

94-31-7130

MOTC-IOT-93-H2DA006

海岸保護及親水性結構物 最適化配置研究 (4/4)



交通部運輸研究所

中華民國九十四年三月

94-31-7130

MOTC-IOT-93-H2DA006

海岸保護及親水性結構物 最適化配置研究 (4/4)

著者：蔡立宏、何良勝、陳明宗

交通部運輸研究所

中華民國九十四年三月

國家圖書館出版品預行編目資料

海岸保護及親水性結構物最適化配置研究(4/4)

/蔡立宏、何良勝、陳明宗著. -- 初版. --

臺北市：交通部運研所， 民 94

面； 公分

參考書目：面

ISBN 986-00-0777-2(平裝)

1. 海岸工程

443.3

94005717

海岸保護及親水性結構物最適化配置研究(4/4)

著 者：蔡立宏、何良勝、陳明宗

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版/中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國九十四年三月

印 刷 者：萬達打字印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：臺北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：臺北市復興北路 386 號•電話：(02)25006600

國家書坊臺視總店：臺北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

GPN：1009400909

ISBN：986-00-0777-2 (平裝)

海岸保護及親水性結構物最適化配置研究
(4/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009400909

定價 300 元

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：海岸保護及親水性結構物最適化配置研究 (4/4)			
國際標準書號 ISBN 986-00-0772-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1009400909	運輸研究所出版品編號 94-31-7130	計畫編號 93-H2DA006
主辦單位：港灣技術研究中心 主 管：邱永芳 計畫主持人：蔡立宏 研究人員：何良勝、陳明宗、許泰文、張憲國、郭一羽、涂盛文、 黃煌輝、溫志中、楊炳達、劉勁成、林達遠、張人懿、 蔡金晏、李江澤 光碟製作：單誠基、馬維倫 行政助理：張惠華 聯絡電話：04-26587177 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 93 年 01 月 至 93 年 12 月
關鍵詞：海岸保護；親水性結構物；最適化配置			
摘要： 本研究根據親水性結構物必須兼具防災及休閒的功能，分別進行理論解析、數值模擬、水工試驗及問卷統計，針對具親水性質的系列潛堤、沙丘及護岸等作水理機制與視覺景觀之分析與探討，並將分析結果應用至台灣現場海岸，設計並佈置適當親水性結構物，探討其親水及海岸保護的效果。 系列潛堤及親水性堤岸方面，以具透水性質的緩坡方程式模擬計算波場及分析反射率特性，並以考慮粘滯性之雷諾平均納維爾-斯托克斯方程式模擬計算親水性堤岸附近流場及堤體沖刷，由問卷調查統計民眾及專家對親水性結構物的喜好，並作經濟效益分析。此外，以水工試驗與理論模式研究結構物消波效率之提昇。根據分析結果決定最適化配置及斷面形式，並提出設計之方法及準則，實際應用至新竹港南海岸及高雄彌陀海岸，達到親水及海岸保護之功效。本研究結果可提供爾後海岸工程規劃設計以及施政單位之參酌。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
94 年 3 月	260	200 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價購。
機密等級： ☐ 限閱 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】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: Studies on Coastal Protection and Optimal Layout of Structures for Recreational Virtual Function (4/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 986-00-0777-2 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009400909	IOT SERIAL NUMBER 94-31-7130	PROJECT NUMBER 93-H2DA006
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-Hung PROJECT STAFF: Ho Liang-sheng, Chen Ming-tzong, Hsu Tai-wen, Chang Hsien-kuo, Twu Sheng-wen, Hwung Hwung-hweng, Kuo Yi-yu, Liou Jin-cheng, Yan Bin-da, Lin Ta-yuan, Chang Jen-yi, Tsai Chin-yen, Lee Chiang-tse PHONE: 886-4-26587177 FAX: 886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2004 TO December 2004
KEY WORDS: Coastal Protection, Promenade Structure, Optimal Design			
ABSTRACT: Promenade coastal structures can provide various functions of disaster prevention, marine recreations, and landscape beautification to meet the increasing multipurpose requirements. To build harmonic promenade coastal structures instead of traditional structures is a new trend of marine engineering and is urgent for national needs. This study is a yearly consecutive one for coastal protection and the optimal layout of structures for recreational virtual function. Hydraulic experiments, theoretical investigation, numerical model, and questionnaire survey are carried out to study the characteristics of promenade structures, such as submerged breakwater, series of submerged breakwaters, sand bars, and revetment etc. In the studies of series submerged breakwaters and promenade revetment, an evolution equation of mile-slope equation in which includes wave-porous media interaction is applied to account for wave field and reflection. The Reynolds Average Navier-Stokes Equation is employed to research the current field and vortex near promenade revetment. Furthermore, hydraulic experiments and theoretical analysis are conducted to raise the effect of wave energy dissipation. Based on the result of the analysis, optimal design criteria of coastal structures is established and applied to national coastal engineering.			
DATE OF PUBLICATION March 2005	NUMBER OF PAGES 260	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ 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	II
目 錄	III
圖目錄	VII
表目錄	III
照片目錄	III
第一章 緒論	1-1
1.1 前言	1-1
1.2 研究動機與目的	1-2
1.3 研究方法	1-2
1.4 本文組織	1-4
第二章 透水堤岸及系列潛堤反射率分析	2-1
2.1 理論基礎	2-1
2.1.1 波場控制方程式	2-1
2.1.2 考慮透水介質效應之波場控制方程式	2-4
2.2 數值模式	2-6
2.2.1 差分方程式	2-6
2.2.2 邊界條件	2-8
2.2.3 收斂條件	2-10
2.3 模式驗證	2-11
2.3.1 透水性潛堤之驗證	2-11
2.3.2 透水性離岸堤之驗證	2-14
2.4 波浪通過透水斜坡底床之反射率	2-22
2.5 波浪通過透水系列潛堤之反射率	2-29

第三章 潛堤消波效率提升之研究.....	3-1
3.1 理論分析	3-2
3.2 理論計算	3-8
3.3 結果與討論	3-18
第四章 潛沒沙丘波浪防禦效果.....	4-1
4.1 往昔相關經驗公式	4-2
4.2 量化參數之訂定	4-3
4.3 水平底床試驗及結果	4-5
4.4 斜坡底床試驗及結果	4-15
第五章 堤體附近之流場分佈與渦流強度分析	5-1
5.1 REYNOLDS AVERAGED NAVIER-STOKES EQUATIONS 數學模式	5-2
5.1.1 控制方程式	5-2
5.1.2 邊界條件	5-3
5.2 數值模式	5-6
5.2.1 網格變數計算點之配置	5-6
5.2.2 方程式之離散化	5-7
5.2.3 速度與壓力耦合技巧	5-11
5.2.4 自由表面的處理	5-16
5.2.5 計算程序	5-17
5.3 模式驗證	5-19
5.4 結果與討論	5-26
第六章 護岸消波塊之視覺景觀評估	6-1
6.1 調查方法	6-1
6.2 現地調查	6-2
6.2.1 取景方式	6-2
6.2.2 現況介紹	6-4
6.3 問卷設計	6-6

6.3.1 研究對象及調查方式	6-6
6.3.2 照片選擇	6-10
6.3.3 SD 法之意味尺度	6-13
6.4 調查結果	6-15
6.4.1 結果的準確性	6-15
6.4.2 剖析法之分析	6-18
6.4.3 統計分析	6-26
第七章 高雄彌陀海岸系列潛堤保護工之規劃	7-1
7.1 彌陀附近海岸現況	7-1
7.2 設計步驟及方法	7-4
第八章 新竹港南海岸的海岸保護及親水性結構物之規劃	8-1
8.1 海岸環境資料	8-1
8.1.1 地理位置	8-1
8.1.2 氣象資料	8-2
8.1.3 海象資料	8-5
8.1.4 水文資料	8-7
8.1.5 地形水深資料	8-8
8.1.6 底質粒徑	8-10
8.2 新竹海岸之規劃構想	8-10
8.2.1 海岸保護方案	8-11
8.2.2 四種方案之工程評估	8-15
8.2.3 四種方案之海洋生態的比較	8-24
第九章 新竹港南海岸保護最適方案綜合評估	9-1
9.1 綜合評估之原理	9-1
9.2 層級分析法(AHP)	9-3
9.2.1 AHP 法之層級結構	9-4
9.2.2 各層級要素間權值的計算	9-4

9.2.3 群體評估的整合	9-6
9.3 TOPSIS 法	9-6
9.4 綜合評估結果	9-8
9.4.1 AHP 分析	9-8
9.4.2 TOPSIS 分析	9-9
第十章 新竹港南海岸的整體規劃	10-1
10.1 民眾對於海岸空間利用的要求	10-1
10.2 選擇最佳遊憩行為與堤岸斷面型式	10-3
10.3 親水性堤岸的平面配置	10-4
10.3.1 各段堤岸的斷面設置	10-8
10.3.2 整體的平面配置	10-11
第十一章 結論	11-1
參考文獻	R-1
附錄一 審查意見及辦理情形	A-1
附錄二 簡報資料	B-1

圖目錄

圖 2-1	波浪通過具透水層底床之示意圖	2-4
圖 2-2	波場模式格網示意圖	2-7
圖 2-3	波浪通過透水潛堤試驗之示意圖	2-12
圖 2-4	波浪通過透水潛堤時波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈 (試驗 1)	2-13
圖 2-5	波浪通過透水潛堤時波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈 (試驗 2)	2-13
圖 2-6	波浪通過透水潛堤時波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈 (試驗 3)	2-14
圖 2-7	不考慮潛堤滲透效應時，通過潛堤之波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈圖 (試驗 3)	2-14
圖 2-8	波浪斜向入射離岸堤之波場相對波高分佈圖	2-16
圖 2-9(a)	波浪斜向入射離岸堤，沿岸方向上斷面①之相對波高分	
圖 2-10	港嘴海域水深及波場位相分佈圖 (颱風波浪條件).....	2-19
圖 2-11	港嘴海域之波高分佈 [本研究模式 (颱風波浪條件)].....	2-19
圖 2-12	港嘴海域之波高分佈 [謝，1998 (颱風波浪條件)].....	2-19
圖 2-13(a)	縱岸方向斷面①上之波高分佈比較 (颱風波浪條件) ...	2-20
圖 2-13(b)	縱岸方向斷面②上之波高分佈比較 (颱風波浪條件) ...	2-20
圖 2-13(c)	縱岸方向斷面③上之波高分佈比較 (颱風波浪條件) ...	2-20
圖 2-13(d)	沿岸方向斷面④上之波高分佈比較 (颱風波浪條件) ...	2-21
圖 2-13(e)	沿岸方向斷面⑤上之波高分佈比較 (颱風波浪條件) ...	2-21
圖 2-13(f)	沿岸方向斷面⑥上之波高分佈比較 (颱風波浪條件).....	2-21
圖 2-14	模式計算配置示意圖	2-22
圖 2-15	波浪反射率 R 與碎波相似參數 ξ_0 之關係圖	2-23
圖 2-16	透水系列潛堤佈置示意圖	2-29
圖 2-17	不同潛堤個數 N 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖	2-31
圖 2-18	不同潛堤相對堤距 S/B 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖	2-32

圖 2-19	不同潛堤相對堤高 D/h 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖	2-33
圖 2-20	不同潛堤孔隙率 n_0 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖	2-34
圖 3-1	多層潛堤之示意圖	3-2
圖 3-2	單層潛堤透波係數、反射係數與孔隙率之關係	3-9
圖 3-3	單層潛堤波能損失百分率與孔隙率之關係	3-10
圖 3-4	單層潛堤透波係數、反射係數與孔隙率之關係	3-10
圖 3-5	單層潛堤波能損失百分率與孔隙率之關係	3-11
圖 3-6	單層潛堤透波係數、反射係數與孔隙率之關係	3-11
圖 3-7	單層潛堤波能損失百分率與孔隙率之關係	3-12
圖 3-8	三種雙層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係	3-13
圖 3-9	三種雙層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係	3-14
圖 3-10	三種雙層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係	3-14
圖 3-11	三種雙層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係	3-15
圖 3-12	三種參層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係	3-16
圖 3-13	三種參層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係	3-16
圖 3-14	三種參層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係	3-17
圖 3-15	三種參層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係	3-17
圖 4-1	水平底床沙丘之幾何示意圖	4-4
圖 4-2	斜坡底床沙丘之幾何示意圖	4-4
圖 4-3	沙丘之演化過程	4-7
圖 4-4	最大高程($\circ$)與輸沙率($\square$)之關係	4-8
圖 4-5	堤高對消失率之影響	4-9
圖 4-6	堤寬對消失率之影響	4-9
圖 4-7	消失率實驗值與預測值之比較	4-10
圖 4-8	平均輸沙率與史爾茲參數關係圖	4-11
圖 4-9	堤寬對反射率之影響	4-12
圖 4-10	堤寬對透過率之影響	4-13
圖 4-11	堤高對反射率之影響	4-13
圖 4-12	堤高對透過率之影響	4-14
圖 4-13	透過率實驗值與預測值之比較	4-15

圖 4-14	1/10 斜坡之沙丘演變過程	4-16
圖 4-15	1/40 斜坡之沙丘演變過程	4-17
圖 5-1	RANS 模式邊界條件示意圖	5-6
圖 5-4	計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義	5-16
圖 5-5	計算流程圖	5-18
圖 5-6	實驗量測之液面變化	5-20
圖 5-7	實驗量測和數值模擬之流場圖	5-21
圖 5-8	波浪通過潛堤自由液面振幅之空間變化	5-22
圖 5-9	波浪通過潛堤不同位置之波形變化	5-23
圖 5-10	數值計算與實驗量測之流速時序列結果比較	5-24
圖 5-11	波浪通過斜坡上潛堤不同位置之波形變化	5-25
圖 5-12	數值計算與實驗量測之不同水位結果比較	5-26
圖 5-13	計算地形示意圖	5-30
圖 5-14	數值模擬親水性堤岸之水位變化	5-30
圖 5-15	數值模擬親水性堤岸之流場和渦流強度分佈圖	5-31
圖 5-15	數值模擬親水性堤岸之流場和渦流強度分佈圖(續).....	5-32
圖 6-1	視點位置及方向圖	6-3
圖 6-2	現有海堤分佈圖	6-4
圖 6-3	船景的 SD 曲線	6-19
圖 6-4	南濱公園景觀的 SD 曲線	6-19
圖 6-5	以消波塊鋪設緩坡的 SD 曲線	6-20
圖 6-6	以石塊鋪設緩坡的 SD 曲線	6-20
圖 6-7	離岸堤露出水面的 SD 曲線	6-21
圖 6-8	離岸堤沒入水中的 SD 曲線	6-21
圖 6-9	原有之緩坡與消波塊的 SD 曲線	6-22
圖 6-10	去除消波塊後的 SD 曲線	6-22
圖 6-11	人工岬灣的 SD 曲線	6-23
圖 6-12	景觀設計後之緩坡的 SD 曲線	6-23
圖 7-1	彌陀鄰近海岸實測之地形侵淤變化圖	7-3
圖 7-2	赤崁段海域水深地形分佈圖 (民國 93 年 3 月實測).....	7-4

圖 7-3	不同的潛堤間距佈置下，不同波浪週期的反射率變化圖	7-6
圖 7-4a	潛堤堤數 $S = 35m$ 佈置及波高變化圖	7-6
圖 7-4b	潛堤堤數 $S = 40m$ 佈置及波高變化圖	7-7
圖 7-4c	潛堤堤數 $S = 45m$ 佈置及波高變化圖	7-7
圖 7-5	不同堤址潛堤佈置在不同波浪入射週期反射率分佈圖	7-8
圖 7-6a	不同水深潛堤佈置之波高變化比較圖($h = -7m$)	7-9
圖 7-6b	有無潛堤佈置之波高變化比較圖($h = -9m$)	7-9
圖 7-7	不同的潛堤個數佈置，不同波浪週期的反射率變化圖	7-10
圖 7-8a	潛堤堤數 $N = 2$ 佈置及波高變化圖	7-11
圖 7-8b	潛堤堤數 $N = 6$ 佈置及波高變化圖	7-11
圖 7-9	不同的潛堤高度佈置下，不同波浪週期的反射率變化圖	7-13
圖 7-10a	有無潛堤佈置之波高變化比較圖($d' = 4.8m$)	7-13
圖 7-10b	有無潛堤佈置之波高變化比較圖($d' = 3.2m$)	7-14
圖 7-11	系列潛堤佈置設計步驟流程圖	7-15
圖 7-12	系列潛堤平面佈置相關參數尺度示意圖	7-16
圖 7-13	系列潛堤斷面佈置相關參數尺度示意圖	7-16
圖 7-14	彌陀附近海域系列潛堤佈置示意圖	7-17
圖 7-15	SW 向颱風波浪彌陀附近海域無系列潛堤波場分布圖	7-18
圖 7-16	SW 向颱風波浪彌陀附近海域系列潛堤佈置波場分布圖	7-18
圖 7-17	NW 向颱風波浪彌陀附近海域無系列潛堤波場分布圖	7-19
圖 7-18	NW 向颱風波浪彌陀附近海域系列潛堤佈置波場分布圖	7-19
圖 8-1	新竹海岸地理位置圖	8-1
圖 8-2	頭前溪與鳳山溪 1992 年至 2000 年之年總輸沙量	8-8
圖 8-3	測量範圍	8-9
圖 8-4	新竹港南海岸消波塊拋置現況	8-11
圖 8-5	方案 A(三支突堤)之配置圖	8-11
圖 8-6	方案 B(二支 L 型突堤配合二個離岸堤)之配置圖	8-12
圖 8-7	方案 C(人工岬頭)之配置圖	8-12
圖 8-9	新竹港南海域未佈置結構物前波場分佈圖	8-17
圖 8-10	新竹港南海域波場分佈圖(A 方案)	8-18

圖 8-11	新竹港南海域波場分佈圖(B 方案).....	8-19
圖 8-12	新竹港南海域波場分佈圖(C 方案).....	8-20
圖 8-13	新竹港南海域波場分佈圖(D 方案).....	8-21
圖 8-14	擷取斷面位置示意圖	8-22
圖 8-15(a)	新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖	8-22
圖 8-15(b)	新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖.....	8-23
圖 8-15(c)	新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖	8-23
圖 9-1	各方案評選流程圖	9-2
圖 9-2	各方案評選之層級結構圖	9-3

表目錄

表 2-1	模型試驗之特性係數及試驗條件	2-12
表 2-2	計算條件及模式計算結果	2-24
表 2-3	透水系列潛堤佈置和波浪條件表	2-30
表 4-1	表定之造波條件	4-6
表 5-1	控制方程式中各變數對應之擴散係數與源項關係	5-8
表 5-2	RANS 數值方法整理表	5-18
表 6-1	照片拍攝之視點	6-2
表 6-2	本區段現有海堤	6-4
表 6-3	本研究所提的二十一對 SD 意味尺度	6-14
表 6-4	各背景受測者之回收份數	6-15
表 6-5	各群體間之雙尾 p-值比較	6-16
表 6-6	各基本資料間的變異數分析	6-17
表 6-7	兩變數間的皮爾森相關係數與相關程度	6-27
表 6-8	皮爾森相關分析表	6-27
表 6-9	因子分析的成分矩陣表	6-29
表 6-10	因子成分表	6-30
表 8-1	1998 年 9 月至 2002 年 5 月間對新竹地區具有威脅之颱風	8-3
表 8-2	颱風生成至消失期間新竹測站測得之日平均風速	8-4
表 8-3	新竹漁港潮位表	8-6
表 8-4	新竹漁港鄰近波浪觀測資料	8-6
表 8-5	新竹漁港深海颱風波浪統計表	8-7
表 8-6	各剖面之平均坡度	8-9
表 8-7	四種規劃方案構想比較	8-14
表 8-8	模式輸入條件	8-16
表 9-1	AHP 評估尺度意義及說明	9-4
表 9-2	各專家對於各要素的權重	9-9

表 9-3 各要素的平均權重及偏差	9-9
表 9-4 四個建議方案之排序	9-10
表 10-1 休閒遊憩活動偏好分析表	10-2
表 10-2 新竹港南育樂中心最佳遊憩行為與堤岸斷面型式	10-4

照片目錄

照片 6-1	北濱沿岸照片	6-7
照片 6-2	北濱海堤至海岸線間之照片	6-7
照片 6-3	由北濱海堤堤頂往港口之照片	6-7
照片 6-4	南濱海堤之緩坡側	6-8
照片 6-5	南濱公園之一角	6-8
照片 6-6	南濱公園沿岸之俯視照片	6-8
照片 6-7	化仁海岸俯視照片	6-9
照片 6-8	化仁海岸消波塊照片	6-9
照片 6-9	化仁海堤照片	6-9
照片 6-10	海面上船景的照片	6-11
照片 6-11	南濱公園一角	6-11
照片 6-12	南濱公園之傾斜式海堤	6-11
照片 6-13	南濱公園往花蓮港口之照片	6-12
照片 6-14	化仁海岸之護岸	6-12
照片 6-15	船隻海景	6-19
照片 6-16	南濱公園	6-19
照片 6-17	消波塊 A	6-20
照片 6-18	消波塊 B	6-20
照片 6-19	離岸堤 A	6-21
照片 6-20	離岸堤 B	6-21
照片 6-21	化仁海岸 A	6-22
照片 6-22	化仁海岸 B	6-22
照片 6-23	人工岬灣	6-23
照片 6-24	緩坡海堤	6-23
照片 7-1A	彌陀海岸 (2004 年 3 月)	7-2

照片 7-1B	彌陀海岸 (2004 年 3 月).....	7-2
照片 10-1	風帆船之斜坡道 1	10-2
照片 10-2	風帆船之斜坡道 2	10-3
照片 10-3	拋石區 A 區 1.....	10-5
照片 10-4	拋石區 A 區 2.....	10-6
照片 10-5	拋石區 B 區 1.....	10-6
照片 10-6	拋石區 B 區 2.....	10-7
照片 10-7	拋石區 C 區 1.....	10-7
照片 10-8	拋石區 C 區 2.....	10-8

第一章 緒論

1.1 前言

台灣海岸發生的災害，常因颱風波浪以及暴潮侵襲引起，故在 70 年代初，政府提出海岸築堤的計畫，以保護海岸地區不再受侵蝕。台灣東部海岸的波浪大，海灘坡度陡，多為陡峭的岩岸；西部海岸的潮差大，海灘坡度緩，海岸變遷劇烈。由於海象及地象條件特殊，而且當時國內經濟剛復甦，政府財務狀況不佳，所以在考量成本與環境現況的因素下，堤岸的建築多以保護堤後安全為目的，堤岸材料以漿砌塊石為主，之後修建的堤岸則改為混凝土堤，所以目前大部分的堤岸多為陡坡式混凝土堤。

往昔海岸結構物的設計，大多以保護陸地或經濟開發為主，如海堤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廣泛被採納，其在保護海岸的同時亦利用海洋及海岸天然資源做為休閒遊憩的場所。例如，法國的海岸開發政策是以生態景觀和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，海岸防災大部份都以“面”的保護工法取代了“線”的保護工法，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、親水與生態保育的功能，並創造優良的整體生存環境。

近年來，由於國民所得增加及受世界潮流衝擊，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。海岸結構物之設置，從過去防止海浪侵蝕破壞，保護海岸地區生命財產安全的單純目的，轉變成包含景觀美化與遊憩行為並重等多功能的目標。工程和景觀的調和與親水性設計已成為未來設計海岸保護設施時必要考慮的因素。因此，如何結合海岸工程技術與景

觀工程技術，以建立兼顧遊憩行為、景觀與安全性綜合考量的親水性海岸結構物設計，為目前台灣海岸工程的重要課題。

1.2 研究動機與目的

親水性結構物除了保有保護海岸之機能外，並兼具遊憩行為及景觀美化等機能，使結構物更具多樣功能並與附近環境更為協調，因此親水性結構物是國內外設計海岸保護結構物之未來趨勢。日本在 2000 年 4 月頒定新的海岸保護法，要求海岸保護、海岸環境改善及海岸空間利用必須走向軟式的海岸保護措施，並提供人們最舒適親水的空間。親水性海岸保護結構物與傳統海岸保護結構物最大的不同，在於親水性結構物所提供的遊憩行為與結構物的景觀美化，所以在親水性結構物的設計原則中，必須選擇海岸適合的保護工法，其中在考量海岸安全的基礎下，選擇柔性工法並能提供遊憩行為。許多海岸保護工並無法完全防禦波浪的侵襲，故在保護結構物設施常必須配合多種保護工互相搭配，功能兼顧安全、親水及良好的視野景觀等防災及休閒遊憩的條件。

本研究目的即在保護海岸安全及親水遊憩的基礎下，分別利用理論解析、數值計算、水工試驗以及問卷分析，針對親水性結構物的水理特性、保護效果及親水性作一綜合性有系統分析研究。並利用分析結果，實際應用至台灣海岸地形，設計最適化的親水性海岸保護結構物，探討其海岸保護效果及親水性。

1.3 研究方法

本年度分別以理論解析、數值計算、水工試驗以及問卷分析作研究探討，研究內容包括：1.親水性堤岸與柔性工法系列潛堤的水理特性分析。2.潛沒結構物的防禦效果及消波效率提升研究。3.親水性堤岸附近之流場及渦流分析。4.親水性護岸視覺景觀評估。5.台灣海岸現場海

岸保護工之規劃設計及效果評估。茲將上述項目的研究方法簡述如下：

1. 親水性堤岸與柔性工法系列潛堤的水理特性分析：

本研究以能適當描述波浪折射、淺化、繞射及反射共同效應之緩坡方程式(EEMSE)為基礎，並增加考量碎波及透水效應，透過數值模式的計算，分析波浪入射親水性堤岸以及系列潛堤的波場特性，包括：波高分佈、堤前反射率以及布拉格反射特性，並探討入射波浪條件與結構物佈置參數間之關係。

2. 潛沒結構物的防禦效果及消波效率提升研究：

本研究以水工試驗方式探討柔性工法潛沒沙丘，歷經時間、沙丘消失比例、波浪特性和沙丘佈置之關係。另外以理論計算方式作透水性潛堤消波率提升之研究，首先建立透水係數與孔隙率及波浪條件之關係，再依循此一關係計算出透水係數，然後根據孔隙率、透水係數及波浪條件計算出摩擦係數，最後再利用特徵函數法計算透波係數、反射係數及波能損失百分率。

3. 親水性堤岸附近之流場及渦流分析：

本研究利用數值來計算親水性堤岸一階梯式斜坡底床之水理特性，並由數值模式模擬堤體附近之流場分佈與渦流強度分析，藉分析結果明瞭該區域之水動力特性，進而瞭解沖刷之問題。數值模式以能考量流體黏性之納維爾-斯托克斯方程式(NSE)為基礎，利用當今應用最廣的 $k-\varepsilon$ 二方程紊流模式計算流場及渦流。

4. 親水性護岸視覺景觀評估：

選擇以花蓮南濱附近海岸景觀為研究基地，以當地照片加上電腦影像處理的方式，加入海堤或移除消波塊來改變照片的景觀，並以意味差分法(SDM)，分別問卷調查一般民眾與具海洋及景觀背景學生對這些景觀的喜好程度，進而了解影像處理前後，是否會因護岸的改變或消

波塊的存在與否，而影響大眾對海岸景觀的喜好，藉此可了解變因的改變對於海岸景觀的影響。

5. 台灣海岸現場海岸保護工之規劃設計與效果評估：

本計畫選定高雄彌陀海岸以及新竹港南海岸作為規劃對象，上述海岸區域均為目前台灣海岸侵蝕嚴重區域。高雄彌陀海岸利用本報告對系列潛堤特性的研究結果，實際設計佈置系列潛堤以保護該區海岸，並提出系列潛堤規劃設計之準則。新竹港南海岸則以多評準決策的方法，將本研究成果實際應用於該區域，藉由水理模式的分析，以配置適當的防護工法，並期望從分析結果找出設計景觀結構物的基本條件及適當型式。國內目前海岸工程並無此景觀工程之案例，本計畫將嘗試設計適合海岸地區之景觀結構物，作為指標性的案例。

