

96-38-7257

MOTC-IOT-95-H3DB002

花蓮港港池共振機制研究(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 96 年 4 月

96-38-7257

MOTC-IOT-95-H3DB002

花蓮港港池共振機制研究(2/4)

著者：林昭圭、岳景雲、林玉峰、涂宗男、簡仲璟

交通部運輸研究所

中華民國 96 年 4 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. (2/4) / 林昭圭等著

. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民

96

面 ; 公分

參考書目:面

ISBN 978-986-00-9370-4(平裝)

1. 港埠 - 管理 2. 波動 - 臺灣

443. 2

96006845

花蓮港港池共振機制研究(2/4)

著 者：林昭圭、岳景雲、林玉峰、涂宗男、簡仲璟

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 96 年 4 月

印 刷 者：承亞興企業有限公司

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臺灣技術研究中心網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1009600931

ISBN：978-986-00-9370-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

96

花蓮港港池共振機制研究
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009600931

定價 300 元

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 (2/4)			
國際標準書號(或叢刊書) 978-986-00-9370-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1009600931	運輸研究所出版品編號 96-38-7257	計畫編號 95-H3DB002
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：劉清松 聯絡電話：04-26587131 傳真號碼：04-26564415	合作研究單位：臺灣海洋大學河海工程學系 計畫主持人：林炤圭 研究人員：岳景雲、林玉峰、涂宗男 地址：基隆市北寧路二號 聯絡電話：02-24622192 轉 6125 傳真號碼：02-24629138	研究期間 自 95 年 2 月 至 95 年 12 月	
關鍵詞：花蓮港共振、現場觀測、數值模擬、波壓轉換函數			
<p>摘要：</p> <p>本計畫為四年期計畫，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。在第一年中已經著手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、以及港灣穩靜度規則波數值模式的建置，此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；花蓮港的波動中包含有極長週期成分波動，可能改變有關花蓮港共振機制的研究方向。本年度除了持續進行波壓與波高轉換函數的相關水工模型平面試驗、花蓮港現場波浪觀測的資料分析與波浪特性統計外；並進行不規則波的港灣波動數值模擬、以及規劃及設計三維潮流數值模式。在波壓與波高轉換函數的研究上發現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。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。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
96 年 4 月	200	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密 (解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
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 Hwalien Harbor (2/4)			
ISBN (OR ISSN) 978-986-00-9370-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009600931	IOT SERIAL NUMBER 96-38-7257	PROJECT NUMBER 95-H3DB002
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu, Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien Chung-Ching PROJECT STAFF: PHONE: 04-26587131 FAX: 04-26564415			PROJECT PERIOD FROM February 2006 TO December 2006
RESEARCH AGENCY : National Taiwan Ocean University PRINCIPAL INVESTIGATOR : Lin Jaw-Guei PROJECT STAFF: Yueh C.Y. ADDRESS: No.2, Pei-Ning Rd, Keelung, Taiwan (R.O.C.) PHONE: 02-24622192-6125 FAX: 02-24629138			
KEY WORDS : harbor resonance, field observation, numerical simulation, wave pressure transfer function			
ABSTRACT : <p>In this four-year project, the harbor resonance problem of Hwalien Harbor is studied. In the first year, the transfer function of wave pressure and water elevation from experimental data, field wave data inside and outside the harbor and pressure on east breakwater caisson are analyzed and discussed and the numerical model of Hwalien Harbor tranquility under regular wave action have already setup. Our findings are as follows. First, the empirical transfer function is differ from the linear wave theory's and may be adjusted with a non-linear function of water depth. Second, the very long period wave components exist in Hwalien Port. This might re-direct the research about the harbor resonance mechanism of the Port. In the second year, the analysis works of first year are continued, and the irregular wave model of harbor tranquility and the 3-D tidal current model are evaluated and established. In transfer function of wave profile and water pressure analyses, linear relation is found in wave trough but it is decayed as water depth increases, and highly non-linear relation is found in wave crest and it is decayed as water depth or wave steepness increases. In long period oscillation observations, the component waves with period longer than 1000 seconds are found around Hwalien Port all the time. However, in typhoon wave intrusion duration, the wave energies for periods between 100 seconds and 500 seconds increas dominantly.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 200	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(2/4)

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	XI
照片目錄.....	XII
第一章 計畫背景分析.....	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 計畫重要性.....	1-2
1.3 相關研究.....	1-4
1.4 研究成果的檢討.....	1-7
1.5 研究範圍與對象.....	1-8
1.6 研究內容與工作項目.....	1-9
1.7 研究方法與進行步驟.....	1-12
第二章 波壓與波高轉換函數的相關研究.....	2-1
2.1 前人研究.....	2-1
2.2 波高波壓轉換函數的相關理論.....	2-2
2.3 頻譜轉換.....	2-7
2.4 斷面水槽模型試驗之水面波動與水下波壓資料的分析.....	2-9
第三章 現場波浪觀測資料的統計與分析.....	3-1

3.1	花蓮港內長週期成分波動的統計分析	3-1
3.2	花蓮港內長週期波動的觀測	3-5
3.3	2006 年 4 月的花蓮港港內水面波動聯合觀測	3-16
3.4	2006 年 6 月鹽寮漁港的水位觀測	3-17
3.5	2006 年 8 月的聯合觀測	3-18
3.6	綜合比較	3-20
第四章	不規則波的港灣波動數值模擬	4-1
4.1	不規則波引致港灣波動數值模式的建立	4-1
4.2	理論頻譜	4-2
4.1.1	Bretschneider 頻譜	4-2
4.1.2	Pierson-Moskowitz 頻譜	4-4
4.1.3	JONSWAP 頻譜	4-4
4.3	波高增幅係數	4-5
4.4	花蓮港的水深地形檔與規則波模擬	4-7
4.5	不規則波的數值模擬	4-13
4.6	長週期波動的模擬	4-14
第五章	規劃及設計三維潮流數值模式	5-1
5.1	POM (PRINCETON OCEAN MODEL) 簡介	5-1
5.2	基本方程式	5-2
5.3	邊界條件	5-5
5.4	資料的輸入	5-6
5.5	計算結果的輸出	5-11
5.6	使用範例	5-11
5.6.1.	日本的 JCOPE 海洋預報系統	5-12

5.6.2. Princeton 大學的 PROFS(the Princeton Regional Ocean Forecast System).....	5-13
5.7 基本資料的準備	5-14
第六章 結 論.....	6-1
參考文獻.....	7-1
附件一 期中報告審查意見答覆情形.....	A-1
附件二 期末報告審查意見回覆情形.....	B-1
附件三 期末審查簡報.....	C-1

圖目錄

圖 1.1	花蓮港位置示意圖.....	1-3
圖 1.2	花蓮港現況配置圖.....	1-3
圖 2.1	壓力與水位轉換水工試驗的斷面模型.....	2-10
圖 2.2	波浪通過凹陷地形時水面波形與水中壓力波形間相關係數的水深變化圖.....	2-12
圖 2.3	波浪通過等深地形時水面波形與水下壓力波形間相關係數的水深變化圖.....	2-13
圖 2.4	規則波通過等深地形之波高比值沿水深變化圖.....	2-14
圖 2.5	規則波通過凹陷地形之波高比值沿水深變化圖.....	2-15
圖 2.6	波峰與波谷之垂直波壓分布.....	2-16
圖 2.7	各相關係數與水深之關係圖(H08T10).....	2-19
圖 2.8	各相關係數與水深之關係圖(H13T10).....	2-20
圖 2.9	各相關係數與水深之關係圖(H19T10).....	2-20
圖 2.10	各相關係數與水深之關係圖(H25T10).....	2-21
圖 2.11	各相關係數與水深之關係圖(H08T13).....	2-21
圖 2.12	各相關係數與水深之關係圖(H13T13).....	2-22
圖 2.13	各相關係數與水深之關係圖(H19T13).....	2-22
圖 2.14	各相關係數與水深之關係圖(H25T13).....	2-23
圖 2.15	各相關係數與水深之關係圖(H08T16).....	2-23
圖 2.16	各相關係數與水深之關係圖(H13T16).....	2-24
圖 2.17	各相關係數與水深之關係圖(H19T16).....	2-24
圖 2.18	各相關係數與水深之關係圖(H25T16).....	2-25
圖 2.19	各相關係數與水深之關係圖(H08T20).....	2-25
圖 2.20	各相關係數與水深之關係圖(H13T20).....	2-26
圖 2.21	各相關係數與水深之關係圖(H19T20).....	2-26
圖 2.22	各相關係數與水深之關係圖(H25T20).....	2-27
圖 2.23	凹陷地形中水位波壓轉換函數的出現機率分佈圖.....	2-28
圖 2.24	凹陷地形中水位與波壓的相關性.....	2-29
圖 2.25	等深地形中水位波壓轉換函數的出現機率分佈圖.....	2-30
圖 2.25(續)	等深地形中水位波壓轉換函數的出現機率分佈圖.....	2-31
圖 2.26	等深地形中水位與波壓的相關性.....	2-32
圖 3.1	花蓮港內波浪觀測站位置佈署圖.....	3-2
圖 3.2	寶發颱風路徑圖(西元 2000/9/6 至 2000/10/11).....	3-2

圖 3.3	各測站的頻譜能量(m_0)時序圖	3-3
圖 3.4	港內波高的能量比值堆疊分布(西元 2000/9/6 至 2000/10/11)	3-4
圖 3.5	測站 8 各成分波區間的能量分布比值(西元 2000/9/6 至 2000/10/11)	3-5
圖 3.6	花蓮港潮位站(✦)安裝位置示意圖	3-8
圖 3.7	潮位計檢測記錄	3-8
圖 3.8	民國 94/4/5 0:00~94/4/9 16:00 花蓮港各潮位站之水位變化時間序列圖	3-9
圖 3.9	民國 94/4/5 0:00~94/4/5 12:00 花蓮港各潮位站之水位變化時間序列圖	3-9
圖 3.10	瑪莎颱風侵襲記錄	3-10
圖 3.11	花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化時間序列	3-11
圖 3.12	花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖	3-12
圖 3.12(續)	花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖	3-13
圖 3.12(續)	花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖	3-14
圖 3.13	花蓮港及鹽寮漁港位置關係圖	3-20
圖 3.14	花蓮港波高計配置圖(圖中的○點)	3-21
圖 3.15	鹽寮漁港衛星遙測及波高計配置圖	3-21
圖 3.16	花蓮港內港 20060405 15:00 水位觀測及頻譜分析	3-22
圖 3.17	花蓮港內港 20060405 19:10 水位觀測及頻譜分析	3-22
圖 3.18	花蓮港內港 20060405 23:20 水位觀測及頻譜分析	3-23
圖 3.19	花蓮港內港 20060406 03:30 水位觀測及頻譜分析	3-23
圖 3.20	花蓮港內港 20060406 07:40 水位觀測及頻譜分析	3-24
圖 3.21	花蓮港內港 20060406 11:50 水位觀測及頻譜分析	3-24
圖 3.22	花蓮港內港 20060406 16:00 水位觀測及頻譜分析	3-25
圖 3.23	花蓮港內港 20060406 20:10 水位觀測及頻譜分析	3-25
圖 3.24	花蓮港內港 20060407 00:20 水位觀測及頻譜分析	3-26
圖 3.25	花蓮港內港 20060407 04:30 水位觀測及頻譜分析	3-26
圖 3.26	花蓮港內港 20060407 08:40 水位觀測及頻譜分析	3-27
圖 3.27	花蓮港內港 20060407 12:50 水位觀測及頻譜分析	3-27
圖 3.28	花蓮港外港 20060405 15:00 水位觀測及頻譜分析	3-28
圖 3.29	花蓮港外港 20060405 19:10 水位觀測及頻譜分析	3-28
圖 3.30	花蓮港外港 20060405 23:20 水位觀測及頻譜分析	3-29
圖 3.31	花蓮港外港 20060406 03:30 水位觀測及頻譜分析	3-29

圖 3.32	花蓮港外港 20060406 07:40 水位觀測及頻譜分析	3-30
圖 3.33	花蓮港外港 20060406 11:50 水位觀測及頻譜分析	3-30
圖 3.34	花蓮港外港 20060406 16:00 水位觀測及頻譜分析	3-31
圖 3.35	花蓮港外港 20060406 20:10 水位觀測及頻譜分析	3-31
圖 3.36	花蓮港外港 20060407 00:20 水位觀測及頻譜分析	3-32
圖 3.37	花蓮港外港 20060418 04:30 水位觀測及頻譜分析	3-32
圖 3.38	花蓮港外港 20060407 08:40 水位觀測及頻譜分析	3-33
圖 3.39	花蓮港外港 20060407 12:50 水位觀測及頻譜分析	3-33
圖 3.40	鹽寮漁港 20060610 06:00 水位觀測及頻譜分析	3-34
圖 3.41	鹽寮漁港 20060610 10:10 水位觀測及頻譜分析	3-34
圖 3.42	鹽寮漁港 20060610 14:20 水位觀測及頻譜分析	3-35
圖 3.43	鹽寮漁港 20060610 18:30 水位觀測及頻譜分析	3-35
圖 3.44	鹽寮漁港 20060610 22:40 水位觀測及頻譜分析	3-36
圖 3.45	鹽寮漁港 20060611 02:50 水位觀測及頻譜分析	3-36
圖 3.46	鹽寮漁港 20060612 07:00 水位觀測及頻譜分析	3-37
圖 3.47	鹽寮漁港 20060612 11:10 水位觀測及頻譜分析	3-37
圖 3.48	花蓮港內港 20060818 10:40 水位觀測及頻譜分析	3-38
圖 3.49	花蓮港內港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析	3-38
圖 3.50	花蓮港內港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析	3-39
圖 3.51	花蓮港內港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析	3-39
圖 3.52	花蓮港內港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析	3-40
圖 3.53	花蓮港內港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析	3-40
圖 3.54	花蓮港內港 20060819 11:40 水位觀測及頻譜分析	3-41
圖 3.55	花蓮港內港 20060819 15:50 水位觀測及頻譜分析	3-41
圖 3.56	花蓮港外港 20060818 10:40 水位觀測及頻譜分析	3-42
圖 3.57	花蓮港外港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析	3-42
圖 3.58	花蓮港外港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析	3-43
圖 3.59	花蓮港外港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析	3-43
圖 3.60	花蓮港外港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析	3-44
圖 3.61	花蓮港外港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析	3-44
圖 3.62	花蓮港外港 20060819 11:40 水位觀測及頻譜分析	3-45
圖 3.63	鹽寮漁港 20060818 10:40 水位觀測及頻譜分析	3-45
圖 3.64	鹽寮漁港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析	3-46
圖 3.65	鹽寮漁港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析	3-46
圖 3.66	鹽寮漁港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析	3-47
圖 3.67	鹽寮漁港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析	3-47

圖 3.68	石梯漁港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析	3-48
圖 3.69	石梯漁港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析	3-48
圖 3.70	石梯漁港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析	3-49
圖 3.71	石梯漁港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析	3-49
圖 3.72	石梯漁港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析	3-50
圖 3.73	金樽漁港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析	3-50
圖 3.74	金樽漁港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析	3-51
圖 3.75	金樽漁港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析	3-51
圖 3.76	金樽漁港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析	3-52
圖 3.77	花蓮港水域數值水深地形及測試點位	3-52
圖 3.78	九個測站之波高增幅係數 K_d 曲線圖	3-53
圖 4.1	不規則波港灣波動數值模式的計算流程圖	4-3
圖 4.2	花蓮港水域數值水深資料彙整情形	4-8
圖 4.3	修正過的花蓮港水域數值水深地形	4-8
圖 4.4	九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖	4-9
圖 4.5	九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖(重力波部分)	4-10
圖 4.6	波高增幅係數 K_D 分佈圖	4-11
圖 4.6(續)	波高增幅係數 K_D 分佈圖	4-12
圖 4.7	規則波作用下 K_d 分佈圖($T_s=8$ s)	4-15
圖 4.8	不規則波(B-M 頻譜)作用下 K_d 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m)	4-15
圖 4.9	不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 K_d 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m)	4-15
圖 4.10	不規則波(B-M 頻譜)作用下波高分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.16)	4-16
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 4.17)	4-16
圖 4.12	不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 K_d 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.16)	4-16
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 4.17)	4-16
圖 4.14	規則波作用下 K_d 分佈圖($T_s=10$ s)	4-17
圖 4.15	不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 K_d 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m)	4-17
圖 4.16	不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 K_d 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=10$ m)	4-17
圖 4.17	不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 K_d 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m,	4-17

式 4.16).....	4-17
圖 4.18 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m, 式 4.17).....	4-18
圖 4.19 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=10$ m, 式 4.16)	4-18
圖 4.20 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=10$ m, 式 4.17)	4-18
圖 4.21 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 1 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m).....	4-19
圖 4.22 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 2 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m).....	4-19
圖 4.23 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 3 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m).....	4-19
圖 4.24 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 0.1 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m).....	4-20
圖 4.25 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 0.5 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m).....	4-20
圖 4.26 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 1 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$	4-20
圖 5.1 σ 座標系統	5-2

表目錄

表 2.1 斷面試驗造波條件	2-10
表 3.1 西元 2005/8/3 至 2005/8/5 馬莎颱風警報記錄.....	3-10
表 3.2 2006/08/18 各觀測站的資料收集範圍.....	3-15

照片目錄

照片 3.1 現場觀測使用的潮位計	3-6
照片 3.2 潮位計安裝情形	3-9

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(以下簡稱本所)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，並配合本所的相關研究，從水工模型試驗、現場觀測、及數值模擬等方面探討花蓮港的港池共振機制。

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。

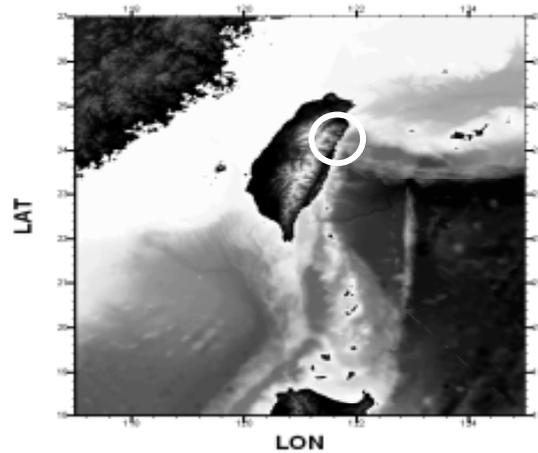


圖 1.1 花蓮港位置示意圖

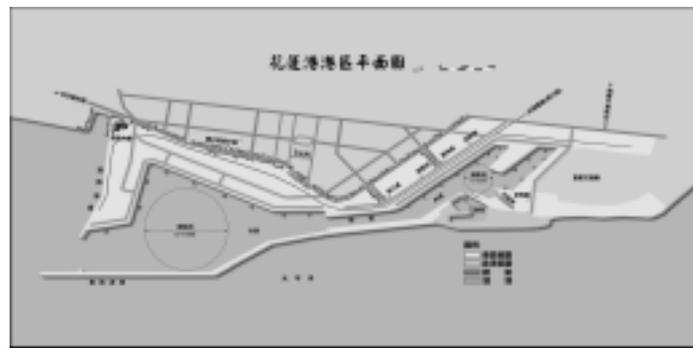


圖 1.2 花蓮港現況配置圖

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。

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西元 2000 年起進行專用漁港的規劃設計與建設，原先有另外闢建進出口航道的構想，但基於建設經費與港內穩靜度的考量，最後仍決定使用商港部份的航道作為漁船進出口。如果再加上花蓮港正在推動未來的海上遊樂船舶活動，則將使得對花蓮港港內穩靜度的要求更形提高，而如何解決港內長週期波動的需求也相對提高。

1.3 相關研究

為了找出花蓮港長週期振盪機制，在花蓮港務局的委託下，本所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)自西元 1989 年起即陸續在港內及港外展開一系列的長期海氣象觀測，至西元 2000 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西元 1996 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)。

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)分析西元 1990 至 1996 年間的 31 個港外颱風波浪，其中西元 1994 年的 6 個颱風(提姆、凱特琳、道格、弗雷特、葛拉絲及席斯)，以及西元 1995 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) 分析西元 1989 年至 1993 年的現場觀測資料也指出在西元 1994 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)分析西元 1990 年至 1998 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)利用西元 1994 年至 1997 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西元 1994 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。

綜合而言，從過去所有的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，緣波的理论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 研究成果的檢討

就目前已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(2005)彙整三個與花蓮港港池波動有關的水工模型試驗結果，包括港研中心於民國 85、86 及 89 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(2005)指出一旦港灣的主體佈置定型後，任何局部性改善措施都只能產生有限的效果而已。

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，只能用壓力式的波高計。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。

1.5 研究範圍與對象

本計畫擬利用水工模型試驗、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不規則波及任意地形之波浪折繞射模式與三維潮流模式，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。

在第一年的研究成果裡，對於波壓與波高轉換函數的相關研究方面，發現線性波理論可能仍適合於解釋規則進行波水面波形與水中壓力波形間的關係，但需要加上一個隨水深、波浪週期及波高變化的比例係數進行修正。此外，即使是非線性波動，其壓力傳遞到某一水深(例如-42.5 cm)以下，所量測到的壓力都幾乎呈規則性變化的情形，而且在一半波長之水深以下，仍然可以量測到相同週期的微小波動，顯示波動下的水壓力傳遞可能尚有其他機制例如水力子的運動所造成的局部性流速，而非一般在流體力學中純粹以靜水壓力的形式來計算。在現場波浪觀測資料統計分析方面，本研究已經建置一分析程式，但由於花蓮港的觀測資料含有無法以傳統的去除平均值及趨勢方法去除的極長週期水面波動，而且該成分的去除也將造成分析結果的代表性的疑義。因此，本研究也同步進行了長週期的波動觀測，透過延伸資料取樣的時程，由分析資料中發現花蓮港內在常時波浪中即已含有週期大於 1000 秒的波動。在花蓮港港灣波動數值模式的建立上，已經建立了規則波的數值模式。此外，本研究也邀請美國北卡羅萊那州立大學土木、營建及環境工程系榮譽退休教授董啟超博士協助本計畫的進行，並針對海岸結構物安全評估理論在海大及港研中心一共舉辦四場演講。

1.6 研究內容與工作項目

依據公告之招標文件所述，本計畫預定執行四年，目前係進行第二年的工作，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。而模型的配置也將分為空水槽及直立堤兩種。

在第一年的計畫裡，在有關波壓與波高的轉換函數的探討上發現規則進行波水面波形與水中壓力波形間的關係可能隨著波浪的特性而不同，深水波的波壓力在二分之一波長之內的水深中，波壓力有隨水深衰減的情形，波高也顯示出有局部性的影響，而二分之一波長以下的水深中由於流體的質量與動量連續，仍然有某一程度的擾動；中間性波由於水粒子的運動幅度隨水深而不同，因此也有不同程度衰減；而淺水波則會有完全相關的性質。顯示線性波理論可能仍適合於解釋規則進行波水面波形與水中壓力波形間的關係，但需要加上一個隨水深、波浪週期及波高變化的比例係數進行修正。

2. 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。

藉由已經建構的波浪分析程式設計的經驗與心得，將原為 FOTRAN 程式語言的架構改寫為 Matlab 程式語言，並利用 Matlab 的繪圖功能，逐步建構可以同時進行波浪分析以及繪圖的分析軟體。目前初步的架構已經完成，而且可以進行波浪的零上切分析及頻譜分析。

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

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。

花蓮港的數值地形在整合不同的資料來源後，已經建構有限元素方法使用的三角元素網格地形，同時也調整港灣波動數值模擬程式並完成花蓮港的規則波模擬。

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)

由於觀測資料的儲存格式與一般分析程式所可解讀的格式不同，本年度的工作主要在進行資料的轉換與彙整。

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試驗分析研究
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)
3. 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。
4. 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. 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. 除延續第一及第二年工作內容外，將著重在理論頻譜的擬合與相關參數的評估。
3. 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

4. 進行三維潮流數值模擬
5. 港池共振改善方案研擬(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)
2. 以規則波及不規則波的港灣波動數值模擬結果，對各改善方案之港池靜穩度進行評估
3. 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
4. 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)

1.7 研究方法與進行步驟

本第二年的各主要工作項目之研究方法及進行步驟分別說明如下：

1. 繼續進行波壓與波高轉換函數的相關水工模型試驗分析研究

除了繼續分析及規劃平面水槽及斷面水槽之波壓與波高的轉換關係的試驗外，也規劃現場外海及港內的容量式波高計與壓力式波高計的聯測與分析比較。由於目前的研究分析結果中發現波壓與波高的轉換關係會受到地形以及鄰近結構物的影響，本年度將進一步針對水平底床及凹陷地形的模型試驗資料進行分析，以瞭解各自的特性及其間的差異性。

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)

原係配合本所所提供的觀測資料，除了持續進行基本分析外，也進行相關性的分析與比較，例如港內與港外的波動關係、港

外波浪與防波堤受力的關係。但由於現場觀測儀器受到外在環境的影響較嚴重，目前發現觀測資料中的雜訊相當強烈，必須設法解決。有鑑於上一年度發現花蓮港內有極長週期的波動成分，對於該類成分時空變化有必要進行瞭解，以釐清花蓮港的水面振動特性。

3. 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。有關頻譜成分波的分割方式，將以等週期分割的方式進行。

4. 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。目前除了配合 Taicoms 計畫的執行內容外，也將評估引入 POM(Princeton Ocean Model)或 ROM(Regional Ocean Model)等模式。POM/ROM 為 public domain 上的免費軟體，在軟體的取得及更新上均較為方便，本年度擬先針對建置 POM 所需要的相關資料進行收集與整理。

第二章 波壓與波高轉換函數的相關研究

本年度主要進一步針對平底床及凹陷地形的模型試驗資料進行分析，以瞭解各自的特性及其間的差異性。

2.1 前人研究

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

關於此一修正係數的研究自西元 1966 年起即陸續有許多學者提出相關研究與建議，相關的研究列於參考文獻，例如 Homma et al.(1966)、Bergan et al.(1968)、Simpson(1969)、Esteva and Harris(1970)、Cavaleri(1980)、Biesel(1982)、Lee and Wang(1984)、Hameed and Baba(1985)、Gabriel and Hedges(1986)、Bishop and Donelan(1987)、郭(1983)、簡仲璟等(1990)、邱永芳等(1993)、黃家祥(1993)、張炯殷(1995)、Huang et al.(1998)、Huang(2001)、陳松輝等(2003)。其中，Bergan et al.(1968)比較量測的壓力及 Stoke's 的理論結果，發現用 Stoke's 五階波差異性遠比線性波理論小。Lee and Wang(1984)用二階攝動法(perturbation technique)解弱非線性不規則波並發現由於線性及非線性的轉換函數在中間性波至深水波的範圍中差異不大，因此判斷非線性的影響並不顯著。Wang et al.(1986)提出之修正線性濾波法(modified linear filter method)，其方法是將線性濾波法進行修正，以一簡單視窗轉換函數的型式應用於波壓與水位間的轉換。然而，一般研究都了解

在淺水波的部分非線性的修正是相當重要的。Kuo and Chiu(1994)比較了量測波壓及線性波與 Stoke's 三階波理論，並發現在他們的實驗中非線性的波形尖銳度影響很小。然而，Baquerizo and Losada(1995)使用微小振幅波理論的推導，認為邱、郭與簡(1993)之經驗轉換函數中之常數項應為水深無因次項 $\omega^2 d/g$ 之函數($\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ 為波浪之角週頻率； f 為頻率； T 為波浪週期； d 為水深； g 為重力加速度)，不應為一定值。黃明志也指出此一不一致的結論似乎祇反映了研究中的波浪條件不同而已。

2.2 波高波壓轉換函數的相關理論

依據線性波理論，二維進行波的波壓公式可表示為

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

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

$$\eta(x; t) = a \sin(kx - \omega t) \quad (2.2)$$

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

其中， a 為波浪的振幅； h 為水深； $k = 2\pi/L$ 為波數(wave number)； L 為波長。 ω 及 k 滿足線性波的分散關係式

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

其動壓部分可以表為

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

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

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

對於量測及線性波理論間的差異性，一般提出一個經驗的修正係數 N

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

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

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

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

$$K_{pE} = \exp(0.905 \frac{\omega^2 z}{g} - 0.027) \quad ; \quad 0.1 \leq \frac{\omega^2 |z|}{g} \leq 5.0 \quad , \quad \frac{h}{L} \geq 0.07 \quad (2.9)$$

由因次分析可以得到下列的函數關係

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

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

Chen(2000)的沒水深度參數 0.9 的迴歸公式則表為

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

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

各種不同的壓力轉換函數也可以用對線性壓力轉換函數的修正係數來表示，即

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

其中， N 一般為相對水深、波形尖銳度及壓力計沒水深度的函數，可由數值計算或實驗資料獲得。

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

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

依 Chiu & Kuo 的推導

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

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

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

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

$$K_p = \exp\left(-\left(0.015\frac{\omega^2 d}{g} + 0.532\right)\frac{\omega^2|z|}{g} + \left(0.012\frac{\omega^2 d}{g} - 0.072\right)\right) \quad \text{Baquerizo 及 Losada 模式} \quad (2.16)$$

而黃正欣等也提出自己的壓力轉換函數

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

並以壓力值 P 取代較不容易獲得的波高值 H

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

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

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

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

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

$$K_{PE} = \text{Exp}\left(-0.905 \frac{\omega^2 h}{g} \cdot \frac{|z|}{h} - 0.027\right) \quad \text{for } 0.1 \leq \frac{\omega^2 |z|}{g} \leq 5, \quad h/L \geq 0.07 \quad (2.20)$$

$$K_{PN} = \text{Exp}\left(-711 \frac{\omega^2 h}{g} \cdot \frac{|z|}{h} + 0.022\right) \quad \text{for } \frac{|z|}{h} = 0.9 \quad (2.21)$$

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

至於不規則波之壓力和水位間的轉換關係，可分為兩種不同的轉換方式，一種方式是將量測到的壓力，先求出壓力頻譜，再利用壓力轉換函數將壓力頻譜轉換為水位頻譜，邱、郭與簡(1993)即是以此種方法對不規則波做分析。另一種方式則是將量測到的壓力，利用線性壓力轉換函數或邱、郭與簡(1993)之經驗公式轉換為水位，再由轉換得到

的水位，求出水位頻譜，此方式所得之水位頻譜在高頻處會有急遽放大的不合理現象，因此轉換公式的頻率適用上限是一個重要的因子，而且必須適當的決定。另對於不規則波之轉換，Nielson(1986)提出局部波壓波形近似處理法(local approximation method)，係將局部波壓波形以正弦波形來描述，將求出之相對應局部頻率視為該點之頻率，再應用線性波理論加以轉換；張(1995)提出前後週期平均法，對轉換函數的頻率做一上限，再代入線性反應函數或經驗轉換函數加以轉換。

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

2.3 頻譜轉換

波浪能量譜可以由壓力譜得到

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

其中， f 為頻率； $S_{\eta\eta}$ 為波譜； S_{pp} 為壓力譜； K_p 為正確的壓力轉換函數，例如 K_{pL} 、 K_{pN} 、 K_{pC} 、 K_{pE} 中的任何一個。Bergan et al.(1968)根據試驗室的資料發現利用線性壓力轉換函數所得的轉換頻譜與波譜相當接近。Esteva and Harris(1970) 根據現場的資料也指出有同樣的情形。Lee and Wang(1984)也同樣地指出線性轉換函數在能量守恆的範圍內有很好的表現，但是在低頻部分有低估能量而高頻部分則有高估的情形。

由於沒水式波高計的壓力轉換函數受到水深增幅的影響而有隨著頻率增加而減小的情形，壓力譜的高頻的成分可能太小甚至因壓力計的解析度或精確度的極限，以及儀器本身的電子或數值上的雜訊干擾

(noise)而完全漏失，Lee and Wang(1984)建議依據下式從高頻成分中完全移除雜訊部分

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

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

$$S_{pp}(f) = 0; \quad f \geq f_c \quad (2.24)$$

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

其他的雜訊修正技巧討論如下：

(1) 根據解析度或精確度的雜訊修正

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

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

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

$$S_{ppn}(f) = 0; \quad S_{ppn}(f) \leq S_{ppl} \quad (2.26)$$

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

(2) 根據最大頻譜振幅的雜訊修正

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

$$S_{ppn}(f) = 0; \quad S_{ppn}(f) \leq R \cdot S_{ppm} \quad (2.27)$$

假如 R 值較小則相對的切斷頻率 f_c 將會較高。

(3) 根據最小轉換函數值的雜訊修正

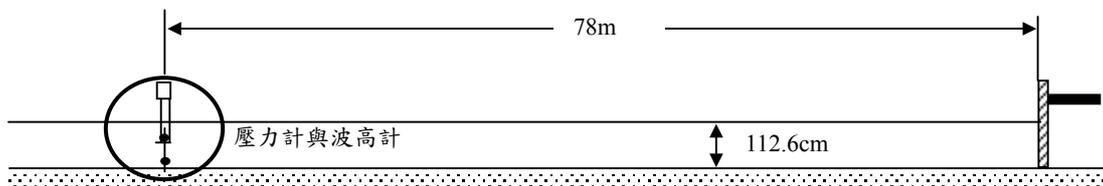
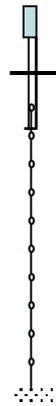
除了式(2.27)以外，我們也可以在高頻部分設定一最小轉換函數

$$K_p(f) = K_p(f_c); \quad S_{ppn}(f) \leq R \cdot S_{ppm} \quad (2.28)$$

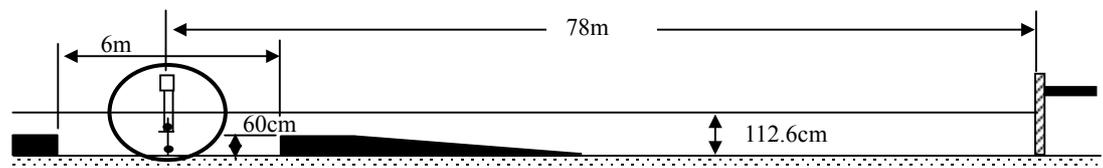
式中， K_p 為正確的壓力轉換函數。這種方式等於是對轉換頻譜在切斷頻率 f_c 以上的部分進行平滑化的處理。

2.4 斷面水槽模型試驗之水面波動與水下波壓資料的分析

依據本計畫團隊與港研中心於西元2003年合作在中心的風洞實驗室中所進行有關壓力與水面波動轉換關係的試驗研究，試驗地形如圖2.1所示包含等深地形及凹陷地形兩種，除了在水面上設置容量式波高計(編號為 W_0)外，也在同一點的不同深度處(12.6 cm 至 92.6 cm 每間隔10 cm 一個，原點設在靜水面上， Z 軸以向下為正)設置了9個壓力頭(由上而下分別編號為 $P_1 \sim P_9$)。相關的造波條件如表2.1所示。從線性波理論而言，所試驗的波浪中，週期1秒的波浪在本試驗水深中屬於深水波，而其餘三種波浪週期皆屬於中間性波。



(a) 波浪通過等深地形的斷面模型



壓力計與波高計

(b) 波浪通過凹陷砂槽的斷面模型

圖 2.1 壓力與水位轉換水工試驗的斷面模型

表 2.1 斷面試驗造波條件

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

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

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

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

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

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

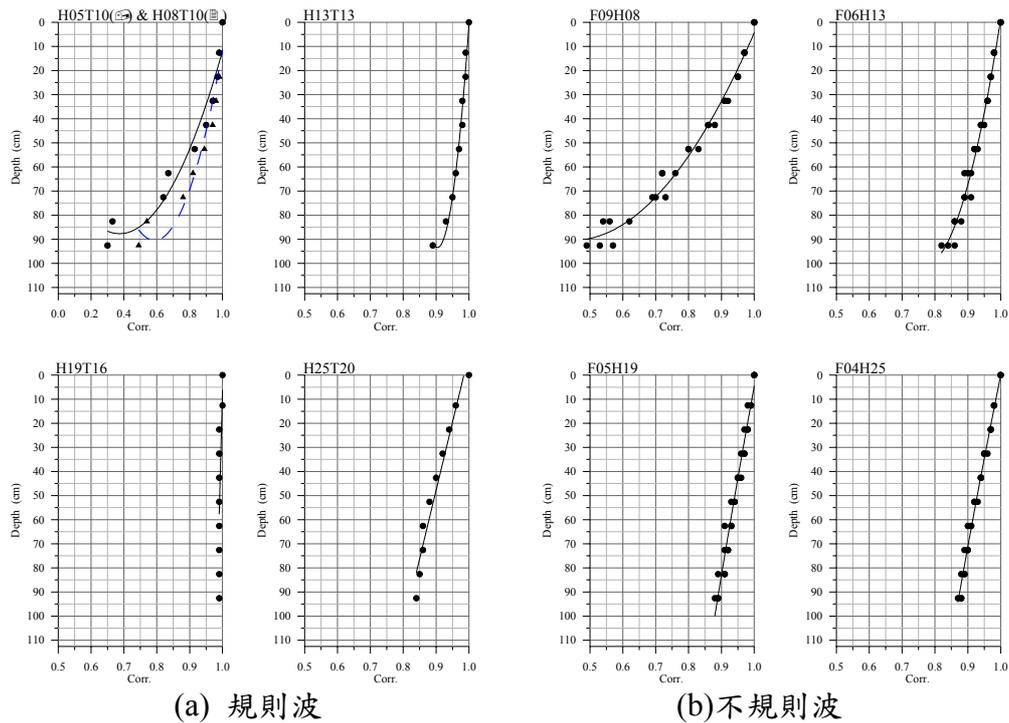


圖 2.2 波浪通過凹陷地形時水面波形與水中壓力波形間相關係數的水深變化圖

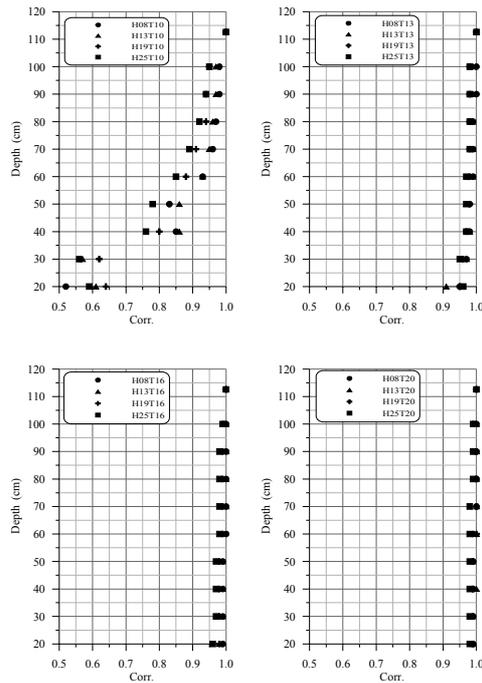
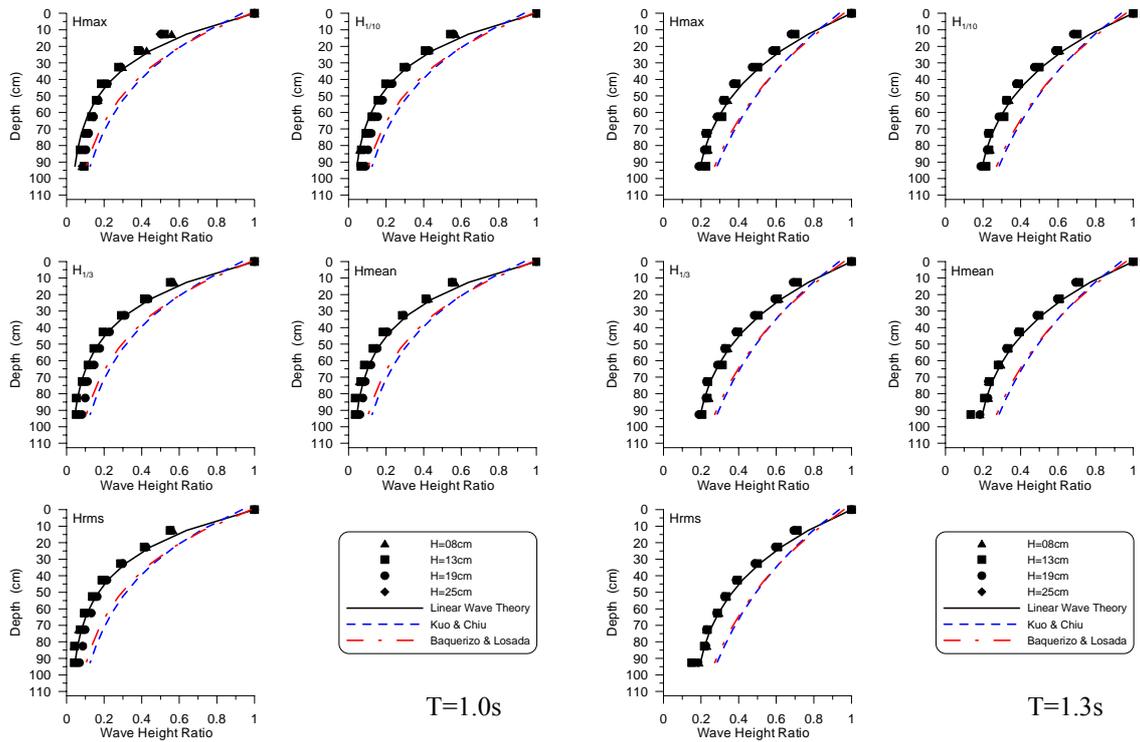


圖 2.3 波浪通過等深地形時水面波形與水下壓力波形間相關係數的水深變化圖



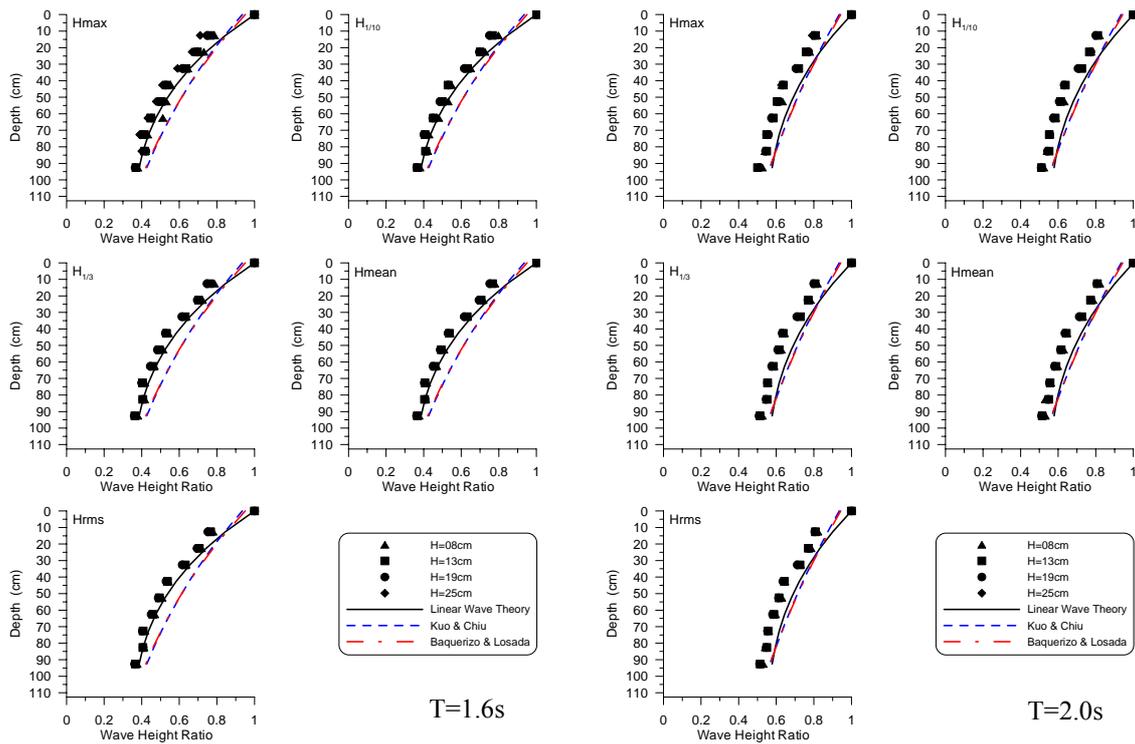
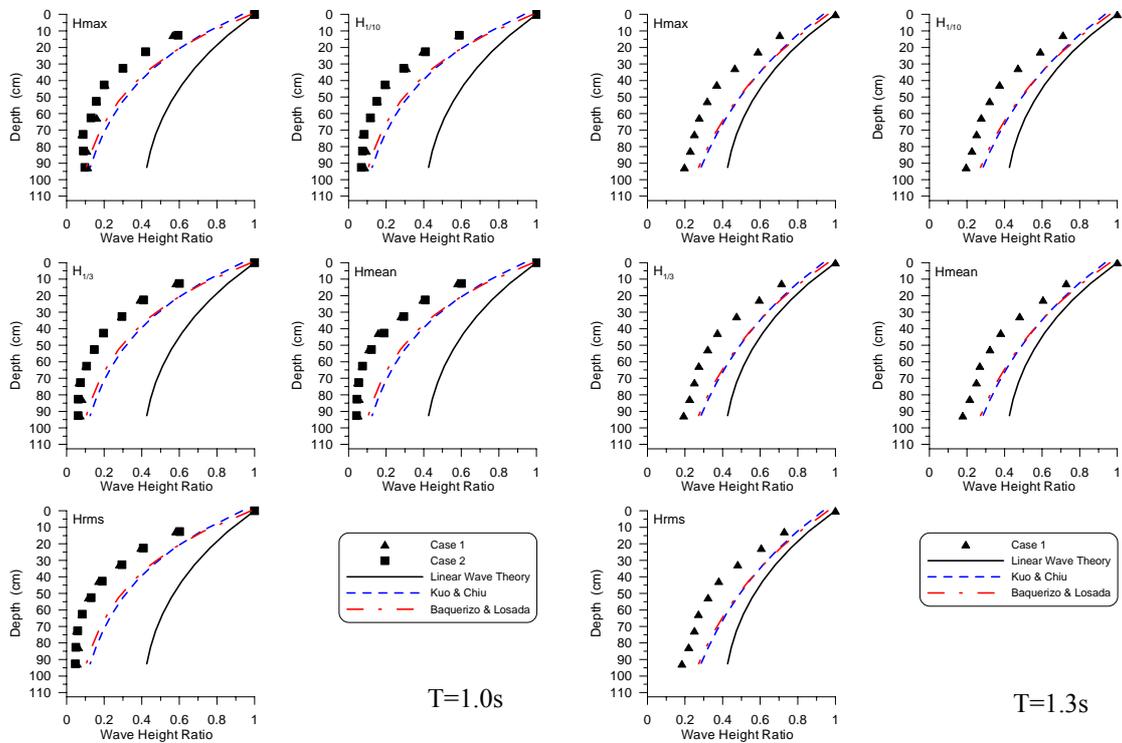


圖 2.4 規則波通過等深地形之波高比值沿水深變化圖



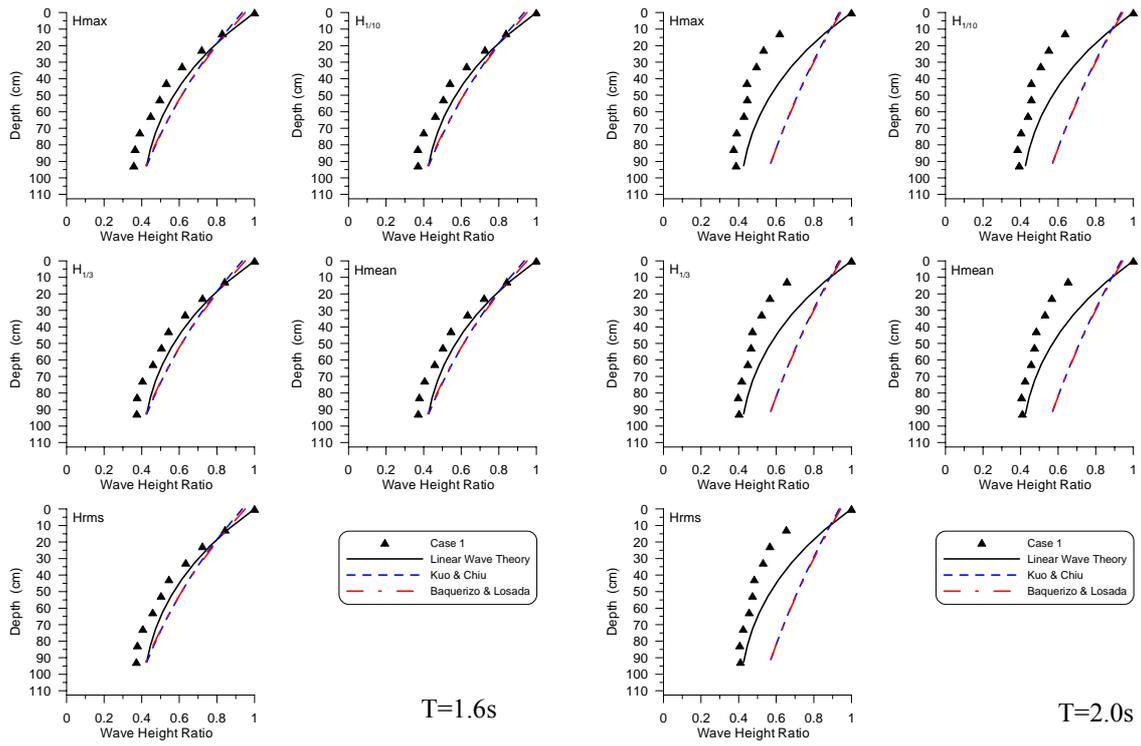


圖 2.5 規則波通過凹陷地形之波高比值沿水深變化圖

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

在第一年度的分析中，顯示波動下的水壓力傳遞可能尚有其他機制，例如水粒子的運動所造成的局部性流速，而非一般在流體力學中所認定的 $p=\gamma(h+\eta)$ ， h 及 η 係指某一垂直方向的高度值，純粹以(非水平面)靜水壓的形式來計算，如圖 2.6 所示。壓力有隨水深重新分佈組合的情形。

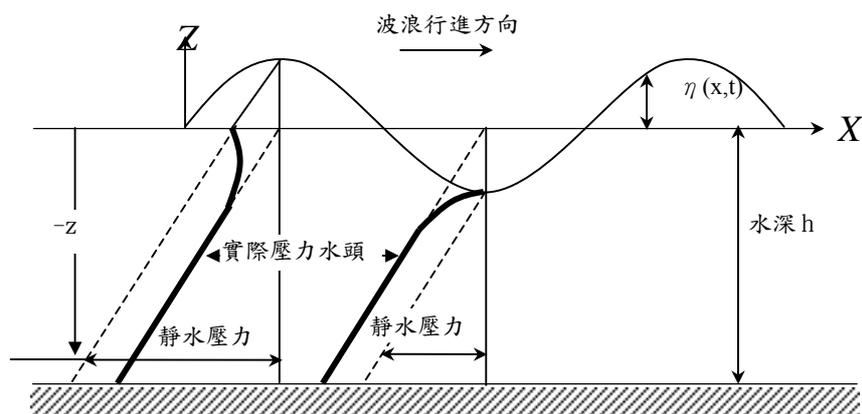


圖 2.6 波峰與波谷之垂直波壓分布

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

本年度進一步分析相關的資料，圖 2.7 至圖 2.22 為如表 2.1 所示之造波條件下各相關係數與水深之關係圖。各圖中包含(a)係數 a ；(b)波形尖銳度 (H/L) ；(c)壓力水頭轉換波高 $(H_{pressure})$ 與實測波高 (H_{wave}) 比值；(d)壓力轉換函數等關係圖。其中，圖(c)與圖(d)不同的地方是圖(c)是以零上切方式判讀實測與波壓轉換的水面波動之個別波高，並求其比值，而圖(d)則是以水面波動與壓力波動訊號的比值來討論。

假設在線性波理論的壓力與水面的轉換關係中，除了轉換函數外，還有一個常係數值 a 。也就是

$$p = a \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \eta \quad (2.28)$$

因此，如令

$$Kp = \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (2.29)$$

可得

$$a = \frac{p}{Kp\eta} = \frac{H_{pressure}}{H_{wave}} \quad (2.30)$$

圖(a)之係數 a 係以零上切法對水面波動及壓力水頭時間序列進行判讀之個別波壓力轉換波高 $(H_{pressure})$ 及波高 (H_{wave}) 之比值；圖(c)則是以 $H_{pressure}$ 及 H_{wave} 之代表波 $(1/10、1/3、mean 及 rms)$ 之比值。從各圖之(a)可

發現係數 a 並非為一常數，而且水深愈深其比值愈大，顯示線性波理論之水粒子運動的型態與實際波動仍有差距。圖(b)之波形尖銳度亦可發現 H_{wave}/L 均大於 $H_{pressure}/L$ ，但週期較長之波動其差異性較小，此一現象意謂著波浪的非線性對壓力的傳遞有影響，波形尖銳度會隨著水深的加深而變小，也就是代表水面的波動非線性會隨著水深的加深而線性化。圖(c)的以 $H_{pressure}$ 及 H_{wave} 之代表波之比值隨水深的變化亦明白顯示水深較深處 $H_{pressure}$ 及 H_{wave} 的差異性加大。圖(d)則顯示線性波理論的壓力轉換函數與實際之壓力水頭與水面波形的關係仍有差異，尤其是較大水深處。

為瞭解波動與波壓轉換函數的變化情形，圖 2.23 至圖 2.26 分別顯示凹陷地形與等深地形模型試驗中各造波條件下不同水深處的壓力轉換函數 K_p 的變化情形。圖 2.23 及圖 2.25 分別為凹陷地形與等深地形模型試驗中的 K_p 分佈曲線(histogram)，圖中顯示 K_p 值並非為一定值，其值隨波高的增加而增大。與波浪週期的關係則是在等深地形中隨著週期的加長， K_p 分佈更趨集中；但在凹陷地形中則在隨著週期的加長， K_p 分佈更趨分散。此一現象顯示地形對轉換函數有明顯影響。圖 2.24 及圖 2.26 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，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。

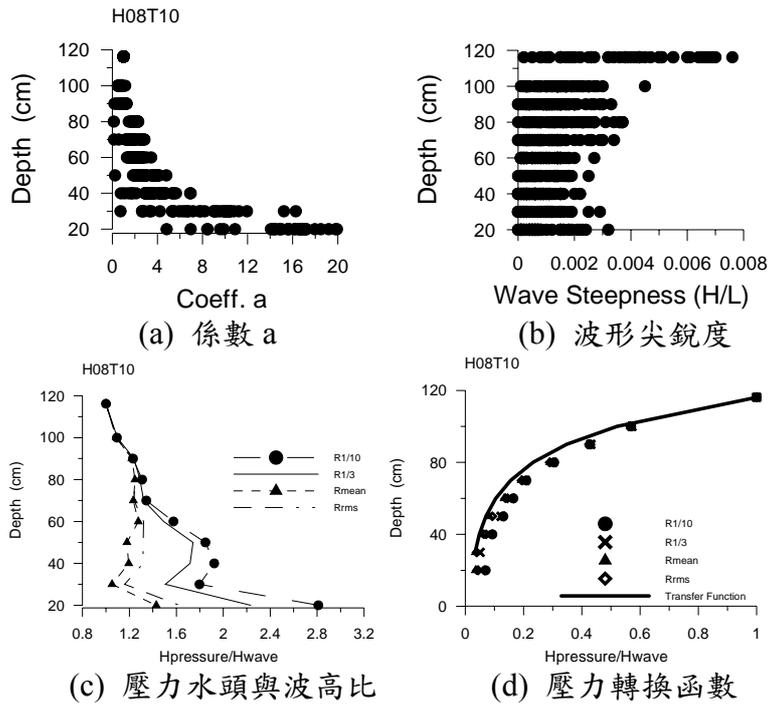


圖 2.7 各相關係數與水深之關係圖(H08T10)

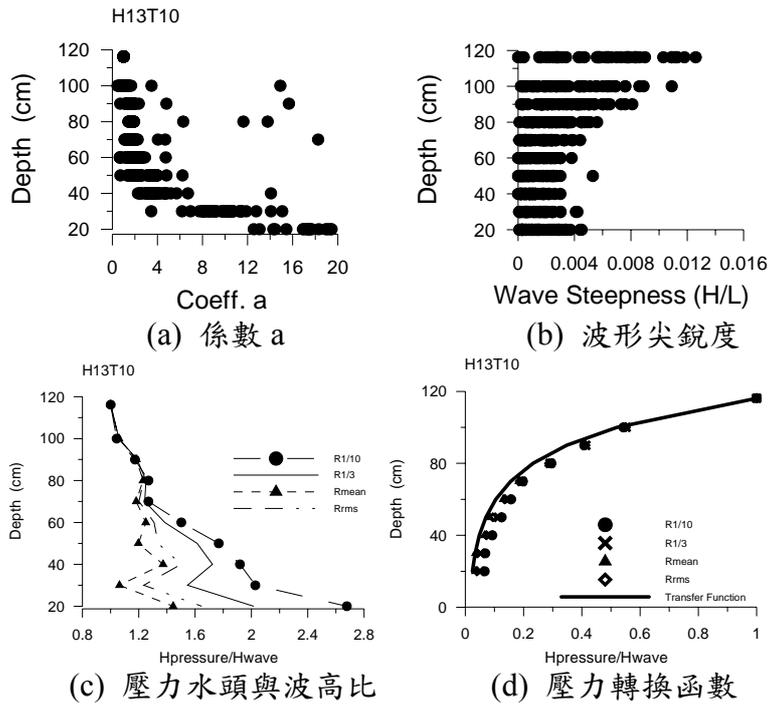


圖 2.8 各相關係數與水深之關係圖(H13T10)

