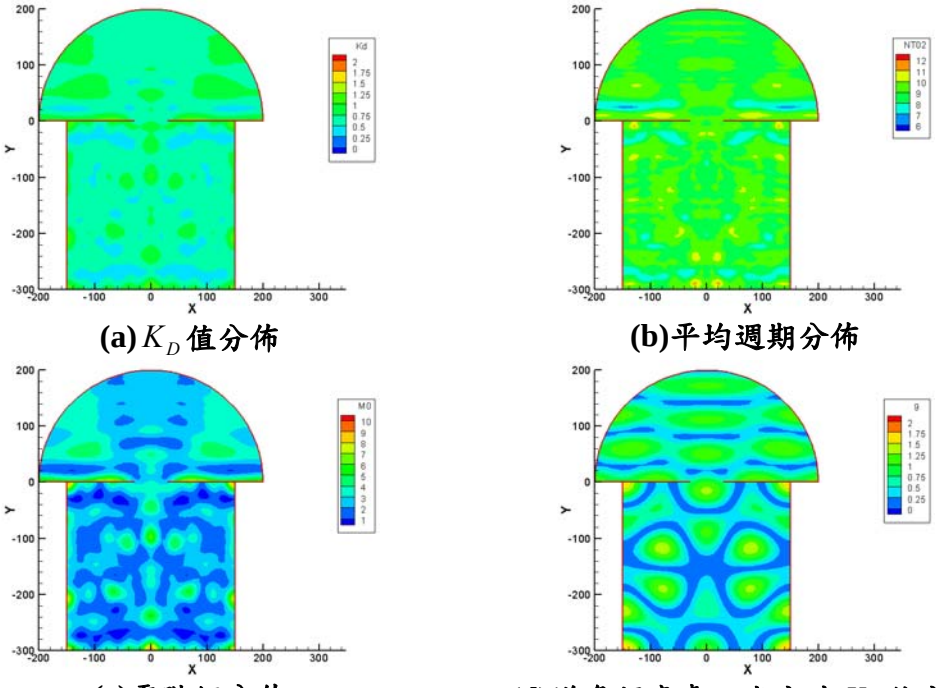
**圖 4.18 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.1667Hz、$H_{1/3}$=3m、等週期分割、n=30)**



(a)$K_D$值分佈　(b)平均週期分佈

(c)零階矩分佈　(d)譜峰頻率處之成分波$K_D$值分佈

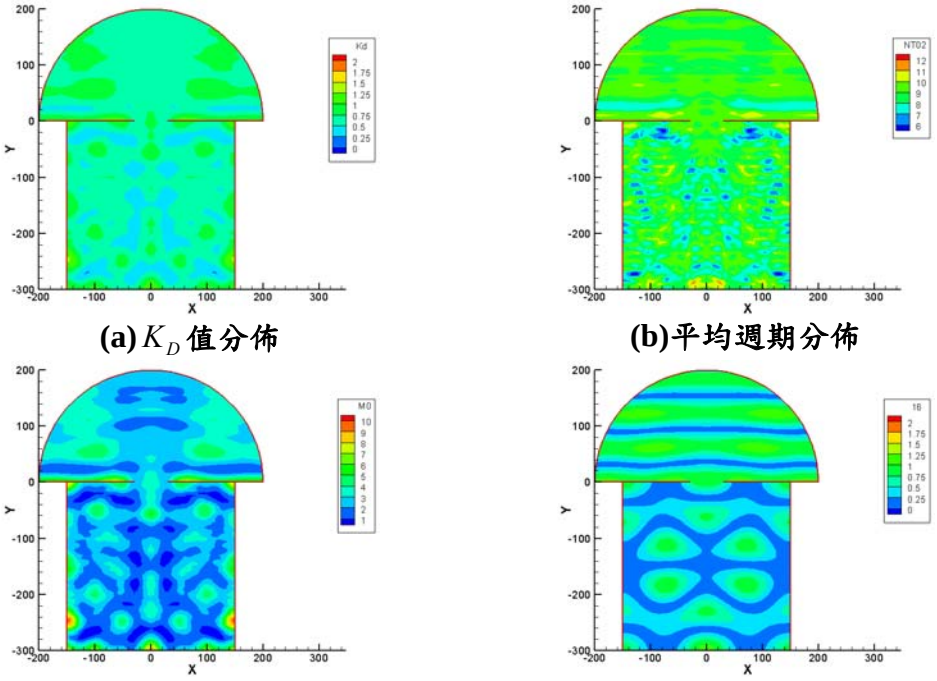
**圖 4.19 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.0833Hz、$H_{1/3}$=3m、等頻率分割、n=30)**



(a)$K_D$值分佈　(b)平均週期分佈

(c)零階矩分佈　(d)譜峰頻率處之成分波$K_D$值分佈

**圖 4.20 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.0833Hz、$H_{1/3}$=3m、混合分割、n=30)**




**(a)$K_D$值分佈** **(b)平均週期分佈**

**(c)零階矩分佈** **(d)譜峰頻率處之成分波$K_D$值分佈**

**圖 4.21 數值模擬結果(JONSWAP 頻譜、270°入射、$F_{peak}$=0.0833Hz、$H_{1/3}$=3m、等週期分割、n=30)**

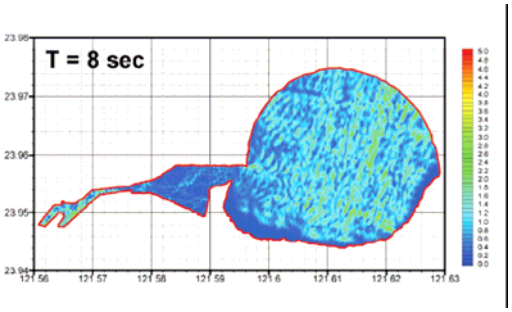
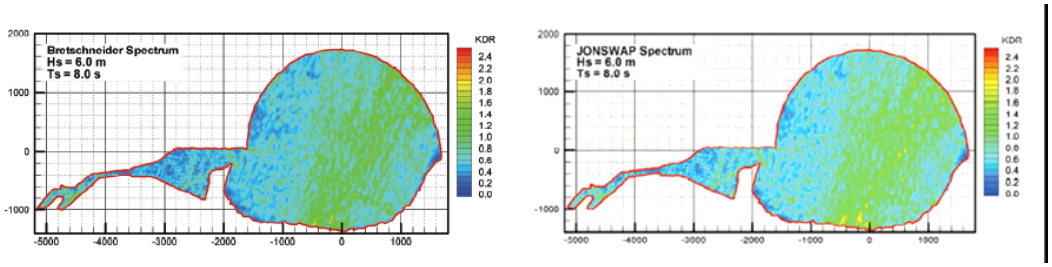
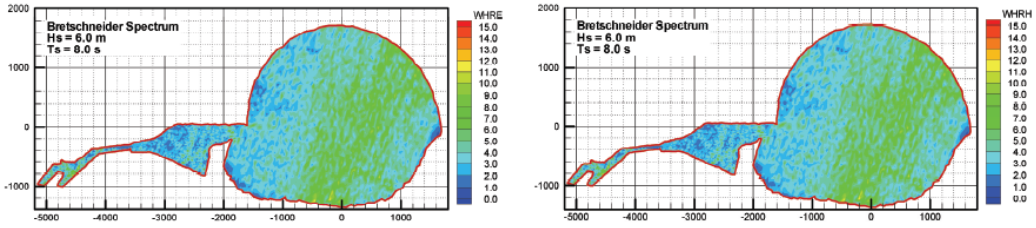



**圖 4.22 規則波作用下 $K_D$ 分佈圖(Ts=8s)**



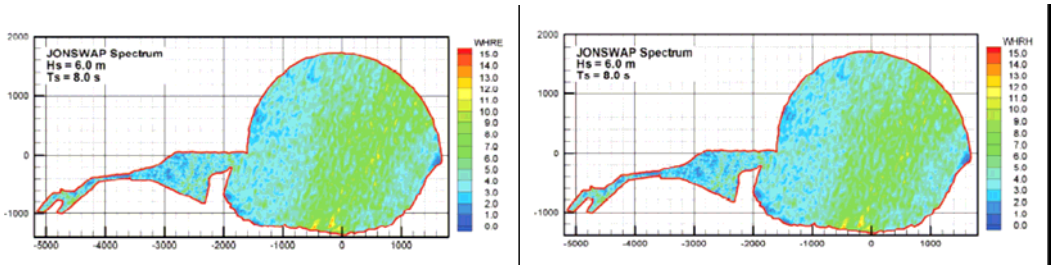

(a) B-M 頻譜　　(b) JONSWAP 頻譜

**圖 4.23 不規則波作用下 $(K_D)_{eff}$ 分佈圖(Ts=8s, Hs=6m)**




(a) 式 4.39　　(b) 式 4.40

**圖 4.24 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=8s，Hs=6m，B-M 頻譜)**




(a) 式 4.39　　(b) 式 4.40

**圖 4.25 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=8s，Hs=6m，JONSWAP 頻譜)**

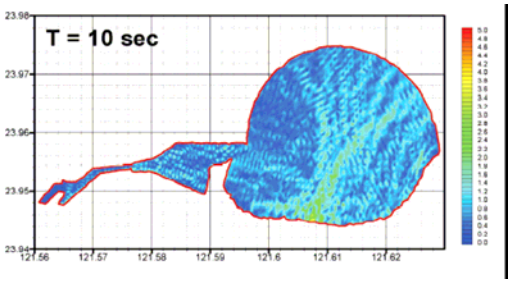
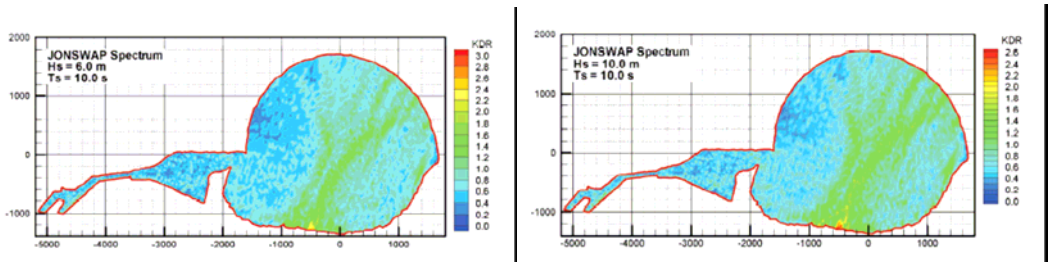
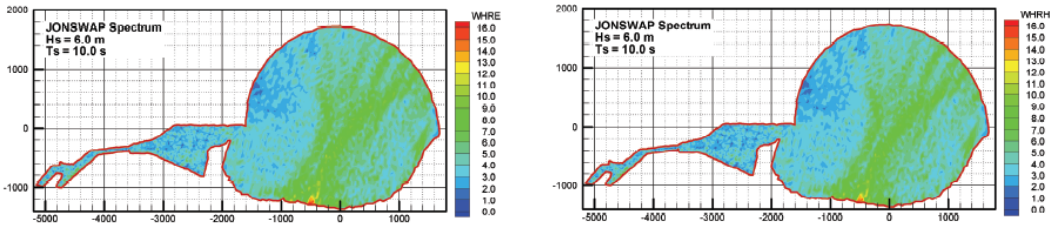



**圖 4.26 規則波作用下 $K_D$ 分佈圖(Ts=10s)**



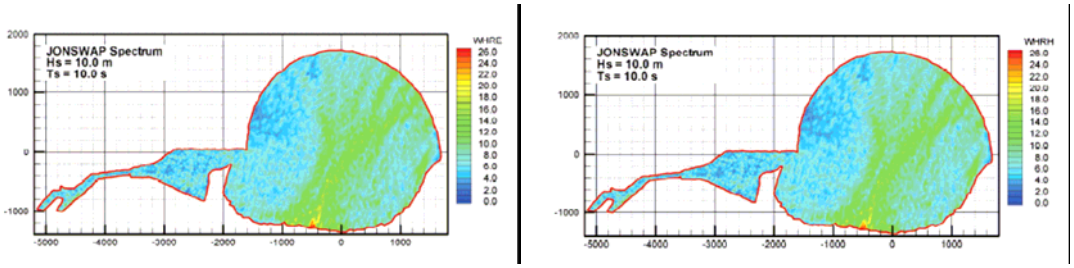

(a) Hs=6m　　(b) Hs=10m

**圖 4.27 不規則波作用下 $(K_D)_{eff}$ 分佈圖(Ts=10s，Hs=6m)**




(a) 式 4.39　　(b) 式 4.40

**圖 4.28 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=10s，Hs=6m)**



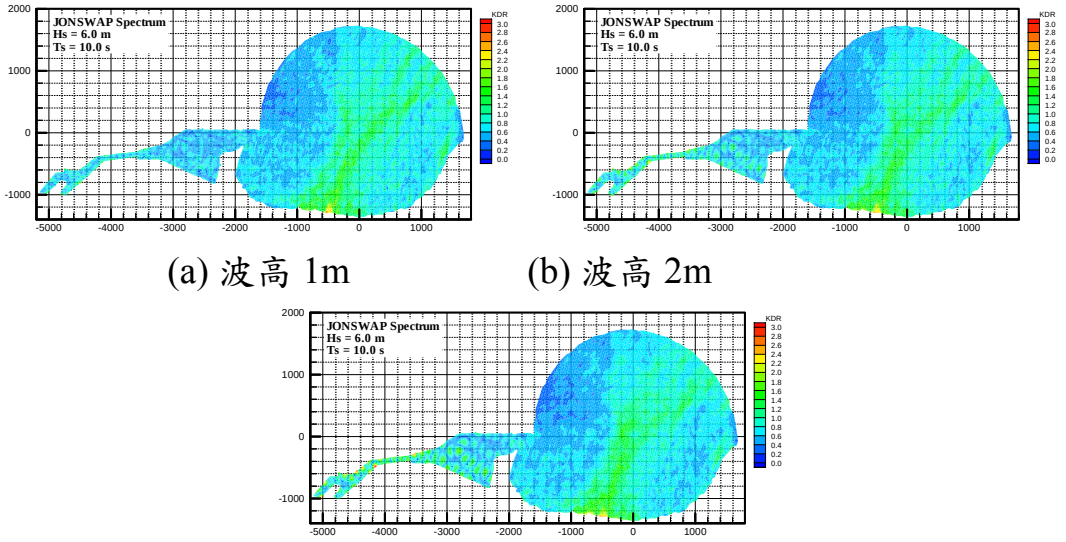

(a) 式 4.39　　(b) 式 4.40

**圖 4.29 不規則波作用下波高分佈圖(Ts=10s，Hs=10m，式 4.40)**

### 4.4.4 長週期波動的模擬

在一般理論頻譜中，波浪的能量主要包含在重力波的範圍內，週期大於 30 秒的成分波往往不具備太大的能量，然而，依花蓮港的波浪觀測資料來看，除了重力波外，還存在有極長週期的波動。就連在 94 年度計畫中回顧的文獻中所提到的約 80 秒到 160 秒之內的共振週期也無法在理論頻譜中找到它們的能量。為了能在數值模擬中反映重力波以外的成分波所可能影響的水面波動情形，本計畫以能量線性疊加方式，進行相關模擬。

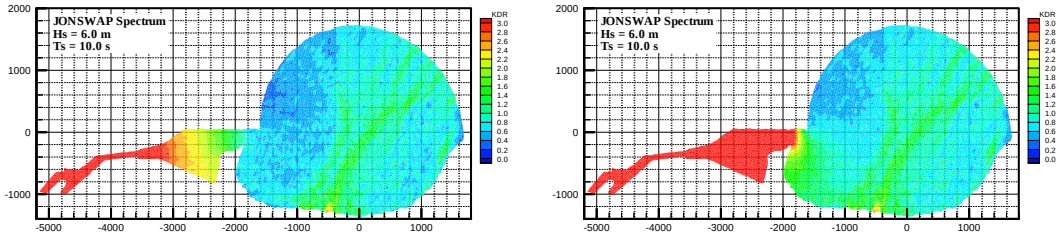
圖 4.30 及圖 4.31 係將單一長週期波(週期為 84 秒，波高分別為 1m、2m 及 3m；以及週期為 1134s，波高分別為 0.1m、0.5m 及 1m)加入示性波高為 6m，而示性週期為 10s 的 JONSWAP 理論頻譜後模擬所得的 $K_D$ 分佈圖(原有模擬結果如圖 4.28 所示)。從圖中可以看到在 84 秒的模擬中，雖然相對規則波的 $K_D$ 分佈可能都大於 1，但若其能量不大的話，對水面波動影響並不大。然而，對極長週期波動中，即使波高僅有 0.1m，也會引起港內很大的振盪。



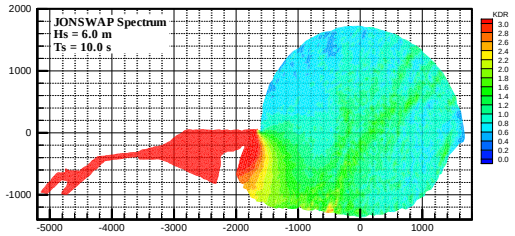

(a) 波高 1m　　(b) 波高 2m

(c ) 波高 3m

**圖 4.30 不規則波+84 秒長波作用下 $(K_D)_{eff}$ 分佈圖**




(a) 波高 0.1m　　(b) 波高 0.5m




(c ) 波高 1m

**圖 4.31 不規則波+1134 秒長波作用下$(K_D)_{eff}$分佈圖**

### 4.4.5 多方向不規則波的模擬

多方向不規則波的模擬主要是假設多方向波譜$S(f,\theta)$可以用一維頻譜或能譜$S(f)$與方向分佈函數$G(f,\theta)$的乘積加以表示如下

$$S(f,\theta)=S(f)G(f,\theta) \quad \text{.....(4.41)}$$

為滿足

$$S(f)=\int_0^{2\pi} S(f,\theta)d\theta \quad \text{.....(4.42)}$$

的關係，首先$G(f,\theta)$必需為正值，而且必須滿足下式

$$\int_0^{2\pi} G(f,\theta)d\theta=1 \quad \text{.....(4.43)}$$

因此方向分佈函數$G(f,\theta)$是表示各頻率成份波所含能量在方向上的分佈比例。

方向分佈函數的形式有多種不同的建議，本研究採用最常用的方向分佈函數

$$G(f,\theta)=G_0\cos^{2s}\left(\frac{\theta-\theta_M}{2}\right) \quad \text{.....(4.44)}$$

其中

$$G_0=\frac{1}{\pi}2^{2s-1}\frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \quad \text{.....(4.45)}$$

$s$ 是決定方向分佈集中度的參數，$\theta_M$ 為各頻率成分波之平均波向。$s$ 與 $\theta_M$ 應都是頻率的函數。Mitsuyasu(1975)建議方向分佈參數與頻率之間的關係為：

$$\begin{cases} s=s_{\max}(f/f_p)^5 & (f\le f_p) \\ s=s_{\max}(f/f_p)^{-2.5} & (f\ge f_p) \end{cases} \quad \text{.....(4.46)}$$

合田(1990)建議在深海時之風浪 $s_{\max}=10$，湧浪 $s_{\max}=25\sim75$，且隨著淺化 $s_{\max}$ 會變大。

為建構多方向不規則波的數值模擬，本研究採用JONSWAP理論波譜、Mitsuyasu及Goda對波譜能量在方向分佈的建議，建構模擬程式。圖4.32為示性波高8m、示性波週期10sec，兩個不同主波方向角的多方向不規則波港灣增幅係數分佈圖。從圖中可以看出，多方向不規則波作用下的波高分佈，較單方向不規則波作用下的波高分佈為靜穩，而規則波作用下的波高分佈最高。

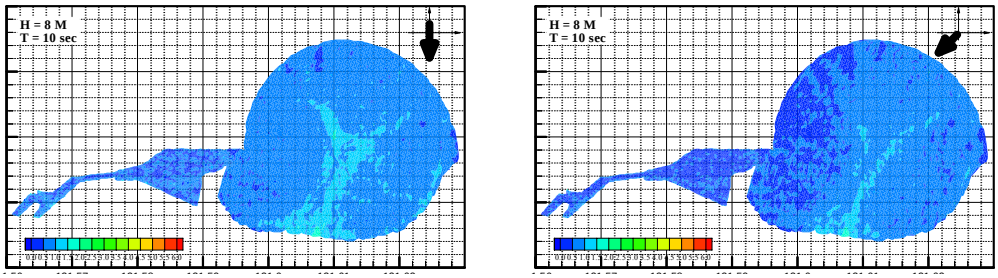



**圖 4.32 不同主波方向之多方向不規則波作用下 $K_D$ 分佈圖(JONSWAP頻譜、Ts=10s，Hs=6m)**

## 4.5 實測波譜的模擬

### 4.5.1 1994 年提姆(Tim)颱風

本節以1994年提姆(Tim)颱風期間，在花蓮港東堤外側靠近花蓮漁港處的觀測波浪資料進行實測波譜的模擬，圖4.33為提姆颱風的行進路徑圖，圖4.34為以花蓮港外海之觀測波浪記錄首先進行頻譜分析，再利用各成分波之頻率進行港灣波動之規則波模擬，進而計算得港內各點的反應頻譜，圖中測站ST2、#8碼頭、#10碼頭、#22碼頭分別為圖4.4中之測點O、C、H及I。從圖中各個不同時間的頻譜變化可以發現在7月10日上午12時颱風登陸以前港內的長週期波動有逐漸增強的趨勢，而颱風過境以後，短週期波首先消散，港內以長週期的蕩漾為主。圖4.35的港口內外實測頻譜亦有類似情形。

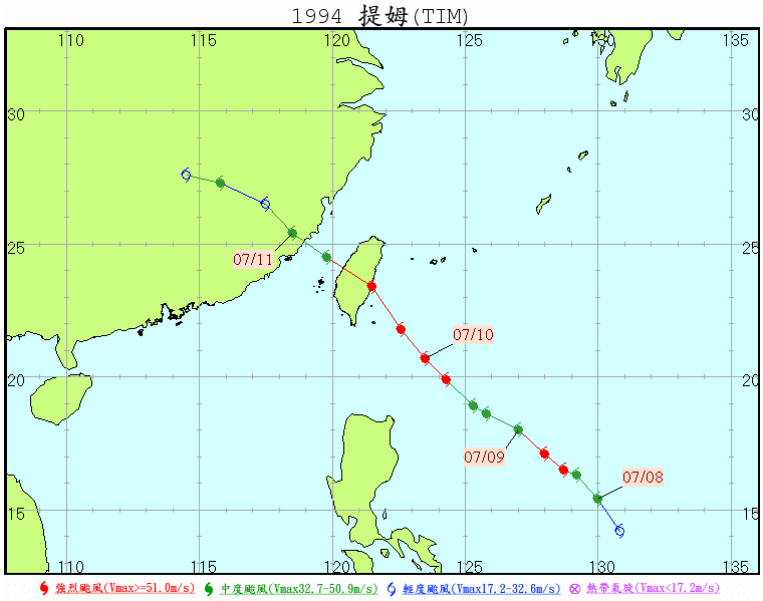
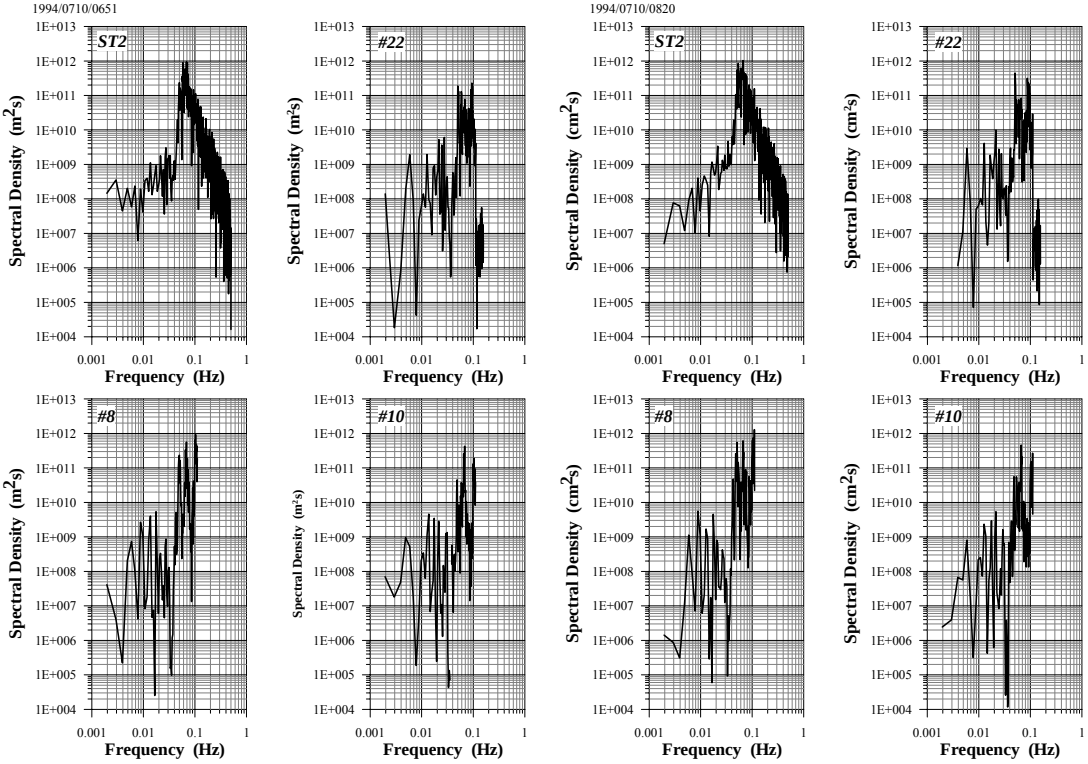
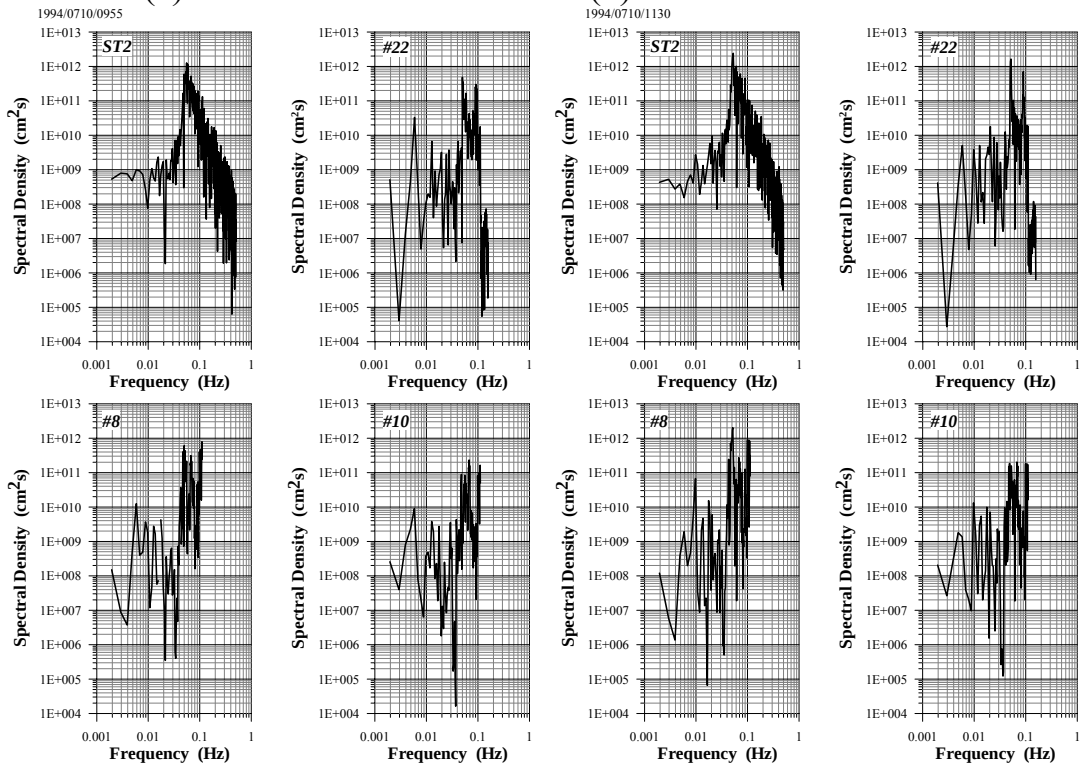



**圖 4.33 提姆颱風(1994)行進路徑圖**

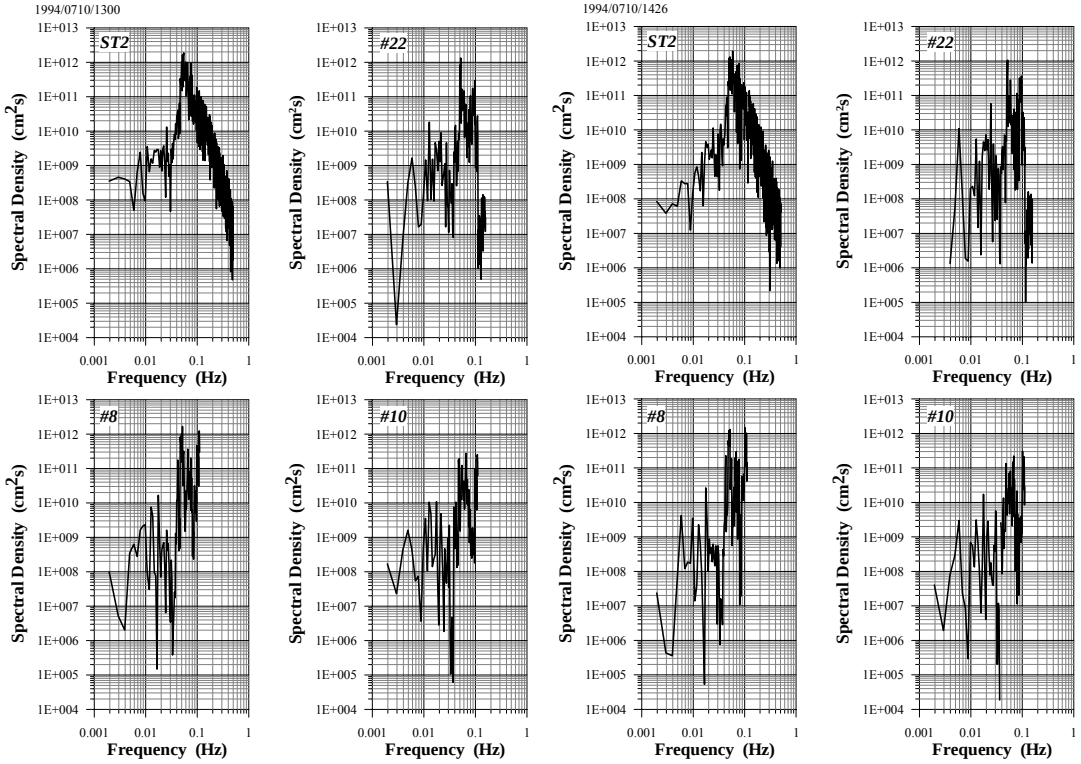



(a) 1994/7/10 06:51　　(b) 1994/7/10 08:20




(c) 1994/7/10 09:55　　(d) 1994/7/10 11:30

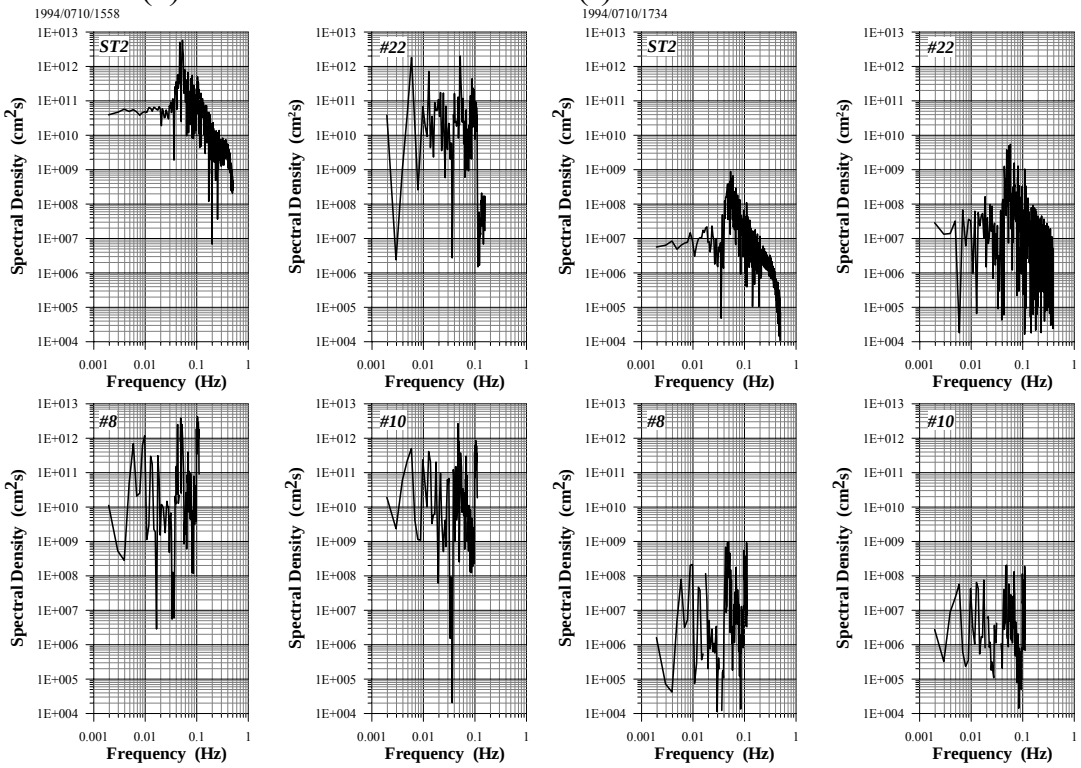
**圖 4.34 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬**




(e) 1994/7/10 13:00




(f) 1994/7/10 14:26

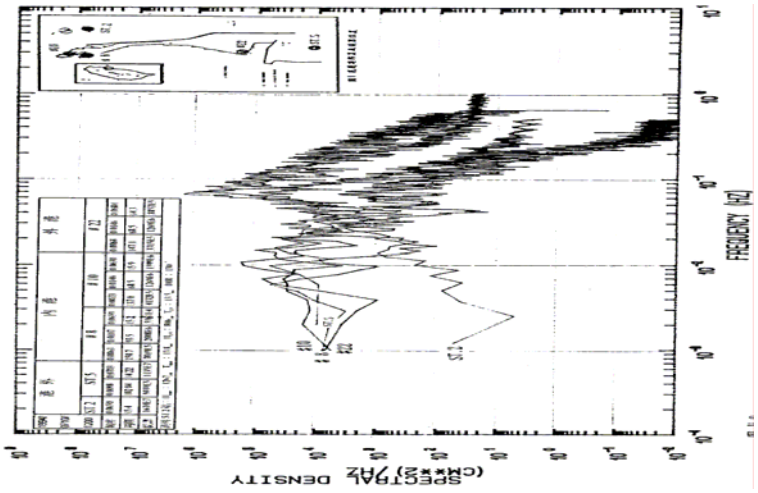



(g) 1994/7/10 15:58

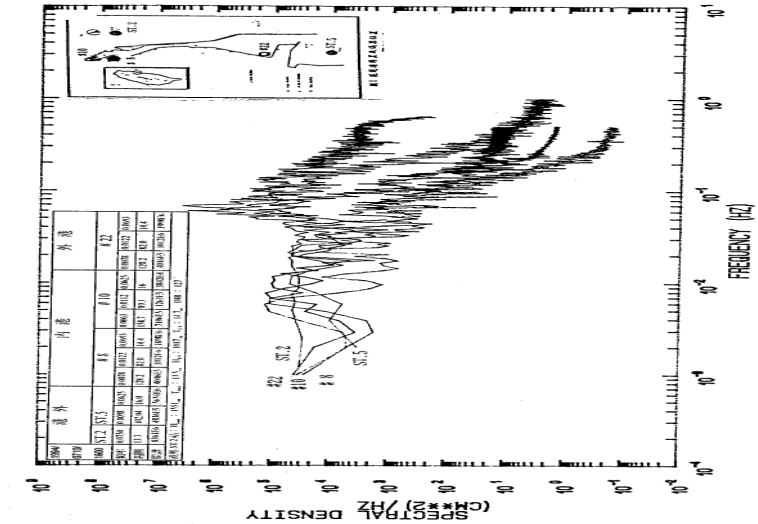



(h) 1994/7/10 17:34

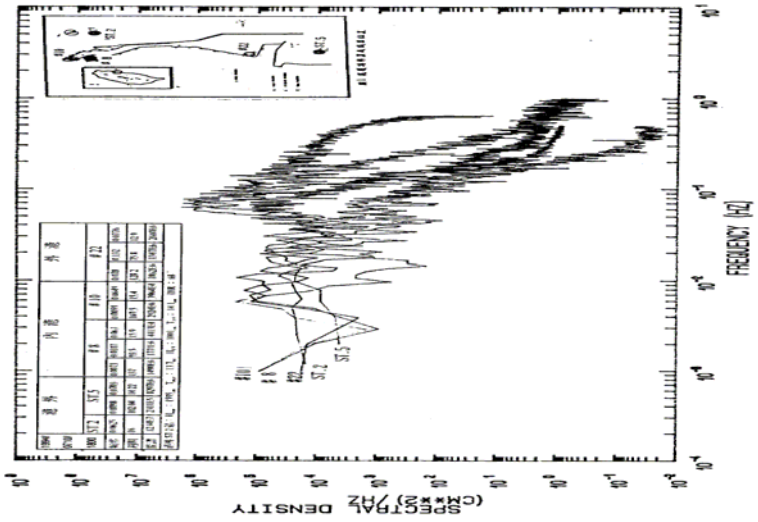
**圖 4.34(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬**




(a) 1994/07/10 12:00




(b) 1994/07/10 16:00




(c) 1994/07/10 18:00

**圖 4.35 提姆颱風(1994)過境時花蓮港實測頻譜**

### 4.5.2 2005 年龍王(Longwang)颱風

本節以2005年龍王颱風期間，在花蓮港港口附近的觀測波浪資料進行實測波譜的模擬，圖4.36為龍王颱風的行進路徑圖，圖4.37為花蓮港的波浪觀測站位置示意圖。圖4.38中依序分別為外海測站(#6)、測站1(#10)、測站3(#12)、測站4(#14)、測站6(#16)、測站7(#17)及)、測站8(#18)，括號內之數字為波高計之編號。從圖中的頻譜變化可以發現在主頻附近的數值模擬頻譜與實測頻譜趨勢相近，但是低頻部分有偏低的情形，反之高頻部分有偏高的情形，究其原因應是在數值模擬中無法完全反應港灣構造物的反射率係隨著波動週期而變的事實，目前多以定值方式考慮岸壁的反射率(本研究假設港內反射率均為1，而外海防波堤處為0.8，南北濱海灘為0.5)。但由於非定值反射率的特性目前無法得知，未來需再進行進一步之研究。

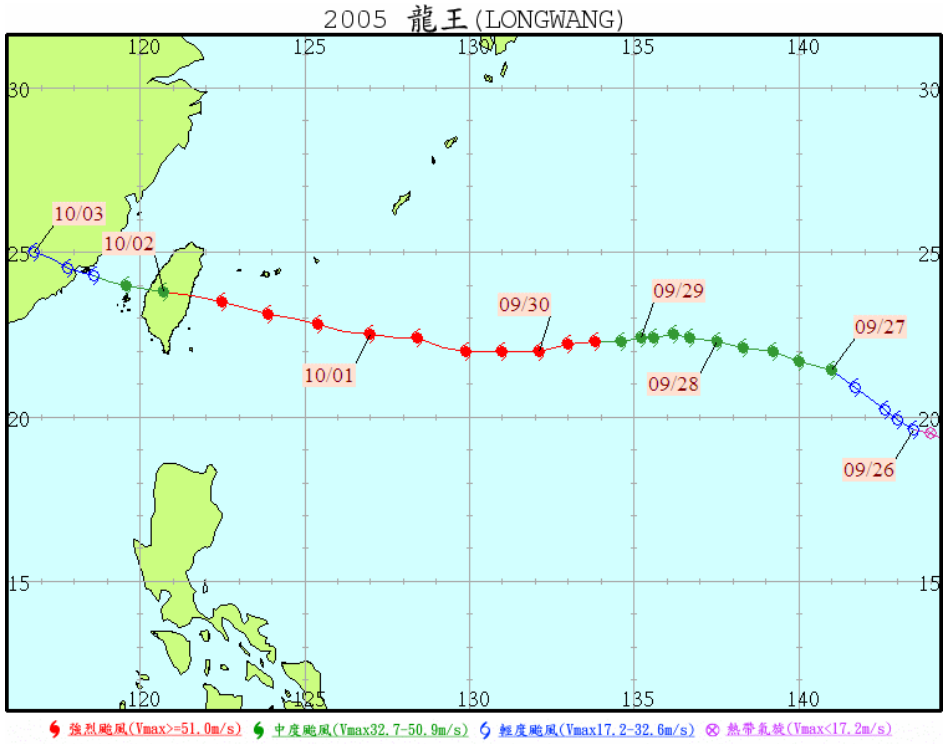
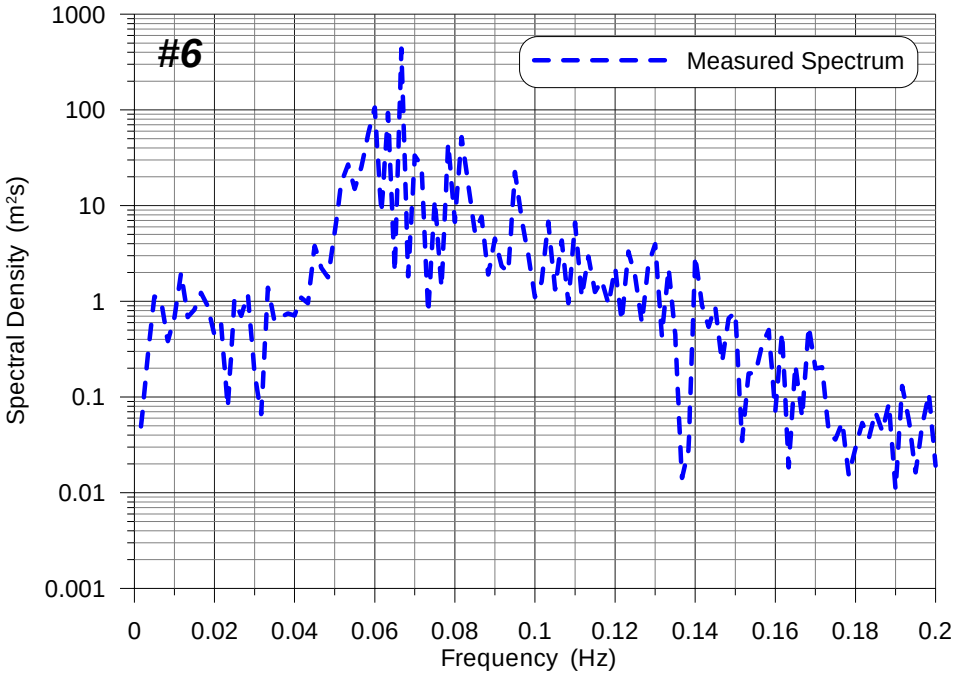



**圖 4.36 2005 年龍王颱風路徑圖(2005/09/29-2005/10/03)**

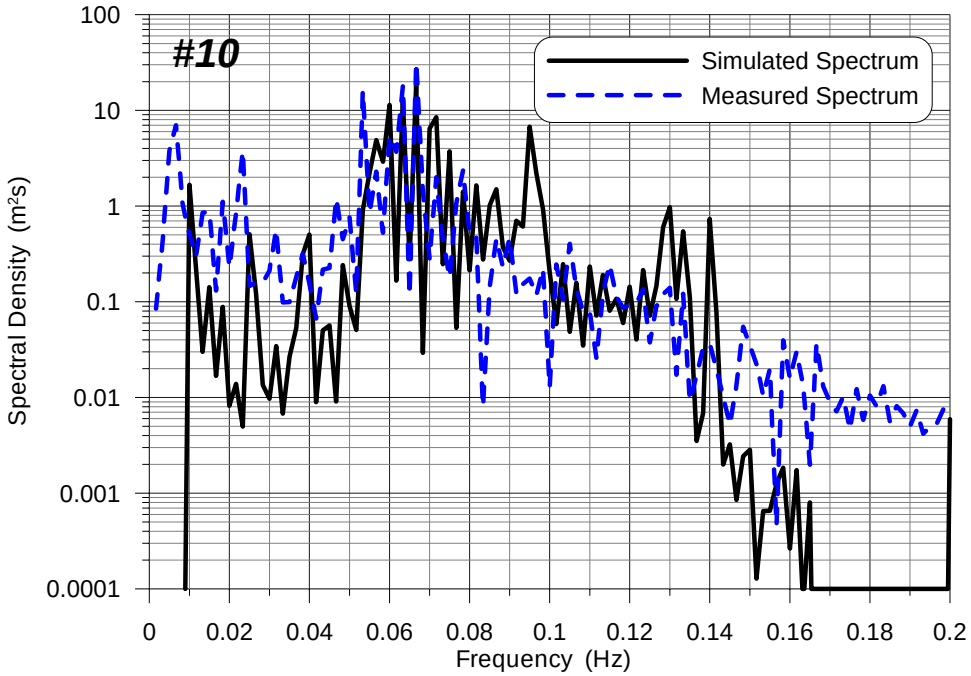



**圖 4.37 花蓮港區海域波浪儀儀器架安裝位置**

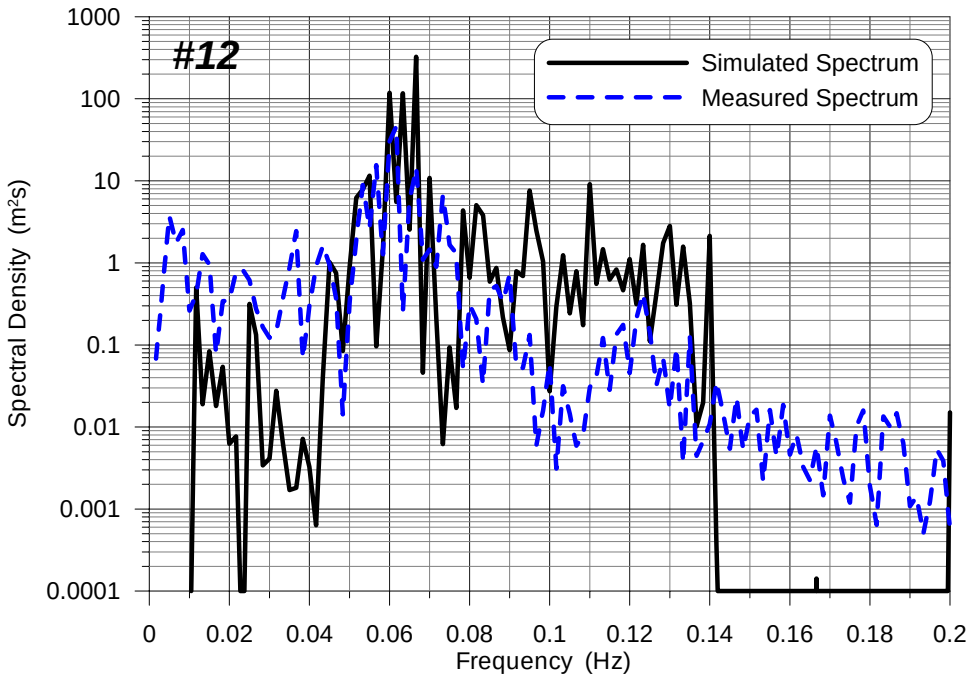



(a)港口入口處測站入射波頻譜圖

**圖 4.38 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜**

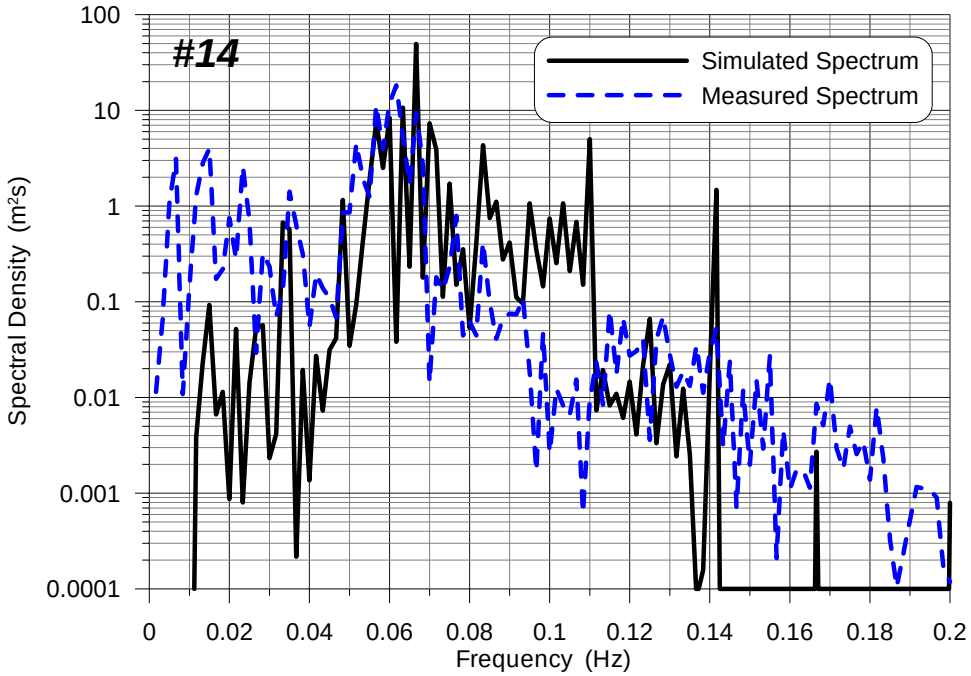



(b) 港內測站 1

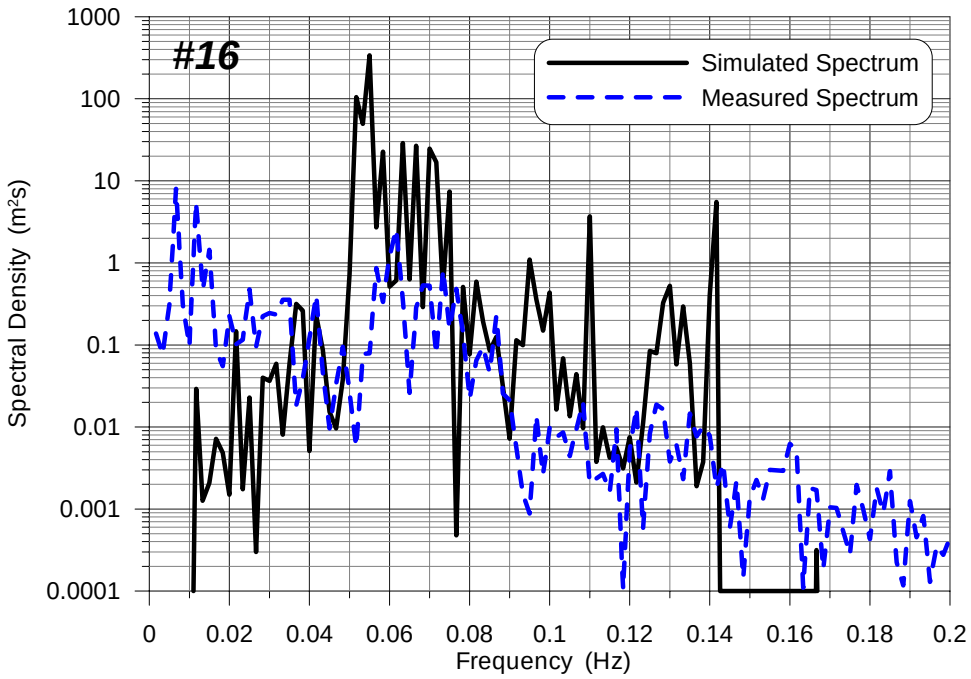



(c) 港內測站 3

**圖 4.38(續) 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜**

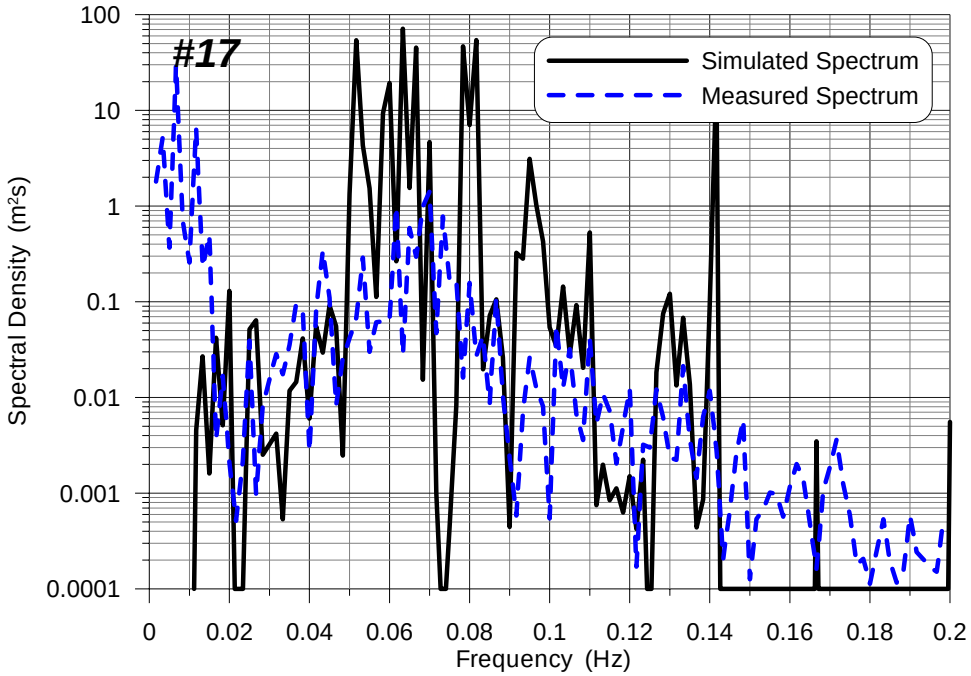



(d) 港內測站 4

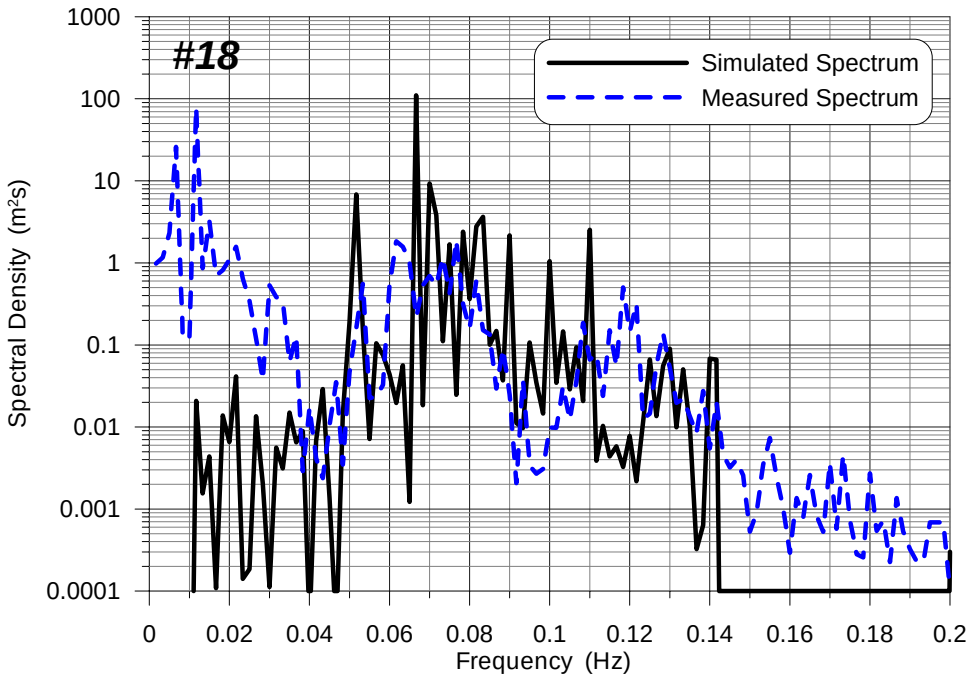



(e) 港內測站 6

**圖 4.38(續) 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜**




(f) 港內測站 7




(g) 港內測站 8

**圖 4.38(續) 龍王颱風 2005/10/01 18:00 之數值模擬與實測頻譜比較**

## 4.6 花蓮港港灣波動預報模式的建置研究

港灣附近的波動情形，尤其是港內水面的穩靜度，通常是港灣規劃設計中，以及港灣營運管理中主要考量及評估的因子之一。在規劃設計時評估港灣附近波動情形的方法通常有數值模擬及水工模型試驗。但需要注意的是，用來試驗的波浪通常是從過去的歷史波動資料經過統計分析得來，其中可能有部分是從現場觀測而得，大部分則來自於推算結果。而在營運管理上。波浪的預報則只能從海氣象的觀測或預報資料來進行經驗的判斷。

在臺灣附近，由於地理環境特殊，往往在冬季東北季風盛行與夏季的颱風時期都可能在附近海域引起較大波浪並進而影響港內的穩靜度。因此，不論是在規劃設計或是營運管理上，都有必要充分瞭解及掌控港灣附近的海氣象變化。

為了加強港灣附近波浪預報的能力，以支援港灣的規劃設計或是營運管理，本研究結合了由交通部運輸研究所發展的TaiCOMS模式及Lin (1995)的有限/無限元素法港灣波動數值模式，建構一港灣波動預報模式。該模式係由一層WAM(WAvemodel)、兩層SWAN(Simulating Wave Nearshore)及港灣波動模式所結合而成。透過此一模式，我們可以藉由預報的西北太平洋預報風場代入WAM模式進行大域風波推算，及臺灣附近水域的預報風場代入兩層的SWAN模式進行近域的風波推算，然後藉由內層SWAN所計算而得的不規則入射波進行港灣的波動模擬。藉由此一模式的建立使得港灣附近的波動情形成為是可預報的，有助於前述的港灣規劃設計或是營運管理上的參考。在本研究中，我們首先敘述模式建立的過程，其後並以花蓮港在2005年龍王颱風時的波動模擬作為範例。

### 4.6.1 港灣波動預報模式的整合

港灣的波動預報模式的建立，其主要目標是將港灣波動的數值模

擬計算納入大範圍的海象波浪預報系統中。依據林(2004)的研究，其概念模式如圖4.39所示，整個系統是由近海波浪推算系統(如中央氣象局海象中心的近海波浪預報系統)再加上一個港灣波浪折繞射數值模擬程式所組成。在近海波浪預報系統可以由遠域的NWW3波浪推算，逐漸推進到近海的SWAN波浪推算，再透過邊界面的銜接，將SWAN所計算在相接邊界面上對應到折繞射模式所建立的節點的波動值引入折繞射模式中作為入射波條件，如此便可進行港內的波動折繞射。因此，一旦外海的波浪推算有了結果，引入港灣的波浪折繞射系統，進行港內的穩靜度計算，而構成一完整的港灣波動預報系統。如果外海的波浪推算是與中央氣象局的近海波浪預報相連接，則此一預報系統可以配合中央氣象局的海象預報，進行港口附近的波浪在受到折繞射效應後的波動情形的模擬，並建立評估與預報的機制。另外也可以加強港灣技術研究中心的「臺灣環島海象預報系統」中各商港的穩靜度推算。

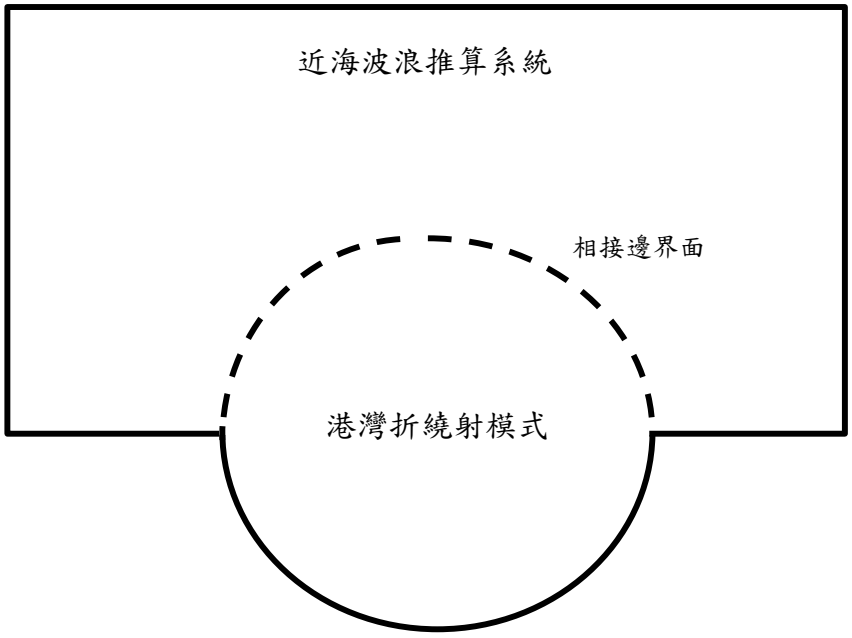



**圖 4.39 港灣波浪預報的概念模式**

### 4.6.2 TaiComs 波浪預報模式

臺灣海岸作業模式系統(TaiComs，Taiwan Coastal Operational modeling system)是目前我國已經在作業的的風波預報系統之一，由交

通運輸研究所港灣技術研究中心為提高臺灣水域船舶航行安全而發展的模式。如圖4.40所示，該系統結合了一層WAM遠域風波推算及一層SWAN近域風波推算，表4.1中也顯示了它們的作業範圍及空間解析度。

使用的風場係來自中央氣象局，如圖4.41所示，中央氣象局共可以提供三種數值風場RC、MC及HC，此三個風場分別涵蓋不同大小的區域，網格解析度也不同，依序為0.45°×0.45°、0.15°×0.15°及0.05°×0.05°。水深地形資料係分別取自於美國海洋大氣總署國家地理資料中心所建立的ETOPO5(網格解析度為5’×5’)及國家海洋科學研究中心所建立的TaiDBMv5(網格解析度為0.05°×0.05°)。

**表 4.1 TaiComs 模式系統中各計算領域的相關資料**

| 範圍 | 使用模式 | 計算範圍 | 網格大小 | 使用風場 |
|---|---|---|---|---|
| 遠域 | WAM | Lat.: 10°N ~ 35°N<br>Lon.: 110°E ~ 134°E | 0.2°×0.2° | RC |
| 近域 | SWAN | Lat.: 21°N ~ 26°N<br>Lon.: 119°E ~ 123°E | 0.04°×0.04° | MC |

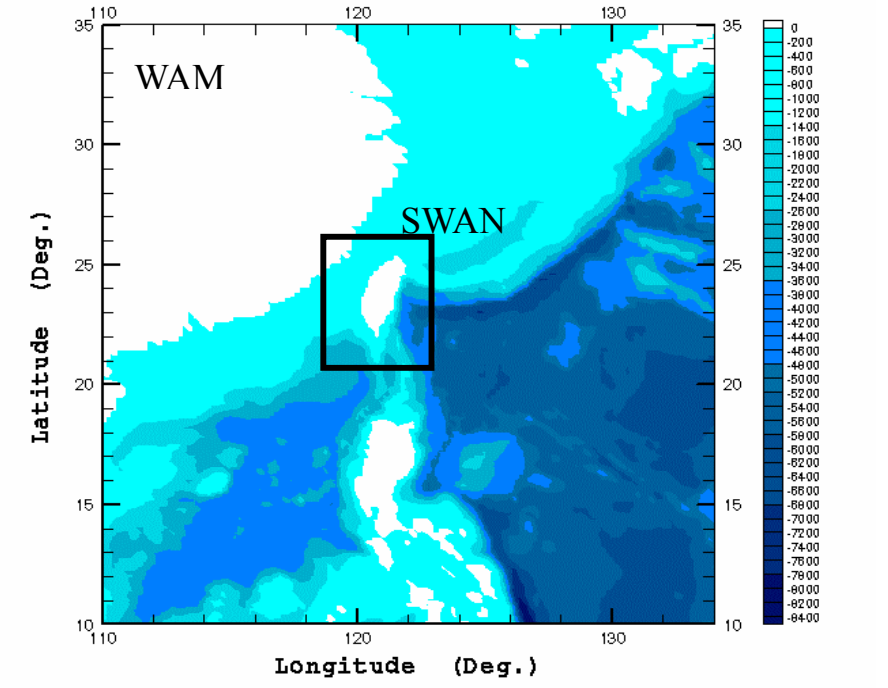



**圖 4.40 TaiComs 模式系統中各計算領域範圍及水深地形**

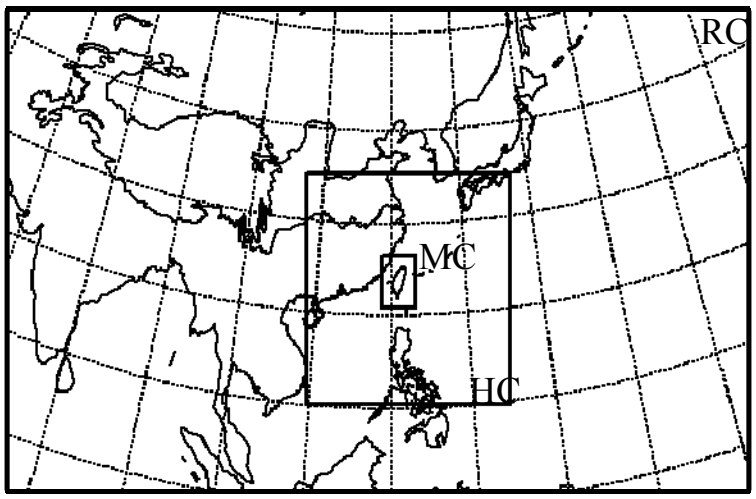



**圖 4.41 RC/MC/HC 風場的計算範圍**

### 4.6.3 入射波的傳播與變形

為了考慮外海底床坡度對港池水面波動數值模擬的影響，林(1995)對於上節所建立的數值模式中屬於已知資料的入射波條件，增加了波浪自外海向岸傳播時的追蹤與計算。Snell法則被用來計算波浪的行進方向，而能量守恒法則則被用來計算在不同水深處的波高變化。此外，該模式也追蹤了波浪延波向線上的相位變化。相似的方法也用在追蹤反射波的波高、波向與相位的變化。所有有關入射波與反射波的計算均追蹤到邊界面$\Gamma_2$上的各個節點處。通常，對於海岸的消波能力常以一反射係數$K_R$來表示，因此各節點處的速度勢$\phi_0$可表示為$\phi_0 = \phi_I + K_R\phi_R$。本研究中，入射波部分則直接引入第二層SWAN在假想邊界面$\Gamma_2$上的各個節點處的計算頻譜。

### 4.6.4 風波推算模式與港灣波動模式的結合

整個港灣波動預報模式的建置最重要的關鍵點是在於如何連接近海波浪預報模式以及港灣波動數值模式，也就是說如何在相接邊界面上取得資料的連續。由於近海波浪預報模式(SWAN)是採用波浪作用力

平衡方程式（wave action balance equation）或是沒有流作用下的能量平衡方程式，以及源流與沉流(source andsink)，基本上它是一個以能量平衡為控制方程式的數值模式，而因此導致計算的結果中失去了波動的相位資訊，相關的資料輸出可以是

1. 指定點的示性波高、平均週期、主波方向或平均方向

2. 一維頻譜與主要方向

3. 方向波譜

本研究所使用的港灣波動數值模式是屬於緩坡度方程式，主要以水位變化(速度勢$\varphi$)為控制方程式，在計算時必須知道入射波動的波高、週期、方向及相位，還有其週期是單一週期。再者，雖然近海波浪預報模式可以輸出各指定點的示性波高、平均週期與主要波向，但波高及週期都是由頻譜透過頻譜距換算而得的，此種計算方式導致各點的波浪平均週期皆不一樣，因此無法將代表波高、週期與波向直接代入波動模式內進行規則波的模擬。

為了能引入近海波浪預報模式的入射波浪資料，本研究採取了兩個步驟：

1. 進行參考相位的假設，在港灣的入口處設置座標原點並假設各個入射波到達該點的相位為零，而以相接邊界面上各節點到原點的距離計算各節點上入射波動的相對相位。

2. 發展一維(單方向)不規則波的港灣波動數值模式，引入近海波浪預報模式的一維頻譜，將各分頻視為規則成份波，而各分頻的能量可換算成波高，而各節點的主波方向則視為因為地形產生折射後的入射波浪方向。

有關入射波相位的測試本研究以部分開口矩形港池模型進行了

1. 假設假想邊界面上各節點之入射波到達原點之相位為定值，其間共測試了不同的到達相位(0:2π，以π/16 為間距)，共 32 組。

2. 假設假想邊界面上各節點之入射波到達原點之相位為隨機定值，其間共測試了 100 組隨機相位。

圖 4.42 為部分開口矩形港池模型的水深分佈(港內為等水深；港外底床有坡度)及施測點的位置，圖 4.43(a)為定值相位的測試結果，縱軸為 $K_D$ 值，橫軸為以π/16 為間距之相位差值，圖 4.43(b)為隨機相位的測試結果，縱軸為 $K_D$ 值，橫軸為測試組別。僅有部分隨機相位的測試可能造成數值計算上的誤差外，其他測試組合都顯示可以得到同樣的數值結果，由此推論入射波的相位差不影響定常的港灣波動模擬

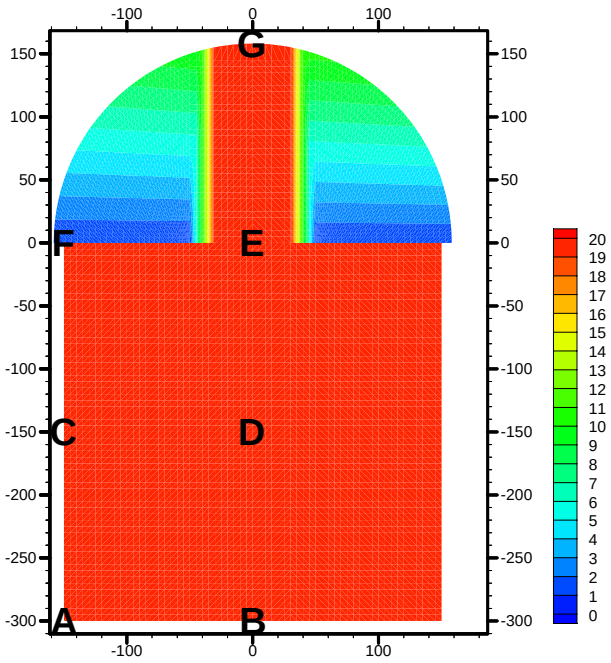
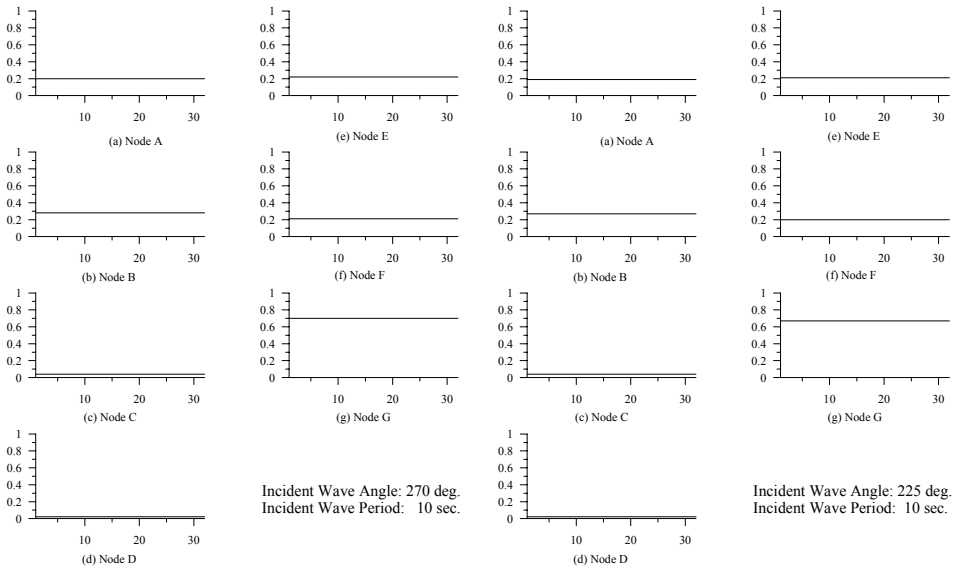
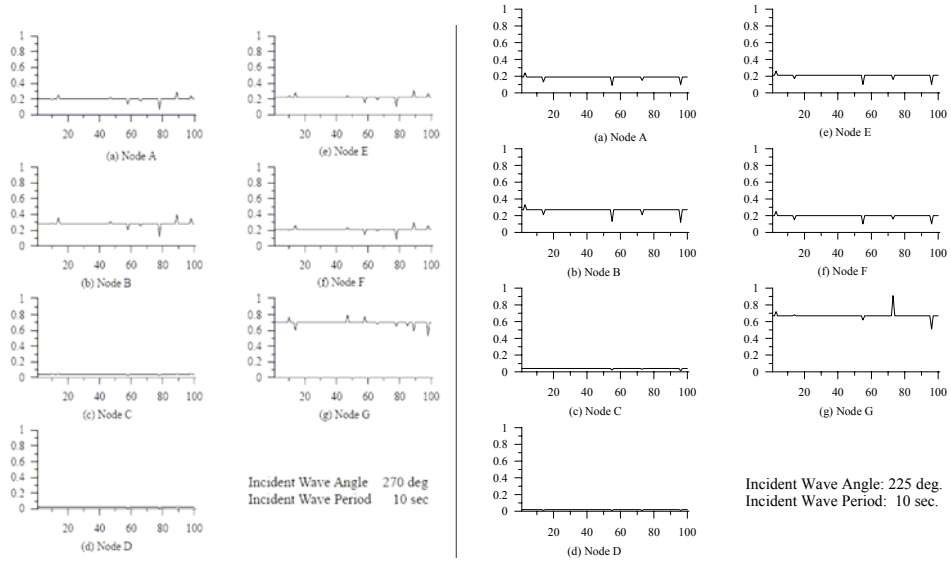



**圖 4.42 相位測試的部分開口矩形港池水深分佈以及施測點位置**




(a) 定值相位




(b) (b) 隨機相位

**圖 4.43 相位測試的結果**

註：圖(a)之縱軸為 $K_D$ 值，橫軸相位差值，單位相位為為π/16。圖(b) 之縱軸為 $K_D$ 值，橫軸隨機相位測試組數

而由於一般港灣波動計算模式所採用的網格尺寸多在20公尺以下，此與風波推算模式所使用的0.2°×0.2°(遠域)或0.04°×0.04°(近域)的網格有太大的差異，而且假想邊界面$\Gamma_2$的半徑也大致在1.5至2公里之間，網格大小的差異已經導致假想邊界面$\Gamma_2$上的各節點可能因為距離陸界節點較近而無法取得波浪資料以致造成計算上的誤差。為了能改善此一問題，本研究在TaiComs模式及港灣波動模式之間增加了一層SWAN的近岸風波推算，相關資料如表4.2所示。

**表 4.2 港灣波動預報模式中各計算領域的相關資料**

| 範圍 | 使用模式 | 計算範圍 | 網格大小 | 使用風場 |
|---|---|---|---|---|
| 遠域(W1) | WAM | Lat.: 10°N ~ 35°N<br>Lon.: 110°E ~ 134°E | 0.2°×0.2° | RC |
| 近域(S2) | SWAN | Lat.: 21°N ~ 26°N<br>Lon.: 119°E ~ 123°E | 0.04°×0.04° | MC |
| 近域(S3) | SWAN | Lat.: 23.9°N ~ 24°N<br>Lon.: 121.6°E ~ 121.65°E | 0.001°×0.001° | MC |

### 4.6.5 港灣波動的模擬計算

藉由對近海波浪預報模式的資料的選擇各點的一維波譜與主波方向，以及相對相位的假設，我們可以用規則波的方式進行各成份波所引起港灣波動，最後再以能量比例的方式進行能量線性疊加而得到港內各點的不規則波有效增幅係數值$(K_D)_{eff}$，Goda(1985)建議的計算公式如下所示

$$(K_D)_{eff}=\left[\frac{1}{m_0}\int_0^{\infty}S(f)K_D^2(f)df\right]^{1/2} \quad \text{.....(4.38)}$$

其中，$S_0(f)$是入射波的頻率譜；$K_D(f)$是各分頻成份波所引致計算水域某一點的增幅係數值(該點波高與入射波高的比值)；$(K_D)_{eff}$是不規則波作用下的有效增幅係數值。

為了瞭解此種組合的可行性，本研究以2005/9/29至2005/10/3的龍王颱風風場進行花蓮港港灣波動的推算模擬(路徑圖如圖4.36所示)。圖

4.44及圖4.45為2005/10/1 12:00的RC及MC風場分佈；圖4.46為WAM遠域風浪的等值線圖；圖4.47為花蓮港附近水域的$(K_D)_{eff}$分佈圖。

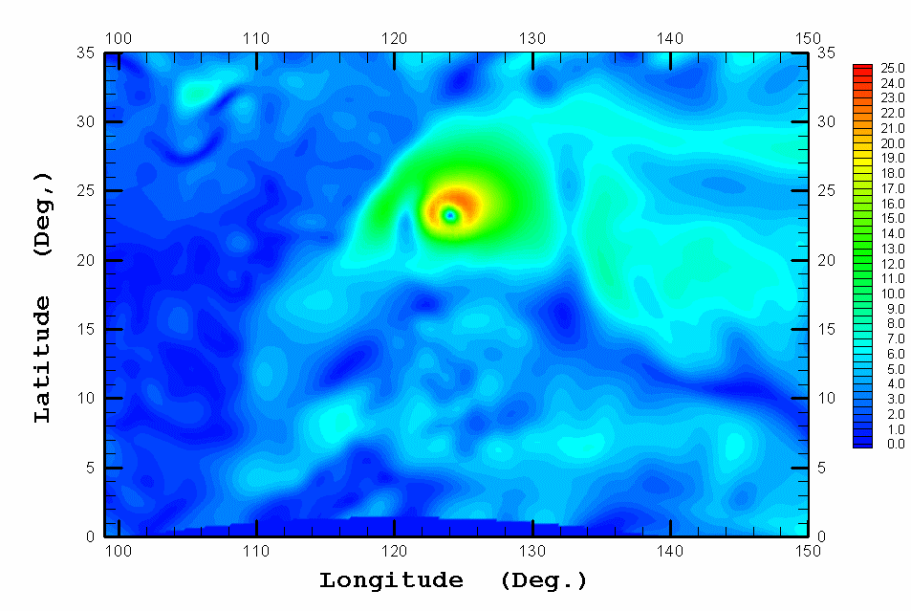



**圖 4.44 RC 風場(2005/10/01 12:00)**

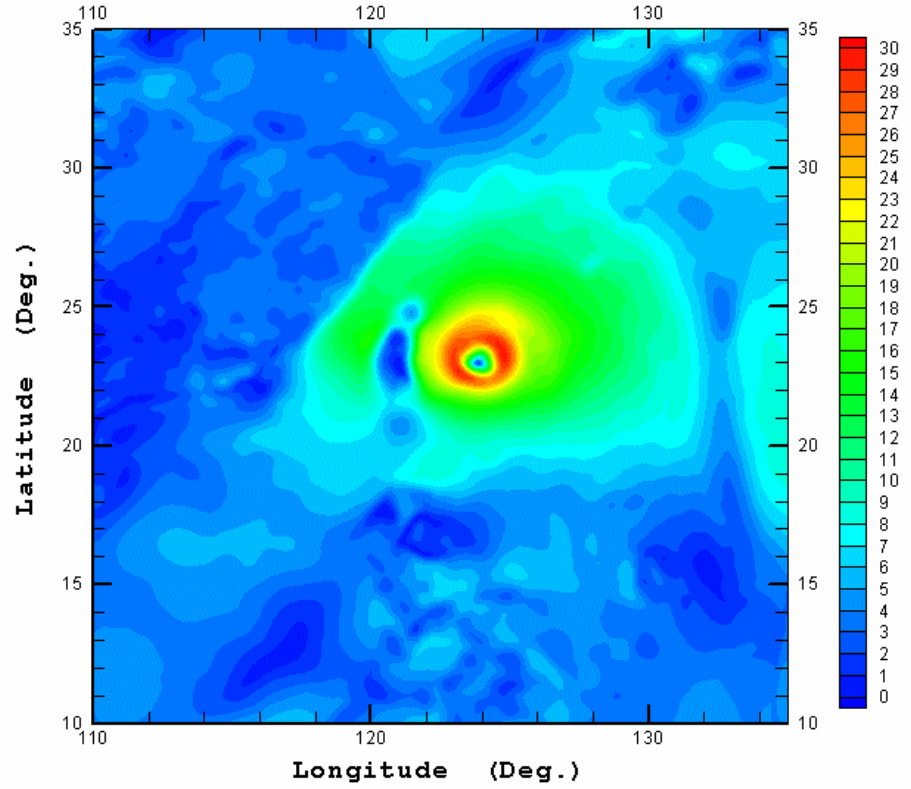



**圖 4.45 MC 風場(2005/10/01 12:00)**

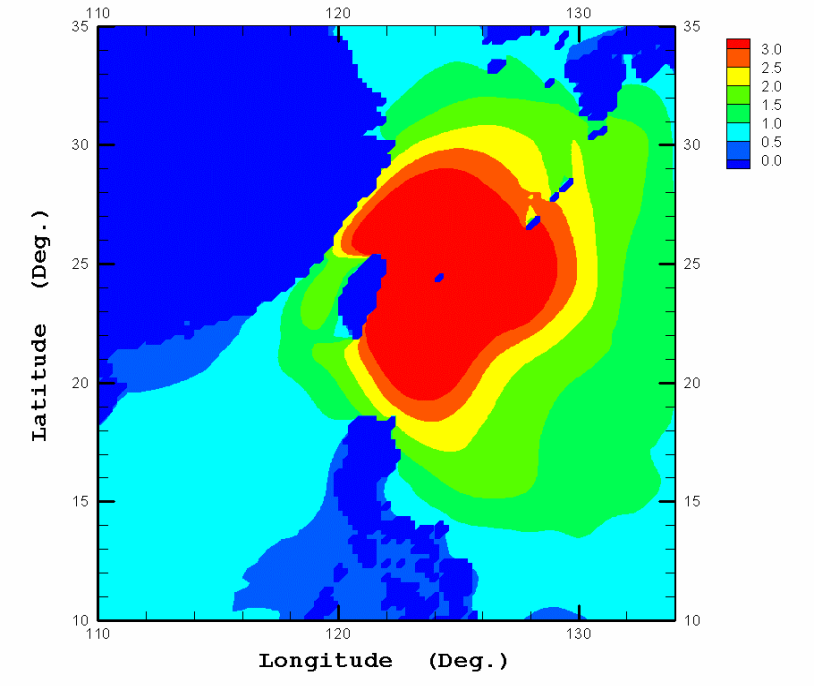



**圖 4.46 WAM 遠域波場(2005/10/01 12:00)**

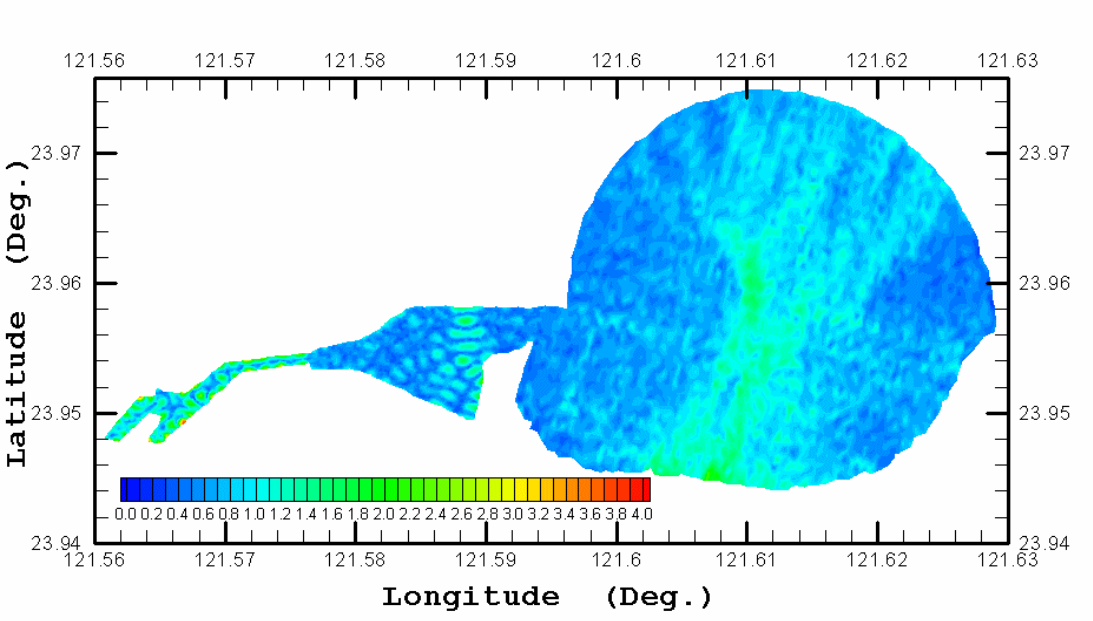



**圖 4.47 花蓮港附近的波高增幅係數$(K_D)_{eff}$分佈圖(2005/10/01 12:00)**

### 4.6.7 波浪預報模式建置的檢討

綜合以上的試驗，可以得到以下幾點結論：

1. 港灣波動數值模式可以透過不則波的波動模擬方式，與近海波浪預報模式相結合，並構成一港灣波浪預報系統。只要相關單位提供近海波浪預報及風場資料，便可啟動本預報系統。

2. 近海波浪預報的資料可以透過相接邊界面上各節點的一維或二維頻譜提供港灣波動數值模式入射波的條件。本研究目前採用一維頻譜進行模擬。

3. 港灣波動模式將輸入頻譜之各成份波之波高、週期及方向視為規則波分別進行數值模擬。最後以能量加總的方式得到不規則波的增幅係數$(K_D)_{eff}$分布。

4. 由於港灣波動模式也可以模擬海岸結構物後方的波浪繞射情形，因此不論是島嶼附近或人工構造物附近的波動都可以模擬。

5. 本研究所使用的電腦是個人電腦(Intel Core 2 Duo CPU E6550 @ 2.33GHz with 2.33GHz 3 GB RAM)及 Microsoft XP 作業系統而每一個時間步驟均是以 23 個規則成分波組成的不規則波模擬，因此其計算時間相當冗長。平均每一個預報時間點的港灣波動計算約需要 1 個小時的計算時間。未來應考慮採用更高速的平行電腦來運算。由於相當耗時，目前本模式用來做預報工作的話，可能還不恰當，但是如果用在波浪的追算方面則相當適合。不過，本研究亦嘗試以雙 CPU 之 Linux 系統與 Intel Fortran 進行港灣波動的模擬，平均一個波浪條件約僅需要 55 秒，如以 23 個成分波計算則一個預報時間點的港灣波動計算時間大約可以減少一半，顯示未來有機會從硬體的提升上來改善計算的時間。

# 第五章 港池共振改善方案可行性評估

## 5.1 水工模型試驗成果的回顧

為了改善花蓮港港池共振的情形，本計畫回顧本所過去進行的三個大規模的水工模型試驗：

1. 『花蓮港港灣設施改善計畫之研究—2. 模型試驗』(簡及邱，1996)
2. 『花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪及漂砂防制研究 2. 防波堤堤線配置平面試驗』(簡等人，1997)
3. 『花蓮港商漁分道與港池穩靜水工模型試驗研究—水工模型試驗報告』(邱等人，2000)

這三個試驗都是在本中心的第二試驗場進行的，該試驗場的平面水槽長62公尺、寬57公尺、深1公尺，1996的試驗是使用丹麥水工所(DHI)製作的可移動不規則推移式造波機。而1997及2000的試驗則是使用由加拿大Davis工程有限公司負責設計與製作之可移動不規則推移式造波機，並安裝由加拿大國家研究委員會(NRC)的加拿大水力中心(CHC)所研發之造波控制及分析軟體。以下分別摘要各個計畫的模型配置與研究成果。

### 5.1.1『花蓮港港灣設施改善計畫之研究— 2. 模型試驗』

本試驗的範圍北起花蓮港七號碼頭，南至南濱海岸吉安溪出口南側500公尺，水深則至50公尺。模型縮尺採不等比，水平縮尺為1/150，垂直縮尺為1/100，並採用福祿數(Froude number)控制各項縮尺比例。試驗的配置一共有5種，其配置的差異性說明如表5.1所示，圖5.1所示為五種配置方案以及波高測點的位置圖(為便於與其他兩個試驗區分及反應原有編號，各方案以1A、1B、1C、1D及1E表示)，試驗造波條件

如表5.2，主要以S、SSE及SE等三個入射波方向及1990年6月歐菲莉颱風的三組實測波浪，並採用JONSWAP理論頻譜模擬不規則之試驗波浪。圖5.1(f)顯示港內及港外共佈放20支容量式波高計，並在#8碼頭及內航道處佈放2支電磁式流速計。

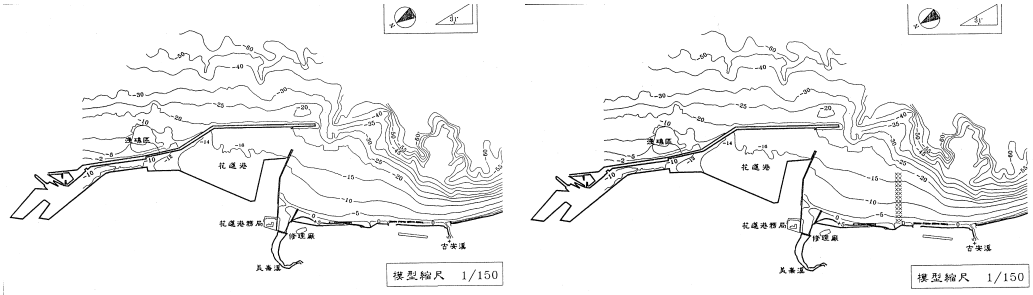
就整體性波浪遮蔽效果而言，各佈置從優到劣依序為方案1C→方案1D及1E→方案1B→方案1A。入射波向則以SE較佳、S最差，但差異性不大。就長週期波的抑制效果而言，外港區以方案1C較差，其他方案則相近。但對於內港區而言，則方案1C、1D及1E都有顯著效果。就長週期水位變動的分析來說，除了內港區的測點9在方案1C、1D及1E中有降低長週期波之波高及週期的效果，其他測點(27、28及29)的效果均不彰，甚至有負面的效果。而且此一現象不因入射波向的不同而異。從波譜分析的結果，方案1A的內外港區波浪頻譜形態顯示該佈置可以確切重現花蓮港的目前波動特性。長週期成份波進入港池後的能量放大現象內港區較外港區為大，反應出花蓮港現有的港池以內港區較易發生長週期的不穩靜現象。內港區長週期的能量降低情形以方案1C、1D及1E較佳，其中方案1E在SE波向時效果最顯著。外港區長週期的能量降低情形在S及SSE波向時，各方案的效果均不明顯；在SE波向時，以方案1D及1E有正面的效果，其中又以方案1E為佳，也就是拆除舊東堤及部份新東堤，並在外海側水深10~18公尺處配置新防波堤，並於南濱海岸，吉安溪出口以北，設置一垂直海岸長度600公尺的拋石潛堤，堤頭水深約18公尺。該方案不僅可以有效地改善內港區的不穩靜情形，也可以解決舊東堤的年久失修的問題。從各圖中都可發現由於新的開口通道分散了部份由外港區進入內港區的能量，內港區水域的波動有明顯改善的情形，但是對於外港區的不穩靜情形則無多大改善。

## 表 5.1 各配置方案的差異比較

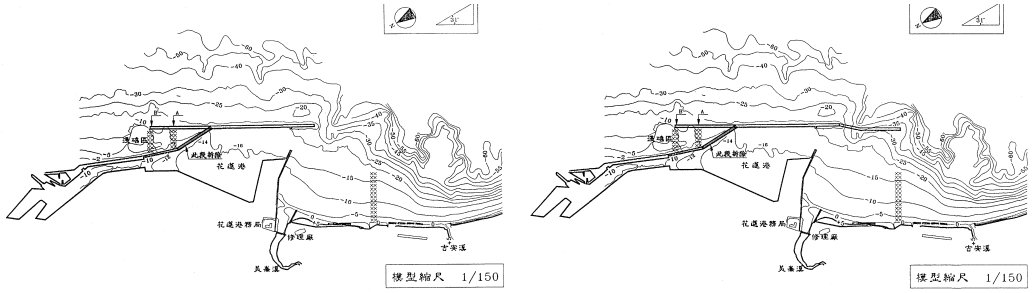
| 方案 | 說　明 |
|---|---|
| 1A | 目前花蓮港的現況，作為預備試驗及比對之用 |
| 1B | 於南濱海岸，吉安溪出口以北，設置一垂直海岸長度 600 公尺的拋石潛堤，堤頭水深約 18 公尺 |
| 1C | 延續方案 1B<br>拆除新東堤南—北向段約 500 公尺，<br>向東北延長東北—西南向堤約 750 公尺 |
| 1D | 延續方案 1C<br>東堤再往南延伸 800 公尺 |
| 1E | 延續方案 1B<br>拆除舊東堤及部份新東堤<br>在外海側水深 10~18 公尺處配置新防波堤 |

## 表 5.2 JONSWAP 頻譜試驗波浪條件

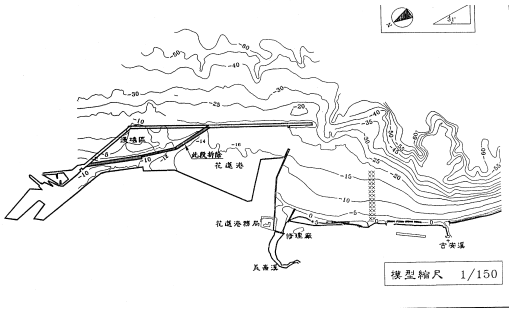
| 造波條件 | 編號 | 模型 | | 原型 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | H1/3 (cm) | T1/3 (sec) | H1/3 (m) | T1/3 (sec) |
| 實測波浪 | A | 3.44 | 1.10 | 5.16 | 13.47 |
| | B | 6.10 | 1.11 | 9.15 | 13.59 |
| | C | 6.82 | 1.25 | 10.23 | 15.31 |
| JONSWAP 理論波浪 | 1 | 6.90 | 1.27 | 10.35 | 15.55 |
| | 2 | 5.36 | 1.27 | 8.03 | 15.55 |
| | 3 | 3.49 | 1.24 | 5.24 | 15.19 |
| | 4 | 5.20 | 1.07 | 7.80 | 13.10 |
| | 5 | 3.76 | 1.06 | 5.64 | 12.98 |
| | 6 | 2.67 | 1.07 | 4.01 | 13.10 |
| | 7 | 3.92 | 0.86 | 5.88 | 10.53 |
| | 8 | 2.78 | 0.85 | 4.17 | 10.41 |
| | 9 | 1.57 | 0.84 | 2.36 | 10.29 |



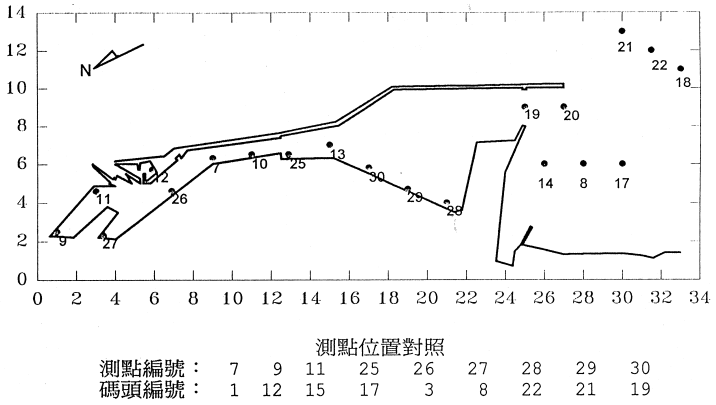

(a) 方案 1A　　(b) 方案 1B




(c) 方案 1C　　(d) 方案 1D




(e) 方案 1E




(f) 測點位置圖

**圖 5.1 水工模型試驗方案及測點位置圖**

### 5.1.2『花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪及漂砂防制研究 2. 防波堤堤線配置平面試驗』

本試驗範圍及水深與1996年試驗相同但模型縮尺採等比縮尺，水平及垂直皆為1/150，並採用福祿數(Froude number)控制各項縮尺比例。本計畫共測試11種配置方案，各配置方案的差異比較如表5.3所示，圖5.2所示為11種新的配置方案以及波高測點的位置圖。

試驗造波條件計採四個入射波方向(S、SSE、ENE與NE方向)、19個規則造波條件(如表5.4所示)，以及2個JONSWAP頻譜與2個1994年7月的提姆颱風實測波浪(7月9日21時及7月10日11時)的不規則造波條件(如表5.5所示)。圖8(m)顯示港內及港外共佈放23~27支容量式波高計，並在#8碼頭及內航道處佈放2支電磁式流速計。造波時間仍設為500秒，並以取樣頻率20Hz擷取後410秒的水面波動及流速值。

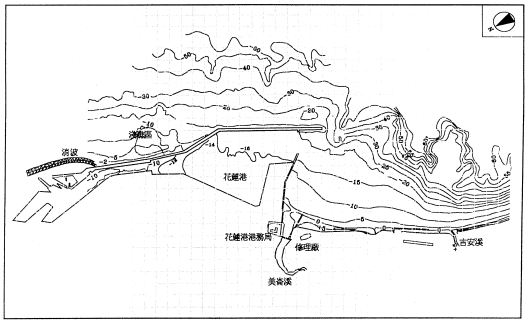
綜合該計畫的比較結果，可得下列結論：

1. 由規則長週期波的試驗中目視發現南濱海岸的波場中有類似緣波的水理機制，而此緣波進入港內後，在外港區產生東西向的明顯振盪，其中尤以相對於原型週期 140 秒時最明顯。

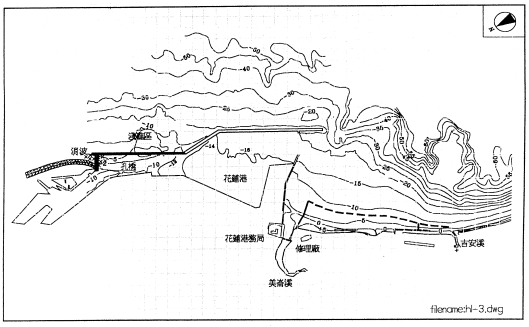
2. 各改善方案相較於現況佈置，對長浪防制皆有不同程度的改善效果，其降低的波高大約在 20~50%之間，其中又以方案 2Q 的改善程度最顯著。但港內長週期的振動仍無法明顯消除。

## 表 5.3 各配置方案的差異比較

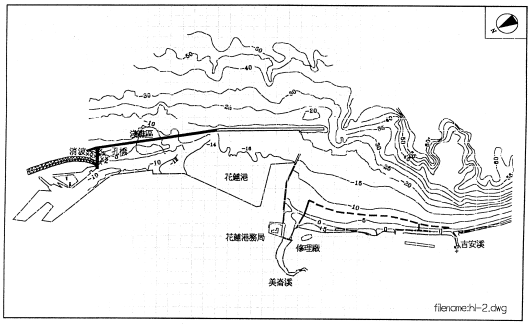
| 方案 | 說　明 |
|---|---|
| 2A | ● 目前花蓮港的現況，作為預備試驗及比對之用 |
| 2B | ● 拆除舊東堤及部份新東堤，並於外海興建東北—西南向防波堤，並與新東堤連接<br>● 以孔橋聯繫方式於專用漁港海堤與新建防波堤間保留出口。<br>● 美崙溪南岸興建導流堤至水深約-7公尺處<br>● 美崙溪南側至吉安溪北側於水深約-7公尺處興建離岸堤 |
| 2C | ● 拆除舊東堤、部份新東堤及北—南向新東堤約500公尺，並於外海興建北北東—南南西向的防波堤，並與新東堤連接<br>● 以孔橋聯繫方式於專用漁港海堤與新建防波堤間保留出口。<br>● 美崙溪南岸興建導流堤至水深約-7公尺處<br>● 美崙溪南側至吉安溪北側於水深約-7公尺處興建離岸堤 |
| 2D | ● 拆除舊東堤、部份新東堤及北—南向新東堤，並將向東北延伸東北—西南向東堤約750公尺<br>● 以孔橋聯繫方式於專用漁港海堤與新建防波堤間保留出口，但外拋消波塊。<br>● 美崙溪南岸興建導流堤至水深約-7公尺處<br>● 美崙溪南側至吉安溪北側於水深約-7公尺處興建離岸堤 |
| 2E | ● 延續方案2C<br>● 延伸美崙溪南導流堤(拋石堤)至水深-10公尺處，再向南南東轉折至-15公尺水深處<br>● 南防波堤外側加設兩道導流堤 |
| 2F | ● 延續方案2C<br>● 延伸美崙溪南導流堤(拋石堤)至水深-17公尺處<br>● 南防波堤外側加設兩道導流堤 |
| 2H | ● 延續方案2C<br>● 延伸美崙溪南導流堤(合成堤)至水深-17公尺處<br>● 南防波堤外側加設兩道導流堤 |
| 2I | ● 延續方案2H<br>● 於南防波堤內側#24及#25碼頭之間向東加設105公尺內堤 |
| 2J | ● 延續方案2D<br>● 於南防波堤內側#24及#25碼頭之間向東加設105公尺內堤 |
| 2K | ● 延續方案2H<br>● 於南防波堤內側#24及#25碼頭之間向北北東加設105公尺內堤 |
| 2P | ● 延續方案2D<br>● 於南防波堤內側#24及#25碼頭之間向北北東加設105公尺內堤 |
| 2Q | ● 延續方案2C<br>● 延伸美崙溪南導流堤(合成堤)至水深-19公尺處 |



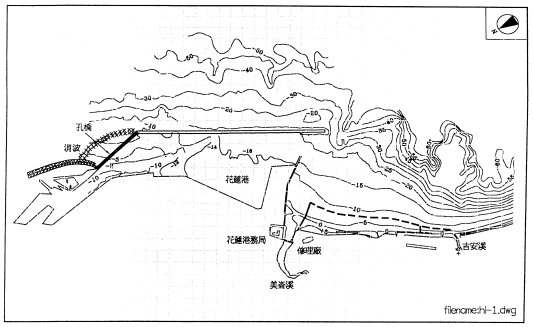

(a) 方案 2A



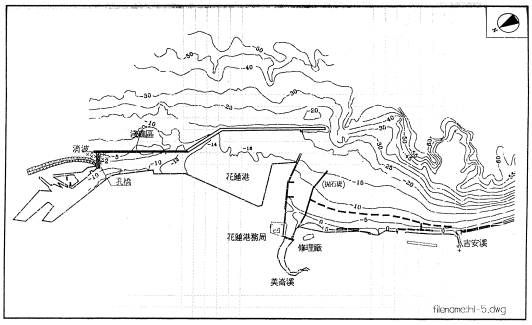

(b) 方案 2B



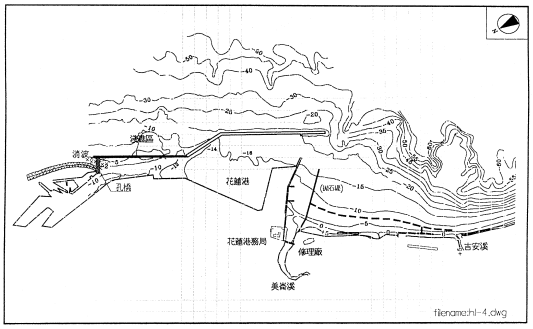

(c) 方案 2C



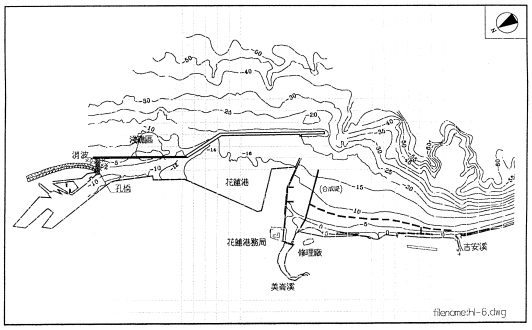

(d) 方案 2D



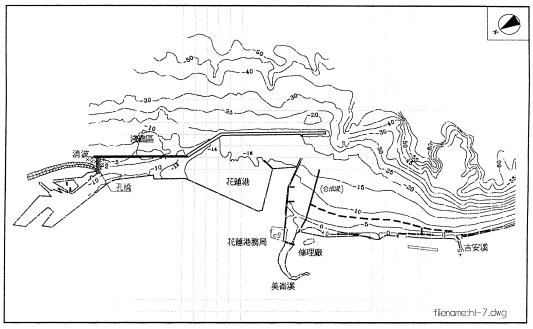

(e) 方案 2E




(f) 方案 2F

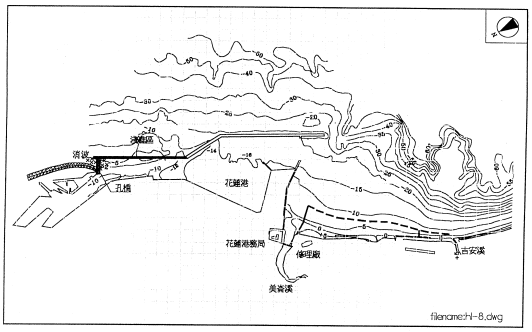



(g) 方案 2H

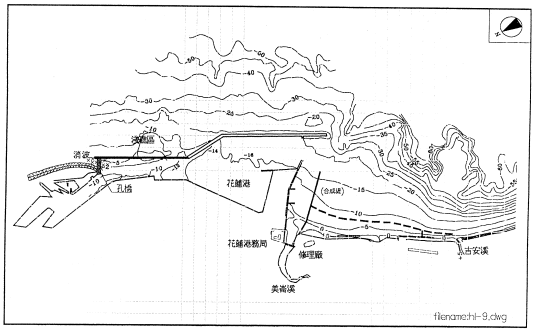



(h) 方案 2I

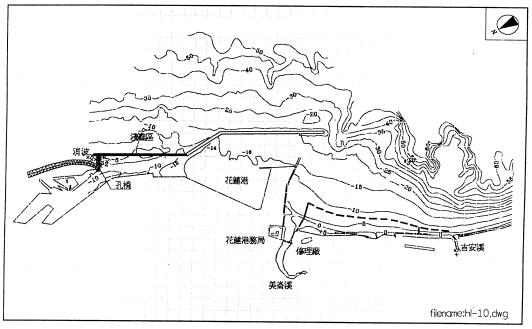
**圖 5.2 水工模型試驗方案及測點位置圖**



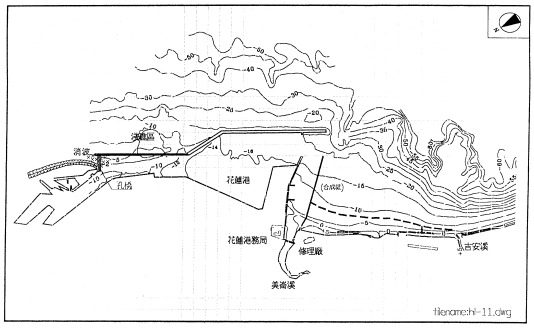

(i) 方案 2J



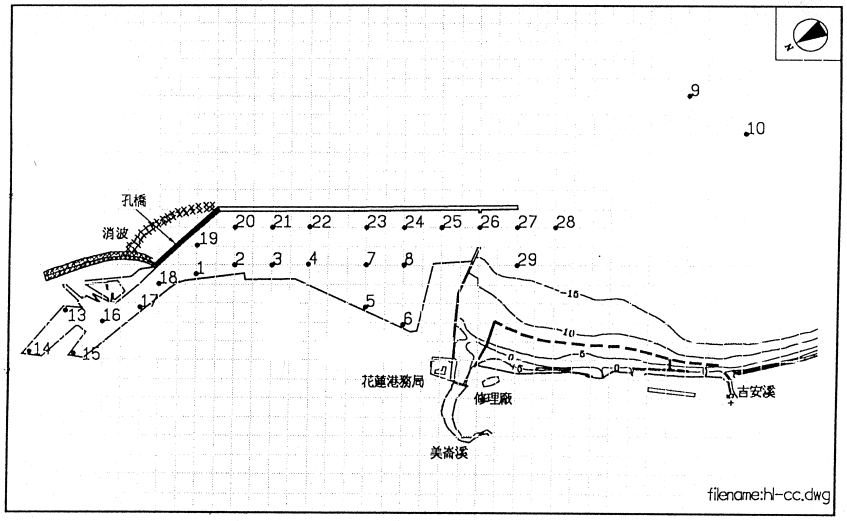

(j) 方案 2K




(k) 方案 2P




(l) 方案 2Q




| 波高計 | 位置 | 外海 | #2碼頭 | #8碼頭 | #12碼頭 | #20碼頭 | #22碼頭 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 編號 | 9 | 17 | 15 | 14 | 5 | 6 |

(m) 測點位置圖

**圖 5.2(續) 水工模型試驗方案及測點位置圖**

**表 5.4 規則波試驗條件**

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 原型 | 週期 (s) | 8 | 10 | 15 | 40 | 80 | 100 | 125 | 135 | 140 | 145 | 150 | 160 | 180 |
| | 波高 (m) | 2.00 | 4.00 | 4.00<br>8.00 | 0.75 | 0.75<br>1.50 | 0.75 | 0.40<br>0.75<br>1.25 | 0.75 | 0.75 | 0.40<br>0.75 | 0.75 | 0.40<br>0.75 | 0.75 |
| 模型 | 週期 (s) | 0.65 | 0.82 | 1.22 | 3.30 | 6.50 | 8.20 | 10.2 | 11.0 | 11.4 | 11.9 | 12.3 | 13.1 | 14.7 |
| | 波高 (cm) | 1.33 | 2.67 | 2.67<br>5.33 | 0.50 | 0.50<br>1.00 | 0.50 | 0.27<br>0.50<br>0.83 | 0.50 | 0.50 | 0.27<br>0.50 | 0.50 | 0.27<br>0.50 | 0.50 |
| 造波代碼 | | RN | RM | RX<br>RY | R9 | R8<br>RE | R7 | RC<br>R6<br>RD | R5 | R4 | RB<br>R3 | R2 | RA<br>R1 | R0 |

**表 5.5 不規則波試驗條件**

| | | JONSWAP | | 提姆颱風 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 原型 | 週期 (s) | 8.00 | 10.0 | 13.5 | 11.0 |
| | 波高 (m) | 2.00 | 4.00 | 6.50 | 2.50 |
| 模型 | 週期 (s) | 0.65 | 0.82 | 1.10 | 0.90 |
| | 波高 (cm) | 1.33 | 2.67 | 4.33 | 1.67 |
| 造波代碼 | | M1 | M2 | T1 | T2 |

### 5.1.3『花蓮港商漁分道與港池穩靜水工模型試驗研究—水工模型試驗報告』

本試驗研究主要針對以往未探討過的改善方案以水工模型試驗方式來探討花蓮港內的長浪效應。基本試驗構想是以改變波浪進行方向及消減入射波能之概念為主。由於目前花蓮南濱海岸已建構多道離岸潛堤來消減波能保護南濱海岸，但建構後對花蓮港內之長浪並無改善效果，因此本研究摒除離岸堤之構想，而以突堤、潛礁區、並在專用漁港區開闢一連外海通道來消能。計畫中共提出了三種改善方案和原配置進行比較，如圖5.3所示。方案3A於南濱海岸建構潛礁區；方案3B於南濱海岸建構突堤；方案3C於專用漁港區開闢一連外海通道；原配置方案以3D表示。各方案比較係將港池以分區討論與研析之方式來比較對長浪防制成效，同時在長浪作用下水域振盪特性亦作深入探討，並針對各水域之能譜能量傳遞和頻譜能量分佈做比較分析，且使用平

均遮蔽率加上積分法提出最佳改善方案。

試驗模型製作採用等比縮尺1/121，試驗條件主要考量兩個颱風方向S及SE向，造波條件如表5.6所示，包含3個颱風條件及4個長浪條件，並進行規則波和不規則波試驗。

**表 5.6 規則波與不規則波造波條件**

| 名稱 | 原型 | | 模型 | | 造波方向 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 波高(m) | 週期(sec) | 波高(cm) | 週期(sec) | |
| 提姆 | 6.5 | 13.5 | 5.37 | 1.23 | S、SE |
| 安珀 | 8.06 | 12.6 | 6.66 | 1.15 | S、SE |
| 歐菲莉 | 10.23 | 15.3 | 8.45 | 1.39 | S、SE |
| L1 | 0.75 | 40 | 0.62 | 3.64 | S、SE |
| L2 | 0.75 | 100 | 0.62 | 9.09 | S、SE |
| L3 | 0.75 | 140 | 0.62 | 12.73 | S、SE |
| L4 | 0.75 | 160 | 0.62 | 14.54 | S、SE |

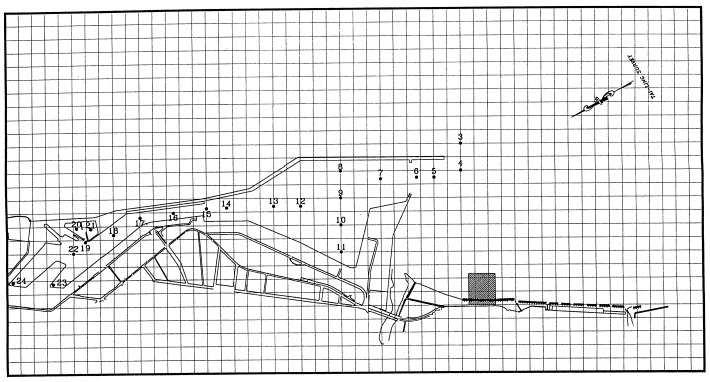
由各試驗方案之各分區遮蔽效果之比較，可發現以下之現象

1. 從外港區口到窄段前，由S方向入射的情況會以方案3B建構突堤的方案較能阻擋波浪進入港區，SE方向入射的情況又以潛礁區消能構造即方案3A為最佳，此顯示SE方向入射時，突堤有反射入港之現象，潛礁區則可消能並減少入射波的能量。

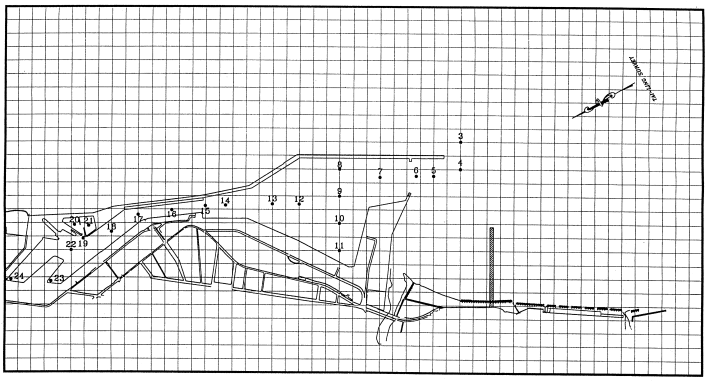
2. 波浪如由S方向直衝進入港內時，在各種波浪條件下皆顯示潛礁區對各頻率之波能有較好的消能現象，而突堤雖有阻擋波浪前進的功能，但無法針對各種頻率皆有效能，因此通常S方向方案3A對內港區有較正面的貢獻。

3. 在波浪進入窄段航道後，各水域的波高比，受波浪入射方向影響就很小，亦即波浪受窄段航道之引導減低了其方向性的影響。

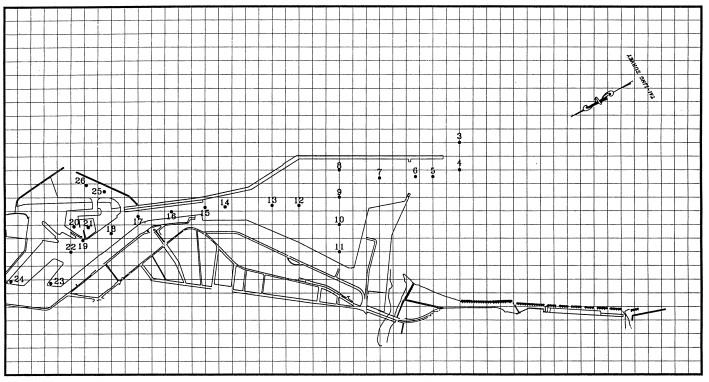
4. 在各水域分別討論，可發現各個改善方案，皆無法達到全面降低波能之功能，亦即各種方案皆對不同波浪條件有消波功能。



**(a) 方案 3A**



**(b) 方案 3B**



**(c) 方案 3C**

**圖 5.3 三種改善方案配置示意圖**

### 5.1.4 綜合討論與結論

從以上的整理中，大致有關花蓮港長週期振盪的改善構想為：

1. 在1996年的試驗中利用在南濱海岸興建的突堤以破壞入射波浪的結構使其入射波週期變短；以及利用舊東堤改建的機會，建構潛堤保留一新的通道企圖使港內的長週期波動能量能自該通道向外海消散，也局部性變化港池形狀，以降低或改變港內的長週期振盪。此一構想由於疏通了部份由外港區進入內港區的波浪能量，對於改善內港區的長週期振盪有明顯幫助；突堤由於受限於水深地形似乎發揮不了作用，因此外港區的波動沒有什麼改善；然而需要注意的是：入侵的波浪能量仍引起長週期的振盪，振盪週期仍是類似，只是振盪幅度改變而已。

2. 在1997年的試驗中配合舊東堤的改建、美崙溪導流堤的興建與專用漁港的海堤的興建，同時探討改善內航道過於狹窄與水深太淺、以及改善港池不穩靜與長週期振盪問題的可能性。其構想是利用美崙溪導流堤的興建，或是在南防波堤新建內堤以阻擋或削減外海入侵的波能；拆除舊東堤及部份新東堤以擴寬內水道，改變港池形狀；並在新建東防波堤及專用漁港海堤間保留一出口，疏散部份由外港區進入內港區的波能。其基本構想是來自1996年試驗的最佳方案。試驗結果顯示各方案對長週期振盪雖然無法消滅但都有改善的效果，新建內堤可以阻擋部份入侵波浪，但受限於船舶航行安全而無法考慮。試驗中也發現，花蓮港的地形可能引發緣波效應，而緣波會在外港區引發東西向的振盪，此一發現顯示港內的長週期振盪可能會有很多種週期，也呼應了數值模擬的趨勢。

3. 2000年的試驗係針對過去未討論的改善方式，即以改善波浪進行方向及消去入射波能之概念提出試驗構想進行討論，例如以突堤、潛礁區、在專用漁港區開闢連接外海通道來消能。建置突堤或潛礁區基本上是認定花蓮港的長週期振盪係有緣波所引起，而試圖改變波

浪的傳播方向，以及消減部份能量。專用漁港開闢出口則是延續上兩個計畫的構想設法藉由外廓設施的新建同時考量疏散部份的波浪能量。

綜合這三個研究計畫成果，有關花蓮港的長浪防制部份的水工模型試驗探討，大致可分為下列幾個方向：

1. 在花蓮港南側的南濱海岸興建複合式突堤或拋石潛堤(如1996年計畫之方案1B、1C、1D及1E，與2000年之方案3A及3B)或延伸美崙溪的導流堤(如1997年的所有方案)以破壞外海入射波的波場結構，阻絕長週期的緣波進入港內，並可有效地減少南濱海岸的侵蝕與港口的淤積的問題。試驗結果顯示此一構想可以有限度地降低港內的長週期振盪能量，其中又以興建沒水潛堤為佳。然而這些海岸結構物由於需要抵抗東部的大波浪，其結構安全性必須審慎考慮。例如南濱海岸目前的離岸堤群即逐漸破壞中，其現象包含塊體破裂、流失與沈陷。如果有其他新的嘗試也需要考慮花蓮港外側的大水深地形。
2. 拆除舊東堤以及部份的新東堤，改變東防波堤的堤線，使其兼具更新老舊的舊東堤、擴寬窄段航道 (如1996年計畫之方案1C、1D及1E，與1997年的所有改善方案)，雖然可以削減部份長週期振盪能量，但也可能改變振盪的週期，而產生負面的效果。
3. 在漁港海堤與新建東堤之間保留適當的缺口，以宣洩部份的長週期波能(如1996年計畫之方案1C及1D，與1997年的所有改善方案)。對改善內港區的長週期振盪雖然略具成效，但在東北向波浪作用下，可能造成港內不穩靜，需要審慎規劃。

然而，這三個計畫所考慮之配置方案的試驗接果顯示：無論是利用突堤或淺礁區來減少入侵波能或破壞入射波結構，或是增加聯外通道以疏散港內長週期波能量，似乎都無法明顯地改善花蓮港內的長週期振盪問題。

## 5.2 改善構想的研討

在評估過去的研究成果後，本計畫研擬幾個可能的配置方案，並進行現場的可行性評估，而後選定較為可行的方案進行數值模擬的討論。96年度計畫中檢討如圖5.4至圖5.7的幾種可能的配置構想。分別說明如下：

1. 配置構想一(圖5.4)主要係考量如果引致花蓮港長週期振盪的原因是由南面傳來的緣波所致。由於水深及地形的緣故，如果颱風在花蓮的南邊移動，大部分的颱風波浪多是從南或南南東方向北傳播，受到花蓮溪口南側海岸山脈的阻擋與導引，波浪方向可能會以小角度沿著岸邊傳播，而形成所謂緣岸波效應，使得有較大的波浪能量可能被地形引入花蓮港。因此，構想一是考量兼顧花蓮溪排洪，以及保護緣岸波侵襲南北濱及化仁海岸，在花蓮溪口的南側適當水深處建構一條突堤，以將緣岸波再度導引出海。如果考慮在花蓮溪的南岸地形轉折處設置防波堤，以便將緣波傳播方向導向海側，雖然仍然會有部分能量會藉由繞射效應進入港內，但其能量應可減少。此一構想在經過現場的勘查後，發現可能設置的地點仍然位在花蓮溪的沖積三角扇上面，除了目前波浪會在預定地點碎波以外，也可能因為防波堤的重量及颱風波浪的作用而引發大規模的沈陷或海底崩坍。如果是在颱風以較偏東方向直撲花蓮的話，將會完全失去作用。再者，由於此一佈置可能改變近海的波流場，對於河川的排洪及輸沙，以及海岸變遷必須再加評估。在多方檢討後，此一構想暫時保留。

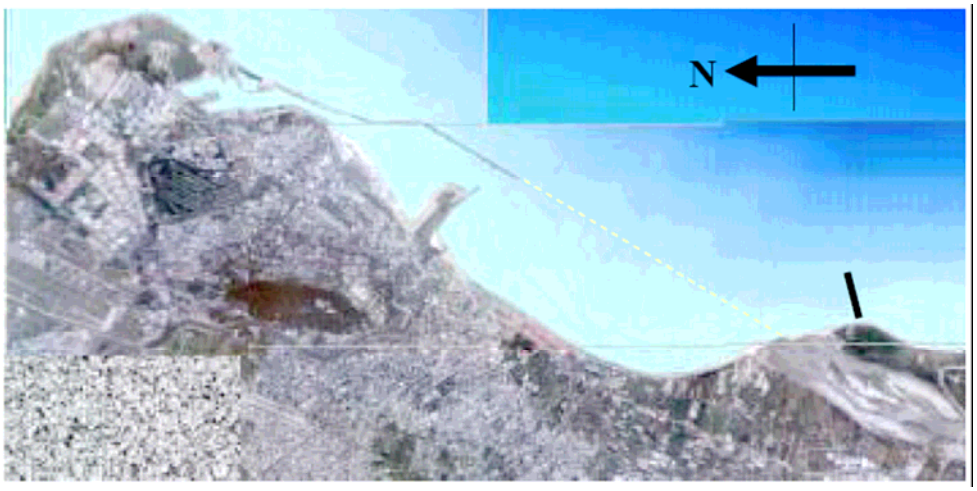



**圖 5.4 配置構想一**

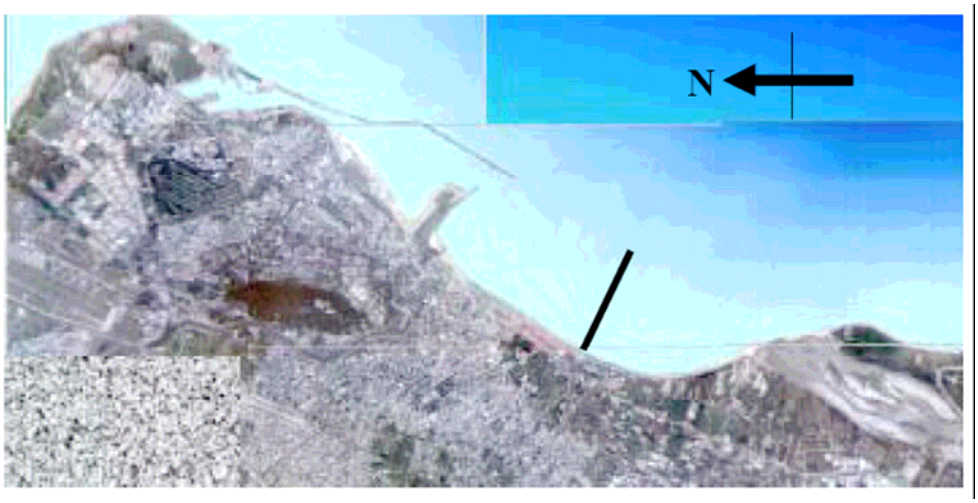
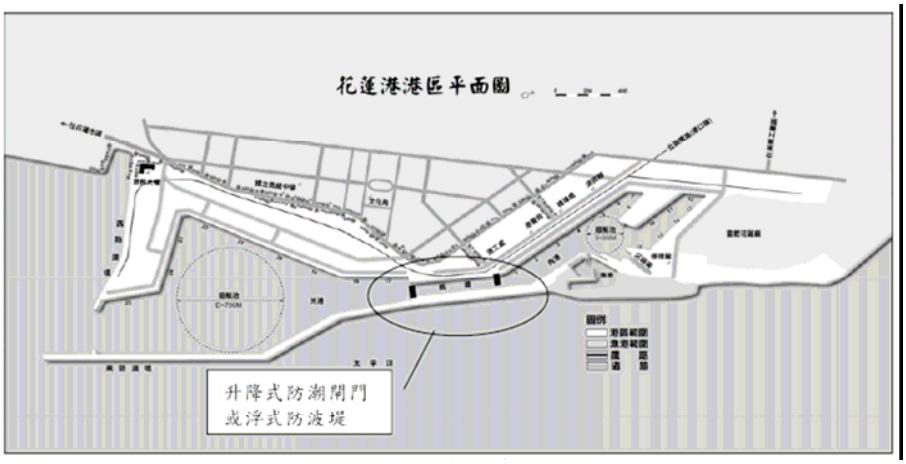


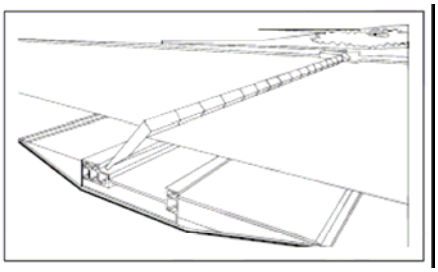

**圖 5.5 配置構想二**

2. 配置構想二(圖5.5)主要也是考量由南面傳來的緣波，為有效發揮突堤導波的功能，乃利用地形的變化，在海脊處建置突堤，以阻擋緣岸波作用到花蓮港。此一構想亦可以兼顧花蓮溪排洪，以及保護緣岸波侵襲南北濱。此一構想有些類似於以往水工模型的試驗配置，但是防波堤作大幅度地延伸。除了有在約80公尺的大水深建構防波堤的工程技術及經費問題外，由於此一佈置可能改變近海的波流場，對於河川的排洪及輸沙，以及海岸變遷。如果考量臺灣沿岸的漂沙以由北向南為主，而且颱風波浪多由東南至南的方向入侵，此一防波堤的建構可能會加速南濱及化仁海岸的侵蝕，以及防波堤堤址的淘刷。有鑑於此，雖然目前尚未收集到花蓮海岸漂沙的長期觀

測與分析，無法確定花蓮溪河川輸沙對花蓮市海岸的影響。再者，在圖5.5預定設置突堤位置南北兩側的水深地形都可發現有垂直於海岸的海溝，這些海溝在較長週期波動作用時，具有集波的作用，可能是造成目前南濱及化仁海堤破壞的原因之一，而突堤的設置是否會引發導波作用必須詳加評估。此一構想也暫時保留。




束縮航道處設置兩道防潮閘門



圖片來源：美國海岸工程手冊

(b) 防潮閘門

**圖 5.6 配置構想三**

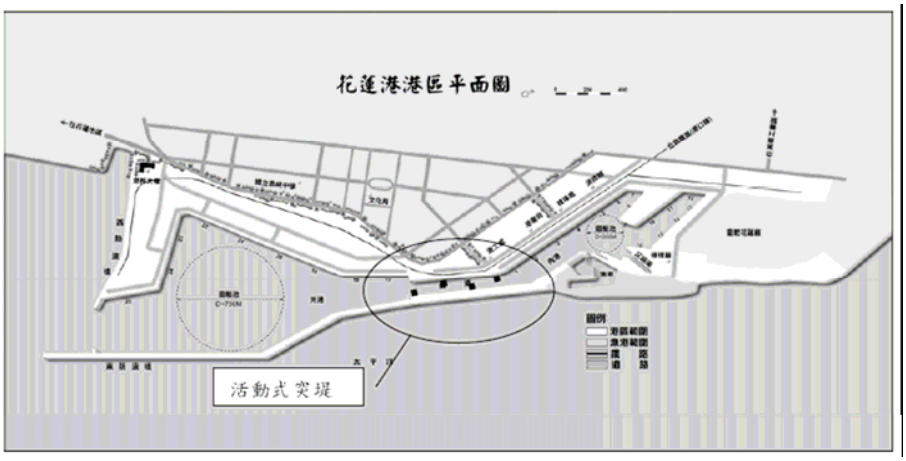



**圖 5.7 配置構想四**

3. 配置構想三，如圖5.6(a)所示，是考量如果外海波浪中即具有長週期波動的成分，而在颱風侵襲期間，該部分能量增加且無法避免該能量傳入港內的狀況下，研擬以在束縮水道處建構兩道臨時性防潮閘門或浮式結構物，如圖5.6(b)所示，以阻擋波浪進入內港，同時也改變花蓮港的港型，變化其港內波動機制。第一道結構物容許越波以減少反射，第二道結構物則採垂直設置以便在兩道結構物間構成一消能池，並阻絕波浪入侵內港。在束縮水道上建構防潮閘門，不論從工程技術上或者是工程經費上都有極高的可行性，只有在船舶動態管理上可能因為臨時性結構物的設置影響到船舶，尤其是漁船，的進出，導致在颱風時期應該在哪一個時間點關閉內港，可以阻擋大能量長週期波浪的入侵，以及確保漁船安全返航，成為一個必須要討論評估的要點。

4. 配置構想四，如圖5.7所示，是延伸配置構想三的思考方向，並增加考慮漁船在颱風期間可能返航避難，需要進入內港的狀況。利用在束縮水道部分以臨時性的結構物在水道的兩側設置直立式短突堤。藉由突堤群對波浪的導波、反涉及繞射效應來改變港內的波動機制。此種設置方式可以在束縮航道上保留相當的寬度讓漁船即使在颱風期間也可以安全進入內港，但大型船舶則否。惟突堤長度的選擇必須考量到可能引起的橫向水面振盪。

5. 配置構想五，回顧花蓮港二、三期擴建之前的情形，#7及#12號碼頭原本為自然沙灘，依據港灣工程前者描述，在擴建之前並無長週期振盪的問題。因此，研判如果能夠增加#7及#12號碼的消波能力，以消減岸壁的波浪反射能量，則可能可以大量削減羈留在港內的波動能量。

## 5.3 改善方案的數值模擬與檢討

依據上節的構想討論，本計畫擬定三種方案，並以數值模擬方式進行檢討與比較，同時也與現況進行比較。各方案說明如下：

方案一：現況配置，港外岸壁反射率設定為0.5，但港內均假設為1.0。

方案二：參考方案一，但增加束縮水道兩側岸壁的消波能力，並假設反射率為0.5。

方案三：參考方案一，但將束縮水道封閉，並假設封閉部分的反射率為0.5。

方案四：參考方案一，但在束縮水道的兩側岸壁分別設置兩道約30公尺的短突堤。

方案五：同方案一，但假設#7及#12碼頭為完全消波，反射率為0.0。

在比較中，本研究首先就九個測站的波高增幅係數曲線進行比較，其後再比較五個碼頭附近的波動變化情形(位置如圖5.8所示)。圖5.9至圖5.13分別為九個測站(點為如圖4.5所示)之波高增幅係數$K_D$曲線圖，圖5.14至圖5.18則分別為四種配置方案受到週期為20、37、55、88及123秒的入射波浪作用下的港內水面$K_D$分佈圖。以圖5.9及圖5.14之現況配置為參考，比較各配置方案的波動情形可以發現：

1. 配置方案二：從九個測站的$K_D$曲線變化上，增加束縮水道的消波能力明顯地改變了整個港域的水面波動情形。就外港而言，入射波週期70秒以上的變化情形較大主要剩下130秒的共振週期，但70秒以下的波動似乎沒有太大改善。然而束縮水道區及內港的波動情形則有明顯地改善。究其原因應是內港的水面振盪等於室外港的造波源之一，如果透過束縮水道的消能設施將進入內港的波能加以削減的話，對內港的波動及由內港向外港傳播的波動能量都可明顯減小，連帶地也改變了外港的特性波動頻率。檢視圖5.15中港內水面$K_D$分佈圖的話，亦可以發現束縮水道消波能力的增加不僅使得內港的水面波動變得穩靜外，似乎也改變了外港及港口附近的波動。不過必須要強調的是：目前的消能設施對不同的波動週期有不一致的消波效果，因此如何能在束縮航道對各種不同週期的波動發生一定的消波能力，未來尚需要進一步研究。

2. 配置方案三：束縮水道及內港的封閉當然保持了該區水域的穩靜，但從五個測站的$K_D$曲線變化(圖5.11)，以及圖5.16中港內水面$K_D$分佈圖，可以發現水域形狀及面積的改變也使得外港水域發生優劣不等的變化。外港水域在長波作用下似乎橫向振盪為主(如圖5.16中E圖)。

3. 配置方案四：短突堤的設置，由於假設岸壁的反射率皆為1.0，從圖5.12中九個測站的$K_D$曲線變化及圖5.17中五個入射波週期的水面波動可以看出對港內短週期波動是負面的影響，而對長週期波動則無明顯的變化。

4. 配置方案五：將#7及#12碼頭設為完全消波，反射率為0.0時，從圖5.13中九個測站的$K_D$曲線變化及圖5.18中五個入射波週期的水面波動可以看出對港內短週期波動有明顯的降幅效應，而對長週期波動亦然，惟$K_D$值仍有接近2的值。顯示提高內港末端的消波功能可以降低花蓮港港內的波動。

圖5.19至圖5.23為5種不同港灣佈置的#4、#7、#12、#21及#25等5個碼頭附近的波高增幅曲線比較圖，各佈置方案的消能效果情形如前討論。

綜合以上的測試，可以發現內港的散射波對束縮水道、外港及港口處的水面波動有相當大的影響，其行為類似於在束縮水道入口的造波行為。增加束縮水道兩側岸壁的消波能力，或是在束縮水道設置消能池並容許越波，應有助於改善花蓮港的長週期振盪問題。

在經過相關的討論，並結合現場觀測的心得，花蓮港長週期振盪的能量源自於外海的可能性極高，如果此一現象是肯定的，則要應用一般防制港灣自然共振的的方法可能發揮不了功效。由於港灣水面波動振盪幅度的加大除了入射波之作用以外，尚需要加入多重反射波的作用。因此，如果能夠將港內的長週期反射波能量降低的話，則應有可能削減港內的長週期振盪。有鑑於花蓮港的水深地形已經重測，本(97)

年度的計畫裡乃針對配置方案一(原始配置)及方案五(#7及#12碼頭為完全消波)重新檢討。圖5.20及圖5.21為兩個方案在9個測站處的波高增幅曲線比較圖，圖5.22為其在5個碼頭附近的波高增幅曲線比較圖。由圖中可以發現，如果#7及#12碼頭可以完全消波，則雖然外港區仍有共振的情形(主要是因為假設所有港內岸壁無法消波)，但波動幅度均明顯降低，內港區亦除了33秒波動在#4碼頭附近水域仍有較大波動外，幾乎所有的週期都未發生共振情形。顯示#7及#12碼頭岸壁的消波能力可能主導了花蓮港港內的波動幅度。由此，未來可能需要朝向能夠消減長週期波動能量的設施進行相關研究。

圖5.23為一配合花蓮港#7及#12碼頭特性的消波設施構想圖。目前該二碼頭主要是作為內港區的聯絡通道，而非碇泊碼頭之用，其碼頭面目前尚無任何裝卸設施，因此如果能夠在其下方構築多孔隙斜坡後方並設置消波室。藉由導引波浪的溯上越波使水體落於後方的消波室，而後藉由內外的水位差強迫水體以水流型式(不再是波動！)從斜坡的孔隙排入港區、或是底床附近設排水管路、或是導引至其他水域。如此應有機會可將反射波減至最小。實際上的型式及消波效果必須要利用水工模型試驗進行驗證與改良。




**圖 5.8 5 個碼頭的相對位置**

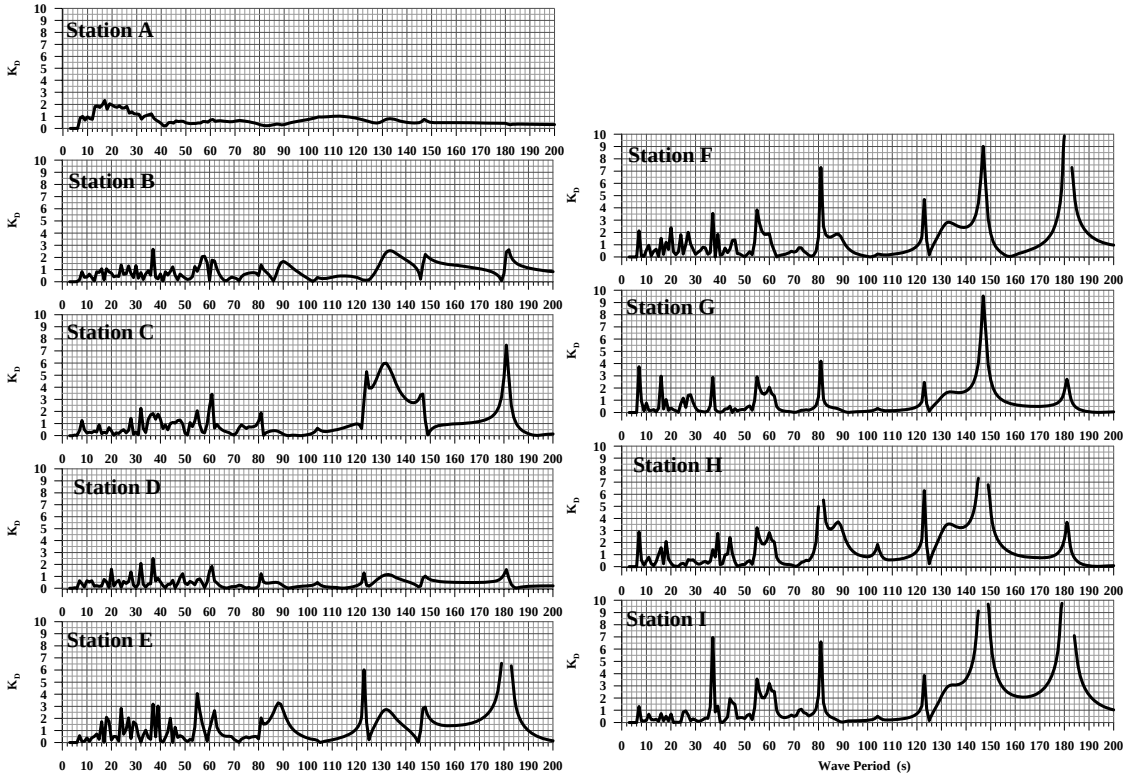



**圖 5.9 配置方案一，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖**

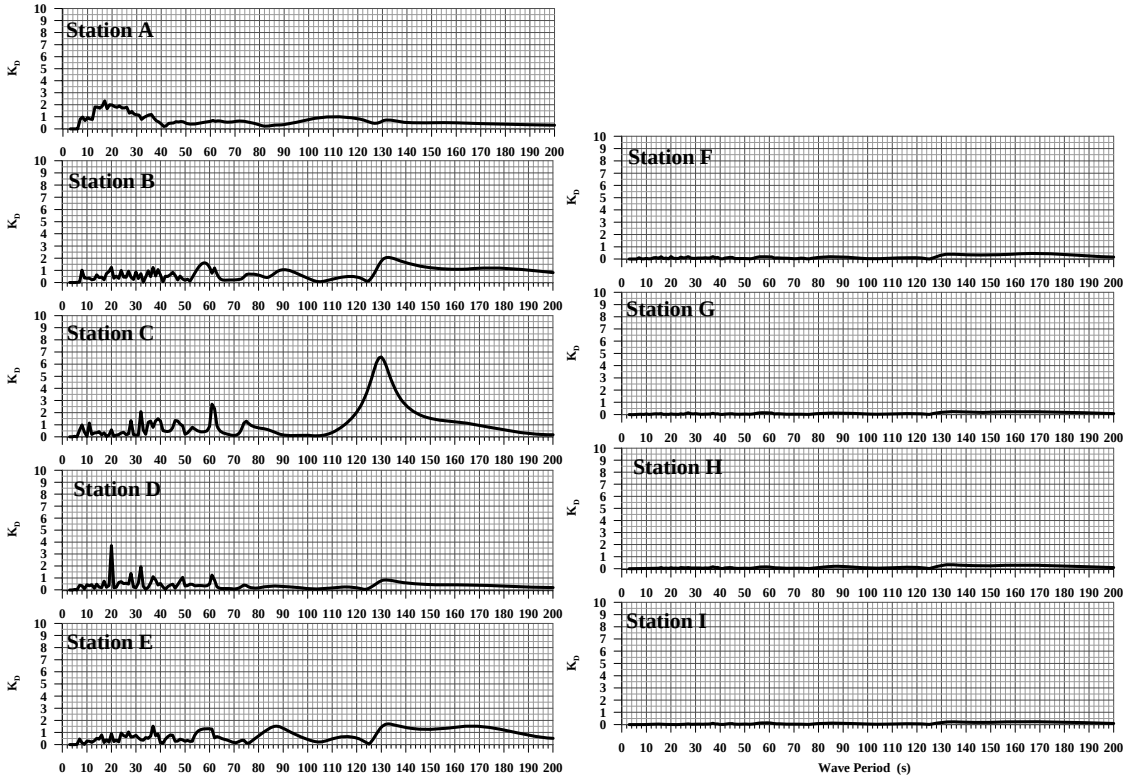



**圖 5.10 配置方案二，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖**

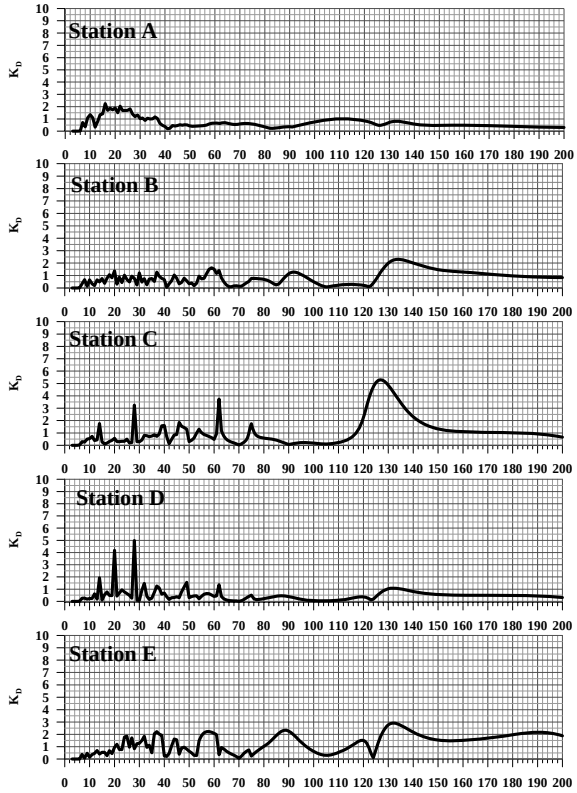



**圖 5.11 配置方案三，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖**

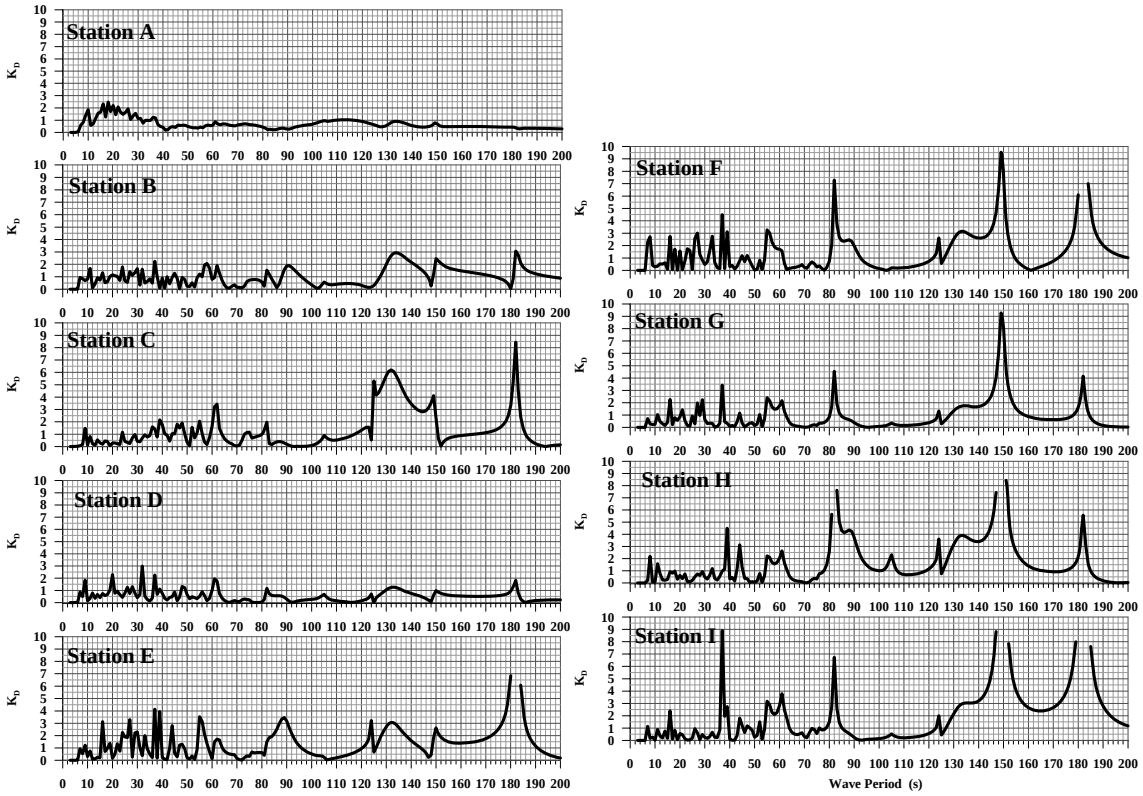



**圖 5.12 配置方案四，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖**

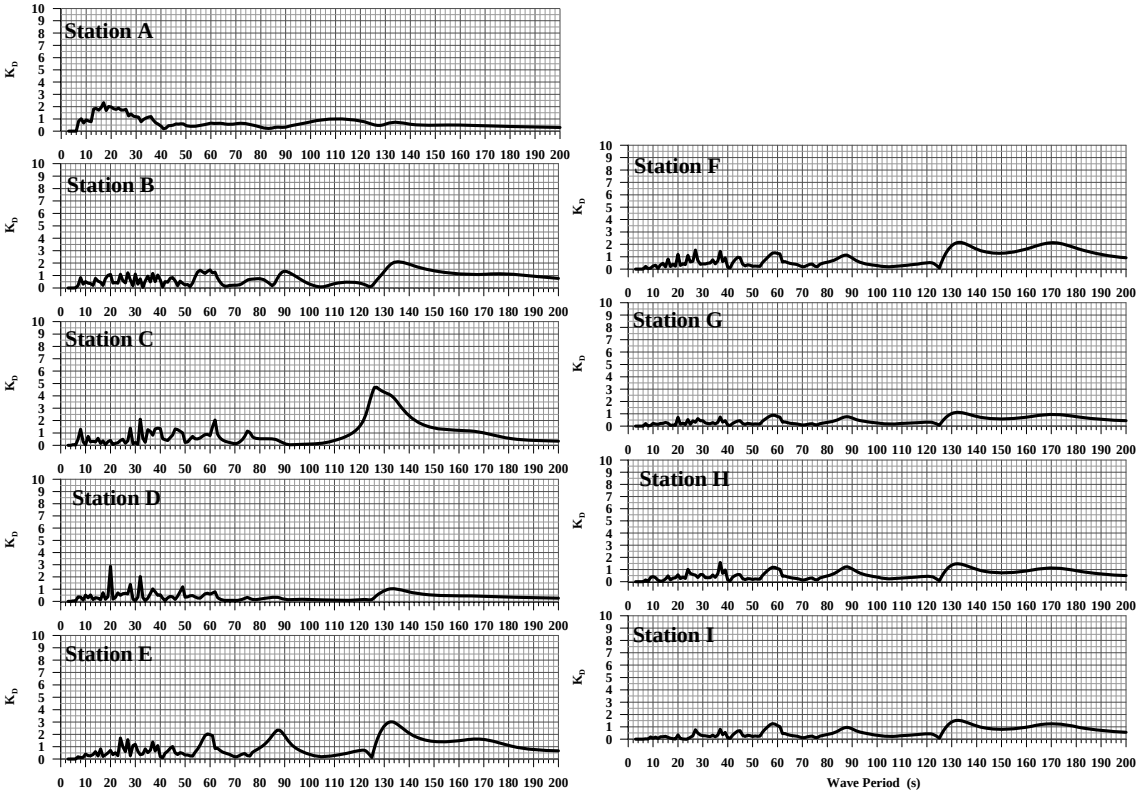
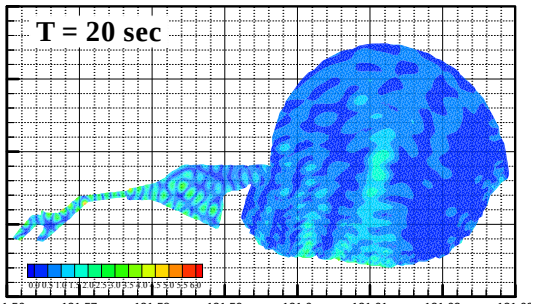
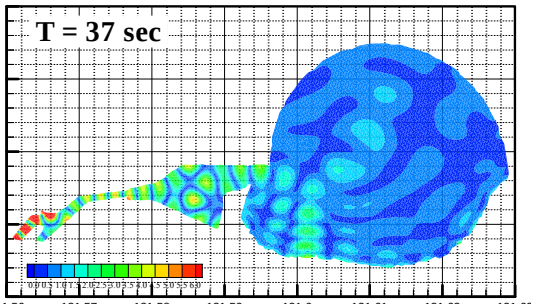


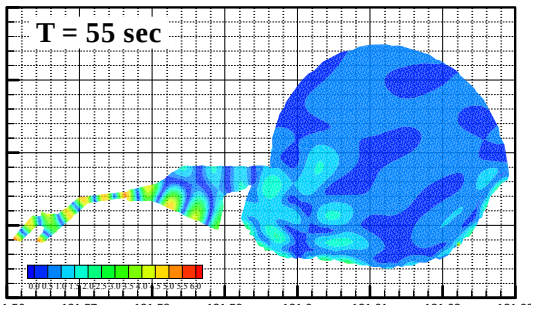

**圖 5.13 配置方案五，九個測站之波高增幅係數$K_D$曲線圖**



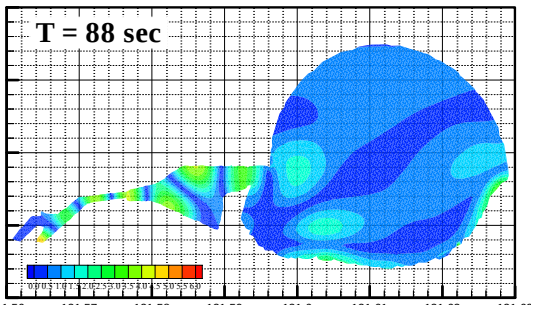

(a) 入射波週期：20 秒



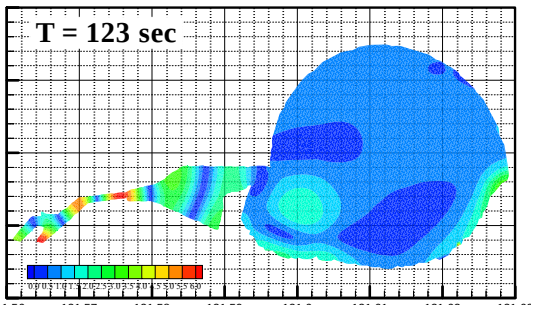

(b) 入射波週期：37 秒




(c) 入射波週期：55 秒

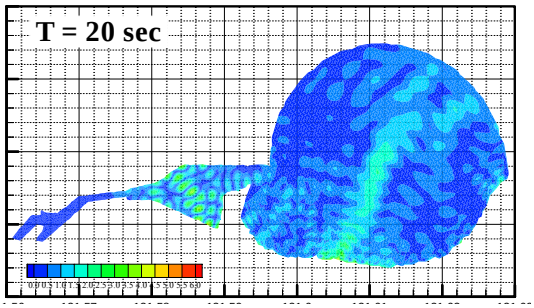



(d) 入射波週期：88 秒

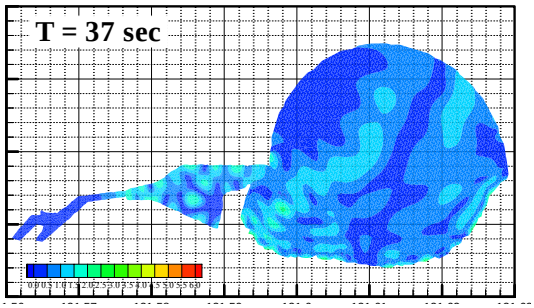



(e) 入射波週期：123 秒

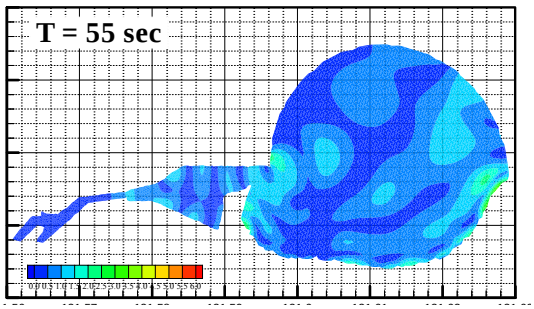
**圖 5.14 配置方案一，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖**



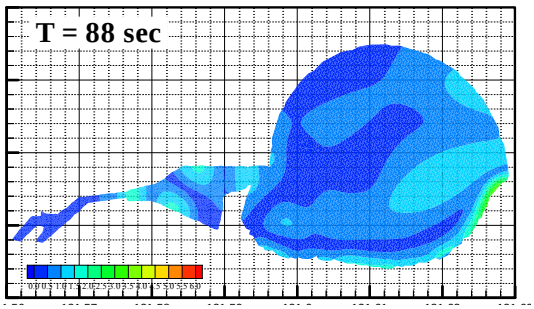

(a) 入射波週期：20 秒



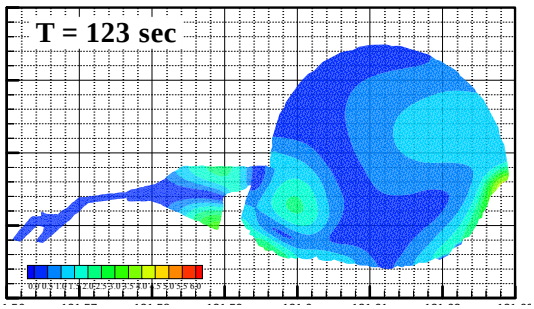

(b) 入射波週期：37 秒




(c) 入射波週期：55 秒

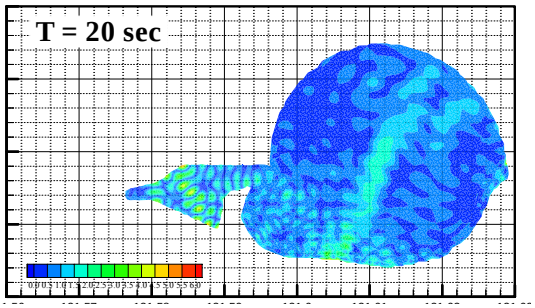



(d) 入射波週期：88 秒

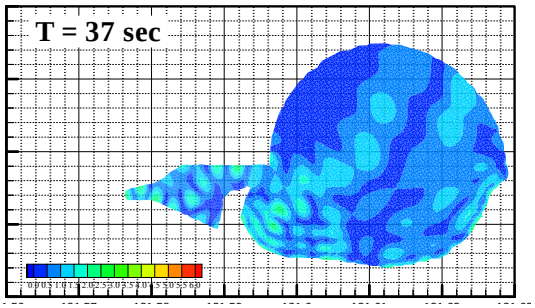



(e) 入射波週期：123 秒

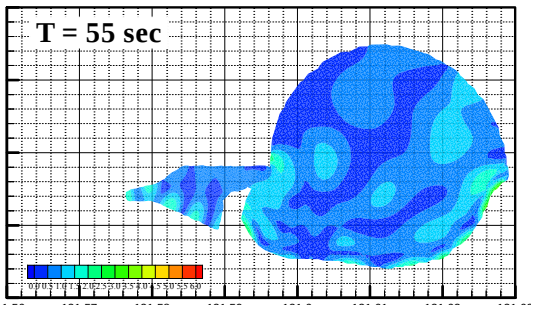
**圖 5.15 配置方案二，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖**