1.4 本文組織

本報告共分為十一章，第一章為緒論，說明研究背景、動機、目的及方法。第二章透水堤岸及系列潛堤反射率分析，利用緩坡方程式之數值模式計算不同透水堤岸及系列潛堤配置的波場分佈，據此計算堤前波高分佈與反射率。第三章潛堤消波效率提升之研究，利用理論分析計算不同波浪條件及潛堤孔隙率佈置條件下，反射率與透射率之關係。第四章潛沒沙丘波浪防禦效果，探討潛沒沙丘形狀與入射波浪條件之關係。第五章堤體附近之流場分佈與渦流強度分析，利用納維爾-斯托克斯方程式之數值模式計算堤體附近之波流場與渦流強度，並探討堤腳基礎沖刷與堤體安定之問題。第六章護岸消波塊之視覺景觀評估，透過視覺及景觀之問卷統計分析，提出最適化配置方案評估。第七章高雄彌陀海岸系列潛堤結構物之規劃。第八章新竹港南海岸的海岸保護及親水性結構物之規劃。第九章新竹港南海岸保護最適方案綜合評估。第十章新竹港南海岸的整體規劃。第十一章為本研究之結論。

第二章 透水堤岸及系列潛堤反射率分析

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，即可為近岸工程之規劃設計提供良好之參考。緩坡方程式雖然為線性波浪理論推導求得，不過對於底床較平緩之海域，其平面波場之模擬具有一定之準確性，同時具有快速的求解能力，於實際工程計算時較具時效性。因此，本章將以緩坡方程式為基礎建立一數值波場模式，並利用其分析波浪通過透水斜坡底床之反射率。本章發展之波場模式，亦會實際應用於第五章之新竹港南海岸地區以及第七章高雄彌陀海岸的海岸保護規劃設計。

2.1 理論基礎

2.1.1 波場控制方程式

本章所選取的波浪模式，以 Suh 等人 (1997) 所推導含有底床非線性項之雙曲線型緩坡方程式為基礎，計算波浪通過變動水深所產生的近岸波場。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。Suh 等人 (1997) 所推導之延伸型緩坡方程式 (extended mild-slope equation) 如下：

$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (CC_g \nabla \Phi) + (CC_g k^2 - \omega^2) \Phi + [f_1(kh)g \nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \Phi = 0 \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

式中

$$f_1(kh) = \frac{[-4kh \cosh(kh) + \sinh(3kh) + \sinh(kh) + 8(kh)^2 \sinh(kh)]}{8 \cosh^3(kh)} \dots (2-2)$$

$$\cdot [2kh + \sinh(2kh)] - \frac{k h \tanh(kh)}{2 \cosh^2(kh)}$$

$$f_2(kh) = \frac{\sec^2 h^2(kh)}{6[2kh + \sinh(2kh)]^3} \cdot \{8(kh)^4 + 16(kh)^3 \sinh(2kh) - 9 \sinh^2(2kh) \cosh(2kh) + 12(kh) \dots \dots \dots$$

$$\cdot [1 + 2 \sinh^4(kh)][kh + \sinh(2kh)]\}$$

\dots\dots\dots (2-3)

式中 Φ 為流速勢， $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 為水平方向梯度因子， (x, y) 為水平座標， t 為時間因子， C 為波速， C_g 為群波波速， g 為重力加速度， $k = 2\pi/L$ 為週波數， ω 為角頻率， L 為波長， h 為水深， f_1 及 f_2 為底床曲率及底床斜率平方項係數。

對於式 (2-1) 所描述的波浪變形，只涵蓋波浪未碎波前之波形變化，若考慮波浪於近岸之碎波變形，一般加入波浪能量消散 (wave energy dissipation) 於式 (2-1) 中處理碎波後的波形，即

$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (CC_g \nabla \Phi) + cc_g k^2 [(1 + i f_d) - \omega^2] \Phi \dots\dots\dots (2-4)$$

$$+ [f_1(kh) g \nabla^2 h + f_2(kh) (\nabla h)^2 g k] \Phi = 0$$

式中 $i = \sqrt{-1}$ 。式 (2-4) 中的能量消散項 f_d ，採用 Isobe 等人 (1987) 建議

$$f_d = \frac{5}{2} \tan \beta \sqrt{\frac{1}{kh}} \sqrt{\frac{\gamma - \gamma_r}{\gamma_s - \gamma_r}} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\gamma_r = 0.135 \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\gamma_s = 0.4 \cdot (0.57 + 5.3 \tan \beta) \dots\dots\dots (2-7)$$

$$\gamma = A/h \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\gamma_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{h/L_0}) + 5 \tan^{3/2} \beta \exp[-45(\sqrt{h/L_0} - 0.1)^2] \dots\dots\dots (2-9)$$

其中 $\tan \beta$ 為海床坡度， A 為波浪之振幅， L_0 為深海波長。

雙曲線型緩坡方程式，在處理邊界上較為繁複，故 Hsu 和 Wen (2001) 擬依 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

$$\bar{t} = \varepsilon t \dots\dots\dots (2-10)$$

$\bar{t}$ 為緩慢時間變量， ε 為攝動參數 (perturbation coefficient)，且 $\varepsilon \ll 1$ 。根據式 (2-10)，則流速勢可進一步寫成

$$\Phi(x, y, t) = \bar{\psi}(x, y, \bar{t}) e^{-i\omega t} \dots\dots\dots (2-11)$$

式中 $\bar{\psi}$ 為加入攝動參數之流速勢。將式 (2-11) 代入式 (2-4)，並將二階微小量省略，只保留一階以下各項，則可得一個新的演進型拋物線型緩坡方程式 (Evolution Equation of Mild-Slope Equation, EEMSE)，如下式所示：

$$\begin{aligned} -2\omega \quad i \frac{\partial}{\partial t} \bar{\psi} = \nabla \cdot (CC_g \nabla \bar{\psi}) + CC_g k^2 (1 + if_d) \bar{\psi} \dots\dots\dots (2-12) \\ + [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \bar{\psi} \end{aligned}$$

上式能降低矩陣之維度，降低數值計算之時間。為簡化式 (2-12) 之控制方程式，文中引用 Radder (1979) 之尺度因子，如式 (2-13) 所示：

$$\bar{\psi} = \frac{\phi}{\sqrt{CC_g}} \dots\dots\dots (2-13)$$

則式 (2-12) 可簡化為式 (2-14)

$$-\frac{2\omega i}{CC_g} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi \dots\dots\dots (2-14)$$

其中

$$k_c = k^2(1 + if_d) - \frac{\nabla^2 \sqrt{CC_g}}{\sqrt{CC_g}} + \frac{[f_1 g \nabla^2 h + f_2 (\nabla h)^2 g k]}{CC_g} \dots\dots\dots (2-15)$$

2.1.2 考慮透水介質效應之波場控制方程式

若波浪通過具有透水層之地形，如圖 2-1 所示，其中透水層厚度為 h_p ，透水層至水面之深度為 h 。Rojanamthorn 等人 (1989) 提出考慮潛式透水層效應之橢圓型態緩坡方程式。應用 Rojanamthorn 等人 (1989) 提出的理論至上一節之波場控制方程式中，最後可以得到以下之控制方程式型式：

$$-\frac{2\omega i}{\alpha_p} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi \dots\dots\dots (2-16)$$

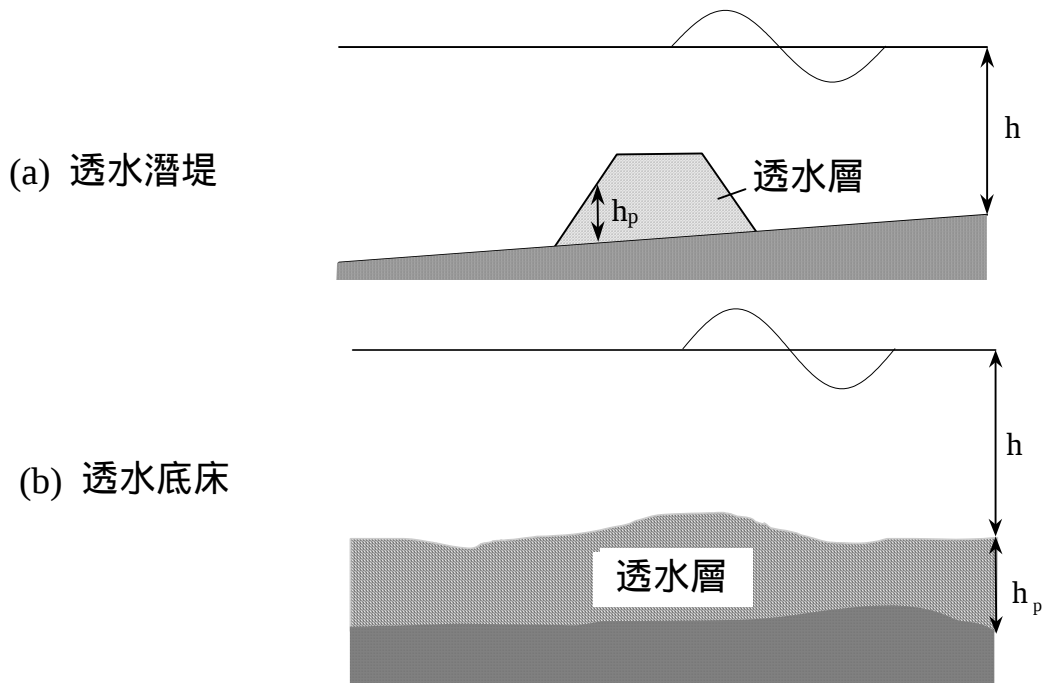


圖 2-1 波浪通過具透水層底床之示意圖

式中

$$k_c^2 = k^2(1 + if_p) - \frac{\nabla^2 \sqrt{\alpha_p}}{\sqrt{\alpha_p}} + \frac{[f_1 g \nabla^2 h + f_2 (\nabla h)^2 g k]}{\alpha_p} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$\alpha_p = \alpha_1 + n_0(S + if_p)\alpha_2 \dots\dots\dots (2-18)$$

$$\alpha_1 = gh\beta_1^2 \left\{ \frac{\beta_2^2(1 - e^{-2kh})}{2kh} - \frac{\beta_3^2(1 - e^{2kh})}{2kh} - 2\beta_2\beta_3 \right\} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} gh_p \beta_1^2 \left\{ 1 + \frac{\sinh(2kh_p)}{2kh_p} \right\} \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \dots\dots\dots (2-21)$$

$$\beta_2 = n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \frac{1}{2} \delta_p e^{kh} \dots\dots\dots (2-22)$$

$$\beta_3 = \frac{1}{2} \delta_p e^{-kh} \dots\dots\dots (2-23)$$

$$\delta_p = n_0 \sinh(kh_p) - (S + if_p) \cosh(kh_p) \dots\dots\dots (2-24)$$

其中, 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 為線性摩擦因子。波浪週波數 k 滿足下列延散關係 (dispersion relation)

$$\omega^2 = gk \frac{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \sinh(kh)}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \dots\dots\dots (2-25)$$

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 , 則式 (2-25) 可簡化為傳統之延散方程式, 式 (2-16) 可簡化為式 (2-14) 型態之緩坡方程式。

至於線性摩擦因子 f_p 需由下式計算

$$f_p = \frac{1}{\omega} \frac{\int_{\forall} \int_0^T \left\{ \frac{n_0^2 \nu}{k_p} |\bar{u}_s|^2 + \frac{n_0^3 C_f}{\sqrt{k_p}} |\bar{u}_s|^3 \right\} dt d\forall}{\int_{\forall} \int_0^T n_0 |\bar{u}_s|^2 dt d\forall} \dots\dots\dots (2-26)$$

式中， C_f 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。由式 (2-26) 可知，線性摩擦因子 f_p 需要疊代求解。

2.2 數值模式

2.2.1 差分方程式

對於數值方法的選取，本研究考慮透水介質之緩坡方程式，並以交替方向隱式法 (Alternating Direction Implicit Method, ADI)，求解式 (2-16)。波場差分網格示意圖，如圖 2-2 所示。其控制方程式式 (2-16) 的數值差分式如下：

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1/2} - \phi_{p,q}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^n + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \dots$$

..... (2-27)

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1} - \phi_{p,q}^{n+1/2}}{\frac{1}{2} \Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^{n+1} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \dots$$

..... (2-28)

$$f_{p,q} = -\frac{2\omega}{(\alpha_p)_{p,q}} \dots\dots\dots (2-29)$$

$$\delta_x^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p-1,q}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p+1,q}^n}{\Delta x^2} \dots\dots\dots (2-30)$$

$$\delta_y^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p,q-1}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p,q+1}^n}{\Delta y^2} \dots\dots\dots (2-31)$$

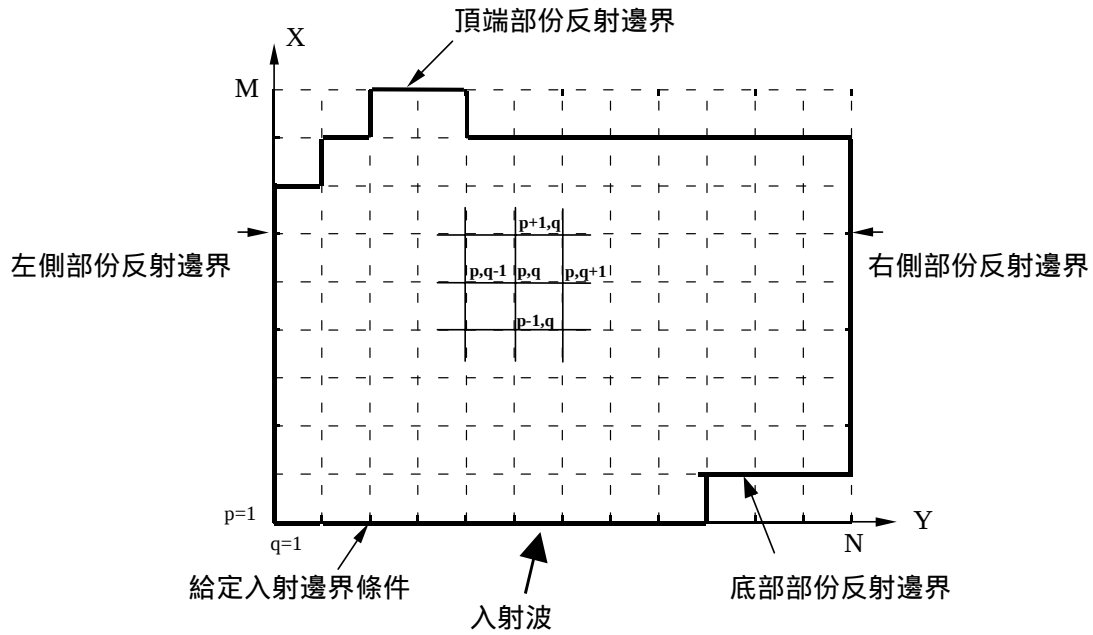


圖 2-2 波場模式格網示意圖

式 (2-27) 至式 (2-31) 中，下標 p 代表 x 軸方向的第 p 個格點，下標 q 代表 y 軸方向的第 q 個格點，上標 n 代表時間， Δt 代表差分時間段， Δx 、 Δy 分別為 x 、 y 軸之差分間距。

由於所選取的差分方法為隱式法，所以於計算上無顯式法求解時有著穩定度 (stability) 的問題。上述之數值方法經 Von Neumann's 穩定度分析，設

$$\phi_{p,q}^n = \xi^n e^{i\alpha p \Delta x} e^{i\beta q \Delta y} \dots\dots\dots (2-32)$$

分別代入式 (2-27) 及式 (2-28) 可得

$$\xi_1 = \frac{f_{p,q} i + [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta \Delta y}{2})]}{f_{p,q} i - [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha \Delta x}{2})]} \dots\dots\dots (2-33)$$

$$\xi_2 = \frac{f_{p,q}i + [\frac{\Delta t}{4}(k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha\Delta y}{2})]}{f_{p,q}i - [\frac{\Delta t}{4}(k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta\Delta y}{2})]} \dots\dots\dots (2-34)$$

式 (2-33) 及式 (2-34) 為擴大因子 (amplification factor) , 且

$$|\xi| = |\xi_1 \xi_2| = 1 \dots\dots\dots (2-35)$$

上式證明利用上述之數值方法去求解方程式可獲得穩定 (unconditionally stable) 的結果。

2.2.2 邊界條件

對於波浪通過計算邊界所需給定的條件 , 於模式中則是採用輻射邊界 (radiation boundary condition) 來加以處理 , 並依照邊界之特性可將其邊界條件可分為完全吸收、部分吸收邊界條件、給定邊界條件及考慮地形變化之開放邊界條件。

1.吸收及部分吸收邊界條件 (fully and partial absorption boundary condition)

對於波浪通過邊界時 , 所使用的邊界條件若無任何反射波浪產生 , 則此邊界將波浪完全吸收 , 此邊界條件為完全吸收邊界條件 (fully absorbed boundary condition)。若於邊界上只吸收部份的波浪能量 , 則稱為部份吸收邊界 (partial absorption boundary condition) , 其數學式如式 (2-36)

$$\frac{d\phi}{dt} = \hat{\alpha} \frac{\partial\phi}{\partial t} + C \frac{\partial\phi}{\partial r} = 0 , \text{ 在 } \partial B \dots\dots\dots (2-36)$$

式中 $\hat{\alpha}$ 為吸收係數 (absorption coefficient)。假設 $\hat{\alpha} = 1$, 則波浪完全通過邊界 ; 若 $\hat{\alpha} = 0$, 則於邊界上產生全反射 ; 若 $0 < \hat{\alpha} < 1$, 則為部份吸收邊界 , 式中 $\hat{\alpha}$ 值的決定 , 需依邊界上的物理特性加以決

定。 r 為波浪的路徑。利用 $r = |r| = x \cos \theta' + y \sin \theta'$ 之關係， θ' 為波浪於邊界上的角度。則上式關係可進一步表示

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \cos \theta' , \quad \frac{\partial r}{\partial y} = \sin \theta' \dots\dots\dots (2-37)$$

代入式(44)可得 x 方向的邊界條件為

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} \mp i \hat{\alpha} k \cos \theta' \phi = 0 , \quad \text{在 } \partial B_{x\pm} \dots\dots\dots (2-38)$$

式 (2-38) 中 ∂B_x 為 x 軸的邊界。同理可知，對於波浪通過垂直於 y 軸的幅射邊界 ∂B_y ，可得式 (2-39)

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} \mp i \hat{\alpha} k \sin \theta' \phi = 0 , \quad \text{在 } \partial B_{y\pm} \dots\dots\dots (2-39)$$

由於在數值模式計算時，無法先得知波浪入射邊界的夾角 θ' ，故文中利用數值方式疊代求解，將邊界角度疊代至收斂，此一處理方式較能適用於大角度波浪入射之條件 (Hsu 和 Wen，2000)。

2. 給定邊界條件 (given boundary condition)

當波浪入射遇結構物所產生的反射波浪通過邊界時，於離岸邊界上包含有入射波波場及反射波波場。由於入射波波場為已知，而反射波波場未知且為離岸方向，若波浪沿 x 方向正向入射及反射，其邊界條件可以下式表示：

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = ik(\phi_i - \phi_r) = \pm ik_x \phi + 2ik_{xi} \phi_i , \quad \text{在 } \partial B_{\pm} \dots\dots\dots (2-40)$$

式中 ϕ_i 表示為正 x 方向的入射波， ϕ_r 表示為負 x 方向的反射波。

3. 考慮地形變化之開放邊界條件

對於水深變化明顯之開放邊界（包含離岸邊界及向離岸方向之側邊界）處，須考慮具地形變化邊界上之邊界條件。Panchang 等人 (2000)

針對地形變化邊界條件之處理概念,建議將此邊界上之合成波浪分離成包含入射波浪 ϕ_i 、散射波浪 ϕ_s 以及因地形變化產生之反射波浪 ϕ_r 等三種成份波,故此邊界上之波浪可表示為

$$\phi = \phi_i + \phi_r + \phi_s \dots\dots\dots (2-41)$$

其中由於地形淺化的關係,入射波 ϕ_i 之振幅與相位函數在每一種水深上皆不盡相同,而因地形變化產生之反射波之波形函數 ϕ_r 亦無法預先得知,考量以上之困境,故在此將入射波與反射波合併列入處理,而得 $\phi_0 = \phi_i + \phi_r$, 即

$$\phi = \phi_0 + \phi_s \dots\dots\dots (2-42)$$

進而在 ϕ_0 為已知的前提下,處理此一因應地形變化的邊界條件。由於散射波 ϕ_s 需滿足輻射邊界條件式 (2-38) 或式 (2-39) 之關係,因此可得到具地形變化開放邊界之邊界條件如下

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \pm ik_{sx} \phi_0 \pm ik_{sx} \phi, \text{ 在 } \partial B_{x\pm} \dots\dots\dots (2-43)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \phi_0}{\partial y} \pm ik_{sy} \phi_0 \pm ik_{sy} \phi, \text{ 在 } \partial B_{y\pm} \dots\dots\dots (2-44)$$

式 (2-43) 及式 (2-44) 邊界條件中之 ϕ_0 為未知數,如欲以此邊界條件計算波場問題,則需設法以其他方式求解 ϕ_0 。本研究利用波浪斜向入射等坡度平直岸線海域之簡化問題,此一簡化問題可以將波場模式退化為一維 (one-dimension) 模式進行計算,進而求解邊界條件式 (2-43) 及式 (2-44) 中所需之 ϕ_0 值。

2.2.3 收斂條件

對於本模式所採取的收斂條件為殘差小於 ε 時為其收斂條件。其殘差表示式如式 (2-45) 所示：

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_p \sum_q (\phi_{p,q}^n - \phi_{p,q}^{n-1})^2}}{\sum_p \sum_q ABS(\phi_{p,q}^n)} \dots\dots\dots (2-45)$$

此模式計算時，時間的變化（ Δt ）為疊代的參數指標，且此參數為影響其收斂速度的重要參數。 Δt 參數的型式如下：

$$\Delta t = N \frac{2\omega}{CC_g} \Delta x^2 \dots\dots\dots (2-46)$$

其中 N 為無因次參數，其值界於 $O(1) \sim O(10)$ 之間。

2.3 模式驗證

2.3.1 透水性潛堤之驗證

為驗證文中所使用之波場模式，通過具有透水層地形之數值模擬效果，本研究選用 Rojanamthorn 等人 (1989) 所作之試驗資料進行。試驗配置如圖 2-3 所示，於坡度 1/20 的斜坡底床上置放一梯型透水潛堤。潛堤之堤面坡度為 1/3，堤頂水深為 D_s ，堤頂寬度為 B ，潛堤依堤頂寬度不同分為 $B = 30\text{ cm}$ 、 235 cm 兩種。潛堤特性參數及試驗條件如表 2-1 所示，其中 H_i 為入射波波高， T 為週期。依據試驗之資料進行模式之計算，其結果如圖 2-4 圖 2-6 所示，其中圖形縱座標 η_{rms} 為波浪之均方根平均振幅，其表示式如式 (2-47) 所示。由圖形比較結果可知，考慮潛式透水層效應之波場模式計算結果與試驗結果相當吻合。圖 2-7 為假設潛堤為不透水堤時之結果，可明顯發現若不考慮潛堤之透水特性，模式計算結果將試驗結果有明顯的差異。

$$\eta_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_i^2} \dots\dots\dots (2-47)$$

式中， η_i 為時序列之振幅， $N = T/\Delta t$ ， T 為週期。

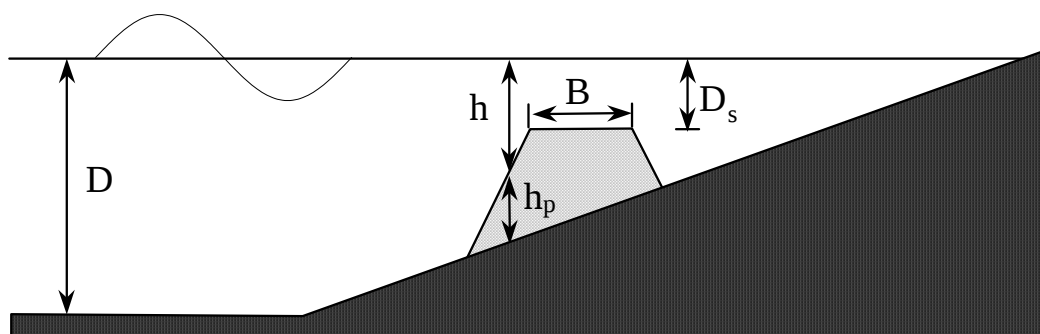


圖 2-3 波浪通過透水潛堤試驗之示意圖

表 2-1 模型試驗之特性係數及試驗條件

模型參數	S		C_f		$k_p (m^2)$
	1.0		0.332		$3.77 \cdot 10^{-7}$
試驗編號	B (cm)	D_s (cm)	D (cm)	T (sec)	H_i (cm)
1	30	6.5	37.5	0.93	3.21
2	30	6.5	37.5	1.82	3.66
3	235	8.0	39.0	1.81	4.47

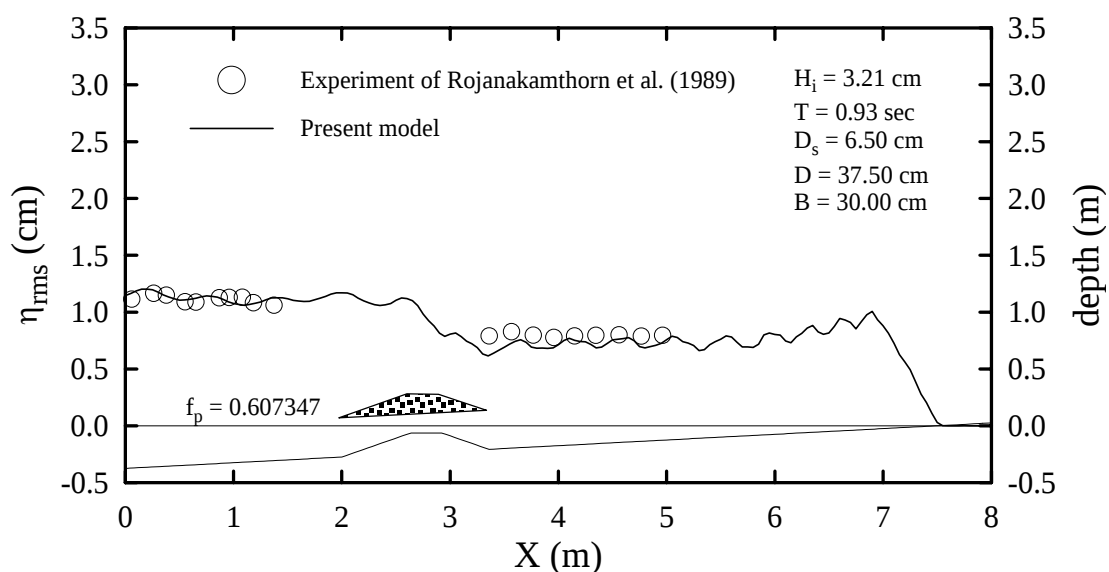


圖 2-4 波浪通過透水潛堤時波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈 (試驗 1)