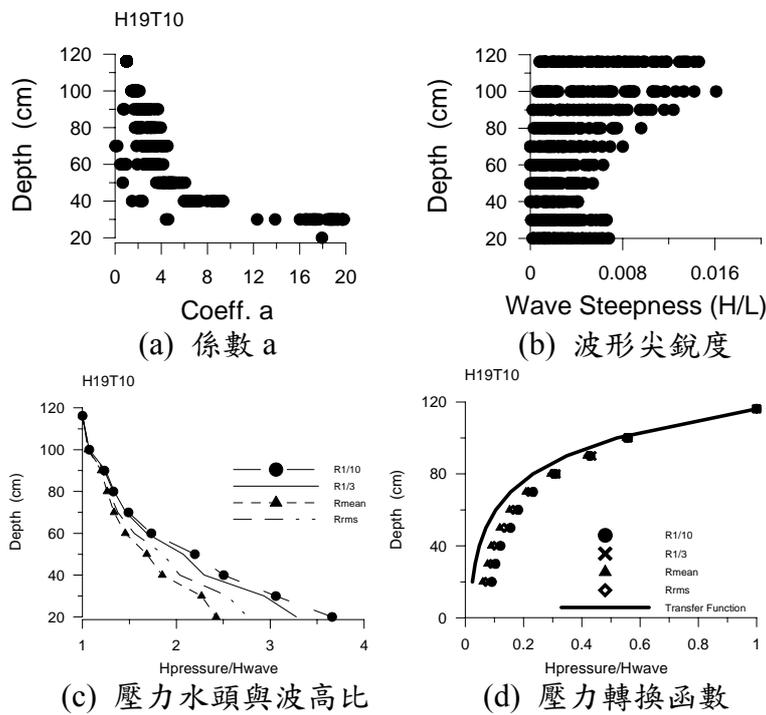


圖 2.9 各相關係數與水深之關係圖(H19T10)

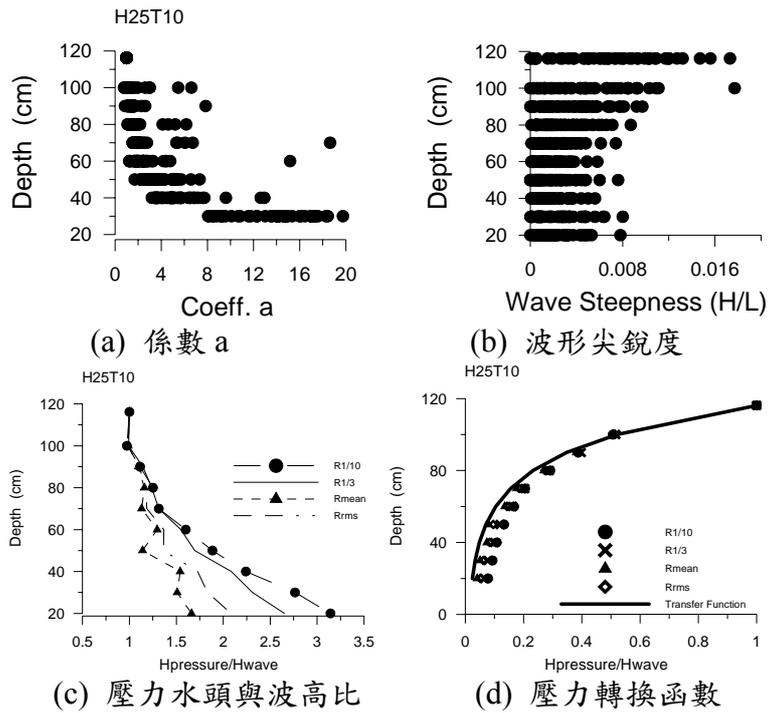


圖 2.10 各相關係數與水深之關係圖(H25T10)

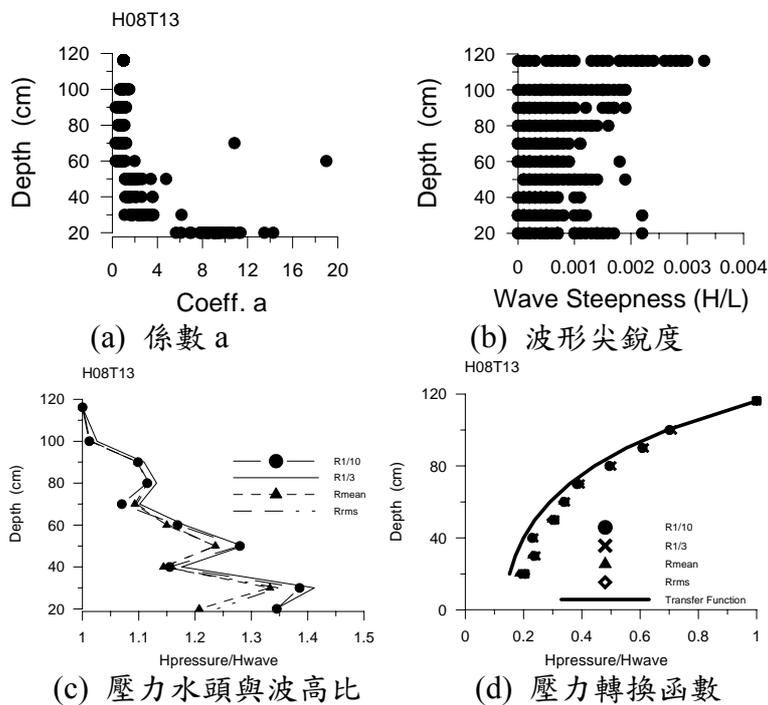


圖 2.11 各相關係數與水深之關係圖(H08T13)

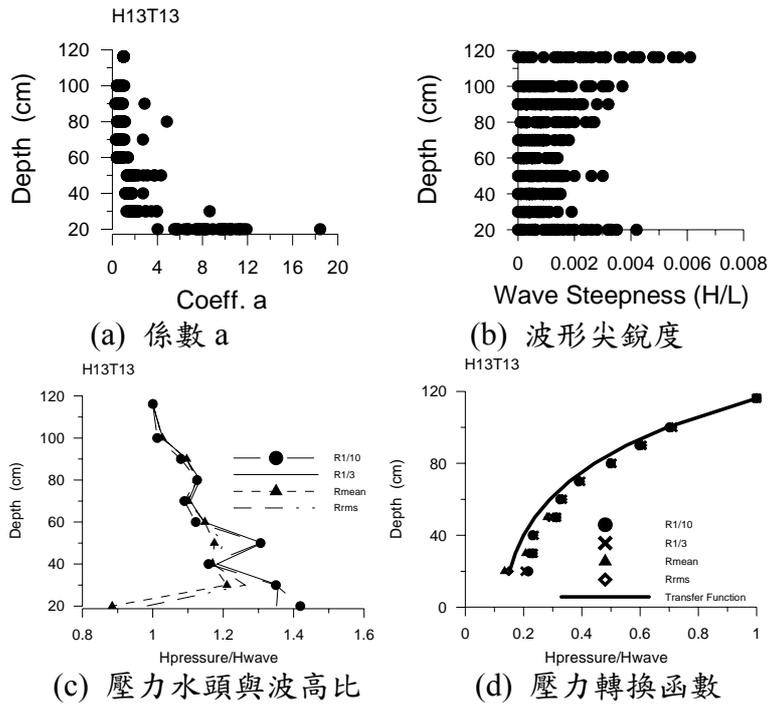


圖 2.12 各相關係數與水深之關係圖(H13T13)

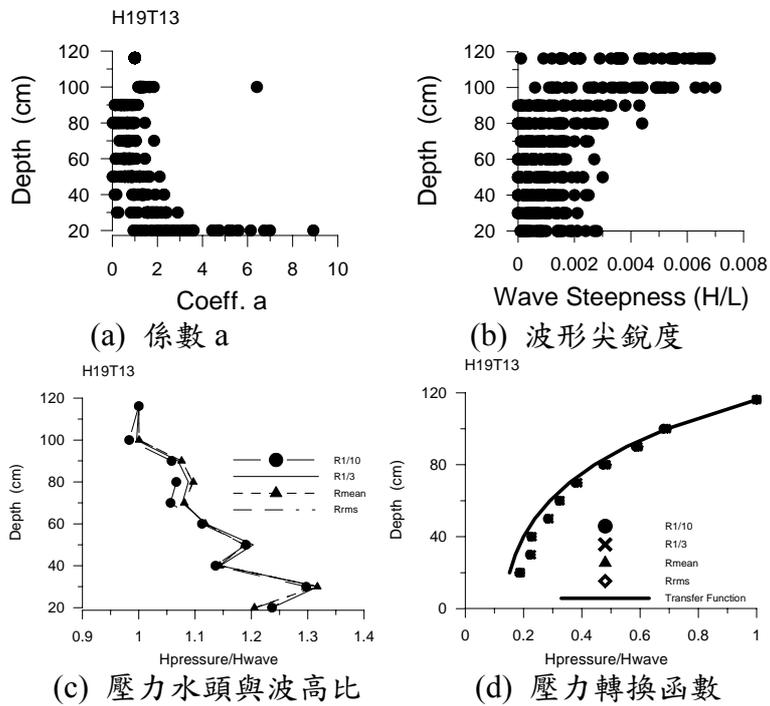


圖 2.13 各相關係數與水深之關係圖(H19T13)

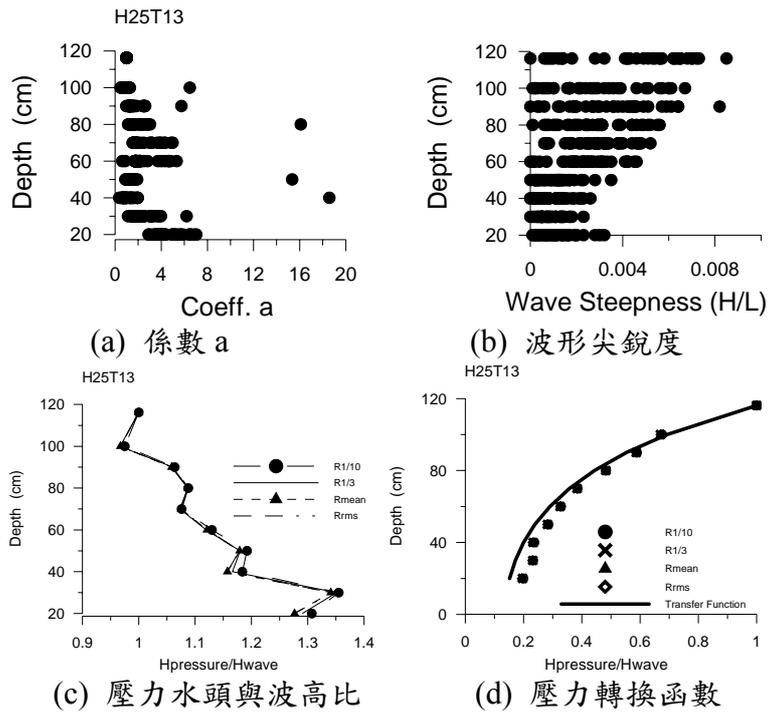


圖 2.14 各相關係數與水深之關係圖(H25T13)

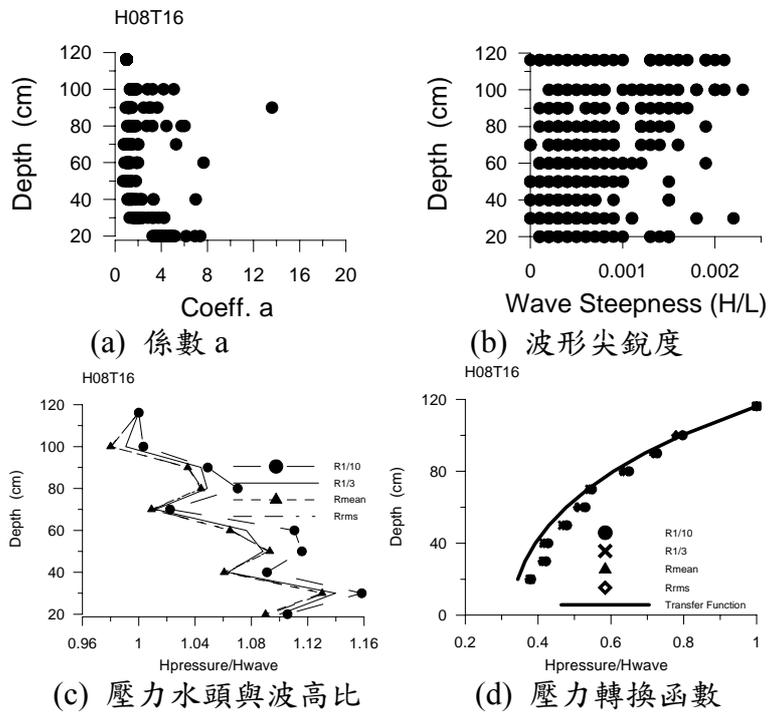


圖 2.15 各相關係數與水深之關係圖(H08T16)

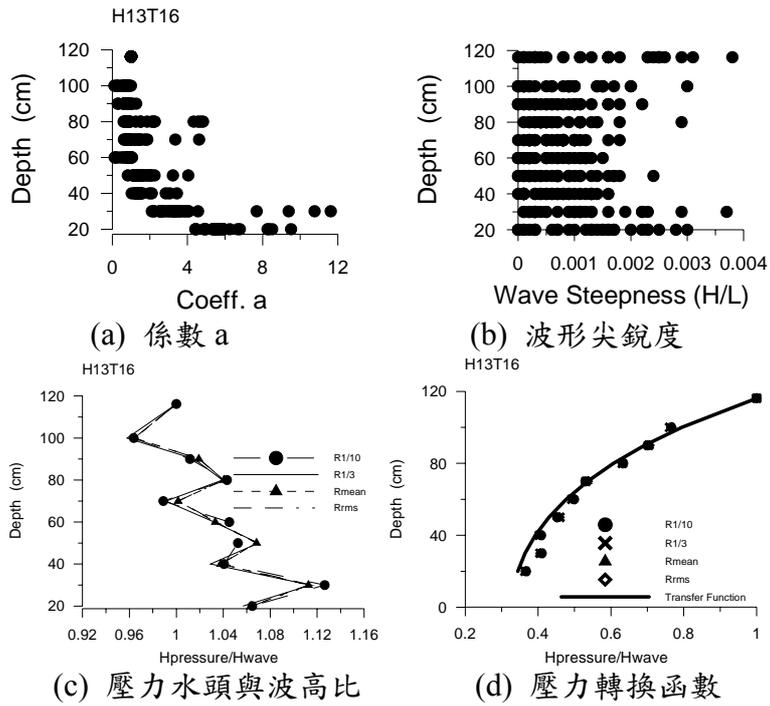


圖 2.16 各相關係數與水深之關係圖(H13T16)

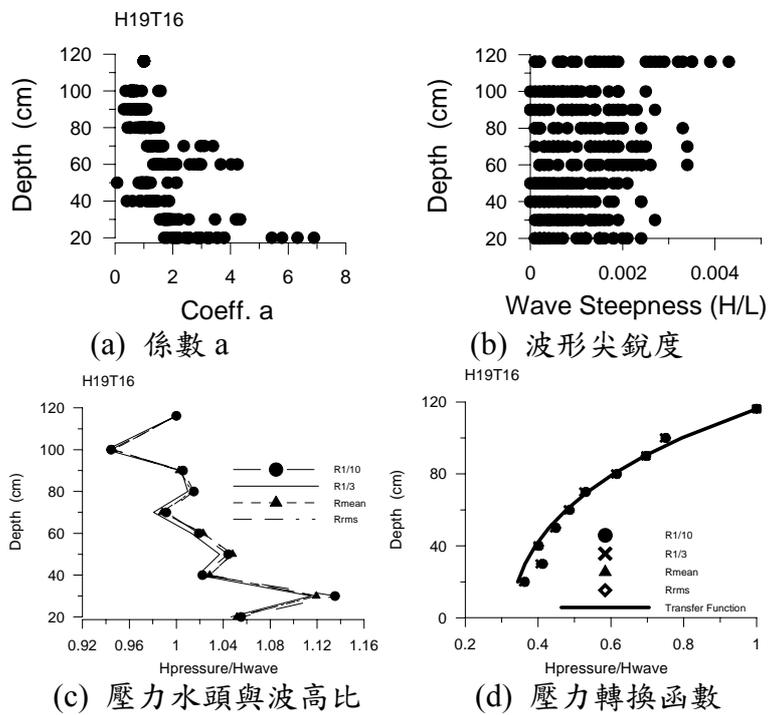


圖 2.17 各相關係數與水深之關係圖(H19T16)

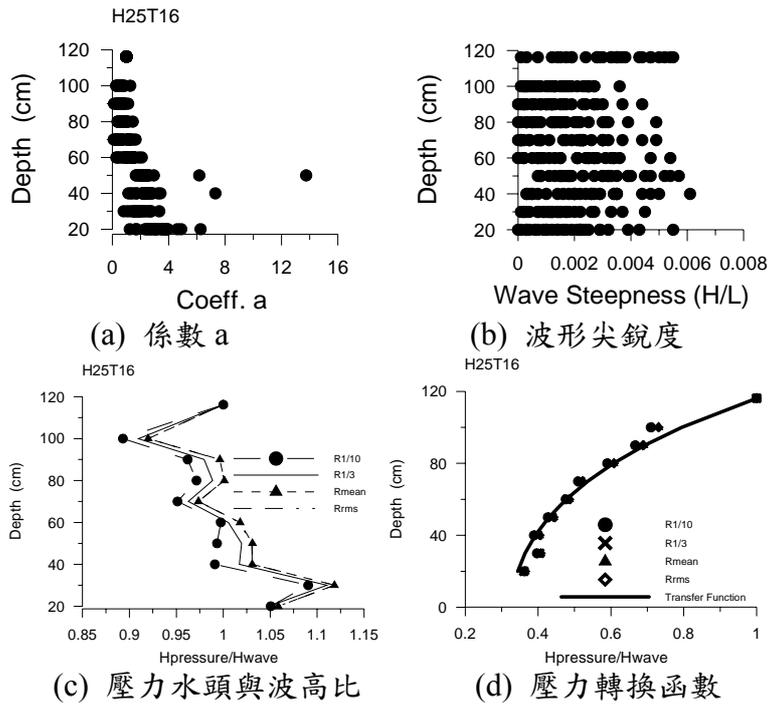


圖 2.18 各相關係數與水深之關係圖(H25T16)

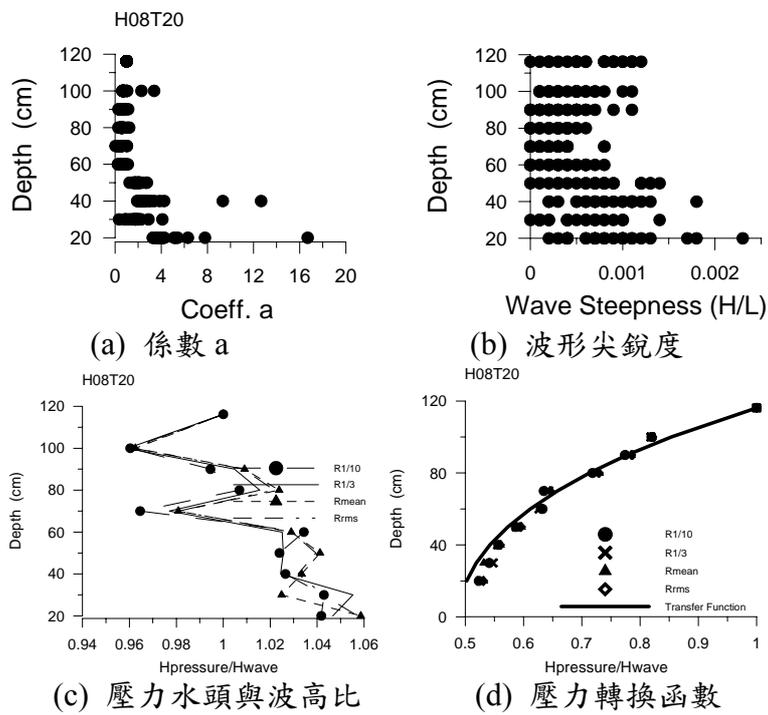


圖 2.19 各相關係數與水深之關係圖(H08T20)

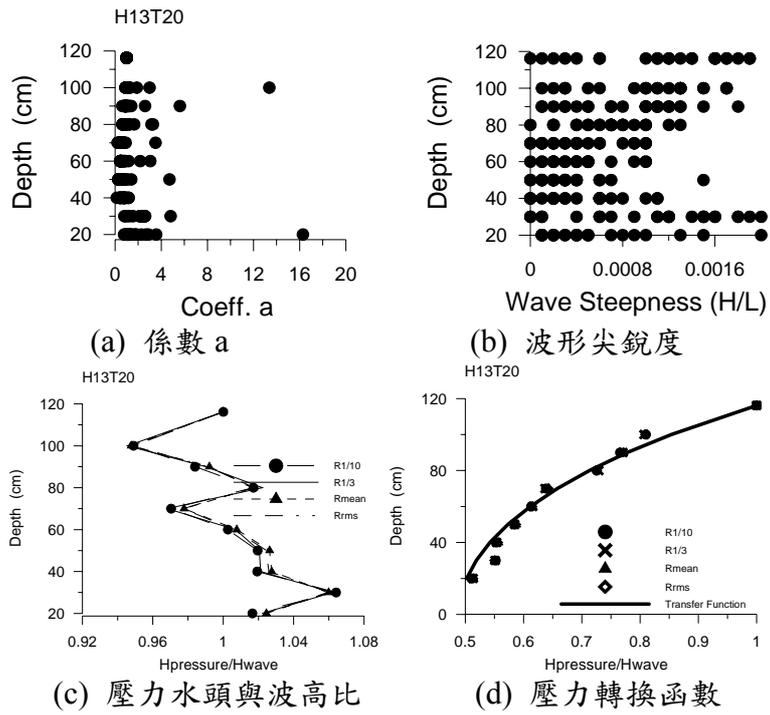


圖 2.20 各相關係數與水深之關係圖(H13T20)

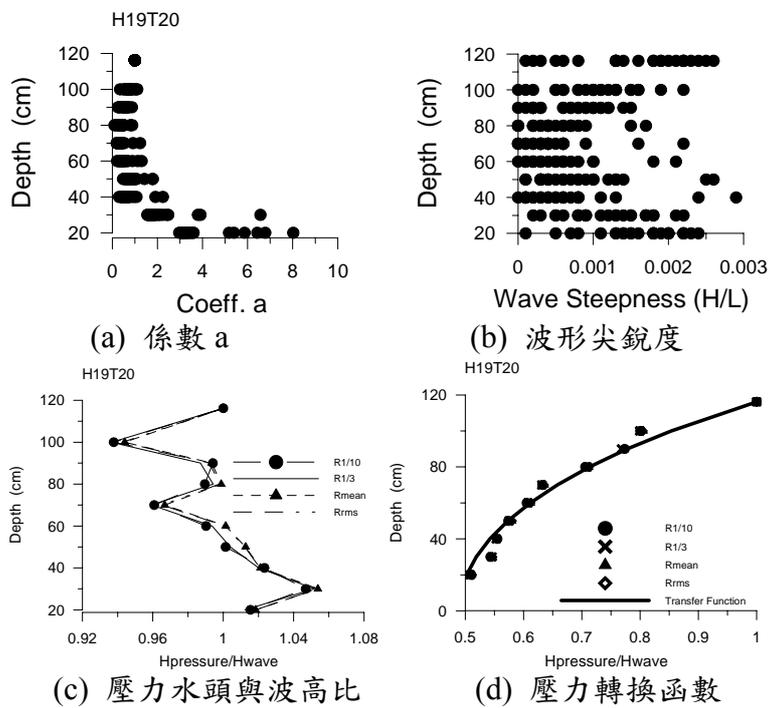


圖 2.21 各相關係數與水深之關係圖(H19T20)

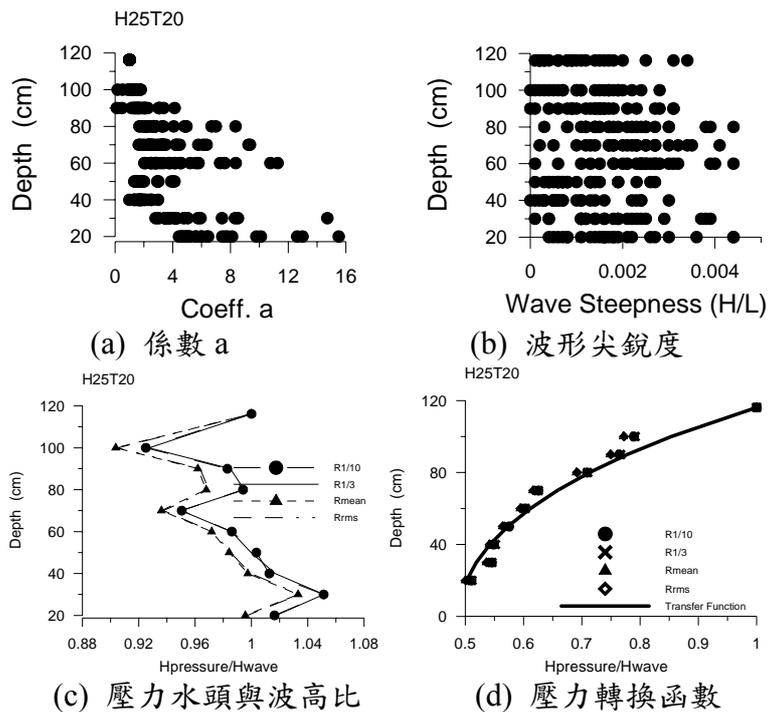


圖 2.22 各相關係數與水深之關係圖(H25T20)

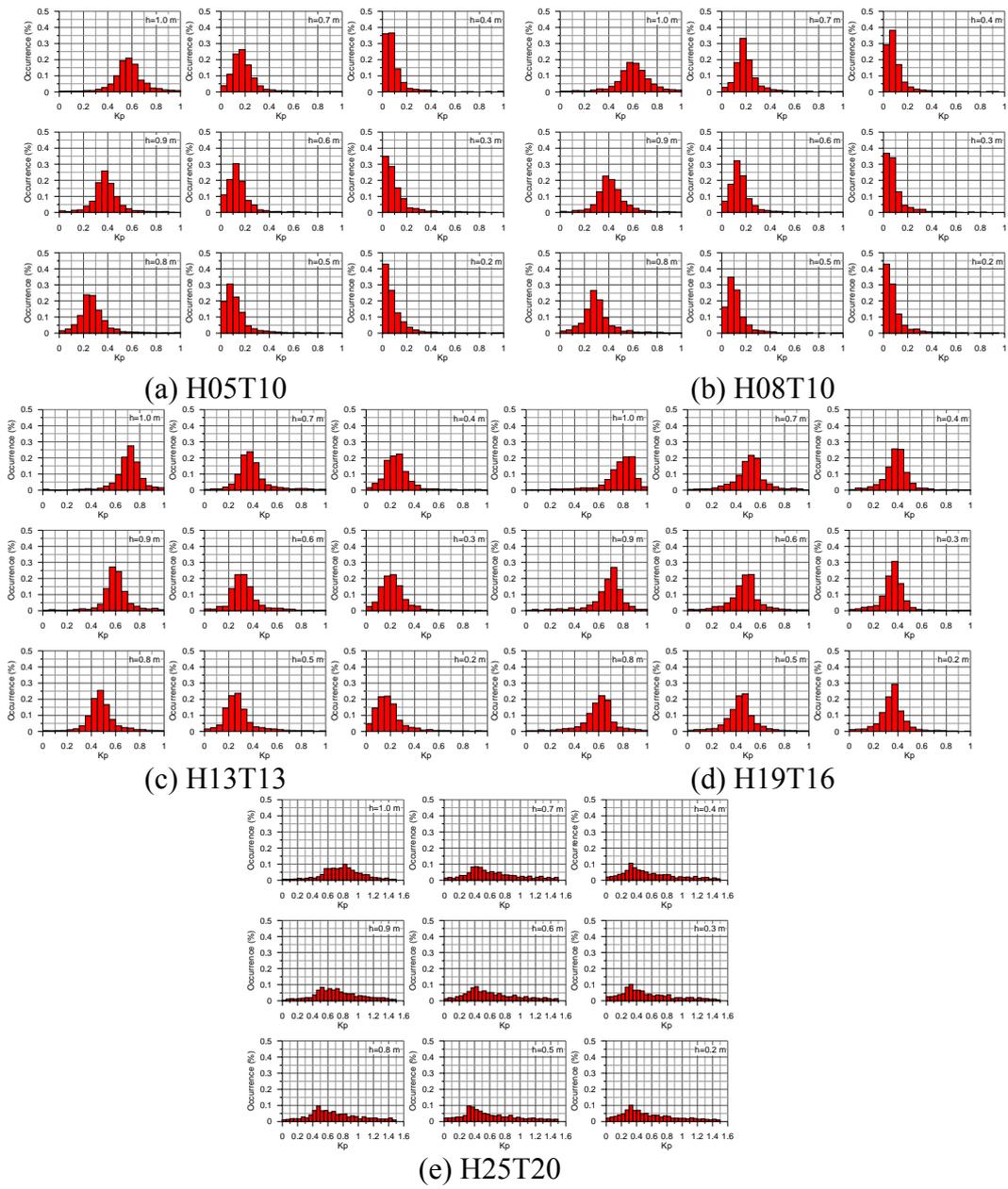
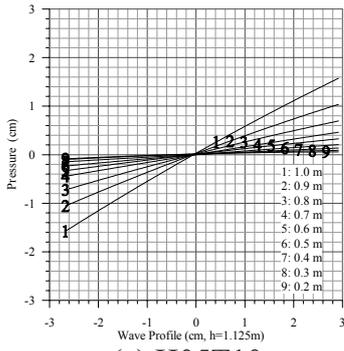
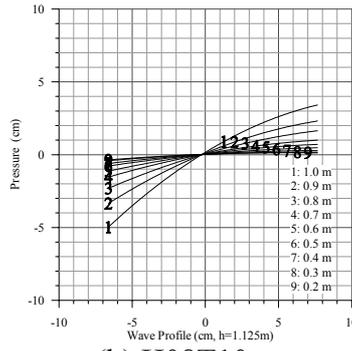


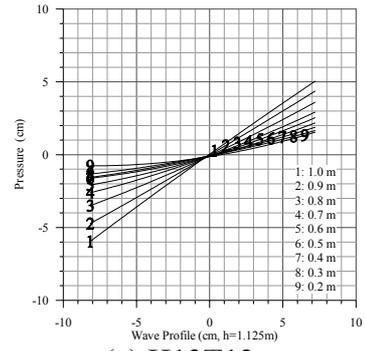
圖 2.23 凹陷地形中水位波壓轉換函數的出現機率分佈圖



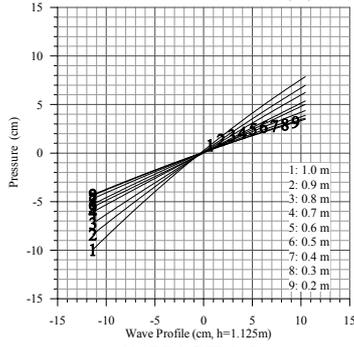
(a) H05T10



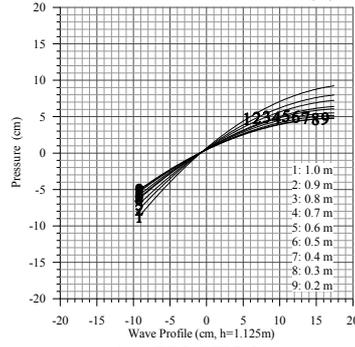
(b) H08T10



(c) H13T13



(d) H19T16



(e) H25T20

圖 2.24 凹陷地形中水位與波壓的相關性

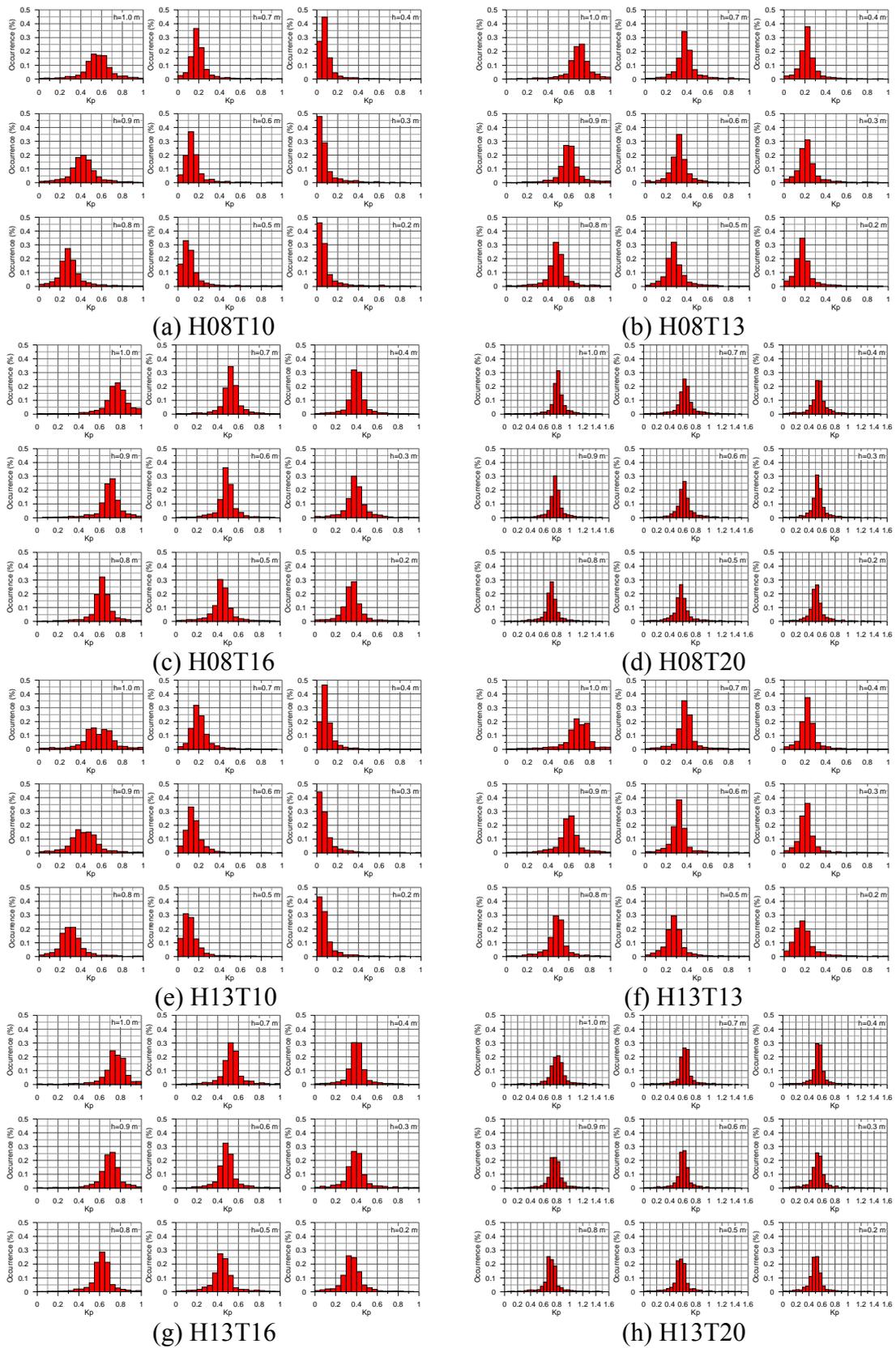


圖 2.25 等深地形中水位波壓轉換函數的出現機率分佈圖

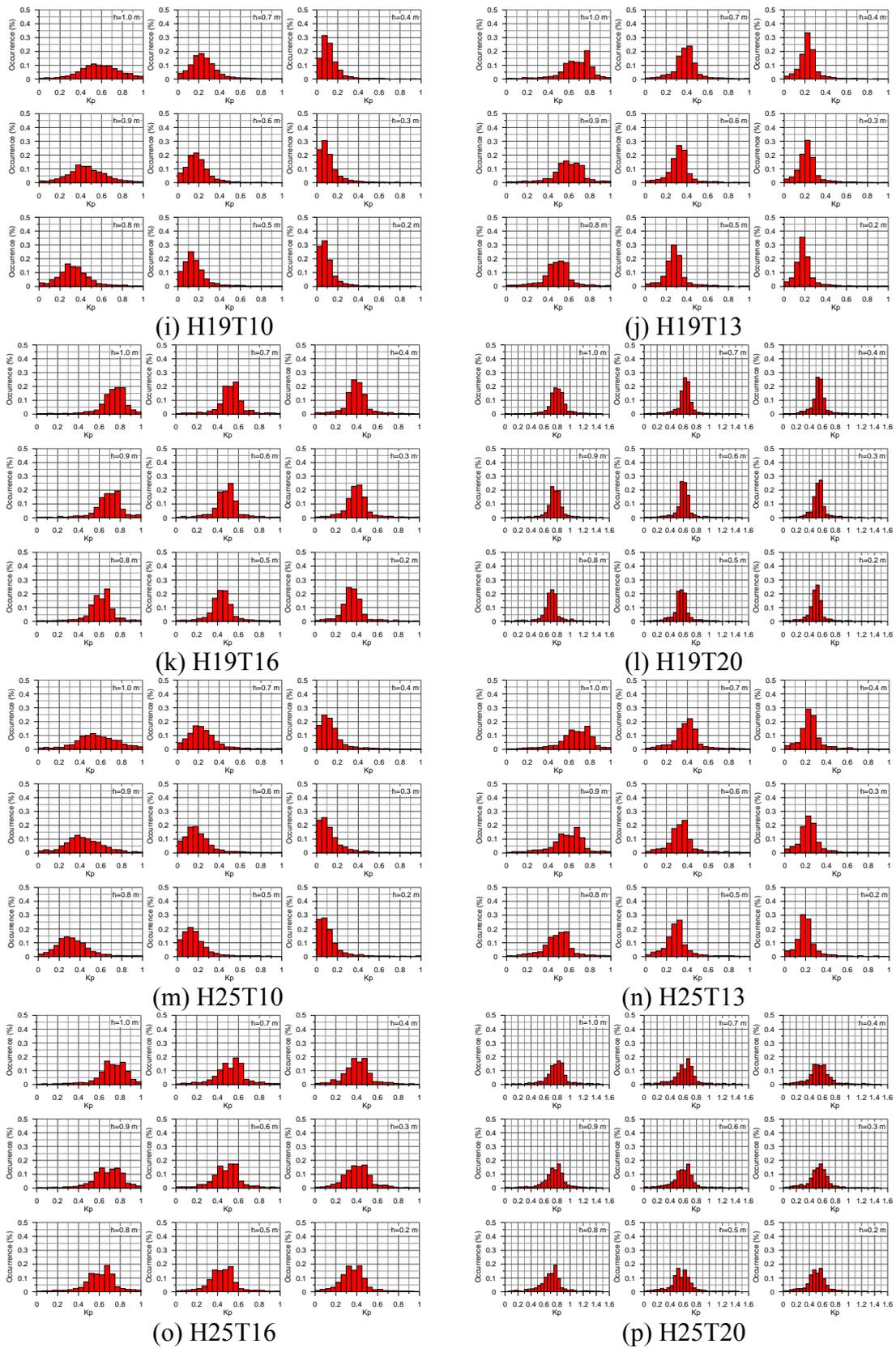


圖 2.25(續) 等深地形中水位波壓轉換函數的出現機率分佈圖

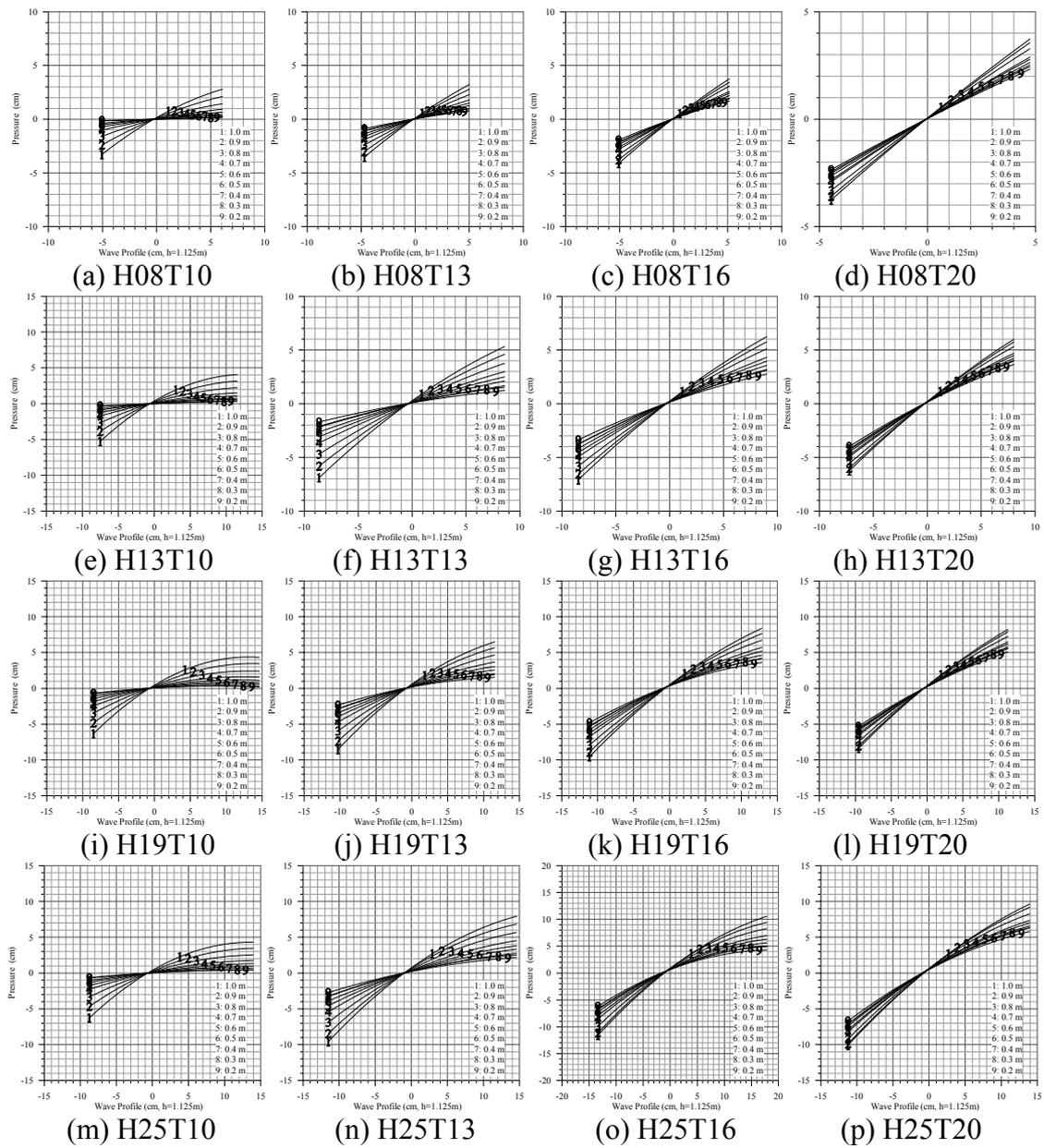


圖 2.26 等深地形中水位與波壓的相關性

第三章 現場波浪觀測資料的統計與分析

為了瞭解花蓮港港內的長週期振盪，本計畫曾於上一年度(94 年 4 月)起在外港、受限航道及內港分別設置水位觀測站，進行長時間的連續性水位觀測。在觀測初期取樣週期設定 6 秒，但因為儀器本身的記憶容量有限，為能擷取較長時間的水位資料，後來改為 15 秒。在初步分析中，三個水位觀測站均觀測到長週期的振盪成分。然而由於觀測資料所涵蓋的時間不足一年，而且僅限於港內的觀測，因此對於該長週期的振盪尚無法確認其來源，本年度繼續擴大進行相關的觀測。

3.1 花蓮港內長週期成分波動的統計分析

根據港研中心所提供的西元 2000/9/6 至 2000/10/11 間的現場波浪觀測資料，該資料係每一個小時中以 2 Hz 取樣頻率連續取樣 2400 個資料點(也就是 20 分鐘)，8 個港內波高觀測站的位置如圖 3.1 所示。在該時期中只有 9/8~9/10 期間有寶發颱風過境台灣東部海域(如圖 3.2 所示)。圖 3.3 為各個測站的頻譜能量(m_0)時序圖，圖 3.4 則是將各次取樣的頻譜能量依不同的週期間隔累計該區間的波浪能量比例的波浪能量堆疊圖，Y 軸的 Occurrence 即是各成分波區間所佔總能量的比例。圖 3.3 中可發現內港水域各個測站在颱風時期的累積波動能量至少是外港水域的五分之一以上，顯示花蓮港的波動特性，與港內消波功能的不良。圖 3.4 中也可以看到在常時波浪中，花蓮港港內的長週期的振盪成份始終佔有很大的比例，而在颱風波浪時則長週期能量的比例反而較低。從測站 2 的能量比例分佈可以發現在颱風波浪作用時期外港水域除了有大比例的一般風波外，在 100 至 200 秒間也有較大的量，而 500 秒以上的長週期波動部份則佔相當少的比例。但是從聯絡水道至內港水域部分則發現所有的長週期波動都顯著地增加，而且 500 秒以上的長週期波動部份佔據了 50% 以上的波動能量。圖 3.5 為測站 8 各個成分波區間的能量比例變化時序圖，圖中可以明確看出內港水域除了 30

至 90 秒、以及 120 至 180 秒間的波動在颱風波浪時期有較大的能量外，幾乎整個觀測時期都有大比例的 500 秒以上的能量。由於現場波浪觀測的取樣時間是依照一般的慣例以 2 Hz 取樣頻率連續取樣 20 分鐘，在資料分析時僅能以 2048 個資料點進行相關的頻譜分析，導致可解析的最長週期為 1024 秒，因此我們只能曉得有大量的能量集中在長週期的部分，但是無法辨識其實際的週期。然而，此一現象顯示花蓮港港內的長週期波動除了一百多秒的振盪週期以外，可能還有其他更長週期的波動的問題。此外，依據過去的數值模擬研究可以確認一百多秒的振盪屬於花蓮港的自然共振週期，但是 500 秒上波動的來源則需要再進行更深廣的探討。

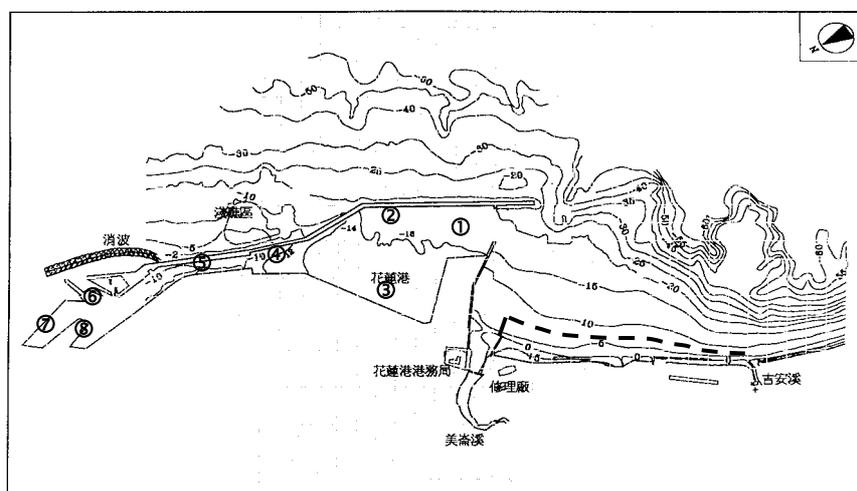


圖 3.1 花蓮港內波浪觀測站位置佈署圖

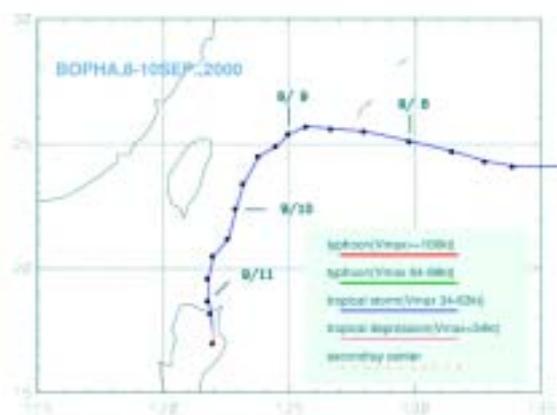


圖 3.2 寶發颱風路徑圖(西元 2000/9/6 至 2000/10/11)

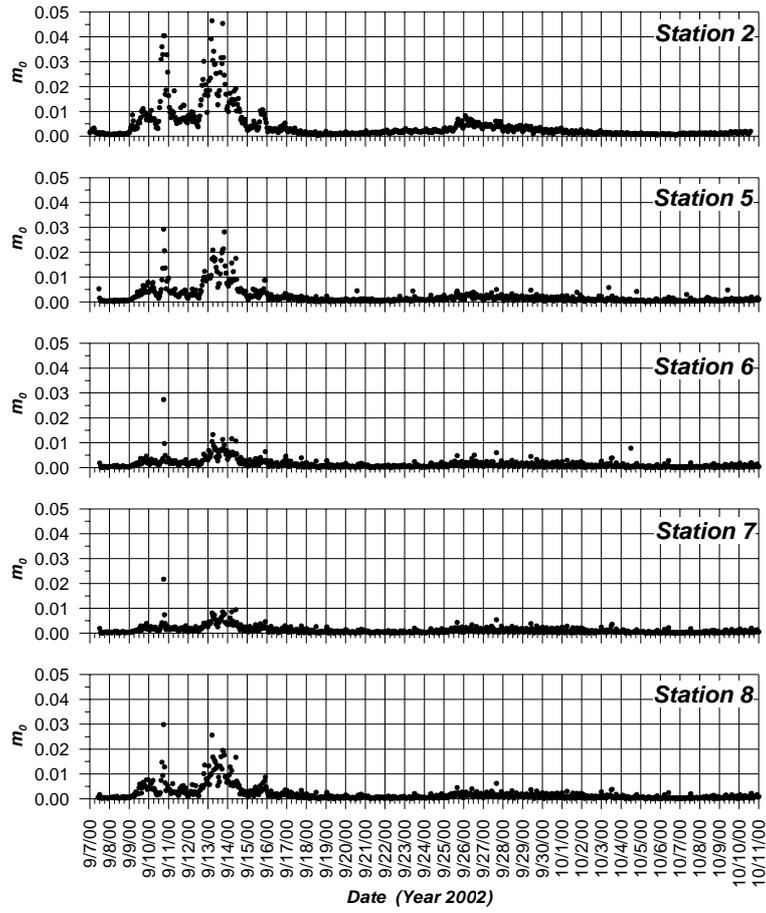


圖 3.3 各測站的頻譜能量(m_0)時序圖

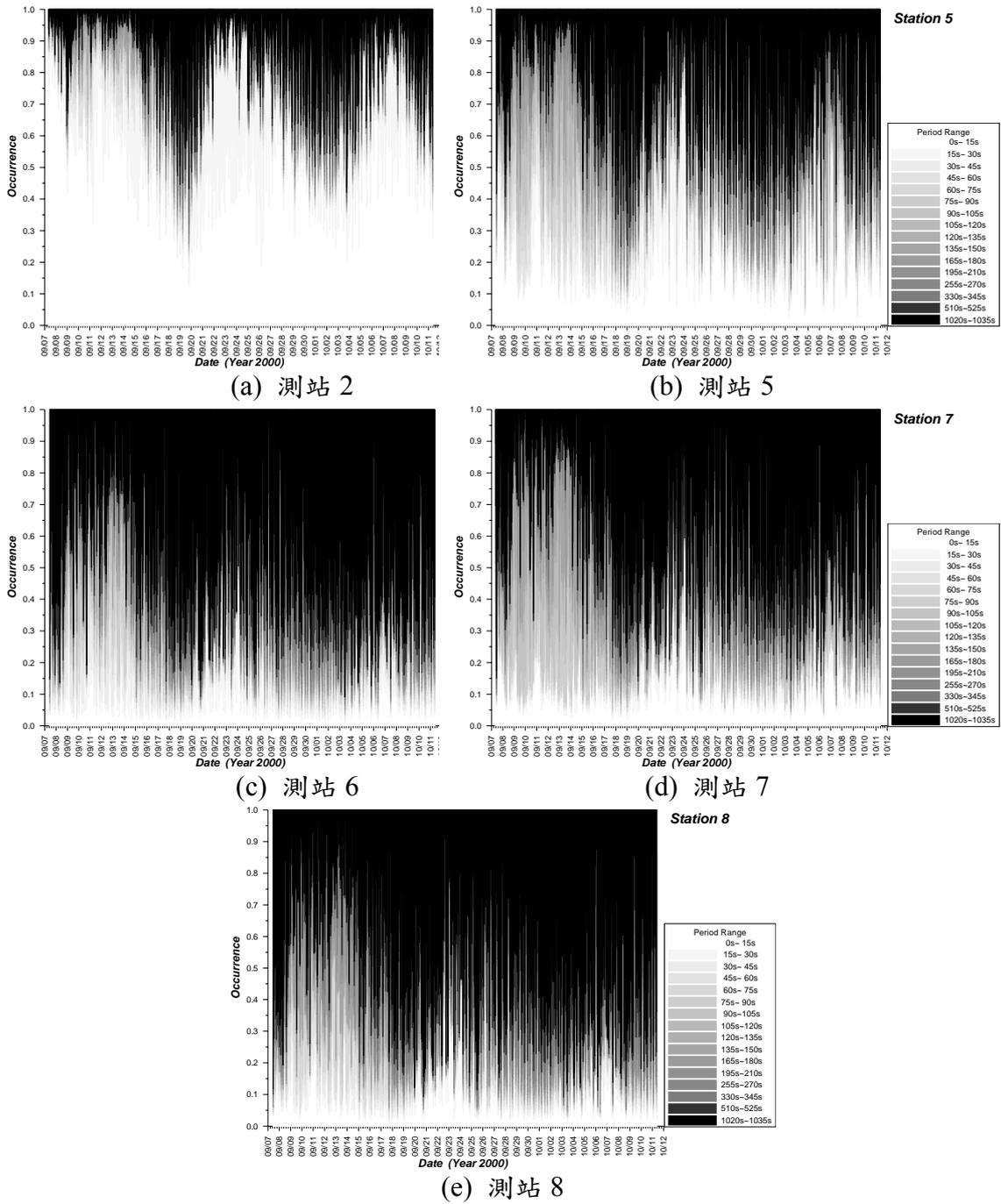


圖 3.4 港內波高的能量比值堆疊分布(西元 2000/9/6 至 2000/10/11)

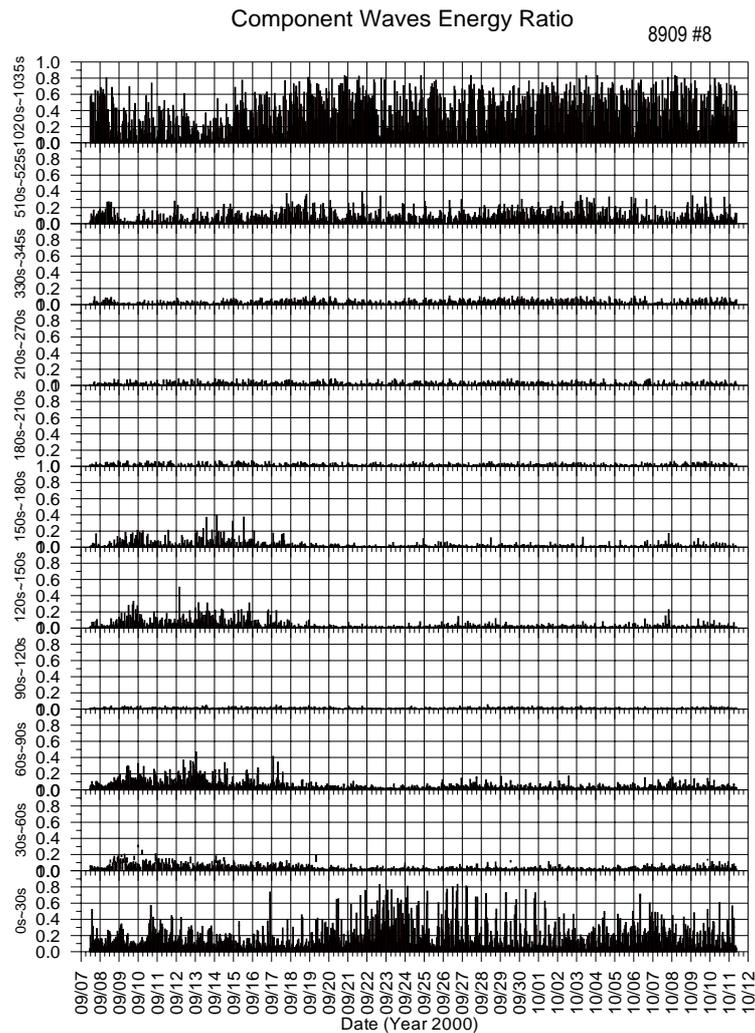


圖 3.5 測站 8 各成分波區間的能量分布比值(西元 2000/9/6 至 2000/10/11)

3.2 花蓮港內長週期波動的觀測

為了瞭解花蓮港內長週期波動成分，本計畫規劃了現場港內水位觀測計畫。所使用的潮位計係 Sea-Bird Electronics, Inc. 出品的 SBE 39 型無電纜線的壓力式潮位計(如照片 3.1 所示)，配合自行設計訂製的觀測架，組裝成簡易的潮位站進行潮位觀測。此式無電纜線潮位儀使用長方型 9V 乾電池為供電來源，當電池裝置後，先使用 RS 232 外接式電腦接續線，連接桌上型電腦或筆記型電腦進行潮位儀正確的日期、時間及觀測時間的間隔等調整，完成後放入自製的塑膠保護管內再以

繩索連結、投入已架設在碼頭岸壁上的潮位觀測架之不鏽鋼保護外管內即可進行潮位觀測。



(a) SBE 39 型壓力式



(b) 壓力感應頭



(c) RS 232 接續線

照片 3.1 現場觀測使用的潮位計

圖 3.6 所示是目前在花蓮港的港內水域配合實際環境所安裝的潮位站位置(以下討論分別以外港測站、中間水道測站及內港測站稱之)，照片 3.2 為潮位計的安裝情形。由於是採用乾電池自記式的潮位計，為了資料的安全性設計每隔約 15 天便取出潮位記下載資料、並重新設定後放回潮位站中繼續觀測。在進行現場水位觀測前，首先在波高計率定筒中進行水位的校定，並確認儀器本身是否有電子振盪訊號。圖 3.7 顯示 5 支潮位計在率定筒中以 6 秒的取樣週期對 0 m 至 5 m 每隔 1 m 水位進行約 40 分鐘的連續取樣的結果，由圖形曲線可以確認本研究所使用的潮位計相當穩定，而且沒有自身的振盪訊號。

