

98-67-7421

MOTC-IOT-97-H2DA004

臺灣地區鄰港海岸環境保護及 監測調查研究 (4/4)



交通部運輸研究所
中華民國 98 年 5 月

98-67-7421

MOTC-IOT-97-H2DA004

臺灣地區鄰港海岸環境保護及 監測調查研究 (4/4)

著 者：蔡立宏、徐如娟

交通部運輸研究所
中華民國 98 年 5 月

GPN：1009801339

定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究 (4

/4) / 蔡立宏 徐如娟著. -- 初版. -- 臺北

市：交通部運研所，民 98.05

面； 公分

參考書面：面

ISBN 978-986-01-8708-3(平裝)

1. 海岸工程 2. 環境保護 3. 環境監測

443.3

98009512

臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究 (4/4)

著 者：蔡立宏、徐如娟

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10458 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 98 年 5 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1009801339

ISBN：978-986-01-8708-3 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究 (4/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-01-8708-3（平裝）	政府出版品統一編號 1009801339	運輸研究所出版品編號 98-67-7421	計畫編號 97-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：徐如娟、江玟德、李江澤、葉蕙瑄 光碟製作：單誠基、馬維倫 聯絡電話：04-26587177 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 97 年 01 月 至 97 年 12 月
關鍵詞：海岸環境；海岸保護；親水；生態；海藻；系列潛堤			
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，並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。利用現場調查、理論解析、數值模擬計算及相關資料統計分析的結果，分析台灣東部海岸結構物海藻著生與水質、環境因子等相關性，比較臺灣南部、北部及東部特定地區結構物生態以及環境的差異性，提出現有結構物兼具生態功能之建議設計。此外針對具海岸保護、親水及生態功能之系列潛堤，進行複合式組合之布拉格反射分析探討，並利用所提出之設計步驟及方法，將系列潛堤設計模擬佈置於新竹港南地區現場海岸地形，利用數值模式模擬方式，探討海岸保護效果結果，並根據安全性、經濟性及成本分析，探討系列潛堤應用至海岸現場作為海岸保護工法之可行性。 本研究根據臺灣西、北及東部特定鄰港地區，其不同結構物附近之海洋環境以及藻類生長調查結果，探討、比較及分析地區性、季節性以及生態性彼此之相關性，並提出在既有結構物附加藻場生態機能之生態工法設計方案。此外，本研究結果證實具生態性之系列潛堤海岸保護工法應用至臺灣海岸，具有海岸保護之可行性效益，並對系列潛堤工法在平面布置，其入射波浪條件與潛堤布置條件，所形成的水理機制以及特殊之布拉格反射現象，作進一步的解析。上述研究成果部分已於國內外研討會發表，未來將再整理其他成果，擬發表於國內外研討會以及期刊。依據本研究分析結果、設計方案以及成本經費分析可作為未來本所、施政設計單位以及各機關擬進行藻場生態復育海岸結構物設計以及系列潛堤工法之重要的參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
98 年 5 月	302	300 元	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購買。
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 Studying the Structures of Coastal Protection in Taiwan (4/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN 978-986-01-8708-3(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009801339	IOT SERIAL NUMBER 98-67-7421	PROJECT NUMBER 97-H2DA004
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-hung PROJECT STAFF: Hsu Ju-chuan, Jiang Wen-der, Li Chiang-tse, Yeh Hui-hsuan PHONE: +886-4-26587177 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2008 TO December 2008
KEY WORDS: Coastal Structure, Coastal Environments, Seaweed, Ecologically Coastal Engineering, A Series of Submerged Breakwaters			
ABSTRACT: To achieve the goals of coastal environment protection and sustainable usage, in coastal protection application, the current world trend considers coastal long-term changes, and the water friendly and ecological concept. It also has effects on coastal protection, ecological restoration, and improvement and creation in the ecological environment. The domestic researches and practical cases that meet the above-mentioned conditions are all still in the initial development stage. The purpose of this study is to investigate the relationships between coastal structures and the environments. Site investigation, theoretical deriving, and numerical calculations were respectively carried out in this study. The topics included in the present research are as follows: 1. Investigate and discuss Taiwan's coastal ecological environment. 2. Study the influential factors on the environments of coastal structures. 3. Develop proper shore protection methods and coastally ecological engineering methods. 4. Conduct the appropriate safety, walkway and ecological functions on the coast. 5. Study the characteristics of the Bragg reflection by waves propagating over a series of submerged breakwaters. 6. Design a series of submerged breakwaters to prevent waves from directly attacking the selected coastal area. This study can both uphold and sustain the environment. It has considered not only the safety level of the coast, but also its effect on walkway and ecology. The results provide the government institutes and consultants, including the Ministry of Transportation and Communications, harbor bureaus, water resource agency, consultant incorporations et al., with the references to design ecological coastal structures to protect the coastal environments.			
DATE OF PUBLICATION May 2009	NUMBER OF PAGES 302	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

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
目錄.....	IV
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 本研究組織.....	1-5
第二章 北部對象海岸結構物與海藻生態環境調查方法.....	2-1
2.1 調查目的.....	2-1
2.2 調查對象.....	2-2
2.2.1 研究調查海岸.....	2-2
2.2.2 對象結構物.....	2-4
2.3 自然環境.....	2-15
2.3.1 氣象.....	2-15
2.3.2 海象.....	2-18
2.4 調查項目與方法.....	2-20
2.4.1 調查項目.....	2-20
2.4.2 調查方法.....	2-21
第三章 北部海岸結構物海藻生態與水質環境調查結果.....	3-1
3.1 海水水質調查結果.....	3-1
3.1.1 第一次(96年3月).....	3-1
3.1.2 第二次(96年5月).....	3-6
3.1.3 第三次(96年8月).....	3-8
3.2 著生海藻調查結果.....	3-10

3.2.1	第一次(96年3月).....	3-10
3.2.2	第二次(96年5月).....	3-14
3.2.1	第三次(96年3月).....	3-19
第四章	北部海岸結構物海藻生態效果與水質環境分析.....	4-1
4.1	海水水質環境分析.....	4-1
4.1.1	溫度與鹽度的季節性變化.....	4-1
4.1.2	pH 值與溶氧量的季節性變化.....	4-1
4.1.3	水體營養鹽的季節性變化.....	4-2
4.1.4	濁度與光照度的季節性變化.....	4-4
4.2	海藻著生分析.....	4-7
4.2.1	優勢種和藻種的季節性變化分析.....	4-7
4.2.2	海藻種類季節性變化與相似性分析.....	4-13
4.2.3	海藻種類季節性變化與共有種率分析.....	4-19
4.2.4	海藻種類季節性變化與多樣性分析.....	4-25
4.3	海藻著生效果與水質環境分析.....	4-29
4.3.1	海藻豐富度與水溫和相關的營養鹽季節性變化分析.....	4-29
4.3.2	海藻豐富度與光照度、深度和濁度季節性變化分析.....	4-31
4.3.3	海藻種類季節性變化與不同區域上著生的分析.....	4-33
4.4	海藻著生效果與海岸結構物相關性分析.....	4-36
4.4.1	海藻著生與結構物型式.....	4-36
4.4.2	海藻著生與結構物施作年代.....	4-39
4.4.3	海藻著生與結構物水深.....	4-39
4.4.4	結構物兩側之海藻著生分析.....	4-41
4.5	海藻著生效果與基質環境分析.....	4-44
第五章	不同地區海岸結構物藻類著生差異性探討.....	5-1
5.1	西、北及東部海岸結構物海藻著生情形之差異性.....	5-1

5.1.1	西、北及東部海岸結構物海藻著生優勢種分析.....	5-1
5.1.2	西、北及東部海岸結構物海藻種類季節性變化分析...	5-6
5.1.3	西、北及東部海岸結構物海藻著生空間及覆蓋率分析.	5-9
5.2	西、北及東部海岸結構物海藻著生與水質環境之差異性...	5-12
5.2.1	西、北及東部海岸結構物海藻豐富度與營養鹽變化.	5-12
5.2.2	西、北及東海岸結構物海藻豐富度與光照度變化.....	5-13
5.2.3	西、北及東海岸結構物海藻豐富度與濁度、深度變化.	5-14
5.3	海藻著生與基質環境.....	5-7
5.4	海藻著生與水深環境.....	5-9
5.5	海藻著生與結構物型式.....	5-11
第六章	適合臺灣海岸保護結構物兼具生態之工法研擬.....	6-1
6.1	藻場造成型海岸保護工法之基本計畫.....	6-1
6.1.1	生態型海岸保護結構物建設檢討流程.....	6-1
6.1.2	影響藻場生育之環境因子.....	6-4
6.1.3	改善影響藻場生育環境之工法.....	6-9
6.2	傳統海岸保護結構物附加藻場生態機能之改善對策.....	6-12
6.2.1	藻場造成型海岸保護結構物斷面之基本構想.....	6-12
6.2.2	海岸保護結構物附加生態機能之基本對策.....	6-13
6.2.3	藻場造成型海岸保護結構物之設計流程.....	6-17
6.2.4	藻場造成型海岸保護結構物設計應注意事項.....	6-17
6.2.5	臺灣地區海藻主要分佈地區.....	6-20
6.3	西部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例.....	6-21
6.3.1	對象海藻.....	6-21
6.3.2	西部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例.....	6-21
6.4	北部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例.....	6-25
6.4.1	對象海藻.....	6-25

6.4.2 北部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例.....	6-25
6.5 東部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例.....	6-29
6.5.1 對象海藻.....	6-29
6.5.2 東部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例.....	6-29
第七章 波浪通過系列潛堤之特性.....	7-1
7.1 理論模式.....	7-1
7.2 數值模式.....	7-3
7.3 研究方法及條件.....	7-5
7.4 結果與討論.....	7-6
第八章 系列潛堤工法應用於現場海域-以新竹港南海域為例.....	8-1
8.1 研究方法.....	8-1
8.1.1 布拉格共振影響因子與能量透過率.....	8-1
8.1.2 系列潛堤設計流程圖.....	8-3
8.1.3 波場模式.....	8-5
8.2 新竹港南海域之現況.....	8-10
8.3 系列潛堤工法於新竹港南海域之設計流程步驟.....	8-13
8.3.1 斷面影響因子之決定.....	8-13
8.3.2 平面影響因子之選定.....	8-27
8.3.3 現場海域之波場模擬.....	8-41
第九章 系列潛堤工法安全性及成本評估-以新竹港南海域為例.....	9-1
9.1 潛堤工程斷面之研擬.....	9-1
9.1.1 常用的潛堤分類.....	9-1
9.1.2 斷面型式.....	9-2
9.2 安全性估算與基本斷面設計.....	9-4
9.2.1 表面載重.....	9-4
9.2.2 基本斷面設計.....	9-6

9.3 潛堤材料的選擇與成本的初步估算.....	9-7
9.3.1 潛堤材料的選擇.....	9-7
9.3.2 潛堤成本的初步估算.....	9-8
9.4 系列潛堤工法之限制與優缺點.....	9-11
9.5 含工程施工之系列潛堤工法設計流程圖.....	9-13
第十章 結論與建議.....	10-1
10.1 結論.....	10-1
10.2 建議.....	10-3
10.3 成果效益及後續應用情形.....	10-4
參考文獻.....	11-1
附錄 A 簡報資料.....	A-1
附錄 B 期末審查意見處理情形表.....	B-1

圖目錄

圖 1-1 「生態型海岸保護工法研究」各年度調查位置圖.....	1-3
圖 1-2 本研究工作流程圖.....	1-6
圖 1-3 生態型海岸保護工法之發展型態.....	1-10
圖 1-4 西部屏東海岸大鵬灣出口導流堤及林邊海岸離岸堤.....	1-12
圖 1-5 北部頭城海水浴場南側突堤及烏石漁港大坑海堤離岸堤...	1-15
圖 2-1 本研究海岸保護結構物海藻生態調查位置圖.....	2-3
圖 2-2 本研究對象離岸堤之空照圖(新港離岸堤)	2-5
圖 2-3 本研究對象離岸堤之標準斷面圖及消波塊詳圖.....	2-6
圖 2-4 本研究對象海堤之標準斷面圖及消波塊詳圖.....	2-8
圖 2-5 本研究對象離岸堤(測站一)及海堤(測站二)之平面位置.....	2-9
圖 2-6 本研究對象突堤之平面位置及空照圖(新蘭突堤)	2-12
圖 2-7 本研究對象突堤之平面圖與測站三及測站四位置圖.....	2-13
圖 2-8 本研究對象突堤之標準斷面圖及消波塊詳圖.....	2-14
圖 2-9 成功測站氣溫統計圖(2007 年)	2-17
圖 2-10 成功測站風速統計圖(2007 年)	2-17
圖 2-11 成功測站 2007 年潮位統計圖.....	2-18
圖 4-1 各監測點水體營養鹽 DIN 與 DIP 關係圖.....	4-5
圖 4-2 各監測點水體 NO ₃ -N、DIN、DIP、N/P ratio 與光照度相關性..	4-6
圖 4-3 本研究四測站各季豐富度比較圖.....	4-9
圖 4-4 本研究四測站各季物種數比較圖.....	4-9
圖 4-5 本研究四測站紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度之比例(第一次)	4-10
圖 4-6 本研究四測站紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度之比例(第二次).....	4-11
圖 4-7 本研究四測站紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度之比	

例(第三次).....	4-12
圖 4-8 第一次(97 年 3 月)各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈.....	4-25
圖 4-9 第二次(97 年 5 月)各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈.....	4-26
圖 4-10 第三次(97 年 8 月)各測站 Shannon-Wiener 多樣性指數分佈 圖	4-27
圖 4-11 成功離岸堤及新蘭突堤結構斷面與潮間帶之關係圖.....	4-37
圖 4-12 新港海堤及新蘭突堤結構斷面與潮間帶之關係圖.....	4-38
圖 4-13 新蘭突堤兩側海藻著生覆蓋率與物種數分佈(第一次潮間 帶).....	4-42
圖 4-14 新蘭突堤兩側海藻著生覆蓋率與物種數分佈(第二次潮間 帶).....	4-43
圖 4-15 新蘭突堤兩側海藻著生覆蓋率與物種數分佈(第三次潮間 帶).....	4-43
圖 5-1 臺灣西、北及東部海岸之海藻著生優勢藻種.....	5-5
圖 5-2 臺灣西、北及東部海岸之海藻著生物種數季節性分佈比較...	5-8
圖 5-3 臺灣西、北及東部海岸之海藻著生覆蓋率季節性分佈比較.....	5-11
圖 6-1 生態型海岸保護結構物建設檢討流程.....	6-3
圖 6-2 海底藻類與波浪之關係示意圖.....	6-5
圖 6-3 優勢藻類與波浪大小、底質、光照條件之關係.....	6-7
圖 6-4 海岸結構物模仿周邊藻場環境示意圖.....	6-12
圖 6-5 傳統海岸保護結構物附加生態機能之改善對策.....	6-13
圖 6-6 改良基本斷面形狀之生態型海岸結構物(以藻場造成型為 例)	6-14
圖 6-7 增加原有斷面構造生物繁殖基質之生態型海岸結構物(以藻場 造成型為例)	6-15
圖 6-8 改良原有斷面構造部材之生態型海岸結構物(以藻場造成型為	

例)	6-16
圖 6-9 藻場造成生態型海岸保護結構物之設計流程	6-18
圖 6-10 臺灣地區海藻主要分布區域	6-20
圖 6-11 設計案例：屏東大鵬灣地區砂質海底之海域(導流堤)	6-23
圖 6-12 設計案例：屏東林邊地區砂質海底之海域(離岸堤)	6-24
圖 6-13 設計案例：宜蘭頭城地區砂質海底之海域(突堤)	6-27
圖 6-14 設計案例：宜蘭烏石漁港大坑海堤砂質海底海域(離岸堤)	6-28
圖 6-15 設計案例：臺東成功地區岩質海底之海域(海堤)	6-31
圖 6-16 設計案例：臺東成功地區岩質海底之海域(離岸堤)	6-32
圖 7-1 複合式潛堤佈置參數示意圖	7-2
圖 7-2 單群及雙群系列潛堤反射率分佈圖	7-7
圖 7-3 單群及三群系列潛堤反射率分佈圖	7-8
圖 7-4 單群、二群及三群系列潛堤反射率分佈比較圖	7-9
圖 7-5 Miles 理論以及 FEMSE 模式之反射率比較圖	7-10
圖 7-6 二群及三群系列潛堤反射率分佈比較圖	7-11
圖 7-7 不同三群系列潛堤反射率分佈比較圖	7-11
圖 7-8 三群及四群系列潛堤反射率分佈比較圖	7-12
圖 7-9 三群及四群系列潛堤反射率分佈比較圖	7-13
圖 7-10 Case (g)以 Miles 理論以及 EEMSE 模式之反射率比較圖	7-14
圖 7-11 Case (h)以 Miles 理論以及 EEMSE 模式之反射率比較圖	7-15
圖 8-1 多組系列潛堤佈置之平面布拉格反射因子示意圖 (A) 平面圖；(B) 剖面圖	8-2
圖 8-2 系列潛堤工法設計流程圖	8-4
圖 8-3 新竹港南海岸平面位置圖	8-11
圖 8-4 新竹港南附近海域地形侵淤變化圖(87.09~94.04)	8-12
圖 8-5 新竹港南附近海域地形圖(87 年 9 月實測)	8-14

圖 8-6 不同前提個數下能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-16
圖 8-7 不同堤距(S)下能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-17
圖 8-8 不同堤距(S)下能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-17
圖 8-9 不同堤趾水深(H)下能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-19
圖 8-10 不同潛堤個數下能量穿透率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-21
圖 8-11 (A) $S=35$ 潛堤堤數 $N=2$ 佈置及波高變化圖($T=10.6\text{sec}$).....	8-21
圖 8-11 (B) $S=35$ 潛堤堤數 $N=4$ 佈置及波高變化圖($T=10.6\text{sec}$).....	8-22
圖 8-11 (C) $S=35$ 潛堤堤數 $N=6$ 佈置及波高變化圖($T=10.6\text{sec}$).....	8-22
圖 8-11 (D) $S=35$ 潛堤堤數 $N=8$ 佈置及波高變化圖($T=10.6\text{sec}$).....	8-23
圖 8-12 (A) 不同堤距(S)條件能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-25
圖 8-12 (B) 不同堤距(S)條件能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-25
圖 8-12 (C) 不同堤距(S)條件能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-26
圖 8-13 不同潛堤個數，能量透過率 E_s 與 $2S/L$ 之關係圖.....	8-26
圖 8-14 波浪通過無限長系列潛堤之波高分佈圖($N=4$ ， $N_G=1$ ， $D/h=0.5$ ， $B/S=0.29$ ， $T=10.6\text{sec}$).....	8-30
圖 8-15 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖($N=4$ ， $N_G=1$ ， $D/h=0.5$ ， $B/S=0.29$ ， $T=10.6\text{sec}$ ， $G/S=7$).....	8-30
圖 8-16 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖($N=4$ ， $N_G=1$ ， $D/h=0.5$ ， $B/S=0.29$ ， $T=10.6\text{sec}$ ， $G/S=5$).....	8-31
圖 8-17 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖($N=4$ ， $N_G=1$ ， $D/h=0.5$ ， $B/S=0.29$ ， $T=10.6\text{sec}$ ， $G/S=3$).....	8-31
圖 8-18 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖($N=4$ ， $N_G=1$ ， $D/h=0.5$ ， $B/S=0.29$ ， $T=10.6\text{sec}$ ， $G/S=1$).....	8-32
圖 8-19 不同潛堤堤長度下能量穿透率 E_s 與週期 T 之關係圖($N=4$ ， $N_G=1$ ， $D/h=1/2$ ， $B/S=0.29$).....	8-32
圖 8-20 共振與非共振情況下能量穿透率(E_s) 與相對堤長 (G/S)	

之關係分佈圖.....	8-33
圖 8-21 多組系列潛堤佈置下能量透過率擷取範圍示意圖.....	8-35
圖 8-22 (A) 不同組距下堤後之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖..	8-36
圖 8-22 (B) 不同組距下堤後之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖..	8-36
圖 8-22 (C) 不同組距下堤後之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖..	8-37
圖 8-23 (A) $G/S=7$ 時共振與非共振情況下能量透過率情況下能量透過率(E_s)與相對組距(S_G/G)關係分佈圖.....	8-37
圖 8-23 (B) $G/S=5$ 時共振與非共振情況下能量透過率情況下能量透過率(E_s)與相對組距(S_G/G)關係分佈圖.....	8-38
圖 8-23 (C) $G/S=3$ 時共振與非共振情況下能量透過率情況下能量透過率(E_s)與相對組距(S_G/G)關係分佈圖.....	8-38
圖 8-24 $G/S=6$ 時不同組數下堤後之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖.....	8-40
圖 8-25 系列潛堤平面佈置相關係數尺度示意圖.....	8-41
圖 8-26 系列潛堤斷面佈置相關係數參數尺度示意圖.....	8-41
圖 8-27 港南海域附近系列潛堤佈置示意圖.....	8-46
圖 8-28 10 年迴歸期颱風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛堤佈置平行等深線 (C) 潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=6.6\text{m}$, $T=10.8\text{sec}$, 波向 NNE)	8-47
圖 8-29 50 年迴歸期颱風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛堤佈置平行等深線 (C) 潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=9.1\text{m}$, $T=12.7\text{sec}$, 波向 NNE)	8-48
圖 8-30 夏季季風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛堤佈置平行等深線 (C) 潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=0.83\text{m}$, $T=4.95\text{sec}$, 波向 WSW)	8-49
圖 8-31 冬季季風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛	

堤佈置平行等深線 (C)潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=1.27\text{m}$, $T=5.28\text{sec}$, 波向 N)	8-50
圖 8-32 (A) 10 年迴歸期颱風波浪作用下斷面 1 之波場分佈圖.....	8-51
圖 8-32 (B) 10 年迴歸期颱風波浪作用下斷面 1 之波場分佈圖.....	8-52
圖 8-33 (A) 50 年迴歸期颱風波浪作用下斷面 1 之波高分佈圖.....	8-52
圖 8-33 (B) 50 年迴歸期颱風波浪作用下斷面 2 之波高分佈圖.....	8-53
圖 8-34 颱風波浪作用下斷面 3 之相對能量透過率分佈圖.....	8-53
圖 8-35 (A) 冬季季風波浪作用下斷面 1 之波場分佈圖.....	8-54
圖 8-35 (B) 冬季季風波浪作用下斷面 2 之波場分佈圖.....	8-54
圖 8-36 (A) 夏季季風波浪作用下斷面 1 之波場分佈圖.....	8-55
圖 8-36 (B) 夏季季風波浪作用下斷面 2 之波場分佈圖.....	8-55
圖 9-1 本研究之單一潛堤縱向斷面設計示意圖.....	9-6
圖 9-2 本研究之單一潛堤橫向斷面設計示意圖.....	9-7
圖 9-3 方塊凹凸型楔樁示意圖.....	9-8
圖 9-4 含成本效益之系列潛堤工法初步設計流程圖.....	9-14

表目錄

表 1-1 「生態型海岸保護工法研究」全程計畫各年度內容與重點.....	1-2
表 1-2 日本生態工法於海岸保護工法之應用方式.....	1-11
表 2-1 東部海岸保護結構物海藻生態環境調查位置.....	2-4
表 2-2 成功測站氣象統計表(1971~2000 年).....	2-16
表 2-3 成功測站氣象統計表(2007 年及 2008 年 1~4 月).....	2-16
表 2-4 成功波浪站之波高週期聯合分佈表(1993 年~2003 年)	2-19
表 2-5 海水水質檢測項目之分析方法與依據.....	2-21
表 3-1 第一次(97 年 3 月)臺東新港漁港離岸堤、海堤及新蘭漁港突堤 附近之水質分析資料.....	3-5
表 3-2 第二次(97 年 5 月)臺東新港漁港離岸堤、海堤及新蘭漁港突堤 附近之水質分析資料.....	3-7
表 3-3 第三次(97 年 8 月)臺東新港漁港離岸堤、海堤及新蘭漁港突堤 附近之水質分析資料.....	3-9
表 3-4 第一次(97 年 3 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測 站之海藻著生覆蓋率.....	3-11
表 3-5 第二次(97 年 5 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測 站之海藻著生覆蓋率.....	3-16
表 3-6 第三次(97 年 8 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測 站之海藻著生覆蓋率.....	3-21
表 4-1 第一次(97 年 3 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤測站 海岸結構物之大型海藻著生之相似性率(CZ similarity).....	4-16
表 4-2 第二次(97 年 5 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤測站 海岸結構物之大型海藻著生之相似性率(CZ similarity).....	4-17
表 4-3 第三次(97 年 8 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤測站 海岸結構物之大型海藻著生之相似性率(CZ similarity).....	4-18

表 4-4 第一次(97 年 3 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤測站 海岸結構物之大型海藻著生共有種率分析(PS similarty).....	4-22
表 4-5 第二次(97 年 5 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤測站 海岸結構物之大型海藻著生共有種率分析(PS similarty).....	4-23
表 4-6 第三次(97 年 8 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤測站 海岸結構物之大型海藻著生共有種率分析(PS similarty).....	4-24
表 4-7 各測站各次潮間帶海藻著生與磷酸鹽及氮鹽之分析表.....	4-30
表 4-8 各測站各次潮下帶海藻著生與磷酸鹽及氮鹽之分析表.....	4-30
表 4-9 成功離岸堤及新港海堤海藻著生與光照度、濁度、水溫及深 度.....	4-32
表 4-10 新蘭突堤南北側海藻著生與光照度、濁度、水溫及深度.....	4-32
表 4-11 各次潮間帶海藻著生、物種數、覆蓋率與水溫及鹽度分析.....	4-35
表 4-12 各次潮下帶海藻著生、物種數、覆蓋率與水溫及鹽度分析.....	4-35
表 4-13 各測站海藻著生之深度與水深關聯性分析.....	4-40
表 4-14 各測站各次海藻著生與基質環境關聯性分析.....	4-45
表 5-1 臺灣西、北及東部海岸不同時節優勢藻種比較表(潮間帶)....	5-3
表 5-2 臺灣西、北及東部海岸不同時節優勢藻種比較表(潮下帶)....	5-4
表 6-1 影響藻場生育之環境因子.....	6-4
表 6-2 影響藻場生育的環境因子及控制難易度.....	6-8
表 6-3 影響藻場生育環境因子之改善工法.....	6-11
表 6-4 海岸保護結構物附加藻場機能設計構造上應注意事項.....	6-19
表 6-5 西部屏東大鵬灣及林邊海岸海藻繁殖環境條件資料表.....	6-22
表 6-6 北部宜蘭頭城海岸海藻繁殖環境條件資料表.....	6-26
表 6-7 東部成功海岸海藻繁殖環境條件資料表.....	6-30
表 7-1 潛堤佈置及波浪條件表.....	7-5
表 8-1 新竹港南海域之波浪條件資料表.....	8-15

表 8-2 數值模擬之平面系列潛堤佈置參數.....	8-27
表 8-3 不同系列潛堤佈置下港南海域相對能量透過率之比較表...	8-50
表 9-1 斜坡堤與合成堤透過率比較.....	9-4
表 9-2 覆蓋層載重參數計算表.....	9-6
表 9-3 潛堤材料價格表(北部地區)	9-9
表 9-4 單一潛堤各部分材料成本計算表.....	9-10
表 9-5 單組潛堤(N=4)價格初步估算表.....	9-10
表 9-6 系列潛堤工法之限制與優缺點比較表.....	9-12

第一章 緒 論

1.1 前言

近 40 年來，臺灣積極發展工商農漁業，在臺灣近岸海域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。96 年 7 月內政部核定「永續海岸整體發展方案」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，逐漸朝向兼具生態與景觀等多功能，並以海岸永續發展為目標。尤其海岸港灣工程建設開發時，較忽視對自然環境、生態與景觀之影響，故往往造成水質、藻場、漁場及濕地等海洋環境之破壞，未來海岸港灣保護結構物之規劃設計，在臨近港灣地區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之第四年，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。第二年（95年）主要蒐集對象海岸(臺灣西部屏東縣海岸)的海岸環境基本資料，於不同季節現場進行實地的海藻及環境生態調查研究，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，分別以規則波及不規則波，研究其防災效果及海洋污染擴散的影響。第三年(96年)主要蒐集對象海岸(臺灣北部頭城海岸)的海岸環境基本資料，於不同季節現場進行實地的海藻及環境生態調查研究，並分析生態工法於海岸保護及港灣工程之應用情形，提出現有結構物兼具生態功能之建議設計方案。此外，針對系列潛堤利用水工試驗及數值計算，進行不同形式潛堤佈置條件，探討影響參數間之相關性，並將系列潛堤以實際海岸現場地形作佈置，提出設計步驟及方法。

本年度(97年)主要蒐集對象海岸(臺灣東部都蘭及新港漁港海岸)的海岸環境基本資料，於不同季節進行現場實地的調查研究，分析臺灣東部特定海岸結構物海藻著生與水質、環境因子等相關性，並分析生態工法於海岸保護及港灣工程之應用情形，比較臺灣西部、北部以及東部特定海岸，不同結構物之生態以及環境的差異性，提出現有結構物兼具生態功能之建議設計方案。此外，針對系列潛堤海岸保護工法，在複合式組合佈置條件下，對布拉格反射特性作分析探討，並應用第三年所擬定之設計步驟及方法，以台灣新竹港南海域為示範區，針對系列潛堤工法在安全性及經濟性，作分析比較以及評估。

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作為

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乃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多以“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，使其兼具防災、親水與生態的功能，並創造優良的生物生存環境。

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，從過去防止波浪侵襲破壞，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、景觀美化及遊憩行為並重等多功能的目標。故在海岸防災、生態維護、景觀的調和及親水性功能上，將成為未來海岸保護設施時必須考慮的因素。

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，並期本研究成果能提供學術、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東部都蘭及新港漁港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。調查生態環境分三季進行，主要調查項目為基本水質與附著海藻等，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，同時比較本年度與前兩年度臺灣之西部、北部及東部海岸結構物海藻著生之差異性，並研擬適合東部海岸結構物發展兼具海岸保護與生態之工法。此外，分別利用理論解析及數值模式計算方式，探討新式柔性工法一系列潛堤的水理機制以及布拉格反射特性，並將系列潛堤以數值模式模擬設計於新竹海岸現場，探討系列潛堤佈置於海岸現場的可行性以及海岸保護效果。

本年度研究相關工作內容簡述如下：

1. 海岸環境生態調查

對於臨港之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。調查項目主要為水質及海藻著生，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以及文獻資料，歸納分析海岸生態與環境間之關係，並探討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. 進行生態效果、對象海藻、發展可行性與結構物斷面型式之相關分析。3. 探討東部海岸地區生態型海岸結構物型式之可行性。

3. 臺灣海岸結構物海藻著生差異性分析

以今年度的臺灣東部海岸調查分析結果與前二年西部及北部海岸作綜合比較分析，包括：海藻著生優勢種分析、海藻種類季節性變化分析、海藻著生空間分佈及覆蓋率分析、海藻著生效果與水質環境之差異性、海藻豐富度與營養鹽變化分析、海藻豐富度與光照度、深度和濁度變化分析。

4. 系列孔隙潛堤之布拉格反射特性探討

進行波浪通過三種或以上間距組合的系列潛堤，作布拉格反射特性探討，以 Miles (1981) 理論為基礎，推導波浪通過系列潛堤反射率公式，探討波浪通過系列潛堤，在不同的影響參數條件下，其布拉格反射變化的情形，並以 EEMSE 模式驗證及比較本研究的布拉格反射現象，為特殊之反射率變化現象。

5. 系列潛堤保護工法海岸現場模擬設計

於特定海岸現場進行系列潛堤模擬佈置，利用本研究所提出之設計步驟及方法，以 EEMSE 模式作模擬計算及分析。首先佈置系列潛堤於鄰近港灣之現場實際斷面水深地形，作各種參數調整，再以斷面水深佈置作分析比較，接著於平面水深地形作佈置設計，評估各式不同佈置條件以及不同侵襲之入射波浪條件下，系列潛堤佈置的可行性以及海岸保護之效果。

6. 系列潛堤保護工法安全性及成本評估

分別以系列潛堤工法斷面及平面設計，以特定海岸設計為例，分析各式斷面的材料選擇，作斷面及平面設計之成本估算，探討系列潛堤工法之限制與優缺點，並提出包含成本分析之系列潛堤工法設計方法及流程。

1.4 本研究組織

本研究共分為十章，第一章為緒論，說明本研究研究背景、動機、目的及方法；第二章為臺灣東部特定海岸結構物與海藻生態環境調查方法，包括調查時間、地點、項目、方法及步驟之說明；第三章北部海岸結構物海藻生態與水質環境調查結果；第四章海岸結構物海藻著生效果與環境因子相關性分析；第五章探討臺灣不同地區特定海岸結構物海藻生態差異性分析；第六章研擬適合臺灣不同地區海岸保護結構物兼具生態之工法；第七章作系列潛堤之布拉格反射特殊特性探討；第八章系列潛堤於海岸現場作模擬佈置設計，並探討海岸保護效

果；第九章探討系列潛堤保護工法之安全性及作成本評估；第十章為結論與建議。

第二章 東部海岸結構物現況與海藻生態環境調查方法

鑑於海岸生態工程之規劃評估需以現地環境調查為基礎，並需掌握對象海岸之自然環境、生態環境等要因，本研究選定東部臺東海岸兩處保護結構物，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 調查目的

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；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。

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。臺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，值得進一步研究及探討。

本研究調查東部海岸保護結構物之著生海藻生態環境，分析東部海岸保護工程生態效果及生長環境因子，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、生態環境等，故除蒐集東部對象海岸之自然環境，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，俾供評估東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、斷面構造等依據。

2.2 調查對象

臺灣東部海岸蓋指花蓮縣、臺東縣之海岸，本年之研究對象海岸以位於東部海岸為原則，鑑於臺灣東部之花蓮、臺東海岸多為岩石地形、山脈直逼海岸，海岸線平直、水深坡陡，除港澳之防波堤設施外，海岸保護結構物則以海堤為主。臺灣藻類分佈以北部、東北部、東部及南部的岩岸地區為主，西部地區是沙岸，只有極少數的藻類可生存；本研究以海岸保護結構物之海藻生態環境調查為主，故選定東部之臺東縣海岸為調查對象海岸。



2.2.1 研究調查海岸

臺東縣位於臺灣本島東南方，東濱太平洋，西臨中央山脈、地勢狹長，南北海岸線長達 176 公里，北自長濱鄉織羅山，南迄達仁鄉。臺東縣海岸除了臺東縱谷出海處是沙岸之外，其他都屬斷層形成的下沉海岸，多為典型岩岸、海蝕平台、海蝕洞、礫石灘等地形，由於受到來自呂宋島北上經馬丹列島等暖流影響，為暖流性魚類迴游覓棲之海域，潮間帶有藻類及珊瑚分佈。東部海岸之藻類以柔弱捲枝藻、鞘絲藻及海電菜等為主；珊瑚則有石珊瑚及紅珊瑚兩大類，約有八十多種，石珊瑚分布在三仙台至大武之間，紅珊瑚則分布在蘭嶼、綠島一帶。

由於臺東海岸多為岩石地形、山脈直逼海岸，海岸線平直、水深坡陡，海岸保護工多以海堤為主，較少有離岸堤及突堤；故依據事前規劃與勘查，選定臺東縣新蘭漁港之突堤及臺東縣新港漁港之離岸堤、海堤做為本研究之調查對象，該海岸結構物之消波塊上亦有海藻生長情形，將可供本研究進一步研究調查。

臺東縣新蘭漁港位處臺東東河鄉海岸、臺東縣新港漁港位處臺東成功鎮，兩處調查地點相隔 33 公里，本研究調查海岸區位如圖 2-1 所示。



資料來源：圖片 <http://maps.google.com/>

圖 2-1 本研究海岸保護結構物海藻生態調查位置圖

2.2.2 對象結構物

本研究選定位於臺東縣新港漁港之離岸堤、海堤及臺東縣新蘭漁港之突堤為本研究之調查對象，測站編號由南往北順序遞增，測站編號及位置如表 2-1 所示。

表 2-1 東部海岸保護結構物海藻生態環境調查位置

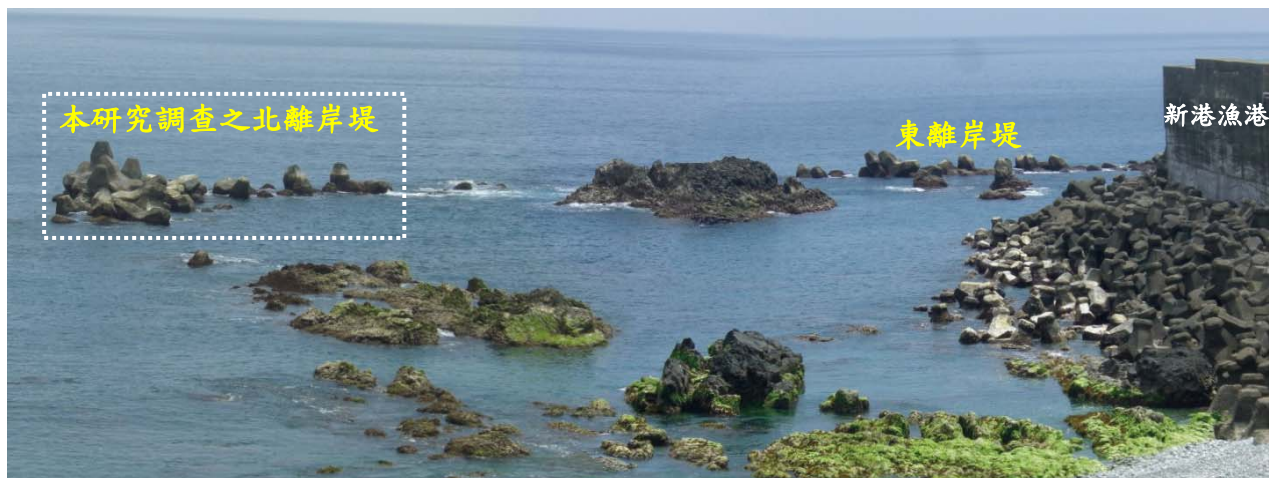
構造型式	結構物名稱（簡稱）	測站	地理位置
離岸堤	新港漁港北離岸堤（成功離岸堤）	測站一	121°23'9"E、23°5'55.6"N
海堤	新港漁港北海堤（新港海堤）	測站二	121°23'4.5"E、23°5'56.5"N
突堤	新蘭漁港突堤北側（新蘭突堤Ⅰ）	測站三	121°12'7.1"E、22°51'36"N
	新蘭漁港突堤南側（新蘭突堤Ⅱ）	測站四	121°12'6.9"E、22°51'34.8"N

本研究整理

1. 離岸堤

本研究進行海藻生態環境調查之離岸堤，即新港漁港之離岸堤（簡稱成功離岸堤），離岸堤現況如照片 2-1 所示。

新港漁港為臺東縣最具規模且設備完善之漁港，擁有新舊兩泊區，其中，舊泊區早於日據時代即闢建，新泊區於民國 77~85 年間興建完成。由於新泊區位處東側海域，港澳設施直接面對太平洋，每年夏季颱風時因波高浪大，雖然港區防波堤兼碼頭之胸牆高程已達+12.0m，但因波浪可直接拍擊，颱風時仍有越波發生；故為謀港區設施及漁船避風停靠之安全，乃自民國 86 年進行東防波堤越波改善加強工程。



照片 2-1 本研究調查之離岸堤現況

新港漁港東防波堤越波改善加強工程，包括加拋消波塊及興建離岸堤兩部分，86 年時加拋防波堤海側消波塊，89 年於港區東北側之防波堤外，增設東、北兩座之離岸堤，形成消滅波浪之第一道防線；其中，東離岸堤距防波堤約 100 公尺、長度 60 公尺，北離岸堤距防波堤約 60 公尺、長度 40 公尺；91 年續將離岸堤分別延長 80 及 20 公尺，即目前新港漁港之東、北兩座之離岸堤，長度分別為 140 及 60 公尺；其中，東離岸堤座落位置之水深約在-6.0m~-9.0m 之間，北離岸堤（本研究）座落位置之水深約在-5.0m~-7.0m 之間。

計畫調查之對象離岸堤為新港漁港北側之離岸堤(即測站一)，距防波堤約 60 公尺，總長度 60 公尺，座落位置之水深約在-5.0m~-7.0m 之間。本研究調查離岸堤之空照圖，如圖 2-2 所示，屬消波塊堤之結構，因底質為岩盤，故以消波塊直接拋設，並未設置拋石基礎，兩側消波塊之坡度皆為 1/1.5，消波塊為 40 噸、頂層三排，消波塊堤頂高程+2.0m，頂部寬度 10.1m，對象離岸堤之標準斷面如圖 2-3 所示。



圖片資料來源：臺灣地區漁港基本資料，行政院農委會漁業署，2003。

圖 2-2 本研究對象離岸堤之空照圖（新港離岸堤）

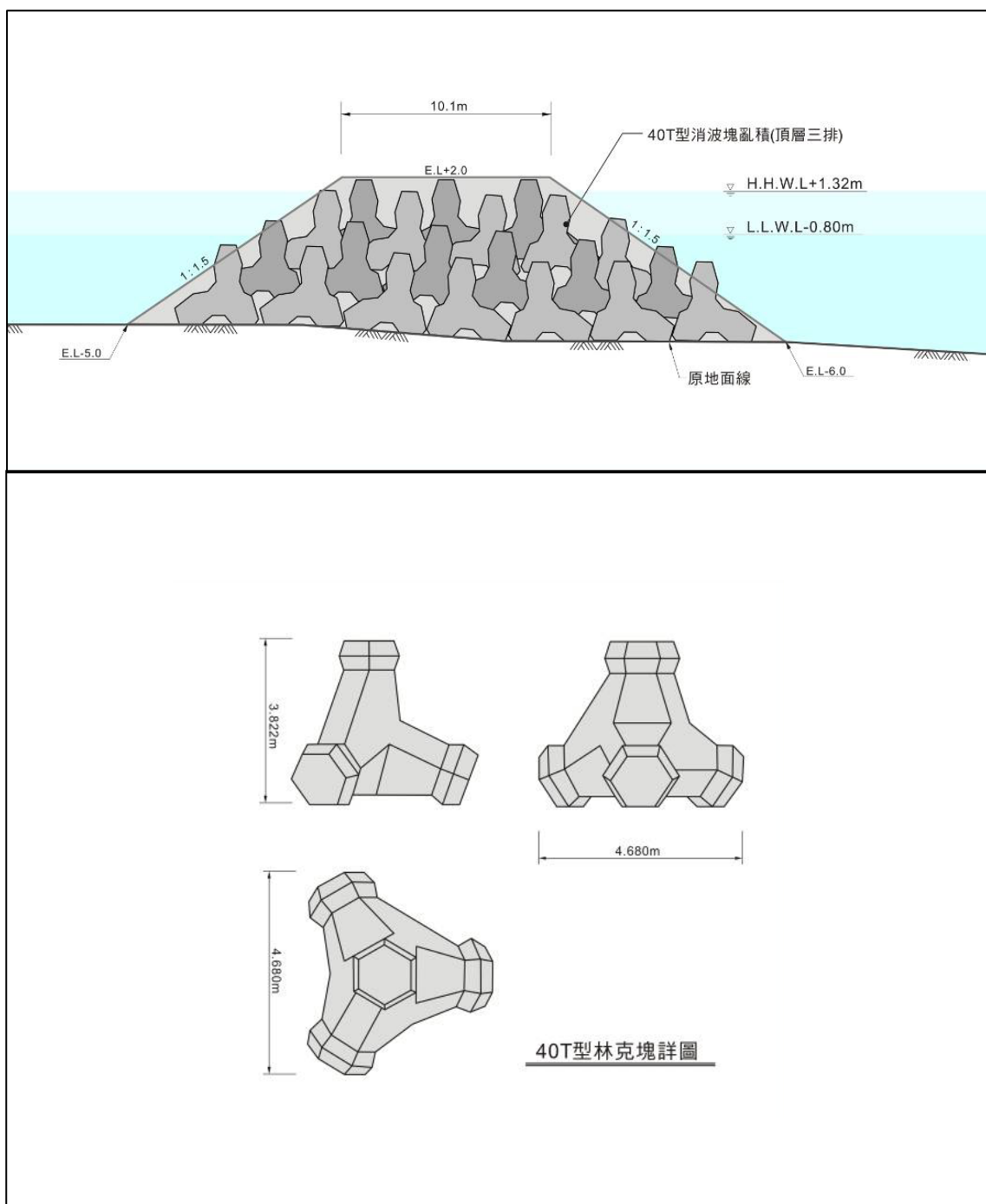


圖 2-3 新港北離岸堤之標準斷面圖及消波塊詳圖

2.海堤

本研究進行海藻生態環境調查之海堤，即新港漁港新泊區之北海堤（簡稱新港海堤，測站二），新港海堤現況如照片 2-2 所示。

新港漁港新泊區係於民國 77~85 年間興建完成，其中，北海堤係於民國 77 年間興建，構造型式屬重力式海堤之結構，先設置拋石基礎，再設置胸牆，胸牆頂高程+8.0m，胸牆海側拋放 8 噸林克塊消波塊，坡度為 1/1.5，頂層兩排，消波塊堤頂高程+4.5m，頂部寬度 6.06m，對象海堤之標準斷面如圖 2-4 所示。

由於本研究對象之離岸堤（測站一）及海堤（測站二）皆位於新港漁港之北側，為便於說明，測站一及測站二之位置，如圖 2-5 所示。



照片 2-2 本研究調查之海堤現況（新港海堤）

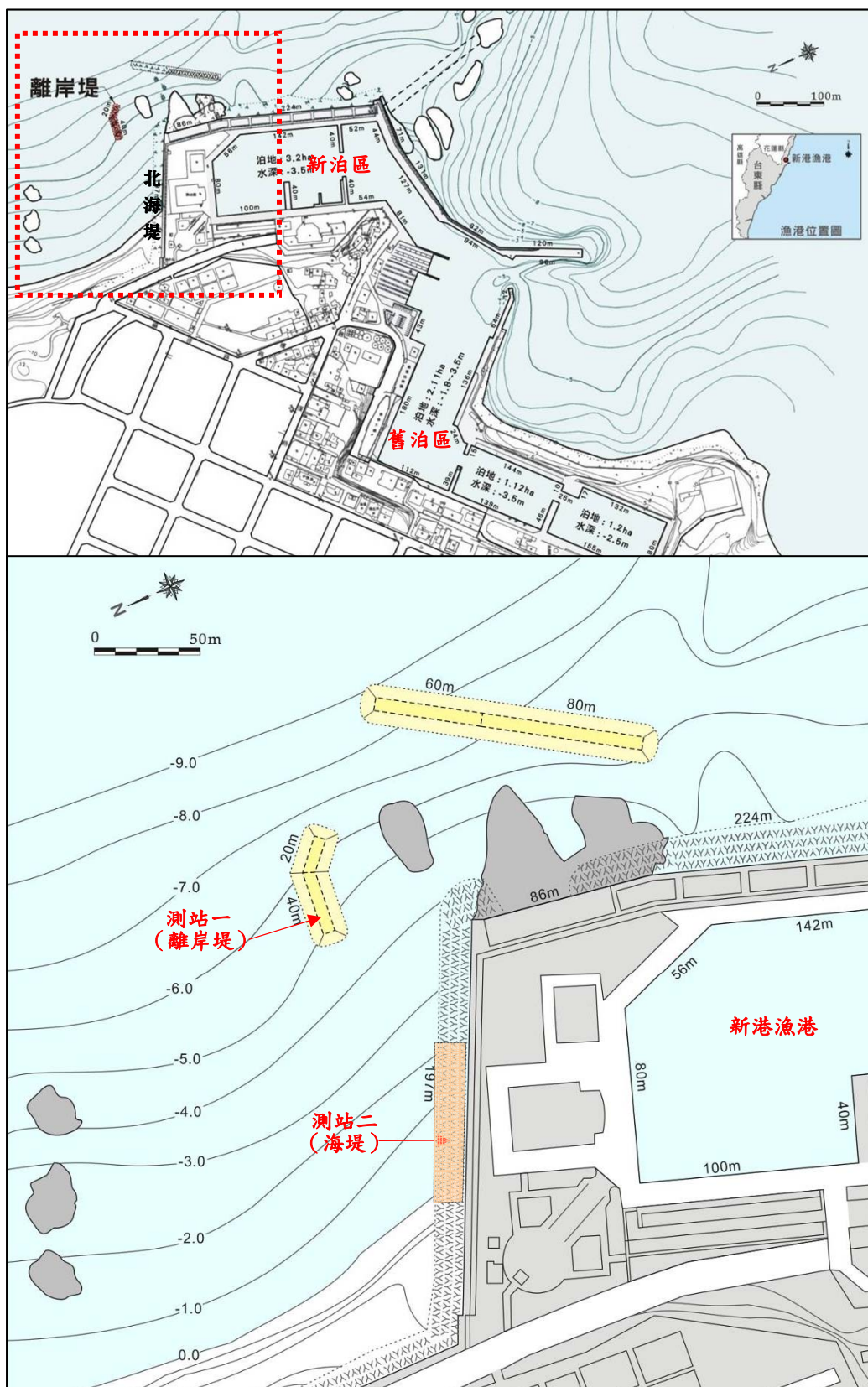


圖 2-5 本研究對象離岸堤（測站一）及海堤（測站二）之平面位置

3.突堤

本研究進行海藻生態環境調查之突堤，即臺東縣新蘭漁港之南突堤，突堤現況如照片 2-3 所示，附著生態照片如照片 2-4 所示。

新蘭漁港係位於臺東縣東河鄉新蘭村，南距伽藍漁港約 15 公里，附近海岸淺灘巨石遍佈，鑑於當地漁船及漁筏作業需要，於民國 73 年闢建，原僅於北側興建防波堤 112 公尺、曳船道乙座；後於民國 82 年增建防波堤兼碼頭 41 公尺、南突堤 50 公尺、護岸 120 公尺，本港之平面位置及空照圖如圖 2-6 所示。



照片 2-3 本研究調查之突堤現況（新蘭突堤）



突堤消波塊上著生之海藻



突堤消波塊上著生情形



突堤內側拋石上著生之藻類



突堤根部礁石上之藻類

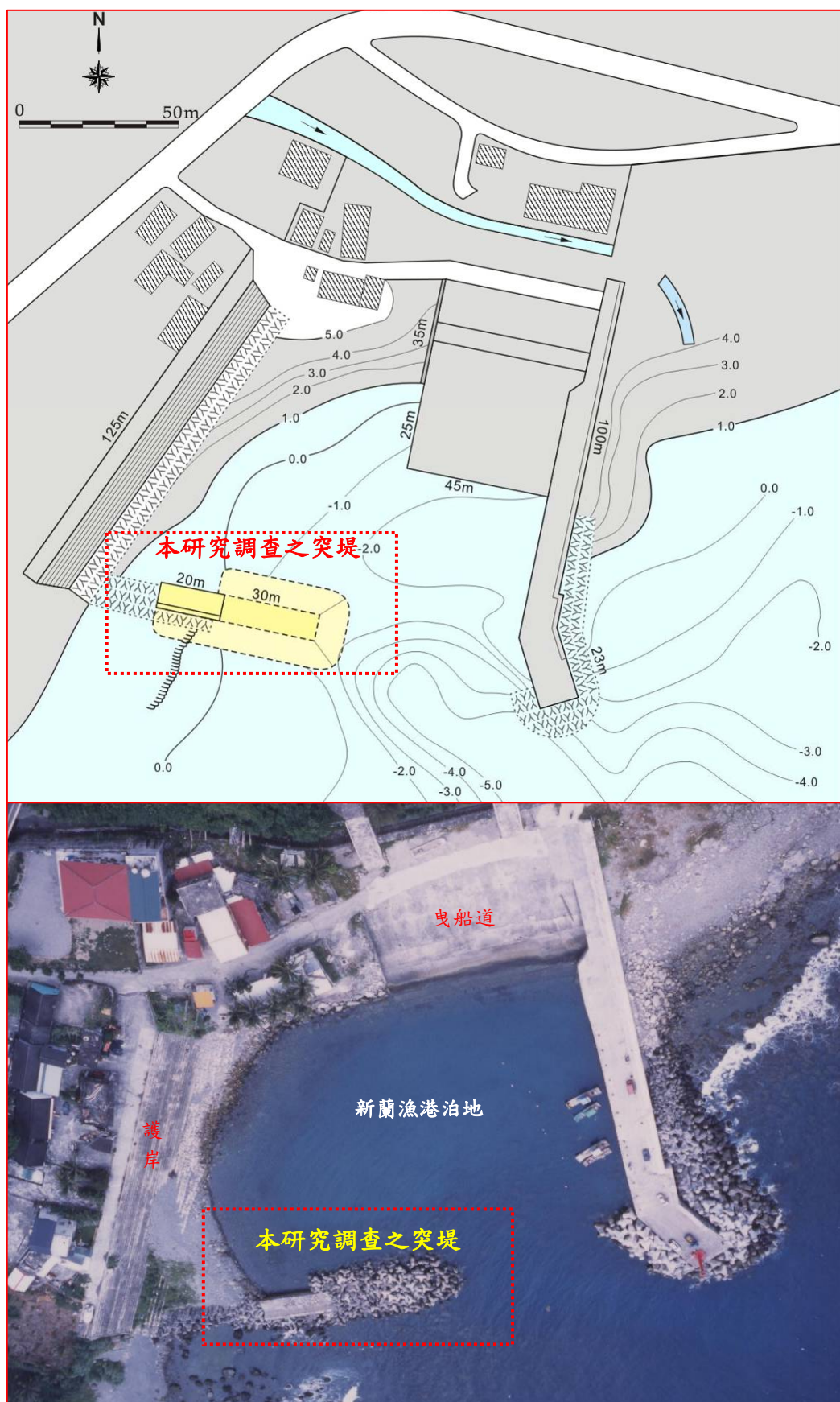


突堤上之珊瑚



突堤南側礁石上之藻類

照片 2-4 本研究調查突堤之附著生態照片（新蘭突堤）



圖片資料來源：臺灣地區漁港基本資料，行政院農委會漁業署，2003。

圖 2-6 本研究對象突堤之平面位置及空照圖（新蘭突堤）

計畫調查之對象突堤位於新蘭漁港之南突堤，突堤全長 50 公尺，本研究共設置兩個測站(測站三及測站四)，調查平面位置如圖 2-7 所示；其中，測站三為新蘭突堤北側、測站四新蘭突堤南側。

計畫調查之對象突堤全長 50 公尺，共分兩段，前段靠陸側之 20 公尺段具有混凝土堤面，後段靠海側兩側之 30 公尺，屬消波塊堤之結構，全長座落位置之水深約在+1.0m~-1.5m 之間。對象突堤之消波塊堤段之構造，屬拋石基礎上覆消波塊之形式，兩側之坡度皆為 1/1.5，共分三層；其中，下部為拋石基礎，拋石頂高±0.0m，拋石上覆 5 噸型之得力塊、單層排列，得力塊頂高程+1.04m；5 噸得力塊之上面再設置 10 噸型協克塊、雙層排列，消波塊堤頂高程+4.0m，頂部寬度 8.28m，對象突堤之標準斷面如圖 2-8 所示。

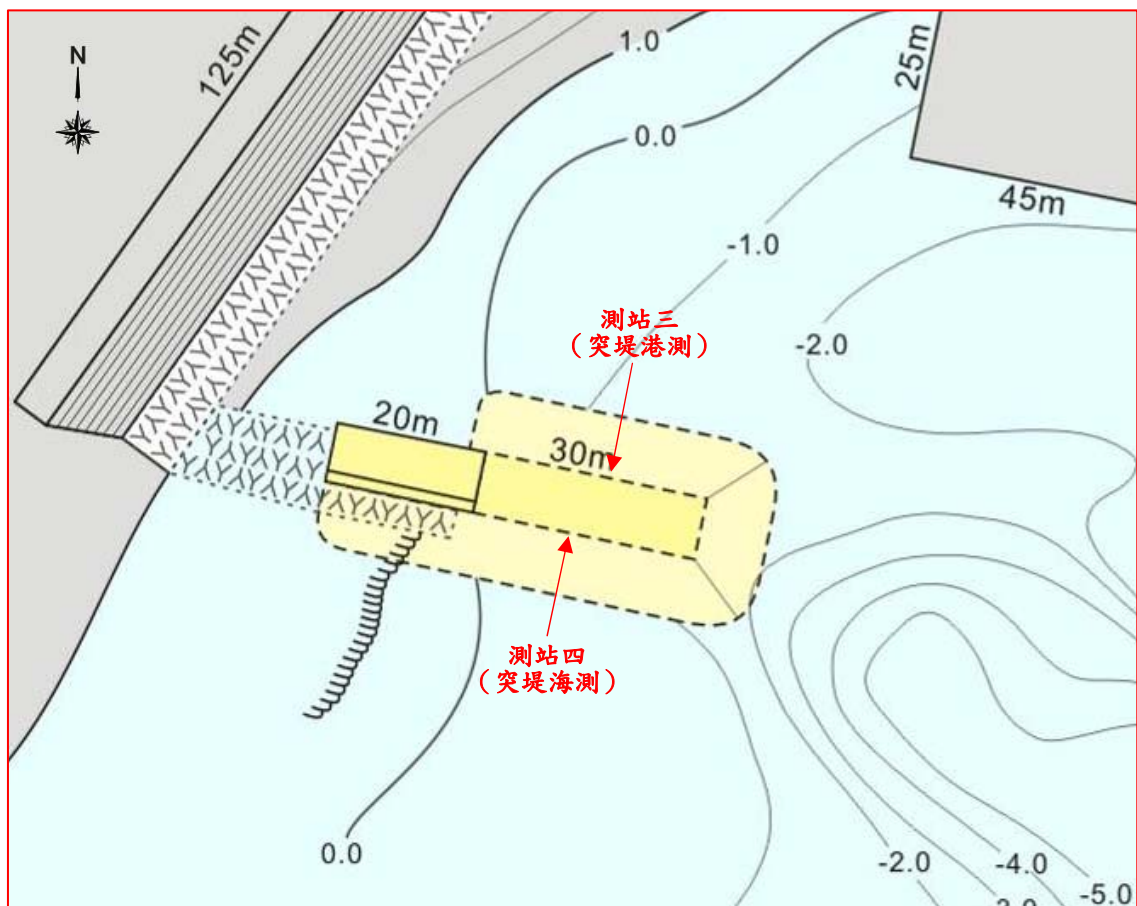


圖 2-7 本研究對象突堤之平面圖與測站三及測站四位置圖

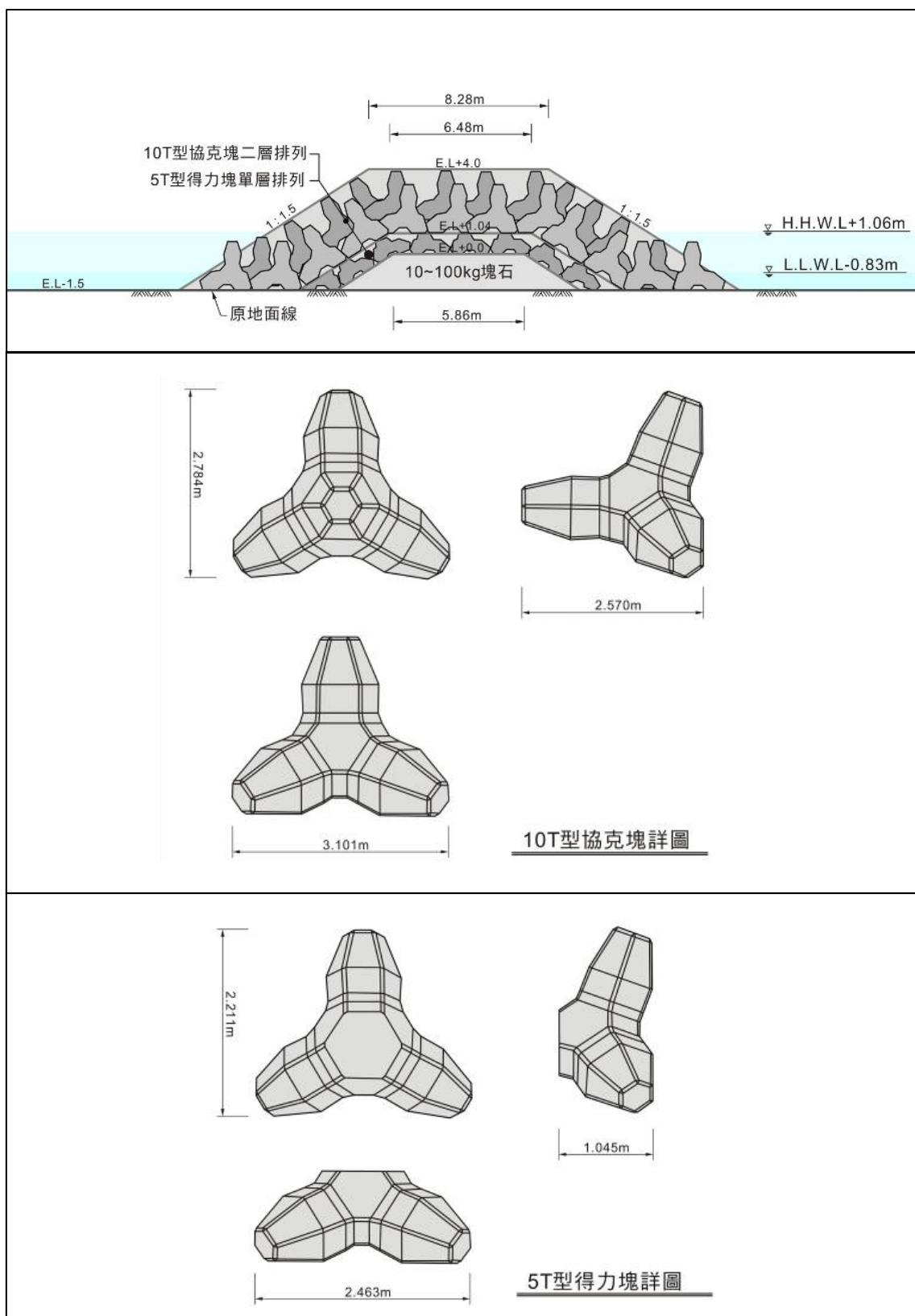


圖 2-8 新蘭漁港對象突堤之標準斷面圖及消波塊詳圖

2.3 自然環境

本研究選定調查點係位於東部海岸之臺東縣新港漁港北側離岸堤及東河新蘭漁港之南突堤，茲特蒐集本區海岸鄰近之成功測候站及成功浮標測站之海氣象等自然環境相關統計資料，以供參考比較。

2.3.1 氣象

本區鄰近之氣象站為中央氣象局成功測候站（臺東縣成功鎮，N23°05'57"，E121°21'55"），故彙總其長期（1971～2000 年）氣象統計如表 2-2 所示，及整理成功測候站最近 2007 年各月及 2008 年 1～4 月之氣象資料如表 2-3 所示，說明如下：

1. 氣溫

由成功測候站長期約三十年氣象統計如表 2-2 所示，平均氣溫以 7 月份之 28.1℃ 最高，1 月份之 18.8℃ 最低；另參考成功測候站近年（2007 年及 2008 年 1～4 月）之月平均氣溫，最高同樣以 7 月份之 29.2℃，較長期趨勢略高，最低則為 2008 年 2 月份之 17.8℃，但較長期趨勢略低，成功測候站 2007 年氣象統計，如圖 2-9 所示。

2. 雨量

由成功測候站長期年平均降雨量為 2198.4mm，以 9 月之 351.6mm 最高，年平均降雨日數為 174 日，各月平均約 9～18 日左右；另參考成功測候站降雨量近年（2007 年及 2008 年 1～4 月）各月以 2007 年 8 月份之 635.6mm 最高、7 月份之 0.5mm 最低；2007 年降雨日數為 166 日，以 9 月份之 21 日最高，而 7 月份僅 1 日。

3. 風

參考成功測候站之風速統計資料，其 2007 年之平均風速均不大，皆在 2.1～6.1m/s 左右，如圖 2.10 所示；至於 8 月份最大風速達 31.41m/s，應是受到 2007 年 8 月之聖帕強烈颱風所影響，如表 2-4 所示。

表 2-2 成功測站氣象統計表（1971～2000 年）

項目	氣溫(°C)			降雨量 (mm)	相對濕度 (%)	降雨日數 (日)
	平均氣溫	最高氣溫	最低氣溫			
1 月	18.8	21.9	16.3	77.2	77	16
2 月	19.1	22.2	16.7	73.4	79	16
3 月	21.0	24.1	18.4	75.3	81	15
4 月	23.2	26.5	20.5	96.4	83	15
5 月	25.2	28.6	22.5	189.8	84	18
6 月	27.1	30.4	24.3	204.7	85	13
7 月	28.1	31.7	25.1	251.1	82	9
8 月	27.8	31.4	24.8	325.9	82	12
9 月	26.8	30.3	23.9	351.6	81	15
10 月	25.0	28.3	22.4	336.8	78	16
11 月	22.5	25.5	20.0	136.6	77	15
12 月	19.9	23.0	17.6	79.6	75	14
合計	23.7	27.0	21.0	2198.4	80	174

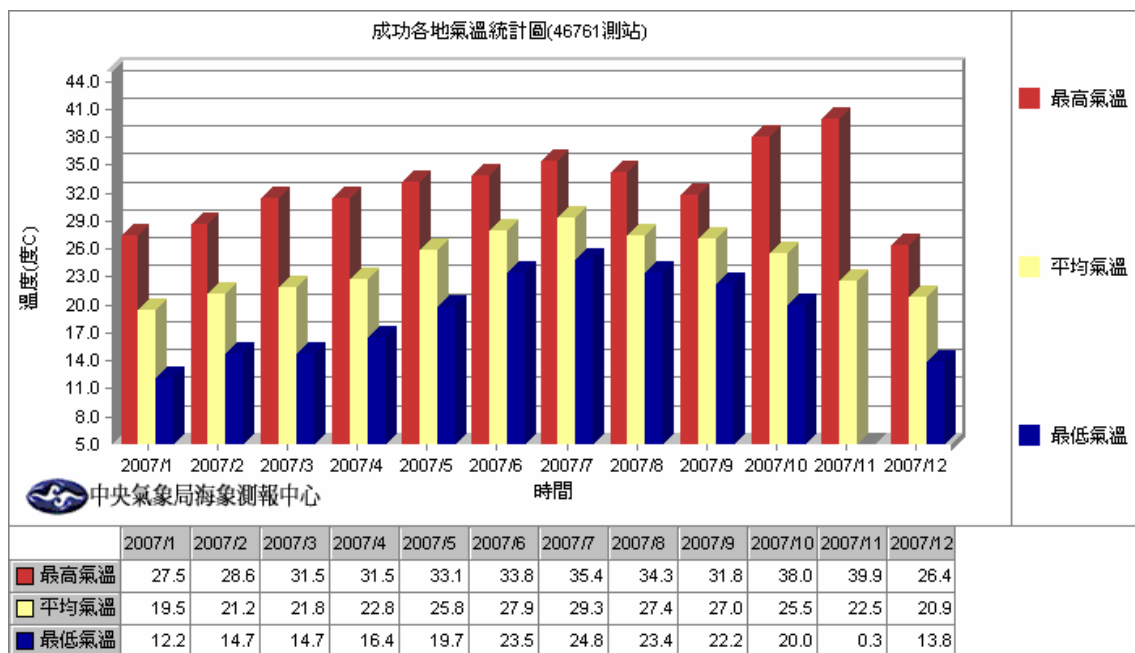
資料來源：中央氣象局網站(<http://www.cwb.gov.tw/>)

表 2-3 成功測站氣象統計表（2007 年及 2008 年 1～4 月）

民國 (年)	月 份	溫度(°C)			降雨量 (mm)	風(最大)		相對 濕度 (%)	測站 氣壓 (百帕)	降雨 日數 (天)	日照 時數 (時)
		平均	最高	最低		風速 (m/s)	風向 (360°)				
96	1	19.5	27.7	12.2	73.5	9.4	40.0	68	1016.5	13	72.5
	2	21.2	28.6	14.6	25.3	10.2	20.0	68	1013.0	5	90.4
	3	21.8	31.5	14.7	26.7	10.0	10.0	73	1010.8	18	91.0
	4	22.8	31.7	16.4	39.7	11.2	210.0	73	1009.8	14	61.3
	5	25.7	33.1	19.7	135.1	12.0	170.0	74	1005.6	17	136.3
	6	27.8	33.8	23.5	165.1	9.8	180.0	78	1002.6	14	184.3
	7	29.2	35.5	24.8	0.5	9.1	180.0	74	1002.5	1	293.6
	8	27.4	34.3	23.2	635.6	31.4	180.0	79	1000.4	19	128.4
	9	26.9	32.0	22.0	529.9	10.4	20.0	78	1002.4	21	116.6
	10	25.5	38.5	20.0	193.9	20.6	210.0	71	1007.7	16	102.6
	11	22.5	27.8	16.6	448.0	15.2	20.0	69	1011.6	18	86.1
	12	20.9	26.6	13.7	29.2	9.7	40.0	70	1013.3	10	81.3
97	1	19.6	27.6	12.6	43.8	10.1	20.0	77	1014.9	18	27.8
	2	17.8	25.4	12.5	143.0	10.1	10.0	75	1015.2	19	23.3
	3	20.3	27.9	14.7	72.6	9.1	30.0	72	1011.9	18	68.6
	4	23.3	31.7	16.1	238.5	9.8	180.0	79	1008.5	13	66.7

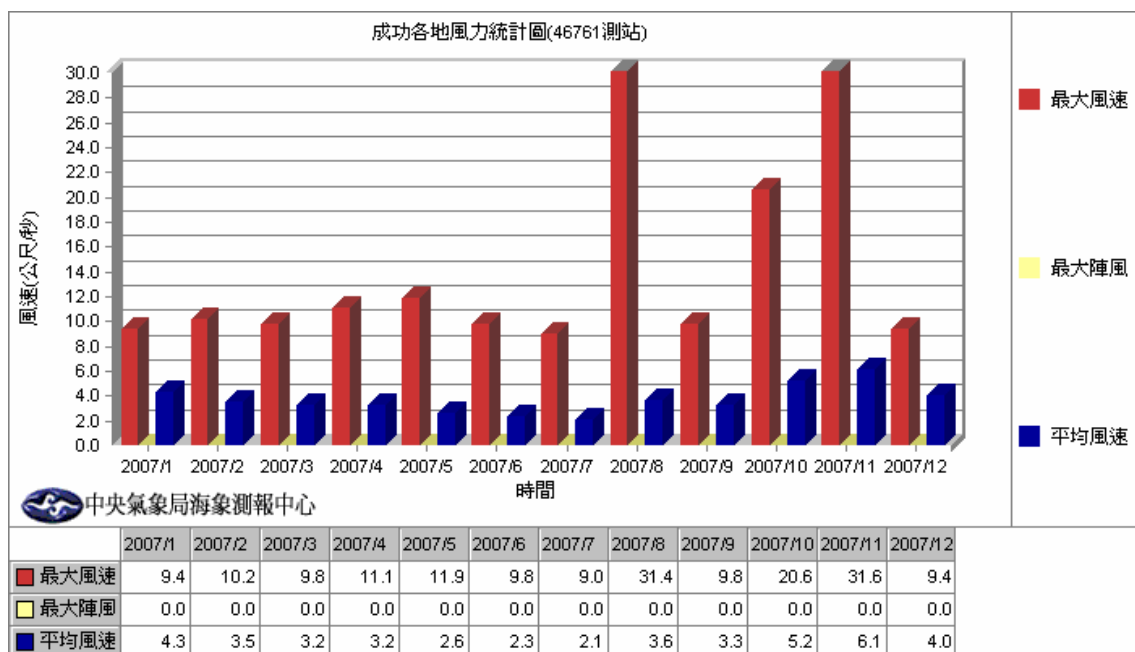
資料來源：中央氣象局網站(<http://www.cwb.gov.tw/>)，本研究整理

註：最大風速：指測站在特定期間內之最大 10 分鐘平均風速，當時風之主要來向，即為最大風方向。



資料來源: 中央氣象局網站(<http://www.cwb.gov.tw/>)

圖 2-9 成功測站氣溫統計圖 (2007 年)



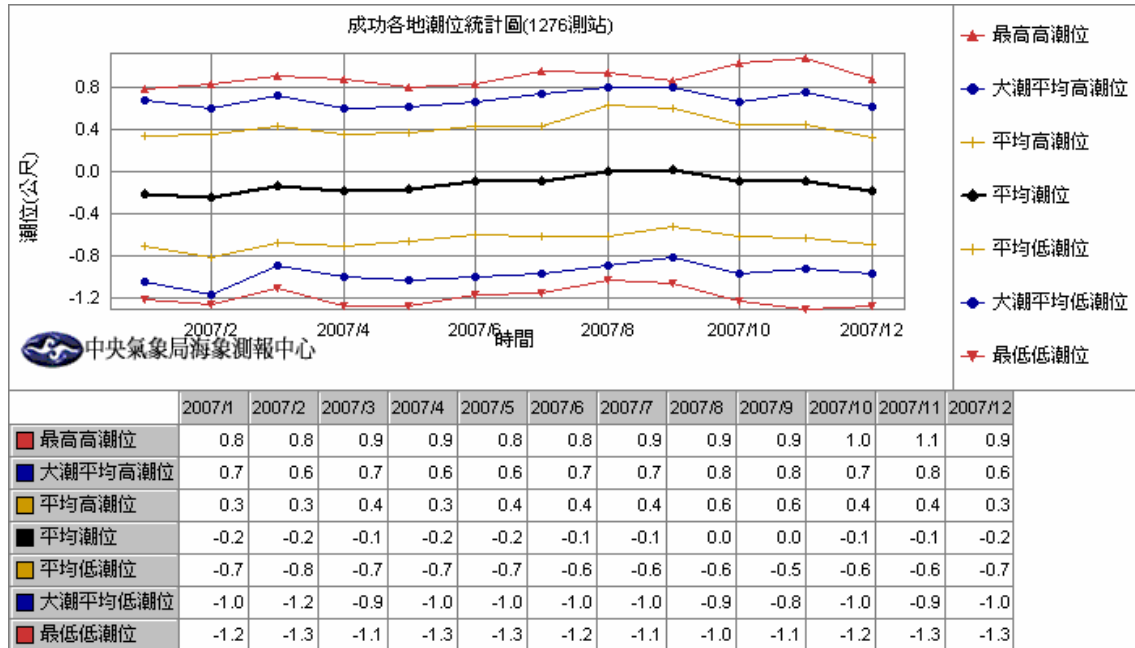
資料來源: 中央氣象局網站(<http://www.cwb.gov.tw/>)

圖 2-10 成功測站風速統計圖 (2007 年)

2.3.2 海象

1. 潮汐

參考中央氣象局設置於臺東縣成功鎮成功漁港之潮位觀測站 (N23°05'20"，E121°22'36")之潮位觀測資料，如圖 2-11 所示。



資料來源：中央氣象局網站(<http://www.cwb.gov.tw/>)

圖 2-11 成功測站 2007 年潮位統計圖

3. 季風波浪

本區鄰近之波浪觀測站為中央氣象局設置於臺東縣成功鎮外海之成功波浪測站 (成功鎮三仙台海岬之北方約 500 公尺，水深 38m，N23°07'48"，E121°25'14")。

參考成功波浪測站之民國 1993~2003 年波浪資料，如表 2-4 所示，成功海域附近海面整體波高及周期分佈，偏向於大波高及長週期，夏季發生最頻繁之波浪其波高為 0.5~1.0m，相對週期超過 6sec 者約佔 40.7%；冬季發生最頻繁之波高為 1.0~2.0m，相對周期超過 6sec 者約佔 70.8%。

表 2-4 成功波浪站之波高週期聯合分佈表（1993 年～2003 年）

夏季波浪分佈

Hs(m) Ts(sec)	<0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	1.5 2.0	2.0 2.5	2.5 3.0	3.0 3.5	3.5 4.0	4.0 4.5	4.5 5.0	>5.0	合計 (%)
2~3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3~4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
4~5	0.3	3.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
5~6	2.8	8.4	2.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1
6~7	6.2	15.0	1.6	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6
7~8	5.7	11.4	3.7	6.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	22.4
8~9	3.5	8.1	2.4	6.3	0.5	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	16.4
9~10	1.1	3.5	1.7	1.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	7.6
>10	0.6	2.6	2.5	1.3	1.1	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	11.2
合計(%)	20.2	52.4	15.4	16.9	2.4	1.3	1.0	0.6	0.2	0.2	0.3	100.0

冬季波浪分佈

Hs(m) Ts(sec)	<0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	1.5 2.0	2.0 2.5	2.5 3.0	3.0 3.5	3.5 4.0	4.0 4.5	4.5 5.0	>5.0	合計 (%)
2~3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3~4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4~5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5~6	0.2	0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
6~7	0.2	4.2	8.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
7~8	0.0	7.1	21.8	12.7	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.2
8~9	0.0	2.0	8.1	12.6	6.0	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7
9~10	0.0	0.4	1.3	2.2	2.3	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	7.6
>10	0.0	0.5	0.7	0.9	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	3.5
合計(%)	0.2	14.5	41.2	30.2	10.5	2.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	100.0

全年波浪分佈

Hs(m) Ts(sec)	<0.5	0.5 1.0	1.0 1.5	1.5 2.0	2.0 2.5	2.5 3.0	3.0 3.5	3.5 4.0	4.0 4.5	4.5 5.0	>5.0	合計 (%)
2~3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3~4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
4~5	0.1	1.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
5~6	0.8	3.5	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7
6~7	1.7	9.6	6.1	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5
7~8	1.6	11.5	13.5	6.4	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0
8~9	1.0	2.8	6.6	6.3	3.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	23.4
9~10	0.4	1.9	1.9	1.6	1.6	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
>10	0.2	1.5	1.7	1.3	1.1	1.0	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	8.1
合計(%)	5.8	35.2	31.3	16.9	6.7	2.4	0.9	0.4	0.2	0.1	0.1	100.0

資料來源：臺東地區海運發展規劃之研究，交通部運輸研究所，2005。

2.4 調查項目與方法

本研究針對東部海岸之臺東縣新蘭漁港突堤及臺東縣新港漁港之離岸堤，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，並分別於新港漁港之離岸堤及海堤設 2 個測站（測站一及測站二）和新蘭漁港突堤設 2 個測站（測站三及測站四），有關調查項目與方法說明如后。

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、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 2-5。茲分述檢測方法如下：

表 2-5 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。

(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)。使用溫鹽深探儀現場測定(Ocean seven 304 CTD)，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。

(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。以高嶺土為例大約 1mg/L 之懸浮固體濃度為 1NTU。

(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($\text{NH}_3\text{-N}$)

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，單位為 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ 。

2. 著生海藻調查方法

本調查以建立臺灣東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 $60\% = (30 \div 50) \times 100\%$ 。

(3) 種歧異度之計算方式

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。

(4)相似度及共有種率之計算方式

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

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

$$PS = [C \div (A+B-C)] \times 100\%$$

$$CZ = [2C \div (A+B)] \times 100\%$$

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

第三章 東部海岸結構物海藻著生與水質環境調查成果

本研究選定臺東新港漁港北側離岸堤、海堤（以下分別簡稱成功離岸堤、新港海堤）及臺東杉原北方之新蘭漁港突堤（以下簡稱新蘭突堤），本研究共進行三次之海藻附著於人工結構物生長情形及水質監測採樣調查，包括溫、鹽、溶氧、酸鹼值監測，茲整理相關調查與分析成果如后：

3.1 海水水質調查結果

本研究共進行三次之現場調查，分別於今(97)年 3 月(第一次)、5 月(第二次)及 8 月(第三次)，於臺東成功離岸堤(測站一)、新港海堤(測站二)各設一個測站、新蘭漁港突堤設兩個測站(測站三：新蘭突堤北側、測站四：新蘭突堤南側)，測站編號係由北往南順序遞增，各測站並分別量測測站之潮間帶、潮下帶，以了解不同水深之差異性（例如：S1-I 表示測站一之潮間帶，S1-S 表示測站一之潮下帶）；各測站之現況如照片 3-1 及照片 3-2 所示。

3.1.1 第一次(97 年 3 月)

第一次(3 月份)四測站共 6 個測點的海水水質分析結果，如表 3-1 所示；各監測點之溫度介於 $22.4\sim 22.9^{\circ}\text{C}$ ，而鹽度介於 $33.95\sim 34.33\text{psu}$ ，區域性變化不明顯。

