

97-41-7327

MOTC-IOT-96-H3DB002

花蓮港港池共振機制研究(3/4)



交通部運輸研究所
中華民國 97 年 3 月

97

花蓮港港池共振機制研究
(3/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009700833

定價 300 元

97-41-7327

MOTC-IOT-96-H3DB002

花蓮港港池共振機制研究(3/4)

著者：林炤圭、岳景雲、林玉峰、涂宗男、簡仲璟、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

花蓮港港池共振機制研究. (3/4) / 林炤圭等著
. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民
97. 03

面 ; 公分

參考書目: 面

ISBN 978-986-01-3880-1(平裝)

1. 港埠管理 2. 波動 3. 臺灣

443.2

97006552

花蓮港港池共振機制研究(3/4)

著 者: 林炤圭、岳景雲、林玉峰、涂宗男、簡仲璟、李俊穎

出版機關: 交通部運輸研究所

地 址: 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 97 年 3 月

印 刷 者: 德輝興業有限公司

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網站

定 價: 300 元

展 售 處:

交通部運輸研究所運輸資訊組• 電話: (02)23496880

五南文化廣場: 臺中市中山路 6 號• 電話: (04)22260330

GPN : 1009700833

ISBN : 978-986-01-3880-1 (平裝)

著作財產權: 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。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：花蓮港港池共振機制研究(3/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-3880-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1009700833	運輸研究所出版品編號 97-41-7327	計畫編號 96-H3DB002
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：簡仲璟 研究人員：李俊穎 參與人員：錢爾潔、馬維倫 聯絡電話：04-26587122 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立台灣海洋大學 計畫主持人：林炤圭、岳景雲 研究人員：林玉峰、涂宗男 地址：基隆市北寧路二號 聯絡電話：02-24622192-6125	研究期間 自 96 年 3 月 至 96 年 11 月	
關鍵詞：花蓮港共振、現場觀測、數值模擬、HHT			
摘要： 本計畫為四年期計畫之第三年，其工作目標在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。在前兩年的計畫中除了進行波壓水位轉換函數的探討、花蓮港現場港內港外波浪及沈箱波壓的統計分析、及建構花蓮港之港灣穩靜度規則波及不規則波數值模式外，也進行花蓮港的長週期波動的觀測。研究成果中發現波壓與波高的轉換關係可能可以透過線性波理論的轉換函數乘上一非線性的係數來修正，但是波峰與波谷的轉換關係不同，波谷部分呈線性關係但隨水深的增加而減小；波峰部分則呈現非線性的關係且隨波形非線性的增加成快速衰減。花蓮港的長週期波浪觀測的結果發現花蓮港一直存在著 1000 秒以上的波動但振幅不大，颱風來襲期間 100 秒至 500 秒間的波動能量則有明顯地增加。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。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、以及港池共振改善方案可行性評估。為了分析含有非定常及非線性波動特性的波浪記錄，本計畫也引用 Hilber-Huang 轉換(HHT)編寫 Matlab 程式對所觀測的水位資料進行分析，以瞭解波動裡面的各種成分。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
97 年 3 月	206	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Harbor Resonance of Hualien Harbor (3/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-3880-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009700833	IOT SERIAL NUMBER 97-41-7327	PROJECT NUMBER 96-H3DB002
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien Chung-Ching PROJECT STAFF: Lee Jung-Yin, Chien Er-Jier, Ma Wei-Lun PHONE: (04) 26587132 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM March 2007 TO November 2007
RESEARCH AGENCY: NATIONAL TAIWAN OCEAN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lin Jaw-Guei, Yueh Jiin-Yung PROJECT STAFF: Y. F. Lin, J. N. Twu ADDRESS: 2, PEI-NING RD., KEELUNG 202, Taiwan, R.O.C. PHONE: (02) 24622192 ext.6125			
KEY WORDS: HARBOR RESONANCE, FIELD OBSERVATION, NUMERICAL SIMULATION, HHT			
ABSTRACT: In this third year of a four-year project, the harbor resonance problem of Hualien Harbor was studied. Over the past two years, the transfer function of wave pressure and water elevation from experimental data, the statistical analyses of field wave data, inside and outside the harbor, and pressure on east breakwater caisson have been done and discussed, and a numerical model of Hualien Harbor tranquility under regular/irregular wave action has already been setup. Meanwhile the observations of long period wave oscillations inside the Hualien Harbor and along the eastern coast have been deployed. The transfer function was found to be different from the linear wave theory and may be adjusted with a non-linear function of water depth. A linear relation was found in wave trough but decayed as water depth increased and was highly non-linear in the wave crest and decayed as water depth or wave steepness increased. Hualien Harbor is found to contain wave components with periods longer than 1000 seconds all the time, and the wave components with periods between 100 seconds and 500 seconds have dominantly increased wave energy except during the typhoon intrusion. In this third year project, we will continue study the transfer function, long period wave observations, numerical simulations of harbor tranquilities induced by directional waves or practical irregular waves, and also the improvements about the long period oscillations of Hualien Harbor. In the first half year, we maintained the wave observations around Hualien Harbor, and a new observation was deployed outside Hualien Harbor. The Hilbert-Huang Transform (HHT) were also introduced and programmed to analyze the observed data to explore the component in the signal, and seek the long period component.			
DATE OF PUBLICATION March 2008	NUMBER OF PAGES 206	PRICE 300	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

花蓮港港池共振機制研究(3/4)

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	X
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	1-1
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	1-10
1.7 前兩年的主要研究成果	1-13
1.8 本年度各項工作項目的內容、研究方法與進度	1-25
第二章 取樣頻率對波動資料分析的影響	2-1
第三章 Hilbert-Huang 轉換在波動分析上的應用	3-1
3.1 Hilbert-Huang 轉換的簡介	3-1
3.2 HHT 在水面波動時序訊號的應用	3-13
3.3 HHT 應用在水面波動分析的檢討	3-23
第四章 多方向不規則波的數值模擬	4-1
4.1 無限元素港灣水面波動數值模式	4-1
4.2 花蓮港的數值水深地形檔	4-7
4.3 規則波數值模擬	4-9
4.4 單方向不規則波的數值模擬	4-11
4.5 實測波譜的模擬	4-23
4.6 多方向不規則波的港灣波動模擬	4-28
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	5-18
第六章 結 論	6-1
參考文獻.....	7-1
附錄 1 期中/期末報告審查意見處理情形	附 1-1
附錄 2 期末報告簡報資料	附 2-1

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 1.3 壓力與水位轉換水工試驗的斷面模型	1-15
圖 1.4 凹陷地形中水位與波壓的相關性(規則波).....	1-15
圖 1.5 等深地形中水位與波壓的相關性(規則波).....	1-16
圖 1.6 不同水深之轉換波高比值與理論波壓轉換函數的關係(凹陷 地形、規則波).....	1-17
圖 1.7 不同水深之轉換波高比值與理論波壓轉換函數的關係(凹陷 地形、規則波).....	1-18
圖 1.8 不同水深之轉換波高比值與理論波壓轉換函數的關係(等深 地形、規則波).....	1-19
圖 1.9 長週期波動之觀測	1-20
圖 1.10 長週期波動之聯合觀測水位記錄(2006/8)	1-21
圖 1.11 長週期波動之聯合觀測頻譜(2006/8).....	1-22
圖 1.12 2005 年瑪莎颱風侵襲路徑	1-22
圖 1.13 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化時間序列	1-23
圖 1.14 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內頻譜變化圖	1-23
圖 1.15 不規則波港灣波動數值模式的計算流程圖	1-24
圖 2.1 週期 2.7 秒及 3.3 秒波形組合的測試	2-2
圖 2.2 週期 4.9 秒及 5.1 秒波形組合的測試	2-3
圖 2.3 週期 9.8 秒及 10.2 秒波形組合的測試	2-4
圖 2.4 週期 19.6 秒及 20.4 秒波形組合的測試	2-5
圖 2.5 週期 29.4 秒及 30.6 秒波形組合的測試	2-6
圖 2.6 週期 39.2 秒及 40.8 秒波形組合的測試	2-7
圖 2.7 週期 49 秒及 51 秒波形組合的測試	2-8
圖 2.8 週期 98 秒及 102 秒波形組合的測試	2-9
圖 2.9 週期 196 秒及 204 秒波形組合的測試	2-10
圖 2.10 週期 294 秒及 306 秒波形組合的測試	2-11
圖 3.1 IMF 的範例(Huang and Shen, 2005).....	3-6

圖 3.2	EMD 解析過程的說明例	3-10
圖 3.3	地球自轉的每日長度變化	3-11
圖 3.4	民國 95 年 4 月 5 日 21:58(4096 秒)花蓮港內港波動分析結果.....	3-14
圖 3.5	民國 95 年 4 月 5 日 21:58(4096 秒)花蓮港外港波動分析結果.....	3-15
圖 3.6	民國 95 年 4 月 6 日 5:10(4096 秒)花蓮港內港波動分析結果.....	3-16
圖 3.7	民國 95 年 4 月 6 日 5:10(4096 秒)花蓮港外港波動分析結果.....	3-17
圖 3.8	民國 95 年 8 月 18 日 14:50(4096 秒)花蓮港內港波動分析結果.....	3-18
圖 3.9	民國 95 年 8 月 18 日 14:50(4096 秒)花蓮港外港波動分析結果.....	3-19
圖 3.10	民國 95 年 8 月 18 日 14:50(4096 秒)鹽寮漁港波動分析結果.....	3-20
圖 3.11	民國 95 年 8 月 18 日 19:00(4096 秒)石梯漁港波動分析結果.....	3-21
圖 3.12	民國 95 年 8 月 18 日 23:10(4096 秒)金樽漁港波動分析結果.....	3-22
圖 3.13	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF...3-24	
圖 3.13(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF3-25	
圖 3.13(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF3-26	
圖 3.13(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF3-27	
圖 3.13(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析 IMF3-28	
圖 3.14	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析 IMF...3-29	
圖 3.14(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析 IMF3-30	
圖 3.14(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析 IMF3-31	
圖 3.14(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析 IMF3-32	
圖 3.14(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析 IMF3-33	
圖 3.15	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜...3-34	
圖 3.15(續)	民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜3-35	

圖 3.15(續) 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜	3-36
圖 3.15(續) 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜	3-37
圖 3.15(續) 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜	3-38
圖 3.16 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜	3-39
圖 3.16(續) 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜	3-40
圖 3.16(續) 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜	3-41
圖 3.16(續) 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜	3-42
圖 3.16(續) 民國 94 年 8 月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜	3-43
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	4-6
圖 4.3 花蓮港水域數值水深資料彙整情形	4-8
圖 4.4 修正過的花蓮港水域數值水深地形	4-8
圖 4.5 九個測站之波高增幅係數 曲線圖	4-10
圖 4.6 波高增幅係數 分佈圖	4-11
圖 4.7 規則波港灣波動數值模式的計算流程圖	4-12
圖 4.8 規則波作用下 分佈圖($T_s=8\text{ s}$)	4-18
圖 4.9 不規則波(B-M 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-18
圖 4.10 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-19
圖 4.11 不規則波(B-M 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式 4.36)	4-19
圖 4.12 不規則波(B-M 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式 4.37)	4-19
圖 4.13 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式 4.36)	4-19
圖 4.14 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式 4.37)	4-20
圖 4.15 規則波作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$)	4-20
圖 4.16 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-20
圖 4.17 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=10\text{ m}$)	4-20
圖 4.18 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式 4.36)	4-21

圖 4.19 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式 4.37).....	4-21
圖 4.20 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=10\text{ m}$, 式 4.36).....	4-21
圖 4.21 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=10\text{ m}$, 式 4.37).....	4-21
圖 4.22 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 1 公尺)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-22
圖 4.23 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 2 公尺)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-22
圖 4.24 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 3 公尺)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-22
圖 4.25 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 0.1 公尺)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-22
圖 4.26 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 0.5 公尺)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-23
圖 4.27 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 1 公尺)作用下 分佈圖($T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$)	4-23
圖 4.28 提姆颱風(1994)行進路徑圖.....	4-24
圖 4.29 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬	4-24
圖 4.29(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬.....	4-25
圖 4.29(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬.....	4-26
圖 4.30 提姆颱風(1994)過境時花蓮港實測頻譜.....	4-26
圖 4.30(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港實測頻譜.....	4-27
圖 4.31 不同主波方向之多方向不規則波作用下 分佈圖(JONSWAP 頻譜、 $T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$).....	4-29
圖 5.1 水工模型試驗方案及測點位置圖	5-3
圖 5.2 水工模型試驗方案及測點位置圖	5-5
圖 5.2(續) 水工模型試驗方案及測點位置圖.....	5-6
圖 5.2(續) 水工模型試驗方案及測點位置圖.....	5-7
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	5-16
圖 5.6 配置構想三	5-17
圖 5.7 配置構想四	5-18
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 曲線圖	5-21
圖 5.10 配置方案二，九個測站之波高增幅係數 曲線圖	5-22
圖 5.11 配置方案三，九個測站之波高增幅係數 曲線圖	5-23
圖 5.12 配置方案四，九個測站之波高增幅係數 曲線圖	5-24
圖 5.13 配置方案五，九個測站之波高增幅係數 曲線圖	5-25
圖 5.14 配置方案一，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-26
圖 5.14(續) 配置方案一，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-27
圖 5.15 配置方案二，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-28
圖 5.15(續) 配置方案二，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-29
圖 5.16 配置方案三，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-30
圖 5.16(續) 配置方案三，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-31
圖 5.17 配置方案四，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-32
圖 5.17(續) 配置方案四，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-33
圖 5.18 配置方案五，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-34
圖 5.18(續) 配置方案五，不同週期入射波之波高增幅係數 分佈圖	5-35
圖 5.19 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一)	5-36
圖 5.20 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案二)	5-37
圖 5.21 兩個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案三)	5-38
圖 5.22 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案四)	5-39
圖 5.23 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案五)	5-40

表目錄

表 1.1 2006 年各觀測站的資料收集範圍	1-21
表 5.1 各配置方案的差異比較	5-4
表 5.2 JONSWAP 頻譜試驗波浪條件	5-4
表 5.3 各配置方案的差異比較	5-8
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	5-12

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，交通部運輸研究所(以下簡稱貴所)乃依據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，並配合貴所的相關研究，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。

1.2 計畫重要性

花蓮港為我國唯一為處於台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台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，花蓮縣位處台灣東部海岸的中段，其海岸線綿延約110公里，且面臨太平洋遼闊的豐富漁場。在台灣東部海岸，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。

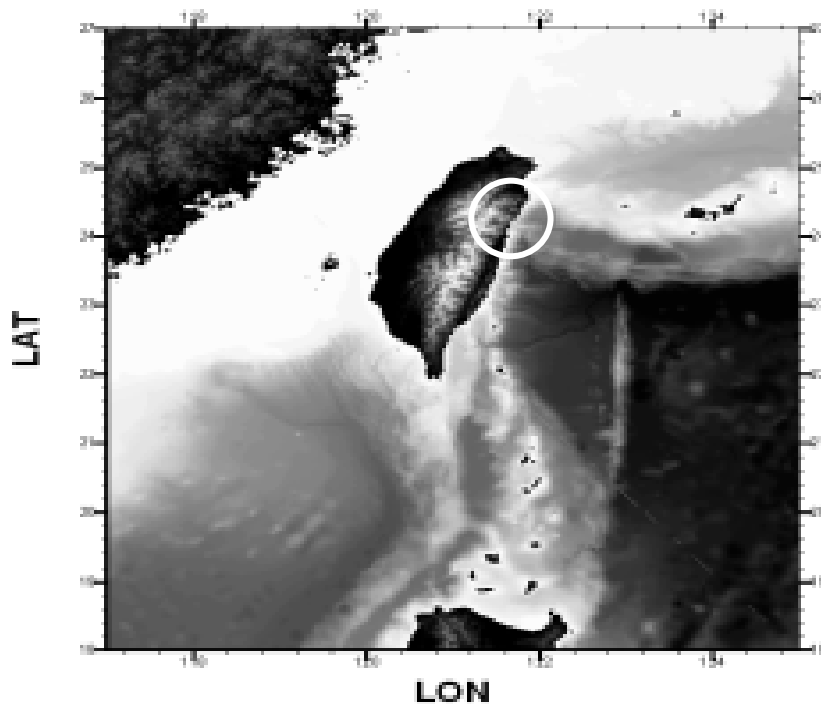


圖1.1 花蓮港位置示意圖

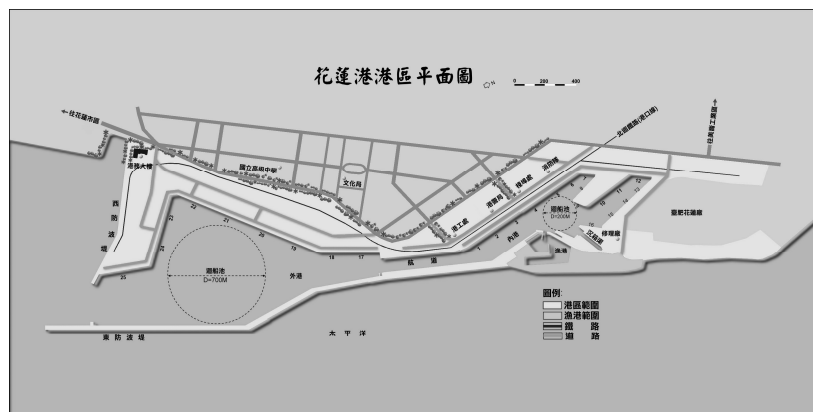


圖1.2 花蓮港現況配置圖

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，貴所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)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，港研中心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，花蓮港務局與港研中心也曾於民國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，因此猜測可能尚其他的共振機制。

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港研中心提供，而計畫執行單位必須配合港研中心的內部研究，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

依據公告之招標文件所述，本計畫設定執行四年，目前係進行第三年的工作，各年之主要工作項目包括：

第一年(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

以不同深度的等水深地形，在同一位置使用容量式波高計及壓力頭模擬壓力式波高計同步量測不同入射週期及波高的水面波動與水底壓力變化時序性資料，分析比較壓力與波高之轉換關係。其次，變換底床坡度重複上項試驗與分析。試驗之波浪將以規則波

與不規則波分別進行。而模型配置也分為空水槽及直立堤兩種。

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(觀測由本中心執行)

針對目前正在持續進行的現場波浪觀測，以傳統的及第一項的經驗公式進行統計分析與比較。傳統的波浪分析將包含如零上切求個別波高及特性波高，頻譜分析及波高週期統計分析與理論曲線套配。

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

以花蓮港的地形，並考慮外海的波浪折射與淺化，以及海岸及碼頭岸壁的非定值反射特性，建構港灣波動數值模式。其中，將首先進行元素分割大小及數值收斂性的比較。其後，進行規則波的數值模擬以計算港內波高分布及特定點的增幅曲線，以與過去的研究成果相比較與驗證。

4. 花蓮港防波堤振動特性與沉箱變位資料分析(資料由本中心提供)

第二年(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

在平面水槽設置部份開口之矩形港池，並視需要調整港外的海底地形坡度，進行不同入射方向所造成之港外入反射波場及港內多次反射波場之波壓與波高的轉換關係的探討。

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(合辦)

以理論頻譜進行不規則波的港灣波動數值模擬

以理論頻譜如JONSWAP、P-M或Bretschneider頻譜進行不規則波之港灣波動數值模擬，並計算港內特定點之反應頻譜，以及相關的波高與週期參數。

3. 規劃及設計三維潮流數值模式

針對花蓮港的地形引進三維潮流模式理論，建構適合花蓮港的潮流數值模式。

第三年(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(合辦)

除延續第一及第二年確認波高與波壓關係之土工模型試驗工作外，將著重在長周期波的觀測及其頻譜特性與發生機制探討。

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。(合辦)

第四年(97年)：

1. 延續前三年工作內容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(合辦)

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

2. 以花蓮港的潮汐與潮流特性進行花蓮港附近三維潮流數值模擬

配合本所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(合辦)

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	台灣五個國際港附近海域海氣象調查研究
B085032	台灣五個國際港海氣象資料庫查詢系統建立研究
B085033	台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	台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	台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)「台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、林昭圭、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，港研中心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，港研中心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，包括港研中心於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，港研中心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。

基本上，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水位轉換函數在國際間仍一直在討論而無法確認其間的關係，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多方向不同。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 前兩年的主要研究成果

在本計畫的前兩年工作中，除了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。主要的工作成果如下所述：

1. 壓力與水面波動轉換關係的試驗研究

透過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(如圖1.3所示)，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的試驗結果分析，發現波形及壓力轉換並非如線性波浪理論以及一般所預期的簡單關係。圖1.4及圖1.5分別為凹陷地形與等深地形模型試驗中係不同造波條件中水面波形與水中壓力相關分佈的近似迴歸曲線，各圖均顯示九個不同深度處的關係曲線。從各圖中可以發現，在深水波及中間性波的範圍內，平均水面以下的波動與水壓間的關係近似於線性關係，但並非1:1的正比關係，而且隨著水深的加深其關係愈不明顯(趨於水平線)；但平均水面以上的波動則明顯呈現非線性的關係，同一週期波浪下，水壓

隨著波高的增加而快速衰減。顯示非線性的波動其傳遞至水下的動壓力會有明顯衰減的現象，也意謂著利用壓力式高計量測非線性水面波動的話，可能會有低估的情形。

為進一步分析，圖1.6至圖1.8分別為凹陷地形規則波/不規則波模型試驗中，以及等深地形規則波模型試驗中由各不同水深所測壓力轉換的波高比值(以水深100cm處的波高值為分母)與理論轉換曲線的比較圖。從各圖中可以發現，由不同水深處量測的壓力值所轉換的波高比值與各理論值都很相近，但是與實際由容量式波高計所量測到的水深則有一明顯的衰減值。其原因仍應與波浪的非線性有關。

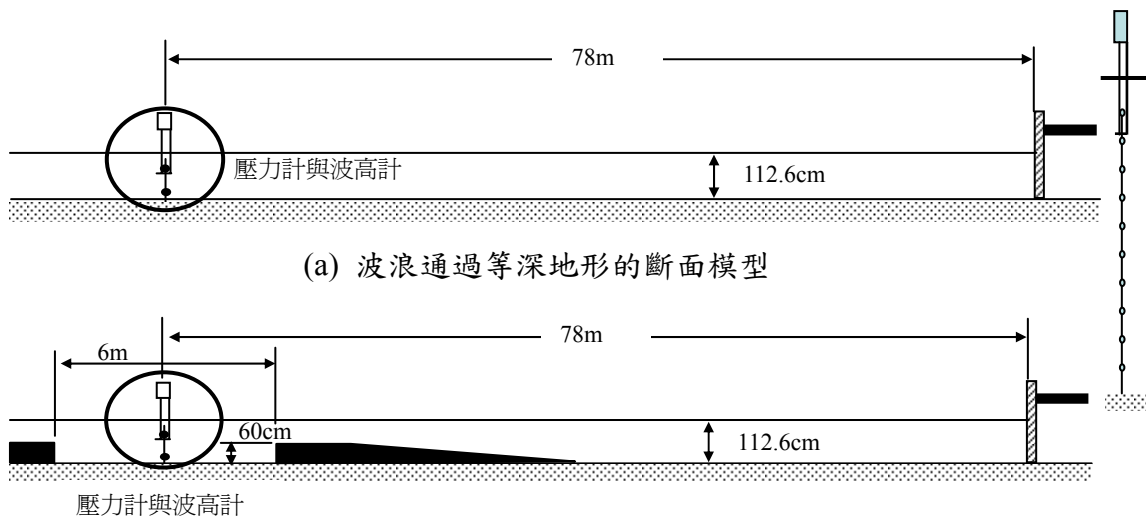


圖1.3 壓力與水位轉換水工試驗的斷面模型

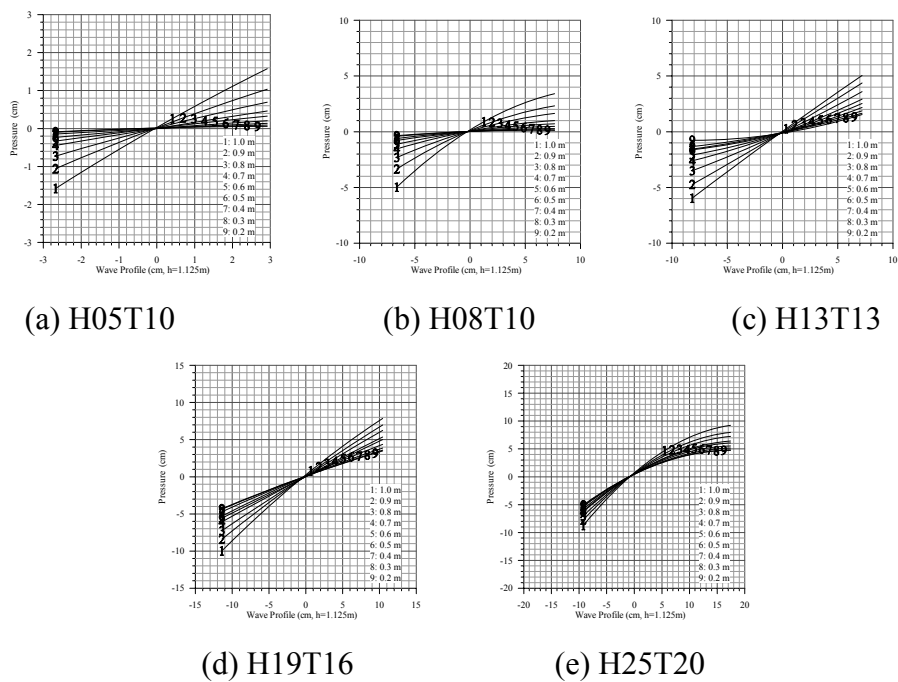


圖1.4 凹陷地形中水位與波壓的相關性(規則波)

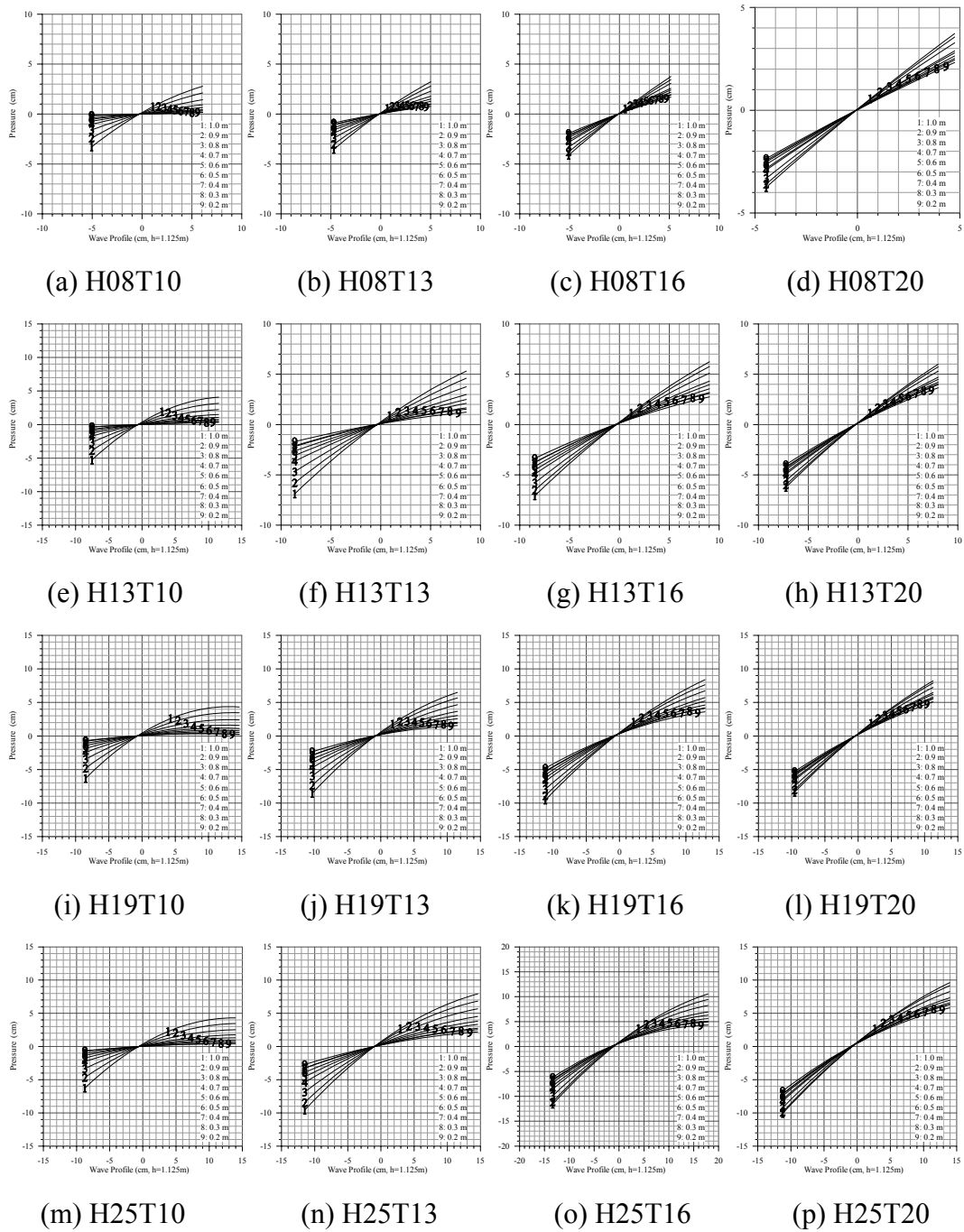
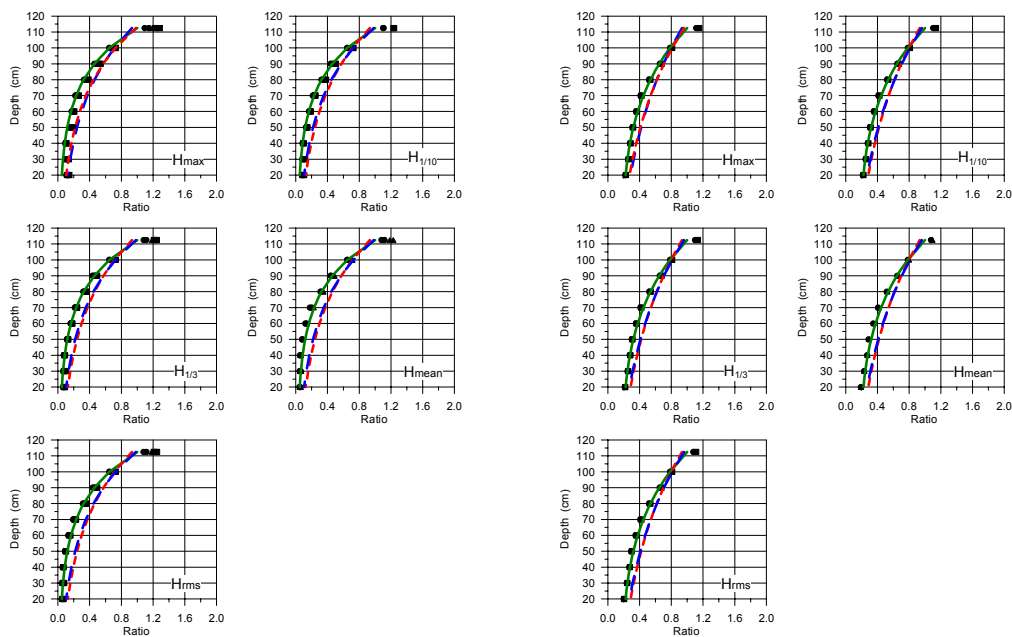
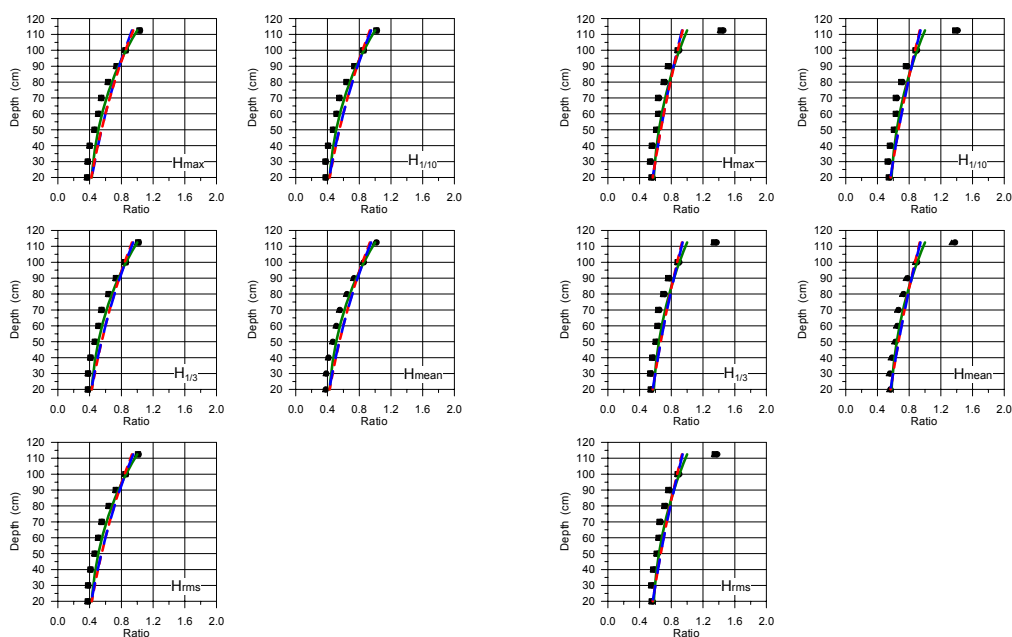


圖1.5 等深地形中水位與波壓的相關性(規則波)



(a) $T = 1.0$ s

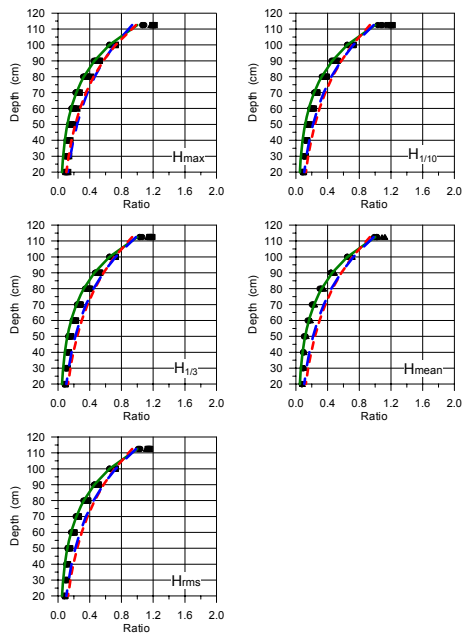
(b) $T = 1.3$ s



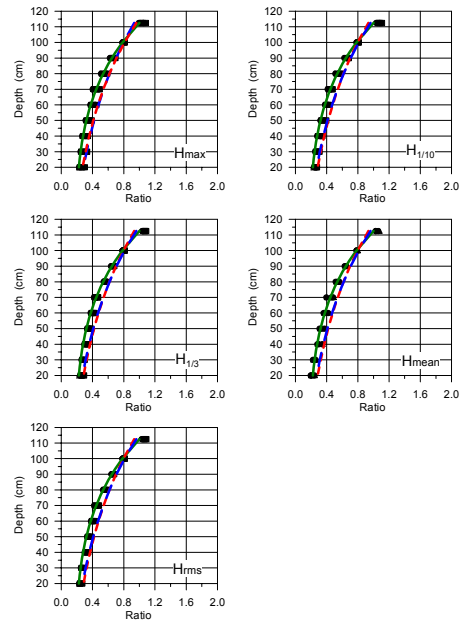
(c) $T = 1.6$ s

(d) $T = 2.0$ s

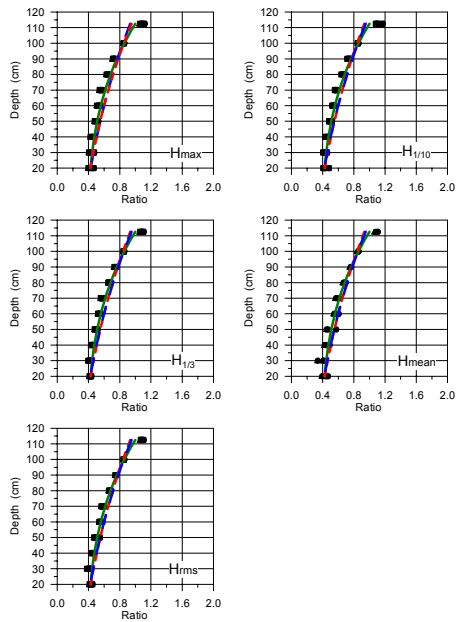
圖1.6 不同水深之轉換波高比值與理論波壓轉換函數的關係(凹陷地形、規則波)



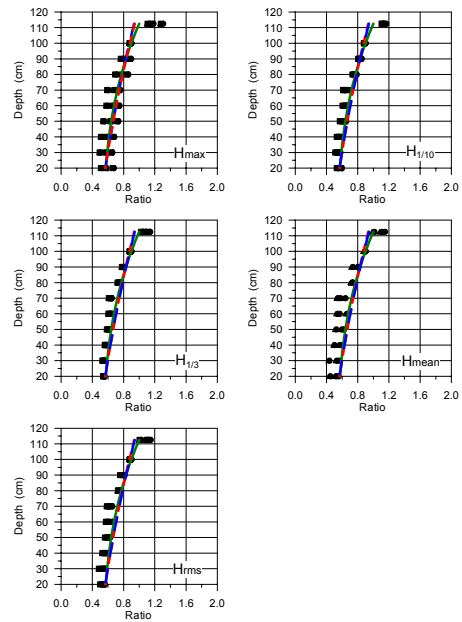
(a) $F = 0.9\text{Hz}$ 、 $H = 8\text{cm}$



(b) $F = 0.6\text{Hz}$ 、 $H = 13\text{cm}$

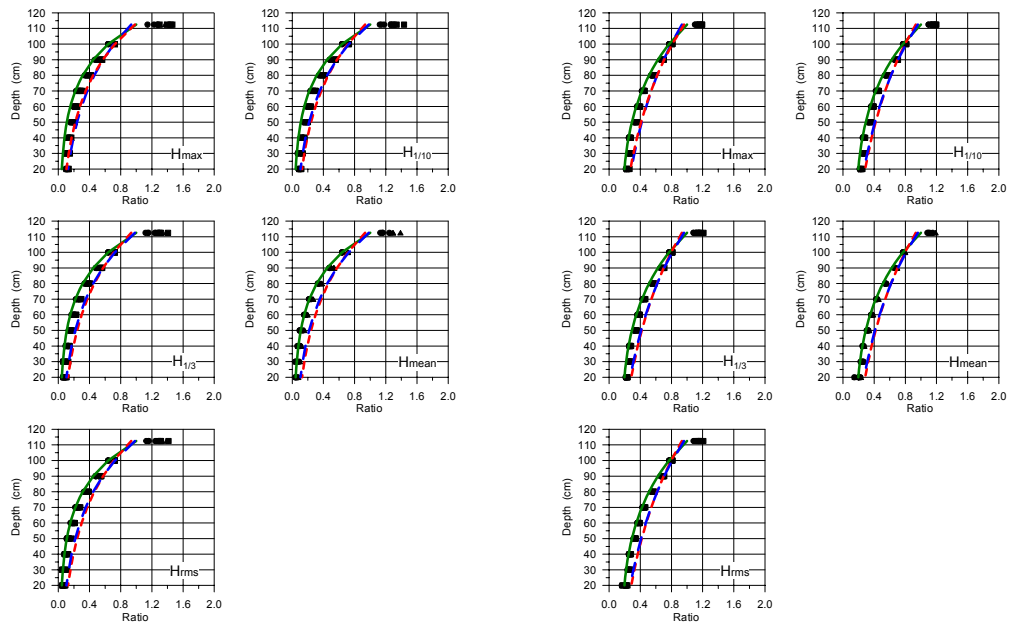


(c) $F = 0.5\text{Hz}$ 、 $H = 19\text{cm}$



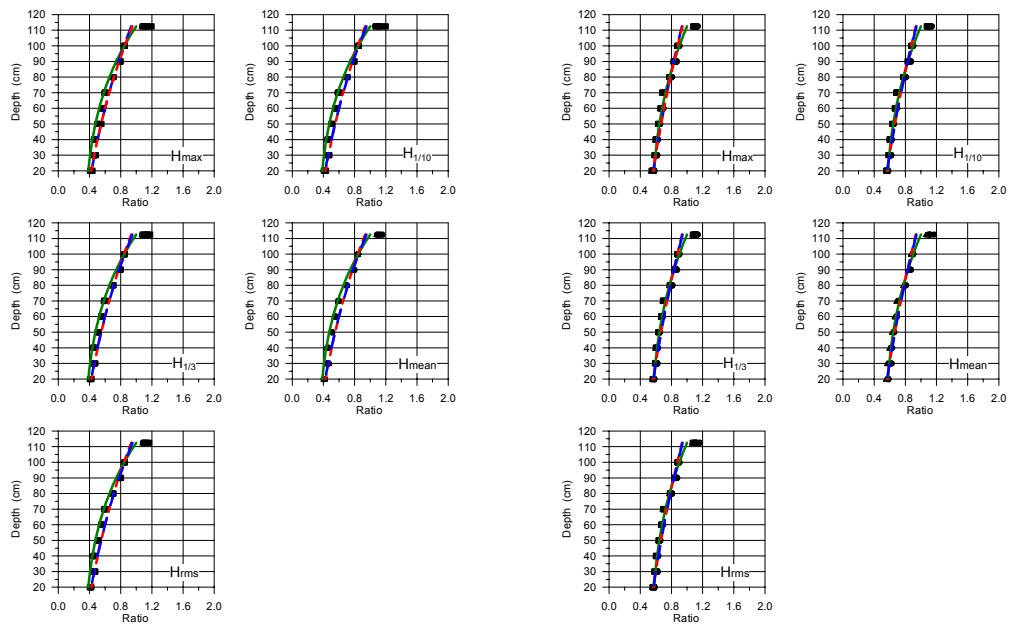
(d) $F = 0.4\text{Hz}$ 、 $H = 25\text{cm}$

圖1.7 不同水深之轉換波高比值與理論波壓轉換函數的關係(凹陷地形、規則波)



(a) $T = 1.0 \text{ s}$

(b) $T = 1.3 \text{ s}$



(c) $T = 1.6 \text{ s}$

(d) $T = 2.0 \text{ s}$

圖1.8 不同水深之轉換波高比值與理論波壓轉換函數的關係(等深地形、規則波)

2. 花蓮港的長週期水位變動觀測分析

為瞭解花蓮港內的長週期波動成分，除了於94年4月起在花蓮港內持續進行水位觀測外，也於95年4月、6月及8月共進行了三次的現場聯

合觀測，觀測站涵蓋花蓮港、鹽寮漁港、石梯漁港、及金樽漁港，各站均獲得數筆15000秒的觀測資料。圖1.9為花蓮港內及距離約17公里的鹽寮漁港所裝設水位計的位置，表1.1為目前已經收集的時間範圍。圖1.10及圖1.11為2006年8月所進行的東海岸聯合觀測，部分分析資料的水位記錄及波譜。圖1.12至圖1.14則為2005年瑪莎颱風侵襲期間的路徑、水位記錄及相對波譜。從分析的資料發現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。未來應持續進行觀測。

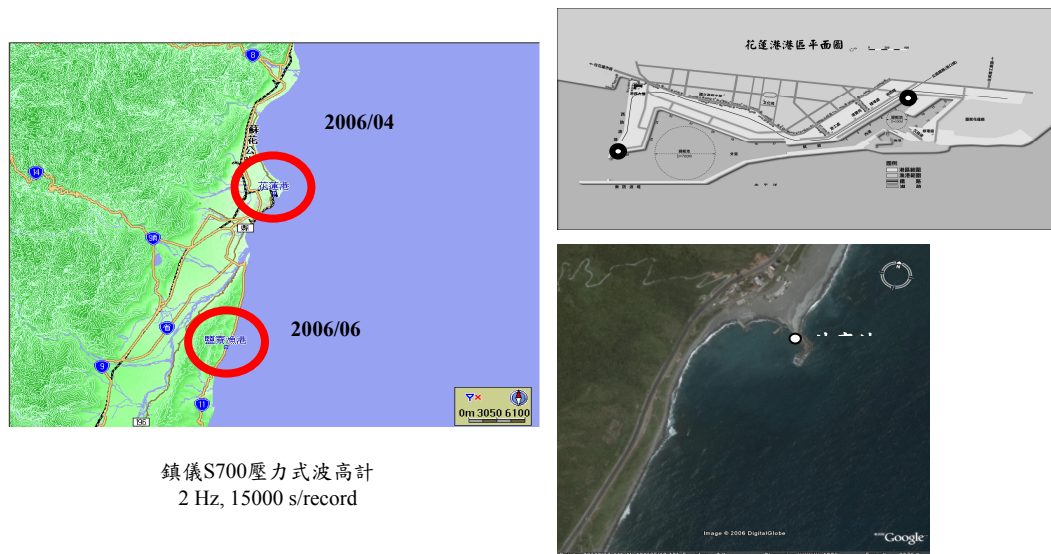


圖1.9 長週期波動之觀測

表1.1 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 Seabird公司SBR90潮位儀
花蓮港內港	20060405 15:00 ~ 20060407 17:00(12筆) 20060818 10:40 ~ 20060819 20:00(8筆)	
花蓮港外港	20060405 15:00 ~ 20060407 17:00(12筆) 20060818 10:40 ~ 20060819 15:50(7筆)	
鹽寮漁港	20060610 06:00 ~ 20060412 15:20(8筆) 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)	

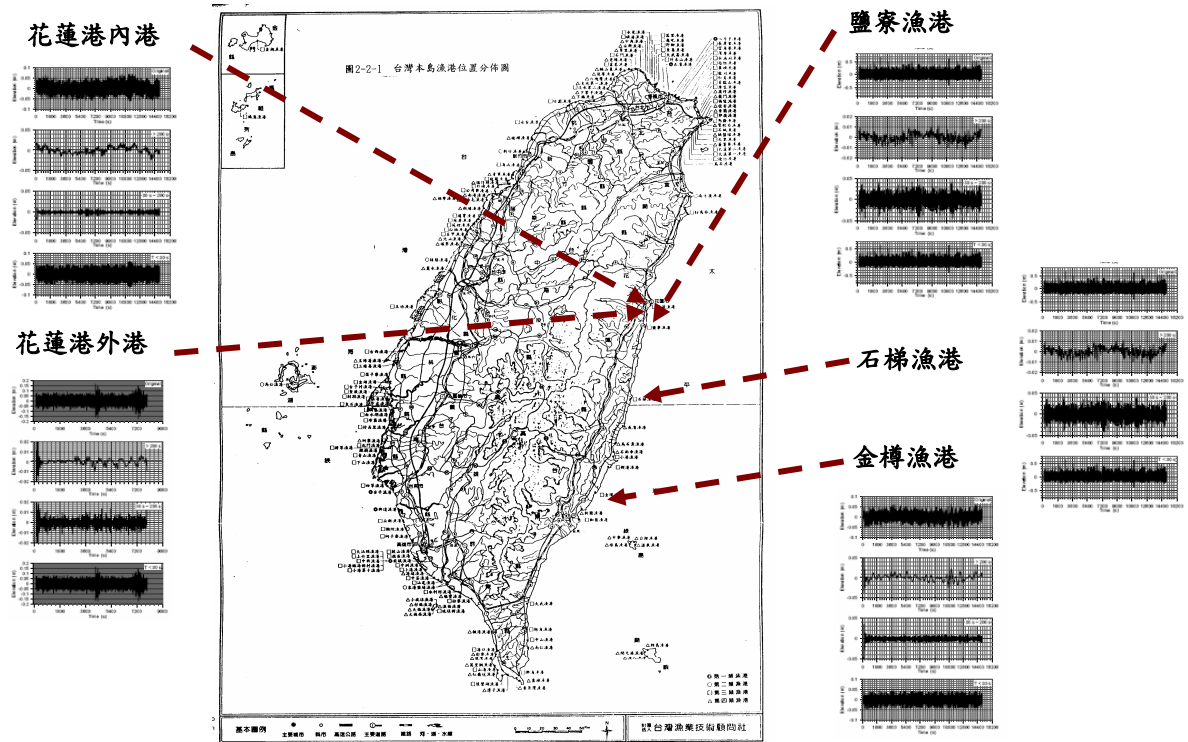


圖1.10 長週期波動之聯合觀測水位記錄(2006/8)

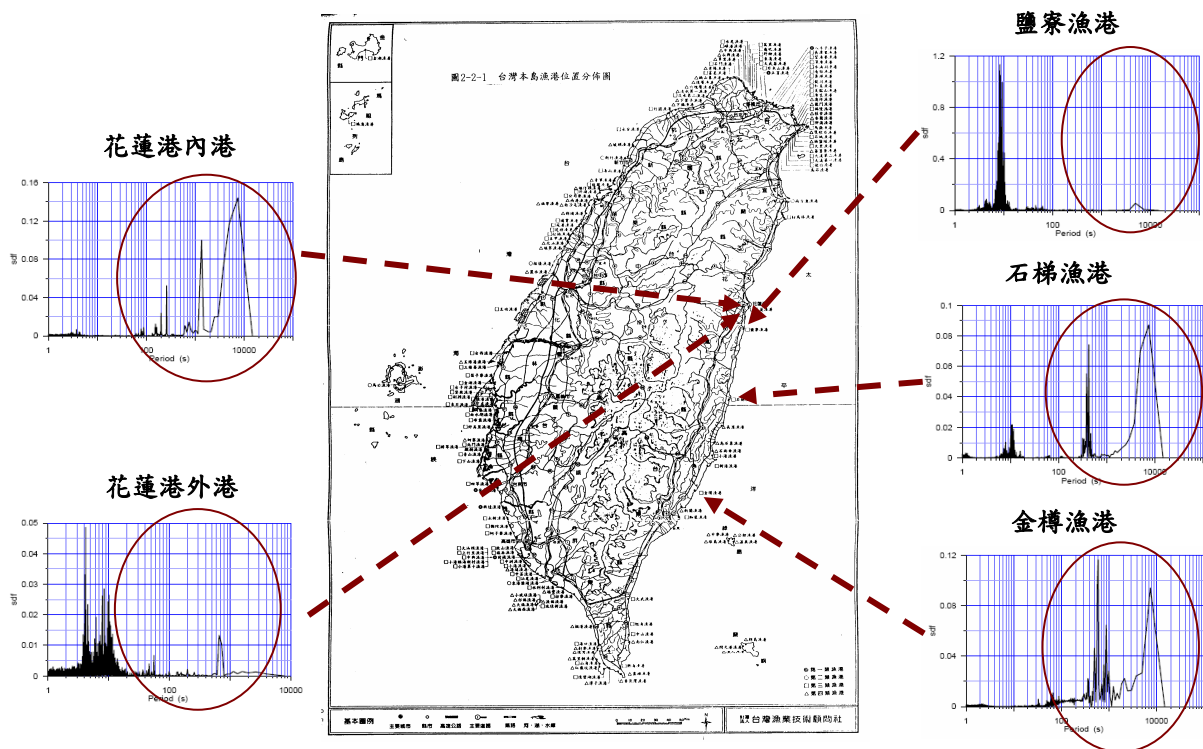


圖1.11 長週期波動之聯合觀測頻譜(2006/8)

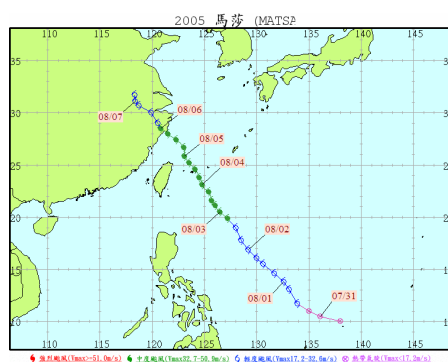
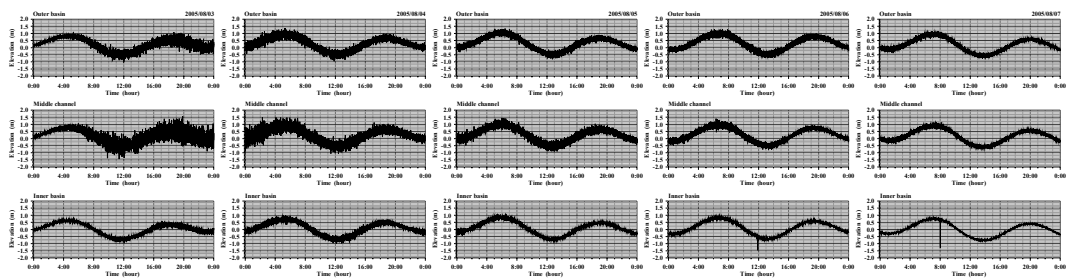
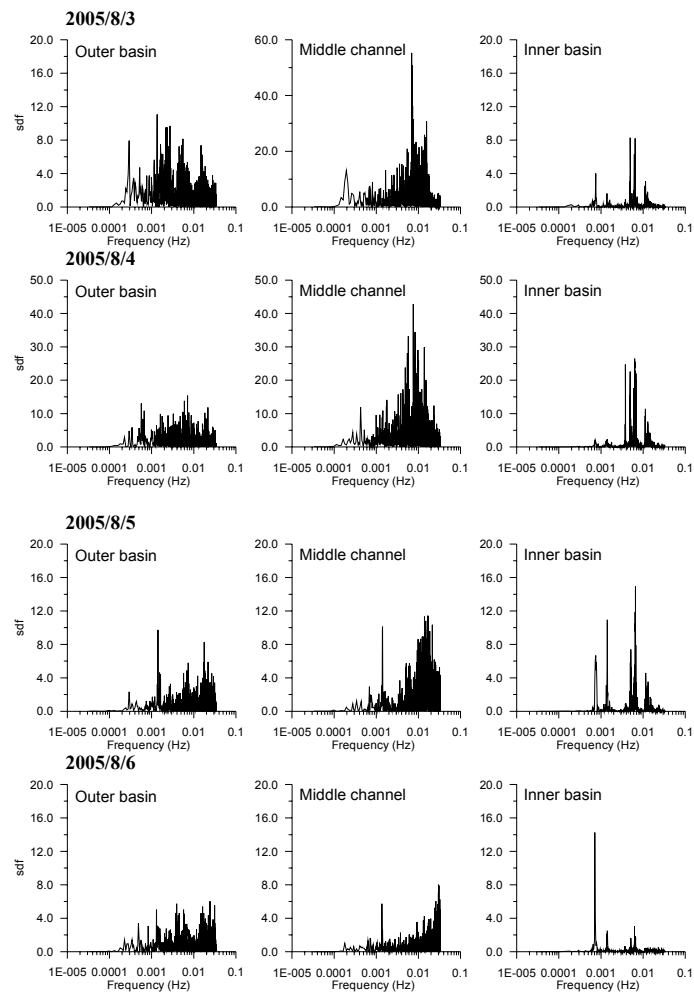