圖 3.8 為第一次觀測時間序列，但也發現資料僅有西元 2005/4/5~2005/4/9 不到 5 天的資料，研判可能是所用的乾電池電力不足或者是記憶體容量不足所致。未來在確認港內的長週期波動狀況後，可能加大取樣時間間距以提升資料的長度。由於花蓮港的碼頭設消波效果不佳，使得港內的波動無法儘速消除，其中尤其是船行波的部分在某些水域可以達到約 1 公尺的水位變化。圖 3.9 係 4 月 5 日 0 時至 12 時的水位變化時間序列圖，從圖中可以看到與基隆港水位變化相類似的 20 分鐘長週期振盪，另外可能還有其他稍短的長週期振盪。但由於資料夾雜了太多雜訊，無法清楚辨別。後續將對資料進行濾波

後在進行相關分析與討論，另外也將和基隆港的觀測資料進行比較分析，並設法解釋此一約 20 分鐘長週期振盪的來源。

圖 3.10 至圖 3.12 為西元 2005/8/1 至 2005/8/10 的水位觀測分析資料，在該期間紀錄了瑪莎颱風的侵襲過程。圖 3.10 為瑪莎颱風的紀錄與行進路徑，表 3.1 為瑪莎颱風的颱風警報記錄。瑪莎颱風係於 8/3 至 8/7 之間。由鵝鑾鼻的外海以由東南向西北的方向通過台灣北部的外海。圖 3.11 係 10 天的水位變化時間序列圖，就整個侵襲過程來看，從圖中可明顯看到在 8/2 上午花蓮港便開始感受到颱風波浪與水位的變化，而開始有長週期的水位變化。其中，又以中間水道測站反應最強、外港測站次之、而內港測站最小。當瑪莎颱風在花蓮的東方外海時(8/3 中午至 8/4 中午)，港內的水位變動最大。而颱風中心通過花蓮的緯度向上行進後，水面的波動便開始減小，內港在 8/5 上午後便回復常時水位變化，但外港則一直到 8/9 才恢復正常。

圖 3.12 是 10 天的水位訊號經過低頻濾波後的分析頻譜，各圖中左欄是外港測站、中欄是中間水道測站、而右欄是內港測站，濾波的目的主要是想把潮汐波加以分離。從各圖中我們發現花蓮港的長週期振盪大約可以 0.0005Hz 及 0.002Hz 分成三個部分。外港水域介於 0.0005Hz 至 0.002Hz 間的波動明顯小於內港；但 0.002Hz 以上的能量則又以外港多於內。週期在 0.0005Hz 以下的不論常時或颱風時期都始終存在於港內，其能量並未因颱風侵襲而增加太多。反而是 0.0005Hz 以下的低頻振盪則在颱風侵襲期間有很明顯地成長。如果就目前所觀測到的資料，則港內在颱風時期大量增加能量的部分是週期大約在 2000 秒以上的振盪，此一現象明顯與港灣共振的研究不同。至於這些成分是屬於港內特有，或是外海在颱風侵襲期間也有此一能量分佈，則因為無法在港外設置水位觀測儀器，而無法認定。

由於水位觀測是在本年度的 4 月份才安裝，由於儀器的設定與操作不夠純熟(因經費不足，以人工方式下載資料及更換電池)，資料的收集一直斷斷續續，以致今年的颱風侵襲期間的水位資料未能收集完

整，相當可惜。目前該工作仍持續進行中。而未來也應考慮在外海設置水位觀測站進行同步量測。

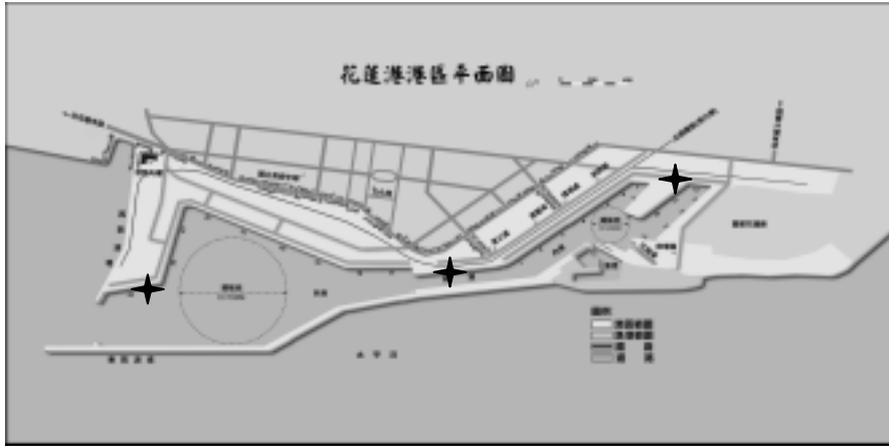


圖 3.6 花蓮港潮位站(✦)安裝位置示意圖

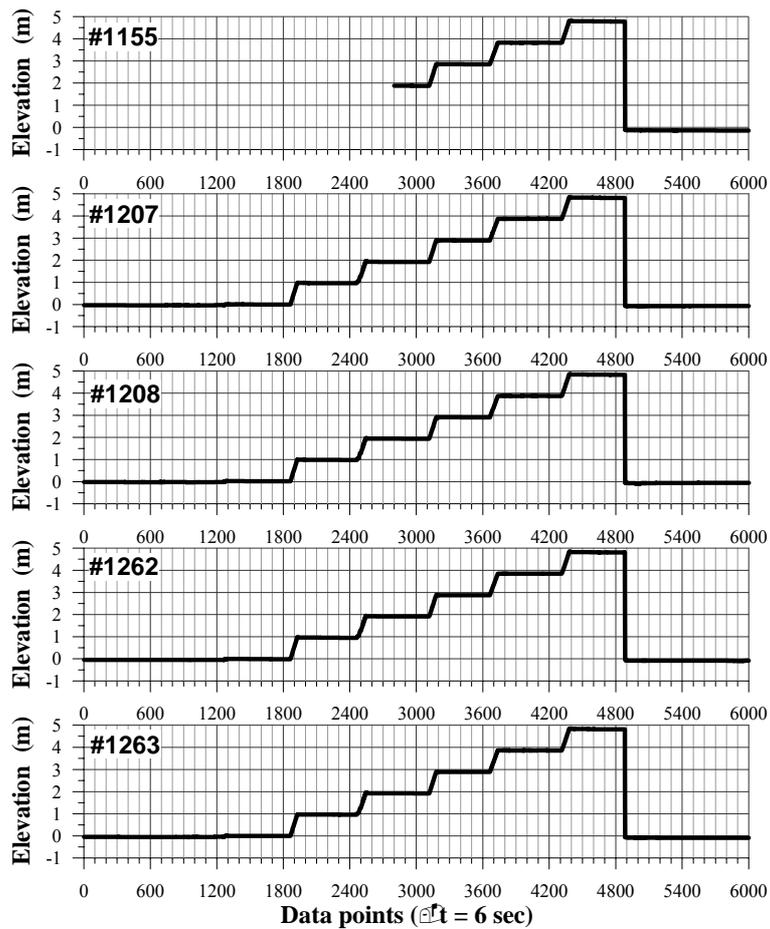


圖 3.7 潮位計檢測記錄



照片 3.2 潮位計安裝情形

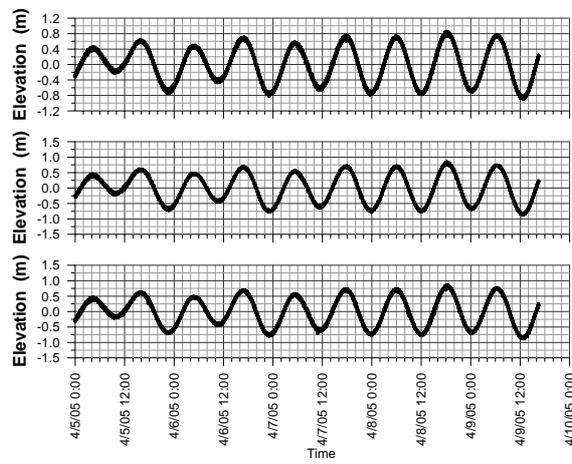


圖 3.8 民國 94/4/5 0:00~94/4/9 16:00 花蓮港各潮位站之水位變化時間序列圖

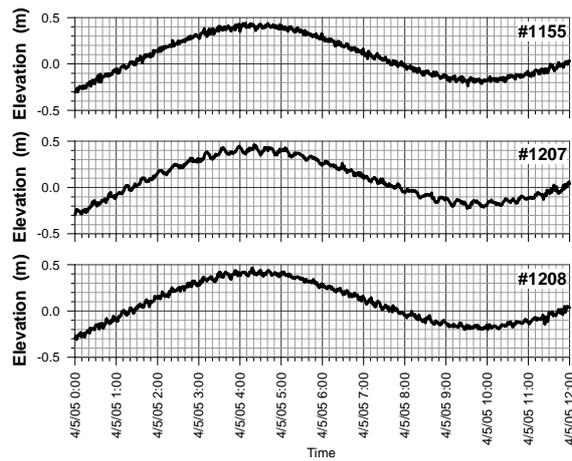


圖 3.9 民國 94/4/5 0:00~94/4/5 12:00 花蓮港各潮位站之水位變化時間序列圖

表 3.1 西元 2005/8/3 至 2005/8/5 馬莎颱風警報記錄

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	馬莎(MATSA)
編號	0509
生成地點	關島西南西方海面
侵(近)台日期	民國 94 年 8 月 4 日
發佈時間	海上:民國 94 年 8 月 3 日 8 時 30 分 陸上:民國 94 年 8 月 4 日 2 時 30 分
解除時間	海上:民國 94 年 8 月 6 日 8 時 30 分 陸上:民國 94 年 8 月 5 日 20 時 30 分
發佈報數	25
最大強度	中度
近中心最大風速	40.0(公尺/秒)
侵台路徑分類	1
登陸地段	--
動態	7 月 31 日在關島西南西方生成後，向西北方向移動。8 月 4 至 5 日通過台灣東方海面及北方海面，6 日進入大陸，隨後於 7 日減弱為熱帶性低氣壓。
災情	--

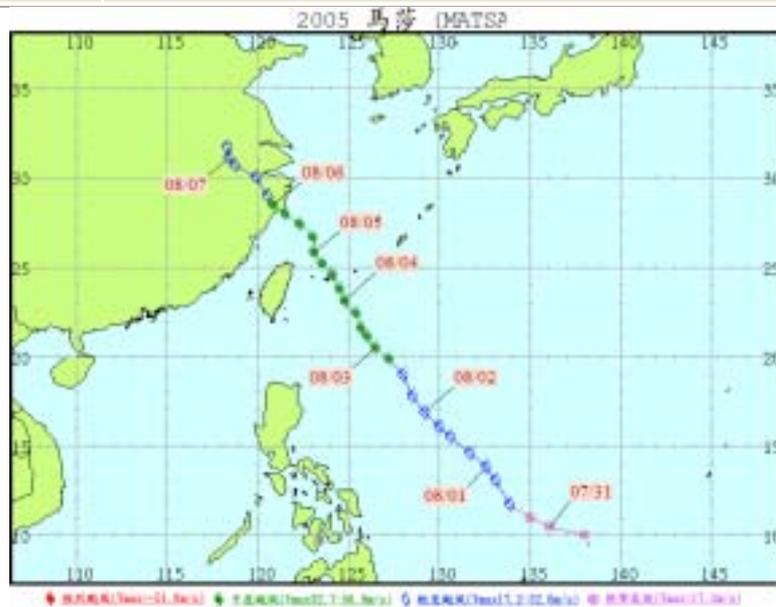


圖 3.10 瑪莎颱風侵襲記錄

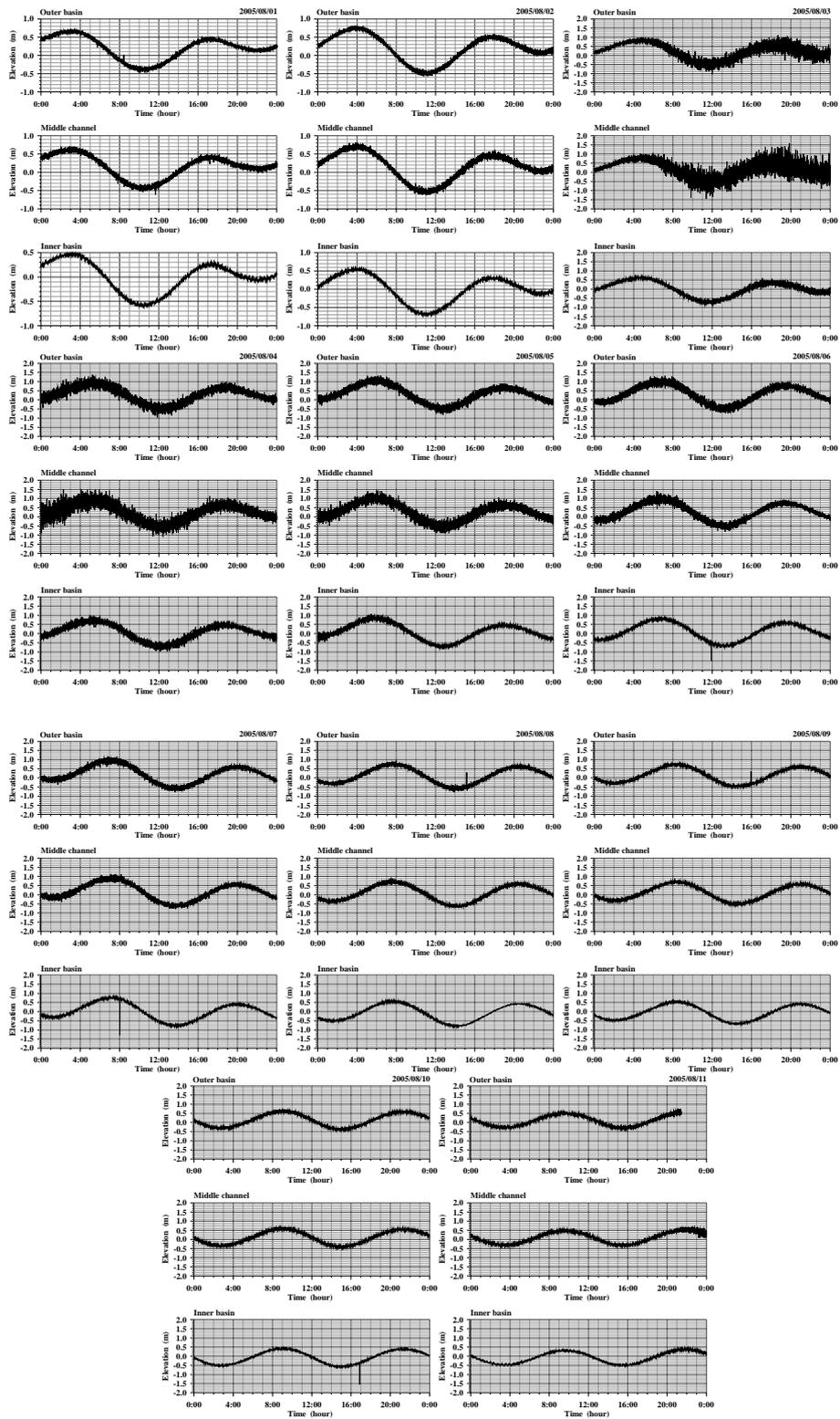


圖 3.11 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化時間序列

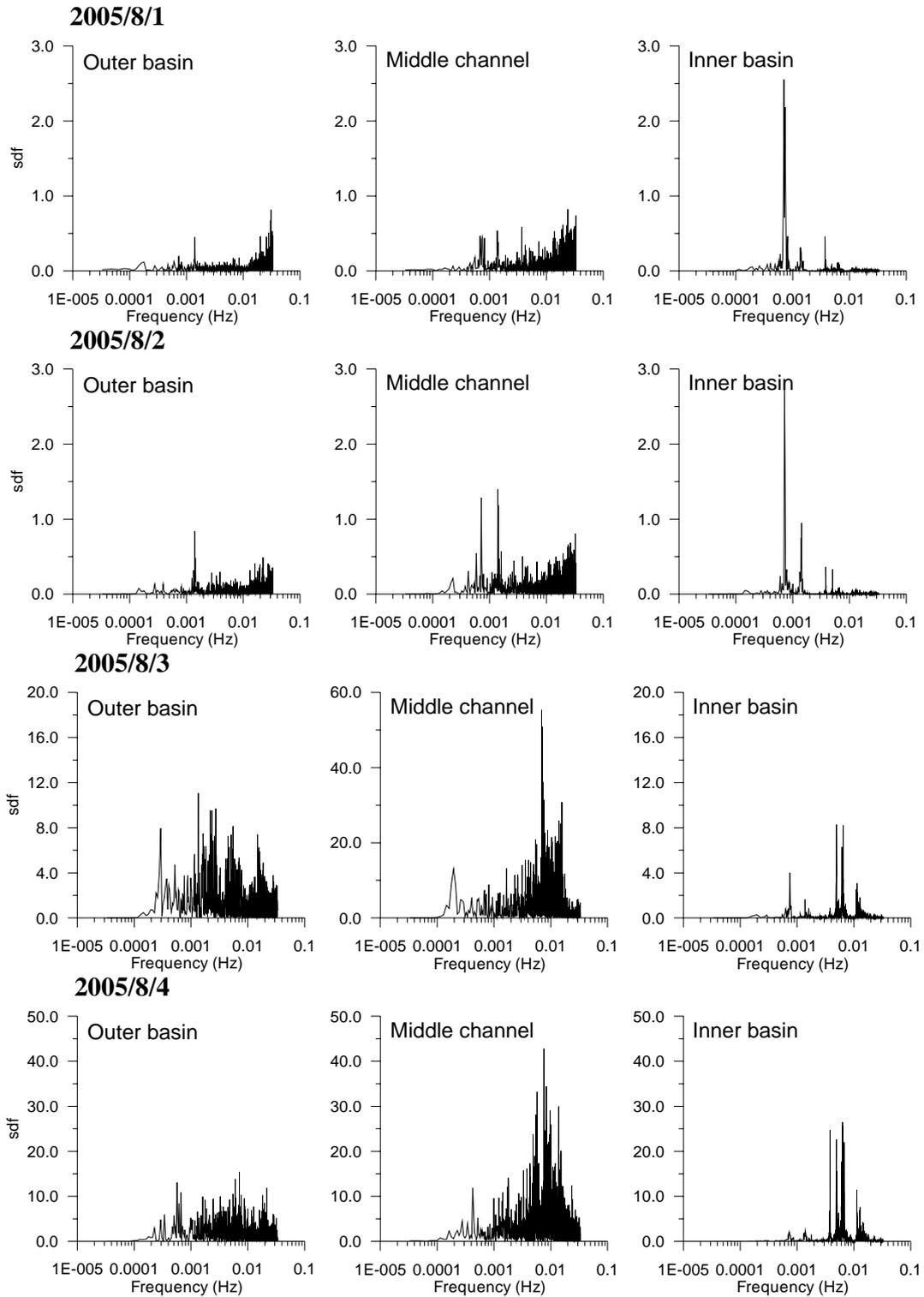


圖 3.12 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖

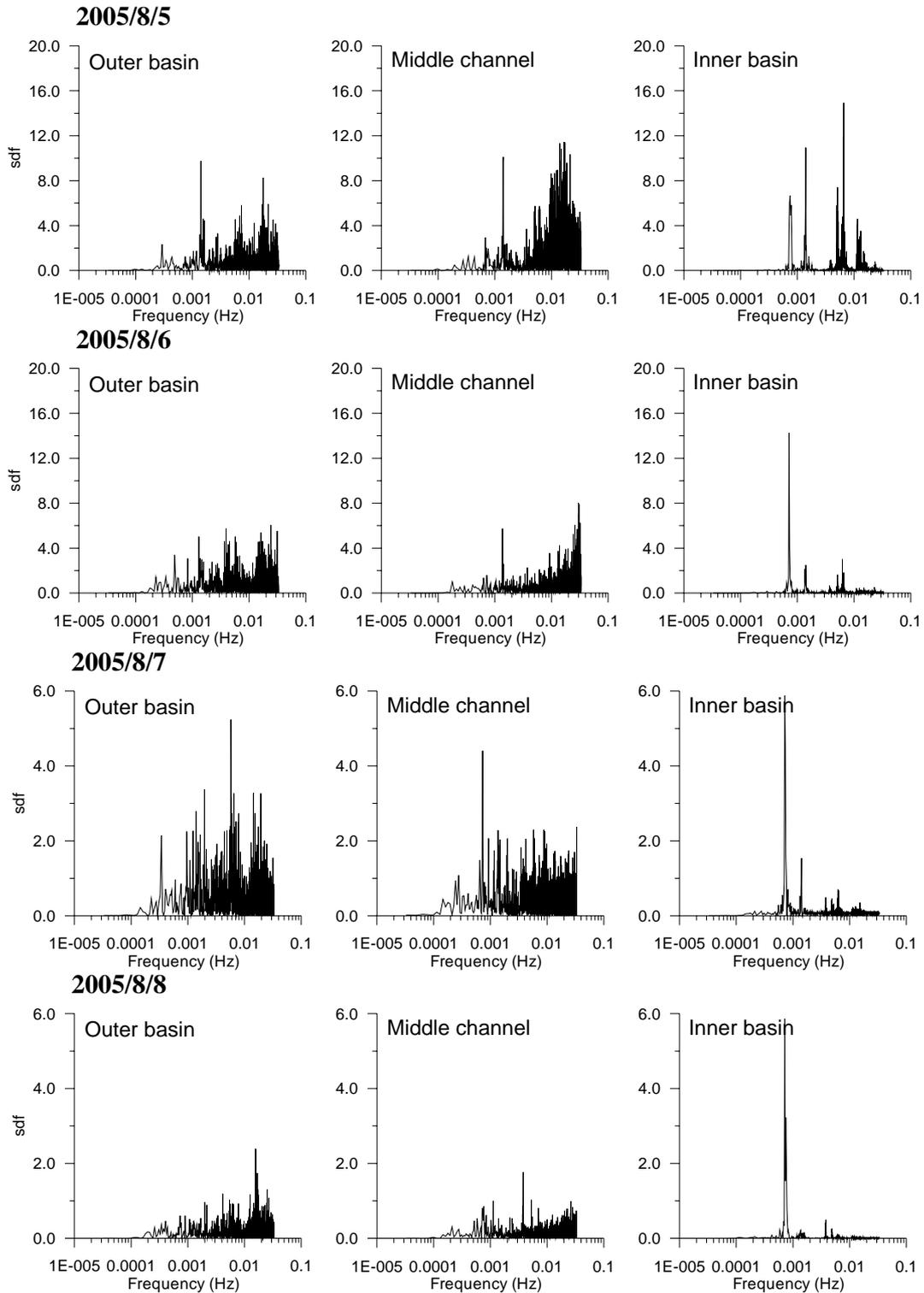


圖 3.12(續) 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖

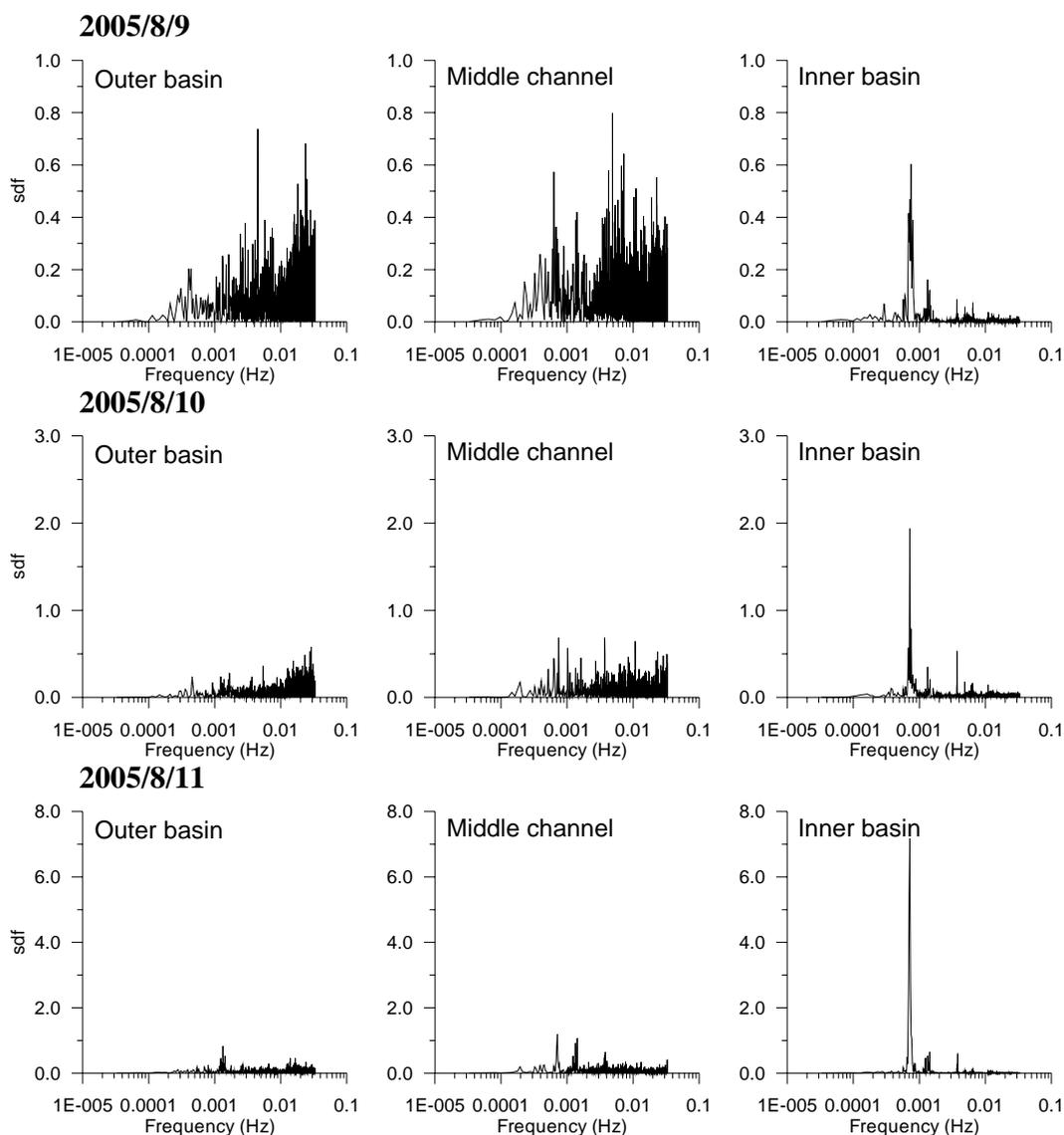


圖 3.12(續) 花蓮港瑪莎颱風侵襲期間的港內水位變化的頻譜分析圖

本年度除了繼續進行觀測外，為了能釐清是否該長週期振盪的成分起因於取樣頻率或儀器本身的問題，本計畫團隊於 2006 年 4 月在花蓮港的外港及內港水位觀測站附近，以現場容量式波高計、壓力式波高計(鎮儀公司，S700)及壓力式水位計(Sea Bird，SBR90)，以不同的取樣頻率同步進行約兩天的水位觀測。此外，為了瞭解是否外海有此一成分的波動，及考量花蓮港的外海設置觀測站的困難度，於 2006 年 6 月在較南邊海岸的鹽寮漁港(相關位置如圖 3.12 所示)以壓力式波高計(鎮儀公司，S700)及壓力式水位計(Sea Bird，SBR90)設置觀測站進行短期性的觀測(圖 3.13 及 3.14 為花蓮港與鹽寮漁港的儀器佈放位置圖)。

於 2006 年 8 月更擴大同步觀測範圍涵蓋東部海岸線以瞭解各地的波動特性的共通性，觀測地點包含了蘇澳港、花蓮港、鹽寮漁港、石梯漁港及金樽漁港。三個時期的資料收集期間如表 3.2 所示。本報告將主要針對以 2 Hz 取樣頻率進行連續觀測的 S700 壓力式波高計的觀測結果進行討論。其中為瞭解不同週期範圍的成分波變化情形，除了進行頻譜分析以外，也以數值濾波的方法分離各週期(頻率)範圍的成分波。圖 3.15 至圖 3.76 為部分的相關分析資料，各圖中均包含兩個部分：時間序列分析與頻譜分析。時間序列分析圖中(各圖之左圖，由上而下)顯示水面波動原始時間序列、以及大於 200 秒、介於 30 秒至 200 秒之間、以及 30 秒以下的波動成分；頻譜分析圖中(各圖之右圖，由上而下)則顯示成分波頻率與頻譜密度，以及成分波週期與頻譜密度間的關係，以方便對各特性週期的分析。圖 3.15 至圖 3.76 所繪製之時間序列圖係以未經過校正的原始資料進行分析的，主要目的是讓讀者看到原始的觀測資料，並藉以瞭解各筆資料的正確性，而成份波的時間序列圖亦未將透過數值濾波方式分離各成分波時可能在兩邊的端點處發生的偏差情形加以去除，亦是基於此一目的。在後續年度的分析中將會進行更進一步的處理與分析。綜合相關的分析結果由港外至港內依序討論如下：

表 3.2 2006/08/18 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)	

3.3 2006 年 4 月的花蓮港港內水面波動聯合觀測

為瞭解花蓮港內的波動的特性，本計畫團隊檢討波浪觀測的傳統方法發現以 2 Hz 連續取樣 20 分鐘，或是以 4 Hz 取樣 10 分鐘，雖然均能夠提供 2048 個資料點進行頻譜分析，但是對於可以解析的最長成分波週期(即最頻率)則會受到限制。例如以 2 Hz 取樣的 2048 個資料點可得到的最成週期為 512 秒；而以 4 Hz 取樣的 2048 個資料點可得到的最成週期為 256 秒。此一範圍如果是針對一般重力波範圍內的觀測應已可滿足。但是如果是要探討類似花蓮港內的長週期振盪，則仍嫌不足。由於花蓮港內可能有的最長週期為何尚不可知，本計畫乃嘗試以儀器可以記錄的最大能量進行長時間且連續的觀測，因此，採用 2 Hz 連續取樣 250 分鐘(即 15000 秒)，於 2006 年 4 月 5 日至 7 日之間在花蓮港的內港及外港水域進行現場觀測，並收集到 12 筆各 250 分鐘的波動記錄。在該段觀測期間僅有氣象局預報低壓鋒面的可能到達外，並無其他異常氣象。圖 3.16 至圖 3.27 為內港的部分分析結果，圖 3.28 至圖 3.39 則為外港的部分分析結果。

從圖 3.16 至圖 3.39 中均可以看到在本段觀測期間花蓮港的內外水域都含有週期大於 30 秒的水面振盪，30 秒至 200 秒之間的波動振幅不論是內港或外港水域均約在 2 公分左右；而在 200 秒以上的部分的波動振幅外港約 2 至 4 公分，但內港則約為 4 至 6 公分，顯示 200 秒以上長週期成分會在內港水域增幅。如果檢視各圖之圖(b)之週期與頻譜密度關係圖，則可發現內港水域有明顯的譜峰出現在 165 秒、714 秒、1250 秒、4998 秒及 7498 秒附近，外港則有明顯譜峰出現在 714 秒、1250 秒、4998 秒及 7498 秒附近(因取樣頻率及頻譜解析度而會略微不同)，但這些譜峰並非在每一筆記錄中都有。另一個現象是：外港的 30 秒以下一般重力波波動的成分很多，但是內港則非常明顯，反而是長週期波動主導內港的水面波動。顯示受限水道的規劃對阻擋一般重力波的入侵相當有成效，但是極長週期成分的波動則反而發生增幅現象。

3.4 2006 年 6 月鹽寮漁港的水位觀測

由於花蓮港的縱深約為 3000 公尺，如果以 10 至 18 公尺水深，以及四倍縱深的波長代入分散關係式可以概算出等深矩形港池的自然共振週期約 903 至 1212 秒之間，因此上節所發現的長週期成分中 1250 秒以下的成分可能與花蓮港的港池特性有關；但是 4998 秒及 7498 秒的週期成分的激發機制則仍不清楚。為了進一步瞭解各週期成分是屬於港池的尺度(在港內激發與增幅)還是屬於大洋的尺度(直接來至外海)，本計畫考量花蓮港外海設置水下觀測儀器的困難度，乃於 2006 年 6 月 10 日至 11 日期間在南方的鹽寮漁港中以相同的儀器進行資料觀測收集，共收集到 8 筆 15000 秒的資料，圖 3.40 至圖 3.48 為 8 筆記錄的部分分析結果。

從圖 3.40 至圖 3.48 中可以明顯地看到在本觀測時段中鹽寮漁港附近水域的波動也含有週期大於 30 s 以上的長週期波動，有明顯的譜峰出現在 3749 秒、4998 秒及 7498 秒附近。在圖 3.40 也看到在 400 秒至 600 秒之間也有略小的譜峰，但察看其他記錄中並未出現，研判應該是屬於異常氣象所致。在一般頻譜分析中，一般認為分頻大約是一至二個解析頻率($\Delta f=1/15000$ Hz)的成分波，由於頻率過於接近頻率的解析度，屬於數學解析誤差的可能性極高而建議不討論。但是如果從圖 3.40 至圖 3.42 中則可以明顯地看出鹽寮漁港的水面波動時間序列中確實含有 4998 秒及 7498 秒成分的波動，因此該成分波的存在應是肯定的。而水位記錄中不論是 30 秒至 200 秒或是更長的 200 秒以上的波動也都能觀察到存在相當明顯的能量。

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

小。因此，該地區的長週期水位變化對外海的波動應該有相當地代表性。

綜合比較 3.2 節與本節的觀測分析結果，可以發現花蓮港內及鹽寮漁港都發現有數千秒的波動成分，依此研判花蓮港內之 4998 秒及 7498 秒的波動成分來自外海的可能性較高。但由於鹽寮漁港與花蓮港仍有一段距離，並非直接地在花蓮港外海，且兩處的觀測時間並未同步，因此無法做進一步的結論。

3.5 2006 年 8 月的聯合觀測

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

由於儀器佈放的距離過長(宜蘭蘇澳港到台東金樽漁港)，波高計設定為提前一天啟動(2006/08/17 18 時)，因此各波高計所取得的資料筆數不相一致。記錄的方式是以 2Hz 連續取樣 15000 秒(30000 個資料點)，以及連續觀測。各測站的觀測資料範圍如表 3.2 所示。圖 3.49 至圖 3.55、圖 3.56 至圖 3.62、圖 3.63 至圖 3.67、圖 3.68 至圖 3.72、及圖 3.73 至圖 3.76 依序分別為本觀測時段在花蓮港內港及外港、鹽寮漁港、石梯漁港及金樽漁港的部分分析結果。

從圖 3.49 至圖 3.76 中均可以看到在本段觀測期間從花蓮港以南至金樽漁港的水域都含有週期大於 30 秒的水面振盪，但是由於觀測站散

佈在各漁港中，觀測環境幾乎無法控制，因此所獲得的資料中常有一些干擾，使得可分析的資料長度可能不相同而造成比較上的困難(資料長度不同引出頻率解析度不同的問題)，本節將主要先針對各觀測站的資料分析結果進行討論。圖 3.49 至圖 3.62 中仍顯示 30 秒至 200 秒之間的波動振幅不論是內港或外港水域均約在 2 公分左右；而在 200 秒以上的部分的波動振幅外港約 2 至 4 公分，但內港則約為 3 至 4 公分。如果檢視各圖之圖(b)之週期與頻譜密度關係圖，則可發現內港水域有明顯的譜峰出現在 197 秒、263 秒、656 秒、999 秒、1250 秒、1272 秒、1363 秒、1500 秒、2798 秒、3749 秒、4998 秒、6998 秒及 7498 秒附近，外港則有明顯譜峰出現在 577 秒、656 秒、666 秒、714 秒、750 秒、1166 秒、1222 秒、1250 秒、3498 秒、3832 秒、4998 秒、5248 秒、5498 秒、5748 秒及 7498 秒附近，必須要注意的是，由於有效解析資料的長度不同，譜峰會因為取樣頻率及頻譜解析度不同而變動，並非在每一筆記錄中都有上述的譜峰。

圖 3.63 至圖 3.67 為同時期鹽寮漁港的部分分析結果，圖中可以發現 30 秒至 200 秒之間的波動振幅較花蓮港內為大約在 6 公分左右，但是 200 秒以上的波動振幅則多在 2 公分以下。圖中可以看到明顯的譜峰出現在 1153 秒、2333 秒、2499 秒、3749 秒、4998 秒、6998 秒及 7498 秒等。圖 3.68 至圖 3.72 為同時期石梯漁港的部分分析結果，圖中可以發現 30 秒至 200 秒之間的波動振幅較花蓮港內為大約在 8 公分左右，但是 200 秒以上的波動振幅則多在 3 公分以下，而且發現有群波的現象。圖中可以看到明顯的譜峰出現在 319 秒、384 秒、395 秒、405 秒、417 秒、428 秒、3749 秒、4998 秒及 7498 秒等。從圖 3.73 至圖 3.76 為同時期金樽漁港的部分分析結果，圖中可以發現 30 秒至 200 秒之間的波動振幅較花蓮港內為大約在 2 公分左右，但是 200 秒以上的波動振幅則多在 4 公分以下，而且發現有群波的現象。圖中可以看到明顯的譜峰出現在 349 秒、428 秒、484 秒、500 秒、600 秒、625 秒、789 秒、882、3749 秒、4998 秒及 7498 秒等。同樣的，由於有效解析資料的長度不同，譜峰會因為取樣頻率及頻譜解析度不同而變動，並

非在每一筆記錄中都有上述的譜峰。

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

3.6 綜合比較

綜合以上的分析，我們可以發現不論是花蓮港、鹽寮漁港、石梯漁港及金樽漁港，都含有長週期的成分，尤其是 3749 秒以上的成分波。就花蓮港而言，週期大於 30 秒至 1250 秒之間的波動可能與花蓮港的自然共振特性有關，但是 1250 秒以上的波動則由與其他觀測站的結果比較，可發現其屬於大洋尺度特性的可能性極高。但是由於經費、時程及人力有限，目前無法進行更大規模的觀測與檢驗。

圖 3.77 及圖 3.78 為花蓮港的港灣波動數值模擬的結果。圖 3.77 為數值地形水深圖以及九個測試點的位置，圖 3.78 則為九個測點的波高增幅曲線圖。從圖中可以看到大約在 1135 秒附近港內會引發較大的波動。此值與觀測的結果相當近，而其間的差異應是數值模擬中的理論與地形及邊界的簡化處理，以及現場觀測時的頻譜解析度有關。

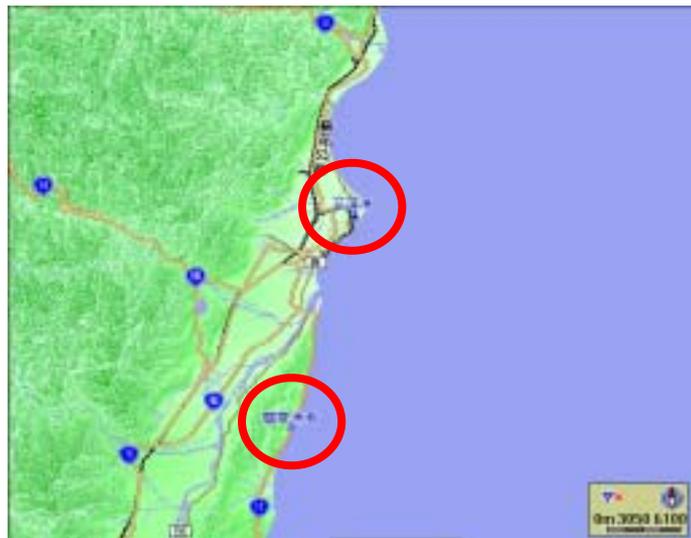


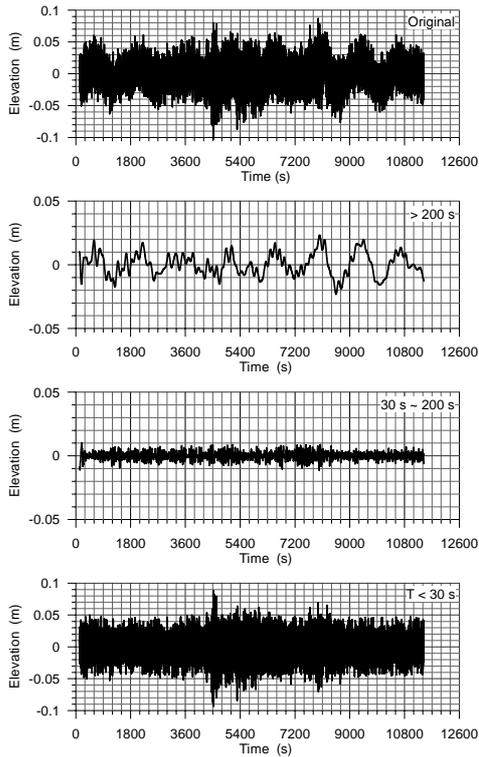
圖 3.13 花蓮港及鹽寮漁港位置關係圖



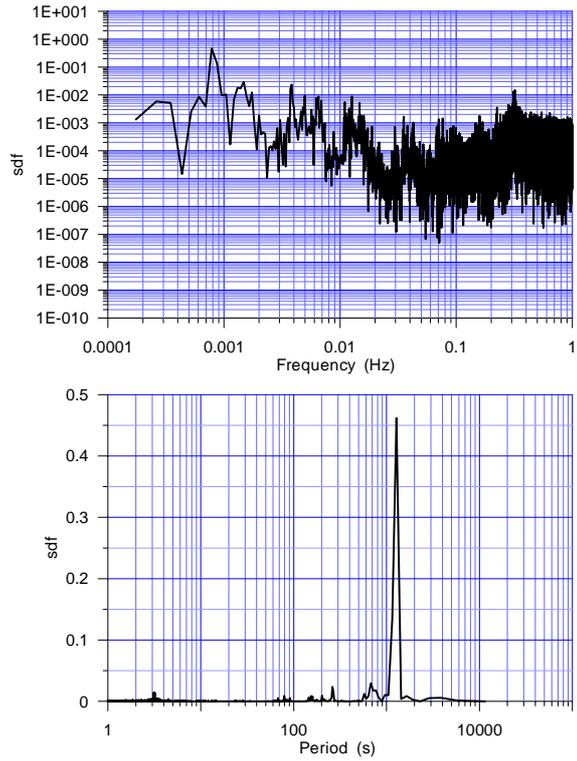
圖 3.14 花蓮港波高計配置圖(圖中的○點)



