

96-25-7245

MOTC-IOT-95-H2DA004

臺灣地區鄰港海岸環境保護及 監測調查研究 (2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 96 年 4 月

96-25-7245

MOTC-IOT-95-H2DA004

臺灣地區鄰港海岸環境保護及 監測調查研究 (2/4)

著 者：蔡立宏、徐如娟、何良勝

交通部運輸研究所

中華民國 96 年 4 月

臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究. (2

/4) / 蔡立宏, 徐如娟, 何良勝著. -- 初版.

-- 臺北市: 交通部運研所, 民96

面: 公分

參考書目:面

ISBN 978-986-00-9255-4 (平裝)

1. 海岸工程 2. 海岸

443.3

96006193

臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究(2/4)

著者: 蔡立宏、徐如娟、何良勝

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: 福島實業有限公司

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港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6號・電話: (04) 22260330

GPN: 1009600756

ISBN: 978-986-00-9255-4 (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 臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009600756
定價 300 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究 (2/4)			
國際標準書號 978-986-00-9255-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1009600756	運輸研究所出版品編號 96-25-7245	計畫編號 95-H2DA004
主辦單位：港灣技術研究中心 主 管：邱永芳 計畫主持人：蔡立宏 研究人員：何良勝、徐如娟、江玟德、許泰文、黃清和、林綉美、 陳昌生、林志明、林東廷、溫志中、方國權、林柏廷、 張人懿、柯拓宇、吳漢倫、邱炫琦 光碟製作：單誠基、馬維倫 行政助理：張惠華 聯絡電話：04-26587177 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 95 年 01 月 至 95 年 12 月
關鍵詞：海岸環境；海岸保護；親水；生態；海藻；污染；擴散			
摘要： 為達到海岸環境之維護與永續利用的目標，在海岸保護及應用上，目前世界潮流均考慮海岸長期變遷，結構物建造考量親水及生態的觀念，亦即兼具保護海岸、民眾親水、生態復育、改善及創造生態環境之效果。符合以上條件的新工法，國內的研究及實際案例均處於初期發展階段。本研究根據臺灣目前的港灣及海岸環境，分析海岸結構物與生態系間之相關性，探討符合上述功能之海岸保護措施的特性。根據現場調查及相關資料統計分析的結果，本研究提出台灣南部海岸結構物海藻著生與水質、環境因子等相關性。根據水工試驗、數值模擬計算結果，提出污染物在系列潛堤結構物前的水平及垂直方向的擴散現象，不規則波通過系列潛堤之布拉格反射特性。期由本研究結果提供爾後海岸工程規劃設計以及施政單位之參酌。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
96 年 4 月	252	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Investigation of the Coastal Environments and Structures of Coastal Protection in Taiwan (2/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN 978-986-00-9255-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009600756	IOT SERIAL NUMBER 96-25-7245	PROJECT NUMBER 95-H2DA004
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-hung PROJECT STAFF: Ho Liang-sheng, Hsu Ju-chuan, Jiang Wen-der, Hsu Tai-wen, Hwang Ching-her, Lin Showe-mei, Lin Dong-tirng, Chen Chang-Sheng, Lin Chih-Ming, Wen Chih-chung, Fang Kuo-quan, Lin Po-ting, Chang Jen-yi, Chang Hui-hua, Ko To-yu, Wu Han-lun, Chiu Hsuan-chi PHONE: 886-4-26587177 FAX: 886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2006 TO December 2006
KEY WORDS: Coastal structure, Coastal environments, Seaweed, Ecologically coastal engineering, Pollutant diffusion			
ABSTRACT: In the past time, the primary objectives of traditional shore protective methods are only to prevent the coastal disaster from erosions and further to protect its stability of coast. To achieve the goals of environmental sustainability, nowadays people usually consider not only the safety level of coast but also its effect on promenade and ecology. The purpose of this study is to investigate the relationship between coastal structure and the environments. Site investigation, experiments, and numerical calculation are carried out respectively in this project. The topics included in the present research are as follows: 1. Investigate and discuss Taiwan's coastal ecological environments. 2. Study the influential factors on the environments of coastal structure. 3. Develop proper shore protection methods and coastally ecological engineering methods. 4. Conduct on the appropriate coastal protection structures including the function of safety, promenade and ecology. 5. Study the phenomena of pollutant diffusion by a series of submerged breakwaters. 6. Research the Bragg scattering of irregular waves by a series of submerged breakwaters. The results can be provided as the references for the design of ecologically coastal engineering to protect the coastal environments.			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 252	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.			

目 錄

摘 要.....	
目 錄.....	
表目錄.....	
圖目錄.....	
照片目錄.....	
第一章 緒論.....	1-1
1.1 前言.....	1-1
1.2 研究動機及目的.....	1-2
1.3 研究方法與步驟.....	1-3
1.4 本文組織.....	1-4
第二章 海藻及水質生態環境調查.....	2-1
2.1 藻場造成型海岸保護結構物研究概述	2-1
2.2 調查目的.....	2-2
2.3 調查對象.....	2-2
2.3.1 對象海岸.....	2-2
2.3.2 對象結構物	2-3
2.3.3 自然環境.....	2-7
2.4 調查項目與方法.....	2-14
2.4.1 調查項目	2-14
2.4.2 調查方法.....	2-15

2.5 海水水質調查結果	2-20
2.5.1 第一季(95 年 2 月份).....	2-20
2.5.2 第二季(95 年 5 月份).....	2-23
2.5.3 第三季(95 年 8 月份).....	2-24
2.6 著生海藻調查結果	2-28
2.6.1 第一季(95 年 2 月份).....	2-28
2.6.2 第二季 (95 年 5 月份)	2-31
2.6.3 第三季 (95 年 8 月份)	2-34
第三章 海藻生態與水質環境分析.....	3-1
3.1 海水水質環境分析.....	3-1
3.1.1 溫度與鹽度的季節性變化.....	3-1
3.1.2 pH 值與溶氧量的季節性變化.....	3-1
3.1.3 水體營養鹽的季節性變化.....	3-2
3.1.4 濁度與光照度的季節性變化	3-3
3.2 海藻著生分析.....	3-5
3.2.1 優勢種和藻種的季節性變化分析.....	3-5
3.2.2 海藻種類季節性變化與相似性分析	3-5
3.2.3 海藻種類季節性變化與共有種率分析	3-11
3.2.4 海藻種類季節性變化與多樣性分析	3-16
3.3 海藻著生效果與水質環境分析	3-20
3.3.1 海藻豐富度與水溫和相關的營養鹽季節性變化分析	3-20
3.3.2 海藻豐富度與光照度、深度和濁度季節性變化分析	3-20

3.3.3 海藻種類季節性變化與不同區域上著生的分析.....	3-21
第四章 海藻與環境因子相關性分析.....	4-1
4.1 海藻著生效果與水質環境	4-1
4.2 海藻著生與光照度環境	4-2
4.3 海藻著生與基質環境.....	4-4
4.4 海藻著生與水深環境.....	4-6
4.5 海藻著生與結構物形式	4-7
第五章 臺中港區空氣懸浮微粒特性.....	5-1
5.1 研究方法及步驟	5-1
5.2 分析結果.....	5-3
5.2.1 氣象特性.....	5-3
5.2.2 微粒濃度特性	5-4
5.2.3 金屬微粒濃度特性.....	5-5
5.2.4 金屬微粒間之相關性	5-7
5.2.5 空氣微粒與氣象參數之相關性.....	5-8
第六章 波浪通過系列潛堤擴散特性.....	6-1
6.1 試驗設備及儀器.....	6-1
6.2 試驗步驟及方法.....	6-3
6.2.1 儀器及試劑率定.....	6-3
6.2.2 試驗佈置.....	6-6
6.2.3 試驗條件.....	6-10
6.2.4 儀器及試劑率定.....	6-12

6.3 氯化鈉試液擴散試驗結果	6-13
6.3.1 不同時段的濃度變化	6-13
6.3.2 不同濃度的影響	6-28
6.3.3 不同反射率的影響	6-33
第七章 不規則波通過系列潛堤反射特性.....	7-1
7.1 理論基礎	7-1
7.1.1 演進型緩坡方程式.....	7-1
7.1.2 不規則波之緩坡方程式	7-5
7.1.3 邊界條件及起始條件	7-11
7.1.4 數值方法與收斂條件	7-14
7.1.5 波譜分割與合成.....	7-16
7.2 不規則波之應用.....	7-19
7.2.1 反射係數公式	7-19
7.2.2 波譜的選擇	7-22
7.3 水工模型試驗.....	7-26
7.3.1 試驗設備.....	7-26
7.3.2 試驗配置與條件	7-28
7.3.3 試驗數據分析	7-29
7.3.4 入射波譜與透射波譜之比較	7-33
7.4 分析結果與討論.....	7-35
7.4.1 不規則波浪通過複合式矩形潛堤之研究.....	7-35
7.4.2 不規則波通過複合式沙漣底床反射係數之研究.....	7-38

7.4.3 不規則波通過各式矩形潛堤之研究	7-41
第八章 結論與建議.....	8-1
8.1 結論.....	8-1
8.2 建議.....	8-4
參考文獻.....	9-1
附錄 A	A-1
附錄 B	B-1
附錄 C	C-1

表 目 錄

表 2-1	南部海岸保護結構物海藻生態環境調查位置.....	2-3
表 2-2	高雄測站長期氣象月平均統計表.....	2-7
表 2-3	大鵬灣地區全年風速風向分佈累積百分率.....	2-9
表 2-4	大鵬灣外海颱風波浪表.....	2-12
表 2-5	大鵬灣附近海域水質表.....	2-13
表 2-6	海水水質檢測項目之分析方法與依據.....	2-15
表 2-7	第一季（2 月份）大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近之水質分析 資料.....	2-25
表 2-8	第二季（5 月份）大鵬灣海堤及林邊海堤附近之水質分析 資料.....	2-26
表 2-9	第三季（8 月份）大鵬灣海堤及林邊海堤附近之水質分析 資料.....	2-27
表 2-10	第一季（2 月份）大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海 岸結構物之大型海藻著生覆蓋率.....	2-29
表 2-11	第二季（5 月份）大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海 岸結構物之大型海藻著生覆蓋率.....	2-32
表 2-12	第三季（8 月份）大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海 岸結構物之大型海藻著生覆蓋率.....	2-35

表 3-1	第一季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之 大型海藻著生之相似性率(CZ similarity).....	3-8
表 3-2	第二季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之 大型海藻著生之相似性率(CZ similarity).....	3-9
表 3-3	第三季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之 大型海藻著生之相似性率(CZ similarity).....	3-10
表 3-4	第一季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物大 型海藻著生之共有種率分析(PS similarty)	3-13
表 3-5	第二季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物大 型海藻著生之共有種率分析(PS similarty)	3-14
表 3-6	第三季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物大 型海藻著生之共有種率分析(PS similarty)	3-15
表 4-1	大鵬灣測站海藻著生與光照度、濁度及水溫之分析表.....	4-3
表 4-2	林邊測站海藻著生與光照度、濁度及水溫之分析表.....	4-3
表 4-3	本研究各測站海藻著生深度與水深關聯性分析.....	4-5
表 5-1	採樣期間不同粒徑之微粒濃度及氣象資料表.....	5-3
表 5-2	台中港區不同微粒濃度之金屬元素間相關性比較表.....	5-7
表 5-3	台中港區採樣地點微粒濃度係數和氣象參數之相關係數.....	5-8
表 5-4	不同微粒濃度之迴歸係數	5-9
表 6-1	系列潛堤試驗佈置及波浪條件表.....	6-10
表 6-2	擴散試驗波浪條件及氯化鈉試液濃度表.....	6-12

表 7-1	不同個數成份波之合成波誤差比較表	7-25
表 7-2	水工試驗地形相關佈置條件表	7-30
表 7-3	波浪通過複合式沙漣底床試驗條件 (Guazzelli 等人, 1992)	7-39
表 7-4	數值模擬之各式系列潛堤之佈置	7-41

圖 目 錄

圖 2-1	海域生態性工法之分類 (郭等, 2002).....	2-11
圖 2-2	大阪關西國際機場應用生態型消波塊例	2-13
圖 2-3	北海道福島漁港防波堤應用產卵礁例	2-14
圖 2-4	附加藻場機能海岸結構物	2-16
圖 2-5	附加海水交換機能海岸結構物	2-17
圖 2-6	安平港海岸整治工程配置及馬刺型突堤頭生態潛礁斷面圖	2-19
圖 2-7	烏石漁港南端防波堤增建工程	2-20
圖 2-8	富基漁港北防波堤延長工程平面及標準斷面圖	2-21
圖 2-9	後灣海岸環境及景觀改善計畫	2-22
圖 2-10	富來漁港藻場造成型防波堤成效追蹤調查	2-31
圖 2-11	日本協田漁港人工潛礁生物涵養效果調查	2-32
圖 2-1	南部海岸保護結構物海藻生態環境調查位置	2-4
圖 2-2	屏東縣林邊鄉水利村第五、六座離岸堤平面與斷面圖	2-5
圖 2-3	屏東縣大鵬灣出口導流堤平面與斷面圖	2-6
圖 2-4	大鵬灣浮標測站氣溫統計圖	2-8
圖 2-5	大鵬灣風玫瑰圖	2-9
圖 2-6	大鵬灣浮標測站 2003 年風速統計圖	2-10

圖 2-7	大鵬灣浮標測站 2003 年波浪統計分析圖	2-11
圖 3-1	各監測點水體營養鹽 DIN 與 DIP 關係圖.....	3-3
圖 3-2	各監測點之水體 NO ₃ -N、DIN、DIP、N/P ratio 與光照度 之相關性	3-4
圖 3-3	第一季 (2 月份) 各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈 圖	3-16
圖 3-4	第二季 (5 月份) 各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈 圖	3-17
圖 3-5	第三季 (8 月份) 各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈 圖	3-18
圖 5-1	採樣地點為台中港西一碼頭之宏恕倉儲頂樓 3 樓	5-2
圖 5-2	台中港區不同時間的 TSP (•)平均濃度分布.....	5-4
圖 5-3	台中港區不同時間的 PM _{2.5-10} (•)和 PM _{2.5} (◦)平均濃度 分布	5-5
圖 5-4	台中港區不同季節之不同微粒金屬元素平均濃度比較圖	5-6
圖 6-1	導電度值以及溶液體積關係圖($T = 25^{\circ}C$)	6-5
圖 6-2	莫耳濃度(M)與導電度值關係圖($T = 25^{\circ}C$)	6-5
圖 6-3	潛堤佈置、波高計佈置以及造波控制量測系統示意圖	6-7
圖 6-4	潛堤佈置、導電度計、蠕動幫浦以及資料擷取系統示意圖	6-8
圖 6-5	潛堤、波高計與導電度計佈置相關位置尺寸示意圖	6-9

圖 6-6 不同週期波浪通過系列潛堤反射率變化圖	6-11
圖 6-7 水工模型試驗步驟流程圖	6-13
圖 6-8 系列潛堤前方水平方向不同時段高反射濃度比較圖(1M)....	6-18
圖 6-9 系列潛堤前方垂直水深不同時段高反射濃度比較圖(1M)....	6-18
圖 6-10 系列潛堤前方水平方向不同時段高反射濃度比較圖(0.5M).	6-19
圖 6-11 系列潛堤前方垂直水深不同時段高反射濃度比較圖(0.5M).	6-19
圖 6-12 系列潛堤前方水平方向不同時段高反射濃度比較圖(0.25M)	6-20
圖 6-13 系列潛堤前方垂直水深不同時段高反射濃度比較圖(0.25M)	6-20
圖 6-14 系列潛堤前方水平方向不同時段在中反射濃度比較圖 (0.5M).....	6-22
圖 6-15 系列潛堤前方垂直水深不同時段在中反射濃度比較圖 (0.5M).....	6-22
圖 6-16 系列潛堤前方水平方向不同時段在低反射濃度比較圖 (0.5M).....	6-24
圖 6-17 系列潛堤前方垂直水深不同時段在低反射濃度比較圖 (0.5M).....	6-24
圖 6-18 系列潛堤前方水平方向不同時段在無造波濃度比較圖 (0.5M).....	6-26

圖 6-19 系列潛堤前方垂直水深不同時段在無造波濃度比較圖 (0.5M).....	6-26
圖 6-20 不同鹽水濃度之水平方向濃度比較圖($t=101\sim 200\text{sec}$).....	6-30
圖 6-21 不同鹽水濃度之垂直水深濃度比較圖($t=101\sim 200\text{sec}$).....	6-30
圖 6-22 不同鹽水濃度之水平方向濃度比較圖($t=201\sim 300\text{sec}$).....	6-31
圖 6-23 不同鹽水濃度之垂直水深濃度比較圖($t=201\sim 300\text{sec}$).....	6-31
圖 6-24 不同鹽水濃度之水平方向濃度比較圖($t=301\sim 400\text{sec}$).....	6-32
圖 6-25 不同鹽水濃度之垂直水深濃度比較圖($t=301\sim 400\text{sec}$).....	6-32
圖 6-26 不同反射率水平方向濃度 0.5M 比較圖($t=101\sim 200\text{sec}$)	6-35
圖 6-27 不同反射率垂直水深濃度 0.5M 比較圖($t=101\sim 200\text{sec}$)	6-35
圖 6-28 不同反射率水平方向濃度 0.5M 比較圖($t=201\sim 300\text{sec}$)	6-36
圖 6-29 不同反射率垂直水深濃度 0.5M 比較圖($t=201\sim 300\text{sec}$)	6-36
圖 6-30 不同反射率水平方向濃度 0.5M 比較圖($t=301\sim 400\text{sec}$)	6-37
圖 6-31 不同反射率垂直水深濃度 0.5M 比較圖($t=301\sim 400\text{sec}$)	6-37
圖 7-1 邊界條件設置及格點佈置示意圖	7-12
圖 7-2 入射波與反射波座標示意圖	7-20
圖 7-3 混合波譜分割示意圖	7-24
圖 7-4 試驗水槽斷面圖	7-26
圖 7-5 造波機及蓄水池	7-27

圖 7-6	水位量測系統 (增幅器與波高計).....	7-27
圖 7-7	BNC-2090 資料擷取平台	7-28
圖 7-8	試驗系列潛堤之佈置及參數示意圖	7-29
圖 7-9	試驗流程說明.....	7-32
圖 7-10	不同潛堤個數下 $S_1:S_2=1:0.75$ 時入射波與透射波譜之比較	7-33
圖 7-11	不同潛堤個數下 $S_1:S_2=1:1$ 時入射波與透射波譜之比較..	7-34
圖 7-12	不同潛堤個數下 $S_1:S_2=1:1.25$ 時入射波與透射波譜之比較	7-34
圖 7-13	$N=4$ 時不同潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 之關係圖	7-36
圖 7-14	$N=6$ 時不同潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 之關係圖	7-37
圖 7-15	$N=8$ 時不同潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 之關係圖.....	7-37
圖 7-16	複合式正弦沙漣底床地形示意圖	7-39
圖 7-17	波浪通過複合式沙漣底床反射係數分佈圖 (配置 G1).....	7-40
圖 7-18	規則波通過複合式沙漣底床反射係數分佈圖 (配置 G2).....	7-40
圖 7-19	$D/h=1/2$ 時不同潛堤個數反射率與 $2S/L$ 的關係圖.....	7-43
圖 7-20	$D/h=1/3$ 時不同潛堤個數反射率與 $2S/L$ 的關係圖.....	7-43
圖 7-21	$N=4$ 時不同水深反射率與 $2S/L$ 的關係圖.....	7-45
圖 7-22	$N=6$ 時不同水深反射率與 $2S/L$ 的關係圖.....	7-45

圖 7-23 $N=8$ 時不同水深反射率與 $2S/L$ 的關係圖.....	7-46
圖 7-24 $N=4$ 時潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 的關係圖	7-47
圖 7-25 $N=6$ 時潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 的關係圖	7-48
圖 7-26 $N=8$ 時潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 的關係圖.....	7-48

照片目錄

照片 2-1	消波塊上之生態例	2-12
照片 2-2	表面凹凸處理之消波塊與方塊	2-13
照片 2-3	消波塊表面加設纖維網	2-14
照片 2-4	後灣海岸環境及景觀改善工程施工前後	2-24
照片 2-5	多明尼加 Gran Dominicus 海灘外之三列礁球潛堤.....	2-25
照片 2-6	Gran Dominicus 海灘設立礁球潛堤前後之比較.....	2-25
照片 2-7	慶野松原海岸之生態型人工潛礁	2-26
照片 2-1	大鵬灣出口導流堤(測站一、測站二)現況照片.....	2-21
照片 2-2	林邊海岸離岸堤(測站三、測站四)現況照片.....	2-22
照片 2-3	大鵬灣導流堤測站一（裂片石蓴 <i>Ulva faciata</i> ）照片.....	2-36
照片 2-4	大鵬灣導流堤測站二（蜈蚣藻及縱胞藻）照片	2-36
照片 2-5	林邊離岸堤測站三（裂片石蓴 <i>Ulva faciata</i> ）照片.....	2-37
照片 2-6	林邊離岸堤測站四（裂片石蓴 <i>Ulva faciata</i> ）照片.....	2-37
照片 6-1	波高 8cm、週期 1.86sec 及氯化鈉溶液濃度 0.25M 之各 時間擴散過程.....	6-21
照片 6-2	波高 8cm、週期 1.70sec 及氯化鈉溶液濃度 0.5M 之各時 間擴散過程	6-23

照片 6-3	波高 8cm、週期 1.58sec 及氯化鈉溶液濃度 0.5M 之各時間擴散過程	6-25
照片 6-4	無造波條件及氯化鈉溶液濃度 0.5M 之各時間擴散過程..	6-27
照片 A-1	海藻生態調查成果照片—羽藻	A-1
照片 A-2	海藻生態調查成果照片—羽狀蕨藻	A-2
照片 A-3	海藻生態調查成果照片—硬毛藻	A-3
照片 A-4	海藻生態調查成果照片—粗硬毛藻	A-4
照片 A-5	海藻生態調查成果照片—束生剛毛藻	A-5
照片 A-6	海藻生態調查成果照片—裂片石蓴	A-6
照片 A-7	海藻生態調查成果照片—腸浒苔	A-7
照片 A-8	海藻生態調查成果照片—扇形擬伊谷藻	A-8
照片 A-9	海藻生態調查成果照片—縱胞藻	A-9
照片 A-10	海藻生態調查成果照片—仙藻	A-10
照片 A-11	海藻生態調查成果照片—肉葉藻	A-11
照片 A-12	海藻生態調查成果照片—擬石花藻	A-12
照片 A-13	海藻生態調查成果照片—刺邊龍鬚菜	A-13
照片 A-14	海藻生態調查成果照片—蜈蚣藻	A-14
照片 A-15	海藻生態調查成果照片—舌狀蜈蚣藻	A-15
照片 A-16	海藻生態調查成果照片—劍葉蜈蚣藻	A-16

照片 A-17	海藻生態調查成果照片—繁枝蜈蚣藻	A-17
照片 A-18	海藻生態調查成果照片—稀毛蜈蚣藻	A-18
照片 A-19	海藻生態調查成果照片—沙菜	A-19
照片 A-20	海藻生態調查成果照片—多管藻	A-20

第一章 緒 論

1.1 前言

近 40 年來，臺灣積極發展工商農漁業發展，在海洋工程上亦積極建設海岸工程以及港灣工程，由於過去建造的技術以及考量層面較小，近年來更由於海岸過度開發、河川輸沙減少以及全球氣候的異常，且隨著環保意識的高漲與海洋環境問題之愈受重視，目前的海岸港灣建設有許多已不合時宜。綜觀目前的海岸問題，如：海岸的侵蝕淤積、海岸結構物損壞、沿海地層下陷、海水污染與生態景觀破壞等，海岸災害發生的頻率與日俱增，且昔日自然美麗的海景已不復存在。95 年 4 月內政部擬定「永續海岸發展方案(草案)」中，提到海岸地區屬環境敏感地區，其重要資源應優先保護，海岸永續發展應兼顧災害防護與合理利用之管理，以及親水、教育、研究等多方面功能。

早期保護工以海岸港灣安全為主要考量，傳統海岸保護工法如海堤、突堤及離岸堤等，大多以防潮禦浪之防災功能為主，近年來由於世界潮流衝擊、國人環保意識高漲及海域休閒遊憩之興起，致使海岸保護工程之規劃，除滿足防災之功能外，逐漸朝向兼具生態、景觀等多功能目標，並以海岸永續發展為目標。尤其海岸港灣工程建設開發時，往往造成水質、藻場、漁場及濕地等海洋環境之破壞，較忽視對自然環境、生態與景觀之影響，未來海岸港灣保護結構物之規劃設計，除防災功能與結構安全考量外，須進一步融入景觀與生態理念，研擬合適之海岸保護工法，兼具復育、改善、創造生態環境之效果，以達到海岸及港灣環境之維護與永續利用。

本計畫為四年期研究，第一年（94 年）主要蒐集國內外海岸保護工法之相關案例與文獻，分析具景觀、生態、港灣環境的工法於海岸保護及港灣工程之應用情形，並檢討國內海岸港灣生態環境，研擬本土化生態型海岸保護工法之發展方向、結構物型式及調查計畫。另外

針對具景觀、生態、親水及防災的柔性工法系列潛堤，發展相關計算模式，研究其防災效果及對海洋環境的影響。本年度（95 年）主要蒐集對象海岸(臺灣南部屏東縣海岸)的海岸環境基本資料，於不同季節現場進行實地的調查研究，並分析生態工法於海岸保護及港灣工程之應用情形。此外針對系列潛堤利用水工試驗及數值計算，研究其防災效果及海洋污染擴散的影響，期由研究成果提供後續研究、施政及海岸港灣保護工程設計之參酌。96 及 97 年則再針對臺灣東部海岸結構物附近作生態調查及分析，另外針對系列潛堤將由基礎研究朝應用研究發展，以求實際應用於臺灣海岸港灣保護。

1.2 研究動機及目的

傳統海岸結構物的規劃設計主要以保護陸地或經濟開發為考量，海堤的興建雖然防止浪潮的入侵，但同時也扼阻了人們與海洋的接觸機會，忽略了自然生態、景觀和人類親近水邊的權利。近年來海岸區自然化的觀念在歐美及日本等先進國家已被廣泛採納，在保護海岸及維持港灣安全營運的同時，應再進一步利用海洋及海岸天然資源做為生態保育及休閒遊憩的地方。例如目前法國的海岸開發政策是以生態和景觀休閒利用為第一優先，產業活動反而居次。日本近年來在海岸港灣開發時，非常注重結構物與海域生態環境的諧和性，對海岸的防災大部份都以“面”的保護工法取代了“線”保護工法，亦即利用離岸堤、突堤、潛堤等保障岸前沙灘，再配合生態工法，使兼具防災、親水與生態的功能，並創造優良的整體生存環境。

近年來由於國民所得大增及受世界潮流衝擊，國人環保意識高漲且對遊憩休閒設施需求逐漸殷切，致使海岸空間利用規劃必須滿足更高之期望。21 世紀為國際環境之世紀，未來海岸工程建設應與自然環境相融合，以永續海岸利用為目標，將安全、生態、永續之概念付諸於工程建設中，達到環境保全、生態保育及創造等多功能發展。因此海岸結構物之設置，從過去防止波浪侵蝕破壞，保護海岸地區生命財

產安全的單純目的，轉變成包含防災、生態保育復育、景觀美化、遊憩行為並重等多功能的目標。在海岸防災、生態維護、景觀的調和及親水性功能成為設計上，為未來海岸保護設施時必要考慮的因素。

本研究的目的主要在維護及改善臺灣地區港灣及海岸環境的前提下，建立具防災和生態型海岸保護工法之發展方向與工程應用技術，以提昇國內海岸保護和生態工法之研究技術水準，促進海岸及港灣工程建設與自然環境之共生共榮，並期本研究能為學術、施政、設計及施工相關單位之參酌。

1.3 研究方法與步驟

本研究以國內港灣及海岸為研究對象，探討適合臺灣地區海岸及港灣生態環境之保護結構物，在安全維護的前提下，改善對自然環境造成之破壞與生態影響。研究期間蒐集並調查臺灣南部屏東縣海岸地區相關基本海岸環境資料，並進行現場調查分析研究。調查其生態環境共三季，主要調查項目為基本水質、附著海藻等，並分析調查對象突堤、離岸堤之生態效果及生長環境因子，以及海藻著生與水溫、照度、水深之相關性。此外，分別利用數值模式計算以及水工模型試驗，探討新式柔性工法—系列潛堤的水理機制，並探討系列潛堤佈置下，污染擴散的情形，以及不規則波浪入射下，其防災效果評估並與規則波作比較探討。本年度研究相關工作內容簡述如下：

1. 海岸環境生態調查

對於對象海岸保護工程所處環境，進行三個季節的生態調查，以供生態型海岸工法與環境因子之分析。調查項目為水質及海藻著生，水質調查包括水溫、鹽度、酸鹼度、濁度、溶氧、氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽、照度及光照度等。海藻著生調查包括：種類、生長位置及覆蓋率等。

2. 生態相關性分析

依據生態環境調查結果文獻資料，歸納分析海岸生態與環境間之關係，並分析應用在工程上之可行性。包括：1.海藻著生、水質與結構物型式之關係等。2.生態效果、對象海藻、阻害要因、發展可行性與結構物斷面型式之相關分析。3.探討南部海岸地區生態型海岸結構物型式之可行性。

3. 探討港區空氣懸浮微粒特性

利用台中港區環境中空氣微粒濃度以及金屬元素調查結果，以統計方法，探討不同空氣懸浮微粒以及自然環境間之特性，包括分析彼此間之相關性，並提出迴歸公式。

4. 探討系列潛堤海岸環境保護效果

利用水工模型試驗方式分析波浪通過系列潛堤時，不同的波浪條件及不同的污染源濃度，探討堤前污染物擴散的情形，以及系列潛堤堤前水體交換機制。

5. 探討系列潛堤保護工法保護效果

分別利用水工模型試驗及數值模擬計算方式，以更符合實際的不規則波為入射波條件，探討不同系列潛堤佈置，不同的波浪條件下，波浪通過於堤前發生布拉格反射的效果。

1.4 本文組織

本研究共分為九章，第一章為緒論，說明本研究研究背景、動機、目的及方法；第二章為海藻及水質生態環境調查，包括調查時間、地點、項目、方法及步驟之說明；第三章分析海藻生態與水質環境調查結果；第四章探討海藻與環境因子相關性；第五章台中港區空氣懸浮微粒特性之探討；第六章探討波浪通過系列潛堤污染擴散機制；第七章探討不規則波通過系列潛堤海岸保護之效果；第八章為結論與建議。

第二章 海藻及水質生態環境調查

本研究選定兩處南部海岸保護結構物，進行海藻著生狀況與水質環境之調查，並分析調查成果，俾供國內發展藻場造成型海岸保護結構物之可行性檢討。

2.1 藻場造成型海岸保護結構物研究概述

依本研究第一年計畫之成果，國內發展生態型海岸保護工法，初期建議以開發海岸保護結構物附加生態機能為宜，即發展所謂之生態型海岸保護結構物，如突堤、離岸堤及防波堤等海岸保護結構物附加生態機能，在原有保護海岸功能下，兼具改善與創造海岸生態之機能。

生態型海岸保護結構物之開發須因地制宜，依據實施地點之海岸生態及海岸環境特性，評估海岸保護結構物附加生態機能之對象生物，由於國內在海岸生態工程仍處起步階段，相關經驗與技術仍有待建立，實施初期宜廣泛參考國內外經驗。以日本近年來在海岸港灣工程建設與自然環境調和之發展技術而言，海岸結構物附加生態機能已成為主要發展趨勢，尤以附加藻場機能為主，以 1994 年起實施之「自然調和型漁港推進事業」，迄 2002 年所施行之 42 個漁港中，防波堤、護岸設施附加藻場機能者即佔 37 個，達所有實施漁港之 68%。海藻為海洋基礎生產者，行底棲性固著生活方式，除提供海洋動物之食物來源，生產有機質與氧氣外，亦為海洋生物之良好棲地與蔽護場所，對漁業資源之保育具有很大貢獻。台灣地處之緯度較日本為低，海水溫度普遍高於日本，海藻之生存環境雖不若日本，但已記錄之大型海藻仍十分豐富達 600 種以上，是否適合發展藻場造成型海岸結構物，值得探究。故本研究以南部海岸保護結構物附加藻場機能為研究主題，進行海藻與水質等生態環境調查，俾供工程應用分析之評估依據。

2.2 調查目的

本研究調查南部海岸保護結構物之著生海藻生態環境，分析南部海岸保護工程生態效果及生長環境因子，以及與海岸保護結構物之斷面型式等之相關性。鑑於海岸生態工程之規劃評估需以現地環境調查為基礎，掌握對象海岸自然環境與生態環境等，故除蒐集南部對象海岸之自然環境，將實地調查海藻與水質生態環境，分析海岸保護結構物之海藻著生特性及水質環境因子，俾供評估南部海岸發展藻場造成型海岸保護結構物之可行性、對象海藻、發展型態及斷面構造等依據。

2.3 調查對象

台灣南部海岸多珊瑚礁地形，為海洋生物棲息繁殖良好場所，相對海岸侵蝕問題較少，亦不宜大肆進行海岸工程建設；部份沙質海岸因近年來漂砂砂源減少而有地形侵蝕之虞，故有實施海岸保護工法之需，如屏東海岸常見之離岸堤設施。由於沙質海岸地形較為單調，不適生物躲藏棲息，海岸生態本就較貧乏，且海底底質易移動亦不適於底棲性動植物生長。故對南部沙質海岸而言，相關海岸保護結構物規劃附加藻場機能，將可形成類岩礁環境，有利人工藻場繁殖及豐富海岸生態系。惟人工藻場之形成宜附近有自然生長之藻類存在，並瞭解所要繁殖對象海藻之生長特性，於沙質海岸設置可供海藻著生之安定基質，此可由一些實際案例發現證實，於海岸結構物之消波塊或拋石上常有海藻生長情形，對豐富海岸生態及促進漁場資源具有相當貢獻。

2.3.1 對象海岸

南部海岸保護結構物之海藻生態環境調查，初步選定具有沙岸與岩岸地形之屏東縣海岸為調查對象，並以其西部之沙質海岸為對象，主要係考量實際施行海岸保護工法之可能需求，及實施藻場造成型海岸保護結構物之海藻孢子來源。

2.3.2 對象結構物

國內海岸保護結構物以海堤、突堤及離岸堤之型式最為普遍，而屏東縣西部海岸以沙質地形為主，近年來亦面臨海岸侵蝕問題，除興建海堤外，部份海堤外側加設離岸堤形成面之防護，此防護方式以林邊溪南北兩側海岸最為常見。為進一步瞭解各式海岸保護結構物之生態效果，調查對象結構物將包括離岸堤、突堤等型式，以茲分析比較。

經事前規劃與 94 年 9 月之現場勘查，選定位於屏東縣林邊鄉海岸之離岸堤與東港鎮海岸之大鵬灣出口導流堤作為調查對象結構物，如表 2-1 及圖 2-1 所示。

表 2-1 南部海岸保護結構物海藻生態環境調查位置

構造型式	結構物名稱	地理位置 (GRS-67)
離岸堤	水利村離岸堤	No.5 離岸堤(中心)：120°29.84'E、22°25.15'N No.6 離岸堤(中心)：120°29.78'E、22°25.18'N
突堤	大鵬灣出口導流堤	北導流堤(堤頭)：120°26.60'E、22°26.96'N 南導流堤(堤頭)：120°26.66'E、22°26.87'N

1. 離岸堤

研究調查之對象離岸堤位於林邊鄉水利村水利國小海側，由前水利局於「79 年度水利村離岸堤工程」所興建之第五座(No.5)、第六座(No.6)離岸堤，於 80 年 4 月完工，其中第五座離岸堤(南側)係由基礎拋石上覆 10 噸三腳鼎塊所構成，第六座離岸堤(北側)構造則屬基礎拋石上覆 10 噸天允塊，各長約 80 公尺，如圖 2-2 所示。

2. 突堤

本區突堤數量較少且多屬短突堤型式，平常水位多露出於水面上，故選定與突堤具類似構造型式，位於大鵬灣出口之兩座導流堤，亦由前水利局於 79 至 86 年度陸續興建完成，其中北導流堤長 221 公尺，南導流堤長 257 公尺，主要構造型式由基礎拋石上覆 10 噸三腳鼎塊所構成，如圖 2-3。

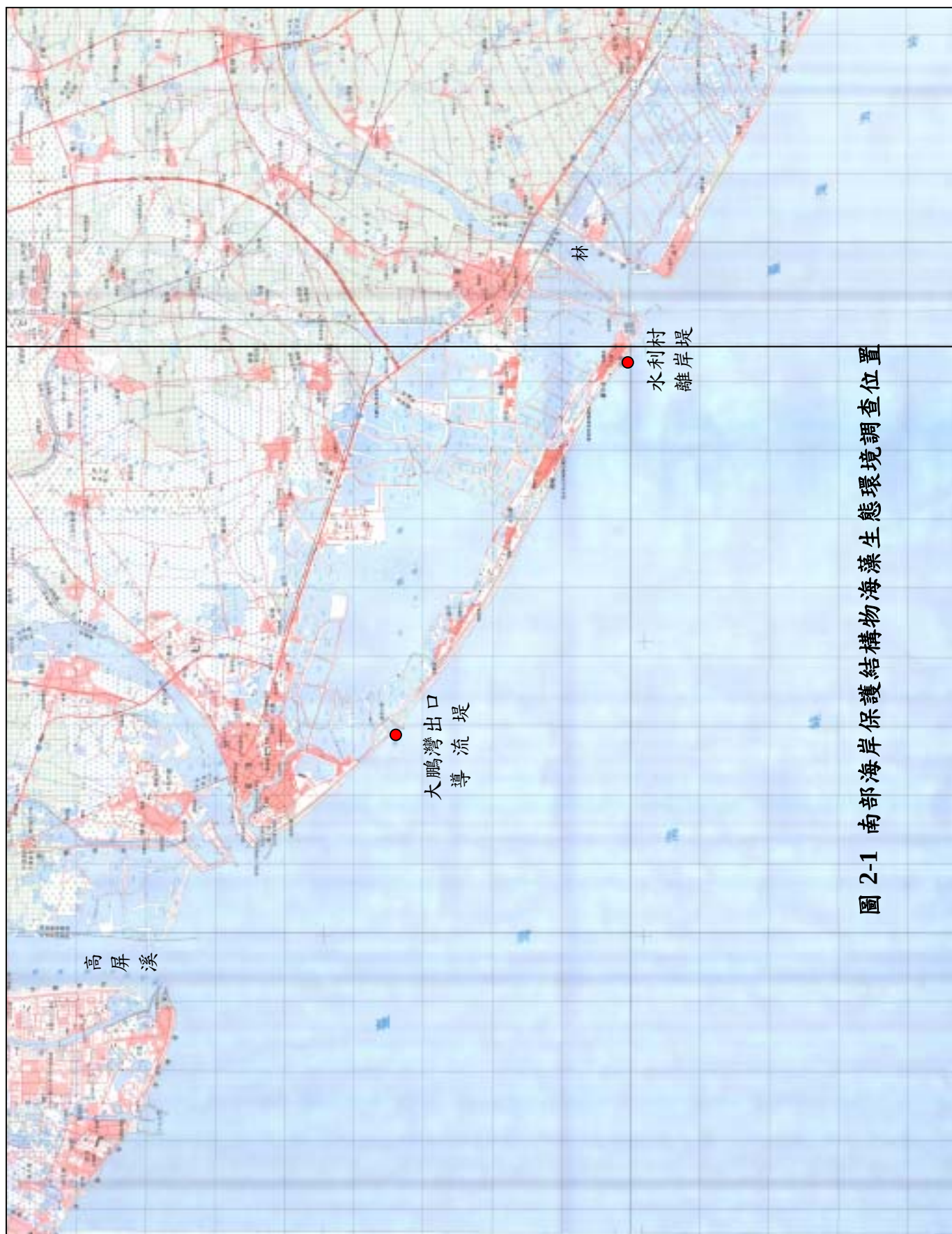
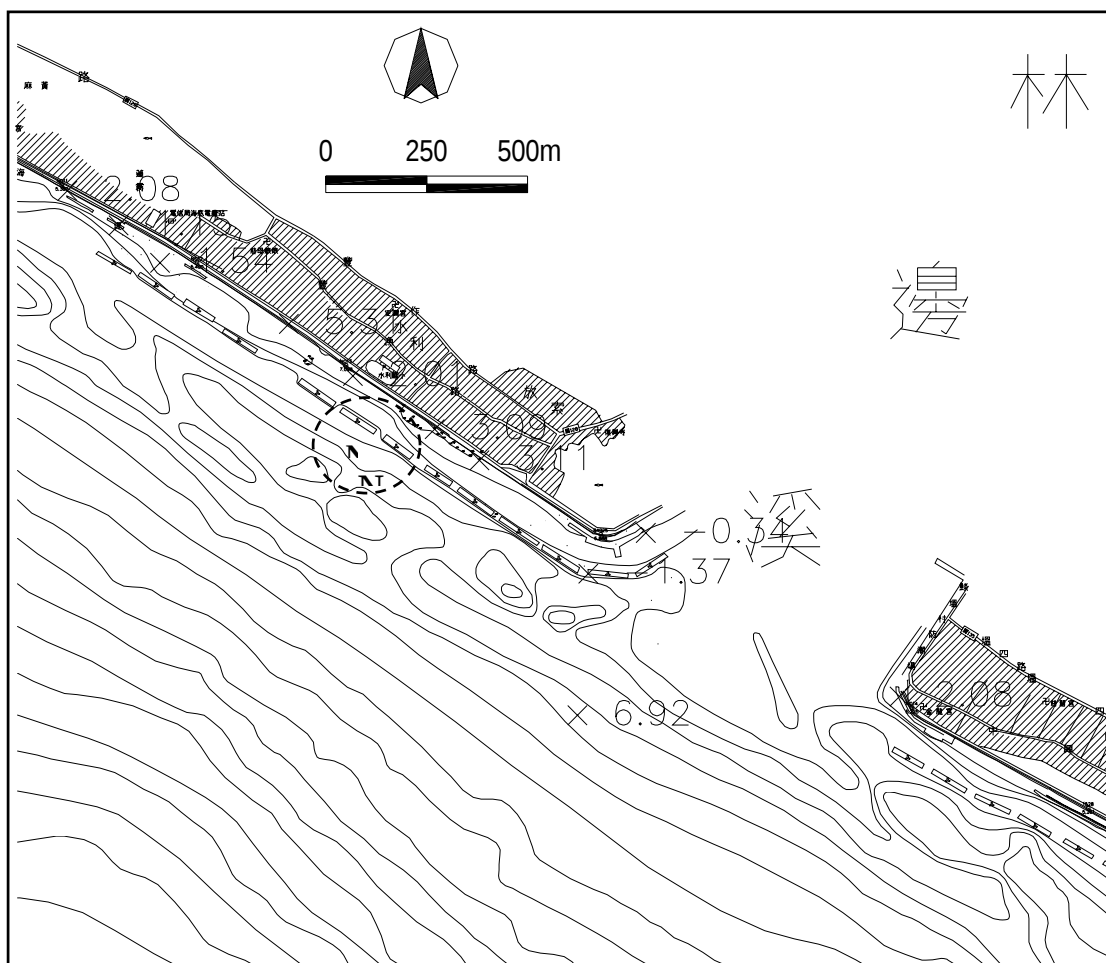
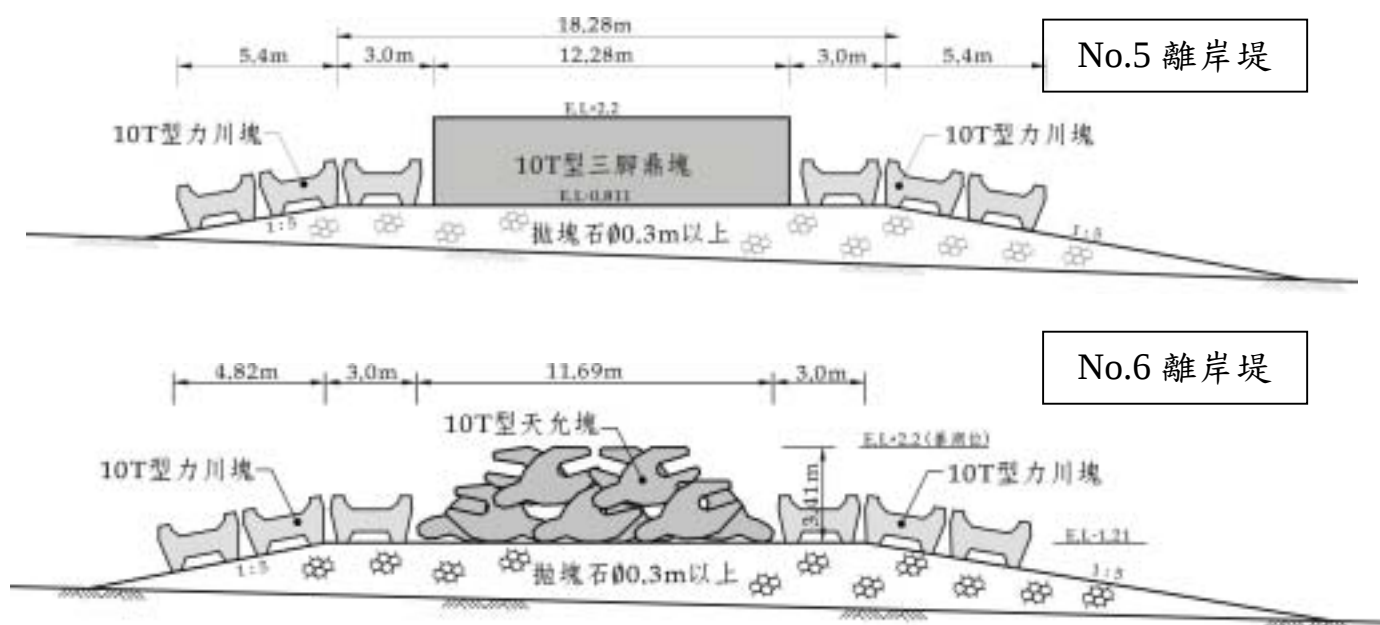


圖 2-1 南部海岸保護結構物海藻生態環境調查位置

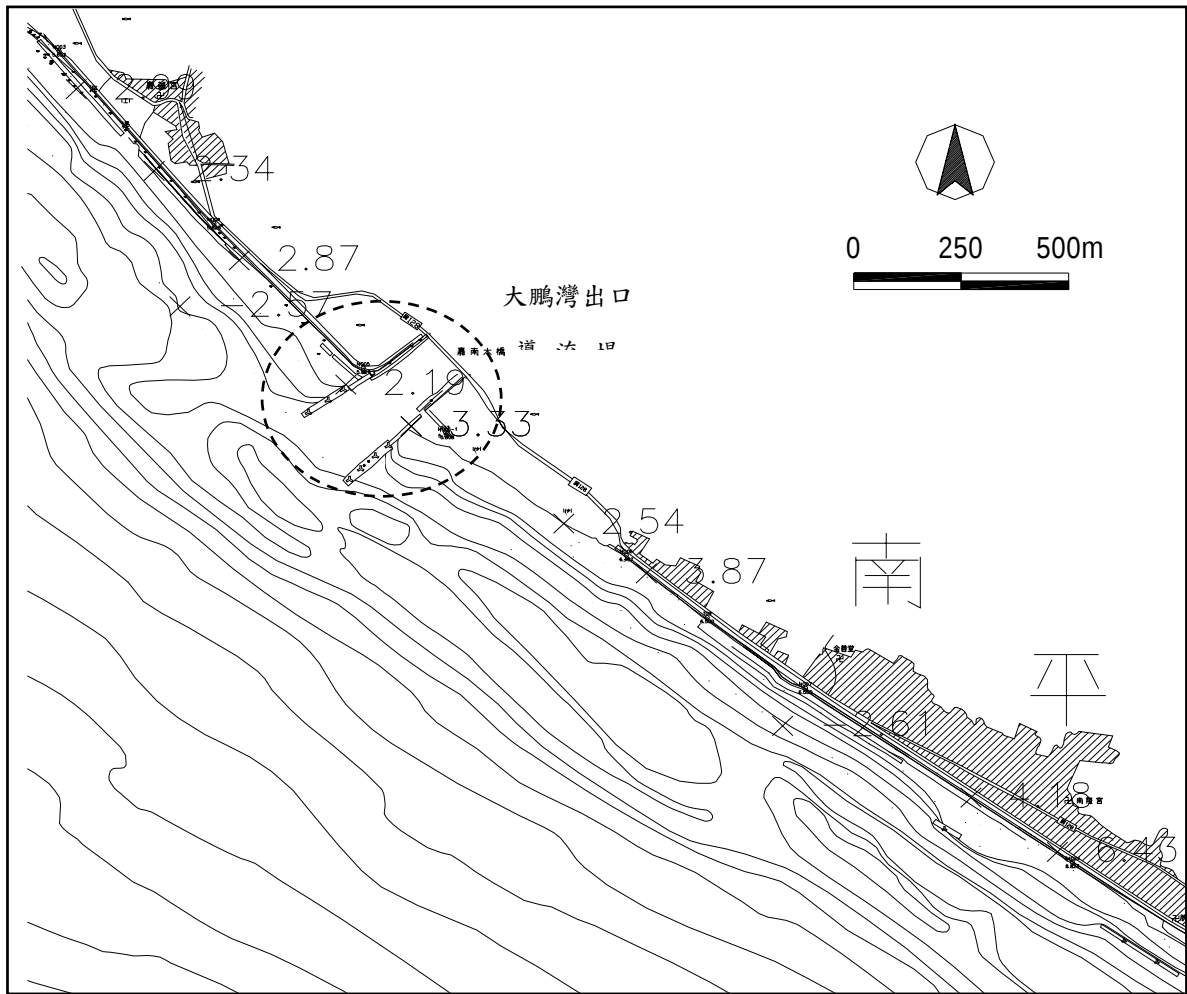


(A)平面圖

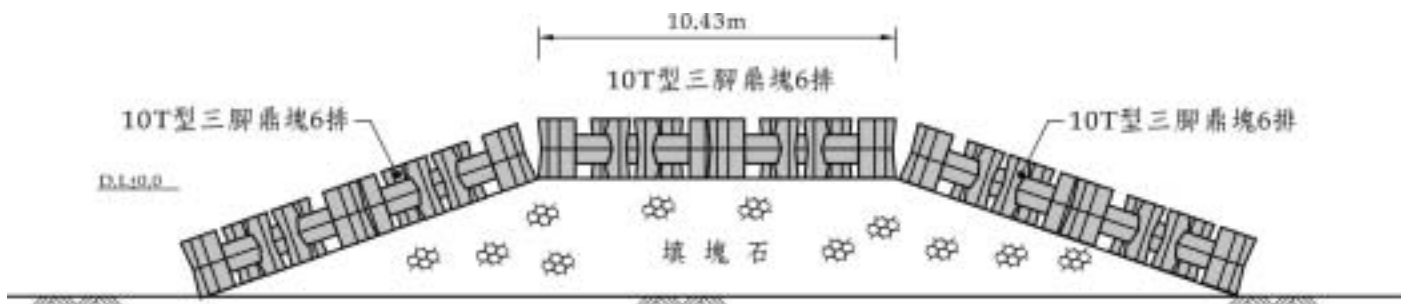


(B)標準斷面圖

圖 2-2 屏東縣林邊鄉水利村第五、六座離岸堤平面與斷面圖



(A)平面圖



(B)南導流堤 $N0^k+187 \sim N0^k+207$ 標準斷面圖

圖 2-3 屏東縣大鵬灣出口導流堤平面與斷面圖

2.3.3 自然環境

1. 氣象

本區鄰近之氣象站為中央氣象局高雄測候站，故參考其長期氣象資料如表 2-2，並參考大鵬灣浮標測站(位置 N22°25'，E120°26')之氣象資料，說明如下：

表 2-2 高雄測站長期氣象月平均統計表

項目	降雨量	降雨日數	平均氣溫	相對濕度	最高氣溫	最低氣溫
單位	毫米	天	攝氏度	百分比	攝氏度	攝氏度
1 月	20.0	4	18.8	75	23.4	15.1
2 月	23.6	4	19.7	75	24.1	16.1
3 月	39.2	4	22.3	75	26.5	18.7
4 月	72.8	6	25.2	77	28.8	22.0
5 月	177.3	9	27.2	79	30.4	24.4
6 月	397.9	14	28.4	81	31.5	25.7
7 月	370.6	14	28.9	80	32.1	26.1
8 月	426.3	17	28.3	82	31.5	25.7
9 月	186.6	10	27.9	80	31.2	25.1
10 月	45.7	4	26.4	78	29.7	23.5
11 月	13.4	3	23.4	75	27.2	20.2
12 月	11.5	3	20.2	75	24.6	16.6
合計	1784.9	92	24.7	77	28.4	21.6

(1) 氣溫

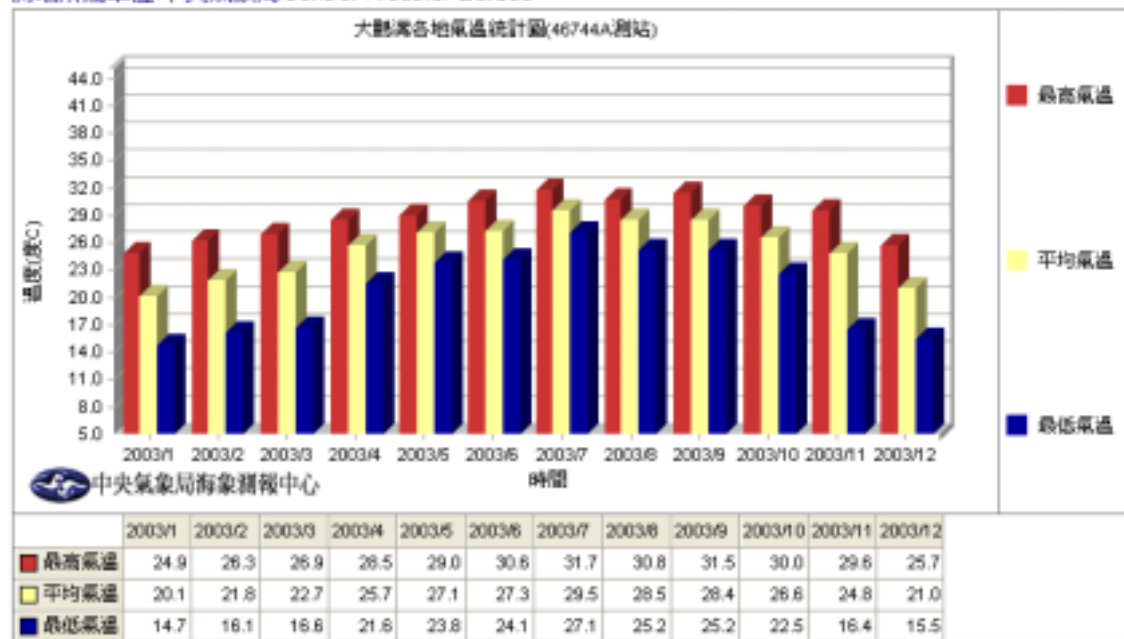
由高雄地區月平均氣溫以 7 月份之 28.9℃ 最高，1 月份之 18.8℃ 最低；另由大鵬灣浮標測站歷年觀測資料統計之月平均氣溫，其各月份平均氣溫變化中，以 7 月份之 29.5℃ 最高，1 月份之 20.1℃ 最低，如圖 2-4 所示。

測站位置:屏東縣東港鎮大鵬灣外海4公里,水深26公尺處。

經度:120°28'02"

緯度:22°25'00"

測站所屬單位:中央氣象局Central Weather Bureau



資料來源：中央氣象局網站

圖 2-4 大鵬灣浮標測站氣溫統計圖

(2)雨量

高雄地區年平均降雨量為 1784.9mm，月平均降雨以 8 月份之 426.3mm 最高，12 月份之 11.5mm 最低，其雨量因颱風造成降雨不均現象，不過大致上皆集中於 5 月至 9 月颱風季節；年平均降雨日數為 92 日，亦集中於 5~9 月間，以 8 月份 17 日最高。

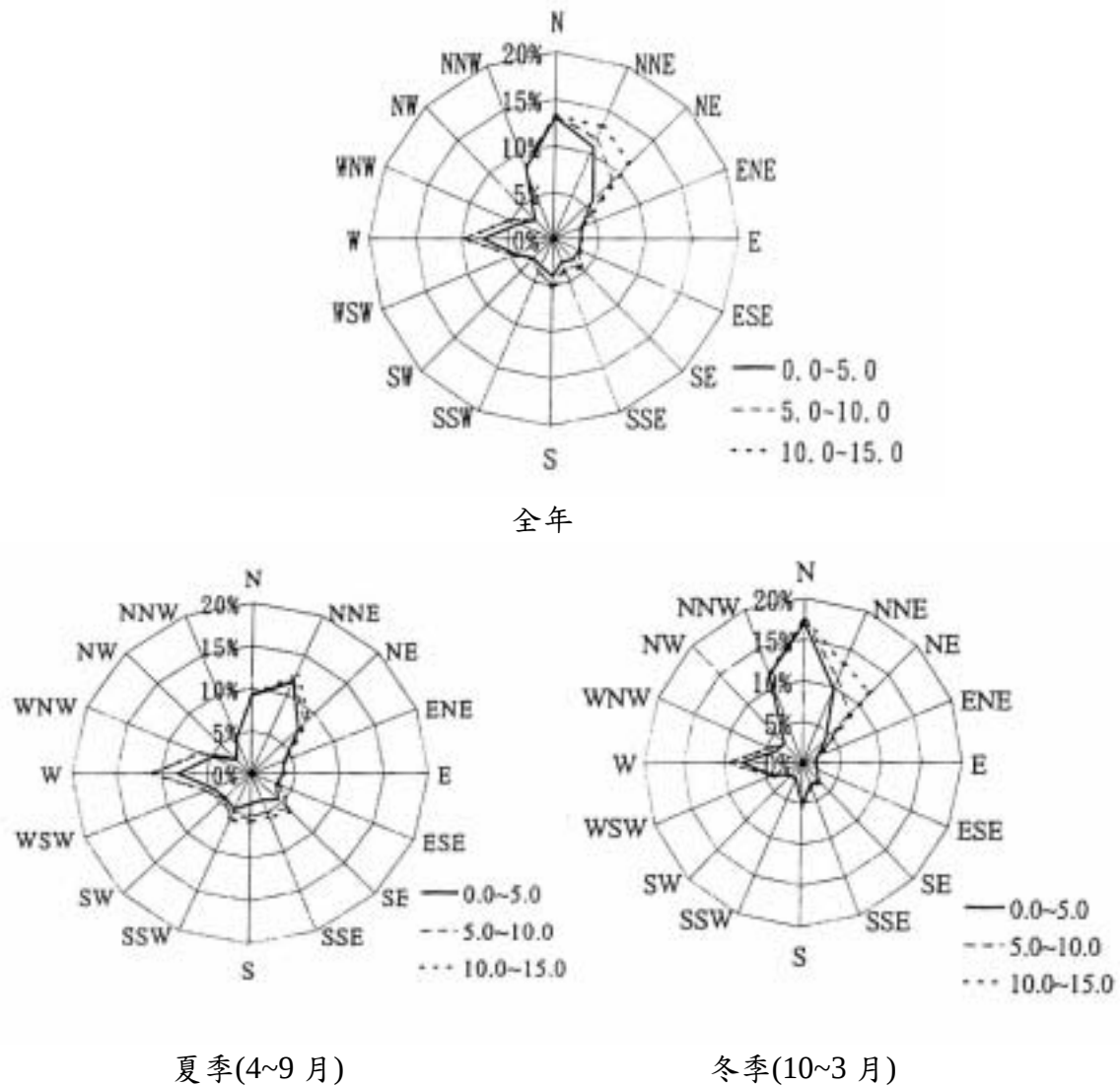
(3)風

高雄港務局於民國 79 年 11 月至民國 84 年 1 月曾於大鵬灣測站量測風速，統計結果如表 2-3 及圖 2-5 所示。其最大風速出現在 83 年 9 月 22 日達 28.9m/s，風向為西北向:由風玫瑰圖中，全年風速 $\leq 5\text{m/s}$ 之風向主要集中在 N 及 NNE 方向，冬季風速約 5m/s ~ 10m/s 之間，主要集中在 NNE 及 NE 方向；夏季風速 5m/s ~ 10m/s 之間，因受颱風影響約在 WNW~SE 區間。另參考氣象局大鵬灣浮標測站 2003 年全年測量成果顯示，全年平均風速均不大均 $\leq 5\text{m/s}$ ，如圖 2-6 所示。

表 2-3 大鵬灣地區全年風速風向分佈累積百分率 單位: %

風向 風速(m/sec)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0~5	13.0	10.7	5.9	3.2	3.0	3.1	3.1	2.6	4.0	3.2	2.9	4.3	7.7	4.1	2.8	8.2
5~10	13.3	11.7	8.9	3.3	3.0	3.3	4.0	3.5	4.9	3.8	3.1	4.7	9.6	5.1	2.9	8.4
10~15	13.3	13.1	11.4	3.3	3.0	3.3	4.2	3.8	5.2	3.9	3.1	4.7	9.6	5.2	2.9	8.4
15~20	13.3	13.6	12.1	3.3	3.0	3.3	4.2	3.8	5.2	3.9	3.1	4.7	9.6	5.2	2.9	8.4
>20	13.3	13.7	12.2	3.3	3.0	3.3	4.2	3.8	5.2	3.9	3.1	4.7	9.6	5.2	2.9	8.4

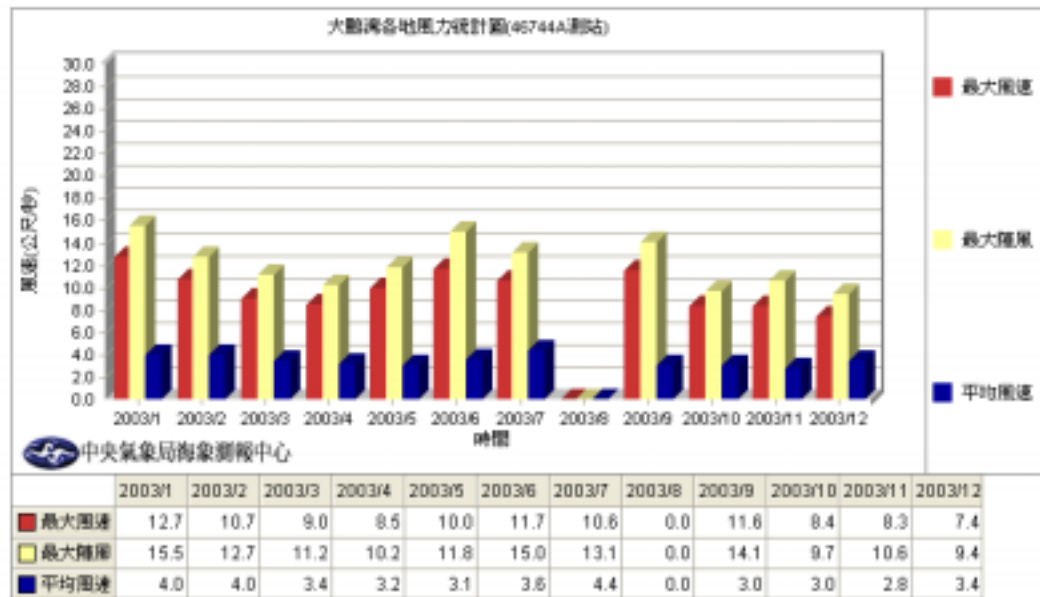
資料來源:高雄港務局大鵬灣測候站(1990.11~1995.1)