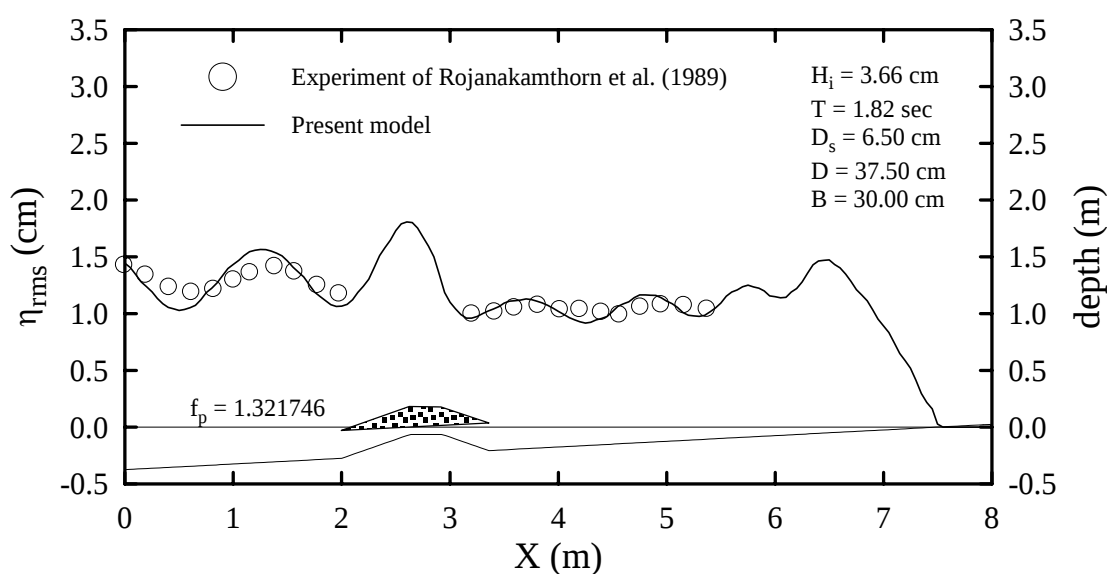


圖 2-5 波浪通過透水潛堤時波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈 (試驗 2)

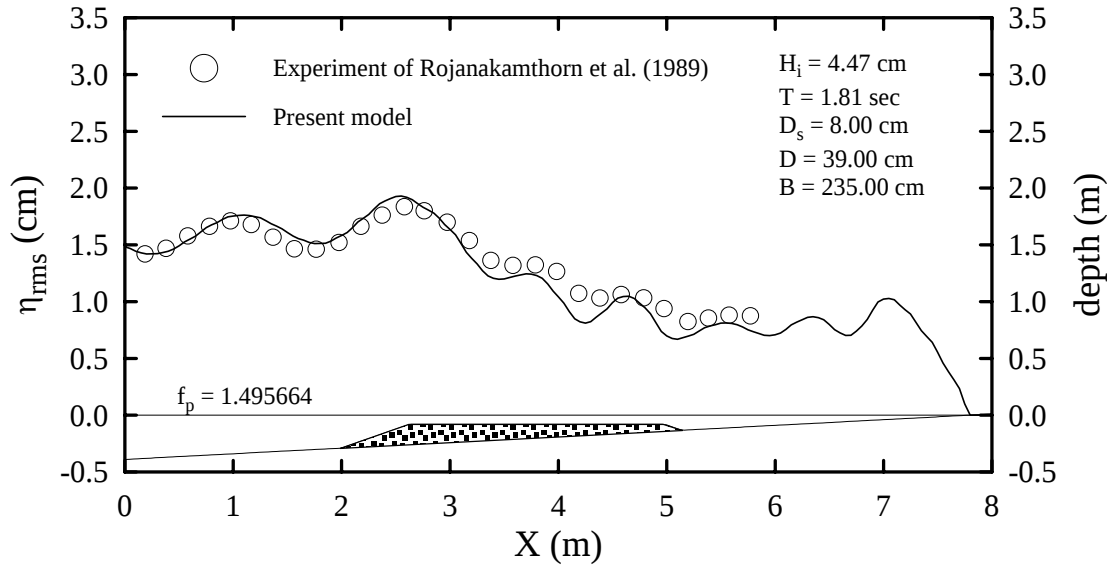


圖 2-6 波浪通過透水潛堤時波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈(試驗 3)

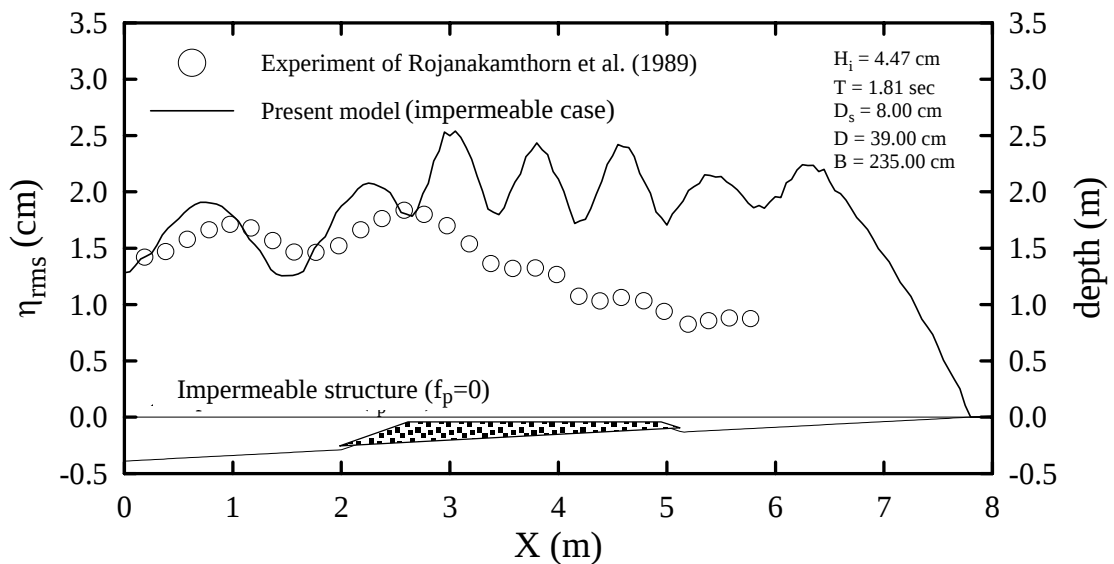


圖 2-7 不考慮潛堤滲透效應時,通過潛堤之波浪均方根平均振幅 η_{rms} 之分佈圖(試驗 3)

2.3.2 透水性離岸堤之驗證

為驗證波場模式在計算通過具坡度底床上離岸堤之適用性，首先選定波浪斜向入射離岸堤之條件，檢核波場模式在波浪斜向入射波場之模擬能力。模式測試以 Ou 等人 (1988) 之試驗佈置為輸入條件，計算範圍為 $x \times y = 8 \times 12 m^2$ 之大小。模擬波浪以 -30° 入射，入射波高 H_0

= 3cm、週期 $T = 1.0\text{sec}$ ，地形為坡度 $S = 1/20$ 之等緩坡度底床，試驗之離岸堤具透水性，其吸收係數 $\hat{\alpha} = 0.3$ （反射係數 $R = 0.538$ ），堤長 3m 並設置於水深 $h = 17.5\text{cm}$ 處（ $x = 3.5\text{m}$ ）。圖 2-8 為計算範圍內本研究模式所得之相對波高分佈圖，分佈情形與等水深之情況比較相當合理，在設定之開放邊界處附近的散射波可順利地以一定之角度散射出此計算範圍，且於離岸堤堤體附近波浪因結構物所引起的堤後遮蔽效應、堤端繞射現象及堤前斜向入射波之疊加情形也可清楚地觀察到，由於計算之條件為波浪斜向入射且主要又因堤體具透水性，故堤前入射波相疊加後之相對波高分佈約略在 1.2 附近。圖 2-9 為沿岸方向上水深 $h = 15.0$ 、 12.5 、 10.0 與 7.5cm （即圖 2-8 中之斷面 ① ~ ④）處之斷面相對波高分佈情形，比較各斷面上之試驗值與計算所得，本研究模式與試驗值二者之分佈趨勢相當接近。

另外，再選擇港嘴海域離岸堤設計案例檢驗本研究波浪數值模式於實際工程設計時對於波場之模擬能力及適用性，此案例以謝 (1998) 之有限差分法波浪數值模式進行計算。本研究模式計算之範圍為 $x \times y = 800 \times 1000\text{m}^2$ 之大小，而在稍後本研究模式所得的計算結果將選取 $x \times y = 600 \times 1000\text{m}^2$ 之範圍藉以比較謝 (1998) 之計算所得結果。

模式計算選擇一代表性之颱風波浪作為輸入之波浪入射條件，入射波高為 4.0m、週期 9.0sec、入射波向 5.0° 。模式計算之波場位相及波高分佈分別如圖 2-10 圖 2-12 所示，其中圖 2-10 為本研究模式計算之波場位相圖，可觀察出離岸堤間之開口處的波浪繞射現象；圖 2-11 為本研究模式計算之波場波高分佈圖，可清楚觀察出波浪於離岸堤前入、反射波疊加情形，並且與謝 (1998) 之計算結果（圖 2-12 所示）比較，兩者之平面波浪分佈趨勢約略相似。進一步比較本研究模式與謝 (1998) 之模式兩者間計算所得之異同，於縱岸及沿岸方向上各選取 3 個斷面，分別為縱岸方向斷面 ①、②、③（ $y = 150\text{m}$ 、 $y = 500\text{m}$ 、 $y = 850\text{m}$ ）及沿岸方向斷面 ④、⑤、⑥（ $x = 400\text{m}$ 、 $x = 270\text{m}$ 、 $x = 185\text{m}$ ），比較結果如圖 2-13，圖中本研究模式在各斷面上均與謝 (1998) 之波場計算結果呈現良好一致性，顯示本模式可以合理地模擬實際海域波場。

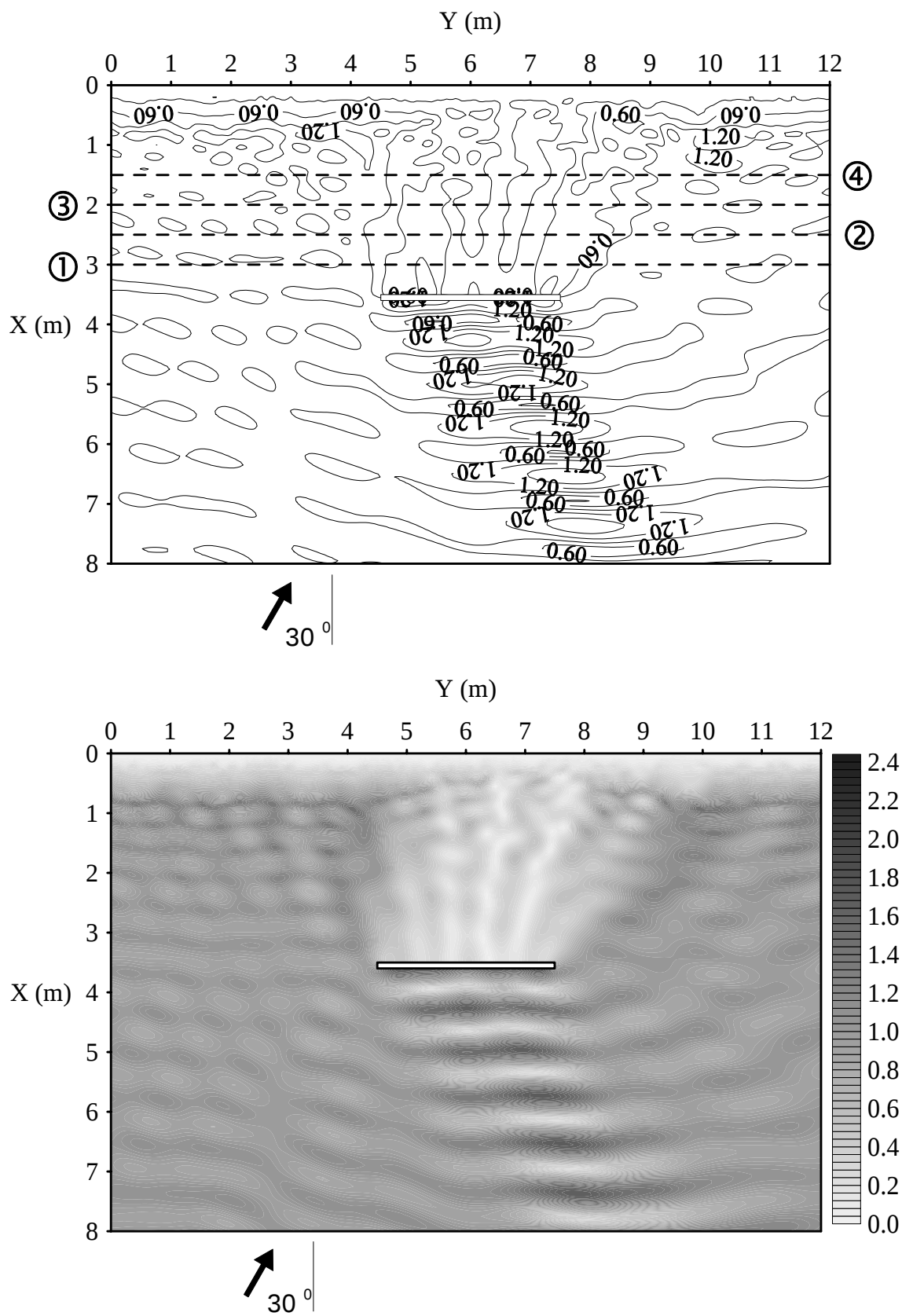


圖 2-8 波浪斜向入射離岸堤之波場相對波高分佈圖

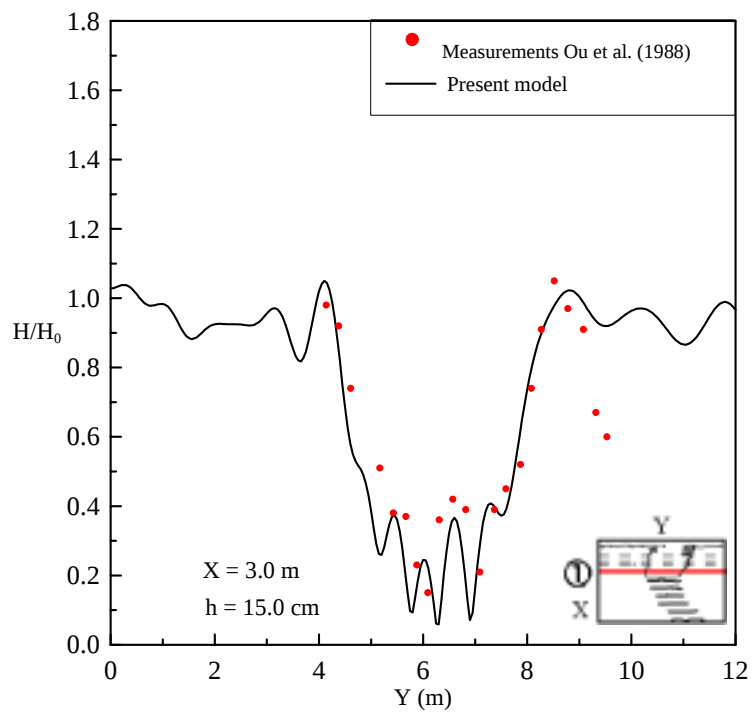


圖 2-9(a) 波浪斜向入射離岸堤，沿岸方向上斷面①之相對波高分佈圖

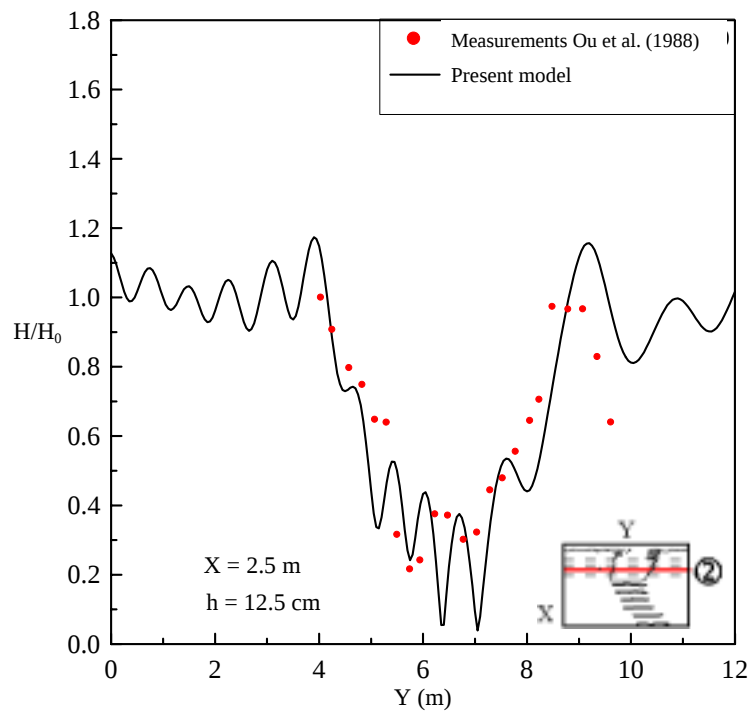


圖 2-9(b) 波浪斜向入射離岸堤，沿岸方向上斷面②之相對波高分佈圖

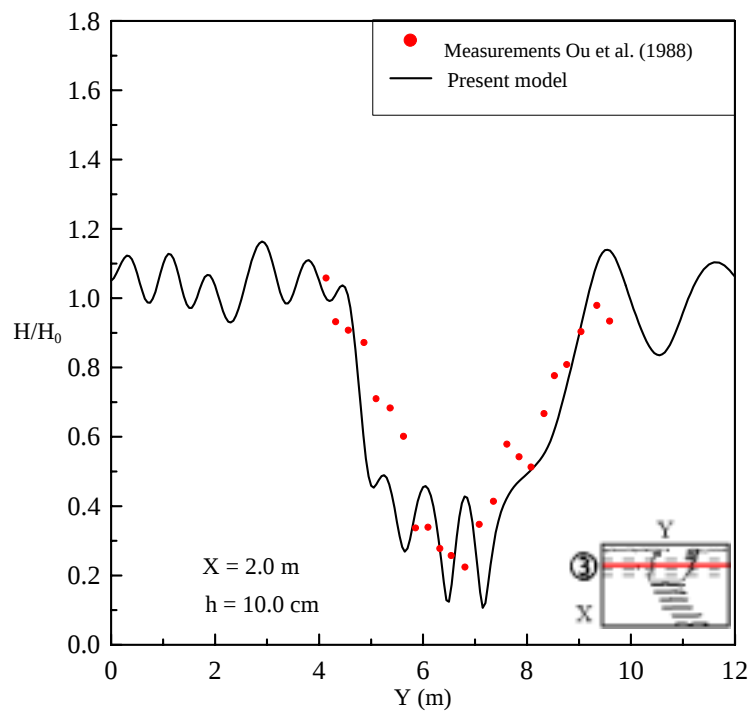


圖 2-9(c) 波浪斜向入射離岸堤，沿岸方向上斷面③之相對波高分佈圖

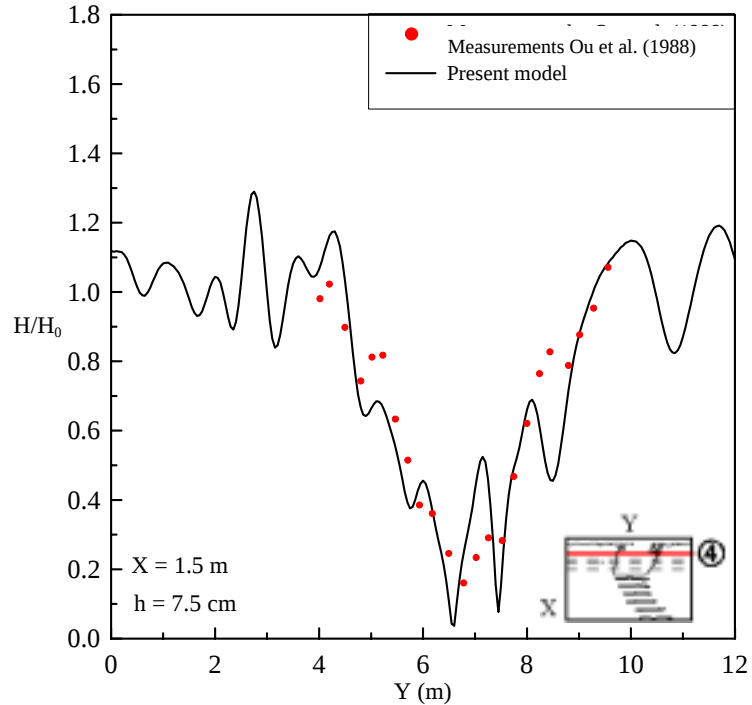


圖 2-9(d) 波浪斜向入射離岸堤，沿岸方向上斷面④之相對波高分佈圖

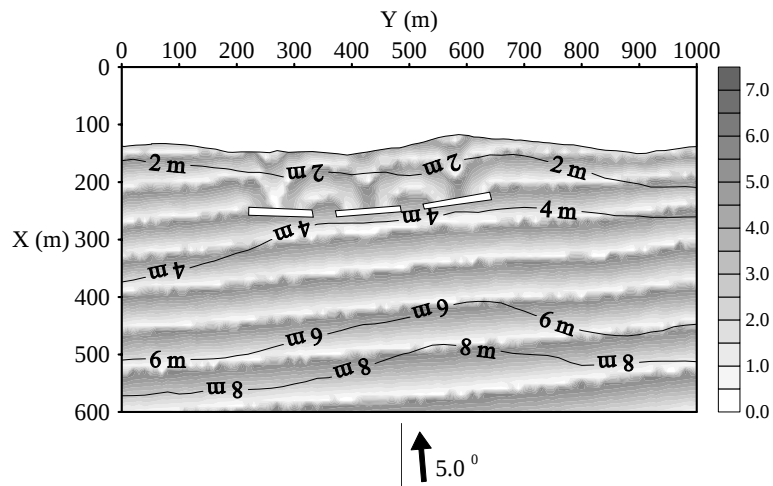


圖 2-10 港嘴海域水深及波場位相分佈圖 (颱風波浪條件)

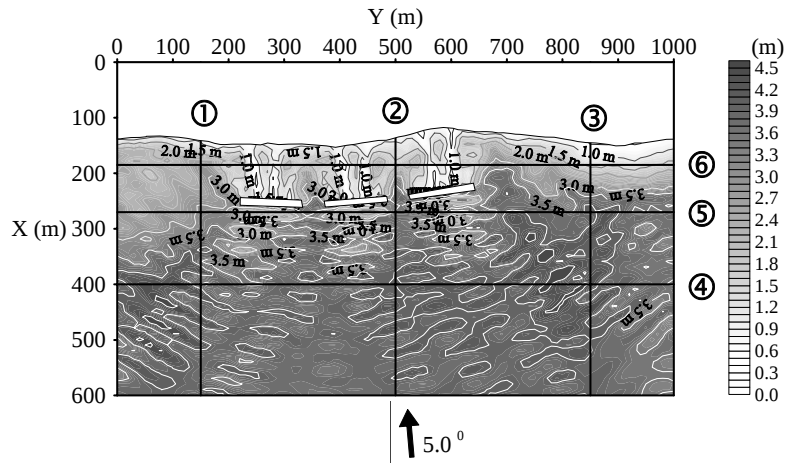


圖 2-11 港嘴海域之波高分佈 [本研究模式 (颱風波浪條件)]

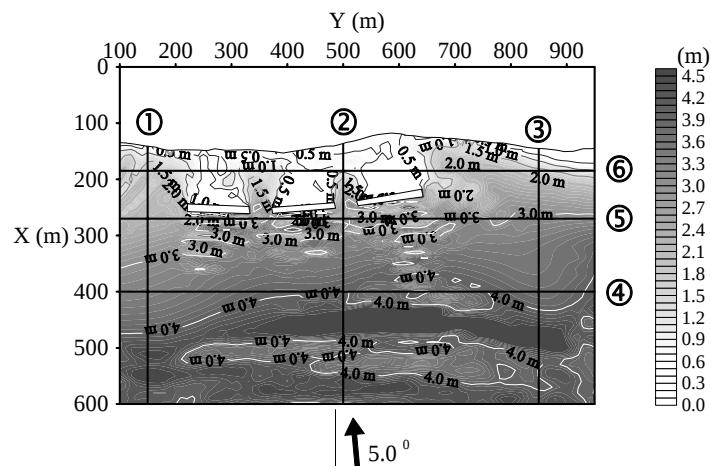


圖 2-12 港嘴海域之波高分佈 [謝 , 1998 (颱風波浪條件)]

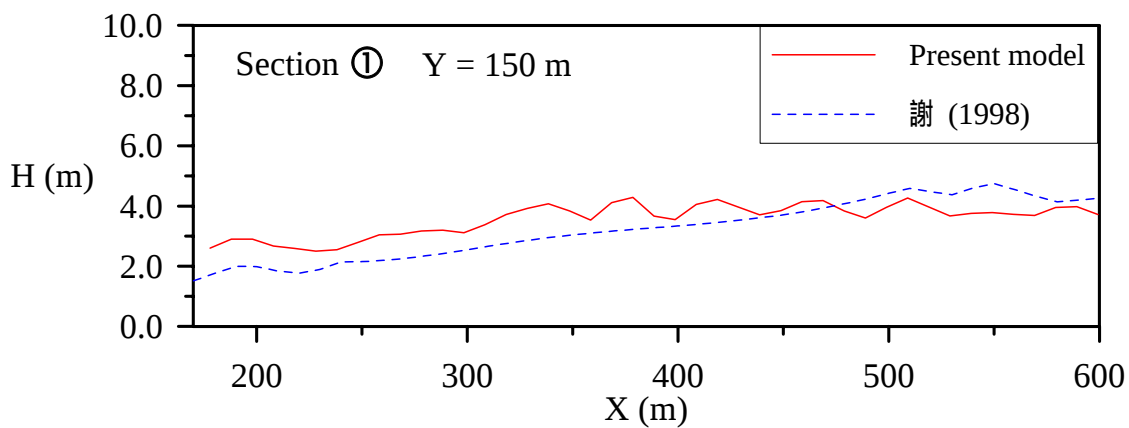
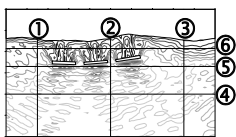


圖 2-13(a) 縱岸方向斷面①上之波高分佈比較 (颱風波浪條件)

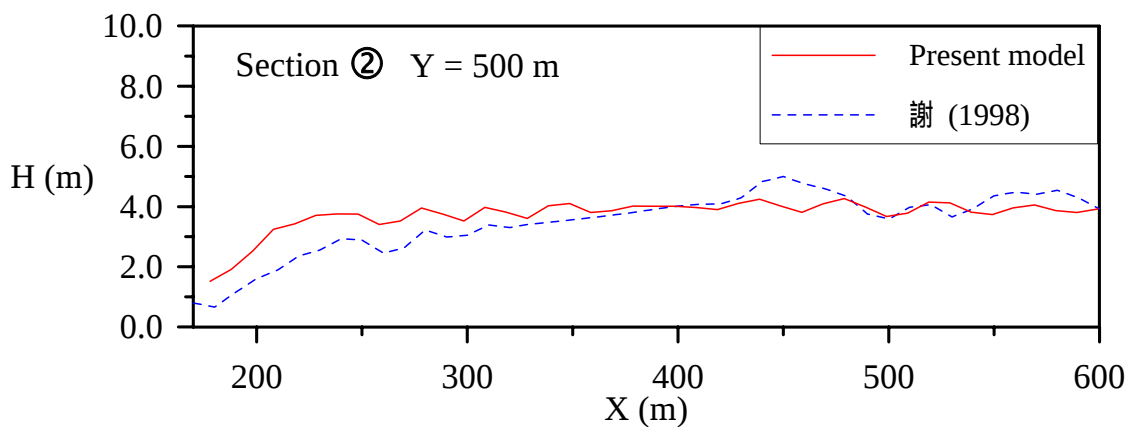


圖 2-13(b) 縱岸方向斷面②上之波高分佈比較 (颱風波浪條件)