圖 3.15 鹽寮漁港衛星遙測及波高計配置圖

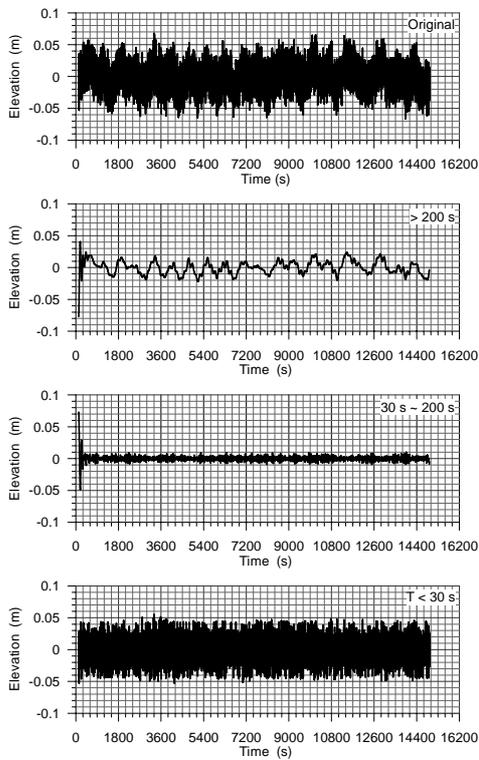


(a) 水位觀測及分析資料

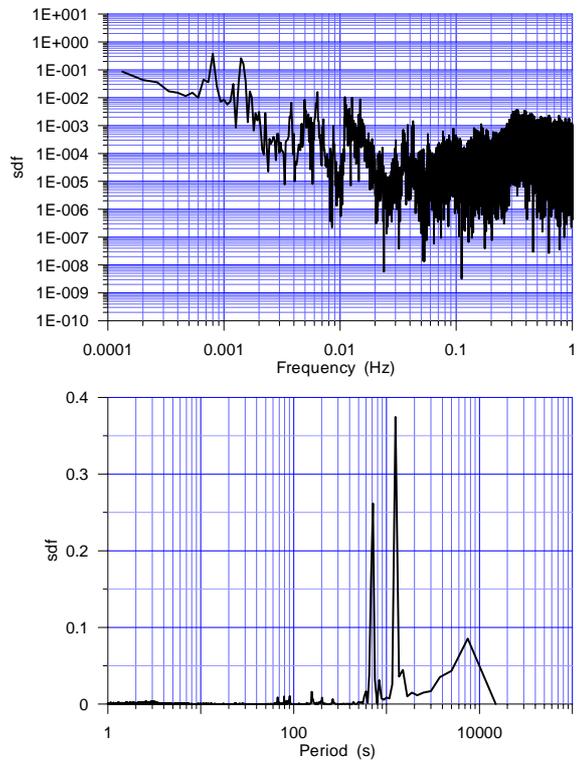


(b) 頻譜

圖 3.16 花蓮港內港 20060405 15:00 水位觀測及頻譜分析

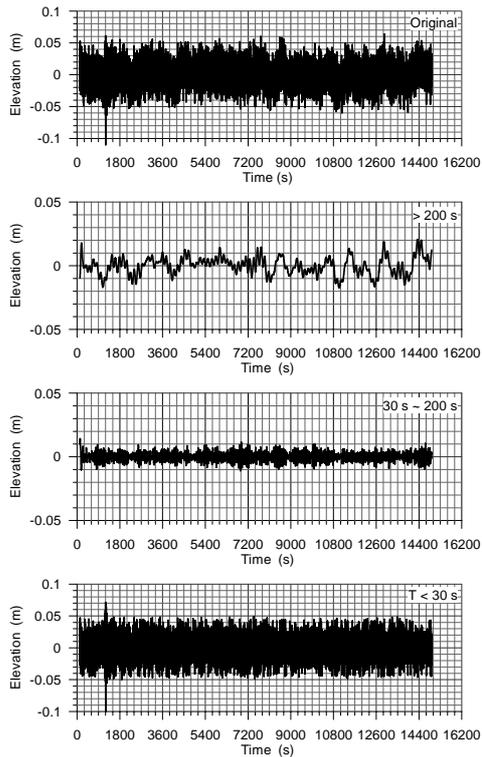


(a) 水位觀測及分析資料

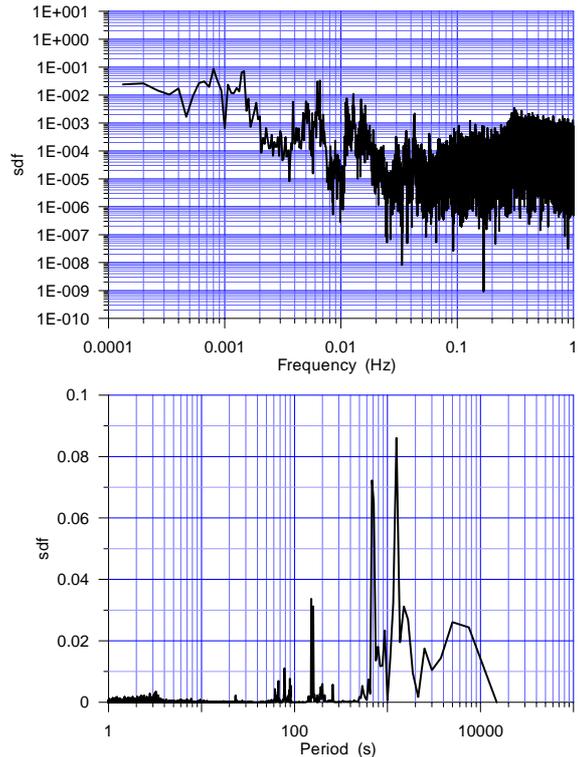


(b) 頻譜

圖 3.17 花蓮港內港 20060405 19:10 水位觀測及頻譜分析

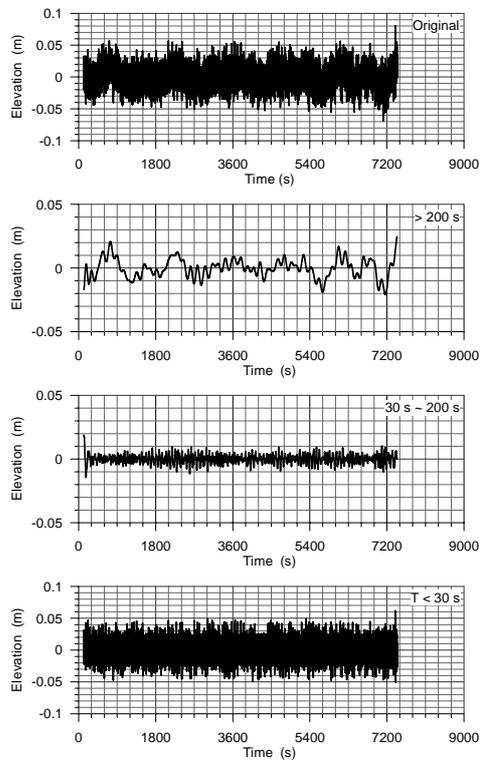


(a) 水位觀測及分析資料

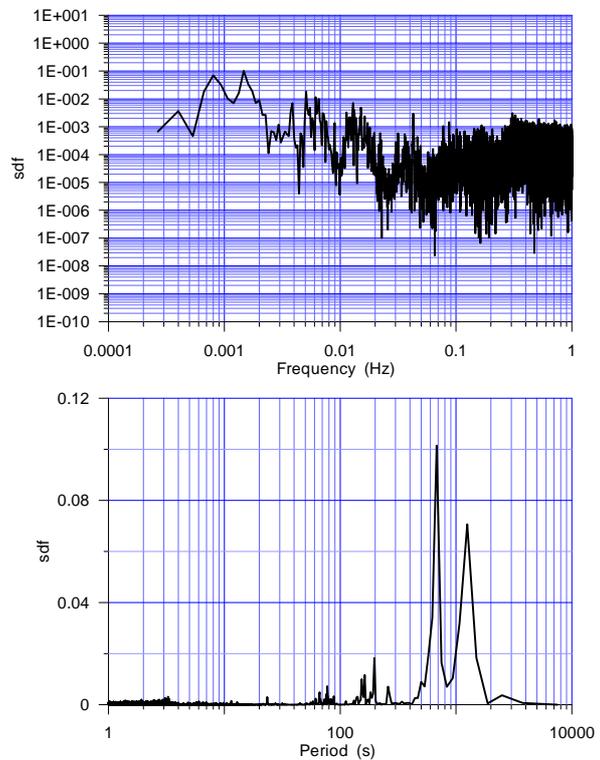


(b) 頻譜

圖 3.18 花蓮港內港 20060405 23:20 水位觀測及頻譜分析

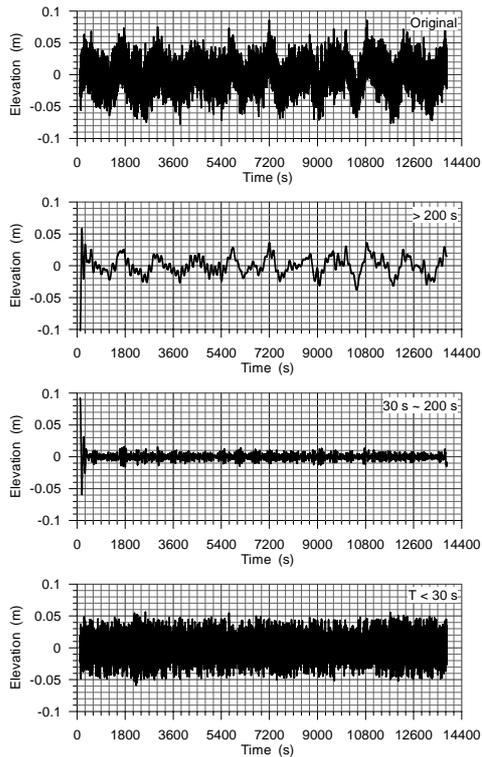


(a) 水位觀測及分析資料

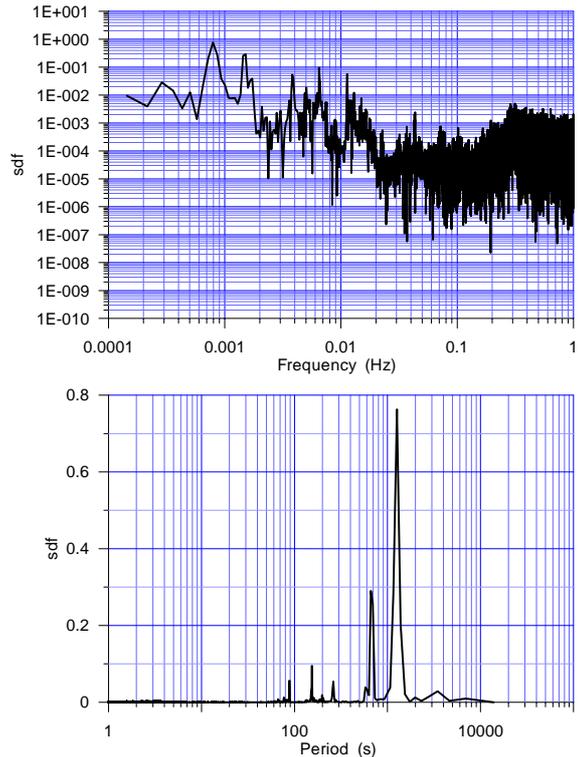


(b) 頻譜

圖 3.19 花蓮港內港 20060406 03:30 水位觀測及頻譜分析

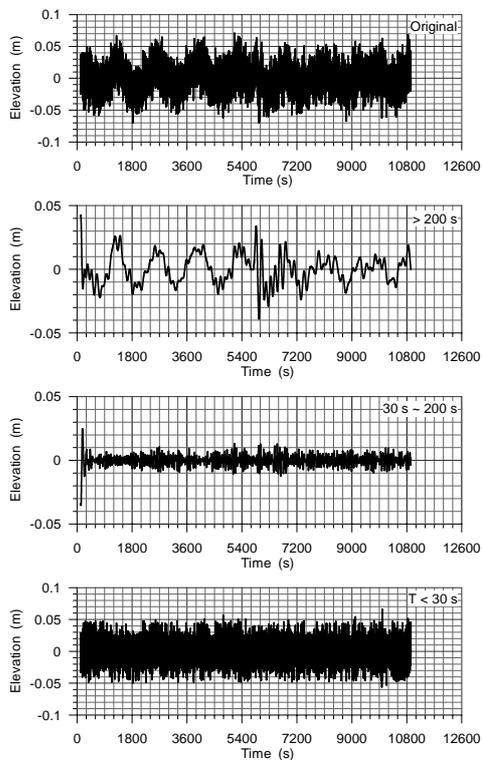


(a) 水位觀測及分析資料

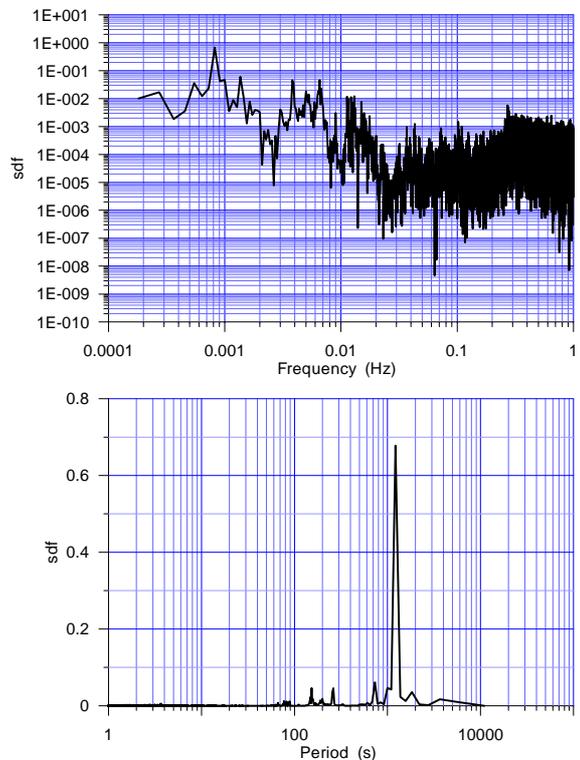


(b) 頻譜

圖 3.20 花蓮港內港 20060406 07:40 水位觀測及頻譜分析

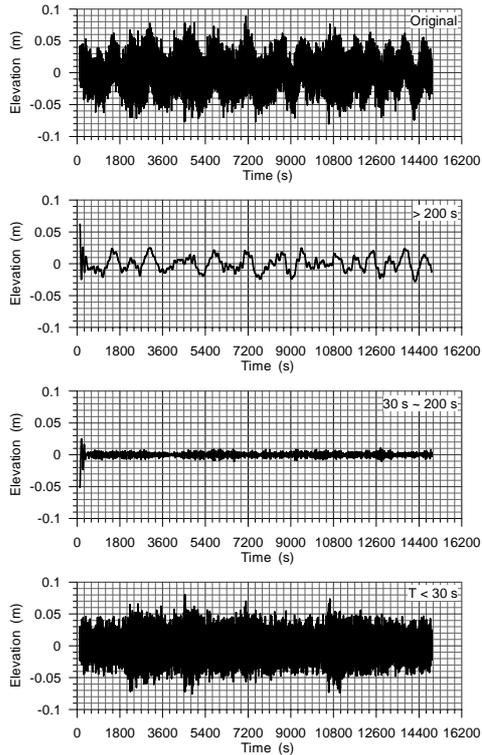


(a) 水位觀測及分析資料

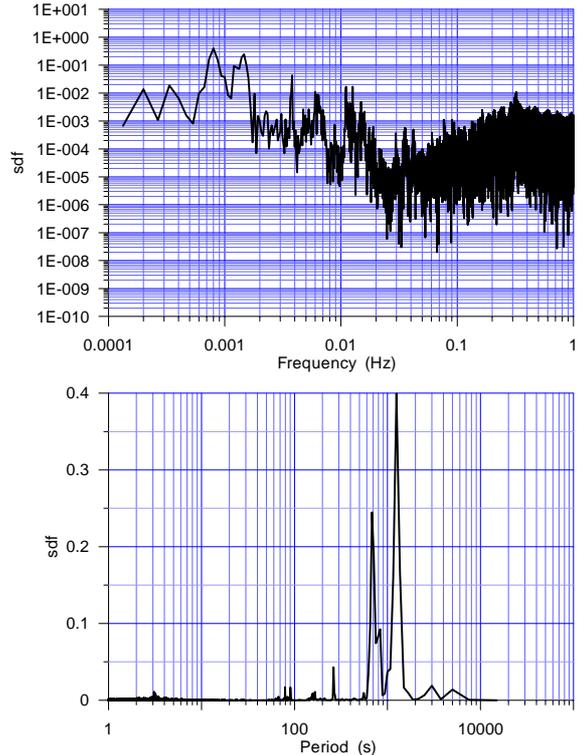


(b) 頻譜

圖 3.21 花蓮港內港 20060406 11:50 水位觀測及頻譜分析

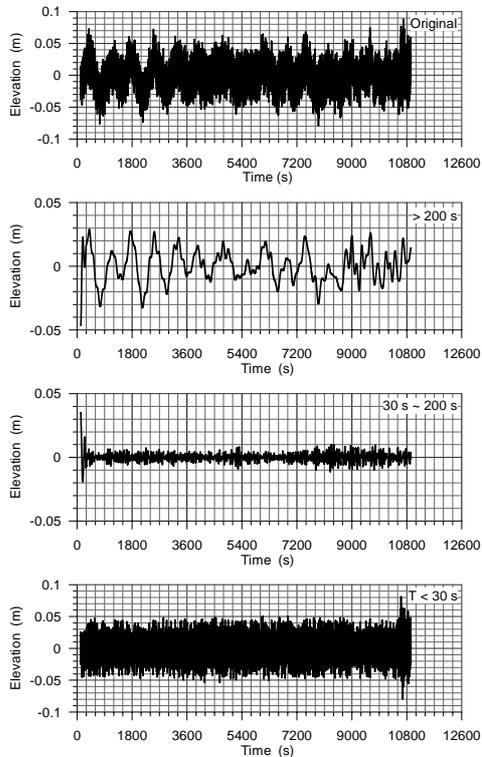


(a) 水位觀測及分析資料

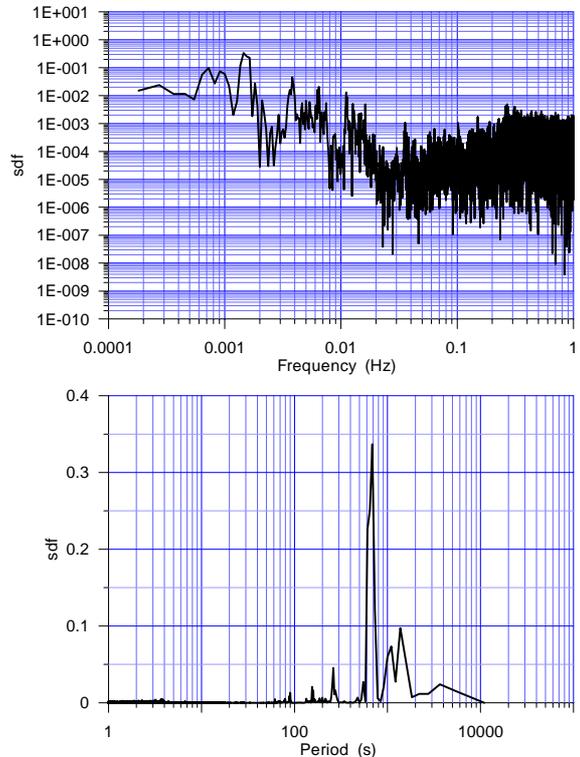


(b) 頻譜

圖 3.22 花蓮港內港 20060406 16:00 水位觀測及頻譜分析

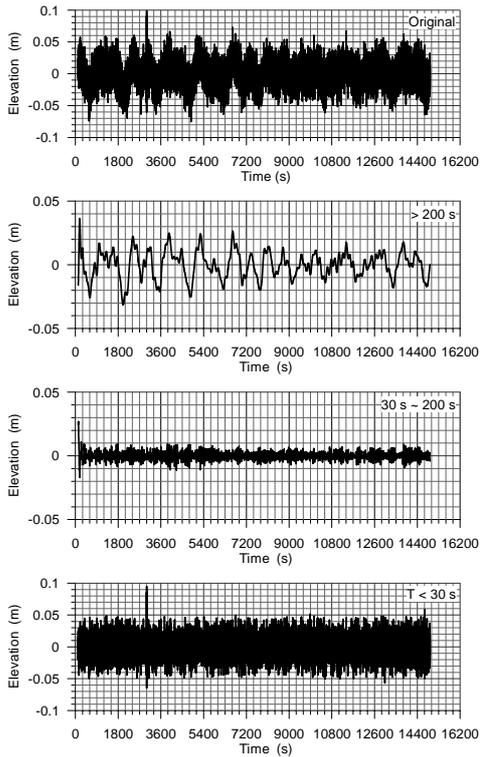


(a) 水位觀測及分析資料

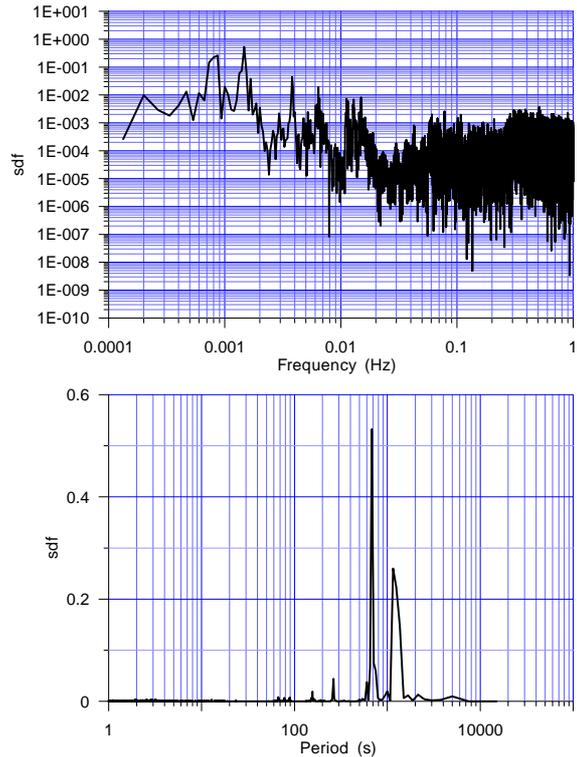


(b) 頻譜

圖 3.23 花蓮港內港 20060406 20:10 水位觀測及頻譜分析

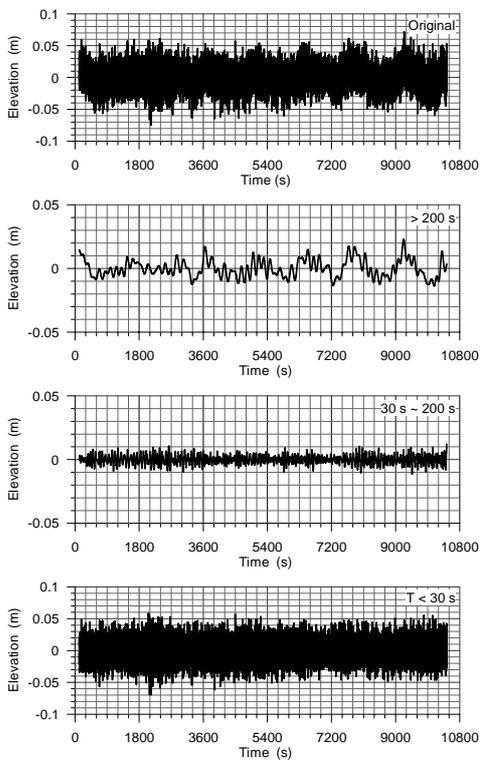


(a) 水位觀測及分析資料

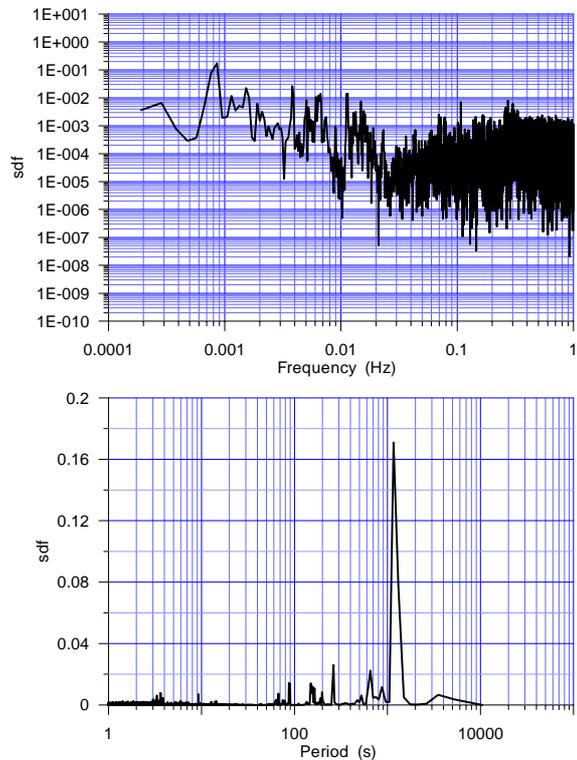


(b) 頻譜

圖 3.24 花蓮港內港 20060407 00:20 水位觀測及頻譜分析

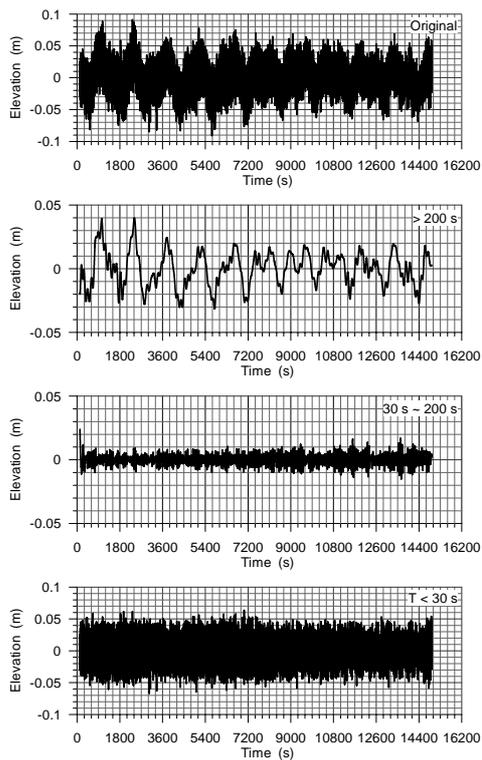


(a) 水位觀測及分析資料

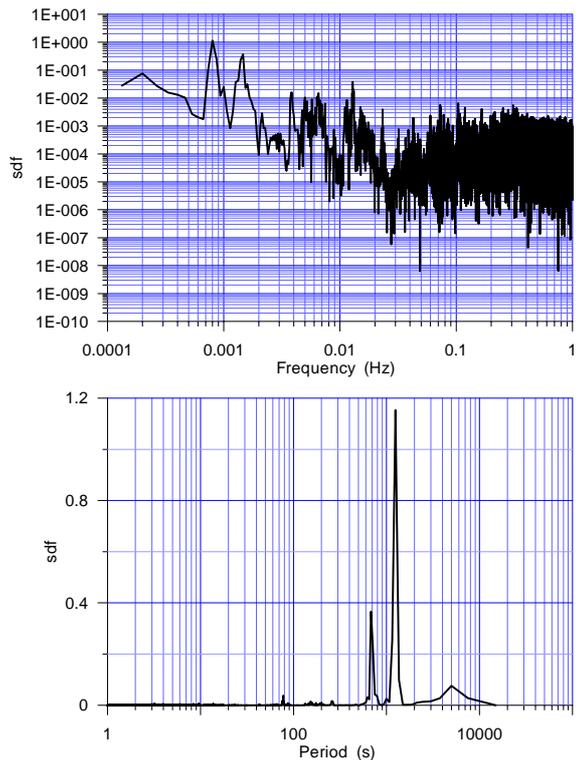


(b) 頻譜

圖 3.25 花蓮港內港 20060407 04:30 水位觀測及頻譜分析

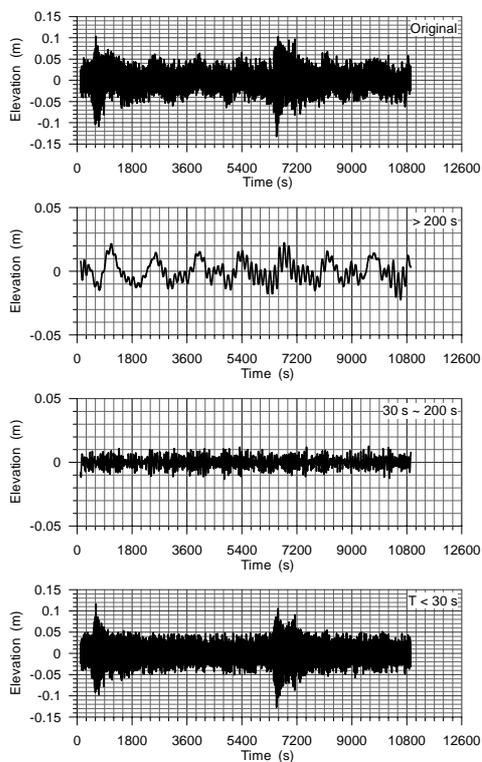


(a) 水位觀測及分析資料

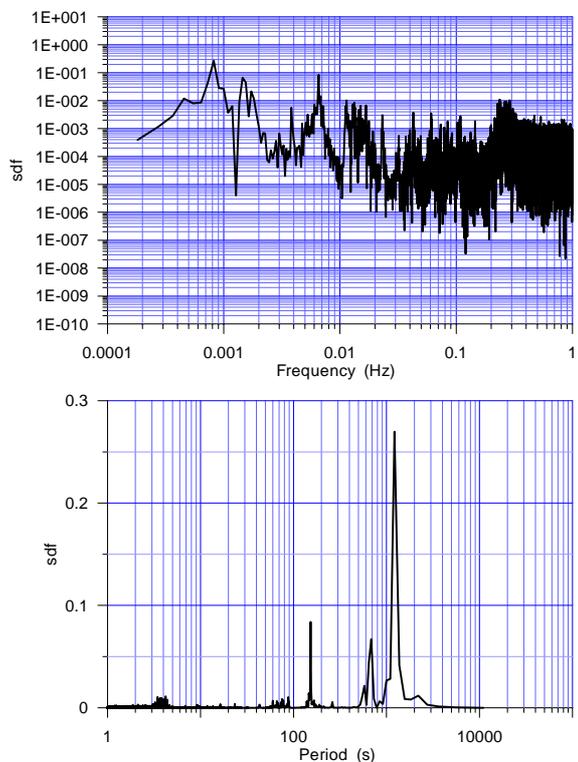


(b) 頻譜

圖 3.26 花蓮港內港 20060407 08:40 水位觀測及頻譜分析

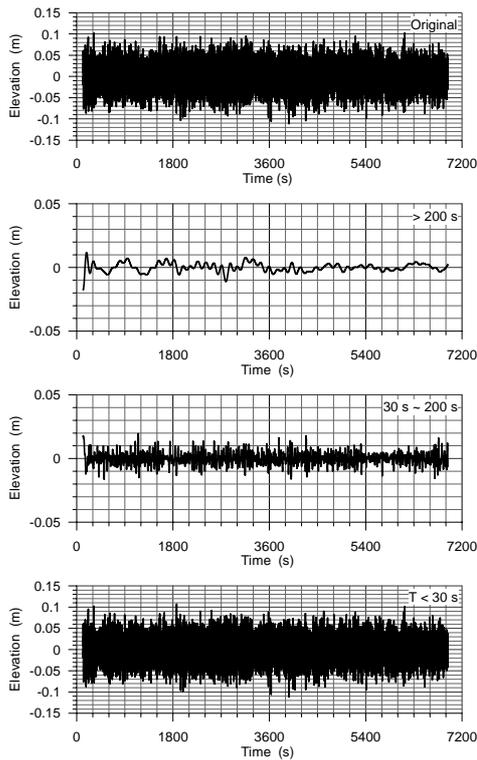


(a) 水位觀測及分析資料

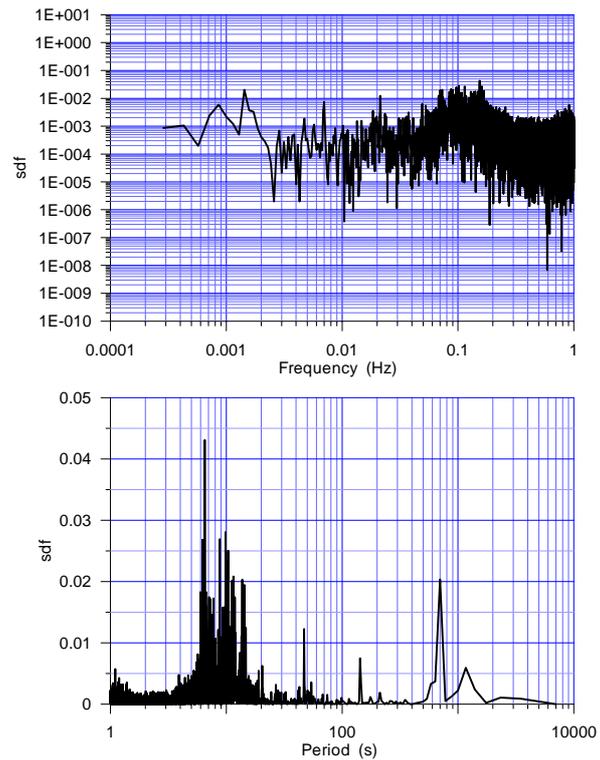


(b) 頻譜

圖 3.27 花蓮港內港 20060407 12:50 水位觀測及頻譜分析

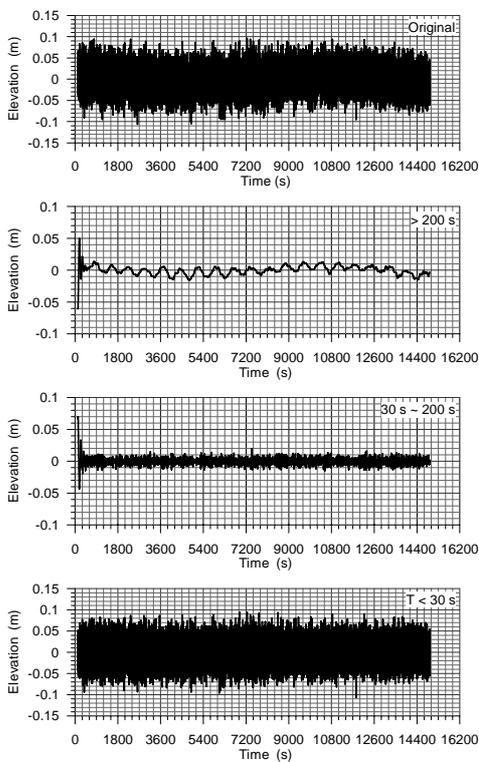


(a) 水位觀測及分析資料

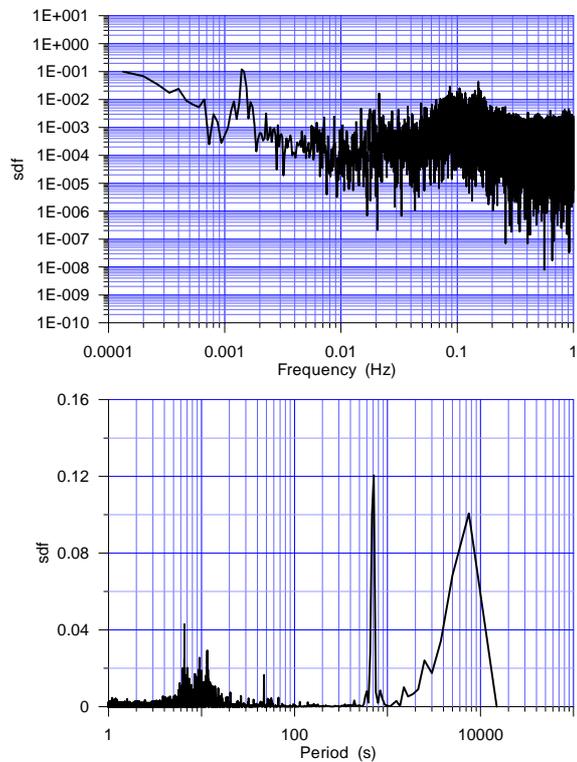


(b) 頻譜

圖 3.28 花蓮港外港 20060405 15:00 水位觀測及頻譜分析

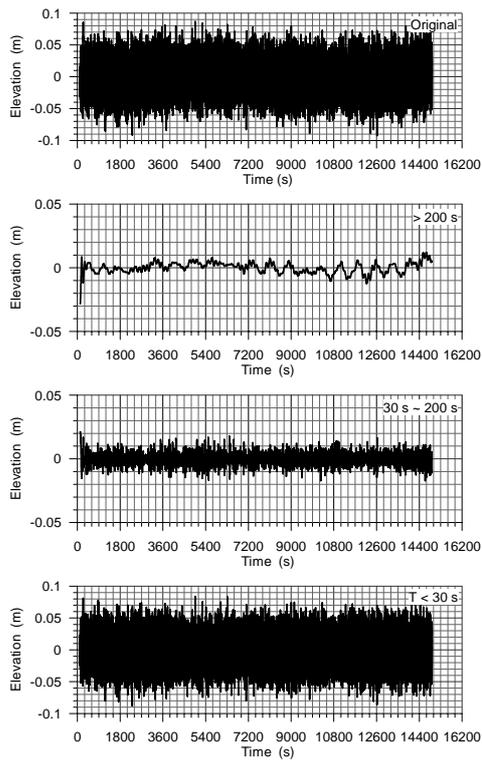


(a) 水位觀測及分析資料

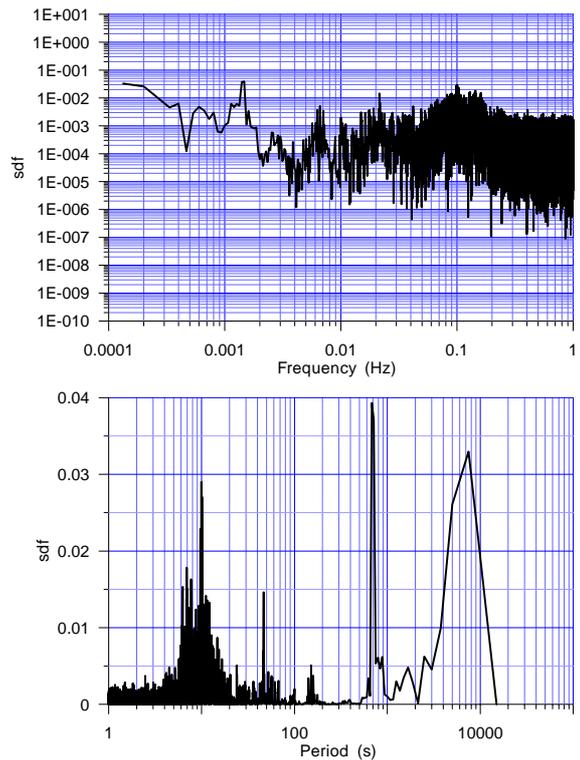


(b) 頻譜

圖 3.29 花蓮港外港 20060405 19:10 水位觀測及頻譜分析

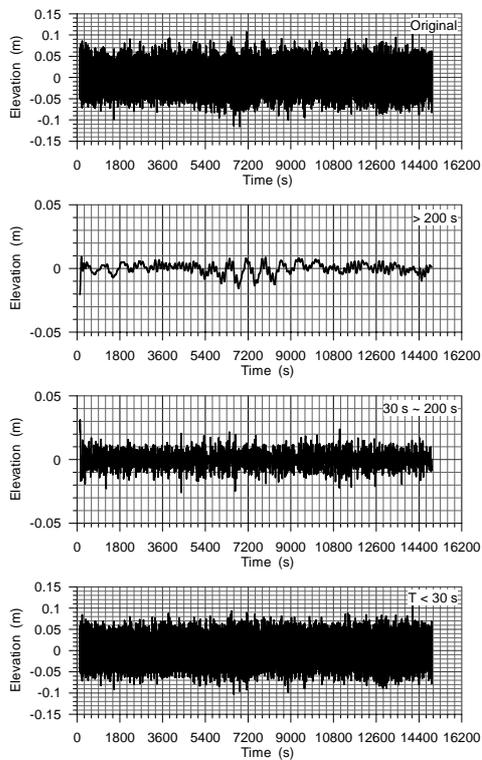


(a) 水位觀測及分析資料

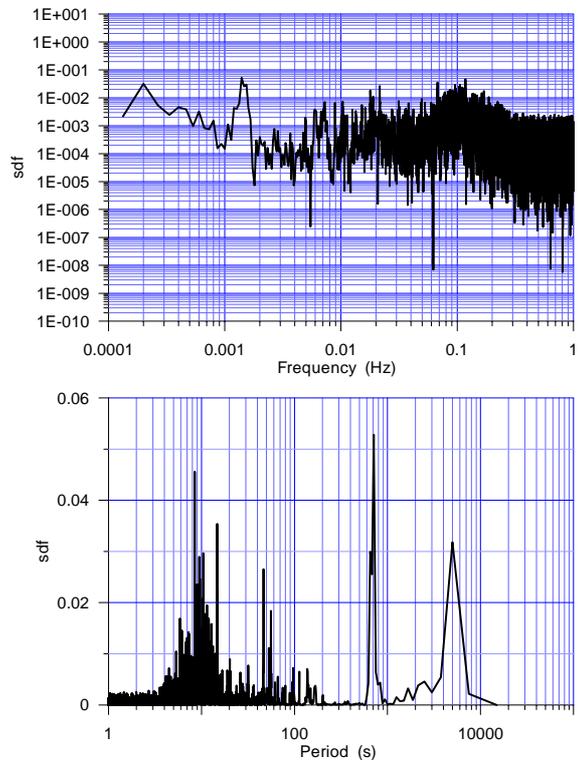


(b) 頻譜

圖 3.30 花蓮港外港 20060405 23:20 水位觀測及頻譜分析

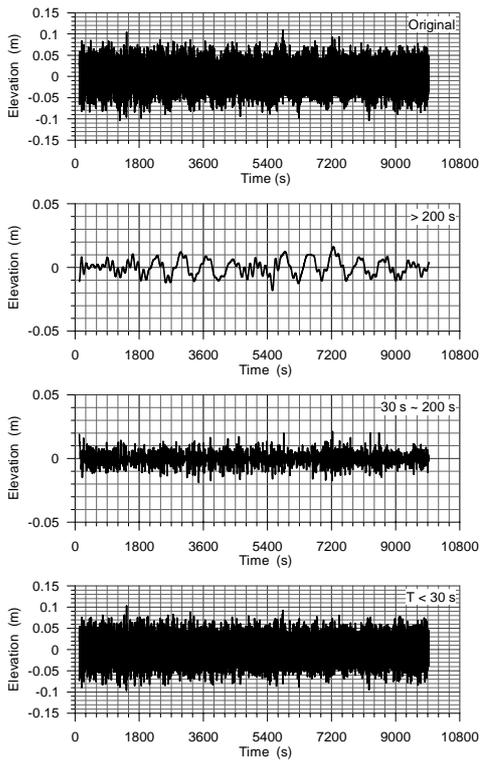


(a) 水位觀測及分析資料

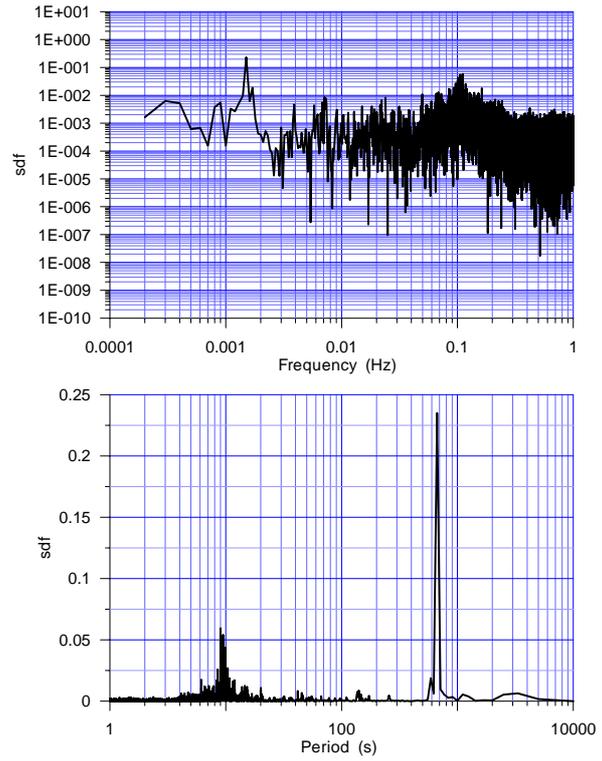


(b) 頻譜

圖 3.31 花蓮港外港 20060406 03:30 水位觀測及頻譜分析

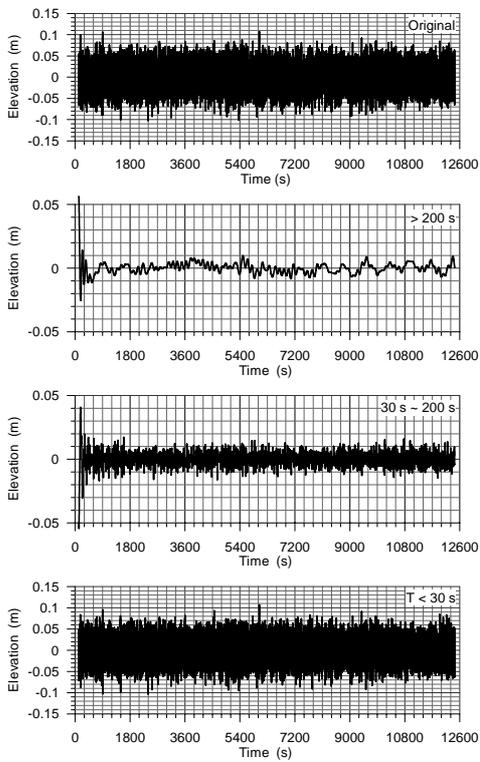


(a) 水位觀測及分析資料

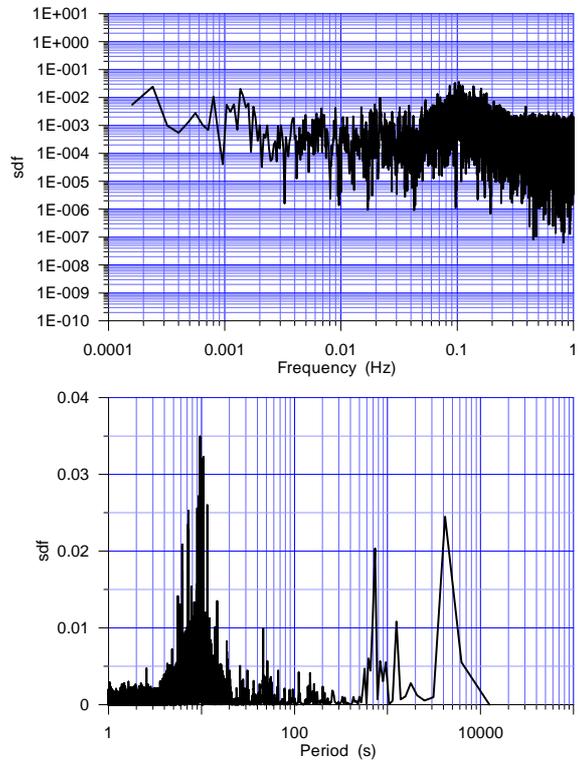


(b) 頻譜

圖 3.32 花蓮港外港 20060406 07:40 水位觀測及頻譜分析

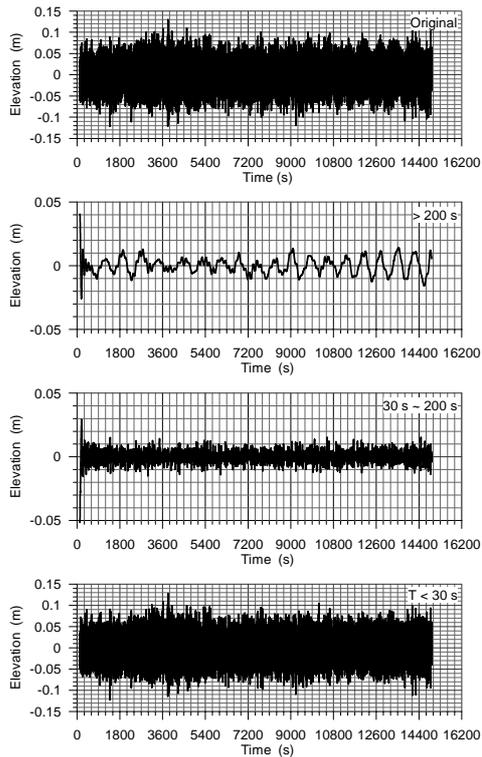


(a) 水位觀測及分析資料

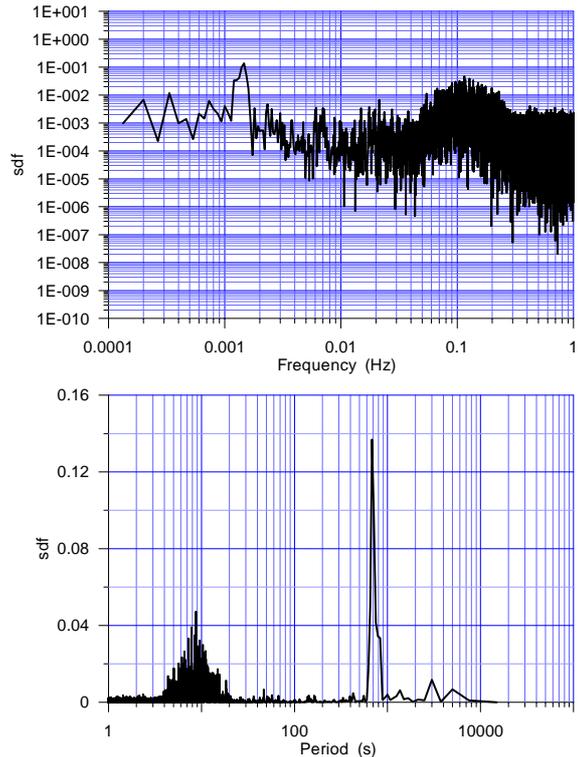


(b) 頻譜

圖 3.33 花蓮港外港 20060406 11:50 水位觀測及頻譜分析

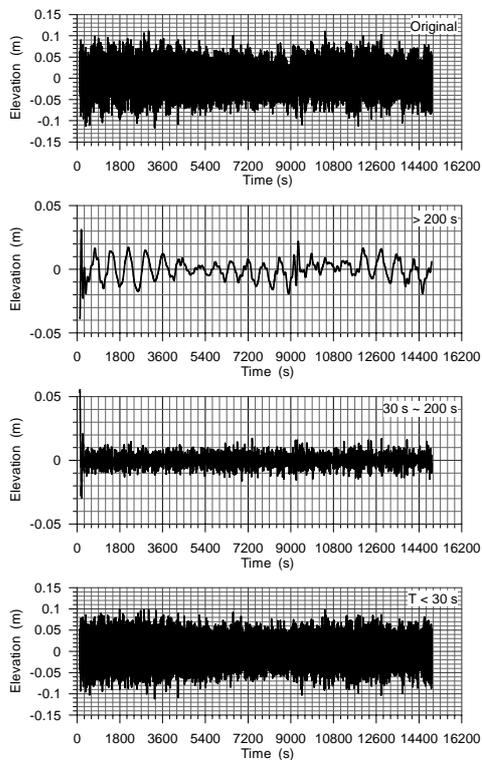


(a) 水位觀測及分析資料

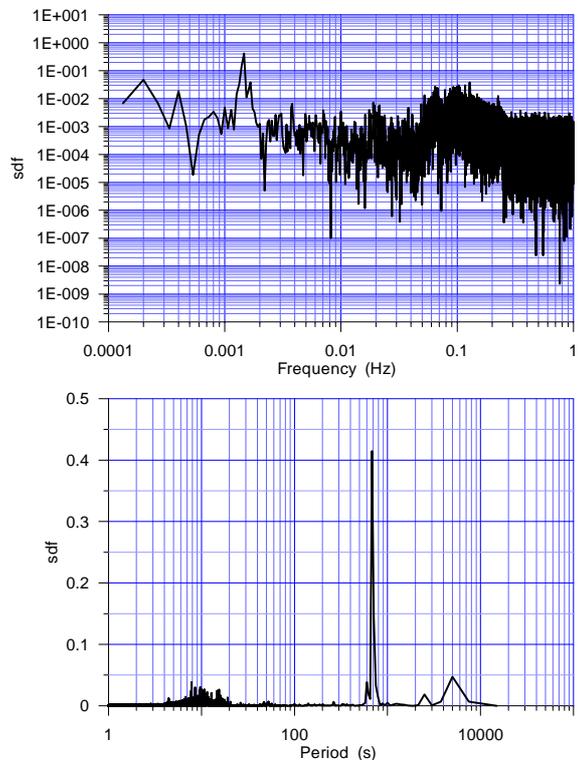


(b) 頻譜

圖 3.34 花蓮港外港 20060406 16:00 水位觀測及頻譜分析

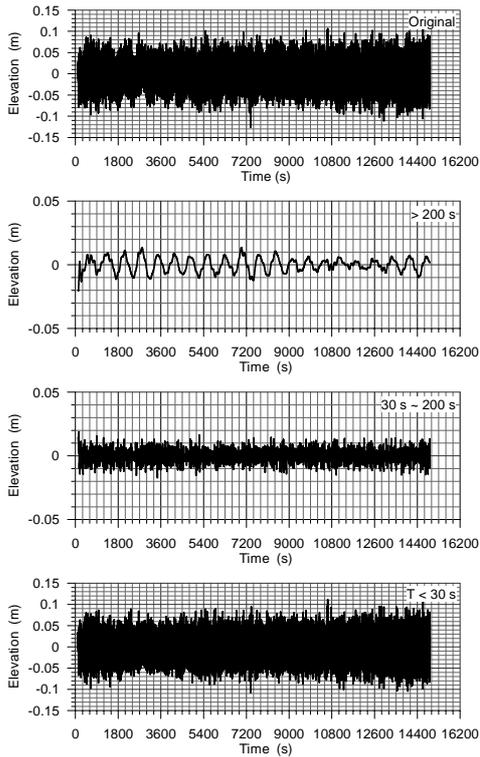


(a) 水位觀測及分析資料

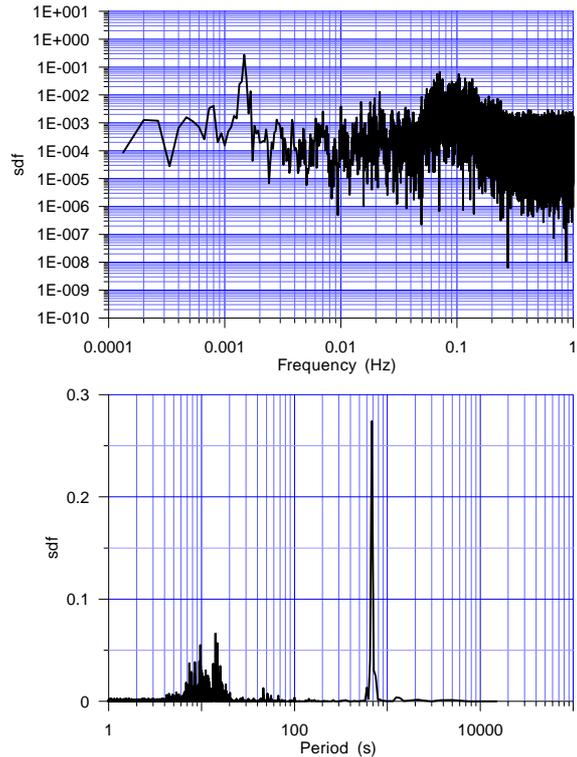


(b) 頻譜

圖 3.35 花蓮港外港 20060406 20:10 水位觀測及頻譜分析

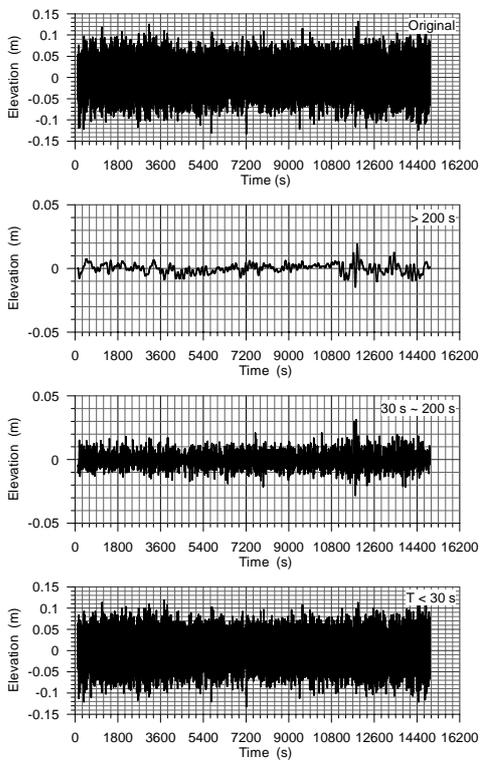


(a) 水位觀測及分析資料

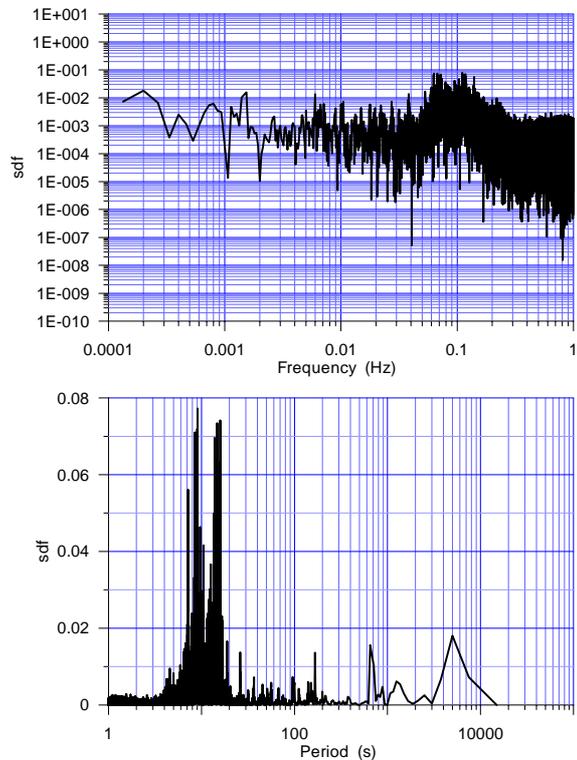


(b) 頻譜

圖 3.36 花蓮港外港 20060407 00:20 水位觀測及頻譜分析

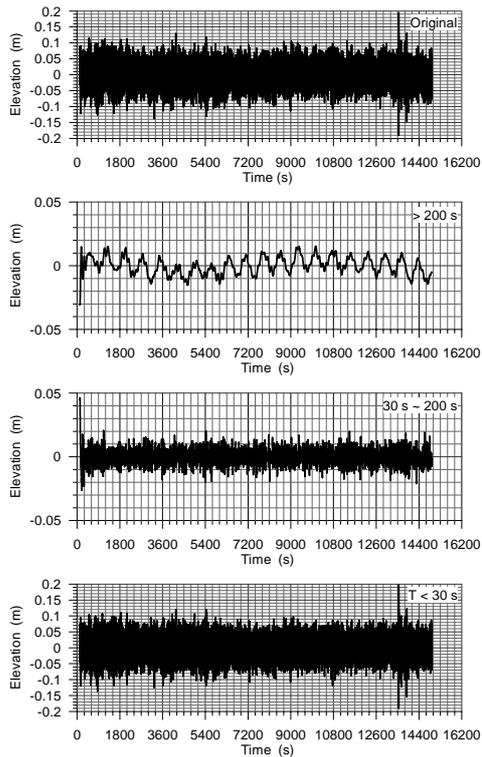


(a) 水位觀測及分析資料

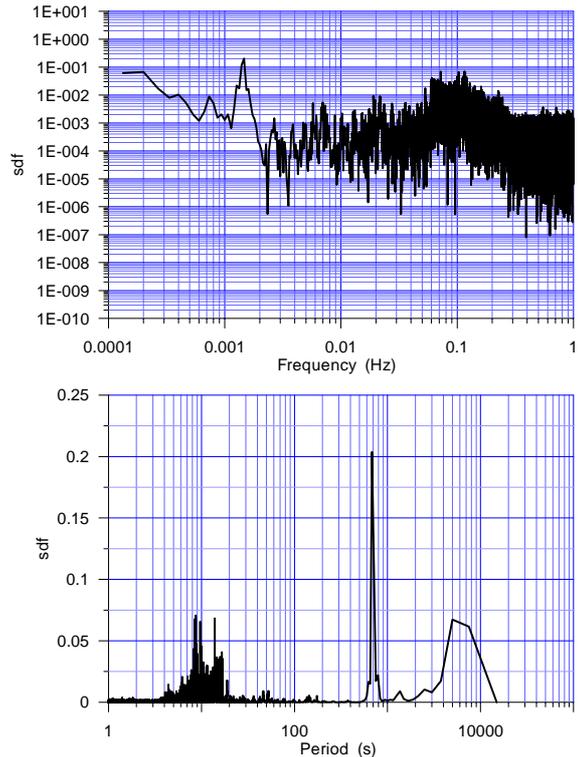


(b) 頻譜

圖 3.37 花蓮港外港 20060418 04:30 水位觀測及頻譜分析

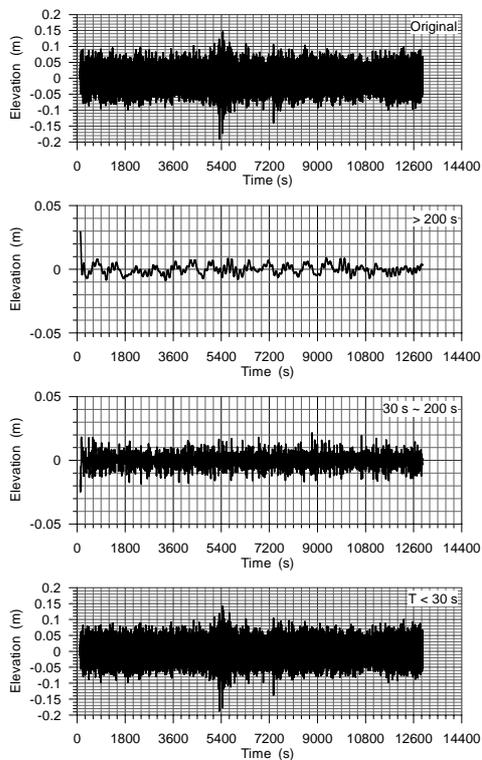


(a) 水位觀測及分析資料

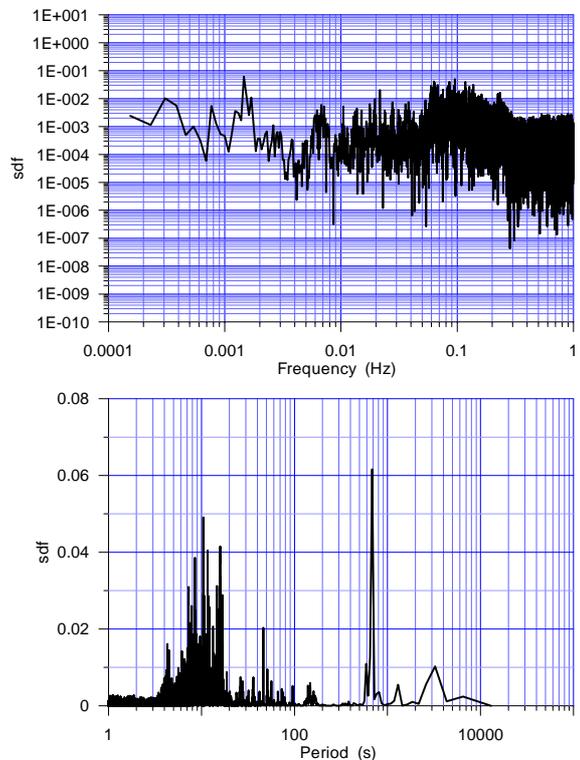


(b) 頻譜

圖 3.38 花蓮港外港 20060407 08:40 水位觀測及頻譜分析

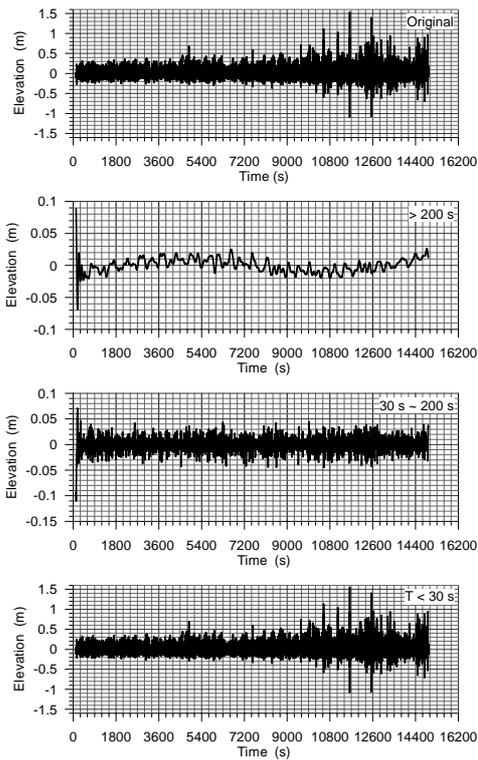


(a) 水位觀測及分析資料

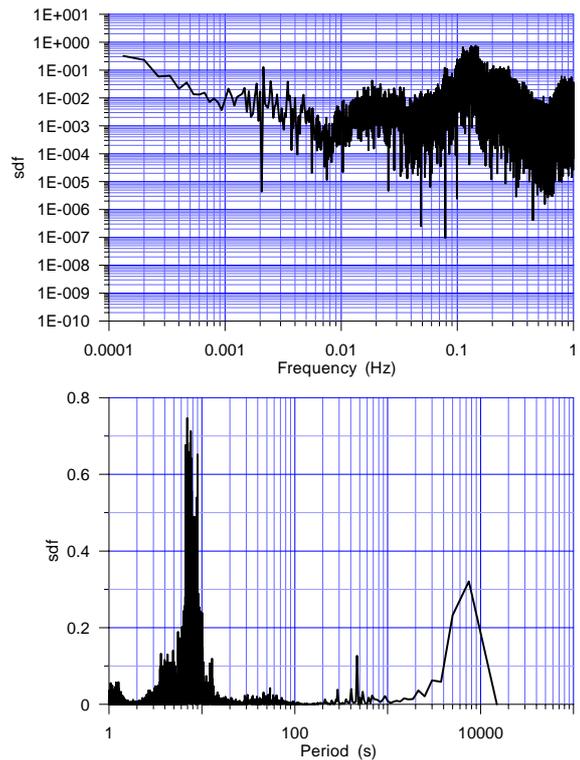


(b) 頻譜

圖 3.39 花蓮港外港 20060407 12:50 水位觀測及頻譜分析

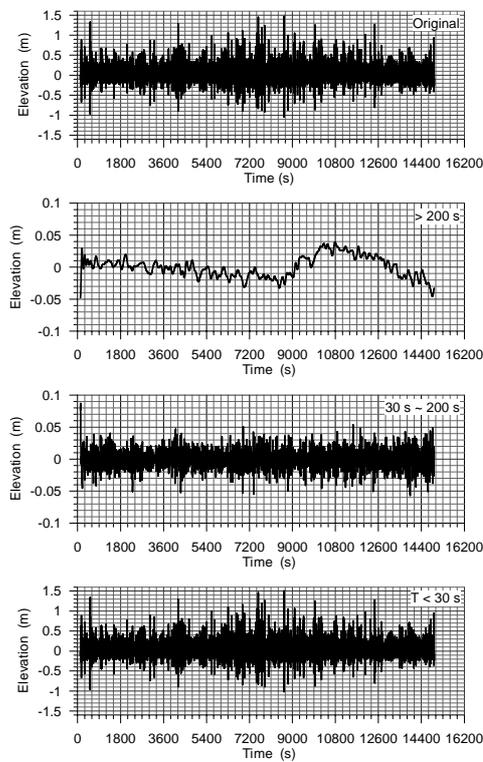


(a) 水位觀測及分析資料

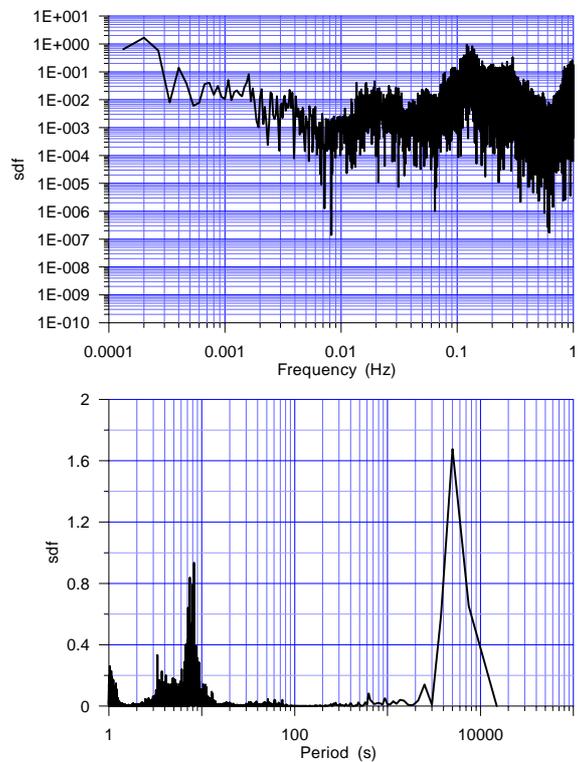


(b) 頻譜

圖 3.40 鹽寮漁港 20060610 06:00 水位觀測及頻譜分析

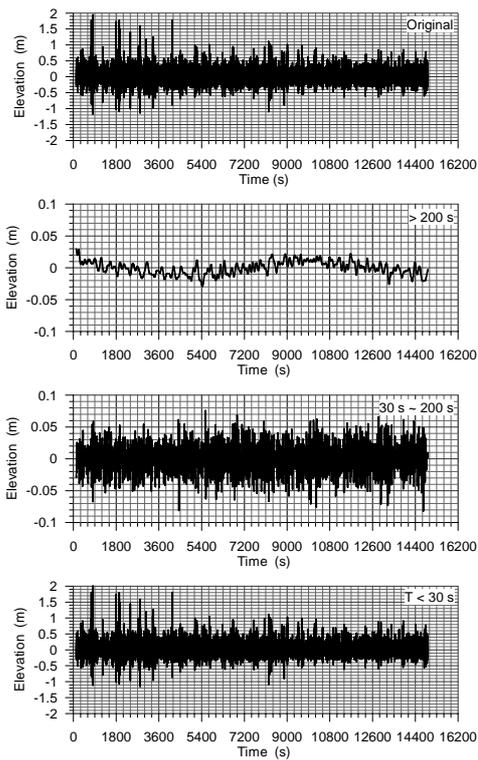


(a) 水位觀測及分析資料

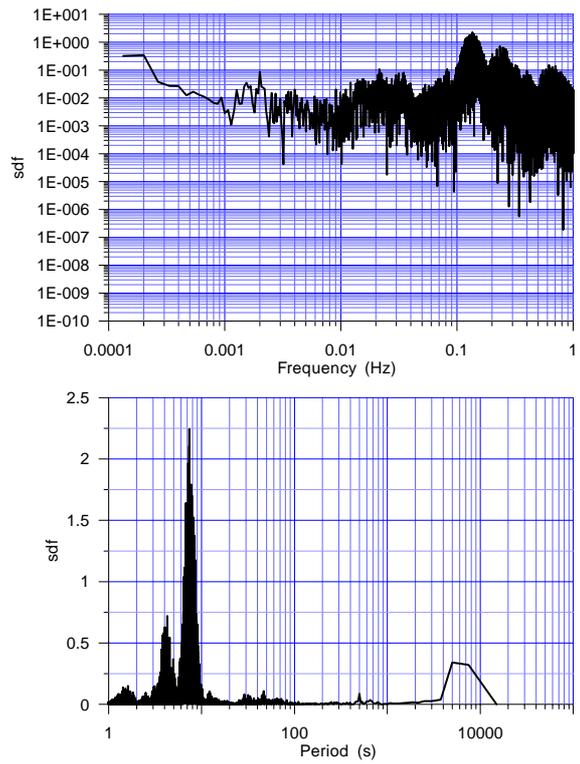


(b) 頻譜

圖 3.41 鹽寮漁港 20060610 10:10 水位觀測及頻譜分析

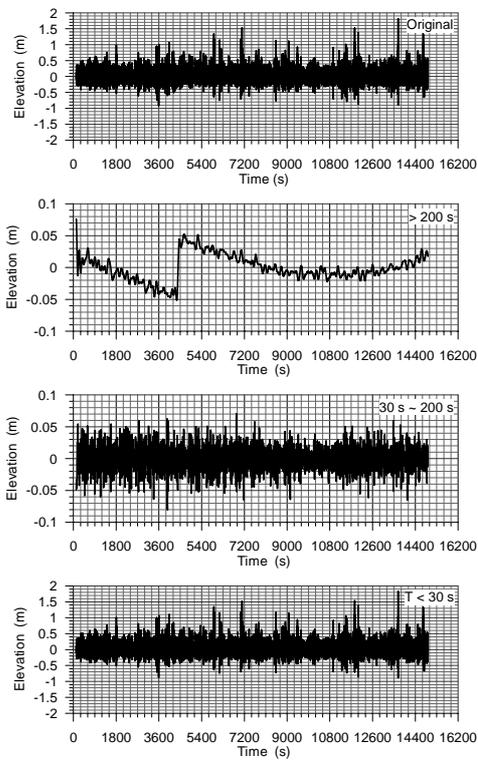


(a) 水位觀測及分析資料

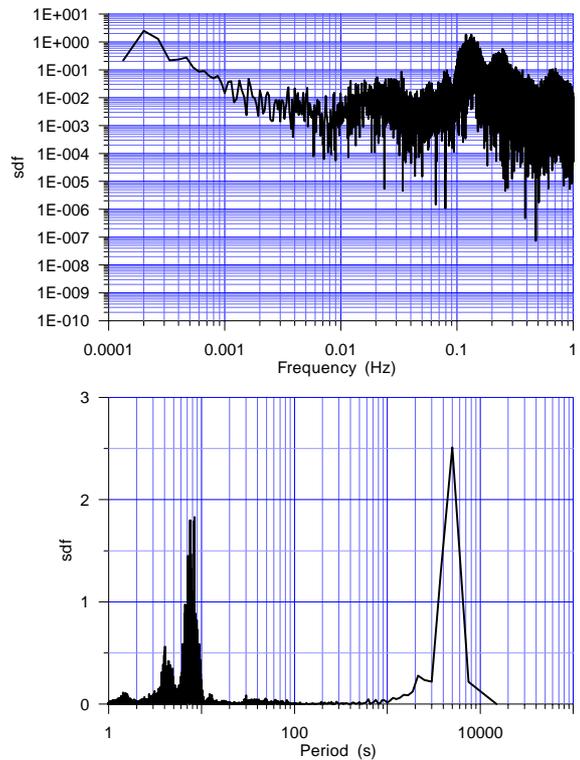


(b) 頻譜

圖 3.42 鹽寮漁港 20060610 14:20 水位觀測及頻譜分析

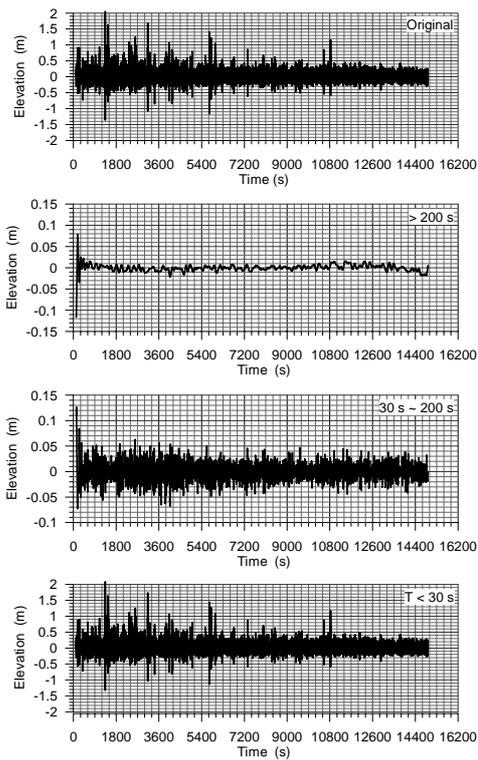


(a) 水位觀測及分析資料

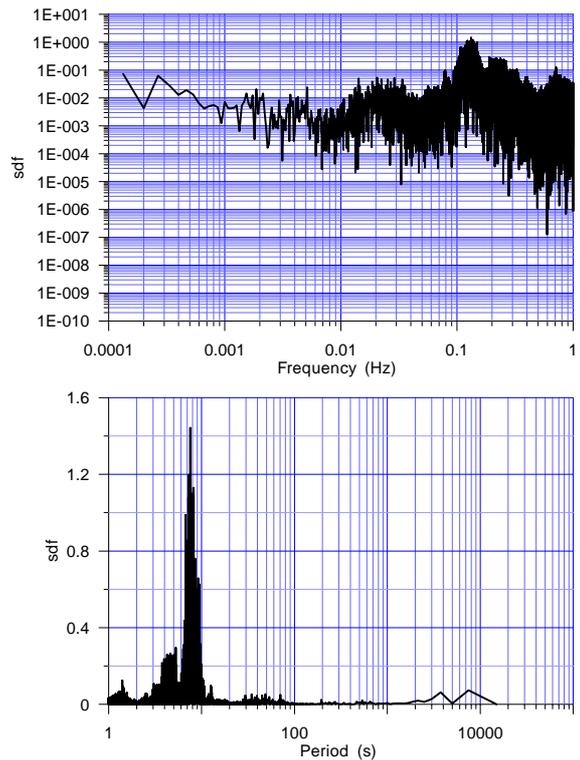


(b) 頻譜

圖 3.43 鹽寮漁港 20060610 18:30 水位觀測及頻譜分析

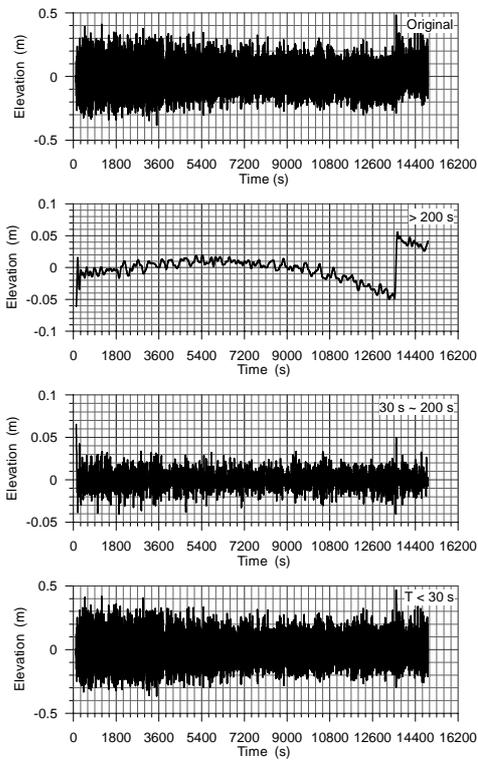


(a) 水位觀測及分析資料

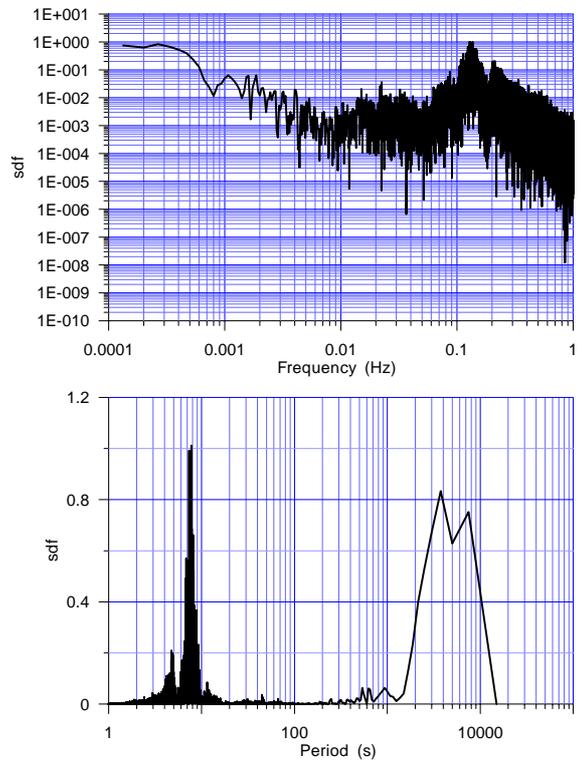


(b) 頻譜

圖 3.44 鹽寮漁港 20060610 22:40 水位觀測及頻譜分析

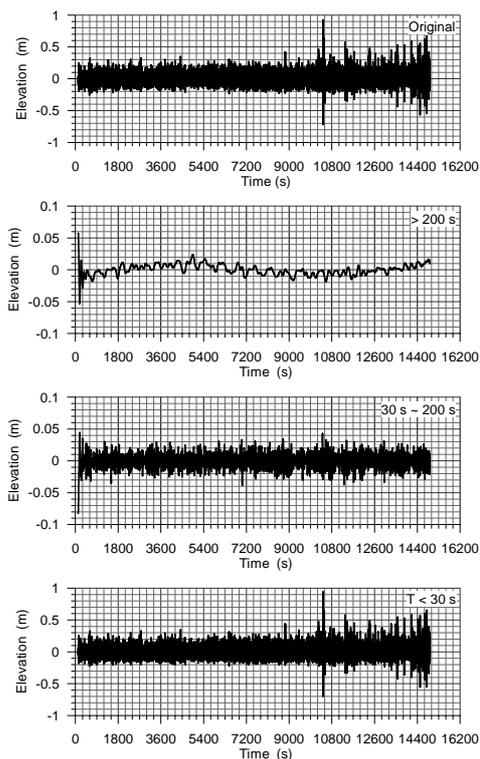


(a) 水位觀測及分析資料

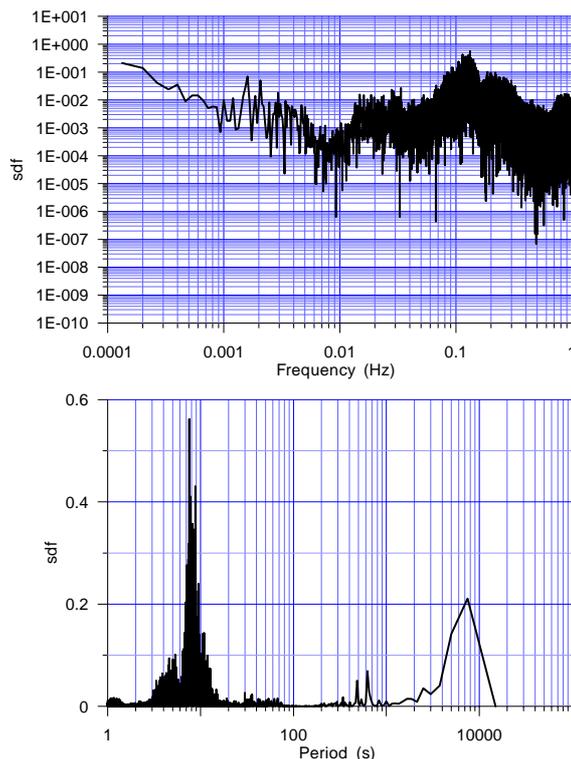


(b) 頻譜

圖 3.45 鹽寮漁港 20060611 02:50 水位觀測及頻譜分析

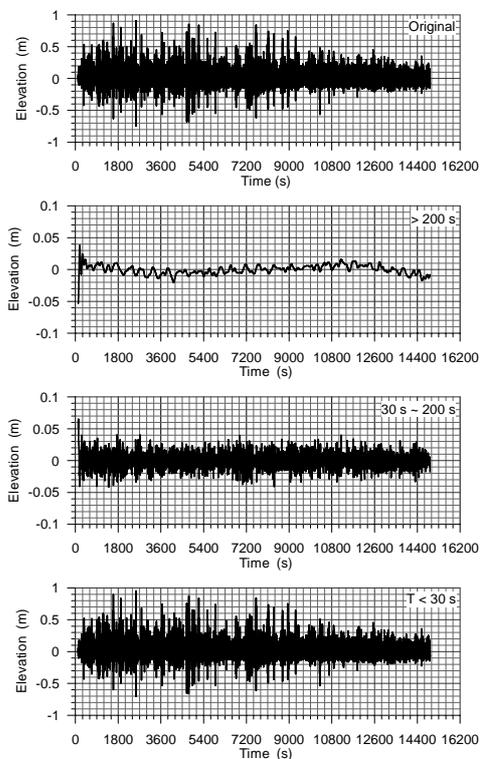


(a) 水位觀測及分析資料

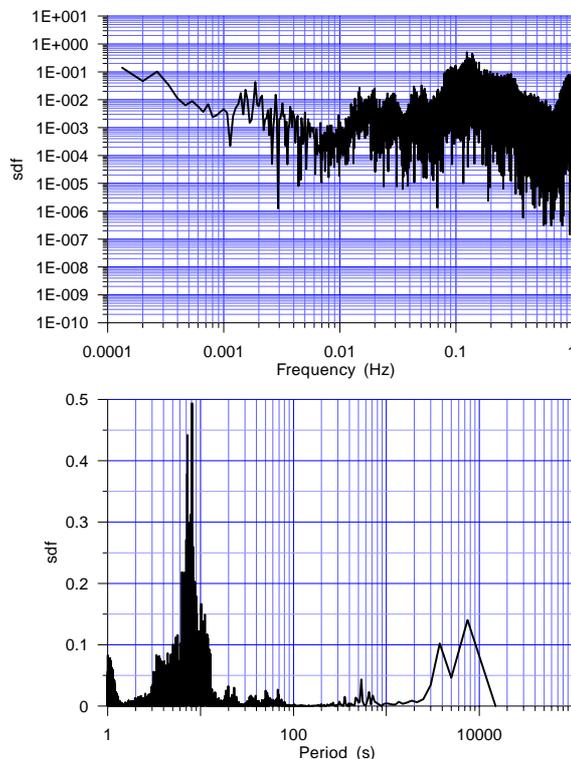


(b) 頻譜

圖 3.46 鹽寮漁港 20060612 07:00 水位觀測及頻譜分析

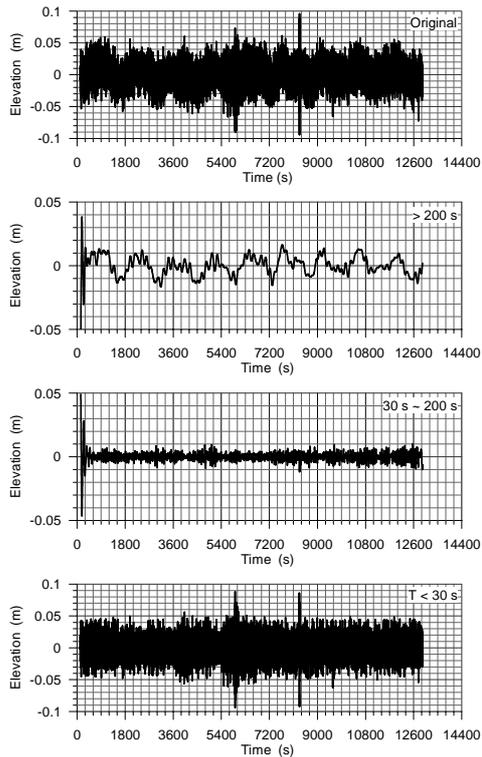


(a) 水位觀測及分析資料