由於一般調查海域之溫、鹽度分布，主要易受到當地之潮流漲落、鄰近陸上逕流及河川、溝渠之淡水影響；環視整個調查區域周遭地理及河川、溝渠之分布，發現附近並無明顯之淡水輸入，初步研判本海域之溫、鹽度變化，可能主要受到潮流漲落之影響，使得溫、鹽度呈現區域性變化並不明顯。



臺東新港漁港北側之成功離岸堤(測站一)、新港海堤(測站二)相關位置



測站一（成功離岸堤）



測站二（新港海堤）

照片 3-1 臺東新港漁港成功離岸堤(測站一)、新港海堤(測站二)照片



測站三（新蘭突堤北側）



測站四（新蘭突堤南側）

照片 3-2 新蘭漁港突堤(測站三、測站四)現況照片

第一次(97 年 3 月)各監測點之 pH 值介於 8.20~8.32，溶氧量介於 7.47~8.43mg/L，溶氧飽和度則介於 104.8%~119.5%。整體而言，依據環保署 90 年 12 月 26 日修正公告之「海域環境分類及海洋環境品質標準」，本調查區域之水體應符合甲類海域海洋環境品質標準，故本調查測站之 6 個 pH 測值，均符合 pH 值介於 7.5~8.5 之甲類海域海洋環境品質標準。

第一次(97 年 3 月)各監測點之溶氧方面，依環保署公告之「海域環境分類及海洋環境品質標準」，本調查區域之水體應符合甲類海域海洋環境品質標準，本調查測站之 6 個測值，均符合溶氧應大於 5.0mg/L 之甲類海域海洋環境品質標準。

第一次(97 年 3 月)各監測點之硝酸鹽分析結果介於 0.009~0.032mg/L，亞硝酸鹽介於 0.001~0.005mg/L，磷酸鹽介於 0.001~0.008mg/L，氨氮介於 0.011~0.056mg/L。分析結果顯示，成功離岸堤測站相較於新蘭突堤測站，其水體中具較高之營養鹽，原因仍待進一步之調查分析。

第一次(97 年 3 月)各監測點之溶解性無機磷介於 0.032~0.258 μ M，其中，成功離岸堤測站較高於新蘭突堤測站；溶解性無機氮介於 1.53~6.21 μ M，其中成功離岸堤測站亦較高於新蘭突堤測站；而氮磷比率介於 7~193 之間。

第一次(97 年 3 月)各監測點之濁度介於 0.51~1.47NTU，以區域性而言，成功離岸堤測站較低於新蘭突堤測站，而各監測點光照度之分析結果，介於 21~398 μ mol $s^{-1}m^{-2}$ ，光照度則以成功離岸堤測站之附近海域測值較高。

表 3-1 第一次(97 年 3 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤附近之水質分析資料

測站	Temp. (°C)	Depth (cm)	Salinity (psu)	pH	Dissolved Oxygen (mg/L)	Oxygen Saturation (%)	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
Mar.07,2008															
S1-Sa(離岸堤)	22.6	300(300)	34.30	8.30	7.83	110.4	0.010	0.001	0.008	0.013	0.258	1.69	1.32	398	7
S1-Sb(離岸堤)	22.5	900(750)	34.32	8.27	7.51	105.7	0.026	0.005	0.001	0.056	0.032	6.21	1.47	34	193
S2-I(海堤)	22.9	0	34.33	8.27	8.43	119.5	0.023	0.001	0.002	0.049	0.056	5.24	1.10	91	94
S3-I(突堤)	22.5	0	34.08	8.32	8.10	113.9	0.009	0.001	0.003	0.011	0.111	1.53	0.51	63	14
S3-S(突堤)	22.4	210(90)	34.11	8.20	7.47	104.8	0.032	0.004	0.001	0.048	0.032	6.00	0.56	43	186
S4-I(突堤)	22.5	0	33.95	8.28	8.06	113.2	0.014	0.002	0.002	0.021	0.056	2.61	0.57	21	47

註一：S1-Sa：測站一潮下帶 (0~3m)，S1-Sb：測站一潮下帶 (3~9m)。

S2-I：測站二潮間帶。

S3-I：測站三潮間帶，S3-S：測站三潮下帶。

S4-I：測站四潮間帶。

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

本研究整理

3.1.2 第二次(97 年 5 月)

第二次(97 年 5 月)四測站共 6 個測點的海水水質分析結果，如表 3-2 所示，本次各監測點之溫度介於 27.4~28.9℃，呈現明顯之區域性變化；鹽度介於 34.26~34.47psu；如同本研究第一次(3 月份)之相似分布特性。

第二次(97 年 5 月)各監測點之 pH 值介於 8.15~8.31，溶氧量介於 7.83~9.03mg/L，而溶氧飽和度則介於 121.0% ~138.5%，此結果與第一次(3 月份)相似，pH 及溶氧量均符合甲類海域海洋環境品質標準。

在水體營養鹽分析方面，第二次各監測點之硝酸鹽分析結果介於 0.007~0.017mg/L，亞硝酸鹽介於 0.002~0.003mg/L，磷酸鹽 0.001~0.005mg/L，氮氮介於 0.02~0.024mg/L，由成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港等地區之監測結果比較發現，磷酸鹽及氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氮氮)於兩不同海域檢測結果差異不大。

第二次各監測點之溶解性無機磷介於 0.03~0.17μM，其中，新蘭突堤測站中略高於成功離岸堤測站；溶解性無機氮介於 2.12~2.73μM，其中，成功離岸堤測站略高於新蘭突堤測站；至於氮磷比率介於 15~84，則以成功離岸堤測站略高於新蘭突堤測站。

第二次各監測點之濁度介於 0.93~3.29NTU；以區域性分布而言，濁度分析結果顯示成功離岸堤測站略高於新蘭突堤測站；而光照度分析結果介於 269~1278μmols⁻¹m⁻²之間，光照度則以新蘭突堤測站測站高於成功離岸堤。

表 3-2 第二次(97 年 5 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤附近之水質分析資料

測站	Temp. (°C)	Depth (cm)	Salinity (psu)	pH	Dissolved Oxygen (mg/L)	Oxygen Saturation (%)	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
May.25.2008															
S1-Sa(離岸堤)	27.5	300(300)	34.32	8.24	9.03	138.5	0.017	0.002	0.001	0.02	0.03	2.73	2.70	398	84
S1-Sb(離岸堤)	27.4	900(780)	34.26	8.25	8.89	136.0	0.011	0.002	0.001	0.02	0.03	2.69	2.26	269	83
S2-I(海堤)	27.6	0	34.34	8.15	8.36	128.4	0.011	0.002	0.004	0.02	0.13	2.47	3.29	1257	19
S3-I(突堤)	28.1	0	34.27	8.18	7.83	121.2	0.009	0.003	0.003	0.02	0.10	2.39	1.06	976	25
S3-S(突堤)	27.9	180(95)	34.30	8.18	7.84	121.0	0.007	0.003	0.002	0.02	0.06	2.12	0.93	754	33
S4-I(突堤)	28.9	0	34.47	8.31	8.80	138.2	0.007	0.003	0.005	0.02	0.17	2.46	1.66	1278	15

註一：S1-Sa：測站一潮下帶（0~3m），S1-Sb：測站一潮下帶（3~9m）。

S2-I：測站二潮間帶。

S3-I：測站三潮間帶，S3-S：測站三潮下帶。

S4-I：測站四潮間帶。

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

本研究整理

3.1.3 第三次(97 年 8 月)

第三次(97 年 8 月)四測站共 6 個測點的海水水質分析結果，如表 3-3 所示，本次各監測點之溫度介於 $27.6\sim 29.1^{\circ}\text{C}$ ，呈現明顯之區域性變化；鹽度介於 $33.18\sim 33.38\text{psu}$ ；如同本研究第一次(3 月份)之相似分布特性。

第三次(97 年 8 月)各監測點之 pH 值介於 $8.31\sim 8.38$ ，溶氧量介於 $7.52\sim 8.10\text{mg/L}$ ，而溶氧飽和度則介於 $116.4\% \sim 123.3\%$ ，此結果與第一次(3 月份)相似，pH 及溶氧量均符合甲類海域海洋環境品質標準。

在水體營養鹽分析方面，第三次各監測點之硝酸鹽分析結果介於 $0.007\sim 0.021\text{mg/L}$ ，亞硝酸鹽介於 $0.001\sim 0.002\text{mg/L}$ ，磷酸鹽介於 $0.002\sim 0.005\text{mg/L}$ ，氮氮介於 $0.01\sim 0.02\text{mg/L}$ ，由成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港等地區之監測結果比較發現，磷酸鹽及氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氮氮)於兩不同海域檢測結果差異不大。

第三次各監測點之溶解性無機磷介於 $0.06\sim 0.17\mu\text{M}$ ，其中，新蘭突堤測站中略高於成功離岸堤測站；溶解性無機氮介於 $0.99\sim 2.57\mu\text{M}$ ，其中，成功離岸堤測站略高於新蘭突堤測站；至於氮磷比率介於 $7\sim 40$ ，則亦以成功離岸堤測站略高於新蘭突堤測站。

第三次各監測點之濁度介於 $0.36\sim 4.50\text{NTU}$ ；以區域性分布而言，濁度分析結果顯示新蘭突堤測站略高於成功離岸堤測站；而光照度分析結果介於 $146\sim 5093\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間，光照度則以成功離岸堤測站高於新蘭突堤測站。

表 3-3 第三次(97 年 8 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭漁港突堤附近之水質分析資料

測站	Temp. (°C)	Depth (cm)	Salinity (psu)	pH	Dissolved Oxygen (mg/L)	Oxygen Saturation (%)	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
May.25.2008															
S1-Sa(離岸堤)	29.1	300(300)	33.21	8.33	7.52	117.6	0.007	0.001	0.002	0.01	0.06	0.99	0.71	5093	15
S1-Sb(離岸堤)	28.8	900(780)	33.19	8.33	7.70	119.8	0.007	0.001	0.002	0.01	0.06	1.03	0.36	2264	16
S2-I(海堤)	27.6	0	33.26	8.31	7.62	116.4	0.011	0.001	0.002	0.02	0.06	2.57	0.73	3290	40
S3-I(突堤)	28.7	0	33.33	8.34	7.83	121.8	0.021	0.002	0.004	0.01	0.11	2.26	0.86	272	20
S3-S(突堤)	28.7	150(100)	33.38	8.38	8.10	126.0	0.007	0.001	0.002	0.01	0.06	1.02	1.62	293	16
S4-I(突堤)	28.3	0	33.18	8.31	7.99	123.3	0.009	0.001	0.005	0.01	0.17	1.13	4.50	146	7

註一：S1-Sa：測站一潮下帶（0~3m），S1-Sb：測站一潮下帶（3~9m）。

S2-I：測站二潮間帶。

S3-I：測站三潮間帶，S3-S：測站三潮下帶。

S4-I：測站四潮間帶。

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

本研究整理

3.2 著生海藻調查結果

3.2.1.第一次(97 年 3 月)

1.藻種數量

第一次(97 年 3 月)的海藻調查成果如表 3-4 所示；本次調查共計觀察到 3 門 11 科 18 種海藻；包括：綠藻門 4 科 7 種、褐藻門 1 科 1 種及紅藻門 6 科 10 種。

本次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，各測站間覆蓋率介於 1.2%~14.75%，以成功離岸堤（測站一）之潮下帶 3 米深內的豐富度(14.75%)最高；其中，新港漁港北側之新港海堤、成功離岸堤之兩測站的豐富度（6.82%~14.75%）較高於新蘭漁港突堤之兩測站（1.2%~7.9%）。

第一次(97 年 3 月)的藻種數量，各測站介於 5~15 種，以成功離岸堤（測站一）之潮下帶 3 米深內的物種數(15 種)最高，其中，新蘭漁港南方突堤兩測站（測站三及測站四）的藻種數量（5~10 種）稍低於新港漁港北側之成功離岸堤及新港海堤兩測站（測站一及測站二）之（10~15 種）。另外，新港海堤（測站二）和新蘭漁港突堤南側（測站四），因退潮時全部露出水面，故無潮下帶區。

2.優勢藻種

在各測站中，本次並無極優勢藻種(覆蓋率高於 20%)，但綠藻門石蓴科的石蓴 (*Ulva lactuca*) 和孔石蓴 (*Ulva pertusa*) 為主要出現藻種，在新港漁港北側之成功離岸堤（測站一）及新港海堤（測站二）兩測站中，最高可達 10%，其次為紅藻門的珊瑚藻科的寬扁叉節藻(*Amphiroa dilatata*)，豐富度最高可介於 3%~3.5%。本次各測站間覆蓋率皆為不高，只介於 1.2%~14.75%。

第一次(97 年 3 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤之海藻著生照片如照片 3-3~照片 3-4 所示。

表 3-4 第一次 (97 年 3 月) 臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站之海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
	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
		0-3m	3-9m						
Chlorophyta 綠藻植物門									
Ulvaaceae 石莖科									
<i>Ulva lactuca</i> 石莖	-	0.2%	0%	10%	-	0.5%	0%	0.1%	-
<i>Ulva pertusa</i> 孔石莖	-	10%	1%	0.5%	-	0%	0.01%	0%	-
<i>Ulva intestinalis</i> 腸石莖	-	0%	0%	0%	-	0.2%	0%	0.3%	-
Caulerpacaeae 蕨藻科									
<i>Caulerpa peltata</i> 盾葉蕨藻	-	0.2%	0%	0.2%	-	0.5%	0%	0.1%	-
<i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>laete-virens</i> 棒形總狀蕨藻	-	0.2%	0.1%	0%	-	0%	0%	0%	-
Codiaceae 松藻科									
<i>Codium nanwanense</i> 南灣松藻	-	0.1%	0.1%	0%	-	0%	0%	0%	-
Halimedaceae 仙人掌藻科									
<i>Helimeda opuntia</i> 仙人掌藻	-	0.2%	0.5%	0.2%	-	0%	0.2%	0%	-
Phaeophyta 褐藻植物門									
Dictyotaceae 網地藻科									
<i>Padina australis</i> 南方圓扇藻	-	0.01%	0%	0.01%	-	0%	0.1%	0.2%	-
Rhodophyta 紅藻植物門									
Galaxauraceae 乳節藻科									
<i>Tricleocarpa fragilis</i> 白果胞藻	-	0.2%	0.01%	0.05%	-	0%	0.1%	0%	-

表 3-4 (續) 第一次 (97 年 3 月) 臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站之海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
	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
		0-3m	3-9m						
Halymeniaceae 海膜藻科									
<i>Yonagunia formosana</i> 臺灣盾果藻	-	0.01%	0%	0.01%	-	0.1%	0.1%	0%	-
Coralinaceae 珊瑚藻科									
<i>Amphiroa dilatata</i> 寬扁叉節藻	-	3.5%	3%	0%	-	3%	0.1%	0%	-
<i>Mesophyllum simulans</i> 木耳狀中葉藻	-	0.01%	1%	0%	-	1%	0.1%	0%	-
<i>Mastophora rosea</i> 寬珊瑚藻	-	0.01%	0.01%	0.01%	-	0.1%	0.01%	0%	-
<i>Lithothamnium</i> sp. 石枝藻屬未確定種	-	0.05%	0.5%	0.01%	-	2%	5%	0%	-
Peyssonneliaceae 耳殼藻科									
<i>Peyssonnelia conchicola</i> 木耳狀耳殼藻	-	0.05%	0.5%	0	-	0.5%	0.1%	0%	-
Gigartinales 杉藻科									
<i>Chondracanthus intermedius</i> 小杉藻	-	0%	0%	0.05%	-	0%	0%	0%	-
Rhodomelaceae 松節藻科									
<i>Bostrychia tenella</i> 柔弱捲枝藻	-	0%	0%	0%	-	0%	0%	0.5%	-
<i>Laurencia brongniartii</i> 紅羽凹頂藻	-	0.01%	0.1%	0%	-	0%	0%	0%	-
物種數	-	15	11	10	-	9	10	5	-
		15							
豐富度	-	14.75%	6.82%	11.04%	-	7.9%	5.82%	1.2%	-
		10.79%							

本研究整理。測站一潮下帶總豐富度為兩不同水深帶之平均。



97 年 3 月(石蓴與寬扁叉節藻，測站一：成功離岸堤)

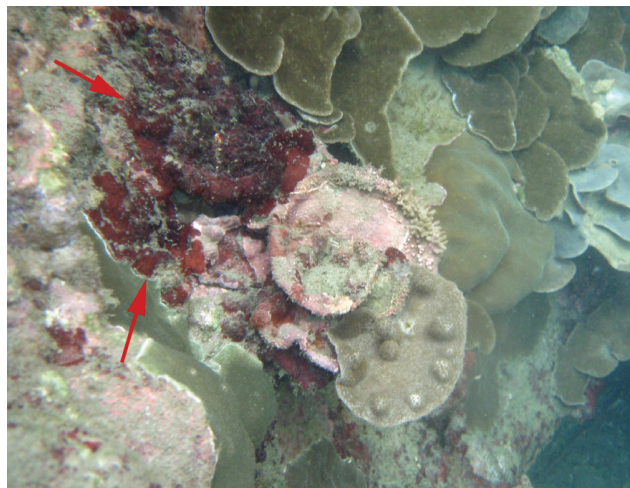


97 年 3 月(石蓴為主，測站二：新港海堤)

照片 3-3 成功離岸堤及新港海堤海藻著生照片（第一次）



97 年 3 月(寬扁叉節藻，測站三)



97 年 3 月(木耳狀耳殼藻，測站三)



97 年 3 月 (測站四)



97 年 3 月 (柔弱捲枝藻，測站四)

照片 3-4 新蘭突堤北側(測站三)及南側(測站三)海藻著生照片(第一次)

3.2.2 第二次 (97 年 5 月)

1. 藻種數量

第二次(97 年 5 月)的海藻調查成果如表 3-5 所示；本次調查共計觀察到 3 門 14 科 22 種海藻；其中，綠藻門 5 科 9 種、褐藻門 2 科 2 種、紅藻門 7 科 11 種。

第二次各測站間海藻豐富度(以各藻種覆蓋率百分比總合表示)和上一次比較之下，高出許多，各測站間覆蓋率介於 1.3%~52.41%，以臺東新港漁港北側之成功離岸堤（測站一）之潮下帶 3 米深內的豐富度(52.41%)最高；就區域而言，新港漁港北側之成功離岸堤及新港海堤之兩測站（測站一及測站二）的豐富度（11.5%~52.41%），高出於新蘭漁港南方突堤兩測站（測站三及測站四）的豐富度（1.3%~16.81%）許多。

在第二次(97 年 5 月)的藻種數量，各測站介於 4~19 種，以臺東成功離岸堤（測站一）之潮下帶 3 米深內的物種數(19 種)最高；就區域而言，新蘭漁港突堤兩測站的藻種數量（4~11 種）稍低於新港漁港北側之成功離岸堤及新港海堤之兩測站（14~19 種）。另外，新港海堤（測站二）和新蘭漁港突堤南側（測站四），因退潮時全部露出水面，故無潮下帶區。

2. 優勢藻種

本次的極優勢藻種(覆蓋率高於 20%)，主要為紅藻門珊瑚藻科的寬扁叉節藻(*Amphiroa dilatata*)，以新港漁港北側的成功離岸堤和新港海堤之兩測站中，豐富度最高可高達 25%（測站一，3 米水深內），而綠藻門石蓴科孔石蓴（*Ulva pertusa*）亦較上次為高，最高可達 15%。本次各測站間潮下帶覆蓋率明顯較上一次(3 月)高出許多，介於 16.81%~52.41%；而潮間帶的覆蓋率低了許多，介於 1.3~11.5%。

第二次(97 年 5 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤之海藻著生照片，如照片 3-5~照片 3-6 所示。

表 3-5 第二次(97 年 5 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站之海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
	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
		0-3m	3-9m						
Chlorophyta 綠藻植物門									
Ulvaceae 石蓴科									
<i>Ulva lactuca</i> 石蓴	-	0%	0%	8%	-	0.2%	0%	0.5%	-
<i>Ulva pertusa</i> 孔石蓴	-	15%	5%	0.1%	-	0%	0.1%	0%	-
<i>Ulva intestinalis</i> 腸石蓴	-	0%	0%	0%	-	0.1%	0%	0%	-
Caulerpaceae 蕨藻科									
<i>Caulerpa peltata</i> 盾葉蕨藻	-	0.4%	0.3%	0.1%	-	0%	0%	0%	-
<i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>laete-virens</i> 棒形總狀蕨藻	-	0.5%	0.1%	0.5%	-	0%	0%	0%	-
Valoniaceae 法囊藻科									
<i>Dictyosphaeria canernosa</i> 網球藻	-	0.1%	0%	0.1%	-	0.1%	0%	0%	-
Codiaceae 松藻科									
<i>Codium nanwanense</i> 南灣松藻	-	0.5%	0.2%	0.2%	-	0.1%	0%	0%	-
Halimedaceae 仙掌藻科									
<i>Helimeda discoidea</i> 盤狀仙掌藻	-	0.2%	0.1%	0.1%	-	0%	0.2%	0%	-
<i>Helimeda opuntia</i> 仙掌藻	-	5%	1%	0.5%	-	0.4%	0.5%	0%	-
Phaeophyta 褐藻植物門									
Dictyotaceae 網地藻科									
<i>Padina australis</i> 南方團扇藻	-	0.01%	0%	0.1%	-	0.2%	0.5%	0.1%	-
Sargassaceae 馬尾藻科									
<i>Sargassum cristaeifolium</i> 重緣馬尾藻	-	0.5%	0%	0.2%	-	0%	0%	0%	-

表 3-5(續) 第二次 (97 年 5 月) 臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站之海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
	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
		0-3m	3-9m						
Rhodophyta 紅藻植物門									
Galaxauraceae 乳節藻科									
<i>Tricleocarpa fragilis</i> 白果胞藻	-	0.5%	0.1%	0.1%	-	0%	0.1%	0%	-
Halymeniaceae 海膜藻科									
<i>Halymenia floresia</i> 海膜	-	0.1%	0%	0%	-	0%	0%	0%	-
<i>Yonagunia formosana</i> 臺灣盾果藻	-	0.5%	0.1%	0.3%	-	0.3%	0.21%	0%	-
Coralinaceae 珊瑚藻科									
<i>Amphiroa dilatata</i> 寬扁叉節藻	-	25%	9%	0.1%	-	2%	5%	0%	-
<i>Mesophyllum simulans</i> 木耳狀中葉藻	-	1%	1.5%	0.1%	-	0%	1.5%	0%	-
<i>Mastophora rosea</i> 寬珊瑚藻	-	0.5%	0.1%	0.2%	-	0%	0.2%	0%	-
<i>Lithothamnium</i> sp. 石枝藻屬未確定種	-	1%	0.5%	0.6%	-	2%	8%	0.5%	-
Gracilariaceae 龍鬚菜科									
<i>Gracilaria vieillardii</i> 齒葉龍鬚菜	-	0%	0%	0.1%	-	0%	0%	0%	-
Peyssonneliaceae 耳殼藻科									
<i>Peyssonnelia conchicola</i> 木耳狀耳殼藻	-	1%	0.5%	0.1%	-	0.2%	0.5%	0.2%	-
Rhizophyllidaceae 根葉藻科									
<i>Portieria hornemannii</i> 浪花藻	-	0.1%	0%	0%	-	0%	0%	0%	-
Rhodomelaceae 松節藻科									
<i>Laurencia brongniartii</i> 紅羽凹頂藻	-	0.5%	0.2%	0%	-	0%	0%	0%	-
物種數	-	19	14	18	-	10	11	4	-
總豐富度	-	52.41%	18.7%	11.5%	-	5.6%	16.81%	1.3%	-
		35.56%							

本研究整理。測站一潮下帶總豐富度為兩不同水深帶之平均。

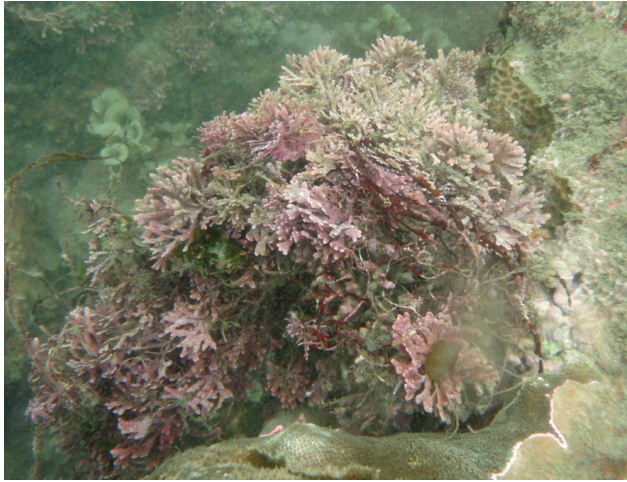


97 年 5 月(石蓴與寬扁叉節藻，測站一：成功離岸堤)



97 年 5 月(石蓴漸消失，測站二：新港海堤)

照片 3-5 成功離岸堤及新港海堤海藻著生照片（第二次）



97 年 5 月(寬扁叉節藻，測站三)



97 年 5 月(石枝藻屬之一種，測站三)



97 年 5 月 (測站四)



97 年 5 月 (測站四)

照片 3-6 新蘭突堤北側(測站三)及南側(測站四)海藻著生照片(第二次)

3.2.3 第三次 (97 年 8 月)

1. 藻種數量

第三次(97 年 8 月)的海藻調查成果如表 3-6 所示；本次調查共計觀察到 3 門 10 科 12 種海藻；其中，綠藻門 3 科 3 種、褐藻門 2 科 2 種、紅藻門 5 科 7 種。

第三次各測站間海藻豐富度(以各藻種覆蓋率百分比總合表示)和上一次比較之下，下降許多，各測站間覆蓋率介於 0.2%~8.1%，為本年度海藻覆蓋率最低的一次；其中，以臺東成功離岸堤（測站一）之潮下帶 3 米深內的豐富度為本次最高(8.1%)，而新蘭漁港突堤測站四得潮間帶最低，只出現覆蓋率微量的一種海藻（0.2%）許多。

在第三次(97 年 8 月)的藻種數量，各測站介於 1~9 種，以臺東成功離岸堤（測站一）之潮下帶 3 米深內的物種數(8 種)最高；就區域而言，新蘭漁港突堤兩測站的藻種數量（1~6 種）稍低於新港漁港北側的成功離岸堤及新港海堤之兩測站（5~8 種）。另外，新港海堤（測站二）和新蘭漁港突堤南側（測站四），因退潮時全部露出水面，故無潮下帶區。

2. 優勢藻種

在各測站中，第三次並未出現任何極優勢藻種(即覆蓋率高於 20% 以上)，而第三次主要出現藻種仍為紅藻門的珊瑚藻科的寬扁叉節藻(*Amphiroa dilatata*)，以成功離岸堤的測站一之豐富度最高 5%(測站一，3 米水深內)，而在第二次大量出現的綠藻門石莖科孔石莖(*Ulva pertusa*)，在本次已完全消失不見。本次各測站間潮下帶覆蓋率明顯較第二次下滑許多，介於 2.4~8.1%；而潮間帶的覆蓋率更低，只介於 0.2~2.7%。

第三次(97 年 8 月)成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤之海藻著生照片，如照片 3-7~照片 3-8 所示。

表 3-6 第三次(97 年 8 月)臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站之海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
	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
		0-3m	3-9m						
Chlorophyta 綠藻植物門									
Ulvaceae 石蓴科									
<i>Ulva lactuca</i> 石蓴	-	0.5%	0%	1.5%	-	0.1%	0%	0%	-
Caulerpacae 蕨藻科									
<i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>laete-virens</i> 棒形總狀蕨藻	-	0.1%	0%	0.2%	-	0%	0%	0%	-
Halimedaceae 仙人掌藻科									
<i>Helimeda opuntia</i> 仙人掌藻	-	0.2%	0.1%	0.1%	-	0%	0.1%	0%	-
Phaeophyta 褐藻植物門									
Dictyotaceae 網地藻科									
<i>Padina australis</i> 南方團扇藻	-	0%	0%	0.1%	-	0.1%	0%	0%	-
Sargassaceae 馬尾藻科									
<i>Sargassum cristaeifolium</i> 重緣馬尾藻	-	0.2%	0%	0%	-	0%	0%	0%	-

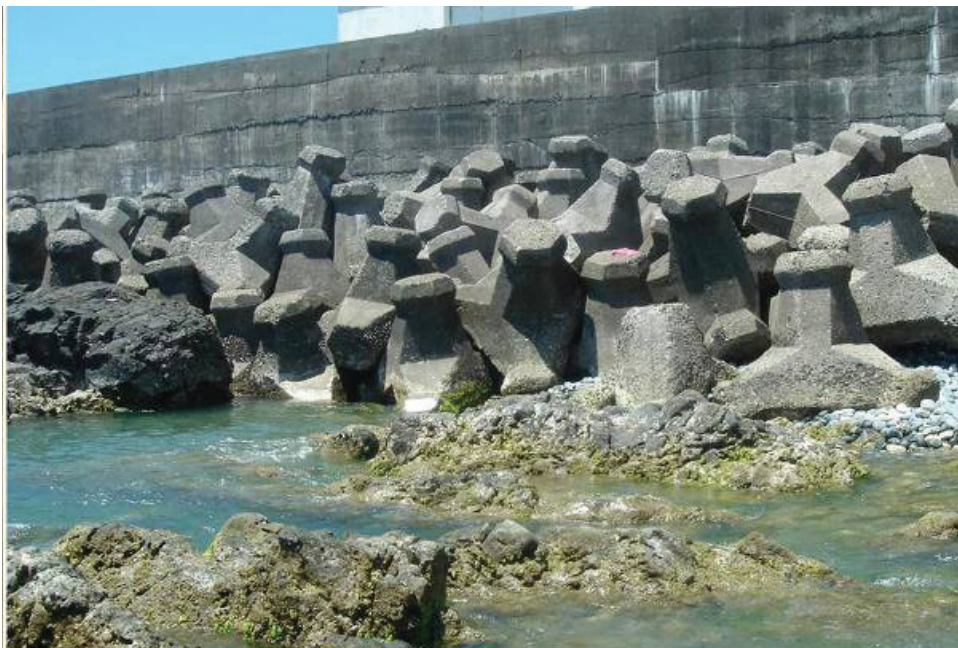
表 3-6(續) 第三次 (97 年 8 月) 臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站之海藻著生覆蓋率

海藻名錄 (學名及中文名)	成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
	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
		0-3m	3-9m						
Rhodophyta 紅藻植物門									
Galaxauraceae 乳節藻科									
<i>Tricleocarpa fragilis</i> 白果胞藻	-	0.1%	0%	0%	-	0%	0.1%	0%	-
Halymeniaceae 海膜藻科									
<i>Yonagunia formosana</i> 臺灣盾果藻	-	0%	0%	0.1%	-	0%	0.1%	0%	-
Coralinaceae 珊瑚藻科									
<i>Amphiroa dilatata</i> 寬扁叉節藻	-	5%	2%	0%	-	0.5%	0.5%	0%	-
<i>Mesophyllum simulans</i> 木耳狀中葉藻	-	0.5%	0.5%	0.1%	-	0%	0%	0%	-
<i>Lithothamnium</i> sp. 石枝藻屬未確定種	-	1%	0.2%	0.5%	-	1%	1.5%	0%	-
Peyssonneliaceae 耳殼藻科									
<i>Peyssonnelia conchicola</i> 木耳狀耳殼藻	-	0.5%	0.2%	0.1%	-	0.1%	0.1%	0%	-
Rhodomelaceae 松節藻科									
<i>Bostrychia tenella</i> 柔弱捲枝藻	-	0%	0%	0%	-	0%	0%	0.2%	-
物種數	-	9	5	8	-	5	6	1	-
		9							
總豐富度	-	8.1%	3%	2.7%	-	1.8%	2.4%	0.2%	-
		5.56%							

本研究整理。測站一潮下帶總豐富度為兩不同水深帶之平均



97 年 8 月(老化中的寬扁叉節藻，測站一：成功離岸堤)

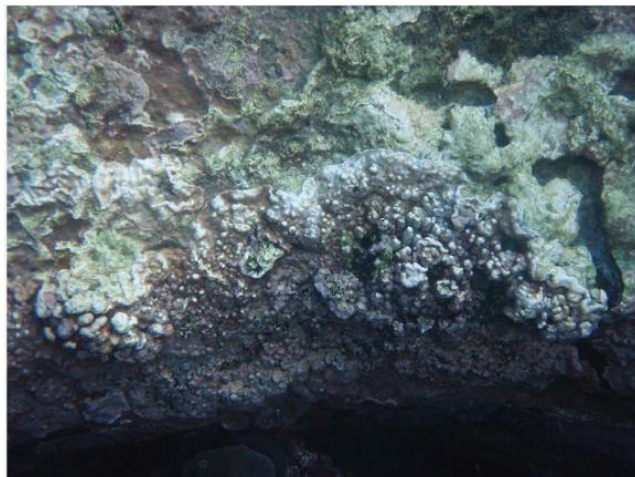


97 年 8 月(石蓴漸消失，測站二：新港海堤)

照片 3-7 成功離岸堤及新港海堤兩測站海藻著生照片(第三次)



97 年 8 月(測站三)



97 年 8 月(白化中的石枝藻，測站三)



97 年 8 月 (測站四)



97 年 8 月 (測站四)

照片 3-8 新蘭突堤北側(測站三)及南側(測站四)海藻著生照片(第三次)

第四章 海岸結構物海藻著生效果與環境相關性分析

為了解本研究於東部新港漁港北側離岸堤、海堤及新蘭漁港突堤南北兩側，所進行三次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、對象海藻及發展型態等之參考與依據。

4.1 海水水質環境分析

4.1.1 溫度與鹽度的季節性變化

依本研究於 97 年 3 月、5 月及 8 月共三次之調查結果(如表 3-1～表 3-3 所示)；就各監測點之溫度而言，第一次各監測點溫度介於 22.4～22.9℃ 之間，第二次介於 27.4～28.9℃ 之間，第三次介於 27.6～29.1℃ 之間。就各監測點鹽度而言，第一次各監測點鹽度介於 33.95～34.33 psu 之間，第二次各監測點之鹽度介於 34.26～34.47 psu 之間，第三次各監測點之鹽度介於 33.18～33.38 psu 之間；呈現明顯之季節性及區域性變化，屬於正常一般沿岸海水之範圍。

由於本研究調查區域周遭地理及河川、溝渠之分布，發現附近並無明顯之淡水輸入，初步研判本海域之溫、鹽度變化，可能主要受到潮流漲落之影響，使得溫、鹽度呈現區域性變化不明顯，主要呈現季節性變化。

4.1.2 pH 值與溶氧量的季節性變化

依本研究於 97 年 3 月、5 月及 8 月共三次之調查結果(如表 3-1～表 3-3 所示)；就各監測點 pH 值而言，第一次 pH 值介於 8.20～8.32 之間，溶氧量介於 7.47～8.43mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 104.8%～

119.5%之間；第二次 pH 值介於 8.15~8.31 之間，溶氧量介於 7.83~9.03 mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 121.0%~138.5%之間；第三次 pH 值介於 8.31~8.38 之間，溶氧量介於 7.52~8.10 mg/L 之間，而溶氧飽和度則介於 116.4%~123.3%之間。

整體而言，依環保署公告之臺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)測值應大於 5.0mg/L 以上。

4.1.3 水體營養鹽的季節性變化

依本研究於 97 年 3 月、5 月及 8 月共三次之調查結果(如表 3-1~表 3-3 所示)；第一次硝酸鹽分析結果介於 0.009~0.032mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.001~0.005mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.001~0.008mg/L 之間，氨氮介於 0.011~0.056mg/L 之間。第二次硝酸鹽分析結果介於 0.007~0.017mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.002~0.003mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.001~0.005mg/L，氨氮介於 0.020~0.024mg/L 間。第三次硝酸鹽分析結果介於 0.007~0.021mg/L 之間，亞硝酸鹽介於 0.001~0.002mg/L 之間，磷酸鹽介於 0.002~0.005mg/L，氨氮介於 0.020~0.020mg/L 間。由新港漁港及新蘭漁港兩地區海域之監測結果比較發現，磷酸鹽及氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮)於兩不同海域檢測結果，成功離岸堤測站相較於新蘭突堤測站，其水體中具較高之營養鹽，原因仍待進一步之調查分析。

進一步分析比較顯示，溶解性無機磷方面，第一次(3 月份)於成功離岸堤測站較高於新蘭突堤測站；第二次(5 月份) 成功離岸堤測站則相近於新蘭突堤測站；而第三次(5 月份)則成功離岸堤測站略低於新蘭突堤測站。溶解性無機氮方面，第一次(3 月份)於成功離岸堤測站較高於新蘭突堤測站；第二次(5 月份)及第三次(8 月份)，成功離岸堤測站則相近於新蘭突堤測站。氮磷比率 (N/P) 方面，第一次(3 月份) 成功

離岸堤測站（7~193）相近於新蘭突堤測站（14~186），第二次(5 月份) 成功離岸堤測站（19~84）略高於新蘭突堤測站（15~33），而第三次(8 月份) 與第二次時之趨勢相同，成功離岸堤測站（15~40）亦略高於新蘭突堤測站（7~20）。

由本研究共三次之各監測點之水體營養鹽 DIN 與 DIP 關係如圖 4-1 所示，監測結果比較發現，成功離岸堤測站及新蘭漁港突堤之測站測值皆接近理論值(16)，顯示為正常海域之 N/P 比。(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」；反之，若水質中氮：磷比值高於 16，則磷為限制藻類生長的營養鹽因子，簡稱「磷限」)。

另由光照度與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DIN、DIP、N/P ratio 之相關性，如圖 4-2 所示，其中，第三次由於採集新蘭突堤測站時天氣突然轉陰，因此有關新蘭突堤及成功離岸堤、新港海堤之光照度差異，主要受當日天氣變化影響，故不予討論。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，其中第二次光照度與 N/P ratio 呈顯著負相關性，反之，兩次光照度與 DIP 均呈顯著正相關性，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，唯目前資料量在統計分析時仍顯不足，大多僅有觀察其大致之趨勢，詳細情況有待資料量充分時進一步探討以說明相關性是否顯著。

4.1.4 濁度與光照度的季節性變化

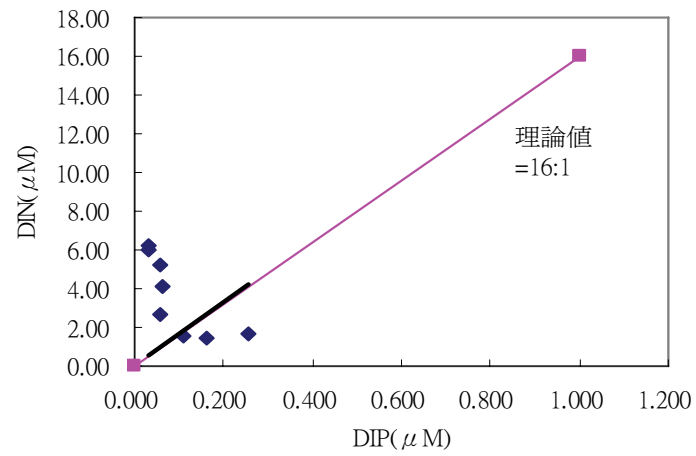
依本研究於 97 年 3 月、5 月及 8 月共三次之調查結果(如表 3-1～表 3-3 所示)；第一次(3 月份)各監測點之濁度介於 0.51～1.37NTU，以區域性而言，成功離岸堤測站較高於新蘭突堤測站；而各監測點光照度之分析結果，介於 $21 \sim 398 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ ，光照度則以成功離岸堤測站附近海域測值較高。

第二次各監測點之濁度介於 0.93～3.29NTU；以區域性分布而言，濁度分析結果顯示成功離岸堤測站略高於新蘭突堤測站；而光照度分析結果介於 $269 \sim 1278 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間，光照度以新蘭突堤測站略高於成功離岸堤測站。

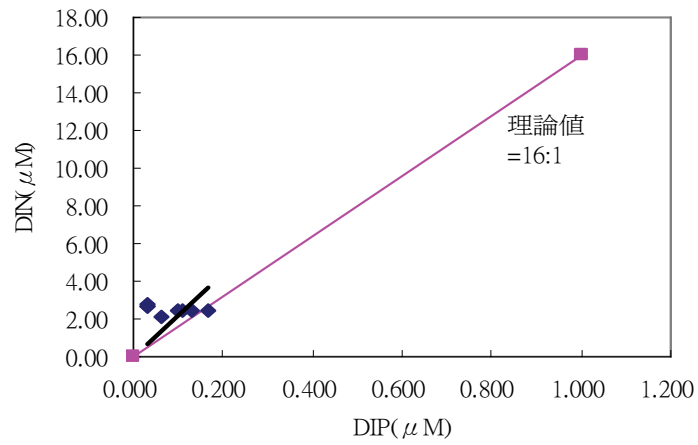
第三次各監測點之濁度介於 0.36～4.50NTU；以區域性分布而言，濁度分析結果顯示新蘭突堤測站略高於成功離岸堤測站；而光照度分析結果介於 $146 \sim 5093 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間，光照度以成功離岸堤測站高於新蘭突堤測站，而由於第三次採集新蘭突堤測站時天氣突然轉陰，因此光照度之差異主要受當日天氣變化影響。

進一步分析比較顯示，濁度測值方面，第一次(3 月份)及第二次(5 月份)，成功離岸堤測站均較高於新蘭突堤測站，而第三次(8 月份)則以新蘭突堤測站較高於成功離岸堤測站。

(a)第一次 (3 月份)



(b)第二次 (5 月份)



(c)第三次 (8 月份)

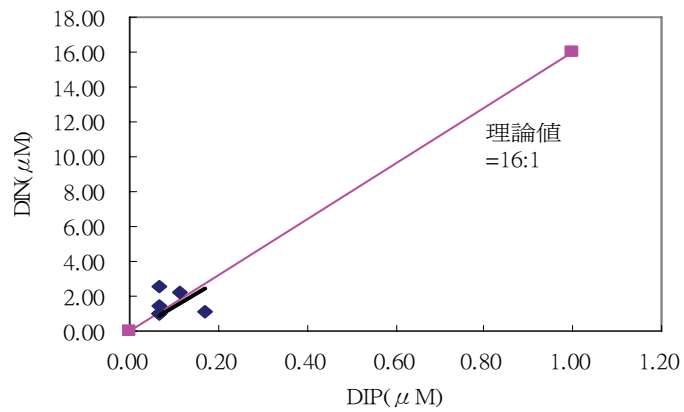
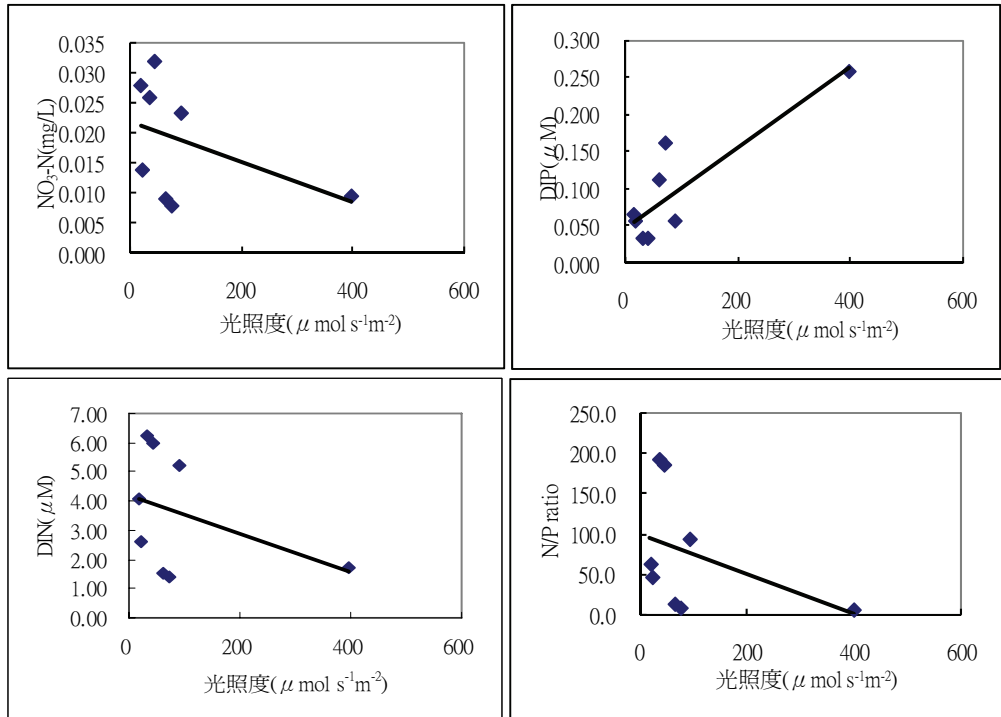


圖 4-1 各監測點水體營養鹽 DIN 與 DIP 關係圖

(a)第一次 (3 月份)



(b)第二次 (5 月份)

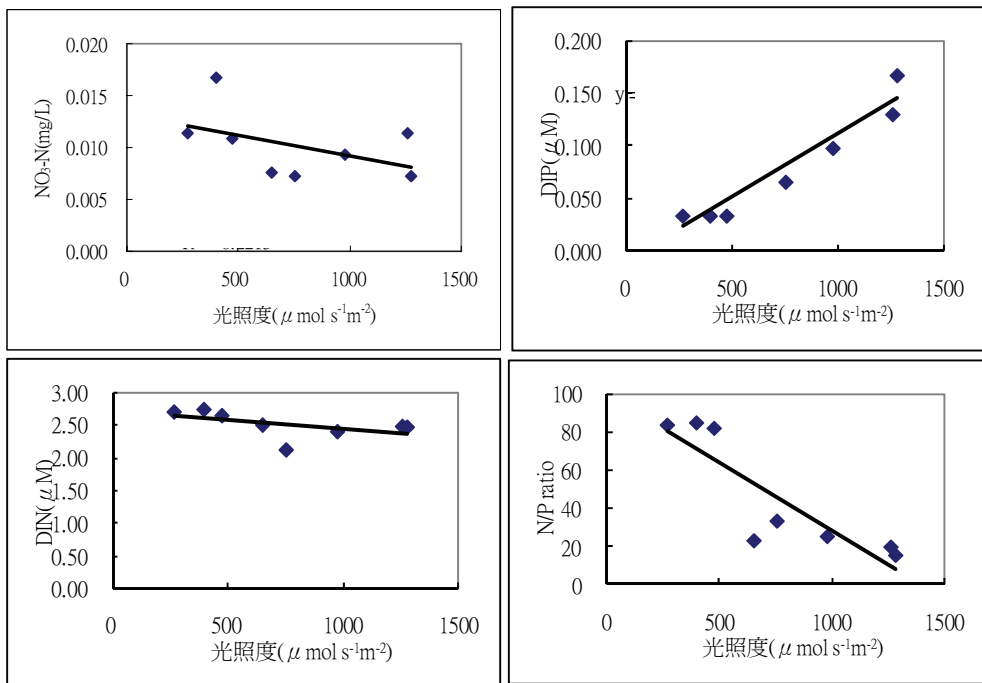


圖 4-2 各監測點水體 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DIN、DIP、N/P ratio 與光照度相關性，
(a)第一次 (3 月) (b)第二次 (5 月)

4.2 海藻著生分析

4.2.1 優勢種和藻種的季節性變化分析

整體而言，本年度三次（3 月、5 月及 8 月）調查共計發現有 24 種海藻著生於離岸堤、海堤和突堤的人工結構物上，分別歸屬於綠藻門 5 科（9 種）、褐藻門 2 科（2 種）和紅藻門 7 科（13 種），本研究三次四測站各次豐富度（以各藻種覆蓋率百分比總合）及物種數比較如圖 4-3 及圖 4-4 所示（其中測站一之豐富度為潮下帶 0-3m 及 3-9m 之平均值），三次四測站紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度之比例，如圖 4-5 及圖 4-7 所示。

在優勢種方面，第一次（3 月份）各測站並無絕對優勢藻種出現，但綠藻門石莖科的石莖（*Ulva lactuca*）和孔石莖（*Ulva pertusa*）為主要出現藻種。第二次各測站的極優勢藻種（覆蓋率高於 20%），主要為紅藻門珊瑚藻科之寬扁叉節藻（*Amphiroa dilatata*），在成功離岸堤測站之豐富度最高達 25%。大體上，第二次各測站之潮下帶種類數目及覆蓋率皆大於潮間帶；一般之潮下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。至於第三次各測站之潮下帶種類數目及覆蓋率，稍大於潮間帶且無絕對優勢藻種出現。

此外，由於調查樣區係位於離岸堤、海堤及突堤附近海域，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。以本次調查的石莖科中的石莖屬（*Ulva*）為例，此類藻類多生長在浪濤衝擊處，因此在臺灣周遭海域，常見於風浪較大的東北角及西南沿海一帶（黃，2000；林等人，2004）。

本年度三次之調查，在第一次（3 月份）調查中，各測站豐富度（1.2~14.75%）及物種數（5~15 種）皆不是太高，以臺東成功離岸堤測

站一之潮下帶 3 米深內的物種數(15 種)最高，其中新蘭漁港突堤南北兩測站的物種數（5~10 種）低於成功離岸堤及新港海堤兩測站（10~15 種）。值得注意的是，新港海堤（測站二）和新蘭漁港南突堤南側（測站四），因退潮時全部露出水面，故無潮下帶區。

在第二次（5 月份）的調查中，以臺東成功離岸堤測站一之潮下帶 3 米深內的物種數(19 種)最高、次為新港海堤測站二之潮間帶(18 種)；而新蘭漁港突堤測站三及測站四僅為 4~11 種。在第二次與第一次相較之下，同樣的是新港海堤（測站二）和新蘭漁港突堤南側（測站四），因退潮時全部露出水面，故無潮下帶區。

在第三次（8 月份）的調查中，以臺東成功離岸堤測站一之潮下帶 3 米深內的物種數(9 種)最高、次為新港海堤測站二之潮間帶(8 種)；而新蘭漁港突堤測站三及測站四僅為 1~6 種。在第三次與前兩次相較之下，同樣的是新港海堤（測站二）和新蘭漁港突堤南側（測站四），因退潮時全部露出水面，故無潮下帶區。

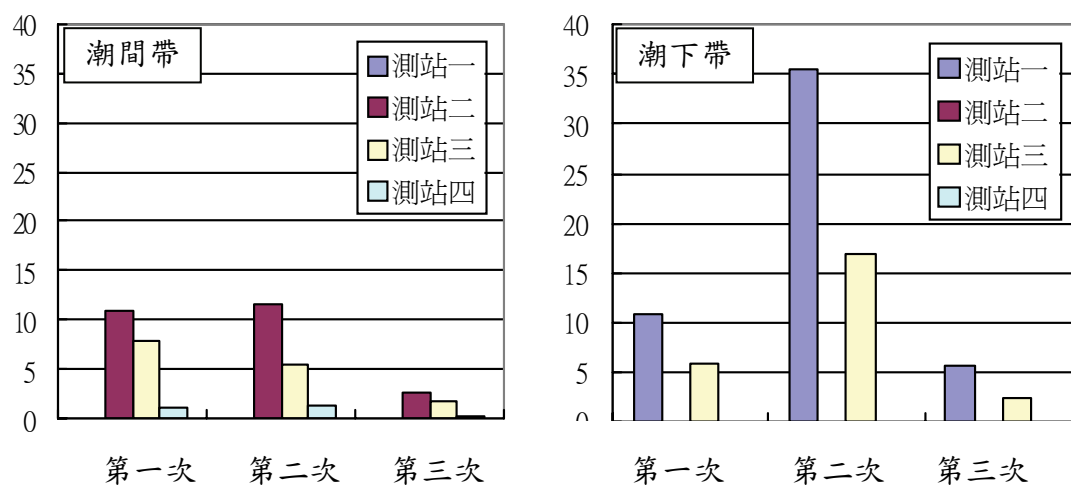


圖 4-3 本研究四測站各次豐富度比較圖 (%)

(測站一潮下帶之豐富度為 0-3m 及 3-9m 之平均值)

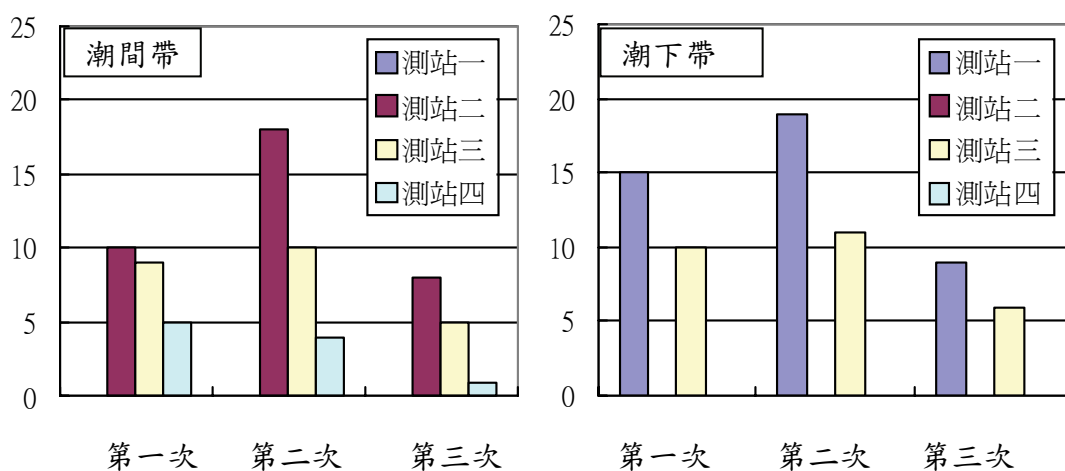


圖 4-4 本研究四測站各次物種數比較圖

(測站一潮下帶之物種數為 0-3m 及 3-9m 之最多者)

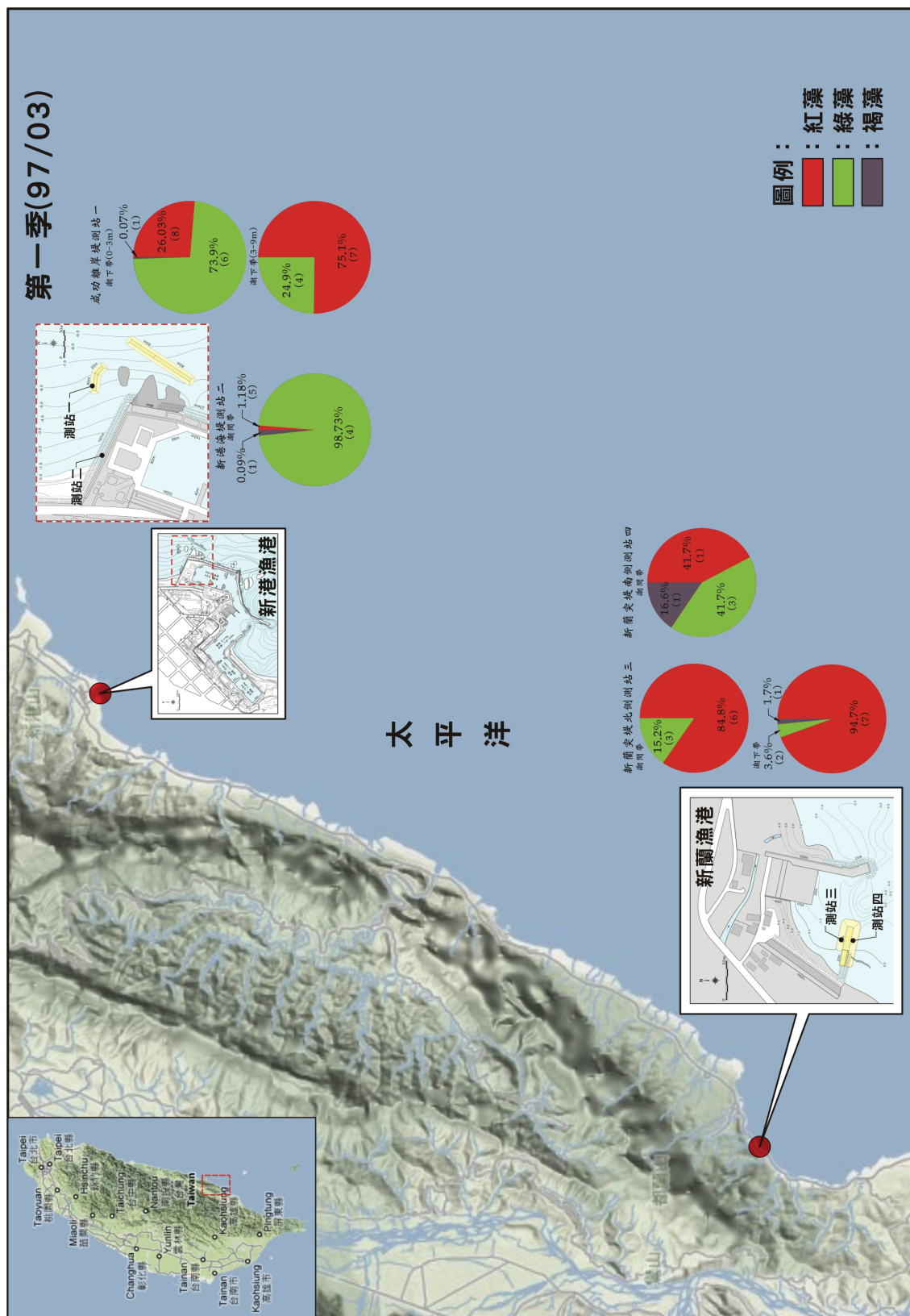


圖 4-5 四測站紅藻、綠藻及褐藻豐富度之比例(第一次)

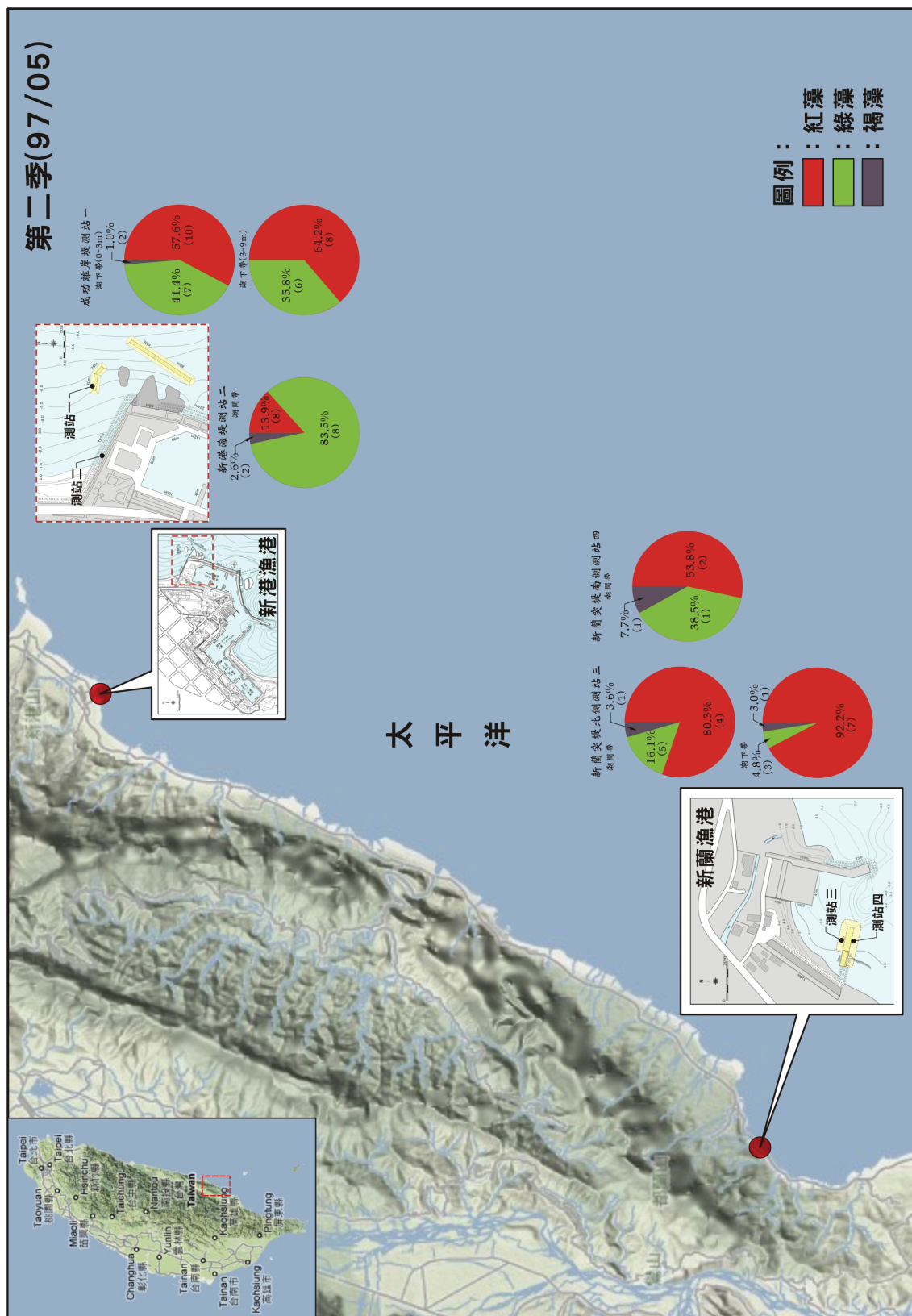
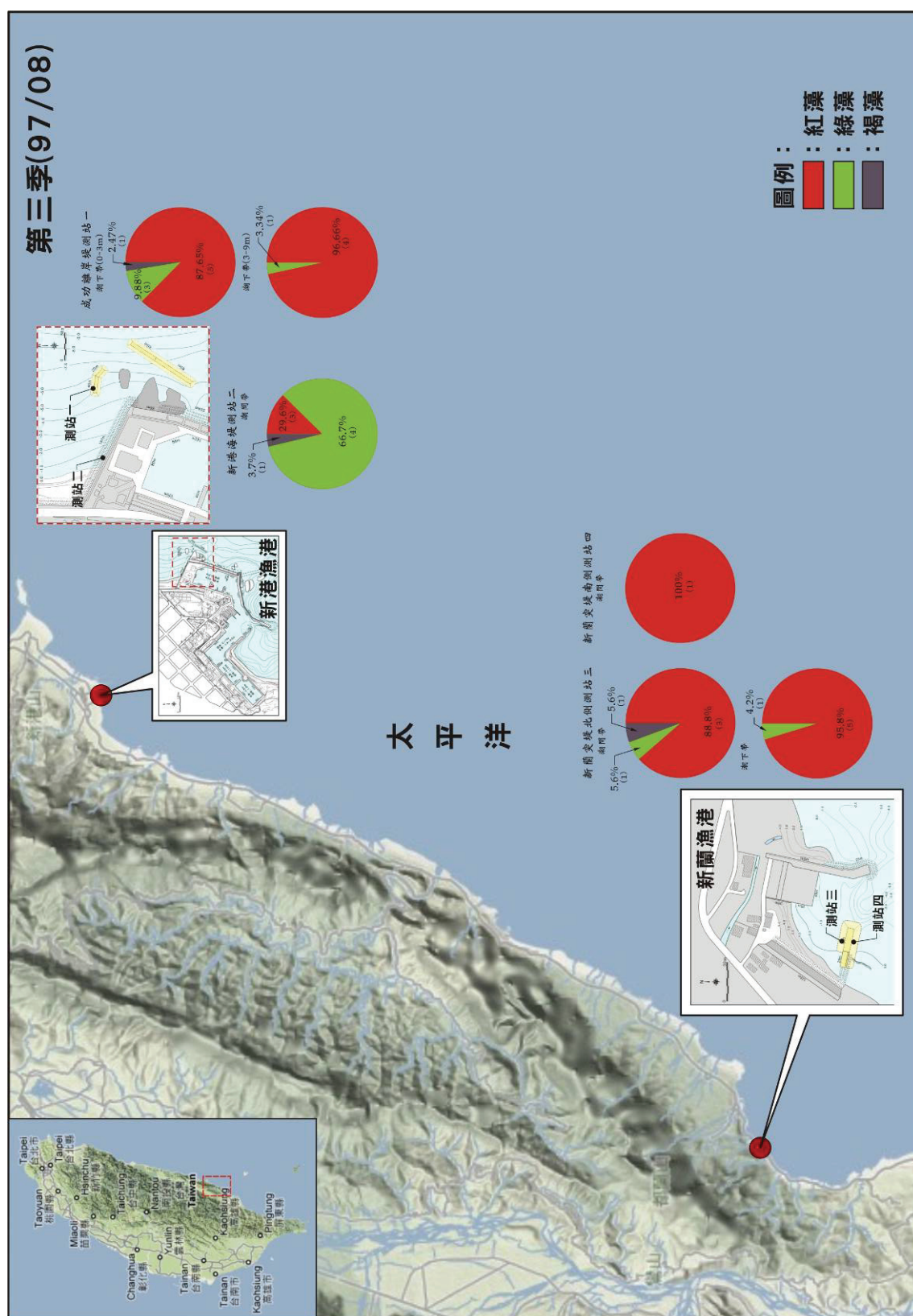


圖 4-6 四測站紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度之比例(第二次)



4.2.2 海藻種類季節性變化與相似度分析

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 $CZ = [2C \div (A+B)] \times 100\%$ ，以兩測站為例，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. 第一次(3 月份)

第一次(3 月份)的海藻調查在相似性分析 (CZ)，如表 4-1 所示。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，在各潮間帶測站之間相互比較之外，相似性介於 40%~52% 之間，各測站間的值相差不太大。相較之下，潮下帶各測站之間比較部分，以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內和測站一之水下 3~9 米深的藻種組成相似性最高 (CZ = 84.62%)，其次為成功離岸堤測站一之水下 3 米深內與新蘭突堤之測站三 (CZ = 80%)，而最小為成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深與新蘭突堤之測站三 (CZ = 76.19%)。由此可見，在東部海域新港漁港與新蘭漁港雖相隔有一段距離，但潮下帶藻種組成相似性還算頗高，推測可能與受到黑潮洋流影響分佈所致，故藻種組成較相似。

另外，各測站的潮間帶與潮下帶比較之下，藻種相似性介於 0%~72% 之間，以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內與新港海堤測站二之相似度最高 (CZ 為 72%)，但成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深與新蘭突堤之測站四，則沒有任何共有相同出現藻種 (CZ 為 0%)。

2. 第二次 (5 月份)

第一次(5 月份)的海藻調查在相似性分析 (CZ)，如表 4-2 所示。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，各潮間帶測站之間的相似性，與第一次相較之下，新港海堤測站二與新蘭漁港測站三的相似性有升高至 64.29%，而新蘭漁港測站三和測站四的值亦稍增加為 57.14%，然而新港海堤測站二與新蘭突堤測站四的

相似性陡降至 17.39%，推測可能與新蘭突堤測站四之消波塊擺設的位置較高，浸泡在海水的時間不長，故其擺設位置之水深較不利於海藻之生長所至。

相較之下，潮下帶各測站之間比較部分，各測站與上一次相較之下，變化皆不大，仍以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內和測站一之水下 3~9 米深內的藻種組成相似性最高（CZ = 84.85%），其次為成功離岸堤測站一之水下 3 米深內與新蘭突堤測站三（CZ = 73.33%），而最小為成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深與新港突堤測站三（CZ = 66.67%）。由此可見，在東部新港漁港與新蘭漁港之海域，雖相隔有一段距離，但潮下帶藻種組成相似性還算頗高，推測可能與受到黑潮洋流影響分佈所致，故藻種組成較相似。

另外，各測站的潮間帶與潮下帶比較上，各測站與第一次相較之下，出現一些明顯變化，藻種相似性介於 17.39%~86.49%之間，但仍以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內與新港海堤測站二之相似性最高（CZ 為 86.49%），但成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深與新蘭突堤測站四的藻種相似性則有稍微之提昇（CZ = 17.39%）。

3.第三次（8 月份）

第三次(8 月份)的海藻調查在相似性分析（CZ），如表 4-3 所示。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，各潮間帶測站之間的相似性，與第二次相較之下，為變化不大的情形，新港海堤測站二與新蘭突堤測站三之相似性，稍下跌至 71.42%。新蘭突堤測站四和其它各測站的值皆為 0%，推測可能與新蘭突堤測站四的消波塊擺設之位置較高，浸泡在海水的時間不長，故其擺設位置之水深，較不利於海藻之生長所至。

相較之下，潮下帶各測站之間比較部分，各測站與第二次相較之下，亦變化不大，以成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深內與新蘭突堤測站三之相似度為最高（CZ = 80.00%）。成功離岸堤測站一之水下 3 米深內和水下 3-9 米深內的藻種組成相似性，和成功離岸堤測站一之水

下 3 米深與新蘭突堤測站三的藻種組成相似性一致 (CZ =71.42%)。由此可見，在東部新港漁港與新蘭漁港之海域，雖相隔有一段距離，但潮下帶藻種組成相似性還算頗高，推測可能與受到黑潮洋流影響分佈所致，故藻種組成較為相似。

另外，各測站的潮間帶與潮下帶比較上，各測站與第二次相較之下，出現相似的變化不大的情形。除了新蘭突堤測站四和其它各測站的值皆為 0%之外，藻種相似性介於 57.14%~76.92%之間，以新港海堤測站二與新蘭突堤測站三之藻種組成相似性最高 (CZ=76.92%)。

4.三次之比較

整體而言，本年度三次（3 月、5 月及 8 月）之調查，在藻種相似性 (CZ) 比較上（詳表 4-1~表 4-3 所示），依本研究實測調查資料觀察到一個趨勢，即成功離岸堤與新港海堤之測站一與測站二的藻種組成相似度上較為接近，但是潮下帶藻種組成相似性在不同測站之間還算頗高，推測可能與臺東海域受到黑潮洋流影響分佈所致，藻種組成較相似。然而，新蘭突堤測站四與其它各測站之間的藻種組成相似性皆不高，推測可能與新蘭突堤測站四的消波塊擺設之位置較高，浸泡在海水的時間不長，故其擺設位置之水深較不利海藻生長所至。

表 4-1 3 月成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站海岸結構物大型海藻著生之相似性率(CZ similarity)

區位別			成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
			測站一			測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶 0-3m	潮下帶 3-9m	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
成功 離岸堤	測站一	潮間帶									
		潮下帶 0-3m									
		潮下帶 3-9m		84.62%	-						
新港 海堤	測站二	潮間帶		72%	47.62%	-					
		潮下帶									
新蘭突 堤北側	測站三	潮間帶		66.67%	50%	52.63%	-				
		潮下帶		80%	76.19%	70%		63.16%	-		
新蘭突 堤南側	測站四	潮間帶		30%	0%	40%		42.86%	6.67%	-	
		潮下帶									

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下帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 4-2 5 月成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站海岸結構物大型海藻著生之相似性率(CZ similarity)

區位別			成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
			測站一			測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶 0-3m	潮下帶 3-9m	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
成功 離岸堤	測站一	潮間帶									
		潮下帶 0-3m									
		潮下帶 3-9m		84.85%	-						
新港 海堤	測站二	潮間帶		86.49%	70.27%	-					
		潮下帶									
新蘭突 堤北側	測站三	潮間帶		55.17%	41.38%	64.29%	-				
		潮下帶		73.33%	66.67%	73.33%		57.14%	-		
新蘭突 堤南側	測站四	潮間帶		26.09%	17.39%	17.39%		57.14%	40%	-	
		潮下帶									

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下帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 4-3 8 月成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤各測站海岸結構物大型海藻著生之相似性率(CZ similarity)

區位別			成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
			測站一			測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶 0-3m	潮下帶 3-9m	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
成功 離岸堤	測站一	潮間帶									
		潮下帶 0-3m									
		潮下帶 3-9m		71.42%	-						
新港 海堤	測站二	潮間帶		70.58%	61.54%	-					
		潮下帶									
新蘭突 堤北側	測站三	潮間帶		57.14%	60.00%	61.54%	-				
		潮下帶		71.42%	80.00%	76.92%		60.00%	-		
新蘭突 堤南側	測站四	潮間帶		0%	0%	0%		0%	0%	-	
		潮下帶									

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下帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

4.2.3 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)。 $PS=[C \div (A+B-C)] \times 100\%$ ，以兩測站為例，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. 第一次(3 月份)

第一次(3 月份)的海藻調查之共有種率分析 (PS)，如表 4-4 所示；在潮間帶部分，在各潮間帶測站之間相互比較之下，藻種共有種率介於 25%~35.71%之間，各測站間的值相差不太大。在潮下帶部分，以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內和測站一之水下 3~9 米深的藻種共有種率最高 (PS = 73.33%)，其次為成功離岸堤測站一之水下 3 米深內與新蘭突堤測站三 (PS = 66.67%) 之間，最低為成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深與新蘭突堤測站三 (PS = 61.54%)。

另外，各測站的潮間與潮下帶比較上，變化頗大，以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內和新港海堤測站二之藻種共有種率最高 (PS = 56.25%)，最後為成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深與新蘭突堤測站四 (PS 皆為 0%，即沒享有共同的種類)。

2. 第二次 (5 月份)

第二次(5 月份)的海藻調查之共有種率分析 (PS)，如表 4-5 所示。在潮間帶部分，在各潮間帶測站之間相互比較之下，藻種共有種率介於 22.22%~47.37%之間，各測站間的值相差不太大，但與第一次的分析結果比較之下，稍有提昇。在潮下帶部分，與第一次的分析結果比較之下，大致雷同，藻種共有種率介於 57.89%~73.68%之間，仍以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內和測站一之水下 3~9 米深的藻種共有種率最高 (PS = 73.68%)。

另外，各測站的潮間帶與潮下帶之比較，與第一次的分析結果相比較之下，藻種共有種率大致有提高現象，介於 12.5%~76.19%之間，仍以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內與新港海堤測站二之間最高(PS = 76.19%)，而且成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深與新蘭突堤測站四之藻種相似性有稍微提昇 (PS = 12.50%)。

3.第三次 (8 月份)

第三次(8 月份)的海藻調查之共有種率分析 (PS)，如表 4-6 所示。在潮間帶部分，除了新蘭突堤測站四與新港突堤測站二、新蘭突堤測站三之值皆為 0%之外，而新港突堤測站二和新蘭突堤測站三之共有種率為 44.44%之間，與第二次的分析結果比較之下，有稍為下滑的局面。

在潮下帶部分，與第二次的分析結果相比較之下，趨勢大致雷同，藻種共有種率介於 55.55~66.67%之間，以新蘭突堤測站三之潮下帶與成功離岸堤測站一之水下 3-9 米深的藻種共有種率最高 (PS = 66.67%)。

另外，各測站的潮間與潮下帶比較上，除了新蘭突堤測站四與新港突堤測站二、新蘭突堤測站三之值皆為 0%之外，與第二次的分析結果比較之下，因成功離岸堤測站一與新港海堤測站二的藻種數有大量下降情形，使得成功離岸堤與新港海堤兩測站之共有種率有下滑情形，其餘各測站的共有種率介於 40.0%~62.5%之間，以新港海堤測站二與新蘭突堤測站三潮下帶之共有種率為最高 (PS = 62.5%)。

4.海藻種類季節性變化與共有種率分析

整體而言，本年度三次 (3 月、5 月及 8 月) 之調查，在藻種共有種率 (PS) 比較上 (詳表 4-4~表 4-6 所示)，與藻種相似性 (CZ) 比較上大致雷同。在前二次，因成功離岸堤與新港海堤之測站一與測站二的藻種組成相似度上較為接近，所以藻種共有種率亦高；但在第三次，因成功離岸堤與新港海堤之測站一及測站二的藻種數有大量下降情形，使得成功離岸堤與新港海堤之測站一與測站二的藻種組成相似

度，較新蘭突堤測站三之潮下帶與成功離岸堤與新港海堤的藻種組成相似度為低一些。然而，因潮下帶藻種組成相似性在不同測站之間還算頗高，藻種組成較相似，所以藻種共有種率在潮下帶各測站比較沒有明顯的變化。

另由於新蘭突堤測站四與其它各測站之間的藻種組成相似性皆不高，推測可能與新蘭突堤測站四之消波塊所擺設的位置較高，浸泡在海水的時間不長，故其擺設位置之水深，較不利海藻生長所致，所以藻種共有種率與其它各測站相較之下，明顯較低。

表 4-4 第一次成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤海岸結構物大型海藻著生之共有種率分析(PS similarity)

區位別			成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
			測站一			測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶 0-3m	潮下帶 3-9m	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
成功 離岸堤	測站一	潮間帶									
		潮下帶 0-3m									
		潮下帶 3-9m		73.33%	-						
新港 海堤	測站二	潮間帶		56.25%	31.25%	-					
		潮下帶									
新蘭突 堤北側	測站三	潮間帶		50%	33.33%	35.71%	-				
		潮下帶		66.67%	61.54%	53.85%		46.15%	-		
新蘭突 堤南側	測站四	潮間帶		17.65%	0%	25%		27.27%	7.14%	-	
		潮下帶									

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下帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 4-5 第二次成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤海岸結構物大型海藻著生之共有種率分析(PS similarty)

區位別			成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
			測站一			測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶 0-3m	潮下帶 3-9m	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
成功 離岸堤	測站一	潮間帶									
		潮下帶 0-3m									
		潮下帶 3-9m		73.68%	-						
新港 海堤	測站二	潮間帶		76.19%	68.42%	-					
		潮下帶									
新蘭突 堤北側	測站三	潮間帶		38.10%	33.33%	<u>47.37%</u>	-				
		潮下帶		57.89%	66.67%	61.11%		40%	-		
新蘭突 堤南側	測站四	潮間帶		15%	12.5%	<u>22.22%</u>		<u>40%</u>	25%	-	
		潮下帶									

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下帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

表 4-6 第三次成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤海岸結構物大型海藻著生之共有種率分析(PS similarty)

區位別			成功離岸堤			新港海堤		新蘭突堤北側		新蘭突堤南側	
			測站一			測站二		測站三		測站四	
			潮間帶	潮下帶 0-3m	潮下帶 3-9m	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶	潮間帶	潮下帶
成功 離岸堤	測站一	潮間帶									
		潮下帶 0-3m									
		潮下帶 3-9m		55.56%	-						
新港 海堤	測站二	潮間帶		54.54%	44.44%	-					
		潮下帶									
新蘭突 堤北側	測站三	潮間帶		40.00%	42.86%	44.44%	-				
		潮下帶		55.55%	66.67%	62.50%	42.86%		-		
新蘭突 堤南側	測站四	潮間帶		0%	0%	0%		0%	0%	-	
		潮下帶									

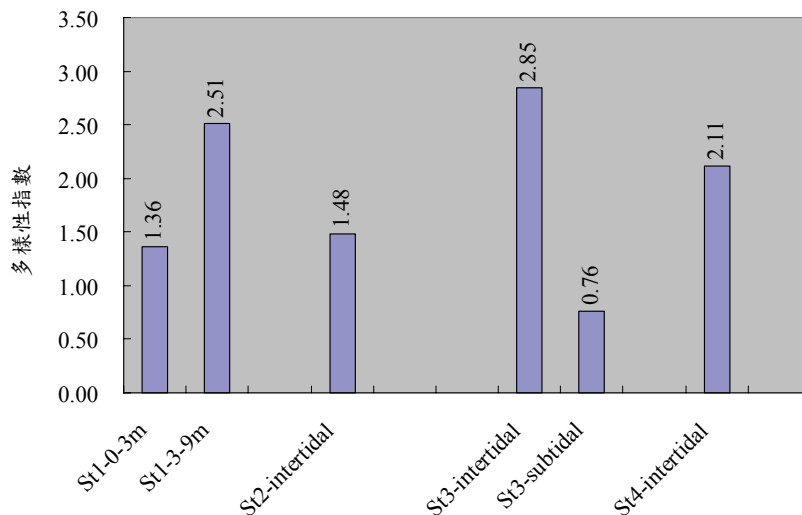
註：標粗斜體底線者之為各測站潮間帶間相互比較之數值；標方框者為各測站間潮下帶相互比較之數值；未標示者為各測站間潮間帶與潮下帶相互比較之數值。

4.2.4 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. 第一次(3 月份)

第一次(3 月份)的海藻調查，本研究以多樣性指數分析 (Species diversity index analysis) 的多樣性指數(Species diversity index, H')，如圖 4-8 所示。依潮間帶間各測站海藻多樣性指數介於 1.48~2.85 之間，其中以新蘭突堤測站三之海藻多樣性指數最高($H' = 2.85$)，而新港海堤測站二最低($H' = 1.48$)。潮下帶各測站間相互比較，成功離岸堤測站一之水下 3~9 米深的海藻多樣性指數最高($H' = 2.51$)，而新蘭突堤測站三潮下帶之海藻多樣性指數最低($H' = 0.76$)。各測站間潮間帶與潮下帶多樣性綜合比較，以新蘭突堤測站三潮間帶之多樣性指數最高($H' = 2.85$)，而新蘭突堤測站三之海藻多樣性指數最低($H' = 0.76$)。