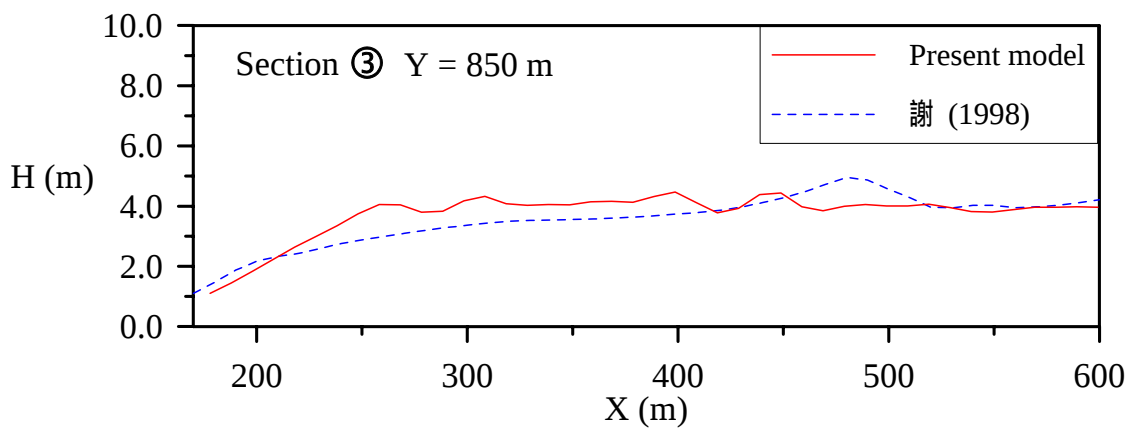


圖 2-13(c) 縱岸方向斷面③上之波高分佈比較 (颱風波浪條件)

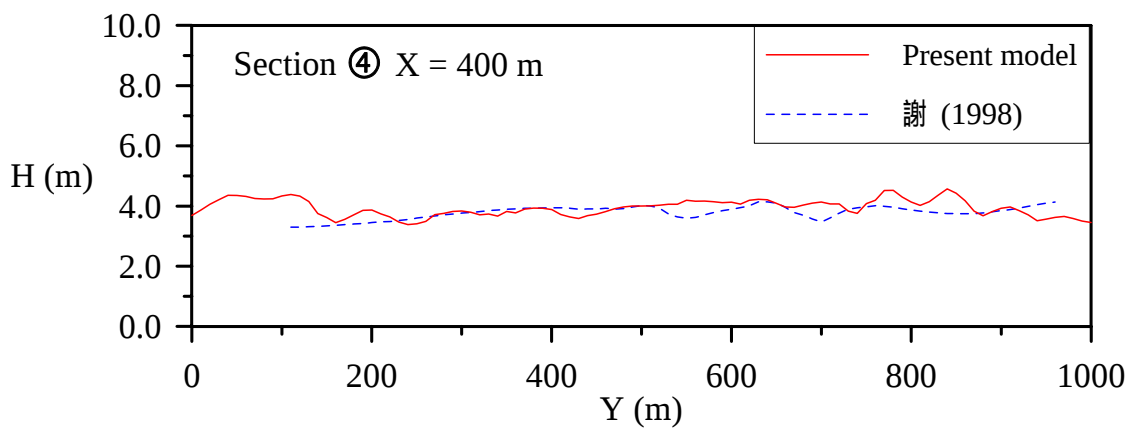
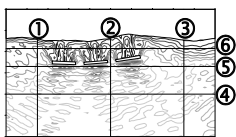


圖 2-13(d) 沿岸方向斷面④上之波高分佈比較 (颱風波浪條件)

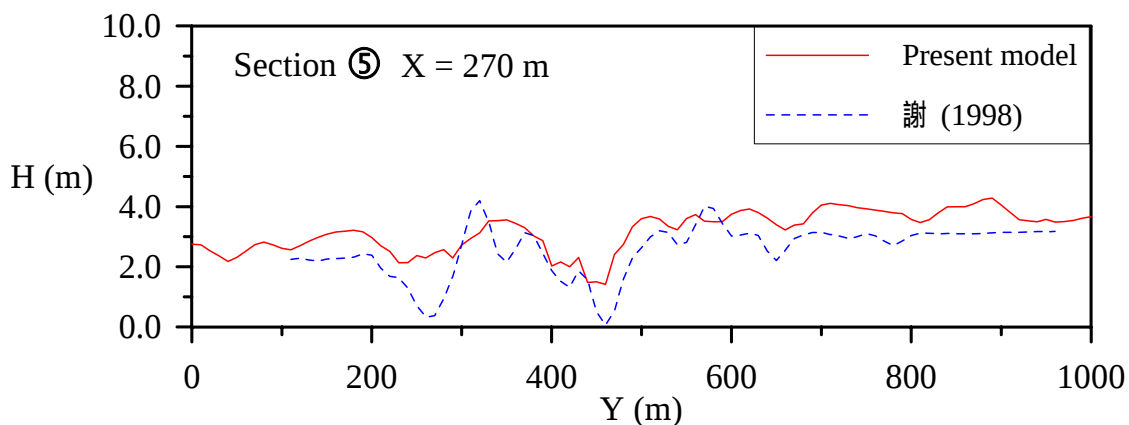


圖 2-13(e) 沿岸方向斷面⑤上之波高分佈比較 (颱風波浪條件)

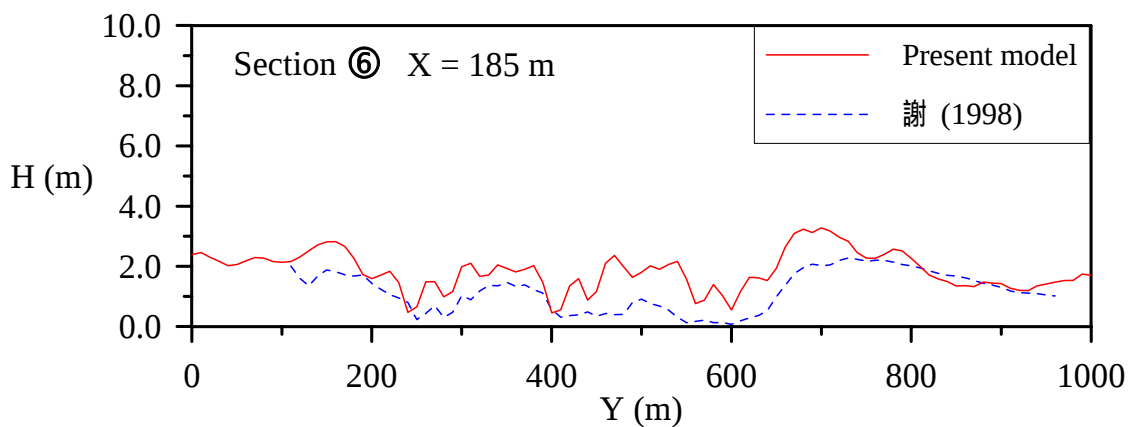


圖 2-13(f) 沿岸方向斷面⑥上之波高分佈比較 (颱風波浪條件)

2.4 波浪通過透水斜坡底床之反射率

本節應用本章發展之波場模式，模擬計算不同波浪條件作用於各種不同坡度之透水斜坡底床的波高分佈，如圖 4-14 所示，再採用 Goda 和 Suzuki (1976) 之二點法計算其堤前反射率。最後再由分析結果，以最小二乘法回歸適當的反射率經驗公式，以利於工程之應用。

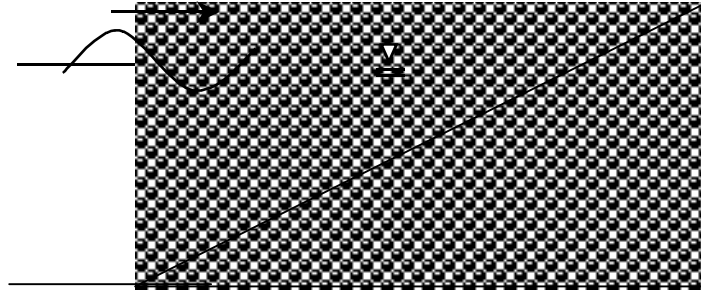


圖 2-14 模式計算配置示意圖

針對 $1/2 \sim 1/10$ 之九種底床坡度 $\tan \beta$ (β 為底床傾斜角)，波浪週期 T 取 3.5、5、6.5 及 8 sec 共四組，再針對不同底床及週期，取範圍在深海波浪尖銳度 $H_0/L_0 = 0.002 \sim 0.07$ 間的四組波高。總共計算例為 144 組，其計算條件及模式計算所得的堤前反射率如表 2-2 所示。表中 $\xi_0 = \tan \beta / \sqrt{H_0/L_0}$ 為碎波相似參數 (surf similarity parameter)， R 為波浪反射率。

根據表 2-2 計算結果，可繪製波浪反射率 R 與碎波相似參數 ξ_0 之關係圖，如圖 2-15 中的黑點。由圖 2-15 可觀察到波浪反射率與碎波相似參數之關係的分佈與 $\tanh$ 函數相似，因此可用 $\tanh$ 函數進行擬合，

$$R = a \tanh^b(c \xi_0) \dots\dots\dots (2-48)$$

以最小二乘法回歸所得結果為 $a = 0.463$ ， $b = 1.2$ 及 $c = 1/4$ ，相關係數為 $r^2 = 0.833$ 。代入式 (2-48) 可得

$$R = 0.463 \tanh^{1.2}(\xi_0/4) \dots\dots\dots (2-49)$$

結果如圖 2-15 中的實線。另外，圖 2-15 中的虛線，為上年度針對不透水斜坡底床計算結果所回歸的經驗式，

$$R = 0.9 \tanh^{1.3}[(\xi_0 / 3)^{1.5}] \dots\dots\dots (2-50)$$

由圖 2-15 可知，波浪通過透水斜坡底床所產生的反射率會小於通過不透水斜坡底床之結果，且有明顯的差異。因此，當波浪通過由人工建造之礫石或消波塊組成的透水斜坡底床，其所產生的反射率，以式 (2-49) 估算會較為合理，且其公式形態並不複雜，可方便地應用於工程施工設計。

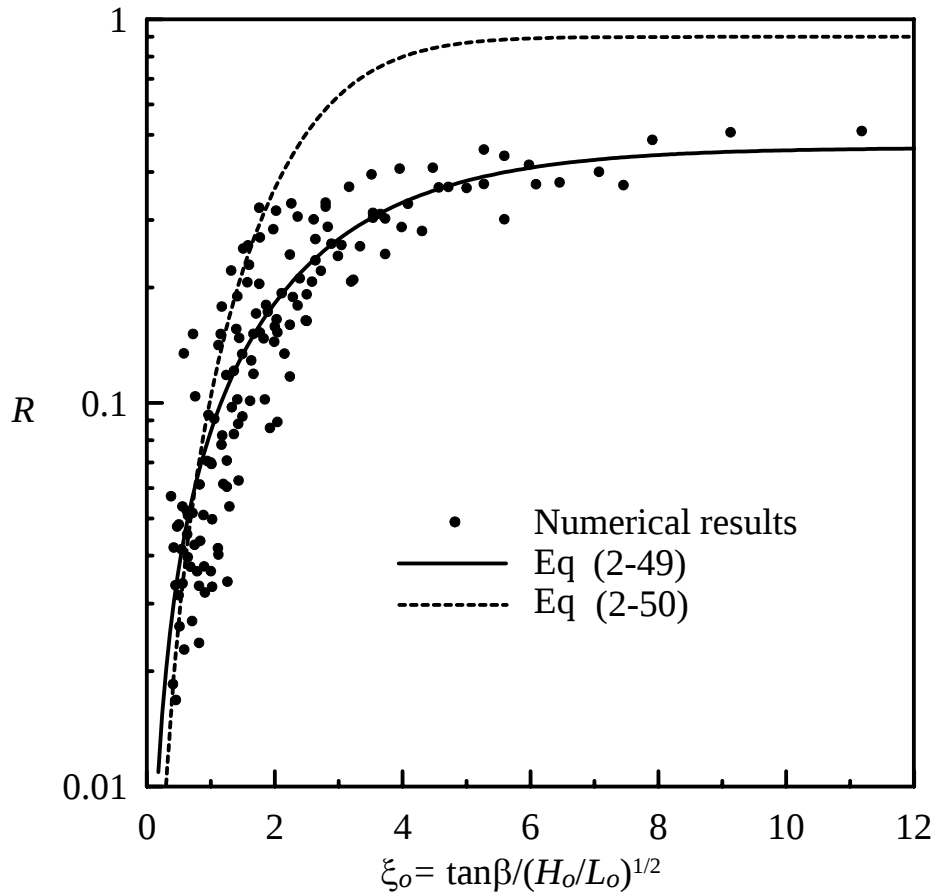


圖 2-15 波浪反射率 R 與碎波相似參數 ξ_0 之關係圖

表 2-2 計算條件及模式計算結果

$1/\tan \beta$	$T(sec)$	$H_o(m)$	H_o/L_o	ξ_o	R
2	3.5	0.09563	0.005	7.071068	0.4005951
2	3.5	0.172133	0.009	5.270463	0.4577748
2	3.5	0.573778	0.03	2.886751	0.2601682
2	3.5	1.338815	0.07	1.889822	0.1729572
2	5.0	0.15613	0.004	7.905694	0.0892505
2	5.0	0.31226	0.008	5.590170	0.3041125
2	5.0	0.78065	0.02	3.535534	0.4408085
2	5.0	2.34195	0.06	2.041241	0.4852104
2	6.5	0.197895	0.003	9.128709	0.1172393
2	6.5	0.461754	0.007	5.976143	0.3305456
2	6.5	0.989474	0.015	4.082483	0.4179214
2	6.5	3.298246	0.05	2.236068	0.5077165
2	8.0	0.199846	0.002	11.180314	0.1636439
2	8.0	0.599539	0.006	6.454972	0.3636638
2	8.0	0.999232	0.01	5.000000	0.3757057
2	8.0	3.996928	0.04	2.500000	0.5118338
3	3.5	0.09563	0.005	4.714045	0.0342329
3	3.5	0.172133	0.009	3.513642	0.0860725
3	3.5	0.573778	0.03	1.924501	0.3658447
3	3.5	1.338815	0.07	1.259882	0.3944705
3	5.0	0.15613	0.004	5.270463	0.1213648
3	5.0	0.31226	0.008	3.726781	0.1796647
3	5.0	0.78065	0.02	2.357023	0.3026931
3	5.0	2.34195	0.06	1.360828	0.3724112
3	6.5	0.197895	0.003	6.085806	0.1342167
3	6.5	0.461754	0.007	3.984095	0.221213

3	6.5	0.989474	0.015	2.721655	0.2875969
3	6.5	3.298246	0.05	1.490712	0.3718601
3	8.0	0.199846	0.002	7.453561	0.1514723
3	8.0	0.599539	0.006	4.303315	0.2562558
3	8.0	0.999232	0.01	3.333333	0.2808049
3	8.0	3.996928	0.04	1.666667	0.3698994
4	3.5	0.09563	0.005	3.535534	0.0705945
4	3.5	0.172133	0.009	2.635231	0.1478513
4	3.5	0.573778	0.03	1.443376	0.2354527
4	3.5	1.338815	0.07	0.944911	0.3130961
4	5.0	0.15613	0.004	3.952847	0.0331913
4	5.0	0.31226	0.008	2.795085	0.1526574
4	5.0	0.78065	0.02	1.767767	0.3251834
4	5.0	2.34195	0.06	1.020621	0.408469
4	6.5	0.197895	0.003	4.564355	0.0402667
4	6.5	0.461754	0.007	2.988072	0.1528174
4	6.5	0.989474	0.015	2.041241	0.2416839
4	6.5	3.298246	0.05	1.118034	0.3646474
4	8.0	0.199846	0.002	5.590171	0.0605085
4	8.0	0.599539	0.006	3.227486	0.1919606
4	8.0	0.999232	0.01	2.500000	0.2095373
4	8.0	3.996928	0.04	1.250000	0.3013456
5	3.5	0.09563	0.005	2.828427	0.1040356
5	3.5	0.172133	0.009	2.108185	0.1513184
5	3.5	0.573778	0.03	1.154701	0.2880246
5	3.5	1.338815	0.07	0.755929	0.1933958
5	5.0	0.15613	0.004	3.162278	0.0333675
5	5.0	0.31226	0.008	2.236068	0.1021375

5	5.0	0.78065	0.02	1.414214	0.243851
5	5.0	2.34195	0.06	0.816497	0.3661766
5	6.5	0.197895	0.003	3.651484	0.0374904
5	6.5	0.461754	0.007	2.390457	0.1291667
5	6.5	0.989474	0.015	1.632993	0.2114232
5	6.5	3.298246	0.05	0.894427	0.3109911
5	8.0	0.199846	0.002	4.472136	0.06995
5	8.0	0.599539	0.006	2.581989	0.1582141
5	8.0	0.999232	0.01	2.000000	0.2071793
5	8.0	3.996928	0.04	1.000000	0.4105215
6	3.5	0.09563	0.005	2.357023	0.0454649
6	3.5	0.172133	0.009	1.756821	0.0931384
6	3.5	0.573778	0.03	0.962251	0.306132
6	3.5	1.338815	0.07	0.629941	0.3229614
6	5.0	0.15613	0.004	2.635231	0.0374264
6	5.0	0.31226	0.008	1.863392	0.0823075
6	5.0	0.78065	0.02	1.178511	0.1802206
6	5.0	2.34195	0.06	0.680414	0.2675996
6	6.5	0.197895	0.003	3.042903	0.0426999
6	6.5	0.461754	0.007	1.992048	0.0830075
6	6.5	0.989474	0.015	1.360828	0.1444645
6	6.5	3.298246	0.05	0.745356	0.2582371
6	8.0	0.199846	0.002	3.726781	0.0437322
6	8.0	0.599539	0.006	2.151657	0.1191122
6	8.0	0.999232	0.01	1.666667	0.1344946
6	8.0	3.996928	0.04	0.833333	0.2444531
7	3.5	0.09563	0.005	2.020305	0.04157
7	3.5	0.172133	0.009	1.505847	0.0613451

7	3.5	0.573778	0.03	0.824786	0.2527267
7	3.5	1.338815	0.07	0.539949	0.3172588
7	5.0	0.15613	0.004	2.258771	0.02276
7	5.0	0.31226	0.008	1.597191	0.0693338
7	5.0	0.78065	0.02	1.010153	0.2292481
7	5.0	2.34195	0.06	0.583212	0.3313149
7	6.5	0.197895	0.003	2.608203	0.0396547
7	6.5	0.461754	0.007	1.707469	0.0778882
7	6.5	0.989474	0.015	1.166424	0.1710788
7	6.5	3.298246	0.05	0.638877	0.3010259
7	8.0	0.199846	0.002	3.194383	0.0516896
7	8.0	0.599539	0.006	1.844278	0.0882343
7	8.0	0.999232	0.01	1.428571	0.1021589
7	8.0	3.996928	0.04	0.714286	0.2072746
8	3.5	0.09563	0.005	1.767767	0.0476363
8	3.5	0.172133	0.009	1.317616	0.1513515
8	3.5	0.573778	0.03	0.721688	0.2215119
8	3.5	1.338815	0.07	0.472456	0.2702265
8	5.0	0.15613	0.004	1.976424	0.0261533
8	5.0	0.31226	0.008	1.397542	0.0510428
8	5.0	0.78065	0.02	0.883883	0.155897
8	5.0	2.34195	0.06	0.510310	0.2838086
8	6.5	0.197895	0.003	2.282177	0.0338595
8	6.5	0.461754	0.007	1.494036	0.049762
8	6.5	0.989474	0.015	1.020621	0.0922241
8	6.5	3.298246	0.05	0.559017	0.1889199
8	8.0	0.199846	0.002	2.795085	0.0523232
8	8.0	0.599539	0.006	1.613743	0.0707873

8	8.0	0.999232	0.01	1.250000	0.1012761
8	8.0	3.996928	0.04	0.625000	0.3328281
9	3.5	0.09563	0.005	1.571348	0.0420112
9	3.5	0.172133	0.009	1.171214	0.1783728
9	3.5	0.573778	0.03	0.641510	0.0509696
9	3.5	1.338815	0.07	0.419961	0.2064114
9	5.0	0.15613	0.004	1.756821	0.0168225
9	5.0	0.31226	0.008	1.242261	0.0364109
9	5.0	0.78065	0.02	0.785674	0.1183456
9	5.0	2.34195	0.06	0.453609	0.2044789
9	6.5	0.197895	0.003	2.028602	0.0315559
9	6.5	0.461754	0.007	1.328032	0.0320591
9	6.5	0.989474	0.015	0.907218	0.0974815
9	6.5	3.298246	0.05	0.496904	0.1652748
9	8.0	0.199846	0.002	2.484521	0.0418467
9	8.0	0.599539	0.006	1.434438	0.0537626
9	8.0	0.999232	0.01	1.111111	0.0627993
9	8.0	3.996928	0.04	0.555556	0.1642272
10	3.5	0.09563	0.005	1.414214	0.0571464
10	3.5	0.172133	0.009	1.054093	0.1347365
10	3.5	0.573778	0.03	0.577351	0.1898744
10	3.5	1.338815	0.07	0.377964	0.0909268
10	5.0	0.15613	0.004	1.581139	0.0185137
10	5.0	0.31226	0.008	1.118034	0.0270233
10	5.0	0.78065	0.02	0.707107	0.1416243
10	5.0	2.34195	0.06	0.408248	0.2576145
10	6.5	0.197895	0.003	1.825742	0.0236984
10	6.5	0.461754	0.007	1.195229	0.0335042

10	6.5	0.989474	0.015	0.816497	0.0615225
10	6.5	3.298246	0.05	0.447214	0.1473132
10	8.0	0.199846	0.002	2.236068	0.0364445
10	8.0	0.599539	0.006	1.290994	0.0482171
10	8.0	0.999232	0.01	1.000000	0.0537401
10	8.0	3.996928	0.04	0.500000	0.1599003

2.5 波浪通過透水系列潛堤之反射率

為使系列潛堤佈置時達到最大的防制效果，本研究歸納波浪通過系列透水潛堤的影響參數與反射率之關係。根據數值模式所計算的結果，探討布拉格反射與影響參數間的關係，潛堤佈置示意圖如圖 2-16 所示。

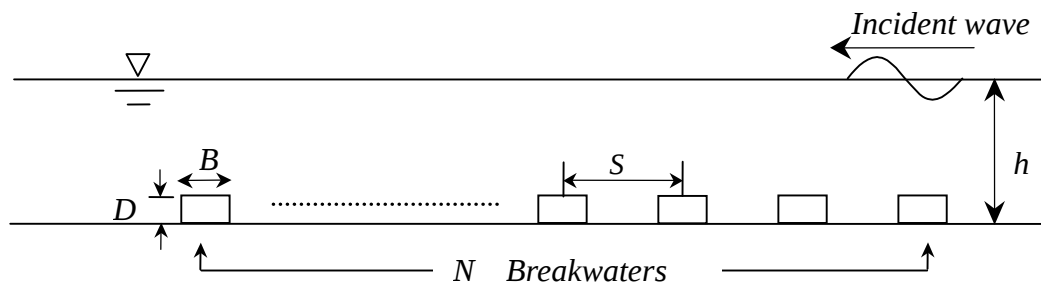


圖 2-16 透水系列潛堤佈置示意圖

對於波浪通過水平底床時系列透水潛堤所產生的布拉格反射效應，其影響因子為：潛堤高度 (D)，潛堤堤寬 (B)，堤體間距 (S)，堤體個數 (N)，入射波高 (H)，週期 (T)及潛堤孔隙率 (n_0) 的相互關係，其間關係可以下式做為參考：

$$F = f_1(H_o, T, h, S, B, N, D, n_0) \dots\dots\dots (2-51)$$

式中 F 表示為波浪的特徵函數。於式 (2-51) 中以 R 來表示所發生的波

浪的反射率，則無因次的組合為

$$R = f_1(D/h, n_0, 2S/L, N) \dots\dots\dots (2-52)$$

式中 L 為波浪於水深 h 條件之波長。

本研究將變化不同佈置參數，探討堤潛反射率與波浪條件之關係，分析項目如下所示：

- 1.不同相對水深 D/h 條件，探討反射率 R 與 $2S/L$ 的關係。
- 2.不同潛堤間距 S/B 條件，探討反射率 R 與 $2S/L$ 的關係。
- 3.不同潛堤孔隙率 n_0 條件，探討反射率 R 與 $2S/L$ 的關係。
- 4.不同潛堤個數 N 條件，探討反射率 R 與 $2S/L$ 的關係。

本研究所採用的波浪週期範圍為 $0.4 \sim 4.0\text{sec}$ ，波高則採用 1.0cm 的規則波，數值試驗水槽入射水深為 30cm 、堤寬 B 則採用 20cm 。至於透水系列潛堤個數 N 為 4 及 8 個，潛堤間距則採用 S 為 25cm 及 60cm 兩組。潛堤高度 (D) 與水深 (h) 的相對高度 $D/h = 1/3$ 、 $1/2$ 及 $2/3$ 三組變化。透水系列潛堤佈置和波浪條件如表 2-3 所示：

表 2-3 透水系列潛堤佈置和波浪條件表

(單位：cm)

潛堤型式	堤數 (N)	堤距 (S)	堤高 (D)	孔隙率 (n_0)	波浪條件	
矩型	4、8	25、60	10、15、20	0.2、 0.4 0.6	週期	波高
					0.4 ~ 4.0	1.0

1. 潛堤個數之影響

本研究以固定潛堤間距 ($S/B = 3.0$)、堤體孔隙率 $n_0 = 0.4$ 及潛堤高度 $D/h = 1/2$ 來探討潛堤個數改變時，水平底床上系列潛堤反射率變化情形。圖 2-17 為水平底床情形下，系列潛堤佈置個數為 $N = 4$ 及 $N = 8$ 所產生之反射變化。圖中顯示，在堤體個數為 $N = 4$ 時，波浪通過透水系列潛堤計算所得之反射率，最高值約為 $R = 0.58$ ，且反射率尖峰值位置位於 $2S/L = 1$ 值之右側。於次一頻峰處，反射率則為 $R = 0.4$ 。在堤體個數為 $N = 8$ 時，波浪於堤體前方之反射率最大值與 $N = 4$ 時相近 ($R \approx 0.55$)，且帶寬分佈較窄，但於次一頻峰處有較大的反射率發生，其最大值約與 $2S/L = 1$ 位置所發生的反射率值相近。

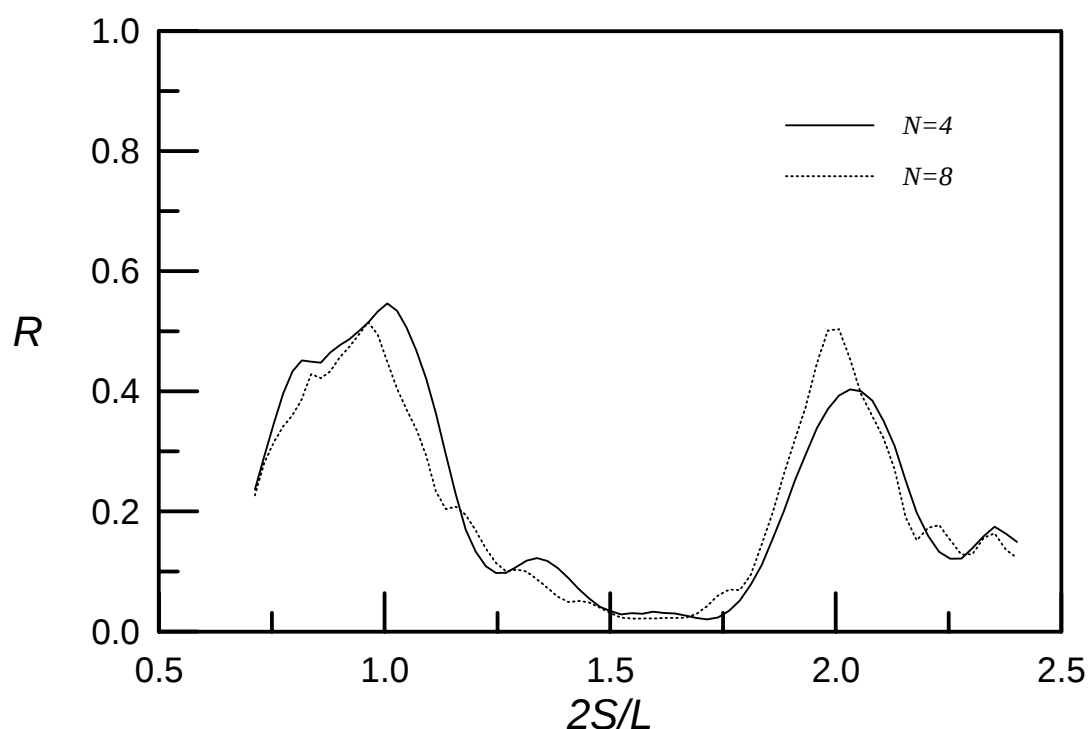


圖 2-17 不同潛堤個數 N 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖
($S/B = 3.0$, $D/h = 1/2$, $n_0 = 0.4$)