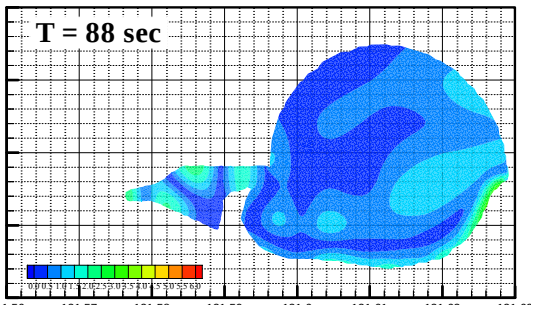

(a) 入射波週期：20 秒



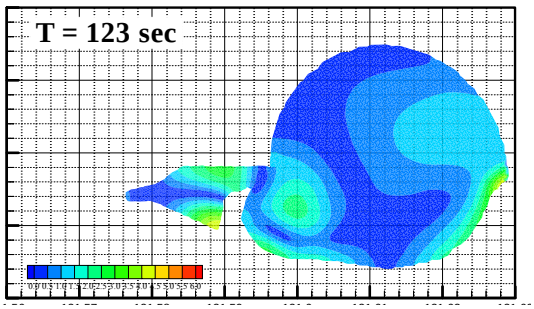

(b) 入射波週期：37 秒




(c) 入射波週期：55 秒

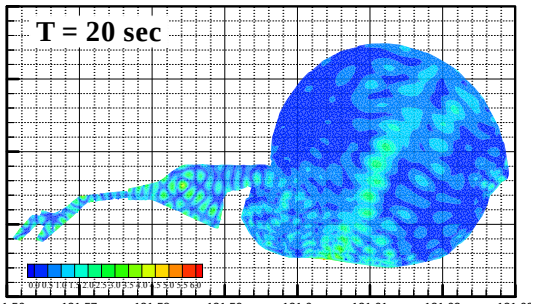



(d) 入射波週期：88 秒

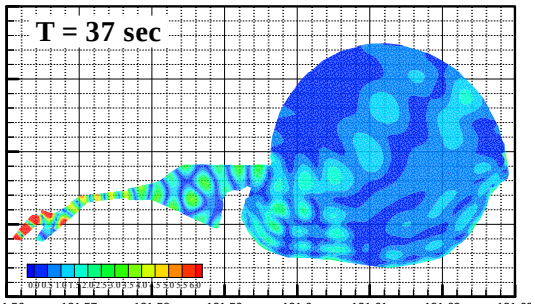



(e) 入射波週期：123 秒

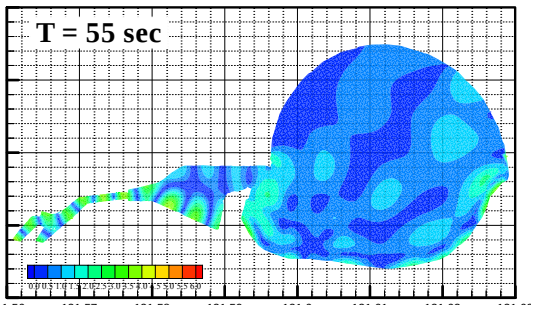
**圖 5.16 配置方案三，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖**



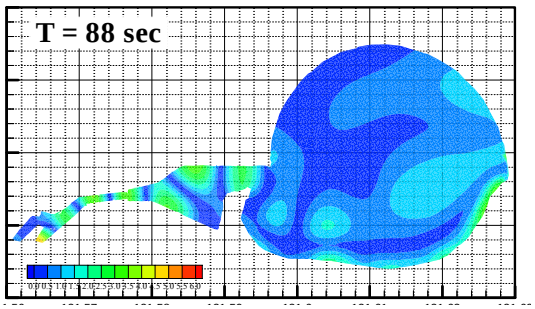

(a) 入射波週期：20 秒



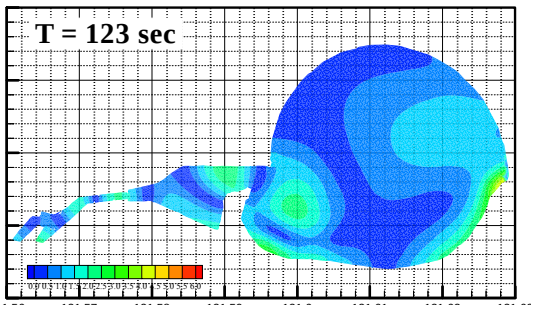

(b) 入射波週期：37 秒




(c) 入射波週期：55 秒

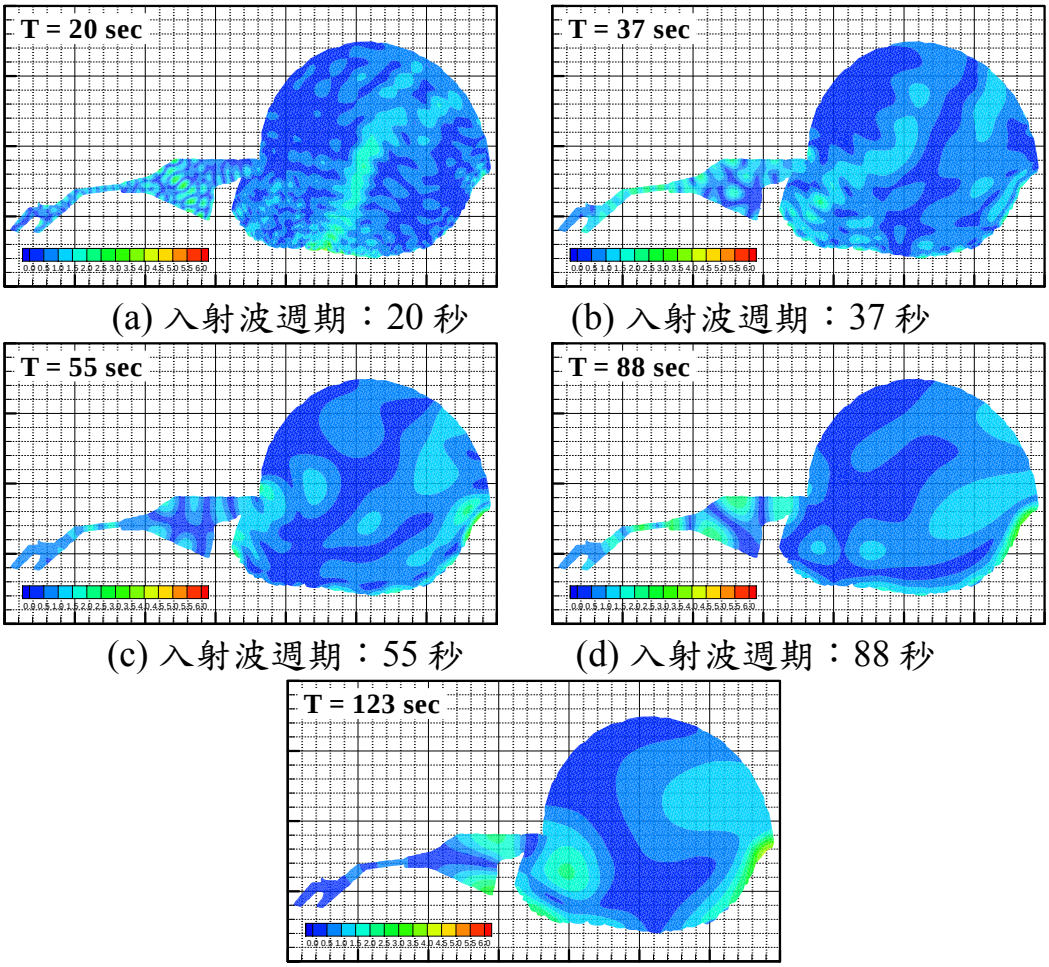



(d) 入射波週期：88 秒




(e) 入射波週期：123 秒

**圖 5.17 配置方案四，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖**

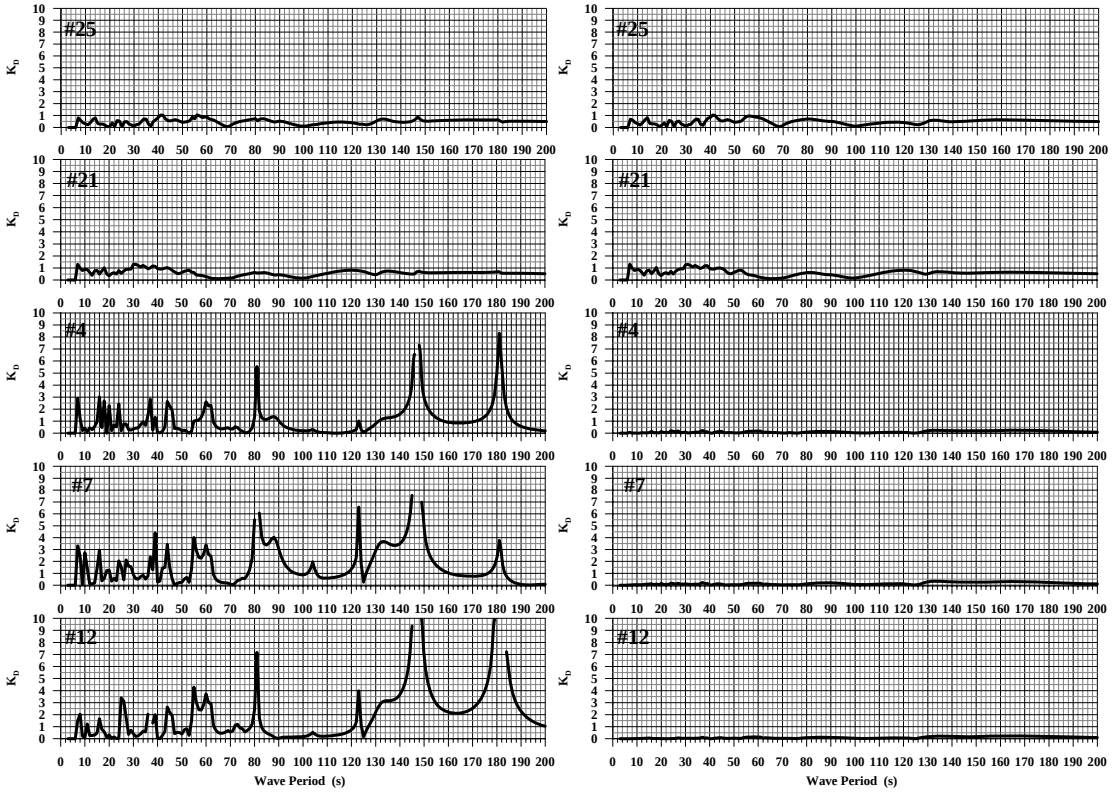



(a) 入射波週期：20 秒　(b) 入射波週期：37 秒

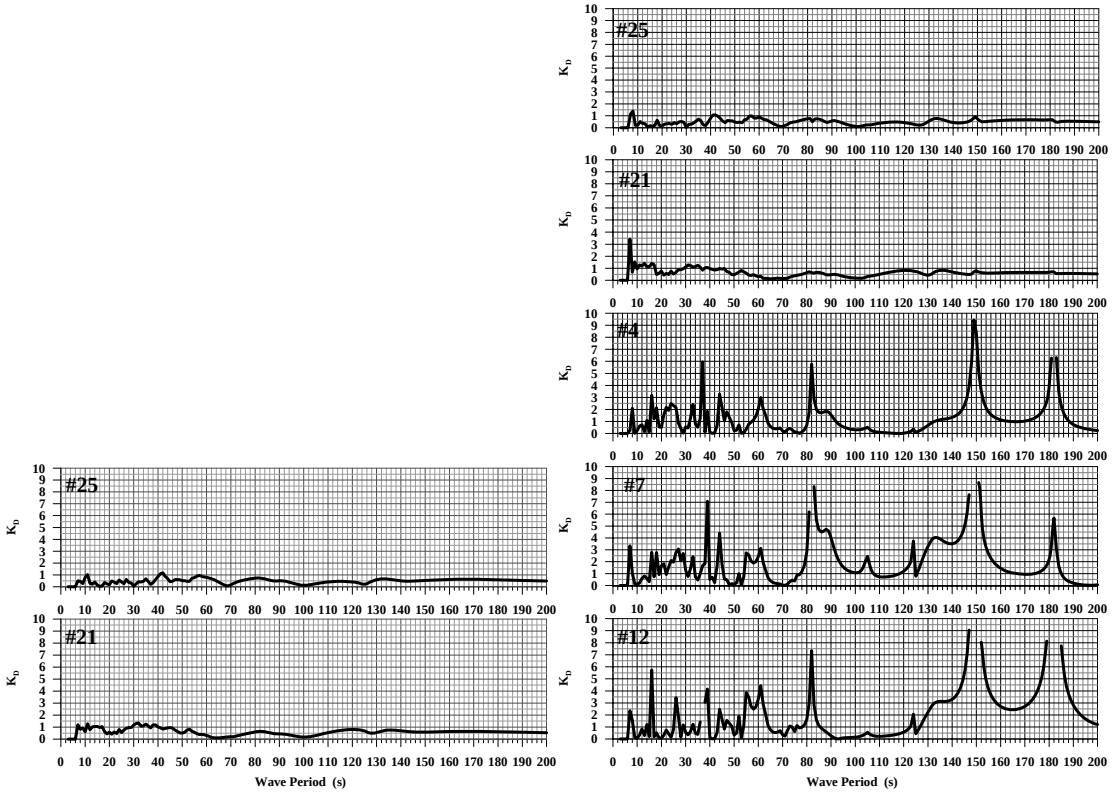
(c) 入射波週期：55 秒　(d) 入射波週期：88 秒

(e) 入射波週期：123 秒

**圖 5.18 配置方案五，不同週期入射波之波高增幅係數$K_D$分佈圖**

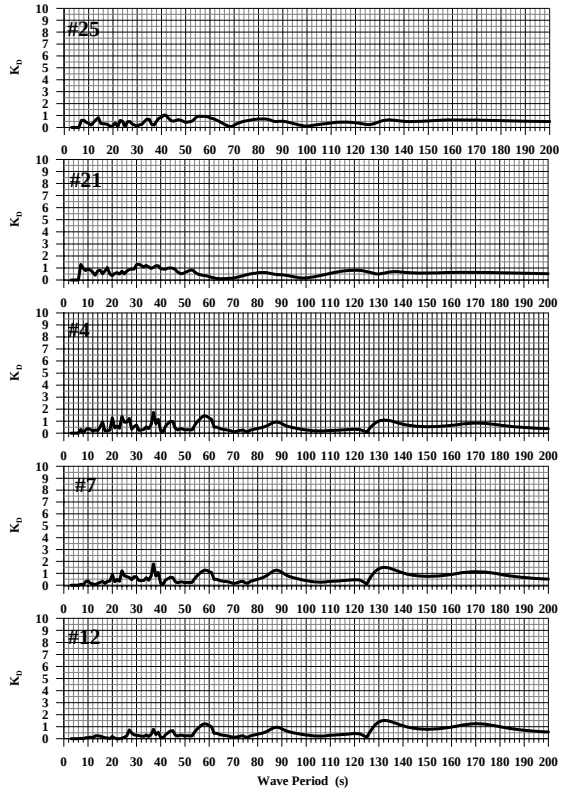



(a) 配置方案一　　(b) 配置方案二




(c) 配置方案三　　(d) 配置方案四

**圖 5.19 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線**




(e) 配置方案五

**圖 5.19(續) 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線**

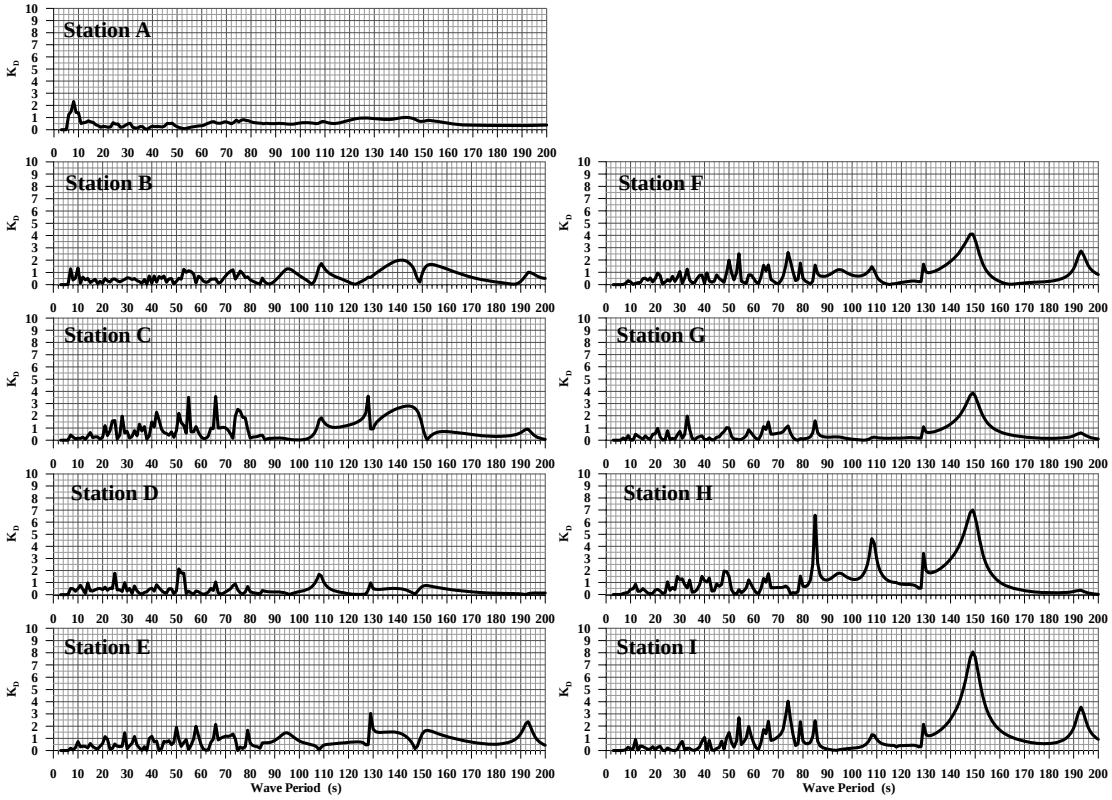



**圖 5.20 九個測站之波高增幅係數曲線(配置方案一)**

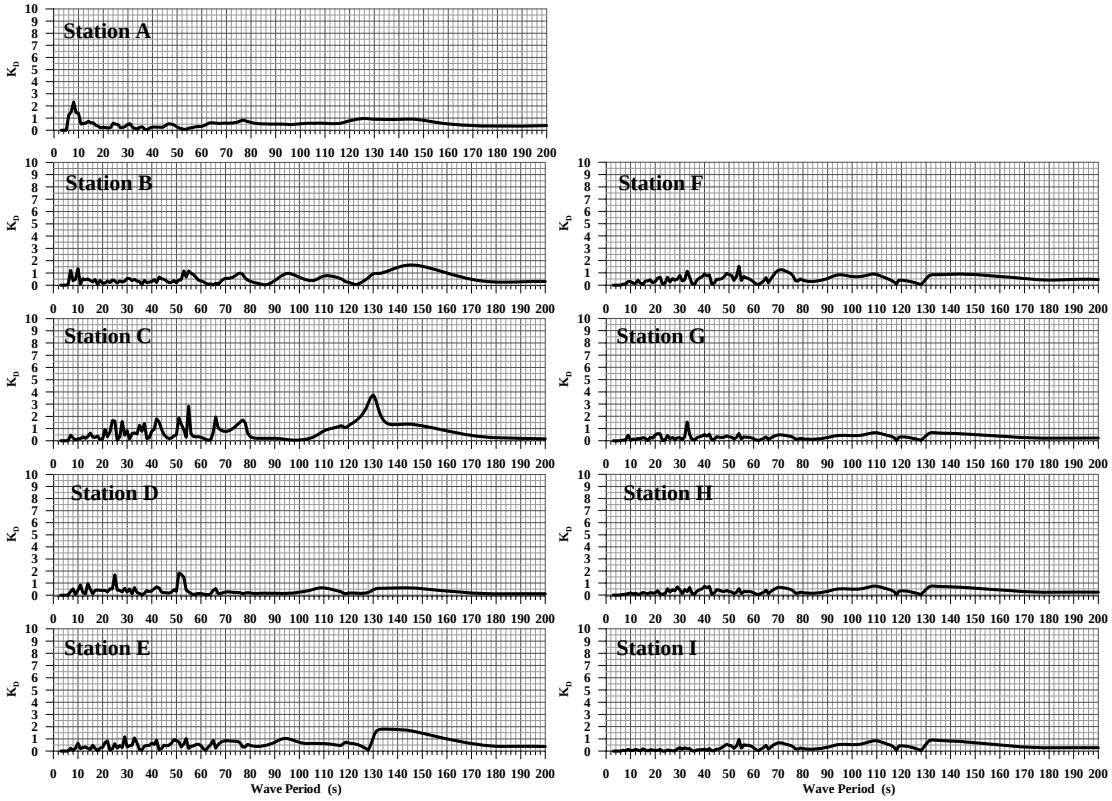
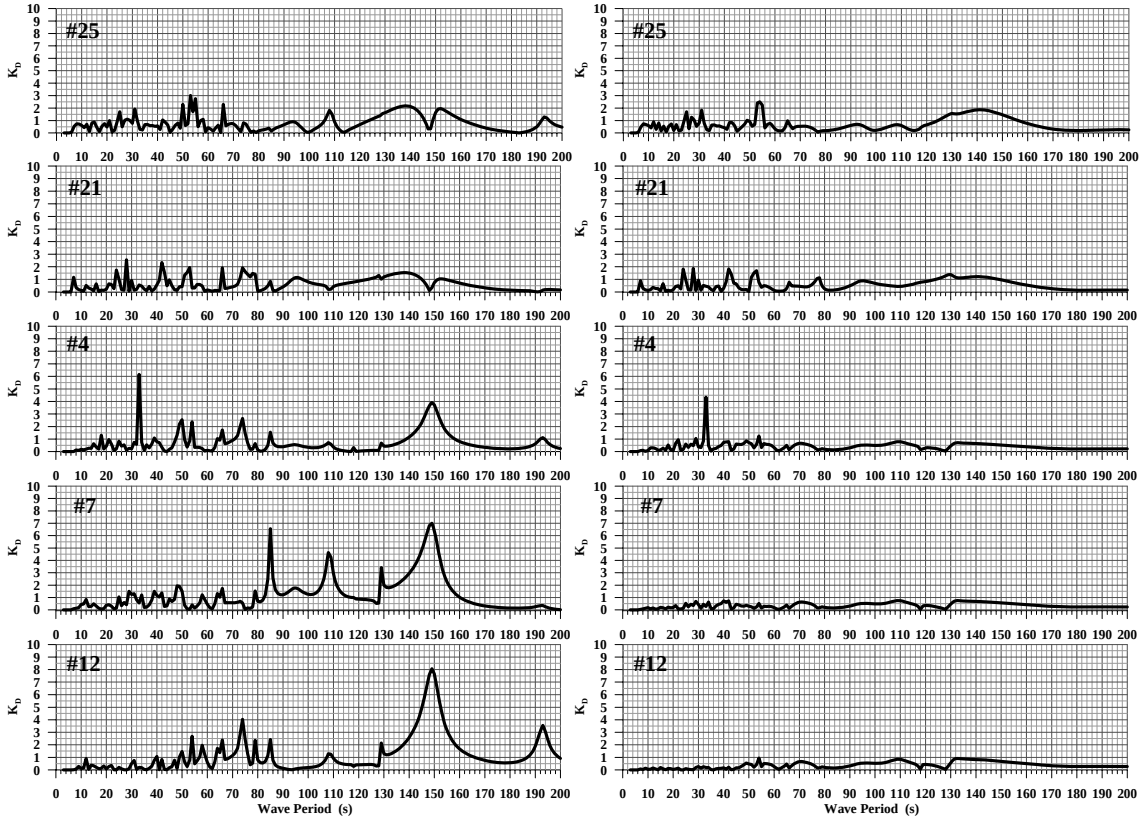



**圖 5.21 九個測站之波高增幅係數曲線(配置方案五)**




(a) 配置方案一　　(b) 配置方案五

**圖 5.22 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一及五)**

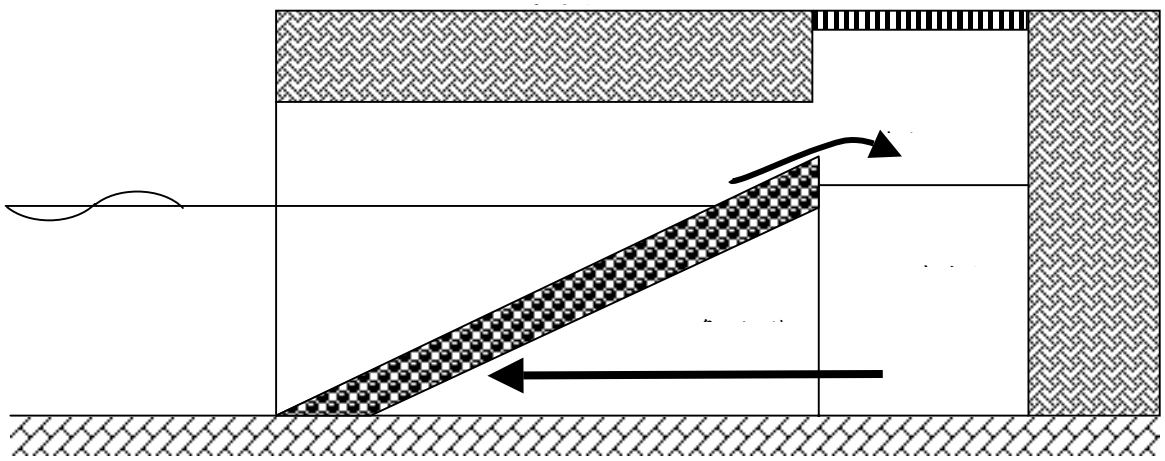


**圖 5.23 削減長週期波反射能量之設施構想圖(#7 及#12 碼頭)**

# 第六章 結論與建議

花蓮港由於海底地形與特有港形的緣故，在港內容易激發長週期振盪，嚴重影響港內船舶的靠泊。此不僅影響船舶靠泊安全與貨物裝卸作業，也直接影響到人員登船與下船過程間的安全性。目前此一長週期蕩漾現象已經造成在惡劣天候下，尤其是在某些路徑、強度、移動速度等特定動態之颱風侵襲前，港內的船舶必須先離港避難，待颱風過後再選擇適當時間進港，這不僅影響港埠之營運作業同時也危及船舶之安全，此由以往出港於錨泊區避難之船舶，因為不耐颱風巨浪之侵襲而斷裂或流錨擱淺等海事事件可得知。因此，本研究計畫以四年的期間進行花蓮港的共振機制研究，為了瞭解與港灣共振相關的各個影響因子，透過水工模型試驗、現場觀測及數值分析等工作項目，本計畫分別針對現場收集的波浪資料、水位變化進行整理分析外，也針對與壓力式波高計相關的壓力及波形轉換關係的探討、以及建構花蓮港港灣波動數值模擬程式與進行港灣波動的模擬。本計畫之研究成果對於臺灣東部花蓮港、蘇澳港及其他漁港在颱風期間經常出現之港池不穩靜現象的改善課題，提供極具價值之颱風波浪長週期波動特性分析結果，而有助於改善方案之研擬。其相關具體成果整理如下：

1. 除了長期在花蓮港內進行長期水位觀測外，也在東部海岸多個港口進行了多次的同步聯合觀測。由觀測資料分析結果顯示臺灣東海岸多個港口均有數百秒的長週期波動成分，外海波浪原就具有此成分波應無疑問。然而花蓮港比其他漁港更容易在颱風侵襲期間發生長週期蕩漾應是與其港型及岸壁消能特性有關。

2. 為了分析可能具有騎乘波/載波，以及非線性與非定常性波動成分的東部波浪，本計畫除了利用傳統的FFT及數值濾波技巧進行分析外也引進HHT中的EMD經驗型分解法，進行水位訊號的分析。就瑪莎颱風的水位觀測資料分析，可以發現長週期成分波之能量有隨著颱風的接近出現增幅的現象。

3. 在港灣波動數值模擬方面，本計畫也先後建構了規則波、單方向不規則波，以及多方向不規則波的港灣波動模式，並進行相關的模擬及比較。此外也輸入現場的實測波譜進行測試，以及配合TAICOMS近岸波浪預報系統建構了花蓮港的港內波動預報模式。

4. 從現場的觀測以及數值模擬都發現花蓮港目前的港型佈置很容易羈留長週期的波動能量，因而導致長週期的振盪。

5. 在利用數值模擬探討可能的改善方案中，則發現如果能夠增加束縮航道兩側岸壁的消波能力削減進入內港水域的波浪能量，或是以臨時性防潮閘門阻絕波浪能量進入內港，或是提升#7及#12碼頭的消波能力都有助於改善花蓮港內的振盪問題。

## 6.1 結論

1. 從水工模型試驗的觀點來看，花蓮港港內的長週期波動現象，本中心於 1996、1997 及 2000 年的三個大型專題研究計畫中已經針對各種可能的改善方案進行水工模型試驗(其成果分別發表於簡及邱，1996、簡等人，1999 及邱等人，2003b)，其中包括從改變近海入射波能的結構、削減或消散入侵港灣的波能、及改變港灣自然振動週期的構想，例如在港外布置離岸堤、導流堤、潛堤、突堤等設施，或在港內增加消波設施削減波能、突堤改變水域結構、甚至藉由內水域花蓮漁港的擴建或是東堤的改建時加開出口以消散港內波能。然而，試驗的結果都發現改善的成效有限，花蓮港的港內仍然會有共振的現象出現。邱等人(2005)指出一旦港灣的主體佈置定型後，任何局部性改善措施都只能產生有限的效果而已，除非大規模地重新塑造整個水域結構。然而。我們也必須注意到：在水工模型試驗中，整個港灣的波動試驗是在指定的造波條件下進行的。如果給定造波條件是屬於共振週期，則港內必然引起共振。因此，若將如此進行的水工模型試驗視為數值模擬的延伸性驗證，其與實際水域波動的關連性應該再加以釐清。

2. 從數值模擬的觀點來看，花蓮港的港灣共振特性在過去豐碩的研究成果中，雖然由於各個模式的背景不同而略有出入，但是其可能發生共振的週期幾乎都已確認。唯需要提醒注意的是數值模擬僅是依照特定的入射波週期進行規則波的模擬試驗，與實際海洋波動的隨機特性並不相同。而依照相關的不規則波模擬試驗以及水工模型試驗中顯示，由於港灣的入口、地形、消波設施都具有消波或濾波的功能，導致波浪進入各個水域的成分波種類與能量分佈均有不同，因此可以大膽推斷港內的特性波週期應該會有所變化，而且可能與外海的特性波週期不同。目前所建構的不規則波港灣波動折繞射模式僅是以能量線性疊加的方式重新組合港內各點的頻譜與總能量，各成分波之間的交互作用並未考慮，而其影響究係如何？未來在數值模擬上的相關參數如邊界條件、各項能量損失的推算、以及建構適切的不規則波模擬程式等都是需要努力的目標。

3. 從現場觀測的觀點來看，包括港內外的波浪觀測以及港內水位觀測，花蓮港裡可發現有極長週期的水面變動，而且其波動振幅隨著港外的海象變動。然而目前通用的波浪觀測取樣方式不論是以 2 Hz 連續取樣 20 分鐘或者是以 4 Hz 連續取樣 10 分鐘，其分析都似乎僅能涵蓋到重力波至亞重力波的範圍(如果取 2048 各資料點進行頻譜分析，最長解析週期分別為 512 及 256 秒)。延長取樣的時間可以提升對當地波動特性的瞭解。從本計畫所收集之花蓮港外港區實測波浪所進形的不同取樣頻率測試，發現長週期波並未因為 aliasing 現象而增加能量或新增譜峰，反而因為取樣頻率的變小而重新分配能量且略微降低。

4. 目前的水位觀測結果顯示，颱風侵襲期間長週期(100 秒至約 2000 秒)的能量有相當明顯地增加，雖然沒有同步地量測外海的水位變化，但就東海岸多個港口的波浪聯合觀測，均發現有數百秒的長週期波動成分，外海波浪原就具有此成分波應無疑問。花蓮港比其他漁港更容易在颱風侵襲期間發生長週期蕩漾應是與其港型及岸壁消能特性有關。

5. 從壓力與水面波動相關性研究來看，我們可發現壓力計所感應到的壓力並不完全是來自於水面波形的改變，可能還包括了附近流場變化所引致的壓力變化。線性波理論的轉換關係大致上適用於開闊水域的進行波，但仍需要有一與水深、波長及波高相關的修正係數。該關係函數應用到屬於多方向重疊的港內波動時就有很大的差異性。此外，重複波的情況下，本計畫的研究人員曾經在水工模型試驗中量測到在波形節點處有最大的波壓。因此，研判壓力式的波高計對水面波動的解讀能力顯著地受到當地流況的影響。未來可能需要先在試驗室中除了探討不同波高、不同水深與不同地形對波壓轉換的影響外，也應評估水流對它的影響程度。必要時，需要利用壓力式波高計量測水面波動時，應同步量測附近水流變化，並進行水流壓力的修正。

6. 綜合本四年度的研究成果以及相關的研究心得，與專家學者的討論，花蓮港的共振機制主要來源仍應屬於外海的長週期入射波成分受到花蓮港特有地形及港形的影響而增幅所致。

7. 依據本計畫對所規劃的改善方案所進行的數值模擬可發現：

   (1) 港灣附近的水深地形正確與否不僅影響到水面波動的模擬，更甚的是可能會獲致不同共振頻率。

   (2) #7 及#12 碼頭的消波功能如果可以達到完全消波，將有助於改善內港區的波動幅度。

## 6.2 建議

根據本年度計畫的執行心得，為了能更進一步瞭解及探討花蓮港的共振機制，建議後續研究中應進行

1. 由於可能影響壓力式波高計量測的因素除了已經考慮的水位靜壓與波浪動壓外，還有因為地形變化所產生的水流變化。壓力與水面波形轉換函數的研究在水工模型試驗部分，應利用斷面水槽與平面

水槽探討不同地形、水深、波高、甚至水流對其相關性的影響。在波動方面考慮進行波/重複波/多方向波浪，規則波/不規則波、深水波/中間性波/淺水波、波浪的線性/非線性特性等都可能造成影響。此外，波與流的交會對轉換函數應有明顯影響，因此在進行壓力計與容量式波高計的量測時，也應在其附近進行流速的量測。動態型轉換係數可能是未來工作的目標。此外，也應該進行現場的不同波浪觀測儀器的同步觀測研究，以便能確認各種不同觀測方法(壓力式、超音波、容量式、浮標式等)的功能與轉換特性。

2. 在港灣波動的水工模型試驗方面，目前已經有相當多的研究成果顯示港內的水位在惡劣海象作用下可能會抬升，而且港域越深處變化越大；再者，波浪在近海區域的運動可能會發生能量的轉移(例如倍頻波)。然而，這些觀念似乎並未反映在港灣波動的遮蔽試驗中，未來建議摒除過去假設波浪週期不變的觀念，精密量測港外與港內各水域的週期變化，並對平均水位的變化也加以收集分析。

3. 在港灣波動數值模擬方面，可探討港內港外的波浪週期的變化，邊界條件與各項能量損失的推定對週期的影響，以及如何建構適切的不規則波模擬程式以反應波波交互作用的特性。

4. 在現場觀測方面，為了能充分掌握臺灣海域的波動特性，應該研究推動在全臺的海岸及海域進行有系統的波浪及水位同步觀測，如此才較有機會瞭解各種可能的波動來源，包括瞭解花蓮港的長週期振盪來源。因此，建立臺灣附近海域的聯合海氣象觀測網的工作應該儘快推動。至於港灣的波動觀測則應在不同的水域進行波浪與水位的觀測，以瞭解及釐清港內的波動特性，以及港內各區的水位在不同的潮時與海氣象作用下可能產生的變化。港內的流場分佈對於船舶航行與碇靠、海水交換以及壓力式波浪儀的量測均有影響，有必要評估港內 3 維流場的建置。

5. 為了削減港灣受長週期波動的威脅，而一般港灣的外廓設施或海岸構造物並無法阻擋長週期波動入侵港灣。由於長浪往往伴隨著惡劣海象，導致進入港內的能量因外海波浪的持續擠壓阻擋無法散射至

港外，而在港內發生蕩漾造成威脅。因此有必要進行能夠削減長週期波浪能量的碼頭或岸壁設施，以期能減少其在港內累積的能量。

# 參考文獻


1. Baquerizo, A. and Losada, M. A.(1995), “Transfer function between wave height and wave pressure for progressive waves, by Y-Y Kuo and J-F Chiu: comments,” coastal Engineering, Vol. 24, pp.351-353.

2. Bergan, A. O., Torum, A. and Traetteberg, A.(1968), “Wave measurements by pressure type wave gauge,” Proceedings of the Eleventh Coastal Engineering conference, ASCE, London, Vol. 1, pp. 19-29.

3. Biesel F.(1982) “Second order theory of manometer wave measurement”. Proceedings of the 18th International Conference on Coastal Engineering, pp.129-135.

4. Bishop, C. T. and Donelan, M. A.(1987), “Measuring waves with pressure transducers,” Coastal Engineering, Vol. 11, pp.309-328.

5. Cavaleri, L., Ewing, J. A. and Smith, N. D.(1978), “Measurement of the pressure and velocity field below surface waves,” in Turbulent Fluxes through the Sea Surface, Wave Dynamics and Prediction, Plenum Press, New York, pp.257-272.

6. Cavaleri, L.(1980), “Wave measurement using pressure transducer”. Oceanal. Acta, 3(3), pp.339-945.

7. Chen, H. S.,(1990), “Infinite Elements for Water Wave Radiation and Scattering,” International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 11, pp.555-569.

8. Esteva, D. and Harris, D. L.(1970) “Comparison of pressure and staff wave gage records,” Proceedings of the twelfth Coastal Engineering Conference, ASCE, Vol. 1, pp.101-116.

9. Forristal, G. Z.(1982), “Subserface wave-measuring systems,” in: Measuring Ocean Waves, National Academy Press, Washington, D.C., pp.194-209.

10. Forristall, G.Z.(1987) “On the ststistical distribution of wave heights in a storm”. Journal of Geophysival Reserch, Vol.83, No.C5, pp.2253-2358.

11. Gabriel D. W. and T. S. Hedges(1986) “Effects of currents on interpretation of sub-surface pressure spectra”, Journal of Coastal Engineering, Vol. 10. No.3, pp.309-323.

12. Grace, R.A.(1970) “How to measure waves”. Ocean Ind., 5(2).pp.65-69.

13. Grace R. A.(1978) “Surface wave heights from pressure records”. Journal of Coastal Engineering, Vol. 2. No. 1. pp.55-67.

14. Hameed T. S. S.(1985) and M. Baba, “Wave height distribution in shallow water”. Journal of Ocean Engineering, Vol. 12, No. 4, pp.309-319.

15. Hom-ma, M. Horikawa, K. and Komori, S.(1966), “Response characteristics of underwater wave gauge,” Proceedings of the Tenth Coastal Engineering Conference, ASCE, New York, Vol. 1, pp.99-114.

16. Huang, M.-C. and J.Y. Chen(1998), “Wave direction analysis from data buoys,” Ocean Engineering, Vol. 25(8), pp.621-637.

17. Huang, M.-C.,(2001), “Comparison of pressure transfer functions,” 海洋工程學刊，第 1 卷，第 1 期，第 23-34 頁

18. Huang, Norden, E. and Samuel S. P. Shen(2005), “Hilbert-Huang Transform and Its Application,” 311 pages, World Scientific.

19. Lee, D.-Y. and Wang, H.(1984), “measurement of surface waves from subsurface gage,” Proceedings of the Nineteenth Coastal Engineering Conference, ASCE, Tokyo, Vol. 1, pp.271-286.

20. Lin, J. G.,(1995), “Statistical Properties of Wave Conditions in Harbors,” Department of Civil Engineering, North Carolina State University, USA.

21. Nielsen P.(1986), “Local approximations: A new way of dealing with irregular waves”. Proceedings of the 20th International Conference on Coastal Engineering, pp.633-646.

22. Seiwell, H.R.(1947), “Investigation of underwater pressure records and simultaneous sea surface patterns”, Trans. Am. Geophys. Union, Vol.28, pp.722-724.

23. Wang H., D.-Y. Lee and Allen Garcia(1986), “Time series surface-wave recovery from pressure gage”. Journal of Coastal Engineering, Vol. 10, No.4, pp.379-393.

24. 郭一羽(1983),“不規則波浪水中波壓特性的研究”, 中國工程學刊第六卷第一期, pp.1-8。

25. 簡仲璟、郭一羽、黃啟天(1990), “水中波壓與水位變化之相關係研究”，第十二屆海洋工研討會論文集，pp.336-351。

26. 邱永芳、郭一羽、簡仲璟(1993), “海洋波浪之波高與波壓間的轉換函數”，港灣技術第八期，pp.69-85。

27. 張金機、曾相茂(1993)，「花蓮港港池不穩靜初步調查研究」，第 15 屆海洋工程研討會，第 489~502 頁。

28. 黃家祥(1993), “水中波壓之實驗研究”，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。

29. 張金機、曾相茂(1995)，「花蓮港港池不穩靜初步調查研究」，第 17 屆海洋工程研討會暨兩岸港口及海洋工程研討會，第 131~143 頁。

30. 蘇青和、陳明宗(1995)，「花蓮港港池之共振特性探討」，第 17 屆海洋工程研討會，第 113~128 頁。

31. 張炯殷(1995), “現場觀測的水中波壓轉換為水面波浪之研究”，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。

32. 簡仲璟、邱永芳(1996),「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-模型試驗」，專刊 127 號，交通處港灣技術研究所。

33. 張金機(1996),「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-綜合改善方案」，專刊 131 號，交通處港灣技術研究所。

34. 曾相茂、簡仲璟(1996)，「花蓮港海域海象現場調查與分析」，花蓮港港池振盪及其改善方案研討會，第 31~59 頁，交通處港灣技術研究所。

35. 蘇青和、蔡丁貴、張金機(1996)，「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-數值模擬」，專刊 128 號，交通處港灣技術研究所。

36. 林炤圭、陳炫杉(1996), "外海底床坡度在港灣波動模擬上的影響", 第 18 屆海洋工程研討會，pp.55~62。

37. 曾相茂(1998)，「臺灣海域海岸現象調查與及時回報系統建立之應用研究」，87-研(三)，交通處港灣技術研究所。

38. 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，第 55~62 頁。

39. 蕭松山、王昭文、方惠民、陳建興(2000)，「雙互換邊界元素法解析花蓮港港池波動問題」，第 22 屆海洋工程研討會，第 327~334 頁。

40. 莊文傑(2000)，「亞重力波與花蓮港之波動共振」，港灣報導，第 54 期，第 26~33 頁，交通處港灣技術研究所。

41. 莊文傑、江中權(2000),「亞重力波引起花蓮港之共振機制與對策」，第 22 屆海洋工程研討會，第 578~585 頁。

42. 邱永芳、蔡金吉、張金機(2000)，「花蓮港商漁港分道與港池穩靜水工模型試驗研究-水工模型試驗報告」，MOTC-IOT-IHMT-CE-8801，交通處港灣技術研究所。

43. 李兆芳(2001)，「港池振盪之數值模擬計算」，2001 海洋數值模式研討會，第 4-1~4-20 頁。

44. 李兆芳、劉正琪、張憲國(2001)，「港池振盪之數值模擬計算」，海洋工程學刊，第一卷第一期，第 1~22 頁，海洋工程學會。

45. 郭一羽、林明儀、曾相茂(2002)，「花蓮港池振盪現象的探討」，海洋工程學刊，第二卷第一期，第 55~71 頁，海洋工程學會。

46. 邱永芳、蔡瑤堂、張富東、蔡金吉(2003)，「花蓮港商漁分道之可行性研究」，第 25 屆海洋工程研討會，第 897~902 頁。

47. 邱永芳、蔡金吉、張富東(2003)，「花蓮港長浪防治之試驗研究」，第 25 屆海洋工程研討會，第 655~660 頁。

48. 張憲國、林立青(2003),「花蓮港港池振盪之頻率與振幅辨識模式」，第 25 屆海洋工程研討會，第 103~110 頁。

49. 蘇明陽(2003)，「花蓮港港池振盪入射波種類之探討及建議」，第 25 屆海洋工程研討會，第 917~923 頁。

50. 陳松輝(2003)，“水中波壓與水面波浪間轉換函數之研究”，成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。

51. 邱永芳、林炤圭、簡仲璟(2004),”花蓮港長浪特性試驗研究”，海洋工程學刊，第 4 卷，第 1 期，第 89 頁~第 121 頁。

52. 涂宗男(2005)，“不規則波作用下港灣波動之數值分析研究”，海洋大學河海工程學系碩士論文。

# 第二子計畫

## 港灣環境資訊網規劃與建置維護(3/3)

# 港灣環境資訊網規劃與建置維護(3/3)

## 目 錄

目錄..... I

圖目錄..... Ⅲ

第一章、緒論 ..... 1-1

1.1 計畫背景與目的.....1-1

1.2 研究內容與工作項目.....1-3

1.3 預期成果、效益及應用..... ...1-4

第二章 研究方法及進行步驟.....2-1

2.1 研究方法.....2-1

2.2 進行步驟.....2-2

2.2.1 海情資料庫系統.....2-3

2.2.2 近岸數值模擬資料庫.....2-3

2.2.3 港灣環境即時資訊展示系統.....2-4

2.2.4 即時影像監視及傳輸系統.....2-5

2.3 資訊系統架構.....2-5

第三章 計畫執行成果.....3-1

3.1 各期計畫工作項目與時程.....3-1

3.2　海情資料庫系統維護.....3-2

3.2.1　海氣象即時觀測資料.....3-2

3.2.2　海氣象即時觀測資料品管作業.....3-3

3.2.3　海情資料庫系統.....3-4

3.3　港灣環境資訊網.....3-21

3.3.1　網站架構概念.....3-21

3.3.2 港灣環境資訊網架構說明..... .....3-35

3.4 即時影像監視及傳輸系統.....3-36

3.4.1 蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統擴充現勘.....3-37

3.4.2 台中港即時影像監視及傳輸通訊系統擴充現勘.....3-38

3.4.3 即時影像監視及傳輸通訊系統與架構.....3-39

第四章 結論與建議.....4-1

# 圖 目 錄

圖 2.1 進行步驟流程圖.....2-2

圖 2.2 預測報整合即時觀測系統改善.....2-4

圖 2.3 資訊系統架構圖.....2-6

圖 3.1 觀測資料收集作業示意圖.....3-3

圖 3.2 系統資料品管作業模式圖.....3-3

圖 3.3 系統資料品管作業畫面.....3-4

圖 3.4 自動檢查系統程式圖.....3-4

圖 3.5 原資料傳輸架構圖..... 3-5

圖 3.6 國際港資料傳輸架構圖.....3-5

圖 3.7 商港資料傳輸架構圖..... 3-5

圖 3.8 各港 1-9 月風力資料數.....3-6

圖 3.9 各港 1-9 月潮汐資料數..... 3-6

圖 3.10 各港 1-9 月波浪資料數.....3-7

圖 3.11 各港 1-9 月海流資料數.....3-7

圖 3.12 台中港 1 月 風力及潮汐逐時圖.....3-8

圖 3.13 台中港 2 月 風力及潮汐逐時圖..... 3-9

圖 3.14 台中港 3 月 風力及潮汐逐時圖.....3-10

圖 3.15 台中港 4 月 風力及潮汐逐時圖.....3-11
圖 3.16 台中港 5 月 風力及潮汐逐時圖.....3-12
圖 3.17 台中港 6 月 風力、潮汐、波浪及海流逐時圖.....3-14
圖 3.18 台中港 7 月 風力、潮汐、波浪及海流逐時圖.....3-16
圖 3.19 台中港 8 月 風力、潮汐、波浪及海流逐時圖.....3-18
圖 3.20 台中港 9 月 潮汐、波浪及海流逐時圖.....3-20
圖 3.21 台中港 10 月 潮汐逐時圖.....3-20
圖 3.22 港灣環境資訊網站首頁.....3-22
圖 3.23 即時觀測子系統.....3-23
圖 3.24 近岸數值模擬子系統.....3-24
圖 3.25 國際港影像.....3-24
圖 3.26 海情資訊查詢.....3-25
圖 3.27 專家版首頁.....3-25
圖 3.28 專家版海氣象逐時資料查詢展示.....3-26
圖 3.29 專家版玫瑰圖查詢展示 .....3-27
圖 3.30 統計直方圖 .....3-28
圖 3.31 專家版海情資訊資料下載.....3-29
圖 3.32 專家版即時影像下載.....3-30

圖 3.33 歷史年報資料.....3-31

圖 3.34 PDA 版入口.....3-32

圖 3.35 PDA 海氣象即時觀測資料.....3-33

圖 3.36 PDA 近岸數值模擬系統資料.....3-33

圖 3.37 PDA 國際港即時影像.....3-34

圖 3.38 無障礙版.....3-34

圖 3.39 網站架構圖..... 3-35

圖 3.40 蘇澳港區平面圖.....3-37

圖 3.41 台中港區平面圖.....3-38

圖 3.42 AXIS 214 圖..... .....3-39

圖 3.43 攝影機吊架與室外保護罩..... .....3-39

圖 3.44 即時影像系統整體架構圖..... .....3-40

圖 3.45 即時影像整合控制畫面圖..... .....3-41

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫背景與目的

台灣為海洋之島人民生活與及開發「海洋資源」、「發展航運」等均需長期收集可靠之「海氣象」及「港灣水理」資料作為依據。目前港灣自然環境資訊是以提供港區觀測站所量測到之該測點即時資訊，並非港區全面式的即時資訊，船舶在進出港的航行中常因港灣結構物的影響，而有局部性的效應產生，此對船舶進出港的操航安全有極大之影響。

現階段海氣象資訊提供少數觀測點資訊，並且整合即時觀測與數值模計算結果建立具有全面性、即時性與預測性之港區環境資訊(港灣環境資訊網站)，同時與船舶交通服務系統連結(台中港 AIS 系統)，以提供給港灣管理單位、船長、引水人等，使其對港區之自然環境狀況能有較確實完整的掌握是本計畫最大之目標。

95 年港灣技術研究中心（以下稱本中心）『港灣環境資訊網規劃與建置維護(1/3)』計畫已完成：

一、擴充建置及維護一個由關聯式資料庫管理系統所構成的海情資料庫，以彙整現場觀測（五個國際港）及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊，包括風速、風向、潮位、波高、週期、流速及流向等。

二、海氣象觀測子系統及數值預報子系統之系統整合介面控制軟體擴充。

三、港區地震觀測子系統之整合介面控制軟體建置。

四、建置高雄港即時影像監視及傳輸通訊系統，並可透過網頁查看即時影像及作選擇性自動錄影與歷史影像查詢規劃。

五、擴充建置港灣環境資訊管理系統，以確保整體系統運作之穩定性、資料品質可靠性以及系統保密與安全性。

六、擴充建置港灣環境即時資訊展示系統之查詢及資訊下載網站，透過資訊網路即時提供給港灣管理單位、國內外船舶業者及相關研究人員查詢及下載。

96 年本中心『港灣環境資訊網規劃與建置維護(2/3)』計畫已完成：

一、海情資料庫維護，以穩定系統持續彙整現場觀測及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊，包括風速、風向、潮位、波高、週期、流速及流向等。

二、海氣象觀測子系統及數值預報子系統之系統整合介面控制軟體功能提昇擴充。

三、試作港區附近海域海流流場預報資訊資料動畫展示及 GIS 應用於本系統之可行性評估。

四、PDA 版港灣環境資訊網頁開發。

五、規劃建置花蓮港港即時影像監視及傳輸通訊系統，並可透過網頁查看即時影像及作選擇性自動錄影與歷史影像查詢。

六、維護擴充建置港灣環境資訊管理系統，以確保整體系統運作之穩定性、資料品質可靠性以及系統保密與安全性。

## 1.2 研究內容與工作項目

本計畫預定執行三年，今年為計畫第三年，主要工作項目包括：

一、海情資料庫維護，以穩定系統持續彙整現場觀測及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊，包括風速、風向、潮位、波高、週期、流速及流向等（合辦）。海氣象觀測子系統及數值預報子系統之系統整合介面控制軟體功能提昇擴充（合辦）。

二、建置港區附近海域海流流場預報資訊資料動畫展示系統，及 GIS 應用於本系統之試作測試。

三、PDA 版港灣環境資訊網頁維護；自動傳真與簡訊系統更新及維護；逐時及統計資料之查詢選單與圖表自動繪製功能更新。試作港區附近海域海流流場預報資訊資料動畫展示及 GIS 應用於本系統之可行性評估。

四、規劃台中港及蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統，以可透過現有網頁查看即時影像及作選擇性自動錄影與歷史影像查詢（合辦）。

五、維護擴充建置港灣環境資訊管理系統，以確保整體系統運作之穩定性、資料品質可靠性以及系統保密與安全性（合辦）。

六、整合台北港，安平港即時觀測資料，並展示於港灣環境資訊網上。

七、港灣環境資訊網進行架構主體改版計劃，以期展示出更完整的資料型態，並且更利使用者查詢使用。

八、海情資料庫資料來源介接方法配合中心辦理變動方法，以更安全更有效率方法執行。

九、系統規劃設計書、系統建置報告書、系統操作及維護手冊等文件更新。

十、與本中心合辦系統公開成果說明會（1 天）。

## 1.3 預期成果、效益及應用

一、年度工作重點

(一)結合系統流程與 Web Services 技術，建置網際網路海氣象流程整合應用系統。

(二)提昇系統維運能力的支援及解決分散式流程管理的關鍵議題。

(三)建置及維護由關聯式資料庫管理系統所構成的海情資料庫。

(四)海氣象觀測子系統及數值預報子系統整合介面控制軟體擴充。

(五)規劃花蓮港即時影像監視及傳輸通訊擴充系統，並可透過網頁查看即時影像。

二、預期成果、效益及應用

(一)港灣環境資訊內容具全面性、一致性、流通性及方便性，同時達到資訊整合、精確與即時之目的。

(二)建立國內各主要港口「港灣環境資訊系統」之查詢下載網站，隨時提供各相關單位參考，以提昇港埠營運效能。

(三)整合港區附近海域涵蓋面式海象預報資訊及現場海氣象觀測即時資料，提供給船舶交通服務系統，以增進船舶近出港操航安全。

(四)提供各種可能發生之惡劣環境條件下的港灣水理特性，以快速研擬突發狀況之緊急因應對策。

# 第二章　研究方法及進行步驟

## 2.1　研究方法

本計畫實際為相關系統開發、功能新增及資訊相關之技術應用規劃與系統整合，工作方法包括相關系統技術分析與探討、資料收集與整理、資訊系統設計與規劃、系統分析與設計等，分別敘述如下：

### 2.1.1　海情資料庫系統

主要工作為海情資料庫維護以穩定系統持續彙整現場觀測及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊，包括風速、風向、潮位、波高、週期、流速及流向等。

### 2.1.2　近岸數值模擬資料庫

主要工作為海氣象觀測子系統及數值預報子系統之系統整合介面控制軟體功能提昇擴充等。

### 2.1.3　港灣環境資訊系統主要工作為：

1. 建置港區附近海域海流流場預報資訊資料動畫展示系統，及 GIS 應用於本系統之試作測試。
2. 整合台北港，安平港及布袋港即時觀測資料，並展示於港灣環境資訊網上。
3. 港灣環境資訊網進行架構主體改版計劃，以期展示出更完整的資料型態，並且更利使用者查詢使用。

### 2.1.4　即時影像系統主要工作為：

1. 規劃擴充建置蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。
2. 規劃擴充建置台中港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。
3. 新增影像部份於港灣環境資訊網，系統整合開發可透過網頁查看即時影像及作選擇性自動錄影與歷史影像查詢。

## 2.2 進行步驟

依據上述之工作項目，本計畫進行之程序可分為以下步驟，如下圖 2.1 所示：

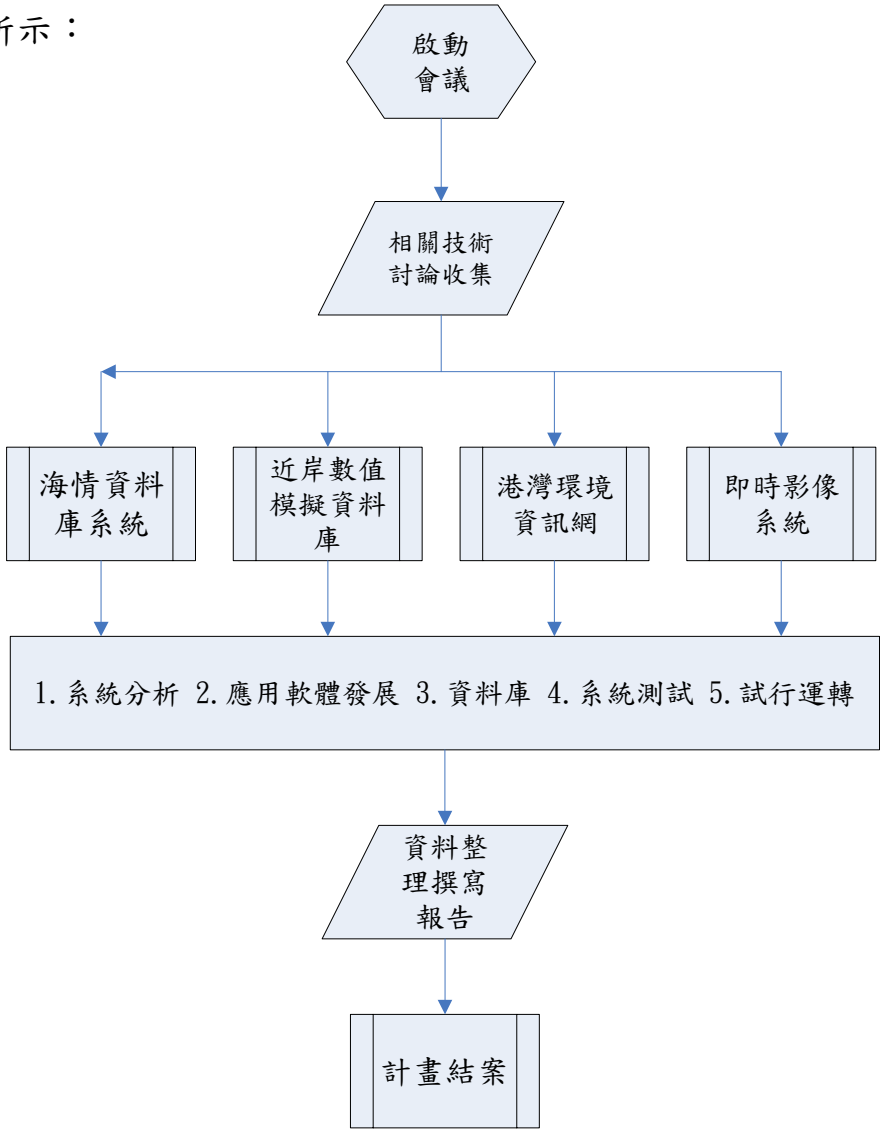



**圖 2.1 進行步驟流程圖**

計畫建置工作流程包括：

### 2.2.1 海情資料庫系統

主要工作為海情資料庫維護以穩定系統持續彙整現場觀測及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊，詳細工作內容分述如下：

1.維護由關聯式資料庫管理系統所構成的海情資料庫，以彙整現場觀測（五個國際港）及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊，包括風速、風向、潮位、波高、週期、流速及流向等。

2.資料庫內歷史資料收集率分析，以探討整體作業流程、資訊應用系統穩定度，並予以系統改善及有效資料回補等。

3.海情資料庫資料來源介接方法配合資料傳輸方法之更新，以更安全更有效率方法執行。

### 2.2.2 近岸數值模擬資料庫

主要工作為海氣象觀測子系統及數值預報子系統之系統整合介面控制軟體功能提昇擴充等。

97 年配合本中心另案所進行之「近岸數值模擬系統之建立(2/4)」計畫，由海情中心提供海氣象觀測即時數值資料至數值推估預報系統指定主機。

配合數值模擬系統所推估完成之數值時間，定時讀取推估數值檔案。現有數值模擬計算所得資料已有水位、波高、週期、波向、風速、風向等資料。本年度詳細工作內容分述如下：

1.資料收集問題發生之標準作業程序建立以增強系統之穩定度。

2.即時觀測資料與數值模擬計算所得資料落差探討及改善。

數值模擬計算所得資料收集程式改善穩定度方案:

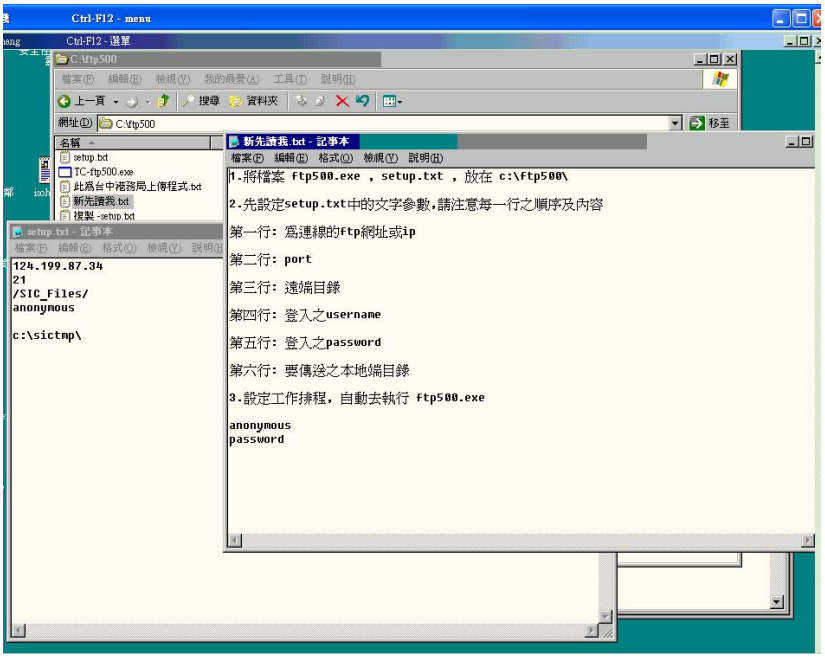



**圖 2.2 預測報整合即時觀測系統改善**

因預測報上傳主機有兩台機器目錄之備援機制，所以經常於 FTP 主機設定更動過後，即造成實測資料無法上傳的問題，有鑑於此，我們將檔案自動上傳程式，增加系統參數設定檔案，可透過即時的更改主機相關資訊後，讓自動傳輸程式得以繼續正常作業。

3.數值模擬資料整合並顯示於中心網頁。

### 2.2.3 港灣環境即時資訊展示系統

主要工作為：

1.建置港區附近海域海流流場預報資訊資料動畫展示系統，及 GIS 應用於本系統之試作測試。

2.PDA 版港灣環境資訊網頁維護；自動傳真與簡訊系統更新及維護；逐時及統計資料之查詢選單與圖表自動繪製功能更新。

3.規劃蘇澳港及台中港即時影像監視及傳輸通訊系統，以可透過現有網頁查看即時影像及作選擇性自動錄影與歷史影像查詢。

4.維護擴充建置港灣環境資訊管理系統，以確保整體系統運作之穩定性、資料品質可靠性以及系統保密與安全性。

5.整合台北港，安平港及布袋港即時觀測資料，並展示於港灣環境資訊網上。

6.港灣環境資訊網進行架構主體改版計劃，以期展示出更完整的資料型態，並且更利使用者查詢使用。

### 2.2.4 即時影像監視及傳輸系統

主要工作為：

1.規劃擴充建置蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。

2.規劃擴充建置台中港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。

3.新增影像部份於港灣環境資訊網，系統整合開發可透過網頁查看即時影像及作選擇性自動錄影與歷史影像查詢。

## 2.3 資訊系統架構

海情資訊系統整體架構設備計有海情中心內的資料庫伺服器、網頁伺服器、資料收集工作站、影像接收工作站、通訊設備等，其架構如下圖 2.3 所示：

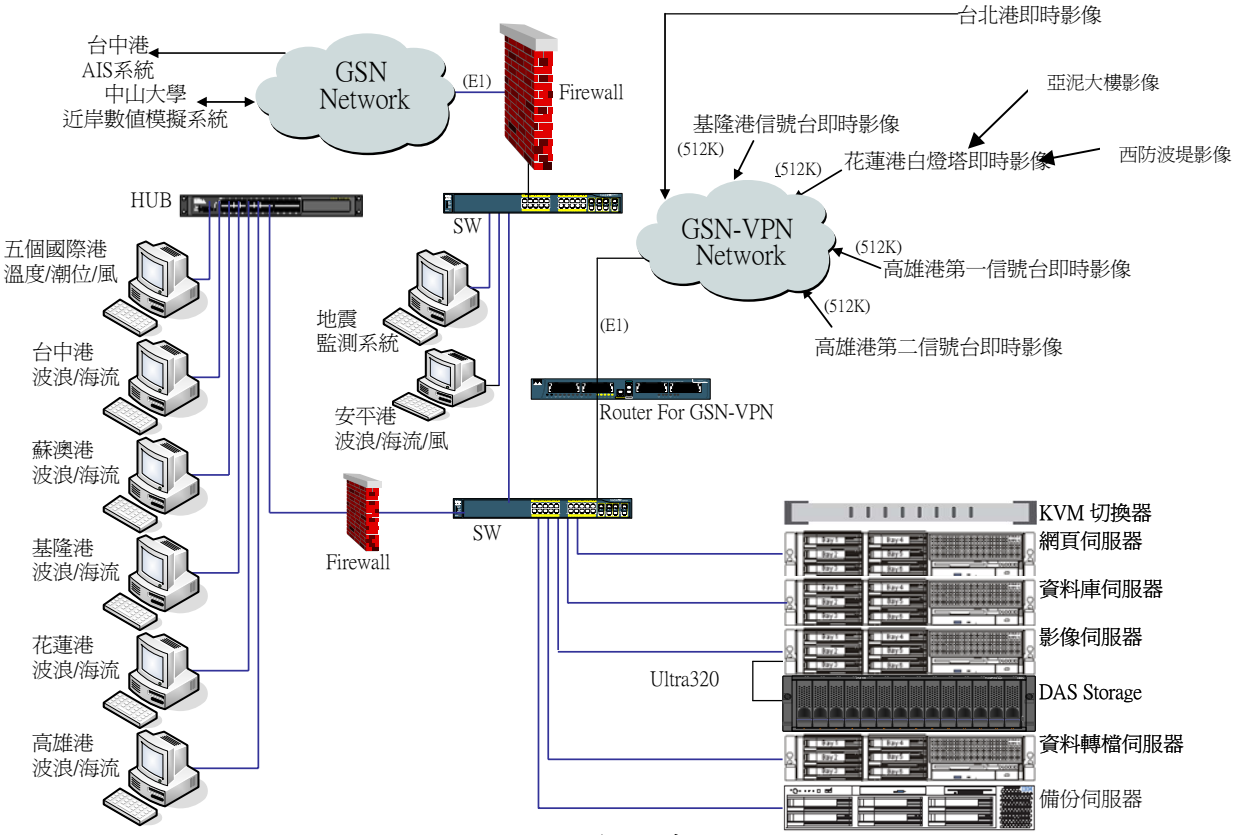



**圖 2.3 資訊系統架構圖**

網站主要採用 Microsoft Internet Information Server 作為網路伺服器並加上 Microsoft SQL 2000 Server 資料庫伺服器，組織成基礎架構。

Microsoft Internet Information Server 是微軟網站伺服器的產品，自版本4.0開始IIS允許每個Web應用程式在獨立的記憶體空間執行，防止應用程式將整個 Web Server 當掉，如此一來大大的提高了整個網站的穩定性。

影像傳輸透過 GSN-VPN(E1)連接基隆港、花蓮港(含白燈塔、亞泥及西防波堤)、高雄港第一信號台及第二信號台傳輸即時影像，港灣技術研究中心其他專案所建置之台北港亦於去年底移轉至 GSN-VPN 同一群族網路內共享 E1 頻寬。

# 第三章　計畫執行成果

## 3.1　各期計畫進行作業工作項目

本計畫之進度查核點如下：契約訂定、期中報告初稿、期末報告初稿及繳交各項報告及相關文件等共四階段。

### 3.1.1　契約訂定：97 年 03 月 01 日完成。

### 3.1.2　期中報告初稿：97 年 6 月 25 日完成。

已完成工作項目：

1.海情資料庫系統維護 1/2。

2.港灣環境資訊網：

(1)港灣環境資訊網進行架構主體改版計劃，以期展示出更完整的資料型態，並且更利使用者查詢使用。

(2)整合台北港，安平港即時觀測資料，並展示於港灣環境資訊網上。

3.即時影像監視及傳輸系統：

(1)規劃擴充建置蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。

(2)規劃擴充建置台中港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。

### 3.1.3　期末報告初稿：97 年 10 月 29 日完成。

已完成工作項目：

1.海情資料庫系統維護 2/2。

(1)海情系統檢查程式即時觀測資料顯示方式變更為資料庫連結

(2)國際港即時觀測資料顯示方式變更為資料庫連結

(3)商港觀測資料傳輸架構調整及新增

2.港灣環境資訊網：

(1)港灣環境資訊網新版網頁，網頁內容細部修正變更

(2)整合布袋港即時觀測資料，並展示於港灣環境資訊網上。

(3)整合數值模擬網頁於港灣環境資訊網 專家版頁面

(4)整合歷史年報網頁資訊於港灣環境資訊網 專家版頁面

(5)海氣象即時觀測統計圖表系統上線

(a)統計玫瑰圖

(b)統計直方圖

3.即時影像監視及傳輸系統：

(1)新增蘇澳港即時影像監視，並顯示於網頁上。

(2)變更影像連結方式，改為影像伺服器架構管理及使用。

### 3.1.4 期末正式報告：97 年 12 月 10 日完成。

## 3.2 海情資料庫系統維護

主要工作為海情資料庫維護以穩定系統持續彙整現場觀測及數值模擬計算所得之港區附近海域海象預報資訊，現況分析與工作說明如下：

### 3.2.1 海氣象即時觀測資料

海氣象即時觀測資料來源於岸上及海上儀器資料收集工作站上的波浪、海流、風力、潮汐及溫度觀測資料。資料透過系統自動進行資料讀取、格式解析及品管程序建立至海情資料庫系統(關聯式資料庫)中，系統功能流程如下圖 3.1 所示：

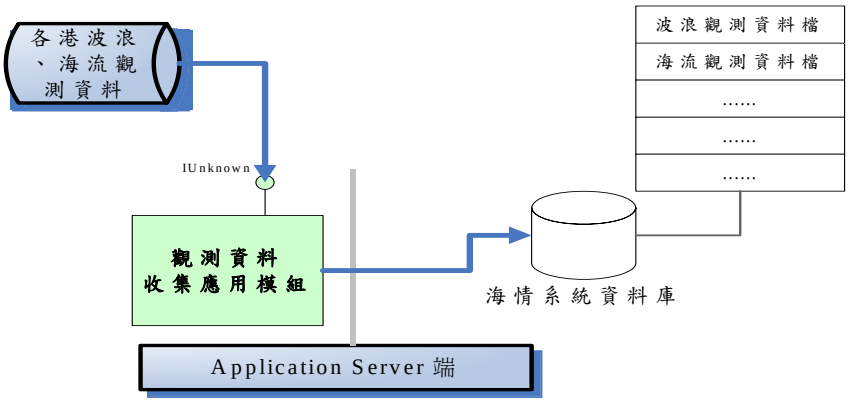



**圖 3.1 觀測資料收集作業示意圖**

### 3.2.2 海氣象即時觀測資料品管作業

為確保資料之正確性，本系統已建置完成資料篩檢管理，提供第一段之資料把關作業。

海氣象資料收集流程即透過網路向相關海氣象監測站，依不同格式擷取目標資料，相關資料並透過品管程式藉由系統管理員對於資料收集方式進行設定，由系統依固定週期時間逕向工作站進行資料收集與排程，並依據品管設定排除異常資料，並通知管理者發生異常事件。系統品管模式作業說明如下圖 3.2 3.2 所示。

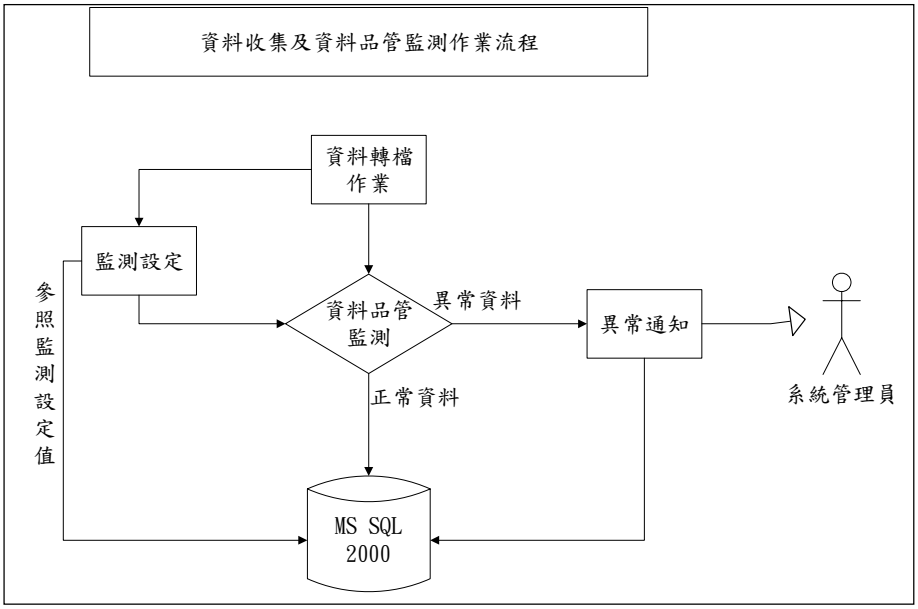



**圖 3.2 系統資料品管作業模式圖**




圖 3.3 系統資料品管作業畫面

### 3.2.3 海情資料庫系統

#### 1.自動檢查系統程式

此程式為每天輔助查核各相關系統主機是否運作正常，服務是否有正常運作，包含網路，轉檔主機，資料庫主機及影像主機等，每 15 分鐘及自動確認一下，並結合郵件發送的方式、通知管理者，讓管理者更方便的檢視系統狀態。

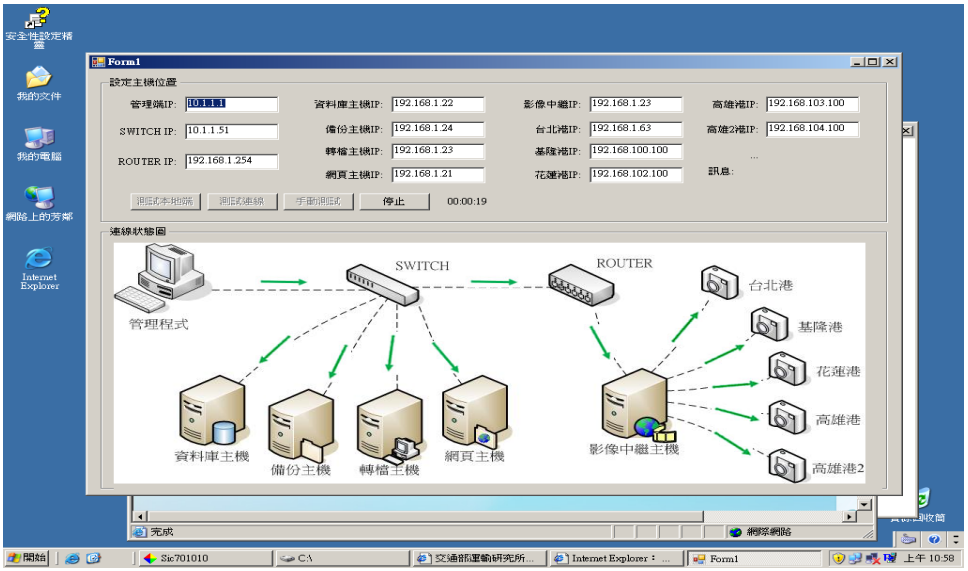



圖 3.4 自動檢查系統程式圖

## 2.資料庫介接方式變動

原資料傳輸架構

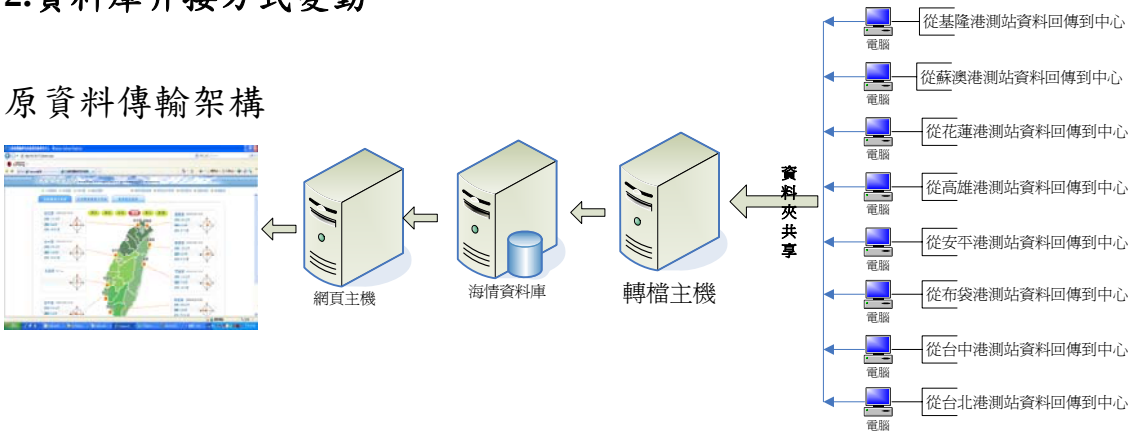



**圖 3.5 原資料傳輸架構圖**

新資料傳輸架構

國際港

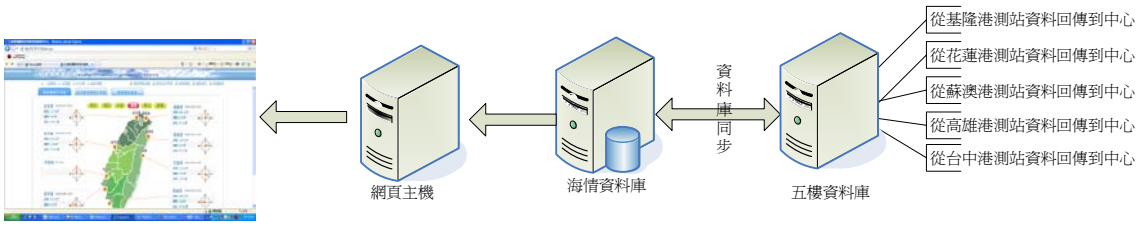



**圖 3.6 國際港資料傳輸架構圖**

商港

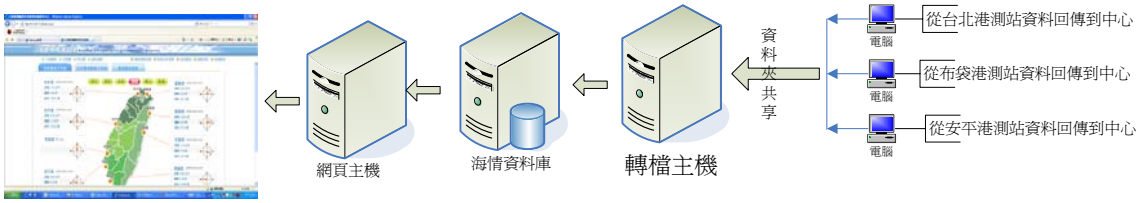
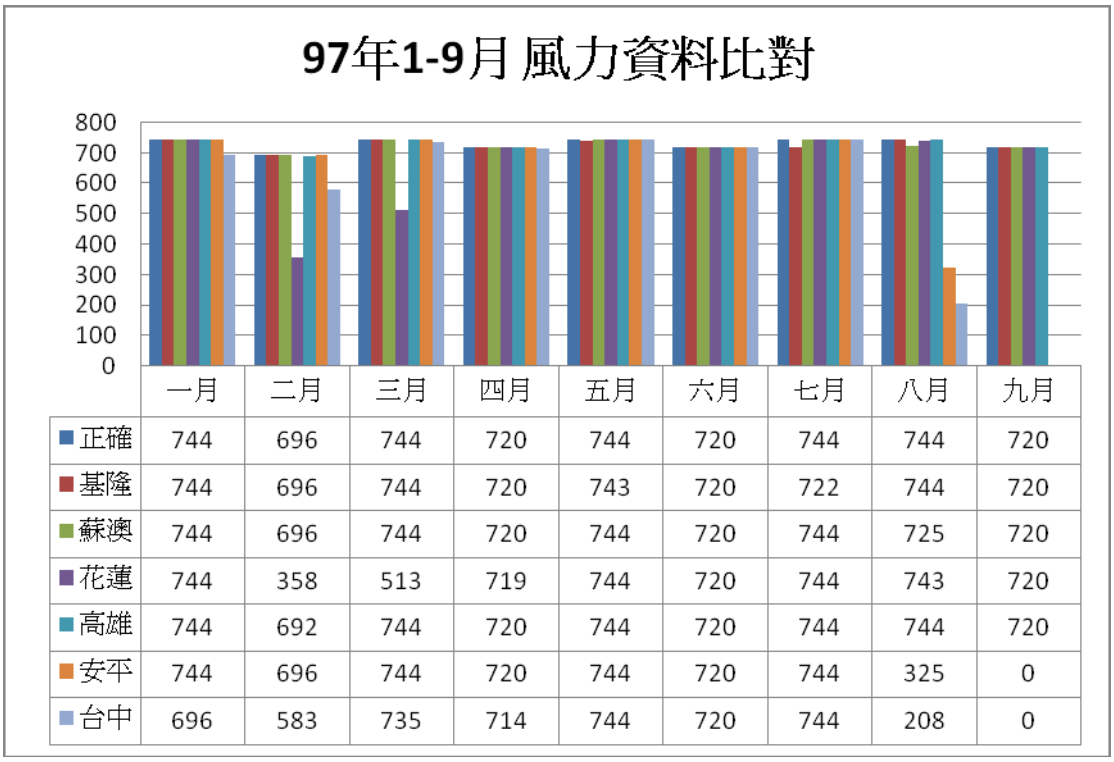



**圖 3.7 商港資料傳輸架構圖**

### 3.資料庫資料筆數比對分析

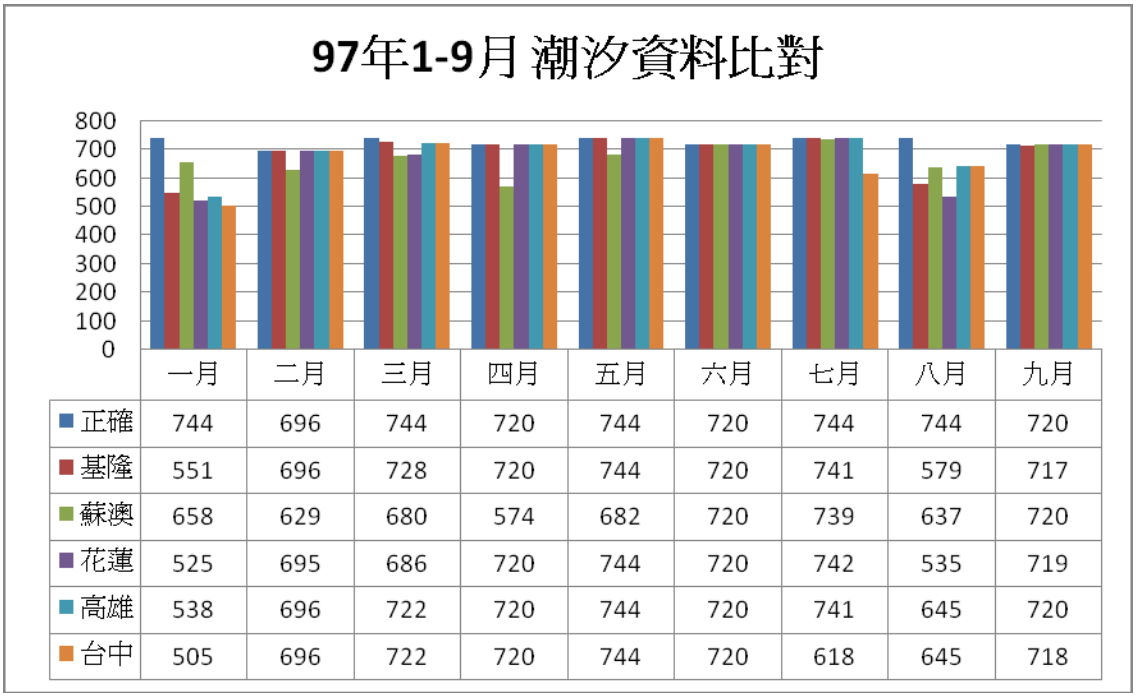
(1) 風力資料比對分析




| | 一月 | 二月 | 三月 | 四月 | 五月 | 六月 | 七月 | 八月 | 九月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 正確 | 744 | 696 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 |
| 基隆 | 744 | 696 | 744 | 720 | 743 | 720 | 722 | 744 | 720 |
| 蘇澳 | 744 | 696 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 725 | 720 |
| 花蓮 | 744 | 358 | 513 | 719 | 744 | 720 | 744 | 743 | 720 |
| 高雄 | 744 | 692 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 |
| 安平 | 744 | 696 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 325 | 0 |
| 台中 | 696 | 583 | 735 | 714 | 744 | 720 | 744 | 208 | 0 |

**圖 3.8 各港 1-9 月風力資料數**

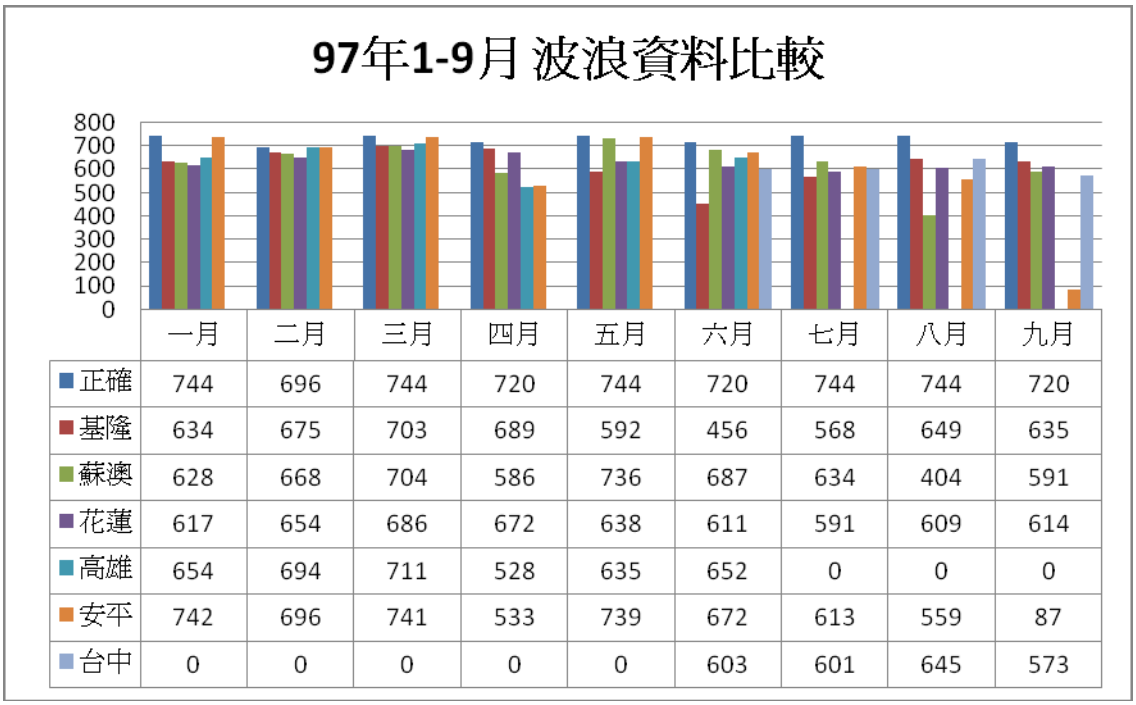
(2) 潮汐資料比對分析




| | 一月 | 二月 | 三月 | 四月 | 五月 | 六月 | 七月 | 八月 | 九月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 正確 | 744 | 696 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 |
| 基隆 | 551 | 696 | 728 | 720 | 744 | 720 | 741 | 579 | 717 |
| 蘇澳 | 658 | 629 | 680 | 574 | 682 | 720 | 739 | 637 | 720 |
| 花蓮 | 525 | 695 | 686 | 720 | 744 | 720 | 742 | 535 | 719 |
| 高雄 | 538 | 696 | 722 | 720 | 744 | 720 | 741 | 645 | 720 |
| 台中 | 505 | 696 | 722 | 720 | 744 | 720 | 618 | 645 | 718 |

**圖 3.9 各港 1-9 月潮汐資料數**

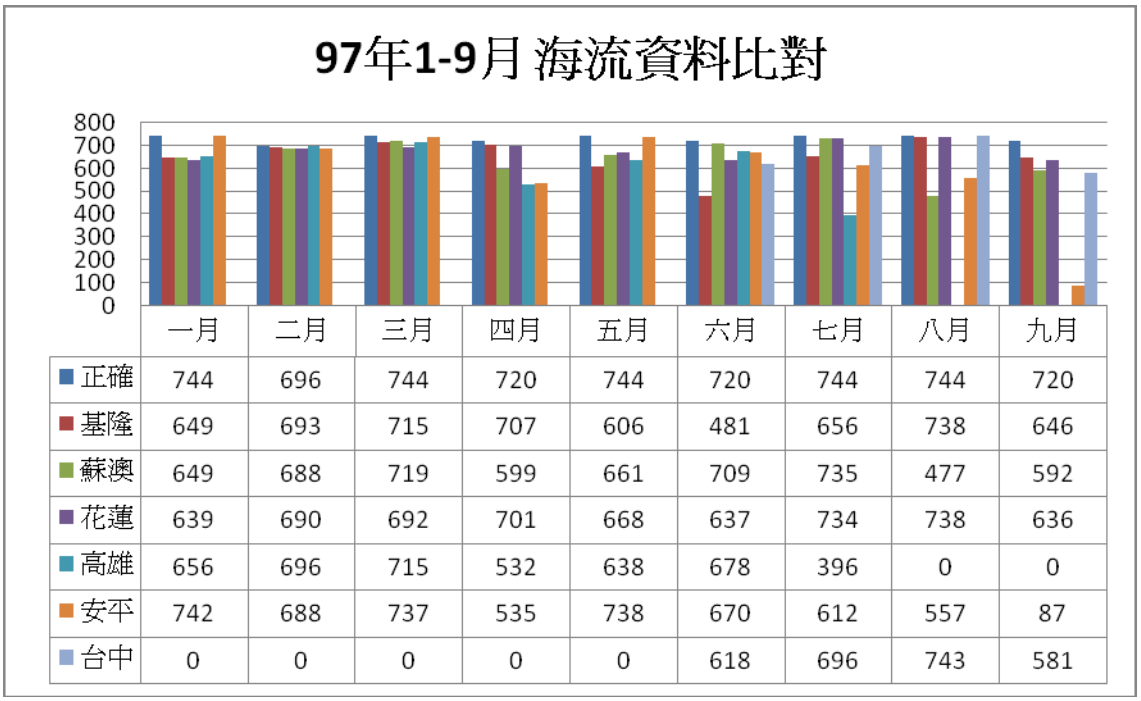
(3) 波浪資料比對分析




| | 一月 | 二月 | 三月 | 四月 | 五月 | 六月 | 七月 | 八月 | 九月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 正確 | 744 | 696 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 |
| 基隆 | 634 | 675 | 703 | 689 | 592 | 456 | 568 | 649 | 635 |
| 蘇澳 | 628 | 668 | 704 | 586 | 736 | 687 | 634 | 404 | 591 |
| 花蓮 | 617 | 654 | 686 | 672 | 638 | 611 | 591 | 609 | 614 |
| 高雄 | 654 | 694 | 711 | 528 | 635 | 652 | 0 | 0 | 0 |
| 安平 | 742 | 696 | 741 | 533 | 739 | 672 | 613 | 559 | 87 |
| 台中 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 603 | 601 | 645 | 573 |

**圖 3.10 各港 1-9 月波浪資料數**

(4) 海流資料比對分析



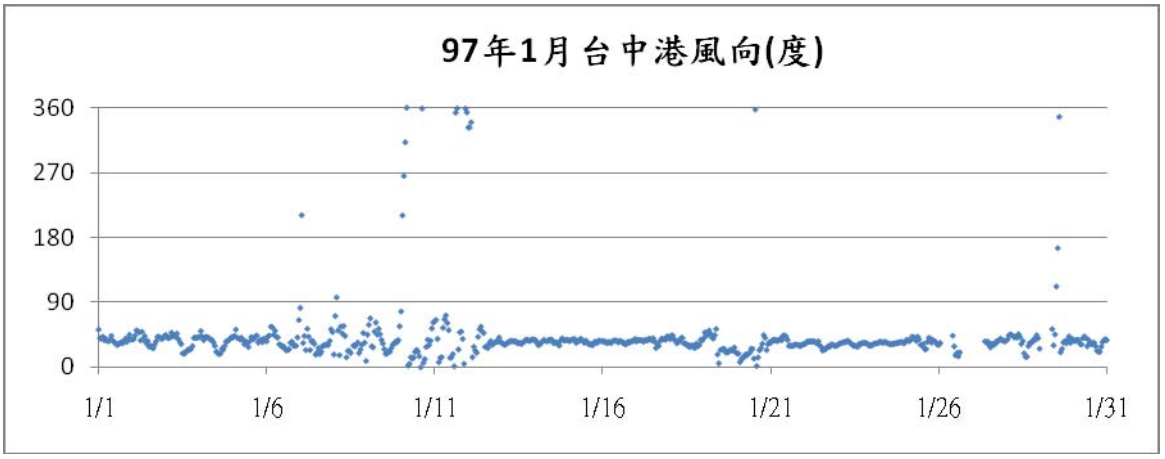

| | 一月 | 二月 | 三月 | 四月 | 五月 | 六月 | 七月 | 八月 | 九月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 正確 | 744 | 696 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 |
| 基隆 | 649 | 693 | 715 | 707 | 606 | 481 | 656 | 738 | 646 |
| 蘇澳 | 649 | 688 | 719 | 599 | 661 | 709 | 735 | 477 | 592 |
| 花蓮 | 639 | 690 | 692 | 701 | 668 | 637 | 734 | 738 | 636 |
| 高雄 | 656 | 696 | 715 | 532 | 638 | 678 | 396 | 0 | 0 |
| 安平 | 742 | 688 | 737 | 535 | 738 | 670 | 612 | 557 | 87 |
| 台中 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 618 | 696 | 743 | 581 |

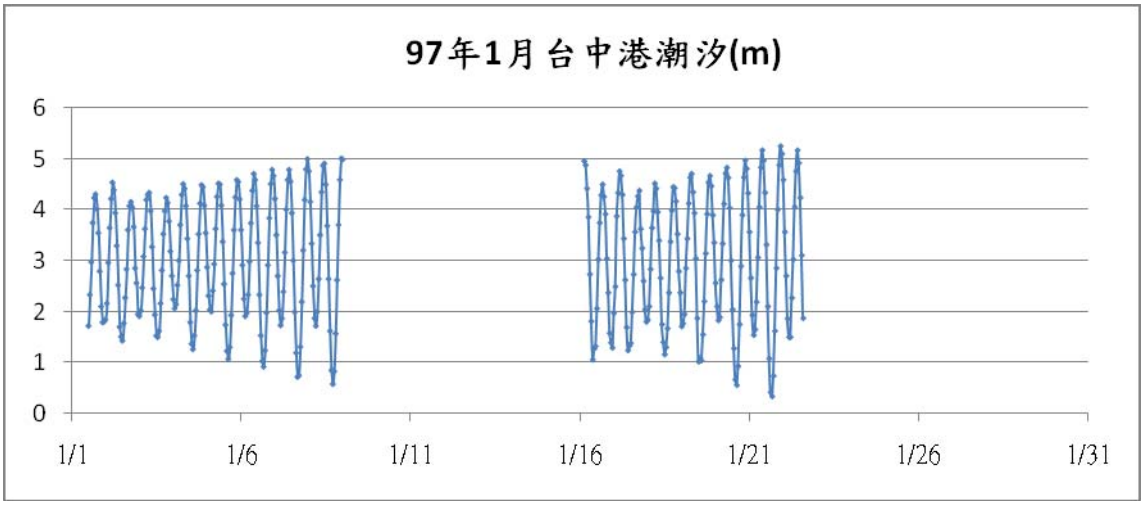
**圖 3.11 各港 1-9 月海流資料數**

## 4.每月逐時圖表（以臺中港為例）

台中港




(1 月 AWCP 儀器故障，無法提供波及流資料)

**圖 3.12 臺中港 1 月 風力及潮汐逐時圖**

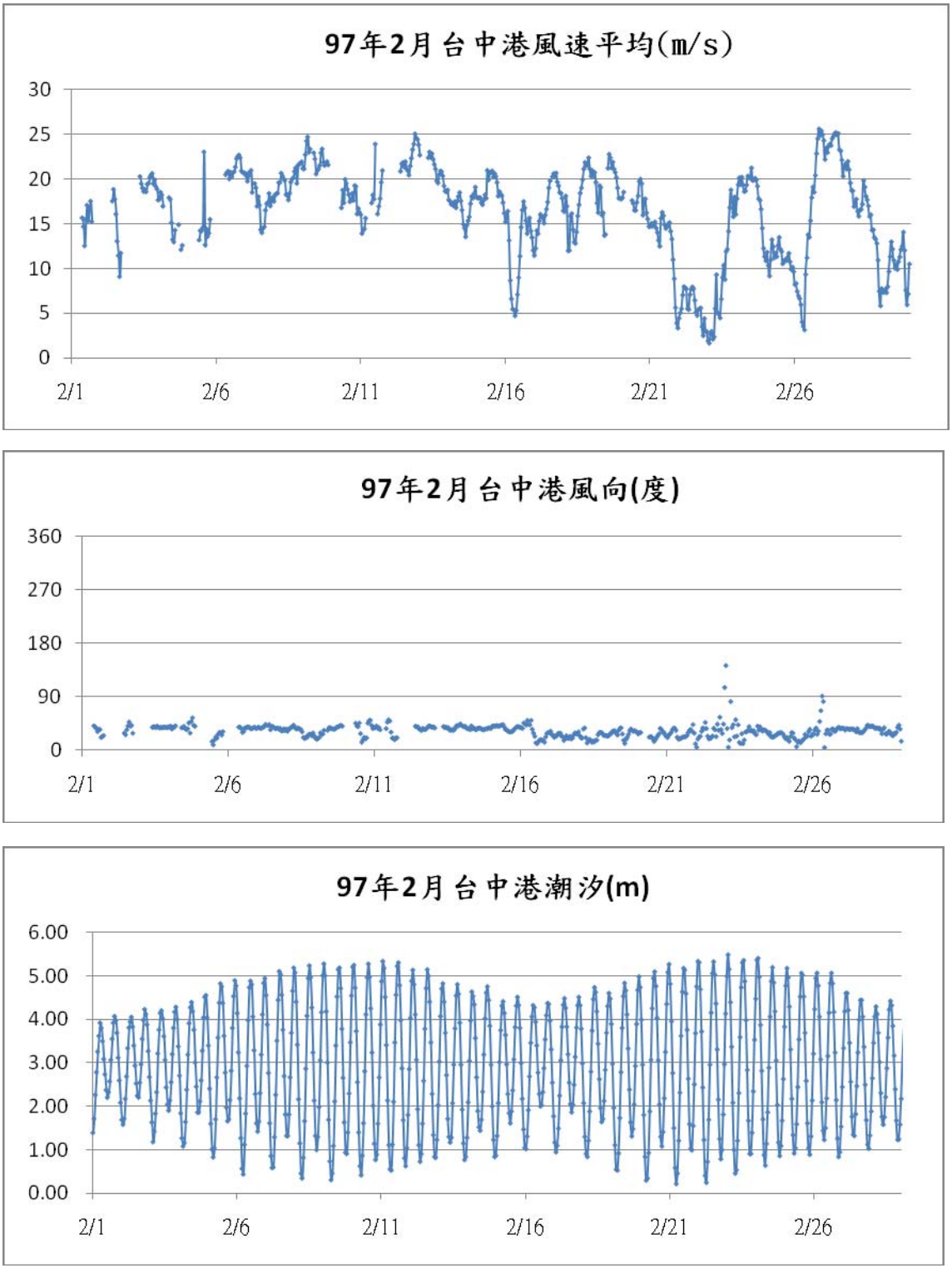
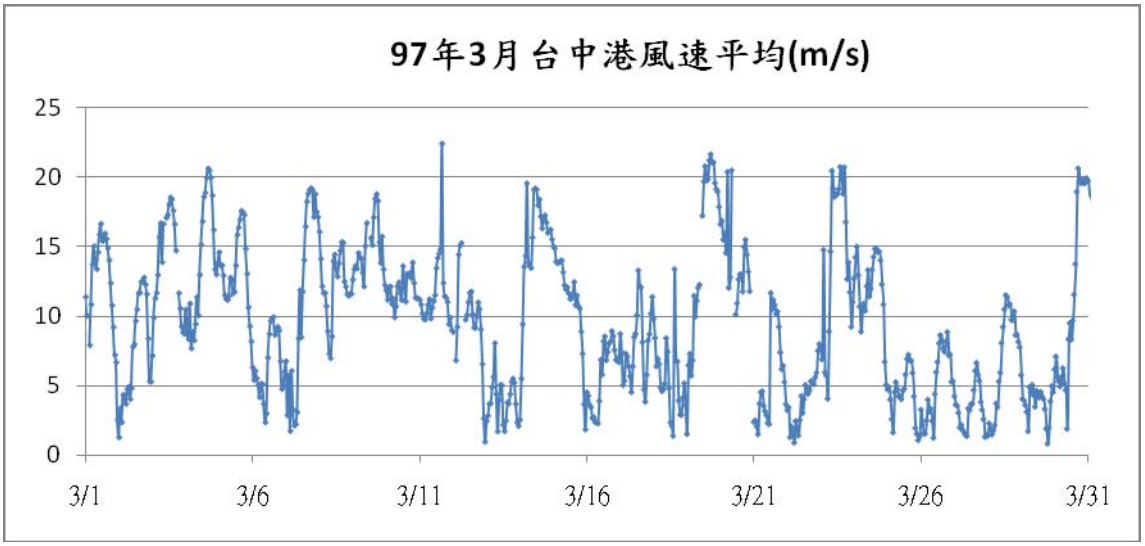
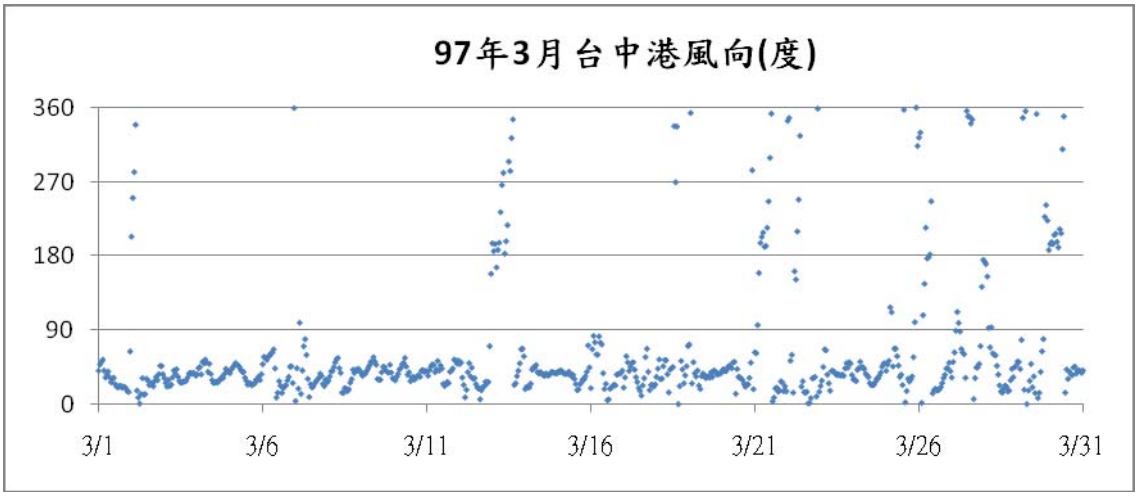



**圖 3.13　臺中港 2 月風力及潮汐逐時圖**



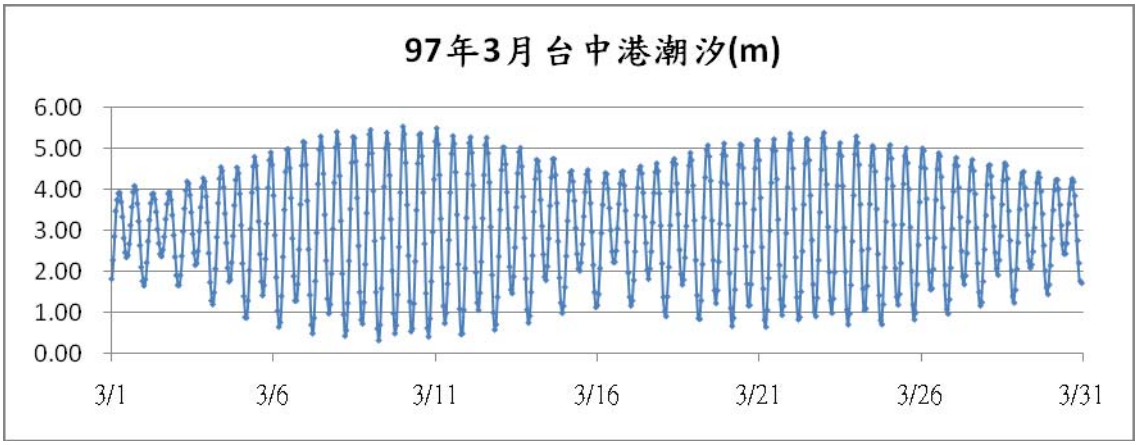




**圖 3.14　臺中港 3 月風力及潮汐逐時圖**

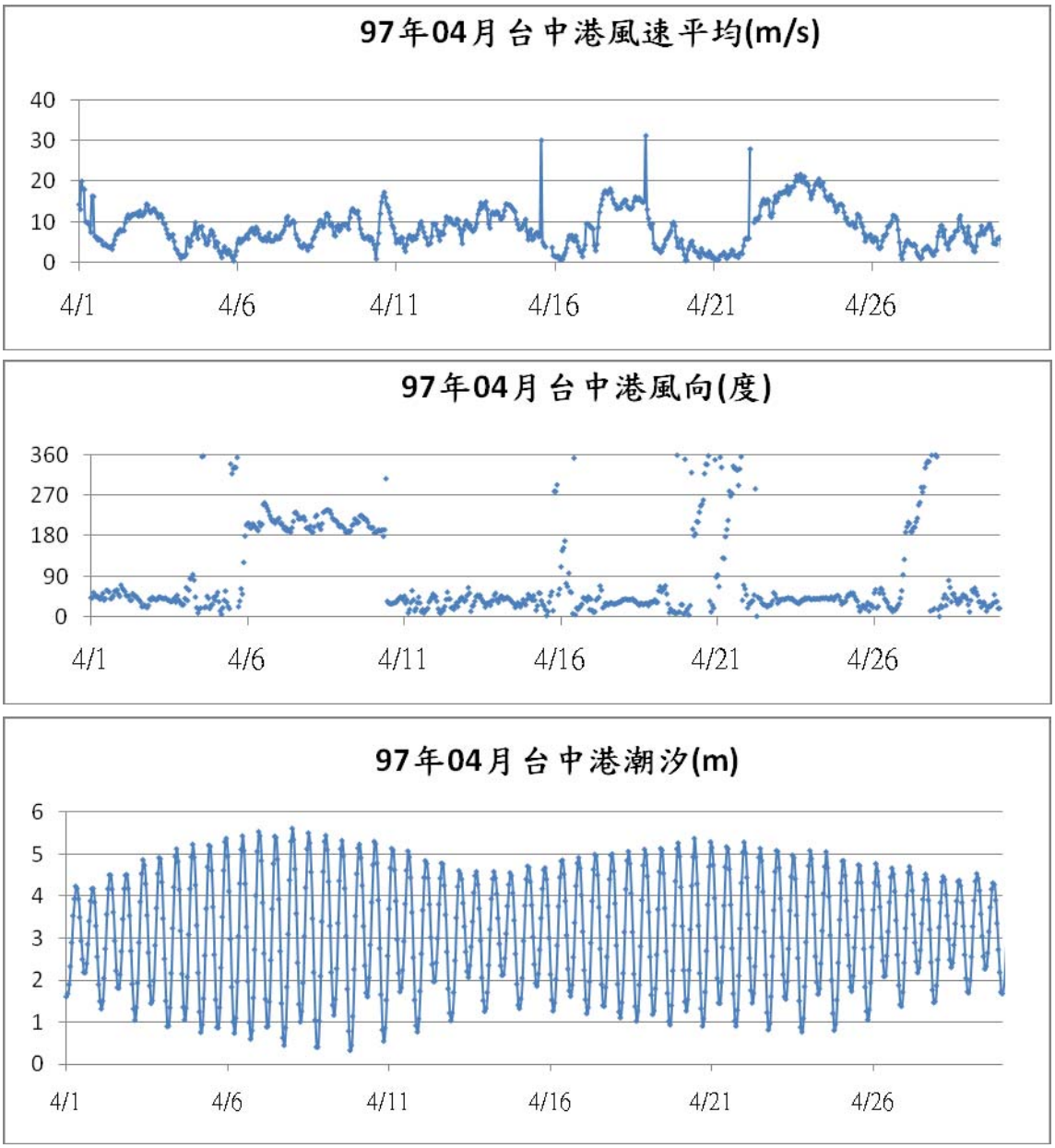



**圖 3.15 臺中港 4 月風力及潮汐逐時圖**

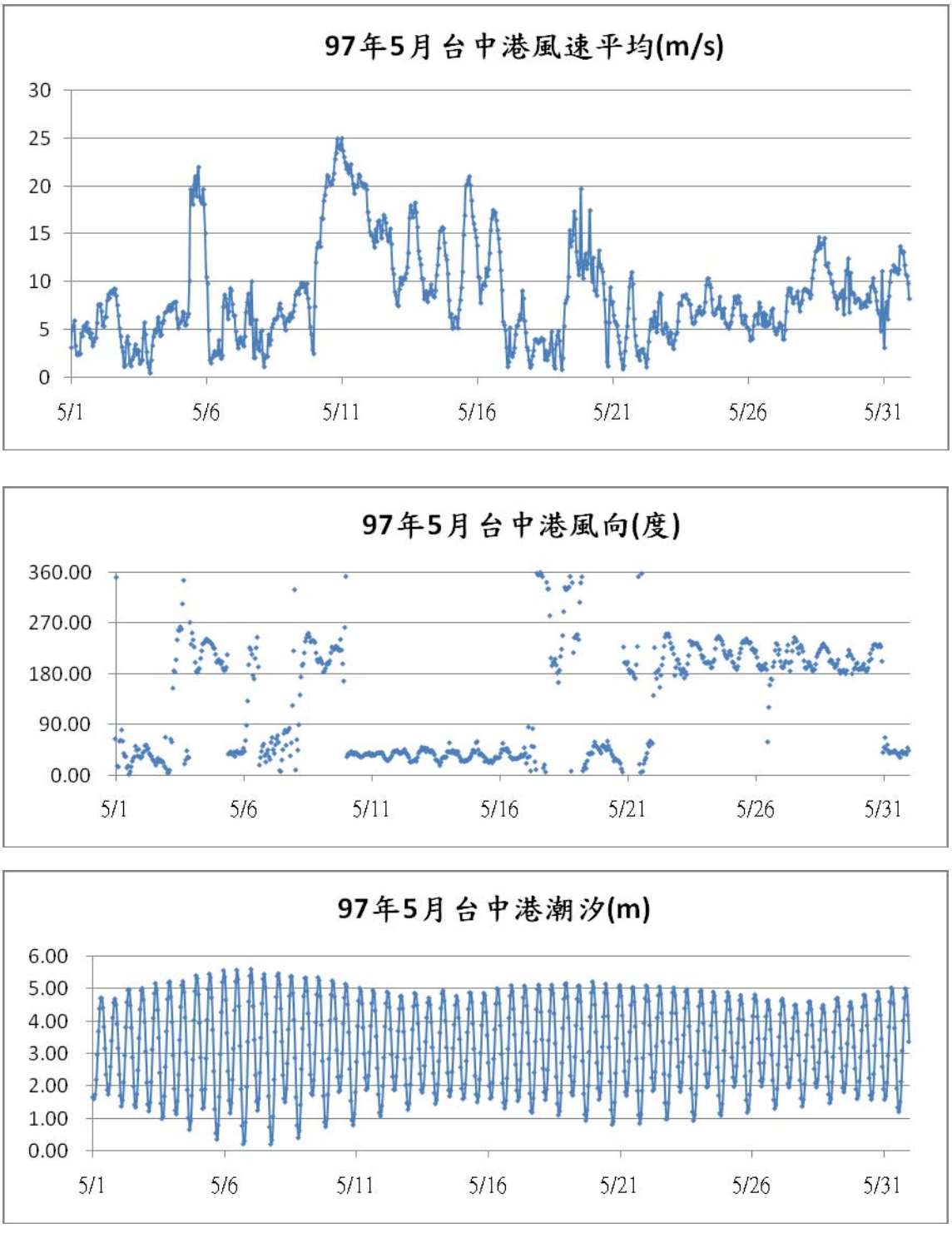
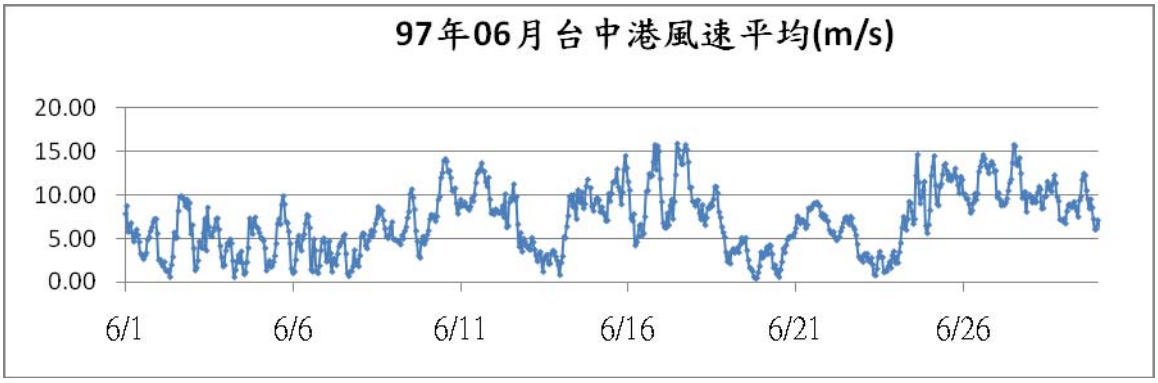
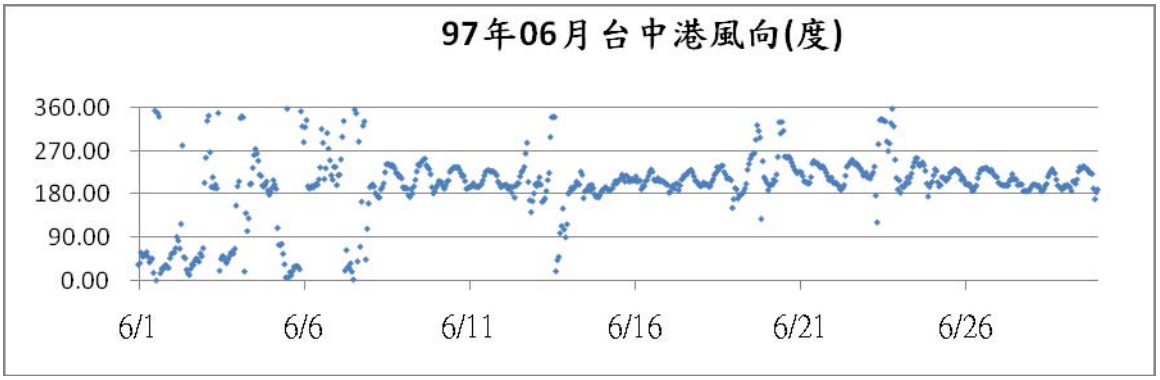
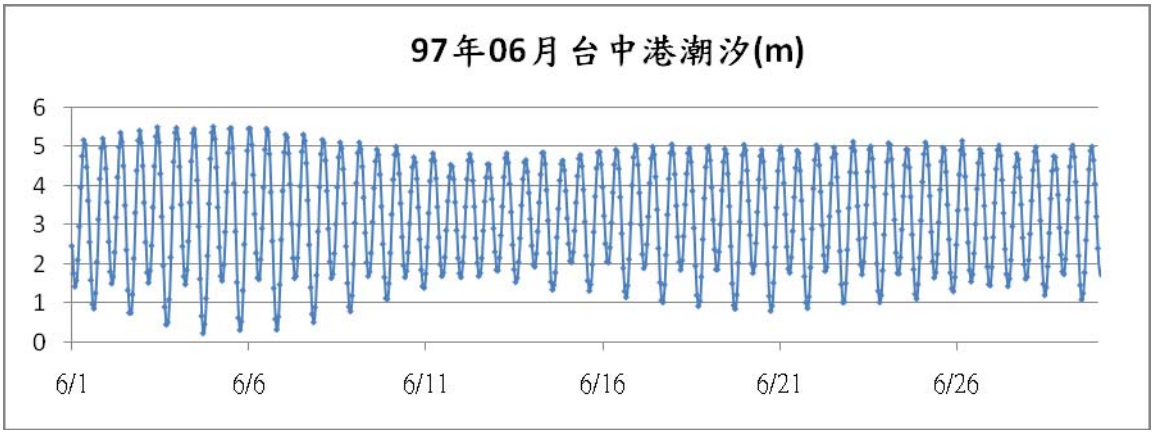
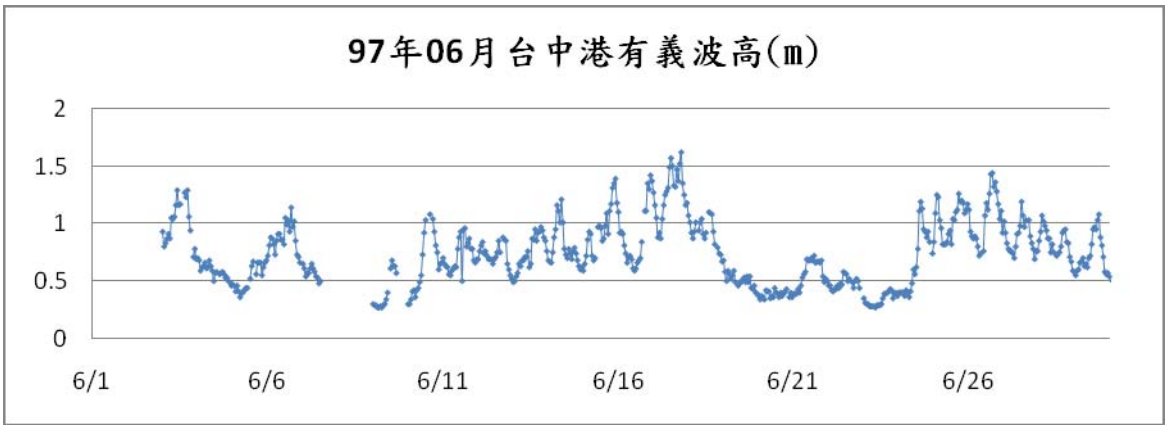



**圖 3.16 臺中港 5 月風力及潮汐逐時圖**


97年06月台中港風速平均(m/s)
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
6/1
6/6
6/11
6/16
6/21
6/26


97年06月台中港風向(度)
360.00
270.00
180.00
90.00
0.00
6/1
6/6
6/11
6/16
6/21
6/26


97年06月台中港潮汐(m)
6
5
4
3
2
1
0
6/1
6/6
6/11
6/16
6/21
6/26


97年06月台中港有義波高(m)
2
1.5
1
0.5
0
6/1
6/6
6/11
6/16
6/21
6/26

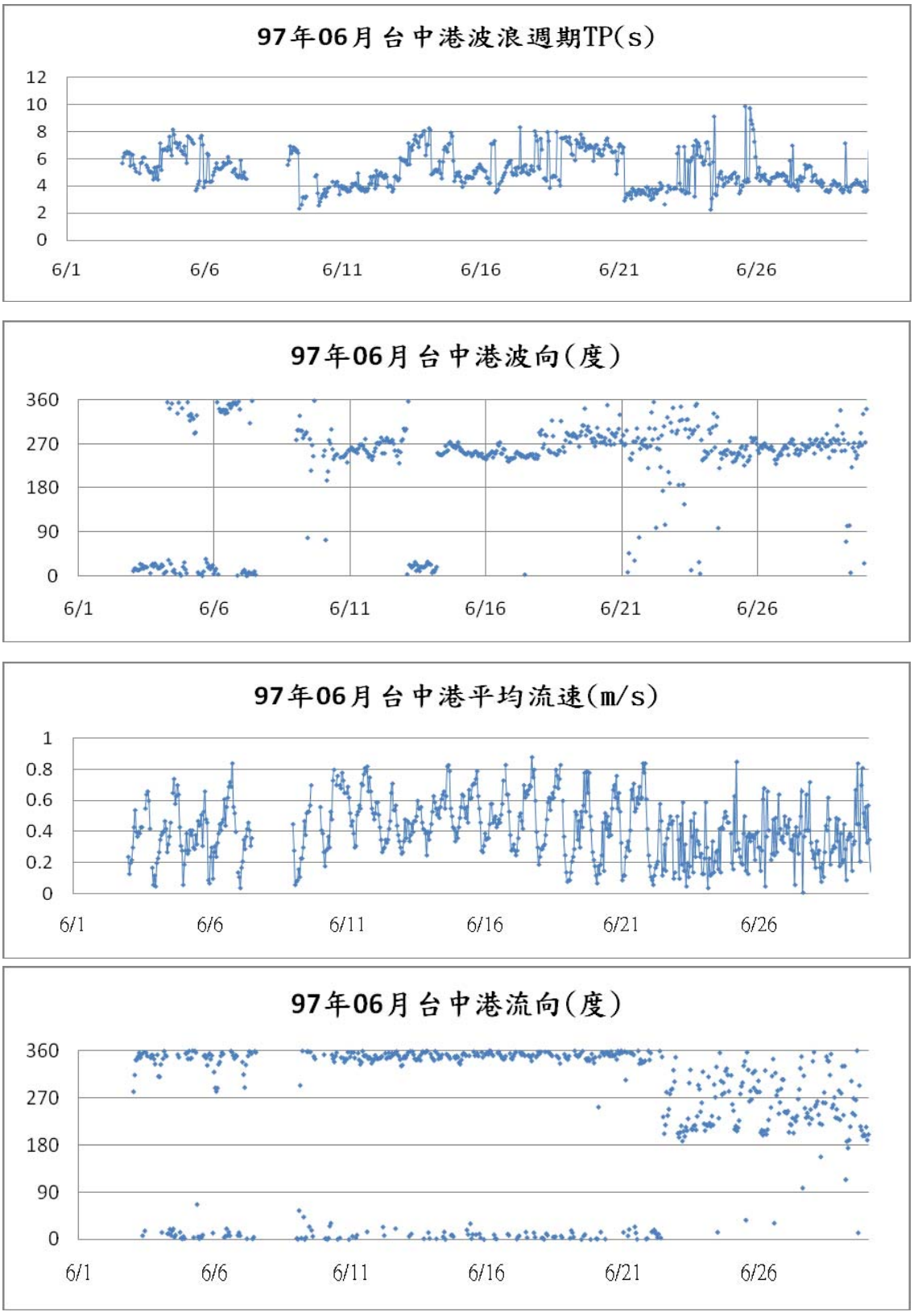
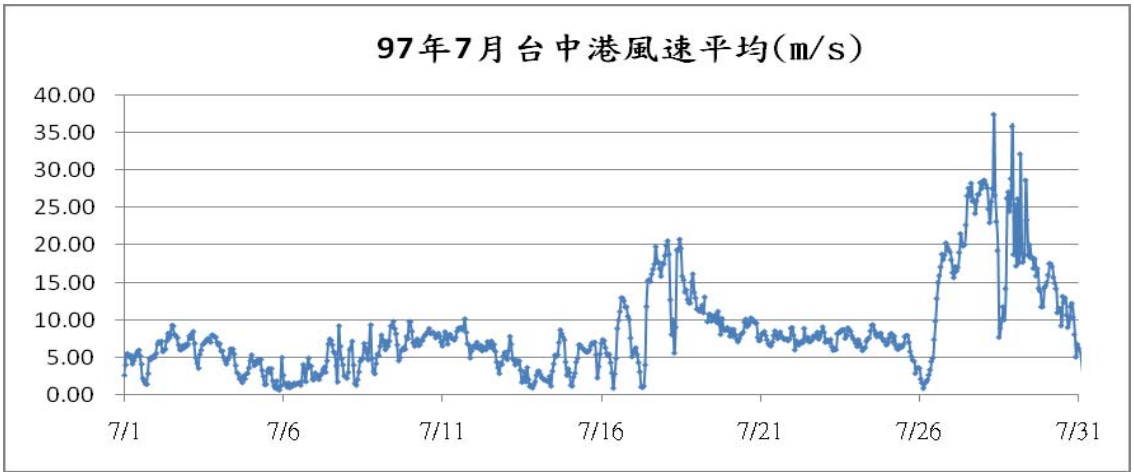
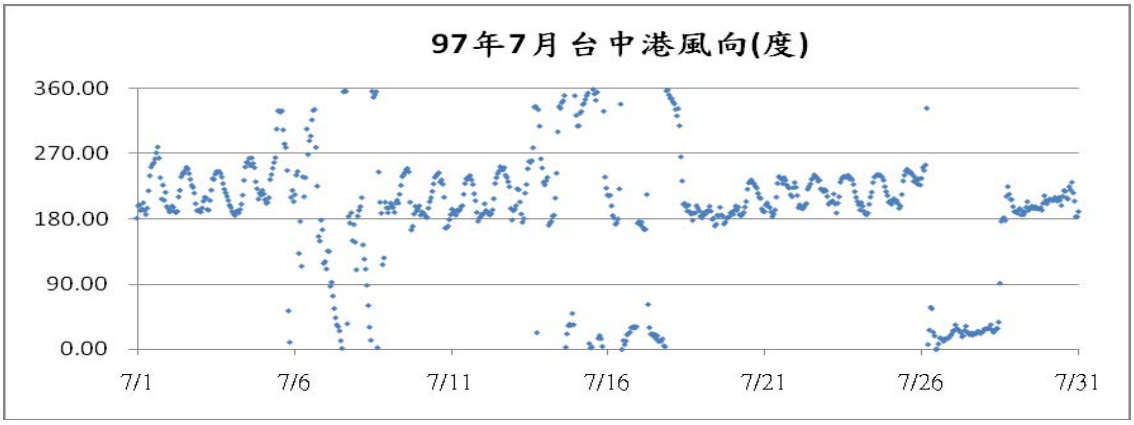
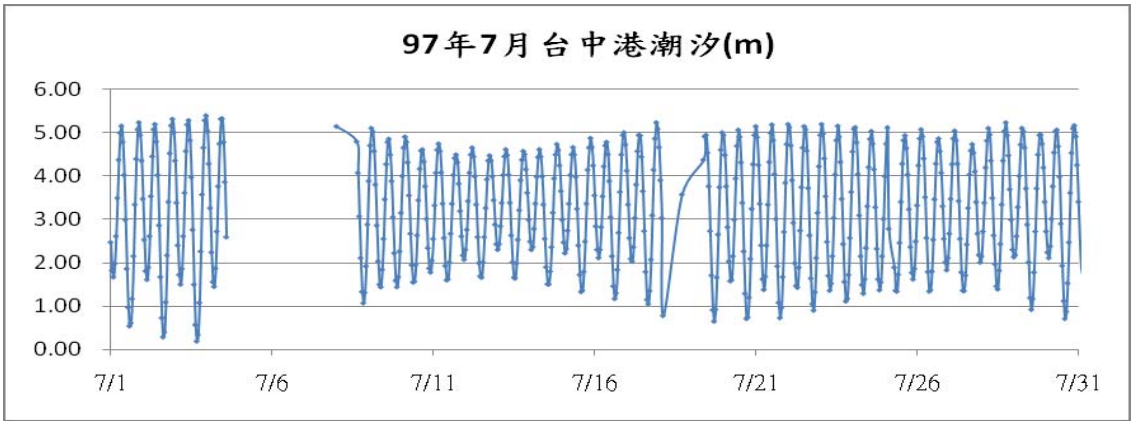
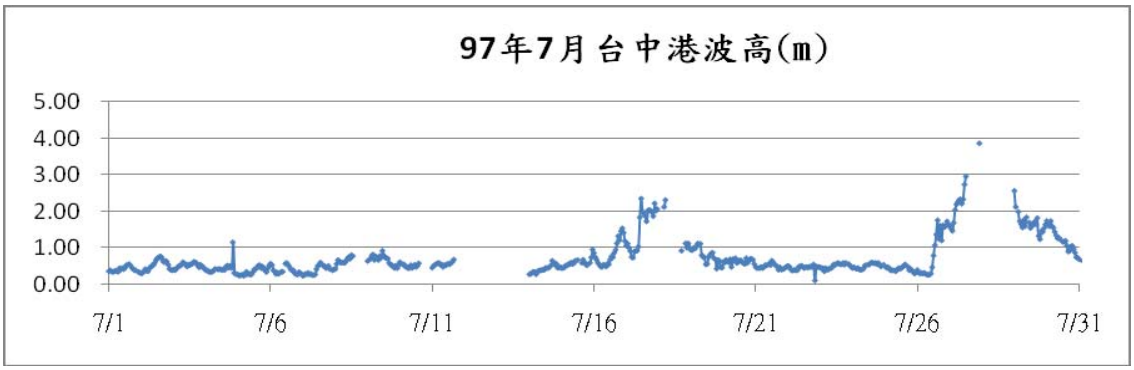



**圖 3.17 臺中港 6 月風力、潮汐、波浪及海流逐時圖**


97年7月 台中港風速平均(m/s)
40.00
35.00
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
7/1
7/6
7/11
7/16
7/21
7/26
7/31


97年7月 台中港風向(度)
360.00
270.00
180.00
90.00
0.00
7/1
7/6
7/11
7/16
7/21
7/26
7/31


97年7月 台中港潮汐(m)
6.00
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0.00
7/1
7/6
7/11
7/16
7/21
7/26
7/31


97年7月 台中港波高(m)
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0.00
7/1
7/6
7/11
7/16
7/21
7/26
7/31

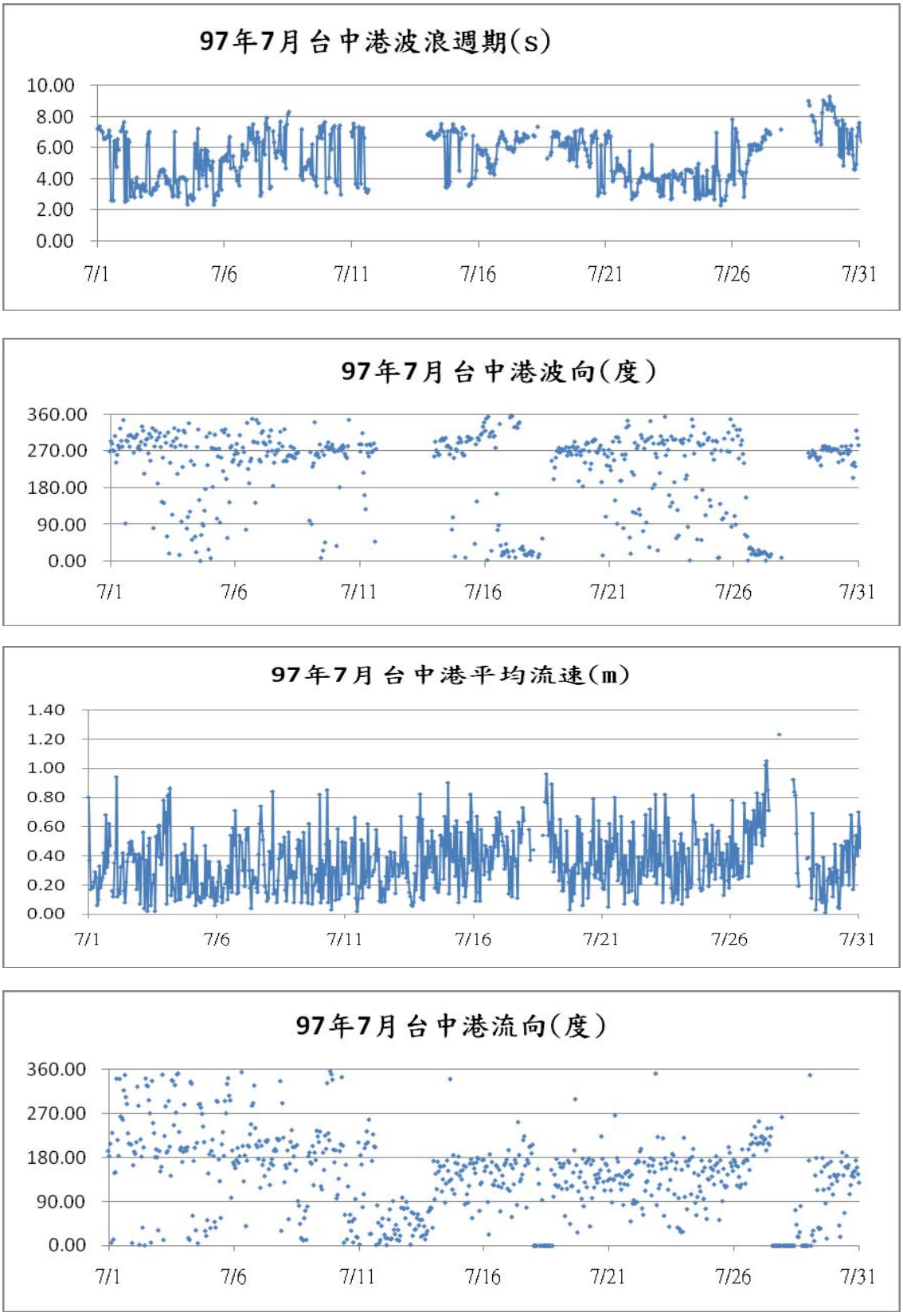
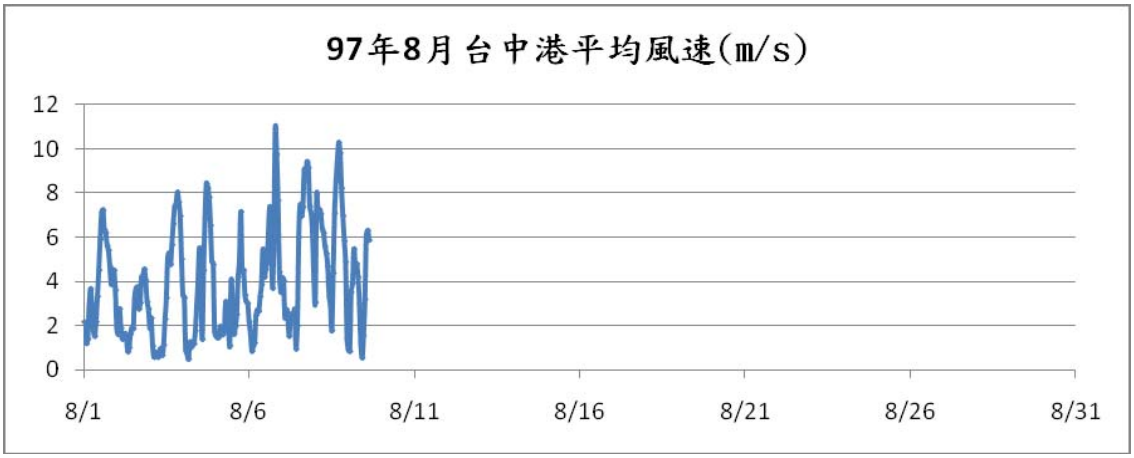
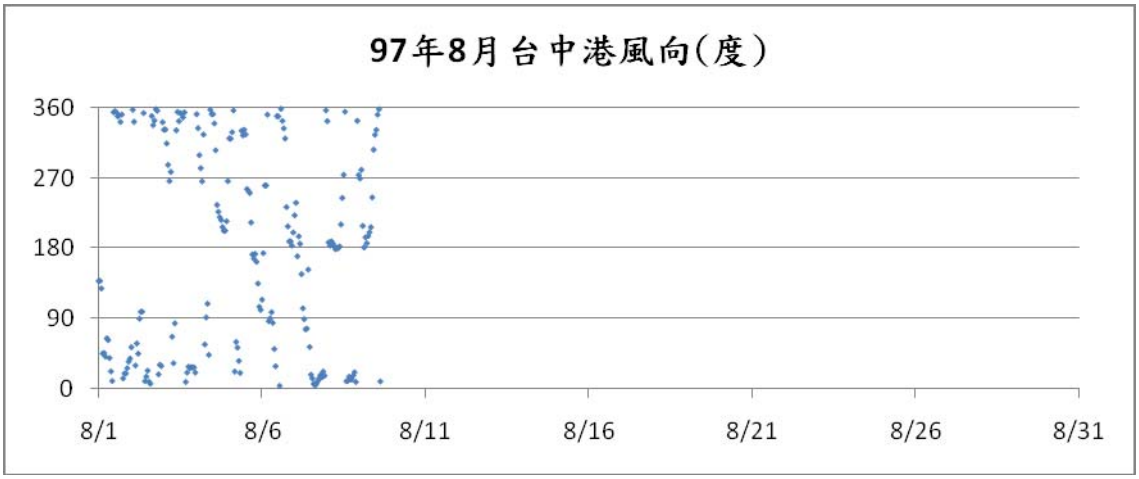
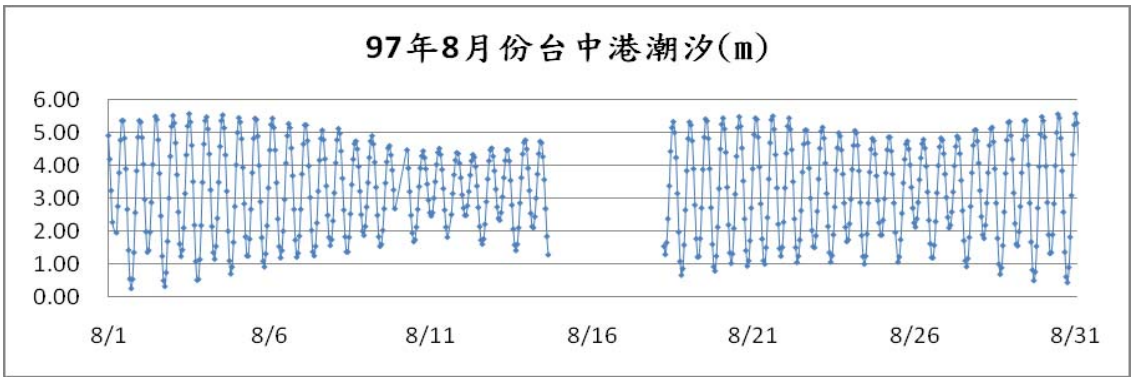



**圖 3.18 臺中港 7 月風力、潮汐、波浪及海流逐時圖**


97年8月台中港平均風速(m/s)
12
10
8
6
4
2
0
8/1
8/6
8/11
8/16
8/21
8/26
8/31


97年8月台中港風向(度)
360
270
180
90
0
8/1
8/6
8/11
8/16
8/21
8/26
8/31


97年8月份台中港潮汐(m)
6.00
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0.00
8/1
8/6
8/11
8/16
8/21
8/26
8/31


97年8月台中港波高(m)
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
8/1
8/6
8/11
8/16
8/21
8/26
8/31

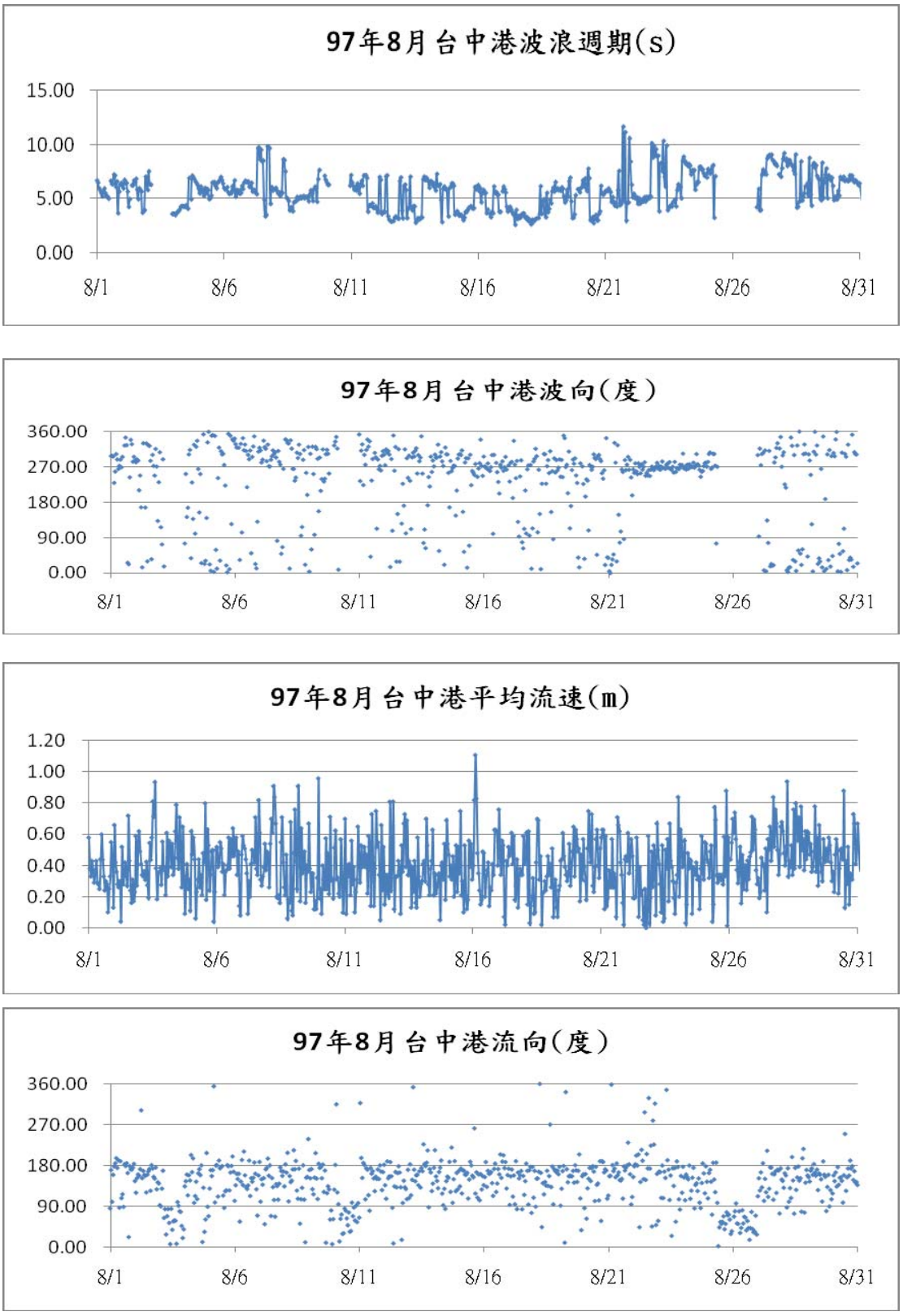
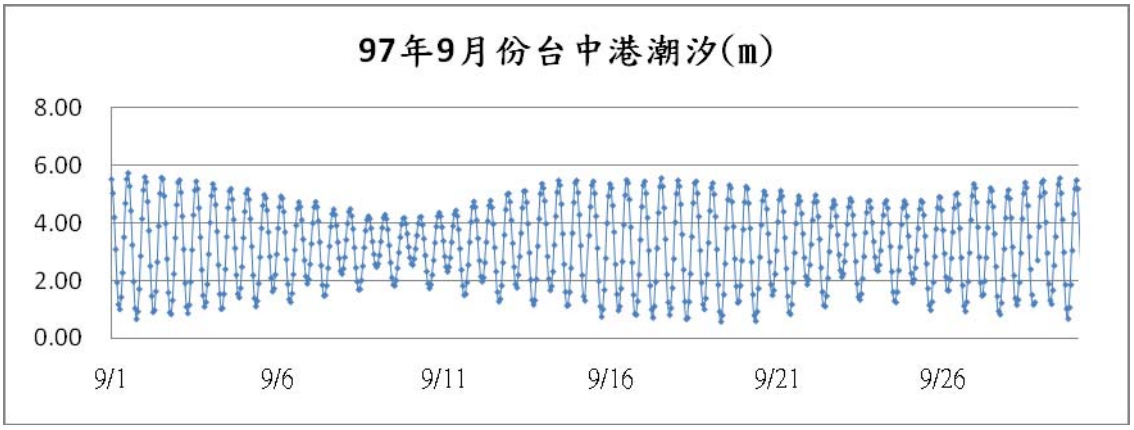
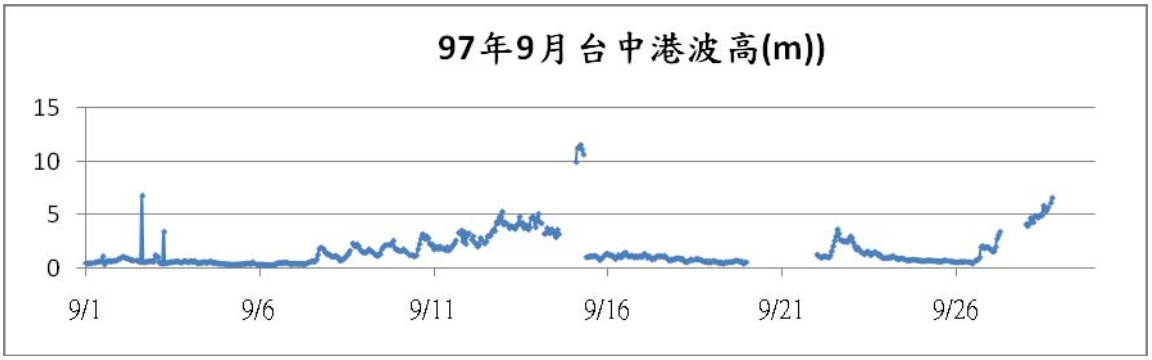
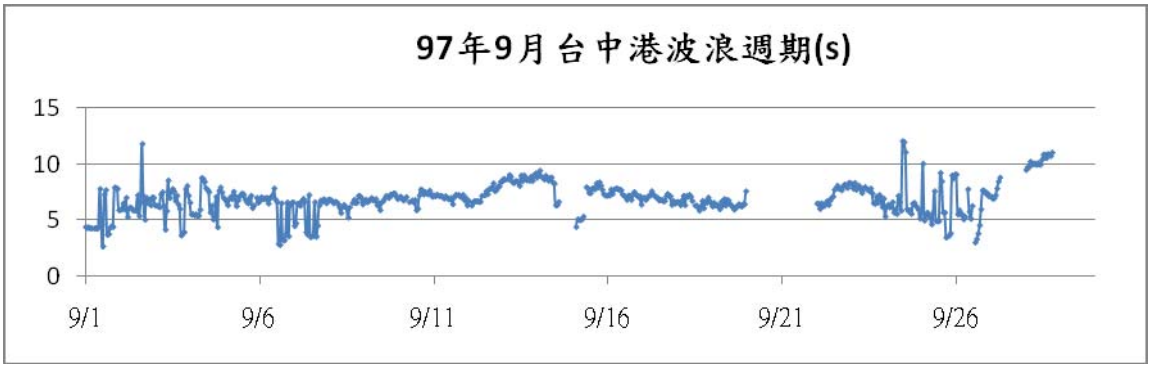
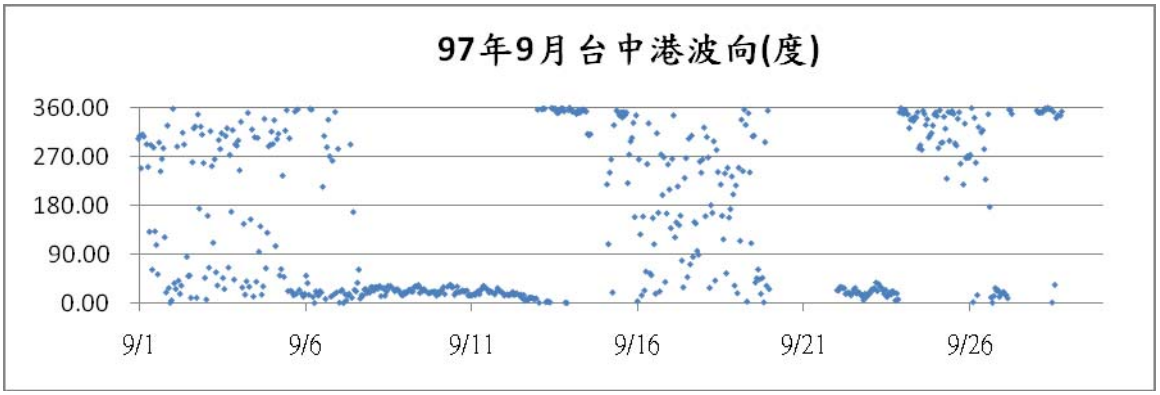



**圖 3.19 臺中港 8 月風力、潮汐、波浪及海流逐時圖**


97年9月份台中港潮汐(m)
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
9/1
9/6
9/11
9/16
9/21
9/26


97年9月台中港波高(m))
15
10
5
0
9/1
9/6
9/11
9/16
9/21
9/26


97年9月台中港波浪週期(s)
15
10
5
0
9/1
9/6
9/11
9/16
9/21
9/26


97年9月台中港波向(度)
360.00
270.00
180.00
90.00
0.00
9/1
9/6
9/11
9/16
9/21
9/26

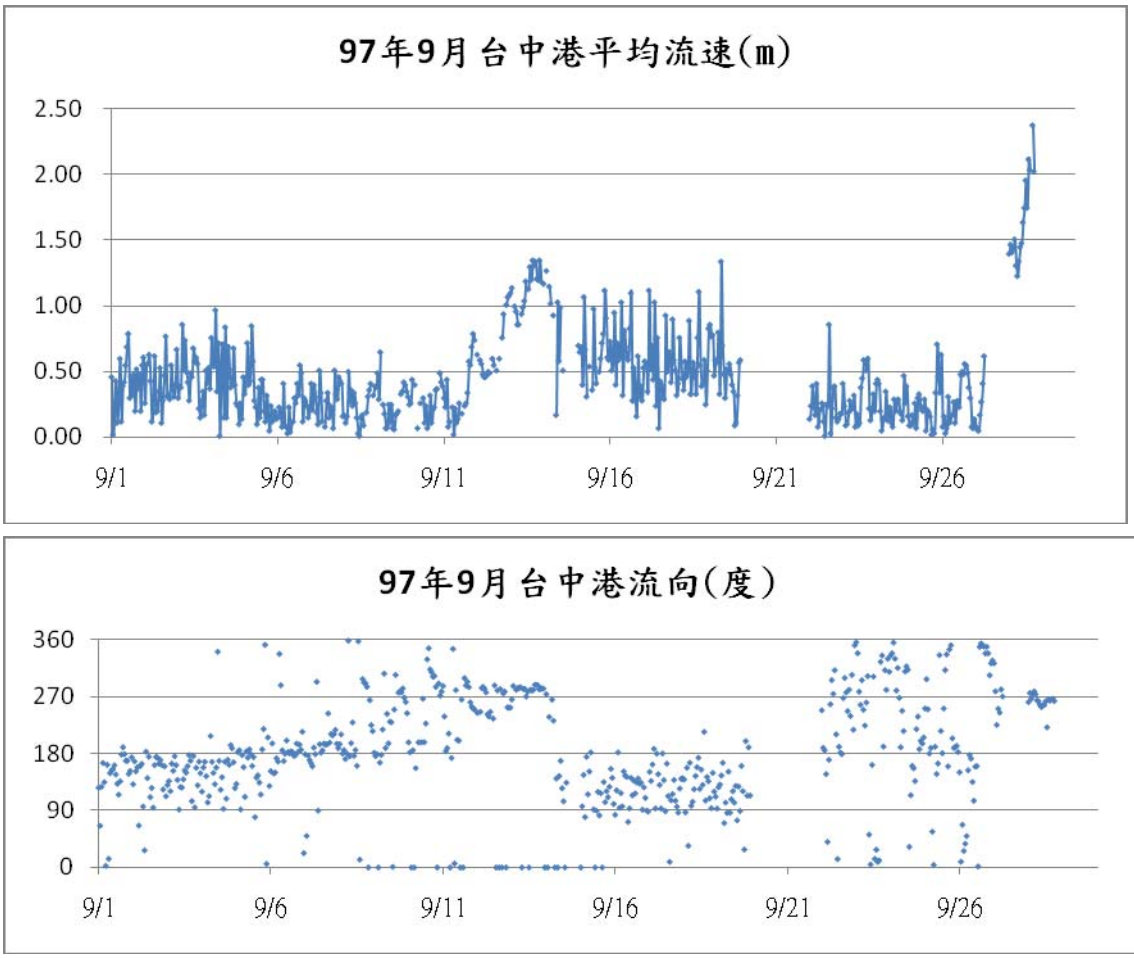
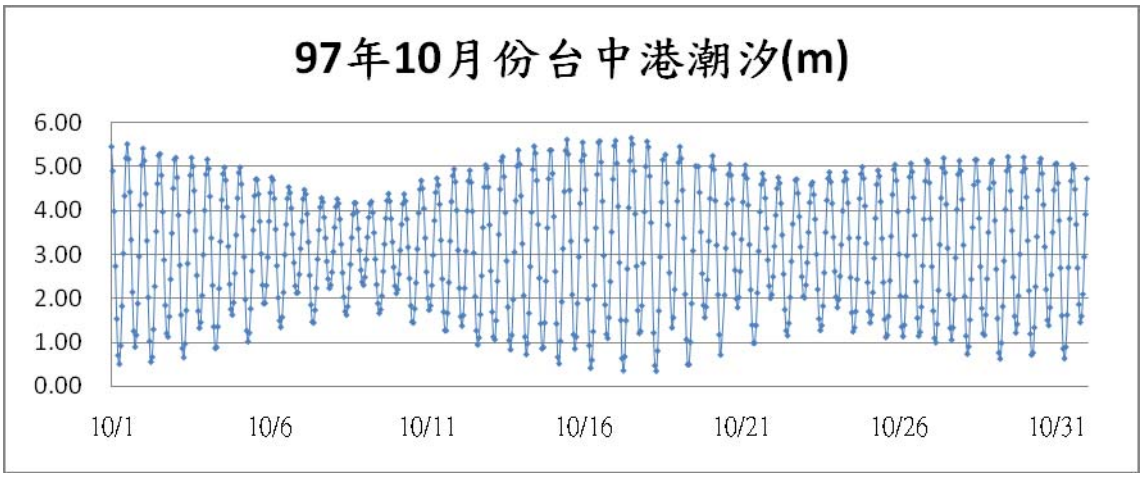



**圖 3.20 臺中港 9 月潮汐、波浪及海流逐時圖**




（10 月份 AWCP 及風速站故障未排除）

**圖 3.21 臺中港 10 月潮汐逐時圖**

## 3.3 港灣環境資訊網

配合本中心業務發展與研究成果，現已逐步整合、建置完成「海情中心資訊系統」相關整體系統架構。

整體系統架構以海情資料庫為中心，逐步將研究成果之資料匯入，資料部份包含海氣象即時觀測、數值模擬預測報及國際港即時影像等，建構成一完整的展示系統『港灣環境資訊網站』。

本中心建置完成之『港灣環境資訊網站』目前是可以提供海氣象資訊一個整合性的展示及專家查詢資訊平台，採『一般資訊查詢』及『專業查詢』資料呈現及查詢方式，並依查詢網站需要的使用者呈現不同資訊。

『港灣環境資訊網站』在各方面系統及資料分析應用上已趨向穩定，考量方便一般使用者及各方專業人士皆可善用由『港灣環境資訊網站』所提供的海情資訊，進行有效利用，因此研擬進行網站重新改版及設計。