註: 1 St1-0-3m: 測站一潮下帶(0-3m), St1-3-9mSubtidal: 測站一潮下帶(3-9m)。

St2-Intertidal: 測站二潮間帶。

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

St4-Intertidal: 測站四潮間帶。

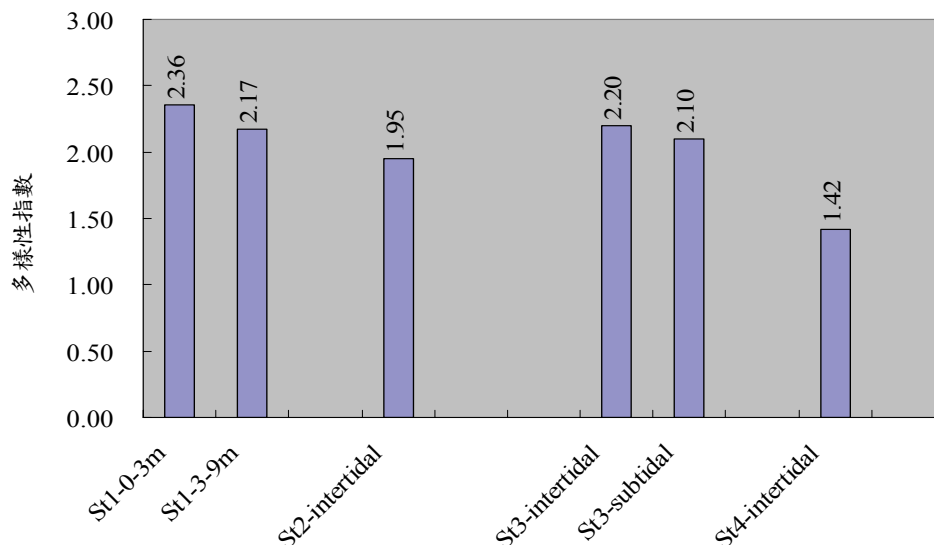
2. 數值愈高代表該測站多樣性愈高。或各藻種的分佈愈均勻。

圖 4-8 第一次 (3 月份) 各測站 Shannon 多樣性指數分佈圖

2.第二次（5 月份）

第二次(5 月份)的海藻調查之多樣性指數分析結果，如圖 4-9 所示。潮間帶間各測站海藻多樣性指數介於 1.42~2.20 之間，與第一次相較之下，變化不大；其中，以新蘭突堤測站三之海藻多樣性指數最高($H' = 2.20$)，而新蘭突堤測站四之潮間帶最低($H' = 1.42$)。

潮下帶各測站間相互比較，成功離岸堤測站一水下之 3 米深內的海藻多樣性指數，有明顯增高且為第二次之最高測站($H' = 2.36$)，而新蘭突堤測站三之潮下帶海藻多樣性指數亦有明顯增高($H' = 2.10$)。各測站間潮間帶與潮下帶多樣性綜合比較，以成功離岸堤測站一之水下 3 米深內的多樣性指數最高($H' = 2.36$)，而新蘭突堤測站四潮間帶之海藻多樣性指數為最低($H' = 1.42$)。



註: 1 St1-0-3m：測站一潮下帶(0-3m)，St1-3-9mSubtidal：測站一潮下帶(3-9m)。

St2-Intertidal：測站二潮間帶。

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

St4-Intertidal：測站四潮間帶。

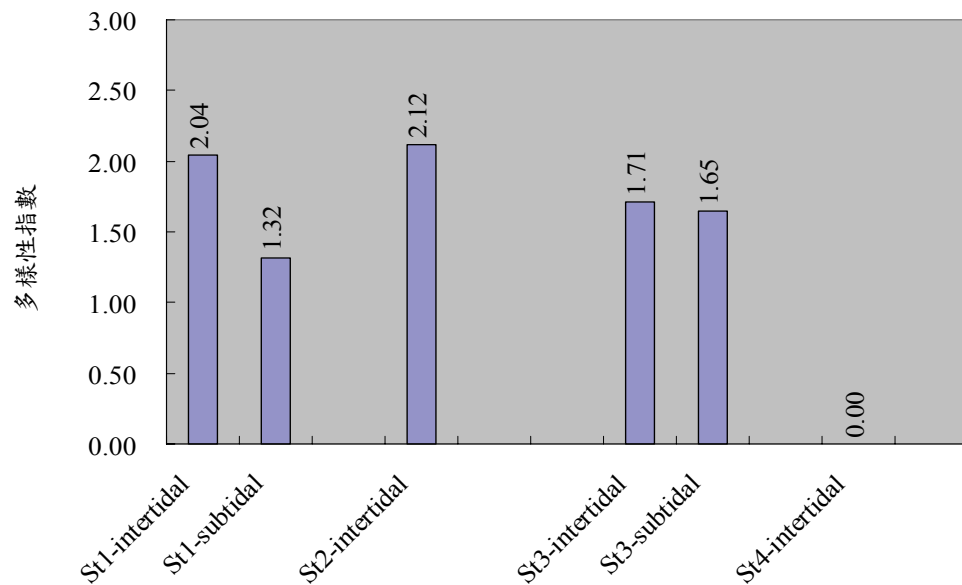
2.數值愈高代表該測站多樣性愈高。或各藻種的分佈愈均勻。

圖 4-9 第二次（5 月份）各測站 Shannon 多樣性指數分佈圖

3.第三次（8 月份）

第三次(8 月份)海藻調查之多樣性指數分析結果，如圖 4-10 所示。潮間帶間各測站海藻多樣性指數介於 0~2.12 之間，與第二次相較之變化並不大，皆有下滑情形發生；其中，新蘭突堤測站四潮間帶，因第三次只出現海藻一種，其多樣性指數為零，新港海堤測站二的多樣性指數為最高($H' = 2.12$)。

潮下帶各測站間相互比較，成功離岸堤測站一之水下測站（3 米深內以及 3~9 米深內）和新蘭突堤測站三之海藻多樣性指數皆呈下跌，尤其成功離岸堤測站一之 3~9 米深內的海藻多樣性指數下跌幅度為最大之測站($H' = 1.32$)。各測站間之潮間帶與潮下帶多樣性綜合比較，以新港海堤測站二~多樣性指數為最高($H' = 2.12$)，而新蘭突堤測站四之潮間帶海藻多樣性指數為最低($H' = 0$)。



註: 1 St1-0-3m：測站一潮下帶(0-3m)，St1-3-9mSubtidal：測站一潮下帶(3-9m)。

St2-Intertidal：測站二潮間帶。

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

St4-Intertidal：測站四潮間帶。

2.數值愈高代表該測站多樣性愈高。或各藻種的分佈愈均勻。

圖 4-10 第三次（8 月份）各測站 Shannon 多樣性指數分佈圖

4. 海藻種類季節性變化與多樣性分析

本年度(97 年)三次(3 月、5 月及 8 月)之調查，在地區性之多樣性指數分析 (Species diversity index analysis) 綜合比較 (如圖 4-8~圖 4-10 所示)，各測站第二次的海藻多樣性指數 ($H' = 1.42 \sim 2.36$) 較第一次 ($H' = 0.76 \sim 2.85$) 增減互見，但以第三次的海藻多樣性指數 ($H' = 0 \sim 2.12$)，變化幅度較大。

由海藻豐富度以及海藻物種數在第二次皆有大幅成長的變化 (詳表 3.5)，反應於第二次時成功離岸堤測站一之水下 3 米深內以及新蘭突堤測站三潮下帶之海藻多樣性指數的明顯增加。此外，第二次的海藻多樣性指數，新蘭突堤測站三潮間帶 ($H' = 2.20$) 和新蘭突堤測站四潮間帶 ($H' = 1.42$)，較第一次新蘭突堤測站三潮間帶 ($H' = 2.85$) 和新蘭突堤測站四潮間帶 ($H' = 2.11$) 略為減少。

此現象可能由於海藻豐富度分佈不均所導致 (詳表 3-4)，因第二次的海藻豐富度以及海藻物種數雖然較第一次為高，但第二次有覆蓋率極大的物種出現，可見第二次的海藻豐富度的大幅增加，為少數優勢藻種增加所致。而大多數的物種，其覆蓋率皆不高，顯示海藻多樣性指數，在各測站大多受到少數優勢藻種消長之影響。第三次的海藻多樣性指數，變化幅度較大，可能是受到藻種數和覆蓋率皆有大量下滑之影響，尤其是新蘭突堤測站四潮間帶之海藻多樣性指數，因藻種數只有一種，造成測站四之分析值為零。

4.3 海藻著生效果與水質環境分析

4.3.1 海藻豐富度與水溫和相關的營養鹽季節性變化分析

綜合比較調查研究區之海藻豐富度於季節性之差異，很明顯第二次（5 月份）介於 1.3~52.41%之間，較第一次（3 月份）（介於 1.2~14.75%之間）的豐富度來的高，尤其是成功離岸堤和新港海堤之兩個測站的潮下帶及潮間帶海藻覆蓋度，皆有顯著的增加。然而在第三次，各測站間覆蓋率大量下跌，只介於 0.2~8.1%，為本年度三次海藻調查之海藻覆蓋率最低的一次。

彙整各測站各次潮間帶、潮下帶之海藻著生與磷酸鹽及氮鹽之分析如表 4-7~表 4-8 所示，經與各測站實測之水質資料相比較，雖然第一次的成功離岸堤、新港海堤及新蘭港突堤之營養鹽測值較第二次高，但水溫較低（介於 22.4~22.9℃之間），海藻生長的速度較緩慢。另一方面，自今年五月以來，白天水溫回暖升至 27.4~28.9℃之間，促使海藻生長加快，而由第二次營養鹽中氮鹽的稍減少可知，在春季氮鹽可能為海藻生長的限制因子。同時，由第二次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；在第三次，雖然水溫只有稍微升高攝氏一度左右，但營養鹽分析顯示，氮鹽較第二次有持續減少現象。然而，由過去在臺灣各地海域附近的海藻相之調查結果相互比較，水溫對海藻的生長之影響較營養鹽為大。

表 4-7 各測站各次潮間帶海藻著生與磷酸鹽及氮鹽之分析表

位置	測站別	次別	總豐富度	水溫 (°C)	硝酸鹽 (mg/L)	亞硝酸鹽 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	磷酸鹽 (mg/L)	N/P
成功離岸堤	測站一	第一次	-	-	-	-	-	-	
		第二次	-	-	-	-	-	-	
		第三次							
新港海堤	測站二	第一次	11.04%	22.9	0.023	0.001	0.049	0.002	94
		第二次	11.5%	27.6	0.011	0.002	0.02	0.004	19
		第三次	2.7%	27.6	0.011	0.001	0.02	0.002	40
新蘭突堤北側	測站三	第一次	7.9%	22.5	0.009	0.001	0.011	0.003	14
		第二次	5.6%	28.1	0.009	0.003	0.02	0.003	25
		第三次	1.8%	28.7	0.021	0.002	0.01	0.004	20
新蘭突堤南側	測站四	第一次	1.2%	22.5	0.014	0.002	0.021	0.002	47
		第二次	1.3%	28.9	0.007	0.003	0.002	0.005	15
		第三次	0.2%	28.3	0.009	0.001	0.01	0.005	7

表 4-8 各測站各次潮下帶海藻著生與磷酸鹽及氮鹽之分析表

位置	測站別	次別	總豐富度	水溫 (°C)	硝酸鹽 (mg/L)	亞硝酸鹽 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	磷酸鹽 (mg/L)	N/P
成功離岸堤	測站一 0-3m	第一次	14.75%	22.6	0.010	0.001	0.013	0.008	7
		第二次	52.41%	27.5	0.017	0.002	0.023	0.001	84
		第三次	8.1%	29.1	0.007	0.001	0.01	0.002	15
	測站一 3-9m	第一次	6.82%	22.5	0.026	0.005	0.056	0.001	193
		第二次	18.7%	27.4	0.011	0.002	0.02	0.001	83
		第三次	3.0%	28.8	0.007	0.001	0.01	0.002	16
新港海堤	測站二	第一次	-	-	-	-	-	-	
		第二次	-	-	-	-	-	-	
		第三次							
新蘭突堤北側	測站三	第一次	5.82%	22.4	0.032	0.004	0.048	0.001	186
		第二次	16.81%	27.9	0.007	0.003	0.02	0.002	33
		第三次	2.4%	28.7	0.007	0.001	0.01	0.002	16
新蘭突堤南側	測站四	第一次	-	-	-	-	-	-	
		第二次	-	-	-	-	-	-	
		第三次							

4.3.2 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，光照度在第一次(3月份)各監測點的 $22\sim398\ \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ，至第二次(5月份)稍有增加至 $269\sim1278\ \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ，此與海藻豐富度在入春之後逐漸升高，與前二次的光照度和光照時間漸漸增加呈正相關性。第三次各監測點之光照度分析結果，介於 $146\sim5093\ \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 之間，光照度以成功離岸堤測站高於新蘭突堤測站，由於採集新蘭突堤測站時天氣突然轉陰，因此兩處光照度差異，主要受當日天氣變化影響；儘管如此，第三次光照度在各監測點為本年度三次調查最高之季節。

一般而言，熱帶暖水性的海藻壽命大約皆低於3~6個月，參考過去在臺灣南部之墾丁國家公園和東北角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。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，需要長期觀察。

彙整各測站各次潮間帶、潮下帶之海藻著生與光照度、濁度、水溫及深度之分析如表 4-9 及表 4-10 所示，潮下帶海藻覆蓋深度，在成功離岸堤潮下帶測站分佈最深，可達 7.8 米水深。今將潮下帶之海藻分布狀況與水質分析資料相互比較，濁度分析結果顯示第一次(3月份)各監測點之濁度介於 $0.43\sim1.47\text{ntu}$ ，第二次(5月份)各監測點之濁度介於 $0.93\sim3.29\text{ntu}$ ，以區域性而言，兩次之成功離岸堤測站較高於新蘭突堤測站，而第三次(8月份)各監測點之濁度介於 $0.36\sim4.50\text{ntu}$ ，則以成功離岸堤測站較低於新蘭突堤測站。

整體而言，濁度測值方面，四測站之第二次(5月份)皆高於第一次(3月份)，第三次(8月份)成功離岸堤為三次最低，而新港突堤則為三次最高，此季節性濁度之變化，可能與第三次時臺東海域以夏季東南季節風向有關。至於光照度方面，四測站之第二次(5月份)皆高於第一次(3月份)，而第三次(8月份)之成功離岸堤為三次最高，但新蘭突堤則低於第二次，此可能與新蘭突堤濁度增加有關。然而，這些各監測點之濁度變化與海藻豐富度季節性變化，似乎並無直接關連性。

表 4-9 成功離岸堤及新港海堤海藻著生與光照度、濁度、水溫及深度

位置	次別	測站別	總豐富度	物種數	濁度 (ntu)	光照度	水溫 (°C)	藻類分佈最深深度 (cm)
潮間帶	第一次 (3 月)	測站一						
		測站二	11.04%	10	1.10	91	22.9	0
	第二次 (5 月)	測站一						
		測站二	11.3%	18	1.66	1,278	28.9	0
	第三次 (8 月)	測站一						
		測站二	2.7%	8	0.73	3,290	27.6	0
潮下帶	第一次 (3 月)	測站一 0-3m	14.75%	15	1.32	398	22.6	300
		測站一 3-9m	6.82%	11	1.47	34	22.5	750
		測站二						
	第二次 (5 月)	測站一 0-3m	52.41%	11	2.70	398	27.5	300
		測站一 3-9m	18.7%	14	2.26	269	27.4	780
		測站二						
	第三次 (8 月)	測站一 0-3m	8.1%	9	0.71	5,093	29.1	300
		測站一 3-9m	3.0%	5	0.36	2,264	28.8	780
		測站二						

測站一（成功離岸堤）、測站二（新港海堤）

表 4-10 新蘭突堤南北側海藻著生與光照度、濁度、水溫及深度

位置	次別	測站別	總豐富度	物種數	濁度 (ntu)	光照度	水溫 (°C)	藻類分佈最深深度 (cm)
潮間帶	第一次 (3 月)	測站三	7.9%	9	1.10	91	22.9	0
		測站四	1.1%	5	1.32	398	22.6	0
	第二次 (5 月)	測站三	5.6%	10	2.70	398	27.5	0
		測站四	1.3%	4	3.29	1,257	27.6	0
	第三次 (8 月)	測站三	1.8%	5	0.86	272	28.7	0
		測站四	0.2%	1	4.50	146	28.3	0
潮下帶	第一次 (3 月)	測站三	5.82%	10	2.26	269	27.4	90
		測站四						
	第二次 (5 月)	測站三	16.81%	11	4.59	1,006	26.5	95
		測站四						
	第三次 (8 月)	測站三	2.4%	6	1.62	293	28.7	100
		測站四						

測站三（新蘭突堤北側）、測站四（新蘭突堤南側）

4.3.3 海藻種類季節性變化與不同區域上著生的分析

彙整各測站各次潮間帶、潮下帶之海藻著生、物種數、覆蓋率與水溫及鹽度之分析如表 4-11 及表 4-12 所示。

第一次(3 月份)的海藻調查結果顯示各測站間海藻豐富度比較之下，各測站間覆蓋率介於 1.2~14.75%，以成功離岸堤測站一之潮下帶 3 米深內的豐富度(14.75%)最高；其中成功離岸堤及新港海堤兩測站之豐富度(6.82%~14.75%)較高於新蘭漁港突堤測站(1.2%~7.9%)。而第一次藻種數量方面，各測站介於 5~15 種，以成功離岸堤測站一之潮下帶 3 米深內的物種數(15 種)最高，其中新蘭突堤兩測站的豐富度(5~10 種)稍低於成功離岸堤及新港海堤兩測站(11~15 種)。在各測站中，第一次雖然沒有極優勢藻種，但綠藻門石蓴科的石蓴(*Ulva lactuca*)和孔石蓴(*Ulva pertusa*)為主要出現藻種，在成功離岸堤及新港海堤兩測站中，最高可達 10%，其次為紅藻門的珊瑚藻科的寬扁叉節藻(*Amphiroa dilatata*)，豐富度最高可介於 3~3.5%。

第二次(5 月份)的海藻調查成果結果顯示，各測站間海藻豐富度比較之下，各測站間海藻豐富度(以各藻種覆蓋率百分比總合表示)和第一次比較之下，高出許多，各測站間覆蓋率介於 1.3~52.41%，以成功離岸堤測站一之潮下帶 3 米深內的豐富度(52.41%)最高；其中成功離岸堤及新港海堤兩測站之豐富度(11.5%~52.41%)高出於新蘭漁港突堤兩測站(1.3%~16.81%)許多。而第二次藻種數量方面，各測站介於 4~19 種，以成功離岸堤測站一之潮下帶 3 米深內的物種數(19 種)最高，其中新蘭漁港突堤測站的豐富度(4~11 種)稍低於成功離岸堤及新港海堤兩測站(14~19 種)。

因此，第二次的海藻豐富度(各藻種覆蓋率百分比總合表示)和藻種數量方面皆比第一次(3 月份)的海藻相藻種覆蓋率和藻總數來的高；而第一、二次的調查中，成功離岸堤和新港海堤兩測站之豐富度最高可高達 25%(測站一，3 米水深內)，而綠藻門石蓴科的孔石蓴(*Ulva pertusa*)，最高可達 15%。

第三次(8月份)的海藻調查成果結果顯示，各測站間海藻豐富度比較之下，各測站間海藻豐富度(以各藻種覆蓋率百分比總合表示)和第二次比較之下，下跌甚多，各測站間覆蓋率介於0.2~8.1%，以成功離岸堤測站一之潮下帶3米深內的豐富度(8.1%)最高；其中，成功離岸堤和新港海堤兩測站之豐富度(3%~8.1%)，稍高於新蘭突堤兩測站(0.2%~2.4%)許多。而第三次藻種數量方面，各測站介於1~9種，以成功離岸堤測站一之潮下帶3米深內的物種數(9種)最高，其中，新蘭港突堤兩測站之豐富度(1~5種)，稍低於成功離岸堤和新港海堤兩測站(5~9種)。

第三次的調查中皆沒有發現極優勢藻種(覆蓋率高於20%)，但紅藻門的珊瑚藻科的寬扁叉節藻，在成功離岸堤和新蘭突堤測站中，豐富度雖然較第二次消失頗多，但仍為最高(測站一，3米水深內，5%)，而在第二次大量出現的綠藻門石蓴科(*Ulvaceae*)，在第三次則只剩下少量的藻體。

表 4-11 各次潮間帶海藻著生、物種數、覆蓋率與水溫及鹽度之分析

位置	結構物	測站別	總豐富度	物種數	水溫(°C)	鹽度(psu)	覆蓋率>3%海藻
第一次	成功離岸堤	測站一					
	新港海堤	測站二	11.04%	10	22.9	34.33	石蓴(10%)
	新蘭突堤北	測站三	7.9%	9	22.5	34.08	寬扁叉節藻(3%)
	新蘭突堤南	測站四	1.2%	5	22.5	33.95	
第二次	成功離岸堤	測站一					
	新港海堤	測站二	11.5%	18	27.6	34.34	石蓴(8%)
	新蘭突堤北	測站三	5.6%	10	28.1	34.27	
	新蘭突堤南	測站四	1.3%	4	28.9	34.47	
第三次	成功離岸堤	測站一					
	新港海堤	測站二	2.7%	8	27.6	33.26	
	新蘭突堤北	測站三	1.8%	5	28.7	33.33	
	新蘭突堤南	測站四	0.2%	1	28.3	33.18	

表 4-12 各次潮下帶海藻著生、物種數、覆蓋率與水溫及鹽度之分析

位置	結構物	測站別	總豐富度	物種數	水溫(°C)	鹽度(psu)	覆蓋率>3%海藻
第一次	成功離岸堤	測站一 0-3m	14.75%	15	22.6	34.30	孔石蓴(10%) 寬扁叉節藻(3.5%)
		測站一 3-9m	6.82%	11	22.5	34.32	寬扁叉節藻(3%)
	新港海堤	測站二					
	新蘭突堤北	測站三	5.82%	10	22.4	34.11	石枝藻(5%)
	新蘭突堤南	測站四					
第二次	成功離岸堤	測站一 0-3m	52.41%	19	27.5	34.32	寬扁叉節藻(25%) 孔石蓴(15%) 仙葉藻(5%)
		測站一 3-9m	18.7%	14	27.4	34.26	寬扁叉節藻(9%) 孔石蓴(5%)
	新港海堤	測站二					
	新蘭突堤北	測站三	16.81%	11	27.9	34.30	石枝藻(8%) 寬扁叉節藻(5%)
	新蘭突堤南	測站四					
第三次	成功離岸堤	測站一 0-3m	8.1%	9	29.1	33.21	寬扁叉節藻(5%)
		測站一 3-9m	3.0%	5	28.8	33.19	
	新港海堤	測站二					
	新蘭突堤北	測站三	2.4%	6	28.7	33.38	
	新蘭突堤南	測站四					

4.4 海藻著生效果與海岸結構物相關性分析

4.4.1 海藻著生與結構物型式

就本研究調查臺灣東部新港漁港北側離岸堤、海堤及新蘭漁港突堤兩處海域之結構物型式而言，新港漁港北側離岸堤之測站一為離岸堤（平行海岸之消波塊堤），而新港漁港北側海堤、新蘭漁港突堤之測站二、測站三及測站四為海堤、突堤（垂直海岸之消波塊堤）。

1. 離岸堤及突堤型式

由於新港漁港北側離岸堤之測站一（成功離岸堤）並無潮間帶，而測站二（新港海堤）及測站四（新蘭突堤南側）並無潮下帶，故本研究以測站一（成功離岸堤）潮下帶及測站三（新蘭突堤北側）潮下帶之相互比較，作為不同形式構造型式之比較基礎。

以同次測站一及測站三之潮下帶總豐富度相互比較，第一次成功離岸堤測站一為 10.79%（總豐富度以潮下帶 0-3m 及 3-9m 之平均值）、新蘭突堤北側測站三為 5.82%；第二次成功離岸堤測站一為 35.56%、新蘭突堤北側測站三為 16.81%；第三次成功離岸堤測站一為 5.56%、新蘭突堤北側測站三為 2.4%；即成功離岸堤（測站一），其潮下帶之總豐富度都較同次時新蘭突堤北側（測站三）為高。

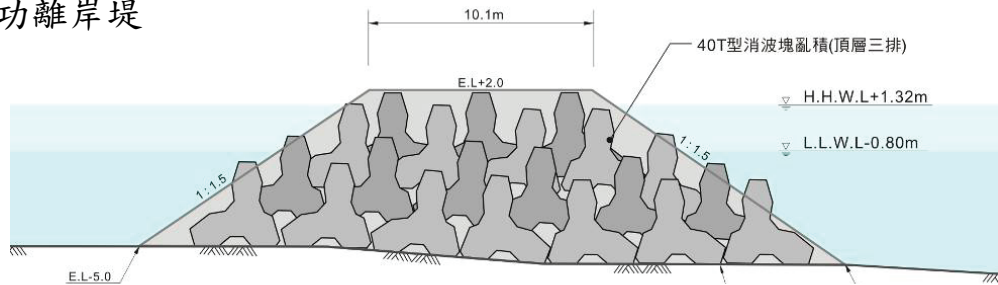
就海域結構物之型式而言，由於本研究之四測站於第二次之潮下帶海藻總豐富度都較第一次時較高，因此就成功離岸堤及新蘭突堤兩處海域結構物形式之不同，以同次而言初步探討如后：

- (1) 成功離岸堤測站一之結構物係為離岸堤型式，且屬消波塊堤，其消波塊頂部之高程為+2.0m，而消波塊為 40 噸林克塊（每塊高度 3.822 m），以當地水深估計，約有四層之消波塊。由於大潮高潮位+1.32m、大潮低潮位-0.80m，即下面兩層均位在水下潮位影響之下，而上面約有一層半之消波塊大都位在潮差之影響範圍；且由現場觀察，因離岸堤之堤頂並不高，只要稍大之波浪，整個上層消波塊亦會被浪

花淹沒，故整體而言，成功離岸堤相對受潮水影響之時間較長，故離岸堤之海藻總豐富度較突堤型式明顯高，成功離岸堤及新蘭突堤之結構斷面與潮間帶關係如圖 4-11 所示。

- (2) 新蘭突堤測站之結構物係為突堤型式，下部為拋石基礎，拋石頂高 $\pm 0.0\text{m}$ ，拋石上覆 5 噸型之得力塊、單層排列，得力塊頂高程 $+1.04\text{m}$ ；5 噸得力塊之上面再設置 10 噸型協克塊、雙層排列，消波塊堤頂高程 $+4.0\text{m}$ 。10 噸協克塊（每塊高度 2.784 m ），由於大潮高潮位 $+1.06\text{m}$ 、大潮低潮位 -0.83m ，且水深並不深，最深為 -1.5m ，因此大部分消波塊均位在潮位影響之上，故其海藻總豐富度受位置之影響似較大，新蘭突堤之結構斷面與潮間帶關係如圖 4-11 所示。

(a)成功離岸堤



(b)新蘭突堤

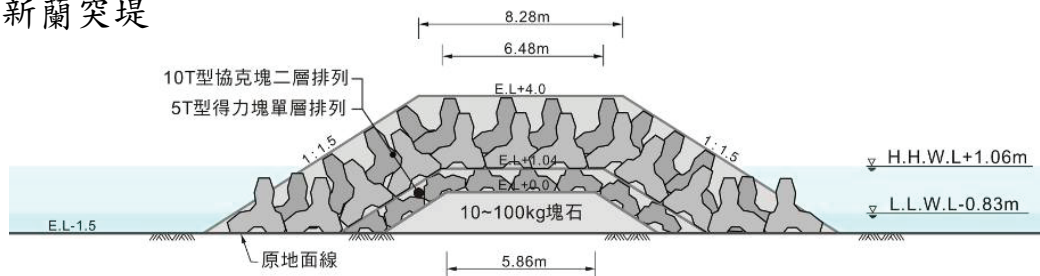


圖 4-11 成功離岸堤及新蘭突堤結構斷面與潮間帶之關係圖

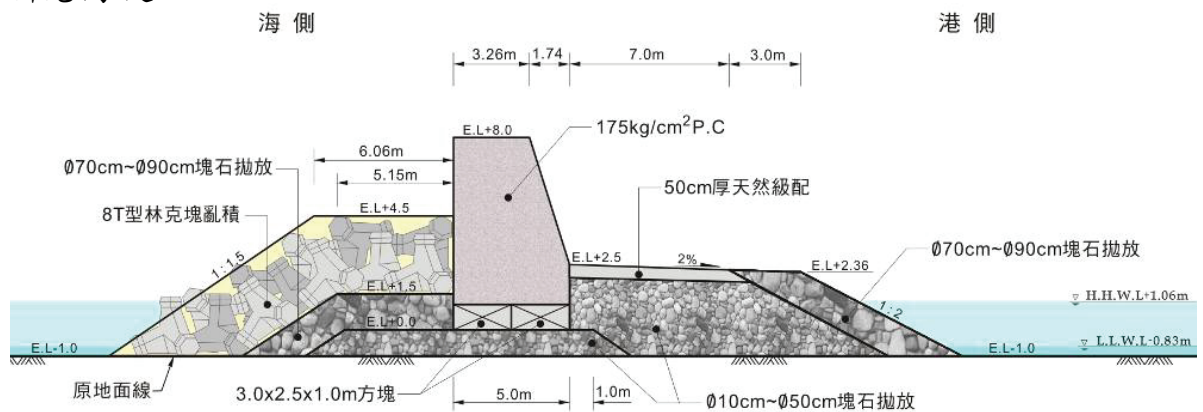
2.海堤及突堤型式

就具有相同垂直海岸之突堤、海堤而言，以同次測站二、測站三及測站四之潮間帶總豐富度相互比較，第一次新港海堤測站二為 11.04 %、新蘭突堤測站三及測站四為 7.9%、1.2%；第二次新港海堤測站二為 11.5%、新蘭突堤測站三及測站四為 5.6%、1.3%；第三次新港海堤測站二為 2.7%、新蘭突堤測站三及測站四為 1.8%、0.2%。至於物種數方面，第一次新港海堤測站二為 10 種、新蘭突堤測站三及測站四為

9、5 種；第二次新港海堤測站二為 18 種、新蘭突堤測站三及測站四為 10、4 種；第三次新港海堤測站二為 8 種、新蘭突堤測站三及測站四為 5、1 種；即新港海堤（測站二），其潮間帶之總豐富度、物種數，都較同次時新蘭突堤北側（測站三）及新蘭突堤南側（測站四）略高。

新港海堤測站之結構物係重力式海堤型式，下部為拋石基礎，拋石頂高 $\pm 0.0\text{m}$ ，拋石上覆 8 噸型林克塊、雙層排列，林克塊頂高程 $+4.5\text{m}$ 。8 噸協克塊（每塊高度 2.203m ），由於大潮高潮位 $+1.32\text{m}$ 、大潮低潮位 -0.83m ，且水深並不深，最深為 -1.0m ，大部分消波塊均位在潮位影響之上，故海藻總豐富度與新蘭突堤均受位置之影響似較大，新港海堤之結構斷面與潮間帶關係如圖 4-12。至於總豐富度、物種數，都較同次時新蘭突堤北側（測站三）及南側（測站四）略高，就垂直海岸之突堤或海堤而言，對藻類之豐富度與物種之影響，未來仍需要更長期的監測及觀察，才能有更進一步的定論。

(a)新港海堤



(b)新蘭突堤

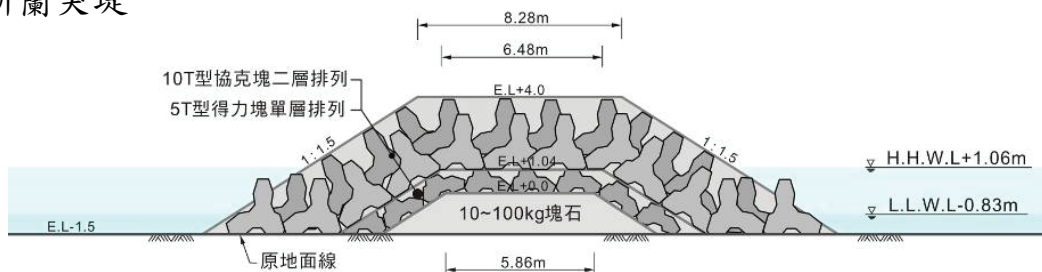


圖 4-12 新港海堤及新蘭突堤結構斷面與潮間帶之關係圖

4.4.2 海藻著生與結構物施作年代

依據本研究三次之實地調查發現，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皆有強韌的附著器以因應強勁的海流。此結果顯示，一般沿海的海岸，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。

新港海堤係於民國 77 年完成，新蘭突堤則於 82 年完成，成功離岸堤係於民國 89~91 年完成，三者施作時間並不一致；而依本研究三次之實地調查，成功離岸堤之海藻總豐富度及物種數皆為本研究測站中之最高，故就海域結構物施設之年代而言，初步研判年代於本研究區域可能並非為影響海藻著生效果與豐富度之主要因素。

4.4.3 海藻著生與結構物水深

如前述海藻著生與基質環境之探討，依本研究實地調查臺灣東部新港漁港北側離岸堤、海堤及新蘭漁港突堤兩處海域之海藻著生狀況結果，三次的調查皆顯示新港漁港北側離岸堤、海堤之潮間帶和潮下帶之海藻總豐富度及物種數，都較新蘭漁港突堤為多；隨著潮下帶之水深漸深，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，本研究各測站海藻著生之深度與水深關聯性，如表 4-13 所示。

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如果水深超過 3 米，水深條件環境與光照似乎有相關連性；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。

表 4-13 各測站海藻著生之深度與水深關聯性分析

區域	測站別	次別	位置	總豐富度	物種數	水深 (cm)	藻類分佈最深之深度 (cm)
成功離岸堤	測站一	第一次 (3月)	潮間帶				
			潮下帶 0-3m	14.75%	15	300	300
			潮下帶 3-9m	6.82%	11	900	750
		第二次 (5月)	潮間帶				
			潮下帶 0-3m	52.41%	19	300	300
			潮下帶 3-9m	18.7%	14	900	780
		第三次	潮間帶				
			潮下帶 0-3m	8.1%	9	300	300
			潮下帶 3-9m	3.0%	5	900	780
新港海堤堤	測站二	第一次 (3月)	潮間帶	11.04%	10	0	0
			潮下帶				
		第二次 (5月)	潮間帶	11.5%	18	0	0
			潮下帶				
		第三次	潮間帶	2.7%	8	0	0
			潮下帶				
新蘭突堤北側	測站三	第一次 (3月)	潮間帶	7.9%	9	0	0
			潮下帶	5.82%	10	210	90
		第二次 (5月)	潮間帶	5.6%	10	0	0
			潮下帶	16.81%	11	180	95
		第三次	潮間帶	1.8%	5	0	0
			潮下帶	2.4%	6	150	100
新蘭突堤南側	測站四	第一次 (3月)	潮間帶	1.2%	5	0	0
			潮下帶				
		第二次 (5月)	潮間帶	1.3%	4	0	0
			潮下帶				
		第三次	潮間帶	0.2%	1	0	0
			潮下帶				

註：水深指水面至水底之深度

4.4.4 結構物兩側之海藻著生分析

由本研究三次於新蘭突堤北側（港側）之測站三、南側（海側）之測站四所作之海藻著生豐富度、物種數之調查，可供單一結構物之港內外兩側海藻著生情形之參考。

新蘭突堤南、北兩側海藻著生覆蓋率與物種數分佈如圖 4-13～圖 4-15 所示；在潮間帶豐富度：第一次之港內(7.9%)>港外(1.2%)、第二次之港內(5.6%)>港外(1.3%)、第三次之港內(1.8%)<港外(0.2%)；而潮間帶物種數：第一次之港內(9 種)>港外(5 種)、第二次之港內(10 種)>港外(4 種)、第三次之港內(5 種)<港外(1 種)；即新蘭突堤南、北兩側之海藻著生豐富度與物種數，皆為突堤內側(港內)>突堤外側(港外)。

一般天然海藻之生育分佈與造成，主要與環境之物理要因（波浪、潮流、光量、懸浮值、海水水溫、降雨）、化學要因（鹽份、DO、營養鹽、汙染）等有關，也就是受各種要因之相互交合影響，很少受單一因素強烈影響。

依據本研究三次之水質調查結果，新蘭突堤南北兩側，在同次之水溫、鹽度、pH 方面均相當一致，營養鹽方面雖略有差異，但差異有限；而濁度皆以港外（南側）較港內（北側）略大，光照度雖於第二次時港外（南側）較港內（北側）略小，但於第一次及第三次，皆以港外（南側）較港內（北側）略大。整體而言，新蘭突堤兩側水之質相差並不大。

以本研究豐富度及物種數較高之第二次（4～6 月）而言，臺灣東部海岸之波向以 SE～SSE 為主，波高 0.5～1.0m、週期 6～8 秒。新蘭突堤海側向南，故突堤海側附近之波浪可能為 0.5～1.0m，且附近水深變淺、波浪易產生碎波；而新蘭突堤北側屬漁港之泊地水域內，因受防波堤遮蔽，港內波浪將較小約 0.1～0.3m。

由於波浪為隨海水前後上下振動之運動，海底海藻之擺動為通過

波峰時倒向陸側，通過波谷時倒向海側；以週期 7 秒為例，海藻一日搖動 1 萬 2 仟回；在波高小時，海水之振動不致影響至海底，在波高較大或水深較淺之場合，波之振動會給海底帶來較大之影響。

由於新蘭突堤南、北兩側海藻著生之差異，主要是測站位置係在港內或港外之不同，整體而言，新蘭突堤兩側之水質相差並不大；故本研究初步檢討，影響突堤兩側海藻著生之差異，波浪大小可能為影響海藻著生要因之一；然而，有關海藻著生與突堤兩側間的現象及推論，仍需更長期的監測及觀察，才能有更進一步的定論。

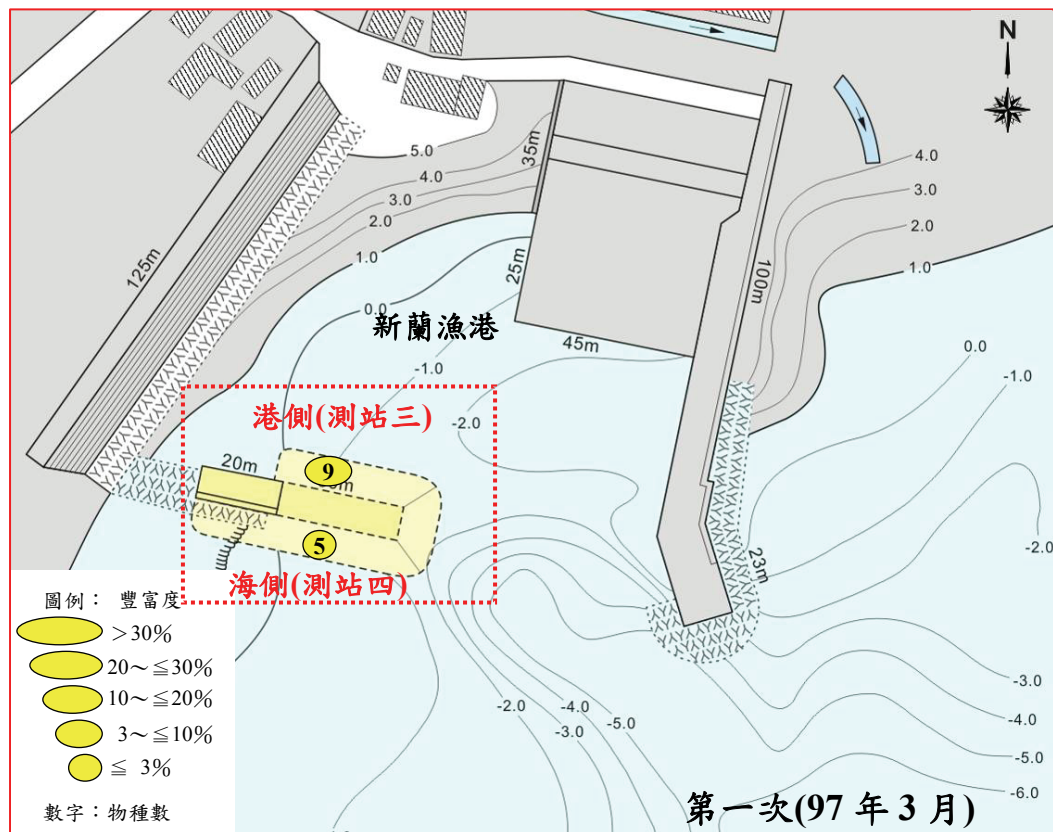


圖 4-13 新蘭突堤兩側海藻著生覆蓋率與物種數分佈（第一次潮間帶）

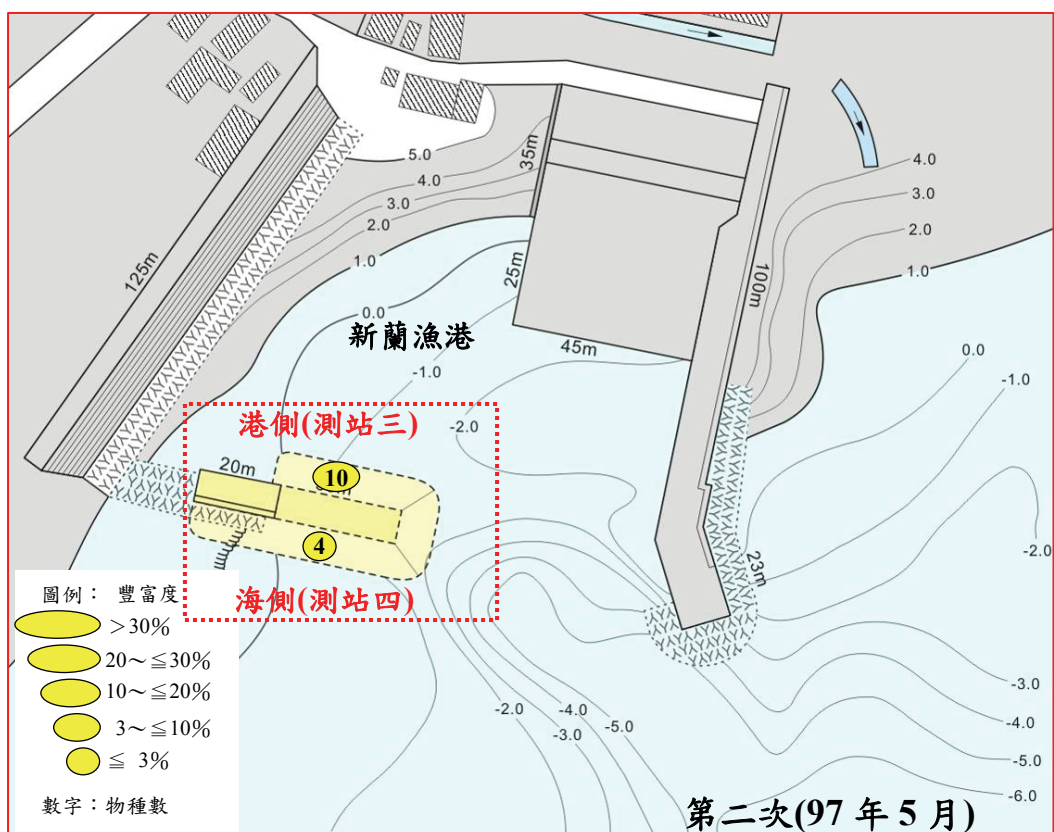


圖 4-14 新蘭突堤兩側海藻著生覆蓋率與物種數分佈（第二次潮間帶）

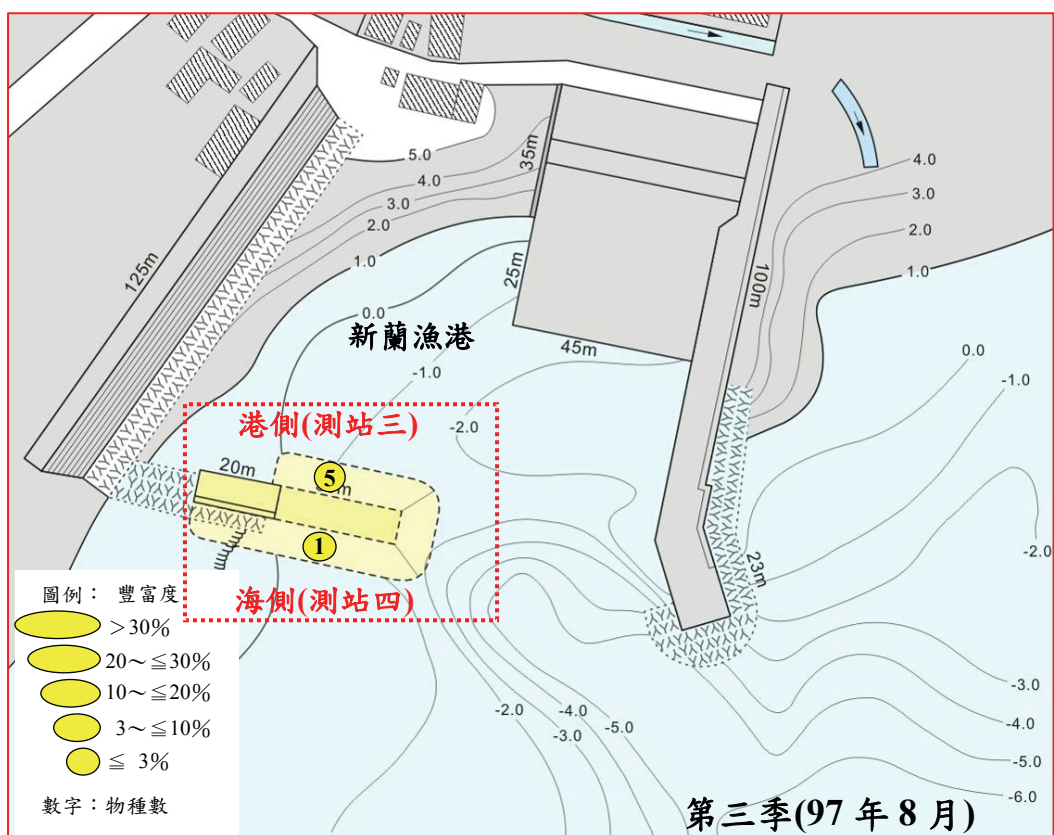


圖 4-15 新蘭突堤兩側海藻著生覆蓋率與物種數分佈（第三次潮間帶）

4.5 海藻著生效果與基質環境分析

依本研究三次之實地調查臺東成功離岸堤、新港海堤及新蘭突堤海域之海藻著生狀況結果顯示，在成功離岸堤方面發現海藻大多著生在堅硬的消波塊頂部、側面及斜邊等受光處 1~3 米水深處海藻覆蓋率最高，而較深水域只要是裸露，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，本研究各測站各次海藻著生與基質環境關聯性分析，如表 4-14 所示。

本研究調查的三次中皆以綠藻門的石蓴科和紅藻門珊瑚藻科的寬扁叉節藻為相對優勢藻種，生育水深約為 0~7m；依據藻類分布之水深初步研析，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，這或許也是限制臺灣東部海岸海域之離岸堤附近潮下帶海藻生長的一項環境因素。

表 4-14 各測站各次海藻著生與基質環境關聯性分析

區域	次別	測站別	位置	總豐富度	光照度	濁度(ntu)	水溫 (°C)	水深(cm)
潮間帶	成功離岸堤	測站一	第一次					
			第二次					
			第三次					
	新港海堤	測站二	第一次	11.04%	91	1.10	22.9	0
			第二次	11.5%	1,257	3.29	27.6	0
			第三次	2.7%	3,290	0.73	27.6	0
	新蘭突堤北側	測站三	第一次	7.9%	63	0.51	22.5	0
			第二次	5.6%	976	1.06	28.1	0
			第三次	1.8%	272	0.86	28.7	0
	新蘭突堤南側	測站四	第一次	1.2%	21	0.57	22.5	0
			第二次	1.3%	1,278	1.66	28.9	0
			第三次	0.2%	146	4.50	28.3	0
潮下帶	成功離岸堤	測站一 0-3m	第一次	14.75%	398	1.32	22.6	300
			第二次	52.41%	398	2.70	27.4	300
			第三次	8.1%	5,093	0.71	29.1	300
		測站一 3-9m	第一次	6.82%	34	1.47	22.5	900
			第二次	18.7%	269	2.26	27.4	900
			第三次	3.0%	2,264	0.36	28.8	900
	新港海堤	測站二	第一次					
			第二次					
			第三次					
	新蘭突堤北側	測站三	第一次	5.82%	43	0.56	27.4	210
			第二次	16.81%	754	0.93	27.9	180
			第三次	2.4%	293	1.62	28.7	150
	新蘭突堤南側	測站四	第一次					
			第二次					
			第三次					

註：水深指水面至水底之深度

第五章 海岸結構物藻類著生差異性探討

綜合本研究（97 年）辦理臺灣東部新港漁港北側海域及新蘭漁港南側兩處海域之海藻著生狀況與水質環境調查結果，進一步彙總全程計畫第二年（95 年）在屏東大鵬灣和林邊海域，及第三年（96 年）在宜蘭烏石海岸及頭城海水浴場兩處海域，共三年之海岸結構物海藻著生調查結果，綜合探討分析臺灣西、北及東部海岸結構物海藻著生與水質環境因子、照度、水深之差異性，及海岸保護結構物型式在海藻著生效果之差異性，俾供作為將來於臺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。

5.1 西、北及東部海岸結構物海藻著生情形之差異性

5.1.1 西、北及東部海岸結構物海藻著生優勢種分析

臺灣西部屏東及林邊海域之海岸結構物著生海藻，在優勢種方面，發現海岸結構物皆有較高的豐富度之綠藻門石蓴科的石蓴屬優勢藻種（如裂片石蓴 *Ulva fasciata*）。如第一次（2 月份）及第二次（5 月份）各測站之潮間帶，主要優勢藻種為綠藻門裂片石蓴（*Ulva fasciata*）（豐富度：第一次 20~35%、第二次 12.08~36%），而潮下帶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：第一次 3~6%、第二次 4~12.8%）。而第三次（8 月份）各測站之潮間帶與潮下帶，則沒有發現任何優勢藻種。

另一方面，臺灣北部宜蘭烏石及頭城海域之海岸結構物著生海藻，在優勢種方面，除了發現皆有較高豐富度的綠藻門石蓴科的石蓴屬優勢藻種（如裂片石蓴 *Ulva fasciata*，豐富度 1.0~10%）外，紅藻門海膜藻科蜈蚣藻屬藻種（如繁枝蜈蚣藻 *Grateloupia ramosissima*）在第二次（5 月份）豐富度亦有 3.0~20%，而第三次（8 月份）各測站之潮間帶與潮下帶，如同屏東及林邊海岸結構物，則沒有發現任何優勢藻種。

在臺灣東部新港漁港北側及新蘭漁港南側海域之海岸結構物著生海藻，優勢種方面，東部海岸之潮下帶及潮間帶，亦發現綠藻門石蓴科的石蓴屬（石蓴、孔石蓴）在第一次（春季）雖為優勢種（覆蓋

率 1.0~15%)，但在東部海岸之極優勢藻種為紅藻門珊瑚藻科的寬扁叉節藻 (*Amphiroa dilatata*)，潮下帶的覆蓋率可高達 25%，為東部海域的海藻相較為特殊之處，如同屏東及林邊海岸結構物，第三次 (8 月份) 各測站之潮間帶與潮下帶，則沒有發現任何優勢藻種。

大體上，在海域海藻的垂直分佈上，潮下帶種類數目及覆蓋率皆大於潮間帶；潮下帶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。此外，由於調查樣區係位於離岸堤及突堤 (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。以在臺灣西部及北部調查發現之海膜藻科蜈蚣藻屬 (*Grateloupia*) 為例，此類藻類多生長在浪濤衝擊處，因此在臺灣周遭海域，常見於風浪較大的東北角及西南沿海一帶 (黃，2000；林等人，2004)。至於東部海域人工結構物上的海藻相，相對於臺灣西部及北部之調查成果，可能係因離岸堤之水深太深，或突堤及海堤等結構物浸泡在海水之水深較淺，故並沒有發現與臺灣西部和北部調查中所發現的蜈蚣藻屬。臺灣西、北及東部海岸各次海藻著生優勢藻種之潮間帶及潮下帶比較，如表 5-1~5-2 所示，臺灣西、北及東部海岸各次海藻著生優勢藻種，如圖 5-1 所示。

表 5-1 臺灣西、北及東部海岸各時節優勢藻種比較表（潮間帶）

位置	西部屏東林邊及大鵬灣海域				北部宜蘭頭城及烏石海域				東部臺東成功及新蘭海域			
	結構物	測站別	總豐富度	覆蓋率 > 5% 海藻	結構物	測站別	總豐富度	覆蓋率 > 5% 海藻	結構物	測站別	總豐富度	覆蓋率 > 5% 海藻
第一次（3月）	大鵬灣 導流堤	測站一	56%	裂片石蓴 (30%) 硬毛藻 (10%)	頭城 突堤	測站一	13%	裂片石蓴 (8%) 縱胞藻 (5%)	新蘭 突堤	測站三	7.9%	
		測站二	49.6%	裂片石蓴 (20%) 蜈蚣藻 (10%) 仙藻 (6%)		測站二	10%	裂片石蓴 (7%)		測站四	1.2%	
	林邊 離岸堤	測站三	69.3%	裂片石蓴 (35%) 硬毛藻 (10%)	烏石 離岸堤	測站三	1.8%		新港 海堤	測站二	11%	石蓴 (10%)
		測站四	46.2%	裂片石蓴 (25%) 硬毛藻 (6%)		測站四	1.9%		成功 離岸堤	測站一		
第二次（5月）	大鵬灣 導流堤	測站一	33.6%	裂片石蓴 (29.6%)	頭城 突堤	測站一	20.1%	裂片石蓴 (10%) 繁枝蜈蚣藻 (5%)	新蘭 突堤	測站三	5.6%	
		測站二	53.1%	縱胞藻 (19.2%) 蜈蚣藻 (17.2%)		測站二	23.0%	裂片石蓴 (9%)		測站四	1.3%	
	林邊 離岸堤	測站三	58.1%	裂片石蓴 (36%) 繁枝蜈蚣藻 (5%)	烏石 離岸堤	測站三	10.7%	繁枝蜈蚣藻 (8%)	新港 海堤	測站二	11.5%	石蓴 (8%)
		測站四	82.3%	裂片石蓴 (34%) 羽狀蕨藻 (21%) 繁枝蜈蚣藻 (8%)		測站四	9.4%	繁枝蜈蚣藻 (7%)	成功 離岸堤	測站一		
第三次（8月）	大鵬灣 導流堤	測站一	1.0%		頭城 突堤	測站一	2.2%		新蘭 突堤	測站三	1.8%	
		測站二	1.3%			測站二	3.5%			測站四	0.2%	
	林邊 離岸堤	測站三	8%	擬石花藻 (5%)	烏石 離岸堤	測站三	1.0%		新港 海堤	測站二	2.7%	
		測站四	4%			測站四	2.0%		成功 離岸堤	測站一		

表 5-2 臺灣西、北及東部海岸各時節優勢藻種比較表（潮下帶）

位置	西部屏東林邊及大鵬灣海域				北部宜蘭頭城及烏石海域				東部臺東成功及新蘭海域			
	結構物	測站別	總豐富度	覆蓋率 > 5% 海藻	結構物	測站別	總豐富度	覆蓋率 > 5% 海藻	結構物	測站別	總豐富度	覆蓋率 > 5% 海藻

第一次 (3月)	大鵬灣 導流堤	測站一	12.2%	裂片石蓴 (5%)	頭城 突堤	測站一	0.2%		新蘭 突堤	測站三	5.8%	石枝藻 (5%)
		測站二	10.3%	裂片石蓴 (6%)		測站二	0.9%			測站四		
	林邊 離岸堤	測站三	10.3%	裂片石蓴 (6%)	烏石 離岸堤	測站三	1.3%		新港 海堤	測站二		
		測站四	6.8%			測站四	1.3%			測站一	10.8%	孔石蓴 (10%)
第二次 (5月)	大鵬灣 導流堤	測站一	9%		頭城 突堤	測站一	33%	繁枝蜈蚣藻 (19%) 裂片石蓴 (8%) 臺灣蜈蚣藻 (4%)	新蘭 突堤	測站三	16.8%	石枝藻 (8%) 寬扁叉節藻 (5%)
		測站二	29%	裂片石蓴 (12.8%) 羽藻 (12%)		測站二	34%	繁枝蜈蚣藻 (20%) 裂片石蓴 (5%) 臺灣蜈蚣藻 (5%)		測站四		
	林邊 離岸堤	測站三	34.5%	刺邊龍鬚菜 (8%)	烏石 離岸堤	測站三	31%	繁枝蜈蚣藻 (20%) 斑點龍鬚菜 (5%)	新港 海堤	測站二		
		測站四	45%	多管藻 (19%) 密毛沙蔡 (8.8%) 繁枝蜈蚣藻 (8%)		測站四	23%	繁枝蜈蚣藻 (16%)		測站一	35.6%	寬扁叉節藻 (25%) 孔石蓴 (15%) 仙葉藻 (5%)
	第三次 (8月)	測站一	1.0%		頭城 突堤	測站一	0.5%		新蘭 突堤	測站三	2.4%	
		測站二	1.3%			測站二	0.5%			測站四		
	林邊 離岸堤	測站三	8%		烏石 離岸堤	測站三	1.4%		新港 海堤	測站二		
		測站四	4%			測站四	2.9%			測站一	5.6%	寬扁叉節藻 (5%)

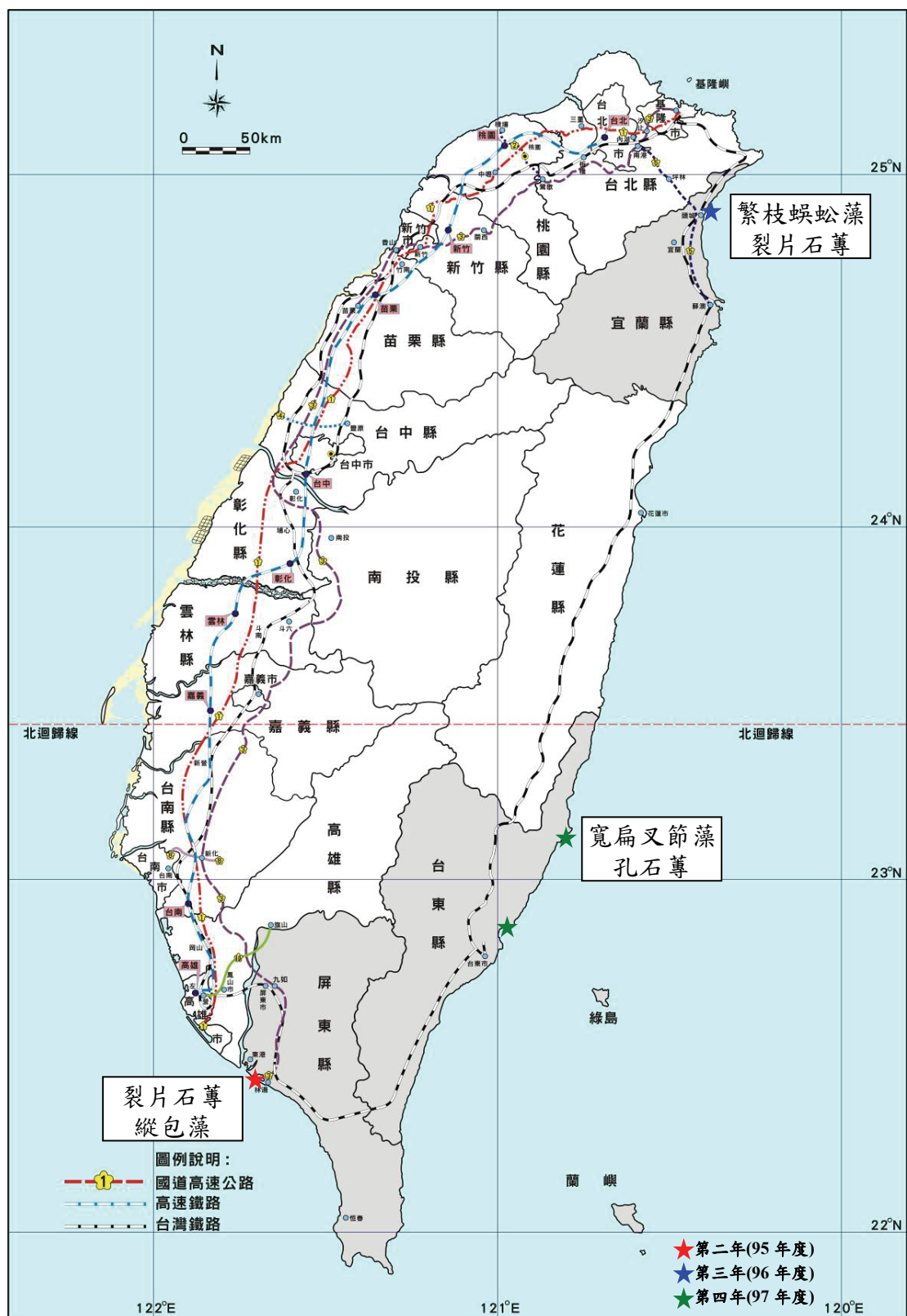


圖 5-1 臺灣西、北及東部海岸之海藻著生優勢藻種

5.1.2 西、北及東部海岸結構物海藻種類季節性變化分析

臺灣西、北及東部海岸結構物著生海藻的種類季節性變化，在西部屏東大鵬灣和林邊海岸的調查結果顯示，在 2 月份共計觀察有 2 門 11 科 19 種海藻（綠藻門 5 科 7 種、紅藻門 7 科 12 種），潮間帶之藻種數量介於 6~13 種，以林邊離岸堤藻種數（13 種）最高，而潮下帶之藻種數量介於 5~7 種，以林邊離岸堤潮下帶物種數（7 種）最高。5 月份的調查共計 2 門 10 科 17 種海藻（綠藻門 4 科 6 種、紅藻門 6 科 11 種），潮間帶之藻種數量介於 5~11 種，以林邊離岸堤藻種數（11 種）最高，而潮下帶之藻種數量介於 5~10 種，以林邊離岸堤潮下帶藻種數（10 種）最高。8 月份則共有 2 門 6 科 8 種海藻（綠藻門 2 科 2 種，紅藻門 4 科 6 種），潮間帶之藻種數量介於 4~5 種，以林邊離岸堤潮間帶之豐富度（4%），大鵬灣導流堤潮間帶之物種數（5 種）較高。

臺灣北部宜蘭烏石及頭城海岸結構物之著生海藻，在 3 月份共計觀察有 2 門 8 科 8 種海藻（綠藻門 1 科 1 種，紅藻門 4 科 7 種）；海藻豐富度介於 0.2~13%，藻種數量介於 1~7 種，以烏石離岸堤（測站三）潮間帶的豐富度（13%）及物種數（7 種）最高。5 月份共計觀察 2 門 10 科 16 種海藻（綠藻門 2 科 2 種，紅藻門 8 科 14 種），海藻豐富度和出現藻種數，在潮間帶介於 9.4~23.0% 藻種數量介於 5~6 種，相差不大，以頭城突堤潮間帶的豐富度（23.0%）為最高。8 月份海藻豐富度介於 0.5~3.5%，以頭城突堤潮間帶的豐富度（3.5%）較高；其中頭城突堤與烏石離岸堤的豐富度皆相差不大。8 月份的藻種數量介於 1~5 種，以北側烏石離岸堤之潮間帶物種數（5 種）最高，其中頭城突堤測站的豐富度（1~3 種）稍低於烏石離岸堤測站（1~5 種）。

臺灣東部成功離岸堤及新蘭突堤之著生海藻，在 3 月份共計觀察有 3 門 11 科 18 種海藻（綠藻門 4 科 7 種、褐藻門 1 科 1 種、紅藻門 6 科 10 種），各測站間覆蓋率介於 1.1~14.5%，藻種數量各測站介於 5~15 種，以成功離岸堤之潮下帶 3 米深內的豐富度（14.75%）

及物種數(15 種)為最高。5 月份共計觀察 3 門 14 科 22 種海藻(綠藻門 5 科 9 種、褐藻門 2 科 2 種、紅藻門 7 科 11 種)，各測站間覆蓋率介於 1.3~52.41%，藻種數量介於 4~19 種，相差頗大，以成功離岸堤之潮下帶 3 米深內的豐富度(52.41%)最高。8 月份共計 3 門 10 科 12 種海藻(綠藻門 3 科 3 種、褐藻門 2 科 2 種、紅藻門 5 科 7 種)，各測站間覆蓋率介於 0.2~8.1%，亦以成功離岸堤之潮下帶 3 米深內的豐富度為本次最高 (8.1%)，各測站的藻種數量，介於 1~9 種，以成功離岸堤測站一之潮下帶 3 米深內的物種數(9 種)最高，其中新蘭突堤測站的豐富度 (1~6 種)稍低於成功離岸堤 (5~9 種)。

初步綜合本研究 95~97 年共三年之調查分析顯示，臺灣西部屏東林邊海岸結構物著生海藻之種類季節性變化在前二次變化不大，共計有 17~19 種海藻，但第三次的海藻種類有大量下滑，降至 8 種海藻。另一方面，臺灣北部宜蘭頭城海岸結構物著生海藻的種類季節性變化，在前二次 3 月及 5 月之變化較臺灣西部之屏東海岸為大，從 3 月的 8 種海藻，於 5 月提高至 16 種海藻，而 8 月的海藻種類則大量下滑，和西部屏東林邊海岸有類似的情形，降至只有 5 種海藻。至於東部成功及新蘭海岸結構物海藻著生種類，在各季節性的變化與臺灣西部海岸結構物著生海藻的種類季節性變化較為雷同，在前二次 3 月及 5 月之變化不大，共計有 18~22 種海藻，但在 8 月(夏季)的海藻種類下滑的幅度較小，只降至 12 種。

有關臺灣西、北及東部海岸海藻著生物種數之季節性分布比較，如圖 5-2 所示。

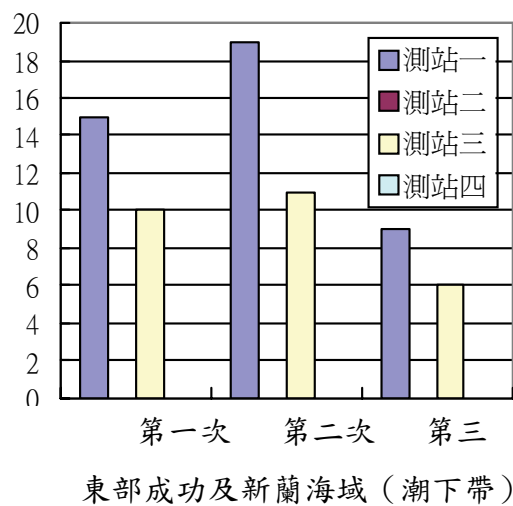
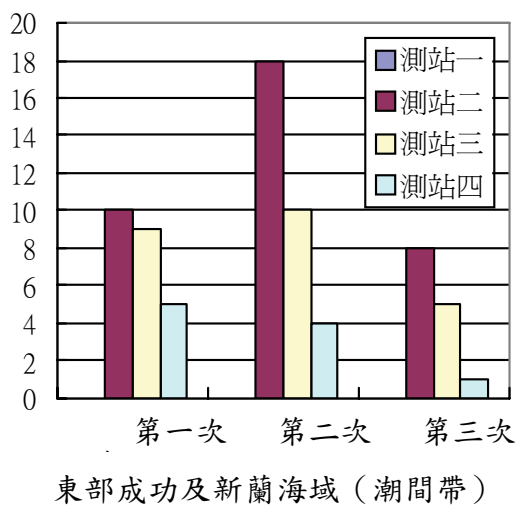
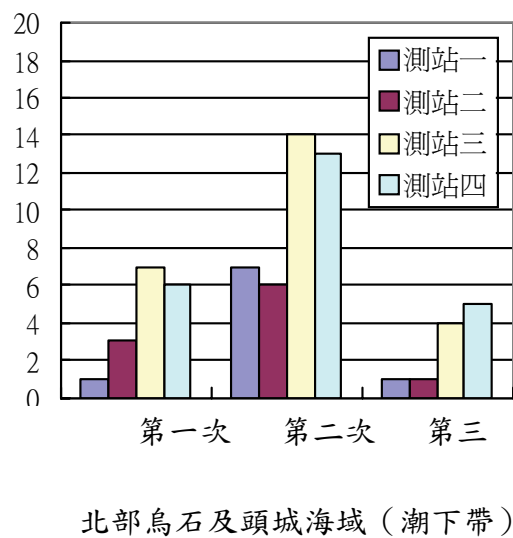
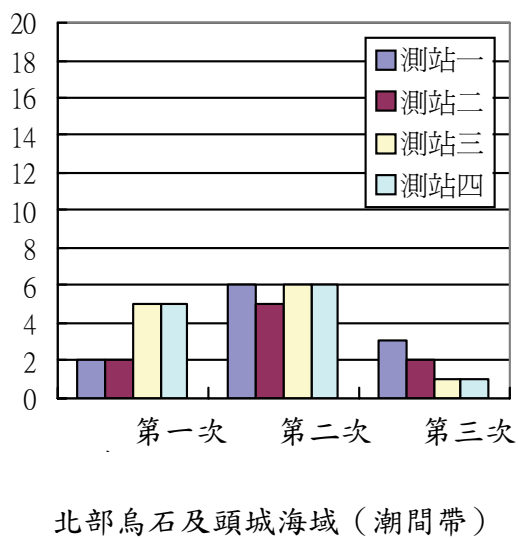
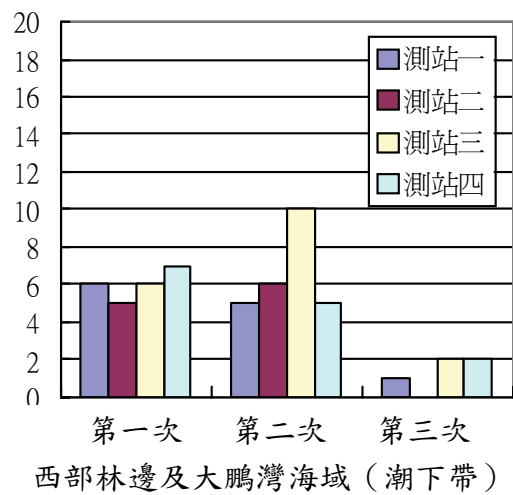
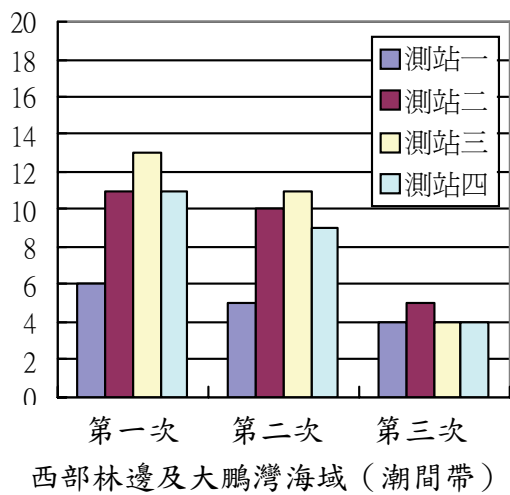


圖 5-2 臺灣西、北及東部海岸海藻著生物種數之季節性分布比較

5.1.3 西、北及東部海岸結構物海藻著生空間分佈及覆蓋率分析

臺灣西、北及東部海岸結構物著生海藻的種類季節性變化，西部屏東大鵬灣和林邊海岸的著生海藻的豐富度在二月～五月較高，2 月份以林邊離岸堤（測站三）潮間帶豐富度（69.3%）最高，5 月份以林邊之離岸堤（測站四）潮間帶豐富度（82.32%）最高，而 8 月份的豐富度（最高 8%）則為最低。

另一方面，臺灣北部宜蘭烏石海岸及頭城海岸結構物著生海藻的豐富度在五月較高，3 月份豐富度（0.2～13%）並不高，5 月份以頭城突堤（測站二）之潮下帶豐富度（33.7%）最高，8 月份的豐富度（最高 3.5%），與西部及東部海岸結構物著生海藻之覆蓋率大量下降情形雷同，皆為三次中最低。

東部成功及新蘭海岸結構物上的著生海藻的豐富度，與西部及北部海域相似，均是以五月較高，3 月份豐富度（1.1～14.55%）不高，5 月份以成功離岸堤之潮下帶 3 米深內的豐富度（36.51%）最高，8 月份的豐富度（最高 8.1%）與西部及北部海岸結構物上的著生海藻的覆蓋率的大量下降情形雷同，皆為三次中最低。

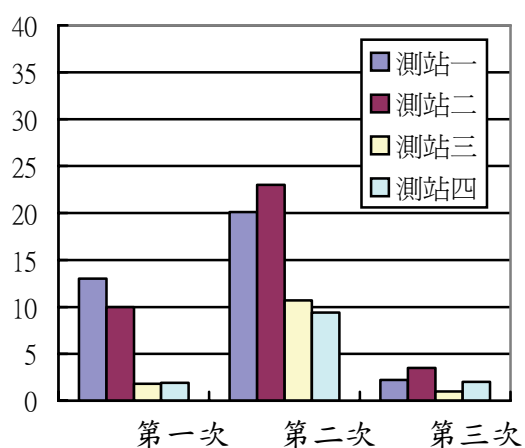
初步綜合本研究（97 年）及前二年度（95 年及 96 年）之調查分析結果，西部海藻豐富度第一次（69.3%）、第二次（82.3%）、第三次豐富度最低；北部海藻豐富度第一次（0.2～13%）、第二次（33%）最高、第三次最低（3.5%）。西部及北部海岸結構物第三次物種及豐富度最低，可能與臺灣海藻受夏季持續高水溫及強日曬雙重影響，大部份著生海藻皆消失不見；而北部前二次水溫 23～26℃，較西部五月水溫 29～31℃ 低甚多。初步推測，北部海藻著生豐富度，可能與受到水溫變化的影響大於水體營養鹽變化的影響。

由臺灣西、北及東部海岸之海藻著生在海岸結構物的空間分佈來看，在臺灣西、北部海岸之離岸堤皆可發現大量的裂片石蓴（西部屏東海岸之覆蓋率可達 20～35%，北部頭城烏石海岸可達 1～10%）和繁枝蜈蚣藻（西部覆蓋率可達 4%，北部可達 3～20%）。由過去的

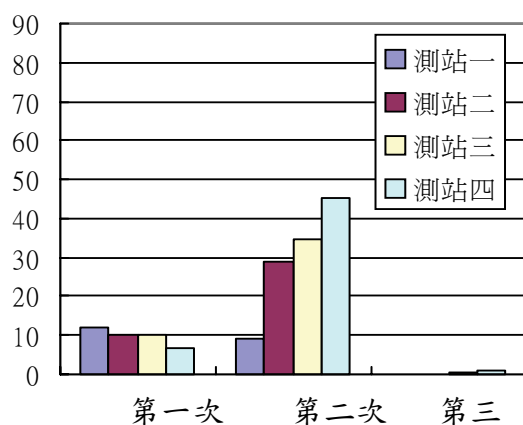
調查資料顯示，繁枝蜈蚣藻可以說是人工結構物的常見藻種，可能以它的生活史(2~4個月)較長以及藻體基部有較大的附著器(耐大海浪)和藻體較耐乾旱和較耐雨水沖刷有關。

依本研究(97年)及前二年度(95年及96年)之實地調查臺灣東部(成功及新蘭海域)、西部(大鵬灣和林邊海域)及北部(宜蘭頭城和烏石海域)之人工結構物海藻著生狀況結果，有些共通性，即海藻大多著生在堅硬的消波塊、石塊之有海水可以到達的頂部、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。另臺灣西部、北部及東部海岸結構物在8月之物種及豐富度最低，可能與臺灣海藻受夏季持續高水溫及強日曬雙重影響，致大部份著生海藻皆消失不見之情形有關。

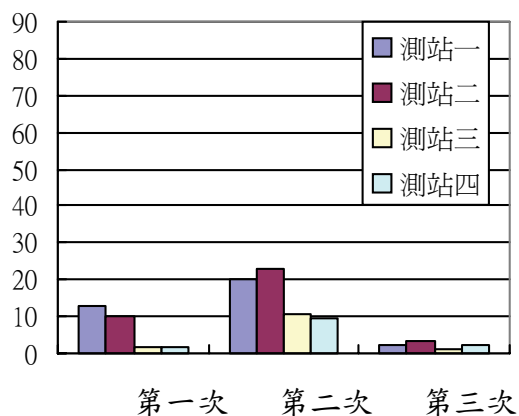
有關臺灣西、北及東部海岸海藻著生覆蓋率之季節性分布比較，如圖 5-3 所示。



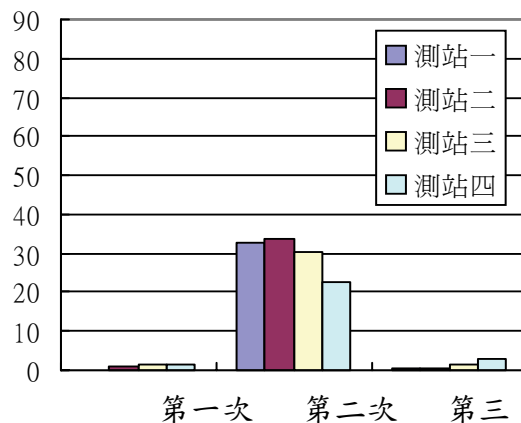
西部林邊及大鵬灣海域 (潮間帶)



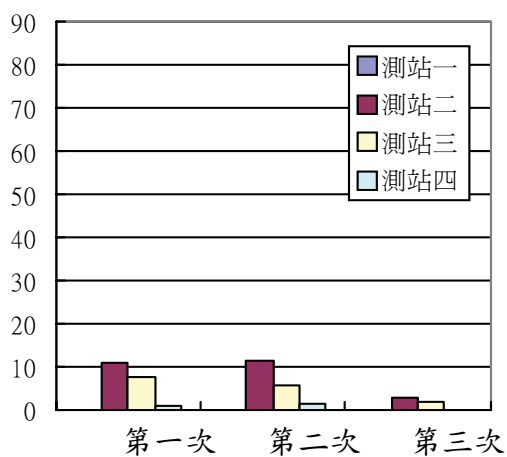
西部林邊及大鵬灣海域 (潮下帶)



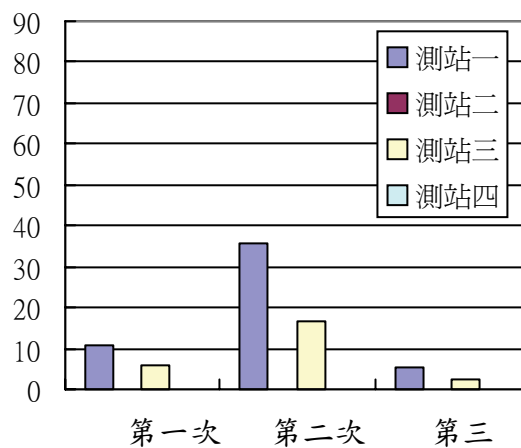
北部烏石及頭城海域 (潮間帶)



北部烏石及頭城海域 (潮下帶)



東部成功及新蘭海域 (潮間帶)



東部成功及新蘭海域 (潮下帶)

圖 5-3 臺灣西、北及東部海岸海藻著生覆蓋率 (%) 季節性分布比較

5.2 西、北及東部海岸結構物海藻著生與水質環境之差異性

5.2.1 西、北及東部海岸結構物海藻豐富度與營養鹽變化分析

臺灣西部屏東大鵬灣和林邊海岸結構物的海藻豐富度，在第一次（46.2~69.3%）及第二次（33.6~82.32%）明顯較北部宜蘭頭城和烏石海域、東部成功及新蘭海域之海藻著生豐富度來得高。依據本研究於臺灣西、北及東部海岸海水水質之結果顯示，於鹽度、pH 值與溶氧量方面，雖然臺灣西、北及東部海岸均有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)。