2. 潛堤間距之影響

對於波浪通過透水系列潛堤時改變堤體間距所造成之影響，本研究以 $S/B = 3.0$ 及 1.25 來探討，如圖 2-18 所示。圖中顯示，當 $S/B = 3.0$ 時，以此佈置條件設計系列潛堤，在 $2S/L = 1$ 附近處反射率有明顯增大的趨勢($R = 0.59$)，且有較大的帶寬分佈。在次一頻峰處 $2S/L = 2$ 附近處，尖峰值亦維持在 $R = 0.4$ 左右，且頻寬無明顯減小。

當佈置條件為 $S/B = 1.25$ 時，在 $2S/L = 1$ 附近處所發生的反射率分佈最大值則為 $R = 0.4$ ，且其頻寬分佈明顯較 $S/B = 3.0$ 時窄。次一頻峰之反射率分佈值，則較 $2S/L = 1$ 時低，其值分佈約為 0.2 左右。因此，堤體佈置條件為 $S/B = 3.0$ 條件下，潛堤佈置間距之主頻布拉格反射及次頻布拉格反射的發生將可達到良好的反射效果，達到有效防止海岸侵蝕與保護結構物的目的。

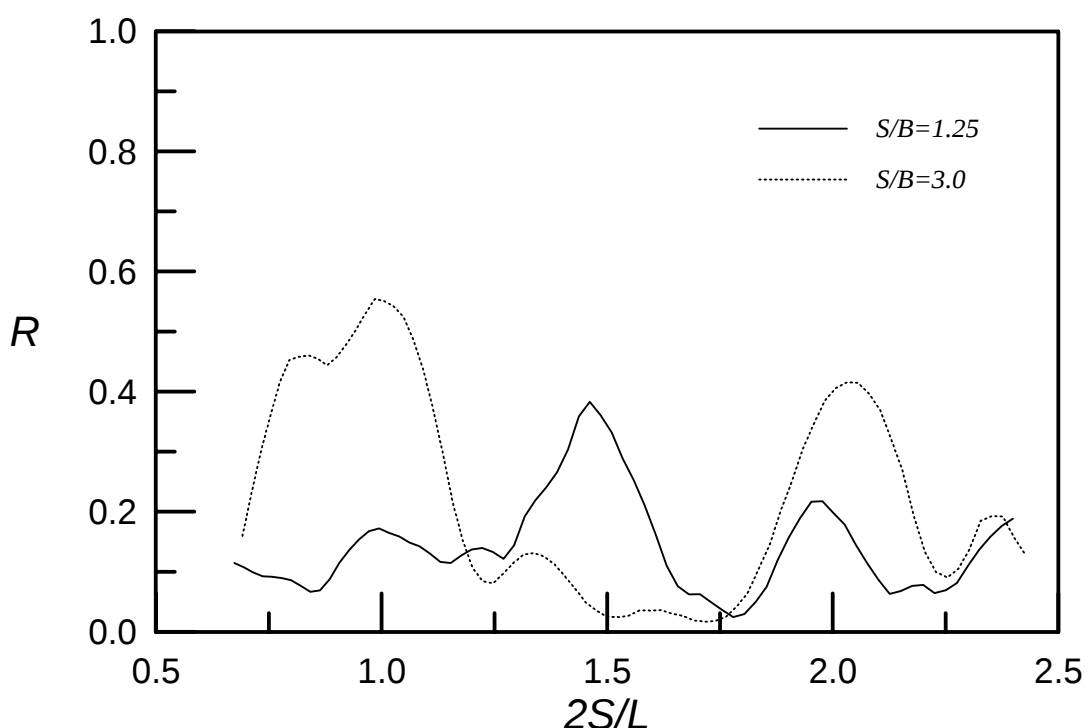


圖 2-18 不同潛堤相對間距 S/B 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖
($N = 4$, $D/h = 1/2$, $n_0 = 0.4$)

3. 潛堤高度之影響

在改變透水系列潛堤高度佈置情況下，堤體相對高度與波浪反射率之相互關係如圖 2-19 所示。圖 2-19 為在堤體個數為 $N = 4$ ，潛堤間距 $S/B = 3.0$ ）、堤體孔隙率 $n_0 = 0.4$ 情況下，改變堤體相對高度 $D/h = 1/3$ 、 $1/2$ 及 $2/3$ ，計算所得之分佈結果。圖中顯示，於堤體相對高度 $D/h = 1/3$ 時，反射率值約為 $R = 0.42$ 。當堤體高度增加為 $D/h = 1/2$ 、 $2/3$ 時，於主要頻峰處 $2S/L = 1$ 處最大反射率值約為 0.58，且帶寬範圍相似。當 D/h 愈大時，堤上的波浪透過量會愈小，潛堤對波浪能產生之反射增加。圖中非但尖峰反射率值會增大，連非尖峰反射率部分亦增大。於次一頻峰發生位置 $2S/L = 2.0$ 附近處，則 $D/h = 2/3$ 明顯比 $D/h = 1/2$ 及 $D/h = 1/3$ 大。這表示在潛堤高度增加情況下，可增加波浪反射效果及適用之頻率。

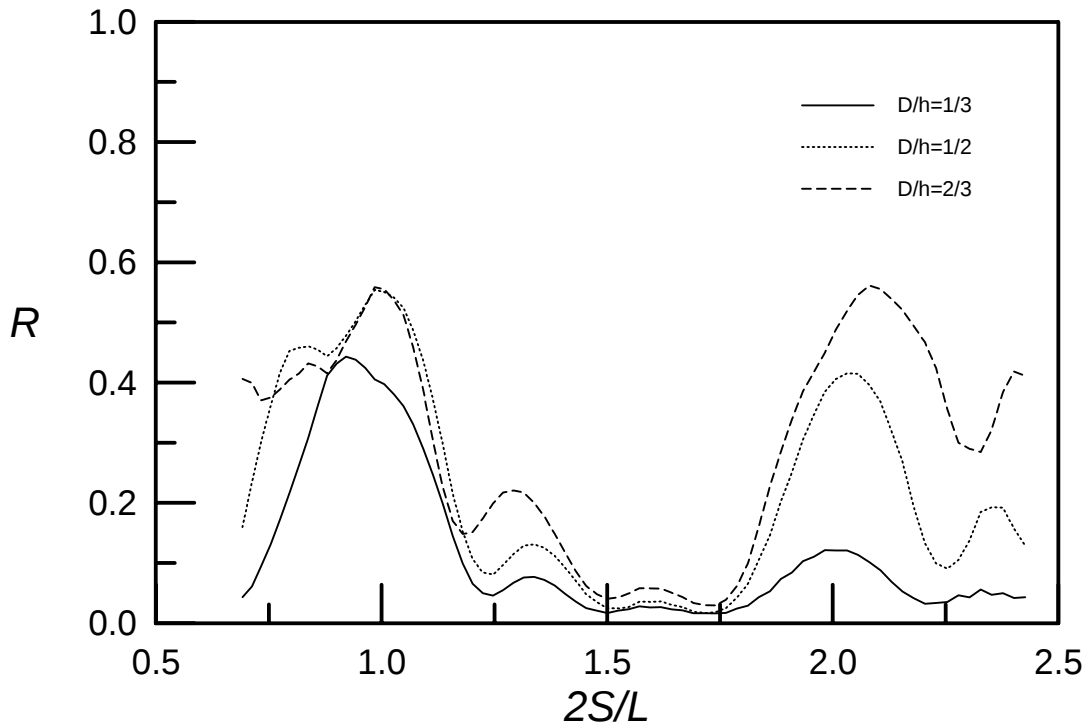


圖 2-19 不同潛堤相對高度 D/h 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖
($N = 4$ ， $S/B = 3.0$ ， $n_0 = 0.4$)

4. 潛堤孔隙率之影響

對於改變堤體透水性條件下，波浪通過透水系列潛堤與波堤前反射率之相互關係，如圖 2-20 所示。圖 2-20 為在堤體個數為 $N = 4$ ，潛堤間距 $S/B = 3.0$ 、潛堤高度 $D/h = 1/2$ 條件，堤體孔隙率分別為 $n_0 = 0.2$ 、 0.4 及 0.6 條件，計算所得之分佈結果。於圖中顯示，當堤體孔隙率 $n_0 = 0.6$ 時，波浪產生之反射率最低，當堤體孔隙率增加至 $n_0 = 0.4$ 時，則反射率明顯增加。當堤體孔隙率減少至 $n_0 = 0.2$ 時，堤前反射率呈現下降趨勢。由數值計算結果顯示，對於波浪通過透水系列潛堤的反射率，並不隨著堤體孔隙率的增加而持續增加；當堤體孔隙率增加時，波浪與堤體間產生交互作用，致使波浪透過量會愈小；然而當堤體孔隙率增加至某一極限值時，則堤體與波浪間的作用將變小，致使波浪透過量明顯增大，而堤前反射率減小。

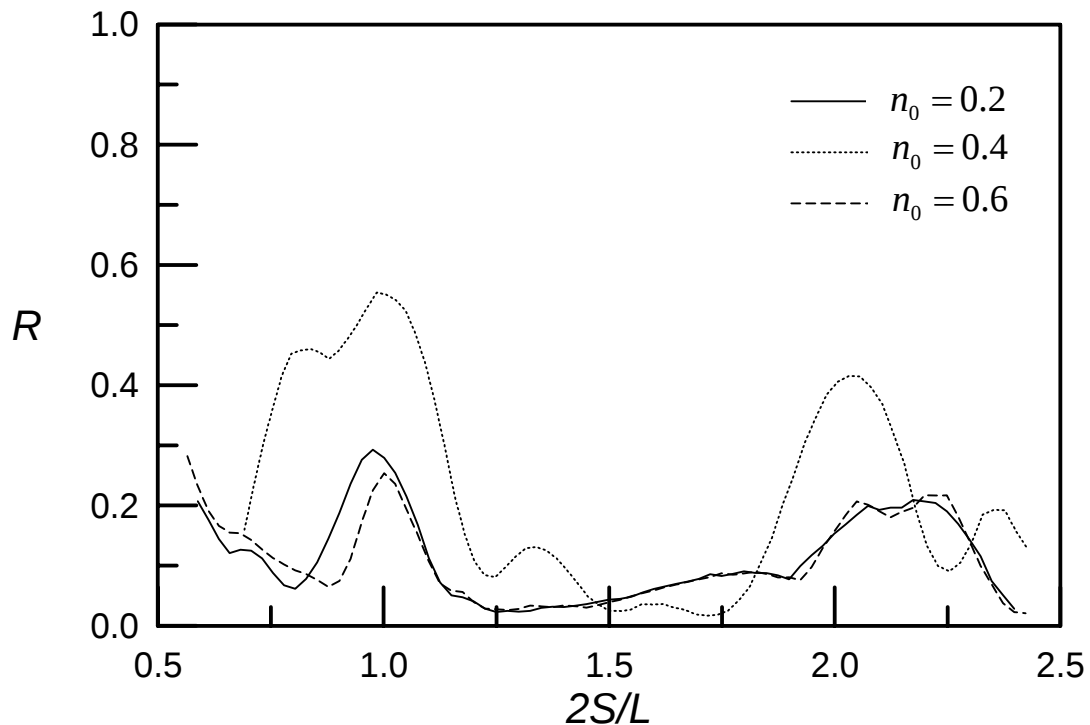


圖 2-20 不同潛堤孔隙率 n_0 條件，反射率 R 隨 $2S/L$ 變化圖
($N = 4$, $D/h = 1/2$, $S/B = 3.0$)

本研究以含有透水性質之緩坡方程式，探討透水系列潛堤在布拉格反射條件下波浪反射變化的情形，並分別比較各影響因子之相互關係。結果顯示，波浪通過透水潛堤時，受潛堤透水特性之影響致使波場產生變化，進而改變波浪特性。針對各影響因子進行分析，獲得以下結論：

1. 透水潛堤佈置條件為 $S/B = 3.0$ 情況下，當潛堤個數 $N = 8$ 時，在尖峰頻率發生位置 $2S/L = 1$ 附近處所發生之反射率較潛堤個數 $N = 4$ 時發生的反射率相近。但於次一頻峰處，則潛堤個數 $N = 8$ 時所發生之反射率則較 $N = 4$ 時大，但頻寬較小。
2. 在變化堤體高度與水深關係情況下，堤體高度增加時，波浪反射率有明顯增加的效果，在 $D/h \geq 1/2$ 時，反射率尖峰值可達 0.5 以上。當潛堤高度與水深比 $D/h \leq 1/3$ 時，在次一頻峰發生條件則有明顯降低的趨勢。
3. 在變化潛堤間距條件下，若潛堤間距愈大則發生布拉格反射將愈明顯。 $S/B = 3.0$ 佈置條件較 $S/B = 1.25$ 條件，具有較大的布拉格反射的反射率。
4. 在改變堤體孔隙率方面，對於波浪通過透水系列潛堤的反射率，並不隨著堤體孔隙率的增加而持續增加，在堤體孔隙率為 $n_0 = 0.4$ 條件，有較大的反射率值。

第三章 潛堤消波效率提升之研究

有關潛堤消波效率之研究已有相當長久之歷史，相關研究文獻相當多，早期之研究多偏重於不透水式潛堤，近一、二十年始有較多學者研發透水式潛堤，如 Sollitt 和 Cross (1972)、Rojanakamthorn 等人 (1989)，Losada 等人 (1993)，李和劉 (1995)、涂等人 (1999)，這些研究學者發現透水式潛堤之消波效率遠大於不透水式潛堤，因此如何提升潛堤之消波效率當然需要放棄不透水式潛堤而往透水式潛堤下功夫了。

以往研究潛堤之消波特性者，絕大部分局限於潛堤幾何特性對消波特性之影響，潛堤幾何特性包括潛堤之潛沒深度、潛堤堤頂寬度、幾何形狀等，近幾年來始有部分學者觸及到潛堤之物理特性對潛堤消波效率之影響，此等著作中考慮之物理特性包括孔隙率及摩擦係數，如 Sollitt 和 Cross (1972)、Rojanakamthorn 等人 (1989)、Losada 等人 (1993)、Twu 和 Wang (1994) 及涂等人 (1999) 等學者均專注於材料孔隙率及摩擦係數對離岸堤或離岸潛堤消波效率之影響。這些研究學者之共同點係於理論計算中將孔隙材料之孔隙率及摩擦係數視為常數。涂等人 (1999) 之研究結論大致為：當摩擦係數小於 1 時，潛堤之消波效率與孔隙率及摩擦係數兩項因素關係密切，消波效率隨著孔隙率及摩擦係數之增加而增加，但當摩擦係數大於 1 以後，消波效率僅與潛堤之孔隙率有密切之關係，甚至後來研究多層透水堤之學者如 Losada 等人 (1993)、Twu 和 Wang (1994)、Twu 和 Chieu (2000) 及 Twu 等人 (2001) 等在其研究中亦將孔隙率及摩擦係數視為常數。將孔隙率視為常數應無問題，但摩擦係數實際上除與潛堤之孔隙率、透水係數及紊流係數有關外，尚與入侵波浪之週期有關，不應視為常數，故本研究不再視摩擦係數為常數，模式計算時將根據潛堤之物理特性及波浪條件計算出摩擦係數後，再進行計算潛堤之消波效率，使計算結果較具體合理，在此一考慮條件基礎上進行研究如何提升潛堤之消波效率，期望提升本研究成果之應用價值。

3.1 理論分析

為理論分析容易起見，本研究假設潛堤為矩形，由 n 層不同孔隙率之透水材料組成，如圖 3-1 所示， z 軸垂直平均水平面向上為正，故 $z = 0$ 代表平均水平面，全部水域分成 $2(n+1)$ 個領域，潛堤置於 $x = r_0$ 與 r_n 之間，潛堤前方 ($x < r_0$) 稱為領域 "0"，潛堤後方 ($x > r_n$) 稱為領域 " $n+1$ "，潛堤前方第一層內部 ($r_0 < x < r_1$ ， $-h < z < -h_s$) 稱為領域 " 1^b "，其上方水域 ($r_0 < x < r_1$ ， $-h_s < z < 0$) 稱為領域 " 1^a "，依此類推，潛堤內部第 j 層 ($r_{j-1} < x < r_j$ ， $-h < z < -h_s$) 稱為領域 " j^b "，其上方水域 ($r_{j-1} < x < r_j$ ， $-h_s < z < 0$) 稱為領域 " j^a "，入射波假設為規則正弦波

$$\eta_0 = a_i \sin[k(x - r_0) - \omega t] \dots \dots \dots (3-1)$$

其中 η_0 係自由水面 $z = 0$ 處量取之水面高， k 為週波數， ω 為週頻率， a_i 為振幅，假設 $a_i \ll h$ 。

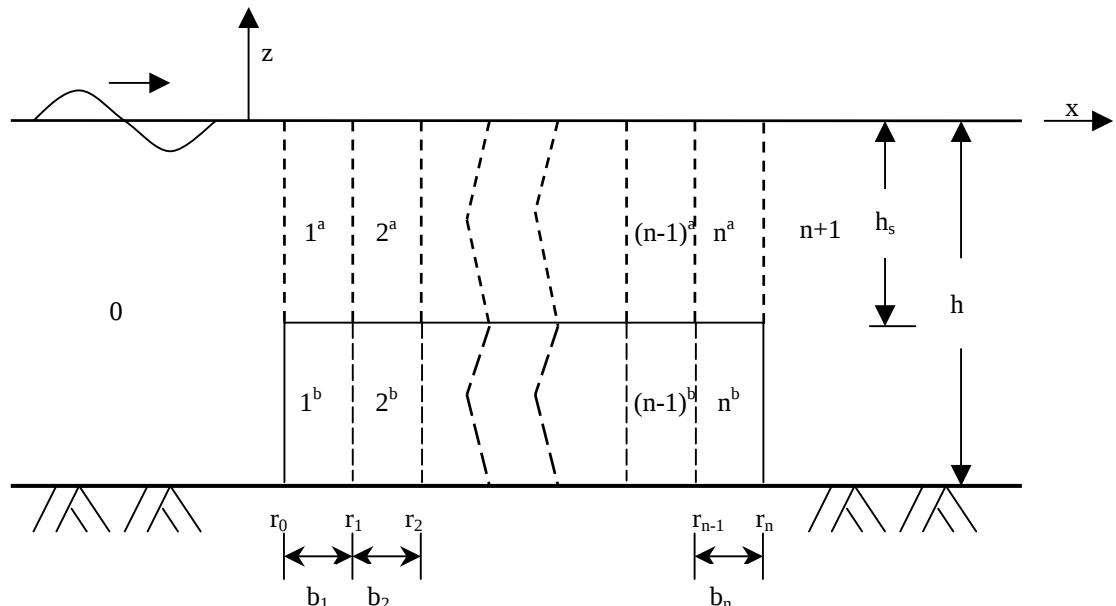


圖 3-1 多層潛堤之示意圖

假設波流場為非旋流，故領域"0"，"1^a"，"2^a"，.....，"n^a"與"n+1"之流速勢(velocity potential)均存在，至於透水潛堤內部之波流場則根據 Sollitt 和 Cross (1972)之理論，亦可假設其流速勢存在，因此各領域之流速可表示之為

$$\vec{q}_j = \text{grad } \vec{\Phi}_j \quad j = 0, 1^a, 1^b, 2^a, 2^b, \dots, n^a, n^b, n+1 \dots \dots \dots (3-2)$$

其流速勢須滿足

$$\nabla^2 \Phi_j = 0 \quad j = 0, 1^a, 1^b, 2^a, 2^b, \dots, n^a, n^b, n+1 \dots \dots \dots (3-3)$$

本研究因假設入射波為一規則正弦波，故流速勢含相同時間因子 $\exp(i\omega t)$ ，如下：

$$\Phi_j(x, z, t) = \phi_j(x, z) \exp(i\omega t) \dots \dots \dots (3-4)$$

$$j = 0, 1^a, 1^b, 2^a, 2^b, \dots, n^a, n^b, n+1$$

領域"0"，"1^a"，"2^a"，.....，"n^a"與"n+1"均須滿足下列線性自由水面條件。

$$\frac{\partial \phi_j}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \phi_j = 0 \quad z = 0 \dots \dots \dots (3-5)$$

領域"0"，"1^b"，"2^b"，.....，"n^b"與"n+1"須滿足下列水底不透水條件。

$$\frac{\partial \phi_j}{\partial z} = 0 \quad z = -h \dots \dots \dots (3-6)$$

領域"j^a"與"j^b" (j = 1, 2, 3,, n) 之水平交界面須滿足質量通率及壓力之連續，根據 Sollitt 和 Cross (1972)，可表示之為

$$\frac{\partial \phi_j^a}{\partial z} = \varepsilon_j \frac{\partial \phi_j^b}{\partial z} \quad z = -h_s, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots (3-7)$$

$$\phi_j^a = (S_j - i f_j) \phi_j^b \quad z = -h_s, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots (3-8)$$

其中

$$S_j = 1 + \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j} C_{mj} \dots\dots\dots (3-9)$$

$$f_j = \frac{1}{\omega} \frac{\int_V dV \int_t^{t+T} \varepsilon_j^2 \left(\frac{\nu q^2}{K_p} + \frac{C_f \varepsilon_j}{\sqrt{K_p}} |q|^3 \right) dt}{\int_V dV \int_t^{t+T} \varepsilon_j q^2 dt} \dots\dots\dots (3-10)$$

f 為經線性化之摩擦係數， ν 為運動黏性係數、 K_p 為 intrinsic permeability， C_f 為亂流阻抗係數， ε 為孔隙率，每一物理量之下標 j 代表孔隙結構體內第 j 層， C_m 為中質粒徑之虛質量係數， T 為波浪週期。

領域 "0" 及 " $n+1$ " 之流速勢須滿足式 (3-3)、式 (3-5) 及式 (3-6)，其解分別為

$$\begin{aligned} \phi_0 = & A_{00} \cos [k_0 (z + h)] \exp [-k_0 (x - r_0)] \\ & + \sum_{m=0}^{\infty} B_{0m} \cos [k_m (z + h)] \exp [k_m (x - r_0)] \dots\dots\dots (3-11) \end{aligned}$$

$$\phi_{n+1} = \sum_{m=0}^{\infty} A_{n+1,m} \cos [k_m (z + h)] \exp [-k_m (x - r_n)] \dots\dots\dots (3-12)$$

其中 k_m ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$) 須滿足下列延散關係式

$$\omega^2 = -g k_m \tan (k_m h) \dots\dots\dots (3-13)$$

其中 $k_0 = i k$ ， $\cos [k_0 (z + h)] = \cosh [k (z + h)]$

式 (3-11) 右邊第一項代表入射波，朝向潛堤前進， A_{00} 為入射波之模數(mode)，與入射波振幅 a_i 之關係為

$$A_{00} = \frac{g a_i}{\omega \cosh(k h)} \dots\dots\dots (3-14)$$

式 (3-11) 中級數項之第一項($m=0$)代表反射波，朝負 x 方向前進， B_{00} 為其模數，故反射係數可以 $|B_{00}/A_{00}|$ 代表之。其餘各項($m=1,2,3,\dots\dots$)代表非進行波(evanescent waves)，其最大振幅在 $x=r_0$ 處，依負 x 方向遞減。

式 (3-12) 中之第一項($m=0$)代表透射波，朝正 x 方向前進， $A_{n+1,0}$ 為其模數，與透射波振幅 a_t 之關係為

$$A_{n+1,0} = \frac{g a_t}{\omega \cosh(k h)} \dots\dots\dots (3-15)$$

式 (3-14) 中其餘各項($m=1,2,3,\dots\dots$)代表非進行波，最大振幅位在 $x=r_n$ 處，依正 x 方向遞減。

假設領域 " j^a " 與 " j^b " ($j=1,2,3,\dots\dots,n$) 之特徵值(eigenvalue) k_{jm} ($m=0,1,2,3,\dots\dots$)相同，因此領域 " j^a " 之流速勢須滿足式 (3-3)、式 (3-5)、式 (3-7) 及式 (3-8)，其解如下：

$$\phi_j^a = \sum_{m=0}^{\infty} \{A_{jm} \exp[-k_{jm}(x-r_{j-1})] + B_{jm} \exp[k_{jm}(x-r_j)]\} G_{jm}(z) \dots\dots (3-16)$$

領域 " j^b " 之流速勢須滿足式(3-3)、式(3-6)、式(3-7)及式(3-8)，其解如下：

$$\phi_j^b = \sum_{m=0}^{\infty} \{A_{jm} \exp[-k_{jm}(x-r_{j-1})] + B_{jm} \exp[k_{jm}(x-r_j)]\} H_{jm}(z) \dots\dots (3-17)$$

其中

$$G_{jm}(z) = -\varepsilon_j \sin[k_{jm}(h-h_s)] \sin[k_{jm}(z+h_s)] \\ + (S_j - i f_j) \cos[k_{jm}(h-h_s)] \cos[k_{jm}(z+h_s)] \dots\dots\dots (3-18)$$

$$H_{jm}(z) = \cos[k_{jm}(z+h)] \dots\dots\dots (3-19)$$

k_{jm} ($j=1,2,3,\dots,n, m=0,1,2,3,\dots$)須滿足下列複數延散關係式

$$\omega^2 = g k_{jm} \frac{\varepsilon_j \sin[k_{jm}(h-h_s)] \cos(k_{jm} h_s) + (S_j - i f_j) \cos[k_{jm}(h-h_s)] \sin(k_{jm} h_s)}{\varepsilon_j \sin[k_{jm}(h-h_s)] \sin(k_{jm} h_s) - (S_j - i f_j) \cos[k_{jm}(h-h_s)] \cos(k_{jm} h_s)} \dots (3-20)$$