其重新設計此網站架構時，考量到使用者一進入網站，便可一目了然的理解網站所要呈現的內容，同時可以符合海情資訊所要展現的資料；讓網頁更能接近使用者操作，快速且正確的了解海情的資訊。並在網站整體設計規劃上，使用多媒體的技術（如：FLASH、JAVA 等）來加強網頁的生動性，並且不失其專業性。

而網站資料呈現則是以使用者直覺化反應來設計。當使用者一連結網頁時，就能立即找到想要了解的資料內容。

### 3.3.1 網站架構概念

整體設計風格為簡單方便，色系則以明亮色為主體，系統目前初步上線，因考量仍有細部版面需要修改，故僅開放特定相關人士有此權限可以使用，已可由 http://163.29.73.22/index.htm 連結上網進行海氣

象即時資訊展示與專業查詢，將於民國 98 年 1 月 1 日正式上線後，可直接由 http://isohe.ihmt.gov.tw/連結觀看，如下圖 3.22 所示。




**圖 3.22 港灣環境資訊網站首頁**

『港灣環境資訊網站』分為一般訪客、專家版、PDA 版及無障礙版。以下將依各功能及使用方法進行說明：

## 1. 一般訪客

提供於一般資訊查詢及利用，共四大功能：

### (1)即時觀測子系統

提供四個國際港基隆港、花蓮港、高雄港、台中港及四個商港蘇澳港、安平港、台北港及布袋港的風力、潮汐、波浪、海流、水溫及影像等即時觀測資料的即時訊息。




**圖 3.23　即時觀測子系統**

## (2)近岸數值模擬子系統

96 年配合本中心另案所進行之「近岸數值模擬系統之建立(3/4)」計畫，由海情中心提供海氣象觀測即時數值資料至數值推估預報系統指定主機。

配合數值模擬系統所推估完成之數值時間，定時讀取推估數值檔案。現有數值模擬計算所得資料已有水位、波高、週期、波向、風速、風向等資料。




圖 3.24 近岸數值模擬子系統

(3)國際港影像

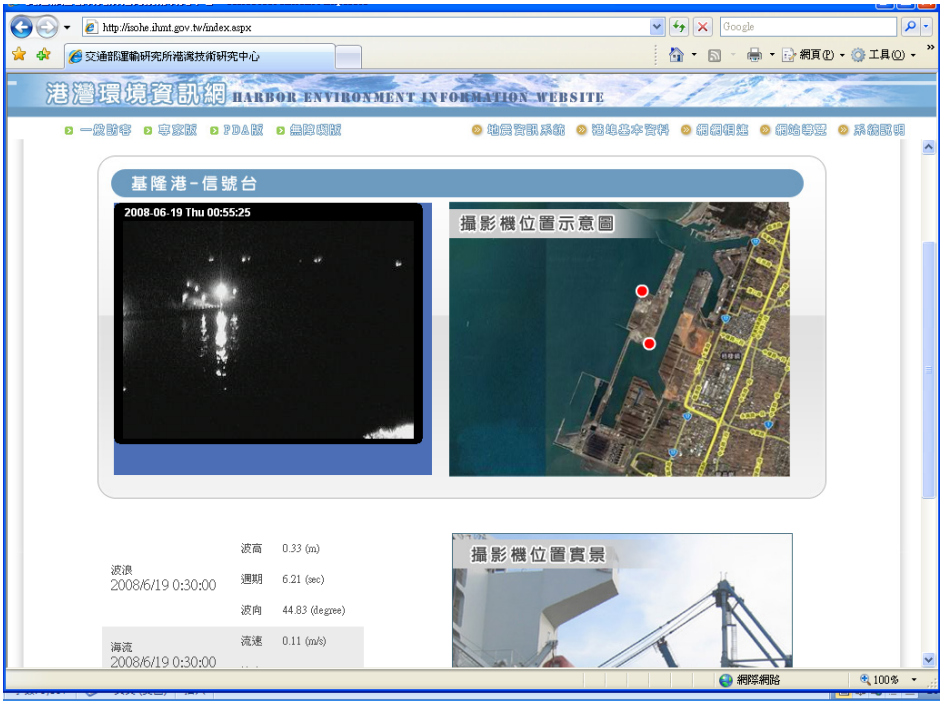



圖 3.25 國際港影像

### (4)海情資訊查詢




**圖 3.26 海情資訊查詢**

## 2. 專家版

功能及使用介面皆與一般訪客一樣，但在功能上做了些調整。海情資訊查詢 專家版提供：




**圖 3.27 專家版首頁**

在圖表及資料查詢上可同時選擇同一測站兩個項目查詢



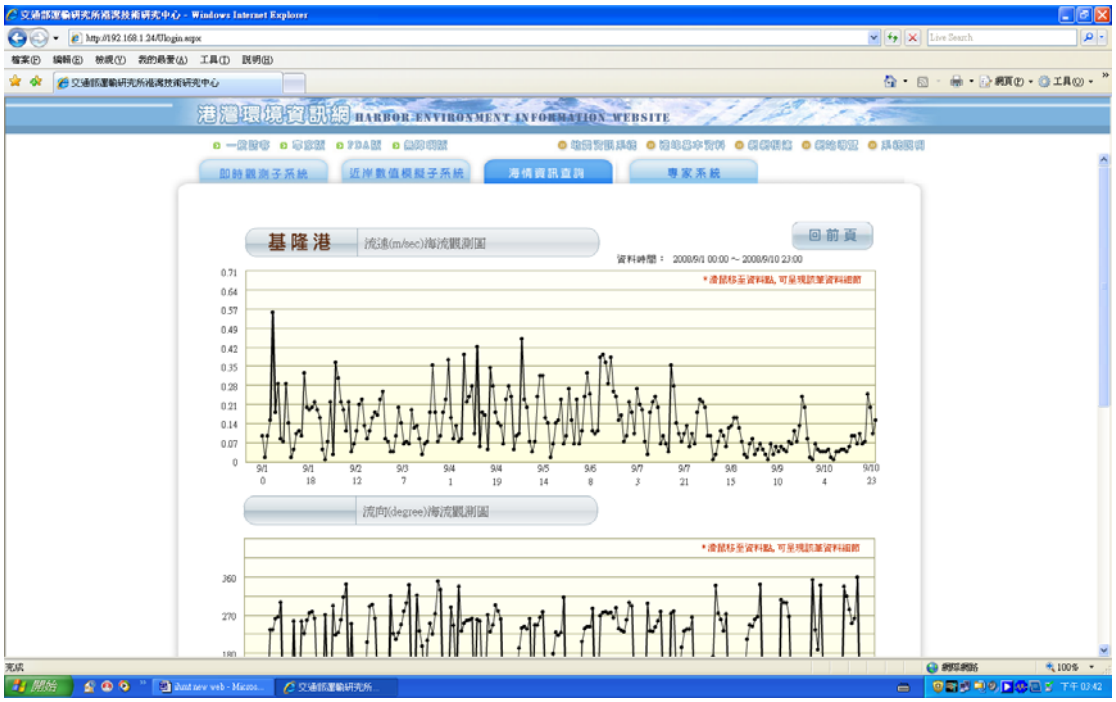




**圖 3.28 專家版海氣象逐時資料查詢展示**

提供風速風向、流速流向、波高波向等統計玫瑰圖查詢

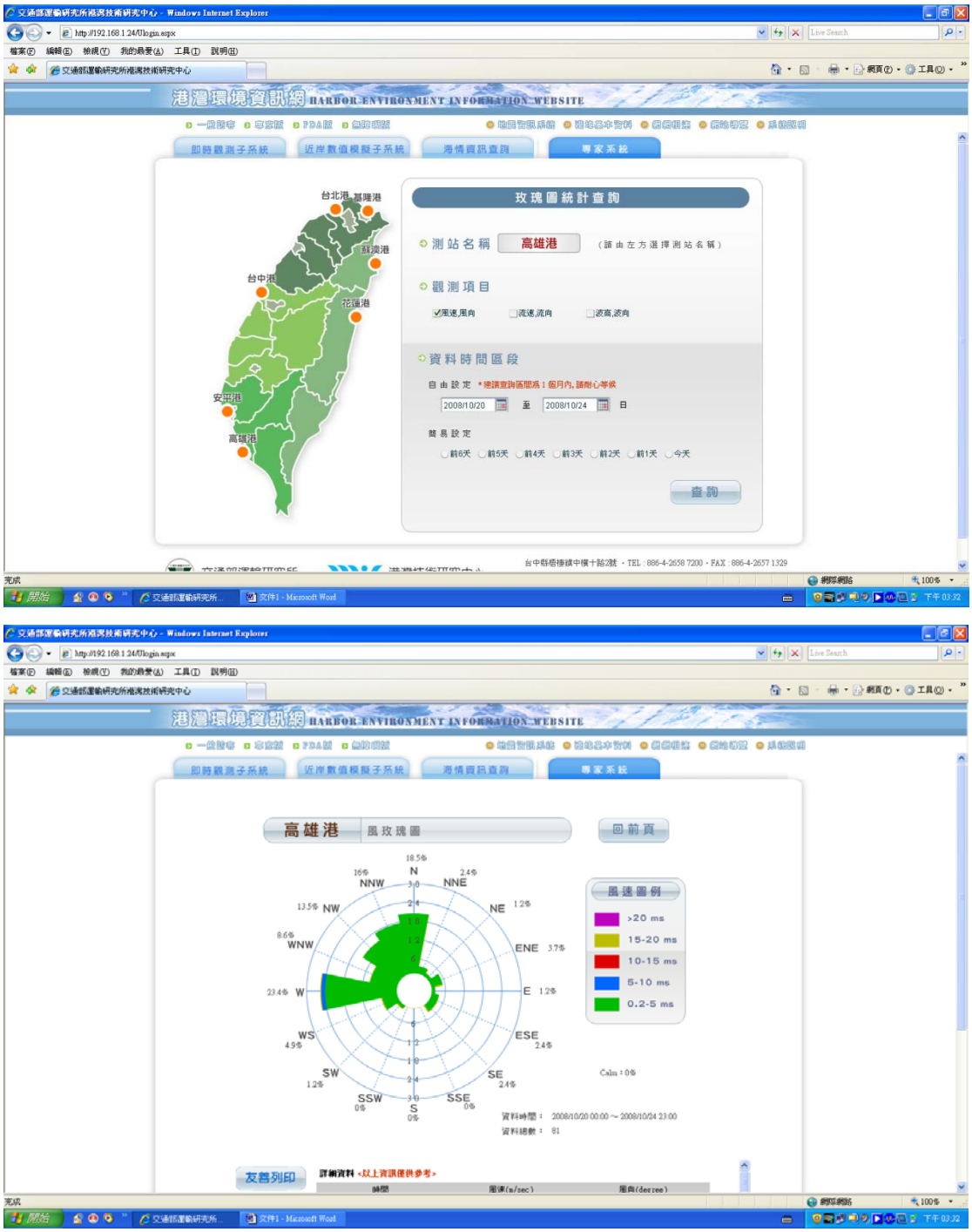
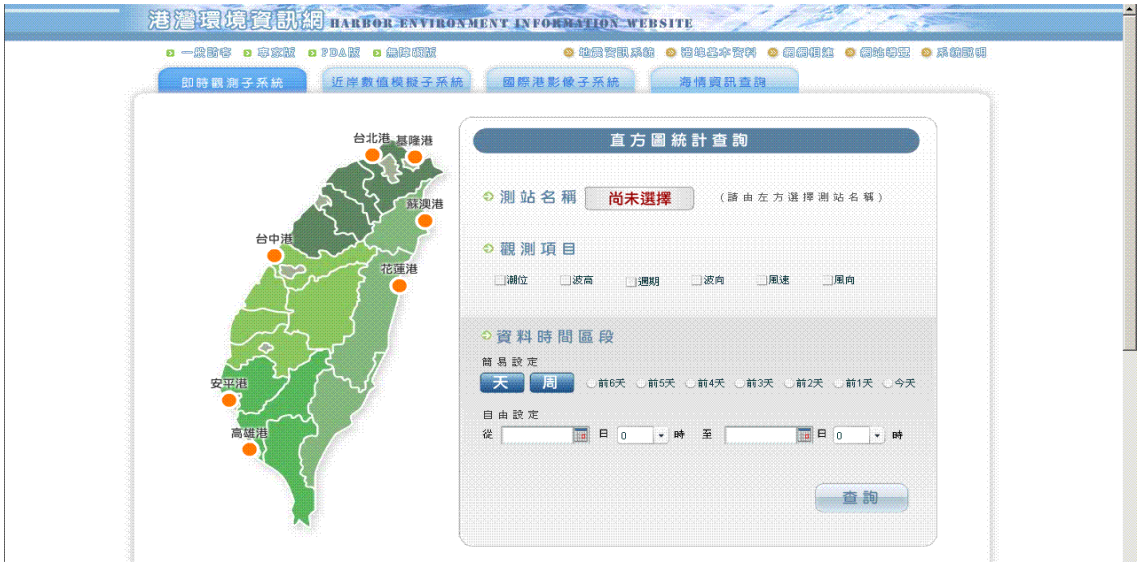



**圖 3.29 專家版玫瑰圖查詢展示**

提供波高、風速、流速及潮汐等統計直方圖查詢



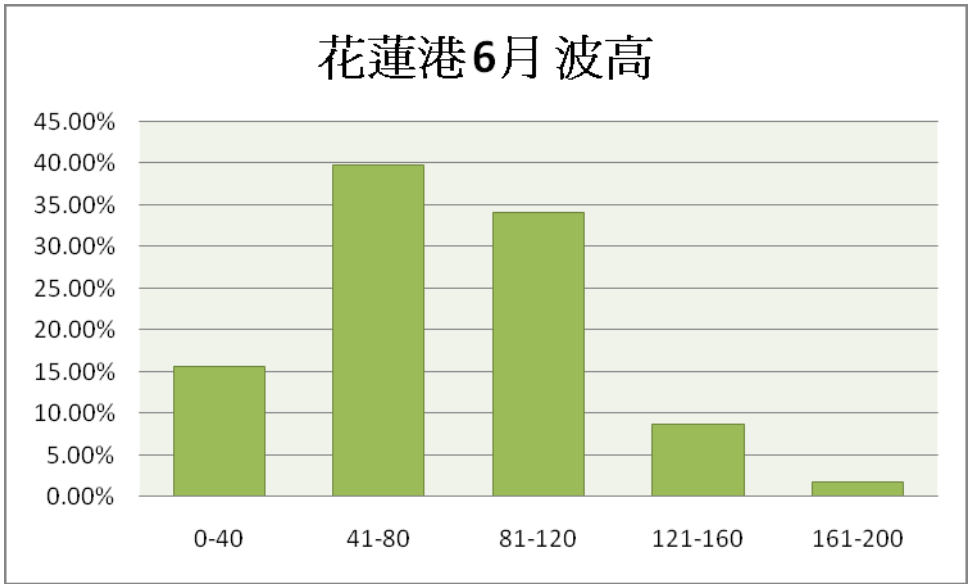




**圖 3.30 統計直方圖**

提供海氣象資料及像下載

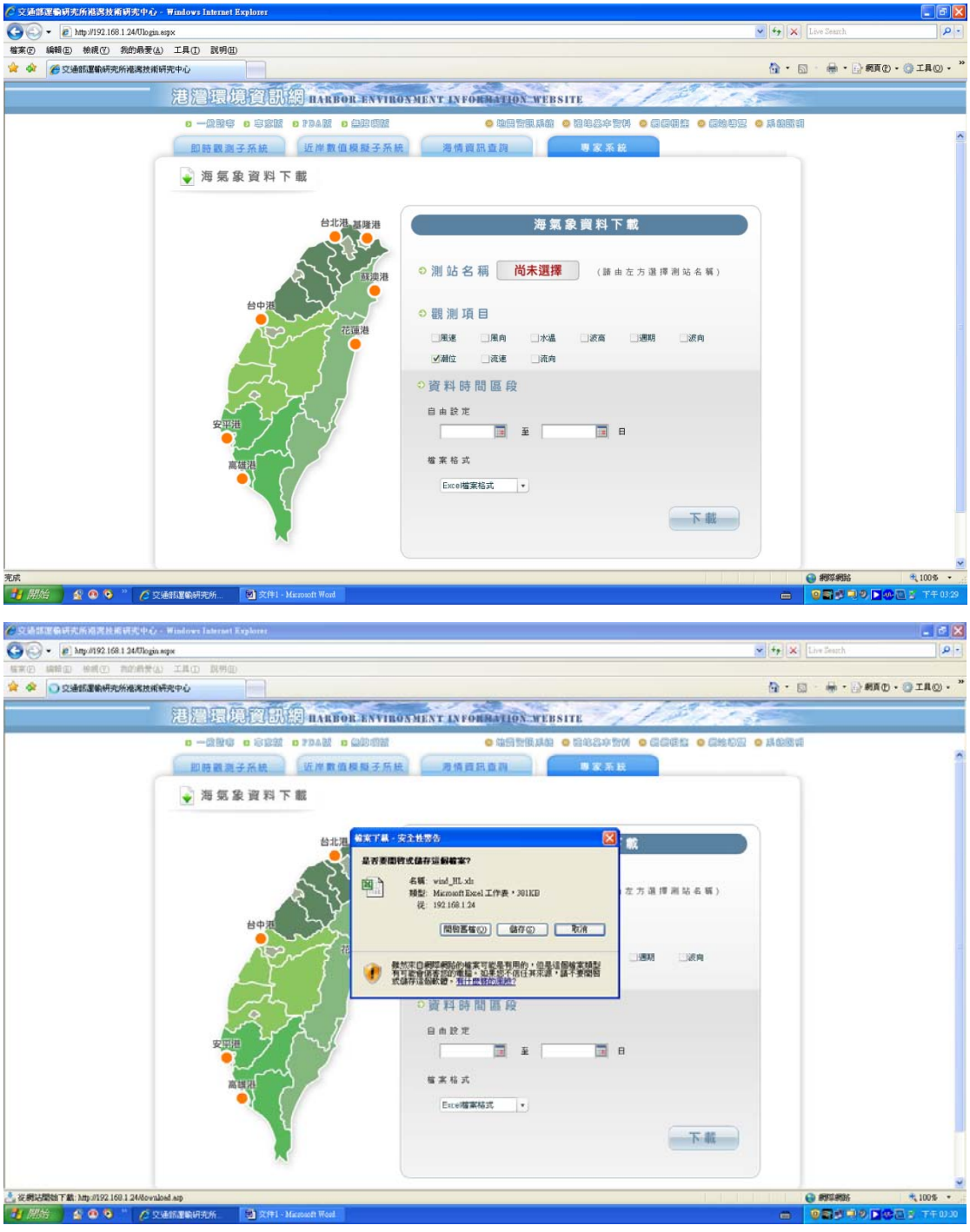



**圖 3.31 專家版海情資訊資料下載**




**圖 3.32 專家版即時影像下載**

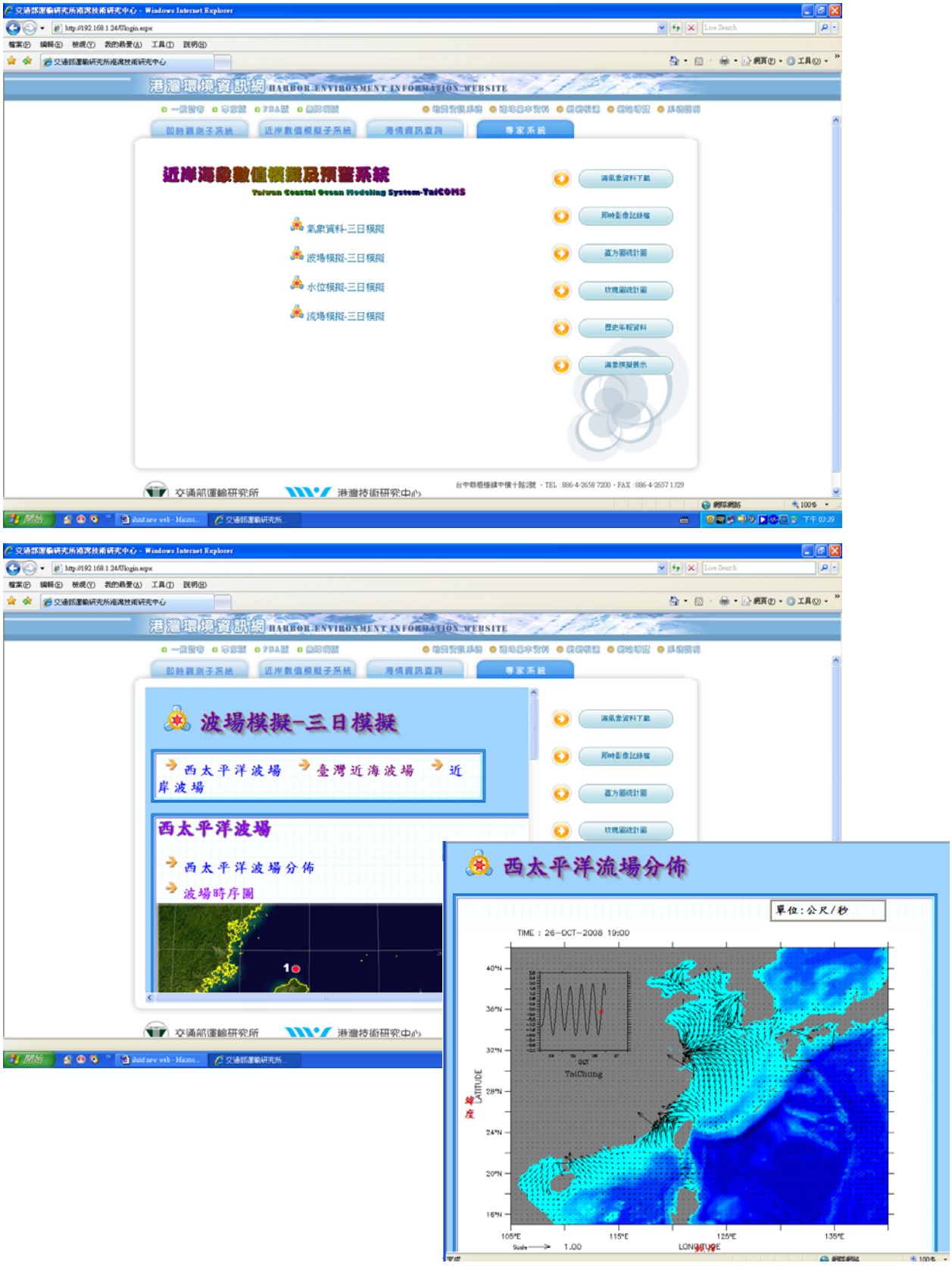

港灣環境資訊網 HARBOR ENVIRONMENT INFORMATION WEBSITE
近岸海象數值模擬及預警系統
Taiwan Coastal Ocean Modeling System-TaiCOMS
氣象資料-三日模擬
波場模擬-三日模擬
水位模擬-三日模擬
流場模擬-三日模擬
波場模擬-三日模擬
西太平洋波場
西太平洋波場分佈
波場時序圖
西太平洋流場分佈
單位：公尺/秒
TIME : 26-OCT-2008 19:00
TaiChung
LATITUDE
緯度
LONGITUDE

**圖 3.33 歷史年報資料**

### 3. PDA 版港灣環境資訊網

『港灣環境資訊網』PDA 版可應用於 Pocket PC 以至所有支援瀏覽器的手提電話等流動裝置（PDA / PDA Phone / 3G Phone）。並且可以選擇利用無線裝置（例：Wireless LAN / GPRS / 3G , Bluetooth）即時連上互聯網（Internet）來瀏覽『港灣環境資訊網』。

『港灣環境資訊網』 PDA 版所提供之功能將以符合 PDA 小螢幕的需求、文字簡潔、每一頁主題明確、標題清楚等述求重點。並且透過 PDA 版網址 ： http://isohe.ihmt.gov.tw/pda/ 提供海氣象即時觀測資料、近岸數值模擬系統資料及國際港即時影像資料等。




**圖 3.34 專家版 PDA 版入口**

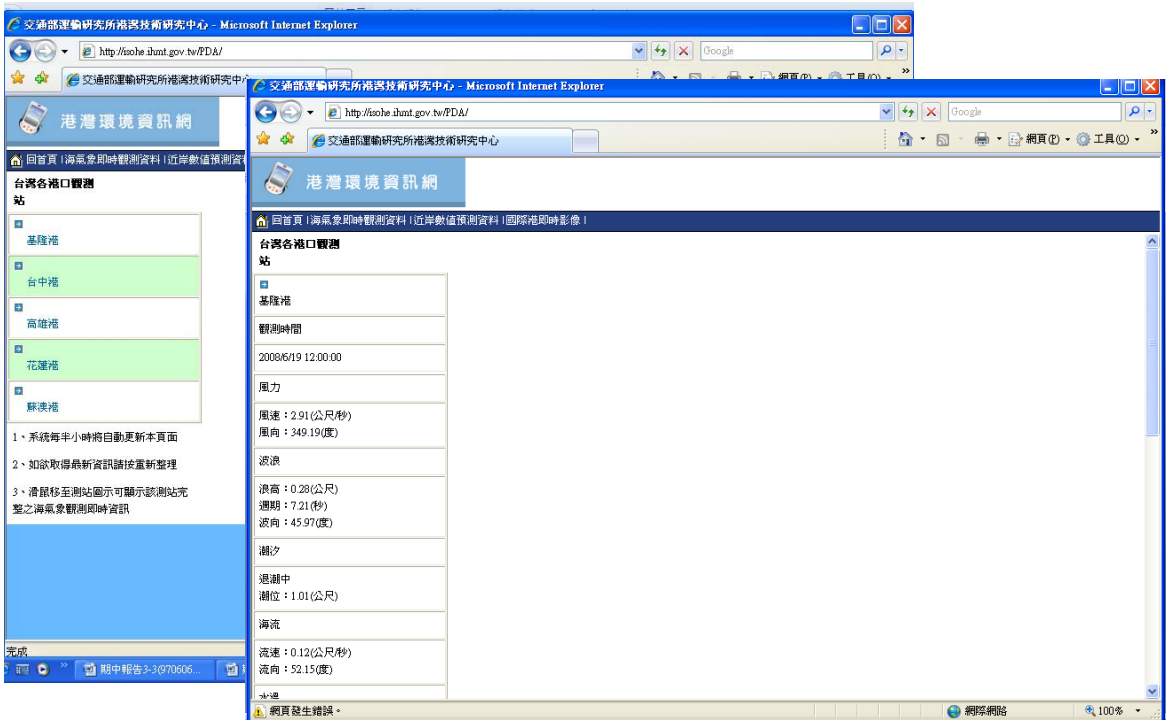



圖 3.35 PDA 海氣象即時觀測資料




圖 3.36 PDA 近岸數值模擬系統資料




圖 3.37 PDA 國際港即時影像

## 4. 無障礙版

無障礙網頁，就是遵循無障礙網站設計之規範，提供網頁導盲磚、鍵盤快速鍵(Access Key)、網站導覽(Site Navigator)等無障礙網頁之設計，為使對滑鼠操作有障礙之人士，亦可快速瀏覽網站之任何資訊。




圖 3.38 無障礙版

### 3.3.2 港灣環境資訊網 架構說明

港灣環境資訊資訊系統的工作架構主要工作包括現場觀測、數值模式、即時影像及其他研究資訊整合四大項。

工作架構中，現場觀測主要提供數值模式之需求計算，觀測結果則為輸入模式之初始或邊界條件和驗證模式結果的參考依據。現場觀測內容包括歷史資料蒐集、現場工作和資料分析；資料蒐集項目含波浪、海流、風力、潮汐及水溫等，數值模式工作包括模式的發展、應用與推廣。有關預報模式發展，目前為風場、波浪、水位、流場及擴散模式等。

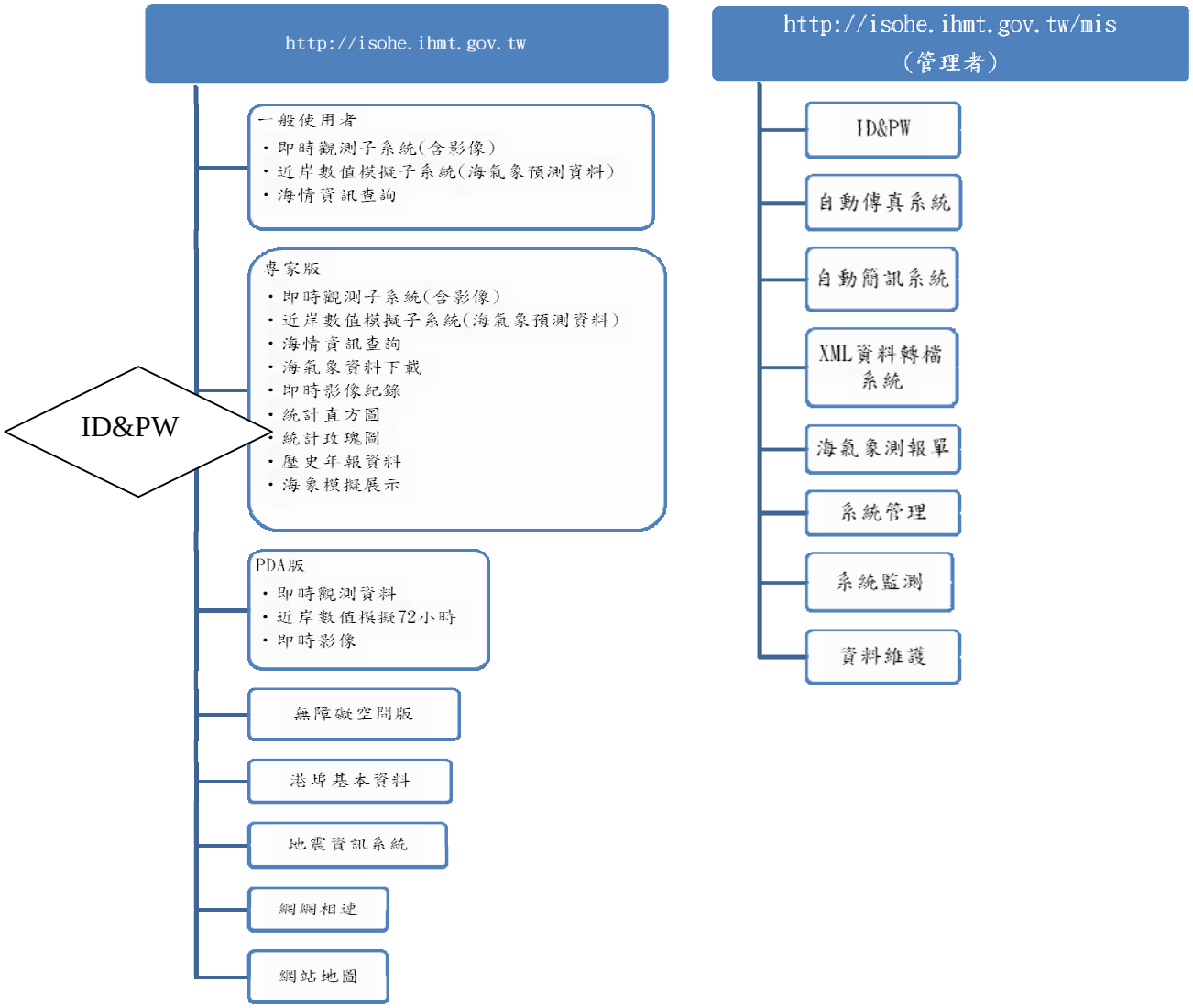



**圖 3.39 網站架構圖**

## 3.4 即時影像監視及傳輸系統

目前各港口海氣象觀測系統，各有詳實的數據資料庫，可供研究參考之用，配合現場影像情境提供真實臨場感受。由於波浪具有以下幾項特性，是系統規劃中所須考慮的基本要素：

1. 波浪週期約為 6~15 秒，平時約 6~10 秒，大風雨或颱風來臨時可能長達 10~15 秒。
2. 半小時內波浪狀況變化不大，可不必隨時記錄影像畫面。
3. 觀察波浪需要平順之連續畫面，停格之視訊則失去觀察之效果。四、波浪觀察重點在於大範圍之宏觀取景，而非細部特寫。
4. 少數重點時段之畫面需要保存，經常性畫面則只需暫存即可。

除了上述幾項因波浪特性而須考慮的基本要素外，攝影器材、傳輸設備的安裝與維護、建置成本、經常支出負擔等，亦為系統規劃必須審慎評估的因素，我們將於計畫期間應用各種解決方案，並評估其成本、效益與執行上的各種優缺點分析，做為最後建置決策之參考依據。

本年度主要工作為：

(a)規劃擴充建置蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。

(b)規劃擴充建置台中港即時影像監視及傳輸通訊系統規範。

(c)新增影像部份於港灣環境資訊網，系統整合開發可透過網頁查看即時影像及作選擇性自動錄影與歷史影像查詢。

(d)即時影像整體傳輸流暢度探討、分析檢討與相關改善建議。

### 3.4.1 蘇澳港即時影像監視及傳輸通訊系統擴充現勘

本中心已於 93 年起分別建置完成基隆港、花蓮港及高雄港 IP 攝影機及即時影像錄影系統，透過『海情展示及即時資訊傳輸控制系統建置』工作，整合海氣象即時觀測資訊及各國際港即時影像，以建立完整的海情資料庫，並以靜態及動態模式透過資訊網路，即時提供給港灣管理單位、國內外船舶業者以及有關人員查詢。

本計畫之先期規劃工作已於：97.3.9、97.5.13 進行現場勘查。現場勘查處所之地理環境及所能安裝攝影機高度之不同，所能觀測取得的影像亦不同，依現行攝影機可支援最大全景拍攝 340 度、傾斜範圍 115 度、25 倍光學變焦(300 倍數位變焦)可視距離約 200 公尺，依據攝影機裝設地點不同會有不同之取景效果。經評估之後適合安裝地點如下圖：

蘇澳港區平面圖與攝影機相關規劃位置：

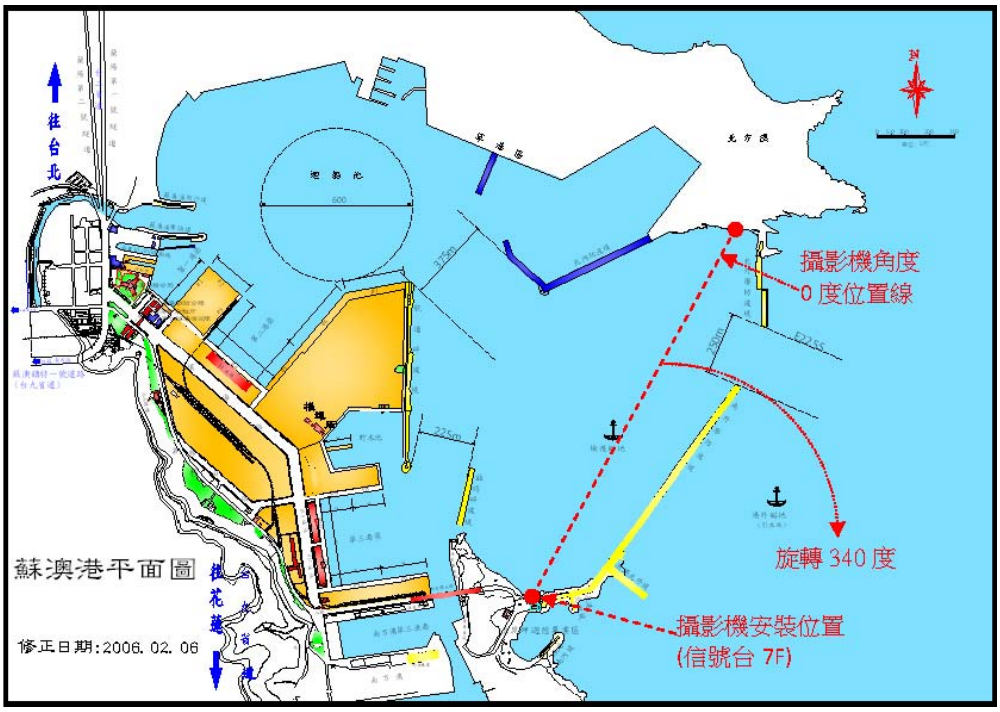



**圖 3.40 蘇澳港區平面圖**

### 3.4.2 台中港即時影像監視及傳輸通訊系統擴充現勘

臺中港區平面圖與攝影機相關規劃位置：




**圖 3.41 臺中港區平面圖**

### 3.4.3 即時影像監視及傳輸通訊系統與架構

1.數位攝影機：

數位攝影機內建操作控制單元如下圖 3.42，可由系統管理者從遠端控制旋轉以及遠近，以調整取景角度，安裝時除利用攝影機吊架外如下圖 3.43 所示，另需配合穩固固定架進行固定。




※ 攝影機主機:1/6 型彩色 CCD,支援 25 倍光學變焦、300 倍數位變焦。

※ 拍攝角度：全景拍攝為 340°，傾斜範圍 115°，全景拍攝速度為 2 秒/340 度，傾斜角度 1.5 秒/115 度。

※ 攝影機尺寸( W x H x D )：140 x 175 x 144mm

※ 電源需求：DC12V via AC adapter 100-240v

※ 消耗功率：21.6W

**圖 3.42 AXIS 214**

攝影機吊架與室外保護罩



**圖 3.43 攝影機吊架與室外保護罩**

2.系統架構：

為有效利用與管理網路頻寬等各項資源，本計畫之設計以採集中式管理、分散式儲存為目標，並且透過本中心進行監控、管理整個港區之監視系統，隨時掌握海氣象港區水域動態狀況，協助學術研究採證及突發狀況之處理等功能，以大幅提升海洋研究與港區安全，進而提高港埠國際競爭力。

本中心得視需要建立多個副控中心，在此架構下任一個具有權限之相關人員皆可透過一般個人電腦或筆記型電腦利用網頁瀏覽器，經由機關現有之網路取得其可監視範圍之遠端即時影像。

(1)地點一利用現有光纖線路予以延伸後使用，並且於港務局建置安裝錄影伺服主機。

(2)地點二另租用 GSN-VPN 512K ADSL 專線一路。

(3)整體架構說明如下圖 3.44 所示，詳細規範說明請參考附錄 A。

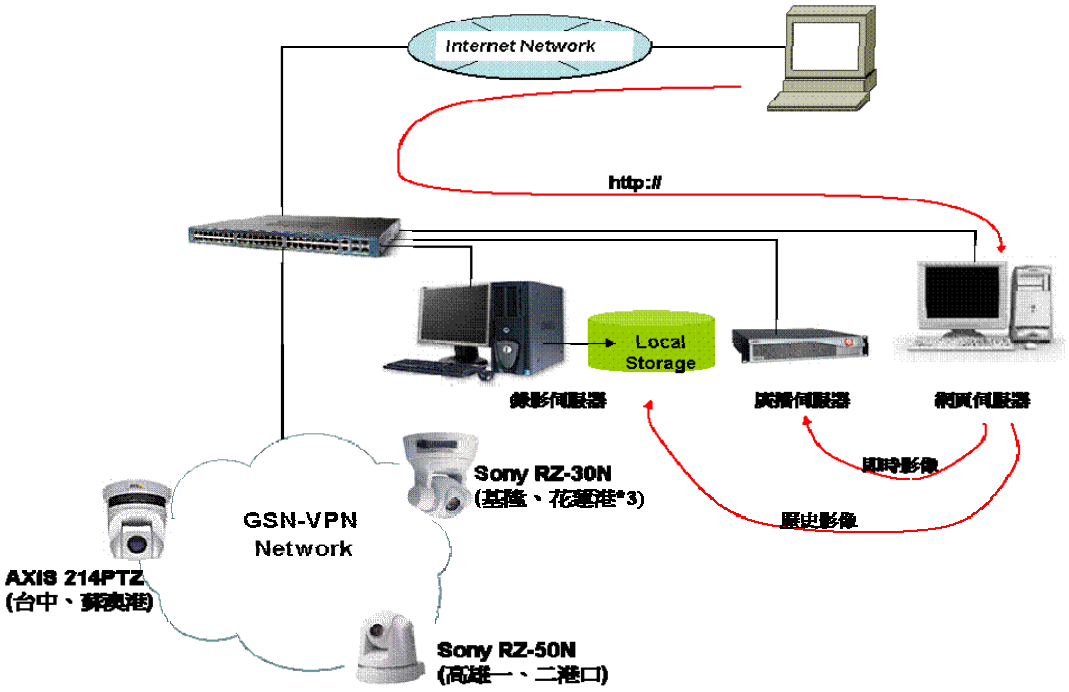



**圖 3.44 即時影像系統整體架構圖**

(4)整合即時影像於同一控制平台

Milestone XProtect Basis+專為小規模、具擴充性單一伺服器之網路影像監控設備，所設計的最佳軟體整合系統產品。而 Xprotect

Basis+軟體整合系統，在標準視訊及網路電腦設備的支援，也提供您最廣大的選擇，並可同時支援且可相容超過 400 種以上、由 35 家不同製造商所提供的網路攝影機及編碼器產品(MJPEG 和 MPEG4)，如下圖 3.45 所示。

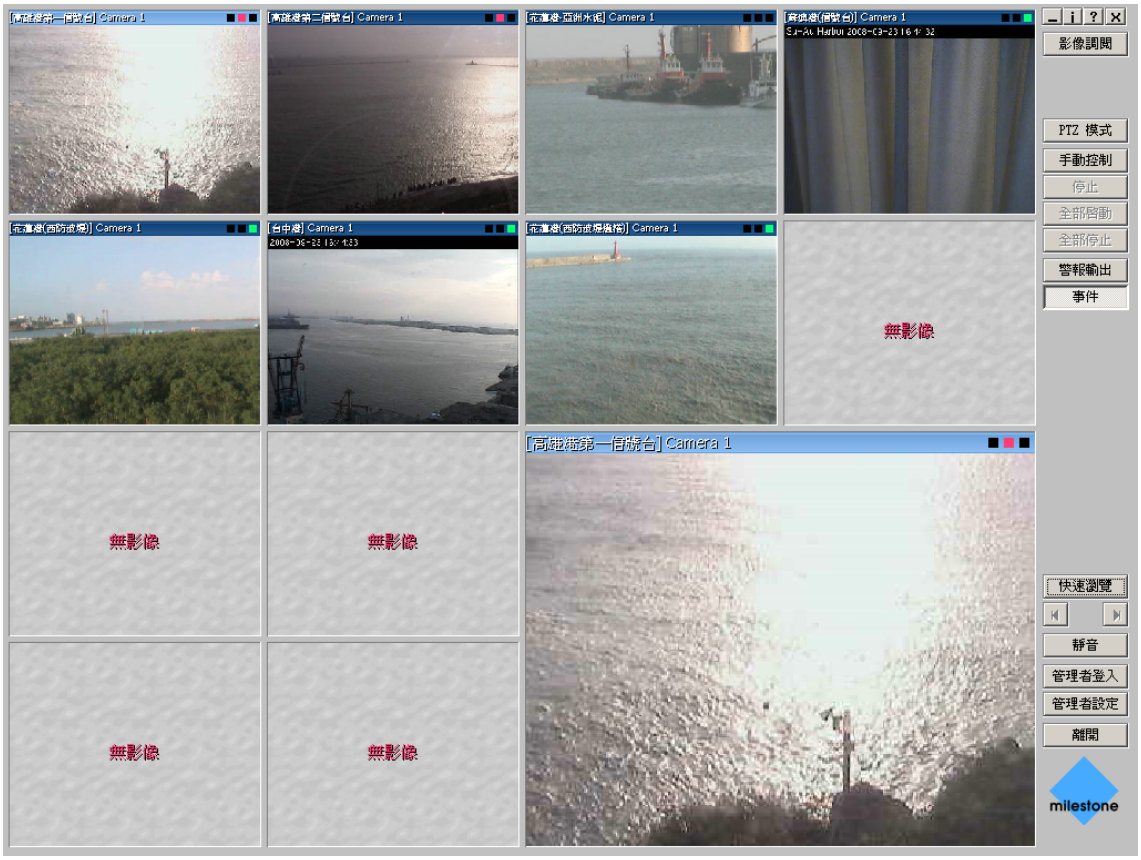



**圖 3.45 即時影像整合控制畫面圖**

# 第四章 結論與建議

由於港灣海氣象之資訊服務，對於進出港船舶之航行安全提升極有助益。但由於海氣象狀況瞬息萬變，因此如何提供即時性之資訊服務是關鍵課題。目前本計畫所建置之「港灣環境資訊網」已能透過網頁查詢，提供國內各主要港口即時海氣象觀測資料，同時也可以和各港之船舶自動辨識系統（簡稱 AIS）進行連結，使船長及引水人在船上即可獲得即時海象資訊，本項系統功能目前已成功運用在臺中港，未來將積極推廣至其他港口，以提升 e 化航運之服務水準。

港灣之海氣象除受自然環境條件之影響外，港口之相關結構設施如防波堤對於波浪及海流或倉棧對風力也會產生局部影響。因此，傳統之單點現場觀測資料對於整個港口水域的海氣象掌握是有所不足，所以利用數值模式計算整個港區即時與未來之海象資訊有其必要。本計畫配合本所相關計畫提供港區數值預報之面式資料，再搭配現場儀器觀測之點式資料，此對在港區海域進行海事工程之施工單位於擬定施工計畫時，提供更完整之港區海氣象資訊服務。

港區即時影像對於港區之船舶進出及海象狀況提供如臨現場親眼所見之服務，尤其是颱風侵襲期間港區動態能有視覺化之掌握。例如花蓮港於颱風侵襲期間港內繫纜泊靠船隻的運動情形，可以透過本系統作完整之錄影記錄。2008 年薔密及辛樂克颱風侵襲期間，花蓮港有完整之繫纜船舶運動錄影紀錄，從紀錄中發現港內有長週期之波動，造成纜繩極大受力，此不僅與相關之觀測資料分析結果一致，且對花蓮港後續改善方案之研擬，提供極具參考價值之背景資料。

海氣象資訊服務除強調即時性外，資訊的正確性也是重點。由於正確的資訊來自嚴格縝密之資料品管繁雜過程，而即時的資訊則有賴快速之資料傳輸及整合。因此，耗時過久之品管流程顯然不符合即時性，而未經品管之資料整合也不符合正確性，所以如何在自動化作業條件下正確且即時提供海氣象資訊也是待努力方向之一。海氣象資料

之自動化品管一般可分 1.合理性 2.連續性及 3.相關性等三類，第 1 類是依海氣象在自然界中其物理量可能的最大及最小值作合理性的限制，目前本系統已啟用此類品管機制；第 2 類是依海氣象之物理量在時間上的變動（增或減）大小作連續性限制；第 3 類是依海氣象之物理量在空間上鄰近測站的對應變動（增或減）大小作相關性限制，後兩類皆須有背景資料進行統計分析後，才能決定其品管界線值。在某些情況下界限值可能不唯一，例如平常季風期間與颱風期間之波高連續性品管界限值並不相同，此對自動化品管作業易造成困擾。

根據以上綜合成果及待突破事項，未來工作重點如下：

一、海情資料庫系統維護

(一)系統每日定時由專人確認港灣環境資訊網資訊顯示及系統運作狀況，並作成維護紀錄。檢討不正常狀況之發生原因，並研擬改善對策及改善成果之後續追蹤。

1.管理系統設定每日固定時間檢查，專人則負責不定時檢查。

2.檢查狀況可自動產生報表，並顯示異常狀況之相關訊息，以縮短狀況排除之時間。

(二)海氣象觀測資料庫維護。由本中心研究人員檢視各港每月之海氣象資料逐時變化圖及報表，以瞭解資料收集狀況及其品質優劣並作必要之資料管理維護。

(三)資料傳輸、查詢系統及相關硬體設施維護。

二、近岸數值模擬資料庫

(一)配合辦理即時觀測資料與數值模擬計算所得資料落差配合探討、同化驗證及改善。

(二)配合辦理透過數值模擬二維面資料的提供，擴充海氣象觀測子系統及數值預報子系統之系統整合介面控制軟體之功能。

(三)維護資料收集問題及系統之穩定度。

三、港灣環境資訊系統

(一)依使用者需求進行訪談或問卷以進行網頁資料內容及其查詢與展示方式之修改及更新。

(二)維護港灣環境資訊網站系統服務穩定度。

# 第三子計畫

## 颱風波浪頻譜形狀參數之研究（4/4）

# 颱風波浪頻譜形狀參數之研究（4/4）

## 目　　錄


**目錄** ..... Ⅰ

**圖目錄** ..... Ⅲ

**表目錄** ..... ⅩⅢ

**第一章 前言 ..... 1-1**

1.1 研究背景 ..... 1-1

1.2 研究目的 ..... 1-1

**第二章 資料蒐集與波譜形狀參數定義** ..... 2-1

2.1 颱風與波浪資料蒐集 ..... 2-1

2.2 波浪逐時變化與颱風動態 ..... 2-2

2.3 波譜形狀參數之定義 ..... 2-6

**第三章 波譜形狀演變比較及特性分析 ..... 3-1**

3.1 同一測點但不同時間之波譜演變 ..... 3-1

3.2 同一時間但不同測點之波譜演變 ..... 3-4

3.3 綜合討論 ..... 3-5

**第四章 波譜形狀參數分析與比較 ..... 4-1**

4.1 同一測點不同參數間之比較 ..... 4-1

4.2 同一參數不同測點間之比較 ..... 4-2

4.3 綜合討論 ..... 4-3

**第五章 結論與後續課題 .....5-1**

5.1 結論 .....5-1

5.2 後續課題.....5-2

**參考文獻**

# 圖 目 錄

圖 2.1 海棠颱風（Haitang）強度與路徑圖 ..... 2-9
圖 2.2 馬莎（Matsa）颱風強度與路徑圖 ..... 2-9
圖 2.3 珊瑚（Sanvu）颱風強度與路徑圖 ..... 2-10
圖 2.4 泰利（Talim）颱風強度與路徑圖 ..... 2-10
圖 2.5 卡努（Khanun）颱風強度與路徑圖 ..... 2-11
圖 2.6 丹瑞（Damrey）颱風強度與路徑圖 ..... 2-11
圖 2.7 龍王（Longwang）颱風強度與路徑圖 ..... 2-12
圖 2.8 艾維尼（Ewiniar）颱風強度與路徑圖 ..... 2-12
圖 2.9 碧利斯（Bilis）颱風強度與路徑圖 ..... 2-13
圖 2.10 凱米（Kaemi）颱風強度與路徑圖 ..... 2-13
圖 2.11 寶發（Bopha）颱風強度與路徑圖 ..... 2-14
圖 2.12 桑美（Saomei）颱風強度與路徑圖 ..... 2-14
圖 2.13 珊珊（Shanshan）颱風強度與路徑圖 ..... 2-15
圖 2.14 帕布（Pabuk）颱風強度與路徑圖 ..... 2-15
圖 2.15 梧提（Wutip）颱風強度與路徑圖 ..... 2-16
圖 2.16 聖帕（Sepat）颱風強度與路徑圖 ..... 2-16
圖 2.17 韋帕（Wipha）颱風強度與路徑圖 ..... 2-17
圖 2.18 柯羅莎（Krosa）颱風強度與路徑圖 ..... 2-17
圖 2.19 米塔（Mitag）颱風強度與路徑圖 ..... 2-18
圖 2.20 花蓮港波浪觀測儀器佈放位置及其編號 ..... 2-19
圖 2.21 測點編號 06、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化（2005.04.22~2005.05.28） ..... 2-20
圖 2.22 測點編號 06、16、17 及 18 波高週期逐時變化

（2005.04.22~2005.05.28）..... 2-21

圖 2.23 測點編號 06、10、12 及 14 波高週期逐時變化
（2005.06.03~2005.07.09）..... 2-22

圖 2.24 測點編號 06、16、17 及 18 波高週期逐時變化
（2005.06.03~2005.07.09）..... 2-23

圖 2.25 測點編號 05、10、12 及 14 波高週期逐時變化
（2005.07.13~2005.09.17）..... 2-24

圖 2.26 測點編號 05、16、17 及 18 波高週期逐時變化
（2005.07.13~2005.09.17）..... 2-25

圖 2.27 測點編號 06、10、12 及 14 波高週期逐時變化
（2005.09.15~2005.11.02）..... 2-26

圖 2.28 測點編號 06、16、17 及 18 波高週期逐時變化
（2005.09.15~2005.11.02）..... 2-27

圖 2.29 測點編號 06、10、12、14 及 15 波高週期逐時變化
（2006.07.07~2006.08.31）..... 2-28

圖 2.30 測點編號 06、16 及 18 之波高週期逐時變化
（2006.07.07~2006.08.31）..... 2-29

圖 2.31 測點編號 06、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化
（2006.09.02~2006.10.16）..... 2-30

圖 2.32 測點編號 06、17 及 18 之波高週期逐時變化
（2006.09.02~2006.10.16）..... 2-31

圖 2.33 測點編號 06、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化
（2006.10.18~2006.11.14）..... 2-32

圖 2.34 測點編號 06、16、17 及 18 之波高週期逐時變化
（2006.10.18~2006.11.14）..... 2-33

圖 2.35 測點編號 06、10、12 及 15 之波高週期逐時變化
（2007.06.24~2007.08.28）..... 2-34

圖 2.36 測點編號 06、16 及 18 之波高週期逐時變化
（2007.06.24~2007.08.28）..... 2-35

圖 2.37 測點編號 02、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化（2007.08.29~2007.10.12）.....2-36
圖 2.38 測點編號 02、16、17 及 18 之波高週期逐時變化（2007.08.29~2007.10.12）.....2-37
圖 2.39 測點編號 05、12、15 及 16 之波高週期逐時變化（2007.10.13~2007.11.07）.....2-38
圖 2.40 測點編號 06、10、12 及 14 之波高週期逐時變化（2007.11.10~2007.12.04）.....2-39
圖 2.41 測點編號 06、16 及 17 之波高週期逐時變化（2007.11.10~2007.12.04）.....2-40
圖 2.42 以主頻區能量為考察重點參之頻譜分割示意圖 .....2-41
圖 2.43 多峰波譜之波譜分割之示意圖.....2-41
圖 3.1 海棠颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-8
圖 3.2 馬莎颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-9
圖 3.3 珊瑚颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-10
圖 3.4 泰利颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-11
圖 3.5 卡努颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-12
圖 3.6 丹瑞颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-13
圖 3.7 龍王颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-14
圖 3.8 艾維尼颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-15
圖 3.9 碧利斯颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-16
圖 3.10 凱米颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-17
圖 3.11 寶發及桑美颱風各測點波浪不同時間能譜演變 .....3-18
圖 3.12 珊珊颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-19
圖 3.13 帕布及梧提颱風各測點波浪不同時間能譜演變 .....3-20
圖 3.14 聖帕颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-21

圖 3.15 韋帕颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-22
圖 3.16 柯羅莎颱風各測點波浪不同時間能譜演變 .....3-23
圖 3.17 米塔颱風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-24
圖 3.18 東北季風各測點波浪不同時間能譜演變.....3-25
圖 3.19 海棠颱風同時間（07/16 17:00）各測點波浪能譜比較.....3-26
圖 3.20 海棠颱風同時間（07/17 11:00）各測點波浪能譜比較.....3-27
圖 3.21 海棠颱風同時間（07/18 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-28
圖 3.22 海棠颱風同時間（07/19 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-29
圖 3.23 海棠颱風同時間（07/20 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-30
圖 3.24 馬莎颱風同時間（08/03 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-31
圖 3.25 馬莎颱風同時間（08/03 17:00）各測點波浪能譜比較.....3-32
圖 3.26 馬莎颱風同時間（08/04 11:00）各測點波浪能譜比較.....3-33
圖 3.27 馬莎颱風同時間（08/05 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-34
圖 3.28 馬莎颱風同時間（08/06 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-35
圖 3.29 珊瑚颱風同時間（08/11 17:00）各測點波浪能譜比較.....3-36
圖 3.30 珊瑚颱風同時間（08/12 03:00）各測點波浪能譜比較.....3-37
圖 3.31 珊瑚颱風同時間（08/12 11:00）各測點波浪能譜比較.....3-38
圖 3.32 珊瑚颱風同時間（08/13 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-39
圖 3.33 珊瑚颱風同時間（08/13 11:00）各測點波浪能譜比較.....3-40
圖 3.34 泰利颱風同時間（08/30 11:00）各測點波浪能譜比較.....3-41
圖 3.35 泰利颱風同時間（08/31 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-42
圖 3.36 泰利颱風同時間（08/31 17:00）各測點波浪能譜比較.....3-43
圖 3.37 泰利颱風同時間（09/01 05:00）各測點波浪能譜比較.....3-44
圖 3.38 泰利颱風同時間（09/02 00:00）各測點波浪能譜比較.....3-45

圖 3.39 卡努颱風同時間（09/09 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-46
圖 3.40 卡努颱風同時間（09/10 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-47
圖 3.41 卡努颱風同時間（09/10 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-48
圖 3.42 卡努颱風同時間（09/11 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-49
圖 3.43 卡努颱風同時間（09/12 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-50
圖 3.44 丹瑞颱風同時間（09/21 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-51
圖 3.45 丹瑞颱風同時間（09/22 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-52
圖 3.46 丹瑞颱風同時間（09/22 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-53
圖 3.47 丹瑞颱風同時間（09/23 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-54
圖 3.48 丹瑞颱風同時間（09/23 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-55
圖 3.49 龍王颱風同時間（09/29 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-56
圖 3.50 龍王颱風同時間（09/30 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-57
圖 3.51 龍王颱風同時間（10/01 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-58
圖 3.52 龍王颱風同時間（10/02 05:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-59
圖 3.53 龍王颱風同時間（10/03 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-60
圖 3.54 艾維尼颱風同時間（07/07 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-61
圖 3.55 艾維尼颱風同時間（07/08 05:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-62
圖 3.56 艾維尼颱風同時間（07/08 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-63
圖 3.57 艾維尼颱風同時間（07/09 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-64
圖 3.58 艾維尼颱風同時間（07/09 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-65
圖 3.59 碧利斯颱風同時間（07/12 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-66
圖 3.60 碧利斯颱風同時間（07/13 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-67
圖 3.61 碧利斯颱風同時間（07/13 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-68
圖 3.62 碧利斯颱風同時間（07/14 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-69

圖 3.63 碧利斯颱風同時間（07/15 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-70
圖 3.64 凱米颱風同時間（07/23 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-71
圖 3.65 凱米颱風同時間（07/24 05:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-72
圖 3.66 凱米颱風同時間（07/25 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-73
圖 3.67 凱米颱風同時間（07/25 05:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-74
圖 3.68 凱米颱風同時間（07/25 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-75
圖 3.69 寶發及桑美颱風同時間（08/08 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-76
圖 3.70 寶發及桑美颱風同時間（08/09 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-77
圖 3.71 寶發及桑美颱風同時間（08/09 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-78
圖 3.72 寶發及桑美颱風同時間（08/09 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-79
圖 3.73 寶發及桑美颱風同時間（08/10 05:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-80
圖 3.74 珊珊颱風同時間（09/14 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-81
圖 3.75 珊珊颱風同時間（09/15 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-82
圖 3.76 珊珊颱風同時間（09/15 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-83
圖 3.77 珊珊颱風同時間（09/16 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-84
圖 3.78 珊珊颱風同時間（09/16 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-85
圖 3.79 帕布及梧提颱風同時間（08/07 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-86
圖 3.80 帕布及梧提颱風同時間（08/08 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-87
圖 3.81 帕布及梧提颱風同時間（08/08 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-88

圖 3.82 帕布及梧提颱風同時間（08/09 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-89
圖 3.83 帕布及梧提颱風同時間（08/09 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-90
圖 3.84 聖帕颱風同時間（08/17 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-91
圖 3.85 聖帕颱風同時間（08/17 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-92
圖 3.86 聖帕颱風同時間（08/18 05:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-93
圖 3.87 聖帕颱風同時間（08/18 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-94
圖 3.88 聖帕颱風同時間（08/19 05:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-95
圖 3.89 韋帕颱風同時間（09/17 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-96
圖 3.90 韋帕颱風同時間（09/18 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-97
圖 3.91 韋帕颱風同時間（09/18 05:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-98
圖 3.92 韋帕颱風同時間（09/18 11:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-99
圖 3.93 韋帕颱風同時間（09/18 17:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-100
圖 3.94 柯羅莎颱風同時間（10/04 17:00）各測點波浪能譜比較 . 3-101
圖 3.95 柯羅莎颱風同時間（10/05 17:00）各測點波浪能譜比較 . 3-102
圖 3.96 柯羅莎颱風同時間（10/06 05:00）各測點波浪能譜比較 . 3-103
圖 3.97 柯羅莎颱風同時間（10/06 11:00）各測點波浪能譜比較 . 3-104
圖 3.98 柯羅莎颱風同時間（10/07 00:00）各測點波浪能譜比較 . 3-105
圖 3.99 米塔颱風同時間（11/22 00:00）各測點波浪能譜比較 ..... 3-106
圖 3.100 米塔颱風同時間（11/23 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-107
圖 3.101 米塔颱風同時間（11/24 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-108
圖 3.102 米塔颱風同時間（11/25 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-109
圖 3.103 米塔颱風同時間（11/26 00:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-110
圖 3.104 東北季風同時間（10/28 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-111

圖 3.105 東北季風同時間（10/29 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-112
圖 3.106 東北季風同時間（10/30 05:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-113
圖 3.107 東北季風同時間（10/31 05:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-114
圖 3.108 東北季風同時間（11/01 11:00）各測點波浪能譜比較 ... 3-115
圖 3.109 丹瑞颱風港內外各測點水位變化 ... 3-116
圖 3.110 龍王颱風港內外各測點水位變化 ... 3-117
圖 3.111 凱米颱風港內外各測點水位變化 ... 3-118
圖 3.112 珊珊颱風港內外各測點水位變化 ... 3-119
圖 3.113 聖帕颱風港內外各測點水位變化 ... 3-120
圖 3.114 韋帕颱風港內外各測點水位變化 ... 3-121
圖 3.115 東北季風港內外各測點水位變化 ... 3-122
圖 4.1 馬莎颱風波譜形狀參數（左：測點 5；右：測點 10） ... 4-5
圖 4.2 馬莎颱風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 16） ... 4-6
圖 4.3 馬莎颱風波譜形狀參數（左：測點 17；右：測點 18） ... 4-7
圖 4.4 珊瑚颱風波譜形狀參數（左：測點 05；右：測點 10） ... 4-8
圖 4.5 珊瑚颱風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 16） ... 4-9
圖 4.6 珊瑚颱風波譜形狀參數（左：測點 17；右：測點 18） ... 4-10
圖 4.7 泰利颱風波譜形狀參數（左：測點 05；右：測點 10） ... 4-11
圖 4.8 泰利颱風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 16） ... 4-12
圖 4.9 泰利颱風波譜形狀參數（左：測點 17；右：測點 18） ... 4-13
圖 4.10 卡努颱風波譜形狀參數（左：測點 05；右：測點 10） ... 4-14
圖 4.11 卡努颱風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 16） ... 4-15
圖 4.12 卡努颱風波譜形狀參數（左：測點 17；右：測點 18） ... 4-16
圖 4.13 龍王颱風波譜形狀參數（左：測點 06；右：測點 10） ... 4-17

圖 4.14 龍王颱風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 16）....4-18
圖 4.15 龍王颱風波譜形狀參數（左：測點 17；右：測點 18）....4-19
圖 4.16 凱米颱風波譜形狀參數（左：測點 06；右：測點 10）....4-20
圖 4.17 凱米颱風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 15）....4-21
圖 4.18 凱米颱風波譜形狀參數（左：測點 16；右：測點 18）....4-22
圖 4.19 聖帕颱風波譜形狀參數（左：測點 06；右：測點 10）....4-23
圖 4.20 聖帕颱風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 15）....4-24
圖 4.21 聖帕颱風波譜形狀參數（左：測點 16；右：測點 18）....4-25
圖 4.22 東北季風波譜形狀參數（左：測點 06；右：測點 10）....4-26
圖 4.23 東北季風波譜形狀參數（左：測點 12；右：測點 16）....4-27
圖 4.24 東北季風波譜形狀參數（左：測點 17；右：測點 18）....4-28
圖 4.25 馬莎颱風波譜形狀參數 ε 各測點間比較.....4-29
圖 4.26 馬莎颱風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 .....4-29
圖 4.27 馬莎颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較.....4-30
圖 4.28 珊瑚颱風波譜形狀參數 ε 各測點間比較.....4-30
圖 4.29 珊瑚颱風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 .....4-31
圖 4.30 珊瑚颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較.....4-31
圖 4.31 泰利颱風波譜形狀參數 ε 各測點間比較.....4-32
圖 4.32 泰利颱風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 .....4-32
圖 4.33 泰利颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較.....4-33
圖 4.34 卡努颱風波譜形狀參數 ε 各測點間比較.....4-33
圖 4.35 卡努颱風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 .....4-34
圖 4.36 卡努颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較.....4-34
圖 4.37 龍王颱風波譜形狀參數 ε 各測點間比較.....4-35

圖 4.38 龍王颱風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 ..... 4-35
圖 4.39 龍王颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較..... 4-36
圖 4.40 凱米颱風波譜形狀參數 ε 各測點間比較..... 4-36
圖 4.41 凱米颱風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 ..... 4-37
圖 4.42 凱米颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較..... 4-37
圖 4.43 聖帕颱風波譜形狀參數 ε 各測點間比較..... 4-38
圖 4.44 聖帕颱風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 ..... 4-38
圖 4.45 聖帕颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較..... 4-39
圖 4.46 東北季風波譜形狀參數 ε 各測點間比較..... 4-39
圖 4.47 東北季風波譜形狀參數 ν 各測點間比較 ..... 4-40
圖 4.48 東北季風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較..... 4-40

# 表 目 錄

表 2-1 海棠颱風動態資料 ..... 2-42
表 2-2 馬莎颱風動態資料 ..... 2-44
表 2-3 珊瑚颱風動態資料 ..... 2-45
表 2-4 泰利颱風動態資料 ..... 2-46
表 2-5 卡努颱風動態資料 ..... 2-47
表 2-6 丹瑞颱風動態資料 ..... 2-48
表 2-7 龍王颱風動態資料 ..... 2-49
表 2-8 艾維尼颱風動態資料 ..... 2-51
表 2-9 碧利斯颱風動態資料 ..... 2-51
表 2-10 凱米颱風動態資料 ..... 2-52
表 2-11 寶發颱風動態資料 ..... 2-53
表 2-12 桑美颱風動態資料 ..... 2-53
表 2-13 珊珊颱風動態資料 ..... 2-54
表 2-14 帕布颱風動態資料 ..... 2-54
表 2-15 梧提颱風動態資料 ..... 2-55
表 2-16 聖帕颱風動態資料 ..... 2-55
表 2-17 韋帕颱風動態資料 ..... 2-56
表 2-18 柯羅莎颱風動態資料 ..... 2-57
表 2-19 米塔颱風動態資料 ..... 2-57

# 第一章　前　言

## 1.1 研究背景

一般描述波浪最常見也最常使用的是統計的波高及週期。然而實際上波浪具有不規則性，因此，以單一之波高、週期大小（例如示性波高、示性週期）來描述波浪是僅就不規則的波動以統計上的觀點作處理，對於不規則之實質內涵表示是有所不足的。相較而言波浪頻譜對於波浪的不規則性則有較清楚的說明，因為由頻譜分析所得結果可以明瞭波浪在不同頻率（對應於週期）的能量（對應於波高）分佈情形。不過在實用上統計的波高、週期，因為僅以單一數值表示，所以較為方便。相對的，波譜則有一序列相對應之頻率與能量（或振幅）數值（非單一數值）表示，實用上較不方便。然而由於水面波動本身的物理特性，使得波浪之頻譜形狀具有某種程度的一致性。因此，有許多波浪之頻譜表示式被提出，例如常見之 Pierson-Moskowitz 波譜及 JONSWAP 波譜。這些波譜表示式中含有所謂之波譜形狀參數，例如主頻率、頻譜寬度、頻譜窄度、頻譜零階動差及高頻斜率等，波譜表示式即根據這些形狀參數加以定義。換言之，可由這些參數值的大小得知波譜的概略形狀，並進一步瞭解不規則波浪的成分組成。

## 1.2 研究目的

一般常用波譜形狀參數包括頻譜寬度、頻譜窄度及頻譜尖度等，這些參數基本上式由頻譜各階動差的無因次表示式組成。而這些波譜形狀參數在使用上仍有其缺點，例如 Rye 及 Goda 都指出波譜高頻部分，由於割棄（cut-off）的限界（$f_{max}=1/2dt$，與取樣頻率有關）對高階動差造成影響，因此使得形狀參數便得不穩定，例如頻譜寬度參數即含有頻譜第 4 階動差。目前波譜動差皆以頻率為零當作動差軸進行計算，然為何以頻率為零當作動差軸？並沒有相關的說明或討論。

因此本研究第一年（94 年度）嘗試以不同的動差軸，進行實測波譜之各階頻譜動差的計算，然後根據新的頻譜動差值計算各波譜形狀參數，並與原有形狀參數作比較。藉此明瞭不同的動差軸對波譜形狀參數的影響，並作為進一步嘗試定義新的波譜形狀參數的參考。其研究成果包括：（1）頻譜動差階數愈高隨波高成長或衰退的一致性變化趨勢愈不明顯，除第 0 階動差外，低頻區之各階頻譜動差值，絕大部分皆較高頻區為小。（2）頻譜動差值主要是受高頻區影響，而低頻區的影響雖然較小，但其頻譜動差值在高階時之變化趨勢仍與波高有較明顯的一致性，而高頻區則無。（3）在波高的成長或衰退過程中，頻譜形狀之改變沒有對應之趨勢出現。但是該研究僅利用兩個颱風波浪資料進行初步分析，在統計上樣本是不足的。此外，由於實測波浪之頻譜形狀較複雜，不如理論波浪頻譜的單純與平滑。因此，造成分析結果比對上的困難。

因此，本研究第二年（95 年度）先利用已知之理論波浪波譜，例如 JONSWAP 或 Pierson-Moskowitz 波譜，在掌握頻譜形狀的情況下，重新檢視由高低頻區頻譜動差計算之頻譜形狀參數的應用情形。同時也利用波譜主要能量分割觀點定義新的形狀參數及探討其適用性。其研究成果包括：（1）由參考頻率 $f_b=0$ 計算所得之波譜動差值，無法瞭解其主要是受高頻區或低頻區影響。但採用參考頻率 $f_b=F_p$ 及 $f_b=F_E$ 之高、低頻區的分割方法後，發現波譜動差值主要是受高頻區影響，因為高頻區動差值明顯較低頻區為較大。不過其差異隨波譜參數 $\gamma$ 及 $m$ 之增大而減小，尤其是在 Pierson-Moskowitz 波譜的高階動差。以參考頻率 $f_b=F_p$ 及 $f_b=F_E$ 計算所得之高頻區各階動差值非常接近（$f_b=F_p$ 稍大些），低頻區則以 $f_b=F_E$ 較大。（2）高、低頻區之各階動差經無因次整合後，以參考頻率 $f_b=F_p$ 及 $f_b=F_E$ 計算所得之各階新動差隨波譜參數 $\gamma$ 及 $m$ 之變化趨勢與參考頻率 $f_b=0$ 相似，但其值皆較參考頻率 $f_b=0$ 計算者為小。此外 JONSWAP 波譜的新動差隨波譜參數 $\gamma$ 之變化趨勢與 Pierson-Moskowitz 波譜不同，尤其在高階時愈明顯。（3）以新、舊動

差參數分別定義之新、舊波譜形狀參數寬度參數$\varepsilon$及窄度參數$\nu$，無論在 JONSWAP 或 Pierson-Moskowitz 波譜情況，皆不適合直接代替波譜參數$\gamma$值或 $m$ 值。因為新、舊窄度參數$\nu$及寬度參數$\varepsilon$隨波譜參數 $m$ 的變化趨勢與隨波譜參數$\gamma$完全不同，此表示新參數對於波譜形狀的衡量在不同波譜的情況無法獲得一致性的結果。（4）依主頻區能量觀點所定義之新 SB 參數值非常接近波譜形狀參數$\gamma$或 $m$ 之數值，若以主頻區能量佔全部能量之 65% 基準而言，其相對誤差不超過 5% ，因此新 SB 參數可以直接作為波譜形狀參數。換言之，若有一實測正規化波譜，以新 SB 參數值代入理論波譜表示式，即可得該波譜對應之正規化 JONSWAP 波譜或 Pierson-Moskowitz 波譜，而完成波譜擬合過程。

本研究第三年（96 年度）則利用依主頻區能量觀點所定義之新波譜形狀參數 SB 實際應用至實測颱風波浪，探討其波譜形狀之演變過程及不同波譜形狀參數之適用性及相關性。其研究成果包括：（1）在波高成長時段，主頻率往低頻區移動，且低頻區波譜能量密度值明顯逐筆增大，高頻區增大程度則較小，同時波譜形狀變得較尖銳。波高衰退時段，主頻率往高頻區移動，且低頻區波譜能量密度值明顯逐筆減小，高頻區減小程度則較小，且波譜形狀變得較平緩。因此，波浪成長及衰退過程其能量分佈的變化是循相同的途徑來回逐步演變，此與以往的學者研究結果一致。（2）在波浪成長過程正規化波譜形狀由平緩多峰逐漸演變成較尖銳之單峰，反之在波浪衰退過程則由尖銳單峰逐漸演變成平緩多峰的形狀。因此，無論在波浪成長或衰退的時段裡正規化波譜形狀並不一致。（3）以波譜形狀新參數 SB 進行正規化波譜之理論波譜（JONSWAP 及 Pierson-Moskowitz）之擬合，可得理想之結果。因此，新參數 SB 可作為理想的波譜形狀參數，在波譜的擬合應用上則可直接作為理論波譜形狀參數 $\gamma$ 或 $m$ 之替代值。（4）波譜形狀參數隨波高（或週期）之逐時變化並無明顯的一致性變動趨勢，此顯示在波浪的成長或衰退過程中波譜的形狀並無相關性的變化出現。（5）波譜形狀窄度參數 $\nu$ 及寬度參數 $\varepsilon$ 具有正相關性，而波譜尖峰度 $QP$

則與新形狀參數 *SB* 則具有更高的正相關性。至於其他參數間之相關係數值不高，故相關性不明顯。由於波譜尖峰度 *QP* 參數與新形狀參數 *SB* 具有高度相關。因此，經進一步處理後，可同新形狀參數 *SB* 一樣，作為理論波譜擬合時取代 $\gamma$ 或 $m$ 之用。

本研究在本年度以 2005 年至 2007 年間於花蓮港港外與港內同步之波浪觀測資料進行分析。其主要目的為探討港內外波譜形狀演變及其形狀參數之比較，藉此了解花蓮港在颱風期間港內外波動之特性，而對花蓮港港池不穩靜所造成之船舶斷纜問題，提供改善方案研擬之參考。本報告共分五章，第一章說明本計畫緣由及目的。第二章說明颱風與波浪資料之蒐集及波浪隨颱風動態之逐時變化。第三章探討波譜形狀隨不同時間與不同測點之演變趨勢，並說明花蓮港港池發生不穩靜之原因。第四章根據相同測點各波譜形狀參數比較及相同波譜形狀參數各測點間之比較，同時探討各波譜形狀參數隨波高成長或衰退的變化特性。第五章綜合檢討結果提出結論及未來研究方向的建議。

# 第二章 資料蒐集與波譜形狀參數定義

本章除說明颱風與波浪資料蒐集、整理過程外，對於波高、週期隨颱風動態之逐時變化，以花蓮港為對象探討其威脅區域範圍。此外也對一般常用之波譜形狀參數定義作說明。

## 2.1 颱風與波浪資料蒐集

根據本所為探討花蓮港港池共振問題，而於該港港內及港外同步進行量測之颱風波浪資料，選取 2005 年至 2007 年間共計 19 個颱風實測波浪資料進行分析。這 19 個颱風之行進路徑如圖 2-1 至圖 2-19（資料來源：中央氣象局），圖中標示之日期是依格林威治時間為準。由圖中顯示大部分颱風之行進路徑不相同，但某些颱風則非常相似，如 2005 年 7 月之海棠（Haitang）颱風與同年 9 月之泰利（Talim）颱風，不僅路徑相似，在行進過程中之強度變化也很相似。同年 8 月之馬莎（Matsa）颱風與 9 月之卡努（Khanun）颱風也有相同情形。而 2006 年 7 月之碧利斯（Bilis）颱風與 2007 年 10 月之柯羅莎（Krosa）颱風路徑相似但強度不同。此外某些颱風接連發生，因此在西太平洋海域同時有 2 個颱風出現，如 2006 年 8 月之寶發（Bopha）颱風與桑美（Saomai）及 2007 年 8 月之帕布（Pabuk）颱風與梧提（Wutip）颱風。依花蓮港地理位置而言，這 19 個颱風之路徑可大致分為 4 類：（1）颱風中心於臺灣東部陸地登陸，如海棠、泰利、龍王（Longwang）、凱米（Kaemi）、寶發、梧提及聖帕（Sepat）颱風（2）颱風中心於臺灣北部海面經過，如馬莎、卡努、碧利斯、桑美、韋帕（Wipha）及柯羅莎颱風（3）颱風中心由巴士海峽穿過，如珊瑚（Sanvu）、丹瑞（Damrey）、帕布及米塔（Mitag）颱風（4）颱風中心於臺灣東部外海掠過，如艾維尼（Ewiniar）及珊珊（Shanshan）颱風。各颱風之編號、警報期間、中心位置經緯度、強度、中心氣壓、七級暴風半徑等資料整理如表 2-1 至表 2-19（資料來源：中央氣象局）。

本所於 2005 年至 2007 年間在花蓮港進行港內外波浪同步觀測計畫，其計畫目的之一為瞭解花蓮港颱風期間港內繫泊船隻易斷纜是否是港池共振所造成？以往雖然也有颱風波浪觀測計畫，但港內外同步觀測資料很少，僅粗略知道港內部分碼頭區有明顯長週期的波動存在，而此長週期成分的能量在港外與港內隨時間之變化情形則不夠清楚。因此，國內外部分學者專家對於花蓮港是否有港池共振的現象？仍存疑。同時對於如果不是港池共振現象則港內長週期波動的原因有各種不同觀點，而此也造成目前仍無法研定有效的花蓮港港池不穩靜改善方案。

本計畫之波浪觀測儀器係使用國內鎮儀公司出產之型號S700壓力式波浪儀共計 19 部，分別安置在花蓮港東防波堤堤頭處 9 部（依田字型排列），其餘 9 部則分別安置在港內不同地點，其佈置如圖 2-20。圖中編號 1~9 為港外測點（水深約 18m，本研究僅取測點 6 或 5 作分析）、測點編號 10（水深約 20m）為港口入口處、測點編號 11（水深約 16m）為 25 號與 24 號碼頭轉角處、測點標號 12（水深約 14m）為 22 號碼頭處、測點標號 13（水深約 13m）為新東防堤港內側、點標號 14（水深約 11m）為窄航道入口前、測點標號 15（水深約 10m）為窄航道處、測點標號 16（水深約 7m）為漁港出口處、測點標號 17（水深約 8m）為 11 號碼頭處、測點標號 18（水深約 9m）為 8 號碼頭處。波浪觀測時距為 1 小時，觀測時間長度 10 分鐘，取樣頻率 2Hz。配合儀器的收放作業在 2005 年至 2007 年間總計有 11 個時段觀測紀錄，各時段紀錄中可能含有颱風及季風波浪資料。

## 2.2 波浪逐時變化與颱風動態

將 2005 年至 2007 年各觀測時段各測點之示性波高（以下簡稱波高）、示性週期（以下簡稱週期）逐時變化繪製如圖 2-21~圖 2-41。除測點編號 11 及 13 外，部分測點由於資料品質不佳，故略去不作繪製。圖中黑實線為波高、藍十字點為週期，同時對波高較大（或週期較長）部分，另標示颱風名稱或強勁季風或未知等特殊氣象條件。由波高及

週期之逐時變化檢視，發現其與颱風動態有密切關係。例如依港外測點編號 6 或 5 發現在無特殊氣象情況下之平常時期波高約在 1m 以下，週期則大約維持在 6~8sec 之間，但颱風或季風期間波高、週期明顯增大，波高可達 10m 以上，週期則達 12~15sec 之間。影響波高、週期逐時變化趨勢之颱風動態包括颱風強度、移動路徑、移動速度及陸地效應等。例如聖帕颱風因為屬強烈颱風且其移動路徑穩定直接侵襲花蓮港海域，所以最大波高達 10.7m，如圖 2-35，此與 1994 年提姆颱風同樣為最大歷史紀錄。以移動路徑相似之碧利斯與柯羅莎颱風來比較，由於前者為中度颱風而後者為強度颱風。因此，柯羅莎之波高較碧利斯大，如圖 2-29 與圖 2-37。同樣以移動路徑相似之海棠與泰利颱風來比較，由於前者颱風中心在接近花蓮港時有近似滯留（即移動速度減緩）。因此，海棠之波高較泰利為大，如圖 2-25。同樣移動路徑相似之馬莎與卡努颱風，由於前者移動速度較慢。因此，馬莎之波高較卡努為大，如圖 2-25。以強度同為中度之凱米與桑美颱風來比較，由於前者移動路徑為颱風中心登陸台灣東部陸地（依前節所述之第 1 類路徑），而後者颱風中心於臺灣北部海面經過（依前節所述之第 2 類路徑）。因此，凱米之波高較桑美為大，如圖 2-29。以強度及路徑皆相似之海棠與龍王颱風作比較，由於前者移動速度較慢。因此，兩者雖然波高相近，但海棠颱風影響時間較長約 4 日，而龍王颱風較短約 2 日，如圖 2-25 與圖 2-27。此外中度颱風珊珊由於移動速度非常緩慢，因此，其影響時間長達 6 日，在此長時間之颱風持續作用下，即使颱風未登陸其波高最大也已達 6m 左右，實不可忽視，如圖 2-31。颱風強度受陸地的影響非常明顯，例如海棠、龍王、泰利及聖帕等強烈颱風由於登陸臺灣陸地，颱風強度迅速由強烈轉中度再轉輕度後進入中國大陸，而波高也隨之迅速減小。另外中度颱風馬莎及卡努未登陸臺灣，而於進入中國大陸後才轉為輕度，同樣中度颱風艾維尼及珊珊也未登陸臺灣，前者於接近韓國時才減弱為輕度，後者則於接近日本時才減弱為輕度。在 2005 年至 2007 年資料蒐集期間共有兩組同一時間有 2 個颱風出現，他們分別是 2006 年 8 月之寶發與桑美颱風及 2007 年 8 月之帕布與梧提颱風，其中除桑美為中度颱風外其餘皆為輕度颱風，由圖

2-29 及圖 2-35 檢視發現颱風期間波高最大值約 4m 左右且其逐時變化似有雙峰現象，此是否為颱風共伴效應下之結果？待蒐集更多資料後再作做進一步探討。由圖 2-21 至圖 2-41 中發現某些時段波高有明顯增大現象，但對照颱風發布期間及花蓮港風力實測資料，發現其增大原因不明（圖中標示”Unknown”），不過初步研判有可能仍是颱風波浪。因為本研究目前颱風蒐集是依中央氣象局颱風警報發布資料為準，對於西太平洋之遠洋颱風可能對臺灣不具威脅，故中央氣象局未發布颱風警報，但該遠洋颱風波浪仍可能傳遞至花蓮港。同樣上述圖中標示”Monsoon”部分則表示該時段無颱風發生但花蓮港實測風速明顯增大之情況。以圖 2-41 所示在米塔颱風發生之前已有一強勁東北季風出現，在颱風與東北季風雙重作用下，波高超過 2m 持續有 5 日之久。

綜合而言，颱風波浪之波高、週期逐時變化大致上隨颱風接近與遠離而分別出現增大與減小趨勢。但由於颱風強度、移動路徑、移動速度及陸地效應等颱風動態的不穩定，使波高週期變化趨勢會有差異，這些差異包括波高與週期大小、颱風作用時間的長短、波高大及減小速率等。此外中央氣象局雖未發布颱風警報，但花蓮港港域仍有可能出現遠洋颱風波浪，需特別注意。

對照波高變化及颱風移動行經區域，發現颱風若行經北緯 $15^{o}$ 至 $24^{o}$ 東經 $121^{o}$ 至 $130^{o}$ 之方形區域範圍並由東南方向逼近花蓮港，則颱風波浪波高值相對較大。進一步將方形區域斜切成右上半部及左下半部，則颱風行經左下半部之波高較右上半部為大。例如同屬強烈颱風之聖帕及海棠，由於前者行經左下半部區域，故其波高（波高最大值約 10.7m）較行經右上半部區域之海棠（波高最大值約 8.6m）為大。又如輕度颱風珊瑚與中度颱風卡努，前者雖然是輕度颱風但由於行經左下半部區域，故其波高（波高最大值約 5.2m）仍較行經右上半部區域之中度颱風卡努（波高最大值約 1.9m）為大，如圖 2-25。

綜合而言，北緯 $15^{o}$ 至 $24^{o}$ 東經 $121^{o}$ 至 $130^{o}$ 之方形區域範圍，對花蓮港而言是危險區域，尤其是方形左下半部區域，當颱風行經此區域應提高警覺，此對後續研擬花蓮港港池不穩靜改善方案提供有效的

參考。另外要強調的是波高最大值與颱風中心是否由花蓮港附近通過（或登陸）也有密切關係。由歷年觀測資料顯示花蓮港颱風波浪之可能波高最大值估計約 12m、對應周期則約 16sec。

以上係針對港外測點編號 5 或 6 之波高週期逐時變化與颱風動態作分析說明，而港內各測點與港外測點相較則發現波高明顯減小，此顯示花蓮港外廓防波堤具有之遮蔽效果。依圖 2-25 及圖 2-26 為例，海棠颱風侵襲期間港外測點編號 5 之波高最大值達 8.6m，而港內測點編號 10、12 及 14 其波高最大值已減小至 2m 左右，至於港內測點編號 16 其波高最大值更進一步減小至 0.25m，但測點編號 17 及 18 則僅再減小一些分別為 1.1m 及 1.8m，已超過一般港內船舶泊靠設計條件。週期部分港內測點編號 10、12 及 14 其週期大約集中在 20sec 左右較港外測點編號 5 之 15sec 稍大些，但港內測點編號 16、17 及 18 則出現 100sec 以上之週期，而且較不集中，尤其是測點編號 17。上述這些港內外波高及週期之比較結果在泰利颱風也有相同情形。對於非颱風侵襲期間之週期變化在某些時段港內各測點也都出現較分散的情況，如圖中之 8 月 17 日至 24 日，如測點 12 出現週期接近 80sec，此顯示港內有可能出現較長週期的波動現象，而且不僅限於在颱風侵襲期間。再以圖 2-27 及圖 2-28 為例，龍王颱風侵襲期間港外測點編號 6 之波高最大值達 7.9m，而港內測點編號 10、12 及 14 其波高最大值已大幅減小至 1.7m 左右，但港內測點編號 16、17 及 18 之波高最大值則僅分別減小為 1.1m、1.6m 及 1.7m，同樣也不符合設計條件。週期部分港內測點編號 10、12 及 14 其週期同樣大約集中在 20sec 左右較港外測點編號 5 之 15sec 稍大些，但港內測點編號 16、17 及 18 也出現 100sec 以上之週期，大部分界於 60~100sec 之間較不集中，尤其是測點編號 17。另外檢視圖 2-33 及圖 2-34 所標示強勁東北季風期間之波高週期變化發現也有類似情形，港外測點編號 6 之波高最大值達 2.8m，而港內測點編號 10、12 及 14 其波高最大值則分別減小為 0.75m、1.35m 及 0.25m ，在此值得注意的是編號 12 之 22 號碼頭其波高較大，而港內測點編號 16、17 及 18 之波高最大值則分別減小為 0.08m、0.12m 及 0.22m。週期部分港

內測點編號 10、12 及 14 其週期也是大約集中在 20sec 左右較港外測點編號 6 之 10sec 稍大些，但港內測點編號 16、17 及 18 雖未出現 100sec 以上之週期，大部分界於 30~60sec 之間較不集中。

綜合而言，港內測點之波高與港外相較有明顯減小，可見花蓮港之防波堤設施已發揮一定之遮蔽作用，若嚴格講應該是僅對於短週期成分波而言。在強烈颱風侵襲時，由於港外波高最大可達 10m，因此，港內仍會出現達 1.5m 以上之波高，此已不符合港內船舶泊靠之安全需求。此外港內分屬測點編號 16、17 及 18 之漁港出口處、11 號碼頭及 8 號碼頭可能出現達 100sec 以上之長週期波動，而且此現象在季風期間也可能出現。港內分屬測點編號 10、12 及 14 之港口處、22 號碼頭及窄航道入口處在颱風侵襲間週期大約集中在 20sec 左右，但在非颱風侵襲期間也仍可能出現近 80sec 之長週期波動。一般船舶處於波高達 1.5m 且週期達 100sec 以上之波浪作用下是無法安全繫纜泊靠，此或許是花蓮港船舶斷纜之原因。若詳細比較港內各測點之波高與週期，可發現有些許差異，此包括測點編號 17 較易出現 100sec 以上之長週期波、測點編號 16 之波高最小、測點編號 10 之波高最大及測點 18 之波高皆較測點 17 與 16 大等，此表式船舶靠泊在港內不同碼頭時所遭受之波浪作用會有不同。另外要強調的是依示性波之統計定義而言，若長週期成分波之波高較小而短週期之波高較大，則可能出現長週期成分波未納入統計分析計算。因此，上述港外測點之示性波統計波高與週期很可能不包含長週期成分波，此表示由浪浪統計資料無法確認港外長週期成分波之波高與週期，此部分將在下一章利用波譜分析作進一步探討，以瞭解長週期成分波在港外與港內之詳細變化情形。

## 2.3 波譜形狀參數之定義

海洋波浪之能量結構組成，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常見波譜形狀參數如下：

Longuet-Higgins(1956)所提出之波譜形狀窄度參數

$$\nu = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1} \tag{2-1}$$

及波譜形狀寬度參數

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \tag{2-2}$$

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

Goda, Y.（1970）認為窄度及寬度參數不能顯示波譜尖峰形狀，故另定義尖峰度如下：

$$QP = \frac{2}{m_0} \int_0^\infty f S^2(f) df \tag{2-3}$$

此外在本計畫歷年研究中基於波浪之波譜能量在尖峰頻率處最大且大部分集中於此頻率附近。因此，由尖峰頻率附近之能量佔全部總能量之百分比作考量，將頻譜分割成主頻區及副頻區如圖 2-42。由於主頻區頻率範圍屬頻率軸上的變化，而能量密度最大值則屬能量軸上的變化，因此本文定義兩個新無因次參數 S 及 B 如下：

$$S = S(f_P) / S_C \tag{2-4}$$

$S(f_P)$：尖峰頻率之能量密度；

$S_C$：主頻區能量基準

$$B = (f_{\max} - f_{\min}) / (fH - fL) \tag{2-5}$$

$f_{\max}$：頻率最大值；

$f_{\min}$：頻率最小值；

$fH$：主頻區頻率最大值；

*fL*：主頻區頻率最小值

基本上無因次參數 *S* 與波譜形狀之尖銳程度有關，因為當 $S(f_p)$值愈大，而參數 *S* 也愈大，故可視為波譜尖度參數。主頻區之能量基準 $S_c$ 係以主頻區能量總和佔全部頻區總能量之百分比而定，參照以往分析結果採用 65%。無因次參數 *B* 則與波譜形狀之寬度程度有關，因為當主頻區頻率範圍愈小即 *fH-fL* 值愈小，因而參數 *B* 愈大，故可視為波譜寬度參數。

當頻譜形狀出現多峰時，如圖 2-43，本方法會有頻譜分割後出現多個主頻區問題，此時參數 *B* 必須進一步修改成如下：

$$B = PE \Big/ \sum_{i=1}^{n} \left[ \left( fH_i - fL_i \right) \times \int_{fL_i}^{fH_i} S(f)df \right] \qquad (2\text{-}6)$$

$$PE = \left( f_{\max} - f_{\min} \right) \times \sum_{i=1}^{n} \int_{fL_i}^{fH_i} S(f)df$$

為了方便比較，本文將上述兩種無因次參數結合為一新無因次參數 *SB* 如下：

$$SB = a \times \left( S \times B \right)^b \qquad (2\text{-}7)$$

上式中 *a,b* 為待定係數。*SB* 參數經分別以 JONSWAP 及 P-M 正規化波譜之 $\gamma$ 與 $m$ 形狀參數，依最小二乘方法回歸求得待定係數。JONSWAP 波譜之 *a,b* 值分別為 0.0887 與 0.9612；P-M 波譜之 *a,b* 值則分別為 0.8222 與 0.7244。待定係數與頻率最大值與最小值有關，上述待定係數值是依頻率最小值為 0；頻率最大值為 5.0 作計算範圍。

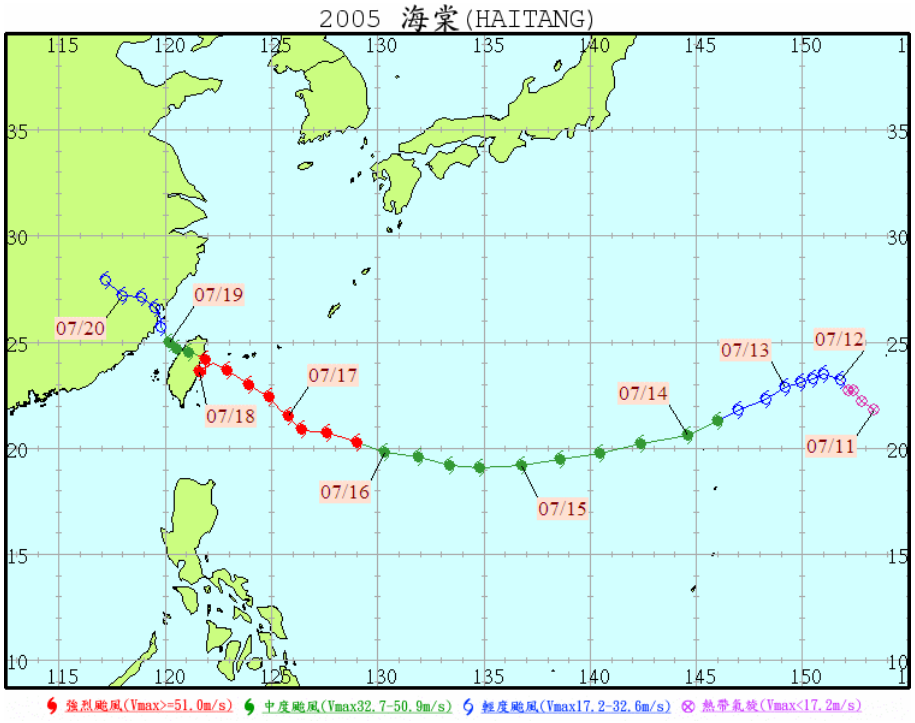



圖 2-1 海棠（Haitang）颱風強度與路徑圖

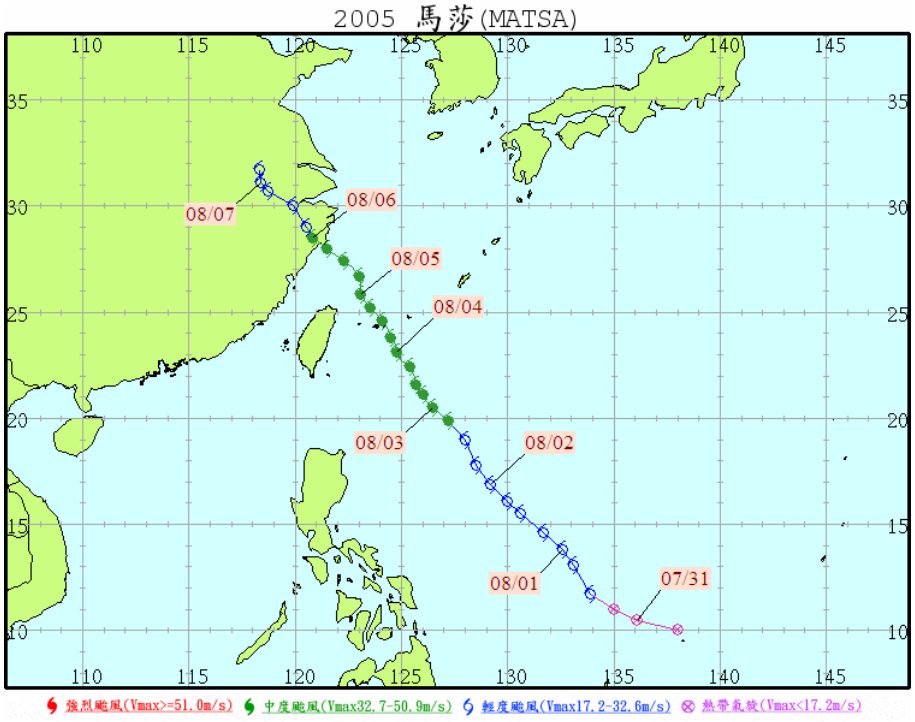



圖 2-2 馬莎（Matsa）颱風強度與路徑圖

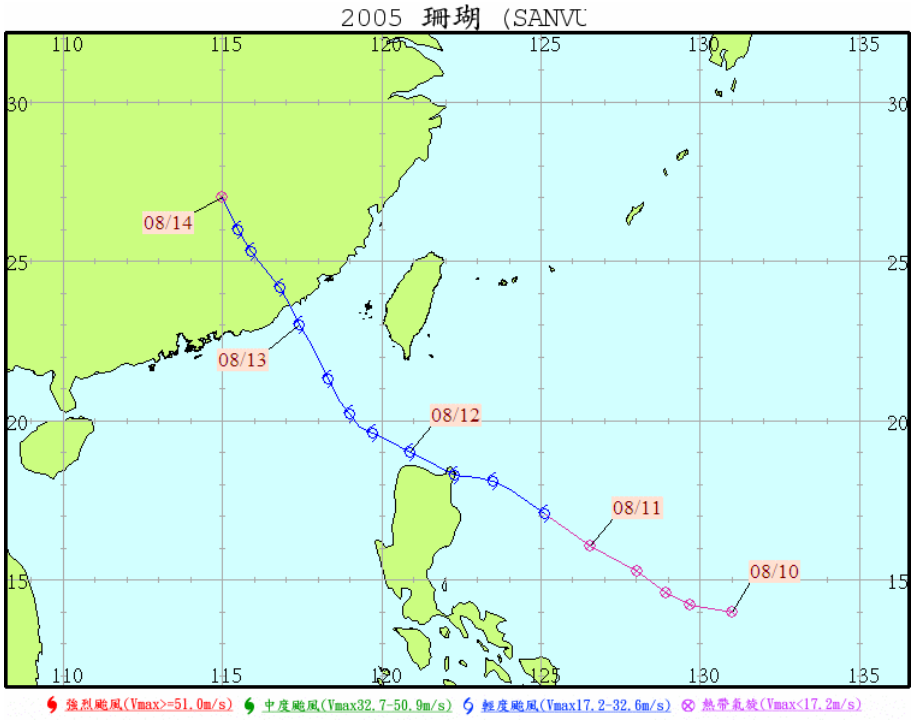



圖 2-3 珊瑚（Sanvu）颱風強度與路徑圖

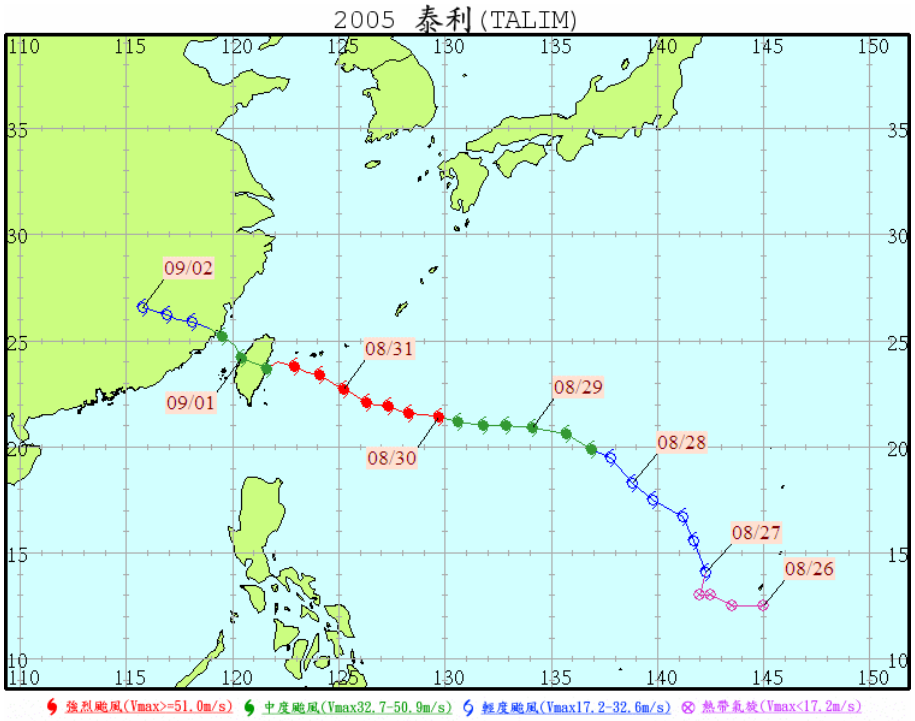



圖 2-4 泰利（Talim）颱風強度與路徑圖

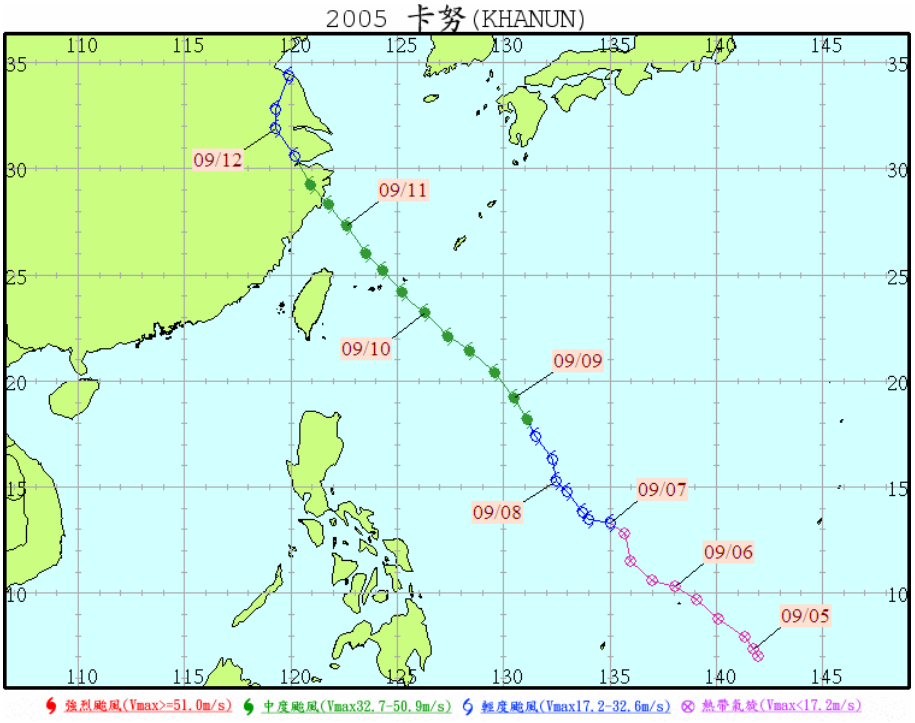



圖 2-5 卡努（Khanun）颱風強度與路徑圖

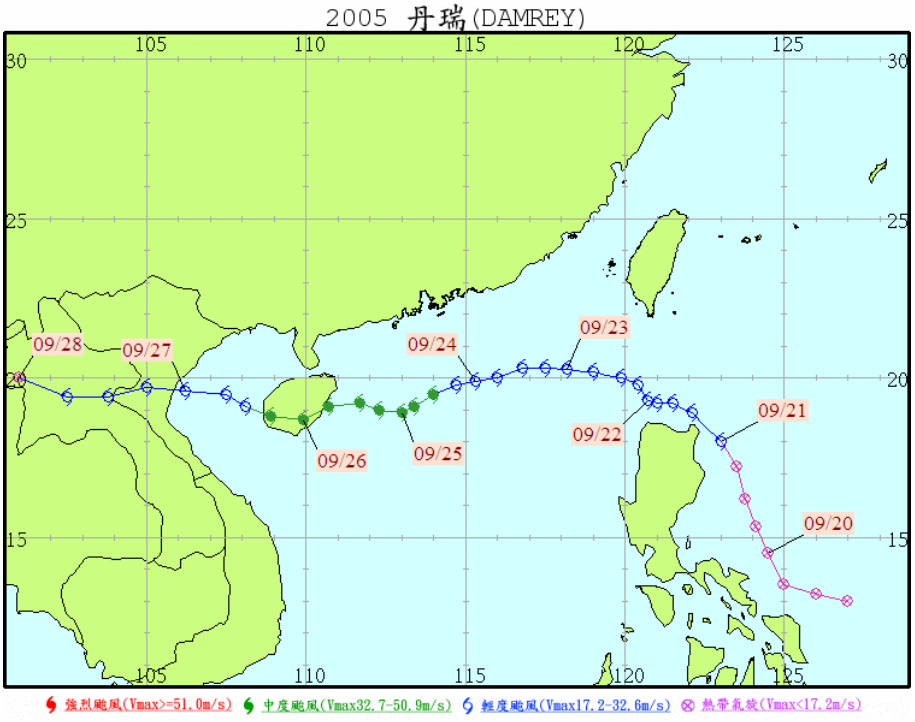



圖 2-6 丹瑞（Damrey）颱風強度與路徑圖

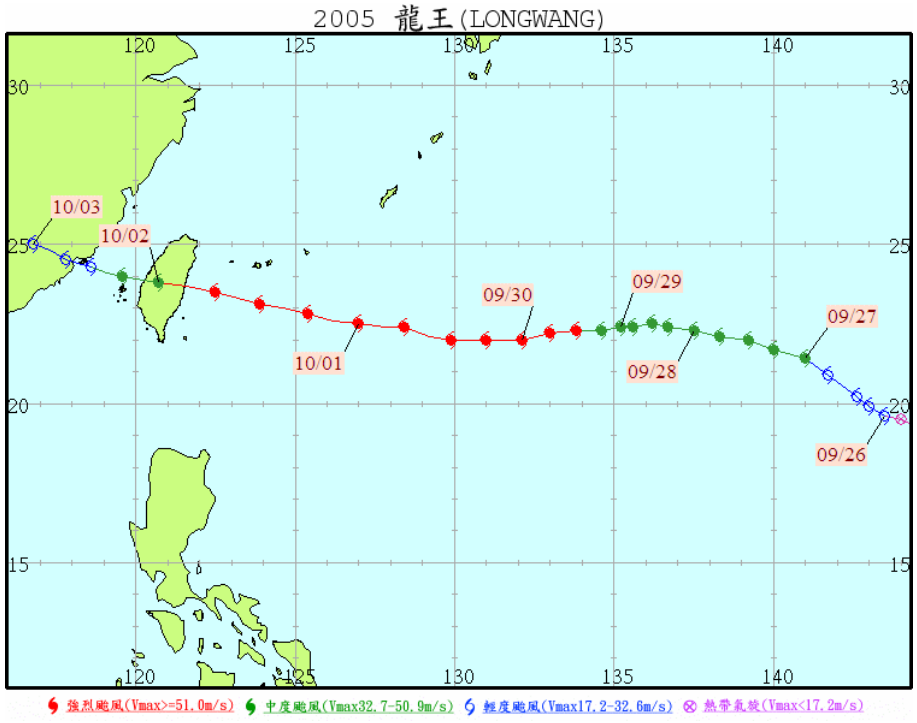



圖 2-7 龍王（Longwang）颱風強度與路徑圖

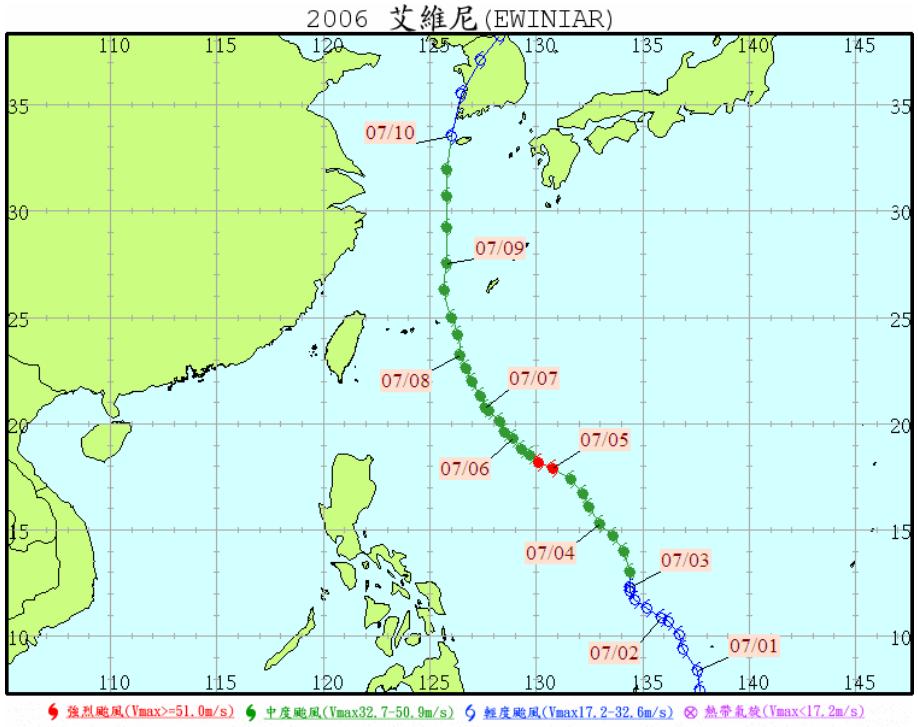



圖 2-8 艾維尼（Ewiniar）颱風強度與路徑圖

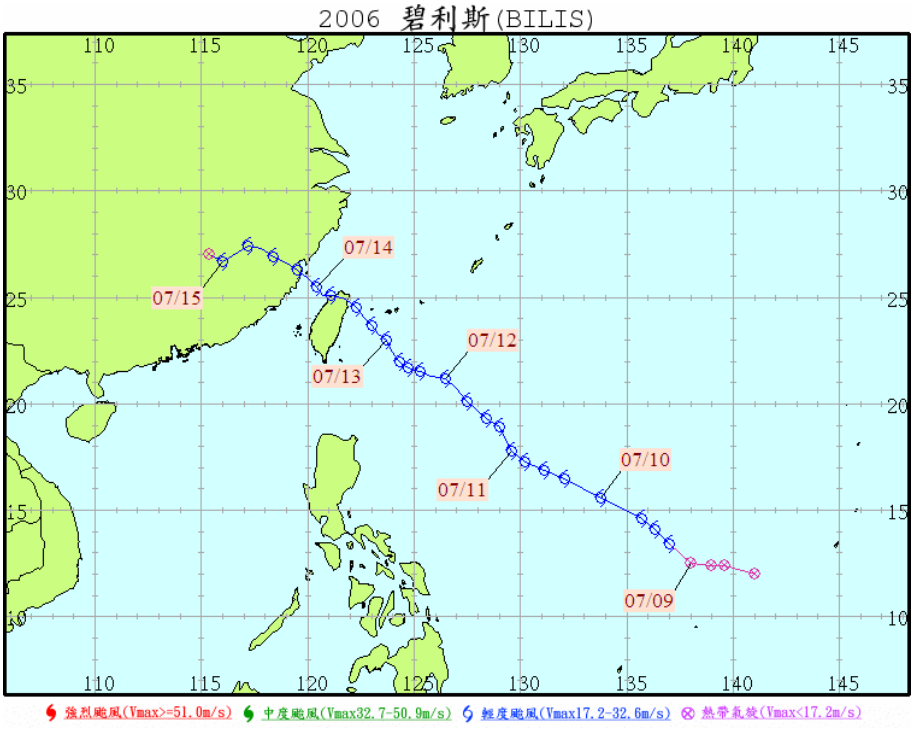



圖 2-9 碧利斯（Bilis）颱風強度與路徑圖

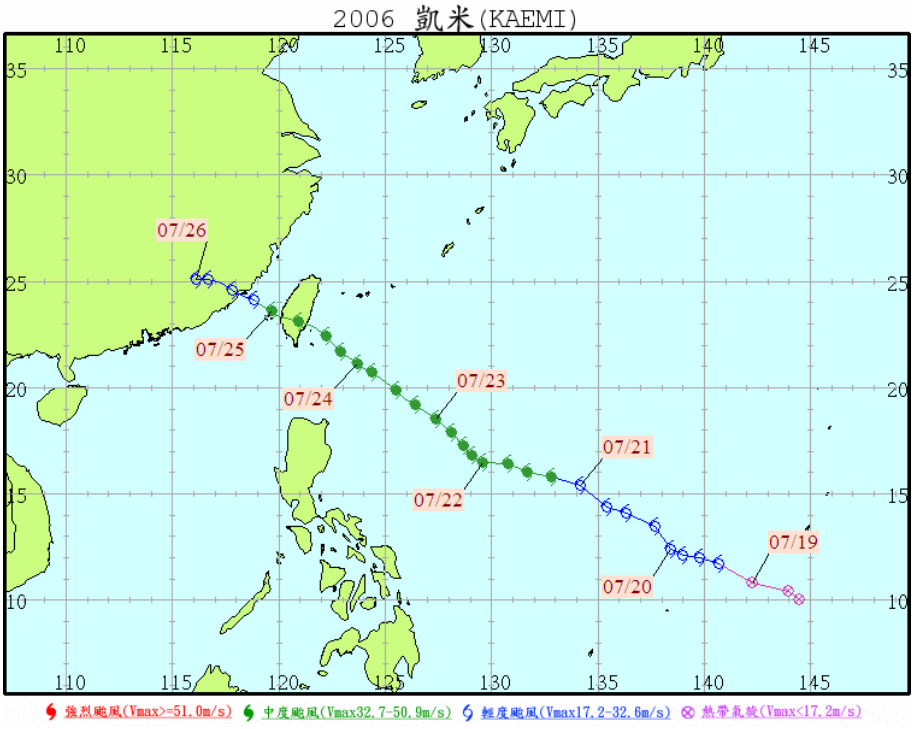



圖 2-10 凱米（Kaemi）颱風強度與路徑圖

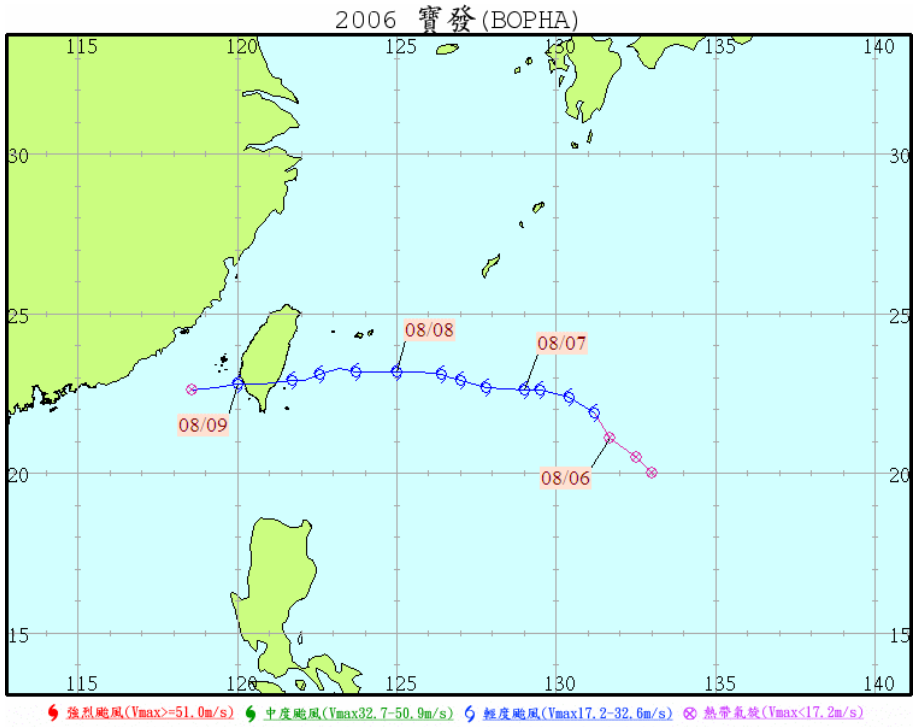



圖 2-11 寶發（Bopha）颱風強度與路徑圖

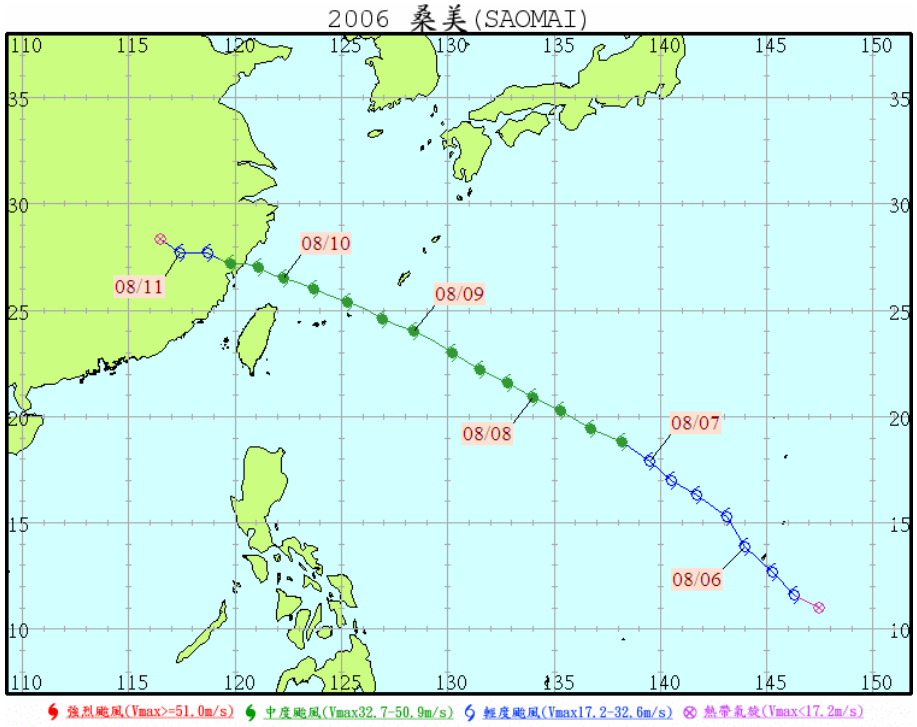



圖 2-12 桑美（Saomei）颱風強度與路徑圖

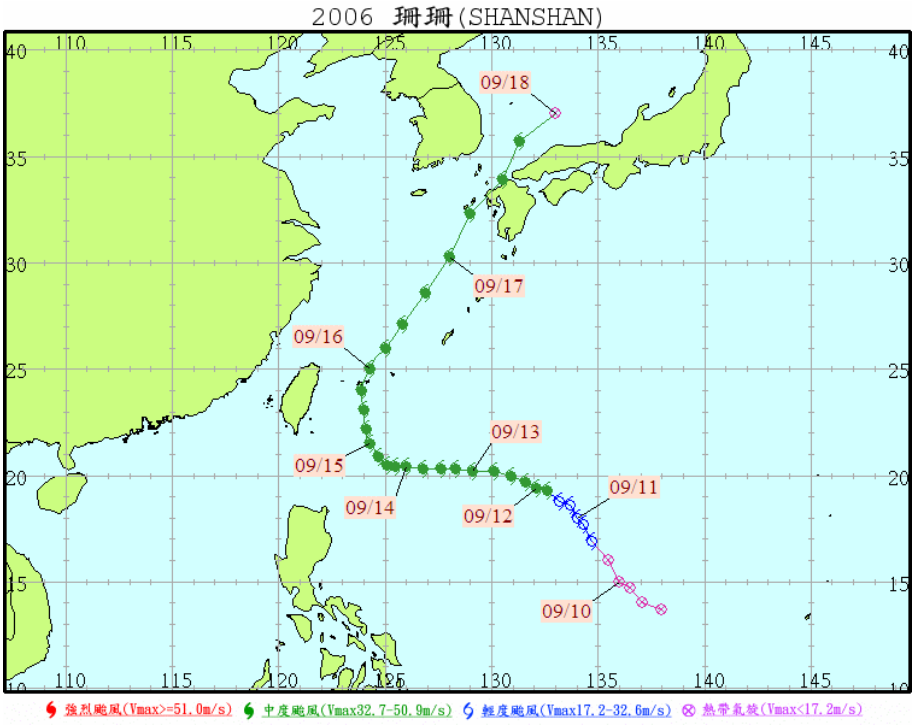



圖 2-13 珊珊（Shanshan）颱風強度與路徑圖

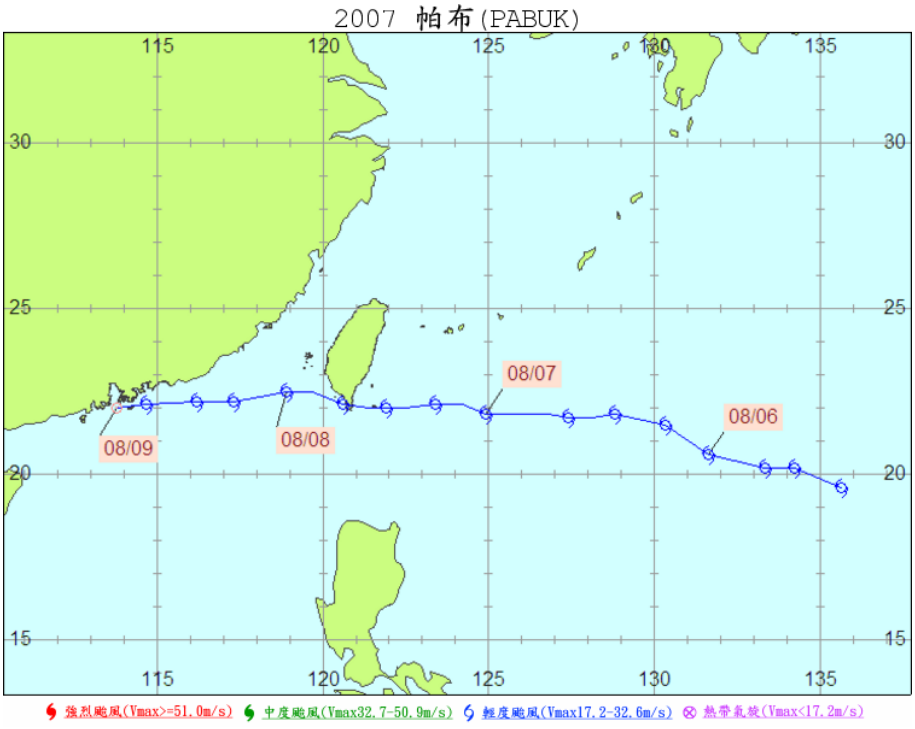



圖 2-14 帕布（Pabuk）颱風強度與路徑圖

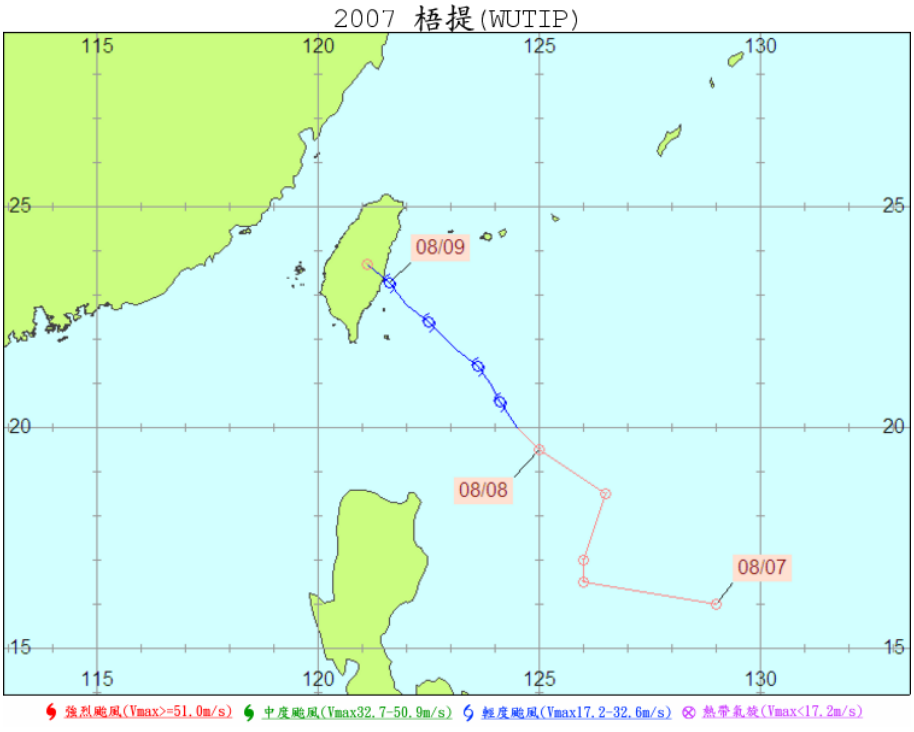



圖 2-15 梧提（Wutip）颱風強度與路徑圖

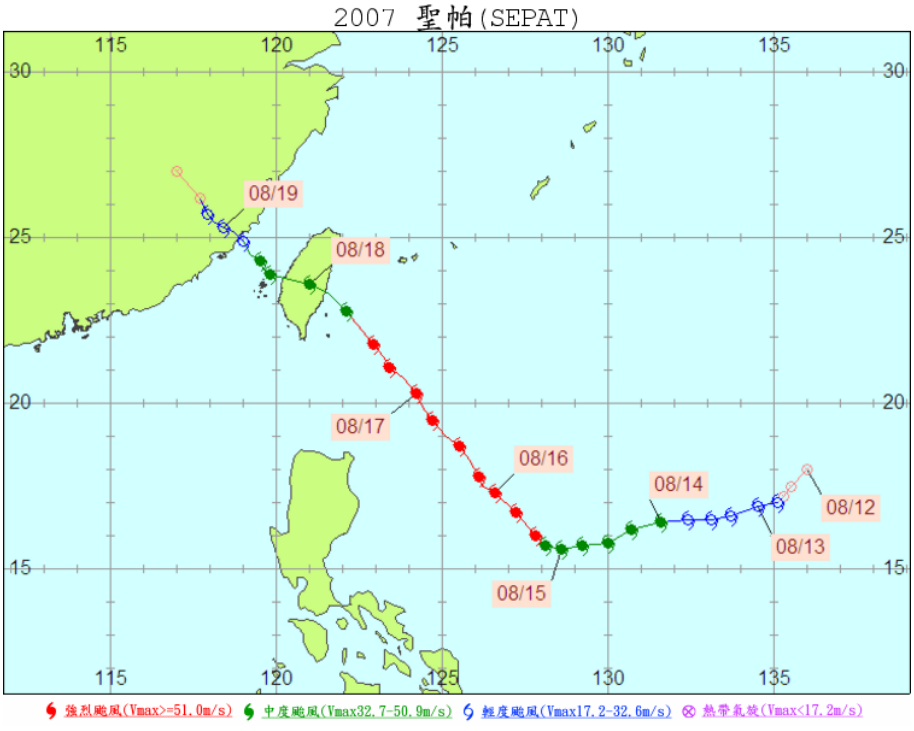



圖 2-16 聖帕（Sepat）颱風強度與路徑圖

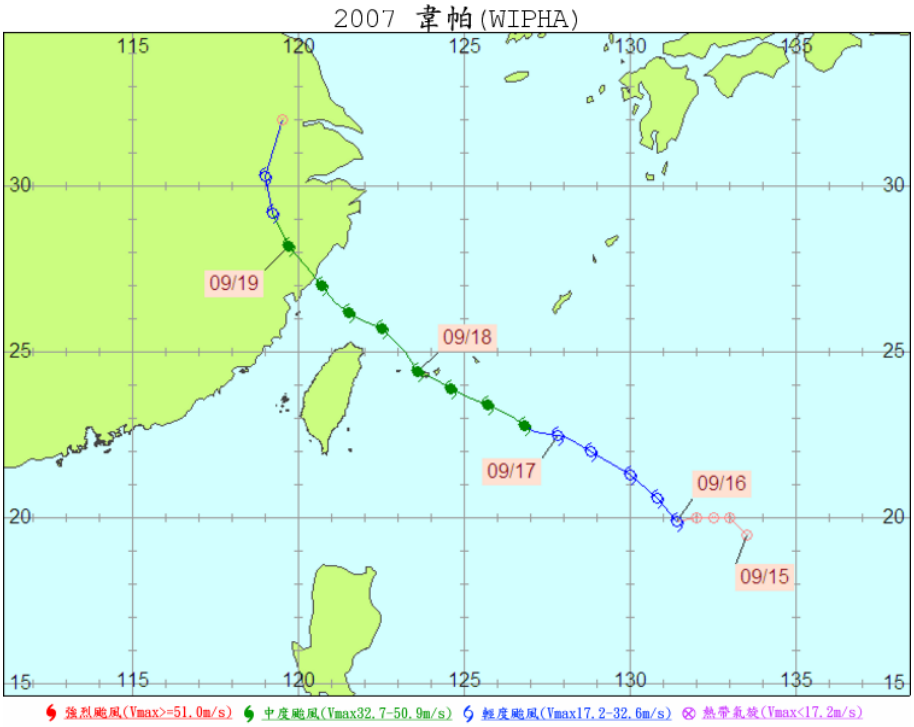



圖 2-17 韋帕（Wipha）颱風強度與路徑圖

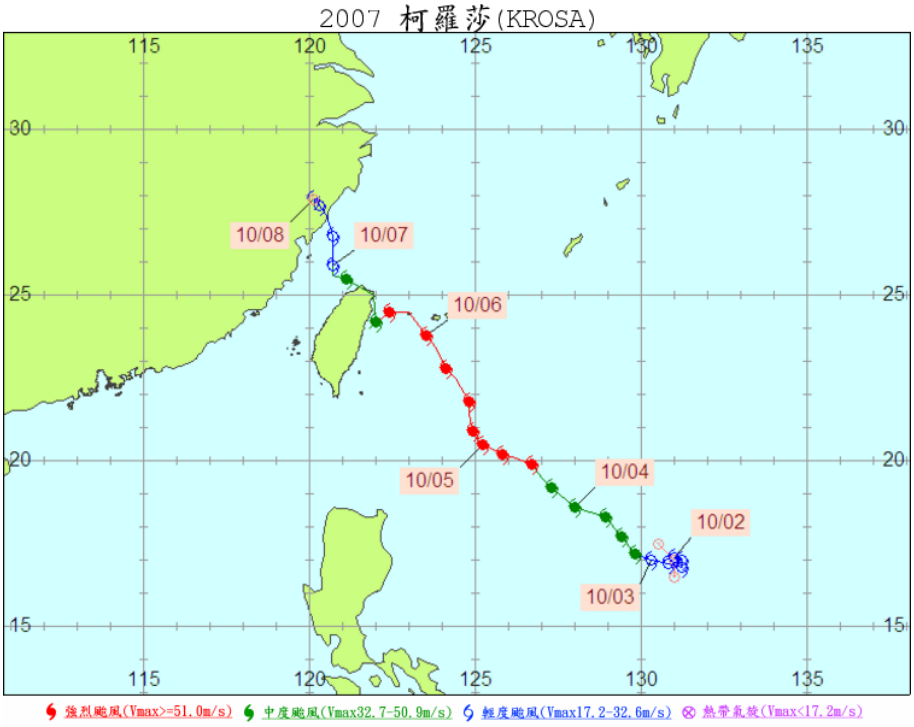



圖 2-18 柯羅莎（Krosa）颱風強度與路徑圖

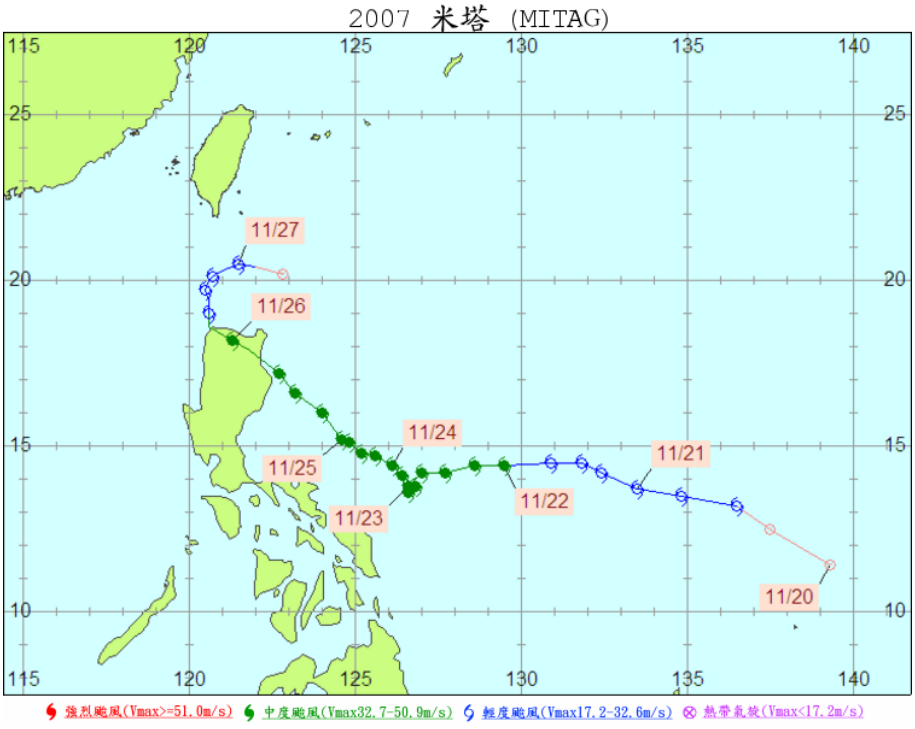



圖 2-19 米塔（Mitag）颱風強度與路徑圖




圖 2-20 花蓮港波浪觀測儀器佈放位置及其編號

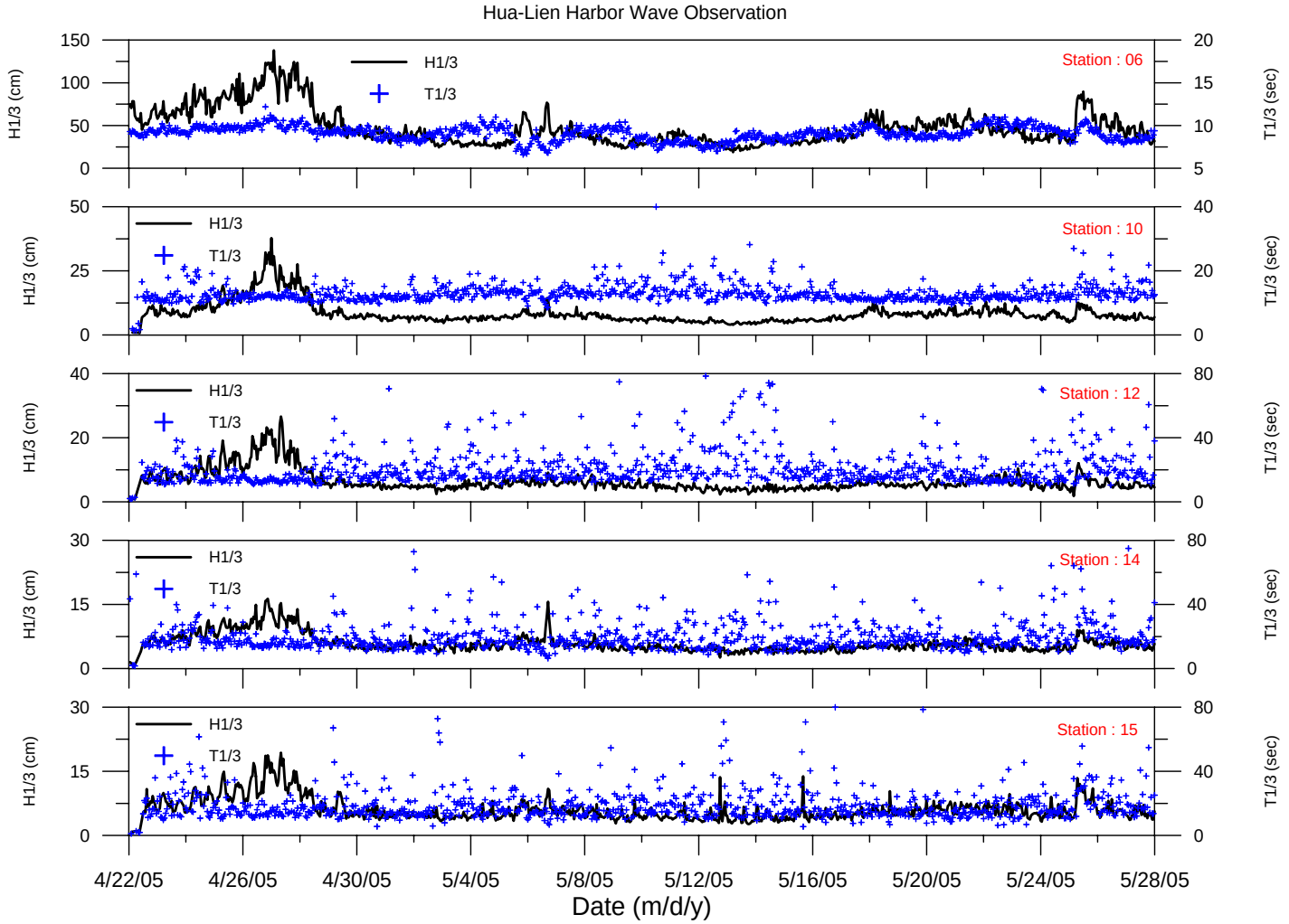



圖 2-21 測點編號 06、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化（2005.04.22~2005.05.28）

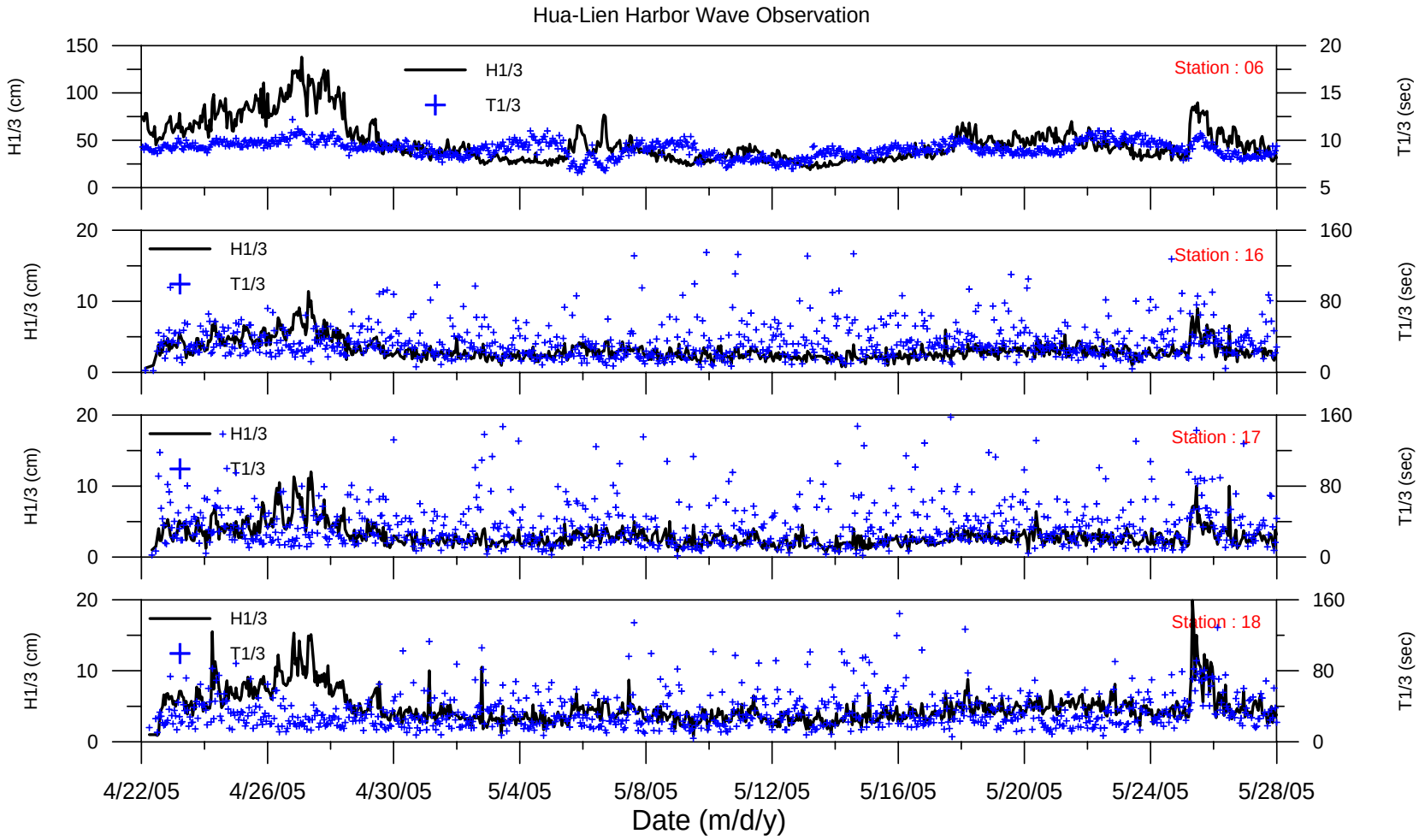



圖 2-22 測點編號 06、16、17 及 18 之波高週期逐時變化（2005.04.22~2005.05.28）

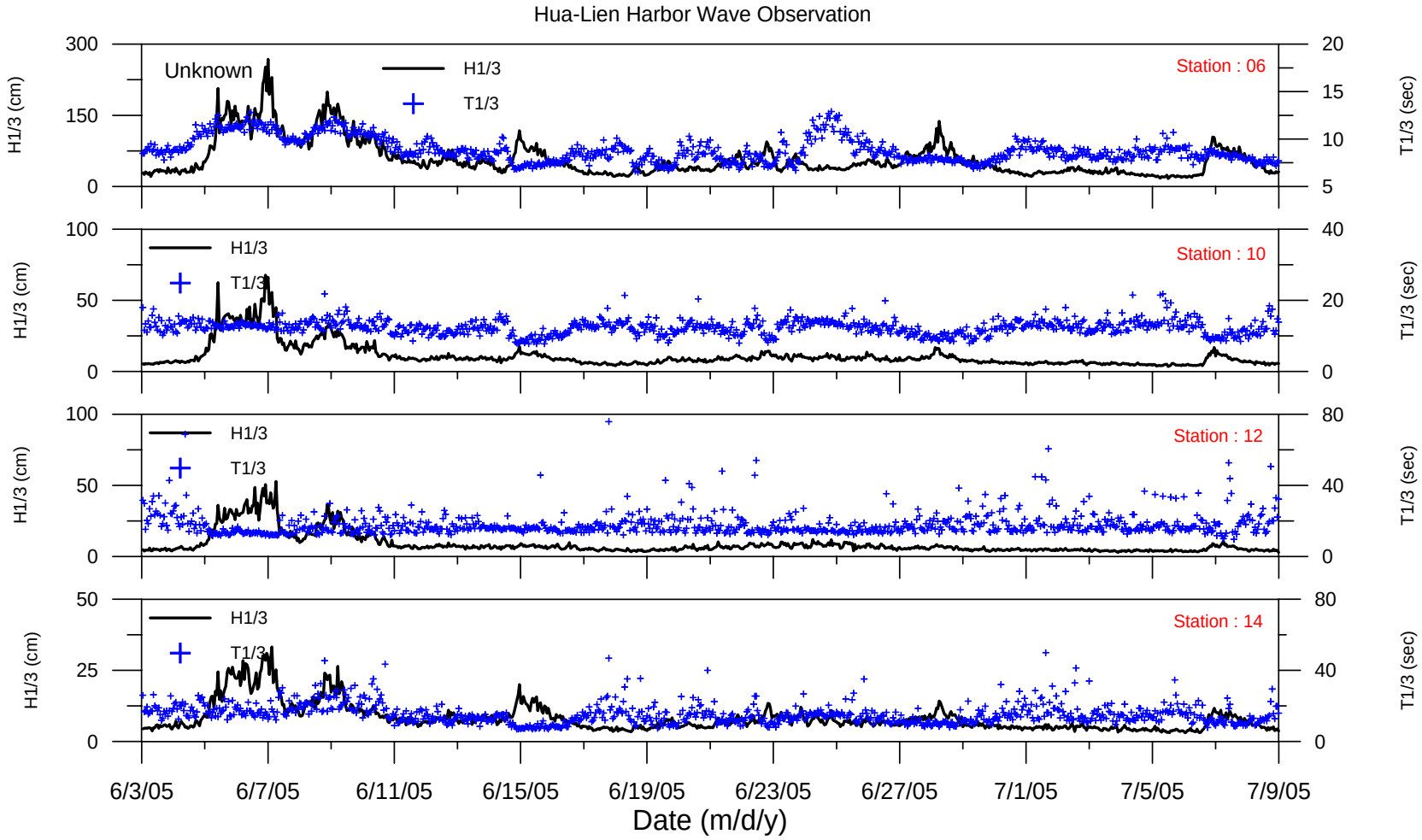



圖 2-23 測點編號 06、10、12 及 14 之波高週期逐時變化（2005.06.03~2005.07.09）

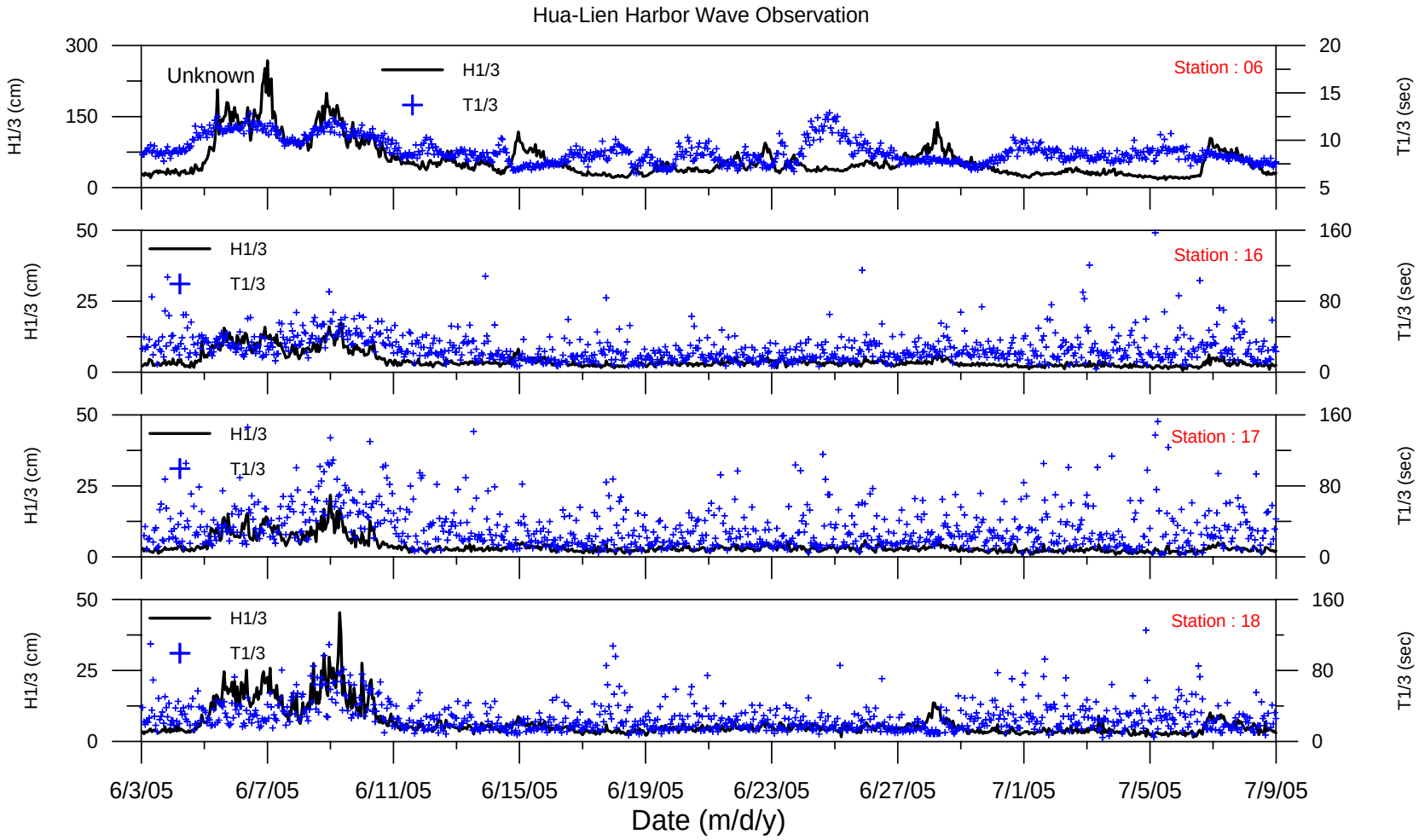



圖 2-24 測點編號 06、16、17 及 18 之波高週期逐時變化（2005.06.03~2005.07.09）

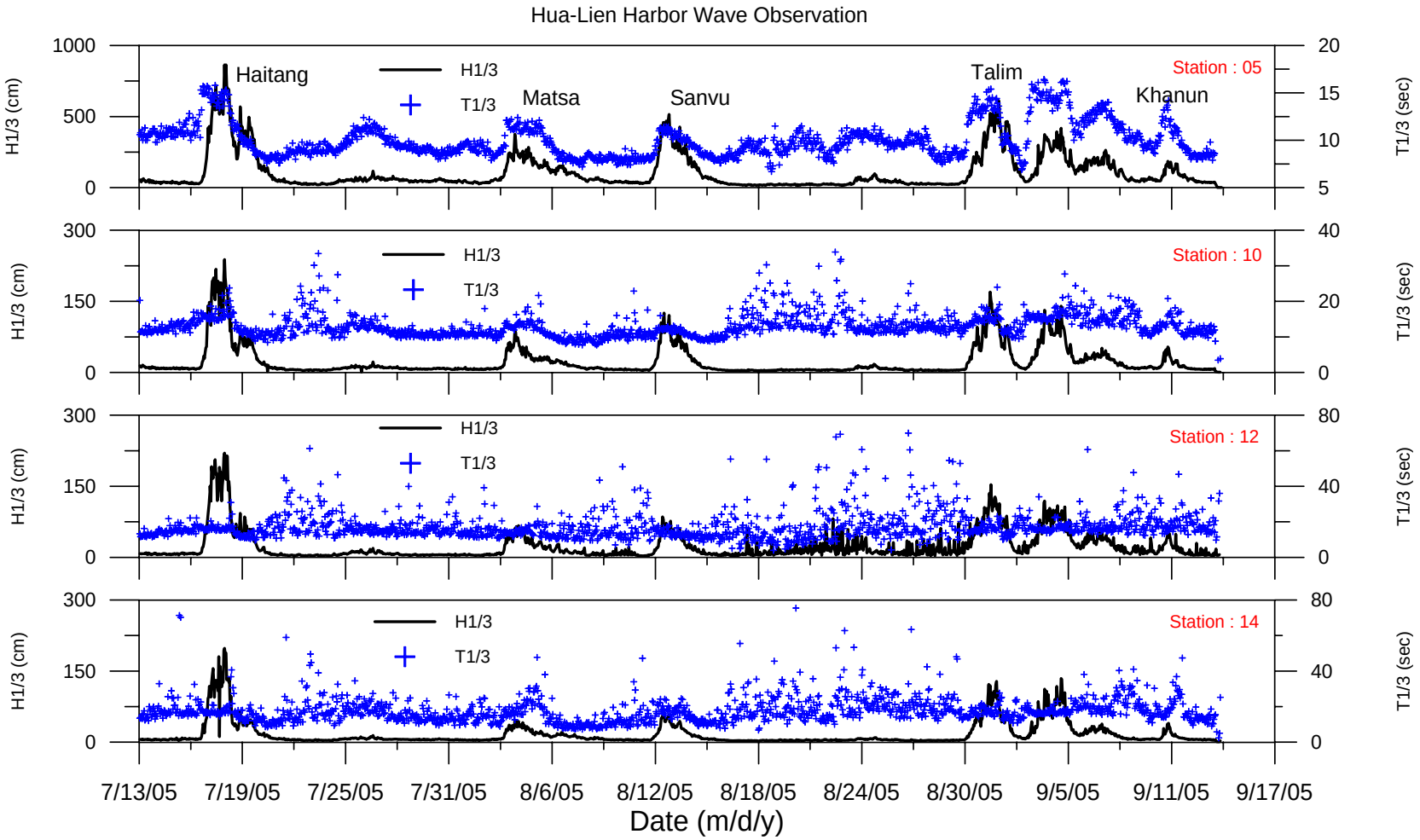



圖 2-25 測點編號 05、10、12 及 14 之波高週期逐時變化（2005.07.13~2005.09.17）

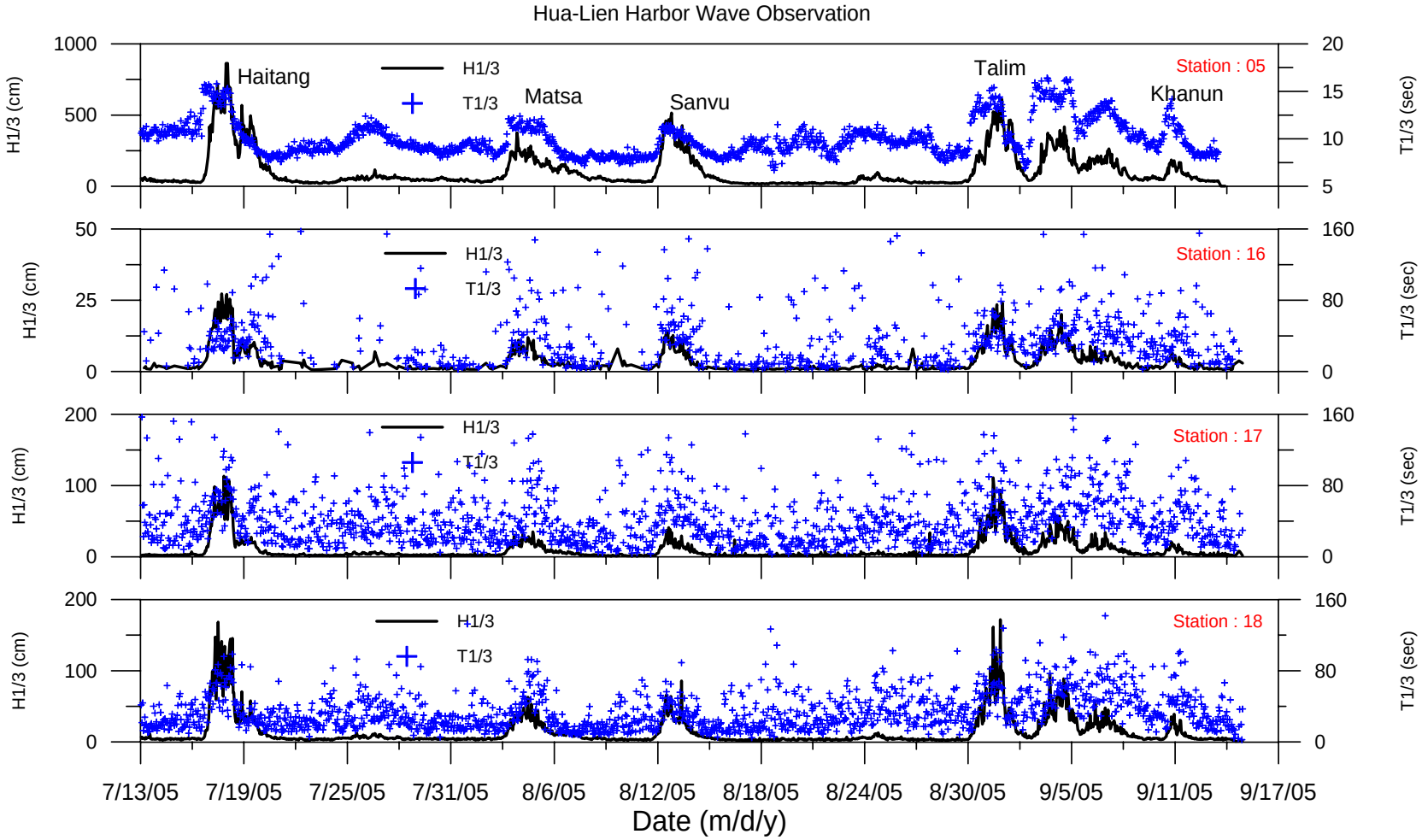



圖 2-26 測點編號 05、16、17 及 18 之波高週期逐時變化（2005.07.13~2005.09.17）

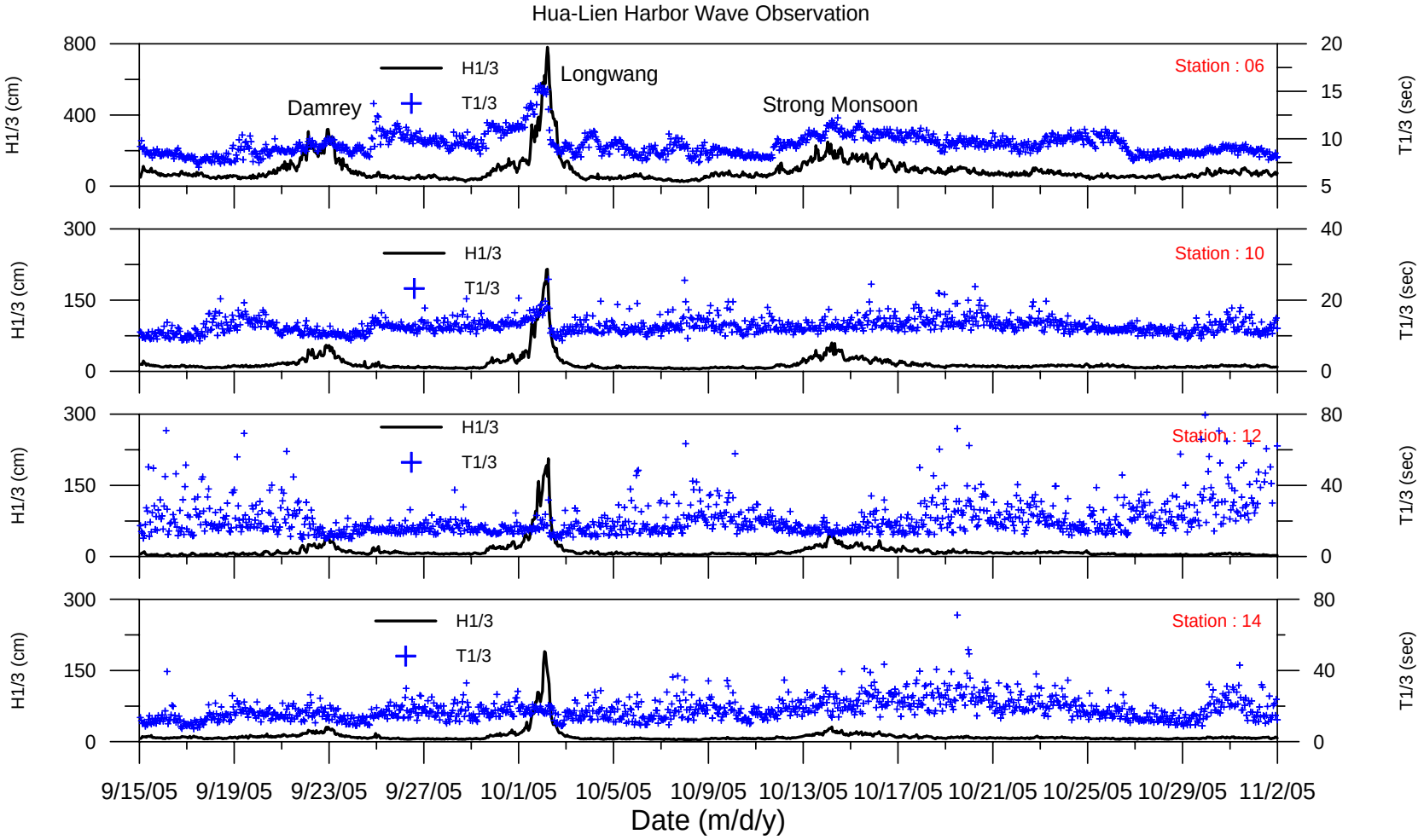



圖 2-27 測點編號 06、10、12 及 14 之波高週期逐時變化（2005.09.15~2005.11.02）

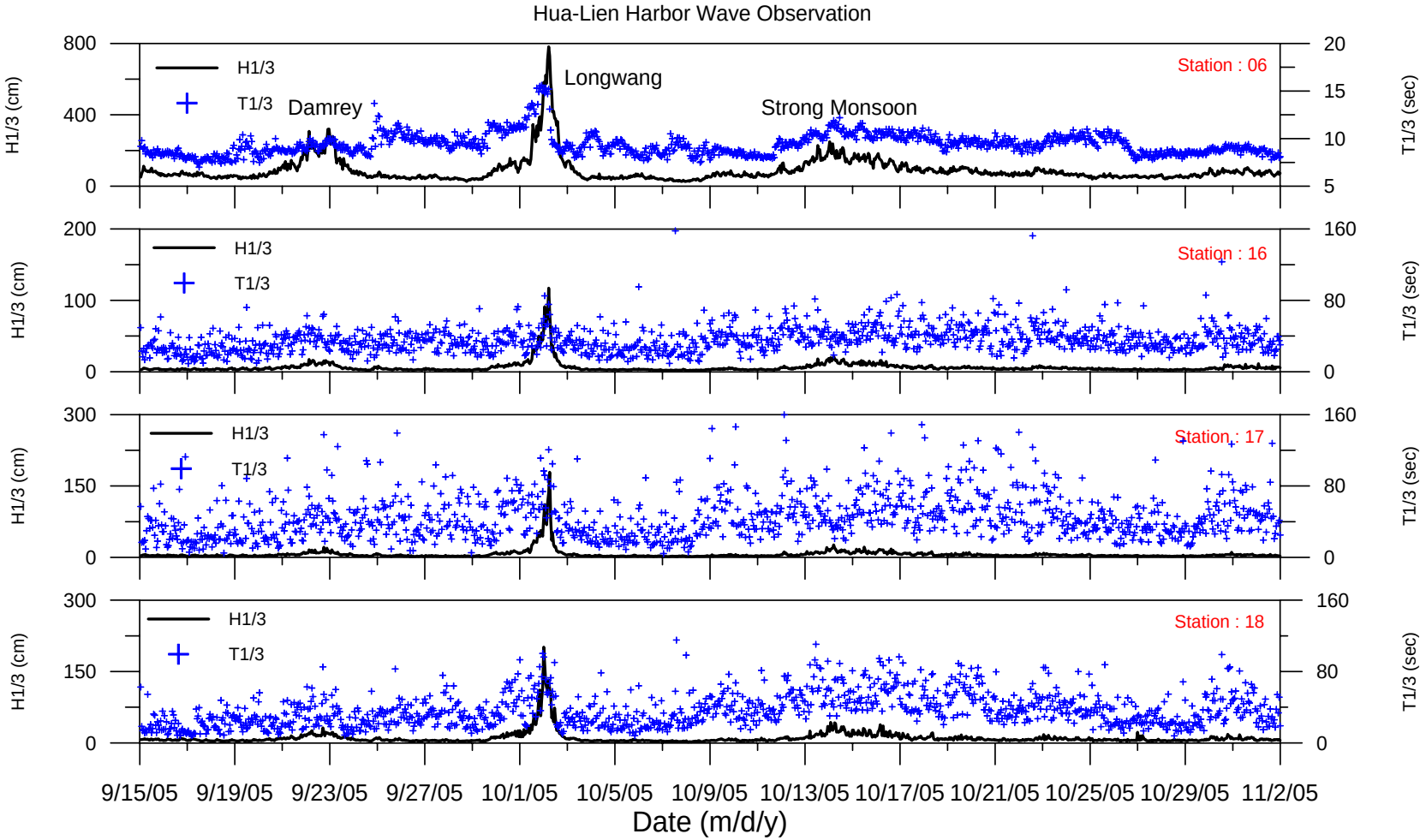



圖 2-28 測點編號 06、16、17 及 18 之波高週期逐時變化（2005.09.15~2005.11.02）

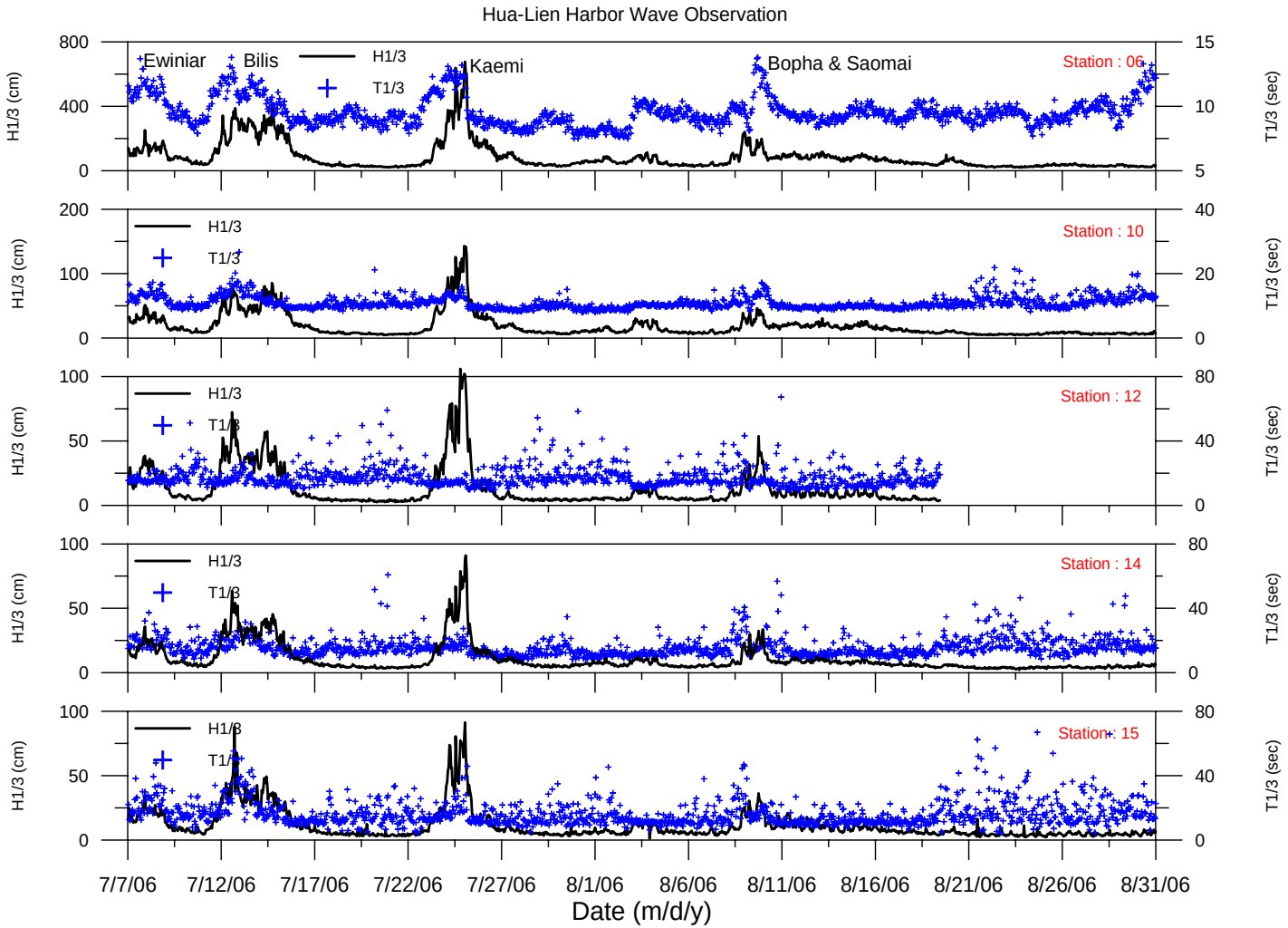



圖 2-29 測點編號 06、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化（2006.07.07~2006.08.31）