圖1.12 2005年瑪莎颱風侵襲路徑



(a) 2005/8/3 (b) 2005/8/4 (c) 2005/8/5 (d) 2005/8/6 (e) 2005/8/7

圖1.13 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化時間序列



(縱軸單位： $\text{m}^2 \cdot \text{s}$)

圖1.14 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內頻譜變化圖

3. 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

為了瞭解花蓮港的港內波動特性，本計畫建置規則波/不規則波引致花蓮港港灣波動數值模式，並進行相關數值計算。在模擬中，除了進行理論頻譜的模擬外，也嘗試加入極長週期(例如1134秒)的獨立成分波。在模擬測試中發現即使是10公分的波高，也可能使得極長週期的波動主導整個港內的水域波動。圖1.15為不規則波模擬的作業流程。目前可引入的理論頻譜有 Pierson-Moskowitz 頻譜、Bretschneider-Mitsuyasu頻譜、以及JONSWAP頻譜。頻譜的分割方式為等週期分割。相關的理論基礎與研究成果將於第五章討論。

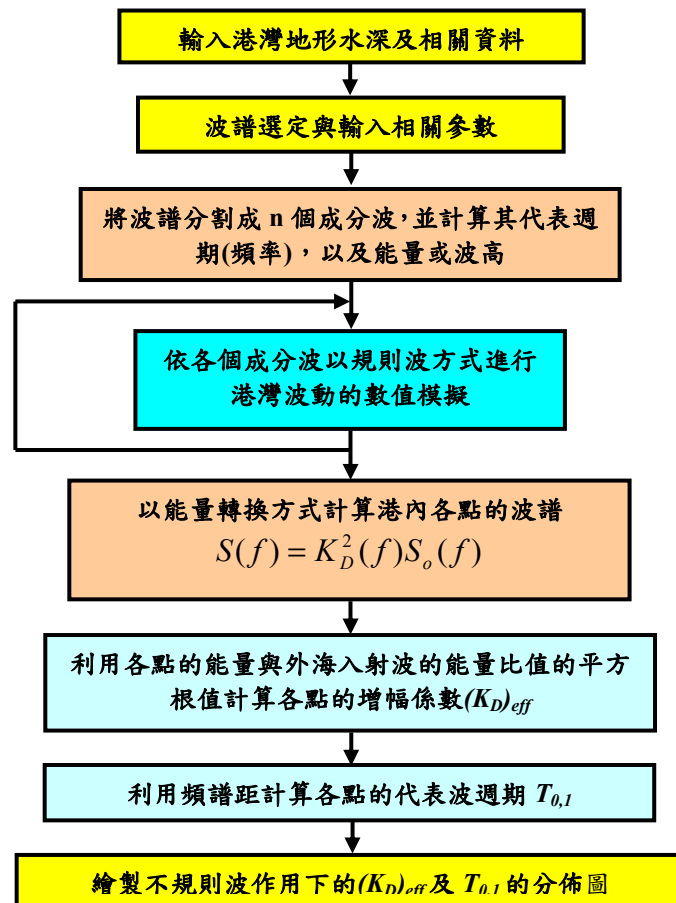


圖1.15 不規則波港灣波動數值模式的計算流程圖

1.8 本年度各項工作項目的內容、研究方法與進度

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(合辦)

本年度工作除延續第一及第二年確認波高與波壓關係之水力模型試驗工作外，將著重在長周期波的觀測及其頻譜特性與發生機制探討。

前半年度除了持續在花蓮港附近水域進行水位觀測外，也在貴中心協助之下，在台中港的外海拋放了一組壓力式波高計(S700及SBE39)，進行觀測。並預定與下半年度在安平港外海的觀測樁附近拋放波高計觀測。此外，本團隊也嘗試在資料的分析上引入Hilbert-Huang轉換方法，目前分析程式已經設計完成並進行了初步的測試以及對民國94年及95年的觀測資料進行分析。相關討論將詳述於後面章節。

台中港的長週期水位變動觀測是設置在目前港研中心在台中港外海的觀測站上，S700及SBE39分別以0.5秒及6秒的取樣週期進行採樣。由於作業期程的安排，與今年度多次颱風的侵襲造成多處港灣的測站儀器受損，目前尚未將本計畫所安置的儀器取回。未來配合港研中心的回收作業再在進行資料下載及分析。

2. 港灣波動數值模擬

本年度工作預定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。有關多方向不規則波的數值模擬，考慮以Mitsuyasu方向分佈函數及JONSWAP理論頻譜進行模擬。而由於現場外海實測頻譜不易獲得，本計畫將考慮參考鹽寮漁港所測得的波譜，或是由波浪推算所得的推算頻譜進行此部分的研究。

本上半年度進行了多方向不規則波的數值模擬的先期準備作業——針對花蓮港附近水域不同入射方向及不同週期的規則波動進行港灣波動的數值模擬，並將所有計算的水面波動儲存以建立基本資料庫。

計算的波浪條件包括：

- (1) 入射波方向：以區域座標系統(平行海岸線向南為+x軸，角度以逆時針方向量度)，每間隔 5° ，自 210° 計算至 330° (相當於自正東向逆時針量測的 92° 至 212°)。
- (2) 入射波週期：每間隔1秒，自3秒至200秒。

一共計算4950個檔案。雖然目前檔案數已經相當地大，但如果考量潮位對港灣波動的影響，其資料量將非常大量的增加。未來在資料庫的管理上，必須再做檢討。附錄A說明前兩個計畫年度有關港灣波動數值模擬的發展，以及相關檢討。由於本上半年度僅只是建立資料庫，因此本報告中不再贅述。唯該項資料庫亦提供另一項計畫：『近岸海象數值模擬與預警系統之建立參考。

3. 港池共振改善方案可行性評估。(合辦)

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。

第二章 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。

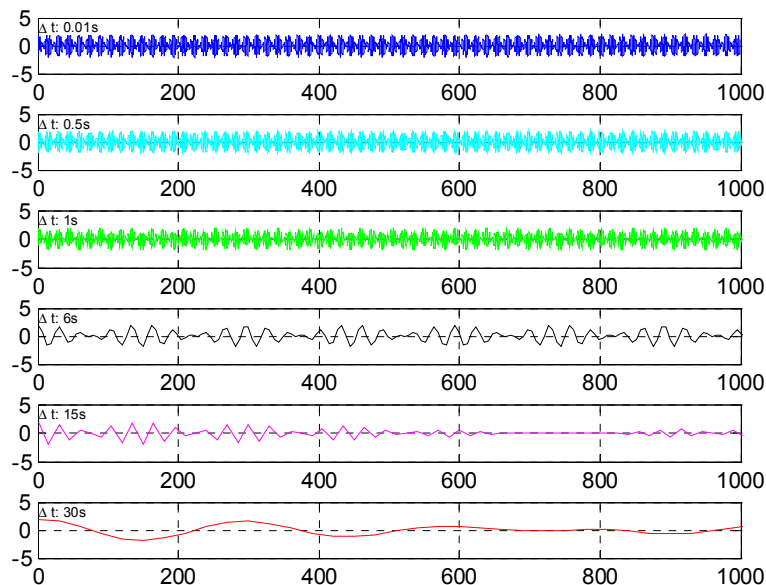
$$\eta(t) = \cos\left(\frac{2\pi}{T(1-\alpha)}t\right) + \cos\left(\frac{2\pi}{T(1+\alpha)}t\right) \dots\dots\dots (2.1)$$

式中， T 為主要代表週期，介於3至50秒之間，間隔1秒； α 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。

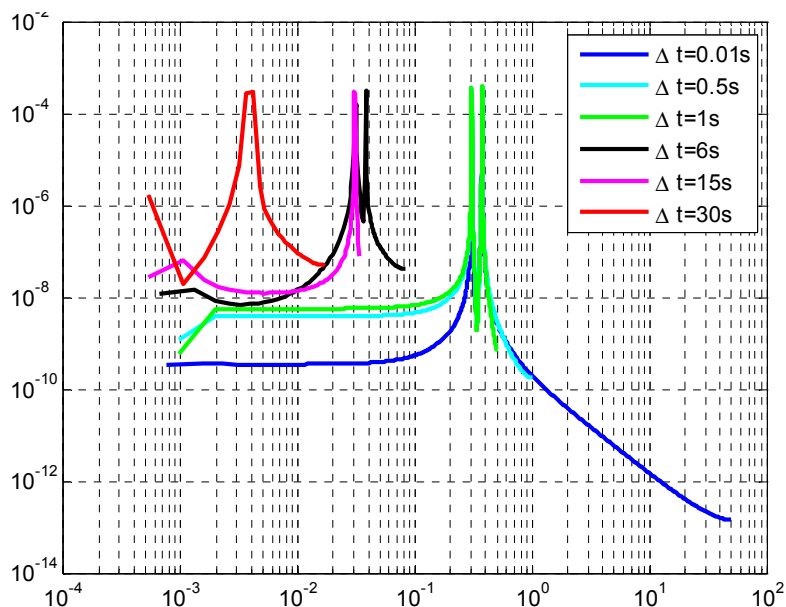
圖2.1至圖2.10分別為不同週期之規則餘弦波的合成波形所進行的取樣記錄波形及相對頻譜。從圖中可以看出不同週期的波浪在不同的取樣方式下，可能產生訊號的失真。例如圖2.1至圖2.3中所示，當 $T=3s$ 、 $T=5s$ 、 $T=10s$ 及 $T=20s$ 時，取樣時間間隔大於1秒即發生訊號週期向長週期偏移的失真情形。而圖2.5至圖2.7顯示，當 $T=30s$ 、 $T=40s$ 及 $T=50s$ 時，取樣時間間隔大於15秒才發生訊號週期向長週期偏移的失真情形。而圖2.8至圖2.10所示，當 $T \geq 100s$ 以上的測試中，即使取樣時間間隔等30秒也不發生訊號週期偏移的情形。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。

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。

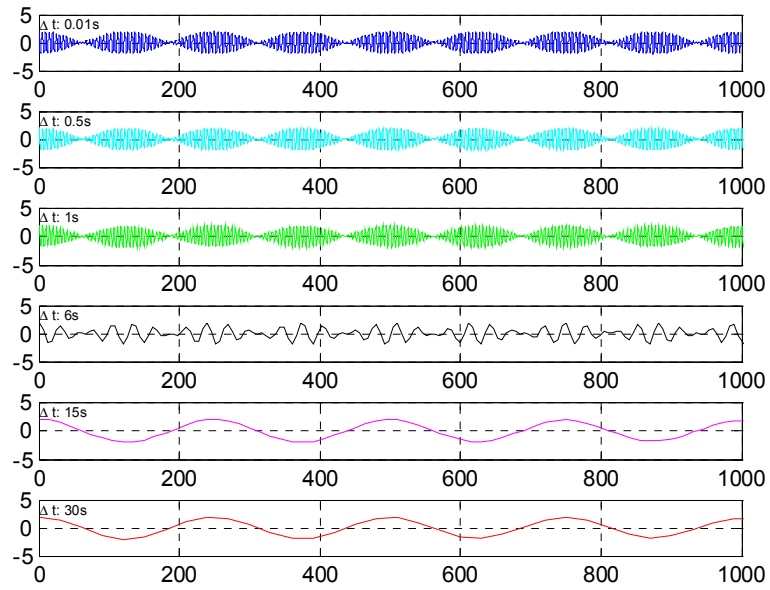


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

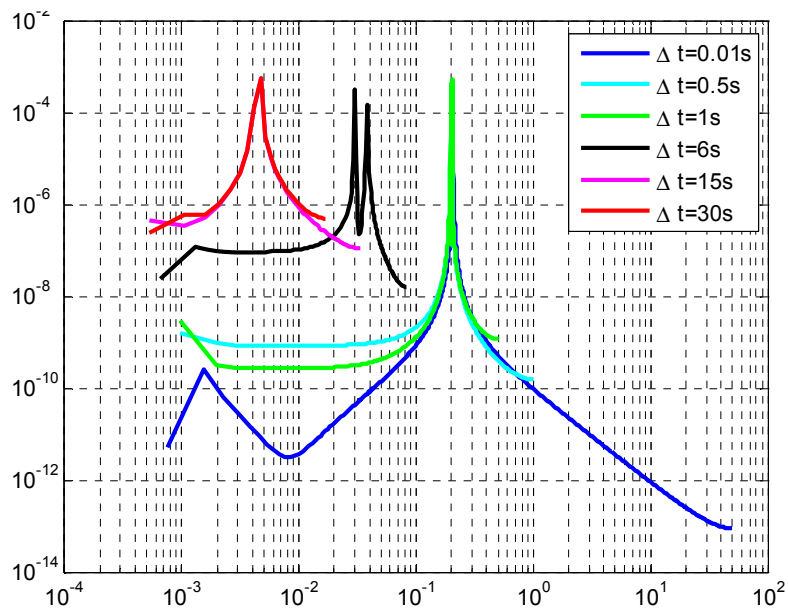


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.1 週期2.7秒及3.3秒波形組合的測試

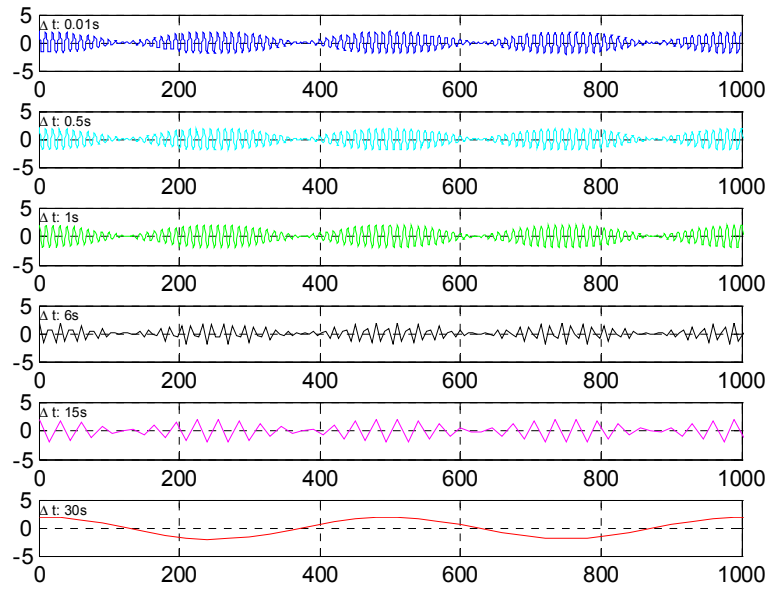


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

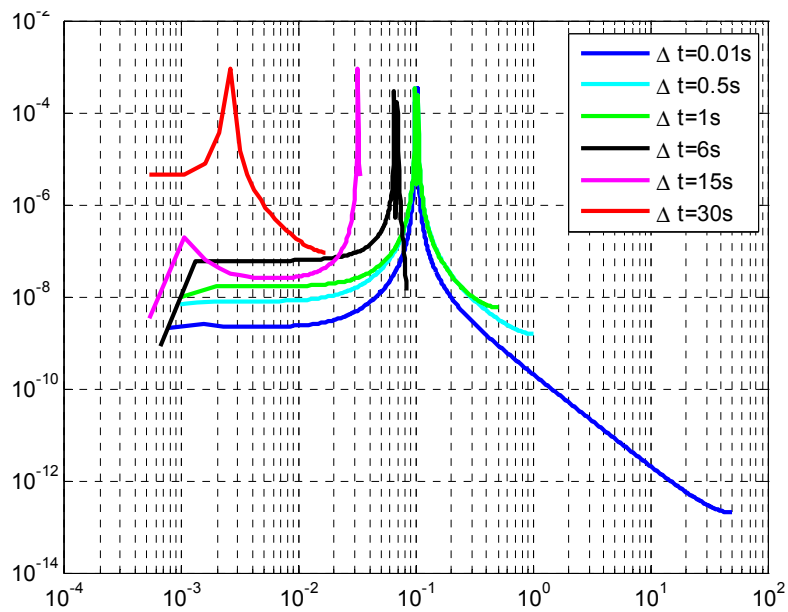


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.2 週期4.9秒及5.1秒波形組合的測試

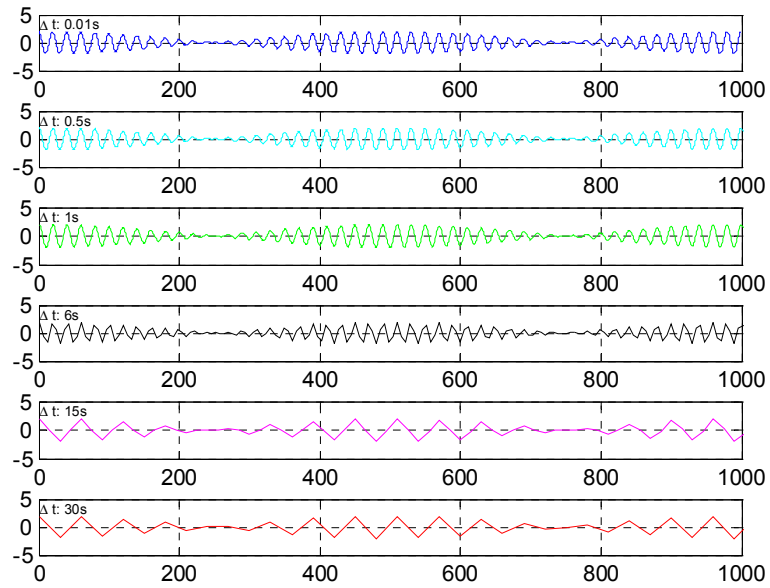


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

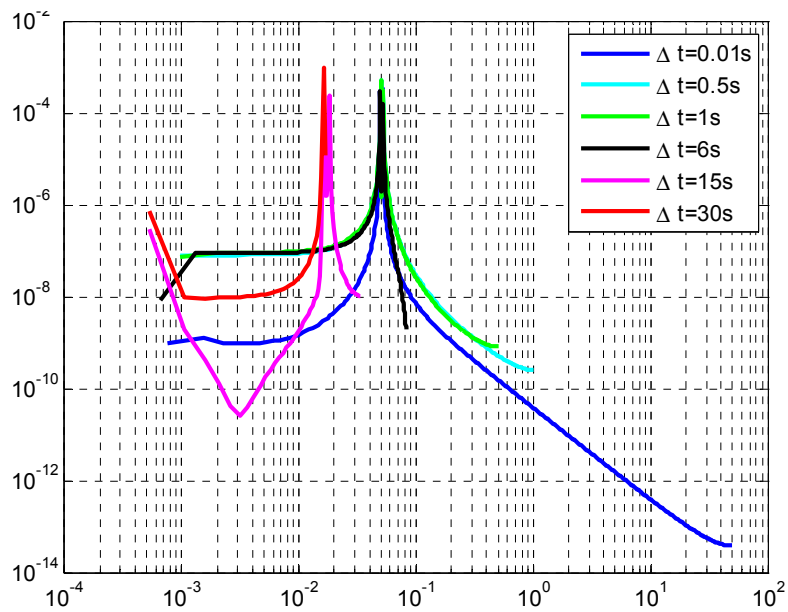


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.3 週期9.8秒及10.2秒波形組合的測試

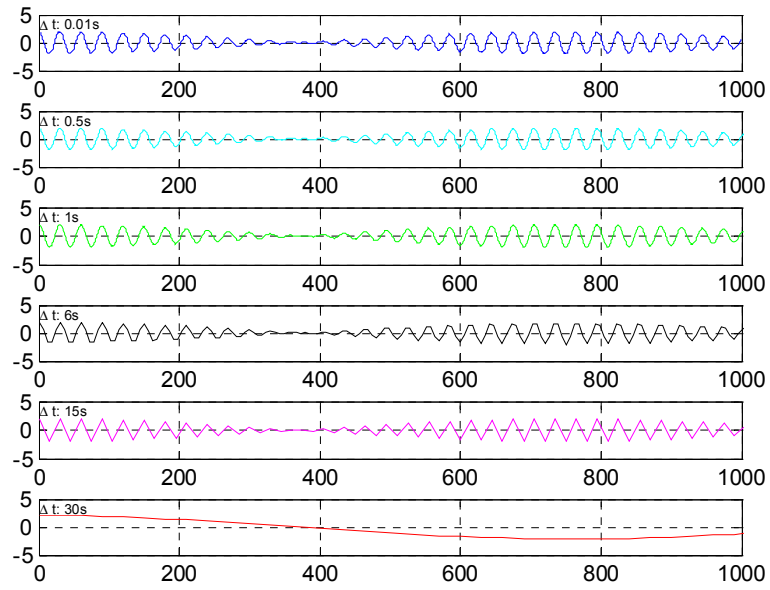


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

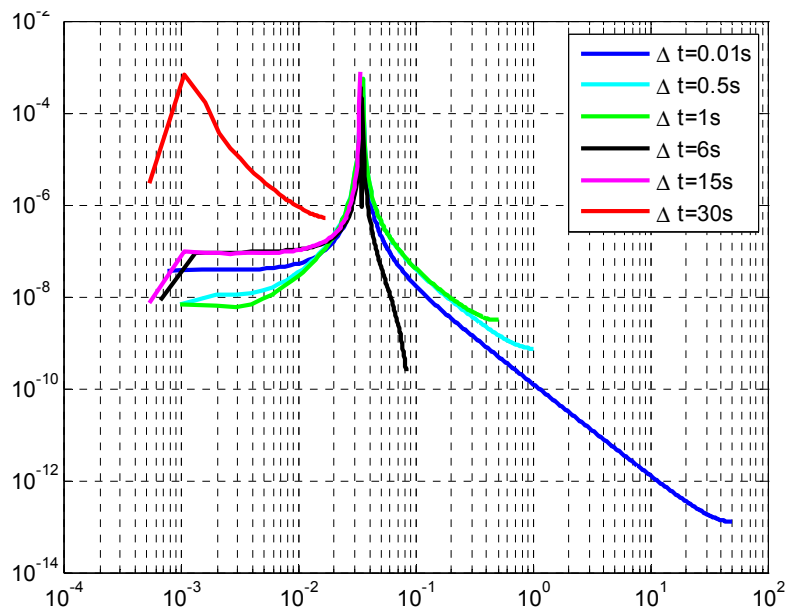


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.4 週期19.6秒及20.4秒波形組合的測試

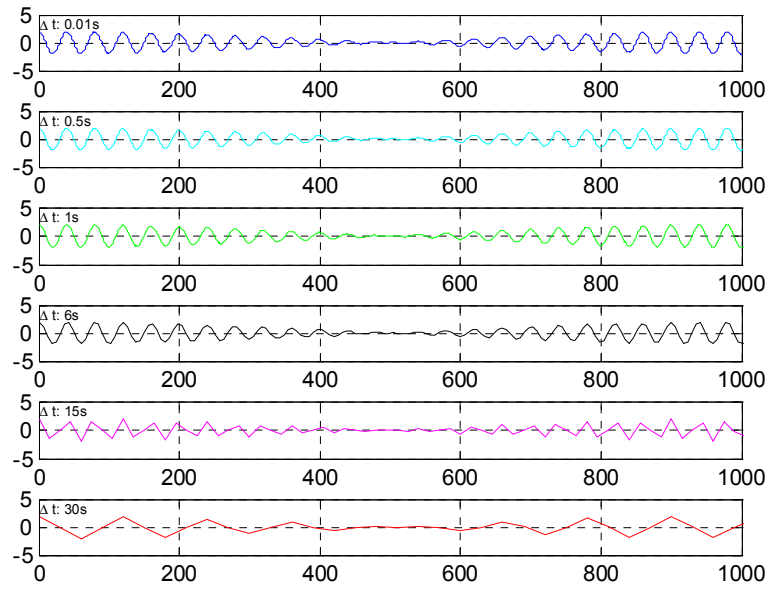


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

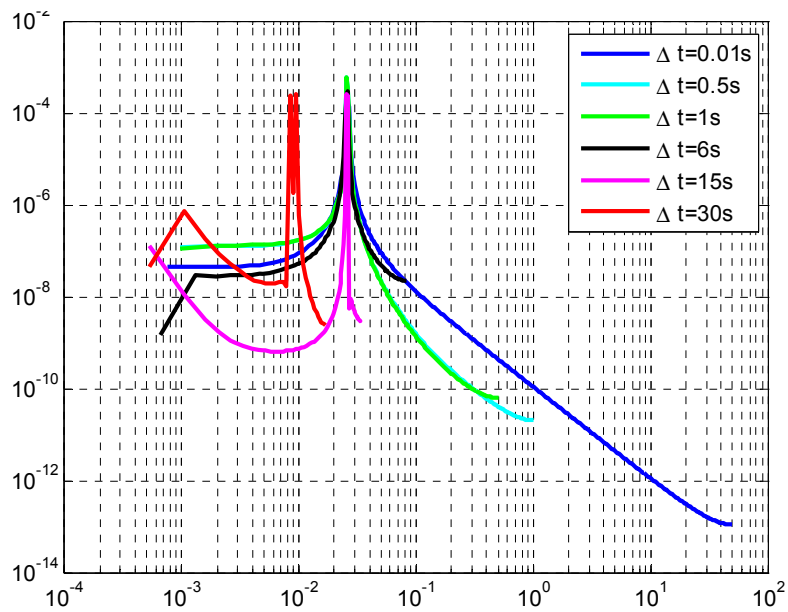


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.5 週期29.4秒及30.6秒波形組合的測試

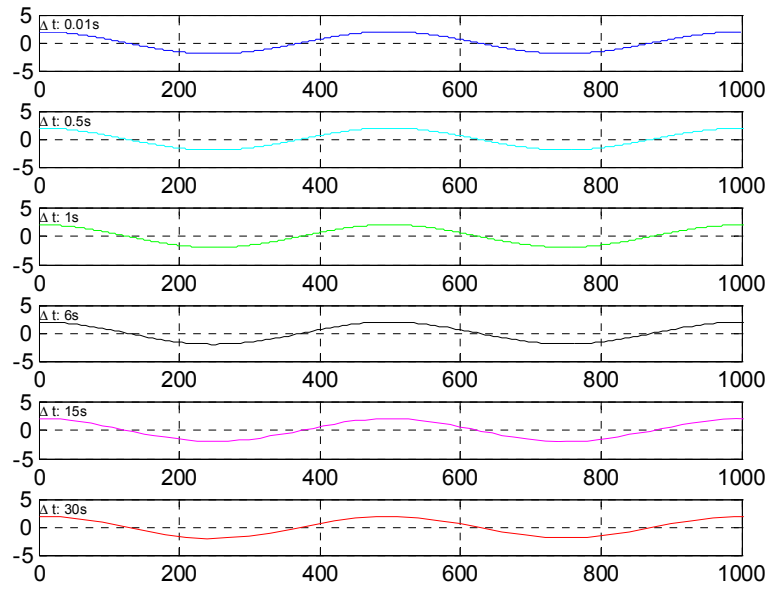


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

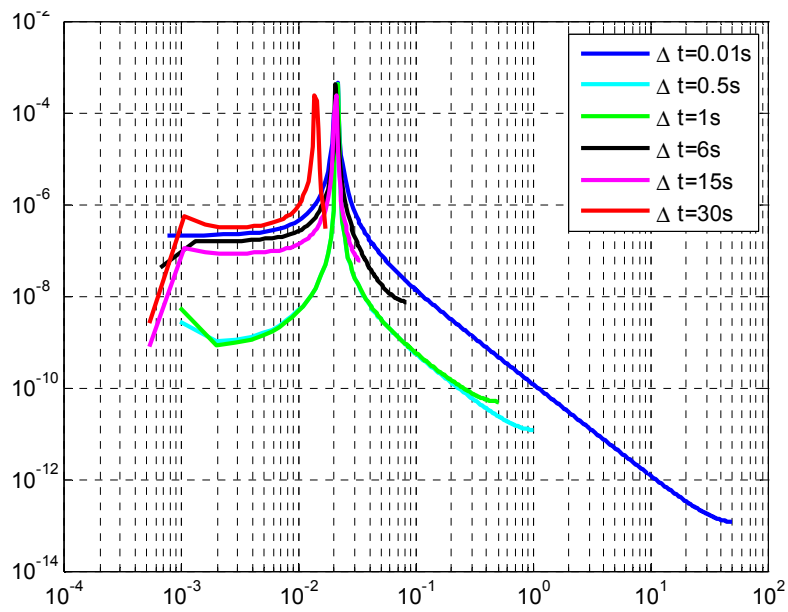


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.6 週期39.2秒及40.8秒波形組合的測試

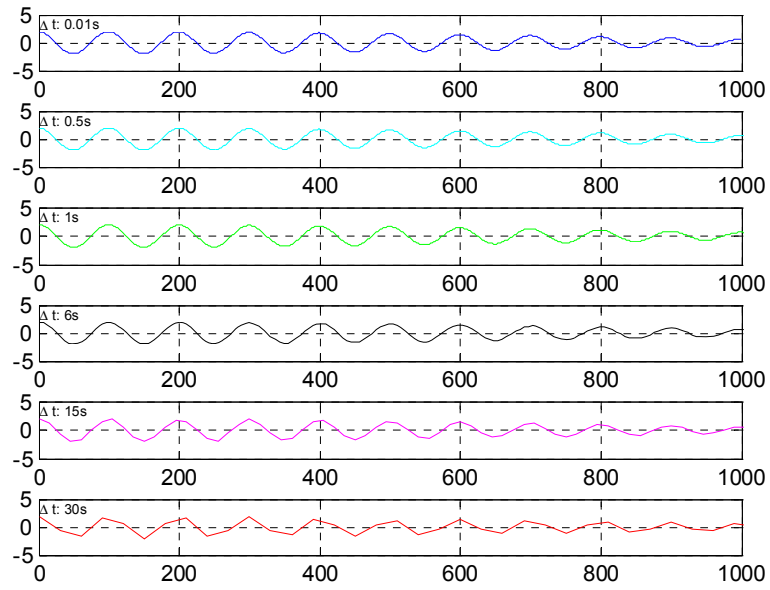


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

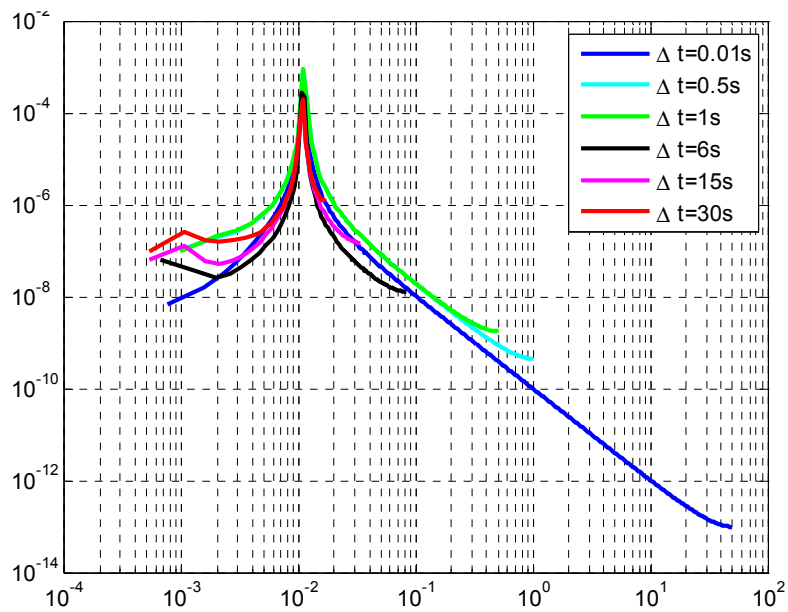


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.7 週期49秒及51秒波形組合的測試

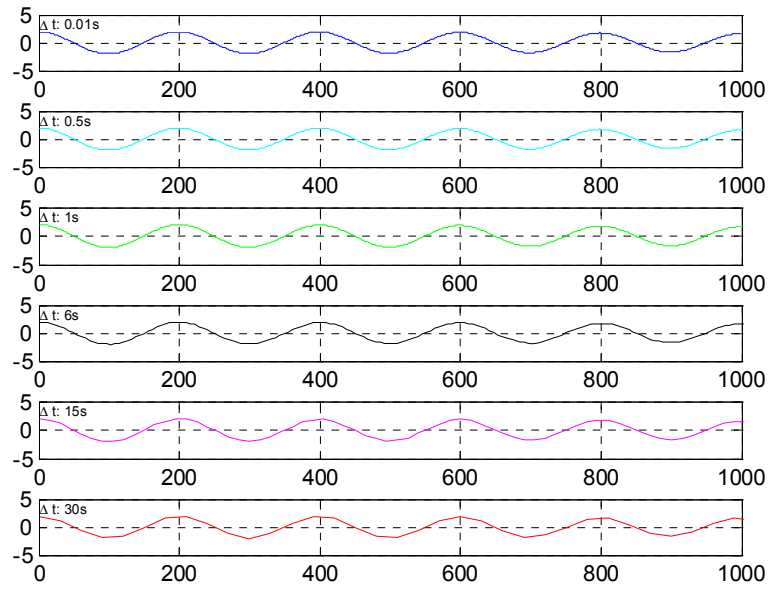


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

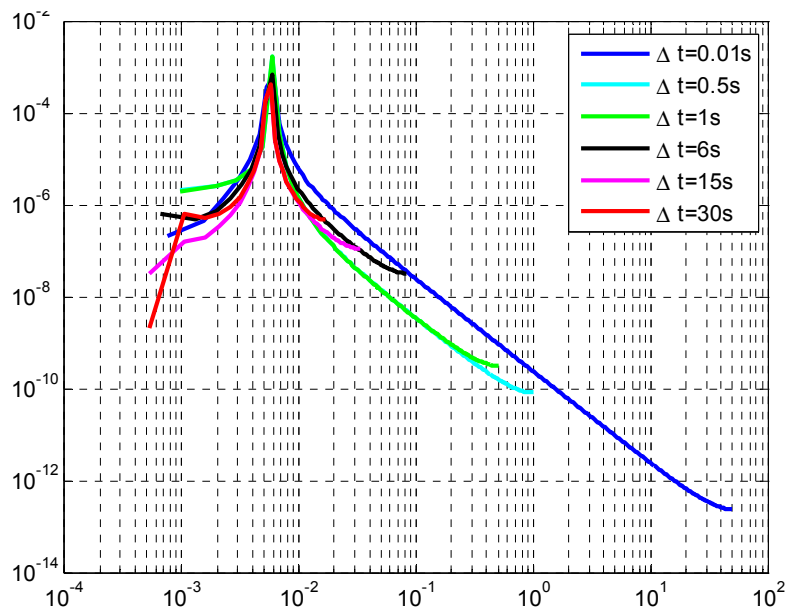


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.8 週期98秒及102秒波形組合的測試

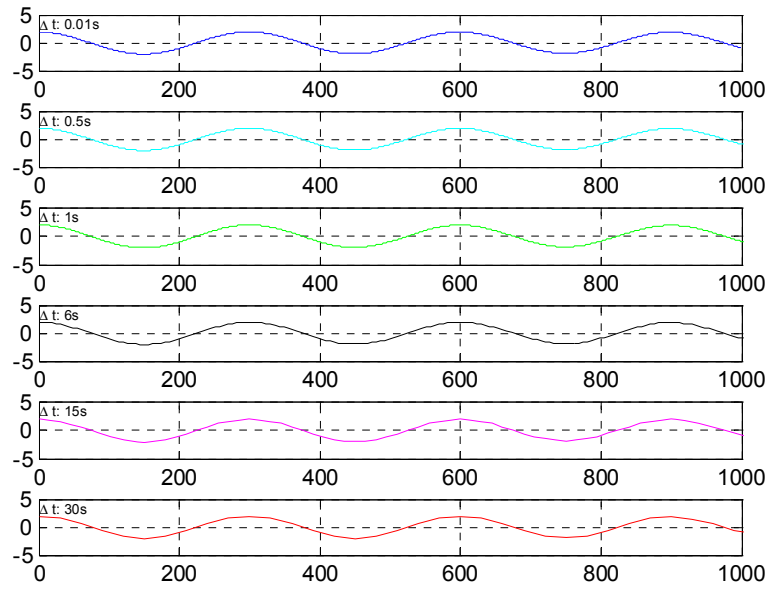


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

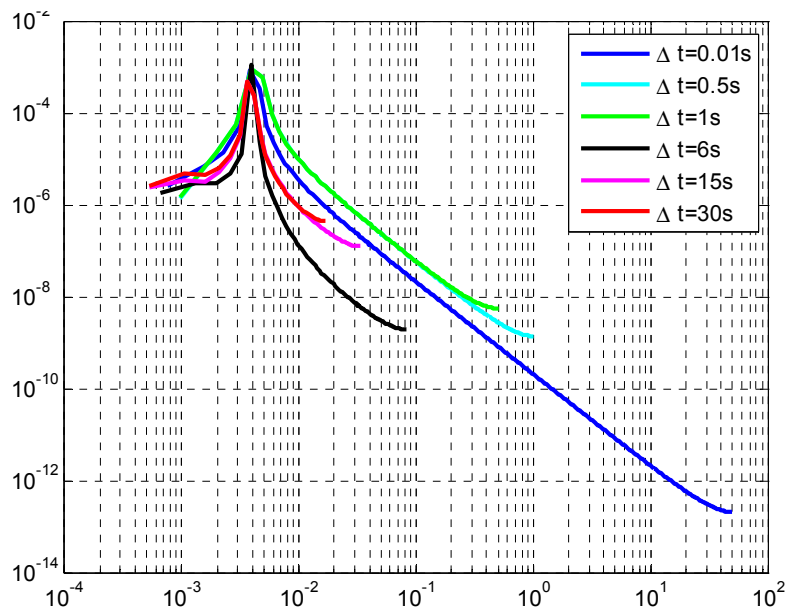


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.9 週期196秒及204秒波形組合的測試



(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號



(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖2.10 週期294秒及306秒波形組合的測試

第三章 Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

為了能夠獲得更多的波動資訊，並考量如果所量測水面波動擁有長週期波的話，它可能是非線性甚至非定常的本質，因此本計畫嘗試著引入Hilbert-Huang轉換(Hilbert-Huang Transform, HHT)進行相關的分析。本章首先針對HHT的理論基礎與方法作一簡介，其後針對量測資料進行分析與討論。

3.1 Hilbert-Huang轉換的簡介

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：經驗型訊號分離(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形式的振動(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型函數(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)及內隱型函數(Intrinsic Mode Function)作一簡單介紹。

3.1.1 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， $Y(t)$ ，

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(t')}{t-t'} dt' \dots\dots\dots (3.1)$$

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

$$Z(t) = X(t) + iY(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \dots\dots\dots (3.2)$$

其中，

$$a(t) = [X^2(t) + Y^2(t)]^{1/2}, \quad \theta(t) = \arctan\left(\frac{Y(t)}{X(t)}\right) \dots\dots\dots (3.3)$$

理論上來說，定義式(3.2)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(3.1)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(3.2)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(3.4)所示，還是有相當多的爭議。

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt} \dots\dots\dots (3.4)$$

Cohen(1995)定義了一個單一成分函數(monocomponent function)。原則上，由於式(3.4)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

$$N_0 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \dots\dots\dots (3.5)$$

單位時間裡極值點數的期待值被定義為

$$N_1 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{m_4}{m_2}} \dots\dots\dots (3.6)$$

其中， m_i 表示第*i*階的譜矩。因此，定義參數 ν

$$N_1^2 - N_0^2 = \frac{1}{\pi^2} \frac{m_4 m_0 - m_2^2}{m_2 m_0} = \frac{1}{\pi^2} \nu^2 \dots\dots\dots (3.7)$$

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

$$z(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \dots\dots\dots (3.8)$$

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

$$\langle \omega \rangle = \int \omega |S(\omega)|^2 d\omega \dots\dots\dots (3.9)$$

也可以表示成其他的形式

$$\begin{aligned}
\langle \omega \rangle &= \int z^*(t) \frac{1}{i} \frac{d}{dt} z(t) dt \\
&= \int \left(\dot{\theta}(t) - i \frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \right) a^2(t) dt \dots\dots\dots (3.10) \\
&= \int \dot{\theta}(t) a^2(t) dt
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\nu^2 &= \frac{(\omega - \langle \omega \rangle)^2}{\langle \omega \rangle^2} = \frac{1}{\langle \omega \rangle^2} \int (\omega - \langle \omega \rangle)^2 |S(\omega)|^2 d\omega \\
&= \frac{1}{\langle \omega \rangle^2} \int z^*(t) \left(\frac{1}{i} \frac{d}{dt} - \langle \omega \rangle \right)^2 z(t) dt \dots\dots\dots (3.11) \\
&= \frac{1}{\langle \omega \rangle^2} \left[\int \dot{a}^2(t) dt + \int (\dot{\theta}(t) - \langle \omega \rangle)^2 a^2(t) dt \right]
\end{aligned}$$

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(3.7)及(3.11)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。

3.1.2 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3.1即為一個IMF。

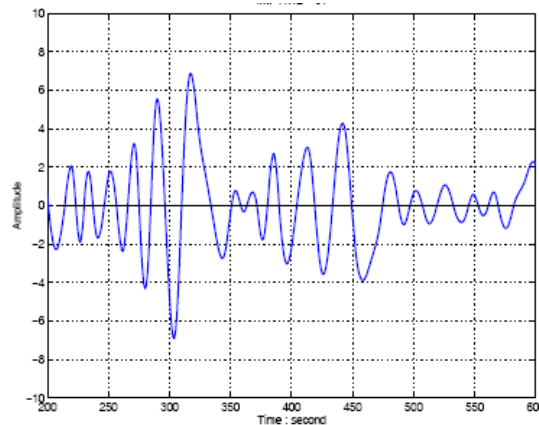


圖3.1 IMF的範例(Huang and Shen, 2005)

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形式。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(3.4)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(3.2)的形式。如果我們對式(3.2)的 $Z(t)$ 進行Fourier轉換的話，可以得到

$$W(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t)e^{i\theta(t)}e^{-i\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} a(t)e^{i(\theta(t)-\omega t)} dt \dots\dots\dots(3.12)$$

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

$$\frac{d}{dt}(\theta(t)-\omega t)=0 \dots\dots\dots(3.13)$$

因此，我們可以得到式(3.4)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， ω ，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(3.10)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(3.13)及式(3.2)至(3.4)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(3.4)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。

3.1.3 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 η_0 ，如圖3.2(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3.2(b)所示。
5. 計算兩條包絡線的平均值曲線 m_1 ，如圖3.2(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3.2(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($h_i, i = 2, \dots$)。
9. 最後， η_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。

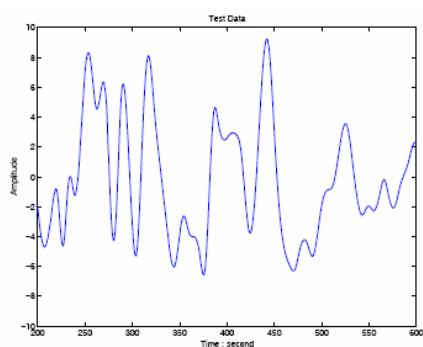
圖2(d)為 h_1 、包絡線及 m_2 曲線圖；圖3.2(e)為 h_2 、包絡線及 m_3 曲線圖；而圖3.2(f)為經過12次迭代後所得到的第一個IMF c_1 。

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。

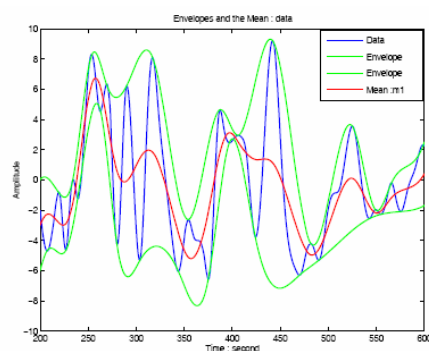
$$SD_k = \frac{\sum_{t=0}^T |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^T h_{k-1}^2(t)} \dots\dots\dots (3.14)$$

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。

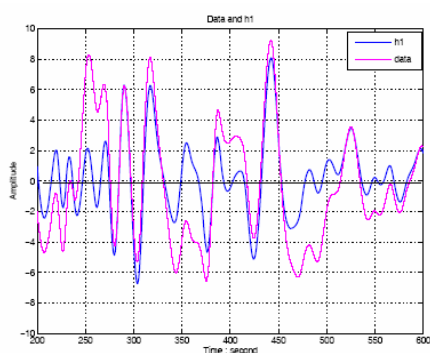
圖3.3(a)是量測地球每天自轉一週所花時間與24小時的差異變化量，圖3.3(b)及3.3(c)採用多種不同的迭代停止次數進行測試後的九個不同平均IMF值以及其標準差。從圖中可以發現，不同的迭代停止次數準則會在訊號中不同的位置發生不等量的誤差。



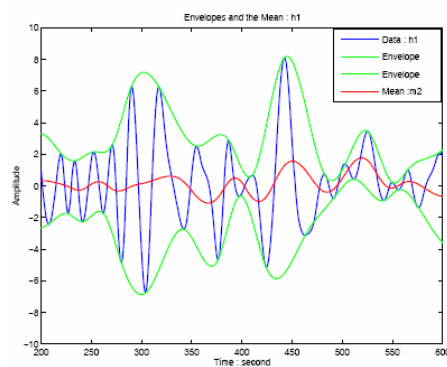
(a) 待分析時序訊號資料



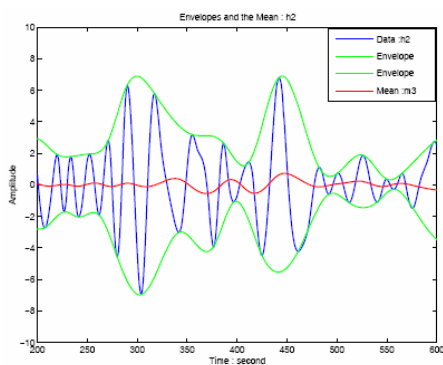
(b) 兩條包絡線與平均值曲線 m_1



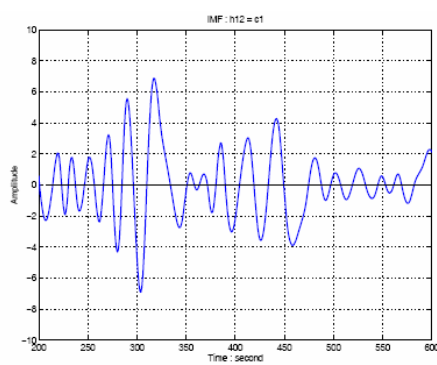
(c) 時序訊號及 h_1



(d) h_1 、包絡線及 m_2

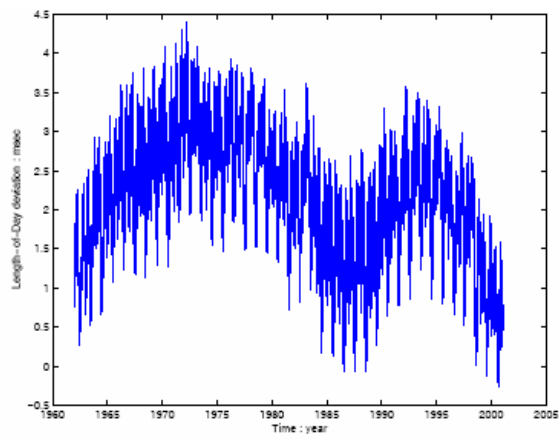


(e) h_2 、包絡線及 m_3

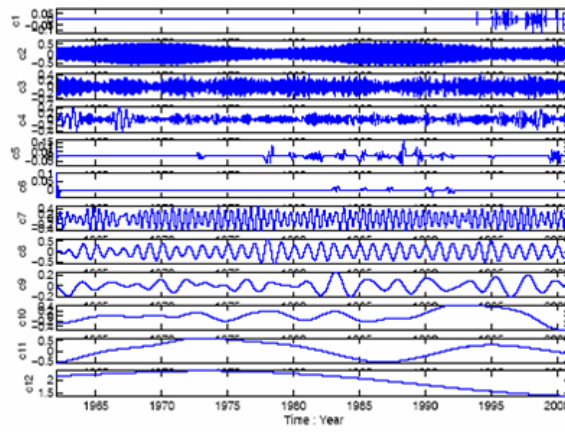


(f) 第一個IMF c_1 (12次迭代後)

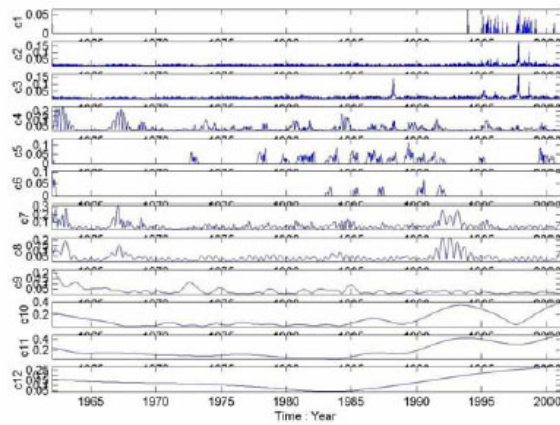
圖3.2 EMD解析過程的說明例



(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3.3 地球自轉的每日長度變化

3.1.4 小結

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)

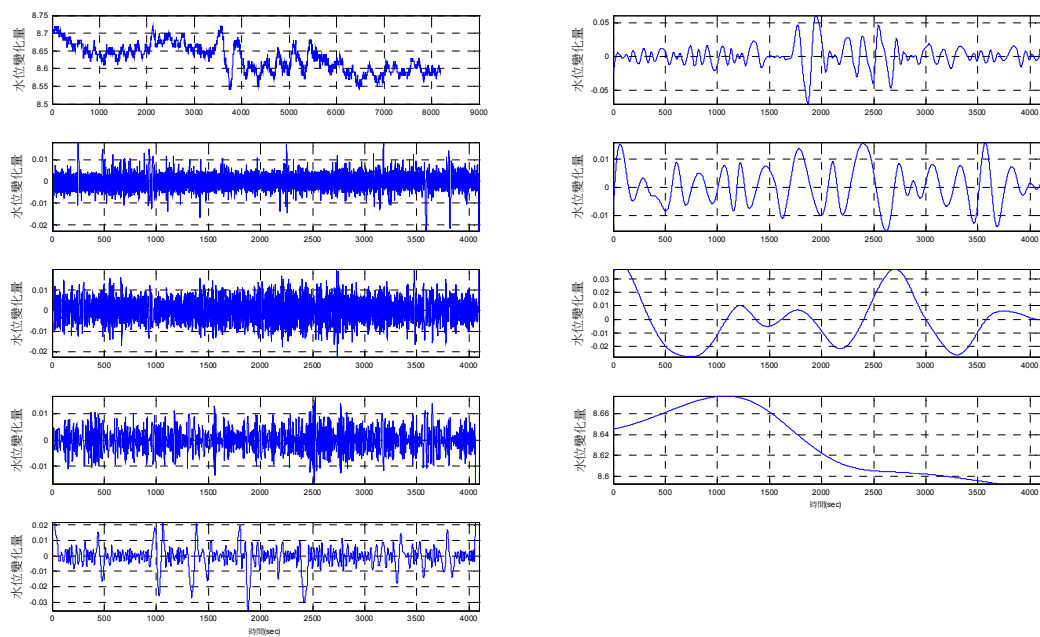
6. 近似問題，即 Hilbert 轉換及頻譜面積 (approximation problems, including Hilbert transform and quadrature)
7. 其他相關的統計議題 (miscellaneous statistical questions concerning the HHT)

3.2 HHT在水面波動時序訊號的應用

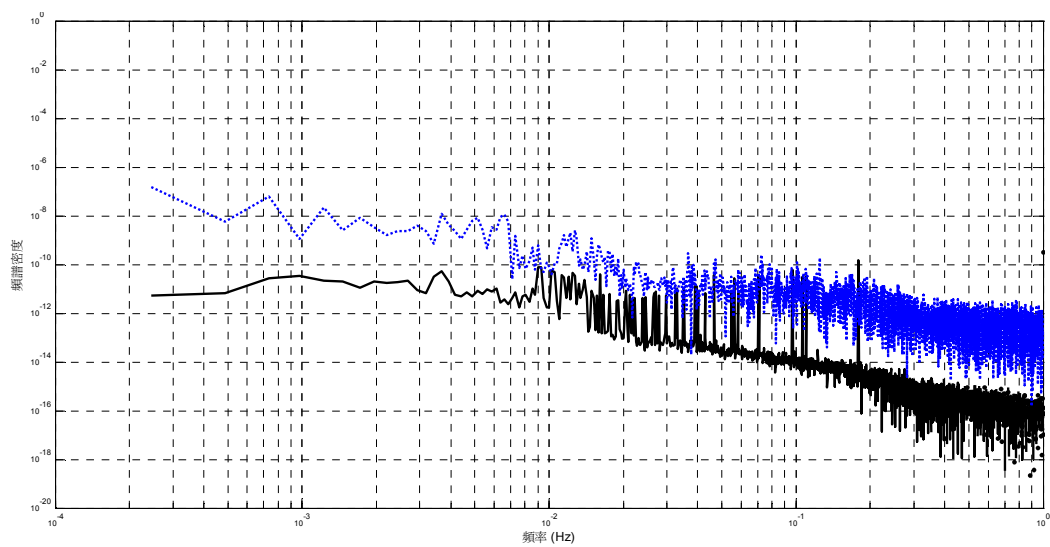
針對海洋波浪觀測的特性，本計畫測試並編寫了相關的HHT的matlab分析程式，並將其應用在花蓮港的實測波浪上。以下為相關的分析資料。