為求解式 (3-11)、式 (3-12)、式 (3-16)及式 (3-17)中之模數，可利用每相鄰兩領域之流速勢在其交界面上須滿足質量通率及壓力之連續，並利用 $\cos(k_m z)$ ($m=0,1,2,3,\dots$) 在 $0 < z < h$ 之區間內形成正交函數集合之特性，經 Twu 等人 (2001) 運算重整後可得下列各式：

$$k_m F_m [\delta_{m0} A_{00} + B_{0m}] = \sum_{q=0}^{\infty} k_{1q} [-A_{1q} + B_{1q} \exp(-k_{1q} r_1)] \times [M_{1q}^m + \varepsilon_1 P_{1q}^m] \dots (3-21)$$

$$F_m [\delta_{m0} A_{00} + B_{0m}] = \sum_{q=0}^{\infty} [A_{1q} + B_{1q} \exp(-k_{1q} r_1)] \times [M_{1q}^m + (S_1 - i f_1) P_{1q}^m] \dots (3-22)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{q=0}^{\infty} k_{jq} \{A_{jq} \exp[-k_{jq}(r_j - r_{j-1})] - B_{jq}\} \times [\bar{G}_{jq}^m + \varepsilon_j \bar{H}_{jq}^m] \\ & \dots (3-23) \\ & = \sum_{q=0}^{\infty} k_{(j+1)q} \{A_{(j+1)q} - B_{(j+1)q} [-k_{(j+1)q}(r_{j+1} - r_j)]\} \times [\tilde{G}_{jq}^m + \varepsilon_{j+1} \tilde{H}_{jq}^m] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{q=0}^{\infty} \{A_{jq} \exp[-k_{jq}(r_j - r_{j-1})] + B_{jq}\} \times [\bar{G}_{jq}^m + (S_j - i f_j) \bar{H}_{jq}^m] \\ & = \sum_{q=0}^{\infty} \{A_{(j+1)q} + B_{(j+1)q} \exp[-k_{(j+1)q}(r_{j+1} - r_j)]\} \times [\tilde{G}_{jq}^m + (S_{j+1} - i f_{j+1}) \tilde{H}_{jq}^m] \cdot (3-24) \\ & j=1,2,3,\dots,(n-1) \end{aligned}$$

$$k_m F_m A_{n+1,m} = \sum_{q=0}^{\infty} k_{nq} \{A_{nq} \exp[-k_{nq}(r_n - r_{n-1})] - B_{nq}\} \times [M_{nq}^m + \varepsilon_n P_{nq}^m] \cdot (3-25)$$

$$F_m A_{n+1,m} = \sum_{q=0}^{\infty} \{A_{nq} \exp[-k_{nq}(r_n - r_{n-1})] + B_{nq}\} \times [M_{nq}^m + (S_n - i f_n) P_{nq}^m] \cdot (3-26)$$

其中

$$F_m = \int_{-h}^0 \cos^2[k_m(z+h)]dz = \frac{2k_m h + \sin(2k_m h)}{4k_m} \quad m=0,1,2,\cdots \dots\dots (3-27)$$

$$M_{1q}^m = \int_{-h_s}^0 G_{1q}(z) \cos[k_m(z+h)]dz \quad m=0,1,2,\cdots q=0,1,2,\cdots \dots\dots (3-28)$$

$$P_{1q}^m = \int_{-h}^{-h_s} H_{1q}(z) \cos[k_m(z+h)]dz \quad m=0,1,2 \dots\dots\dots (3-29)$$

$$\delta_{mn} = \begin{cases} 0 & n \neq m \\ 1 & n = m \end{cases} \dots\dots\dots (3-30)$$

$$M_{nq}^m = \int_{-h_s}^0 G_{nq}(z) \cos[k_m(z+h)]dz \quad m=0,1,2,\cdots q=0,1,2,\cdots \dots\dots (3-31)$$

$$P_{nq}^m = \int_{-h}^{-h_s} H_{nq}(z) \cos[k_m(z+h)]dz \quad m=0,1,2,\cdots q=0,1,2,\cdots \dots\dots (3-32)$$

$$\bar{G}_{jq}^m = \int_{-h_s}^0 G_{jq}(z) H_{jm}(z) dz \dots\dots\dots (3-33)$$

$$\bar{H}_{jq}^m = \int_{-h_s}^0 H_{jq}(z) H_{jm}(z) dz \dots\dots\dots (3-34)$$

$$\tilde{G}_{jq}^m = \int_{-h_s}^0 G_{(j+1)q}(z) H_{jm}(z) dz \dots\dots\dots (3-35)$$

$$\tilde{H}_{jq}^m = \int_{-h_s}^0 H_{(j+1)q}(z) H_{jm}(z) dz \dots\dots\dots (3-36)$$

假設入射波之振幅已知，則入射波之模數可由式 (3-14) 求得，令式 (3-21) 至式 (3-26) 中之 m 及 q 採用 0 至 M 項，則可得 $2(n+1)(M+1)$ 個方程式，恰等於其未知模數之數目，故可解之。其中反射係數為

$$C_r = \left| \frac{B_{00}}{A_{00}} \right| \dots\dots\dots (3-37)$$

透波係數為

$$C_t = \left| \frac{A_{n+1,0}}{A_{00}} \right| \dots\dots\dots (3-38)$$

波能損失百分率為

$$E_{loss} = (1 - C_r^2 - C_t^2) \times 100\% \dots\dots\dots (3-39)$$

3.2 理論計算

以往對多層透水結構物之研究者如 Losada 等人 (1993)、Twu 和 Chieu (2000) 及 Twu 等人 (2001) 均指出多層透水結構物如將孔隙率大者排在面向波浪之前方，孔隙率小者排在後方，將比單層堤有更佳之消波效率，不但透波係數較小，反射係數也較小，但在其理論計算中均假設摩擦係數 (f) 或透水係數 (K_p) 為常數，實際上，摩擦係數不但隨波浪週期變化，而且與孔隙材料之孔隙率有一定之關係，根據 Sollitt 和 Cross (1972)，摩擦係數與波浪週期及孔隙材料之透水係數 (K_p) 及孔隙率有關，如式 (3-10) 所示，而透水係數與孔隙材料之孔隙率又有關，本研究根據涂和藍 (2004) 之研究結果分析出孔隙材料之透水係數與孔隙率之關係為

$$K_p / L^2 = (C_1 \varepsilon + C_2) \times 10^{-8} \dots\dots\dots (3-40)$$

其中

$$C_1 = 24.4(d/L)^2 + 0.06 \dots\dots\dots (3-41)$$

$$C_2 = 7.41(d/L)^2 \dots\dots\dots (3-42)$$

(適用於 $0.14 < d/L < 0.35$)

因此在本研究之理論計算中所需使用之摩擦係數或透水係數均不再虛擬假定為常數，而改採用務實之做法，先根據孔隙率，水深波長等條件，由式 (3-40)、式 (3-41) 及式 (3-42) 算出實際透水係數 (K_p)，再代入式 (3-10) 算出摩擦係數，然後進行透波係數及反射係數之推算。有關透波係數及反射係數之運算模式驗證在 Twu 等人 (2001) 中已有詳述，在此不再贅述。

1. 單層透水潛堤之計算

首先計算單層透水潛堤透波係數，反射係數及波能損失百分率與孔隙率之關係，圖 3-2 和圖 3-3 所示為潛堤潛沒水深 $h_s/h=1/3$ ，堤寬 $B/h_b=1$ 之計算結果 (h 代表水深， h_b 為堤頂高度， a 為波浪振幅)，圖 3-2 顯示透波係數及反射係數均隨孔隙率之增加而減少，因此圖 3-3 也顯示波能損失百分率隨著孔隙率之增加而增加，此係因孔隙率增加，波浪將有更大之機會滲入孔隙體內與結構交互作用，因此有較大之能量損失百分率，使得透波係數及反射係數同時降低。

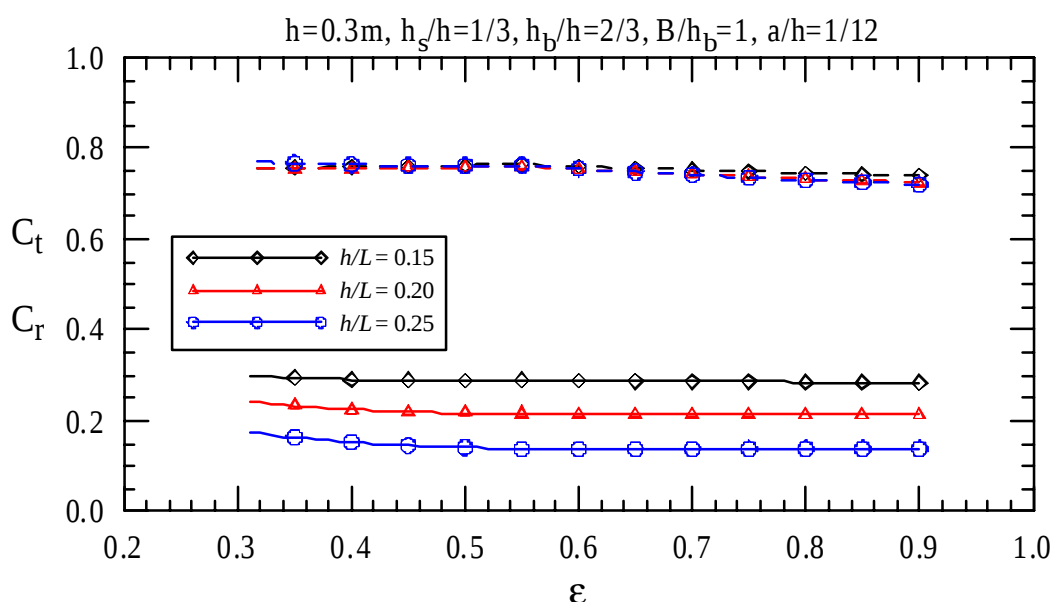


圖 3-2 單層潛堤透波係數、反射係數與孔隙率之關係

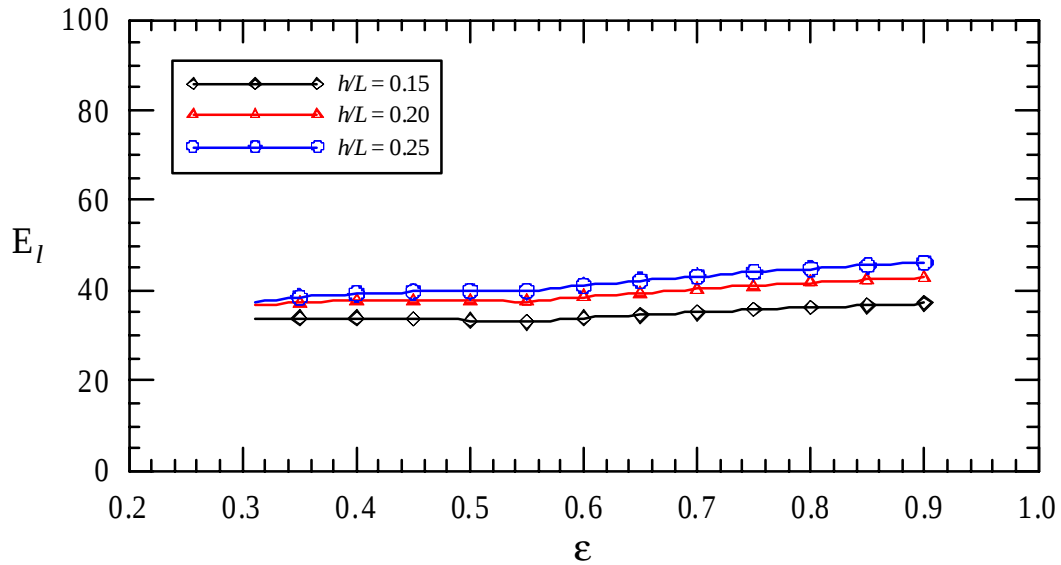


圖 3-3 單層潛堤波能損失百分率與孔隙率之關係

若將上一計算例之堤寬 B/h_b 由 1 提升至 2，其他條件不變，其計算結果透波係數及反射係數如圖 3-4 所示，波能損失百分率如圖 3-5 所示。圖 3-4 顯示透波係數及反射係數隨孔隙率之增加而減少，此一趨勢比上一例更為明顯，圖 3-5 也更進一步顯示孔隙率增加，波能損失百分率隨之增加，因此可以確定孔隙率較大之孔隙材料可以有較低之透波係數及反射係數，也因此有較大之波能損失百分率。

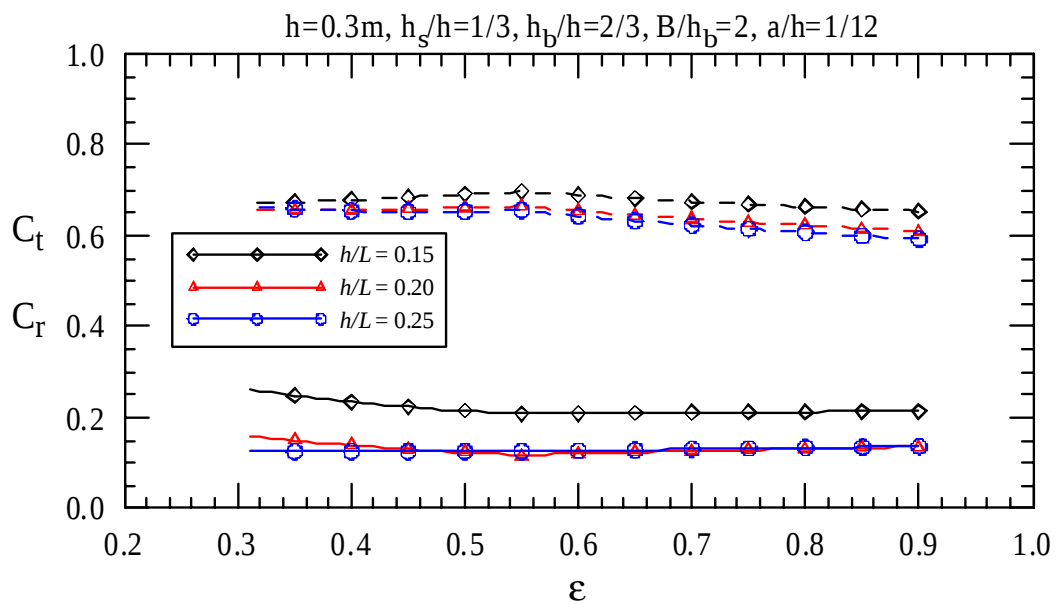


圖 3-4 單層潛堤透波係數、反射係數與孔隙率之關係

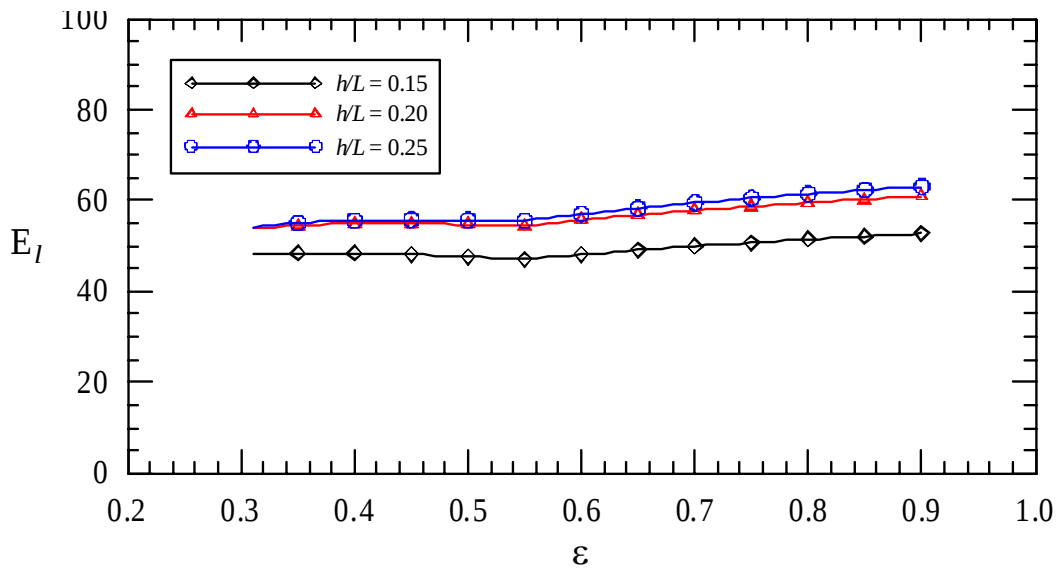


圖 3-5 單層潛堤波能損失百分率與孔隙率之關係

將潛沒水深 (h_s/h) 由 $1/3$ 增加至 $1/2$ ，因潛沒水深增加降低消波效果，故將堤寬 (B/h_b) 增加至 3 ，其餘計算條件不變，透波係數及反射係數結果如圖 3-6，波能損失百分率計算結果如圖 3-7 所示。圖 3-6 顯示因潛沒水深加大，反射係數大幅降低，以致反射係數與孔隙率之關係不明顯，透波係數則與前二例趨勢相同，隨著孔隙率之增加而減少，圖 3-7 亦顯示波能損失百分率隨著孔隙率之增加而增加。

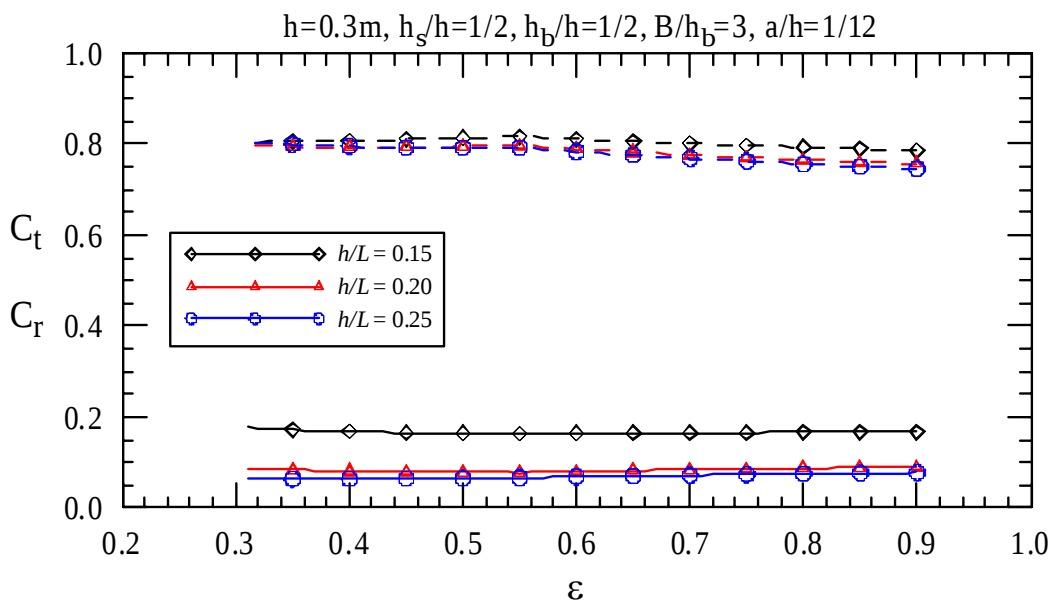


圖 3-6 單層潛堤透波係數、反射係數與孔隙率之關係

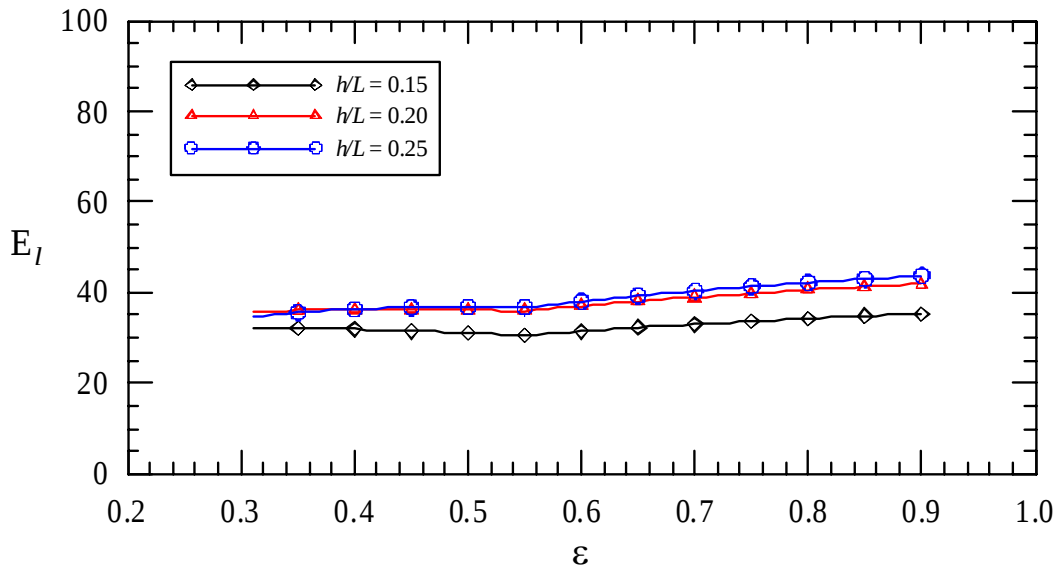


圖 3-7 單層潛堤波能損失百分率與孔隙率之關係

2. 多層透水潛堤之計算

前面述及本研究採用較務實之做法，先根據孔隙率及波浪條件計算出透水係數，再根據孔隙率、透水係數及波浪條件計算出摩擦係數，最後再據以計算透波係數，反射係數及波能損失百分率，如此計算結果將較為實際。

根據此一計算法，首先計算雙層透水潛堤之透波係數，反射係數及波能損失百分率。圖 3-8 及圖 3-9 即為三種雙層透水潛堤之透波係數，反射係數及波能損失百分率，根據 Jamieson 和 Mansard (1987)、Losada 等人 (1993)、Twu 和 Lin (1990)、Twu 和 Wang (1994)、Twu 和 Chieu (2000) 及 Twu 等人 (2001) 等之研究均一致指出多層透水堤之透水材料，應將大孔隙率之材料擺在面向波浪前方，小孔隙率之材料則擺在後方。故本研究係沿用此方式擺設，圖 3-8 及圖 3-9 所計算之三種雙層透水潛堤其前後層材料之孔隙率分別為 (1) $\varepsilon_1 = 0.7$, $\varepsilon_2 = 0.3$ 。(2) $\varepsilon_1 = 0.7$, $\varepsilon_2 = 0.5$ 。(3) $\varepsilon_1 = 0.5$, $\varepsilon_2 = 0.3$ 。圖 3-8 顯示三種雙層結構之反射係數大致不相上下，透波係數以 (1) 及 (3) 較低，(2) 則較高，因此圖 3-9 亦顯示第 (2) 種其波能損

失百分率較低，但與圖 3-2 和圖 3-3（單層，但堤身高度、寬度與圖 3-8 之雙層者相同）相比較，圖 3-2 中顯示透波係數最低時約在 0.71 至 0.67 間（ $\varepsilon=0.9$ ， h/L 介於 0.15 至 0.25 間），但在相同水深波長比之範圍內，圖 3-8 所示之三種雙層透水潛堤，其透水係數均在 0.625 以下，圖 3-9 所顯示同一水深波長比之範圍內，其波能損失百分率亦大於圖 3-2 者，圖 3-2 和圖 3-3 與圖 3-8 和圖 3-9 比較結果顯示，雙層透水潛堤之透波係數低於單層透水潛堤之透波係數，也因此前者（雙層）之波能損失百分率大於後者。

若將潛堤之寬度由 $b_1/h_b = b_2/h_b = 1/2$ 提高至 $b_1/h_b = b_2/h_b = 1$ ，即寬度由 $B/h_b = 1$ 提高至 $B/h_b = 2$ ，其餘條件不變，透波係數及反射係數之計算結果繪示如圖 3-10 所示，波能損失百分率如圖 3-11 所示。圖 3-10 所示三種雙層透水堤之透波係數，反射係數大小略有差別，圖 3-11 則顯示三種配置之波能損失百分率大致相同。圖 3-10 所顯示之透波係數為 0.55~0.56（ $0.15 < h/L < 0.25$ ），但與圖 3-4（堤寬、堤高相同）相比較，圖 3-4 所示之透波係數均在 0.6 以上，顯示雙層者有較低之透波係數，圖 3-11 與圖 3-5 比較結果亦顯示在同一波浪條件範圍內，雙層者有較大之波能損失百分率，亦即有較佳之消能效率。