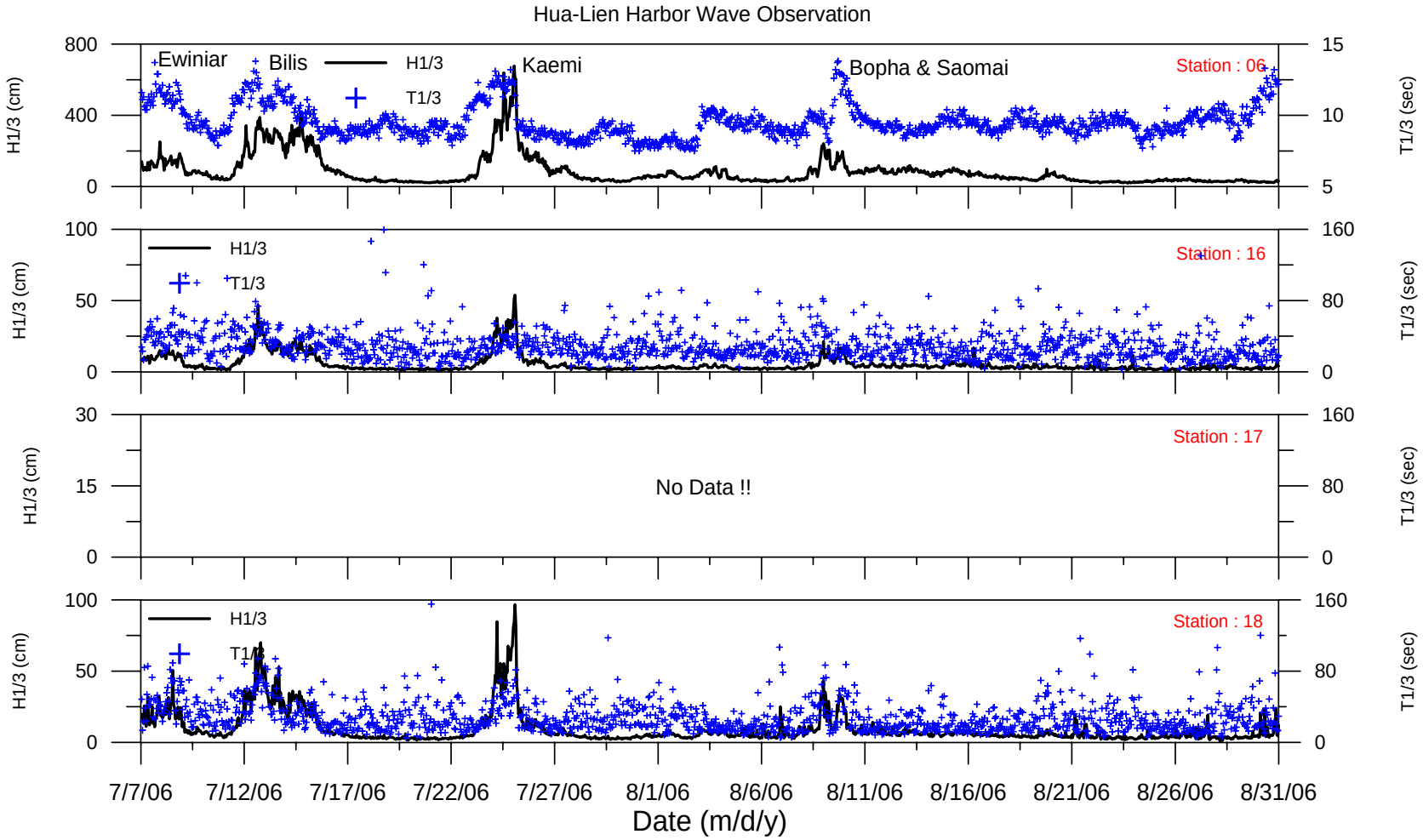



圖 2-30 測點編號 06、16 及 18 之波高週期逐時變化（2006.07.07~2006.08.31）

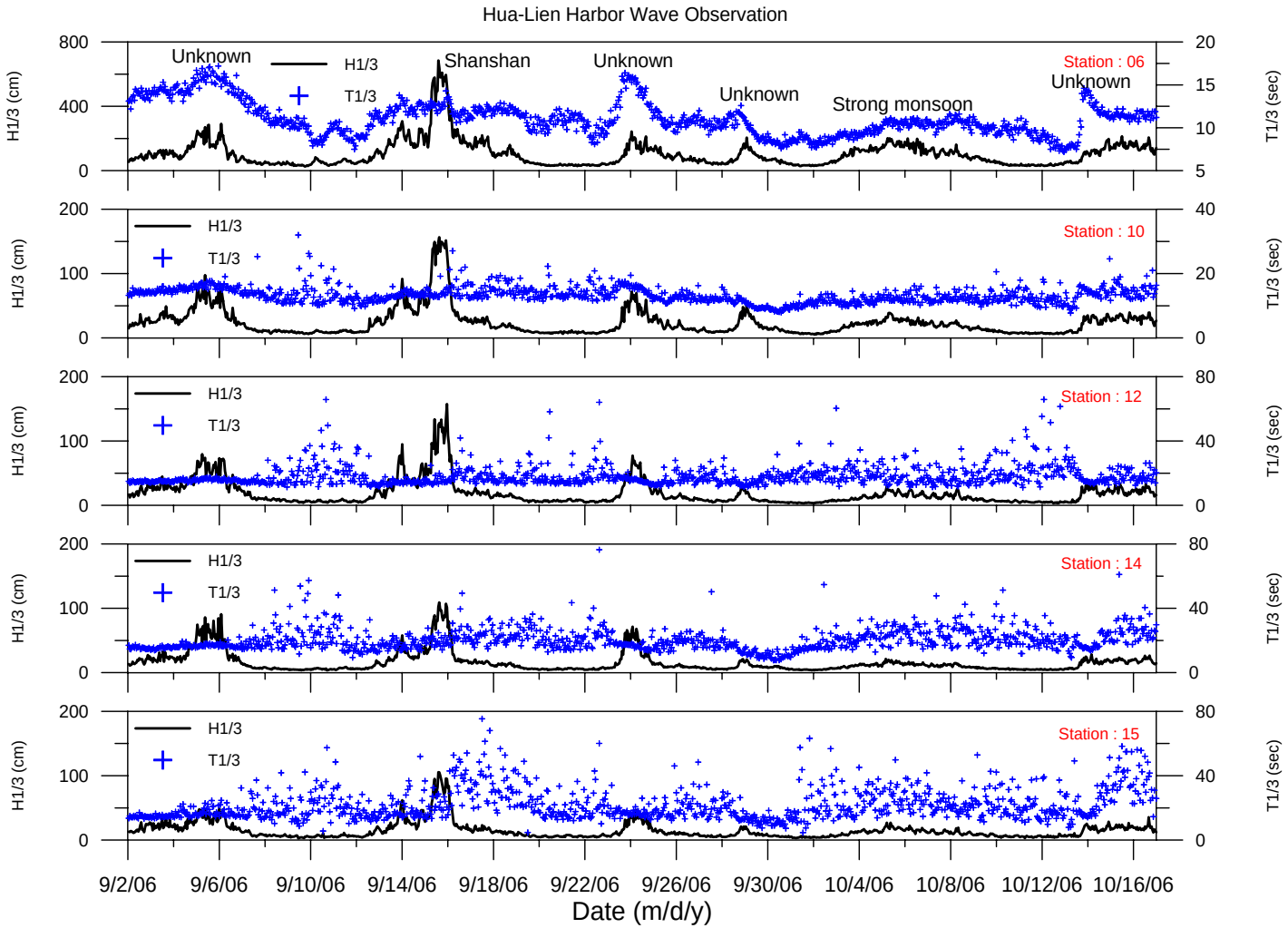



圖 2-31 測點編號 06、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化（2006.09.02~2006.10.16）

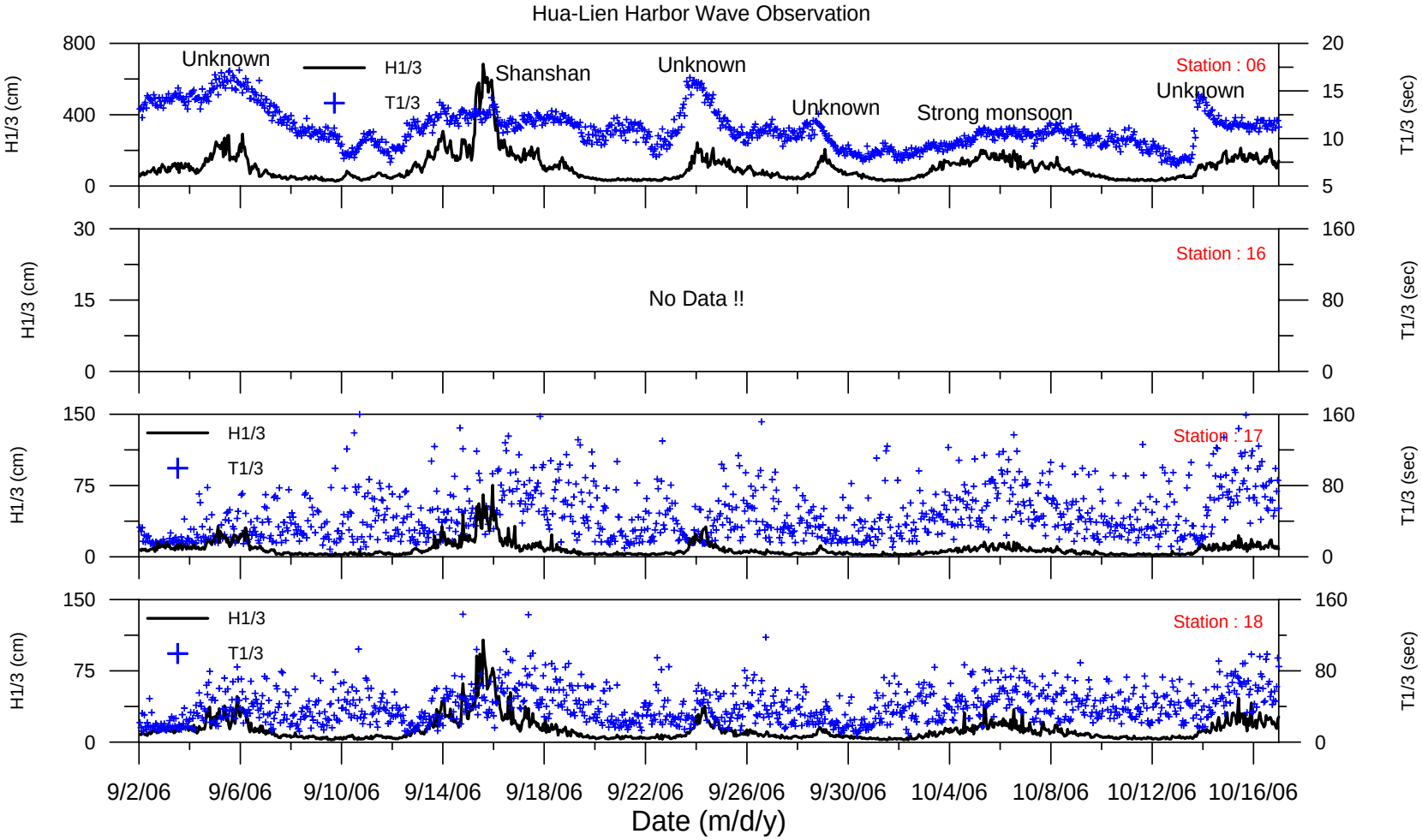



圖 2-32 測點編號 06、17 及 18 之波高週期逐時變化（2006.09.02~2006.10.16）

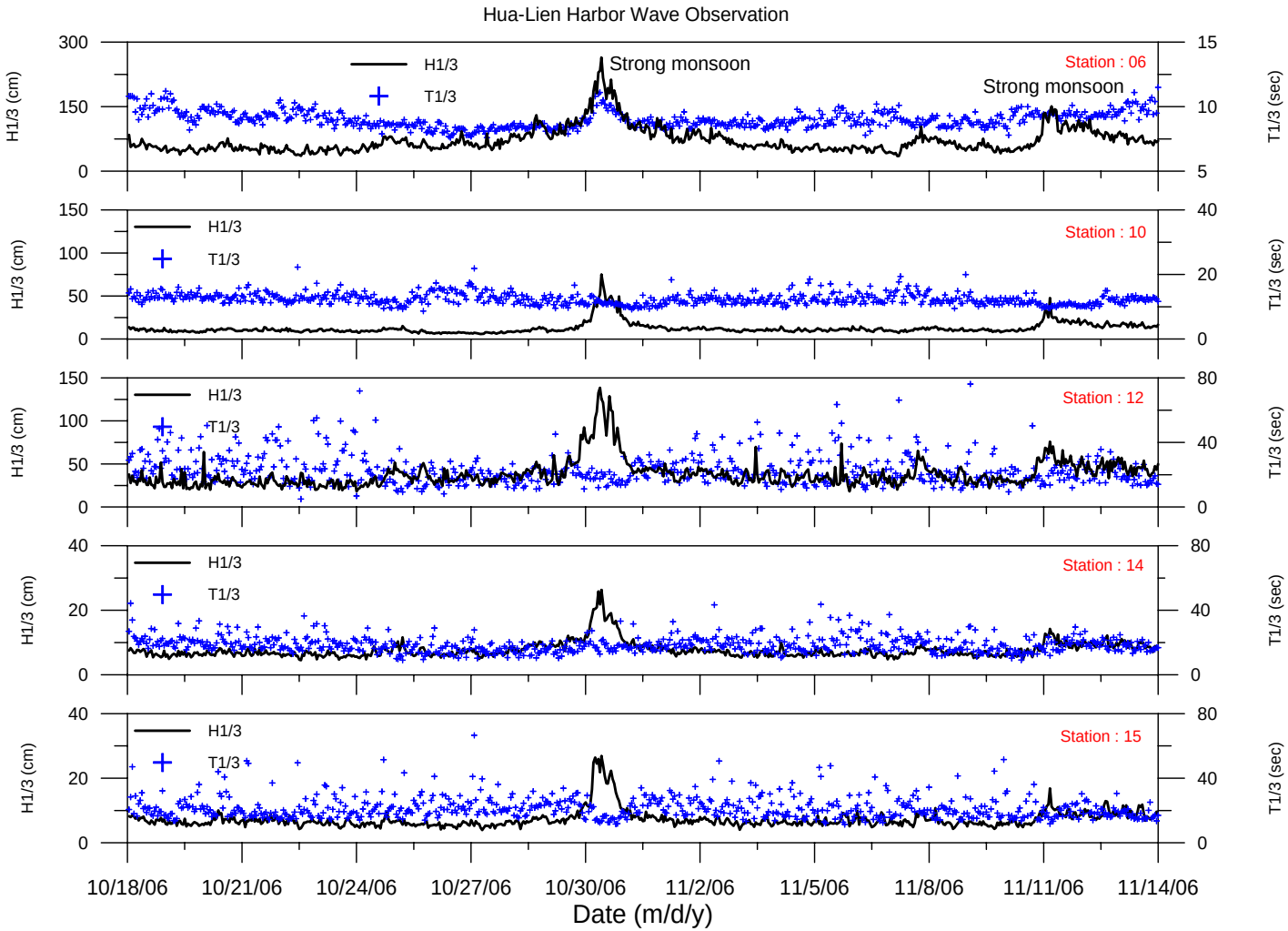



圖 2-33 測點編號 06、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化（2006.10.18~2006.11.14）

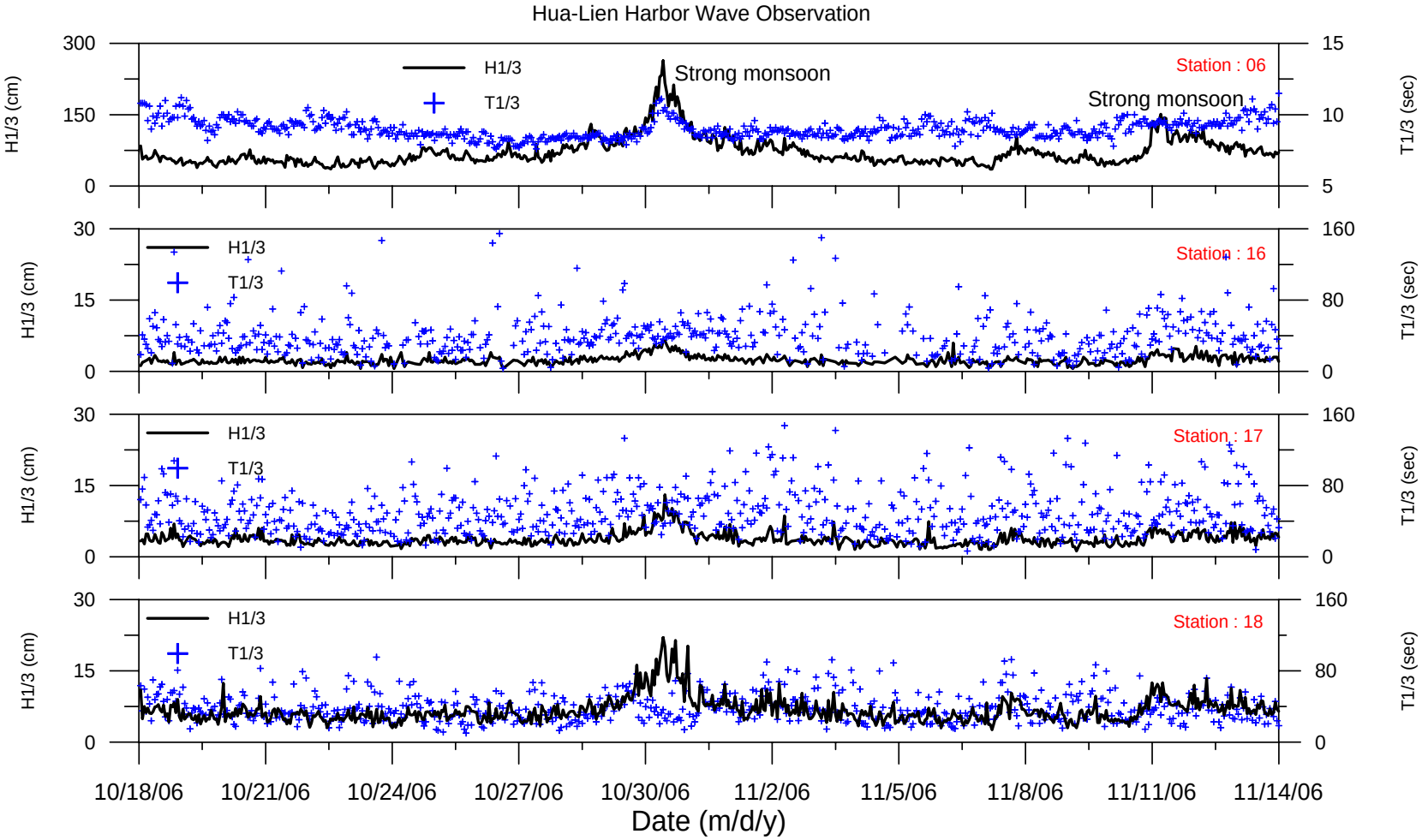



圖 2-34 測點編號 06、16、17 及 18 之波高週期逐時變化（2006.10.18~2006.11.14）

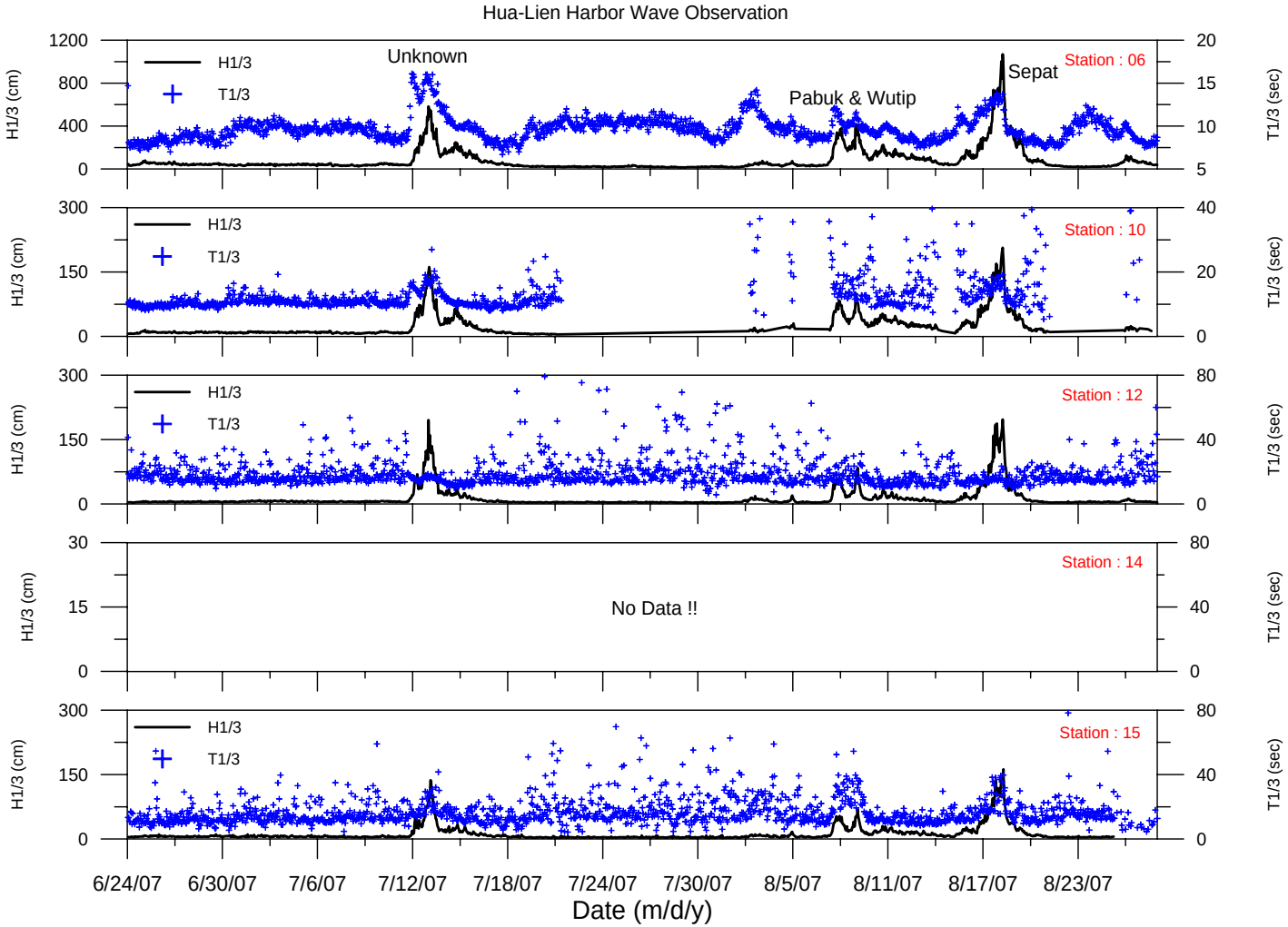



圖 2-35 測點編號 06、10、12 及 15 之波高週期逐時變化（2007.06.24~2007.08.28）

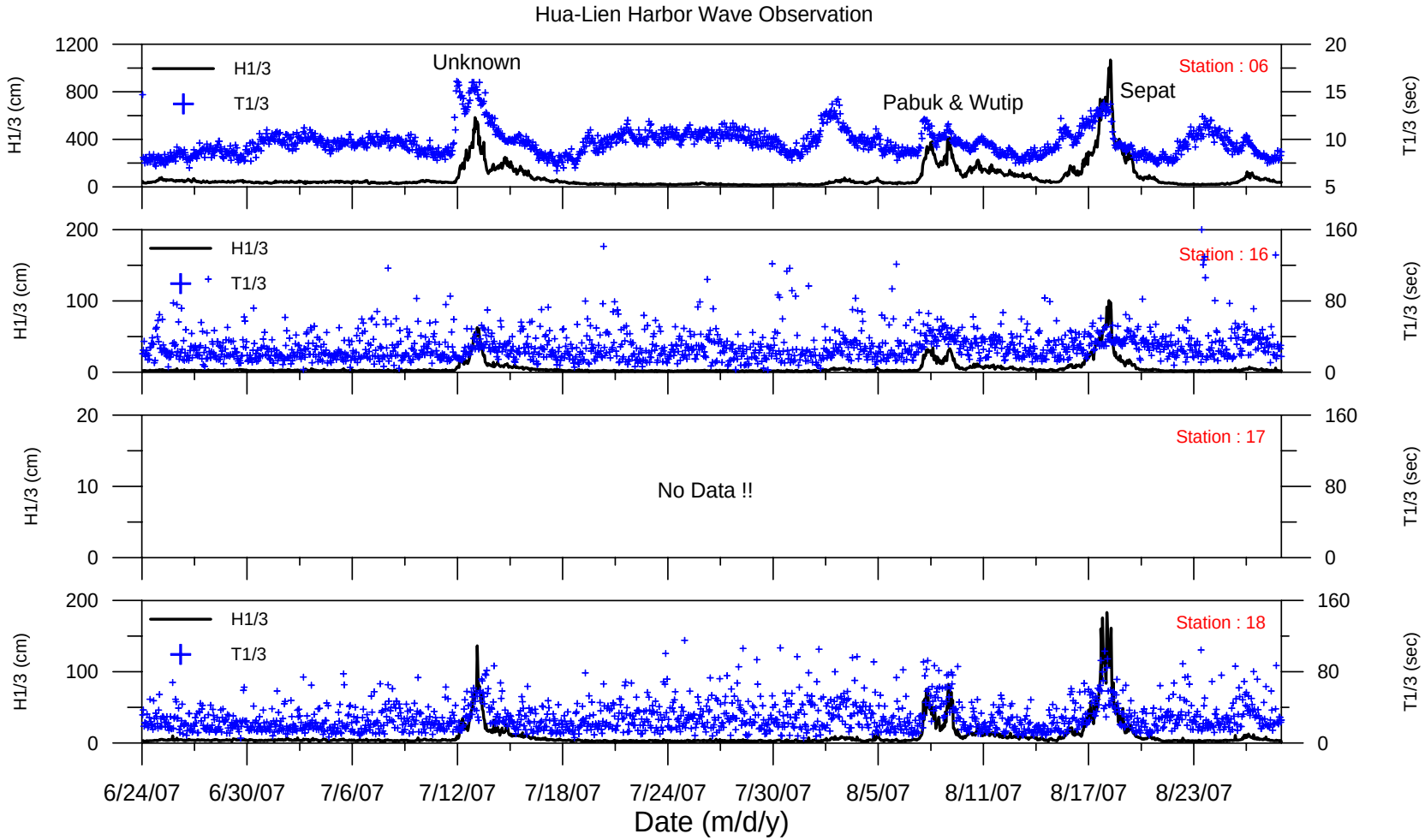



圖 2-36 測點編號 06、16 及 18 之波高週期逐時變化（2007.06.24~2007.08.28）

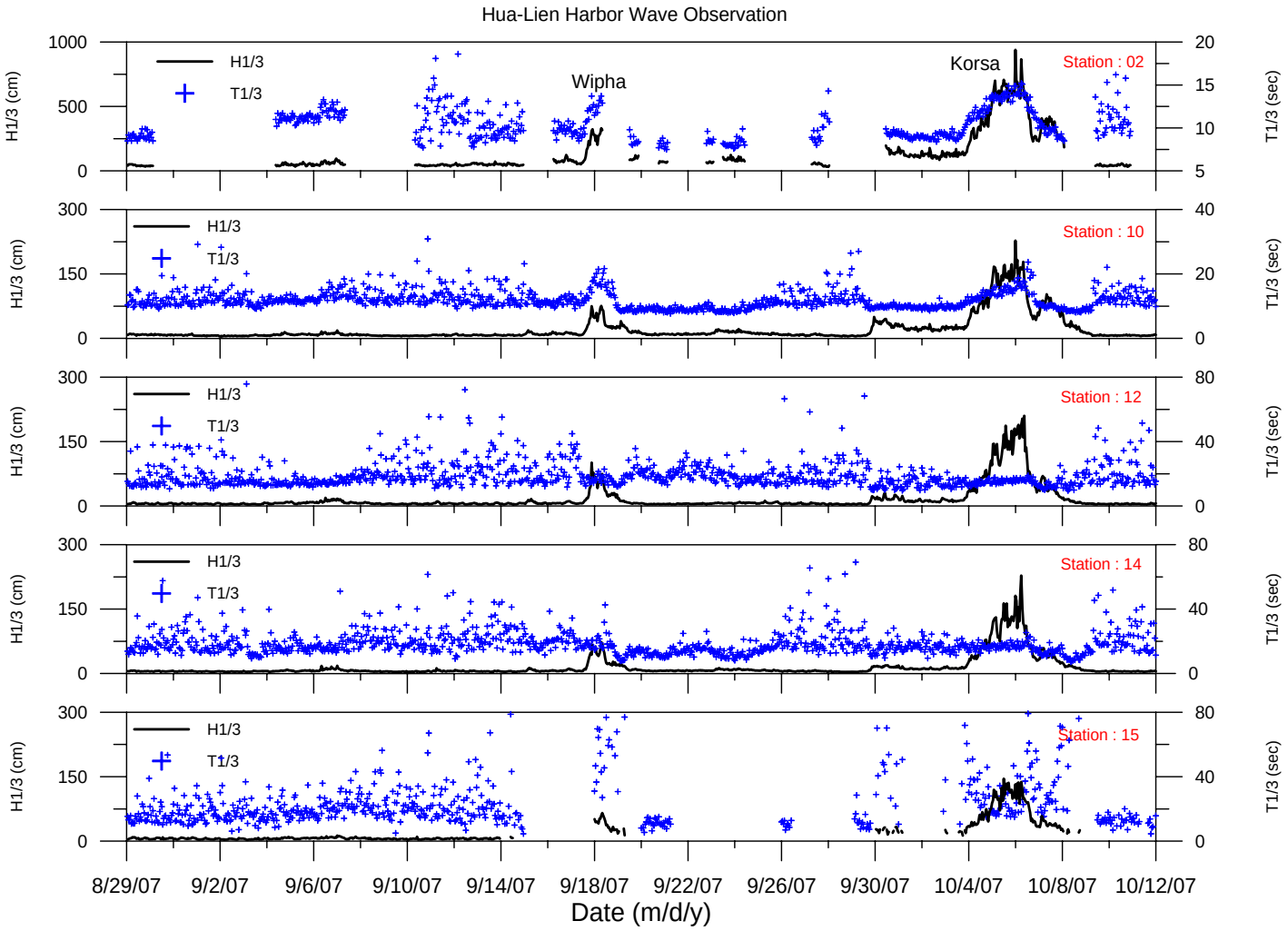



圖 2-37 測點編號 02、10、12、14 及 15 之波高週期逐時變化（2007.08.29~2007.10.12）

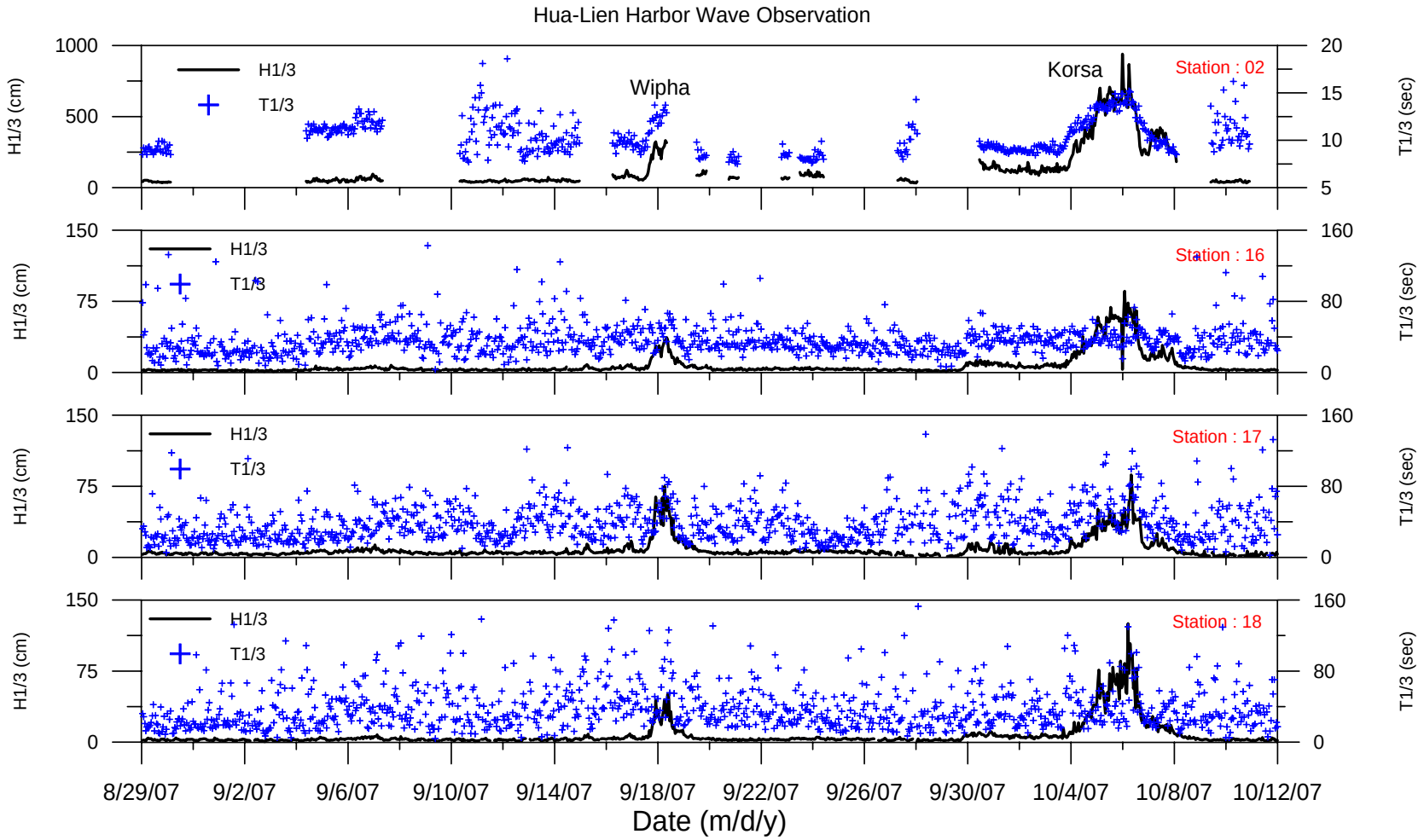



圖 2-38 測點編號 02、16、17 及 18 之波高週期逐時變化（2007.08.29~2007.10.12）

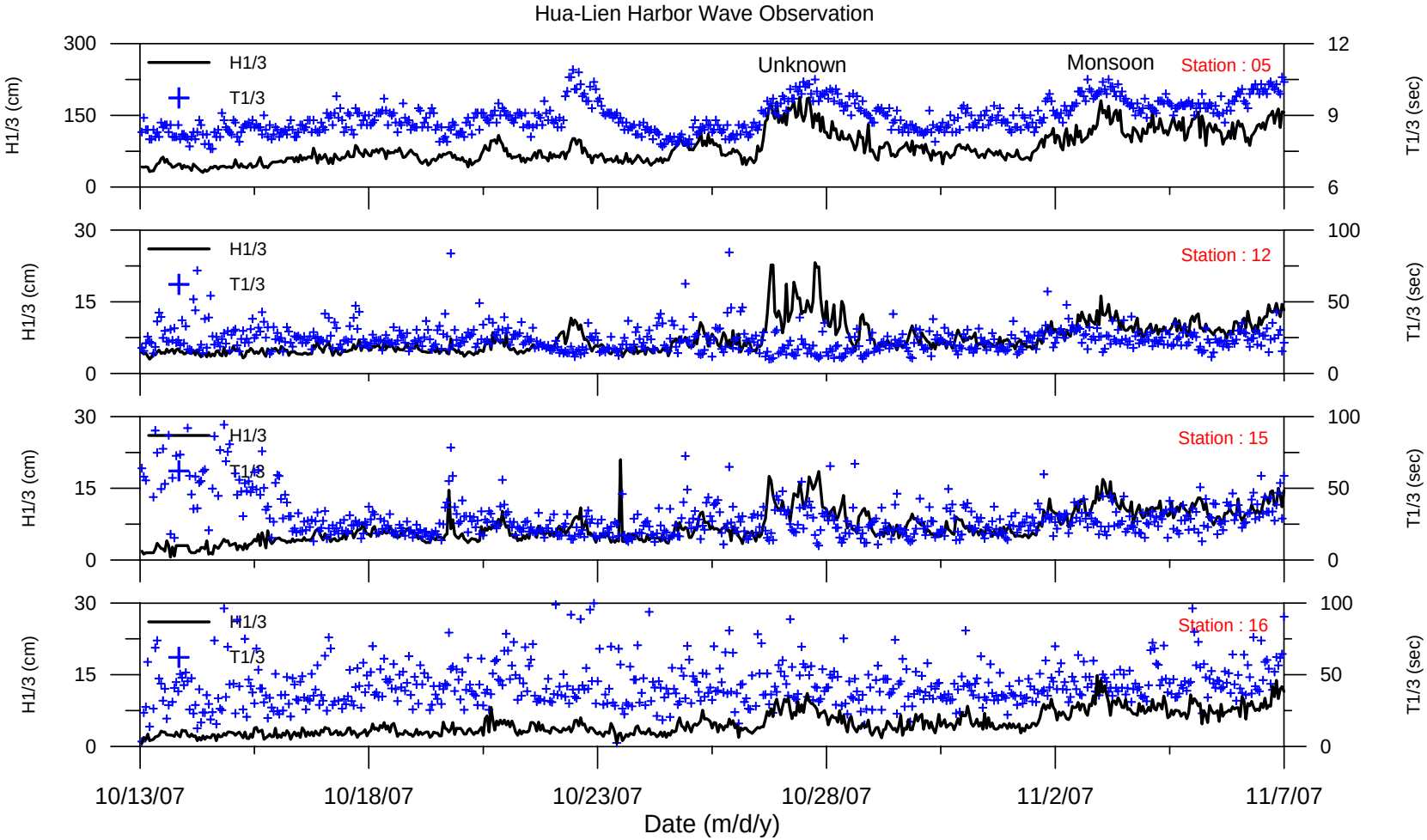



圖 2-39 測點編號 05、12、15 及 16 之波高週期逐時變化（2007.10.13~2007.11.07）

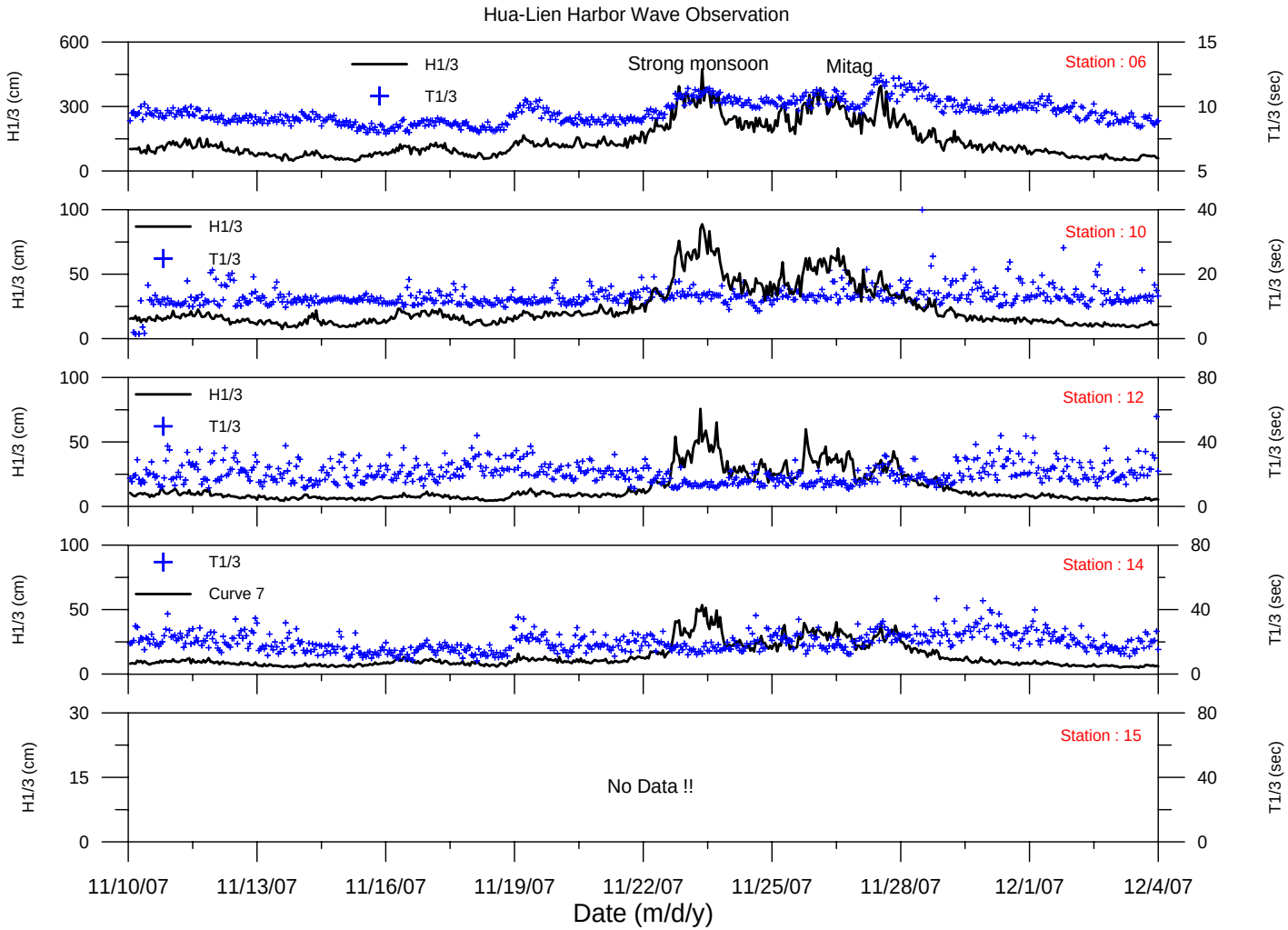



圖 2-40 測點編號 06、10、12 及 14 之波高週期逐時變化（2007.11.10~2007.12.04）

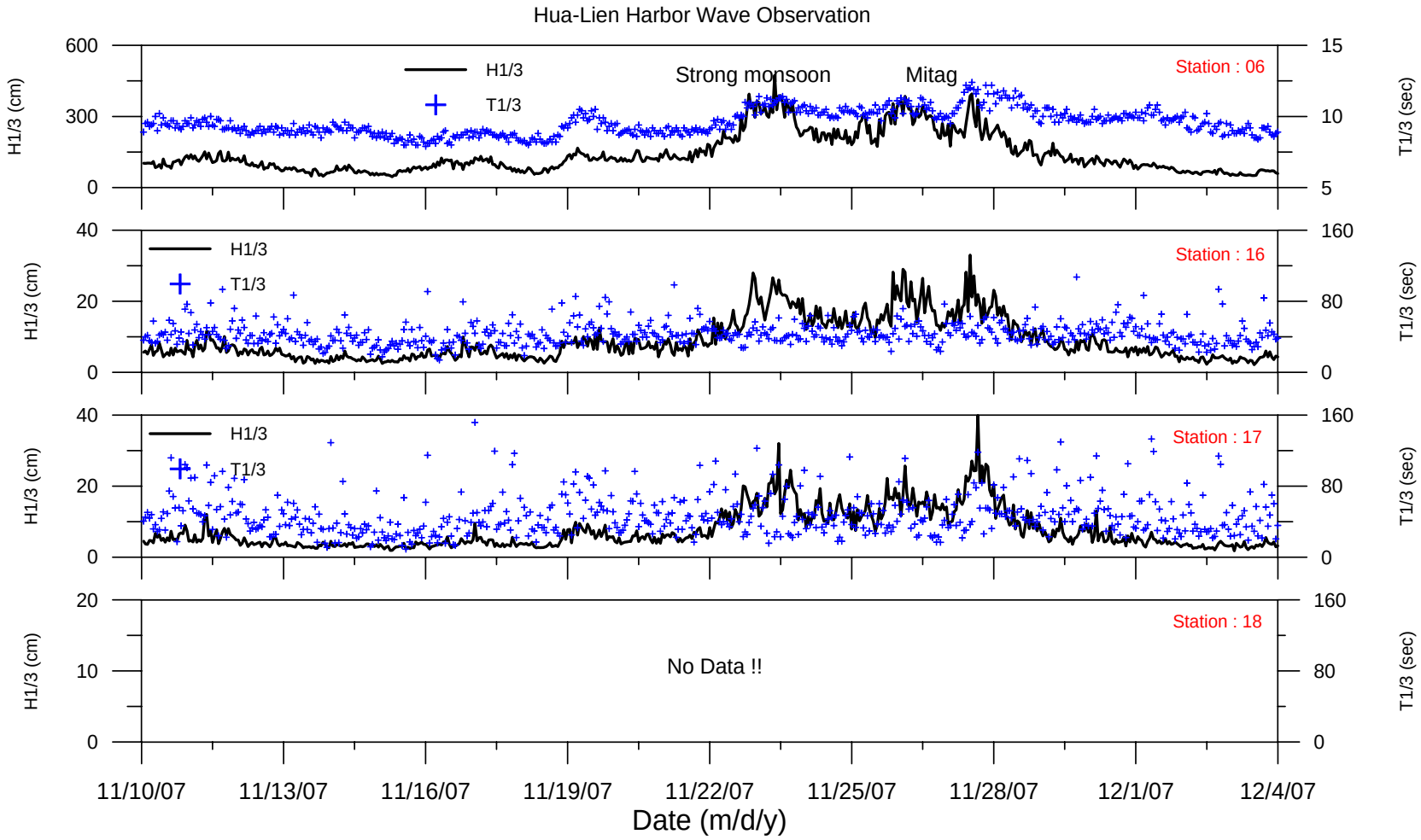



圖 2-41 測點編號 06、16 及 17 之波高週期逐時變化（2007.11.10~2007.12.04）

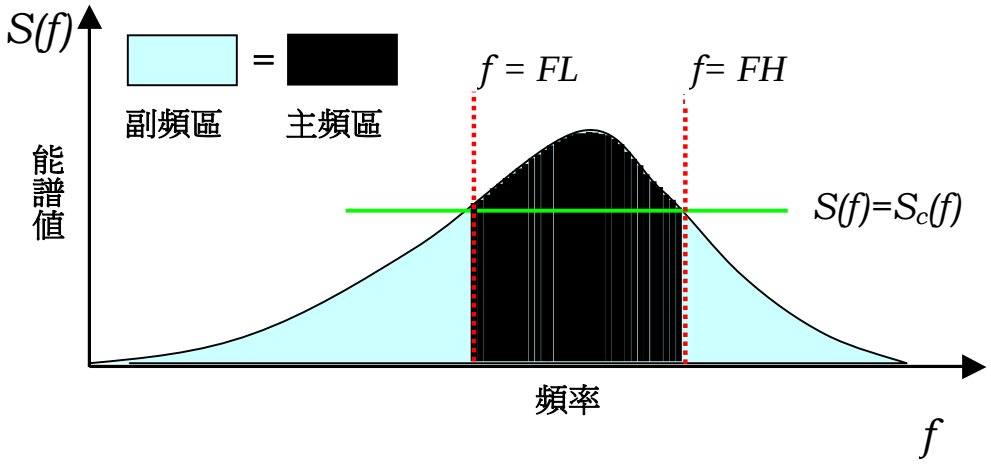



圖 2-42 以主頻區能量為考察重點參之頻譜分割示意圖

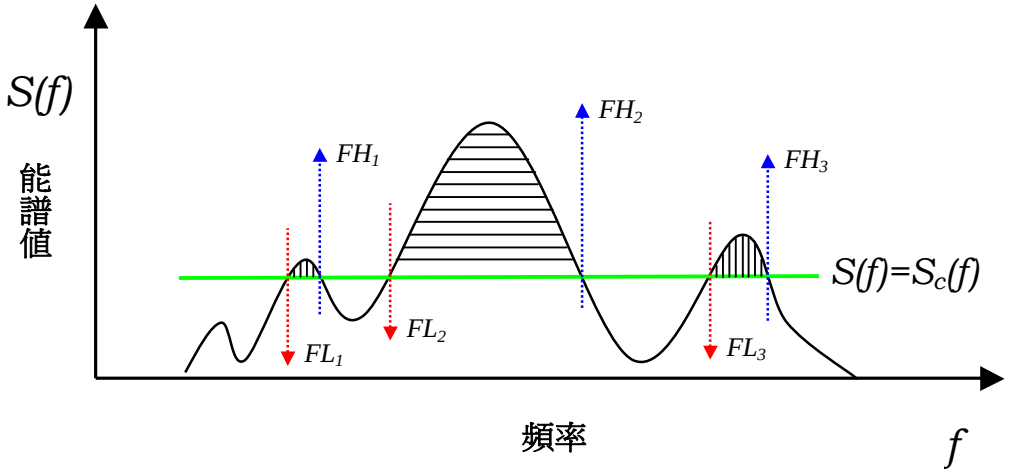



圖 2-43 多峰波譜之波譜分割之示意圖

表 2-1 海棠颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 07/11 20 | 152.7 | 22.9 | 輕度 | | | |
| 07/12 02 | 152.4 | 22.7 | 輕度 | | | |
| 07/12 08 | 151.8 | 23.2 | 輕度 | | | |
| 07/12 14 | 151.0 | 23.5 | 輕度 | | | |
| 07/12 20 | 150.3 | 23.4 | 輕度 | | | |
| 07/13 02 | 149.8 | 23.2 | 輕度 | | | |
| 07/13 08 | 149.2 | 22.9 | 輕度 | | | |
| 07/13 14 | 148.3 | 22.4 | 輕度 | | | |
| 07/13 20 | 147.0 | 21.8 | 輕度 | | 74 | |
| 07/14 02 | 145.9 | 21.3 | 中度 | | | |
| 07/14 08 | 144.7 | 20.5 | 中度 | | | |
| 07/14 14 | 142.4 | 20.2 | 中度 | | 148 | |
| 07/14 20 | 140.6 | 19.6 | 中度 | | 166 | |
| 07/15 02 | 138.9 | 19.6 | 中度 | | 166 | |
| 07/15 08 | 136.8 | 19.4 | 中度 | | 185 | |
| 07/15 14 | 134.8 | 19.1 | 強度 | | 185 | |
| 07/15 20 | 133.5 | 19.3 | 強度 | | 203 | |
| 07/16 02 | 131.9 | 19.5 | 強度 | | 203 | |
| 07/16 08 | 130.4 | 19.8 | 強度 | | 203 | |
| 07/16 14 | 129.1 | 20.4 | 強度 | | 240 | |
| 07/16 20 | 127.6 | 20.7 | 強度 | 920 | 250 | |
| 07/16 23 | 126.9 | 20.8 | 強度 | 912 | 280 | |
| 07/17 02 | 126.4 | 20.9 | 強度 | 912 | 280 | |
| 07/17 05 | 126.1 | 21.2 | 強度 | 912 | 280 | |
| 07/17 08 | 125.8 | 21.5 | 強度 | 912 | 280 | |
| 07/17 11 | 125.4 | 21.8 | 強度 | 912 | 280 | |
| 07/17 14 | 124.9 | 22.4 | 強度 | 920 | 280 | |
| 07/17 17 | 124.4 | 22.7 | 強度 | 920 | 280 | |
| 07/17 20 | 123.9 | 23.0 | 強度 | 920 | 280 | |
| 07/17 23 | 123.5 | 23.3 | 強度 | 925 | 280 | |
| 07/18 02 | 122.9 | 23.7 | 強度 | 925 | 280 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 07/18 05 | 122.2 | 24.0 | 強度 | 925 | 280 | |
| 07/18 08 | 121.6 | 23.6 | 強度 | 925 | 280 | |
| 07/18 11 | 121.9 | 23.5 | 強度 | 925 | 280 | |
| 07/18 14 | 121.9 | 24.2 | 強度 | 925 | 280 | |
| 07/18 17 | 121.5 | 24.4 | 中度 | 940 | 280 | |
| 07/18 20 | 121.1 | 24.5 | 中度 | 955 | 280 | |
| 07/18 23 | 120.7 | 24.6 | 中度 | 955 | 280 | |
| 07/19 02 | 120.5 | 24.7 | 中度 | 955 | 280 | |
| 07/19 05 | 120.3 | 24.8 | 中度 | 955 | 280 | |
| 07/19 08 | 120.2 | 25.0 | 中度 | 965 | 280 | |
| 07/19 11 | 120.0 | 25.4 | 中度 | 970 | 280 | |
| 07/19 14 | 119.8 | 25.7 | 輕度 | 975 | 250 | |
| 07/19 17 | 119.8 | 26.1 | 輕度 | 975 | 250 | |
| 07/19 20 | 119.5 | 26.6 | 輕度 | 975 | 200 | |
| 07/19 23 | 119.3 | 26.8 | 輕度 | 985 | 150 | |
| 07/20 02 | 118.9 | 27.1 | 輕度 | 990 | 100 | |
| 07/20 08 | 118.0 | 27.2 | 輕度 | 996 | 100 | |

編號：200505　颱風名稱：海棠（HAITANG） 警報期間：07/16~07/20

表 2-2 馬莎颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 07/31 08 | 136.0 | 10.2 | 輕度 | | | |
| 07/31 14 | 134.9 | 10.8 | 輕度 | | | |
| 07/31 20 | 133.9 | 11.7 | 輕度 | | | |
| 08/01 02 | 132.9 | 13.1 | 輕度 | | 92 | |
| 08/01 08 | 132.6 | 13.8 | 輕度 | | 92 | |
| 08/01 14 | 131.8 | 15.0 | 輕度 | | 92 | |
| 08/01 20 | 130.7 | 15.7 | 輕度 | | 111 | |
| 08/02 02 | 130.0 | 16.1 | 輕度 | | 111 | |
| 08/02 08 | 129.1 | 16.8 | 中度 | | 222 | |
| 08/02 14 | 128.5 | 17.8 | 中度 | | 222 | |
| 08/02 20 | 127.8 | 18.8 | 中度 | | 222 | |
| 08/03 02 | 127.1 | 20.0 | 中度 | | 222 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/03 08 | 126.6 | 20.6 | 中度 | | 277 | |
| 08/03 14 | 126.0 | 21.2 | 中度 | | 222 | |
| 08/03 17 | 125.8 | 21.3 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/03 20 | 125.7 | 21.6 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/03 23 | 125.6 | 22.0 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/04 02 | 125.4 | 22.4 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/04 05 | 125.0 | 22.7 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/04 08 | 124.8 | 23.1 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/04 11 | 124.7 | 23.5 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/04 14 | 124.5 | 23.8 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/04 17 | 124.3 | 24.3 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/04 20 | 124.1 | 24.6 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/04 23 | 123.8 | 24.9 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 02 | 123.5 | 25.2 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 05 | 123.3 | 25.5 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 08 | 123.1 | 25.8 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 11 | 123.1 | 26.3 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 14 | 123.0 | 26.7 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 17 | 122.7 | 27.1 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 20 | 122.3 | 27.4 | 中度 | 955 | 250 | |
| 08/05 23 | 121.9 | 27.7 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/06 02 | 121.5 | 28.0 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/06 05 | 121.1 | 28.3 | 中度 | 965 | 250 | |
| 08/06 08 | 120.8 | 28.5 | 中度 | 970 | 200 | |
| 08/06 14 | 120.5 | 29.0 | 輕度 | 975 | 200 | |

編號：200509　颱風名稱：馬莎（MATSA）　警報期間：08/03~08/06

表 2-3 珊瑚颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/10 20 | 129.6 | 14.5 | 輕度 | | | |
| 08/11 02 | 128.1 | 15.3 | 輕度 | | | |
| 08/11 08 | 127.1 | 15.8 | 中度 | | | |
| 08/11 14 | 125.5 | 16.6 | 輕度 | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/11 20 | 123.7 | 17.6 | 輕度 | | | |
| 08/12 02 | 122.3 | 18.4 | 輕度 | | 18 | |
| 08/12 08 | 121.2 | 19.0 | 輕度 | | 27 | |
| 08/12 14 | 119.9 | 19.7 | 輕度 | | 46 | |
| 08/12 20 | 119.1 | 20.3 | 輕度 | | 64 | |
| 08/13 02 | 118.6 | 21.5 | 輕度 | | 148 | |
| 08/13 08 | 117.0 | 22.7 | 中度 | | 148 | |
| 08/13 11 | 117.2 | 23.5 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 08/13 14 | 116.8 | 24.2 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 08/13 17 | 116.3 | 24.8 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 08/13 20 | 115.9 | 25.3 | 輕度 | 992 | 180 | |
| 08/14 02 | 115.5 | 26.0 | 輕度 | 995 | 150 | |

編號：200510　颱風名稱：珊瑚（SANVU）　警報期間：08/11~08/13

表 2-4 泰利颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/26 14 | 143.1 | 12.6 | 輕度 | | | |
| 08/26 20 | 142.2 | 12.7 | 輕度 | | | |
| 08/27 02 | 142.8 | 13.5 | 輕度 | | | |
| 08/27 08 | 142.3 | 14.5 | 輕度 | | | |
| 08/27 14 | 141.6 | 15.6 | 輕度 | | | |
| 08/27 20 | 141.2 | 16.6 | 輕度 | | 74 | |
| 08/28 02 | 139.8 | 17.5 | 輕度 | | 157 | |
| 08/28 08 | 138.7 | 18.3 | 輕度 | | 185 | |
| 08/28 14 | 137.6 | 19.4 | 中度 | | 185 | |
| 08/28 20 | 136.8 | 19.8 | 中度 | | 222 | |
| 08/29 02 | 135.6 | 20.6 | 中度 | | 222 | |
| 08/29 08 | 134.2 | 20.7 | 中度 | | 240 | |
| 08/29 14 | 133.0 | 21.0 | 強度 | | 240 | |
| 08/29 20 | 131.8 | 21.0 | 強度 | | 240 | |
| 08/30 02 | 130.6 | 21.2 | 強度 | | 277 | |
| 08/30 08 | 129.5 | 21.4 | 強度 | | 240 | |
| 08/30 14 | 128.4 | 21.8 | 強度 | | 240 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/30 17 | 127.9 | 21.7 | 強度 | 920 | 250 | |
| 08/30 20 | 127.3 | 21.9 | 強度 | 920 | 250 | |
| 08/30 23 | 126.7 | 22.0 | 強度 | 920 | 250 | |
| 08/31 02 | 126.3 | 22.1 | 強度 | 925 | 250 | |
| 08/31 05 | 125.7 | 22.5 | 強度 | 925 | 250 | |
| 08/31 08 | 125.2 | 22.7 | 強度 | 925 | 250 | |
| 08/31 11 | 124.7 | 23.0 | 強度 | 925 | 250 | |
| 08/31 14 | 124.1 | 23.4 | 強度 | 925 | 250 | |
| 08/31 17 | 123.5 | 23.5 | 強度 | 925 | 250 | |
| 08/31 20 | 122.9 | 23.8 | 強度 | 925 | 250 | |
| 08/31 23 | 122.1 | 24.0 | 強度 | 925 | 250 | |
| 09/01 02 | 121.6 | 23.7 | 中度 | 955 | 250 | |
| 09/01 05 | 121.7 | 23.7 | 中度 | 955 | 250 | |
| 09/01 08 | 120.4 | 24.2 | 中度 | 955 | 250 | |
| 09/01 11 | 120.1 | 24.8 | 中度 | 955 | 250 | |
| 09/01 14 | 119.5 | 25.2 | 中度 | 965 | 250 | |
| 09/01 17 | 118.9 | 25.6 | 輕度 | 975 | 200 | |
| 09/01 20 | 118.1 | 25.9 | 輕度 | 980 | 200 | |
| 09/01 23 | 117.4 | 26.0 | 輕度 | 985 | 180 | |
| 09/02 02 | 116.9 | 26.2 | 輕度 | 990 | 150 | |

編號：200513　颱風名稱：泰利（TALIM）　警報期間：08/30~09/01

表 2-5 卡努颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/06 02 | 139.3 | 9.5 | 輕度 | | | |
| 09/06 08 | 138.2 | 10.4 | 輕度 | | | |
| 09/06 14 | 135.7 | 10.6 | 輕度 | | | |
| 09/06 20 | 135.1 | 11.4 | 輕度 | | 92 | |
| 09/07 02 | 135.0 | 12.8 | 輕度 | | 92 | |
| 09/07 08 | 134.4 | 13.4 | 輕度 | | 92 | |
| 09/07 14 | 133.7 | 13.0 | 輕度 | | 92 | |
| 09/07 20 | 133.6 | 14.1 | 輕度 | | 148 | |
| 09/08 02 | 133.0 | 14.7 | 輕度 | | 148 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/08 08 | 132.4 | 15.3 | 輕度 | | 148 | |
| 09/08 14 | 132.2 | 16.1 | 輕度 | | 138 | |
| 09/08 20 | 131.5 | 17.3 | 中度 | | 166 | |
| 09/09 02 | 131.0 | 18.1 | 中度 | | 203 | |
| 09/09 08 | 130.3 | 19.1 | 中度 | | 203 | |
| 09/09 14 | 129.6 | 20.4 | 中度 | | 185 | |
| 09/09 20 | 128.5 | 21.5 | 中度 | | 185 | |
| 09/10 02 | 127.4 | 22.1 | 中度 | 955 | 200 | |
| 09/10 05 | 126.8 | 22.7 | 中度 | 955 | 200 | |
| 09/10 08 | 126.3 | 23.2 | 中度 | 955 | 200 | |
| 09/10 11 | 125.7 | 23.7 | 中度 | 955 | 200 | |
| 09/10 14 | 125.2 | 24.2 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/10 17 | 124.9 | 24.6 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/10 20 | 124.3 | 25.2 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/10 23 | 123.9 | 25.6 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/11 02 | 123.5 | 26.0 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/11 05 | 123.1 | 26.7 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/11 08 | 122.6 | 27.3 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/11 11 | 122.2 | 27.7 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/11 14 | 121.8 | 28.3 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/11 20 | 120.9 | 29.2 | 中度 | 970 | 200 | |
| 09/12 02 | 120.5 | 30.6 | 輕度 | -- | -- | |

編號：200515　颱風名稱：卡努（KHANUN） 警報期間：09/09~09/11

表 2-6 丹瑞颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/20 20 | 123.7 | 16.8 | 輕度 | | | |
| 09/21 02 | 123.5 | 17.5 | 輕度 | | | |
| 09/21 08 | 123.2 | 18.1 | 輕度 | | | |
| 09/21 14 | 122.1 | 18.1 | 中度 | | | |
| 09/21 20 | 121.5 | 19.2 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/21 23 | 121.3 | 19.2 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/22 02 | 121.0 | 19.2 | 輕度 | 985 | 200 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/22 05 | 120.9 | 19.3 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 09/22 08 | 120.7 | 19.3 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 09/22 11 | 120.6 | 19.5 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 09/22 14 | 120.4 | 19.8 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 09/22 17 | 120.2 | 19.9 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/22 20 | 119.9 | 20.0 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/22 23 | 119.4 | 20.1 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/23 02 | 119.0 | 20.2 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/23 05 | 118.7 | 20.2 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/23 08 | 118.2 | 20.3 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/23 14 | 117.5 | 20.3 | 輕度 | 990 | 200 | |
| 09/23 20 | 116.3 | 20.0 | 輕度 | | 111 | |
| 09/24 02 | 115.9 | 20.2 | 輕度 | | 240 | |
| 09/24 08 | 115.3 | 19.8 | 輕度 | | 240 | |
| 09/24 14 | 114.6 | 19.6 | 輕度 | | 222 | |
| 09/24 20 | | | | | | |
| 09/25 02 | 113.1 | 19.1 | 中度 | | 231 | |
| 09/25 08 | 113.0 | 18.8 | 中度 | | 231 | |
| 09/25 14 | 112.3 | 19.0 | 中度 | | 240 | |
| 09/25 20 | 111.7 | 19.0 | 中度 | | 240 | |
| 09/26 02 | 110.7 | 19.1 | 中度 | | 240 | |
| 09/26 08 | 110.0 | 18.4 | 中度 | | 166 | |
| 09/26 14 | | | | | | |
| 09/26 20 | 108.1 | 19.0 | 輕度 | | 148 | |
| 09/27 02 | 107.5 | 19.5 | 輕度 | | 148 | |
| 09/27 08 | | | | | | |
| 09/27 14 | 105.0 | 19.7 | 輕度 | | 148 | |

編號：200518　颱風名稱：丹瑞（DAMREY） 警報期間：09/21~09/23

表 2-7 龍王颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/26 02 | 144.4 | 19.8 | 輕度 | -- | -- | |
| 09/26 08 | 143.4 | 19.5 | 輕度 | -- | -- | |
| 09/26 20 | 142.0 | 20.2 | 輕度 | -- | 111 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/27 02 | 141.7 | 20.9 | 輕度 | -- | 148 | |
| 09/27 08 | 141.0 | 21.5 | 中度 | -- | 185 | |
| 09/27 14 | 140.1 | 21.7 | 中度 | -- | 185 | |
| 09/27 20 | 139.2 | 22.0 | 中度 | -- | 166 | |
| 09/28 02 | 138.3 | 22.1 | 強度 | -- | -- | |
| 09/28 08 | 137.5 | 22.3 | 強度 | -- | 203 | |
| 09/28 14 | 136.7 | 22.5 | 強度 | -- | 203 | |
| 09/28 20 | 136.1 | 22.5 | 強度 | -- | 203 | |
| 09/29/02 | 135.6 | 22.4 | 強度 | -- | 203 | |
| 09/29 08 | 135.2 | 22.4 | 強度 | -- | 194 | |
| 09/29 14 | 134.6 | 22.4 | 強度 | -- | 203 | |
| 09/29 20 | 133.9 | 22.4 | 強度 | -- | 222 | |
| 09/30 02 | 133.0 | 22.2 | 強度 | -- | 222 | |
| 09/30 08 | 132.1 | 22.0 | 強度 | -- | -- | |
| 09/30 14 | 131.0 | 22.0 | 強度 | -- | -- | |
| 09/30 20 | 130.0 | 22.2 | 強度 | -- | 287 | |
| 10/01 02 | 128.5 | 22.4 | 強度 | -- | 240 | |
| 10/01 08 | 127.0 | 22.4 | 強度 | -- | 240 | |
| 10/01 14 | 125.4 | 22.8 | 強度 | 925 | 200 | |
| 10/01 17 | 124.6 | 23.0 | 強度 | 925 | 200 | |
| 10/01 20 | 123.9 | 23.1 | 強度 | 925 | 200 | |
| 10/01 23 | 123.2 | 23.3 | 強度 | 925 | 200 | |
| 10/02 02 | 122.5 | 23.5 | 強度 | 925 | 200 | |
| 10/02 05 | 121.6 | 23.7 | 強度 | 925 | 200 | |
| 10/02 08 | 120.7 | 23.8 | 中度 | 945 | 200 | |
| 10/02 11 | 120.0 | 23.9 | 中度 | 960 | 200 | |
| 10/02 14 | 119.6 | 24.0 | 中度 | 960 | 200 | |
| 10/02 17 | 119.1 | 24.1 | 中度 | 970 | 200 | |
| 10/02 20 | 118.6 | 24.3 | 輕度 | 980 | 180 | |
| 10/02 23 | 118.2 | 24.4 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 10/03 02 | 117.8 | 24.5 | 輕度 | 990 | 150 | |
| 10/03 05 | 117.3 | 24.8 | 輕度 | 995 | 150 | |
| 10/03 08 | 116.8 | 25.0 | 輕度 | 998 | 100 | |

編號：200519　颱風名稱：龍王（LONGWANG） 警報期間：09/30~10/03

表 2-8 艾維尼颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 07/08 08 | 126.4 | 23.2 | 中度 | 950 | 300 | |
| 07/08 11 | 126.4 | 23.7 | 中度 | 950 | 300 | |
| 07/08 14 | 126.3 | 24.2 | 中度 | 950 | 300 | |
| 07/08 17 | 126.2 | 24.6 | 中度 | 950 | 300 | |
| 07/08 20 | 126.0 | 25.0 | 中度 | 955 | 300 | |
| 07/08 23 | 125.8 | 25.6 | 中度 | 955 | 300 | |
| 07/09 02 | 125.7 | 26.3 | 中度 | 960 | 300 | |
| 07/09 05 | 125.7 | 26.9 | 中度 | 965 | 250 | |
| 07/09 08 | 125.8 | 27.5 | 中度 | 965 | 250 | |

編號：200603　颱風名稱：艾維尼（EWINIAR） 警報期間：07/07~07/09

表 2-9 碧利斯颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 07/12 08 | 126.5 | 21.2 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/12 11 | 125.8 | 21.3 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/12 14 | 125.3 | 21.5 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/12 17 | 125.0 | 21.6 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/12 20 | 124.7 | 21.7 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/12 23 | 124.5 | 21.8 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/13 02 | 124.3 | 22.0 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/13 05 | 124.0 | 22.4 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/13 08 | 123.7 | 23.0 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/13 11 | 123.3 | 23.3 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/13 14 | 123.0 | 23.7 | 輕度 | 978 | 300 | |
| 07/13 17 | 122.7 | 24.0 | 輕度 | 978 | 300 | |
| 07/13 20 | 122.3 | 24.5 | 輕度 | 978 | 300 | |
| 07/13 23 | 121.8 | 24.9 | 輕度 | 978 | 300 | |
| 07/14 02 | 121.1 | 25.1 | 輕度 | 978 | 300 | |
| 07/14 05 | 120.7 | 25.1 | 輕度 | 978 | 300 | |
| 07/14 08 | 120.4 | 25.5 | 輕度 | 978 | 300 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 07/14 11 | 120.0 | 25.9 | 輕度 | 978 | 300 | |
| 07/14 14 | 119.5 | 26.3 | 輕度 | 980 | 300 | |
| 07/14 17 | 119.0 | 26.6 | 輕度 | 982 | 300 | |
| 07/14 20 | 118.4 | 26.9 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/14 23 | 117.8 | 27.3 | 輕度 | 985 | 300 | |
| 07/15 02 | 117.2 | 27.4 | 輕度 | 990 | 300 | |
| 07/15 08 | 116.0 | 26.7 | 輕度 | 990 | 200 | |

編號：200604　颱風名稱：碧利斯（BILIS） 警報期間：07/12~07/15

表 2-10 凱米颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 07/23 23 | 125.0 | 20.3 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 02 | 124.4 | 20.7 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 05 | 124.0 | 20.9 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 08 | 123.7 | 21.1 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 11 | 123.3 | 21.4 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 14 | 122.9 | 21.7 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 17 | 122.5 | 22.1 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 20 | 122.2 | 22.4 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/24 23 | 121.6 | 22.9 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/25 02 | 120.9 | 23.1 | 中度 | 960 | 200 | |
| 07/25 05 | 119.9 | 23.4 | 中度 | 965 | 200 | |
| 07/25 08 | 119.7 | 23.6 | 中度 | 968 | 200 | |
| 07/25 11 | 119.3 | 23.8 | 中度 | 968 | 200 | |
| 07/25 14 | 118.8 | 24.1 | 輕度 | 975 | 200 | |
| 07/25 17 | 118.3 | 24.3 | 輕度 | 975 | 200 | |
| 07/25 20 | 117.8 | 24.6 | 輕度 | 980 | 200 | |
| 07/25 23 | 117.3 | 24.9 | 輕度 | 985 | 150 | |
| 07/26 02 | 116.7 | 25.1 | 輕度 | 990 | 150 | |
| 07/26 08 | 116.1 | 25.1 | 輕度 | 992 | 150 | |

編號：200605　颱風名稱：凱米（KAEMI） 警報期間：07/23~07/26

表 2-11 寶發颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/08 23 | 122.1 | 22.9 | 輕度 | 995 | 100 | |
| 08/09 02 | 121.7 | 22.9 | 輕度 | 988 | 100 | |
| 08/09 05 | 120.8 | 22.8 | 輕度 | 990 | 100 | |
| 08/09 08 | 120.0 | 22.8 | 輕度 | 992 | 100 | |
| 08/09 11 | 119.3 | 22.7 | 輕度 | 992 | 80 | |
| 08/09 14 | 118.6 | 22.6 | 輕度 | 996 | | |

編號：200609　颱風名稱：寶發（BOPHA） 警報期間：08/07~08/09

表 2-12 桑美颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/09 11 | 127.6 | 24.3 | 中度 | 945 | 180 | |
| 08/09 14 | 126.9 | 24.6 | 中度 | 940 | 180 | |
| 08/09 17 | 126.1 | 25.1 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/09 20 | 125.3 | 25.4 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/09 23 | 124.4 | 25.7 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/10 02 | 123.7 | 26.0 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/10 05 | 123.0 | 26.3 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/10 08 | 122.3 | 26.5 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/10 11 | 121.7 | 26.7 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/10 14 | 121.1 | 27.0 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/10 17 | 120.5 | 27.2 | 中度 | 935 | 180 | |
| 08/10 20 | 119.8 | 27.2 | 中度 | 960 | 120 | |
| 08/10 23 | 119.2 | 27.4 | 輕度 | 975 | 100 | |
| 08/11 02 | 118.7 | 27.7 | 輕度 | 985 | 100 | |

編號：200608　颱風名稱：桑美（SAOMAI） 警報期間：08/09~08/10

表 2-13 珊珊颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/14 23 | 124.9 | 20.6 | 中度 | 955 | 200 | |
| 09/15 02 | 124.7 | 20.9 | 中度 | 955 | 200 | |
| 09/15 05 | 124.5 | 21.2 | 中度 | 955 | 200 | |
| 09/15 08 | 124.3 | 21.5 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/15 11 | 124.1 | 21.7 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/15 14 | 124.1 | 22.2 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/15 17 | 124.0 | 22.6 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/15 20 | 124.0 | 23.1 | 中度 | 945 | 200 | |
| 09/15 23 | 123.9 | 23.6 | 中度 | 940 | 200 | |
| 09/16 02 | 123.9 | 24.0 | 中度 | 940 | 200 | |
| 09/16 05 | 124.0 | 24.5 | 中度 | 940 | 200 | |
| 09/16 08 | 124.3 | 25.0 | 中度 | 940 | 200 | |
| 09/16 11 | 124.5 | 25.5 | 中度 | 940 | 200 | |
| 09/16 14 | 125.0 | 26.0 | 中度 | 940 | 200 | |
| 09/16 20 | 125.8 | 27.1 | 中度 | 940 | 200 | |

編號：200613　颱風名稱：珊珊（SHANSHAN）警報期間：09/14~09/16

表 2-14 帕布颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/07 08 | 124.9 | 21.8 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/07 11 | 124.2 | 22.1 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/07 14 | 123.4 | 22.1 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/07 17 | 122.5 | 22.0 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/07 20 | 121.9 | 22.0 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/07 23 | 121.4 | 22.0 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/08 02 | 120.6 | 22.1 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/08 05 | 119.7 | 22.5 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/08 08 | 118.9 | 22.5 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/08 11 | 117.9 | 22.3 | 輕度 | 980 | 150 | |
| 08/08 14 | 117.3 | 22.2 | 輕度 | 980 | 150 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/08 20 | 116.2 | 22.2 | 輕度 | 990 | 100 | |

編號：200706　颱風名稱：帕布（PABUK）　警報期間：08/06~08/08

表 2-15 梧提颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/08 20 | 123.6 | 21.4 | 輕度 | 992 | 100 | |
| 08/08 23 | 123.1 | 23.8 | 輕度 | 992 | 100 | |
| 08/09 02 | 122.5 | 22.4 | 輕度 | 992 | 100 | |
| 08/09 05 | 122.0 | 22.8 | 輕度 | 992 | 100 | |
| 08/09 08 | 121.6 | 23.3 | 輕度 | 992 | 100 | |
| 08/09 11 | 121.1 | 23.7 | 輕度 | 994 | -- | |

編號：200707　颱風名稱：梧提（WUTIP）　警報期間：08/08~08/09

表 2-16 聖帕颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/16 17 | 125.8 | 18.3 | 強烈 | 920 | 250 | |
| 08/16 20 | 125.5 | 18.7 | 強烈 | 920 | 250 | |
| 08/16 23 | 125.1 | 19.0 | 強烈 | 920 | 250 | |
| 08/17 02 | 124.7 | 19.5 | 強烈 | 920 | 250 | |
| 08/17 05 | 124.4 | 19.9 | 強烈 | 920 | 250 | |
| 08/17 08 | 124.2 | 20.3 | 強烈 | 925 | 250 | |
| 08/17 11 | 123.8 | 20.8 | 強烈 | 925 | 250 | |
| 08/17 14 | 123.4 | 21.1 | 強烈 | 925 | 250 | |
| 08/17 17 | 123.2 | 21.4 | 強烈 | 925 | 250 | |
| 08/17 20 | 122.9 | 21.8 | 強烈 | 925 | 250 | |
| 08/17 23 | 122.6 | 22.2 | 強烈 | 925 | 250 | |
| 08/18 02 | 122.1 | 22.8 | 中度 | 930 | 250 | |
| 08/18 05 | 121.6 | 23.3 | 中度 | 930 | 250 | |
| 08/18 08 | 121.0 | 23.6 | 中度 | 945 | 250 | |
| 08/18 11 | 120.2 | 23.8 | 中度 | 960 | 250 | |
| 08/18 14 | 119.8 | 23.9 | 中度 | 965 | 250 | |
| 08/18 17 | 119.6 | 24.1 | 中度 | 965 | 250 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 08/18 20 | 119.5 | 24.3 | 中度 | 965 | 250 | |
| 08/18 23 | 119.2 | 24.5 | 中度 | 970 | 250 | |
| 08/19 02 | 119.0 | 24.9 | 輕度 | 975 | 250 | |
| 08/19 05 | 118.7 | 25.2 | 輕度 | 980 | 250 | |
| 08/19 08 | 118.4 | 25.3 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 08/19 11 | 118.1 | 25.5 | 輕度 | 990 | 150 | |
| 08/19 14 | 117.9 | 25.7 | 輕度 | 994 | 120 | |
| 08/19 17 | 117.7 | 26.2 | 輕度 | 996 | -- | |

編號：200708　颱風名稱：聖帕（SEPAT）　警報期間：08/16~08/19

表 2-17 韋帕颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 09/17 14 | 126.8 | 22.8 | 中度 | 965 | 200 | |
| 09/17 17 | 126.4 | 23.1 | 中度 | 960 | 200 | |
| 09/17 20 | 125.7 | 23.4 | 中度 | 945 | 200 | |
| 09/17 23 | 125.2 | 23.6 | 中度 | 942 | 200 | |
| 09/18 02 | 124.6 | 23.9 | 中度 | 935 | 200 | |
| 09/18 05 | 124.1 | 24.2 | 中度 | 935 | 200 | |
| 09/18 08 | 123.6 | 24.4 | 中度 | 940 | 200 | |
| 09/18 11 | 123.2 | 25.0 | 中度 | 935 | 200 | |
| 09/18 14 | 122.5 | 25.7 | 中度 | 945 | 200 | |
| 09/18 17 | 121.8 | 26.0 | 中度 | 945 | 200 | |
| 09/18 20 | 121.5 | 26.2 | 中度 | 950 | 200 | |
| 09/18 23 | 121.1 | 26.5 | 中度 | 960 | 180 | |
| 09/19 02 | 120.7 | 27.0 | 中度 | 960 | 180 | |
| 09/19 05 | 120.2 | 27.6 | 中度 | 960 | 180 | |
| 09/19 08 | 119.7 | 28.2 | 中度 | 970 | 150 | |
| 09/19 14 | 119.2 | 29.2 | 輕度 | 985 | 120 | |

編號：200712　颱風名稱：韋帕（WIPHA）　警報期間：09/17~09/19

表 2-18 柯羅莎颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10/05 14 | 124.9 | 20.9 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/05 17 | 124.8 | 21.4 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/05 20 | 124.8 | 21.8 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/05 23 | 124.4 | 22.5 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/06 02 | 124.1 | 22.8 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/06 05 | 123.8 | 23.4 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/06 08 | 123.5 | 23.8 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/06 11 | 123.0 | 24.5 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/06 14 | 122.4 | 24.5 | 強度 | 925 | 300 | |
| 10/06 17 | 121.8 | 24.0 | 中度 | 940 | 300 | |
| 10/06 20 | 122.0 | 24.2 | 中度 | 940 | 300 | |
| 10/06 23 | 121.9 | 25.0 | 中度 | 945 | 300 | |
| 10/07 02 | 121.1 | 25.5 | 中度 | 960 | 300 | |
| 10/07 05 | 120.7 | 25.6 | 中度 | 965 | 300 | |
| 10/07 08 | 120.7 | 25.9 | 輕度 | 975 | 300 | |
| 10/07 11 | 120.7 | 26.4 | 輕度 | 980 | 300 | |
| 10/07 14 | 120.7 | 26.8 | 輕度 | 985 | 200 | |
| 10/07 17 | 120.5 | 27.4 | 輕度 | 988 | 200 | |
| 10/07 20 | 120.3 | 27.7 | 輕度 | 990 | 150 | |
| 10/07 23 | 120.2 | 27.9 | 輕度 | 992 | 100 | |
| 10/08 02 | 120.1 | 27.9 | 輕度 | 992 | 100 | |

編號：200715　颱風名稱：柯羅莎（KORSA） 警報期間：10/04~10/07

表 2-19 米塔颱風動態資料

| 時間 | 經度 | 緯度 | 強度 | 中心氣壓(mb) | 七級暴風半徑(Km) | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11/26 14 | 120.6 | 19.0 | 輕度 | 975 | 200 | |
| 11/26 17 | 120.6 | 19.4 | 輕度 | 980 | 180 | |
| 11/26 20 | 120.5 | 19.7 | 輕度 | 980 | 180 | |
| 11/26 23 | 120.6 | 20.0 | 輕度 | 985 | 150 | |
| 11/27 02 | 120.7 | 20.1 | 輕度 | 985 | 150 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11/27 05 | 121.0 | 20.3 | 輕度 | 988 | 150 | |
| 11/27 08 | 121.5 | 20.5 | 輕度 | 995 | 120 | |
| 11/27 11 | 122.0 | 20.4 | 輕度 | 996 | -- | |
| 11/27 14 | 122.8 | 20.2 | 輕度 | 998 | -- | |

編號：200723　颱風名稱：米塔（MITAG）　警報期間：11/26~11/27

# 第三章 波譜形狀演變比較及特性分析

本章分析前章 11 個時段中所含 19 個颱風及 1 個季風波浪資料之波譜時空演變情形，並比較及探討在波高成長及衰退過程中及不同測點，高、低頻區波浪能量分佈之變化。由於資料眾多故本研究先選取波高成長及衰退過程中特定 5 筆波浪資料作波譜分析，測點選擇則以編號 5 或 6 當作港外測點，港內測點則僅選曲編號 10、12、16、17 及 18 等分別代表不同碼頭之水域。

## 3.1 同一測點但不同時間之波譜演變

為方便分析及比較於颱風波浪資料中，根據波高逐時變化趨勢，選取特定 5 筆資料進行波譜分析，這 5 筆資料包含波高成長及衰退情況，其波譜結果如圖 3-1 至圖 3-18 所示。為檢視高、低頻區能譜值之變化，圖中也另標示這 5 筆資料之發生日期及時間，以便相互對照。圖中依時間順序分別以黑、藍、綠、紅及紫等代表波高成長及衰退，故原則上綠色表 5 筆資料中波高最大者。圖中左上為港外測點編號 5 或 6、中上為港內測點編號 10（港口入口處）、右上為港內測點編號 12（22 號碼頭）、左下為港內測點編號 16（漁港出口）、中下為港內測點編號 17（11 號碼頭）及右下為港內測點編號 18（8 號碼頭）。

由上述波浪能譜圖檢視，發現港外測點在波高成長時段，主頻率往低頻區移動，且低頻區波譜能量密度值明顯增大約 $10^2$ 至 $10^5$ 倍；高頻區增大程度則較小，大致不超過 10 倍。波高衰退時段，主頻率往高頻區移動，且低頻區波譜能量密度值明顯減小約 $10^2$ 至 $10^5$ 倍；高頻區減小程度則較小，大致也不超過 10 倍。因此，波浪成長及衰退過程其能量分佈的變化是循相同的途徑來回逐步演變，此與本研究上一年度的研究結果一致。

以第 1 類路徑之強烈颱風龍王的波譜形狀外觀檢視，發現港外測點於高頻區波譜能量增加較多可達 $10^3$ 倍，但低頻區波譜能量增加更明

顯可達 $10^5$ 倍，其他港內測點也有類似情形，不過港外測點之主頻區可辨別出來，大約在 0.07~0.12Hz 之間，而港內測點之主頻區模糊難以辨別，因為，波譜整體外觀形狀為波譜能量由低頻區一路往高頻區逐漸降低，且其降低幅度大波高(紅實線)較小波高(黑實線)明顯，如圖 3-7。以第 3 類路徑之輕度颱風丹瑞的波譜形狀外觀檢視，發現港外測點於高頻區波譜能量增加不明顯大致不超過 10 倍，而低頻區波譜能量增加較明顯但也不超過 $10^2$ 倍，與前例龍王颱風相較增大幅度明顯變小。其主要原因為強烈之龍王颱風所選取的 5 筆資料其波高變化較大，而輕度之丹瑞颱風則較小，因此，丹瑞颱風之波譜隨時間之變化較不明顯。而港外測點之主頻區也可辨別出來，同樣大約在 0.07~0.12Hz 之間，至於港內測點之主頻區在編號 10 及 18 可發現 0.07~0.12Hz 及 0.006~0.008Hz 之 2 個主頻區，而港內其他測點則較不明顯，如圖 3-6。若以第 2 類路徑之輕度颱風碧利斯的波譜形狀外觀檢視，無論在波譜隨時間之變化或主頻區之辨別其結果與丹瑞颱風相當類似，如圖 3-9。再以不屬於颱風之季風波浪來檢視，如圖 3-18，圖中顯示波譜隨時間之演變情形與輕度颱風丹瑞或碧利斯相當類似，換言之，強勁之季風波浪與輕度之颱風波浪其波譜形狀隨波高增大及減小之演變情形相似，故強勁季風波浪可視為輕度颱風。

依港外測點不同時間之波譜比較發現在低頻區其形狀較平緩，這和高頻區存在著一明顯波譜形狀斜率不同，此顯示屬於低頻區之各長週期成份波能量相近，且隨波高增大或減小其能量之增大或減小也相近。這也代表颱風期間港外即存在著明顯的長週期成份波，且此長週期波之能量會隨颱風接近或遠離而增大或減小。因此，花蓮港港池不穩靜而造成船舶斷纜之原因，或許不是港池共振所引起，而是港外既有之能量不可忽視的長週期波作用所致。換言之，平常時期港外即有長週期成份波能量存在（與主頻區間能量相較），只是其能量較小對靠泊船隻影響不大，但當颱風期間此長週期成份波能量隨同主頻區間能量增加也增大而影響船舶靠泊繫纜。另外由圖 3-1 至圖 3-18 中也發現港內各測點之主頻區能量較港外測點明顯減小，但低頻區則無此現象

大約與港外測點相近，只在更低頻區能量可能比港外測點稍大些，這也顯示花蓮港港池共振並不明顯，因為波浪能量沒有在某一頻率（即港池共振頻率）有明顯放大的現象。另外由圖中也發現在頻率約為 0.04Hz 附近，波譜形狀有所不同，也就是前述之低頻區波譜形狀較平緩，其所謂低頻區即指頻率低於 0.04Hz 之區域。此頻率界線在港內測點也可明顯看出，尤其是編號 18 測點，同時此頻率界線值與颱風強度、路徑、移動速度無關。

綜合而言，港外測點在波高成長時段，主頻率往低頻區移動，且低頻區波譜能量密度值增大，高頻區增大程度則較小；波高衰退時段，主頻率往高頻區移動，且低頻區波譜能量密度值減小，高頻區減小程度則較小。因此，波浪成長及衰退過程其能量分佈的變化是循相同的途徑來回逐步演變，此與以往研究結果一致。港內測點波譜演變雖也有類似情形，不過港外測點之主頻區可辨別出來，大約在 0.07~0.12Hz 之間，而港內測點因為波譜整體外觀形狀大致為波譜能量由低頻區往高頻區逐漸降低故其主頻區模糊較難辨別。強勁之季風波浪與輕度之颱風波浪其波譜形狀隨波高增大及減小之演變情形相似，故強勁季風波浪可視為輕度颱風。港內各測點之主頻區能量較港外測點明顯減小，但低頻區則無此現象且大約與港外測點相近，只在更低頻區能量可能比港外測點稍大些，這也顯示花蓮港港池共振並不明顯，因為波浪能量沒有在某一頻率（即港池共振頻率）有明顯放大的現象。若以 0.04Hz 作為高、低頻區之頻率界線值，則港外測點在低頻區其形狀較平緩，這和高頻區存在著一明顯波譜形狀斜率不同，此顯示屬於低頻區之各個長週期成份波能量相近，且隨波高增大或減小其能量之增大或減小也相近。因此，花蓮港港池不穩靜而造成船舶斷纜之原因，或許不是港池共振所引起，而是港外既有之能量不可忽視的長週期波作用所致。以往國內外專家學者對於花蓮港港池是否發生共振？或港外是否早已存在發生共振之長週期成份波？或者是邊緣波所引致或波浪非線性交互作用或群波作用所引致之長週期波動等問題？各有不同看法，其主要癥結在於現場觀測資料不足，由其是港、內外波浪之同步

觀測。因此，本研究對於此問題之釐清及後續結構性或非結構性改善方案之研擬工作極有助益。

## 3.2 同一時間但不同測點之波譜演變

上一節探討波譜形狀之時間演變，而本節將針對波譜形狀之空間變化作分析，也就是在同一時間相互比較不同測點之波譜形狀之演變，藉此了解現有花蓮港之外廓防波堤設施及港型佈置對於各頻率成份波動能量之消減情形，尤其是上節中之長週期成份波是否能有效消除是探討重點。因此，依同一時間港內各測點與港外測點之波譜分別重疊繪製如圖 3-19 至圖 3-108。圖中黑色點線表港外測點之波譜，並依其為準以藍色實線重疊分別標示港內各測點之波譜，港內測點原則選取 10、12、14、16、17 及 18 等編號，部分測點由於資料遺失故未繪製或由他點取代，另測點 16 有少部分資料品質不佳故其波譜形狀成為近似一直線，應去除不計。此外為瞭解長週期成分波之能量變化，圖中之橫坐標改以時間軸表示其週期大小，但橫、縱座標同樣皆為對數。

以第 3 類路徑之輕度颱風丹瑞為例，如圖 3-44 至圖 3-48。圖中顯示短週期成份波能量在港內測點明顯減小，但不同測點之降低幅度並不相同，大致上以編號 16 之漁港入口處及編號 17 之 11 號碼頭降低幅度最大；編號 12 之 22 號碼頭、編號 14 之窄航道入口處及編號 18 之 8 號碼頭降低幅度次之；而編號 10 之港口入口處降低幅度最小。而長週期成份波能量港內與港外測點接近，大部分在測點 17 及 18 於某些時間可能較港外測點大些，其增大幅度可達 $10^2$ 倍。另外檢視龍王、凱米、珊珊、聖帕、韋帕颱風及東北季風等不同之特殊氣象條件下之波譜演變情形，也得到相似的結果。可見上述之波譜演變特性與氣象條件無關，初步認為與花蓮港目前之防波堤配置及港內水域形狀有關。而短週期成份波能量明顯降低而長週期期則無（甚至有增大情形），這顯示颱風波浪由港外向港內傳遞時，由於防波堤之遮蔽作用，短週期成份波能量大幅降低，但對於長週期成份波而言則防波堤無遮蔽作用，再

加上花蓮港之特殊港內水域佈置，此長週期波可能會有些微之共振現象出現，或者是港內長週期波動無法消散而產生累積效應，致使能量在某些情況發生些微增大。再進一步比較可發現在週期小於 25sec 時，港外測點波譜能量絕大部分大於港內測點，而週期大於 25sec 且小於 70sec 時，港內、外測點之波譜能量相近，但當週期大於 70sec 時，港內測點波譜能量大於港外之情形較易出現，此和前一節以頻率 0.04Hz 區分高、低頻區之結果得到相互印證。換言之，花蓮港彷彿是一個短波濾波器，對於週期小於 25sec 之波浪有明顯阻擋濾除作用，但對於大於 25sec 之波浪則通過，甚至由於港內之特殊水域形狀而可能出現些微之共振現象或是能量累積效應。參照前一節之分析結果，當颱風侵襲花蓮港時港外長週期成份波之能量隨波高之增大而明顯增加，而目前花蓮港之防波堤設施對此長週期波動無有效之阻擋或消減，使得長週期波長驅直入港內造成港池之不穩靜，影響船舶之繫纜泊靠。因此，後續在研擬改善方案時，應針對如何阻擋或減少長週期成份波進入港內？作詳細思考，若以改變港池形狀以降低或避開港池共振，則可能效果不佳。

## 3.3 綜合討論

由前二節波譜能量分布變化之時空比較分析結果，初步認為花蓮港港外長週期成份波早已存在，並非颱風期間才出現。只是在颱風或強勁季風期間長週期（低頻區）成份波之能量明顯增大，其增大幅度甚至比主頻區及高頻區為大。然而以目前花蓮港之防波堤設施只對週期小於 25sec 之短週期成份波發揮有效之遮蔽作用，但無法阻擋或削減週期大於 25sec 之長週期成份波。因此，當長週期成份波進入港內時，港內傳統之碼頭岸壁設施同樣無法消減其能量，再加上港內較特殊水域形狀，該長週期成分波在某些水域處有可能發生能量再次增大之現象，而此能量增大現象究竟是港池共振所引起？或者是能量無法消散而產生累積效應所致？則有待進一步探討。

對於花蓮港之港池不穩靜在此作一假設情境說明，以解釋為何平

常時間港內泊靠船隻無繫纜問題，而當颱風期間卻經常出現斷纜情形。在平常時間港外長週期成份波仍存在只是能量很小，假設波高僅0.15cm，進入港內後依前節分析結果其能量放大可達 $10^2$ 倍，換算波高也僅 1.5cm 左右，此對靠泊船隻影響甚微。但當颱風侵襲期間港外長週期成份波依前節分析結果其能量放大可達 $10^4$ 倍，此時港外長週期波波高換算約 15cm，進入港內後能量再放大 $10^2$ 倍，此時波高可達150cm。此種週期近百秒或百秒以上且波高達 1.5m 以上之波動對靠泊船隻的繫纜纜繩造成極大負荷。究竟港內有無週期近百秒且波高 1.5m 左右之波動存在？在此選取部分颱風波浪及季風波浪之實測水位變化紀錄作直接檢視，如圖 3-109 至圖 3-115。由圖 3-110 之強烈颱風龍王為例，港內測點 12（22 號碼頭）已開始出現短週期波減弱而長週期波仍維持原來能量之現象，港內測點 17（11 號碼頭）及 18（8 號碼頭）則短週期波更加減弱而長週期波不僅維持原來能量，甚至還有放大情形，所以出現短週期波騎乘在長週期波之特殊波動現象，由圖中測點 18 之水位振幅大小估計此長週期波波高約 2.0m；週期約 150sec，此不僅符合上述之情境假設，同時也證明港內確實存在著嚴重影響繫纜安全之長週期成份波。另外檢視圖 3-109 之輕度颱風丹瑞，圖中顯示港內測點 17（11 號碼頭）之短週期波削減程度較港內測點 18（8 號碼頭）明顯，但長週期波則以測點 18 較大些，而測點 16（漁港入口）之長週期成份波之振幅及週期皆較測點 17 及 18 明顯減小，在其他圖中也顯示相同情形，這表示港內不同水域之波動特性會有不同，此外由於丹瑞為輕度颱風故港內各測點水位振幅較龍王颱風為小，如測點 18 之水位振幅大小估計此長週期波波高約 0.25m；週期約 100sec 左右。檢視圖 3-115 東北季風之情況，港內波動特性大致與颱風情況相似，不過在測點 12（22 號碼頭）之水位振幅明顯較測點 10（港口入口處）大，這和颱風的情況相反，此現象可再擷取更多之季風波浪資料作比對，以進一步確認及探討原因。

波譜之能量分布變化無論由時間或空間比較分析，皆顯示頻率 0.04Hz（週期 25sec）是一個區分界線，因為頻率小於 0.04Hz 的各成份

波能量在港外測點皆相近（同一時間），沒有某一特定頻率之能量相對較大之情形，但在不同時間隨颱風動態（主要是強度及距離）能量則會有增長或消減，但各成份波能量仍保持相近。至於各港內測點同樣頻率小於 0.04Hz 的各成份波能量大致也相近（在較低頻區有些許放大），同時也和港外測點相近，此顯示港內測點可能存在微弱之共振作用或長波能量累積效應。至於頻率大於 0.04Hz 的港外測點波譜形狀會有一主頻率出現（能量尖峰處），同樣在不同時間隨颱風動態能量也會有增長或消減，同時主頻率也會隨之移動。由於防波堤之遮蔽作用，大幅降低頻率大於 0.04Hz 之波譜能量，尤其是主頻率附近，使得各港內測點波譜形狀可能無能量尖峰出現，尤其是測點 16 及 17。顯然花蓮港　　目前防波堤僅對週期小於 25sec（0.04Hz）之成份波發揮有效之遮蔽作用，而週期大於 25sec 之成份波則無作用。因此，防波堤之結構設施相當是一個短波濾波器。