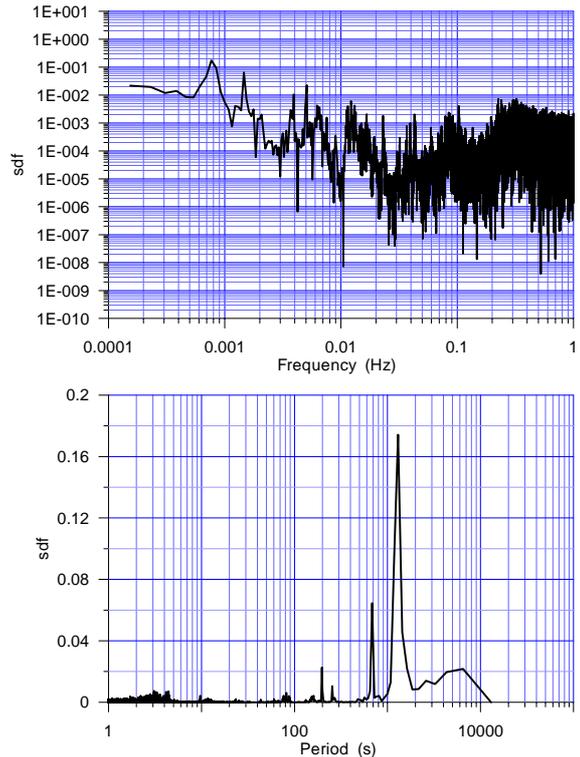


(b) 頻譜

圖 3.47 鹽寮漁港 20060612 11:10 水位觀測及頻譜分析

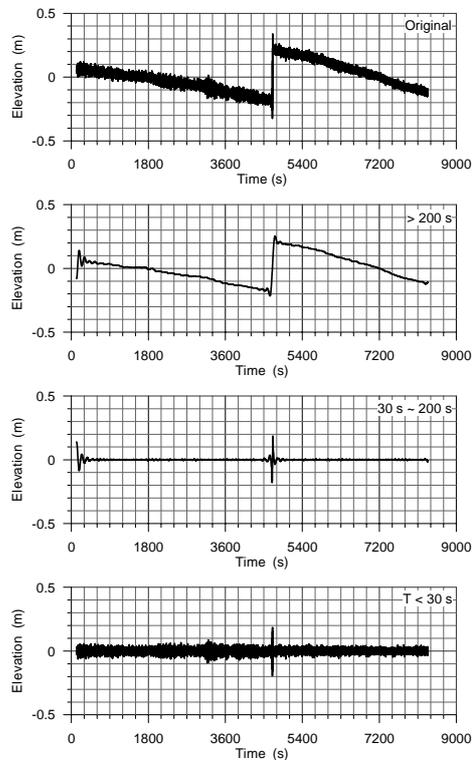


(a) 水位觀測及分析資料

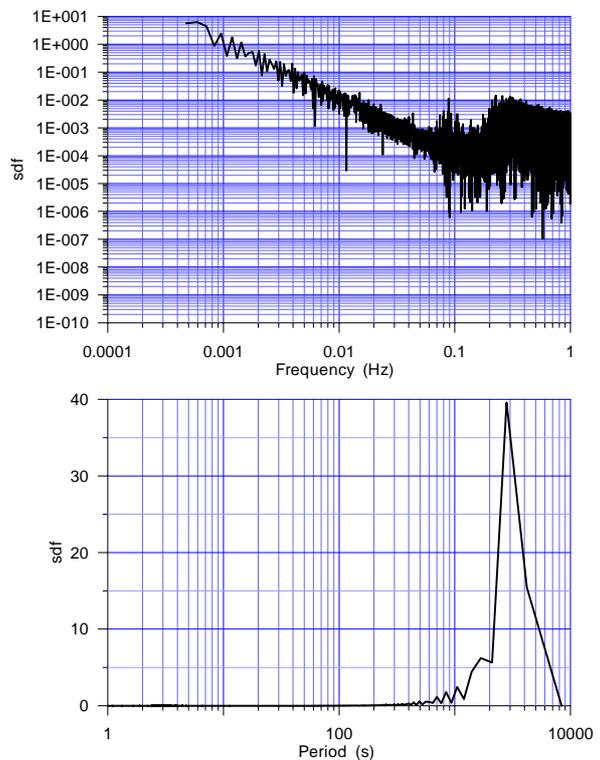


(b) 頻譜

圖 3.48 花蓮港內港 20060818 10:40 水位觀測及頻譜分析

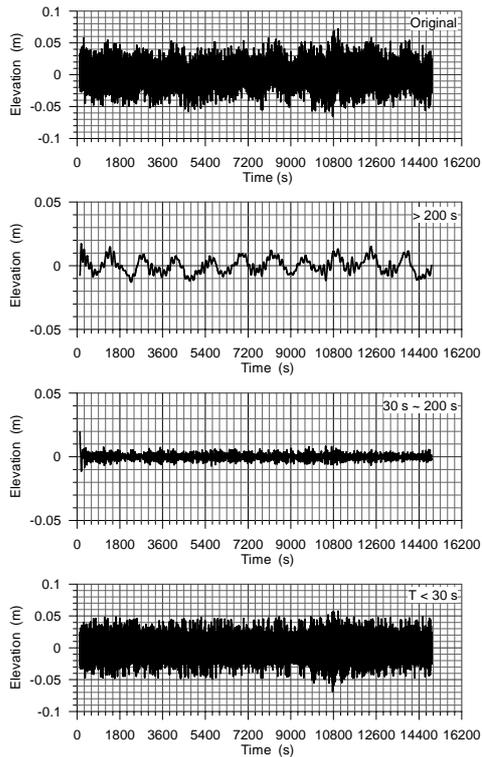


(a) 水位觀測及分析資料

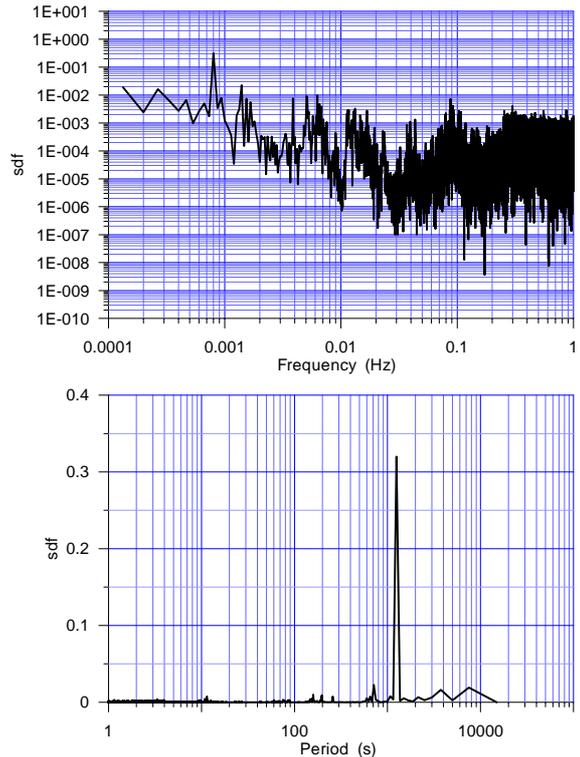


(b) 頻譜

圖 3.49 花蓮港內港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析

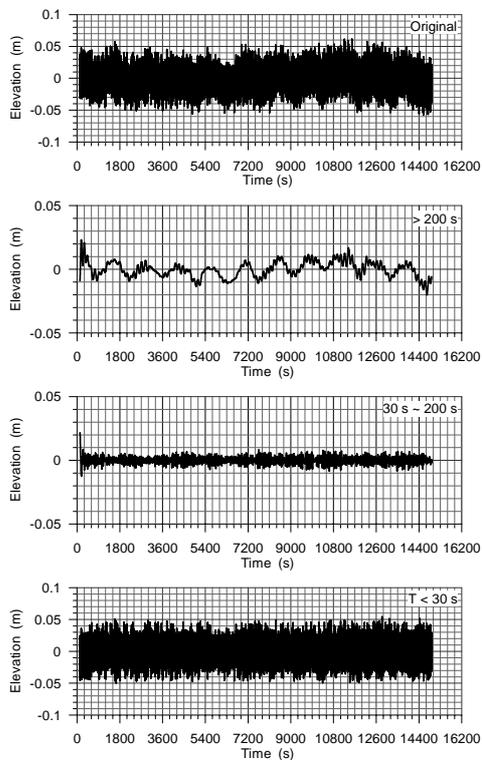


(a) 水位觀測及分析資料

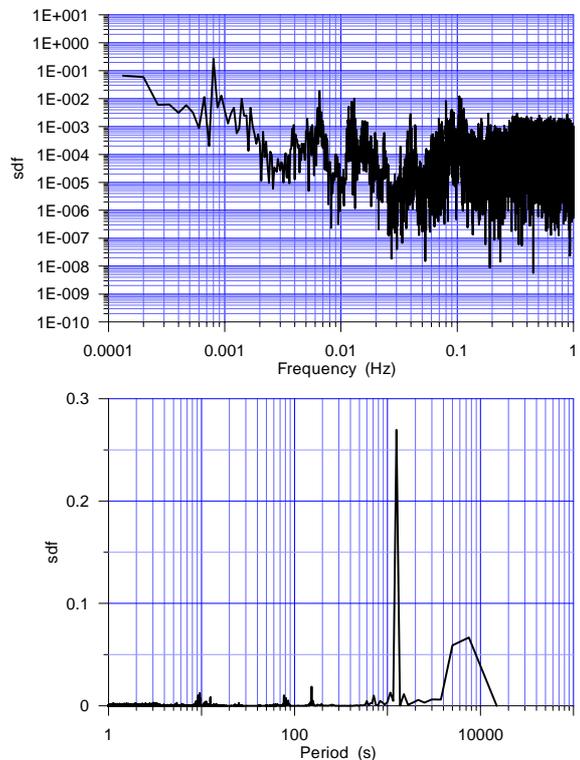


(b) 頻譜

圖 3.50 花蓮港內港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析

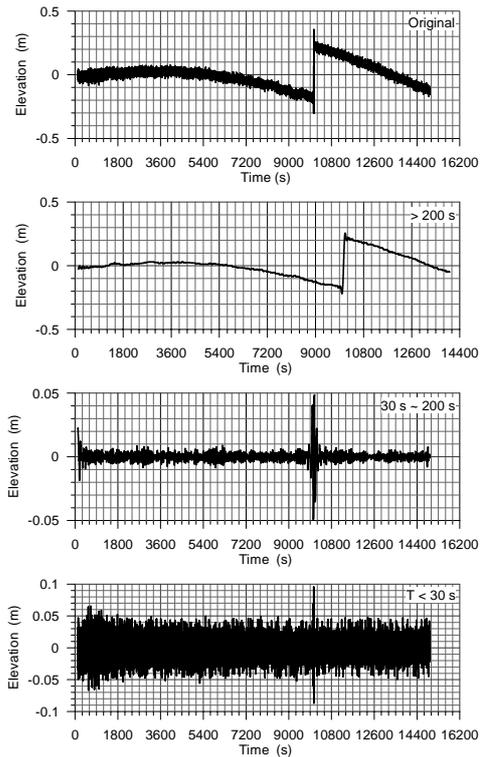


(a) 水位觀測及分析資料

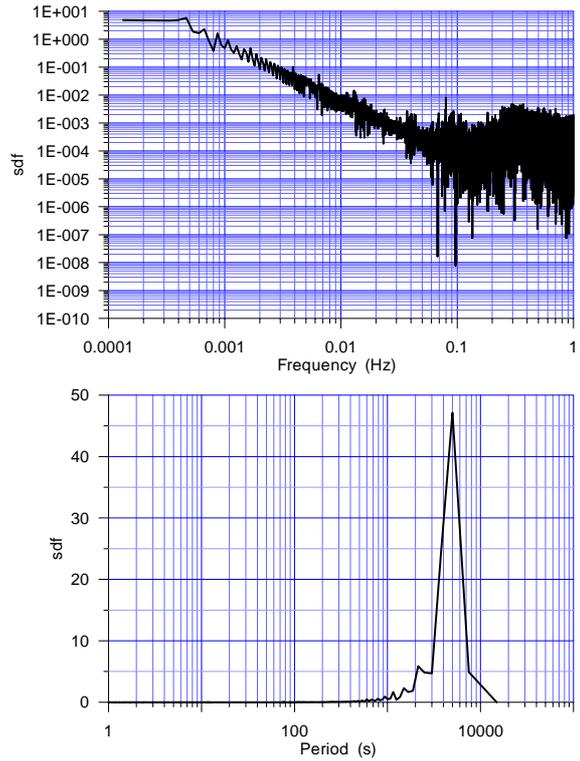


(b) 頻譜

圖 3.51 花蓮港內港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析

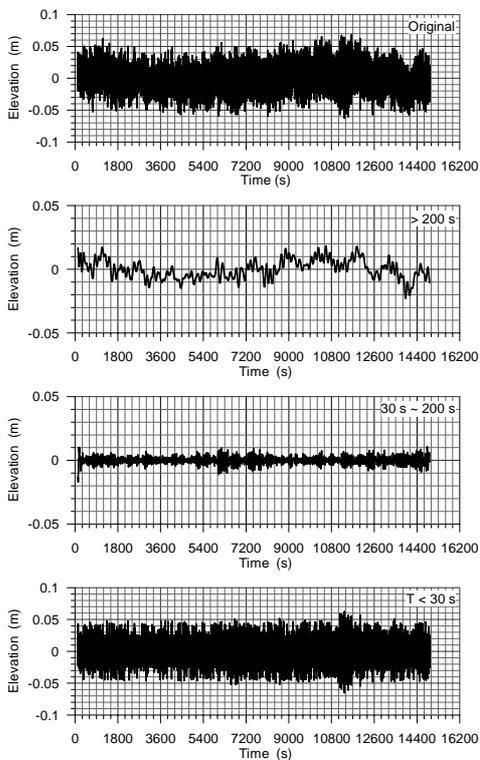


(a) 水位觀測及分析資料

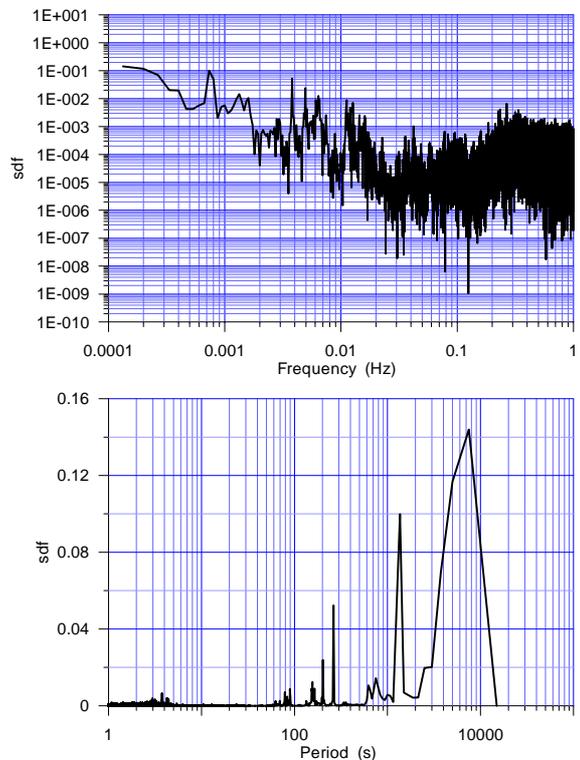


(b) 頻譜

圖 3.52 花蓮港內港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析

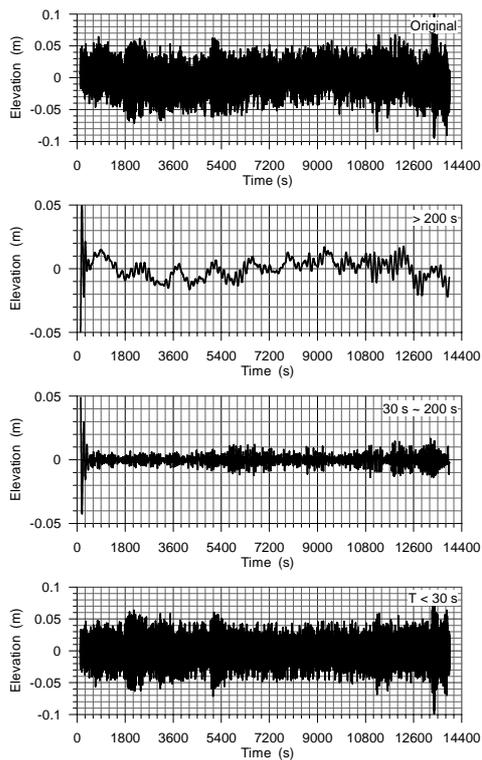


(a) 水位觀測及分析資料

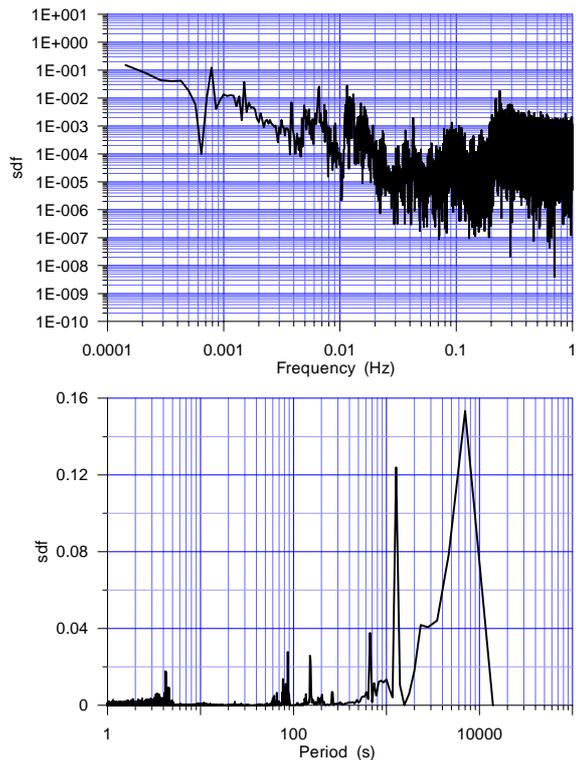


(b) 頻譜

圖 3.53 花蓮港內港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析

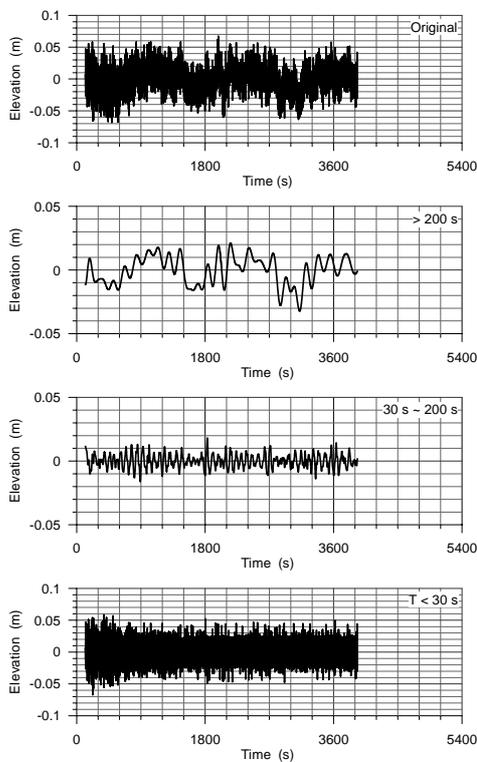


(a) 水位觀測及分析資料

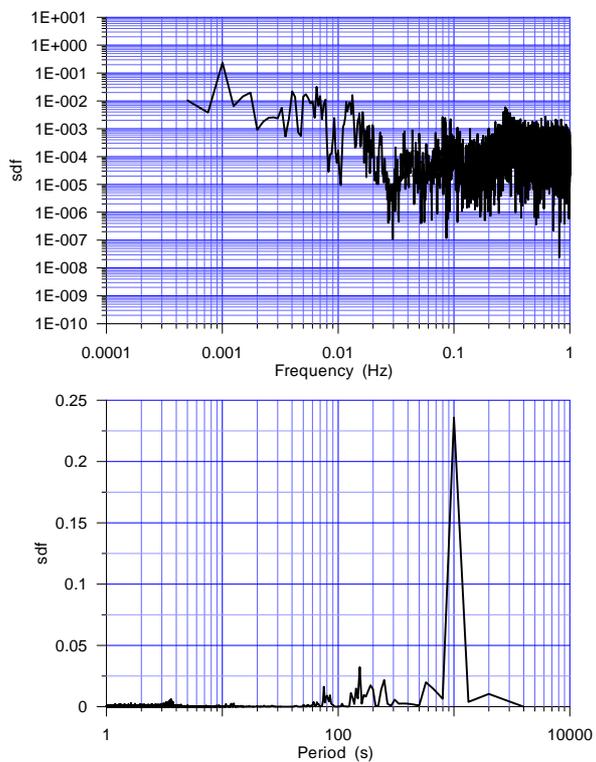


(b) 頻譜

圖 3.54 花蓮港內港 20060819 11:40 水位觀測及頻譜分析

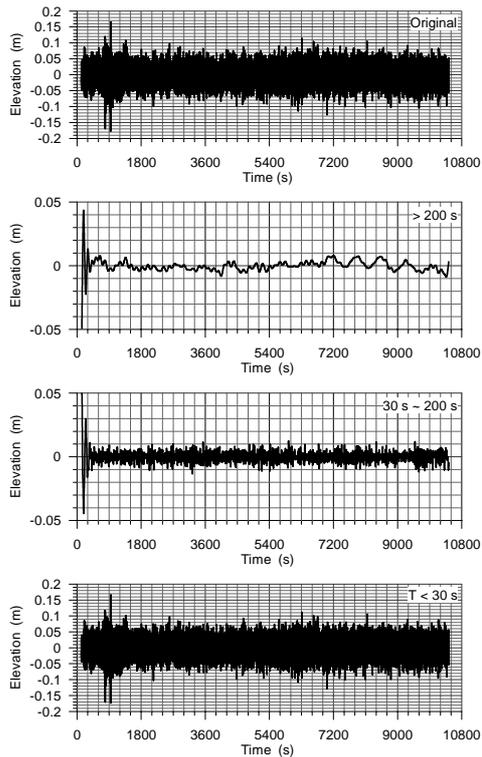


(a) 水位觀測及分析資料

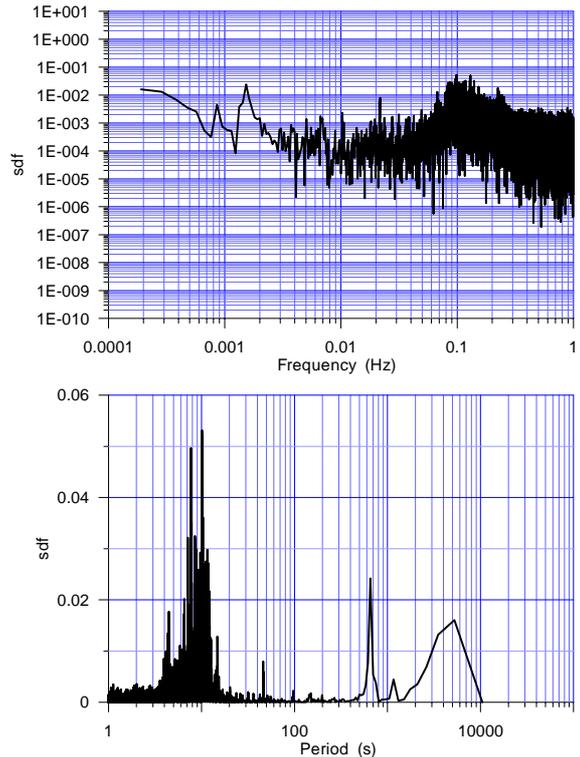


(b) 頻譜

圖 3.55 花蓮港內港 20060819 15:50 水位觀測及頻譜分析

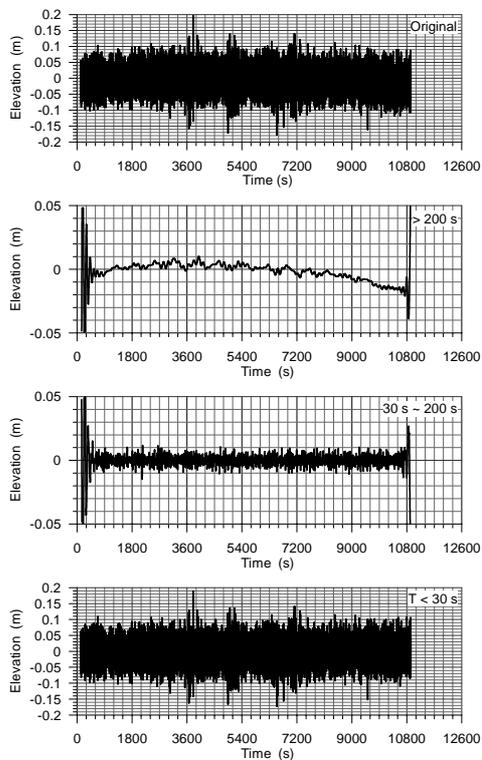


(a) 水位觀測及分析資料

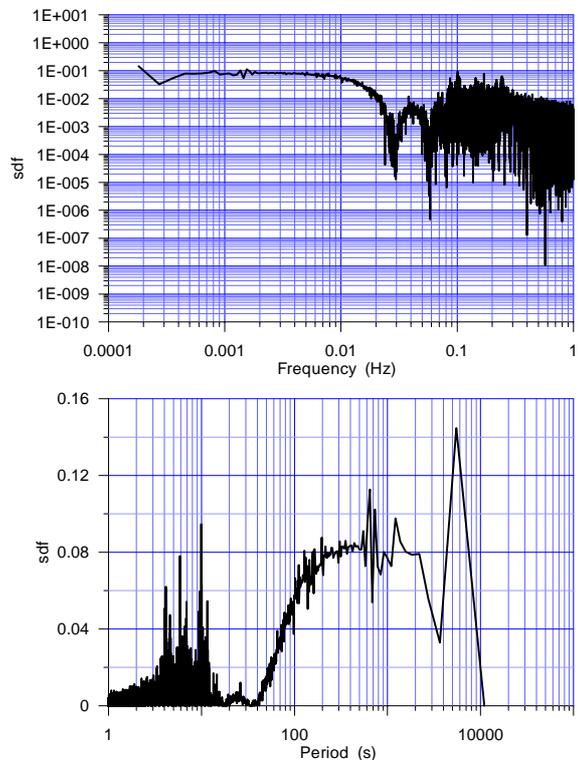


(b) 頻譜

圖 3.56 花蓮港外港 20060818 10:40 水位觀測及頻譜分析

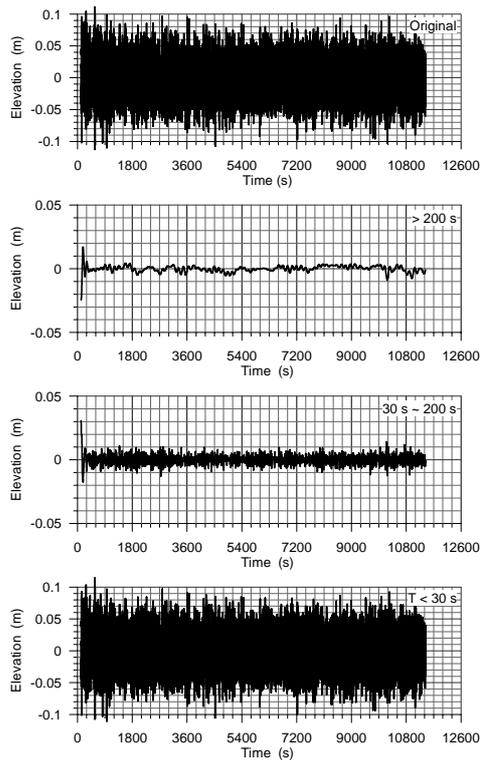


(a) 水位觀測及分析資料

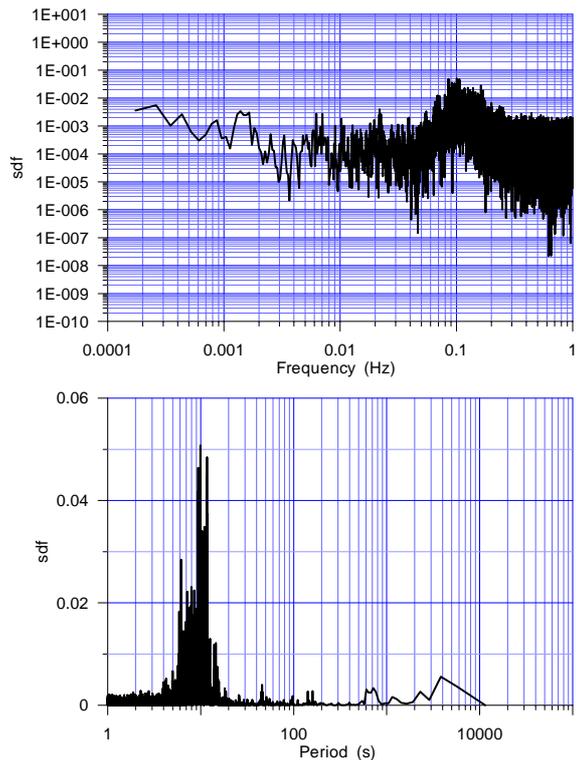


(b) 頻譜

圖 3.57 花蓮港外港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析

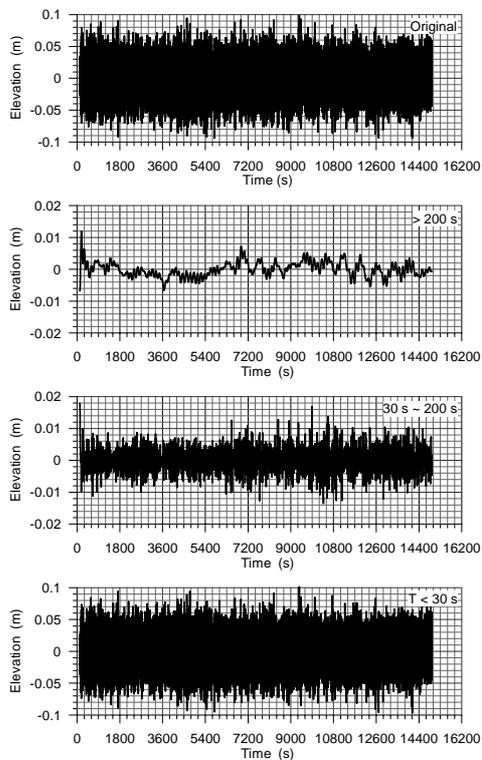


(a) 水位觀測及分析資料

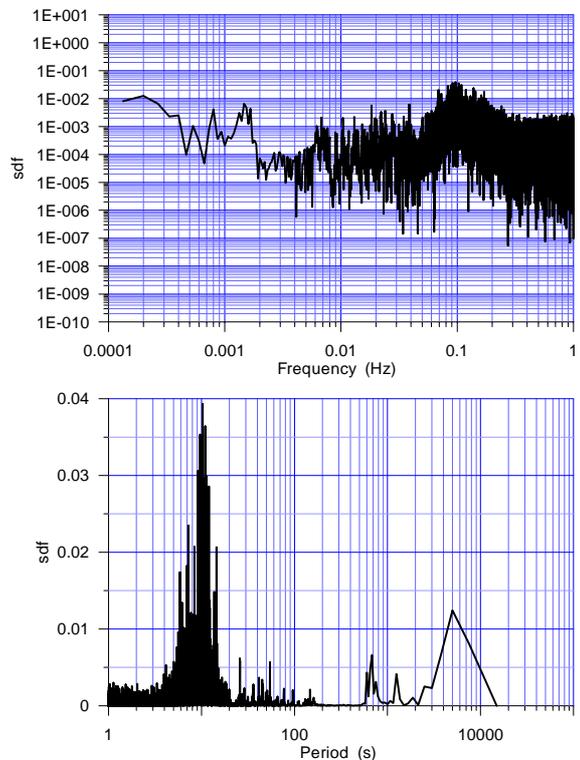


(b) 頻譜

圖 3.58 花蓮港外港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析

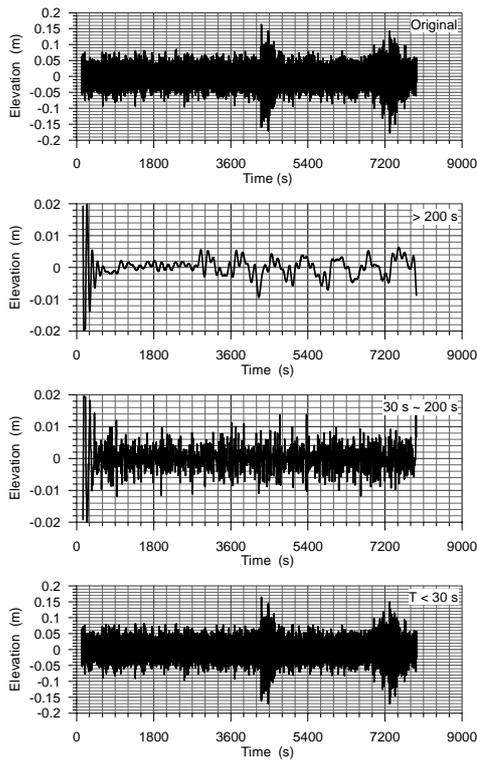


(a) 水位觀測及分析資料

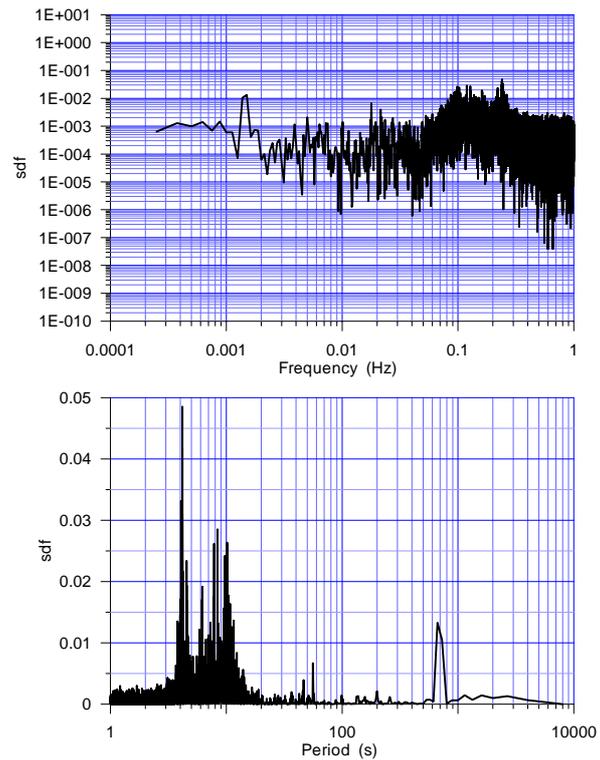


(b) 頻譜

圖 3.59 花蓮港外港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析

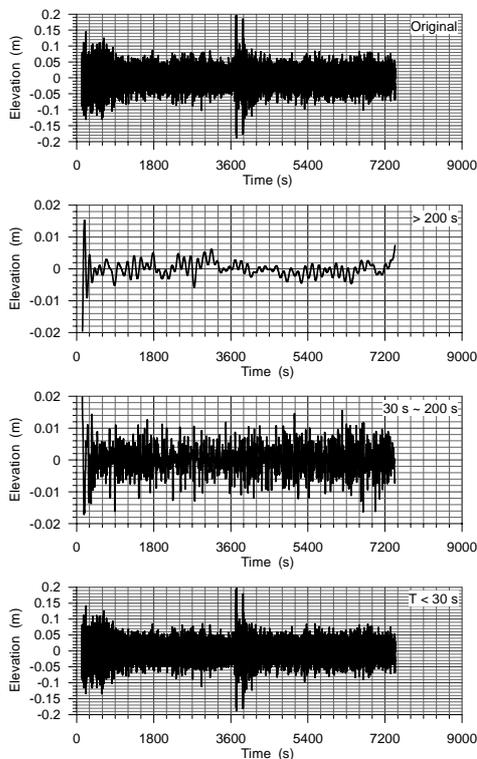


(a) 水位觀測及分析資料

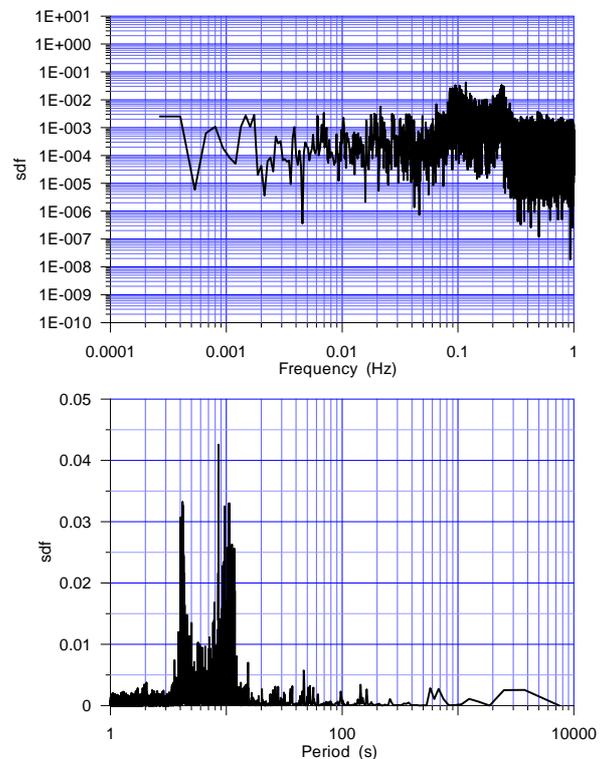


(b) 頻譜

圖 3.60 花蓮港外港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析

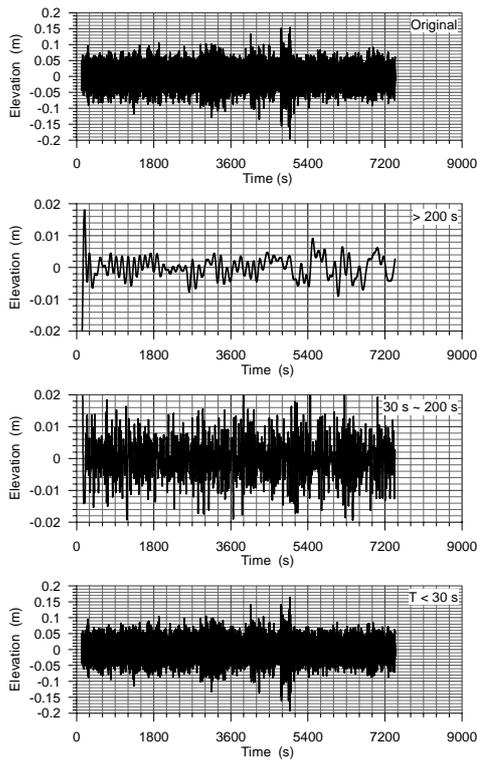


(a) 水位觀測及分析資料

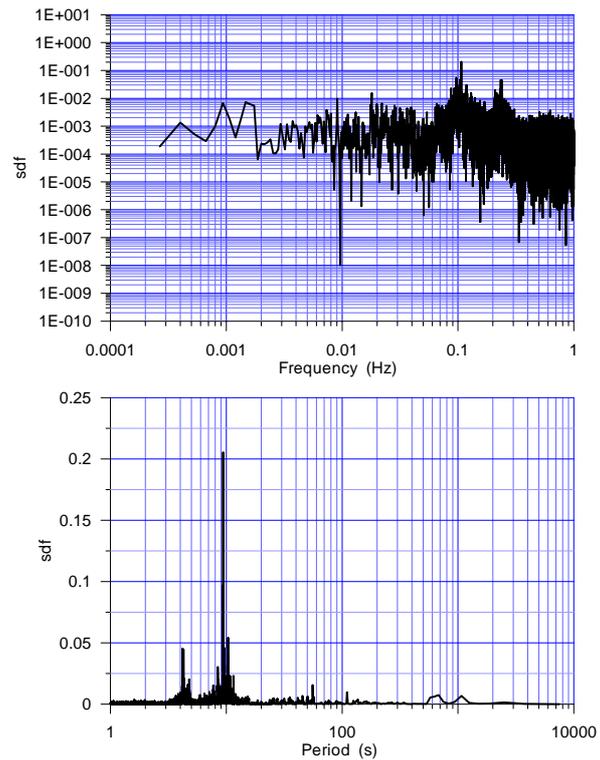


(b) 頻譜

圖 3.61 花蓮港外港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析

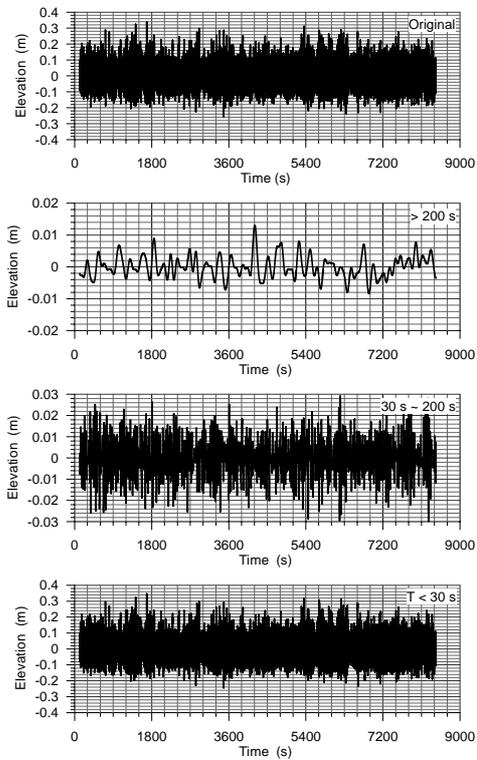


(a) 水位觀測及分析資料

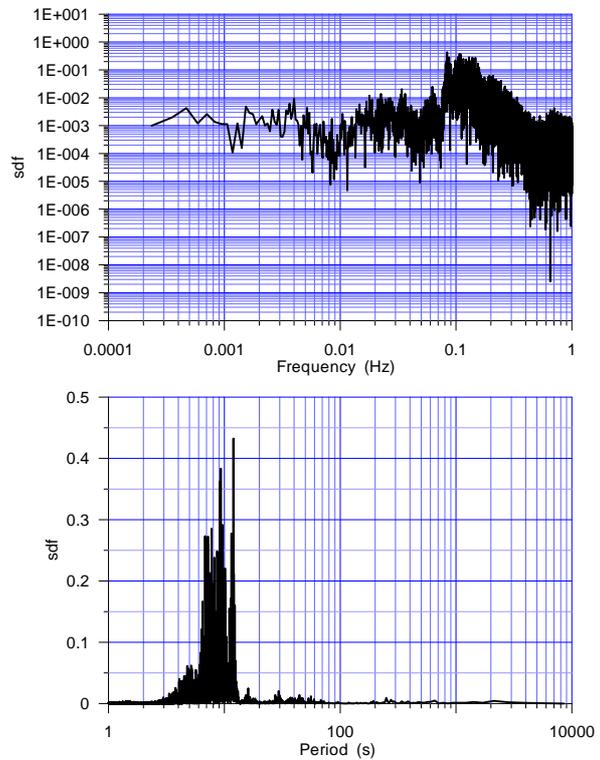


(b) 頻譜

圖 3.62 花蓮港外港 20060819 11:40 水位觀測及頻譜分析

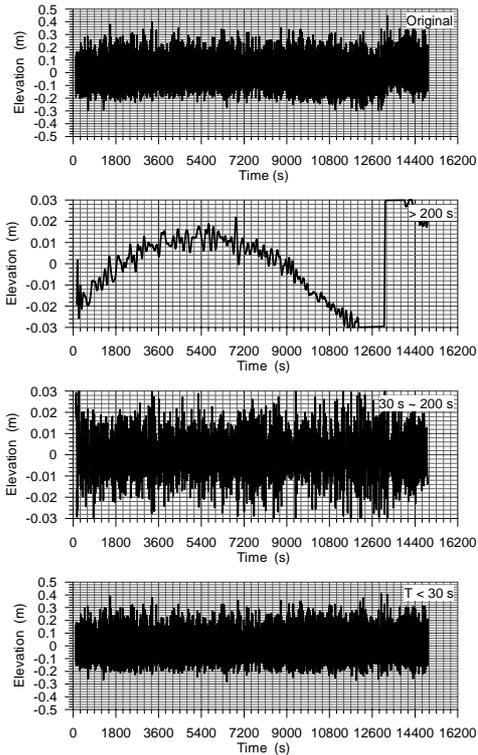


(a) 水位觀測及分析資料

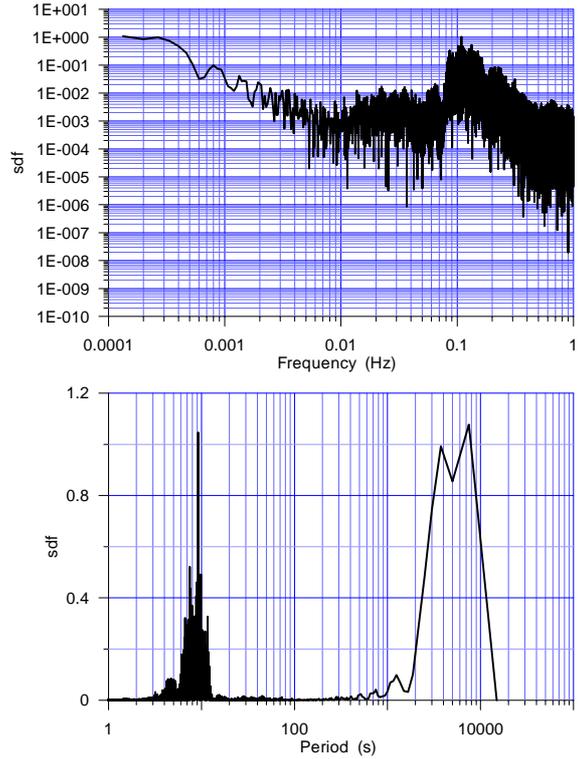


(b) 頻譜

圖 3.63 鹽寮漁港 20060818 10:40 水位觀測及頻譜分析

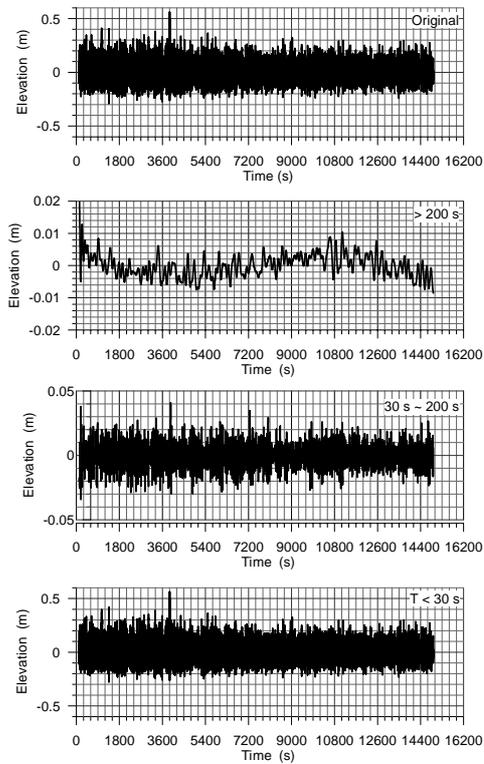


(a) 水位觀測及分析資料

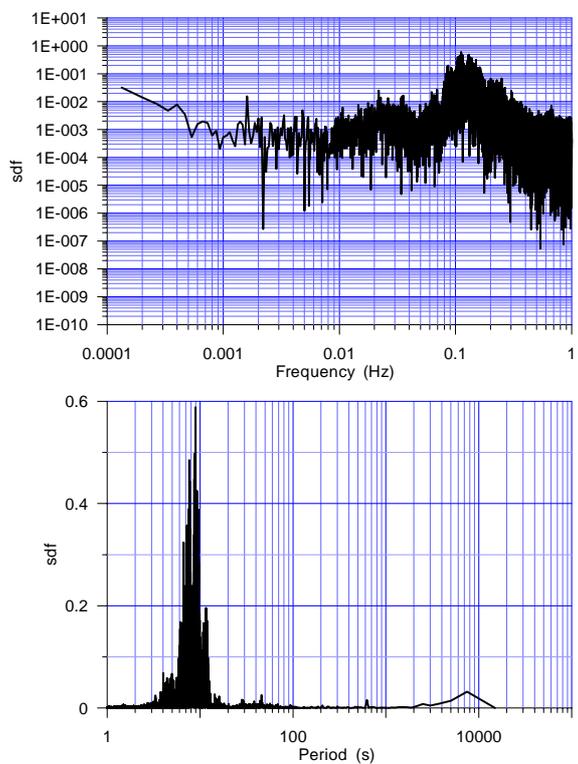


(b) 頻譜

圖 3.64 鹽寮漁港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析

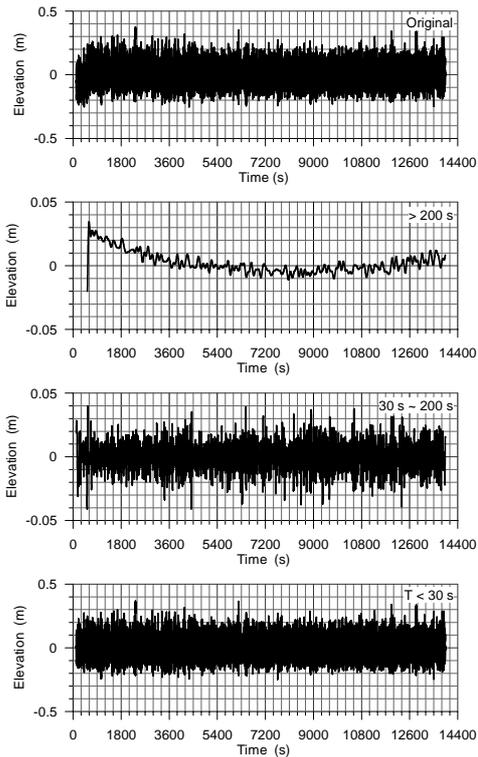


(a) 水位觀測及分析資料

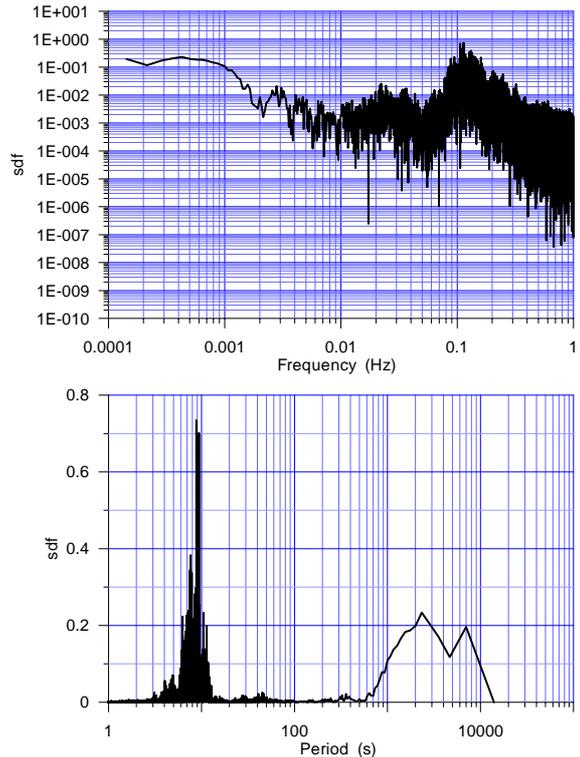


(b) 頻譜

圖 3.65 鹽寮漁港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析

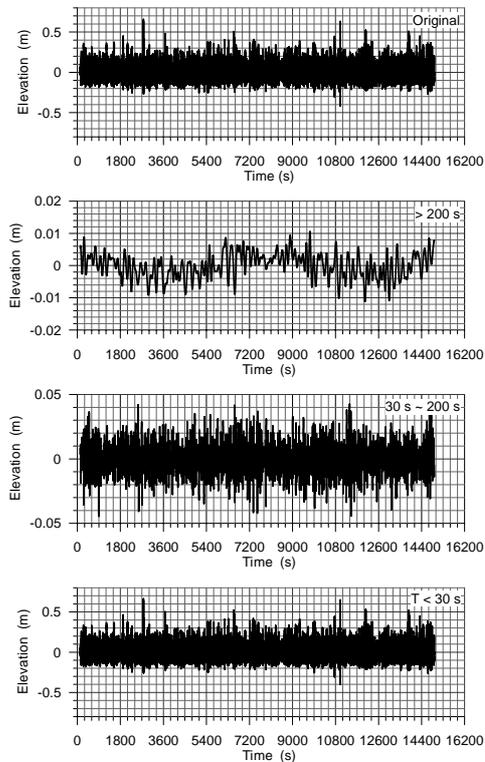


(a) 水位觀測及分析資料

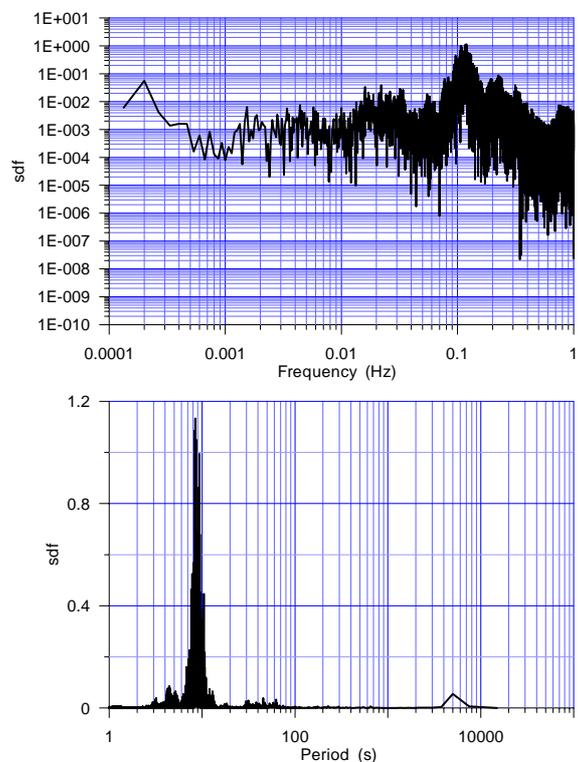


(b) 頻譜

圖 3.66 鹽寮漁港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析

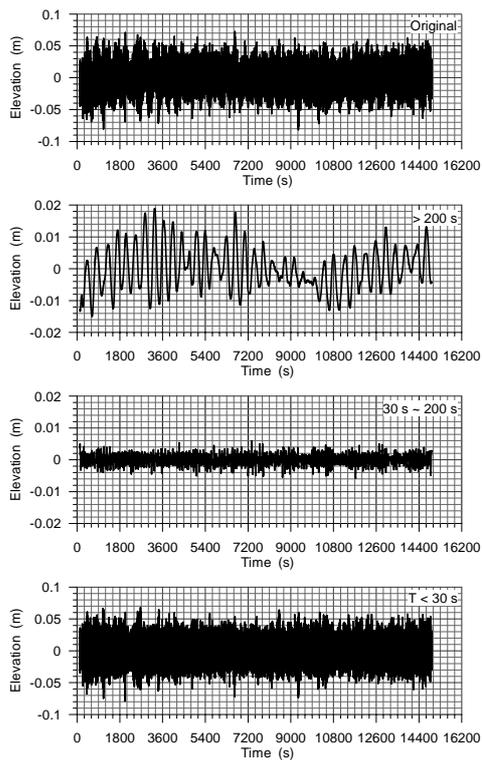


(a) 水位觀測及分析資料

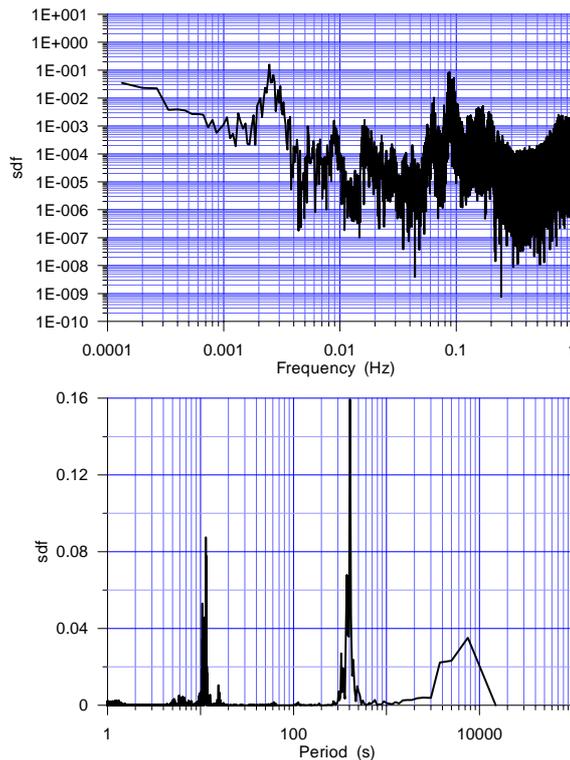


(b) 頻譜

圖 3.67 鹽寮漁港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析

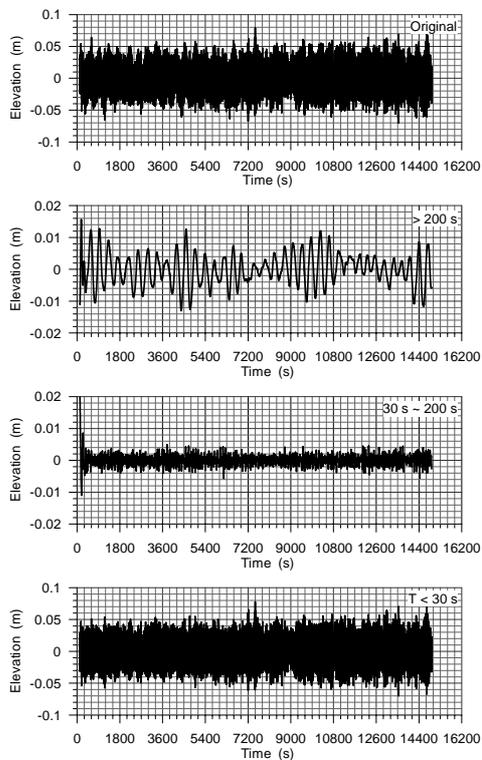


(a) 水位觀測及分析資料

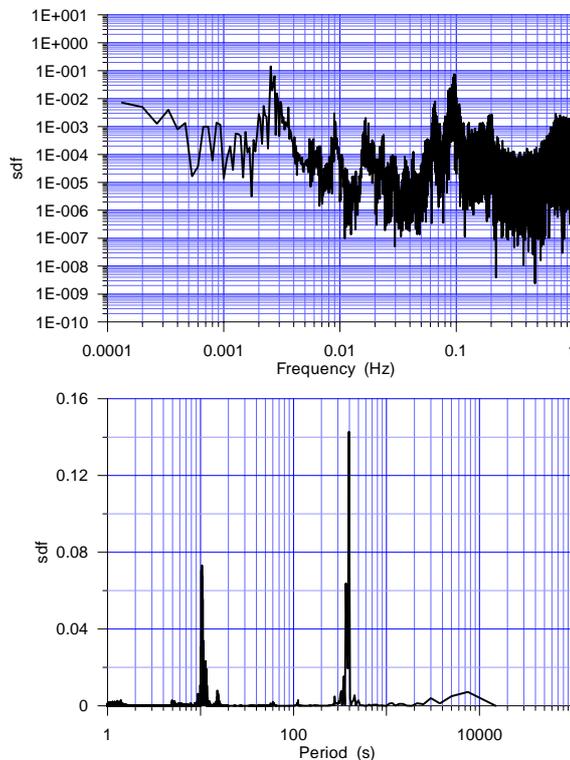


(b) 頻譜

圖 3.68 石梯漁港 20060818 14:50 水位觀測及頻譜分析

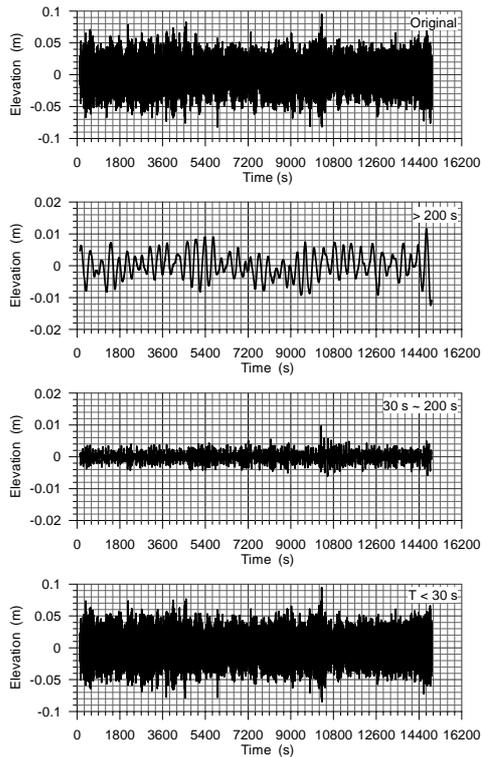


(a) 水位觀測及分析資料

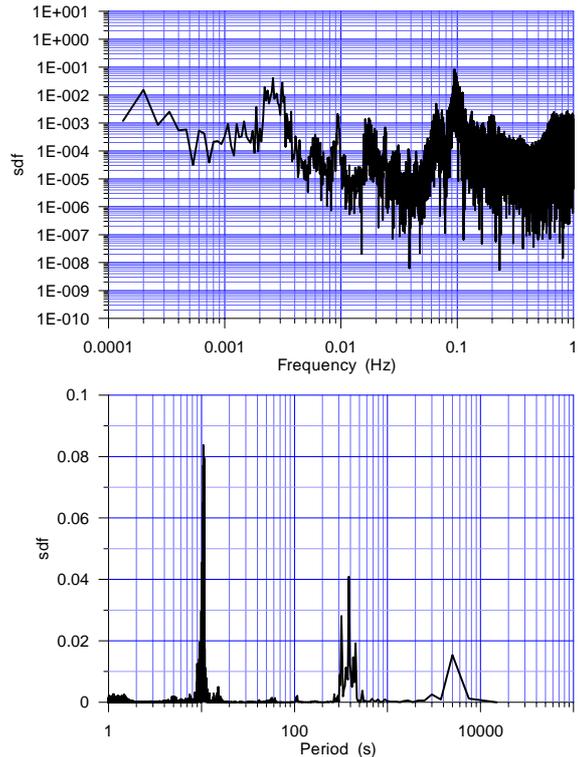


(b) 頻譜

圖 3.69 石梯漁港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析

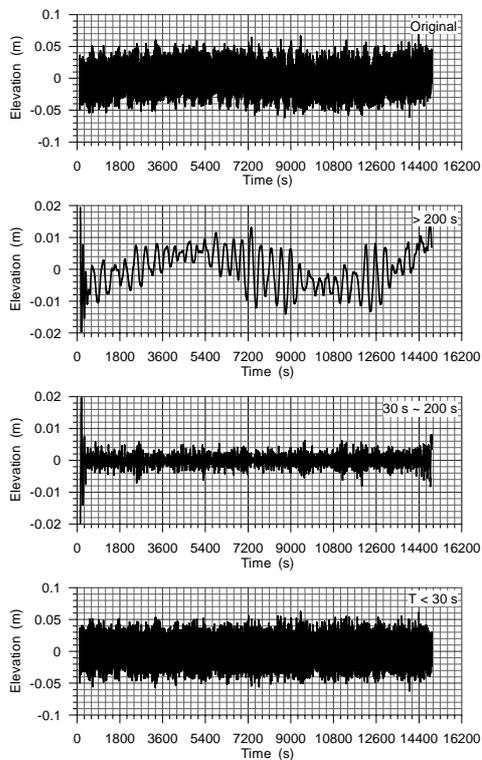


(a) 水位觀測及分析資料

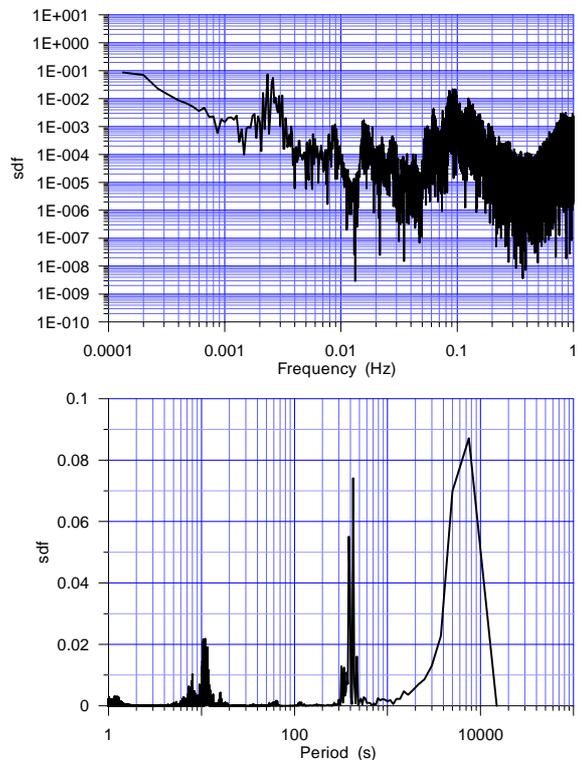


(b) 頻譜

圖 3.70 石梯漁港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析

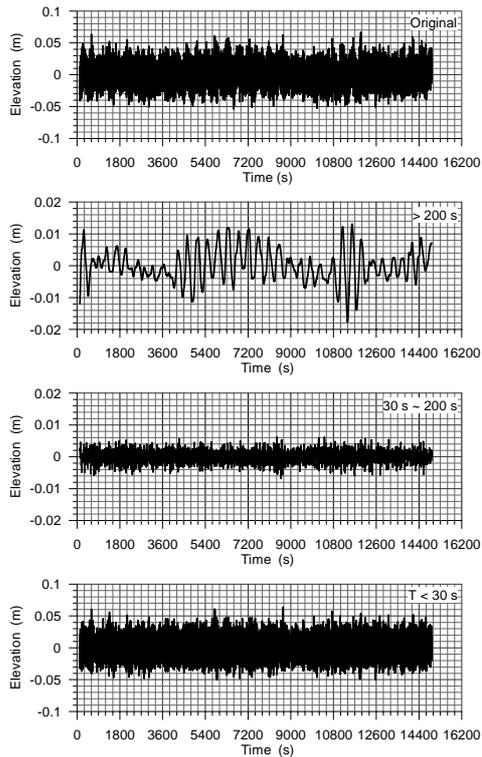


(a) 水位觀測及分析資料

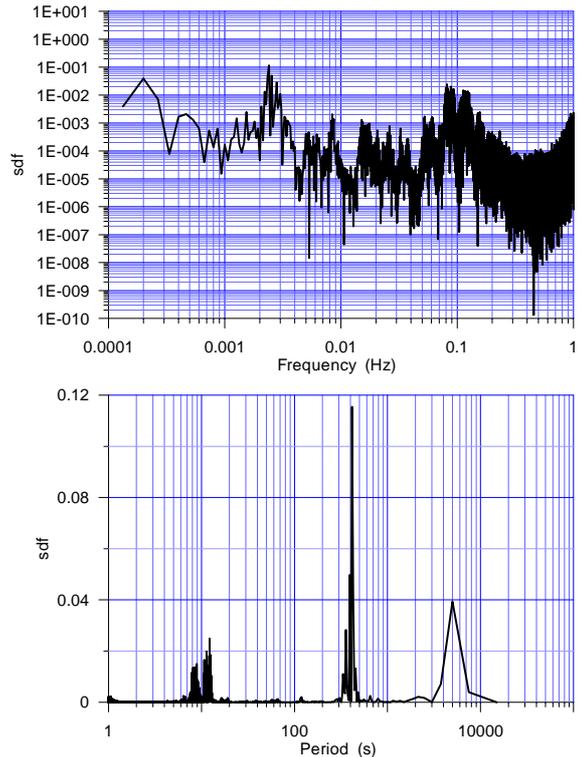


(b) 頻譜

圖 3.71 石梯漁港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析

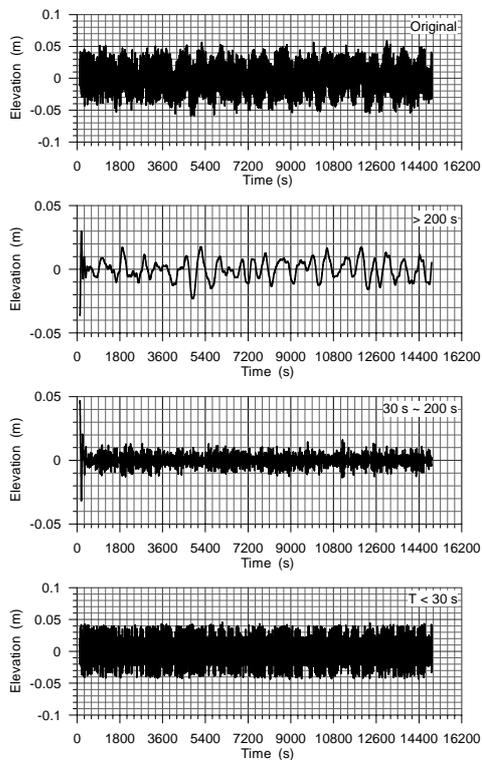


(a) 水位觀測及分析資料

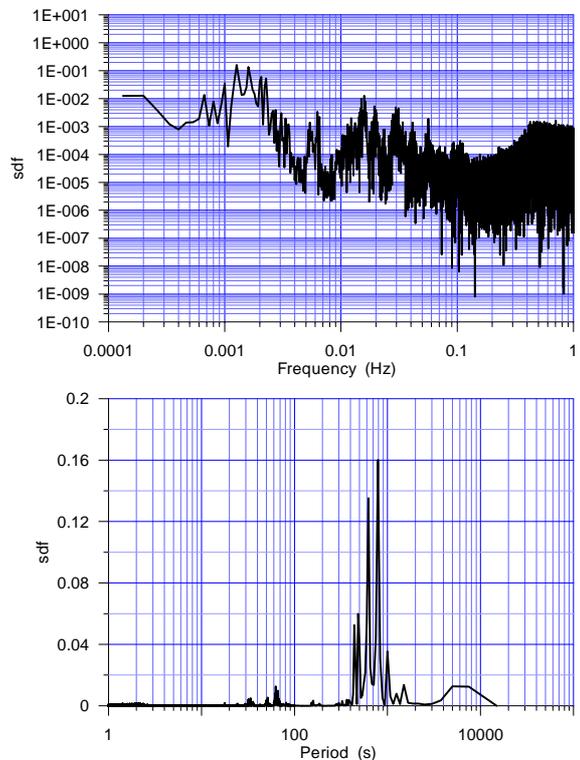


(b) 頻譜

圖 3.72 石梯漁港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析

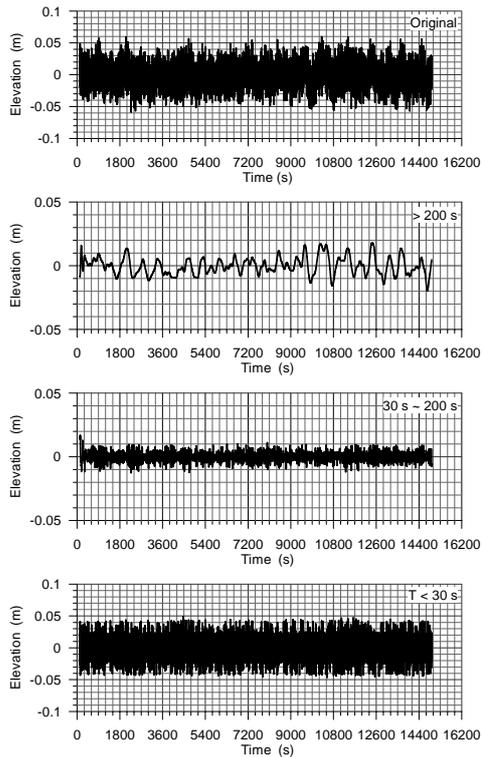


(a) 水位觀測及分析資料

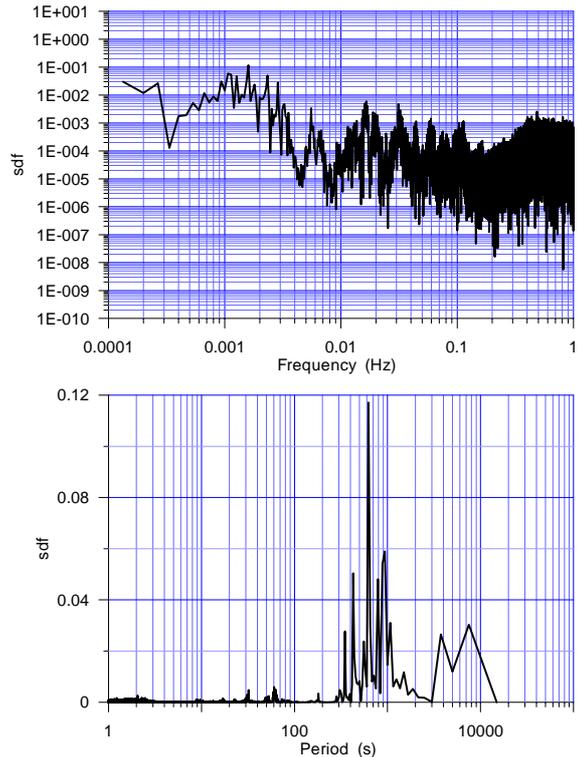


(b) 頻譜

圖 3.73 金樽漁港 20060818 19:00 水位觀測及頻譜分析

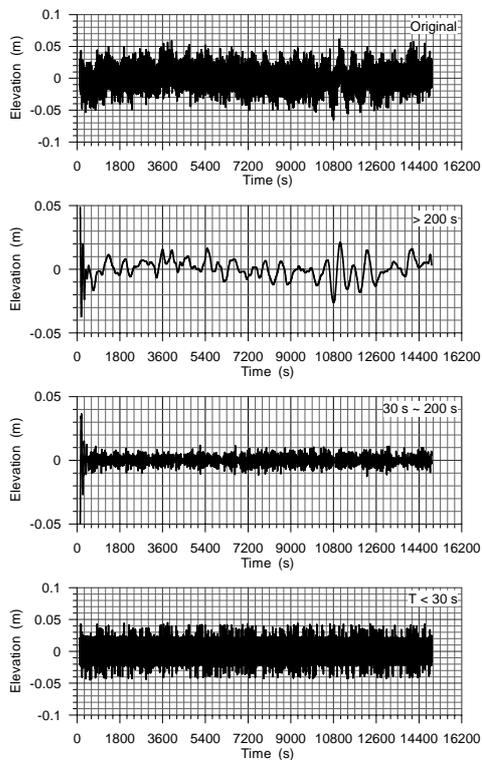


(a) 水位觀測及分析資料

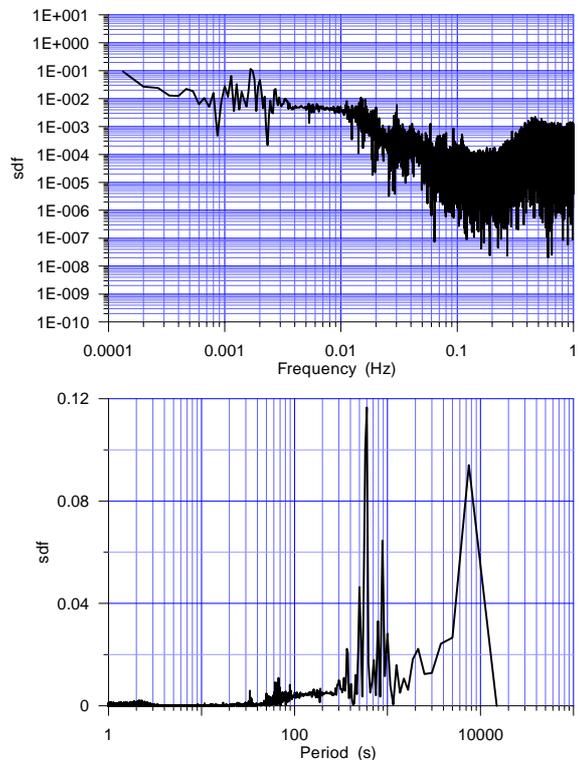


(b) 頻譜

圖 3.74 金樽漁港 20060818 23:10 水位觀測及頻譜分析



(a) 水位觀測及分析資料



(b) 頻譜

圖 3.75 金樽漁港 20060819 03:20 水位觀測及頻譜分析