資料來源:高雄港務局大鵬灣測候站(1990.11~1995.1)

圖 2-5 大鵬灣風玫瑰圖

測站位置:屏東縣東港鎮大鵬灣外海4公里,水深26公尺處。
 經度:120°26'02" 緯度:22°25'00"
 測站所屬單位:中央氣象局Central Weather Bureau



資料來源:中央氣象局網站

圖 2-6 大鵬灣浮標測站 2003 年風速統計圖

2.海象

(1)潮汐

參考鄰近區域潮汐觀測資料最長最完整的高雄港二港口潮位站調和分析成果,主要潮位如下:

天文潮最高高潮位(H.H.W.L.)	+1.257 m
大潮平均最高潮位(M.H.W.O.S.T.)	+1.102 m
平均高潮位(M.H.W.L.)	+0.979 m
平均水位(M.H.L.)	+0.764 m
平均低潮位(M.L.W.L.)	+0.549 m
大潮平均最低潮位(M.L.W.O.S.T.)	+0.501 m
天文潮最低低潮位(L.L.W.L.)	+0.363 m

(2)季風波浪

台灣地區之季風以冬季大陸性高氣壓造成之東北季風較為顯著,台灣西南部因海岸線偏移往東南方向伸展,形成背風地區,是以

冬季季風與其波浪因擴散衰減後，對台灣西南海岸已不構成重大威脅。台灣海峽季風波浪經衰減至大鵬灣附近時，波高均已小於 1.5 公尺，且可能受當地吹風之影響較大，但週期則長達 9 至 10 秒，而形成湧浪。

依據高雄港務局所設波浪觀測站之波浪統計分析有義波波高及週期資料，大鵬灣之波高小於 2m 者，全年為 87.97%，夏季佔 81.87%，冬季佔 97.85%。週期方面全年多為 0~7 秒，波向按實測結果以 SW 為主。此外，交通部運輸研究所民國 86 年~89 年於屏東枋寮外海水深 15 公尺處觀測波浪，夏季有義波波高大都在 1m 以下、其對應之有義波週期約在 8~9sec，冬季觀測結果，有義波波高大都在 0.75m 以下、其對應之有義波週期約在 8~10sec 左右。

綜合以上可知，大鵬灣附近海面冬季波浪較小；夏季則因受低氣壓及颱風之影響，波浪較大。此外另參考中央氣象局大鵬灣浮標測站 2003 年實測資料分析成果，亦有相同趨勢，如圖 2-7。



資料來源:中央氣象局網站

圖 2-7 大鵬灣浮標測站 2003 年波浪統計分析圖

(3) 颱風波浪

高雄港務局曾以波浪追蹤法，推算大鵬灣外海之各「再現期颱風示性波浪」條件，如表 2-4 所示，50 年再現期最大波高可達 9.6m，週期 12.4 秒，根據 1993 年及 1994 年大鵬灣波浪實測資料顯示，該期間內之颱風最大指示波高約為 7.19m，週期為 9.7 秒，波向約為南南西。

表 2-4 大鵬灣外海颱風波浪表

迴歸期(年) 波向	5		10		15		20		25		50	
	波高	週期	波高	週期	波高	週期	波高	週期	波高	週期	波高	週期
W	3.7	7.7	4.3	8.3	4.7	8.7	4.9	8.9	5	8.9	5.5	9.4
WSW	4.3	8.3	5.1	9	5.5	9.4	5.7	9.5	5.9	9.7	6.4	10.1
SW	4.9	8.8	5.8	9.6	6.2	10	6.6	10.3	6.7	10.4	7.3	10.8
SSW	5.7	9.5	6.8	10.4	7.3	10.8	7.7	11.1	7.9	11.2	8.6	11.7
S	6.4	10.1	7.6	11	8.2	11.4	8.6	11.7	8.8	11.9	9.6	12.4

(4) 流況

a. 海流

台灣地區主要海流為黑潮，主流自菲律賓沿台灣東部流向日本，其支流經台灣海峽從基隆流入東海，而於宜蘭外海與主流會合；屏東海岸外海流速約為 0.4 至 1.0 節(0.2m/sec 至 0.5m/sec)，流向以東南向西北為主。

b 潮流

大鵬灣沿岸水深 10 公尺以內之流向，多與海岸線平行，其受陸地邊界與水深之影響較大。另大鵬灣外水深逾 10 公尺處，流向漲潮時為北北西向，退潮時為南南東向。

3. 水質

由環保署大鵬灣附近東港溪口 5197 水質測站民國 87~94 年間監測結果，如表 2-5 所示，可知其水質狀況大都可符合甲類海域水質標準。

表 2-5 大鵬灣附近海域水質表

採樣日期	採樣深度(m)	水溫	酸鹼值	溶氧(mg/L)	懸浮固體(mg/L)	亞硝酸鹽氮(mg/L)	硝酸鹽氮(mg/L)	葉綠素 a(mg/m ³)	鹽度(0/00)	矽酸鹽(mg/L)	磷酸鹽(mg/L)	鎘(mg/L)	汞(mg/L)	鉻(mg/L)	銅(mg/L)	鋅(mg/L)	鉛(mg/L)
94/11/17	1.00	26.90	8.30	6.70	4.50	0.01	<0.05	3.80	33.60	0.59	0.11	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0015	0.0101	<0.004
94/8/3	1.00	29.30	7.90	4.90	<3	0.24	1.52	5.00	20.00	0.81	0.67	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0009	0.0144	<0.004
94/5/25	1.00	26.50	8.10	6.10	<3	<0.001	<0.05	1.70	33.70	0.11	<0.025	<0.0005	<0.0006	0.012	<0.0005	0.0171	<0.004
94/2/26	1.00	23.70	8.10	5.40	12.20	0.08	0.22	2.90	26.40	2.63	0.71	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0014	0.0063	<0.004
93/11/11	1.00	26.30	8.00	5.80	5.10	0.04	0.20	6.00	28.40	1.39	0.58	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0029	0.0132	<0.004
93/8/21	1.00	30.10	8.10	6.60	5.30	0.07	0.29	7.10	27.00	2.83	0.46	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0038	0.0313	<0.004
93/5/21	1.00	28.70	7.50	3.00	13.00	0.14	0.17	13.80	15.40	3.13	1.45	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0014	0.0099	<0.004
93/2/21	1.00	23.40	7.40	6.70	<3	0.02	0.12	3.00	32.60	0.54	<0.025	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0033	0.047	<0.004
92/11/12	1.00	26.20	8.00	5.20	3.60	0.08	0.36	4.60	27.60	1.94	0.54	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0034	0.0147	<0.004
92/8/17	1.00	30.50	7.90	6.10	20.00	0.10	1.47	8.80	11.90	3.91	0.77	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0018	0.0572	<0.004
92/5/20	1.00	27.90	8.15	6.60	3.60	0.06	0.19	8.20	29.20	0.26	0.48	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0049	0.0123	<0.004
92/2/19	1.00	25.60	8.10	5.70	7.70	0.05	0.09	15.50	29.00	0.23	0.66	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0013	0.0062	<0.004
91/11/27	1.00	25.40	7.90	4.70	5.20	0.11	0.20	10.50	27.00	2.41	0.42	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0009	0.0187	<0.004
91/9/3	1.00	29.80	7.60	4.50	5.60	0.16	0.57	30.50	14.70	8.24	1.28	<0.0005	<0.0006	0.0077	0.0031	0.0076	<0.004
91/5/31	1.00	28.90	7.70	4.90	15.30	0.18	0.31	32.20	12.20	6.13	1.20	<0.0005	<0.0006	<0.002	0.0033	0.0066	<0.004
91/3/5	1.00	24.20	8.00	5.30	3.60	0.07	0.09	12.60	34.20	2.83	1.04	<0.0005	0.0008	<0.002	0.0021	0.0014	<0.004
89/10/20	0.50	28.00	7.82	6.00					31.26			ND	ND	0.0004	0.0046	0.0063	0.0035
89/10/20	10.00	28.90	8.15	7.10					33.49			ND	ND	0.0002	0.0064	0.0049	0.0031
89/9/6	0.50	29.30	7.82	7.40					24.37			ND	ND	ND	ND	ND	ND
89/9/6	10.80	28.50	8.19	7.60					33.00			ND	0.007	ND	0.0035	0.0039	ND
89/5/1	0.50	28.10	8.19	8.10					32.07			ND	0.0012	0.0004	0.0082	0.006	0.0034
89/5/1	8.30	26.00	8.30	6.70					33.53			ND	0.0012	ND	0.0072	0.0058	0.0021
89/3/14	0.50	24.80	8.16	5.60					28.33			0.0001	ND	ND	0.0014	0.0074	0.0017
89/3/14	11.80	24.30	8.26	6.80					34.10			0.0001	0.0003	0.0008	0.0028	ND	0.0028
88/3/16	0.50	25.50	8.26	7.40					30.92			ND	ND	ND	0.001	ND	ND
88/3/16	8.00	25.30	8.32	7.40					34.19			ND	ND	ND	0.0028	0.0088	ND
87/12/30	0.50	25.60	8.12	5.70					31.79			ND	0.0015	0.0023	0.0012	0.0106	0.0018
87/12/30	8.30	25.80	8.41	8.40					34.29			ND	0.0017	0.003	0.0022	0.0117	0.0018
87/7/3	0.50	29.90	8.19	5.90					30.78			ND	ND	ND	0.0063	ND	ND
87/7/3	10.00	29.30	8.27	6.60					33.95			ND	ND	ND	0.0077	0.0062	ND
87/3/17	0.50	25.10	8.03	6.50					25.42			ND	ND	0.0071	0.0087	0.009	ND
87/3/17	10.00	24.60	8.14	6.80					34.37			ND	ND	0.0072	0.0065	0.008	ND

資料來源:環境保護署

2.4 調查項目與方法

本研究於民國 95 年 2 月 14 日、5 月 9 日及 8 月 7 日，針對屏東縣林邊鄉海岸之離岸堤及東港鎮海岸之大鵬灣出口導流堤附近海域，進行海藻附著於人工結構物生長情形以及水質監測採樣工作，並分別於大鵬灣出口導流堤附近設 2 個測站（測站一及測站二）和林邊鄉海岸之離岸堤附近設 2 個測站（測站三及測站四）。

2.4.1 調查項目

本研究現場調查項目包括：海水水質、光照度、海藻的種類分佈及豐富度（＝覆蓋率）等，分別概述如下：

1. 海水水質

近岸結構物附近之海水水質調查項目包括：水溫、鹽度、酸鹼度、濁度、溶氧、氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽及照度等之檢測，以瞭解結構物上著生海藻之水質生長環境。

2. 光照度

於不同水深，分別測量水表面、水中間及水底層的光照度。

3. 海藻著生情形

調查對象海岸保護結構物之海藻著生狀況，包括其種類、生長位置(著生基質、著生部位、生長水深)、覆蓋率及季節分佈等等，以瞭解本區人工構造物適合著生海藻及生態特性。

2.4.2 調查方法

1. 水質檢測方法

本調查主要進行表層水及底層水之檢測，現場施放溫鹽深探儀(Ocean seven 304 CTD)收集測站之水溫及鹽度資料，並使用內壁為鐵氟龍被覆之尼斯金(Niskin)採水瓶採集水樣，現場以酸鹼度儀(HACH model 44701-00)、濁度計(Model 2100P HACH/U.S.A)分別量測 pH 值與濁度，其餘水樣分裝至不同之樣品瓶中，依環保署公告之方法(NIEA W102.50A)立即加以保存處理，於規定之時限內運送至實驗室進行化學分析。使用流動注入分析儀(FIA)搭配分光光度計(HITACHI Spectrophotometer U-3000)，測定氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽及磷酸鹽等。照度則採用光度計(CR10KD)現場量測水中光照強弱，其單位為 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ，以瞭解海藻生長之光環境條件。採樣程序與分析過程經由嚴密之品保/品管(QA/QC)流程，包括重複分析、添加回收率、檢量線製作、方法偵測極限之建立、空白實驗、查核樣品分析等步驟，利用控制圖(Control chart)之方式加以控管分析數據之品質。

水質檢驗方法主要依據環保署環境檢驗所公告之水質檢測方法，各水質物化參數分析方法及方法如表 2-6。茲分述檢測方法如下：

表 2-6 海水水質檢測項目之分析方法與依據

檢測項目	分析方法	方法依據
水溫	溫度計法	NIEA W217.51A
鹽度	導電度法	NIEA W447.20C
酸鹼度	電極法	NIEA W424.51A
濁度	濁度計法	NIEA W219.52C
溶氧	疊氮化物修正法	NIEA W421.54C
氨氮	靛酚法	NIEA W437.51C
硝酸鹽	鎘還原流動注入分析法	NIEA W436.50C
亞硝酸鹽	鎘還原流動注入分析法	NIEA W436.50C
磷酸鹽	比色法	NIEA W443.51C

(1)水溫

依環保署水質檢測方法中之水溫檢測方法(NIEA W217.51A)，使用溫鹽深探儀(Ocean seven 304 CTD)現場測定，攜回實驗室分析水溫資料。

(2)鹽度

採用水中鹽度檢測方法-導電度法(NIEA W447.20C)，其方法係利用水樣所量測出來之導電度與標準海水間之導電度比(R_t)，計算水中實用鹽度(Practical salinity scale)。使用溫鹽深探儀(Ocean seven 304 CTD)現場測定，攜回實驗室分析鹽度資料。

(3)酸鹼度(pH)

採用水中氫離子濃度指數測定法-電極法(NIEA W424.51A)，其方法係利用玻璃電極及參考電極，測定水樣中電位變化，可決定氫離子活性，而以氫離子濃度指數(pH)表示之。於現場採得水樣後，立即以攜帶式酸鹼度儀(HACH model 44701-00)量測 pH 值。以高嶺土為例 大約 1mg/L 之懸浮固體濃度為 1NTU。

(4)濁度

採用水中濁度檢測方法-濁度計法(NIEA W219.52C)，其方法為在特定條件下，比較水樣與標準參考濁度懸浮液對特定光源散射光之強度，以測定水樣之濁度。散射光強度愈大者，其濁度亦愈大。使用濁度計 (Model 2100P HACH/U.S.A)，利用散射原理 (nephelometric principle)測定水體之濁度。

(5)溶氧(DO)

使用溶氧計(YSI model52 DO meter)現場檢測其溶氧飽和度，於實驗室以現場水溫、鹽度資料加以計算其溶氧量，並將水樣固氧後攜回實驗室滴定分析。

(6) 氨氮(NH₃-N)

採用水中氨氮之流動注入分析法-靛酚法(NIEA W437.51C)，其方法係將含有氨氮或銨離子之水樣注入流動注入分析(Flow injection analysis, FIA)系統，於載流液(Carrier)中依序混入緩衝溶液、鹼性酚鈉、次氯酸鈉等溶液，進行本貝洛氏(Berthelot)反應產生深藍色高吸光度之靛酚染料(Indophenol dye)。此溶液之顏色於混入亞硝鹽鐵氰化鈉(Nitroprusside)後會更加強烈，此深藍色物質於波長 630 nm 處量測其波峰吸光值並定量水樣中之氨氮(NH₃ -N)濃度。將現場採集水樣攜回實驗室，以流動注入分析儀(FIA)搭配分光光度計(HITACHI Spectrophotometer U-3000)測定氨氮含量。

(7) 硝酸鹽

採用鎘還原流動注入分析法(NIEA W436.50C)，使用鎘絲將硝酸鹽還原為亞硝酸鹽測定之。將現場採集水樣攜回實驗室，以流動注入分析儀(FIA)搭配分光光度計(HITACHI Spectrophotometer U-3000)測定硝酸鹽濃度。

(8) 亞硝酸鹽

採用鎘還原流動注入分析法(NIEA W436.50C)，亞硝酸鹽經苯磺胺及奈二胺顯色後測定之。將現場採集水樣攜回實驗室，以流動注入分析儀(FIA)搭配分光光度計測定亞硝酸鹽濃度。

(9) 磷酸鹽

採用水中正磷酸鹽之流動注入分析法-比色法(NIEA W443.51C)，將水樣中正磷酸鹽與鉬酸銨(Ammonium molybdate)及酒石酸銻鉀(Antimony potassium tartrate)在酸性條件下反應成錯合物，接著此錯合物被維生素丙溶液(Ascorbic acid solution)還原為另一藍色高吸光度之產物，藉由量測 880 nm 波峰之吸光值，以定量水樣中正磷酸鹽之含量。將現場採集水樣攜回實驗室，以流動注入分析儀(FIA)搭配分光光度計測定磷酸鹽濃度。

(10)照度

將光度計(CR10KD, Campbell Scientific Inc.)放置於預定地點及水深處，現場量測水中光照強弱，其單位為 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ 。

2.著生海藻調查方法

本調查以建立台灣南部海域不同人工海岸保護結構物(離岸堤、突堤)上之海藻分佈、藻種類、豐富度(以各藻種覆蓋率百分比總合表示)及其附著基質等基礎生態資料為主，俾供生態工程之應用。有關著生海藻調查方法係以固定樣區方式進行調查，潮間帶採樣時間配合退潮於白天進行，而潮下帶以浮潛方法實施。

調查時觀察海岸保護結構物之消波塊、拋石表面之海藻著生狀況，記錄其附著基質、位置及水深，同時以相機拍攝海藻生態照，並以徒手方式採集樣本攜回實驗室鑑別藻種，以瞭解海岸結構物之海藻著生分佈情形與生長狀況。

每一測站中之海藻種類及其覆蓋面積調查係以穿越垂直線方式進行，調查方法敘述如下：

(1)採樣線

設置 2~3 條與海岸結構物垂直之採樣線(由高潮帶之最上限至水深約 2 公尺)，每條穿越線(line intercept transect, 參考 English et al. 1997)間隔約 30~50 公尺，視現場地形而定，以全盤調查採樣測站之海藻相及其生長附著基質現況。水深超過 2 公尺較不易於陸地操作之部份，利用浮潛或水肺潛水方式進行之。

(2)海藻種類及覆蓋率調查

記錄每條穿越線沿線內之所有海藻種類，覆蓋率之估算主要依據 Saito & Atobe (1970)之方法，以覆蓋百分比(%)表示。例如，石蓴在 50 公尺穿越線上所出現的位置長度占 30 公尺，則其覆蓋率為 $60\% = (30/50) \times 100$ 。

(3)種歧異度及共有種率之計算方式

種歧異度(Species Diversity)可提供生物之自然集合或群聚組合之訊息，一般而言歧異度越高代表生物群聚結構較穩定。歧異度指數(species diversity index)採用 Shannon-Weaver index (1949)，計算方法如下：

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2(P_i)$$

式中 H' ：物種歧異度指數

S ：物種數目

P_i ：物種 i 之相對豐富度。

相似度分析，根據各測站所發現之海藻物種，分別計算測站間之共有種率（PS = Proportional Similarity）與 Czekanowski 相似係數（CZ）。

共有種率（PS）與 Czekanowski 相似係數（CZ）計算方式分別如下：

$$PS = (C / (A + B - C)) * 100\%$$

$$CZ = (2C / (A + B)) * 100\%$$

式中 A ：測站一之種類數

B ：測站二之種類數

C ：測站一與測站二間共有相同種類的數目。

2.5 海水水質調查結果

本研究共進行三季次之現場調查，分別於 95 年 2 月 14 日（第一季）、5 月 9 日（第二季）及 8 月 7 日（第三季），針對屏東縣林邊鄉海岸之離岸堤及東港鎮海岸之大鵬灣出口導流堤附近海域，進行海藻附著於人工結構物生長情形以及水質監測採樣，分別於大鵬灣出口導流堤附近設兩個測站（測站一及測站二）、林邊鄉海岸之離岸堤附近設兩個測站（測站三及測站四），如照片 2-1、2-2。概述調查結果如下：

2.5.1 第一季(95 年 2 月份)

在第一季(2 月份)的分析中，如表 2-7 所示。本季各監測點之溫度介於 24.3~25.1℃之間，呈現明顯之區域性變化，而鹽度介於 33.22~34.28 psu 之間。由整個調查區域之溫、鹽地理之分佈可發現，主要受到潮流漲落及陸上逕流及河川、溝渠之淡水影響，呈區域性之變化，例如大鵬灣出口導流堤之測站呈現較低鹽度之特性。

第一季(2 月份)各監測點之 pH 值介於 8.05-8.12 之間，溶氧量介於 6.99~7.42 mg/L 之間，溶氧飽和度則介於 101.0%~108.9 %之間。整體而言，依環保署公告之台灣地區保護生活環境相關環境基準之海域地面水體水質標準，在本調查測站之 8 個 pH 測值中，均合乎甲類海域地面水體水質標準(環保署，1998)（該標準規定：甲類海域地面水體水質標準，pH 測值應介於 7.5~8.5 之間）。

第一季(2 月份)各監測點之溶氧方面，依環保署公告之台灣地區保護生活環境相關環境基準之海域地面水體水質標準，本調查測站之 8 個測值，均合乎甲類海域地面水體水質標準。(環保署，1998)（該標準規定：甲類、乙類、丙類陸域地面水體水質標準，溶氧測值應分別大於 5.0mg/L、5.0mg/L 及 2.0 mg/L 以上）。



導流堤相關位置



測站一



測站二

照片 2-1 大鵬灣出口導流堤(測站一、測站二)現況照片



離岸堤相關位置



測站三



測站四

照片 2-2 林邊海岸離岸堤(測站三、測站四)現況照片

第一季(2 月份)各監測點之硝酸鹽分析結果介於 0.020~0.040mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.002~0.004mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.005~0.014mg/L 之間，氨氮介於 0.01~0.11mg/L 之間。分析結果顯示，各監測點之水體營養鹽含量大致屬一般近岸海域之範圍。

第一季(2 月份)各監測點之溶解性無機磷介於 0.16~0.44 μM 之間；溶解性無機氮介於 3.18~9.89 μM 之間，而氮磷比率介於 11.6~47.6 之間。濁度分析結果介於 4.5~15.2NTU 之間，以區域性分佈而言，其中林邊鄉海岸之離岸堤濁度分析結果略高於東港鎮海岸之大鵬灣出口導流堤，而光照度之分析結果介於 87~1228 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間。

2.5.2 第二季(95 年 5 月份)

第二季(5 月份)的分析中，如表 2-8 所示。本季各監測點之溫度介於 29.7~31.3°C 之間，呈現明顯之區域性變化。鹽度介於 33.40~34.33 psu 之間；由整個調查區域之溫、鹽地理之分佈可發現，主要受到潮流漲落及陸上逕流及河川、溝渠之淡水影響，呈區域性之變化，例如大鵬灣出口導流堤之測站呈現較低鹽度之特性。

第二季(5 月份)各監測點之 pH 值介於 8.20~8.37 之間，溶氧量介於 6.01~6.82 mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 95.8%~108.3%之間，此結果與上一季雷同。

在水體營養鹽分析方面，第二季各監測點之硝酸鹽分析結果介於 0.013~0.050mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.002~0.005mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.017~0.050mg/L 間，氨氮介於 0.013~0.102mg/L 間，分析結果顯示，各監測點水體營養鹽含量大致屬一般近岸海域之範圍。

第二季各監測點之溶解性無機磷介於 0.56~1.67 μM 之間；溶解性無機氮介於 2.40~9.80 μM 之間。氮磷比率介於 1.5~7.8 之間。濁度分析結果介於 0.6~2.8NTU 之間；以區域性分佈而言，林邊鄉海岸之離岸堤濁度分析結果與東港鎮海岸之大鵬灣出口導流堤大致相似；光照度之分析結果介於 251~2871 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間。

2.5.3 第三季(95 年 8 月份)

第三季(8 月份)的調查分析成果，如表 2-9 所示。第三季各監測點之溫度介於 29.4~29.9°C 之間，區域性變化不明顯；而鹽度介於 29.89~32.94 psu 之間，由整個調查區域之溫、鹽地理之分佈可發現，主要受到潮流漲落及陸上逕流及河川、溝渠之淡水影響，呈區域性之變化，例如大鵬灣出口導流堤之測站呈現較低鹽度之特性。

第三季(8 月份)各監測點之 pH 值介於 8.07~8.22 之間，溶氧量介於 6.48~7.85mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 101.9%~122.2%之間。在水體營養鹽分析方面，第三季(8 月份)之硝酸鹽分析結果介於 0.071~0.222mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.001~0.012mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.012~0.041mg/L 之間，氨氮介於 0.01~0.05mg/L 之間。濁度分析結果介於 10.1~15.9NTU 之間，第三季(8 月份)相較前二季混濁；而光照度之分析結果，水表面介於 2439~3163 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間，較前二季為高，但底床上只有介於 211~256 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間。

表 2-7 第一季（2 月份）大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近之水質分析資料

測站		Temp. (Deg.C)	Depth (cm)	Salinity (psu)	pH	Dissolve d Oxygen (mg/L)	Oxygen Saturation (o/o)	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	DIP μM	DIN μM	Turb. (ntu)	Illumination (μmol s ⁻¹ m ⁻²)	N/P ratio
		水溫	水深	鹽度	酸鹼度	溶氧量	溶氧飽和度	硝酸鹽	亞硝酸鹽	磷酸鹽	氨氮	溶解性 無機磷	溶解性 無機氮	濁度	光照度	
大 鵬 灣	S1-I ^{註一}	24.6	0	34.28	8.05	7.12	103.9	0.038	0.003	0.010	0.080	0.33	8.66	4.5	707	26.3
	S1-S	24.3	100 (60) ^{註二}	33.22	8.06	6.99	101.0	0.027	0.004	0.005	0.079	0.16	7.84	4.5	144	47.6
	S2-I	24.4	0	34.19	8.07	7.09	103.1	0.025	0.004	0.010	0.079	0.33	7.69	4.6	838	23.3
	S2-S	24.4	250 (90)	34.19	8.07	7.32	106.4	0.026	0.004	0.014	0.108	0.44	9.89	8.7	231	22.5
林 邊	S3-I	25.0	0	34.22	8.08	7.41	108.9	0.040	0.003	0.007	0.082	0.22	8.88	9.8	1228	40.4
	S3-S	25.1	100 (40)	34.21	8.07	7.37	108.4	0.038	0.002	0.010	0.036	0.33	5.36	12.6	87	16.3
	S4-I	24.9	0	34.20	8.12	7.19	105.4	0.020	0.003	0.010	0.038	0.33	4.30	12.4	939	13.1
	S4-S	24.9	100 (40)	34.21	8.08	7.42	108.8	0.030	0.003	0.009	0.012	0.27	3.18	15.2	87	11.6

註一：S1-I：測站一潮間帶，S1-S：測站一潮下帶。

S2-I：測站二潮間帶，S2-S：測站二潮下帶。

S3-I：測站三潮間帶，S3-S：測站三潮下帶。

S4-I：測站四潮間帶，S4-S：測站四潮下帶。

註二：括弧內數字為藻類分佈的最深深度。

註三：水深指水面至水底之深度

表 2-8 第二季（5 月份）大鵬灣海堤及林邊海堤附近之水質分析資料

測站		Temp. (Deg.C)	Depth (cm)	Salinity (psu)	pH	Dissolve d Oxygen (mg/L)	Oxygen Saturation (o/o)	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	DIP μM	DIN μM	Turb. (ntu)	Illumination (μmol s ⁻¹ m ⁻²)	N/P ratio
		水溫	水深	鹽度	酸鹼度	溶氧量	溶氧飽和度	硝酸鹽	亞硝酸鹽	磷酸鹽	氨氮	溶解性 無機磷	溶解性 無機氮	濁度	光照度	
大 鵬 灣	S1-I 註一	30.0	0	34.11	8.20	6.04	96.4	0.032	0.004	0.033	0.025	1.06	4.33	3.5	2598	4.1
	S1-S	29.9	100 (50)	34.22	8.23	6.01	95.8	0.050	0.005	0.033	0.040	1.06	6.74	1.4	251	6.4
	S2-I	30.1	0	33.44	8.34	6.10	97.2	0.031	0.004	0.050	0.054	1.61	6.44	2.0	2327	4.0
	S2-S	30.6	130 (60)	33.40	8.37	6.56	105.2	0.031	0.004	0.052	0.102	1.67	9.80	2.5	398	5.9
林 邊	S3-I	29.8	0	34.02	8.24	6.69	106.3	0.026	0.002	0.028	0.031	0.89	4.20	2.8	2221	4.7
	S3-S	29.7	110 (65)	34.12	8.30	6.82	108.3	0.030	0.002	0.024	0.013	0.78	3.19	0.7	608	4.1
	S4-I	31.3	0	34.33	8.32	6.49	105.9	0.013	0.002	0.048	0.019	1.56	2.40	2.6	2871	1.5
	S4-S	30.6	110 (70)	34.21	8.31	6.59	106.2	0.037	0.002	0.017	0.022	0.56	4.36	0.6	1467	7.8

註一：S1-I：測站一潮間帶，S1-S：測站一潮下帶。

S2-I：測站二潮間帶，S2-S：測站二潮下帶。

S3-I：測站三潮間帶，S3-S：測站三潮下帶。

S4-I：測站四潮間帶，S4-S：測站四潮下帶。

註二：括弧內數字為藻類分佈的最深深度。

註三：水深指水面至水底之深度

表 2-9 第三季（8 月份）大鵬灣海堤及林邊海堤附近之水質分析資料

測站		Temp. (Deg.C)	Depth (cm)	Salinity (psu)	pH	Dissolve d Oxygen (mg/L)	Oxygen Saturation (o/o)	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	DIP μM	DIN μM	Turb. (ntu)	Illumination (μmol s ⁻¹ m ⁻²)	N/P ratio
		水溫	水深	鹽度	酸鹼度	溶氧量	溶氧飽和度	硝酸鹽	亞硝酸鹽	磷酸鹽	氨氮	溶解性 無機磷	溶解性 無機氮	濁度	光照度	
大 鵬 灣	S1-I 註一	29.4	0	32.29	8.09	6.59	103.1	0.071	0.012	0.022	0.052	0.72	9.53	7.1	2439	13.2
	S1-S	29.3	60 (30)	32.15	8.04	6.41	102.1	0.068	0.011	0.022	0.054	0.76	9.55	10.2	241	12.57
	S2-I	29.9	0	29.89	8.22	7.85	122.2	0.078	0.005	0.041	0.016	1.33	6.86	7.1	2765	5.2
	S2-S	29.6	120 (60)	29.58	8.23	7.23	121.4	0.075	0.005	0.042	0.015	1.35	6.89	10.1	211	5.1
林 邊	S3-I	29.4	0	32.91	8.07	6.59	103.5	0.222	0.001	0.016	0.032	0.52	17.95	10.4	3163	35.9
	S3-S	29.2	60 (35)	32.88	8.09	6.55	102.5	0.212	0.001	0.017	0.031	0.51	17.85	13.2	256	35.0
	S4-I	29.5	0	32.91	8.07	6.48	102.9	0.155	0.010	0.012	0.051	0.39	15.39	10.9	2765	39.6
	S4-S	29.3	70 (35)	32.94	8.08	6.45	101.9	0.165	0.010	0.011	0.052	0.41	15.49	15.9	227	37.8

註一：S1-I：測站一潮間帶，S1-S：測站一潮下帶。

S2-I：測站二潮間帶，S2-S：測站二潮下帶。

S3-I：測站三潮間帶，S3-S：測站三潮下帶。

S4-I：測站四潮間帶，S4-S：測站四潮下帶。

註二：括弧內數字為藻類分佈的最深深度。

註三：水深指水面至水底之深度

2.6 著生海藻調查結果

2.6.1. 第一季(95 年 2 月份)

1. 藻種數量

第一季(2 月份)的海藻調查成果，如表 2-10 所示；本季調查共計觀察 2 門 11 科 19 種海藻；其中，綠藻門 5 科 7 種，紅藻門 7 科 12 種。本季各測站間海藻豐富度（以各藻種覆蓋率百分比總合表示）比較，在潮間帶部份，各測站間覆蓋率介於 46.2-69.3%，藻種數量各測站介於 6-13 種，以測站三潮間帶的豐富率（69.3%）及物種數（13 種）最高。

2. 優勢藻種

在各測站潮間帶中，主要優勢藻種為綠藻門裂片石蓴（*Ulva facitata*），豐富率介於 20-35%，其次為綠藻門的硬毛藻（*Chaetomorpha antennina*），豐富率介於 2-10%。在潮下帶方面，各測站間覆蓋率介於 6.82-12.2%，藻種數量各測站介於 5-7 種，以測站一潮下帶的豐富度（12.2%）及測站四潮下帶物種數（7 種）最高。在各測站潮下帶中，主要優勢藻種與潮間帶相同，皆為綠藻門的裂片石蓴，豐富度介於 3-6%，其次為綠藻門的硬毛藻，豐富度介於 1-3%。

照片 2-3～照片 2-6 之左側照片為第一季(95 年 2 月份)四測站之海藻著生調查照片，其中大鵬灣導流堤測站一、林邊離岸堤測站三及測站四皆為綠藻門裂片石蓴（*Ulva facitata*），大鵬灣導流堤測站二為蜈蚣藻。

表 2-10 第一季（2 月份）大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之大型海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	大鵬灣				林邊			
	測站一		測站二		測站三		測站四	
	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
Chlorophyta 綠藻植物門								
Bryopsidaceae 羽藻科								
<i>Bryopsis plumosa</i> 羽藻	0	0	4%	0	1%	0	0	0
Caulerpaceae 蕨藻科								
<i>Caulerpa sertularioides</i> 羽狀蕨藻	0	0	0	0	0	0	1%	0.1%
Cladophoraceae 剛毛藻科								
<i>Chaetomorpha antennina</i> 硬毛藻	10%	2%	2%	1%	10%	3%	6%	3%
<i>Chaetomorpha crassa</i> 粗硬毛藻	3%	0.1%	2%	0.1%	0.2%	0	0	0
<i>Cladophora sakaii</i> 束生剛毛藻	4%	0.1%	0	0	2%	0.5%	2%	0.02%
Ulvaceae 石蓴科								
<i>Ulva fasciata</i> 裂片石蓴	30%	5%	20%	6%	35%	6%	25%	3%
<i>Ulva intestinalis</i> 腸澣落	5%	2%	0	0	4%	0.5%	3%	0.1%
Rhodophyta 紅藻植物門								
Phyllophoraceae 育葉藻科								
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> 扇形擬伊谷藻	0	0	0	0	0	0	0.1%	0
Ceramiales 仙藻科								
<i>Centroceros clavulatum</i> 縱胞藻	0	0	5%	0.2%	4%	0	2%	0.1%
<i>Ceramium cimbrium</i> 仙藻			6%					

表 2-10(續) 第一季 (2 月份) 大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之大型海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	大鵬灣				林邊			
	測站一		測站二		測站三		測站四	
	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
Gigartinaceae 杉藻科								
<i>Chondracanthus</i> sp. 肉葉藻	0	0	0	0	0.5%	0	0	0
Rhodymeniaceae 紅皮藻科								
<i>Gelidiopsis intricata</i> 擬石花藻	0	0	0	0	0.5%	0	0	0
Gracilariaceae 龍鬚菜科								
<i>Gracilaria spinulosa</i> 刺邊龍鬚菜	0	0	0	0	2%	0.1%	1%	0
Halymeniaceae 海膜藻科								
<i>Grateloupia filicina</i> 蜈蚣藻	0	0	10%	3%	0	0	0	0
<i>Grateloupia livida</i> 舌狀蜈蚣藻	4%	3%	0.2%	0	0	0	0	0
<i>Grateloupia okamurae</i> 劍葉蜈蚣藻	0	0	0.1%	0	0.1%	00	0.1%	0
<i>Grateloupia ramossissima</i> 繁枝蜈蚣藻	0	0	0.1%	0	4%	0.2%	4%	0.5%
<i>Grateloupia sparsa</i> 稀毛蜈蚣藻	0	0	0.2%	0	0	0	0	0
Hypneaceae 沙菜科								
<i>Hypnea boergesenii</i> 密毛沙菜	0	0	0	0	6%	0	2%	0
物種數	6	6	11	5	13	6	11	7
總豐富度	56.00%	12.20%	49.60%	10.30%	69.30%	10.30%	46.20%	6.82%

2.6.2 第二季（95 年 5 月份）

1. 藻種數量

第二季(5 月份)的海藻調查成果，如表 2-11 所示；第二季調查共計觀察 2 門 10 科 17 種海藻，其中，綠藻門 4 科 6 種，紅藻門 6 科 11 種。

第二季各測站間海藻豐富度及覆蓋率比較，在潮間帶部份，各測站間覆蓋率介於 33.6~82.32%，藻種數量各測站介於 5~11 種，以測站四潮間帶的豐富度（82.32%），測站三潮間帶物種數（11 種）最高。

2. 優勢藻種

在各測站潮間帶中，主要優勢藻種為綠藻門裂片石莖（*Ulva fasciata*），豐富度介於 12.08~36.0%，其次為紅藻門的縱胞藻（*Centraceros clavalatum*），豐富度介於 4.4~19.2%。在潮下帶方面，各測站間覆蓋率介於 9.0~45%，藻種數量各測站介於 5~10 種，以測站四潮下帶的豐富度（45%）及測站三潮下帶物種數（10 種）最高。在各測站潮下帶中，主要優勢藻種與潮間帶相同，皆為綠藻門的裂片石莖，豐富度介於 4.0~12.8%。

照片 2-3~照片 2-6 之中間照片為第二季(95 年 5 月份)四測站之海藻著生調查照片，其中大鵬灣導流堤測站一、林邊離岸堤測站三及測站四皆為綠藻門裂片石莖（*Ulva fasciata*），大鵬灣導流堤測站二為縱胞藻。

表 2-11(續) 第二季(5 月份) 大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之大型海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	大鵬灣				林邊			
	測站一		測站二		測站三		測站四	
	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
Gigartinaceae 杉藻科								
<i>Chondracanthus</i> sp. 肉葉藻	0	0	0	0	0	1.04%	0	0
Rhodymeniaceae 紅皮藻科								
<i>Gelidiopsis intricata</i> 擬石花藻	0	0	0	0	0	1.6%	0	0
Gracilariaceae 龍鬚菜科								
<i>Gracilaria spinulosa</i> 刺邊龍鬚菜	0	0.2%	0	0.08%	2%	8.8%	4.08%	0
Halymeniaceae 海膜藻科								
<i>Grateloupia filicina</i> 蜈蚣藻	0.8%	0	17.2%	0	0	0	0	0
<i>Grateloupia livida</i> 舌狀蜈蚣藻	0.4%	4%	1.2%	0.16	0	0	0	0
<i>Grateloupia okamurai</i> 劍葉蜈蚣藻	0	0	0	0	0	0	0.08%	0
<i>Grateloupia ramossissima</i> 繁枝蜈蚣藻	1.6%	0	0.4%	0	5.2%	4.8%	8%	8%
<i>Grateloupia sparsa</i> 稀毛蜈蚣藻	0	0	0.8%	0	0.08%	0	0	0
Hypneaceae 沙菜科								
<i>Hypnea boergesenii</i> 密毛沙菜	0	0.8	0	2.4%	2.4%	8.8%	4.96%	8.8%
物種數	5	5	10	6	11	10	9	5
總豐富度	33.60%	9.00%	53.12%	29.04%	58.08%	34.48%	82.32%	45.00%

2.6.3 第三季（95 年 8 月份）

1. 藻種數量

第三季(8 月份)的海藻調查成果，如表 2-12 所示；第三季調查共計觀察 2 門 6 科 8 種海藻，其中，綠藻門 2 科 2 種，紅藻門 4 科 6 種。

2. 優勢藻種

第三季各測站間海藻豐富度及覆蓋率比較，在潮間帶部份，各測站間覆蓋率介於 1~8%，藻種數量各測站介於 4~5 種，以測站三潮間帶的豐富度（4%），測站二潮間帶物種數（5 種）較高，但本季各測站的覆蓋率及藻種數量均為本年度三次調查的最低點。在各測站潮間帶中，並無任何優勢藻種。在潮下帶方面，各測站間覆蓋率介於 0~1%，藻種數量各測站介於 0~2 種，為本年度三次現場調查的最低點且無任何優勢藻種。

照片 2-3~照片 2-6 之右圖為第三季(95 年 8 月份)四測站之海藻著生調查照片，其中大鵬灣導流堤測站一、林邊離岸堤測站三及測站四皆為綠藻門裂片石蓴（*Ulva fasciata*），大鵬灣導流堤測站二為縱胞藻，海藻著生情形為三季中最少。

表 2-12 第三季（8 月份）大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之大型海藻著生覆蓋率

海藻名錄（學名及中文名）	大鵬灣				林邊			
	測站一		測站二		測站三		測站四	
	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
Chlorophyta 綠藻植物門								
Cladophoraceae 剛毛藻科								
<i>Cladophora sakaii</i> 束生剛毛藻	0.2%	0	0.01%	0	0	0	0	0
Ulvaceae 石蓴科								
<i>Ulva faciata</i> 裂片石蓴	0.5%	0	0.1%	0	1.5%	0.1%	1.2%	0.1%
Rhodophyta 紅藻植物門								
Ceramiales 仙藻科								
<i>Centroceros clavulatum</i> 縱胞藻	0.1%	0	0.1%	0	0	0	0	0
Rhodymeniaceae 紅皮藻科								
<i>Gelidiopsis intricata</i> 擬石花藻	0	0	0	0	5%	0.6%	3%	1%
Halymeniaceae 海膜藻科								
<i>Grateloupia filicina</i> 蜈蚣藻	0	0	1%	0	0	0	0	0
<i>Grateloupia livida</i> 舌狀蜈蚣藻	0.2%	0.1%	0.1%	0	0	0	0	0
<i>Grateloupia ramossissima</i> 繁枝蜈蚣藻	0	0	0	0	1%	0	0.5%	0
Hypneaceae 沙菜科								
<i>Hypnea boergesenii</i> 密毛沙菜	0	0	0	0	0.5%	0	0.2%	0
物種數	4	1	5	0	4	2	4	2
總豐富度	1.00%	0.10%	1.31%	0%	8.00%	0.70%	4.00%	1.10%



95 年 2 月



95 年 5 月



95 年 8 月

照片 3-3 大鵬灣導流堤測站一（裂片石莖 *Ulva faciata*）照片

95 年 2 月(蜈蚣藻)



95 年 5 月（縱胞藻）



95 年 8 月（縱胞藻）

照片 3-4 大鵬灣導流堤測站二（蜈蚣藻及縱胞藻）照片



95 年 2 月



95 年 5 月



95 年 8 月

照片 3-5 林邊離岸堤測站三（裂片石蓴 *Ulva faciata*）照片



95 年 2 月



95 年 5 月



95 年 8 月

照片 3-6 林邊離岸堤測站四（裂片石蓴 *Ulva faciata*）照片

第三章 海藻生態與水質環境分析

為了解本研究於南部大鵬灣及林邊兩處海域所進行之海藻著生狀況與水質環境之分析，掌握對象海岸之自然環境、生態環境等要因；進一步將實地調查海藻、水質等生態環境，分析海岸保護結構物之海藻著生特性及水質環境因子，俾供作為將來於海岸發展藻場造成型海岸保護結構物之可行性、對象海藻、發展型態等之參考與依據。

3.1 海水水質環境分析

3.1.1 溫度與鹽度的季節性變化

依本研究於 95 年 2 月、5 月及 8 月共三季次之調查結果(如表 3-7 表 3-9)；就各監測點溫度而言，第一季各監測點溫度介於 24.3 25.1 之間，第二季介於 29.7 31.3 之間；第三季介於 29.2 29.7 之間。就各監測點鹽度而言，第一季各監測點鹽度介於 33.22-34.28 psu 之間；第二季各監測點之鹽度介於 33.40-34.33 psu 之間；第三季介於 29.58-32.94 psu 之間，呈現明顯之季節性區及地域性變化，屬於正常一般沿岸海水之範圍。由整個調查區域之溫、鹽地理之分佈可發現，主要受到潮流漲落及陸上逕流及河川、溝渠之淡水影響，呈區域性之變化，例如大鵬灣出口導流堤之測站呈現較低鹽度之特性。

3.1.2 pH 值與溶氧量的季節性變化

各監測點 pH 值於 95 年 2 月、5 月及 8 月三季次之調查結果(如表 3-7 表 3-9)顯示，第一季 pH 值介於 8.05 8.12 之間，溶氧量介於 6.99 7.42 mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 101.0% 108.9 %之間；第二季 pH 值介於 8.20 8.37 之間，溶氧量介於 6.01 6.82 mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 95.8% 108.3 %之間；第三季 pH 值介於 8.04-8.23 之間，溶氧量介於 6.41 7.85 mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 101.9% 122.2 %之間。

整體而言，依環保署公告之台灣地區保護生活環境相關環境基準之海域地面水體水質標準，本研究各測站所調查之 pH 測值及溶氧，均合乎甲類海域地面水體水質標準(環保署，1998) (該標準規定：甲類海域地面水體水質標準，pH 測值應介於 7.5～8.5 之間，溶氧(DO)及生化需氧量(BOD)測值應分別大於 5.0mg/L 以上及 2.0 mg/L 以下。

3.1.3 水體營養鹽的季節性變化

依本研究於 95 年 2 月、5 月及 8 月共三季次之調查結果(如表 3-7 表 3-9)，第一季硝酸鹽介於 0.020～0.040mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.002～0.004mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.005～0.014mg/L 之間，氨氮介於 0.01～0.11mg/L 之間；由本調查分析結果顯示，各監測點之水體營養鹽含量大致屬一般近岸海域之範圍。第二季硝酸鹽介於 0.013～0.050mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.002～0.005mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.017～0.052mg/L 之間，氨氮介於 0.01～0.10mg/L 之間。第三季硝酸鹽分析結果介於 0.020～0.040mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.002～0.004mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.005～0.014mg/L 之間，氨氮介於 0.012～0.108mg/L 之間。

由本研究三季次之監測結果比較發現，氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮)於前兩季檢測結果測值相近，而磷酸鹽及光照度檢測結果則後二季測值高於第一季。值得注意的是第二季分析結果顯示，各監測點之水體營養鹽 DIN 與 DIP 關係如圖 3-1 所示，其 N/P 比大約為 4.3，低於理論值之 16，顯示兩區域水體均為「氮限」。(在影響藻類生長的因子中，水中營養鹽的氮：磷比例之理論值為 16：1；故若水質中氮：磷比值低於 16，則氮為限制藻類生長的營養鹽因子，簡稱「氮限」)

另由光照度與 NO₃-N、DIN、DIP、N/P ratio 之相關性，如圖 3-2 所示；發現光照度與 NO₃-N、DIN、N/P ratio 均呈負相關性，顯示光照度愈強，各種浮游植物或藻類吸收氮的能力也愈強。此外，由於監測之水體均屬氮限，水體中磷酸鹽屬過剩之情況，因此，光照度與 DIP 之相關性並不顯著。

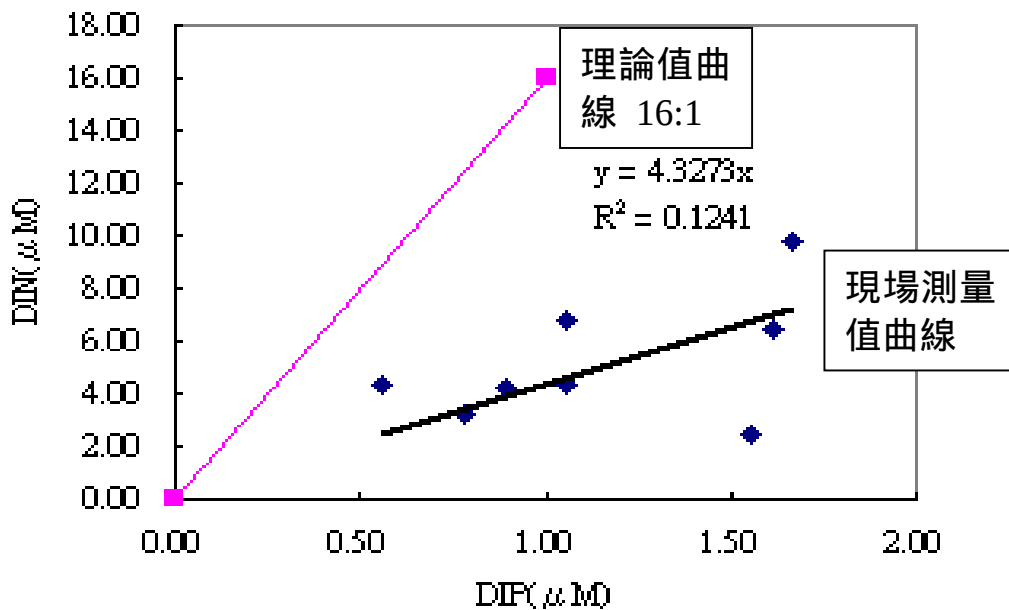


圖 3-1 各監測點水體營養鹽 DIN 與 DIP 關係圖

3.1.4 濁度與光照度的季節性變化

依本研究於 95 年 2 月、5 月及 8 月共三季次之調查結果(如表 3-7 表 3-9)；第一季濁度分析結果介於 4.5 ~ 15.2 NTU 之間，以區域性分佈而言，林邊鄉海岸離岸堤之濁度略高於東港鎮海岸大鵬灣出口之導流堤，光照度之分析結果介於 87 ~ 1228 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間。第二季濁度介於 0.6 ~ 3.5 NTU 之間；光照度之分析結果介於 251 ~ 2871 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間；第三季濁度介於 7.1 ~ 15.9 NTU 之間；光照度介於 211 ~ 3163 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間。

一般而言，海藻生長對光照度的需求量，只要光照度高於 250 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 以上，即可滿足；而有時過高的光照，反而會抑制海藻生長。

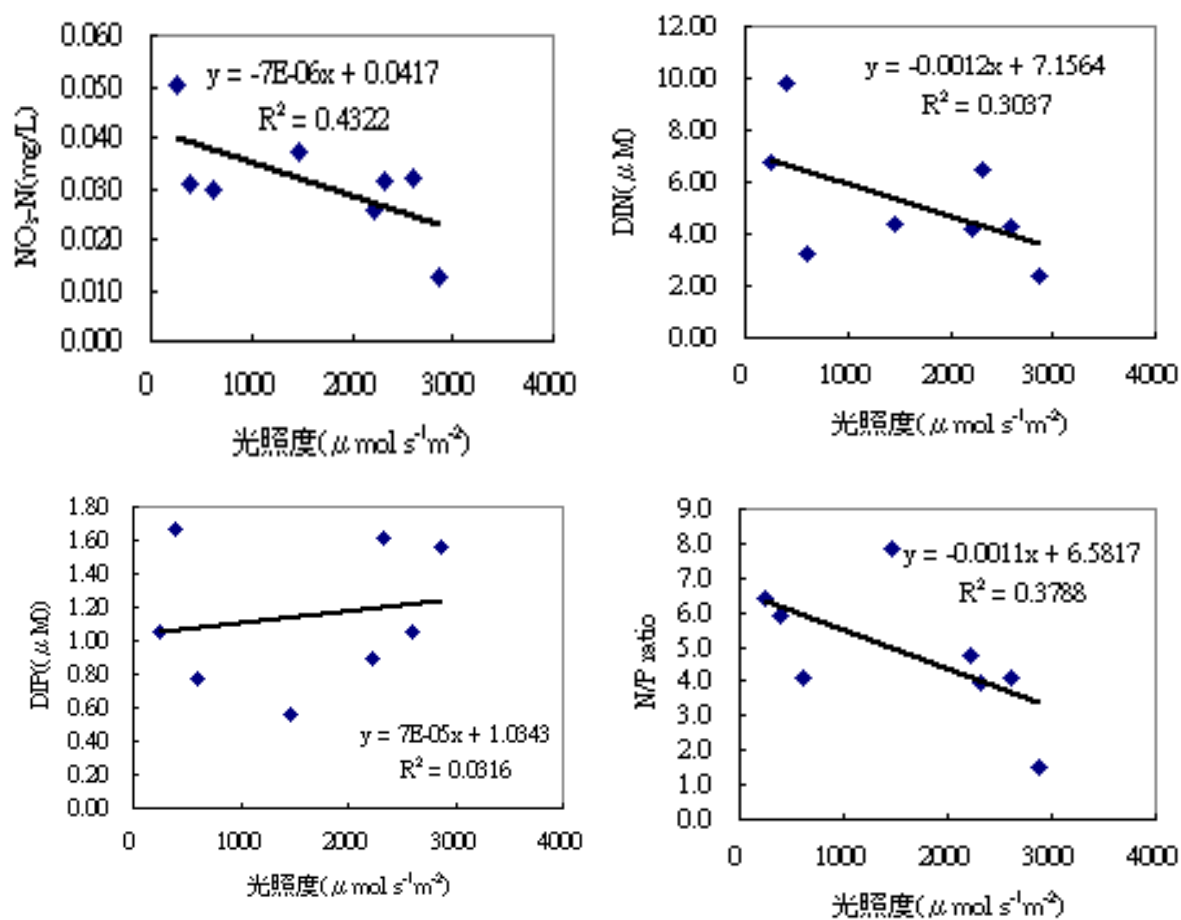


圖 3-2 各監測點之水體 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 DIN 、 DIP 、 N/P ratio 與光照度之相關性

3.2 海藻著生分析

3.2.1 優勢種和藻種的季節性變化分析

整體而言，95 年度三季次（2 月、5 月及 8 月）調查共計發現有 20 種海藻著生於離岸堤和突堤的人工結構物上，分別歸屬於綠藻門 5 科（7 種）和紅藻門 7 科（13 種）內（詳見表 3-10、表 3-11 及表 3-12）。

在優勢種方面，第一季（2 月份）及第二季（5 月份）各測站皆以的綠藻門的石蓴科為絕對優勢藻種，而第三季（8 月份）各測站皆無絕對優勢藻種。大體上，潮間帶種類數目及覆蓋度皆大於潮下帶；潮間帶測站的優勢種藻類覆蓋率如超過百分之二十以上，則其它藻種會受優勢種藻類的影響很大，而在數量上變少。因此，常常只要一優勢種的出現或消失，即可造成該測站極大的影響。

此外，由於調查樣區係位於離岸堤及導流堤附近海域，為經常性海浪衝擊的區域，因此，本研究所調查的藻種皆為浪濤衝擊下常見的藻種，這些藻種具有堅韌的附著器，因此可抵抗強勁的海浪。以本次調查的海膜藻科中的蜈蚣藻屬（*Grateloupia*）為例，此類藻類多生長在浪濤衝擊處，因此在台灣週遭海域，常見於風浪較大的東北角及西南沿海一帶（黃，2000；林等人，2004）。

本年度三季次之調查，在第一季（2 月份）調查中，各測站以測站三（林邊之離岸堤）潮間帶豐富度（69.3%）及物種數（13 種）最高。在第二季（5 月份）的調查當中，各測站以測站四（林邊之離岸堤）潮間帶豐富度（82.32%）及測站三（林邊之離岸堤）潮間之物種數（11 種）最高，而第三季（8 月份）的豐富度（最高 8%）和物種數（最多 5 種）皆為三季中最低。

3.2.2 海藻種類季節性變化與相似性分析

所謂相似度分析，係根據各測站所發現之海藻物種，分別計算測站間之 Czekanowski 相似係數（CZ）。相似度 $CZ = (2C / (A + B)) * 100\%$ ，

以兩測站 (A 及 B) 為例，其中，A = 測站一之種類數、B = 測站二之種類數、C = 測站一與測站二間共有相同種類的數目。

1.第一季(2 月份)

第一季(2 月份)的海藻調查在相似性分析 (CZ) 結果如表 3-1。各測站間潮下帶與潮間帶相互比較結果顯示，在海藻種類相似度上，潮間帶部分，以測站三與測站四之間的相似度為最高 (CZ = 37.50%)，其次為測站二與測站三 (CZ = 29.17%)，而相似度最小為測站二與測站四 (CZ = 18.18%)。在潮下帶部分，以測站三與測站四最高 (CZ = 38.46%)，其次為測站二與測站三 (CZ = 33.33%)，而最小為測站一與測站二及測站二與測站三 (CZ = 18.18%)。另外，各測站內潮間與潮下帶比較上，以測站一相似度最高 (CZ = 100%)，其次為測站四 (CZ = 38.89%)，接著為測站三 (CZ = 31.58%)，最後為測站二 (CZ = 31.25%)。

2.第二季 (5 月份)

第二季(5 月份)海藻調查之相似性分析，如表 3-2。比較各測站間潮下帶與潮間帶的物種相似度和共有種率，在海藻種類相似度 (CZ) 上，潮間帶部分，以測站三與測站四之間的相似度為最高 (CZ = 80%)，其次為測站一與測站二 (CZ = 66.67%)，而相似度最小為測站一與測站三 (CZ = 37.5%)。在潮下帶部分，以測站一與測站二最高 (CZ = 72.73%)，其次為測站三與測站四 (CZ = 53.33%)，而最小為測站一與測站三及測站一與測站四 (CZ = 40%)。另外，各測站內潮間與潮下帶比較上，以測站三相似度最高 (CZ = 66.67%)，其次為測站四 (CZ = 57.14%)，接著為測站二 (CZ = 50%)，最後為測站一 (CZ = 40%)。

3.第三季 (8 月份)

第三季(8 月份)的海藻調查之相似性分析，如表 3-3 所示。比較各測站間潮下帶與潮間帶的物種相似度和共有種率，在海藻種類相

似度 (CZ) 上，潮間帶部分，以測站三與測站四之間的相似度為最高 (CZ = 100%)，其次為測站一與測站二 (CZ = 88.89%)，而相似度最小為測站一與測站三和四 (CZ = 22.22%)。在潮下帶部分，以測站三與測站四最高 (CZ = 100%)，其餘測站 CZ 皆為 0%。另外，各測站內潮間與潮下帶比較上，以測站三和四相似度最高 CZ 皆各為 66.67%，其次為測站一 (CZ = 40%)，最後測站二 CZ 為 0%。

4. 海藻種類季節性變化與相似性分析

整體而言，95 年度三季次 (2 月、5 月及 8 月) 之調查，在物種相似性 (CZ) 比較上 (表 3-1、表 3-2、表 3-3)，依本研究實測調查資料觀察到一個趨勢，即測站一與測站二的相似度上較為接近，而測站三與測站四的相似度上則較為接近。

上述現象符合地緣上的關係，測站一及測站二皆為大鵬灣的導流堤，測站三及測站四皆為林邊海域的離岸堤，因此相近地域的海藻物種相似度就會較為相近。

表 3-1 第一季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之大型海藻著生之相似性率(CZ similarity)

			大鵬灣				林邊			
			測站一		測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
大鵬灣	測站一	潮間帶	-							
		潮下帶	100.00%	-						
	測站二	潮間帶	<u>23.53%</u>	23.53%	-					
		潮下帶	18.18%	18.18%	31.25%	-				
林邊	測站三	潮間帶	<u>26.32%</u>	26.32%	<u>29.17%</u>	22.22%	-			
		潮下帶	33.33%	33.33%	17.65%	18.18%	31.58%	-		
	測站四	潮間帶	<u>23.53%</u>	23.53%	<u>18.18%</u>	18.75%	<u>37.50%</u>	35.29%	-	
		潮下帶	30.77%	30.77%	22.22%	25.00%	31.58%	38.46%	38.89%	-

註：標粗斜體底線者之為各測站潮間帶間相互比較之數值；標方框者為各測站間潮間帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 3-2 第二季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之大型海藻著生之相似性率(CZ similarity)

			大鵬灣				林邊			
			測站一		測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
大鵬灣	測站一	潮間帶	-							
		潮下帶	40.00%	-						
	測站二	潮間帶	<u>66.67%</u>	26.67%	-					
		潮下帶	36.36%	72.73%	50.00%	-				
林邊	測站三	潮間帶	<u>37.50%</u>	37.50%	<u>57.14%</u>	58.82%	-			
		潮下帶	26.67%	40.00%	30.00%	50.00%	66.67%	-		
	測站四	潮間帶	<u>42.86%</u>	42.86%	<u>42.11%</u>	53.33%	<u>80.00%</u>	73.68%	-	
		潮下帶	40.00%	40.00%	26.67%	36.36%	50.00%	53.33%	57.14%	-

註：標粗斜體底線者之為各測站潮間帶間相互比較之數值；標方框者為各測站間潮間帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 3-3 第三季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物之大型海藻著生之相似性率(CZ similarity)

			大鵬灣				林邊			
			測站一		測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
大鵬灣	測站一	潮間帶	-							
		潮下帶	40%	-						
	測站二	潮間帶	<u>88.89%</u>	33.33%	-					
		潮下帶	0%	0%	0%	-				
林邊	測站三	潮間帶	<u>25%</u>	0%	<u>22.22%</u>	0%	-			
		潮下帶	33.33%	0%	28.57%	0%	66.67%	-		
	測站四	潮間帶	<u>25%</u>	0%	<u>22.22%</u>	0%	<u>100%</u>	66.67%	-	
		潮下帶	33.33%	0%	28.57%	0%	66.67%	100%	66.67%	-

註：標粗斜體底線者之為各測站潮間帶間相互比較之數值；標方框者為各測站間潮間帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

3.2.3 海藻種類季節性變化與共有種率分析

所謂共有種率 (PS=Proportional Similarity)，係根據各測站所發現之海藻物種，分別計算測站間之共有種率 (PS)。 $PS=(C/(A+B-C))*100\%$ ，以兩測站 (A 及 B) 為例，其中，A = 測站一之種類數、B = 測站二之種類數、C = 測站一與測站二間共有相同種類的數目。

1. 第一季(2 月份)

第一季(2 月份)的海藻調查之共有種率分析 (PS)，如表 3-5 所示；在潮間帶部分，以測站三與測站四之間的相似度為最高 (PS = 60.00%)，其次為測站二與測站四 (PS = 46.66%)，而相似度最小為測站一與測站四及測站一與測站二 (PS = 30.77%)。在潮下帶部分，以測站三與測站四最高 (PS = 62.50%)，其次為測站一與測站三 (PS = 50.00%)，而最小為測站一與測站二及測站二與測站三 (PS = 22.22%)。另外，各測站內潮間與潮下帶比較上，以測站一相似度最高 (PS = 100%)，其次為測站四 (PS = 63.64%)，接著為測站三 (PS = 46.15%)，最後為測站二 (PS = 45.45%)。

2. 第二季 (5 月份)

第二季(5 月份)的海藻調查之共有種率分析 (PS)，如表 3-6 所示。在潮間帶部分，以測站三與測站四之間的相似度為最高 (PS = 66.67%)，其次為測站一與測站二 (PS = 50%)，而相似度最小為測站一與測站三 (PS = 23.08%)。在潮下帶部分，以測站一與測站二最高 (PS = 57.14%)，其次為測站三與測站四 (PS = 36.36%)，而最小為測站二與測站四 (PS = 22.22%)。另外，各測站內潮間帶與潮下帶比較上，以測站三相似度最高 (PS = 50%)，其次為測站四 (PS = 40%)，再其次為測站二 (PS = 33.33%)，最後為測站一 (PS = 25%)。

3.第三季（8 月份）

第三季(8 月份)的海藻調查之共有種率分析（PS），如表 3-7 所示。在潮間帶部分，以測站三與測站四之間的相似度為最高（PS = 100%），其次為測站一與測站二（PS = 80%），而相似度最小為測站二與測站三和四 PS 皆為 23.08%。在潮下帶部分，以測站三與測站四最高（PS = 100%），其餘測站 PS 皆為 0%。另外，各測站內潮間與潮下帶比較上，以測站三和四相似度最高（PS = 50%），其次為測站一（PS = 40%），最後測站一之 PS 為 0%。