3.2.1 95年5月及8月的聯合觀測資料

如第一章1.7節所述，為瞭解花蓮港的港池共振特性，本團隊在花蓮港及東部海岸的的漁港內進行了聯合觀測。圖3.4至圖3.5為民國95年4月5日21：58在花蓮港內港及外港所觀測資料的分析結果。圖3.6至圖3.7為民國95年4月6日5：10在花蓮港內港及外港所觀測資料的分析結果。圖3.8至圖3.10為民國95年8月18日14：50在花蓮港內港及外港、以及鹽寮漁港所觀測資料的分析結果。圖3.11及圖3.12則分別為石梯漁港於民國95年8月18日19：00以及金樽漁港於民國95年8月18日23：10的觀測記錄分析結果。各圖中皆顯示分解的IMF以及Fourier頻率譜與Hilbert頻率譜。由於觀測期間的風浪不大，水面波動甚小，但仍約略可以看出長週期的振盪。

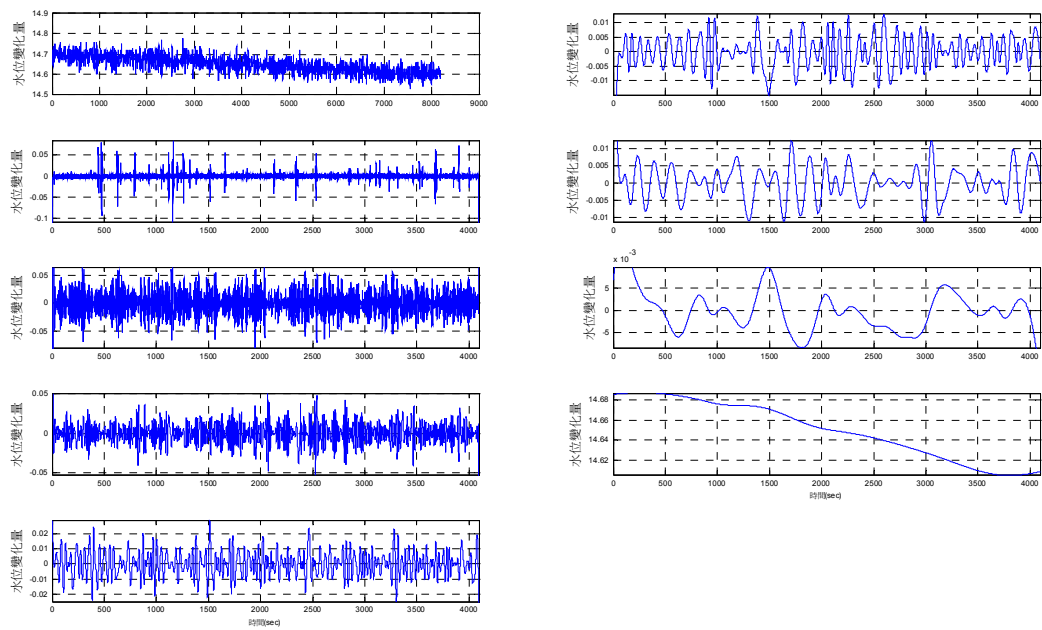


(a) EMD分解的IMF

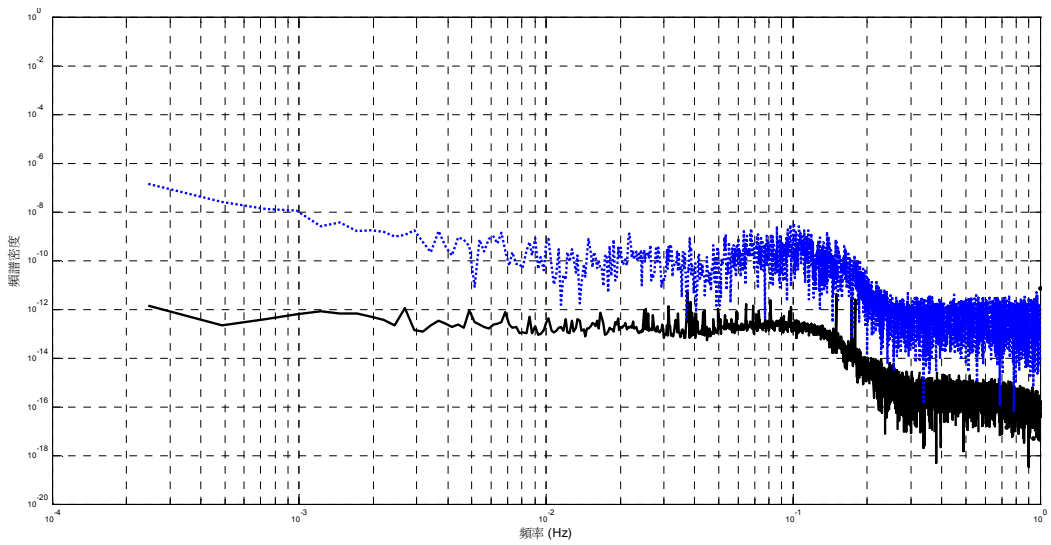


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.4 民國95年4月5日 21:58(4096秒)花蓮港內港波動分析結果

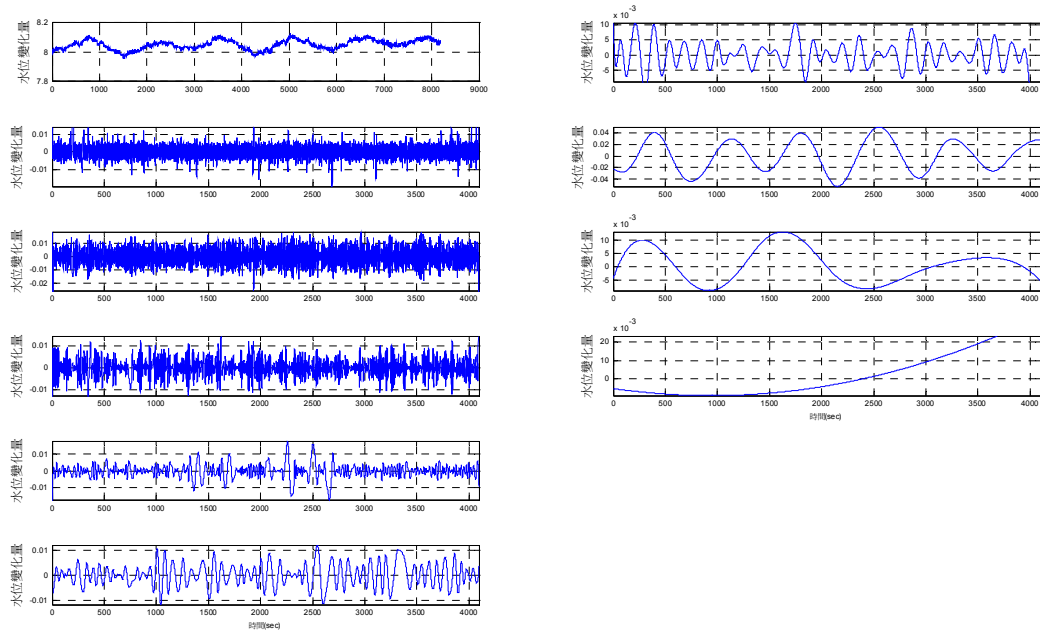


(a) EMD分解的IMF

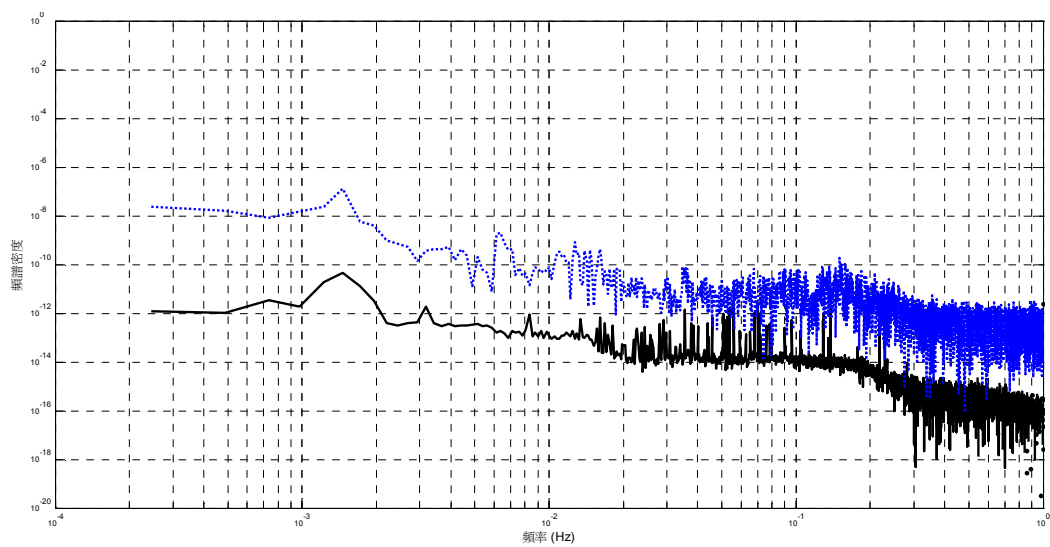


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.5 民國95年4月5日 21:58(4096秒)花蓮港外港波動分析結果

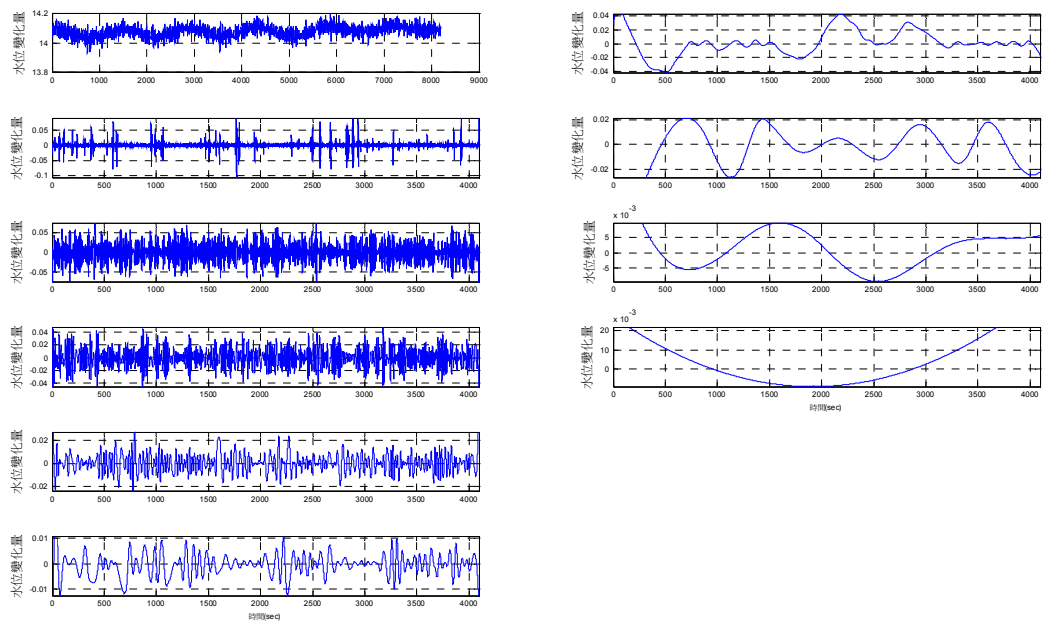


(a) EMD分解的IMF

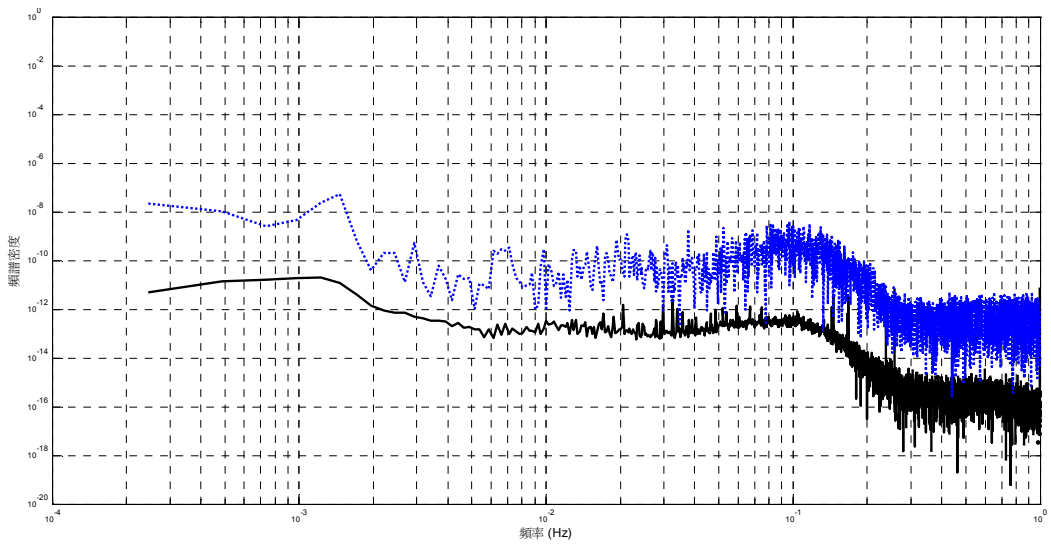


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.6 民國95年4月6日 5:10(4096秒)花蓮港內港波動分析結果

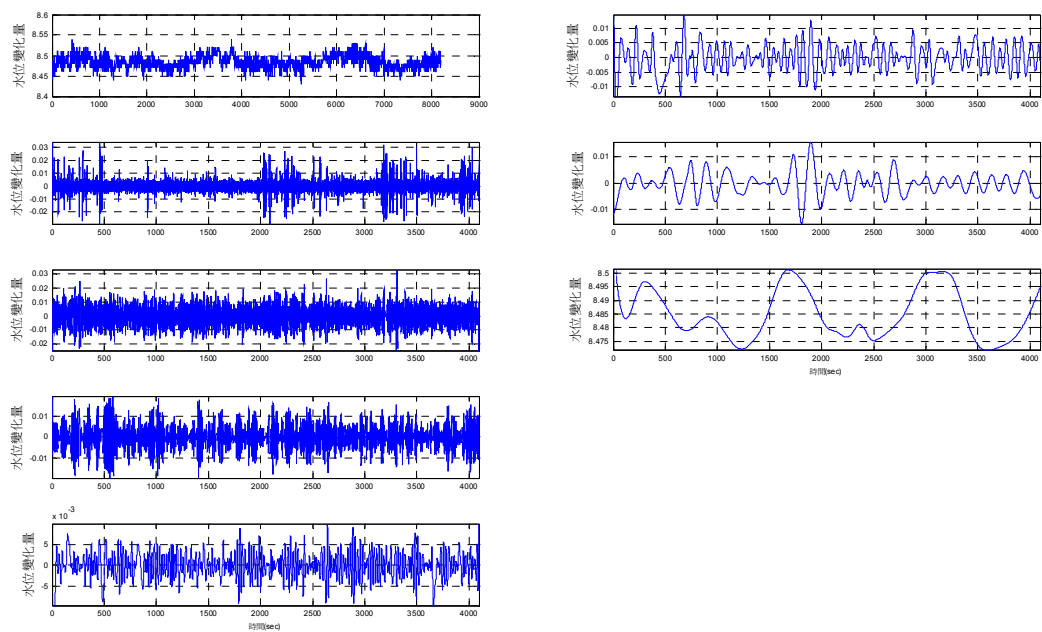


(a) EMD分解的IMF

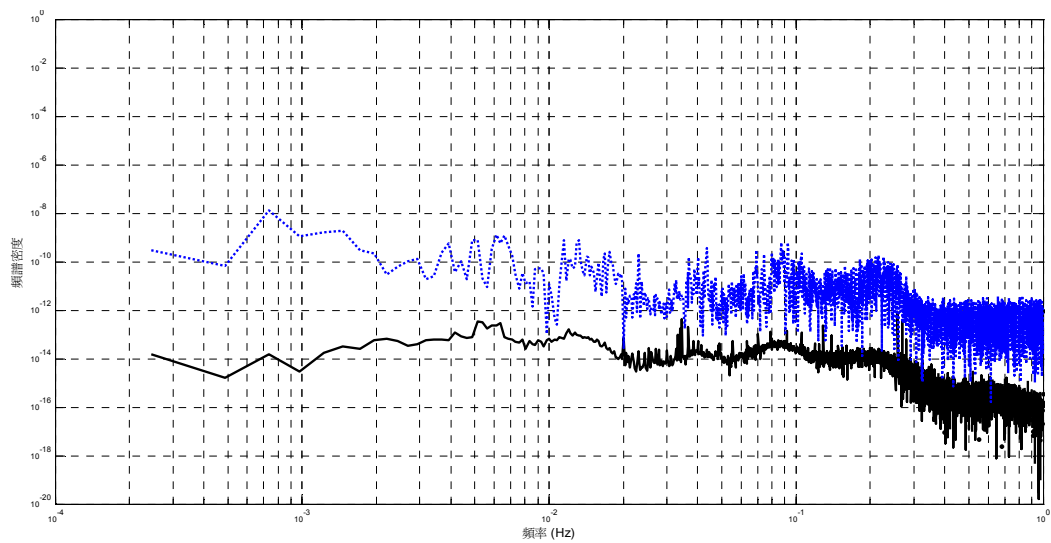


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.7 民國95年4月6日 5:10(4096秒)花蓮港外港波動分析結果

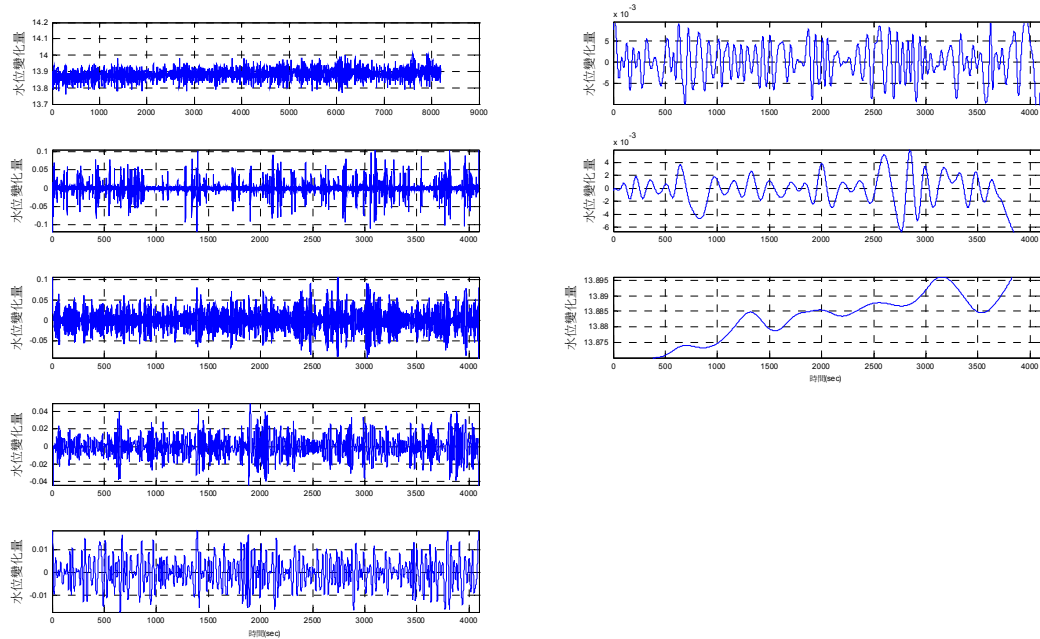


(a) EMD分解的IMF

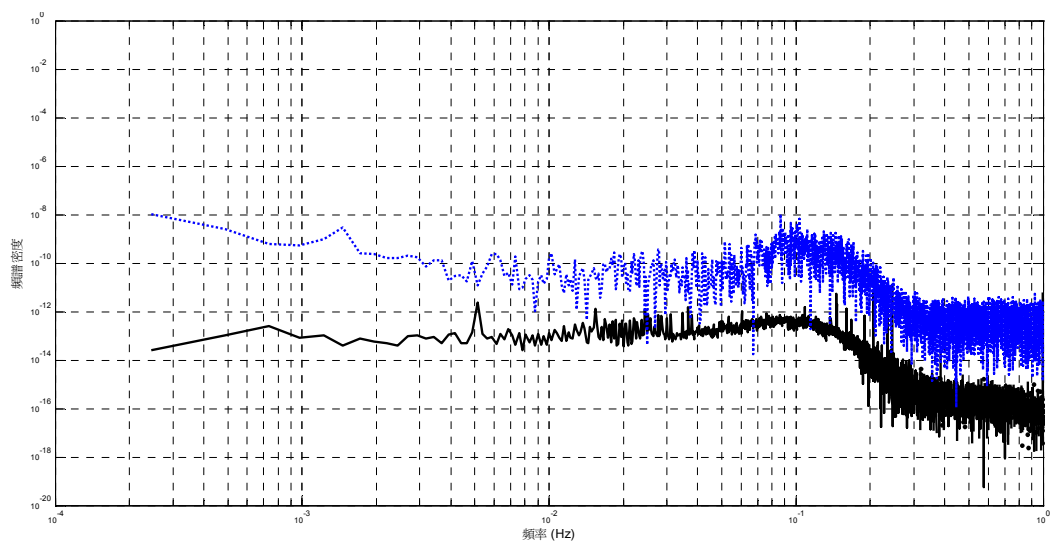


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.8 民國95年8月18日 14:50(4096秒)花蓮港內港波動分析結果

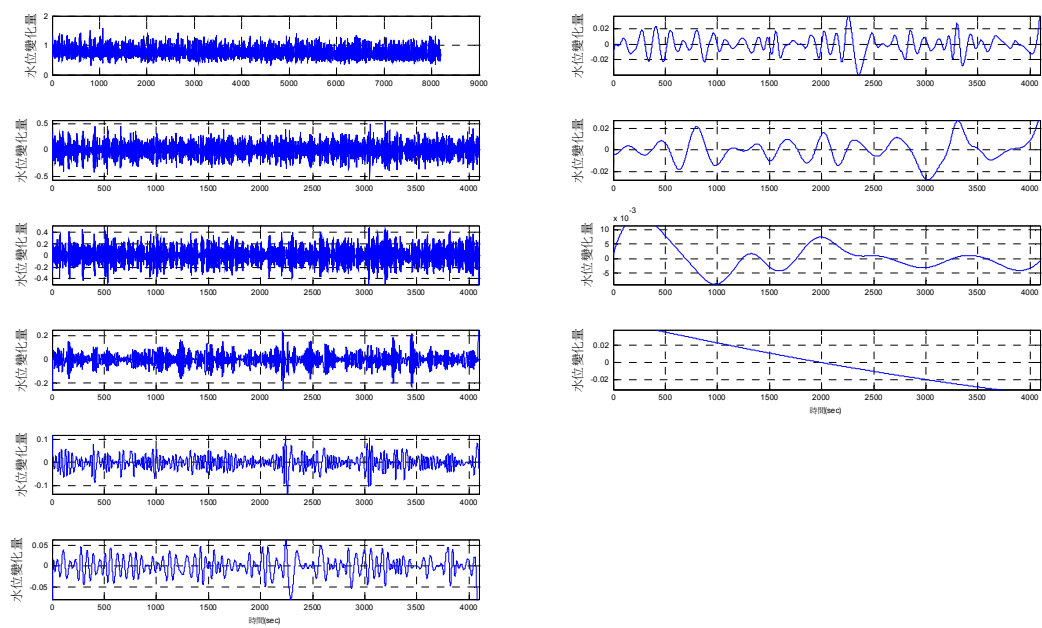


(a) EMD分解的IMF

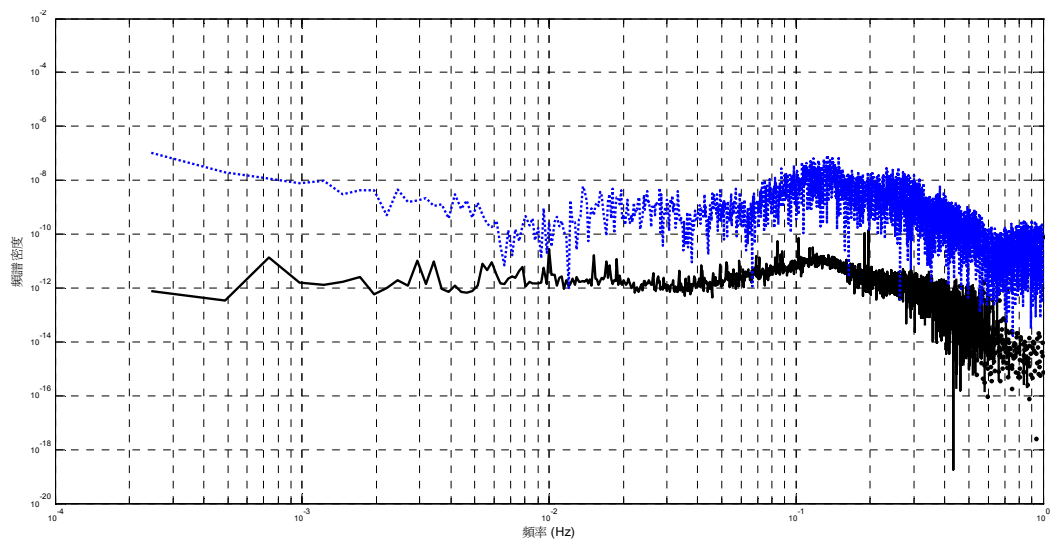


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.9 民國95年8月18日 14：50(4096秒)花蓮港外港波動分析結果

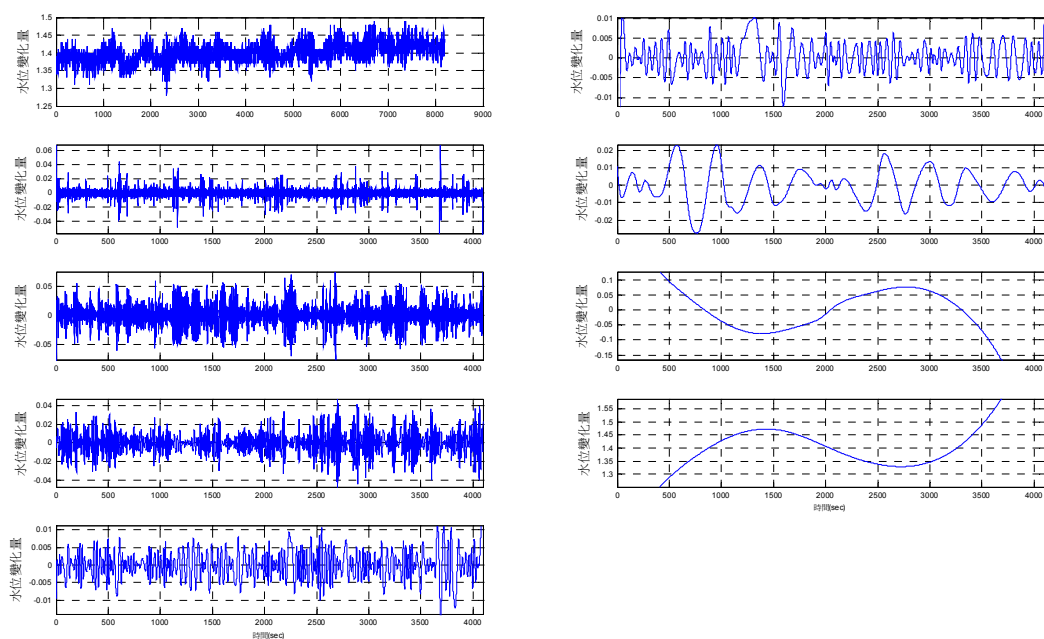


(a) EMD分解的IMF

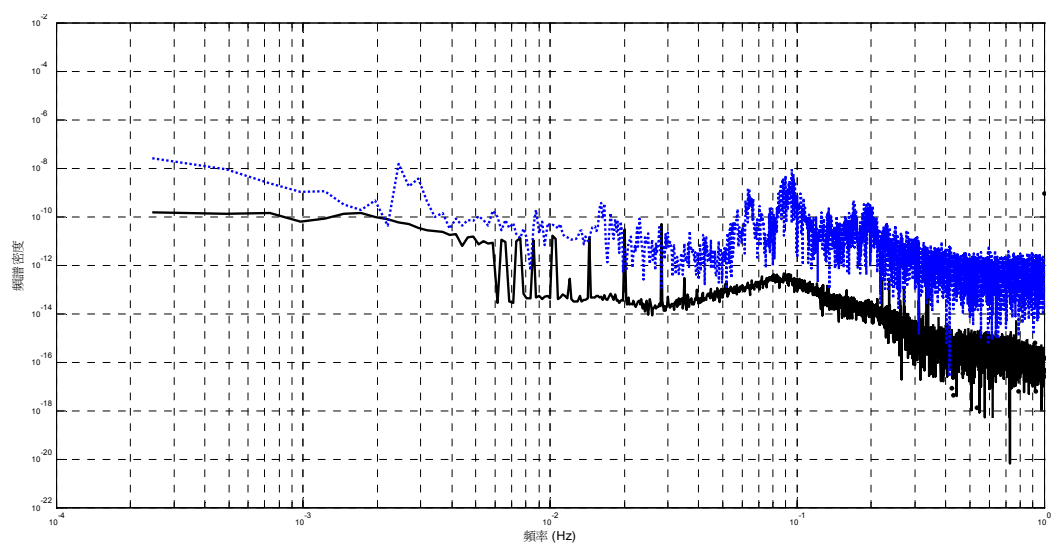


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.10 民國95年8月18日 14:50(4096秒)鹽寮漁港波動分析結果

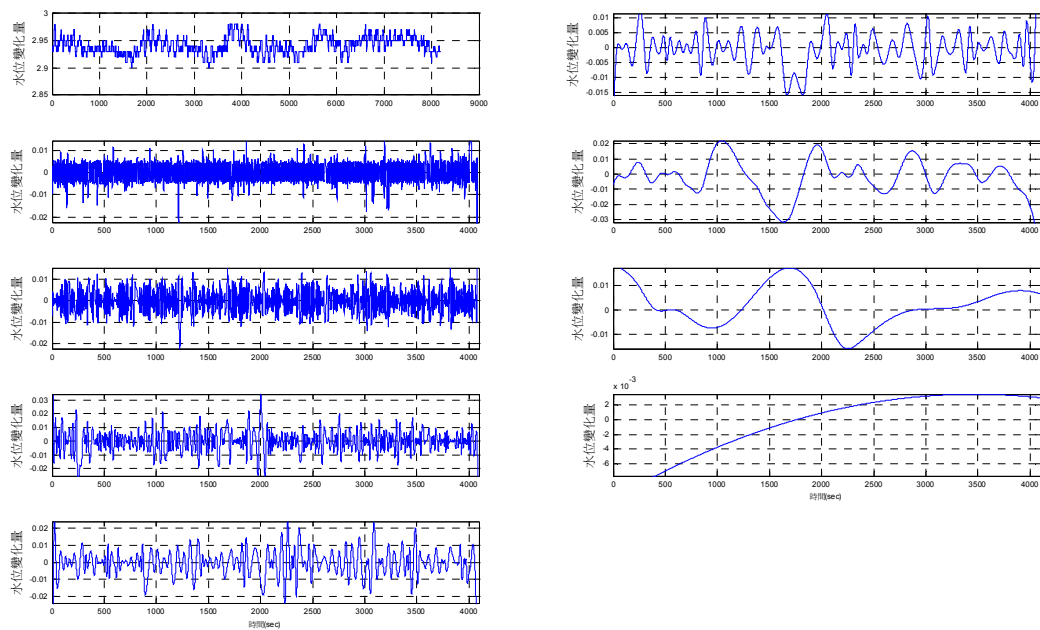


(a) EMD分解的IMF

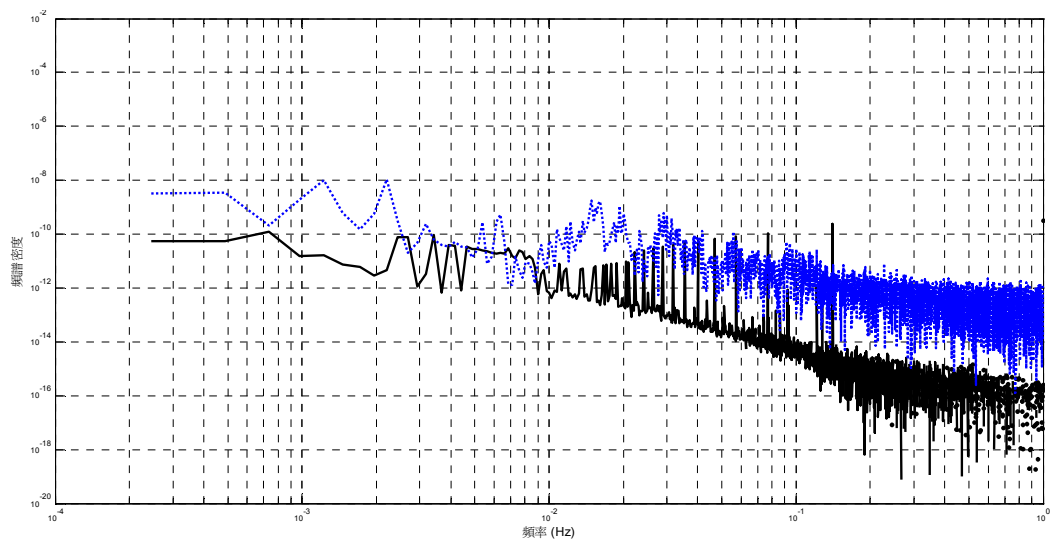


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖3.11 民國95年8月18日 19:00(4096秒)石梯漁港波動分析結果



(a) EMD分解的IMF



(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

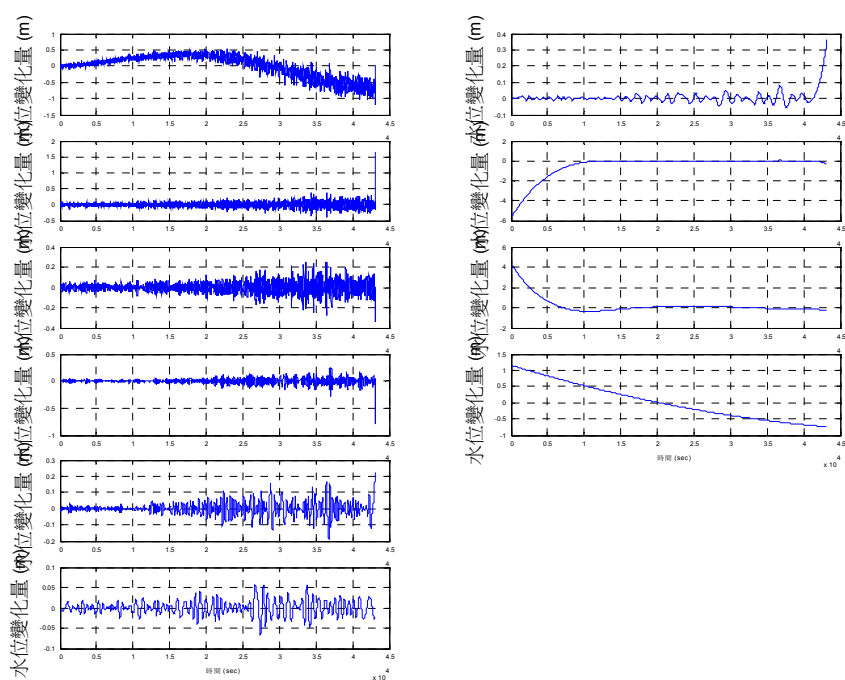
圖3.12 民國95年8月18日 23:10(4096秒)金樽漁港波動分析結果

3.2.2 94年8月3日瑪莎颱風侵襲期間的觀測資料

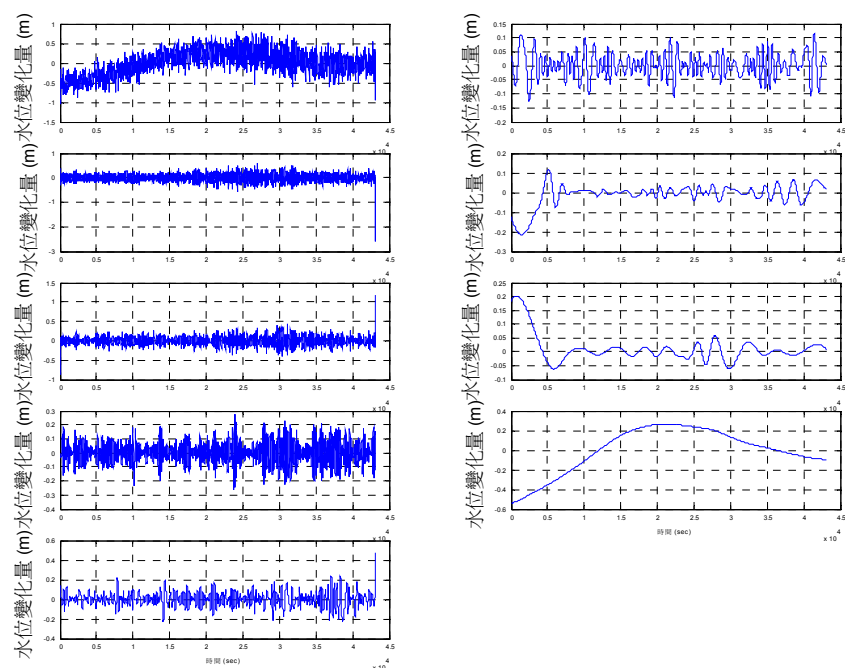
在花蓮港附近水域的水位觀測，本節分析了94年8月瑪莎颱風來襲期間的水位變動資料。圖3.13及圖3.14顯示花蓮港外港及內港於民國94年8月3日至8月7日間之水面波動分解 IMF；圖3.15及圖3.16則為該時期外港及內港水面波動的Fourier頻率譜與Hilbert頻率譜。同樣地，我們可以看到各種非線性及非定常的波動分量，也可以看到長週期的振盪成分。

3.3 HHT應用在水面波動分析的檢討

由於HHT方法中的EMD是直接於時間域內進行訊號的分解，因此不致發生如數值濾波必須透過頻率域的操作所發生的訊號過度分離或能量洩漏的情形，因此，HHT應用於近海具高度非線性與非定常的波浪分析，基本上是可行的。但在分析與測試過程中，我們也會看到許多不預期的訊號出現，如在各IMF時序圖中除了最後的殘餘訊號是Huang等(1998)所建議的趨勢外，也發現分解出波高小於2 cm的時序訊號，由於使用的壓力式波高計的解析度為1 cm，因此波高小於2 cm的訊號在理論上應是無法分析出來的，研判應該是屬於雜訊或者是由於取樣頻率不夠高所造成的訊號失真或者是由於所使用的仿樣曲線數值方法不夠好所致。這些情形導致IMF的分解過程所需要設置的門檻值，以及分解出的IMF的有效性判斷都是未來需要在努力的。再者，從各個頻譜圖中我們也發現，Hilber頻譜始終與Fourier頻譜有大約四階的差距，如果從能量的一致性來看，應該是 Hilbert頻譜的計算方式與解讀仍有需要進一步研究的空間。