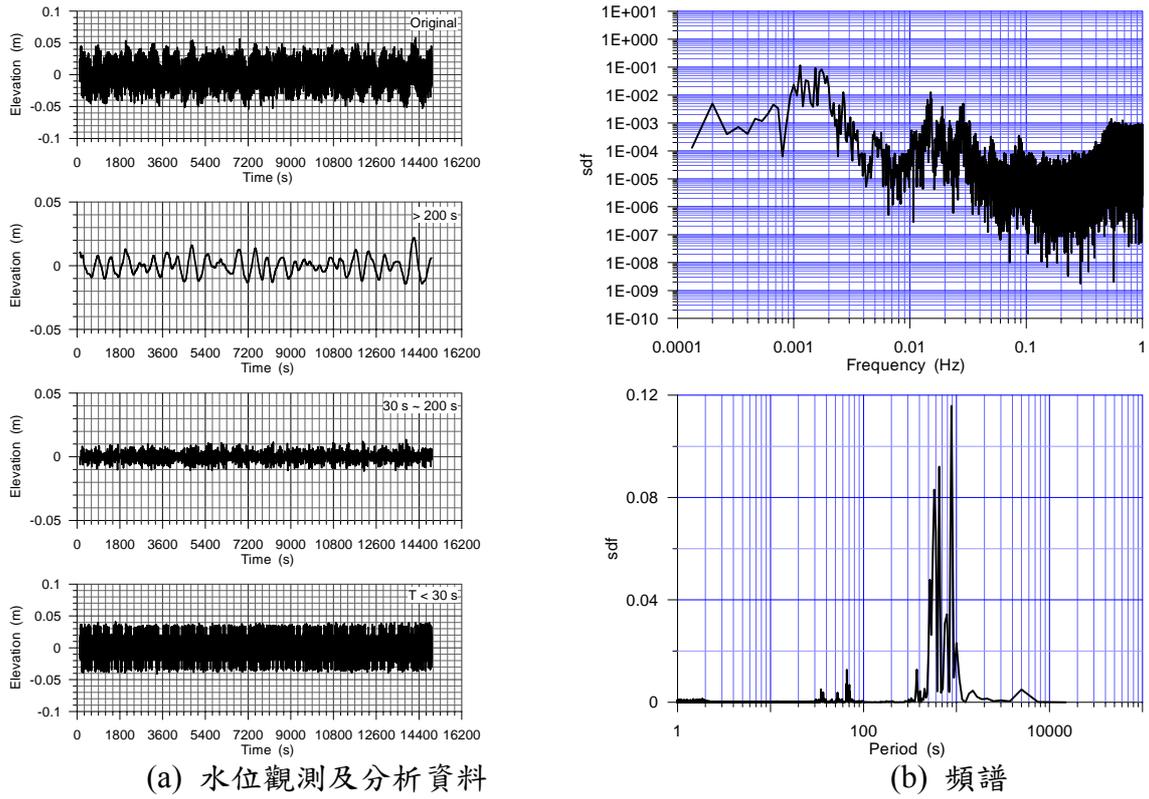


圖 3.76 金樽漁港 20060819 07:30 水位觀測及頻譜分析

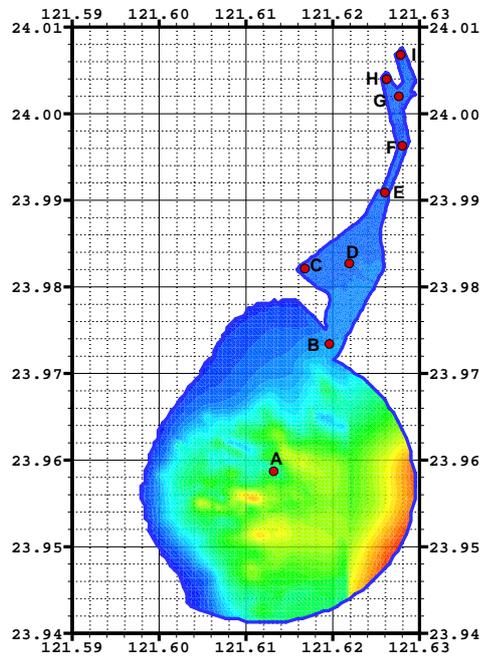


圖 3.77 花蓮港水域數值水深地形及測試點位

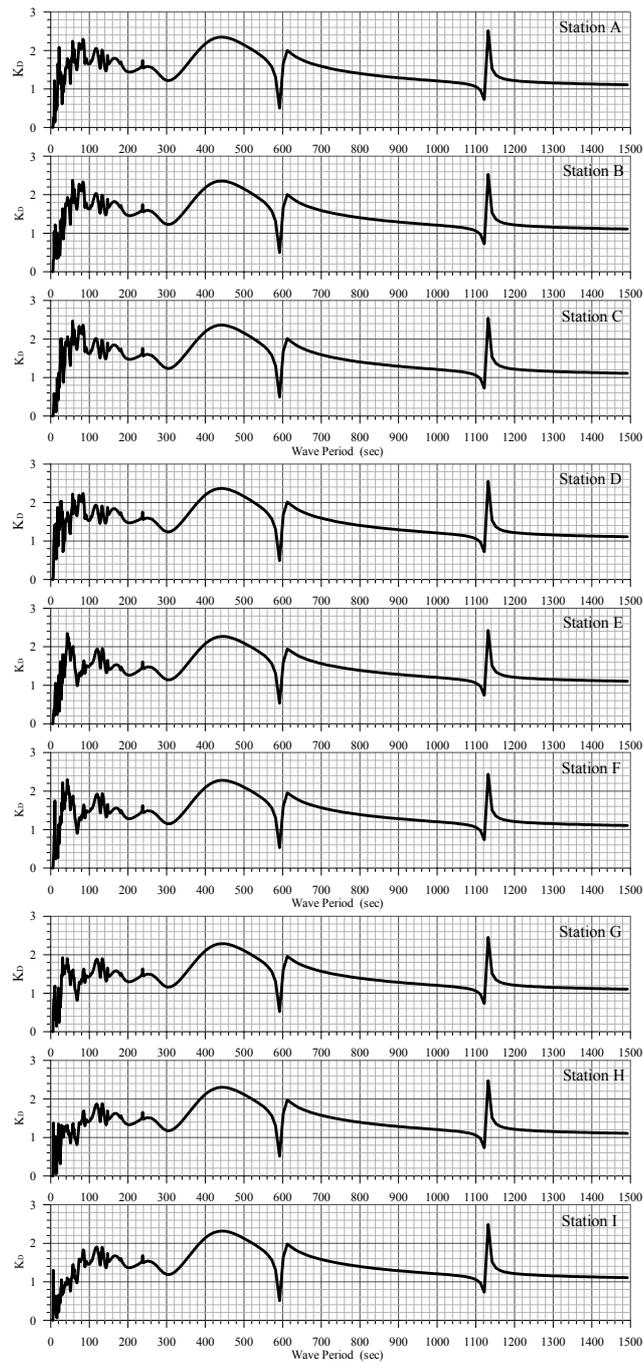


圖 3.78 九個測站之波高增幅係數 K_d 曲線圖

第四章 不規則波的港灣波動數值模擬

在上一個年度裡，本研究以 Lin (1995)無限元素法港灣波動數值模式建置了花蓮港港灣波動數值模式，並進行規則波的模擬以瞭解花蓮港及附近水域的水面波動在不同規則入射波作用下的反應，以及花蓮港的自然頻率。本年度更進一步地建置不規則波的花蓮港港灣波動數值模式，以瞭解特定入射波譜下，特定點的反應頻譜以及相關的波高與週期參數，或是全港灣水域的波動分佈。在理論頻譜方面目前已建置 JONSWAP 及 Bretschneider 頻譜，並參考涂(2005)的研究成果，以等週期分割方式進行理論頻譜的成分波分割。

為了考量海洋波浪進入港內後，由於港口的濾波作用(短週期波進入港內的能量比例較大，長週期波則較小)、消波岸壁對不同週期波動的消波效果不同、以及港內的多重反射等，可能引起港內各點的波浪能量重組，並造成與港外入射波波譜不同形狀的波譜，因此各點的代表週期均可能與外海不同。由於不規則波的計算是以規則成分波分別計算再以能量方式進行組合因此在計算過程中，所有相關規則成分波的港灣波動值也將被保存下來，因此無損於原有的規則波模擬的目標。各相關的工作說明如以下各節。

4.1 不規則波引致港灣波動數值模式的建立

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 $(K_D)_{\text{eff}}$ 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。其相關的理論推導如附錄 F 中所示。

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。

4.2 理論頻譜

4.1.1 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：

$$S(f) = 3.437 \frac{F_1^2}{F_2^4} \frac{g^2}{f^5} \exp \left[-0.675 \frac{g^4}{(UF_2 f)^4} \right] \quad (4.1)$$

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：

$$S(f) = \frac{1.25}{4} \frac{f_p^4}{f^5} H_s^2 \exp \left[-1.25 \left(\frac{f_p}{f} \right)^4 \right] \quad (4.2)$$

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(4.2)中的係數作修改，修改後的公式如下：

$$S(f) = 0.257H_s^2T_s^{-4}f^{-5} \exp[-1.03(T_s f)^{-4}] \quad (4.3)$$

式(4.3)也被稱為 Bretschneider-Mitsuyasu 頻譜(B-M 譜)。

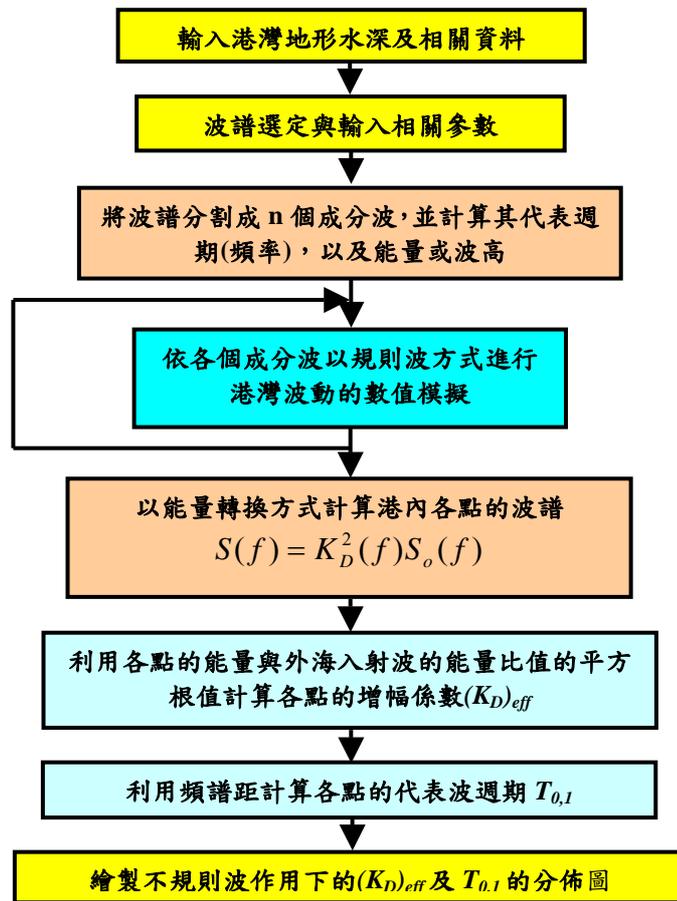


圖 4.1 不規則波港灣波動數值模式的計算流程圖

4.1.2 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：

$$S(f) = 8.1 \times 10^{-3} (2\pi)^{-4} g^2 f^{-5} \exp[-0.74(g/2\pi fU)^4] \quad (4.4)$$

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： $f_p = 1.253 / \sqrt{4.0 \sqrt{2.84 \times 10^{-5} U^4}}$ 。將其代入原頻譜公式可以得到以下的公式：

$$S(f) = \frac{0.0081g^2}{(2\pi)^4} \frac{1}{f^5} \exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \quad (4.5)$$

4.1.3 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：

$$S(f) = \frac{\alpha_J g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-1.25\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \gamma_J^{\varepsilon_f} \quad (4.6)$$

$$\alpha_J = \begin{cases} 0.07 & \text{for } f \leq f_p \\ 0.09 & \text{for } f > f_p \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_f = \exp\left[-\frac{(f - f_p)^2}{2\alpha^2 f_p^2}\right] \quad (4.8)$$

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：

$$S(f) = \beta_J H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_p f)^{-4}] \gamma_J^{\exp[-(T_p f - 1)^2 / 2\alpha_J^2]} \quad (4.9)$$

$$\beta_J = \frac{0.06238}{0.230 + 0.0336\gamma_J - 0.185(1.9 + \gamma_J)^{-1}} (1.094 - 0.01915 \ln \gamma_J) \quad (4.10)$$

$$T_s = [1 - 0.132(\gamma_J + 0.2)^{-0.559}] T_p \quad (4.11)$$

$$\bar{T} = [1 - 0.532(\gamma_J + 2.5)^{-0.569}] T_p \quad (4.12)$$

$$\alpha_J = \begin{cases} 0.07 & \text{for } f \leq f_p \\ 0.09 & \text{for } f > f_p \end{cases} \quad (4.13)$$

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_J 值的範圍為 1 到 7 之間，平均值為 3.3。

4.3 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：

$$K_d = \left[\frac{1}{m_0} \int_0^\infty \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} S(f, \theta) K_d^2(f, \theta) d\theta df \right]^{1/2} \quad (4.14)$$

其中， K_d 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

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

本文利用與 Goda 公式相同的方式來計算港內的增幅係數，即：

$$K_d = \left[\frac{1}{m_0} \int_0^\infty S(f) K_d^2(f) df \right]^{1/2} \quad (4.15)$$

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

$$H_s = 4.004 \sqrt{m_0} \quad (4.16)$$

而波高亦可以由傳統的增幅係數的定義求得

$$H = K_d H_I \quad (4.17)$$

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 花蓮港的水深地形檔與規則波模擬

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 4.2 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 4.3 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。

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 4.4 為九個測站(位置如圖 4.2 中所示)全部的波高增幅曲線圖，而圖 4.5 則僅繪出重力波的部分。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(圖 4.5)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月趨於一致。圖 4.6 顯示造波週期分別為 8、89、108、116、402 及 1132 秒時之港區水域波高增幅係數分佈圖。

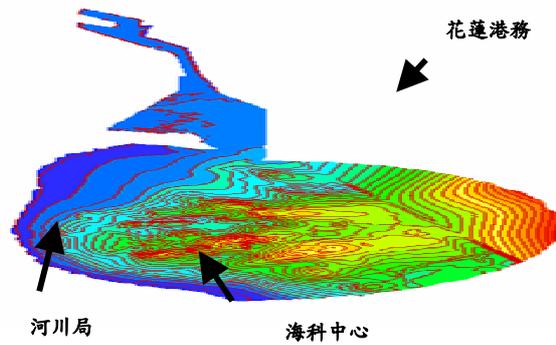


圖 4.2 花蓮港水域數值水深資料彙整情形

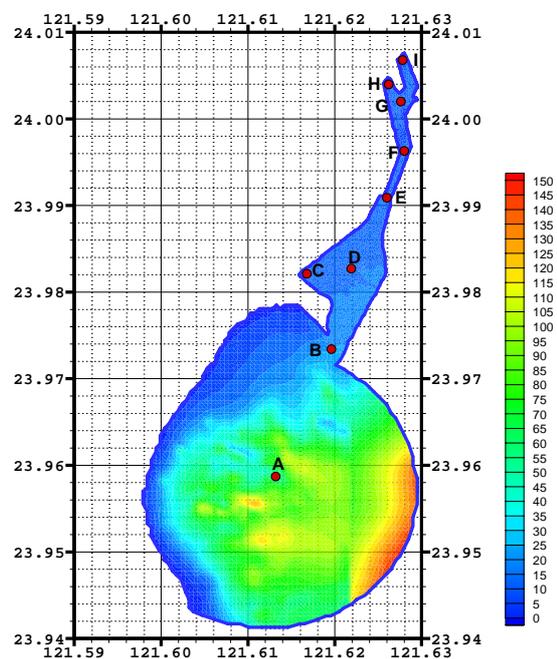


圖 4.3 修正過的花蓮港水域數值水深地形

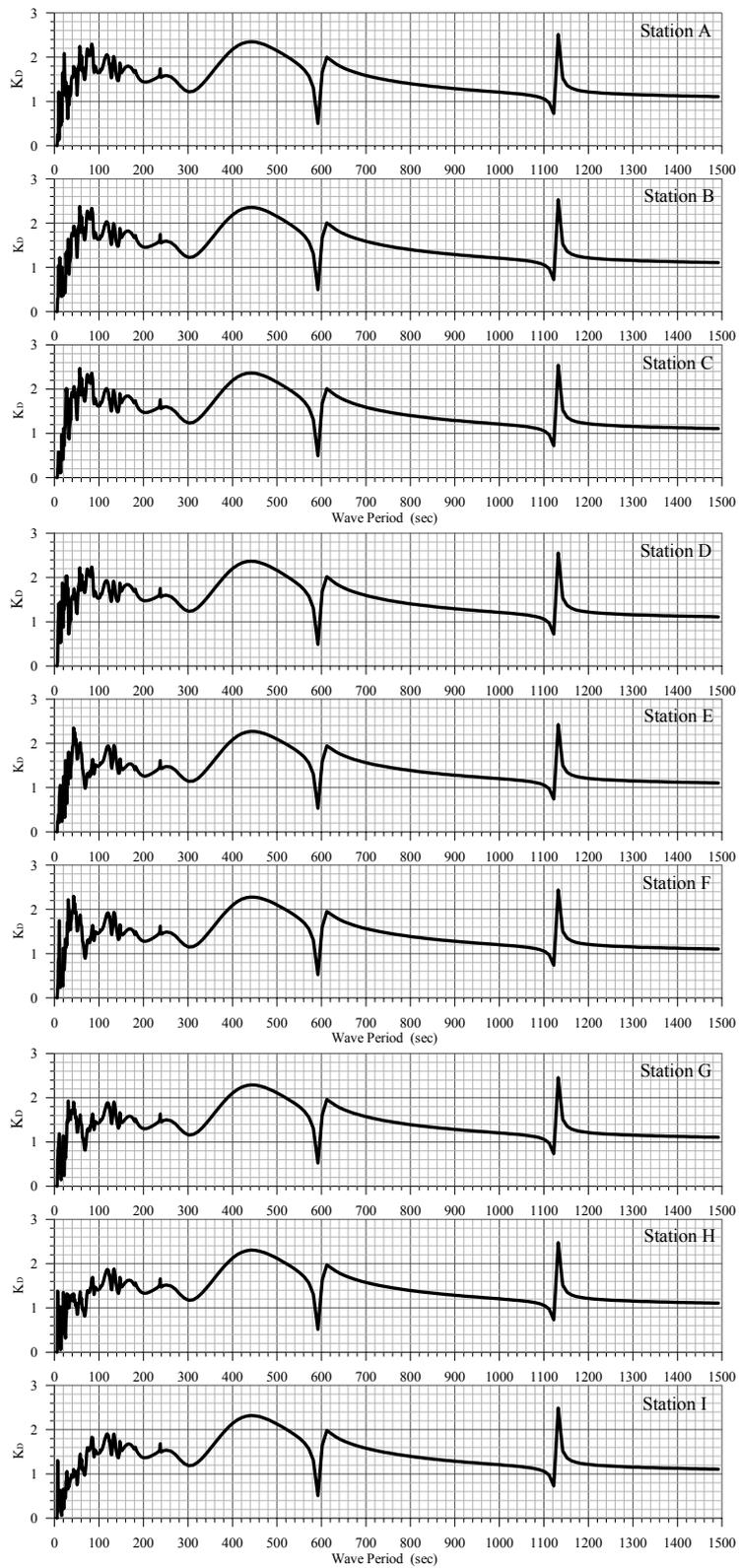


圖 4.4 九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖

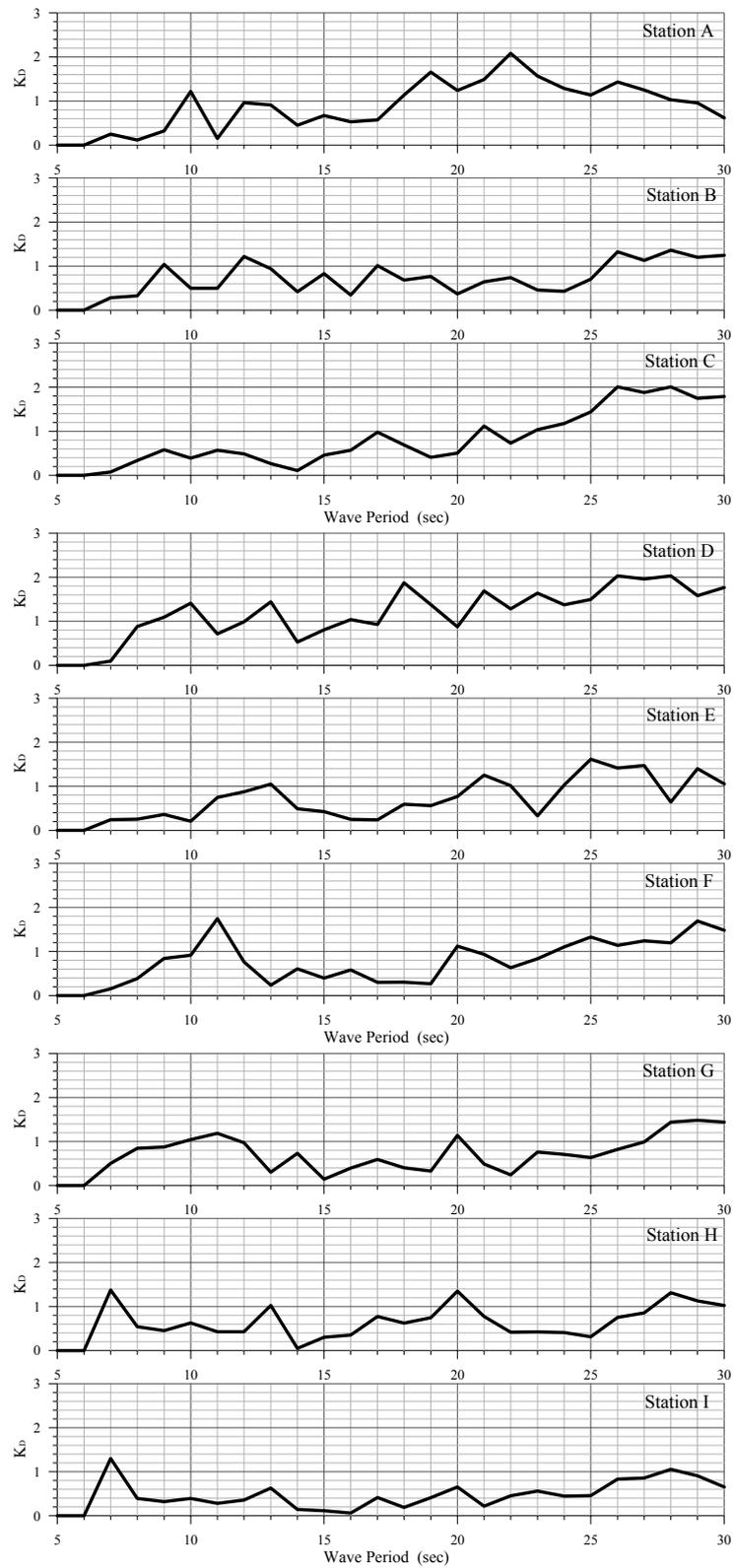


圖 4.5 九個測站之波高增幅係數 K_D 曲線圖(重力波部分)

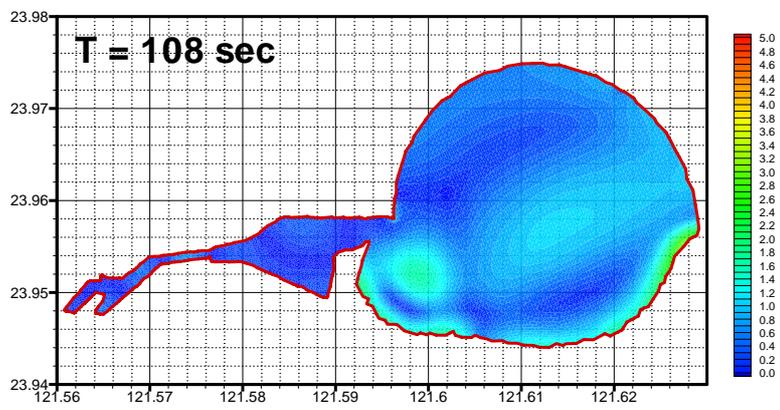
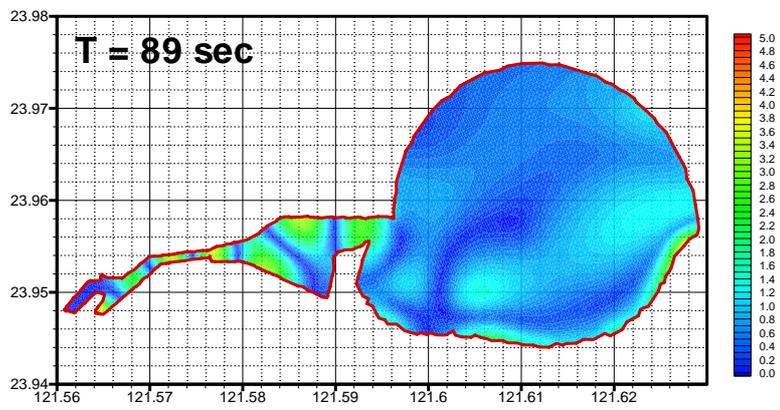
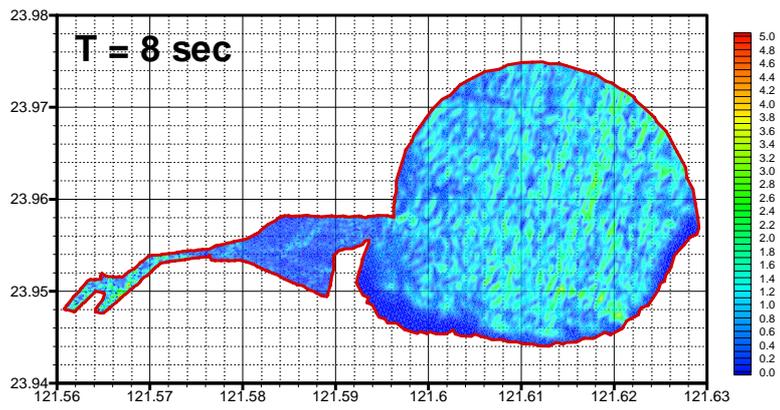