4.海藻種類季節性變化與共有種率分析

整體而言，95 度三季次（2 月、5 月及 8 月）之調查，在物種共有種率（PS）比較上（如表 3-4 表 3-6），依本研究實測調查資料觀察到一個趨勢，即測站一與測站二的共有種率上較為接近，而測站三與測站四的共有種率上則較為接近。此現象與三季次各測站相似度亦有相同之趨勢；即此現象符合地緣上的關係，測站一及測站二皆為大鵬灣的導流堤，測站三及測站四皆為林邊海域的離岸堤，因此相近地域的海藻物種相似度與共有種率就會較為相近。

表 3-4 第一季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物大型海藻著生之共有種率分析(PS similarty)

			大鵬灣				林邊			
			測站一		測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
大鵬灣	測站一	潮間帶	-							
		潮下帶	100.00%	-						
	測站二	潮間帶	<u>30.77%</u>	30.77%	-					
		潮下帶	22.22%	22.22%	45.45%	-				
林邊	測站三	潮間帶	<u>35.71%</u>	35.71%	<u>41.18%</u>	28.57%	-			
		潮下帶	50.00%	50.00%	21.43%	22.22%	46.15%	-		
	測站四	潮間帶	<u>30.77%</u>	30.77%	<u>46.66%</u>	23.08%	<u>60.00%</u>	54.55%	-	
		潮下帶	44.44%	44.44%	28.57%	33.33%	42.86%	62.50%	63.64%	-

註：標粗斜體底線者之為各測站潮間帶間相互比較之數值；標方框者為各測站間潮間帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 3-5 第二季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物大型海藻著生之共有種率分析(PS similarty)

			大鵬灣				林邊			
			測站一		測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
大鵬灣	測站一	潮間帶	-							
		潮下帶	25.00%	-						
	測站二	潮間帶	<u>50.00%</u>	15.38%	-					
		潮下帶	22.22%	57.14%	33.33%	-				
林邊	測站三	潮間帶	<u>23.08%</u>	23.08%	<u>40.00%</u>	41.67%	-			
		潮下帶	15.38%	25.00%	17.65%	33.33%	50.00%	-		
	測站四	潮間帶	<u>27.27%</u>	27.27%	<u>26.67%</u>	36.36%	<u>66.67%</u>	58.33%	-	
		潮下帶	25.00%	25.00%	15.38%	22.22%	33.33%	36.36%	40.00%	-

註：標粗斜體底線者之為各測站潮間帶間相互比較之數值；標方框者為各測站間潮間帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 3-6 第三季大鵬灣海堤及林邊離岸堤附近各測站海岸結構物大型海藻著生之共有種率分析 (PS similarty)

			大鵬灣				林邊			
			測站一		測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
大鵬灣	測站一	潮間帶								
		潮下帶	25%							
	測站二	潮間帶	<u>80%</u>	20%						
		潮下帶	0%	0%	0%					
林邊	測站三	潮間帶	<u>60%</u>	0%	<u>12.5%</u>	0%				
		潮下帶	50%	0%	16.67%	0%	50%			
	測站四	潮間帶	<u>33.33%</u>	0%	<u>12.5%</u>	0%	<u>100%</u>	50%		
		潮下帶	50%	0%	16.67%	0%	50%	100%	50%	

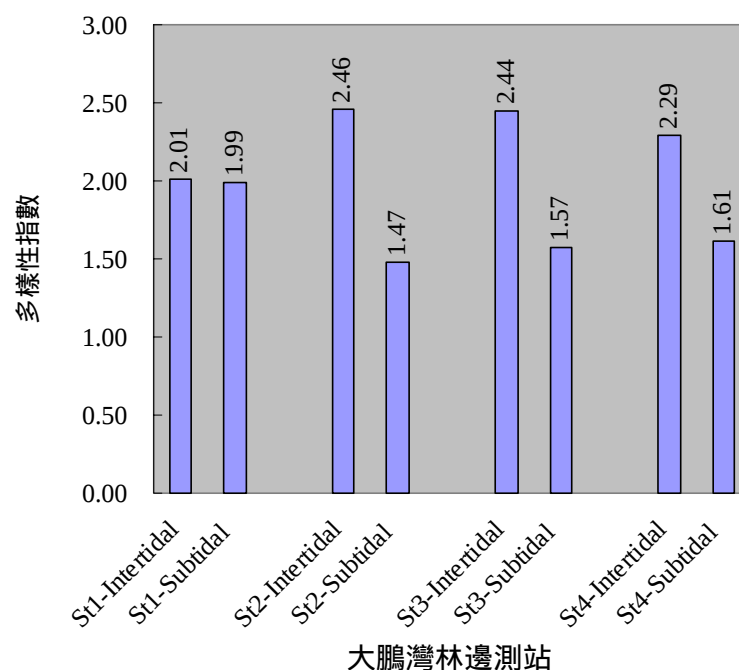
註：標粗斜體底線者之為各測站潮間帶間相互比較之數值；標方框者為各測站間潮間帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

3.2.4 海藻種類季節性變化與多樣性分析

種歧異度(Species Diversity)可提供生物之自然集合或群聚組合之訊息，一般而言歧異度越高代表生物群聚結構較穩定。

1.第一季(2 月份)

第一季(2 月份)的海藻調查之多樣性指數分析 (Species diversity index analysis)，如圖 3-3。潮間帶間各測站間相比較，以測站二潮間帶最高($H' = 2.46$)，測站一潮間帶多樣性最低($H' = 2.01$)；而潮下帶各測站間相互比較，測站一潮下帶多樣性最高($H' = 1.99$)，測站二潮下帶多樣性最低($H' = 1.47$)；各測站間潮間帶與潮下帶多樣性綜合比較，以測站二潮間帶多樣性指數最高($H' = 2.46$)，測站二潮下帶多樣性最低($H' = 1.47$)。



註: 1. St1-Intertidal：測站一潮間帶，St1-Subtidal：測站一潮下帶。

St2-Intertidal：測站二潮間帶，St2-Subtidal：測站二潮下帶。

St3-Intertidal：測站三潮間帶，St3-Subtidal：測站三潮下帶。

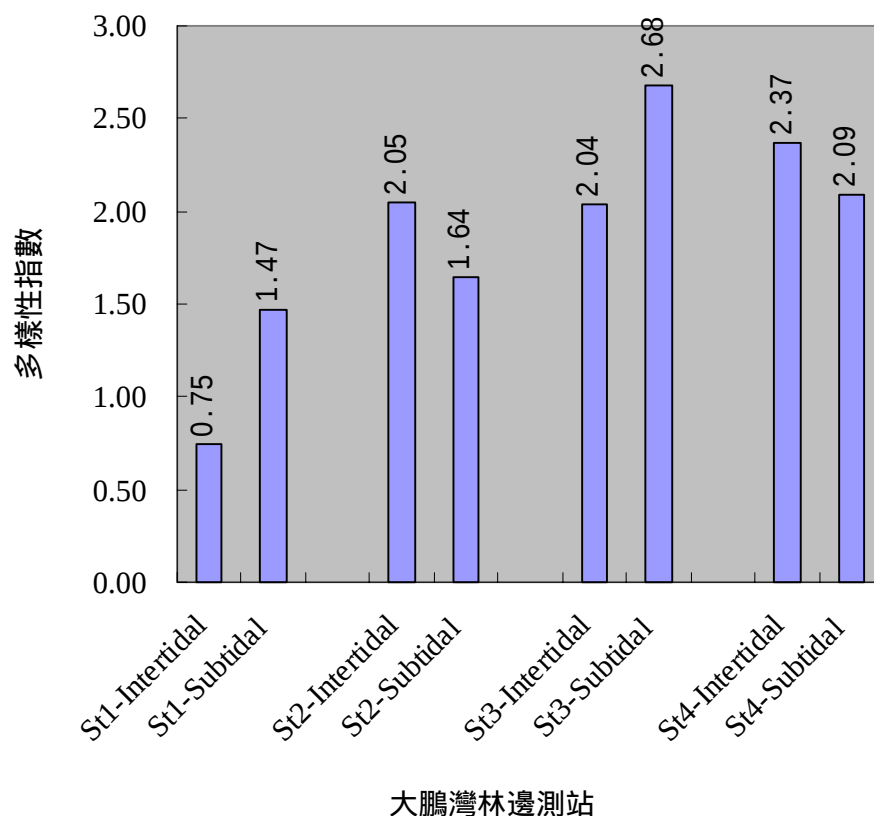
St4-Intertidal：測站四潮間帶，St4-Subtidal：測站四潮下帶。

2. 數值愈高代表該測站多樣性愈高。

圖 3-3 第一季 (2 月份) 各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈圖

2. 第二季（5 月份）

第二季(5 月份)的海藻調查之多樣性指數分析 (Species diversity index analysis)，如圖 3-4。於潮間帶間各測站間相比較，以測站四潮間帶最高($H' = 2.37$)，測站一潮間帶多樣性最低($H' = 0.75$)；潮下帶各測站間相互比較，測站三潮下帶多樣性最高($H' = 2.68$)，測站一潮下帶多樣性最低($H' = 1.47$)；各測站間潮間帶與潮下帶多樣性綜合比較，以測站三潮下帶多樣性指數最高($H' = 2.68$)，測站一潮間帶多樣性最低($H' = 0.75$)。



註: 1. St1-Intertidal：測站一潮間帶，St1-Subtidal：測站一潮下帶。

St2-Intertidal：測站二潮間帶，St2-Subtidal：測站二潮下帶。

St3-Intertidal：測站三潮間帶，St3-Subtidal：測站三潮下帶。

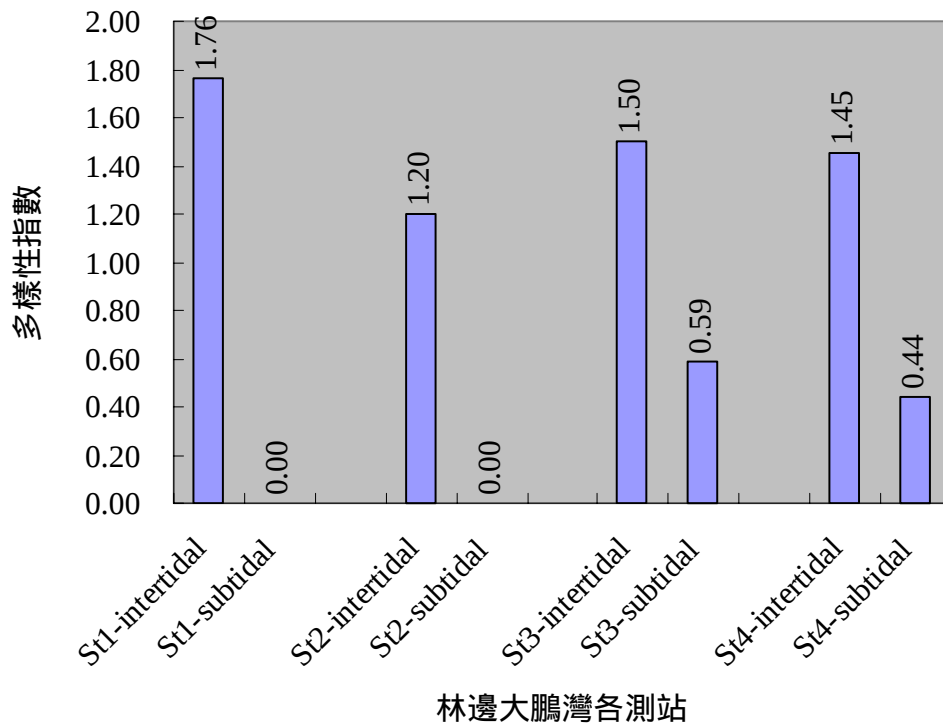
St4-Intertidal：測站四潮間帶，St4-Subtidal：測站四潮下帶。

2. 數值愈高代表該測站多樣性愈高。

圖 3-4 第二季（5 月份）各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈圖

3.第三季（8 月份）

第三季(8 月份)的海藻調查之多樣性指數分析 (Species diversity index analysis) ，如圖 3-5。於潮間帶間各測站間相比較，以測站一潮間帶最高($H' = 1.76$)，測站潮間二帶多樣性最低($H' = 1.2$)；潮下帶各測站間相互比較，測站三潮下帶多樣性最高($H' = 0.59$)，測站一和二潮下帶多樣性 H' 均為 0。



註: 1. St1-Intertidal：測站一潮間帶，St1-Subtidal：測站一潮下帶。

St2-Intertidal：測站二潮間帶，St2-Subtidal：測站二潮下帶。

St3-Intertidal：測站三潮間帶，St3-Subtidal：測站三潮下帶。

St4-Intertidal：測站四潮間帶，St4-Subtidal：測站四潮下帶。

2. 數值愈高代表該測站多樣性愈高。

圖 3-5 第三季（8 月份）各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈圖

4. 海藻種類季節性變化與多樣性分析

95 度三季次 (2 月、5 月及 8 月) 之調查，在地區性之多樣性分析 (Species diversity index analysis) 綜合比較 (如圖 3-3 圖 3-5 所示)，大鵬灣導流堤之測站，第二季測站一及測站二的多樣性 (平均 $H' = 1.48$) 較第一季 (平均 $H' = 1.98$) 減少；而林邊離岸堤之測站，第二季測站三及測站四的多樣性 (平均 $H' = 2.30$) 則較第一季 (平均 $H' = 1.98$) 略為增加。此現象可清楚的由物種數的減少觀察得知 (表 3-10 及表 3-13)，第二季的海藻豐富度雖然較第一季為高，但第二季的海藻物種數則較第一季低，可見第二季的海藻豐富度增加，為少數優勢藻種增加所致。而少數較易受到溫度影響的物種，如扇形擬依谷藻 (*Ahnfeltiopsis flabelliformis*)、仙藻 (*Ceramium cimbricum*) 則大為減少，顯示大鵬灣及林邊海域的海藻大多受到少數優勢藻種消長的影響。

至於第三季的多樣性指數，於大鵬灣導流堤、林邊離岸堤之各測站，皆大量下跌且無優勢藻種的影響。

3.3 海藻著生效果與水質環境分析

3.3.1 海藻豐富度與水溫和相關的營養鹽季節性變化分析

綜合比較調查區域海藻豐富度於季節性之差異，很明顯第二季（5 月份）介於 33.6 ~ 82.32% 之間，較第一季（2 月份）（介於 46.2 ~ 69.3% 之間）的豐富度來的高，尤其是林邊離岸堤之測站三及測站四的潮間帶及潮下帶海藻覆蓋度，皆有顯著的增加。

經與各測站實測之水質資料相比較（如表 3-7 及表 3-8），發現第一季（2 月份）的氮磷比較第二季（5 月份）來的高，顯示雖然第一季的營養鹽較高，但水溫較低（介於 24 ~ 25°C 之間），生長的速度較緩慢。另一方面，自入春以來，白天水溫回暖升至 29 ~ 31°C 之間，促使海藻生長加快，而由第二季營養鹽中氮鹽的減少可知，在春季氮鹽為海藻生長的限制因子。同時，由第二季的營養鹽分析顯示氮鹽的減少，也反應到海藻覆蓋度的增加。第三季（8 月份）的營養鹽的氮鹽相對的增加許多，與海藻覆蓋度的大量減少有顯著的相關性。然而，由過去在大鵬灣附近的海藻相調查結果相互比較，水溫對海藻的生長的影響較營養鹽為大。

3.3.2 海藻豐富度與光照度、深度和濁度季節性變化分析

綜合比較光照度於季節性之差異，光照度由第一季（2 月份）的水表面的 707 ~ 1228 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ，至第二季（5 月份）增加至 2221 ~ 2871 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ，此與海藻豐富度在入春之後逐漸升高，與前二季的光照度和光照時間漸漸增加呈正相關性。雖然，第三季的光照度和光照時間持續增加，但海藻著生的情形卻大量下滑，此可能與海藻的存活壽命有關。一般而言，熱帶暖水性的海藻壽命大約皆低於 3 ~ 6 個月，參考過去在墾丁國家公園的海藻相調查之相關報告，顯示春季（三月 ~ 五月）為海藻大量繁生的季節，且夏末至初秋的高水溫不利於孢子萌芽，故此期間的海藻豐富度常有大量消失的情形出現。然而，是否由於光照度的增強，增加海藻對營養鹽吸收能力的增加，需要進一步觀察。

依據本研究所進行三季次之實地野外調查潮下帶海藻覆蓋深度(如表 3-7 表 3-9),發現於大鵬灣導流堤之測站,第一季的測站一(60 cm)及測站二(90 cm)皆較第二季的測站一(50 cm)及測站二(60 cm)分佈為深;然而於林邊離岸堤之測站,第一季的測站三(40 cm)及測站四(40 cm)皆較第二季的測站三(65 cm)及測站四(70 cm)分佈為淺。

今將潮下帶之海藻分布狀況與水質分析資料相互比較,可清楚發現第一季(2月份)的海水濁度,於林邊離岸堤之測站,即測站三及測站四較為混濁;第二季則各測站濁度減少許多且較無差異。此現象顯示,林邊離岸堤之測站三及測站四,其海藻分布深度在第二季較深,可能是濁度較低的因素,使海藻能分佈到較深的水域。至於第三季的潮下帶海藻覆蓋深度,除了測站二(60 cm)沒有明顯改變之外,其餘測站的著生深度皆變淺,此可能與各測站水體的濁度明顯上升有關。

3.3.3 海藻種類季節性變化與不同區域上著生的分析

在物種相似性(CZ)及共有種率(PS)比較上(如表 3-1 表 3-3、表 3-4 表 3-6),依本研究實測調查結果顯示,測站一與測站二的相似度及共有種率較為接近,測站三與測站四的相似度及共有種率較為接近。測站一及測站二位於大鵬灣的導流堤,測站三及測站四位於林邊海域的離岸堤,顯示相近的地域其海藻物種的相似度較為相近。

在不同區域之多樣性分析比較上(如圖 3-3 圖 3-5),大鵬灣導流堤之測站,第二季測站一及測站二的多樣性(平均 $H' = 1.48$)較第一季(平均 $H' = 1.98$)減少;而林邊離岸堤之測站,第二季測站三及測站四的多樣性(平均 $H' = 2.30$)則較第一季(平均 $H' = 1.98$)略為增加。第二季的海藻豐富度雖然較第一季為高,但海藻物種數則第二季較第一季低,由此可知第二季的海藻豐富度增加,為少數優勢藻種增加所致。

第四章 海藻與環境因子相關性分析

綜合本研究辦理南部大鵬灣及林邊兩處海域之海藻著生狀況與水質環境之調查結果，進一步探討分析海藻著生效果與水質環境因子、照度、水深之相關性，以及不同海岸保護結構物型式在海藻著生效果之差異性，俾供作為將來於台灣地區海岸發展藻場造成型海岸保護結構物之可行性、對象海藻、發展型態等之參考與依據。

4.1 海藻著生效果與水質環境

依據本研究三季次之海岸現場調查，前二季海水水質之結果顯示，在鹽度、pH 值與溶氧量方面，雖然呈現季節性及區域性變化，但皆屬於正常一般沿岸海水之範圍，均合乎甲類海域地面水體水質標準(環保署，1998)。

在各監測點之水體營養鹽，由三季次中之前兩季之監測結果比較發現，氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮)於兩季檢測結果測值相近，而磷酸鹽及光照度檢測結果則第二季測值高於第一季。各監測點之水體營養鹽 N/P 比(圖 4-1)大約為 4.3，低於理論值(16)，顯示兩區域水體均為氮限。

另外，綜合比較第一季與第二季的水質，發現第一季營養鹽較第二季來的高，然海藻豐富度卻以第二季較高，顯示第一季的營養鹽提供了第二季海藻大量生長的一個條件。第三季的海藻著生量降為本調查期間的最低點，與海藻壽命長度(約 3-6 個月)和孢子萌芽所需的水溫(約攝氏 25 度左右)相互影響所造成。本研究雖已有三季次之調查資料，惟仍屬短期之調查，對於南部海岸結構物之海藻著生與各項水質條件之間的現象及推論，仍需要更長期的監測及觀察，才能有更進一步的定論。

4.2 海藻著生與光照度環境

依據本研究三季次之海岸現場調查，由光照度與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DIN、DIP、N/P ratio 之相關性，如圖 4-2 所示，發現光照度與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DIN、N/P ratio 均呈負相關性，顯示光照度愈強各種藻類吸收氮的能力也愈強；此結果與海藻豐富度在第二季有明顯上揚的結果相符合。另一方面，第三季海藻生產量的大量下滑反應在 N/P ratio 的上揚。

一般而言，潮下帶的海藻的種數及豐富度普遍仍低於潮間帶的繁生情形，可能因潮下帶的海藻受到低光照度的影響；因此，可推論光度為影響海藻著生因素之一。至於潮下帶測站的海藻著生量的減少，可能與各測站的濁度上升有相關性。大鵬灣及林邊測站海藻著生與光照度、濁度及水溫之分析，如表 4-1 4-2 所示。

另外，如前述之海藻著生與海水水質分析檢討，第二季的海藻著生量較高，而第三季的海藻著生量為本調查期間的最低；除顯示反應第一季的營養鹽提供了第二季海藻大量生長的一個條件外，因海藻壽命長度（約 3-6 個月）和孢子萌芽所需的水溫（約攝氏 25 度左右），溫度及光強度在第二季有所增加，故在營養鹽及溫度、光強度等之相互影響，或許也是影響海藻豐富度的重要因子。然而，有關海藻著生與各項水質條件之間的現象及推論，仍需要更長期的監測及觀察，才能有更進一步的定論。

表 4-1 大鵬灣測站海藻著生與光照度、濁度及水溫之分析表

位置	季別	測站別	總豐富度	物種數	濁度 (ntu)	光照度	水溫()
潮間帶	第一季 (2 月)	測站一	56 %	6	4.5	707	24.6
		測站二	49.6 %	11	4.6	838	24.4
	第二季 (5 月)	測站一	33.6 %	5	3.5	2,598	30.0
		測站二	53.12 %	10	2.0	2,327	30.1
	第三季 (8 月)	測站一	1.0 %	4	7.1	2,439	29.4
		測站二	1.31 %	5	7.1	2,765	29.9
潮下帶	第一季 (2 月)	測站一	12.2 %	6	4.5	144	24.3
		測站二	10.3 %	5	8.7	231	24.4
	第二季 (5 月)	測站一	9.0 %	5	1.4	251	29.9
		測站二	29.04 %	6	2.5	398	30.6
	第三季 (8 月)	測站一	0.1 %	1	10.2	241	29.3
		測站二	0	0	10.1	211	29.6

註：水深指水面至水底之深度

表 4-2 林邊測站海藻著生與光照度、濁度及水溫之分析表

位置	季別	測站別	總豐富度	物種數	濁度 (ntu)	光照度	水溫()
潮間帶	第一季 (2 月)	測站三	69.3 %	13	9.8	1,228	25.0
		測站四	46.2 %	11	12.4	939	24.9
	第二季 (5 月)	測站三	58.08 %	11	2.8	2,221	29.8
		測站四	82.32 %	9	2.6	2,871	31.3
	第三季 (8 月)	測站三	8 %	4	10.4	3,163	29.4
		測站四	4 %	4	10.9	2,765	29.5
潮下帶	第一季 (2 月)	測站三	10.3 %	6	12.6	87	25.1
		測站四	6.82 %	7	15.2	87	24.9
	第二季 (5 月)	測站三	34.48 %	10	0.7	608	29.7
		測站四	45 %	5	0.6	1,467	30.6
	第三季 (8 月)	測站三	0.7 %	2	13.2	256	29.2
		測站四	1.1 %	2	15.9	227	29.3

註：水深指水面至水底之深度

4.3 海藻著生與基質環境

依本研究之實地調查台灣南部大鵬灣及林邊兩處海域之海藻著生狀況結果，發現海藻大多著生在堅硬的消波塊、石塊之頂部、側面及斜邊等受光處，只要是裸露，未被沙礫覆蓋的區域，皆有觀察到海藻覆蓋的情形。然而，隨著基質慢慢由裸露的石塊或消波塊轉變成沙礫覆蓋較多的區域，會觀察到海藻覆蓋呈現一逐漸遞減的趨勢；即藻類分布之水深並非一直延伸至結構物所拋放消波塊之水深；如大鵬灣之測站二，水深為 2.5m，但藻類分布之水深僅至 0.9m；林邊之測站三，水深為 1.0m，但藻類分布之水深僅至 0.4m，本研究各測站海藻著生深度與水深之關聯性分析，如表 4-3 所示。

本研究調查以綠藻門的石蓴科為絕對優勢藻種，其生長期為 2~5 月，生育水深為 0~1m；依據藻類分布之水深初步研析，大鵬灣測站第一及第二季（即 2~5 月）之藻類分布水深為 0.5~0.9m，尚與石蓴科生育水深相近，而林邊測站第一及第二季（即 2~5 月）之藻類分布之水深僅至 0.4~0.7m；此可能與林邊海域為漂砂海域，且離岸堤後側較易產生淤沙效應有關聯（林邊海域潮下帶之濁度明顯較高）。

顯然，當基質慢慢由裸露的石塊或消波塊轉變成沙礫覆蓋較多的區域時，因沙礫形式的基質不適合海藻的著生，而消波塊、石塊之頂部、側面及斜邊等未被沙礫覆蓋的區域，皆為海藻著生較佳的基質。

此外，本研究調查也發現，調查樣區附近為沙粒性質的底質，因調查地點常有強勁的海浪衝擊，在最底處的石塊或消波塊不適合海藻的著生。海藻的藻體可能因會遭受到沙粒的覆蓋，亦或是沙粒衝擊時所帶來的物理性傷害，這或許是一項限制台灣南部林邊海域及大鵬灣導流堤附近潮下帶海藻生長的一項環境因素。

表 4-3 本研究各測站海藻著生深度與水深關聯性分析

區域	季別	測站別	位置	總豐富度	光照度	濁度	水深 (cm)	藻類分佈最深 深度 (cm)
大鵬灣	第一季	測站一	潮間帶	56 %	707	4.5	0	0
			潮下帶	12.2 %	144	4.5	100	60
		測站二	潮間帶	49.6 %	838	4.6	0	0
			潮下帶	10.3 %	231	8.7	250	90
	第二季	測站一	潮間帶	33.6 %	2,598	3.5	0	0
			潮下帶	9.0 %	251	1.4	100	50
		測站二	潮間帶	53.12 %	2,327	2.0	0	0
			潮下帶	29.04 %	398	2.5	130	60
	第三季	測站一	潮間帶	1.0 %	2,439	7.1	0	0
			潮下帶	0.1 %	241	10.2	60	30
		測站二	潮間帶	1.31 %	2,765	7.1	0	0
			潮下帶	0 %	211	10.2	120	60
林邊	第一季	測站三	潮間帶	69.3 %	1,228	9.8	0	0
			潮下帶	10.3 %	87	12.6	100	40
		測站四	潮間帶	46.2 %	939	12.4	0	0
			潮下帶	6.82 %	87	15.2	100	40
	第二季	測站三	潮間帶	58.08 %	2,221	2.8	0	0
			潮下帶	34.48 %	608	0.7	110	65
		測站四	潮間帶	82.32 %	2,871	2.6	0	0
			潮下帶	45 %	1,467	0.6	110	70
	第三季	測站三	潮間帶	8 %	3,163	10.4	0	0
			潮下帶	0.7 %	256	13.2	60	35
		測站四	潮間帶	4 %	2,765	10.9	0	0
			潮下帶	1.1 %	227	15.9	70	35

註：水深指水面至水底之深度

4.4 海藻著生與水深環境

如前海藻著生與基質環境之探討，依本研究之實地調查台灣南部大鵬灣及林邊兩處海域之海藻著生狀況結果，發現兩處區域潮間帶之海藻總豐富度及物種數，都較潮下帶為多；而隨著潮下帶之水深漸深，海藻覆蓋呈現逐漸遞減的趨勢，即藻類分布之水深並非一直延伸至結構物所拋放消波塊之水深。

本研究調查四測站中，以大鵬灣之測站二，即水深 2.5m，藻類分布水深至 0.9m，與絕對優勢藻種之綠藻門的石蓴科之生育水深為 0.1m 較為接近；就位置而言，或許因為大鵬灣之測站二係位於大鵬灣導流堤之內側，其水深可能較不受沿岸漂砂所影響，而造成濁度較小，藻類分布水深受其他生長環境因子限制之原因相對較少。濁度影響藻類分布之水深，亦可由林邊海域之測站三及測站四可約略有相似之結果，其於第二季時潮下帶之濁度為林邊海域之最低（0.6~0.7），藻類分布水深可至 0.65~0.7m，遠大於第一季之 0.4m 及第三季之 0.35m。

以本研究調查南部海域之底質特性皆為砂質海岸，因冬季時南部海域受台灣本島之遮蔽，海域風浪皆不大；夏季時因海岸走向與季節風浪垂直，無論大鵬灣或林邊海域，潮下帶之濁度都明顯增加；尤其林邊海域因係為離岸堤構造，更相對提供堤後淤沙之效果，造成濁度之增加與基質之變化，致林邊海域藻類分佈之水深皆較同季次之大鵬灣測站為低（0.6~0.7）。

就生態觀點而言，藻類分布之水深應與當地水質環境及優勢藻種之生育特性有絕對直接關聯，亦即如其生長環境因子適合時，如水深夠深，在水質與季節等環境因子相似或符合優勢藻種之生育特性時，應無太大區域性之變化，除非受其他生長環境因子所限制。依本研究調查初步研判，影響或限制藻類分布水深之因子，水深條件環境相對於濁度與基質而言似較小；然而，有關海藻著生與水深環境條件之間的現象及推論，仍需要更長期的監測及觀察，才能有更進一步的定論。

4.5 海藻著生與結構物形式

依據本研究三季次之實地調查發現，海藻主要著生於消波塊、石塊之頂部、側面及斜邊等受光處，即使是光滑的混凝土、石塊表面亦可發現。這些著生地點皆有強勁的海浪衝擊，而這些附著在消波塊和石塊上的海藻種類均有強韌的附著器以因應強勁的海流。此結果顯示，西南沿海的砂岸，只要有人工結構物，如消波塊或石塊，皆可提供多樣化的海藻來附著並生長。

就本研究調查台灣南部大鵬灣及林邊兩處海域之結構物而言，大鵬灣（測站一及測站二）為導流堤（垂直海岸之消波塊突堤），而林邊（測站三及測站四）為離岸堤（平行海岸之消波塊堤）。以同季次之潮間帶總豐富度相互比較，第一季大鵬灣為 49.6 % 56 %，林邊為 46.2 % 69.03 %；第二季大鵬灣為 33.6 % 53.12 %，林邊為 58.08 % 82.32 %；第三季大鵬灣為 1.0 % 1.31 %，林邊為 4.0 % 8.0 %；因此，林邊之離岸堤（測站三及測站四），其潮間帶之總豐富度都較同季次時大鵬灣之導流堤（測站一及測站二）為高。

就海域結構物之型式而言，林邊離岸堤測站之潮間帶海藻總豐富度都較同季次時大鵬灣導流堤之測站為高，此可能與大鵬灣及林邊兩處海域結構物之不同有相關；初步研判可能與下列幾項因子有關：

- 1.因林邊測站為離岸堤型式，設置之水深較深，其消波塊受潮水之影響時間較長，因此海藻總豐富度較高。
- 2.就海岸結構物消波塊、石塊堆積之斜度而言，林邊離岸堤之消波塊坡度為 1：6，而大鵬灣導流堤之消波塊坡度為 1：3；故如就相同水深而言，林邊為離岸堤型式，其消波塊受潮水影響之斜邊較長、表面積較多，因此林邊海藻總豐富度較大鵬灣為高。
- 3.就海岸結構物鋪設消波塊之差異而言，林邊離岸堤之消波塊為 10 噸力川塊，大鵬灣導流堤之消波塊為 10 噸三角鼎型塊；兩者之噸數相同，但型式稍有不同。10 噸力川塊之表面積為 25.99m^2 （不含底模），

10 噸三角鼎型塊之表面積為 21.39m^2 (不含底模), 即在相同噸數時, 林邊離岸堤消波塊之表面積約為大鵬灣導流堤之 1.215 倍, 惟此僅就消波塊個體而言。另影響單位長度之表面積的因素尚有消波塊之孔隙率、消波塊之排列方式等因素, 依據結構物設計斷面及現場勘查, 就每一斷面之單位長度而言, 大鵬灣導流堤之消波塊係以六塊密集排列, 而林邊離岸堤之消波塊以三塊整齊排列, 故每一斷面之消波塊總表面積, 大鵬灣導流堤較林邊離岸堤為大。因此, 就海岸結構物鋪設消波塊之差異性而言, 仍需要更長期的監測及觀察, 才能有更進一步的定論。

4. 林邊離岸堤係於民國 80 年 4 月完成, 大鵬灣導流堤則於 76 ~ 86 年陸續施作; 故就施設之年代而言, 林邊離岸堤之結構物存在時間較長, 海域結構物施設之年代或許亦為影響海藻著生效果與豐富度因素之一, 惟此仍需要更進一步長期的監測及觀察。

綜合而言, 就本研究目前之調查結果分析, 海岸結構物型式之差異性, 如離岸堤或導流堤、消波塊型式等等而言, 仍需要更長期的監測及觀察, 才能有更進一步的定論。然而依本研究實地調查研究發現, 海藻生長位置主要還是位在潮間帶海浪衝擊時有水淹沒之處, 而潮間帶較上部位之海藻就較潮間帶下部來的少, 而背光處則較少觀察到海藻的著生狀況。因此, 海岸結構物只要會被海水淹沒或拍打之處, 皆可觀察到海藻的生長, 而結構物的形狀及形式, 以能夠有較多暴露面積且受光之區域將有較多的海藻覆蓋。

第五章 台中港區空氣懸浮微粒特性

空氣污染放射物可能對大都市附近的沿海地區和工業中心具有強大衝擊(Eisenreich 等人, 1997)。人為所產生的空氣污染在亞洲過去的十年大大的增加, 懸浮微粒在台灣變成一個嚴重的污染問題(Lee 等人, 2001)。根據先前研究, 微粒問題具潛在不利於健康的影響, 因此控制或管理這些污染物具必要性。依 Fang 等人(2002) 研究指出, 空氣中任何一個總懸浮微粒 (Total Suspended Particulate, TSP) 或是微粒直徑小於 $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) 以及更小於 $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) 均與健康有關。粗微粒(直徑 $\text{PM}_{2.5-10}$)和細微粒(直徑 $<\text{PM}_{2.5}$)來源和特性對健康的影響程度不同, 細微粒不僅容易穿透進入肺臟, 而且很可能增加呼吸道和突變等疾病。大氣氣象的特性影響浮微粒的濃度、成分和微粒大小, 而大氣中的微量金屬是乾沉降污染物的重要成分。Holsen 等人(1992) 以及 Davidson 等人(1985) 在數個國家的流行病學研究中指出, 暴露於微粒環境下不利於健康, 包括增加死亡率、呼吸的住院醫療、心血管疾病、呼吸症狀及肺功能降低。本章研究目的為利用台中港區環境中空氣微粒濃度以及金屬元素調查結果, 以統計方法, 分析其相關性並提出迴歸方程式。

5.1 研究方法及步驟

本研究空氣微粒採樣地點為台灣中部台中港區如圖 1 所示, 採樣時間為 2004 年 3 月至 2005 年 1 月。台中港位於台灣中部的西海岸, 北方邊界為大甲溪南岸, 南方邊界是大肚溪北岸, 東方邊界為臨海路, 西方的邊界是台灣海峽 港口的長度是 12.5 公里, 寬度 2.5 ~ 4.5 公里, 面積是 3,760 平方公頃, 港區陸地區域為 2,800 平方公頃, 水域面積為 960 平方公頃。



圖 5-1 採樣地點為台中港西一碼頭之宏恕倉儲頂樓 3 樓
(照片來源：台中港務局網站)

研究方法及步驟說明如下：

1. 樣品收集

以 PS-1(GPS1 PUF) 採樣器採樣流量在 280 公升/分鐘以下之懸浮微粒,在此項研究中流量設定為 200 公升/分鐘,另外以 Universal Air 型號 310 泛用型多功能採樣器採樣高流量懸浮微粒,本研究流量設定為 300 公升/分鐘。以石英過濾器(直徑 10.2 cm) 過濾懸浮微粒,採集樣品後,過濾器置於烘箱 24 小時後,於溼度 $50\pm 5\%$ 及溫度 30 ± 5 條件稱重。

2. 氣象資料收集

WatchDog 氣象站在採樣期間提供風速、風向、溫度和濕度等資料。

3. 分析方法及步驟

本研究以微粒資料(TSP, $PM_{2.5-10}$ 和 $PM_{2.5}$)和氣象資料(溫度、相對溼度,風速和風向)進行統計分析。利用非參數(Spearman)相關分析探討金屬相關係數,以及微粒與氣象數據之相互關係,並利用 SPSS-10.0 進行迴歸相關分析。

5.2 分析結果

5.2.1 氣象特性

採樣時間為 2004 年 3 月至 2005 年 1 月中包含 1 年 4 個不同季節，於台中港區進行，採樣收集 40 組的部份樣品。採樣分析結果如表 1 所示，表中採樣資料包括溫度()、相對溼度(%)、風速(ms^{-1})及風向等。結果顯示平均溫度是 18.99，平均風速為 9.12 ms^{-1} ，平均相對濕度為 82.17%，採樣地區(台中港區)具有較高的溼度，優勢風向為 NNW。四季中以夏季平均溫度以及相對溼度較高，風速則以冬季較大。

表 5-1 採樣期間不同粒徑之微粒濃度及氣象資料表

季節	月份	TSP (μgm^{-3})	PM _{2.5} (μgm^{-3})	PM _{2.5-10} (μgm^{-3})	相對溼度 (%)	溫度 ()	風速 (ms^{-1})	風向
春	3	186.55	54.79	29.03	86	16.50	13.6	NNE
	4	171.25	52.89	38.26	83	19.10	9.8	NNW
	5	160.63	44.79	34.10	84	21.70	8.6	NNW
夏	6	143.55	32.4	27.44	84	22.50	8.7	NNE
	7	121.84	47.05	18.14	86	22.60	7.2	NE
	8	118.32	33.02	15.55	87	22.80	7.8	SWW
秋	9	144.34	39.76	22.44	88	21.80	8.2	SWW
	10	157.56	36.92	20.45	79	19.00	8.5	NNE
	11	163.95	49.63	29.35	78	18.50	8.3	NE
冬	12	173.75	52.31	39.93	77	15.60	9.7	NW
	1	175.61	46.02	38.22	78	13.50	10.4	NNW
	2	170.43	42.56	35.42	76	14.32	8.6	NW
平均		157.31	44.35	29.86	82.17	18.99	9.12	NNW

5.2.2 微粒濃度特性

由表 5-1 不同粒徑下各微粒平均濃度值 (TSP、 $PM_{2.5-10}$ 和 $PM_{2.5}$) 採樣分析結果顯示，總懸浮微粒濃度 TSP 年平均值為 $157.31\mu g m^{-3}$ ， $PM_{2.5-10}$ 和 $PM_{2.5}$ 平均濃度值分別為 29.86 和 $44.35\mu g m^{-3}$ 。在不同季節比較上，冬季的 TSP、 $PM_{2.5-10}$ 和 $PM_{2.5}$ 有較高平均濃度。由於在春季採樣期間內有沙塵暴發生，故在春季亦有較高的濃度值發生。但整體而言，台中港區冬季仍然擁有較高的 TSP 平均濃度。另外，其春天分別與夏天、秋天及冬天的 TSP 微粒平均濃度比為 1.35、1.11 和 1，而春天分別與夏天、秋天和冬天的 $PM_{2.5-10}$ 微粒平均濃度比為 1.82、1.54 和 1.08。此外，春天分別與夏天、秋天和冬天的 $PM_{2.5}$ 微粒平均濃度比為 1.36、1.21 和 1.08。圖 5-2 為採樣期間在台中港區的 TSP 的季節性變化圖。圖形顯示 TSP 濃度於 1 年期間的分佈變化趨勢如餘弦函數。最低和最高的 TSP 微粒濃度分別發生在 8 月 和 3 月。圖 5-3 顯示 $PM_{2.5-10}$ 濃度均高於 $PM_{2.5}$ ，其分佈趨勢亦類似餘弦函數。最低和最高的 $PM_{2.5-10}$ 微粒濃度亦分別發生在夏季的 8 月和冬季的 12 月。最低的 $PM_{2.5}$ 發生在夏季的 8 月而最高的 $PM_{2.5}$ 發生在春季的 3 月。

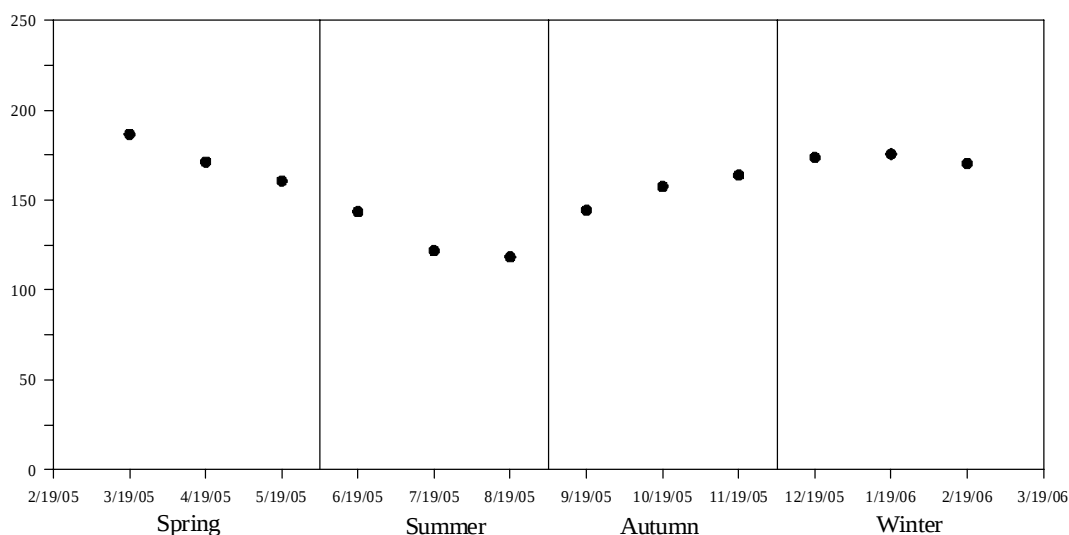


圖 5-2 台中港區不同時間的 TSP (•)平均濃度分布

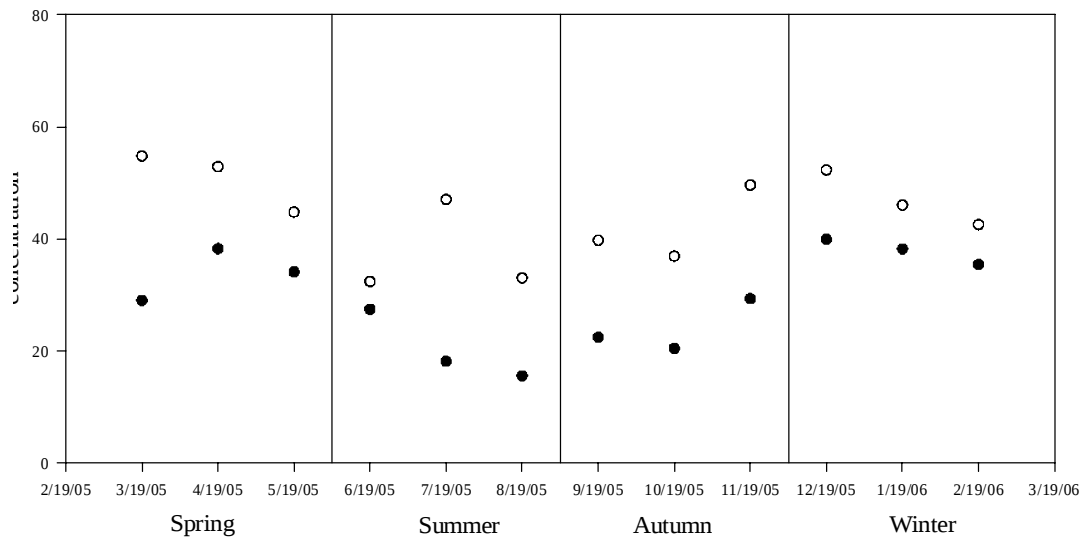


圖 5-3 台中港區不同時間的 PM_{2.5-10} (●)和 PM_{2.5} (○)平均濃度分布

5.2.3 金屬微粒濃度特性

圖 5-4 為採樣期間金屬元素(鐵 Fe、鎂 Mg、鉛 Pb、鋅 Zn、鉻 Cr、錳 Mn 和銅 Cu) 不同粒徑微粒的平均濃度比較圖。圖中顯示上述金屬元素的不同粒徑微粒濃度大小依序為 TSP > PM_{2.5-10} > PM_{2.5}。三種粒徑微粒濃度以鐵及鎂差異較為明顯，採樣金屬元素中以鐵、鎂及鋅的 TSP 濃度較高，以錳和鉛的 TSP 濃度較低。所有採樣金屬元素的 TSP 濃度以春季及冬季較高，相對夏季及秋季較低。PM_{2.5-10} 及 PM_{2.5} 一年平均濃度大小依序為鐵、鎂、鋅、銅、鉻、錳及鉛。鐵及鎂元素的 PM_{2.5-10} 濃度以春季濃度較高，其他金屬元素則四季變化不大。此外，各金屬元素 PM_{2.5} 濃度在不同季節的變化差異不大。

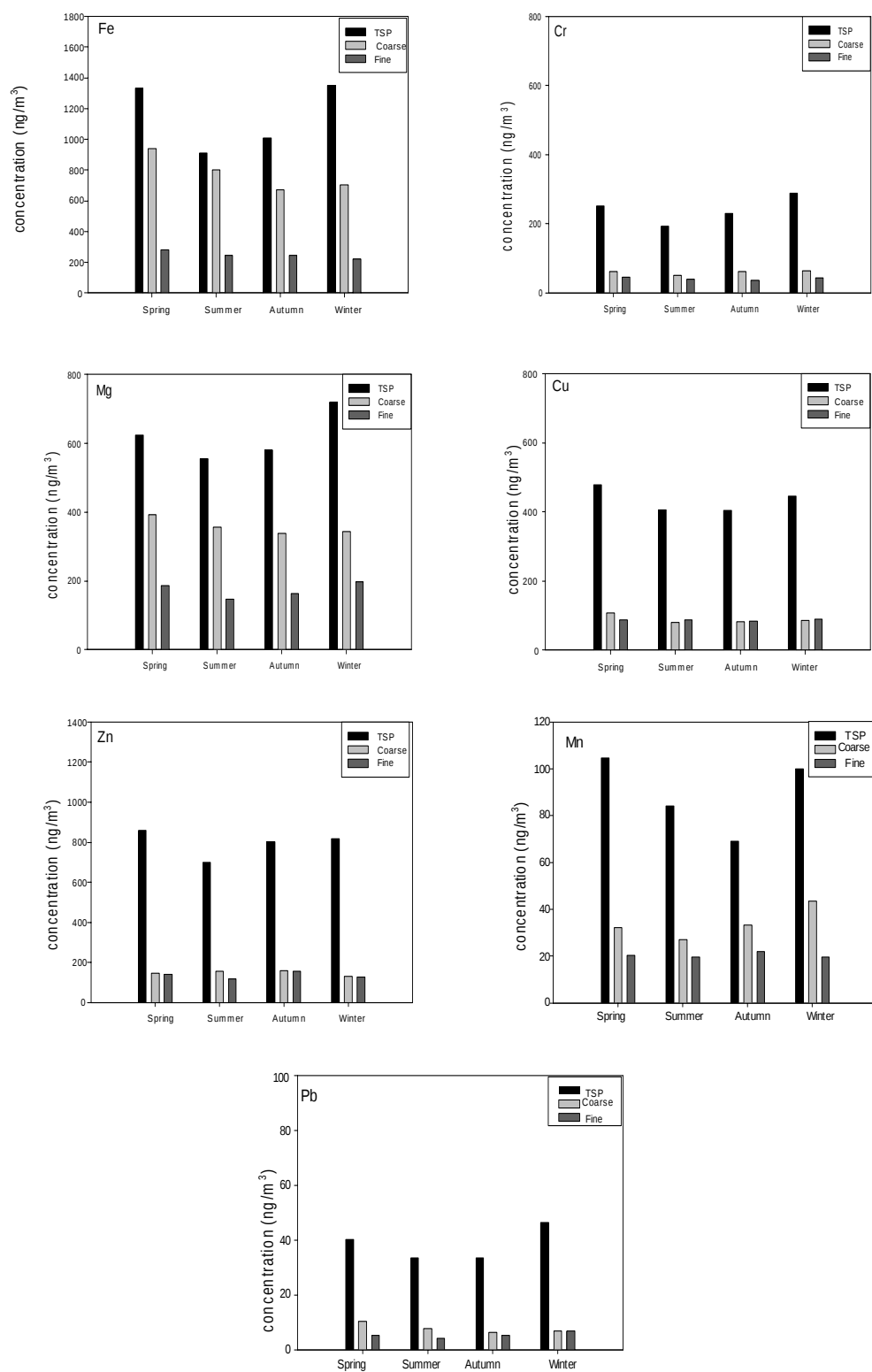


圖 5-4 台中港區不同季節之不同微粒金屬元素平均濃度比較圖
(鐵、鎂、鉻、銅、鋅、錳和鉛)

5.2.4 金屬微粒間之相關性

表 5-2 為不同粒徑濃度與各金屬之相關性分析結果，在 TSP 濃度部分，金屬元素鐵和鋅有較高的相關性($R^2=0.76$)。在粗微粒 $PM_{2.5-10}$ 部分，鐵與鎂、錳、銅之間有較高相關性($R^2=0.73-0.82$)。在細微粒 $PM_{2.5}$ 濃度方面，鐵和鎂有高相關性($R^2=0.73$)。以上顯示在粗微粒 $PM_{2.5-10}$ 與細微粒 $PM_{2.5}$ 比較上，鐵和鎂均有較高的相關性($R^2=0.73$)。

表 5-2 台中港區不同微粒濃度之金屬元素間相關性比較表

TH-TSP							
Species	Fe	Mg	Pb	Zn	Cr	Mn	Cu
Fe	1.00						
Mg	0.30	1.00					
Pb	0.13	0.23	1.00				
Zn	0.76**	0.17	0.41	1.00			
Cr	0.31	0.32	0.25	0.33	1.00		
Mn	0.36	0.42	0.17	0.16	0.53	1.00	
Cu	0.30	0.37	0.04	0.47	0.13	0.34	1.00
TH- $PM_{2.5-10}$							
Species	Fe	Mg	Pb	Zn	Cr	Mn	Cu
Fe	1.00						
Mg	0.73**	1.00					
Pb	0.35	0.41	1.00				
Zn	0.58	0.35	0.32	1.00			
Cr	0.31	0.50	0.26	0.21	1.00		
Mn	0.76**	0.71	0.31	0.12	0.61	1.00	
Cu	0.82**	0.32	0.01	0.38	0.12	0.49	1.00
TH- $PM_{2.5}$							
Species	Fe	Mg	Pb	Zn	Cr	Mn	Cu
Fe	1.00						
Mg	0.73**	1.00					
Pb	0.64	0.33	1.00				
Zn	0.48	0.16	0.24	1.00			
Cr	0.25	0.69	0.36	0.31	1.00		
Mn	0.37	0.65	0.28	0.18	0.35	1.00	
Cu	0.26	0.32	0.14	0.51	0.18	0.37	1.00

5.2.5 金空氣微粒與氣象參數之相關性

本研究利用 Spearman 作相關性分析，探討環境空氣微粒 (TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5})與氣象資料間之相互關係。表 5-3 為微粒物質和氣象參數間的相關性比較表，表中顯示台中港區的 TSP 和 PM_{2.5-10} 微粒濃度與風速和溫度有較高的相關性 ($R^2=0.755$ 0.881)，而 PM_{2.5} 微粒濃度和氣象參數之間的相關係數較小，相關性不高。

表 5-3 台中港區採樣地點微粒濃度係數和氣象參數之相關係數

	TSP	PM _{2.5-10}	PM _{2.5}	Temperature	Relative humidity	Wind speed	Wind direction
TSP	1.0						
PM _{2.5-10}	0.930**	1.0					
PM _{2.5}	0.727**	0.713**	1.0				
Temperature	-0.881**	-0.755**	-0.462	1.0			
Relative humidity	-0.545	-0.527	-0.228	0.784**	1.0		
Wind speed	0.855**	0.872**	0.480	-0.658**	-0.386	1.0	
Wind direction	-0.021	0.075	-0.271	-0.014	0.090	-0.016	1.0

根據上述 spearman 相關性分析結果，以 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 與風速和溫度利用 SPSS-10 建立迴歸方程式。微粒濃度特性函數 F 可表示為

$$F = f(\text{wind speed}, \text{temp}, \gamma_i) \dots\dots\dots (5-1)$$

則 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 濃度之迴歸方程式可表示為

$$F = \alpha_1 + [\beta_1(\text{wind speed}) + \beta_2(\text{temp})]\cos[\beta_3(\gamma_i/12) + \beta_4]^n \quad (5-2)$$

式(5-1)及式(5-2)中的 F 表示微粒濃度(μgm^{-3})， temp 表示溫度()， wind speed 表示風速 (m/s)， γ_i 是一年的連續月份， α_1 、 β_1 、 β_2 、 β_3 和 n 為迴歸係數。式 (5-2) 為 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 微粒濃度

的預測方程式。迴歸係數 α_1 為微粒濃度平均數值，係數 β_1 (wind speed) 和 β_2 (temp) 為式(5-2) 的次要變化量的振幅。式 (5-2)中若扣除平均值後，顯示 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 濃度隨不同風速、溫度和不同月份將呈現餘弦函數的變化趨勢。表 5-4 為迴歸分析的結果，表中顯示 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 微粒濃度和氣象參數(風速及溫度)迴歸分析的相關係數 (R^2)，其範圍分別是 0.664 至 0.935，其中以 TSP、PM_{2.5-10} 的迴歸方程式相關係數達到 0.9 以上，具有高度的相關性。

表 5-4 不同微粒濃度之迴歸係數

Regression Coefficients \ Particulate Size	α	β_1	β_2	β_3	β_4	n	R^2
TSP	177.87	-8.79	5.23	3.42	0.92	1	0.935
PM _{2.5-10}	17.02	0.27	1.34	3.21	-0.57	2	0.915
PM _{2.5}	37.52	0.77	0.45	4.13	-1.08	4	0.664

由以上分析結果顯示：台中港區採樣地點平均總懸浮微粒(TSP)、粗微粒(PM_{2.5-10})和細微粒(PM_{2.5})平均濃度分別為157.31、29.86 和 44.35 μgm^{-3} ，冬季的TSP、PM_{2.5} 和 PM_{2.5-10}具有較高平均濃度。金屬元素(鐵Fe、鎂Mg、鉛Pb、鋅Zn、鉻Cr、錳Mn和銅Cu)不同粒徑微粒濃度大小為 TSP > PM_{2.5-10} > PM_{2.5}。金屬元素的TSP濃度以春季及冬季較高，相對夏季及秋季較低。金屬元素鐵和鋅在TSP濃度中有較高的相關係數，而金屬元素鐵與鎂在粗微粒PM_{2.5-10}和細微粒PM_{2.5}濃度中具有較高相關性。總懸浮微粒TSP 和粗微粒PM_{2.5-10}濃度與風速和溫度有較高的相關性，在一年間的週期濃度變化中，可以餘弦函數的迴歸方程式描述其分佈的特性。

第六章 波浪通過系列潛堤擴散特性

系列潛堤為柔性保護工法，由於潛沒海中不影響海洋視覺景觀及阻礙民眾親水，且設置水深約為 10~20m，其結構物本身適合海中動植物的生存，故系列潛堤除防災功能外，亦具有景觀、親水及生態之功能。過去對於系列潛堤的研究，均著重在防災功能的探討，蔡等人(2005)對於實際應用在台灣海岸現場，已提出整個設計的方法及步驟，亦證實其應用在現場的可行性。為探討波浪通過系列潛堤堤前污染物擴散情形，本研究於 94 及 95 年進行一系列的水工模型試驗，茲將試驗設備與儀器、試驗步驟與方法以及試驗結果分述如下。

6.1 試驗設備及儀器

1. 斷面水槽

試驗水槽長 100 公尺×寬 1.5 公尺×高 2 公尺。試驗水槽前端設置一造波機，尾端設有消波設施，水槽中段有兩處 10 公尺長的玻璃壁，藉透明玻璃觀察試驗進行時波浪的變化過程，其餘水槽兩側以及底部均為光滑不銹鋼板。光滑不銹鋼表面可以減小波浪通過時與牆壁及底床的摩擦力，減小能量損失。

2. 造波機

造波機為丹麥水工試驗所(DHI) 出品的直推式油壓式造波機，藉由電腦程式控制，依試驗需求造出各種不同條件的規則波。藉由電腦程式設定，依試驗需求可造出各種不同條件的規則波浪。

3. 容量式波高計、增幅器、資料擷取系統

本試驗之水位訊號係以採用 35 公分及 25 公分長兩種型式容量式波高計所量得，共 8 支，分別置於試驗水槽中。當波高計因不同高度之水位改變電壓值輸出，利用增幅器(amplifier)將電壓值放大，再利用資料擷取系統將各波高計擷取之類比(analogue)訊號轉換為數位(digital)訊號，以利電腦處理分析所得之波浪資料。

4. 導電度計、蠕動泵浦及資料擷取系統

本試驗之污染源濃度(氯化鈉濃度)係以測導電度的原理所量得，導電度計共 17 支，分別置於試驗水槽中。量測範圍為 0~20000 $\mu\text{s/cm}$ ，精確度為 $\pm 2\%$ ，量測容許溫度為 0-80°C，偵測器尺寸為直徑 1.5 公分、長 15 公分，偵測電極端無包覆以正確量測水流變化之鹽水擴散。為使氯化鈉試劑(鹽水)平均且準確灑入水槽，本試驗利用一機多管蠕動泵浦(如照片 6-1)，流量範圍為 5 ~ 3400 ml/min (每部) 以上。每部管數為 4 管，使用兩部總共為 8 管，流量誤差為 $\pm 2\%$ 。每部具有可操控速度、運轉方向、啟動、停機、逆洗及關機等功能，試劑噴頭則採用具可調角度及噴灑集中分散均勻功能的銅製噴頭。利用內徑 6mm 外徑 10mm 的矽膠管，連接試驗鹽水經蠕動泵浦延續至試驗水槽靜水面上 10cm，再接噴頭均勻佈置在 1.5m 水槽斷面上。當蠕動泵浦壓送鹽水 (NaCl) 均勻撒入水槽中，因波浪水流、鹽水本身擴散以及沉降作用，不同位置的鹽水濃度因而變化。導電度計因不同鹽水濃度產生導電度連續變動，變動訊號經轉換盒傳送到資料擷取系統 (VR18 無紙記錄器)，再經由記錄器的儲存媒體將數據傳輸到電腦中，以便分析所得之濃度資料。

6.2 試驗步驟及方法

6.2.1 儀器及試劑率定

1. 波高計率定

利用波高計率定桶，分別對 8 支波高計進行率定。每支波高計改變不同的水位，根據不同水位的電壓值，設定不同的放大率，本研究以 2.0cm/volt 為率定基準。

2. 造波機波高率定

本研究需造出不同週期(1.02sec ~ 3.38cse)和固定波高(8cm)之波浪條件，試驗前對造波機及控制系統進行率定，調整造波機之衝程及週期，使造出之波浪符合預期需求。

3. 蠕動幫浦流量率定

為使每部蠕動幫浦之每支押送管，所送出之溶劑量為設定值，需對蠕動幫浦流量作率定。每部蠕動幫浦首先調整(1 次 4 支)總調開關，使 4 支管總流量為所設定值(3L/min)，再作每支微調成相同流量(0.75L/min)，最後再作總量調整為 8 支噴頭總共流率為 6L/min=0.1L/sec，均勻噴灑到 1.5m 寬的斷面水槽。

4. 鹽水濃度率定

任何濃度已知的溶液稱為標準溶液 (standard solution)。溶質於溶液中的濃度通常表示為溶液單位重量或體積中所含溶質的重量或體積。通常重量單位是克，體積單位是升。本研究應用上，把克換為莫耳，其所表示的濃度為莫耳濃度 (molarity)，為每升溶液中所含溶質的莫耳數。莫耳濃度(M 或 mol/L) = 溶質莫耳數 / 溶液體積(升)。一莫耳濃度的溶液，寫成 1M，即將足量的水加入一莫耳物質，使配

成恰為一升的溶液。若為 1M NaCl (分子量為 58.5) 溶液可稱取 58.5g 的 NaCl，加水達到 1 升。本研究所使用之氯化鈉標準溶液之濃度為 1M 以及 0.5M。

5. 導電度計率定

首先將適量試藥氯化鈉加入適量蒸餾水量取導電度值，再逐次加 5 1000ml 不等之純水(蒸餾水)，測其導電度值，導電度值以及溶液體積關係圖如圖 6-1 所示，圖 6-2 則為換算成莫耳濃度(M)與導電度值關係圖，圖 6-1 及圖 6-2 中實線為其試驗值之迴歸曲線，迴歸曲線的方程式如式 6-1 及式 6-2，其中 $\hat{C}$ 為導電度值， C 為氯化鈉莫耳濃度值， V 溶液之體積。

$$\ln(\hat{C}) = -0.8819 \ln(V) + 4.860 \dots\dots\dots(6-1)$$

$$C = 0.0114 + 1.487\hat{C} - 0.1770\hat{C}^2 \dots\dots\dots(6-2)$$

在進行導電度與莫耳濃度值換算過程中，還需作溫度補償，以水溫度為攝氏 25 度為基準，補償公式如式 6-3 所示，其中 T 為試驗當時的水溫。

$$\hat{C} = \frac{\hat{C}}{1 + 0.0171(T - 25)} \dots\dots\dots(6-3)$$

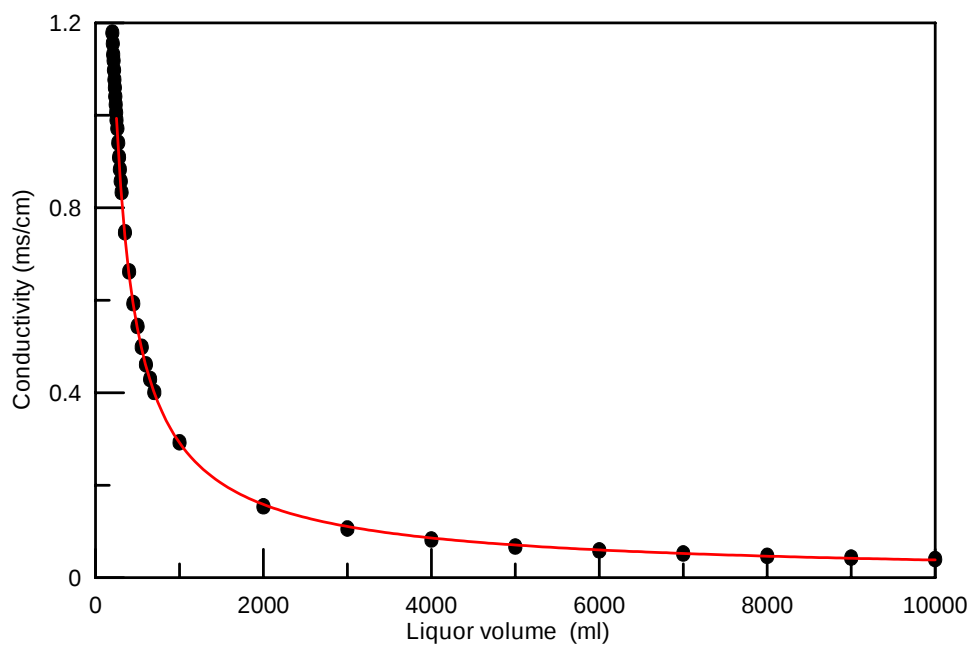


圖 6-1 導電度值以及溶液體積關係圖($T = 25^{\circ}C$)