在水體營養鹽方面，西部大鵬灣和林邊海域之氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮)於第一次及第二次之測值相近，而磷酸鹽測值則第二次高於第一次。西部屏東林邊海域之水體營養鹽 N/P 比大約為 4.3，低於理論值(16)，顯示區域水體均為氮限，推測西部屏東大鵬灣和林邊海域之營養鹽，第一次較第二次來的高，然海藻豐富度卻以第二次較高，顯示第一次的營養鹽提供了第二次海藻大量生長的一個條件。另一方面，西部海域第二次之水溫(29.7~31.3℃)較第一次之水溫(24.3~25.1℃)為高，昇溫的水體，亦為促進海藻豐富度在西部屏東大鵬灣和林邊海域第二次有大幅增加的可能因子之一。

在臺灣北部宜蘭烏石及頭城海岸之氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮)，頭城海岸突堤相較於烏石離岸堤之水體，具有較高之磷酸鹽及氮鹽(硝酸鹽、亞硝酸鹽、氨氮)；比較西部大鵬灣和林邊海域(N/P 比大都高於約為 4.3)同時期之水體營養鹽 N/P 比，發現北部海域的 N/P 比，除了烏石離岸堤海域的 N/P 比在第一次較低之外(6~10)，宜蘭頭城和烏石海域，在第二次和第三次之 N/P 比皆接近或高於理論值(水中營養鹽的氮：磷比例之理論值為 16:1)；而東部成功和新蘭海域，除了成功離岸堤之測站一在第一次(N/P 比=7)和新蘭突堤測站四在第三次(N/P 比=7)較低之外，東部海岸成功和新蘭海域之 N/P 比大都接近或高於理論值，與北部的宜蘭頭城和烏石海

域之 N/P 比相似，推測北部及東部海域之海藻著生豐富度，較不受到水體營養鹽 N/P 比之影響。

本全程研究雖然已有三年之海藻著生及水質之調查資料，但因每年度之調查地點分散在西部屏東林邊、北部宜蘭頭城及東部之成功等海岸，缺乏在定點測站之長期調查，故對於臺灣沿海各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，仍需有待更長期的監測及觀察，才能有更進一步的定論。

5.2.2 西、北及東海岸結構物海藻豐富度與光照度變化分析

本研究由於在臺灣東部成功和新蘭海域之第三次，因採集新蘭突堤測站時之天氣突然轉陰，故東部成功和新蘭海域在第三次光照度差異主要受當日天氣變化影響而不予討論光照度與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DIN、DIP、N/P ratio 之相關性。

然依據本全程計畫共三年在臺灣之西部屏東林邊及大鵬灣、北部宜蘭頭城及東部之成功等海岸之實地野外調查研究，由光照度與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DIN、DIP、N/P ratio 之相關性，發現光照度與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DIN、N/P 比值均呈負相關性，顯示光照度愈強各種藻類吸收氮的能力也愈強，而此結果與海藻豐富度在臺灣之西部、北部及東部海岸的第二次有明顯上揚的結果相符合；至於光照度與 DIP 之關係則呈正相關性，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。

由於目前有關光照度變化之相關性資料量，雖已有不同地點之資料，惟在統計分析時仍顯不足，且因每年度之調查地點分散在西部屏東林邊、北部宜蘭頭城及東部之成功等海岸，較缺乏在定點測站之長期調查，因此有待更長期的監測及資料量更充分時，進一步探討才能定論。

5.2.3 西、北及東海岸結構物海藻豐富度與濁度、深度變化分析

依據本全程計畫共三年在臺灣之西部屏東林邊及大鵬灣、北部宜蘭頭城及東部之成功等海岸之實地野外調查研究，發現各地區之潮間帶及潮下帶之海藻總豐富度及物種數雖有不同或差異，有些潮間帶較潮下帶為多，如西部之屏東大鵬灣和林邊海域，而東部成功離岸堤則以潮下帶較潮間帶為多；然隨著潮下帶之水深漸深，海藻覆蓋呈現一逐漸遞減的趨勢，即臺灣西部、北部及東部海岸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。

有關海藻著生之水深，西部屏東大鵬灣及林邊海域（著生水深 40～90 cm）與北部宜蘭頭城和烏石海域（著生水深 40～90 cm）之海藻著生水深並無太大差異；而東部成功和新蘭海域的人工結構物，成功離岸堤之藻類分佈水深達 780 cm，而新蘭突堤則因較淺，大部份於大退潮時露出水面，因此，東部海岸之人工結構物擺設排放位置之水深，或因水深較深（離岸堤）或因設置之水深較淺（海堤或突堤），海藻著生情形受到水深變化之影響甚大。

如前有關海藻著生之水深，雖然西部屏東大鵬灣及林邊海域在第一次時的水體濁度（4.5～12 ntu），較北部宜蘭頭城和烏石海域的水體濁度（2.8～5.2 ntu），明顯高出許多，但西部屏東大鵬灣及林邊海域與北部宜蘭頭城和烏石海域之海藻著生水深並無太大差異（著生水深 40～90 cm）。而由東部成功和新蘭海域之濁度在各季節性變化情形來看，3 月份濁度介於 0.51～1.47 ntu、5 月份介於 0.93～3.29 ntu、8 月份介於 0.36～4.5 ntu，其中，除了新蘭海域的測站四在 8 月份的濁度（4.5ntu）突然高出其它測站許多之外，成功和新蘭海域的濁度以 5 月份為最高（0.93～3.29 ntu），此濁度測值的分析與海藻在此海域出現藻種數與覆蓋率（以 5 月份為最高）之季節性變化不符，依本研究於臺灣之西部屏東林邊及大鵬灣、北部宜蘭頭城及東部之成功等海岸調查初步研判，濁度相對於海藻藻種數與覆蓋率的影響似乎不大。

以生態觀點而言，藻類分布之水深應與當地水質環境及藻種之生

育特性有相關，亦即如其生長環境因子適合時，如光照度適宜，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(如溫度和 N/P 比)所限制。

目前本研究雖已進行臺灣之西部屏東林邊及大鵬灣、北部宜蘭頭城及東部成功等海岸之實地野外調查研究，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而言似較小；然而，仍屬短期之調查，對於西部、北部及東部海岸結構物之海藻著生與各項光照度、水深和濁度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。

第六章 適合臺灣海岸保護結構物兼具生態之工法研擬

生態型海岸保護工法係主要以海岸保護為目的，並開發使其兼具海岸生態共生共榮之機能；就目前臺灣海岸保護結構物開發現況及未來執行面觀之，應以改善現有海岸保護工法兼具生態效果，對現有海岸防護方式衝擊較小且執行較易，減低對周遭生態環境之負面影響。參考日本發展生態工法在海岸保護工程之應用與經驗，其主要作法歸納為「生態型消波塊、方塊之應用」、「生態礁之應用」、「附加藻場機能」及「附加海水交換機能」等四大類，依據全程計畫第一年研究，以直接生態促進型為主要發展型態，並以「附加藻場機能」最為適合，因此，本章有關適合臺灣海岸保護結構物兼具生態之工法研擬，將以「藻場造成型海岸保護工法」為主。

6.1 藻場造成型海岸保護工法之基本計畫

6.1.1 生態型海岸保護結構物建設檢討流程

由於海藻為海洋基礎生產者，藻場為海洋大型海產植物之群落，因此藻場可提供海洋生物攝食與生息空間，形成豐富之生態系，主要具有下列機能：1.行光合作用供給水中氧氣 2.提供魚介貝類之棲息、育成、隱蔽及產卵場所 3.藻食性動物與其他食物鏈中生物之食物來源 4.穩定海洋環境及保育漁業資源 5.吸收營養鹽淨化水質，因此藻場可提供海洋生物良好棲地與蔽護場所，形成豐富之生態系，故藻場造成型構造物在海岸生態工法上為最基本並具非常重要地位。

生態型海岸保護結構物主要營造適合海域生物生存之環境，在物種繁多之海域生物中，對象生物之評估宜根據實施海域之生態調查為基礎，選定合適之生物物種作為生態型海岸保護結構物建設型式之對象目標。藻場造成型為生態型海岸保護工法之一環，因此其基本計畫之建設流程，與一般生態型海岸保護結構物建設流程一致。

生態型（藻場造成）海岸保護結構物建設之檢討，首先應依整體海岸保護計畫，檢討海岸保護工法之型式，進一步配合其附加生態機能，藉由事前之生態調查，分析對象生物（藻場）之環境條件，併入海岸保護結構物設計條件考量，並於工程施工中及完工後應持續實施成效追蹤調查，評估實際生態工程之成效，有關生態型（藻場造成）海岸保護結構物之建設檢討流程，如圖 6-1 所示。

1. 規劃階段

包括對象結構物之初步選定、周邊自然環境之蒐集分析、規劃場址之適當性與對象藻種之選定，概略規劃其規模、構造及工法等，並針對結構物之機能性、安全性、利用性、耐久性及經濟性予以綜合評估，尤其是對象藻種生育條件之可能性而加以進行研判與分析。

2. 調查階段

調查之目的主要掌握海岸結構物周邊自然環境之要因，作為規劃設計評估之基礎，包括事前調查與現地調查，以掌握形成藻場之環境條件，事前調查以文獻蒐集、現地勘查及訪談為主，現地調查則包括藻場、地形、地質、波流、藻食動物及水質調查；如現地調查無法充分掌握藻場形成要因之情況，可考慮設置小規模試驗基質，進行現有地域之試驗調查，蒐集形成藻場之基礎資料。

3. 設計階段

海岸結構物附加藻場機能之設計，其細部設計考量因素，除與一般海岸保護結構物設計流程一致外，主要為把握天然藻場之環境條件，利用工程技術改善工法，設計減輕不利藻場形成之因素，期符合對象藻種之基質與生育條件，以利人工藻場形成。

4. 追蹤階段

於施工中至施工後實施追蹤調查，並評估計畫實施成效及監視週邊環境變化，檢討計畫與構造上不符之因素，以研擬改善對策。

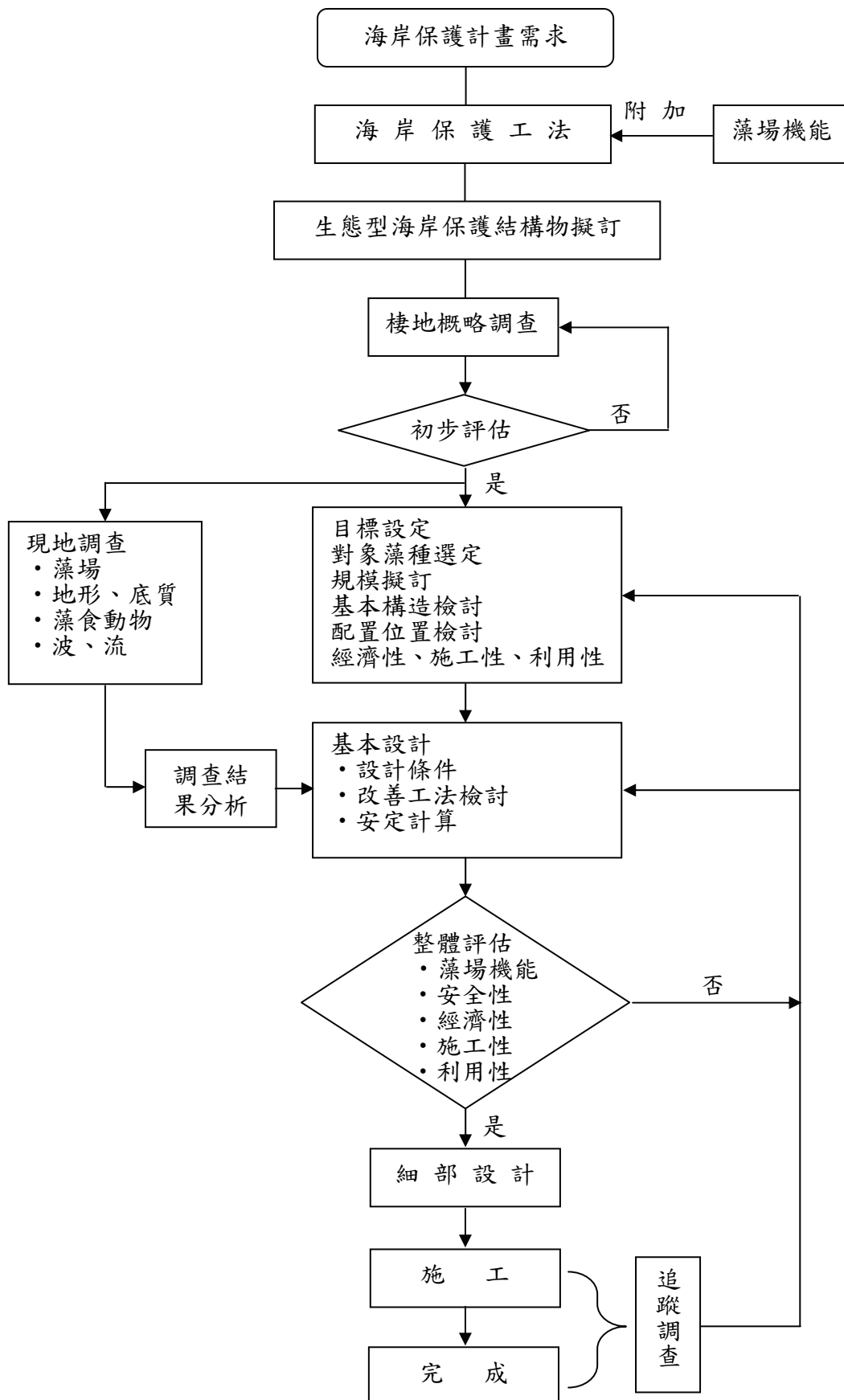


圖 6-1 生態型海岸保護結構物建設檢討流程

6.1.2 影響藻場生育之環境因子

1. 影響藻場生育之環境因子

藻場造成時，為增加繁殖而需進行具體的藻場造成計畫，必須對海藻生育之可能性進行研判與分析，包括對象海藻分佈限制環境要素之調查、已知資料之吻合對照等；然而海藻生育受許多因素所影響，包括物理要因、化學要因及生物要因等，雖已有許多關於海藻生態之研究，但仍有許多限制因素至今尚未能明朗，且由於海藻之生育分佈很少受單一因素強烈影響，也就是受各種環境要因相互交合影響，因此，藻場之造成與產生，就現階段之工程技術而言，仍具相當困難度。

一般天然海藻之生育分佈與造成，主要與環境之物理要因（基質、波浪、潮流、光量、懸浮值、海水水溫、降雨）、化學要因（鹽份、DO、營養鹽、污染）、生物要因（藻食動物之食害、藻食魚類之食害、藻類間之競合）等有關，如表 6-1 所示，有關影響藻場生育之主要環境因子及改善對策，說明如后：

表 6-1 影響海藻生育的環境因子

影響因子分類	環境要因
物理要因	基質、波浪、潮流、光（光量）
	懸浮質
	光（日照量）、海水水溫、降雨
生物要因	藻食動物之食害
	藻食魚類之食害
	藻類間之競合
化學要因	鹽份、DO、營養鹽、污染

資料來源：藻場の海藻と造成技術，能登谷正浩編著，2003。

(1) 基質問題

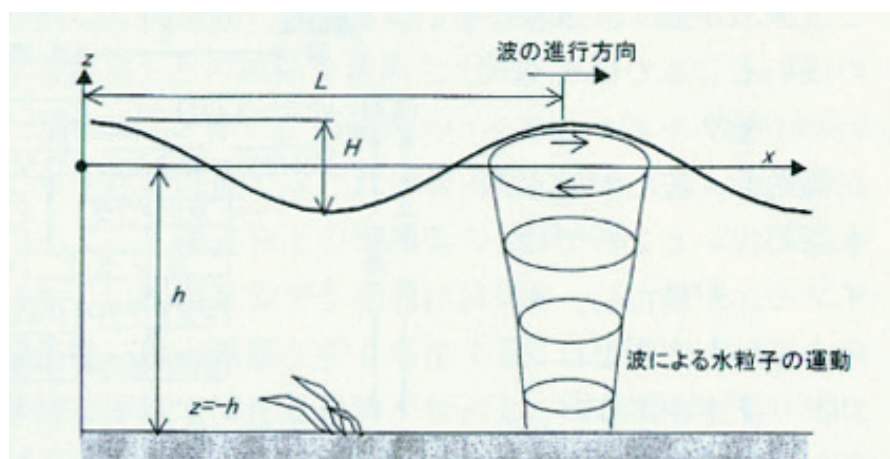
藻場為海洋大型海產植物之群落，一般分為海藻與海草兩類，以底棲性固著生活方式，按其生長之棲地環境概分為岩礁性藻場與砂泥性藻場。一般海藻多著生於固定基質，所形成群落屬岩礁性

藻場；部份海草生長於砂泥地，其群落屬砂泥性藻場。故在砂岸、卵石、礫石海岸上並不常見海藻之著生，而海底之岩礁區域則常有大量之海藻著生，此係因海底基質如為重量小之砂粒、卵石、礫石，對海藻之生長屬不安定之場所。

(2) 波浪、潮流問題

就海藻之生長而言，除基質條件外，沿岸海域之波浪大小亦為海藻分佈影響較大之環境要素，砂岸、卵石、礫石海岸之基質因不足對抗波浪之波力而發生轉動或移動，而使得海藻無法著生或產生剝離，致使海藻類無法著生。

以海藻之生育角度來看，波浪為隨海水前後上下振動之運動，而非單純一方向之流動，海底海藻之擺動為通過波峰時倒向陸側，通過波谷時倒向海側；以臺灣海域常出現週期 7 秒之季節波浪而言，海藻一日約搖動 1 萬 2 仟回，波高小的時候，海水之振動不致影響至海底，但在波高較大或水深較淺之近岸，會隨波浪之振動給海底帶來較大之影響；當波浪較大且發達，或水深變淺產生碎波時，附著在基質上之海藻根部容易被打斷，因此依波浪強弱大小，分佈海藻之種類亦有所不同，海底藻類與波浪之關係如圖 6-2 所示。



資料來源：藻場の海藻と造成技術，能登谷正浩編著，2003。

圖 6-2 海底藻類與波浪之關係示意圖

(3) 光量不足問題

一般因光量不足而成為限制藻場成長及分佈之直接要因較少，但於透明度較低之內灣海域，部分海草類之成長及分佈會受光量之限制，由於改變海水透明度常較為困難，一般考慮已投入人供基質，來改變其生長水深。

(4) 底質之移動與堆積問題

對於岩礁性藻場之造成場合，由於底質之移動致漂砂淤積或侵蝕而埋沒基質時，將構成群落形成之阻害要因，故一般有須要推定漂砂之影響程度，決定基質距離海底面之高度。

(5) 食害問題

藻食動物之食害為沿岸藻場直接減少之要因，包括藻食性之底棲生物(如海膽、卷貝)、魚類(如象魚、鯛)、鳥類等。有關藻食動物食害之防止對策，可考慮增加流速及砂地之利用；當流速超過底棲生物之攝食界限時，可抑制底棲生物攝食活動，保護海藻避免食害。

(6) 與附著生物之競合問題

著生在基質上之優勢附著生物(動物、海藻等)亦會阻害對象藻場之形成，生物間之競爭關係係由附著基質之裸地即開始，隨著生物群集之遷移，最適合該生長環境之生物將漸佔優勢，故於基質投入時期遭對象藻種外之附著生物著生，可能長期阻害海藻之生育，

(7) 孢子流失與輸送問題

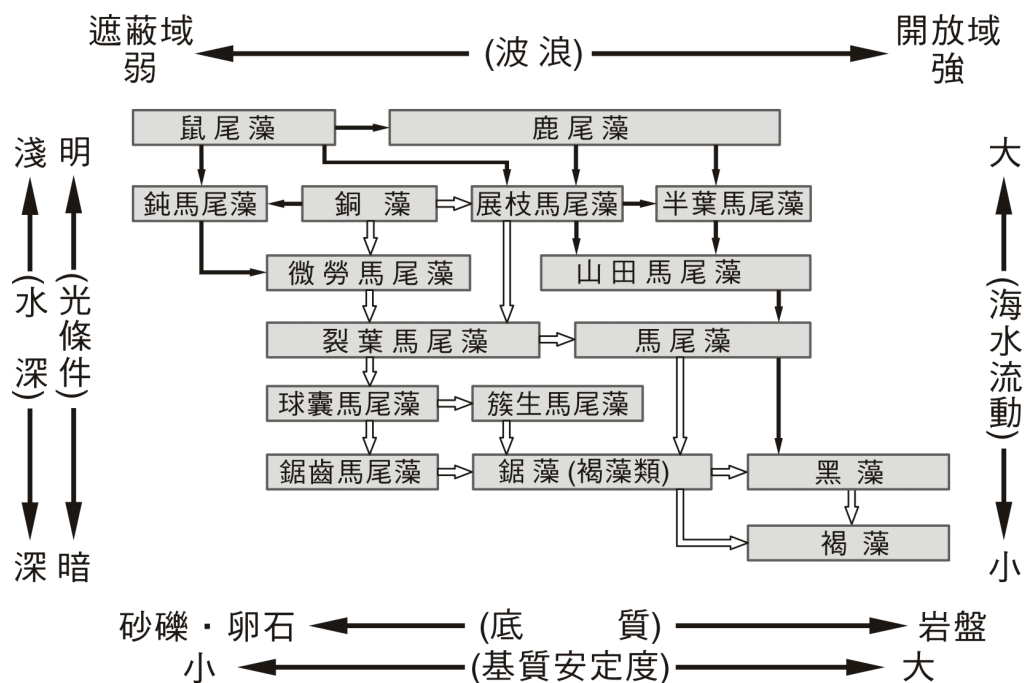
海藻孢子大量放出時，為使擴散範圍寬廣，於既有藻場之周邊投入新基質俾供海藻著生，如部份海藻之孢子較大不易在母藻附近基質之平坦面上著生，或部份孢子不易在基質之傾斜面著生者，皆須加以考慮對象海藻之繁殖著生特性。

(8) 浮泥堆積問題

當內灣、河口海域受到陸源濁水之影響，而使浮泥易堆積於基質上而產生海藻孢子之著底妨礙，或藻體遭覆蓋枯死等情形，改善此浮泥堆積問題，通常可考慮設置海水導水工，以增加水流流動，防止浮泥堆積，有利藻場之形成。

2. 優勢藻類與波浪大小、底質、光照條件之關係

如前所述，有關影響藻場生育之主要環境因子，包括：基質、波浪、潮流、光量、底質之移動與堆積、藻食動物之食害、附著生物之競合、孢子流失與輸送、浮泥堆積等問題，由於海藻之生育分佈很少受單一因素強烈影響，即係受各種環境要因相互交合影響，因此，對於海藻生育可能性之研判需參考一般藻類生存之環境；參考日本今野敏德（月刊海洋科學，1985）之調查，藻場因區位之波浪強弱大小、流速強弱、光量度、底質等不同，使分佈優勢海藻之種類亦有所不同，可供一般對象藻種研判時之參考；有關優勢藻類與波浪大小、底質、光照條件之關係，如圖 6-3 所示。



資料來源：藻場の海藻と造成技術，能登谷正浩編著，2003。（本研究翻譯）

原始資料來源：今野敏德，月刊海洋科學，1985。

圖 6-3 優勢藻類與波浪大小、底質、光照條件之關係

3. 改善影響藻場生育環境之經濟性研判

有關海藻生育可能性之研判，對限制海藻生長及分佈之環境要素必須有計畫且整體性的考量，當判斷出藻場造成有其可能性時，則需在所選定對象海藻生育環境適合之地點，對限制海藻生長及分佈之環境要素中，可利用人為或工程方法控制或提供的環境（如投入能安定波浪之具相當重量之石材，設置藻礁及消波塊等人工基質），藉以改善或創造適合其生長之環境，減低對象藻類生育不利之因素之，始能達到藻場造成之目的。

有關限制海藻生長及分佈之環境要因中，如營養鹽濃度、鹽份、溶氧量等有關海水成份之化學要因，及海水溫度、海水透明度之物理要因等，皆非人為力量可抑制或控制的，如有些內灣因優養化而使海水中之浮游生物大量增加或藻類生長必要之水中光線不足之海域，基本上藻場造成是有其困難的，即使能以海水淨化處理等技術處理，來增加藻場造成之可能性，但就永續維持藻場而言，則須耗費相當費用，基本上並不經濟，因此對於消除或減低對象海藻生長及分佈之阻礙因素時，雖可以人為方式達成，但須進行藻場造成經濟效益之研判；有關影響海藻生育的環境因子控制之難易度，如表 6-2 所示。

表 6-2 影響海藻生育的環境因子及控制難易度

影響因子分類	環境要因	控制難易度
物理要因	基質、波浪、潮流、光（光量）	○
	懸浮質	△
	光（日照量）、海水水溫、降雨	×
生物要因	藻食動物之食害	△
	藻食魚類之食害	×
	藻類間之競合	○
化學要因	鹽份、D0、營養鹽、污染	×

註：○容易控制、△有可能控制、×無法控制

資料來源：藻場の海藻と造成技術，能登谷正浩編著，2003。

6.1.3 改善影響藻場生育環境之工法

如前所述，為增加藻場繁殖而進行藻場造成計畫時，須對海藻生育之可能性進行研判與分析，對於限制海藻分佈之化學要因、生物要因，及海水溫度、海水透明度等物理要因，係屬非人為可抑制或控制的，然海藻之生育分佈較少受單一因素強烈影響，即係受各種環境要因相互交合影響，因此，改善方式係以提供藻類適合生長之基質，及控制物理要因中之波浪、流速、光量及懸浮質等，為現階段人為及工程技術層面上較可行及經濟的手法。

一般在砂岸、卵石與礫石海岸上較少海藻之著生，而海底之岩礁區則常有大型海藻之著生，因此，若要期待多年生之海藻著生，海底基質如為重量小之砂粒、卵石與礫石，對海藻生長而言為不安定場所，故藻場造成常依海藻之附著條件，投放具有相當重量之石塊、混凝土方塊、消波塊、藻礁方塊等，以對抗來襲波浪波力；惟因一般對波浪較安定之 1 噸以上之石材較難得到，因此一般仍以混凝土塊及方塊製品較為廣泛使用，而這些混凝土方塊、消波塊，亦為防波堤及海岸保護結構物等常用來保護結構物之基礎，具有堅固、安定之特性，亦有各式各樣之形狀，對大小不同波浪亦具有重量不同之形式，可提供海藻著生良好之基質環境，因此常被稱為人工基質。

人工基質本身應具有對抗來襲波浪之重量，當研判藻場造成有其可能性時，對於選定對象海藻生育環境之地點，投入具相當重量而能安定波浪之石材、方塊或藻礁及消波塊等人工基質最為普遍。

生態型海岸保護結構物係屬於傳統海岸保護結構物上而附加其生態機能，規劃設計上除考量結構物基本之安定性、施工性及經濟性外，須再重視海洋生物之生息環境，以促進海岸工程建設與生態之和諧共存。就經濟面而言，為有效果之藻場造成一般實施之作法有：抑制波浪、堆高海底、設置拋石或天然石料與人工基礎等，以期確保海藻生長時所需之光量，及於砂灘海底時作為海藻附著之基盤，即實施所謂物理性之改善對策。

另外，由於一般大型海藻常著生於基質之角隅部，而具凹凸表面形狀之基質，有利藻類孢子之附著與根部之著生；因此亦有在海藻容易附生之人工基質形狀上進行改善，規劃設計各部構體之形狀、尺寸、位置及材質等要素，在混凝土表面使用特殊處理，如藥劑處理、凹凸狀與鋪設纖維網等，或多孔質混凝土等促進生態機能，擴大發揮其生態棲地環境效果，使海岸保護結構物兼具生態機能。

近年來建設港灣、漁港之防波堤、護岸及離岸堤等海岸保全設施時，更積極利用消波塊形成藻場，並找出與自然調合之組合方式。依據日本小世等(1994)表示，消波塊堆積成之傾斜構造物，基本上可全面性受太陽光照射，對海藻類較佔優勢，故以消波或國土保全為實施目的之海岸保護結構物上，附加藻場機能之相關工程，考量經濟性及效果，在日本之「自然調合型漁港建設」(水產廳漁港部 1999)中，以「直立構造物之傾斜堤化」、「傾斜構造物之緩傾斜化」、「付一小段之消波工」、「拋石加高」等之改善工法為主，基本上皆係為強調並提高海藻生育水深帶之構造物，改善影響海藻生育環境因子之工法，彙整如表 6-3 所示。

如前所述，對於消除或減輕阻礙對象海藻成長及分佈之主要因素，雖然有許多改善工法是可以人為方式達成，然必須有計畫及整體性的考量有關限制海藻成長及分佈之環境要素，研判進行藻場造成是否能符合經濟效益，始能達到海岸保護結構物係附加藻場造成之目的。

表 6-3 影響海藻生育環境因子之改善工法

限制要因	改善工法	改善工法說明
光	基質投入	當計畫位置水深較海藻生育水深帶為深之情況下，通常依海藻之附著條件，投拋放具有相當重量之石塊、混凝土方塊、消波塊、藻礁方塊等，提供適合藻類生長之基盤
	傾斜堤化、緩傾斜堤	改善直立堤或混合堤部分為傾斜堤，並緩合傾斜堤坡度，至適合生育水深
	付加小段之消波工	對於附加消波工之防波堤、海岸結構物等，藉由附設小段消波工或緩合消波工坡度，以達適合生育水深
	緩坡度消波工	
波、流	潛堤	利用潛堤、人工潛礁可對波浪之碎波機能，提供堤後較小之波浪環境，改善海藻生育環境
	人工潛礁	
著生基盤	基質投入	海底基質如為砂粒、卵石、礫石時，依海象波浪條件，拋放具相當重量足以安定波浪之石塊、混凝土方塊、消波塊、藻礁方塊，提供適合藻類生長之基盤
	改變基質表面形狀	規劃設計各部構體之形狀、尺寸、位置、材質等要素，使用特殊處理混凝土表面(如藥劑處理、凹凸狀、鋪設纖維網等)或多孔質混凝土等促進生態機能，擴大發揮其生態棲地環境效果
砂的變動	防砂堤、藻礁	在適合波浪穩靜砂地，可考慮於適當地點設置消波構造物，而為防止河川輸砂堆積則可考慮導流堤、防砂堤等設施，防止著生基質週邊砂石之變動，避免影響海藻之生育
水質	導流堤	藉由導流堤控制漲退潮流方向，促進海水交換
藻食動物	設置圍網	於著生基質端佈設置圍網，防止藻食動物之侵入
	流況之控制	控制波、流水理狀況，抑制藻食動物之攝食，以緩和食害之影響
	控制藻場與水面之距離	因鳥類潛水攝食有上限水深之限制，調查鳥類攝食之界限水深，進一步檢討造成藻場之高度，避免鳥類食害
附著生物之競合問題	施工時期之掌控	可利用對象藻種孢子之釋放期間投入人工基質，以確保群落之形成。

6.2 傳統海岸保護結構物附加藻場生態機能之改善對策

6.2.1 藻場造成型海岸保護結構物斷面之基本構想

海洋生物之分佈與棲地環境息息相關，如水溫、水質、波浪、潮位、海流、海岸地形與地質等，例如附著性生物(包括動物、植物)之生長環境需堅硬之基質附著，故於海岸礁岩、人工結構物可常見海藻、藤壺、牡蠣、貽貝、海鞘等生物，而一般水產生物習於隱蔽、躲藏、易覓食之場所，亦喜棲息於礁岩、人工結構物之區域。因此透過相關生態調查及文獻資料，瞭解海洋生物之生息環境，利用工程技術改善方法，儘可能模仿生物棲息條件之實際狀態，營造海岸結構物適於生物共生之環境，以達到兼具生態機能之目的，以海岸結構物模仿周邊藻場環境示意，如圖 6-4 所示。

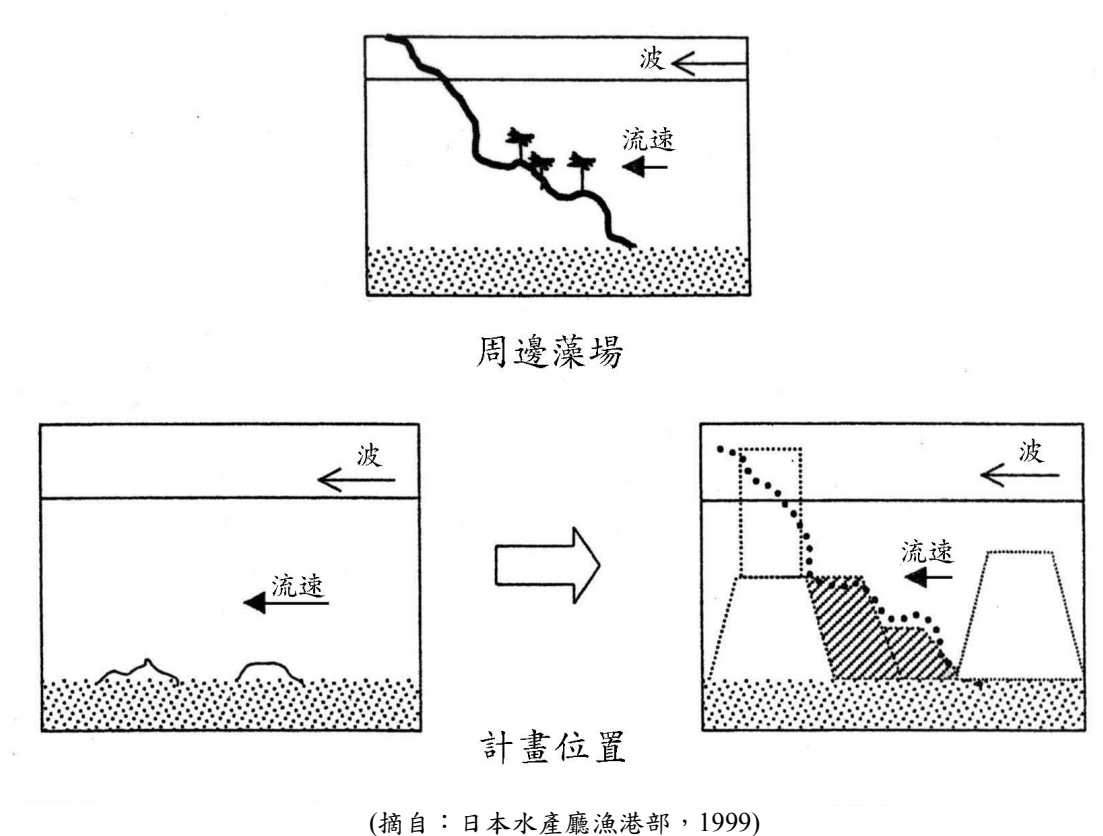


圖 6-4 海岸結構物模仿周邊藻場環境示意圖

6.2.2 海岸保護結構物附加生態機能（藻場造成）之基本對策

生態型海岸保護結構物主要改善傳統海岸保護結構物之生態效果，亦即附加海岸保護結構物之生態機能，在改善工法上可考慮下列三種基本對策，如圖 6-5 所示，說明如后：

1. 基本斷面形狀改良

對策一為改善原有斷面構造使適於海洋生物之生息繁殖，包括斷面形狀、設施配置等改良，藉由提高拋石基礎高度至對象生物之繁殖水深帶，設置複式斷面等基本斷面形狀改良方式；如提高結構物之海、陸側拋石基礎高度，或於結構物前增設潛堤形成複式斷面等，改善海藻著生基質於繁殖水深帶之分佈規模，以利於藻場形成，如圖 6-6 所示。

2. 原有斷面構造前提下附加生態機能

對策二係在原有斷面構造基礎下附加設施配置以增加其生態機能，如增設方塊或生態礁、加拋石料或消波塊等繁殖基盤至對象生物之繁殖水深帶，在原有斷面構造基礎下增加海藻繁殖基盤之規模，以利於藻場形成，如圖 6-7 所示。

3. 原有斷面構造前提下改良部材構造

對策三亦在原有斷面構造基礎下改良構造，如消波塊與方塊之外觀、形狀或材料，採用生態型消波塊、生態礁(如藻礁)等，以利於海藻著生及藻場形成，並同時提供水產動物之聚集及產卵環境，如圖 6-8。

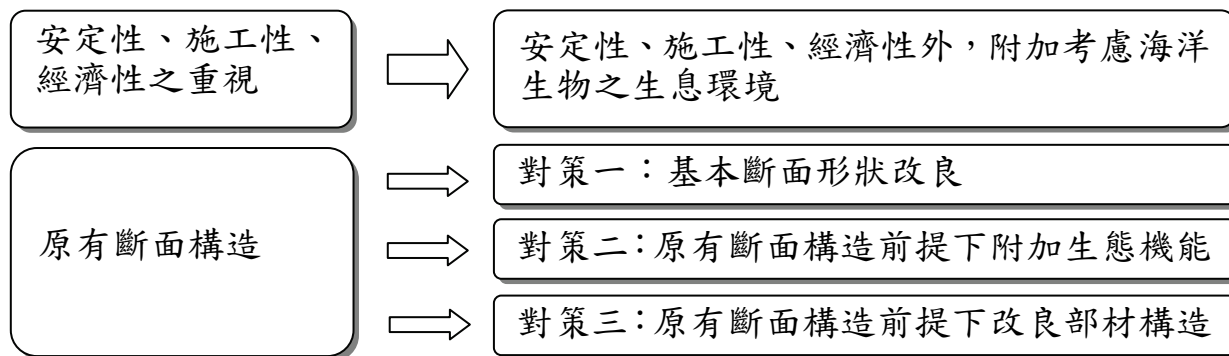
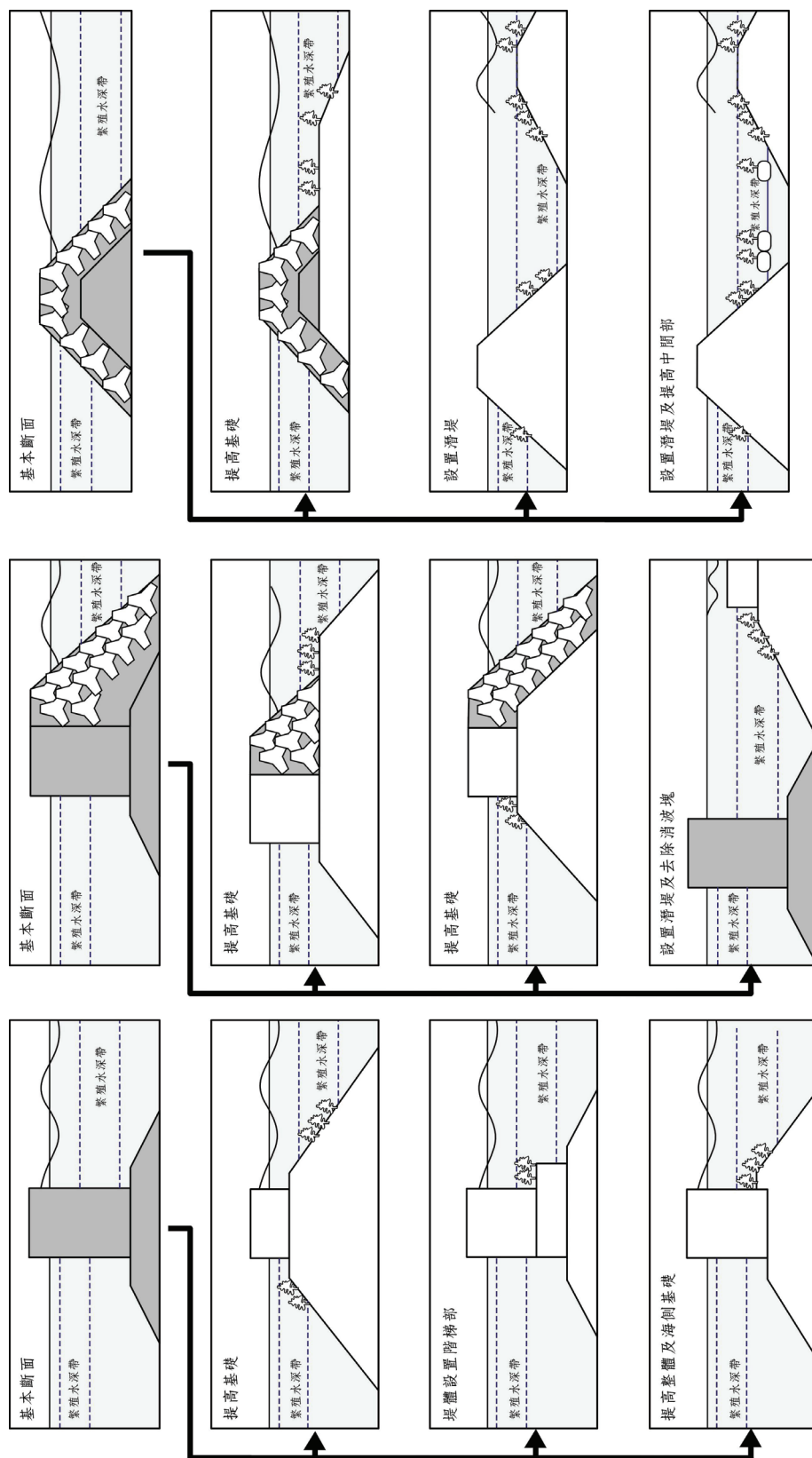
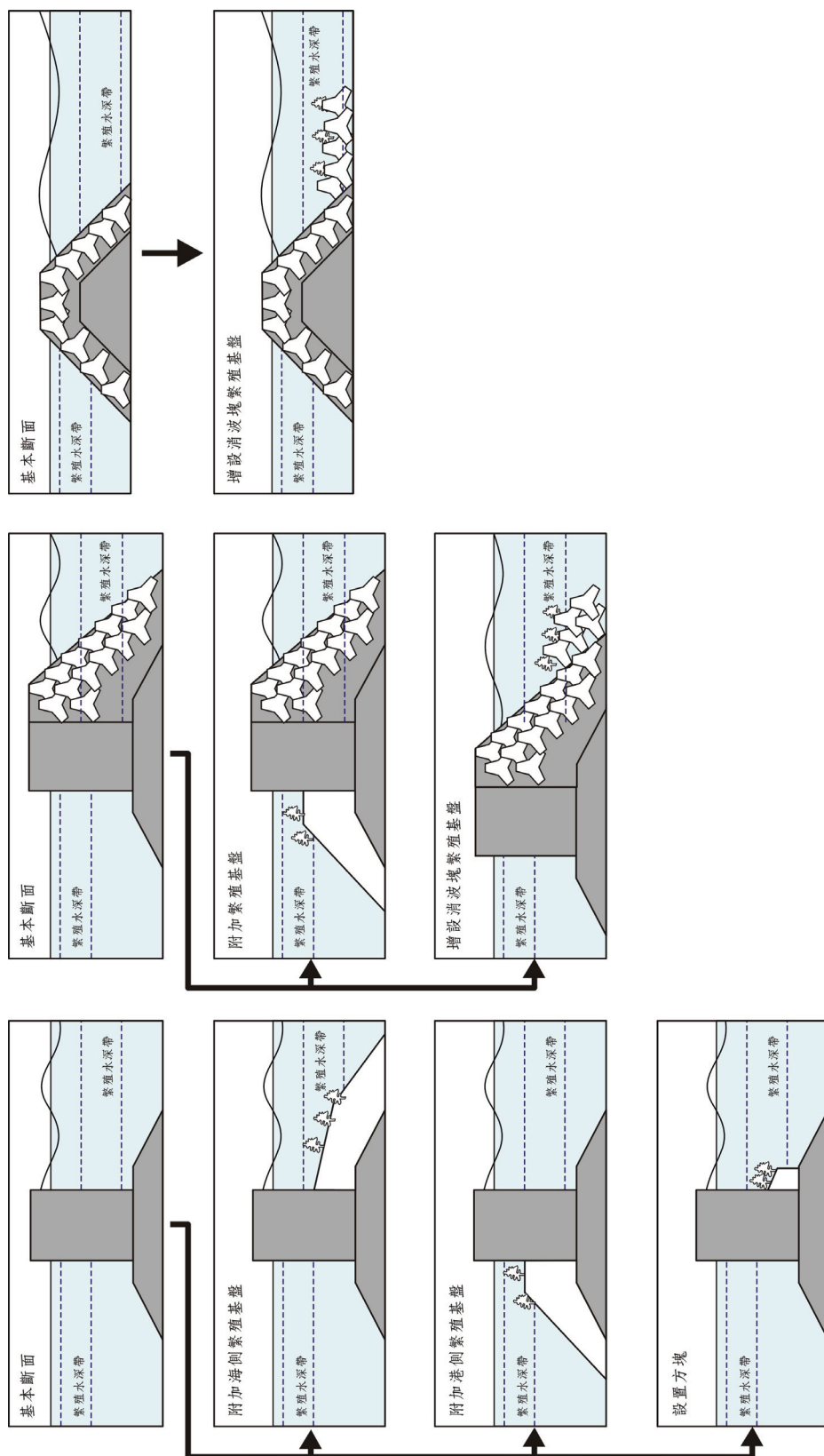


圖 6-5 傳統海岸保護結構物附加生態機能之改善對策



參考資料：漁港漁村建設技術研究所（2001）

圖 6-6 改良基本斷面形狀之生態型海岸結構物 - 以藻場造成型為例



參考資料：漁港漁村建設技術研究所（2001）

圖 6-7 增加原有断面構造生物繁殖基質之生態型海岸結構物 - 以藻場造成型為例

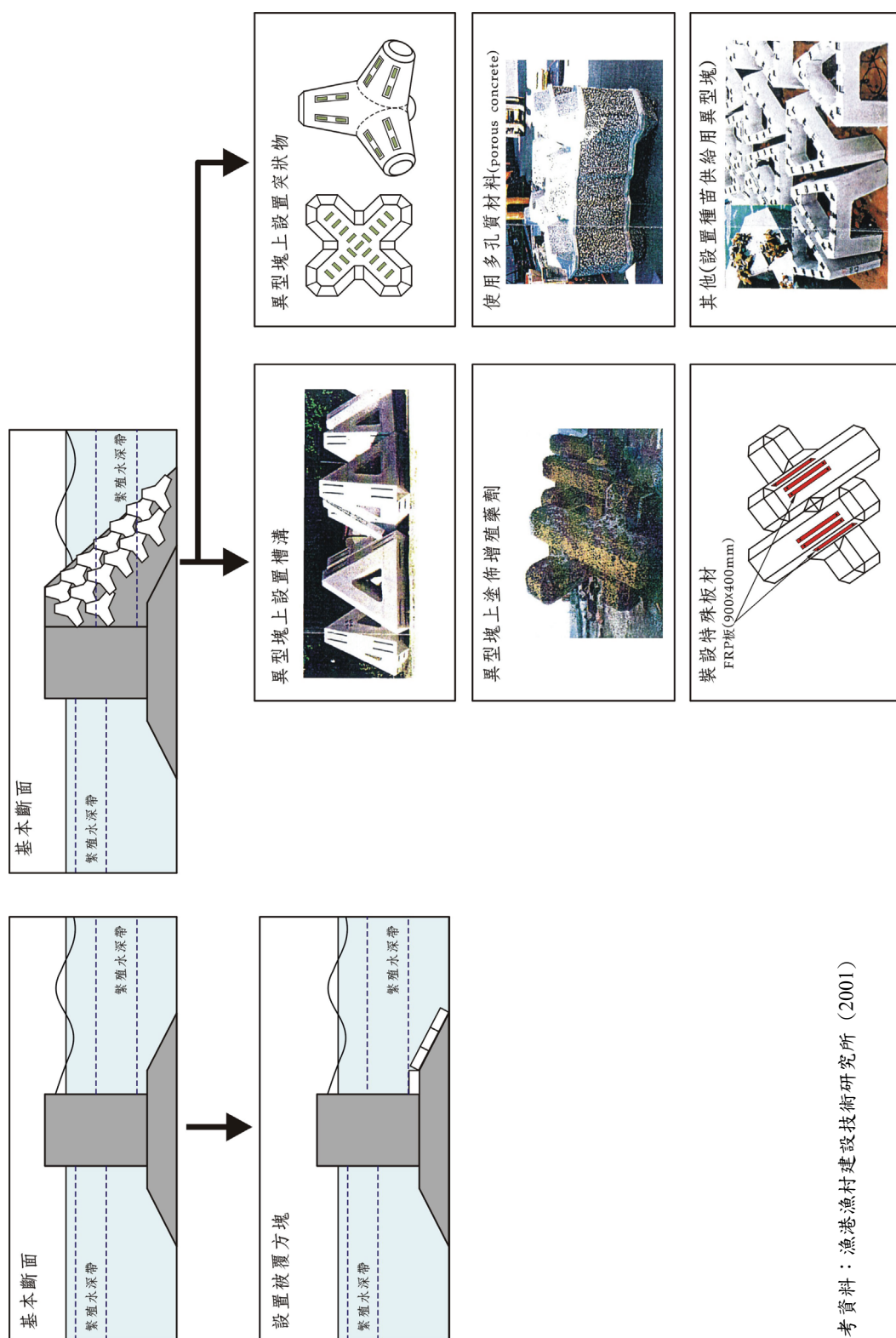


圖 6-8 改良原有斷面構造部材之生態型海岸結構物 - 以藻場造成型為例

6.2.3 藻場造成型海岸保護結構物之設計流程

由於海岸工程建設不免破壞原有海岸環境，而難以恢復干擾前之狀態，屬於環境變化之不可逆行為，故對於採用生態理念設計之海岸保護工法應以改善與創造海岸生態環境之技術為主，即較接近一般所稱之「近自然工法」。因此，生態型海岸保護工法之發展方向應以「改善、創造原有海岸保護工法之生態機能」，使其發揮基本海岸保護功能外，並能提供適合海洋生物著生、棲息及繁殖之空間，達到海岸保護與海域生態和諧共生之目的。

生態型海岸保護結構物之設計流程，係於海岸保護結構物之設計過程中，增加考慮對象生物之造成條件，於基本斷面之假設上考慮利於生物附著棲息之構材、斷面形狀、平面配置等，其餘之設計計算與一般海岸結構物大致相同，以藻場造成型為例之設計流程，如圖 6-9。

6.2.4 藻場造成型海岸保護結構物設計應注意事項

藻場造成型海岸保護結構物之設計，係在海藻生育之可能環境下，藉由利用天然石料或混凝土方塊，來整備適合海藻繁殖之基盤，並利用人為力量輔助海藻之繁殖。因此在對象海域中，選出能被期待生育之適合種類，及良適之環境條件(主要為水深度及基盤之底質)，並考量海藻成熟期，在最適當時機作整備工作為不可欠缺之條件。因此，在考量海岸保護結構物附加藻場機能之設計時，除檢討其在防災面、安定性、施工性及經濟性等因素外，應一併考量海藻繁殖之因素：

- 1.在藻場機能附加之人工構造物，至少應對海藻存活及繁殖有幫助。
- 2.選定適合種類，創造該種適合繁殖的條件。
- 3.周邊海域自然海岸海藻分佈狀況或類似既設構造物中海藻繁殖狀況。
- 4.在最適當時機實施藻場造成之作業。

另彙整在海岸保護結構物附加藻場機能之設計時，在設計構造上應特別注意事項，如表 6-4 所示。

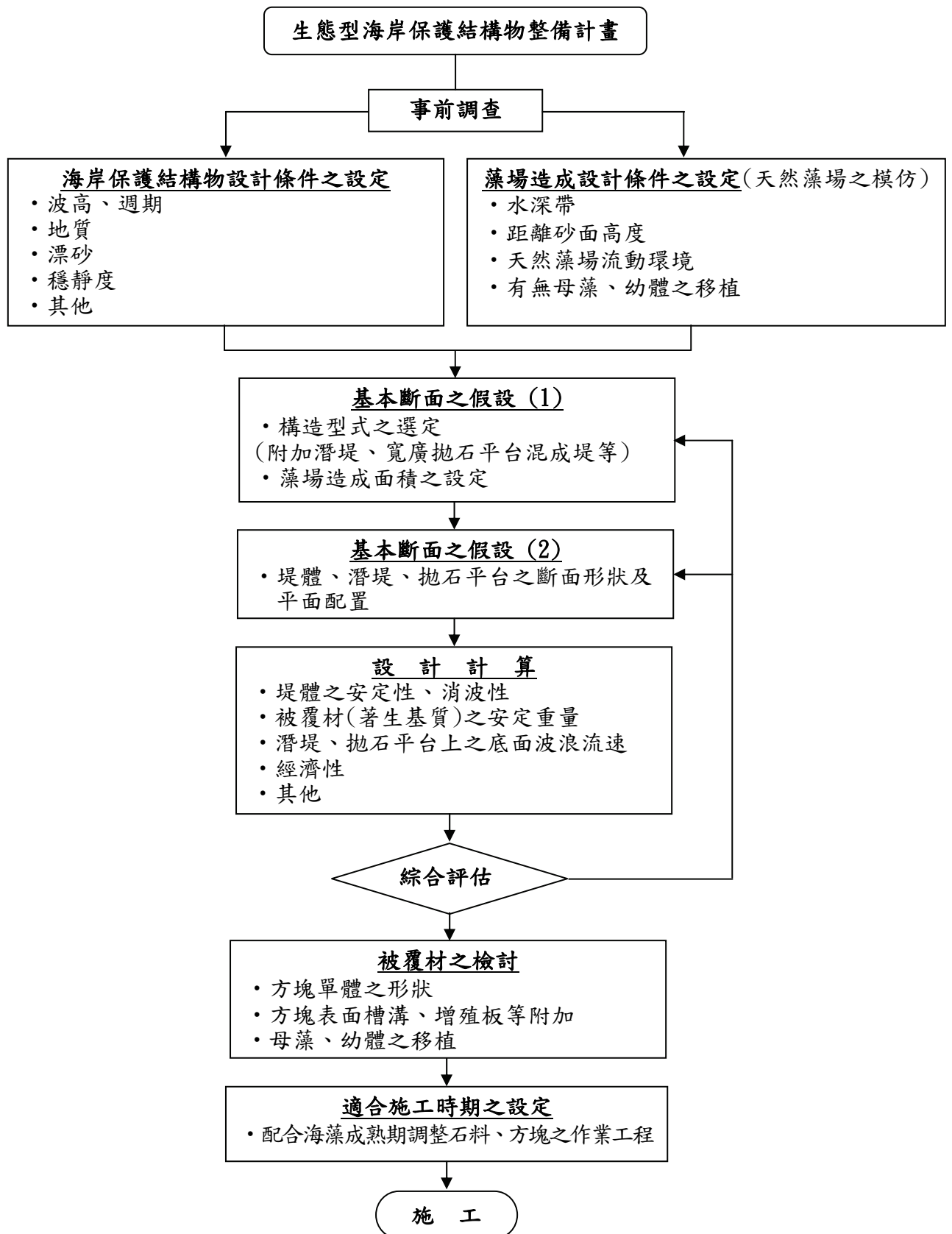


圖 6-9 藻場造成生態型海岸保護結構物之設計流程

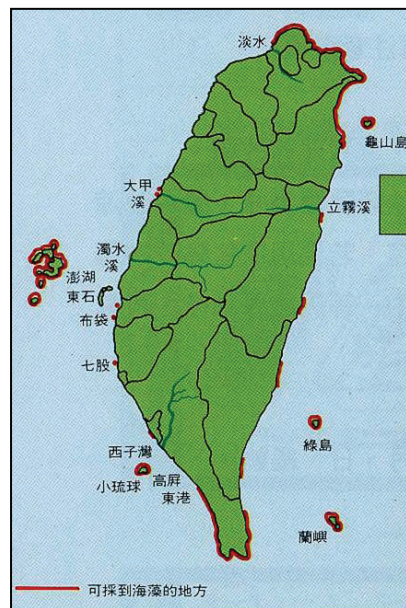
表 6-4 海岸保護結構物附加藻場機能設計構造上應特別注意事項

項目		應注意內容
基盤條件	期望之水深帶	1. 依海藻種類不同生長之水深亦不同 2. 最適合之水深帶（主要由海中光的條件及受波強度來決定） 3. 海中光的條件（特別易受濁度影響時）
	材質	1. 基本上凹凸、空隙或孔隙多之材質，較適合海藻之附著 2. 對創出之基盤，期望使用藻場分佈周邊海域之岩石 3. 因現場使用之拋石或被覆石大多為碎石場之花崗岩或石材，應參考使用花崗岩或石材之既設構造物，來判斷其適用性 4. 對基盤而言使用岩石及混凝土之差異性（一樣參考使用同材質之既設構造物，來判斷其適用性）
	凹凸	1. 凹凸較多之部份，可增加空間多樣性，但凹凸空間會促進食害生物之繁殖，須加以留意
	傾斜	1. 為確保光合作用時必要之光線能到達，應儘量使基盤面積變大，期望能要有較緩之傾斜坡
物理環境	衝擊波 海潮流	1. 對海藻之生長須有某些程度之衝擊波及潮流通過，但當衝擊波過強時，會造成葉體切斷或海藻自體之剝離 2. 當海水之移動太少時，會產生營養鹽之供給不足或海藻表面附著有害生物等問題
有無競爭生物、障害生物之存在及發生之可能性		1. 從周邊海域海藻之繁殖狀態中，掌握有無阻海藻附著或生長之生物 2. 有無可能阻害海藻著生之動物（如藤壺及貽貝類等）、或以攝食海藻並阻害其生長動物（如海膽、臭肚魚等魚類）、或附著於海藻表面阻害其生長者
最適合施工時期		1. 在施工現場除海藻自身之繁殖時期須注意外，對上述之競爭生物、障害生物之繁殖時期亦應注意
河川的影響		1. 在河川河口附近，必須留意河川水之擴散與分佈，有無因潮流及波向而使鹽份濃度降低，致阻害海藻之生長
漂砂及懸浮濁度之影響		1. 由於漂砂及有機懸浮物將會阻害海藻之附著，因此須加以留意漂砂及有機懸浮物之量及發生時期，尤其是沿岸之漂砂及內灣之有機懸浮物

資料來源：漁港構造物に藻場機能を付加するためのガイドブック作成業務委託報告書，財團法人漁港漁村建設技術研究所，2001。

6.2.5 臺灣地區海藻主要分佈地區

據統計臺灣目前已知的海藻有五百多種，而以分類而言，太平洋區系的海藻約有125科，臺灣即占有68科，顯示臺灣的海藻並非集中於少數幾個分類群，但以單位面積的種類數而言，臺灣海藻的密度並不高。由於臺灣位處黑潮暖流及大陸沿岸流的交會地區，隨著四季的海流、營養鹽及水溫均不相同，各地藻類相的組成也就不同，臺灣地區海藻主要分佈地區，如圖6-10所示。



資料來源：江永棉等，臺灣海藻簡介，1990

圖 6-10 臺灣地區海藻主要分布區域

每一種藻類有其特定的生長地帶，這主要和其所含色素的種類與含量比例有關，不同的色素所需的光波長亦不同，隨著光質的變化，藻類的分布亦受影響，此現象在海邊的垂直分佈上最為明顯；即一般在潮間帶上部多為綠藻，潮間帶中部以褐藻居多，而低潮位附近及深海部分則多為紅藻。除了光線以外，底質、地形、溫度、鹽度、溼度、潮汐、海浪波動、洋流及污染物等多種因子，均可影響海藻的生長與分佈。一般而言，海藻多喜歡生長在具有岩礁或珊瑚礁之海岸，尤其有潮池或蝕溝地區。

臺灣的海藻大多是一年生，整個潮間帶之海藻相有明顯的季節性變化，主要以冬春二季生長最為茂盛，而在夏秋時，數量與種類明顯的減少，尤其在夏天時，因烈日高溫下，海藻不易生存。臺灣以北部、東北部、恒春半島，及蘭嶼、綠島、澎湖、小琉球等離島，較適合藻類之生長；而臺灣的西部海岸多為沙灘，因基質易被海浪沖刷流失，不適合海藻生長，東岸地區則多為斷崖地形，不易採集。故由於臺灣的海藻大多是一年生，且有明顯的季節性變化，有關研擬海岸保護結構物附加藻場機能設計構造，對於對象海藻生態特性與著生環境之關聯性應特別注意。

6.3 西部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例

6.3.1 對象海藻

依據本研究第二年（95 年）於臺灣屏東海岸大鵬灣出口導流堤及林邊海岸離岸堤兩處海域結構物之海藻著生調查研究成果，由於第二季潮間帶四測站（除測站二外）皆以裂片石蓴為優勢種（測站一 29.6%、測站三 36%、測站四 34.4%），且測站二之裂片石蓴亦占 12.08%（測站二之優勢種為縱包藻 19.2%、蜈蚣藻 17.2%）；參考相關調查資料，裂片石蓴可說是人工結構物的常見藻種，此可能以它的生活史（2~5 個月）較長及藻體基部有較大的附著器（耐大海浪）和藻體較耐乾旱和較耐雨水沖刷有關，只要溫度介於 22~28 °C 及鹽分 30 psu 上下，裂片石蓴即可容易附著在人工結構物上。故依據著生海藻季節分佈、覆蓋率、生育條件、優勢性藻種等調查結果，臺灣屏東大鵬灣及林邊海域應大都很適合，故建議綠藻門裂片石蓴應可做為屏東大鵬灣及林邊海域結構物附加藻場機能之對象海藻。

6.3.2 西部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例

依據本研究於臺灣屏東海岸大鵬灣出口導流堤及林邊海岸離岸堤兩處海域結構物之海藻著生調查研究成果，屏東大鵬灣及林邊海域之整個海藻相有明顯的季節性變化，然覆蓋之藻相略有不同，惟基本上皆屬臺灣西、南部潮間帶及潮下帶常見之綠藻。有關西、南部海岸保護結構物著生海藻之基本繁殖環境條件與著生環境之關聯性，彙整如表 6-5 所示。

生態型海岸保護結構物係附加傳統海岸保護結構物之生態機能，規劃設計上除考量結構物基本之安定性、施工性、經濟性外，並應重視海洋生物之生息環境，以促進海岸工程建設與生態之和諧共存。就臺灣屏東大鵬灣及林邊海域結構物之海藻著生調查，95 年度第二季潮間帶總豐富度於林邊海域結構物達 58.08~82.32%，而大鵬灣海域結構物亦有 33.6~53.12%，顯見以本區域水質環境等條件及結構物水深、

型式而言，應相當合適發展附加藻場機能。有關臺灣西部既有海岸保護結構物附加生態機能之設計斷面案例，共研擬設計兩個案例，包括：屏東大鵬灣地區砂質海底之突堤，林邊海域結構物砂質海底之離岸堤，相關說明如圖 6-11～圖 6-12 所示。

表 6-5 西部屏東大鵬灣及林邊海岸海藻繁殖環境條件資料表

基本環境條件	裂片石蓴
生育水深 (m)	0~1m 及潮間帶
底質 (適合石塊或消波塊)	一般消波塊或礁石皆適合
鹽度範圍 (psu)	30~35 (29.58~34.44)
水溫範圍 (°C)	22~28 (24.3~31.3)
光照度範圍 ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	390~1,600 (87~3,163)
生育濁度範圍 (ntu)	4.5~15.2 (0.6~15.9)
建議適用區域	屏東大鵬灣及林邊地區砂質海底之突堤或離岸堤
生態照片	
成體藻長	10-25 cm
壽命	數週
生長期	2-5 月
成熟期	2-5 月

本研究整理。() 內為本研究三季調查之變動範圍

期待繁殖對象海藻種類：綠藻門石莖科裂片石莖等		
海域環境特徵及附加藻場機能應注意事項		
基質 條件	海藻繁殖生 育水深帶	● 現地既有觀察裂片石莖藻類分佈在潮間帶及潮下帶水深約 0.35m~0.7m。 ● 一般繁殖生育水深帶為潮間帶及 0m~-1.0m。
	基質	● 一般繁殖在礁岩、海蝕平台、潮溝或消波塊。
海象 及水 質環 境	波浪條件	● 要生長在風浪小之地區 ● 尤其有機污染肥沃之水域
	鹽度範圍	● 30~35psu
	水溫範圍	● 22~28℃
	光照度範圍	● 390~1600$\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$
生長季節		● 臺灣地區全年可見，二~四月為盛產期。
地理分布		● 全臺各地海岸，尤以北部及東北部。
構造形式的選定		● 位於離岸堤後側，受離岸堤之遮蔽，靜穩度較高。 ● 裂片石莖石莖繁殖生育水深帶為潮間帶及 0m~-1.0m，在既有離岸堤斷面岸側，增加適合其繁殖水深約-0.5m 之基質範圍段及配合潮間帶之大小，營造適合生長環境。
期待藻場創造面積	約 18 m^2/m	
材料	● 消波塊或相當重量之石塊。	

圖 6-12 設計案例：屏東林邊地區砂質海底之海域（離岸堤）

The diagram illustrates a cross-section of a seawall structure. Key components and dimensions include:

- 海側 (Seaward Side):** Indicated on the left.
- 岸側 (Landward Side):** Indicated on the right.
- 10T型力川塊 (10T Type Force River Block):** Two blocks are shown, one on the seaward side and one on the landward side.
- 10T型三腳鼎塊 (10T Type Tripod Block):** A central block with a height of $E.L+2.2$ and a width of $E.L-0.811$.
- 拋塊石 $\phi 0.3m$ 以上 (Throwing Block Stone $\phi 0.3m$ and above):** A layer of stones surrounding the central block.
- Dimensions:**
 - Seaward side: $5.4m$ (width of the first block), $3.0m$ (width of the stone layer), $12.28m$ (total width), $18.28m$ (total width including the central block).
 - Landward side: $3.0m$ (width of the stone layer), $5.4m$ (width of the second block), $12.0m$ (total width).
- Gradients:** $1:5$ on the seaward side, $1:2$ on the landward side.
- 繁殖水深帶 (Reproduction Water Depth Band):** Indicated by a dashed line on the landward side.
- 藻場創造範圍約 18m (Algae Field Creation Range Approximately 18m):** Indicated by a box on the landward side.

6.4 北部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例

6.4.1 對象海藻

依據本研究第三年（96 年）於臺灣北部頭城海岸之頭城突堤及烏石離岸堤兩處海域結構物之海藻著生調查研究成果，由於第二季四測站潮下帶及烏石離岸堤兩測站之潮間帶皆以繁枝蜈蚣藻為優勢種（測站一 19%、測站二 20%、測站三 20%、測站四 16%）；另第一季在頭城突堤之潮間帶以裂片石蓴豐富度亦較高（9~10%），且第二季裂片石蓴之覆蓋率變化不大，可能是裂片石蓴在五月受到氣溫突然高，且大都生長在潮間帶受到雨水沖刷的影響較大所致。故參考相關調查資料，繁枝蜈蚣藻及裂片石蓴可說是人工結構物的常見藻種，此可能以它的生活史較長及藻體基部有較大的附著器(耐大海浪)和藻體較耐乾旱和較耐雨水沖刷有關，只要溫度介於 22~28 °C 及鹽分 30 psu 上下，繁枝蜈蚣藻及裂片石蓴即可容易附著在人工結構物上，故依據著生海藻季節分佈、覆蓋率、生育條件、優勢性藻種等調查結果，繁枝蜈蚣藻及裂片石蓴在臺灣北部宜蘭頭城海域應大都很適合，故建議應可作為北部海岸之對象海藻。

6.4.2 北部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例

依據本研究於臺灣北部頭城海岸之頭城突堤及烏石離岸堤兩處海域之海藻著生調查研究成果，北部頭城地區之整個海藻相有明顯的季節性變化，而覆蓋之藻相略有不同，惟基本上皆屬臺灣東北部潮間帶及潮下帶常見之綠藻與紅藻。有關北部海岸保護結構物著生海藻基本繁殖環境條件與著生環境之關聯性，彙整如表 6-6 所示。

就臺灣北部頭城突堤及烏石離岸堤四測站於 96 年度共三季次之總豐富度，雖以第二季最多達 33.7%，然以本區域水質環境等條件而言，應有再發展之空間與潛力。有關臺灣北部既有海岸保護結構物附加生態機能之設計斷面案例，除考量斷面之安定性、施工性、經濟性外，

有關附加考慮海洋生物之生息環境，共研擬設計兩個案例，包括：宜蘭頭城地區砂質海底之突堤，宜蘭烏石漁港大坑海堤砂質海底之離岸堤，相關說明如圖 6-13～圖 6-14 所示。

表 6.6 北部宜蘭頭城海岸海藻繁殖環境條件資料表

基本環境條件	裂片石蓴	繁枝蜈蚣藻
生育水深 (m)	0~1m 及潮間帶	1~2m 及潮間帶下部
底質 (適合石塊或消波塊)	一般消波塊或礁石皆適合	一般消波塊或礁石皆適合
鹽度範圍 (psu)	30~35 (31.2~33.25)	30~35 (33.86~34.50)
水溫範圍 (°C)	22~28 (23.7~28.1)	22~28 (23.6~28.2)
光照度範圍 ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	390~1,600 (503~1,394)	390~1,600 (834~1,520)
生育濁度範圍 (ntu)	4.5~15.2 (0.59~10.6)	4.5~15.2 (1.05~5.22)
建議適用區域	宜蘭頭城地區砂質海底之突堤	宜蘭烏石漁港大坑海堤砂質海底之離岸堤
生態照片		
成體藻長	10-25 cm	5-12 cm
壽命	數週	1 至數月
生長期	2-5 月	2-5 月
成熟期	2-5 月	2-5 月

本研究整理。() 內為本研究三季調查之變動範圍

6.5 東部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例

6.5.1 對象海藻

依據全程計畫第四年（97 年）於臺灣東部成功海岸新港漁港北側之成功離岸堤、新港突堤及新蘭漁港南側突堤等海域結構物之海藻著生調查研究成果，由於第二季之潮下帶以寬扁叉節藻為優勢種（測站一之 0~3m 為 25%、測站一之 3~9m 為 9%、測站三 5%）；另石蓴在測站二潮間帶亦出現相當高，第一季為最高達 10%、第二季為 8%。而由於新蘭突堤兩測站各季之海藻著生覆蓋率皆不高（第一季 1.2~7.9%、第一季 1.3~16.81%、第一季 0.2~2.4%），並無優勢藻種；由於寬扁叉節藻及石蓴可說是海岸上之人工結構物的常見藻種，此可能以它們的生活史較長及藻體基部有較大的附著器(耐大海浪)和藻體較耐乾旱及較耐雨水沖刷等有關。故依據東部海岸著生海藻之季節分佈、覆蓋率、生育條件、優勢性藻種等調查結果，建議在潮下帶可以紅藻門之寬扁叉節藻、潮間帶可以綠藻門之石蓴，做為東部海岸之對象海藻。

6.5.2 東部海岸兼具生態及海岸保護結構物設計例

依據全程計畫第四年（97 年）於臺灣東部海岸之新港及新蘭兩處海域之海藻著生調查研究成果，雖然整個海藻相有明顯之季節性變化，而覆蓋之藻相亦略有不同，惟基本上皆屬臺灣東部潮間帶及潮下帶常見之綠藻與紅藻；有關東部海岸保護結構物著生海藻之基本繁殖環境條件與著生環境之關聯性，彙整如表 6-7 所示。

就臺灣東部成功離岸堤、新港海堤於 97 年度共三季次之總豐富度，雖以第二季最多達 35.56%，然以本區域水質環境等條件而言，應有再發展之空間與潛力；而新蘭突堤兩測站各季之海藻著生覆蓋率皆不高，此可能與其所處位置水深有關，故整體考量附加考慮海洋生物之生息環境、經濟性，有關臺灣東部既有海岸保護結構物附加生態機

能之設計斷面案例，將以成功離岸堤、新港海堤為主，至於新港突堤則建議暫不予考量。今共研擬設計兩個案例，包括：臺東成功地區岩質海底之離岸堤，新港漁港岩質海底之海堤，相關說明如圖 6-15～圖 6-16 所示。

表 6-7 東部成功海岸海藻繁殖環境條件資料表

基本環境條件	寬扁叉節藻	石蓴
生育水深 (m)	2~6m 之潮下帶	潮間帶及 0~2m
底質 (適合石塊或消波塊)	一般消波塊或礁石皆適合	一般消波塊或礁石皆適合
鹽度範圍 (psu)	30~35 (33.19~34.32)	30~35 (33.26~34.34)
水溫範圍 (°C)	22~28 (22.5~29.1)	22~28 (22.9~27.6)
光照度範圍 ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	60~1,200 (34~5,093)	25~1,200 (91~3,290)
生育濁度範圍 (ntu)	0.0~1.0 (0.36~2.70)	0.0~1.0 (0.73~3.29)
建議適用區域	臺東成功地區岩質海底之離岸堤	臺東成功地區岩質海底之海堤
生態照片		
成體藻長	5-10 cm	12-20 cm
壽命	3-6 個月	1-3 個月
生長期	2-6 月	3-5 月
成熟期	2-6 月	3-5 月

本研究整理。() 內為 97 年研究三季調查之變動範圍

第七章 波浪通過系列潛堤之特性

系列潛堤為二道以上的潛堤平行排列佈置於近岸區，利用布拉格反射(Bragg reflection)的原理，將波浪反射至外海，使透射波能量減小，達到海岸保護的目的。系列潛堤因潛沒於較深海底，不像傳統潛堤佈置於較淺水區使波浪於堤頂碎波，就工程觀點而言，此種海岸保護工法雖造價較高，因堤體損壞或崩塌的機率低，故相對的維護費用較少；在環境保護觀點上，此工法潛沒於在水底，並不突出水面，不影響視覺及自然環境景觀；就生態觀點，因堤體佈置於約 6-15 米水深，堤體以及其孔隙，使水質交換較佳，並能提供動、植物(如藻類)的生長、保護及繁殖的環境，使海域生態得到保育及復育效果，對維護海岸生態環境具正面的功能。因此於近岸設置系列潛堤，可同時達到海岸保護與自然景觀維護的目的，此工法目前亦正被廣泛研究及引用於現場之海岸保護結構物。

90 年代學者提出利用布拉格反射效應至海岸保護觀念，之後許多學者專家進行一系列的研究，相關研究如正弦形人工沙洲 (Heathershaw, 1982、Davies & Heathershaw, 1984、陳, 1991)、半橢圓形人工沙洲 (Kirby & Anton, 1990)、複合式正弦形人工沙洲 (Belzons 等人, 1991、Guazzelli 等人, 1992)、矩形系列潛堤 (Hsu 等人, 2002、岳等人, 1997~2000、Wen & Tsai, 2008) 及複合式系列潛堤 (Hsu 等人, 2003) 等。其中在複合式系列潛堤研究上，已證實可以改善布拉格反射發生時，其反射率帶寬太小而限制系列潛堤可防禦的波浪條件範圍。惟截至目前在系列潛堤研究，均侷限於兩群不同間距潛堤組合，當系列潛堤為三種不同間距所組合，其反射率帶寬是否比由二種不同間距所組合之系列潛堤的反射率帶寬更寬？而反射率強度是否仍能維持一定的水準？本章內容將就波浪通過三種或三種以上間距組成的系列潛堤，探討布拉格反射特性。

本研究以 Miles (1981) 理論為基礎，推導以及探討波浪通過系列潛堤，在不同的影響參數下，布拉格反射變化的情形。此外，以

EEMSE 模式 (Hsu 等人, 2003) 驗證及比較本研究的布拉格反射現象。

7.1 理論模式

Miles (1981) 提出以積分形式方程式描述波浪通過圓柱潛體的反射率，其反射率方程式表示如下：

$$R = \frac{2\alpha}{ik \cos \theta} \left[(k \cos \theta)^2 - (k \sin \theta)^2 \right] \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) e^{2ik \cos \theta x} dx \quad (7-1)$$

其中 R 為反射率， $\delta(x)$ 為在 x 方向上底床的擾變量， $i = \sqrt{-1}$ 為單位虛數， k 波數， θ 為波浪入射角， α 參數表示如下：

$$\alpha = \frac{k}{2kh + \sinh 2kh} \quad (7-2)$$

本研究系列潛堤的佈置為複合式組合，潛堤形狀為矩形且為不透水堤體，其潛堤佈置示意圖如圖 7-1 所示。系列潛堤由不同群的潛堤所組成，每群內的潛堤間距 S_j 相同，其中 $j=1,2,\dots,J$ ， J 為群數，但不同群的堤間距並不完全相同，每一群內的潛堤個數為 $N_j = N/J$ ，其中 N 是潛堤總數， I 定義為群與群之間的堤距， W 為堤寬， D 為堤高， h 為水深。根據圖 7-1 的定義，因複合式潛堤的佈置導致底床擾變項 $\delta(x)$ 表示如式(7-3)

$$\delta(x) = \begin{cases} D, & (j-1)S_1 \leq x \leq (j-1)S_1 + W, & j=1, 2, \dots, N_j \\ D, & N_1S_1 + I_1 + (j-1)S_2 \leq x \leq N_1S_1 + I_1 + (j-1)S_2 + W \\ & , j=1, 2, \dots, N_j \\ \vdots & \vdots \\ D, & \sum_{p=1}^{J-1} (N_1S_p + I_p) + (j-1)S_j \leq x \\ & \leq \sum_{p=1}^{J-1} (N_1S_p + I_p) + (j-1)S_j + W, & j=1, 2, \dots, N_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7-3)$$

其中 $N_I = N_I - 1$ 。

7.2 數值模式

本研究以 Hsu 等人 (2003) 所推導含有底床曲率項、底床斜率平方項及底床擾變項的 EEMSE 為基礎。方程式表示如下：

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{-2\omega i}{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta} \right] \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right) \\
 &= \nabla_h^2 \phi + k_c^2 \phi + \frac{g}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \left[2\bar{F}_1 \cdot \delta \nabla_h \frac{\phi}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \right] \\
 &+ \frac{\delta}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \nabla_h [g(1-\lambda^2)] \cdot \nabla_h \left[\frac{\phi}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \right]
 \end{aligned} \quad (7-9)$$

式中 ϕ 為波浪流速勢， C 為波速， C_g 為群波速度， $\lambda = \tanh kh$ ， g 為重力加速度

$$k_c^2 = \left[\frac{g\bar{F}_1 \cdot \nabla_h \delta + gF_2 + k^2 CC_g}{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta} \right] - \frac{\nabla_h^2 \sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}}{\sqrt{CC_g - g(1-\lambda^2)\delta}} \quad (7-10)$$

$$\bar{F}_1 = \lambda(1-\lambda^2)(k\nabla_h h + h\nabla_h k) \quad (7-11)$$

$$F_2 = \alpha_1(\nabla_h h)^2 k + \alpha_2 \nabla_h^2 h + \alpha_3 \nabla_h k \cdot \nabla_h h / k + \alpha_4 \nabla_h^2 k / k^2 + \alpha_5 (\nabla_h k)^2 / k^3 \quad (7-12)$$

式 (7-11) 及式 (7-12) 中參數 $\alpha_i (i=1,..,5)$ 為

$$\alpha_1 = -\lambda(1-\lambda^2)(1-\lambda q) - 2(1-\lambda^2)\lambda^2 k \delta \quad (7-13)$$

$$\alpha_2 = -\lambda q(1-\lambda^2)/2 + (1-\lambda^2)\lambda k \delta \quad (7-14)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_3 &= q(1-\lambda^2)(2q\lambda^2 - 5\lambda/2 - q/2) \\
 &- 2(1-\lambda^2)(2\lambda^2 q - \lambda - q)k \delta
 \end{aligned} \quad (7-15)$$

$$\alpha_4 = q(1-\lambda^2)(1-2\lambda q)/4 - \lambda/4 + (1-\lambda^2)\lambda q k \delta \quad (7-16)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_5 &= q(1-\lambda^2)(4\lambda^2 q^2 - 4q^2/3 - 2\lambda q - 1)/4 \\
 &+ \lambda/4 + (1-\lambda^2)q^2(1-2\lambda^2)k \delta
 \end{aligned} \quad (7-17)$$

式中 $q = kh$ 。在數值計算的方法上，採用交替隱式分析法 Alternating Direction Implicit (ADI) 解演進型緩坡方程式所推導的矩陣方程式。

7.3 研究方法及條件

本研究以 Miles (1981) 理論為基礎，推導計算波浪通過系列潛堤之反射率公式，並探討布拉格反射之情形。為了探討複合式潛堤堤群數大於 2 的布拉格反射情形，並與等間距系列潛堤組合作比較，本研究總共進行 10 種不同的系列潛堤佈置條件，數值試驗條件如表 7-1 所示。採用水深為 $h = 0.6m$ ，堤高為 $D = 0.24m$ ，堤寬為 $W = 0.6m$ ，堤群間距為 $I_j = S_1$ ，波浪為正向入射 $\theta = 0$ 。