圖 4.6 波高增幅係數 K_D 分佈圖

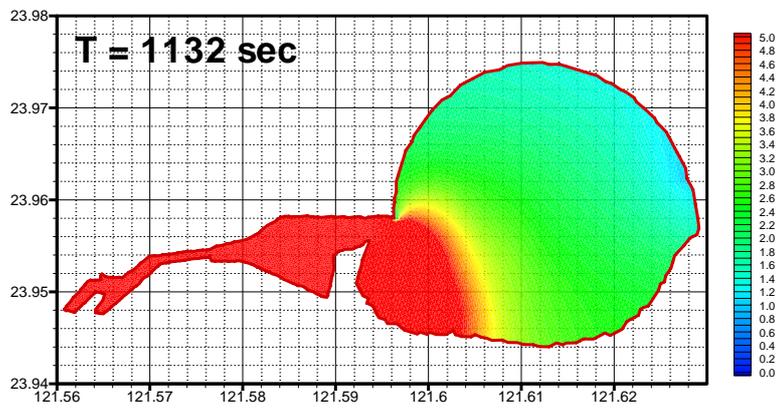
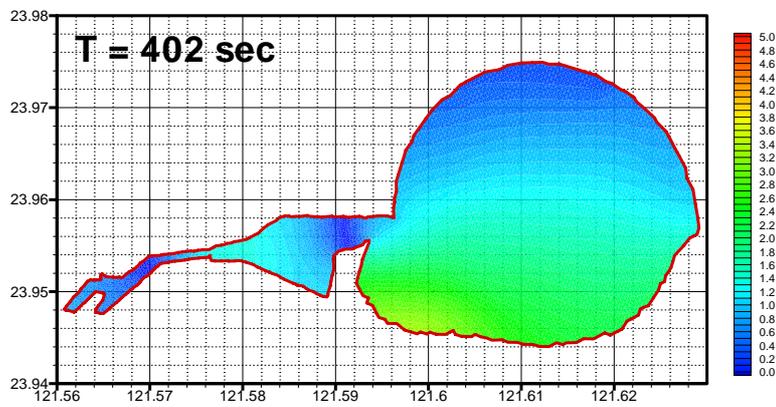
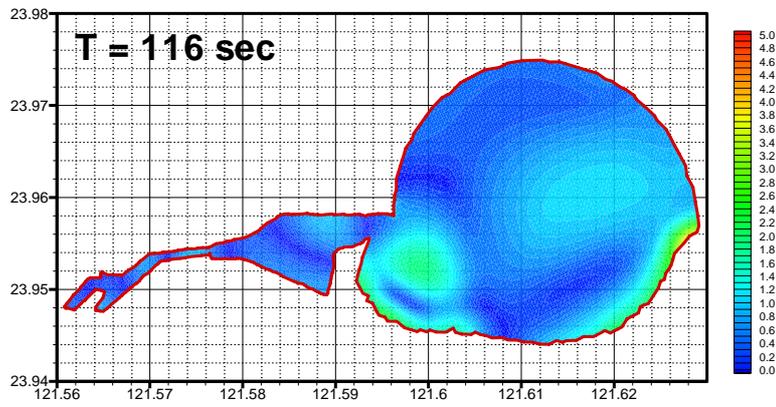


圖 4.6(續) 波高增幅係數 K_D 分佈圖

4.5 不規則波的數值模擬

圖 4.7 至圖 4.9 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 4.8 及圖 4.9 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 4.10 至圖 4.13 依序分別為以 B-M 頻譜及 JONSWAP 頻譜進行模擬，並分別以式(4.16)及式(4.17)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 4.10 及圖

4.12 間，以及圖 4.11 及圖 4.13 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 4.10 與圖 4.11 之間，以及圖 4.12 與圖 4.13 之間就發現其波高分佈有些差異。其可能的原因應是式(4.16)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 4.14 至圖 4.16 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 4.17 及圖 4.19，圖 4.18 及圖 4.20 是由圖 4.15 及圖 4.16 以式(4.16)及式(4.17)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。

4.6 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 4.21 至圖 4.26 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 4.15 所示)。從圖中可以看到在 84 秒的模擬中，雖然相對規則波的 Kd 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。

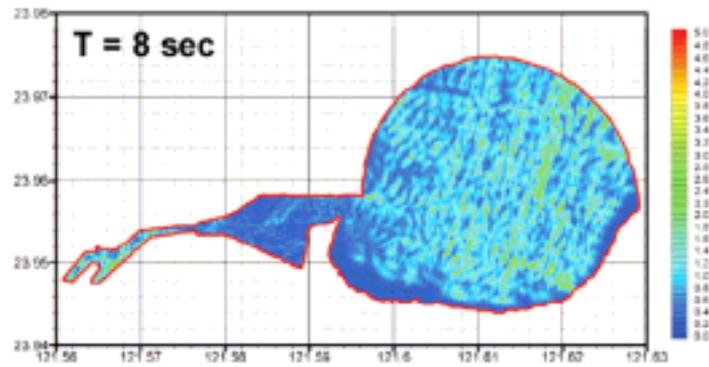


圖 4.7 規則波作用下 Kd 分佈圖(Ts=8 s)

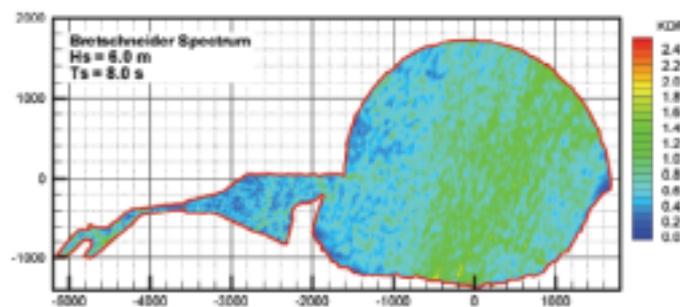


圖 4.8 不規則波(B-M 頻譜)作用下 Kd 分佈圖(Ts=8 s, Hs=6 m)

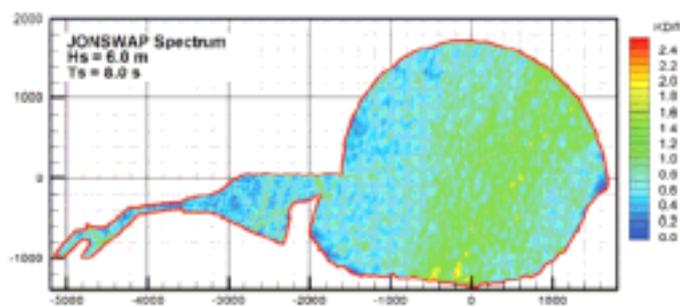


圖 4.9 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖(Ts=8 s, Hs=6 m)

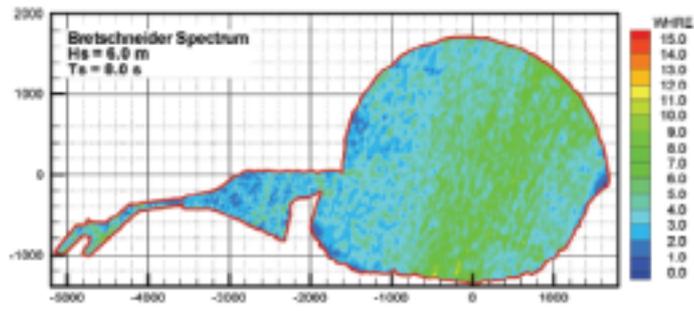


圖 4.10 不規則波(B-M 頻譜)作用下波高分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.16)

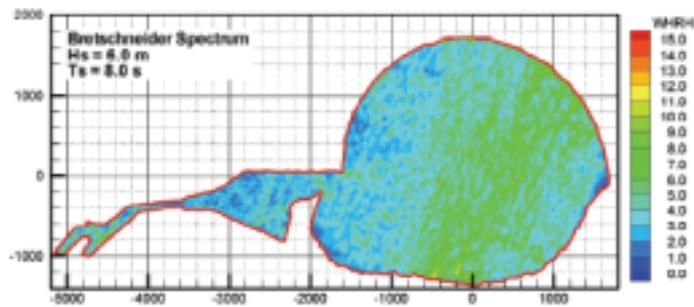


圖 4.11 不規則波(B-M 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.17)

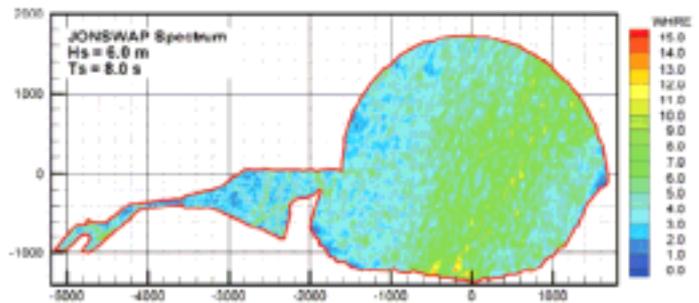


圖 4.12 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.16)

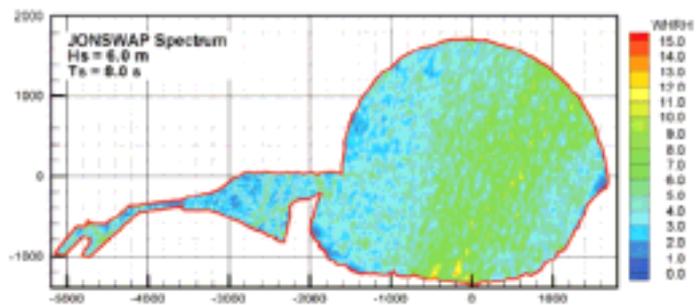


圖 4.13 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=8$ s, $H_s=6$ m, 式 4.17)

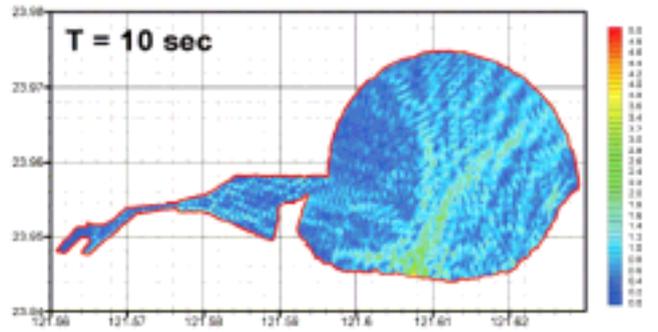


圖 4.14 規則波作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s)

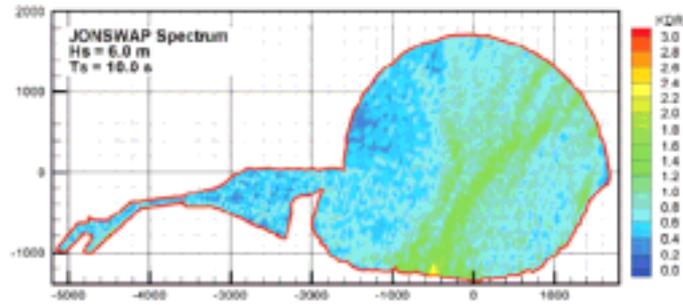


圖 4.15 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m)

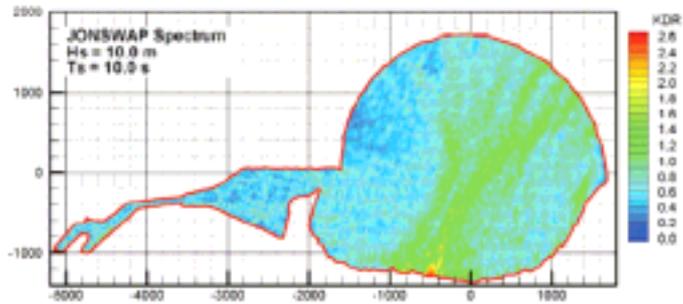


圖 4.16 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=10$ m)

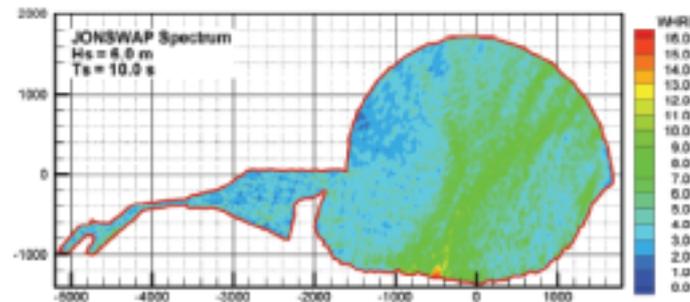


圖 4.17 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m, 式 4.16)

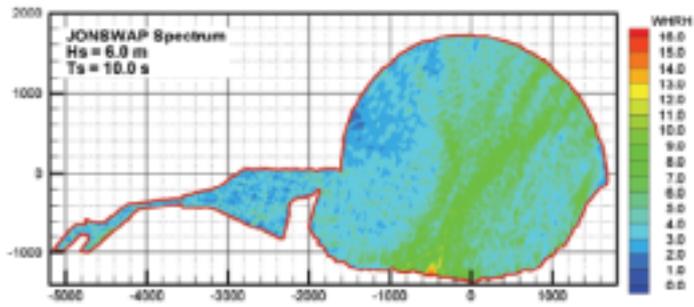


圖 4.18 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=6$ m, 式 4.17)

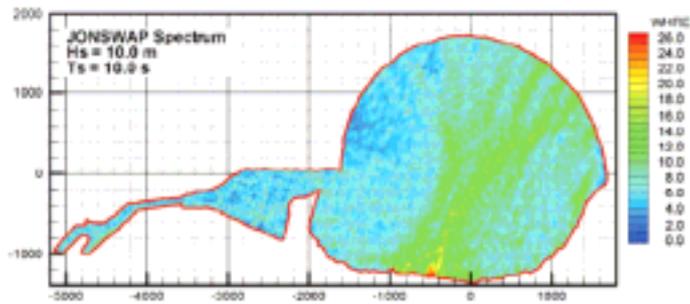


圖 4.19 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=10$ m, 式 4.16)

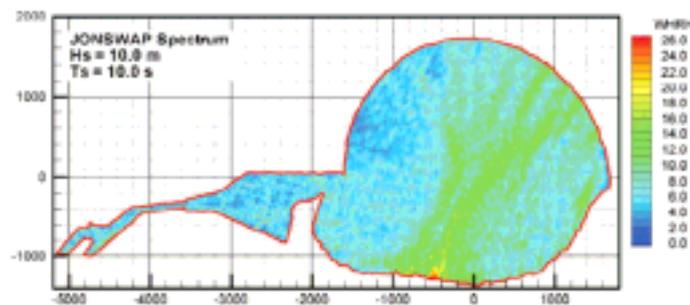


圖 4.20 不規則波(JONSWAP 頻譜)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s, $H_s=10$ m, 式 4.17)

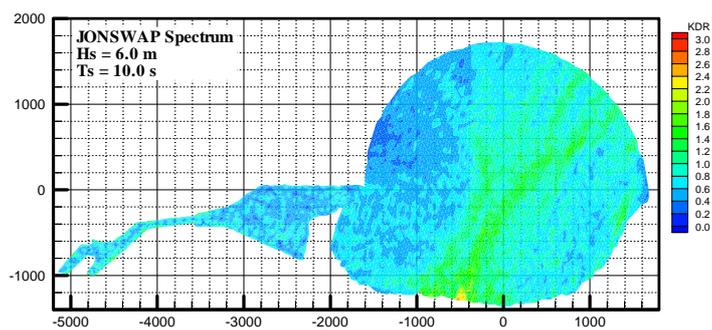


圖 4.21 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 1 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

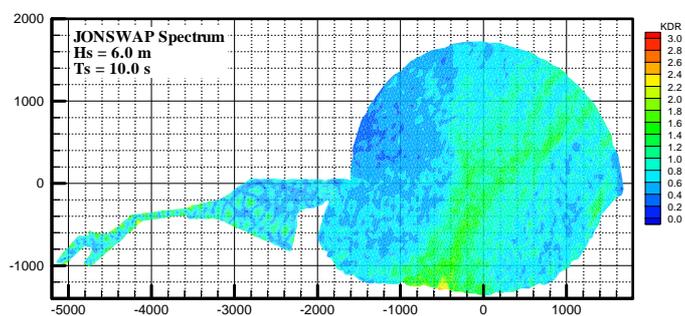


圖 4.22 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 2 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

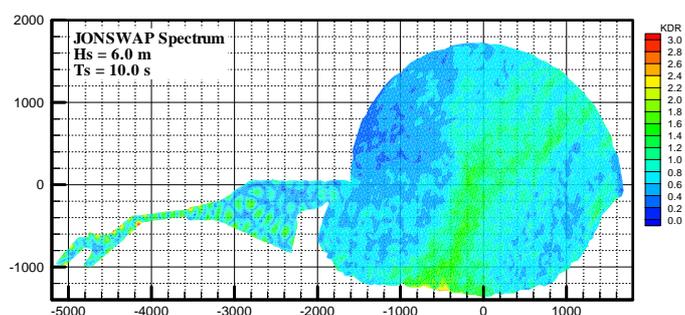


圖 4.23 不規則波(JONSWAP 頻譜)+84 秒長波(波高 3 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

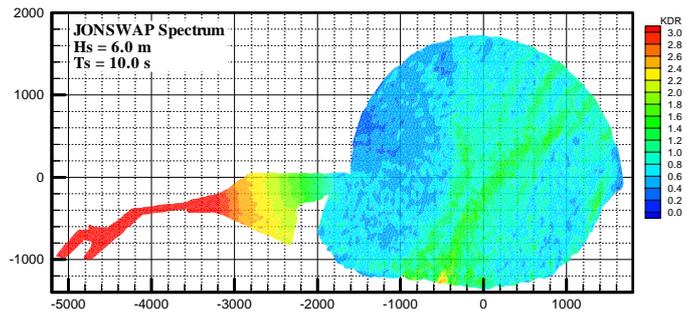


圖 4.24 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 0.1 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

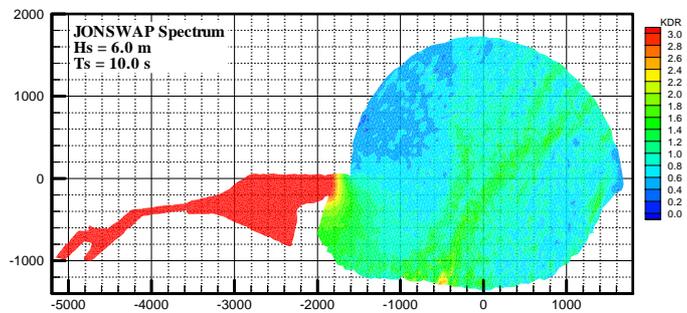


圖 4.25 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 0.5 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

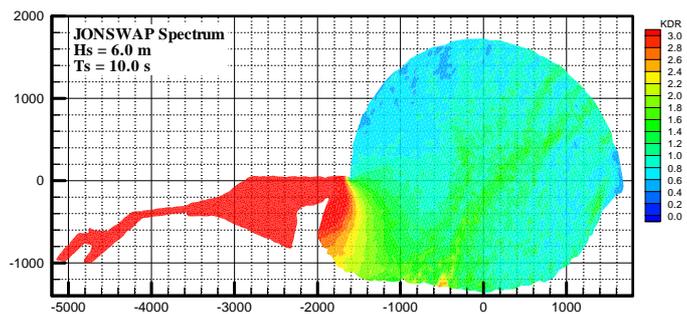


圖 4.26 不規則波(JONSWAP 頻譜)+1134 秒長波(波高 1 公尺)作用下 Kd 分佈圖($T_s=10$ s , $H_s=6$ m)

第五章 規劃及設計三維潮流數值模式

在建立花蓮港三維潮流數值模式的規劃與設計中，本計畫目前所收集到的數值模式包含 POM(Princeton Ocean Model，由 Princeton 大學發展及維護)、ROMS(Regional Ocean Modeling System，由 Rutgers 大學發展及維護)及 COHERENS(A Coupled Hydrodynamical -Ecological Model for Regional and Shelf Seas，由歐盟跨國合作計畫(MAST)所共同發展及維護)。由於目前在交通部運輸研究所委託中山大學合作研究之『近岸數值模擬系統之建立』計畫裡已經在引用 COHERENS 軟體。為了避免重複，以及未來可供相互比對，本章僅針對目前最被廣泛使用的 POM 模式進行簡要回顧，以及基本資料的收集。在未來模式建構完成後，在考慮與 COHERENS 模擬結果間的比對與評估。本章主要參考資料為：

Mellor, George L., 2004, "User guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model," Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, NJ 08544-0710

5.1 POM (Princeton Ocean Model)簡介

POM(Princeton Ocean Model)是一個三維基本方程式的數值海洋模式，它的主要屬性有：

- (1) 包含一個隱藏的二階力矩紊流終止模式(imbedded second moment turbulence closure sub-model)以提供垂直方向的混合係數。
- (2) 採用 σ 座標處理垂直方向的水深變化。
- (3) 水平網格使用區現正交座標系統以及一個"Arakawa C"差分技巧。
- (4) 水平及時間差分為外顯式，但垂直差分則為內隱式。後者消除了垂直座標的時間限制，也允許在表面及底床邊界層裡使用較細的垂直解析度。

該模式有一個自由水面及一個分離的時間間隔。模式的表面形式部份為二度空間，且根據 CFL 的條件與表面的波速使用一較短的時間間隔；而內部形式則是三度空間且依據 CFL 的條件與內部的波速使用一較長的時間間隔。

模式也配備了完整的熱力學理論(thermodynamics)。

5.2 基本方程式

基本方程式已經被調整成順著底床的 σ 座標系統(如圖 5.1 所示)。 σ 座標系統與直角座標系統間的轉換關係為

$$x^* = x, \quad y^* = y, \quad \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, \quad t^* = t \quad (5.1)$$

式中， x ， y 及 z 為傳統的直角座標； $D \equiv H + \eta$ ； $H(x, y)$ 為底床的地形變化； $\eta(x, y; t)$ 為表面的水位變化。因此，當 $z = \eta$ 時， $\sigma = 0$ ； $z = H$ 時， $\sigma = 1$ 。在座標轉換為 σ 座標系統，並去除 x^* ， y^* 及 t^* 的上標*後，基本方程式可表示為

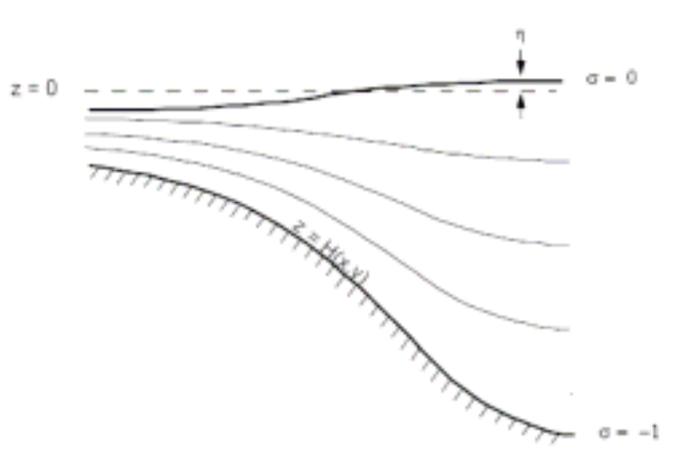


圖 5.1 σ 座標系統

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UV D}{\partial y} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UV D}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V \omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T - \frac{\partial R}{\partial z} \quad (5.5)$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SV D}{\partial y} + \frac{\partial S \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right] \\ + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{B_1 l} + F_q \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 l D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 l D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2 l}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma} \right] \\ + E_1 l \left(\frac{K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + E_3 \frac{g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} \right) - \frac{Dq^3}{B_1} \tilde{W} + F_l \end{aligned} \quad (5.8)$$

其中， U 及 V 為 x 及 y 方向的水平流速(m/s)； T 為溫度； S 為鹽度； f 為 Coriolis 參數(1/s)； g 為重力加速度(m/s²)； ρ_o 為參考密度； $\tilde{\rho}$ 為垂直方向平均密度； $\partial \tilde{\rho} / \partial z$ 為垂直方向密度梯度； $\rho' = \rho - \tilde{\rho}$ ； R 為輻射通量的散度(divergence)； q 為紊流動能； l 為長度比例； K_M 、 K_H 、及 K_q 為密度層所造成的垂直混和係數； ω 為 σ 座標的垂直流速(m/s)，其與直角座標的垂直流速關係為

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \right)$$

\tilde{W} 是所謂 wall proximity function，可寫為 $\tilde{W} = 1 + E_2(l/kL)$ ，其中 $L^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1}$ 。而 $\partial \tilde{\rho} / \partial \sigma = \partial \rho / \partial \sigma - c_s^{-2} \partial p / \partial \sigma$ ，其中 c_s 是音速。

F_x 及 F_y 為水平方向的黏性及擴散項，定義為

$$F_x \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \tau_{xy}) \quad (5.9a)$$

$$F_y \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \tau_{yy}) \quad (5.9b)$$

其中，

$$\tau_{xx} = 2A_M \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \quad \tau_{yy} = 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \quad (5.10)$$

同樣的，

$$F_\phi \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H q_x) + \frac{\partial}{\partial y} (H q_y) \quad (5.11)$$

其中， ϕ 代表 T、S、 q_2 或 q_{21} ，而

$$q_x = A_H \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad q_y = 2A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (5.12)$$

在水平方向的擴散，POM 是使用 Smagorinsky Diffusivity

$$A_M = C \Delta x \Delta y \frac{1}{2} \left| \nabla V + (\nabla V)^T \right|$$

其中， $\left| \nabla V + (\nabla V)^T \right| = \left[(\partial u / \partial x)^2 + (\partial v / \partial x + \partial u / \partial y)^2 / 2 + (\partial v / \partial y)^2 \right]^{1/2}$ ；C 為 HORCON 參數，其範圍為 0.10 至 0.20，但是如果計算網格太小的話，C 值可設為零。

5.3 邊界條件

式(5.2)的垂直邊界條件為

$$\omega(0) = \omega(-1) = 0 \quad (5.13)$$

但是如果自由水面有水流的話(通常是淡水)， $\omega(0) \neq 0$ 。

式(5.3)及(5.4)的表面邊界條件為

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = -(\langle wu(0) \rangle, \langle wv(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (5.14a)$$

其中，右式是表面紊流動量通量的輸入值。而底床邊界條件為

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = C_z [U^2 + V^2]^{1/2} (U, V), \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (5.14b)$$

其中，

$$C_z = \text{MAX} \left[\frac{\kappa^2}{[\ln\{(1 + \sigma_{kb-1})H/z_o\}]^2}, 0.0025 \right] \quad (5.14c)$$

而 $\kappa=0.4$ 是 Von Karman 常數； z_o 糙度參數。

式(5.5)及(5.6)的邊界條件為

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = -(\langle w\theta(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (5.15a)$$

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = 0, \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (5.15b)$$

式(5.7)及(5.8)的邊界條件為

$$(q^2(0), q^2 l(0)) = (B_1^{2/3} u_\tau^2(0), 0) \quad (5.16a)$$

$$(q^2(-1), q^2 l(-1)) = (B_1^{2/3} u_\tau^2(-1), 0) \quad (5.16b)$$

其中， B_1 是紊流閉合常數之一； u_τ 是表層及底部的摩擦速度(friction velocity)。

相關的推導與詳細的說明可參考 POM 的使用手冊(Mellor, 2004)。

5.4 資料的輸入

POM 可以控制的輸入參數簡要說明如下：

計畫標題

```
title='Run 1'
```

是否啟動 netCDF 的輸出處理檔

```
netcdf_file='pom2k.nc'
```

問題的類型

```
iproblem=1 : seamount
```

```
iproblem=2 : conservation box
```

```
iproblem=3 : IC from file
```

計算狀態

```
mode=2 : 2-D calculation (bottom stress calculated in advave)
```

```
mode=3 : 3-D calculation (bottom stress calculated in profu,v)
```

```
mode=4 : 3-D calculation with t and s held fixed
```

水平對流計算技巧

```
nadv=1 : Centred scheme, as originally provide in POM
```

```
nadv=2 : Smolarkiewicz iterative upstream scheme, 根據 Gianmaria Sannino and Vincenzo Artale 所提供的副程式
```

Smolarkiewicz iterative upstream scheme 的常數：

nitera 介於 1 至 4 之間

nitera=2：預設值

nitera=1：standard upstream differencing

nitera=3：會增加 50%的 CPU time

平滑化參數

sw=0.5e0：最好為 1，但當 nitera > 1 時， $0 < sw < 1$ 可以使得計算結果較為平滑

控制是否啟動初期 restart input 檔案

nread=0：不啟動 restart input file

nread=1：啟動 restart input file

根據 CFL 法則訂定的 External (2-D) time step (secs.)

dte=6.e0

比例值<Internal (3-D) time step>/<External (2-D) time step>

isplit=30：dti/dte; dimensionless

模式初期運算(initial run)的起始日期與時間

time_start='2000-01-01 00:00:00 +00:00'

說明：格式為[YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM]

其中，YYYY-MM-DD HH:MM:SS 為格林威治標準時間 (UDUNIT)；"<+/->HH:MM"是時區。

計算的時間長度(以天為單位)

days=0.025e0

起始列印的時間(以天為單位)

prtd1=0.0125e0

最終列印的時間(以天為單位)

prtd2=1.e0

列印的時間間距

swtch=1000.e0

列印時在 i 軸方向的輸出間距

iskp=4

列印時在 j 軸方向的輸出間距

jskp=3

inertial ramp 的使用與否

lramp=.true. : if inertial ramp to be applied to wind stress and
baroclinic forcing

lramp=.false. : otherwise

參考之水密度

rhoref=1025.e0 : 建議海水為 1025 ; 淡水為 1000 。

氣溫偏差

tbias=0.e0 : 單位為°C

鹽度偏差

sbias=0.e0

重力加速度

grav=9.806e0

von Karman 常數

$\kappa=0.4e0$

底床粗糙度

$z0b=.01e0$ ：單位為 m

最小底床摩擦係數

$cbcmin=.0025e0$

最大底床摩擦係數

$cbcmax=1.e0$

Smagorinsky 擴散性係數

$horcon=0.2e0$

逆向水平紊流 Prantle 數

$tprni=.2e0$ ：

說明： ah/am 為無因次量。當 $tprni=0.e0$ 表示沒有水平方向擴散。

背景黏滯性係數(用於副程式 profq, profv, profu 及 profv)

$umol=2.e-5$

輻射邊界條件中的最大深度

$hmax=4500.e0$ ：單位為 m

最大的 vaf 值(用於檢核 CFL 法則)

$vmaxl=100.e0$

相鄰兩個計算無因次網格之最大容許(深度變化差值/深度總和)之
比值

$slmax=2.e0$ ：用於副程式 slpmax。如果 $slmax \geq 1$ ，將不執行 slpmax。

定義介於表面至底床間之對數分層(logarithmic layers)個數

$k_{l1}=6$

$k_{l2}=k_b-2$

說明：對數分層的數目為水表面 $k_{l1}-2$ 層以及底床 $k_b-k_{l2}-1$ 層。如果沒有對數部份，則設 $k_{l1}=2$ 及 $k_{l2}=k_b-1$ ：

水的型式(用於副程式 profit)

$ntp=1$: Jerlov water type i

$ntp=2$: Jerlov water type ia

$ntp=3$: Jerlov water type ib

$ntp=4$: Jerlov water type ii

$ntp=5$: Jerlov water type iii

表面溫度邊界條件(用於副程式 profit)

$nbct=1$: 規定通量

$nbct=2$: 規定通量及有短週期波侵入

$nbct=3$: 規定溫度

$nbct=4$: 規定溫度及有短週期波侵入

表面鹽度邊界條件(用於副程式 profit)

$nbcs=1$: 規定通量

$nbcs=3$: 規定鹽度

更新 external (2-D) mode 對流項的計算間隔數

$ispadv=5$

使用在避免計算結果分離的 temporal filter 常數

smoth=0.10e0

在 external (2-D)動力方程式中表面坡度項所使用的加權值

alpha=0.225e0 :

說明：alpha=0.e0 表示可完全接受的，但 alpha=0.225e0 容許使用較長的時間間隔

aam 的初期值

aam_init=500.e0

5.5 計算結果的輸出

POM 計算結果的輸出包含指定時間的水位場、水流場、溫度場及鹽度場的變化。

5.6 使用範例

POM 的使用屬於全球性的，此處僅引用日本及美國 Princeton 大學所發展的模式系統為例。

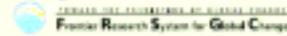
5.6.1. 日本の JCOPE 海洋預報系統

The JCOPE ocean forecast system

Yasumasa Miyazawa and Toshio Yamagata

(FRSQC/JAMSTEC)

(FRSQC/JAMSTEC and The Univ. of Tokyo)



INTRODUCTION

Recent development in the global ocean observation system such as the ARGO enables us to effectively forecast oceanic conditions on a real-time basis. As a part of the Japan Coastal Ocean Predictability Experiment (JCOPE), we have developed a high-resolution ocean forecast system. The routine prediction of oceanic variation ('ocean weather forecast'), combining with in-situ verifications, will significantly contribute to improve atmosphere-ocean models for prediction of longer-term climate change.

MODEL

The present ocean model is based on one of world community models, which is called Princeton Ocean Model (POM). A high-resolution, regional model with spatial grid of 1/12 degree and 35 sigma levels is embedded in a low-resolution basin-wide model with spatial grid of about 1/4 degree and 21 sigma levels (Fig.1). The former model domain covers the northwestern Pacific ocean (117E-130E, 12N-56N) and its lateral boundary condition is specified using the one-way nesting method (Guo et al., 2003) from the latter model. The model is driven by wind stresses, and heat and salt fluxes. The wind stress and heat flux field are calculated from the 6-hourly NCEP/NCAR reanalysis data and the QuikSCAT Near-Realtime (NRT) data product using the bulk formula. The salinity at the surface is restored to the monthly mean climatology with a time scale of 30 days. Synoptic variations in the northwestern Pacific ocean are well simulated using the high-resolution model (Miyazawa et al., 2002).

Nesting POM

driven by the 6-hourly NCEP/NCAR data

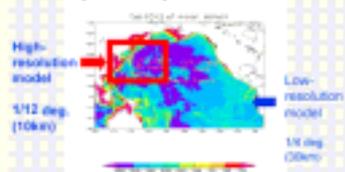


Figure 1. Bottom topography of the JCOPE model

FORECAST SYSTEM

Using an optimum interpolation (OI) method, weekly mean various data are created from sea surface height anomaly (Jason-1 and Geosat Follow On), sea surface temperature (NOAA/AVHRR), and subsurface temperature/salinity profiles including the ARGO data (GTSP). To consistently assimilate those data into the model, the multivariate optimum interpolation method is adopted to estimate the analysis data of temperature/salinity in vertical column. The analysis data are smoothly introduced into the model using the Incremental Analysis Update (IAU). Two months forecast run driven by the monthly mean climatological surface forcing is weekly updated.

DATA ASSIMILATION

The data assimilation creates the initial state with root mean square (RMS) error of about 1 deg.C for temperature and 0.2 psu for salinity (Fig.2). Magnitude of the RMS error, which depends on the simulation skill, the assimilation method and the quality of the data, is consistent with that of the OI error (not shown).

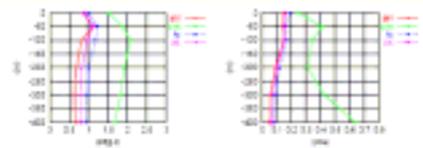


Figure 2. Vertical profiles of RMS error for temperature (left) and salinity (right) during the period from 6 Sep. 2002 to 26 Feb. 2003. 'anl': analysis(assimilation), 'sim': simulation, '3c': 3.5 days forecast, '3c': persistence for 3.5 days forecast.

Assimilating subsurface temperature/salinity profiles improves the surface high-salinity water distribution in the subtropical front as well as meso-scale features associated with variations of the Kuroshio and the Kuroshio Extension (Fig.3).

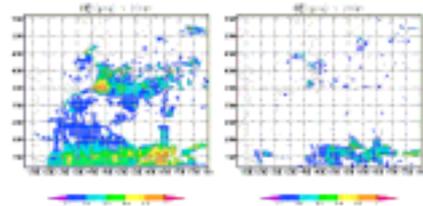


Figure 3. RMS error for salinity at 200m during the period from 6 Sep. 2002 to 26 Feb. 2003. Left: simulation. Right: assimilation.

FORECAST

The system has shown a forecasting skill of about one month during the real-time experiment in 2003 (Fig.4:left). In particular, the system has successfully predicted a small meander propagating eastward along the Kuroshio south of Japan during March-May 2003 (Fig.4:right and Fig.5). However, the right panel of Fig.4 shows that the system failed to predict a rise of the sea level difference between Kushimoto and Urugami in June 2003 due to decay of the meander. Increasing vertical levels of the model, we are trying to improve the forecasting skill for this event.

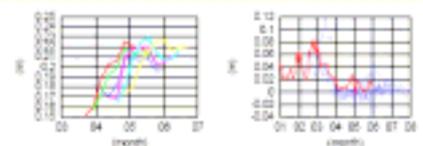


Figure 4. Results from the forecast in 2003. Left: evolutions of RMS error for sea surface height anomaly. Right: evolutions of sea level difference between Kushimoto and Urugami. Dotted lines (blue): forecasts. Thick line (red): assimilation.

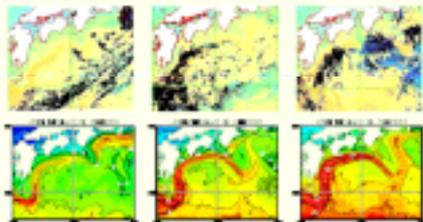
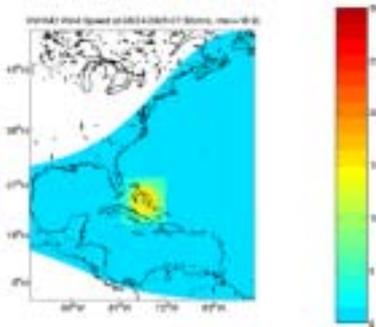


Figure 5. Snapshots of sea surface temperature from 26 April to 9 May 2003. Upper: observation from the NOAA satellites provided by the Japan Coastal Guard. Lower: forecast of the JCOPE system from 16 APR. 2003.

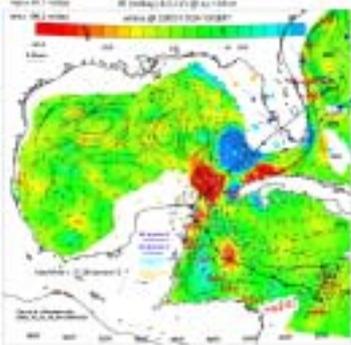
5.6.2. Princeton 大學的 PROFS(the Princeton Regional Ocean Forecast System)

PROFS 是 Princeton 大學根據 POM 發展的一個可追報、現報及預報的海洋模式，目前已經有一個即時預報的系統正在測試中。PROFS 的目標是針對海岸水域(coastal oceans)及半封閉性海洋(semi-enclosed seas)，例如墨西哥灣、加勒比海、Santa Barbara 水道及 Santa Monica 海灣等，根據實際的海洋環境建置巢狀網格、資料同化及高解析度的大氣模式，發展一套高解析度及精確度的數值模式，模式的計算品質隨時利用歸測值進行監督與評估。

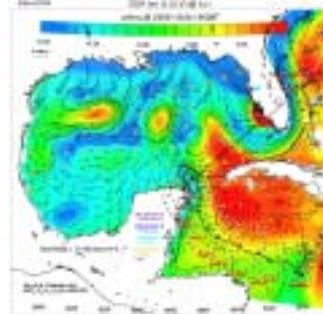
範例：Nowcast/Forecast of Gulf of Mexico Loop Current and Eddies (Experimental)--Ocean Forecasts for Hurricane Wilma



Surface height, SSH, from simulation of Wilma (Blue/Red for Low/High SSH)



Tracks and Wind Speed for Hurricanes Katrina, Rita and Wilma, Aug-Oct, 2005. (data from NOAA Hurricane Research Div.)



Vertical velocity, W, from simulation of Wilma (Blue/Red for Up/Downwelling)

5.7 基本資料的準備

在進行 POM 的潮流模擬之前，首先要準備包含水深地形、風場、鹽度場及溫度場的資料檔案(IC.DAT)，檔案的內容依序包含

Z： σ 座標系統下的水深分割值

ZZ： σ 座標系統下的水深分割點的中點值

DZ：相鄰水深分割點的差值

DZZ：相鄰水深分割中點的差值

ALON：水平面上網格點的經度值(以由下而上、由左而右輸入)

ALAT：水平面上網格點的緯度值(以由下而上、由左而右輸入)

H：網格點上之水深值

T：網格點上之溫度值(溫度場；包含各個水深)

S：網格點上之鹽度值(鹽度場；包含各個水深)

RMEAN：網格點上之平均密度值(平均密度場；包含各個水深)

WUSUR：網格點上之 x-方向表面風速值

WVSUR：網格點上之 y-方向表面風速值

由於該檔案每列資料的固定輸入格式為 8E12.4，而且皆是計算網格節點上的值，因此對於各項相關的數值如水深、溫度、鹽度；E 密度、及風速，由於其來源不同，解析度也不同，因此必須先經過 GRID.F 程式的處理。在 GRID.F 程式中除了以橢圓函數曲線方程式進行各相關數值的內插至計算節點網格外，也協助將資料以符合 POM 程式所需的格式儲存。目前 GRID.F 建議至美國海洋及大氣署(NOAA)的 NGDC 網站下載 ETOPO5 或 ETOPO2 的水深地形資料，而鹽度場及溫度場則可至 NOAA 的 NODC 網站下載 WOA(World Ocean Atlas)資料庫。

就目前規劃及準備階段中發現由於 GRID.F 中預設了許多參數，例如基本的計算範圍在美國大陸附近的水域(在程式裡面設有固定的經緯

度)；水深地形以預設為 ETOPO5，因此水深地形格網的解析度為 5'；鹽度及溫度場的輸入則屬於 1°的解析度。在要將相關資料內插至計算網格上時，GRID.F 係採用橢圓函數關係進行內插，然而此一措施可能也造成平滑化的處理，使得陡變的地形被平滑掉。由於台灣附近海域水深地形屬於多變的特性：西部平緩，但東部複雜。如果讓 GRID.F 進行自動分割的話，則可能造成數值模擬地形的扭曲。在後續的研究裡必須加以探討。

第六章 結 論

在本年度的工作裡，分別進行了下列的工作項目：

(1) 波壓與波高轉換函數的相關水工模型平面試驗

從各個不同的角度持續探討波壓與波高轉換函數的關係。本年度原預定規劃進行相關的模型試驗，包含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。以及在斷面水槽進行水面波動與波壓在空間中的關係。但由於試驗水槽另有重要任務以及人力時間調配的問題，以致本年度無法排入時程。目前由於波浪條件的組數仍不足夠，因此無法得到肯定而具體的結論。在後續的研究中將持續進行。

(2) 進行花蓮港現場波浪觀測的資料分析與波浪特性統計

本年度分別於 4 月、6 月及 8 月共進行了三次的現場聯合觀測，觀測站涵蓋蘇澳港、花蓮港、鹽寮漁港、石梯漁港、及金樽漁港。其中除了蘇澳港因為儀器故障而無法獲取資料外，其餘各站均獲得數筆 15000 秒的觀測資料。在分析及比較中發現，花蓮港內除了一般重力波以外，尚有因為港池特性所激發的振盪(週期介於 30 秒至 1250 秒之間)，以及高於 1250 秒至 7500 秒的極長週期成分。後者成分波，在其他漁港內也可收集到顯示一個港灣內的波動包含了風波、因為港池特性所激發的振盪波、以及來自外海的極長週期波動。

(3) 以理論頻譜進行不規則波的港灣波動數值模擬

本年度建構了不規則波之港灣波動數值模式，並進行模擬與相關討論。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。在試驗中發現即使是 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。

(4) 規劃及設計三維潮流數值模式

配合 POM 模式的需求，以及花蓮港的特性建置花蓮港附近水域的三維潮流模式。目前已經收集了相關的資料與程式，但由於台灣附近的水深地形變化很大，而且有關風場及近岸水深地形的資料格式又與 POM 的預設格式不同，目前正進行必要的程式設計與修改。

參考文獻

1. Baquerizo, A. and Losada, M. A.(1995), “Transfer function between wave height and wave pressure for progressive waves, by Y-Y Kuo and J-F Chiu: comments,” *coastal Engineering*, Vol. 24, pp.351-353.
2. Bergan, A. O., Torum, A. and Traetteberg, A.(1968), “Wave measurements by pressure type wave gauge,” *Proceedings of the Eleventh Coastal Engineering conference, ASCE, London*, Vol. 1, pp. 19-29.
3. Biesel F.(1982) “Second order theory of manometer wave measurement”. *Proceedings of the 18th International Conference on Coastal Engineering*, pp.129-135.
4. Bishop, C. T. and Donelan, M. A.(1987), “Measuring waves with pressure transducers,” *Coastal Engineering*, Vol. 11, pp.309-328.
5. Cavaleri, L., Ewing, J. A. and Smith, N. D.(1978), “Measurement of the pressure and velocity field below surface waves,” in *Turbulent Fluxes through the Sea Surface, Wave Dynamics and Prediction*, Plenum Press, New York, pp.257-272.
6. Cavaleri, L.(1980), “Wave measurement using pressure transducer”. *Oceanal. Acta*, 3(3), pp.339-945.
7. Chen, H. S.,(1990), “Infinite Elements for Water Wave Radiation and Scattering,” *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 11, pp.555-569.
8. Esteva, D. and Harris, D. L.(1970) “Comparison of pressure and staff wave gage records,” *Proceedings of the twelfth Coastal Engineering Conference, ASCE*, Vol. 1, pp.101-116.
9. Forristal, G. Z.(1982), “Subsurface wave-measuring systems,” in: *Measuring Ocean Waves*, National Academy Press, Washington, D.C., pp.194-209.

10. Forristall, G.Z.(1987) "On the sttistical distribution of wave heights in a storm". Journal of Geophysival Reserch, Vol.83, No.C5, pp.2253-2358.
11. Gabriel D. W. and T. S. Hedges(1986) "Effects of currents on interpretation of sub-surface pressure spectra", Journal of Coastal Engineering, Vol. 10. No.3, pp.309-323.
12. Grace, R.A.(1970) "How to measure waves". Ocean Ind., 5(2).pp.65-69.
13. Grace R. A.(1978) "Surface wave heights from pressure records". Journal of Coastal Engineering, Vol. 2. No. 1. pp.55-67.
14. Hameed T. S. S.(1985) and M. Baba, "Wave height distribution in shallow water". Journal of Ocean Engineering, Vol. 12, No. 4, pp.309-319.
15. Hom-ma, M. Horikawa, K. and Komori, S.(1966), "Response characteristics of underwater wave gauge," Proceedings of the Tenth Coastal Engineering Conference, ASCE, New York, Vol. 1, pp.99-114.
16. Huang, M.-C. and Chen, J-Y.(1998), "Wave direction analysis from data buoys," Ocean Engineering, Vol. 25(8), pp.621-637.
17. Huang, M.-C.,(2001), "Comparison of pressure transfer functions," 海洋工程學刊，第 1 卷，第 1 期，第 23-34 頁
18. 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.
19. Lin, J. G.(1995), "Statistical Properties of Wave Conditions in Harbors," Department of Civil Engineering, North Carolina State University, USA.
20. 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.

21. Seiwel, H.R.(1947), "Investigation of underwater pressure records and simultaneous sea surface patterns", Trans. Am. Geophys. Union, Vol.28, pp.722-724.
22. 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.
23. 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。
24. 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。
25. 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。
26. 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。
27. 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。
28. 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。
29. 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。
30. 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。
31. 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。
32. 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。
33. 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。
 34. 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。
 35. 林炤圭、陳炫杉(1996),"外海底床坡度在港灣波動模擬上的影響",第 18 屆海洋工程研討會, pp.55~62。
 36. 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。
 37. 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。
 38. 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。
 39. 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。
 40. 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。
 41. 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。
 42. 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。
 43. 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。
44. 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。
 45. 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。
 46. 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。
 47. 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。
 48. 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。
 49. 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。
 50. 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。

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中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(2/4)」

執行單位：國立台灣海洋大學

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
<p>一、李兆芳委員</p>		
<p>1. 現場觀測部份為在鹽寮設儀器觀測資料作為花蓮港之資料，用意良好。然而所得資料分析結果可以加入和過去分析結果作比較討論。</p> <p>2. 未來觀測上，如果能夠在花蓮港內、外同步觀測，更具代表性。</p>	<p>長週期的波浪觀測就目前的技術而言，必須以定置於海底量測水壓力的變化，或是定置於水面附近直接量測水位的變化等方式，而且觀測取樣的時間也必須夠長始能獲得。定置於水面附近的水位直接量測一般都設於觀測樁以免受到海岸結構物的反射與繞射影響，在經費與執行上較為困難。而如果以定置於海底的方式進行壓力量測時，花蓮港的港外水域近岸地形坡度過大且離岸太近，儀器除了不容易長期停滯於該處(尤其颱風)外，近岸的溯上與碎波都造成量測上的困難。而如果是在港外的灣澳部份的話，則因為水深快速地下降到約 80 公尺水深。以目前本研究團隊所有的壓力波高計其建議最大深度只能到 30 公尺，無法使用。但若購置深水型的壓力式波高計，姑且不提經費過大的問題，由於長週期的波動振幅在平時可能只有 10 公分，甚至更小，已經遠低於深水波高計的靈敏度而量測不到。</p> <p>在鹽寮漁港的長週期水位長時間量測，係為補足此種困境，並獲得部份的波動資訊。至於數百秒的波動是否可能來自深海，本計畫團隊</p>	<p>針對現場觀測條件限制已作說明，如何突破限制將再研商對策。</p>

	正在研商對策。而在花蓮港內外的聯測，亦在討論之列。	
二、陳冠宇委員		
1. 兩地資料建議作相關性分析(鹽寮漁港及花蓮港)。	目前正規劃對兩地進行聯合觀測，屆時將會參考委員意見進行相關性分析。	已補充。
2. JONSWAP 之低頻分量甚小，似不適合共振之分析。	有關花蓮港附近水域的不規則波港灣波動模擬正在發展中，目前先進行理論頻譜的測試，所以使用的頻譜參數皆係一般的數值。後續需要討論的方向可能包含：適用花蓮港外海的理論頻譜為何？極長週期的成分波如何反映在入射頻譜中？港內波動要如何詮釋？就目前的心得是：這些問題的解決都可能要遭遇很大的困難。	有關不規則波港灣波動模擬之波譜使用，可再做進一步討論。
3. Peak frequency 等參數如何選定，未說明。		
4. 壓力波高轉換是否可討論其週期變化？	週期的變化相當地小，將在期末報告中補充討論。	已補充。
5. 潮流模式未評估。	由於目前所收集的 POM、ROMS 及 COHERENS 都屬於 public domain 的軟體，且世界上有多國在使用，而 COHERENS 正在 TAICOMS 計畫中執行，因此本計畫並未再進行評估，將等模式設置完成並可執行後，再與 TAICOMS 的結果相比較。	同意納入後續研究工作內容。
6. 等週期分割似乎不經濟。	為了能充分反應不規則波的港灣波動模擬結果，本研究團隊曾比較過多種頻譜分割的方法，最後仍發現以等週期分割來進行理論頻譜的分割較為適當。而長週期(30 秒以上)部份的波動一方面其能量並不包含於理論頻譜中，另一方面是它可能是以單一波的形式存在，因此後續研究中也正在探討如何整合一般重力波	不同分割方法之結果比較，應補充說明或敘明參考文獻。

	與長週期波等的數值的模擬結果。	
三、何良勝委員		
1. 報告中有關圖內符號應作局部修正，且作適當說明。	未來將在期末報告中改進。	已更正並作說明。
2. 有關波壓與水位關係(第二章)，建議可另依水深比(d/L)、尖銳度(H/L)等聯合求取其相關結果。	遵照辦理。	同意辦理。
3. 有關第四章之數值模擬不規則波比規則波大之結果，此與試驗情形有所差異，請說明。	由於港灣波動對成分波週期相當地敏感，不論是水工模型試驗(一般造波程式最多分成 64 個成分波)M 或是數值模擬都遭遇到如何適切地分割頻譜的問題。而頻譜的分割直接影響到模擬之結果。本計畫將再進一步檢核與討論相關的數值結果，並說明於期末報告。而不規則波之數值結果大於規則波則可能是彩色的增幅係數分佈圖以灰階列印所造成的誤解。	已補充說明。
四、許泰文委員		
1. 摘要中不應只描述研究工作內容，建議加入研究成果。	遵照辦理並將於期末報告改正。	已辦理。
2. 第一章計畫背景分析中，建議加入第一年研究成果，以及第三、四年預既研究的項目與預期成果。	遵照辦理並將於期末報告改正。	已補充。
3. P.14 圖 3.1 至圖 3.3 筆誤，請改正。	遵照辦理並將於期末報告改正。	已改正。
4. 建議增加鹽寮漁港與花蓮港水位觀測由能譜及時序列結果，探討其相關性。	目前正規劃對兩地進行聯合觀測，屆時將會參考委員意見進行相關性分析。	已辦理。
5. 圖 3.4 至圖 3-45 圖說請增加觀測時間。	遵照辦理並將於期末報告改正。	已補充。
6. 建議於期末報告增加觀測時間圖表、說明觀測時段。	遵照辦理並將於期末報告改正。	已補充。
7. 圖 3.7 及圖 3.9 長週期水位變化圖中有陡變現象，請說明原因。	由於鹽寮漁港淤砂問題相當嚴重，波高觀測只能以簡易的觀測架靜置於約 2 公尺	擷取處理應有說明。

	深的砂質底床上，除了底床不穩定以外，水中所夾帶的懸浮砂亦可能對量測造成影響，在分析中已經進行適當地擷取。	
五、簡仲環委員		
1. 現場長週期波動應持續觀測，並根據以往觀測資料尋找其發生原因。建議可從時間及空間上之差異性比較著手。	目前正規劃對兩地進行聯合觀測，以及累積港內長期的觀測資料，屆時將會參考委員意見進行比較。	已辦理。
2. 第 49 頁 4.3 節之數值模擬請重新檢視後編寫，因為語意有些模糊，例如「...圖 4.4 及圖 4.6 間，以及圖 4.5 及圖 4.7 間的分佈極為相似...」，但詳細對照後似乎是「...圖 4.4 及圖 4.5 間，以及圖 4.6 及圖 4.7 間的分佈極為相似...」，請再查核比對。	數值模擬部份的討論，將在期末報告作更詳細的補充與討論，並參考委員意見，補充說明。	已作較詳細之陳述。
六、主席結論		
1. 本次期中報告經全體委員審查原則上通過。	謝謝各位委員及主席的協助。	
2. 有關審查委員之意見請納入期末報告。	遵照辦理。	
3. 所有委員提出之意見及建議，海大之處理情形也需納入期末報告書中。	遵照辦理。	

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

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(2/4)」

執行單位：國立台灣海洋大學

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、許泰文委員		
1. 本計畫對花蓮港共振機制之探討成果良好，未來應持續進行以確認造成花蓮港內長週期振盪的原因。	感謝委員鼓勵，未來將繼續加強研究內容，以確認花蓮港長週期振盪的原因。	
2. 目前已經收集的資料應再深入分析。	遵照辦理。相關資料將持續進行分析，並與相關的專家學者討論。	已辦理。
3. 為免人力資源過度分散，建議考慮未來年度的工作項目中，與其他計畫重疊部份的必要性，例如流場的推算。	遵照辦理。將與港研中心再研究。	同意於下一年度暫緩進行流場推算。以集中人力於長周期波之觀測及分析。
二、陳冠宇委員		
1. 本研究目標為港池共振之機制(見摘要)，但如何完成此目標？要做那些研究？結果如何又該如何做？缺少一有系統的論述，建議補充。	遵照辦理。	已補充。
2. 第二章第一段”以環境進行歸類”並未做到。	目前所有的試驗資料包含水平底床及凹陷地形兩部分，在未獲得或進行其他試驗資料之前，僅能就此二部分進行討論。實質上，本計畫的工作項目與經費並無法針對眾多的實際環境地形進行實驗或觀測，再加以分類。本章已經就資料分析部分再加強補充。	若資料不足而無法作歸類，則文字上應作適當修正，以避免誤解。
3. 請補充圖 3.4-3.64 低頻水位圖如何求得？建議再增加非 log 坐標的頻譜圖以釐清能量多寡。	已說明於第 16 頁的第三章第二段文字裡。	已說明。
4. 期中審查之回覆有待補充。	遵照辦理。將儘量加強補充。	已作部份補充。
三、李兆芳委員		
1. 本期計畫報告內容相當豐	謝謝委員鼓勵。	

富，計畫執行有力。		
2. 第三章提及(p.16)水位觀測僅限於港內.....，但最後又提及”分析結果由「港外」至港內.....，請說明。	由於鹽寮漁港屬於開放性港池，且距離花蓮港約 11 公里，本報告以為其長週期的成分也可以衍伸至花蓮港的外海，故分析結果以外海至港內進行綜合討論。	已作說明。
3. 第四章(p.53)提及文獻 林 (1995).....，是否 Lin(1995)，請查對。	遵照辦理。	已辦理。
4. 文中提及觀測資料涵蓋時間不足一年，且長週期振盪無法確認來源，因此本計畫是否有規劃後續之研究？	在後續的年度中，本計畫仍規劃持續觀測，以期釐清該成分的特性。	96 年度將持續辦理現場觀測。以使資料分析結果具有統計性。
5. 請說明本年度是否解決第一年度有產生之困難？	由於各相關子題均需要長時間的資料，在本年度裡也逐步釐清部分的問題，以及多瞭解其間相關的特性，因此，除了波壓與波形轉換函數研究中需要進一步進行斷面試驗外，其他研究均以步上軌道。	請持續加強辦理。
四、蔡清標委員		
1. 本研究包括水工模型試驗，現場量測調查分析及數值模擬，工作項目多，執行單位亦積極進行，值得肯定。惟如何將辛苦所得之量測及分析結果表現得更有意義，值得執行單位再予努力。	感謝委員鼓勵，為了釐清相關的子題，本計畫團對持續討論對資料的分析與表現的方式、可能發生的疑義、未來應增加的試驗/觀測項目、以及和港研中心協調進行相關的模型試驗或現場觀測。	請持續加強辦理。
2. 第二章之試驗主要在第一年度進行，但仍建議說明本章執行之意義，並列出試驗條件表。結果之解釋可參考前人之研究(如 Kuo 郭一羽; chiu 邱永芳)。	將補強文字說明及討論。	已補充說明。
3. 圖 2-1 至 2-16 中，(c)(d)之座標參數相同，但圖形代表意義不同？	如第 7 頁所述，圖(c)係從水面波形及壓力值轉換水面波形以零上切判讀之個別波高的比值，而圖(d)則係直接以水面波形值與壓力值的比值來討論。由於波浪的非線性這兩個值可能不一樣。本研究試圖作各種不同的探討。	已說明。