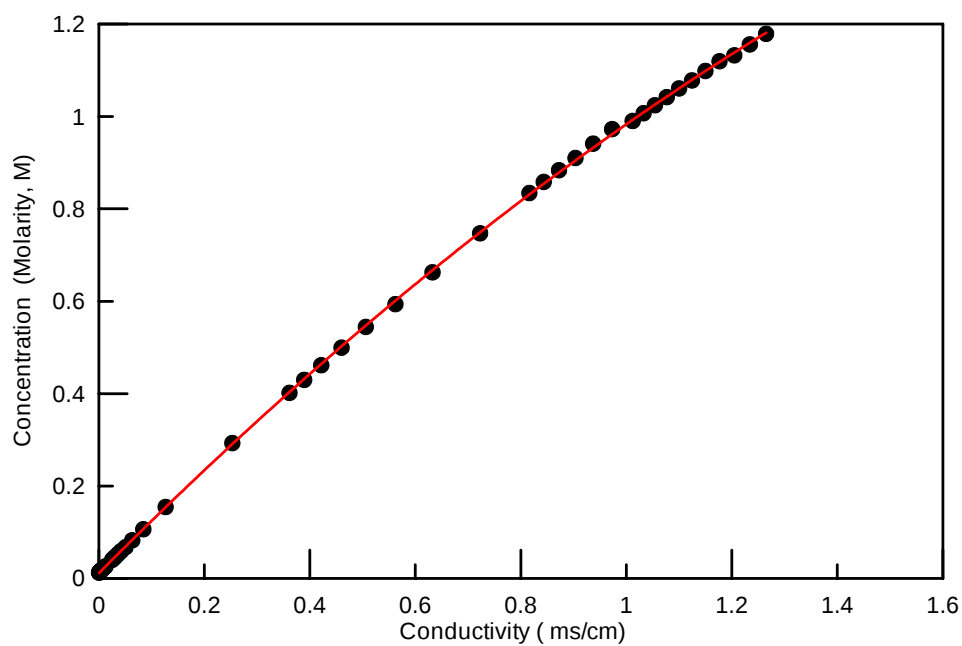


圖 6-2 莫耳濃度(M)與導電度值關係圖($T = 25^{\circ}C$)

6.2.2 試驗佈置

1. 潛堤佈置

潛堤以木製夾板製成，中間放置鐵塊，以防波浪通過時，因水流及壓力變化造成震動影響試驗品質。潛堤寬度為 $B=60\text{cm}$ ，潛堤高度為 $D=30\text{cm}$ ，潛堤個數為 $N=4$ ，潛堤堤體中心間距為 $S=180\text{cm}$ 。潛堤配置以造波機前 55 公尺為第 1 個潛堤配置點，依序往後佈置共 4 個潛堤。

2. 波高計佈置

為有效量測入射、反射以及透射波之水位，波高計佈置分為三區域。第一區為入射區，於造波板前 5 公尺處放置 1 支波高計，藉以量測入射波。第二區為堤前區，此區域在入射端的第一個潛堤前約 4 公尺到 8 公尺處，架設 6 支不等間距波高計，用以量測堤前的水位變化，經由資料擷取系統及計算程式，計算波高及反射率。第三區為堤後區，為潛堤後方等水深區域，此區放置 1 支波高計，用以觀測波浪的透射情形，試驗室的潛堤佈置、波高計佈置以及造波控制量測系統示意如圖 6-3 所示。

3. 導電度計佈置

為有效量測堤前氯化鈉溶液擴散的情形，導電度計分為水平以及縱向水深佈置。在水平佈置中，於入射端的第一個潛堤前約 4 公尺到 6 公尺處，放置 11 支等間距鹽度計，每支間距為 16cm，導電度計量測點—電極為水面下 10cm。在垂直佈置中，於入射端的第一個潛堤前約 4.5 公尺由水面下 18cm 依序垂直往水深下處佈置共 6 支等間距導電度計，間距為 7cm。試驗室的潛堤佈置、導電度計、蠕動幫浦以及資料擷取系統示意如圖 6-4 所示。潛堤、波高計與導電度計佈置相關位置詳細尺寸示意如圖 6-5 所示。

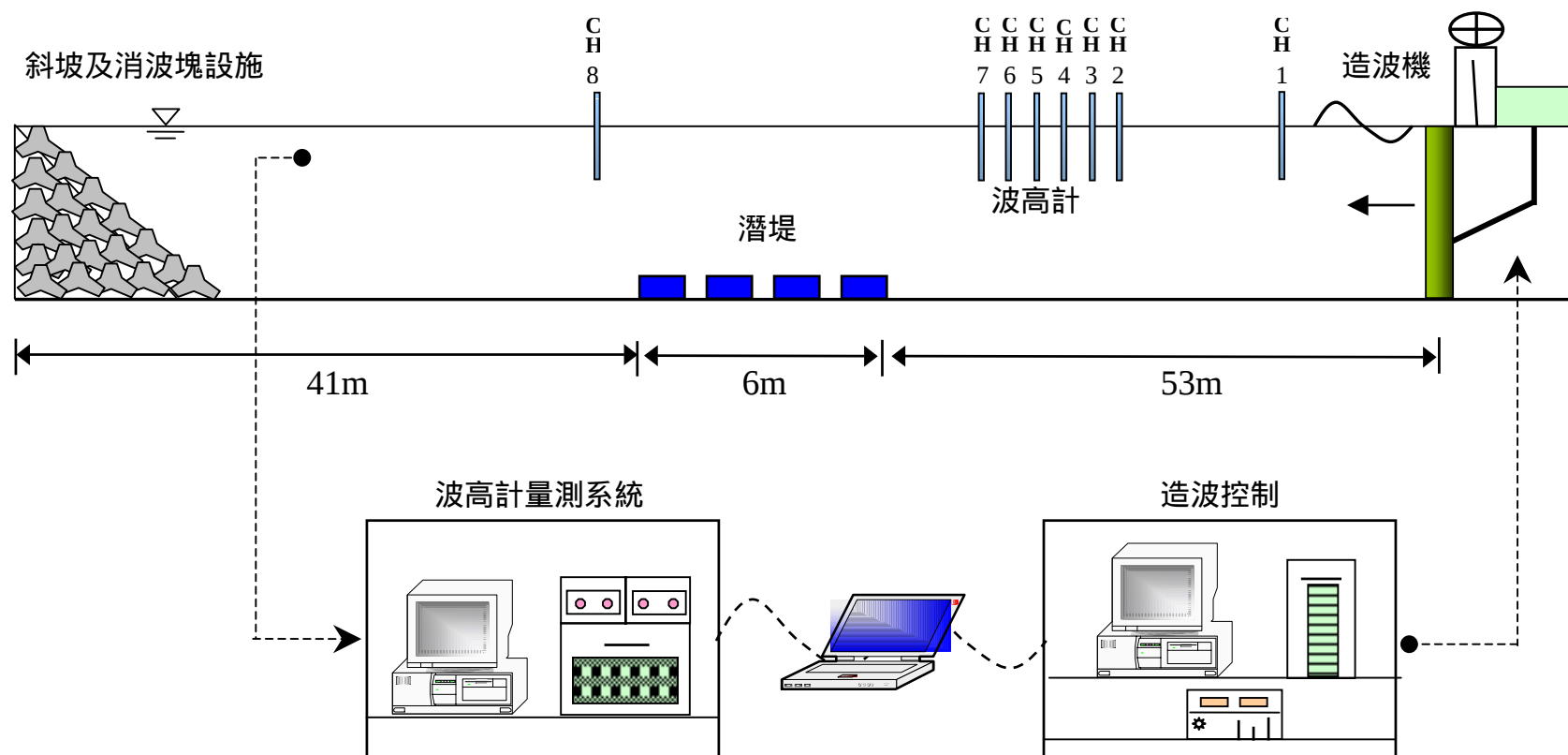
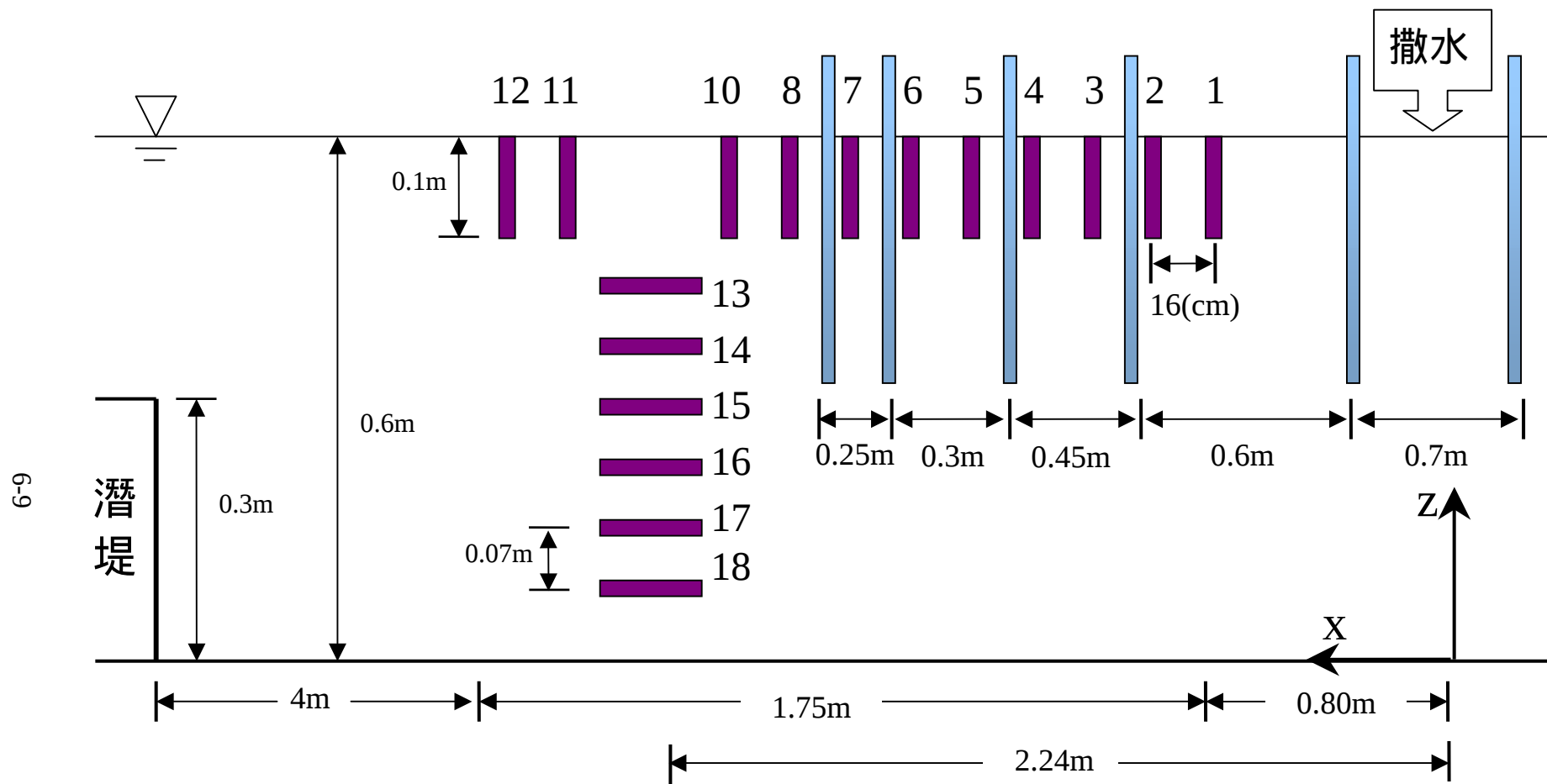


圖 6-3 潛堤佈置、波高計佈置以及造波控制量測系統示意圖

圖 6-4 潛堤佈置、導電度計、蠕動幫浦以及資料擷取系統示意圖



- 導電度計
- 波高計

圖 6-5 潛堤、波高計與導電度計佈置相關位置尺寸示意圖

6.2.3 試驗條件

1. 布拉格反射造波條件

依據往昔之文獻研究，波浪通過系列潛堤時，當潛堤間距(S)約為入射波長(L)之半($2S/L \sim 1$)，將產生布拉格反射，本研究欲探討布拉格反射發生時的污染物擴散現象，首先必須作不同波浪條件的反射波量測分析。試驗中採用規則波入射之週期為 $T = 1.02 \sim 3.38 \text{ sec}$ ，入射波高為 $H = 8 \text{ cm}$ ，水深為 $h = 60 \text{ cm}$ ，潛堤個數為 4 個，潛堤間距 $S = 180 \text{ cm}$ ，堤高 $D = 30 \text{ cm}$ ，堤寬 $B = 60 \text{ cm}$ ，潛堤佈置以及波浪條件如表 6-1 所示。

表 6-1 系列潛堤試驗佈置及波浪條件表

潛堤 型式	堤數 (N)	間矩 (S)	堤寬 (B)	堤高 (D)	水深 (h)	波浪條件	
						週期 (T)	波高(H)
矩型	4	180 cm	60 cm	30 cm	60 cm	1.02~3.38 sec	8 cm

在波高計的佈置方面，為同時配合 Isaacson (1991) 計算反射係數之三波高法及取樣頻率的限制，組成數組以三支波高計為反射率計算單位的波高計量測組，並考慮採取數支波高計以不等距離的分配方式來進行佈置。其中波高計間距的決定主要依照實驗過程中所造之波長大小決定，以分別在長波及短波的情形下，波高計均可量測到足夠的取樣頻率(30Hz)以及避免反射率計算時發生發散誤差。

為找出通過系列潛堤發生布拉格反射的波浪條件，本研究根據表 6-1 造波條件造波，利用不同位置波高計量測水位的結果，加以分析成反射率，試驗結果如圖 6-6 所示。由圖可知在 $2S/L = 0.4 \sim 2.2$ 的波浪條件範圍內，共發生一次的反射率振盪變化，並在 $2S/L = 0.93$ 附近

發生布拉格反射現象，反射率尖峰值為 $R=0.69$ 。布拉格反射附近條件之中反射率($R=0.35$) 之波浪條件為 $H=8\text{cm}$ 和 $T=1.70\text{sec}$ 。另外低反射率 ($R=0.11$) 波浪條件為 $H=8\text{cm}$, $T=1.58\text{sec}$ 。故爾後擴散試驗，即以上述三條件為造波條件。另外污染源位置(氯化鈉溶液噴頭位置)的決定，則以發生布拉格反射的波浪條件造波時，所觀察到堤前水位震盪最劇烈之位置加以架設，依據觀察結果，灑水器架設於第一座潛堤前 6.55m 位置。

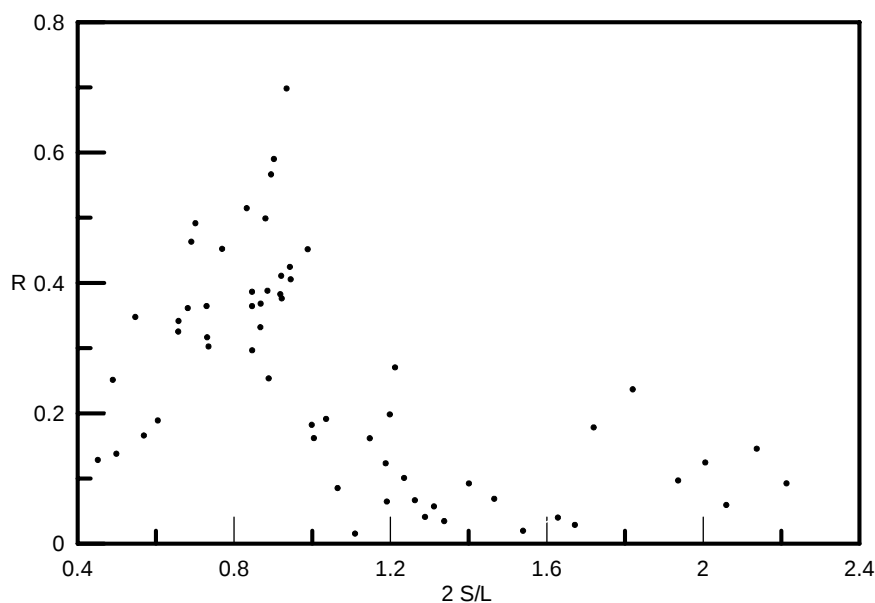


圖 6-6 不同週期波浪通過系列潛堤反射率變化圖

2. 氯化鈉試液擴散試驗條件

波浪通過系列潛堤時，因不同的波浪條件而發生不同的反射率，當布拉格反射發生時反射率最大，為探討不同反射率發生時之污染源擴散情形，以發生布拉格反射時即高反射率($R=0.69$)的波浪條件 ($H=8\text{cm}$, $T=1.86\text{sec}$) , 以及布拉格反射附近條件之中反射率($R=0.35$) 及低反射率 ($R=0.11$) 之波浪條件($H=8\text{cm}$, $T=1.70\text{sec}$ 及 $H=8\text{cm}$, $T=1.58\text{sec}$)為入射條件。另外，為探討不同濃度污染源擴散特性，以

三種不同濃度的氯化鈉溶液為污染物(擴散源)，濃度分別為 1M、0.5M、0.25M，比重分別為 1.06、1.03、1.015，試驗波浪條件及氯化鈉試液濃度表如表 6-2 所示。此外，並以 50ml 氯化鈉稀釋溶液加入 5g 的苯胺紅基（品紅，MAGENTA BASE）作為染劑，以利拍照觀察氯化鈉試劑擴散情形。氯化鈉溶液由造波開始即開始噴灑，總共造波 400sec，氯化鈉溶液亦施灑 400sec，總共施灑 40L 氯化鈉試液，單位寬度施灑量為 $40\text{L}/1.5\text{m}=2.67\text{L}/\text{m}$ 。導電度量測以每秒 1 點量測擷取試驗值，總共量測 400sec。

表 6-2 擴散試驗波浪條件及氯化鈉試液濃度表

水深	波高	週期	氯化鈉試液濃度
60cm	8cm	1.58, 1.70, 1.86sec	0.25, 0.5, 1.0M

6.2.4 儀器及試劑率定

本試驗為氯化鈉溶液在波浪經過系列潛堤所造成反射作用下之擴散分析，其整體試驗步驟流程如圖 6-7 所示。首先，於試驗前先進行試驗模型的佈置如木板潛堤及底床的製作，接著進行各試驗器材之率定調校，並對試驗所需氯化鈉濃度密度加以量測確認。啟動造波機造波後，造出表 6-1 波浪條件之入射波浪。以波高計經由放大器將水位訊號轉為類比資料，再經 A/D card 轉換為數據資料輸入電腦，利用數據資料算出各波高計之水位變動，並算出波高，再以不同位置之波高算出反射率，最後選取高、中及低反射條件為擴散之造波條件，如表 6-2 所示。利用擴散之造波條件造波，同時以不同氯化鈉濃度進行施灑，以導電度量測水平方向及垂直水深的濃度變化情形，以獲知在不同位置之導電度變化，用來推定濃度擴散分佈情形。

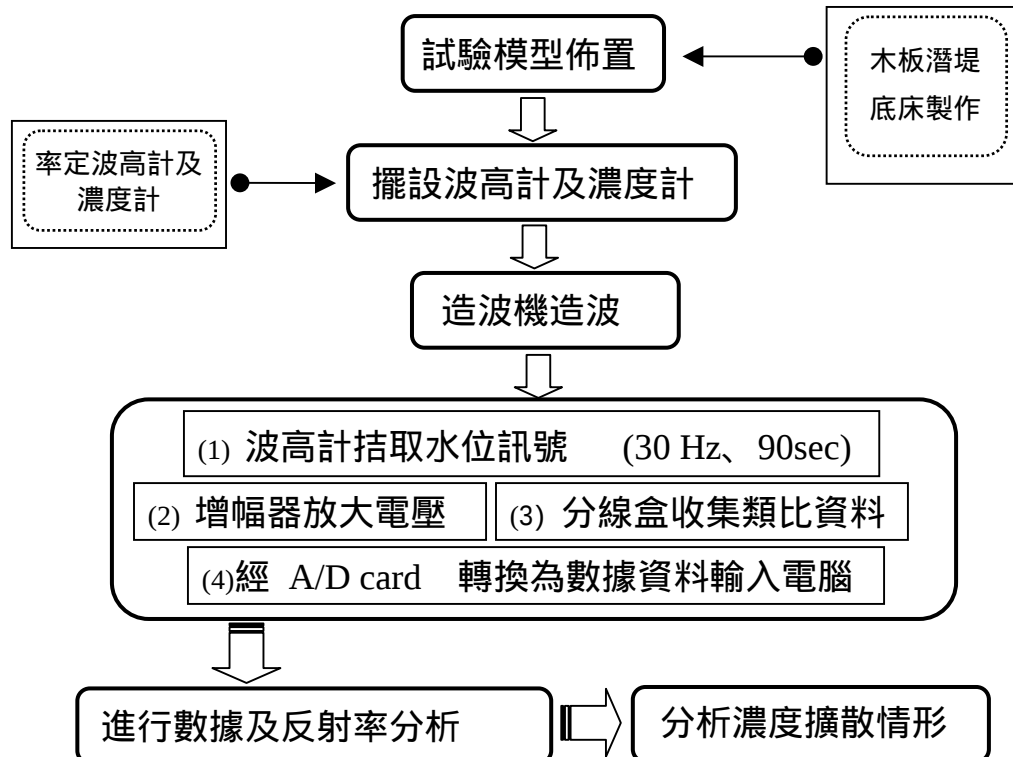


圖 6-7 水工模型試驗步驟流程圖

6.3 氯化鈉試液擴散試驗結果

氯化鈉試液擴散與入射波浪條件、氯化鈉試液濃度以及擴散時間有關，不同的位置所測得的濃度變化亦將隨之改變。本研究分別以不同時段、不同的氯化鈉試液濃度以及不同的入射波浪條件（反射率）作擴散特性探討。所繪製圖形之水平座標 X 以污染源（施灑點）為原點($X=0$)，往潛堤方向（波浪前進方向）為正；垂直座標 Z 乃以底床為原點($Z=0$)，向上為正，座標示意圖如圖 6-2 所示。茲將分析結果說明討論如下：

6.3.1 不同時段的濃度變化

圖 6-8 為入射波浪 $H=8\text{cm}$ 及 $T=1.86\text{sec}$ 條件（即高反射波，

$R=0.69$), 氯化鈉溶液濃度為1M施灑下, 不同時段在水平方向濃度變化比較圖。圖形顯示, 氯化鈉濃度隨著距離施灑點愈遠 (X 值愈大), 所測得的濃度愈小, 其原因為氯化鈉溶液較清水比重大, 氯化鈉溶液施灑後, 即因比重大於水而往水槽底沈降。即使施灑時間增加, 在 $X>1.6\text{m}$ 區域, 幾乎測不到氯化鈉濃度。依據三個不同時段 ($T=101\sim 200\text{sec}$ 、 $T=201\sim 300\text{sec}$ 及 $T=301\sim 400\text{sec}$) 量測分析結果顯示, 以施灑初期的 $T=101\sim 200\text{sec}$ 所測得氯化鈉平均濃度最低, 隨著施灑時間增加, 在 $T=201\sim 300\text{sec}$ 及 $T=301\sim 400\text{sec}$ 兩時段所測得的氯化鈉平均濃度愈高。另外在施灑初期($T=101\sim 200\text{sec}$)中間區域 ($X=1.1\sim 1.6\text{m}$) 導電度計所量測濃度值比 $201\sim 301\text{sec}$ 及 $301\sim 400\text{sec}$ 時段為高。其原因為 200sec 以後, 由於波浪反射影響, 使氯化鈉溶液被限制在前側 ($X<1.1\text{m}$)。圖6-9為氯化鈉溶液濃度1M的施灑下, 不同時段在垂直方向平均濃度變化比較圖。圖形顯示, 隨著時間增加, 垂直方向所測得的氯化鈉濃度愈高, 且隨著時間的增加, 由於氯化鈉溶液不斷增加以及重力沈降的關係, 使愈靠近水槽底的氯化鈉濃度愈高。

圖6-10及圖6-11為入射波浪 $H=8\text{cm}$ 及 $T=1.86\text{sec}$ 條件 (即高反射波, $R=0.69$), 在氯化鈉溶液為0.5M濃度施灑下, 不同時段在水平及垂直方向平均濃度變化比較圖。圖6-10顯示氯化鈉濃度隨著距離施灑點愈遠 (X 值愈大), 所測得的濃度愈小, 此現象與圖6-8相同。另外在施灑初期($T=101\sim 200\text{sec}$)位於中間區域 ($X=1.1\sim 2.0\text{m}$) 的導電度計測得濃度值比 $201\sim 301\text{sec}$ 及 $301\sim 400\text{sec}$ 時段為高。其範圍 ($X=1.1\sim 2.0\text{m}$) 比圖6-8氯化鈉濃度為1.0M的範圍 ($X=1.1\sim 1.6\text{m}$) 為大, 探究原因為0.5M濃度比重比1.0M的比重輕, 在造波初期, 容易受前進波影響, 而往前擴散。圖6-11顯示氯化鈉濃度隨著施灑時間增加, 垂直線所量測的

氯化鈉濃度愈高，由於時間的增加，氯化鈉溶液不斷增加以及重力沈降的關係，使愈靠近水槽底的氯化鈉濃度愈高，且在不同時段均有此現象，但施灑濃度為1.0M條件，則只有在201~301sec及301~400sec時段才有此現象，其原因為造波初期，氯化鈉溶液容易受前進波影響，而往前擴散。

圖6-12及圖6-13為入射波浪 $H=8\text{cm}$ 及 $T=1.86\text{sec}$ 條件（即高反射波， $R=0.69$ ），氯化鈉溶液為0.25M濃度施灑下，於不同時段分別在水平及垂直方向平均濃度變化比較圖。圖6-12顯示，由於施灑之氯化鈉溶液濃度低，因此所測得氯化鈉濃度值相對較低。且在101~201sec時段，氯化鈉溶液只能擴散至 $X=1.6\text{m}$ 位置，另外在201~301sec及301~400sec時段，由於受反射波影響，氯化鈉溶液只能擴散至 $X=1.0\text{m}$ 位置。圖6-13顯示，在不同時段中氯化鈉平均濃度隨著時間增加，垂直線所測得的氯化鈉濃度愈高，此現象與圖6-9及圖6-11相似。由照片6-1可更清楚看出造波過程中，紅色染液擴散的情形，照片右側為染液施灑點，波浪由右至左前進，照片中藍色鋼架小方框為長75cm和寬60cm。照片顯示造波前50sec染液往前擴散約1m，於100sec時沈降擴散至水槽底，並於200sec後水槽底紅色染液才到達左側垂直導電度計測量位置。

另外圖6-14及圖6-15為入射波浪 $H=8\text{cm}$ 及 $T=1.70\text{sec}$ 條件（即中反射波， $R=0.30$ ），氯化鈉溶液為0.5M濃度施灑下，不同時段在水平及垂直方向平均濃度變化比較圖。在此中反射率（ $R=0.30$ ）的條件下，水平方向的氯化鈉溶液隨著距離施灑點愈遠（ X 值愈大），所測得的濃度愈小，且隨著造波時間的增加，濃度愈小。另外在圖6-15垂直濃度的量測結果顯示，由於氯化鈉溶液不斷增加以及重力沈降的關係，使愈靠

近水槽底的氯化鈉濃度愈高，且隨著時間的增加而增加。此中反射波 ($R=0.30$) 在垂直與水平擴散現象均與高反射波浪條件相似。照片6-2為上述試驗過程不同時段拍攝結果，照片顯示50sec紅色染液前進約90cm，造波100sec以後紅色染液因反射波影響，除水深20cm以下施灑點附近有明顯紅色染液，其餘氯化鈉溶液均因比重比水大的關係，而沈降至水深40公分以上(在 $X<20\text{cm}$ 區域)。

圖6-16及圖6-17為施灑鹽水濃度(0.5M)於低反射率 $R=0.12$ (入射波浪 $H=8\text{cm}$ 及 $T=1.58\text{sec}$)，在不同時段，水平及垂直方向所量測之濃度分佈比較圖。圖形顯示由於反射率低，水粒子震盪較不劇烈，因此水平擴散不明顯。但垂直方向仍受重力沈降的關係，與高反射及中反射造波條件的擴散現象相似，即愈靠近水槽底的氯化鈉濃度愈高，且濃度隨著時間的增加而增加。由試驗過程之照片3顯示，水面附近之紅色染液擴散比前述之高反射及中反射造波條件為慢，當沈降至水槽底之後，才往水平方向作擴散。

圖6-18及圖6-19為施灑氯化鈉溶液(0.5M)於無造波條件下，不同時段，水平方向及垂直水深方向上所得之濃度分佈比較圖。圖形顯示因無波浪作用水粒子並無波動，氯化鈉溶液的擴散只靠溶液本身的擴散特性以及沈降作用，因此圖6-18中顯示，水平方向只有最靠近施灑點位置 ($X=0.8\text{m}$) 能測到少許之濃度。圖6-19顯示在垂直方向上，雖受重力沈降作用，但水平擴散緩慢，導致所測得的濃度值非常小，但濃度值仍隨著時間的增加有增加的趨勢。照片6-4顯示，無波浪作用下，紅色染液向水平及水槽底擴散的情形，照片顯示水平方向擴散速度比垂直方向擴散。由照片6-2 照片6-4 比較顯示，無造波條件下，愈靠近

水面的水平擴散較快，原因為無波浪作用，則無反射波抑制水平往前端擴散。

由上述分析結果顯示，氯化鈉溶液的擴散隨時間的增加，水平及垂直方向所測得濃度會增加。另外，波浪的作用，會加速氯化鈉溶液的擴散。

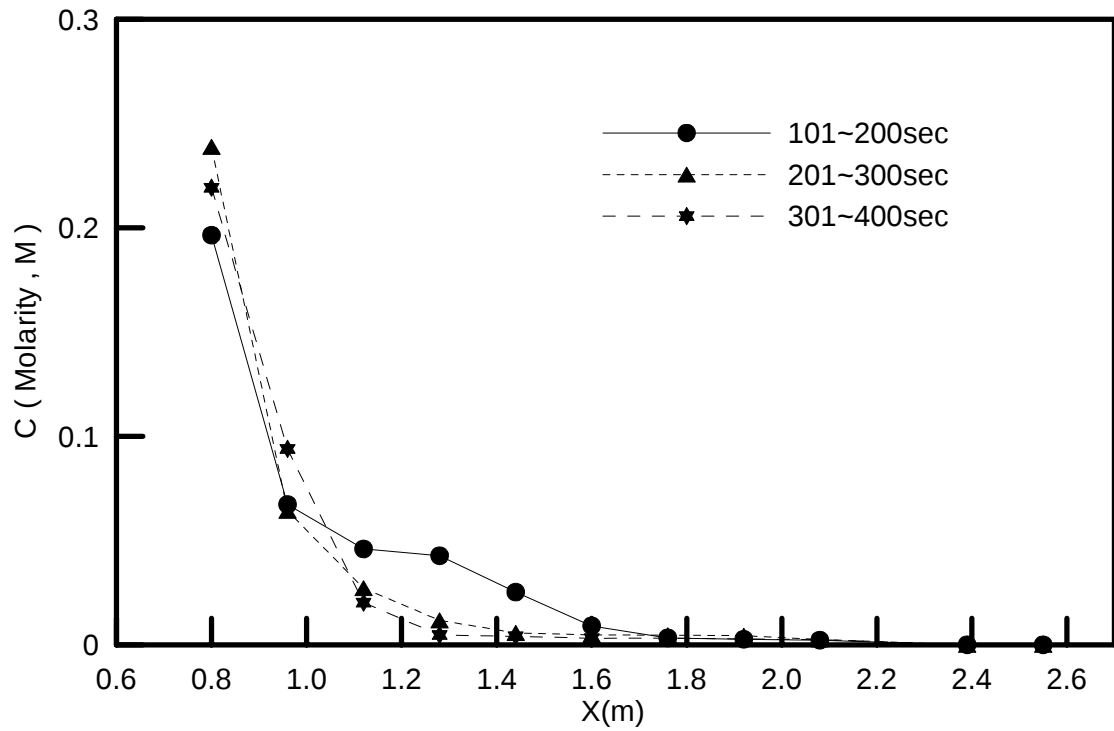
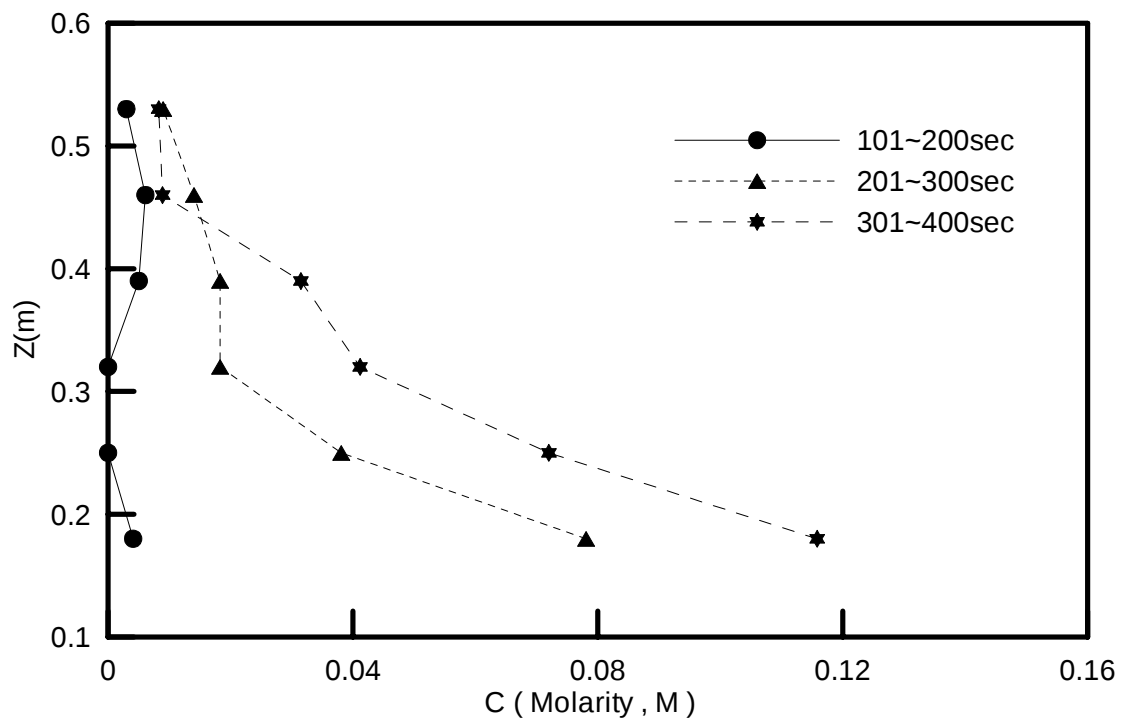


圖 6-8 系列潛堤前方水平方向不同時段高反射濃度比較圖(1M)



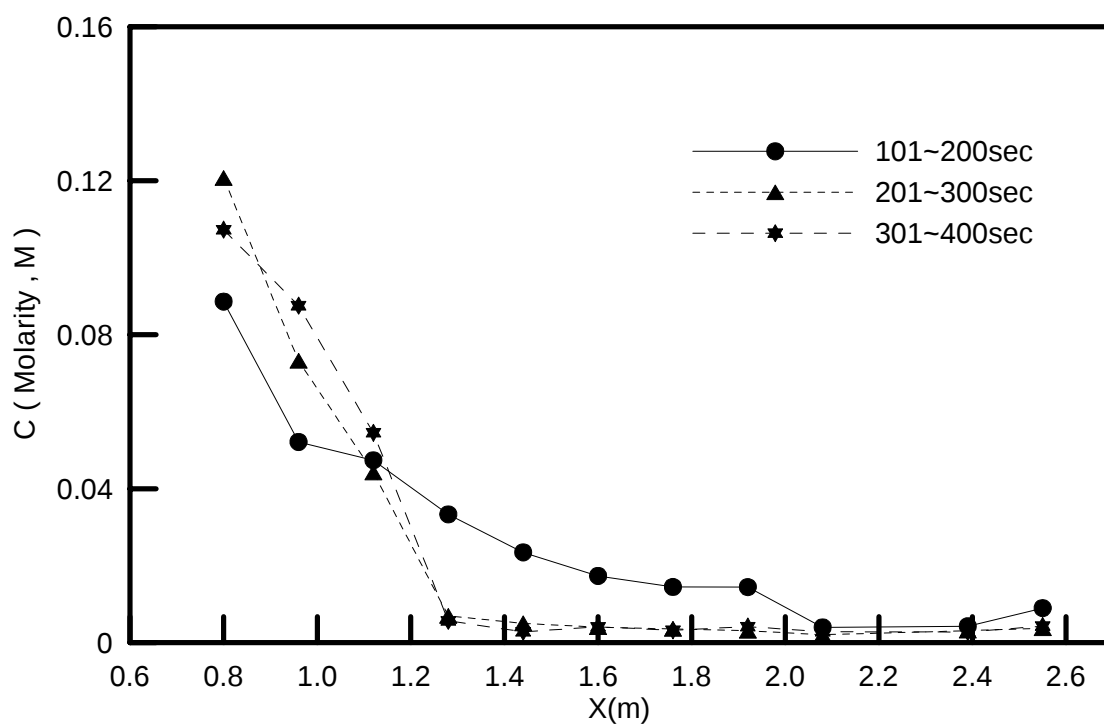


圖 6-10 系列潛堤前方水平方向不同時段高反射濃度比較圖(0.5M)

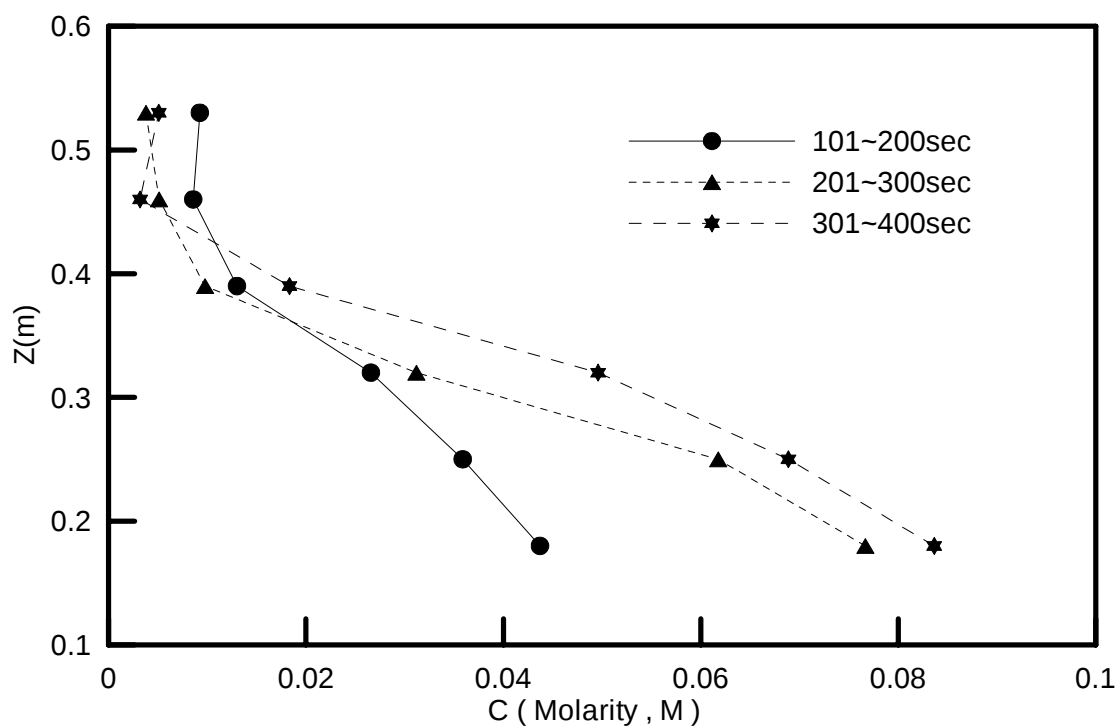


圖 6-11 系列潛堤前方垂直水深不同時段高反射濃度比較圖(0.5M)

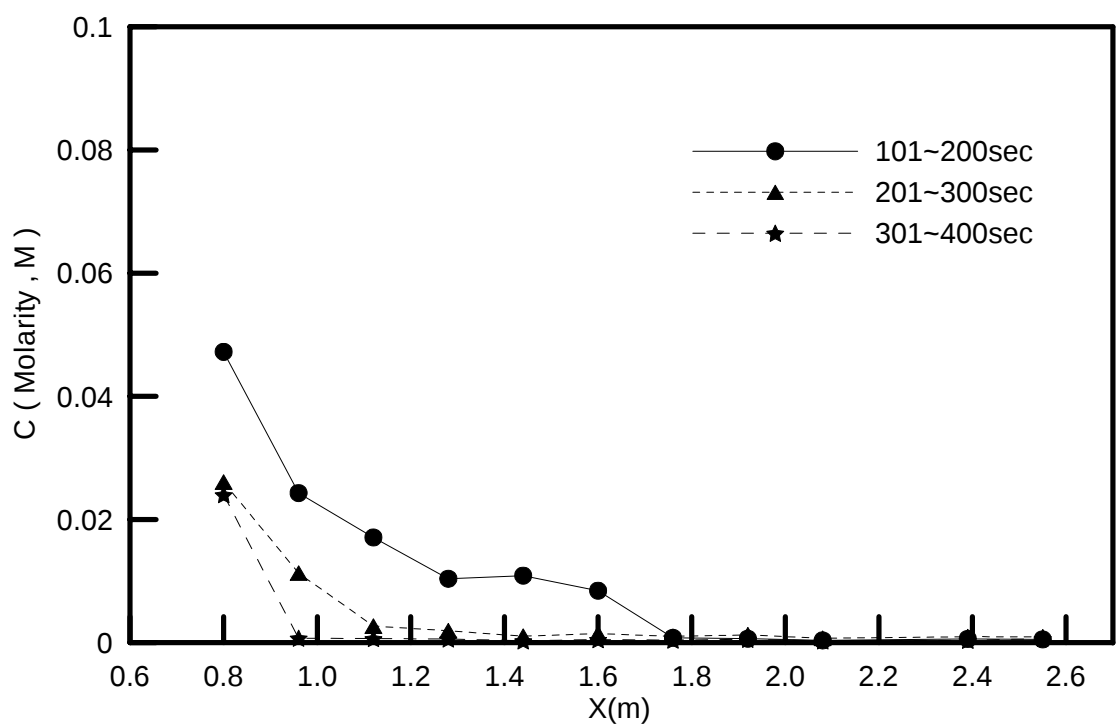


圖 6-12 系列潛堤前方水平方向不同時段高反射濃度比較圖(0.25M)

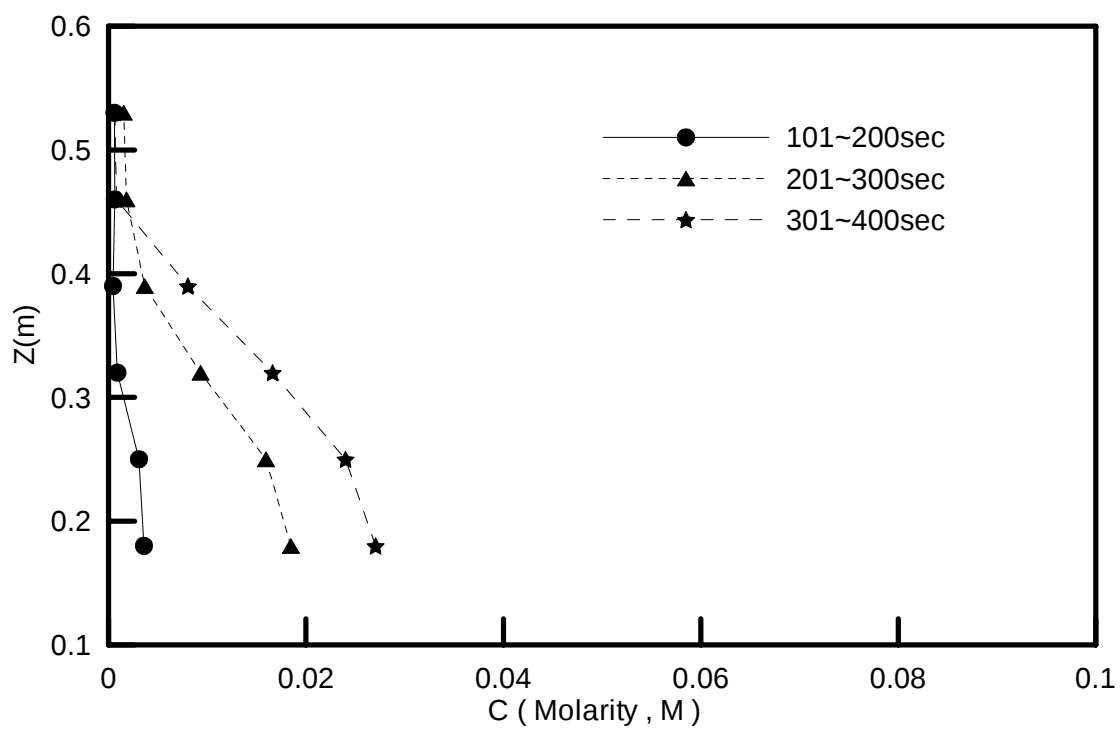


圖 6-13 系列潛堤前方垂直水深不同時段高反射濃度比較圖(0.25M)

sec	波高 8cm、週期 1.86sec 濃度 0.25M			
50		250		
100		300		
150		350		
200		400		

照片 6-1 波高 8cm、週期 1.86sec 及氯化鈉溶液濃度 0.25M 之各時間擴散過程

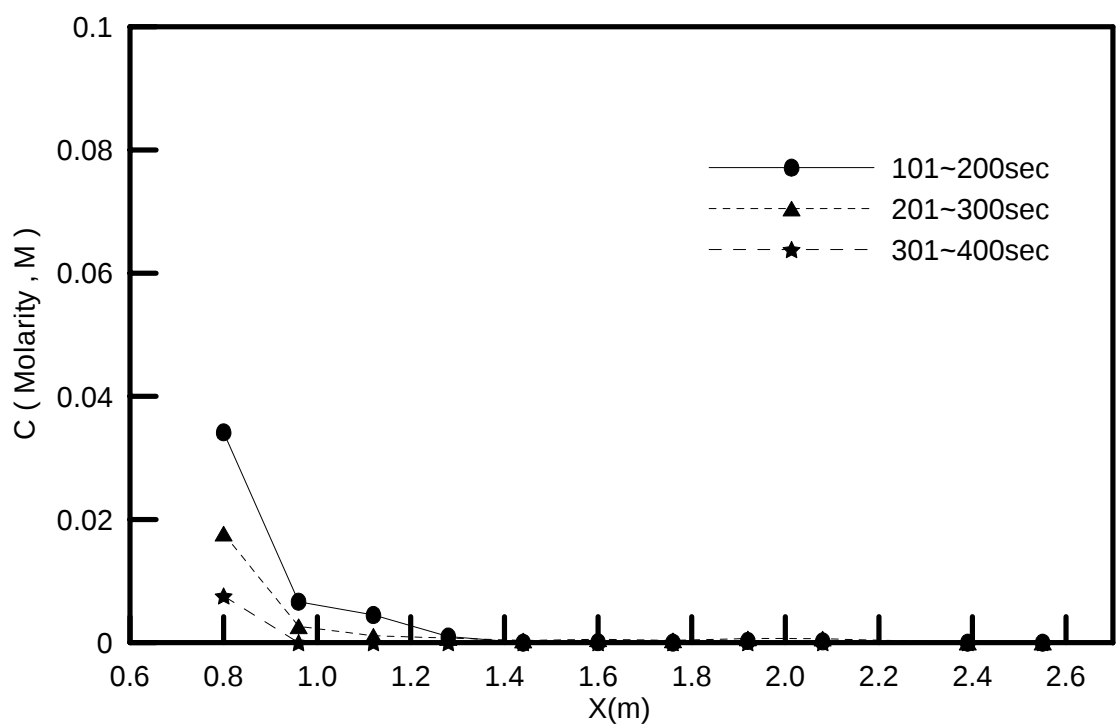


圖 6-14 系列潛堤前方水平方向不同時段在中反射濃度比較圖(0.5M)

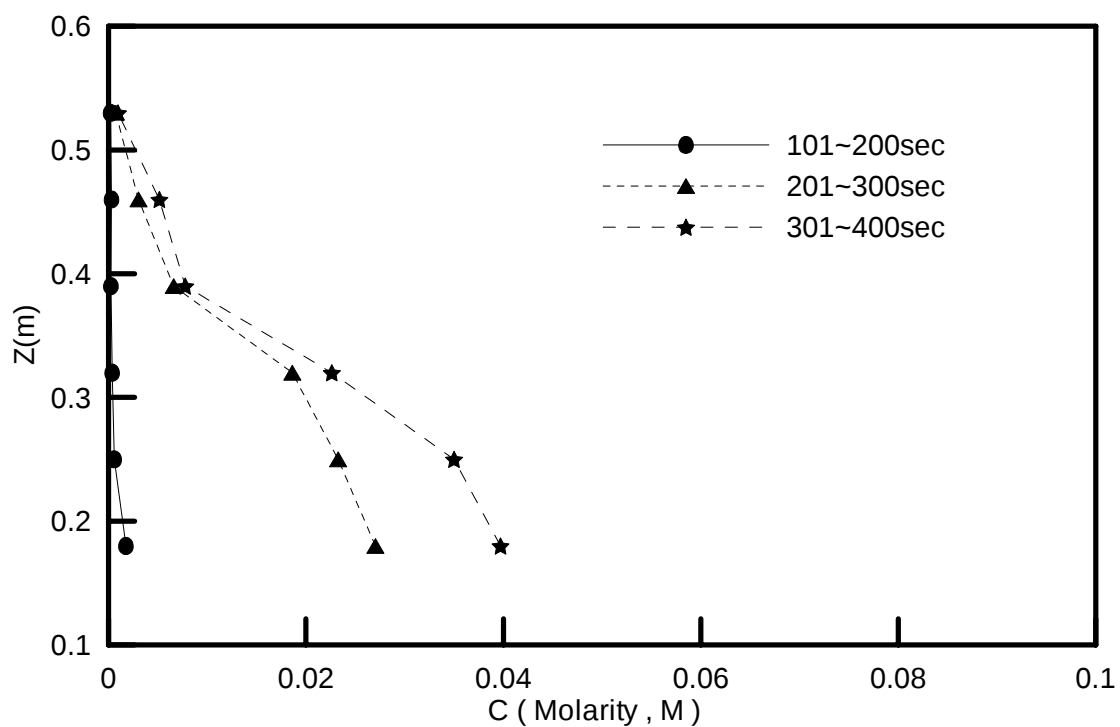


圖 6-15 系列潛堤前方垂直水深不同時段在中反射濃度比較圖(0.5M)

sec	波高 8cm、週期 1.70sec 濃度 0.5M			
50		250		
100		300		
150		350		
200		400		

照片 6-2 波高 8cm、週期 1.70sec 及氯化鈉溶液濃度 0.5M 之各時間擴散過程

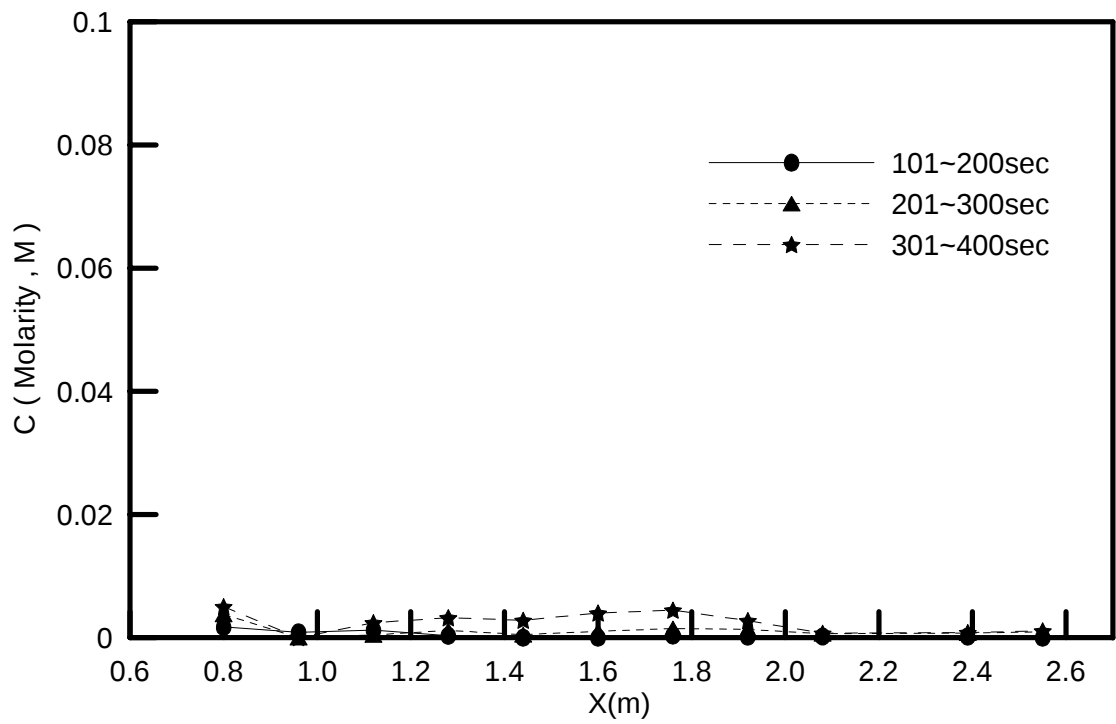


圖 6-16 系列潛堤前方水平方向不同時段在低反射濃度比較圖(0.5M)

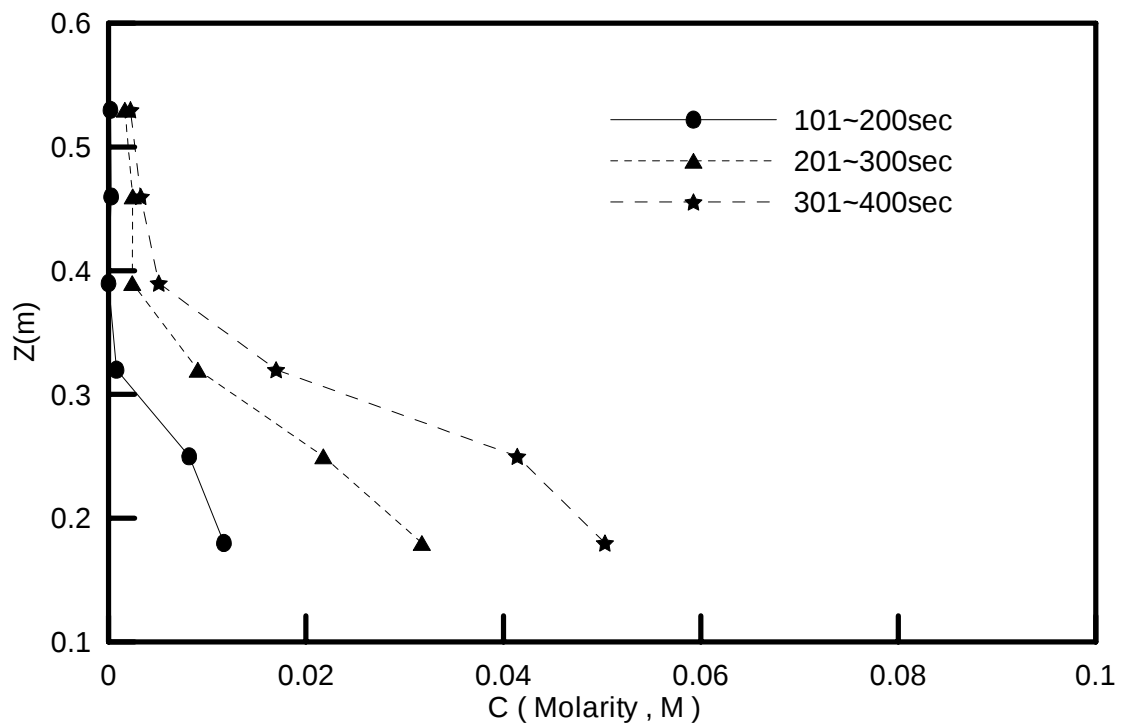


圖 6-17 系列潛堤前方垂直水深不同時段在低反射濃度比較圖(0.5M)

sec	波高 8cm、週期 1.58sec 濃度 0.5M			
50		250		
100		300		
150		350		
200		400		

照片 6-3 波高 8cm、週期 1.58sec 及氯化鈉溶液濃度 0.5M 之各時間擴散過程

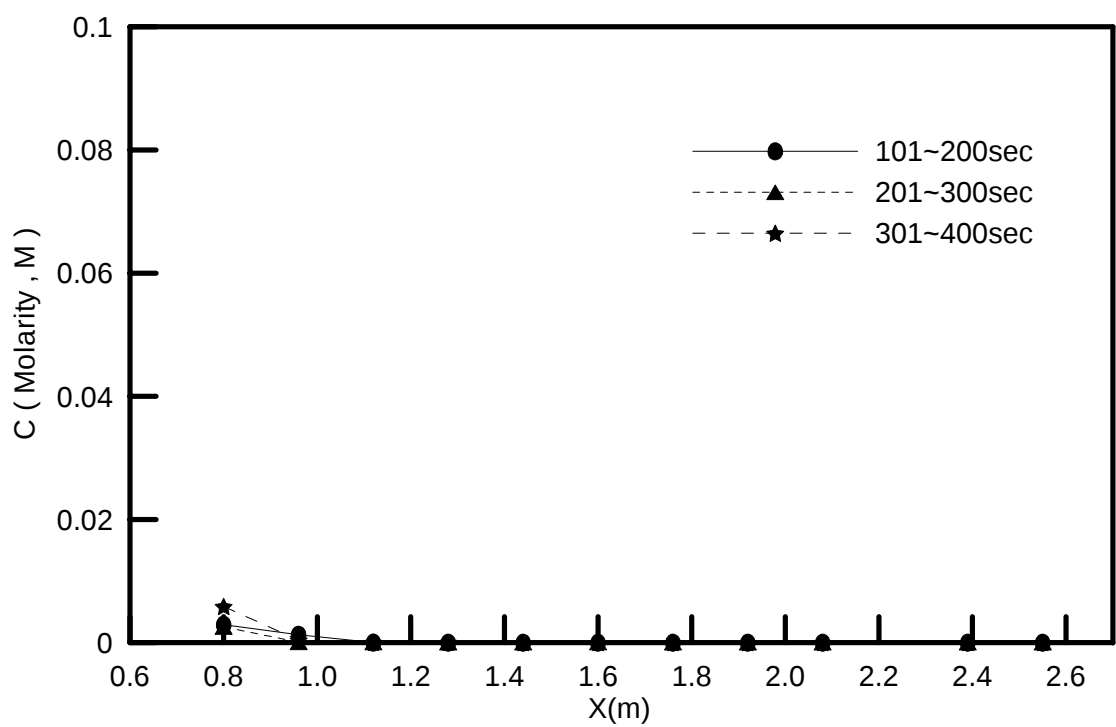


圖 6-18 系列潛堤前方水平方向不同時段在無造波濃度比較圖(0.5M)

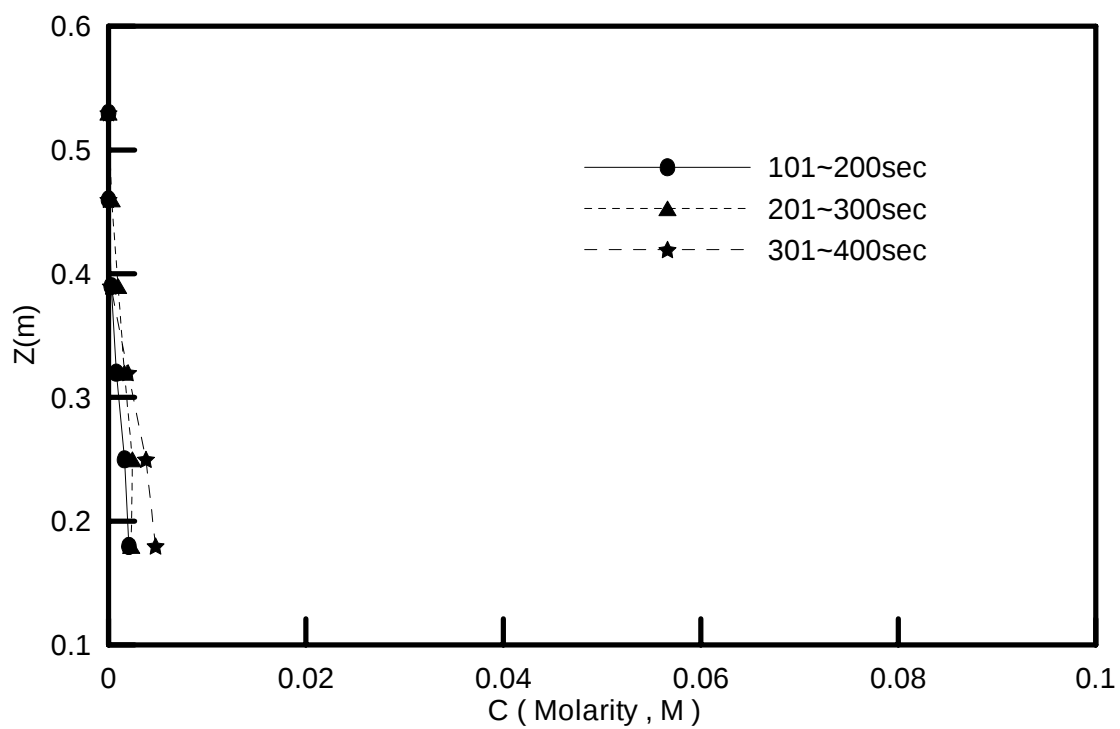


圖 6-19 系列潛堤前方垂直水深不同時段在無造波濃度比較圖(0.5M)

sec	無造波條件，濃度 0.5M		
50		250	
100		300	
150		350	
200		400	

照片 6-4 無造波條件及氯化鈉溶液濃度 0.5M 之各時間擴散過程

6.3.2 不同濃度的影響

本研究進一步比較系列潛堤前方施灑不同氯化鈉濃度情況下，堤體前方水平及垂直方向濃度變化的情形，分析結果如圖 6-20 圖 6-25 所示。圖 6-20 及圖 6-21 為氯化鈉溶液施灑 101~200sec 之平均濃度分佈比較圖。圖 6-20 顯示在水平方向上，不同濃度之氯化鈉溶液在較靠近施灑位置處之濃度較高，且施灑的氯化鈉溶液濃度愈高所測得氯化鈉濃度愈高。但在 $X > 1.6\text{m}$ 之區域則以氯化鈉溶液濃度為 0.5M 所量測的濃度值較高，其原因為高濃度 1.0M 的氯化鈉溶液比重較重，因此離施灑點($X=0\text{m}$)愈遠，氯化鈉溶液因沉降緣故，在較靠近水面處的水平測點，氯化鈉濃度相對會偏低。另外濃度 0.25M 氯化鈉溶液雖比重較輕，但因濃度低，在擴散之後離測點愈遠相對也偏低，此現象可以由照片 1 清楚看出。圖 6-21 顯示在垂直方向上，以 0.5M 濃度氯化鈉溶液較有明顯的隨水深愈深濃度愈高的現象。