本章主要探討堤距及堤群數改變下，布拉格反射之機制，故其他影響參數均採固定，以便作分析比較。

表 7-1 潛堤佈置及波浪條件表

Case	N_1	N_2	N_3	N_4	J	N	S_1	S_2	S_3	S_4	I_j	h	D	W
(a)	4				1	4	2.4					0.6	0.24	0.6
(b)		4			1	4		1.8				0.6	0.24	0.6
(c)			4		1	4			1.6			0.6	0.24	0.6
(d)	4	4			2	8	2.4	1.8			2.4	0.6	0.24	0.6
(e)	4	4	4		3	12	2.4	1.8	1.6		2.4	0.6	0.24	0.6
(f)	4	4	4		3	12	2.4	2.1	1.8		2.4	0.6	0.24	0.6
(g)	4	4	4		3	12	2.4	2.0	1.6		2.4	0.6	0.24	0.6
(h)	3	3	3	3	4	12	2.4	2.1	1.8	1.5	2.4	0.6	0.24	0.6
(i)	2	2	2		3	6	2.4	2.0	1.6		2.4	0.6	0.24	0.6
(j)	3	3	3		3	9	2.4	2.0	1.6		2.4	0.6	0.24	0.6

7.4 結果與討論

圖 7-2 為系列潛堤在不同配置條件下，波浪通過的反射率變化比較圖。圖中三條不同曲線分別代表三組不同的配置結果。Case (a) 佈置為等間距潛堤配置 $N = 4$ 及 $S = 2.4m$ ，結果如虛線所示；Case (b) 佈置為等間距潛堤配置個數 $N = 4$ 及 $S = 1.8m$ ，其結果如點線所示；Case (d) 佈置為複合式系列潛堤個數 $N = 8$ ，兩組各為 $N = 4$ ， $S_1 = 2.4m$ 與 $N = 4$ ， $S_2 = 1.8m$ ，兩組潛堤相鄰的間距為 $I_j = S_1$ ，反射率變化繪製如實曲線所示。圖形顯示複合式系列潛堤反射率變化，近似為兩組不同的等間距系列潛堤反射率組合而成，且複合式系列潛堤的每個反射率尖峰位置，為另兩組等間距系列潛堤之一的反射率尖峰，此現象在複合式正弦疊加底床上的研究（Zhang 等人，1999）亦有相同的情形。

利用 Davies 和 Heathershaw (1984)、Davies (1989)、O'Hare 和 Davies (1993)、Belzons 等人 (1991) 及 Guazzelli 等人 (1992) 在正弦形及複合式沙漣底床對各不同位置布拉格反射的定義，令矩形系列潛堤的底床週波數為 $K = 2\pi/S$ ，其中 S 為潛堤間距，主頻共振反射發生條件為 $2k/K_1 = 1$ 及 $2k/K_2 = 1$ ，亦即在 $L = 2S_1$ 及 $L = 2S_2$ 發生主頻共振反射；高諧波共振反射發生條件為 $2k/K_1 = 2$ 、 $2k/K_2 = 2$ 及 $k = (K_1 + K_2)/2$ ，亦即在 $L = S_1$ 、 $L = S_2$ 及 $L = 2S_1S_2/(S_1 + S_2)$ 發生高諧波共振反射；分諧波共振反射發生條件為 $k = (K_1 - K_2)/2$ ，亦即當 $L = 2S_1S_2/(S_1 - S_2)$ 時發生分諧波共振反射。以圖中的 Case (d) 佈置條件代入以上定義，則複合式系列潛堤在 $2S_1/L = 1$ 及 $2S_1/L = 1.33$ （即 $L = 2S_1$ 及 $L = 2S_2$ ）條件下發生主頻共振反射；而在 $2S_1/L = 2$ 、 $2S_1/L = 2.67$ 及 $2S_1/L = 2.33$ （即 $L = S_1$ 、 $L = S_2$ 及 $L = 2S_1S_2/(S_1 + S_2)$ ）條件下發生高諧波共振反射；在 $2S_1/L = 0.33$ （即 $L = 2S_1S_2/(S_1 - S_2)$ ）條件下發生分諧波共振反射。圖中並顯示分諧波共振反射發生在低頻位置；主頻共振反射發生於 $2S_1/L = 1$ 及 $2S_2/L = 1$ 條件，反射尖峰值最高；高諧波共振反射發生於高頻位置，反射尖峰值僅次於主頻共振反射值。

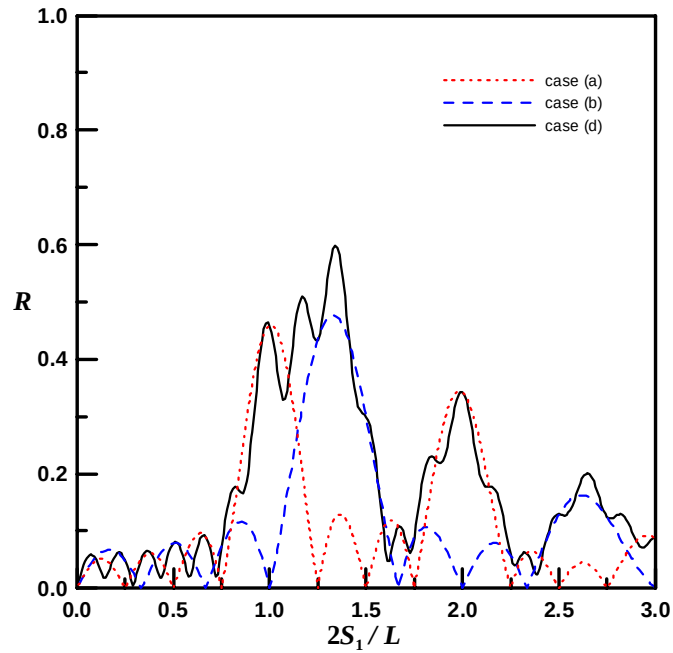


圖 7-2 單群及雙群系列潛堤反射率分佈圖

Case (a) $N = 4$, $S = 2.4m$; Case (b) $N = 4$, $S = 1.8m$;

Case (d) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$

為瞭解系列潛堤為三組不同間距潛堤所組成，亦即堤群數為三群時，是否能與兩群複合式系列潛堤佈置，具有增加布拉格反射帶寬以及反射率增大的效果。圖 7-3 為單間距系列潛堤與三種間距複合式系列潛堤的反射率比較圖。圖中佈置條件分別為 Case (a) 條件為 $N = 4$ 與 $S = 2.4m$; Case (b) 條件為 $N = 4$ 與 $S = 1.8m$; Case (c) 條件為 $N = 4$ 與 $S = 1.6m$; Case (e) 條件為 $N_1 = 4$ 、 $N_2 = 4$ 、 $N_3 = 4$ 、 $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$ 、 $S_3 = 1.6m$ 和 $I_1 = I_2 = I_3 = S_1$ 。圖形顯示單間距系列潛堤布拉格反射分別發生在 $2S_1/L = 1$ (Case(a))、 $2S_1/L = 1.33$ (Case(b)) 和 $2S_1/L = 1.50$ (Case(c))。而三組複合式系列潛堤 (Case(e)) 布拉格反射發生在 $2S_1/L = 0.9 \sim 1.7$, 反射率尖峰分別發生在 $2S_1/L = 1.01$ 、 $2S_1/L = 1.16$ 、 $2S_1/L = 1.36$ 和 $2S_1/L = 1.64$ 。但在主頻布拉格反射曲線中，卻發生很明顯的反射率陡降現象($2S_1/L = 1.25$, $R = 0.22$)，此現象過去在雙群複合式系列潛堤(Hsu 等人, 2003 和 Wang 等人, 2006)

以及本研究圖 7-2 分析結果並沒有的現象。若依據往昔文獻研究結果，複合式系列潛堤反射率應該由各單群系列潛堤反射率所疊加組成。探究其原因為系列潛堤由三群的不同間距潛堤組成，其反射的機制比單群及雙群系列潛堤更加複雜，而導致反射率低點的發生。此現象提醒從事系列潛堤研究以及設計者，系列潛堤實際應用至現場更複雜的水深地形，其反射的機制將會更加複雜，必須避免反射率低值的發生，以避免現場入侵波浪條件若為反射率低值點發生條件時，大部分波浪將透射而入侵堤岸。

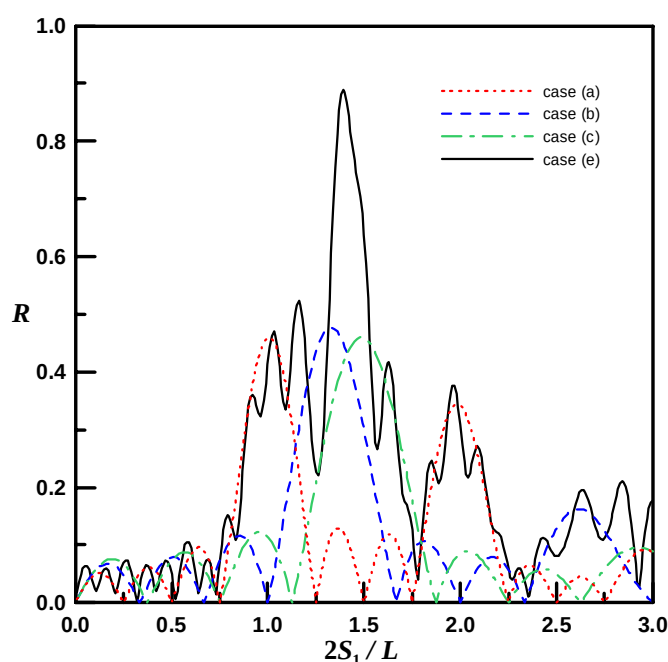


圖 7-3 單群及三群系列潛堤反射率分佈圖

Case (a) $N = 4$, $S = 2.4m$; Case (b) $N = 4$, $S = 1.8m$; Case (c) $N = 4$, $S = 1.6m$; Case (e) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $N_3 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$, $S_3 = 1.6m$

圖 7-4 為由一群、二群及三群系列潛堤佈置 (Case (a)、Case (d)、Case (e))，潛堤個數逐漸增加，即逐漸增加不同間距之潛堤，其反射率分佈比較圖。圖形顯示隨者群數 J 的增加，布拉格反射的帶寬會增加，唯一值得注意的，為三組間距之系列潛堤佈置條件下，於布拉格反射發生時會發生反射率低值的現象。

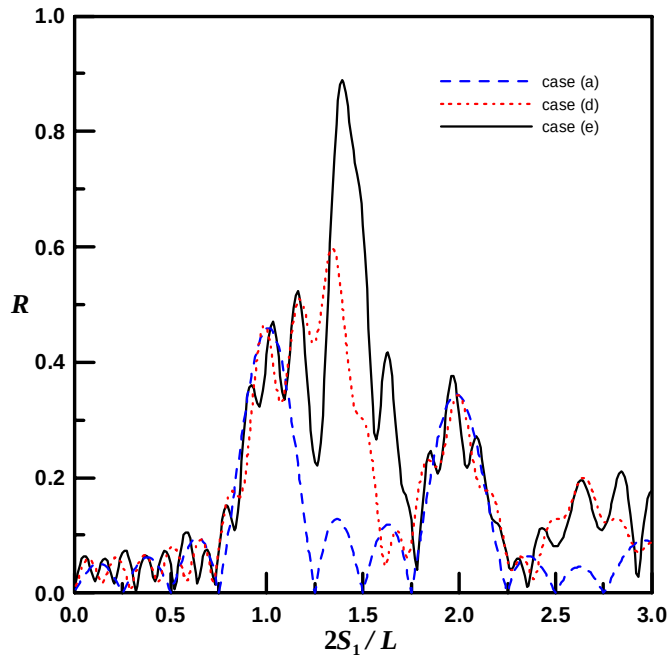


圖 7-4 單群、二群及三群系列潛堤反射率分佈比較圖

Case(a) $N = 4$, $S = 2.4m$; Case (d) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$; Case (e) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $N_3 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$, $S_3 = 1.6m$

為了驗證三群不同間距所組成的複合式系列潛堤 (Case (e))，在布拉格反射發生時會出現反射率急降的現象，本研究以 Hsu 等人 (2003) 所發展之 EEMSE 模式，依 Case (e) 的佈置條件作模擬計算及比較，結果如圖 7-5 所示。圖形顯示以 Miles 理論 (實線) 以及 EEMSE 模式 (虛線) 在不同的 $2S_1/L$ 條件下，其反射率上下震盪的趨勢相似，在 $2S_1/L = 0.9 \sim 1.7$ 區域均會發生布拉格反射，且在布拉格反射條件中，均會發生反射率急降的現象，顯示這現象確實發生在三群不同間距複合式系列潛堤的佈置條件。此現象在 Belzons 等人 (1991) 和 Guazzelli 等人 (1992) 在雙正弦底床 (doubly-sinusoidally beds) 研究以及 Hsu 等人 (2003) 和 Wang 等人 (2006) 在雙群複合式人工沙洲 (doubly composite artificial bars) 未曾發現及發生的現象。

此外，圖中亦顯示 EEMSE 反射率分佈的曲線比 Miles 理論的結果，往低頻的條件平移。此平移現象乃由於波浪在通過底床佈置潛堤時，其波速 C (Wave celerity) 在 Miles 理論上仍假設為常數，與入射波波速相等。在 Zhang 等人 (1999) 正弦底床 (sinusoidally beds)

研究以及 Hsu 等人 (2003) 在雙群複合式人工沙洲 (doubly composite artificial bars) 研究中亦發現相同的現象。

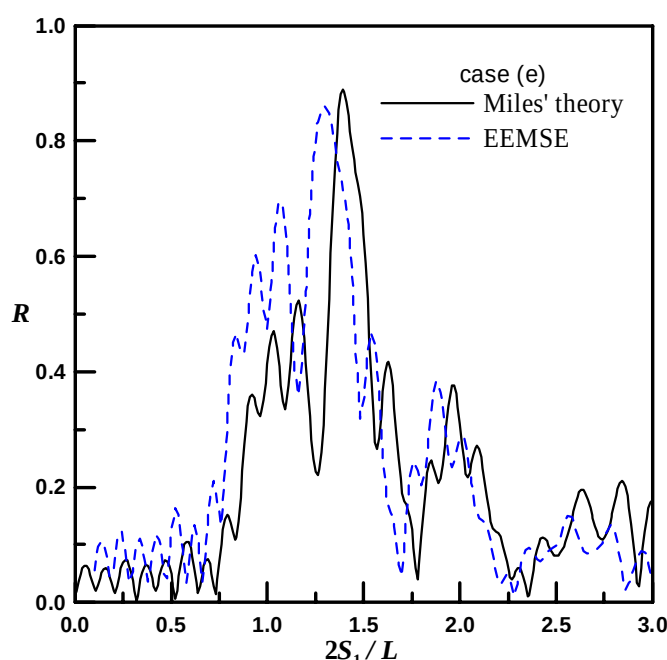


圖 7-5 Miles 理論以及 EEMSE 模式之反射率比較圖

Case(e) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $N_3 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$, $S_3 = 1.6m$

本研究利用調整第三組的堤距 S_3 , 以改善反射率低值發生的現象。將 Case (e)之 $S_3 = 2.1m$ 更換為 Case (f)之 $S_3 = 1.6m$, 其 Case (f)之三群系列潛堤結果與 Case (d)之雙群系列潛堤結果比較如圖 7-6 所示。結果顯示 Case (f)在布拉格反射發生條件時, 並沒出現反射率急降現象, 惟其反射率帶寬與 Case (d)之雙群系列潛堤條件時相當, 並無增加的情形, 此已失去三群系列潛堤欲增加布拉格反射帶寬的目的。

為了改善 Case (e) 布拉格反射出現低值以及 Case (f)反射率帶寬無增加的缺點, Case (g) 調整第三組的堤距為 $S_2 = 2.00m$, 其結果與 Case (e) 比較如圖 7-7 所示。結果顯示出現在 Case (e) 布拉格反射低值 $R = 0.21$, 在 Case (g) 佈置條件時, 可提升至 $R = 0.31$, 且布拉格反射帶寬也比 Case (d) 以及 Case (f)佈置條件時增加。根據以上研究結果, 只要適當調整各潛堤間距, 可達到增加布拉格反射強度以及帶寬的目的。

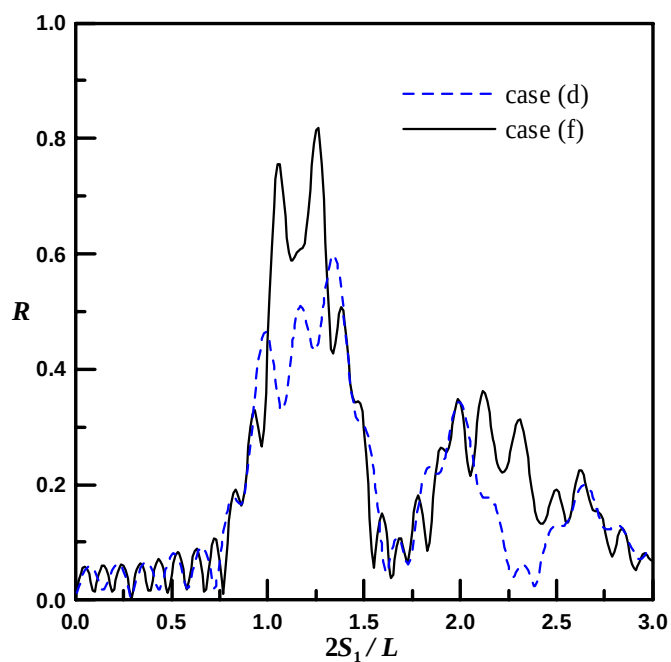


圖 7-6 二群及三群系列潛堤反射率分佈比較圖

Case (d) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$;

Case (f) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $N_3 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$, $S_3 = 2.1m$

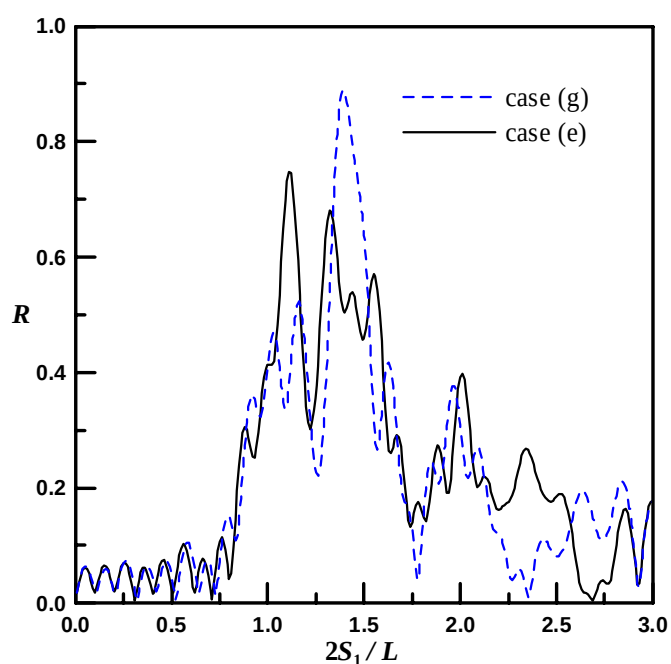


圖 7-7 不同間距之三群系列潛堤反射率分佈比較圖

Case (e) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $N_3 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 1.8m$, $S_3 = 1.6m$;

Case (g) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $N_3 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 2.0m$, $S_3 = 1.6m$

圖 7-8 為在總系列潛堤堤數 $N=12$ 相同條件下，將潛堤群改為四群 $J=4$ 由不同間距組成 (Case (h))，與三群系列潛堤 (Case (e)) 的反射率作比較，結果如圖 7-8 所示。其佈置條件分別為 Case (e)： $N_1=4$ ， $N_2=4$ ， $N_3=4$ ， $S_1=2.4m$ ， $S_2=1.8m$ ， $S_3=1.6m$ ；Case (h)： $N_1=3$ ， $N_2=3$ ， $N_3=3$ ， $N_4=3$ ， $S_1=2.4m$ ， $S_2=2.1m$ ， $S_3=1.8m$ ， $S_4=1.5m$ 。結果顯示以四種不同間距組成的系列潛堤 (Case (h))，其反射率帶寬與三群系列潛堤 Case (e) 相當，而在布拉格反射發生時，反射率高低震盪較小，且沒有明顯的反射率發生陡降的現象，明顯將 Case (e) 反射率低值由 $R=0.21$ ($2S_1/L=1.25$ 時) 改善並提高為 $R=0.39$ (Case (h))。

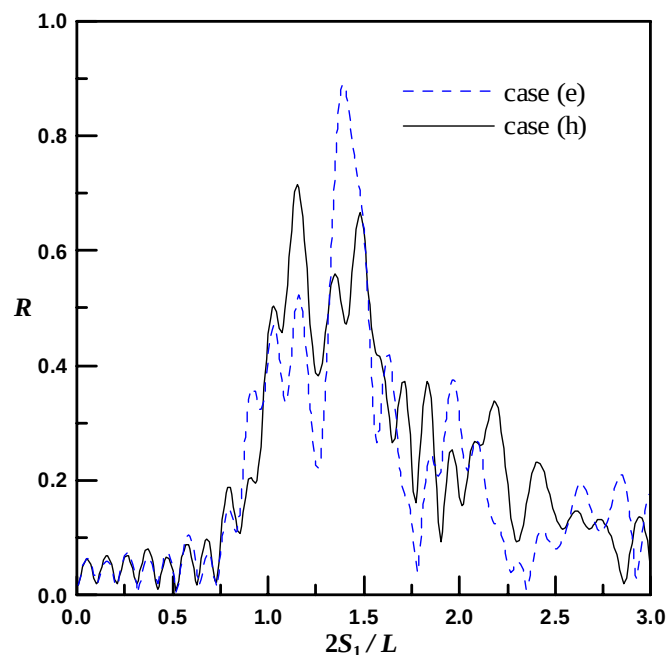


圖 7-8 三群及四群系列潛堤反射率分佈比較圖

Case (e) $N_1=4$ ， $N_2=4$ ， $N_3=4$ ， $S_1=2.4m$ ， $S_2=1.8m$ ， $S_3=1.6m$ ；

Case (h) $N_1=3$ ， $N_2=3$ ， $N_3=3$ ， $N_4=3$ ， $S_1=2.4m$ ， $S_2=2.1m$ ，

$S_3=1.8m$ ， $S_4=1.5m$

為了探討布拉格反射發生時，低反射率發生是否為三群不同間距系列潛堤所造成之特殊機制，或者因堤數增加而產生的更複雜機制。圖 7-9 中 Case (g)、Case (j) 及 Case (i) 均為三組間距組合之系列潛堤，三組間距各為 $S_1 = 2.4m$ 、 $S_2 = 2.0m$ 及 $S_3 = 1.6m$ ，但三個 case 佈置中，每群潛堤個數不同，分別為 $N_j = 4$ 、 $N_j = 3$ 及 $N_j = 2$ ，故總潛堤數分別為 $N = 12$ 、 $N = 9$ 及 $N = 6$ 。結果顯示當潛堤總數為 $N = 6$ 及每群堤數為 $N_j = 2$ 條件時 (Case(i))，並沒有在布拉格反射條件範圍內，出現低反射率的情形，但當每群堤數增加為 $N_j = 3$ (Case (j)) 及 $N_j = 4$ (Case(g)) 條件時，在 $2S_1/L = 1.25$ 的反射率反而明顯減小。由此顯示，布拉格反射在三群系列潛堤佈置時，出現反射率陡降的現象，其原因為堤數增加所產生更複雜反射機制所致。

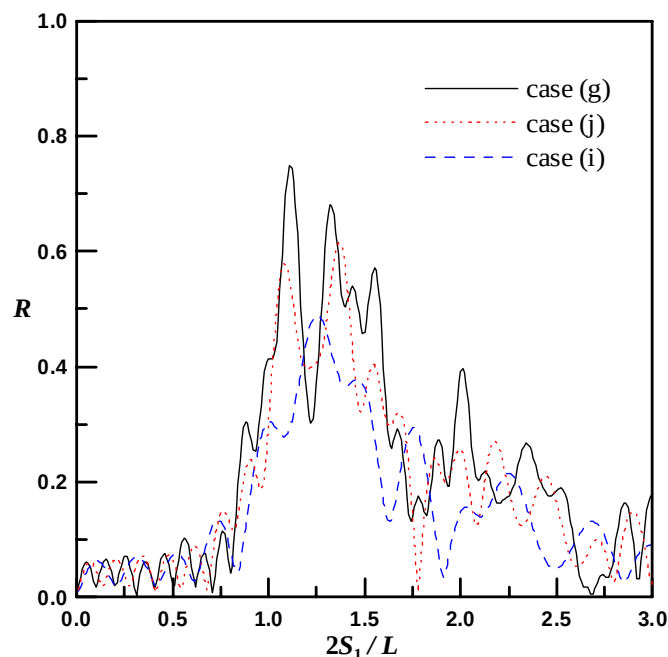


圖 7-9 不同潛堤個數之三群系列潛堤反射率分佈比較圖

Case (g) $N_1 = 4$ ， $N_2 = 4$ ， $N_3 = 4$ ， $S_1 = 2.4m$ ， $S_2 = 2.0m$ ， $S_3 = 1.6m$ ；

Case (i) $N_1 = 3$ ， $N_2 = 3$ ， $N_3 = 3$ ， $S_1 = 2.4m$ ， $S_2 = 2.0m$ ， $S_3 = 1.6m$ ；

Case (j) $N_1 = 2$ ， $N_2 = 2$ ， $N_3 = 2$ ， $S_1 = 2.4m$ ， $S_2 = 2.0m$ ， $S_3 = 1.6m$

最後，本研究將上述研究中較佳的佈置條件（Case (g) 和 Case (h)），以 EEMSE 模式計算與 Miles 理論結果作比較，如圖 7-10 和圖 7-11 所示。圖形顯示以 EEMSE 模式與 Miles 理論計算結果所顯示的反射率在不同的 $2S_1/L$ 震盪的形式相似而且反射率帶寬約相等。其中，以 EEMSE 模式計算的反射率會往 $2S_1/L$ 較小的低頻條件平移，此平移現象與 Case (e) 及其他文獻研究相同，其原因已論述於前。此外，以 EEMSE 模式計算結果，在布拉格反射發生時，其反射率低值點不似以 Miles 理論結果低，顯示三群或四群系列潛堤佈置至現場，其反射率低值點應會比 Miles 理論預測值高，惟此現象仍須由更多研究以及試驗加以驗證。

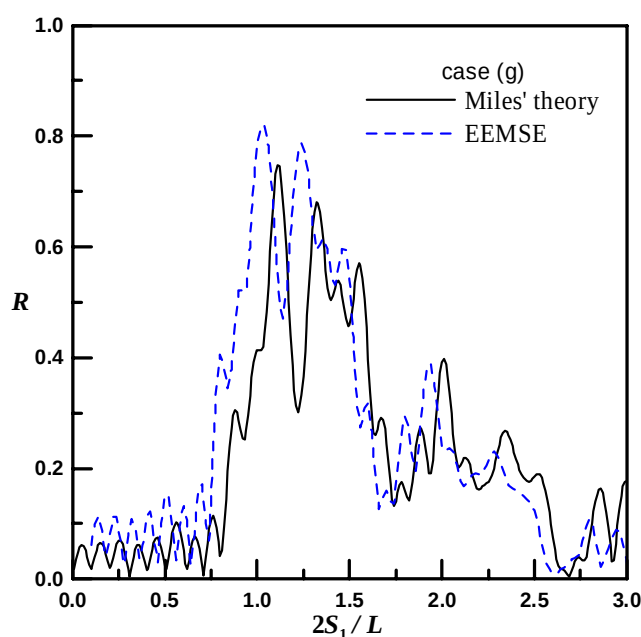


圖 7-10 Case (g) 以 Miles 理論以及 EEMSE 模式之反射率比較圖

Case (g) $N_1 = 4$, $N_2 = 4$, $N_3 = 4$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 2.0m$, $S_3 = 1.6m$

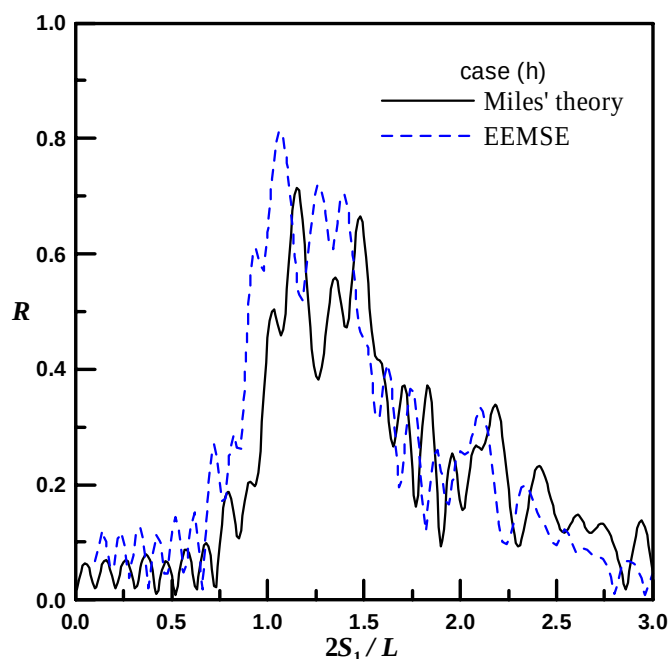


圖 7-11 Case (h) 以 Miles 理論以及 EEMSE 模式之反射率比較圖
Case (h) $N_1 = 3$, $N_2 = 3$, $N_3 = 3$, $N_4 = 3$, $S_1 = 2.4m$, $S_2 = 2.1m$,
 $S_3 = 1.8m$, $S_4 = 1.5m$

根據上述之分析及討論，本研究以 Miles (1981)的理論為基礎，推導波浪通過三群以上系列潛堤之反射率，並以 Hsu 等人(2003) EEMSE 模式作驗證以及比較。結果顯示堤的間距以及各群系列潛堤的組合方式，對於反射率分佈的條件位置、反射率的大小、布拉格反射的帶寬以及震盪的型態，均扮演重要的角色，布拉格反射的帶寬以及強度均隨著潛堤的群數增加而增加。系列潛堤為三群不同間距潛堤組成佈置且總堤數大於 6 時，在布拉格反射發生的條件範圍內，會發生特殊的低反射率現象。

此外，以 Miles (1981)的理論為基礎，推導並應用於波浪通過系列潛堤之反射率公式計算工具，比其他較複雜的模式更為簡單及快速，其亦可有效率的應用至實際工程。如初步以 Miles 理論作各種佈置及波浪入射條件的計算分析，再選擇較佳的條件，以較為精準和複雜的數值模式以及模型試驗，作驗證以及校正之參考。因此，可以根據現場所欲防禦的波浪條件以及預期的防禦效果，利用適當的系列潛堤組合，可以達到預期的反射效果，而達到保護海岸的目的。

第八章 系列潛堤工法應用於現場海域之應用-以新竹港南海域為例

本章節研究的目的為探討系列潛堤工法於實際海域之可行性與適用性，利用數值模式以新竹港南海域為例，逐一進行系列潛堤各影響因子之設計模擬，期提出此工法於實際海域之規劃流程，以作為往後實際設計及應用之參考依據。

8.1 研究方法

往昔對於布拉格共振機制之影響因子的探討研究大多著重於斷面上之探討，然而實際的現場海域應為三維空間，本研究在第三年度中，已針對二維平面影響因子進行一系列的探討，並利用能量的觀點歸納出各個影響因子之特性，提出系列潛堤工法初步設計流程圖。本節將說明在考慮平面的情況下所歸納出的影響因子及示意圖，再進行布拉格共振機制之探討，並提出系列潛堤工法設計流程圖，作為下一節實例應用之依據。

8.1.1 布拉格共振影響因子與能量透過率

研究波浪通過底床上佈置系列潛堤，在不同的佈置條件及不同入射條件作用下，波浪受底床及潛堤的互制作用影響，使整個波場產生各種不同變化，導致布拉格共振機制亦有所不同。延續第三年度之研究成果，歸納平面上主要影響布拉格共振機制的參數包括：潛堤堤高 D 、潛堤長度 G 、潛堤間距 S 、縱向潛堤間距 S_G 、潛堤個數 N 、系列潛堤組數 N_G 、潛堤寬度 B 、入射波水深 h 、波浪入射角 θ 及波浪週期 T ，堤體形狀為矩形且不透水，其特徵函數可以以下式表示：

$$F = f_1(D, G, h, S, S_G, T, N, N_G, B, \theta) \quad (8-1)$$

以波浪能量衰減或反射率 F' 代表特徵函數，則無因次組合可

表示為

$$F' = f_1(D/h, G/S, 2S/L, B/S, S_G/G, N, N_G, \theta) \quad (8-2)$$

上述各因子之相關平面示意圖如圖 8-1 所示。

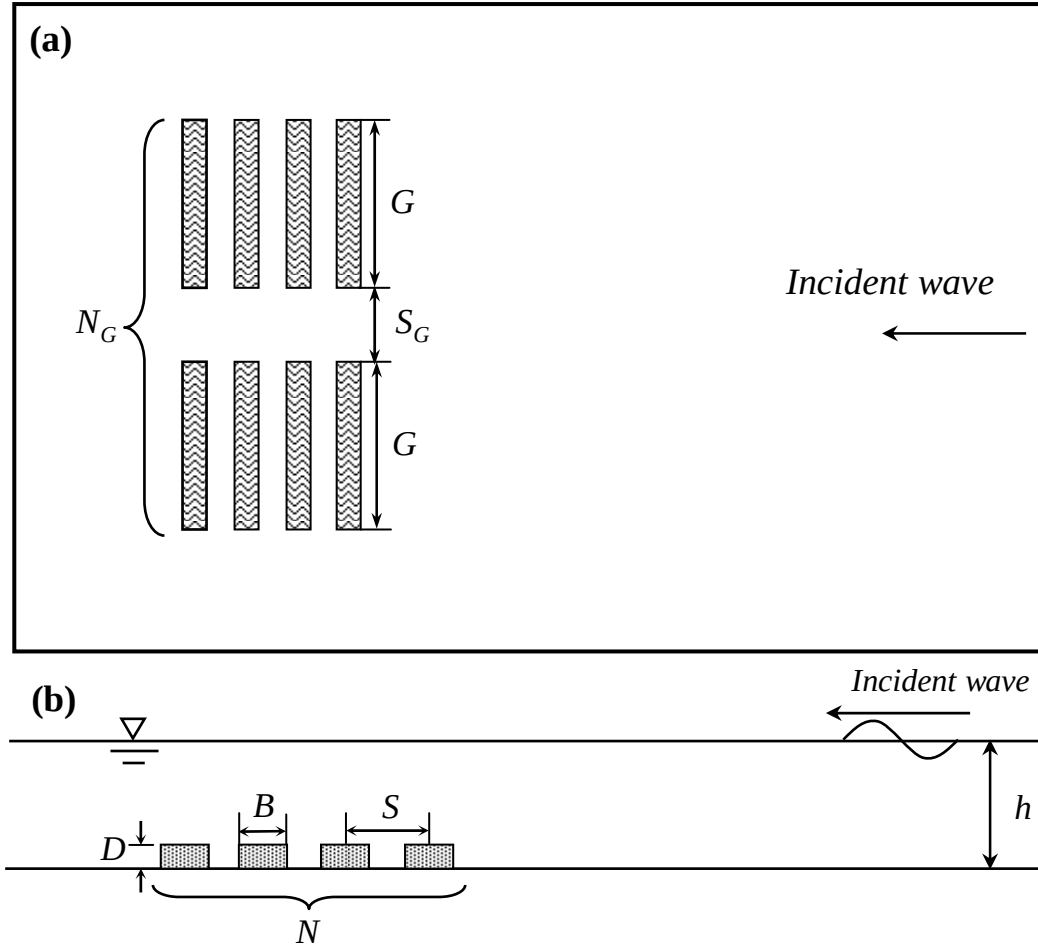


圖 8-1 多組系列潛堤佈置之平面布拉格反射因子示意圖

(a) 平面圖；(b) 剖面圖

往昔對於布拉格共振機制的研究，均假設在無波浪繞射情況下，進行斷面的數值模擬或水工試驗，因此經常以反射率作為研究的特徵函數。然而實際現場應用時，潛堤之堤長不可能無限延伸，因此若要将該工法應用於現場海域，理應考慮多組潛堤並排之可能性以及布拉格共振機制產生的情形。針對二維平面的反射率研究，目前並沒有相關的理論基礎可以參考，為了具體的瞭解系列潛堤工法佈置於平面之

可行性，本研究利用能量透過率的觀點切入來分析布拉格共振現象。

眾所皆知在波浪場中能量與波高的平方成正比關係，故今將計算領域中系列潛堤的堤後透射波高平方和除以相較之波高平方和即可得到相關的能量透過率，其數學式可以表示為

$$E_S = \frac{\sum_j (H_t)_j^2}{\sum_j (H_i)_j^2} \quad (8-3)$$

其中 E_S 為能量透過率， H_t 為系列潛堤堤後方某一格點相對的波高值， H_i 為欲比較之區域中某一格點相對的波高值， $j=1,2,\dots,n$ 為格網點編號。以此方法來進行平面上的分析，可清楚的瞭解在不同條件下，波浪通過結構物時能量減衰的趨勢。

8.1.2 系列潛堤設計流程圖

依據本系列研究與 Wen 和 Tsai (2008) 之成果，則可以將布拉格共振機制之各項影響因子統合歸納出最適化的參數與流程。本節擬提出系列潛堤工法設計流程圖，以下各節將以此為基礎逐一說明系列潛堤工法於實際海域建構時之各項設計步驟。

本研究將系列潛堤設計佈置於現場地形，欲得到最佳適化的佈置，首先必須確認目標防禦波浪條件，初估其波長後，依據布拉格反射發生於堤距約等於 2 倍波長之特性，決定初步堤距，依照堤距的結果決定堤寬以及堤頂水深，之後檢視目標設定區的堤趾水深，再決定潛堤個數，並重新求算最佳化堤距，若在此佈置條件下其發生布拉格共振的範圍與目標防禦條件不同時，則重新設計調整堤距並再檢視各影響因子。待完成一維方向影響因子的設定，隨後以堤距作為基礎，決定堤長與平面上各組潛堤之組距，最後再決定系列潛堤組數與擺放位置方向，則得到整個系列潛堤工法於平面上的設計。茲將上述設計步驟繪製流程圖如圖 8-2 所示。

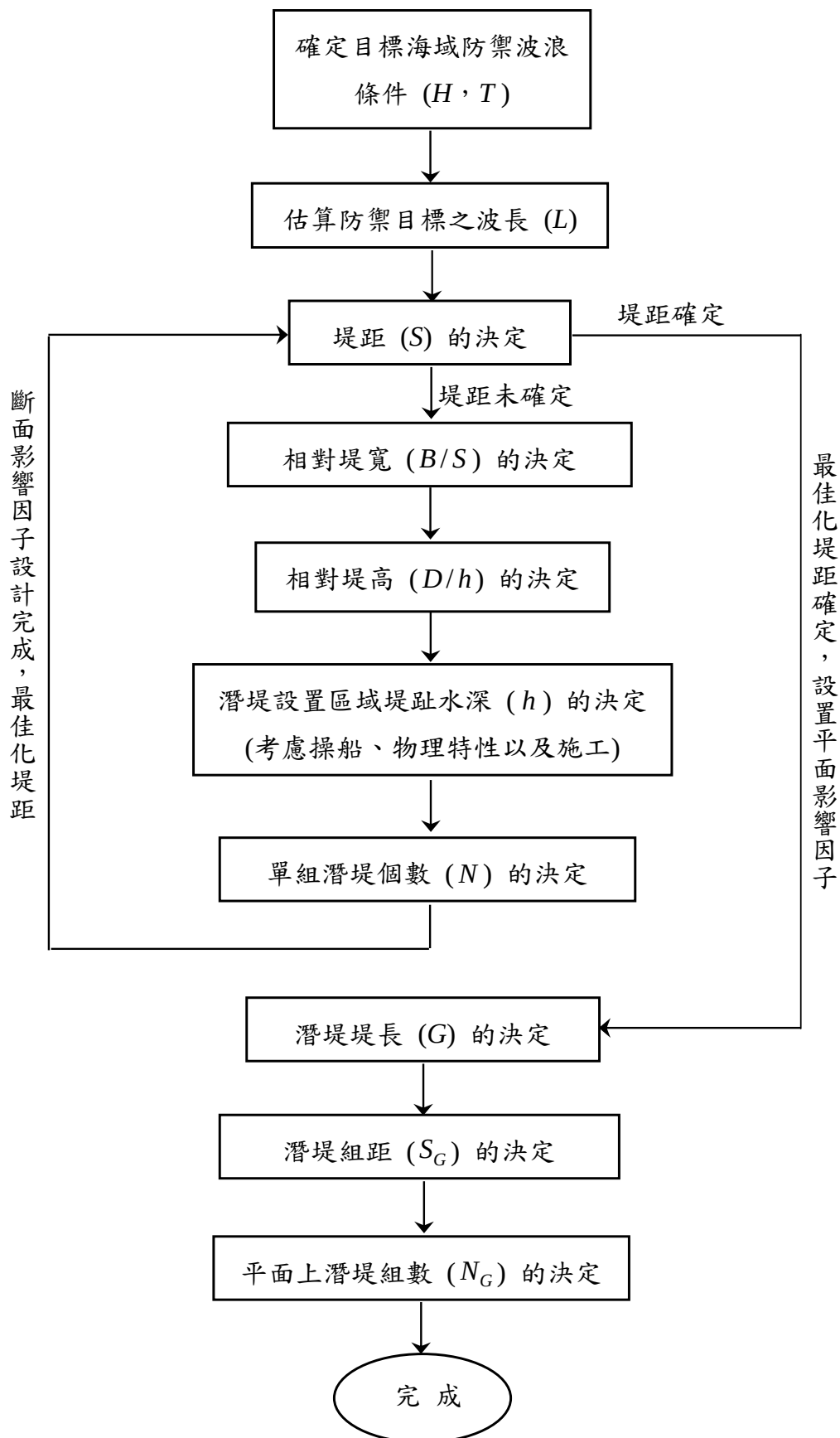


圖 8-2 系列潛堤工法設計流程圖

8.1.3 波場模式

當外海波浪向近岸傳播時，波浪除因水深變化而產生折射、繞射及淺化效應外，當結構物存在時，波浪亦將因繞射及反射而產生變形，若能正確地描述近岸波場因折射、淺化、繞射及反射共同效應的波浪變化，則可達到預期的效果規劃設計之近岸工程提供良好之參考。本研究所選取的 EEMSE 波場模式，可模擬波浪變形效應（淺化、折射、繞射、反射及碎波）外，亦可模擬出波浪非線性淺化效應、底床摩擦效應、及透水介質效應；此外，對於大角度波浪入射問題亦能處理。

本研究之 EEMSE 波浪模式，以 Suh 等人(1997)及許等人(2000)所推導含有底床非線性項之雙曲線型緩坡方程式為基礎，以及考慮透水層效應之緩坡方程式概念所建立。方程式中所含之底床非線性項，包含有底床曲率項及底床斜率平方項之係數，亦針對波浪非線性作用，以及模擬透水性底床或透水潛堤之功能，分別加入波浪非線性淺化效應、底床摩擦效應)及透水介質效應。本研究之延伸型緩坡方程式 (extended mild-slope equation) 表示如下：

$$\begin{aligned} -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (\alpha_p \nabla \Phi) + [\alpha_p k^2 (1 + if) - \omega^2] \Phi \\ + [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \Phi = 0 \end{aligned} \quad (8-4)$$

式中

$$\begin{aligned} f_1(kh) = \frac{-4kh \cosh(kh) + \sinh(3kh) + \sinh(kh)}{8 \cosh^3(kh)[2kh + \sinh(2kh)]} \\ + \frac{8(kh)^2 \sinh(kh)}{8 \cosh^3(kh)[2kh + \sinh(2kh)]} - \frac{kh \tanh(kh)}{2 \cosh^2(kh)} \end{aligned} \quad (8-5)$$

$$f_2(kh) = \frac{\text{sech}^2(kh)}{6[2kh + \sinh(2kh)]^3} \cdot \{8(kh)^4 + 16(kh)^3 \sinh(2kh) - 9\sinh^2(2kh) \cosh(2kh) + 12(kh)[1 + 2\sinh^4(kh)][kh + \sinh(2kh)]\} \quad (8-6)$$

$$\alpha_p = \alpha_1 + n_0(S + if_p)\alpha_2 \quad (8-7)$$

$$\alpha_1 = gh\beta_1^2 \left\{ \frac{\beta_2^2(1 - e^{-2kh})}{2kh} - \frac{\beta_3^2(1 - e^{2kh})}{2kh} - 2\beta_2\beta_3 \right\} \quad (8-8)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2}gh_p\beta_1^2 \left\{ 1 + \frac{\sinh(2kh_p)}{2kh_p} \right\} \quad (8-9)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \quad (8-10)$$

$$\beta_2 = n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \frac{1}{2}\delta_p e^{kh} \quad (8-11)$$

$$\beta_3 = \frac{1}{2}\delta_p e^{-kh} \quad (8-12)$$

$$\delta_p = n_0 \sinh(kh_p) - (S + if_p) \cosh(kh_p) \quad (8-13)$$

上列各式中， Φ 為波浪勢能函數， $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 為水平方向梯度因子， (x, y) 為水平座標， t 為時間變量， $i = \sqrt{-1}$ ， k 為波浪週波速， ω 為波浪角頻率， g 為重力加速度， h 為透水層至水面之深度， h_p 為透水層厚度， f_1 及 f_2 為底床曲率及底床斜率平方項係數， f 為能量消散係數， n_0 為透水層孔隙率， $S = n_0 + (1 - n_0)C_M$ ， C_M 為虛擬質量係數， f_p 為透水介質之線性摩擦因子，需由下式計算

$$f_p = \frac{1}{\omega} \frac{\int_{\forall} \int_0^T \left\{ \frac{n_0^2 \nu}{k_p} |\bar{u}_s|^2 + \frac{n_0^3 C_p}{\sqrt{k_p}} |\bar{u}_s|^3 \right\} dt \, d\forall}{\int_{\forall} \int_0^T n_0 |\bar{u}_s|^2 dt \, d\forall} \quad (8-14)$$

式中， C_p 為透水層之紊流摩擦係數， k_p 為透水層之滲透係數，單位為長度平方， ν 為流體運動黏滯性係數， $\bar{u}_s$ 為透水層內部流體速度。至於波浪週波數 k 則滿足下列延散關係 (dispersion relation)

$$\omega^2 = gk \frac{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \sinh(kh)}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \quad (8-15)$$

當底床無透水層存在時，即 $S=1$ 、 $f_p=0$ 、 $h_p=0$ ，則係數 α_p 可簡化為 CC_g ，其中 C 為波速， C_g 為群波波速，則式(8-1)可簡化為傳統型態的緩坡方程式，式(8-11)可簡化為傳統之延散方程式。

至於能量消散係數 f 包含三部份，即 $f = f_d + f_b + f_s$ ， f_d 、 f_b 與 f_s 分別代表波浪碎波係數、底床摩擦係數及非線性淺化係數。對於波浪碎波之能量消散係數 f_d ，本計畫採用 Dally 等人 (1985) 之碎波公式：

$$f_d = \frac{K_2}{kh} \left(1 - \frac{K_1^2}{4(A/h)^2} \right) \quad (8-16)$$

其中， A 為波浪之振幅，係數 $K_1=0.4$ ， $K_2=0.15$ 。碎波指標 γ_b 則採用採用 Isobe (1987) 的建議：

$$\gamma_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{h/L_0}) + 5 \tan^{3/2} \beta \exp[-45(\sqrt{h/L_0} - 0.1)^2] \quad (8-17)$$

其中 $\tan \beta$ 為海床坡度， L_0 為深海波長。

底床摩擦係數 f_b 根據 Dean 和 Dalrymple (1984) 之紊流邊界層結果所得到之經驗公式。

$$f_b = \frac{4C_{wf}}{3\pi} \frac{A\omega^2}{gn} \frac{1}{\sinh^3 kh} \quad (8-18)$$

式中

$$n = \frac{C_g}{C} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (8-19)$$

$$\begin{cases} C_{wf} = 0.025 (A_b/k_s)^{-0.75} & \text{for } A_b/k_s < 50 \\ \frac{1}{4\sqrt{C_{wf}}} + \ln \frac{1}{4\sqrt{C_{wf}}} = -0.35 + \frac{4}{3} \ln \frac{A_b}{k_s} & \text{for } A_b/k_s > 50 \end{cases} \quad (8-20)$$

$$A_b = \frac{A}{\sinh kh} \quad (8-21)$$

$$k_s = 2D_{90} \quad \text{or} \quad k_s = 2.5D_{50} \quad (8-22)$$

其中， D_{90} 與 D_{50} 分別為底床土壤 90% 與 50% 之均質粒徑。

至於波浪非線性淺化係數 f_s 則依據 Tsai 等人(2001)建議之關係式：

$$f_s = \begin{cases} 0 & \text{for } U_r \leq 30 \\ \frac{1}{kh} \left(-\frac{4}{7} + S_1 + S_2 \right) \tan \beta & \text{for } 30 \leq U_r \leq 50 \\ \frac{1}{kh} \left(-\frac{3\sqrt{U_r} - 10\sqrt{3}}{1.5\sqrt{U_r} - 2\sqrt{3}} + S_1 + S_2 \right) \tan \beta & \text{for } 50 \leq U_r \text{ 至碎波點} \end{cases} \quad (8-23)$$

其中

$$U_r = \frac{2gAT^2}{h^2} \quad (8-24)$$

$$S_1 = \frac{2n-1}{2n} \quad (8-25)$$

$$S_2 = \frac{k_0 h - h^2(k^2 + k_0^2)}{4n^2 \sinh^2 kh} \quad (8-26)$$

式(8-4)之緩坡方程式，在處理邊界上較為繁複，因此依據 Mei (1983) 之建議，將一緩慢時間變量引入緩坡方程式中，其變量為

$$\bar{t} = \varepsilon t \quad (8-27)$$

其中， $\bar{t}$ 為緩慢時間變量， ε 為攝動參數 (perturbation coefficient)，且 $\varepsilon \ll 1$ 。根據式(8-27)，則波浪勢能函數 Φ 可進一步寫成

$$\Phi(x, y, t) = \bar{\psi}(x, y, \bar{t}) e^{-i \omega t} \quad (8-28)$$

式中 $\bar{\psi}$ 為加入攝動參數之流速勢。將式(8-28)代入式(8-4)，並將二階微小量省略，只保留一階以下各項，則可得一個新的時變性拋物線型緩坡方程式 (time-dependent parabolic mild-slope equation)，如下式所示：

$$\begin{aligned} -2\omega i \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} = & \nabla \cdot (\alpha_p \nabla \bar{\psi}) + \alpha_p k^2 (1 + if) \bar{\psi} \\ & + [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \bar{\psi} \end{aligned} \quad (8-29)$$

上式能降低矩陣之維度，降低數值計算之時間。為簡化式(8-29)之控制方程式，引用 Radder (1979) 之尺度因子，如式(8-30)所示：

$$\bar{\psi} = \frac{\phi}{\sqrt{\alpha_p}} \quad (8-30)$$

則式(8-29)可簡化為式(8-31)

$$-\frac{2i\omega}{\alpha_p} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi \quad (8-31)$$

其中

$$k_c^2 = k^2 (1 + if) - \frac{\nabla^2 \sqrt{\alpha_p}}{\sqrt{\alpha_p}} + \frac{[f_1 g \nabla^2 h + f_2 (\nabla h)^2 gk]}{\alpha_p} \quad (8-32)$$

式(8-31)稱為演進型緩坡方程式 (Evolution Equation of Mild Slope Equation, EEMSE)，相較式(8-4)之雙曲線型緩坡方程式，能節省數值疊代之計算時間，適用於較大範圍的海域波場計算。

8.2 新竹港南海域之現況

新竹港南海岸位於新竹市西北方，北與新竹漁港新竹垃圾處理廠事業性海堤相鄰，南至客雅溪口，其平面位置空照圖如圖 8-3 (資料來源：Google Earth) 所示。由於許多文獻均顯示近年來港南海岸侵蝕情形日益惡化，探究其主要原因應本區海岸因北邊漁港防波堤攔阻沙源，以及在高潮與颱風期間，近岸沙灘上受波浪侵襲，使得灘線向內陸移動之故。早期放置消波塊於港南海岸北側堤前用以防止侵蝕或在消波塊群後上方覆土以改善生態景觀環境，然而此均為暫時性之權宜措施，未能真正有效的改善海岸侵蝕問題，並同時達到生態景觀與親水的多樣化目標。

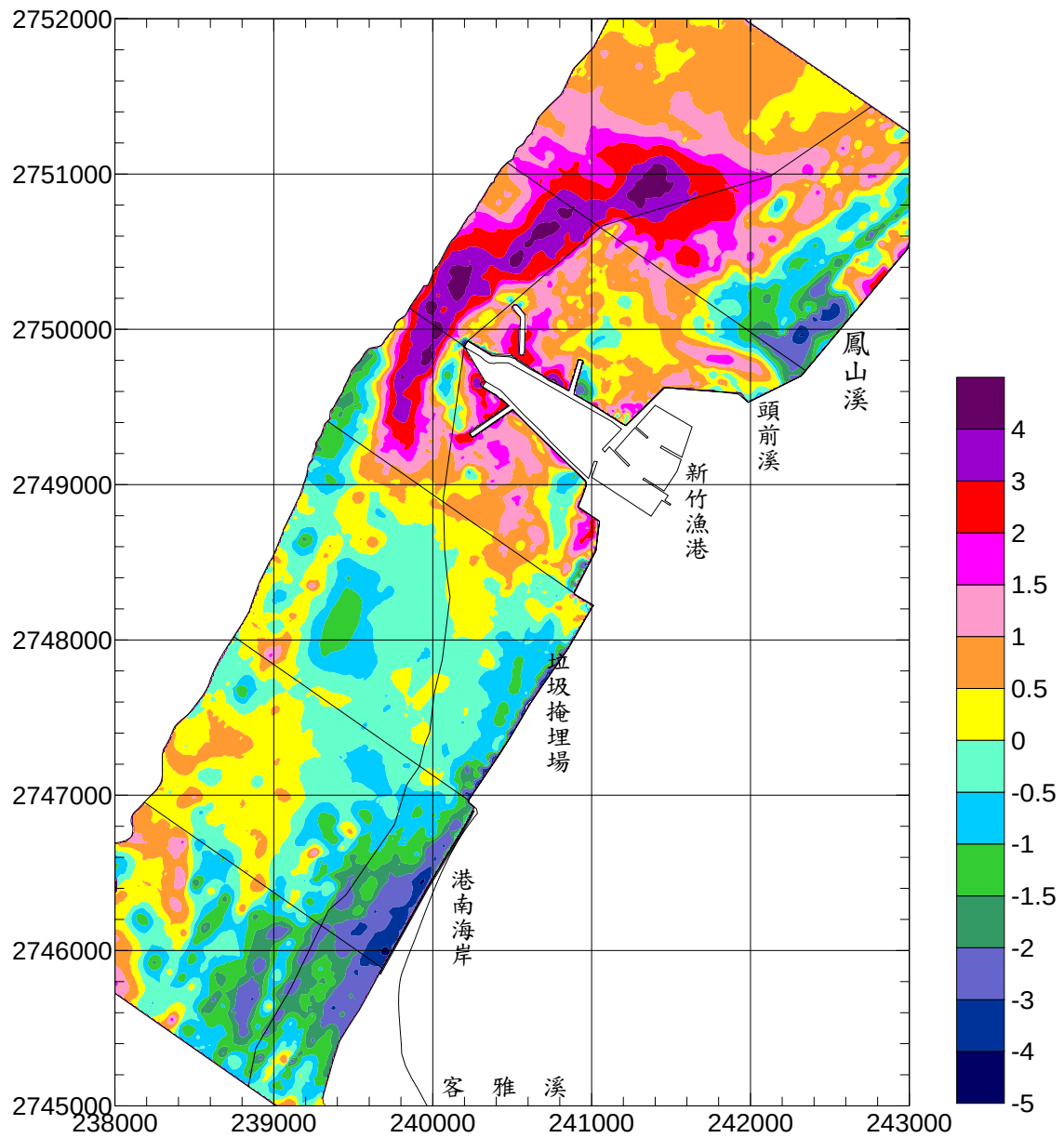
對於海岸防治應先瞭解地形變遷機制，並輔以適當之人工結構物，儘量利用波浪之特性，藉自然之力量達成平衡與防護目的。故在防護工法的規劃設計上，除了考量對波浪之防禦性外，隨著臺灣生活品質的提升應同時考慮海岸之親水性與景觀生態。然而由前人研究顯示，系列潛堤之保護工法除了可以有效改善海岸景觀外，亦可利用布拉格共振機制之反射效應，將多數的波浪能量阻擋於外海，但在實際應用上目前仍無詳盡的規劃流程，故本研究將以臺灣新竹港南海岸為對象海岸，針對此數值模擬方式，探討各方面之影響，進而規劃施工的可行性。

圖 8-4 為 87 年 09 月至 94 年 04 月新竹港南海岸附近海域地形侵蝕變化圖，圖形顯示海岸因北邊漁港防波堤攔阻沙源，且臺灣地區於夏季多颱風侵襲，颱風之侵蝕性波浪將近岸沙粒搬移至遠岸後，堆積性的季節風波浪並無法將遠岸沙粒再搬移迴近岸，導致下游長期飽受侵蝕之苦。主要侵蝕區域港南海岸附近海域，累積之侵蝕程度劇烈已達 3~4m，部分區域侵蝕更達 4~5m。有鑑於此本研究將先以斷面水深地形佈置系列潛堤，作為現場地形之測試，並參考計畫提出之系列潛堤工法設計流程圖，以該海域為對象海象，進行系列潛堤工法之設計規劃。



資料來源：Google Earth

圖 8-3 新竹港南海岸平面位置圖



資料來源：中華顧問工程司

**圖 8-4 新竹港南附近海域地形侵淤變化圖
(87.09~94.04)**

8.3 系列潛堤工法於新竹港南海域之設計流程步驟

許多防禦工法主要的目的均在於防禦颱風、暴潮所造成的侵蝕與破壞。因此，本節參考圖 8-2 之設計流程以造成海岸侵蝕的颱風波浪作為防禦目標，針對新竹港南海域來進行系列潛堤工法的規劃設計，並探討該工法對於颱風波浪防禦之效果。

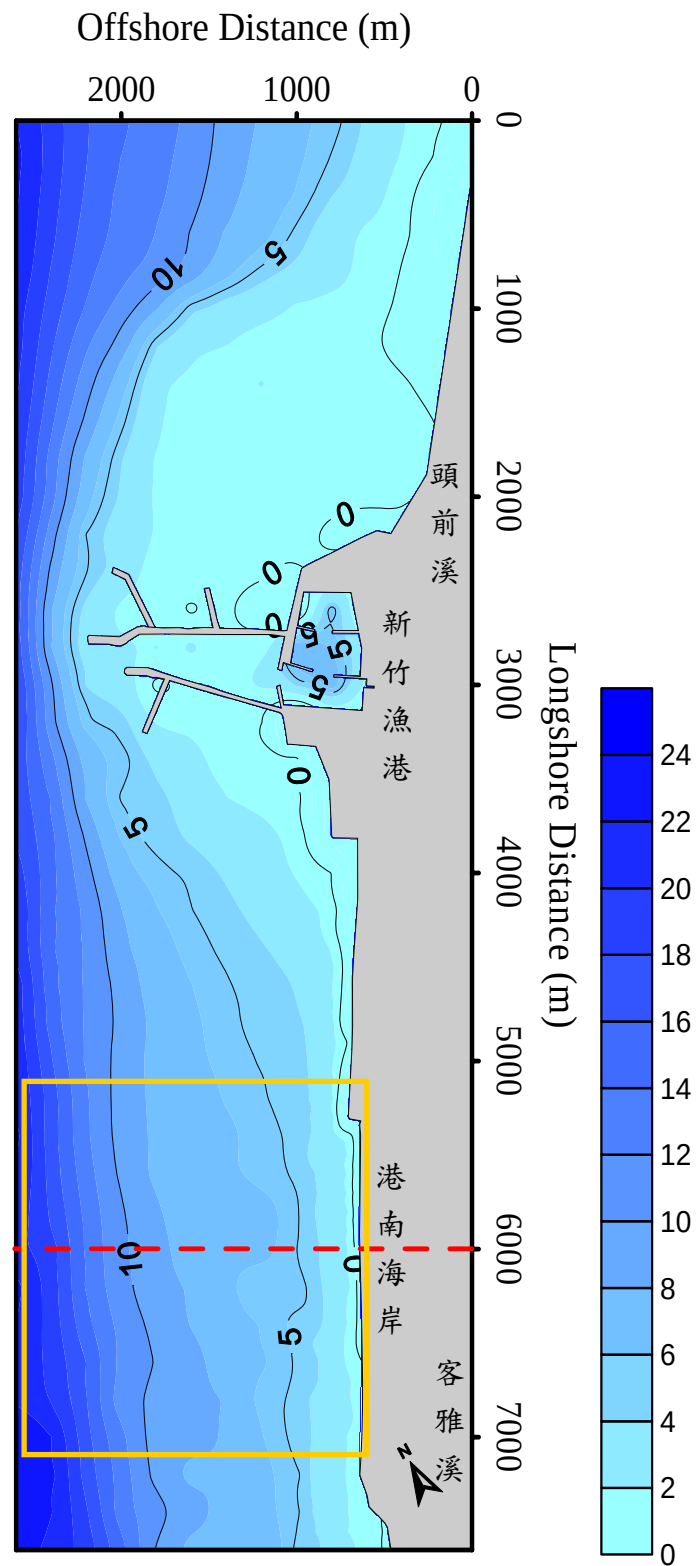
系列潛堤的佈置目標地區為長年受到侵蝕之港南海岸，如圖 8-5 中之黃線區域所示。由圖 8-4 中可知，在漁港北防波堤附近，因新竹漁港防波堤攔阻了由北而南的沿岸漂沙，形成了北淤南侵的突堤效應，並使得沿岸漂沙的分佈範圍往外海發展，甚而繞過堤頭形成港口淤塞的現象，因此在港口與南北側防波堤間，形成一環形分佈的淤積帶，最大淤積幅度超過 3m，至於漁港南側的垃圾掩埋場至港南海岸，水深 -10m 以內之區域普遍呈現侵蝕的狀態，尤以港南海岸一帶最為明顯，侵蝕深度平均約為 3m，最大侵蝕幅度可達 4m 以上，而在港南海岸較遠岸處則有部分淤積區域。

8.3.1 斷面影響因子之決定

依據上一節之系列潛堤設計流程規劃，逐一探討各影響因子於目標海域的特性，再重新檢討堤距影響，最後才完成斷面上的影響因子設計。由圖 8-5 可知，在目標海域中除了北方新竹漁港防波堤為伸入海中之突出結構物，波浪入射受結構物繞射影響之外，在港南海岸附近地區波浪入射在近岸區與等水深線約成垂直。故在斷面水深佈置測試上，選取的位置為 *Longshore distance* = 6000m 斷面，座標示意圖如圖 8-4 所示。則系列潛堤工法之設計步驟及方法說明如下：

1. 確定防禦目標波浪條件

整個工法的設計目的在於防禦颱風波浪，表 8-1 為新竹港南海域之波浪條件資料表，考慮 10 年迴歸期之颱風波浪，其應以 NNE 向颱風波浪為主，波高為 $H = 6.6\text{m}$ ，週期分別為 $T = 10.6\text{sec}$ ，水位為 +1.91m，水深地形則如圖 8-4 所示。



資料來源：中華顧問工程司

圖 8-5 新竹港南附近海域地形圖 (87 年 9 月實測)

表8-1 新竹港南海域之波浪條件資料表

輸入條件	波高 H (m)	週期 T (sec)	波向	水位 (m)
夏季季風	0.83	4.95	WSW	+0.22
冬季季風	1.27	5.28	N	+0.22
10 年迴歸期颱風	6.60	10.6	NNE	+1.91
50 年迴歸期颱風	9.10	12.7	NNE	+1.91

資料來源：中華顧問工程司

2. 估算防禦目標之波長 (L) 以及初步堤距 (S) 的決定

由上述之波浪條件，依據分散關係式 (dispersion relation) 計算，在佈置水深 $h = 8\text{m}$ 的情況下，考慮目標防禦波浪週期 $T = 10.6\text{sec}$ 的情況其波長約為 90m 。又根據布拉格反射機制，最大共振區可能發生於潛堤間距為波長之半的附近，故本區布拉格反射機制可能發生在潛堤間距約為 $S \approx 45\text{m}$ 的佈置條件下，且假設潛堤堤寬為 $B = 15\text{m}$ 也就是 $B/S = 0.33$ 。由於此佈置考慮實際海域，除了防禦性外，尚須考量漁船操船行進之安全性，且堤頂水深較深受到波浪的破壞力較小，故本研究暫以水深為 8m (水位 $+1.93\text{m}$) 處作為初步佈置潛堤之水深，因此堤頂水深約為 4m 。堤距 $S = 45\text{m}$ 及堤趾水深 $h = 8$ 初步決定後，在堤寬及堤高條件相同下，以入射波條件做為基準，嘗試比較能量透過率的分佈情形。

圖 8-6 為潛堤個數 $N = 2、3、4、5、6、7、8$ 下，能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖。圖形顯示，當潛堤佈置於水深 8m 處，且 $S = 45$ 、 $D/h = 0.5$ 、 $B/S = 0.33$ 時，不同潛堤個數在波浪週期為 $T = 10.8\text{sec} \sim 14.0\text{sec}$ 會有主頻共振區，而次諧共振發生大約在 $T = 6.6\text{sec} \sim 7.4\text{sec}$ 間。此結果與原本目標防禦之波浪條件 $T = 10.6\text{sec}$ 不同。可能原因為水深地形的改變與波浪變形效應導致主共振區偏移，由過去的研究可以知道當系列潛堤的共振效應與堤距有密不可分的關係，於是進一步探討改變堤距 (S) 後共振區偏移的

特性來決定最後的堤距設計。

圖 8-7 為 $S = 40$ 、 45 、 50m 的條件下，在堤趾水深 8m 處 $N=8$ ， $D/h=0.5$ ，能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖。由圖 8-7 可知當堤距 (S) 增加時，整個共振區有往右偏移的現象，當堤距 (S) 減小時，共振區有往左偏移的現象，又當 $S=40$ 時，主共振發生在 $T=10.2\text{sec} \sim 13.8\text{sec}$ 之間；當 $S=50$ 時，主共振發生在 $T>11.8\text{sec}$ 。得知當 S 減小時主共振區會往目標防禦條件偏移，故再考慮 $S=30$ 、 35 、 40m 的條件，圖 8-8 為上述條件之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖，由圖中可知當 $S=35$ 時，主共振發生在 $T=9.6\text{sec} \sim 12.4\text{sec}$ 之間；當 $S=30$ 時，主共振發生在 $T=8.5\text{sec} \sim 11.8\text{sec}$ 之間。由以上的結果可知，當 $S=35$ 時，應是最吻合目標防禦條件的設計，則以 $S=35$ 作為本研究堤距的設計方案。再依據 Wen 和 Tsai (2008) 的建議 $0.25 < B/S < 0.333$ ， $D/h=0.5$ 時布拉格共振機制會呈現較好的防禦效果，故於本研究中重新規劃 $B/S=0.29$ 、 $D/h=0.5$ ，則堤寬 B 重新設計為 10m 。

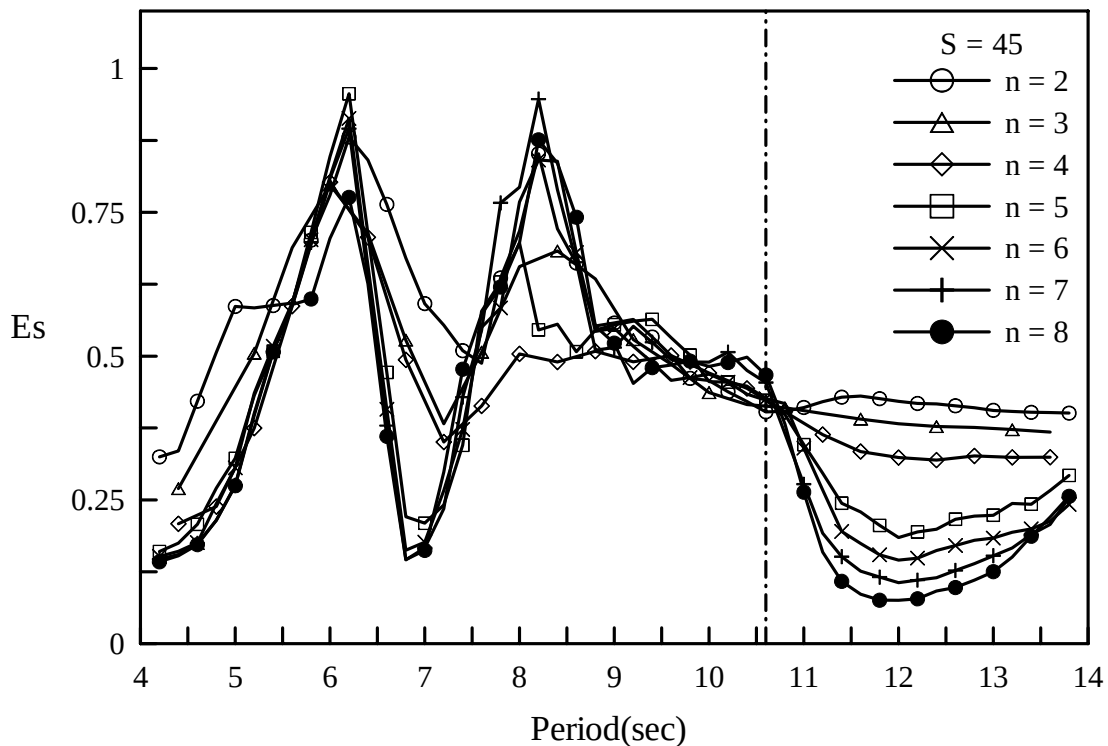


圖 8-6 不同潛堤個數下能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖

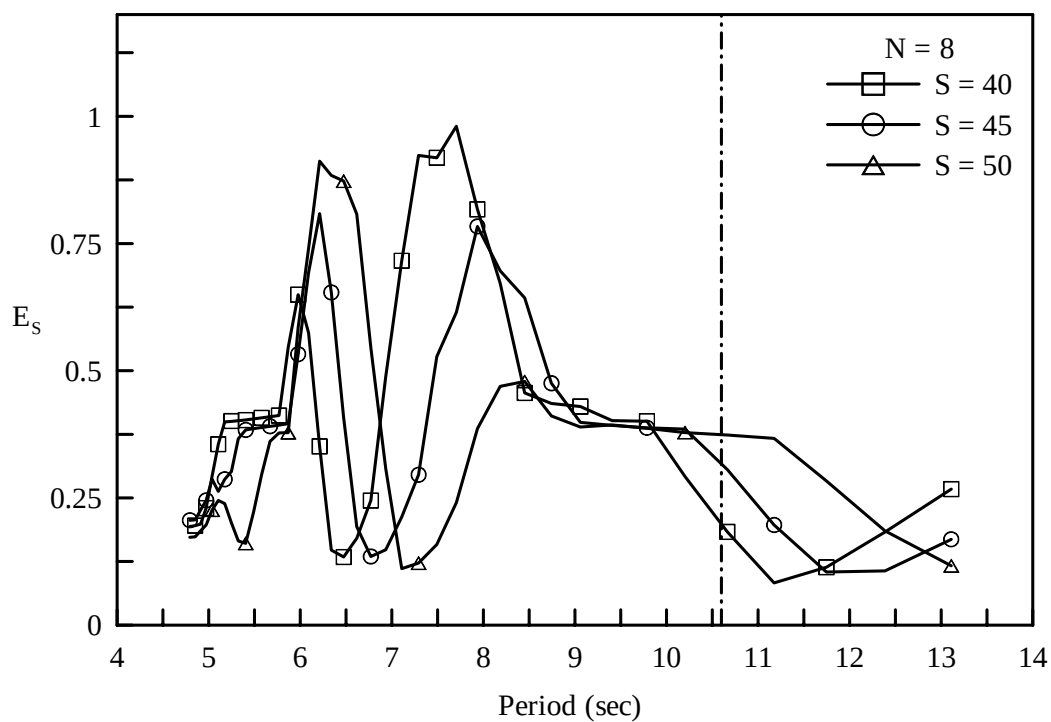


圖 8-7 不同堤距 (S) 下能量透過率 E_s 與 週期 T 之關係圖
($N=8$, $D/h=0.5$)

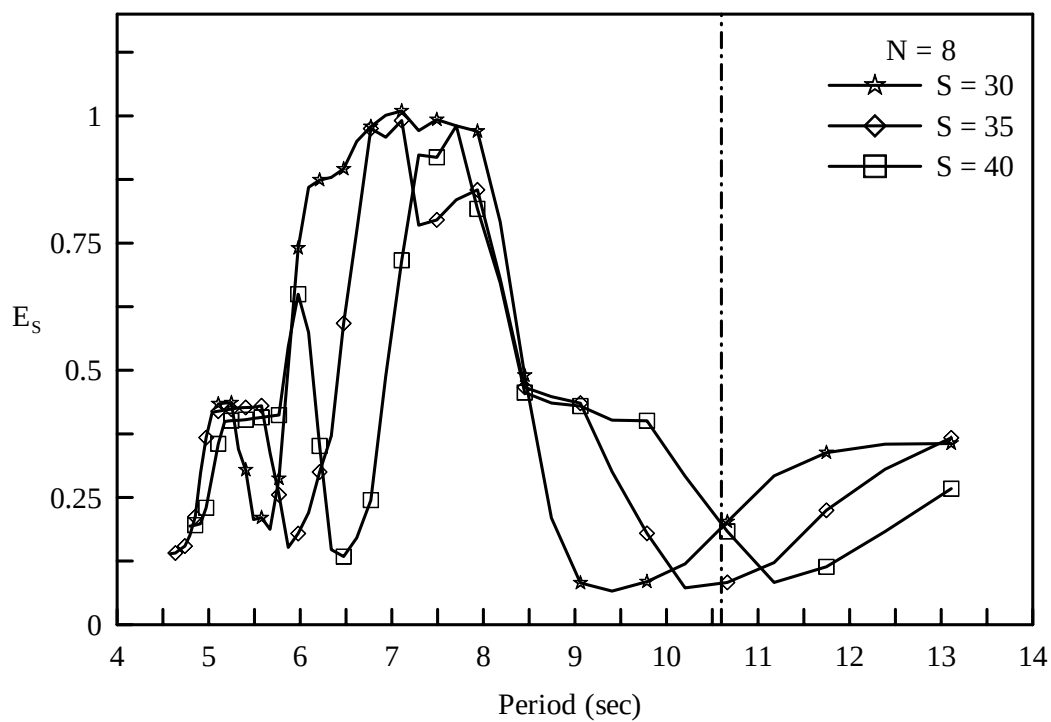


圖 8-8 不同堤距 (S) 下能量透過率 E_s 與 週期 T 之關係圖
($N=8$, $D/h=0.5$)

3. 潛堤設置區域堤趾水深 (h) 的決定

上述研究已完成堤距 (S)、堤寬 (B)及堤頂水深 (h) 的設定後，由圖 8-6 顯示當 $N \geq 4$ 布拉格共振機制較為明顯，在堤趾水深的決定上，考慮現場水深地形佈置系列潛堤的可行性及經濟性。因此本研究先以 $N = 4$ 來進行堤趾水深選定的佈置條件。

首先選擇在水深 $h = 7\text{ m}$ 、 $h = 8\text{ m}$ 、 $h = 9\text{ m}$ 及 $h = 10\text{ m}$ (水位 +1.91m) 處，以不同的波浪週期，在相同的相對堤高 $D/h = 0.5$ (堤頂水深 $h' = 3.5\text{ m}$ 、 4.0 m 、 4.5 m 及 5.0 m)、潛堤個數 $N = 4$ 、堤距 $S = 35\text{ m}$ 及堤寬 $B = 10\text{ m}$ 條件下進行數值模擬，其能量透過率 E_s 與週期 T 之關係如圖 8-9 所示。圖中顯示除了水深 $h = 7\text{ m}$ 外，主共振區的帶寬隨著佈置堤趾水深的減少而增加，且能量透過率隨著堤趾水深的增加而遞增，其原因為波浪由外海向岸傳遞時，因水深變化使得波長改變，當潛堤佈置於水深 $h = 9\text{ m}$ 或 10 m 時，其波長與設計堤距 $S = 35\text{ m}$ 所能達成的共振條件較少，因而使得布拉格共振機制不夠完整的原因所致。而入射波高 $H = 6.6\text{ m}$ 通過現場隨水深變化的地形，波浪會產生淺化效應，傳遞至 $h = 7\text{ m}$ 的堤趾水深時系列潛堤的堤頂水深僅有約 5.41 m ($3.5\text{ m} + 1.91\text{ m}$)，故絕大部分的波浪條件通過結構物時都會產生碎波效應，因此導致堤後能量透過率極低，然而，系列潛堤工法最主要的目的在於產生布拉格共振效應來抵禦波浪能量的侵襲，不在使之產生碎波，因此在新竹港南海域堤趾水深 7 m ，堤頂水深 3.5 m 並不適合系列潛堤工法的佈置。又一般漁船吃水深度約為 3 m 左右，因此在考量漁船行進安全及共振帶寬較廣的情形下，本研究於目標海域選定水深 $h = 8$ 為工法的佈置水深應較為適當。

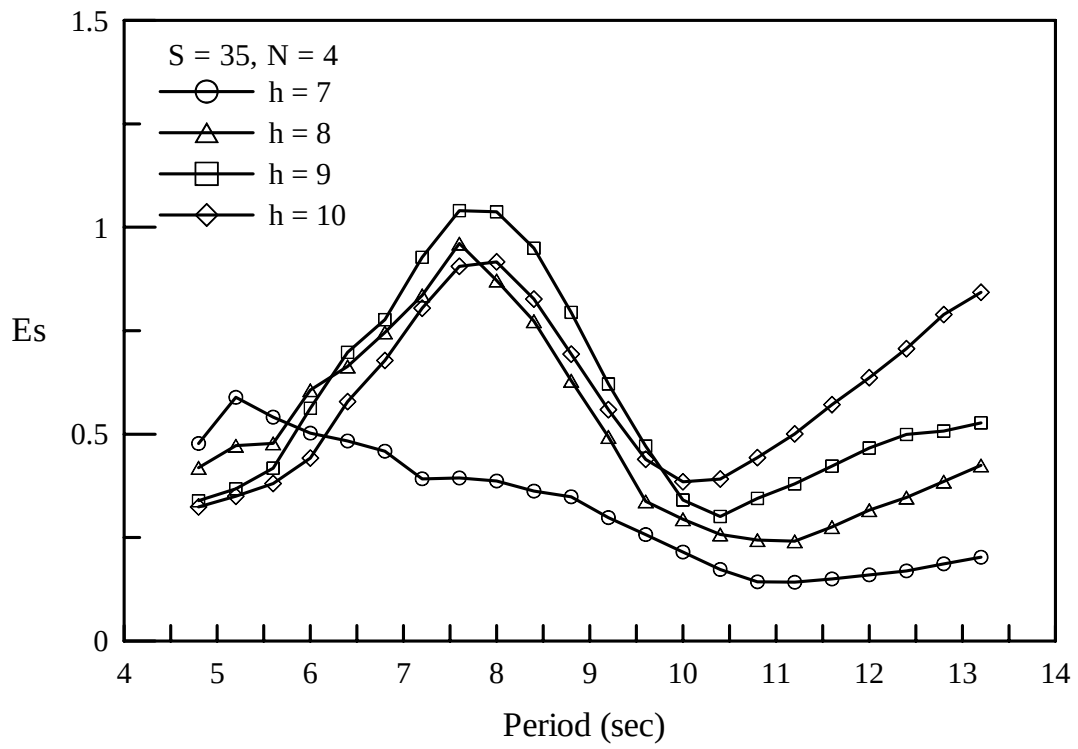


圖 8-9 不同堤趾水深(h)下能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖
($N = 8$, $S = 35$, $D / h = 0.5$)

4. 單組潛堤堤個數 (N) 的決定

在堤距 ($S = 35\text{m}$)、堤寬 ($B = 10\text{m}$)、堤頂水深 ($h = 4\text{m}$) 以及堤趾水深 $h = 8\text{m}$ 的選定後，再探討不同潛堤個數 (N) 其水理特性，再決定整個工法所要採用的變數之數值。圖 8-10 為不同的潛堤個數佈置下，能量透過率 E_s 與週期 T 的關係圖。圖中顯示能量透過率無論在主共振區或者次諧共振區皆隨著堤數的增加而減小，且由於不考慮波浪的繞射效應則當潛堤個數為 8 時，能量透過率約可達 0.13 左右。除了 $N = 2$ 以外，當潛堤個數 $N = 3、4、5、6、7、8$ 時，除了主頻產生共振現象外，亦會產生分諧共振 (second-order resonance)。然而由圖中可發現主共振 (primary resonance) 及次諧共振，隨堤數的增加而能量衰減越多的趨勢不變。在僅改變潛堤個數的條件下，共振區的範圍不會隨著堤數的變化有太大的變化，主共振大約發生在 $T = 9.4\text{sec} \sim 13.1\text{sec}$ 之間，次諧共振皆大約發生在 $T = 5.6\text{sec} \sim 6.4\text{sec}$ 以及 $T = 4.0\text{sec} \sim 5.0\text{sec}$ 間。