<p>4. 第三章中，各圖(a)之波形分析其所利用之分離理論，建議簡述說明之。頻譜分析，港外成份長週期波之能量密度，有大部份大於較短週期者(即報告中所謂之重力波者)，是否合理，值得探討，另外頻譜分析建議另以波高頻率譜表示，較能探討長週期成分之重要性。而同一時段港外及港內可放在一起比較。</p>	<p>如第 16 頁所述，第三章中各圖(a)係以數值濾波的方式進行分離。如首段文字所述，本報告中所列的觀測資料時段係分佈於常時波浪中，其目的係為瞭解平常就已經存在的波浪成分，以便未來釐清颱風波浪所引發的成分。</p>	<p>已作部份說明。頻譜分析應增加波高頻率譜之顯示結果，</p>
<p>5. 參考文獻與內文幾乎完全不一致，請改善。</p>	<p>遵照辦理。將增加第一年報告中已進行之文獻回顧。</p>	<p>可參考第一年報告書。內文應作對照修正。</p>
<p>五、蘇青和委員</p>		
<p>1. 建議正式報告摘要部份除說明第一年成果，也增加本年度重要成果，第六章章名 ” 檢討 ” 宜改為 ” 結論與建議 ”。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>已修改。</p>
<p>2. 第二章之試驗條件，雖於第一年報告詳述，本年度仍建議製表說明。本章建議增加說明試驗研究與計畫目標關聯性，且概要說明本年度研究成果與延續第一年成果之差異。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>已製表補充說明。</p>
<p>3. 第三章現場波浪觀測分析，僅分析花蓮港內部份，建議增加分析本中心同時間於外港觀測之資料，作一增高係數分析，P.52 圖 3.66 建議增加觀測值之 Kd 線。建議將圖 3.5~3.64 以波高譜顯示，並將各圖之波浪重要統計量，例如 Hmax, Tmax, H1/3, T1/3 等及重要成份波製表，以方便查詢。颱風波浪應為研究重點，未來應加強颱風期間觀測分析。</p>	<p>由於本年度係著重在長週期波浪成分存在性與消長情形的觀測部分，因此觀測時間與時段不一定與港研中心的觀測同步，可能無法直接進行增幅係數的分析比較。圖 3.66 的 Kd 曲線亦因無法取得外海的波浪觀測資料而無法繪製觀測值的 Kd 曲線。各時間序列的重要統計波浪參數在本年度裡並未計畫進行分析。未來如有需要，而且有足夠資料進行比對，將會增加此一部份的探討。由於經費及設備有限，颱風期間的觀測將在後續的計畫中設法進行，但仍有許多困難點需要克</p>	<p>港內長周期波之觀測可和本中心港外波浪觀測溝通協調，以獲得同時資料。</p>

	服。	
4. 第四章不規則波數值模擬部份，入射波條件建議未來能以現場觀測波譜取代目前理論之 JONSWAP 譜或 Bretschneider 譜。	由於缺乏外海的實測深海波譜，也非本計畫所能獲得的。而若使用近岸(例如入口處)波譜進行模擬，可能的結果是無法進行相關比對。委員意見將列入未來研究中的思考項目。	有關不規則波數值模擬部份之入射波條件將再共同研商。
5. 第五章三維海流數值模擬部份，與本研究計畫主要目標關聯性並不明顯，在考量目前本研究項目甚多，為能集中研究人力於主要研究目標，建議明年暫緩執行此部份，並增加如何改進花蓮港港池共振問題之研究。	感謝委員的建議，將與港研中心再研究後續的工作項目。	海流數值模擬部份同意於 96 年度暫緩執行，以集中研究人力。
6. 正式報告請依本所規格撰寫，例如每個章節頁碼應以 2-3, 4-1,編號。	遵照辦理。	已修正。
六、何良勝委員		
1. 報告內容建議修正部份： A. 請加強補充中文摘要之內容說明。 B. 刪除 P.6 之進度甘特圖。 C. 第六章名稱建議修改。	遵照辦理。	已修正。
2. 第二章中圖 2.1~圖 2.16 之代表意義，請加強補充說明。	遵照辦理。	已補充。
3. 為確立現場量測波高計之準確性，建議未來可於西部沿岸地區作短期性之量測。	未來研究將研擬適切位置與觀測的目的。	再作進一步評估。
4. 有關港灣波動數值模擬方面，建議未來應更確立研究項目。	將與港研中心再研究。	再共同研商討論。
七、簡仲環委員		
1. 透過聯合觀測資料分析結果，發現不僅花蓮港其他東岸港口也都有 3749 秒以上的長週期波成分。這種長週期的波動，依風波理論似乎不太可能是風所造成。因此，其存在證據及生成原因值得進一步確認與探討。	波動成分大於 3749 秒的長週期波部分，應該是屬於太平洋的特性，在日本及澳洲亦曾發現類似甚至更長週期的振盪波，依所收集的文獻指出可能是由於陸地與海脊間的振盪所引致。後續研究將持續收集資料，以便瞭解其特性。	請持續加強辦理。

2. 除花蓮港及鹽寮漁港外，其他漁港之波高計配置及各港間位置關係圖請補充。	遵照辦理。	已補充。
3. 某些水位觀測原始資料的變化趨勢明顯有問題，例如圖 3.37 及圖 3.40 等。因此，分析前須先檢核資料的品質。	由於儀器可能因使用過久而有不穩定的情形，報告中為完整交代原始觀測內容，因此未進行任何校正，但分析時將會檢核資料品質。	請注意資料品質。
4. 報告格式不符合本所出版品相關規定，請修正。	遵照辦理。	已修正。
主席結論：		
<ol style="list-style-type: none"> 1. 經全數委員同意，本計畫期末報告審查通過，依合約規定可撥付第三期款。 2. 審查委員所提意見及計畫內容執行的調整，請國立臺灣海洋大學列入計畫之正式期末報告修訂辦理，並將處理情形表依規定列入正式報告。 3. 請國立臺灣海洋大學依本所出版品規定格式作報告修正，並依據合約書規定，儘速提送定稿期末報告。 4. 請國立臺灣海洋大學配合行政作業，儘速將各項憑證及相關資料提送本所，以利辦理計畫請款與結案。 	遵照辦理。	

附錄三
期末報告審查簡報

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(2/4)
(MOTC-IOT-95-H3DB002)

期末簡報

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(2/4)

報告內容

1. 前 言
2. 波壓與波高轉換函數的相關研究
3. 花蓮港內長週期振盪的調查研究
4. 花蓮港港灣波動的數值模擬
5. 防波堤振動特性與沉箱變位資料分析
6. 綜合討論與建議



國立台灣海洋大學河海工程系

1. 前言

1.1 計畫緣起

- ◆ 為了瞭解花蓮港港池共振機制以及研提改善防治對策
- ◆ 交通部運輸研究所乃依據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
- ◆ 配合港研中心的相關研究，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. 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. 前言

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



2. 水面波動與波壓轉換關係的試驗研究

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

壓力與水面的轉換關係

1) 線性波理論

$$K_{PL}(z) = \frac{p(z)}{\gamma \eta} = \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}$$

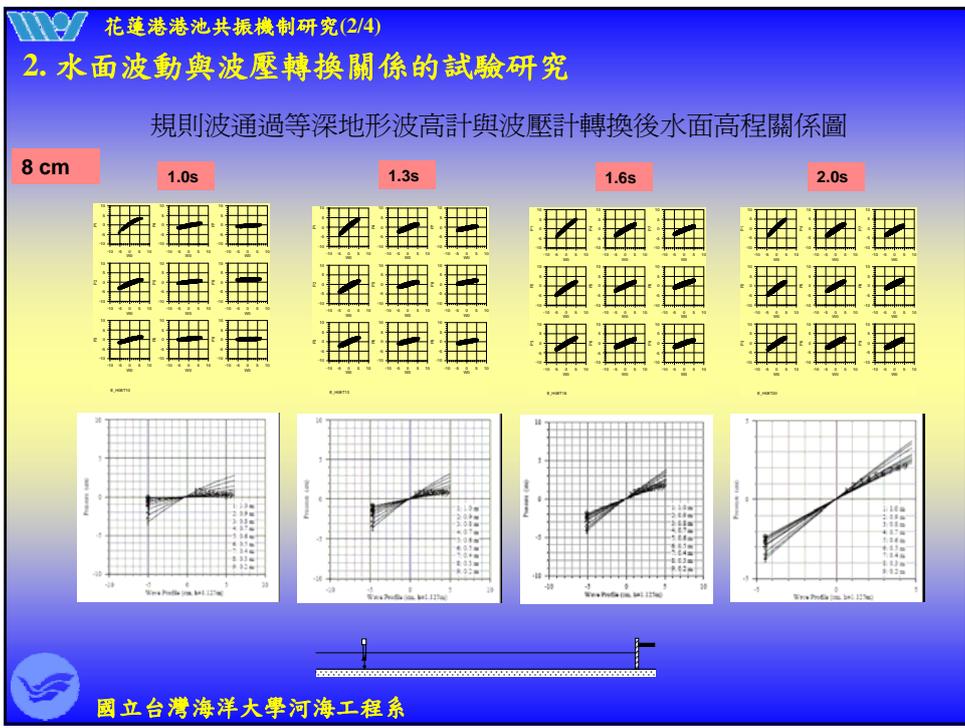
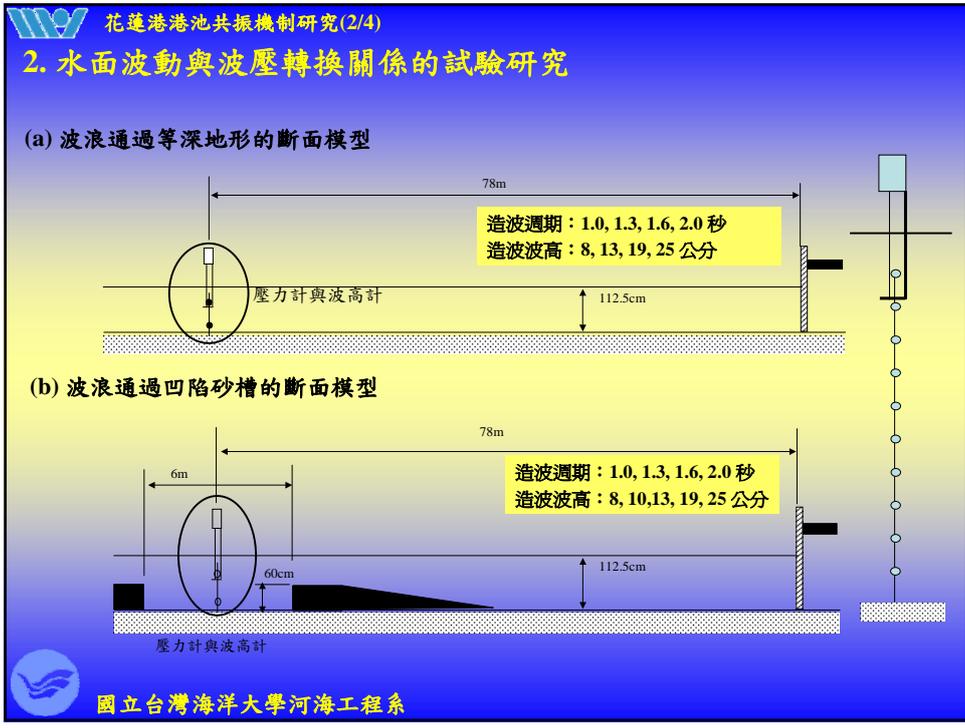
2) Chiu & Kuo's 經驗公式

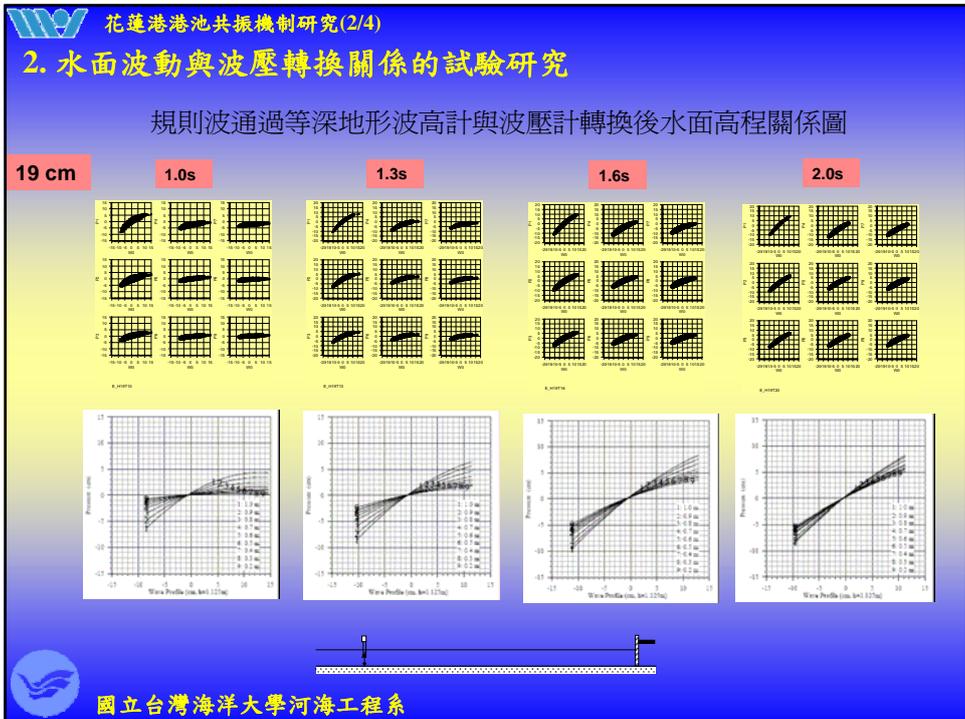
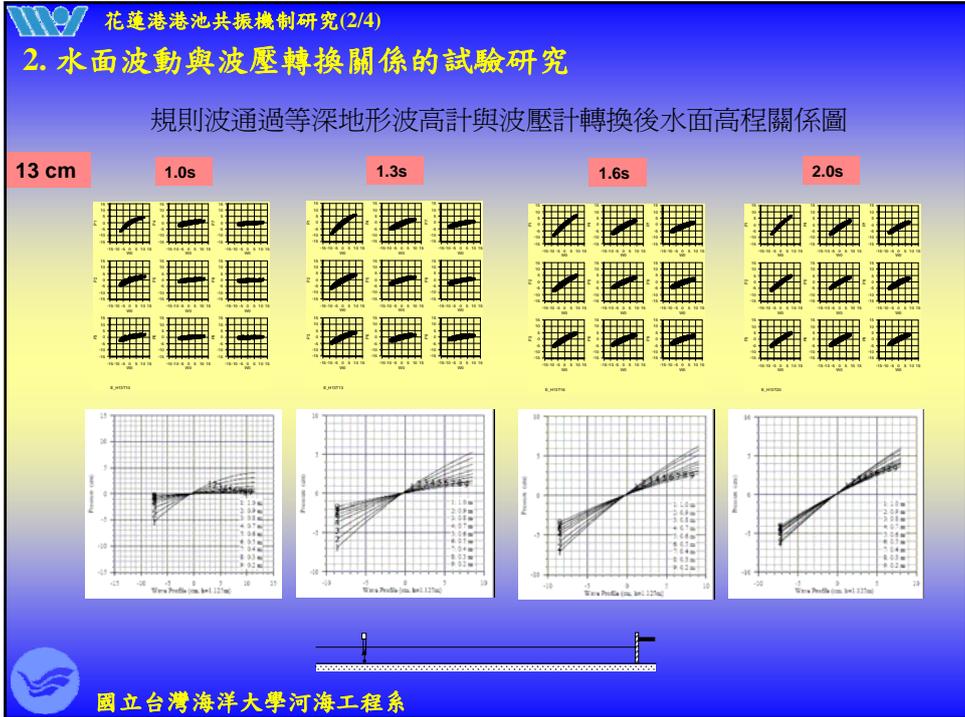
$$K_{PE}(z) = \text{Exp}(-0.905 \frac{\omega^2 |z|}{g} - 0.027) \quad \text{for } 0.1 \leq \frac{\omega^2 |z|}{g} \leq 5, \quad h/L \geq 0.07$$

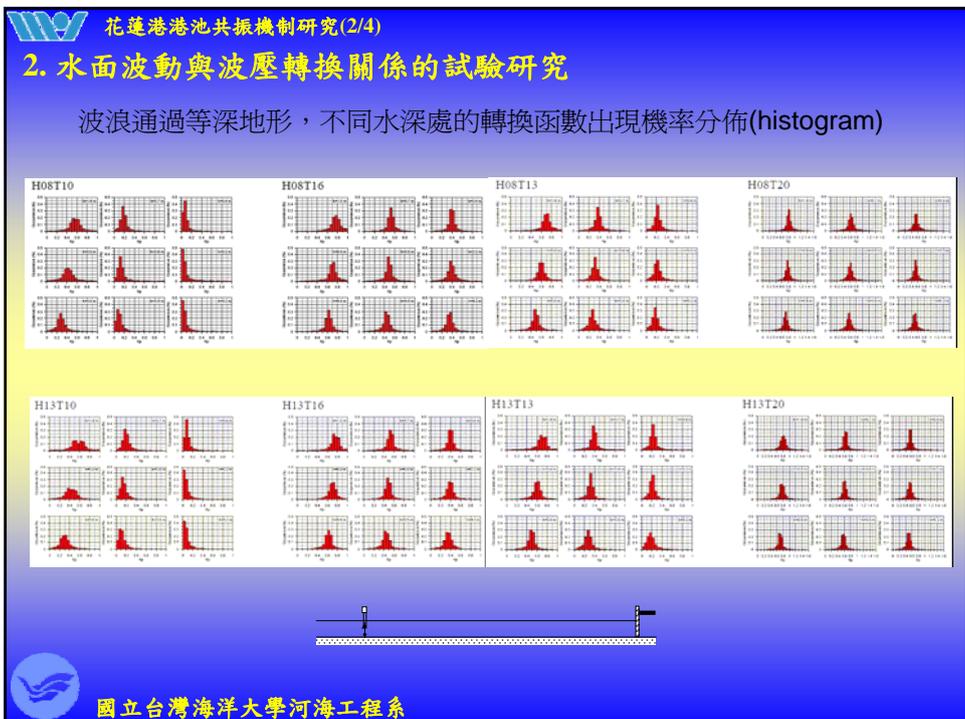
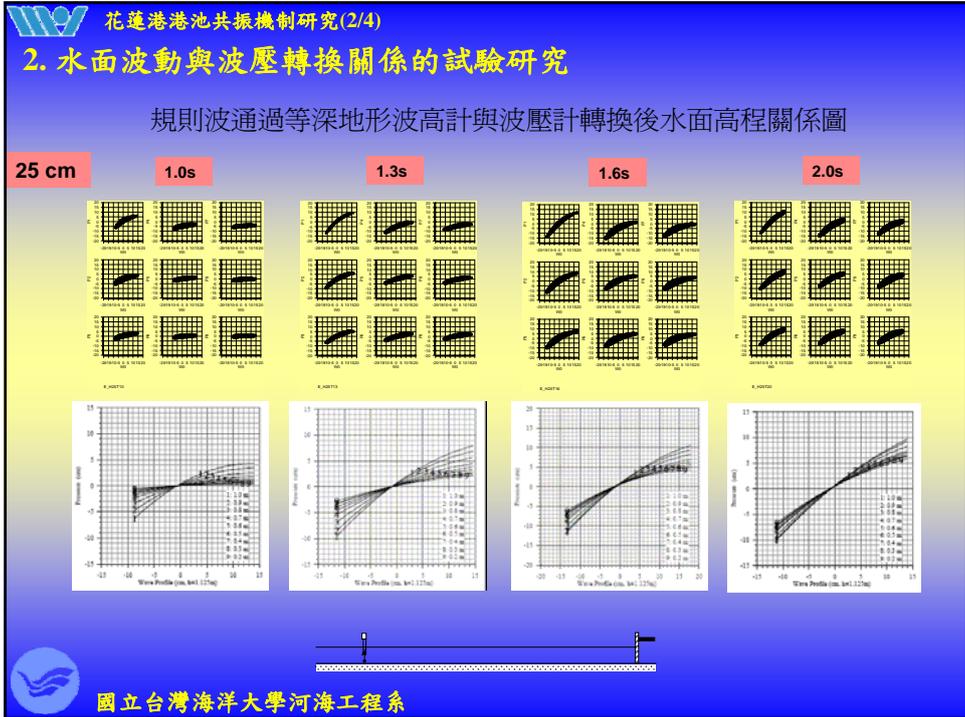
3) Chen's 理論推導 (2000)

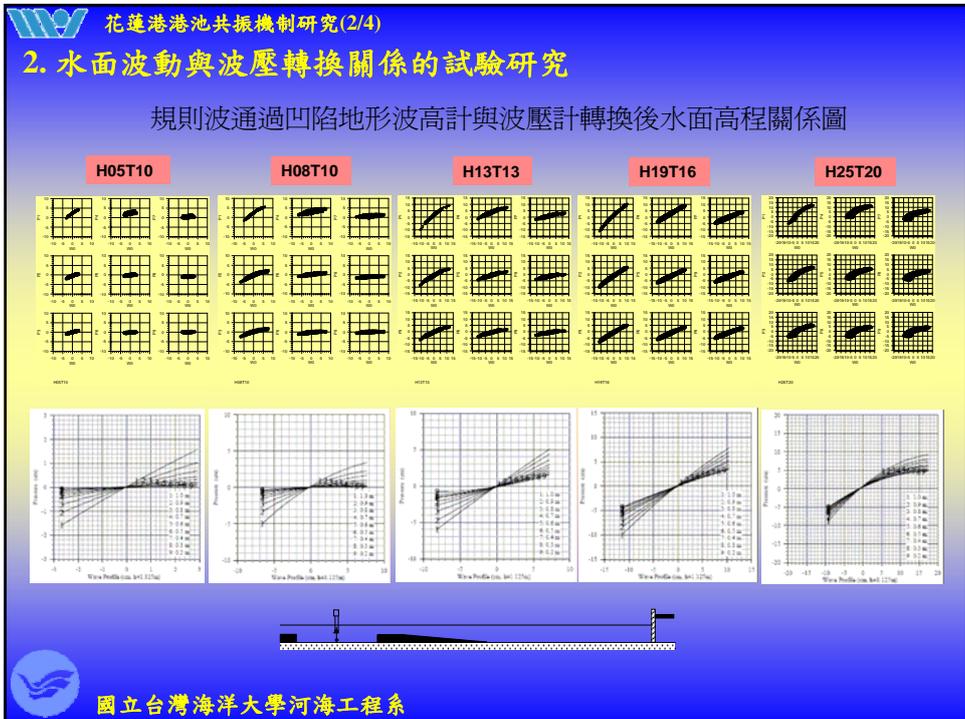
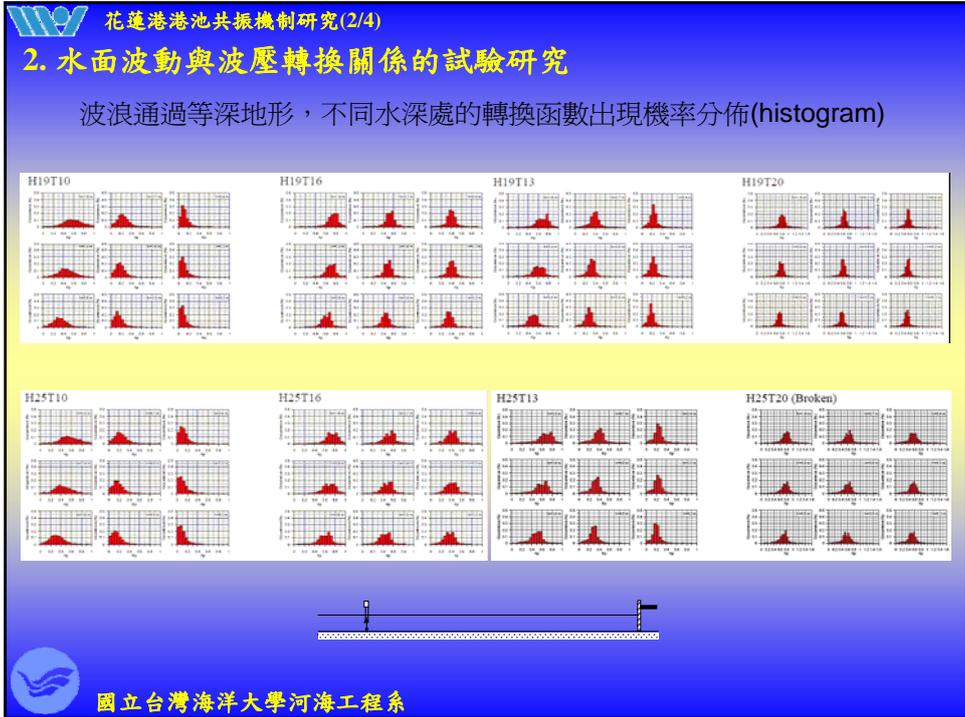
$$K_{PN}(z) = \text{Exp}(-711 \frac{\omega^2 |z|}{g} + 0.022) \quad \text{for } \frac{|z|}{h} = 0.9?$$

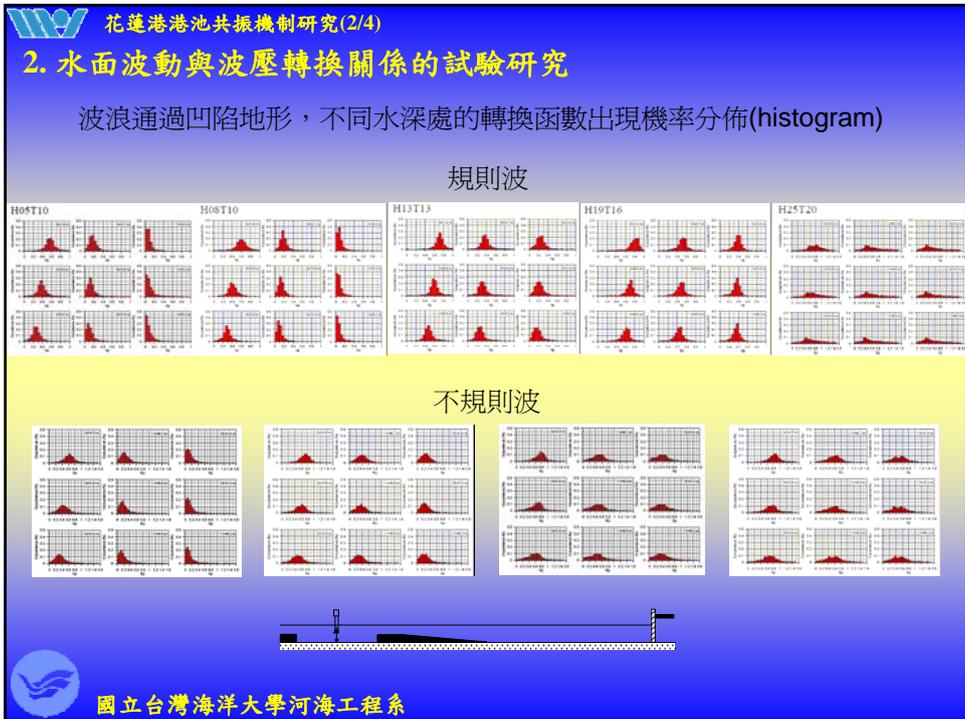
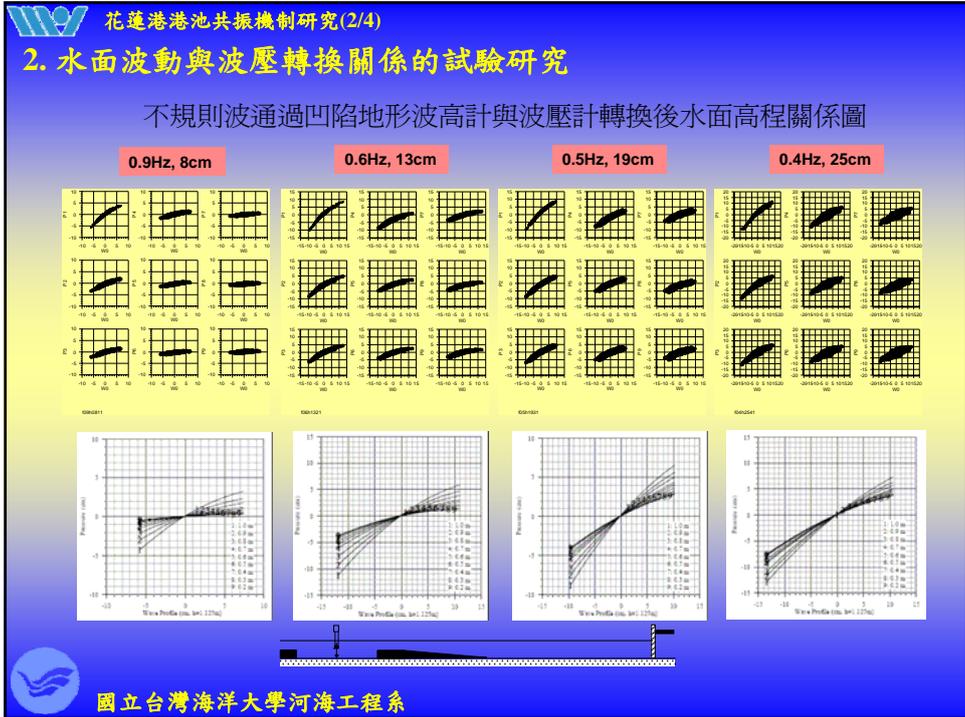












花蓮港港池共振機制研究(2/4)

3. 花蓮港的長週期水位變動觀測分析



鎮儀S700壓力式波高計
2 Hz, 15000 s/record



花蓮港港池平面圖



波高計位置

國立台灣海洋大學河海工程系

花蓮港港池共振機制研究(2/4)

3. 花蓮港的長週期水位變動觀測分析

鎮儀S700壓力式波高計
2 Hz, 15000 s/record

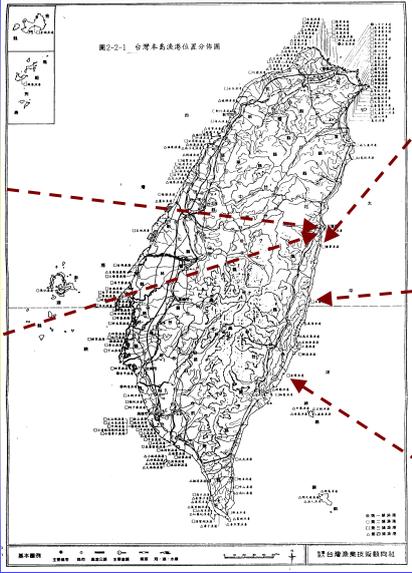


圖2-2-1 台灣本島漁港位置分布圖

2006/08

鹽寮漁港

石梯漁港

金樽漁港

花蓮港內港

花蓮港外港

國立台灣海洋大學河海工程系

3. 花蓮港的長週期水位變動觀測分析

表3.1 2006年各觀測站的資料收集範圍

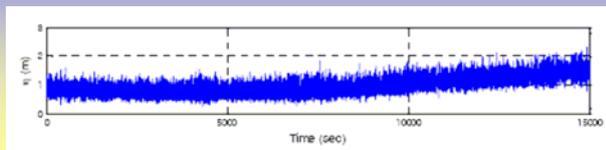
觀測位置	資料收集期間	使用儀器
蘇澳港	儀器故障	鎮儀公司S700壓力式波高計 Seabird公司SBR90潮位儀
花蓮港內港	20060405 15:00 ~ 20060407 17:00(12筆) 20060818 10:40 ~ 20060819 20:00(8筆)	
花蓮港外港	20060405 15:00 ~ 20060407 17:00(12筆) 20060818 10:40 ~ 20060819 15:50(7筆)	
鹽寮漁港	20060610 06:00 ~ 20060412 15:20(8筆) 20060818 10:40 ~ 20060819 07:30(5筆)	
石梯漁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



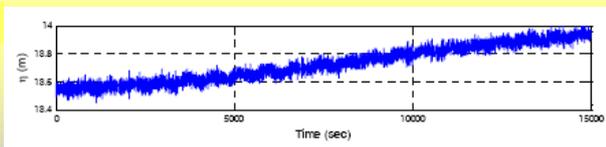
3. 花蓮港的長週期水位變動觀測分析

15000秒水面波形記錄

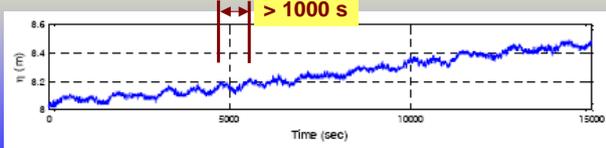
鹽寮漁港

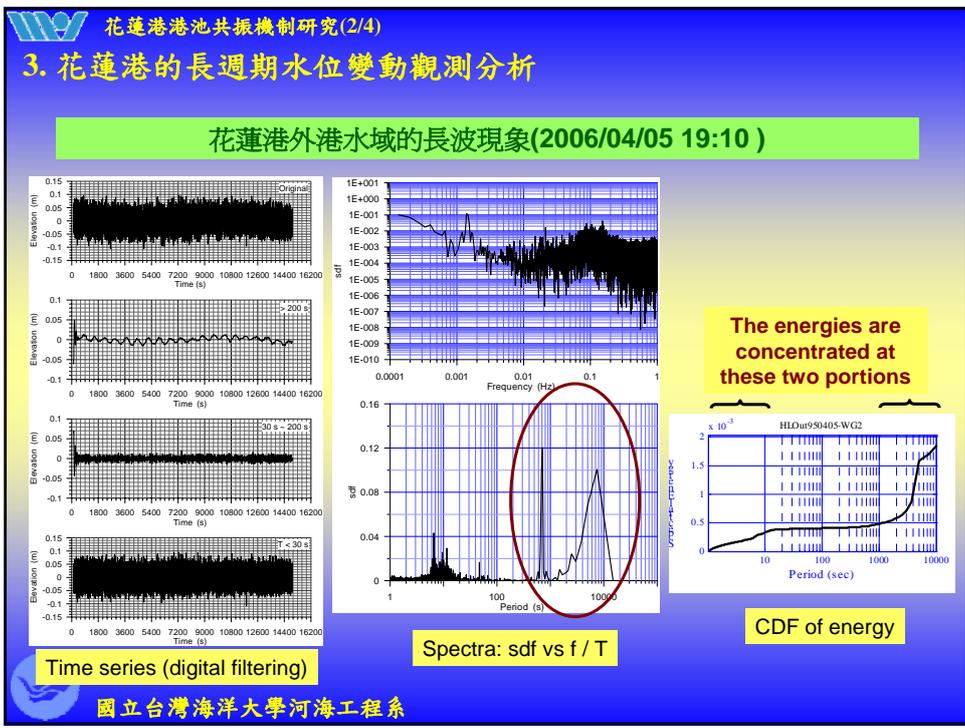
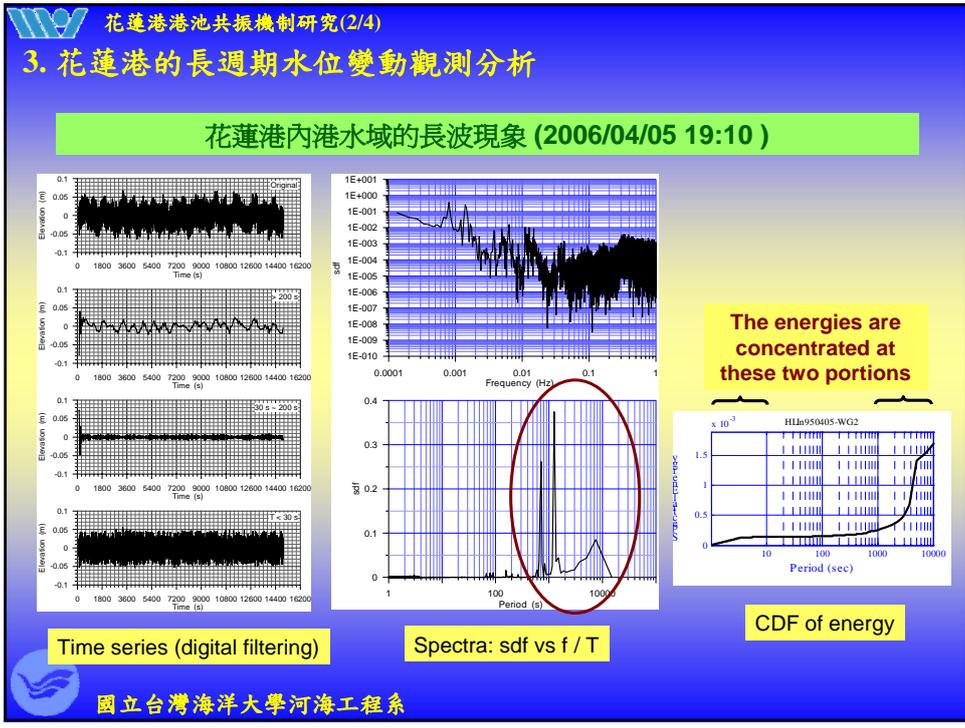


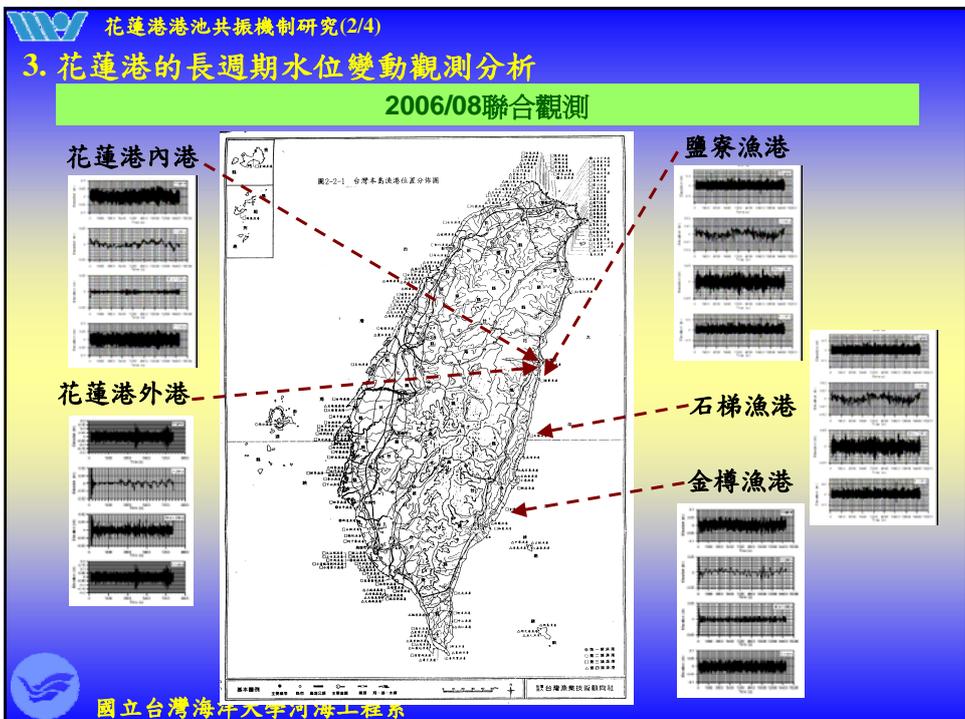
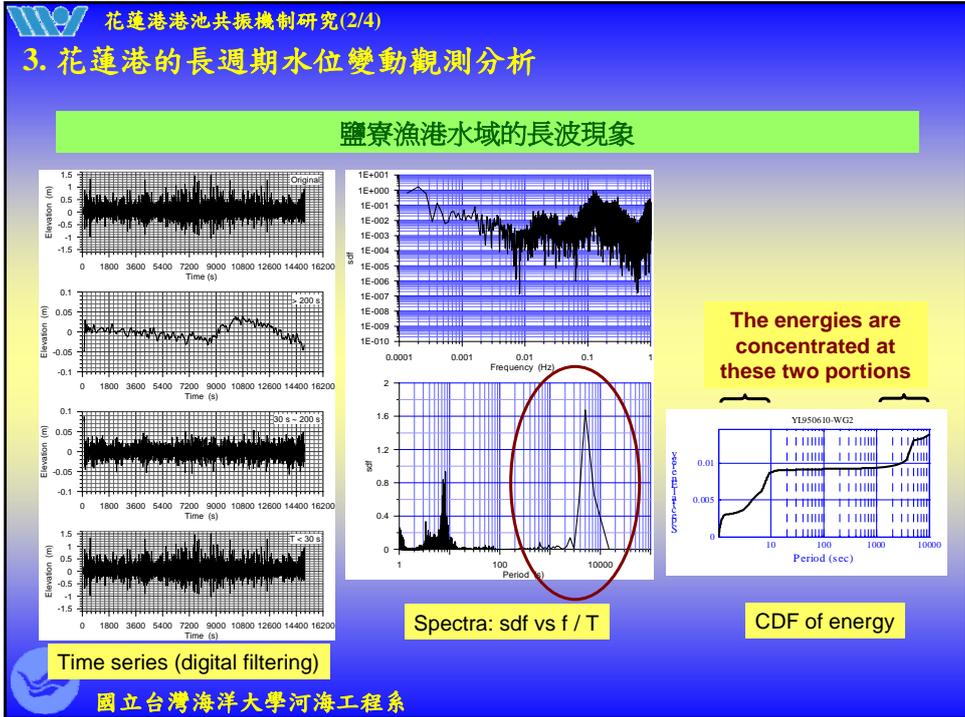
花蓮港外港

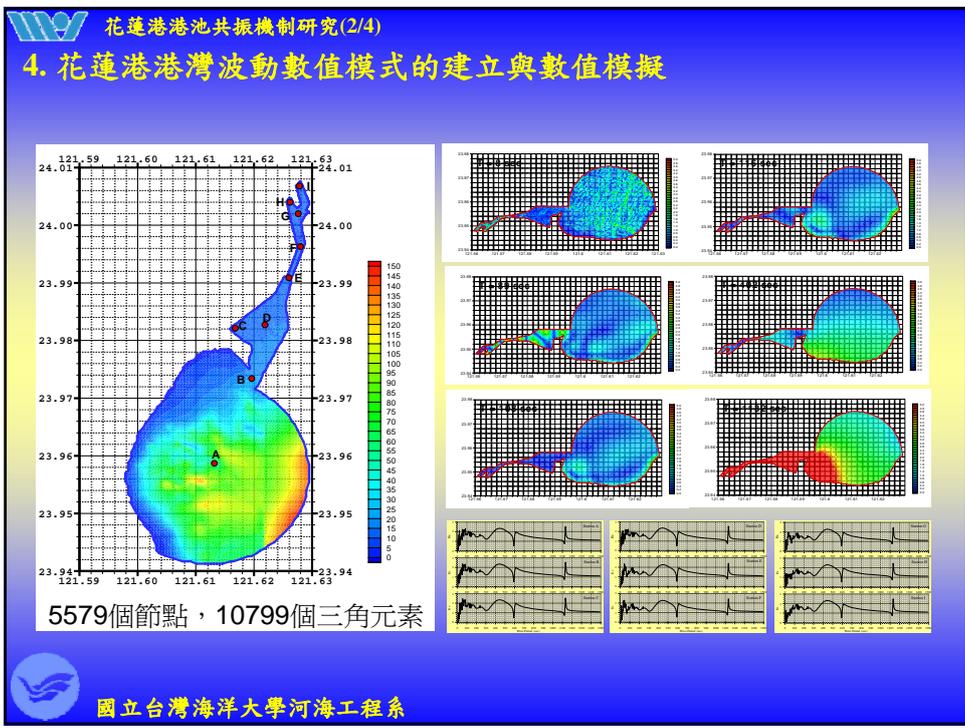
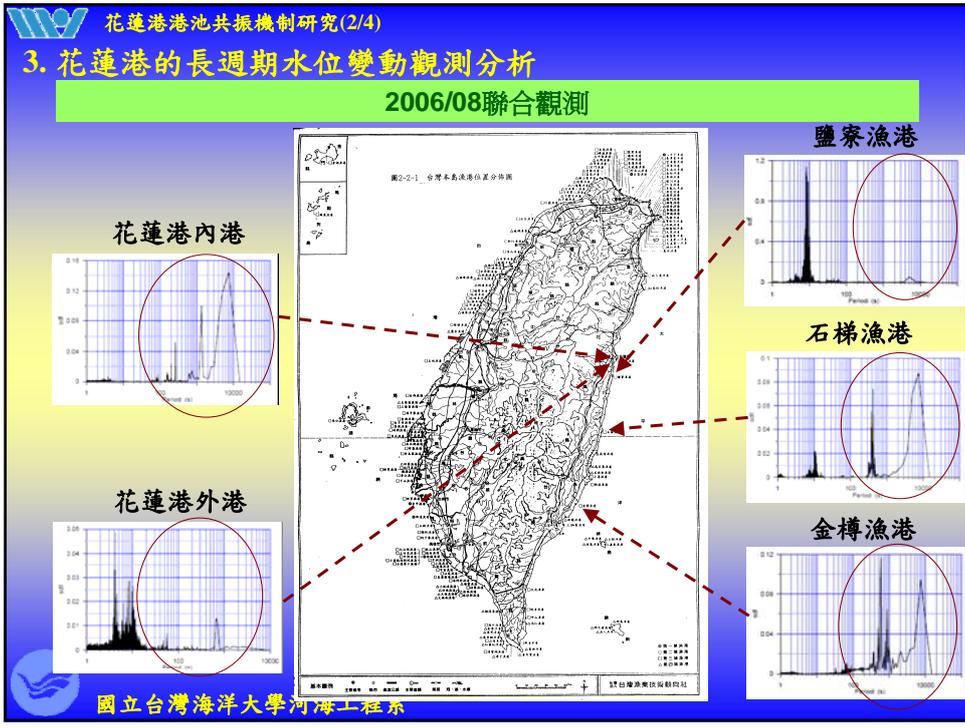


花蓮港內港









4. 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

單方向不規則波模擬

理論頻譜：

- 1) Bretschneider頻譜
- 2) JONSWAP頻譜

成分波分割：等週期分割

週期範圍：5 s ~ 30 s

波高增幅係數：

$$K_d = \left[\frac{1}{m_0} \int_0^\infty S(f) K_d^2(f) df \right]^{1/2}$$

波高計算：

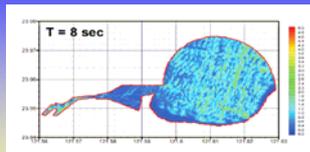
- 1) $H_s = 4.004 \sqrt{m_0}$

- 2) $H = K_d H_I$

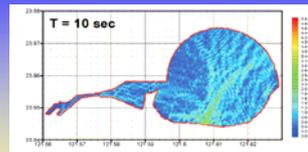


4. 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

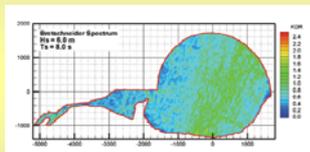
Kd分佈圖



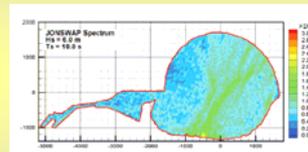
規則波 ($T_s=8$ s)



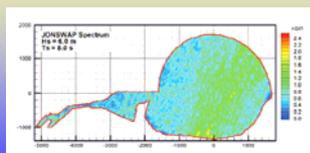
規則波 ($T_s=10$ s)



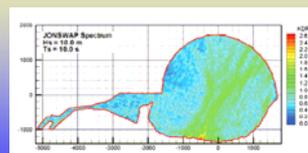
不規則波(B-M頻譜, $T_s=8$ s, $H_s=6$ m)



不規則波(B-M頻譜, $T_s=10$ s, $H_s=6$ m)



不規則波(JONSWAP頻譜, $T_s=8$ s, $H_s=6$ m)

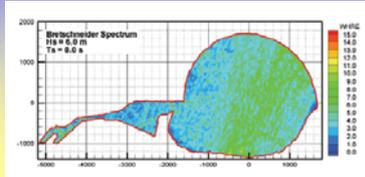


不規則波(JONSWAP頻譜, $T_s=10$ s, $H_s=6$ m)

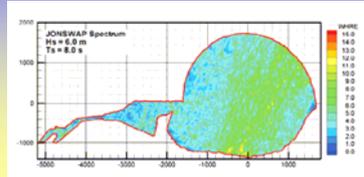


4. 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

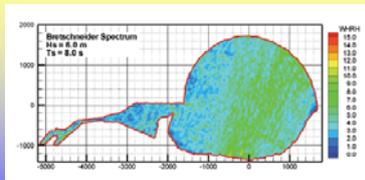
不規則波模擬波高分佈圖



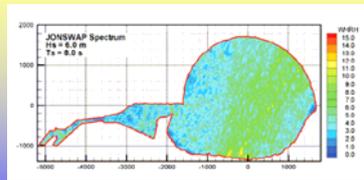
B-M頻譜, $T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式4.16



JONSWAP頻譜, $T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式4.16



B-M頻譜, $T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式4.17

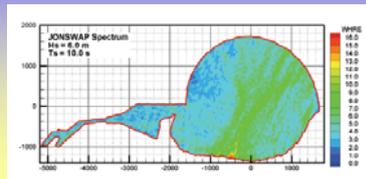


JONSWAP頻譜, $T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式4.17

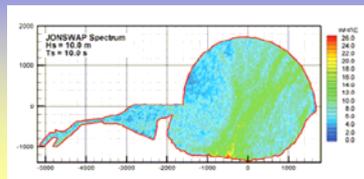


4. 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

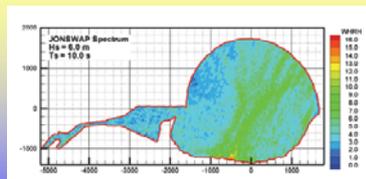
不規則波模擬波高分佈圖



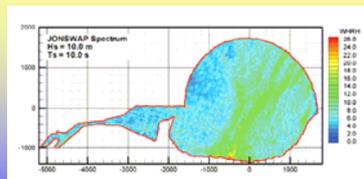
JONSWAP頻譜, $T_s=10\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式4.16



JONSWAP頻譜, $T_s=10\text{ s}$, $H_s=10\text{ m}$, 式4.16



JONSWAP頻譜, $T_s=8\text{ s}$, $H_s=6\text{ m}$, 式4.17

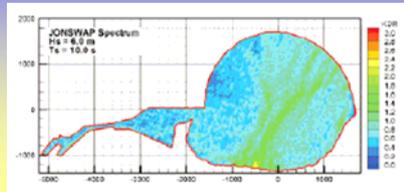


JONSWAP頻譜, $T_s=10\text{ s}$, $H_s=10\text{ m}$, 式4.17

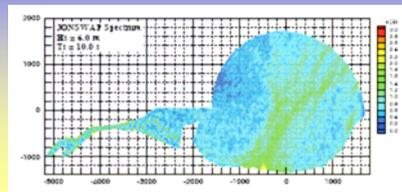


4. 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

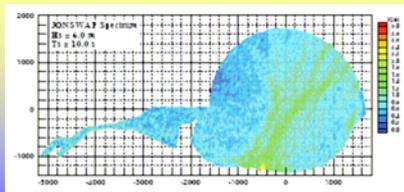
不規則波模擬波高分佈圖(JONSWAP頻譜+84秒長波)



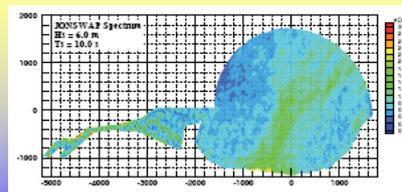
JONSWAP頻譜



JONSWAP頻譜+84秒長波(波高2公尺)



JONSWAP頻譜+84秒長波(波高1公尺)

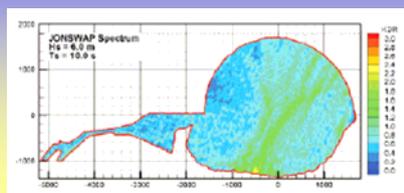


JONSWAP頻譜+84秒長波(波高3公尺)

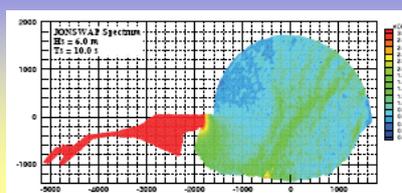


4. 花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬

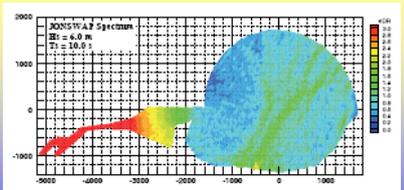
不規則波模擬波高分佈圖(JONSWAP頻譜+1134秒長波)



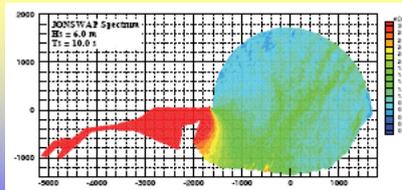
JONSWAP頻譜



JONSWAP頻譜+1134秒長波(波高0.5公尺)



JONSWAP頻譜+1134秒長波(波高0.1公尺)



JONSWAP頻譜+1134秒長波(波高1公尺)



5. 規劃及設計三維潮流數值模式

POM(Princeton Ocean Model)

是一個三維基本方程式的數值海洋模式,它的主要屬性有:

1. 包含一個隱藏的二階力矩紊流終止模式(imbedded second moment turbulence closure sub-model)以提供垂直方向的混合係數。
2. 採用 σ 座標處理垂直方向的水深變化。
3. 水平網格使用區現正交座標系統以及一個“Arakawa C”差分技巧。
4. 水平及時間差分為外顯式,但垂直差分則為內隱式。後者消除了垂直座標的時間限制,也允許在表面及底床邊界層裡使用較細的垂直解析度。
5. 該模式有一個自由水面及一個分離的時間間隔。模式的表面形式部份為二度空間,且根據CFL的條件與表面的波速使用一較短的時間間隔;而內部形式則是三度空間且依據CFL的條件與內部的波速使用一較長的時間間隔。
6. 配備完整的熱力學理論(thermodynamics)。



5. 規劃及設計三維潮流數值模式

基本資料的準備 (IC.DAT)

在進行POM的潮流模擬前,首先要準備包含水深地形、風場、鹽度場及溫度場的資料檔案,內容依序包含:

1. Z : σ 座標系統下的水深分割值
2. ZZ : σ 座標系統下的水深分割點的中點值
3. DZ : 相鄰水深分割點的差值
4. DZZ : 相鄰水深分割中點的差值
5. ALON : 水平面上網格點的經度值(以由下而上、由左而右輸入)
6. ALAT : 水平面上網格點的緯度值(以由下而上、由左而右輸入)
7. H : 網格點上之水深值
8. T : 網格點上之溫度值(溫度場;包含各個水深)
9. S : 網格點上之鹽度值(鹽度場;包含各個水深)
10. RMEAN : 網格點上之平均密度值(平均密度場;包含各個水深)
11. WUSUR : 網格點上之x-方向表面風速值
12. WVSUR : 網格點上之y-方向表面風速值



5. 規劃及設計三維潮流數值模式

基本資料的準備 (IC.DAT)

該檔案中：

- 每列資料的固定輸入格式為8E12.4，而且皆是計算網格節點上的值
- **水深、溫度、鹽度；E密度、及風速**，由於其來源不同，解析度也不同，因此必須先經過處理(GRID.F)。
- 水深地形資料：可至NOAA的NGDC網站下載 ETOPO5或ETOPO2的
- 鹽度場及溫度場：可至NOAA的NODC網站下載WOA(World Ocean Atlas) 資料庫
- GRID.F中的預設參數，有必要配合台灣附近水域的計算範圍特性進行修改
- 例如水深地形ETOPO5的解析度為5'；鹽度及溫度場的輸入則屬於1°的解析度。GRID.F係採用橢圓函數關係將相關值內插至計算格網上，但此舉可能因為執行平滑化處理，而使得陡變的地形被平滑掉，而造成資料特性的扭曲。由於台灣附近海域水深地形屬於多變的特性：西部平緩，但東部複雜。



6. 綜合討論與建議

1) 波壓與波高轉換函數的相關水工模型平面試驗

- 從各個不同的角度持續探討波壓與波高轉換函數的關係
- 本年度原預定規劃進行相關的模型試驗，包含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。以及在斷面水槽進行水面波動與波壓在空間中的關係。但由於試驗水槽另有重要任務以及人力時間調配的問題，以致本年度無法排入時程。
- 目前由於波浪條件的組數仍不足夠，因此無法得到肯定而具體的結論。在後續的研究中將持續進行。



6. 綜合討論與建議

2) 進行花蓮港現場波浪觀測的資料分析與波浪特性統計

- 本年度分別於4月、6月及8月共進行了三次的現場聯合觀測，觀測站涵蓋蘇澳港、花蓮港、鹽寮漁港、石梯漁港、及金樽漁港。其中除了蘇澳港因為儀器故障而無法獲取資料外，其餘各站均獲得數筆15000秒的觀測資料。
- 在分析及比較中發現，花蓮港內除了一般重力波以外，尚有因為港池特性所激發的振盪(週期介於30秒至1250秒之間)，以及高於1250秒至7500秒的極長週期成分。後者成分波，在其他漁港內也可收集到顯示港灣內的波動包含了風波、因為港池特性所激發的振盪波、以及來自外海的極長週期波動。
- 有關引發港池振盪，以及對港內靠泊船隻有較大危害的成分波浪特性有待進一步調查



6. 綜合討論與建議

3) 以理論頻譜進行不規則波的港灣波動數值模擬

本年度建構了不規則波之港灣波動數值模式，並進行模擬與相關討論。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。在試驗中發現即使是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。

4) 規劃及設計三維潮流數值模式

配合POM模式的需求，以及花蓮港的特性建置花蓮港附近水域的三維潮流模式。目前已經收集了相關的資料與程式，但由於台灣附近的水深地形變化很大，而且有關風場及近岸水深地形的資料格式又與POM的預設格式不同，目前正進行必要的程式設計與修改。



6. 綜合討論與建議 -- 後續工作項目的檢討

第三年(96年)主要工作項目：

- 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)
著重在理論頻譜的擬合與相關參數的評估。
-- 港內長週期振盪成分的確認，必要時進行港內流速的觀測
- 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
- 進行三維潮流數值模擬
- 港池共振改善方案研擬(合辦)

第四年(97年)主要工作項目：

- 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
- 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「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