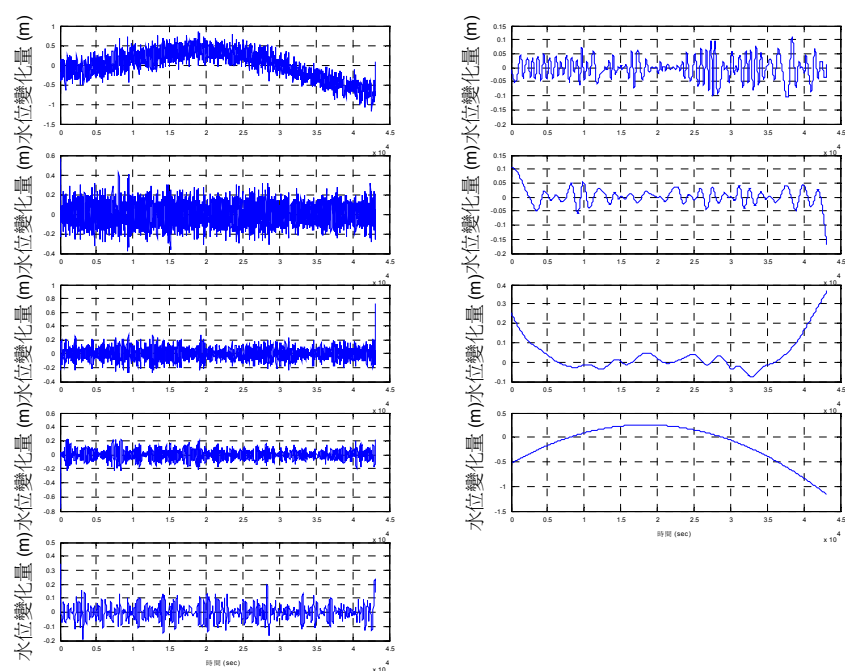


(a) 94/8/3 00h~12h

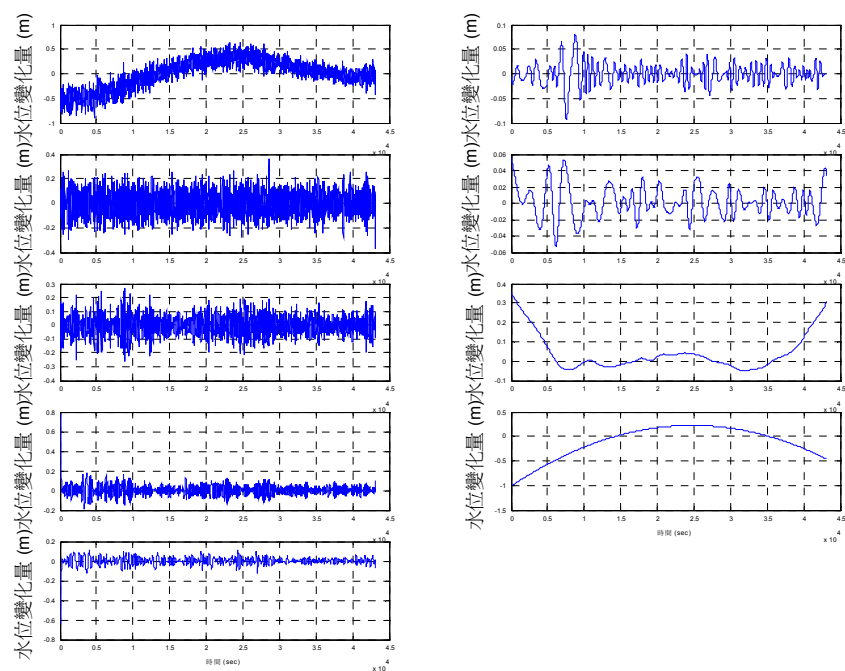


(b) 94/8/3 12h~24h

圖3.13 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析IMF

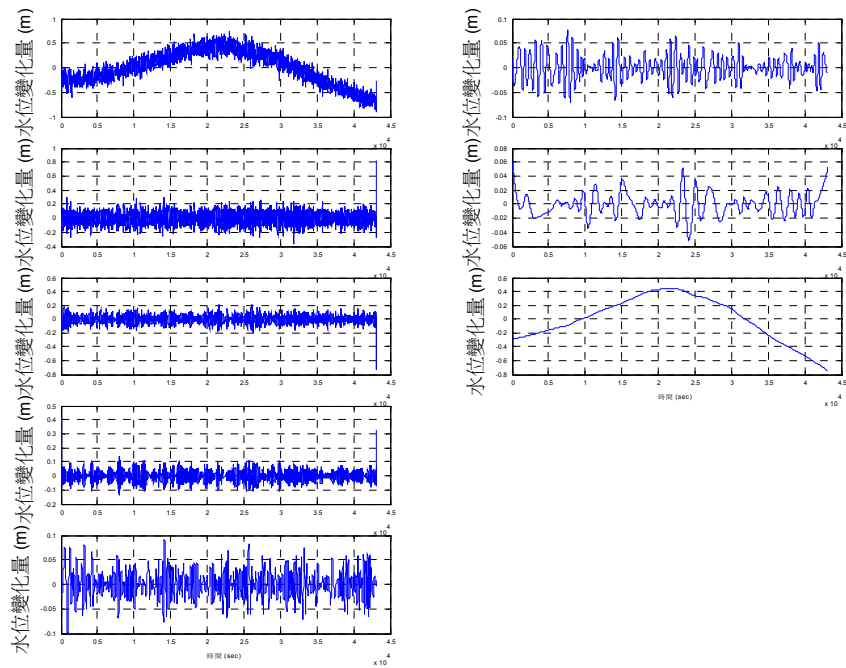


(c) 94/8/4 00h~12h

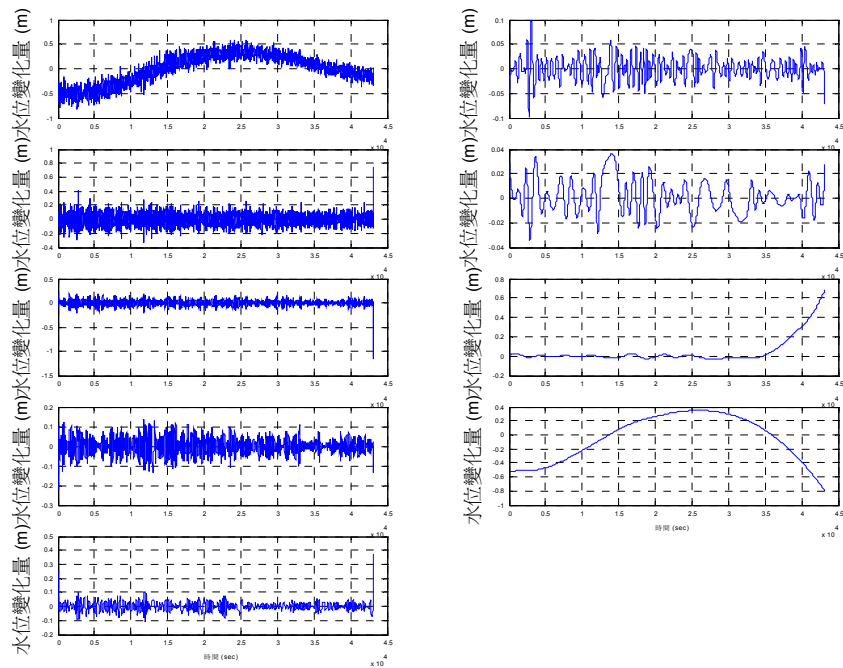


(d) 94/8/4 12h~24h

圖3.13(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析IMF

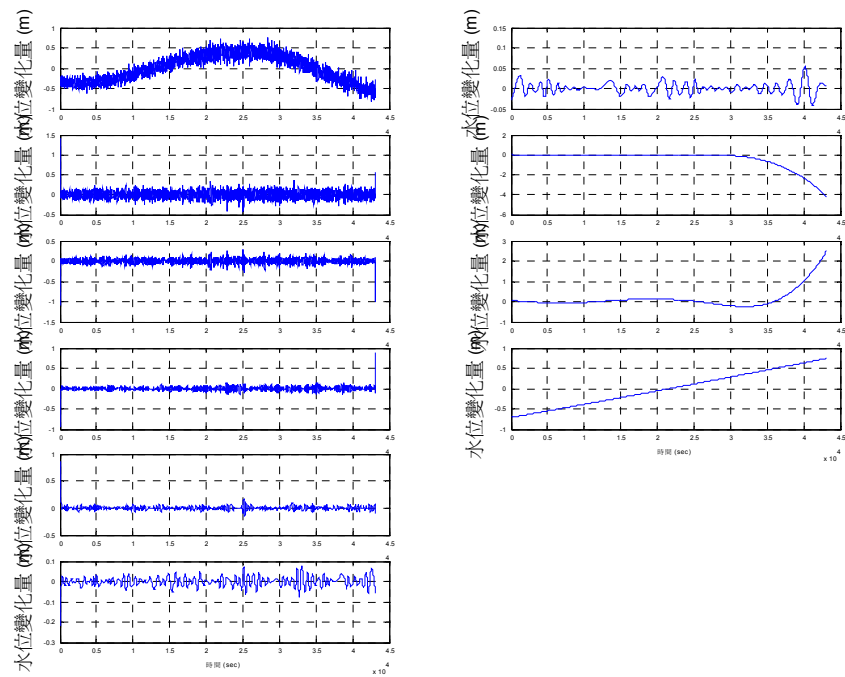


(e) 94/8/5 00h~12h

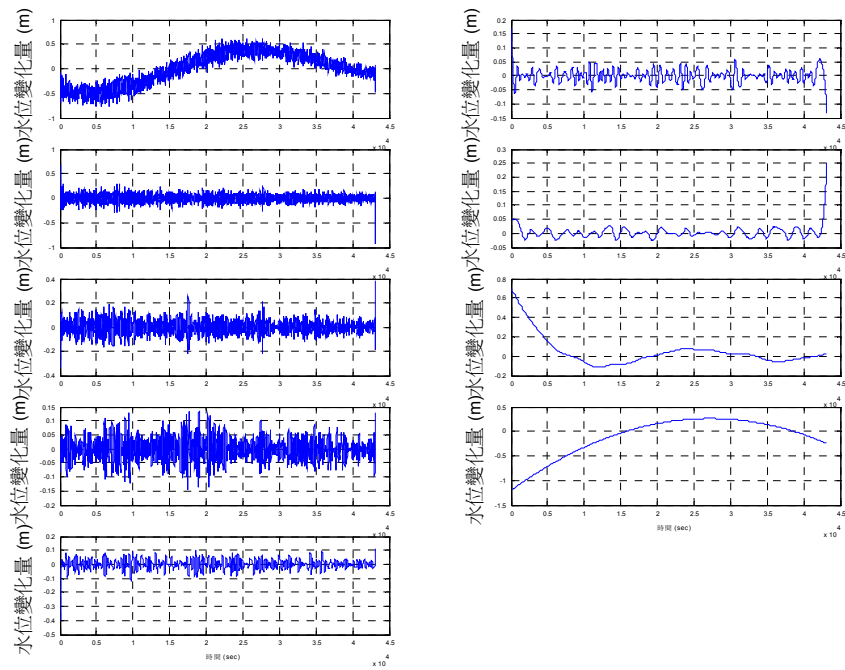


(f) 94/8/5 12h~24h

圖3.13(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析IMF

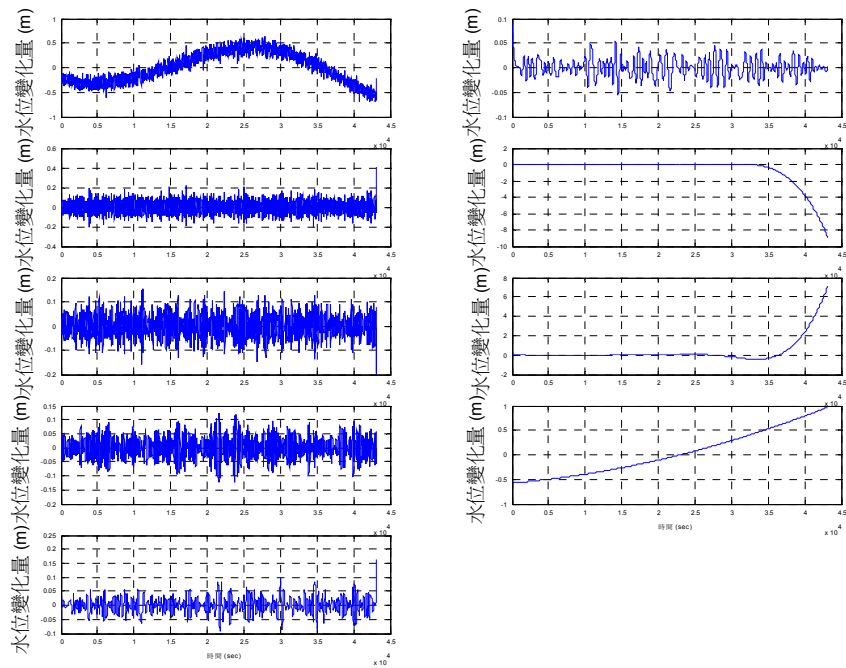


(g) 94/8/6 00h~12h

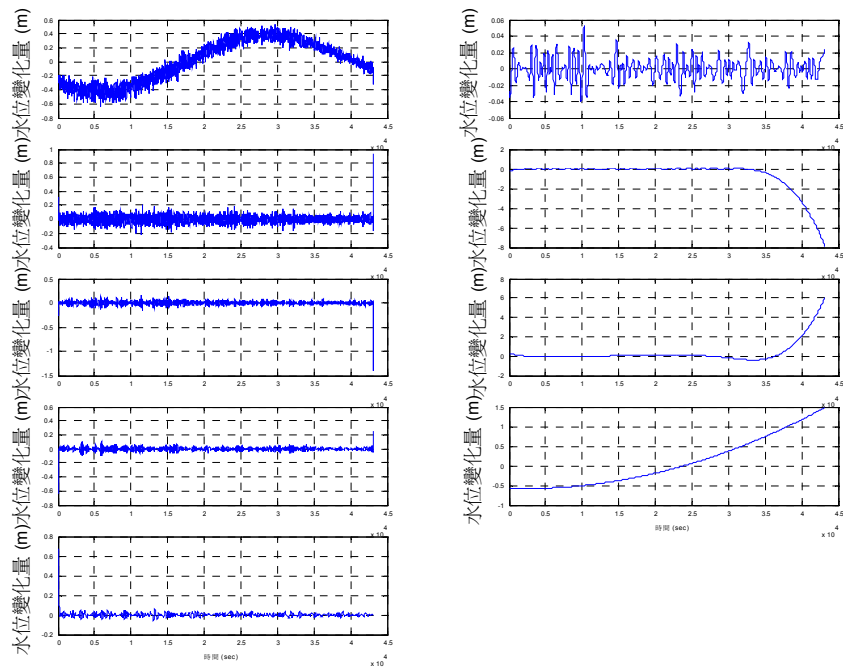


(h) 94/8/6 12h~24h

圖3.13(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析IMF

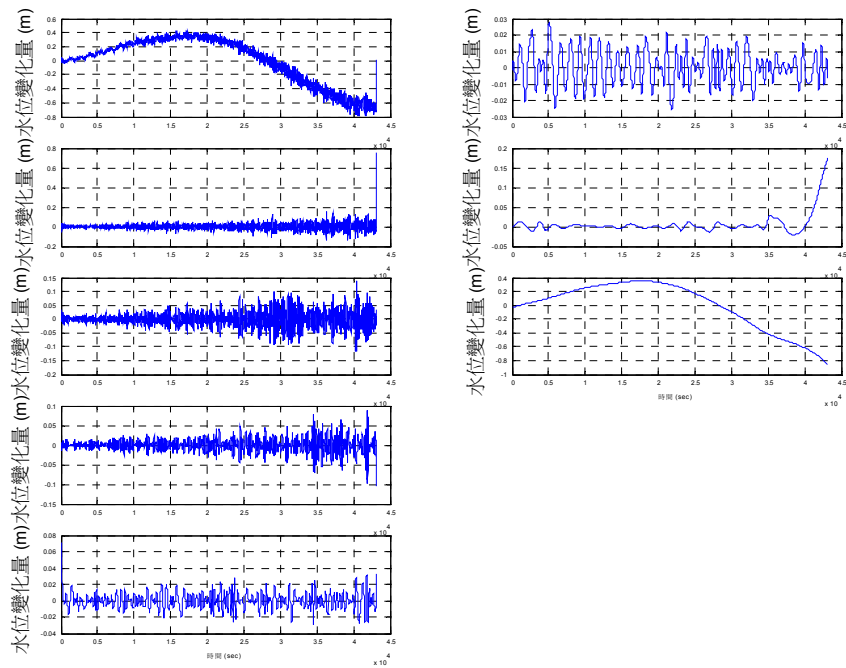


(i) 94/8/7 00h~12h

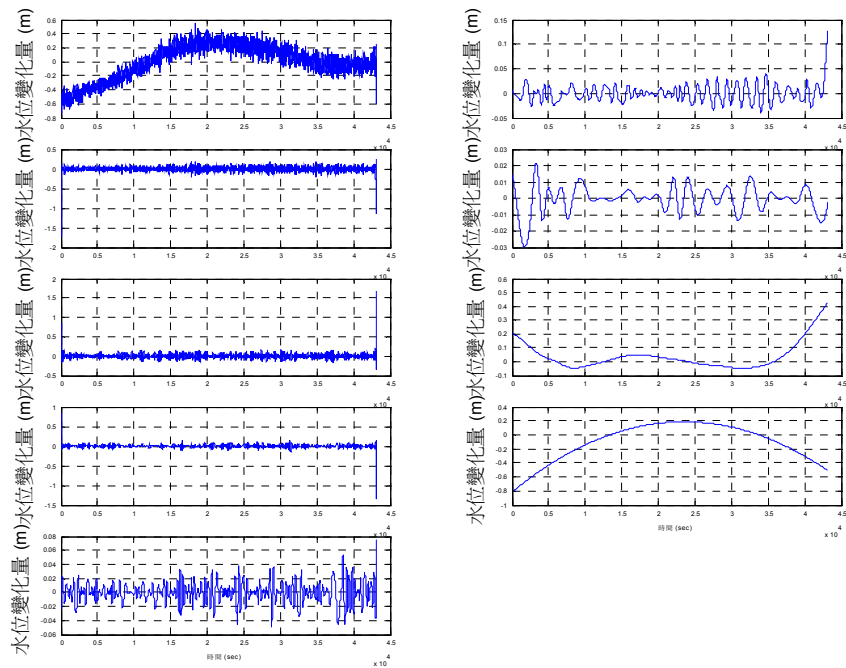


(j) 94/8/7 12h~24h

圖3.13(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析IMF

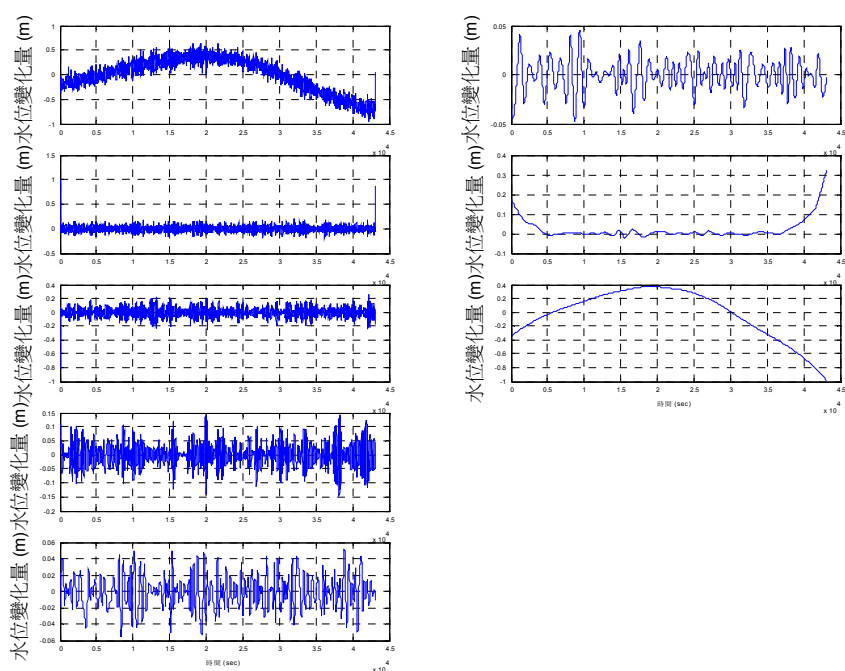


(a) 94/8/3 00h~12h

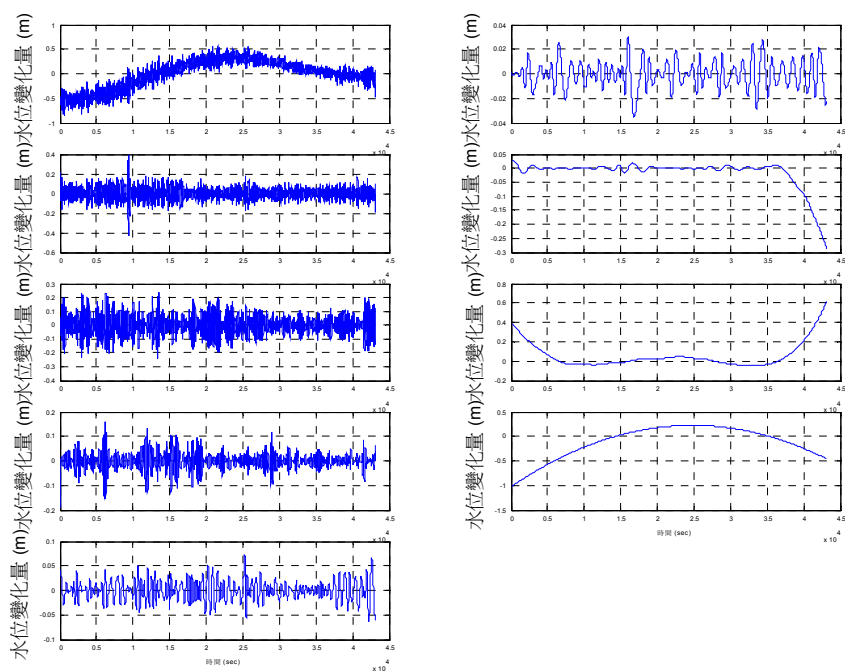


(b) 94/8/3 12h~24h

圖3.14 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析IMF

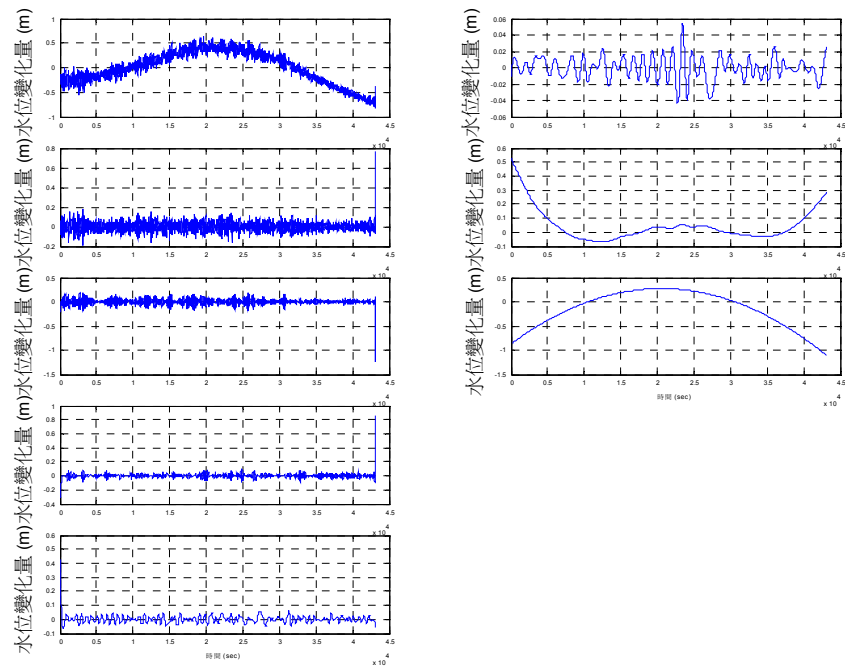


(c) 94/8/4 00h~12h

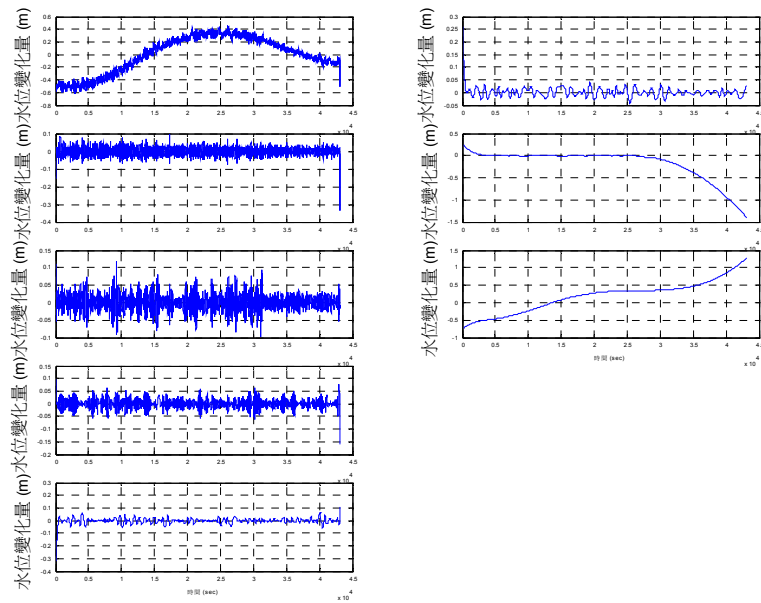


(d) 94/8/4 12h~24h

圖3.14(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析IMF

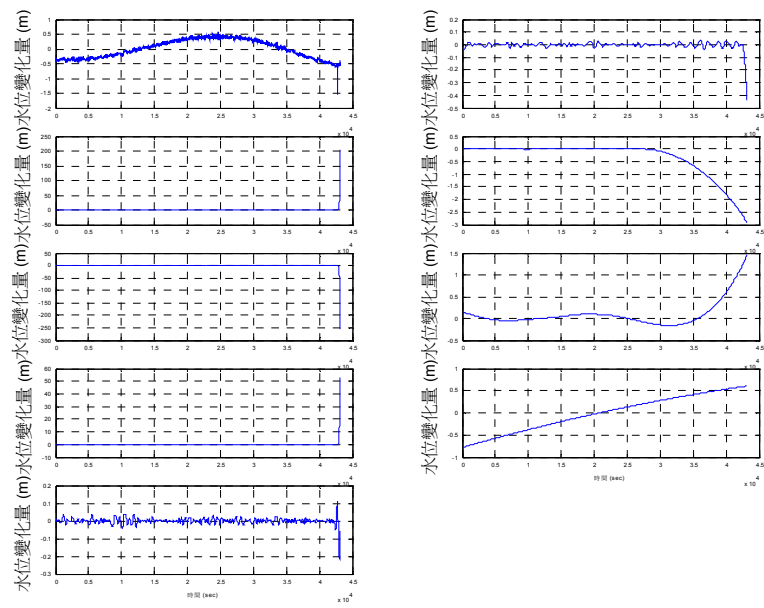


(e) 94/8/5 00h~12h

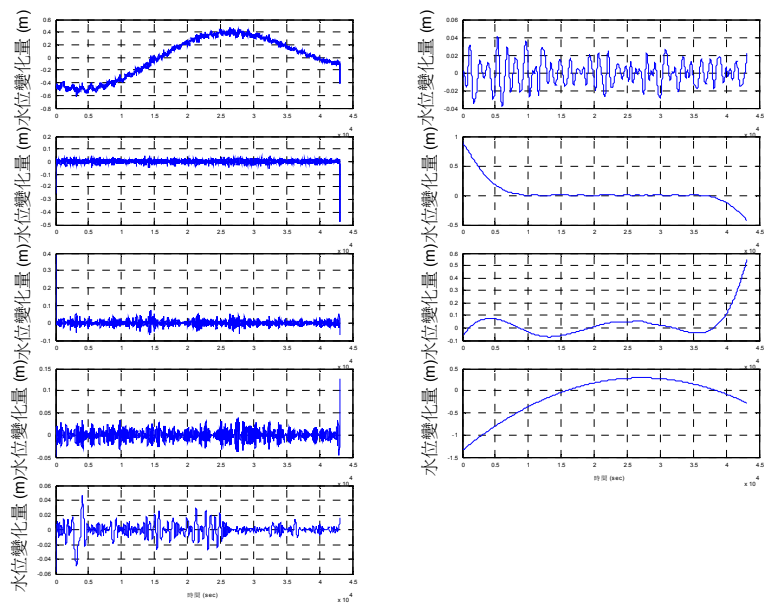


(f) 94/8/5 12h~24h

圖3.14(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析IMF

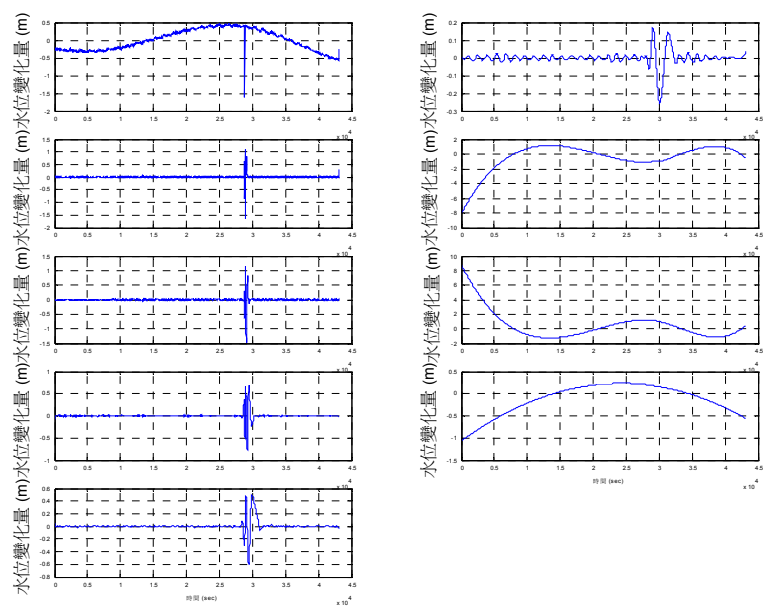


(g) 94/8/6 00h~12h

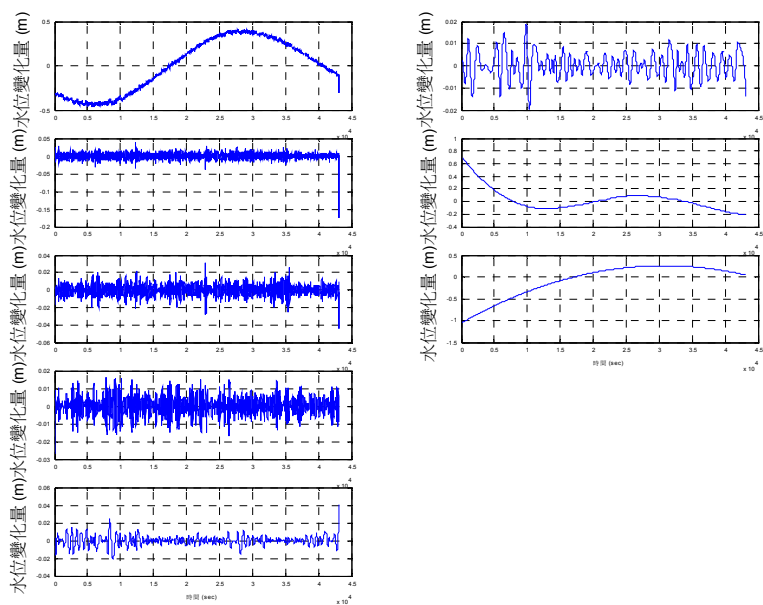


(h) 94/8/6 12h~24h

圖3.14(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析IMF

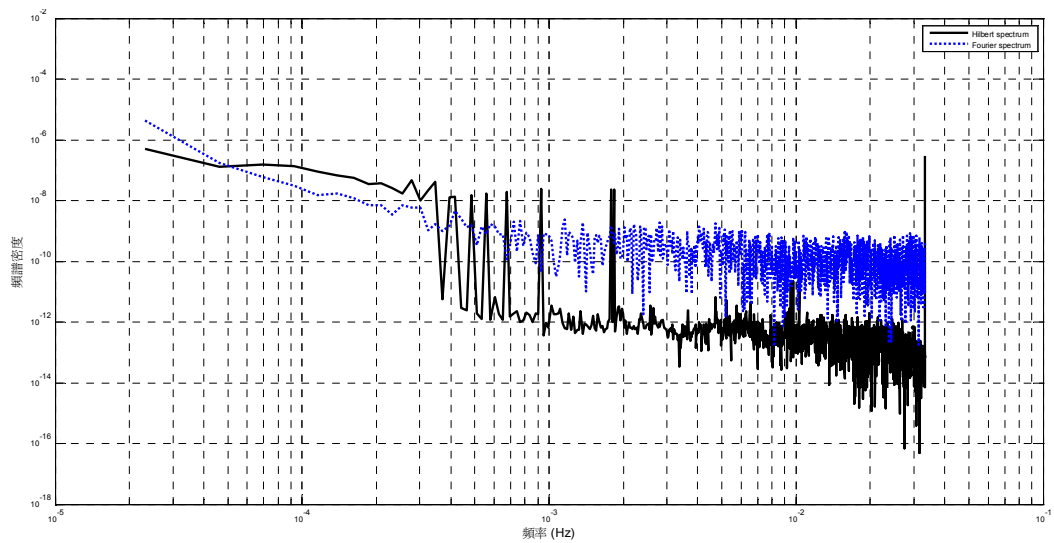


(i) 94/8/7 00h~12h

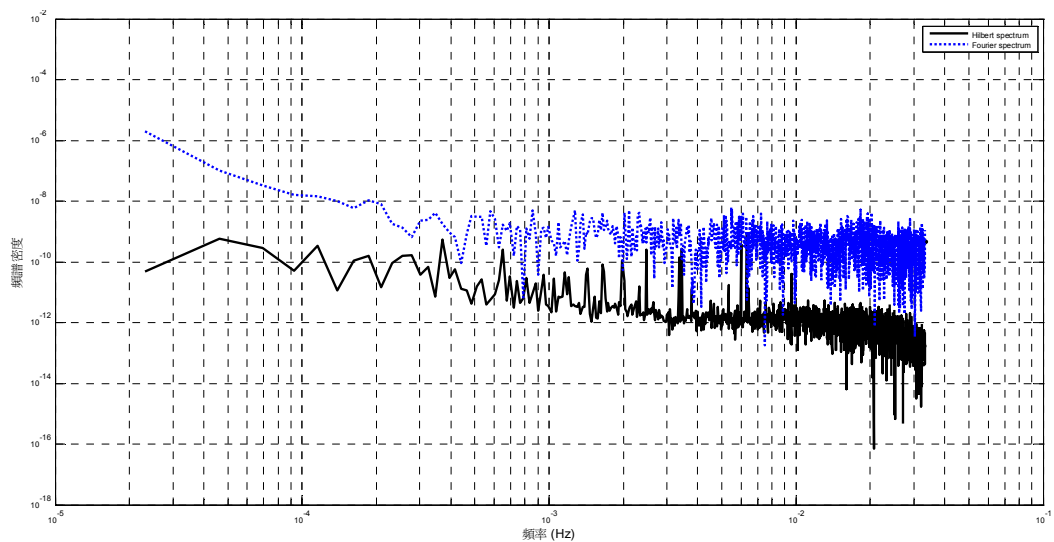


(j) 94/8/7 12h~24h

圖3.14(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析IMF

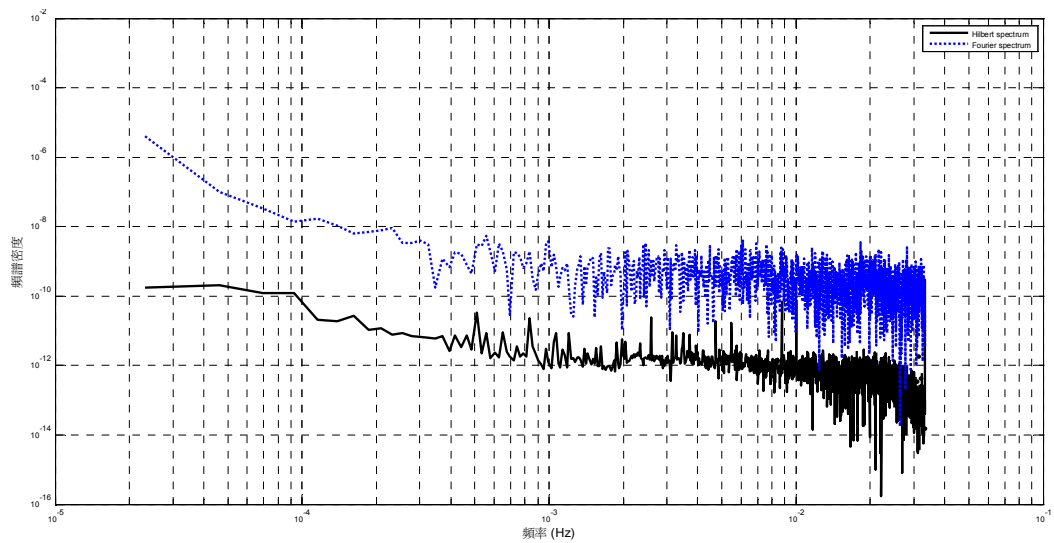


(a) 94/8/3 00h~12h

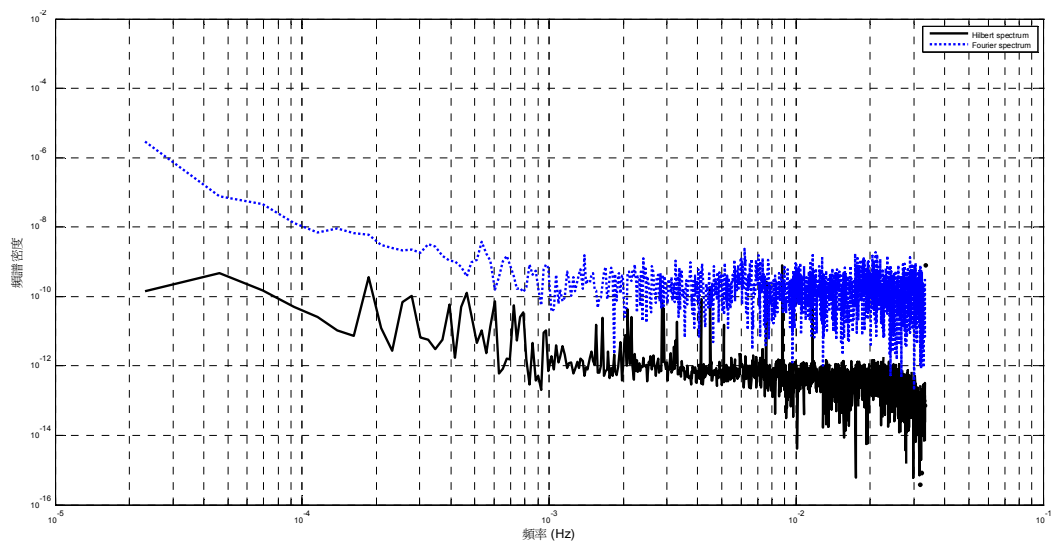


(b) 94/8/3 12h~24h

圖3.15 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜

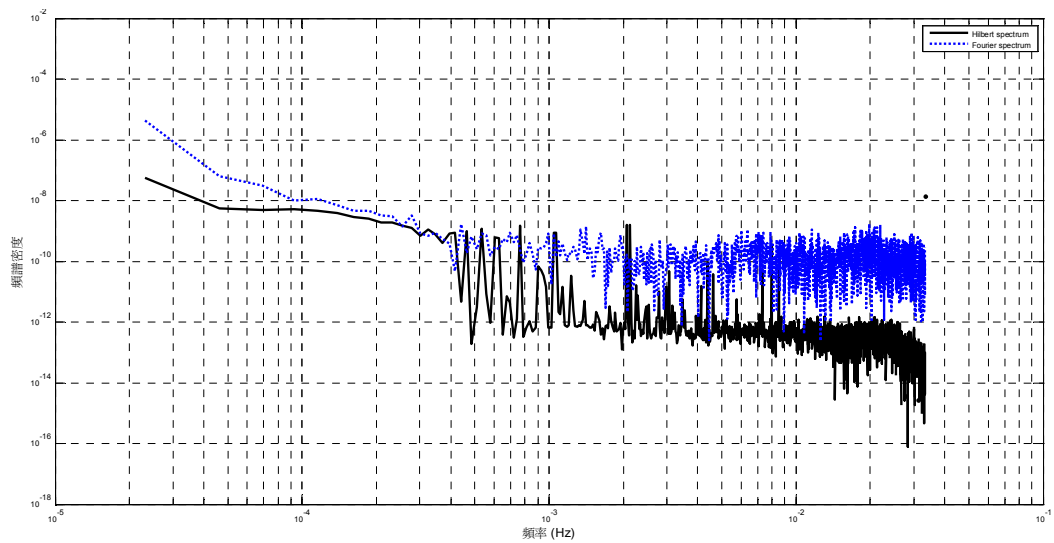


(c) 94/8/4 00h~12h

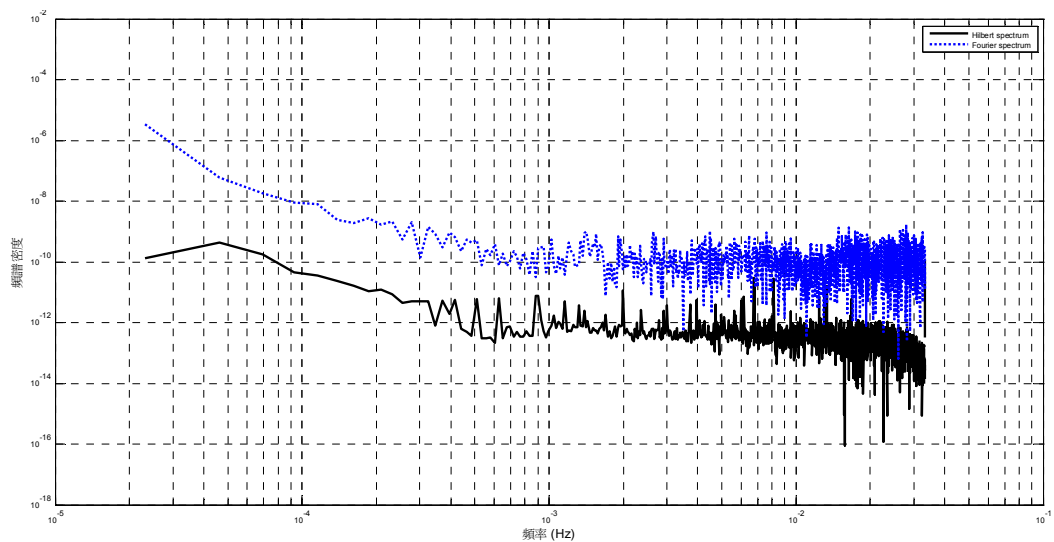


(d) 94/8/4 12h~24h

圖3.15(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜

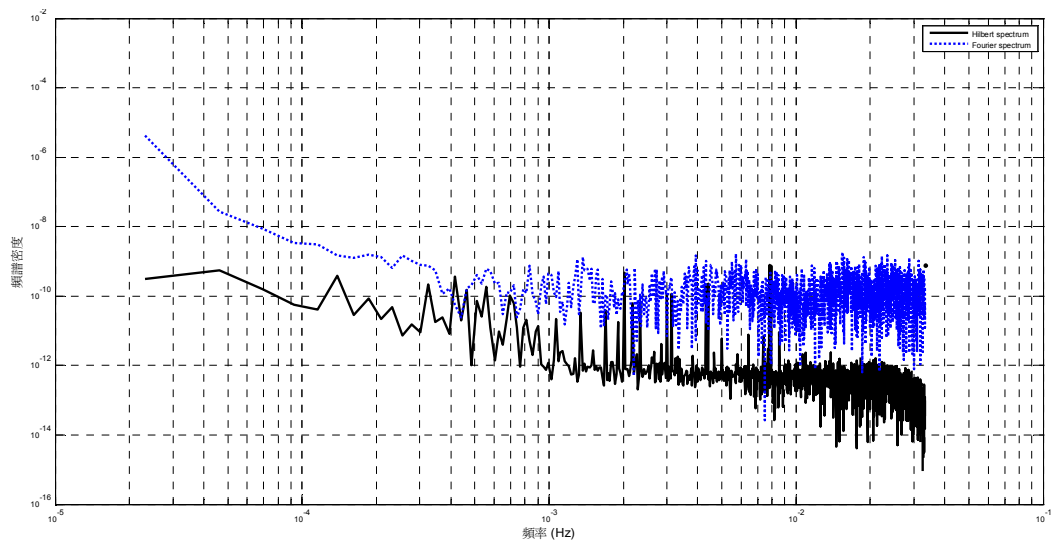


(e) 94/8/5 00h~12h

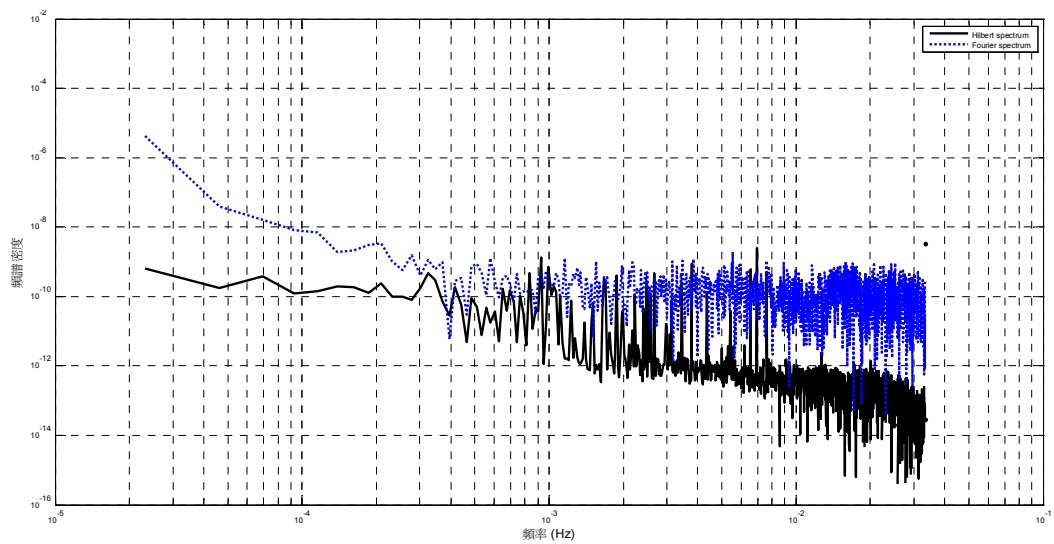


(f) 94/8/5 12h~24h

圖3.15(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜

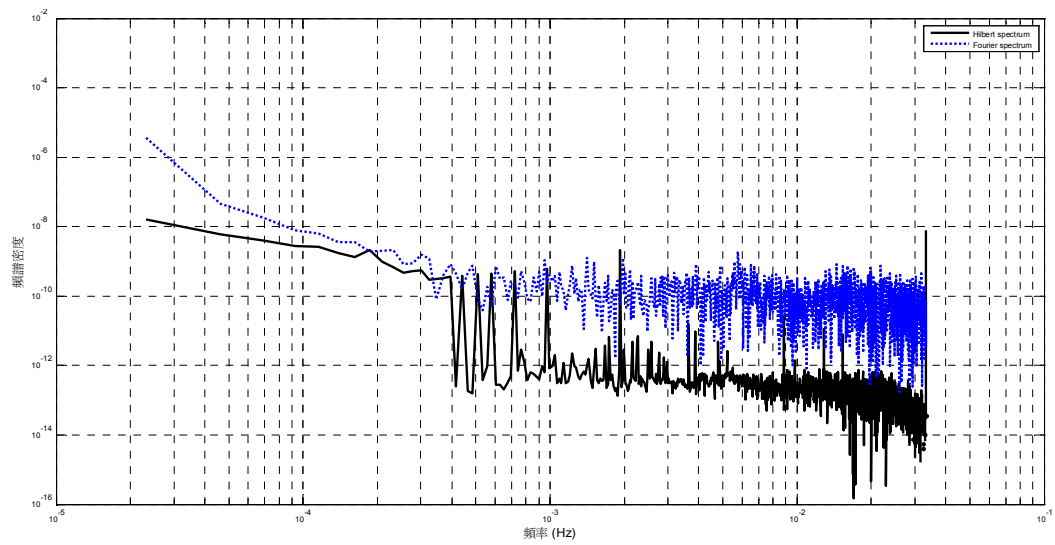


(g) 94/8/6 00h~12h

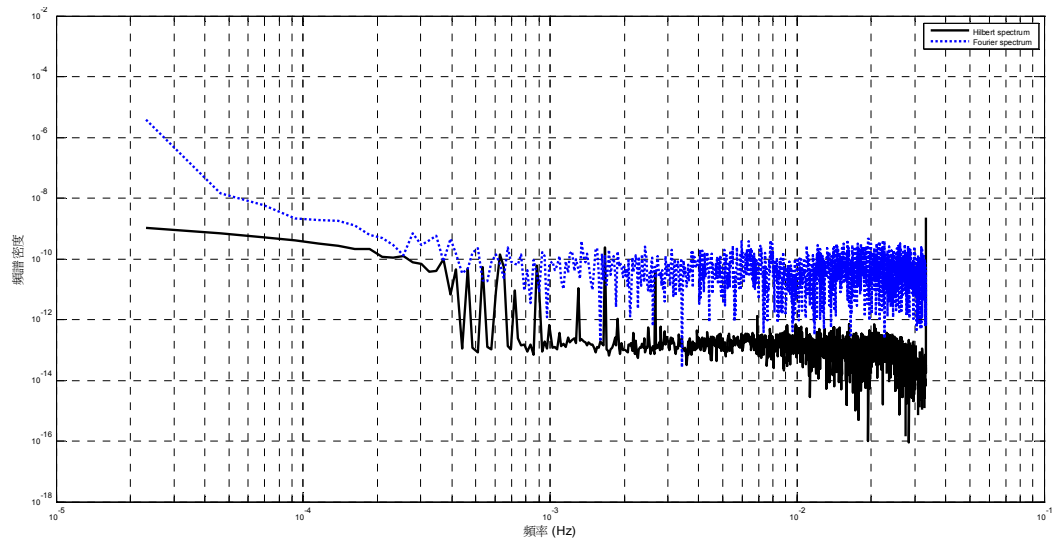


(h) 94/8/6 12h~24h

圖3.15(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜

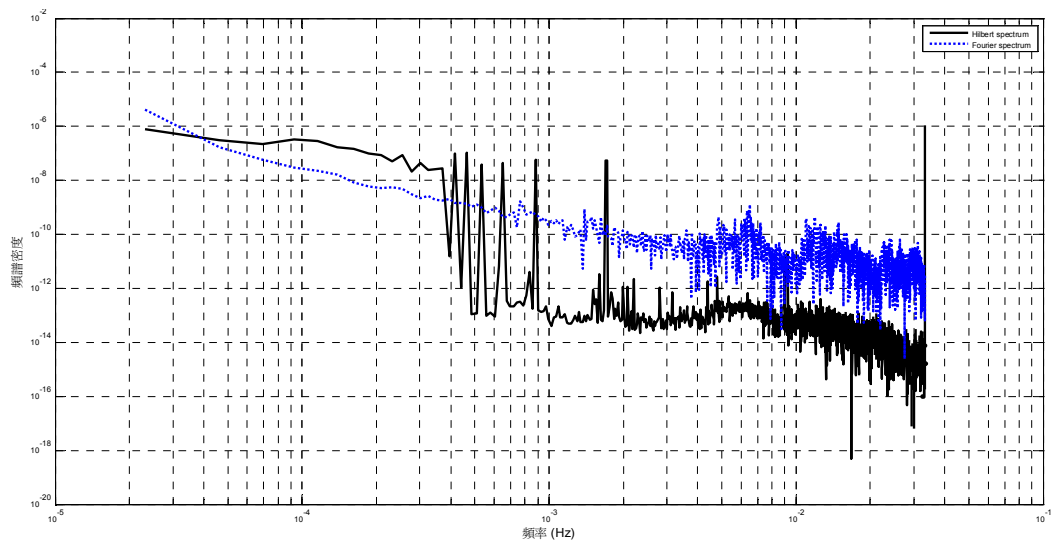


(i) 94/8/7 00h~12h

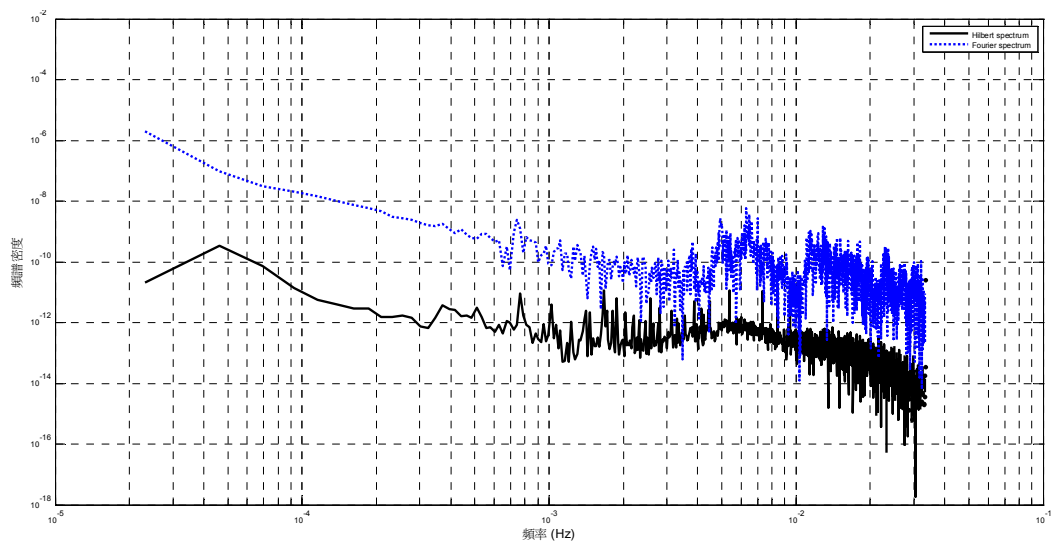


(j) 94/8/7 12h~24h

圖3.15(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港外港波動分析頻譜

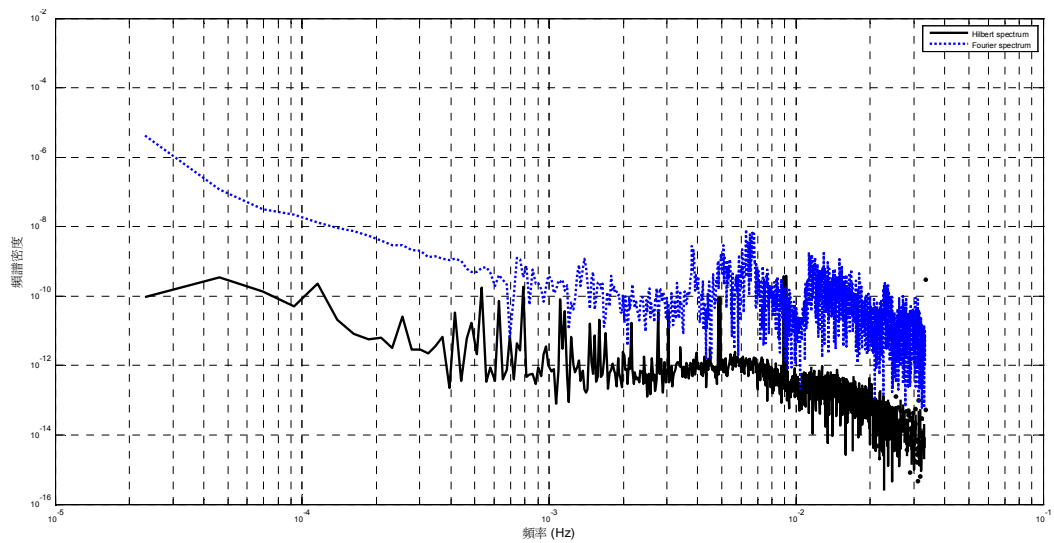


(a) 94/8/3 00h~12h

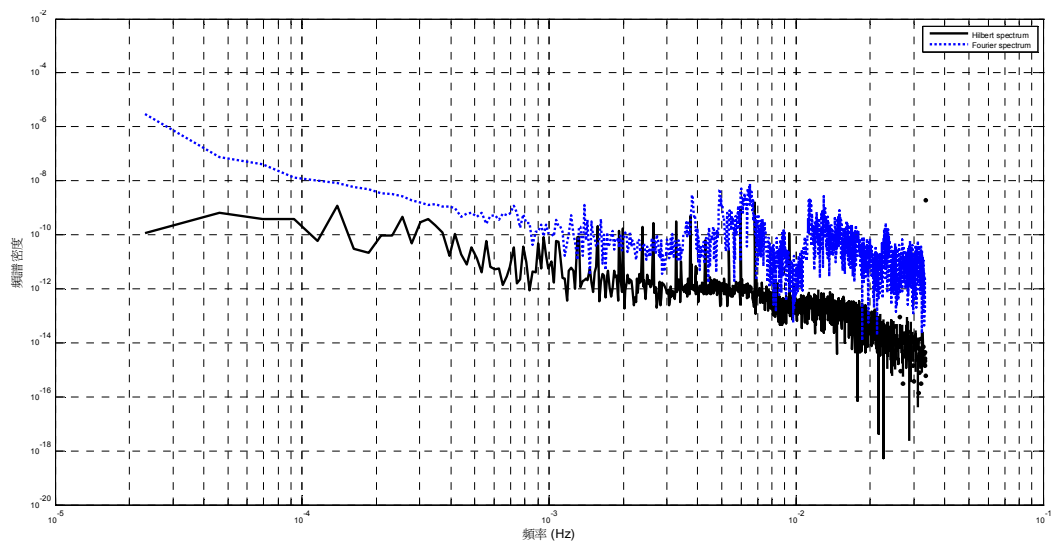


(b) 94/8/3 12h~24h

圖3.16 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜

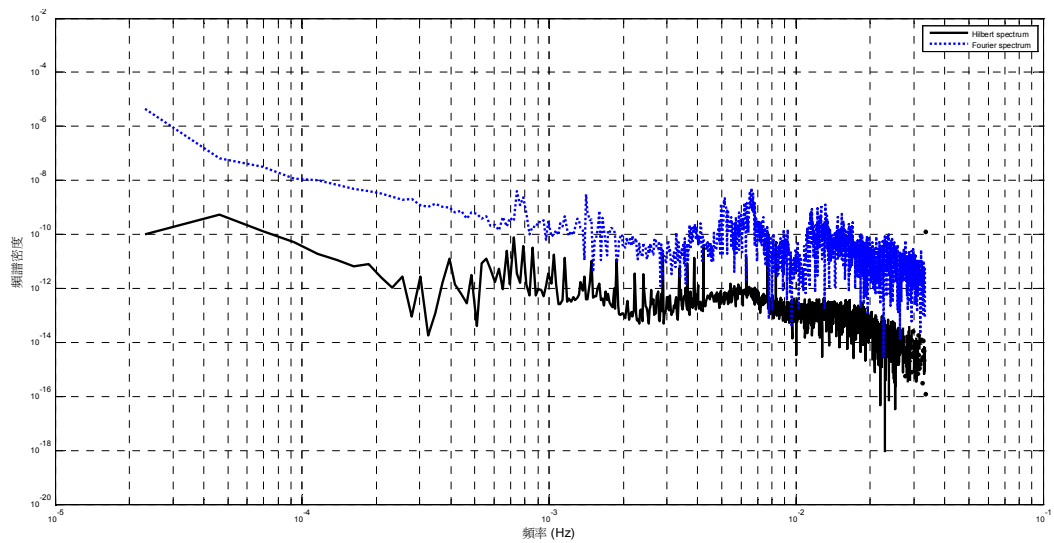


(c) 94/8/4 00h~12h

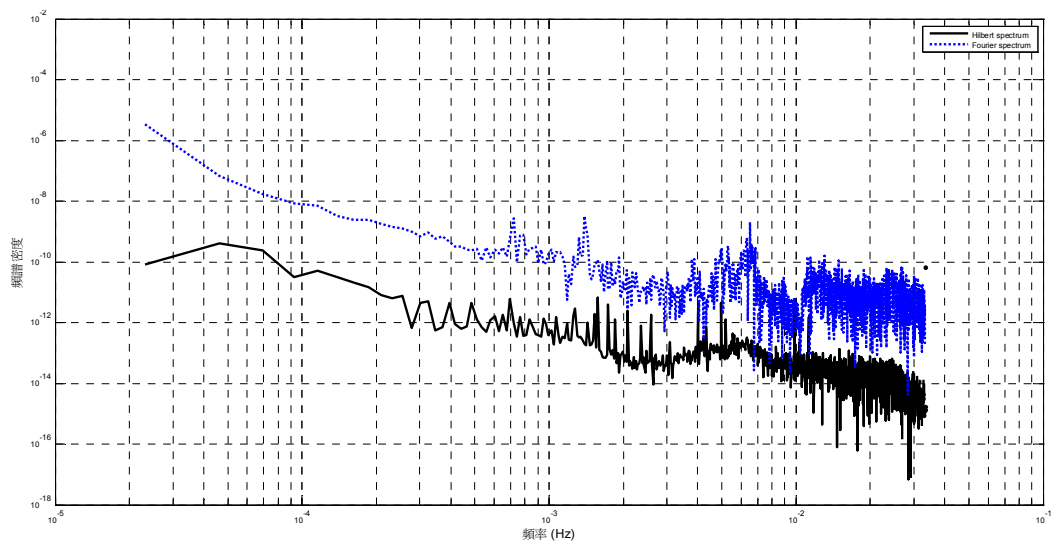


(d) 94/8/4 12h~24h

圖3.16(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜

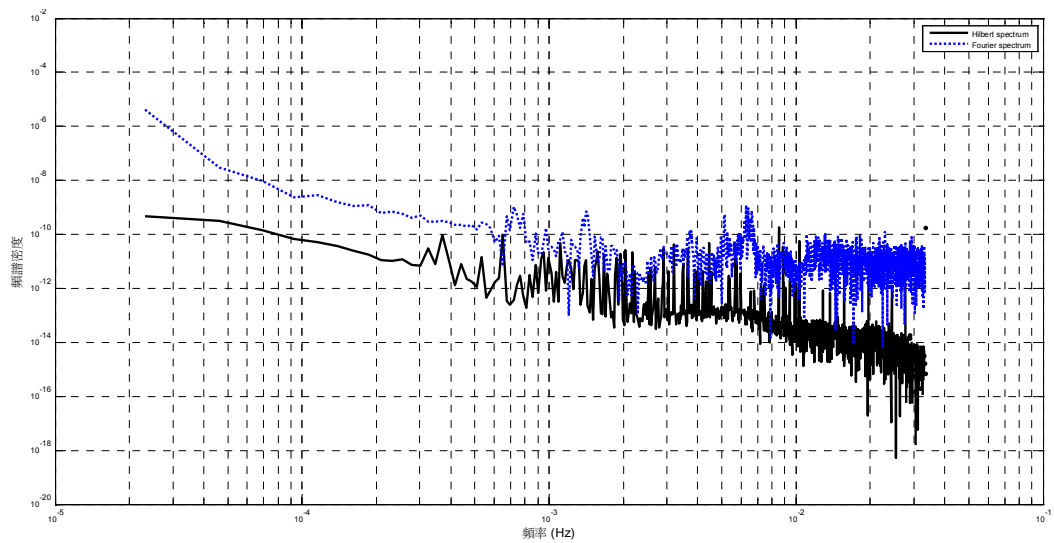


(e) 94/8/5 00h~12h

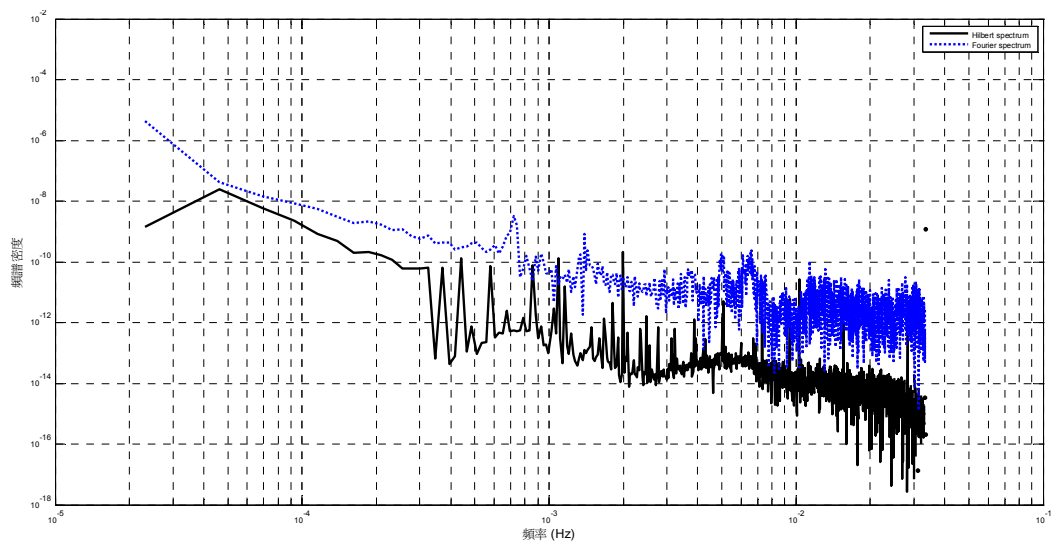


(f) 94/8/5 12h~24h

圖3.16(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜

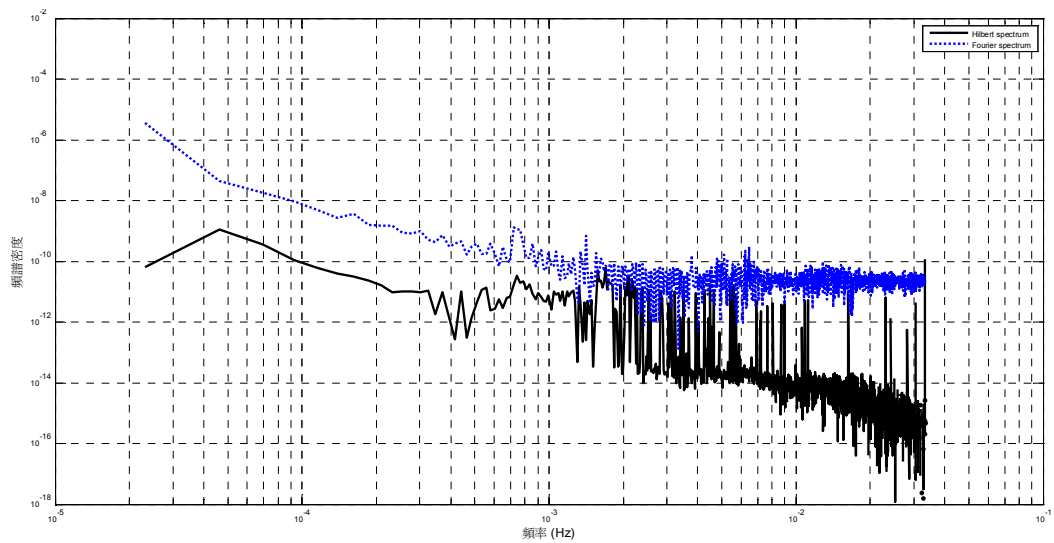


(g) 94/8/6 00h~12h

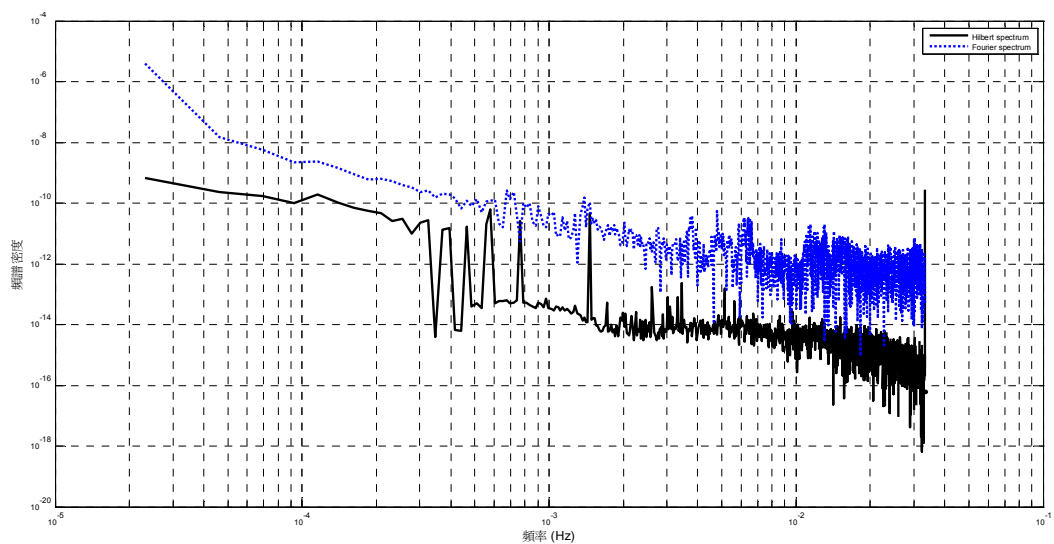


(h) 94/8/6 12h~24h

圖3.16(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜



(i) 94/8/7 00h~12h



(j) 94/8/7 12h~24h

圖3.16(續) 民國94年8月瑪莎颱風期間花蓮港內港波動分析頻譜

第四章 多方向不規則波的數值模擬

如圖4.1所示為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，其次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。