圖 6-22 及圖 6-23 為上述條件下，不同氯化鈉濃度施灑 201~300sec，在水平及垂直方向上平均濃度分佈比較圖。圖形顯示在此時段施灑濃度愈高，水平方向較靠近施灑點之測點($X < 1.0\text{m}$)測得濃度愈高，而測點 $X > 1.0\text{m}$ 之後，1.0M 高濃度的氯化鈉溶液因沉降較快而使濃度測值比 0.5M 氯化鈉溶液為低。圖 6-23 顯示不同濃度之氯化鈉溶液在垂直方向上的分佈情形，隨著愈靠水槽底，濃度愈高，且以較高的施灑濃度其趨勢更明顯。但在 $Z < 0.35\text{m}$ 後，1.0M 氯化鈉溶液的濃度測值比 0.5M 氯化鈉溶液的濃度測值為低，探究其原因為：雖然 1.0M 的氯化鈉溶液沉降速度快，但溶液本身因濃度高，粘滯性較高，較不容易擴散至垂直濃度測點位置(在 $X=3.0\text{m}$ 處)。

圖 6-24 及圖 6-25 分別為水平方向及垂直水深方向在氯化鈉溶液施灑 301~400sec 之平均濃度分佈比較圖。圖 6-24 顯示沉降現象比 200 301sec 時更明顯，在 $X=0.96\text{m}$ 處，1.0M 濃度的氯化鈉溶液其濃度測值

已比 0.5M 濃度氯化鈉溶液的測值低。圖 6-25 顯示因氯化鈉溶液本身粘滯性，使垂直方向 $Z=0.31\text{m}$ 處的高濃度(1.0M)氯化鈉溶液的濃度比中濃度(0.5M)氯化鈉溶液的濃度測值為低。但在更靠近底床處 ($Z<0.3\text{m}$)，則因氯化鈉溶液的不斷沉降及往前擴散，故又形成濃度較高的氯化鈉溶液所測得的濃度值較高。

上述結果顯示，氯化鈉溶液在擴散過程中，不只與溶液之比重而沉降有關，亦與溶液本身的黏滯性有關。因此在水平方向或垂直方向上，不一定施灑濃度較高氯化鈉溶液，其所測得的濃度值較高。

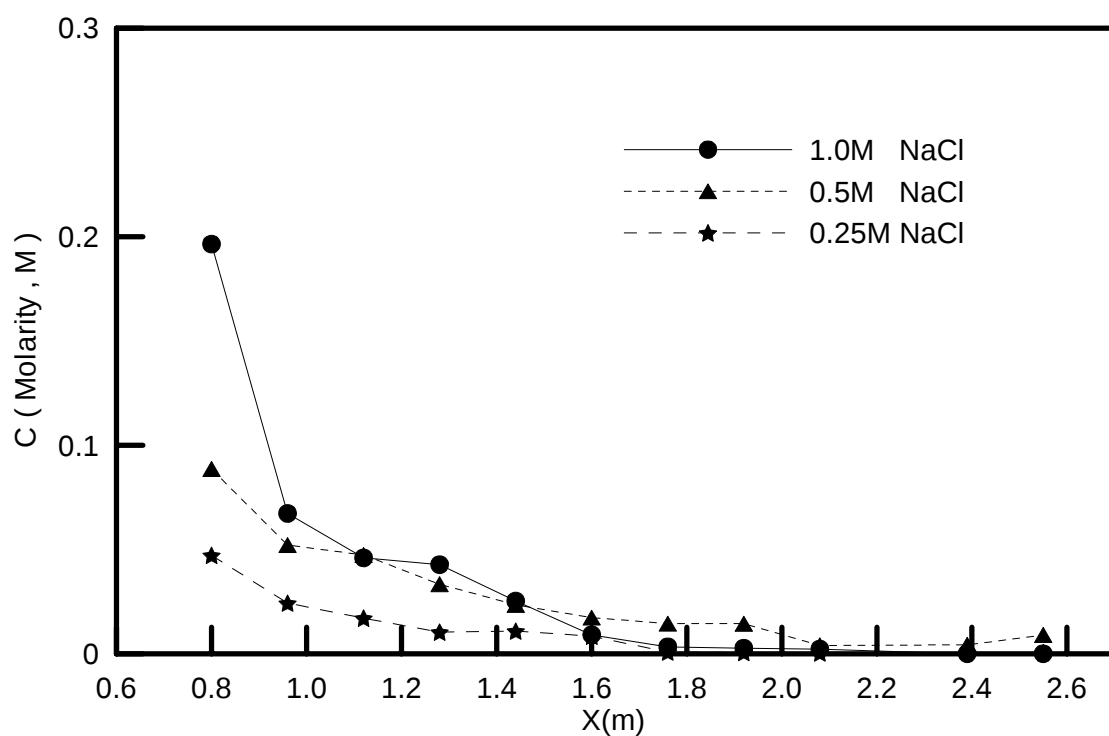


圖 6-20 不同鹽水濃度之水平方向濃度比較圖(t=101~200sec)

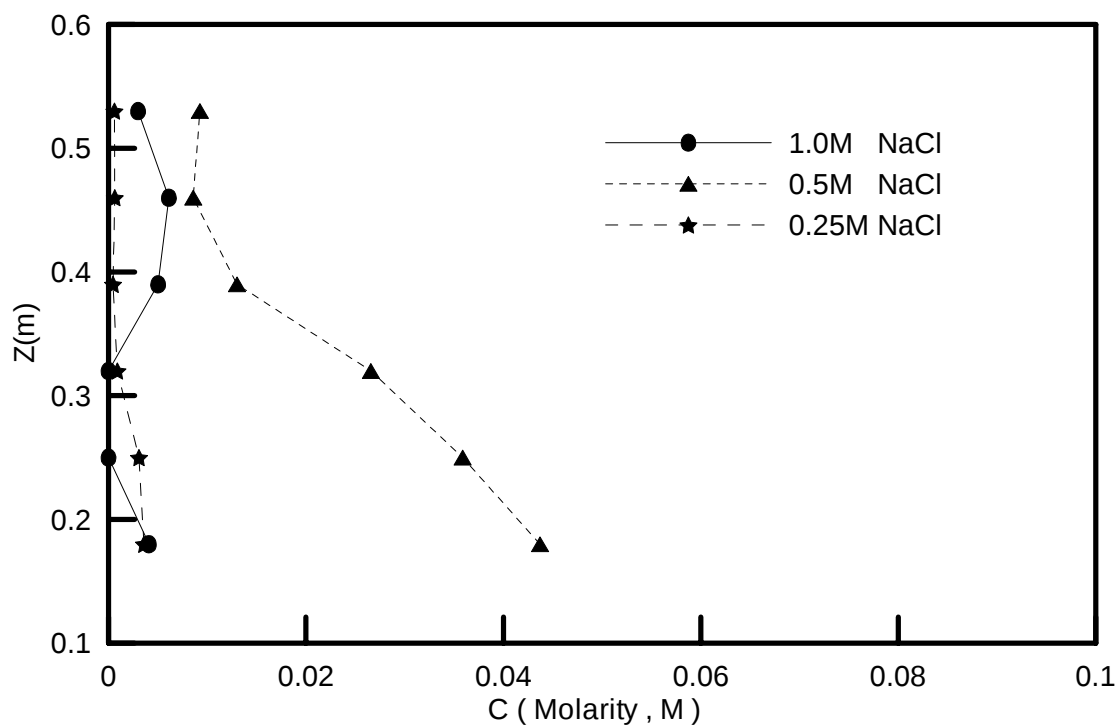


圖 6-21 不同鹽水濃度之垂直水深濃度比較圖(t=101~200sec)

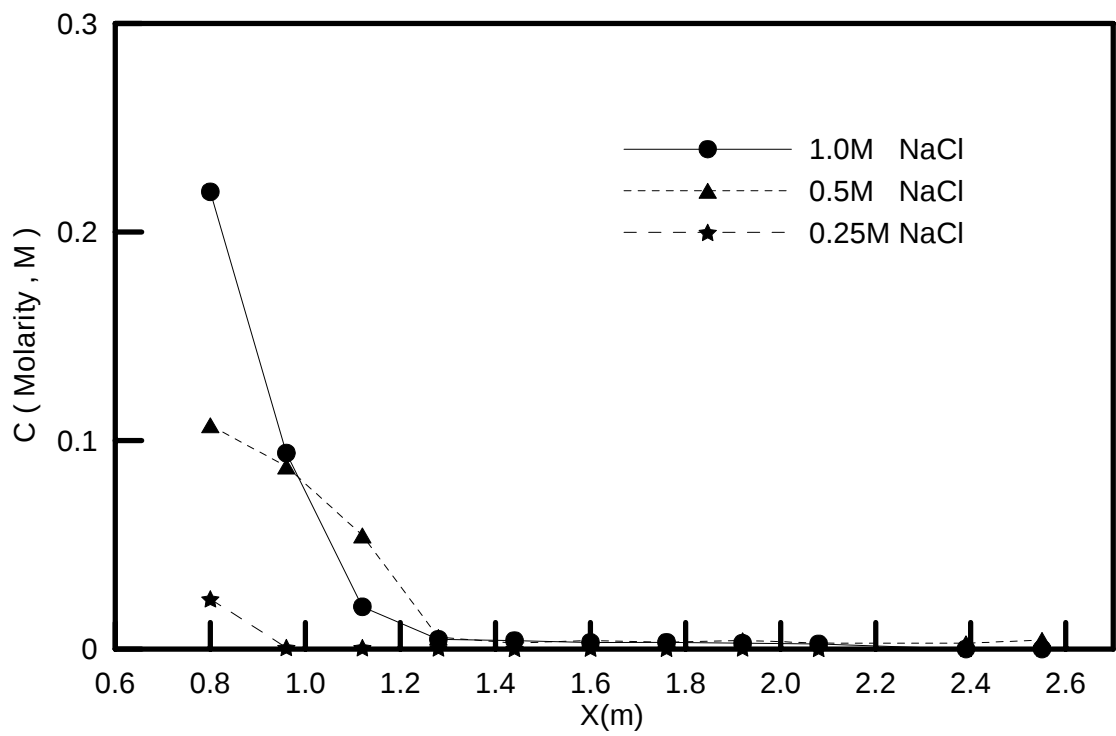


圖 6-22 不同鹽水濃度之水平方向濃度比較圖(t=201~300sec)

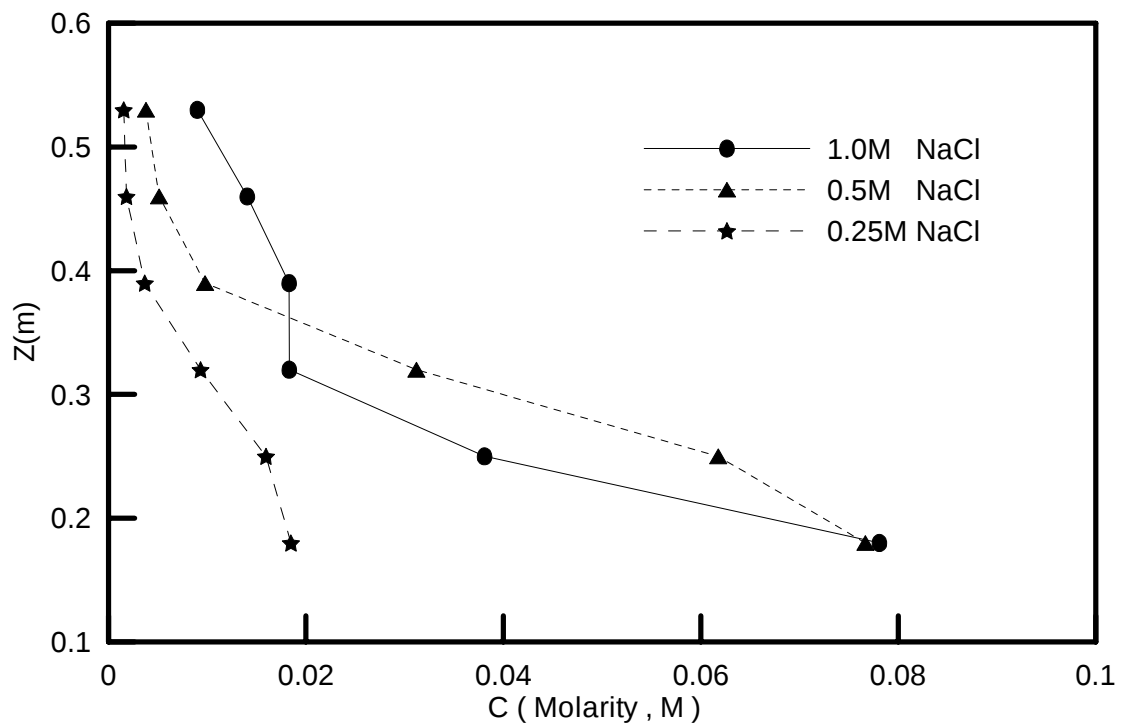


圖 6-23 不同鹽水濃度之垂直水深濃度比較圖(t=201~300sec)

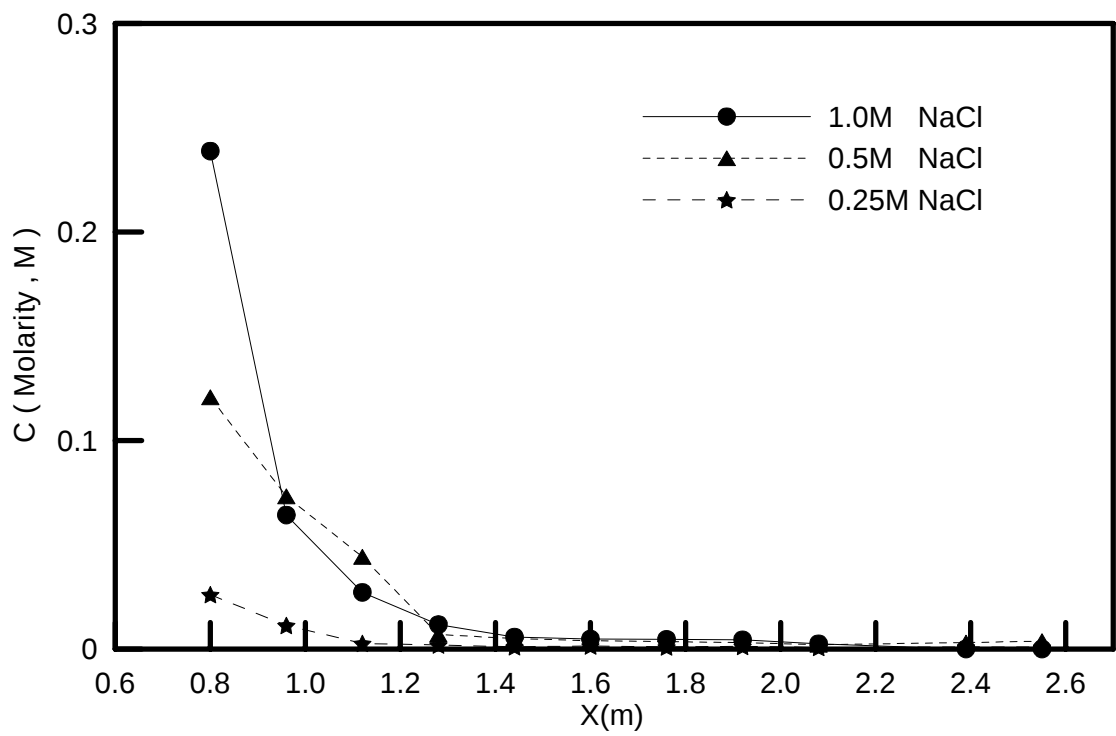


圖 6-24 不同鹽水濃度之水平方向濃度比較圖(t=301~400sec)

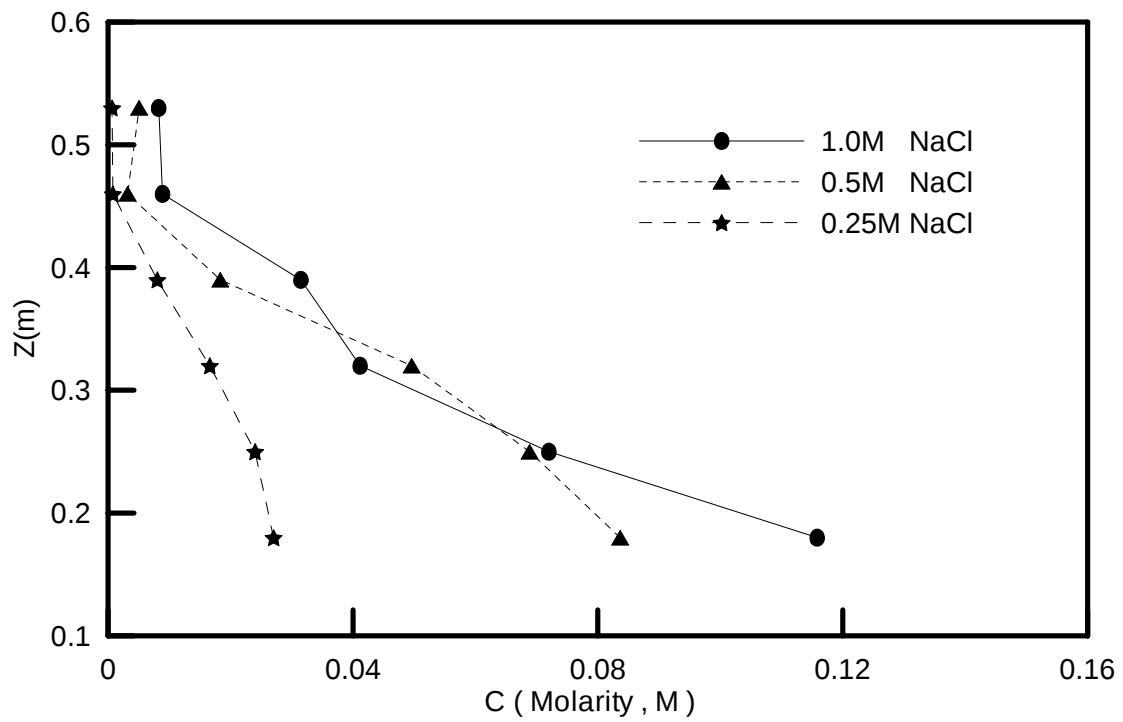


圖 6-25 不同鹽水濃度之垂直水深濃度比較圖(t=301~400sec)

6.3.3 不同反射率的影響

當波浪通過系列潛堤時，不同的入射波浪週期，在堤前將產生不同的反射現象，本研究為探討不同反射率對於氯化鈉溶液擴散的影響，以三種不同的入射波浪週期作分析比較。三種波浪週期分別為 $T=1.86\text{sec}$ 、 1.70sec 及 1.58sec ，於潛堤前所測得的反射率分別為 $R=0.69$ 、 0.30 及 0.12 。在不同反射率條件下，施灑氯化鈉溶液 (0.5M) 101sec 200sec 於水平方向及垂直方向平均濃度分布的分析結果如圖 6-26 及圖 6-27 所示。圖 6-26 顯示在水平方向上，高反射率比其他較小反射率其擴散效果較好，反射率 $R=0.69(T=1.86\text{sec})$ 在造波 101sec 200sec 氯化鈉溶液可傳送到 $X=1.9\text{m}$ 處，而反射率 $R=0.30(T=1.70\text{sec})$ 條件，只能傳送到 $X=0.96\text{m}$ 處。探究原因為造波初期，波浪周期較長條件，其波長較長，相對水粒子運動軌跡較大，所以導致擴散較為容易。在垂直方向上，亦以較高反射率所測得的氯化鈉濃度較高。

圖 6-28 及圖 6-29 為上述條件在水平方向及垂直方向，氯化鈉溶液施灑 $201\sim 300\text{sec}$ 之平均濃度分佈比較圖。圖 6-28 顯示較高反射率所測得的氯化鈉濃度較高。但水平方向氯化鈉濃度在遠離施灑點濃度有明顯下降的趨勢，尤其比 $101\sim 200\text{sec}$ 時更小。探究其原因為反射率高時，水粒子會呈現上下快速的運動(參考蔡立宏等人(2005) 數值分析結果)，此上下快速的活動形成如水牆，會抑制氯化鈉溶液的擴散。在垂直方向分佈上，仍以較高濃度的氯化鈉溶液，所測得的濃度值較高，且愈靠近底床因受沉降、擴散、濃度及時間增加的影響，其現象更明顯，如圖 6-29 所示。

圖 6-30 及圖 6-31 為上述條件下，施灑時間為 $301\sim 400\text{sec}$ ，在水平方向及垂直方向氯化鈉溶液之平均濃度分佈比較圖。圖 6-30 顯示較高反射率所測得的氯化鈉濃度較高，但與 $201\sim 300\text{sec}$ 的圖 6-28 比較，濃

度值變化不大，表示在 200sec 以後，氯化鈉溶液的接近水面水平擴散已趨於穩定，氯化鈉溶液均因高反射率的波浪被限制在 $X < 1.2\text{m}$ 以內。在垂直方向上，仍以高反射率所測得的氯化鈉濃度較高，其原因為在氯化鈉溶液不斷增加下，高反射率波浪條件因波長較長且水粒子上下震盪較劇所致，如圖 6-31 所示。且由於氯化鈉溶液持續噴灑，時間愈長氯化鈉溶液向遠端擴散的趨勢較明顯，比較如圖 6-27、圖 6-29 及圖 6-31 所示。

上述分析結果顯示，在造波初期，造波之波長愈長，氯化鈉溶液的水平及垂直擴散愈快。波浪反射率愈大，因水粒子上下運動劇烈，會抑制氯化鈉溶液在水平方向的擴散，但卻會加速在垂直方向的擴散。

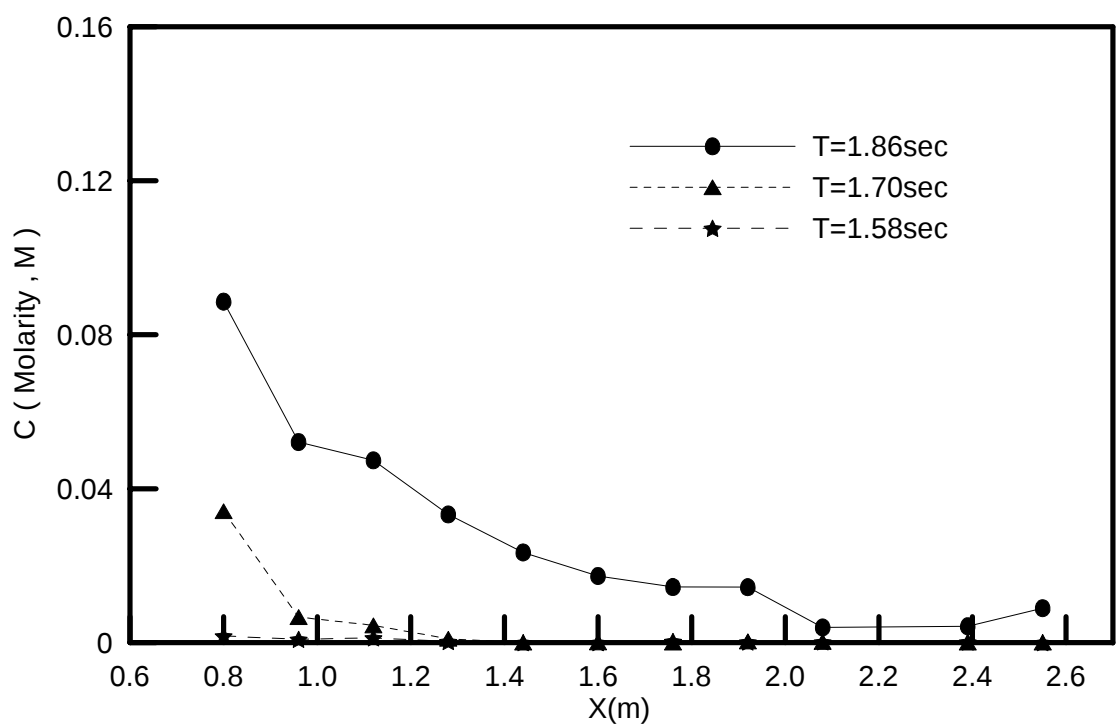


圖 6-26 不同反射率水平方向濃度 0.5M 比較圖(t=101~200sec)

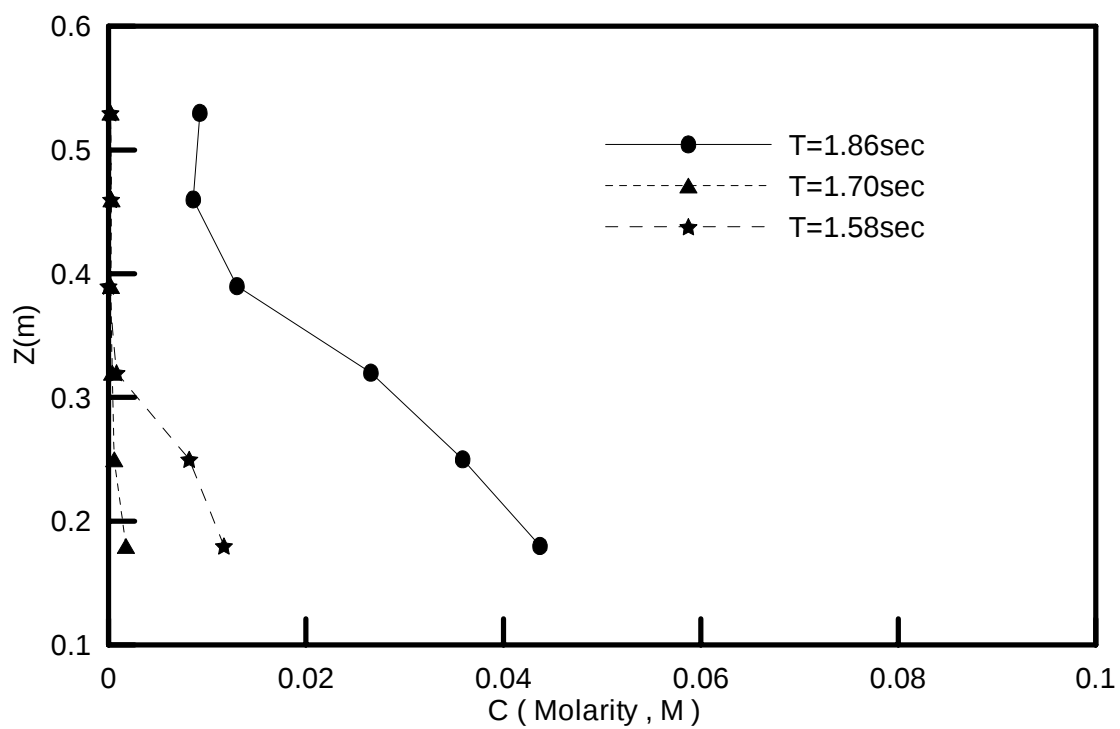


圖 6-27 不同反射率垂直水深濃度 0.5M 比較圖(t=101~200sec)

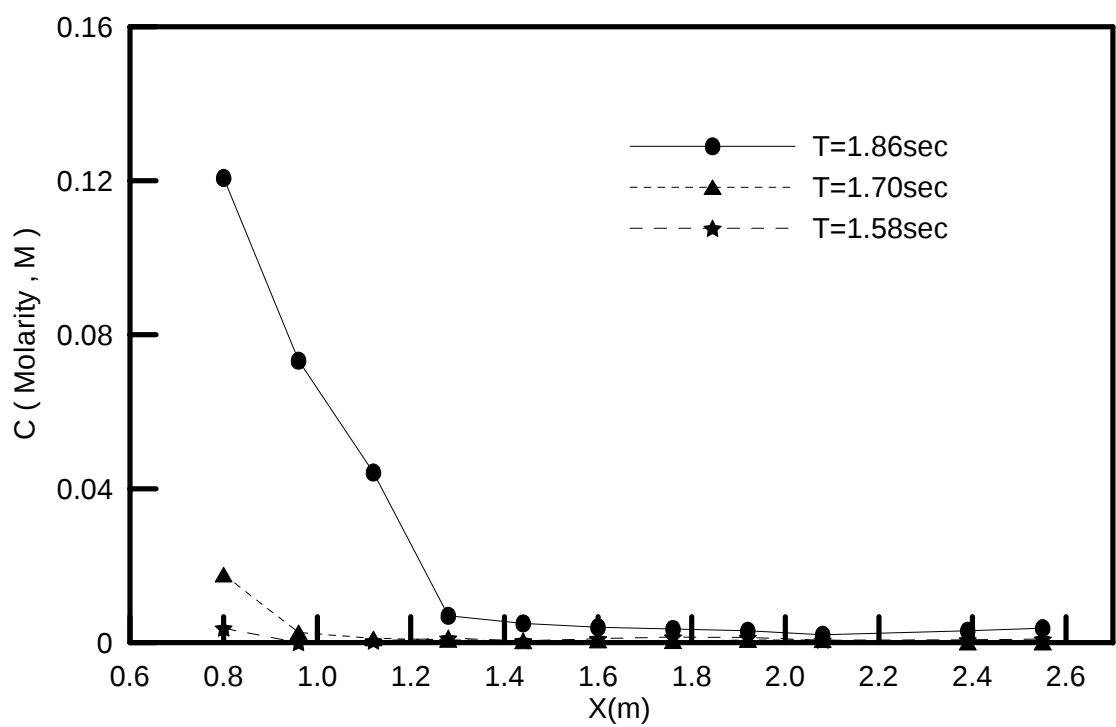


圖 6-28 不同反射率水平方向濃度 0.5M 比較圖($t=201\sim300\text{sec}$)

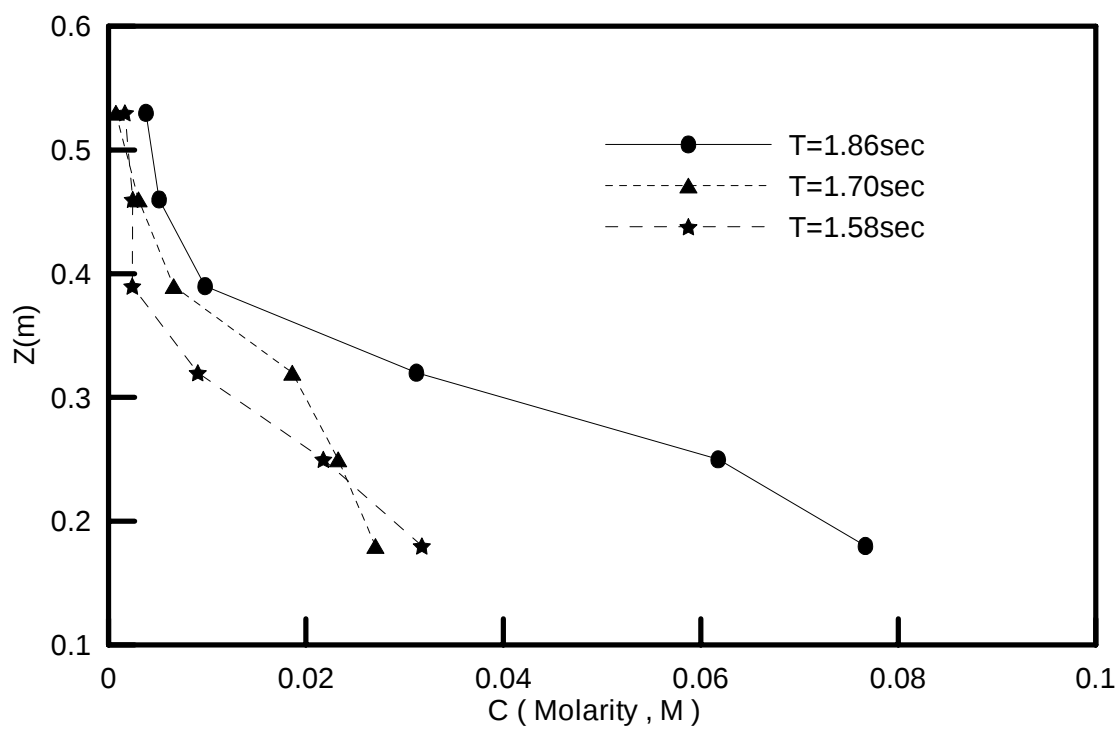


圖 6-29 不同反射率垂直水深濃度 0.5M 比較圖($t=201\sim300\text{sec}$)

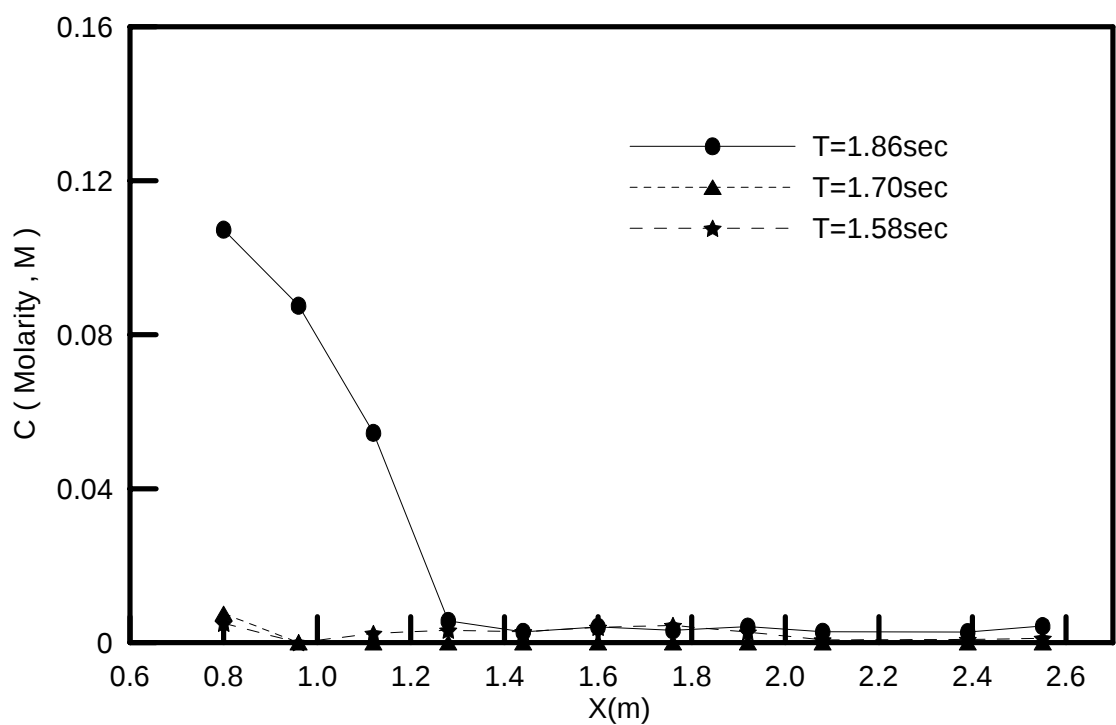


圖 6-30 不同反射率水平方向濃度 0.5M 比較圖(t=301~400sec)

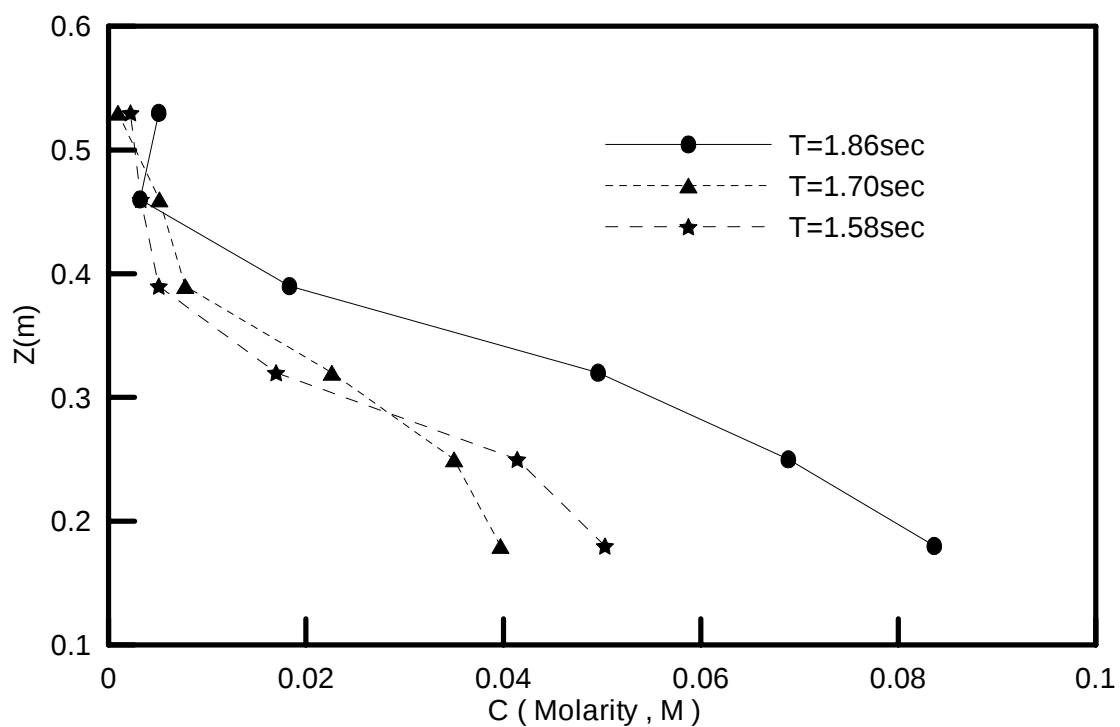


圖 6-31 不同反射率垂直水深濃度 0.5M 比較圖(t=301~400sec)

第七章 不規則波通過系列潛堤反射特性

近幾年來許多文獻研究積極對波浪通過系列潛堤的水理機制作探討，但均侷限在規則波的條件下。但海洋現場波浪為不規則波，而系列潛堤所應用的反射原理為布拉格共振，根據以往規則波研究結果，布拉格共振發生的條件僅侷限在某些特定條件($2S/L \sim 1$)，在不規則的作用下，布拉格共振效果如何尚未明瞭。故本章以不規則波為入射波條件，利用數值模式計算及水工模型試驗方式，探討不同波浪條件下，堤前反射率變化以及布拉格共振的現象。

在理論解析方面以 Hsu 等人 (2003) 所發展的演進型式緩坡方程式 (Evolution Equation for Mild-Slope Equation, EEMSE) 為基礎，進而推導含有各種波浪變形效應之不規則波浪緩坡方程式，並發展波浪數值模式，用以模擬不規則波通過各式系列潛堤的各種布拉格共振 (Bragg resonance)。本研究並以水工模型試驗進行驗證數值模式之計算結果，以探討複合式系列潛堤的反射效應。本研究同時根據數值和試驗之結果，歸納布拉格現象可能之影響因子，並針對影響因子規劃各式模擬方案用以分析於不規則波條件下，波浪通過系列潛堤產生布拉格共振效應的特性，做為日後海岸保育防護工法之參考。茲將研究方法、過程以及分析結果說明如下：

7.1 理論基礎

7.1.1 演進型緩坡方程式

波浪由外海向近岸傳遞過程中，可能產生的變形包括淺化、折射、繞射、反射、碎波與能量消散，這些變形效應通常並存發生，Berkhoff (1972) 提出緩坡方程式 (mild slope equation, MSE)，包含波浪變形的所有效應，他將 Laplace 方程式乘以滿足底床邊界條件 (BBC) 的水深因子，再由底部至水面對水深積分，將三維問題簡化為二維，以計算緩坡海床整個海域之平面波場。

假設海水為非旋性且不可壓縮，故滿足 Laplace 方程式：

$$\nabla_h^2 \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots (7-1)$$

式中 $\Phi = \Phi(x, y, z, t)$ 為三維波浪流速勢； x 為垂直海岸方向座標，向岸為正； y 為沿岸方向座標，向右為正； z 為水深方向座標，向上為正； t 為時間； $\nabla_h = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 為水平梯度因子。

線性波理論中，考慮水平底床之情況，則滿足自由表面動力邊界條件 (DFSBC) 及 BBC 之流速勢以複數型式表示為

$$\Phi = -i \frac{g}{\omega} f \eta \dots\dots\dots (7-2)$$

其中 $\eta = a \cos(kx - \omega t)$ 為水位函數，而 f 為水深函數，表示為

$$f = \frac{\cosh k(z + h)}{\cosh kh} \dots\dots\dots (7-3)$$

若底部為非水平底床且不隨時間而變，則底床邊界條件及自由表面動力邊界條件分別為

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = - \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = - \nabla_h \Phi \cdot \nabla_h h, \quad z = -h \dots\dots\dots (7-4)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \Phi = 0, \quad z = 0 \dots\dots\dots (7-5)$$

將式 (7-1) 乘以水深函數 f ，從底部至水面積分，並考慮線性波之情況，可得

$$\int_{-h}^0 f \left(\nabla_h^2 \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) dz = 0 \dots\dots\dots (7-6)$$

式 (7-6) 利用格林第一定律 (Green's first identity) 可得下式之關係：

$$\int_{-h}^0 \left(f \nabla_h^2 \Phi + \Phi \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \right) dz = - \left[f \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \Phi \frac{\partial f}{\partial z} \right]_{z=-h}^{z=0} \dots\dots\dots (7-7)$$

上式等號右邊，當上限 $z=0$ 時，利用分散關係式 $\omega^2 = gk \tanh kh$ ，再比較式 (7-4) 之自由表面邊界條件後得：

$$f \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} - \Phi \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} = 0 \dots\dots\dots (7-8)$$

當下限 $z=-h$ 時， $\partial f / \partial z = 0$ ，故由式 (7-4) 可得式 (7-7) 之等號右邊為

$$\left[f \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \Phi \frac{\partial f}{\partial z} \right]_{z=-h}^{z=0} = \left[-f \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right]_{z=-h} = [f \nabla_h \Phi \cdot \nabla_h h]_{z=-h} \dots\dots\dots (7-9)$$

利用 $\partial^2 f / \partial z^2 = k^2 f$ ，並將式 (7-9) 代入式 (7-7)，因此式 (7-7) 進一步簡化為

$$\int_{-h}^0 \left(f \nabla_h^2 \Phi + k^2 f \Phi \right) dz = - [f \nabla_h \Phi \cdot \nabla_h h]_{z=-h} \dots\dots\dots (7-10)$$

將式 (7-3) 代入式 (7-2)，並將流速勢 Φ 與水位 η 互換則

$$\nabla_h^2 \Phi = -\frac{ig}{\omega} \left[f \nabla_h^2 \eta + 2 \frac{\partial f}{\partial h} \nabla_h \eta \cdot \nabla_h h + \eta \frac{\partial f}{\partial h} \nabla_h^2 h + \eta \frac{\partial^2 f}{\partial h^2} (\nabla_h h)^2 \right] \quad (7-11)$$

故式(7-10)可改寫為

$$\begin{aligned} & \int_{-h}^0 \left[f^2 \nabla_h^2 \eta + 2 f \frac{\partial f}{\partial h} \nabla_h \eta \cdot \nabla_h h + \eta f \frac{\partial^2 f}{\partial h^2} (\nabla_h h)^2 + \eta f \frac{\partial f}{\partial h} \nabla_h^2 h + k^2 f^2 \eta \right] dz \\ &= - \left[f^2 \nabla_h h \cdot \nabla_h \eta + f \frac{\partial f}{\partial h} \eta (\nabla_h h)^2 \right]_{z=-h} \\ & \dots\dots\dots (7-12) \end{aligned}$$

根據雷伯尼茲法則 (Leibnitz rule) , 並假設水深變化是緩變的 , 水深變化梯度遠小於水位之變化梯度 , 即 $\nabla_h h \gg \nabla_h \eta$, 各項高階項可以忽略 , 故可得

$$\nabla_h \cdot \int_{-h}^0 f^2 \nabla_h \eta dz + \int_{-h}^0 k^2 f^2 \eta dz = 0 \dots\dots\dots (7-13)$$

上式第二項乘 g , 並對水深函數 f^2 積分 , 同時利用分散關係式、 $\omega/k = C$ 以及 $\Phi(x, y, z, t) = \phi(x, y, t) f(z, h)$, 則可得 Berkhoff (1972) 所提出橢圓型式之緩坡方程式 (Elliptic Mild Slope Equation)

$$\nabla_h \cdot (CC_g \nabla_h \phi) + k^2 CC_g \phi = 0 \dots\dots\dots (7-14)$$

Booij (1983) 利用 $\partial^2 \eta / \partial t^2 = -\omega^2 \eta$ 的關係式 , 將 MSE 改成雙曲線型式緩坡方程式 (Hyperbolic Mild Slope Equation) , 即

$$-\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \nabla_h \cdot (CC_g \nabla_h \phi) + (k^2 CC_g - \omega^2) \phi = 0 \dots\dots\dots (7-15)$$

為了擴展緩坡方程式的適用範圍 , Suh (1997) 等人考慮海床坡度以及海床曲率之變化 , 式 (7-12) 中有關海床坡度項 $\nabla_h h$ 以及曲率項 $\nabla_h^2 h$ 再加以整理 , 得到新的緩坡方程式。

$$-\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \nabla_h \cdot (CC_g \nabla_h \phi) + \left(k^2 CC_g - \omega^2 + F_1 g \nabla_h^2 h + F_2 g k |\nabla_h h|^2 \right) \phi = 0 \dots\dots\dots (7-16)$$

式中

$$F_1 = \frac{-4kh \cosh kh + \sinh 3kh + \sinh kh + 8(kh)^2 \sinh kh}{8 \cosh^3 kh (2kh + \sinh 2kh)} - \frac{kh \tanh kh}{2 \cosh^2 kh} \dots\dots\dots (7-17)$$

$$F_2 = \frac{\text{sech}^2 kh}{6(2kh + \sinh 2kh)^3} \left[8(kh)^4 + 16(kh)^3 \sinh 2kh \right. \\ \left. - 9\sinh^2 2kh \cosh 2kh + 12kh(1 + 2\sinh^4 kh)(kh + \sinh 2kh) \right] \dots\dots\dots (7-18)$$

Hsu 和 Wen (2001) 依據 Mei (1983)之建議，假設波浪變形隨一緩慢時間變量 $\bar{t} = \varepsilon t$ 緩慢變化， ε 為攝動參數， $\varepsilon \ll 1$ ，則波浪流速勢函數可進一步表示為

$$\phi(x, y, t) = \psi(x, y, \bar{t})e^{-i\omega t} \dots\dots\dots (7-19)$$

式 (7-19) 中 ψ 為含有緩慢時間變量流速勢函數。將式 (7-19) 代入式 (7-15) 雙曲線型緩坡方程式中，並將二階微小量省略，只保留一階以下各項，則可得時變性拋物線型演進緩坡方程式 EEMSE 如式 (7-20)

$$-2\omega i \frac{\partial \psi}{\partial t} = \nabla_h \cdot (CC_g \nabla_h \psi) + \left(k^2 CC_g + F_{1g} \nabla_h^2 h + F_{2g} k |\nabla_h h|^2 \right) \psi = 0 \dots\dots\dots (7-20)$$

7.1.2 不規則波之緩坡方程式

1. 控制方程式

本研究以波譜分割法處理不規則波浪問題，將不規則波視為由無數個單一成份波組成，分別進行計算後再予以合成不規則波之變形，對於單一成份波之計算，本研究以演進型緩坡方程式 EEMSE 作為控制方程式，同時仿照 Isobe (1987) 之處理方式，在方程式中加入能量消散係數 f_{Di} ，如下所示：

$$-\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial t^2} + \nabla_h \cdot [(CC_g)_i \nabla_h \phi_i] + \left[(k^2 CC_g)_i (1 + if_{Di}) - \omega_i^2 + F_1 g \nabla_h^2 h + F_2 g k |\nabla_h h|^2 \right] \phi_i = 0 \quad \dots (7-21)$$

式中下標 i 代表單一成份波之物理量，因此 ϕ_i 為單一成份波之速度勢能函數，而能量消散係數 $f_{Di} = f_{si} + f_{di} + f_{nl3i}$ ，其中 f_{si} 、 f_{di} 與 f_{nl3i} 分別代表非線性波浪淺化效應、碎波能量消散效應與非線性三波交互作用效應。

為簡化式 (7-21)，引用 Radder (1979) 之尺度因子，如下所示：

$$\Psi_i = \frac{\phi_i}{\sqrt{(CC_g)_i}} \quad \dots (7-22)$$

則式 (7-21) 可簡化如下：

$$-\frac{2\omega_i i}{(CC_g)_i} \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \nabla_h^2 \phi_i + (k_c^2)_i \phi_i \quad \dots (7-23)$$

其中 k_c 為虛擬週波數，其表示式如下

$$(k_c^2)_i = k_i^2 (1 + if_{Di}) - \frac{\nabla_h^2 \sqrt{(CC_g)_i}}{\sqrt{(CC_g)_i}} + \frac{[F_1 g \nabla_h^2 h + F_2 (\nabla_h h)^2 g k_i]}{(CC_g)_i} \quad \dots (7-24)$$

式 (7-23) 即為本研究計算單一成份波之控制方程式。

2. 能量消散係數

對於波浪的能量方程式，可藉由分離緩坡方程式中的實部及虛部推得。波譜分割後的每一個成份波，其波浪勢能函數可以表示為 $\phi = A_w e^{is}$ ，將其代入式 (7-15) 中，並分離方程式中的實部與虛部，再藉由式 (7-2) 波浪勢能函數與水位變化函數的關係，將波浪勢能函數之振幅 A_w 代換為水位變化振幅 a ，則可推得下列一組方程式，如下所示：

$$\frac{1}{a_i} \frac{\partial^2 a_i}{\partial t^2} - \left(\frac{\partial s_i}{\partial t} \right)^2 = (CC_g)_i [k_i^2 - (\nabla_h s_i)^2] - \omega_i^2 + \frac{\nabla_h \cdot (CC_g \nabla_h a)_i}{a_i} \quad (7-25)$$

$$-\frac{a_i^2}{\omega_i} \frac{\partial^2 s_i}{\partial t^2} - \frac{2a_i}{\omega_i} \frac{\partial s_i}{\partial t} \frac{\partial a_i}{\partial t} + \nabla_h \cdot \left(\frac{a^2 CC_g \nabla_h s}{\omega} \right)_i = - \left(\frac{fa^2 CC_g k^2}{\omega} \right)_i = -D_i \quad (7-26)$$

式中 D_i 為單位時間內每單位面積所產生的能量損失，其中包含有 (a) 波浪非線性淺化效應 ($D_i = D_{si}$)、(b) 波浪碎波能量消散效應 ($D_i = D_{di}$) 及 (c) 波浪非線性交互作用效應 ($D_i = D_{nl3i}$)。若在穩態情況下，且 $\theta \approx 0^\circ$ ， $\nabla s_i = 1$ ，則式 (7-26) 可簡化為一維波浪能量通率方程式，如下所示：

$$\frac{d(EC_g)_i}{dx} = -D_i = -f_{di} k_i (EC_g)_i \quad (7-27)$$

式中 $E_i = \rho g H_i^2 / 8$ ，為每單位面積的波浪能量， $H_i = 2a_i$ 為波高， ρ 為海水的密度。

3. 非線性淺化效應

關於波浪淺化效應時波高所需的修正量，本研究依照能量通率的觀點，結合 Shuto (1974) 提出的非線性淺化波高公式，推導出波浪的淺化修正量。假設非線性波高分佈可表示為 $\tilde{H}_i = H_i + (H_{non})_i$ ，其中 $\tilde{H}_i$ 為波浪的總波高， H_i 為線性波浪理論下的波高， $(H_{non})_i$ 為受非線性效應影響所產生的非線性波高。將上式代入式(7-27)波浪的能量通率方程式，並假設 $D_i = D_{si}$ 及 $f_i = f_{si}$ ，則波浪的過剩能量通率可表示為

$$-D_{si} = \frac{1}{8} \rho g \frac{d}{dx} [(2H H_{non} + H_{non}^2) C_g]_i \quad (7-28)$$

其所對應的能量通率方程式為

$$\frac{d(EC_g)_i}{dx} = -D_{si} = -f_{si} k_i (EC_g)_i \dots\dots\dots (7-29)$$

而 Shuto (1974) 提出之斜坡底床上的非線性淺化公式如下所示：

$$\left\{ \begin{array}{ll} \left(\frac{H}{H_0} \right)_i = \sqrt{\frac{1}{2n_i} \frac{1}{\tanh k_i h}} & \text{for } U_r \leq 30 \\ H_i h^{2/7} = \text{const} & \text{for } 30 < U_r \leq 50 \dots\dots\dots (7-30) \\ H_i h^{5/2} (\sqrt{U_r} - 2\sqrt{3}) = \text{const} & \text{for } U_r > 50 \end{array} \right.$$

式中 H_{0i} 為入射波波高， $n_i = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2k_i h}{\sinh 2k_i h} \right)$ ， $U_r = \frac{gHT^2}{h^2}$ 為 Ursell number。

將上式三種情況分別代入式 (7-29)，並應用 $\frac{d(\quad)_i}{dx} = \frac{dh}{dx} \frac{d(\quad)_i}{dh} = -\tan \beta \frac{d(\quad)_i}{dh}$ 之關係，其中 $\tan \beta$ 為底床平均坡度，因此可整理得

$$f_{si} = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{for } U_r \leq 30 \\ \frac{1}{k_i h} \left(-\frac{4}{7} + s_1 + s_2 \right) \tan \beta & \text{for } 30 < U_r \leq 50 \\ \frac{1}{k_i h} \left(-\frac{3\sqrt{U_r} - 10\sqrt{3}}{1.5\sqrt{U_r} - 2\sqrt{3}} + s_1 + s_2 \right) \tan \beta & \text{for } U_r > 50 \end{array} \right. \dots\dots\dots (7-31)$$

式中 $s_1 = \frac{k_{0i} h - h^2 (k_i^2 + k_{0i}^2)}{4n_i^2 \sinh^2 k_i h}$ ， $s_2 = \frac{2n_i - 1}{2n_i}$ ，其中 k_{0i} 為入射波浪之週波數。

4. 碎波能量消散效應

關於碎波消耗項本研究採用 Eldeberky 和 Battjes (1995) 之理論，首先將 Battjes 和 Janssen (1978) 之碎波公式推衍至波譜型式，如下所示：

$$S_{br}(\omega_i, \theta_i) = -\frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\omega_i, \theta_i) \dots\dots\dots (7-32)$$

式中 E_{tot} 為波浪總能量， $E(\omega_i, \theta_i)$ 為波譜能量密度， D_{tot} 為因碎波造成之每單位水體之平均能量消散率，表示如下：

$$D_{tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left(\frac{\bar{\omega}}{2\pi} \right) H_{max}^2 \dots\dots\dots (7-33)$$

其中 $\alpha_{BJ} = 1$ ，為可調整的參數， $\bar{\omega}$ 為平均角頻率， Q_b 為碎波微小量， H_{max} 為最大可能波高，分別如下所示：

$$Q_b = \exp \left[\frac{1 - Q_b}{(H_{rms} / H_{max})^2} \right] \dots\dots\dots (7-34)$$

$$H_{max} = \frac{0.88}{k} \tanh\left(\frac{\gamma kh}{0.88}\right) \dots\dots\dots (7-35)$$

此處

$$\gamma = 0.5 + 0.4 \tanh\left(33 \frac{H_{rms,0}}{L_0}\right) \dots\dots\dots (7-36)$$

上式中 H_{rms} 為波浪均方根波高，而 $H_{rms,0}$ 為入射波浪之均方根波高， L_0 為入射波之波長。將式 (7-32) 代入式 (7-29) 中，可推得如下關係：

$$\frac{d}{dx} (EC_g)_i = (S_{br})_i = -f_{di} k_i (EC_g)_i \dots\dots\dots (7-37)$$

故

$$f_{di} = -\frac{(S_{br})_i}{k_i(EC_g)_i} \dots\dots\dots (7-38)$$

而碎波指標本研究選用 McCowan (1894) 提出之公式進行判斷，碎波判斷式如下所示：

$$\frac{H_b}{h_b} > 0.78 \dots\dots\dots (7-39)$$

式中 H_b 為碎波波高， h_b 為碎波水深。

5. 非線性三波交互作用效應

波浪傳遞至淺水時，受非線性效應之影響，會在波譜主頻與倍頻處產生能量的重新分配，使得波浪能量會由低頻處往高頻區移動，因此波浪整體的平均週期有變小之趨勢。而對於非線性三波交互作用項，最早加入模式計算的為 Eldeberky 和 Battjes (1995)，Eldeberky (1996) 發表應用 LTA (lumped triad approximation) 來計算三波交互作用項，如下所示：

$$S_{nl3}(\omega_i, \theta_i) = S_{nl3}^-(\omega_i, \theta_i) + S_{nl3}^+(\omega_i, \theta_i) \dots\dots\dots (7-40)$$

其中

$$S_{nl3}^+(\omega_i, \theta_i) = \max \left\{ \begin{array}{l} 0, \\ \alpha_{EB} 2\pi (CC_g)_i (J_{nl3}^2)_i |\sin(\beta_t)| E^2(\omega_i/2, \theta_i) - 2 E(\omega_i/2, \theta_i) E(\omega_i, \theta_i) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (7-41)$$

$$S_{nl3}^-(\omega_i, \theta_i) = -2S_{nl3}^+(2\omega_i, \theta_i) \dots\dots\dots (7-42)$$

式中 α_{EB} 為調整比例係數 (tunable proportionality coefficient)，本計

畫模式設定為 1.0 , β_t 為雙位相 (biphase) , 可表示為

$$\beta_t = -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \tanh \left(\frac{0.2}{U_r} \right) \dots\dots\dots (7-43)$$

而三個波波交互作用發生時 U_r 的範圍為 $1116 > U_r > 11$ 。 J_{nl3} 為交互作用係數 , 由 Madsen 和 Sørensen (1993) 建議其表示式為

$$(J_{nl3})_i = \frac{k_{\omega_i/2}^2 (g h + 2 C_{\omega_i/2}^2)}{k_{\omega_i} h (g h + \frac{2}{15} g h^3 k_{\omega_i}^2 - \frac{2}{5} \omega_i^2 h^2)} \dots\dots\dots (7-44)$$

式中 $k_{\omega_i/2}$ 為發生交互作用頻率之週波數 , k_{ω_i} 為中心頻率之週波數 , $C_{\omega_i/2}$ 為發生交互作用之位相速度。

將式 (7-40) 代入式 (7-29) 可得

$$\frac{d(EC_g)_i}{dx} = -f_{nl3i} k_i (EC_g)_i = (S_{nl3})_i \dots\dots\dots (7-45)$$

即

$$f_{nl3i} = -\frac{(S_{nl3})_i}{k_i (EC_g)_i} \dots\dots\dots (7-46)$$

7.1.3 邊界條件及起始條件

1. 邊界條件

對於波浪通過邊界時所需給定的邊界條件 , 本研究採用輻射邊界條件 (radiation boundary condition) 來加以處理。輻射邊界條件為 Sommerfeld (1964) 所提出 , 其物理意義為當波浪通過邊界時散射波 (scattering waves) 呈輻狀衰減。其數學表示式如下所示 :

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \alpha \frac{\partial \phi_i}{\partial t} + C_i \frac{\partial \phi_i}{\partial r} = 0 , \text{ 在 } \partial B \dots\dots\dots (7-47)$$

式中 $\alpha = (1 - R/1 + R)$ 為波浪吸收係數； R 為反射係數； $C_i = \omega_i / k_i$ 為波速； $r = |r| = x \cos \theta + y \sin \theta$ 為波浪行經之路徑； θ 為波浪入射邊界的角
度， ∂B 為波浪所通過的邊界。邊界條件與格點佈置示意圖如圖 7-1 所示。

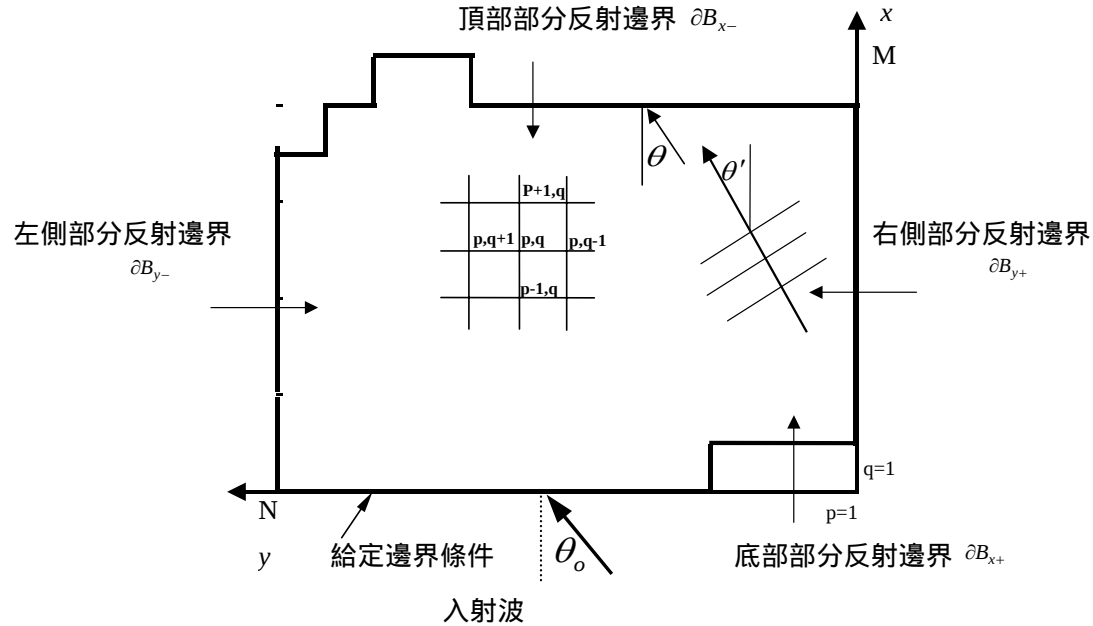


圖 7-1 邊界條件設置及格點佈置示意圖

假設波浪的速度勢能函數在卡氏直角座標上可表示為

$$\phi_i = a_i e^{i(k_{xi}x + k_{yi}y - \omega_i t)} \dots\dots\dots (7-48)$$

並利用下列關係式

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \cos \theta, \quad \frac{\partial r}{\partial y} = \sin \theta \dots\dots\dots (7-49)$$

則 x 方向及 y 方向上的輻射邊界條件為

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial x} \mp i\alpha k_{xi} \phi_i = 0, \quad \text{在 } \partial B_{x+} \text{ or } \partial B_{x-} \dots\dots\dots (7-50)$$

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial y} \mp i\alpha k_{yi} \phi_i = 0, \quad \text{在 } \partial B_{y+} \text{ or } \partial B_{y-} \dots\dots\dots (7-51)$$

式中 $k_{xi} = k_i \cos \theta$ 及 $k_{yi} = k_i \sin \theta$ 為週波數 k_i 在 x 方向上及 y 方向上的分量； θ 為波浪在邊界上的角度； ∂B_x 及 ∂B_y 分別為垂直於 x 及 y 軸的邊界，如圖 7-1 所示。

邊界條件的型態則可依波浪於邊界處的特性區分為 (1) 完全吸收邊界條件 (fully absorbed boundary condition)；(2) 全反射或部分吸收邊界條件 (total reflection or partial absorption boundary condition)；及 (3) 給定邊界條件 (specified boundary condition)。本研究模式使用之邊界條件在外海入射端為給定邊界條件，其餘為完全吸收邊界條件，以下分別介紹二種邊界條件之特性。

1. 完全吸收邊界條件

對於波浪通過邊界時沒有任何反射波浪產生，則此邊界將波浪完全吸收，此邊界條件為完全吸收邊界條件。本研究所採用的完全吸收邊界條件，其方程式如式 (7-50) 及 (7-51) 所示，其中 $\alpha = 1$ 。