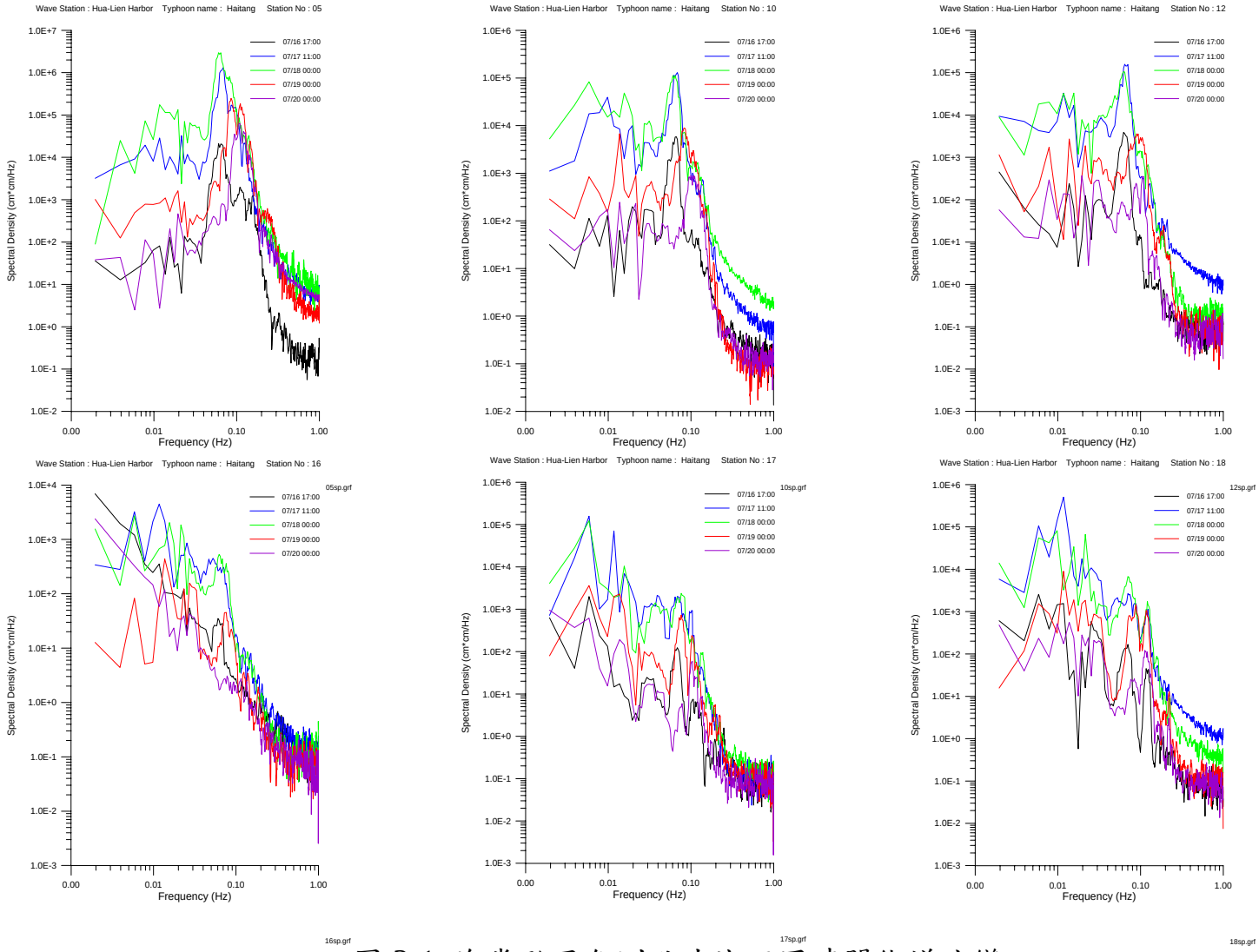



圖 3-1 海棠颱風各測點波浪不同時間能譜演變

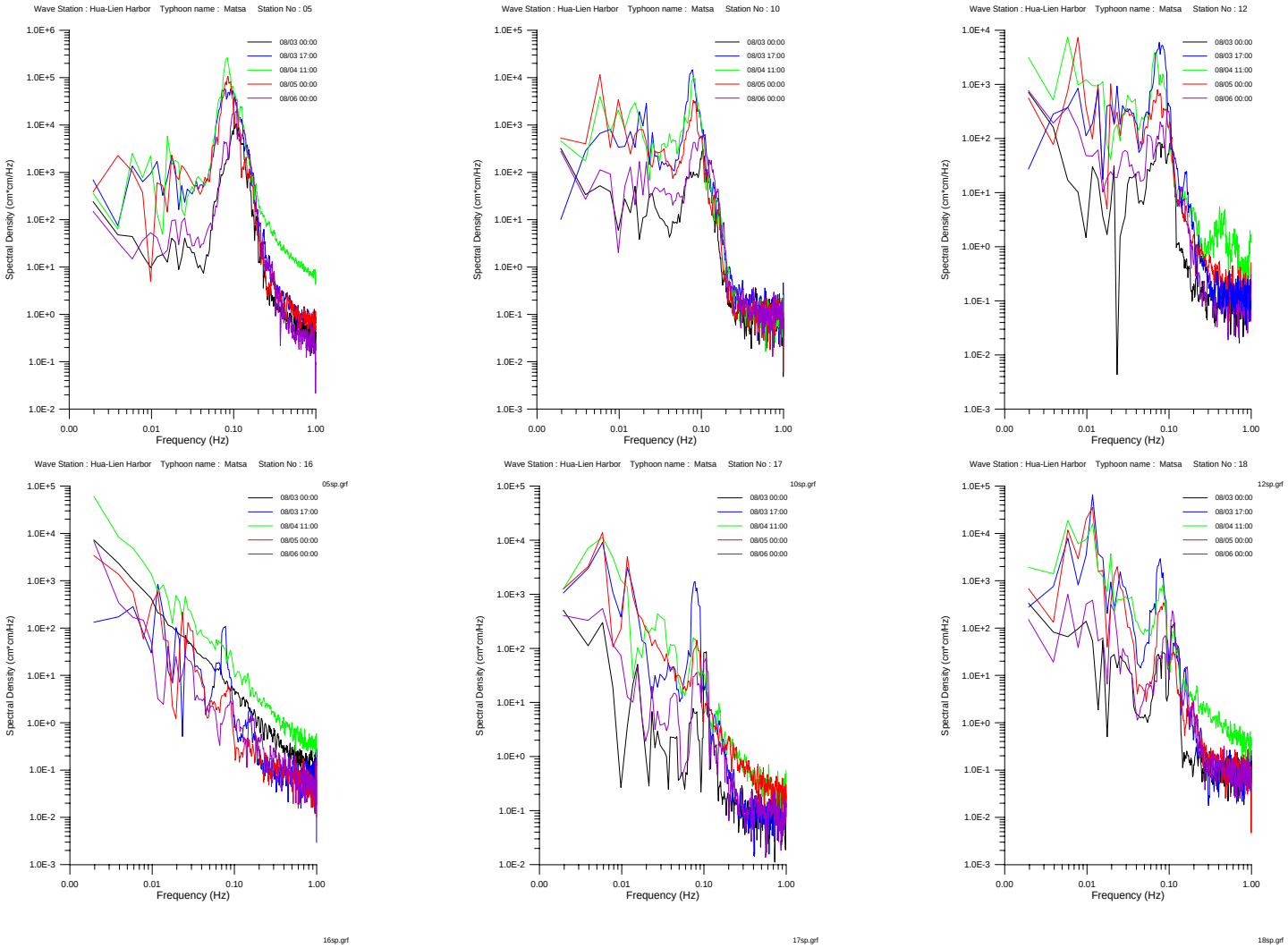



圖 3-2 馬莎颱風各測點波浪不同時間能譜演變

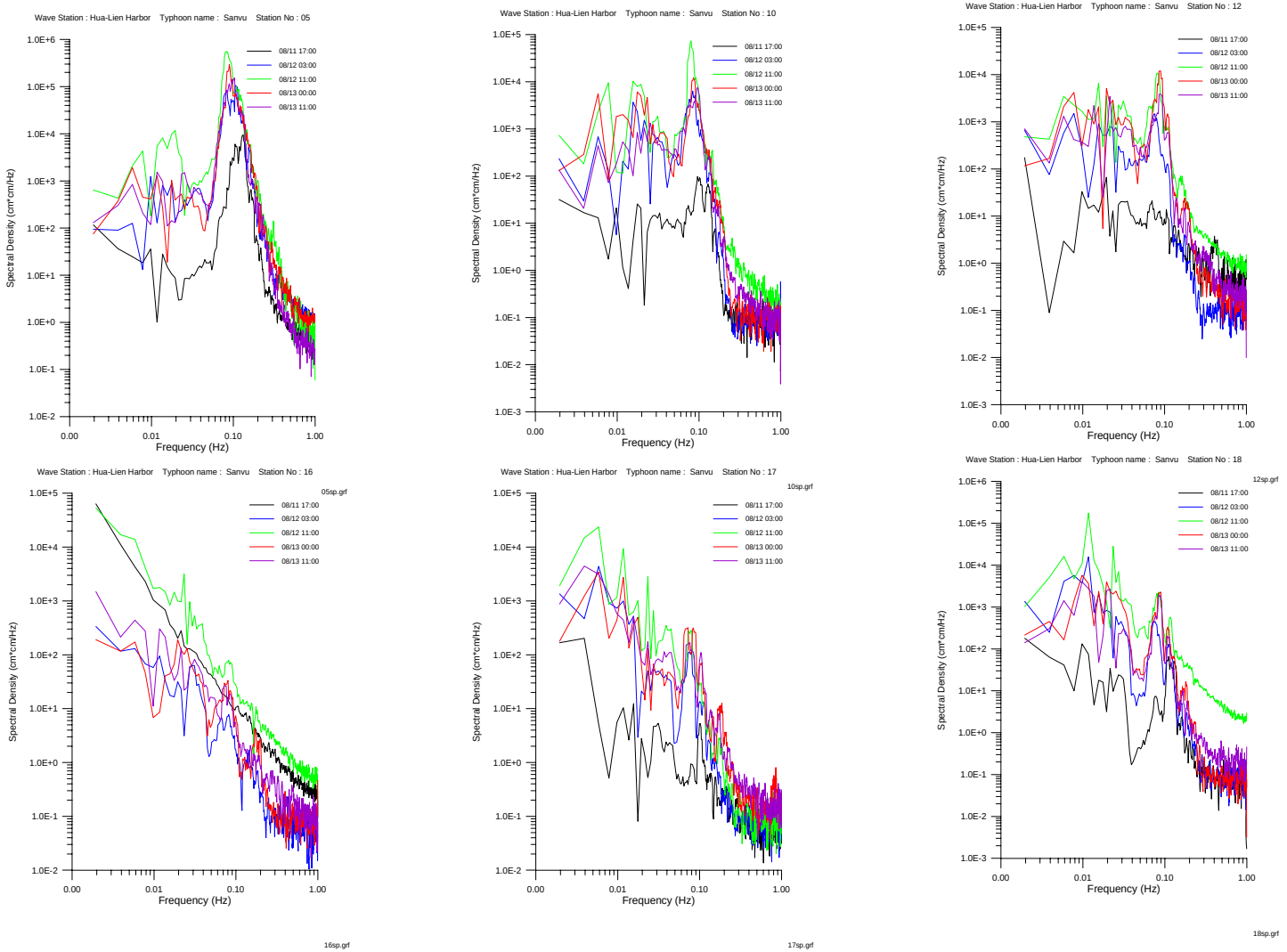



圖 3-3 珊瑚颱風各測點波浪不同時間能譜演變

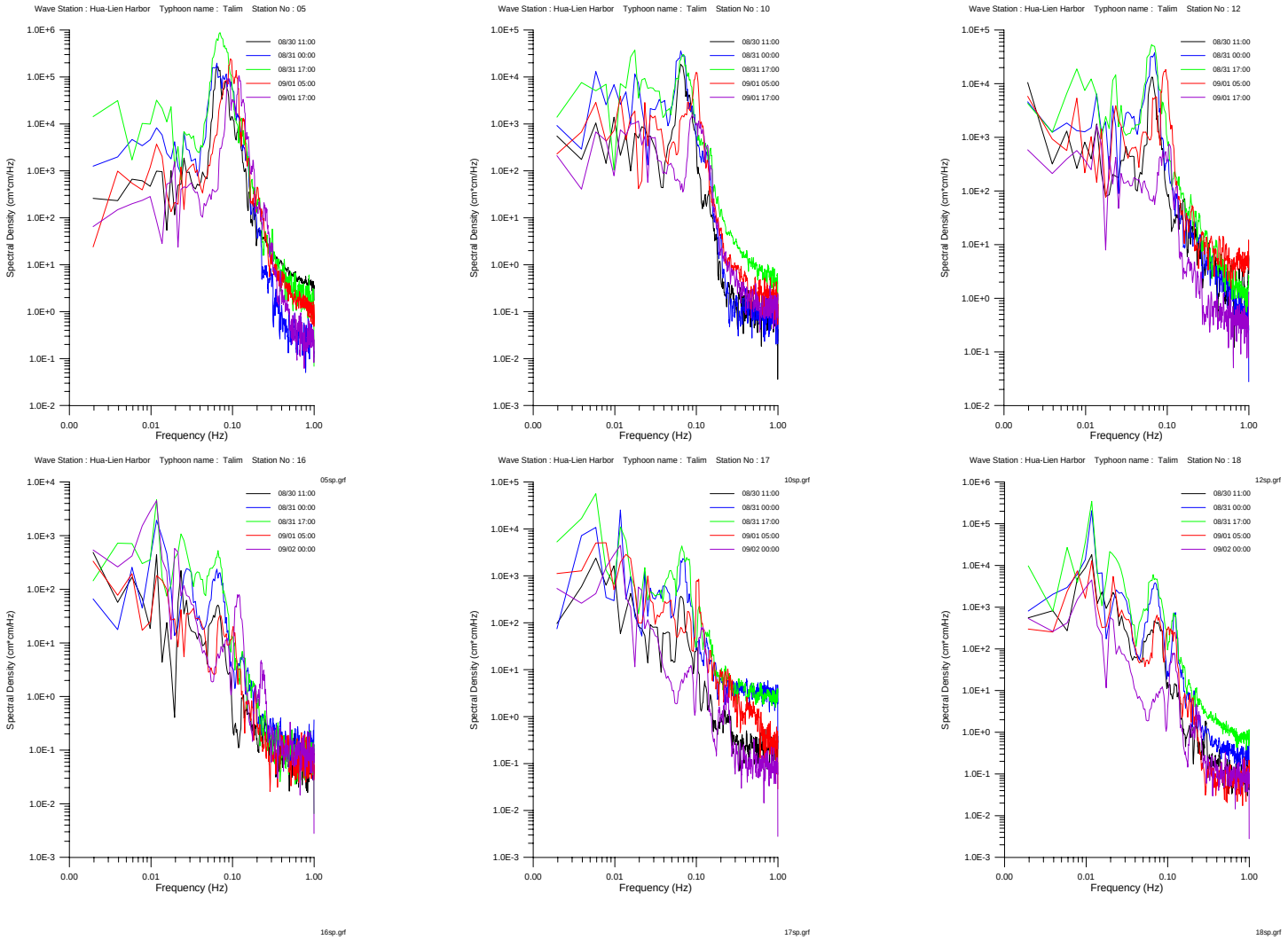



圖 3-4 泰利颱風各測點波浪不同時間能譜演變

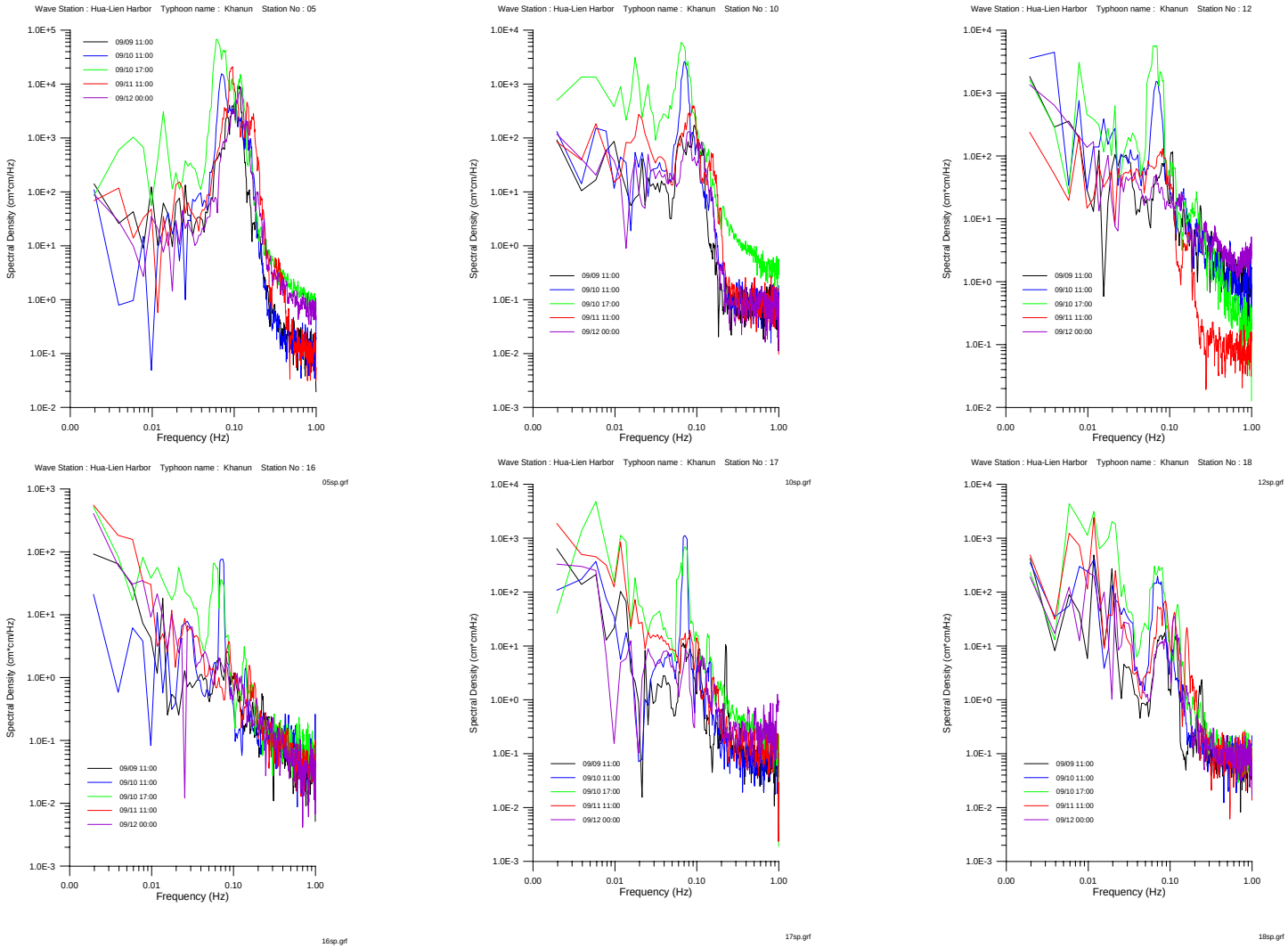



圖 3-5 卡努颱風各測點波浪不同時間能譜演變

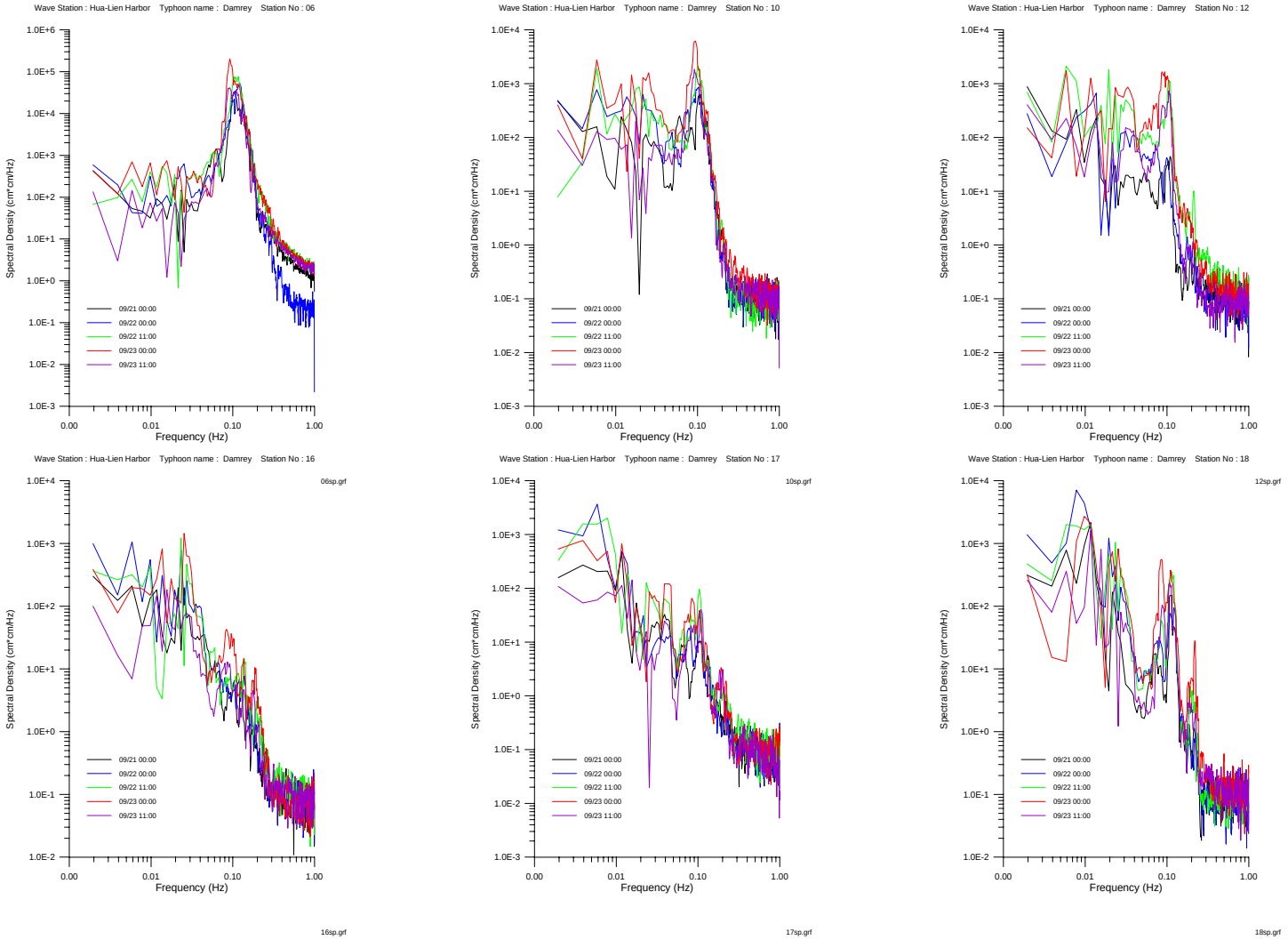



圖 3-6 丹瑞颱風各測點波浪不同時間能譜演變

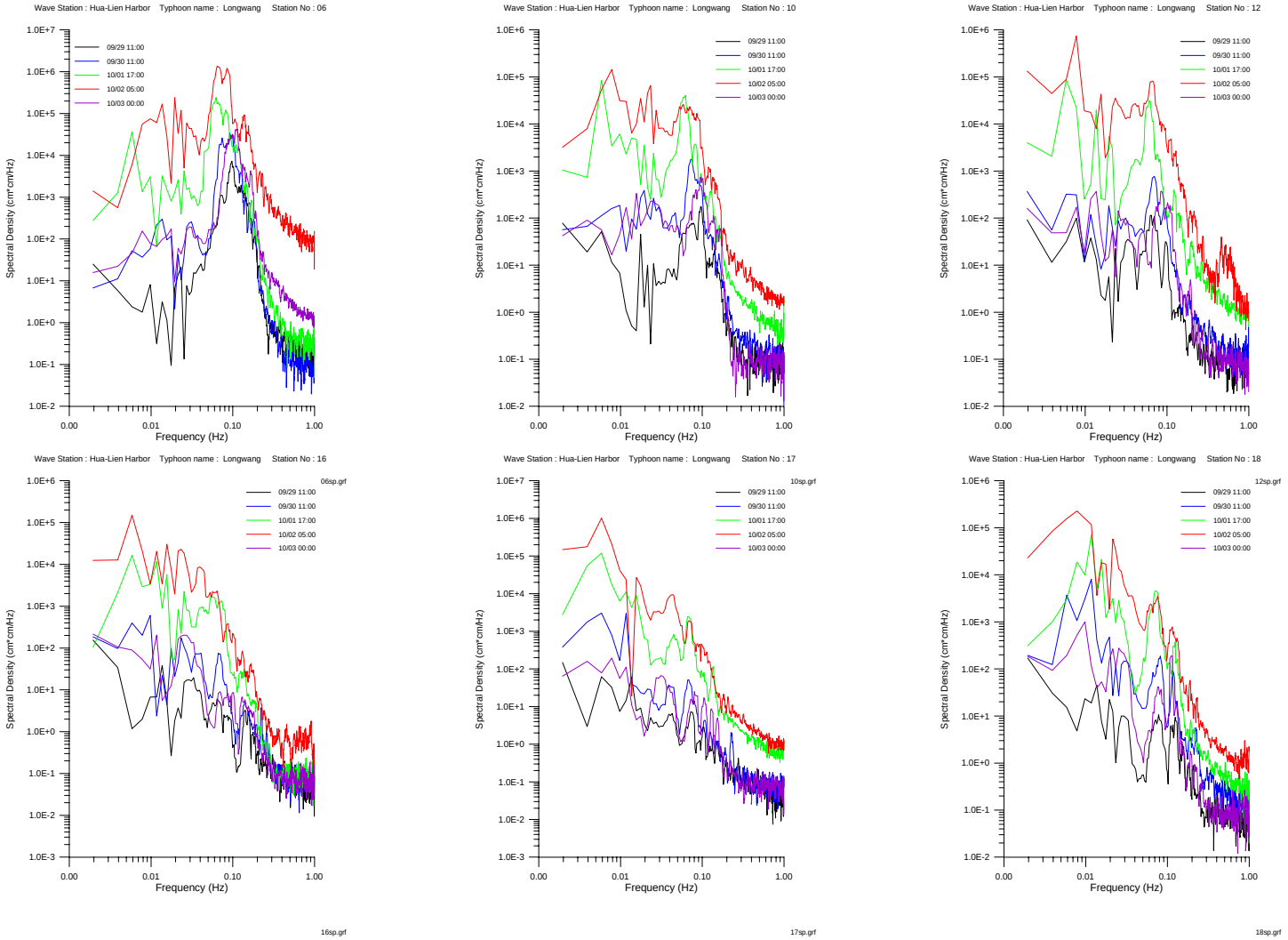



圖 3-7 龍王颱風各測點波浪不同時間能譜演變

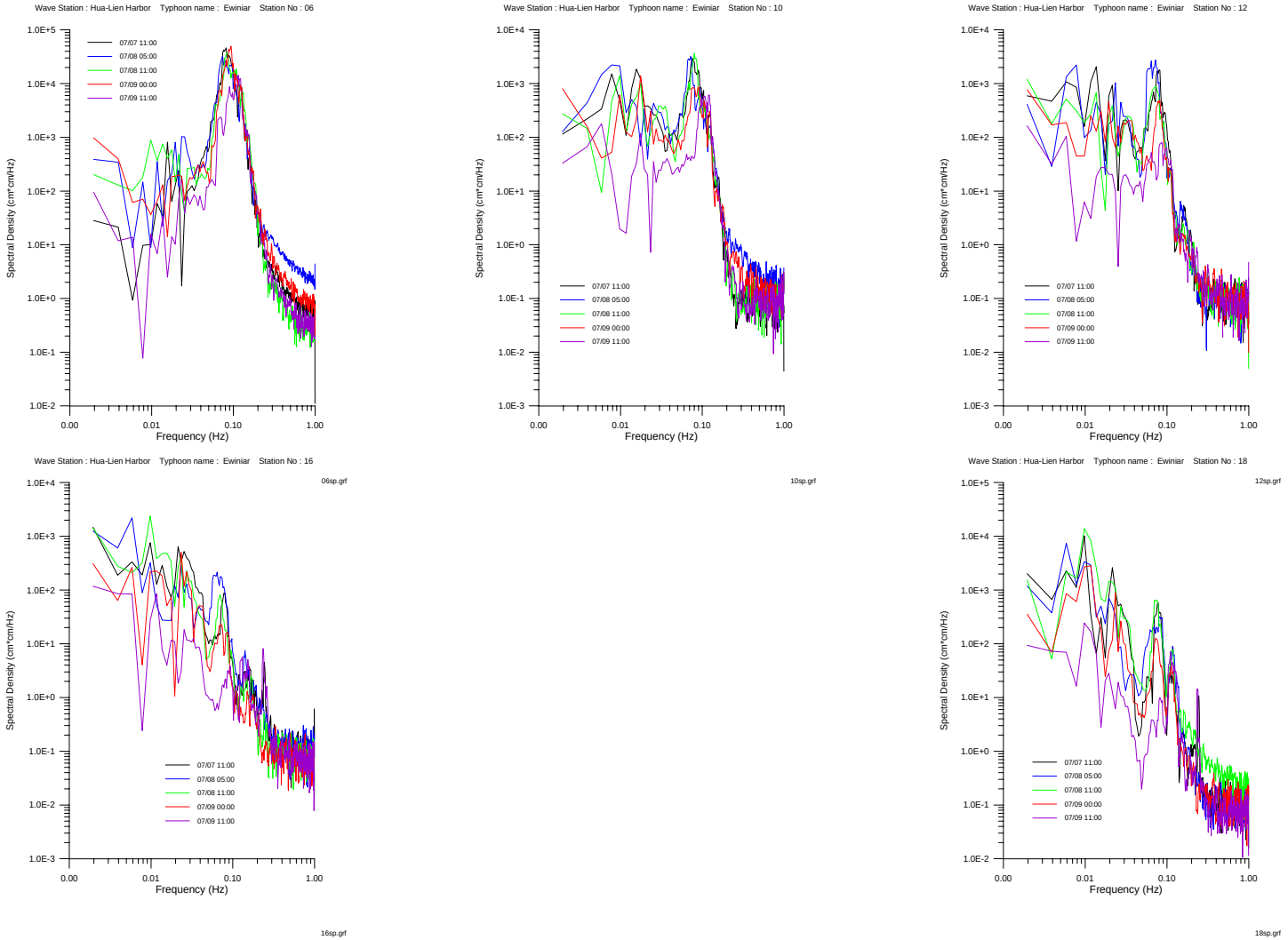



圖 3-8 艾維尼颱風各測點波浪不同時間能譜演變

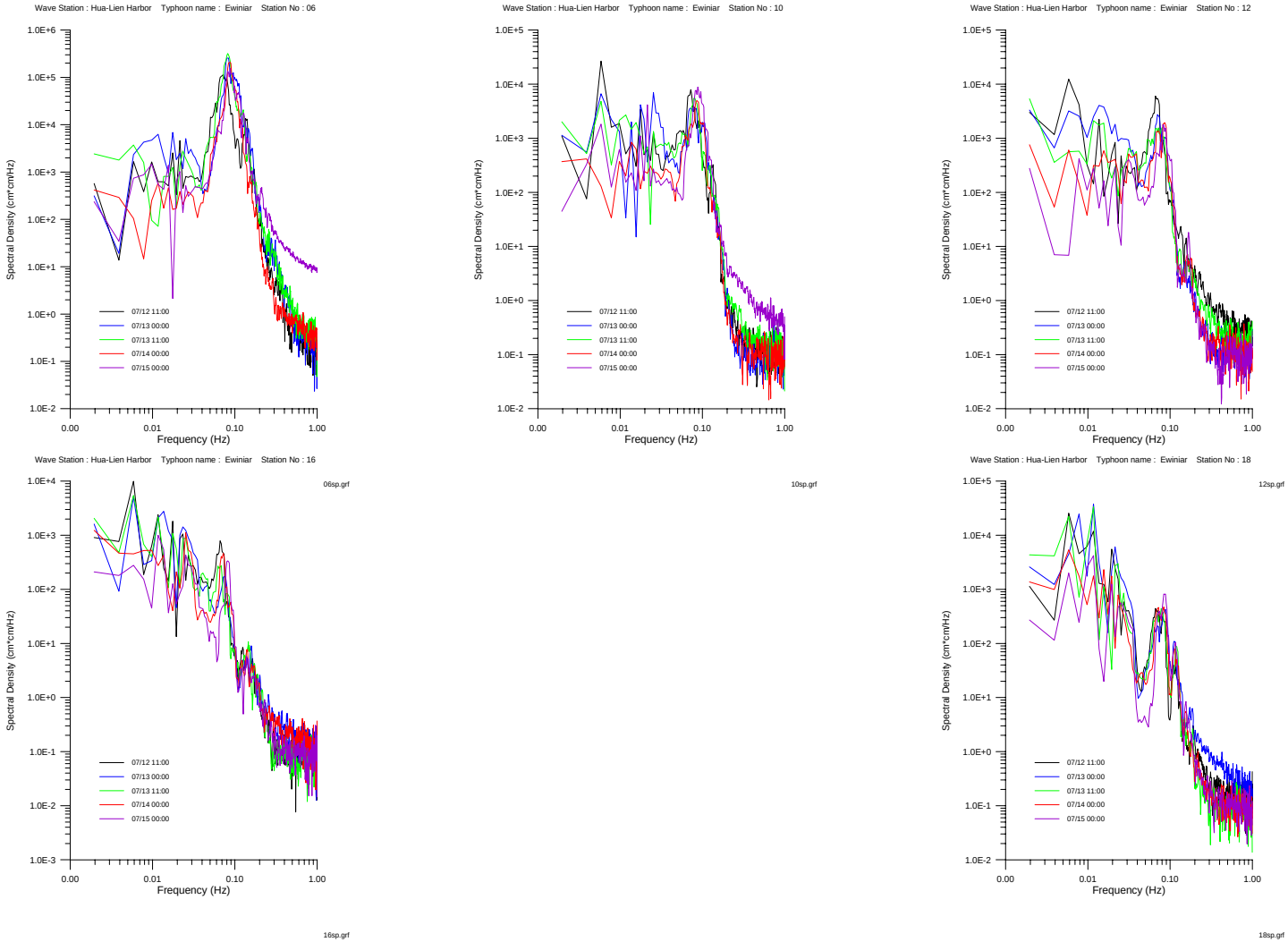



圖 3-9 碧利斯颱風各測點波浪不同時間能譜演變

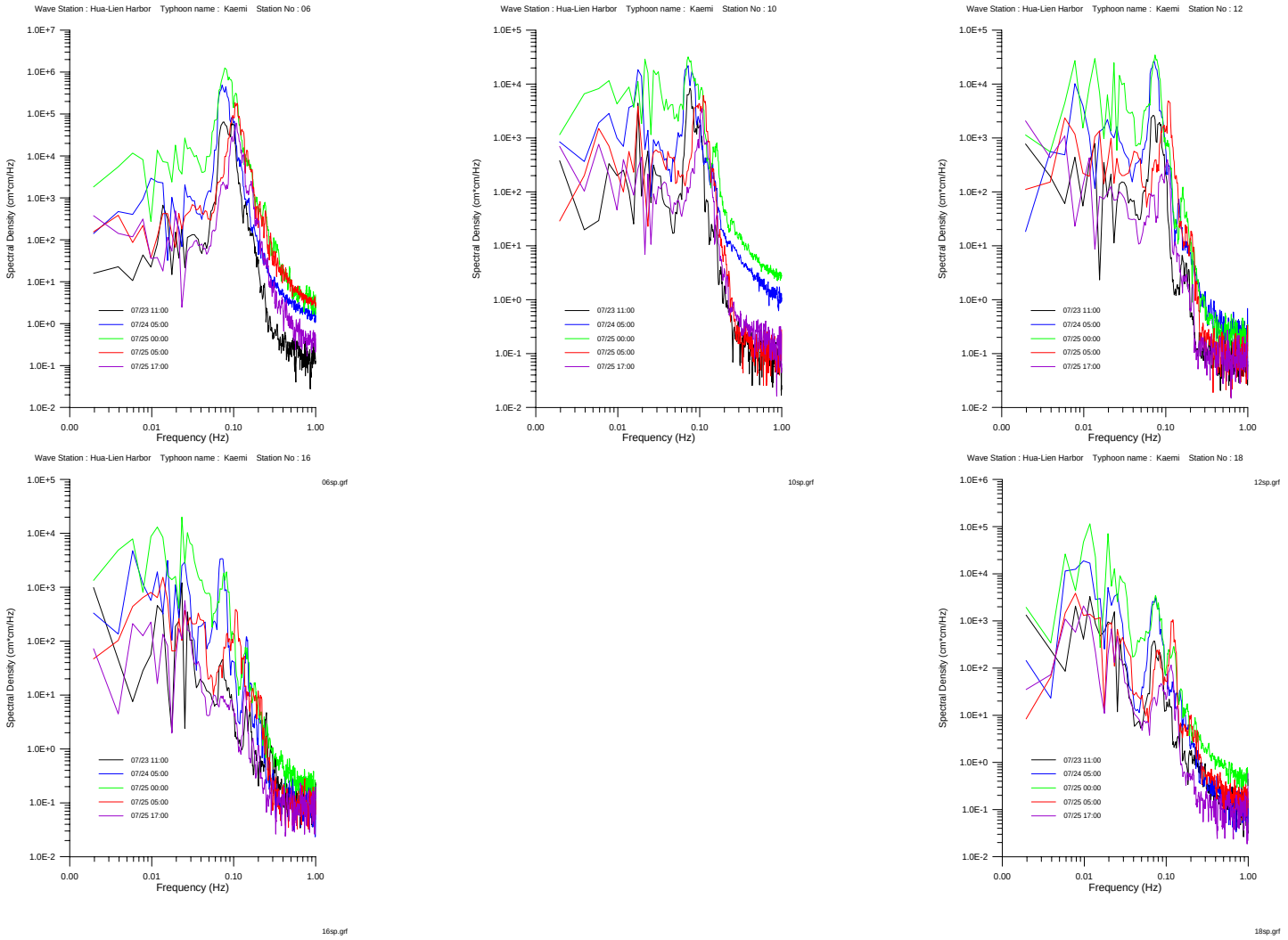



圖 3-10 凱米颱風各測點波浪不同時間能譜演變

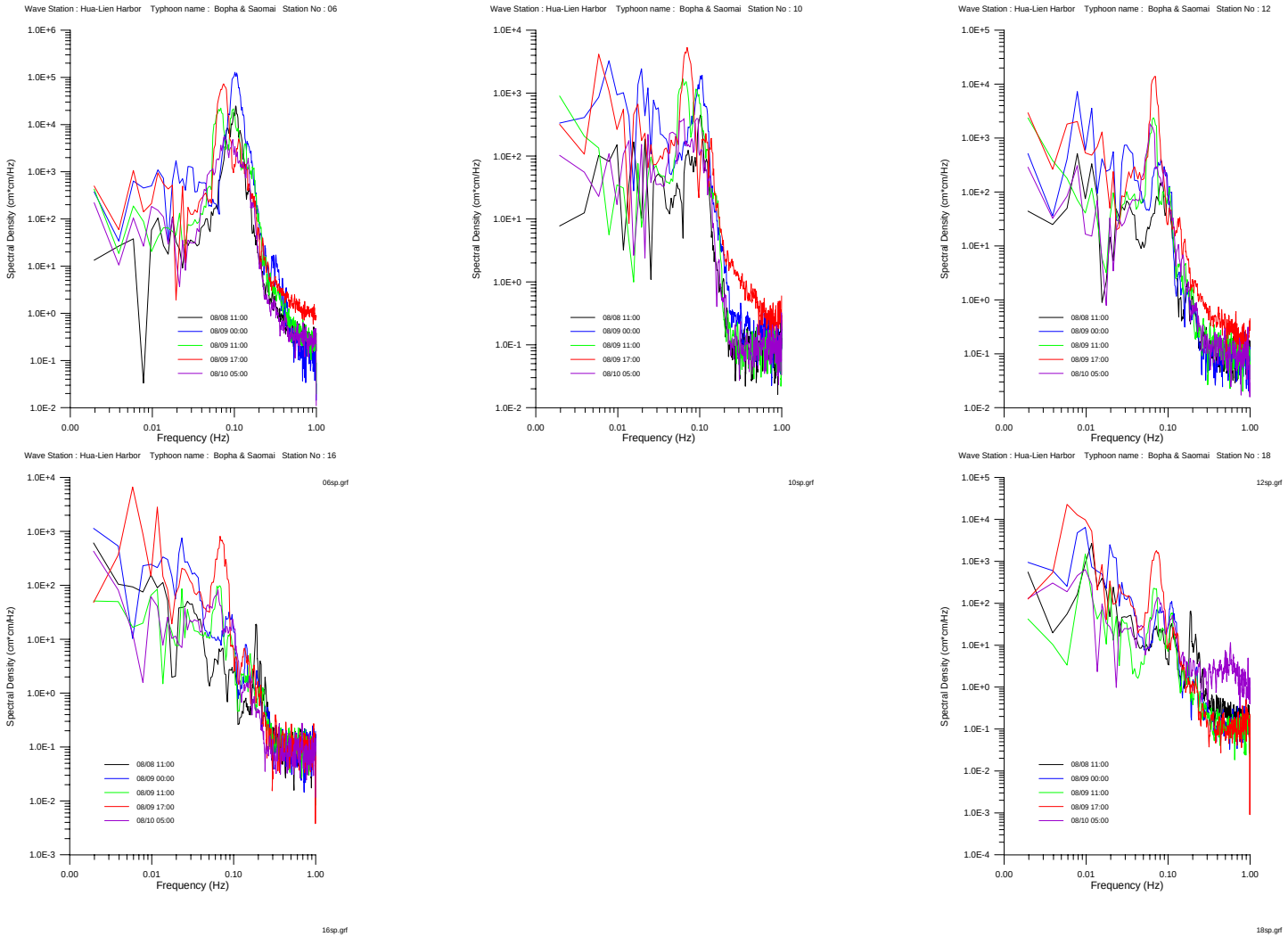



圖 3-11 寶發及桑美颱風各測點波浪不同時間能譜演變

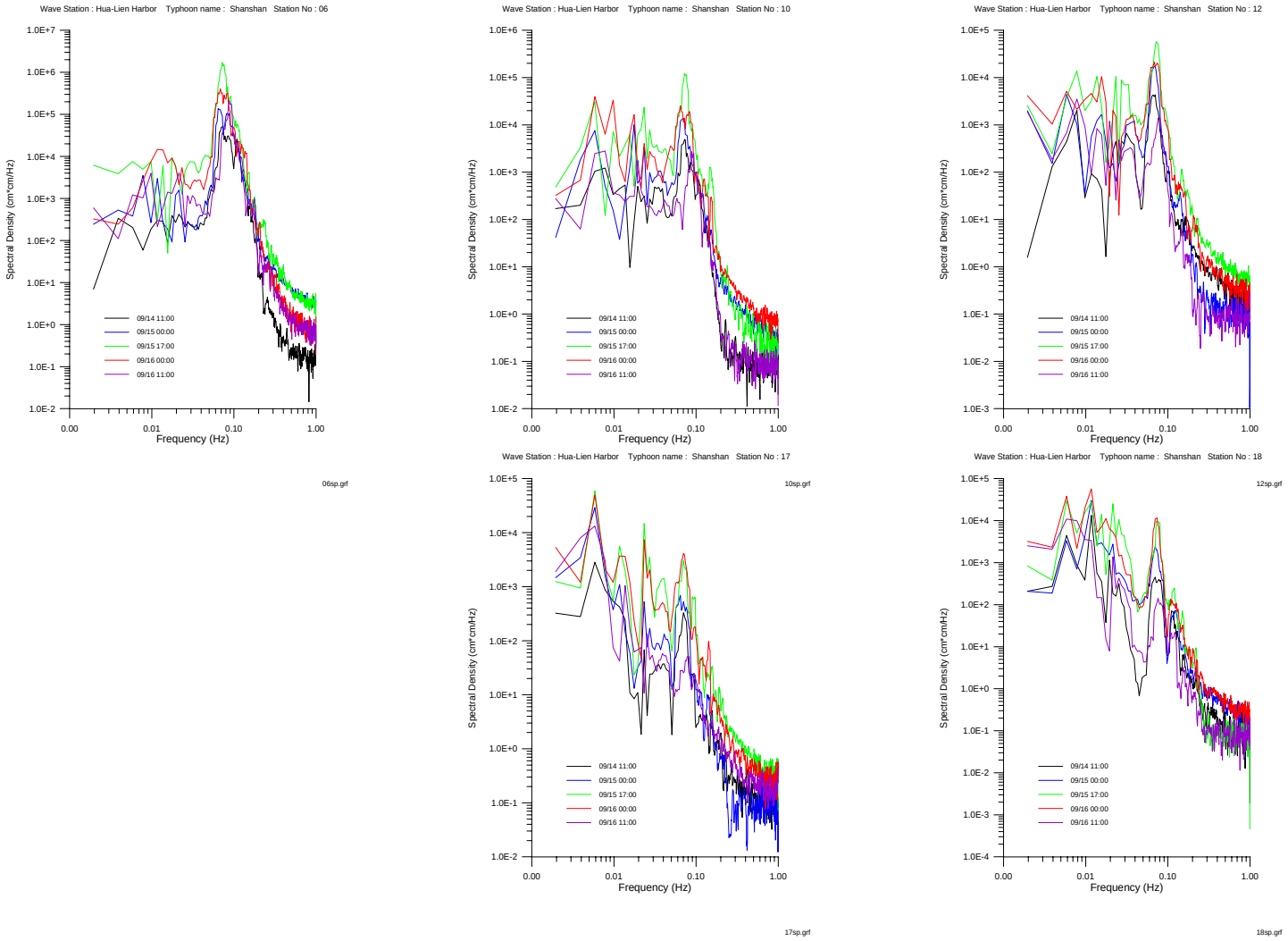



圖 3-12 珊珊颱風各測點波浪不同時間能譜演變

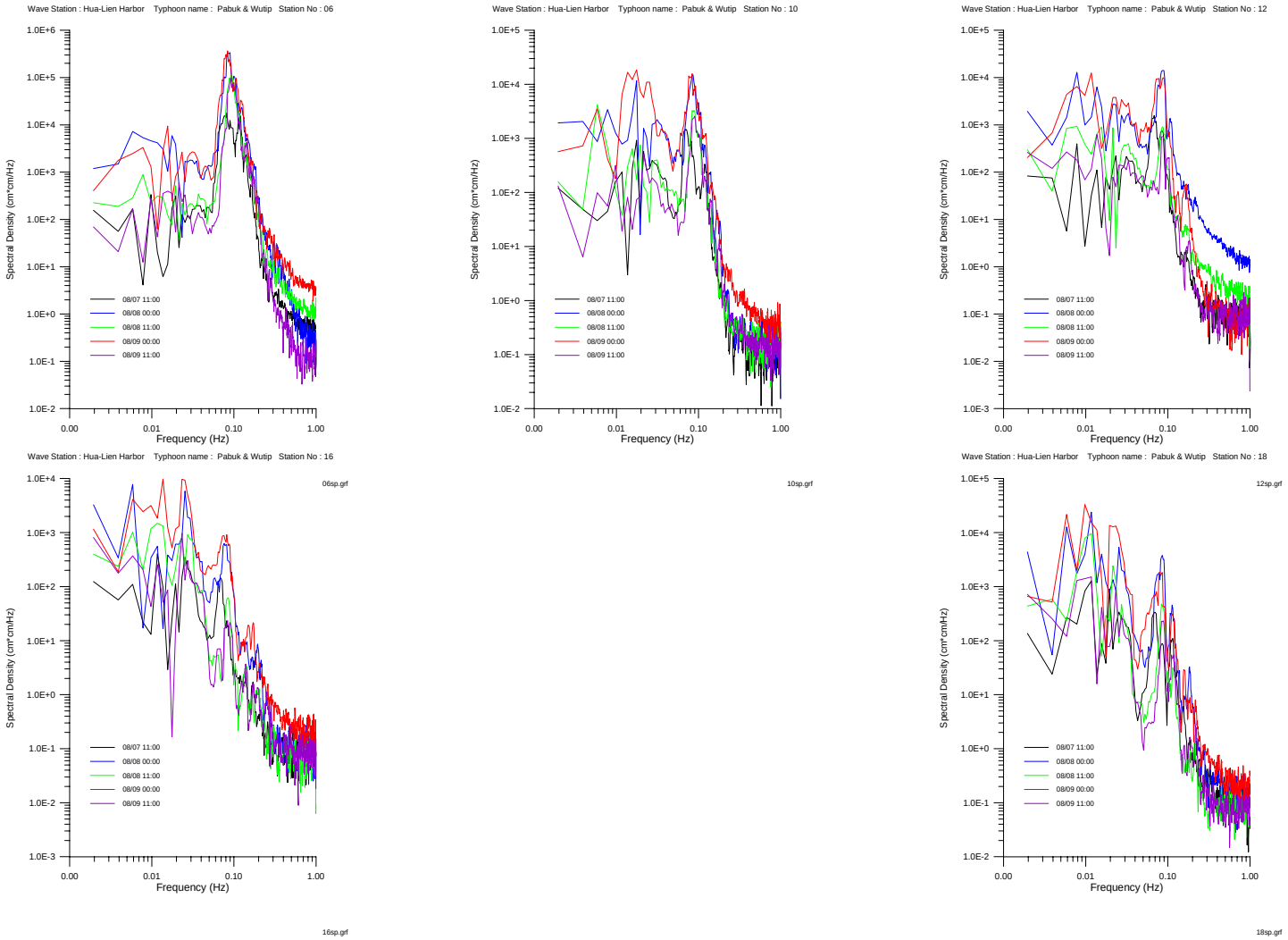



圖 3-13 帕布及梧提颱風各測點波浪不同時間能譜演變

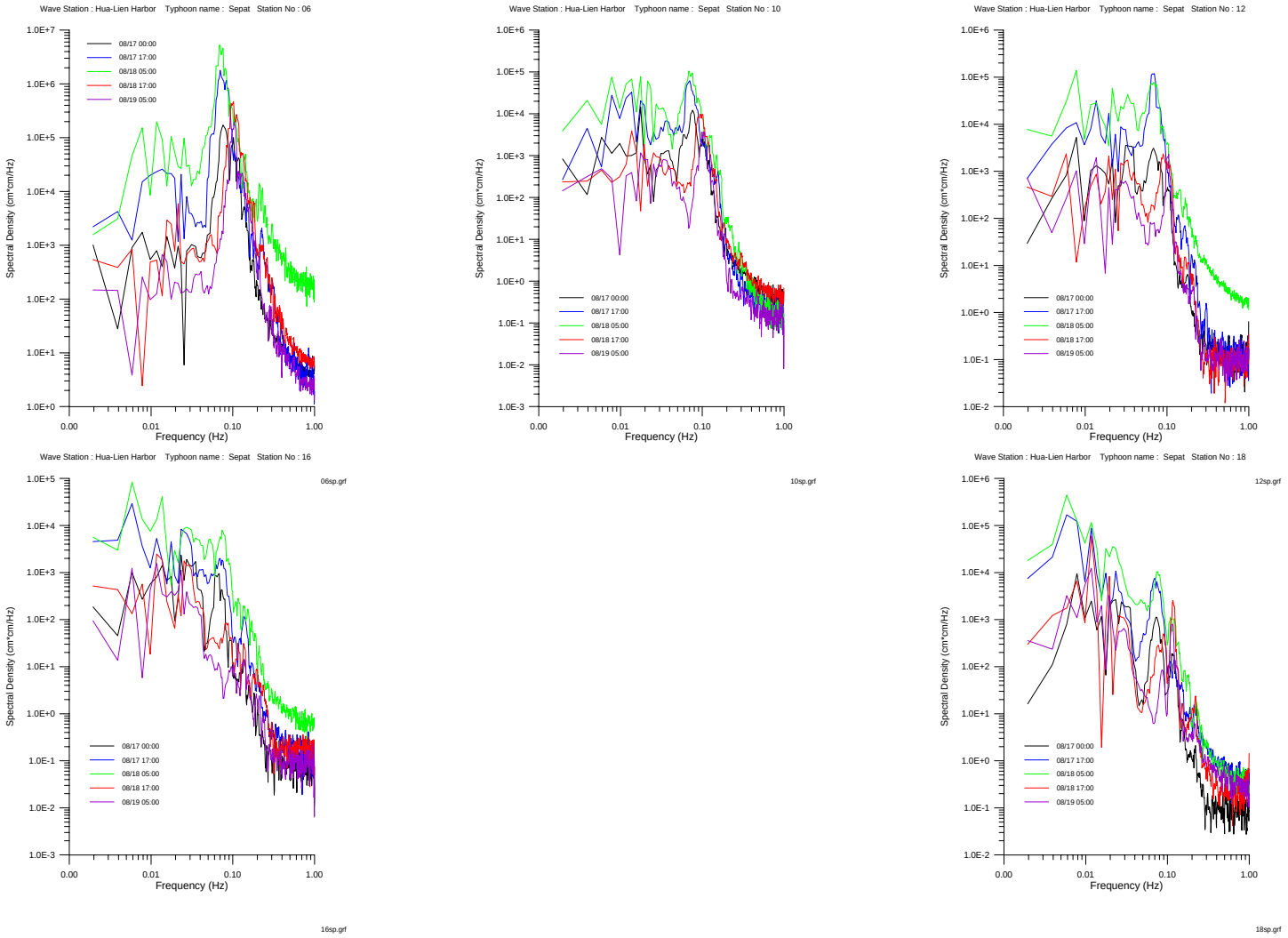



圖 3-14 聖帕颱風各測點波浪不同時間能譜演變

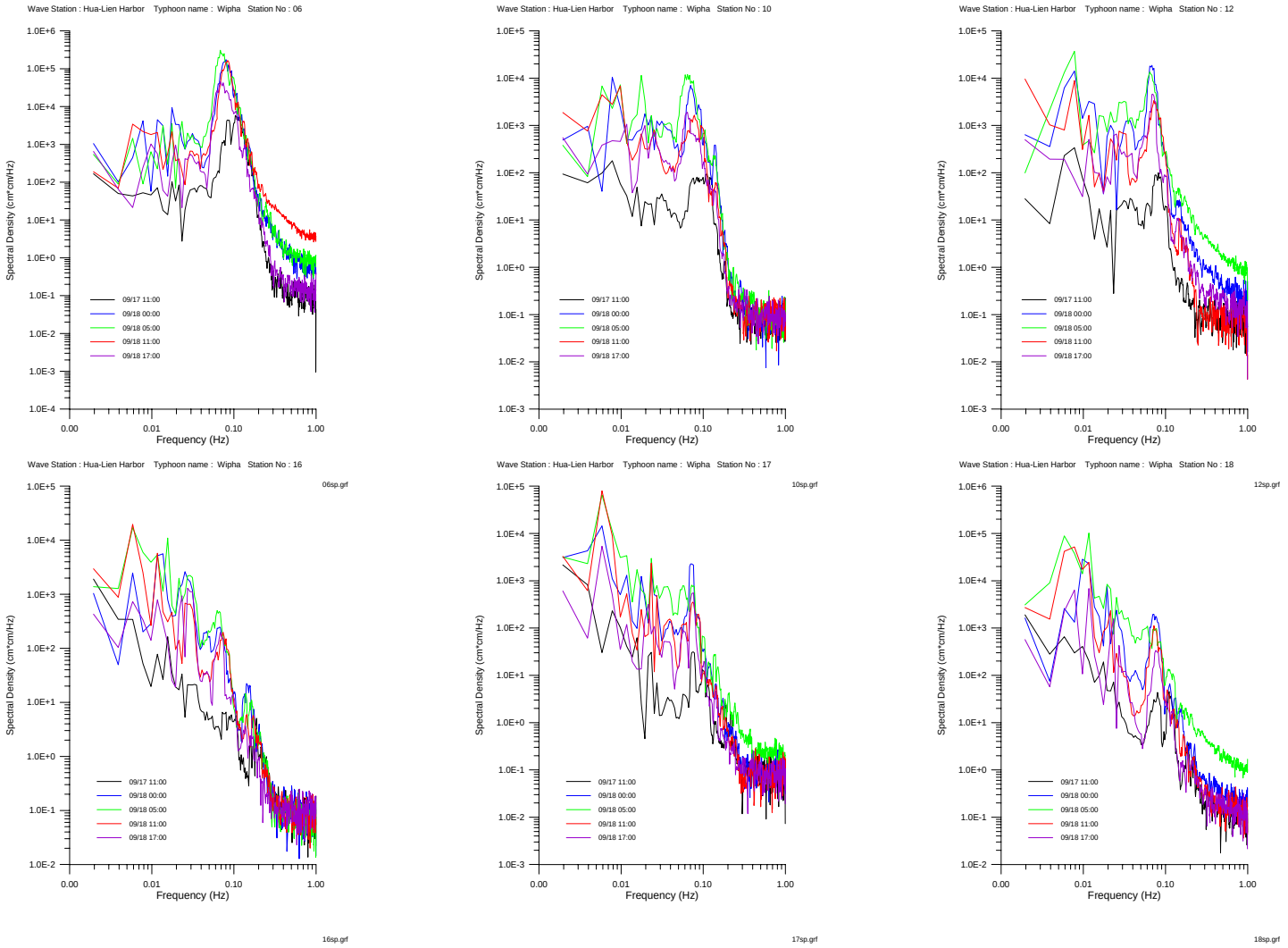



圖 3-15 韋帕颱風各測點波浪不同時間能譜演變

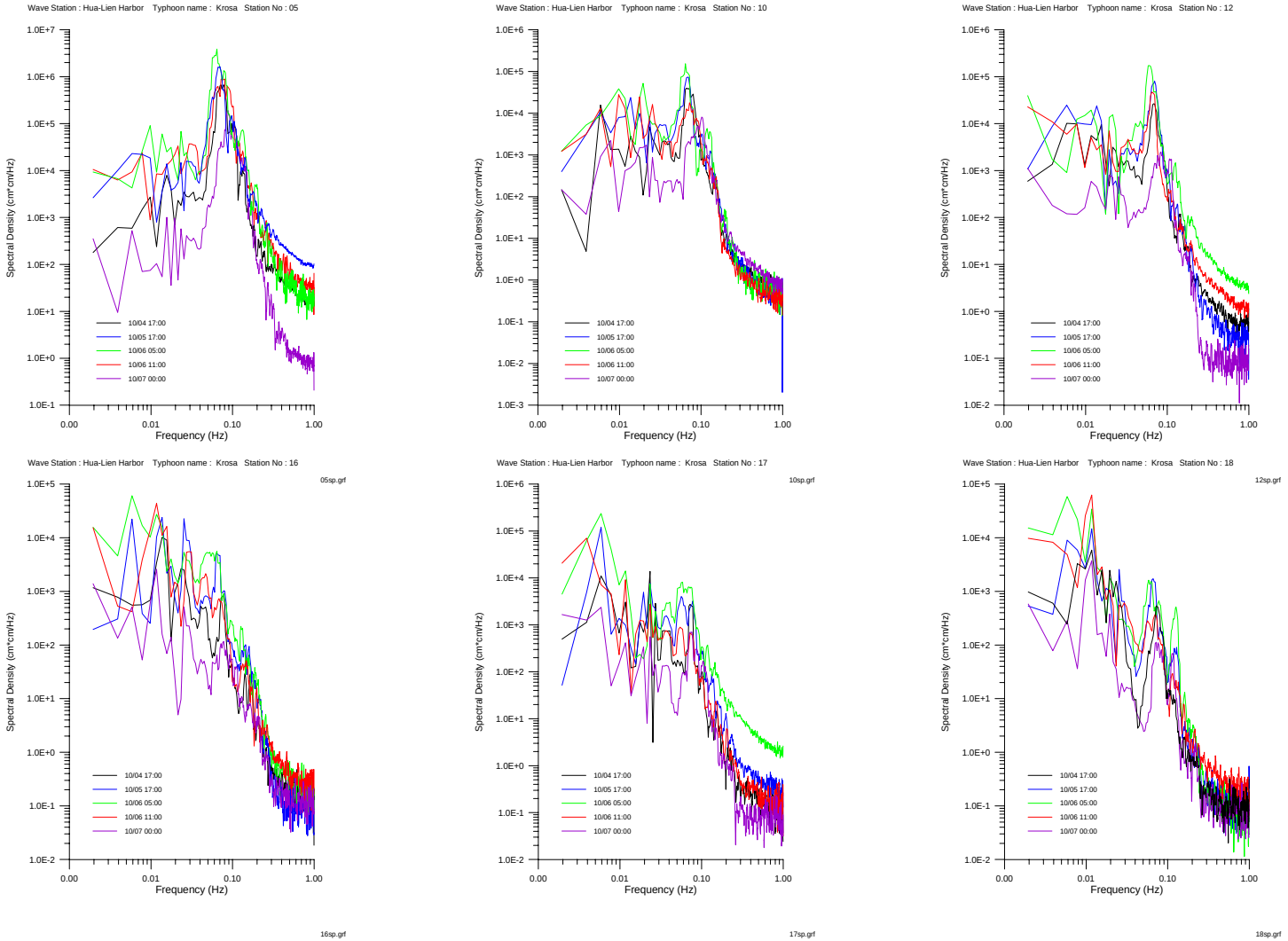



圖 3-16 柯羅莎颱風各測點波浪不同時間能譜演變

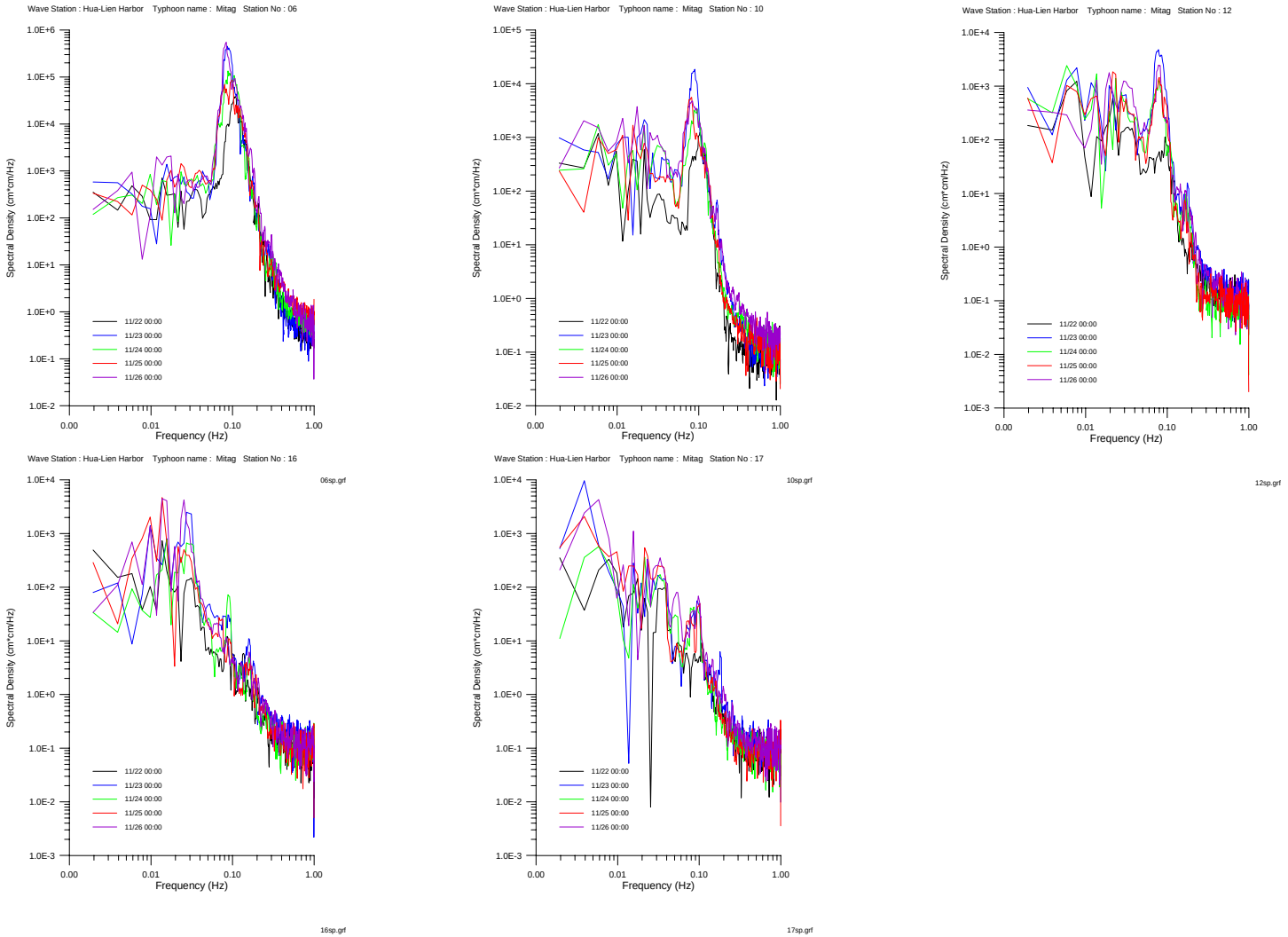



圖 3-17 米塔颱風各測點波浪不同時間能譜演變

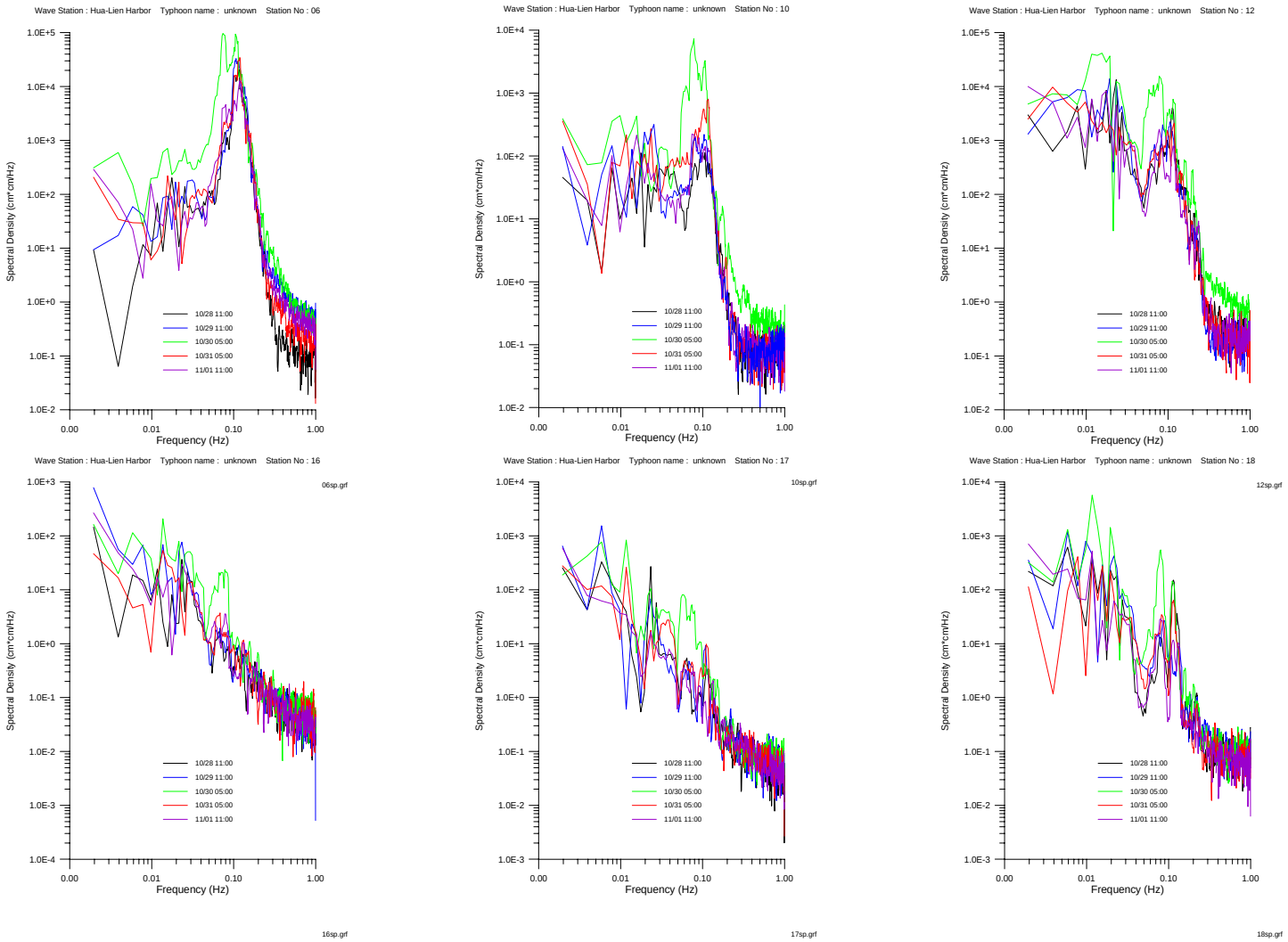



圖 3-18 東北季風各測點波浪不同時間能譜演變

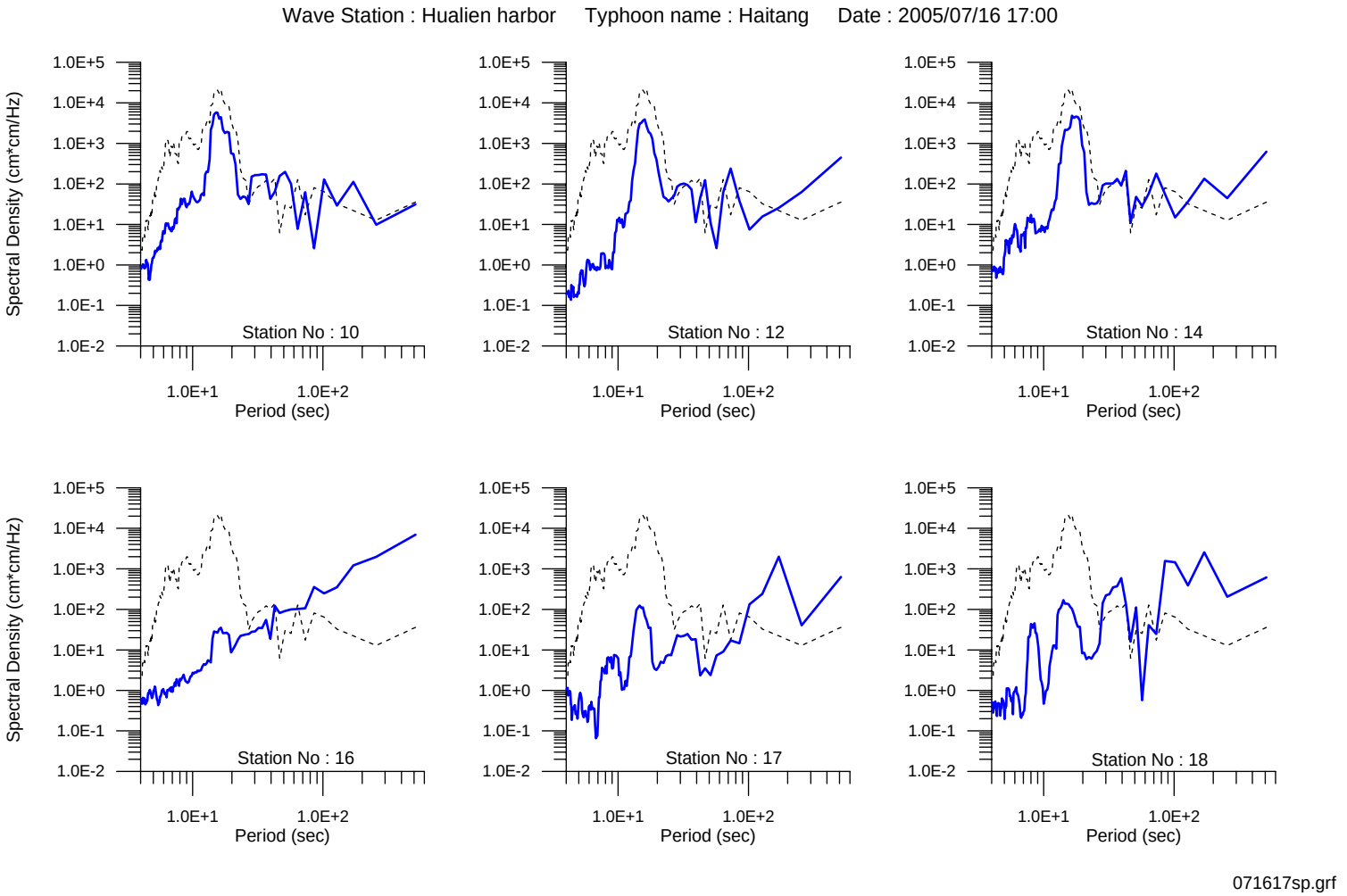



圖 3-19 海棠颱風同時間（07/16 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

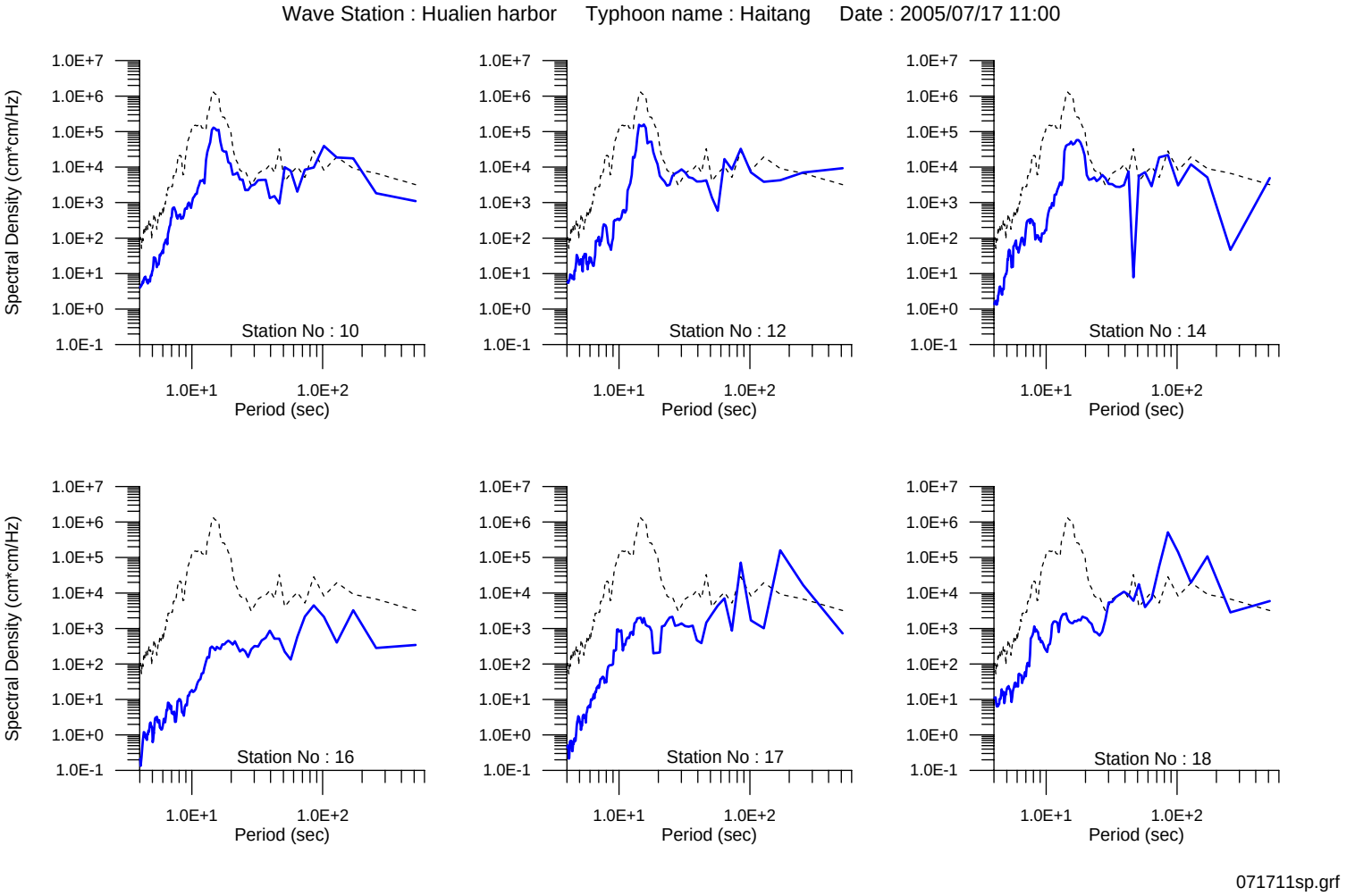



圖 3-20 海棠颱風同時間（07/17 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

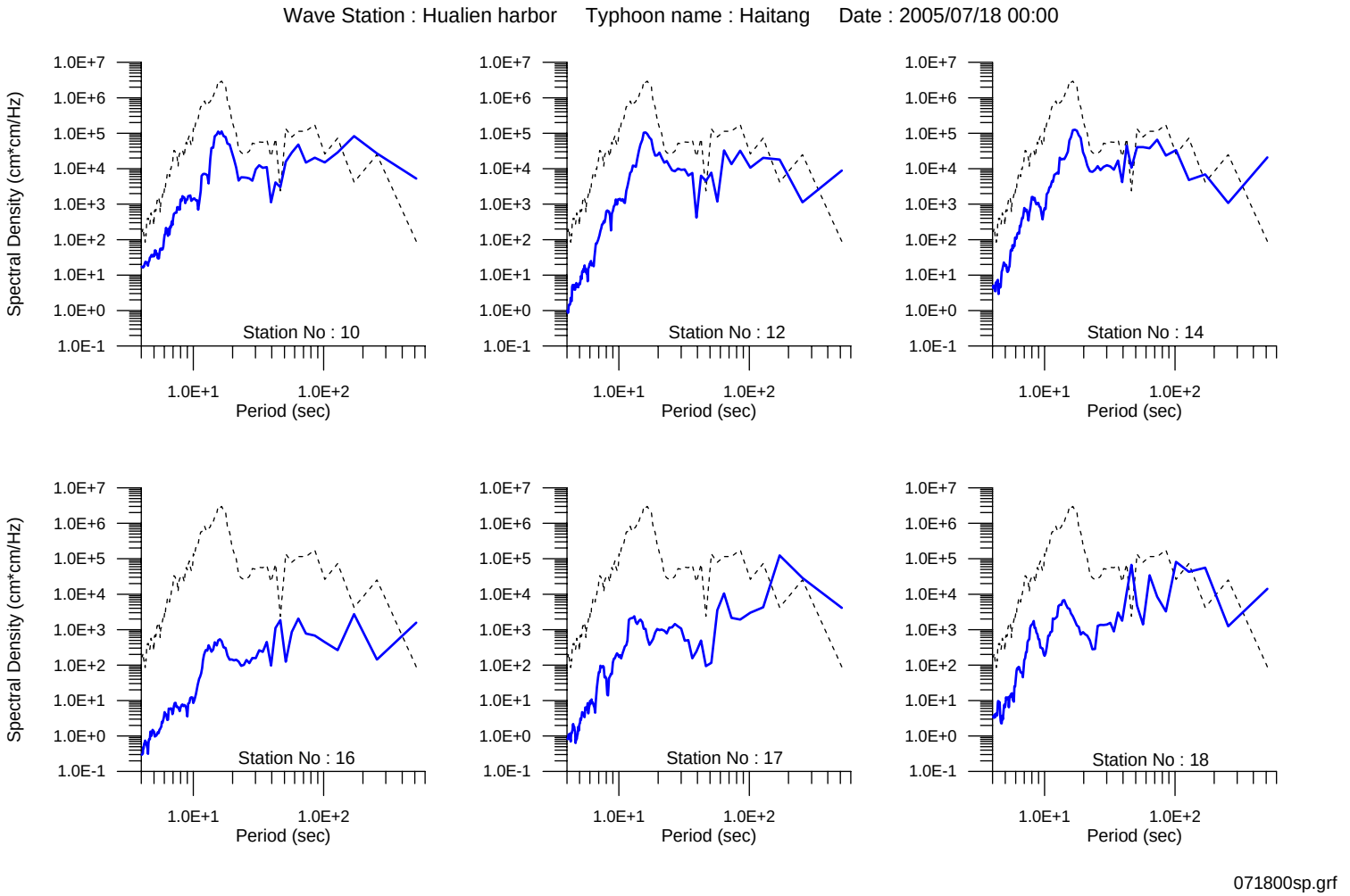



圖 3-21 海棠颱風同時間（07/18 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

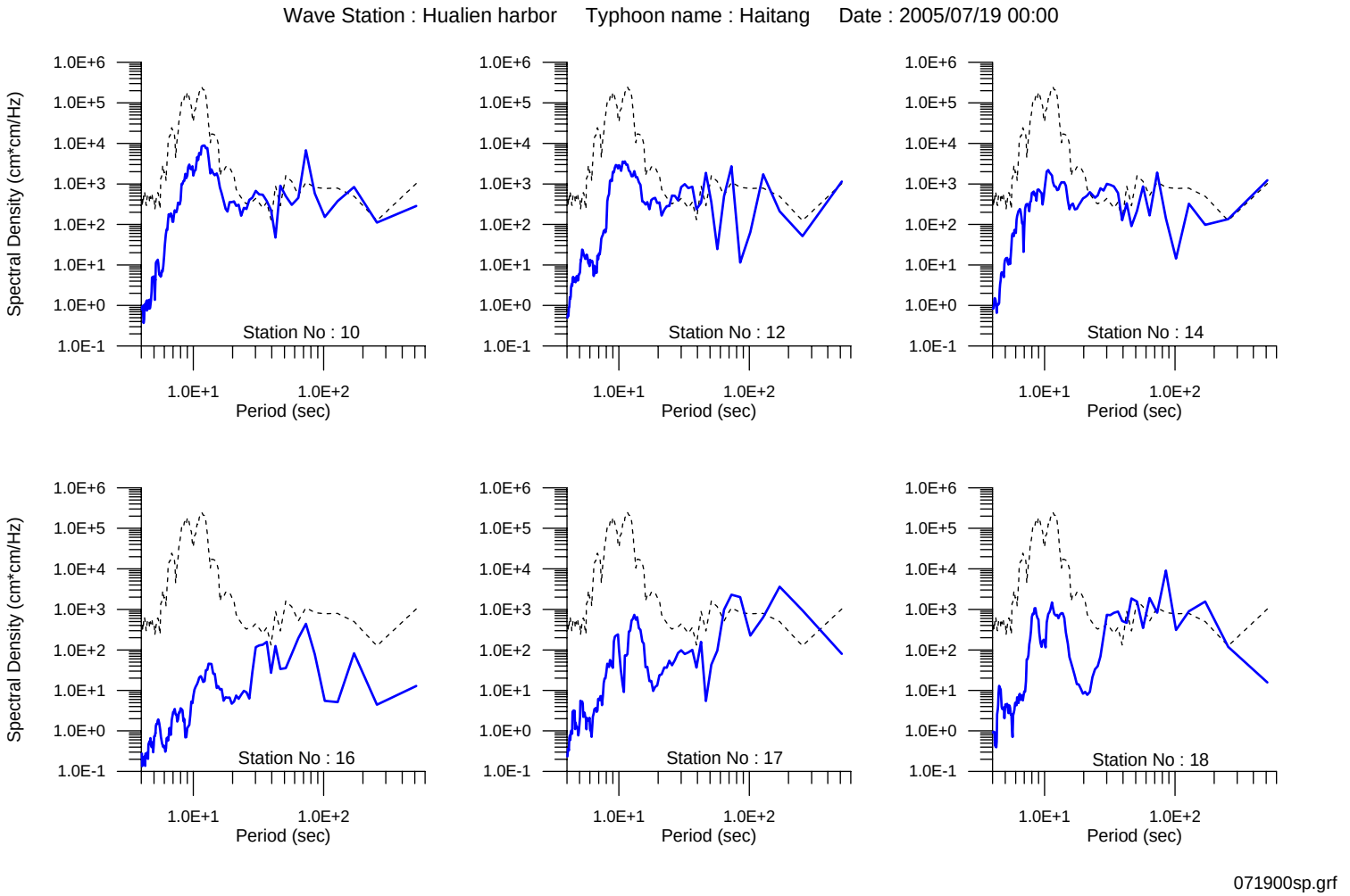



圖 3-22 海棠颱風同時間（07/19 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

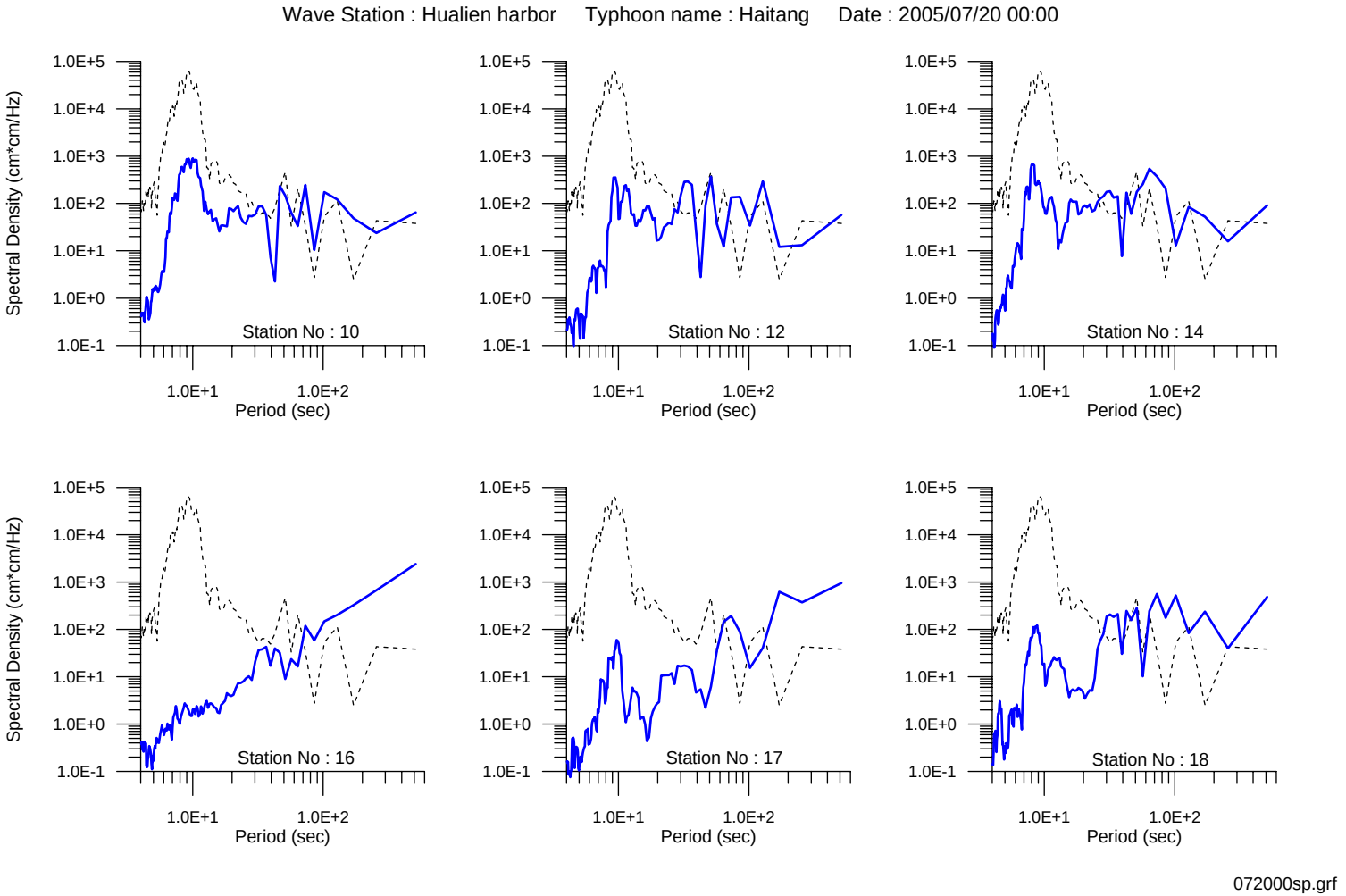



圖 3-23 海棠颱風同時間（07/20 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

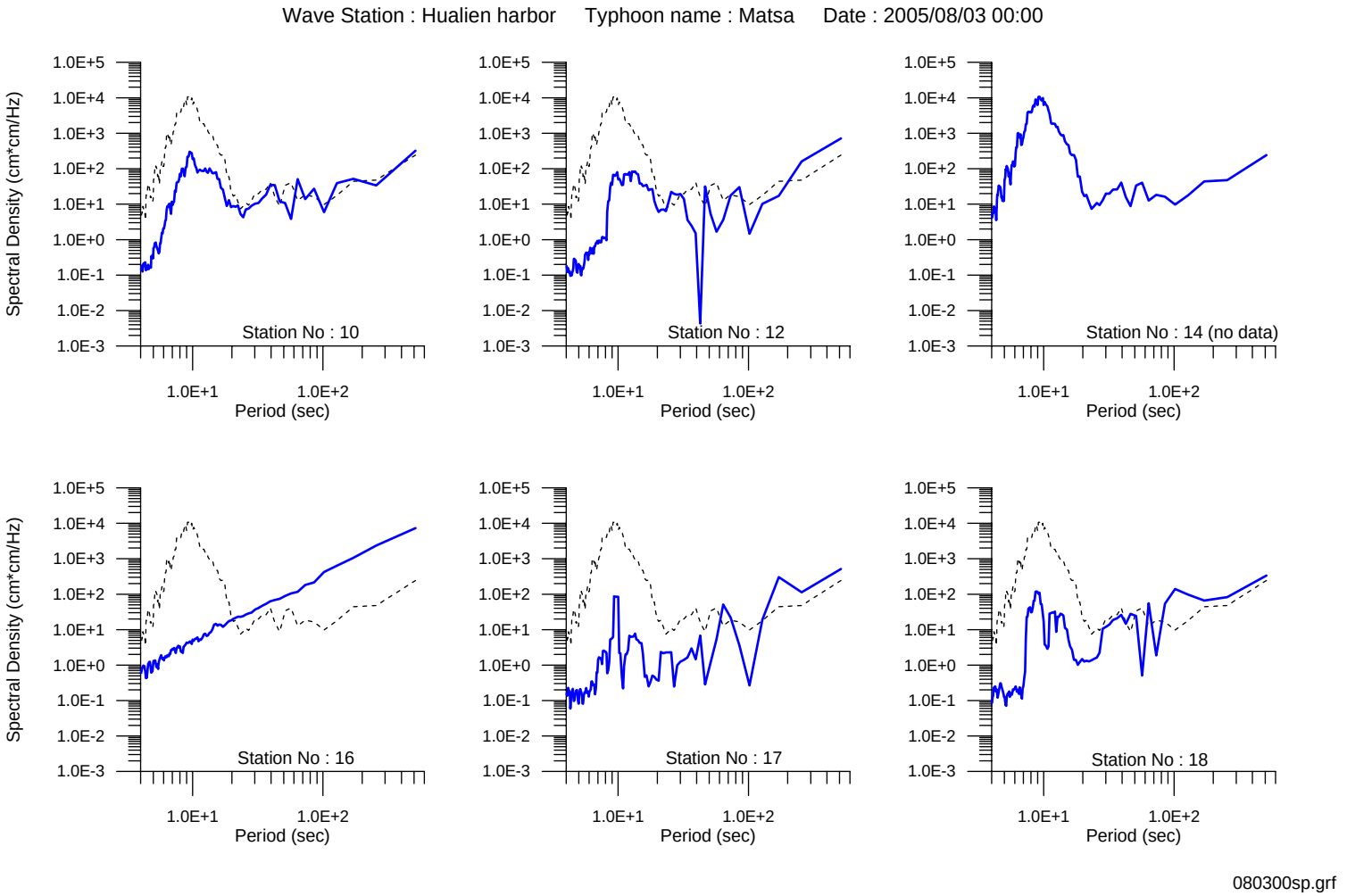



圖 3-24 馬莎颱風同時間（08/03 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

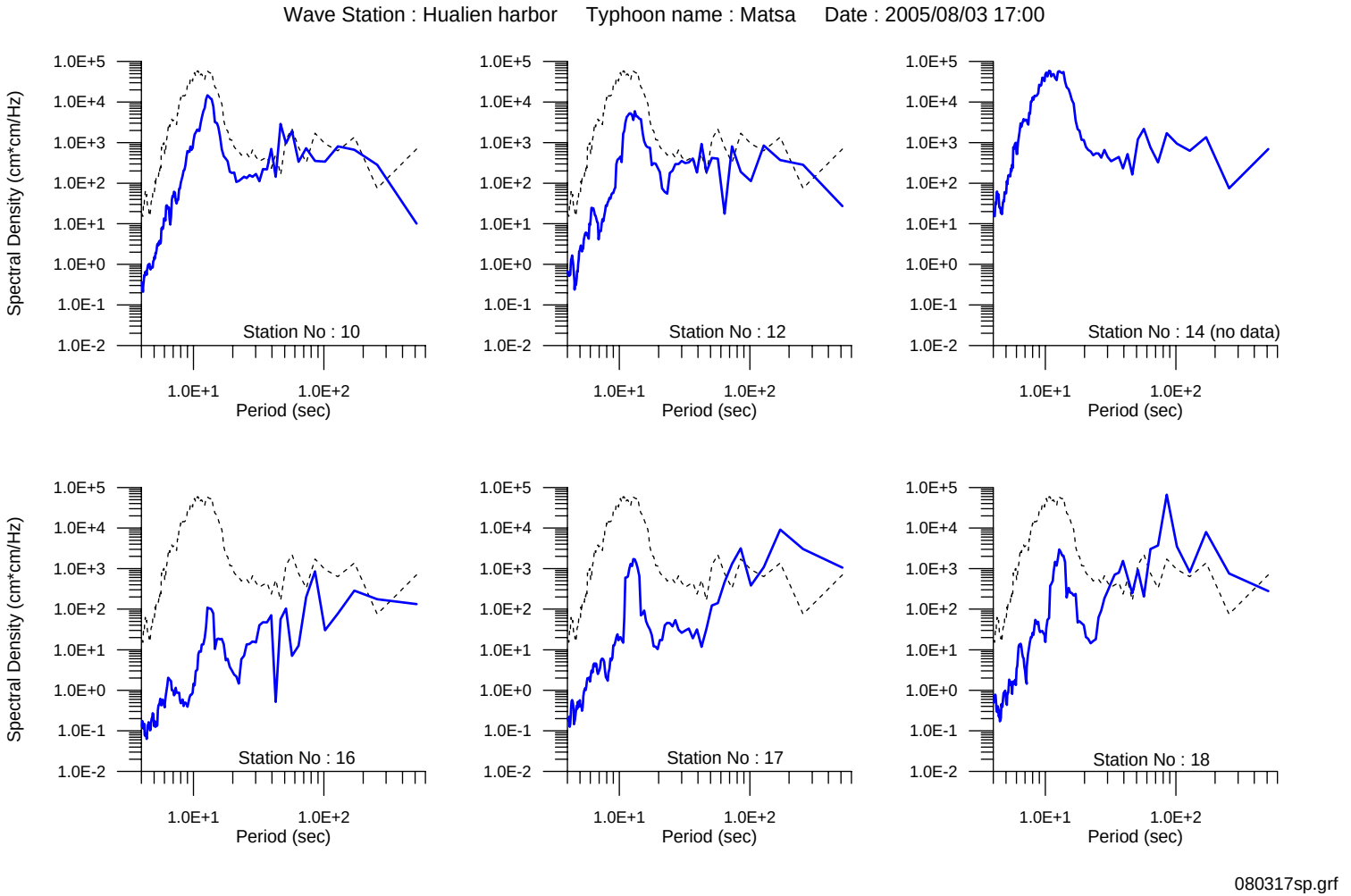



圖 3-25 馬莎颱風同時間（08/03 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

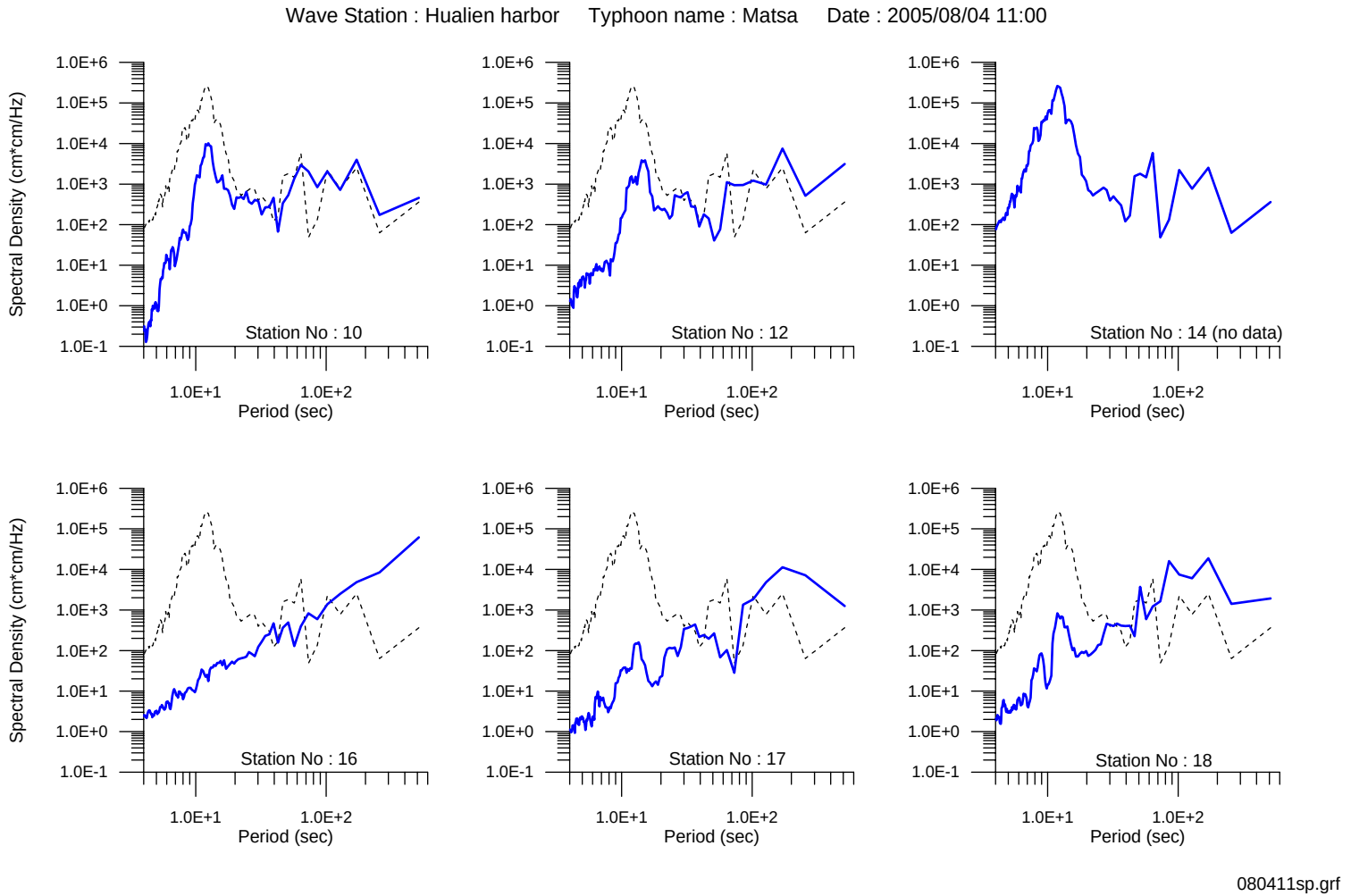



圖 3-26 馬莎颱風同時間（08/04 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

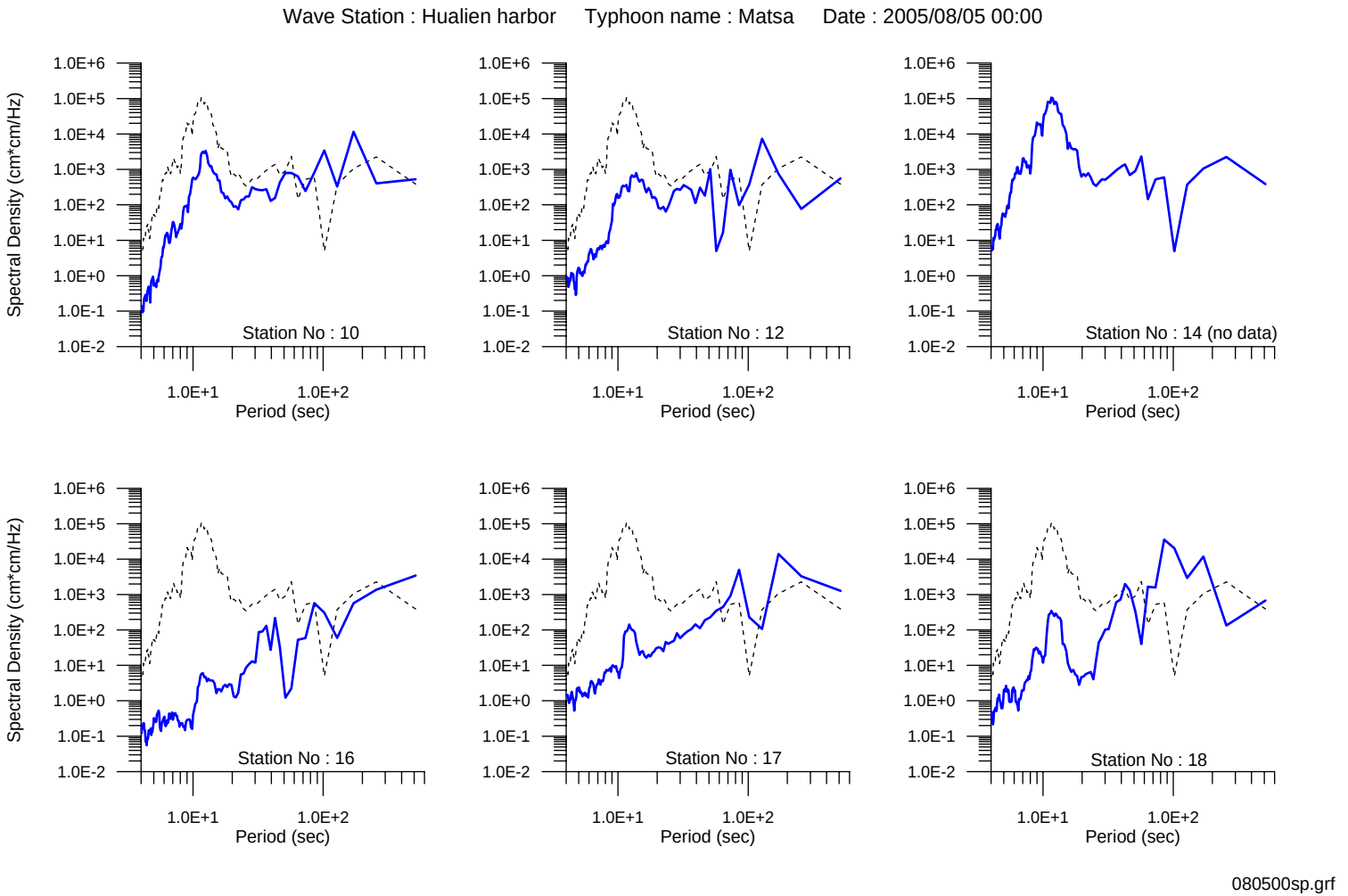



圖 3-27 馬莎颱風同時間（08/05 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

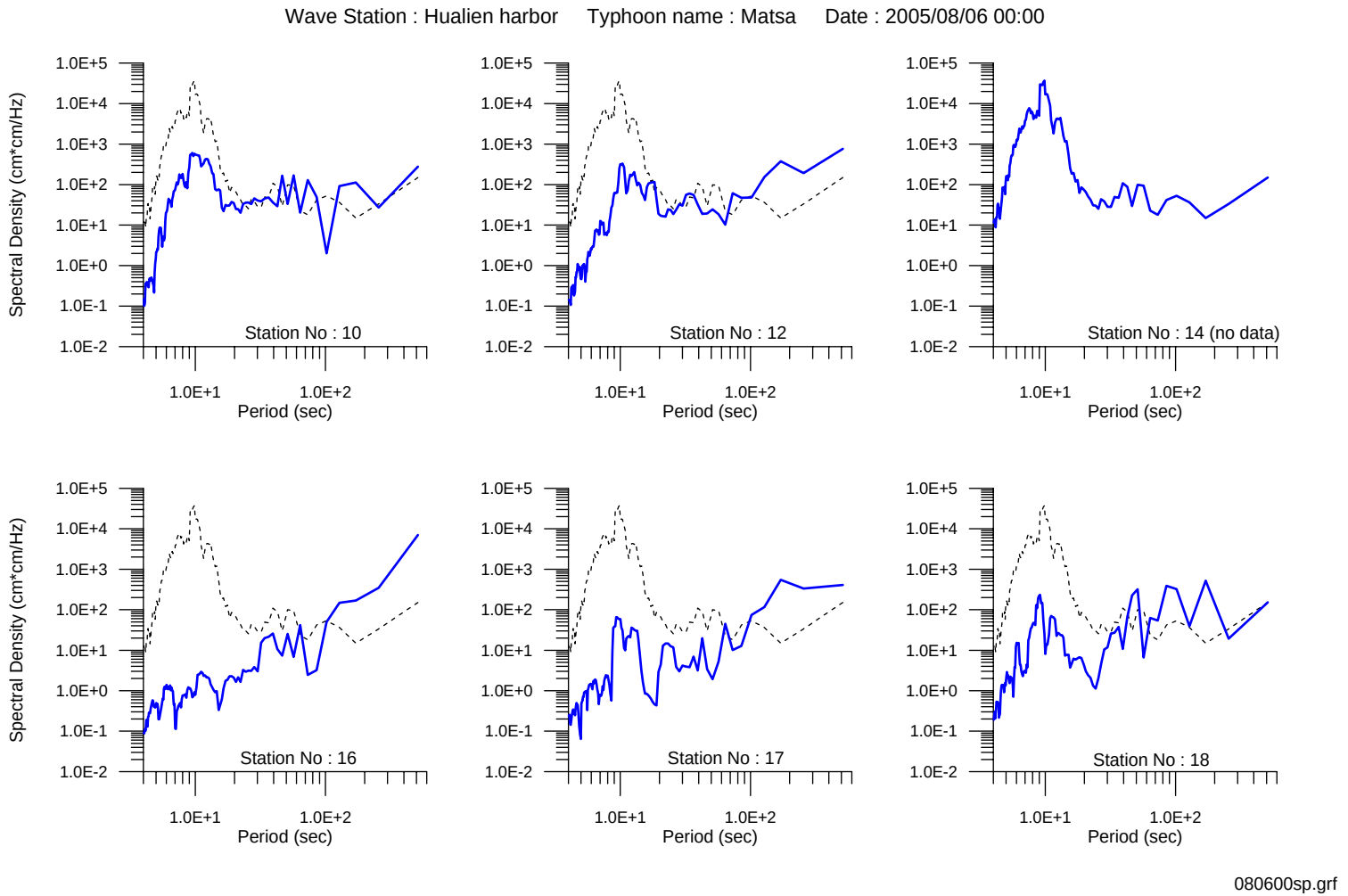



圖 3-28 馬莎颱風同時間（08/06 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

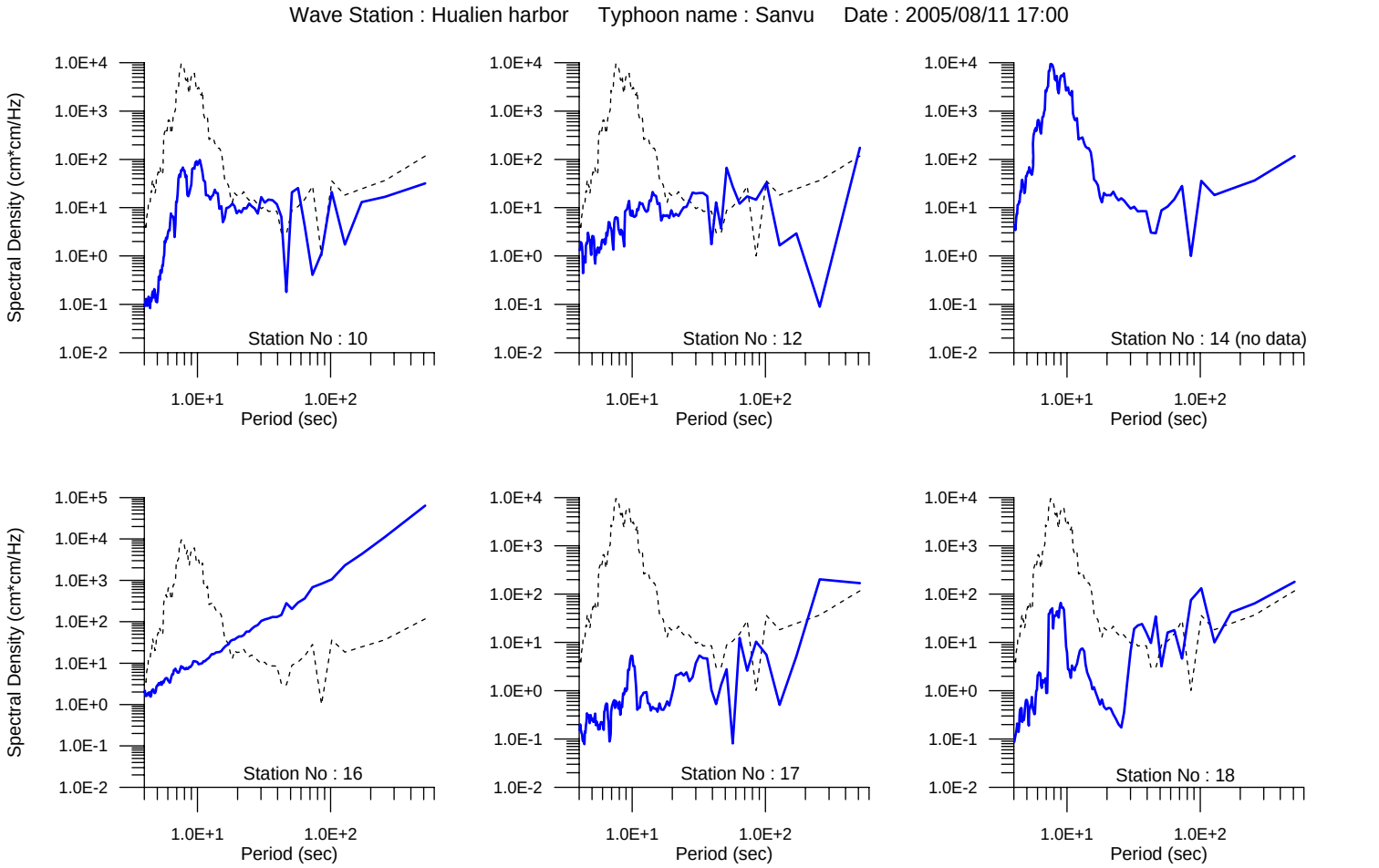



圖 3-29 珊瑚颱風同時間（08/11 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

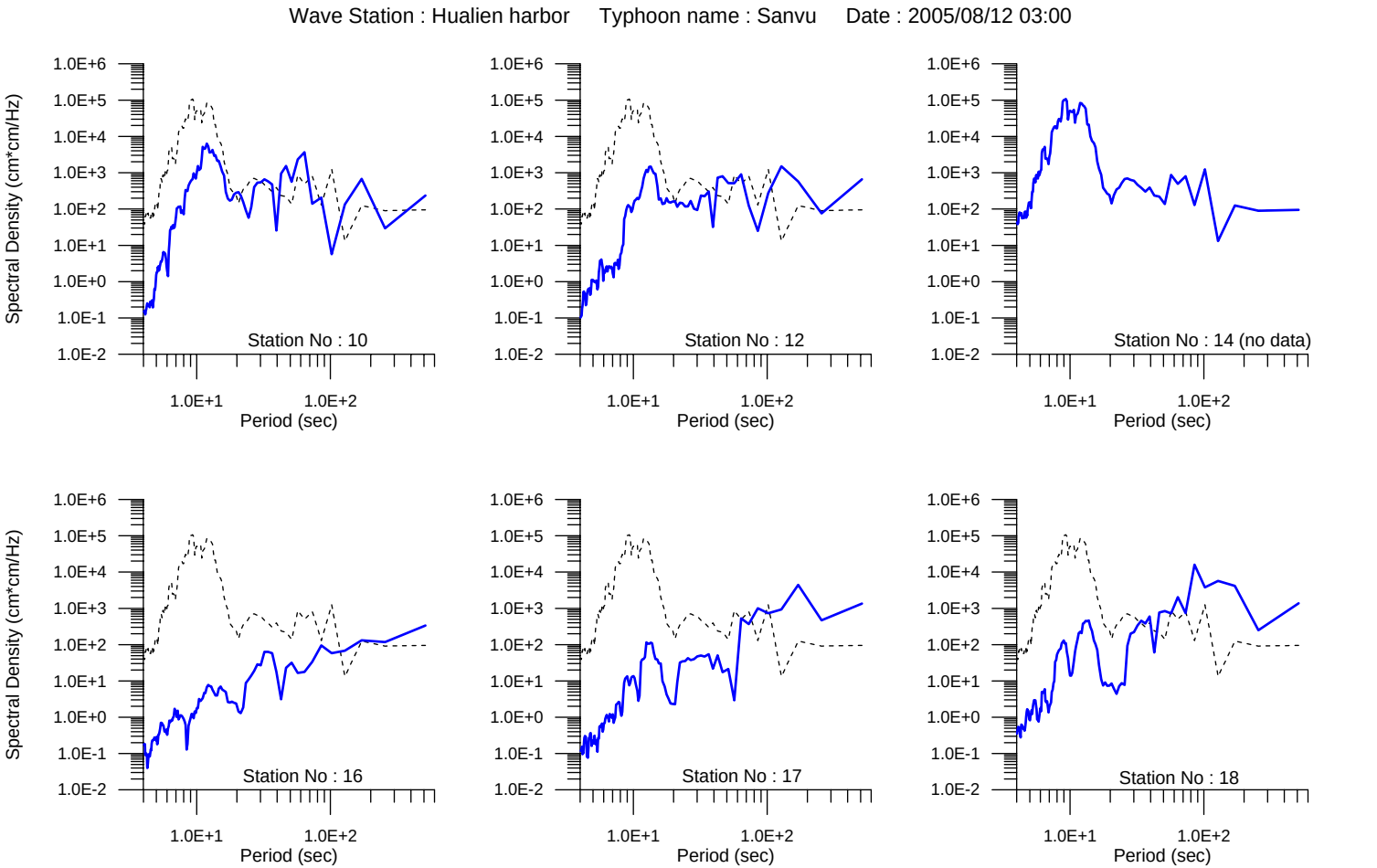



圖 3-30 珊瑚颱風同時間（08/12 03:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

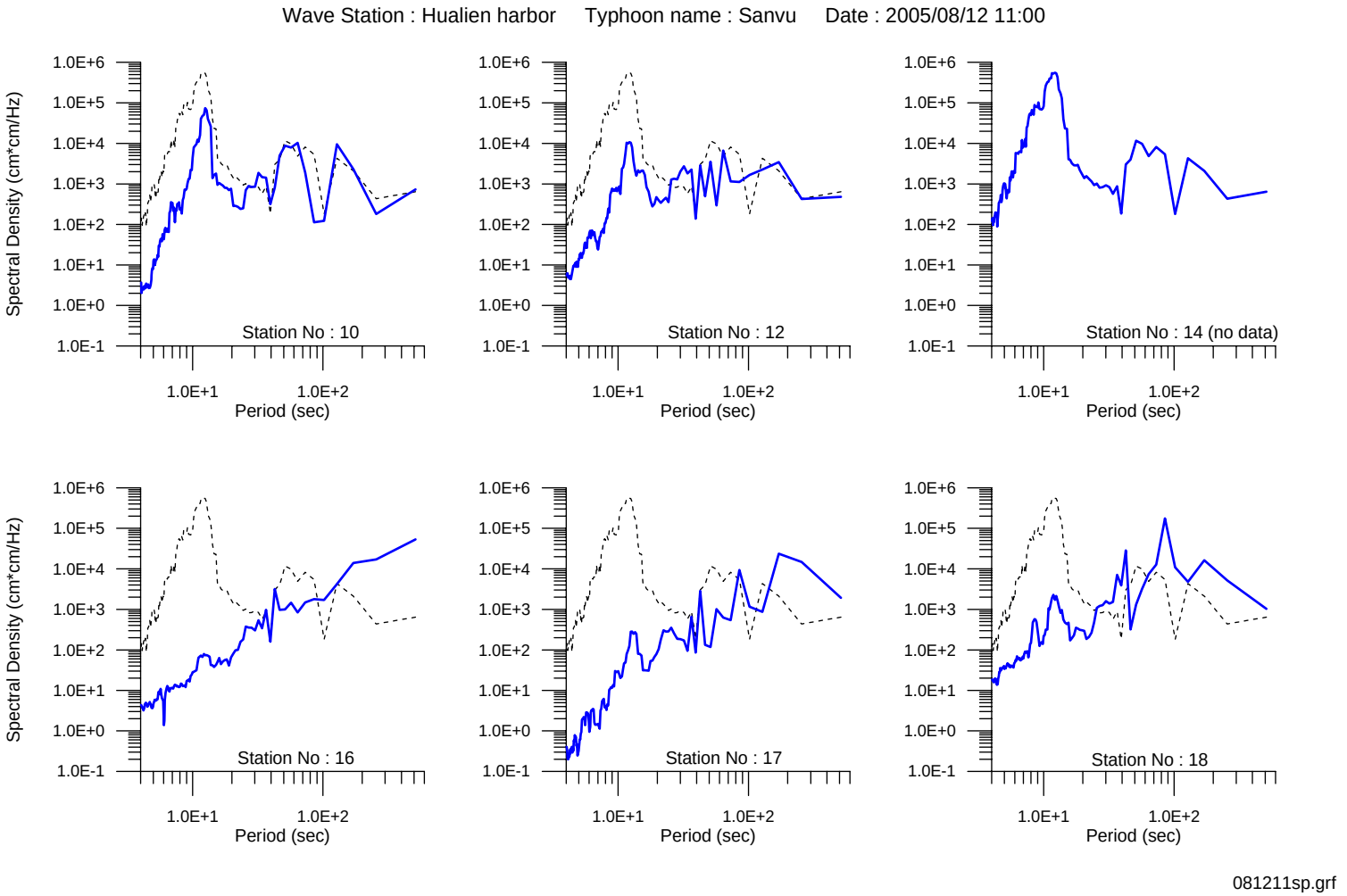



圖 3-31 珊瑚颱風同時間（08/12 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

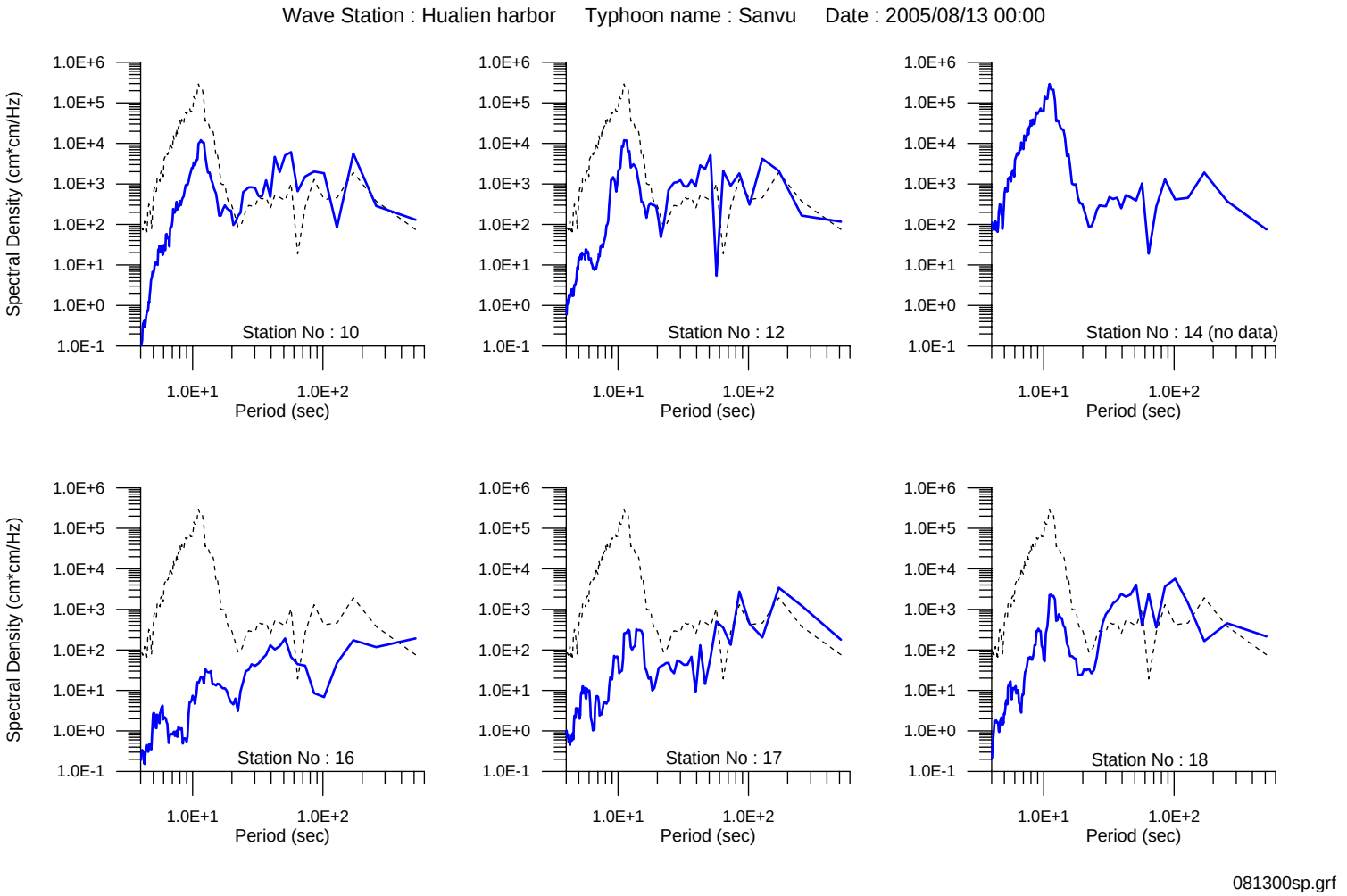



圖 3-32 珊瑚颱風同時間（08/13 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

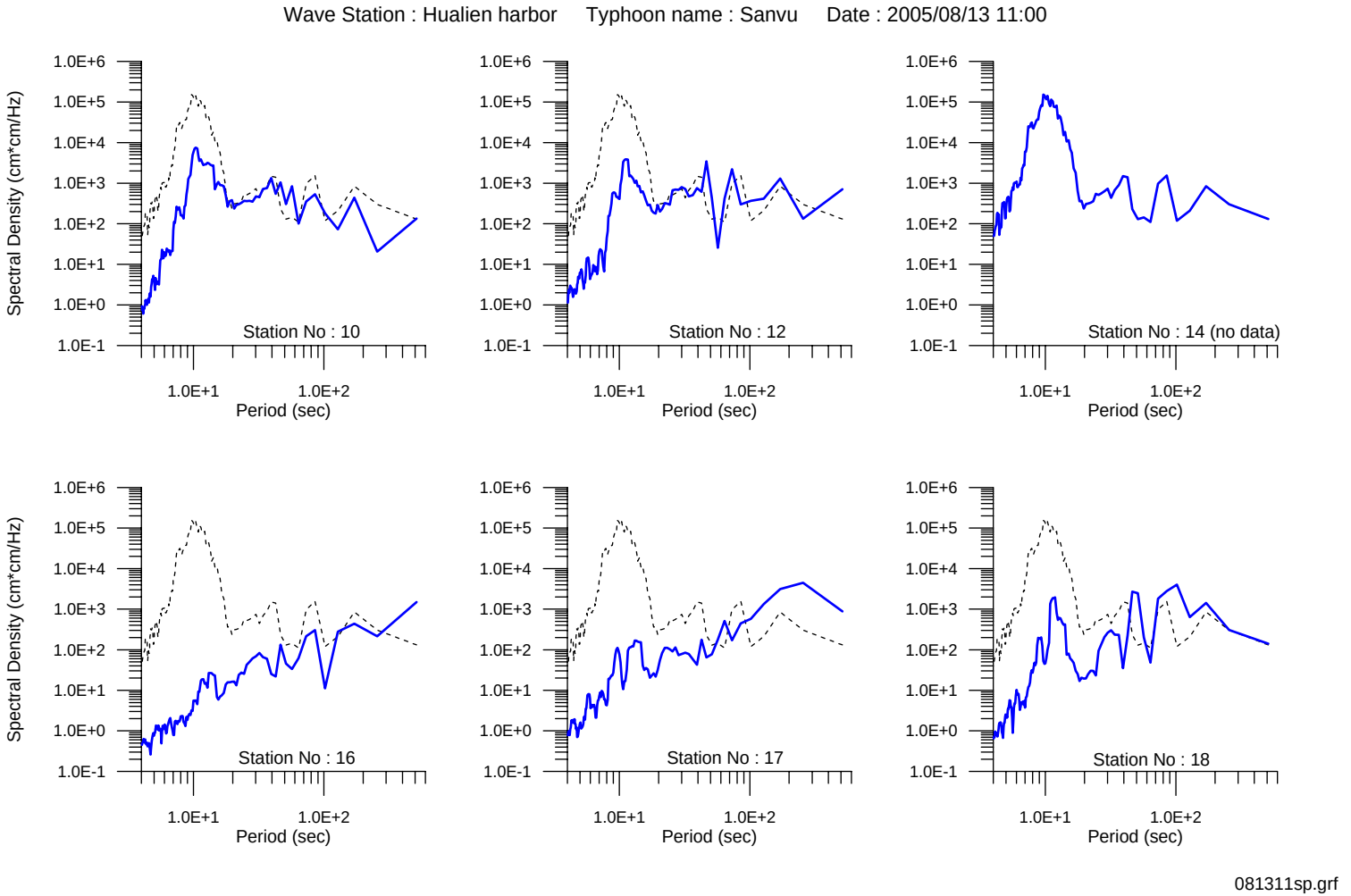



圖 3-33 珊瑚颱風同時間（08/13 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

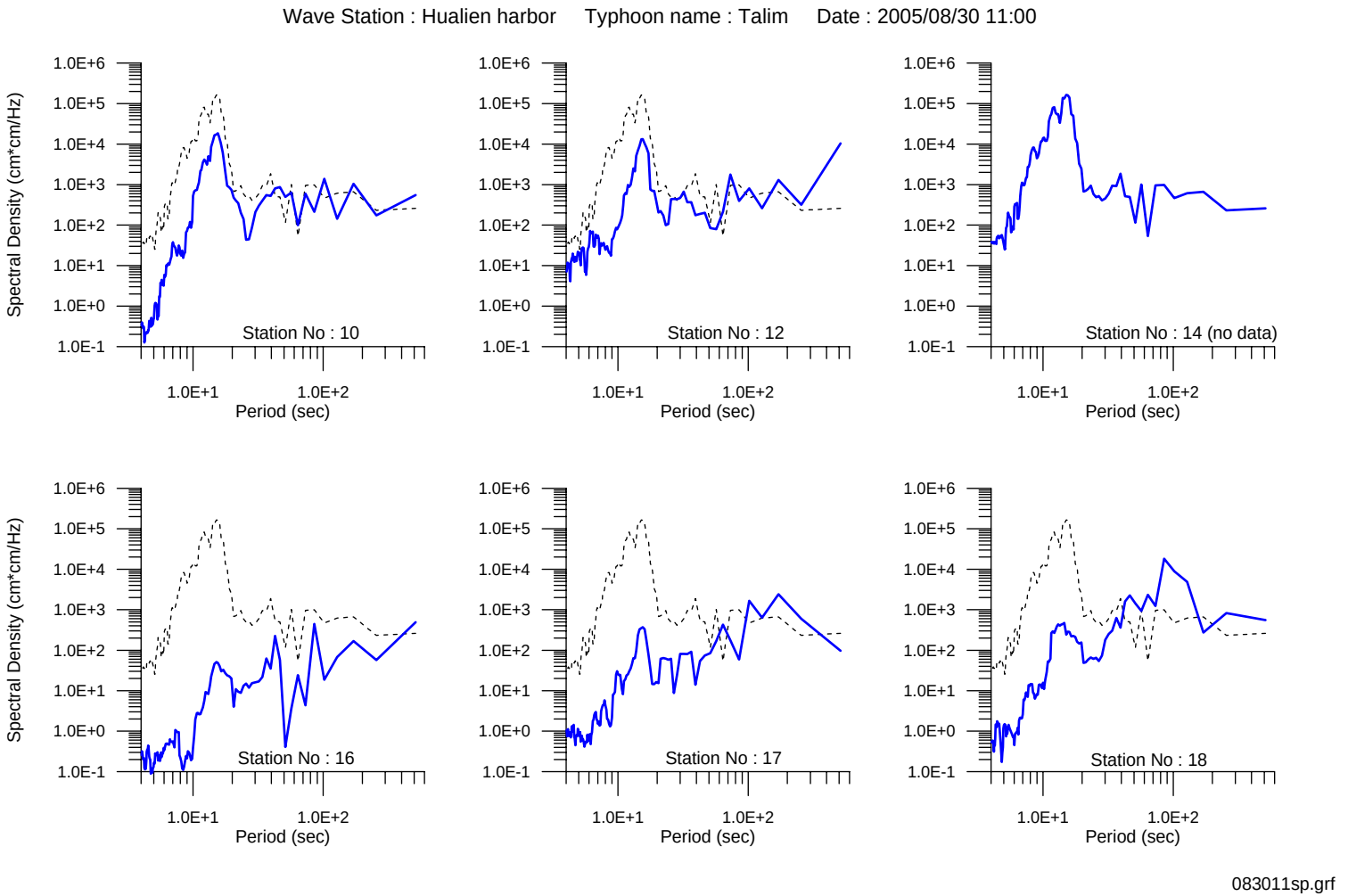



圖 3-34 泰利颱風同時間（08/30 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

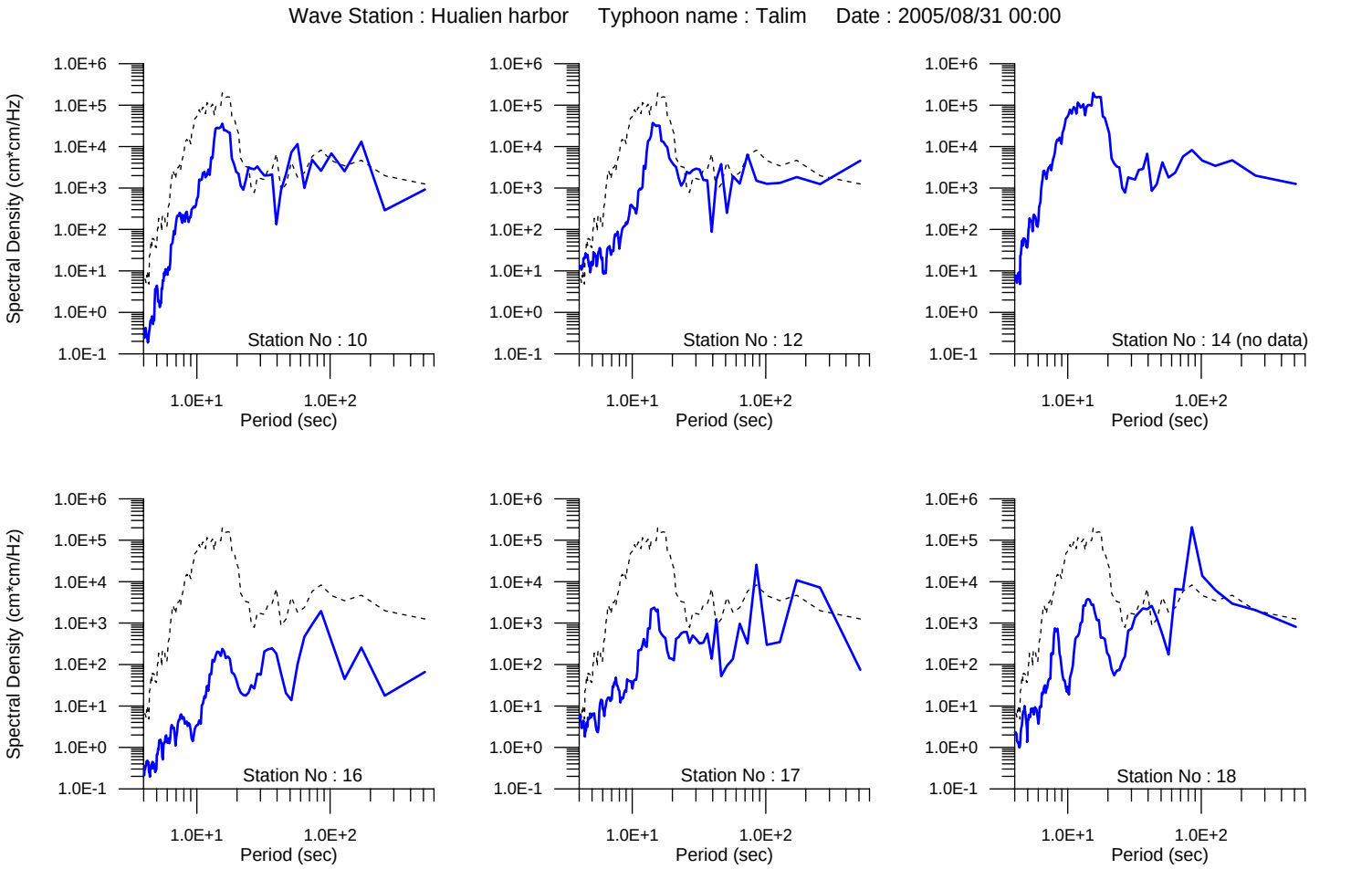



圖 3-35 泰利颱風同時間（08/31 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

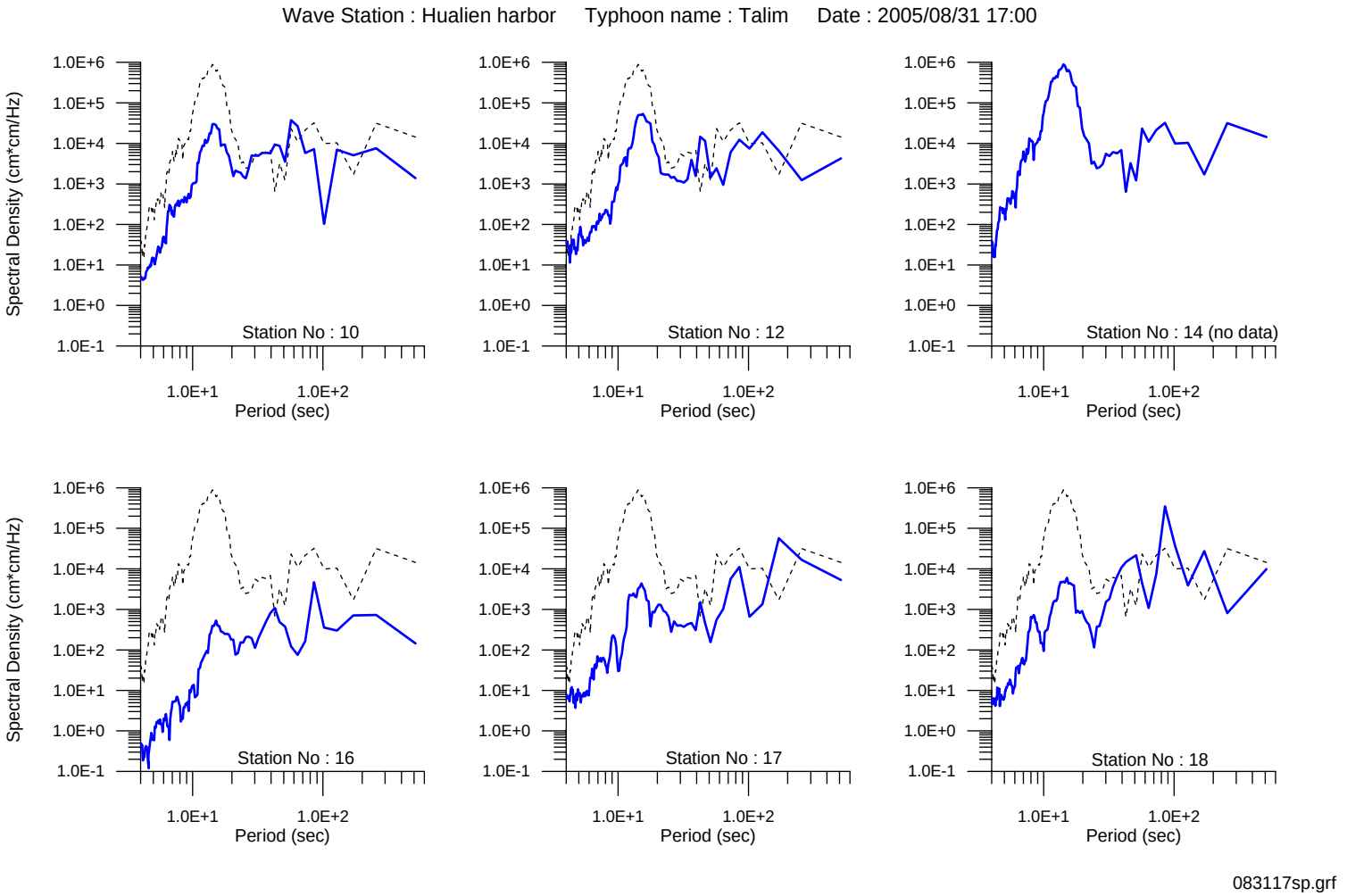



圖 3-36 泰利颱風同時間（08/31 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

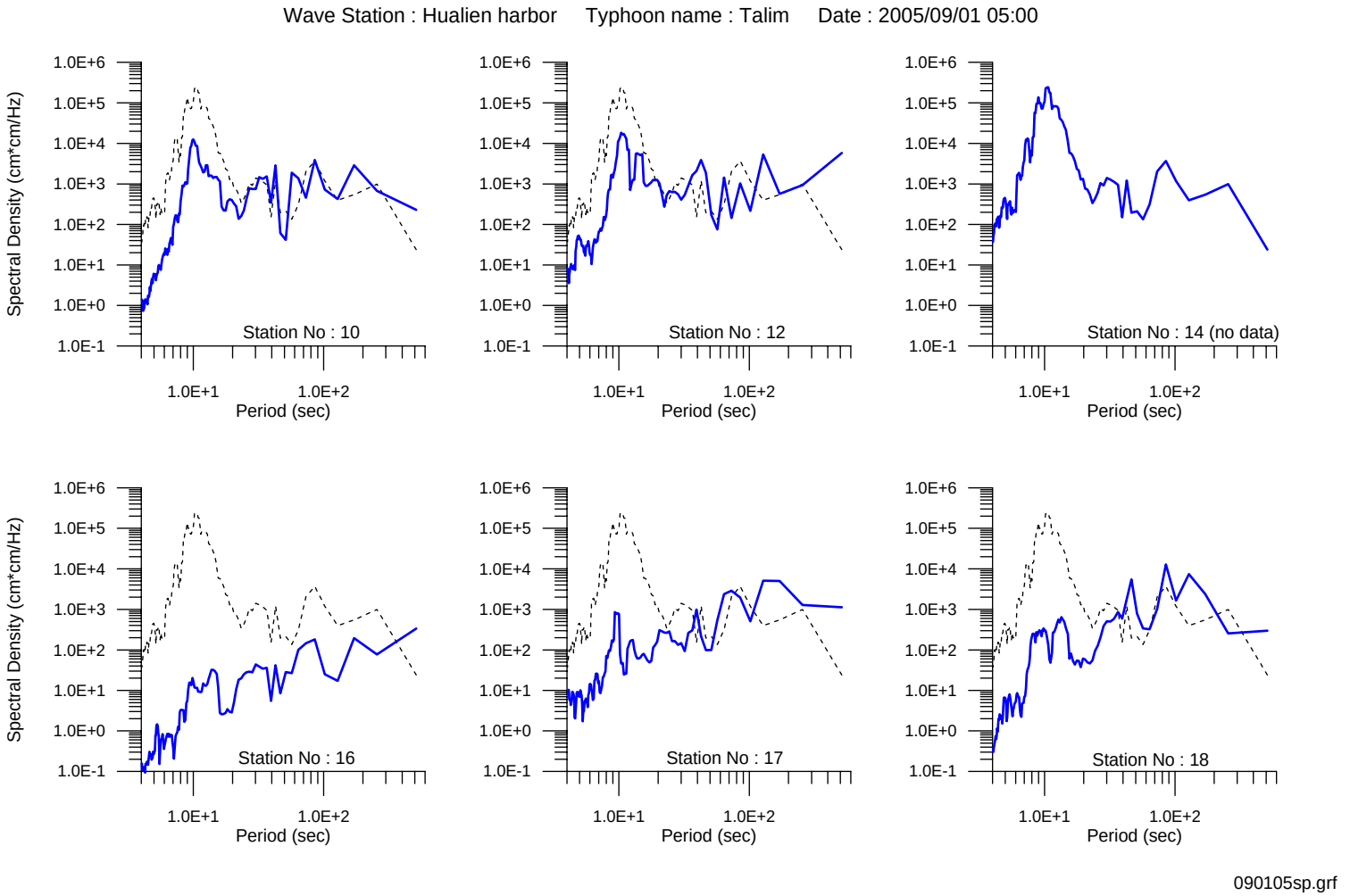



圖 3-37 泰利颱風同時間（09/01 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

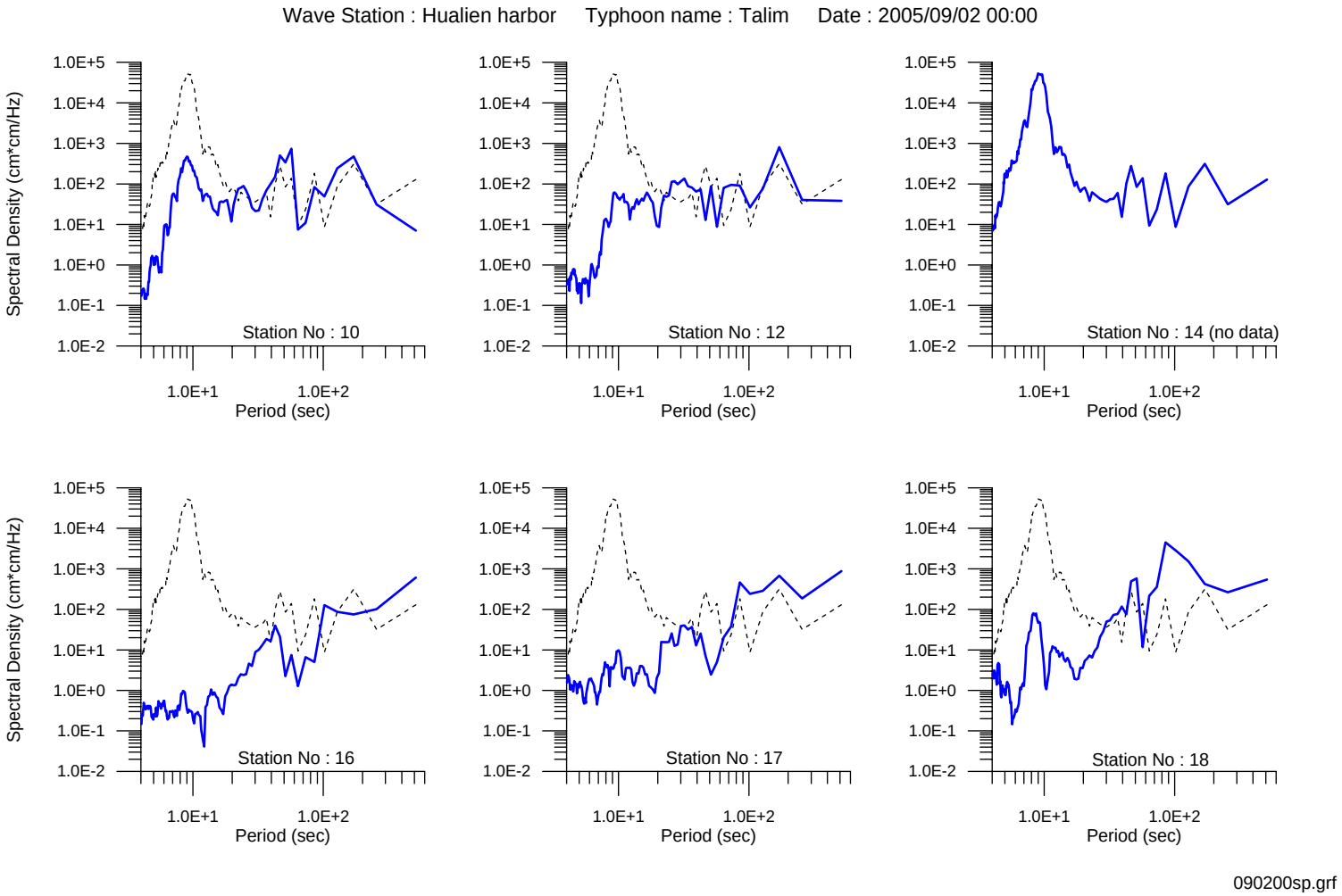



圖 3-38 泰利颱風同時間（09/02 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

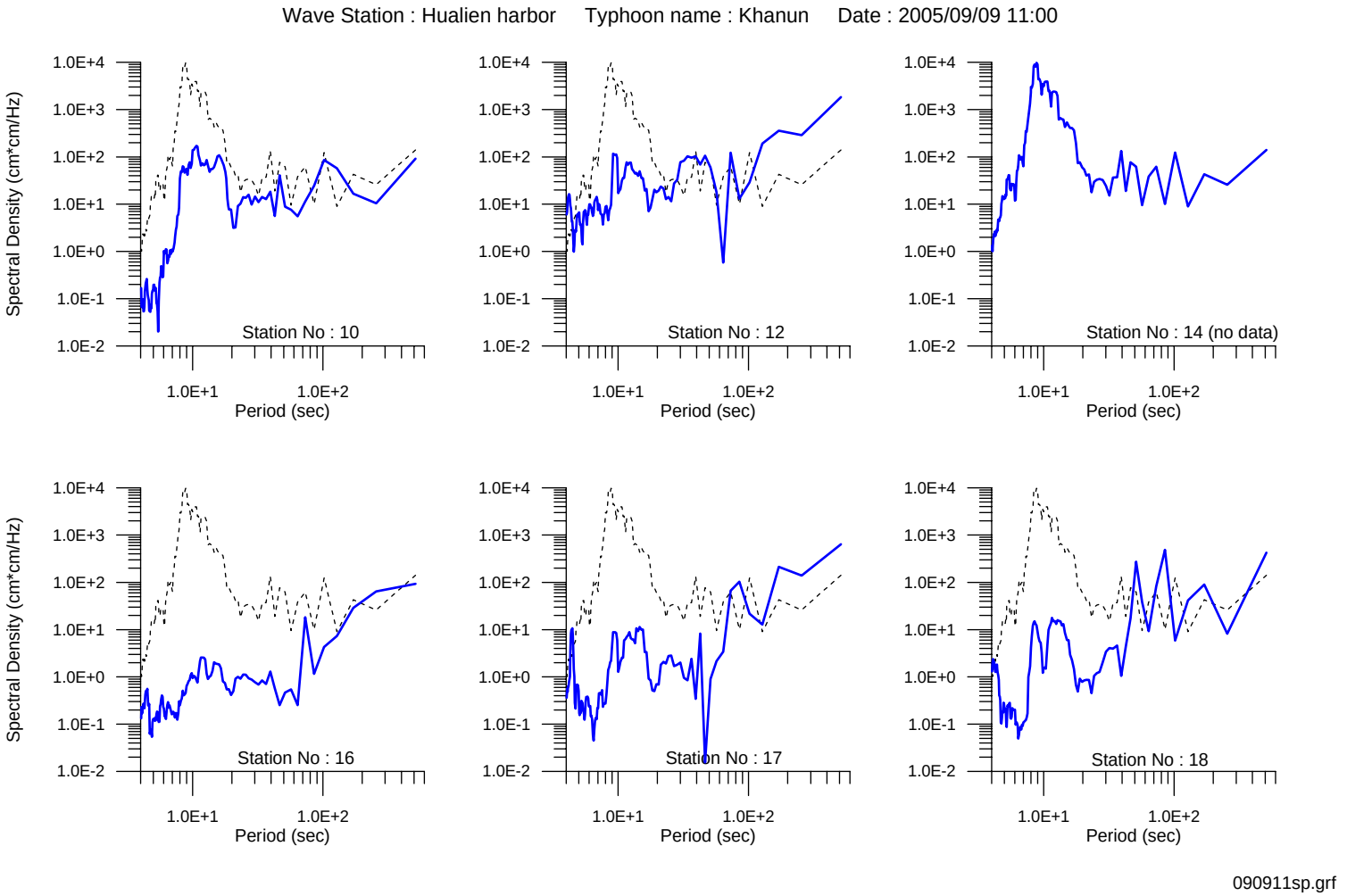



圖 3-39 卡努颱風同時間（09/09 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

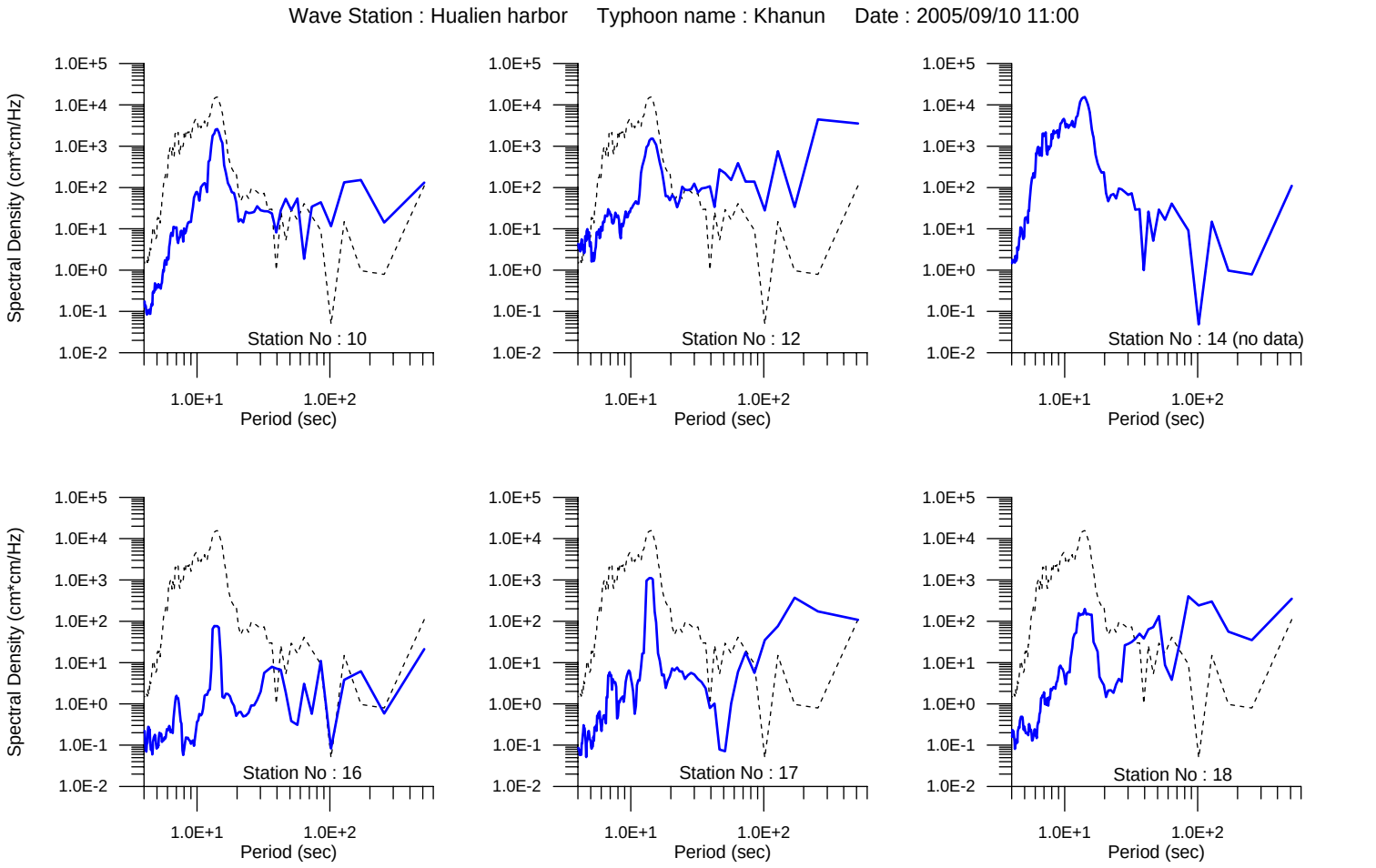



圖 3-40 卡努颱風同時間（09/10 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

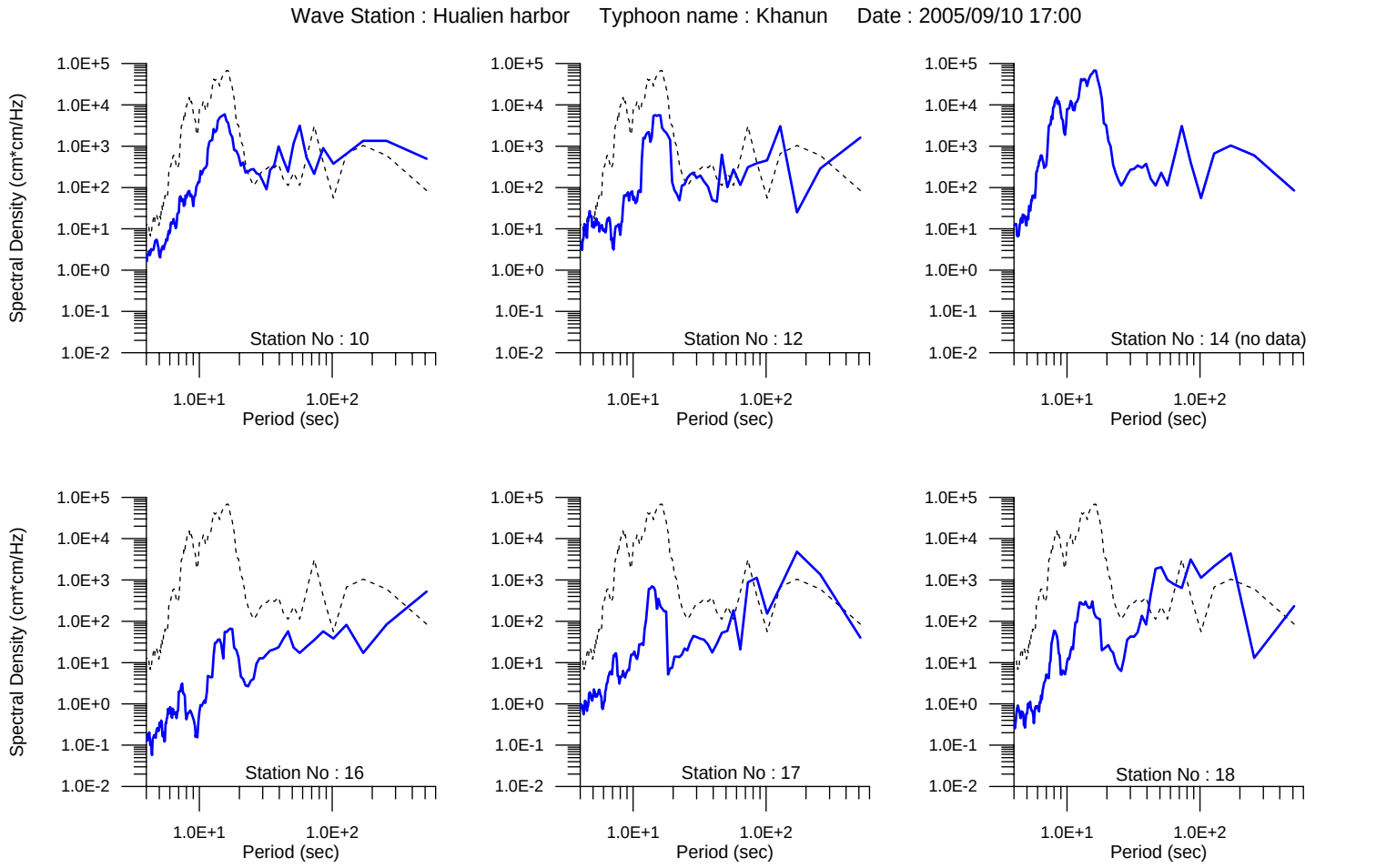



圖 3-41 卡努颱風同時間（09/10 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

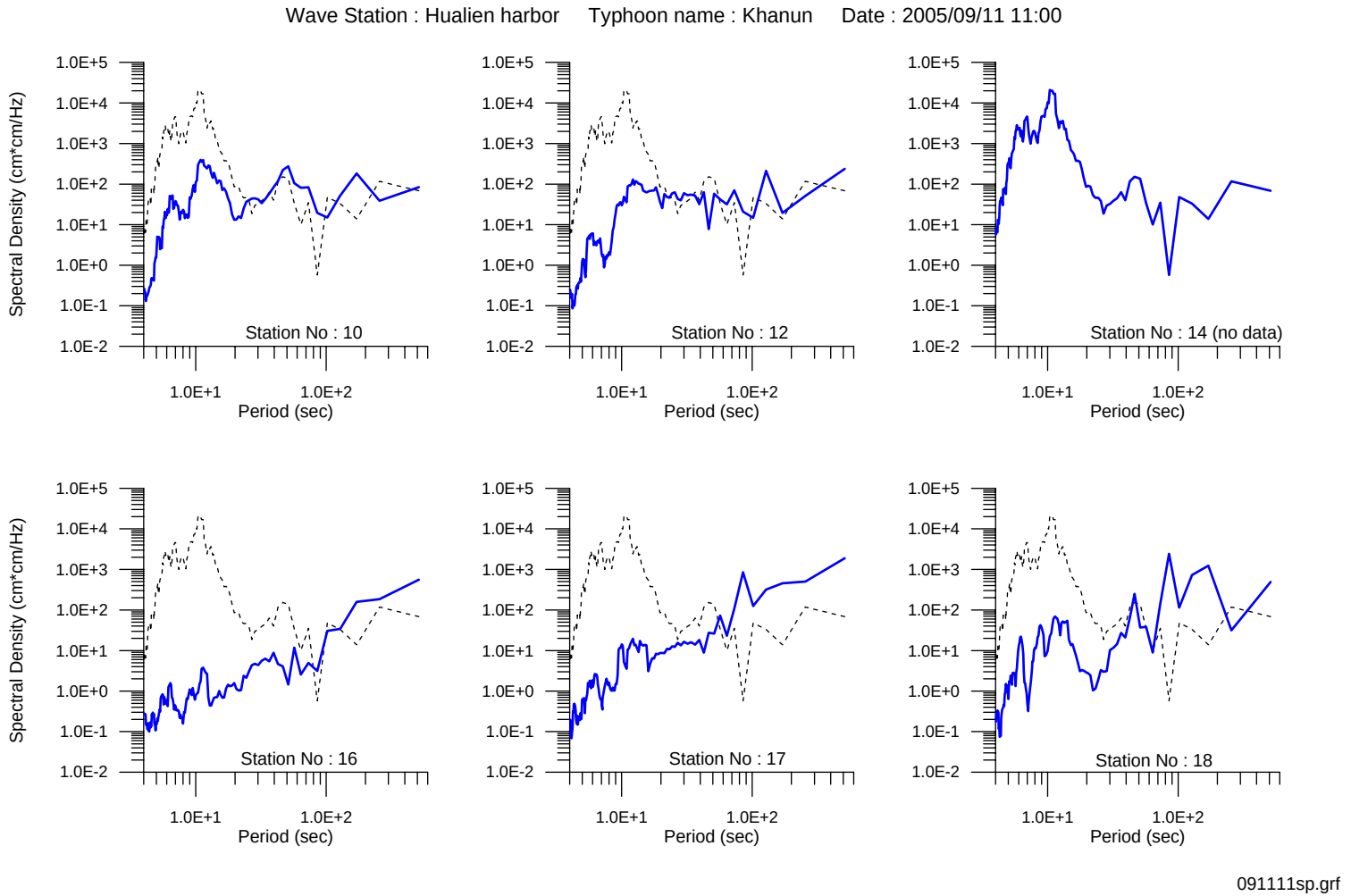



圖 3-42 卡努颱風同時間（09/11 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

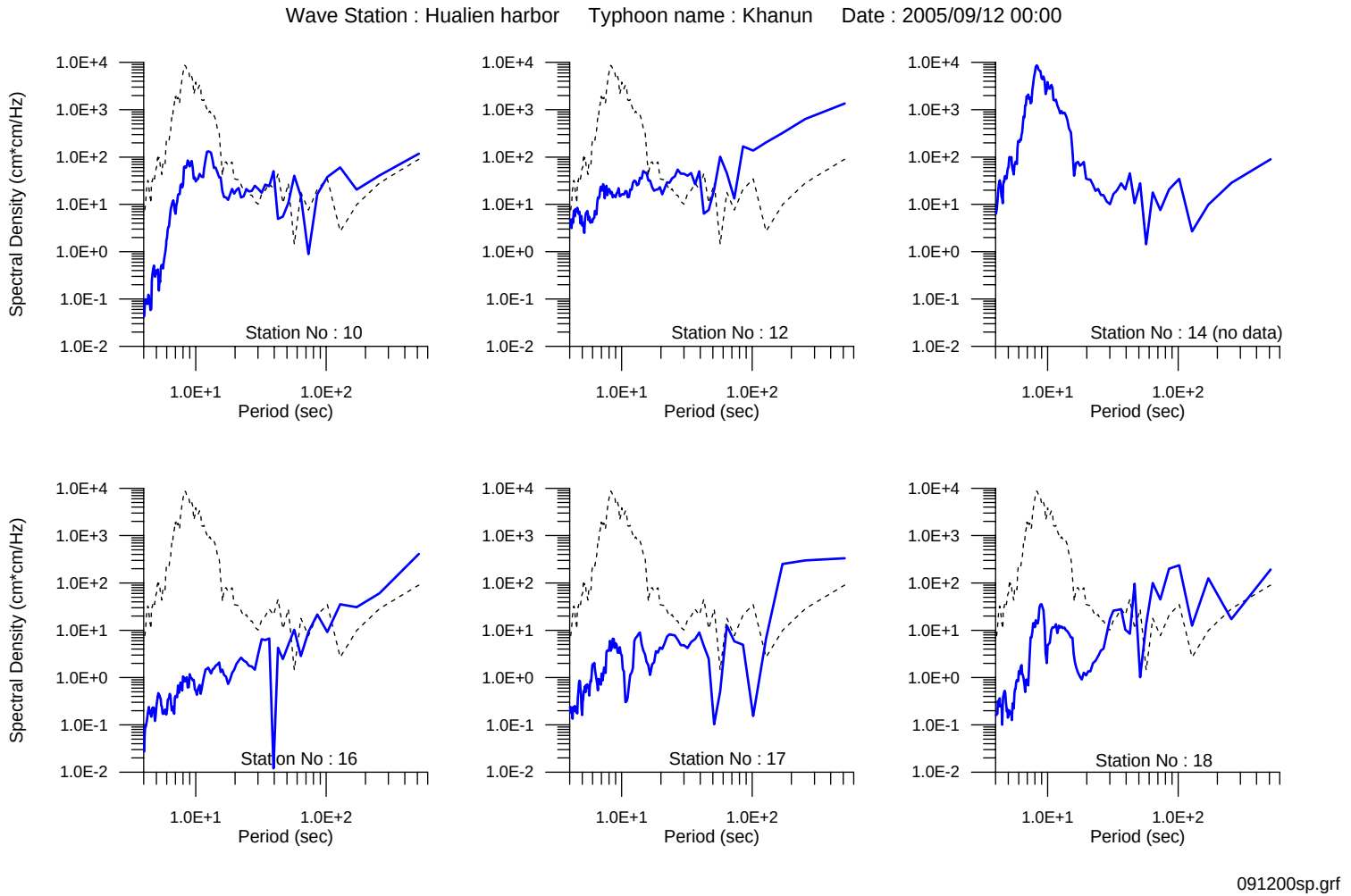



圖 3-43 卡努颱風同時間（09/12 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

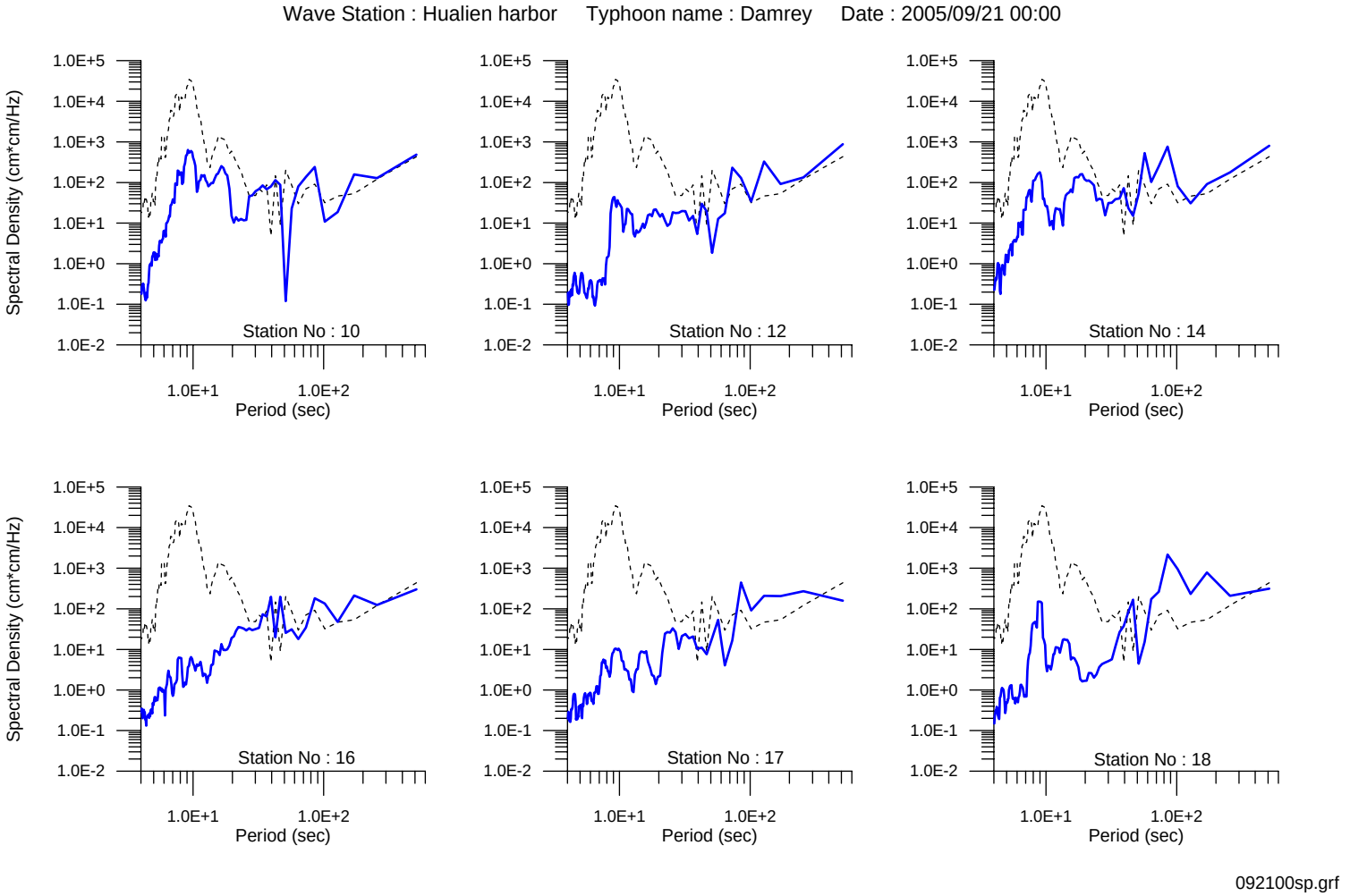



圖 3-44 丹瑞颱風同時間（09/21 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

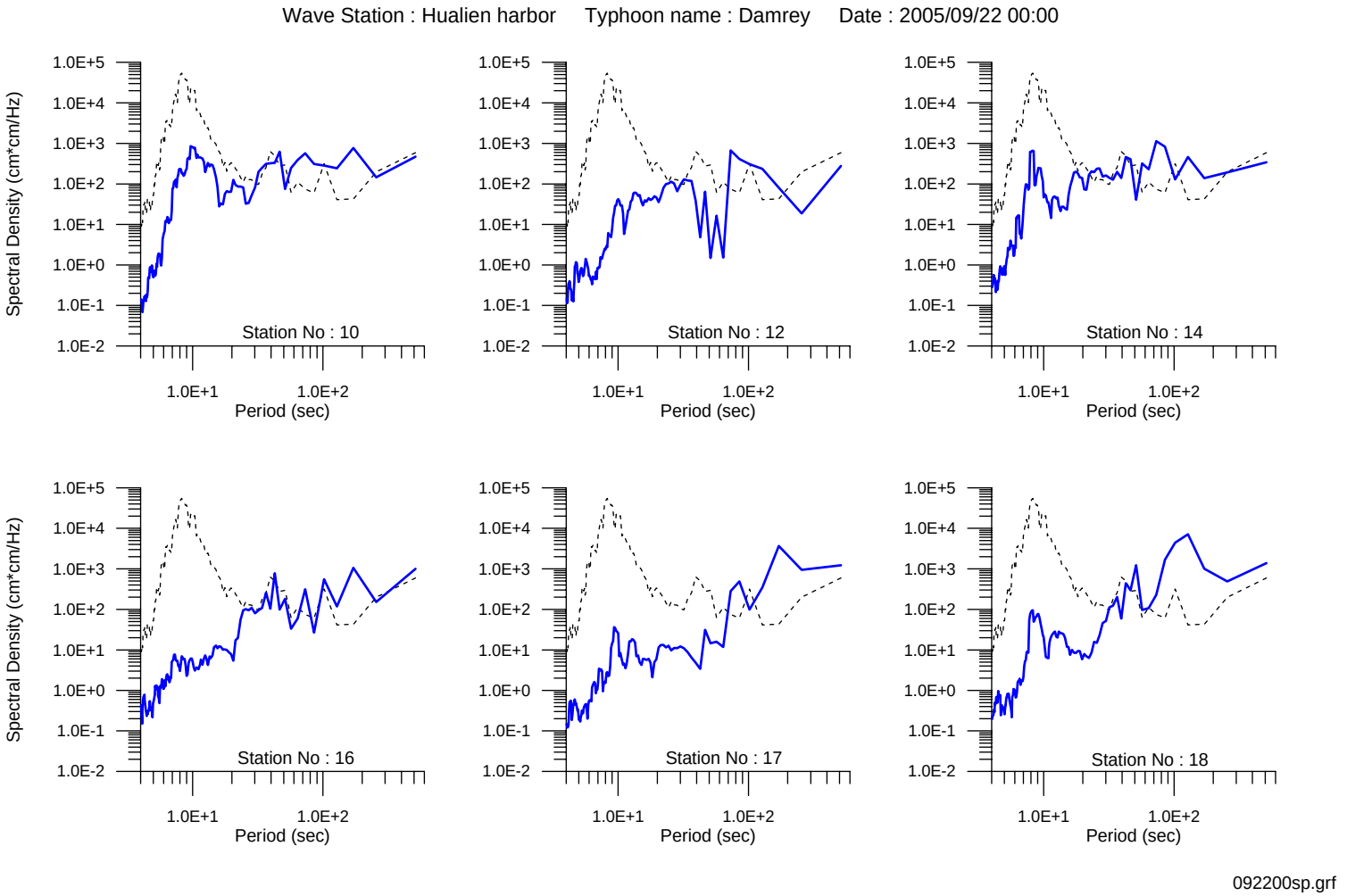



圖 3-45 丹瑞颱風同時間（09/22 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

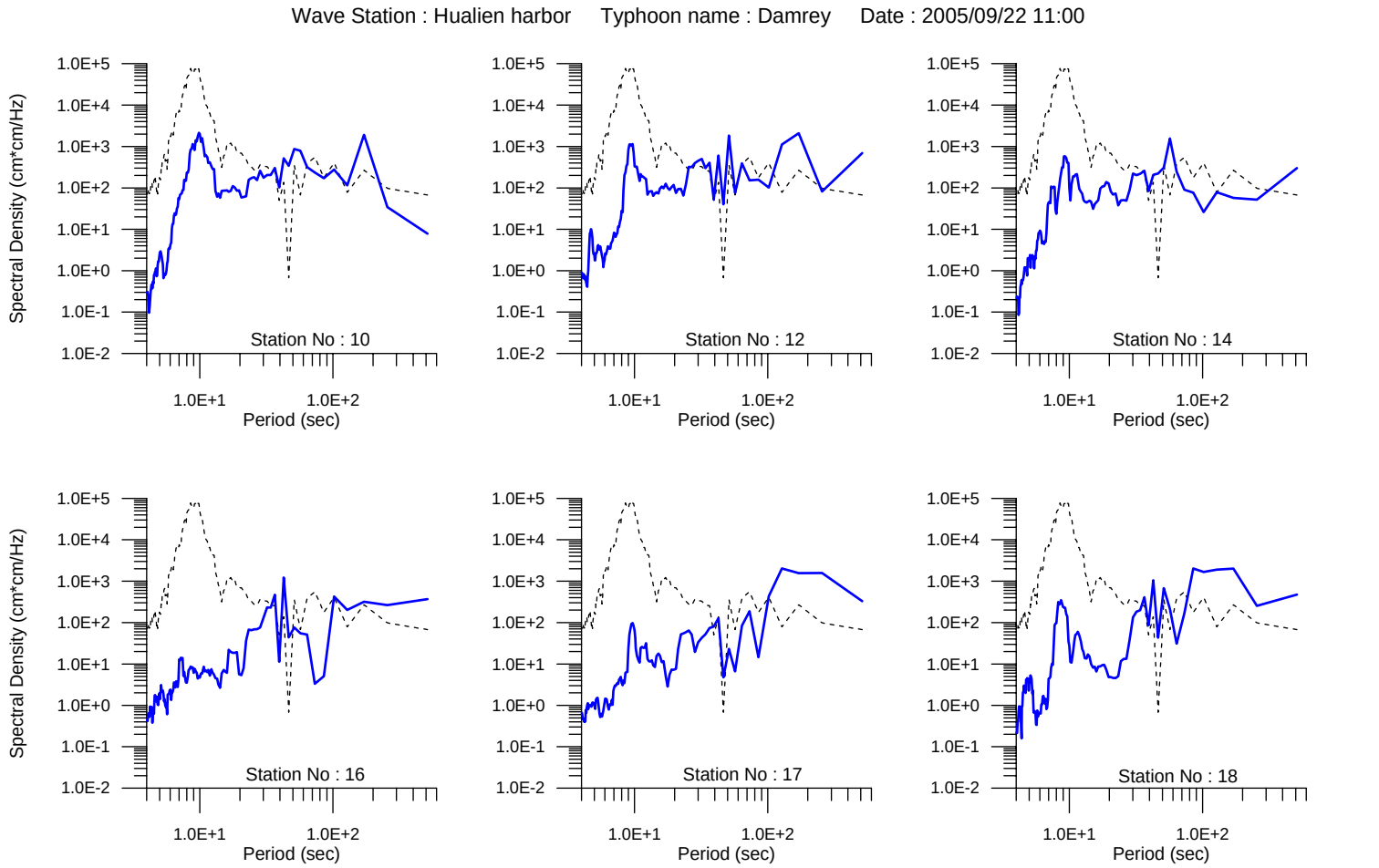



圖 3-46 丹瑞颱風同時間（09/22 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

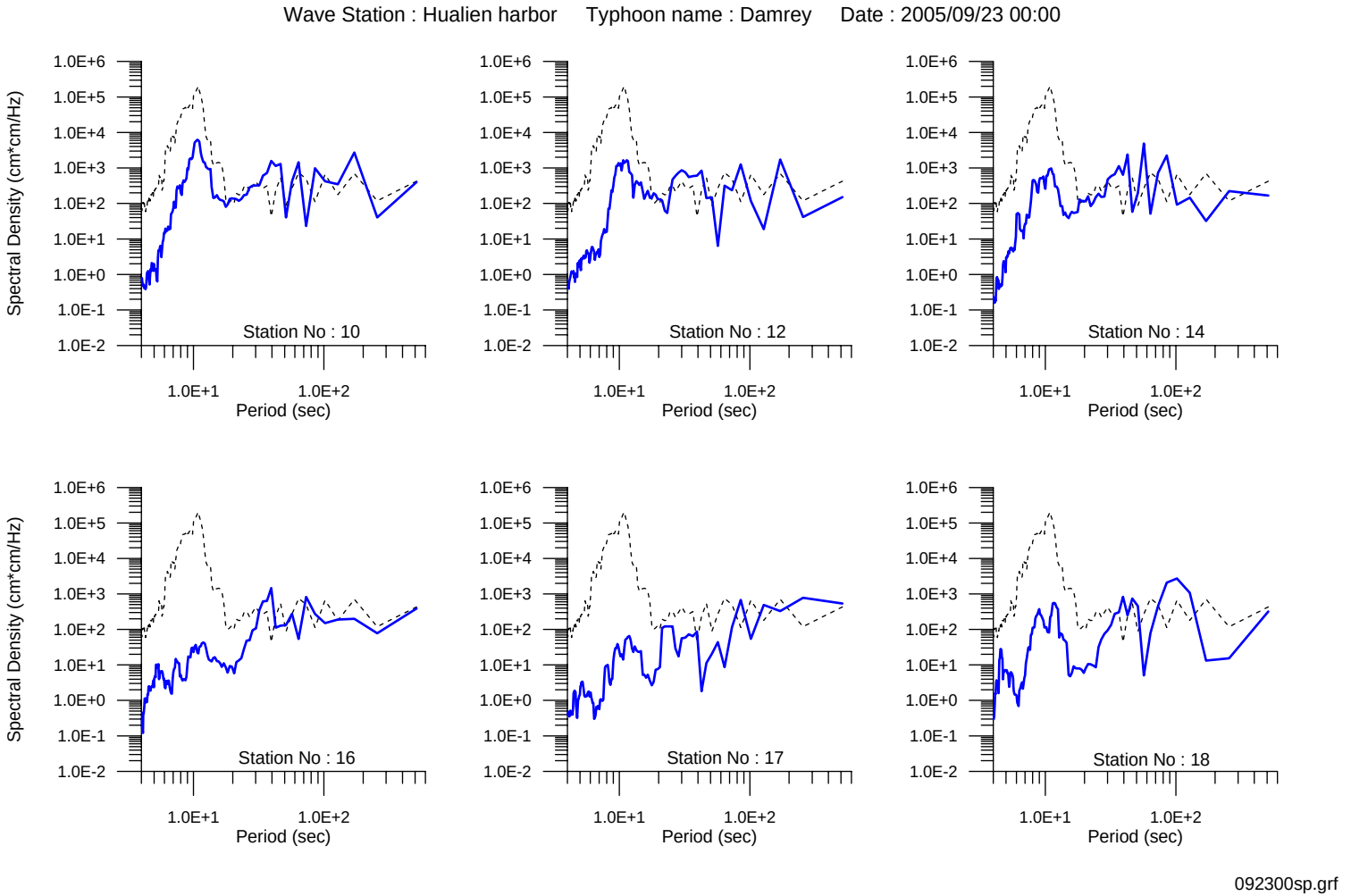



圖 3-47 丹瑞颱風同時間（09/23 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

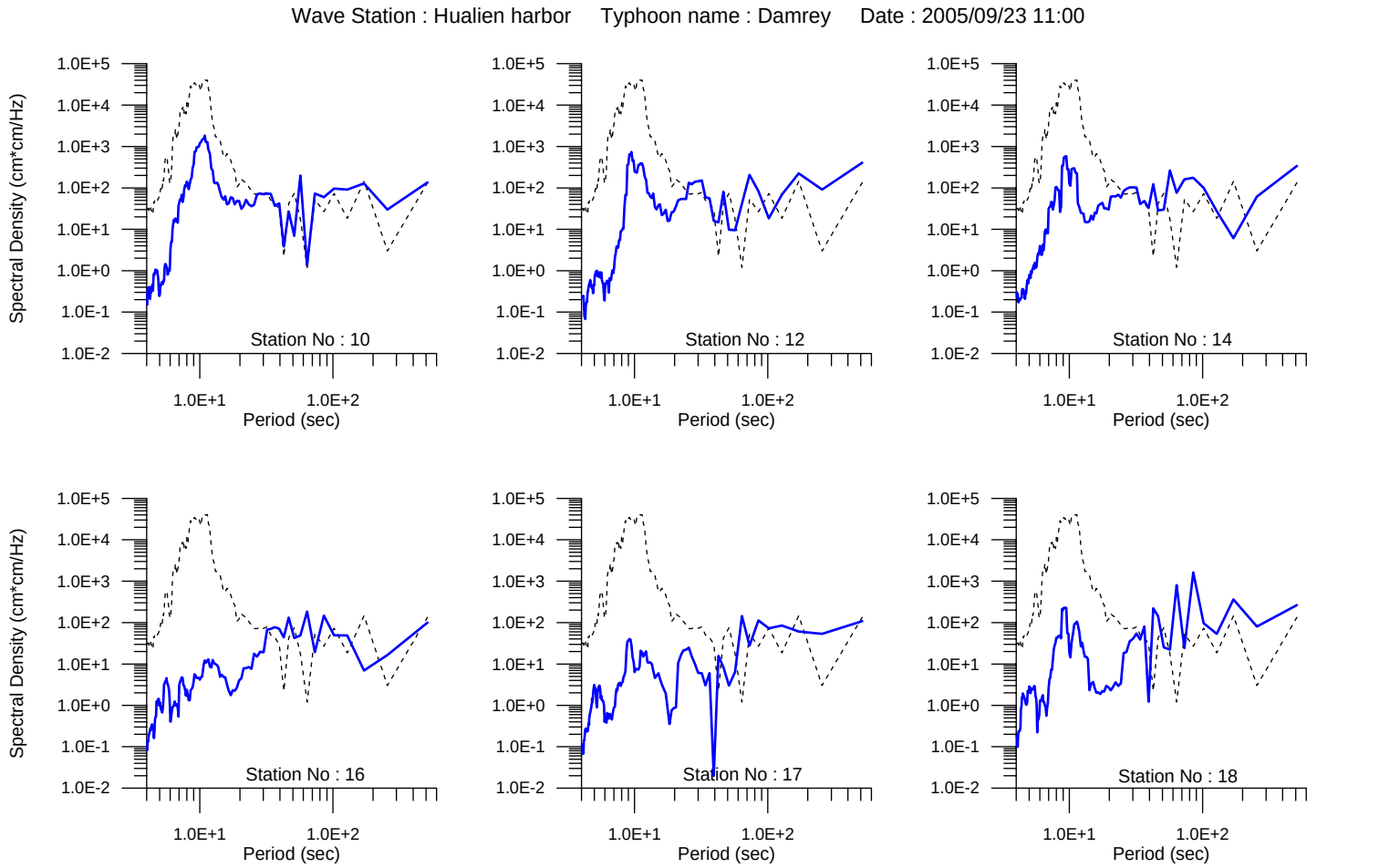



圖 3-48 丹瑞颱風同時間（09/23 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

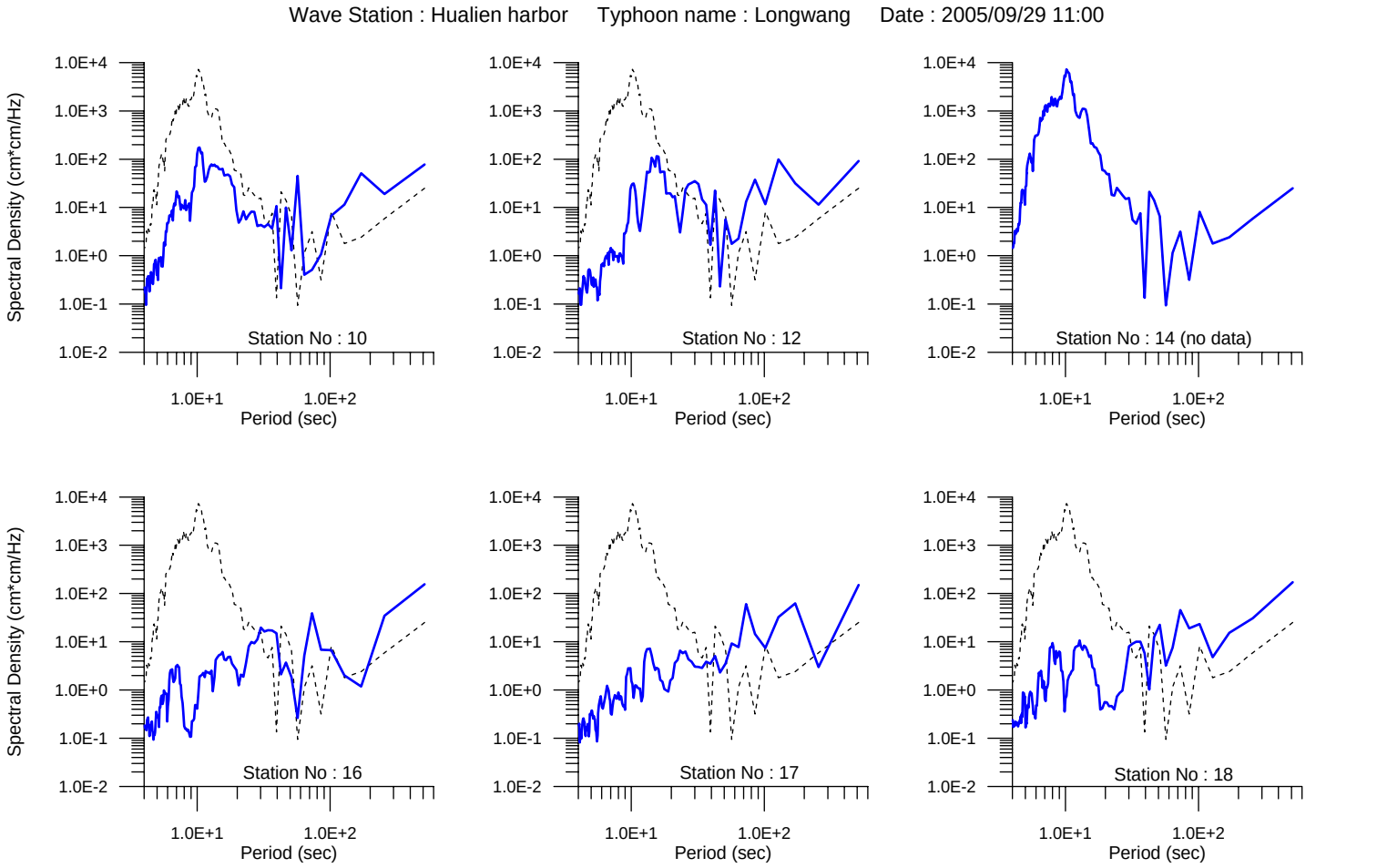



圖 3-49 龍王颱風同時間（09/29 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

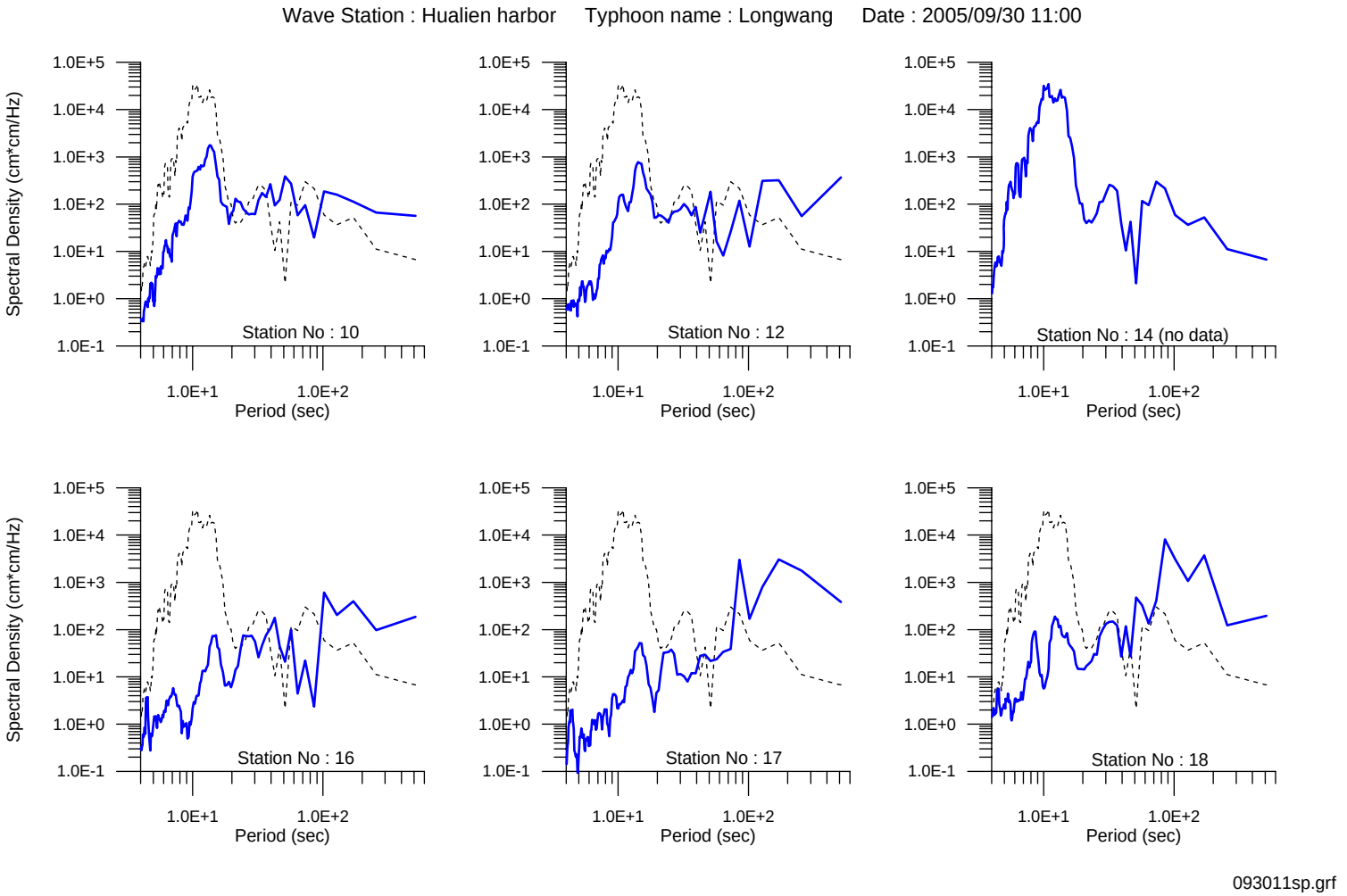



圖 3-50 龍王颱風同時間（09/30 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

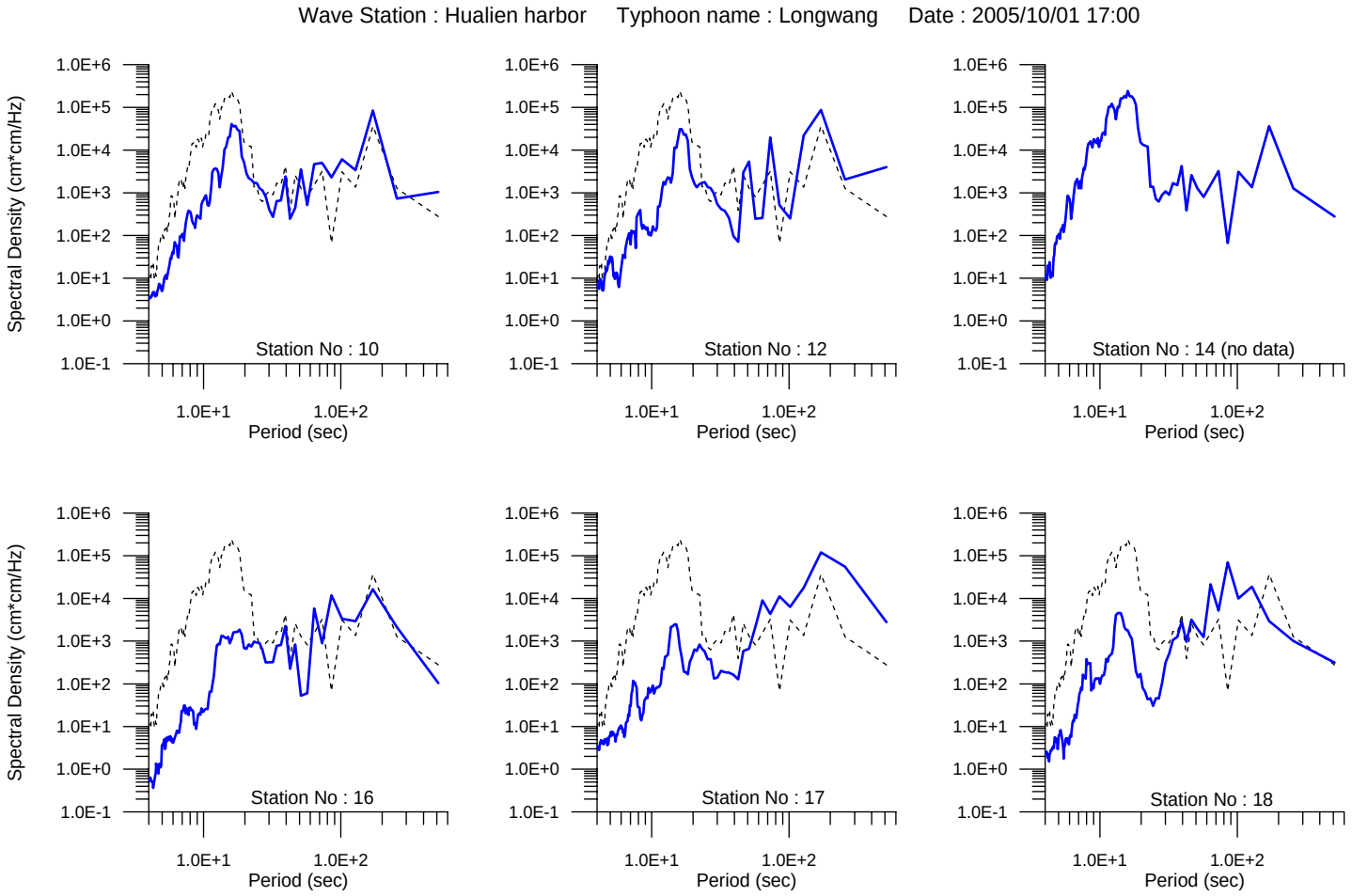



圖 3-51 龍王颱風同時間（10/01 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

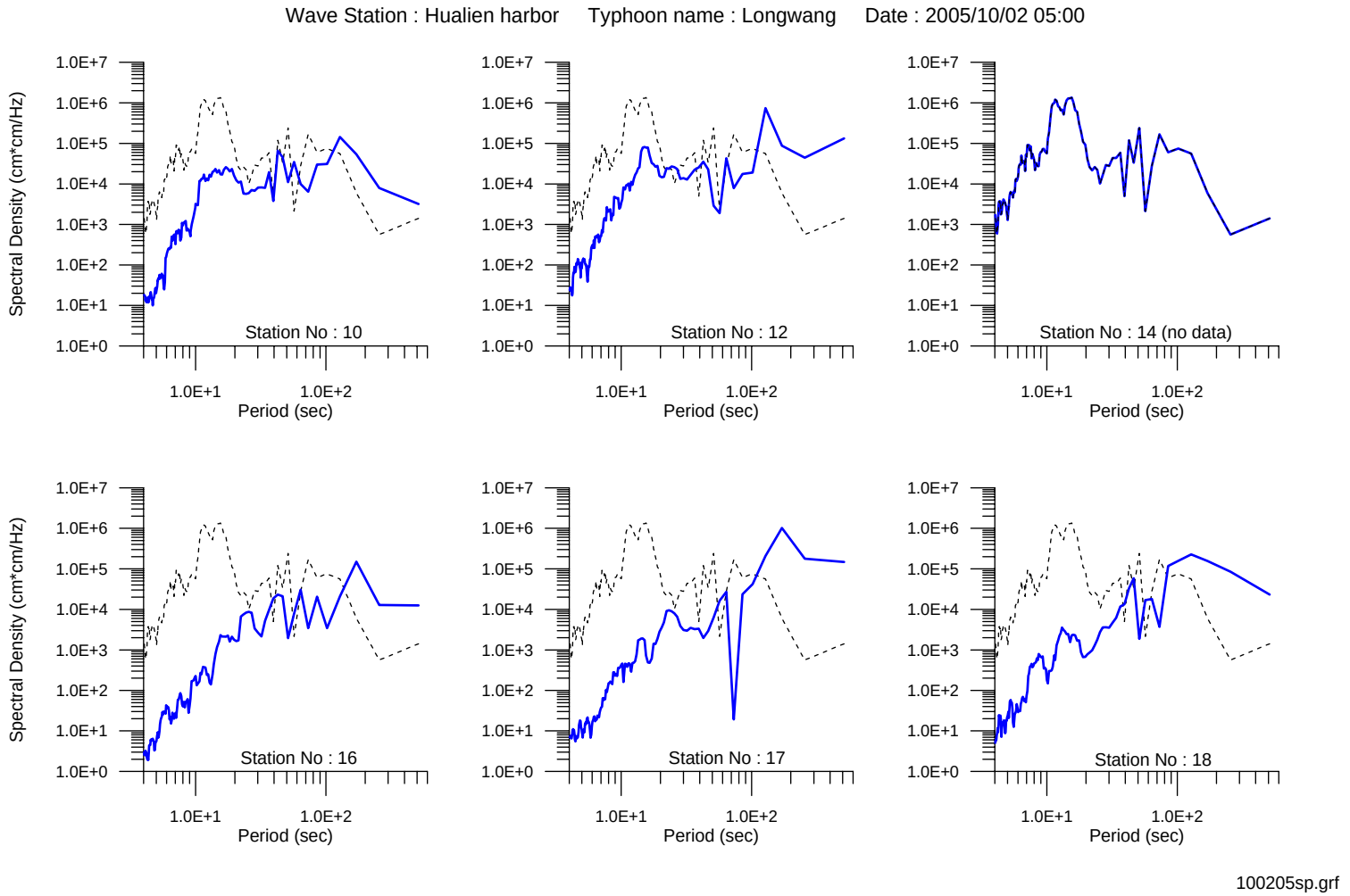



圖 3-52 龍王颱風同時間（10/02 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

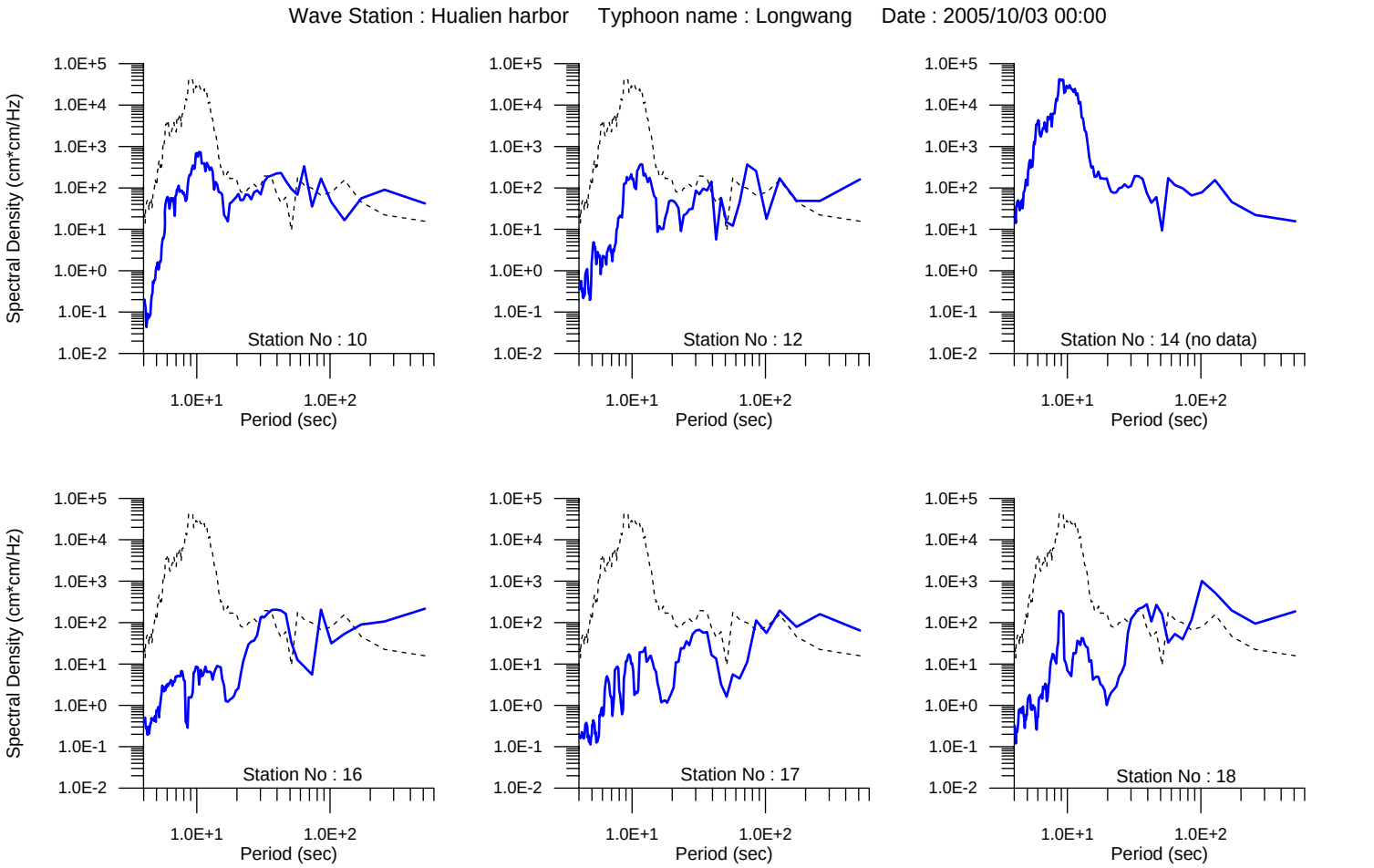



圖 3-53 龍王颱風同時間（10/03 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

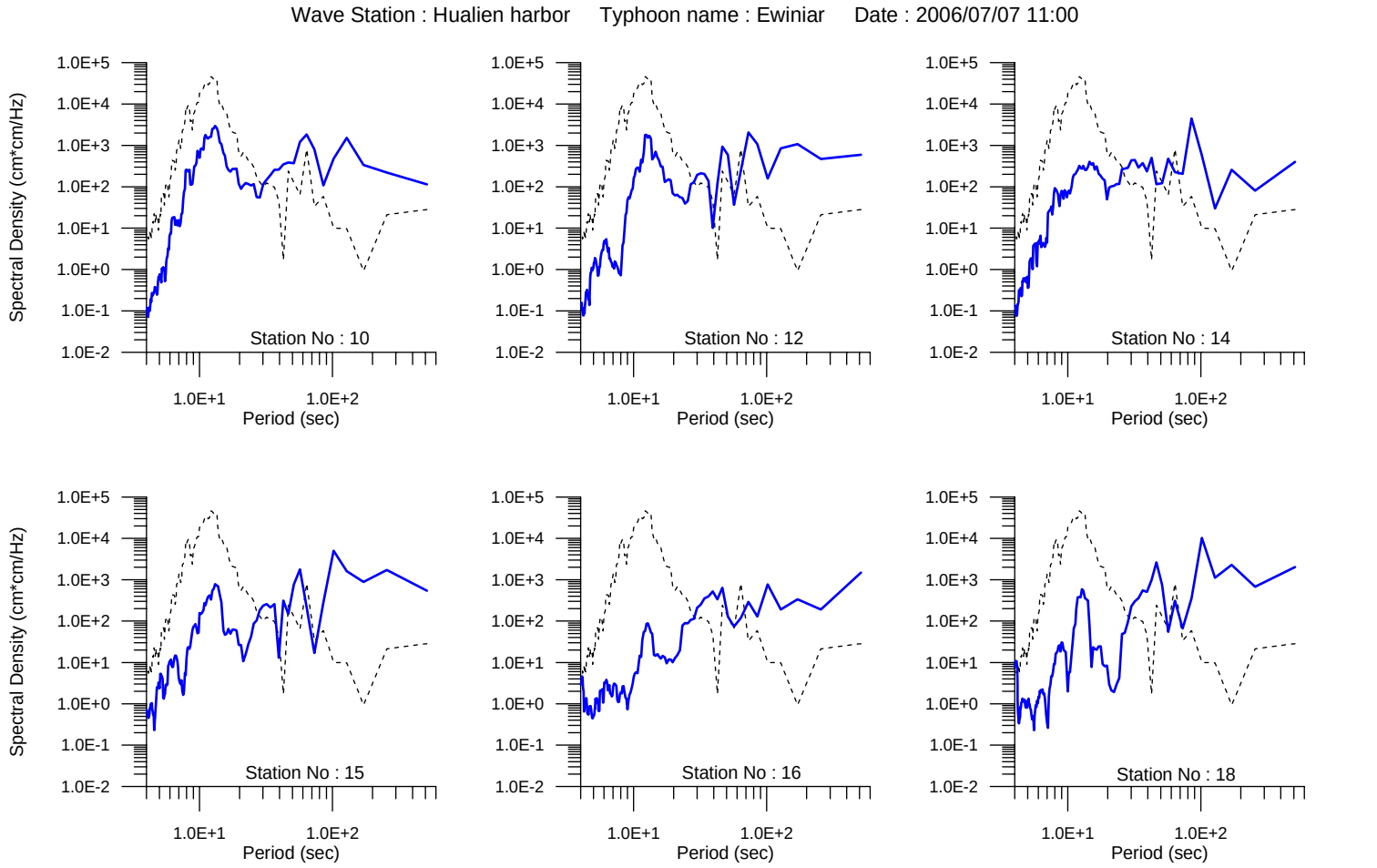



圖 3-54 艾維尼颱風同時間（07/07 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

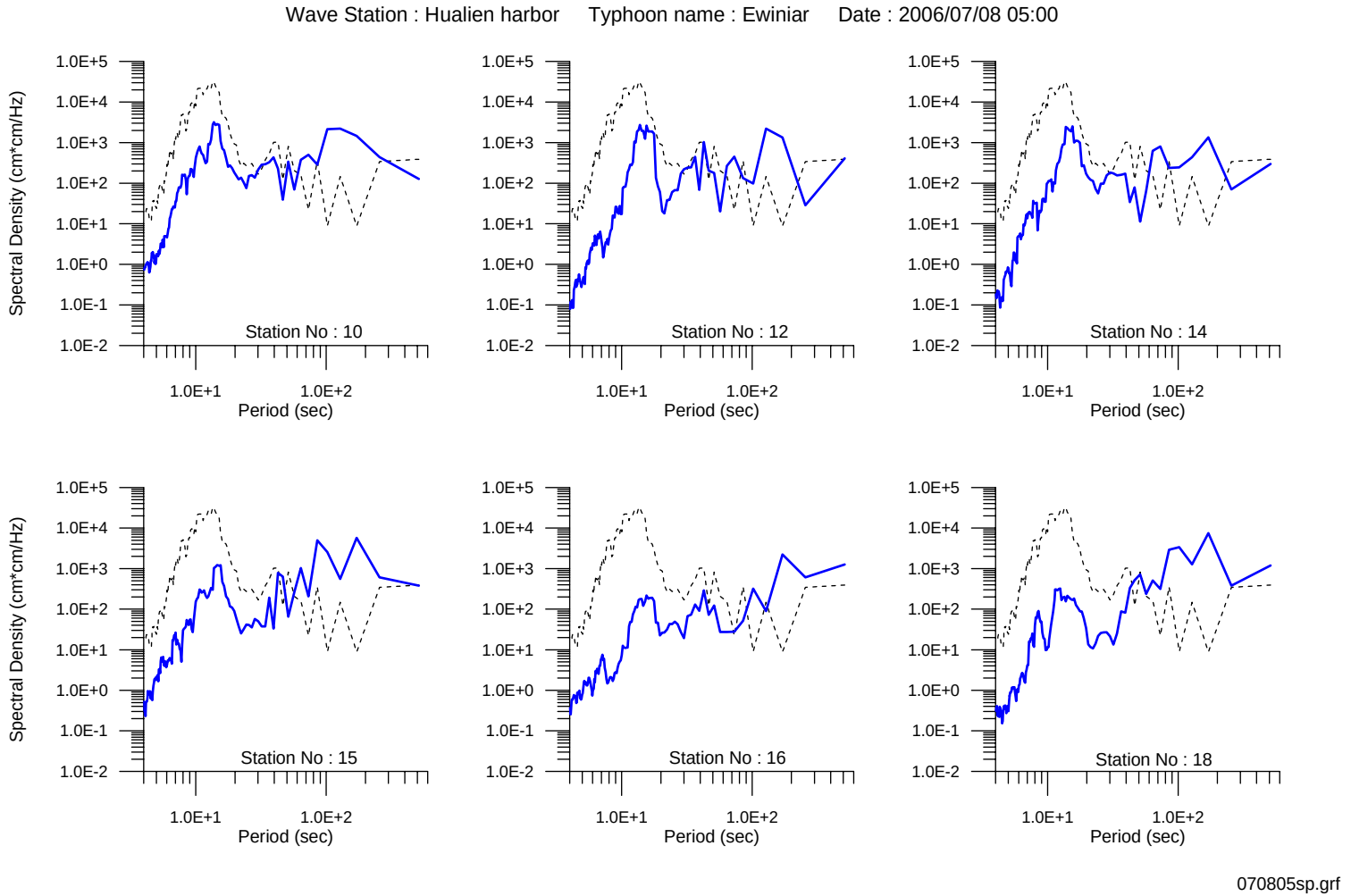



圖 3-55 艾維尼颱風同時間（07/08 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

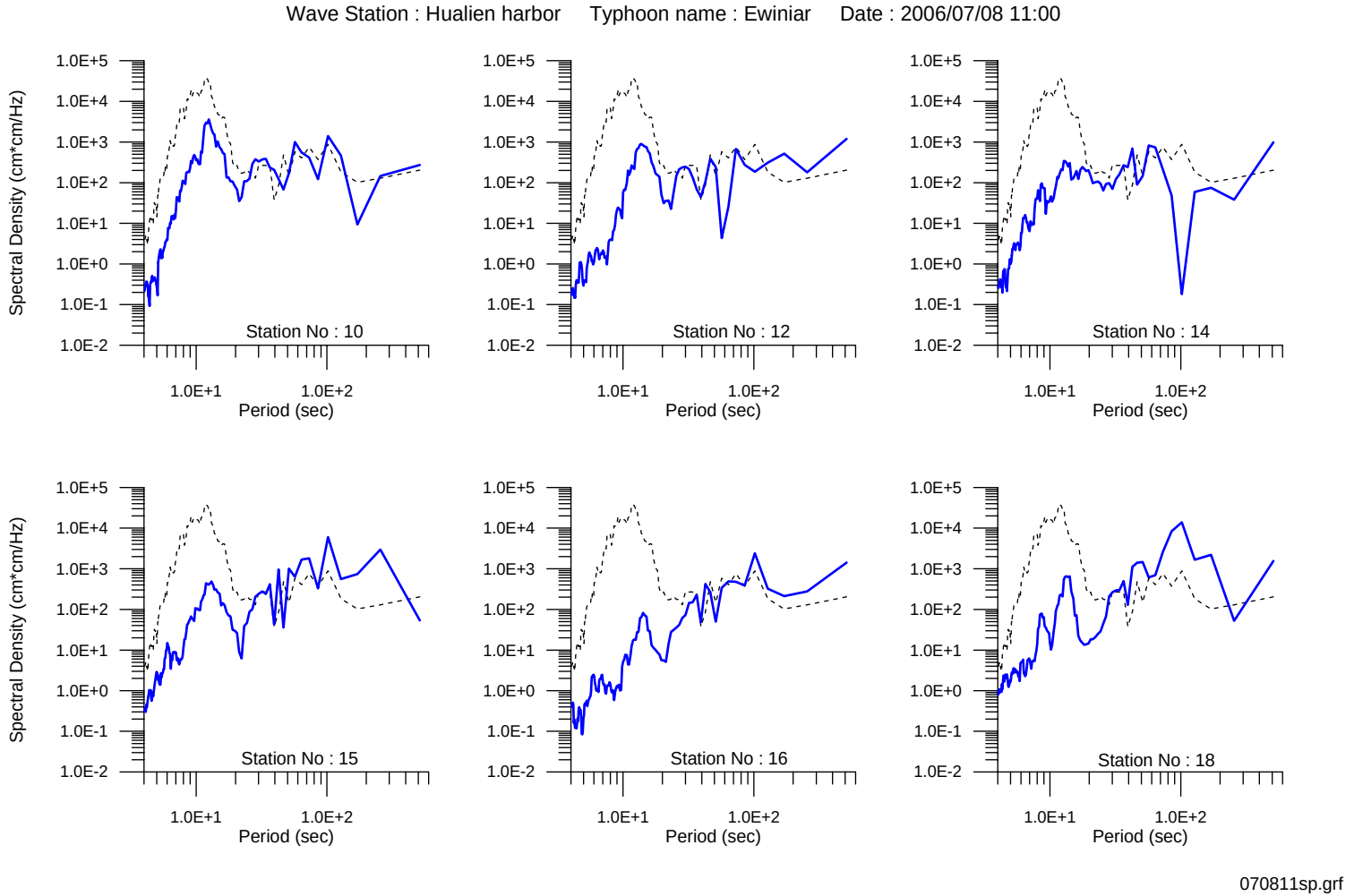



圖 3-56 艾維尼颱風同時間（07/08 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

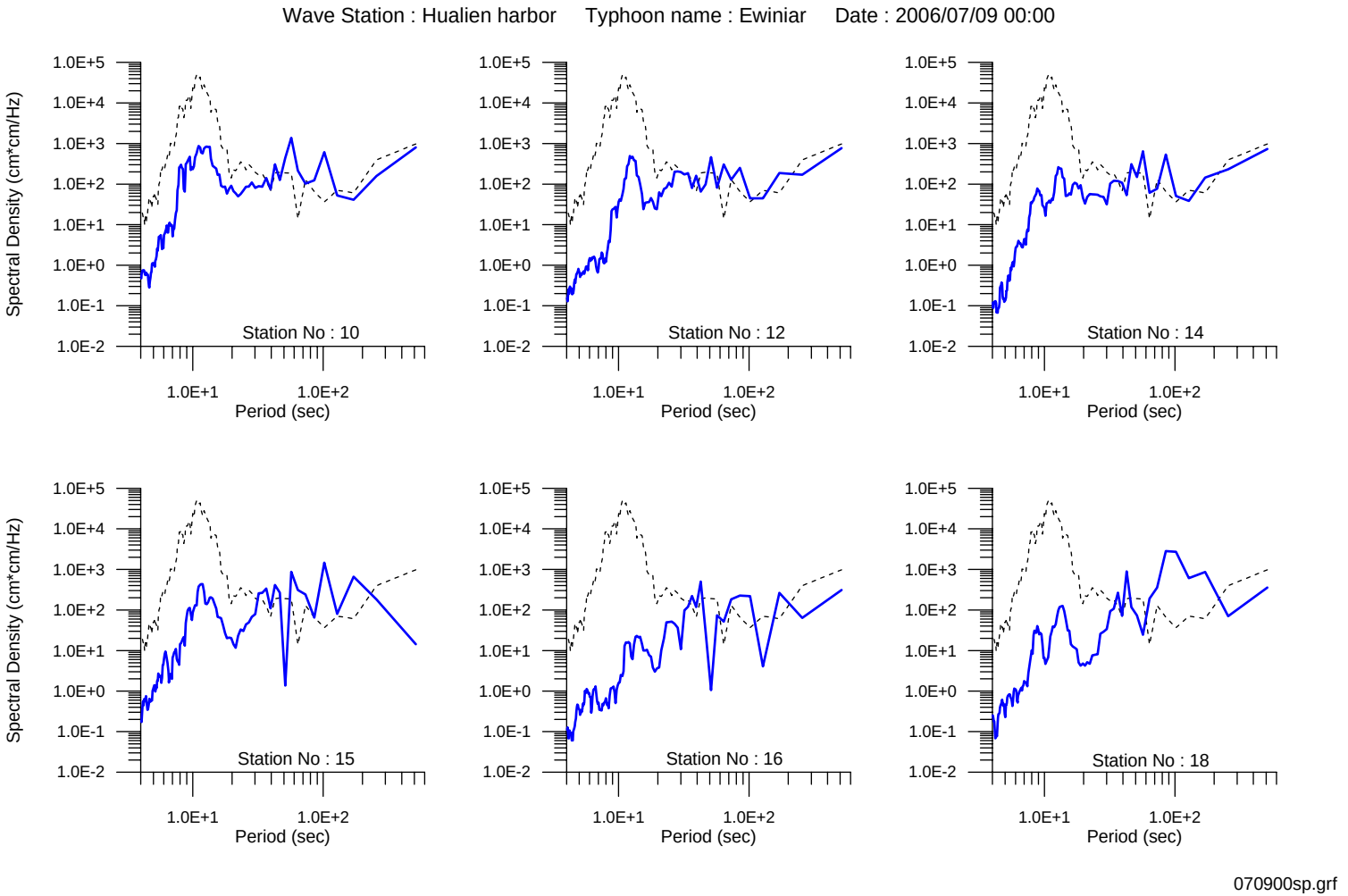



圖 3-57 艾維尼颱風同時間（07/09 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

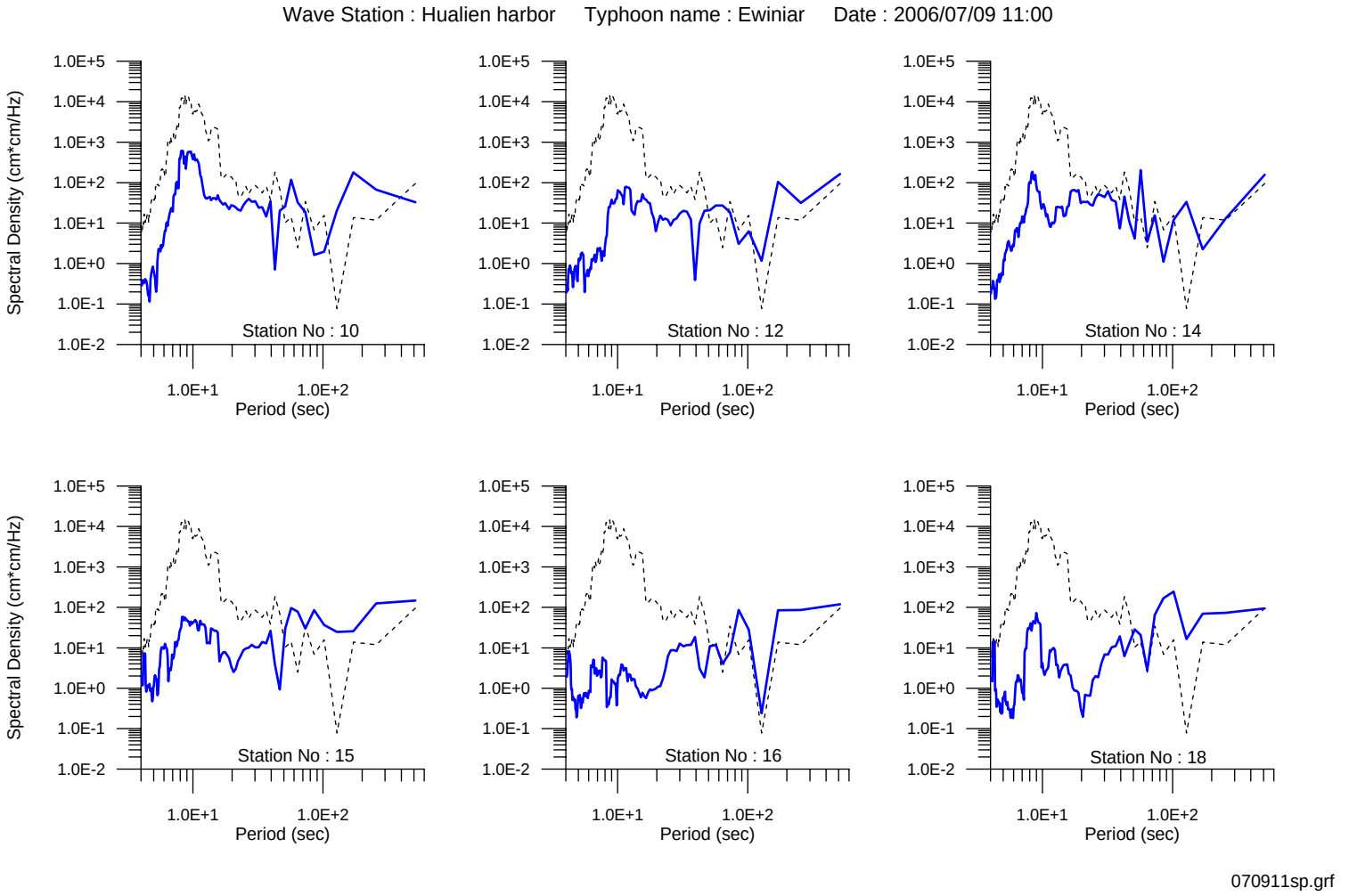



圖 3-58 艾維尼颱風同時間（07/09 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

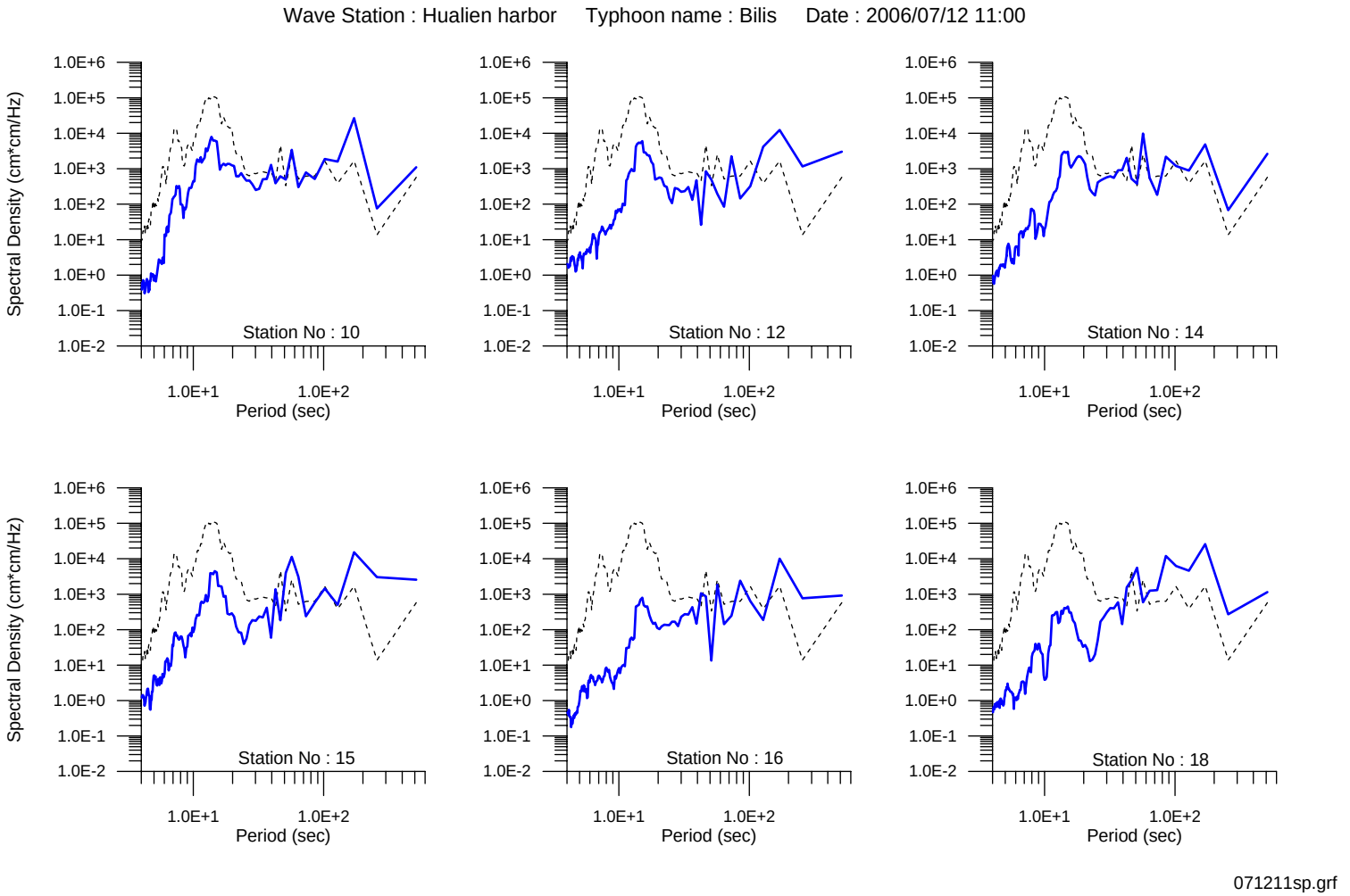