規則成分波的港灣波動數值模擬程式是以Lin(1995)的數值模式建置花蓮港的港池波動數值模擬，該模式係延續以Snell法則計算外海入射波受到近海淺水區地形的影響所發生的淺化及折射效應，並連結Chen(1990)的無限元素解計算領域內的波浪折繞射。其相關的理論推導簡述如后。

4.1 無限元素港灣水面波動數值模式

本有關港口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、波向與相位後，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 θ_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。

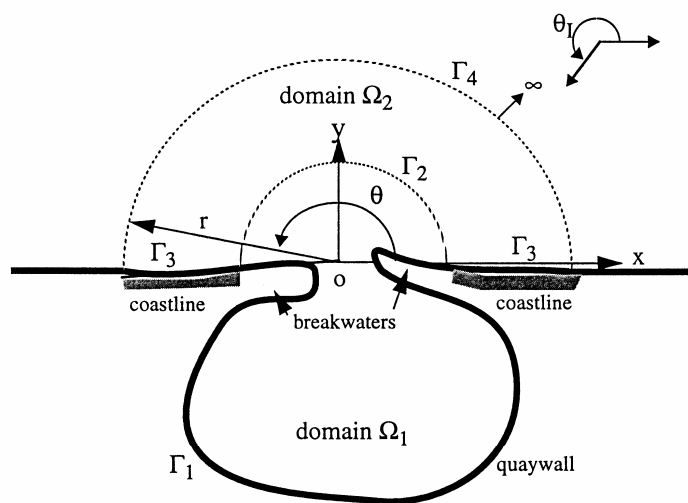


圖4.1 港池水面波動邊界值問題定義圖

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

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \phi) + \omega^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

其中， $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ ； $C = L/T$ 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 ω 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 λ 。修正後的公式如下

$$\nabla \cdot (\lambda C C_g \nabla \phi) + C C_g k^2 \phi = 0 \quad (4.2)$$

其中， $\lambda = (1 + (i\beta a_i / h \sinh kh) e^{i\gamma})^{-1}$ ； $i = \sqrt{-1}$ ； β 為無因次量的摩擦係數； a_i 為入射波振幅； γ 為相位角。由於本文主要是建立數值波動模式，而且 β 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， Γ_4 位於外海無窮遠處，而 Γ_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 Ω_1 及無限範圍的外海區 Ω_2 。港池區 Ω_1 係一由港池岸壁、港外的海岸線、防波堤、假想邊界面 Γ_2 、自由水面及海底底床所包圍的水體；外海區 Ω_2 則為一由海岸線、假想邊界面 Γ_2 及 Γ_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 Ω_1 及外海區 Ω_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 Ω_1 的波動控制方程式為

$$\nabla \cdot (\lambda C C_g \nabla \phi_{\Omega_1}) + C C_g k^2 \phi_{\Omega_1} = 0 \quad (4.3)$$

其中， ϕ_{Ω_1} 為港池區 Ω_1 內的速度勢。

2. 在邊界 Γ_1 上的邊界條件分別為

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

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_{Ω_1} 為單位法線向量並以向外為正。

3. 外海區 Ω_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 ϕ_{Ω_2} 可表示為

$$\phi_{\Omega_2} = \phi_0 + \phi_S = (\phi_I + \phi_R) + \phi_S \dots\dots\dots(4.5)$$

其中， ϕ_{Ω_2} 為外海區 Ω_2 內的速度勢； ϕ_I 為入射波的速度勢； ϕ_R 為反射波的速度勢；而 ϕ_S 為散射波的速度勢。 ϕ_{Ω_2} ， ϕ_0 及 ϕ_S 應分別滿足式(4.2)的控制方程式，即

$$\nabla \cdot (\lambda C C_g \nabla \phi_{\Omega_2}) + C C_g k^2 \phi_{\Omega_2} = 0 \dots\dots\dots(4.6)$$

$$\nabla \cdot (\lambda C C_g \nabla \phi_0) + C C_g k^2 \phi_0 = 0 \dots\dots\dots(4.7)$$

及

$$\nabla \cdot (\lambda C C_g \nabla \phi_S) + C C_g k^2 \phi_S = 0 \dots\dots\dots(4.8)$$

4. 在邊界面 Γ_3 上的邊界條件分別為

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

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

及

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

5. 在邊界面 Γ_4 上，散射波的速度勢 ϕ_S 應該滿足Sommerfeld的輻射條

件，因此其邊界條件為

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - \frac{ik}{\sqrt{\lambda}} \right) \phi_s = 0 \quad (4.12)$$

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 Γ_2 為港池區 Ω_1 與外海區 Ω_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

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

及

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

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

$$\begin{aligned} F(\phi) = & \frac{1}{2} \iint_{\Omega_1} (\lambda CC_g \nabla^2 \phi_{\Omega_1} - CC_g k^2 \phi_{\Omega_1}^2) dA + \frac{1}{2} \iint_{\Omega_2} (\lambda CC_g \nabla^2 \phi_s - CC_g k^2 \phi_s^2) dA \\ & - \frac{1}{2} \int_{\Gamma_1} \alpha \lambda CC_g \phi_{\Omega_1}^2 dL + \int_{\Gamma_2} \lambda CC_g \frac{\partial \phi_0}{\partial n_{\Omega_2}} \phi_{\Omega_1} dL - \frac{1}{2} \int_{\Gamma_3} \alpha \lambda CC_g \phi_s^2 dL - \frac{1}{2} \int_{\Gamma_4} ik \frac{CC_g}{\sqrt{\lambda}} \phi_s^2 dL \\ & \dots \dots \dots (4.15) \end{aligned}$$

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 Ω_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 Γ_1 及 Γ_2 上。外海區 Ω_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 Γ_3 上的近似積分上。邊界面 Γ_4 上的積分由於散射波的速度勢 ϕ_s 會消失在無窮遠處，因此該項積分予以忽略。

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

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

式中， r_1 為無限元素與邊界 Γ_2 的交點至原點 O 的距離； r 為無限元素與邊界 Γ_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

$$\phi_S(r) = N_r \phi_S(r_1) \quad (4.17)$$

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

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

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

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

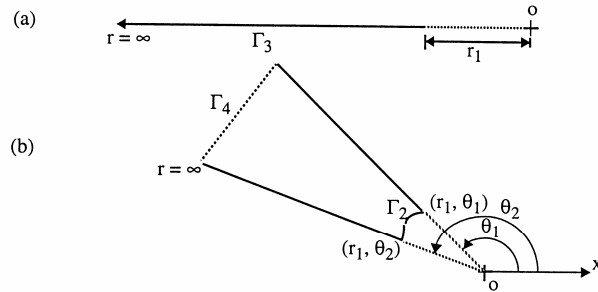


圖4.2 無限元素定義圖。(a)單節點無限元素；(b)雙節點無限元素

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，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

$$(K_D) = \left| \frac{\phi_i}{2\phi_I} \right|, \quad i = 1 \dots N \quad (4.20)$$

式中， N 為總節點數。此一部份較為詳細的相關推導可參考Chen(1990)或Lin(1995)。

7. 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 Γ_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 ϕ_0 可表示為 $\phi_0 = \phi_I + K_R \phi_R$ 。

4.2 花蓮港的數值水深地形檔

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。本計

畫乃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。

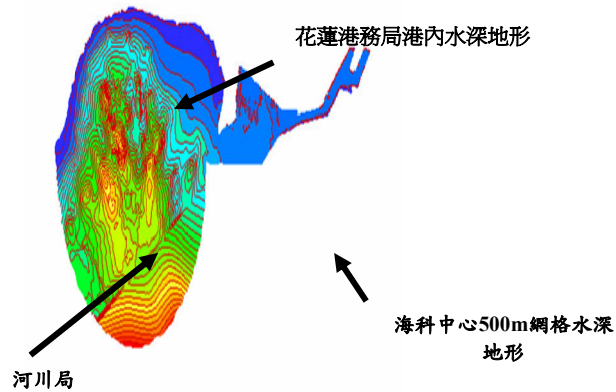


圖4.3 花蓮港水域數值水深資料彙整情形

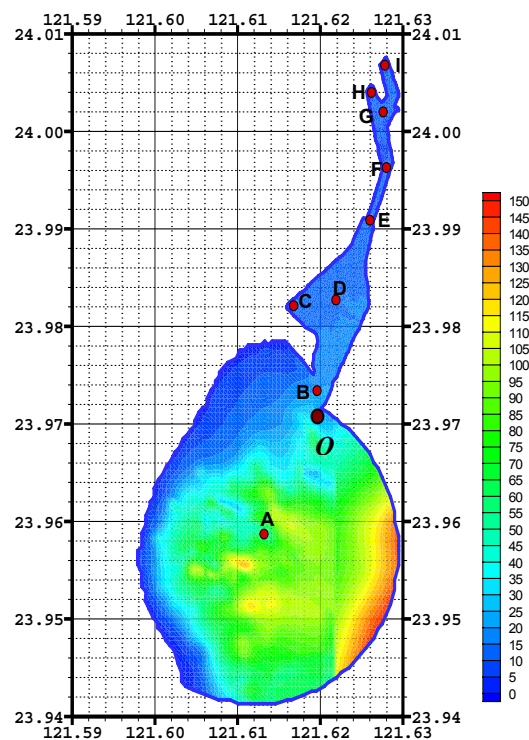


圖4.4 修正過的花蓮港水域數值水深地形

4.3 規則波數值模擬

為進行數值模擬，港外的海岸假設為部分消波($K_R = 0.5$)，而港內則全部假設為完全反射，以模擬最惡劣的情況。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8至1200秒。圖4.5為九個測站(位置如圖4.4中所示)全部的波高增幅曲線圖。從圖中可以看出，在長週期波部分，當波動週期約在60、65至90、108、116、380至530、606、以及1130秒時，整個港域會整體性地引發共振現象($K_D > 2.0$)，此一結論與以前的研究成果相當接近。而在重力波部分則顯示當波浪週期較短時，內港水域、受限航道、外港水域、以及港外，有不同的波動行為，但隨著波浪週期的加長則趨勢越趨於一致。圖4.6顯示造波週期分別為89、402及1132秒時之港區水域波高增幅係數分佈圖。

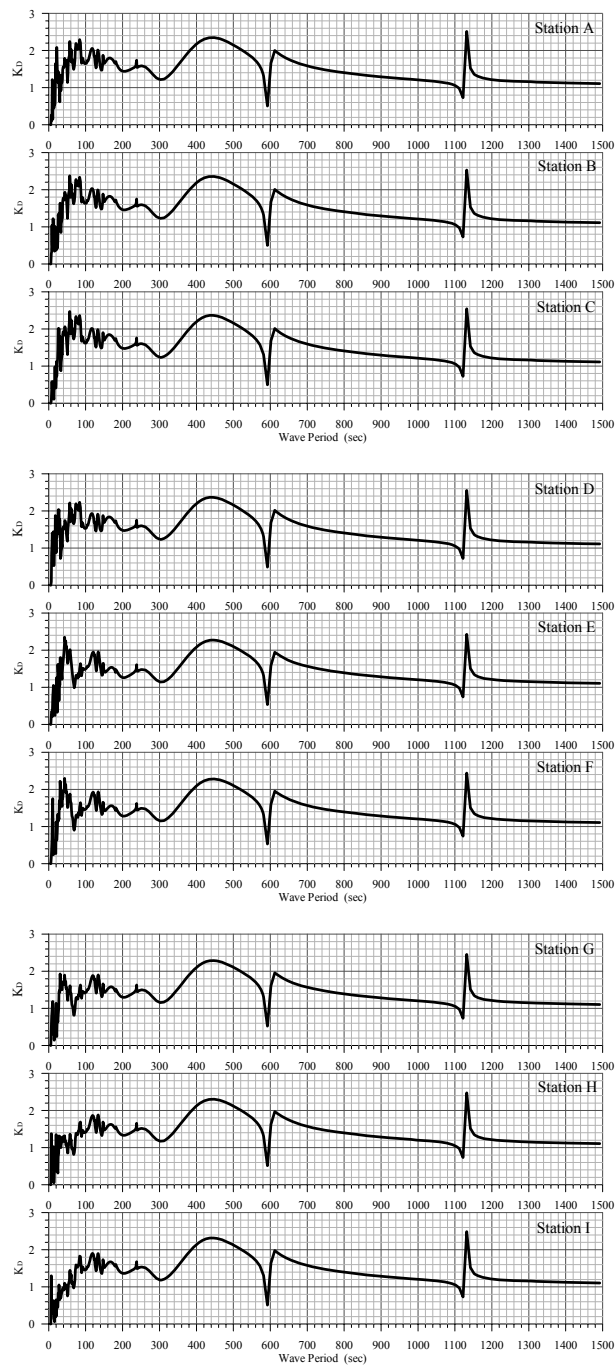


圖4.5 九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖

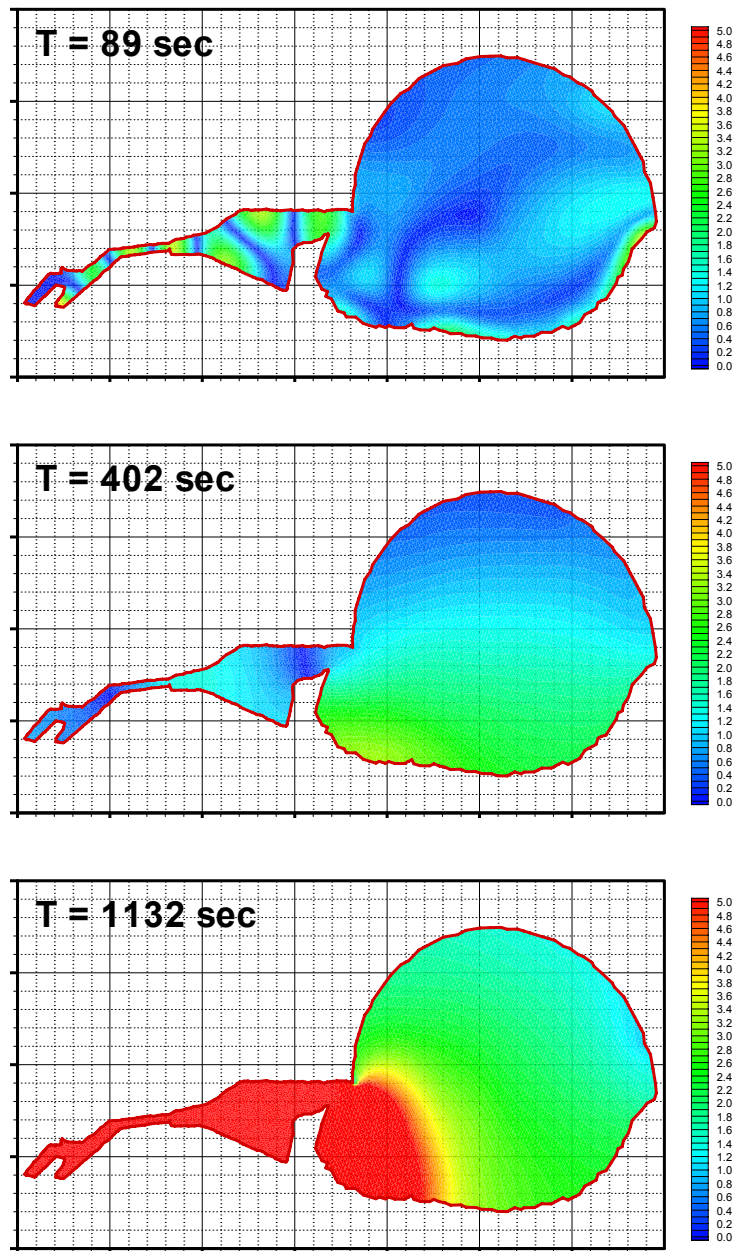


圖4.6 波高增幅係數 K_D 分佈圖

4.4 單方向不規則波的數值模擬

在不規則波模式中所引入的理論頻譜有Pierson-Moskowitz頻譜、Bretschneider- Mitsuyasu頻譜、以及JONSWAP頻譜。頻譜的分割方式則測試等能量分割、等頻率分割、等週期分割、以及混合分割等方法。

本計畫在經過上一年度的研討後，使用等週期分割以保持港灣波動受週期顯著影響的特性。圖4.7為單方向不規則波的模擬過程。

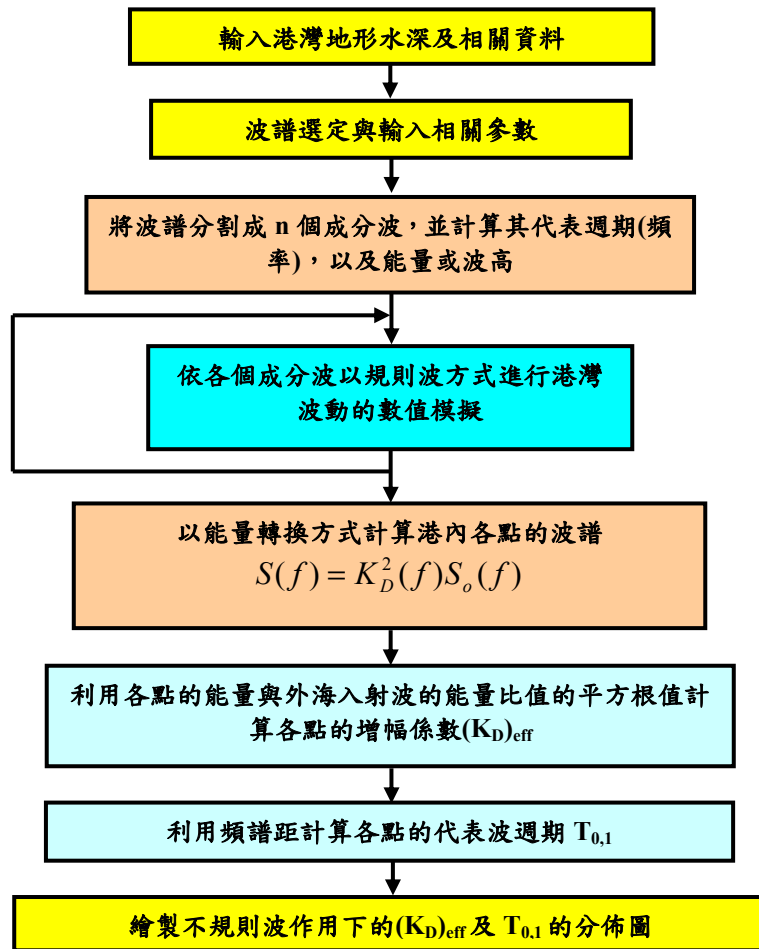


圖4.7 規則波港灣波動數值模式的計算流程圖

4.4.1 理論頻譜

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：

$$S(f) = 3.437 \frac{F_1^2}{F_2^4} \frac{g^2}{f^5} \exp \left[-0.675 \frac{g^4}{(UF_2 f)^4} \right] \dots\dots\dots (4.21)$$

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

$$S(f) = \frac{1.25}{4} \frac{f_p^4}{f^5} H_s^2 \exp \left[-1.25 \left(\frac{f_p}{f} \right)^4 \right] \dots\dots\dots (4.22)$$

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(4.22)中的係數作修改，修改後的公式如下：

$$S(f) = 0.257 H_s^2 T_s^{-4} f^{-5} \exp \left[-1.03 (T_s f)^{-4} \right] \dots\dots\dots (4.23)$$

式(4.23)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Moskowitz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：

$$S(f) = 8.1 \times 10^{-3} (2\pi)^{-4} g^2 f^{-5} \exp \left[-0.74 (g/2\pi f U)^4 \right] \dots\dots\dots (4.24)$$

其中， g 為重力加速度，單位為 m/s^2 ， U 為在平均海面上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： $f_p = 1.253 / \sqrt{4.0 \times \sqrt{2.84 \times 10^{-5} U^4}}$ 。將其代入原頻譜公式可以得到以下的公式：

$$S(f) = \frac{0.0081g^2}{(2\pi)^4} \frac{1}{f^5} \exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \dots\dots\dots(4.25)$$

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 North Sea 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：

$$S(f) = \frac{\alpha_J g^2}{(2\pi)^4} \frac{1}{f^5} \exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \gamma_J^{\varepsilon_f} \dots\dots\dots(4.26)$$

$$\alpha_J = \begin{cases} 0.07 & \text{for } f \leq f_p \\ 0.09 & \text{for } f > f_p \end{cases} \dots\dots\dots(4.27)$$

$$\varepsilon_f = \exp\left[-\frac{(f - f_p)^2}{2\alpha^2 f_p^2}\right] \dots\dots\dots(4.28)$$

其中， $\gamma_J = S(f)_{\max} / S(f)_{\max}^{PM}$ ，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； α_J 為能量尺度因子。

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：

$$S(f) = \beta_J H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp\left[-1.25(T_p f)^{-4}\right] \gamma_J^{\exp\left[-(T_p f - 1)^2 / 2\alpha_J^2\right]} \dots\dots\dots(4.29)$$

$$\beta_J = \frac{0.06238}{0.23 + 0.0336\gamma_J - 0.185(1.9 + \gamma_J)^{-1}} (1.094 - 0.01915 \ln \gamma_J) \dots\dots\dots(4.30)$$

$$T_s = \left[1 - 0.132(\gamma_J + 0.2)^{-0.559}\right] T_p \dots\dots\dots(4.31)$$

$$\bar{T} = \left[1 - 0.532(\gamma_J + 2.5)^{-0.569}\right] T_p \dots\dots\dots(4.32)$$

$$\alpha_J = \begin{cases} 0.07 & \text{for } f \leq f_p \\ 0.09 & \text{for } f > f_p \end{cases} \dots\dots\dots(4.33)$$

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

4.4.2 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：

$$(K_D)_{eff} = \left[\frac{1}{m_0} \int_0^\infty \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} S(f, \theta) K_D^2(f, \theta) d\theta df \right]^{1/2} \dots\dots\dots (4.34)$$

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 θ 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

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

在單方向不規則波模擬方面，本文利用與Goda公式相同的方式來計算港內的增幅係數，即：

$$(K_D)_{eff} = \left[\frac{1}{m_0} \int_0^\infty S(f) K_D^2(f) df \right]^{1/2} \dots\dots\dots(4.35)$$

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Rayleigh分佈時，可表示為

$$H_s = 4.004 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots(4.36)$$

而波高亦可以由傳統的增幅係數的定義求得

$$H = (K_D)_{eff} H_I \dots\dots\dots(4.37)$$

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 單方向不規則波的數值模擬

圖4.8至圖4.10為代表入射波週期為 $T_s=8$ s時，利用規則波模式及不規則波模式(B-M波譜及JONSWAP波譜，代表入射波波高為 $H_s=6$ m，週期範圍5 s至30 s)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4.9及圖4.10的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5 s至30 s)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號的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4.11至圖4.14依序分別為以B-M頻譜及JONSWAP頻譜進行模擬，並分別以式(4.36)及式(4.37)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4.11及圖4.13間，以及圖4.12及圖4.14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4.11與圖4.12之間，以及圖4.13與圖4.14之間就發現其波高分佈有些差異。其可能的原因應是式(4.36)進行波高計算時係假設示性波高與頻譜能量開根號值有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4.15、圖4.16及圖4.17為代表入射波週期為 $T_s=10$ s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 $H_s=6$ m及 10 m，週期範圍 5 s至 30 s)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 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4.18及圖4.20，圖4.19及圖4.21是由圖4.16及圖4.17以式(4.36)及式(4.37)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。

4.4.4 長週期波動的模擬

在一般的理論頻譜中，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(如第三章的討論)，除了重力波以外，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。為了在數值模擬中能反映重力波以外的成分波所可能影響的水面波動情形，本計畫在考量沒有外海入射波波譜的狀況下，以獨立成分波動線性加入理論頻譜的方式，進行相關模擬。

圖4.22至圖4.27係將單一長週期波(週期為84秒，波高分別為1、2及3公尺；以及1134秒，波高分別為0.1、0.5及1公尺，所選定之週期為規則波模擬中會引起 K_D 值大於2的成分波)加入示性波高為6公尺，而示性週期為10秒的JONSWAP理論頻譜後所得的波高增幅係數分佈圖(原有模擬結果如圖4.16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甚至到2，但是如果其能量不夠大的話，對整體性的水面波動影響並不大。然而，對於1134秒的模擬中，即使波高僅有0.1公尺，也會引起港內很大的振盪。

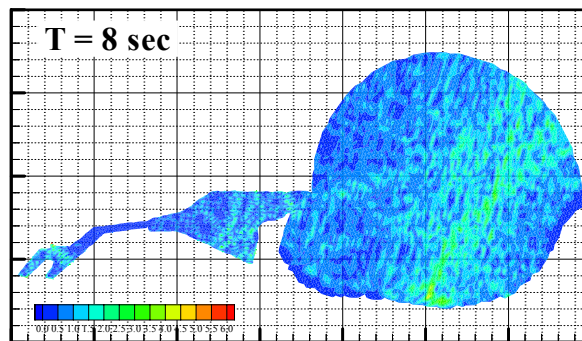


圖4.8 規則波作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s)

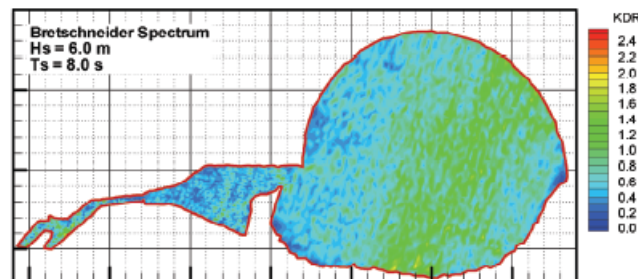


圖4.9 不規則波(B-M頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m)

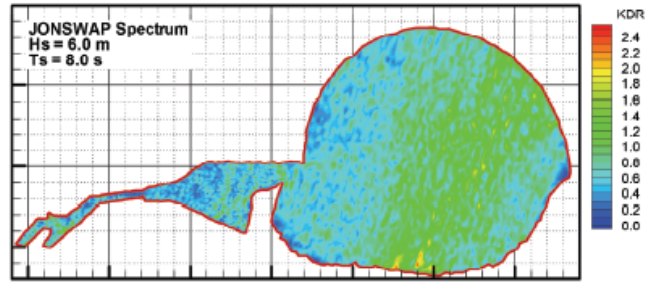


圖4.10 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m)

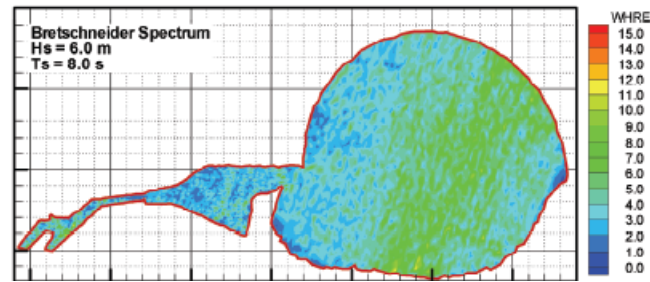


圖4.11 不規則波(B-M頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式4.36)

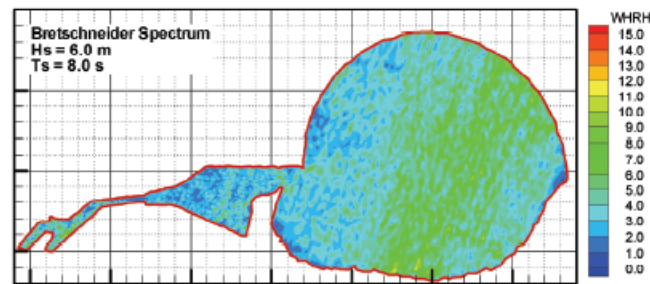


圖4.12 不規則波(B-M頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式4.37)

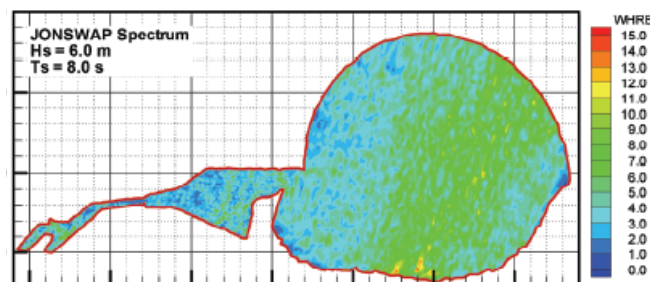


圖4.13 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式4.36)

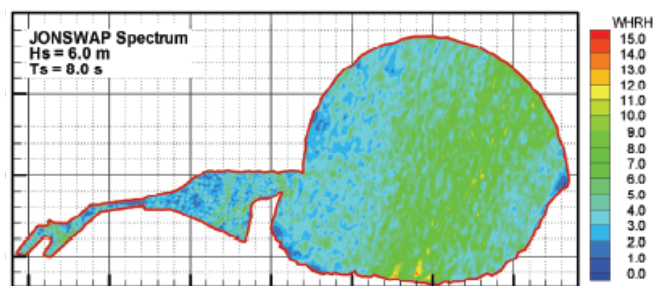


圖4.14 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s , $H_s=6$ m , 式4.37)

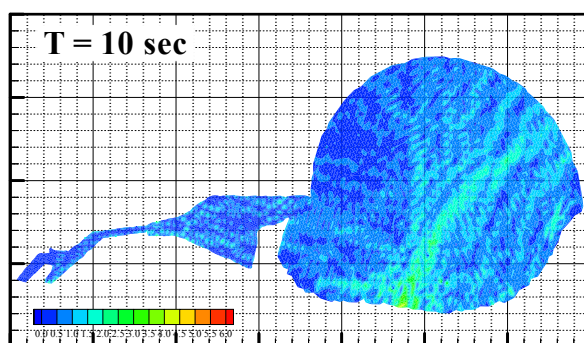


圖4.15 規則波作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s)

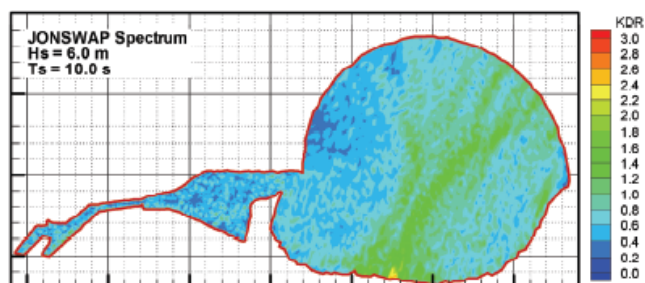


圖4.16 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

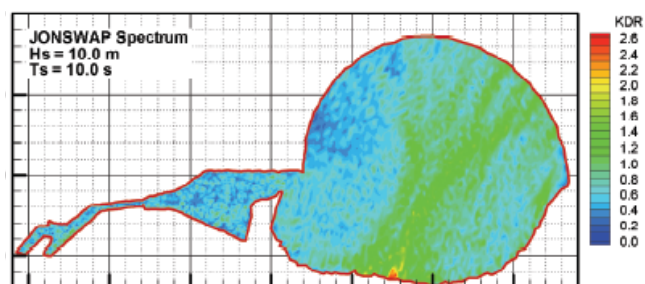


圖4.17 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=10$ m)

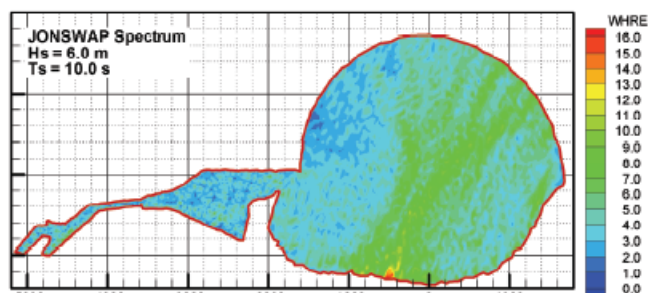


圖4.18 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m , 式4.36)

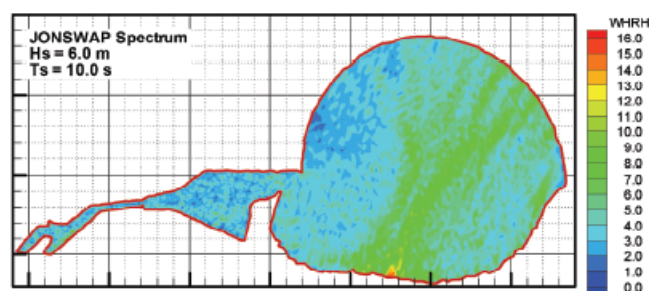


圖4.19 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m , 式4.37)

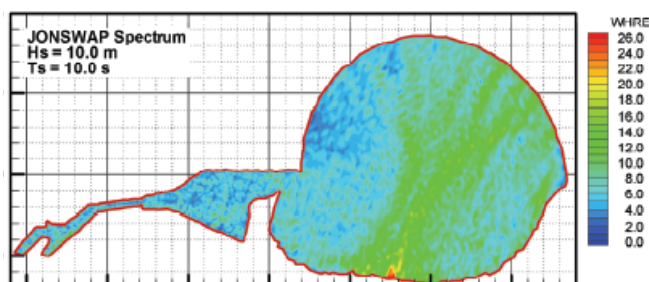


圖4.20 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=10$ m , 式4.36)

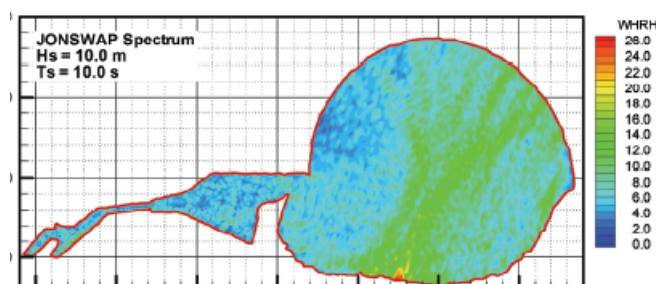


圖4.21 不規則波(JONSWAP頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=10$ m , 式4.37)

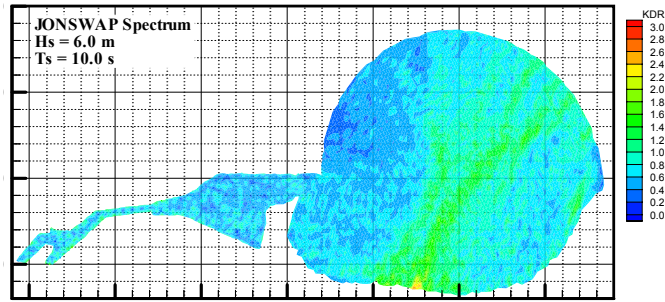


圖4.22 不規則波(JONSWAP頻譜)+84秒長波(波高1公尺)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

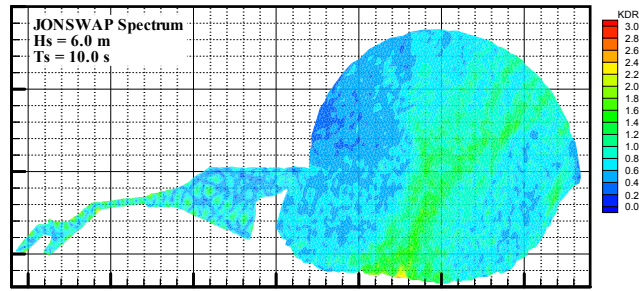


圖4.23 不規則波(JONSWAP頻譜)+84秒長波(波高2公尺)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

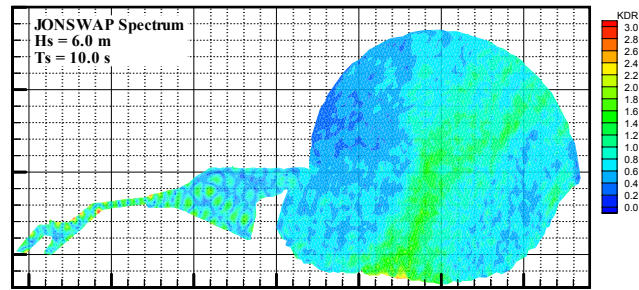


圖4.24 不規則波(JONSWAP頻譜)+84秒長波(波高3公尺)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

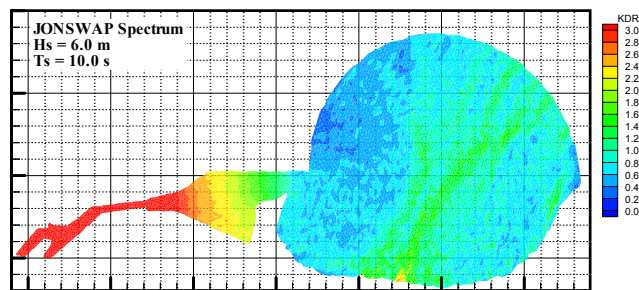


圖4.25 不規則波(JONSWAP頻譜)+1134秒長波(波高0.1公尺)作用下 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

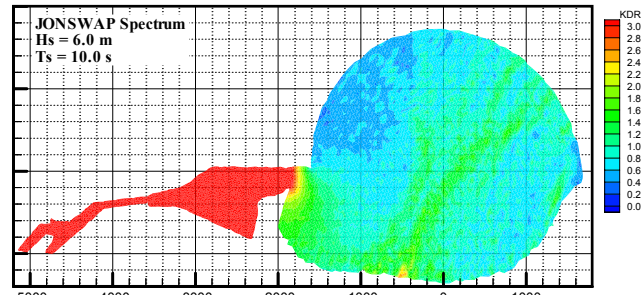


圖4.26 不規則波(JONSWAP頻譜)+1134秒長波(波高0.5公尺)作用下
 K_D 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

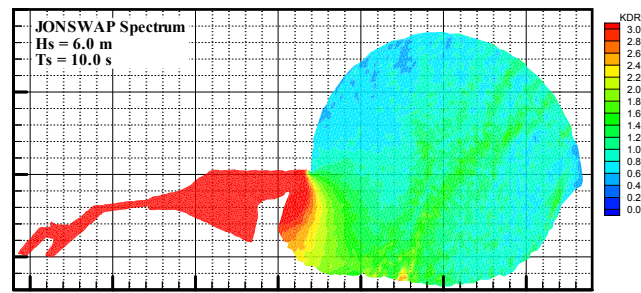


圖4.27 不規則波(JONSWAP頻譜)+1134秒長波(波高1公尺)作用下 K_D
分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

4.5 實測波譜的模擬

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4.28為提姆颱風的行進路徑圖，圖4.29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4.30的港口內外實測頻譜亦有類似的情形。

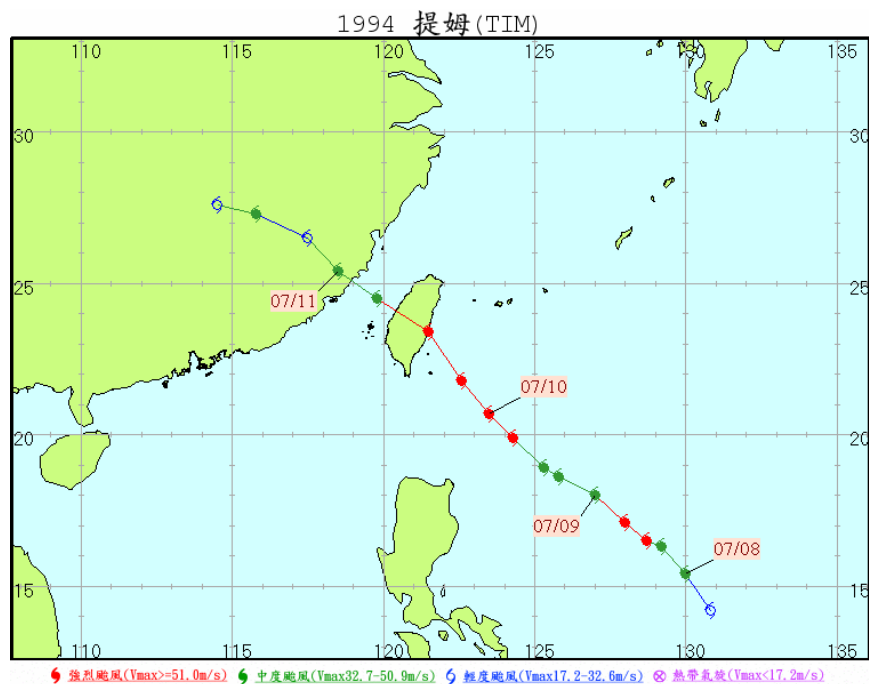
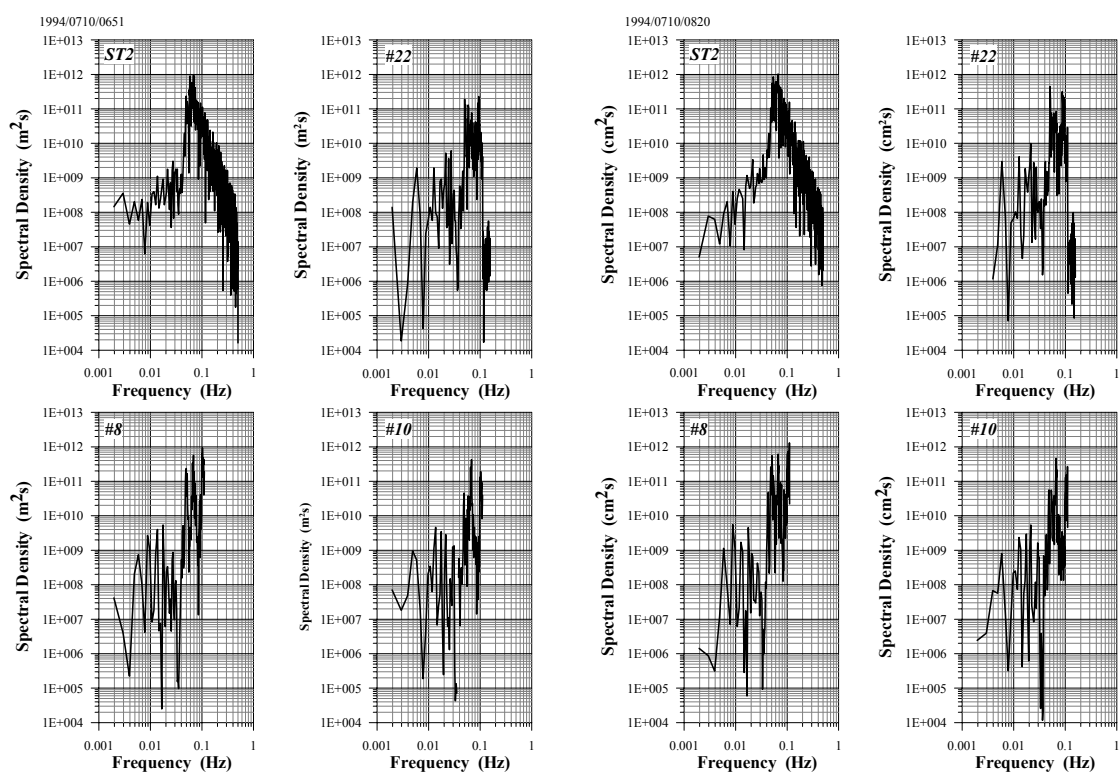


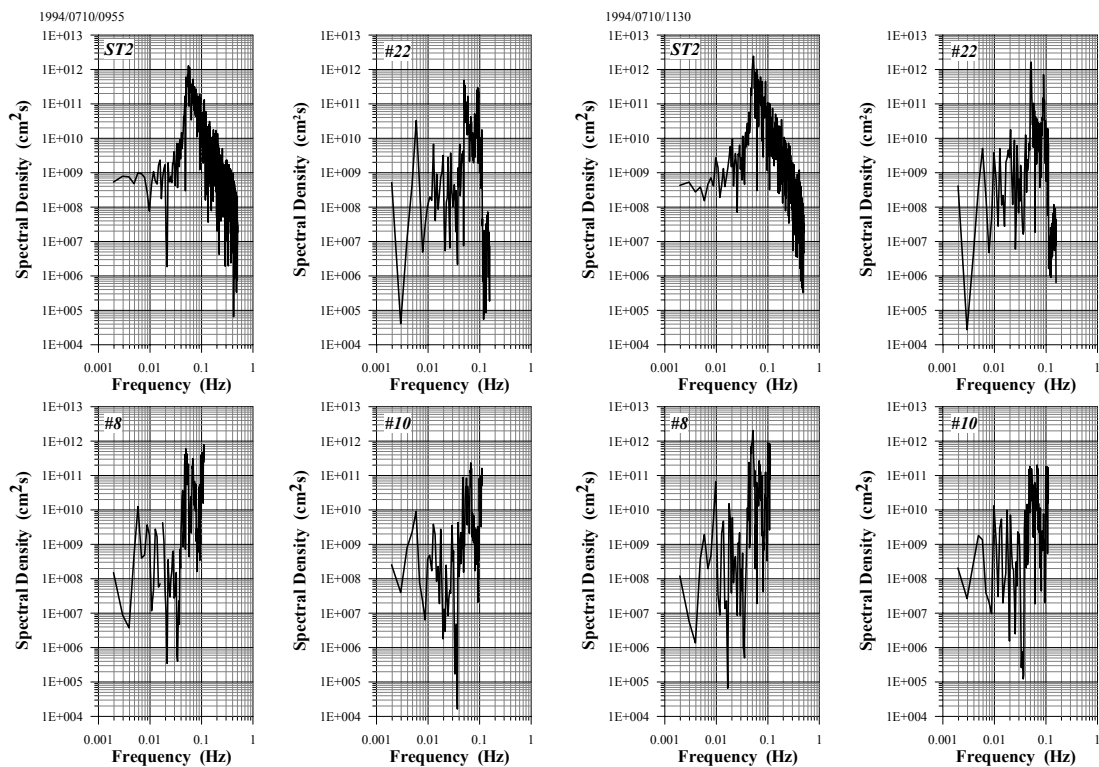
圖4.28 提姆颱風(1994)行進路徑圖



(a) 1994/7/10 06:51

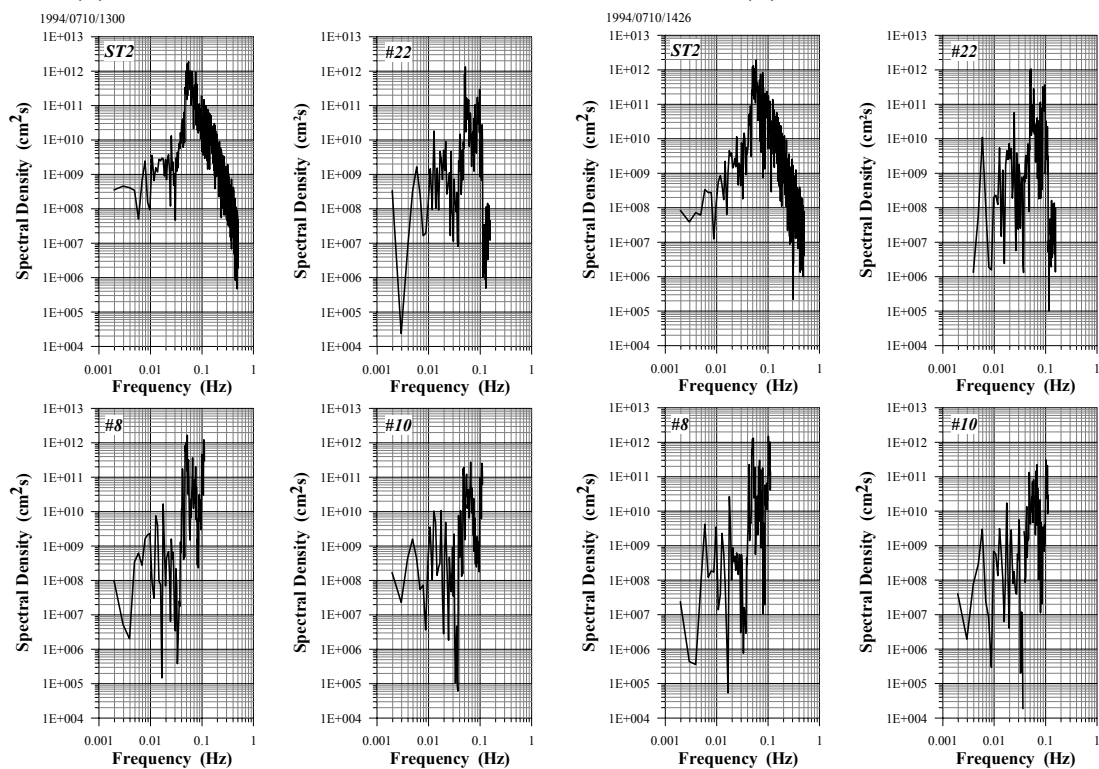
(b) 1994/7/10 08:20

圖4.29 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬



(c) 1994/7/10 09:55

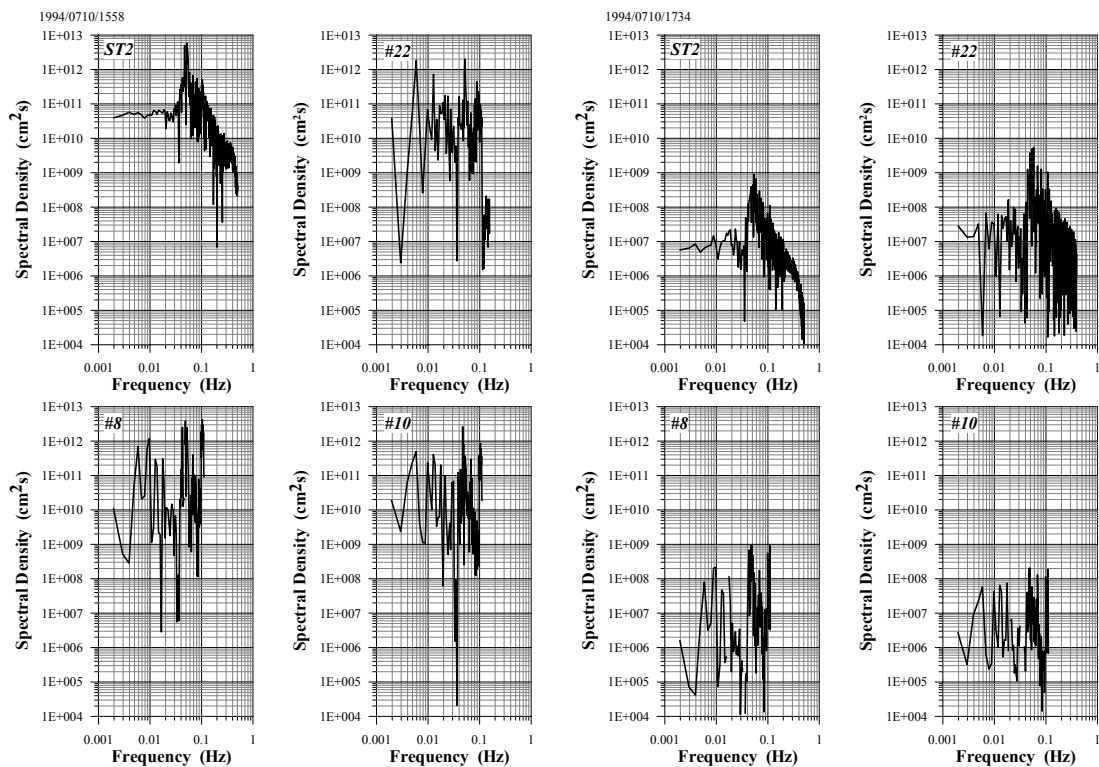
(d) 1994/7/10 11:30



(e) 1994/7/10 13:00

(f) 1994/7/10 14:26

圖4.29(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬



(g) 1994/7/10 15:58

(h) 1994/7/10 17:34

圖4.29(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬

1994/0710/1200

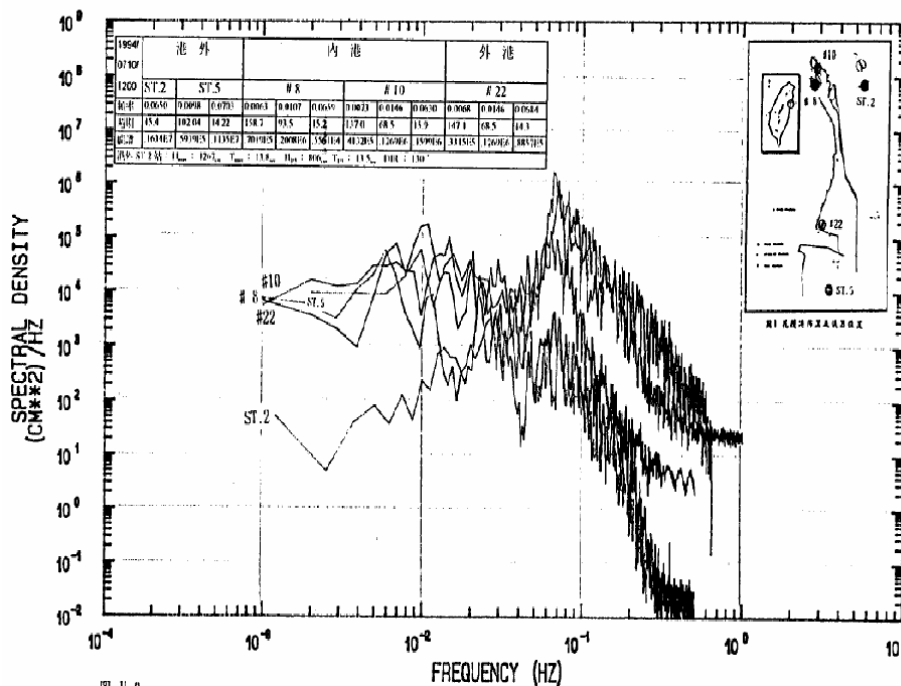
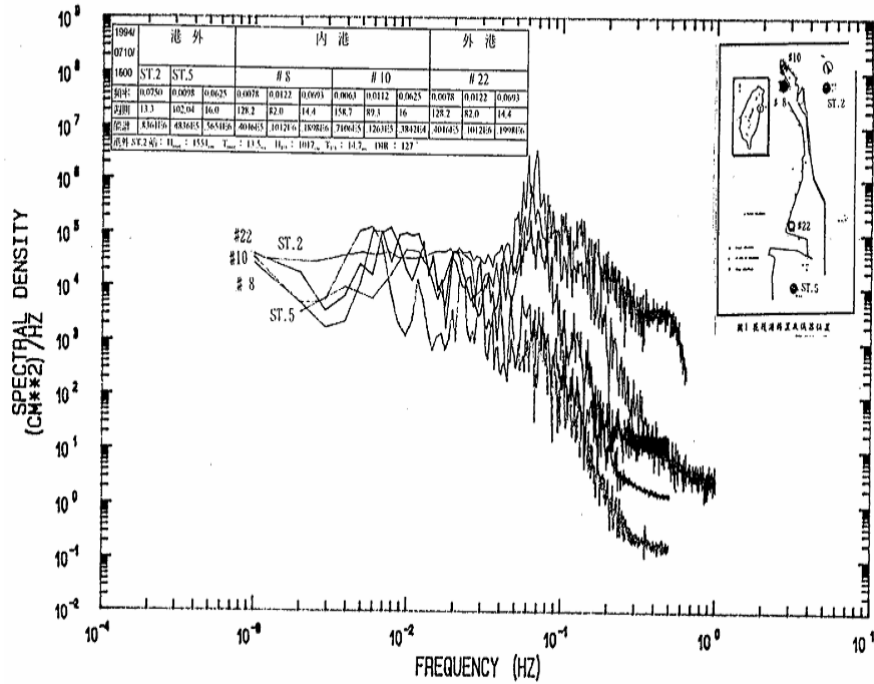


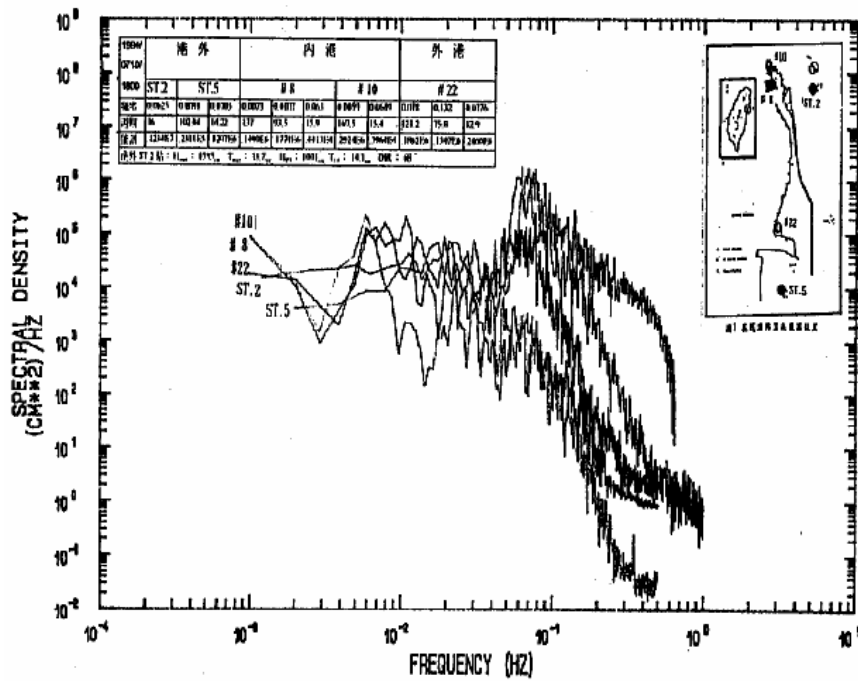
圖4.30 提姆颱風(1994)過境時花蓮港實測頻譜

1994/07/10/1600 wave data of h11.