2. 給定邊界條件

波浪由外海入射至近岸時，受水深地形及海岸結構物影響，產生散射波 (scattering wave)。當產生的散射波浪通過邊界時，邊界上會包含兩種不同特性的波浪，一為已知的入射波浪，另一為未知的散射波浪。對於沿邊界 ∂B_{x^+} 或 ∂B_{x^-} 的給定邊界條件，其總速度勢能函數可表示為

$$\phi_i = \phi_{ii} + \phi_{si} \dots\dots\dots (7-52)$$

式中 $\phi_{ii} = \hat{\phi}_{ii} e^{i(k_i x \cos \theta' + k_i y \sin \theta' - \omega_i t)}$ 為入射波速度勢能函數， $\phi_{si} = \hat{\phi}_{si} e^{i(k_i x \cos \theta' + k_i y \sin \theta' + \omega_i t)}$ 為散射波速度勢能函數，將式 (7-52) 代入式 (7-50) 中，則可得

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial x} = \mp i \alpha k_{xi} \phi_i \pm 2i \alpha k_{xi} \phi_{ii} \quad , \text{ 在 } \partial B_{x^+} \text{ or } \partial B_{x^-} \dots\dots\dots (7-53)$$

上式中入射波浪的吸收係數 $\alpha = 1$ ，因此可重新整理為

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial x} = \mp i k_{xi} \phi_i \pm 2 i k_{xi} \phi_{ii} \dots\dots\dots (7-54)$$

同理，沿著邊界 ∂B_{y^+} 或 ∂B_{y^-} 的邊界條件可表示為

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial y} = \mp i k_{yi} \phi_i \pm 2 i k_{yi} \phi_{ii} \dots\dots\dots (7-55)$$

2. 起始條件

由於演進型緩坡方程式為一時變性之緩坡方程式，因此在模式求解過程中，對於計算領域之各網格點，需要給定一個起始值來進行疊代計算。在給定起始條件過程中，首先計算波浪的波數向量，而對於波浪的波向角則利用司乃爾定律對每一網格點進行計算。而對於每一網格點上的波高分佈，則以等坡度底床下的線性波理論來加以預估，如下所示：

$$H_i = H_{0i} k_{si} k_{ri} \dots\dots\dots (7-56)$$

式中 k_{si} 為淺化係數， k_{ri} 為折射係數，其表示式分別如下所示：

$$k_{si} = \left[\frac{1}{(1 + 2k_i h / \sinh 2k_i h) \tanh k_i h} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (7-57)$$

$$k_{ri} = (\cos \theta_0 / \cos \theta)^{1/2} \dots\dots\dots (7-58)$$

式中 θ_0 為外海入射角度，而起始波浪勢能函數 $\phi_i = 0$ ，若考慮一維方向波浪之變形，則 $\theta_0 = 0^\circ$ 且 $\cos \theta_0 = 1$ ， $\cos \theta = 1$ ， $k_{ri} = 1$ 。

7.1.4 數值方法與收斂條件

對於模式之數值方法，本研究選用交替方向隱式法 (ADI 法) 來計算波場，在計算過程中分別對 x 及 y 方向進行交替疊代。而方程式之離散方式，則是利用二階中央差分法來離散控制方程式與邊界條件，所求解的矩陣為帶寬 (band width) 為 3 的矩陣。

本研究計算波場之控制方程式其離散式如下所示：

$$(f_i)_{p,q} \frac{(\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1/2} - (\phi)_{p,q}^{\bar{n}}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \hat{\delta}_x^2 (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1/2} + \frac{1}{2}(k_{ci}^2)_{p,q} (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1/2} + \hat{\delta}_y^2 (\phi)_{p,q}^{\bar{n}} + \frac{1}{2}(k_{ci}^2)_{p,q} (\phi)_{p,q}^{\bar{n}} \dots (7-59)$$

$$(f_i)_{p,q} \frac{(\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1} - (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1/2}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \hat{\delta}_x^2 (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1/2} + \frac{1}{2}(k_{ci}^2)_{p,q} (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1/2} + \hat{\delta}_y^2 (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1} + \frac{1}{2}(k_{ci}^2)_{p,q} (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1} \dots (7-60)$$

$$(f_i)_{p,q} = -\frac{2\omega_i}{(C_i C_{gi})_{p,q}} \dots (7-61)$$

式中

$$\hat{\delta}_x^2 (\phi)_{p,q}^{\bar{n}} = \frac{(\phi)_{p-1,q}^{\bar{n}} - 2(\phi)_{p,q}^{\bar{n}} + (\phi)_{p+1,q}^{\bar{n}}}{\Delta x^2} \dots (7-62)$$

$$\hat{\delta}_y^2 (\phi)_{p,q}^{\bar{n}} = \frac{(\phi)_{p,q-1}^{\bar{n}} - 2(\phi)_{p,q}^{\bar{n}} + (\phi)_{p,q+1}^{\bar{n}}}{\Delta y^2} \dots (7-63)$$

其中上標 “ $\bar{n}$ ” 表示時間因子，下標 “ p ” 和 “ q ” 分別為 x 和 y 方向上的格點，可參考圖 7-1 之格點示意圖， $\hat{\delta}$ 為微分運算子， Δx 和 Δy 分別為 x 與 y 方向之格網間距。

對於計算時所需的邊界條件，本研究是以完全吸收邊界條件及給定邊界條件來加以計算。其離散式分別如下所示：

$$(\phi)_{p+1,q}^{\bar{n}+1} - (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1} = \frac{i\Delta x(k_{xi})_{p,q}}{2} [(\phi)_{p+1,q}^{\bar{n}+1} + (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1}] \dots (7-64)$$

$$(\phi)_{p+1,q}^{\bar{n}+1} - (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1} = -\frac{i\Delta x(k_{xi})_{p,q}}{2} [(\phi)_{p+1,q}^{\bar{n}+1} + (\phi)_{p,q}^{\bar{n}+1}] + 2i(k_{xi})_{p,q} (\phi)_{p,q}^{\bar{n}} \Delta x \dots (7-65)$$

在模式計算時，時間變化量 (Δt) 為疊代次數的參數指標，且此參數為影響收斂速度的重要因素。 Δt 參數的型式如下式所示：

$$\Delta t = N_w \frac{2\omega}{CC_g} \Delta x^2 \dots\dots\dots (7-66)$$

其中 N_w 為無因次參數，其值介於 $O(1)$ $O(10)$ 之間。

對於模式所設的時間變化量 (Δt)，在求解方程式的過程中，需滿足 Diffusion number $D_f = CC_g / (2\omega \Delta x^2 / \Delta t)$ 的限制，而為滿足邊界條件上的穩定條件，則需滿足 Courant number $C_r = \sqrt{gh} / (\Delta x / \Delta t)$ 的限制。在同時滿足這兩個限制條件的情況下，時間變化量 (Δt) 需遵守下式之情況

$$\text{Max}\{C_r, D_f\} \leq 1 \dots\dots\dots (7-67)$$

對於本研究模式於疊代過程中所採用的收斂條件，採用 Li (1994b) 之殘差計算式 $\tilde{\varepsilon}$ ，當其值小於給定的計算誤差時表示達到收斂條件。殘差表示式如下所示：

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{\sqrt{\sum_p \sum_q \text{Abs}(\phi_{p,q}^{\bar{n}} - \phi_{p,q}^{\bar{n}-1})^2}}{\sum_p \sum_q \text{Abs}(\phi_{p,q}^{\bar{n}})} \dots\dots\dots (7-68)$$

對於模式中計算所得的殘差，本研究選用 $\tilde{\varepsilon} < 10^{-4}$ 為其收斂條件。

7.1.5 波譜分割與合成

本研究假設不規則波之入射波波譜具有線性波譜之特性，亦即波譜可被分割為無數個成份能譜，每一個成份能譜各有一代表頻率，亦即視為一規則成份波。實際應用時應將波譜分割成有限個成份能譜，分割數的多寡視要求的精度而定。一般而言，波譜分割有 (1) 等頻率分割、(2) 等能量分割、(3) 混和分割等三種方式。等頻率分割雖然方法較為簡單，但各個成份波之間的能量差距過大；而等能量分割之缺點為在高頻部分其中心代表頻率所代表之範圍過大，但在工程上之應用較具實用性。而本研究因考慮波浪在主頻附近的能量變化較為迅

速，在高頻處的能量變化較為緩慢，為提高計算效率，故採用混和分割方式，利用指數分佈來離散波浪頻率，過程說明如下：

已知波譜能量密度 $S(f)$ ，先決定波譜分割之最高頻率 (f_{high}) 與最低頻率 (f_{low})，假設波譜分割數為 M ，則頻率分割之間隔以下式計算

$$\Delta f_i = \left[\left(\frac{f_{high}}{f_{low}} \right)^{\frac{1}{M-1}} - 1 \right] f_i \dots\dots\dots (7-69)$$

各成份波對應之頻率如下所示：

$$f_1 = f_{low} \dots\dots\dots (7-70)$$

$$f_M = f_{high} \dots\dots\dots (7-71)$$

$$f_{i+1} = \left(\frac{f_M}{f_1} \right)^{\frac{1}{M-1}} f_i \dots\dots\dots (7-72)$$

而各成份波對應之波高與週期以下式計算

$$H_i = 4\sqrt{S(f_i)\Delta f_i} \text{ , } T_i = 1/ f_i \dots\dots\dots (7-73)$$

而對於波譜分割範圍與切割數的決定，其基本原則為波譜合成後之波高與週期能重現原不規則波之波浪特性。因此，本研究模式之頻率切割範圍大致上為尖峰頻率 f_p 之 0.1 倍至 5 倍之間，若以能量觀點檢視，此範圍應已足夠代表整個波譜，而切割數至少為 20 個以上。

由成份波所對應之波高及頻率，利用前述切割之觀念，可由式 (7-73) 反推成份波能譜與成份波波高之關係，如下所示：

$$S(f_i) = H_i^2 / 16 \Delta f_i \dots\dots\dots (7-74)$$

根據 Longuet-Higgins (1952) 之推導指出，波浪之示性波高 $H_{1/3}$ 、平均週期 $\bar{T}$ 與波譜之各次動差如下所示：

$$H_{1/3} = 4.004 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots (7-75)$$

$$\bar{T} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \dots\dots\dots (7-76)$$

式中， m_k 為波譜之 k 次動差，以下式計算

$$m_k = \int_0^{\infty} S(f) f^k df \dots\dots\dots (7-77)$$

根據 Bretschneider (1968)、Goda 和 Nagai (1968) 依實測數據之分析結果顯示，示性週期與平均週期間之關係為

$$T_{1/3} = \bar{T} / 0.9 \dots\dots\dots (7-78)$$

由式 (7-75) 與式 (7-78) 即可求得此能譜所代表之波浪條件，亦即示性波高與示性週期。

7.2 不規則波之應用

7.2.1 反射係數公式

有關反射係數的計算公式，目前已有許多文獻提出不同的計算方法，如 Goda 和 Suzuki (1976) 的兩點法、Mansard 和 Funke (1980)⁵⁶ 及 Chang (2002) 的三點法。Goda 和 Suzuki (1976) 將波高計固定於斷面水槽，並將量測到的波形利用富立葉級數 (Fourier series) 展開，進而計算波浪的反射係數。Chang (2002) 提出頻率領域反射係數之推算方法，利用空間任意三點等間距的水位振幅，進而求出斜坡底床的波浪反射係數。由於本研究模式計算所得為波場，而非時系列之波形，故以 Chang (2002) 之反射係數公式作為本研究規則波反射係數之依據，對於單一規則波，其反射係數推算過程如下：

如圖 7-2 所示，任意水深合成波之波形可表示為

$$\begin{aligned}\eta(x,t) &= a_I \cos\left(\int_0^x k dx + \omega t + \varepsilon_i\right) + a_R \cos\left(\int_0^x k dx - \omega t + \varepsilon_r\right) \\ &= a_I \left\{ \left[\cos\left(\int_0^x k x + \varepsilon_i\right) + R \cos\left(\int_0^x k dx + \varepsilon_r\right) \right] \cos \omega t \right. \\ &\quad \left. + \left[\sin\left(\int_0^x k dx + \varepsilon_i\right) - R \sin\left(\int_0^x k dx + \varepsilon_r\right) \right] \sin \omega t \right\} \quad \dots\dots\dots (7-79)\end{aligned}$$

式中 a_I 和 a_R 分別為入、反射波振幅， $R = a_R / a_I$ 為反射係數， ε_i 和 ε_r 則為入、反射波之位相差。利用三角函數之和差化積，可得在 x 位置的水位振幅為

$$\begin{aligned}|\eta| &= a_I [1 + R^2 + 2R \cos(2 \int_0^x k dx + \varepsilon_i + \varepsilon_r)]^{1/2} \\ &= a_0 k_s [1 + R^2 + 2R \cos(2 \int_0^x k dx + \varepsilon_i + \varepsilon_r)]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7-80)\end{aligned}$$

式中 a_0 為外海入射波之振幅， k_s 為線性波之淺化係數。

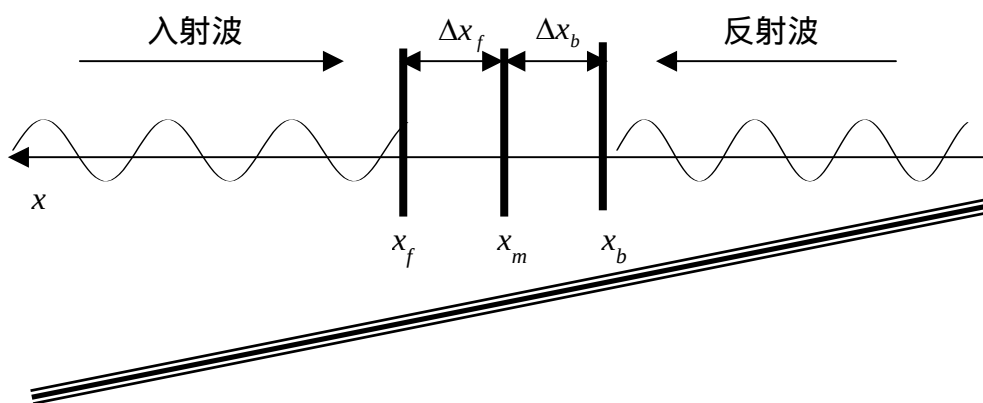


圖 7-2 入射波與反射波座標示意圖

由圖 7-2， x_f 處之空間位相函數為

$$\begin{aligned} \int_0^{x_f} k dx &= \int_0^{x_m} k dx + \int_{x_m}^{x_m + \Delta x_f} k dx = X_m + \int_{x_m}^{x_m + \Delta x_f} \left(k_m + \frac{dk}{dx}\right) dx \\ &= X_m + k_m \Delta x_f + \frac{dk}{dx} \bigg|_{x=x_m} \frac{\Delta x_f^2}{2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (7-81)$$

式中 k_m 為 x_m 處的週波數， dk/dx 為週波數隨距離的變化，其變化值可由微小振幅波的延散關係式 (Dispersion Relation) 求得，其關係式如下所示：

$$\frac{dk}{dx} = \frac{dk}{dh} \frac{dh}{dx} = \frac{k^2 \tan \beta}{(kh + 1/2 \sinh 2kh)} \quad \dots\dots\dots (7-82)$$

式中 $\tan \beta$ 為底床坡度，如水平底床則 $\tan \beta = 0$ 。根據式 (7-80) 至式 (7-82)， x_b 、 x_m 及 x_f 三點之水位振幅分別為

$$|\eta|_b = a_0 k_{sb} \left[1 + R^2 + 2R \cos(\alpha_1 - \alpha_b) \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7-83)$$

$$|\eta|_m = a_0 k_{sm} \left[1 + R^2 + 2R \cos \alpha_1 \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7-84)$$

$$|\eta|_f = a_0 k_{sf} \left[1 + R^2 + 2R \cos(\alpha_1 + \alpha_f) \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7-85)$$

其中

$$\alpha_1 = 2X_m + \varepsilon + \varepsilon_r \dots\dots\dots (7-86)$$

$$\alpha_b = 2k_m \Delta x_b + \frac{2k_m^2 \Delta x_b^2 \tan \beta}{2k_m h_m + \sinh 2k_m h_m} \dots\dots\dots (7-87)$$

$$\alpha_f = 2k_m \Delta x_f - \frac{2k_m^2 \Delta x_f^2 \tan \beta}{2k_m h_m + \sinh 2k_m h_m} \dots\dots\dots (7-88)$$

由式 (7-83) 至式 (7-85) , 則可得以下之關係 :

$$B = \left(\frac{|\eta_b|}{k_{sb}} \right)^2 = a_0^2 [1 + R^2 + 2R \cos(\alpha_1 - \alpha_b)] \dots\dots\dots (7-89)$$

$$M = \left(\frac{|\eta_m|}{k_{sm}} \right)^2 = a_0^2 [1 + R^2 + 2R \cos \alpha_1] \dots\dots\dots (7-90)$$

$$F = \left(\frac{|\eta_f|}{k_{sf}} \right)^2 = a_0^2 [1 + R^2 + 2R \cos(\alpha_1 + \alpha_f)] \dots\dots\dots (7-91)$$

利用式 (7-89) 至式 (7-91) 可解得位相 α_1 及波浪反射係數 R 分別表示如下 :

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left[\frac{F - B + (B - M) \cos \alpha_f - (F - M) \cos \alpha_b}{(B - M) \sin \alpha_f + (F - M) \sin \alpha_b} \right] \dots\dots\dots (7-92)$$

$$R = \frac{B - F}{2a_0^2 [\cos(\alpha_1 - \alpha_b) - \cos(\alpha_1 + \alpha_f)]} \dots\dots\dots (7-93)$$

由已知之反射係數, 代入式 (7-83) 至式 (7-85) 可求出各點之入射波水位振幅, 至於各點之反射波水位振幅可由 $a_R = a_I \cdot R$ 求得。而目前本計畫所測試之地形皆以水平底床為主, 故於上面各式中先假

令 $\tan \beta = 0$ 進行反射波之估算，則 α_1 、 α_b 、 α_f 退化如下所示

$$\alpha_1 = 2X_m + \varepsilon + \varepsilon_r \dots\dots\dots (7-94)$$

$$\alpha_b = 2k_m \Delta x_b \dots\dots\dots (7-95)$$

$$\alpha_f = 2k_m \Delta x_f \dots\dots\dots (7-96)$$

至於不規則波之反射係數，Goda 和 Suzuki (1976) 認為可由入射波與反射波之總能量求得，即

$$R = \sqrt{\frac{E_R}{E_I}} \dots\dots\dots (7-97)$$

其中 E_I 為入射波總能量， E_R 為反射波總能量。由於本研究視不規則波之波譜，是由不同成份之規則波疊加而成，故入射波與反射波之總能量為

$$E_I = \sum_i \left(\frac{1}{2} a_I^2 \right)_i \dots\dots\dots (7-98)$$

$$E_R = \sum_i \left(\frac{1}{2} a_R^2 \right)_i \dots\dots\dots (7-99)$$

由以上的分析可知，由波譜切割而成之各個成份波，先利用 EEMSE 模式，計算出各成份波之水位振幅，再以 Chang (2002) 之方法，分別求出各成份波之入射波與反射波振幅，代入式 (7-97) 至式 (7-99) 即可求得不規則波之反射係數。

7.2.2 波譜的選擇

一般而言，為了達到保護海岸的目的，人工潛堤均設置於淺水區域或中間性水深，就波譜而言，TMA 波譜較能適用於淺水區域，而

JONSWAP 波譜則是有限吹送距離下，常被使用的標準波譜，兩者的差別在於 TMA 波譜比 JONSWAP 波譜多了一個水深函數，Bouws 等人 (1987) 認為 JONSWAP 波譜亦可以適用於有限水深，故本研究以 Goda (1999) 提議之 JONSWAP 波譜，做為本研究計算之波譜，其型式如下：

$$S(f) = \sigma_1 H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_p f)^{-4}] \gamma^{\exp[-(T_p f - 1)^2 / 2\sigma_0^2]} \dots\dots (7-100)$$

$$\sigma_1 = \frac{0.06238}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} [1.094 - 0.01915 \ln \gamma] \dots\dots (7-101)$$

$$T_p = \frac{T_{1/3}}{1 - 0.132(\gamma + 0.2)^{-0.559}} \dots\dots\dots (7-102)$$

式中 $\gamma = 3.3$ 為能量集中度參數 (peak enhancement factor)， T_p 為尖峰頻率 f_p 之倒數， $T_{1/3}$ 為示性週期，當 $f \leq f_p$ 時， $\sigma_0 = 0.07$ ，當 $f > f_p$ 時， $\sigma_0 = 0.09$ 。

利用本研究建議之混合分割方法，分割 JONSWAP 波譜之結果示於圖 7-3。由圖中顯示，尖峰頻率附近的能量變化較為迅速，而在高頻處的能量變化則較為緩慢。波譜混合分割的方法，主要利用密次方指數，來離散波浪頻率，在改善等頻率分割時，各成分波的能量差異太大，及等能量分割時，高頻部份其中心代表頻率所代表的範圍太大的缺點。由圖 7-3 可以看出，在高頻部份分割的間距，較尖峰頻率附近為寬，且在尖峰頻率附近之分割間距又不致於太窄，顯示混合分割的方法，能夠改善等能量分割及等頻率分割方法的缺點。

再者，為了驗證混合分割方法，能夠掌握波譜的特性，本研究以週期 $T_{1/3} = 1.67921$ 秒，示性波高 $H_{1/3} = 0.01 m$ 之條件，利用式 (7-100) 得到 JONSWAP 波譜，選擇不同的成份波個數，再以本研究之波譜分割與合成的方法，得到合成波之示性波高及週期，表 7-1 為不同個數成份波所得之誤差情形，由表中可以看出，各種成份波個數，其合成波之週期，誤差均在 1% 以下，而合成波波高的誤差，則隨分割成份波個數的增加而減少，基於計算時間的考量，本研究以 50 個成份波，做為計算不規則波反射係數的依據。

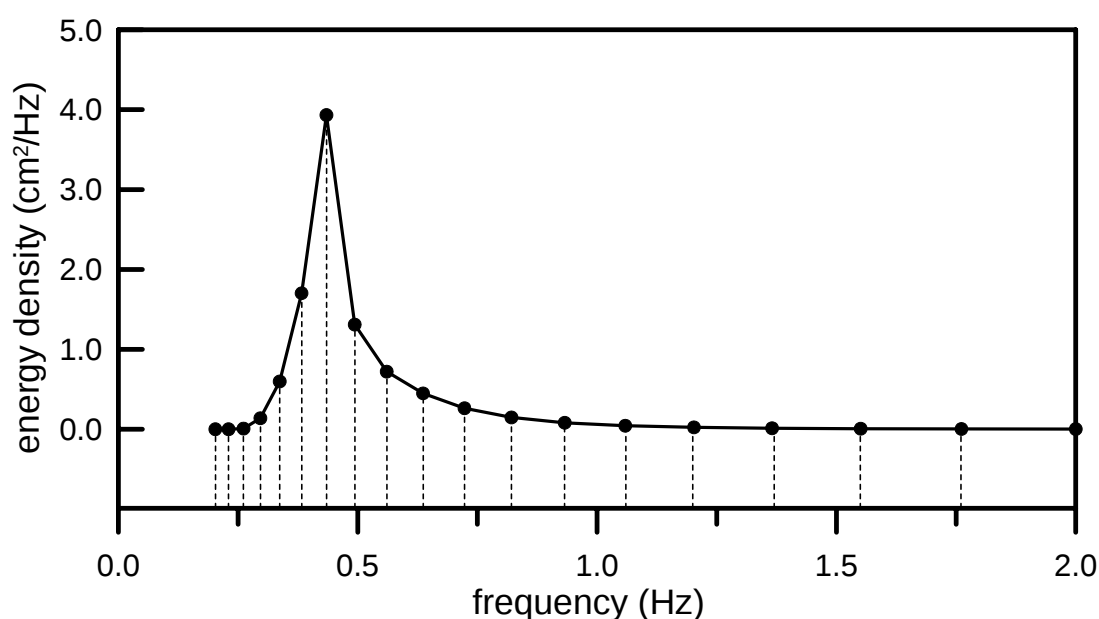


圖 7-3 混合波譜分割示意圖

表 7-1 不同個數成份波之合成波誤差比較表

成份波 個數	合成波 $\bar{T}$ (sec)	合成波 $T_{1/3}$ (sec)	誤差	合成波波高 (m)	誤差
20	1.49718	1.66353	0.93%	0.01054	5.40%
30	1.52086	1.68984	0.63%	0.01017	1.70%
40	1.51975	1.68861	0.56%	0.01017	1.70%
50	1.51970	1.68856	0.56%	0.01010	1.00%
60	1.51999	1.68888	0.58%	0.01007	0.70%
70	1.52035	1.68928	0.60%	0.01005	0.50%
80	1.52047	1.68941	0.61%	0.01003	0.30%
90	1.52070	1.68967	0.62%	0.01001	0.10%
100	1.52076	1.68973	0.63%	0.01000	0.00%

7.3 水工模型試驗

過去有關布拉格反射係數之試驗，不管正弦沙漣底床或人工潛堤，均僅限於規則波之研究，然而實際海域的波浪紛紜不一，並非單一的規則波浪所能模擬，由單一規則波浪作用於結構物，所得之反射係數，應與不規則作用所得的結果有所出入，因此瞭解不規則波之布拉格共振情形，為值得研究的課題。本研究試驗主要針對在不規則波的條件下，波浪通過各式人工潛堤配置所產生之布拉格共振效應，進而分析歸納其特性，做為未來海岸防護施工的參考。茲將水工試驗設備、試驗過程及數據處理方法敘述如後。

7.3.1 試驗設備

本不規則波之試驗研究在國立成功大學水利暨海洋工程學系雷射實驗室完成。試驗水槽長 25 m × 寬 0.5 m × 高 0.6 m，試驗水槽前端設置不規則波造波機，尾端設有消波設施，水槽兩壁為強化透明玻璃，可藉透明玻璃觀察試驗進行時波浪的變化過程，如圖 7-4 所示。此不規則波造波機為日本 ISEYA 公司所設計製造，命名為“標的造波機”(target wave generator)，如圖 7-5 所示。其型式為一自動回授控制活塞式驅動系統，造波板長 60 cm × 寬 24 cm × 厚 0.4 cm 之不鏽鋼板，其進退運動由活塞式伺服馬達所控制，最大可以造出 20 公分波高 (水深 40 公分時)，週期介於 0.5 秒 5.0 秒之間。於試驗

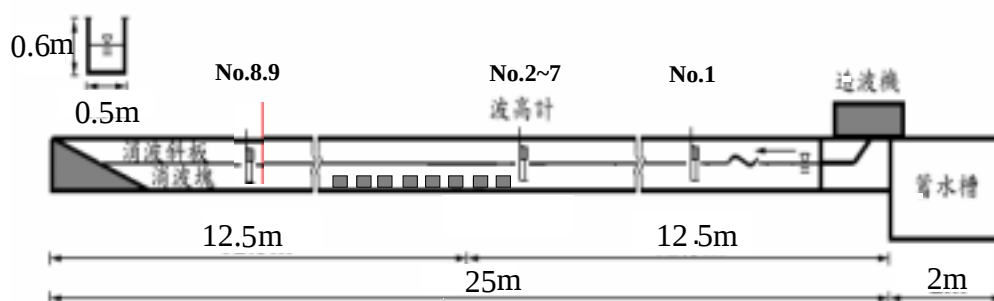


圖 7-4 試驗水槽斷面圖

水槽另一端設置消波塊，其上並擺設消波斜板以及各式消波工具，經詳細量測空水槽之反射率約在 5 ~ 8 % 之間。本試驗之水位訊號是由盛邦科技公司所生產的 45 公分之雙測線型容量式波高計 (parallel-wire-resistance-type wave gauge) 所量得，如圖 7-6 所示。而透過波高計不同水位的變化將得到所對應之電壓值，則即可利用增幅器 (amplifier) 將量測到的電壓值放大，進一步運用美國 National Instruments 公司生產型號為 BNC-2090 的資料擷取平台，將所量得之類比訊號，經本實驗室自行撰寫的 Labview 程式，轉換為水位數位訊號，再經由電腦處理分析，便可得到即時波浪水位資料。另外，水位量測系統以及 BNC-2090 資料擷取平台，如圖 7-6 以及圖 7-7 所示。



圖 7-5 造波機及蓄水池



圖 7-6 水位量測系統 (增幅器與波高計)



圖 7-7 BNC-2090 資料擷取平台

7.3.2 試驗配置與條件

本試驗在水平底床分別進行等間距以及複合式系列潛堤試驗，整體試驗於造波機前 17 公尺處進行第一個潛堤的配置，其餘潛堤則往尾端方向依序佈置。波高計則配置主要配置於三區，一為入射區，於造波板前 5 公尺放置 1 支波高計，藉以量測入射波浪。二為堤前區，於系列前堤前 0.9 公尺處放置 6 支波高計，藉以量測堤前水位變化，進而經過資料擷取系統及計算程式，得到所需之波高與反射率。三為系列潛堤後方等水深區域，此區放置 2 支波高計，用以觀測透射波傳遞的情形。

依據張等人 (1997) 的試驗，其分別以矩形、三角形、半餘弦形的結構物進行規則波之等間距系列潛堤試驗，而其中以矩形結構物配置下所得到的布拉格反射效應最為明顯，故本研究於潛堤型式上僅考慮以矩形結構物來進行試驗。本研究並參考蔡(2003) 所做的規則波通過複合式系列潛堤試驗，進而規劃各式地形配置用以模擬不規則波浪通過結構物的現象。

本研究試驗類型主要分為兩大部分：(1) 水平底床配置等間距系列潛堤試驗；(2) 水平底床配置複合式系列潛堤試驗。

水工試驗的佈置，本研究採用兩組不同潛堤間距 (S_1 及 S_2) 的組

合，當試驗潛堤為等間距擺設時，即 $S = S_1 = S_2 = 0.48\text{ m}$ ，潛堤寬度為 $B = 0.24\text{ m}$ ，潛堤高度為 $D = 0.1\text{ m}$ ，水深則恆固定為 $h = 0.2\text{ m}$ ，並分別進行潛堤個數 $N = 8, 6, 4$ 之試驗。若試驗配置改為複合式潛堤時，則將改變 S_1 與 S_2 的比值，使其分別為 0.75 與 1.25，並固定 $S = S_1 = 0.48\text{ m}$ ，僅改變 S_2 之值。也就當 $S_1:S_2 = 1:0.75$ 時， $S_1 = 0.48\text{ m}$ 、 $S_2 = 0.36\text{ m}$ ；而當 $S_1:S_2 = 1:1.25$ 時， $S_1 = 0.48\text{ m}$ 、 $S_2 = 0.60\text{ m}$ 。然而複合式配置之試驗皆以相同的潛堤個數進行模擬 $N_1 = N_2 = N/2$ ， $N = 8, 6, 4$ ，且試驗潛堤寬度皆為 $B = 0.24\text{ m}$ ，潛堤高度皆為 $D = 0.1\text{ m}$ ，水深則恆固定為 $h = 0.2\text{ m}$ 。考量造波機模擬不規則波時，因其各成分波之波高不一，故為了避免所產生之成分波高於示性波高太多而造成碎波現象，於是本試驗採用之示性波高為 $H_s = 0.02\text{ m}$ ；波浪主頻範圍在 $f_p = 0.65 \sim 2.00\text{ Hz}$ 之間，包含等間距與複合式地形本試驗共有 9 種不同潛堤佈置條件，每種潛堤佈置條件配合 27 種不同入射波浪主頻進行試驗。本研究試驗詳細佈置圖如下圖 7-8 所示；詳細的試驗條件如表 7-2 所示。

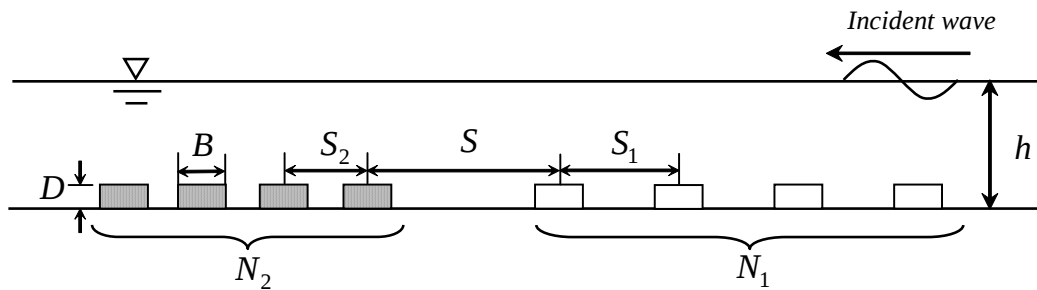


圖 7-8 試驗系列潛堤之佈置及參數示意圖

7.3.3 試驗數據分析

1. 資料擷取系統

在試驗過程中，波高計所感應波浪水位連續變動的訊號經由增幅器 (amplifier) 將電壓值放大，資料擷取平台收集各波高計頻道類比

表 7-2 水工試驗地形相關佈置條件表

潛堤 型式	個數 N	N_1	N_2	堤寬 $B(m)$	堤高 $D(m)$	水深 $h(m)$	間距 $S_1(m)$	間距 $S_2(m)$	間距比值
矩形	8	4	4	0.24	0.10	0.2	0.48	0.36	$S_1:S_2=1:0.75$
								0.48	$S_1:S_2=1:1$
								0.60	$S_1:S_2=1:1.25$
	6	3	3					0.36	$S_1:S_2=1:0.75$
								0.48	$S_1:S_2=1:1$
								0.60	$S_1:S_2=1:1.25$
	4	2	2					0.36	$S_1:S_2=1:0.75$
								0.48	$S_1:S_2=1:1$
								0.60	$S_1:S_2=1:1.25$

(analogue) 資料後,再經由類比數位轉換卡 (A/D card) 將波高計輸出的類比資料轉換為數據 (digital) 資料存入電腦中,最後由本實驗室以 Labview 所寫的程式將其轉換為正確的水位資料。資料擷取系統所轉換出來的水位資料,目前未經過濾波處理,去除數據中的雜訊。每次實驗過程中,水位取樣時間為 180 秒,取樣頻率為 30 Hz,電腦波浪水位擷取過程如照片所示。

2. 不規則波之率定

本試驗室所使用之造波機於模擬不規則波時,須先計算目標波譜,其中幾個重要的特徵包括主頻、能量大小、以及波譜形狀。造波程式中提供三種波譜形式以供選用,分別為 JONSWAP、Pierson-Moscowitz、Bretschneider,如本研究 7.2.2 節所述本試驗將採用 JONSWAP 波譜,固定波譜的形式與參數後,主要輸入的內容為波浪的主頻 (f_p) 和主頻能量 ($S(f_p)$) 大小、以及水深修正(依試驗水深給定),然後造波機程式經過一系列的運算後可得到一個 numerical filter,此為造波機運動時所需輸入的相關電壓值,其後配合程式內部的 initial value 可以給予隨機相位來造波,最後需給予一

衝程值 (att)。簡單而言之，固定使用同一個 numerical filter 造波可以得到相同主頻的不規則波，固定 initial value 則可固定不規則波各成分波之間的相位，而衝程值則影響到整體不規則波的波高大小，也就是波譜能量的大小。而實際上輸入的目標波譜與造波機實際造波量測出來的波譜並非完全相同，故本試驗的率定工作就是希望能使得量測到的波譜經過調整後，能接近我們希望的目標波譜。

本試驗採用 GODA (1999) 所提出的 JONSWAP 修正公式來計算目標波譜，而示性波高則採用 0.02m。在 $f_p=0.65 \sim 2.0$ Hz 之間，每隔 0.05 Hz 取一主頻計算 numerical filter，然後固定 initial value 的值，試驗不同的 att 值，直到量測直吻合所需之示性波高為止。經此過程將可以得到一系列不同主頻、示性波高相同的不規則波。然而為了配合造波機本身的限制（適用週期範圍約在 0.55 ~ 2.0 秒之間）以及結構物、水深等影響，故本試驗將定義 $S = S_1=0.48\text{m}$ ，如此一來在頻率 0.65 ~ 2.0Hz 之間的波浪即可以概括 $2S/L = 0.5 \sim 2.5$ 範圍內的反射率。

3.反射率計算

有關試驗反射率的計算方法，本研究採用 Mansard 和 Funke (1980)所提出的最小二乘法，其理論基礎主要是以分散關係式來分離各成份波，波浪在不同的週期下速度不同，因此到達三個不同位置波高計的時間也不同，因此在波高的疊加上也會產生差異，藉由分散關係式和最小二乘法來計算出各成分波之間正確的相位關係，以此分離出入反射波。反射率計算上，以符合間距限制條件的三支波高計所測得的資料計算，又本試驗於潛堤前佈置 6 支波高計，因此在每一次的試驗，均可根據不同波高計組合，得到 3 ~ 15 個反射率值，再將全部的反射率平均，即得當次試驗之反射係數。多組的波高計組合，計算所得到的反射率值，其正確性更加提高。試驗內容、試驗步驟及資料處理流程如圖 7-9 所示。

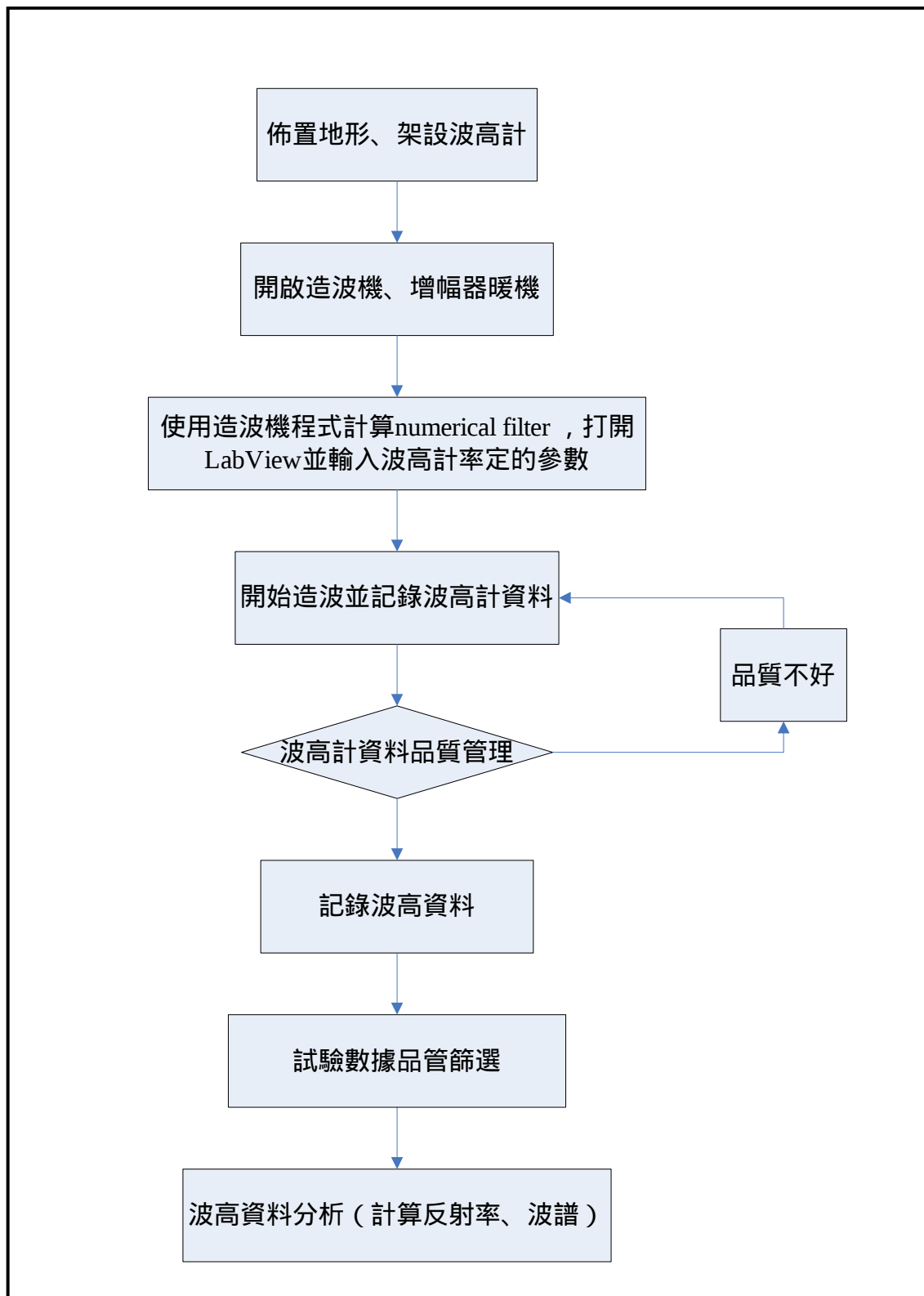


圖 7-9 試驗流程說明

7.3.4 入射波譜與透射波譜之比較

如 7.3.2 節 所言，本研究試驗於潛堤後方至消波段間的等深區，放置一根波高計，用以量測透射高。為證實系列潛堤的效用與能量衰減率，本節將針對波浪之入射與透射之波譜做一簡單比較。首先利用快速傅立葉轉換將試驗水槽之第一支波高計所量到的入射波以及最後一支波高計所量得的透射波資料轉換為波譜資訊，並繪製比較。下圖 7-10 圖 7-12 則分別是 $S_1:S_2 = 0.75, 1, 1.25$ 時，波浪入射波譜與 $N = 4, 6, 8$ 的情況下透射波譜之比較圖。所取的 $2S/L$ 皆約為 0.8 左右。觀察圖 7-10 圖 7-12 顯示，不管是潛堤個數為多少，當波浪通過系列潛堤之後，波譜能量皆有大幅衰減的趨勢，且隨著潛堤個數的增加，衰減的比率隨之增高，尤其在主頻的部分能量迅速遞減。由此可知當潛堤個數增加時，能量確實會隨之減少，此一現象與規則波相符。

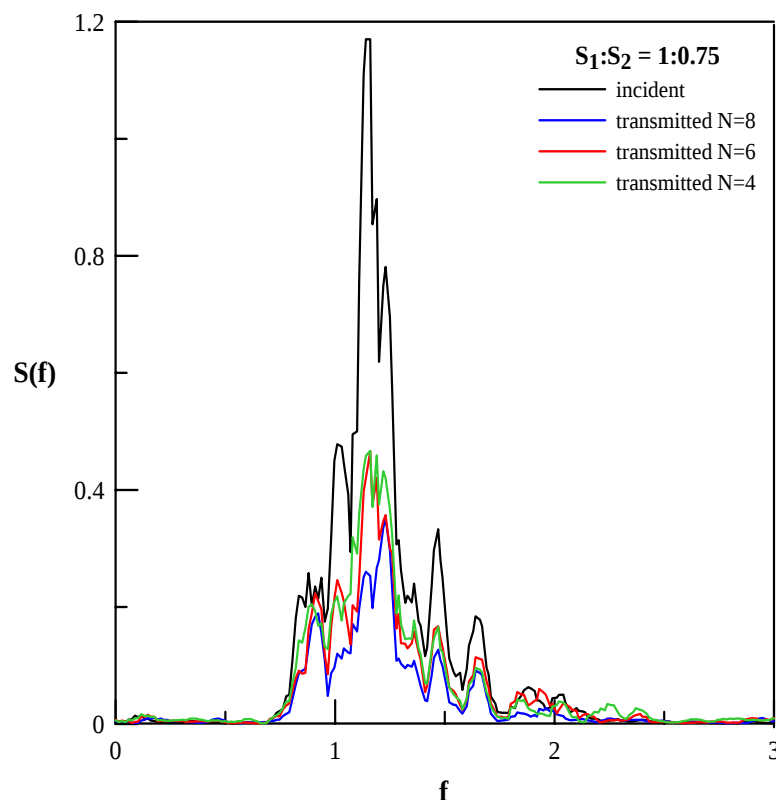


圖 7-10 不同潛堤個數下 $S_1:S_2 = 1:0.75$ 時入射波與透射波譜之比較

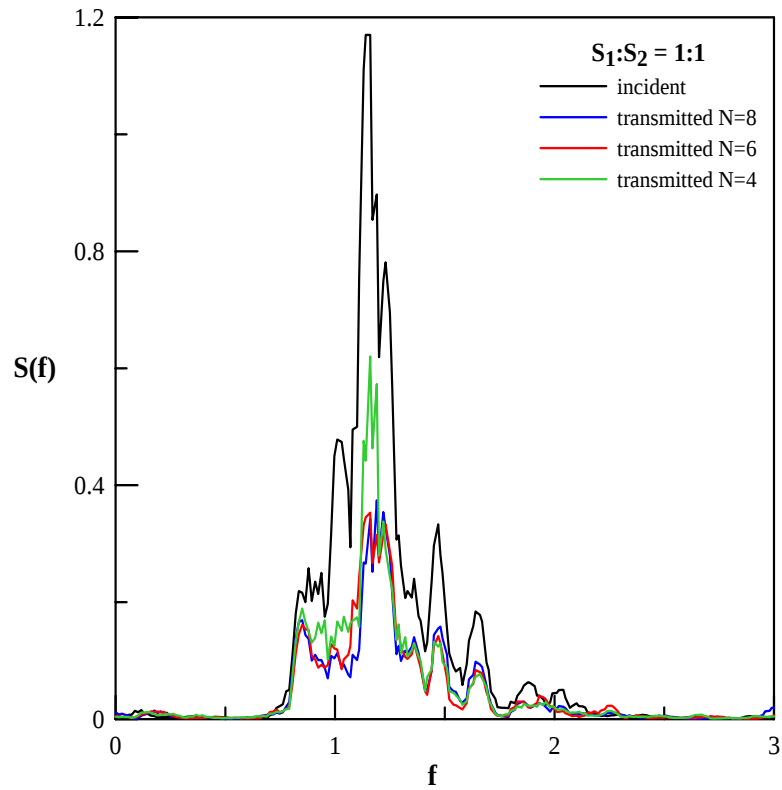


圖 7-11 不同潛堤個數下 $S_1:S_2 = 1:1$ 時入射波與透射波譜之比較

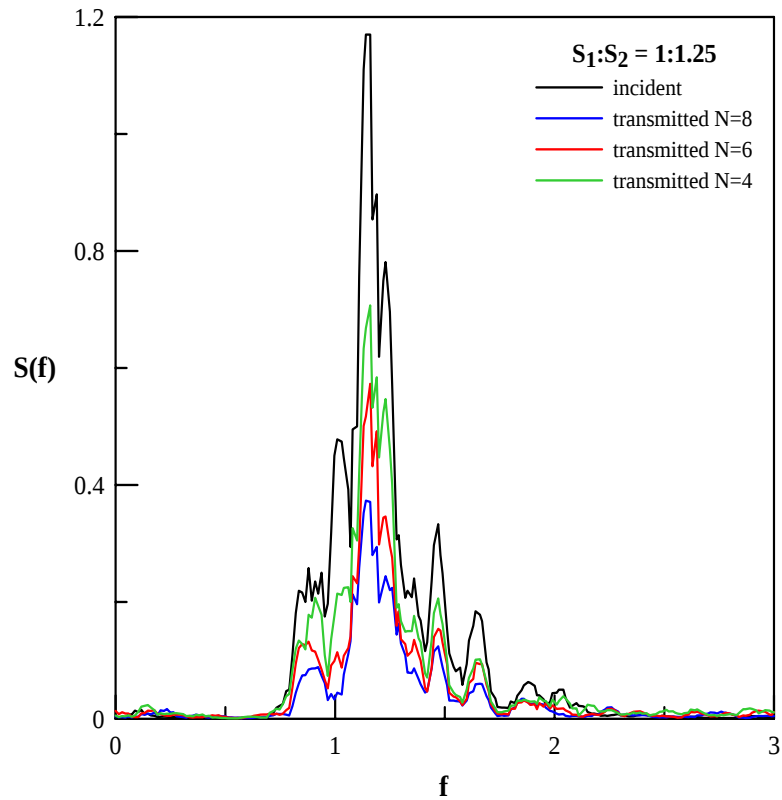


圖 7-12 不同潛堤個數下 $S_1:S_2 = 1:1.25$ 時入射波與透射波譜之比較

7.4 分析結果與討論

任何物理現象的理論解析或數值模式計算結果之可信度，應以現場或實驗室所測得的資料進行比較驗證。因此，為驗證本研究所應用的數值模式，是否能有效預測不規則波浪通過各式系列潛堤配置，所產生布拉格反射的特性，故本節首先針對前述之土工試驗與數值模式進行比較，並分析各項試驗與數值結果，以探討布拉格效應於不規則波浪的作用下的特性。

7.4.1 不規則波浪通過複合式矩形潛堤之研究

在考慮不規則波作用下，波浪通過複合式系列潛堤布拉格反射研究，以本研究 7.3 節所提之相關試驗作為基礎，配合各式數值模擬，除了驗證數值模式之可靠性外，亦可歸納在不同的潛堤個數、間距比下，布拉格現象所呈現的特性。本研究相關試驗方案如前表 7-2 所示，而圖 7-13 ~ 圖 7-14 則分別為潛堤個數 (N) 為 4、6、8 的情況下，不同潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 之關係圖。

圖 7-13 為潛堤個數 $N = 4$ ，相對提高 $D/h = 0.5$ ，相對堤距比分別為 $S_2/S_1 = 0.75, 1, 1.25$ 下反射率的變化結果。圖 7-14 為潛堤個數 $N = 6$ ，相對提高 $D/h = 0.5$ ，相對堤距比分別為 $S_2/S_1 = 0.75, 1, 1.25$ 下反射率的變化結果。圖 7-15 為潛堤個數 $N = 8$ ，相對提高 $D/h = 0.5$ ，相對堤距比分別為 $S_2/S_1 = 0.75, 1, 1.25$ 下反射率的變化結果。首先將數值計算與試驗結果相比，整體的走向趨勢為一致，皆會產生主頻共振與二次諧波共振。然而試驗的主頻共振產生在 $2S/L$ 為 0.7 附近，而二次諧波共振大部分發生在 $2S/L$ 為 1.75 附近，相較於數值計算的結果，當 $N = 4$ 時除了主頻共振略有低估外，二次諧波共振大致相符；當 $N = 6$ 時除了主頻共振略有低估外，二次諧波共振確有高估的現象；當 $N = 8$ 時主頻共振卻大致吻合，二次諧波共振有高估的現象。且在 $N = 4, 6$ 時，尖峰值皆有偏高的現象。導致此一結果，在數值方面有可能為模式主要以規

則波理論為基本架構，雖在波譜分割上能有效地模擬不規則波，但仍有其不足之處。在試驗進行時，可能因為試驗中使用較小的示性波高，而造波機本身的搖動或其他高頻雜訊會影響波浪試驗數據的誤差，亦有可能為試驗水槽儀器本身的誤差，導致此結果。但整體而言，數值模式與試驗趨勢一致，證實在不規則波的作用下，系列潛堤的佈置，其反射率帶寬會較大，且在較高頻的部分反射率亦有所提昇。

綜合觀察圖 7-13 ~ 圖 7-15，發現當潛堤個數 $N=4$ 時，不同的間距比與等間距時所產生的共振效應差異不大，也就是說利用複合式系列潛堤的佈置，雖有其效果呈現，但卻不如預期的好。然而當潛堤個數 N 改變為 6 或 8 時，不管是數值或試驗的結果皆顯示，改變間距比將可提高主共振之反射率，且有效地提高二次諧波共振的尖峰值，足以證實在同樣的潛堤個數下，若採用複合式的排列方式，即可有效的提升布拉格共振效率，且在高頻部分更為顯著，其中又以 $S_2/S_1=1.25$ 時效果最為明顯。

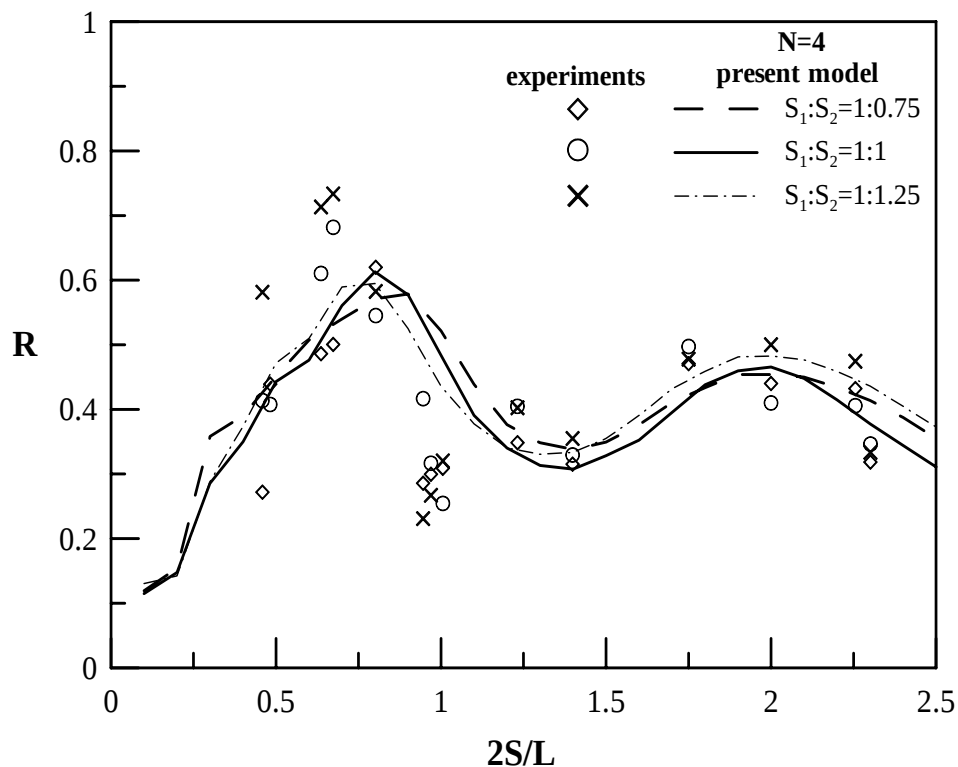


圖 7-13 $N=4$ 時不同潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 之關係圖

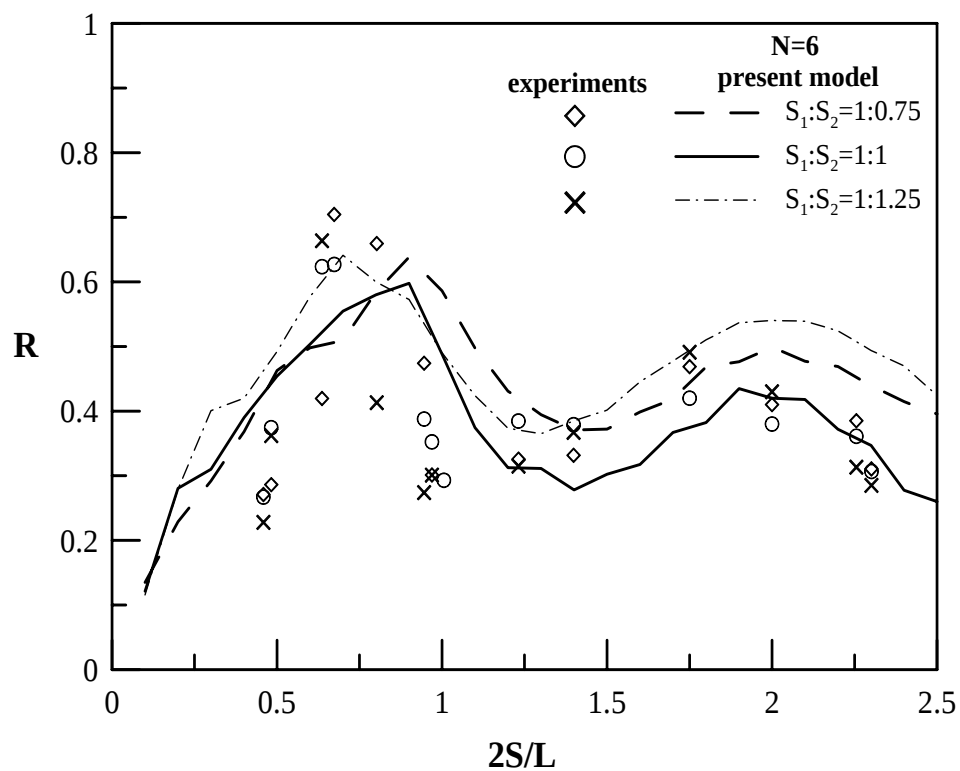


圖 7-14 $N = 6$ 時不同潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 之關係圖

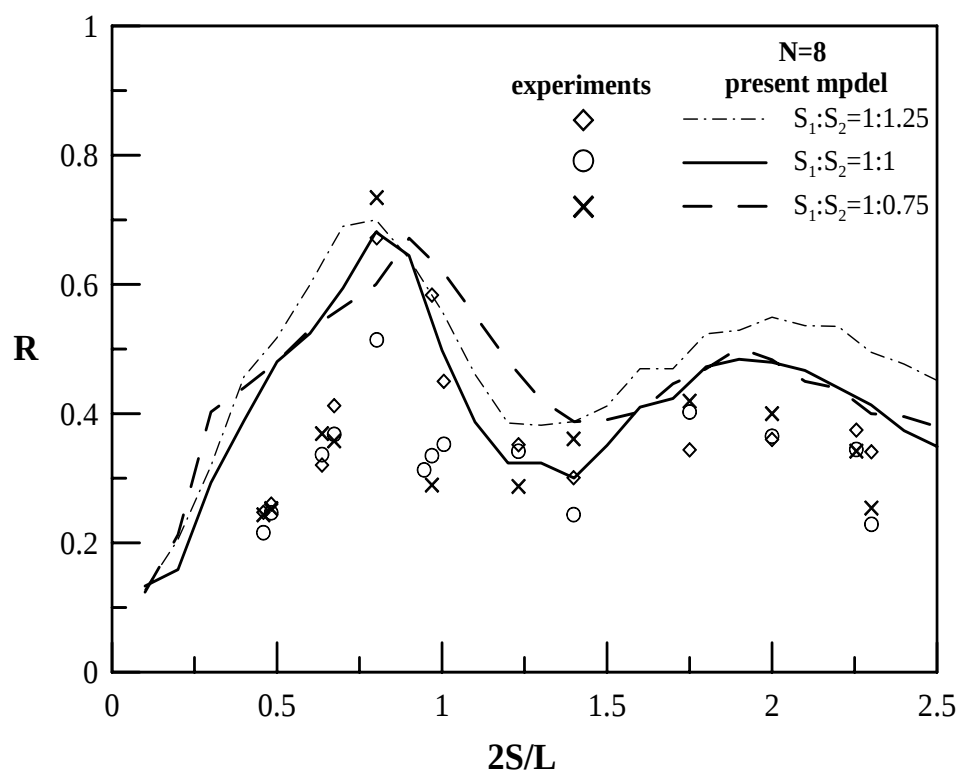


圖 7-15 $N = 8$ 時不同潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 之關係圖

7.4.2 不規則波通過複合式沙漣底床反射係數之研究

延續上節之複合式潛堤，本節主要為探討波浪通過複合正弦沙漣地形之布拉格反射效應，本研究以 Guazzelli 等人 (1992) 的試驗作為比較，進而驗證 EEMSE 模式的計算結果，Guazzelli 等人 (1992) 的試驗條件如表 7-3 所示，表中 b 為沙漣底床振幅， m 為沙漣底床係數， $\tilde{L}$ 為沙漣總長度。圖 7-16 則為各種配置之地形分佈。

圖 7-17 與 圖 7-18 為模式分別以規則波和不規則波條件針對試驗地形計算沙漣底床前反射率 R 和 $2S/L$ 之關係圖，其中不規則波之波長 L 以示性週期 $T_{1/3}$ 對應的波長代表之，而圖中試驗數據僅有規則波試驗之結果。

圖 7-17 為在試驗配置 G1 條件下，波浪通過複合式沙漣底床地形反射係數分佈圖。在規則波方面圖中結果顯示 EEMSE 模式計算所得結果，與試驗結果的分佈趨勢有著高度的一致性。圖 7-18 為在 G2 佈置條件下，波浪通過複合式沙漣底床地形，G2 試驗的地形擾動頻率較 G1 試驗增加，由圖中結果顯示，本研究 EEMSE 模式計算的結果，與試驗值尚為吻合，在 $2S/L=1.5$ 附近，EEMSE 模式所得的反射係數較偏離試驗結果，但在其餘的頻率部份，EEMSE 模式得到合理的結果。

觀察各圖以 EEMSE 模擬不規則波計算與其他規則波之結果比較，整體趨勢大致與規則波一致，而不規則波反射率在主共振處亦有尖峰值存在，但其值不如規則波情況來得大，另外可看出主共振區的反射率帶寬皆較規則波情況為寬。此結果與本研究第一年(94)之結論相輔，推估造成此結果的原因可由能量觀點進行闡述，在共振條件附近，其所對應頻率的入射成分波會產生布拉格共振，而規則波能量幾乎集中於此共振頻率處，因此入射波能量絕大部分會受布拉格共振影響而產生相當大的反射波，而不規則波可視為不同頻率之成分波線性疊加而成，故不規則波之總能量內含不同頻率成分波之能量，其集中於主頻附近之能量不若規則波為大。

與 7.4.1 節地形模擬之結果比較，可發覺複合式沙漣底床相較於複合式矩形潛堤，會產生較多的共振頻率，且反射率帶寬範圍略有變大，但其尖峰反射率卻不如複合式矩形佈置大。當同樣使用不規則波進行模擬複合式地形時皆會使得反射率帶寬之分佈更加廣泛，如此一來在實際海域的應用上即有著更好的實用性。

表 7-3 波浪通過複合式沙漣底床試驗條件 (Guazzelli 等人, 1992)

試驗配置	b (cm)	L (K) (cm)	m	$\tilde{L}$ (cm)	h_0 (cm)
G1	1.0	12 (0.52 cm^{-1})	2	48	4
G2	1.0	6 (1.05 cm^{-1})	1.5	48	4