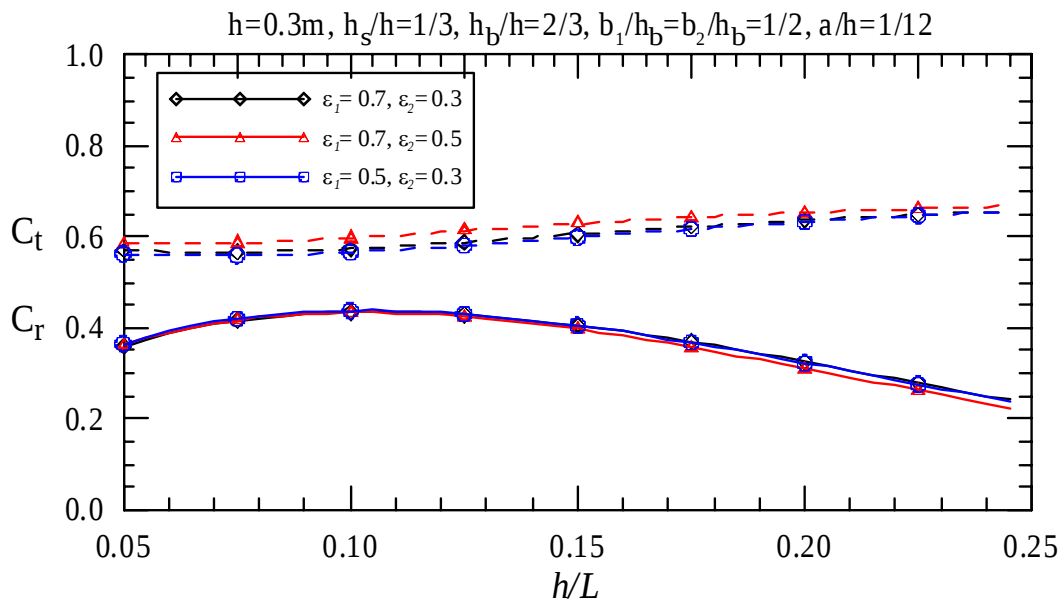


圖 3-8 三種雙層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係

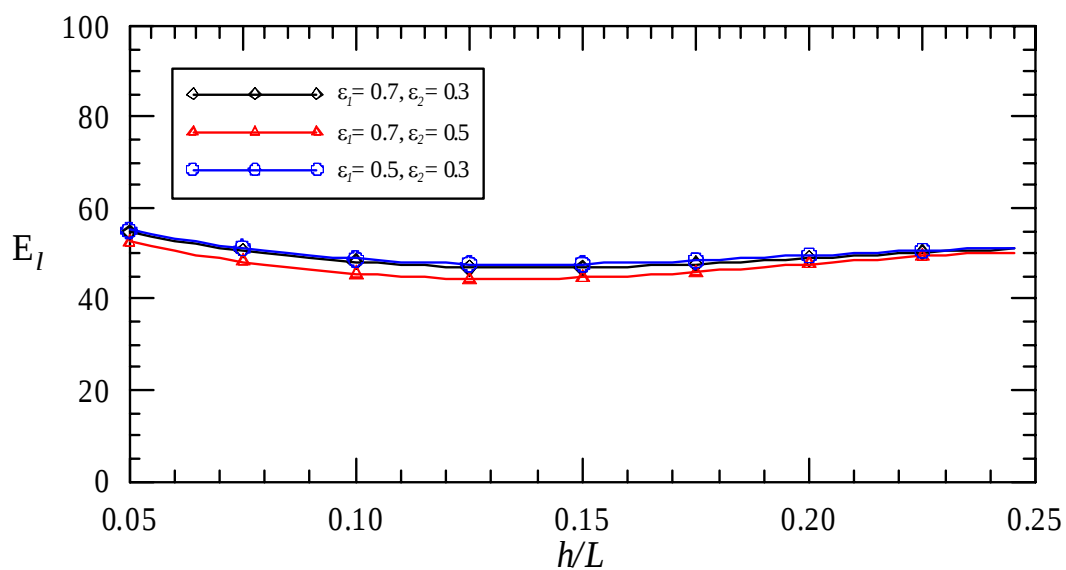


圖 3-9 三種雙層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係

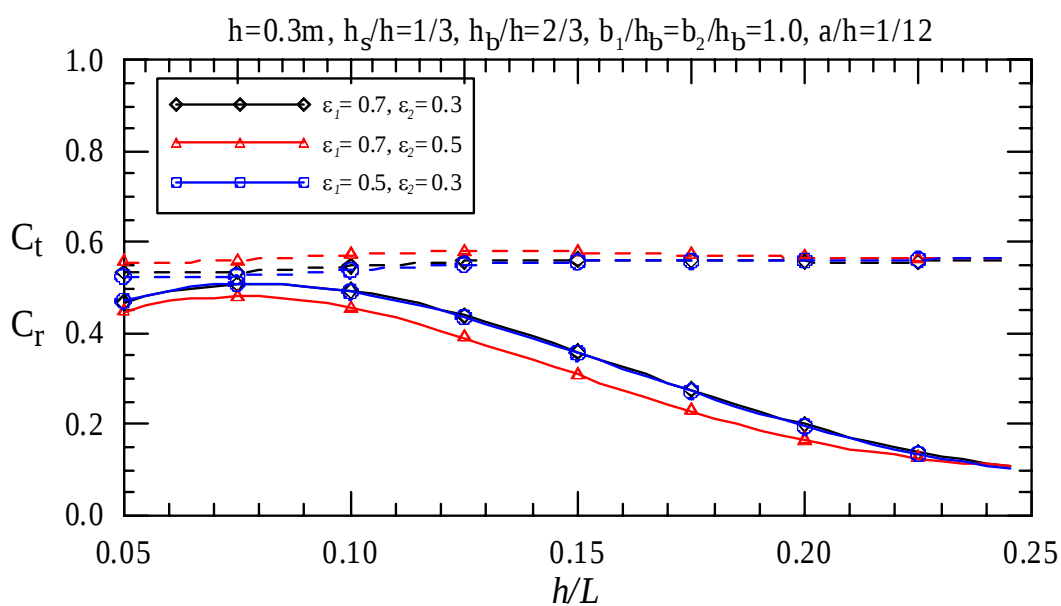


圖 3-10 三種雙層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係

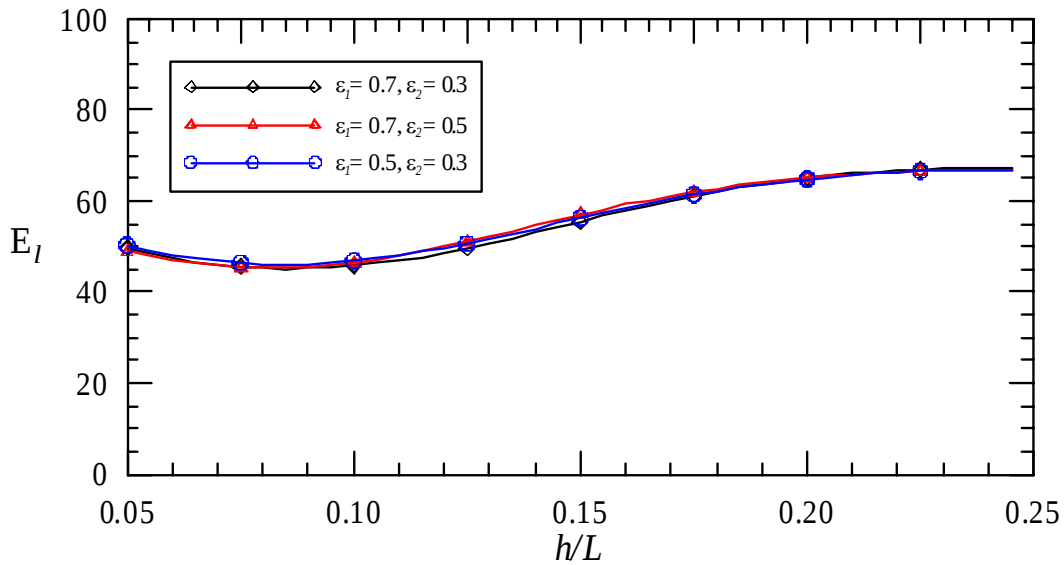


圖 3-11 三種雙層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係

圖 3-12 及圖 3-13 所示係三組各有三層之孔隙潛堤，三組之材料孔隙率分別為 (1) $\epsilon_1 = 0.7$ ， $\epsilon_2 = 0.5$ ， $\epsilon_3 = 0.3$ 。(2) $\epsilon_1 = 0.7$ ， $\epsilon_2 = 0.6$ ， $\epsilon_3 = 0.5$ 。(3) $\epsilon_1 = 0.5$ ， $\epsilon_2 = 0.4$ ， $\epsilon_3 = 0.3$ 。其餘之共同條件為堤頂潛沒水深 $h_s/h = 1/3$ ，堤寬 $b_1/h_b = b_2/h_b = b_3/h_b = 1/3$ ，亦即 $B/h_b = 1$ 。計算結果透波係數及反射係數如圖 3-12 所示，波能損失百分率如圖 3-13 所示，圖 3-12 和圖 3-13 與同寬度同高度之雙層潛堤如圖 3-8 和圖 3-9 相比，顯示三層潛堤有較低之透波係數及較高之波能損失百分率。

若將上例之潛堤寬度加倍，即 $b_1/h_b = b_2/h_b = b_3/h_b = 2/3$ ，即 $B/h_b = 2$ ，其餘之共同條件不變，計算結果透波係數及反射係數如圖 3-14 所示，波能損失百分率如圖 3-15 所示，圖 3-14 和圖 3-15 與同寬度同高度之雙層潛堤如圖 3-10 及圖 3-11 相比，同樣顯示三層潛堤比雙層潛堤有較低之透波係數及較高之波能損失百分率。

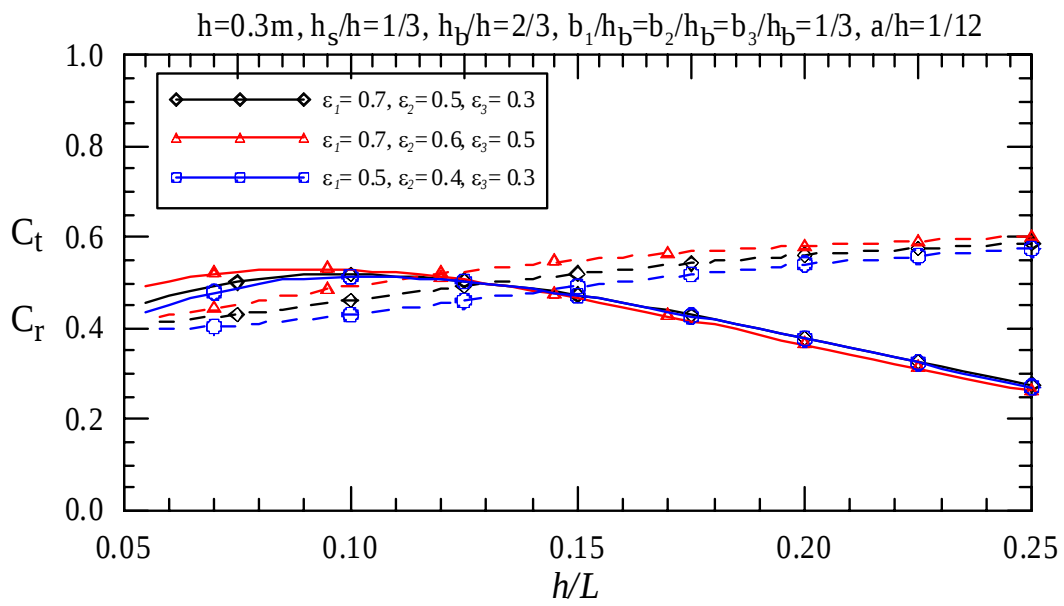


圖 3-12 三種參層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係

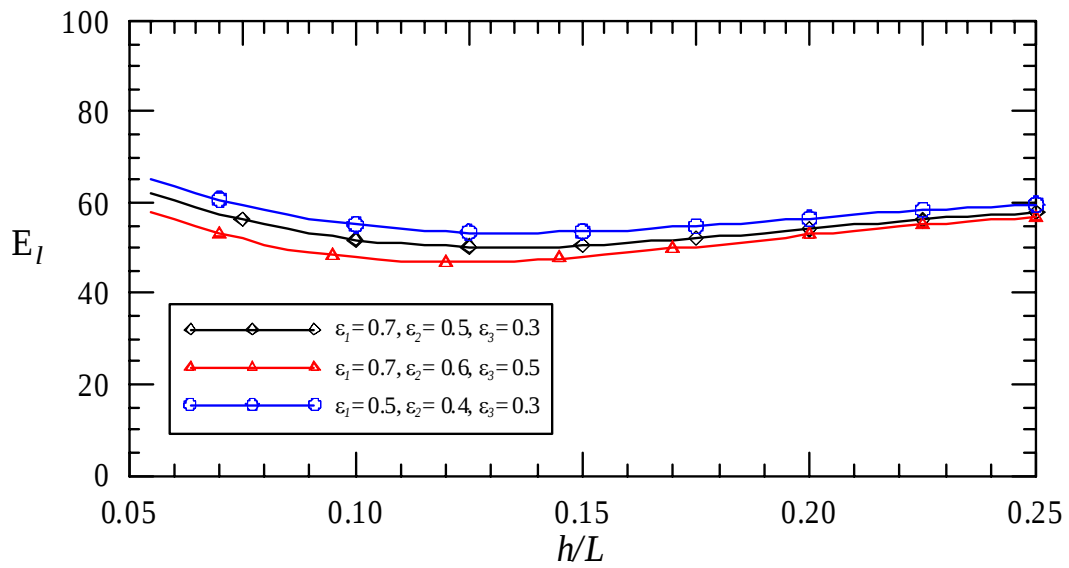


圖 3-13 三種參層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係

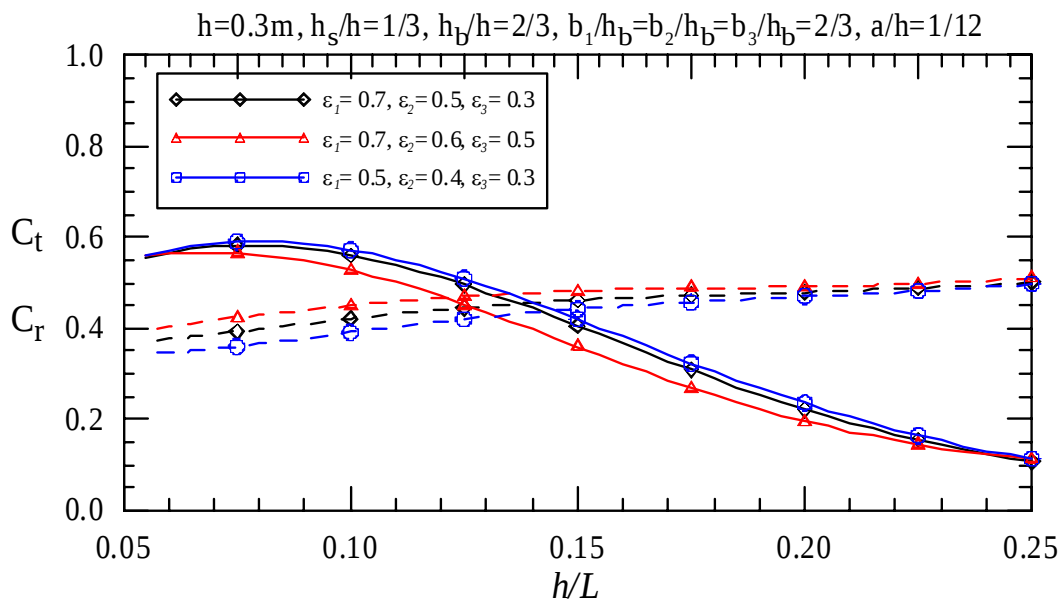


圖 3-14 三種參層潛堤透波係數、反射係數與水深波長比之關係

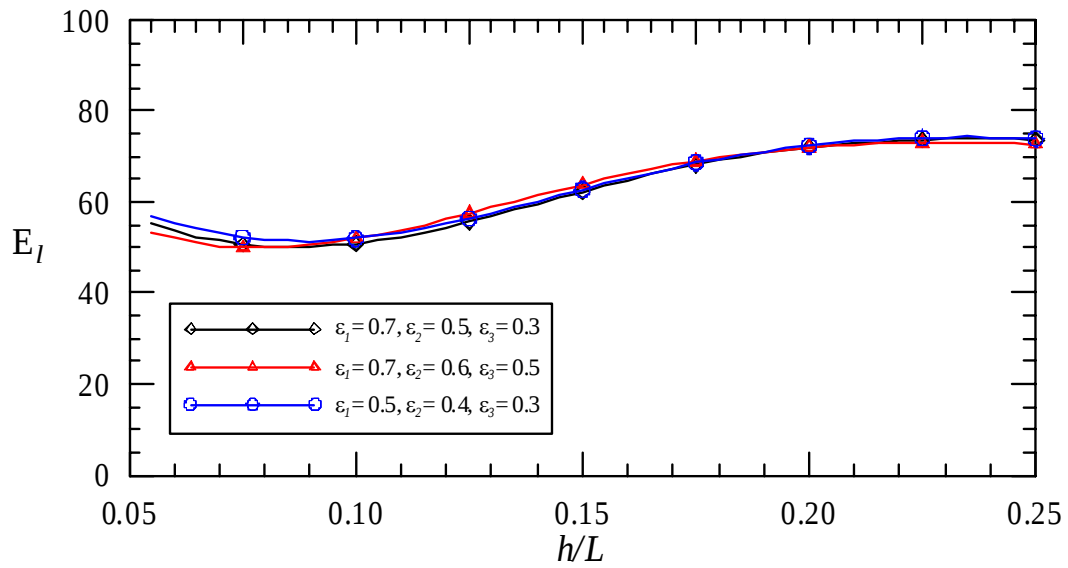


圖 3-15 三種參層潛堤波能損失百分率與水深波長比之關係

3.3 結果與討論

以往研究透水潛堤消波問題，其計算方式多根據孔隙率及一虛擬假設之摩擦係數，或根據一虛擬透水係數再據以計算出摩擦係數，在此情況下，摩擦係數或透水係數可以與孔隙率毫無關係，但實際上透水係數與孔隙率及波浪條件有一定之關係，本研究即建立並依循其間之關係，先根據孔隙率及波浪條件推算出透水係數，再根據孔隙率與透水係數，波浪條件計算出摩擦係數，最後再據前述公式計算透波係數，反射係數及波能損失百分率。

依此方式計算結果顯示單層透水潛堤之透波係數隨孔隙率之增加而減少，因此孔隙率較大之潛堤有較大之波能損失百分率。雙層透水潛堤比單層潛堤有較小之透波係數及較高之波能損失百分率，且三層潛堤比雙層潛堤有更小之透波係數及更高之波能損失百分率。

第四章 潛沒沙丘波浪防禦效果

人工潛沒式沙丘有別於傳統的硬性工法而無硬體構造物，一般由浚沙直接在離岸區域堆置而成。人工沙丘可以提前消減波能，具有類似潛堤之功效，可使後方之海域靜穩，提供較佳親水環境，另可藉由自然營力作用將沙源運行至海灘，達到間接養灘的效果。因此，若設計得宜，則潛沒式沙丘可結合潛堤和人工養灘二者之功效。由於藉助自然營力的作用，潛沒式沙丘在成本上也較直接將養灘料堆置在沙灘上來的經濟(Vera-Cruz, 1972)。因採用浚碟沙源在水面下堆沙而成，故比人工養灘直接將沙源置於灘線附近的環境衝擊較小。另外，因沙丘置於離岸區，在颱風來襲時的損失會低於直接將沙源置於灘線，如此在工程成果之評鑑驗收上會有較少之糾紛。雖然其成效彰顯不如直接養灘來的快且拋放後無法直接目視感受其成果，但若以長期之眼光，在自然營力週而復始作用後其所達到之效益實有過彼之處。

潛沒式沙丘在國外應用之實例已有多數之歷史。美國早在 30 年代於加州的聖塔芭芭拉 (Santa Barbara) 和亞特蘭大市 (Atlantic City) 就利用濬碟之砂粒在當地構置潛沒式沙丘，但因成效不明顯所以改以直接人工養灘的方式。此時期為人工沙丘工法初試啼聲之階段，在缺少學理背景資訊之情況下，沙丘多為穩定態，無法向岸傳送砂源。至 70 年代時期之潛沒式沙丘依比例而言，在海岸保護上多具有成效，且砂源會向岸傳輸，形成養灘效果，如 Copacabana Beach (Brazil, 1970) 和 New River Inlet (NC, 1976) 等現場應用實例；80 年代後潛沒式沙丘之於海灘保護上，在比例上更具成效，如 Sand Island (AL, 1987) 和 Silver Strand (CA, 1988) 等計畫。然並非所有現場計畫皆有海岸保護之功效，如 Coos Bay (OR, 1988) 和 Perdido Key (Florida, 1992) 之計畫則有流失或無法向岸移動而未能達到海岸保護之功效。Otay (1994) 整理了各國應用潛沒式沙丘的例子，包含了堆置體積、沙丘高度、粒徑等沙丘特性，另有波高、週期等波浪特性，並將應用成效（如向離岸傳輸及海岸保護情形）加以彙整。由以上可知人工沙丘仍有相當之研究價值。

4.1 往昔相關經驗公式

Hallermeier (1981) 提出了示性輸砂極限水深，利用波浪及底床質之特性獲得內部極限水深(h_1)和外部極限水深(h_2)，其表示如式 (4-1) 及式 (4-2) 所示：

$$h_1 = 2\overline{H_s} + 11\sigma H_s \dots\dots\dots (4-1)$$

$$h_2 = (\overline{H_s} - 3\sigma H_s) \overline{T} \sqrt{\frac{g}{5000d_{50}}} \dots\dots\dots (4-2)$$

其中 $\overline{H_s}$ 為平均局部示性波高， σ 為標準偏差， $\overline{T}$ 為平均週期， d_{50} 為中值粒徑。在內部極限水深之內為沙丘可移動區(active zone)，在外部極限水深之外為沙丘穩定區，兩者之間為過渡區(buffer zone)，亦即沙丘擺放的區位水深會影響砂粒移動和傳送的情形。

Larsen 和 Kraus (1992) 利用位於北加州 Duck 離岸沙洲的長期現場資料來分析並建立迴歸潛沒式沙丘之幾何物理特性、波浪特性及傳輸特性，並求得波浪之向岸傳輸的臨界條件，其複雜型態之經驗公式如式 (4-3) 至式 (4-5) 所示：

$$\frac{H_0/L_0}{(H_0/wT)^3} \geq 3.92 \cdot 10^{-5} \dots\dots\dots (4-3)$$

$$\frac{H_0}{L_0} \left(\frac{H_0}{d_{50}} \right)^3 \leq 4.5 \cdot 10^9 \dots\dots\dots (4-4)$$

$$\frac{H_0/wT}{(w/\sqrt{gH_0})^2} \leq 2.34 \cdot 10^5 \dots\dots\dots (4-5)$$

其中 H_0 為深海波高， L_0 為深海波長， T 為深海波浪週期， w 為底質沈降速度。上述公式包含深海波浪銳度(H_0/L_0)，沈降參數(H_0/wT)，波高粒徑比(H_0/d_{50})及深海福祿數($w/\sqrt{gH_0}$)。

Gunyakti (1987)利用不同粒徑以模型試驗方式探討砂粒傳輸方向，結果顯示較細之顆粒容易被帶至向岸區，但若有沿岸流之作用則會被帶至離岸而消失，而較粗之顆粒則會向岸傳輸或留在原地。另外，沙丘高度和沙丘水深比以及堤頂寬度和堤頂水深亦會影響向岸傳輸速率，而平行海岸的長度若太短則會有波浪聚焦之效應。建議相對堤高若符合 $0.5 \leq h_b/h \leq 0.8$ (h_b 為堤高， h 為放置水深)和相對堤寬符合 $5 \leq B_c/h_c \leq 21$ (B_c 為堤頂寬， h_c 為堤頂沒水深)此兩條件，沙丘會有 75% 的向岸輸沙量。

4.2 量化參數之訂定

一般而言，輸沙率(q_x)計算皆以瞬時底質濃度或週期平均濃度再對水深積分行之，亦可由積分型態的質量守恆方程式配合平均地形變化來作為平均輸沙率計算。輸沙率的空間定義以潛沒式沙丘的初始堤底部放置位置為計算基準。

潛沒式沙丘的應用上多探討其為穩定態或可動態、向岸總輸沙量及其達到何種的平衡地形，為了探討這些現象及量化沙丘傳送的體積，無因次累計輸沙率(消失率 R)在二維試驗中被定義如式 (4-6)：

$$R = \frac{\int_0^{t_m} q_x dt}{A_0} = \frac{A_t}{A_0} = 1 - \frac{A_r}{A_0} \dots\dots\dots (4-6)$$

其中 A_t 為在波浪作用後沙丘所傳送之總斷面積(A_t 為輸沙率對時間之累計)， A_r 為波浪作用後於定義區剩餘之地形斷面積， A_0 為放置於定義區之初始地形總斷面積。而無因次累計輸沙率為輸沙率(q_x)對時間的積分後，再以初始佈置斷面積無因次化，其將沙丘之輸沙率由起始放置時間($t=0$)累算至近乎平衡狀態($t=t_m$)。另外，若沙源由初始拋放區域往預定方向傳送沙源，由消失率定義可知其為初始佈置之無因次參數，故消失率亦表一效益參數。

影響人工沙丘消失率之變數相當複雜，大致上可以區分為所處波流環境變數、底質變數、底床坡度及佈置幾何型態變數等等，而水平底床沙丘幾何示意圖如圖 4-1 所示，斜坡底床沙丘幾何示意圖如圖 4-2。其中 B_c 為堤頂寬， B_b 為堤底部寬度， h_c 為頂沒水深， h_b 為堤高， β 為邊坡角度， h 為堤放置水深， h_0 為深海水深， θ 為底床坡度， x_c 為離岸距離，斜坡上之堤高 h_c 為初始拋放點之砂丘高程，其以初始砂丘形心位置決定之。

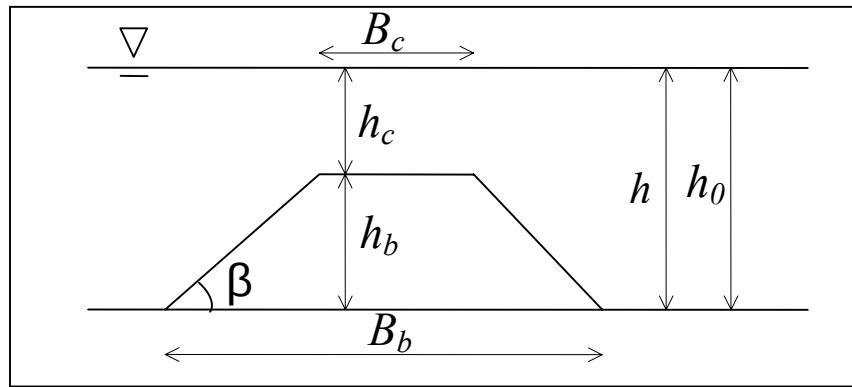


圖 4-1 水平底床沙丘之幾何示意圖

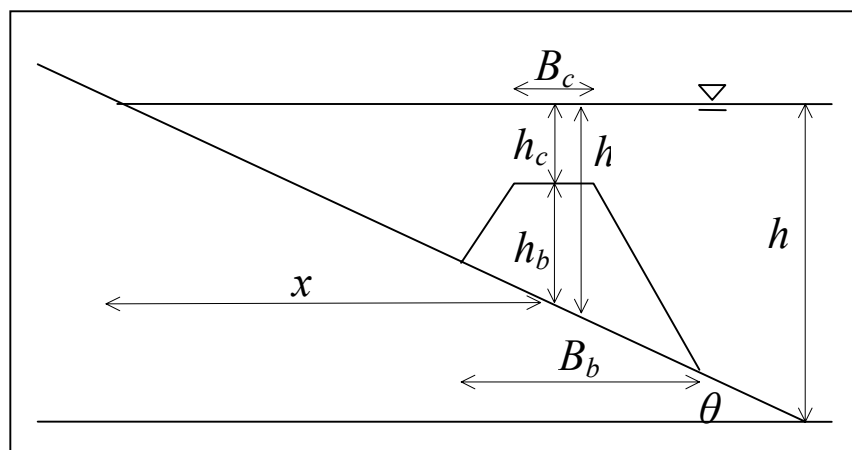


圖 4-2 斜坡底床沙丘之幾何示意圖

4.3 水平底床試驗及結果

1. 試驗過程

本研究主要在探討歷經時間、沙丘消失比例、波浪特性和沙丘佈置之關係，試驗採用單一且均勻之玻璃沙，其中值粒徑 $0.032mm$ ，比重 2.45，並以對稱之梯形佈置沙丘，而邊坡採用近似安息角度之單一坡度。在略去相依變數並使用 Π 定理及重複變數法，可獲得無因次參數群如式 (4-7)：

$$R = f_2 \left(Sh, \frac{B_b}{h}, \frac{h_b}{h} \right) \dots\dots\dots (4-7)$$

其中 Sh 為史爾茲參數(Shields parameter)， B_b/h 為相對沙丘寬度， h_b/h 為相對沙丘高度。本研究使用線性波浪理論來計算水粒子運動振幅(a)及近底床流速(u_b)，其可以表示如式 (4-8) 及式 (4-9)：

$$a = \frac{H}{2 \sinh(2\pi h/L)} \dots\dots\dots (4-8)$$

$$u_b = 2\pi a/T \dots\dots\dots (4-9)$$

其中 T 為波浪週期。史爾茲參數可以式 (4-10) 計算之，其中 f_w 為底床粗糙為 d_{50} 時之摩擦係數，以 Jonsson (1966)之經驗式估算。

$$Sh = \frac{f_w u_b^2}{2(s-1)gd_{50}} \dots\dots\dots (4-10)$$

試驗條件主要變數包含波高、週期、堤高及堤寬，本研究以三種堤寬及三種堤高並配合不同之波浪條件，共計 40 組如表 4-1 所示。而試驗步驟如下：

- (1)量測儀器之架設與率定：波高計及攝影器材之架設並率定。
- (2)放置消波設施及量測反射率。

(3)改變並檢視波浪條件

(4)模型鋪設：利用輔助裝置在水中鋪設沙丘且將定義區外砂粒去除。

(5)攝影並定義初始座標。

(6)造波並收錄波浪資料。

(7)造波完成並攝影，重複(6)之步驟直到沙丘為近乎平衡狀態。

(8)重複(3)至(7)之步驟直至全部實驗條件完成。

表 4-1 表定之造波條件

Case no.	$H(\text{cm})$	$T(\text{sec})$	$h_b(\text{cm})$	$B_b(\text{cm})$	Sh no.
1~3	3.5	1.15	11,8,5	51	0.031
4~6	4.0	1.15	11,8,5	51	0.038
7~9	4.0	1.30	11,8,5	51	0.039
10~12	5.0	0.95	8	35,51,67	0.048
13~14	5.0	1.15	11	51,67	0.053
15~17	5.0	1.15	8	35,51,67	0.053
18~20	5.0	1.15	5	35,51,67	0.053
21~23	5.0	1.30	11,8,5	51	0.055
24~26	6.0	0.85	11,8,5	51	0.056
27~29	6.0	0.95	8	35,51,67	0.063
30~32	6.0	1.15	11,8,5	51	0.071
33~35	6.0	1.30	11,8,5	51	0.074
36~38	7.0	1.30	11,8,5	51	0.095
39~40	7.0	1.30	5	35,67	0.095

2. 沙丘演變過程

本研究主要探討沙丘之演變過程及其對波浪產生之影響，不著墨於微觀尺度下之邊界層沙粒傳輸情形。整體而言，潛沒式沙丘在實驗的尺度下，傳輸之過程係以二維渦動沙漣之傳輸機制向岸及離岸往兩端傳送砂粒，一般之向岸傳輸量略大於離岸。