圖 3-59 碧利斯颱風同時間（07/12 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

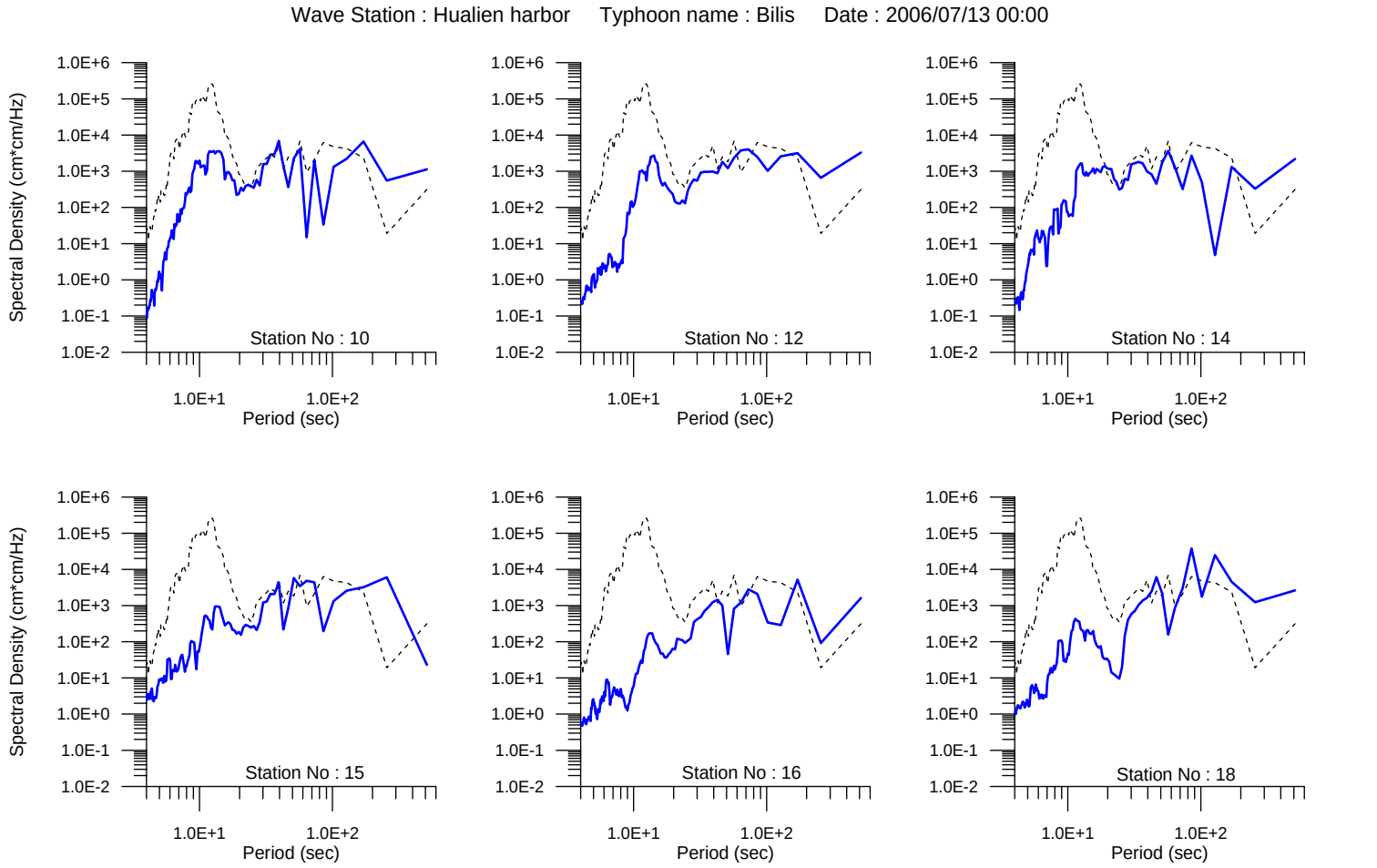



圖 3-60 碧利斯颱風同時間（07/13 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

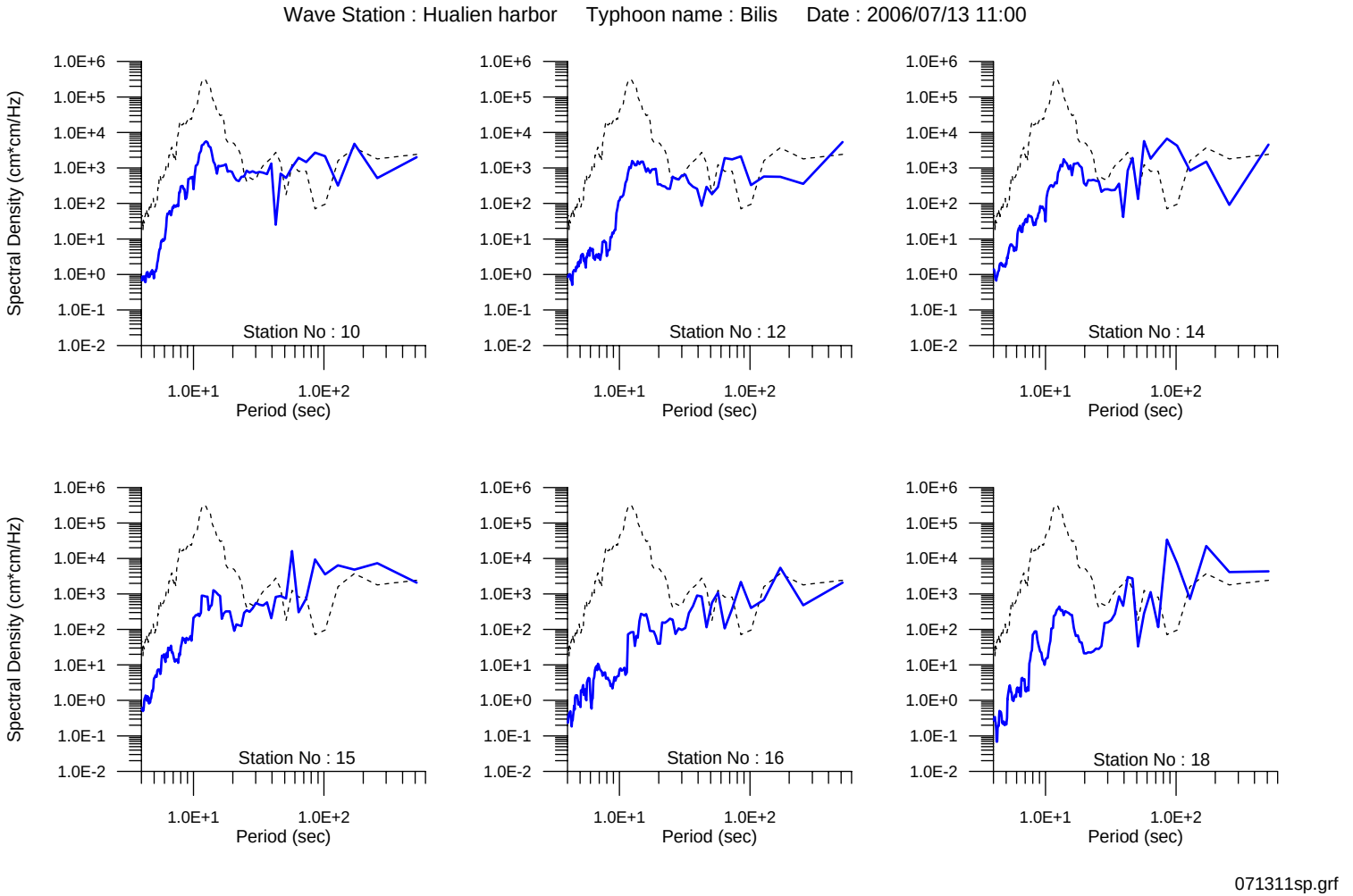



圖 3-61 碧利斯颱風同時間（07/13 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

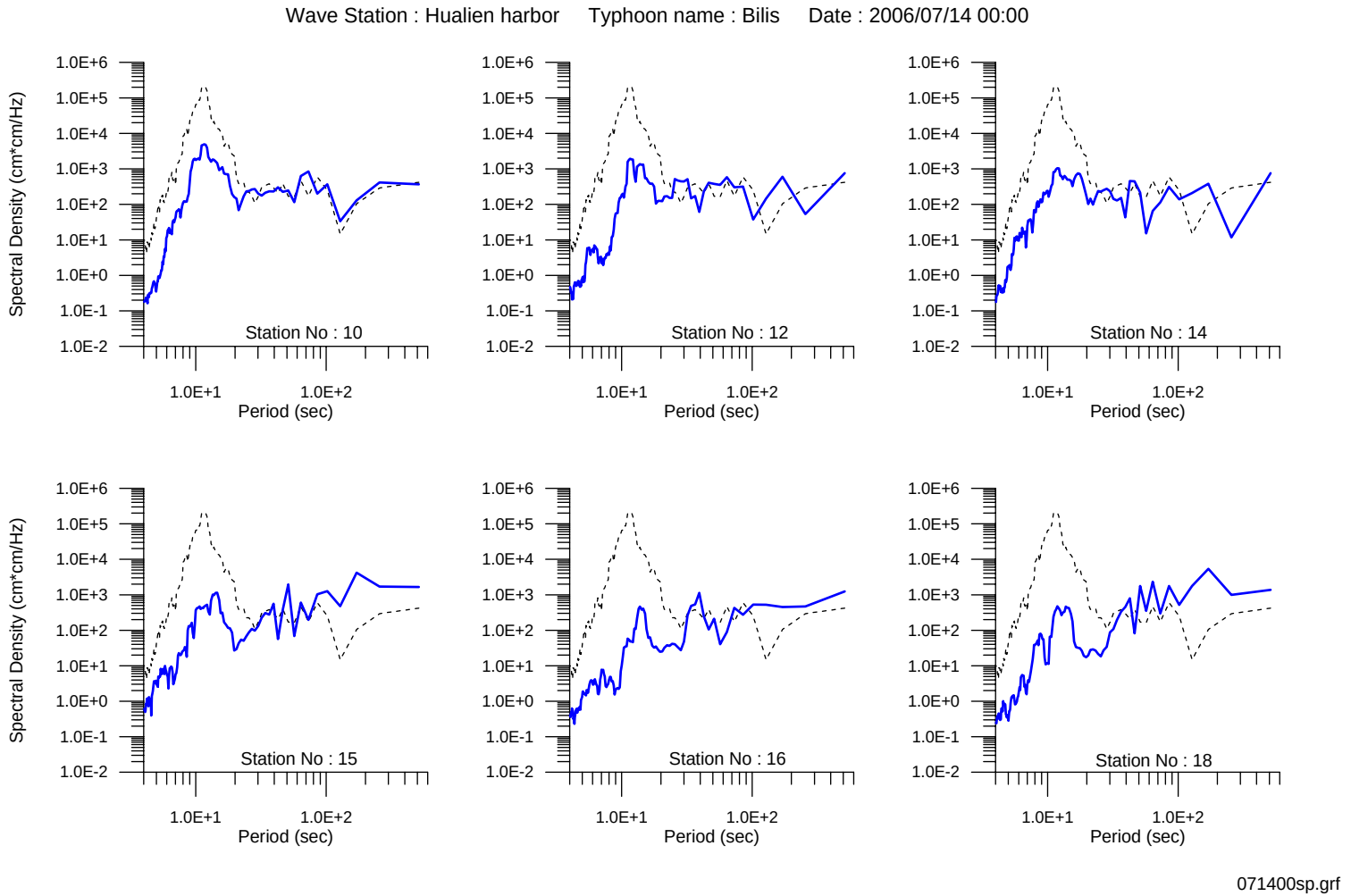



圖 3-62 碧利斯颱風同時間（07/14 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

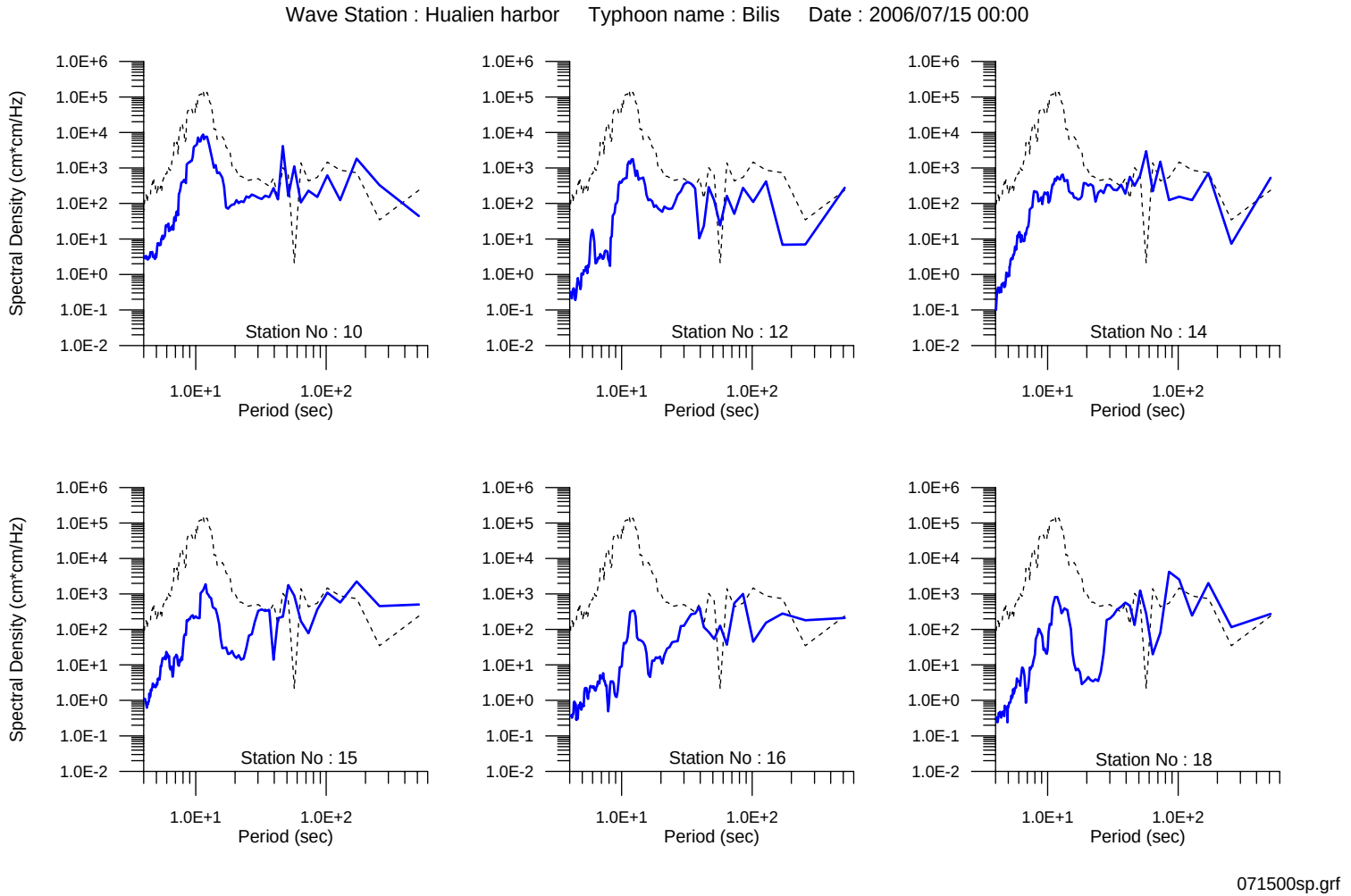



圖 3-63 碧利斯颱風同時間（07/15 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

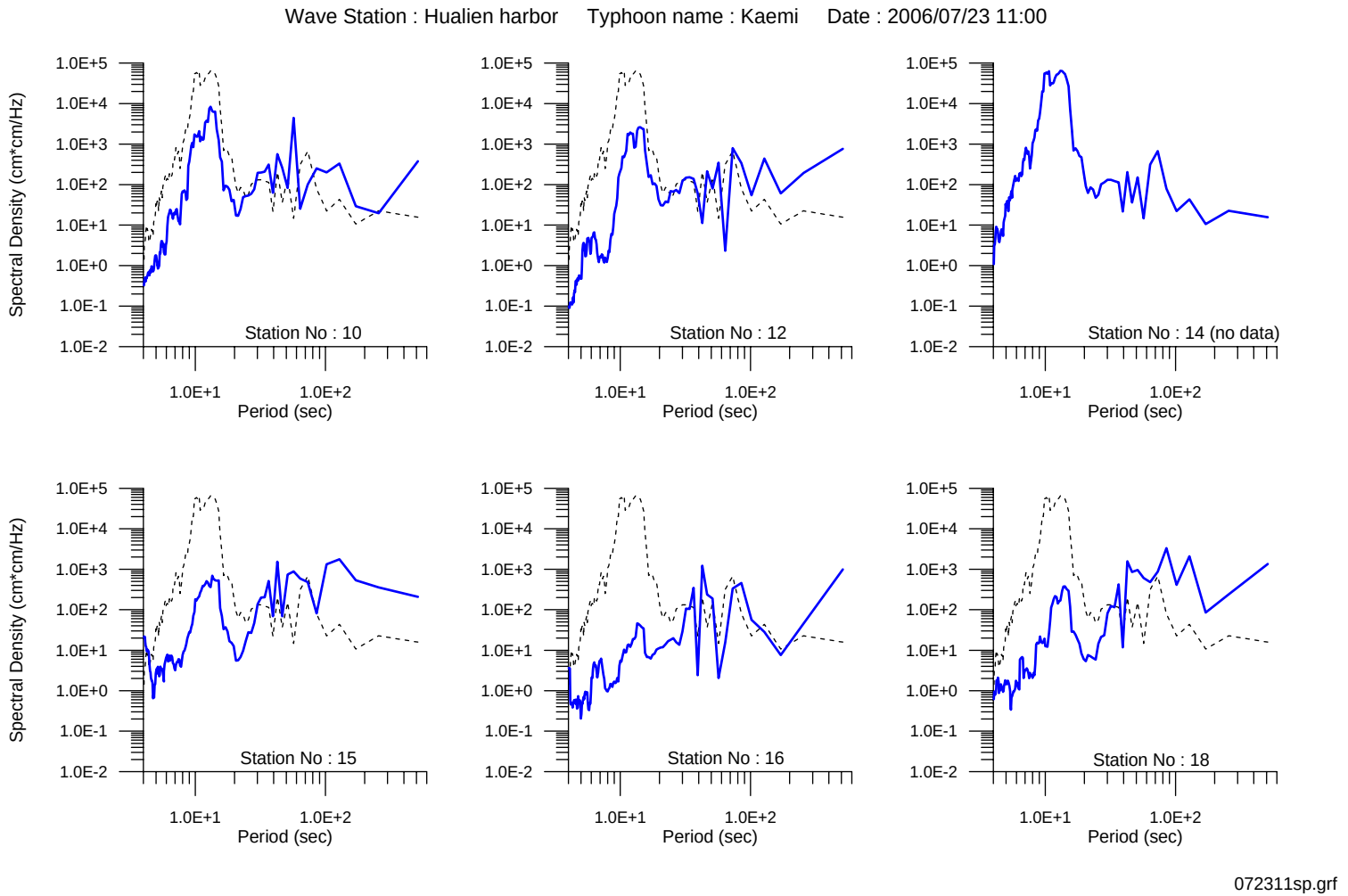



圖 3-64 凱米颱風同時間（07/23 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

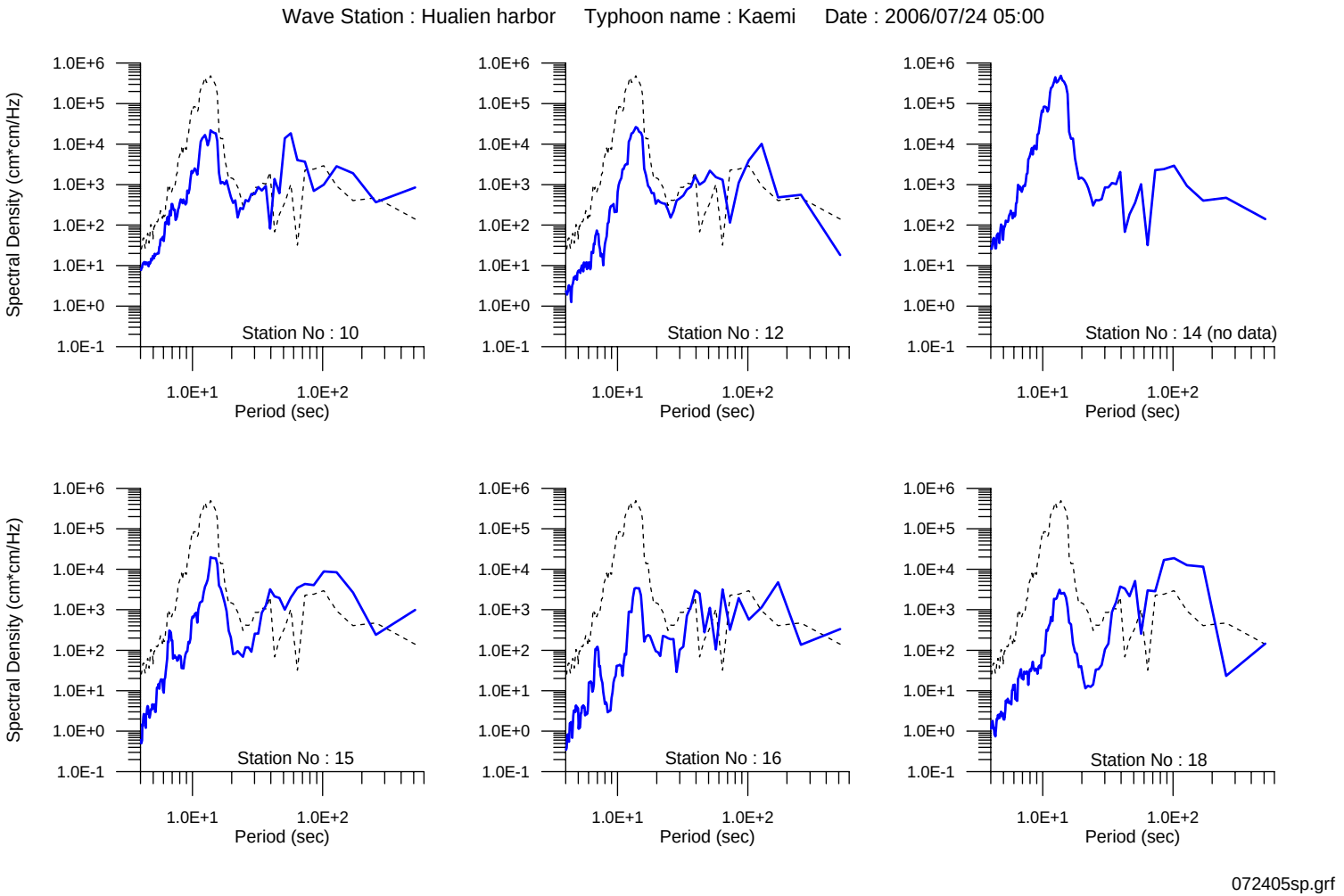



圖 3-65 凱米颱風同時間（07/24 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

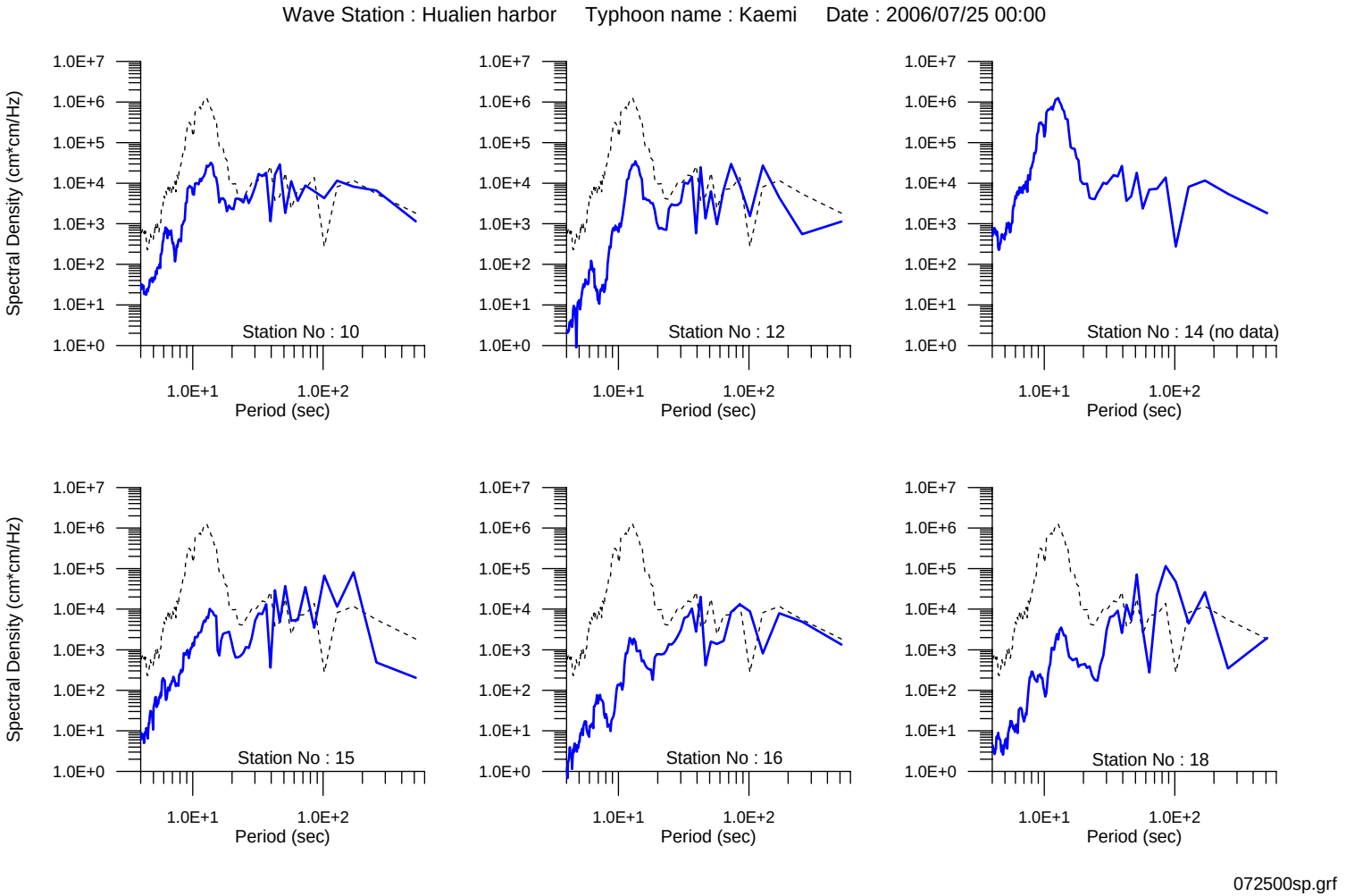



圖 3-66 凱米颱風同時間（07/25 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

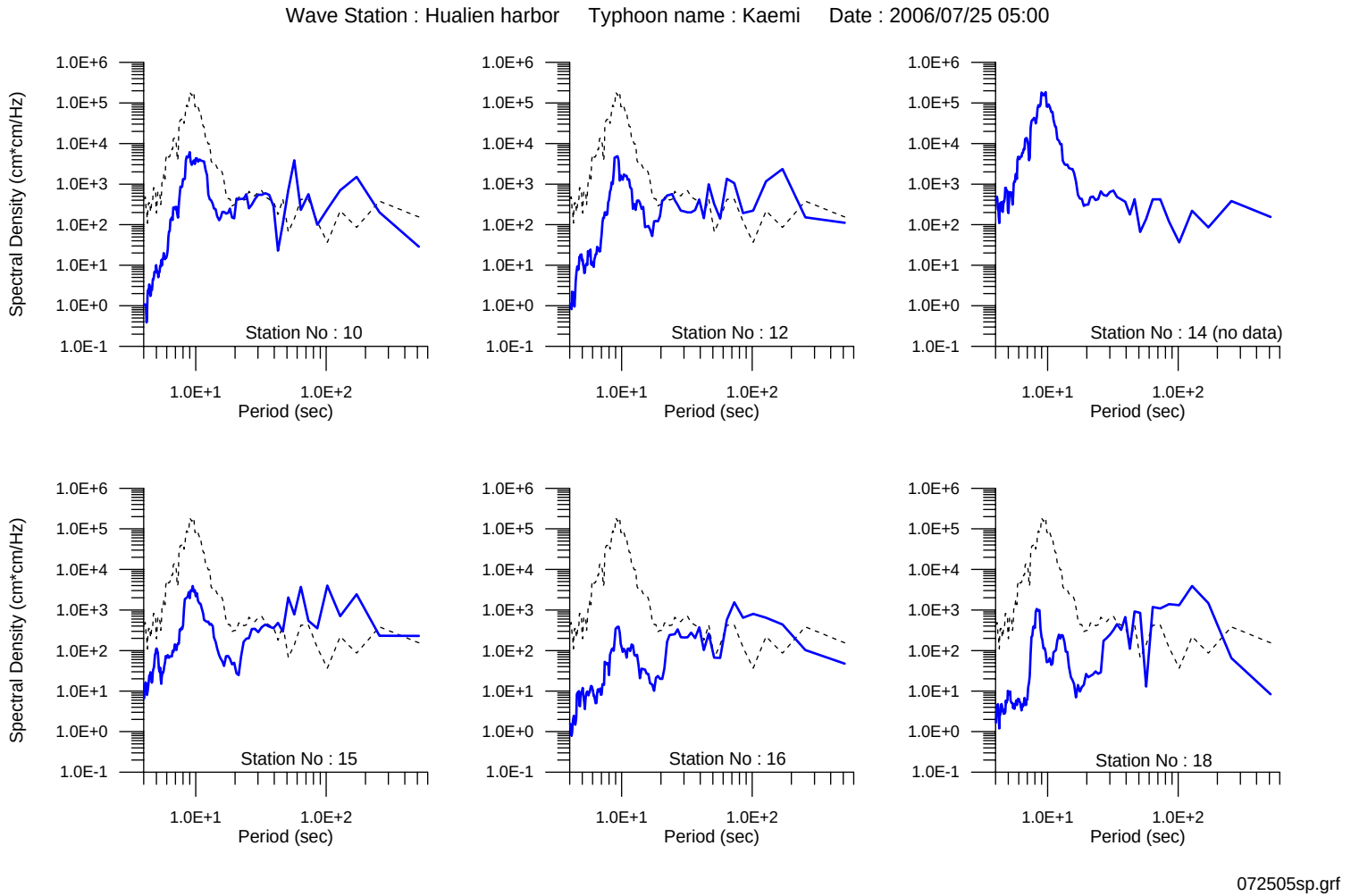



圖 3-67 凱米颱風同時間（07/25 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

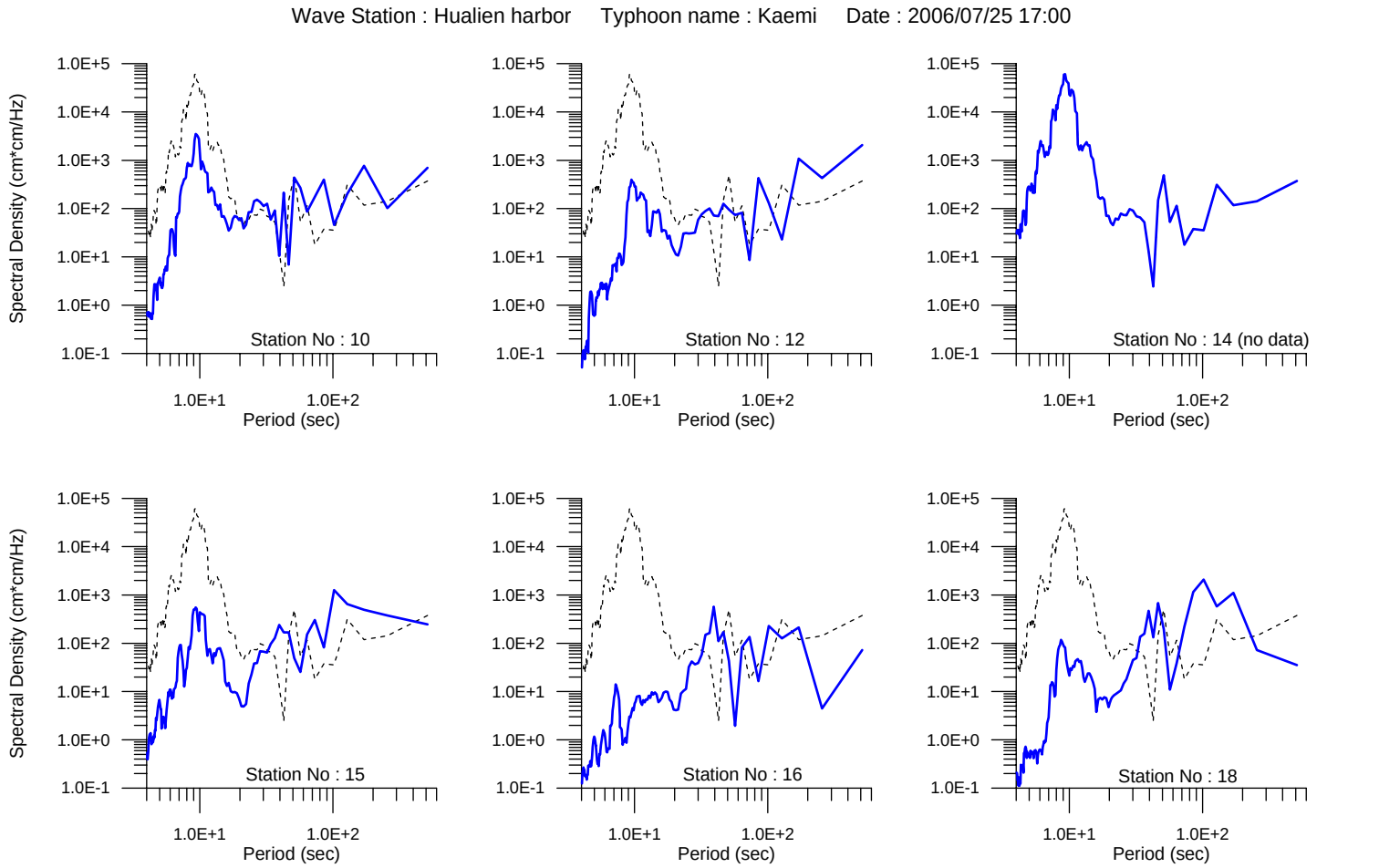



圖 3-68 凱米颱風同時間（07/25 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

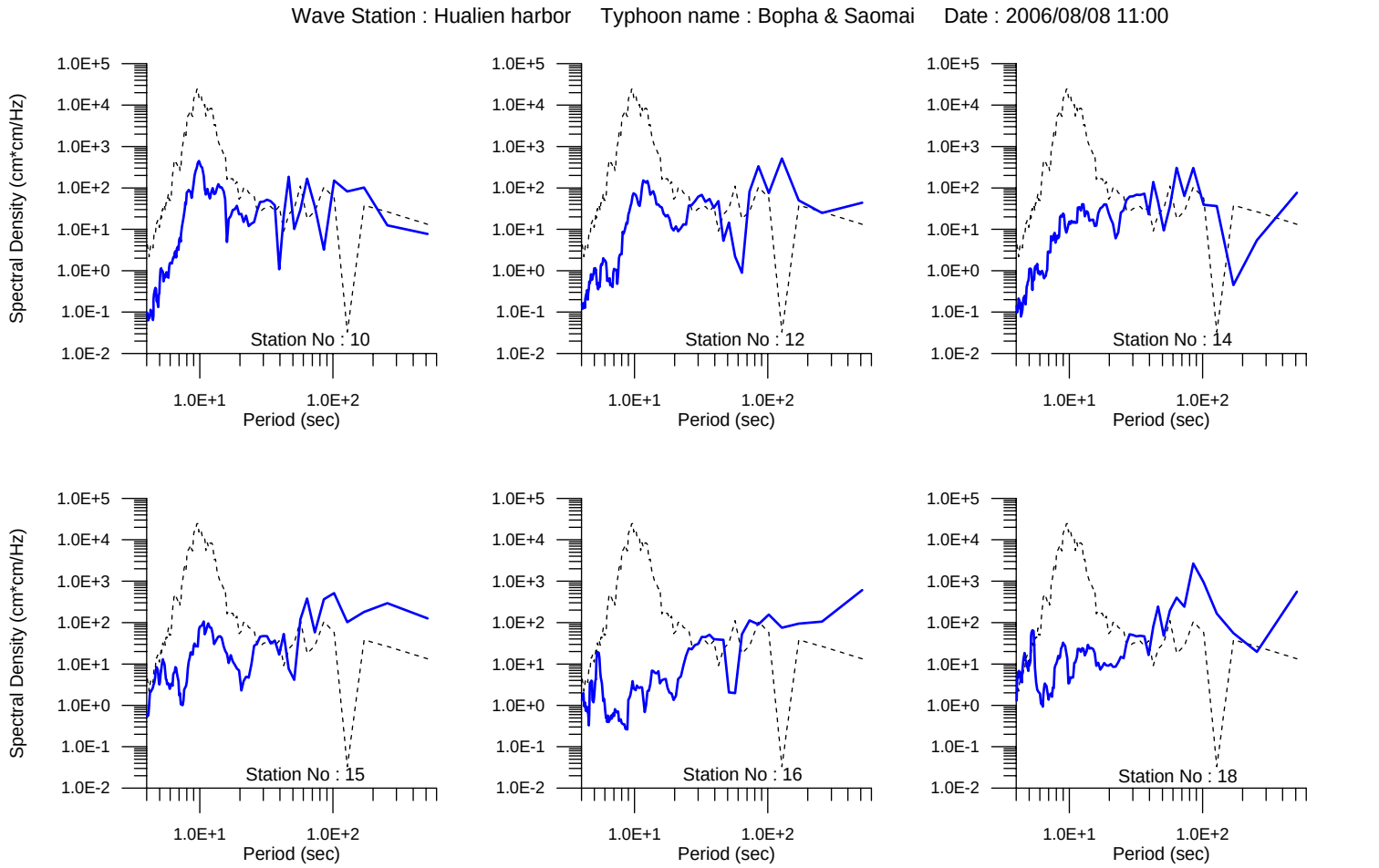



圖 3-69 寶發及桑美颱風同時間（08/08 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

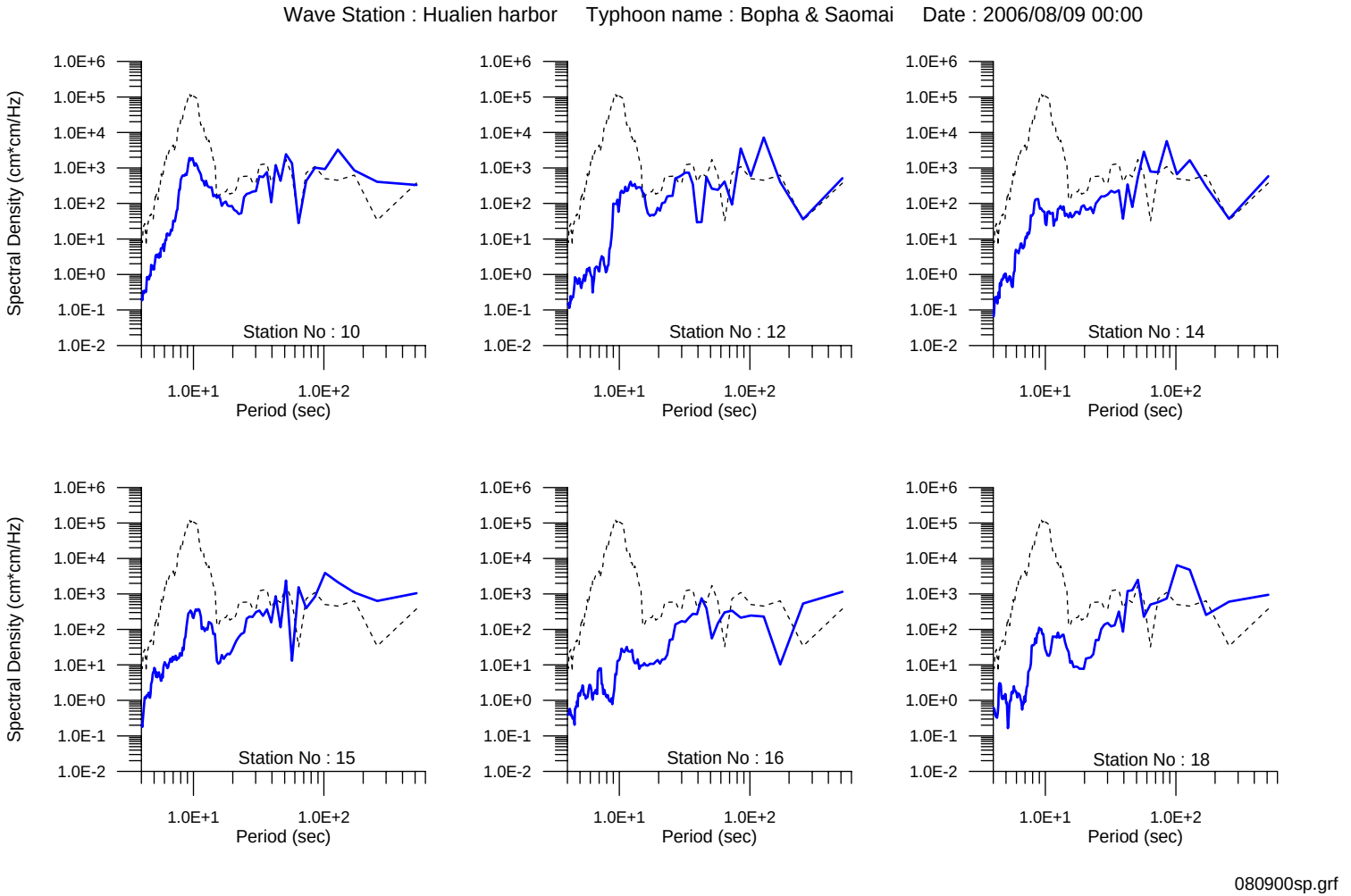



圖 3-70 寶發及桑美颱風同時間（08/09 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

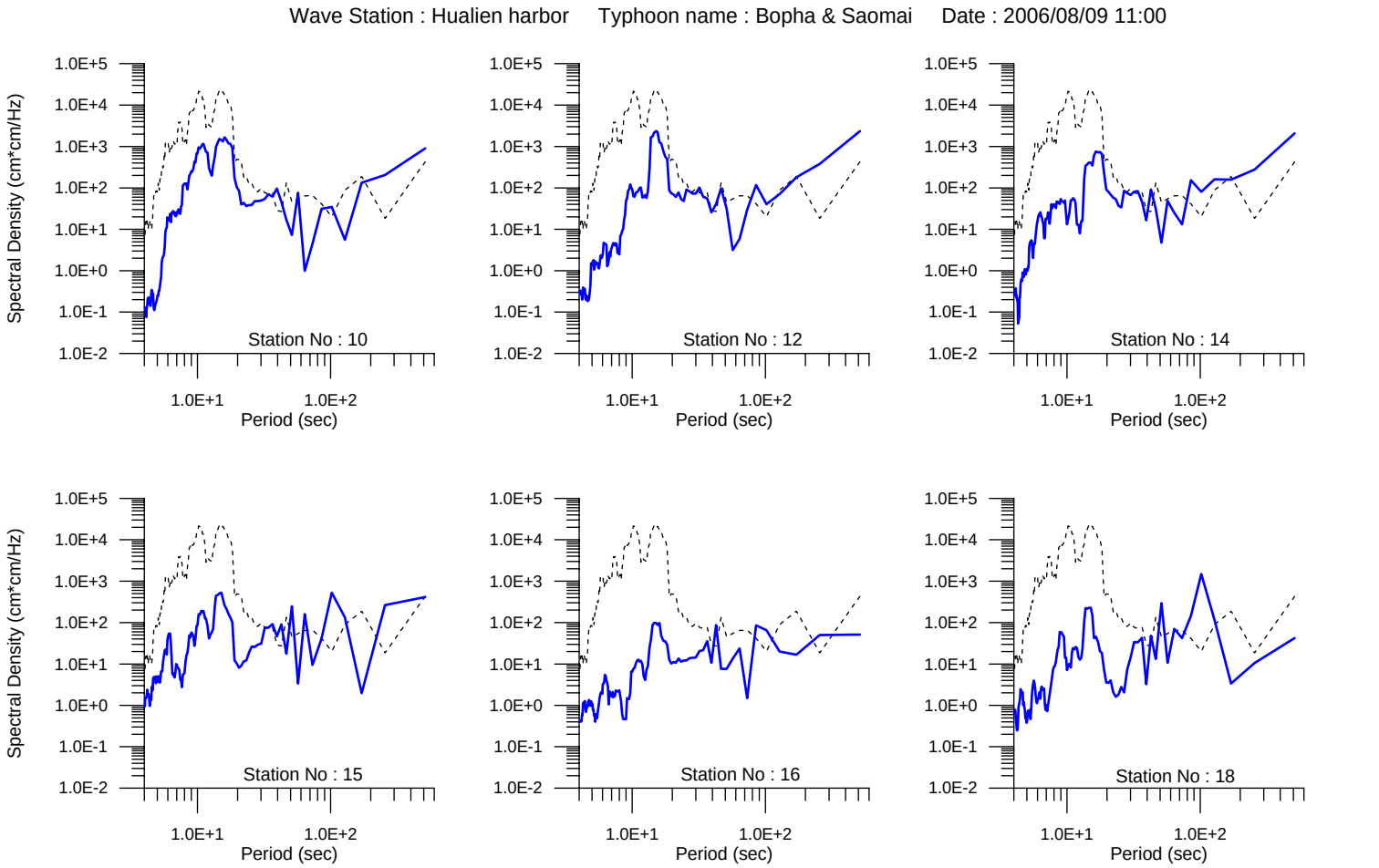



圖 3-71 寶發及桑美颱風同時間（08/09 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

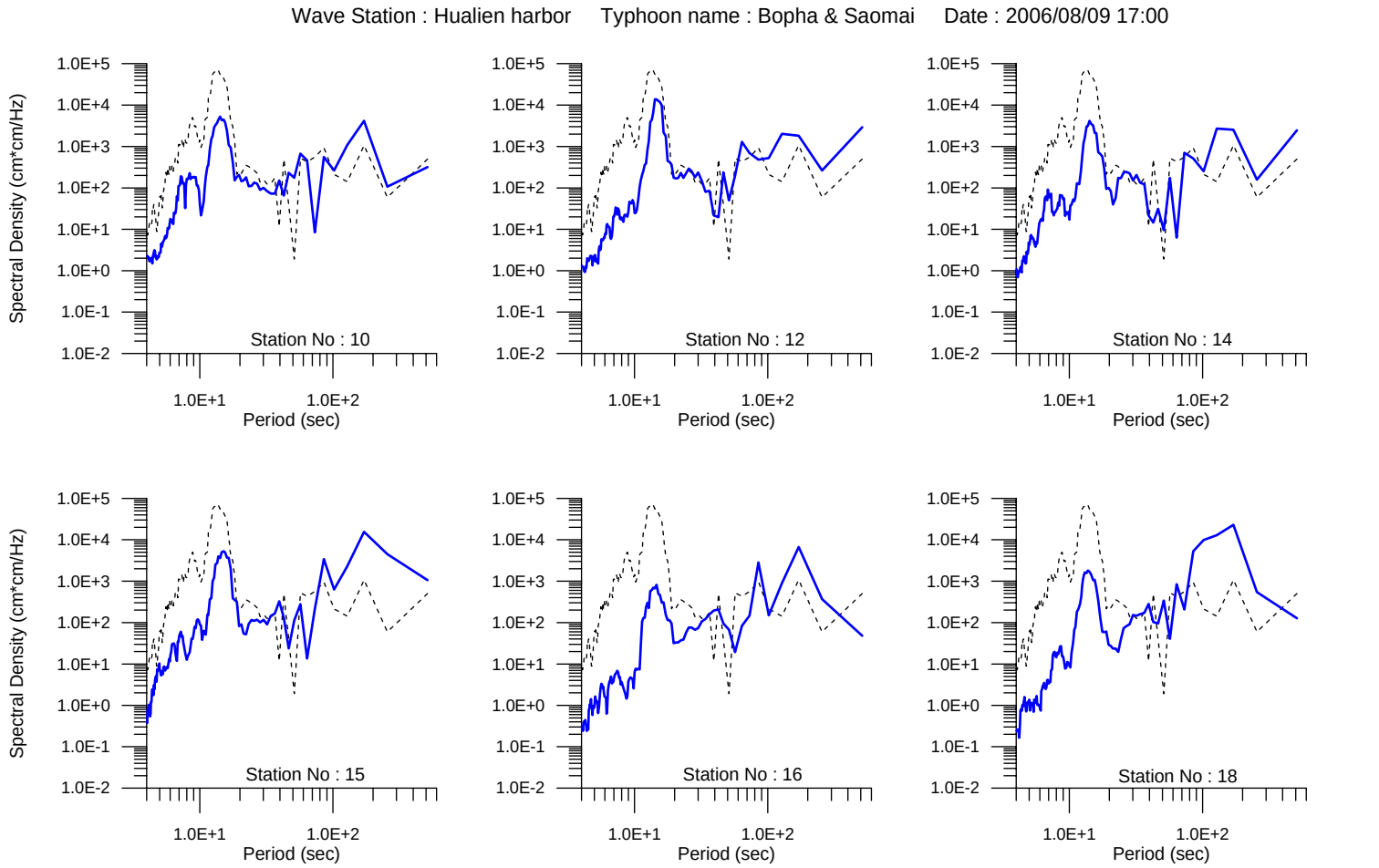



圖 3-72 寶發及桑美颱風同時間（08/09 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

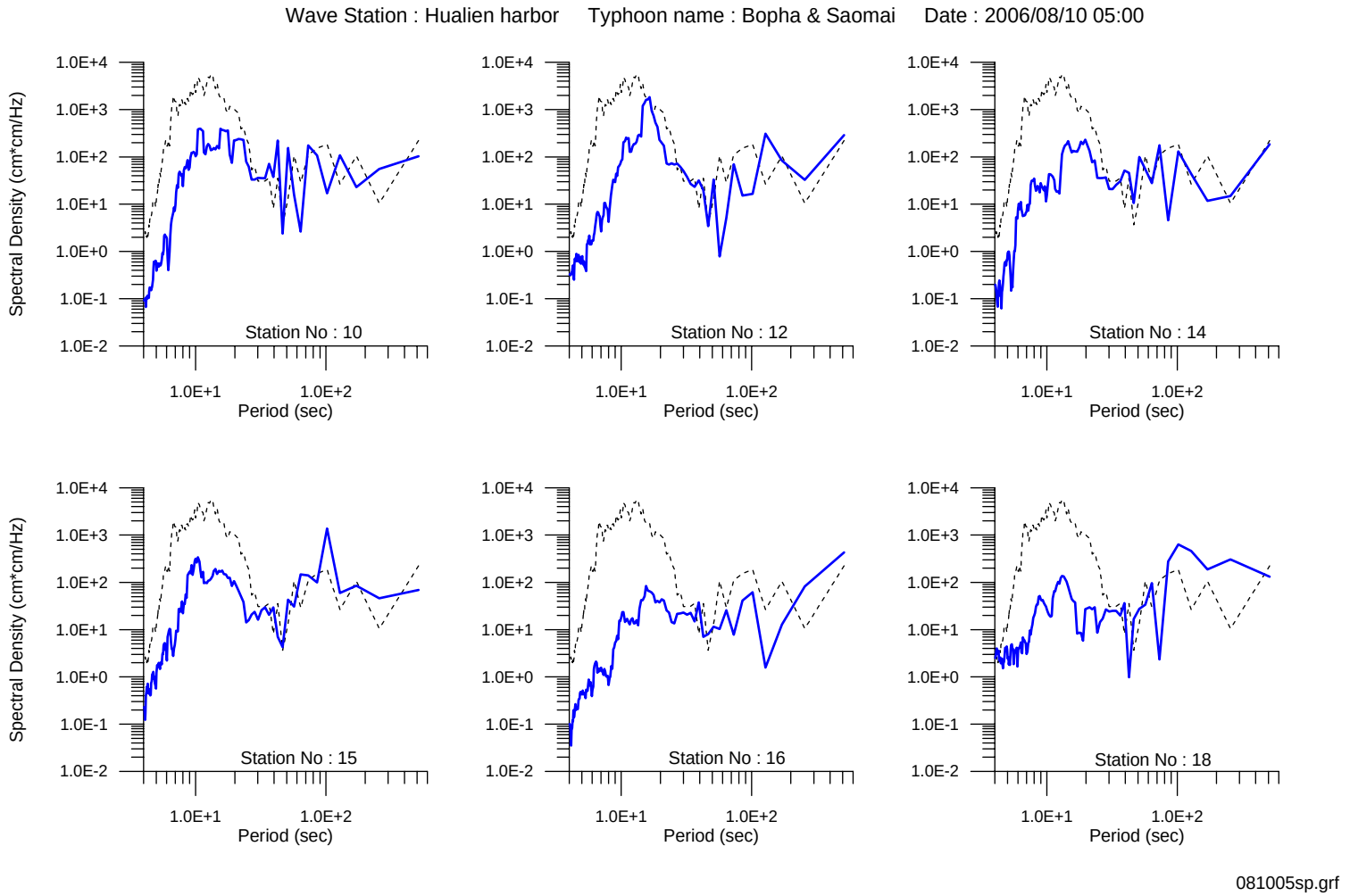



圖 3-73 寶發及桑美颱風同時間（08/10 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

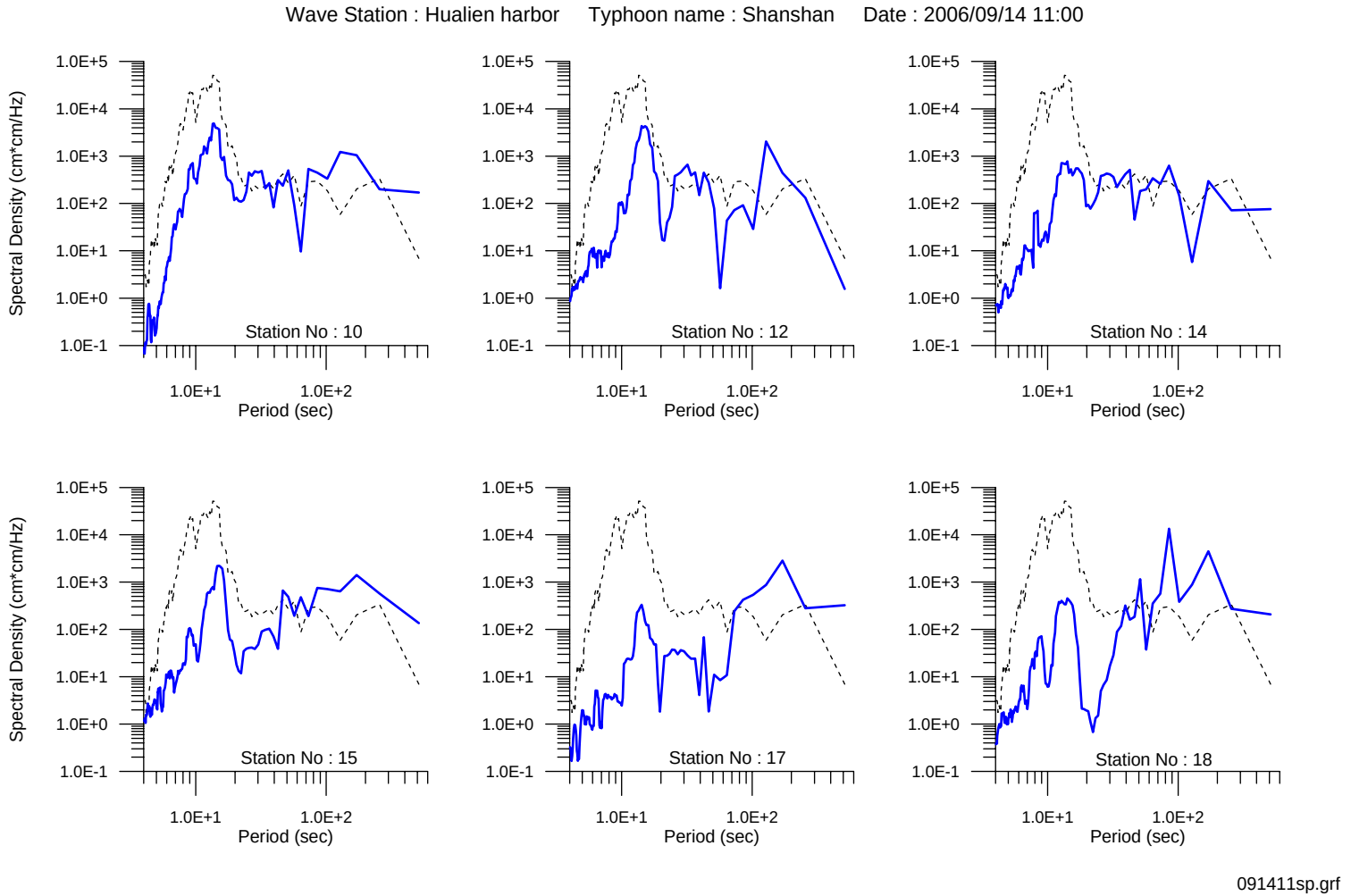



圖 3-74 珊珊颱風同時間（09/14 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

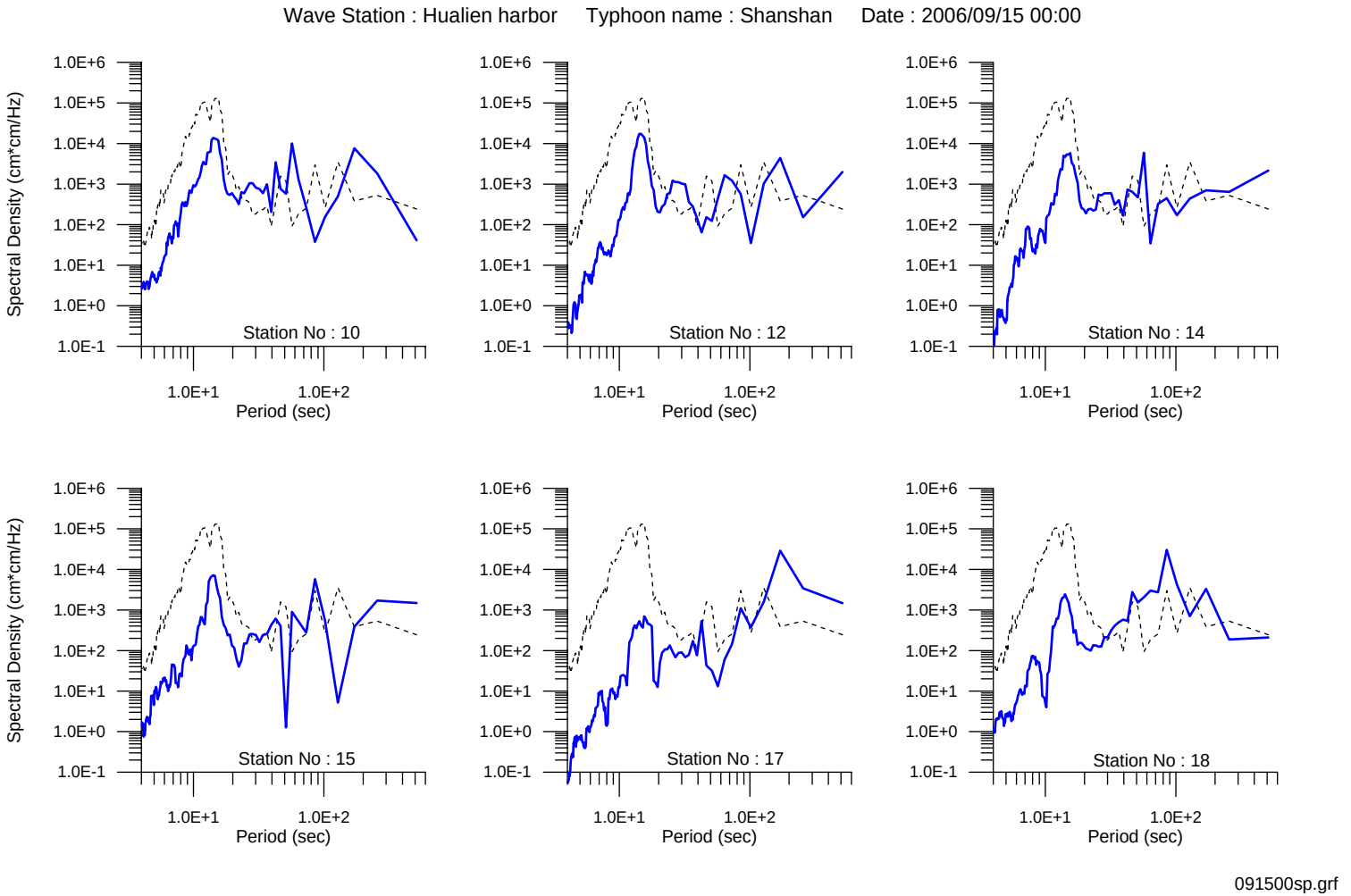



圖 3-75 珊珊颱風同時間（09/15 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

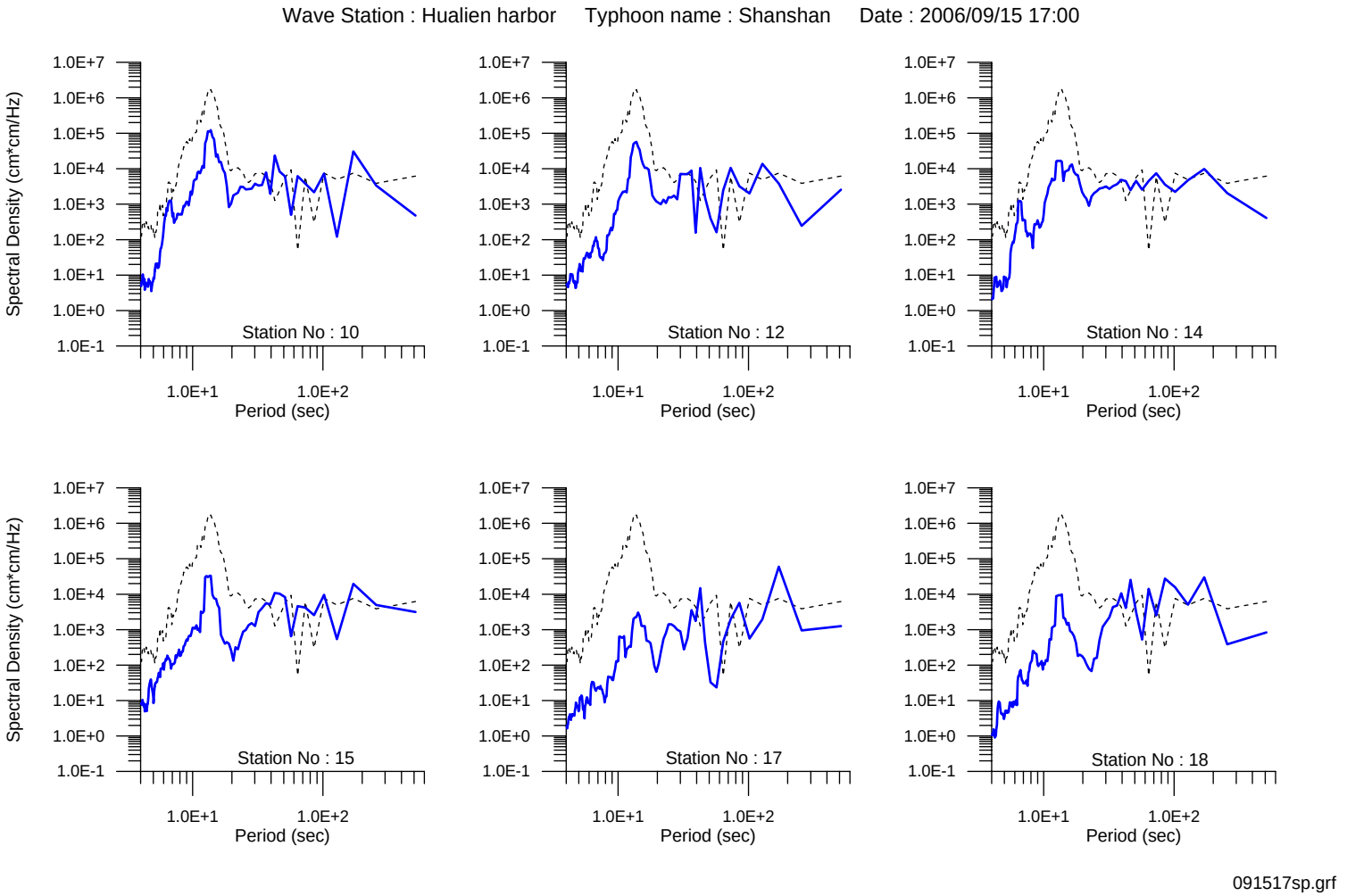



圖 3-76 珊珊颱風同時間（09/15 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

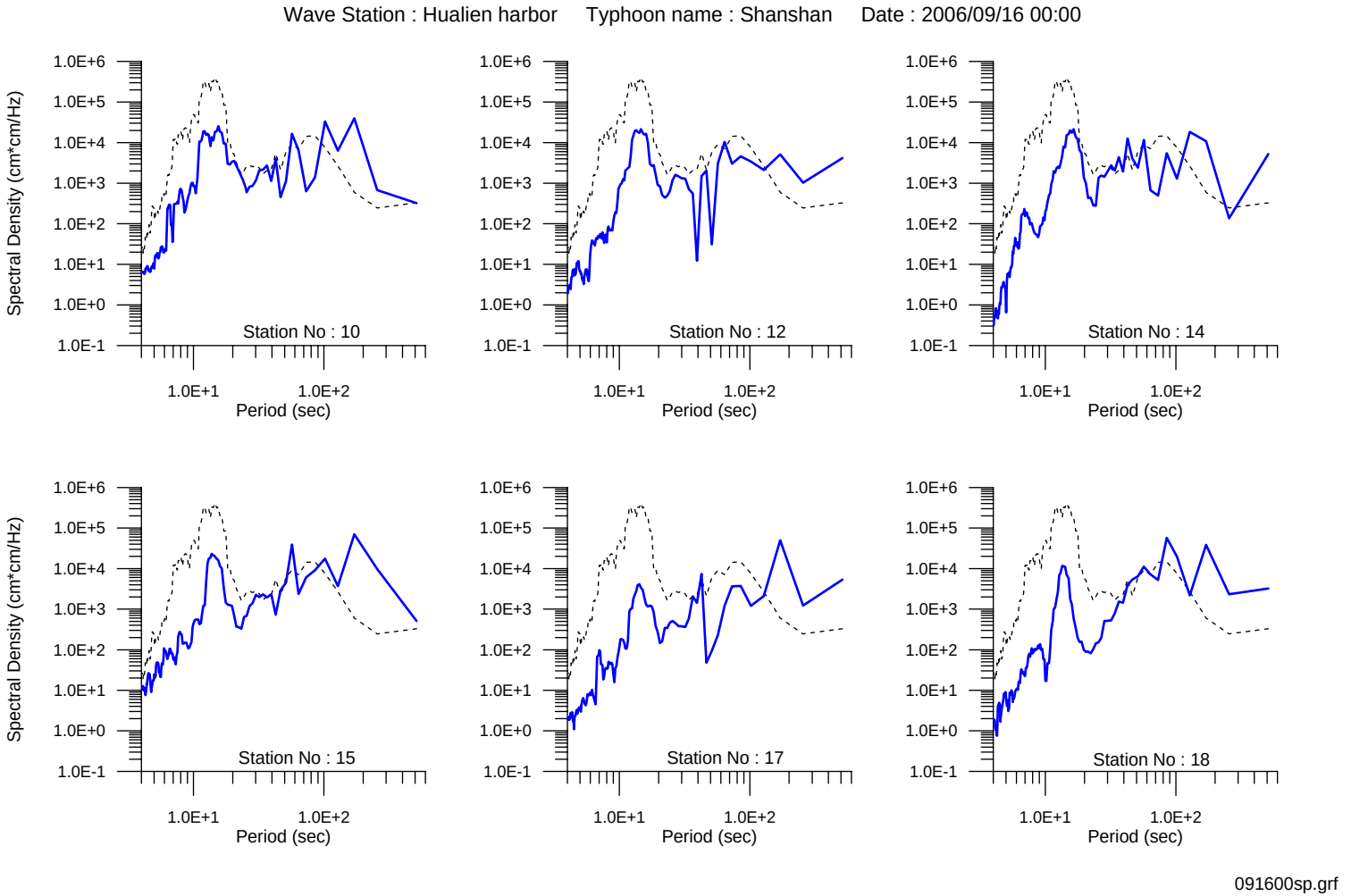



圖 3-77 珊珊颱風同時間（09/16 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

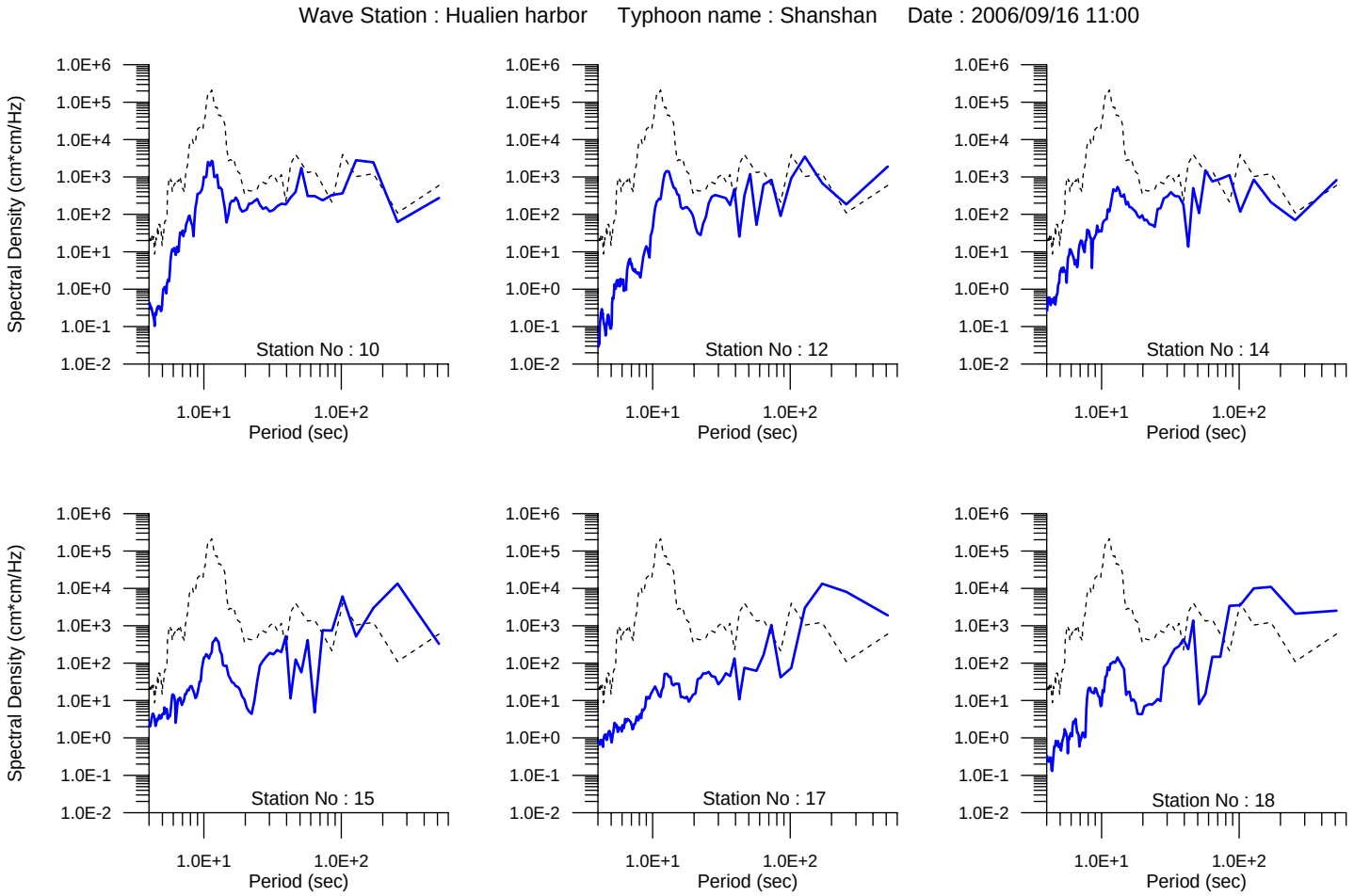



圖 3-78 珊珊颱風同時間（09/16 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

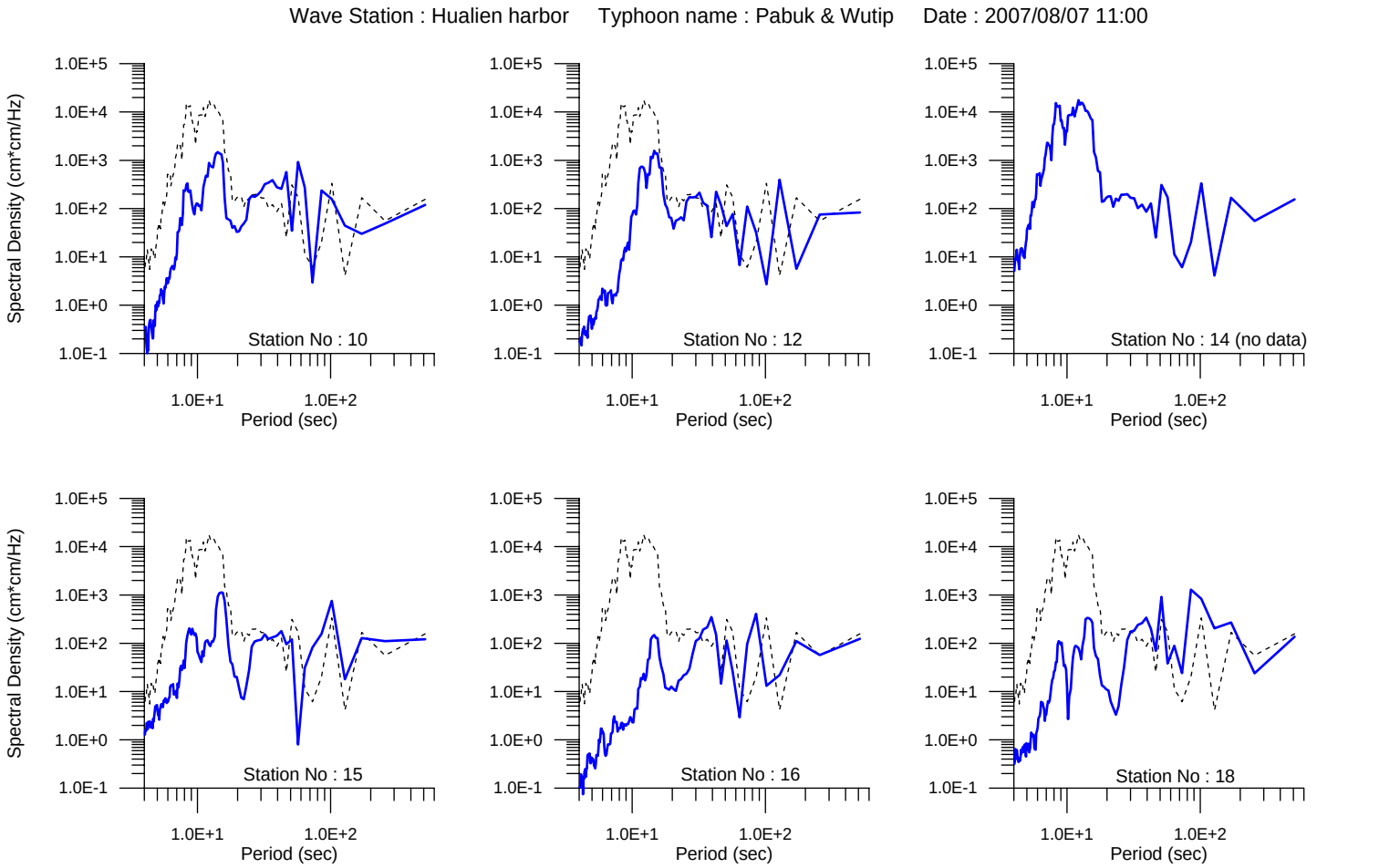



圖 3-79 帕布及梧提颱風同時間（08/07 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

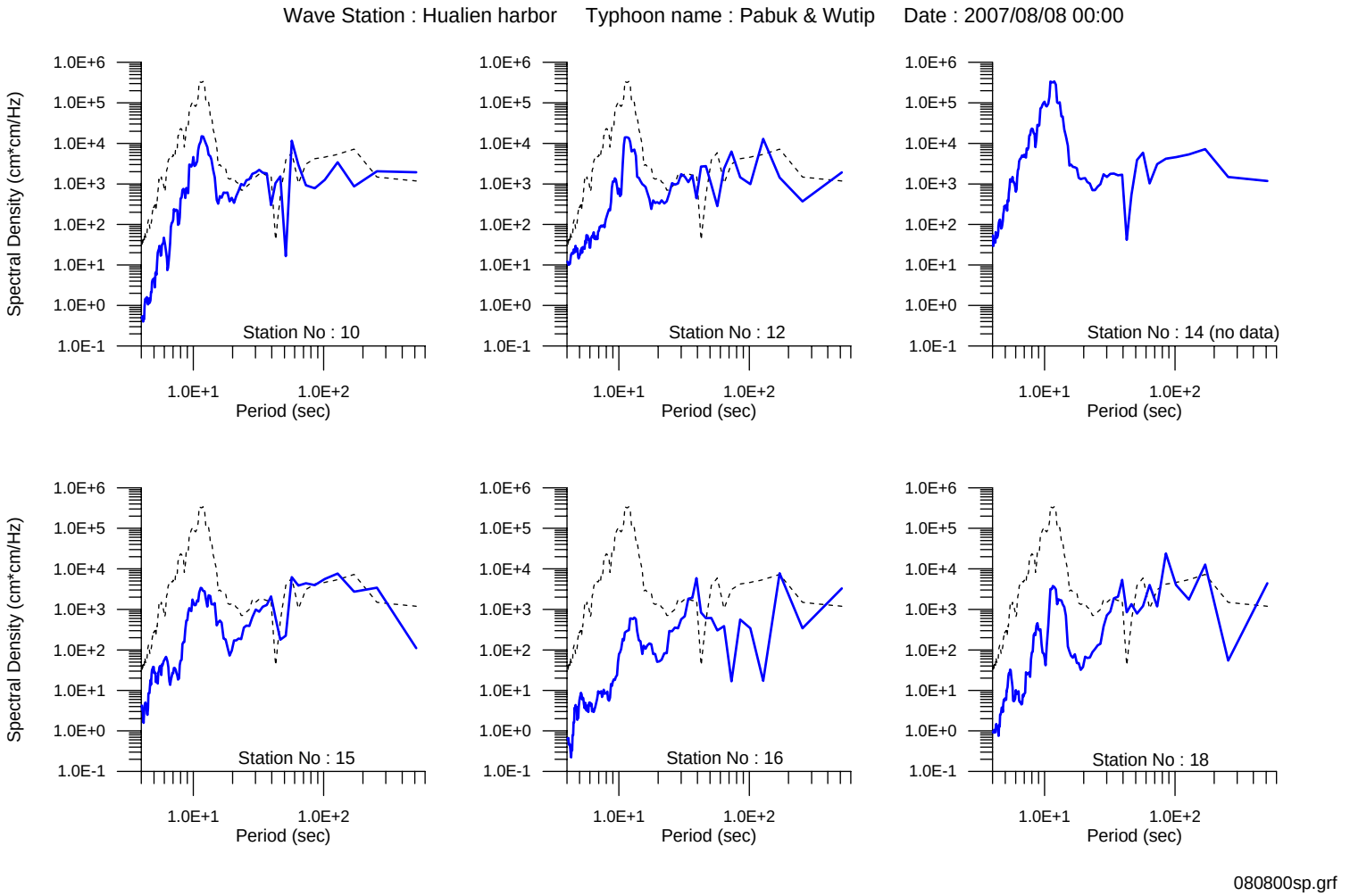



圖 3-80 帕布及梧提颱風同時間（08/08 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

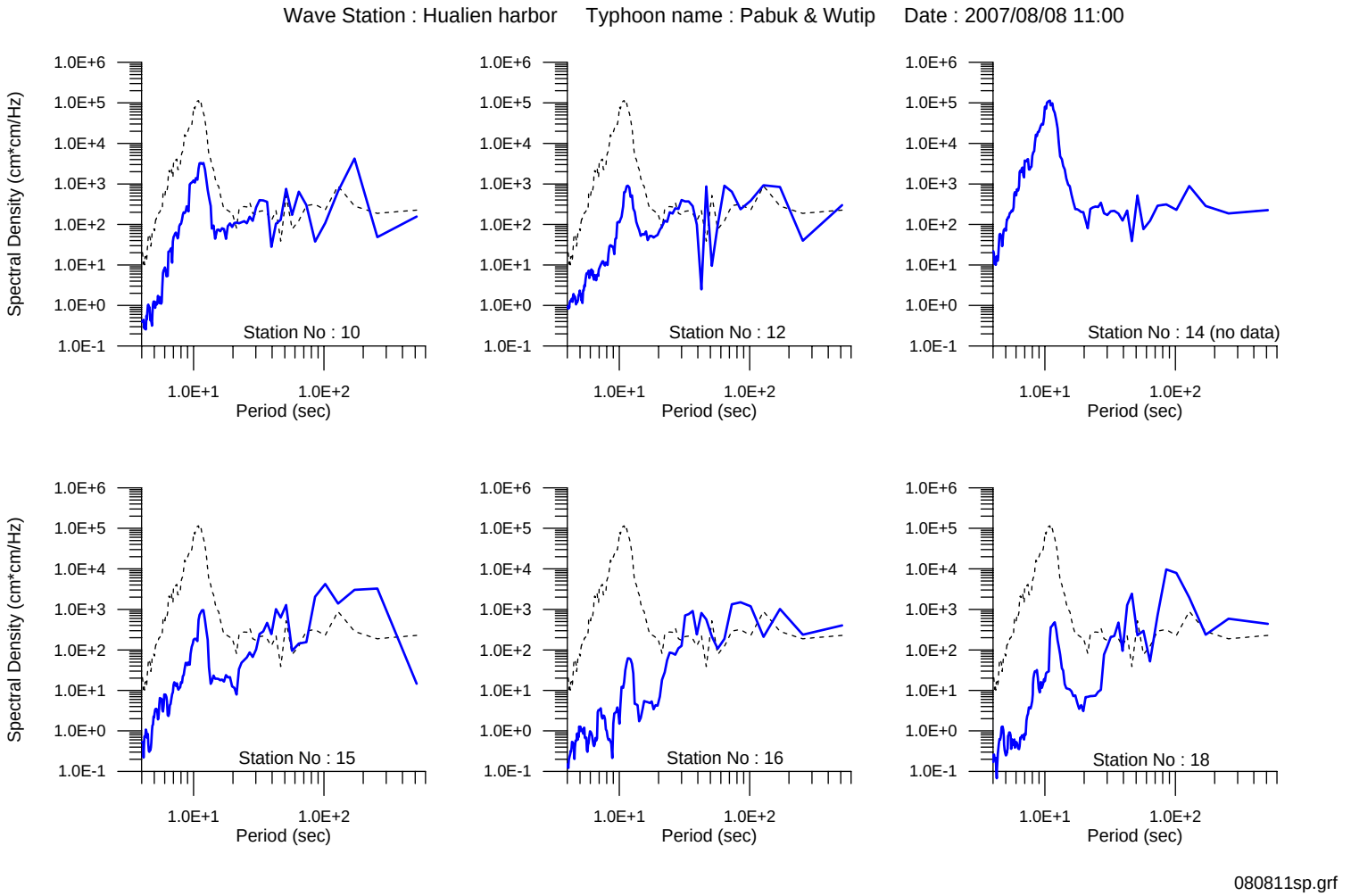



圖 3-81 帕布及梧提颱風同時間（08/08 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

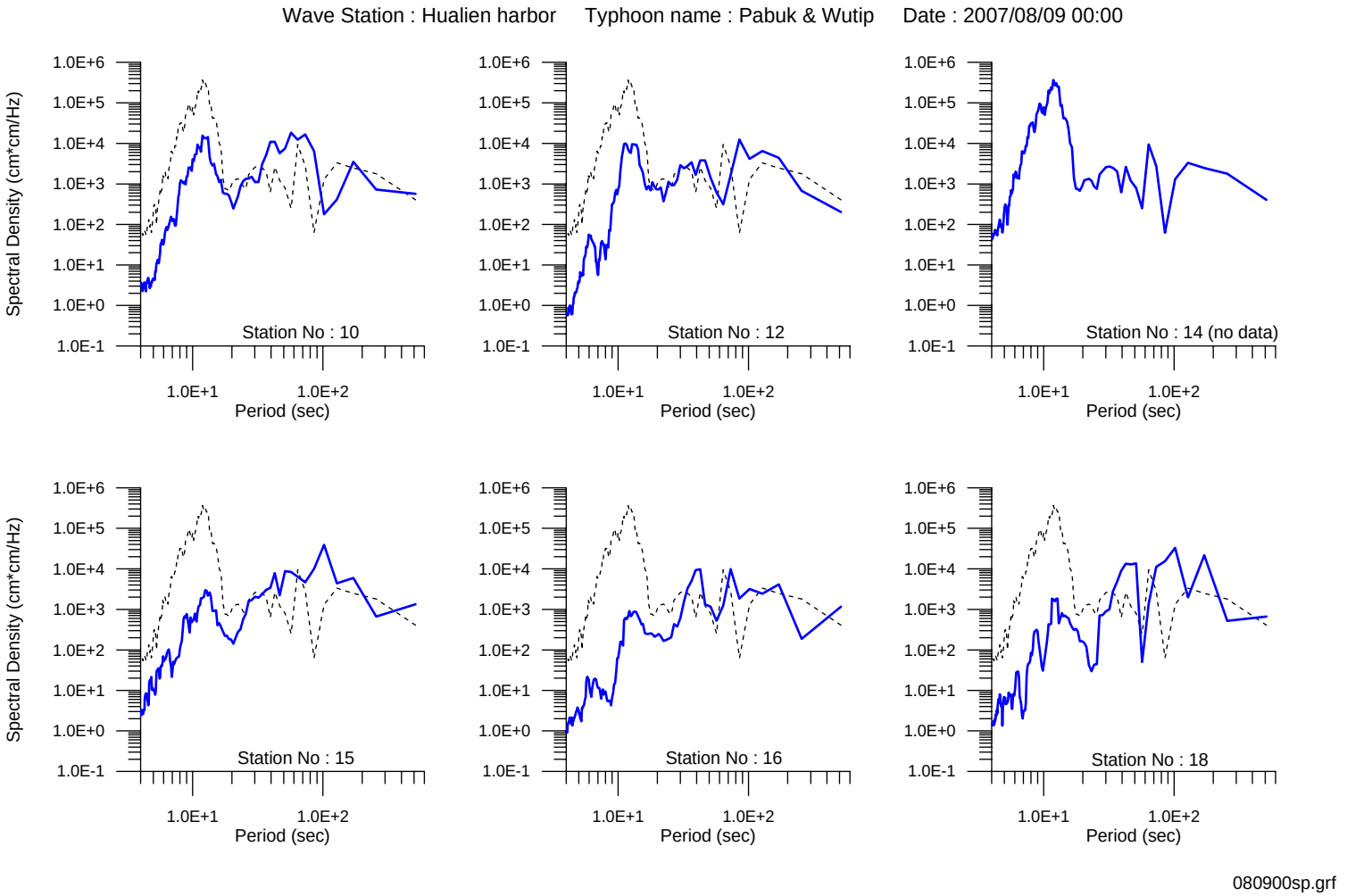



圖 3-82 帕布及梧提颱風同時間（08/09 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

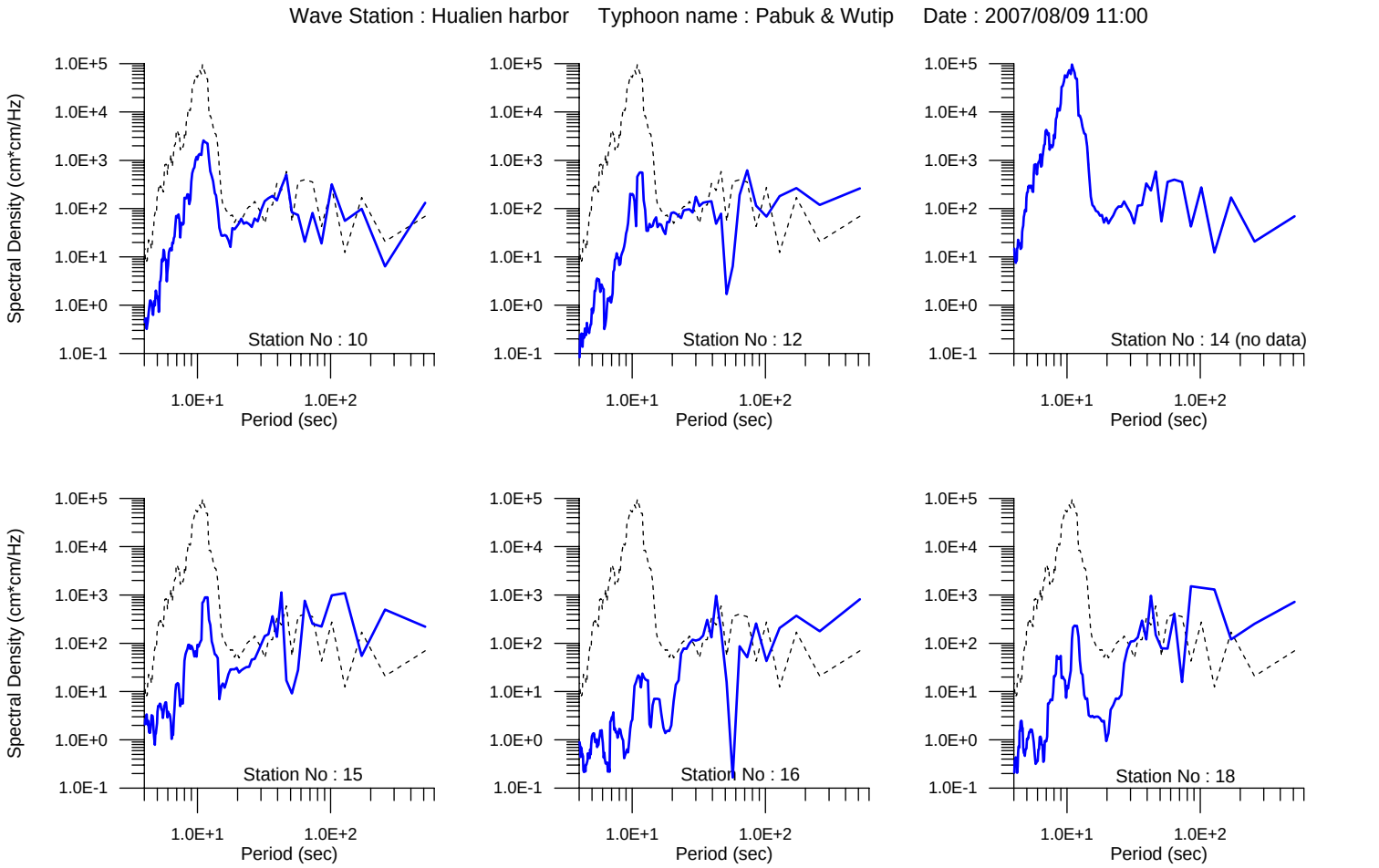



圖 3-83 帕布及梧提颱風同時間（08/09 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

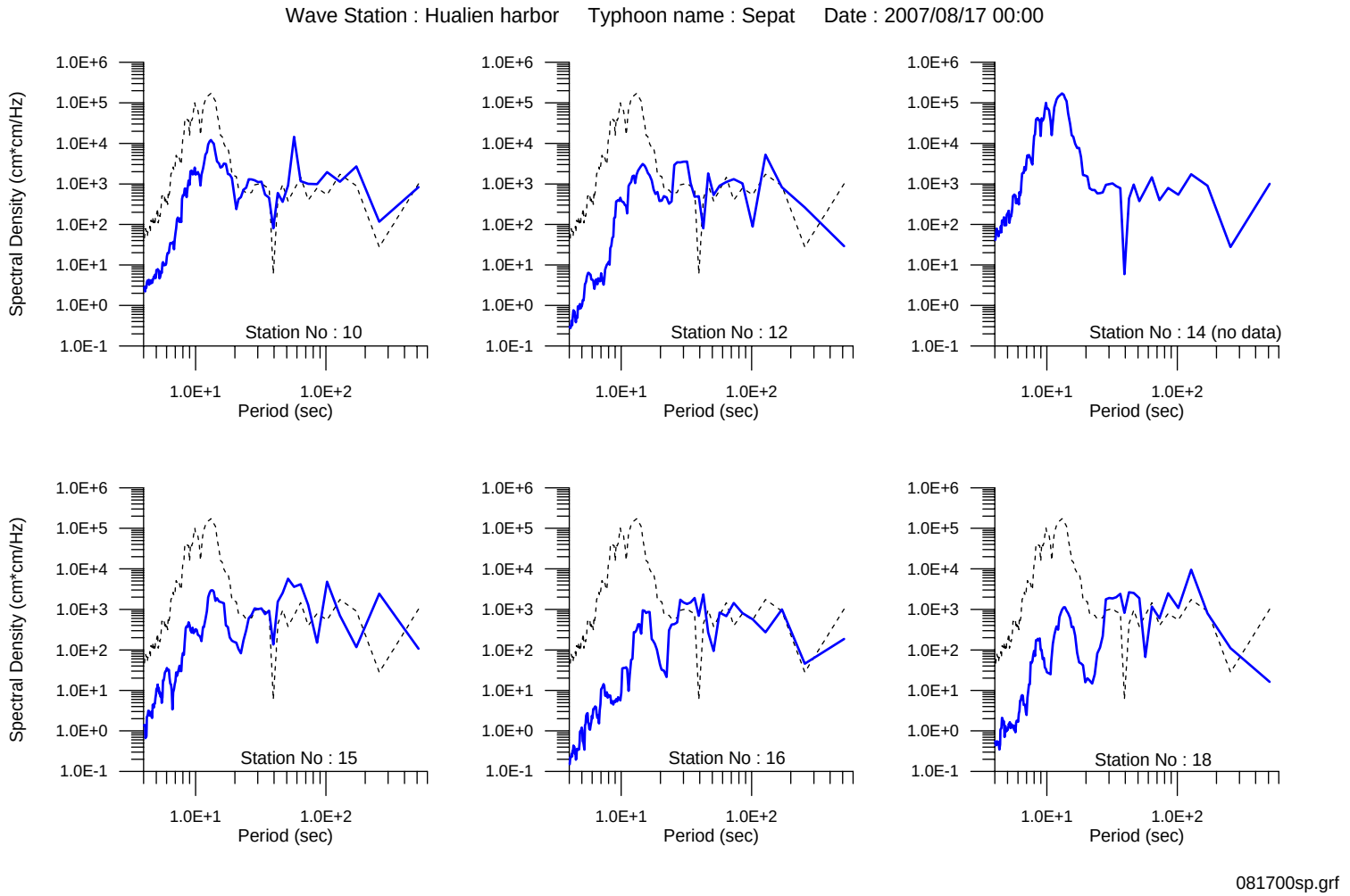



圖 3-84 聖帕颱風同時間（08/17 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

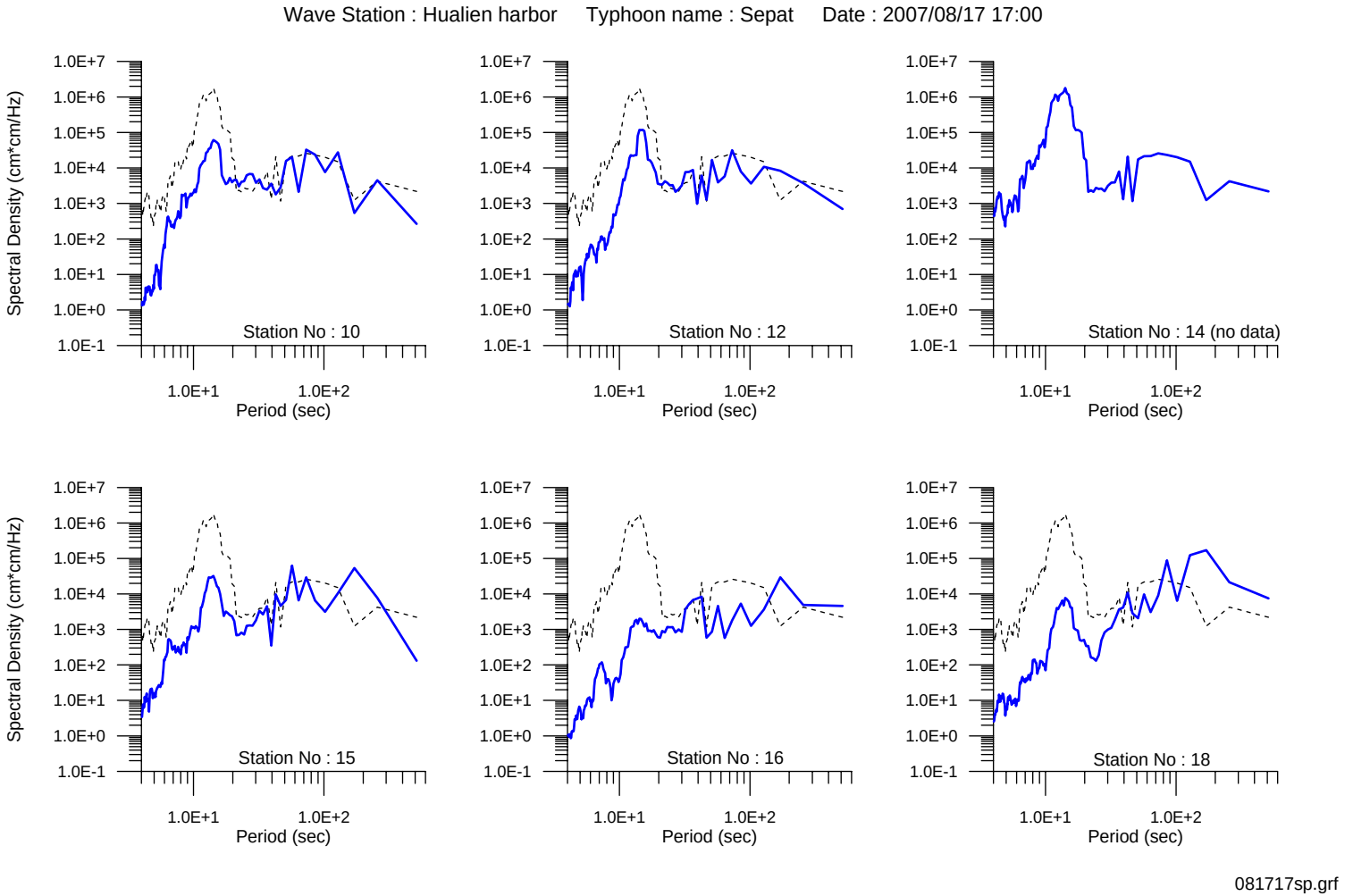



圖 3-85 聖帕颱風同時間（08/17 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

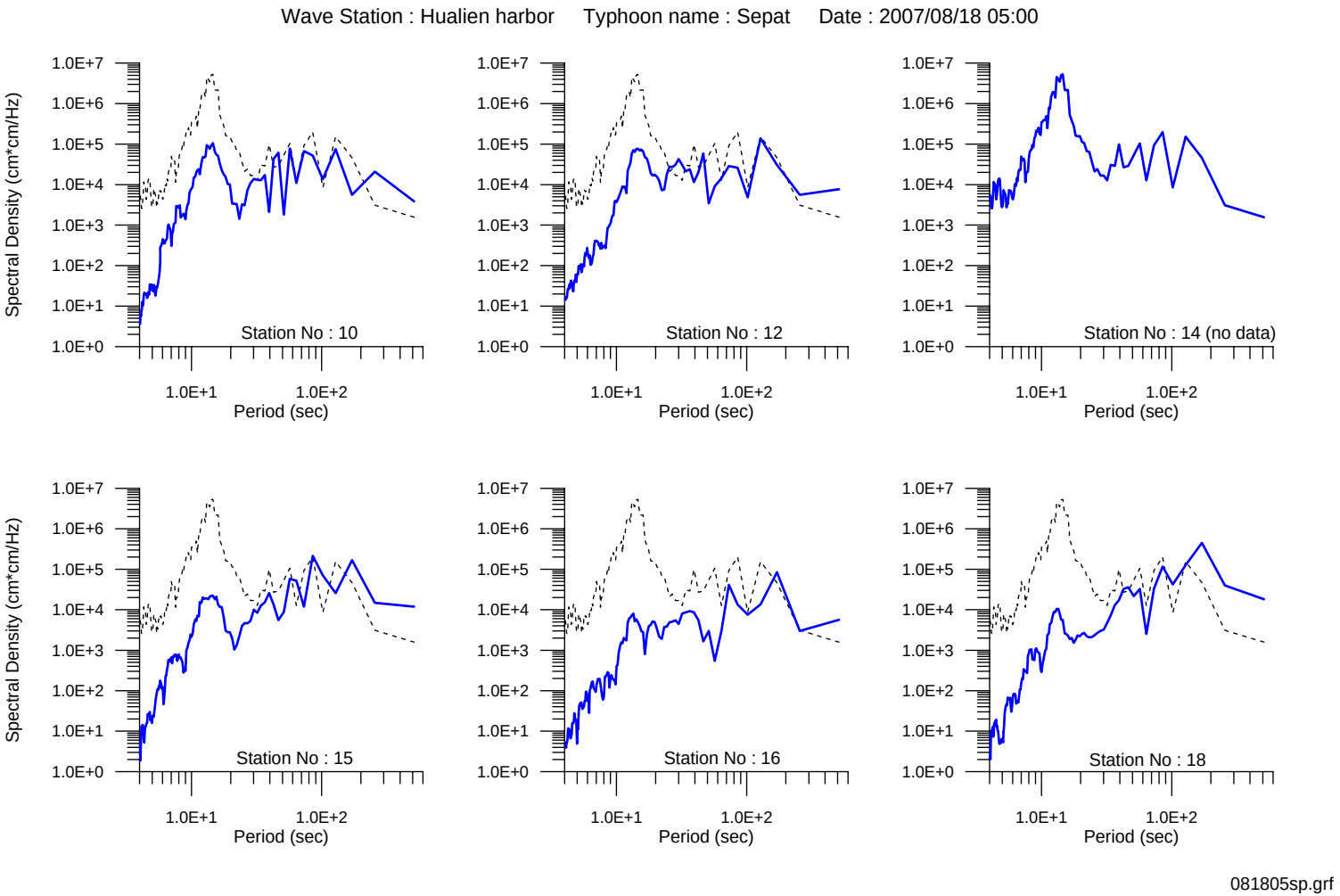



圖 3-86 聖帕颱風同時間（08/18 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

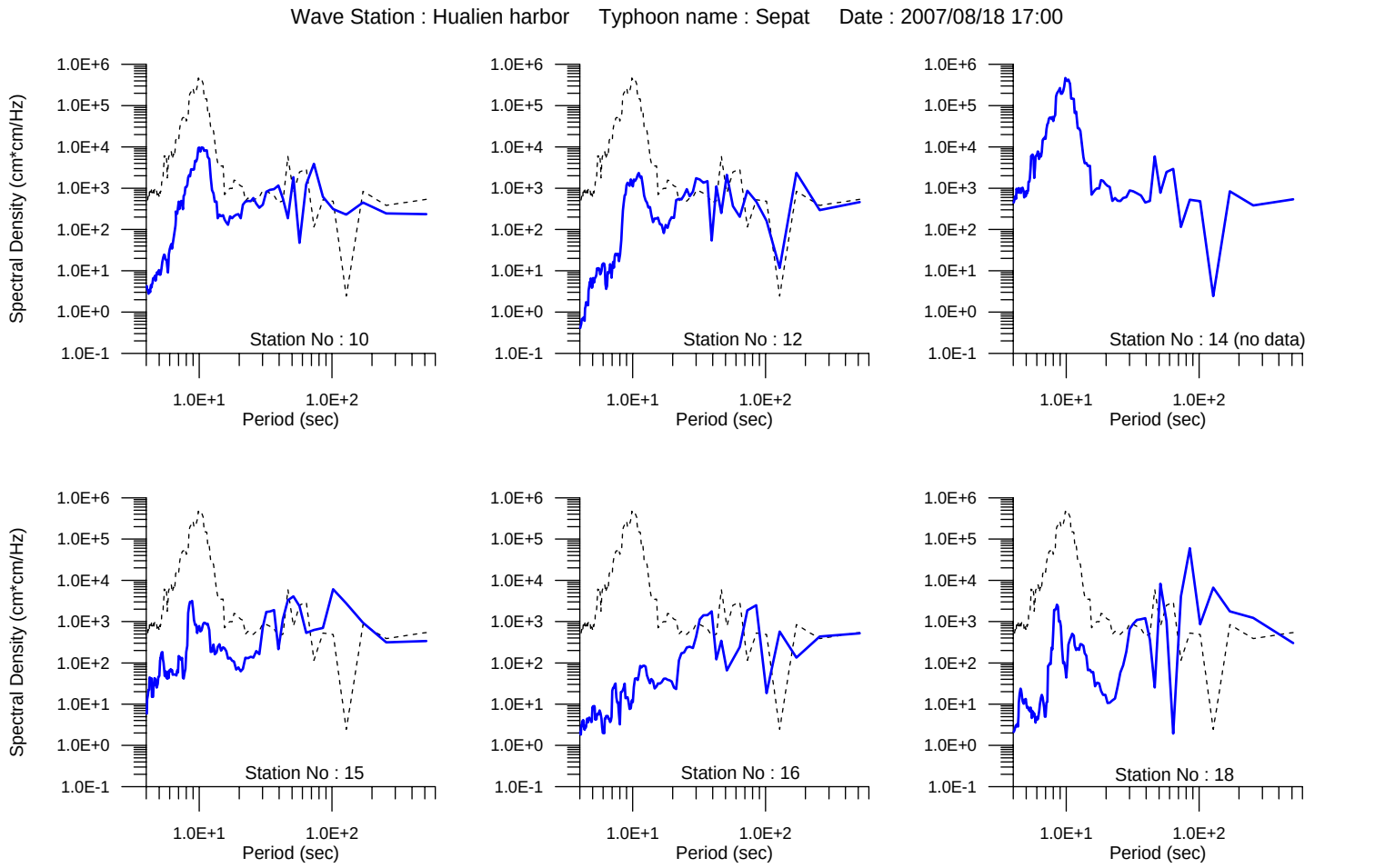



圖 3-87 聖帕颱風同時間（08/18 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

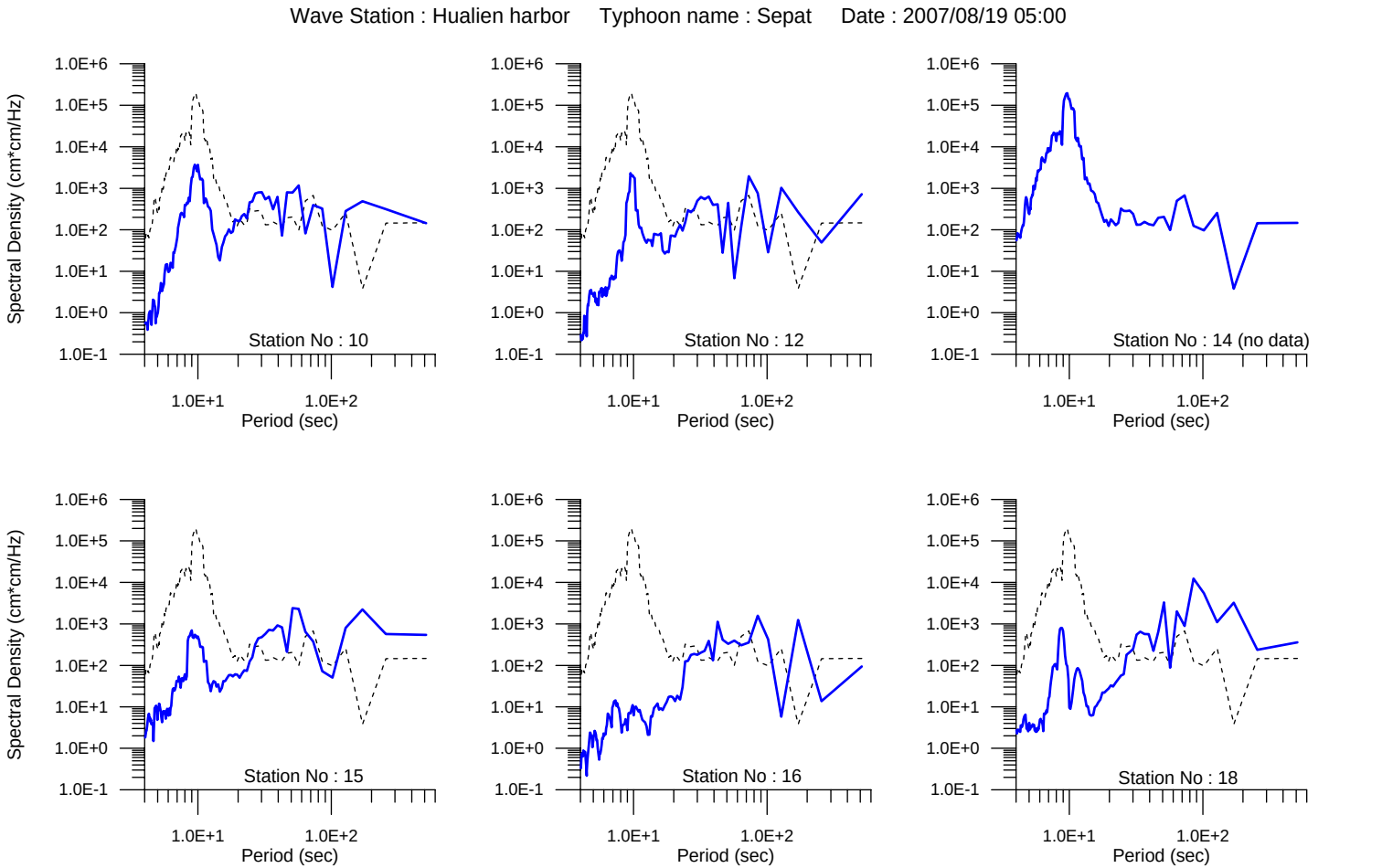



圖 3-88 聖帕颱風同時間（08/19 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

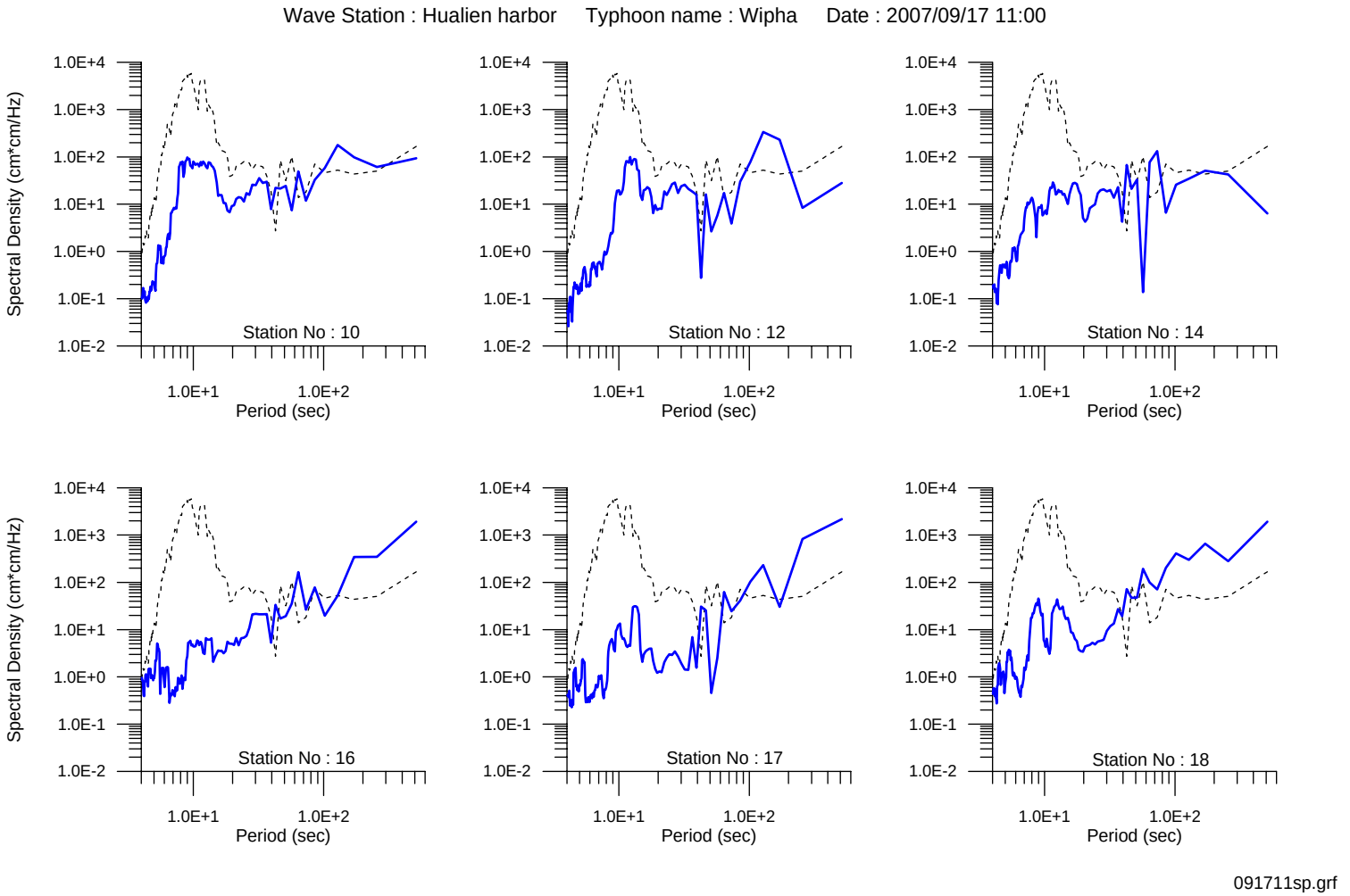



圖 3-89 韋帕颱風同時間（09/17 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

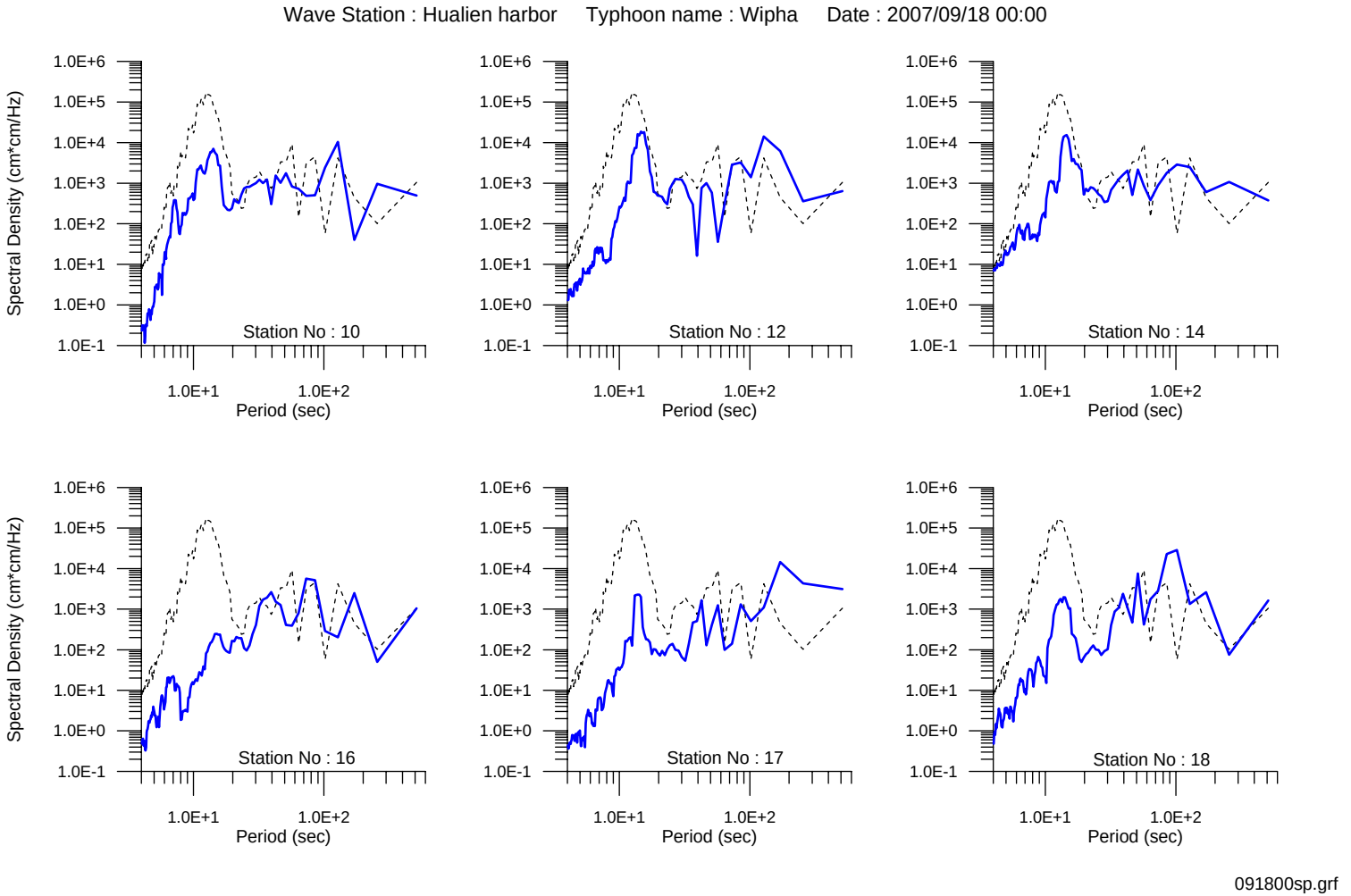



圖 3-90 韋帕颱風同時間（09/18 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

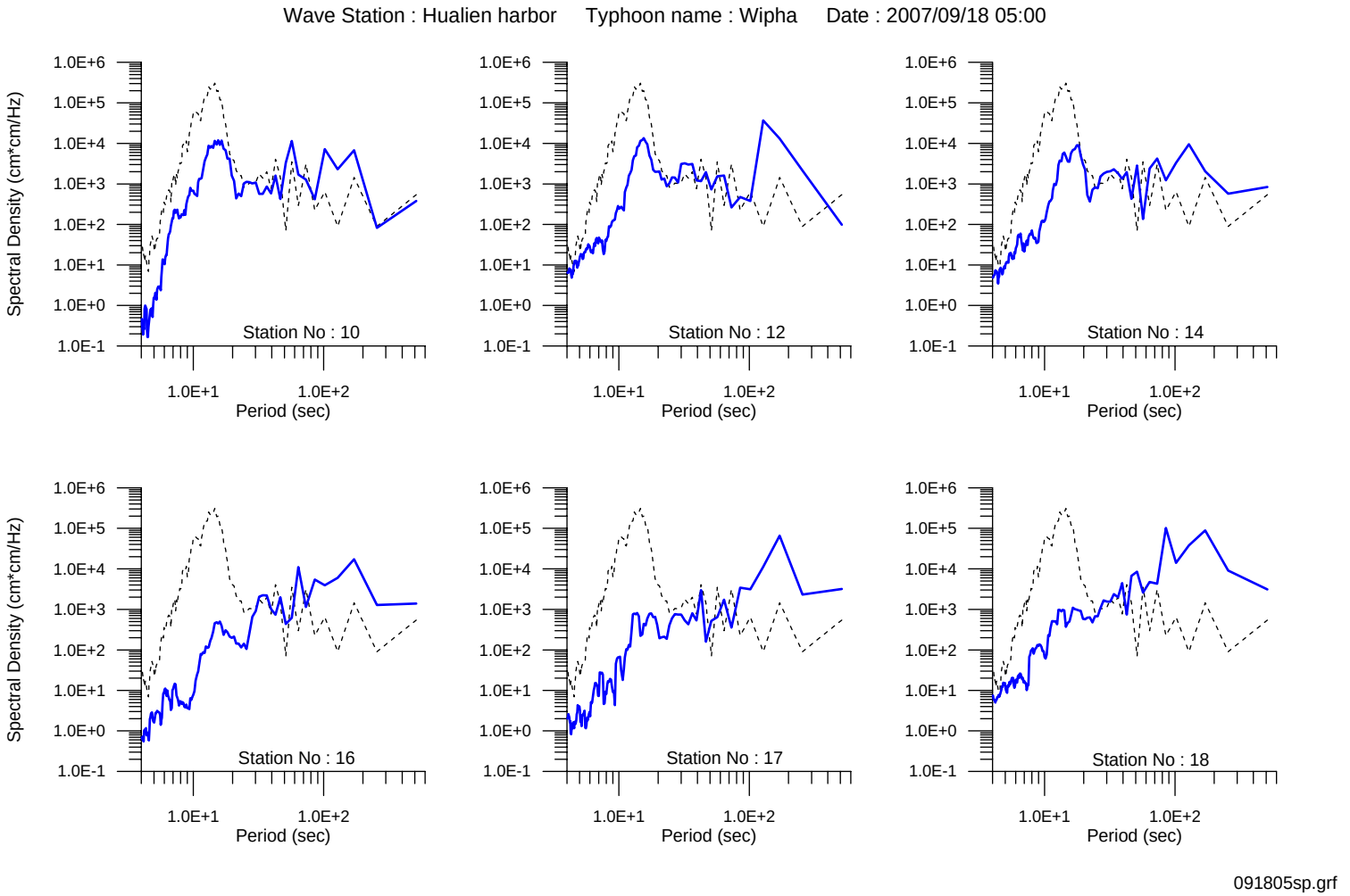



圖 3-91 韋帕颱風同時間（09/18 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

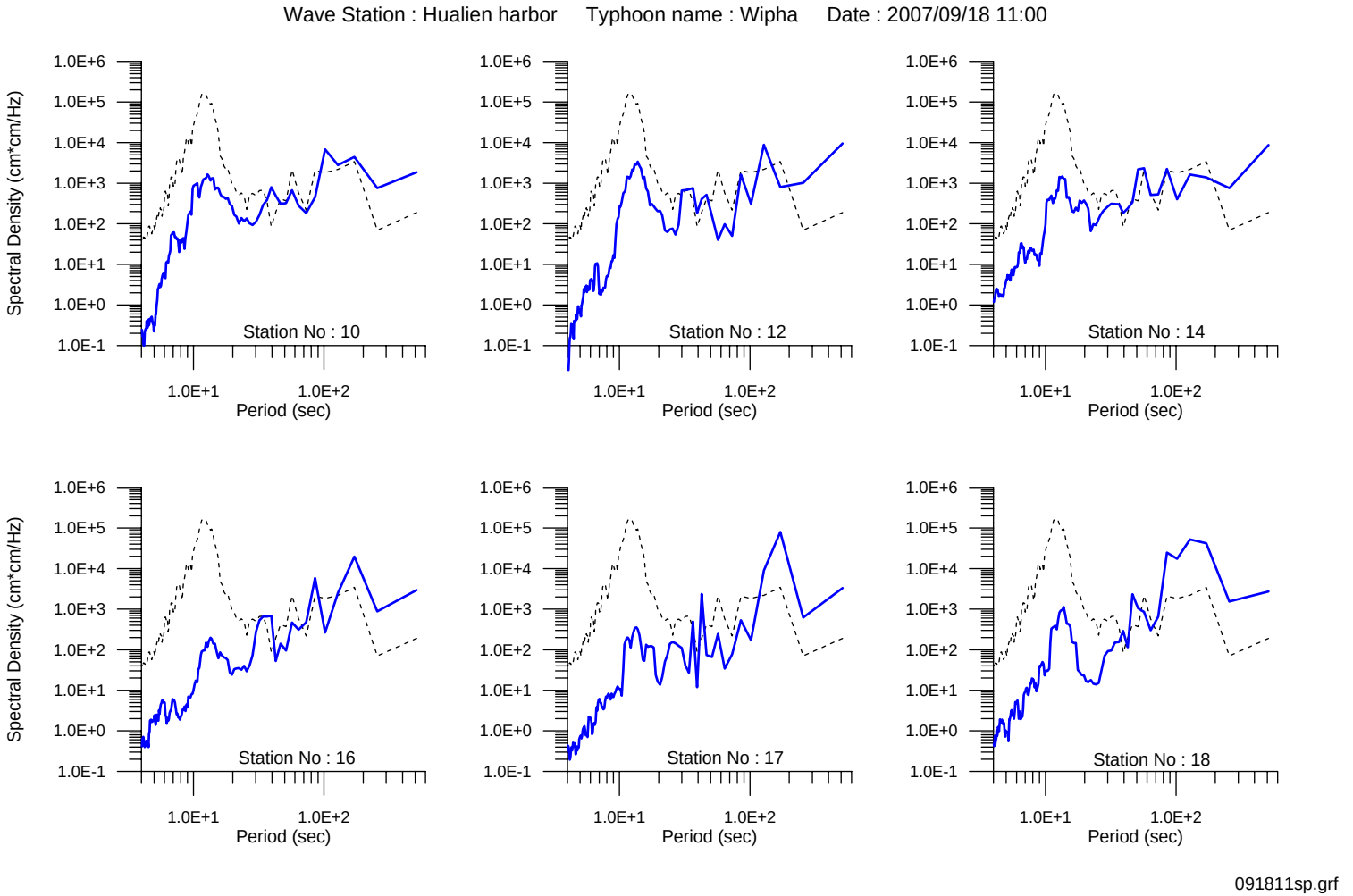



圖 3-92 韋帕颱風同時間（09/18 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

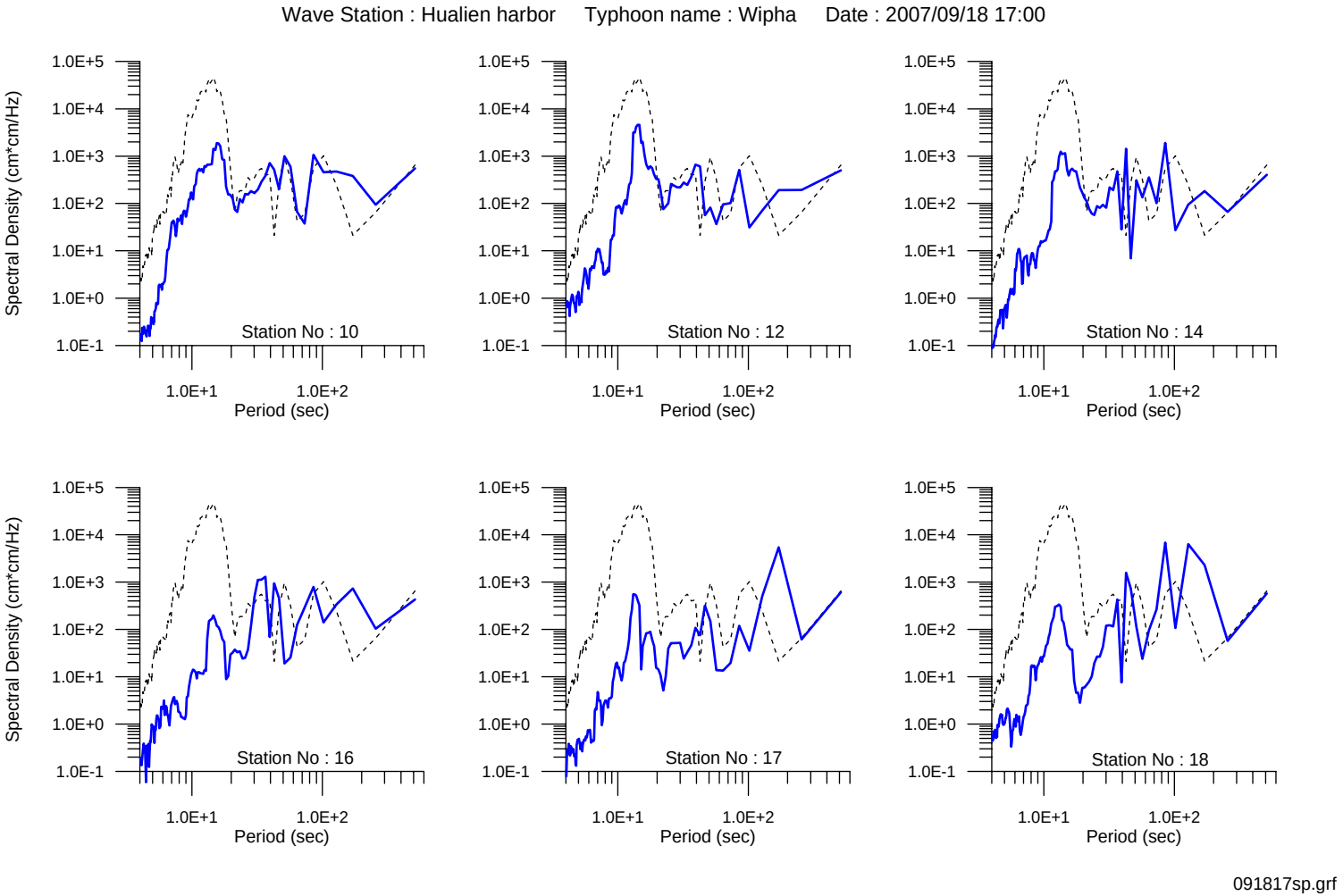



圖 3-93 韋帕颱風同時間（09/18 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

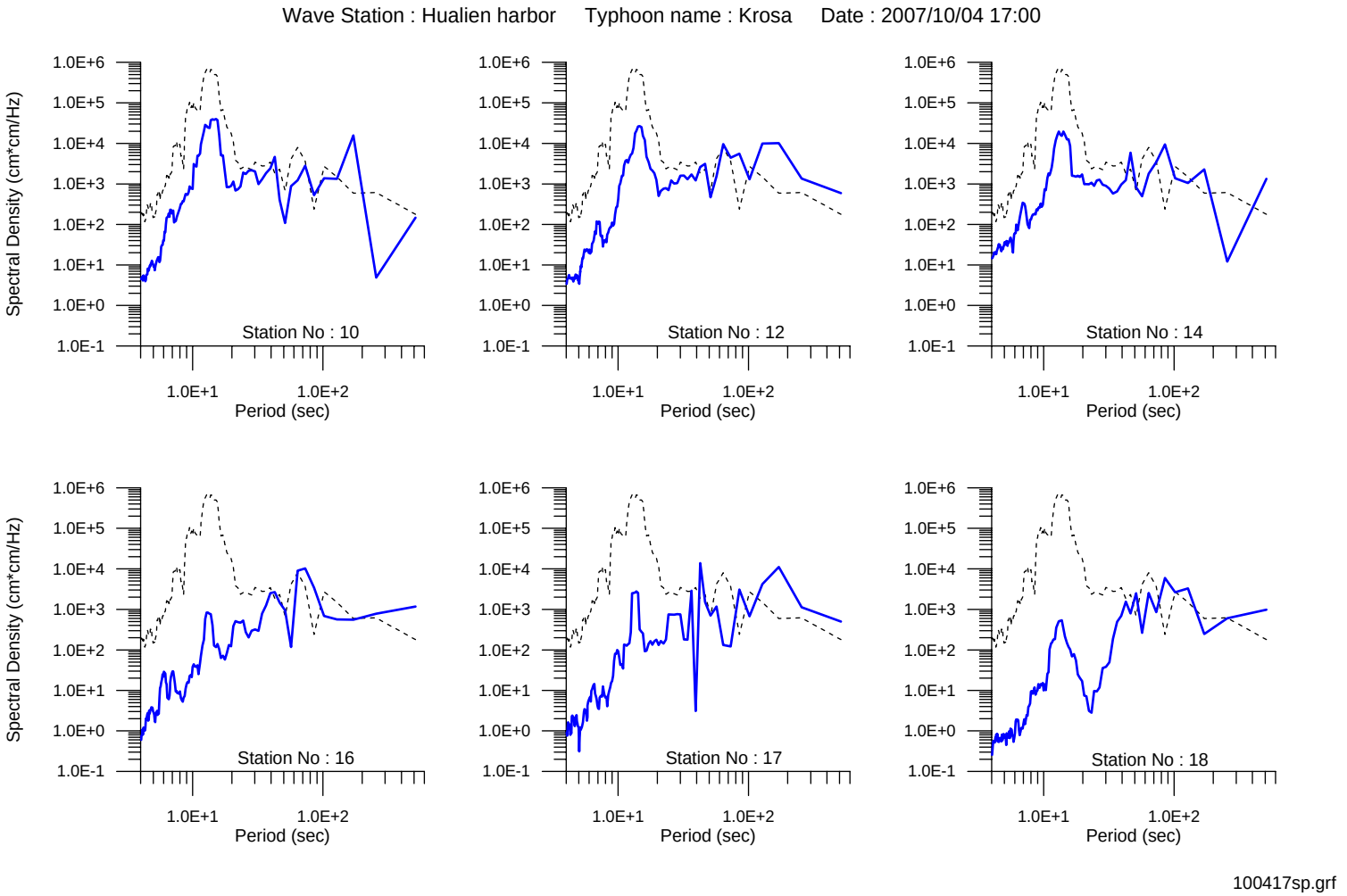



圖 3-94 柯羅莎颱風同時間（10/04 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

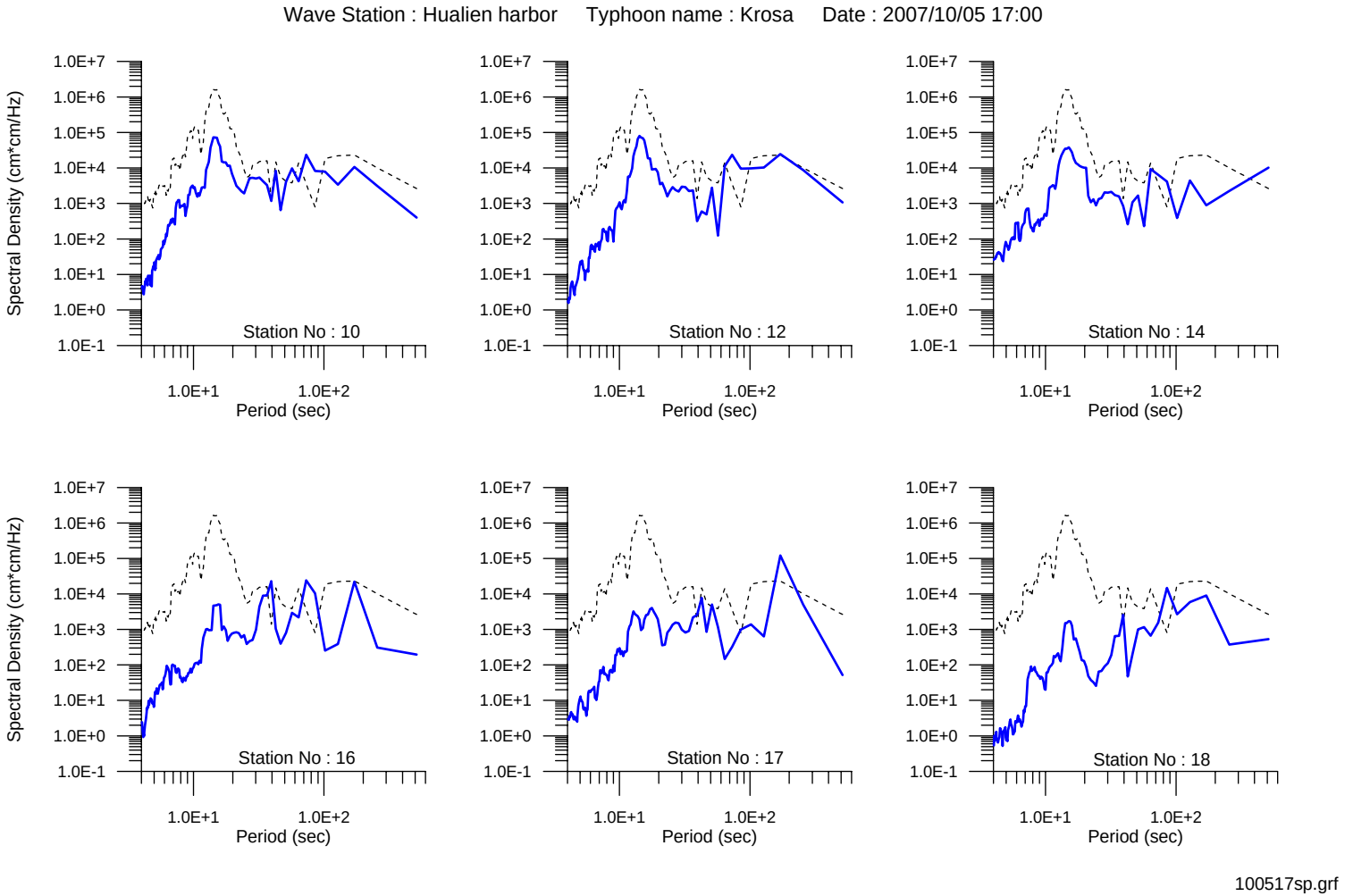



圖 3-95 柯羅莎颱風同時間（10/05 17:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

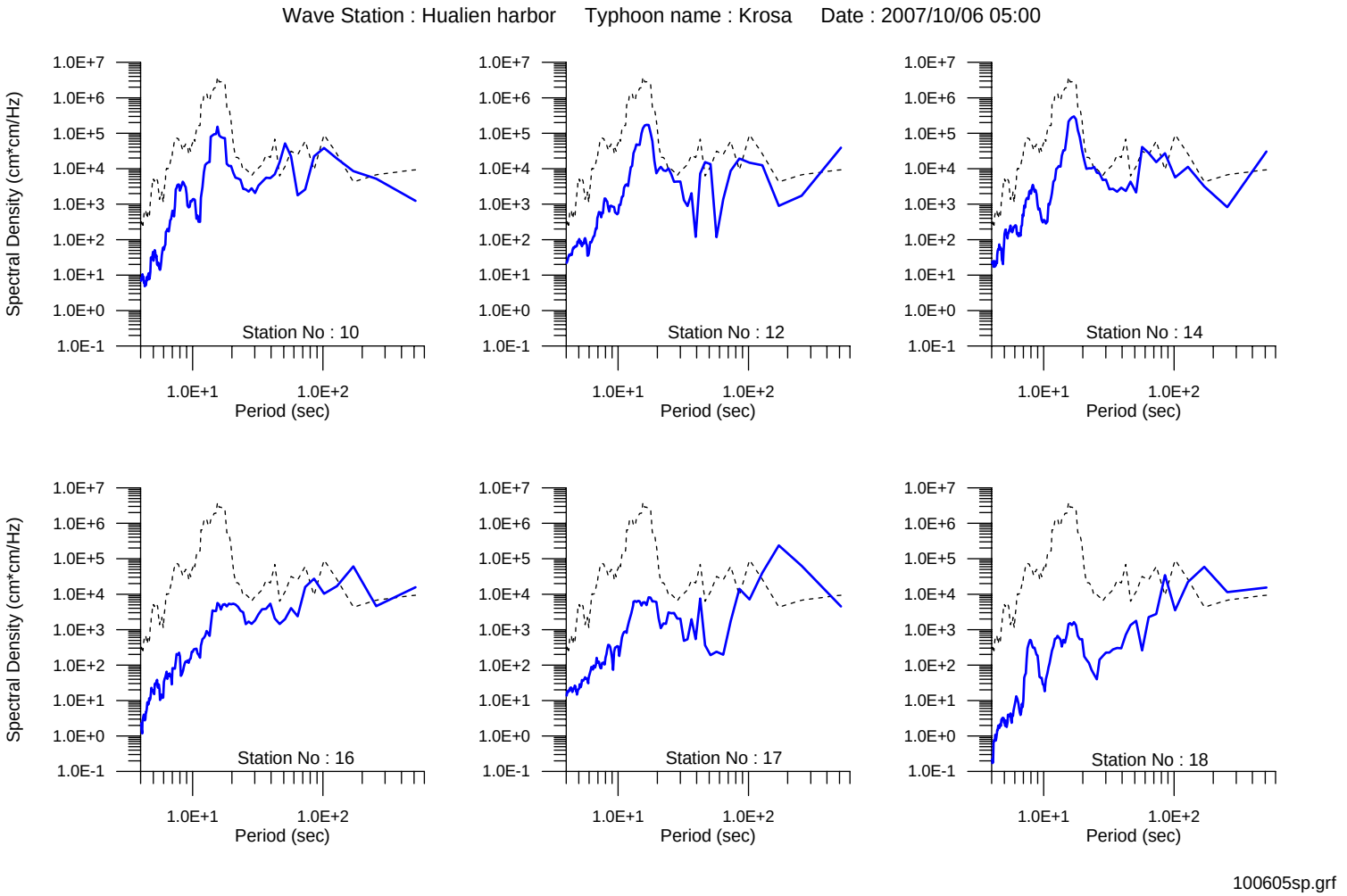



圖 3-96 柯羅莎颱風同時間（10/06 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

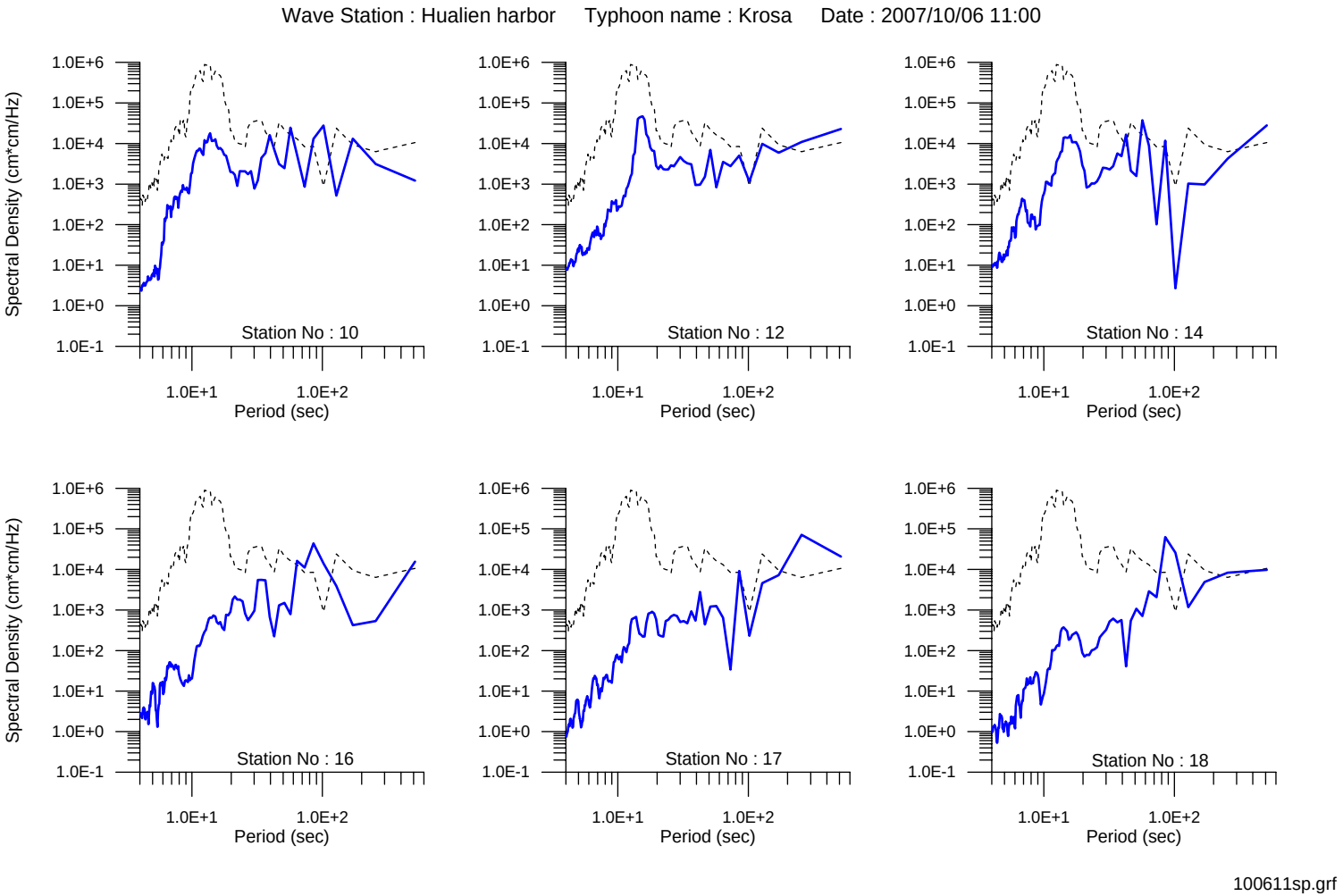



圖 3-97 柯羅莎颱風同時間（10/06 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

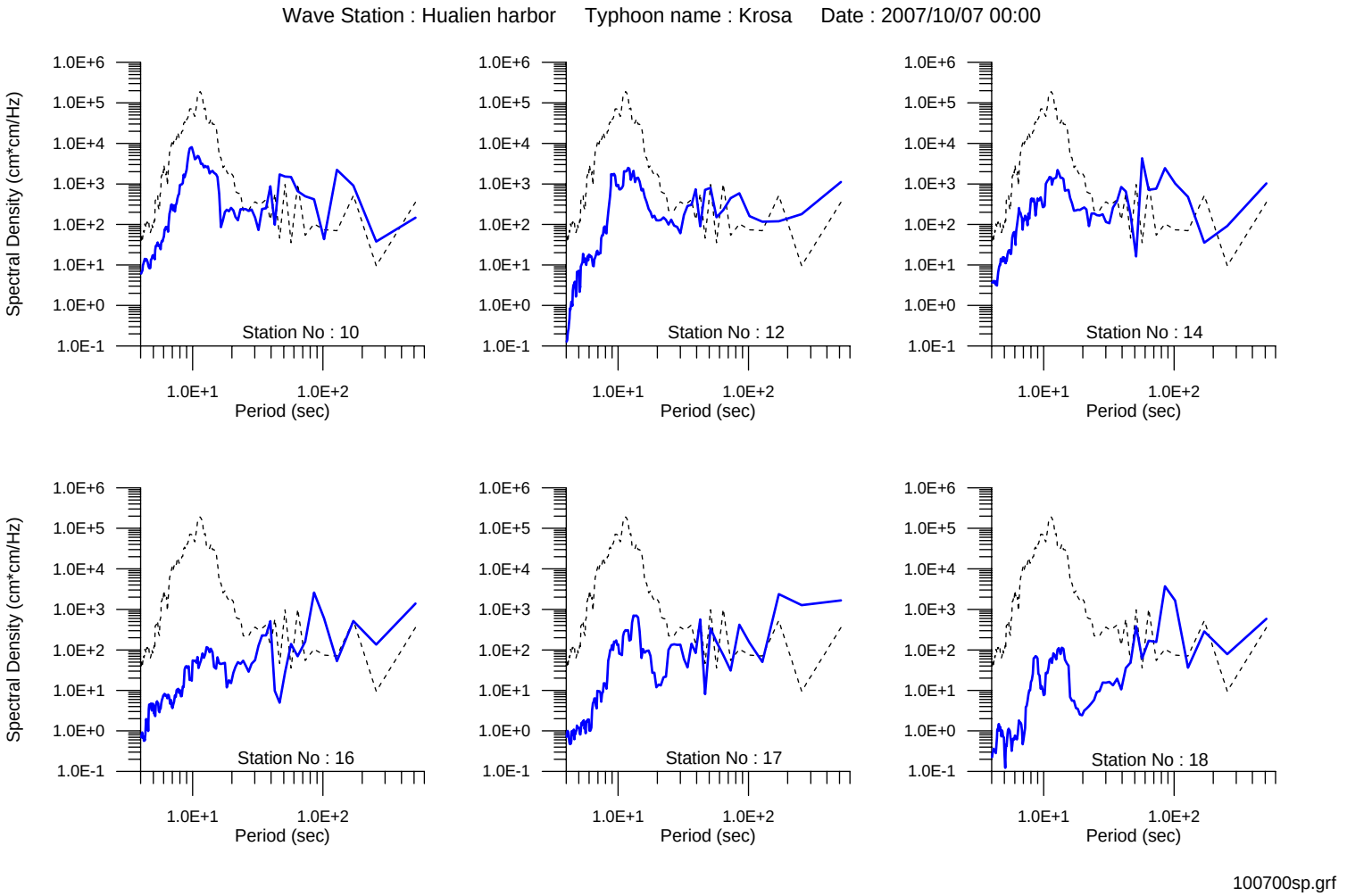



圖 3-98 柯羅莎颱風同時間（10/07 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

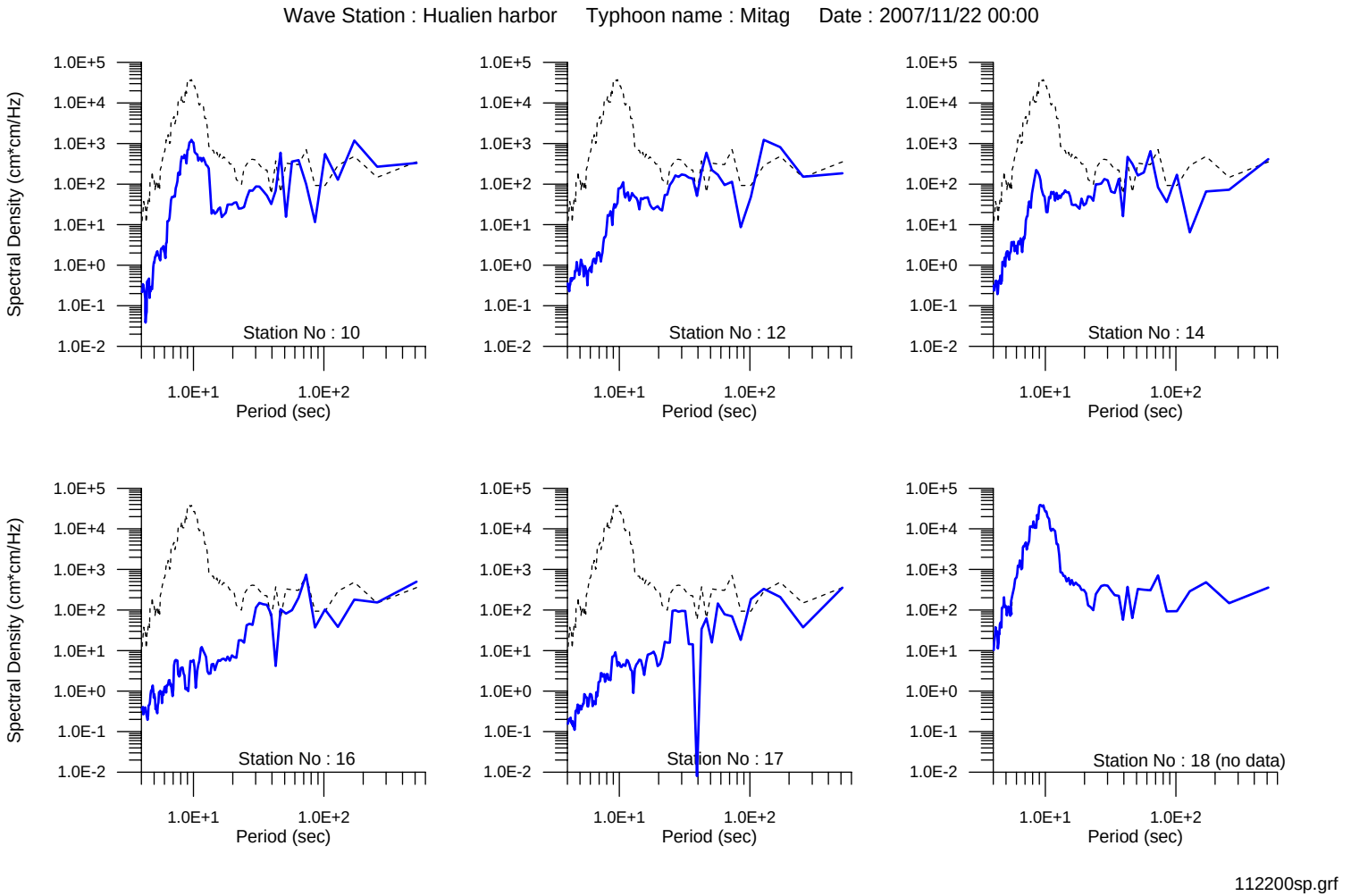



圖 3-99 米塔颱風同時間（11/22 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

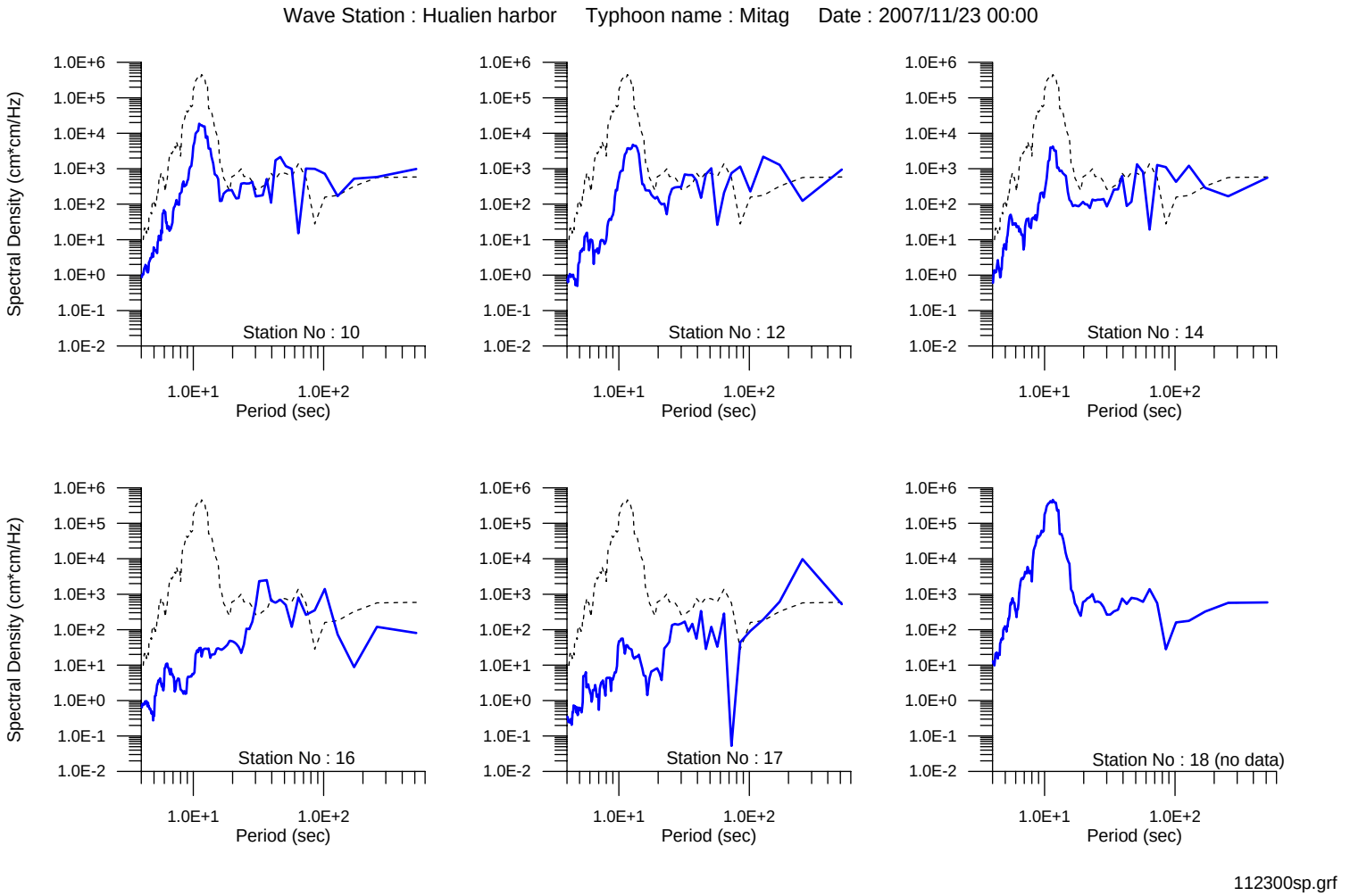



圖 3-100 米塔颱風同時間（11/23 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

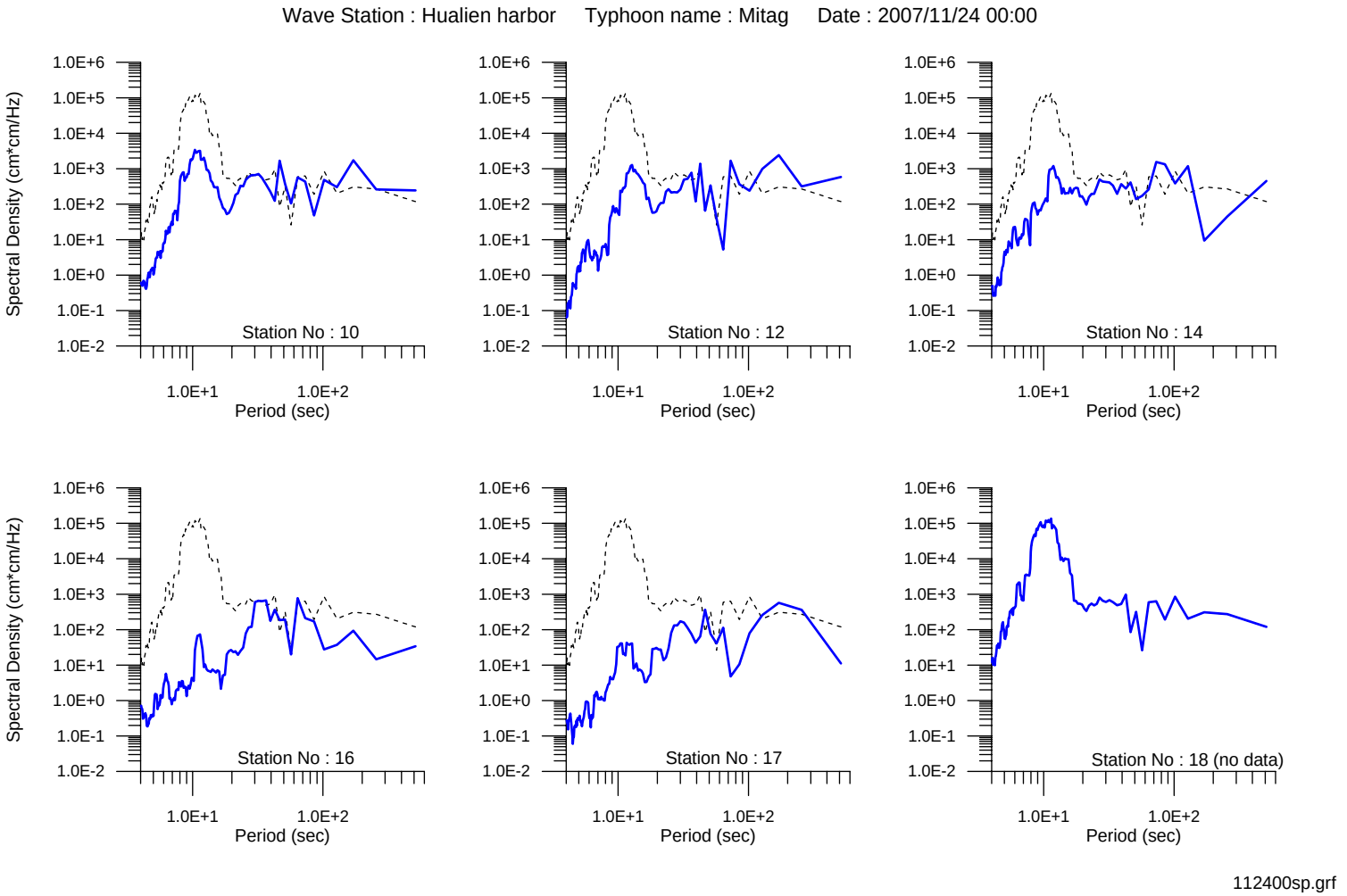



圖 3-101 米塔颱風同時間（11/24 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

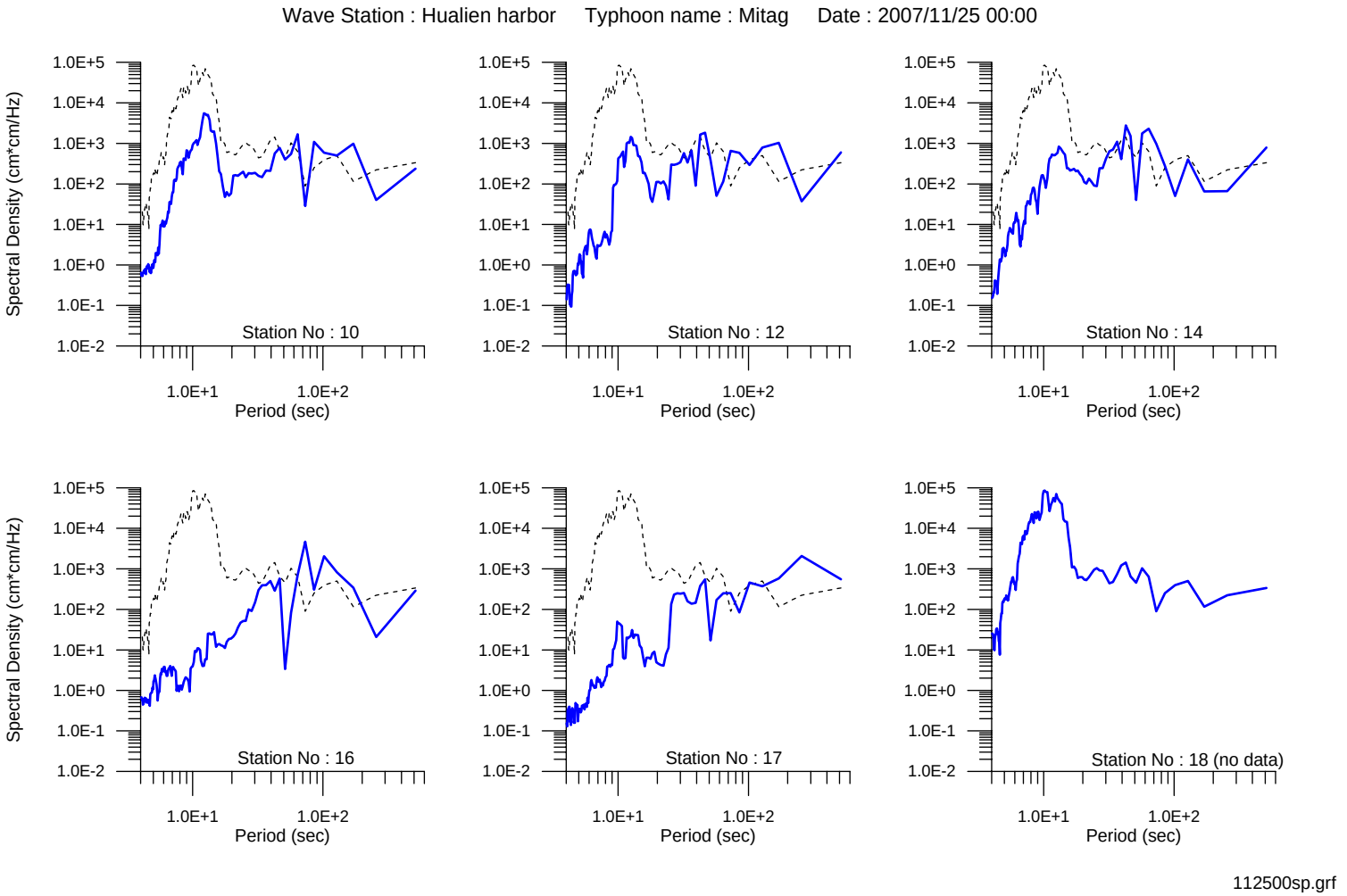



圖 3-102 米塔颱風同時間（11/25 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

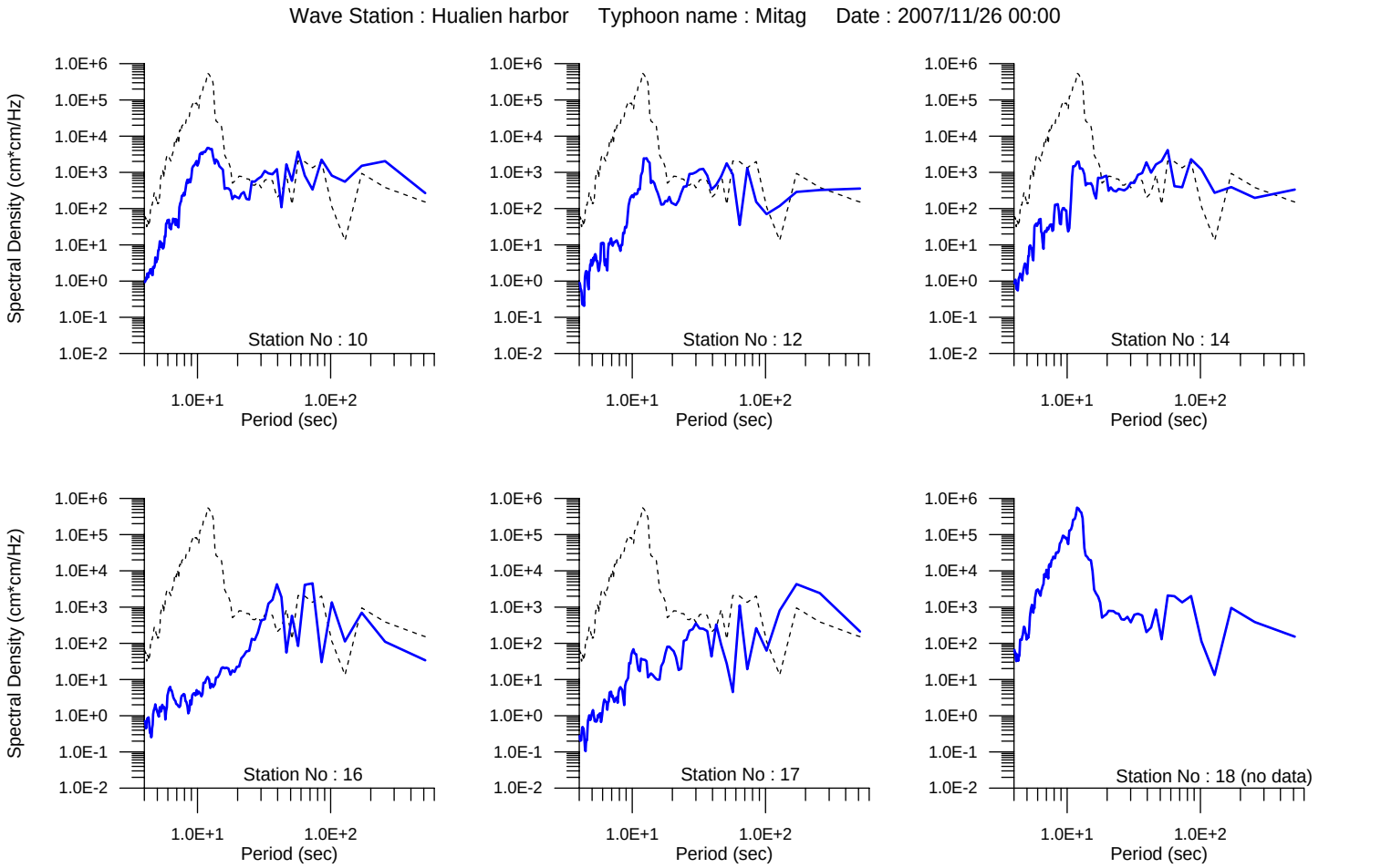



圖 3-103 米塔颱風同時間（11/26 00:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

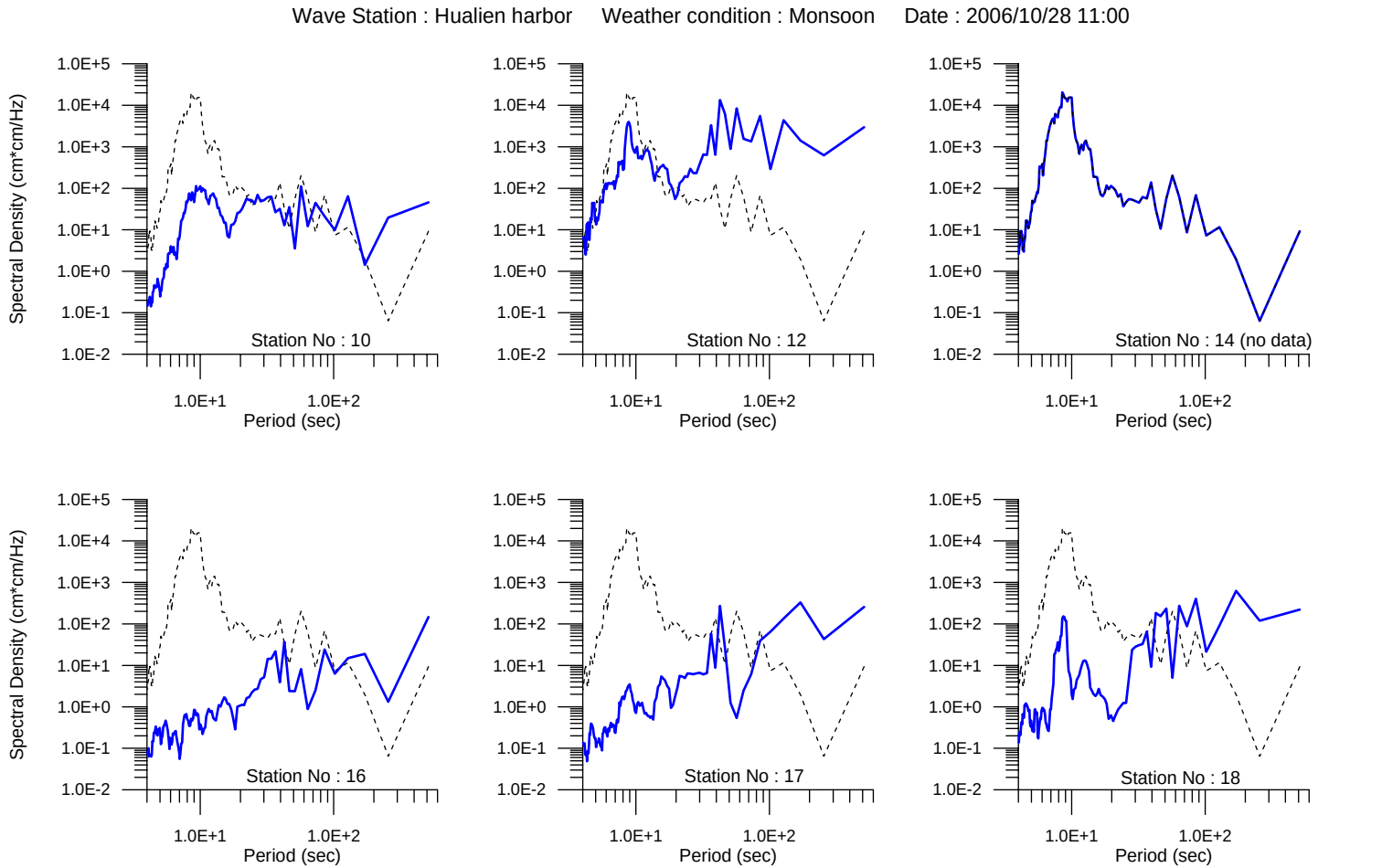



圖 3-104 東北季風同時間（10/28 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

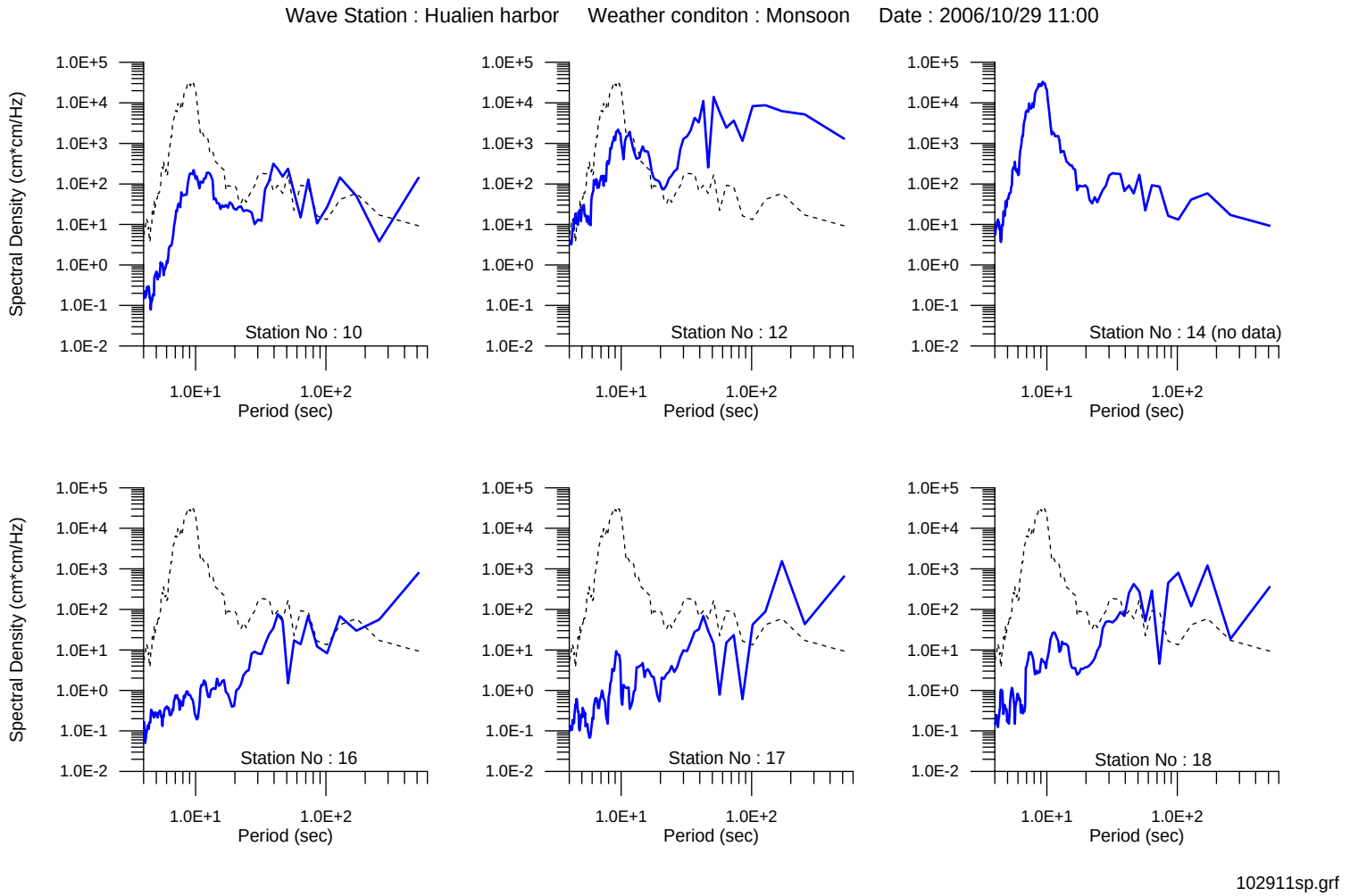



圖 3-105 東北季風同時間（10/29 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

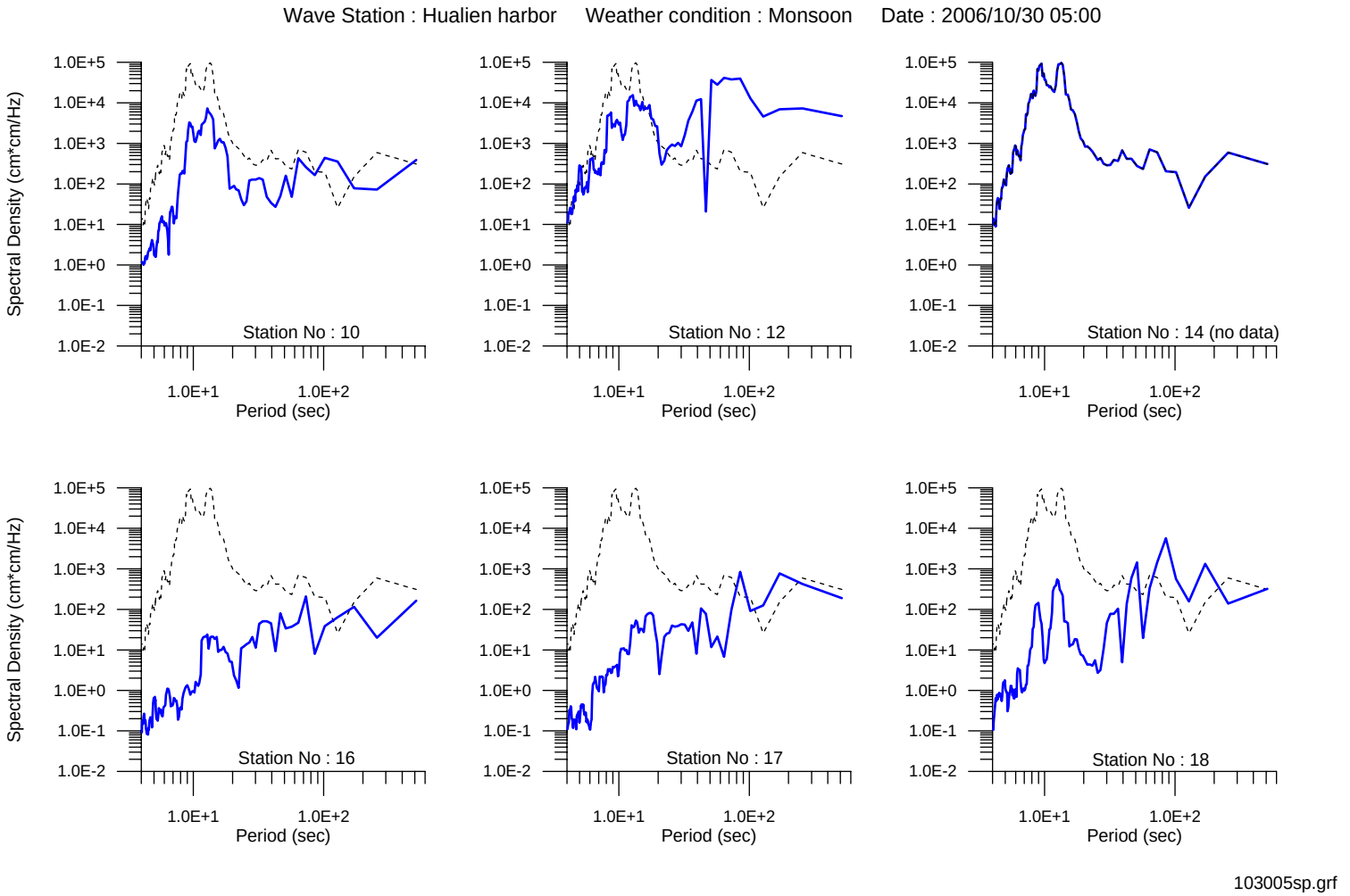



圖 3-106 東北季風同時間（10/30 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

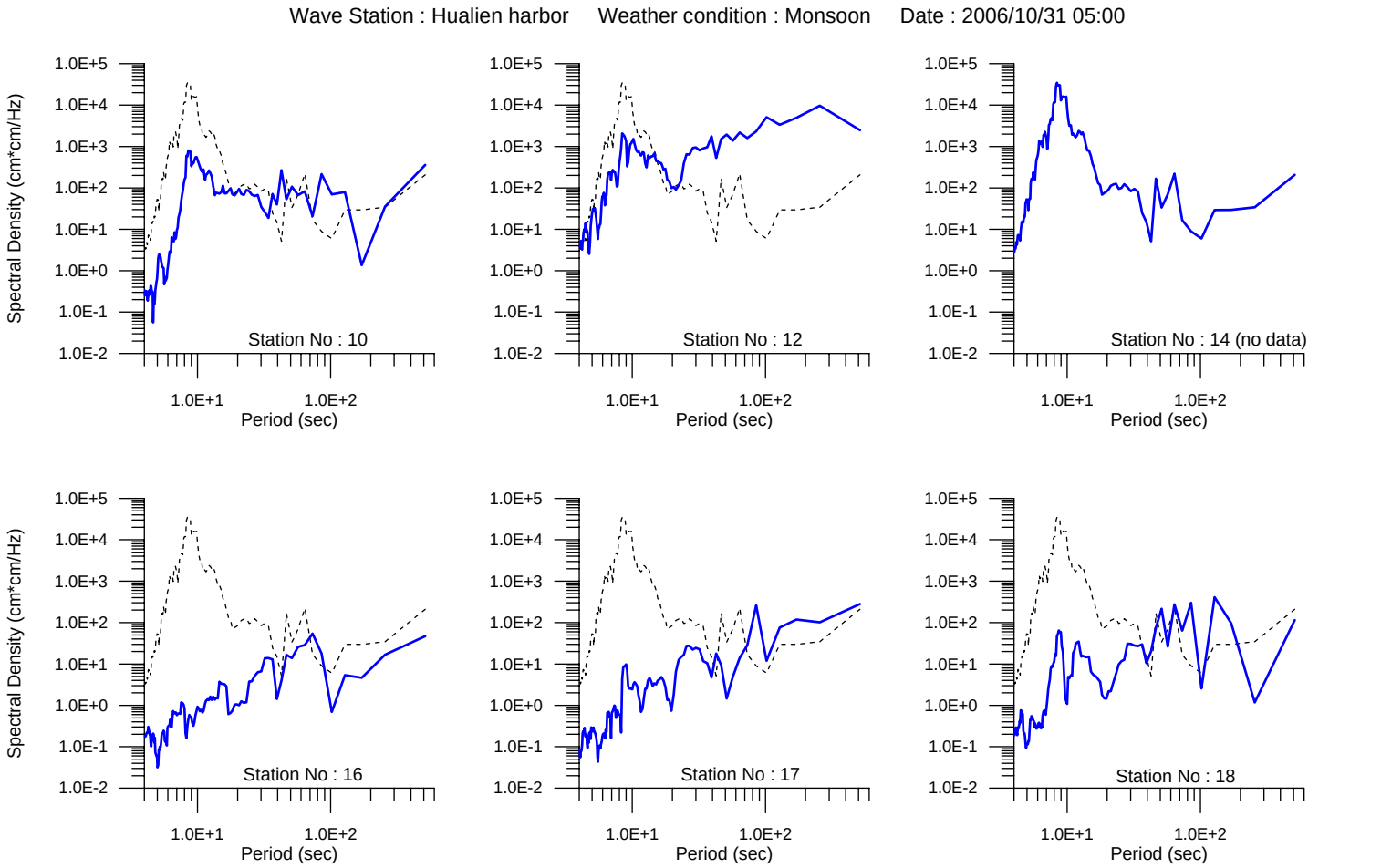



圖 3-107 東北季風同時間（10/31 05:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

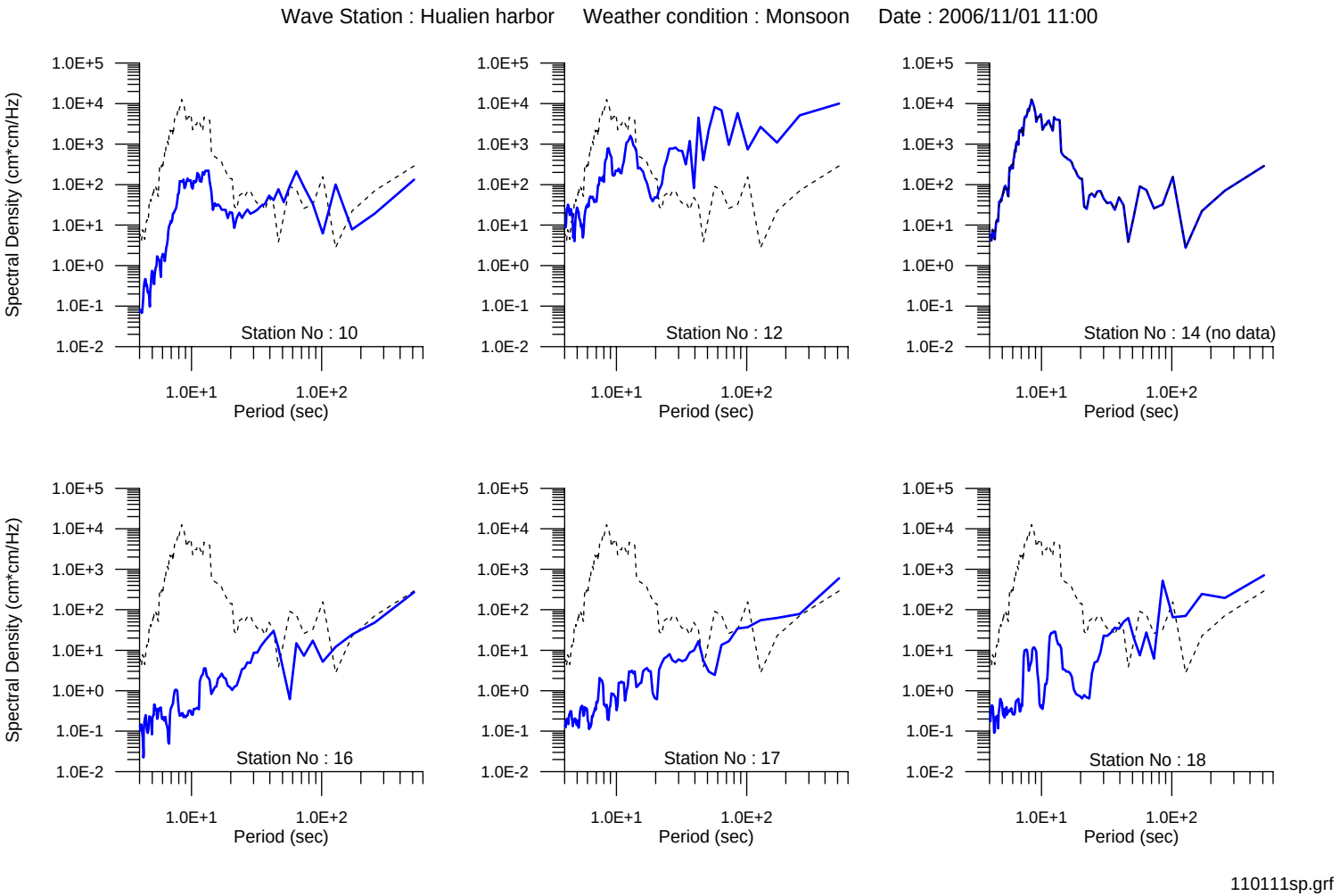



圖 3-108 東北季風同時間（11/01 11:00）港內各測點與港外測點波浪能譜比較

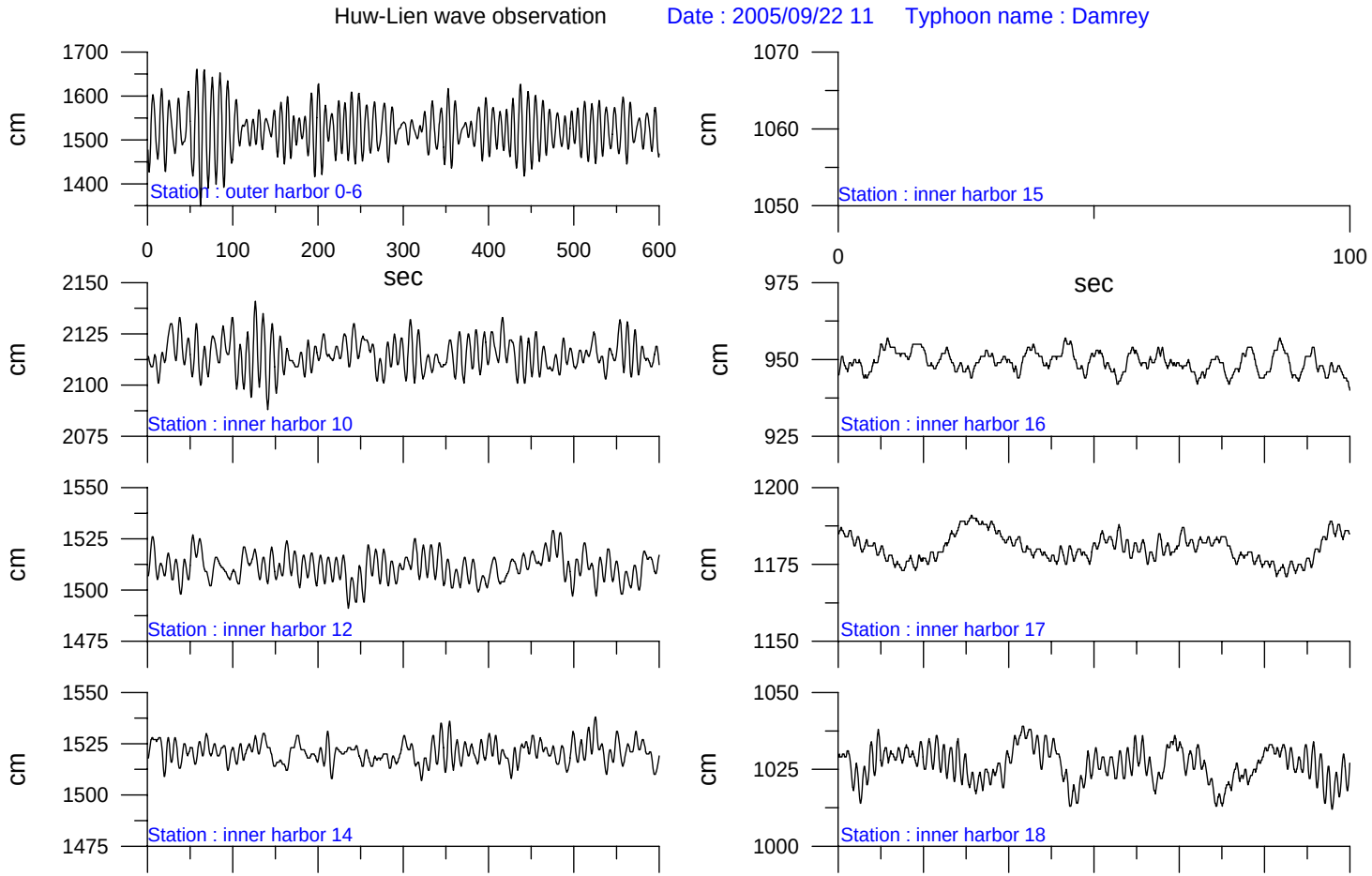



圖 3-109 丹瑞颱風港內外各測點水位變化（日期：09/22 時間：11:00）

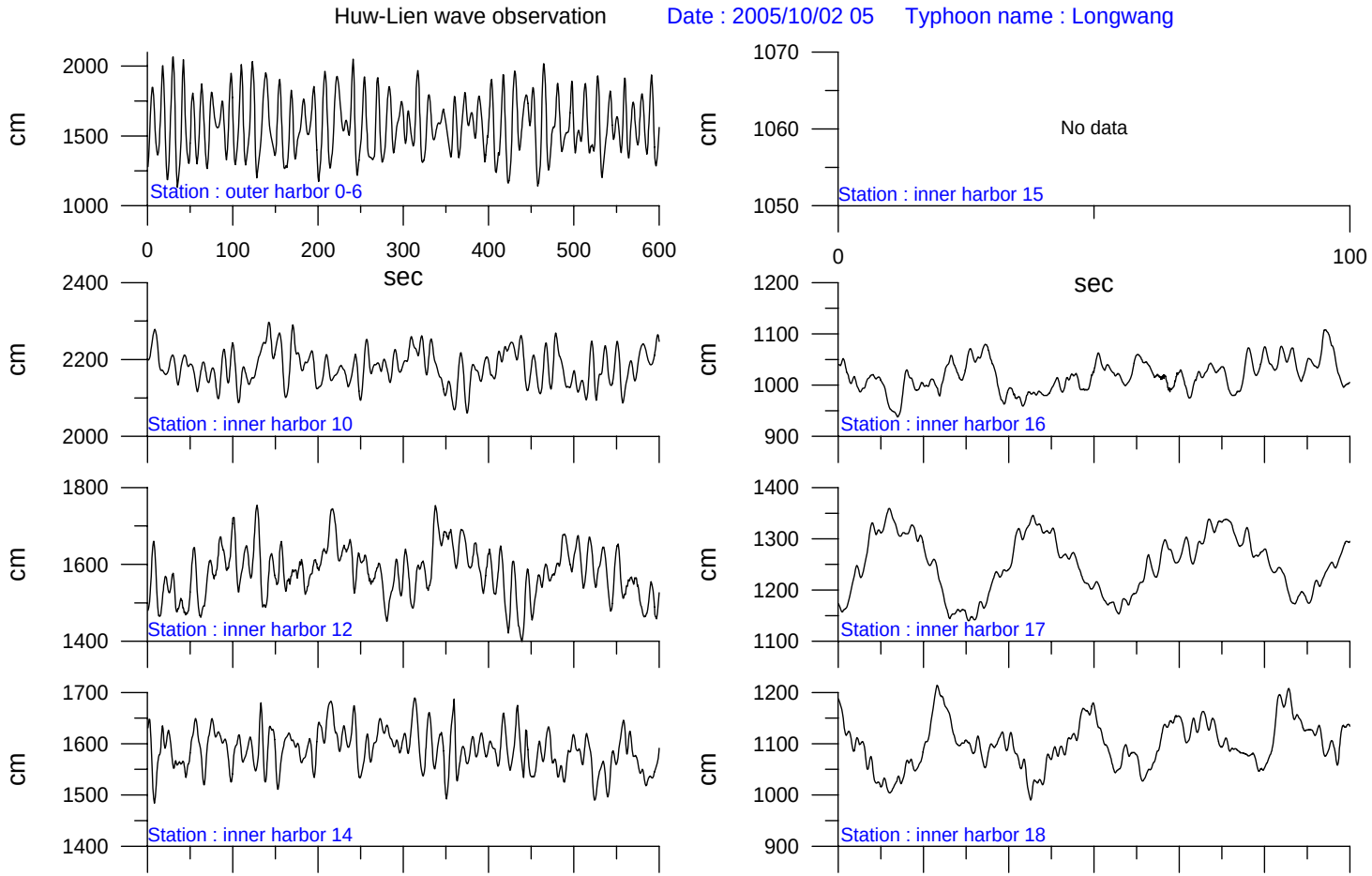



圖 3-110 龍王颱風港內外各測點水位變化（日期：10/02 時間：05:00）