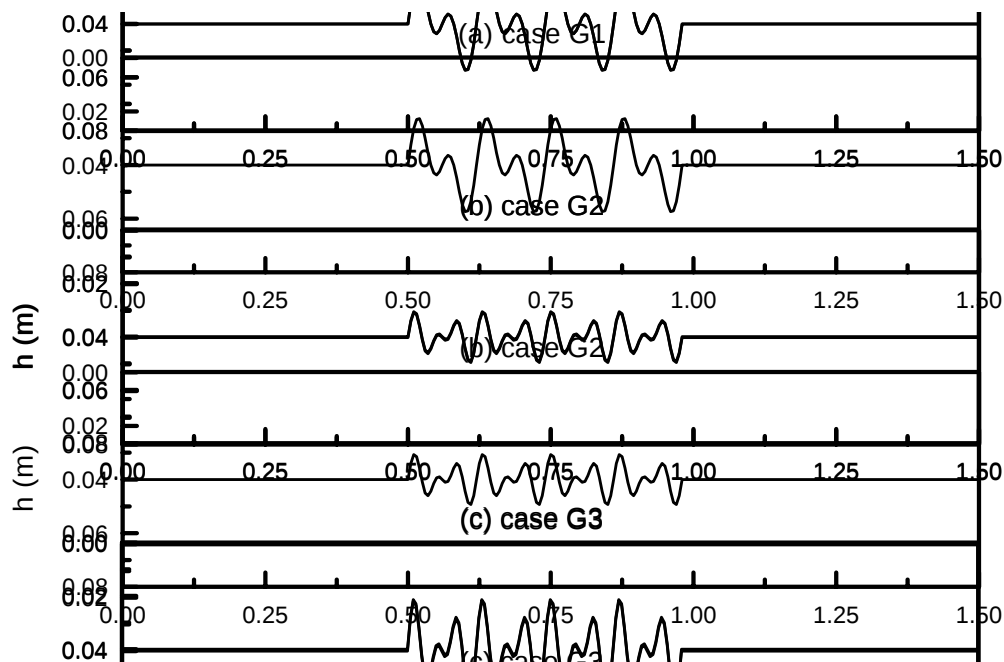


圖 7-16 複合式正弦沙漣底床地形示意圖

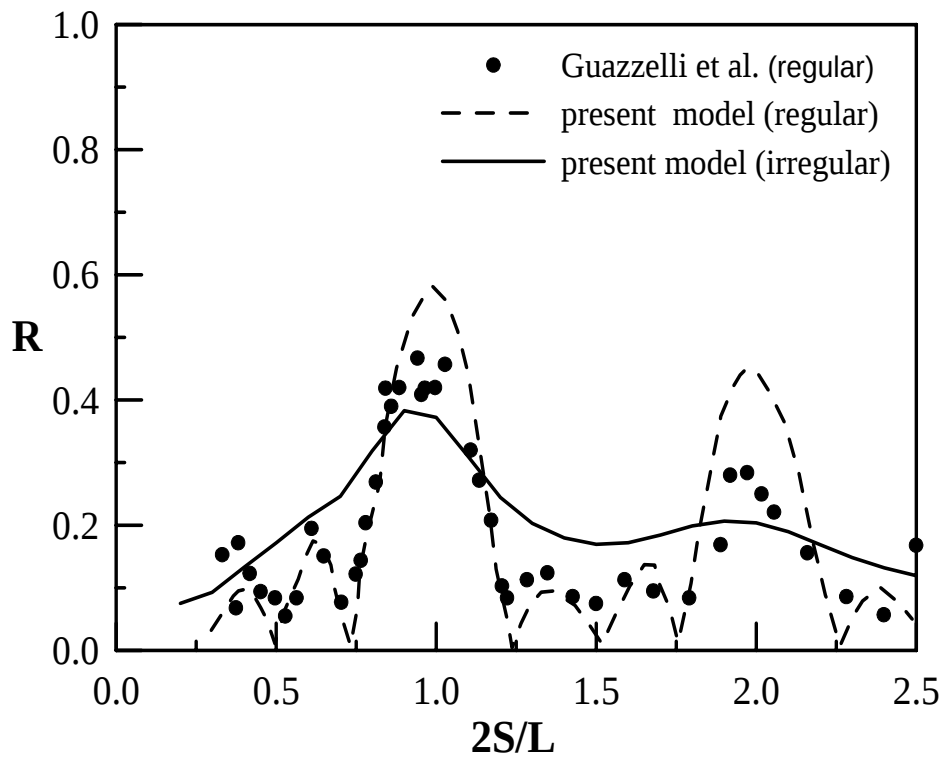


圖 7-17 波浪通過複合式沙漣底床反射係數分佈圖 (配置 G1)

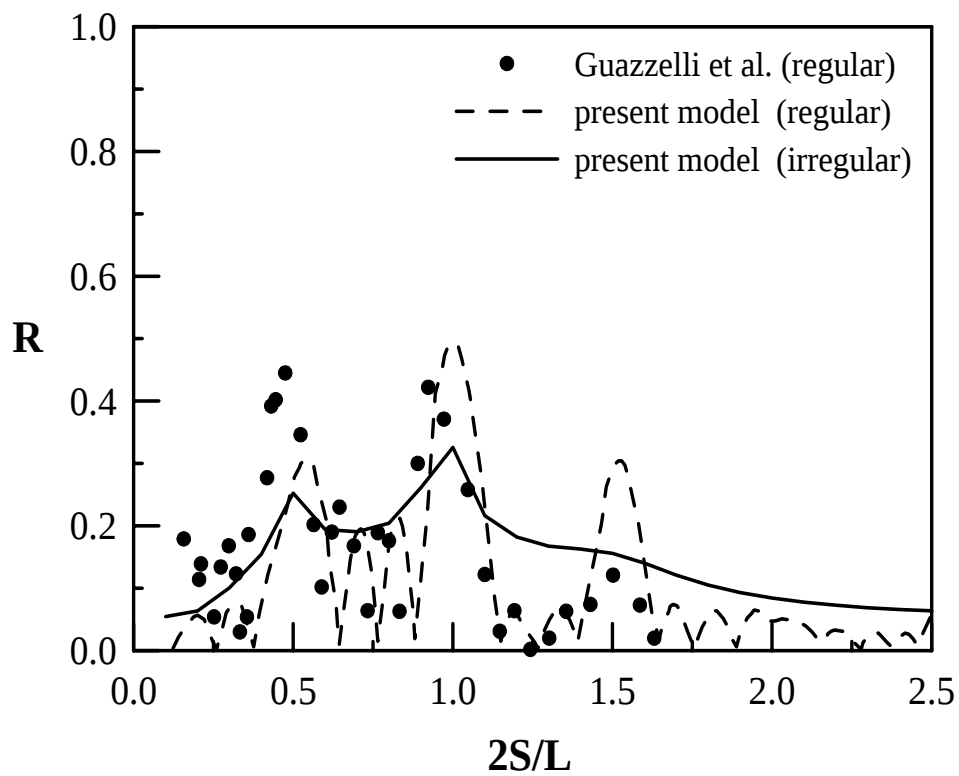


圖 7-18 規則波通過複合式沙漣底床反射係數分佈圖 (配置 G2)

7.4.3 不規則波通過各式矩形潛堤之研究

不規則波浪通過系列潛堤地形，在各種佈置條件作用下，波浪受底床及潛堤的互制作用，使得波場機制產生各種不同變化，而在堤前發生布拉格反射效應亦各不相同。系列潛堤實際應用於海岸保護工法之前，必須針對相關影響因子間之關係作深入研究。本節主要將針對在不規則波浪的作用下影響布拉格反射之參數特性進行分析探討，分析的影響參數包括：潛堤堤高 D 、潛堤寬度 B 、潛堤個數 N 、潛堤間距 S 。而本節所探討的地形佈置皆以 7.3 節的試驗作為基本架構，所有的數值計算方案如下表 7-4 所示。其特徵函數可以下式表示：

$$F = f_1(D, h, B, S, N) \dots\dots\dots (7-103)$$

以波浪反射率 R 代表特徵函數，則無因次組合可表示為

$$R = f_1(D/h, B/S, N, 2S/L) \dots\dots\dots (7-104)$$

表 7-4 數值模擬之各式系列潛堤之佈置

潛堤型式	個數 N	堤寬 $B(m)$	堤高 $D(m)$	水深 $h(m)$	間距 $S(m)$	D/h	B/S
矩形	8	0.24	0.1	0.2	0.96	1/2	1/4
				0.3	0.48	1/3	1/2
				0.4		1/4	
	6			0.2	0.48	1/2	1/4
				0.3	0.48	1/3	1/2
				0.4		1/4	
	4			0.2	0.48	1/2	1/4
				0.3	0.48	1/3	1/2
				0.4		1/4	

1. 潛堤個數的影響

在規則波浪的研究上，Guazzelli 等人 (1992)指出正弦形底床波數愈多或波形底床長度愈長，布拉格反射尖峰值愈大，但相對的反射率帶寬則減小。張等人 (1997) 及岳等人 (1997) 在等間距系列潛堤研究結果亦顯示潛堤個數愈多，反射率尖峰值增加。本小節以不規則波的條件下，利用數值模式模擬不同的水深下，改變潛堤個數，對於反射率的影響。

圖 7-19 為不同潛堤個數 $N = 4、6、8$ ，在固定相對堤高 $D/h = 1/2$ 、相對堤距 $B/S = 0.5$ ，潛堤以等間佈置下，不規則波浪通過系列潛堤的反射率變化情形。圖中顯示在 $2S/L = 0.8$ 和 1.9 附近發生的主頻及高諧波布拉格反射，反射率隨潛堤個數增加而略有變大的趨勢。圖 7-20 為不同潛堤個數 $N = 4、6、8$ ，在固定相對堤高 $D/h = 1/3$ 、相對堤距 $B/S = 0.5$ ，潛堤以等間佈置下，不規則波浪通過系列潛堤的反射率變化情形。圖中顯示在 $2S/L = 0.9$ 和 2.0 附近發生的主頻及高諧波布拉格反射，反射率同樣隨潛堤個數增加而有變大的趨勢。綜觀兩圖探究其原因主要為堤數較多 ($N = 6$ 及 8) 的條件，造成的布拉格反射高峰接近，形成一個反射率帶寬較寬的布拉格反射區，所以潛堤為 6 及 8 個時，主頻布拉格反射的帶寬相近，且較潛堤 4 個時帶寬增大。高諧波布拉格反射方面，潛堤個數愈多，反射率尖峰值呈遞增趨勢，且比主頻更甚，此應為不規則波包含數十個成分波，而其高頻的部分引此有明顯的共振。故針對在潛堤個數的影響因子上，若其應用於不規則波時，主頻共振僅略有增加，且隨著相對堤高比的增加而遞減，但在二次諧波共振不管相對堤高的改變皆有明顯的提升。

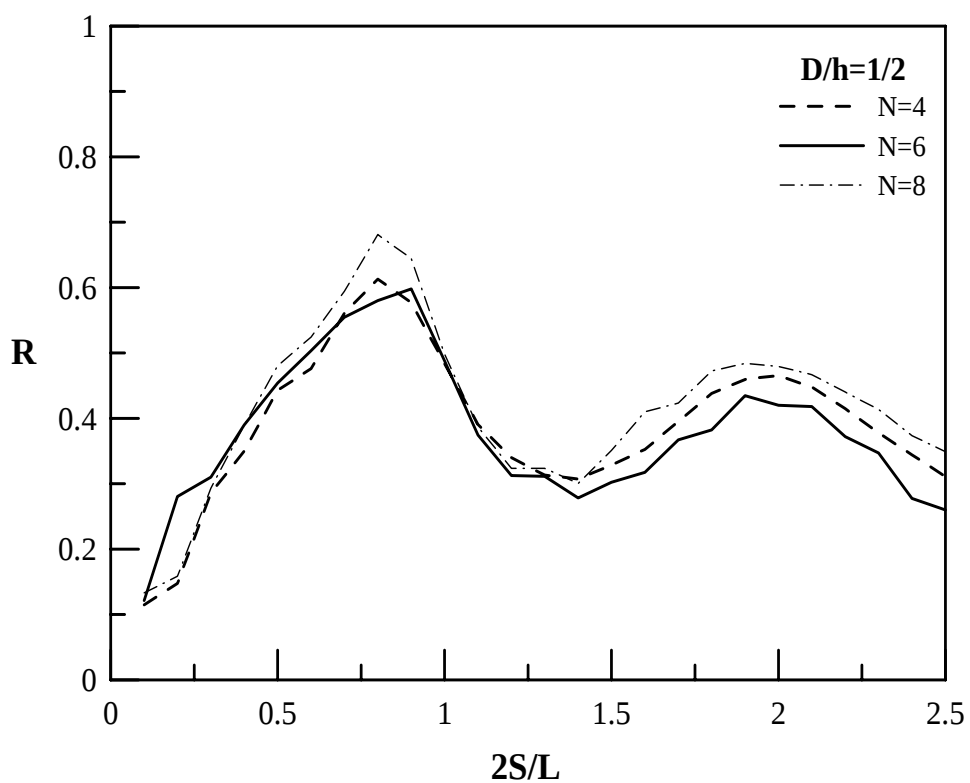


圖 7-19 $D/h=1/2$ 時不同潛堤個數反射率與 $2S/L$ 的關係圖

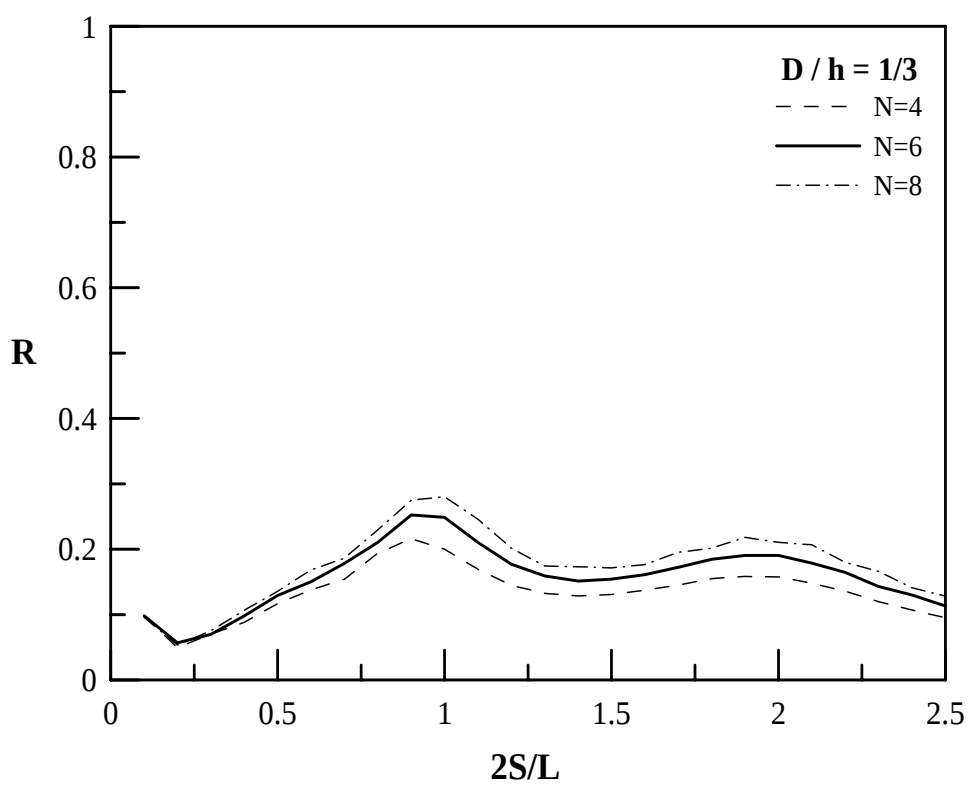


圖 7-20 $D/h=1/3$ 時不同潛堤個數反射率與 $2S/L$ 的關係圖

2. 潛堤高度的影響

在規則波研究方面，Guazzelli 等人 (1992) 數值計算及試驗結果指出，沙漣底床振幅增加時，可增加高諧波布拉格反射的強度及相對應的反射率帶寬。張等人 (1997) 在等間距系列潛堤研究結果指出，堤高增加有助於整體的反射率值增加。本小節針對在不規則波的條件下，利用數值模式模擬在相同的潛堤個數 (N) 下，改變堤高水深比 (D/h)，對於布拉格共振效應的影響性作探討。

圖 7-21 為潛堤個數 $N=4$ 、相對堤距 $B/S=0.5$ 、在不同的相對堤高 ($D/h=1/2, 1/3, 1/4$) 佈置下，不規則波浪通過系列潛堤的反射率變化情形。圖 7-22 為潛堤個數 $N=6$ 、相對堤距 $B/S=0.5$ 、在不同的相對堤高 ($D/h=1/2, 1/3, 1/4$) 佈置下，不規則波浪通過系列潛堤的反射率變化情形。圖 7-23 為潛堤個數 $N=8$ 、相對堤距 $B/S=0.5$ 、在不同的相對堤高 ($D/h=1/2, 1/3, 1/4$) 佈置下，不規則波浪通過系列潛堤的反射率變化情形。綜觀上述各圖，顯示相對堤高的增加，會使得入射波浪受較高的潛堤阻撓，導致主頻和高諧波布拉格反射增強，且反射率帶寬亦隨潛堤高度增加而明顯增寬。且整體反射率在 $2S/L$ 分佈上，隨著潛堤高度增高，並向較小 $2S/L$ 平移。在本研究第一年(94)度探討規則波時同樣有此一現象產生，又本研究之數值模式在不規則波的處理上，將不規則波分解為數十個成分波計算並線性疊加，故有此一現象應為合理。發生此現象的原因應為當波浪通過沙漣底床時，由於地形起伏的影響實際上會造成波速和群波波速的改變，反觀 7.4.1 節試驗數據亦可反應波速與群波速度之變化，故在反射率分佈上表現較為一致。以上結果顯示，相對堤高增加，因底床擾變增加，且堤頂水深變淺，使布拉格反射現象更明顯，相對的透射率更小，反射率及透射率帶寬更寬，不但防禦波浪範圍較大，防禦的效果更佳，且若要有明顯的布拉格現象發生 D/h 最好不要低於 0.3，此一結果與蔡 (2003) 利用規則波模擬之結果一致。

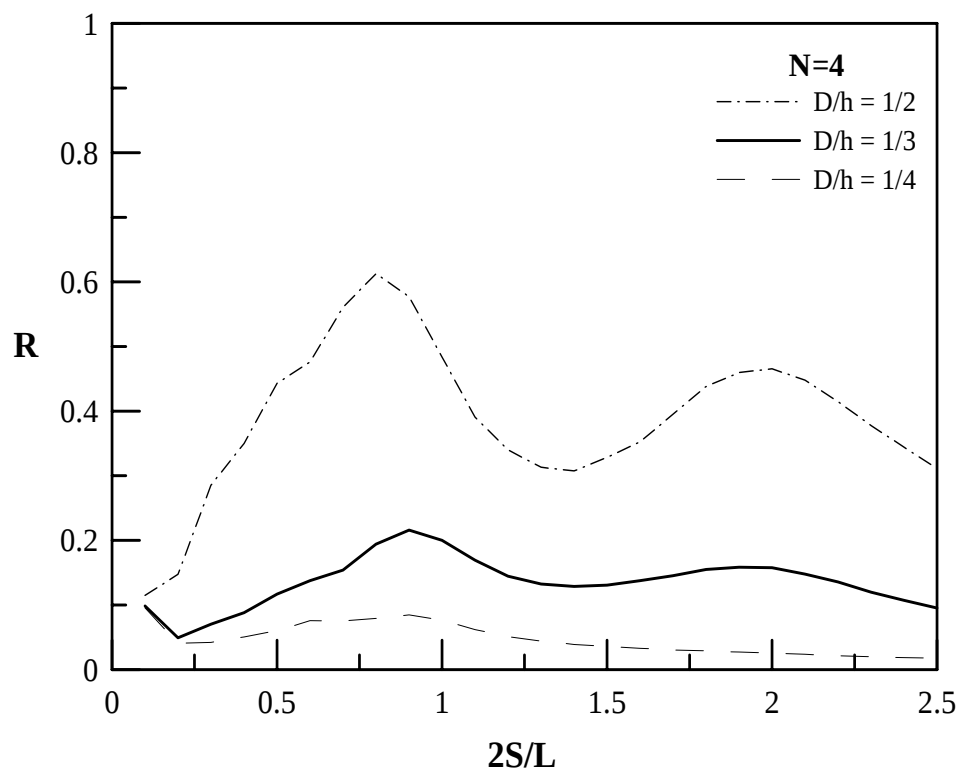


圖 7-21 $N = 4$ 時不同水深反射率與 $2S/L$ 的關係圖

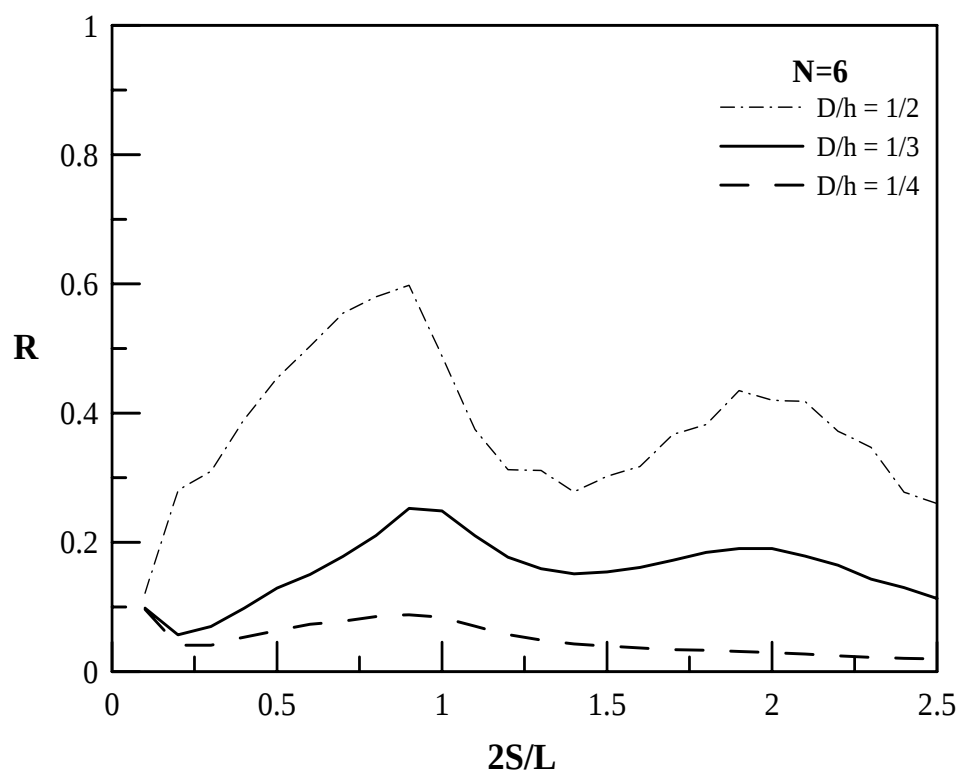


圖 7-22 $N = 6$ 時不同水深反射率與 $2S/L$ 的關係圖

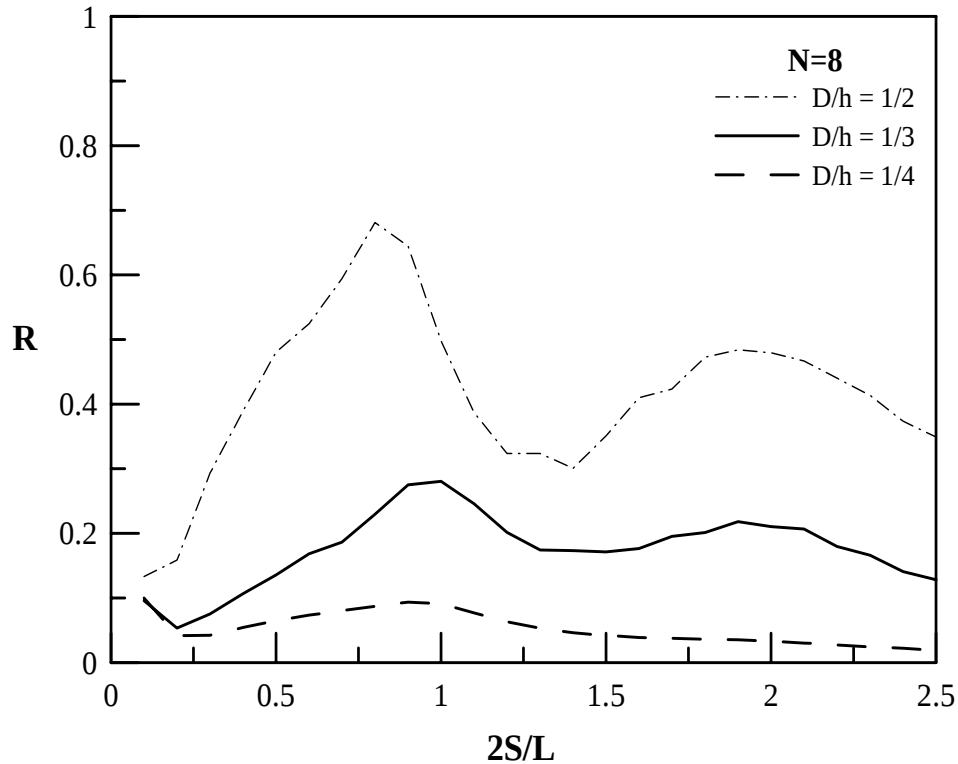


圖 7-23 $N = 8$ 時不同水深反射率與 $2S/L$ 的關係圖

3. 相對堤距的影響

在規則波前人研究研究方面，Kirby 和 Anton (1990) 在人工沙洲的研究結果指出，高頻的布拉格反射尖峰值隨人工沙洲間距減小而降低。本小節針對在不規則波的條件下，利用數值模式模擬在相同的潛堤個數 (N) 與相對堤高 (D/h) 下，改變間距 S ，也就是探討不同相對堤距 (B/S) 對於布拉格共振效應的影響性為何。

圖 7-24 為潛堤個數 $N = 4$ 、相對堤高 $D/h = 0.5$ 、在不同的相對堤距 ($B/S = 1/2, 1/4$) 佈置下，不規則波浪通過系列潛堤的反射率變化情形。圖 7-25 為潛堤個數 $N = 6$ 、相對堤高 $D/h = 0.5$ 、在不同的相對堤距 ($B/S = 1/2, 1/4$) 佈置下，不規則波浪通過系列潛堤的反射率變化情形。圖 7-26 為潛堤個數 $N = 8$ 、相對堤高 $D/h = 0.5$ 、在不同的相對堤距 ($B/S = 1/2, 1/4$) 佈置下，不規則波

浪通過系列潛堤的反射率變化情形。綜觀上述各圖，反射率變化顯示相對堤距 B/S 較小佈置條件下，波浪通過系列潛堤可得到較大的布拉格反射尖峰值，而且高諧波的布拉格反射現象略有遞增。此現象與蔡人 (2003) 利用規則波模擬系列潛堤所得的研究結果相同。主要原因為潛堤間距增加，波浪於堤體間相互作用空間增大，使反射率增加。然而在尖峰值的位置隨著 B/S 的遞減，高頻與主頻有向中心靠近的現象，此可能是因為不規則波包含數十個成分波，故在不同的間距下會使得不同的成分波產生共振現象，使得尖峰位置偏移。此外，間距較小相對堤距 B/S 較大的佈置條件，所產生之高諧波布拉格反射較小，此現象在岳等人 (1997) 及 張等人 (1997) 在等間距系列潛堤所得研究結果有異，主要應為波浪為不規則波條件所致。。

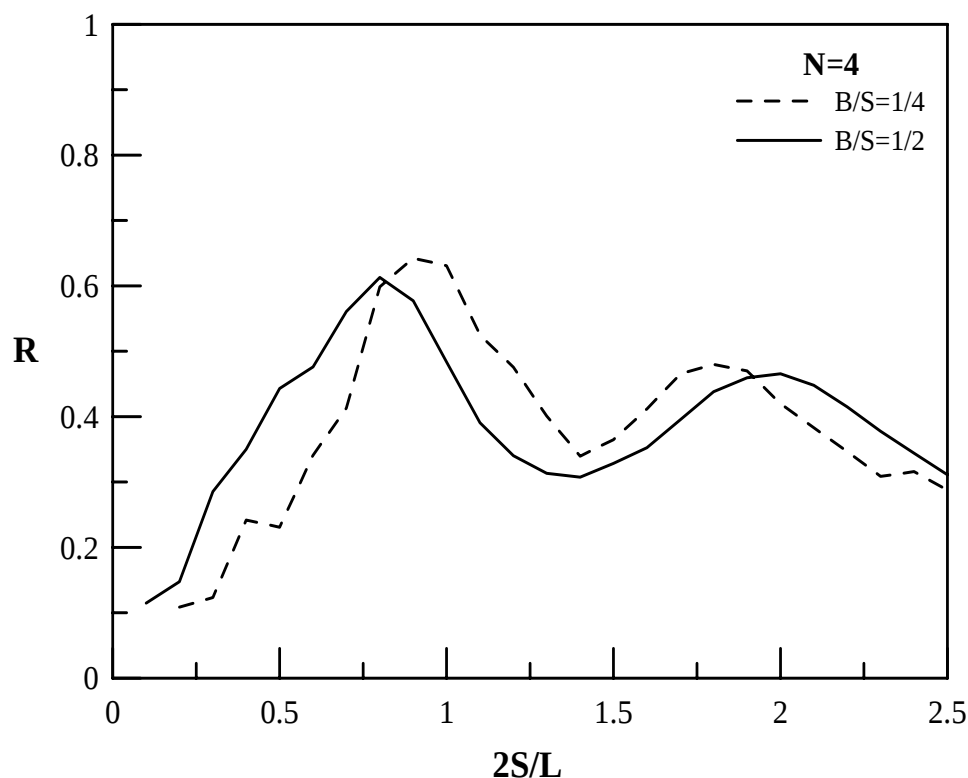


圖 7-24 $N = 4$ 時潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 的關係圖

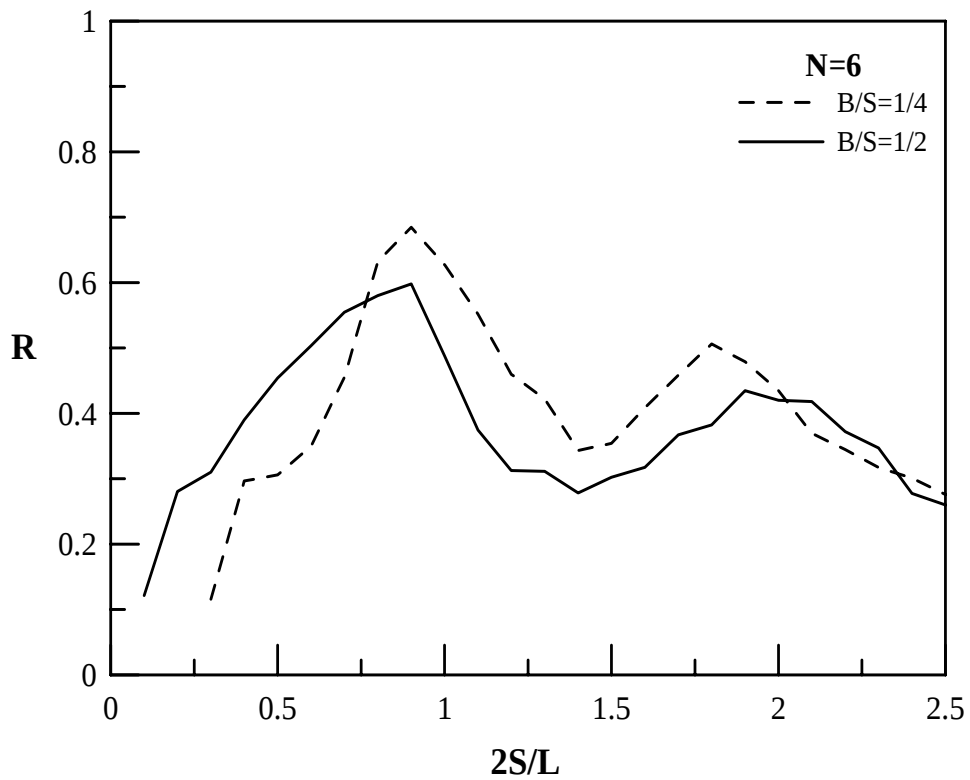


圖 7-25 $N = 6$ 時潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 的關係圖

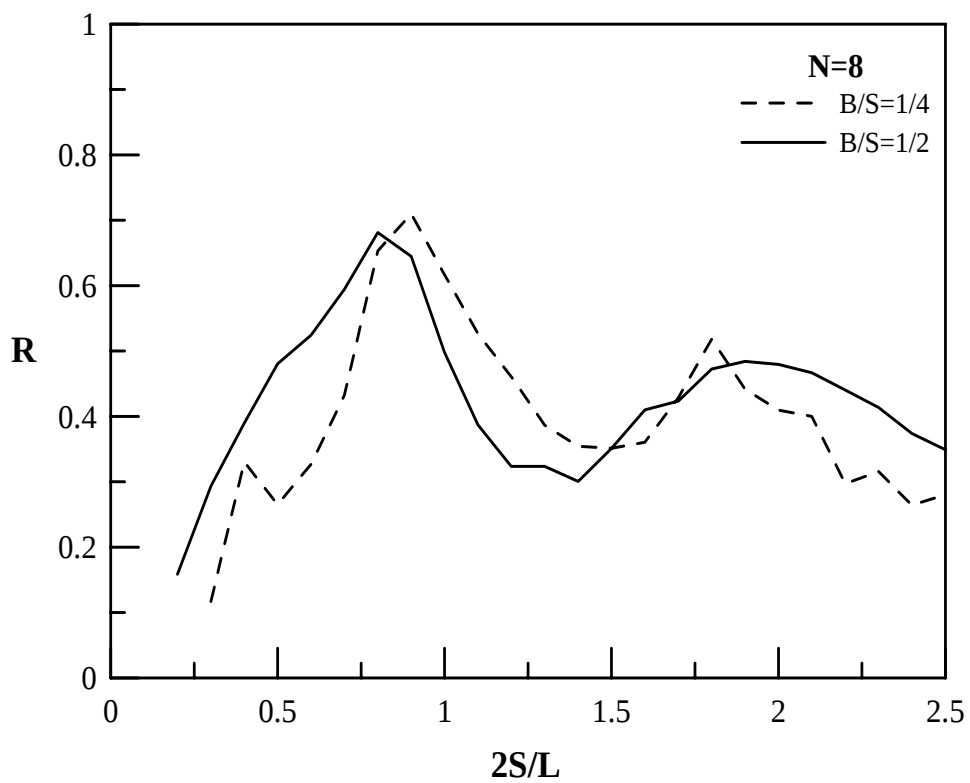


圖 7-26 $N = 8$ 時潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 的關係圖

第八章 結論與建議

本研究為四年期之第二年，主要進行資料蒐集歸納分析、海岸現場生態環境調查、水工模型試驗及相關資料統計分析。探討海岸生態工法之發展應用及國內港灣海岸結構物與生態環境相關性，並對兼具防災、生態與環境保護之系列潛堤保護工法，探討其海岸保護效果以及污染物擴散之情形。茲將本研究所獲致結論與建議歸納如下。

8.1 結論

1. 本研究在不同地點調查鹽度比較上，以大鵬灣出口導流堤之測站呈現較低鹽度之特性，主要受到潮流漲退、陸上逕流、河川與溝渠之淡水影響。在各監測點之光照度與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 DIN 、 N/P ratio 均呈負相關性，顯示光照度愈強，各種浮游植物或藻類吸收氮的能力也愈強。
2. 依據本研究三季次之調查，潮下帶的海藻的種數及豐富度普遍低於潮間帶的繁生情形，可能因潮下帶的海藻受到低光照度的影響以及濁度上升有關。在優勢種方面，第一季及第二季各測站皆以綠藻門的石蓴科為絕對優勢藻種，第三季各測站皆無絕對優勢藻種。
3. 在藻類著生之物種相似性（CZ）比較上，大鵬灣導流堤之兩測站之相似度上較為接近，而林邊海域離岸堤之兩測站的相似度上亦較為接近。此現象符合地緣上的關係，即相近地域的海藻物種相似度就會較為相近。
4. 在海藻著生與各項水質條件關係上，第一季營養鹽較第二季高，海藻豐富度卻以第二季較高，顯示第一季的營養鹽提供了第二季海藻大量生長的條件，而第三季的海藻著生量為本調查期間的最低，此應與海藻壽命長度（約 3-6 個月）和孢子萌芽所需的水溫（約攝氏

25 度左右)相互影響所造成；而由於溫度及光強度在第二季增加。故營養鹽及溫度、光強度等為影響海藻豐富度的重要因子。

5. 本研究實地調查發現海藻大多著生在堅硬的消波塊、石塊之頂部、側面及斜邊等受光處，只要是裸露，未被沙礫覆蓋的區域，皆可觀察到海藻覆蓋的情形；隨著基質慢慢由裸露的石塊或消波塊轉變成沙礫覆蓋較多的區域，海藻覆蓋則呈現一逐漸遞減的趨勢。
6. 本研究調查南部海域之底質特性皆為砂質海岸，因冬季時受台灣本島遮蔽，南部海域風浪不大；夏季時因海岸走向與季節風浪垂直，無論大鵬灣或林邊海域，潮下帶之濁度都明顯增加；尤其林邊海域因係為離岸堤構造，更相對提供堤後淤沙之效果，造成濁度之增加與基質之變化，致林邊海域藻類分佈之水深皆較同季次之大鵬灣測站為低。
7. 在海域結構物之型式方面，林邊離岸堤之潮間帶海藻總豐富度都較大鵬灣導流堤為高，此可能與大鵬灣及林邊兩處海域結構物之不同有關；研判可能與結構物設置之水深、結構物之斜邊坡度、表面積、施設年代等因子有關。由於影響結構物每斷面單位長度表面積之因素尚有消波塊之孔隙率、消波塊之排列方式等，就海岸結構物型式之差異性，仍需要更長期的監測及觀察，才能進一步定論。
8. 台灣南部調查地點之海藻生長位置主要還是位於潮間帶海浪衝擊時有水淹沒之處，而潮間帶較上部位之海藻較潮間帶下部少，而背光處則較少觀察到海藻的著生狀況。因此，海岸結構物只要會被海水淹沒或波浪到達之處，皆可觀察到海藻的生長，而結構物的形狀及形式，以能夠有較多暴露面積且受光之區域，有較多的海藻覆蓋。
9. 台中港區空氣的平均總懸浮微粒(TSP)、粗微粒(PM_{2.5-10})和細微粒(PM_{2.5}) 在一年中之冬季具有較高平均濃度。金屬元素(鐵 Fe、鎂 Mg、鉛 Pb、鋅 Zn、鉻 Cr、錳 Mn 和銅 Cu) 不同粒徑微粒濃度大小依序為 TSP > PM_{2.5-10} > PM_{2.5}。金屬元素鐵和鋅在 TSP 濃度中

有較高的相關性，而金屬元素鐵與鎂在粗微粒 $PM_{2.5-10}$ 和細微粒 $PM_{2.5}$ 濃度中具有較高相關性。總懸浮微粒 TSP 和粗微粒 $PM_{2.5-10}$ 濃度與風速和溫度有較高的相關性，而濃度週期變化可以餘弦函數表示一年間變化的特性。

10. 當波浪通過系列潛堤，堤前氯化鈉溶液的擴散隨時間的增加，水平及垂直方向濃度會增加，而波浪的作用，亦會加速氯化鈉溶液的擴散。氯化鈉溶液在擴散過程中，不只與溶液因比重而沉降有關，亦與溶液本身的黏滯性有關。在造波初期，造波之波長愈長，氯化鈉溶液的水平及垂直擴散愈快。在布拉格反射條件下，由於波浪反射率較大，因水粒子上下運動劇烈，會加速在垂直方向的擴散，但卻會抑制氯化鈉溶液在水平方向的擴散。
11. 本研究針對不規波的計算模式，採用混合能譜分割的方法，兼具等頻率分割與等能量分割的優點，對於波浪能量消散方面，同時考慮非線性淺化效應、碎波能量消散效應及非線性三波交互作用效應，對於計算不規則波浪通過各式系列潛堤的波場及反射率，具有一定程度的可靠性。
12. 規則波與不規則波通過系列潛堤均會發生布拉格反射的現象，但不規則波主共振和次諧波共振反射率不如規則波條件大，而反射率帶寬會較規則波為大。由此可見系列潛堤應用至實際海岸現場，波浪亦能在 $2S/L$ 條件附近得到衰減，且防禦的波浪條件比以往研究的規則波條件範圍大。
13. 不規則波浪通過系列潛堤，布拉格反射效應隨著潛堤個數的增加、相對堤高的增加以及相對堤距的減小而增強，與規則波具相同的現象。複合式系列潛堤的應用上雖其反射效果隨潛堤個數的增加而遞增，但若考慮經濟效率與施工性，本研究建議可採用 4 個潛堤即可達到成效。

8.2 建議

1. 就生態觀點而言，藻類分布之水深應與當地水質環境及優勢藻種之生育特性有絕對直接關聯，亦即如其生長環境因子適合時，如水深夠深，在水質與季節等環境因子相似或符合優勢藻種之生育特性時，應無太大區域性之變化，除非受其他生長環境因子所限制。依本研究調查研判，影響或限制藻類分布水深之因子，水深條件環境相對於濁度與基質而言似較小；然而，有關海藻著生與水深環境條件之間的現象，仍需更長期的監測及觀察，才能有進一步定論。
2. 本研究所調查之藻種皆為波浪衝擊下常見的藻種，因此近岸波浪之大小或許並非與優勢藻種生長環境之影響；由於國內海岸構造物常因防治海岸侵蝕之目的設置，而濁度與基質對於藻類分布水深與豐富度有關，此可由本研究實地調查只要是裸露，未被沙礫覆蓋的區域，皆能觀察到海藻覆蓋的情形。因此，將來對於漂砂海岸之防治，如以生態工法考量或目的時，應將濁度與基質對於藻類分布與豐富度之影響納入工法之考量因子。
3. 本年度生態調查，主要針對台灣西南部海域之導流堤、離岸堤，進行生態環境調查，並分析海藻著生與環境因子之相關性；建議應針對國內北部以及東部海域進行相同之研究，俾供後續國內海岸生態環境及發展國內生態型海岸保護工法之研究與參考。
4. 符合生態及柔性工法之系列潛堤研究，目前已進行到以較符合現場之不規則波作為入射波條件，建議應再朝實際海岸地形佈置系列潛堤，探討其佈置在現場的可行性，並探討其波浪的防禦效果以及侵蝕淤積等地形變遷的防治效果。
5. 實際潛堤佈置一般以消波塊堆置而成，堤體為梯形且具有孔隙，堤體的樣式以及堤體孔隙的大小對於波浪的影響如何，值得再進一步深入探討。

參考文獻

1. Bailard, J.A., Deveries, J.W., Kirby J.T. and Guza, R.T., "Bragg Reflection Breakwater : A New Shore Protection Method," *Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, New York, pp. 1702-1715 (1990).
2. Bailard, J.A., Deveries J.W. and Kirby, J.T., "Considerations in Using Bragg Reflection for Storm Erosion Protection," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 118, pp. 62-74 (1992).
3. Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M., "Energy Loss and Set-up due to Breaking in Random Waves," *Proceedings of the 16th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Hamburg, Vol. 1, pp. 569-578 (1978).
4. Belzons, M., Rey, V. and Guazzelli, E., "Subharmonic Bragg Resonance for Surface Water Waves," *Europhysics Letters*, Vol. 16, No.2, pp. 189-194 (1991).
5. Berkhoff, J.C.W., "Computation of Combined Refraction-Diffraction," *Proceedings of the 13th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Vancouver, Vol. 1, pp. 705-720 (1972).
6. Booij, N., "A Note on the Accuracy of Mild-Slope Equation," *Coastal Engineering*, Vol. 7, pp. 191-203 (1983).
7. Bouws, E., Günther, H., Rosenthal, W., Vincent, C. L., "Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water. Part 2: Statistical Relations between Shape and Growth Stage," *Dt. Hydrogr. Z.* 40 (1987).
8. Bretschneider, C.L., "Significant Waves and Wave Spectrum," *Ocean Industry*, pp. 40-46 (1968).
9. Chamberlain, P.G. and Porter, D., "The Modified Mild-slope Equation," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 291, pp. 393-407 (1995).

10. Chang, H.K., "A Three-point method for separating of incident and reflected waves over a sloping bed," *China Ocean Engineering*, Vol. 16 pp. 499-511 (2002)
11. Cho, Y.S. and Lee, C., "Resonant Reflection of Waves over Sinusoidally Varying Topographies," *Journal of Coastal Research*, Vol. 16, No. 3, pp.870-876 (2000).
12. Davies, A.G. and Heathershaw, A.D., "Surface Wave Propagation over Sinusoidally Varying Topography," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 144, pp. 419-443 (1984).
13. Davies, A.G., Guazzelli, E. and Belzons, M., "The Propagation over Sinusoidally Varying Topography," *Physical Fluids*, Vol. 144, A1 (8), pp. 1331-1340 (1989).
14. Davidson, C. I., Lindberg, S. E., Schmidt, J. A., Cartwright, L. G. Landis, L. R.,. Dry deposition of sulfate onto a surrogate surface. *Journal of Geophysical Research* 90, pp. 2123-2130 (1985).
15. Dolan, T.J., Wave Mechanics for the Formation of Multiple Longshore Bars with Emphasis on the Chesapeake Bay, Master thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware (1983).
16. Eisenreich, S.J., Hornbuckle, K.C., Achman, D.R., Air–water exchange of semivolatile organic chemicals in the Great Lakes. In: Baker, J.E. (Ed.), *Atmospheric Deposition of Contaminants to the Great Lakes and Coastal Waters*. SETAC Press, Pensacola, Florida, pp. 109–136 (1997).
17. El-Fadel M, Massoud M., Particulate matter in urban areas: health-based economic assessment. *J Sci Total Environ*; 257, pp. 133 -146 (2000).
18. Eldeberky, Y., Nonlinear Transformation of Wave Spectra in the Nearshore Zone, Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands (1996).
19. Eldeberky, Y. and Battjes, J.A., "Parameterization of Triad Interactions in Wave Energy Models," *Proceedings of Coastal Dynamics Conference '95*, Gdansk, Poland, pp. 140-148 (1995).

20. Fang, G.C., Chang, C.N., Wu, Y.S., Fu, P.P.C., Yang, C.J., Chen, C.D., Chang, S.C., Ambient suspended particulate matters and related chemical species study in central Taiwan, Taichung during 1998–2001. *Atmospheric Environment*, Vol. 36, pp. 1921-1928 (2002).
21. Fang, G.C., Chang, C.N., Chang, S.Y., Dry Deposition of Metal Elements on Surrogate Surface in the Ambient Air of Central Taiwan. *Toxicological and Environmental*, Vol. 62, pp. 111-123, (2000).
22. Goda, Y., “A Comparative Review on the Functional forms of Directional Wave Spectrum,” *Coastal Engineering Journal*, Vol. 41(1), pp. 1-20 (1999).
23. Goda, Y. and Nagai, K., “Report of the Port and Harbour,” *Res. Inst.*, No. 61, pp. 64 (1968)
24. Goda, Y. and Suzuki, Y., “Estimation of incident and reflected waves in random wave experiment,” *Proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Hawaii, pp. 628-650 (1976).
25. Guazzelli, E., Rey, V. and Belzons, M., “Higher-Order Bragg Reflection of Gravity Surface Waves by Periodic Beds,” *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 245, pp. 301-317 (1992).
26. Holsen, T. M., Noll, K. E., Dry deposition of atmospheric particles: application of current models to ambient data. *Environmental Science and Technology*, Vol. 26, pp. 1802-1814 (1992).
27. Hsu, T.W. and Wen, C.C., “A Model Equation Extended to Account for Rapidly Varying Topography,” *Ocean Engineering*, Vol. 28, pp. 1479-1498 (2001a)
28. Hsu, T.W., and Wen, C.C., “On Radiation Boundary Conditions and Wave Transformation across the Surf Zone,” *China Ocean Engineering*, Vol. 15, pp. 405-416 (2001b).
29. Hsu, T.W., Chang, H.K, Tsai, L.H., “Bragg reflection of waves by different shapes of artificial bars,” *China Ocean Engineering*, Vol. 16(3), pp. 21-30 (2002).

30. Hsu, T.W., Tsai, L.H., Huang, Y.T., "Bragg Scattering of Water Waves by Multiply Composite Artificial Bars," *Coastal Engineering Journal*, Vol. 45(2), pp. 235-253 (2003).
31. Isobe, M., "A Parabolic Equation Model for Transformation of Irregular Waves due to Refraction, Diffraction and Breaking," *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 30, pp. 33-47 (1987).
32. Kirby, J.T., "A General Wave Equation for Wave over Rippled Beds," *Journal Fluid Mechanics*, Vol. 162, pp. 171-186 (1986).
33. Kirby, J.T. and Anton, J.P., "Bragg Reflection of Waves by Artificial Bars," *Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, New York, pp. 757-768 (1990).
34. Lee, J.H., Kim, Y.P., Moon, K.C., Kim, H.K., Lee, C.B., Fine particle measurements at two background sites in Korea between 1996 and 1997. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, 635-643 (2001).
35. Lee, C., Kim, G., Suh, K.D., "Extended mild-slope equation for random waves" *Coastal Engineering*, Vol. 48, pp. 277-287 (2003).
36. Longuet-Higgins, M.S., "On the Statistical Distributions of the Height of Sea Waves," *Journal Marine Research*, Vol. IX, No. C5, pp. 245-266 (1952).
37. Madsen, P.A. and Sørensen, O.R., "Bound Waves and Triad Interactions in Shallow Water," *Ocean Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 359-388 (1993).
38. Mansard, E.P.D. and Funke, E.R., "The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method", *Proceeding of the 17th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 154-172 (1980).
39. Massel, S.R., "Extended Refraction-Diffraction Equation for Surface Waves," *Coastal Engineering*, Vol. 19, pp. 97-126 (1993).
40. Mattioli, F., "Resonant reflection of surface waves by non-sinusoidal bottom undulations," *Applied Ocean Research*, Vol. 13, pp. 43-53

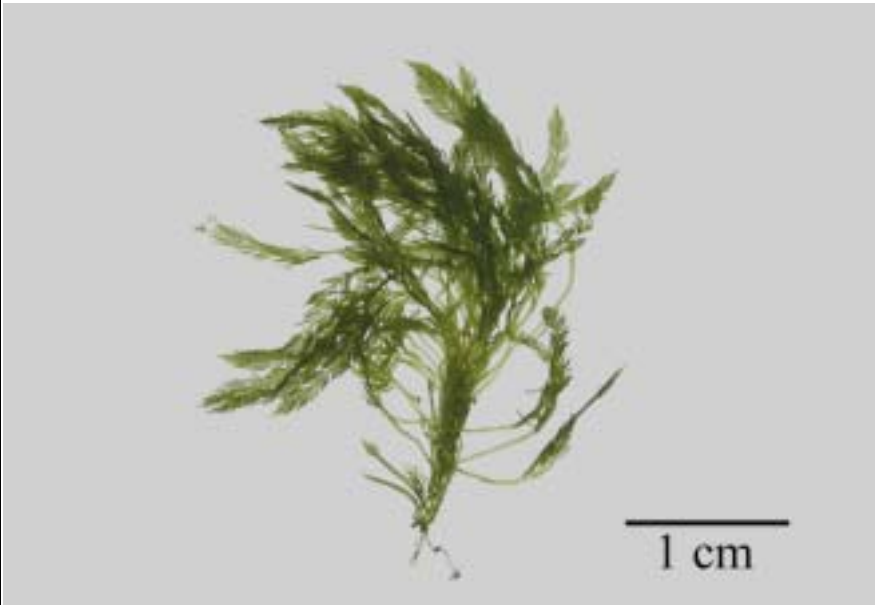
(1991).

41. McCowan, J., "On the Highest Wave of Permanent Type," *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 38(5), pp. 351-358 (1894).
42. Mei, C.C., "The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves," World Scientific, 2nd ed., pp. 135 (1983).
43. Mei, C.C., "Resonance Reflection of Surface Waves by a Periodic Sandbars," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 152, pp. 315-335 (1985).
44. Mei, C. C., Hara, T. and Naciri, M., "Note on Bragg Scattering of Water Waves by Parallel Bars on the Seabed," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 186, pp. 147-162 (1988).
45. Miles, J.W., "Oblique Surface-wave Diffraction by a Cylindrical Obstacle," *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, Vol. 6, pp. 121-123 (1981).
46. O'Hare, T.J. and Davies, A.G., "A Comparison of Two Models for Surface-wave Propagation over Rapidly Topography," *Applied Ocean Research*, Vol. 15, pp. 1-11 (1993).
47. Porter, D. and Staziker, D.J., "Extensions of the Mild-Slope Equation," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 300, pp. 367-382 (1995).
48. Porter, R. and Porte, D., "Scattered and Free Waves over Periodic Beds," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 483, pp. 129-163 (2003).
49. Radder, A.C., "On the Parabolic Equation Method for Water Wave Propagation," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 95, No. 1, pp. 159-176 (1979).
50. Scudlark, J.R., Conko, K.M., Church, T.M., Atmospheric wet deposition of trace elements to Chesapeake Bay: Y. Gao, et al. / *Atmospheric Environment* 36, 1077-1086, 1085 CBAD study year 1 results. *Atmospheric Environment*, Vol. 28 (8), pp. 1487-1498 (1994).
51. Short, A.D., "Multiple Offshore Bars and Standing Waves," *Journal of*

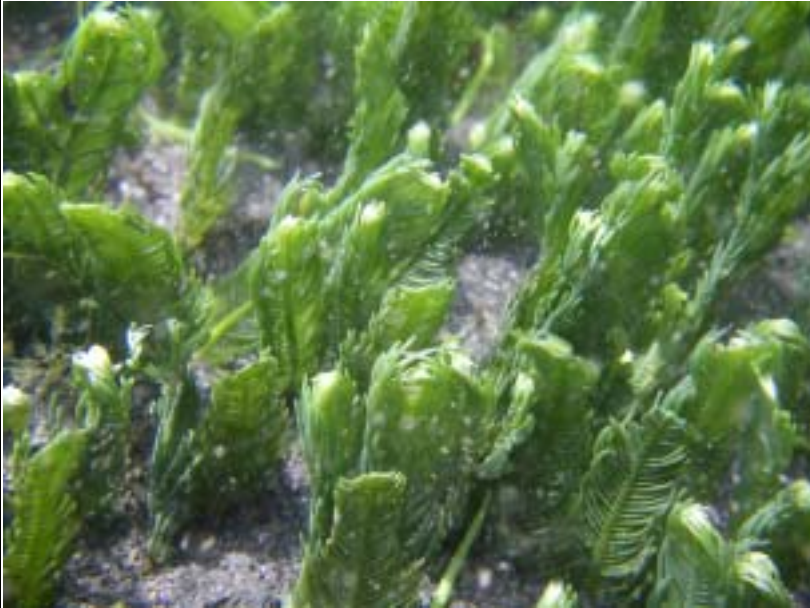
- Geophysical Research*, Vol. 80, pp. 3838-3840 (1975).
52. Shuto, N., "Nonlinear Long Waves in a Channel of Variable Section," *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 17, pp. 1-12 (1974).
 53. Suh, K.D., Lee, C. and Part, W.S., "Time-Dependent Equations for Wave Propagation on Rapidly Varying Topography," *Coastal Engineering*, Vol. 32, pp. 91-117 (1997).
 54. Webster, W.C. and Wehausen, J.V., "Bragg Scattering of Water Waves by Green-Naghdi Theory," *Z angew Math Phys* 46 Special Issue, pp. S566-S583 (1995).
 55. Wehausen, J.V. and Laitone, E.V., *Surface Waves, Encyclopedia of Physics, Springer-Verlag, Berlin*, Vol. 9, pp. 469 ff (1960).
 56. Zhang, L, Kim, M.H., Zhang, J. and Edge, B.L., "Hybrid Model for Bragg Scattering of Water Waves by Steep Multiply-sinusoidal Bars," *Journal of Coastal Research*, Vol. 15, No. 2, pp. 486-495 (1999).
 57. 陳陽益、湯麟武，「波床底床上規則前進重力波之解析」，第十二屆海洋工程研討會論文集，台灣台北，270-305 頁，(1990)。
 58. 陳陽益，「波形底床上規則重力波之解析(2)」，港灣技術第六期，55-83 頁，(1991a)。
 59. 陳陽益，「自由表面規則前進重力波傳遞於波形底床上共振現象」，第十五屆全國力學會議論文集，台灣台南，289-296 頁，(1991b)。
 60. 陳陽益，「規則前進重力波傳遞於波形底床上」，港灣技術第七期，17-47 頁，(1992)。
 61. 張憲國，「人工沙洲對波浪反射係數之影響」，港灣技術，第 12 卷，23-38 頁，(1997)。
 62. 張憲國、許泰文、李逸信，「波浪通過人工沙洲之試驗研究」，第十九屆海洋工程研討會論文集，台灣台中，242-249 頁，(1997)。
 63. 岳景雲、曹登皓、陳丙奇，「波浪通過系列潛堤反射係數之研究」，第八屆全國海岸工程學術討論會暨 1997 年海峽兩岸港口及海岸開發研討會論文集（下），中國北京，683-690 頁，(1997)。

64. 岳景雲、曹登皓、陳丙奇，「波浪斜向入射正方形複列潛堤反射係數之研究」，第二十屆海洋工程研討會論文集，台灣基隆，265-272 頁，(1998)。
65. 岳景雲、曹登皓、江天授、李厚慶，「波浪斜向入射斜坡底床上不透水潛堤之研究」，第二十一屆海洋工程研討會論文集，台灣新竹，191-197 頁，(1999)。
66. 郭金棟、陳文俊、陳國書，「雙列潛堤對海灘防治效益之研究」，第二十一屆海洋工程研討會論文集，台灣新竹，307-313 頁，(1999)。
67. 黃淑芳，台灣東北角海藻圖錄，國立台灣博物館 (2000)。
68. 岳景雲、曹登皓、翁文凱，「波浪通過不透水雙列潛堤之研究」，兩岸港口及海岸開發研討會論文集，台灣新竹，第 112-118 頁，(2000)。
69. 陳陽益、郭少谷，「三維波形底床上前進波列之傳遞 I」，第二十二屆海洋工程研討會論文集，台灣高雄，99-118 頁，(2000)。
70. 許泰文，海岸保護改善策略，邁向 21 世紀海洋國家策略研討會論文集，1 頁～23 頁，(2001)。
71. 蔡立宏，「波浪通過系列潛堤之布拉格反射研究」，博士論文，(2003)
72. 林綉美、張瑞欣、林東廷，西南海岸結構物之海藻著生調查，第 26 屆海洋工程研討會論文集，559 頁～566 頁，(2004)。

附錄 A 本研究調查海藻之生態與照片

種名	羽藻 <i>Bryopsis plumosa</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0.1-2 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	數周	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	3-5 cm		
生態照			
標本照			

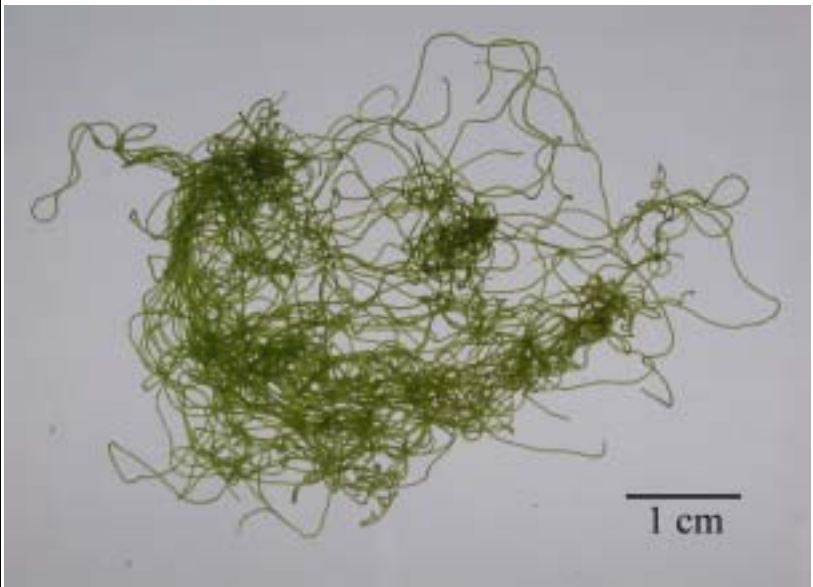
照片 A-1 海藻生態調查成果照片—羽藻

種名	羽狀蕨藻 <i>Caulerpa sertularioides</i>		
生長期	3-5 月	生育水深	0.1-2 m
成熟期	3-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	數周	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	3-5 cm		
生態照			
標本照			

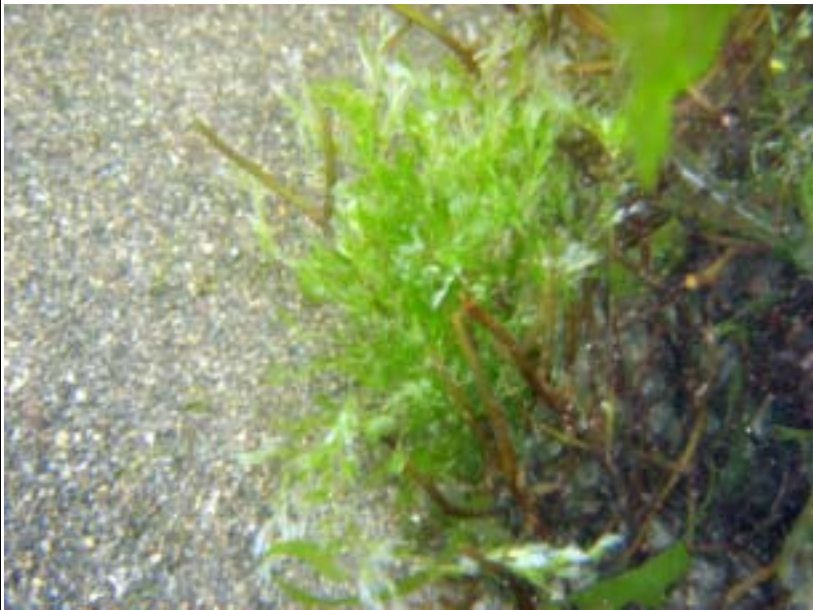
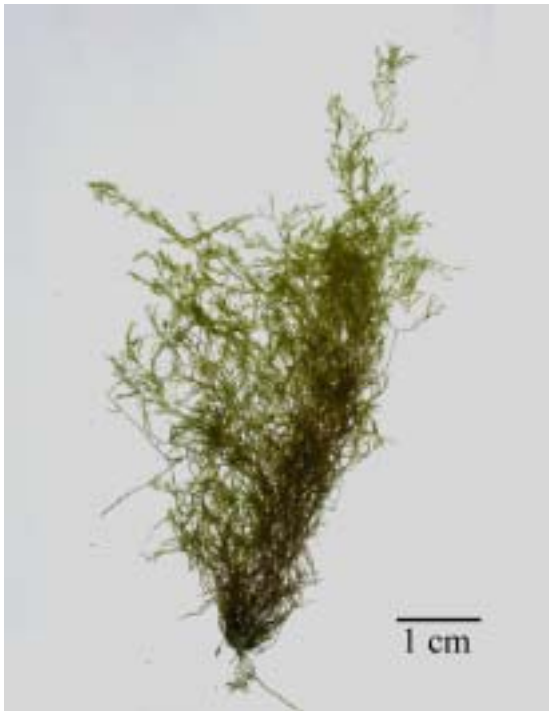
照片 A-2 海藻生態調查成果照片—羽狀蕨藻

種名	硬毛藻 <i>Chaetomorpha antennina</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-0.5 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	數周	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	3-7 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-3 海藻生態調查成果照片—硬毛藻

種名	粗硬毛藻 <i>Chaetomorpha crassa</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	數周	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	3-10 cm		
生態照			
標本照			

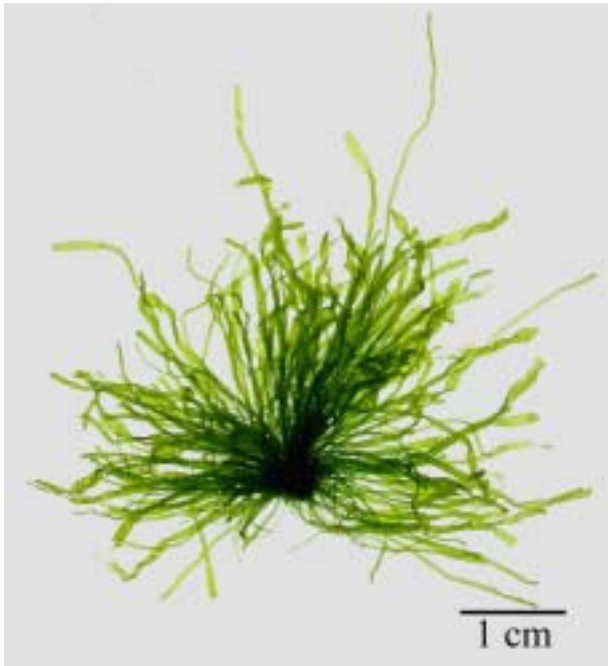
照片 A-4 海藻生態調查成果照片—粗硬毛藻

種名	束生剛毛藻 <i>Cladophora sakaii</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	數周	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	5-10 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-5 海藻生態調查成果照片—束生剛毛藻