(b) 1994/07/10 16:00

1994/07/10/1800 wave data of h11.



(c) 1994/07/10 18:00

圖4.30(續) 提姆颱風(1994)過境時花蓮港實測頻譜

4.6 多方向不規則波的港灣波動模擬

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

$$S(f, \theta) = S(f)G(f, \theta) \dots\dots\dots(4.38)$$

為滿足

$$S(f) = \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta \dots\dots\dots(4.39)$$

的關係，首先 $G(f, \theta)$ 必需為正值，而且必須滿足下式

$$\int_0^{2\pi} G(f, \theta) d\theta = 1 \dots\dots\dots(4.40)$$

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

$$G(f, \theta) = G_0 \cos^{2s} \left(\frac{\theta - \theta_M}{2} \right) \dots\dots\dots(4.41)$$

其中

$$G_0 = \frac{1}{\pi} 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \dots\dots\dots(4.42)$$

s 是決定方向分佈集中度的參數， θ_M 為各頻率成分波之平均波向。 s 與 θ_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：

$$\begin{cases} s = s_{\max} (f/f_p)^5 & (f \leq f_p) \\ s = s_{\max} (f/f_p)^{-2.5} & (f \geq f_p) \end{cases} \dots\dots\dots(4.43)$$

合田(1990)建議在深海時之風浪 $s_{\max} = 10$ ，湧浪 $s_{\max} = 25 \sim 75$ ，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4.31為示性波高8 m、示性波週期10 sec，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。

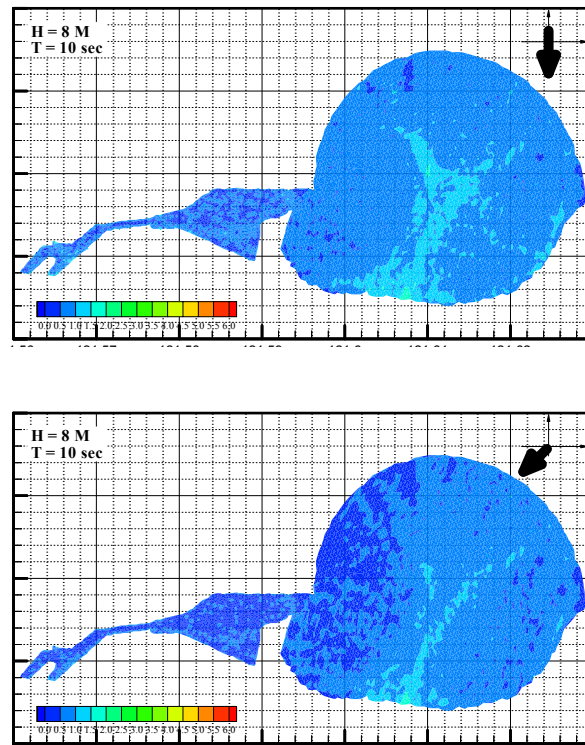


圖4.31 不同主波方向之多方向不規則波作用下 K_D 分佈圖
(JONSWAP頻譜、 $T_s=10$ s， $H_s=6$ m)

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，本計畫回顧貴中心所進行過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)

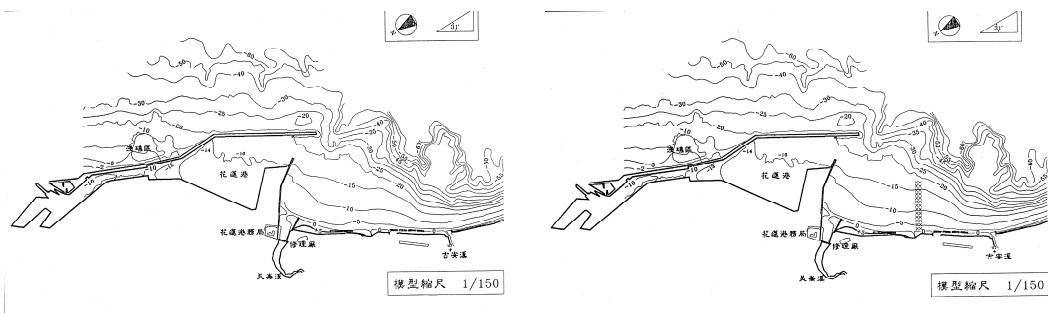
這三個試驗都是在港研中心的第二試驗場進行的，該試驗場的平面水槽長62公尺、寬57公尺、深1公尺，1996的試驗是使用丹麥水工所(DHI)製作的可移動不規則推移式造波機。而1997及2000的試驗則是使用由加拿大Davis工程有限公司負責設計與製作之可移動不規則推移式造波機，並安裝由加拿大國家研究委員會(NRC)的加拿大水力中心(CHC)所研發之造波控制及分析軟體。以下分別摘要各個計畫的模型配置與研究成果。

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。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)，其配置的差異性說明如表5.1，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

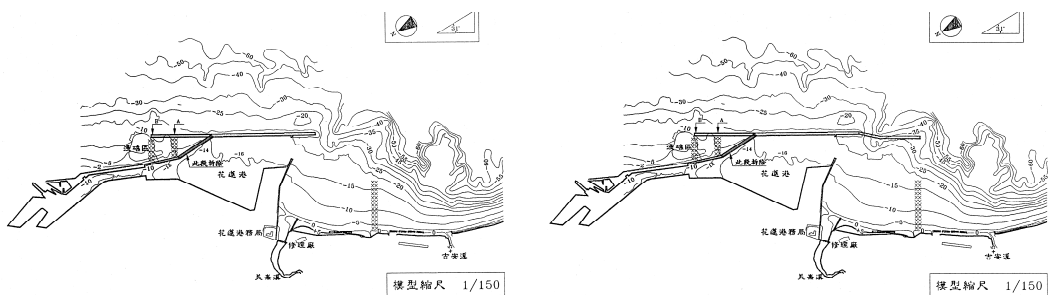
外共佈放20支容量式波高計，並在#8碼頭及內航道處佈放2支電磁式流速計。

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。



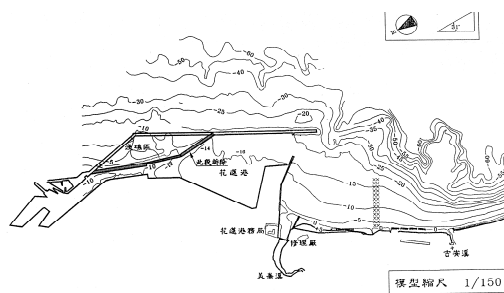
(a) 方案1A

(b) 方案1B

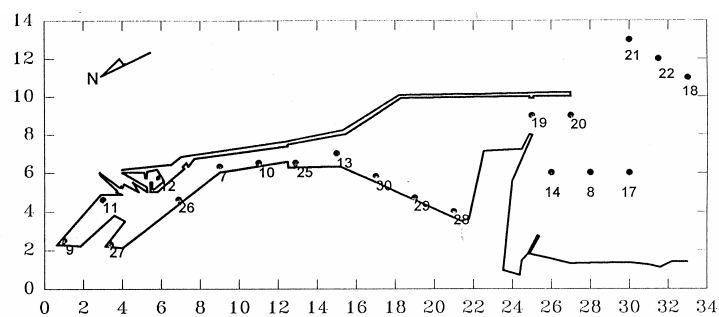


(c) 方案1C

(d) 方案1D



(e) 方案1E



測點位置對照
 測點編號： 7 9 11 25 26 27 28 29 30
 碼頭編號： 1 12 15 17 3 8 22 21 19

(f) 測點位置圖

圖5.1 水工模型試驗方案及測點位置圖

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 ● 拆除新東堤南—北向段約500公尺， ● 向東北延長東北—西南向堤約750公尺
1D	● 延續方案1C ● 東堤再往南延伸800公尺
1E	● 延續方案1B ● 拆除舊東堤及部份新東堤 ● 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	
		$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (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

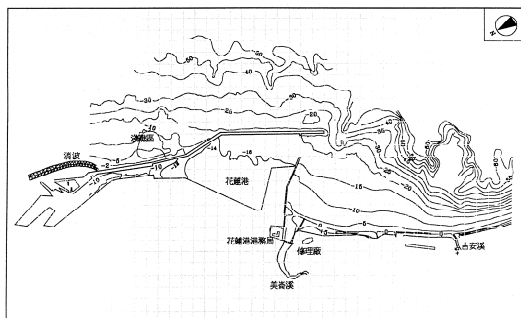
5.1.2 『花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪及漂砂防制研究 2. 防波堤堤線配置平面試驗』

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。圖5.2所示為11種新的配置方案，以及波高測點的位置圖，各配置方案的差異比較如表5.3所示。

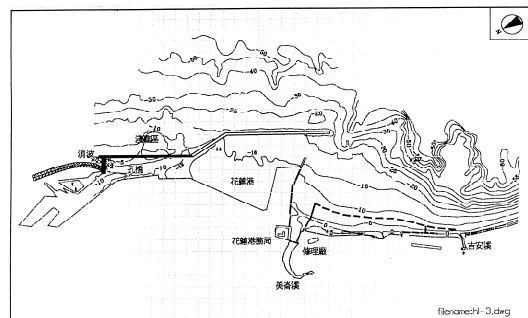
試驗造波條件計採四個入射波方向(S、SSE、ENE與NE方向)、19個規則造波條件(如表5.4所示)，以及2個JONSWAP頻譜與2個1994年7月的提姆颱風實測波浪(7月9日21時及7月10日11時)的不規則造波條件(如表5.5所示)。圖8(m)顯示港內及港外共佈放23~27支容量式波高計，並在#8碼頭及內航道處佈放2支電磁式流速計。造波時間仍設為500秒，並以取樣頻率20Hz擷取後410秒的水面波動及流速值。

綜合該計畫的比較結果，可得下列結論：

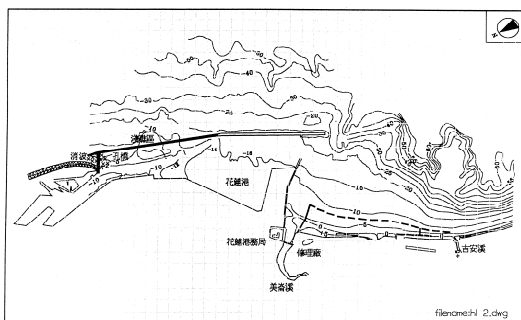
- (1) 由規則長週期波的試驗中目視發現南濱海岸的波場中有類似緣波的水理機制，而此緣波進入港內後，在外港區產生東西向的明顯振盪，其中尤以相對於原型週期140秒時最明顯。
- (2) 各改善方案相較於現況佈置，對長浪防制皆有不同程度的改善效果，其降低的波高大約在20~50%之間，其中又以方案2Q的改善程度最顯著。但港內長週期的振動仍無法明顯消除。



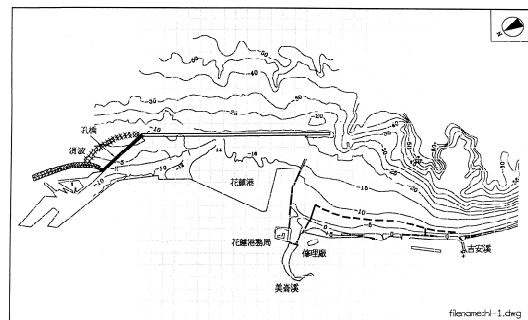
(a) 方案2A



(b) 方案2B

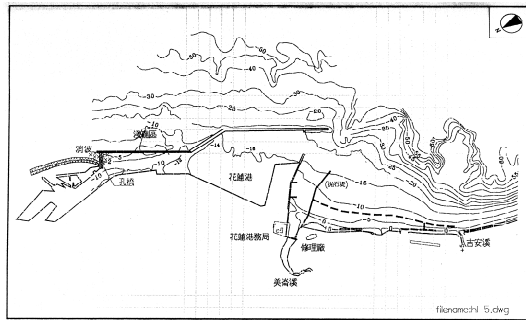


(c) 方案2C

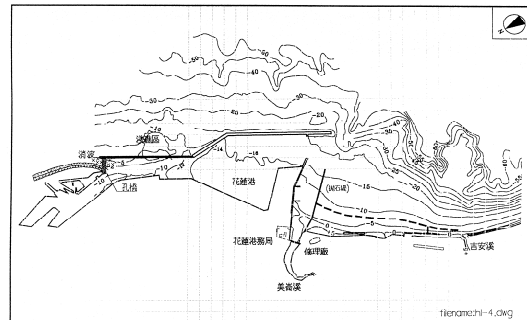


(d) 方案2D

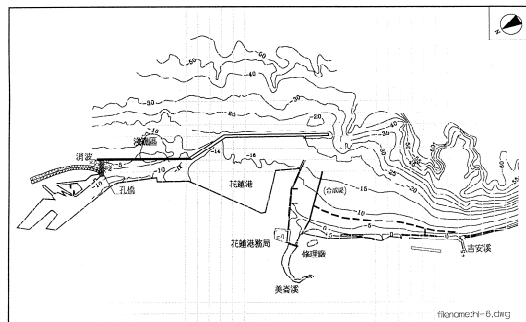
圖5.2 水工模型試驗方案及測點位置圖



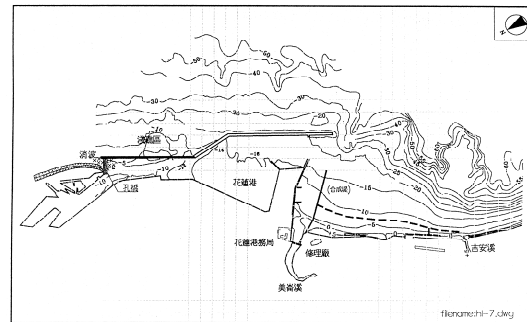
(e) 方案2E



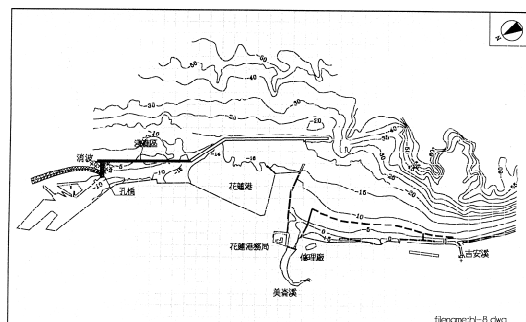
(f) 方案2F



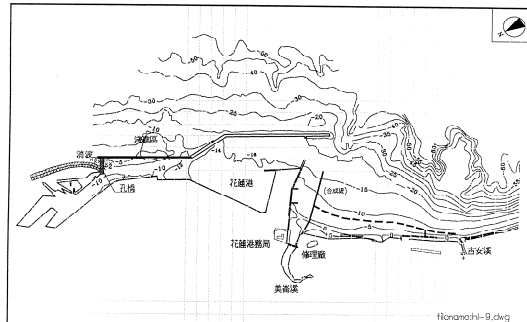
(g) 方案2H



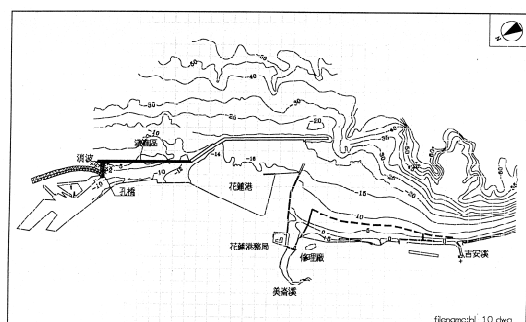
(h) 方案2I



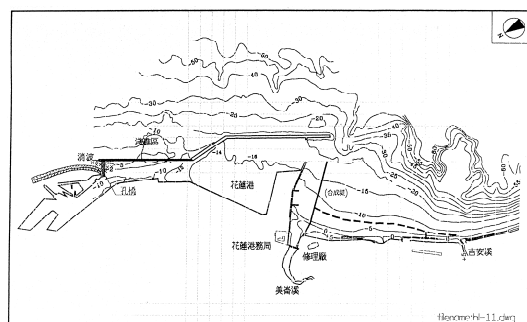
(i) 方案2J



(j) 方案2K

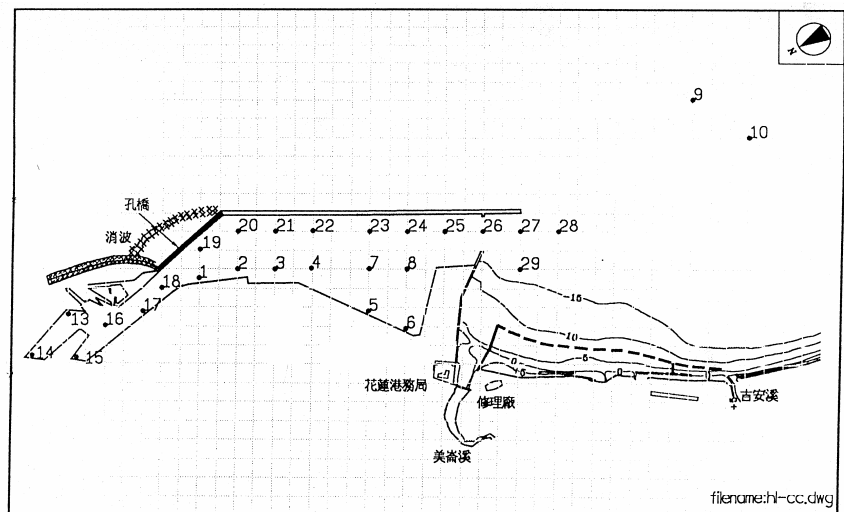


(k) 方案2P



(l) 方案2Q

圖5.2(續) 水工模型試驗方案及測點位置圖



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5.3 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 ● 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。 ● 美崙溪南岸興建導流堤至水深約-7公尺處 ● 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 ● 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。 ● 美崙溪南岸興建導流堤至水深約-7公尺處 ● 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 ● 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。 ● 美崙溪南岸興建導流堤至水深約-7公尺處 ● 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 ● 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 ● 南防波堤外側加設兩道導流堤
2F	● 延續方案2C ● 延伸美崙溪南導流堤(拋石堤)至水深-17公尺處 ● 南防波堤外側加設兩道導流堤
2H	● 延續方案2C ● 延伸美崙溪南導流堤(合成堤)至水深-17公尺處 ● 南防波堤外側加設兩道導流堤
2I	● 延續方案2H ● 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 ● 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 ● 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 ● 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 ● 延伸美崙溪南導流堤(合成堤)至水深-19公尺處

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 8.00	0.75	0.75 1.50	0.75	0.40 0.75 1.25	0.75	0.75	0.40 0.75	0.75	0.40 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 5.33	0.50	0.50 1.00	0.50	0.27 0.50 0.83	0.50	0.50	0.27 0.50	0.50	0.27 0.50	0.50
造波代碼		RN	RM	RX RY	R9	R8 RE	R7	RC R6 RD	R5	R4	RB R3	R2	RA 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』

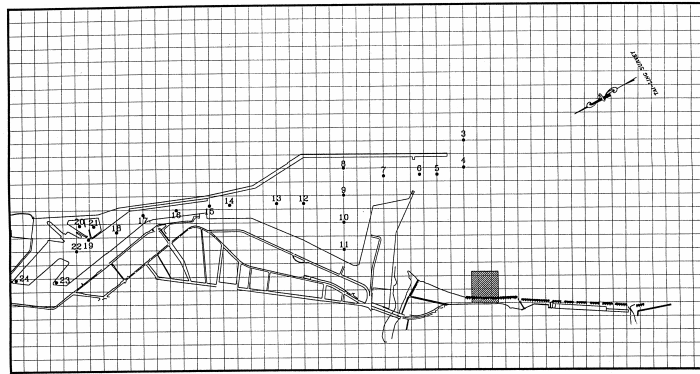
本試驗研究主要針對以往未探討過的改善方案以水工模型試驗方式來探討花蓮港內的長浪效應。基本試驗構想是以改變波浪進行方向及消減入射波能之概念為主。由於目前花蓮南濱海岸已建構多道離岸潛堤來消減波能保護南濱海岸，但建構後對花蓮港內之長浪並無改善效果，因此本研究摒除離岸堤之構想，而以突堤、潛礁區、並在專用漁港區開闢一連外海通道來消能。計畫中共提出了三種改善方案和原配置進行比較，如圖5.3所示。方案3A於南濱海岸建構潛礁區；方案3B於南濱海岸建構突堤；方案3C於專用漁港區開闢一連外海通道；原配置方案以3D表示。各方案比較係將港池以分區討論與研析之方式來比較對長浪防制成效，同時在長浪作用下水域振盪特性亦作深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

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。

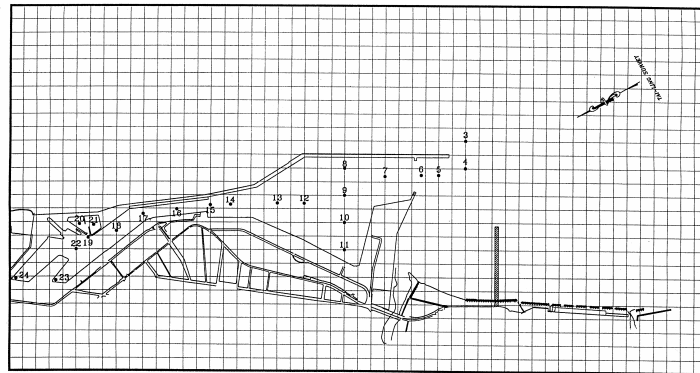
試驗模型製作採用等比縮尺1/121，試驗條件主要考量兩個颱風方向S及SE向，造波條件如表5.6所示，包含3個颱風條件及4個長浪條件，並進行規則波和不規則波試驗。

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

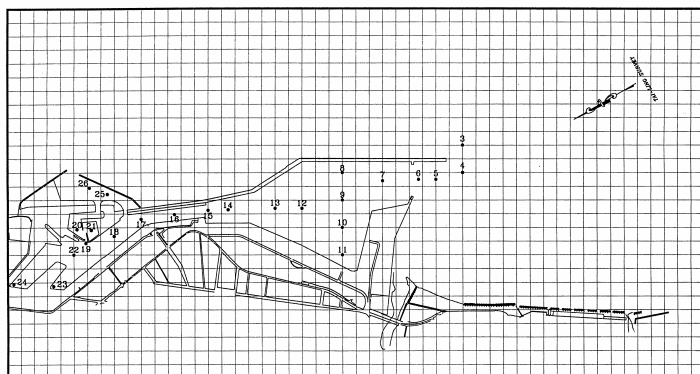
1. 從外港區口到窄段前，由S方向入射的情況會以方案3B建構突堤的方案較能阻擋波浪進入港區，SE方向入射的情況又以潛礁區消能構造即方案3A為最佳，此顯示SE方向入射時，突堤有反射入港之現象，潛礁區則可消能並減少入射波的能量。
2. 波浪如由S方向直衝進入港內時，在各種波浪條件下皆顯示潛礁區對各頻率之波能有較好的消能現象，而突堤雖有阻擋波浪前進的功能，但無法針對各種頻率皆有效能，因此通常S方向方案3A對內港區有較正面的貢獻。
3. 在波浪進入窄段航道後，各水域的波高比，受波浪入射方向影響就很小，亦即波浪受窄段航道之引導減低了其方向性的影響。
4. 在各水域分別討論，可發現各個改善方案，皆無法達到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

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

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

減但都有改善的效果，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。

而由三個年度的研究計畫成果，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。
4. 然而綜合三個計畫所考慮之配置方案中，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。圖5.4至圖5.7為幾種可能的配置構想。

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。

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。如果考量台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。



圖5.4 配置構想一

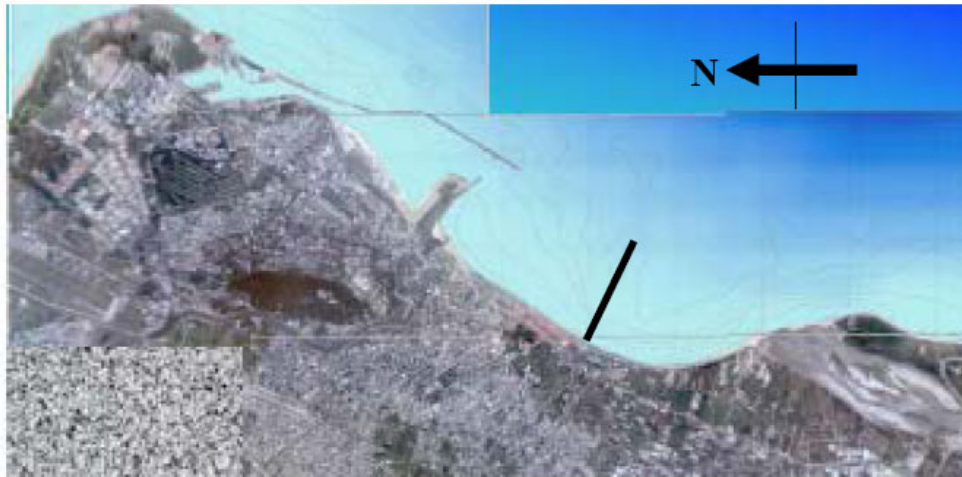
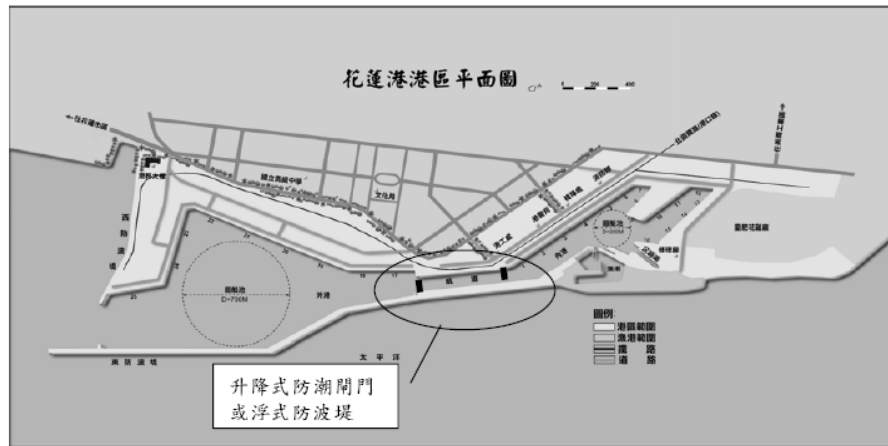
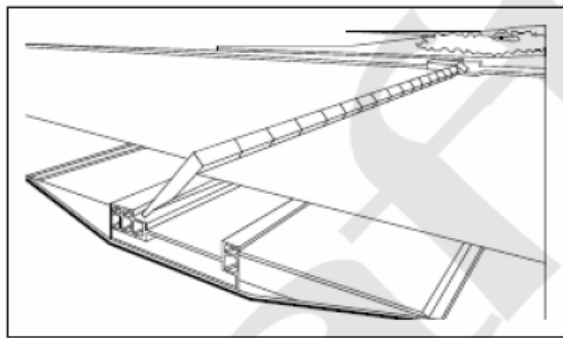


圖5.5 配置構想二

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。



(a) 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

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。

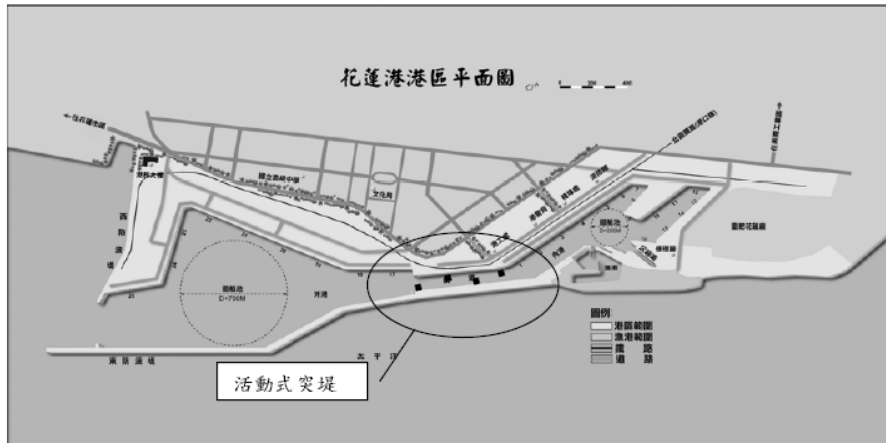


圖5.7 配置構想四

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。



圖5.8 5個碼頭的相對位置

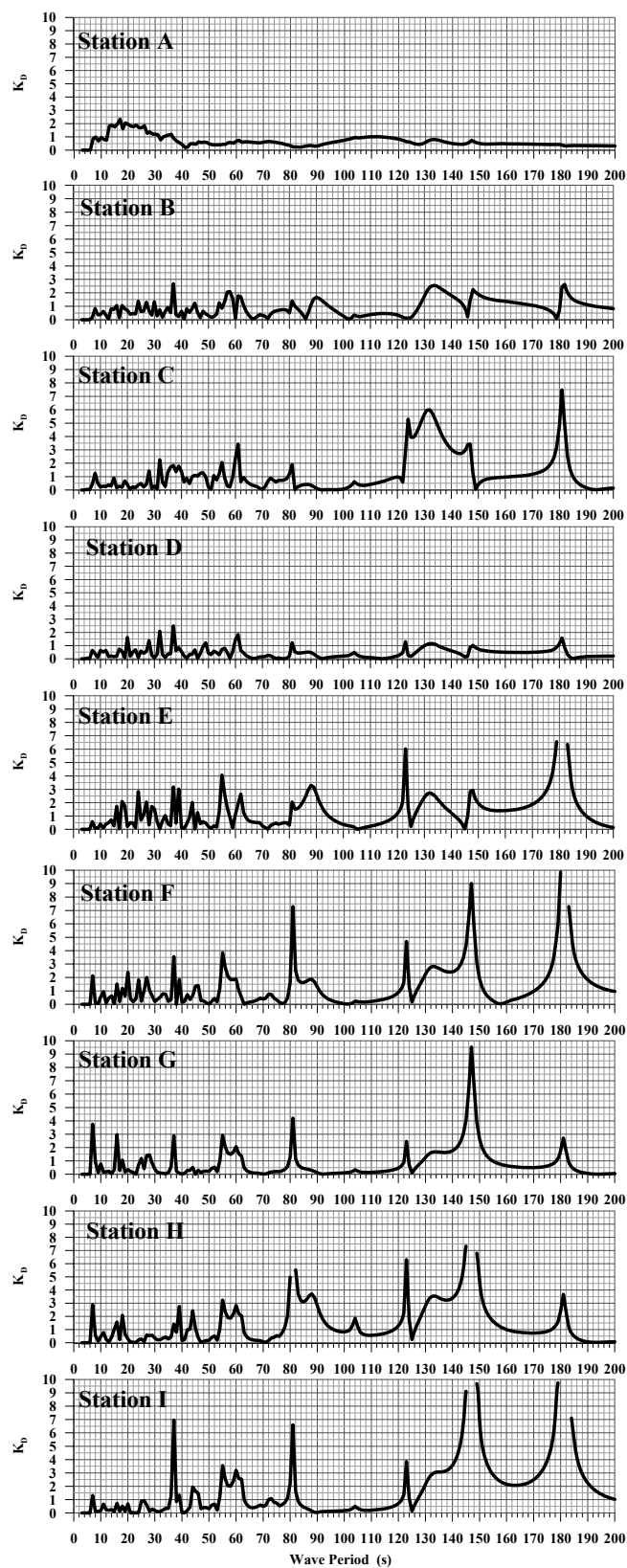


圖5.9 配置方案一，九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖

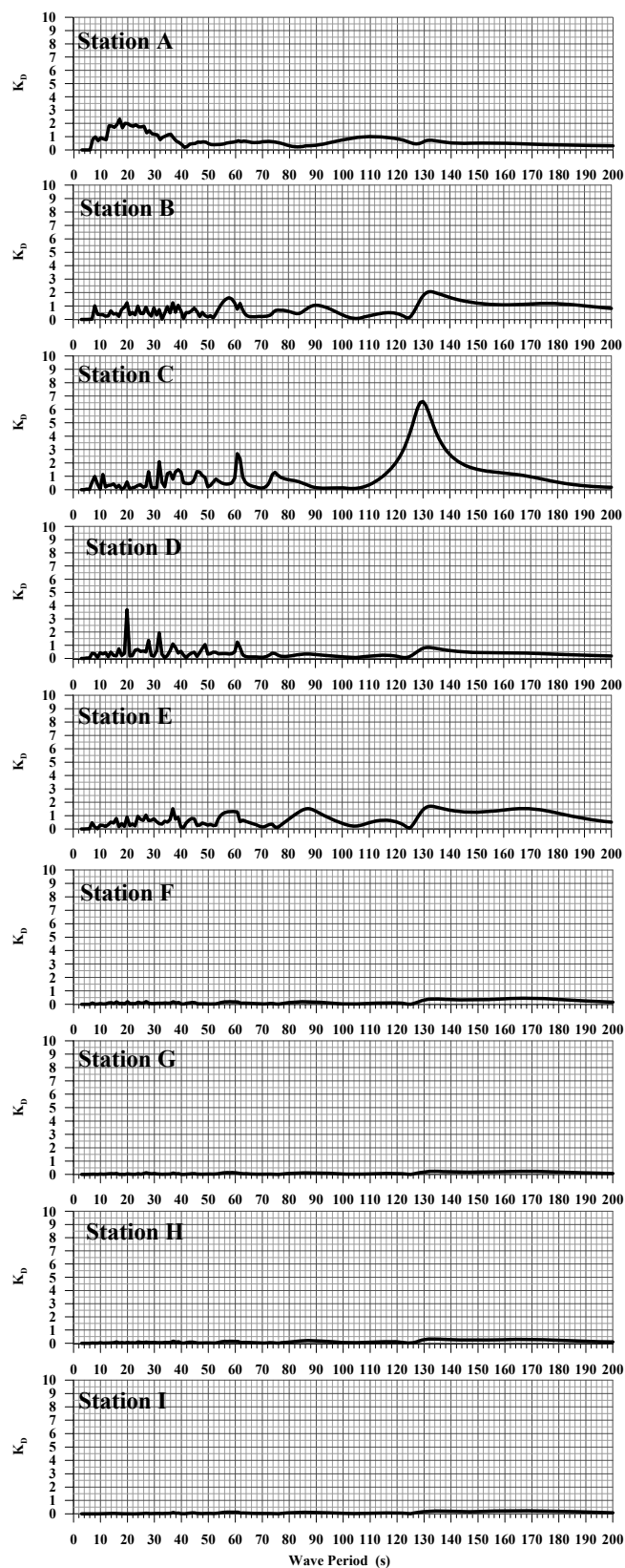


圖5.10 配置方案二，九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖

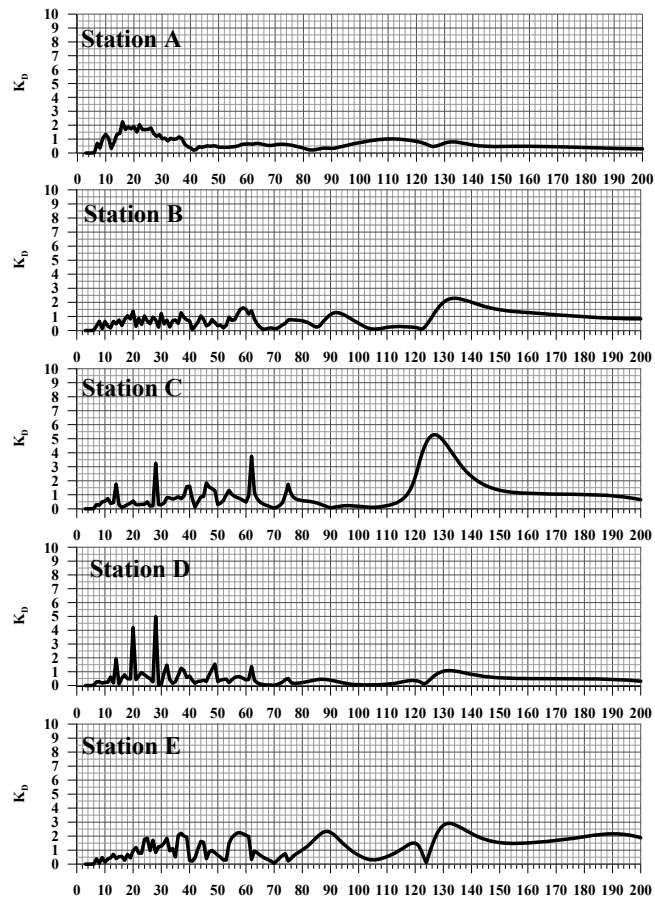


圖5.11 配置方案三，九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖

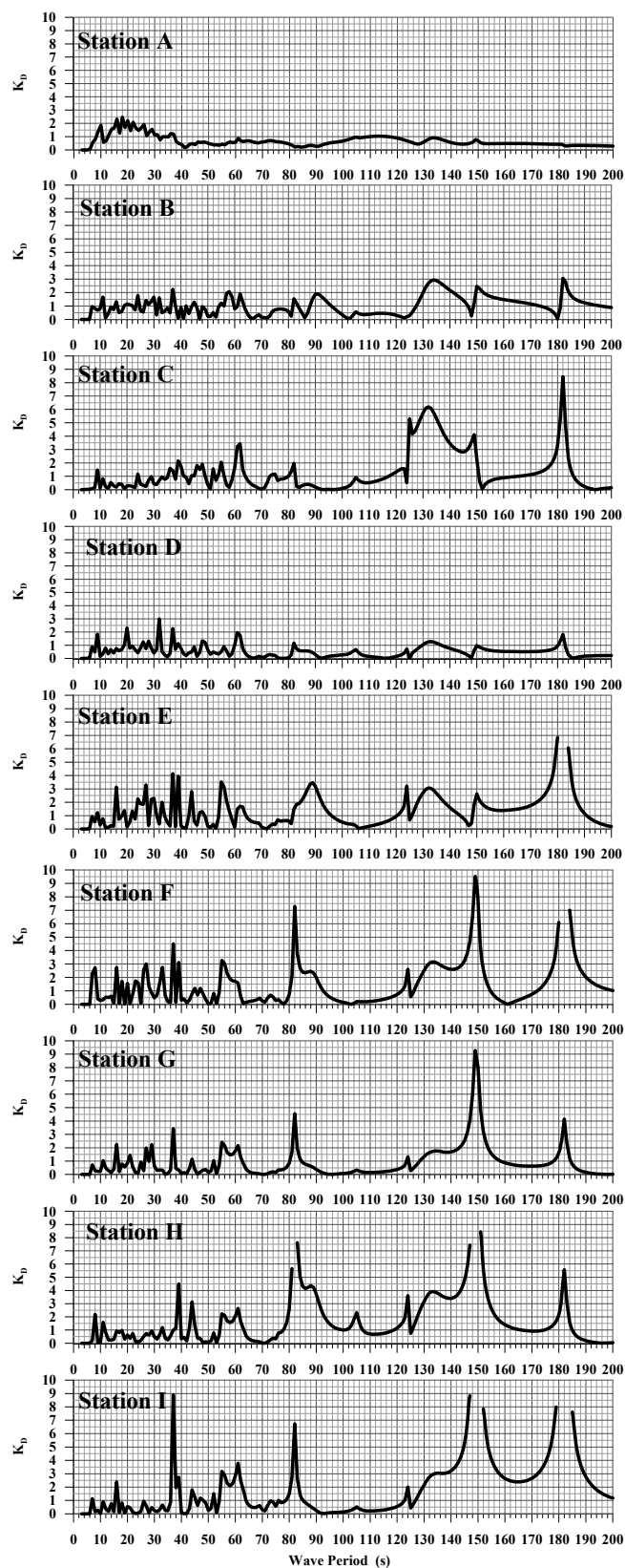


圖5.12 配置方案四，九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖

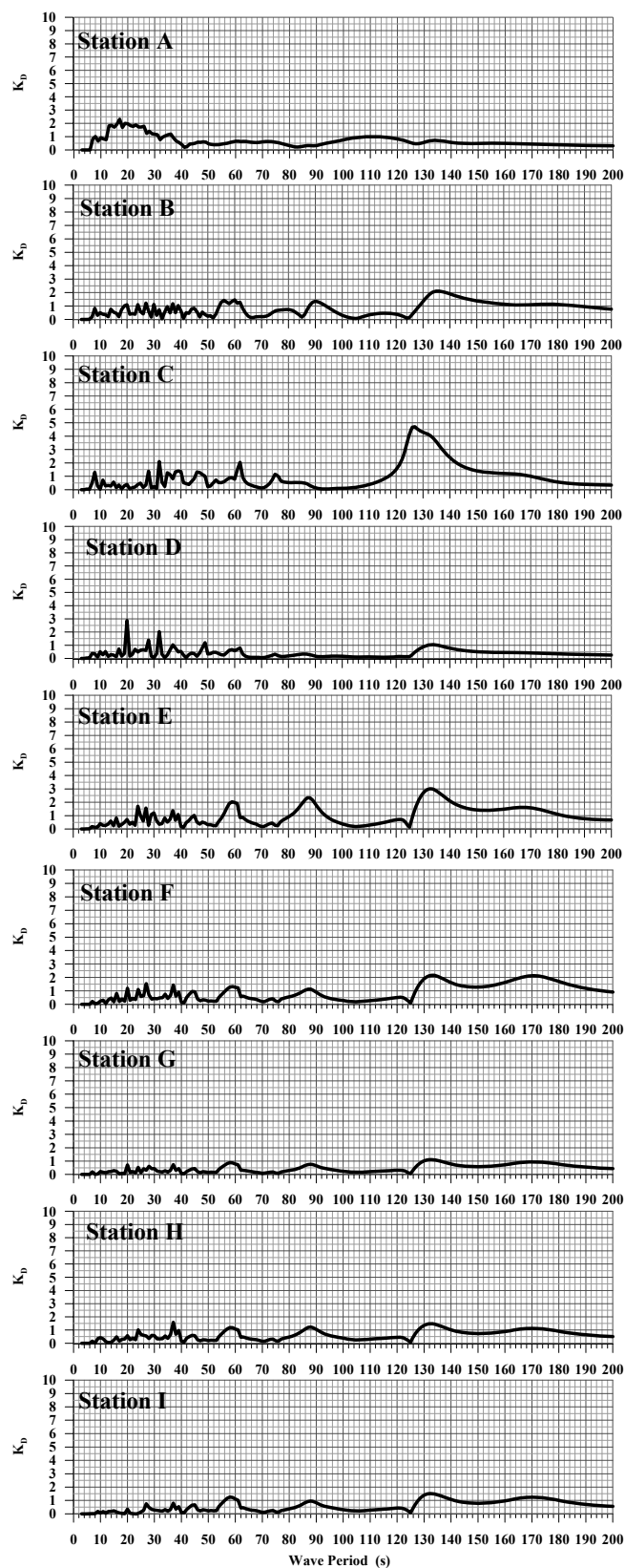
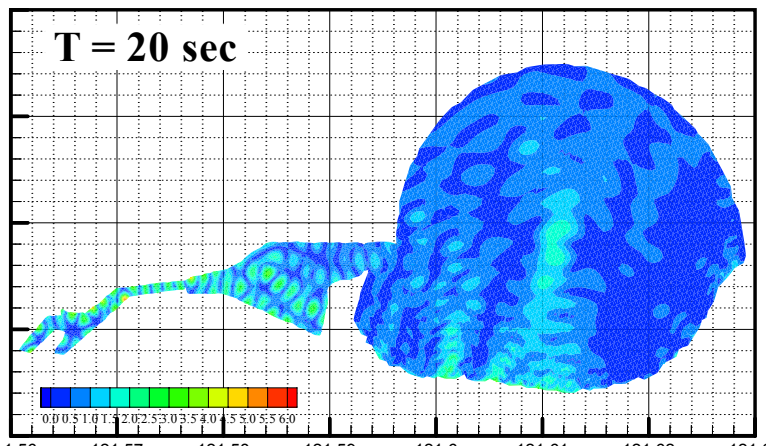
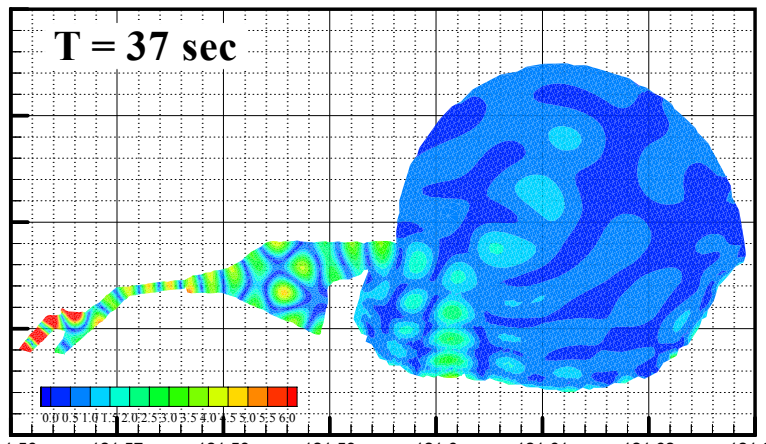


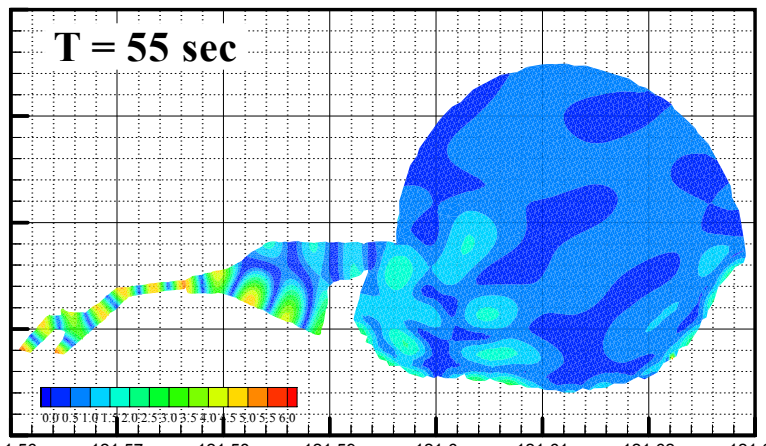
圖5.13 配置方案五，九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖



(a) 入射波週期：20秒

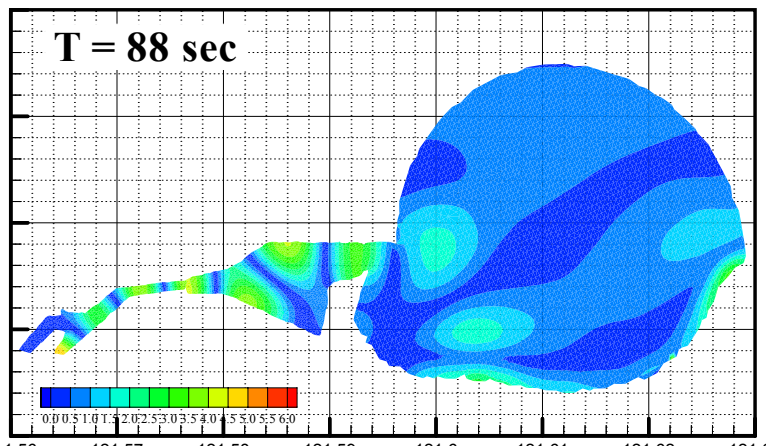


(b) 入射波週期：37秒

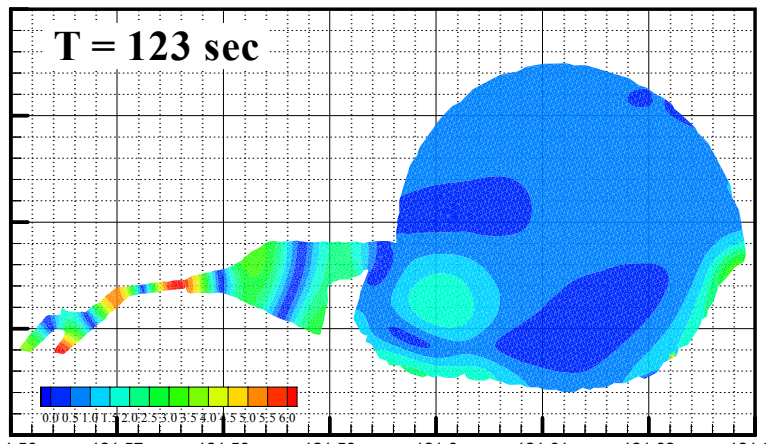


(c) 入射波週期：55秒

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

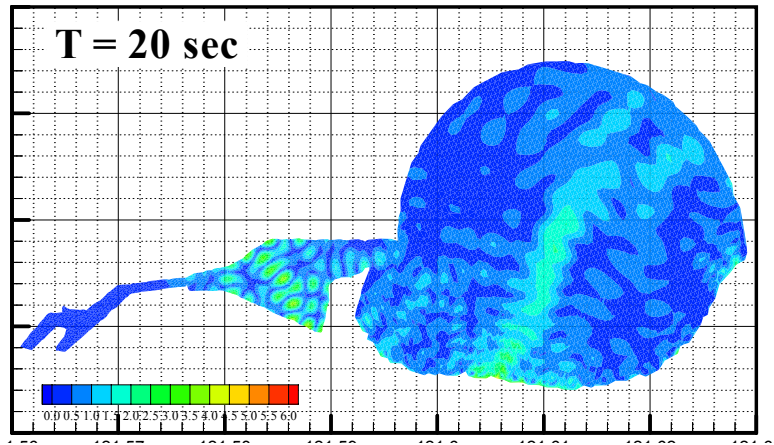


(d) 入射波週期：88秒

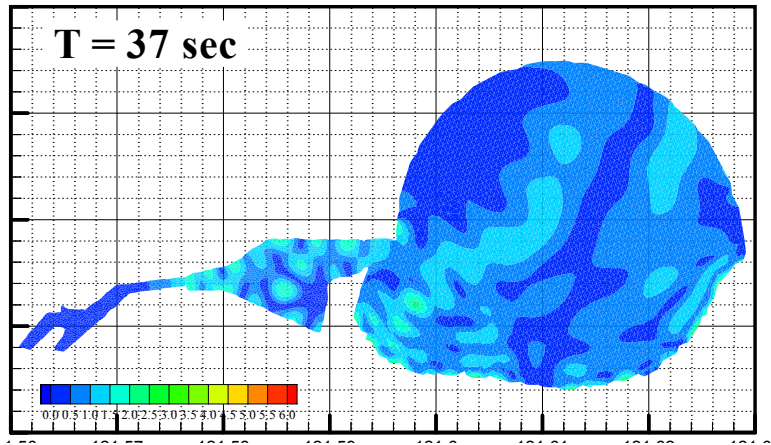


(e) 入射波週期：123秒

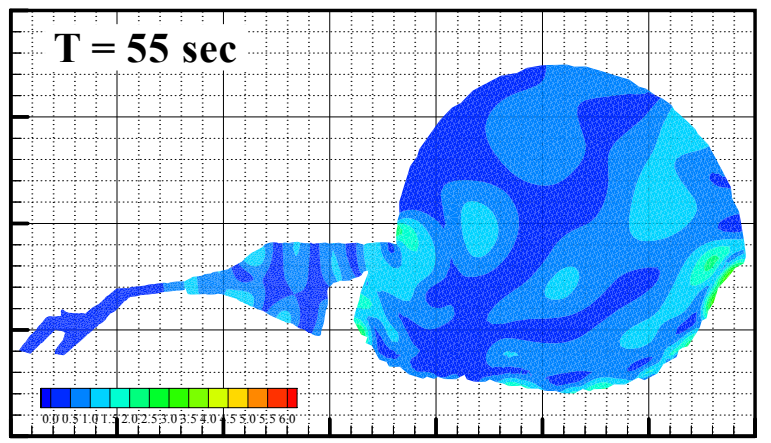
圖5.14(續) 配置方案一，不同週期入射波之波高增幅係數 K_D 分佈圖



(a) 入射波週期：20秒

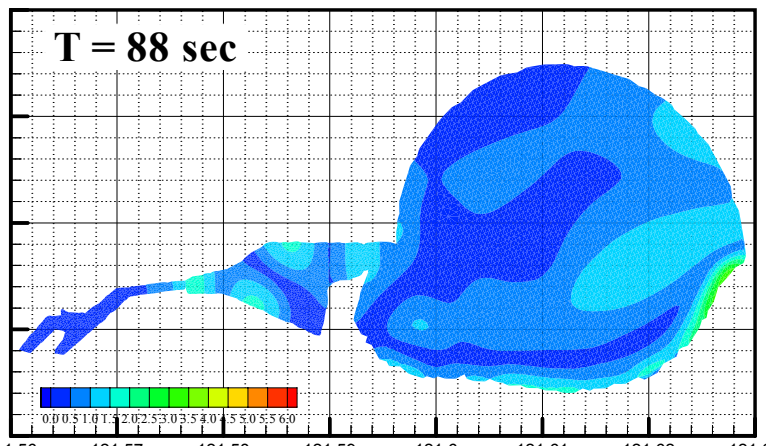


(b) 入射波週期：37秒

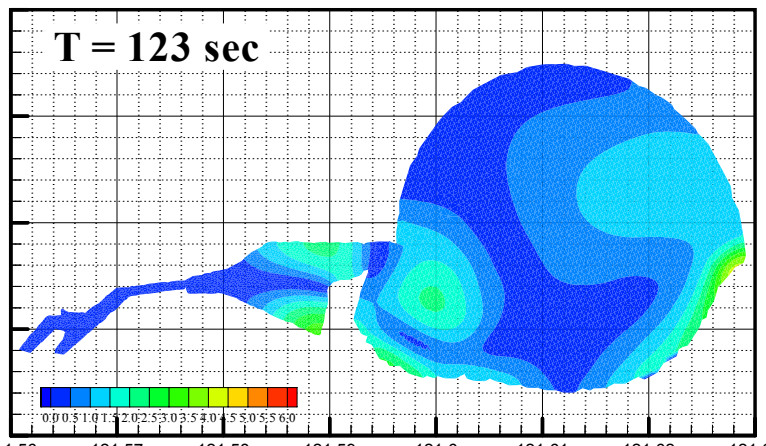


(c) 入射波週期：55秒

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

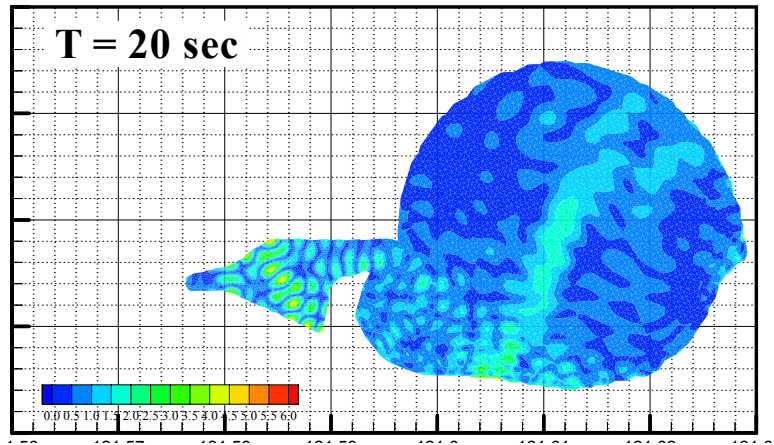


(d) 入射波週期：88秒

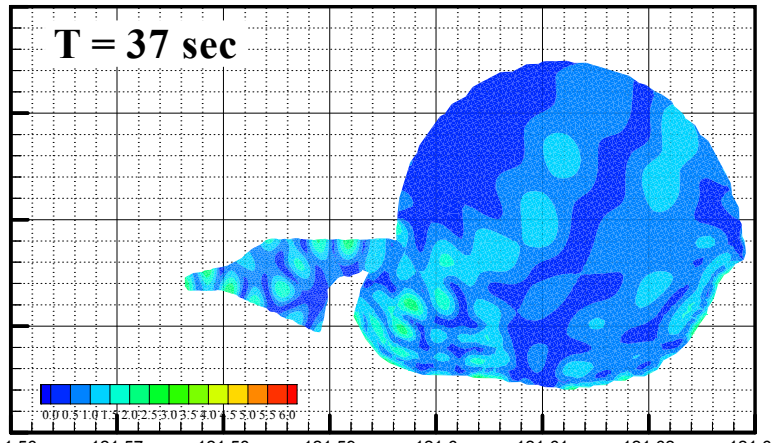


(e) 入射波週期：123秒

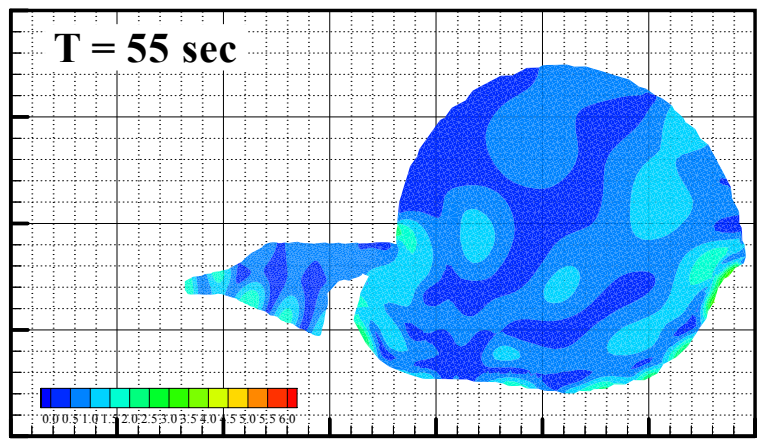
圖5.15(續) 配置方案二，不同週期入射波之波高增幅係數 K_D 分佈圖



(a) 入射波週期：20秒

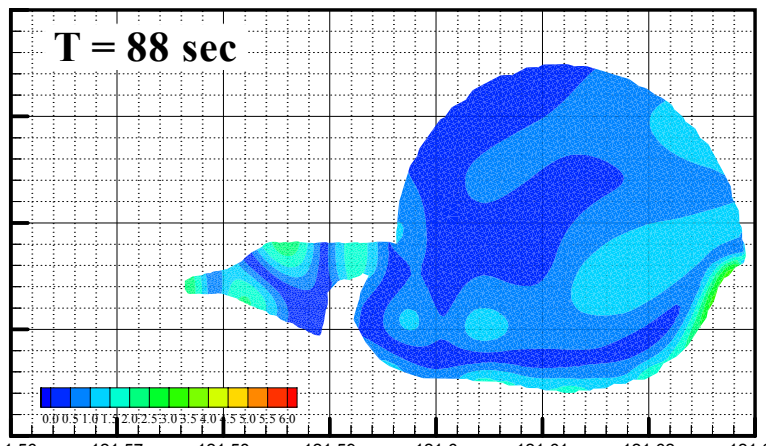


(b) 入射波週期：37秒

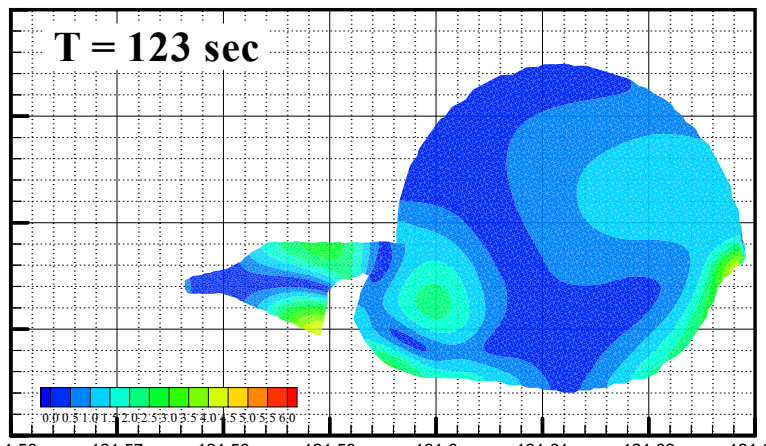


(c) 入射波週期：55秒

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

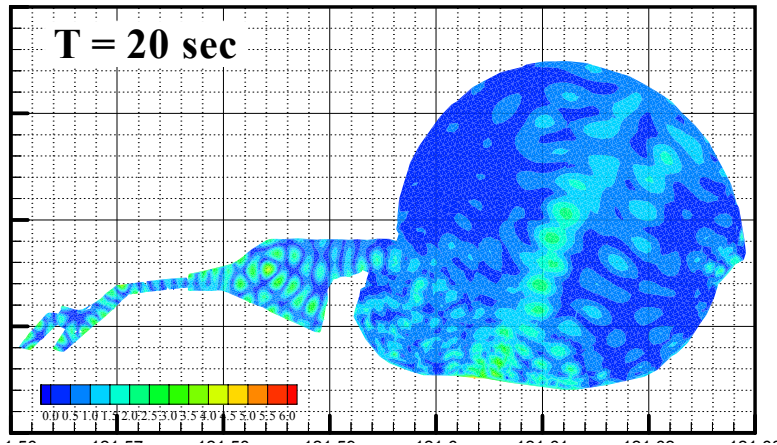


(d) 入射波週期：88秒

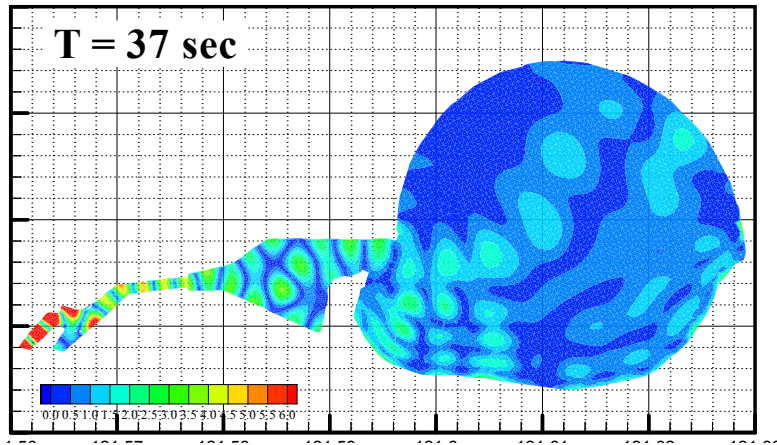


(e) 入射波週期：123秒

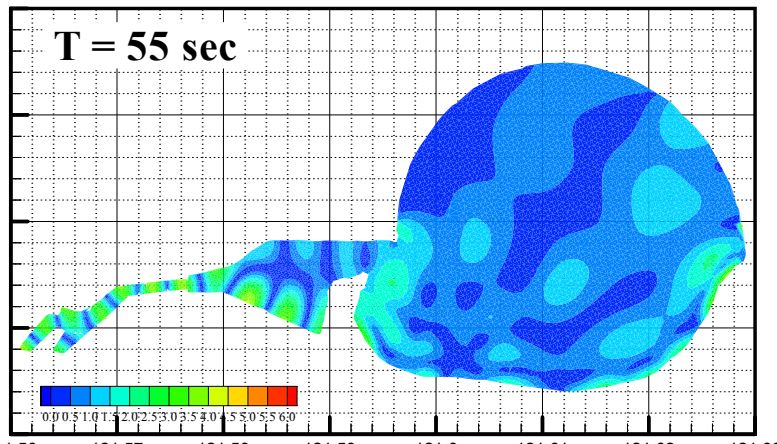
圖5.16(續) 配置方案三，不同週期入射波之波高增幅係數 K_D 分佈圖



(a) 入射波週期：20秒

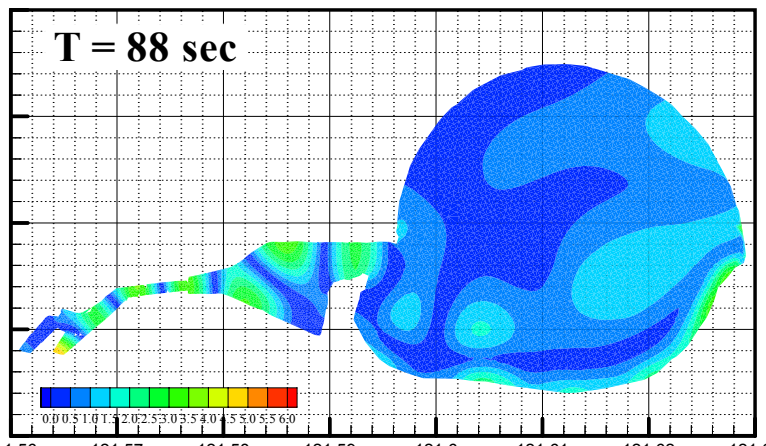


(b) 入射波週期：37秒

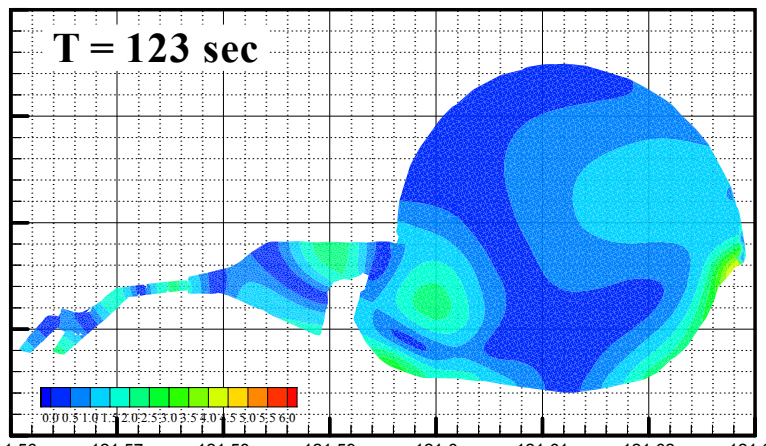


(c) 入射波週期：55秒

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

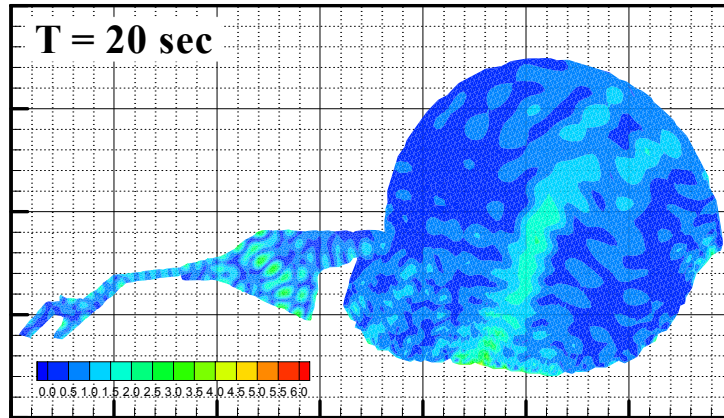


(d) 入射波週期：88秒

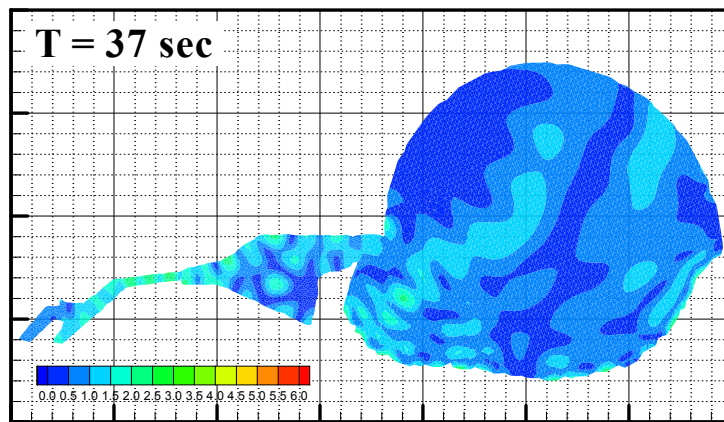


(e) 入射波週期：123秒

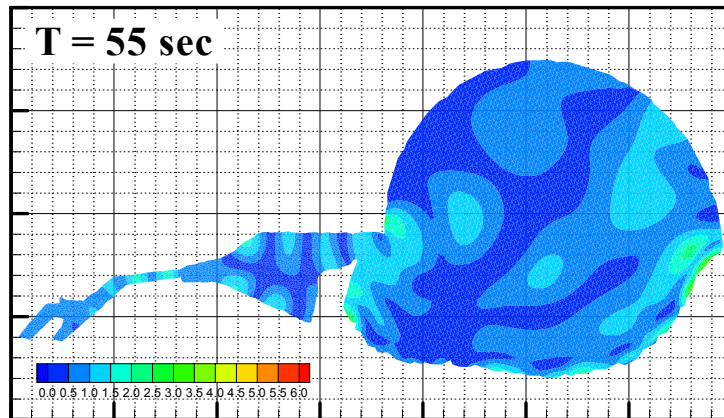
圖5.17(續) 配置方案四，不同週期入射波之波高增幅係數 K_D 分佈圖



(a) 入射波週期：20秒

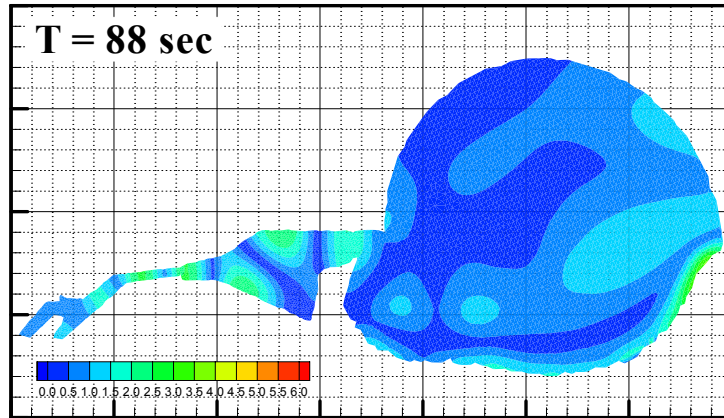


(b) 入射波週期：37秒

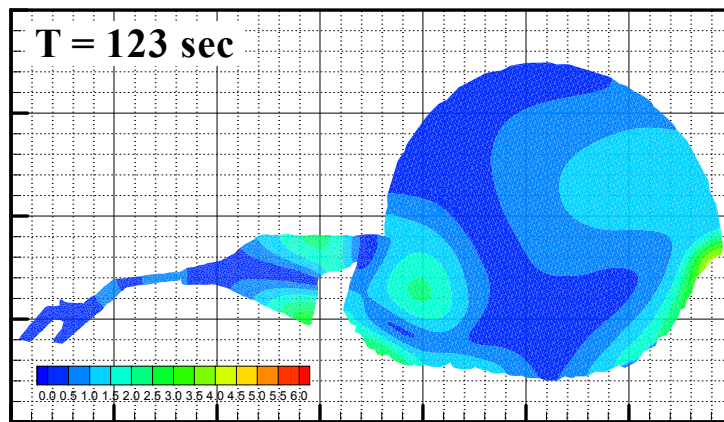


(c) 入射波週期：55秒

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



(d) 入射波週期：88秒



(e) 入射波週期：123秒

圖5.18(續) 配置方案五，不同週期入射波之波高增幅係數 K_D 分佈圖

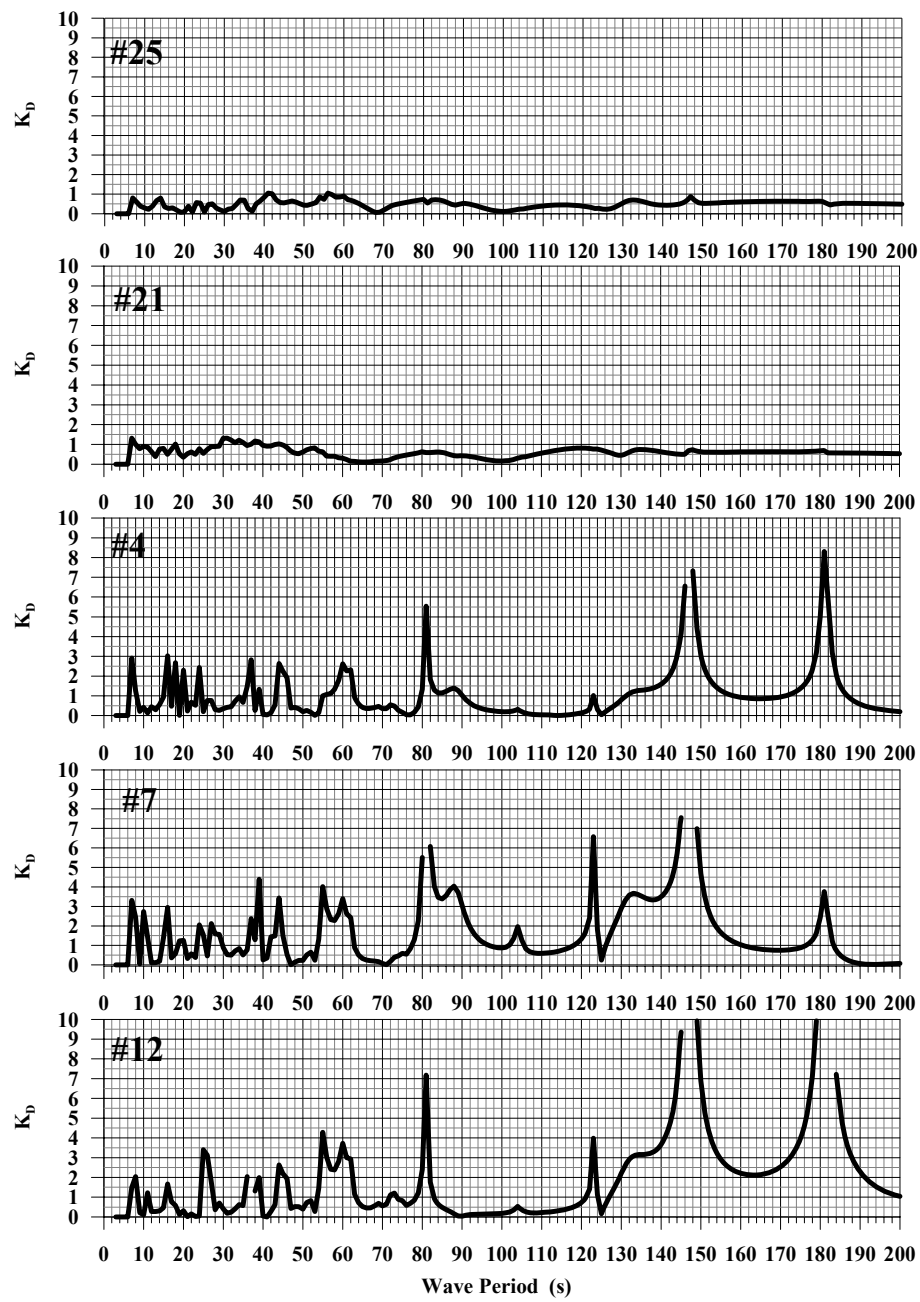


圖5.19 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一)

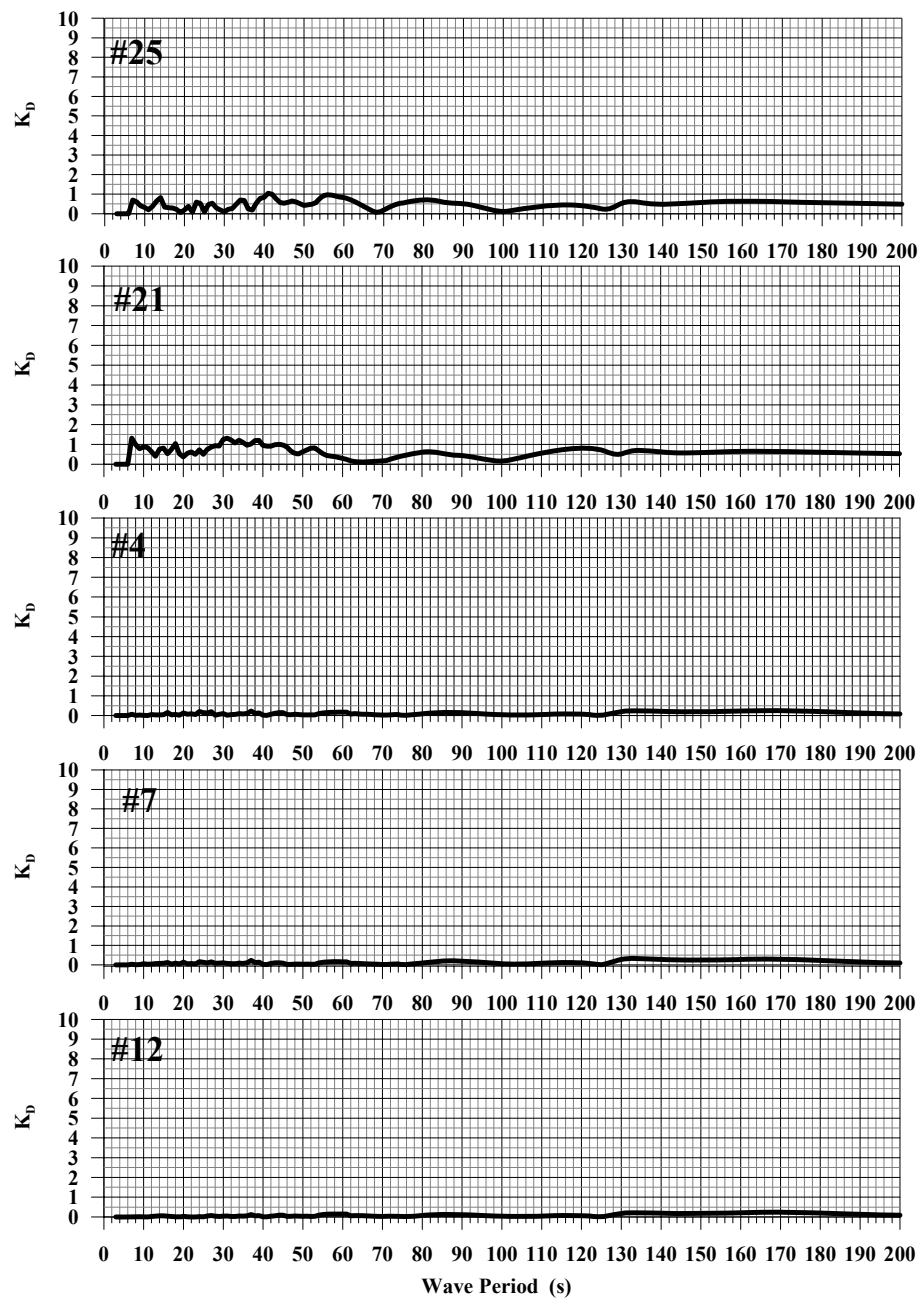


圖5.20 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案二)

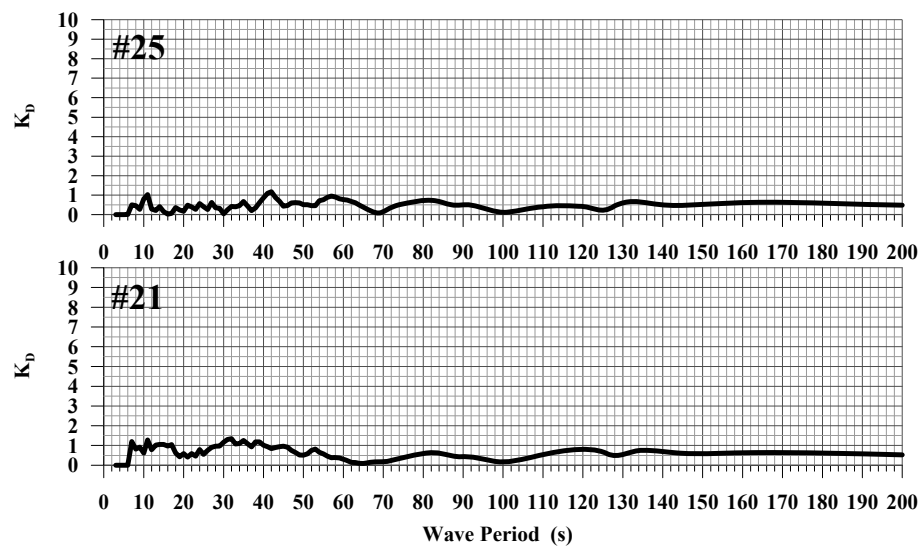


圖5.21 兩個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案三)

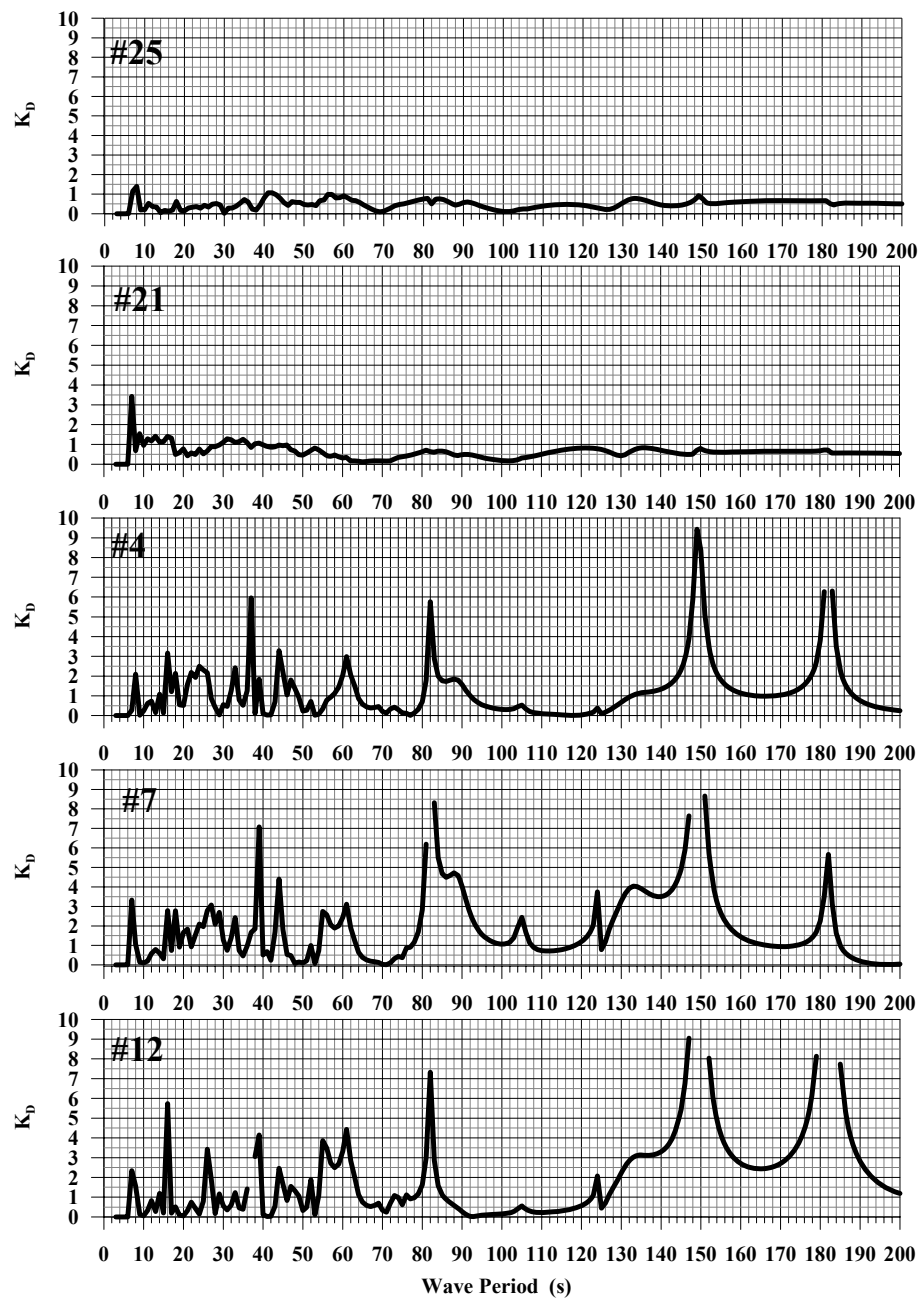


圖5.22 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案四)

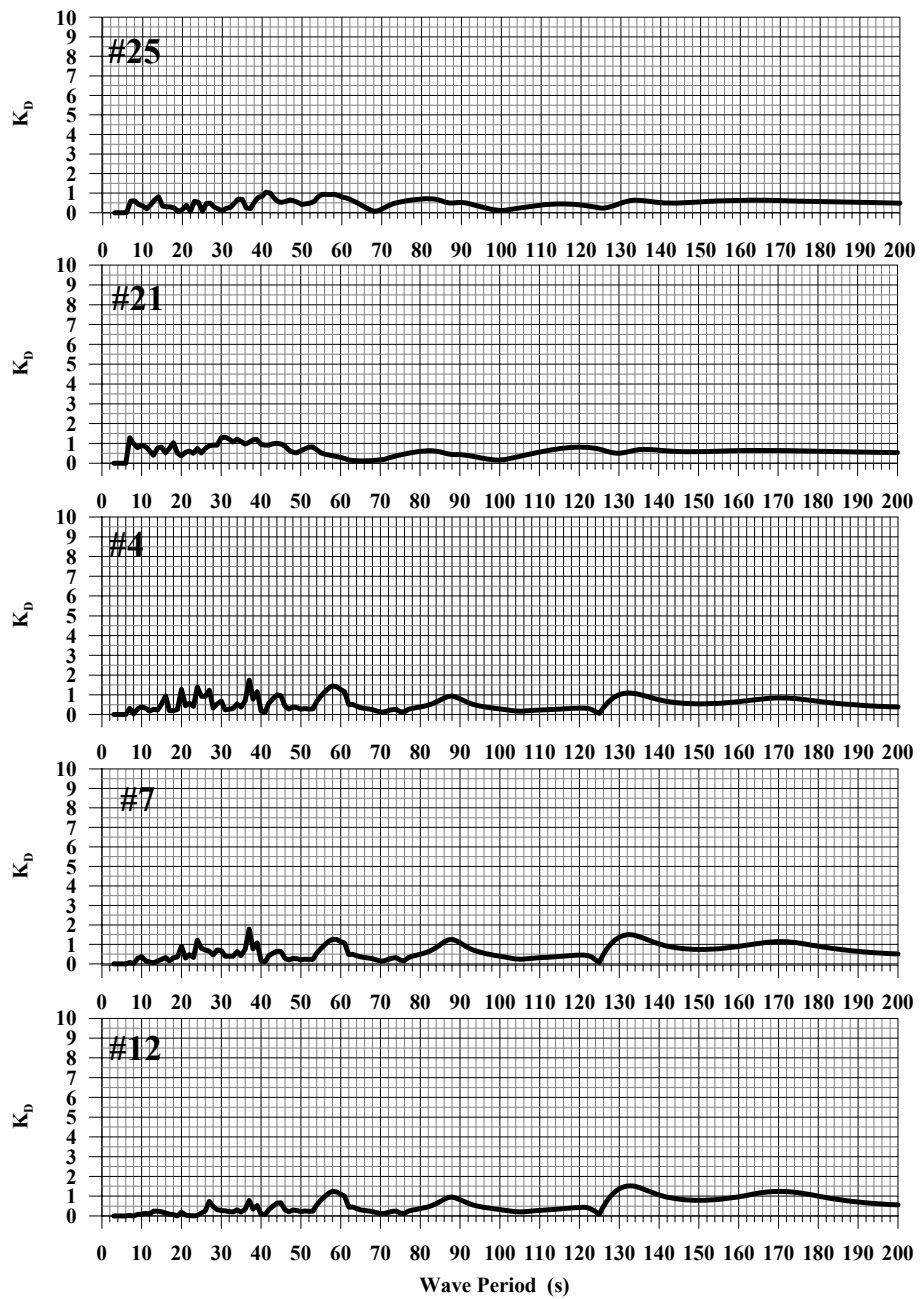


圖5.23 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案五)

第六章 結 論

藉由數值模擬及現場觀測，本計畫對花蓮港港內長週期振盪的問題進行了大約三年的研究，今年的研究成果大致說明如下：

1. 除了持續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同步聯合觀測。由於資料龐大，目前尚有大量的資料需要編排適當的資料輸入格式以便進行分析。
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的成分有隨著颱風的接近於增幅的現象。
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。
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，都有助於改善花蓮港內的振盪問題。

未來的研究課題包含如何提升岸壁的消波能力、或者是如何建構臨時性防潮閘門，以及其波動能量削減情形，都有必要進行相關的水工模型試驗來加以驗證。

參考文獻

- 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.
- 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.
- Biesel F.(1982) "Second order theory of manometer wave measurement". Proceedings of the 18th International Conference on Coastal Engineering, pp.129-135.
- Bishop, C. T. and Donelan, M. A.(1987), "Measuring waves with pressure transducers," Coastal Engineering, Vol. 11, pp.309-328.
- 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.
- Cavaleri, L.(1980), "Wave measurement using pressure transducer". Oceanal. Acta, 3(3), pp.339-945.
- Chen, H. S.,(1990), "Infinite Elements for Water Wave Radiation and Scattering," International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 11, pp.555-569.
- 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.
- Forristal, G. Z.(1982), "Subsurface wave-measuring systems," in: Measuring Ocean Waves, National Academy Press, Washington, D.C., pp.194-209.
- Forristall, G.Z.(1987) "On the ststistical distribution of wave heights in a

storm". Journal of Geophysical Research, Vol.83, No.C5, pp.2253-2358.

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.

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

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

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.

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.

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

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

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.

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

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.

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

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.

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

林炤圭、陳炫彬(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。

曾相茂(1998)，「台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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

附錄1 期中/期末報告審查意見處理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫
■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：花蓮港港池共振機制研究(3/4)

執行單位：臺灣海洋大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、梁乃匡委員 1. 港池共振改善方案佈置構想三可能是最經濟簡單的方案，如採用本人提出的圓柱浮體浮式防波堤，以數枝圓柱浮體為一充氣單元，浮體加單面斜向拉索，當放氣後浮體立即倒下躺在海底，可解決漁船進出的問題。建議進行水工模型試驗以確定其效果。	相關建議方案將與港研中心研商如何進行評估	於後續工作中與本所研究人員進行溝通、討論。
二、陳冠宇委員 1. 附錄A(pg.77)的排版有部分下標未標示。方程式A.17-18也有錯誤建議修改。 2. 1.8節(3)有關改善方案，建議增加。 a. wave trap b. #8，#10改為沙灘 3. 1.8節(3)建議說明那些方案之模擬可以數值方式進行，那些不行。	1. 感謝委員指正，以修改並合併於4.1.2節。 2. 改善方案建議將一併與港研中心研商。 3. 由於本計畫所指之改善方案研擬並未侷限於數值模擬部分，本計畫亦需與港研中心所進行之水工模型試驗配合，因此未來將詳細討論各種可能方案與評估方法。	已修正。 於後續改善方案中討論。 於後續工作討論。
三、簡仲璟委員 1. 港池共振改善方案目前僅提出構想，並以學理及經驗作初步評估。建議考量結合本計畫之港灣波動數值模擬，就所提改善方案進行數值計算，以作為進一步評估比較。	1. 遵照辦理	納入期末報告。

2. 有關採用HHT法進行波動分析的目的及其與FFT法的優劣比較，建議補充說明。以圖3.15及圖3.16檢視HHT在低頻處似乎會出現局部能量集中現象（大於FFT之計算值），其原因請加以探討。	2. HHT分析方法目前尚在發展當中，後續將與FFT分析方法合併討論與比較。目前由於端點的偏移所產生的頻譜誤差，以及頻譜能量分佈與FFT頻譜的明顯差距均仍在努力改善當中	於後續工作持續加強改善。
3. 第四章除提出後續欲辦理之工作事項外，請補充期中工作成果說明。	3. 遵照辦理	納入期末報告。
四、蘇青和		
1. 工作項目1現場波浪觀測分析部份： (1) 建議增加分析同時間於港內外港觀測之資料比對分析，作一增高係數分析。 (2) 觀測之長週期成份是否存在？其數量級甚小，應增加更強有力之資料佐證。 (3) 建議配合本中心波浪觀測，增加本年度港內外颱風波浪資料分析。	1. (1) 遵照辦理。目前正研發可分離長週期載波之HHT程式。 (2) 本年度的現場觀測仍努力在注意颱風的動向隨時進行收集，然而目前尚無颱風動態。 (3) 遵照辦理	納入期末報告討論。
2. 工作項目2波浪數值模擬及實測資料驗證部份： (1) 考慮不同入射波之波高、週期及波向計有4950種，成果甚豐富，建議增加颱風期間實測資料比對驗證部份。 (2) 本計畫目前建立之模式是否適合於花蓮港外海凸堤或離岸堤之消波效應評估，應再審慎評量。	2. (1) 下半年將進行嘗試本項驗證，增加以實測頻譜進行波動模擬部分。 (2) 就目前的模式而言，要正確反應突堤效應則仍有努力空間，但對於振盪週期的評估則應與其他模式相當。	納入期末報告討論。
3. 工作項目3港池共振改善方案評估部份： (1) 此部份為本計畫之研究重點，應加強其研究內容。 (2) 改善方案評估之配置考量，應	3. 改善方案的評估，由於本計畫並未侷限於數值模擬部分，本計畫亦被要求需與港研中心所進行之水工模型試	納入期末報告討論。

以數值模擬能力範圍為主。	驗配合，因此未來除了詳細討論數值可模擬的可能方案外，亦將配合港研中心的水工模型試驗結果進行綜合評估。對於各種可能改善方案的研擬本計畫亦有義務提供港研中心參考。	
---------------------	--	--

交通部運輸研究所合作研究計畫
□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：花蓮港港池共振機制研究(3/4)

執行單位：臺灣海洋大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
一、梁乃匡委員 2. 花蓮港船舶在颱風期間造成斷纜的原因，在港內波浪的週期與停泊船舶的自然週期接近時產生共振所致，因此在分析成分波時應重點放在與船舶自然週期相近的成分波。 3. 在不改變港池形狀的條件下減少港內共振最簡單的方式是將入射的波浪能量降低，使船舶的振動減少。至於如何降低入射波浪能量可考慮在港口設置圓柱體防波堤，在颱風來臨前將浮體浮出，及在內港底設消波沙灘。	由於本計畫主要目標在探討引發花蓮港共振的原因，對於颱風期間造成船舶斷纜的原因則因為牽涉較大，已經另案由世曦工程顧問承辦，本計畫也將會配合該計畫的執行，提供或配合相關資料與分析。 將在後續計畫持續辦理，或提供建議港研中心以實驗方式探討。	於後續工作中，請配合另案辦理。 於後續工作中與本所研究人員進行溝通、討論。
二、陳冠宇委員 (一) 內容豐富值得肯定。 (二) 以下幾點請補充說明。 甲、建議1.3節 p.4「本計畫的前兩年工作.....」與1.7節寫在一起。 乙、有關壓力與水面高程之轉換研究是否可應用在長週期波似有待商榷，p.4倒數第三行「非線性波動的動壓力有明顯向下衰減」似	謝謝委員支持。 配合修改。1.3節合併至1.7節。 目前壓力與水面高程的轉換係通盤性探討其轉換關係，並非單獨針對長週期波。於試驗造波水槽的造波特性，實際上探討長週期波的壓力與水面高程變化間的關	已配合修正，及適當說明。

不適用長波。	係並不容易。本文的討論主要是想瞭解其變化趨勢。在該段落的第6行亦說明試驗波浪為深水波至中間性波。	
丙、1.6節檢討前人的研究，認為(1)未找到共振機制，是否說明如何才是找到機制？貴團隊要怎麼找？(2)數值網格不恰當切割在本研究是否存在？如何確認？	本計畫所進行的各種現場的長時期觀測與分析即在搜尋過去沒有發現的波動成分與變化關係。 數值網格的恰當性在Lin(1995)曾進行過詳細比較。由於本計畫著重於長週期的波動模擬，因此所採用的三角網格較大，邊長約20至25公尺，對5秒以下的波動模擬較為不利，未來將再改善。	
(三) 1.8節提到本年度在台中港施測，但報告內容未提及，建請至少補充施測時間，地點，初步分析之結果等。	台中港的觀測位置是在港研中心於北防波堤頭所設的觀測站，由於海上作業期程的安排，一直未能將其取回。將於文中補充說明。	納入後續延續計畫中。
(四) 以線性模式模擬不規則波似乎不如把各週期的模擬結果線性相加來得方便，結果也較易解釋。	目前係用規則成分波依頻譜能量分配進行線性疊加。	已配合修正，及適當說明
(五) 本人曾逕行壓力的HHT分析但成效不彰，最近改以壓力與流速同時進行HHT，似乎頗有進度，僅供研究團隊參考。	流速的觀測將在後續計畫中持續進行，謝謝委員提供建議。	於後續工作中納入考慮。
(六) 第五章整理了許多改善方案，可惜只模擬了反射率變化、設置突堤及束縮水道封閉三種，建議下一年度可多加強。	遵照辦理。	納入後續延續計畫中。
三、蕭組長俊賢 (一) 花蓮港水深將重新由港研中	同意配合辦理。	納入後續延續

心協助測量，本報告資料分析請引用新水深資料。 (二) p.101配置構想二是很好想法，如可能在研究中應納入分析。 (三) #7, #12號碼頭在報告內假設為沙灘帶，請改為棧橋式碼頭，在語詞上請作修正。	後續計畫中將考慮在港外設置結構物的可能性。 文字將會修飾。	計畫中。 於後續工作中納入考慮。 請配合修飾。
四、簡仲璟委員 (一) 港池共振改善方案的數值模擬，其反射率設為0.5是否合理？依以往數值計算經驗，波高增幅係數與反射係數有密切關係。因此建議後續研究工作可考量增加不同反射率之計算結果。 (二) 波高增幅係數K_D之評估方式，在採用船形或水域平均前。建議先檢討數值網格大小。此外波浪現場觀測中存在極長周期成分波之現象應儘速釐清。 (三) 第六章結論部份請再加強說明本年度研究成果（非工作事項說明）。例如波浪分析部份對於不同分析方法其結果如何？應有重點說明。部份文字及報告格式請再檢核及依規定修正。	反射率設為0.5進行模擬，主要是先評估其可行性，如屬可行的方案，後續將針對該方案進行不同反射率的模擬。 將在後續計畫進行改善。 遵照辦理。	納入後續延續計畫中考量。 納入後續延續計畫中考量。 報告及格式已修正。
四、蘇青和 (一) 颱風波浪影響花蓮港甚大，現場波浪分析宜增加港內及港外增高係數分析部分。 (二) p.104現場模擬取港內9點之波高增幅係數，顯示共振現象不明顯，似不合理，宜取	現場波浪分析主要係由港研中心提供，未來將持續協調資料之取得。 波高增幅係數與點位的正確性將再確認，觀測颱風波浪資料將進一步收集再做比對。	請納入後續延續計畫中比對。 已配合修正

用觀測颱風波浪資料作一比對驗證。 (三) 簡報p.20頁，佈置方案五，在取用7號及12號碼頭改為沙灘($Cr = 0$)，長波之增幅係數仍甚大，似不合理。 (四) 引用本文目前建立之模式評估外海設置凸堤(方案一及方案二)有消波效應負面現象，模式之適用性宜再審慎評量。	波高增幅係數與點位的正確性將再確認。 後續計畫中將會審慎評估。	已配合修正 納入後續延續計畫中考量。
---	---	----------------------------------

附錄2 期末報告簡報資料

交通部運輸研究所合作研究計畫

花蓮港港池共振機制研究(3/4) (MOTC-IOT-96-H3DB002)

期末報告

國立台灣海洋大學河海工程系
林炤圭、岳景雲



花蓮港港池共振機制研究(3/4)

報告內容

期中報告

1. 前言

2. 取樣頻率對波動資料分析的影響

3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

4. 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

5. 港池共振改善方案可行性評估

6. 結論

7. 後續工作內容的檢討



國立台灣海洋大學河海工程系

2



1. 前言

1.2 主要工作項目：第一年(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

1.2 主要工作項目：第二年(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(配合中心辦理)
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(配合中心辦理)
→ 長週期波動的觀測與分析
3. 以理論頻譜進行不規則波的港灣波動數值模擬
4. 規劃及設計三維潮流數值模式



1. 前言

1.2 主要工作項目：第三年(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
除延續第一及第二年確認波高與波壓關係之水工模型試驗工作外，將著重在長周期波的觀測及其頻譜特性與發生機制探討。
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。



2. 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：由兩個餘弦波線性疊加而成。
- 為避免原始訊號的失真，我們以0.01秒的時間解析度及1000秒時間長度進行訊號的建構

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

- T為主要代表週期，介於3至50秒之間，間隔1秒； α 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。



2. 取樣頻率對波動資料分析的影響

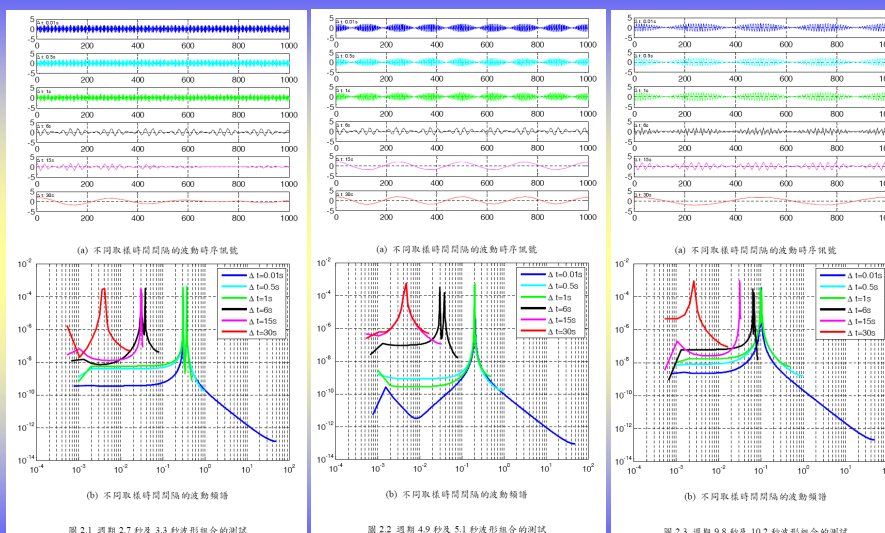


圖 2.1 週期 2.7 秒及 3.3 秒波形組合的測試

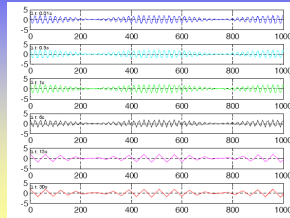
圖 2.2 週期 4.9 秒及 5.1 秒波形組合的測試

圖 2.3 週期 9.8 秒及 10.2 秒波形組合的測試

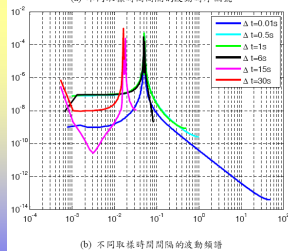




2. 取樣頻率對波動資料分析的影響

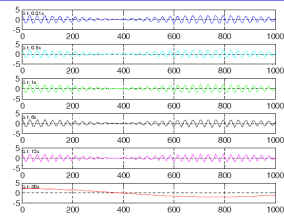


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

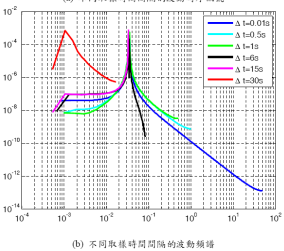


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖 2.4 週期 19.6 秒及 20.4 秒波形組合的測試

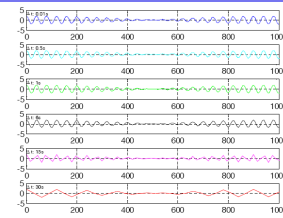


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

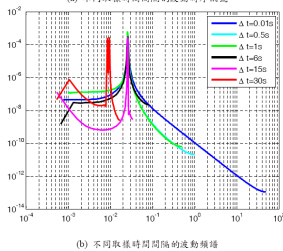


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖 2.5 週期 29.4 秒及 30.6 秒波形組合的測試