圖 8-11(A) ~ 8-11(D) 分別為在不同潛堤個數下 ($N = 2、4、6、8$)，當 $T = 10.6\text{sec}$ 時地形佈置及波高變化圖。圖形顯示隨堤數的增加，堤前反射波產生之共振現象相對增加，相對於堤後的透射波則愈小，且可以發現當 $N = 2$ 時共振現象並不明顯，但當 $N \geq 4$ 時則產生明顯的共振效應，因此若要在現場實際應用時 $N = 2$ 或 3 的條件並不適宜作海岸保護佈置。由圖 8-10，顯示當 $N \geq 4$ 時，在主共振及次諧共振的能量透過率皆可達到 0.5 以下，故在考量實際海域共振效率及經濟成本下，本研究初步選取堤數 $N = 4$ 為新竹港南海域模擬堤數佈置之條件。

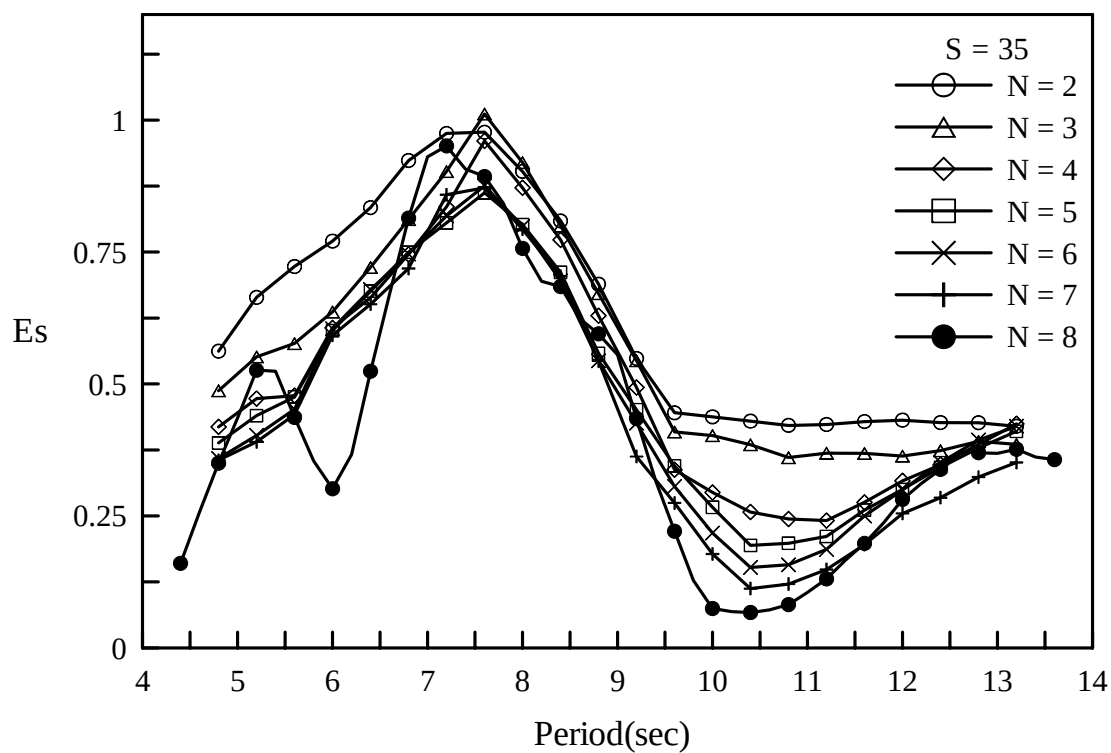


圖 8-10 不同潛堤個數下能量透過率 E_s 與 週期 T 之關係圖
($h = 8$, $S = 35$, $D/h = 0.5$)

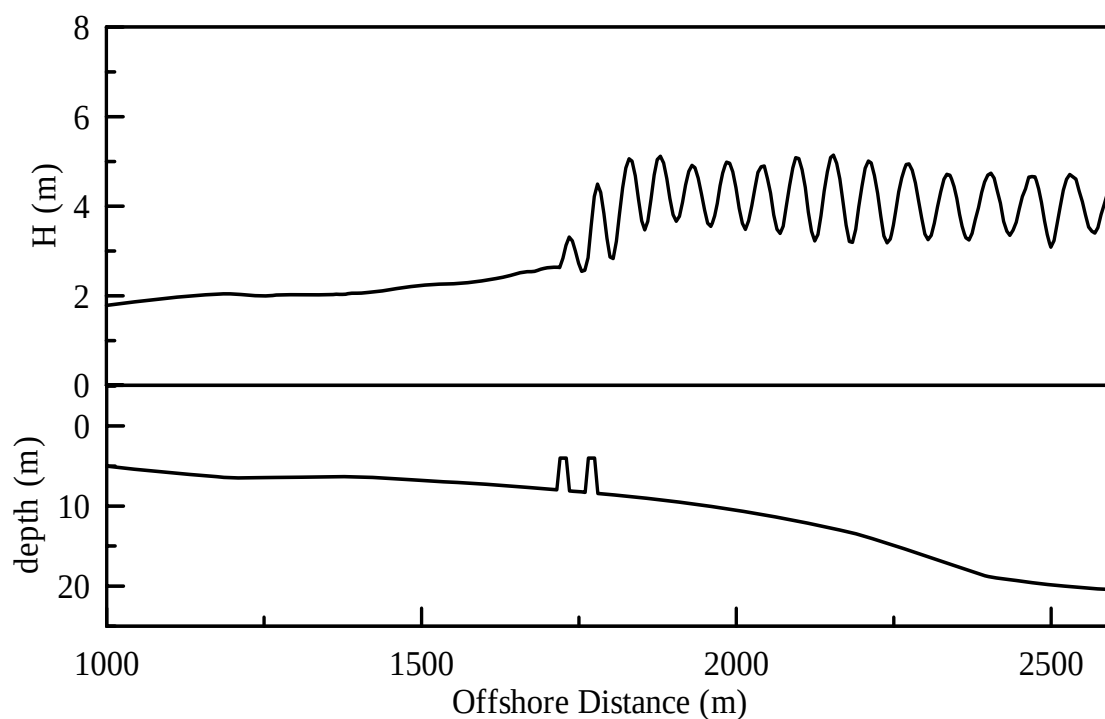


圖 8-11(A) $S = 35$ 潛堤堤數 $N = 2$ 佈置及波高變化圖
($T = 10.6\text{sec}$)

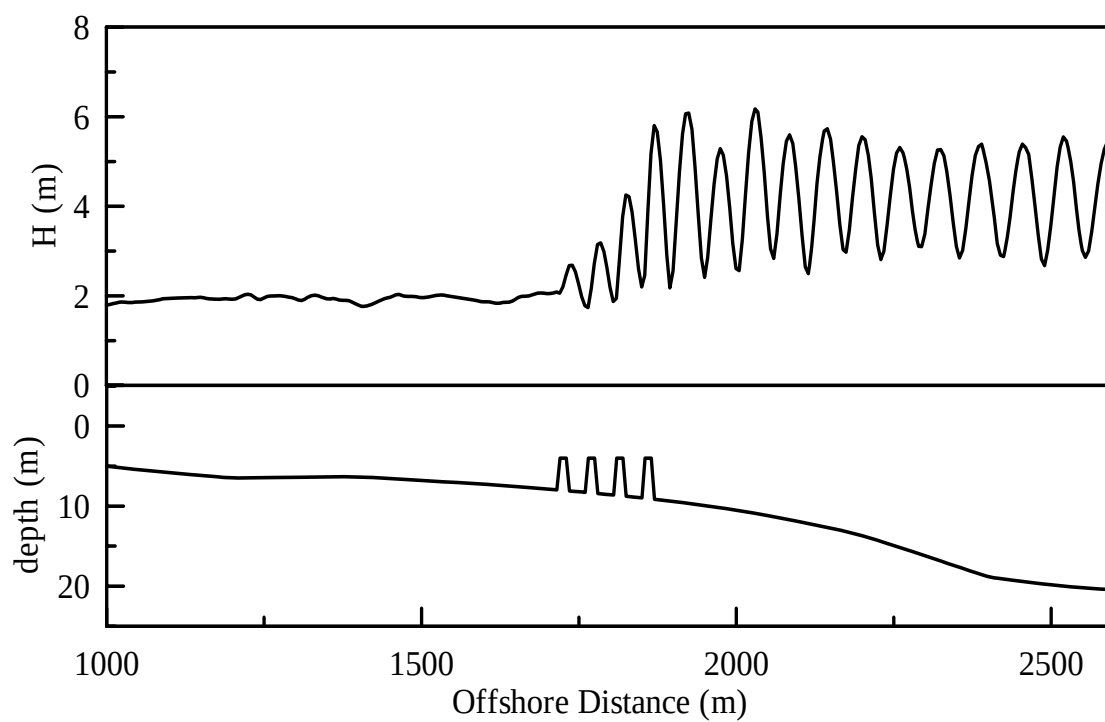


圖 8-11(B) $S = 35$ 潛堤堤數 $N = 4$ 佈置及波高變化圖
($T = 10.6\text{sec}$)

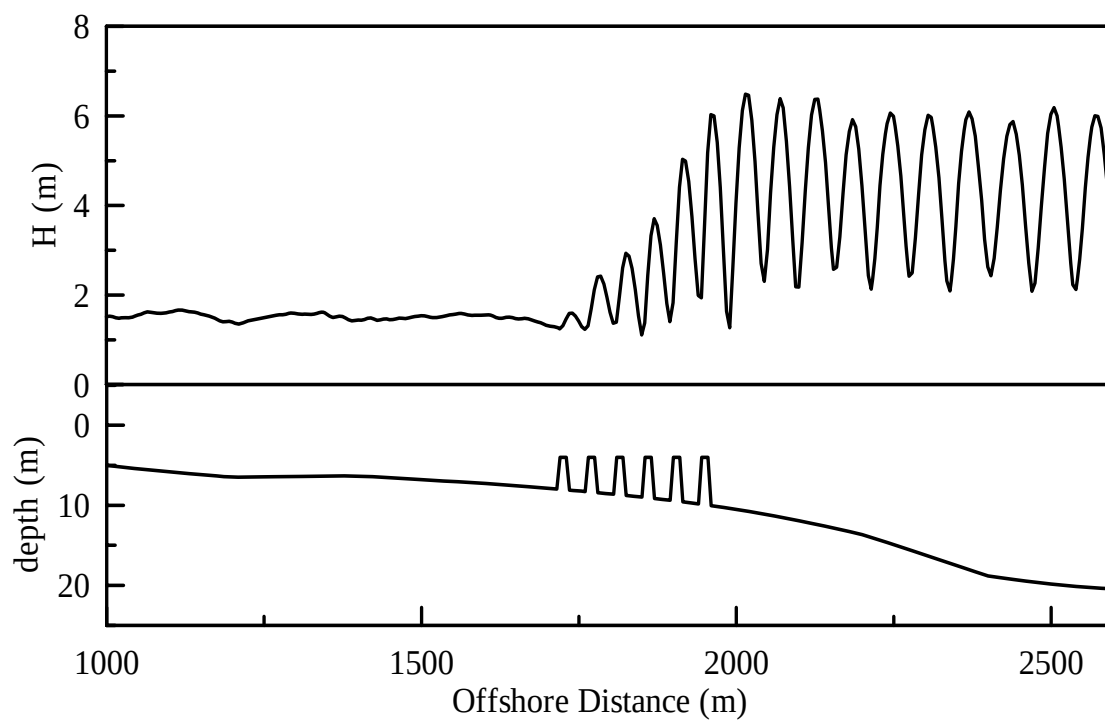


圖 8-11(C) $S = 35$ 潛堤堤數 $N = 6$ 佈置及波高變化圖
($T = 10.6\text{sec}$)

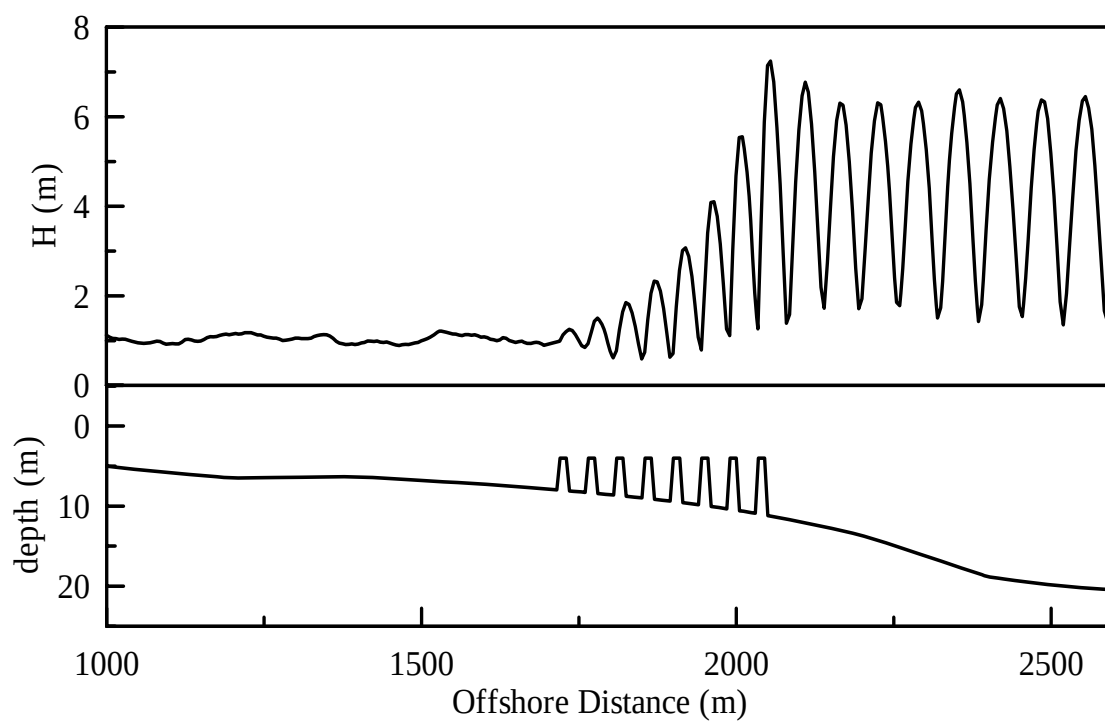


圖 8-11(D) $S = 35$ 潛堤堤數 $N = 8$ 佈置及波高變化圖
($T = 10.6\text{sec}$)

5. 堤距 (S) 的重新校驗

在堤距 ($S = 35\text{m}$)、堤寬 ($B = 10\text{m}$)、堤頂水深 ($h = 4\text{m}$)、堤趾水深 $h = 8\text{m}$ 以及潛堤個數 $N = 4$ 選定後，系列潛堤工法於斷面上的影響因子設計即告完成。由於在各個影響因子決定的過程中可能與最初利用目標防禦條件所決定的結果有所不同，又整個工法的設計以堤距 (S) 做為無因次化的參數，故必須重新檢驗 (S) 是否吻合整個設計的需求。

由上述可知，在本研究目標海域中，波浪防禦條件為 $T = 10.6\text{sec}$ ，又初始設計條件為 $S = 45\text{m}$ ， $D/h = 0.5$ ， $B = 15\text{m}$ ，潛堤堤趾水深 $h = 8\text{m}$ 。經過數值模式的模擬後，設計條件轉變為 $S = 35\text{m}$ ， $D/h = 0.5$ ， $B = 10\text{m}$ ， $h = 8\text{m}$ 。根據 Wen 和 Tsai (2008) 的研究結果，其建議 $0.25 < B/S < 0.333$ ， $D/h = 0.5$ 時布拉格共振機制會呈現較好的防禦效果，在修正堤距 (S) 後，也同時修正了堤寬 B ，而無因次參數 $B/S = 0.29$ 在 Wen 和 Tsai (2008) 所提出的範圍內。圖 8-12(A)~8-12(C) 分別為潛堤個數 $N = 4$ 、 6 、 8 的情況下，兩種不同堤距 $S = 35\text{m}$ 、 45m 時能量透過率 E_s 與週期 T 的比較圖。圖中顯示不同的堤距，能量透過率均會隨著潛堤個數的增加而降低，而主共振與次諧共振則因為堤距的修正而往左偏移，使得目標防禦條件位於主共振的中心達到原本的需求。圖 8-13 為 $S = 35\text{m}$ 、 $D/h = 0.5$ 、 $B/S = 0.29$ 以及堤趾水深 $h = 8\text{m}$ 的條件下，不同潛堤個數下能量透過率 E_s 與 $2S/L$ 之關係圖，圖中顯示 $N = 2$ 時共振現象並不明顯，當 $N \geq 4$ 時，在主共振及次諧共振的能量透過率皆可達到 0.5 以下。承上吾人考慮經費與效率問題，以 $N = 4$ 為設計條件應為合理的選擇。

在重新校驗堤距之後，得到於目標海域設置系列潛堤工法在斷面影響因子上的最佳設計，下節將以此作為基礎設計探討平面影響因子之設計流程。

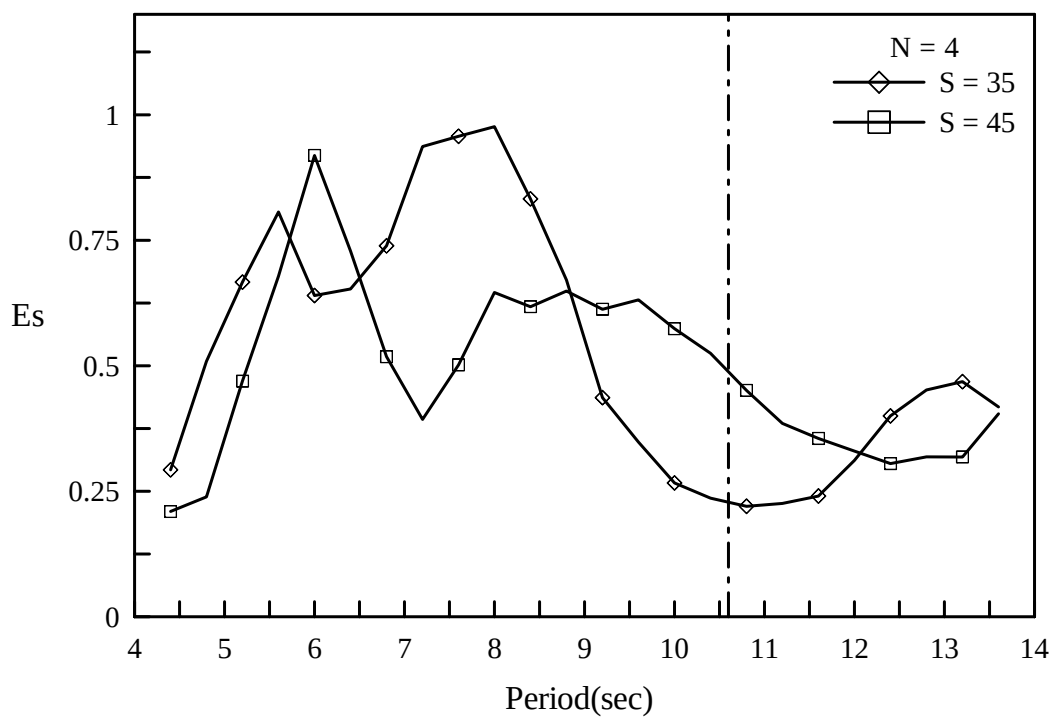


圖 8-12(A) 不同堤距 (S) 條件能量透過率 E_s 與 週期 T 之關係
圖($S=35$, $D/h=0.5$, $N=4$)

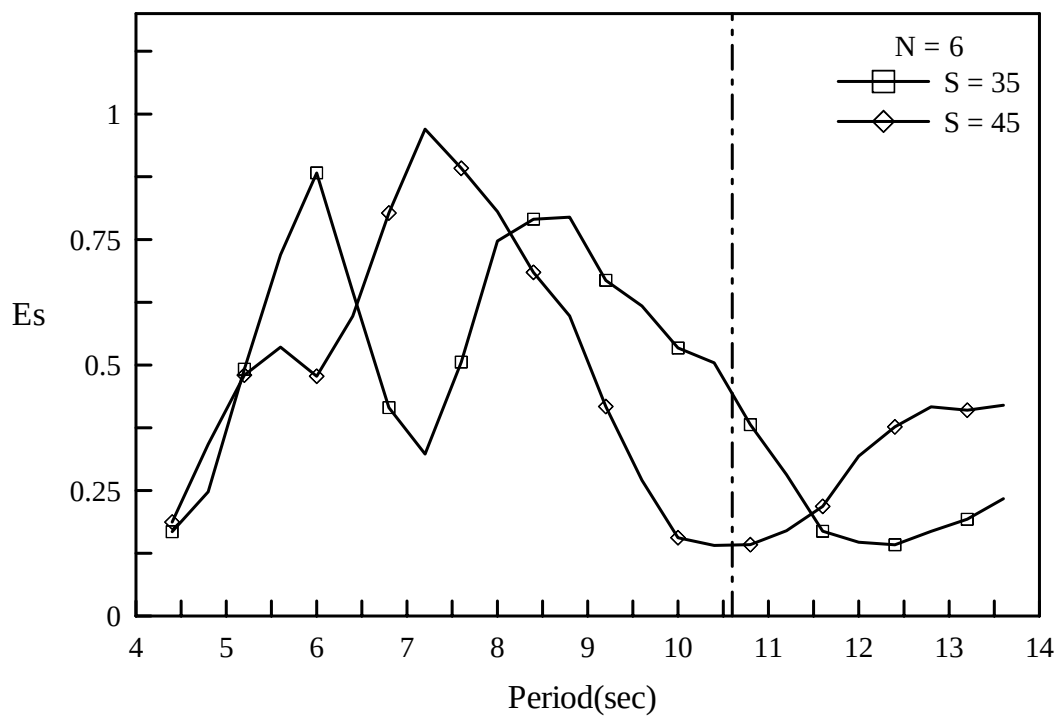


圖 8-12(B) 不同堤距 (S) 條件能量透過率 E_s 與 週期 T 之關係
圖($S=35$, $D/h=0.5$, $N=6$)

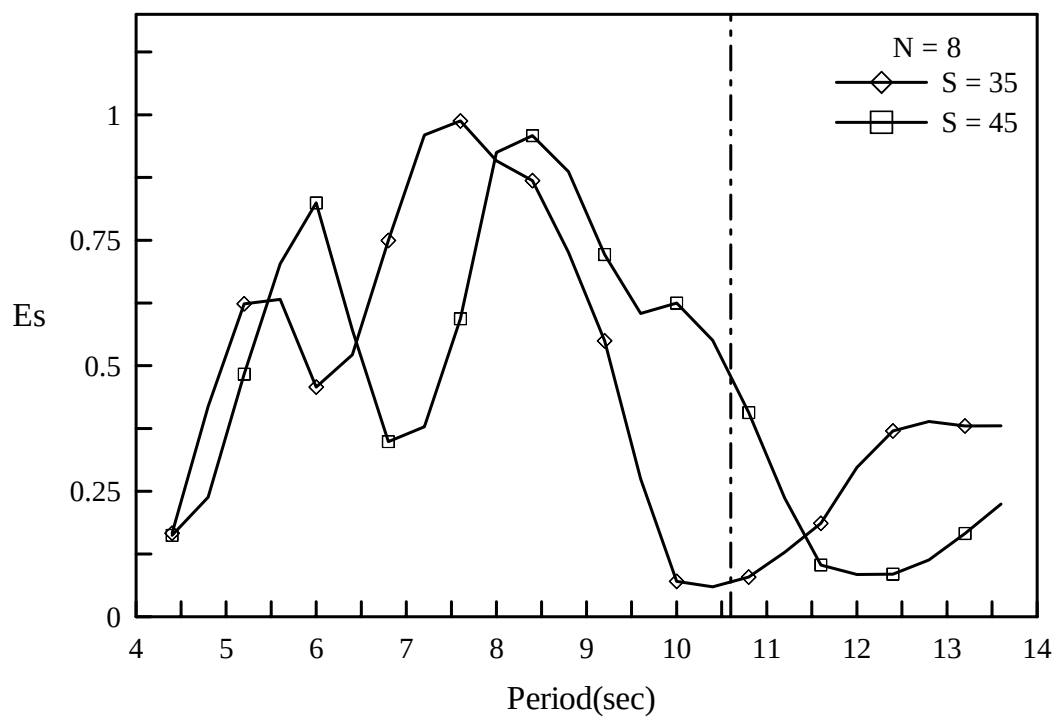


圖 8-12(C) 不同堤距 (S) 條件能量透過率 E_s 與 週期 T 之關係
圖($S=35$, $D/h=0.5$, $N=8$)

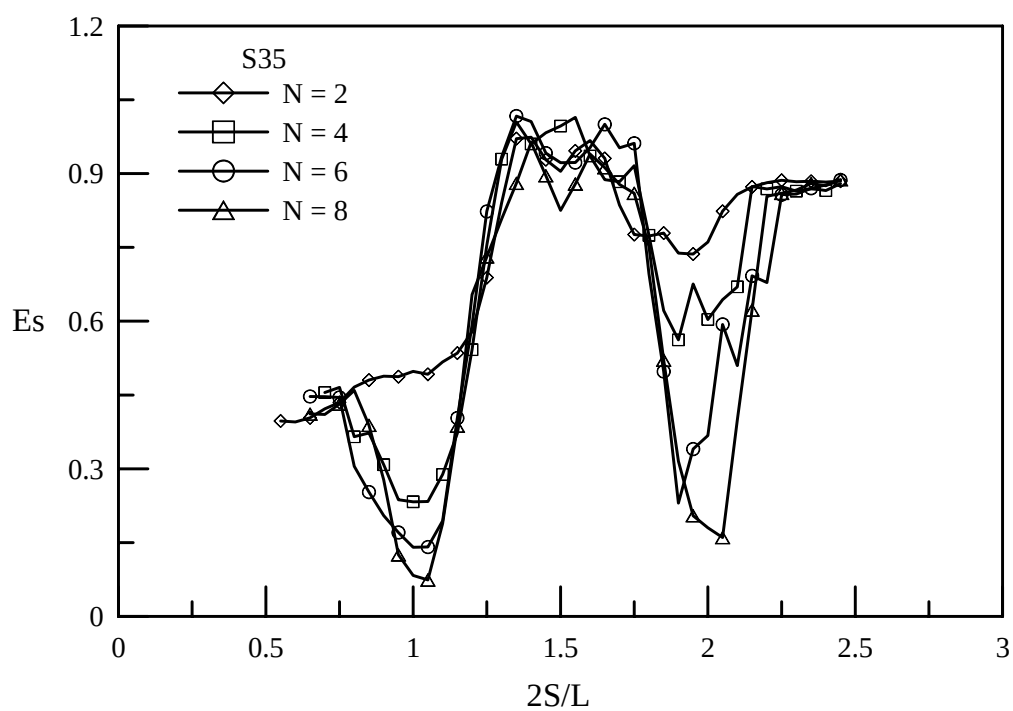


圖 8-13 不同潛堤個數，能量透過率 E_s 與 $2S/L$ 之關係圖
($S=35$, $D/h=0.5$, $B/S=0.29$)

8.3.2 平面影響因子之選定

完成斷面影響因子的選定後，依據堤距探討平面系列潛堤佈置，地形採新竹港南海域 $Longshore\ distance = 6000m$ 之地形佈置成二維平面，主要決定的影響因子為潛堤堤長 G 、組距 S_G 以及組數 N_G ，故針對不同的無因次參數 G/S 及 G/S_G 來進行設計。其它影響因子則依據報告上一節中所討論的結果而定，故潛堤堤距 $S = 35m$ 、相對水深 $D/h = 0.5$ 、相對堤寬 $B/S = 0.29$ 、潛堤個數 $N = 4$ 、堤趾水深 $h = 8m$ ，潛堤形式則固定為矩形以方便討論。其中表 8-2 為各項之模擬條件表，茲將計算結果討論如下：

表8-2 數值模擬之平面系列潛堤佈置參數

潛堤型式	個數 N	組數 N_G	D/h	B/S	G/S	S_G/G
矩形	4	1,4	0.50	0.29	1、3、5、7	0.25
						0.50
						1.00
						1.50
						2.00
		1			∞	0

6. 平面上堤長 (G) 的決定

依據系列潛堤設計流程圖，於平面影響因子應先決定堤長，故在此僅佈置單組系列潛堤改變各方案的堤長 G ，其中波浪條件以現場之 10 年迴歸期颱風為條件 ($H = 6.6m$ 、 $T = 10.6sec$)，各項影響因子示意圖如圖 8-1 所示，但僅考慮單組系列潛堤也就是 $N_G = 1$ 。其他佈置條件為：水平底床上佈置潛堤個數 $N = 4$ 、相對堤距 $B/S = 0.29$ 、相對堤高 $D/h = 0.5$ 、潛堤組數 $N_G = 1$ 、相對堤長 $G/S = 1、3、5、7$ 及 ∞ 。計算領域大小為 $2600m \times 505m$ ，所採用格網間距為 $\Delta x = \Delta y = 5m$ ，計算所需的格點為 521×101 ，所計算的波浪條件為 $T = 4.0 \sim 14.0sec$ ，間格 $0.2sec$ 計算一個條件，相當於每一個地形計算

51 個週期條件。

圖 8-14~圖 8-18 為水平底床上佈置相對堤長分別為 $G/S=1$ 、3、5、7 及 ∞ ，相對水深為 $D/h=1/2$ ，相對堤距 $B/S=0.29$ ，潛堤個數 $N=4$ ，潛堤組數 $N_G=1$ ，波浪入射條件為 $T=10.6\text{sec}$ 時，波高的平面分佈圖。當堤長延伸至無限長時，波浪不受堤頭繞射而影響布拉格反射機制，堤前有完整的布拉格反射現象，如圖 8-14 所示。圖 8-15~圖 8-18 顯示，在共振條件下，當潛堤堤長佈置較長時，波浪經堤頭兩端繞射進入潛堤佈置區，繞射波干擾僅侷限在堤頭附近及堤後較遠區域，對整個潛堤佈置區的布拉格反射機制影響不大，且於堤前具明顯的波浪反射現象。隨著相對堤長的縮小，在較小的堤長佈置下，波浪經堤頭兩端繞射進入潛堤配置區域，干擾原有布拉格反射機制，而使堤前的反射波減小，導致布拉格反射機制不甚明顯。

圖 8-19 為水平底床上佈置相對堤長分別為 $G/S=1$ 、3、5、7 及 ∞ ，相對水深為 $D/h=1/2$ ，相對堤距 $B/S=0.29$ ，潛堤個數 $N=4$ ，潛堤組數 $N_G=1$ 時，能量透過率 E_S 與週期 T 的關係圖。圖形顯示主頻區 $T=9.4\text{sec}\sim 13.1\text{sec}$ 之間，隨著相對堤長的增加，堤後能量衰減越多布拉格共振機制愈明顯，而在次階頻 $T=5.6\text{sec}\sim 6.6\text{sec}$ 之間也有二次共振的現象產生，且週期越長，亦即低頻區，能量衰減受到堤長的影響越大，可能原因為當潛堤愈長且波長也越長時，潛堤佈置區波浪受堤頭繞射效應越小，則潛堤佈置區的布拉格反射機制愈完整，故所發生布拉格反射現象較為明顯；當潛堤較短 ($G/S=1$) 時，波浪通過潛堤時，堤頭兩端繞射進入潛堤佈置區，干擾前進波與堤體交互作用導致布拉格共振機制並不完整，因此能量衰減並不明顯。而當 $G/S=1$ 時整體布拉格共振現象並不明顯，大部分的能量透過率皆大於 1，可能的主要原因應為當堤長較短時，波浪傳遞會因波長的關係受堤頭繞射的影響越大，故堤後能量累積較大衰減較少。綜合觀之，不管在主頻或者次頻區布拉格共振的機制隨潛堤長度的減小而遞減，而當 $G/S=1$ 時因堤長過小導致整個平面計算領域布拉

格共振機制不完全，因此能量衰減的情況亦不明顯。

圖 8-20 為共振現象 ($T=10.6\text{sec}$) 與非共振條件下 ($T=7.6\text{sec}$) 能量透過率 (E_s) 與相對堤長 (G/S) 關係分佈圖。由圖中可明顯看出於非共振現象條件下 ($T=7.6\text{sec}$)，無論相對堤長大小，其能量透過率最低值接近 1，其表示系列潛堤在此週期條件下，並無法有效減少波浪能量。而在共振條件時，波浪能量隨著相對堤長的增加而明顯遞減，且當 $G/S > 4$ 波浪透過率可達 0.5 以下，也就是能量將減少一半以上，當 $G/S > 6$ 之後，隨著相對堤長的增加能量透過率的衰減有減緩的趨勢。故當考量現場海域之設計時，如何決定系列潛堤堤長，此部分的研究可提供參考依據。

綜合以上結果，當潛堤愈長，波浪傳遞較不受堤頭繞射的影響，因此布拉格共振機制愈完整，且波浪能量衰減越多。當相對堤長 G/S 大於 5 條件，布拉格共振機制受到堤頭繞射效應影響減小，使得能量透過率衰減趨緩。由此可知，潛堤堤頭繞射作用，影響布拉格反射效應甚大，且與波浪週期有關，因此在實際設計堤長的決定，將是使得布拉格共振機制是否有效的重要的影響因子之一。由於堤長越長所需要的造價成本相對越高，在兼顧現場海域的海象條件與堤長對布拉格共振的影響下，在本報告的選取 $G/S=6$ 作為研究之設定值。

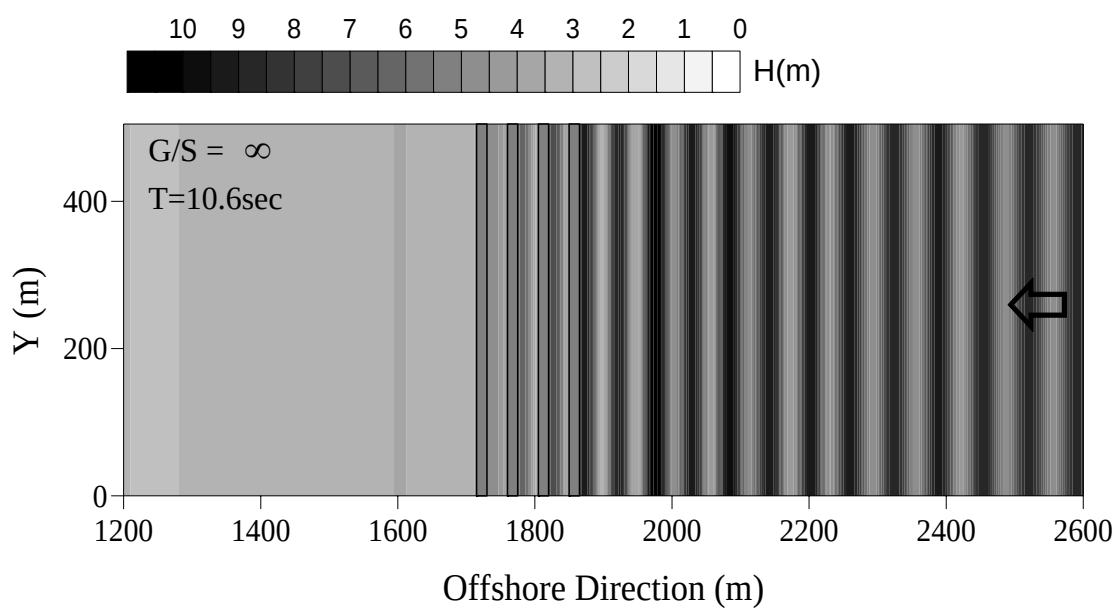


圖 8-14 波浪通過無限長系列潛堤之波高分佈圖

($N = 4$, $N_G = 1$, $D/h = 0.5$, $B/S = 0.29$, $T = 10.6\text{sec}$)

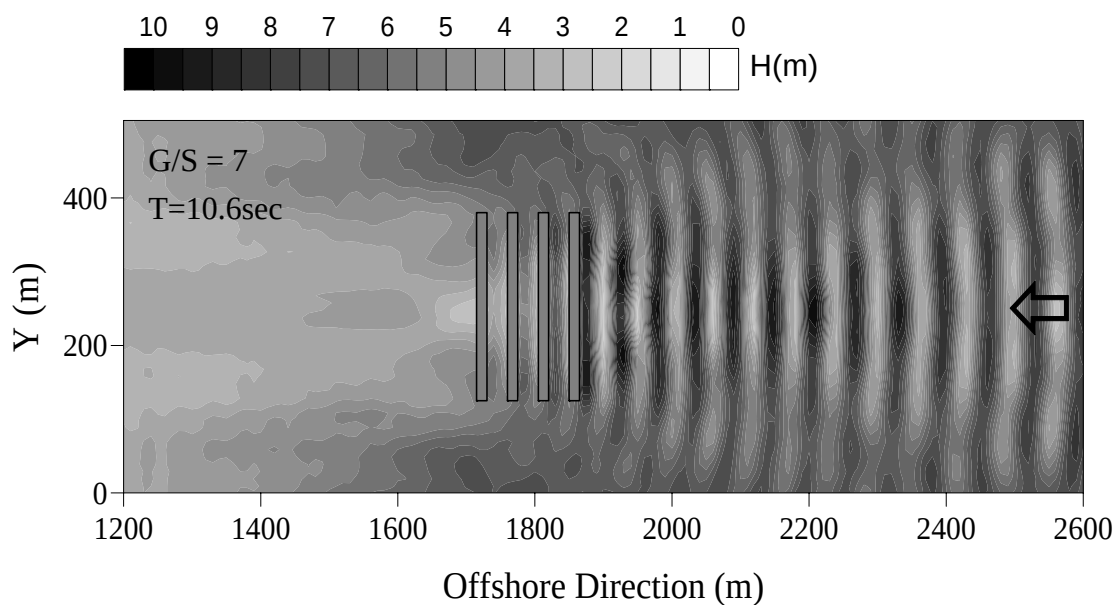


圖 8-15 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖

($N = 4$, $N_G = 1$, $D/h = 0.5$, $B/S = 0.29$, $T = 10.6\text{sec}$, $G/S = 7$)

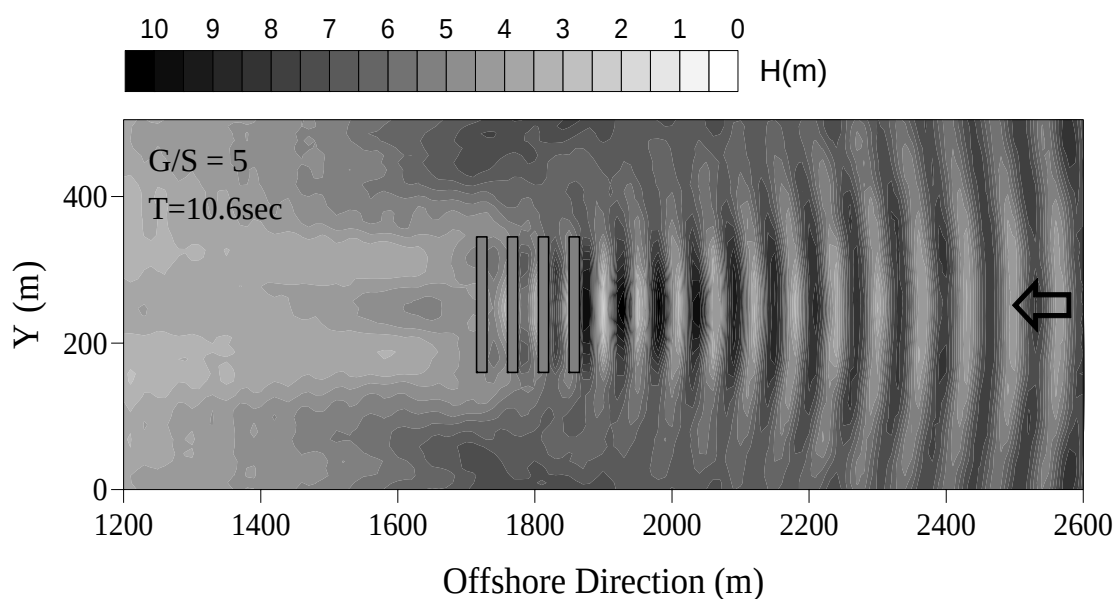


圖 8-16 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖

($N=4$, $N_G=1$, $D/h=0.5$, $B/S=0.29$, $T=10.6\text{sec}$, $G/S=5$)

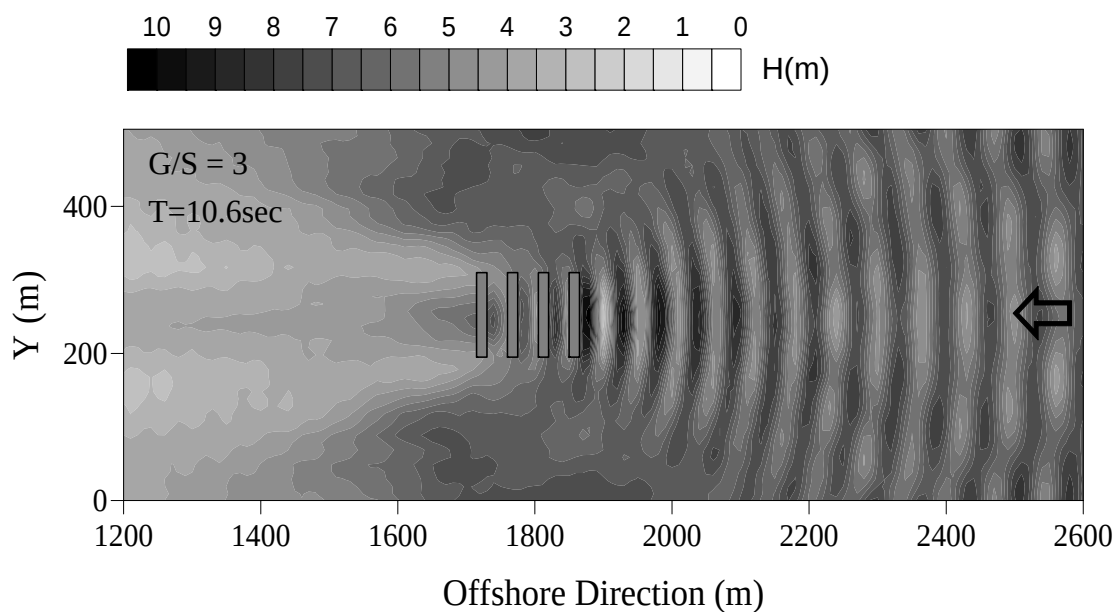


圖 8-17 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖

($N=4$, $N_G=1$, $D/h=0.5$, $B/S=0.29$, $T=10.6\text{sec}$, $G/S=3$)

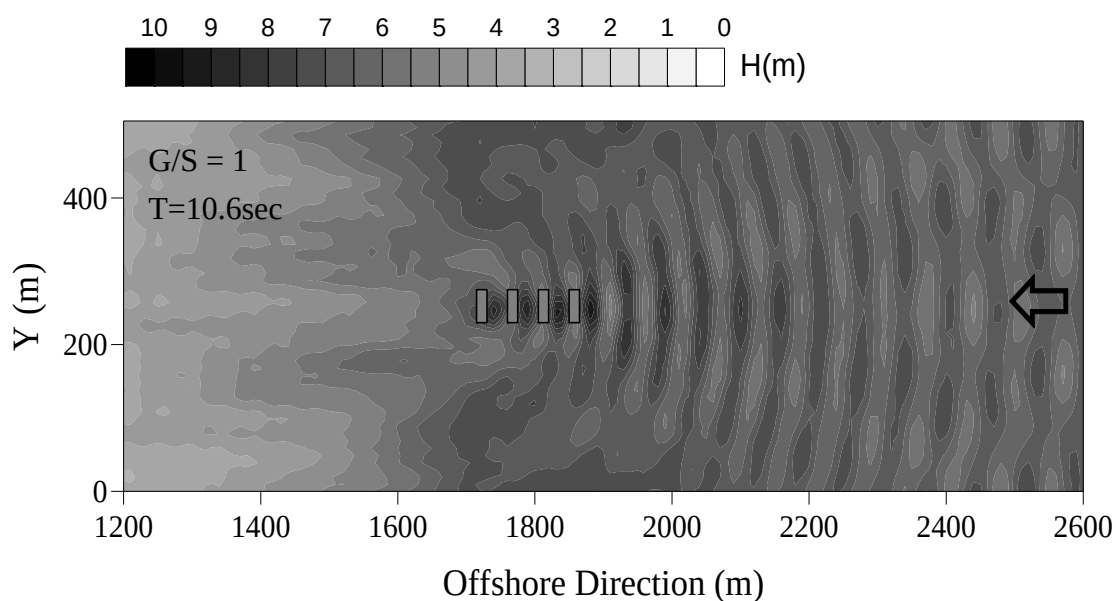


圖 8-18 波浪通過有限長系列潛堤之波高分佈圖

($N = 4$, $N_G = 1$, $D/h = 0.5$, $B/S = 0.29$, $T = 10.6\text{sec}$, $G/S = 1$)

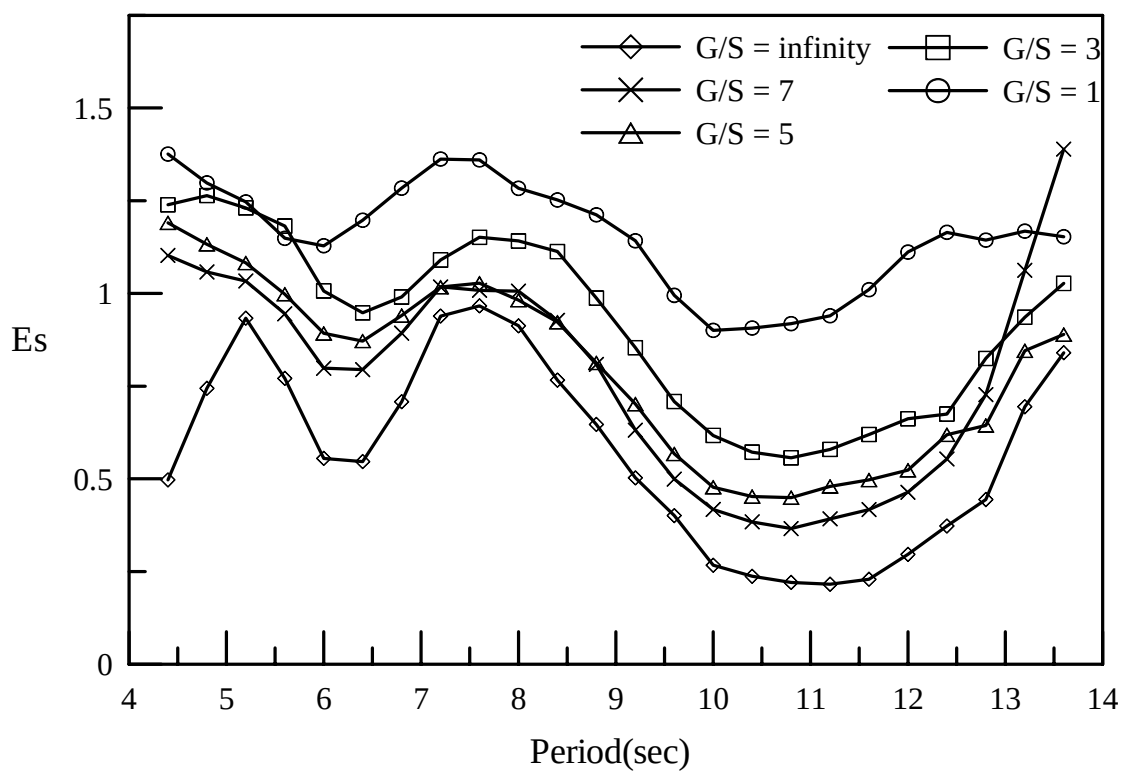


圖 8-19 不同潛堤堤長度下能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖

$$(N = 4, N_G = 1, D/h = 1/2, B/S = 0.29)$$

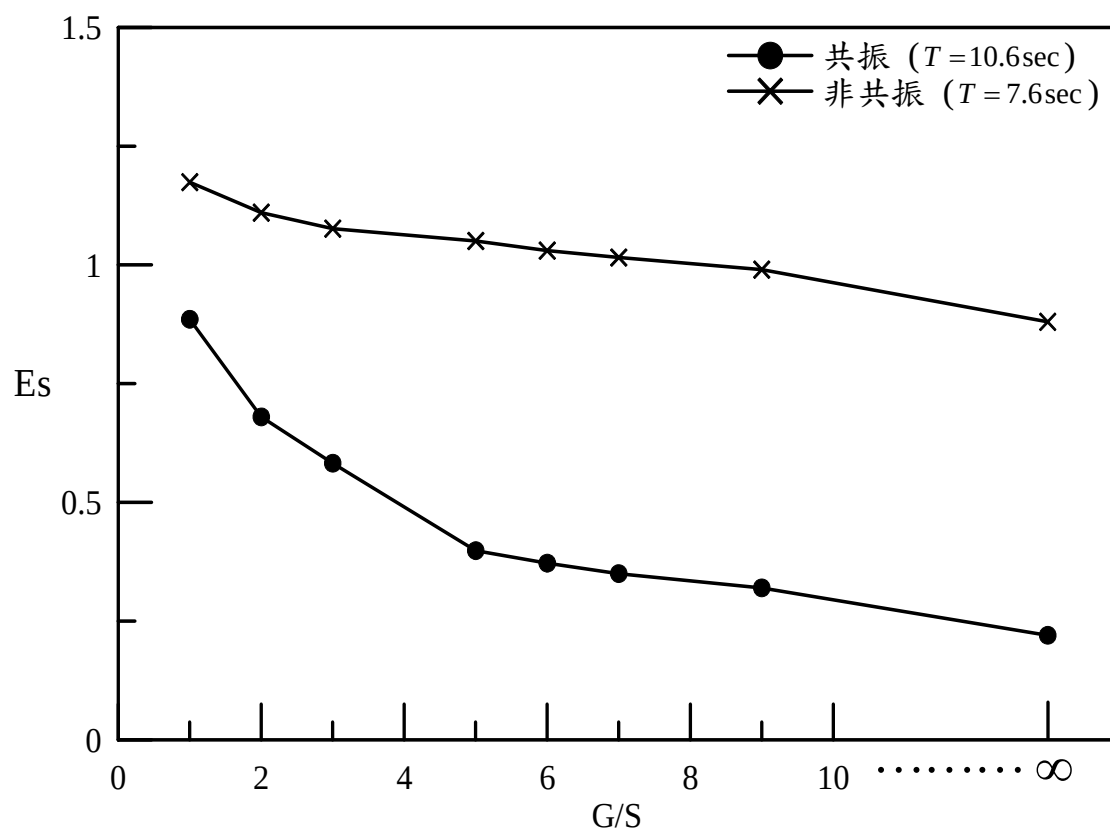


圖 8-20 共振與非共振情況下能量透過率 (E_s) 與相對堤長 (G/S) 之關係分佈圖

7. 平面上潛堤組距 (S_G) 的決定

由於平面上不可能佈置無限長之系列潛堤，若要應用於實際海域應以多組系列潛堤作組合，因此每組潛堤之組距為影響系列潛堤工法共振機制的重要因子。在選定潛堤堤長 G 後，以堤長為參考因子討論平面上各組系列潛堤間的距離影響。利用上述之平面地形佈置以不同的組距 S_G ，作分析比較其中波浪條件以現場之 10 年迴歸期颱風為入射波條件($H=6.60\text{m}$ 、 $T=10.6\text{sec}$)，各項影響因子的示意圖如圖 8-1 所示，並考慮多組系列潛堤 $N_G=4$ 。其他佈置條件為：水平底床上佈置潛堤個數 $N=4$ 、相對堤距 $B/S=0.29$ 、相對堤高 $D/h=0.5$ ，計算領域大小為 $2600\text{m}\times 4940\text{m}$ ，所採用格網間距為 $\Delta x=\Delta y=5\text{m}$ ，計算所需的格點為 521×589 ，每個地形所計算的波浪條件則為 $T=4.0\sim 14.0\text{sec}$ ，每間格 0.2sec 計算一個方案，則相當於每一種佈置計算 51 個條件，20 種佈置條件共 1020 個計算次。

在計算堤後能量透過率的格點擷取上，本研究選取範圍的長度為中央兩組潛堤中心點的之間長度，亦即一組堤長一組堤距的距離($G+S_G$)，寬則採用堤距 (S)，如圖 8-21 所示，圖中 $S1\times S2$ 即為所選取的範圍，而 $S1=S$ 、 $S2=G+S_G$ 。

圖 8-22(A)～圖 8-22(C) 分別為水平底床上佈置相對堤長為 $G/S=3、5、7$ ，相對水深為 $D/h=0.5$ ，相對堤距 $B/S=0.29$ ，潛堤個數 $N=4$ ，潛堤組數 $N_G=4$ 時，改變潛堤組距 $S_G/G=0.25、0.5、1.0、1.5、2.0$ 佈置條件下之能量透過率 E_S 與週期 T 關係圖。由圖顯示，不同的 G/S ，在 $T=9.6\text{sec}\sim 12.4\text{sec}$ 的條件下亦即主頻部分，整體的能量透過率隨著 S_G/G 的增加而增加，也就是說當潛堤堤距變大時，能量衰減較少。而在 $T=5.5\text{sec}\sim 7.0\text{sec}$ 次階頻的條件亦有相同的趨勢。

圖 8-23(A)～圖 8-23(C) 分別為 $G/S=3、5、7$ 時，共振條件($T=10.6\text{sec}$) 與非共振條件($T=7.6\text{sec}$) 之能量透過率 (E_S) 與潛堤相對組距 (S_G/G) 之關係分佈圖。由圖形顯示當布拉格共振現象為

發生時 ($T=10.6\text{sec}$)，不管相對組距為多少，其能量透過率皆小於 1，表示系列潛堤工法有效減少波浪能量，且隨著 S_G/G 的遞減而能量衰減愈多。且在不同堤長條件下 ($G/S=3,5,7$)，當 S_G/G 小於 1 時，能量透過率皆有明顯遞減的現象。然而，相較於相對堤長的影響，相對堤距 S_G/G 不管堤長為多少皆有共同的特性，且整體能量變化的幅度是一致的，因此兩者之間應為獨立變化關係。以上結果顯示潛堤的相對組距至少要不小於 1 方能發揮系列潛堤工法的效果。綜結圖 8-23 之分析結果，當 $S_G/G \leq 1$ 則布拉格共振機制即有一定的效果產生，而當相對組距愈小時所產生的共振機制更完整，故於現場海域中應考慮施工難易來選取適當的參數，於本研究中若堤距為 $S=35\text{m}$ ，選定 $S/G=6$ 、 $S_G/G=0.25$ 時，組距為 $S_G \approx 55\text{m}$ ，於施工上應可以接受，因此在以下的實際海域模擬計算時，本研究選取防禦效果最佳之 $S_G/G=0.25$ 作為系列潛堤相對組距佈置的條件。

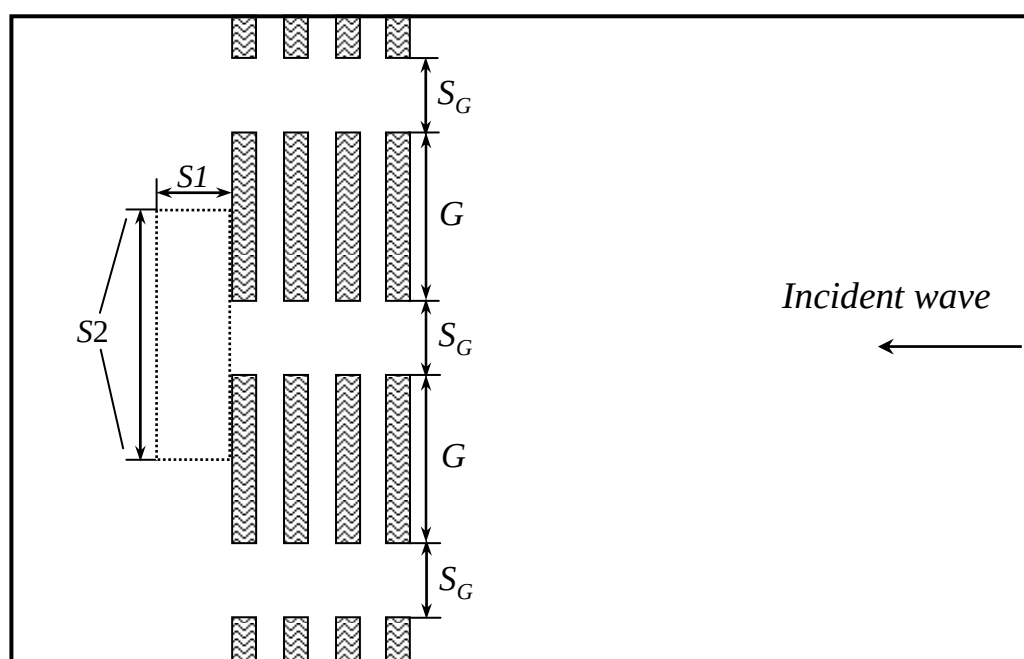


圖 8-21 多組系列潛堤佈置下能量透過率擷取範圍示意圖

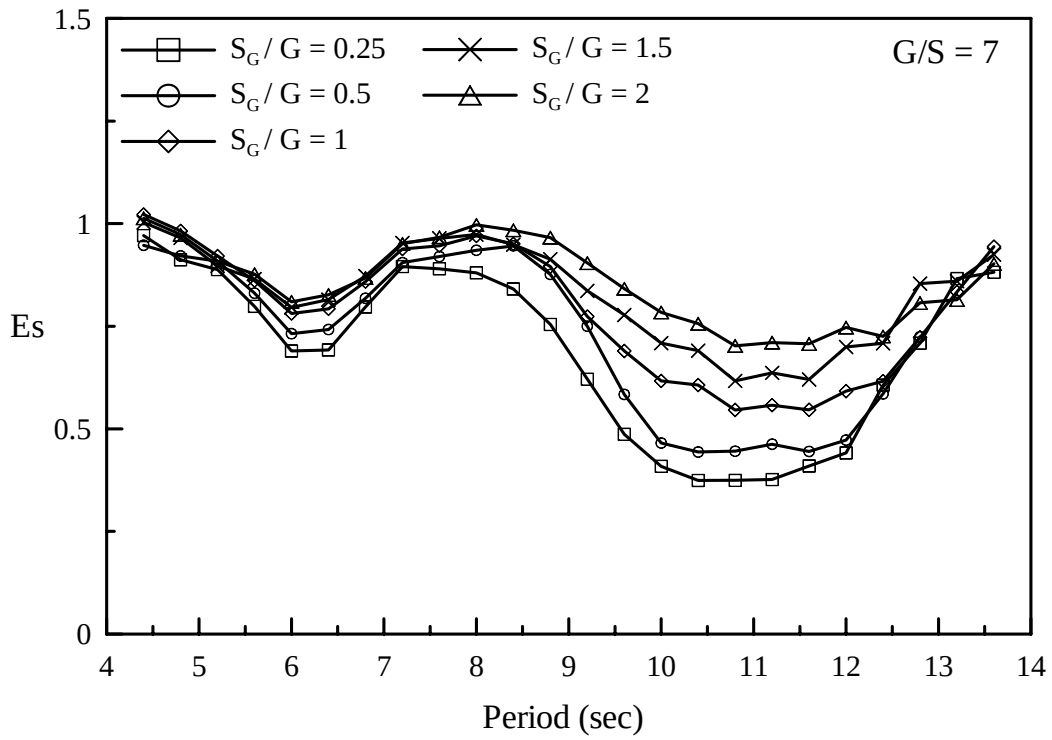


圖 8-22(A) 不同組距下堤後之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖
($N = 4$, $N_G = 4$, $D/h = 1/2$, $B/S = 0.29$, $G/S = 7$)

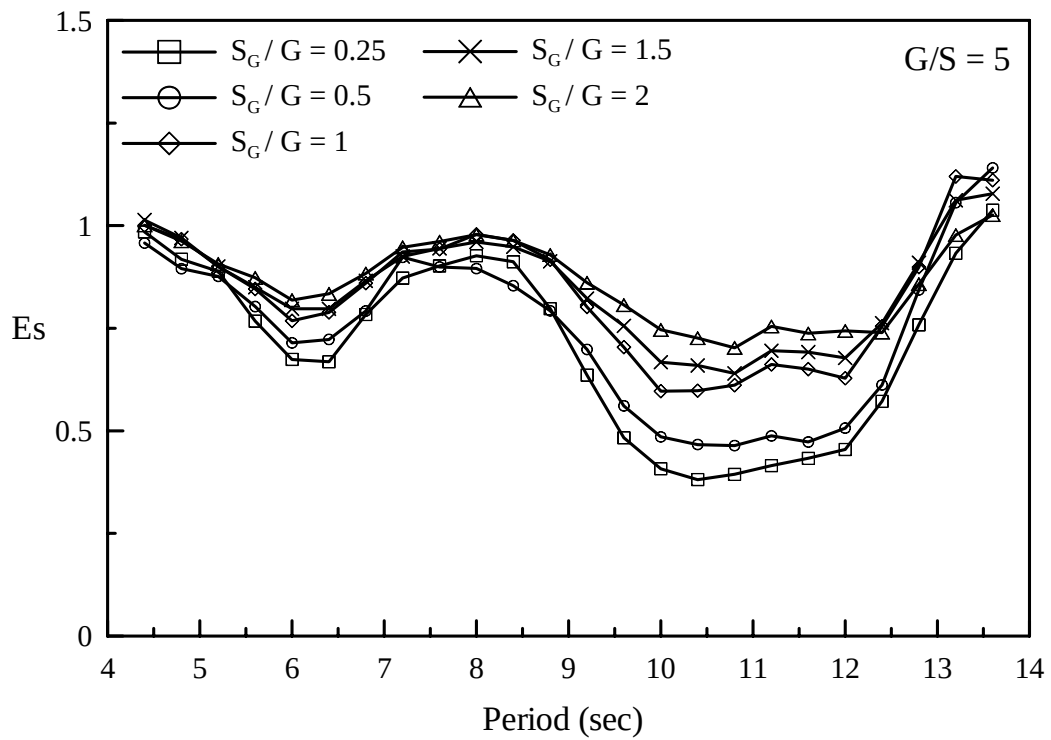


圖 8-22(B) 不同組距下堤後之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖
($N = 4$, $N_G = 4$, $D/h = 1/2$, $B/S = 0.29$, $G/S = 5$)

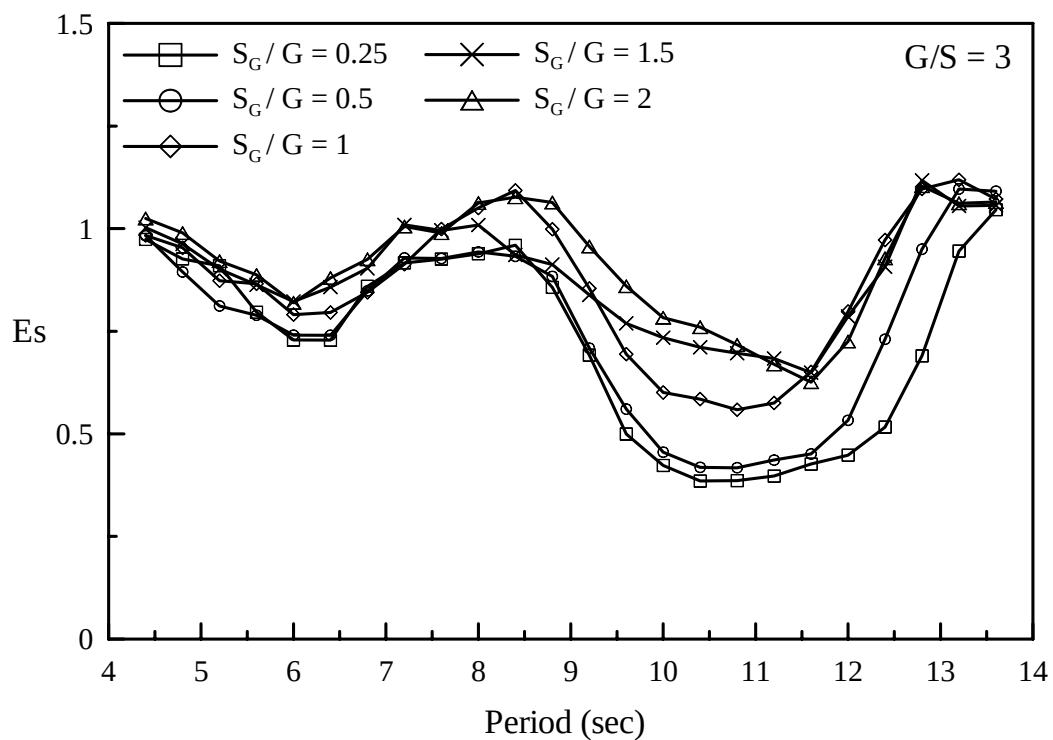


圖 8-22(C) 不同組距下堤後之能量透過率 E_s 與週期 T 之關係圖
($N = 4$, $N_G = 4$, $D/h = 1/2$, $B/S = 0.29$, $G/S = 3$)

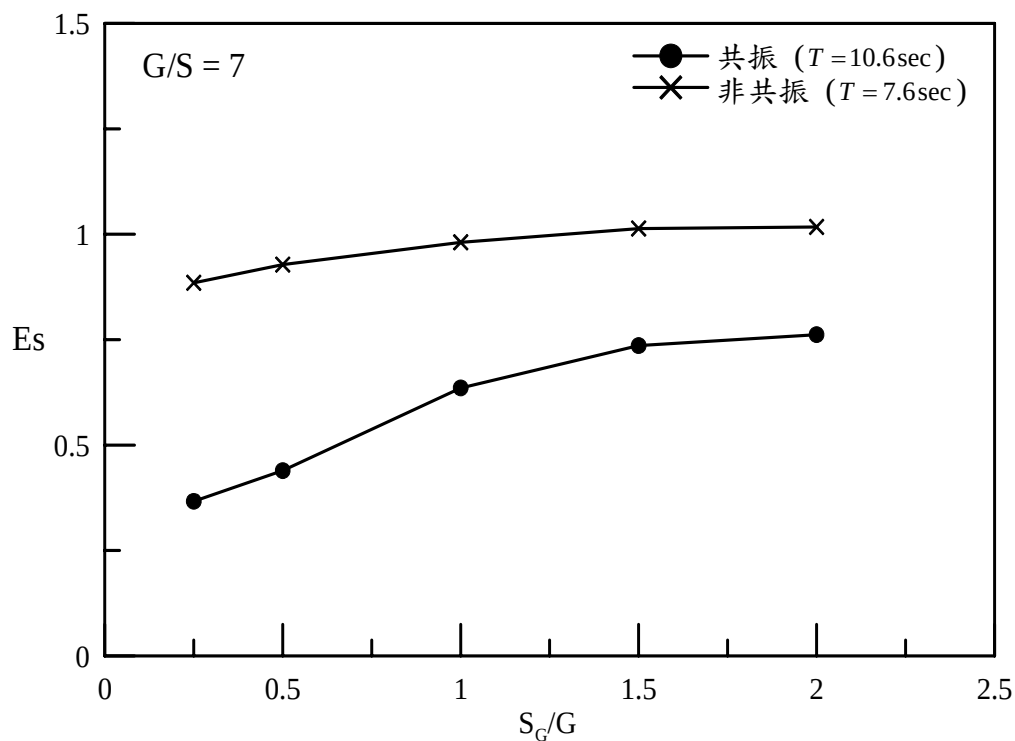


圖 8-23(A) $G/S = 7$ 時共振與非共振情況下能量透過率情況下能量
透過率 (E_s) 與相對組距 (S_G/G) 關係分佈圖

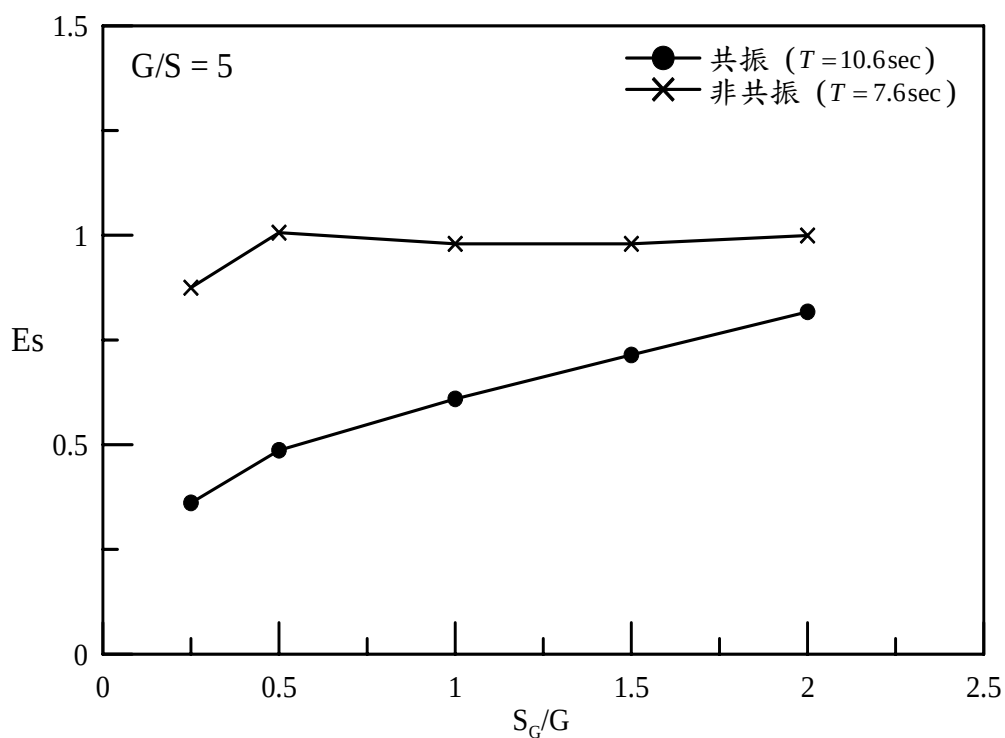


圖 8-23(B) $G/S = 5$ 時共振與非共振情況下能量透過率情況下能量透過率 (E_s) 與相對組距 (S_G/G) 關係分佈圖

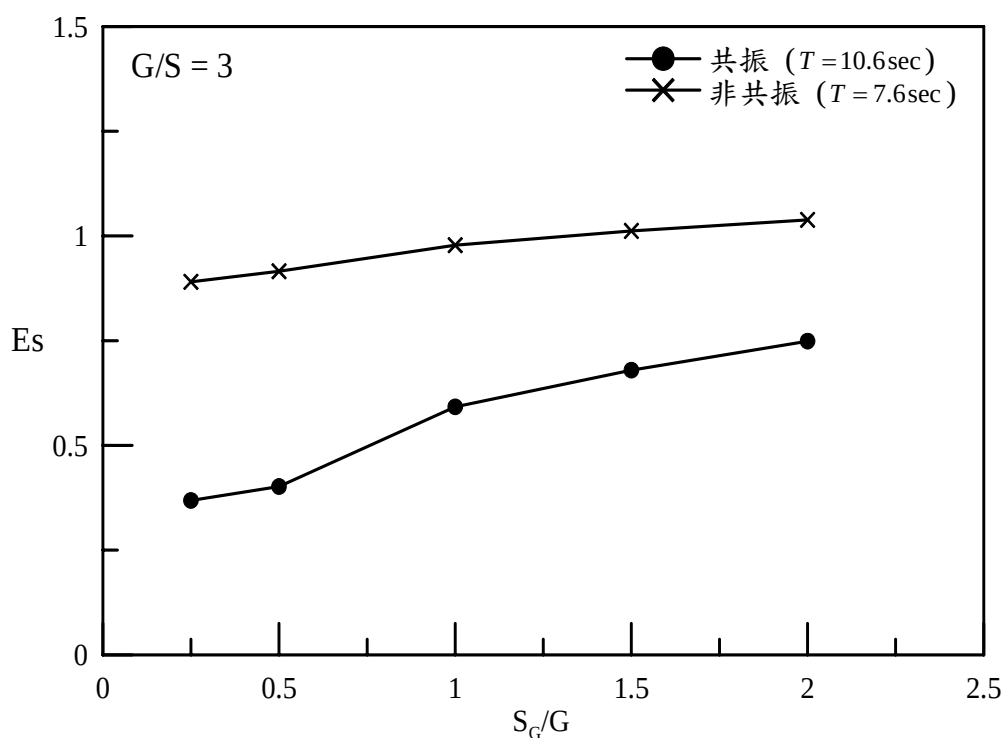


圖 8-23(C) $G/S = 3$ 時共振與非共振情況下能量透過率情況下能量透過率 (E_s) 與相對組距 (S_G/G) 關係分佈圖

8. 平面上潛堤組數 (N_G) 的決定

在決定各項參數後，最後要決定於現場海域系列潛堤所要擺放的組數，圖 8-24 為 $G/S=6$ 時不同組數($N_G=2,4,6,8$)下，堤後之能量透過率 E_S 與週期 T 之關係圖，圖中顯示不同組數 N_G 其能量透過率 E_S 在週期 T 的分佈趨勢相近，亦即當堤距 S 、堤長 G 、潛堤組距 S_G 選定之後，潛堤組數 N_G 的多寡，並不影響系列潛堤佈置後側的能量透過率。

由上節的研究中，考量到系列潛堤所造成的共振機制效率以及經費問題，建議單組潛堤個數為 $N=4$ ，可以兼顧工法效果以及成本的考量，因此在平面數值模擬上皆以單組潛堤個數 $N=4$ 作為佈置標準。以上的分析結果顯示在平面上當潛堤堤長無限長時，可達到最好的布拉格共振效果，然而於實際海域中不可能佈置無限長之系列潛堤，因此若要應用於實際海域，應採用多組系列潛堤佈置。由數值模擬計算，結果顯示，潛堤組距對於系列潛堤工法上的重要性，組距的大小，亦將影響整個工法的效果，系列組數愈多則防禦的範圍愈廣。因此，對於潛堤組數本研究建議應同時考量現場海域的防禦目標、工程經費、現場海況等因素，選取同時兼顧各方面的最佳參數。在本研究的現場模擬中，考慮之防禦目標為港南海域整個海岸線長約 1600 公尺，若選取相對堤長 $G/S=35\text{m}$ ，則潛堤堤長應為 210 公尺，再選定相對組距為 $S_G=55\text{m}$ ，組數為 $N_G=4$ 作為現場佈置，其防禦範圍可包括目標海岸。

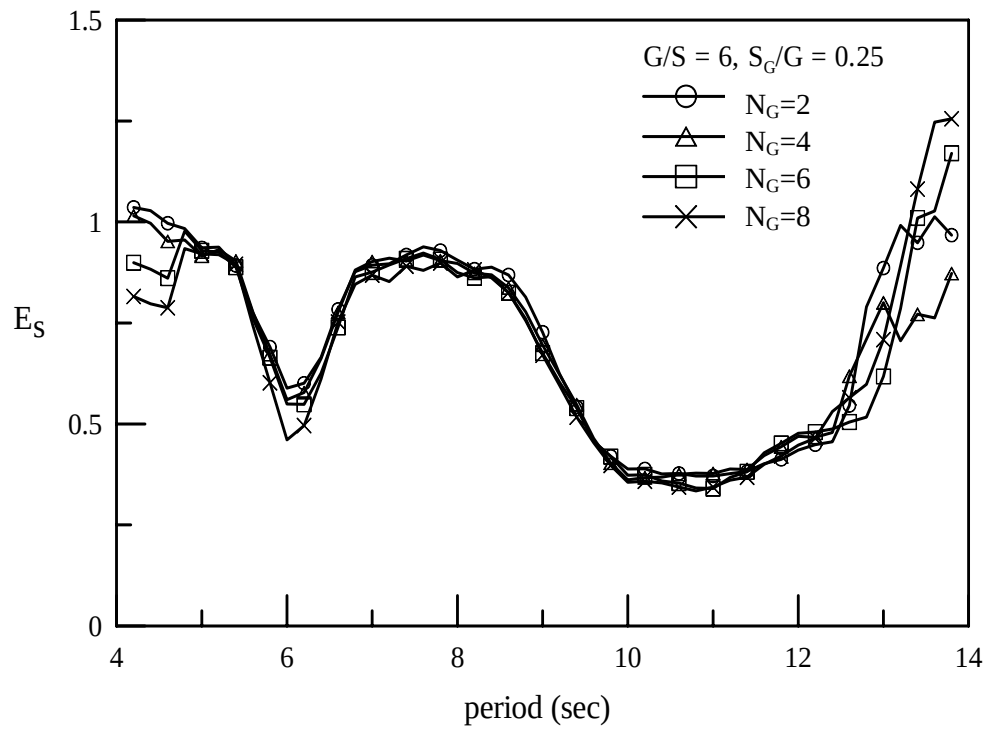


圖 8-24 $G/S=6$ 時不同組數下堤後之能量透過率 E_S 與週期 T 之關係圖

8.3.3 現場海域之波場模擬

根據上述之研究結果，以本節將系列潛堤佈置於實際現場地形，探討其防禦效果。由於季風波浪對於海岸之侵蝕影響較小，參考表 8-1 之波浪條件表，以 10 年迴歸週期之波浪作為設計防禦條件。除考慮防禦性外，於現場尚須考量漁船行進之安全性，一般漁船吃水深約在 3m 以內，亦考慮之設計相對堤高為 $D/h=0.5$ ，故本研究將第一座潛堤水深選定在 $h=8m$ 處作為佈置潛堤之水深。其他佈置條件根據以上的分析結果選定。潛堤間距為 $S=35m$ 、潛堤個數 $N=4$ 、相對堤距 $B/S=0.29$ 、潛堤組數 $N_G=4$ 、相對堤長 $G/S=6$ 、潛堤組距 $S_G/G \approx 0.25$ 。根據以上設計條件，以堤寬 $B=10m$ ，第一座潛堤水深 $h=-8m$ (水位為 $+1.93m$ 時)，依序往深水處佈置，堤頂水深保持 $h'=-4m$ ，潛堤堤高則為 $D=h-h'$ ，潛堤

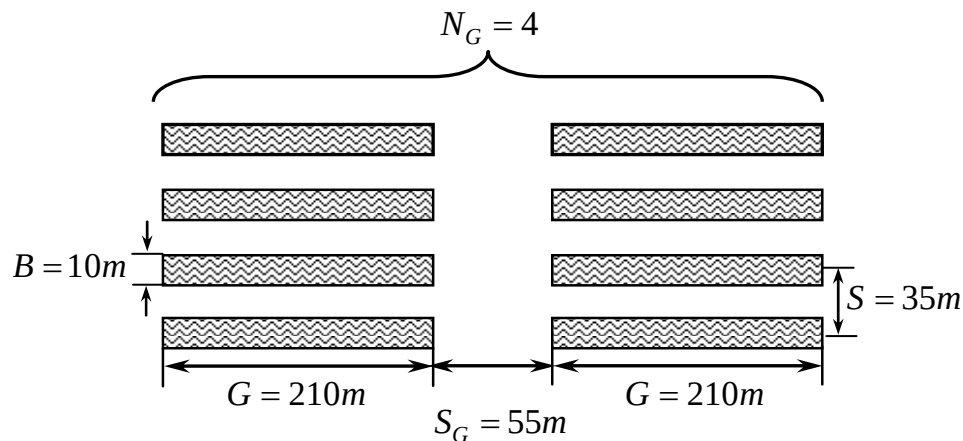


圖 8-25 系列潛堤平面佈置相關參數尺度示意圖

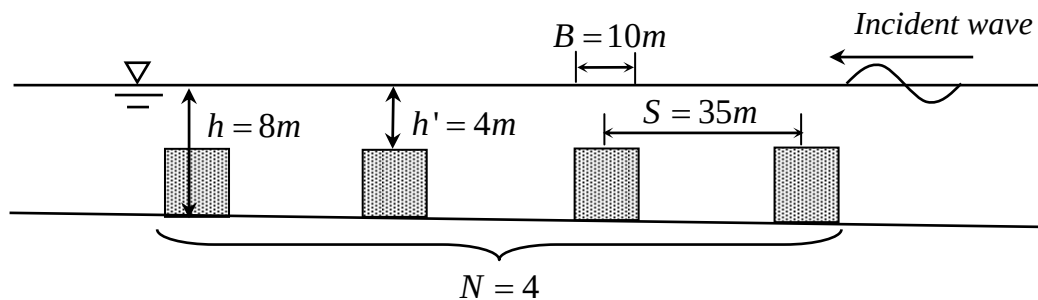


圖 8-26 系列潛堤斷面佈置相關參數尺度示意圖

長度 $G = 210\text{ m}$ ，各組潛堤間的組距 $S_G = 55\text{ m}$ ，其中平面佈置及斷面佈置示意如圖 8-25 及圖 8-26 所示。