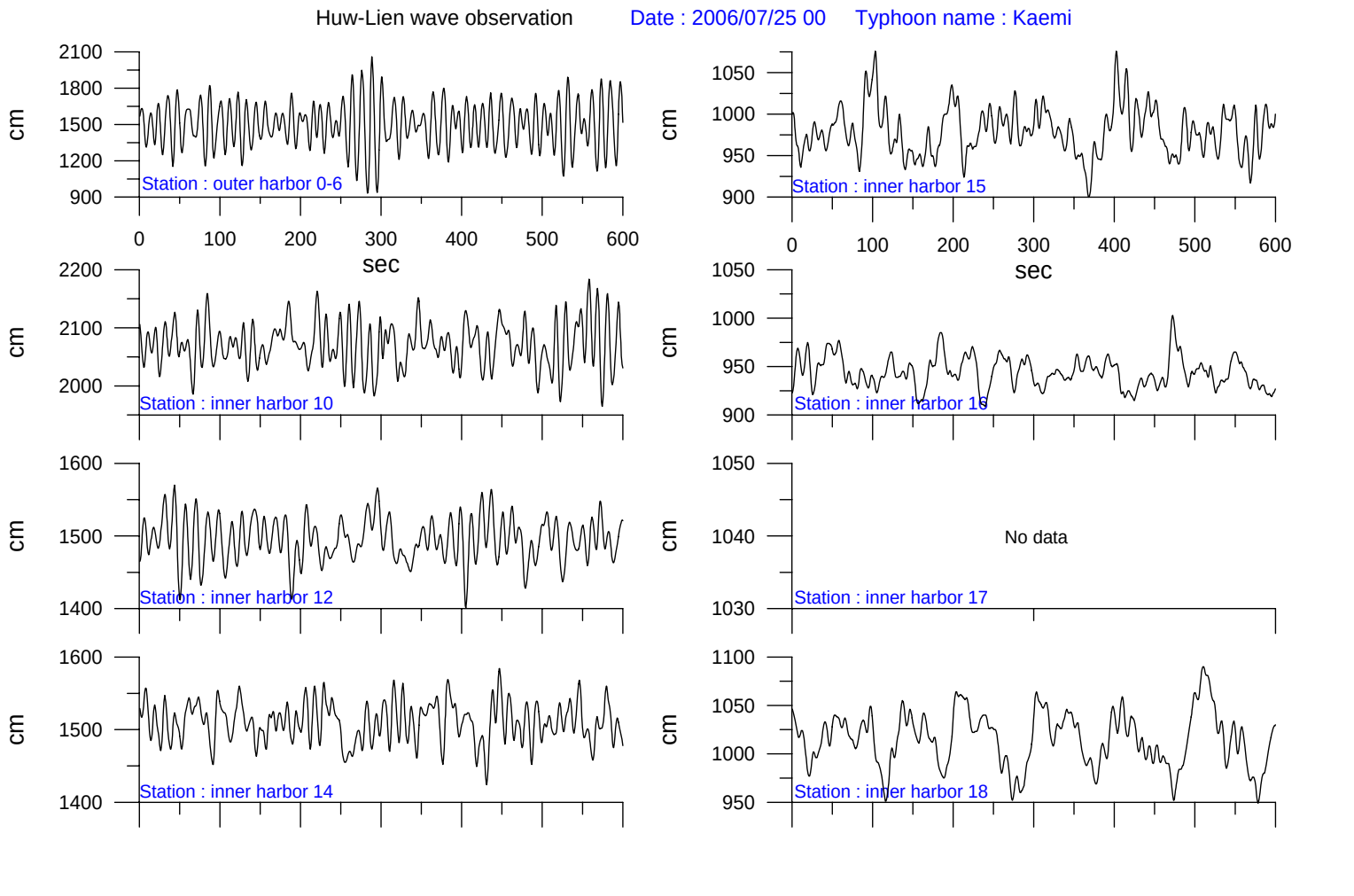



圖 3-111 凱米颱風港內外各測點水位變化（日期：07/25 時間：00:00）

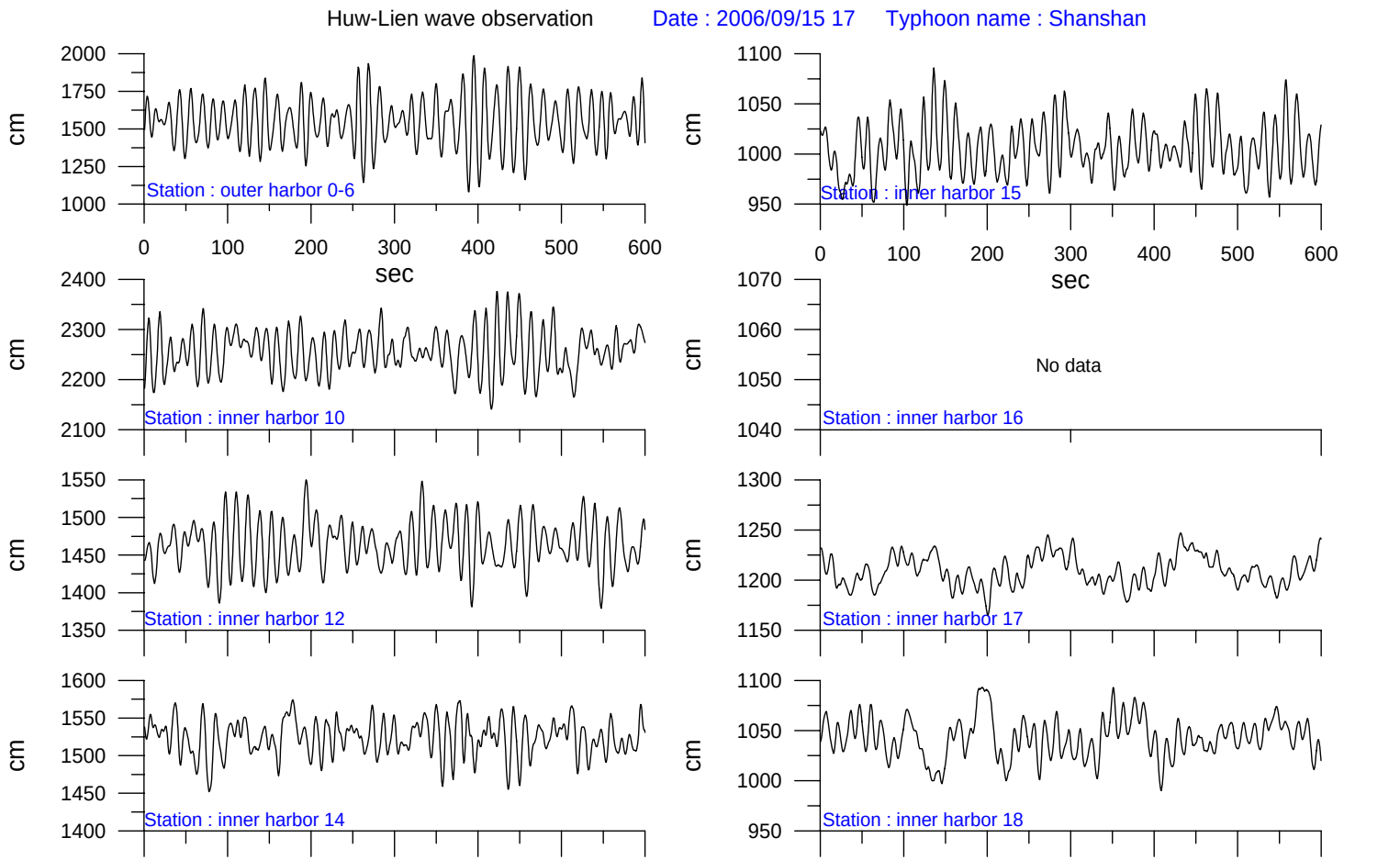



圖 3-112 珊珊颱風港內外各測點水位變化（日期：09/15 時間：17:00）

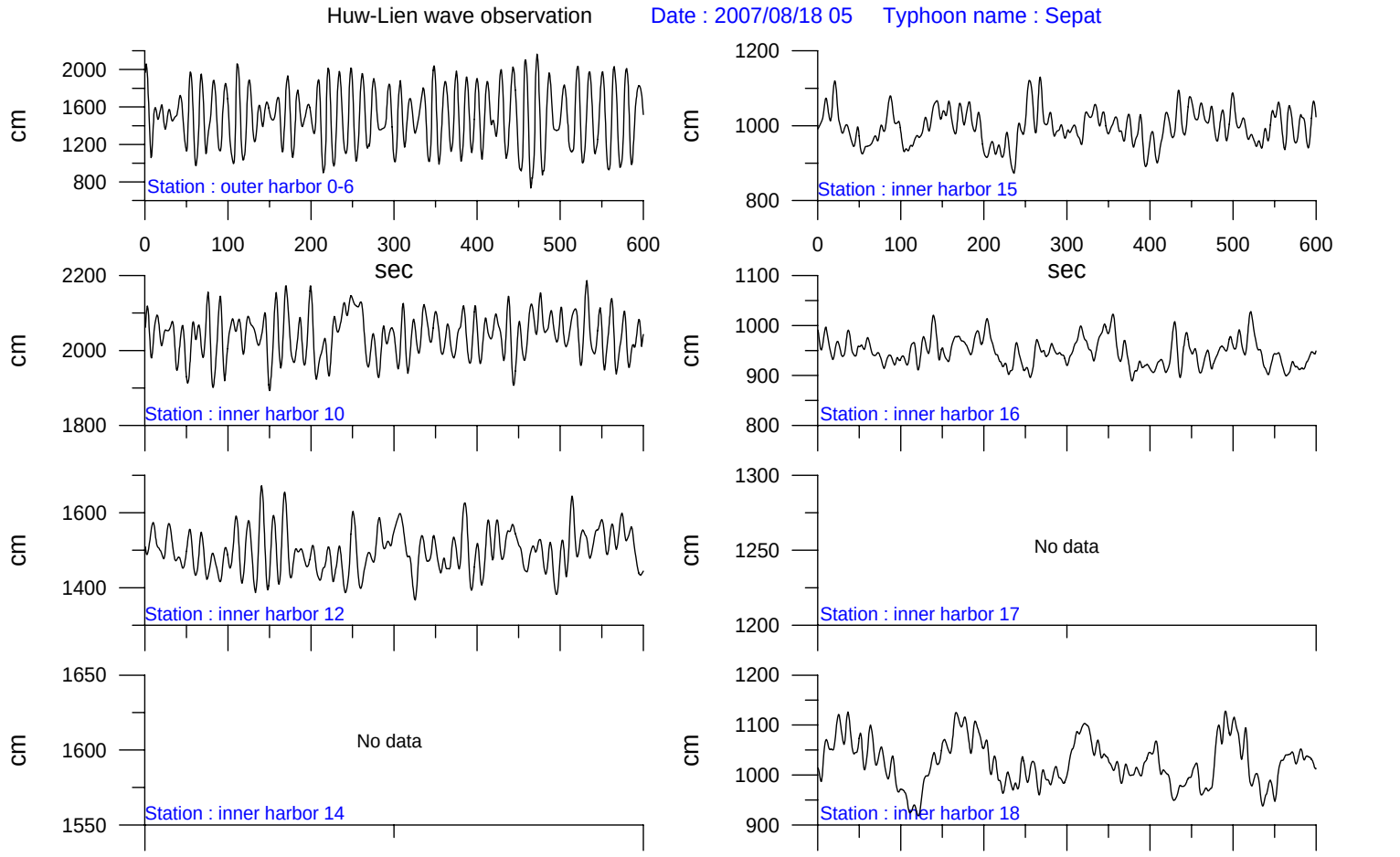



圖 3-113 聖帕颱風港內外各測點水位變化（日期：08/18 時間：05:00）

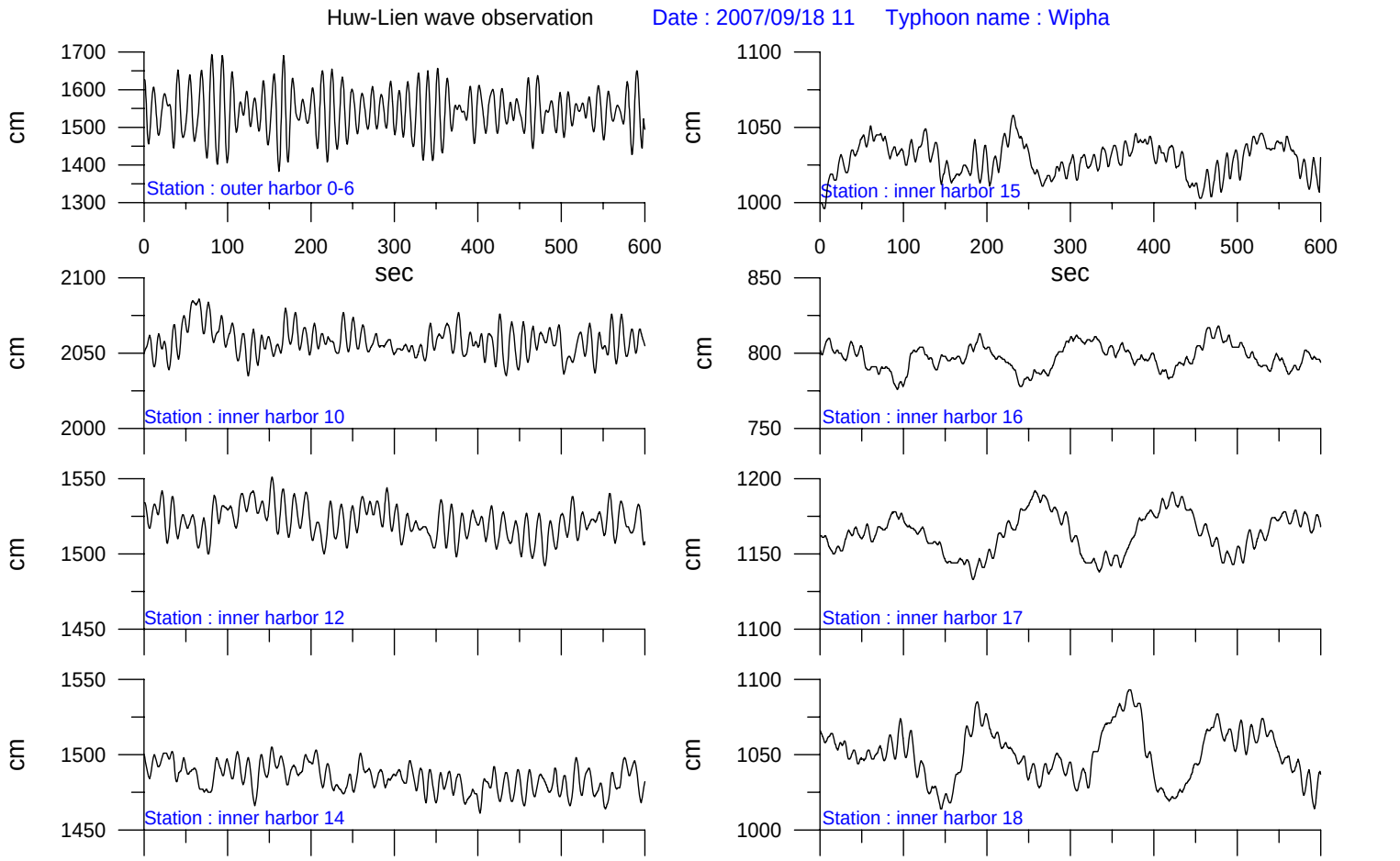



圖 3-114 韋帕颱風港內外各測點水位變化（日期：09/18 時間：11:00）

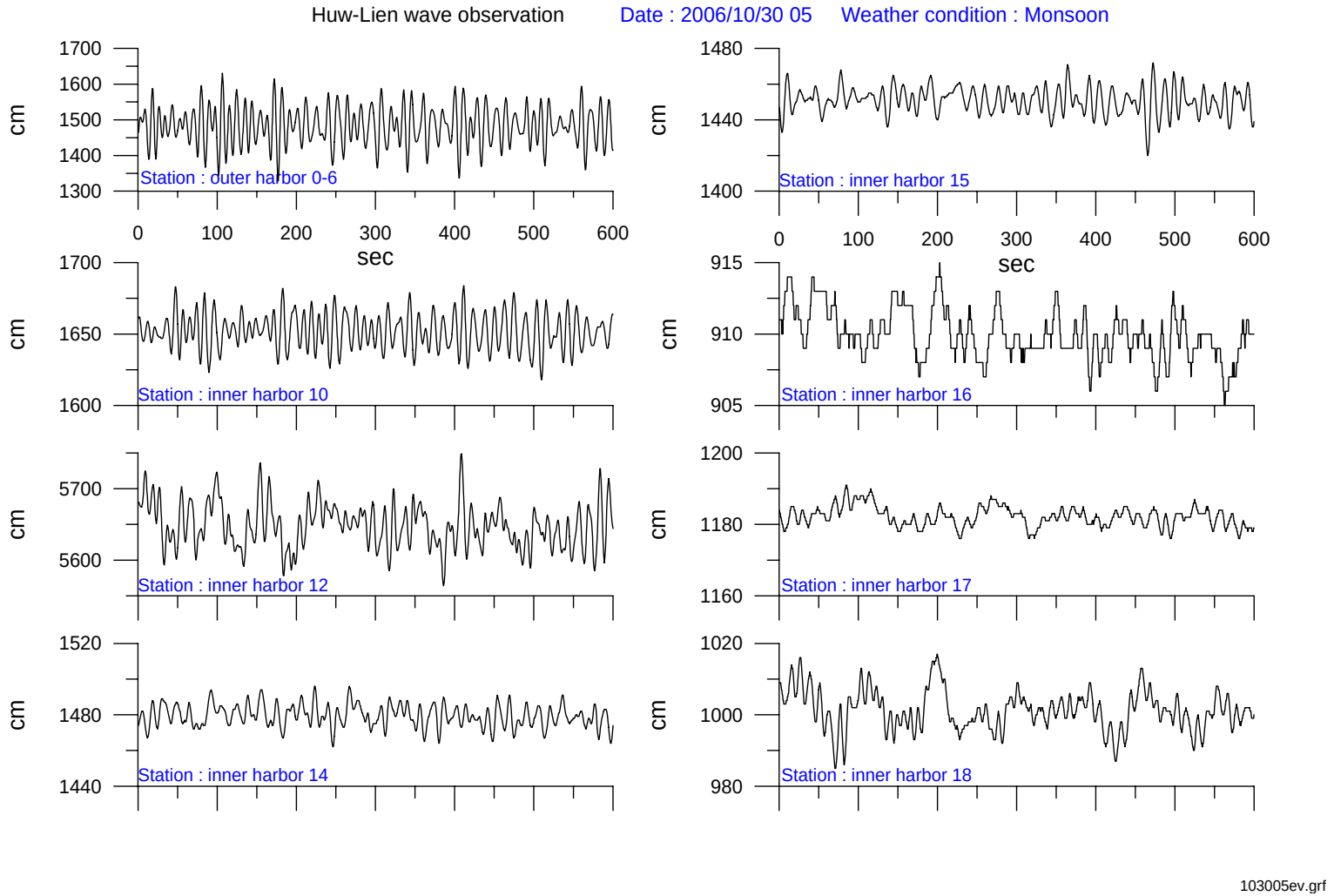



圖 3-115 東北季風港內外各測點水位變化（日期：10/30 時間：05:00）

# 第四章 波譜形狀參數分析與比較

本章依同一測點不同參數間及同一參數不同測點間進行分析、比較各波譜形狀參數隨各颱風波高、週期變化之演變趨勢，以瞭解在波浪成長或衰退或過程中各參數值的變化。同時探討各參數間之相關性，以釐清不同波譜形狀參數的異同。本研究所採用之波譜形狀參數計有 Longuet-Higgins(1956)所提出之波譜形狀窄度參數 $\nu$ 及波譜形狀寬度參數 $\varepsilon$ 及 Goda, Y.（1970）所提出之波譜尖峰度 *QP* 等三種，各參數之相關定義如第二章說明。

## 4.1 同一測點不同參數間之比較

依同一測點各颱風波浪波高、週期及其對應之各波譜形狀參數如圖 4-1 至圖 4-24 所示。由圖中港外測點比較窄度參數 $\nu$ 、寬度參數 $\varepsilon$ 及尖峰度 *QP* 隨波高與周期之逐時變化趨勢，發現無法得到一致性之結果。例如龍王及聖帕颱風波浪當波高與周期明顯增大（或減小）時，窄度參數 $\nu$ 、寬度參數 $\varepsilon$ 及尖峰度 *QP* 並沒有明顯變化趨勢出現，窄度參數大約在 0.2 至 0.4 左右；寬度參數則大約在 0.6 至 1.0 附近；而尖峰度則大約在 4 至 8 之間。三種參數中以尖峰度和波高之相關性較強些，因為尖峰度隨波高增加而增大之趨勢較其他兩參數明顯些。而窄度參數及寬度參數雖然與波高或週期相關性皆低，但由兩者之變化趨勢檢視發現有正相關性存在，其原因研判與兩參數之定義皆是頻譜動差之無因次式有關，此與本研究以往結果相同。由尖峰度與窄度參數（或寬度參數）之變化趨勢檢視發現有負相關性存在，換言之，當窄度參數增大時尖峰度減小；但當窄度參數減小時尖峰度增大，同樣以往本研究結果也有此情形。

港內各測點之波譜形狀參數間比較結果與港外測點明顯不同，由圖中發現窄度參數及寬度參數有增大趨勢，且兩者間之正相關性也變弱。例如圖 4-15 左邊顯示港內測點 17 之寬度參數大約在 0.97 至 1.00

附近，且隨測點愈進入港區內部有趨近於 1.0 之趨勢；窄度參數則大約在 1.5 至 3.0 之間，變動範圍有增大趨勢，同時窄度參數與寬度參數之正相關性隨測點愈進入港區內部漸不明顯。港內各測點之尖峰度由圖中比較有減小趨勢，同樣如圖 4-15 左邊顯示港內測點 17 之尖峰度大約在 0.5 至 1.5 之間。但尖峰度在少數情況會出現突值，如圖 4-8 之測點 12、圖 4-9 之測點 18 及圖 4-11 之測點 16 等，其原因有待再詳細分析檢視。

綜合而言，無論港內或港外測點本研究所採用之波譜形狀參數隨波高（或週期）之逐時變化並無明顯的一致性變動趨勢，此顯示在波浪的成長或衰退過程中波譜的形狀並無相關性的變化出現。對港外測點而言，三種參數中以尖峰度和波高之相關性較強些，而窄度參數及寬度參數雖然與波高或週期相關性皆低，但兩者之間有正相關性存在，其原因研判與兩參數之定義皆是頻譜動差之無因次式有關。尖峰度與窄度參數（或寬度參數）有負相關性存在，換言之，當窄度參數增大時尖峰度減小；但當窄度參數減小時尖峰度增大。至於港內測點之比較結果與港外測點不同，圖中顯示窄度參數及寬度參數有增大趨勢，且兩者間之正相關性也變弱，且隨測點愈進入港區內部參數值漸大且相關性漸不明顯。而尖峰度隨測點愈進入港區內部則有減小趨勢，同時在部分少數情況尖峰度值會出現突然增大現象，其原因有待進一步探討。波譜形狀參數在港內與港外之差異，主要是港內波譜形狀因高頻區能量的大幅消減（尤其是主頻區附近），而低頻區則微幅增長，使得波譜形狀無明顯之能量尖峰出現，此和一般之波譜形狀不同。在此情況下本研究所採用之三種波譜形狀參數可能已不適用，而本計畫 96 年度所提之新參數 *SB* 也因無明顯之能量尖峰而不適用。

## 4.2 同一參數不同測點間之比較

選取 8 個颱風及 1 個季風波浪資料其波譜形狀參數在不同測點間的變化趨勢比較結果，依各颱風波浪資料繪製如圖 4-25 至圖 4-48。由圖中發現如同上一節所述，各波譜形狀參數在不同測點其數值大小與

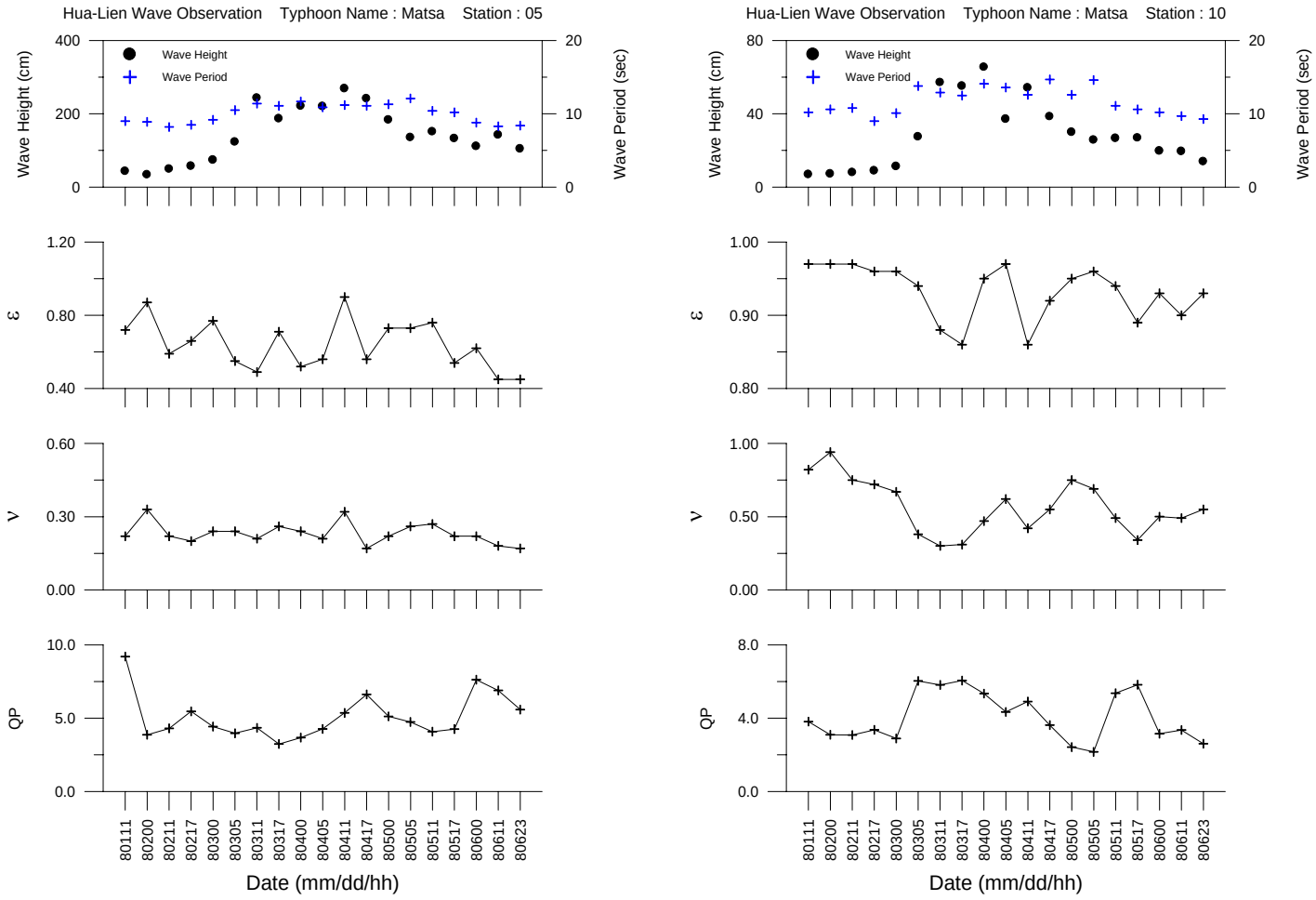
變化趨勢並不相同。基本上窄度參數 $\nu$ 及寬度參數 $\varepsilon$ 在港外測點其數值較小且皆小於 1.0，而在港內測點則隨測點愈進入港區內部而有增大趨勢，其中寬度參數趨近於 1.0，窄度參數則可能大於 1.0；尖峰度 *QP* 在港外測點其數值較大，而港內測點隨測點愈進入港區內部則有減小趨勢，這和窄度參數及寬度參數的情況相反，不過在部分少數資料尖峰度值會出現突然增大現象。若由各參數在不同測點間之變化趨勢來看，無法歸納出一致性，此顯示波譜形狀參數之變化趨勢隨測點而有所不同。但在部分少數情況下，不同測點間之參數變化趨勢相近，例如圖 4-29 窄度參數在測點 10 及 12 雖然數值大小不同，但其變化趨勢相當接近；同該圖測點 17 及 18 也有相同情形。圖 4-40 寬度參數在測點 15、16 及 18 間變化趨勢相當類似，另外圖 4-41 窄度參數在測點 15、16 及 18 也有相同情形。然而這種情形大多出現在窄度參數，尖峰度則無出現。

## 4.3 綜合討論

各波譜形狀參數在港外測點的特性大致與本研究以往之結果相同，這些特性包括參數值大小分布範圍、隨波高或週期之變化趨勢及參數間之相關性等。但港內測點之各波譜形狀參數特性與港外測點相較則不相同，例如參數值大小分布範圍改變及參數間相關性變弱，且這些改變在不同之測點會有程度上差異，其原因可由前一章之港內、外波譜變化圖比較來探討。

港外測點之波譜雖然隨時間不同其高低頻區能量值大小會有變化，但大致上仍可明顯區別出能量尖峰之主頻區，因此波譜形狀參數的分布及相關性會有較一致性的結果。但港內測點之波譜由於能量尖峰之主頻區不明顯甚至已不存在，因此波譜形狀參數的分布及相關性也就出現差異及不穩定情形。換言之，當波譜之能量尖峰不明顯時，本文中所選用之三種波譜形狀參數其適用性受到影響。而本研究上一年度所提出之波譜形狀新參數同樣不能適用，因為該新參數之定義是依據波譜能量尖峰之主頻區附近波譜形狀的頻寬及能量比值作計算，

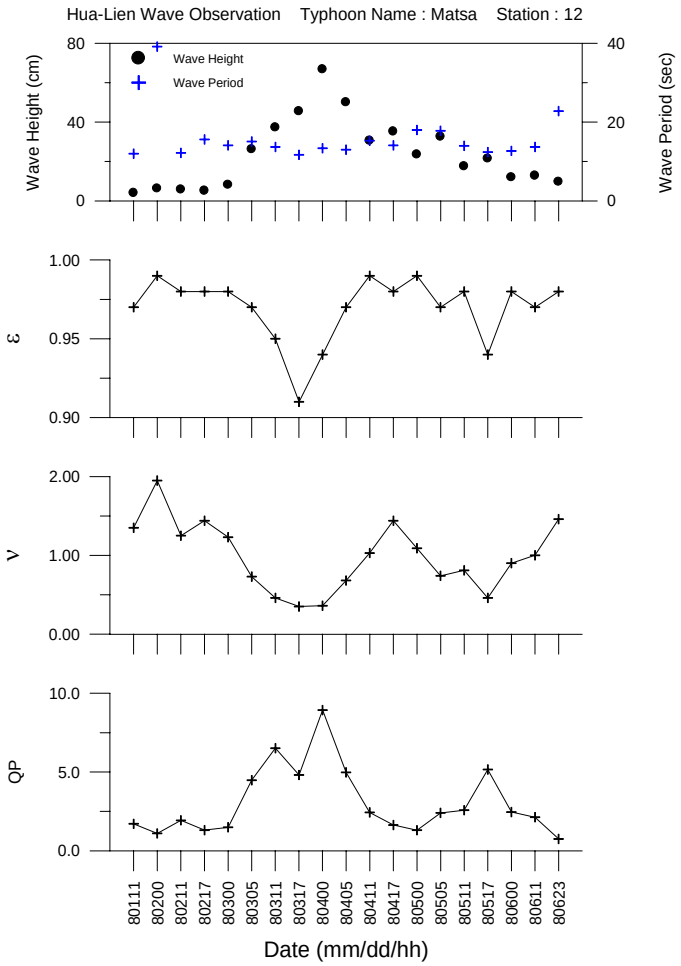
因此當波譜之能量尖峰不明顯時，此新參數同樣也不適用。此外對於港內短週期波騎乘在長週期波上之特殊波動現象，以傳統之傅立葉轉換進行波譜分析是否能真實反映出該波動特性？應再深入探討，同時也可考慮其他波動分析方法，例如小波分析（Wavelet Analysis）或希伯-黃轉換（Hilber-Huang Transform）等。另外本研究之波浪觀測時間長度僅 10 分鐘，此對長週期之波動分析會有不足。因此，後續應蒐集觀測時間長度至少 40 分鐘以上之波浪資料作更深入探討。



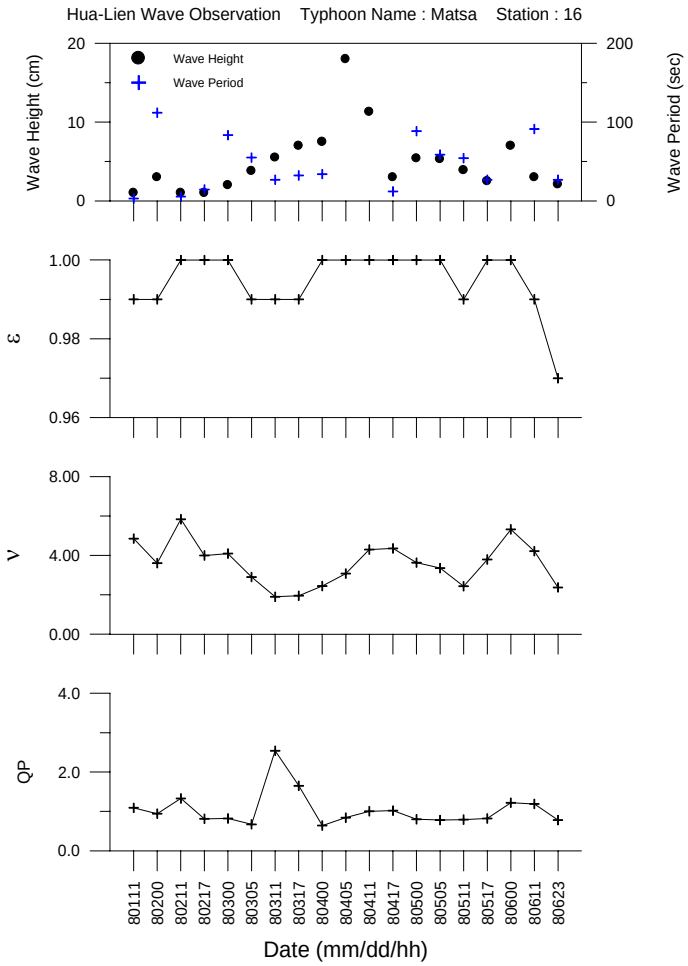

para05.grf

para10.grf

圖 4-1 馬莎颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 5；右：測點 10）

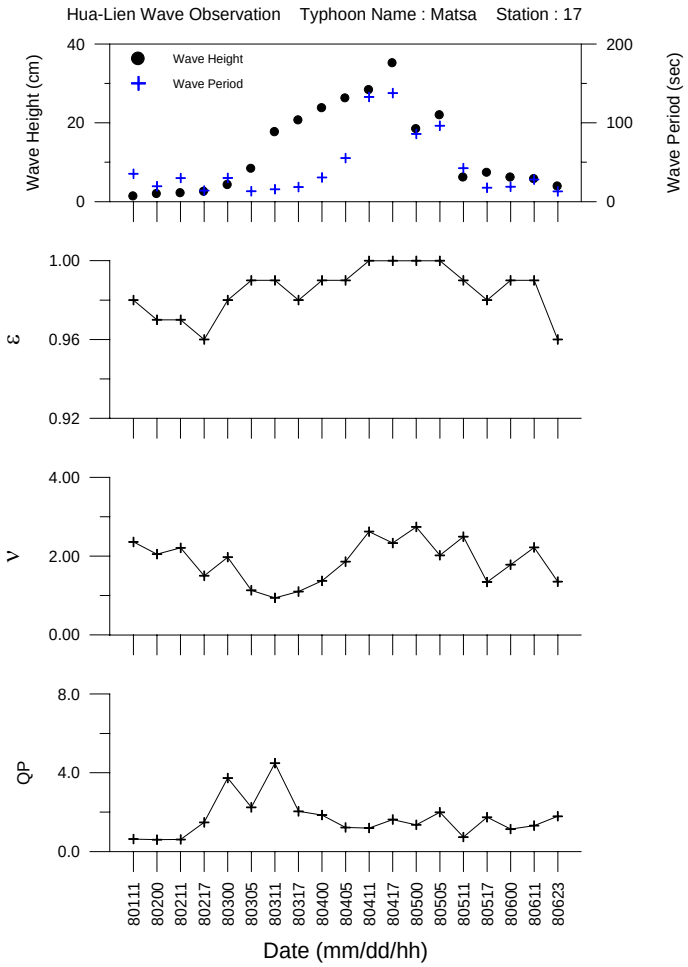



para12.grf

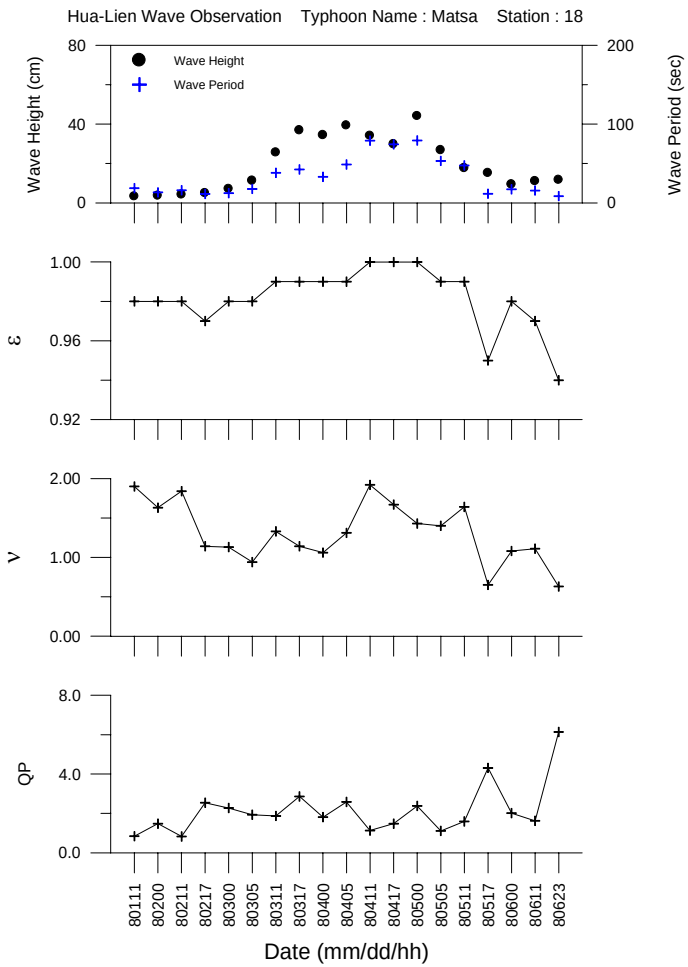



para16.grf

圖 4-2 馬莎颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 16）

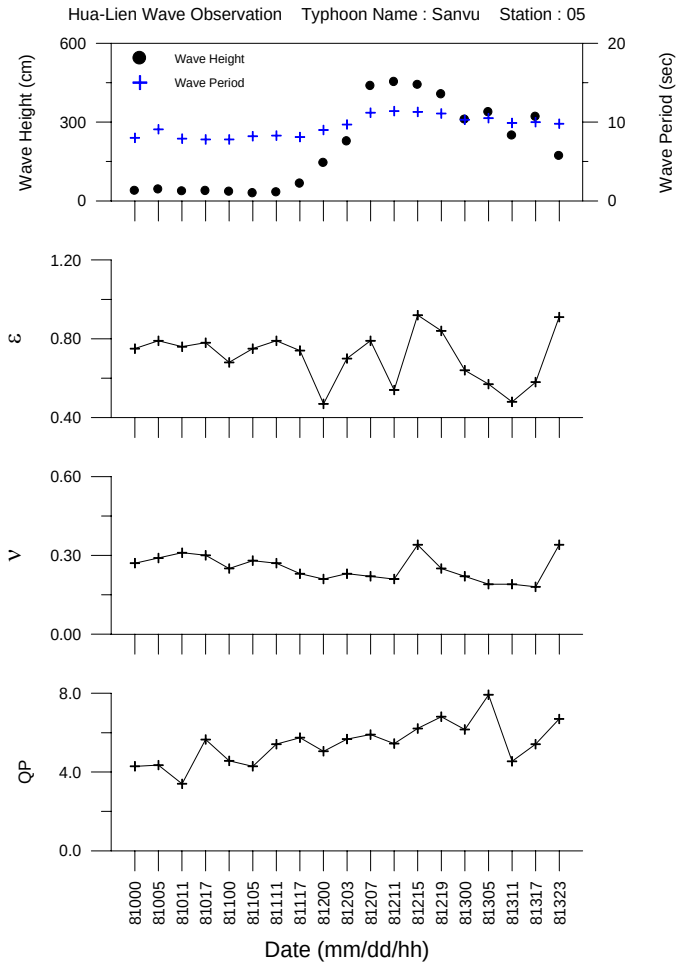



para17.grf

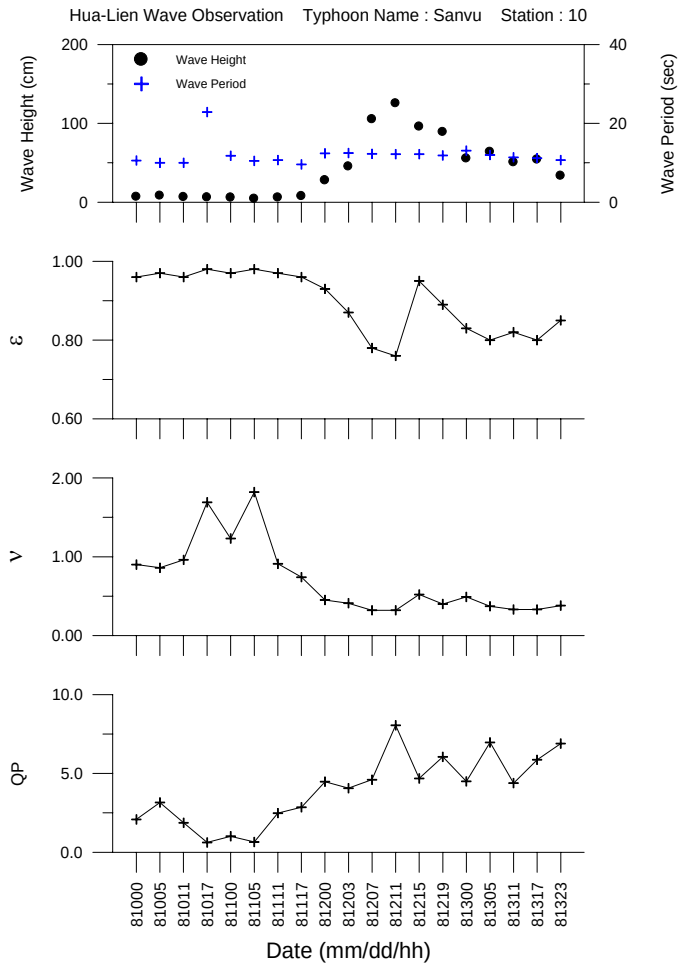



para18.grf

圖 4-3 馬莎颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 17；右：測點 18）

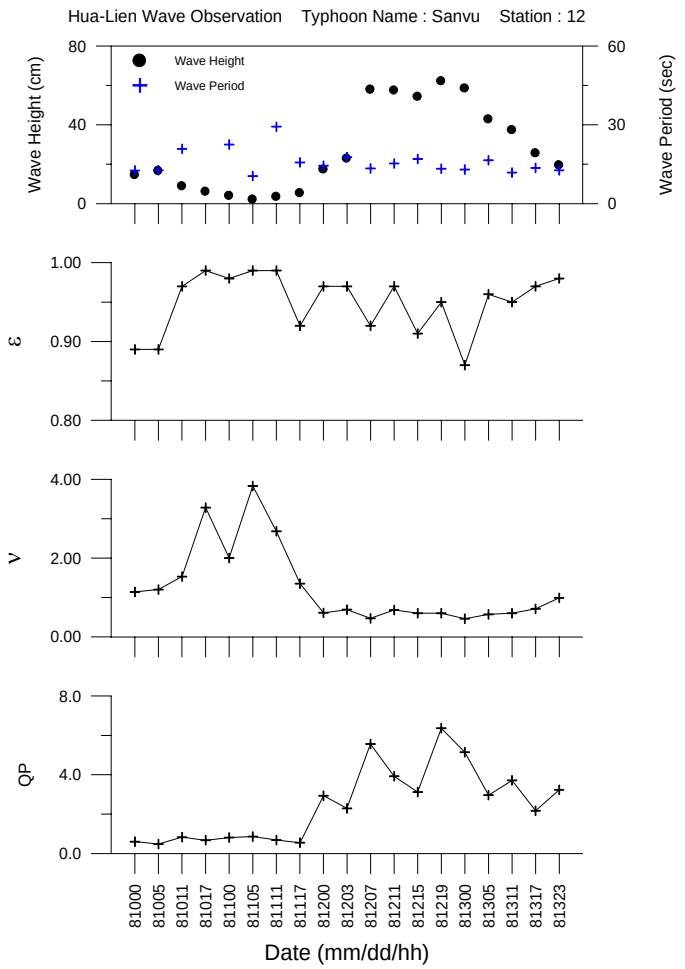



para05.grf

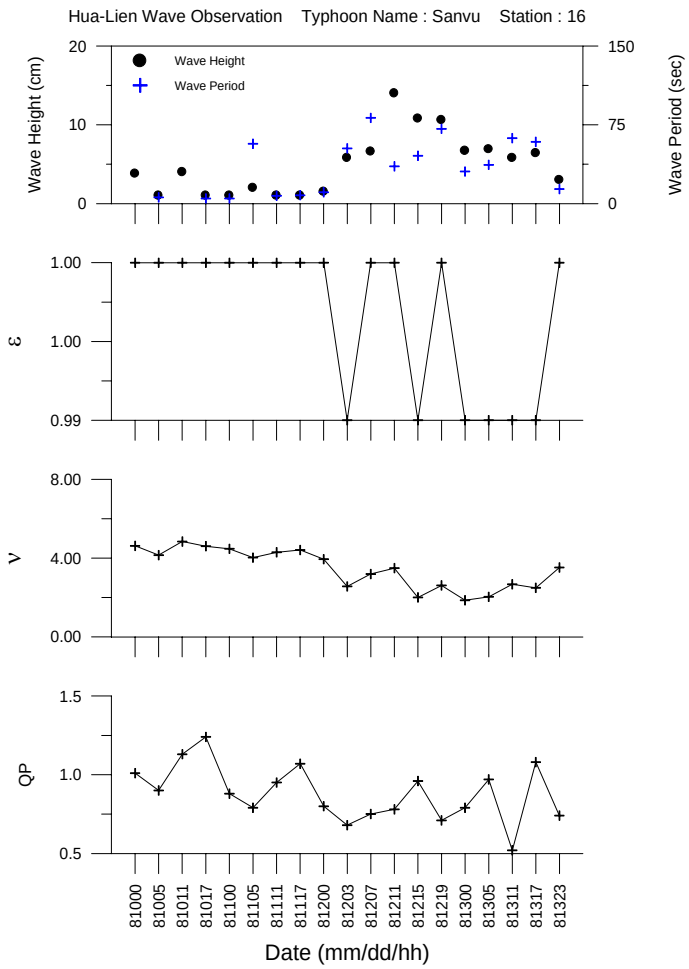



para10.grf

圖 4-4 珊瑚颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 05；右：測點 10）

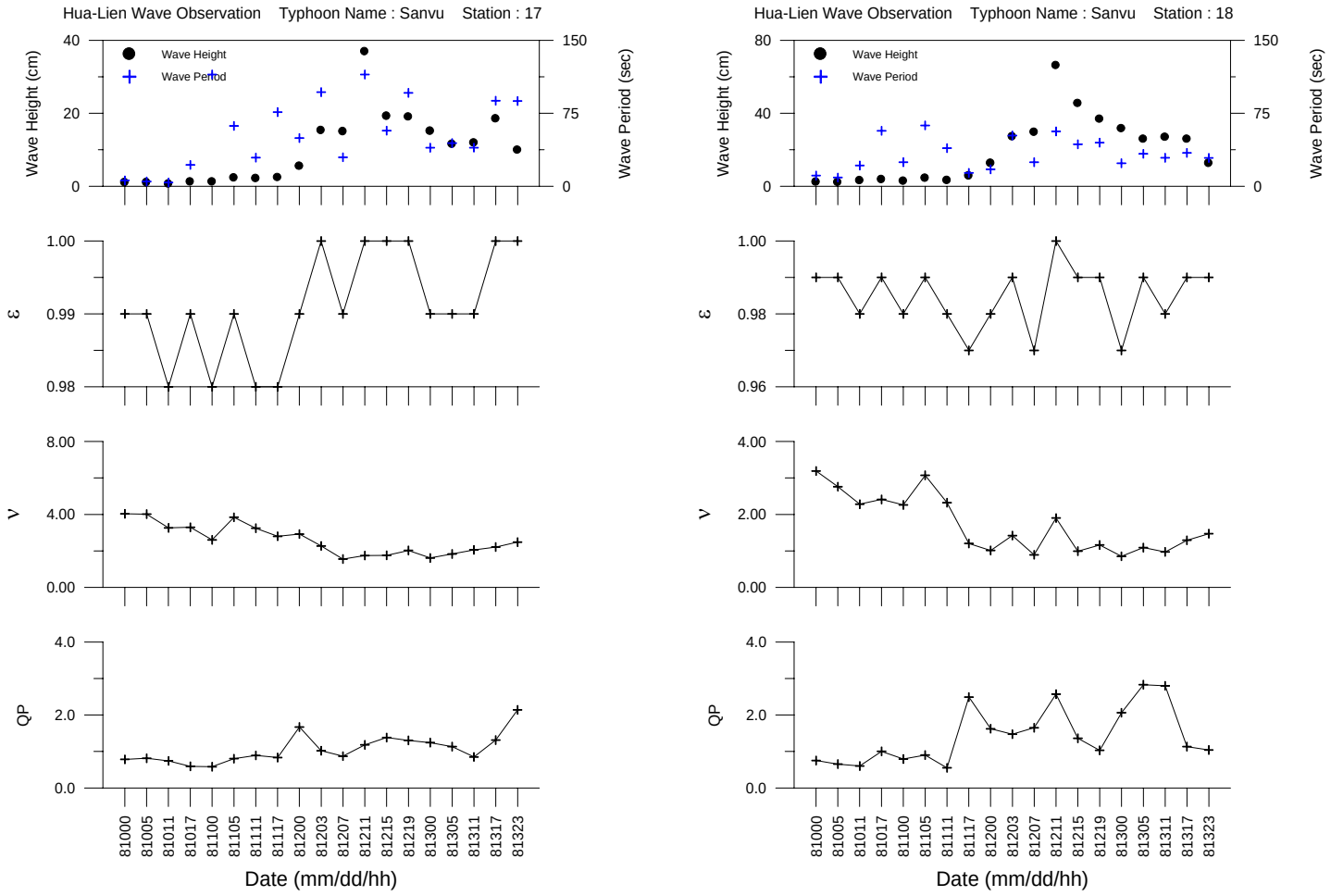



para12.grf



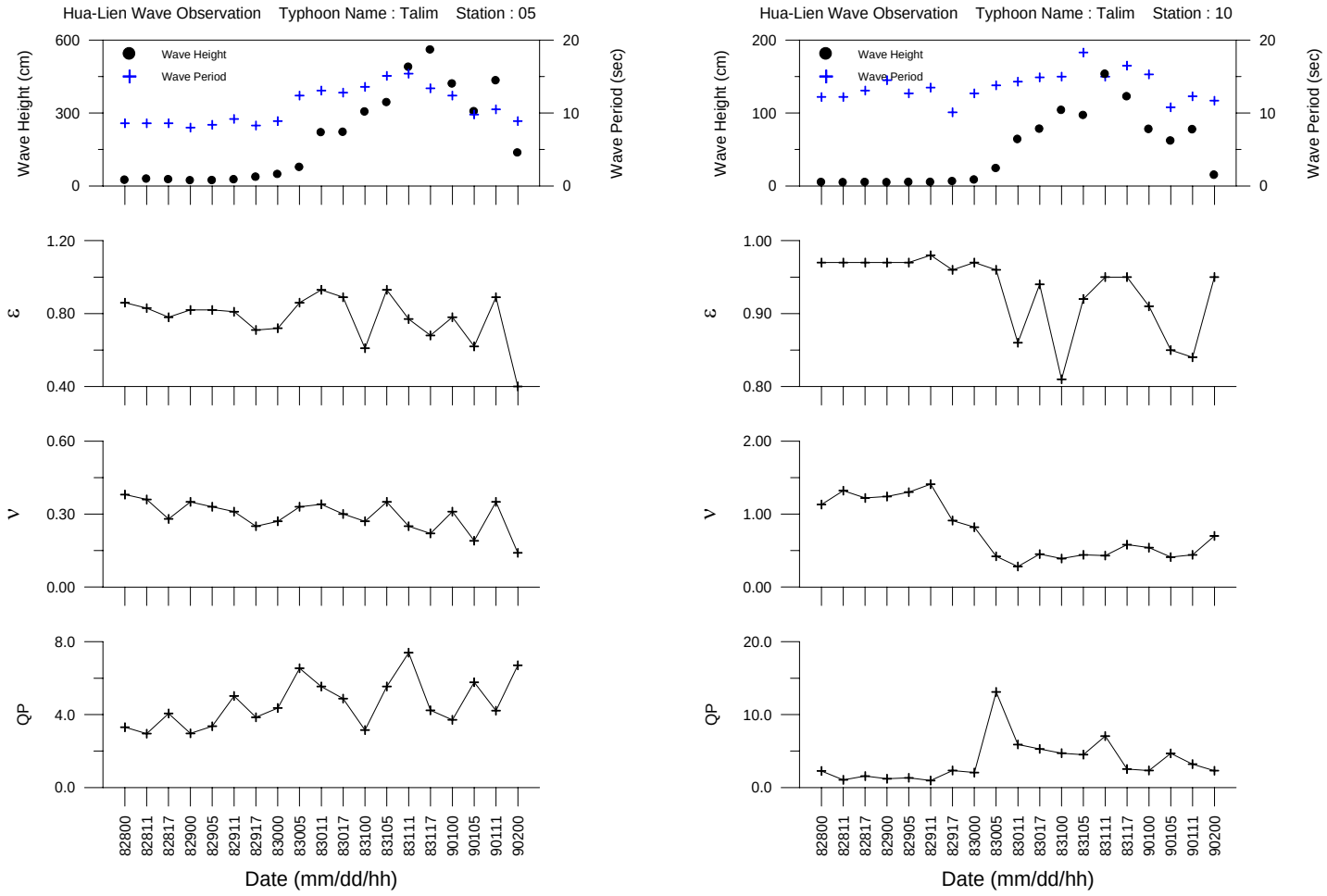

para16.grf

圖 4-5 珊瑚颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 16）



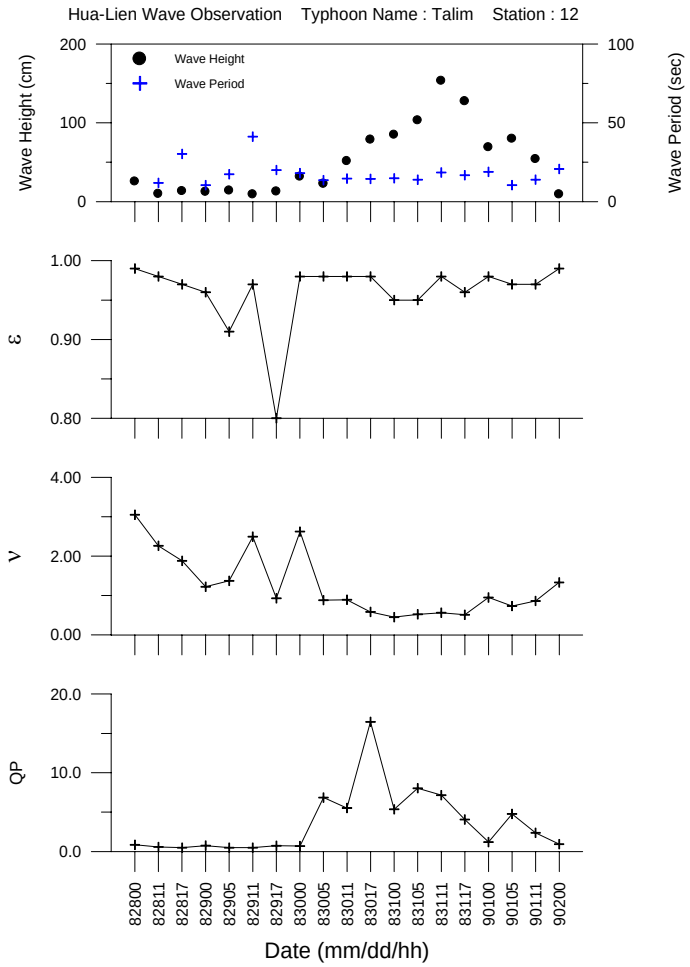

para17.grf para18.grf

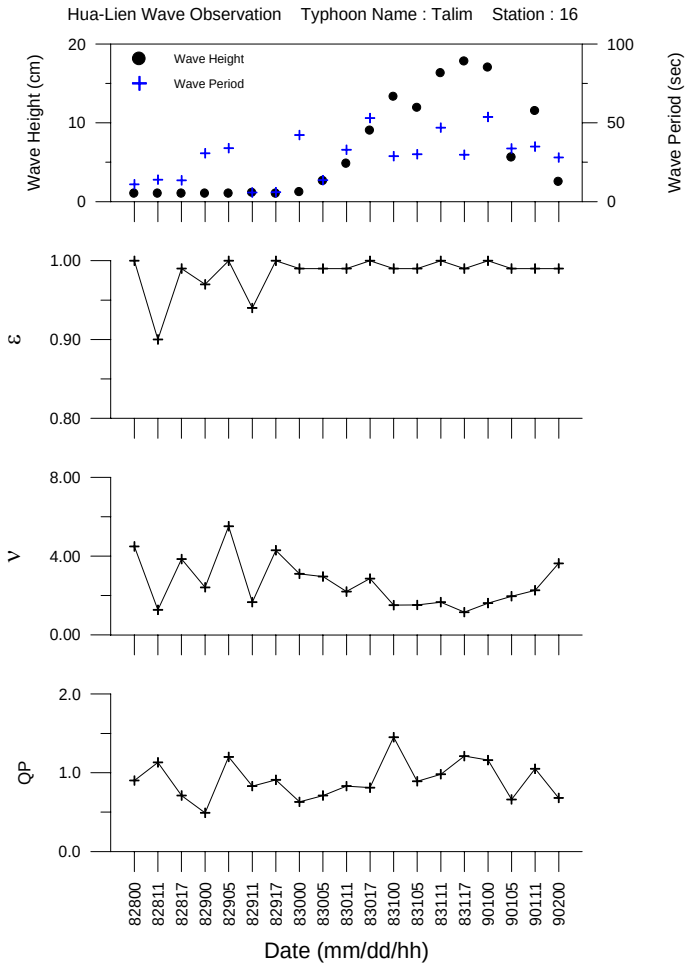
圖 4-6 珊瑚颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 17；右：測點 18）




para05.grf para10.grf

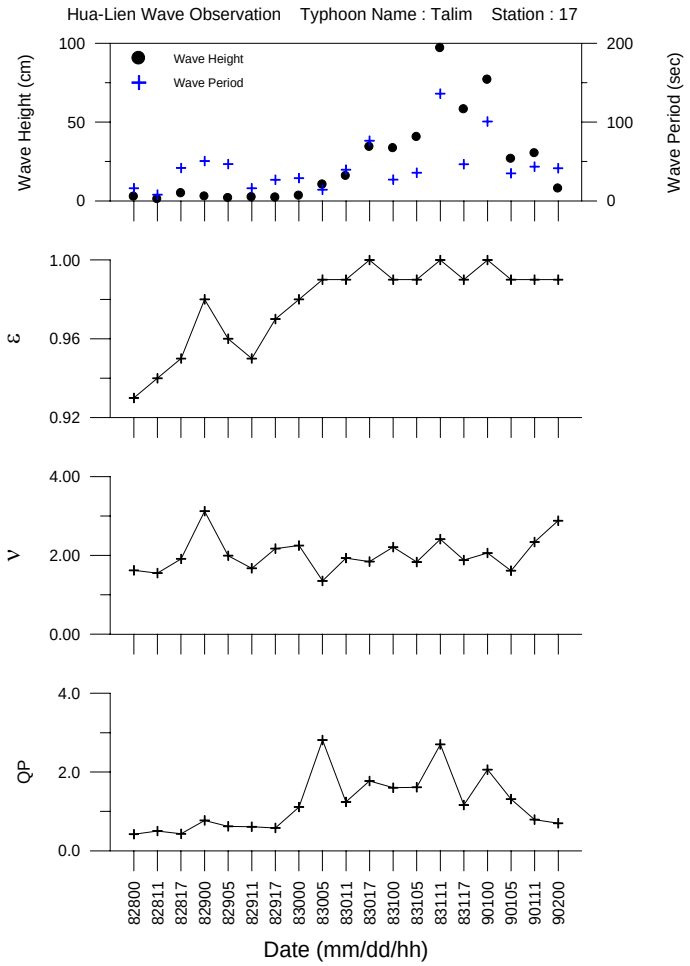
圖 4-7 泰利颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 05；右：測點 10）



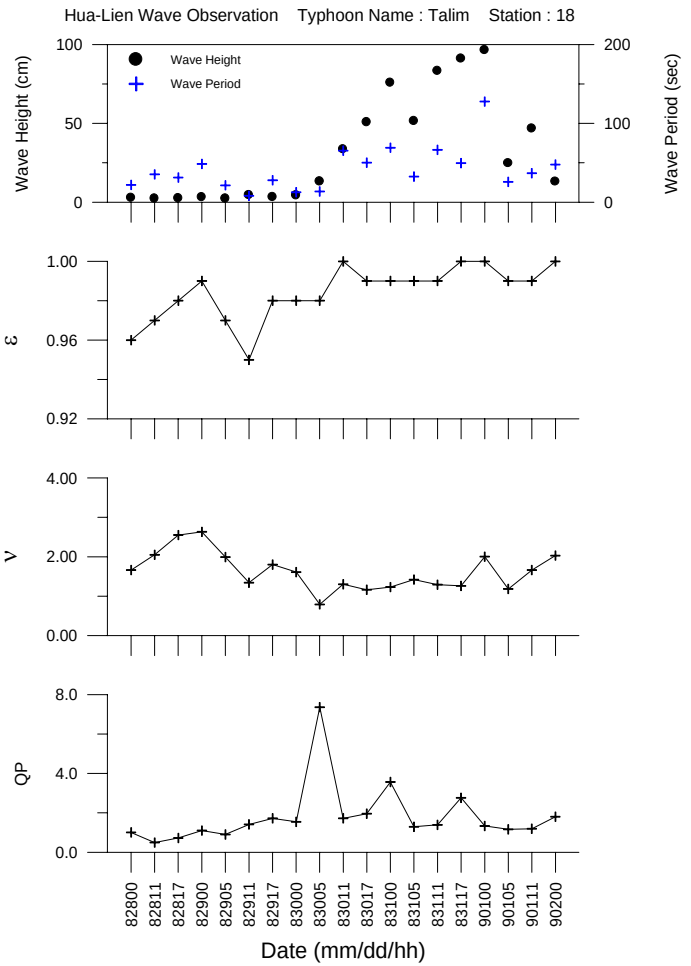




para12.grf para16.grf

圖 4-8 泰利颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 16）

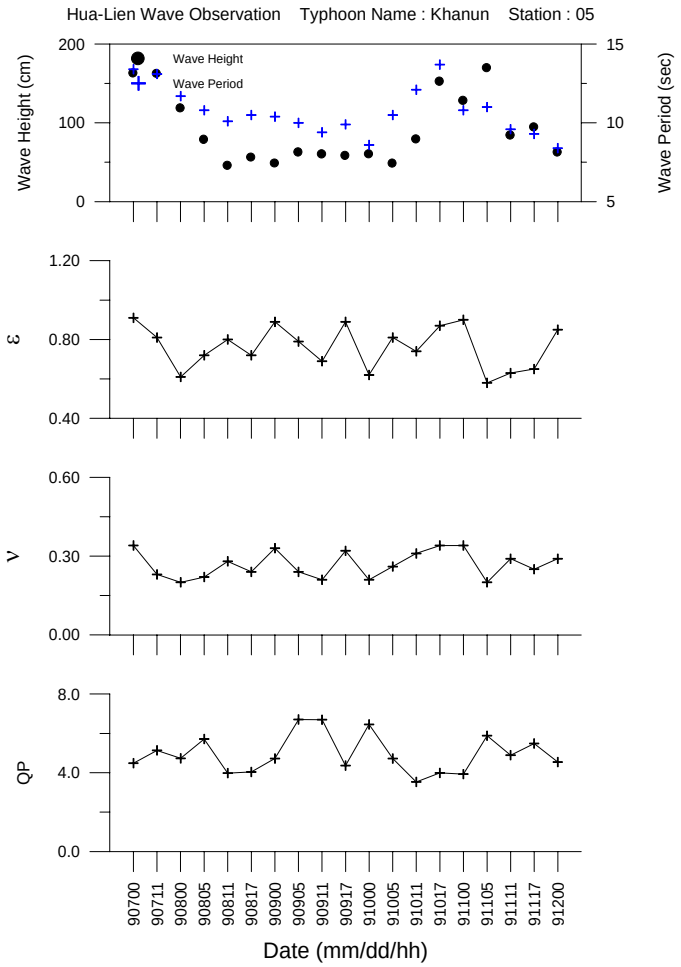



para17.grf

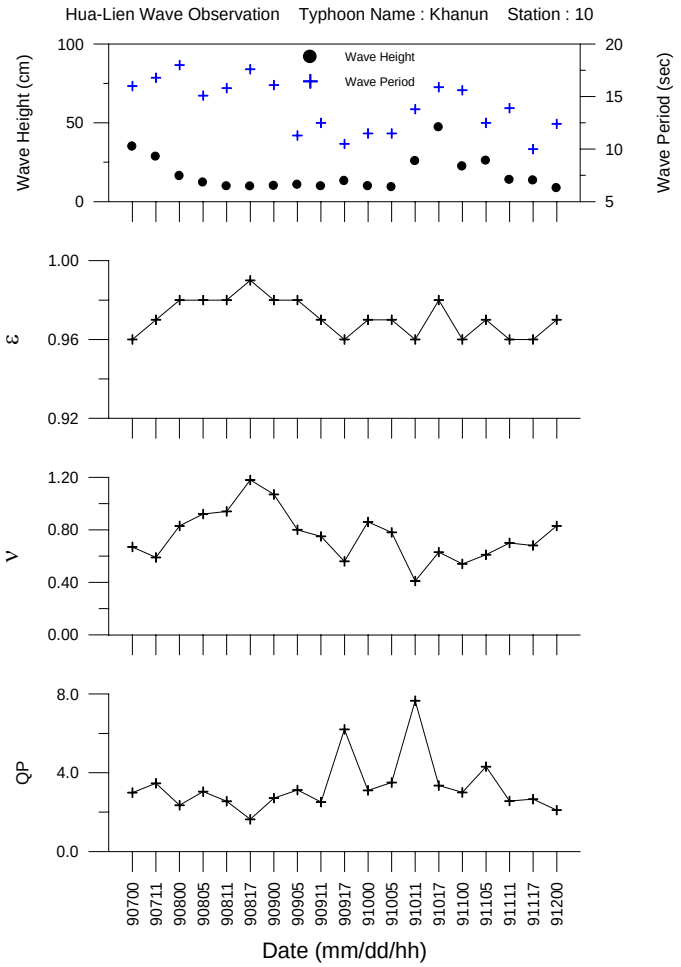



para18.grf

圖 4-9 泰利颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 17；右：測點 18）

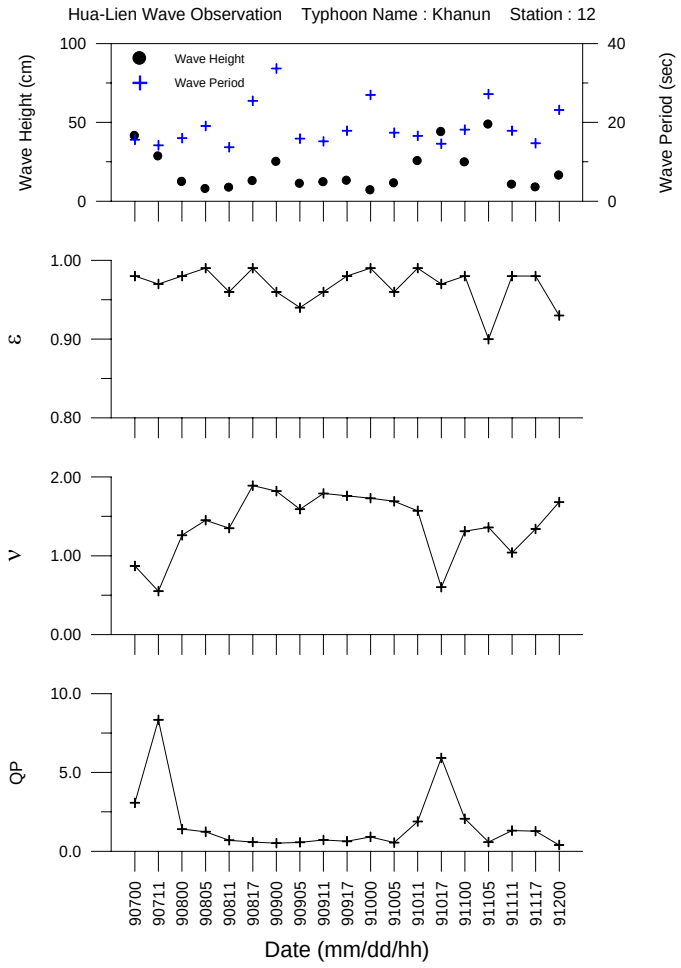



para05.grf

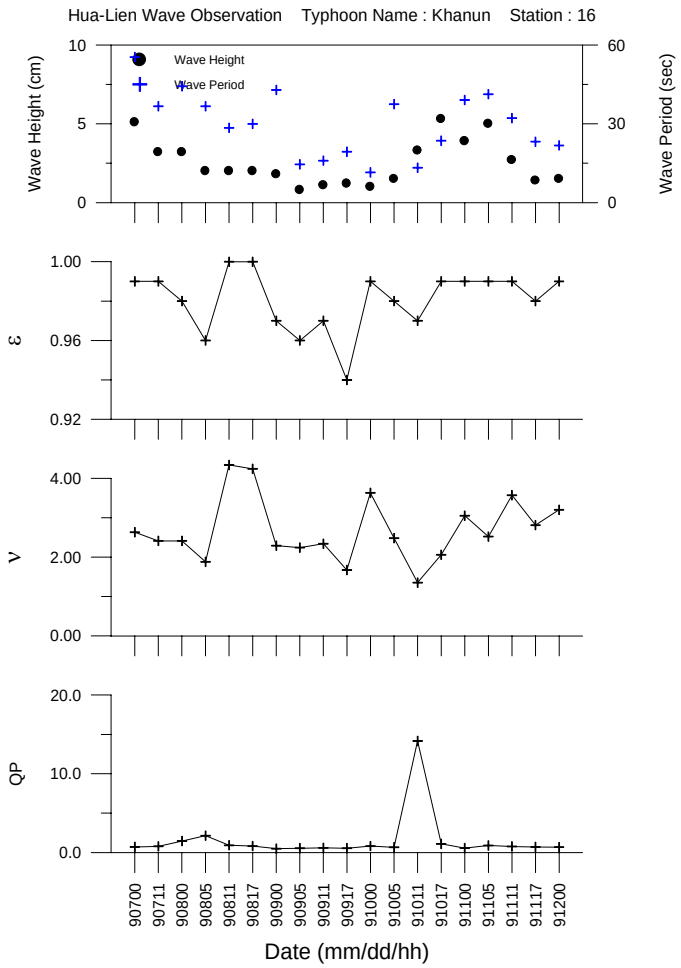



para10.grf

圖 4-10 卡努颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 05；右：測點 10）

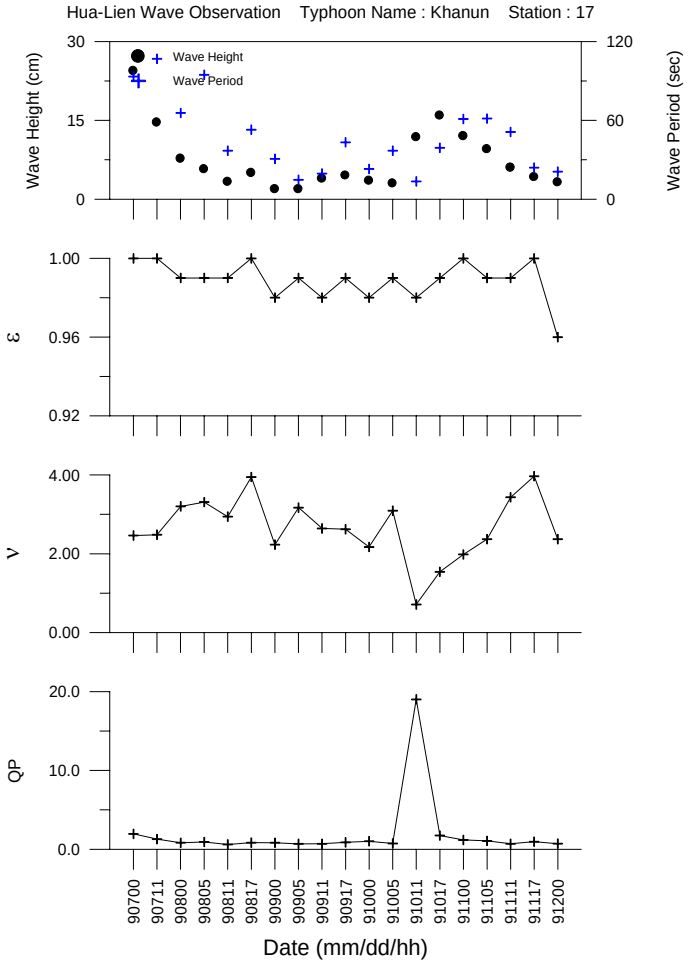



para12.grf

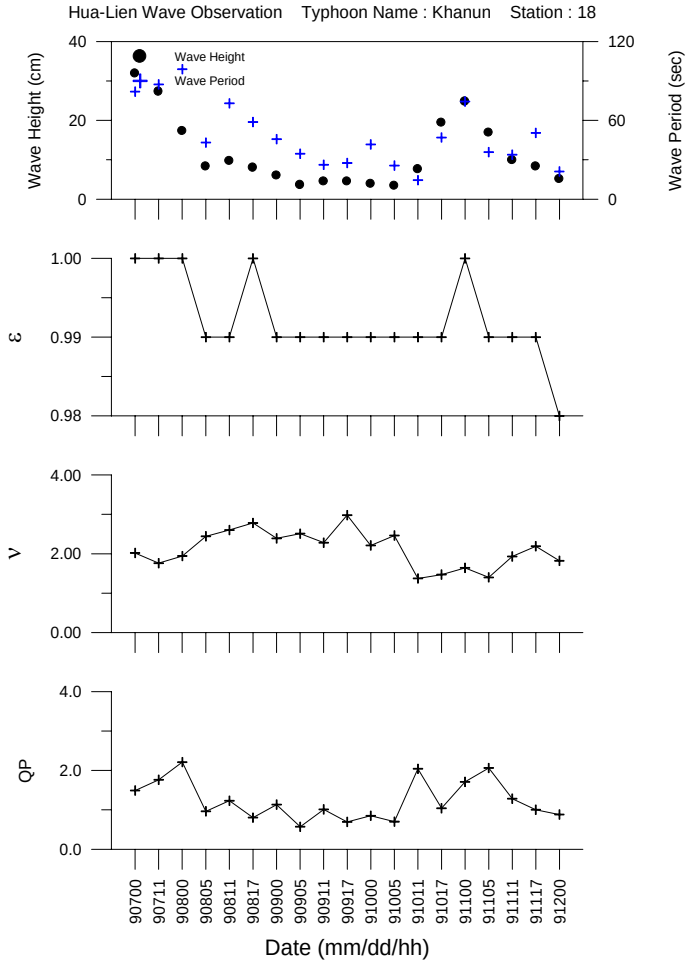



para16.grf

圖 4-11 卡努颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 16）

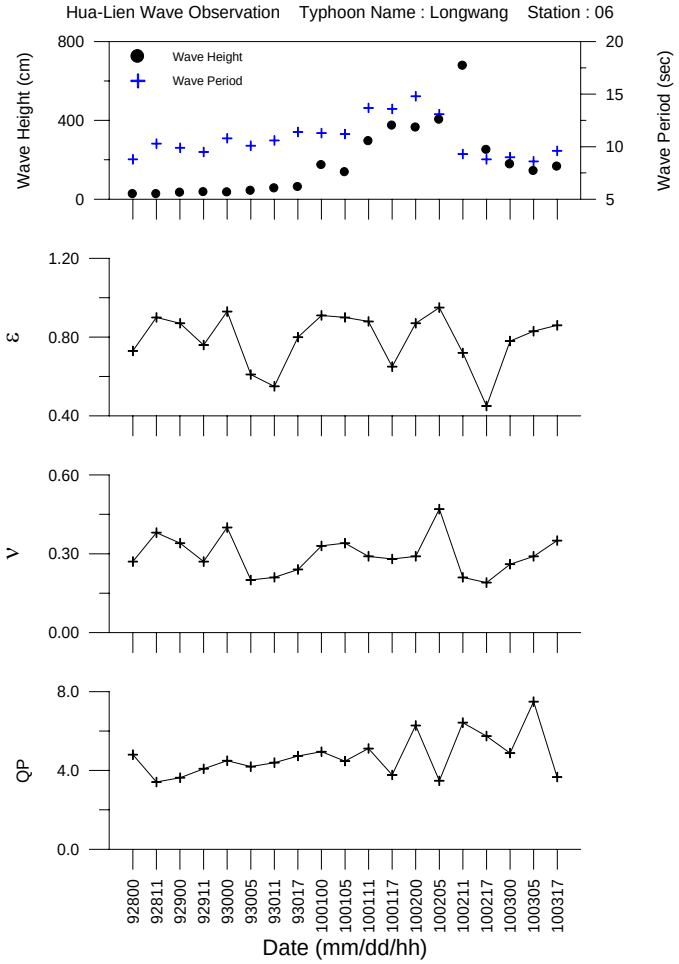


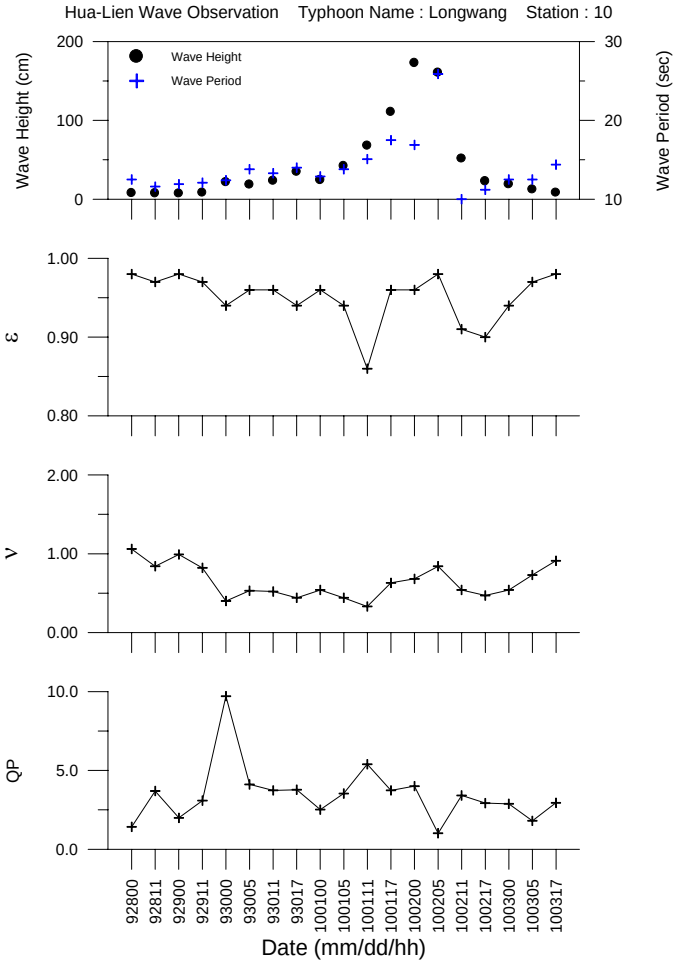

para17.grf




para18.grf

圖 4-12 卡努颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 17；右：測點 18）

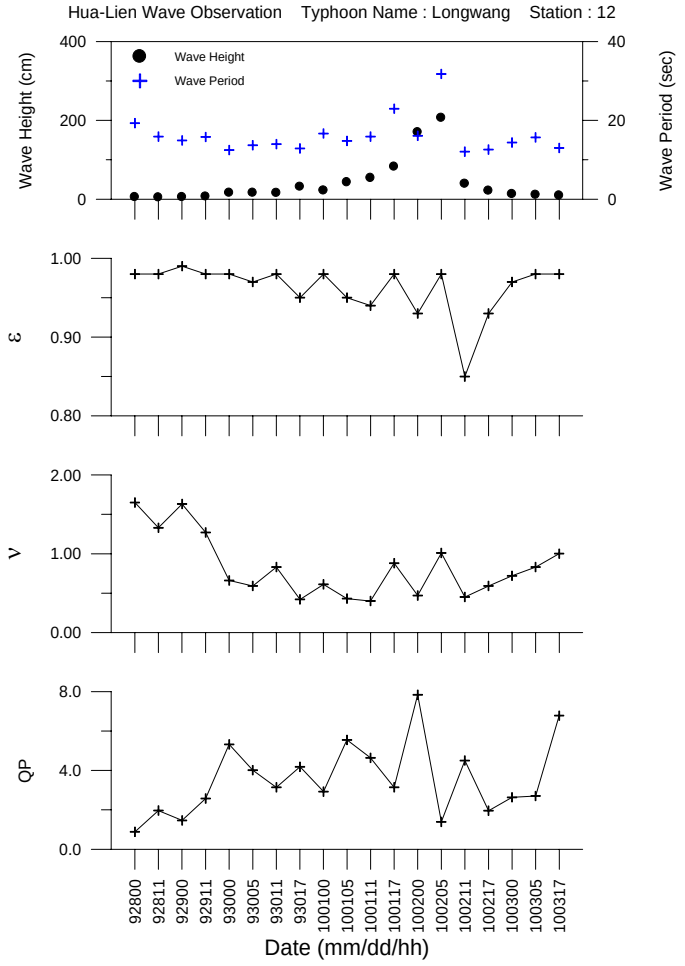


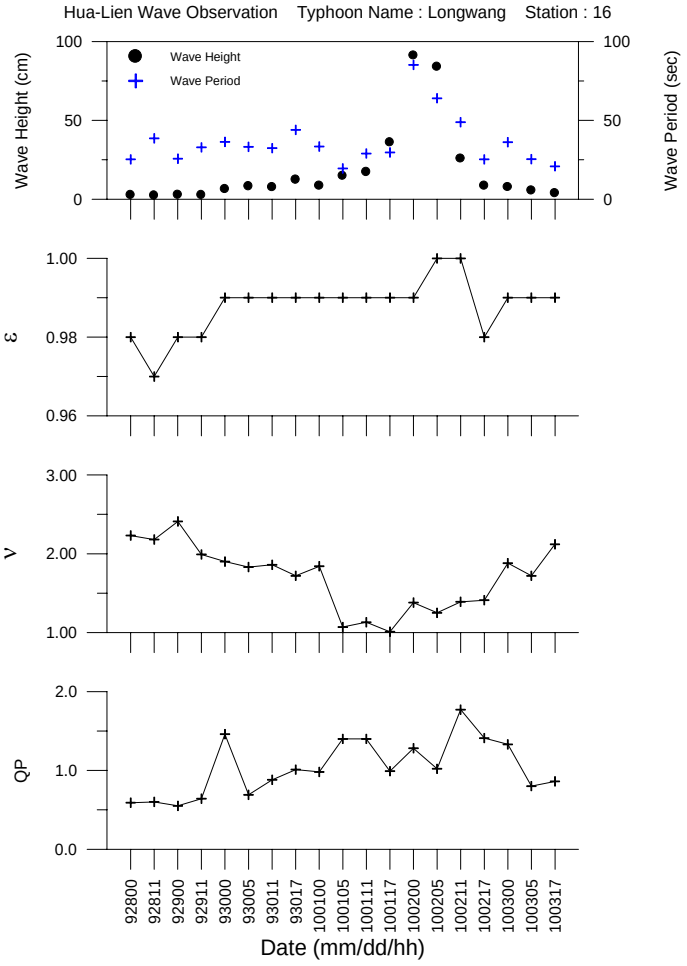

para06.grf

para10.grf

圖 4-13 龍王颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 06；右：測點 10）

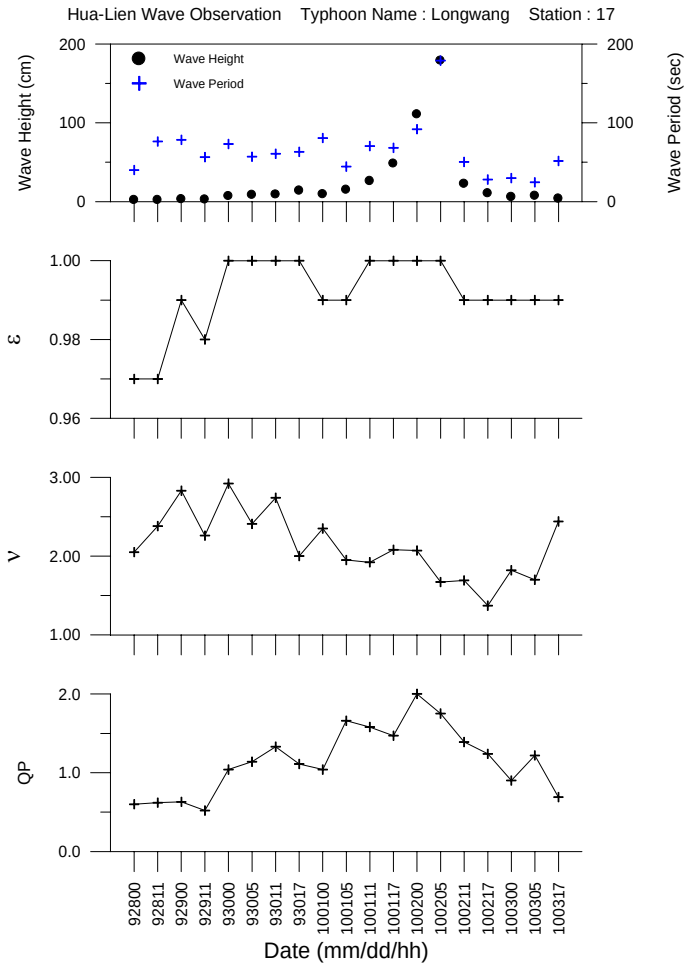


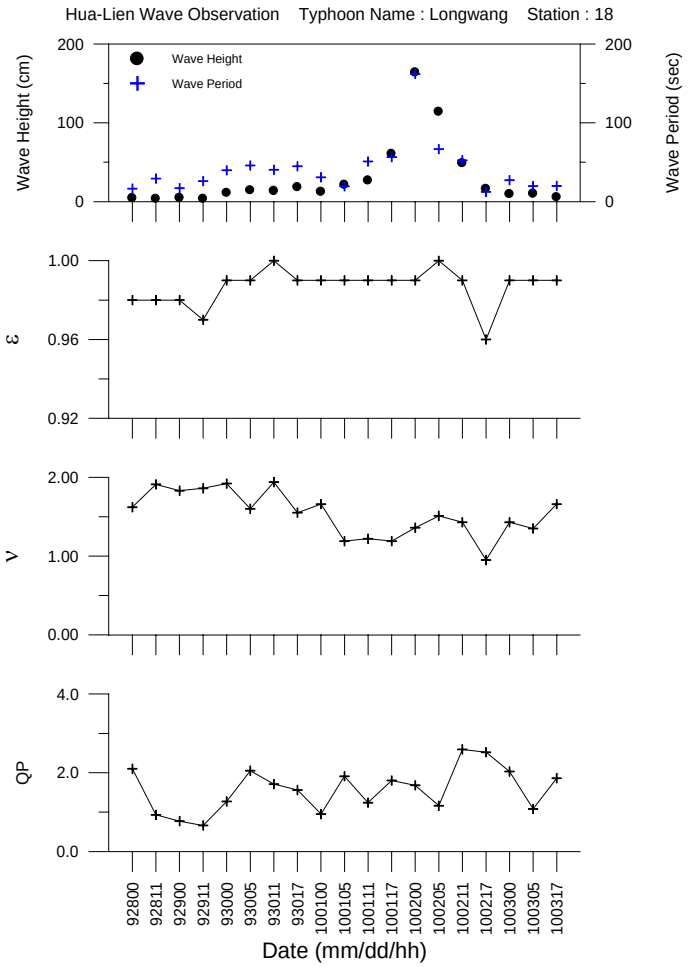

para12.grf




para16.grf

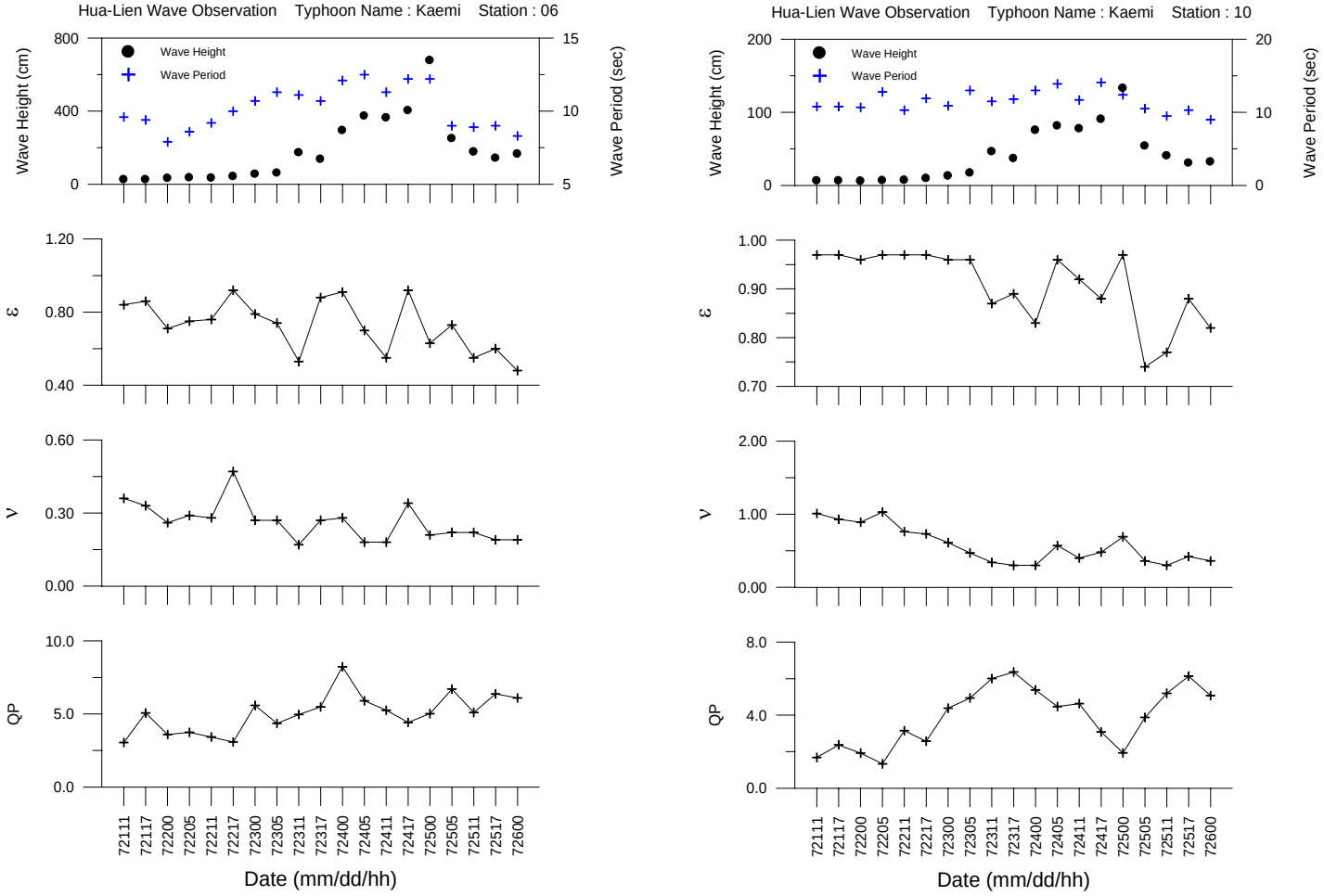
圖 4-14 龍王颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 16）



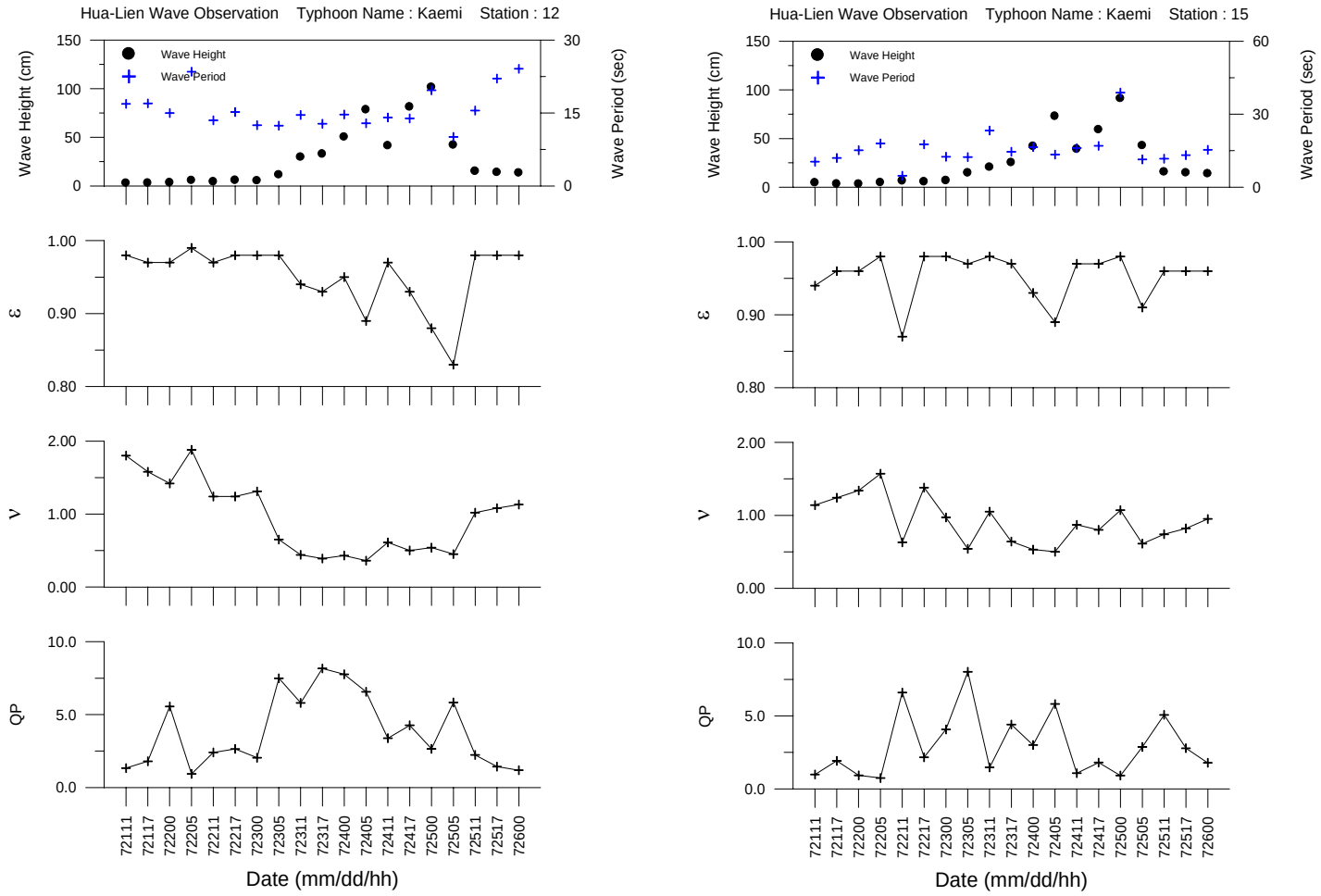

para17.grf para18.grf

圖 4-15 龍王颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 17；右：測點 18）




para06.grf para10.grf

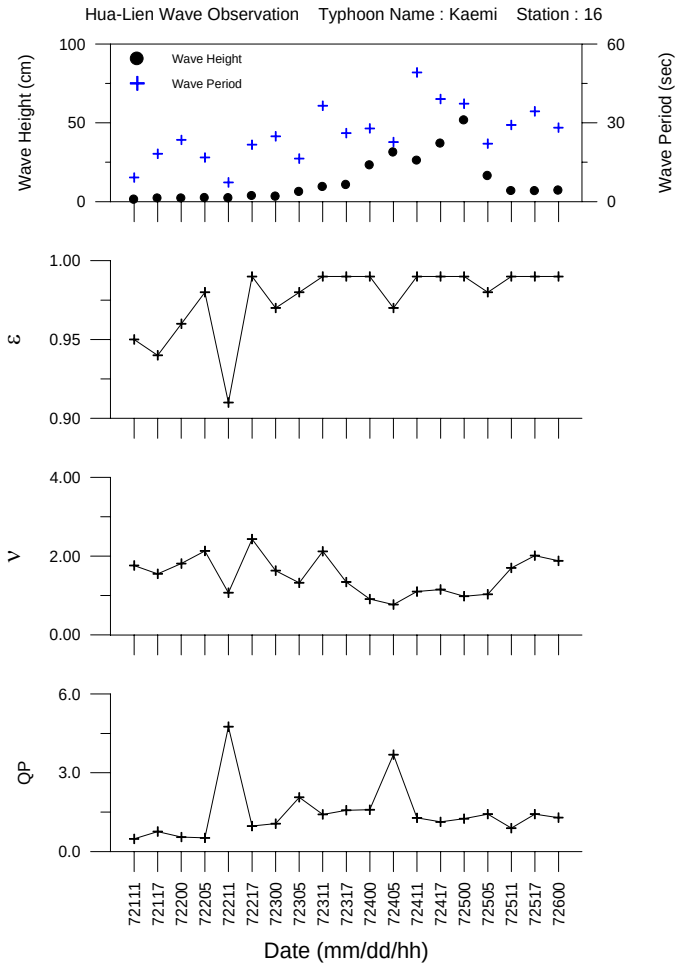
圖 4-16 凱米颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 06；右：測點 10）