(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

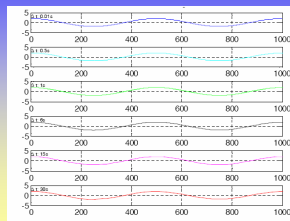


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

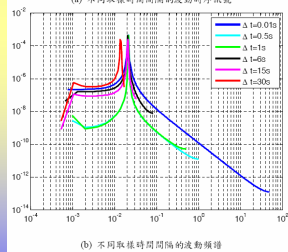
圖 2.6 週期 39.2 秒及 40.8 秒波形組合的測試



2. 取樣頻率對波動資料分析的影響

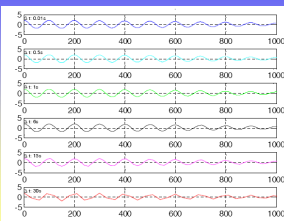


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

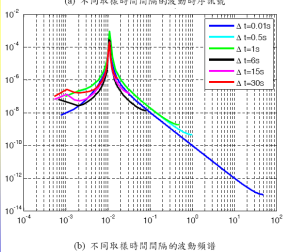


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖 2.7 週期 49 秒及 51 秒波形組合的測試

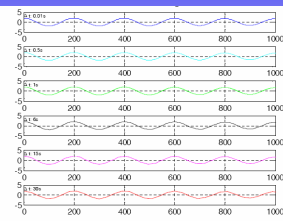


(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號

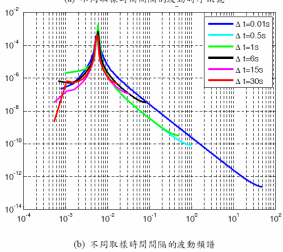


(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖 2.8 週期 98 秒及 102 秒波形組合的測試



(a) 不同取樣時間間隔的波動時序訊號



(b) 不同取樣時間間隔的波動頻譜

圖 2.9 週期 196 秒及 204 秒波形組合的測試





2. 取樣頻率對波動資料分析的影響

- 不同週期的波浪在不同的取樣頻率下，可能產生訊號的失真。
- 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。
- 依照比較的心得，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。



3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

Hilbert-Huang Transform (HHT)：Huang等(1996)

HHT = Empirical mode decomposition + Hilbert spectral transform

可以分解非定常或非線性的時序訊號

1. Empirical mode decomposition (EMD，經驗型分解方法)

→利用求波形包絡線及平均值等篩選方式逐步進行載波與騎乘波(carrier wave/riding wave)的分離，獲得多個內隱型函數(intrinsic mode function)時序列

2. Hilbert spectral transform (HST，Hilbert頻譜分析)

→在各個IMF時序列上利用Hilbert轉換求Hilbert頻譜並進行線性疊加



3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

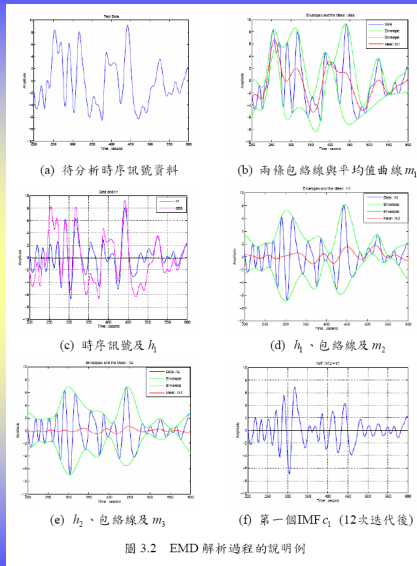


圖 3.2 EMD 解析過程的說明例

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 η_0 ，如圖3.2(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) 利用三次樣條曲線求得極大值(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3.2(b)所示。
- (5) 計算兩條包絡線的平均值曲線 m_1 ，如圖3.2(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3.2(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 $\eta_1 = h_1$ ，繼續篩選其他的IMF($h_i, i = 2, \dots$)。
- (9) 最後， η_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。



3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

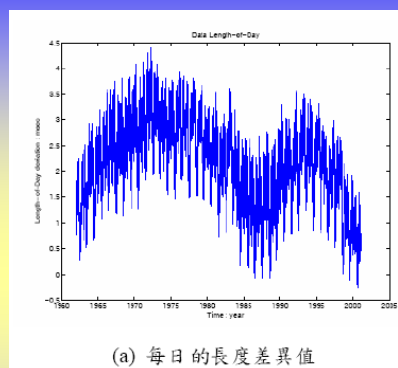
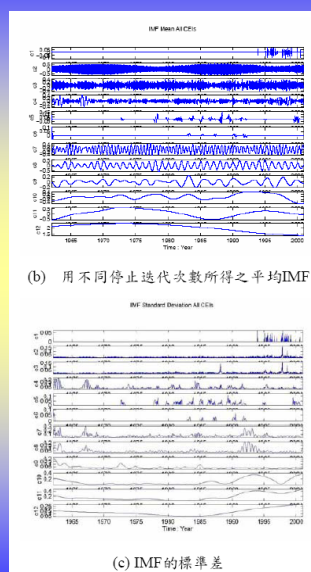


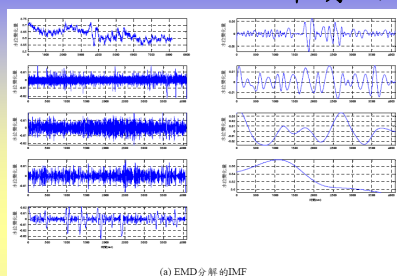
圖3.3 地球自轉的每日長度變化



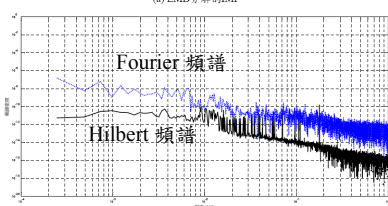


3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

95年5月4日的聯合觀測資料

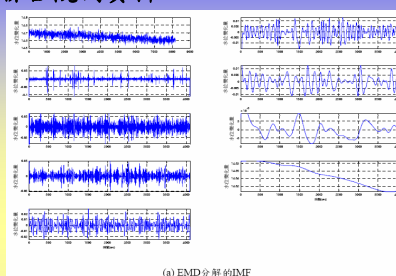


(a) EMD分解的IMF

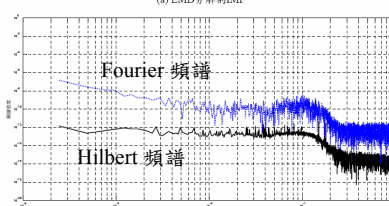


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖 3.4 民國 95 年 4 月 5 日 21:58(4096 秒)花蓮港內港波動分析結果



(a) EMD分解的IMF



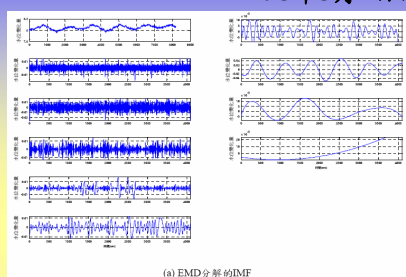
(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖 3.5 民國 95 年 4 月 5 日 21:58(4096 秒)花蓮港外港波動分析結果

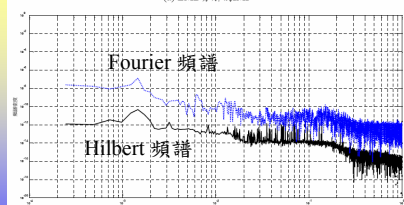


3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

95年5月4日的聯合觀測資料

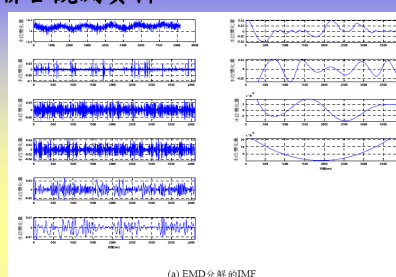


(a) EMD分解的IMF

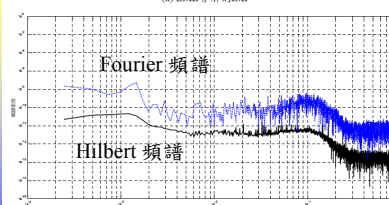


(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖 3.6 民國 95 年 4 月 6 日 5:10(4096 秒)花蓮港內港波動分析結果



(a) EMD分解的IMF



(b) Fourier頻譜及Hilbert頻率譜

圖 3.7 民國 95 年 4 月 6 日 5:10(4096 秒)花蓮港外港波動分析結果





3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

95年8月18日的聯合觀測資料

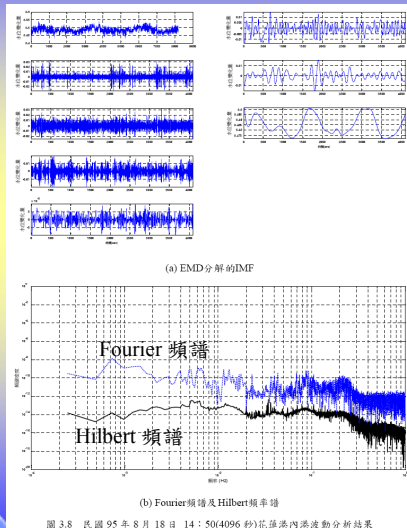


圖 3.8 民國 95 年 8 月 18 日 14:50(4096 秒)花蓮港內港波動分析結果

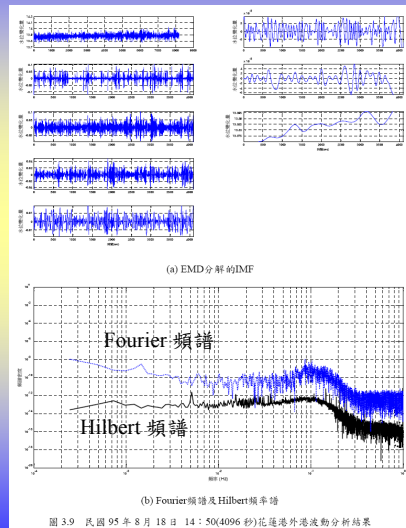


圖 3.9 民國 95 年 8 月 18 日 14:50(4096 秒)花蓮港外港波動分析結果



3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

95年8月18日的聯合觀測資料

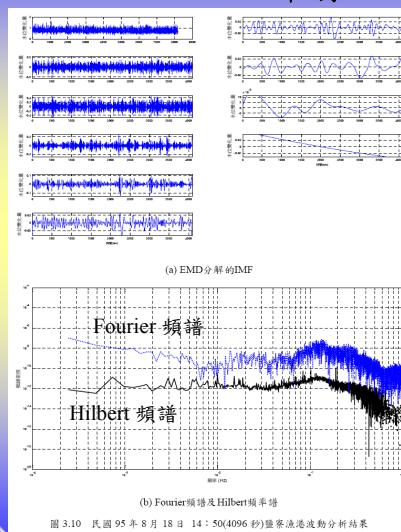


圖 3.10 民國 95 年 8 月 18 日 14:50(4096 秒)鹽寮漁港波動分析結果

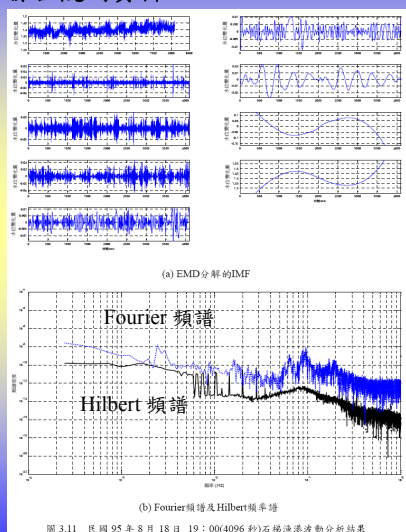


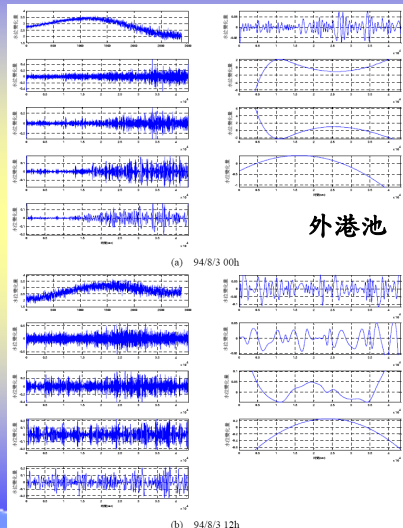
圖 3.11 民國 95 年 8 月 18 日 19:00(4096 秒)石碇漁港波動分析結果



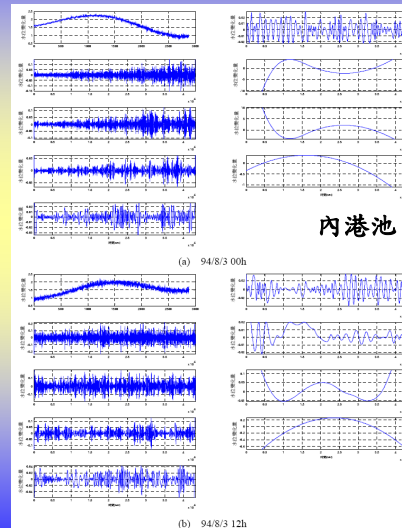


3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

94年8月3日瑪莎颱風侵襲期間的觀測資料



外港池

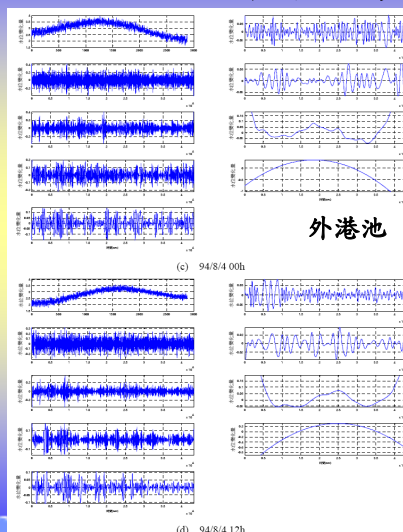


內港池

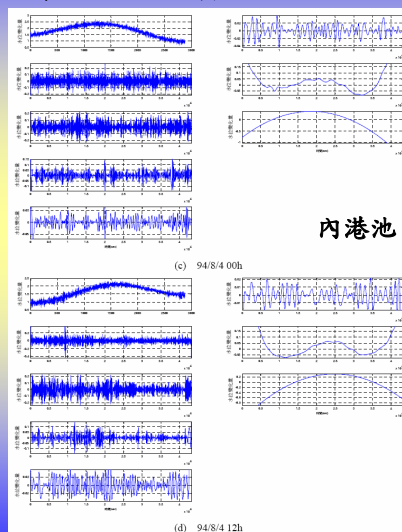


3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

94年8月3日瑪莎颱風侵襲期間的觀測資料



外港池



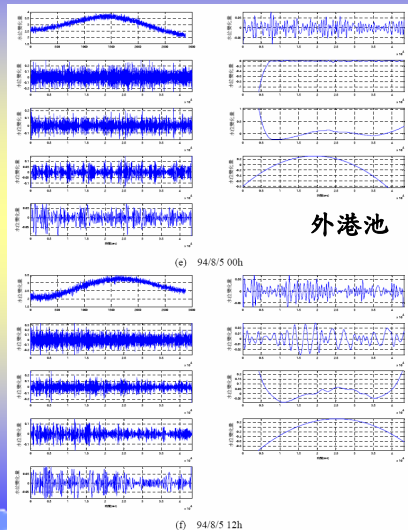
內港池



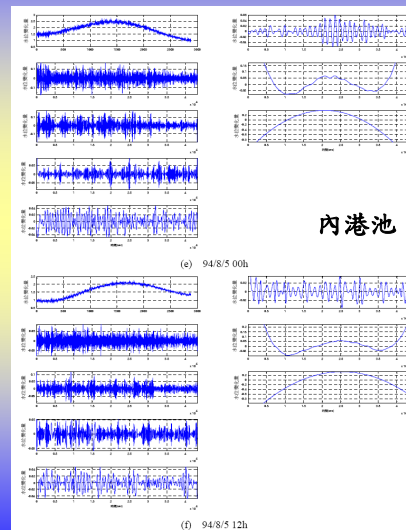


3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

94年8月3日瑪莎颱風侵襲期間的觀測資料



外港池

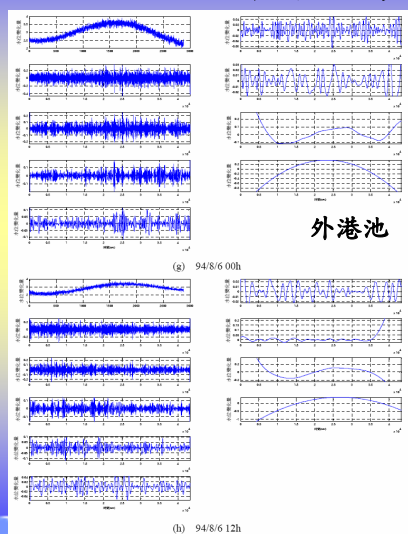


內港池

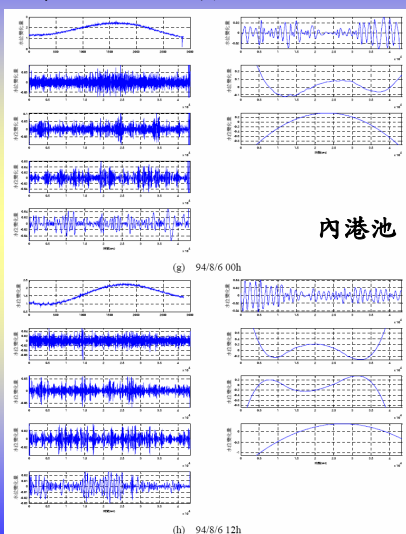


3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

94年8月3日瑪莎颱風侵襲期間的觀測資料



外港池



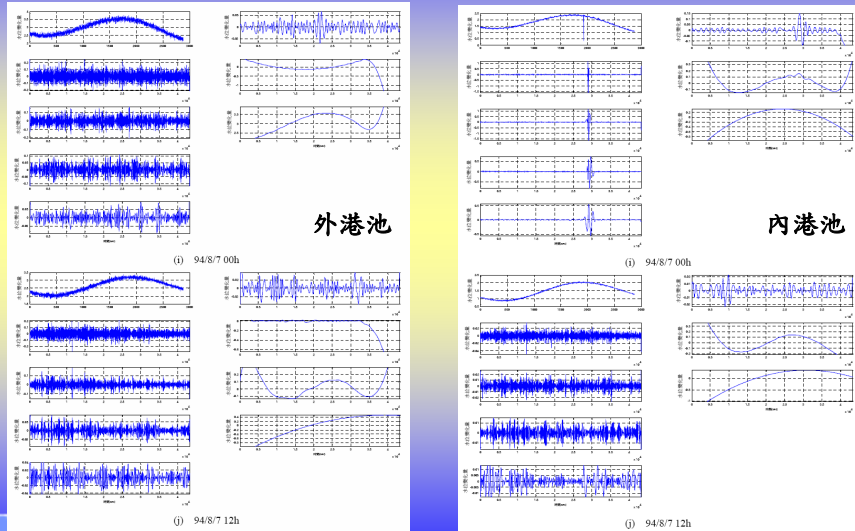
內港池





3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

94年8月3日瑪莎颱風侵襲期間的觀測資料



3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

- 由於HHT方法中的EMD是直接於時間域內進行訊號的分解，因此不致發生如數值濾波必須透過頻率域的操作所發生的訊號過度分離或能量洩漏的情形，因此，HHT應用於近海具高度非線性與非定常的波浪分析，基本上是可行的。
- 但在分析與測試過程中，我們也會看到許多不預期的訊號出現，如在各IMF時序圖中除了最後的殘餘訊號是Huang等(1998)所建議的趨勢外，也發現分解出波高小於2 cm的時序訊號，由於使用的壓力式波高計的解析度為1 cm，因此波高小於2 cm的訊號在理論上應是無法分析出來的，研判應該是屬於雜訊或者是由於取樣頻率不夠高所造成的訊號失真或者是由於所使用的仿樣曲線數值方法不夠好所致。這些情形導致IMF的分解過程所需要設置的門檻值，以及分解出的IMF的有效性判斷都是未來需要在努力的。
- 從各個頻譜圖中我們也發現，Hilbert頻譜始終與Fourier頻譜有大約四階的差距，如果從能量的一致性來看，應該是Hilbert頻譜的計算方式與解讀仍有需要進一步研究的空間。





3. Hilbert-Huang轉換在波動分析上的應用

Huang and Shen(2005)提出最近的发展包括：

- Hilbert轉換的正規化
 - 信賴限度
 - IMF的統計特性
- 以及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
- 可調整資料分析方法的一般化
 - 非線性系統的辨識方法
 - 非定常過程的預測問題—端點效應
 - 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
 - 最佳化問題，包括最佳IMF的選擇方式及唯一性
 - 近似問題，即Hilbert轉換及頻譜面積
 - 其他相關的統計議題



4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

- 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。
- 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。





4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

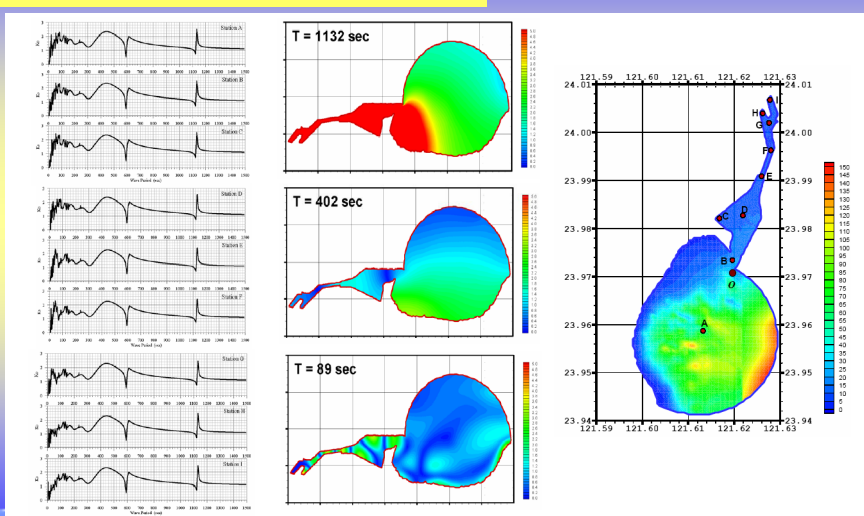
以現場實測頻譜進行不規則波的港灣波動數值模擬，並與港內的實測值進行比較。同時，也進行多方向不規則波的數值模擬，以探討花蓮港港池共振機制。

- 進行多方向不規則波的數值模擬的先期準備作業——針對花蓮港附近水域不同入射方向及不同週期的規則波動進行港灣波動的數值模擬，並將所有計算的水面波動儲存以建立基本資料庫。
- 計算的波浪條件包括：
 - 入射波方向**：以區域座標系統(平行海岸線向南為+x軸，角度以逆時針方向量度)，每間隔 5° ，自 210° 計算至 330° (相當於自正東向逆時針量測的 92° 至 212°)。
 - 入射波週期**：每間隔1秒，自3秒至200秒。
 一共計算4950個檔案。雖然目前檔案數已經相當地大，
 - 但如果考量潮位對港灣波動的影響，其資料量將非常大量地增加。未來在資料庫的管理上，必須再做檢討。
 - 本項資料庫亦提供『近岸海象數值模擬與預警系統之建立』參考。



4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

➤規則波的港灣波動數值模擬



4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

➤單方向不規則波的港灣波動數值模擬

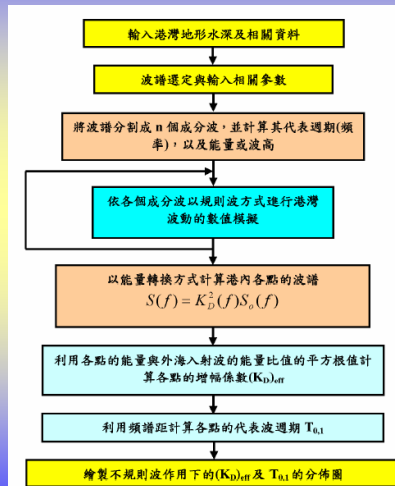


圖 4.7 規則波港灣波動數值模式的計算流程圖

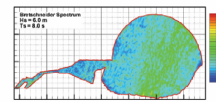


圖 4.9 不規則波(B-M 頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m)

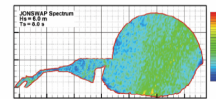


圖 4.10 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m)

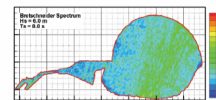


圖 4.11 不規則波(B-M 頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.36)

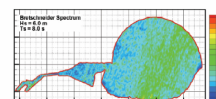
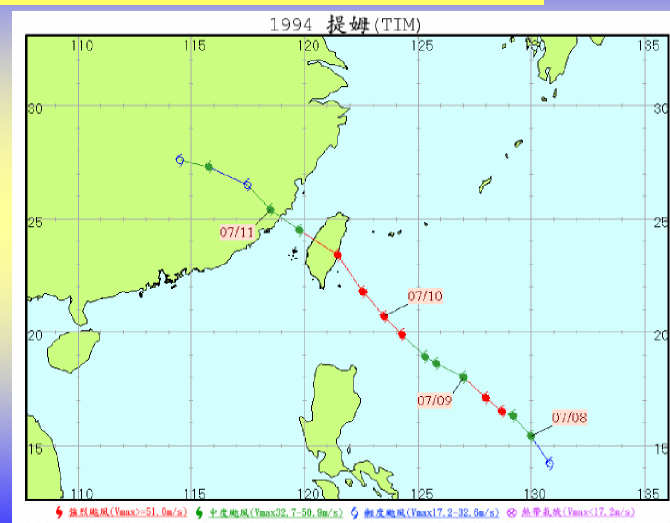


圖 4.12 不規則波(B-M 頻譜)作用下 K_D 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.37)



4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

➤實測波譜的港灣波動數值模擬



4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

➤實測波譜的港灣波動數值模擬

數值模擬中短週期波動因網格分割緣故無法正確模擬

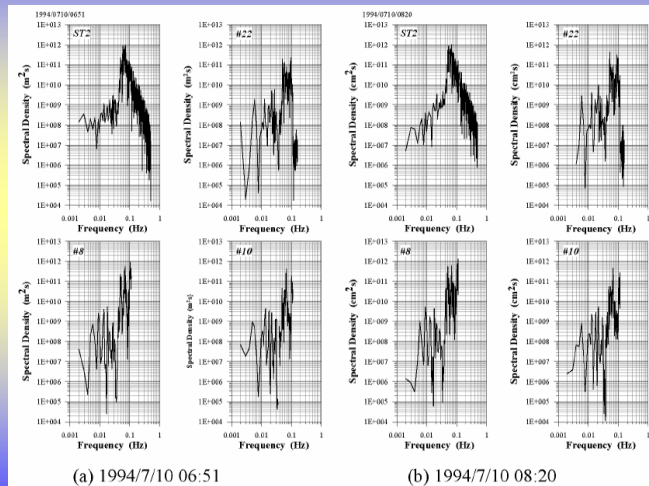
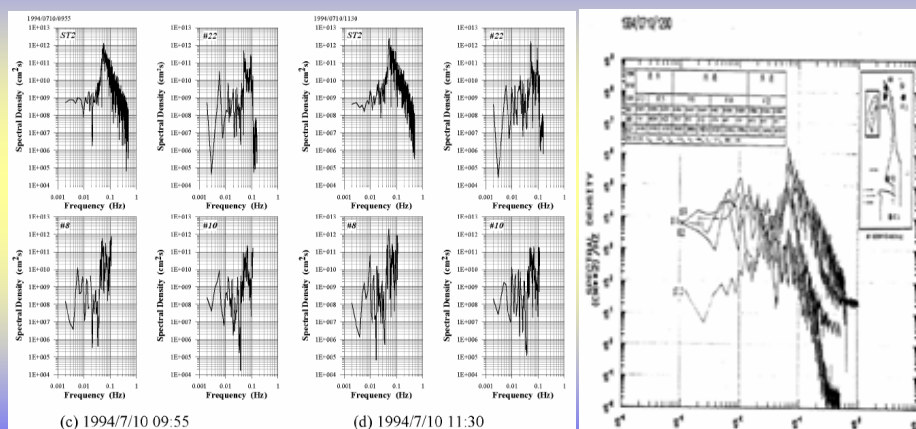


圖 4.29 提姆颱風(1994)過境時花蓮港港灣波動之模擬



4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

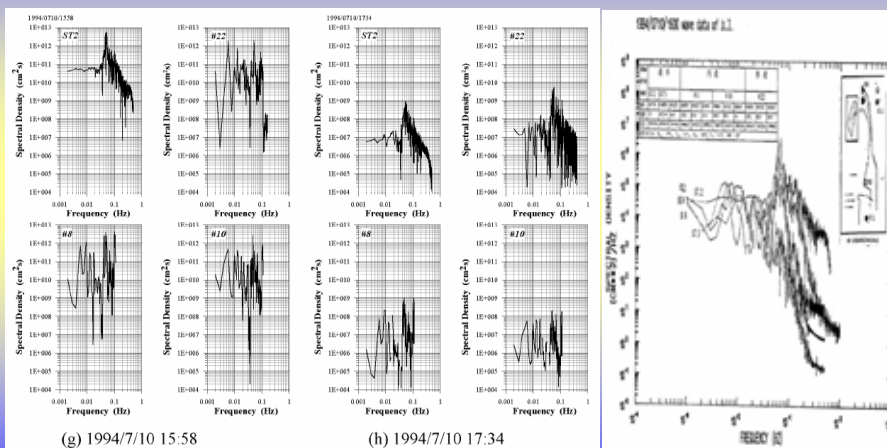
➤實測波譜的港灣波動數值模擬





4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

➤實測波譜的港灣波動數值模擬



4 多方向不規則波的港灣波動數值模擬

➤多方向不規則波的港灣波動模擬

JONSWAP理論波譜、Mitsuyasu及Goda對波譜能量在方向分佈的建議

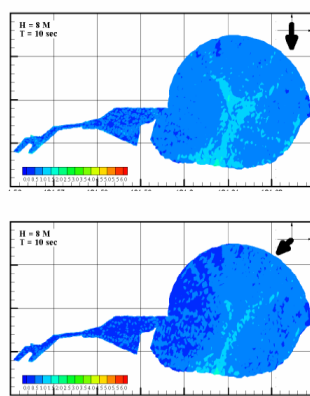
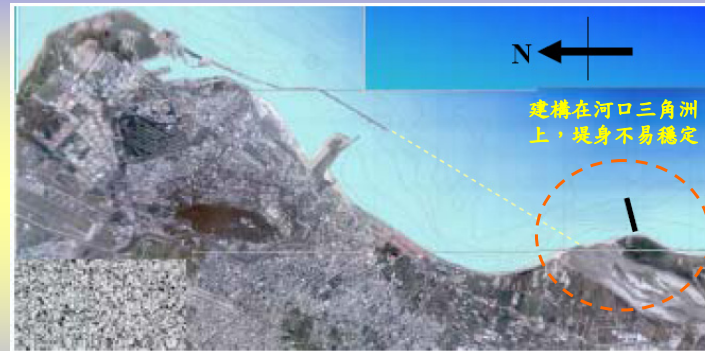


圖 4.31 不同主波方向之多方向不規則波作用下 K_D 分佈圖(JONSWAP 頻譜、 $T_s=10$ s, $H_s=6$ m)



5. 港池共振改善方案可行性評估

佈置構想一

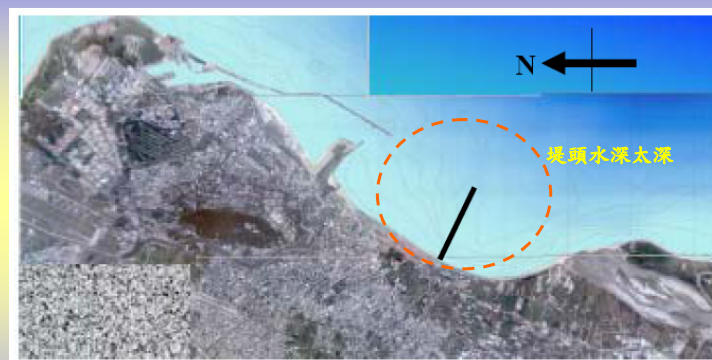


如果長週期振盪的來源是緣岸波？
→減少波浪入侵的能量



5. 港池共振改善方案可行性評估

佈置構想二



如果長週期振盪的來源是緣岸波？
→減少波浪入侵的能量



5. 港池共振改善方案可行性評估

佈置構想三



颱風來襲時，阻絕入侵內港的波浪
並改變港內共振頻率



4. 港池共振改善方案可行性評估

佈置構想四



颱風來襲時，阻絕入侵內港的波浪
並改變港內共振頻率



5. 港池共振改善方案可行性評估

測試方案

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

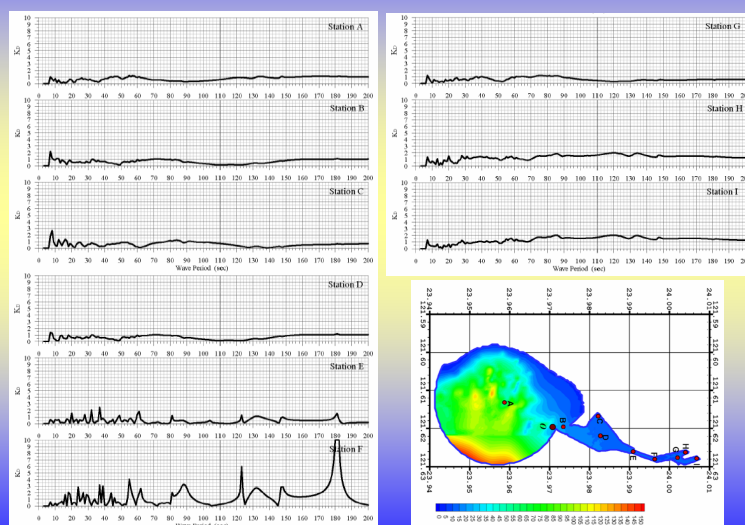
佈置方案四：佈置構想四，在束縮航道兩側增設短突堤

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



5. 港池共振改善方案可行性評估

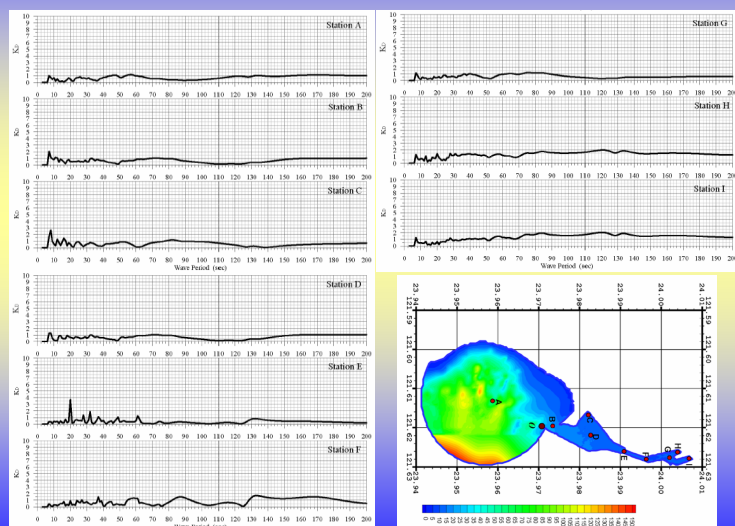
佈置方案一：原始方案，港內反射率為1.0，港外海岸為0.5





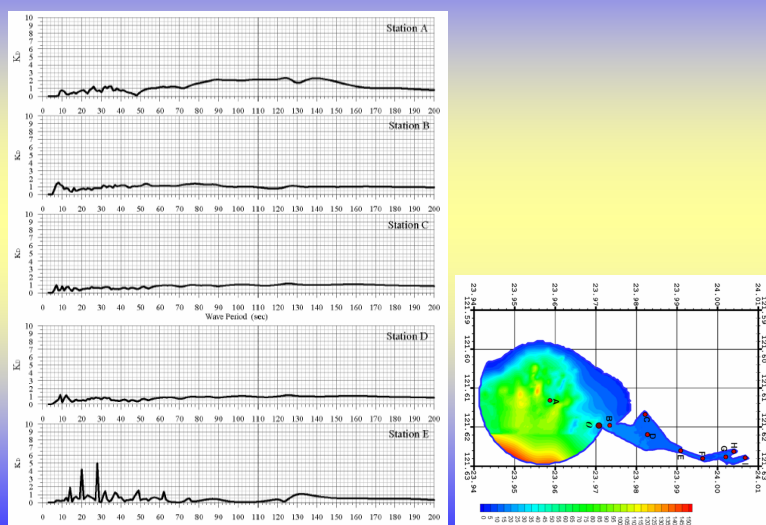
5. 港池共振改善方案可行性評估

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



5. 港池共振改善方案可行性評估

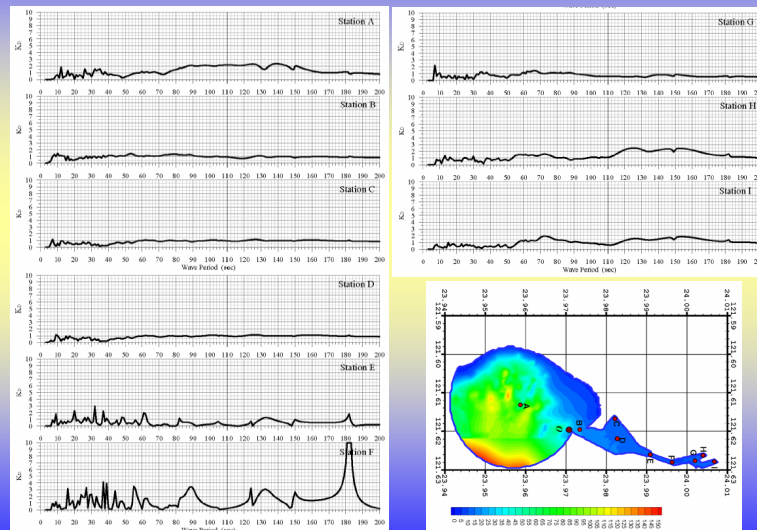
佈置方案三：佈置構想三，自束縮航道入口處阻斷，模擬防潮閘門





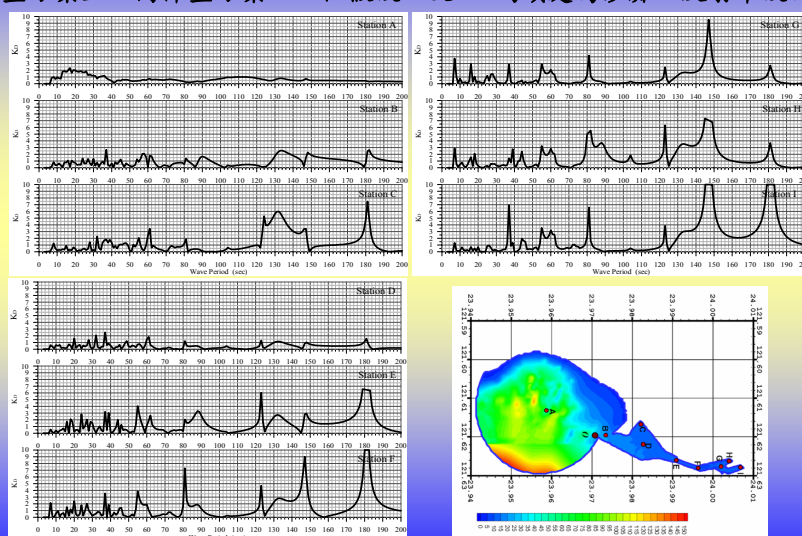
5. 港池共振改善方案可行性評估

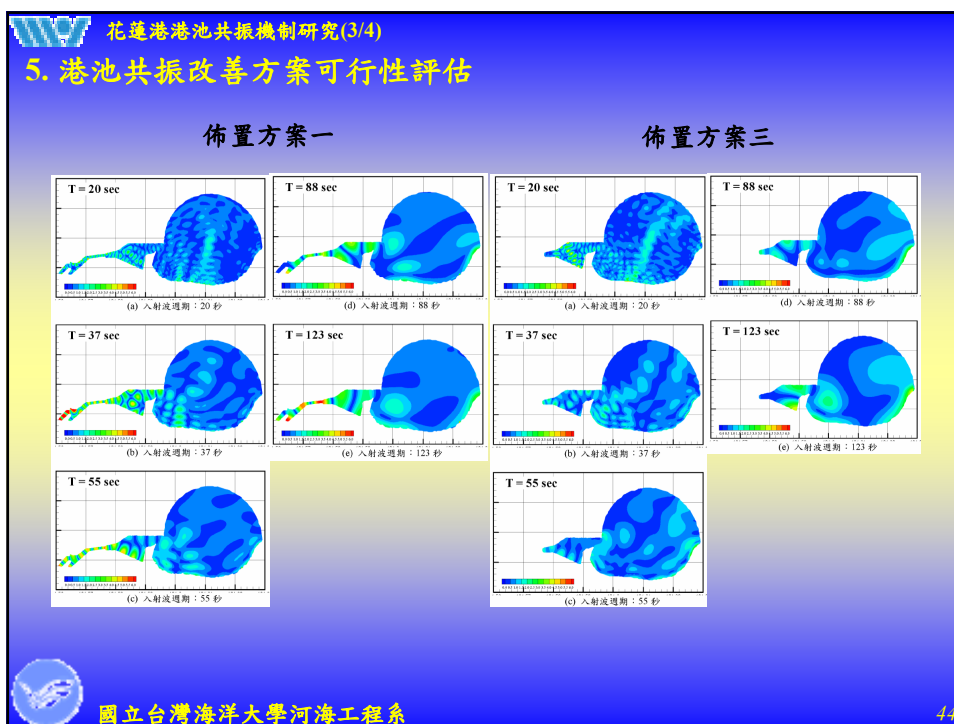
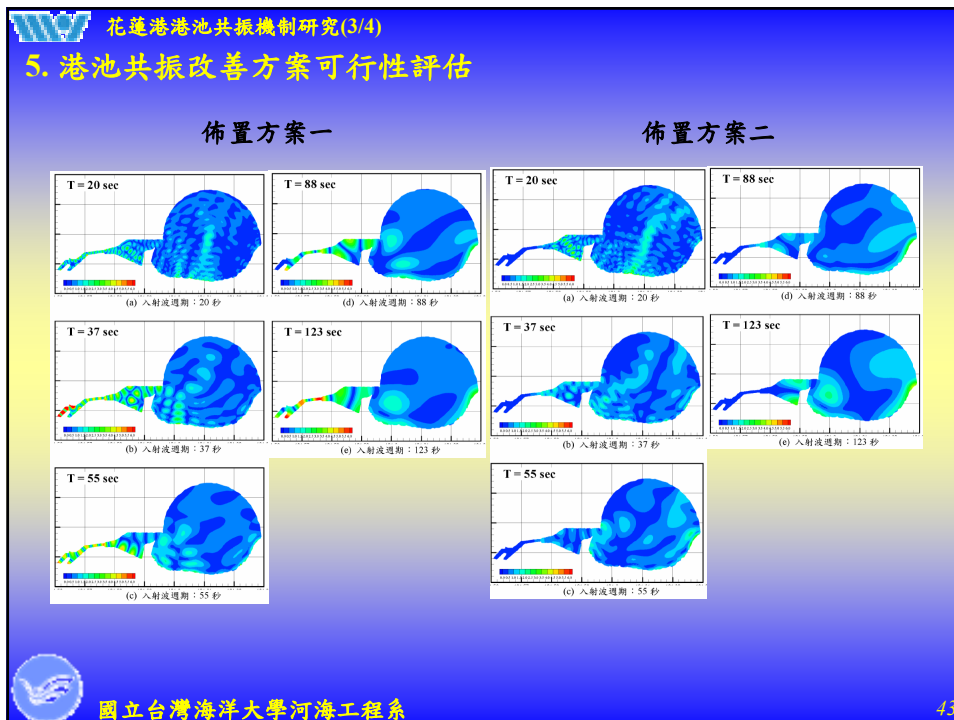
佈置方案四：佈置構想四，在束縮航道兩側增設短突堤

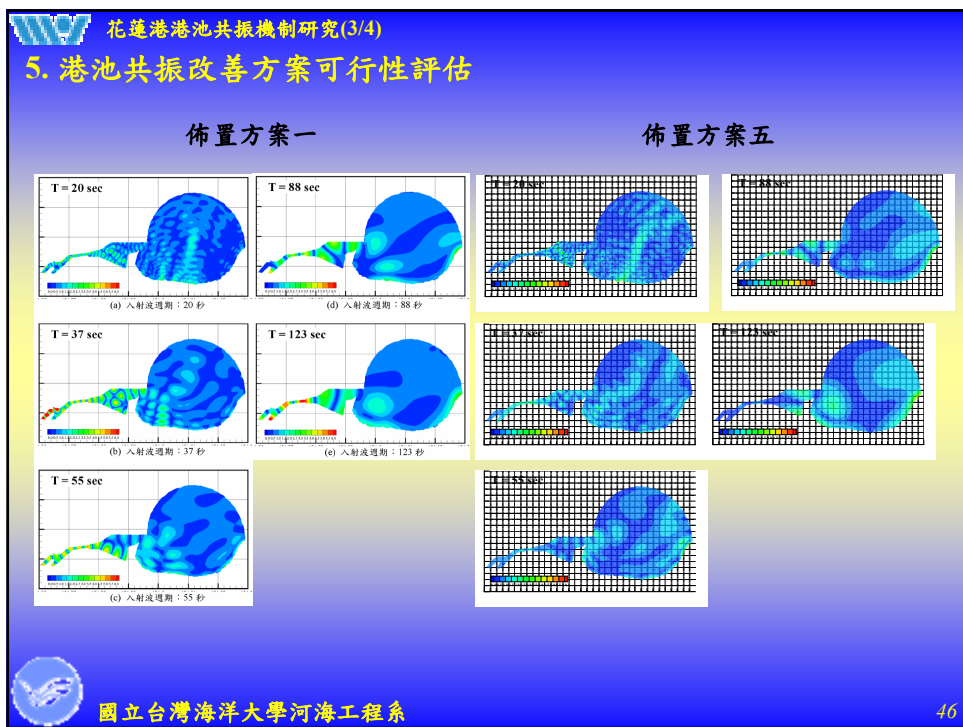
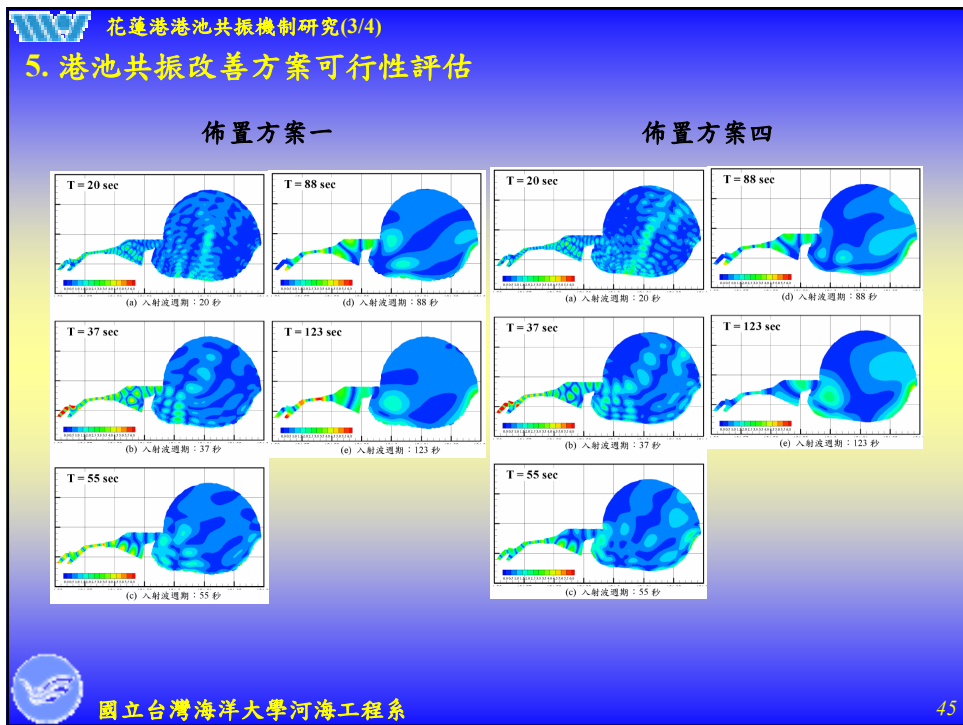


5. 港池共振改善方案可行性評估

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







5. 港池共振改善方案可行性評估

碼頭附近水面波動的波高增幅係數曲線



5. 港池共振改善方案可行性評估

佈置方案一

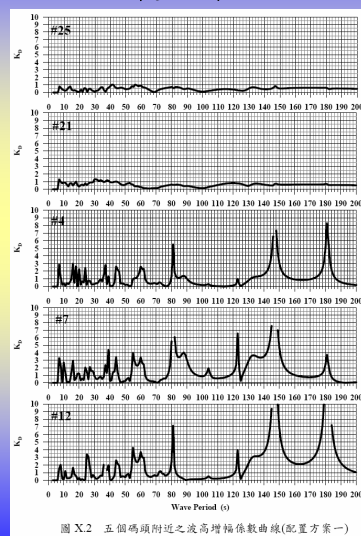


圖 X.2 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一)

佈置方案二

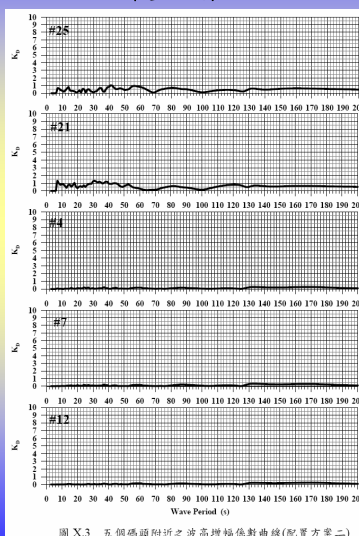


圖 X.3 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案二)





5. 港池共振改善方案可行性評估

佈置方案一

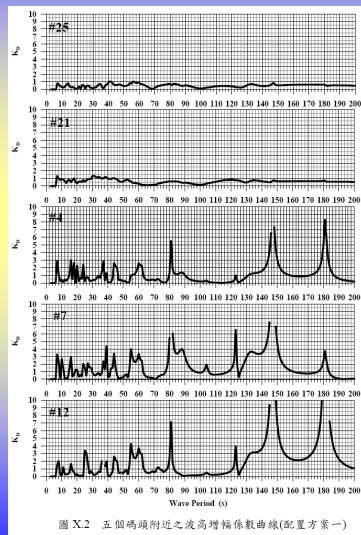


圖 X.2 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一)

佈置方案三

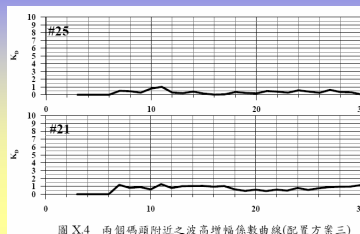


圖 X.4 兩個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案三)



5. 港池共振改善方案可行性評估

佈置方案一

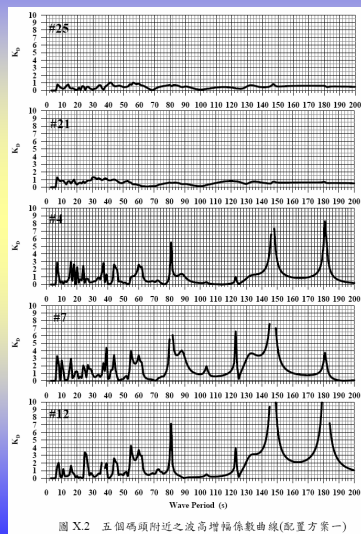


圖 X.2 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一)

佈置方案四

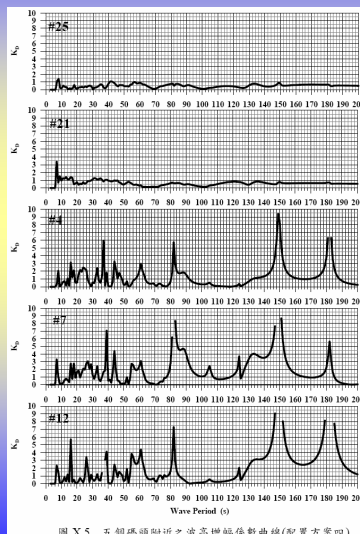


圖 X.5 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案四)



5. 港池共振改善方案可行性評估

佈置方案一

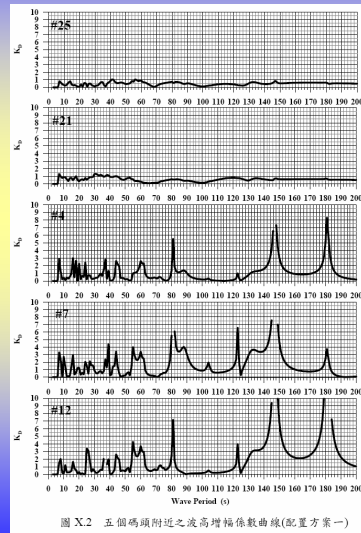


圖 X.2 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案一)

佈置方案五

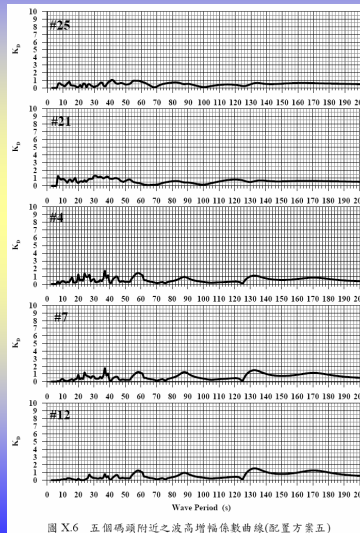


圖 X.6 五個碼頭附近之波高增幅係數曲線(配置方案五)



6. 結論

1. 現場水位觀測方面，引進HHT中的EMD經驗型分解法進行水位訊號的分析，可以分解出長週期的波動。但由於觀測資料龐大，目前尚有大量的資料需要編排適當的資料輸入格式以便進行分析。
2. 港灣波動數值模擬方面，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。並以現場的實測波譜進行測試。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。
3. 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，或是將內港岸壁改為沙灘以削減進入港內的波能，都有助於改善花蓮港內的振盪問題。惟如何提升岸壁的消波能力、或者是如何建構臨時性防潮閘門，以及其波動削減情形，則有必要進行相關的水工模型試驗來加以驗證。





7. 後續工作內容的檢討

1. 延續前三年工作內容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(合辦)
2. 以規則波、單方向及多方向不規則波的港灣波動數值模式，對各改善方案之港池靜穩度進行數值模擬與評估，並建構港灣穩靜度評估方法
3. 配合本所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(合辦)



報告完畢 敬請指教