在布拉格反射理論中若波浪正向入射於結構物會使得共振現象產生最大的一效果，因此本研究於現場海域佈置系列潛堤，利用三種不同方向的方案進行比較。第一方案為將系列潛堤的擺放平行等深線(約為逆時針旋轉與海岸線夾 18° 度角)，第二方案為平行於海岸線作佈置，第三方案為將潛堤順時針旋轉與海岸線夾 18° 度角的佈置，實際的佈置位置及水深變化如圖 8-27 所示。數值模式之計算領域範圍與圖 8-27 相同，北起頭前溪出海口北側，南至客雅溪出海口，離岸約到水深 20 m 處，面積為 $2.6 \times 7.6\text{ km}^2$ 。波場數值格網採 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 之矩形網格建構。

圖 8-28(A) 為 10 年迴歸期颱風波浪作用下，無系列潛堤佈置之波場分佈圖，圖 8-28(B) 為 10 年迴歸期颱風波浪作用下，平行地形等深線佈置系列潛堤之平面波場分佈圖，圖 8-28(C) 為 10 年迴歸期颱風波浪作用，平行海岸線佈置系列潛堤之平面波場分佈圖。圖 8-28(D) 為 10 年迴歸期颱風波浪作用下，逆時針旋轉與海岸線夾 18° 度角佈置系列潛堤之平面波場分佈圖。圖 8-29(A)~圖 8-29(D) 為圖 8-28 系列潛堤佈置條件下，以 50 年迴歸期颱風波量為入射波條件，其波場分佈圖。本研究圖形顯示在颱風波浪作用下，三個方案皆為有明顯的消能效果，且以第三方案前提方向與波浪入射方向垂直之佈置，其堤後的消能效果較佳。

圖 8-30(A)~圖 8-30(D) 為夏季季風波浪作用下，無潛堤佈置及不同方向潛堤佈置(方案 A、B、C)之波場分佈圖，圖形顯示三方案佈置潛堤後方均有消能效果，其中以方案 A 較佳，其原因方案 A 佈置的系列潛堤方向與入射波方向較為垂直。圖 8-31(A)~圖 8-31(D) 為冬季季風條件下波場分佈圖，圖形顯示於方案 B 與方案 C 堤後消波效果較佳。雖然系列潛堤工法是針對颱風波浪條件下所設計，但對季風條件大致上也座落於次階共振的條件附近，因此由波場分佈圖顯

示系列潛堤對於季風波浪仍具有防禦效果，達到一般離岸堤的功效但仍具有消波能力。

為了更進一步確認何種配置較為適合新竹港南海域，依照前述的研究概念，定義相對能量透過率 $E'_s = \sum_j (H_t)_j^2 / \sum_j (H_o)_j^2$ 為佈置方案的波高 (H_t) 平方和除以無佈置結構物的波高 (H_o) 平方和，利用此方式來進行比較更可以突顯佈置系列潛堤後結構物消能的效果。如圖 8-27 虛線範圍所示，本研究利用三個方案潛堤後方矩形區內所有的格點波高的平方和除以相同區域沒有佈置結構物的波高平方和，最後得到不同方案的相對能量透過率，三個方案在不同的波浪條件下之能量透過率關係如表 8-3 所示。在季風波浪作用下三種系列潛堤配置相對於沒有結構物的波能比，能量大概可以降低 12 至 18%；而在十年迴歸期颱風的作用下，平行地形等深線的佈置可以比原本沒有結構物的佈置降低約 21%左右的能量，但平行海岸線的佈置方案 2 卻能降低約 27%能量，而順時針旋轉與海岸線夾 18 度角的方案 3，更可以降低約 44%；在 50 年迴歸期的颱風作用下，平行地形等深線的配置方案 1 則可以降低約 36%的能量，平行海岸線的配置方案 2 則可降低約 40%左右，而順時針旋轉與海岸線夾 18 度角的配置更可以降低約 50%能量。造成此差異的原因為本研究新竹港南海域颱風波浪以 NNE 方向為主，經過地形的影響產生折射，而當波浪傳遞至系列潛堤時，潛堤法線平行海岸線的配置相較於平行等深線的配置更接近正向入射，因此有較佳的消能效果，因此採用結構物順時針旋轉與海岸線夾 18 度角的配置相較於平行海岸線以及平行等深線的配置更為適合新竹港南海域。

根據上述的結果，為了更瞭解堤後波高衰減的情形，本研究分別利用無佈置結構物以及有系列潛堤順時針旋轉與海岸線夾 18 度角的配置方案，利用各種波浪條件下結構物附近之斷面波高進行比較，斷面佈置標示如圖 8-27 所示，分別為整個系列潛堤佈置範圍的正中央以及中央偏北的第一組潛堤之中央斷面，兩斷面線平行，如標示之斷

面 1 及斷面 2，另外在選取第一道潛堤之靠岸邊法線為斷面 3。

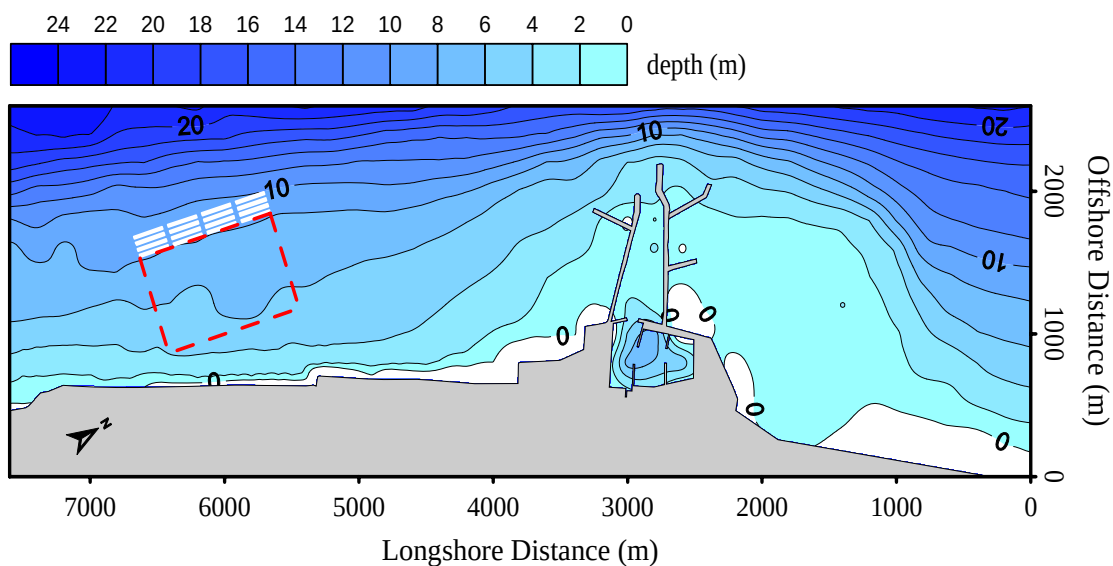
圖 8-32(A)及圖 8-32(B)為 10 年迴歸期颱風波浪作用下，斷面 1 及斷面 2 之波高比較分佈圖。圖 32 顯示以 10 年迴歸期颱風作為防禦條件進行設計，當波浪通過系列潛堤設置區時波高明顯衰減，且相較於無佈置結構物的結果，其在堤前波浪震盪現象，顯示系列潛堤工法對於颱風波浪的防禦能力。圖 8-33(A)及圖 8-33(B)為 50 年迴歸期颱風波浪作用下，斷面 1 及斷面 2 之波高比較分佈圖。圖形顯示在 50 年迴歸週期之颱風條件作用下，波浪通過結構物設置區時波高亦有衰減的趨勢，相較於 10 年迴歸期之颱風波浪作用模擬的結果，在堤前波浪震盪的現象較不明顯。由上述結果顯示系列潛堤工法對於颱風波浪具有防禦能力，以此推論對於主頻區內的條件應都能具有良好的防禦效果。圖 8-34 為方案 3 在 50 年迴歸期颱風波浪作用下，堤後斷面 3 之能量透過率分佈圖，圖形顯示除了在堤頭及堤間位置透射率能量較高外，其餘地區能量透過率均為 0.3~0.6，更加證實本工法的防禦效果。

圖 8-35(A)~圖 8-35(B) 為冬季季風波浪作用下斷面 1 及斷面 2 之波高比較分佈圖。圖 8-36(A)~圖 8-36(B) 為夏季季風波浪作用下斷面 1 及斷面 2 之波高比較分佈圖。結果顯示在斷面 1 及斷面 2 的波浪通過系列潛堤工法的佈置區時潛堤後波高則有明顯的衰減趨勢。夏季季風的結果亦呈現相同的趨勢。此現象說明冬季季風波浪條件為 $T = 5.28\text{sec}$ 、夏季季風波浪條件為 $T = 4.95\text{sec}$ ，兩者皆恰好座落於整個系列潛堤工法設計的次諧共振區附近，因此有類似布拉格共振的現象產生，導致堤後波浪能量亦能得到衰減。

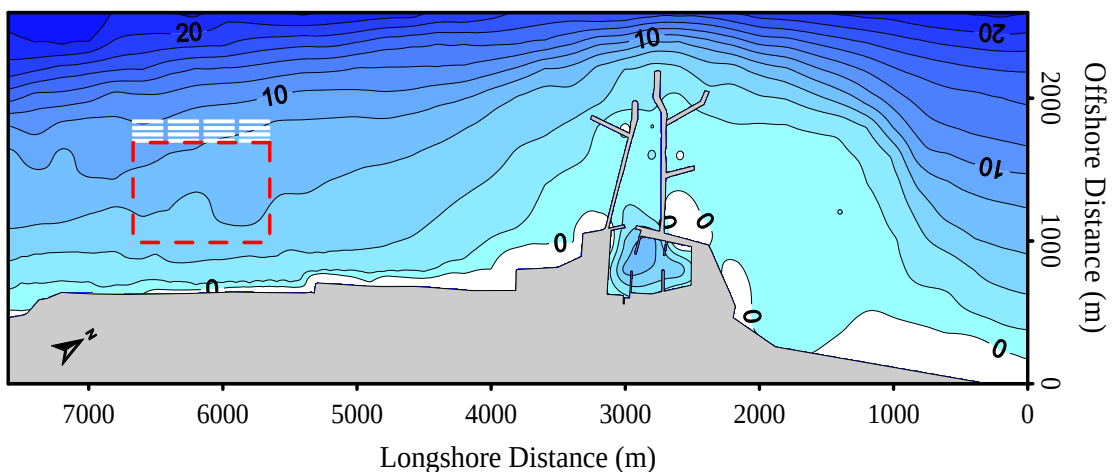
為探討新竹港南海岸實施系列潛堤保護工法之可行性，本研究針對計畫區附近海域進行數值模式之模擬，並探討其波浪場以及能量變化，藉以瞭解整個海域的特性。由以上系列潛堤佈置於實際海岸地形的研究結果顯示，本研究所設計之系列潛堤條件，於實際海岸現場能利用布拉格共振機制的特性，發揮預期的波浪防禦效果，且地形及次

諧共振機制的因素，使得系列潛堤工法對於一般季風波浪亦有防禦的效果。由前述得知布拉格反射機制，於現場實用的可能性，只要能掌握各種影響因子，依序規劃出佈置流程，並輔以數值計算，足以證實系列潛堤工法於現場應用的可能性。下一章節將參考國內外對潛堤工法之研究，針對系列潛堤工法的特質作適當的斷面設計與使用材料的評估，並在圖 8-2 之設計流程中導入含成本效益之施工流程。

方案 1 系列潛堤平行等深線



方案 2 系列潛堤平行海岸



方案 3 系列潛堤順時針旋轉與海岸線夾 18 度角

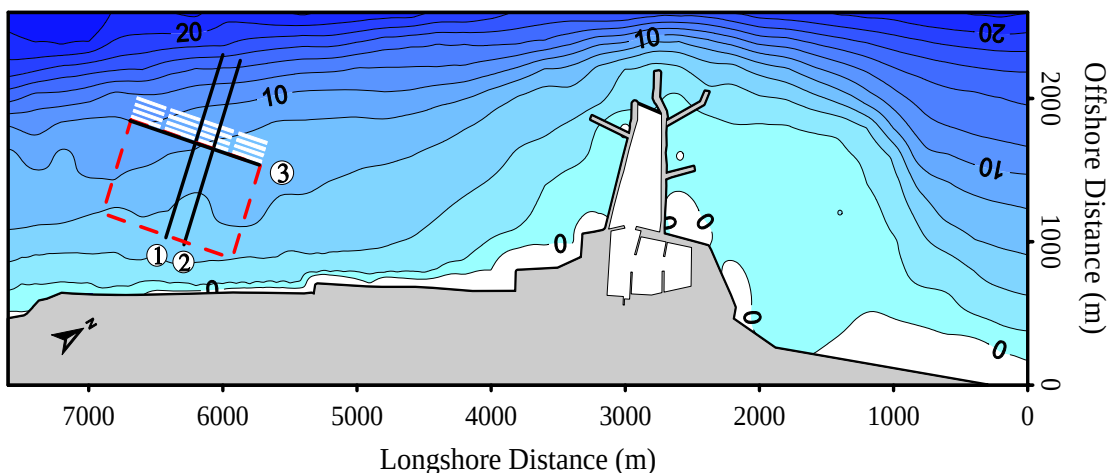


圖 8-27 港南海域附近系列潛堤佈置示意圖

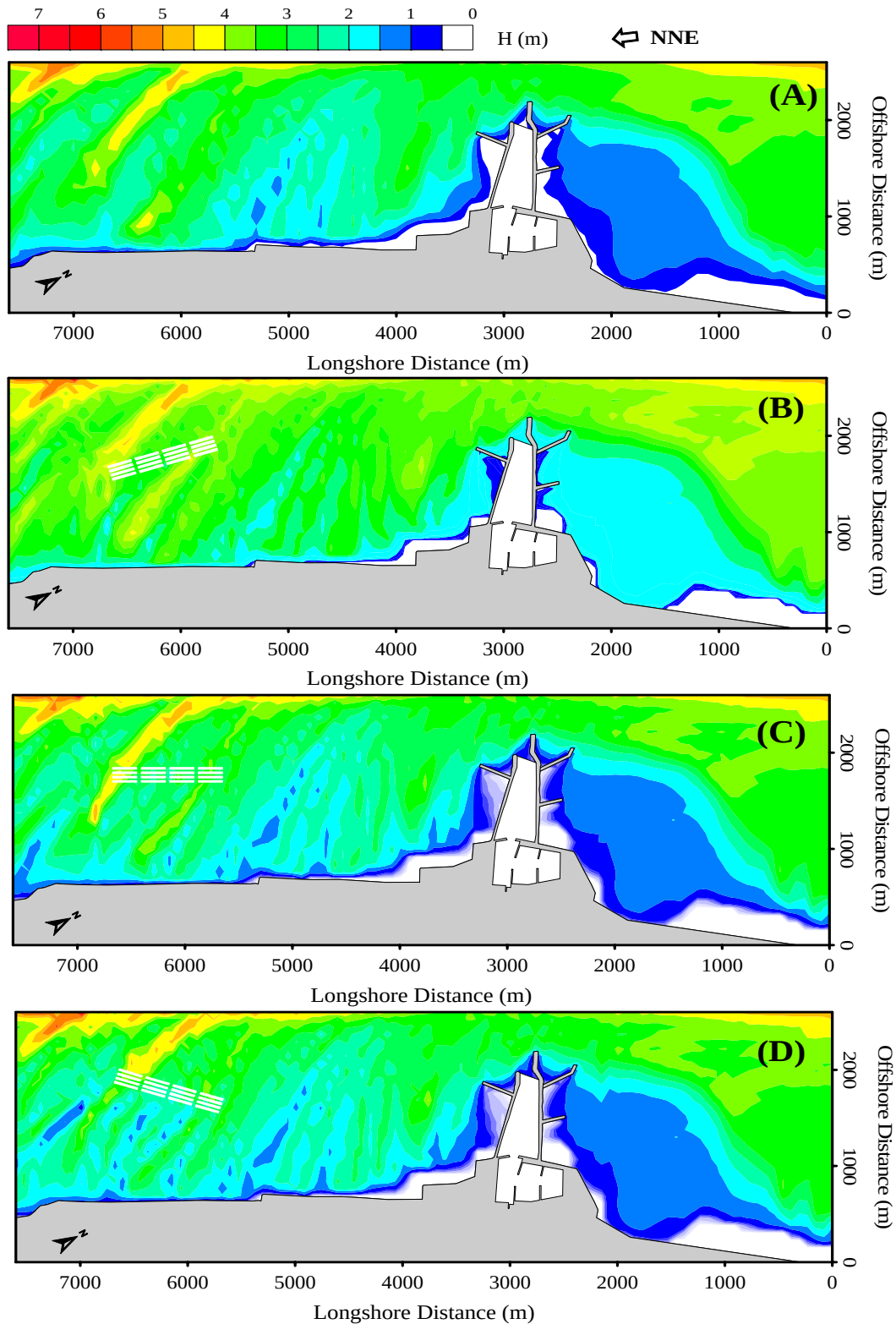


圖 8-28 10 年迴歸期颱風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛堤佈置平行等深線 (C) 潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=6.6\text{m}$, $T=10.8\text{sec}$, 波向 NNE)

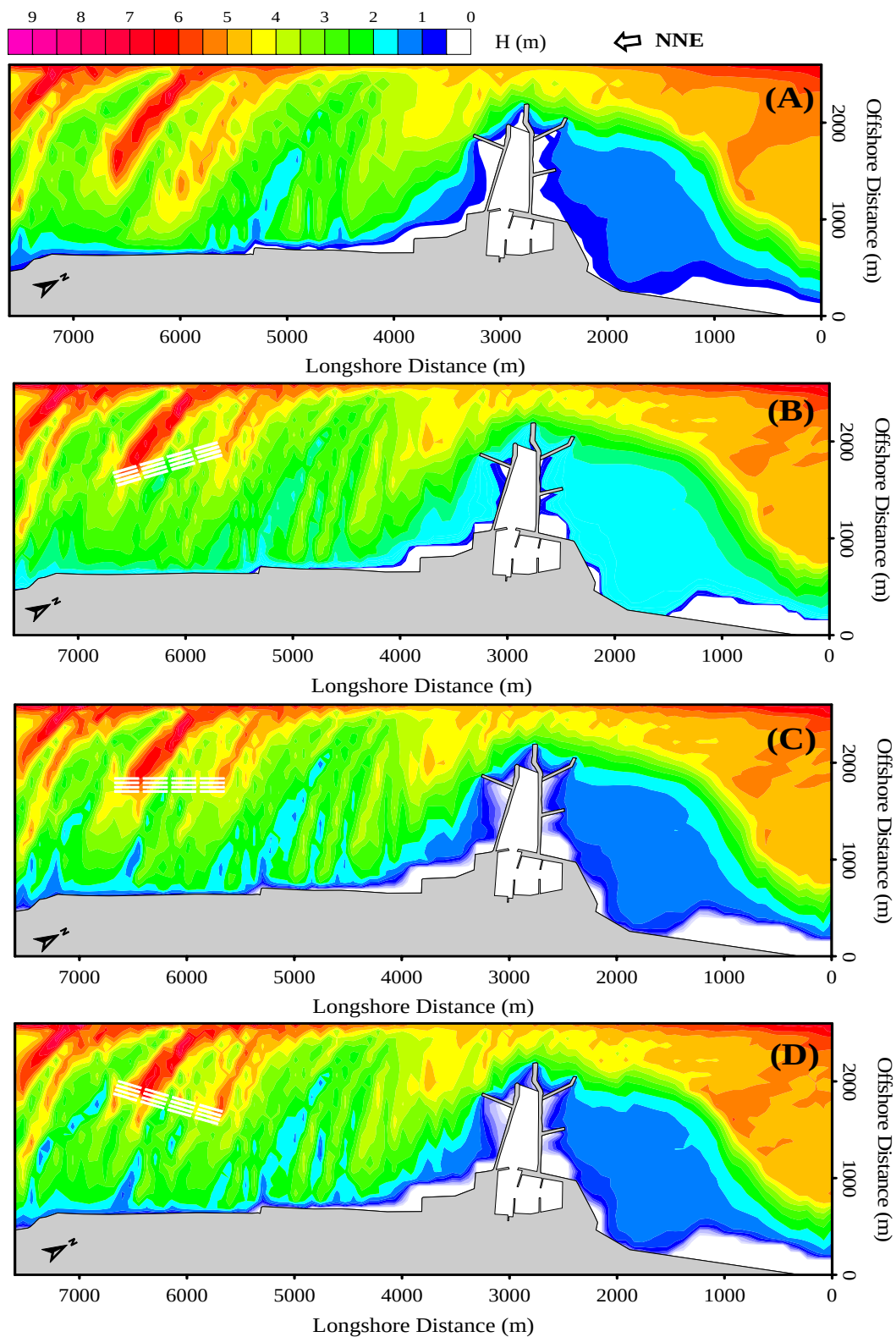


圖 8-29 50 年迴歸期颱風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛堤佈置平行等深線 (C) 潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=9.1\text{m}$, $T=12.7\text{sec}$, 波向 NNE)

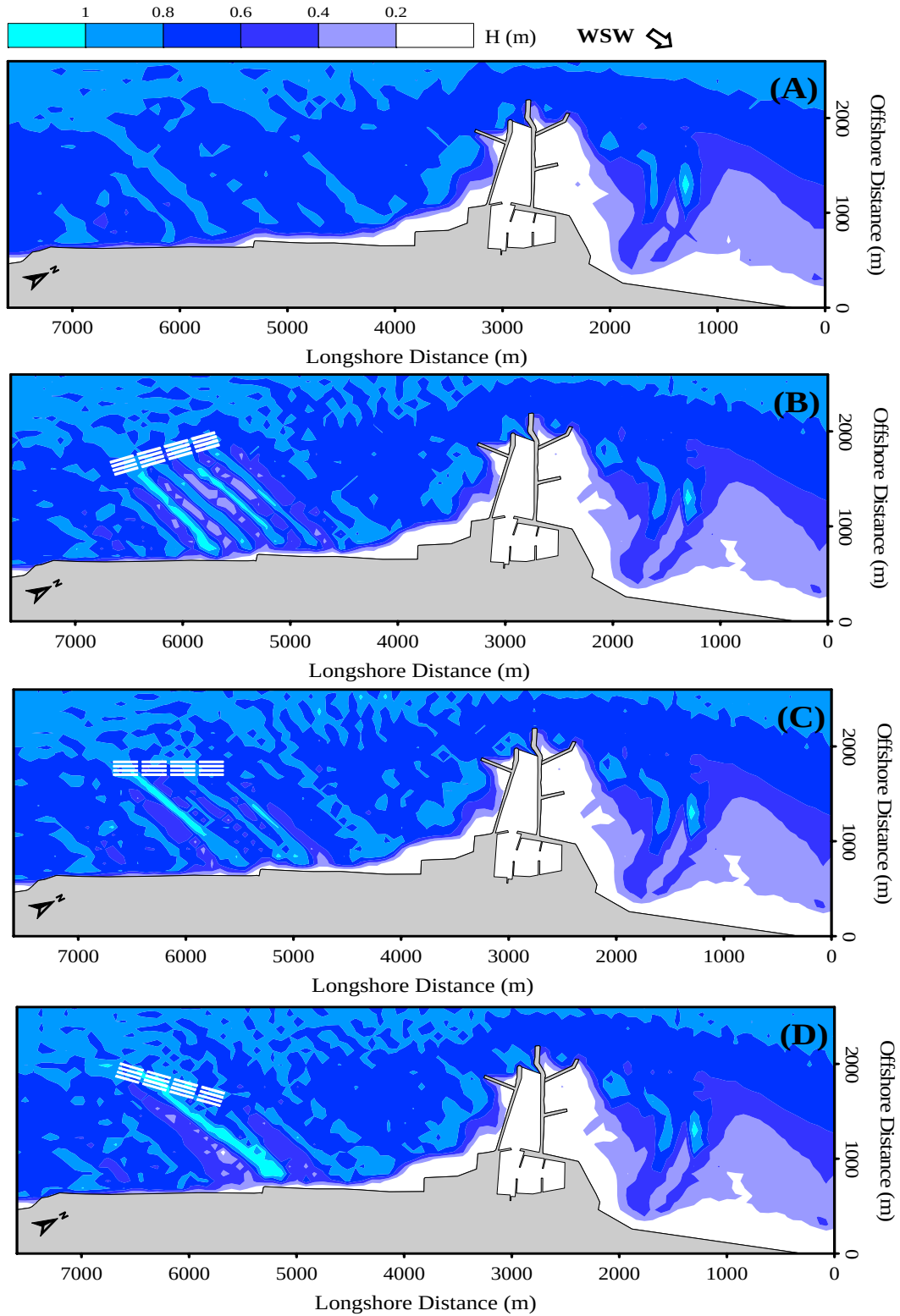


圖 8-30 夏季季風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛堤佈置平行等深線 (C) 潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=0.83\text{m}$, $T=4.95\text{sec}$, 波向 WSW)

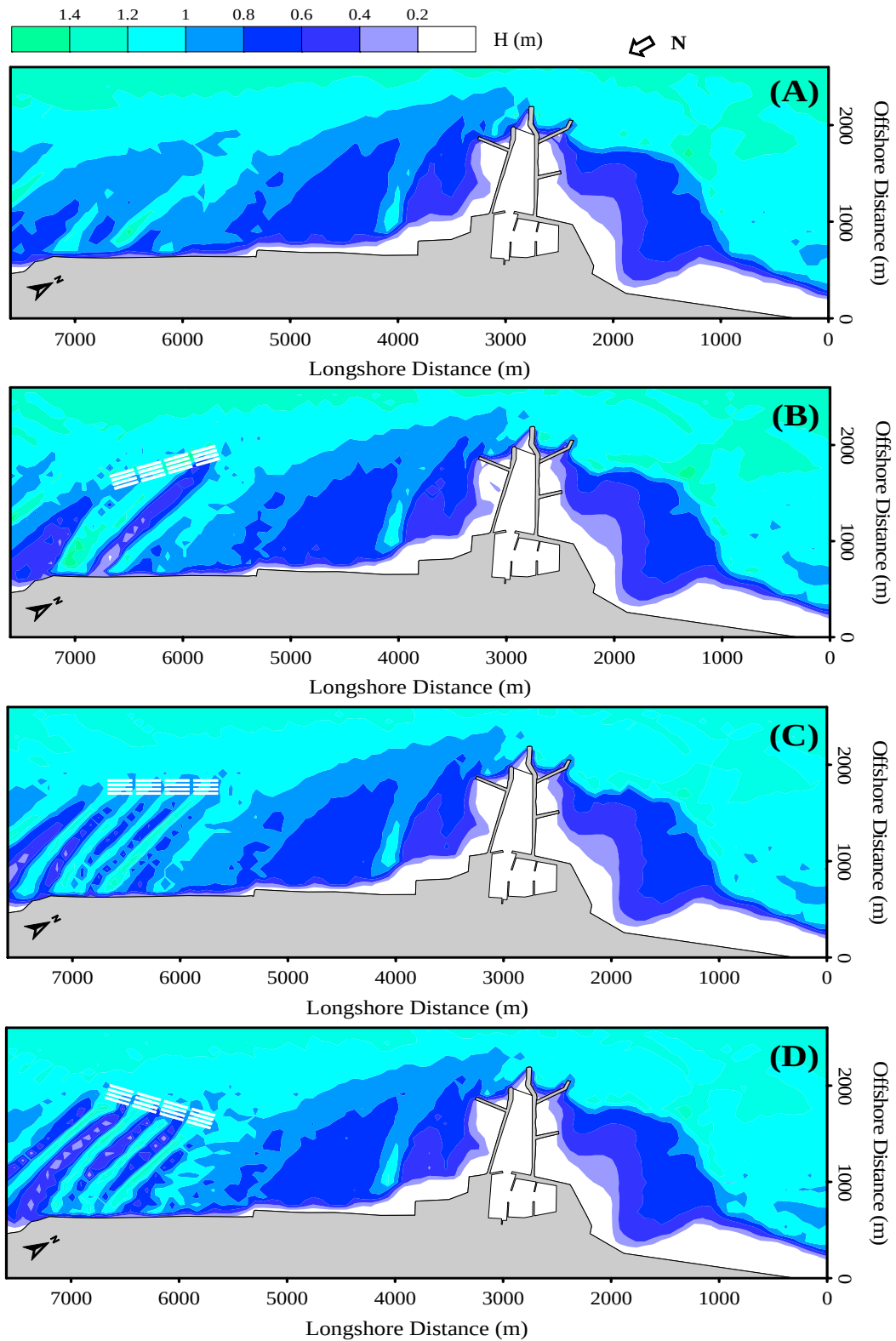


圖 8-31 冬季季風波浪作用下之波場分佈圖 (A) 無潛堤佈置 (B) 潛堤佈置平行等深線 (C) 潛堤佈置平行海岸線 (D) 潛堤逆時針旋轉與海岸線夾 18 度角 ($H=1.27\text{m}$, $T=5.28\text{sec}$, 波向 N)

表8-3 不同系列潛堤佈置下港南海域相對能量透過率之比較表

	方案 1 平行地形 等深線 E'_S	方案 2 平行海岸 線 E'_S	方案 3 順時針旋 轉與海岸線夾 18 度角 E'_S
夏季季風	0.8322	0.8841	0.8508
冬季季風	0.8381	0.8141	0.8340
10 年迴歸期颱風	0.7972	0.7306	0.5646
50 年迴歸期颱風	0.6398	0.6084	0.5072

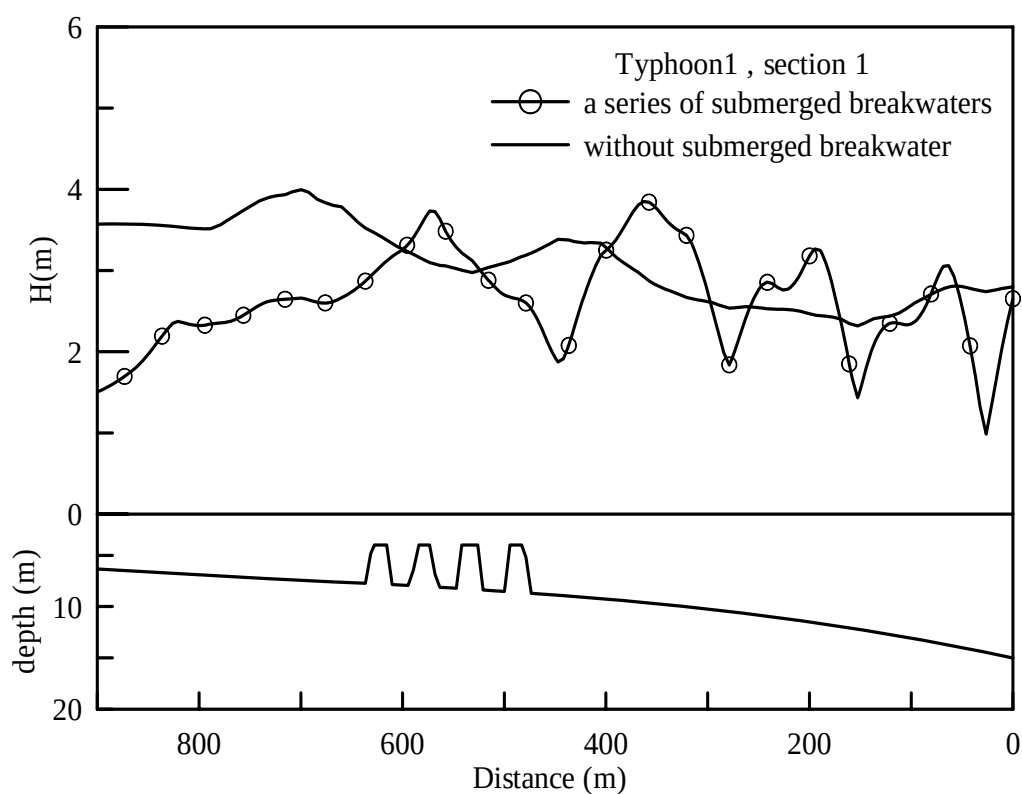


圖 8-32(A) 10 迴歸期颱風波浪作用下斷面 1 之波場分佈圖

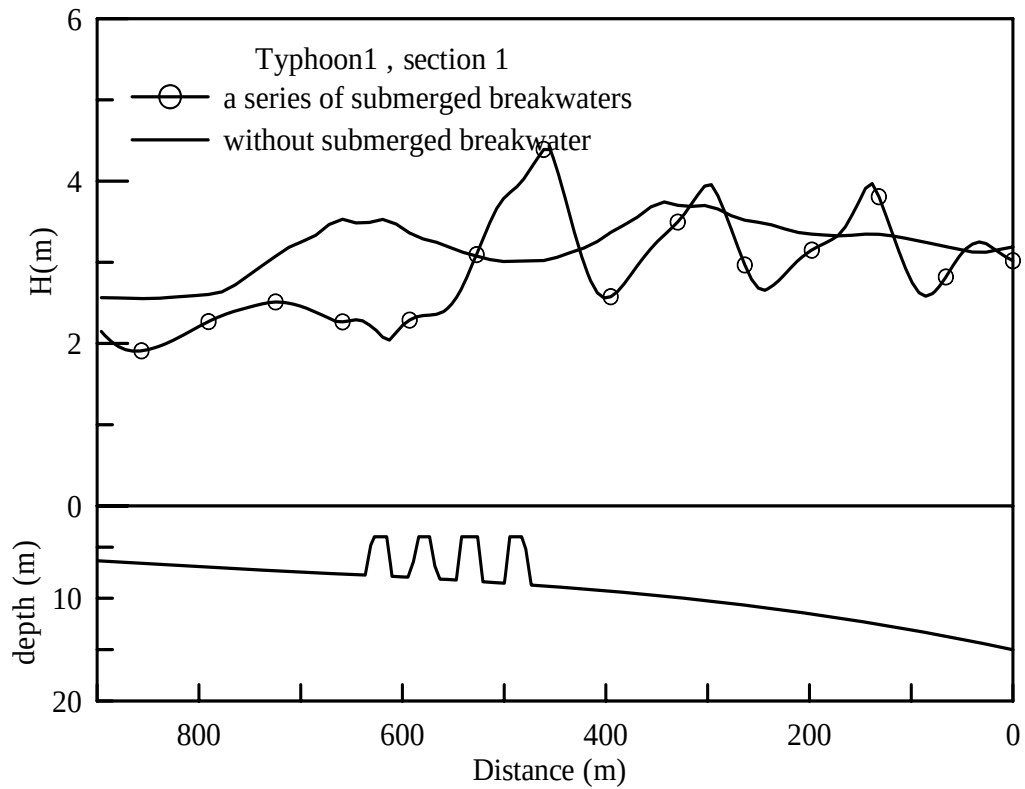


圖 8-32(B) 10 迴歸期颱風波浪作用下斷面 2 之波場分佈圖

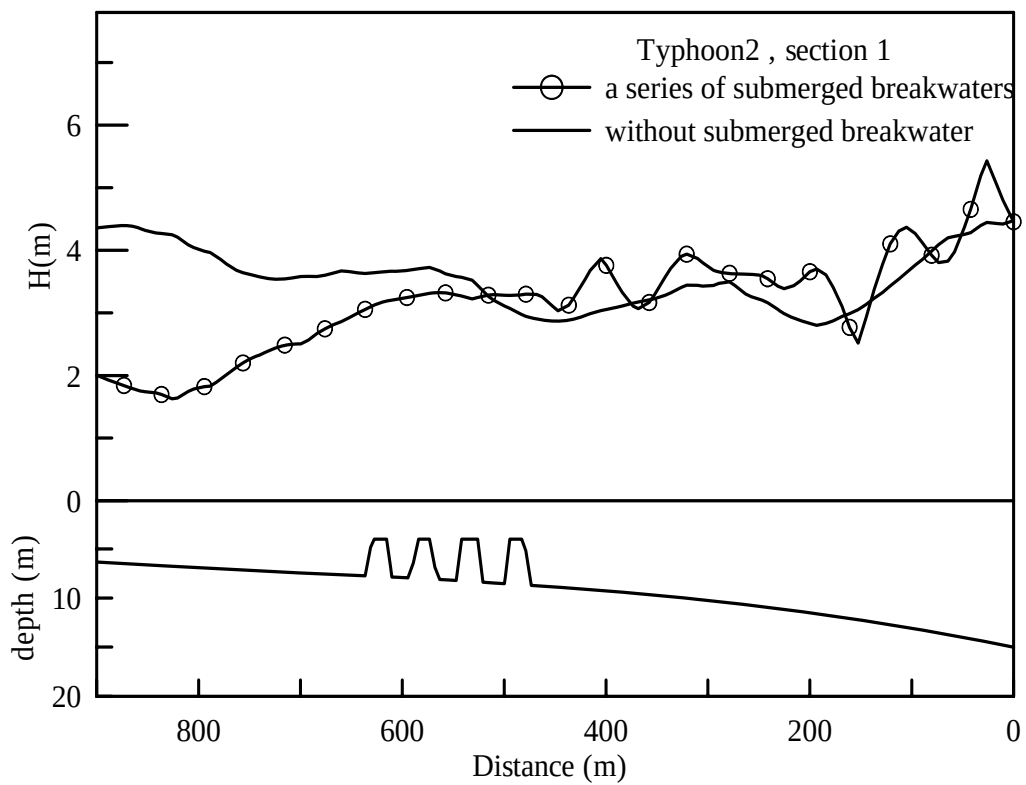


圖 8-33(A) 50 年迴歸期颱風波浪作用下斷面 1 之波高比較分佈圖

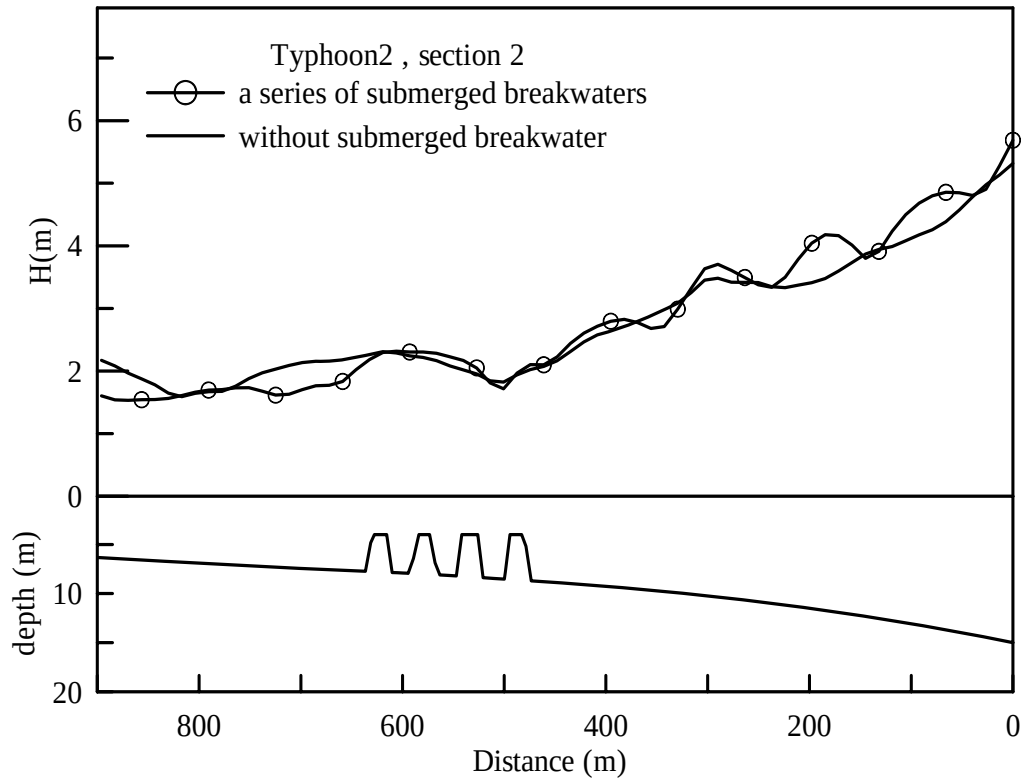


圖 8-33(B) 50 年迴歸期颱風波浪作用下斷面 2 之波高比較分佈圖

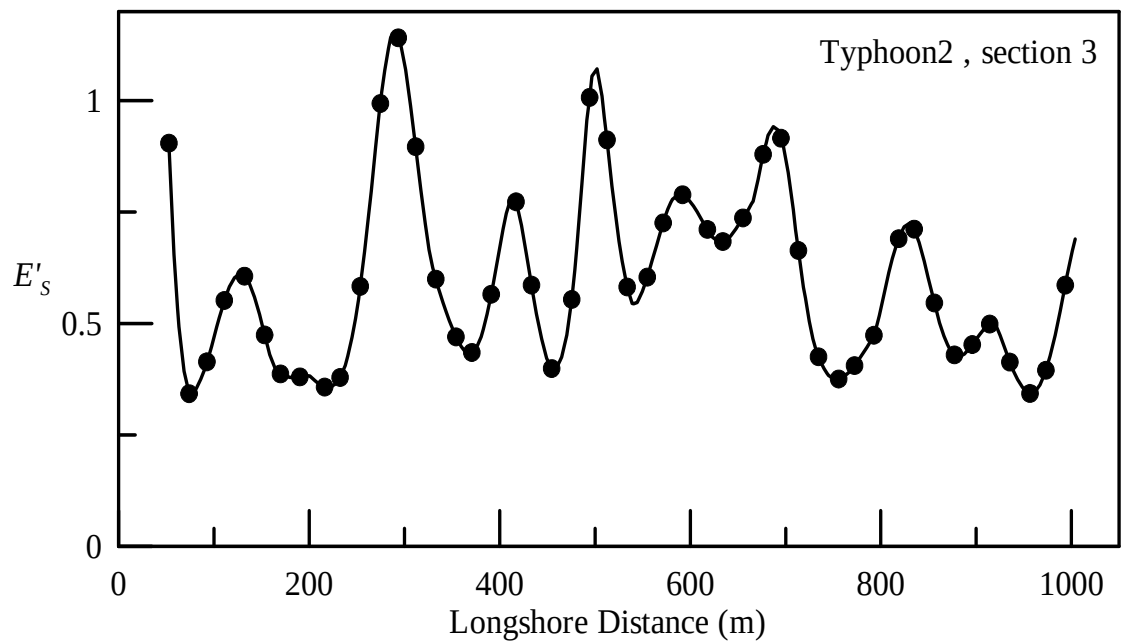


圖 8-34 颱風波浪作用下斷面 3 之相對能量透過率分佈圖

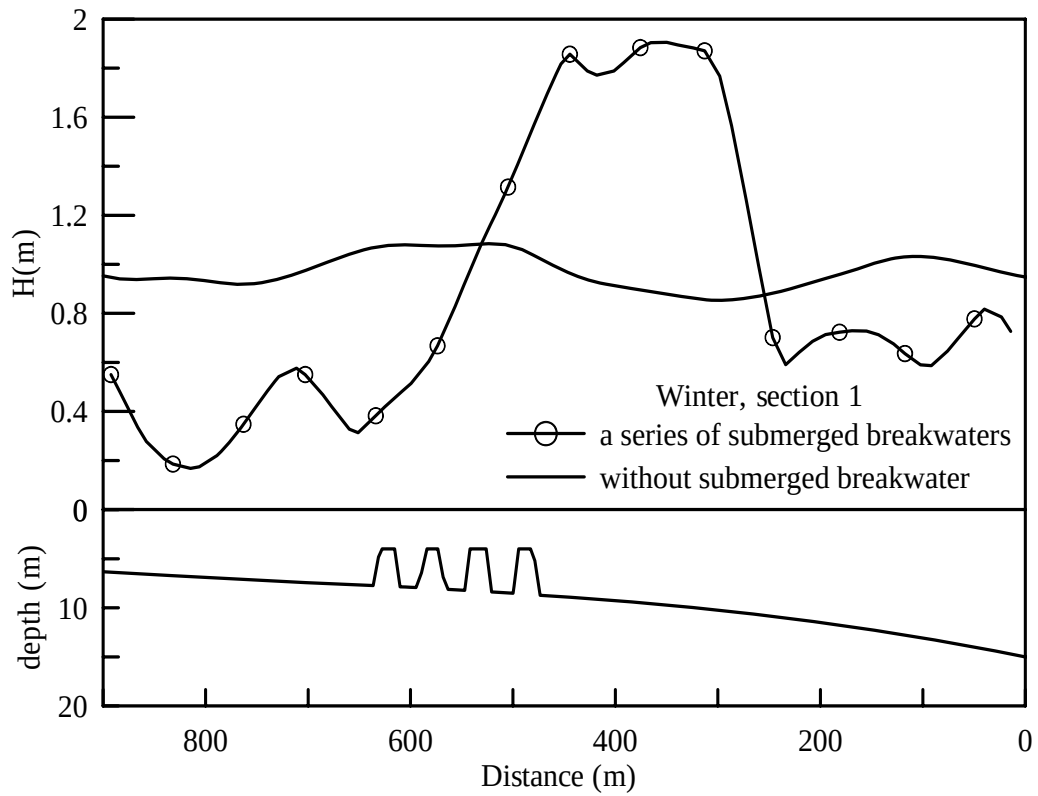


圖 8-35(A) 冬季季風波浪作用下斷面 1 之波場分佈圖

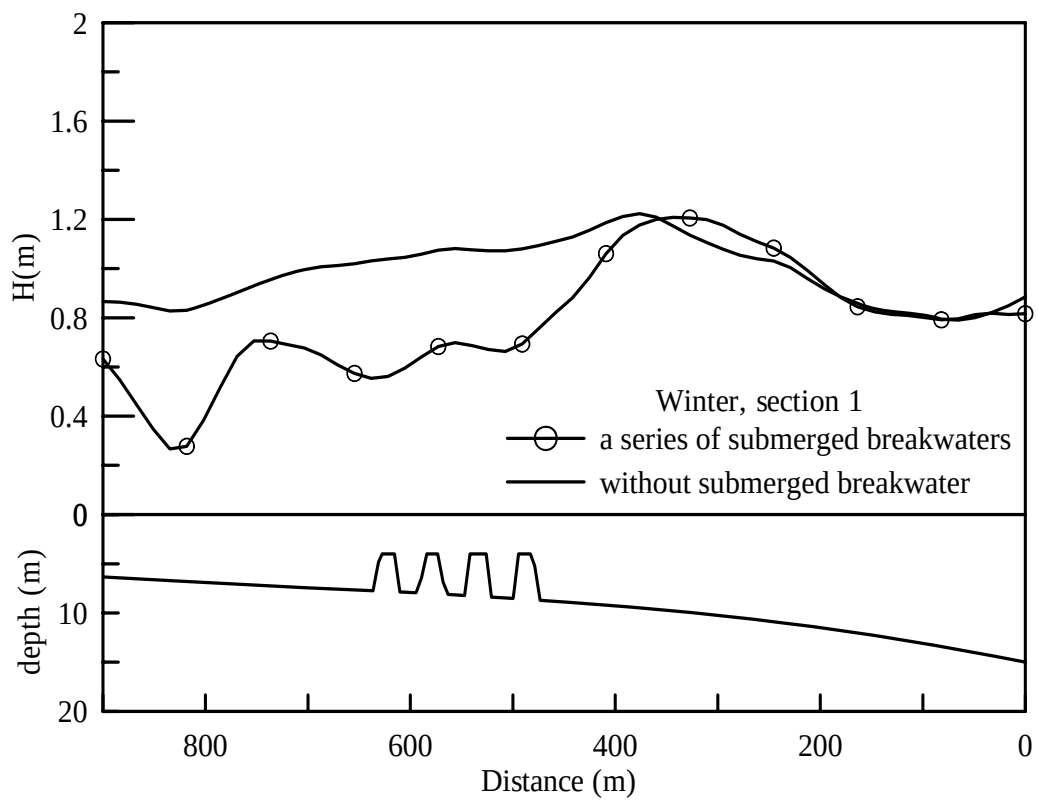


圖 8-35(B) 冬季季風波浪作用下斷面 2 之波場分佈圖

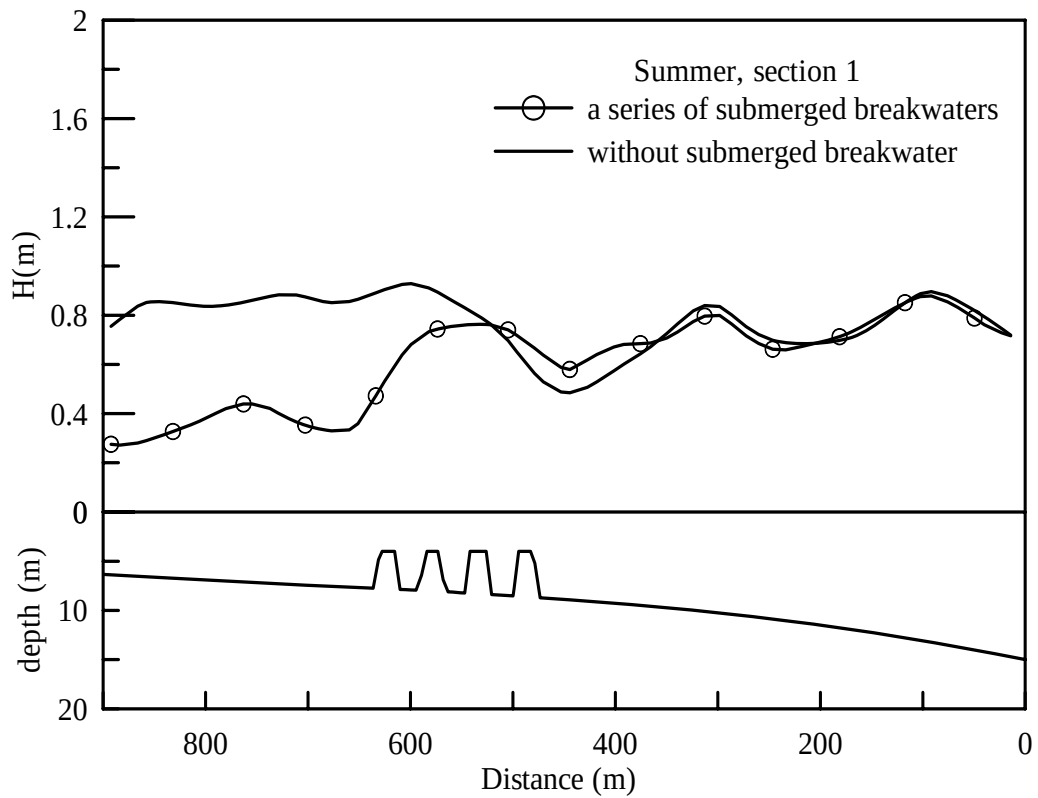


圖 8-36(A) 夏季季風波浪作用下斷面 1 之波場分佈圖

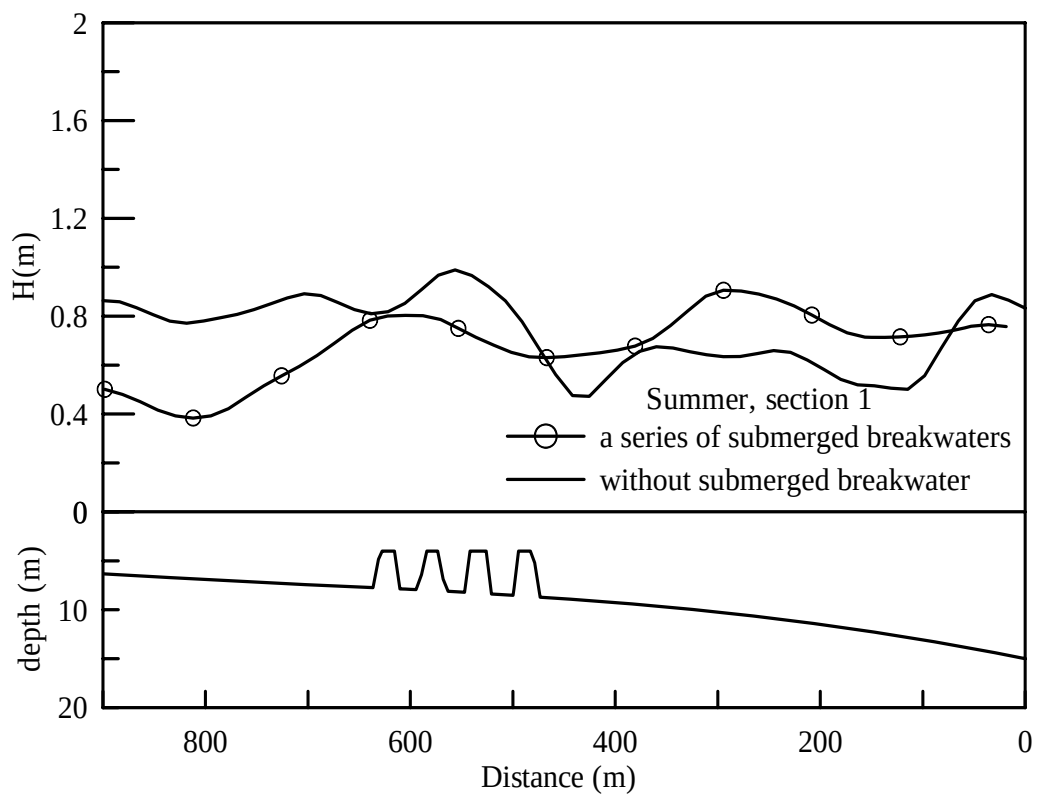


圖 8-36(B) 夏季季風波浪作用下斷面 2 之波場分佈圖

第九章 系列潛堤工法安全性及成本評估之初步研究— 以新竹港南海域為例

有鑑於系列潛堤工法在臺灣地區尚未有任何建構案例，本研究擬初步估算系列潛堤工法於實際海域建構時結構物之成本作為實際應用之參酌。由於系列潛堤工法較適用於地形平緩的海域，因此本章節將延續過去三年度之計畫成果，以新竹港南海域作為示範海域進行工程材料、施工佈置等基礎費用的成本評估。

系列潛堤類似離岸潛堤的結構，利用塊石或混凝土型塊沉浸於海中代替天然礁石，可防災並形成海岸的生態系統，其中利用天然的塊石堆積屬於近自然工法，而使用混凝土塊堆積形成潛礁，在經過一段時間的自然力作用下，表面可能會有藻類滋生及附著性水中動植物生長，使礁體與週遭環境形成一種接近自然的生態環境。本研究對於系列潛堤工法實際的規劃僅限於安全性以及斷面計算，並不詳細考慮波力、結構物承載或維護性等問題。本研究將循序漸進，從工法斷面的研擬到材料的選擇與成本的初步估算，最後將現地設計結合第八章所提出的流程圖，提出包括材料選擇之完整的系列潛堤工法設計流程。

9.1 潛堤工程斷面之研擬

9.1.1 常用的潛堤分類

依據郭 (2004) 之研究，重新對潛堤作定義：只要是在平均潮位的情況下不露出水面之海岸結構物都可歸屬於潛堤 (submerged breakwater)。潛堤也可稱為潛礁 (reef)，主要指堤寬較寬延伸至岸者。依據國內相關文獻資料與本研究相關之潛堤大致可以分類如下

(a) 依潛堤高度：

1. 高潛堤：堤頂水深甚小，用於消能，由於高度往往超過平均水面，故堤趾淘刷的問題相對之下較為嚴重，需要的維護費用較高。

2. 低潛堤：堤高較低，堤頂水深大於或等於堤高者，其往往有較特殊的作用，不一定在於波浪碎波，由於堤高關係堤趾淘刷會較輕微，需要的維護費用相對之下較低。

(b) 依潛堤寬度：

1. 一般潛堤：一般堤頂寬只有約數公尺至十公尺寬與波長比甚小，主要目的在藉由堤體產生碎波及波浪分裂來減衰波浪能量。
2. 寬頂潛堤：堤頂寬度達數十公尺甚至近百公尺，其長度約與波長同位階猶如珊瑚礁岩，又可稱之為人工潛礁(artificial reef)。其主要目的在於藉助寬大之淺水區使波浪於堤上碎波，並有充份的距離使波浪隨傳遞的距離而衰減。

(c) 依潛堤列數：

1. 單列式潛堤：僅有一道潛堤防護，主要使得波浪碎波能量消散以達海岸保護的目的。
2. 多列式潛堤(系列潛堤)：二道或二道以上潛堤並列，利用堤與堤之間的間距，使得波浪共振及碎波，達到能量減衰及保護海岸的目的。

上述為參考目前常用之潛堤工法後所歸納的結果，而本研究所採用的系列潛堤依照分類應為低潛堤、一般潛堤以及多列式潛堤，除了可維持海岸景觀更能利用波浪共振機制達到消波之效果，但造價經費可能較高。

9.1.2 斷面型式

在工程的應用上潛堤之型式，大致上可分為三種：

(a) 直立堤

依據交通部運輸研究所－「港灣構造物設計基準修訂」(2005)，其將直立堤定義為壁面垂直安放於海底之結構物，最主要為反射波之

動能，此種型式稱為直立堤。

(b) 斜坡堤

依設計基準中的定義，以塊石或消波塊堆成者，堤身兩側成斜面，使波浪衝上斜坡時受斜坡表面凹凸不平之阻礙及堤身之孔隙使波能減衰，並阻其侵入堤內領域，以維護水面穩定。

(c) 合成堤

依設計基準中的定義，上部直立堤下部拋石堤所組合而成。直立堤部份放置於拋石堤之頂部，拋石堤同時作為直立堤部份之基礎。與波高相比斜坡拋石面較淺時，與斜坡堤之功能相近。反之，當水較深波高較小時則與直立堤之功能相似。

斜坡堤能將載重分佈於較廣面積，對基礎土壤之要求較不高，施工也較容易，並易於擴建加高與維護，雖適於各種水深，但當水深較大時，斷面的坡堤所需的工程費用也相對增加，故多用於中、小水深或陸上。直立堤則依賴重力保持安定，除實體混凝土沉箱外亦有方塊混凝土等，以中、大水深處採用較宜，對施工經驗及技術要求較高。而合成堤兼具兩者優點，並能夠兼顧經濟效益。

由於直立堤需特別要求基礎土壤載重力，若設計不當易造成危害，故於本研究研究內容中僅考慮斜坡堤與合成堤之設計。參考海岸保護相關研究，通過潛堤後之透過率計算如下：

A. 斜坡透水堤（拋石堤）

Van der Meer（1990）公式：

$$K_T = 0.46 - 0.3 \frac{R_c}{H_{si}} \quad (9-1)$$

其中 K_T ：透過率 R_c ：堤頂出水高（潛堤 $R_c < 0$ ） H_{si} ：入射波有義波高。

B. 合成堤

拋石護基上直立不透水堤之透過率

Kondo and Sato (1964) 公式：

$$K_T = 0.3 \left(1.5 - \frac{R_c}{H_i} \right) ; 0 \leq \frac{R_c}{H_i} \leq 1.25 \quad (9-2)$$

$$K_T = 0.3 \left(1.1 - \frac{R_c}{H_i} \right) ; 0 > \frac{R_c}{H_i} > -0.75 \quad (9-3)$$

其中 H_i 為入射波高， K_T 為透過率， R_c 為堤頂出水高（潛堤 $R_c < 0$ ）。於參考第八章之設計條件，其中 $R_c = -4\text{m}$ ， $H_i = 6.6\text{m}$ 為入射波高， $H_{si} = 6.6\text{m}$ 為入射波有義波高，計算結果如表 9-1。

表9-1 斜坡堤與合成堤透過率比較

透過率	斜坡堤	合成堤
K_T	0.64	0.63

由表 9-1 可得知合成堤防禦效果略佳於斜坡堤，但以成本而言，斜坡堤面積需求大材料需求也多，成本較昂貴，故本研究建議採用合成堤為主要斷面設計。

9.2 安全性估算與基本斷面設計

9.2.1 表面載重

於潛堤工法的設計上，表面載重的決定是重要的因子之一，其關係到整個結構物抵抗波壓、波力的能力，若載重不足則結構物有翻覆受損的危機，且可能間接影響到往後的維護費用。本節將針對系列潛堤工法的表面載重進行一系列的計算。

參考海岸工程相關研究後，本研究計畫考慮完全浸沒水面下之靜態安定潛堤應用於斜坡堤的安定性，將採用 Givler & Sorensen, Van der Meer (1990) 所建議的方式來計算，其經驗公式如下所示：

$$h'_c/h = (2.1 + 0.1S') \exp(-0.14N_s^*)$$

$$\Rightarrow N_s^* = -\frac{1}{0.14} \ln \left(\frac{h'_c}{h(2.1 + 0.1S')} \right) \quad (9-4)$$

其中 h'_c 為底床至堤頂高， h 為堤趾水深， S' 為損壞程度

$S' = 2$ ：開始損壞

$S' = 5 \sim 8$ ：中度損害

$S' = 12$ ：破壞

據此式得到相關係數 N_s^* 後，代入 Ahrens (1987) 所提出的試驗推算式，進一步估算表面載重 W ：

$$N_s^* = N_s (H_s/L_s)^{-1/3} = [H_s/(\Delta \cdot d_{n50})] (H_s/L_s)^{-1/3}$$

$$\Rightarrow d_{n50} = \frac{H_s}{\Delta \cdot N_s^*} (H_s/L_s)^{-1/3} \quad (9-5)$$

其中 H_s/L_s 表示堤址的有義波尖銳度， $\Delta = (r_r/r_w) - 1$ 為塊石相對密度， r_r 為被覆塊單位體積重（石塊 = $2.65t/m^3$ 、混凝土 = $2.3t/m^3$ ）， r_w 為水單位體積重（ $1.03t/m^3$ ）。

依第八章所提出之現場系列潛堤配置方案，本研究確立之潛堤基本條件，並由數值模式計算得到由外海開始計算系列潛堤第一根堤之堤址波高 H_s 約為 9.575m，而堤址波長 L_s 經由分散關係式與數值模式計算約為 105m，整體參數計算如表 9-2 所示：

以表 9-2 表示本研究初步估算之單一潛堤表面載重 W 為 6.3t，而一般工程考量時至少選取 $1.6W$ 作為實際施工之表面載重，於本研究中吾人選取兩倍載重作為實際應用之條件，即 $W_{\text{design}} = 1.644 \approx 10t$ 。

表9-2 覆蓋層載重參數計算表

h'_c	h	S	H_s / L_s	N_s^*	d_{n50}	W
5.1m	9.1m	2	0.037	10.085	0.894	1.644

9.2.2 基本斷面設計

潛堤斷面的設計，國內外皆有許多文獻案例，依據各式海岸工程關於潛堤斷面之研究報告，本研究決定依照日本青島海岸潛堤設計的方式設計。初步設計圖如圖 9-1 所示，其中 B 為潛堤寬度， B_c 為潛堤靠岸側之堤趾保護寬度，面海側第一根潛堤的堤趾保護寬度則為兩倍的 B_c ，根據日本青島海岸設計比例， $B_c = 0.25B$ ，潛堤兩側斜坡斜率皆為 1:2， W_{design} 為設計表面載重， W' 初步設計等於 $W_{design} / 200$ 約僅為 59kg，以安全及便利考量採用 50kg~200kg 不等之塊石材料， D' 為基腳高度視覆蓋層使用材料來決定。橫向堤長設計斷面如圖 9-2 所示，為簡化計算初步以 1:2 之坡度作為設計之橫向坡度。

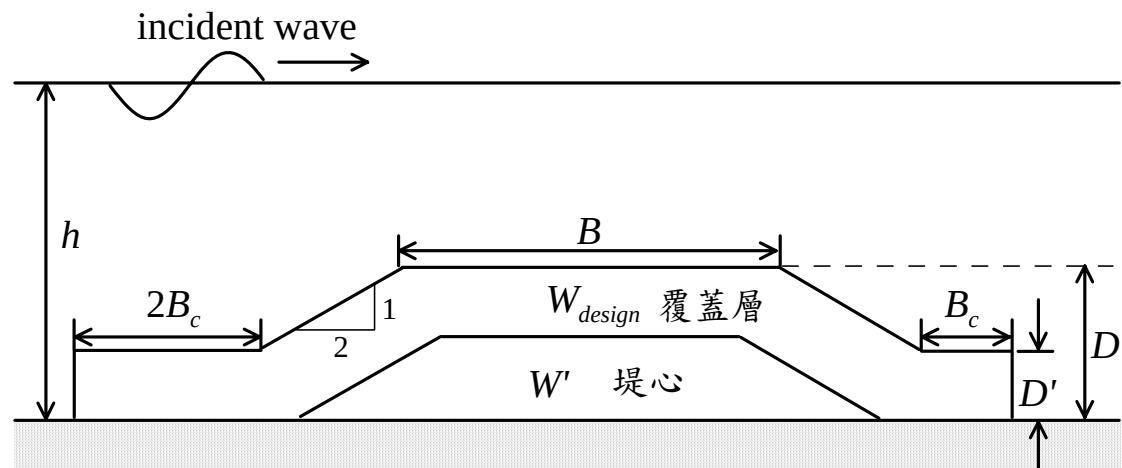


圖 9-1 本研究之單一潛堤縱向斷面設計示意圖

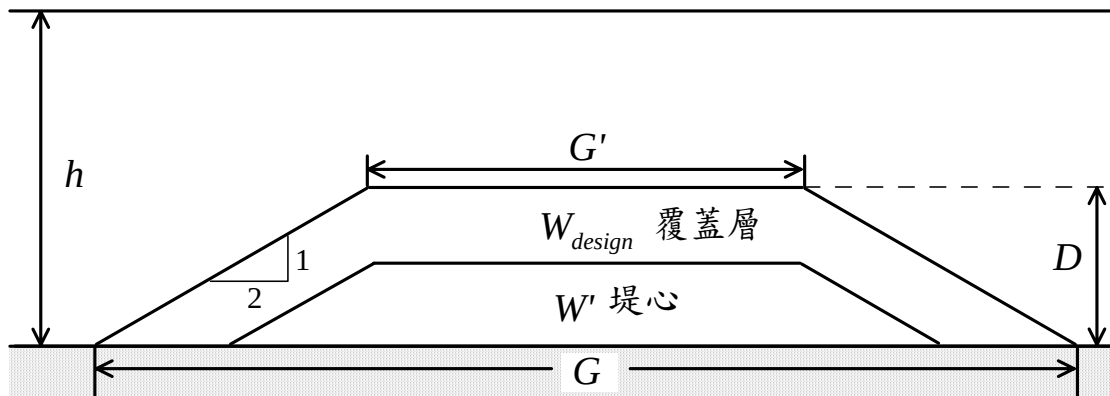


圖 9-2 本研究之單一潛堤橫向斷面設計示意圖

9.3 潛堤材質的選擇與成本的初步估算

9.3.1 潛堤材質的選擇

目前國內外潛堤之使用材質種類眾多，常用的有各式的消波塊、塊石、沈箱、混凝土塊以及方塊等等。考量系列潛堤工法施工地區多在水深 8 米左右的海域，且結構物佈置之水深較深，因此建議使用混凝土方塊作為系列潛堤工法之使用材料。因工程施工上較便利性尤其以海上作業更甚，且方塊僅需混凝土即可快速施工，此外不需要複雜的設計可以節省其他費用。以物理性的觀點，因方塊的組成方式將使得潛堤工法不具透水性，此與本文研究的考量具有一致性，因此以方塊作為潛堤的材料將更適用於本研究所提出的設計流程。

依據交通部運輸研究所，「港灣構造物設計基準修訂」(2005)，說明方塊設計上，頂面與地面建議做成凹凸形楔樁，以增加方塊互相接合的整體性並防止滑動。方塊接合部楔樁，設計如圖 9-3 所示，凹部尺寸較凸部尺寸大 5 公分為原則，故圖中 $a' \leq a + 5\text{cm}$ 、 $b' \leq b + 5\text{cm}$ 。在施吊設計的部分，以安全施工為原則，設計方塊吊點配置及吊筋。作用於施吊部位之載重，應考量方塊重量、製作處附著力及施吊時的衝擊力等外在影響。至於方塊的詳細規格可視施工船隻與現場海況做進一步的規劃調整。

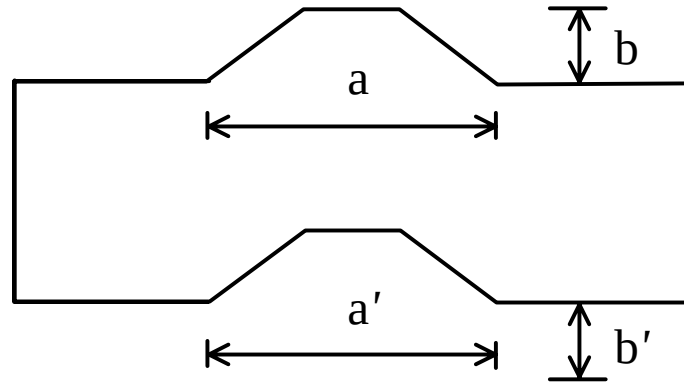


圖 9-3 方塊凹凸形楔樁示意圖

9.3.2 潛堤成本的初步估算

完成表面載重、斷面設計以及材質選擇後，最後將初步估算單組系列潛堤所需要的成本。材料價格的部分依照『臺灣營建研究院公共工程技術資料庫整合中心—PCCES 電子估價資料庫』，由於目標海域在新竹港南地區，故以北部地區的價格作為估算標準。

第八章針對新竹港南海域所設置的系列潛堤之相關資料，假定實際海域之設計堤長 G 為 210m，而混凝土規格主要取決於所需防禦波浪強度，一般在波浪挾帶泥沙較多的地區，侵蝕破壞效應較大，使用規格建議應達到 5000psi，而本研究之潛堤係屬潛沒低頂堤未受直接波浪侵襲，故在經費與需求的考量上，本研究採用較低的規格 3000psi，除了能節省成本外亦能兼具安全性。而為避免石料拋放後因地形不均勻而沉陷，因此在拋放石料前先於堤址鋪設襯墊，再拋放堤心石料，進行整平整坡後，使堤心塊石基礎水平部分寬度 B 為 10m、頂部高程 4m。考量波浪對堤基的沖刷作用，在堤前後加長覆蓋層之長度向海外及內陸延伸，避免受損引起崩落。本研究目標為系列潛堤工法，故僅靠海第一座堤前延伸長度設計為 $2B_c$ ，以防止外海波浪強烈的衝擊，其餘系列潛堤前後堤趾接採用 B_c 設計即可。利用圖 9-1 以及圖 9-2 之潛堤斷面設計，與表 9-3 之北部地區潛堤所需材料價格表後，將整體斷面切割數個部分分別計算其面積，如表

9-4 所示。由於第一座潛堤之前列堤趾設計較長故造價較高，表中分別計算潛堤各部分的價格。而不織布襯墊面積為結構物接觸地面面積，靠海第一座底部面積為 5665m^2 ，其後每座為 5m^2 ，單座潛堤價格初步估算表如表 9-4 所示。再根據上述 $W_{\text{design}}=10\text{t}$ ，水泥比重 2.3，故 $V=10/2.3=4.35\text{m}^3$ 而材料形狀設計為正立方體，得每邊長 $D'=\sqrt[3]{1.43}=1.13\text{m}$ 。因此，經由計算可得覆蓋層面積為 60m^2 ，堤心面積為 55m 。利用橫向堤長設計斷面圖如圖 9-2，為簡化計算初步以 1:2 之坡度設計，原設計堤長 G 為 210m ，減去斜坡部分後堤長 G' 為 202m ，進而計算單組系列潛堤可能之成本，以 $N=4$ 作為估算因子，混凝土強度使用 3000psi，則可概估材料總經費表如表 9-5 所示。

表9-3 潛堤材料價格表（北部地區）

資源名稱	單位	單價
預拌混凝土($210\text{kg}/\text{cm}^2(3000\text{psi})$)	m^3	1,670
碎石($50\text{kg}\sim 200\text{kg}$ 不等)	m^3	627
不織布襯墊	m^3	120

資料來源：臺灣營建研究院公共工程技術資料庫整合中心—PCCES 電子估價資料庫

臺灣經濟部礦務局 - 各縣市砂石 97 年 1~7 月份產量及價格整合資料 - 新竹縣市

表9-4 單一潛堤各部分材料成本計算表

區域	面積 (m ²)	堤長 (m)	體積 (m ³)	價格 (3000psi)
覆蓋層(第一座)	34.75	202	7019.5	11,722,565
覆蓋層	31.95	202	6453.9	10,778,013
堤心	54.7	202	11049.4	6,927,974
堤底不織布襯墊 (第一座)	7035			844,200
堤底不織布襯墊	6510			781,200

表9-5 單組潛堤 (N = 4) 價格初步估算表

堤號	覆蓋層	堤心	總價
第一座	11,722,565	6,927,974	19,494,739
後列 (單一座)	10,778,013	6,927,974	18,487,187
合計(第一座+後列三座)			74,956,299

9.4 系列潛堤工法之限制與優缺點

系列潛堤工法最主要的目的在於產生布拉格共振效應，進而使波浪通過結構物後能量有大幅的減少。不同的工法具有不同的功用及效果，並有不同的優缺點與限制。在工法設計佈置前，必須針對各種工法之優劣與限制加以詳細的瞭解，才能適當的應用進而使得整個工程達到預期效果。故本節將依據前人研究與各年度之成果，歸納系列潛堤工法之限制與優缺點，如表 9-6 所示，以下則詳述相關項目。

系列潛堤工法的限制如下所示：

1. 系列潛堤工法較適用於緩坡地形：系列潛堤工法的目的與一般離岸潛堤利用堤上碎波消能的機制不同，其主要目的在於產生布拉格共振現象使得能量可以消耗衰減，因此一般佈置於波浪非碎波區，故考慮到施工與使用材質的問題，建議此工法的應用適於地形緩變的海域。
2. 系列潛堤工法的擺放位置需考慮主波向：根據實驗及理論分析以及本研究結果顯示，當波浪正向入射系列潛堤時所產生的布拉格共振機制最為完整，因此在現場海域應用時應先以數值模擬瞭解海域的現況找出最適當的擺放方向。

系列潛堤工法的優點如下所示：

1. 系列潛堤可免於海岸景觀的破壞，並降低環境衝擊：系列潛堤工法大多佈置於水深較深處且潛沒於水下，相較於其他防護工法可以使得海岸景觀與遊憩的規劃較不受限制，且不直接建構於海岸附近，對於沿岸的環境影響也可以降至最低。
2. 系列潛堤工法維護費用低：相較於其他工法，系列潛堤潛沒於水深較深處，且不似一般潛堤波浪於堤上碎波，因此建構後需要的維護費用將遠比一般工法低。

系列潛堤工法的缺點如下所示：

1. 系列潛堤工法施工難度較高：系列潛堤工法佈置於水深較深處且各影響因子互相影響，機制較複雜相較於其他防護工法多於近岸施工，其難度較高。
2. 系列潛堤工法相較於傳統離岸潛堤施工費用較高：系列潛堤工法相較於傳統離岸潛堤由於個數以及堤高設計的關係，由表 9-5 的案例可知若包含施工成本後，單組系列潛堤可能比單座離岸潛堤造價高。
3. 系列潛堤工法防禦條件受限制：由於系列潛堤工法最主要的目的在於產生布拉格共振現象，使得波浪通過該結構物時能量有衰減的效果，因此系列潛堤工法之堤距等相關因子的設計將直接影響整個工法適用的防禦條件與範圍，因此本研究才會進行一系列的模擬與討論來規劃設計流程圖，希望可以釐清整個機制與流程，使得系列潛堤工法有機會應用於實際海域。.

表9-6 系列潛堤工法之限制與優缺點比較表

	限制	優點	缺點
系列潛堤工法	僅適用於緩坡之地形	免於海岸景觀的破壞，並降低環境衝擊	施工難度相對較高
	結構物之擺放位置需因地制宜	維護費用低	相較於傳統潛堤成本較高
			防禦條件受限制

9.5 含工程施工之系列潛堤工法設計流程圖

根據以上研究將系列潛堤設計佈置於現場，並初步估算其成本，必須先決定潛堤的形式以及表面載重，再決定其斷面設計以及使用材質。待結構物使用材質決定完成後，依照不同地區參考其材料之基本費用，並估算單列乃至單組潛堤之基本造價。最後評估是否符合工程計畫的需求來決定採用與否。綜合計畫過去三年以及上述研究，將圖 8-2 之系列潛堤工法流程圖加以改善，初步規劃出含成本概念之系列潛堤工法設計流程圖，如圖 9-4 所示。

圖 9-4 之流程中，從考慮現場之波浪資料的蒐集開始，考慮現地之主要防禦目標，隨後利用波浪模式或實驗來探討各相關影響因子的變化並決定堤距，堤距決定後考慮平面上之相關影響因子以及成本，進一步設定平面影響因子之參數，在基本參數皆完成設計後，再考慮建構之材質、安全係數以及經濟成本，最後評估整個工法於目標地區的適用性。然而相同的工法所需之成本造價理應因地制宜，工程的實施經濟成本的多寡佔了非常重要的因素，因此應在同時兼顧工程結構物的效率及成本來決定需要且適當的工法。

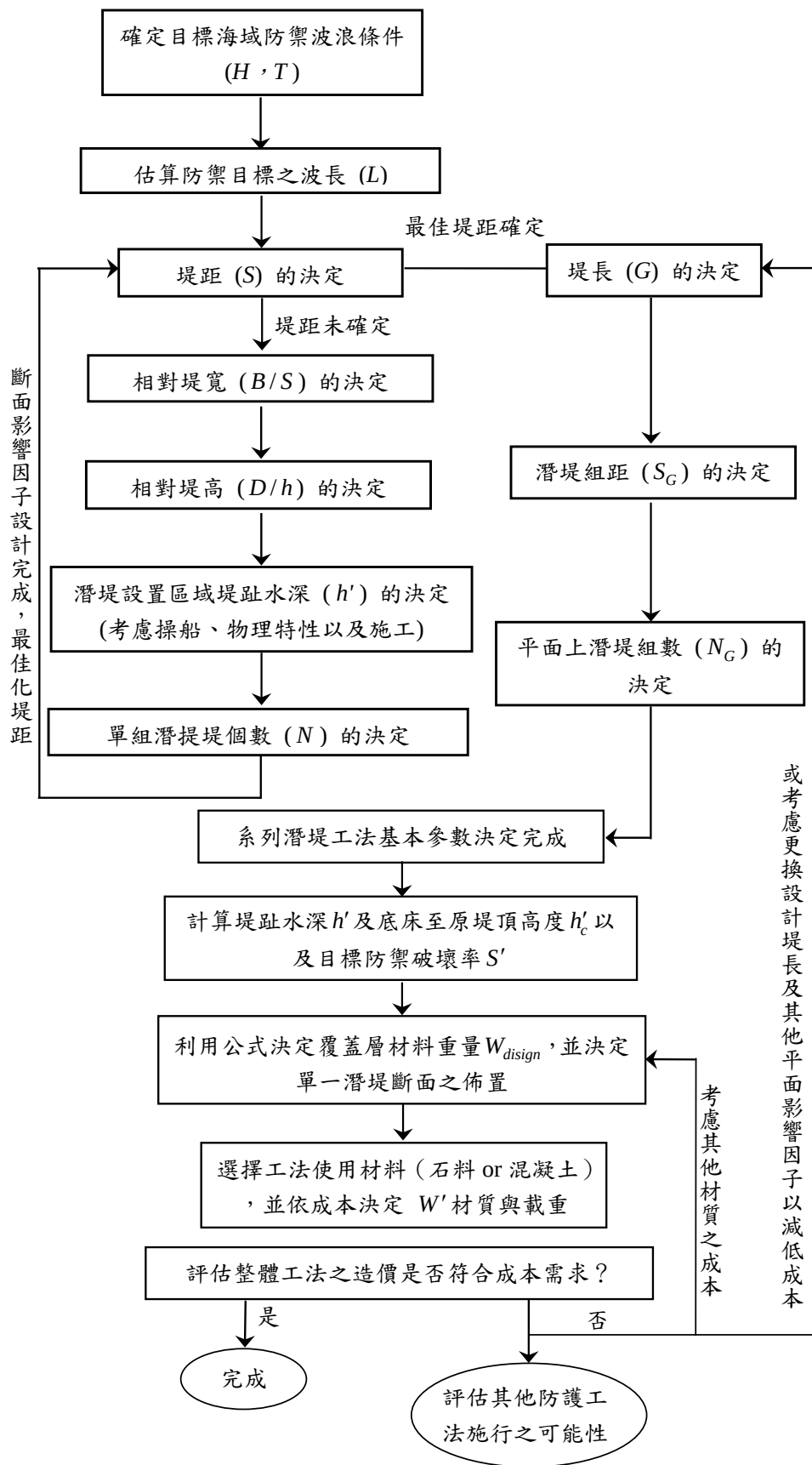


圖 9-4 含成本效益之系列潛堤工法初步設計流程圖

參考文獻

1. Belzons, M., Rey, V. and Guazzelli, E., "Subharmonic Bragg Resonance for Surface Water Waves," *Europhysics Letters*, 16 (2), pp. 189-194, 1991.
2. Davies, A.G. and Heathershaw, A.D., "Surface Wave Propagation over Sinusoidally Varying Topography," *Journal of Fluid Mechanics*, 144, pp. 419-443, 1984.
3. Davies, A.G., Guazzelli, E. and Belzons, M., "The Propagation over Sinusoidally Varying Topography," *Physical Fluids*, 144 A1 (8), pp. 1331-1340, 1989.
4. Guazzelli, E., Rey, V. and Belzons, M., "Higher-Order Bragg Reflection of Gravity Surface Waves by Periodic Beds," *Journal of Fluid Mechanics*, 245, pp. 301-317, 1992.
5. Heathershaw, A.D., "Seabed-wave resonance and sand bar growth," *Nature*, 296, pp. 343-345, 1982.
6. Hsu, T.W. and Wen, C.C., "A study of using parabolic equation extended to account for rapidly varying topography," *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 23, pp.515-527, 2000.
7. Institute of Engineers, Vol. 23, pp.515-527 (2000).
8. Hsu T.W., Chang, H.K. and Tsai, L.H., "Experiment on Bragg Reflection on Wave by Difference Type of Artificial Bar," *China Ocean Engineering*, 28, pp. 343-358, 2002.
9. Hsu, T.W., Tsai, L.H., Huang, Y.T., "Bragg Scattering of Water Waves by Multiply Composite Artificial Bars," *Coastal Engineering Journal*, 45 (2), pp. 235-253, 2003.
10. 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.
11. Miles, J.W., "Oblique surface-wave diffraction by a cylindrical obstacle," *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 6, pp. 121-133, 1981.
12. O'Hare, T.J. and Davies, A.G., "A Comparison of Two Models for Surface-wave Propagation over Rapidly Topography," *Applied Ocean Research*, 15, pp. 1-11, 1993.