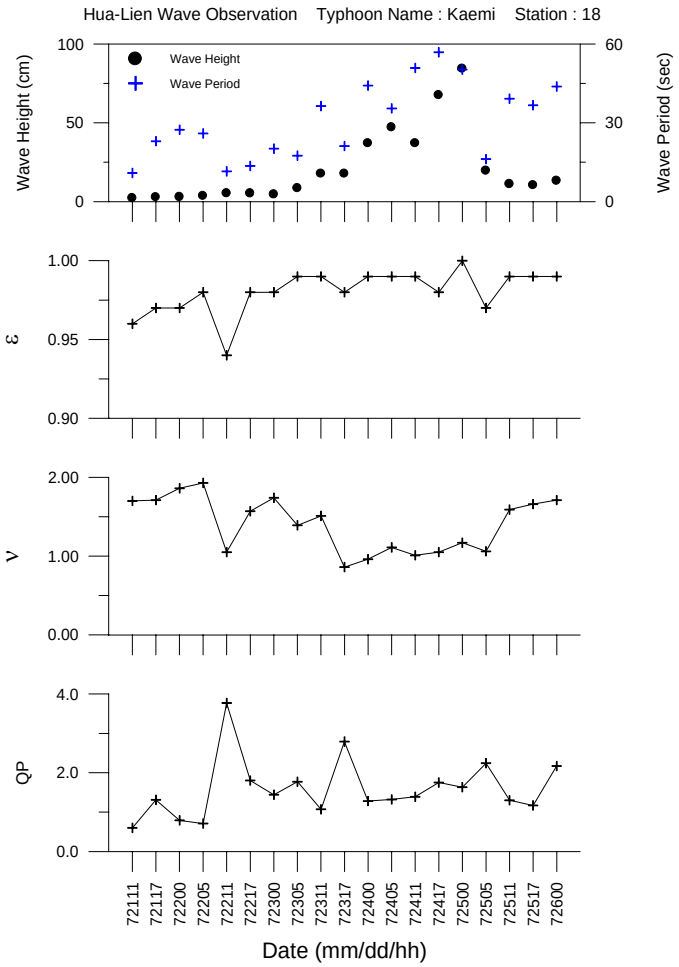

para12.grf

para15.grf

圖 4-17 凱米颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 15）

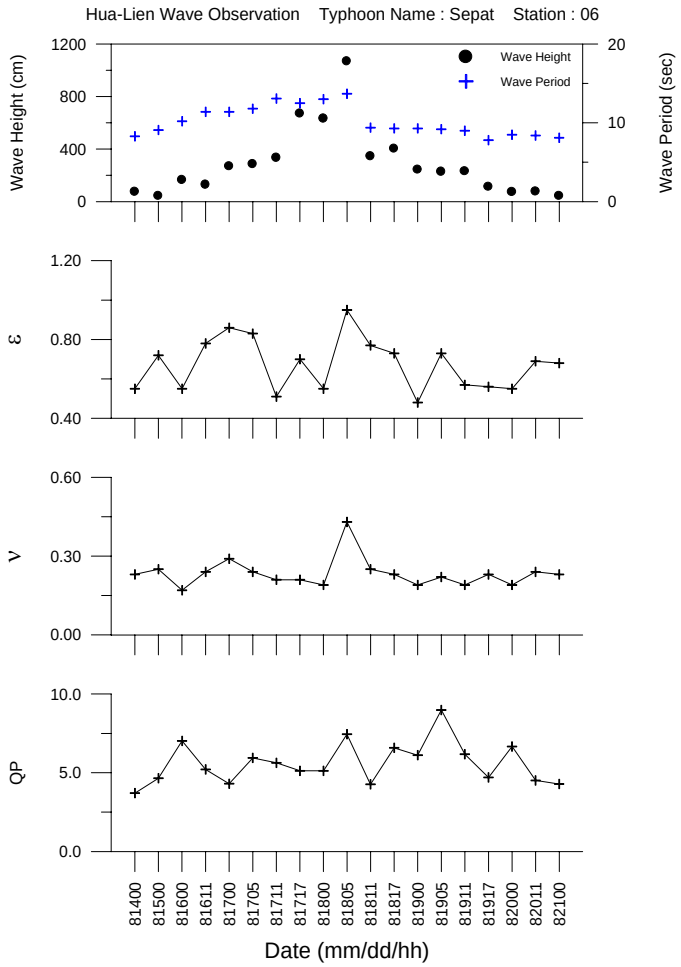



para16.grf

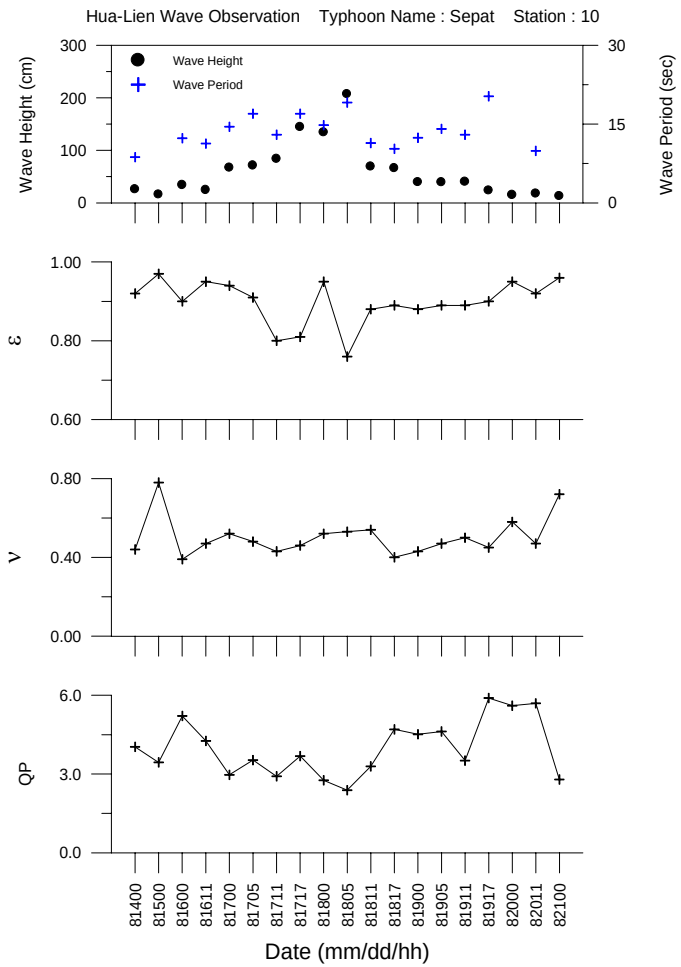



para18.grf

圖 4-18 凱米颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 16；右：測點 18）

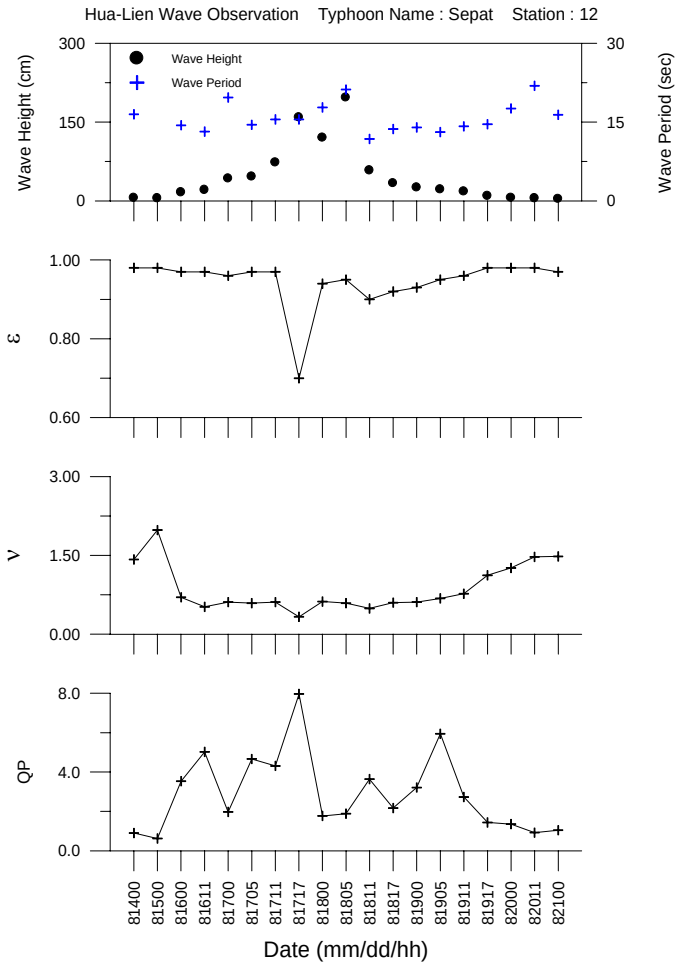



para06.grf

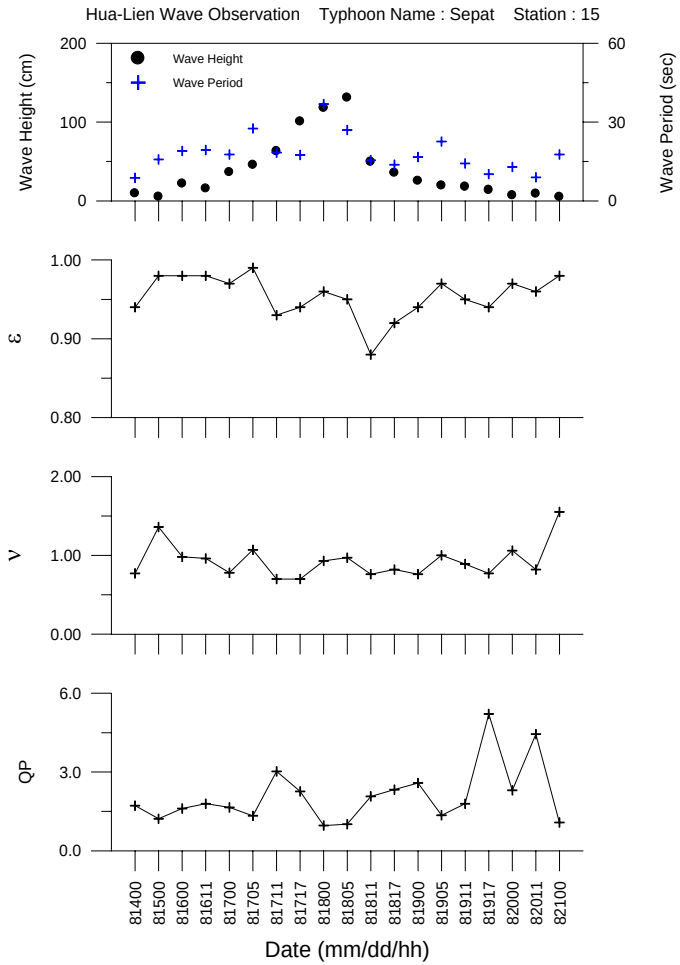



para10.grf

圖 4-19 聖帕颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 06；右：測點 10）

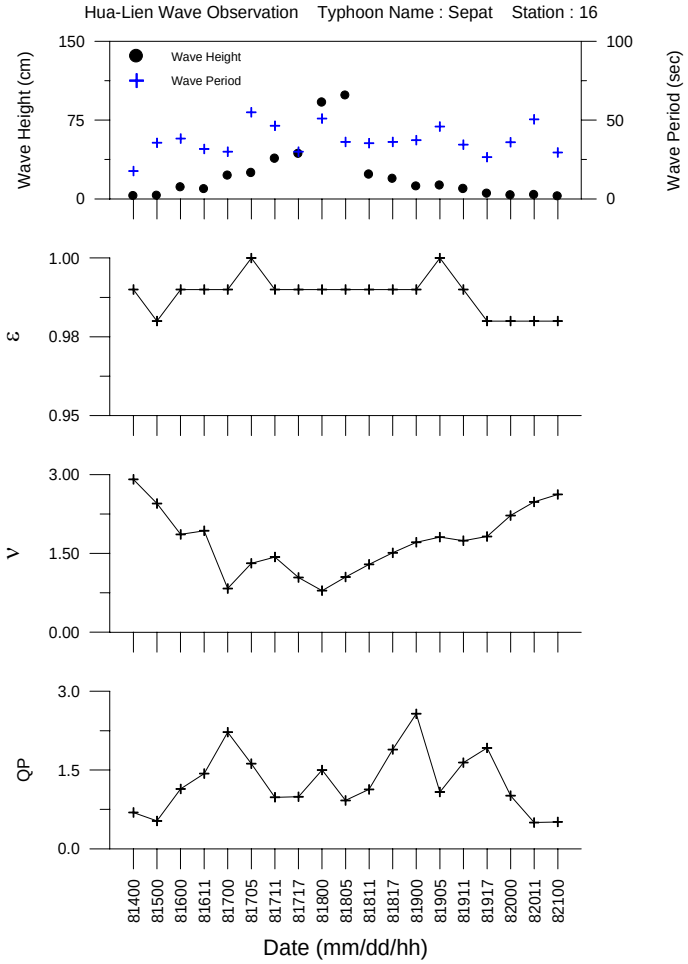



para12.grf

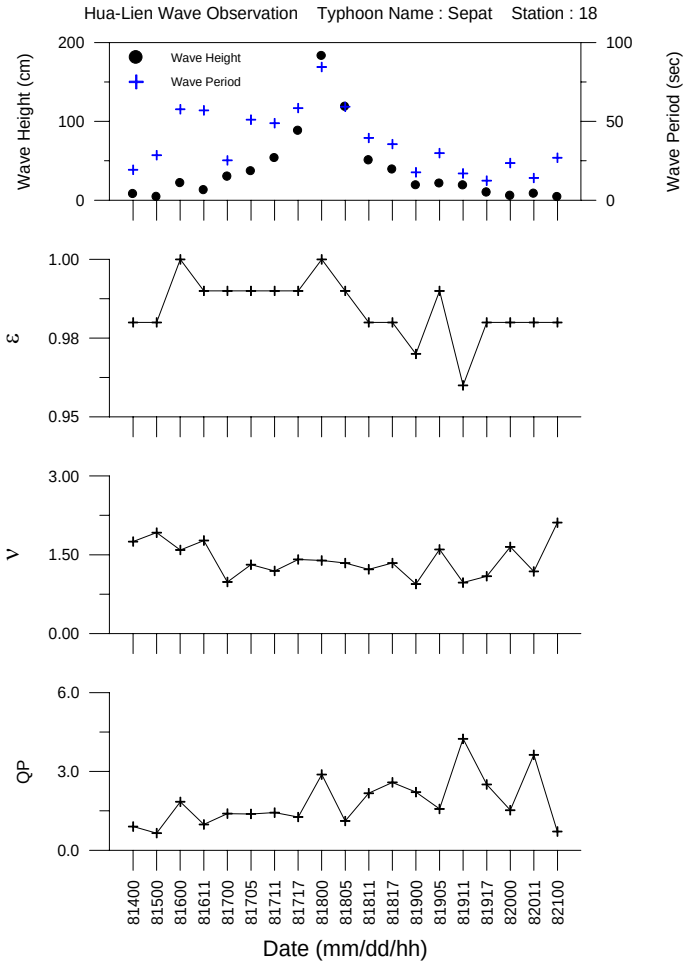



para15.grf

圖 4-20 聖帕颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 15）

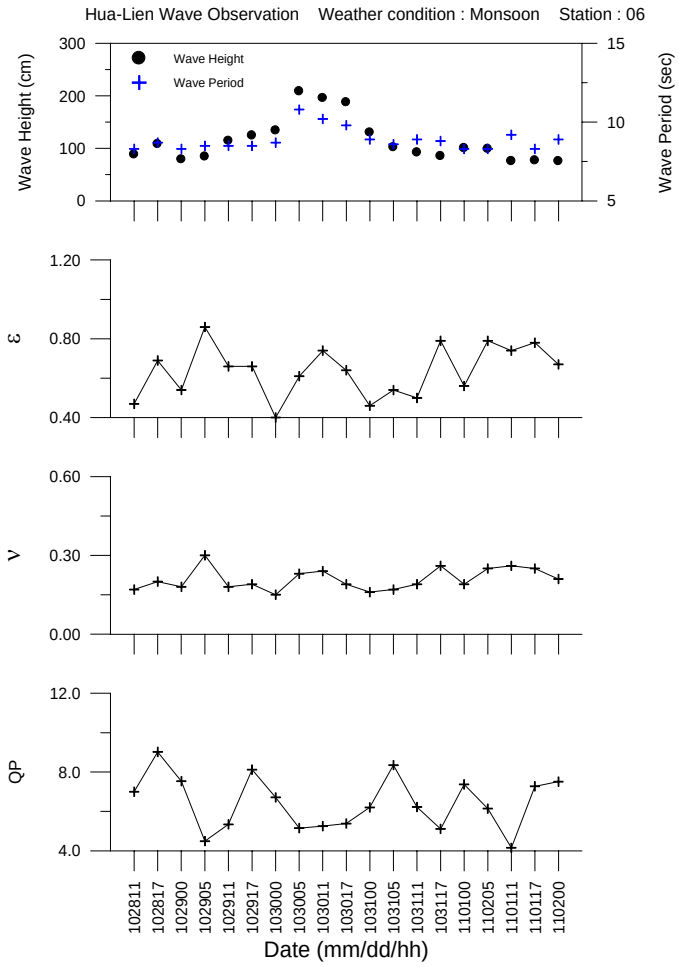


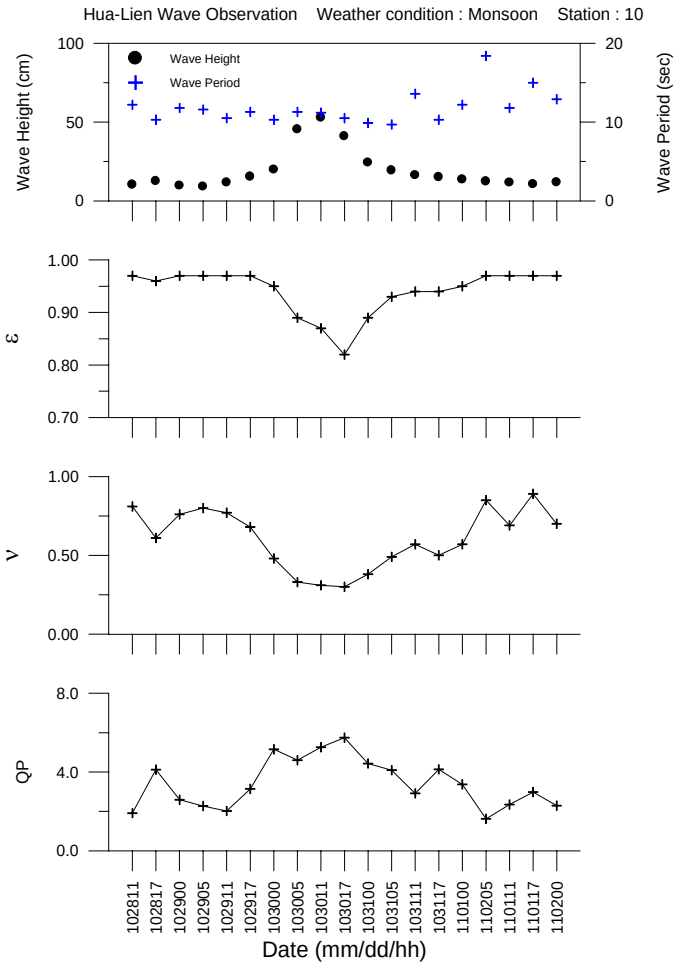

para16.grf




para18.grf

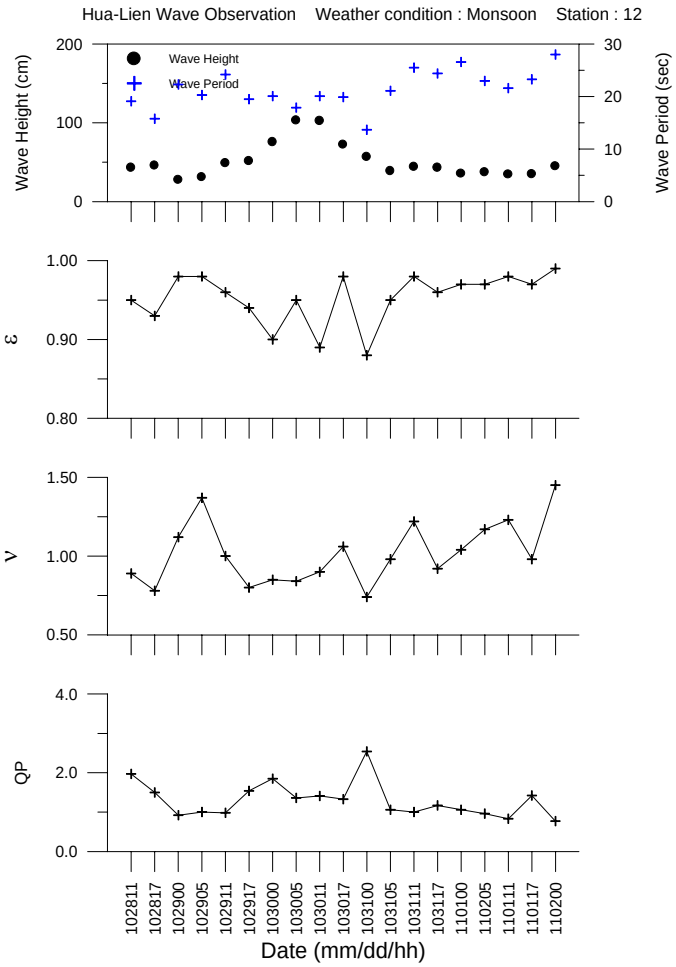
圖 4-21 聖帕颱風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 16；右：測點 18）



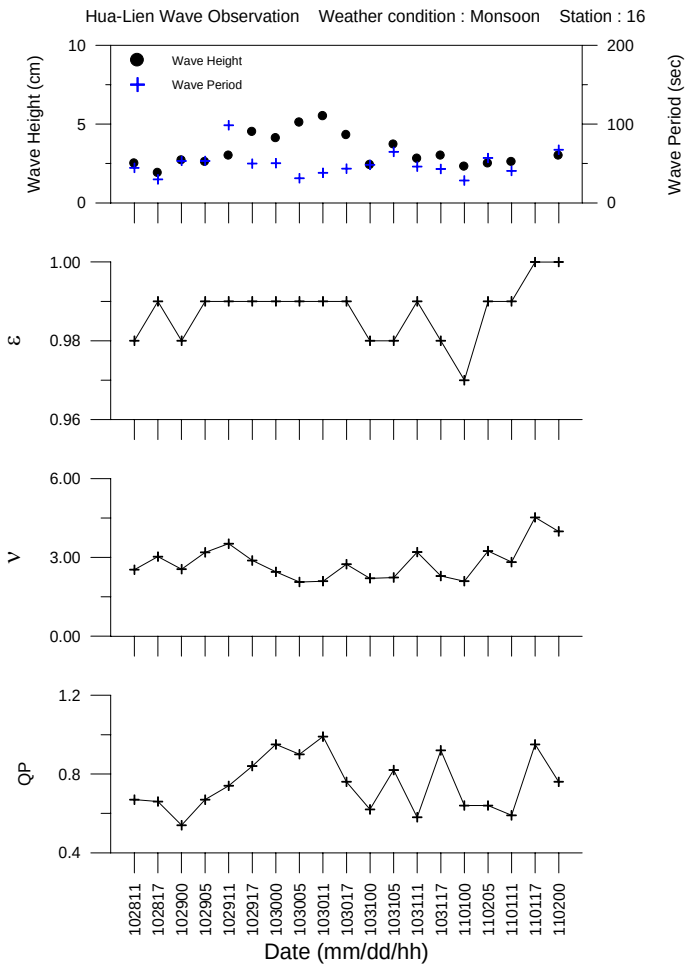




para06.grf para10.grf

圖 4-22 東北季風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 06；右：測點 10）

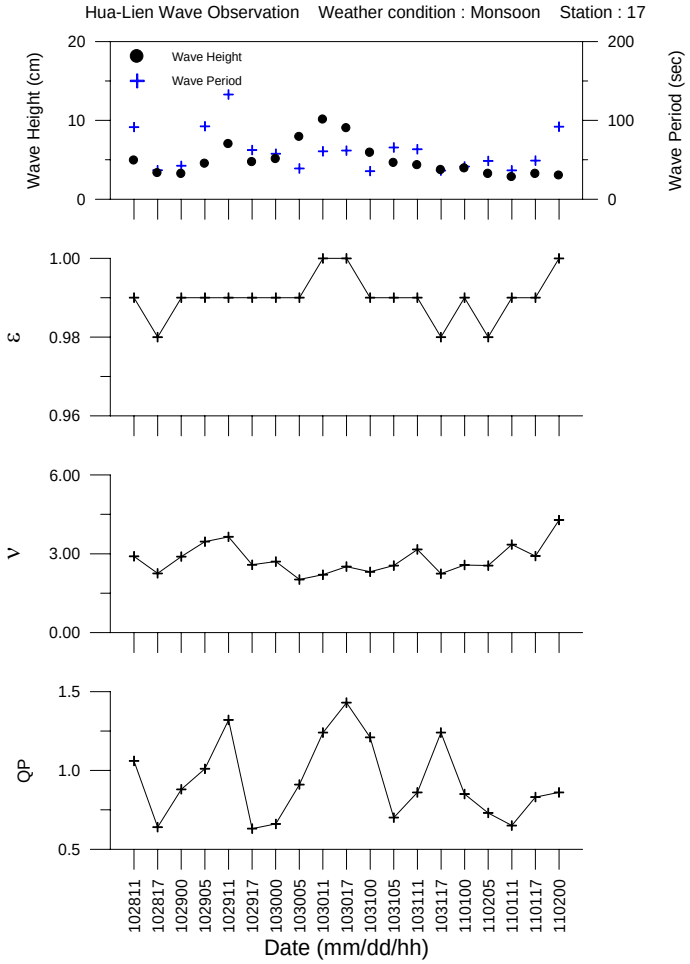



para12.grf

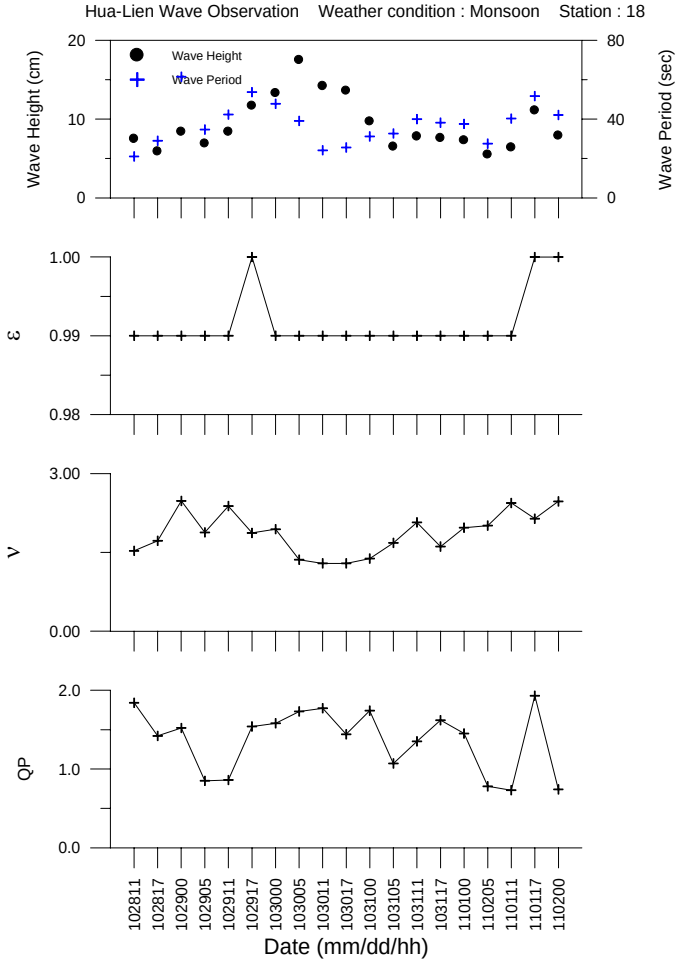



para16.grf

圖 4-23 東北季風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 12；右：測點 16）




para17.grf




para18.grf

圖 4-24 東北季風波浪波譜形狀參數變化（左：測點 17；右：測點 18）

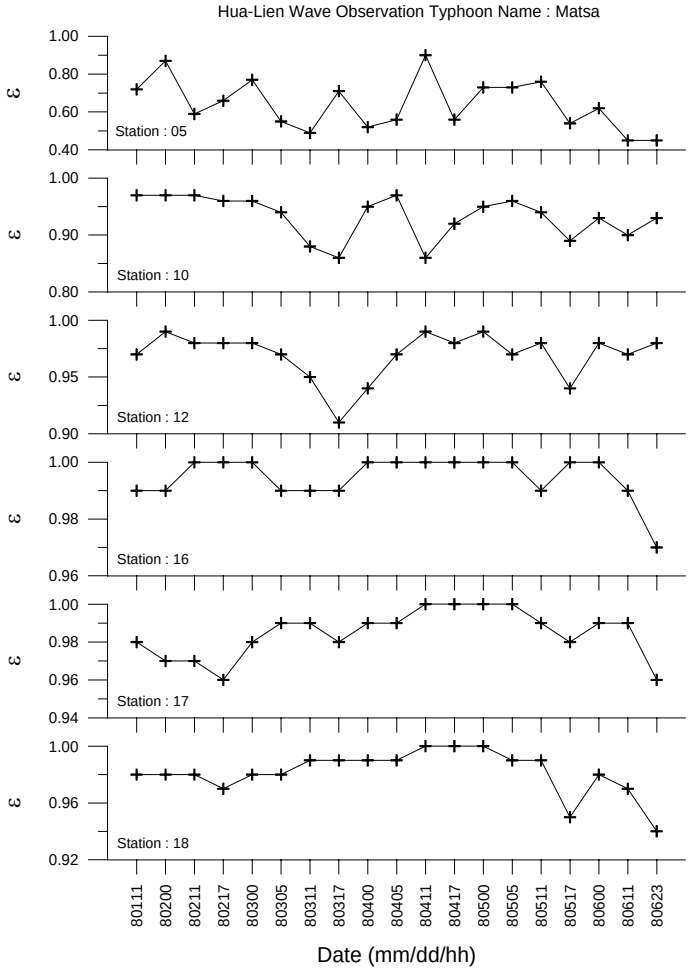



圖 4-25 馬莎颱風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較

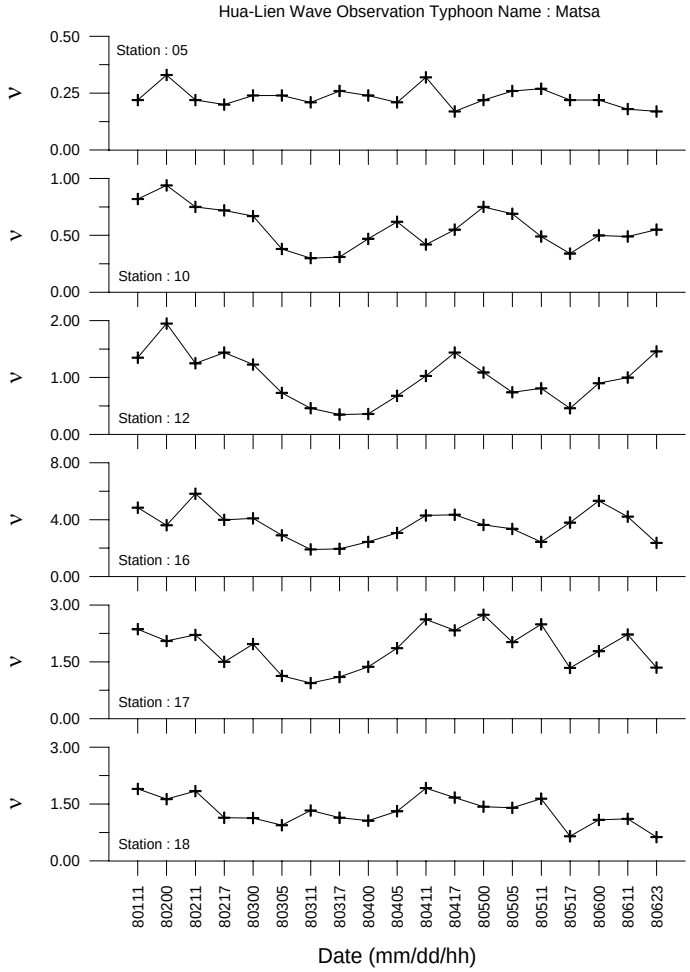



圖 4-26 馬莎颱風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

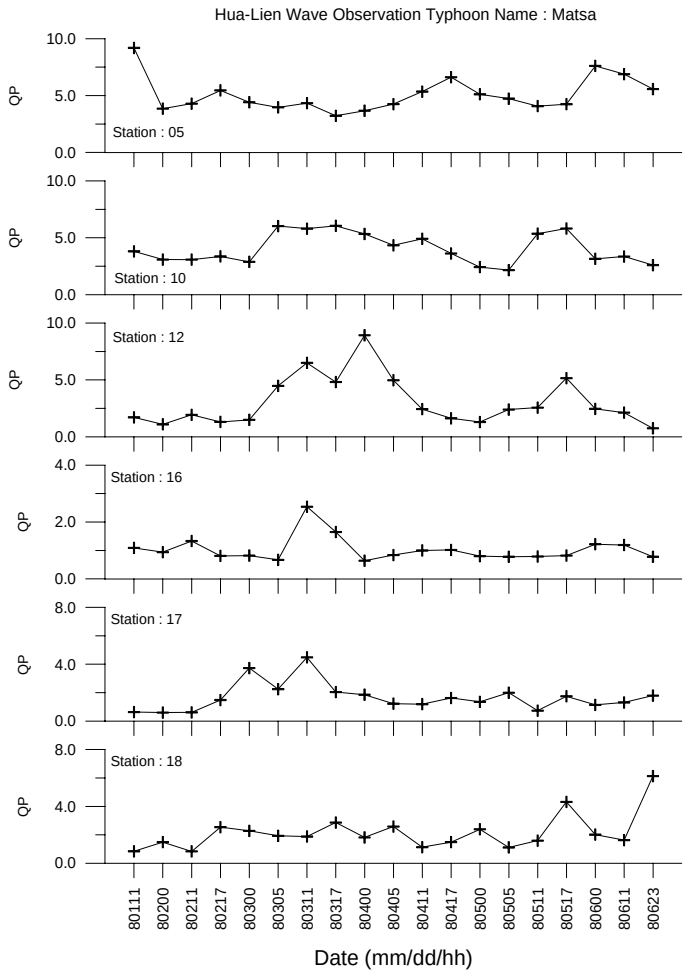



圖 4-27 馬莎颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較

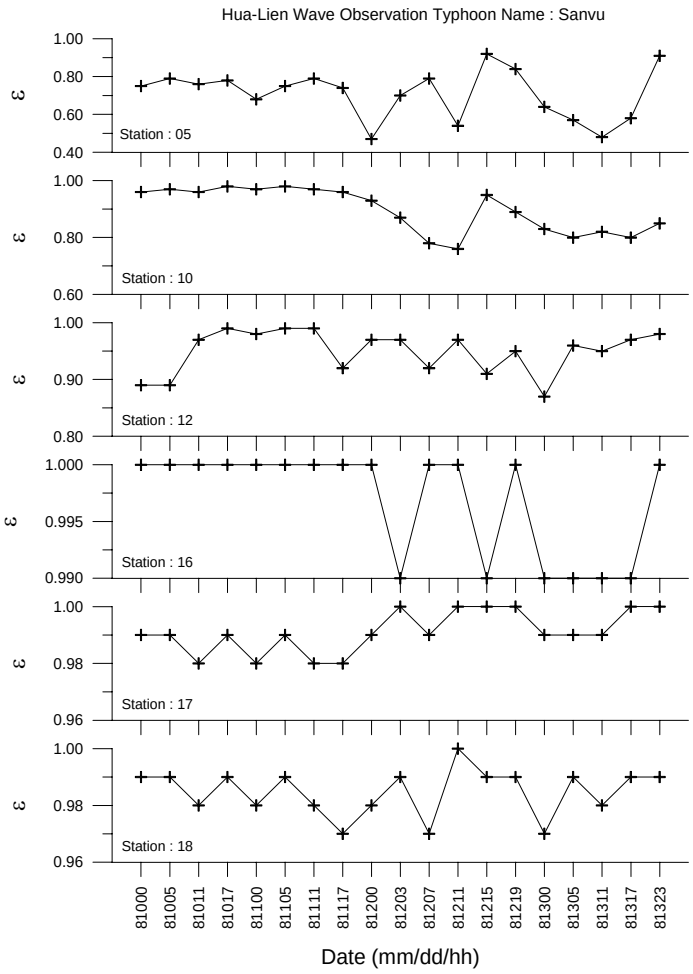



圖 4-28 珊瑚颱風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較

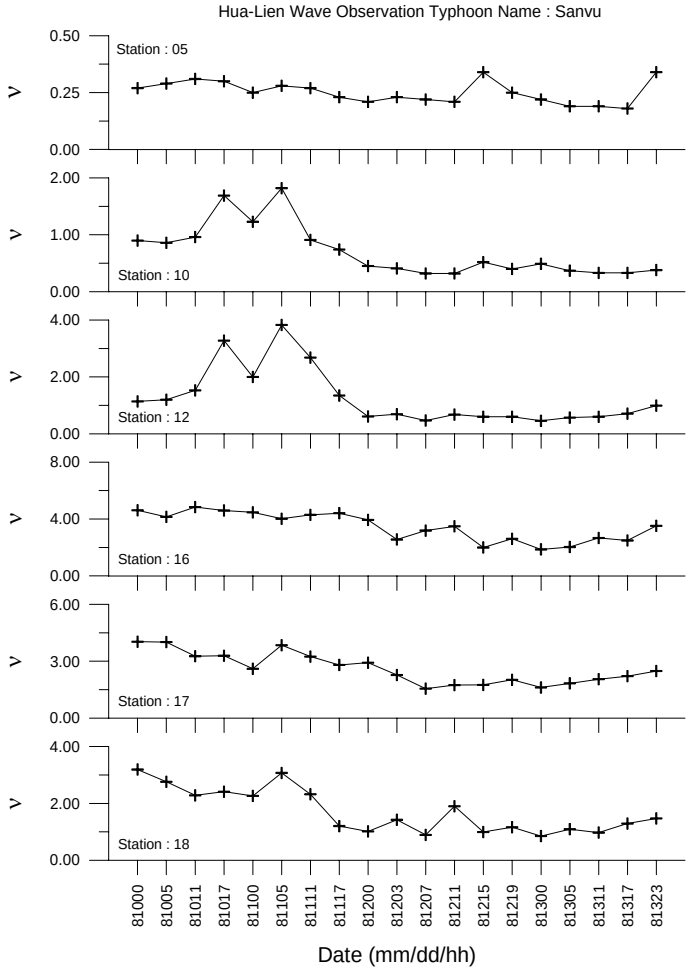



圖 4-29 珊瑚颱風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

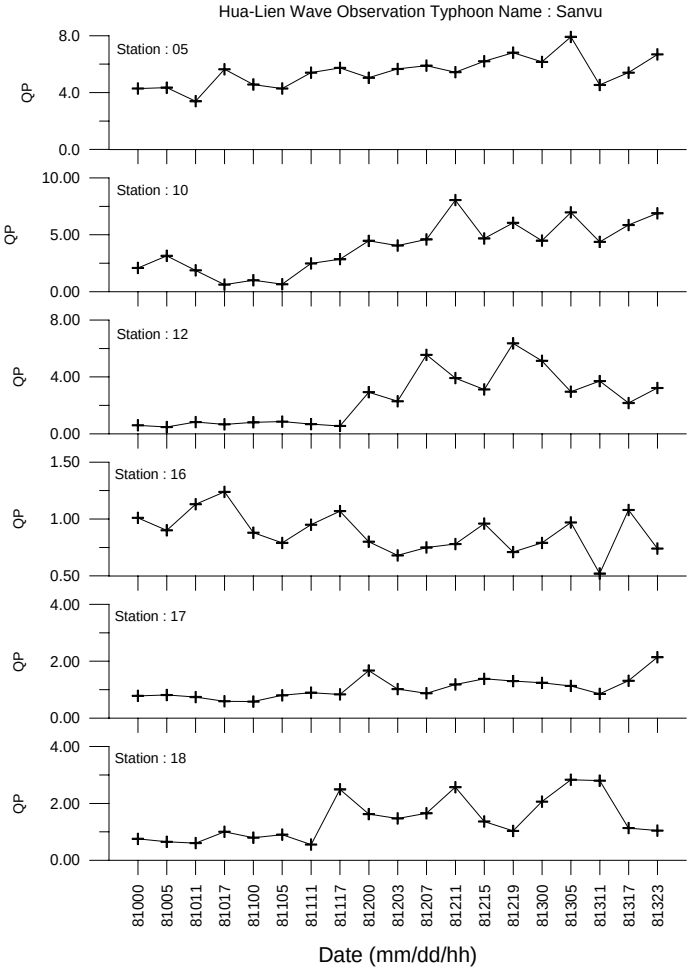



圖 4-30 珊瑚颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較

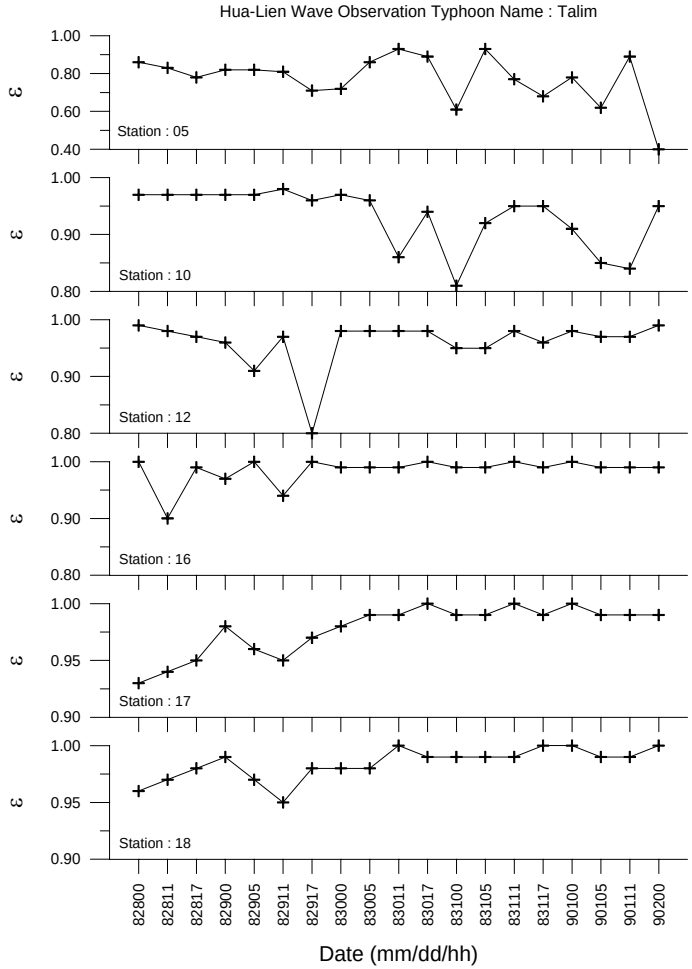



圖 4-31 泰利颱風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較

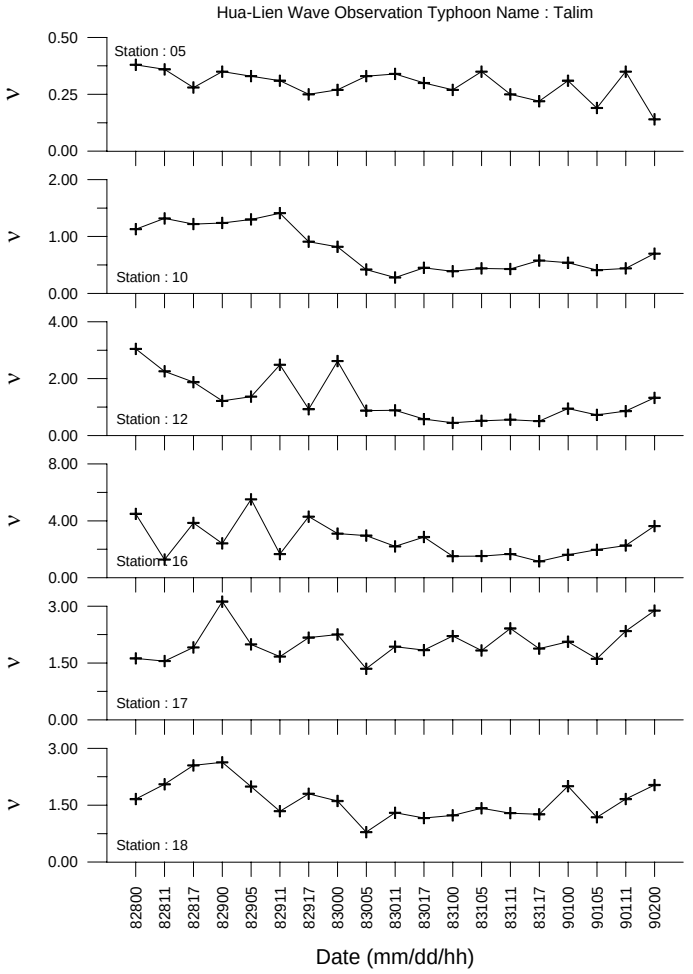



圖 4-32 泰利颱風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

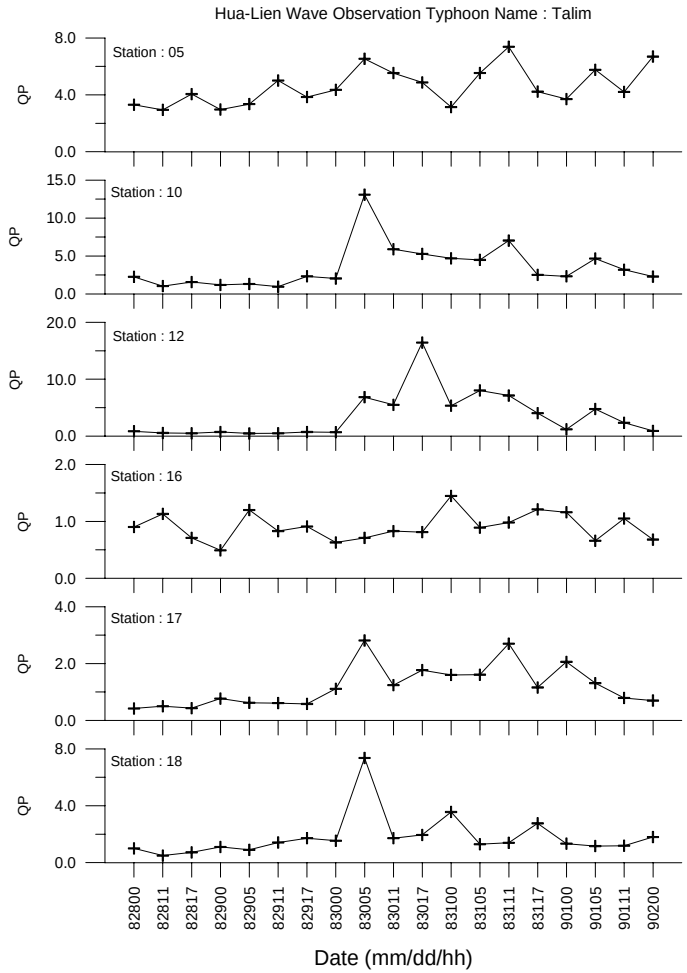



圖 4-33 泰利颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較

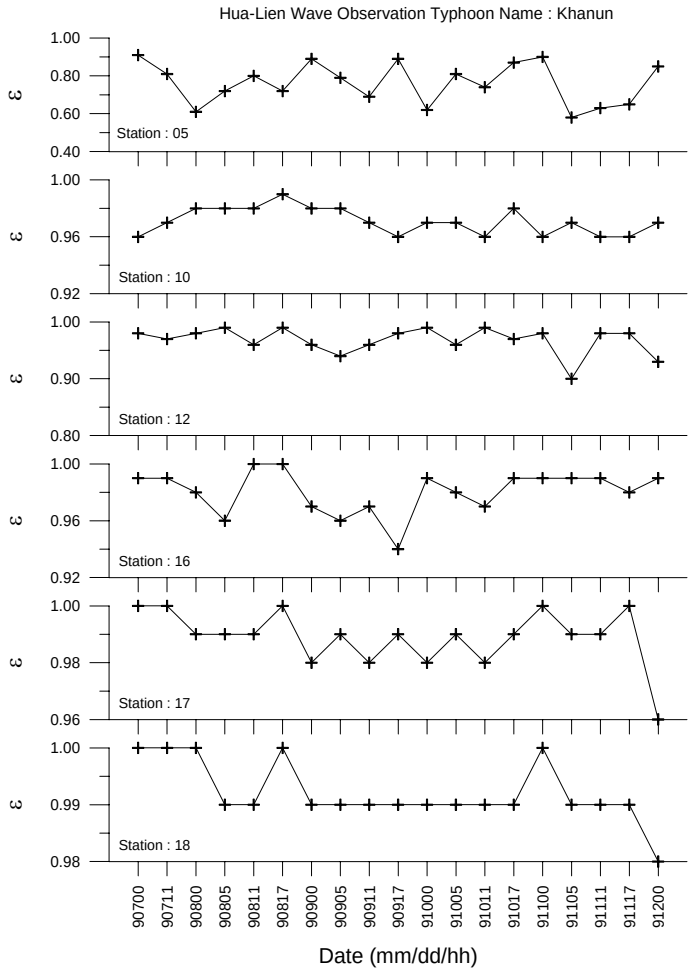



圖 4-34 卡努颱風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較

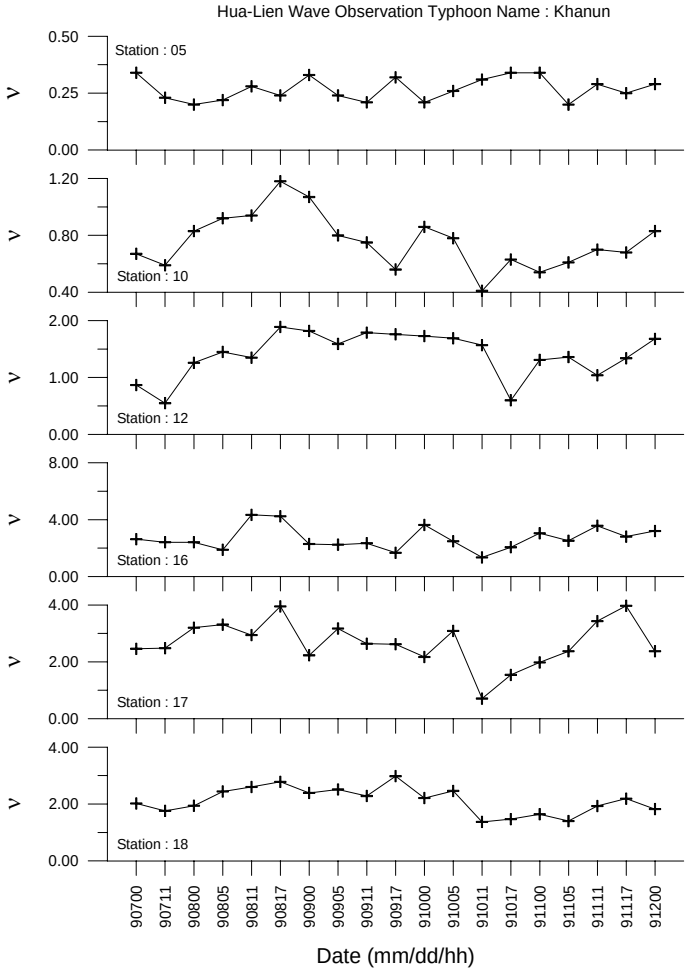



圖 4-35 卡努颱風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

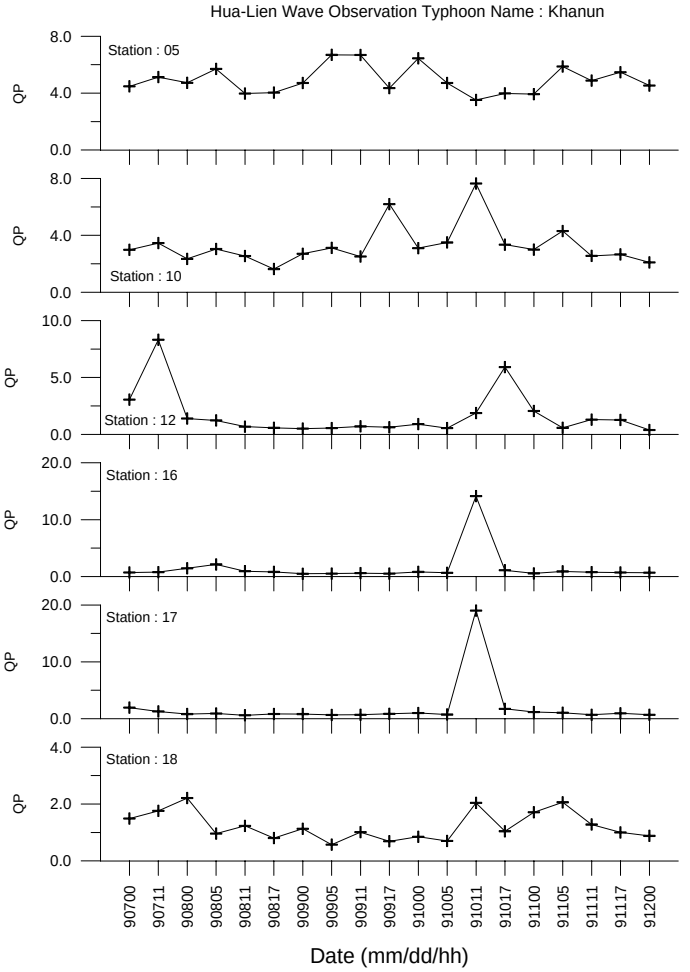



圖 4-36 卡努颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較

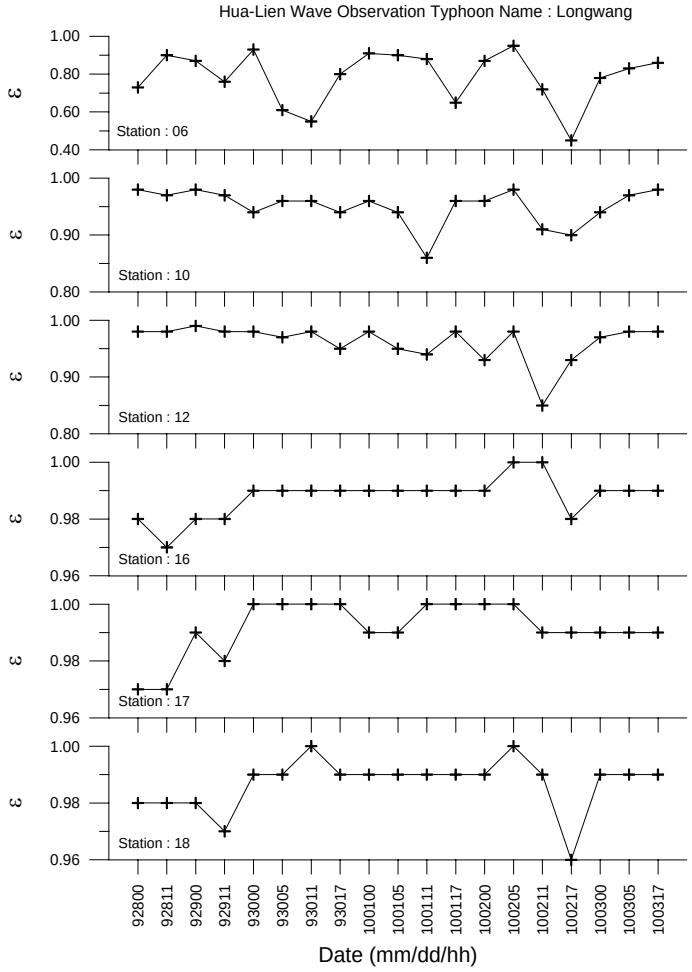



圖 4-37 龍王颱風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較

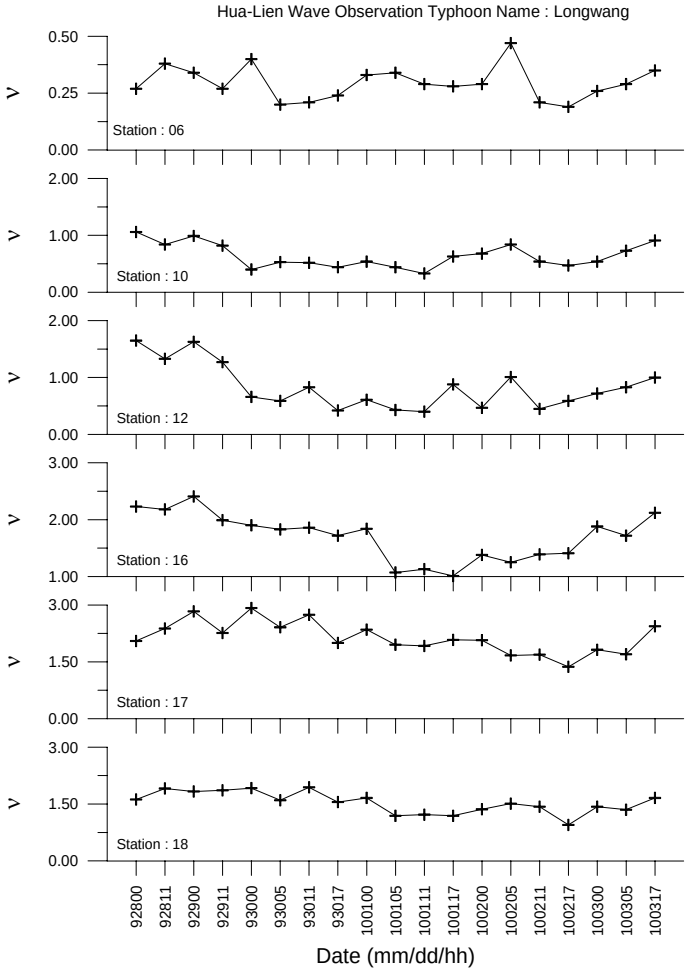



圖 4-38 龍王颱風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

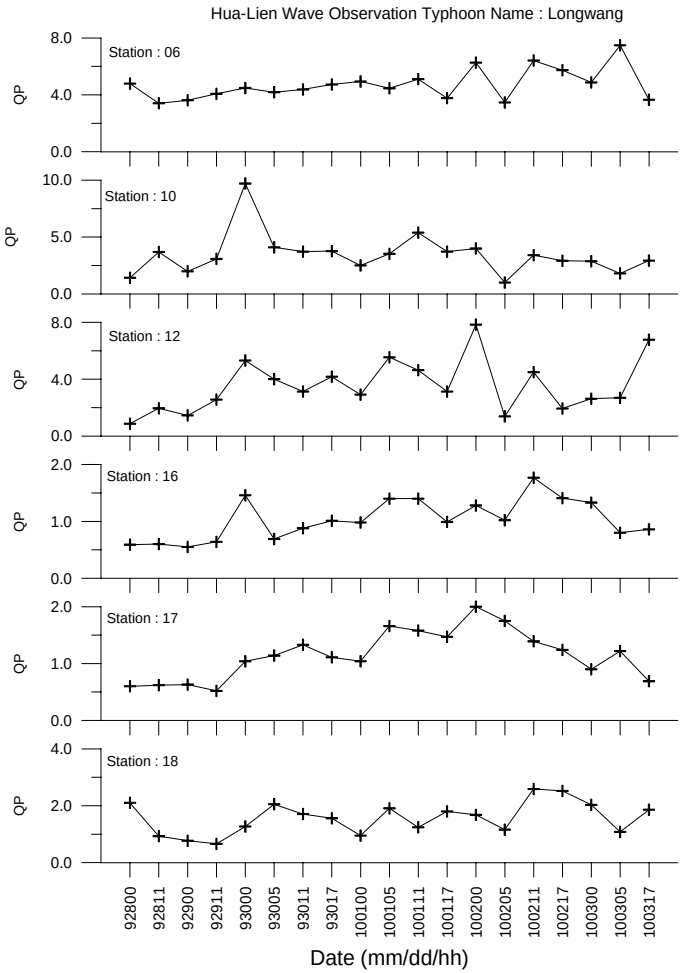



圖 4-39 龍王颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較

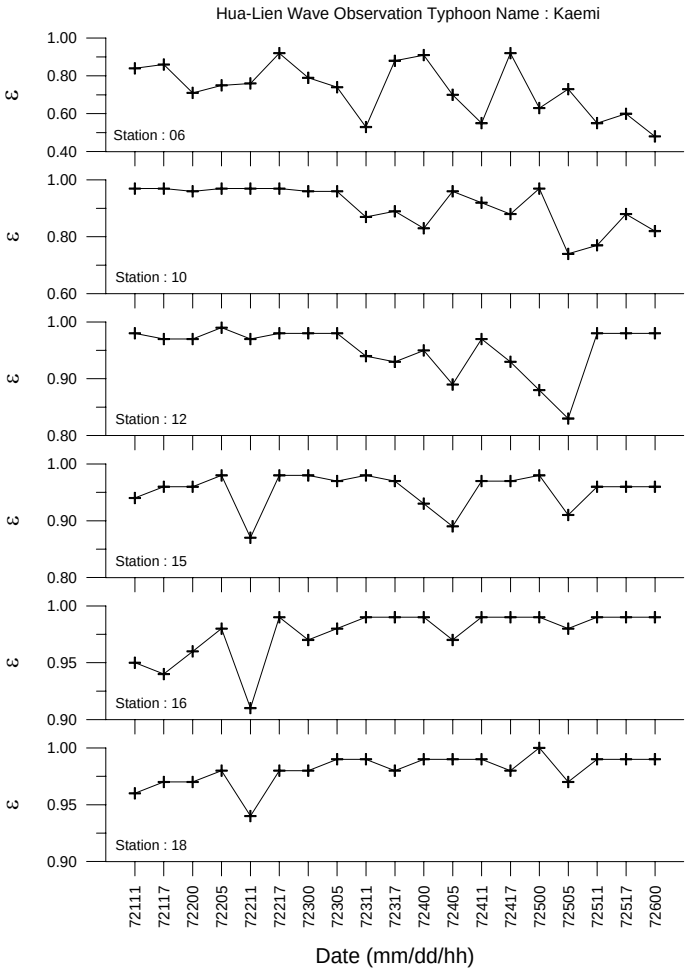



圖 4-40 凱米颱風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較

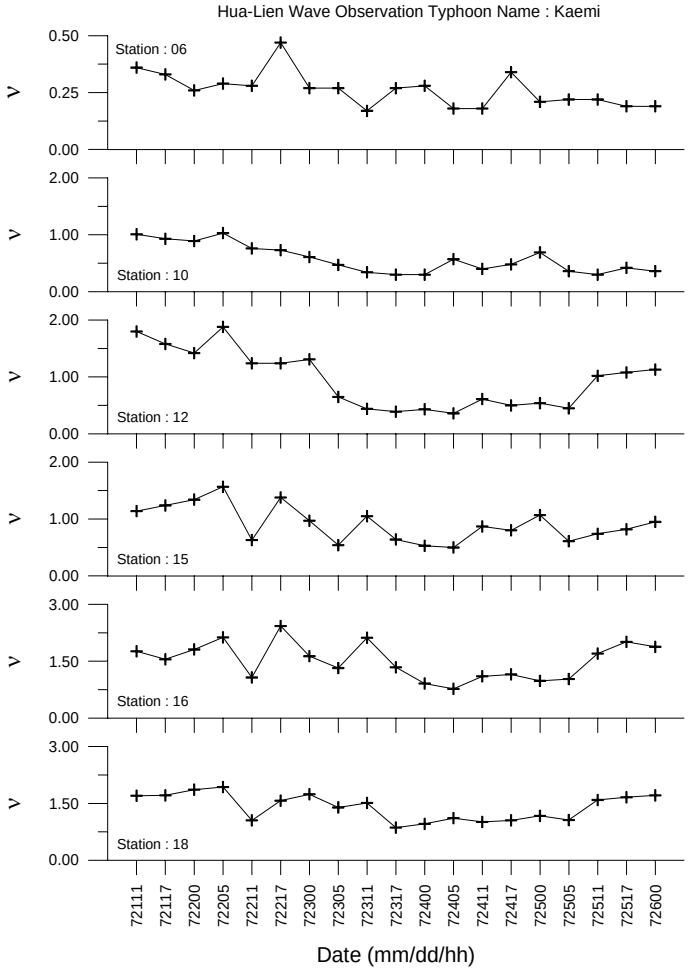



圖 4-41 凱米颱風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

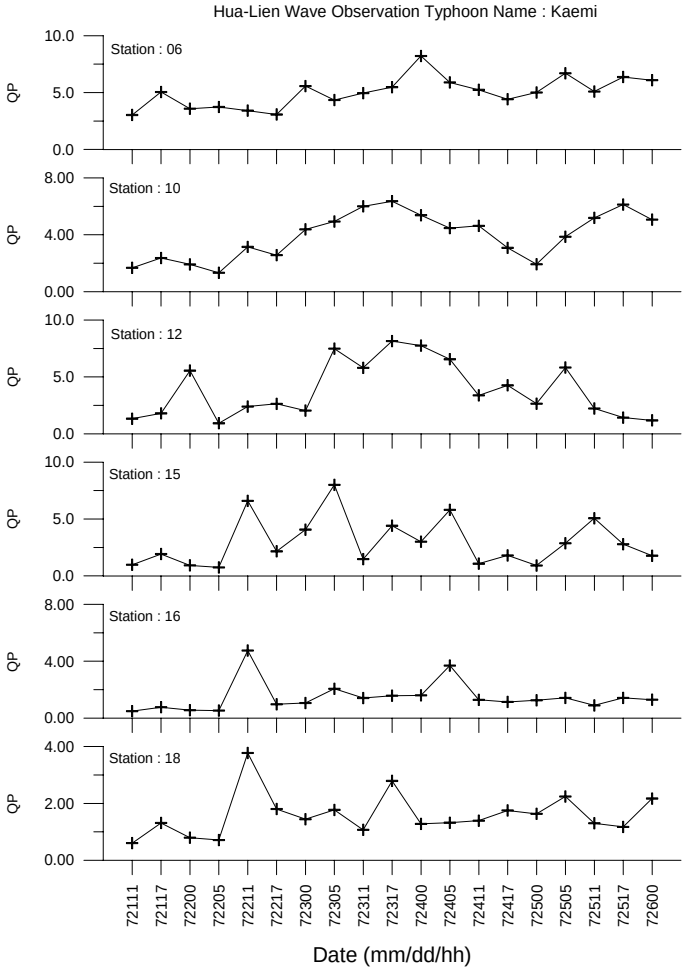
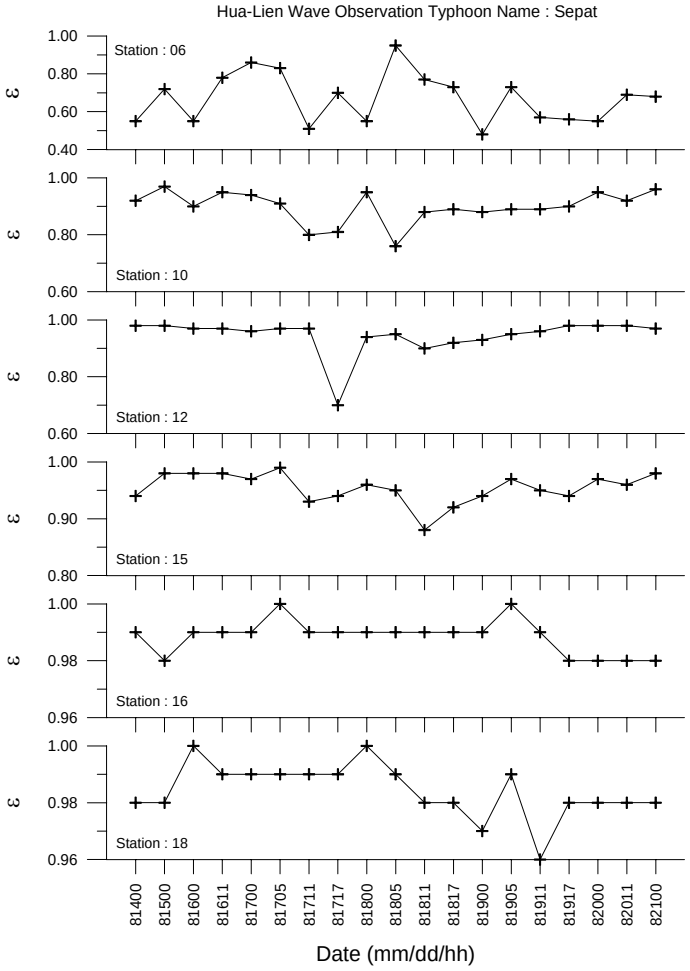
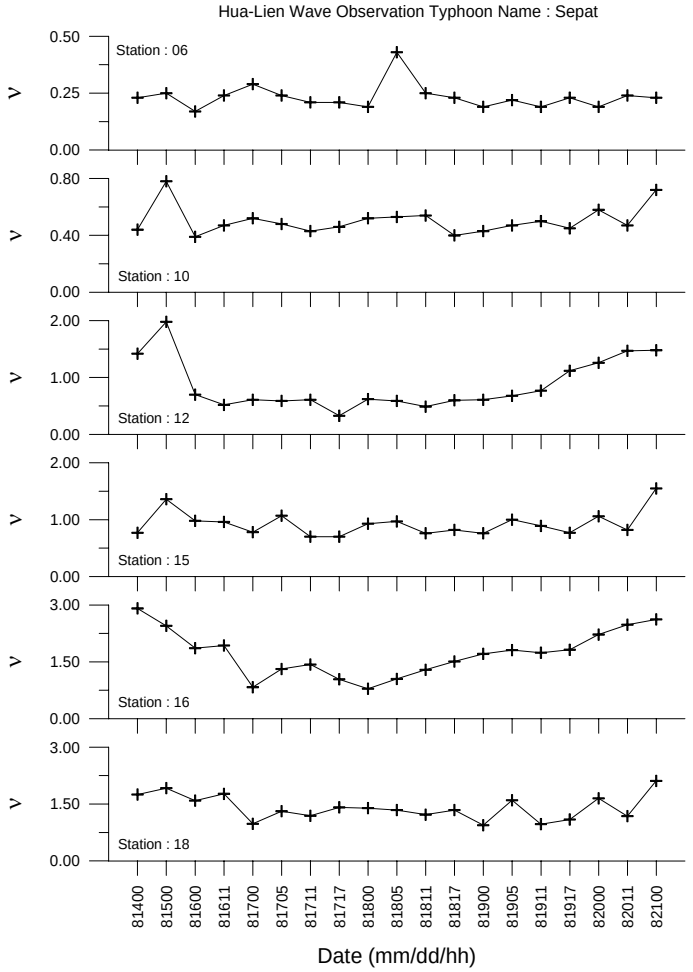



圖 4-42 凱米颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較




bwith.grf

圖 4-43 聖帕颱風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較




steep.grf

圖 4-44 聖帕颱風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

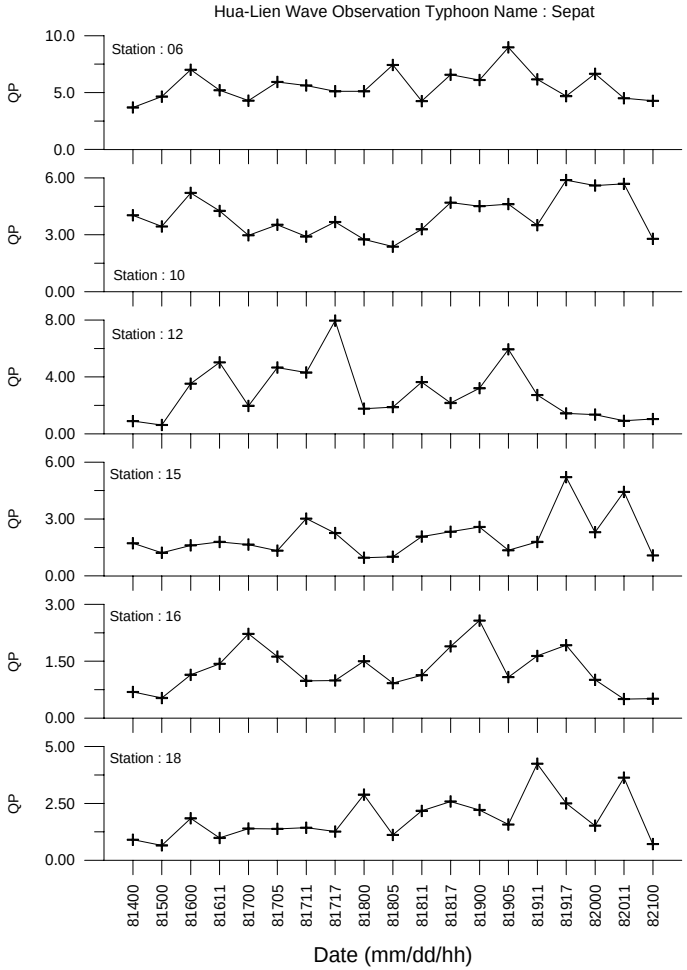



圖 4-45 聖帕颱風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較

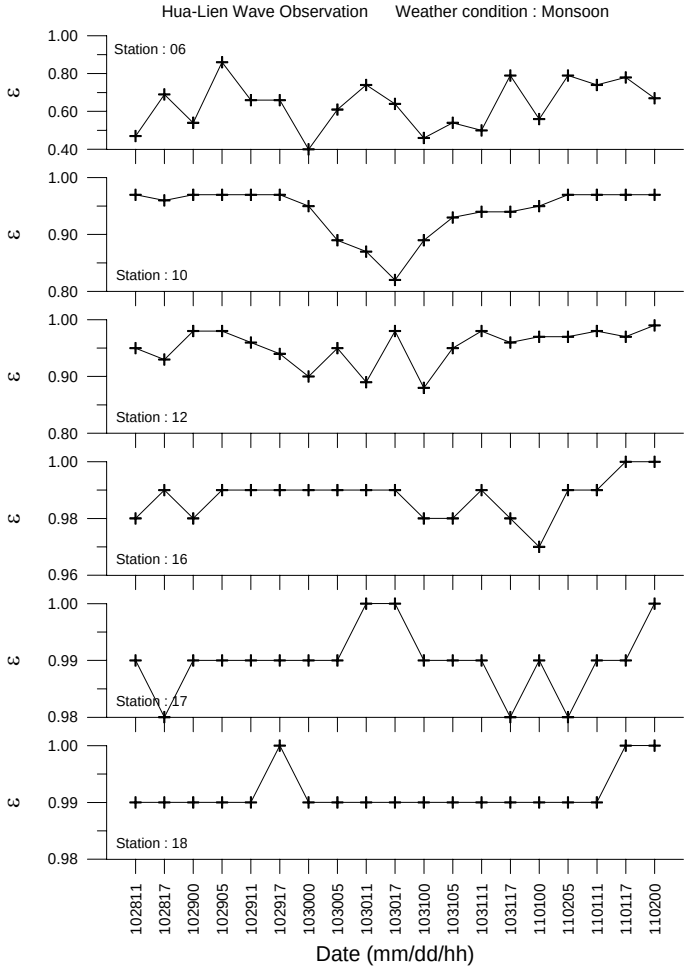



圖 4-46 東北季風波譜形狀參數 $\varepsilon$ 各測點間比較

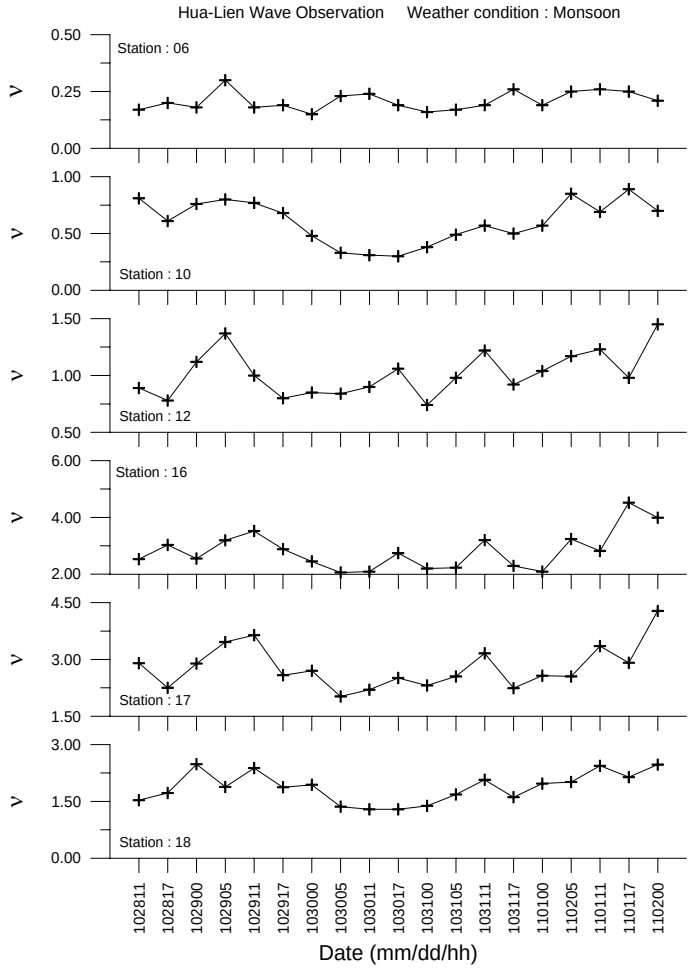



圖 4-47 東北季風波譜形狀參數 $\nu$ 各測點間比較

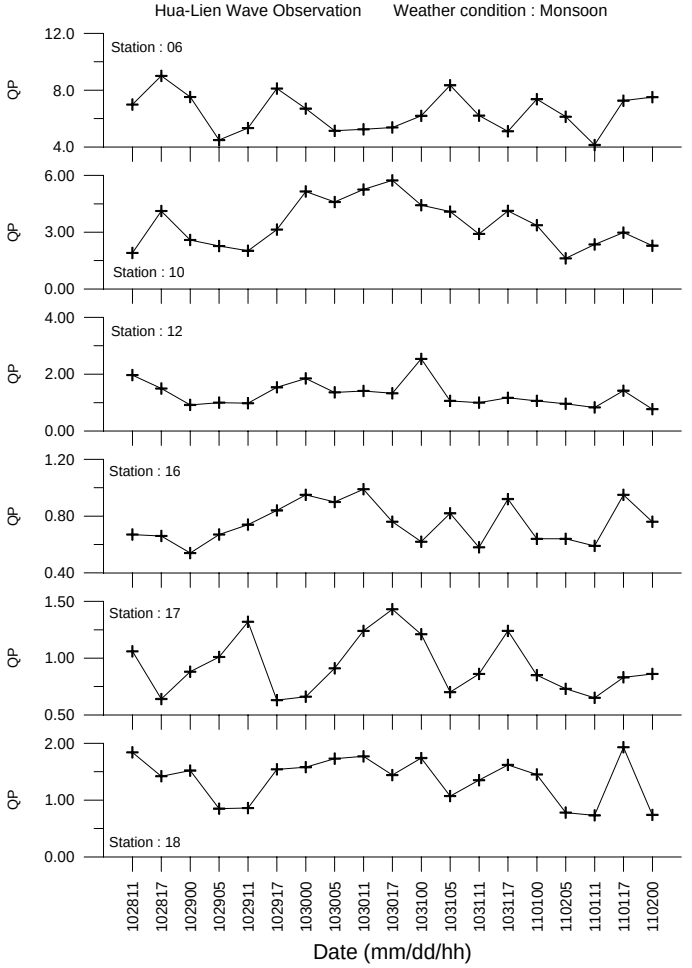



圖 4-48 東北季風波譜形狀參數 Qp 各測點間比較

# 第五章 結論與後續課題

關於花蓮港港池不穩靜造成繫泊船隻斷纜問題，以往雖然也有颱風波浪觀測計畫，但港內、外同步觀測資料很少，僅粗略知道港內部分碼頭區有明顯長週期的波動存在，而此長週期成分的能量在港外與港內隨時間之變化情形則不夠清楚。因此，國內、外部分學者專家對於花蓮港是否有港池共振的現象仍有存疑。同時對於如果不是港池共振現象則港內長週期波動的原因有各種不同觀點，而此也造成目前仍無法研定有效的花蓮港港池不穩靜改善方案。本研究在本年度以 2005 年至 2007 年間於花蓮港港外與港內同步之波浪觀測資料進行分析。其主要目的為探討港內、外波譜形狀之時空演變及其形狀參數之比較，同時對照前三年之分析結果，藉此了解花蓮港在颱風期間港內、外波動之特性，而對花蓮港港池不穩靜所造成之船舶斷纜問題，提供改善方案研擬時所需港池波動特性之參考。

## 5.1 結論

颱風波浪之波高、週期逐時變化大致上隨颱風接近與遠離而分別出現增大與減小趨勢。但由於颱風強度、移動路徑、移動速度及陸地效應等颱風動態的不穩定，使波高週期變化趨勢會有差異，這些差異包括波高與週期大小、颱風作用時間的長短、波高大及減小速率等。此外中央氣象局雖未發布颱風警報，但花蓮港港域仍有可能出現遠洋颱風波浪，而影響船舶泊靠，需特別注意。

北緯 $15^{o}$ 至 $24^{o}$ 東經 $121^{o}$ 至 $130^{o}$ 之方形區域範圍，對花蓮港而言是危險區域，尤其是方形左下半部區域，當颱風行經此區域應提高警覺。另外要強調的是波高最大值與颱風中心是否由花蓮港附近通過（或登陸）也有密切關係。由歷年觀測資料顯示花蓮港颱風波浪之可能波高最大值估計約 12m、對應周期則約 16sec。

港外測點在波高成長時段，主頻率往低頻區移動，且低頻區波譜

能量密度值增大，高頻區增大程度則較小；波高衰退時段，主頻率往高頻區移動，且低頻區波譜能量密度值減小，高頻區減小程度則較小。因此，波浪成長及衰退過程其能量分佈的變化是循相同的途徑來回逐步演變，此與以往研究結果一致。

港內測點波譜演變雖也有類似情形，不過港外測點之主頻區可辨別出來，而港內測點因為波譜整體外觀形狀大致為波譜能量由低頻區往高頻區逐漸降低，故其主頻區模糊較難辨別。此外港內各測點之主頻區能量較港外測點明顯減小，但低頻區則大約與港外測點相近，這顯示花蓮港港池共振並不明顯，因為波浪能量沒有在某一頻率（即港池共振頻率）有明顯放大的現象。

波譜之能量分布變化無論由時間或空間比較分析，皆顯示頻率 0.04Hz（週期 25sec）是一個區分界線，因為頻率小於 0.04Hz 的各成份波能量在港外測點同一時間皆相近，沒有某一特定頻率之能量相對較大之情形，但在不同時間能量隨颱風動態（主要是強度及距離）則會有增長或消減，但各成份波能量仍保持相近。至於各港內測點同樣頻率小於 0.04Hz 的各成份波能量大致也相近，同時也和港外測點相近，此顯示港內測點可能存在微弱之共振作用或長波能量累積效應。換言之，港內相當能量之長週期成份波在港外早就已存在，並非進入港內後再放大到相當能量。由於防波堤之遮蔽作用，大幅降低頻率大於 0.04Hz 之波譜能量，尤其是主頻率附近，使得各港內測點波譜形狀可能無能量尖峰出現，尤其是測點 16 及 17。顯然花蓮港目前防波堤僅對週期小於 25sec（0.04Hz）之成份波發揮有效之遮蔽作用，而週期大於 25sec 之成份波則無作用。因此，防波堤之結構設施相當是一個短波濾波器。

各波譜形狀參數在港外測點的特性大致與本研究以往之結果相同，這些特性包括參數值大小分布範圍、隨波高或週期之變化趨勢及參數間之相關性等。但港內測點之各波譜形狀參數特性與港外測點相較則不相同，例如參數值大小分布範圍改變及參數間相關性變弱，且這些改變在不同之測點會有程度上差異，其改變原因主要為港內測點

之主頻區能量大幅降低而低頻區則大約維持，造成能量尖峰不明顯之波譜形狀，此與港外測點有一能量尖峰的形狀不同。

波譜形狀參數在不同測點其數值大小與變化趨勢並不相同。基本上窄度參數 $\nu$ 及寬度參數 $\varepsilon$ 在港外測點其數值較小且皆小於 1.0，而在港內測點則隨測點愈進入港區內部而有增大趨勢，其中寬度參數趨近於 1.0，窄度參數則可能大於 1.0；尖峰度 *QP* 在港外測點其數值較大，而港內測點隨測點愈進入港區內部則有減小趨勢，這和窄度參數及寬度參數的情況相反，不過在部分少數資料尖峰度值會出現突然增大現象。

## 5.2 後續課題

以目前花蓮港之防波堤設施只對週期小於 25sec 之短週期成份波發揮有效之遮蔽作用，但無法阻擋或削減週期大於 25sec 之長週期成份波。因此，當長週期成份波進入港內時，港內傳統之碼頭岸壁設施同樣無法消減其能量，再加上港內較特殊水域形狀，該長週期成分波在某些水域處有可能發生能量再次增大之現象，而此能量增大現象究竟是港池共振所引起？或者是能量無法消散而產生累積效應所致？若是港池共振則為何低頻區之各成分波能量相近且沒有在某一特定頻率出現增大現象？這些疑問則有待進一步探討。

依示性波之統計定義而言，若長週期成分波之波高較小而短週期之波高較大，則可能出現長週期成分波未納入統計分析計算。因此，示性波統計波高與週期很可能不包含長週期成分波，此表示由浪浪統計資料無法確認港外長週期成分波之波高與週期。因此，利用波譜分析作進一步探討是必要的，然而本研究之波浪觀測時間長度僅 10 分鐘，此對長週期之波動分析會有不足。因此，後續應蒐集觀測時間長度至少 40 分鐘以上之波浪資料作更深入探討，以瞭解長週期成分波在港外與港內之詳細變化情形。另外對於港內短週期波騎乘在長週期波上之特殊波動現象，以傳統之傅立葉轉換進行波譜分析是否能真實反

映出該波動特性？應再深入探討，同時也可考慮其他波動分析方法，例如小波分析（Wavelet Analysis）或希伯-黃轉換（Hilber-Huang Transform）等方法。

# 參考文獻


1. 簡仲璟、單誠基、曾相茂 (2008)「颱風波浪頻譜之形狀參數估計」，第30屆海洋工程研討會論文集，第235-240頁。
2. 簡仲璟 (2008)「颱風波浪頻譜形狀參數之研究（3/4）」，交通部運輸研究所，出版品編號：97-56-7341，GPN：1009701020。
3. 簡仲璟、曾相茂 (2007)「颱風波浪頻譜形狀參數之研究」，第29屆海洋工程研討會論文集，第547-552頁。
4. 簡仲璟 (2007)「颱風波浪頻譜形狀參數之研究（2/4）」，交通部運輸研究所，出版品編號：96-48-7264，GPN：1009600964。
5. 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。
6. 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，第55-62頁。
7. Goda, Y. (1970) “Numerical experiments on wave statistics with spectral simulation”, Port and Harbor Research Institute, Vol. 9, No. 3, pp. 3-57.
8. Longuet-Higgins, M. S., (1956) ” The refraction of sea waves in shallow water”, J. Fluid Mech., Vol. 1, pp. 163-176.

# 附錄 1

# 期末審查會議紀錄

交通部運輸研究所港研中心

第三科 97 年度自辦研究計畫

「港灣環境資訊系統與數值模式應用研究(4/4)」期末審查會議

壹、 會議時間：民國 98 年 3 月 20 日（星期五）下午 13 時 40 分

貳、 會議地點：本所港研中心辦公大樓一樓會議室

參、 主持人：港研中心　簡科長仲璟　　紀錄：李俊穎

肆、 出席單位及人員：

| | |
|---|---|
| **審查委員**： | |
| 張前所長金機 | 張金機 |
| 中山大學　陳教授陽益 | 陳陽益 |
| 臺灣大學　林教授銘崇 | 林銘崇 |
| 臺灣大學　梁教授乃匡 | 梁乃匡 |
| 臺灣大學　楊教授德良 | 楊德良 |
| | |
| **本所港研中心**： | |
| 簡科長仲璟 | 簡仲璟 |
| | 李俊穎 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**伍、主席致詞**：略。

**陸、計畫主持人簡報**：略。

**柒、各單位綜合評論：**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 處理情形 |
|---|---|
| 一、張金機委員 | |
| 1. 封閉港池長週期波浪振盪，最長週期應有上限即$T = 2l_B / \sqrt{gd}$。根據過去現場波浪資料顯示，週期 128 秒，港內波浪能量大幅增加，如 p4-36。 | 依港池共振理論公式其共振週期與港池長度有關，而港池長度則與港池形狀有關。以往觀測資料顯示花蓮港港池在週期 128 秒有可能出現共振外，其他週期也可能發生。 |
| 2. 方案 2、5 港內碼頭岸壁反射係數減為 0.5 甚至 0.0 對於長波而言不容易，窄航道操作已不易如何設置消能。 | 對於長週期波之反射率如何設定？目前無相關研究結果可供參考。一般而言，長波之反射率較高。 |
| 3. 數值計算配置方案五，根據花蓮港未擴建前未曾發生共振現象之描述研擬，請注意花蓮港未擴建前，並無#17~#25 號等，近似於直立式碼頭。因此改變局部消波對港池穩靜影響仍需深入探討。況且，根據過去試驗現場觀察，花蓮港港池振盪不僅長軸方向，在東防波堤與#19…等岸壁間產生明顯振盪。以 T=128 秒，平均水深 18 公尺，港內波長約為 1700 公尺，恰為橫向港池之 2 倍。 | 港內局部區域之消波效果改變對港池穩靜影響將再進一步探討。以往數值模擬計算結果顯示，除橫向共振外也存在縱向共振問題。 |
| 4. 同意 6-4 建議第 1 項，進行不同儀器同步在相同地點觀測波浪以檢測觀測資料品質。近岸點港池水位抬升，必須具備精確儀器及安裝精度。 | 參酌辦理。 |
| 5. 港外連續紀錄，如以移動平均法亦可求得群波效應。 | 本計畫於 96 年度曾以能量移動平均法探討群波問題，其分析結果顯示港外波動之群波現象不明顯。 |
| 6. 花蓮港附近海域波浪特性分析成果豐碩。 | |
| 7. 波浪觀測方法儀器應可更進一步研究探討。 | 參酌辦理。 |
| 二、陳陽益委員 | |
| 1. 本計畫對於花蓮港內外之波浪資料分析頗詳盡且描述出其實況之特性，尤其對颱風時風浪於港內具較長週期波之來源(由港外傳 | |

| | |
|---|---|
| 入或港內生成的)與明顯累加增大的振盪現象，但惟須先確定其來源是屬那種。<br>2. 建議確定港內明顯累加增大振盪的具較長週期波之來源。<br>3. 再廣集花蓮港相關的實測資料進行更詳盡的分析，以確定港內使否有共振現象的出現，尤其水位的連續紀錄是否會隨時間之起伏增大的共振現象出現。 | <br><br>遵照辦理。<br><br>除持續加強實測資料之蒐集外，對於水位變化將作更詳盡分析。 |
| 三、林銘崇委員<br>1. 涵蓋之三個子計畫研究內容均甚為詳盡，所獲成果結論相當具體。<br>2. 花蓮港內各點之頻譜分析結果顯示波高是同幅變化，週期則變化分歧。<br>3. 針對花蓮港共振提出之佈置建議(案五)具參考性，但仍須進一步評估規劃，數值計算時設定沙灘反射率為零稍顯過當。<br>4. 花蓮港內外颱風波浪頻譜分析討論相當詳盡，對於現況問題之了解甚有助益。 | <br><br>對同一週期而言，港內外波高同幅變化，此也顯示花蓮港港池共振不明顯。<br>沙灘反射率設定為零僅是理想之假設，目的為瞭解在完全吸收邊界條件下數值計算之結果。 |
| 四、梁乃匡委員<br>1. 雖然中央氣象局未發佈颱風，但遠颱仍然會造成花蓮港很大的湧浪，應注意花蓮港共振問題很複雜尚需深入研究。<br>2. 花蓮港共振問題是討論很久的問題，本計畫有一些新的觀點，但仍需要進一步探討，以解決花蓮港問題。 | <br>後續將注意遠洋颱風(氣象局未發布警報)對花蓮港之影響。<br><br>花蓮港港池不穩靜原因，究竟是單純港池共振？或者是能量可觀之長週期波進入港內而無法消散所造成？將持續探討。 |
| 五、楊德良委員<br>1. 研究報告十分充實且完整，研究成果亦佳，報告內容很厚重，給予非常之肯定。<br>2. 第一子計畫與第三子計畫主題均針對花蓮港共振問題的探討，應可以在聯合在一起比較互相研究，了解花蓮港港池共振之真正原因，及其解決花蓮港之共振嚴重問題。<br>3. 部分報告仍有些不完善之筆誤，請再校正改正之。子計畫二，p1-3。 | <br><br>第一子計畫之東部波浪聯合觀測及第二子計畫之港內外同步波浪觀測結果將有助於花蓮港港池共振問題之釐清。<br><br>已修正。 |

捌、散會。

# 附錄 2

# 期末審查簡報資料

# 港灣環境資訊系統與數值模式應用研究(4/4)

計畫編號：**MOTC-IOT-97-H3DA001**

九十七年度科技計畫期末審查
梧棲，台中　**2009/03/20**

01

研究期程：
全程：**94/01~97/12**　　年度：**97/01~97/12**

研究經費：**5,180**仟元**(97**年度法定金額**)**

研究人力：簡仲璟、單誠基、陳明宗、
劉清松、李俊穎

研究子計畫：
1.花蓮港港池共振機制研究(4/4)
2.港灣環境資訊網規劃與建置維護(3/3)
3.颱風波浪頻譜形狀參數之研究（4/4）

02

# 花蓮港港池共振機制研究(4/4)

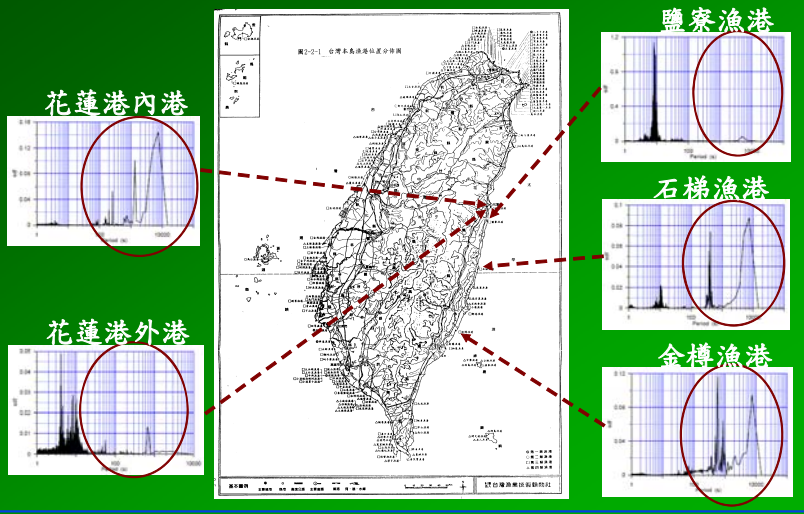
## 研究背景與目的

颱風侵襲期間花蓮港港池經常發生不穩靜的情況，造成繫泊船隻斷纜，影響港埠營運。針對花蓮港港池共振問題，本研究利用相關的現場觀測、數值模擬及水工模型試驗，探討花蓮港的港灣共振機制，並研擬改善方案。

03

## 工作成果

東海岸波浪聯合觀測




04

## 工作成果　東海岸波浪聯合觀測




龜山島波浪觀測儀器放置（●）位置圖

觀測時期：90/6/16～90/8/16及90/8/15～90/10/27
測站水深：約13.5公尺處
觀測方式：每隔兩小時以2Hz連續取樣20分鐘



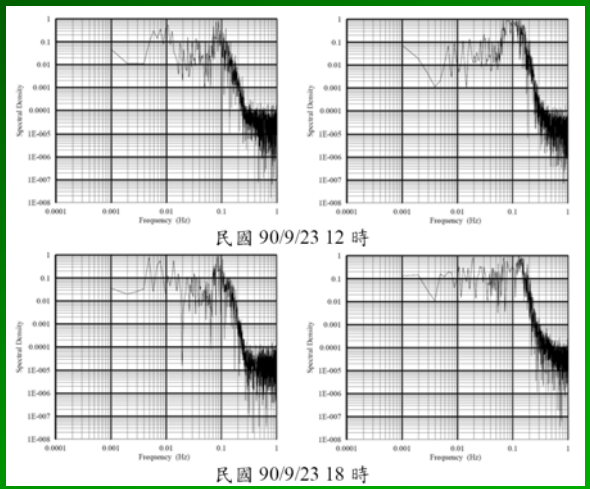

鹽寮漁港波浪觀測儀器放置（●）位置圖

觀測時期：89/12～91/2
測站水深：約14.5公尺處
觀測方式：每隔兩小時以2Hz連續取樣20分鐘

05

## 工作成果　東海岸波浪聯合觀測

龜山島南側海域　　花蓮鹽寮漁港




民國 90/9/23 12 時

民國 90/9/23 18 時

06

## 工作成果　港池共振改善方案可行性評估







如果長週期振盪的來源是緣岸波？
→減少波浪入侵的能量





颱風來襲時，阻絕入侵內港的波浪
並改變港內共振頻率

07

## 工作成果　港池共振改善方案可行性評估

佈置方案一：原始方案，港內反射率為1.0，港外海岸為0.5

佈置方案二：同佈置方案一，但束縮航道的兩側反射率設為0.5

佈置方案三：佈置構想三，自束縮航道入口處阻斷，模擬防潮閘門

佈置方案四：佈置構想四，在束縮航道兩側增設短突堤

佈置方案五：同佈置方案一，但假設#7及#12碼頭處為沙灘，反射率設為0.0

08

工作成果 港池共振改善方案可行性評估




圖 5.8 5 個碼頭的相對位置



工作成果 港池共振改善方案可行性評估

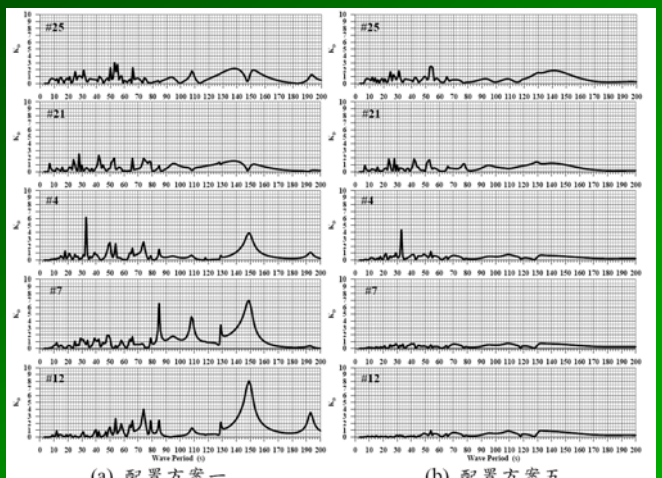



圖 5.22 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一及五)

## 工作成果 港池共振改善方案可行性評估

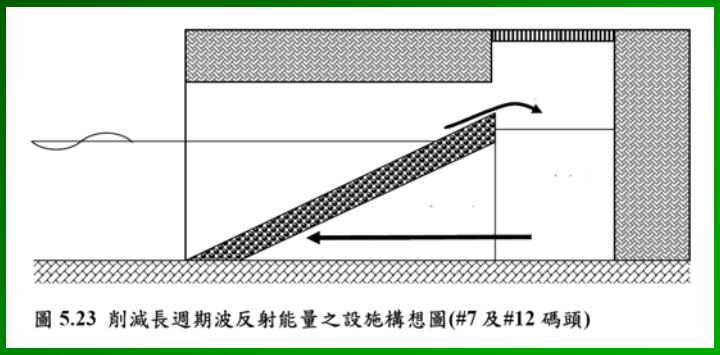


圖 5.23 削減長週期波反射能量之設施構想圖(#7 及#12 碼頭)

11

## 工作成果 結論與建議

- 依東海岸多個港口的波浪聯合觀測結果，均發現有數百秒的長週期波動成分，研判外海波浪原就具有此成分波存在。花蓮港比其他漁港更容易在颱風侵襲期間發生長週期蕩漾應是與其港型及岸壁消能特性有關。

- 包括港內外的波浪觀測以及港內水位觀測，花蓮港裡可發現有極長週期的水面變動，而且其波動振幅隨著港外的海象變動，研判長週期波動的能量來源應源自於外海波動。

12

工作成果 結論與建議

➢以數值模擬探討可能的改善方案中，則發現增加束縮航道兩側岸壁的消波能力削減進入內港水域的波浪能量，或是以臨時性防潮閘門阻絕波浪能量進入內港，或是提升#7及#12碼頭的消波能力都有助於改善花蓮港內的振盪問題。




13

# 港灣環境資訊網規劃與建置維護(3/3)

## 建置背景與目的

港研中心目前在國內主要商港皆設有長期海氣象觀測站，本系統將這些測站之觀測即時資料彙集整理後，結合數值模式計算之預測資料，提供給相關單位應用參考。其主要目的包括：

(1)即時掌握港區海氣象環境，提升船舶航行安全。

(2)港區發生緊急危難時(如船舶漏油、碰撞、擱淺等)
提供海氣象變化趨勢，以研擬適當之因應救助方案。

14

## 建置現況簡介

### 1.系統資訊項目

風速、風向。潮位。波高、週期、波向。流速、流向。水溫。港區影像。

### 2.資訊展示及查詢內容

海氣象即時觀測資料。港區海氣象數值模式預測資料。海氣象歷史資料查詢、下載及統計。港區即時影像及錄影查詢等。

15

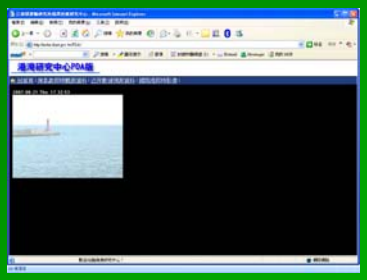
## 建置現況簡介

### 3.資訊取得方式

被動式

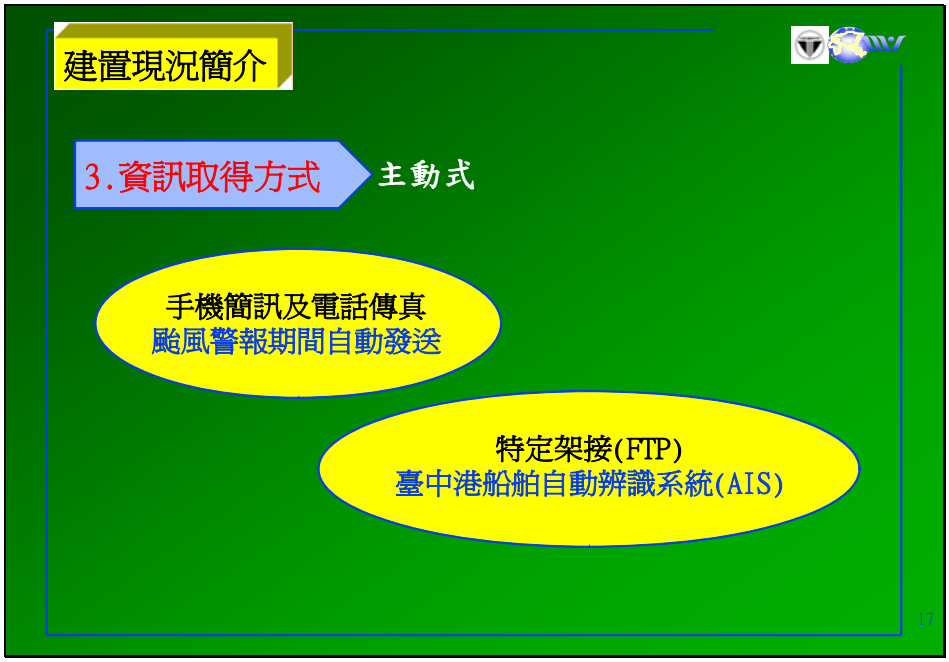



電腦連結系統網頁




PDA手機連結網頁(PDA版本)

16


建置現況簡介
3.資訊取得方式
主動式
手機簡訊及電話傳真
颱風警報期間自動發送
特定架接(FTP)
臺中港船舶自動辨識系統(AIS)
17


建置現況簡介
4.系統自動化管理
資料品管
自動暫時剔除
人工回補
資安管理
使用者權限
資料暫停服務
傳輸網路監控
快速找出傳輸異常之處
防火牆、路由器、ADSL等
資料庫維護管理
統計圖表、資料查詢下載
18

## 建置現況簡介

### 5.應用情形案例

- 花蓮港颱風期間船舶運動影像
- 高雄港航商掌握船舶進出港動態
- 臺中港天然氣海底管線施工
- 漁民捕魚及民眾海上遊憩
- 澎湖海域低溫之魚群死亡事件

19

## 未來工作方向

### 1.單點即時觀測擴充爲二維面式預測資訊

整合現場海氣象觀測即時資訊與數值模式計算之港區二維海氣象預測資訊。

### 2.提升系統穩定度

觀測儀器維修、傳輸網路斷訊等。

### 3.網頁更新及持續加強推廣

新版網頁預定98年正式上線。

20

## 未來工作方向




http://isohe.ihmt.gov.tw/

21

## 颱風波浪頻譜形狀參數之研究（4/4）

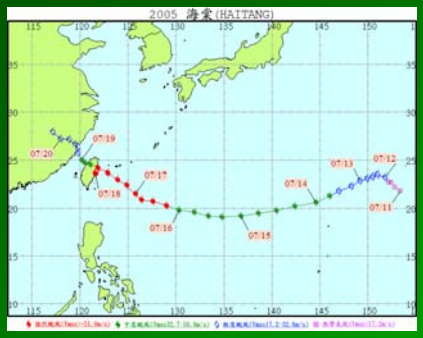
### 研究背景與目的

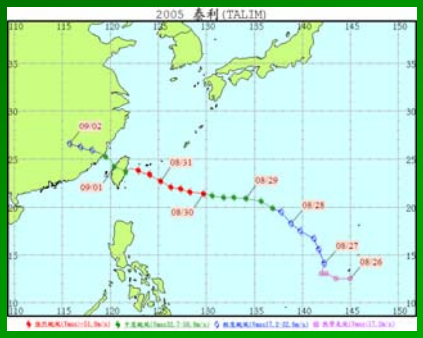
本研究在本年度以2005年至2007年間於花蓮港港外與港內同步之波浪觀測資料進行分析。
其主要目的為探討港內外波譜形狀演變及其形狀參數之比較，藉此了解花蓮港在颱風期間港內外波動之特性，而對花蓮港港池不穩靜所造成之船舶斷纜問題，提供改善方案研擬之參考。

22

資料蒐集 颱風動態

2005年至2007年間中央氣象局共計發布19個颱風警報




2005.07 海棠颱風　　2005.09 泰利颱風

路徑、強度、行進速度相似

23

資料蒐集 颱風動態

2005年至2007年間中央氣象局共計發布19個颱風警報





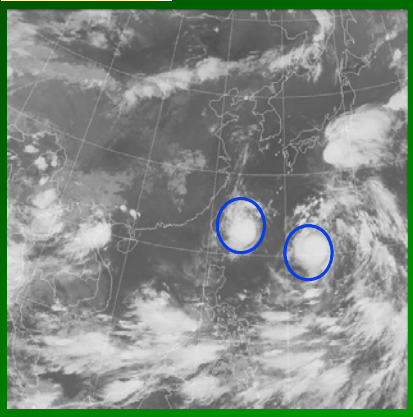


2005.08 馬莎颱風　　2005.09 卡努颱風

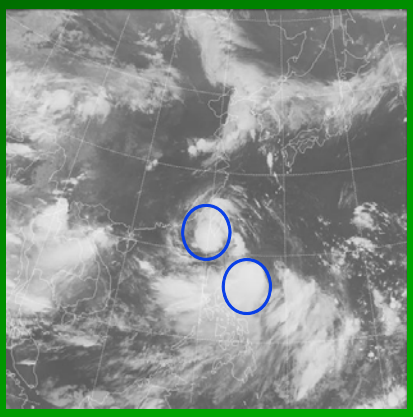
路徑、強度、行進速度相似

24

## 資料蒐集 颱風動態



2006.08 寶發與桑美颱風



2007.08 帕布與梧提颱風

颱風同時出現

25

## 資料蒐集 波浪觀測

觀測儀器係鎮儀公司之型號S700壓力式波浪儀

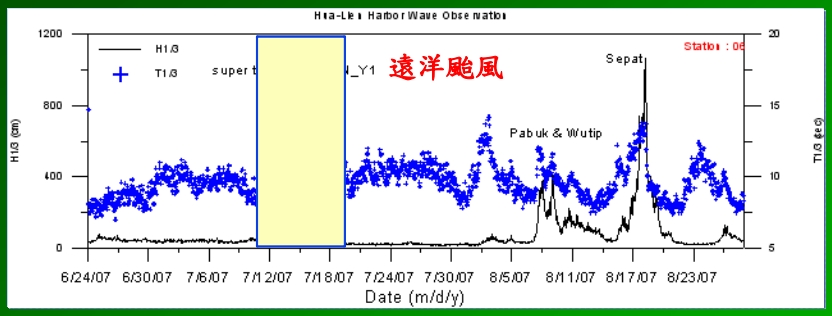
波浪觀測時距爲1小時，觀測時間長度10分鐘，取樣頻率2.0Hz

配合儀器的收放作業在2005年至2007年間總計有11個時段觀測紀錄，各時段紀錄中可能含有颱風及季風波浪資料。




26

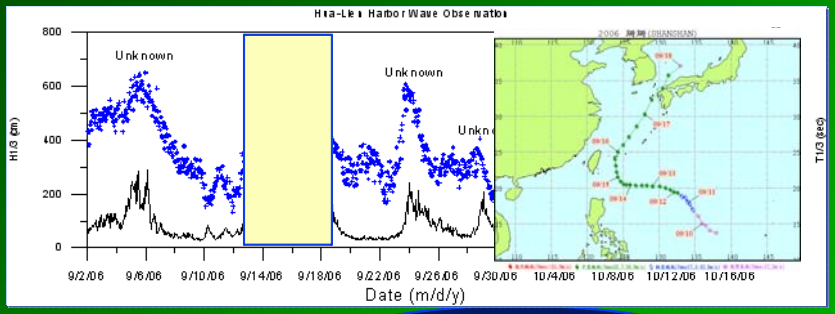
## 資料分析 波浪逐時變化與颱風動態




平常期間：波高0.5~1.0m；週期6~9sec
颱風期間：波高可達10m；週期12~15sec
波浪逐時變化受颱風強度、路徑、行進速度及陸地遮蔽等因素影響。

27

## 資料分析 波浪逐時變化與颱風動態

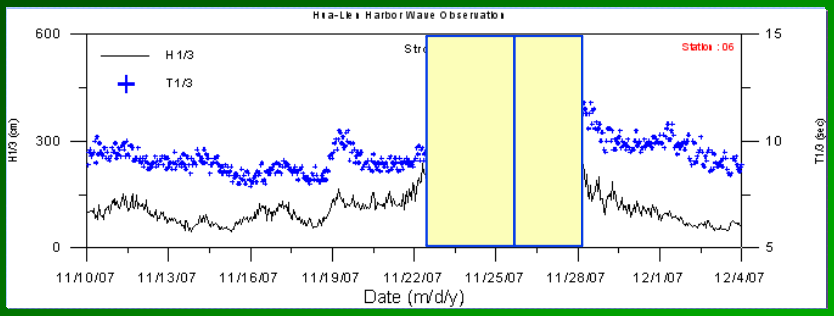



颱風波浪影響因素

- 強度規模
- 移動路徑
- 行進速度
- 陸地遮蔽
- 外圍大氣環境條件

28

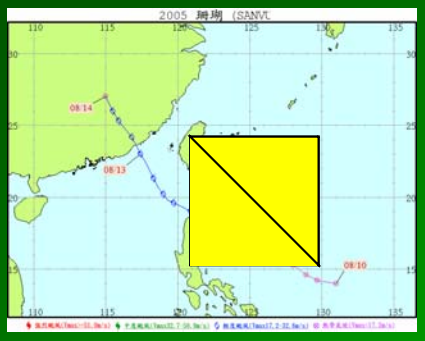
## 資料分析 波浪逐時變化與颱風動態

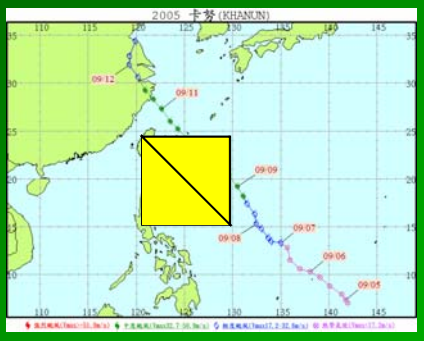



特殊冬颱波高超過 2m 持續達 5 日之久



## 資料分析 波浪逐時變化與颱風動態

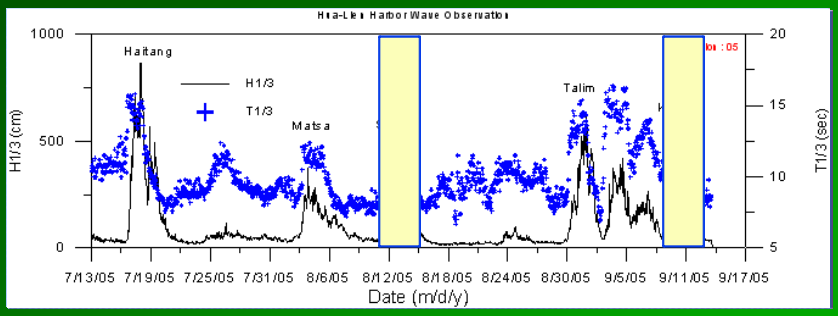



輕度颱風珊瑚
移動路徑左下半

中度颱風卡努
移動路徑右上半

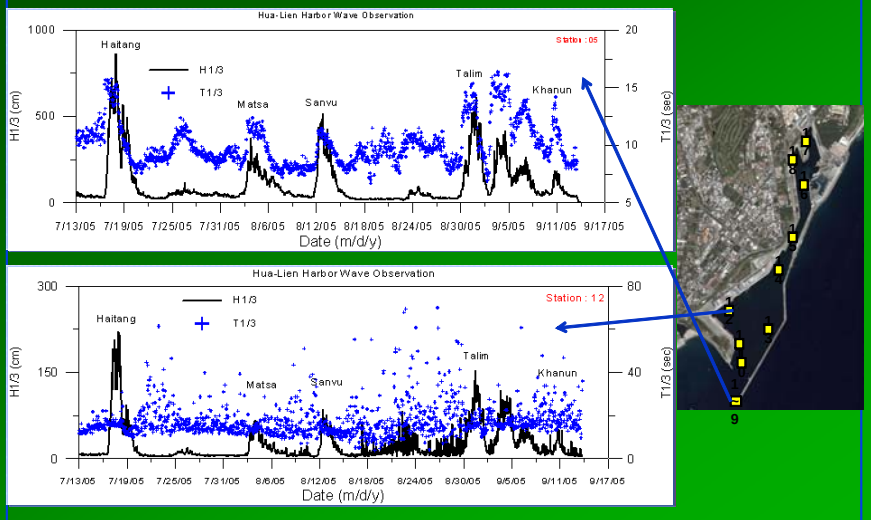
## 資料分析 波浪逐時變化與颱風動態



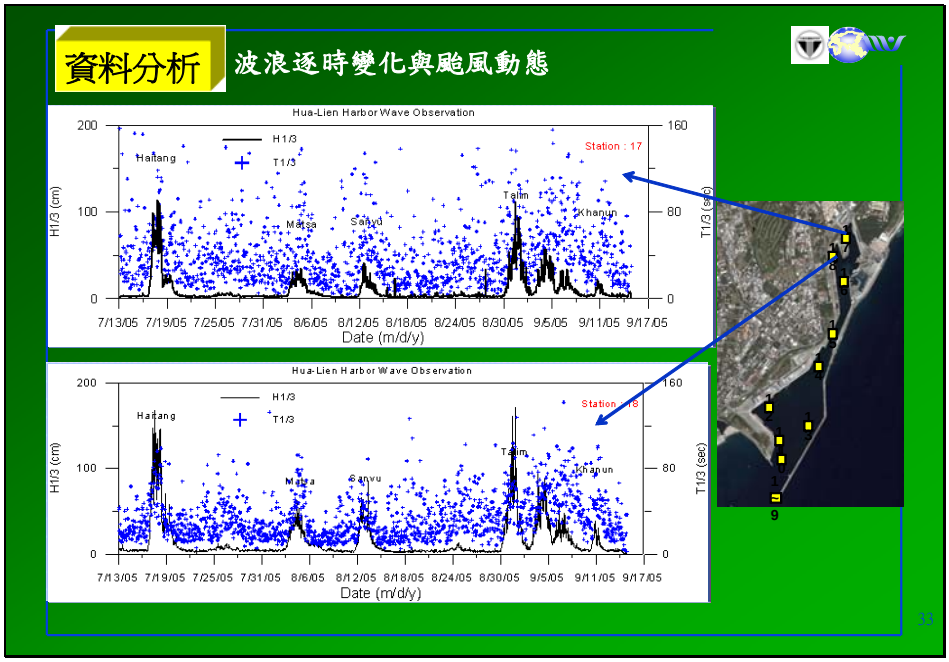

**輕度颱風珊瑚波高達5.2m；中度颱風卡努波高僅1.9m**

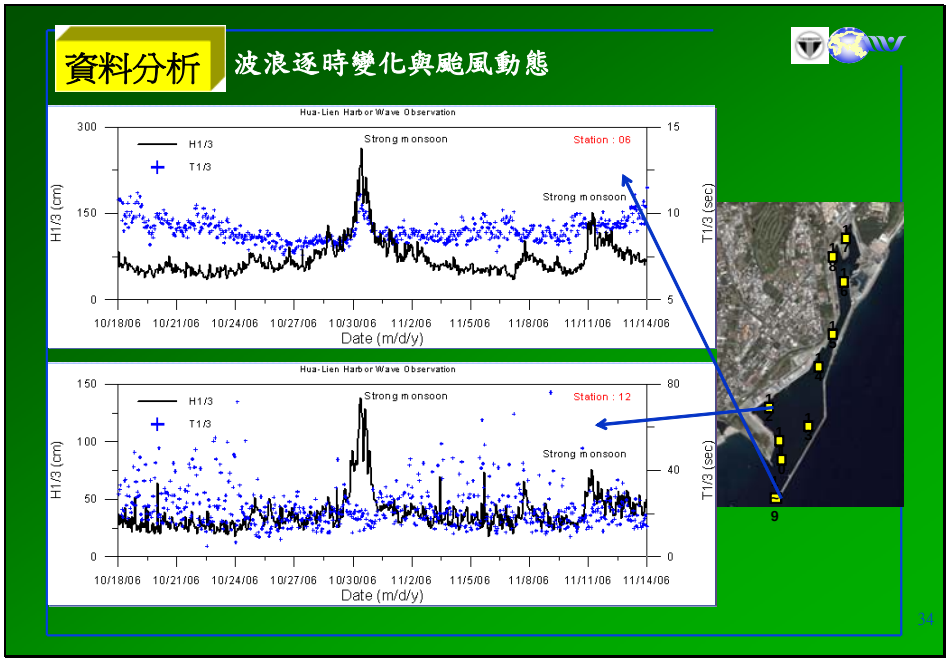
31

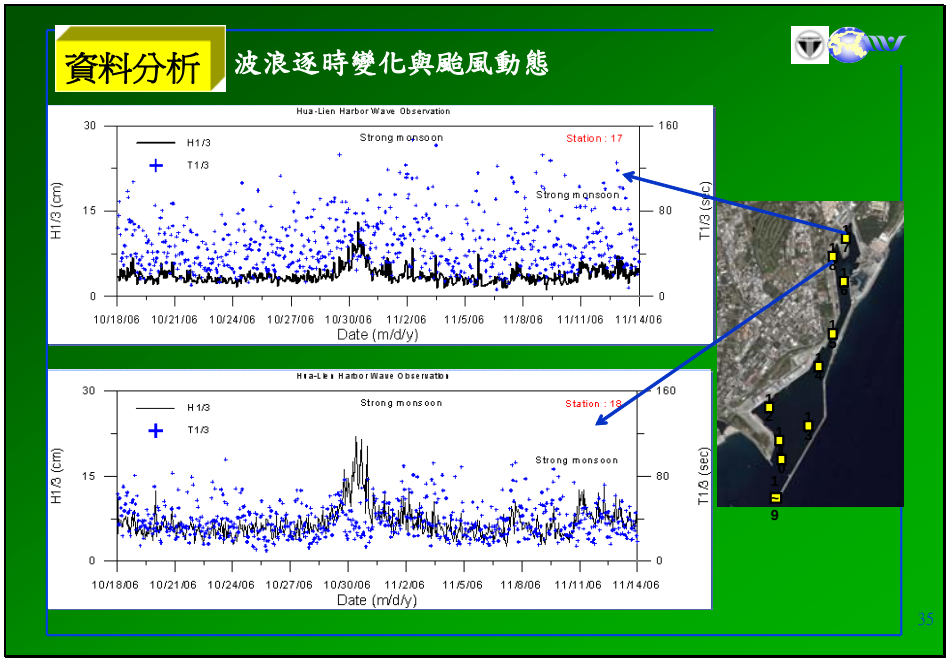
## 資料分析 波浪逐時變化與颱風動態

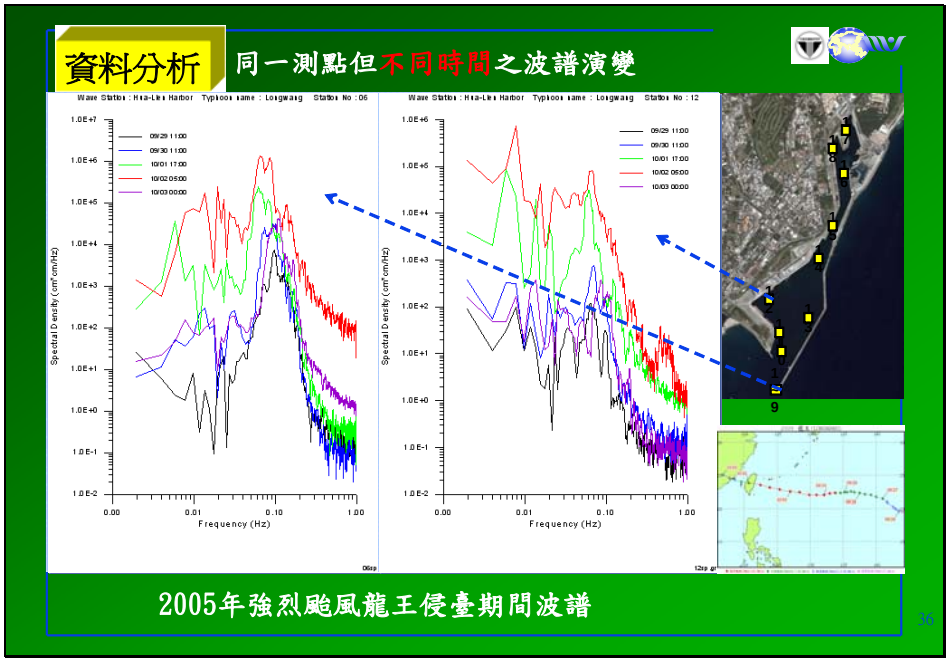


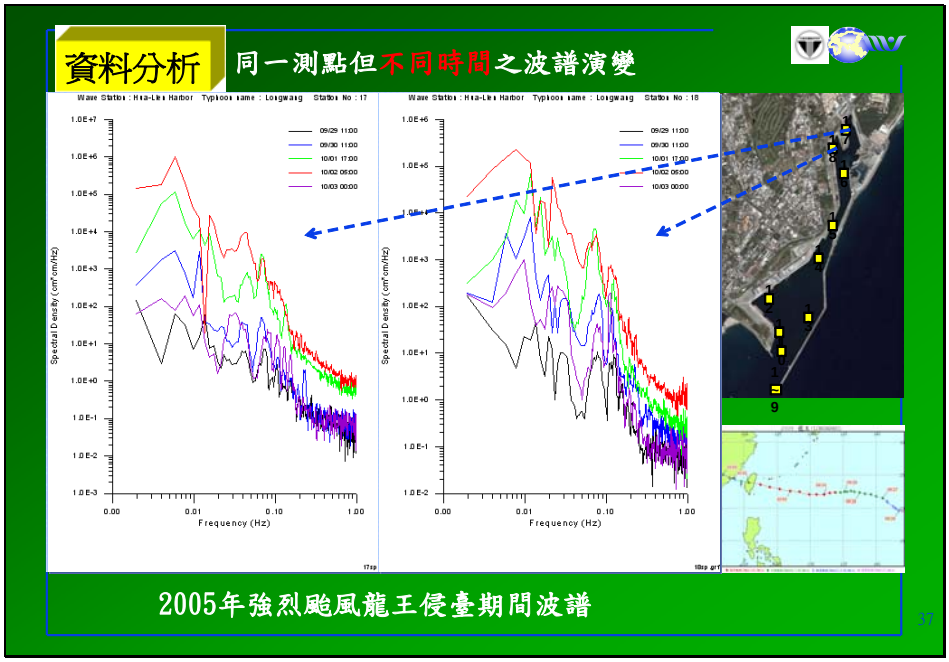

32

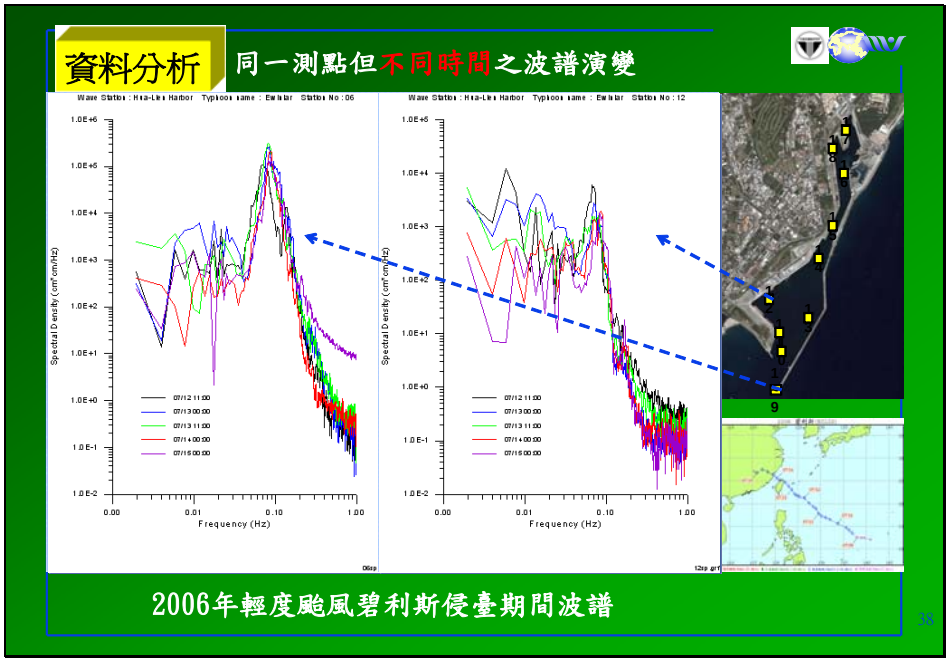

資料分析
波浪逐時變化與颱風動態
Hua-Lien Harbor Wave Observation
H1/3
T1/3
Station : 17
Haitang
Talim
Khanun
Matsa
Sanvu
H1/3 (cm)
T1/3 (sec)
Date (m/d/y)
7/13/05 7/19/05 7/25/05 7/31/05 8/6/05 8/12/05 8/18/05 8/24/05 8/30/05 9/5/05 9/11/05 9/17/05
Hua-Lien Harbor Wave Observation
H1/3
T1/3
Station : 18
Haitang
Talim
Khanun
Matsa
Sanvu
H1/3 (cm)
T1/3 (sec)
Date (m/d/y)
7/13/05 7/19/05 7/25/05 7/31/05 8/6/05 8/12/05 8/18/05 8/24/05 8/30/05 9/5/05 9/11/05 9/17/05
33

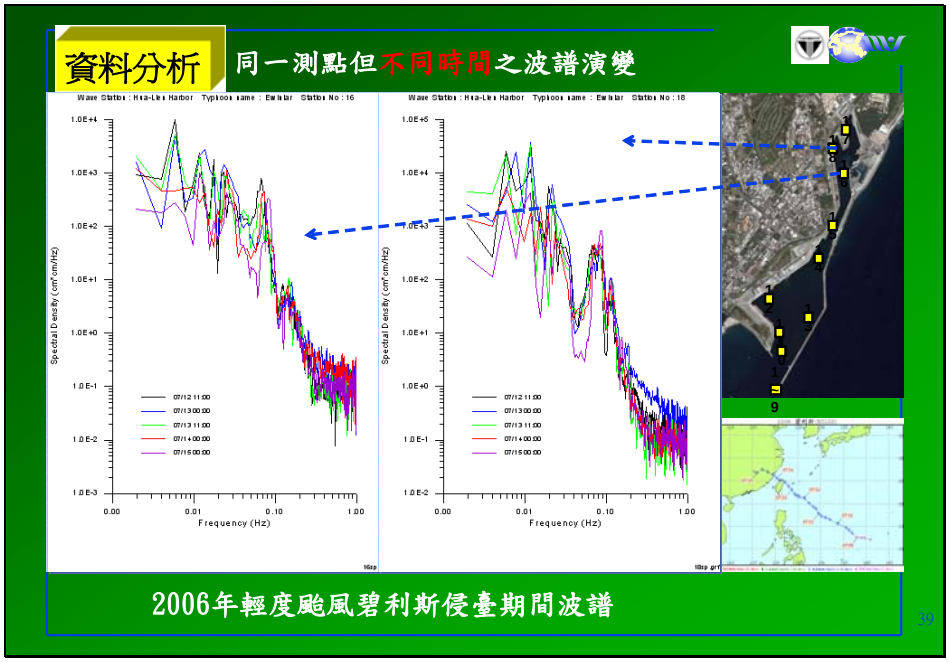

資料分析
波浪逐時變化與颱風動態
Hua-Lien Harbor Wave Observation
H1/3
T1/3
Strong monsoon
Station : 06
Strong monsoon
H1/3 (cm)
T1/3 (sec)
Date (m/d/y)
10/18/06 10/21/06 10/24/06 10/27/06 10/30/06 11/2/06 11/5/06 11/8/06 11/11/06 11/14/06
Hua-Lien Harbor Wave Observation
H1/3
T1/3
Strong monsoon
Station : 12
Strong monsoon
H1/3 (cm)
T1/3 (sec)
Date (m/d/y)
10/18/06 10/21/06 10/24/06 10/27/06 10/30/06 11/2/06 11/5/06 11/8/06 11/11/06 11/14/06
34

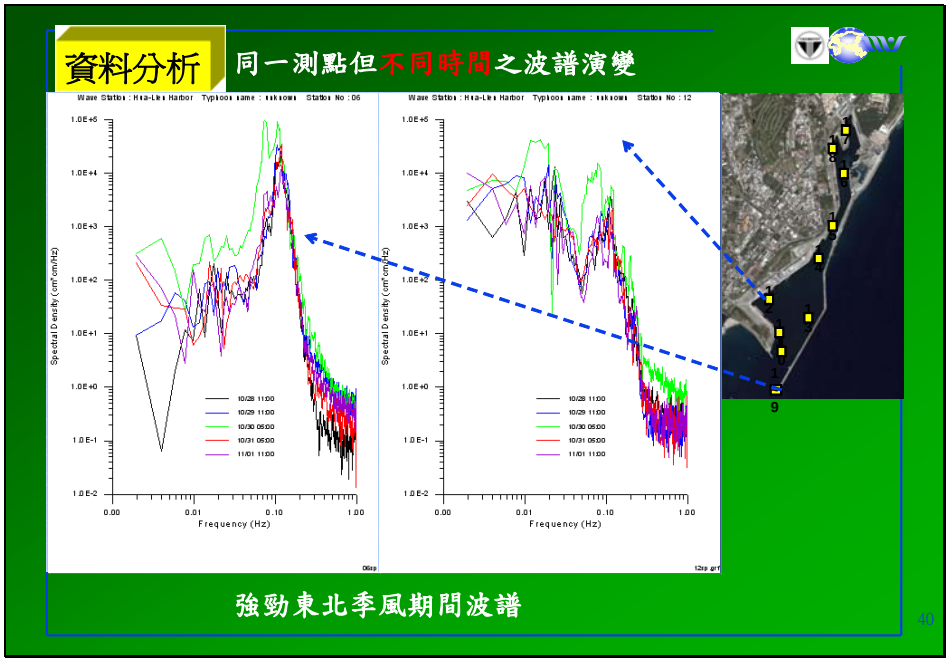

資料分析
波浪逐時變化與颱風動態
Hua-Lien Harbor Wave Observation
H1/3
T1/3
Strong monsoon
Station : 17
Strong monsoon
H1/3 (cm)
T1/3 (sec)
Date (m/d/y)
Hua-Lien Harbor Wave Observation
H1/3
T1/3
Strong monsoon
Station : 18
Strong monsoon
H1/3 (cm)
T1/3 (sec)
Date (m/d/y)
35

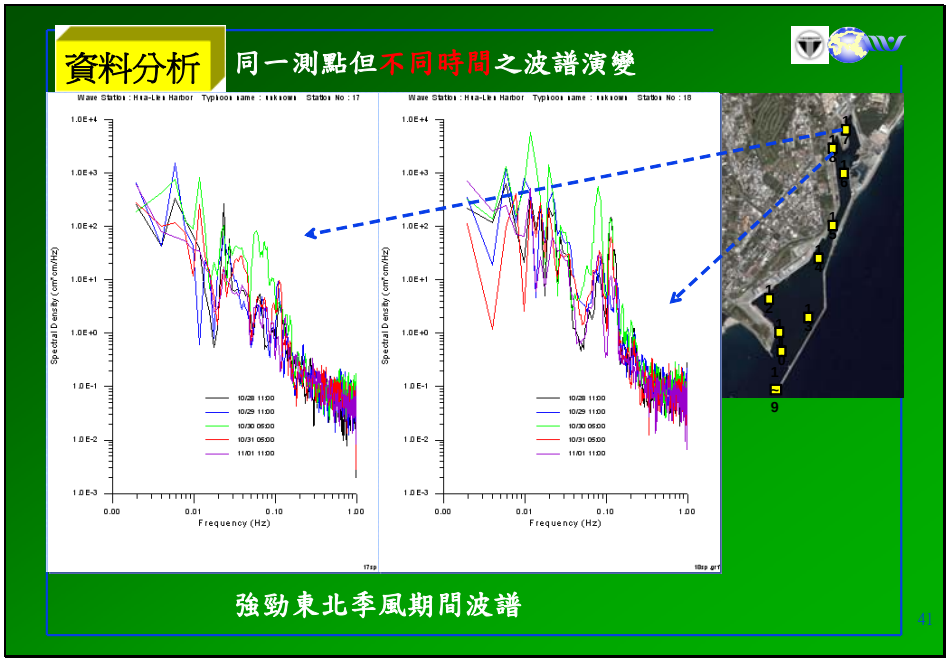

資料分析
同一測點但不同時間之波譜演變
Spectral Density (cm²/cm/Hz)
Frequency (Hz)
Spectral Density (cm²/cm/Hz)
Frequency (Hz)
2005年強烈颱風龍王侵臺期間波譜
36

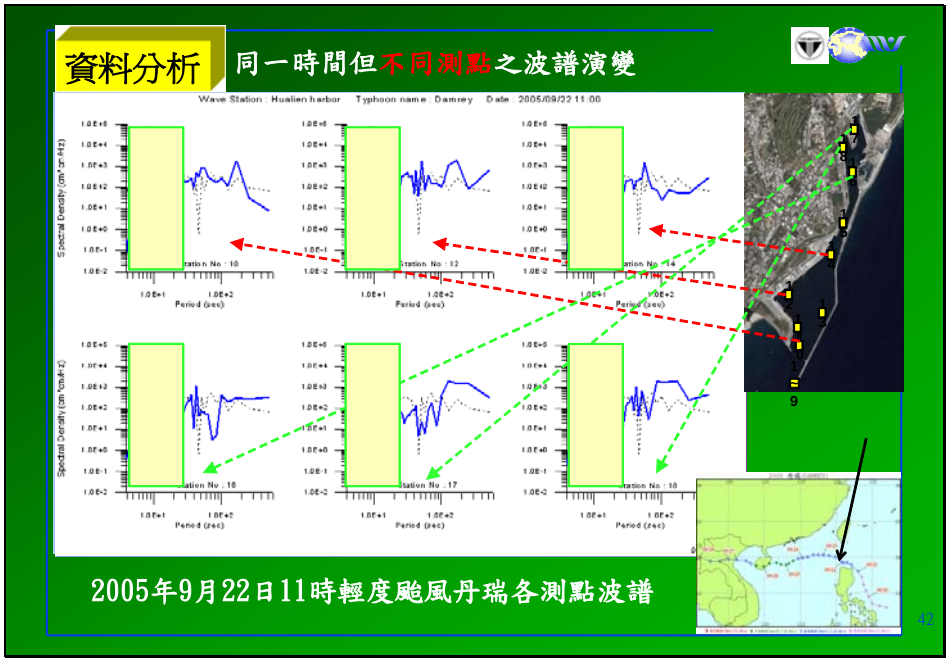

資料分析
同一測點但不同時間之波譜演變
Frequency (Hz)
2005年強烈颱風龍王侵臺期間波譜
37

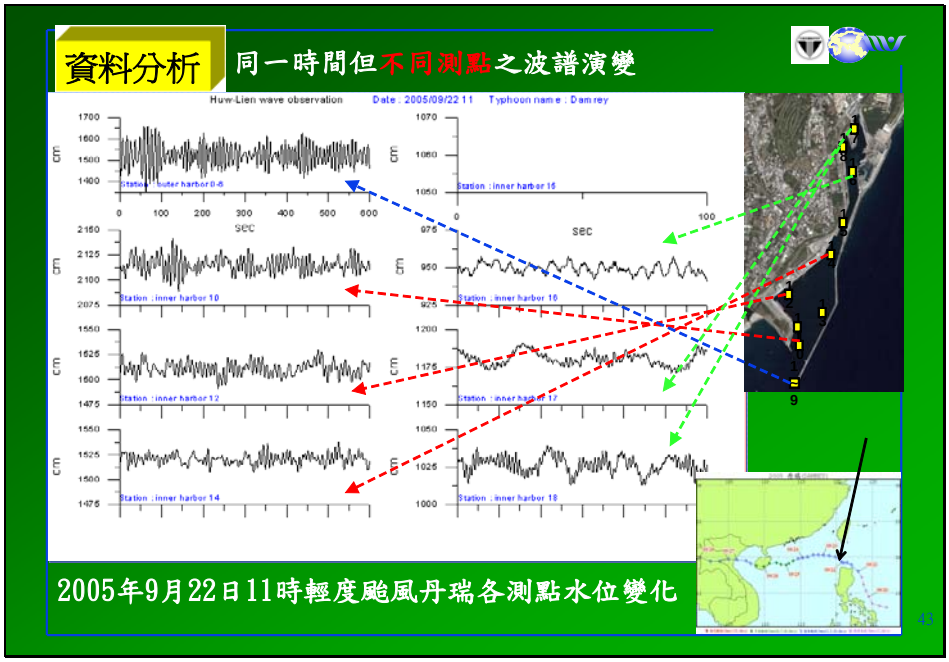

資料分析
同一測點但不同時間之波譜演變
Frequency (Hz)
2006年輕度颱風碧利斯侵臺期間波譜
38

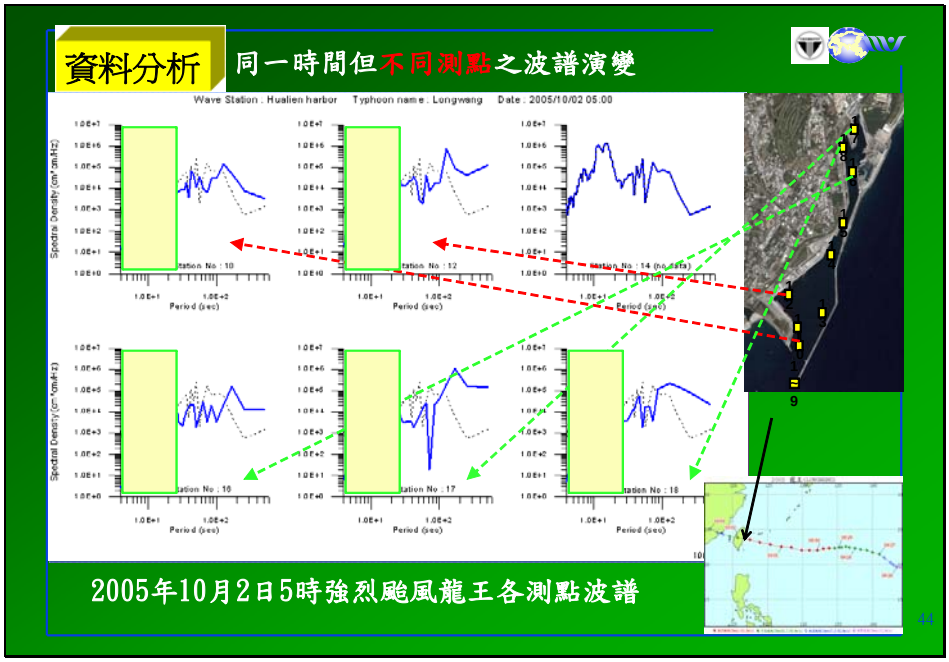

資料分析
同一測點但不同時間之波譜演變
Frequency (Hz)
2006年輕度颱風碧利斯侵臺期間波譜
39

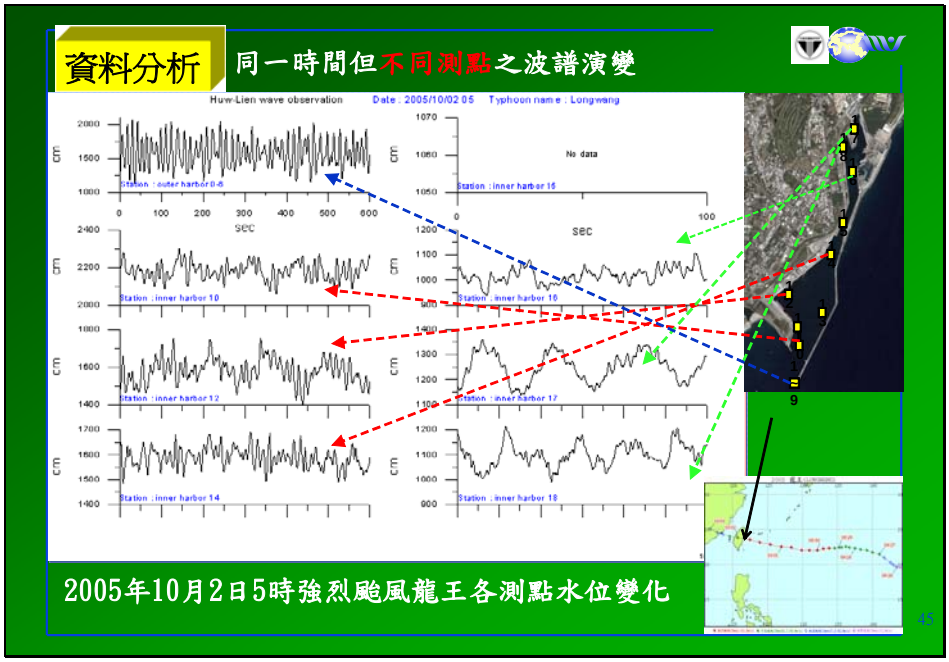

資料分析
同一測點但不同時間之波譜演變
Frequency (Hz)
強勁東北季風期間波譜
40

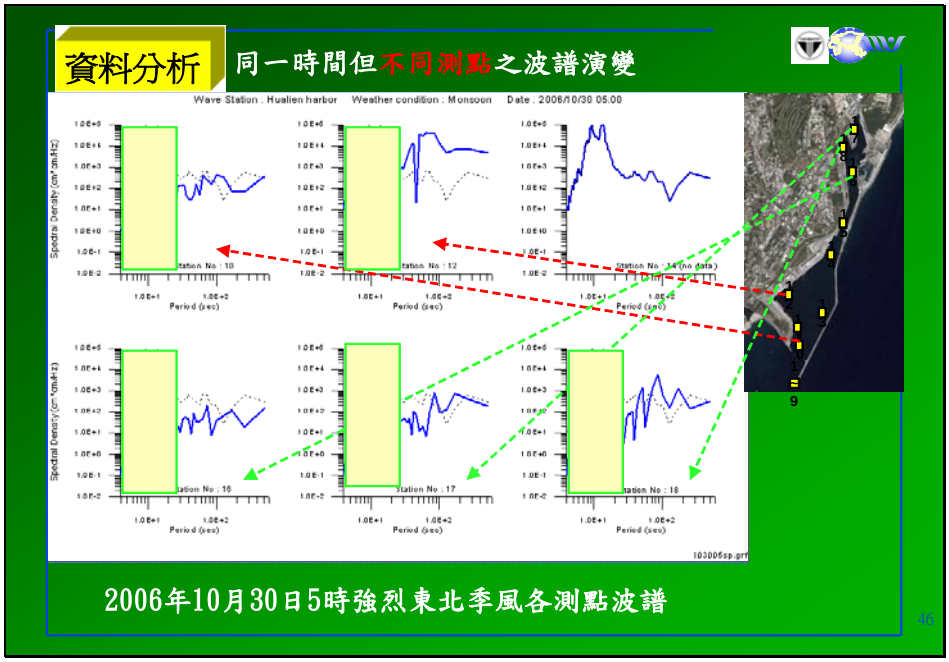

資料分析
同一測點但不同時間之波譜演變
Frequency (Hz)
強勁東北季風期間波譜


資料分析
同一時間但不同測點之波譜演變
Period (sec)
2005年9月22日11時輕度颱風丹瑞各測點波譜

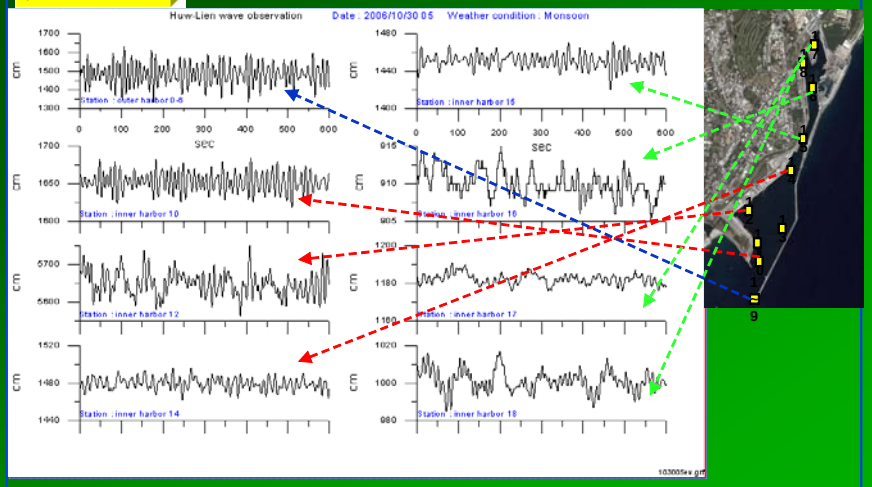

資料分析
同一時間但不同測點之波譜演變
Hwa-Lien wave observation
Date : 2005/09/22 11
Typhoon name : Damrey
SEC
cm
2005年9月22日11時輕度颱風丹瑞各測點水位變化


資料分析
同一時間但不同測點之波譜演變
Wave Station : Hualien harbor
Typhoon name : Longwang
Date : 2005/10/02 05:00
Period (sec)
2005年10月2日5時強烈颱風龍王各測點波譜


資料分析
同一時間但不同測點之波譜演變
Hsiu-Lien wave observation
Date : 2005/10/02 05
Typhoon name : Longwang
No data
2005年10月2日5時強烈颱風龍王各測點水位變化


資料分析
同一時間但不同測點之波譜演變
Wave Station : Hualien harbor
Weather condition : Monsoon
Date : 2006/10/30 05:00
2006年10月30日5時強烈東北季風各測點波譜

## 資料分析　同一時間但不同測點之波譜演變




2006年10月30日5時強烈東北季風各測點水位變化

47

## 資料分析　同一測點不同波譜形狀參數比較

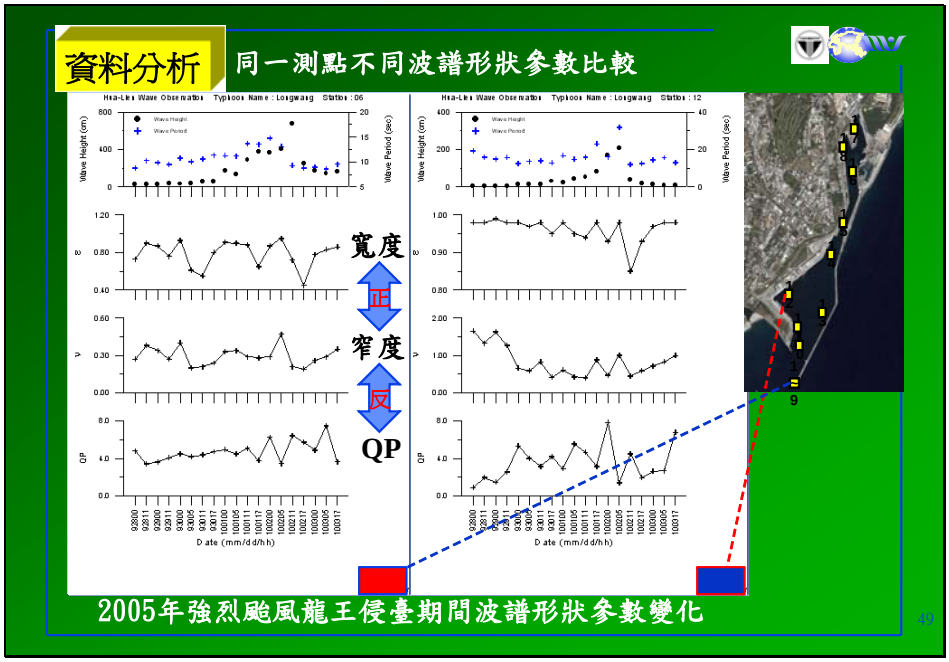
$$\nu = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2}} - 1$$　　波譜形狀窄度參數

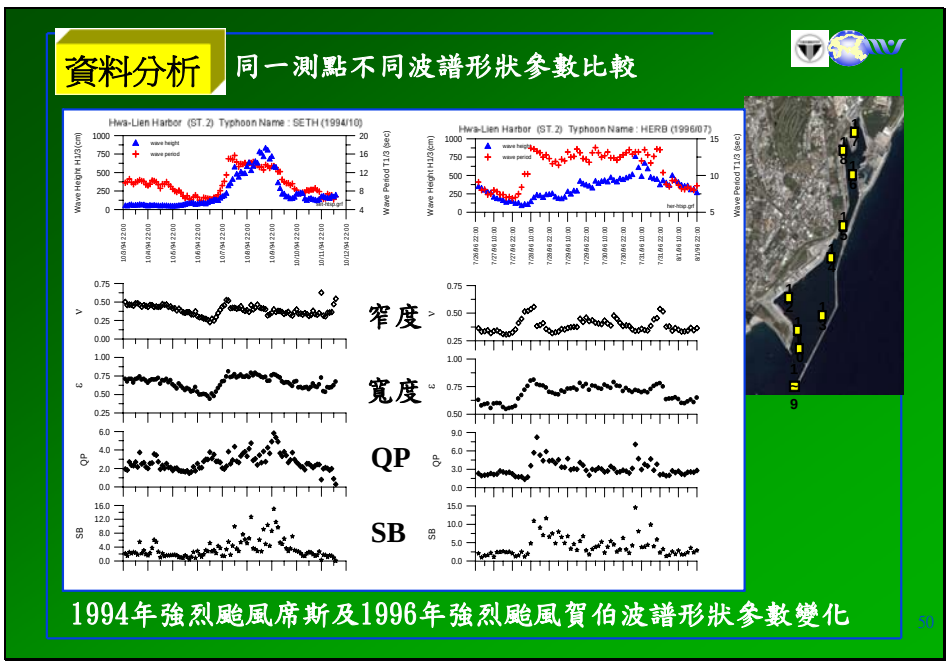
$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}}$$　　波譜形狀寬度參數

$$m_n = \int f^n S(f) df$$

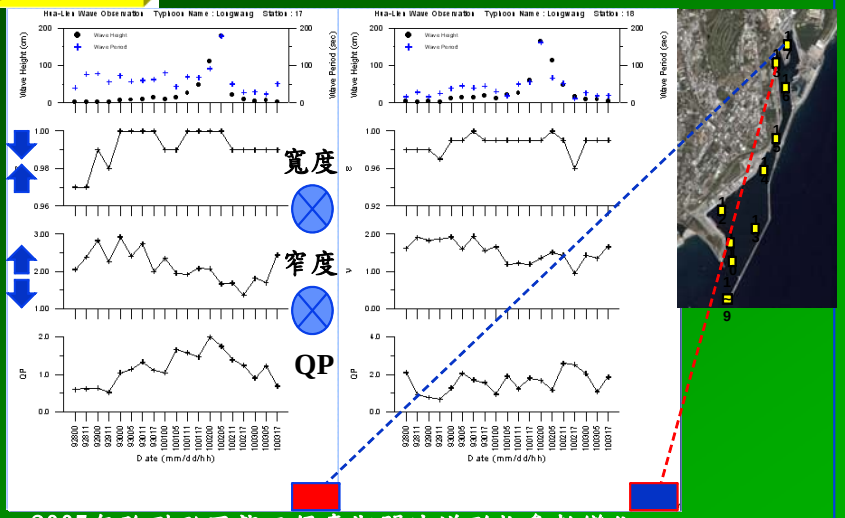
$$QP = \frac{2}{m_0} \int_0^\infty f S^2(f) Df$$　　波譜形狀尖度參數

48


資料分析
同一測點不同波譜形狀參數比較
寬度
正
窄度
反
QP
2005年強烈颱風龍王侵臺期間波譜形狀參數變化
49


資料分析
同一測點不同波譜形狀參數比較
窄度
寬度
QP
SB
1994年強烈颱風席斯及1996年強烈颱風賀伯波譜形狀參數變化
50

## 資料分析 同一測點不同波譜形狀參數比較




2005年強烈颱風龍王侵臺期間波譜形狀參數變化

51

## 工作成果 綜合檢討

由於颱風強度、移動路徑、移動速度及陸地效應等颱風動態的不穩定，使波高週期變化趨勢會有差異，這些差異包括波高與週期大小、颱風波浪影響時間的長短、波高增大及衰退速率等。

中央氣象局雖未發布颱風警報，但花蓮港港域仍有可能出現遠洋颱風波浪，而影響船舶泊靠，需特別注意。

北緯15°至24°東經121°至130°之方形區域範圍，對花蓮港而言是危險區域，尤其是方形左下半部區域，當颱風行經此區域應提高警覺。

52

工作成果 綜合檢討

波譜之能量分布變化無論由時間或空間比較分析，皆顯示頻率0.04Hz（週期25sec）是一個區分界線，因為頻率小於0.04Hz的各成份波能量在港外測點同一時間皆相近，沒有某一特定頻率之能量相對較大之情形，但在不同時間能量隨颱風動態（主要是強度及距離）則會有增長或消減，但各成份波能量仍保持相近。

至於各港內測點同樣頻率小於0.04Hz的各成份波能量大致也相近，同時也和港外測點相近，此顯示港內測點可能存在微弱之共振作用或長波能量累積效應。換言之，港內相當能量之長週期成份波在港外早就已存在，並非進入港內後再放大到相當能量。

53

工作成果 綜合檢討

各波譜形狀參數在港外測點的特性大致與本研究以往之結果相同，這些特性包括參數值大小分布範圍、隨波高或週期之變化趨勢及參數間之相關性等。但港內測點之各波譜形狀參數特性與港外測點相較則不相同，例如參數值大小分布範圍改變及參數間相關性變弱，且這些改變在不同之測點會有程度上差異。

54

## 工作成果 綜合檢討

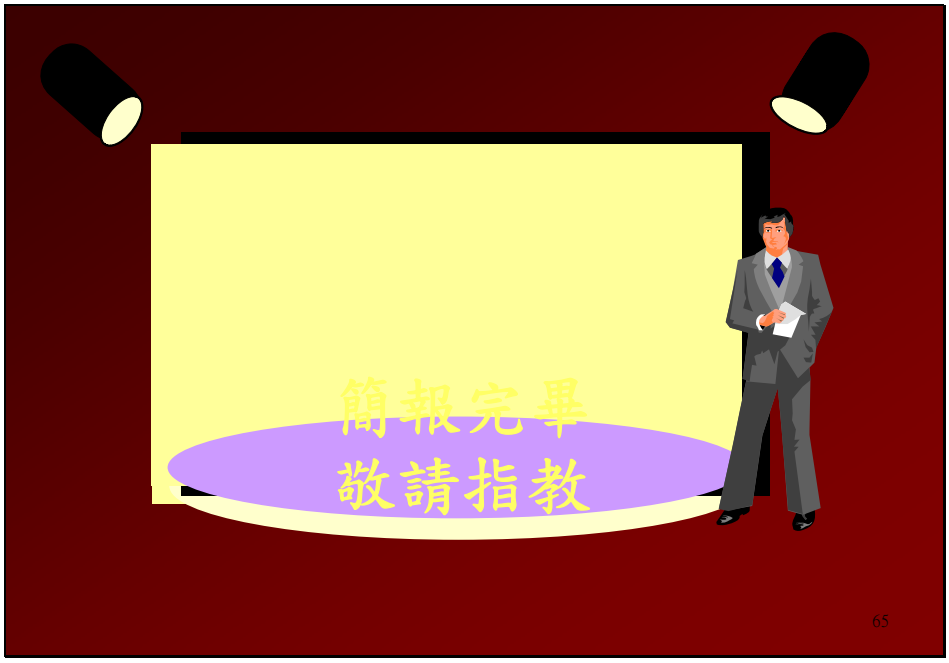
能量增大現象究竟是港池共振所引起？或者是能量無法消散而產生累積效應所致？

波浪觀測時間長度僅10分鐘，此對長週期波動分析結果之可靠性。

港內短週期波騎乘在長週期波上之特殊波動現象，其合適解析方法。

港外測點位置在港口附近，其波浪組成中是否夾雜港內之長波反射成份？

55




65