種名	裂片石蓴 <i>Ulva fasciata</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	數周	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	10-25 cm		
生態照			
標本照			

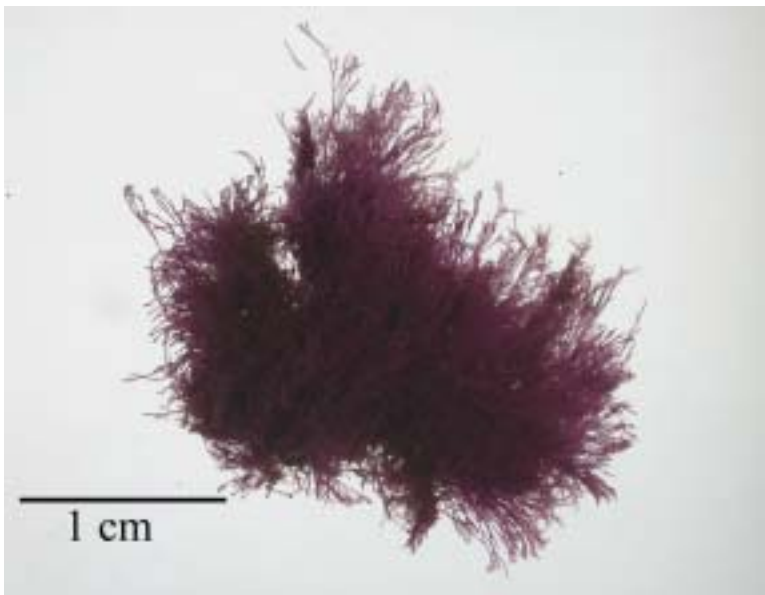
照片 A-6 海藻生態調查成果照片—裂片石蓴

種名	腸滸苔 <i>Ulva intestinalis</i>		
生長期	2-3 月	生育水深	0-0.5 m
成熟期	2-3 月	生育水溫	24-25 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	5-10 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-7 海藻生態調查成果照片—腸滸苔

種名	扇形擬伊谷藻 <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>		
生長期	2-3 月	生育水深	0-0.5 m
成熟期	2-3 月	生育水溫	24-25 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	2-4 cm		
生態照	(因野外數量稀少，而未有清楚的生態照)		
標本照			

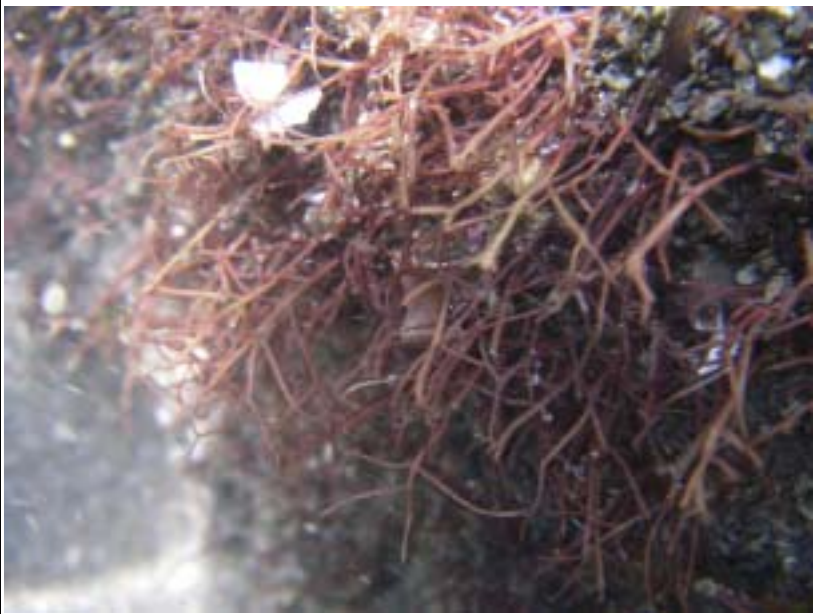
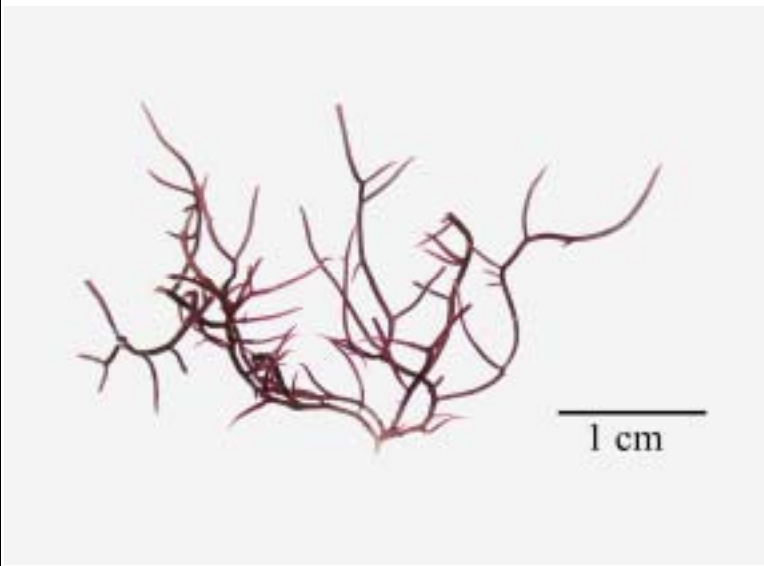
照片 A-8 海藻生態調查成果照片—扇形擬伊谷藻

種名	縱胞藻 <i>Centroceras clavulatum</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0.1-0.5 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	4-8 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-9 海藻生態調查成果照片—縱胞藻

種名	仙藻 <i>Ceramium cimbrium</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	24-25 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	0.5-1 cm		
生態照	(因藻體介於 0.5-1 公分，十分微小，且只附生在其它較大型紅藻上，而未攝有生態照)		
標本照			

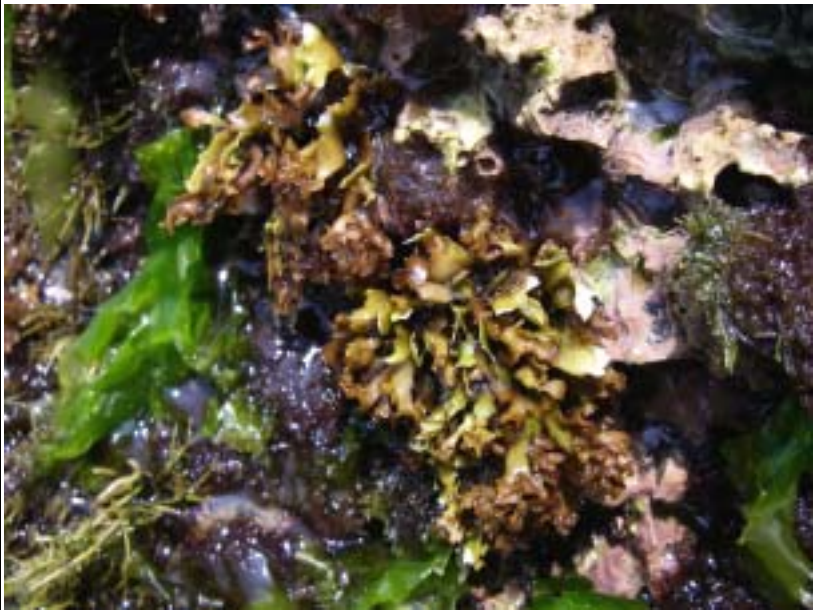
照片 A-10 海藻生態調查成果照片—仙藻

種名	肉葉藻 <i>Chondracanthus</i> sp.		
生長期	3-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	3-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	5-10 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-11 海藻生態調查成果照片—肉葉藻

種名	擬石花藻 <i>Gelidiopsis intricata</i>		
生長期	3-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	3-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	5-10 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-12 海藻生態調查成果照片—擬石花藻

種名	刺邊龍鬚菜 <i>Gracilaria spinulosa</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	5-10 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-13 海藻生態調查成果照片—刺邊龍鬚菜

種名	蜈蚣藻 <i>Grateloupia filicina</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	12-15 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-14 海藻生態調查成果照片—蜈蚣藻

種名	舌狀蜈蚣藻 <i>Grateloupia livida</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	5-10 cm		
生態照	(因其生長位置浪太大, 不易拍照, 待第三次調查時, 再補拍)		
標本照			

照片 A-15 海藻生態調查成果照片—舌狀蜈蚣藻

種名	劍葉蜈蚣藻 <i>Grateloupia okamurae</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-0.5 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	10-15 cm		
生態照			
標本照			

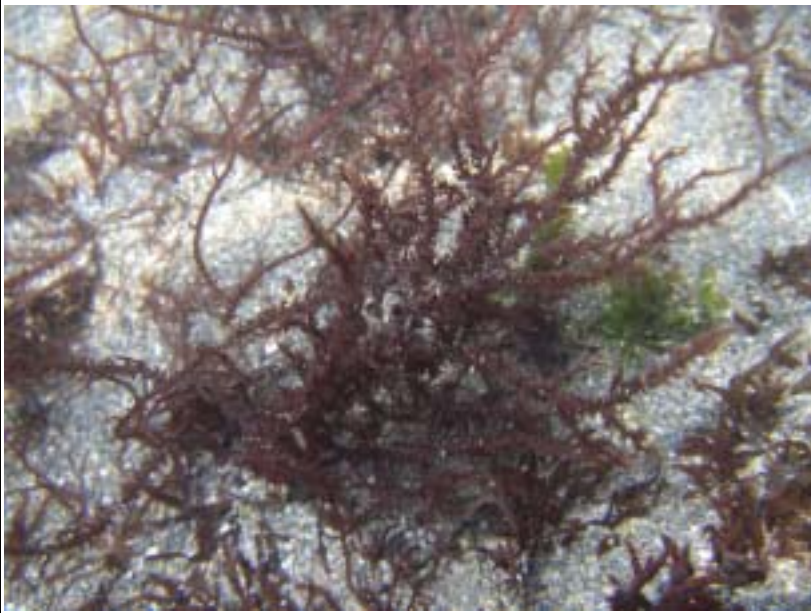
照片 A-16 海藻生態調查成果照片—劍葉蜈蚣藻

種名	繁枝蜈蚣藻 <i>Grateloupia ramossissima</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-0.5 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	5-12 cm		
生態照			
標本照			

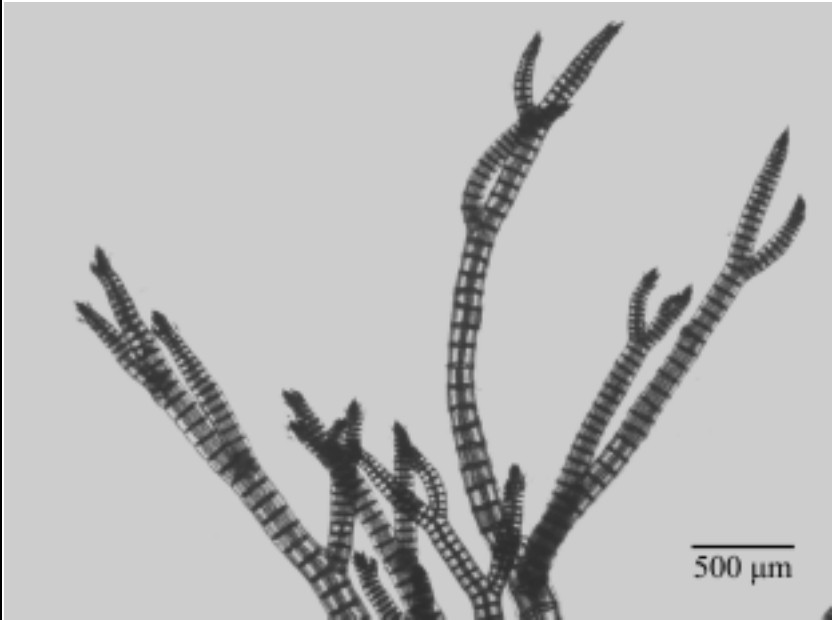
照片 A-17 海藻生態調查成果照片—繁枝蜈蚣藻

種名	稀毛蜈蚣藻 <i>Grateloupia sparsa</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長			
生態照			
標本照			

照片 A-18 海藻生態調查成果照片—稀毛蜈蚣藻

種名	沙菜 <i>Hypnea boergesenii</i>		
生長期	2-5 月	生育水深	0.1-1 m
成熟期	2-5 月	生育水溫	25-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
體藻長	10-15 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-19 海藻生態調查成果照片—沙菜

種名	多管藻 <i>Polysiphonia</i> sp.		
生長期	4 月、5 月	生育水深	0-1 m
成熟期	4 月、5 月	生育水溫	28-30 °C
壽命	1 至數月	生育濁度	4.5-15.2 ntu
成體藻長	2-3 cm		
生態照			
標本照			

照片 A-20 海藻生態調查成果照片—多管藻

計畫編號: MOTC-IOT-95-H2DA004

台灣地區鄰港海岸環境保護及監測 調查研究 (2/4)

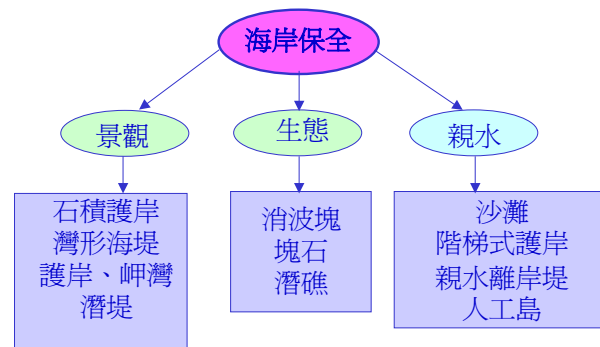
蔡立宏、何良勝、徐如娟

交通部運輸研究所

中華民國96年03月02日

研究動機

以「海岸侵蝕防禦」、「海岸環境和景觀改善」及「海岸永續經營」等三個理念為前題，確立防災、生態和親水環境並重之工程理念，創造海洋生活圈的特色和風貌。



研究目的

- 在維護及改善台灣地區港灣及海岸環境的基礎下，建立具**防災、景觀、親水及生態型**海岸保護工法之發展方向與提昇工程應用技術，以促進海岸保護工程建設與自然環境之共生共榮，並期本研究成果能提供學術、施政、設計及施工相關單位之參酌。

研究內容

分別利用**數值計算、水工試驗、現場調查**以及**統計分析**，針對港灣及海岸結構物的**水理特性、保護效果及生態性**作一綜合性研究。

- 一、基本資料蒐集
- 二、海岸環境生態調查
- 三、生態環境相關性分析
- 四、探討港區空氣懸浮微粒特性
- 五、探討系列潛堤海岸環境保護效果
- 七、探討系列潛堤工法海岸保護效果

南部海岸保護結構物生態調查

- 調查地點

離岸堤2座（林邊）、導流堤2座（大鵬灣），合計4座海岸保護結構物

- 調查頻率

進行三季(2、5及8月)次採樣分析

- 水質調查分析

統計水質分佈範圍(最高、最低值)及季節變化分佈

南部海岸保護結構物生態調查

- 海藻調查分析

種類組成與空間分佈、覆蓋率變化、優勢性藻種
種歧異度指數、季節分佈、相似度分析
海藻著生基質、位置、水深

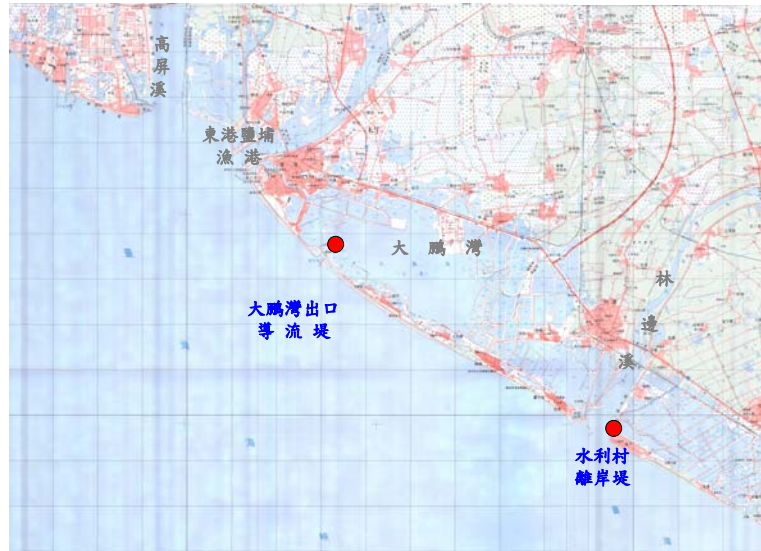
- 著生海藻與水質之相關性

海藻種類、種數、覆蓋率與水質項目之相關性

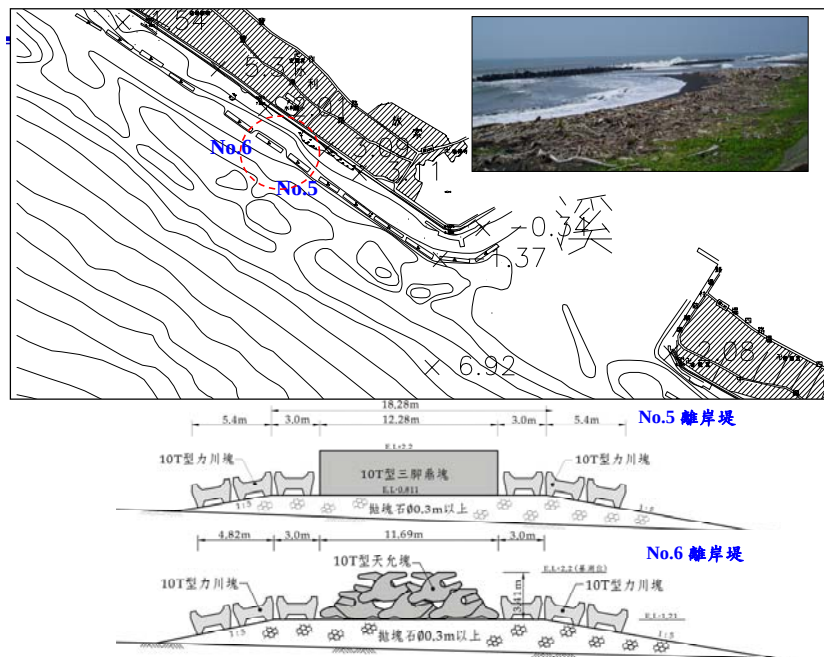
- 海岸保護結構物型式與海藻著生之差異性

比較離岸堤、突堤之海藻著生差異性

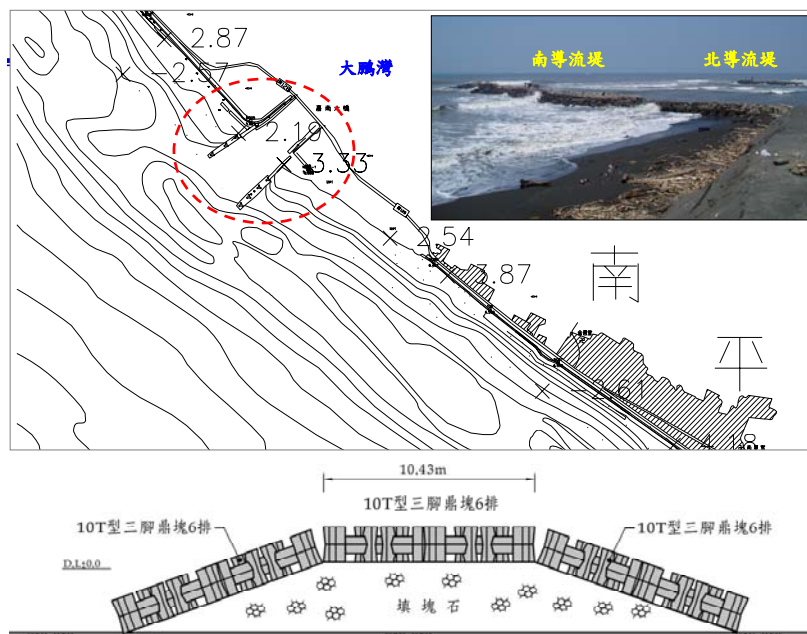
海藻生態調查位置



林邊離岸堤平面與斷面



大鵬灣出口導流堤平面與斷面



調查項目

一、海水水質：

近岸結構物附近之海水水質包括：水溫、鹽度、酸鹼度、濁度、溶氧、氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽及照度等檢測，以瞭解結構物上著生海藻之水質生長環境。

二、光照度：

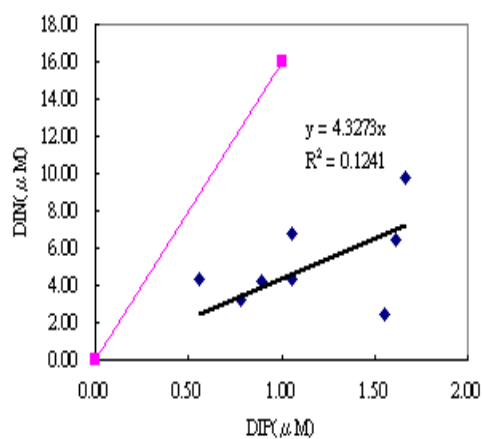
於不同水深，分別測量水表面、水中間及水底層的光照度。

三、海藻著生情形：

調查對象海岸保護結構物之海藻著生狀況，包括其種類、生長位置(著生基質、著生部位、生長水深)、覆蓋率及季節分佈等等，以瞭解本區人工構造物適合著生海藻及生態特性。

水質分析結果

- ❖ 由兩季之監測結果比較發現，**氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮)**於兩季檢測結果測值相近，而**磷酸鹽及光照度**檢測結果則第二季測值高於第一季。
- ❖ 值得注意的是第二季分析結果顯示，**各監測點之水體營養鹽N/P比約為4.3**，低於理論值(16)，顯示**兩區域水體均為氮限**。

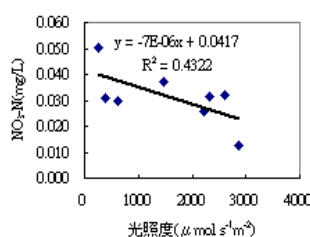


各監測點之水體營養鹽N/P比

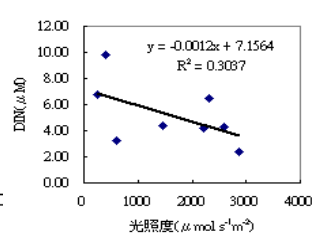
水體 NO₃-N、DIN、DIP、N/P與光照度之相關性

- ❖ **光照度與NO₃-N、DIN、N/P ratio三者均呈負相關性**；顯示光照度愈強各種浮游植物或藻類吸收氮的能力也愈強。
- ❖ 由於監測之水體均屬氮限，水體中磷酸鹽屬過剩之情況，因此**光照度與DIP之相關性並不顯著**。

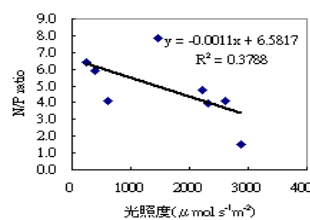
NO₃-N與光照度之相關性



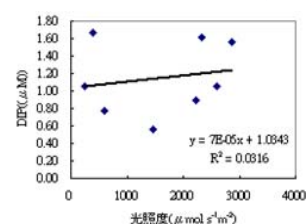
DIN與光照度之相關性



N/P與光照度之相關性



DIP與光照度之相關性



在藻類著生分佈上，潮間帶種類數目及覆蓋度皆大於潮下帶；潮間帶測站的優勢種藻類覆蓋率如超過百分之二十以上，則其它藻種會受優勢種藻類的影響很大，而在數量上變少。

海藻大多著生在堅硬的消波塊、石塊頂部、側面及斜邊等受光處，只要裸露，未被沙礫覆蓋，皆有觀察到海藻覆蓋；隨著基質由裸露石塊或消波塊轉變成沙礫覆蓋較多區域，海藻覆蓋則呈現逐漸遞減趨勢；顯然，沙礫形式的基質不適合海藻的著生。

區域	季別	測站別	位置	總豐富度	光照度	濁度	水深 (cm)	藻類分佈最深深度 (cm)
大鵬灣	第一季	測站一	潮間帶	56%	707	4.5	0	0
			潮下帶	12.2%	144	4.5	100	60
		測站二	潮間帶	49.6%	838	4.6	0	0
			潮下帶	10.3%	231	8.7	250	90
	第二季	測站一	潮間帶	33.6%	2,598	3.5	0	0
			潮下帶	9.0%	251	1.4	100	50
		測站二	潮間帶	53.12%	2,327	2.0	0	0
			潮下帶	29.04%	398	2.5	130	60
	第三季	測站一	潮間帶	1.0%	2,439	7.1	0	0
			潮下帶	0.1%	241	10.2	60	30
		測站二	潮間帶	1.31%	2,765	7.1	0	0
			潮下帶	0%	211	10.2	120	60
林邊	第一季	測站三	潮間帶	69.3%	1,228	9.8	0	0
			潮下帶	10.3%	87	12.6	100	40
		測站四	潮間帶	46.2%	939	12.4	0	0
			潮下帶	6.82%	87	15.2	100	40
	第二季	測站三	潮間帶	58.08%	2,221	2.8	0	0
			潮下帶	34.48%	608	0.7	110	65
		測站四	潮間帶	82.32%	2,871	2.6	0	0
			潮下帶	45%	1,467	0.6	110	70
	第三季	測站三	潮間帶	8%	3,163	10.4	0	0
			潮下帶	0.7%	256	13.2	60	35
		測站四	潮間帶	4%	2,765	10.9	0	0
			潮下帶	1.1%	227	15.9	70	35

南部海域底質為砂質，冬季南部海域風浪皆不大；夏季因海岸走向與季節風浪垂直，無論大鵬灣或林邊，潮下帶濁度明顯增加；林邊海域因為離岸堤構造，相對提供堤後淤沙效果，造成濁度增加與基質變化，致林邊藻類之水深皆較同季次之大鵬灣測站為低。

林邊離岸堤之潮間帶總豐富度都較大鵬灣導流堤為高，初步研判可能與結構物設置水深、結構物斜邊坡度、表面積、施設年代等有關。由於影響結構物每斷面單位長度表面積之因素尚有消波塊孔隙率、消波塊排列方式，就海岸結構物型式差異性，仍需更長期監測觀察。

大鵬灣測站海藻著生與光照度、濁度及水溫之分析

位置	季別	測站別	總豐富度	物種數	濁度 (ntu)	光照度	水溫 (℃)
潮間帶	第一季 (2月)	測站一	56%	6	4.5	707	24.6
		測站二	49.6%	11	4.6	838	24.4
	第二季 (5月)	測站一	33.6%	5	3.5	2,598	30.0
		測站二	53.12%	10	2.0	2,327	30.1
	第三季 (8月)	測站一	1.0%	4	7.1	2,439	29.4
		測站二	1.31%	5	7.1	2,765	29.9
潮下帶	第一季 (2月)	測站一	12.2%	6	4.5	144	24.3
		測站二	10.3%	5	8.7	231	24.4
	第二季 (5月)	測站一	9.0%	5	1.4	251	29.9
		測站二	29.04%	6	2.5	398	30.6
	第三季 (8月)	測站一	0.1%	1	10.2	241	29.3
		測站二	0	0	10.1	211	29.6

林邊測站海藻著生與光照度、濁度及水溫之分析

位置	季別	測站別	總豐富度	物種數	濁度	光照度	水溫
潮間帶	第一季 (2月)	測站三	69.3%	13	9.8	1,228	25.0
		測站四	46.2%	11	12.4	939	24.9
	第二季 (5月)	測站三	58.08%	11	2.8	2,221	29.8
		測站四	82.32%	9	2.6	2,871	31.3
	第三季 (8月)	測站三	8%	4	10.4	3,163	29.4
		測站四	4%	4	10.9	2,765	29.5
潮下帶	第一季 (2月)	測站三	10.3%	6	12.6	87	25.1
		測站四	6.82%	7	15.2	87	24.9
	第二季 (5月)	測站三	34.48%	10	0.7	608	29.7
		測站四	45%	5	0.6	1,467	30.6
	第三季 (8月)	測站三	0.7%	2	13.2	256	29.2
		測站四	1.1%	2	15.9	227	29.3

大鵬灣導流堤海藻著生情形

大鵬灣導流堤（測站一）：裂片石蓴 *Ulva faciata*



95年2月



95年5月



95年8月

大鵬灣導流堤（測站二）：蜈蚣藻、縱胞藻



95年2月（蜈蚣藻）



95年5月（縱胞藻）



95年8月（縱胞藻）

林邊離岸堤海藻著生情形

林邊離岸堤（測站三）：裂片石蓴 *Ulva faciata*



95年2月



95年5月



95年8月

林邊離岸堤（測站三）：裂片石蓴 *Ulva faciata*



95年2月

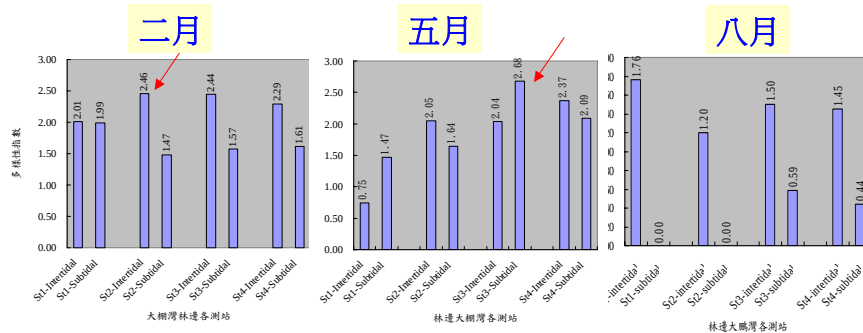


95年5月



95年8月

著生海藻多樣性指數分析



Shannon-Wiener多樣性指數之比較，數值愈高代表該測站多樣性愈高，或藻種分佈的均勻度愈高。

優勢種和藻種的季節性變化分析

- ❖ 前二季調查共計發現有20種海藻著生於離岸堤和突堤的人工結構物上，分別歸屬於綠藻門5科（7種）和紅藻門7科（13種）。
- ❖ 在優勢種方面，2月份及5月份各測站皆以的綠藻門的石蓴科為絕對優勢藻種。大體上，潮間帶種類數目及覆蓋度皆大於潮下帶。潮間帶測站的優勢種藻類覆蓋率如超過百分之二十以上，則其它藻種會受優勢種藻類的影響很大，而在數量上變少。因此，常常只要是一優勢種的出現或消失，即可造成該測站極大的影響。
- ❖ 由於調查樣區為經常性海浪衝擊的區域，這些藻種具有堅韌的附著器，因此可抵抗強勁的海浪。以本次調查的海膜藻科中的蜈蚣藻屬(*Grateloupia*)為例，此類藻類多生長在浪濤衝擊處，因此在台灣週遭海域，常見於風浪較大的東北角及西南沿海一帶（林等人，2004）。



海藻豐富度與水溫和營養鹽季節性變化分析

- ❖ 第二季（介於33.6-82.32%間）較第一季（介於46.2-69.3%之間）的豐富度來的高，尤其是測站三及測站四的潮間帶及潮下帶海藻覆蓋度，皆有顯著的增加。
- ❖ 水質資料比較下，發現第一季的氮磷比較第二季來的高，顯示雖然第一季的營養鹽較高，但水溫較低（介於24-25°C之間），生長的速度較緩慢。
- ❖ 自入春以來，白天水溫回暖升至29-31°C之間，促使海藻生長加快，而由第二季營養鹽中氮鹽的減少可知，在春季氮鹽為海藻生長的限制因子。

探討台中港區空氣懸浮微粒特性

研究目的：

利用台中港區環境中空氣微粒濃度以及金屬元素調查結果，以統計方法，分析其相關性並提出迴歸方程式。

研究方法：

以微粒資料(TSP, PM_{2.5-10}和PM_{2.5})和氣象資料(溫度、相對溼度，風速和風向)進行統計分析。利用非參數(Spearman)相關分析探討金屬相關係數，以及微粒與氣象數據之相互關係，並利用SPSS-10.0進行迴歸相關分析。

研究地點及採樣時間

研究地點：台中港西一碼頭之宏恕倉儲頂樓3樓

採樣時間：2004年3月至2005年1月



不同粒徑之微粒濃度及氣象資料表

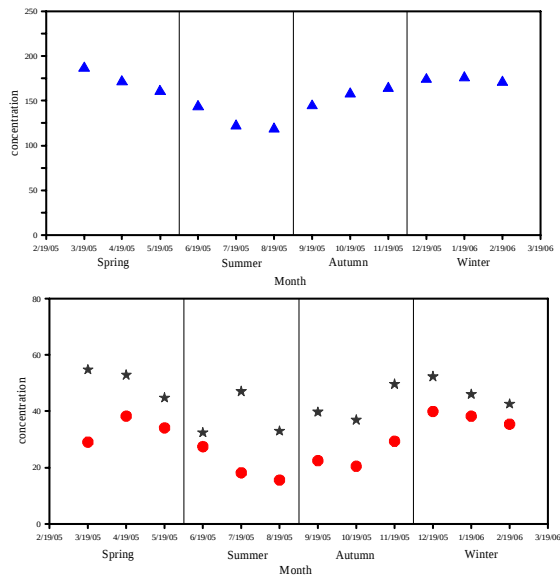
季節	月份	TSP ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM _{2.5-10} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	相對濕度(%)	溫度(°C)	風速 (ms^{-1})	風向
春	3	186.55	54.79	29.03	86	16.50	13.6	NNE
	4	171.25	52.89	38.26	83	19.10	9.8	NNW
	5	160.63	44.79	34.10	84	21.70	8.6	NNW
夏	6	143.55	32.4	27.44	84	22.50	8.7	NNE
	7	121.84	47.05	18.14	86	22.60	7.2	NE
	8	118.32	33.02	15.55	87	22.80	7.8	SWW
秋	9	144.34	39.76	22.44	88	21.80	8.2	SWW
	10	157.56	36.92	20.45	79	19.00	8.5	NNE
	11	163.95	49.63	29.35	78	18.50	8.3	NE
冬	12	173.75	52.31	39.93	77	15.60	9.7	NW
	1	175.61	46.02	38.22	78	13.50	10.4	NNW
	2	170.43	42.56	35.42	76	14.32	8.6	NW
平均		157.31	44.35	29.86	82.17	18.99	9.12	NNW

不同時間微粒濃度分佈特性

▲ : TSP

★ : PM_{2.5-10}

● : PM_{2.5}



微粒濃度係數和氣象參數之相關係數

	TSP	PM _{2.5-10}	PM _{2.5}	Temperature	Relative humidity	Wind speed	Wind direction
TSP	1.0						
PM _{2.5-10}	0.930**	1.0					
PM _{2.5}	0.727**	0.713**	1.0				
Temperature	-0.881**	-0.755**	-0.462	1.0			
Relative humidity	-0.545	-0.527	-0.228	0.784**	1.0		
Wind speed	0.855**	0.872**	0.480	-0.658**	-0.386	1.0	
Wind direction	-0.021	0.075	-0.271	-0.014	0.090	-0.016	1.0

微粒濃度之迴歸方程式

TSP、PM_{2.5-10} 和PM_{2.5} 濃度之迴歸方程式可表示為

$$F = \alpha_1 + [\beta_1(\text{wind speed}) + \beta_2(\text{temp})]\cos[\beta_3(\gamma_i/12) + \beta_4]^n$$

Regression Coefficients \ Particulate Size	α	β_1	β_2	β_3	β_4	n	R ²
TSP	177.87	-8.79	5.23	3.42	0.92	1	0.935
PM _{2.5-10}	17.02	0.27	1.34	3.21	-0.57	2	0.915
PM _{2.5}	37.52	0.77	0.45	4.13	-1.08	4	0.664

波浪通過系列潛堤擴散特性

利用**水工模型試驗**方式，分析波浪通過系列潛堤時，不同的**波浪條件**及不同的**污染源濃度**，探討堤前**不同時間及位置**污染物擴散的情形，以及系列潛堤堤前**水體交換機制**。

試驗設備-波高計佈置

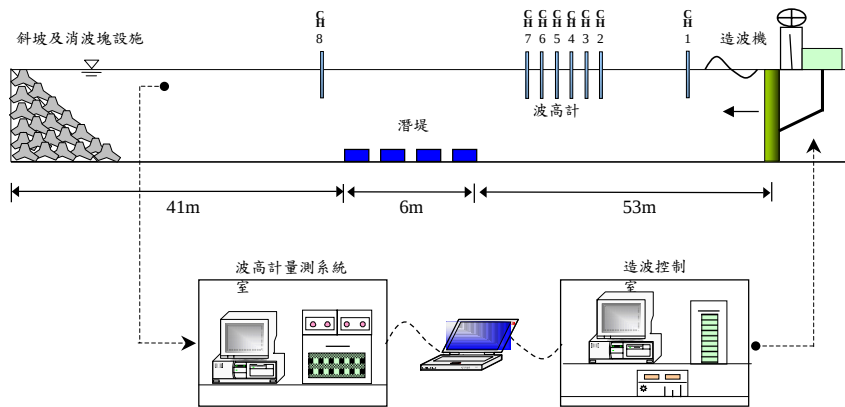


圖6-3 潛堤佈置、波高計佈置以及造波控制量測系統示意圖

試驗設備-導電度計佈置

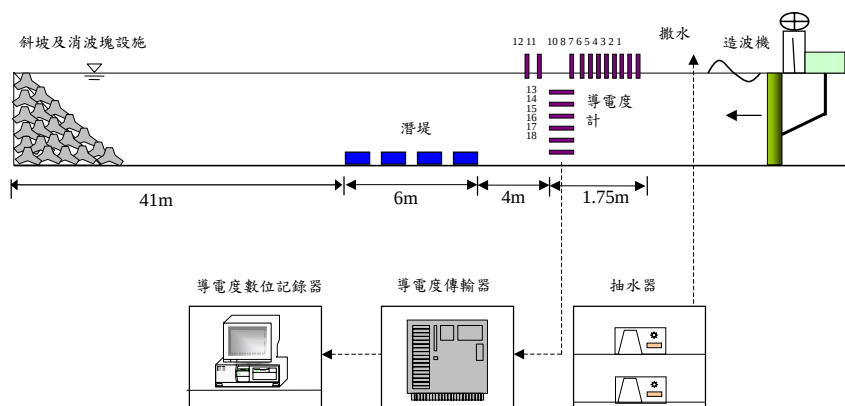
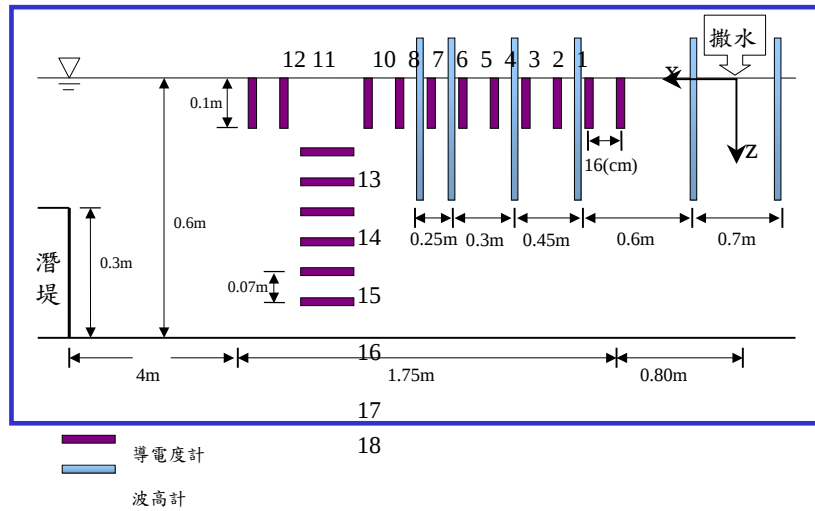


圖6-4 導電度計、蠕動幫浦以及資料擷取系統示意圖

儀器實際佈置位置尺度圖



試驗設備

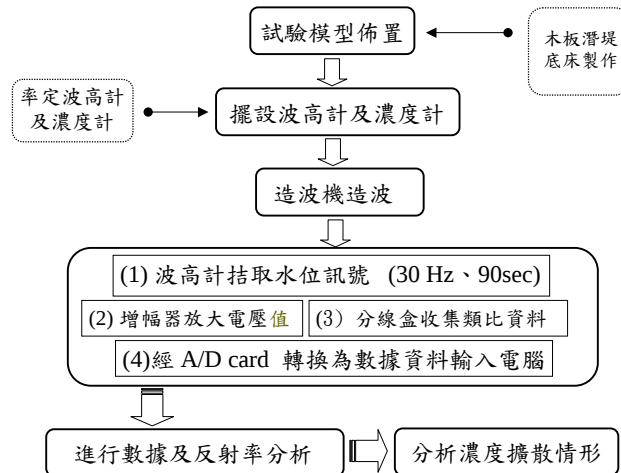


蠕動泵浦及導電度計轉換器

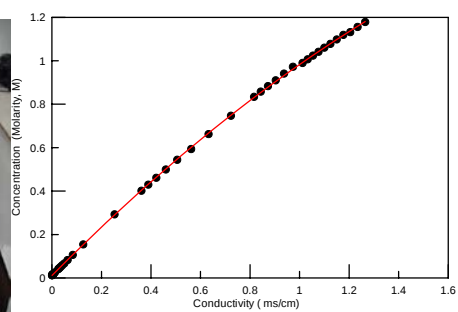
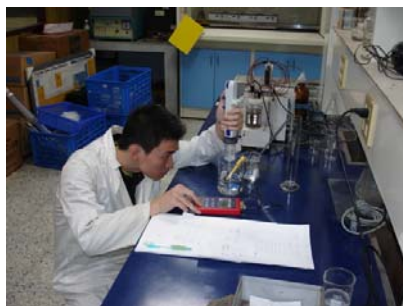


導電度計資料擷取系統

水工模型試驗步驟流程圖



儀器率定



$$C = 0.0114 + 1.487\hat{C} - 0.1770\hat{C}^2$$

$$\hat{C} = \frac{\hat{C}}{1 + 0.0171(T - 25)}$$

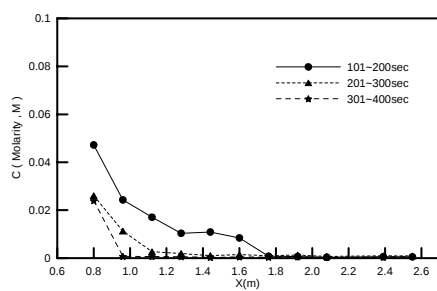
試驗條件及佈置

潛堤型式	堤數 (N)	間距 (S)	堤寬 (B)	堤高 (D)	水深 (h)	濃度 (c)	波浪條件	
							週期 (T_i)	波高 (H_i)
矩型	4	180 cm	60cm	30 cm	60 cm	0.25, 0.5, 1.0M	1.02~3.38 sec	8.0 cm

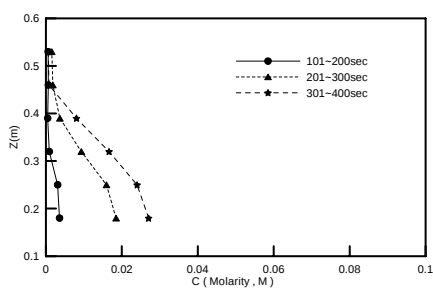


水平及垂直水深方向不同時段濃度比較

水平方向



垂直方向



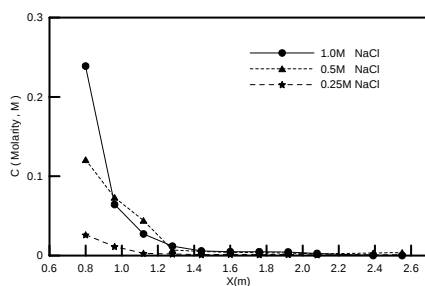
波浪週期為1.86sec，污染源濃度=0.25M

水平及垂直水深方向不同時段濃度比較圖(0.25M)

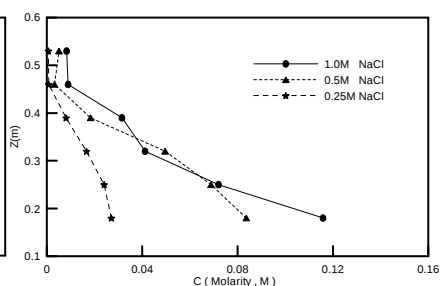
sec	波高8cm、週期1.86sec、濃度0.25M			
50		250		
100		300		
150		350		
200		400		

不同鹽水濃度之濃度比較

水平方向



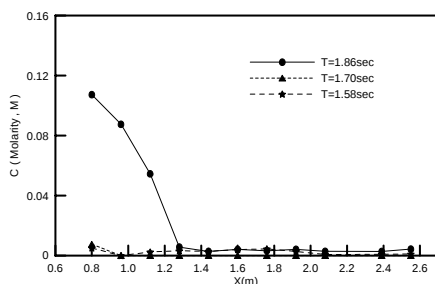
垂直方向



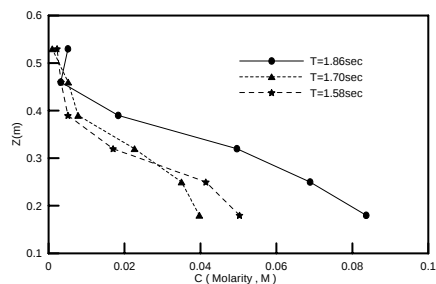
波浪週期為1.86sec, 濃度計算時間為 $t=301\sim400\text{sec}$

不同波浪週期（反射率）之濃度比較

水平方向



垂直方向



污染源濃度=0.5M, 濃度計算時間為 $t=301\sim400\text{sec}$

探討系列潛堤保護工法保護效果

過去多以規則波浪進行布拉格反射之研究，然而實際海域卻為不規則波浪，故些研究成果並無法直接應用於實際工程設計。

本單元針對不同的系列潛堤佈置條件，利用水工模型試驗及數值計算方式，探討在不規則波浪作用下的海岸保護效果，對此進行一系列的深入研究，

研究方法

探討不同間距系列潛堤在布拉格反射條件上的限制，並以複合式系列潛堤為方向，討論波浪條件的於海岸防禦之範圍。並以數值模擬布拉格反射效果，且規劃試驗以利數值驗證。

針對不同系列潛堤配置整理其海岸防禦效果，進而歸納比較在不規則波浪作用下欲產生布拉格共振效應時，各式地形佈置的相關特性。

控制方程式

- 以EEMSE作為控制方程式，並加入能量消散係數，且引用 Radder (1979) 之尺度因子，則得計算單一成份波之控制方程式

$$\frac{-2\omega_i}{(CC_g)_i} \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \nabla_h^2 \phi_i + (k_c^2)_i \phi_i$$
$$k_c^2 = k^2(1 + if_D) - \frac{\nabla_h^2 \sqrt{CC_g}}{\sqrt{CC_g}} + \frac{F_1 g \nabla_h^2 h + F_2 g k (\nabla_h h)^2}{CC_g}$$
$$F_1 = \frac{-4kh \cosh kh + \sinh 3kh + \sinh kh + 8(kh)^2 \sinh kh}{8 \cosh^3 kh (2kh + \sinh 2kh)} - \frac{kh \tanh kh}{2 \cosh^2 kh}$$
$$F_2 = \frac{\sec^2 kh}{6(2kh + \sinh 2kh)^3} \left[8(kh)^4 + 16(kh)^3 \sinh 2kh - 9 \sinh^2 2kh \cosh 2kh + 12kh(1 + 2 \sinh^4 kh)(kh + \sinh 2kh) \right]$$

能量消散項

- 碎波能量消散係數 (Eldeberky and Battjes, 1995)

$$f_D = f_d + f_s + f_{nl3}$$

$$f_d = -\frac{(S_{br})}{k(EC_g)} \quad \frac{H_b}{h_b} > 0.78 \quad S_{br}(\omega_i, \theta_i) = -\frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\omega_i, \theta_i)$$

- 非線性淺化效應 (Shuto, 1974)

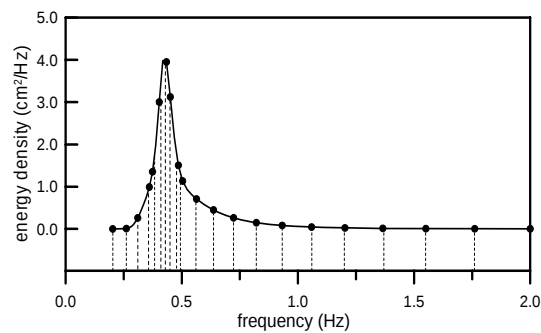
$$f_s = \frac{D_s}{kEC_g} \quad D_s = -\frac{1}{8} \rho g \frac{d}{dx} [(2HH_{non} + H_{non}^2)C_g]$$

- 非線性三波交互作用效應 (Eldeberky, 1996)

$$f_{nl3} = -\frac{S_{nl3}}{kEC_g} \quad S_{nl3}(\omega_i, \theta_i) = S_{nl3}^-(\omega_i, \theta_i) + S_{nl3}^+(\omega_i, \theta_i)$$

波譜分割

混和分割：因考慮波浪在主頻附近的能量變化較為迅速，在高頻處的能量變化較為緩慢，利用指數分佈來離散波浪頻率。



混合波譜分割示意圖

不規則波反射係數公式 - EEMSE 模式

- Goda 和 Suzuki (1976) 認為由入射波與反射波之總能量，可求得不規則波之反射係數

$$R = \sqrt{\frac{E_R}{E_I}}$$

$$E_I = \sum_i \left(\frac{1}{2} a_i^2 \right)_i$$

$$E_R = \sum_i \left(\frac{1}{2} a_R^2 \right)_i$$

- (1) 波譜切割成份波，先由 EEMSE 模式，計算水位振幅。
- (2) 以 Chang (2003) 之方法，求出各成份波之入、反射波振幅。
- (3) 利用 Goda 和 Suzuki (1976) 的能量觀點可求得不規則波之反射係數。

波譜的選擇(1/2)

- Bouws 等人 (1987) 認為 JONSWAP 波譜亦可以適用於有限水深，故本文以 Goda (1999) 提議之 JONSWAP 波譜，做為本文計算之波譜，其型式如下：

$$S(f) = \sigma_1^2 H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[-1.25 (T_p f)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[-(T_p f - 1)^2 / 2 \sigma_0^2 \right]}$$

$$\sigma_1 = \frac{0.06238}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} [1.094 - 0.01915 \ln \gamma]$$

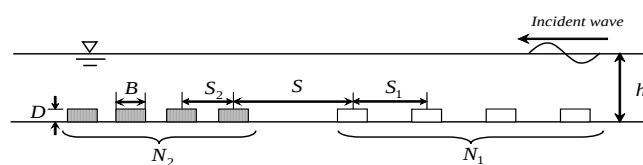
$$T_p = \frac{T_{1/3}}{1 - 0.132(\gamma + 0.2)^{-0.559}}, \quad \begin{cases} f \leq f_p \Rightarrow \sigma_0 = 0.07 \\ f > f_p \Rightarrow \sigma_0 = 0.09 \end{cases}, \quad \gamma = 3.3$$

波譜的選擇(2/2)

不同個數成份波之合成波誤差比較表

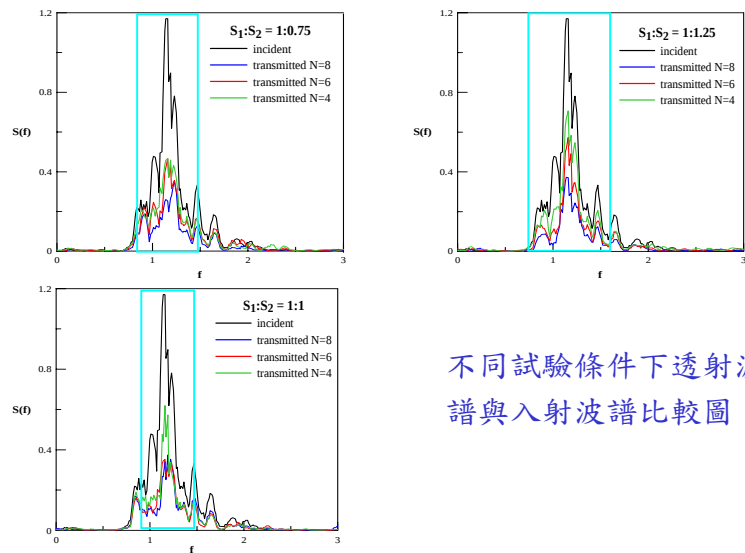
成份波 個數	合成波 $\bar{T}$ (sec)	合成波 $T_{1/3}$ (sec)	誤差	合成波波高 (m)	誤差
20	1.49718	1.66353	0.93%	0.01054	5.40%
30	1.52086	1.68984	0.63%	0.01017	1.70%
40	1.51975	1.68861	0.56%	0.01017	1.70%
50	1.51970	1.68856	0.56%	0.01010	1.00%
60	1.51999	1.68888	0.58%	0.01007	0.70%
70	1.52035	1.68928	0.60%	0.01005	0.50%
80	1.52047	1.68941	0.61%	0.01003	0.30%
90	1.52070	1.68967	0.62%	0.01001	0.10%
100	1.52076	1.68973	0.63%	0.01000	0.00%

潛堤配置與試驗條件



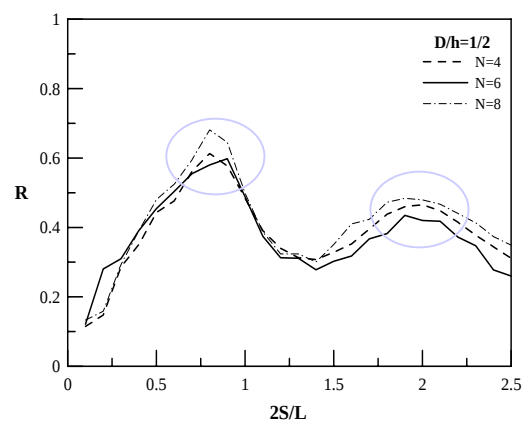
潛堤 型式	個數 N	N_1	N_2	堤寬 $B(m)$	堤高 $D(m)$	水深 $h(m)$	間距 $S_1(m)$	間距 $S_2(m)$	間距比值
矩形	8	4	4	0.24	0.10	0.2	0.48	0.36	$S1:S2=1:0.75$
								0.48	$S1:S2=1:1$
								0.60	$S1:S2=1:1.25$
	6	3	3					0.36	$S1:S2=1:0.75$
								0.48	$S1:S2=1:1$
								0.60	$S1:S2=1:1.25$
	4	2	2					0.36	$S1:S2=1:0.75$
								0.48	$S1:S2=1:1$
								0.60	$S1:S2=1:1.25$

入射波譜與透射波譜比較圖



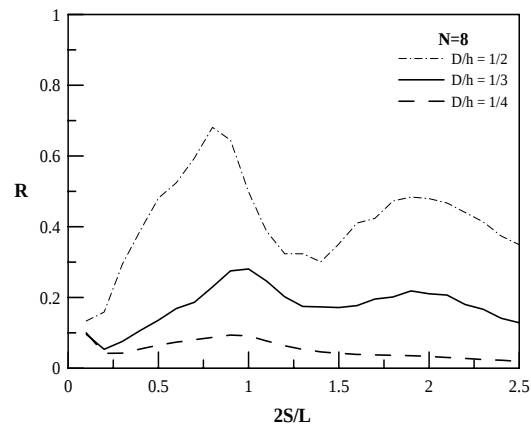
不同試驗條件下透射波
譜與入射波譜比較圖

潛堤個數 N 的影響



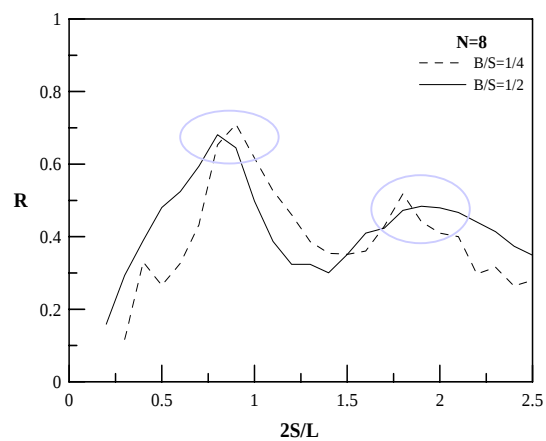
$D/h=1/2$ 時不同潛堤個數反射率與 $2S/L$ 的關係圖

潛堤高度 D/h 的影響



$N=8$ 時不同水深反射率與 $2S/L$ 的關係圖

潛堤間距 B/S 的影響



$N=8$ 時潛堤間距比反射率與 $2S/L$ 的關係圖

結 論 (1/3)

1. 不同地點水質及藻類調查比較結果，以大鵬灣出口導流堤之測站呈現較低鹽度之特性，主要受到潮流漲退、陸上逕流、河川與溝渠之淡水影響。在各監測點之光照度與NO₃-N、DIN、N/P ratio均呈負相關性。大鵬灣導流堤之兩測站之藻類相似度上較為接近，而林邊海域離岸堤之兩測站的相似度上亦較為接近。此現象符合地緣上的關係，即相近地域的海藻物種相似度就會較為相近。
2. 不同季節水質及藻類調查比較結果，第一季營養鹽較第二季高，海藻豐富度卻以第二季較高，顯示第一季營養鹽提供了第二季海藻大量生長的條件，而第三季的海藻著生量為本調查期間的最低，此應與海藻壽命長度（約3-6個月）和孢子萌芽所需的水溫（約攝氏25度左右）相互影響所造成；而溫度及光強度在第二季增加。故營養鹽及溫度、光強度等為影響海藻豐富度的重要因子。

結 論 (23)

3. 台中港區空氣的平均總懸浮微粒(TSP)、粗微粒(PM_{2.5-10})和細微粒(PM_{2.5}) 在冬季具有較高平均濃度。金屬元素不同粒徑微粒濃度大小依序為 $TSP > PM_{2.5-10} > PM_{2.5}$ 。金屬元素鐵和鋅在TSP濃度中有較高的相關性，而金屬元素鐵與鎂在粗微粒PM_{2.5-10} 和細微粒PM_{2.5}濃度中具有較高相關性。總懸浮微粒TSP 和粗微粒PM_{2.5-10}濃度與風速和溫度有較高的相關性，而濃度週期變化可以餘弦函數表示一年間變化的特性。
4. 當波浪通過系列潛堤，堤前氯化鈉溶液的擴散隨時間的增加，水平及垂直方向濃度會增加，而波浪的作用，亦會加速氯化鈉溶液的擴散。在布拉格反射條件下，由於波浪反射率較大，因水粒子上下運動劇烈，會加速在垂直方向的擴散，但卻會抑制氯化鈉溶液在水平方向的擴散。

結 論 (3/3)

5. 規則波與不規則波通過系列潛堤均會發生布拉格反射的現象，但不規則波主共振和次諧波共振反射率不如規則波條件大，而反射率帶寬會較規則波為大。由此可見系列潛堤應用至實際海岸現場，波浪亦能在適當的佈置條件得到衰減，且防禦的波浪條件比以往研究的波條件範圍大。
6. 不規則波浪通過系列潛堤，布拉格反射效應隨著潛堤個數的增加、相對堤高的增加以及相對堤距的減小而增強，與規則波具相同的現象。複合式系列潛堤的應用上雖其反射效果隨潛堤個數的增加而遞增，但若考慮經濟效率與施工性，本研究建議可採用4個潛堤即可達到成效。

報告完畢、敬請指教

交通部運輸研究所研究計畫

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究(2/4)

執行單位：交通部運輸研究所(港灣技術研究中心)

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形
一、陳陽益委員： 1. 工程保護環境與生態間建請依各海岸地區的自然條件明確的區分與量化指標。 2. 不規則波造成之布拉格效應如何量化公式出來，請詳述，尤以利用波譜代入時，因波譜的形式即使類同，但主頻(即主波數)是不同的，如何會發生布拉格效應？這常會與實際不符合的，故必要明確述說才可符合實用。 3. 系列潛堤置放在坡度不一的海床(一段海床上其坡度是不一的)，這時如何量化或數值化，尤其較陡坡時反射波向是需考量說明的。 4. 進行試驗時如何加入生態如海藻等，請說明，尤其在試驗的短時間內這生態現象是近不變的，如何看出其影響？	1. 本年度研究係以南部之林邊海岸為主，由於係一年三季次之調查，現階段尚無法依各海岸地區的自然條件明確的區分與量化指標，將納入未來研究考量。 2. 由於不規則波是無數個規則波組合而成，本研究將主要共振條件設定在目標波譜之主頻上，使得波浪之主能量能夠產生共振現象，雖然其反射率尖峰值並不如單純只在規則波條件下大，但卻可以使得反射率的帶寬增加，且經模式與試驗測試，在複合式系列潛堤作用下帶寬的增幅會更為顯著。 3. 由於目前研究仍處與基礎研究階段，尚無考慮斜坡或不等坡度的海床，此相關意見將在往後的研究中加以考量。 4. 海藻的生態特性之一為生活史十分短暫，一般而言，從萌芽至藻體消失約為 3-4 個月，故一年內可以觀察其四季生態消長。
二、薛憲文委員： 1. 本計畫之涵蓋面頗廣，對生態工法相關研究之課題於未來之應用頗有助益。 2. 建議略述過去一年之成果及未來兩年之研究課題，以能充分了解計畫之延續性。 3. 生態與環境因子習習相關，唯環	1. 感謝委員肯定。 2. 於第一章中增加說明。 3. 各環境因子與對象復育藻類之生態有

境因子頗為複雜，其間涉及時、空變化，為能落實研究成果於實際應用，未來之研究可否提供及考量因子，影響生態之順序及權重(例如:溫度 > 水深 > ..)等。 4. 消波塊型式之設計與生態間之關聯性，亦請考量，以利未來之應用。	關，且影響藻類生長之環境因子頗為複雜，目前本研究雖進行南部屏東海岸三季之調查，但欲歸納影響藻類生態之順序及權重於資料上仍嫌不足，將納入未來研究考量。 4. 本研究調查南部屏東海岸離岸堤、導流堤上之消波塊，於適當季節時消波塊都有藻類著生分布情形，此消波塊皆為國內海岸保護工或港口防波堤常見之一般性消波塊，已具有增加海域藻類著生之效果。有關生態型消波塊為生態型海岸保護工法應用方式之一種，如針對某些特定對象生態進行復育，並計畫採生態型消波塊時，生態型消波塊設置型式之設計，必須詳細調查與特定對象生態間之關聯性，確保達成計畫目標。
三、林焯圭委員： 1. 本報告之調查項目雖然都是港區附近海岸環境必須。但調查地點似乎無法連貫。 2. 建議以特定港區為主題，年進行完整調查，使能獲得較整合性的成果。 3. 建議調查項目予以統一，以使能進行差分析。	1. 96 及 97 年度調查地點預定選定在臺灣北部及東部與本年度在南部類似的人工結構物。 2. 本計畫目前以選定臺灣代表區域（南、北、東部）各作一年度之調查為目標港區分年進行完整調查方式將視本計畫執行完成後，考慮另以其他計畫執行。 3. 下年度計畫調查項目與本年度相同。

四、張憲國委員： 1. 海藻在海岸附著的生長條件的調查結果，對於未來海岸生態工法設計有相當的幫助。 2. 海藻生長特性可與其環境因子迴歸出公式，以利未來生態模式應用。	1. 感謝委員肯定，海藻在海岸不同構造物附著的生長條件進行調查，對於未來南部屏東海岸保護工程如欲考量增加其生態效果時，將可做為參考之依據。 2. 有關海藻生長特性與環境因子之相關性為工程應用重要之參考，但海藻生長特性與環境因子之相關性仍與海藻之種類有關，以迴歸公式之概念，有賴後續更多之調查資料來佐證分析，將可作為未來努力目標。
---	---