13. Suh, K.D., Lee, C. and Part, W.S., "Time-Dependent Equations for Wave Propagation on Rapidly Varying Topography," *Coastal Engineering*, 32, pp. 91-117, 1997.
14. Wang, S.K., Hsu, T.W., Tsai, L.H., Chen, S.H., "An Application of Miles' Theory to Bragg Scattering of Water Waves by Doubly Composite Artificial Bars," *Ocean Engineering*, 33, pp. 331-349, 2006.
15. Wen, C.C., and Tsai, L.H. "Numerical Simulation of Bragg Reflection Based on Linear Waves Propagating over a Series of Rectangle Sea Bed," *China Ocean Engineering*, 22, pp. 71-86, 2008.
16. 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*, 15 (2), pp. 486-495, 1999.
17. 自然調和型漁港づくり技術マニュアル-藻場機能の付加，水産廳漁港部，1999。
18. 漁港構造物に藻場機能を付加するためのガイドブック作成業務委託報告書，財團法人漁港漁村建設技術研究所，2001。
19. 藻場の海藻と造成技術，能登谷正浩編著，2003。
20. 黃淑芳，台灣東北角海藻圖錄，國立台灣博物館，2000。
21. 台灣地區漁港基本資料，行政院農委會漁業署，2003。
22. 郭一羽，漁港構造物採用生態工法之開發，行政院農業委員會漁業署 93 年度科技研究計畫，2004。
23. 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。
24. 台東地區海運發展規劃之研究，交通部運輸研究所，2005。
25. 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，1991。
26. 岳景雲、曹登皓、陳丙奇，「波浪斜向入射任意形狀潛堤反射率之研究」，第十九屆海洋工程研討會論文集，台灣基隆，204-211 頁，1997。
27. 岳景雲、曹登皓、陳丙奇，「波浪通過系列潛堤反射率之研究」，第八屆全國海岸工程學術討論會暨 1997 兩岸港口及海岸開發研討會論文集（下），中國北京，683-690 頁，1997。

28. 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。
29. 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。
30. 岳景雲、曹登皓、翁文凱，「波浪通過不透水雙列潛堤之研究」，2000 兩岸港口及海岸開發研討會論文集，台灣新竹，112-118 頁，2000。

計畫編號: MOTC-IOT-97-H2DA004

臺灣地區鄰港海岸環境保護 及監測調查研究(4/4)

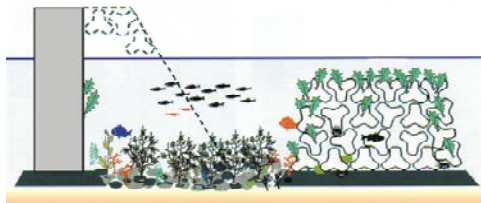
蔡立宏、徐如娟

交通部運輸研究所

中華民國98年03月20日

研究目的

- 在維護及改善臺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

分別利用現場調查、理論解析、數值計算以及統計分析，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. 海岸環境生態調查
- 二. 生態環境相關性分析
- 三. 臺灣海岸結構物海藻生態差異性分析
- 四. 研擬東部兼具生態及海岸保護工法
- 五. 系列潛堤之布拉格反射特性探討
- 六. 系列潛堤保護工法現場模擬設計

研究內容

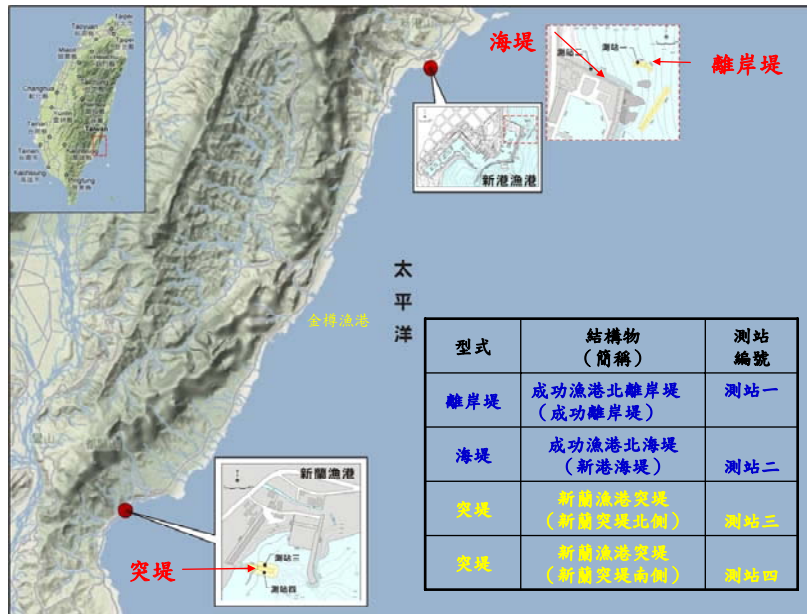
一. 海岸環境生態調查

對於對象海岸(東部成功新港海岸)保護結構物所處環境，進行不同季節的生態及水質調查，以供生態與環境因子之分析。

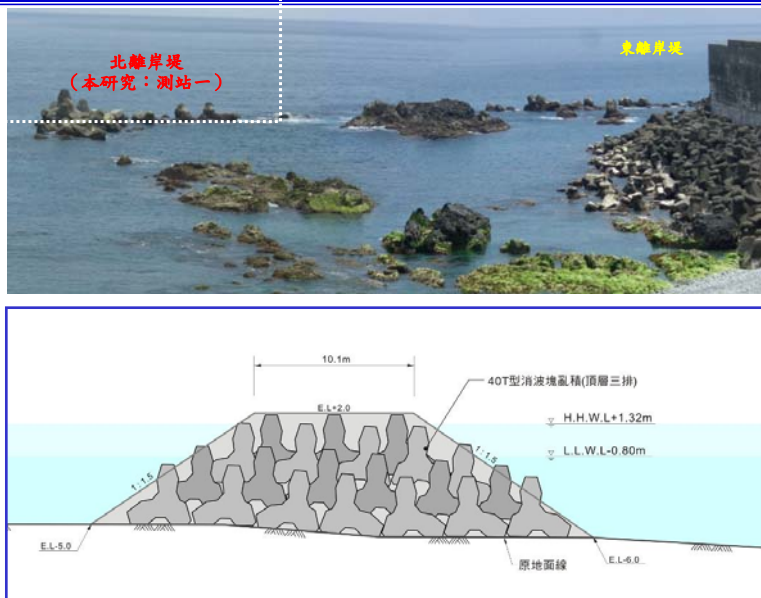
1. 水質調查：水溫、鹽度、酸鹼度、濁度、溶氧、氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽及光照度等。
2. 海藻著生：種類、生長位置及覆蓋率等。
3. 海岸保護結構物：型式、排列、位置、水深等。



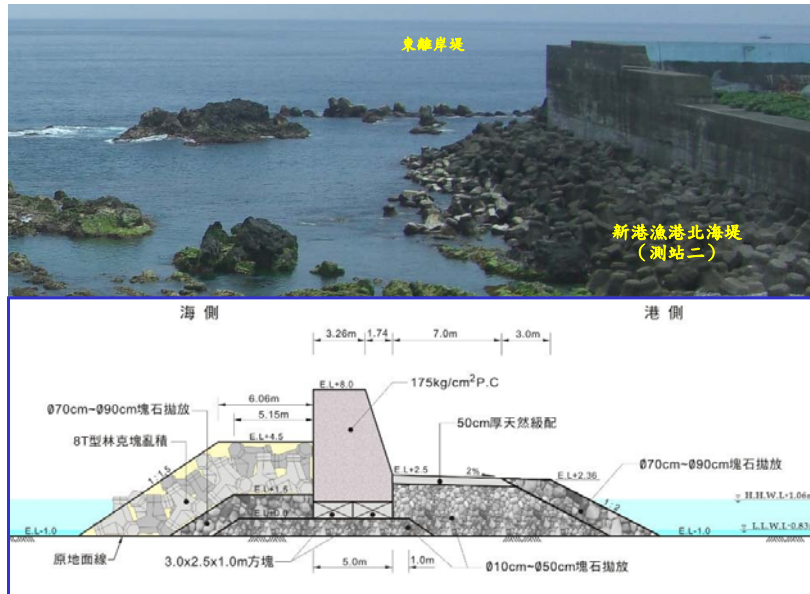
調查地點



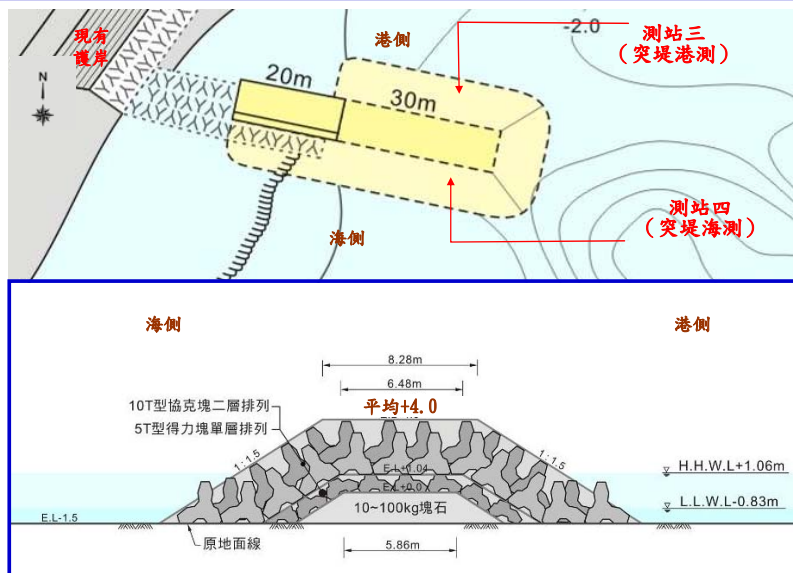
新港漁港北離岸堤標準斷面圖



新港漁港北海堤標準斷面圖



新蘭漁港突堤平面與斷面圖



水質分析結果(97年3月)

成功離岸堤(S1)新港海堤(S2)及新蘭突堤(S3&S4)附近水質分析

測站	水溫	鹽度	酸鹼度	溶氧量	溶氧飽和度	硝酸鹽	亞硝酸鹽	氨氮	磷酸鹽	濁度	光照度
No.	(C)	(psu)	pH	(mg/L)	(o/o)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(ntu)	($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)
S1-Sa	22.6	34.30	8.30	7.83	110.4	0.010	0.001	0.013	0.008	1.32	398
S1-Sb	22.5	34.32	8.27	7.51	105.7	0.026	0.005	0.056	0.001	1.47	34
S2-I	22.9	34.33	8.27	8.43	119.5	0.023	0.001	0.049	0.002	1.10	91
S3-I	22.5	34.08	8.32	8.10	113.9	0.009	0.001	0.011	0.003	0.51	63
S3-S	22.4	34.11	8.20	7.47	104.8	0.032	0.004	0.048	0.001	0.56	43
S4-I	22.5	33.95	8.28	8.06	113.2	0.014	0.002	0.021	0.002	0.57	21

水質分析結果(97年5月)

成功離岸堤(S1)新港海堤(S2)及新蘭突堤(S3&S4)附近水質分析

測站	水溫	鹽度	酸鹼度	溶氧量	溶氧飽和度	硝酸鹽	亞硝酸鹽	氨氮	磷酸鹽	濁度	光照度
No.	(C)	(psu)	pH	(mg/L)	(o/o)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(ntu)	($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)
S1-Sa	27.5	34.32	8.24	9.03	138.5	0.017	0.002	0.02	0.001	2.70	398
S1-Sb	27.4	34.26	8.25	8.89	136.0	0.011	0.002	0.02	0.001	2.26	269
S2-I	27.6	34.34	8.15	8.36	128.4	0.011	0.002	0.02	0.004	3.29	1257
S3-I	28.1	34.27	8.18	7.83	121.2	0.009	0.003	0.02	0.003	1.06	976
S3-S	27.9	34.30	8.18	7.84	121.0	0.007	0.003	0.02	0.002	0.93	754
S4-I	28.9	34.47	8.31	8.80	138.2	0.007	0.003	0.02	0.005	1.66	1278

水質分析結果(97年8月)

成功離岸堤(S1)新港海堤(S2)及新蘭突堤(S3&S4)附近水質分析

測站	水溫	鹽度	酸鹼度	溶氧量	溶氧飽和度	硝酸鹽	亞硝酸鹽	氨氮	磷酸鹽	濁度	光照度
No.	(C)	(psu)	pH	(mg/L)	(o/o)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(ntu)	($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)
S1-Sa	29.1	33.21	8.33	7.52	117.6	0.007	0.001	0.01	0.002	0.71	5093
S1-Sb	28.8	33.19	8.33	7.70	119.8	0.007	0.001	0.01	0.002	0.36	2264
S2-I	27.6	33.26	8.31	7.62	116.4	0.011	0.001	0.02	0.002	0.73	3290
S3-I	28.7	33.33	8.34	7.83	121.8	0.021	0.002	0.01	0.004	0.86	272
S3-S	28.7	33.38	8.38	8.10	126.0	0.007	0.001	0.01	0.002	1.62	293
S4-I	28.3	33.18	8.31	7.99	123.3	0.009	0.001	0.01	0.005	4.50	146

著生海藻調查結果(第一季：97年3月)

- ❖ 藻種種類：共3門11科18種海藻，包括綠藻門4科7種，褐藻門1科1種，紅藻門6科10種。
- ❖ 覆蓋率：各站覆蓋度介於1.2~14.75%，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(14.75%)最高；成功離岸堤及新港海堤(6.8~14.75%)>新蘭突堤(1.2~7.9%)。
- ❖ 藻種數量：各測站介於5~15種，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(15種)最高。
- ❖ 優勢藻種：無極優勢藻種，主要出現藻種為綠藻門石蓴及孔石蓴，成功離岸堤及新港海堤最高達10%，次為紅藻門珊瑚科寬扁叉節藻，豐富度介於3~5%。
- ❖ 新港海堤(測站二)、新蘭突堤南側(測站四)，因退潮時全部露出水面，故無潮下帶。



著生海藻調查結果(第二季：97年5月)

- ❖ **藻種種類**：共3門14科22種海藻，包括綠藻門5科9種，褐藻門2科2種，紅藻門7科11種。
- ❖ **覆蓋率**：各測站之覆蓋度介於1.3~52.41%，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(52.41%)最高；成功離岸堤及新港海堤(11.5~52.41%) > 新蘭突堤(1.3~16.81%)。
- ❖ **藻種數量**：各測站介於4~19種，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(19種)最高。成功離岸堤及新港海堤 > 新蘭突堤。
- ❖ **優勢藻種**：優勢藻種為紅藻門珊瑚科寬扁叉節藻，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(25%)，綠藻門孔石蓴亦較第一季為高(15%)。



著生海藻調查結果(第三季：97年8月)

- ❖ **藻種種類**：共3門10科12種海藻，包括綠藻門3科3種，褐藻門2科2種，紅藻門5科7種。
- ❖ **覆蓋率**：各測站之覆蓋度介於0.2~8.1%，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(8.1%)最高；新蘭突堤測站四最低(0.2%)。
- ❖ **藻種數量**：各測站介於1~9種，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(8種)最高。成功離岸堤及新港海堤 > 新蘭突堤。
- ❖ **優勢藻種**：主要出現藻種為紅藻門珊瑚藻科寬扁叉節藻，成功離岸堤測站一潮下帶3米內(5%)，綠藻門孔石蓴已消失。



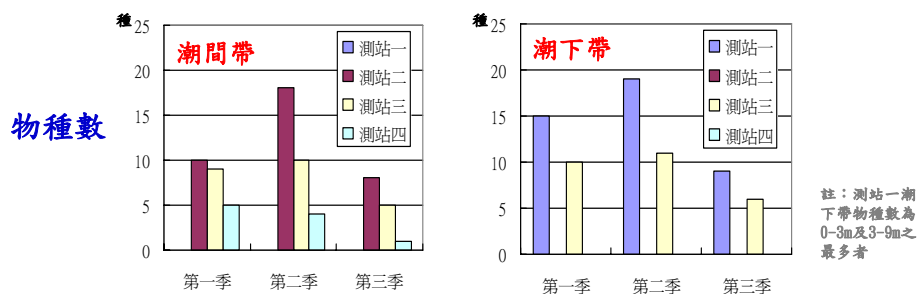
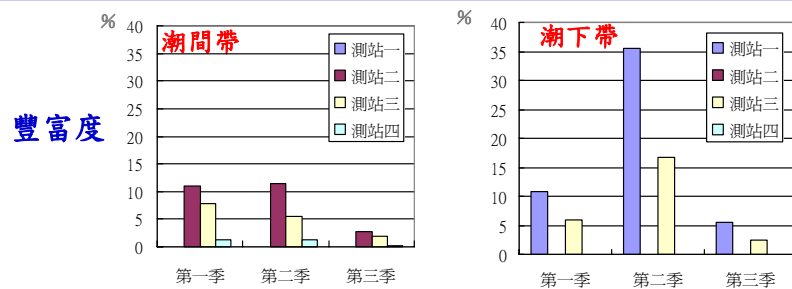
二. 生態環境相關性分析

依據生態環境調查結果以及文獻資料，歸納分析海岸生態與環境因子間之關係，並分析及提出應用在生態工程之建議案。

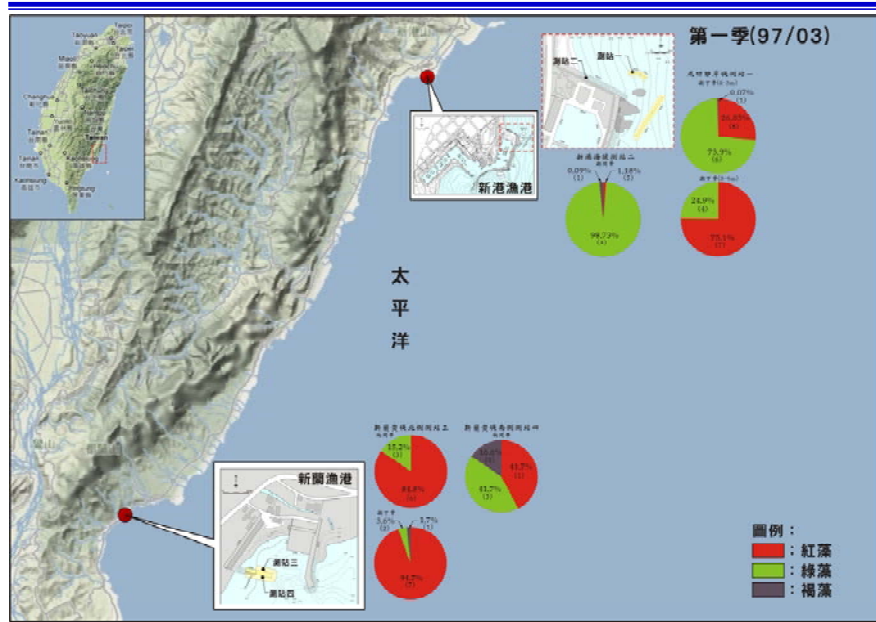
1. 海藻著生與結構物型式之關係。
2. 海藻著生與水質在季節性及地區性之差異性。

二、生態環境相關性分析

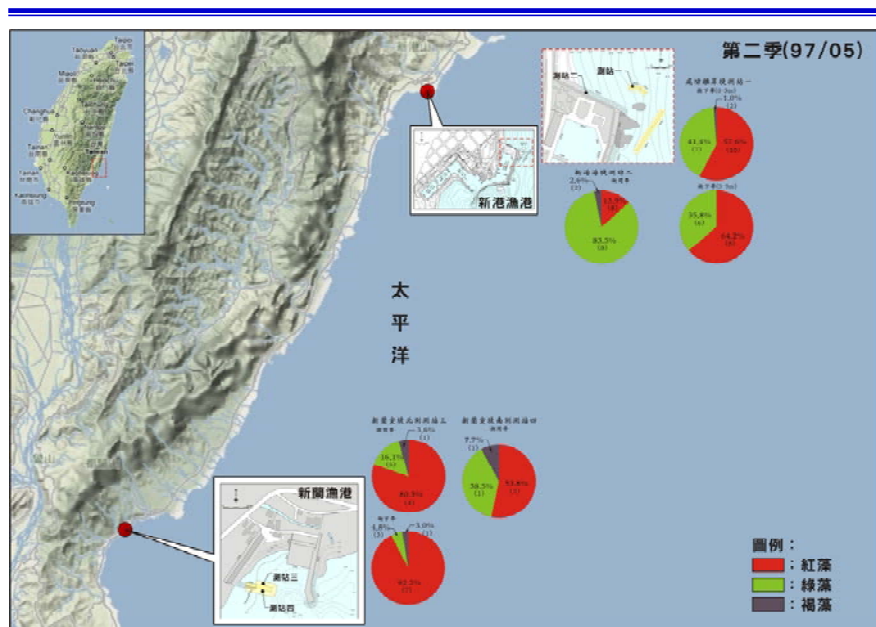
豐富度及物種數之季節性變化



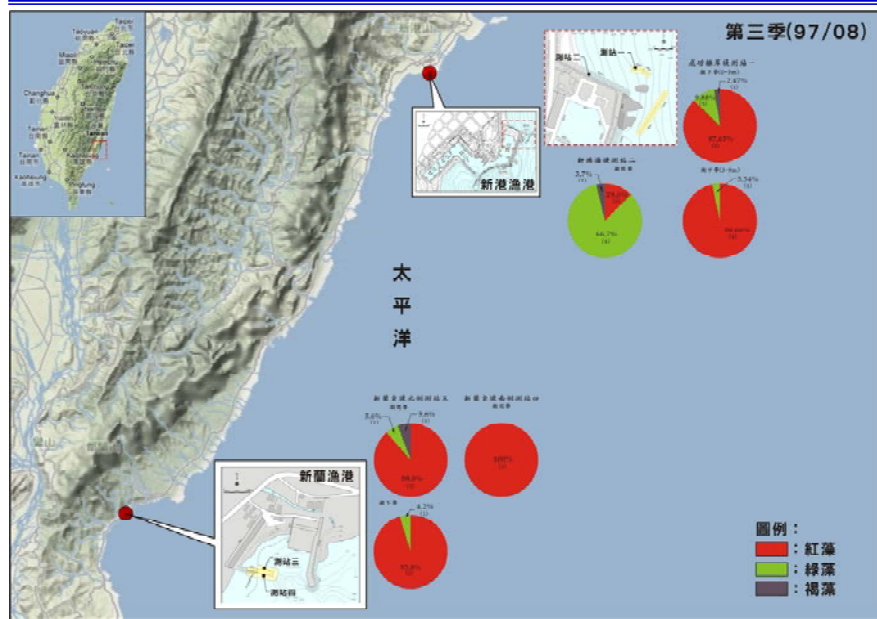
紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度比例(第一季)



紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度比例(第二季)

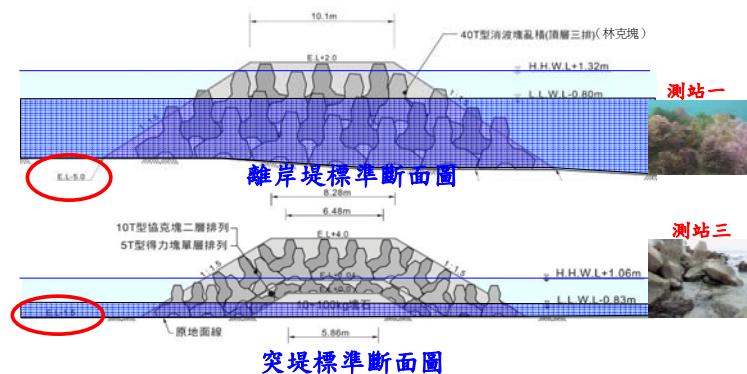


紅藻、綠藻及褐藻豐富度占各測站總豐富度比例(第三季)



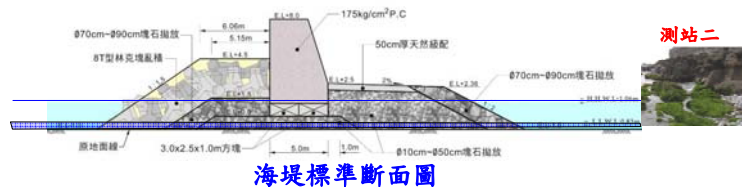
海藻著生與結構物形式關係

- ❖ 成功測站 (測站一) → 離岸堤 (平行海岸)
- ❖ 新港測站 → 海堤 (垂直海岸)、新蘭測站 (測站三及四) → 突堤 (垂直海岸)
- ❖ 第一季潮下帶總豐富度成功離岸堤測站一為10.79%、新蘭突堤北側測站三為5.82%
- ❖ 第二季潮下帶總豐富度成功離岸堤測站一為35.56%、新蘭突堤北側測站三為16.81%
- ❖ 第三季潮下帶總豐富度成功離岸堤測站一為 5.56%、新蘭突堤北側測站三為 2.4%
- ❖ 成功離岸堤 (測站一) 潮下帶總豐富度較同季次之新蘭突堤北側 (測站三) 為高。
- ❖ 較多暴露面積、足夠水深、浸水面積

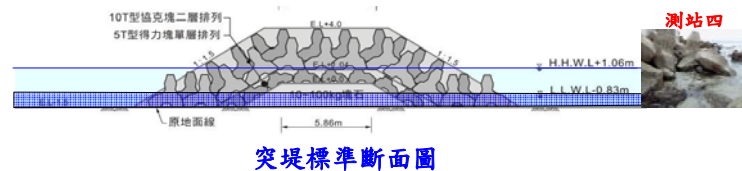


海藻著生與結構物形式關係

- ❖ 新港測站→海堤（垂直海岸）。新蘭測站→突堤（垂直海岸）
- ❖ 豐富度，第一季新港海堤11.04%、新蘭突堤7.9%~1.2%；第二季新港海堤11.5%、新蘭突堤5.6%~1.3%；第三季新港海堤2.7%、新蘭突堤0.2%~1.8%。
- ❖ 物種數，第一季新港海堤10種、新蘭突堤5~9種；第二季新港海堤18種、新蘭突堤4~10種；第三季新港海堤8種、新蘭突堤1~5種。
- ❖ 新港海堤（測站二）潮間帶總豐富度、物種數，都較同季次新蘭突堤（測站三、四）略高。



海堤標準斷面圖



突堤標準斷面圖

海藻著生與結構物形式關係（結構物兩側）

- ❖ 豐富度：第一季潮間帶港內(7.9%)>港外(1.2%)、第二季港內(5.6%)>港外(1.3%)
第三季潮間帶港內(1.8%)>港外(0.2%)
- ❖ 物種數：第一季潮間帶港內(9種)>港外(5種)、第二季港內(10種)>港外(4種)
第三季潮間帶港內(5種)>港外(1種)
- ❖ 海藻著生豐富度與物種數，突堤內側(港內)>突堤外側(港外)
- ❖ 水質環境相差不大，主要是位處港內外之差別。
- ❖ 突堤內側豐富度及物種數>突堤外側，東部海岸波向SE~SSE，波高0.5~1.0m、週期6~8秒。新蘭突堤海側向南，突堤外側波浪可能為0.5~1.0m，附近水深變淺、波浪易產生碎波；突堤北側屬港內，受防波堤遮蔽，港內波浪較小約0.1~0.3m。
- ❖ 影響突堤兩側海藻著生之差異，波浪為可能要因之一。



三. 不同地區海岸結構物海藻差異性分析

臺灣西、北與東部生態環境調查分析比較

1. 海藻優勢種分析
2. 海藻種類季節性變化比較
3. 海藻著生空間分佈及覆蓋率比較
4. 海藻著生效果與水質環境之差異性
5. 海藻豐富度與營養鹽、海藻豐富度與光照度、深度和濁度變化相關性分析。

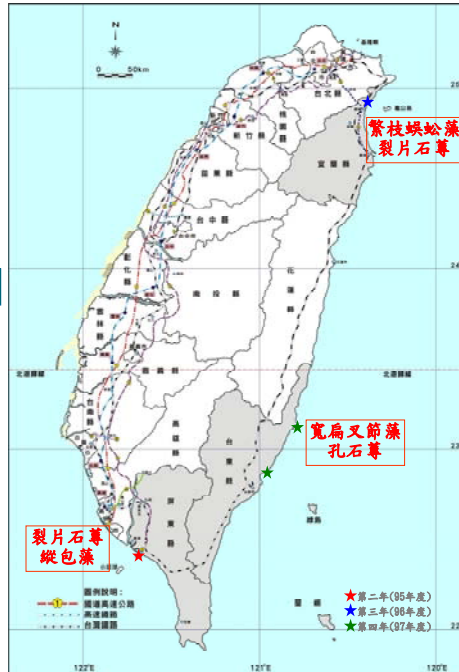


三、不同地區差異性

- ❖ 本研究所調查藻種為浪濤衝擊下常見的藻種，具有堅韌附著器。
- ❖ 台灣西及北部調查發現之蜈蚣藻，東部海域結構物並沒有發現，可能係因離岸堤之水深太深，或突堤及海堤等結構物浸泡海水之水深較淺，故沒有發現與台灣西部和北部調查發現的蜈蚣藻屬。

海藻著生豐富度>10%

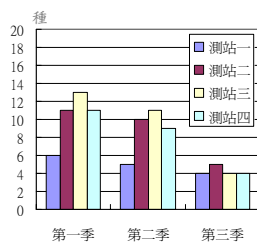
地點	潮間帶	潮下帶
西部屏東林邊及大鵬灣海岸	裂片石蓴 縱包藻 蜈蚣藻 羽狀蕨藻	裂片石蓴 多管藻 羽狀蕨藻
北部宜蘭頭城及烏石海岸	裂片石蓴	繁枝蜈蚣藻
東部台東成功及新蘭海岸		寬扁叉節藻 孔石蓴



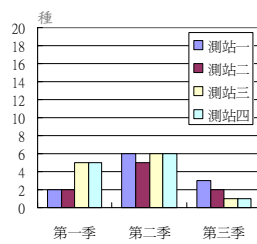
三、不同地區差異性

海岸結構物海藻著生物種數之季節性比較

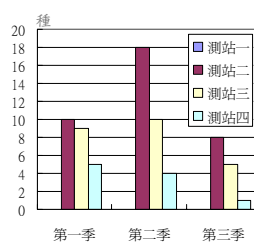
西部屏東林邊及大鵬灣海岸 潮間帶



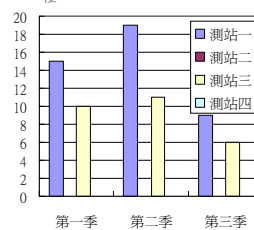
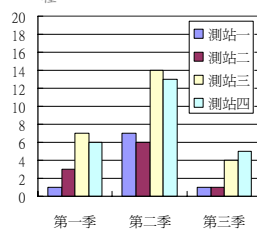
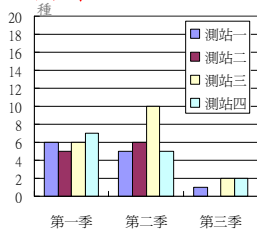
北部宜蘭烏石及頭城海岸



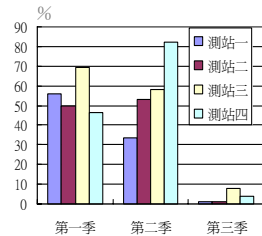
東部台東成功及新蘭海岸



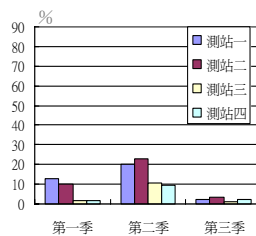
潮下帶



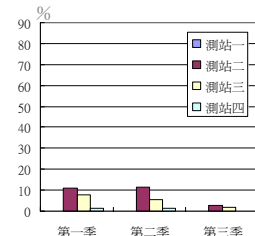
海岸結構物海藻著生豐富度之季節性比較

西部屏東林邊及大鵬灣海岸
潮間帶

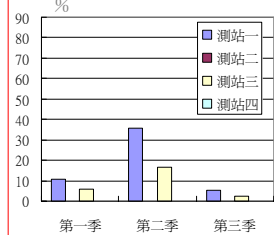
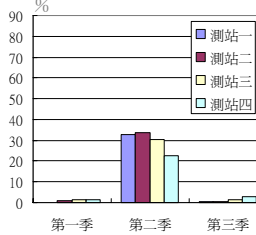
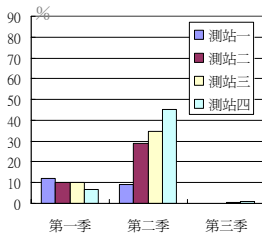
北部宜蘭烏石及頭城海岸



東部台東成功及新蘭海岸



潮下帶

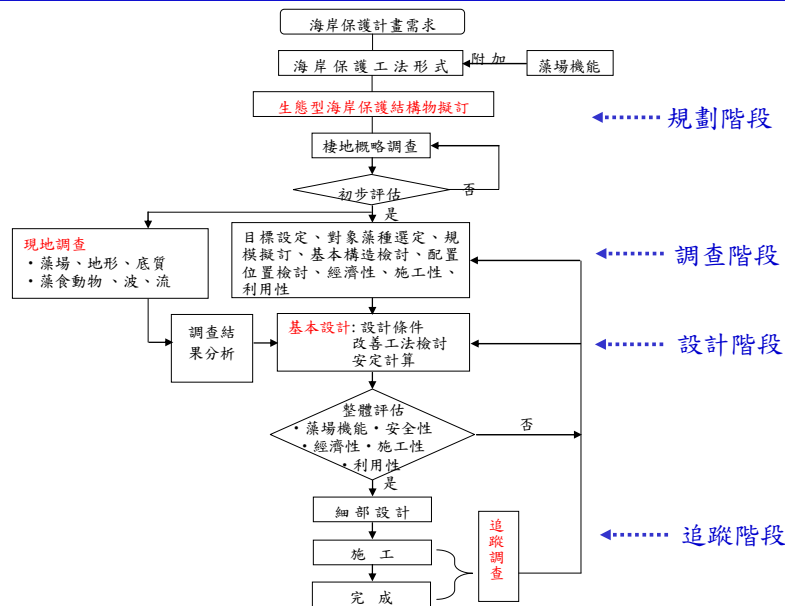


四．生態工法研擬

綜合臺灣不同地區海岸保護結構物之生態環境調查及分析結果，依據現有結構物型式，擬定適合臺灣不同地區發展藻場造成型海岸結構物。

1. 提出適合臺灣北部海岸海藻繁殖環境條件
2. 提出生態型海岸保護結構物建設檢討流程
3. 提出藻場造成型生態海岸保護結構物之設計流程

生態型海岸保護結構物之設計流程



影響海藻生育的環境因子及控制難易度

- ❖ 藻場造成時，為增加繁殖須對海藻生育可能性進行研判，然海藻生育受許多因素影響，包括物理要因、化學要因及生物要因等，且由於海藻之生育分佈很少受單一因素強烈影響，也就是受各種環境要因相互交合影響。
- ❖ 對研擬消除或減低對象海藻分佈之阻礙因素時，如營養鹽濃度、鹽份、溶氧量等化學要因，及海水溫度、海水透明度之物理要因，並非人力可抑制或控制，另有些可以人為方式達成增加藻場造成可能性，但須耗費相當費用，就永續維持藻場而言，基本上並不經濟，故研擬藻場附加之機能時，必須注意藻場造成之經濟效益研判。

影響因子分類	環境要因	控制難易度
物理要因	基質、波浪、潮流、光量	○
	懸浮質	△
	光（日射量）、海水水溫、降雨	×
生物要因	藻食動物之食害	△
	藻食魚類之食害	×
	藻類間之附著生物之競合	○
化學要因	鹽份、DO、營養鹽、污染	×

註：○容易控制、△有可能控制、×無法控制

資料來源：藻場の海藻と造成技術，能登谷正浩編著，2003。

影響海藻生育環境因子之改善工法

- ❖ 在藻場機能附加之人工輔助中，至少應有對海藻繁殖是有幫助
- ❖ 選定適合種類，創造該種適合繁殖的條件
- ❖ 周邊海域自然海岸海藻分佈狀況或類似既設構造物中海藻繁殖狀況
- ❖ 在最適當時機實施藻場造成之作業

限制要因	改善工法
光	基質投入
	傾斜堤化、緩傾斜堤
	付加小段之消波工
	緩坡度消波工
波、流	潛堤
	人工潛礁
著生基盤	基質投入
	改變基質表面形狀
砂的變動	防砂堤、藻礁
水質	導流堤
藻食動物	設置圍網
	流況之控制
	控制藻場與水面之距離
附著生物之競合問題	施工時期之掌控

西部海岸對象海藻繁殖環境條件資料表

基本環境條件	裂片石蓴
生育水深 (m)	0~1m及潮間帶
底質 (石塊或消波塊)	一般消波塊或礁石皆適合
鹽度範圍 (psu)	30~35 (31.2~33.25)
水溫範圍 (°C)	22~28 (23.7~28.1)
光照度範圍 ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	390~1,600 (503~1394)
生育濁度範圍 (ntu)	4.5~15.2 (0.59~10.6)
成體藻長	10~25 cm
壽命	數週
生長期	2~5 月
成熟期	2~5 月
生態照片	
建議適用區域	屏東林邊及大鵬灣地區砂質海底

設計案例：屏東大鵬灣地區砂質海底之海域（導流堤）

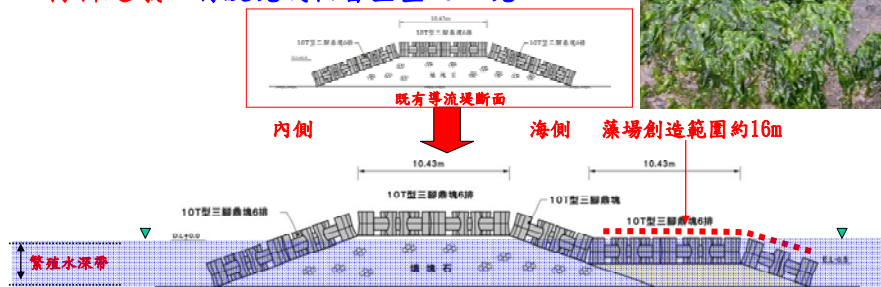
➤構造形式考量：

- ◆ 當地呈侵蝕，海岸漂沙量不足。
- ◆ 位於導流堤海側。
- ◆ 裂片石蓴繁殖生育水深帶為潮間帶及0~-1.0m。
- ◆ 在既有斷面海側，增加適合其繁殖之水深約0~-1.0m之基質範圍段及配合潮間帶之大小，營造適合生長環境。

對策：基本斷面形狀改良

➤期待藻場創造面積：約16 m²/m

➤材料建議：消波塊或相當重量之石塊



設計案例：屏東林邊地區砂質海底之海域（離岸堤）

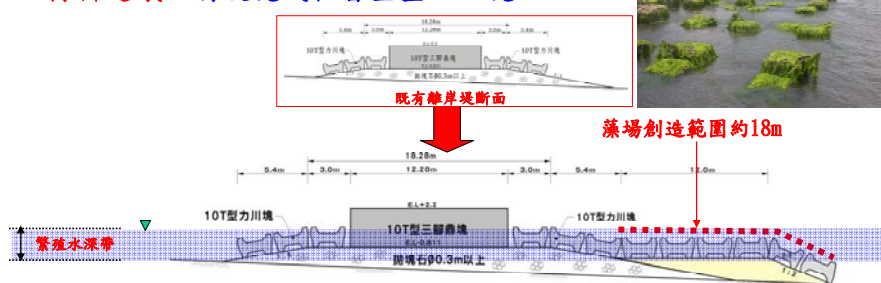
➤構造形式考量：

- ◆ 位於離岸堤後側，受離岸堤之遮蔽，靜穩度較高。
- ◆ 裂片石蓴繁殖生育水深帶為潮間帶及0~-1.0m。
- ◆ 在既有斷面岸側，增加適合其繁殖之水深約0~-1.0m之基質範圍段及配合潮間帶之大小，營造適合生長環境。

對策：基本斷面形狀改良

➤期待藻場創造面積：約18 m²/m

➤材料建議：消波塊或相當重量之石塊



北部海岸對象海藻繁殖環境條件資料表

基本環境條件	裂片石蓴	繁枝蜈蚣藻
生育水深 (m)	0~1m及潮間帶	1~2m及潮間帶下部
底質 (石塊或消波塊)	一般消波塊或 礁石皆適合	一般消波塊或 礁石皆適合
鹽度範圍 (psu)	30~35 (31.2~33.25)	30~35 (33.86~34.50)
水溫範圍 (°C)	22~28 (23.7~28.1)	22~28 (23.6~28.2)
光照度範圍 ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	390~1,600 (503~1394)	390~1,600 (834~1520)
生育濁度範圍 (ntu)	4.5~15.2 (0.59~10.6)	4.5~15.2 (1.05~5.22)
成體藻長	10~25 cm	5~12 cm
壽命	數週	1至數月
生長期	2~5 月	2~5 月
成熟期	2~5 月	2~5 月
生態照片		
建議適用區域	宜蘭頭城地區砂質海底之突堤	宜蘭烏石漁港大坑海堤砂質海底之離岸堤

設計案例：宜蘭頭城地區砂質海底之海域（突堤）

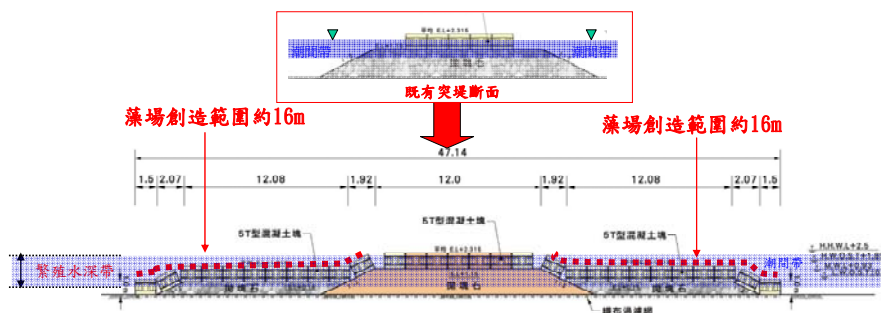
➤構造形式考量：

對策：基本斷面形狀改良

- ◆ 當地呈侵蝕，海岸漂沙量不足。
- ◆ 位於T型突堤後側的垂直段，受T型突堤平行段之遮蔽，靜穩度較高。
- ◆ 裂片石蓴繁殖生育水深帶為潮間帶及0~-1.0m。
- ◆ 在既有斷面兩側，增加適合其繁殖之水深約-0.5m之基質範圍段及配合潮間帶之大小，營造適合生長環境。

➤期待藻場創造面積：約 $16 \times 2 = 32 \text{ m}^2/\text{m}$

➤材料建議：消波塊或相當重量之石塊



設計案例：宜蘭烏石漁港大坑海堤前砂質海底之海域（離岸堤）

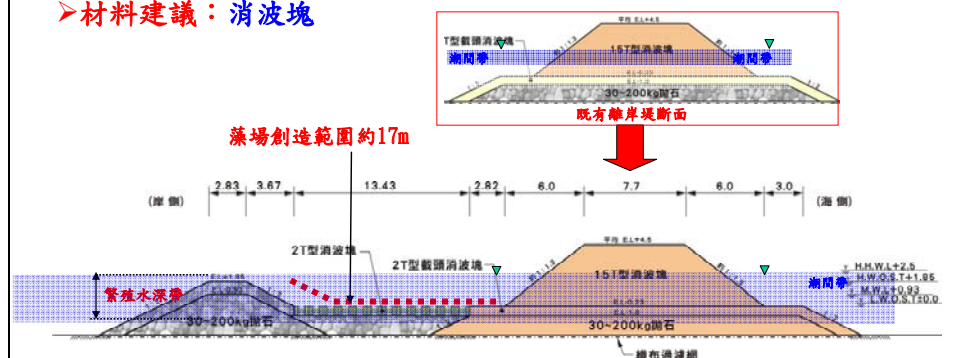
➤ 構造形式考量：

對策：基本斷面形狀改良

- ◆ 位於離岸堤後側，受離岸堤之遮蔽，靜穩度較高。
- ◆ 離岸堤後側為養灘區域，需考量離岸堤後側淤沙及濁度之影響。
- ◆ 繁枝蜈蚣藻繁殖生育水深帶為潮間帶下部及-1~-2.0m。
- ◆ 在既有離岸堤內側，增加適合其繁殖之水深約-1.0m之平台段及配合潮間帶之大小，營造適合生長環境。

➤期待藻場創造面積：約17 m²/m

➤材料建議：消波塊



東部海岸對象海藻繁殖環境條件資料表

基本環境條件	寬扁叉節藻	石蓴
生育水深 (m)	2~6m之潮下帶	0~2m及潮間帶
底質 (石塊或消波塊)	一般消波塊或 礫石皆適合	一般消波塊或 礫石皆適合
鹽度範圍 (psu)	30~35 (33.19~34.32)	30~35 (33.26~34.34)
水溫範圍 (°C)	22~28 (22.5~29.1)	22~28 (22.9~27.6)
光照度範圍 ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	60~1,200 (34~5093)	25~1,200 (91~3290)
生育濁度範圍 (ntu)	0.0~1.0 (0.36~2.70)	0.0~1.0 (0.73~3.29)
成體藻長	5~10 cm	12~20 cm
壽命	3~6 月	1~3 月
生長期	2~6 月	3~5 月
成熟期	2~6 月	3~5 月
生態照片		
建議適用區域	台東成功岩質海底	台東成功岩質海底

設計案例：台東成功地區岩質海底之海域（海堤）

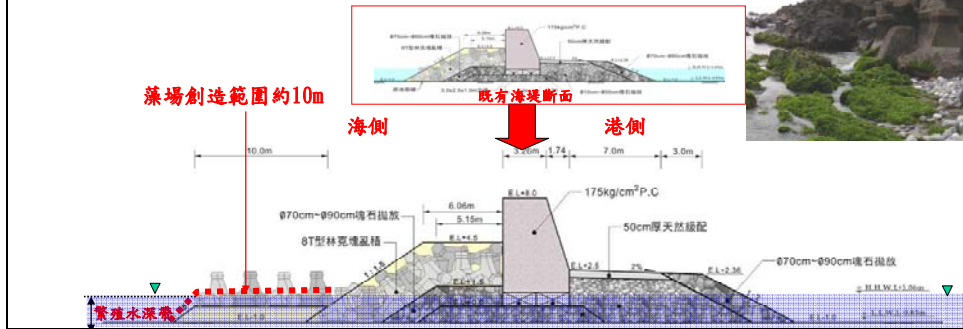
➤構造形式考量：

對策：基本斷面形狀改良

- ◆ 當地岩質海岸，卵礫石海灘，無漂砂問題。
- ◆ 位於海堤北側，較不受南側夏季季風浪影響，波浪較小、穩靜度較高。
- ◆ 石蓴繁殖生育水深帶為潮間帶及0~-2.0m。
- ◆ 在既有斷面海側基礎，增加適合其繁殖之水深約0~-0.5m之基質範圍段及配合潮間帶之大小，營造適合生長環境。

➤期待藻場創造面積：約10 m²/m

➤材料建議：消波塊或相當重量之石塊



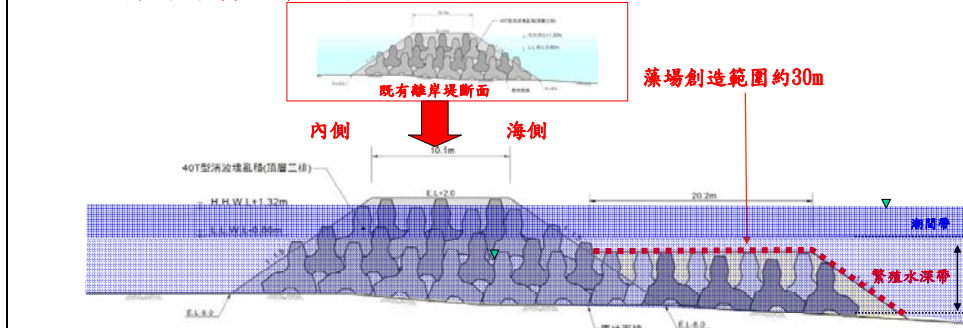
設計案例：台東成功地區岩質海底之海域（離岸堤）

➤構造形式考量：

- ◆ 位於離岸堤海側之水深較深區域。
- ◆ 考量離岸堤附近水深坡陡，需考量波浪對基質穩定之影響。
- ◆ 寬扁叉節藻繁殖生育水深帶為潮下帶及-2~-6.0m。
- ◆ 在既有離岸堤海側，增加適合其繁殖之水深約-2~-6.0m之大小，營造適合生長環境。

➤期待藻場創造面積：約30 m²/m

➤材料建議：消波塊



五. 系列潛堤特性探討

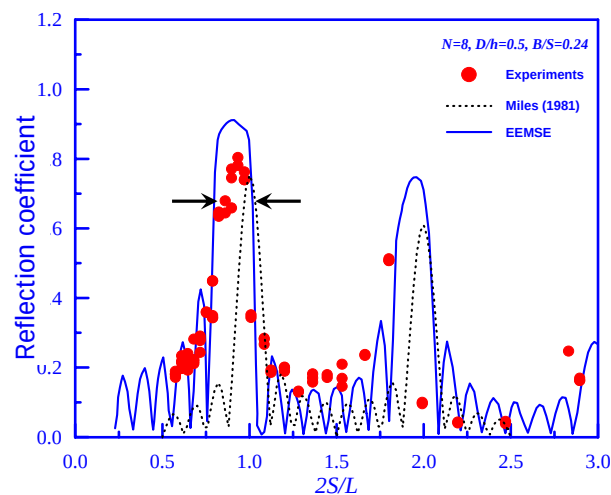
目的：

利用系列潛堤不同間距的組合，探討系列潛堤布拉格反射之特性，並以三組以上之系列潛堤組合，探討是否能達到布拉格反射強度增大以及帶寬增加之效果。

研究方法：

以模式模擬計算方式分析，以Miles' (1981)理論為基礎加以推導以及以 EEMSE (Hsu et al., 2003) 模式配合比較驗證。

Bragg 反射



Miles 理論

Miles' theory (1981) $R = \frac{2\alpha}{ik \cos \theta} \left[(k \cos \theta)^2 - (k \sin \theta)^2 \right] \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) e^{2ik \cos \theta x} dx \quad (1)$

(Cylindrical obstacle)

Undulation bed

(Artificial bars)

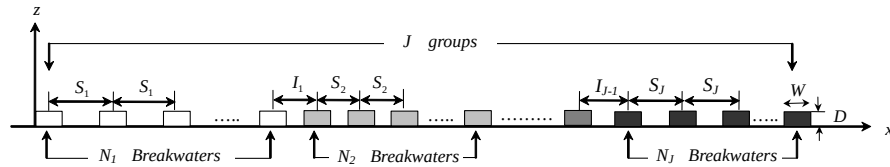
$$\delta(x) = \begin{cases} D, & (j-1)S_1 \leq x \leq (j-1)S_1 + W, \quad j=1, 2, \dots, N_1 \\ D, & N_1 S_1 + I_1 + (j-1)S_2 \leq x \leq N_1 S_1 + I_1 + (j-1)S_2 + W, \\ & j=1, 2, \dots, N_2 \\ \vdots & \vdots \\ D, & \sum_{p=1}^{j-1} (N_p S_p + I_p) + (j-1)S_j \leq x \\ & \leq \sum_{p=1}^{j-1} (N_p S_p + I_p) + (j-1)S_j + W, \quad j=1, 2, \dots, N_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

Reflection coefficients $R = \frac{2\alpha D}{k_x^2} (k_x^2 - k_y^2) \sin(k_x W)$

$$R = \frac{2\alpha D}{k_x^2} (k_x^2 - k_y^2) \sin(k_x W) \times \sqrt{\sum_{j=1}^J A_j^2 + 2 \sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})} \quad (4)$$

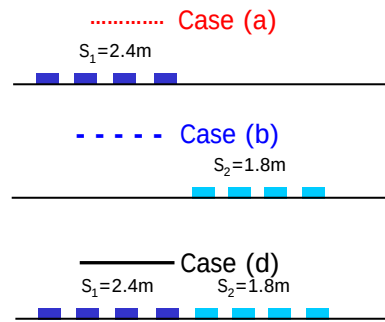
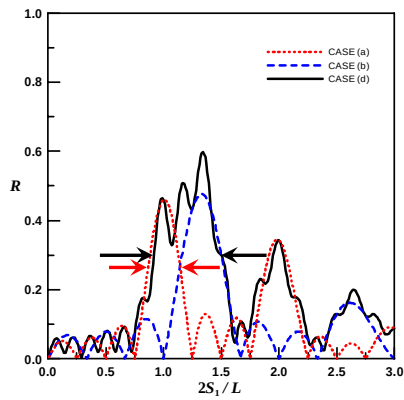
$$\times \sqrt{\sum_{j=1}^J A_j^2 + 2 \sum_{p=1}^{J-1} \sum_{q=p+1}^J A_p A_q \cos(k_x \chi_{pq})}$$

佈置方式與計算條件



Case	N_1	N_2	N_3	N_4	J	N	S_1	S_2	S_3	S_4	I_j	h	D	W
(a)	4				1	4	2.4					0.6	0.24	0.6
(b)		4			1	4		1.8				0.6	0.24	0.6
(c)			4		1	4			1.6			0.6	0.24	0.6
(d)	4	4			2	8	2.4	1.8			2.4	0.6	0.24	0.6
(e)	4	4	4		3	12	2.4	1.8	1.6		2.4	0.6	0.24	0.6
(f)	4	4	4		3	12	2.4	2.1	1.8		2.4	0.6	0.24	0.6
(g)	4	4	4		3	12	2.4	2.0	1.6		2.4	0.6	0.24	0.6
(h)	3	3	3	3	4	12	2.4	2.1	1.8	1.5	2.4	0.6	0.24	0.6

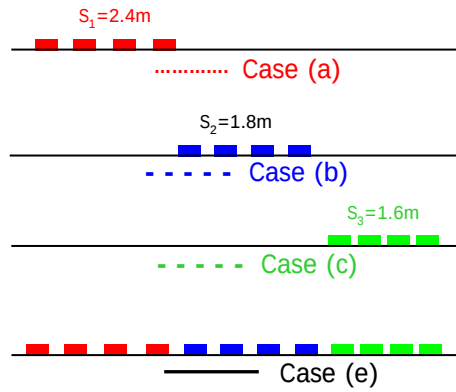
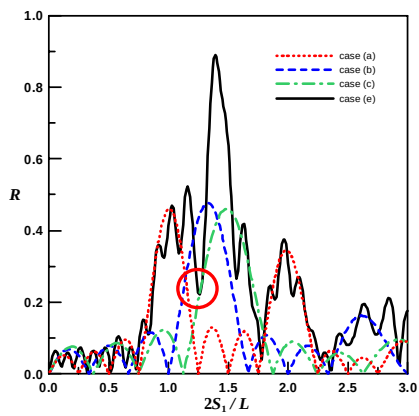
2 群系列潛堤



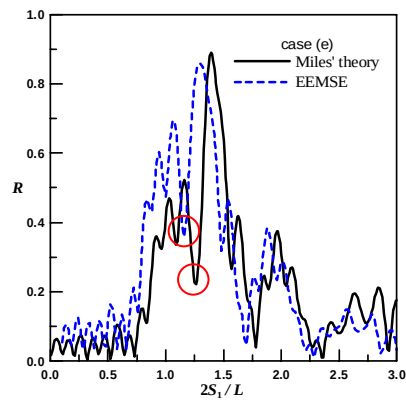
The reflection coefficients of case (d) seem to be superposed by case (a) and case (b).

The Bragg reflection of case (d) could produce a larger bandwidth and enhance the intensity by comparing with cases (a) and (b)

3 群系列潛堤



Miles理論與EEMSE結果比較



Case (e)

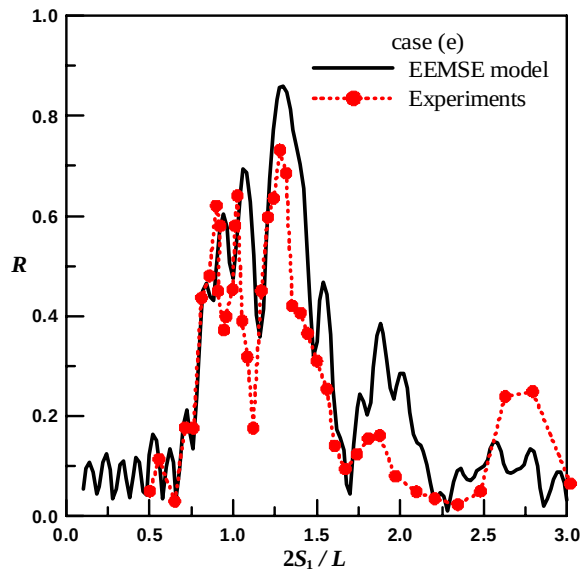
 $S_1=2.4\text{m}$ $S_2=1.8\text{m}$ $S_3=1.6\text{m}$

The oscillated trends of reflection coefficients are similar under both the theoretical and numerical methods.

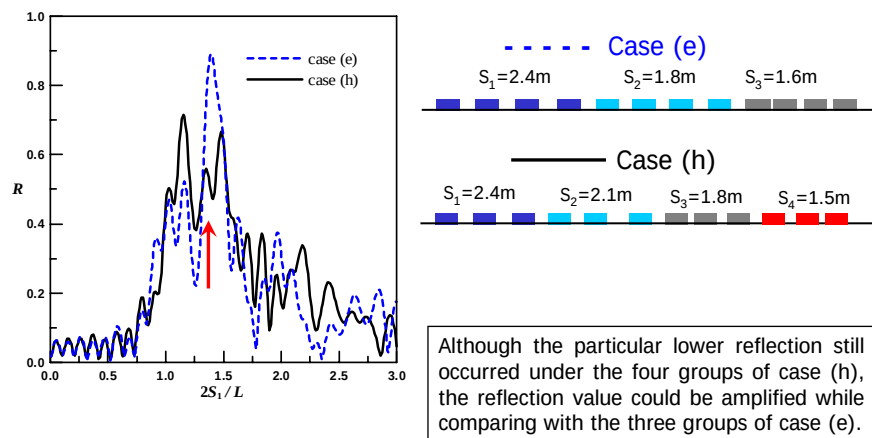
The lower reflection coefficient can also be found in the results of EEMSE.

This shift of EEMSE is arisen from the changes of wave celerity for waves passing over undulating bottom but it is assumed to be a constant value in Miles' theory.

試驗驗證結果



3 群與4群 系列潛堤

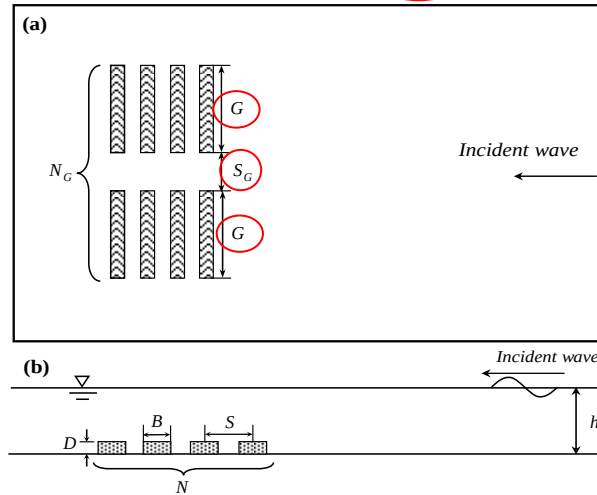


六. 系列潛堤保護工法現場設計

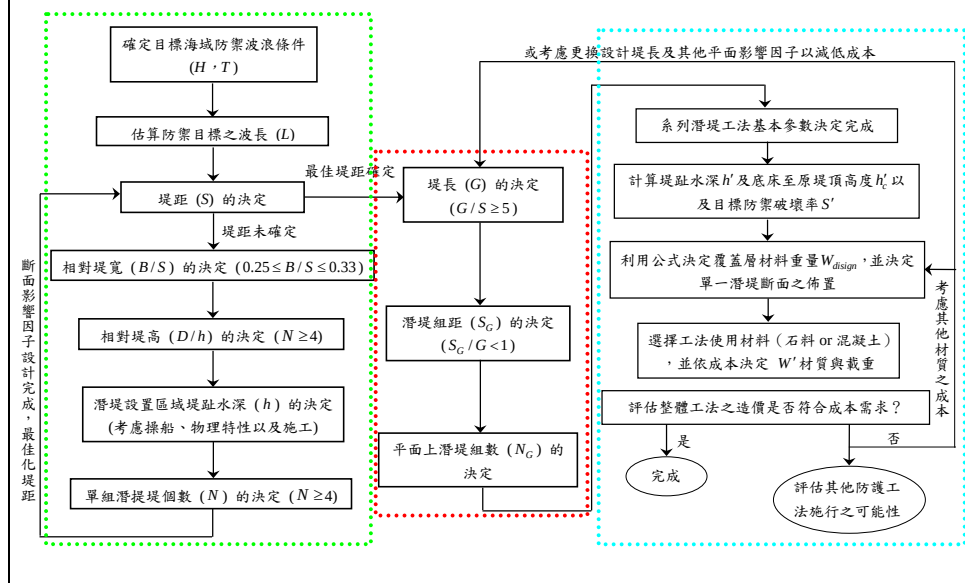
1. 以Hsu et al. (2003) EEMSE模式，進行波浪通過系列潛堤平面二維布置之布拉格反射研究，探討各種影響因子間之相關性。
2. 並根據斷面及平面的研究結果，提出系列潛堤現場設計之步驟及方法，設計系列潛堤於臺灣海岸現場，以數值模擬計算方式，探討海岸保護之效果。

平面上布拉格共振因子示意圖

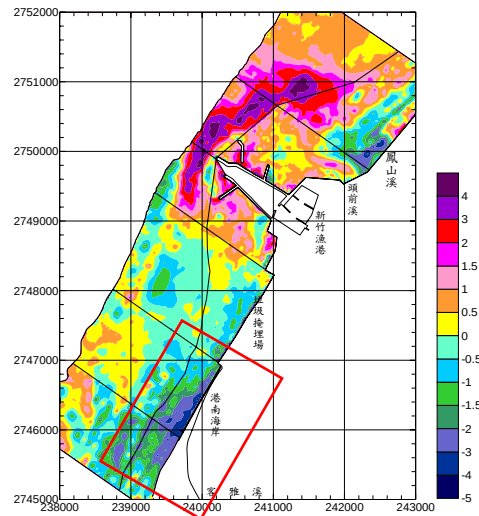
$$F' = f_1(D/h, G/S, 2S/L, B/S, S_G/G, N, N_G, \tan \beta)$$



系列潛堤工法佈置設計流程



現場模擬 - 新竹港南海域



現場海域佈置系列潛堤工法相關參數

- 以10年回歸週期之颱風波浪作為設計條件

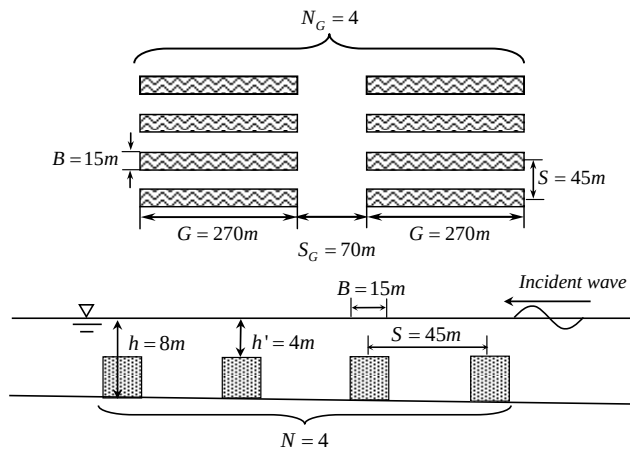
$$H = 6.6\text{m}$$

$$T = 10.6\text{sec}$$

$$L \approx 90\text{m}$$

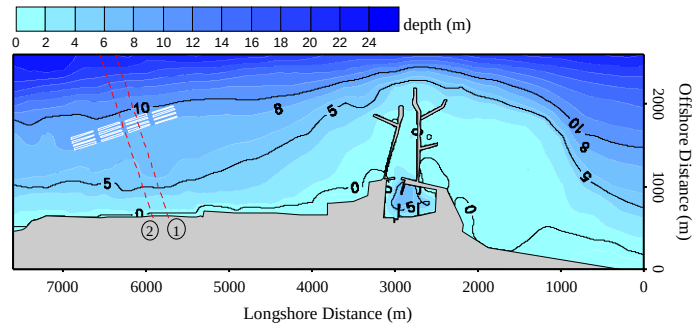
$$S = 45\text{m}$$

$$h = 8\text{m}$$

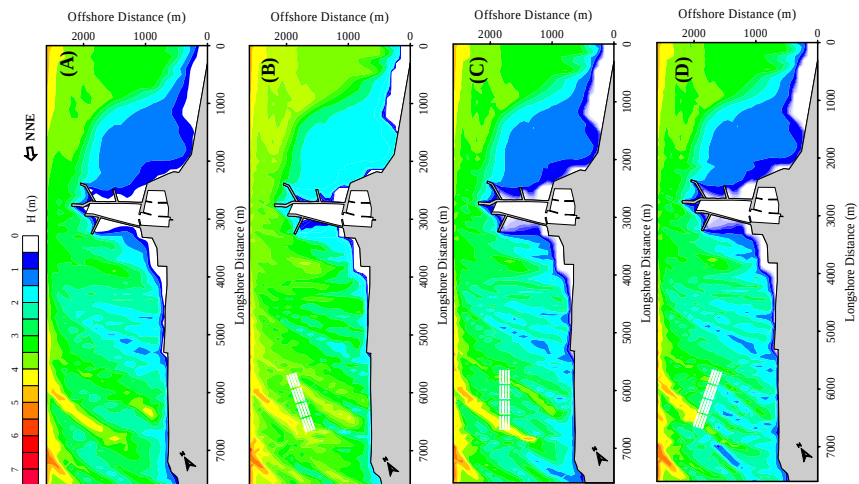


港南海域附近系列潛堤佈置示意圖

輸入條件	波高 H (m)	週期 T (sec)	波向	水位 (m)
夏季季風	0.83	4.95	WSW	+0.22
冬季季風	1.27	5.28	N	+0.22
10 年迴歸期颱風	6.60	10.6	NNE	+1.91
50 年迴歸期颱風	9.10	12.7	NNE	+1.91



不同潛堤布置方向颱風波浪作用之波場分佈

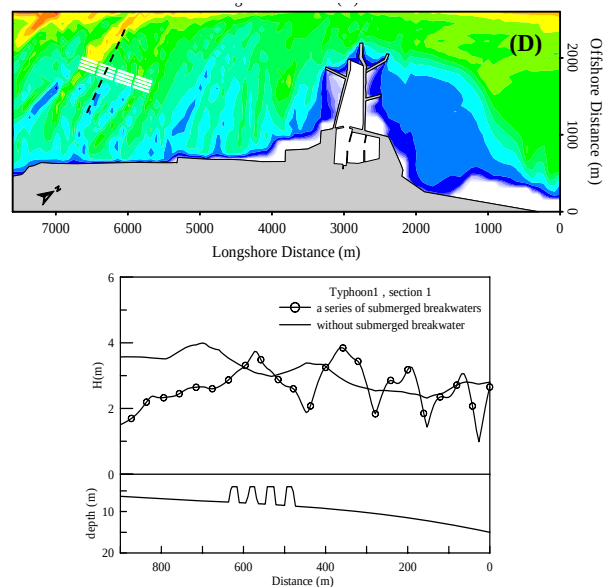


不同佈置下相對能量透過率之比較表

	方案1 平行等深線	方案2 平行海岸線	方案3 順時針旋轉與 海岸線夾18度
夏季季風	0.8322	0.8841	0.8508
冬季季風	0.8381	0.8141	0.8340
10年迴歸期颱風	0.7972	0.7306	0.5646
50年迴歸期颱風	0.6398	0.6084	0.5072

堤後相對能量透過率：
$$E'_S = \sum_j (H_t)_j^2 / \sum_j (H_o)_j^2$$

斷面波高分佈比較圖

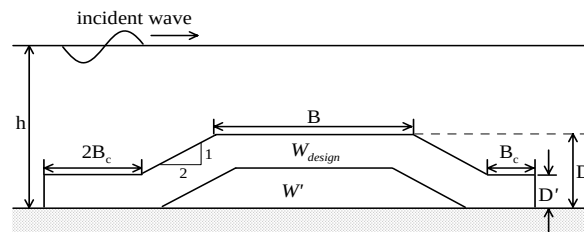


安全性估算與斷面設計

表面載重：採用 Givler & Sorensen, Van der Meer (1990)

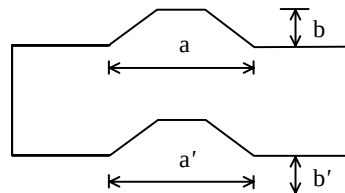
h'_c	h	S	H_s/L_s	N_s^*	d_{n50}	W
5.1m	9.1m	2	0.037	10.085	0.894	1.644

$$W_{design} = 2W \approx 3.3t, B_c = 0.25B, W' = W_{design} / 200 = 16.5kg$$

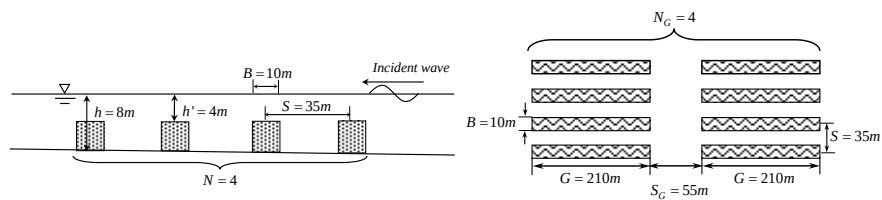


潛堤材質的選擇與成本的初步估算

- 潛堤材質的選擇：方塊



- 成本估算：設計堤長仿照計畫於現場系列潛堤之設計



成本的初步估算

區域	面積 (m ²)	堤長 (m)	體積 (m ³)	價格(3000psi)
覆蓋層(第一座)	56	210	11760	19,639,200
覆蓋層	51	210	10710	17,885,700
堤心	28	210	5880	9,819,600
堤底(第一座)	7035			844,200
堤底	6510			781,200

■ 單組潛堤 N = 4 價格初步估算表

項目	第一座單價(元)	後列單價(元)	堤心單價(元)	數量	複價(元)
系列潛堤	19,639,200	17,885,700	781,200	4	79,608,900

結 論 (1/4)

1. 本研究於臺灣東部對象海岸，分三季次調查離岸堤和突堤之人工結構物，共發現22種海藻，分屬於綠藻門5科9種、褐藻門2科2種、紅藻門7科11種，皆為浪濤衝擊下常見的海藻種。**第一季無優勢藻種**，以綠藻門石蓴、孔石蓴覆蓋率最高（15%），**第二季優勢藻種**為紅藻門珊瑚藻科寬扁叉節藻，覆蓋率可達25%，**第三季亦無優勢藻種**，以紅藻門珊瑚藻科寬扁叉節藻覆蓋率最高（5%）。
2. 不同地點測站及不同水深測點，以**第二季總豐富較高**。四測站中以**成功離岸堤之海藻總豐富度及物種數最高**，檢討結構物與潮位間之關係，成功離岸堤因設置水深較深，結構物相對受潮水影響之時間較長。海藻著生豐富度與物種數，於**新蘭突堤內側(港內)大於突堤外側(港外)**，推斷突堤兩側之波浪大小，可能為影響海藻著生要因。

結 論 (2/4)

3. 在海岸結構物著生海藻之種類季節性變化特性，北部宜蘭頭城海岸在3月及5月之變化，較西部屏東海岸、東部台東海岸之變化為大，至於第三季則無論西部、北部及東部海岸結構物之海藻種類與數量，皆有相同大量下滑趨勢。西部屏東林邊及大鵬灣海岸結構物之海藻著生豐富度較北部及東部測站高。
4. 臺灣西部、北部及東部依目前生態水質環境，均適宜於現有海岸保護工延伸藻類附著生長之結構物，以發展附加藻場機能之生態工。屏東林邊離岸堤、大鵬灣導流堤以及宜蘭頭城突堤附近，建議對象藻類為綠藻門裂片石蓴；宜蘭烏石離岸堤附近，建議對象藻類為紅藻門繁枝蜈蚣藻；東部台東新港海堤附近，建議對象藻類為綠藻門之石蓴；台東成功離岸堤附近，建議對象藻類為紅藻門寬扁叉節藻。

結 論 (3/4)

5. 以Miles (1981)的理論作為波浪通過潛堤反射率的運算工具，比其他複雜的數值模式更為簡單及快速，使其應用至實際工程作初步設計更有效率。系列潛堤的堤間距以及各群潛堤組合方式，對於反射率分佈的條件位置、反射率的大小、反射率的帶寬以及震盪的型態，均扮演重要的角色。布拉格反射的帶寬以及強度均會隨著潛堤的群數增加而增加。系列潛堤由三群不同間距潛堤所組成時，在布拉格反射發生的條件，會發生特別的反射率低值。

結 論 (4/4)

6. 依據本研究在系列潛堤工法所提出包含斷面布置以及平面布置設計步驟及方法，設計布置潛堤至特定新竹港南海域作為海岸保護工，以數值模擬方式計算分析及評估，顯示於特定海域，針對該海域水深地形以及侵襲波浪條件，作適當的系列潛堤設計布置，均能達到波浪防禦的效果。此外，本研究提出考量施工材料選擇、潛堤斷面設計、工法安定性以及造價成本分析之設計步驟、方法以及流程圖，提供未來進行系列潛堤工法相關研究、設計以及施工單位之參酌。

報告完畢、敬請指教

交通部運輸研究所自辦研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-97-H2DA004 臺灣地區鄰港海岸環境保護及監測調查研究(4/4)

執行單位：交通部運輸研究所港研中心

審查委員及其所提之意見(依發言順序)	計畫執行單位處理情形
一、李忠潘委員： - 圖 8-12~8-24 數值計算結果的週期間隔太大，致使曲線變化趨勢不明顯，建議加強計算。 - 有系列潛堤的能量透過率大於 1 的物理意義為何？是否有誤？ - 請確認圖 4-2(a)第 1 季的圖內，有一點與其他點群不同的準確性。 - 表 2-4 可否 update 至 2008 年？ - 能結合目前海岸硬體構造物上的生態特性研究，與未來海岸構造物的設計，將能兼顧生態與安全。	- 已將計算週期減小再計算分析。 - 本研究能量透過率計算為潛堤及群間距後方範圍，透過率大於 1 可能是波浪透過堤間距聚焦引起。 - 由於第一季光照度大多低於 100，只有測站一為 398，導致統計回歸線出現本研究趨勢。 - 經徵詢相關單位，只有目前表中之資料值。 - 本研究所提出附加生態機能之工法，即結合生態及安全性。
二、郭一羽委員： - 強調本計畫與鄰港環境有關係。 - 海藻在第 2 季以後即消失為一般常識，不用特別強調。 - 生態復育對地點的建議不如對棲地條件的建議。 - 對系列潛堤的應用，應考慮工程技術以外的問題。 - 此研究為環境保護方面的先驅研究，可提供以後後續研究和現地應用參考。 - 應先尋求可建造系列潛堤的適當地點(工程技術以外的考量)。 - 繼續建立海藻的棲地圈子。	- 本研究研究之對象海岸均以鄰港地區為主，將於文章中再強調。 - 將修正。 - 棲地條件由調查分析結果得知，對於棲地條件的建議可參考表 6-2 及表 6-3。 - 請參考第九章施工成本考量，第八章設計時亦已考量船隻航行之安全性。 - 謝謝肯定，成果將提供相關單位參酌。 - 今年度以特定區域新竹港南海岸作規劃設計，證實系列潛堤海岸保護之可行性，未來研究考慮朝適當地點作

8. 應有景觀方面的研究。	探討，建議納入未來研究方向。 7. 建議納入未來研究方向。 8. 建議納入未來研究方向。
三、李兆芳委員： 1. 研究以海岸環境為主題，在海藻生長花很多心力研究分析。 2. 保護工法直接切入系列潛堤，建議在後續加入海藻柔性和消能特性，繼續研究保護工法直接切入系列潛堤，建議在後續加入海藻柔性和消能特性，繼續研究。 3. 研究以海岸環境為主題，合乎目前研究趨勢。 4. 保護工法直接採用系列潛堤，和所調查海藻生態關聯性較低。 5. 所採用系列潛堤之研究，可加入海藻柔性消能特性，加以討論。	1. 謝謝肯定。 2. 建議納入未來研究方向。 3. 謝謝肯定。 4. 系列潛堤與海藻關連性於第七章前言中說明。 5. 建議納入未來研究方向。
四、蔡清標委員： 1. 本研究分析海岸結構物與生態系間的相關性，至建議具生態功能之結構物設計需考量之因素。另一方面研究系列潛堤在海岸保護之可行性，具有研究成效。 2. 參考文獻與內文之一致性應予修訂。 3. 本研究目前大致係針對較小型之漁港鄰近海岸環境的調查，建議未來可針對較大型之商港進行研究。柔性之海岸環境保護工法，亦可考慮進行研究。 4. 系列潛堤尺度之斷面圖，建議補充之。目前潛堤考慮為不透水及矩形，應於文中說明之，且未來可考慮孔隙介質，予與本研究現場調查之透水突堤或離岸堤對應。	1. 謝謝肯定。 2. 已修正。 3. 建議納入未來研究方向。 4. 建議納入未來研究方向並修正部分內容。
五、張憲國委員	

1. 本研究調查藻類在海岸生長特性與環境因子關係，相當有價值，對於生態功能應強調於潮下生長狀況。 2. 系列潛堤是否適用於海藻生長應再探討。	1. 謝謝肯定，並於文中作修正。 2. 建議納入未來研究方向。
---	------------------------------------