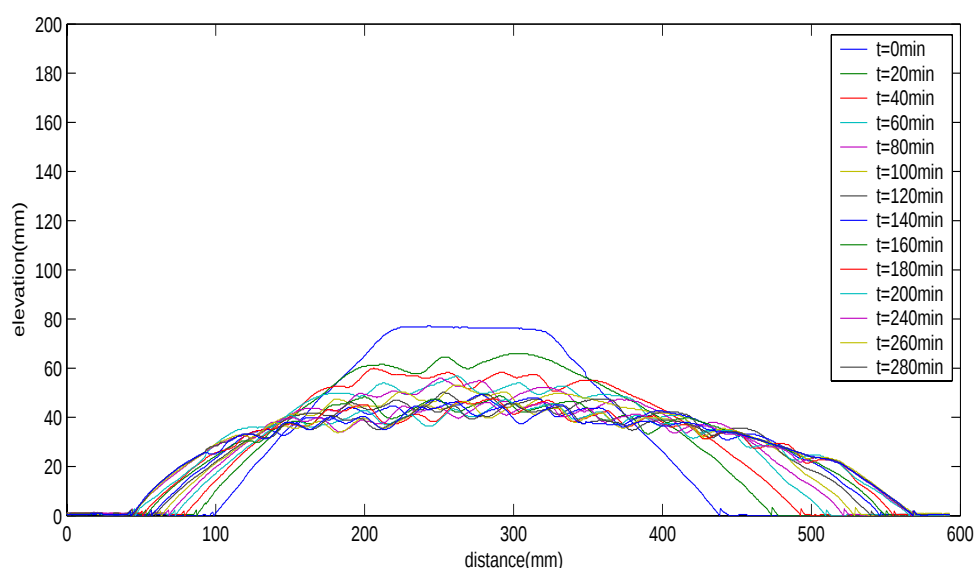


圖 4-3 沙丘之演化過程
(底寬 35cm，堤高 8cm， $Sh=0.048$)

當沙粒被拋放至水中形成沙丘，沙粒與波浪之間的交互作用隨即產生。整個流場被此梯形構造物改變，進而形成一般潛堤常見之堤角渦流。圖 4-3 中梯形潛沒式沙丘的初始淘刷點大致位於離岸方向之堤頂角處，此現象與梯形潛堤形成之堤角渦流有關。該處沙粒所受之運移力大於自身重力而形成淘刷現象，之後隨即形成二維之渦動沙漣，而沙粒便隨著沙漣上之渦流往兩旁傳送沙粒並逐漸形成新沙漣。演變過程中，沙漣形成的個數及範圍向兩側增加並使得潛堤趨於平坦，此時沙丘亦逐漸演變至近乎平衡狀態。當沙粒只在自身處迂迴或很少之沙粒被輸送時，此為沙丘演化之後期，亦即沙丘即將達到近乎平衡狀態。

3.最大高程與輸沙率之關係

圖 4-4 顯示沙丘輸沙率隨著沙丘最大高程降低而降低，由沙丘之演化過程可知沙丘的高度為影響輸沙率之重要參數。因次分析中可知運移力主要正比於近底床流速之二次方，而近底床流速又和水深成反比，故水深淺處所受之運移力較大；亦即當入射波浪及底質不變條件下，沙粒在同一離岸距離但水深較淺時，所受的運移力大於深水區，此點亦可以由波浪之流速剖面分佈得知。由此可知，運移力越大使得輸沙率越大，沙丘高度降低導致輸沙率亦隨之減少。另外，史爾茲參數為運移力與重力之比值，在同一底質條件下，運移力越大則史爾茲參數越大，更推得其引致之輸沙率亦越大。

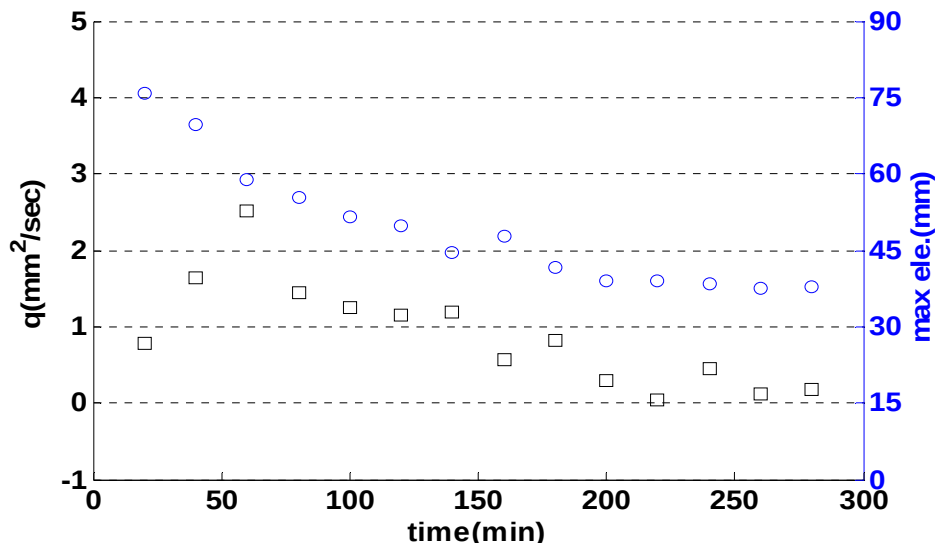


圖 4-4 最大高程(○)與輸沙率(□)之關係

4.沙丘幾何形狀對消失率之影響

本研究使用三種不同堤寬及三種不同堤高，共計九種大小之梯形潛沒式沙丘進行試驗，以表定條件之方式固定其他變數，並逐一討論單一變數對消失率之影響。圖 4-5 顯示在固定波浪及堤寬條件下，相對堤高越大則消失率越大；此現象為潛堤越高，堤頂所受之運移力越大而產生較大之輸沙率，進而導致消失率亦越大。而消失率約正比於相對堤高，故堤高設計以超過半倍佈置水深為佳。

堤寬在波浪入射時扮演消滅波能之角色，當堤高及入射波浪條件固定不變下，堤寬愈大則波浪對沙粒之相對運移能力愈低，所輸送之沙粒亦愈少，進而使消失率愈低，此現象由圖 4-6 可以得知。由圖 4-6 亦可約略看出堤寬在佈置 3 倍水深時，消失率減低之趨勢漸緩，故堤寬之設計以約 3 倍水深為佳。

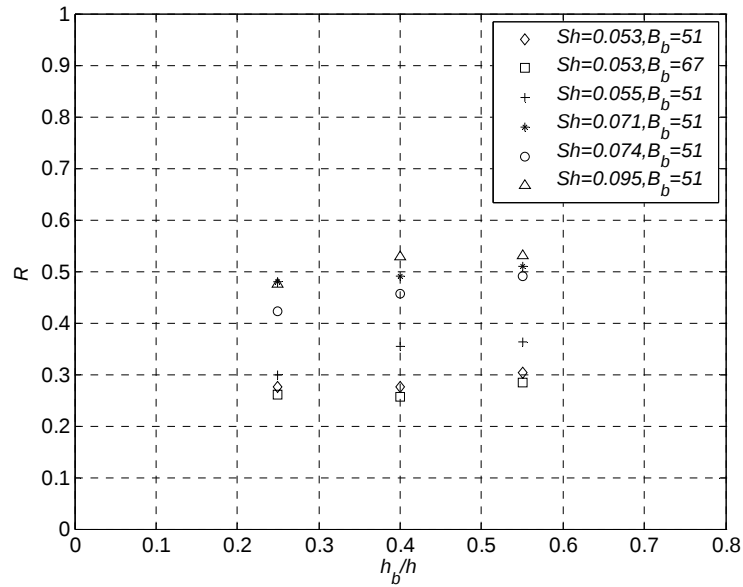


圖 4-5 堤高對消失率之影響

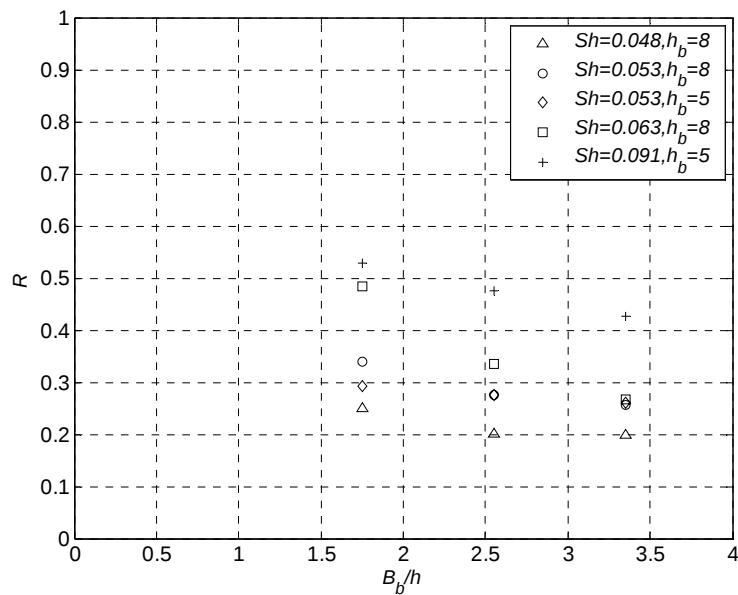


圖 4-6 堤寬對消失率之影響

5. 消失率與史爾茲參數之關係

由前述可知沙丘之幾何佈置對消失率有所影響，故引用統計迴歸的方式，利用式 (4-5) 之型態做最小二乘法迴歸，可得其係數 $c_1=0.526$ ， $c_2=0.056$ ， $c_3=0.191$ ， $c_4=1.872$ ，而其 *R-square* 值為 0.903。將試驗所獲得之消失率與式 (4-11) 所預測之消失率點繪如圖 4-7，可知其適用性。

$$R = c_1 \ln(Sh) - c_2 (B_b / h) + c_3 (h_b / h) + c_4 \dots \dots \dots (4-11)$$

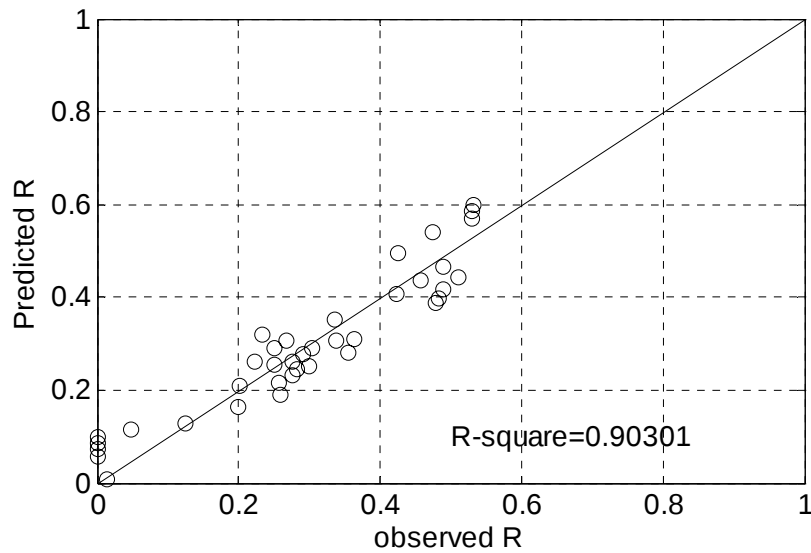


圖 4-7 消失率實驗值與預測值之比較

6. 平均輸沙率與史爾茲參數之關係

多數底床載輸沙率公式為史爾茲參數之函數關係，如式 (4-12) (Sleath, 1978) 及式 (4-13) (Nielsen, 1992) 所提之公式：

$$q^* = 47(Sh - Sh_c)^{1.5} \dots \dots \dots (4-12)$$

$$q^* = 12(Sh - Sh_c)\sqrt{Sh} \dots \dots \dots (4-13)$$

從沙丘初始放置至平衡狀態，將每 20 分鐘之平均輸沙率累計後再作一平均來代表該佈置條件下之沙丘平均輸沙率。圖 4-8 顯示雖然在不同之潛堤佈置條件下，史爾茲參數和平均輸沙率仍有良好關係，和前人之輸沙率公式均有一致之趨勢，顯示史爾茲參數越大則輸沙率亦越大。

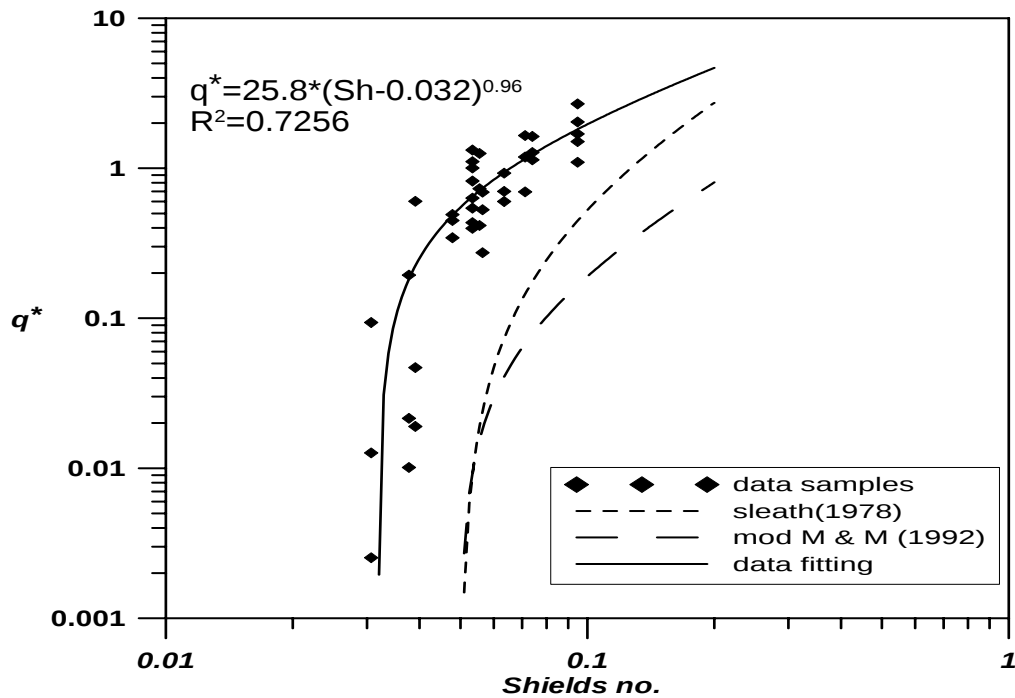


圖 4-8 平均輸沙率與史爾茲參數關係圖

由臨界可動史爾茲參數值($Sh_c = 0.032$, $R = 0$)並將資料點作回歸如式(4-8)：

$$q^* = 25.8(Sh - Sh_c)^{0.96} \dots\dots\dots (4-14)$$

其中 Sh_c 為臨界史爾茲參數值，回歸之 R -square 值為 0.726。此式可以作為從初始佈置至平衡態之沙丘的平均輸沙率參考。另外，若以往昔之輸沙率公式推估沙丘之平均輸沙率亦可得相似之結果。

7. 沙丘幾何形狀對波浪反射率及透過率之影響

因沙丘為潛沒式之結構物，若以抵禦波浪為目的，則設計時必面臨評估波浪入反射及透過問題，故沙丘初始之透過及反射率在規劃設計時為重要之探討課題。以波浪反射係數(C_r)和波浪透過係數(C_t)代表波浪受到沙丘影響之兩指標進行探討。在略去波前資料後，以 1024 筆波浪資料，用 Mansard 和 Funke (1980) 所提之三點法分離入反射波，並由此計算反射係數及透過係數。以堤後波高計陣列之入射波高和堤前波高計陣列之入射波高的比值定義為透過係數。因沙丘由初始佈置一直演變至平衡態，其非一般之定常問題，故以初始波浪分析沙丘初始佈置之反射率及透過率。

由圖 4-9 顯示在堤寬由很小至 $1/4$ 波長時，反射係數由小逐漸變大，且在約 $1/4$ 波長時有最大值；而堤寬在 $1/4$ 波長到半波長時反射係數又逐漸變小，且在約半波長時有最小值。圖 4-10 顯示堤寬之增加使得透過係數有減小之趨勢。圖 4-11 顯示堤高對反射係數有正向之趨勢，亦即堤越高則反射係數越大，說明堤越高則阻擋波浪之入射波並加大其反射波；而圖 4-12 顯示堤高對透過率有相反之趨勢，亦即堤越高則波浪越不易穿透沙丘而使得透過係數降低。

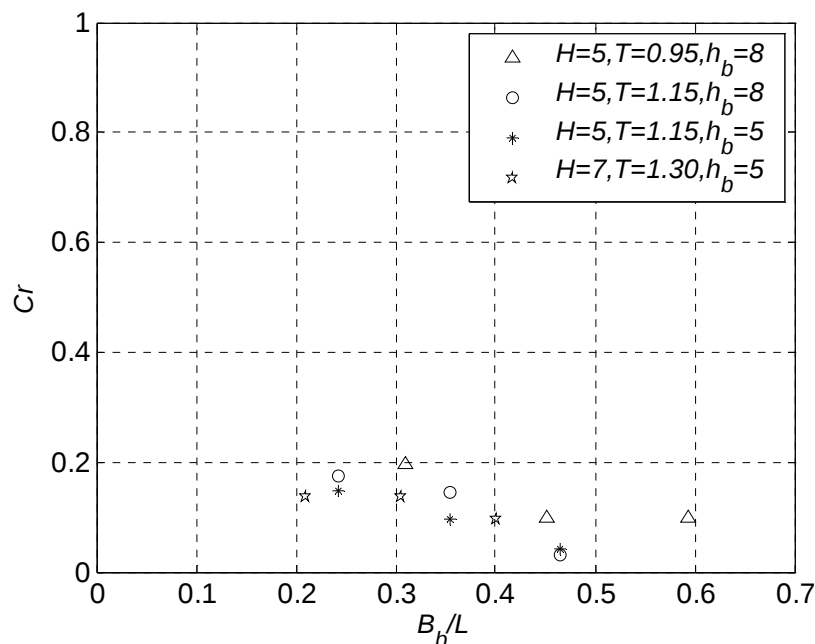


圖 4-9 堤寬對反射率之影響

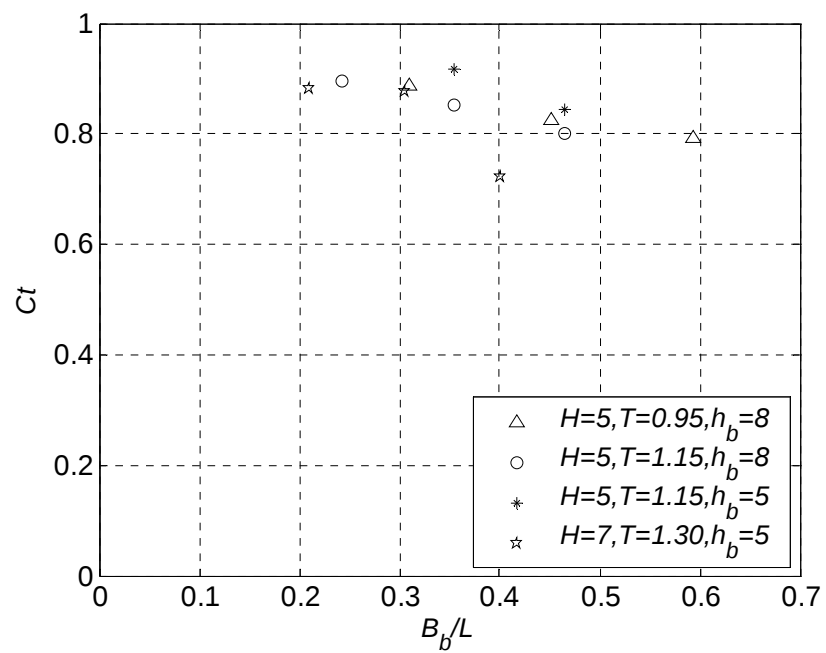


圖 4-10 堤寬對透過率之影響

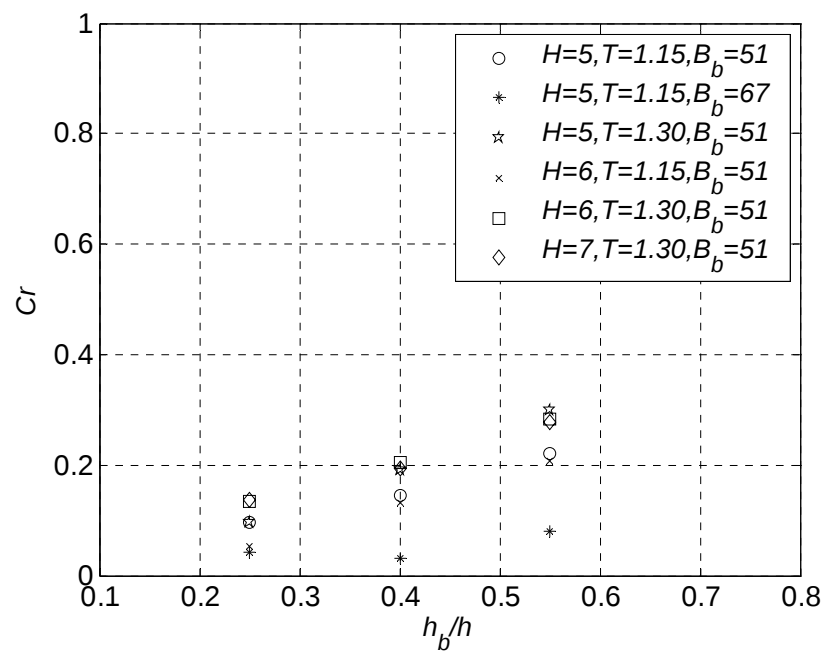


圖 4-11 堤高對反射率之影響

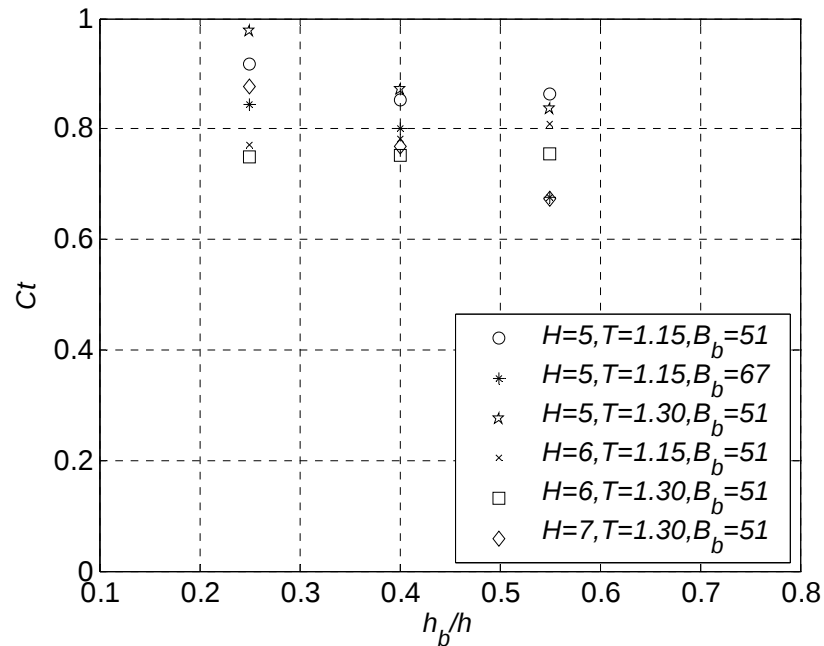


圖 4-12 堤高對透過率之影響

8. 沙丘與拋石潛堤之透過率比較

前人對於通過拋石潛堤之波浪透過率研究已有許多之成果，然而因潛沒式沙丘與拋石潛堤之材質、孔隙率及粗糙度等諸多性質不同，故本研究探討以現有之拋石堤透過率經驗式來預測沙丘透過率之可行性。本研究採用 Stuart (1998) 所提之拋石潛堤透過率簡化式(僅考慮潛堤幾何佈置因素)，再和實驗量測之通過沙丘波浪透過率作一比較。如圖 4-13 顯示通過拋石潛堤之透過率公式對預估通過沙丘之透過率尚有良好之趨勢。

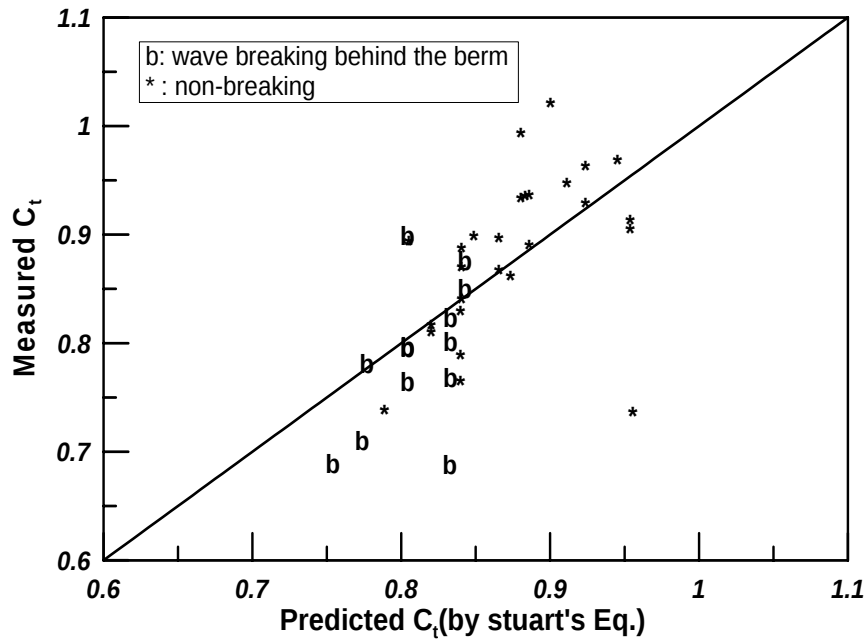


圖 4-13 透過率實驗值與預測值之比較

4.4 斜坡底床試驗及結果

斜坡底床之試驗過程亦同水平底床之實驗過程，唯預先鋪設不透水斜坡底床，斜坡坡度共有 1/10 及 1/40 兩種，試驗結果如下：

1. 1/10 斜坡之沙丘演變過程

列舉之例其試驗條件為底床坡度 1/10，砂丘高 8 公分、沙丘底寬 51 公分、沙丘頂寬 20 公分、放置水深 20 公分其 Shields 參數為 0.053、波高 5.41 公分及週期 1.15 秒。經試驗觀察顯示於造波之初，砂丘初始淘刷點為離岸及向岸之堤角處，此現象為波浪通過砂丘時，於砂丘堤角處壓力梯度變化最大，所以流體易於此處產生分離，形成渦流現象，如圖 4-14 所示，故砂丘堤角處受到波浪作用之初期淘刷也較為嚴重。此外，因砂丘受到波浪作用之前期侵蝕最為嚴重，傳輸率最大，且向岸傳輸量大於離岸，而離岸方向則以近似安息角角度堆放底質(圖 4-14， $t=0\sim60min$)。波浪作用之中期，整體形心位置漸漸往向岸方向移動，並隨著時間漸增，傳輸率漸漸減緩且砂丘逐漸灘平，砂丘高程也逐漸降低，堤角渦流現象也就越不明顯，向岸傳輸之砂粒正好

填補堤後之空缺(圖 4-14, $t=60\sim150min$)，波浪作用之後期，底質朝岸上移動之趨勢漸緩，離岸運動漸增，形心緩慢往離岸方向移動，直到呈現動態平衡狀態，整體形狀趨於穩定，最終形心位置處於離岸處(圖 4-14, $t=150\sim210min$)。

2. 1/40 斜坡之沙丘演變過程

列舉之例其試驗條件為底床坡度 1/40，砂丘高 8 公分、砂丘底寬 51 公分、砂丘頂寬 20 公分、放置水深 20 公分及 Shields 參數為 0.053、波高 3.9 公分、週期 1.15 秒。圖 4-15 顯示沙丘於變形初期，多數底質還是停留於原拋放點，故離岸及向岸處均以近似安息角角度堆放方式拓展，並隨時間漸增，砂丘整體形狀持續往前移動，最後動態平衡下之高程也維持比陡坡時高。以上現象皆與放置於陡坡時相異，說明於此試驗條件下，由於重力沿底床方向之分力影響較小，砂丘往離岸移動之趨勢就較不明顯，大體係往向岸處移動。由非線性波浪理論可知底床流速之不對稱性會產生向岸方向之質量傳輸，而於坡度較緩時因下刷水流影響沙丘之離岸分力較小。

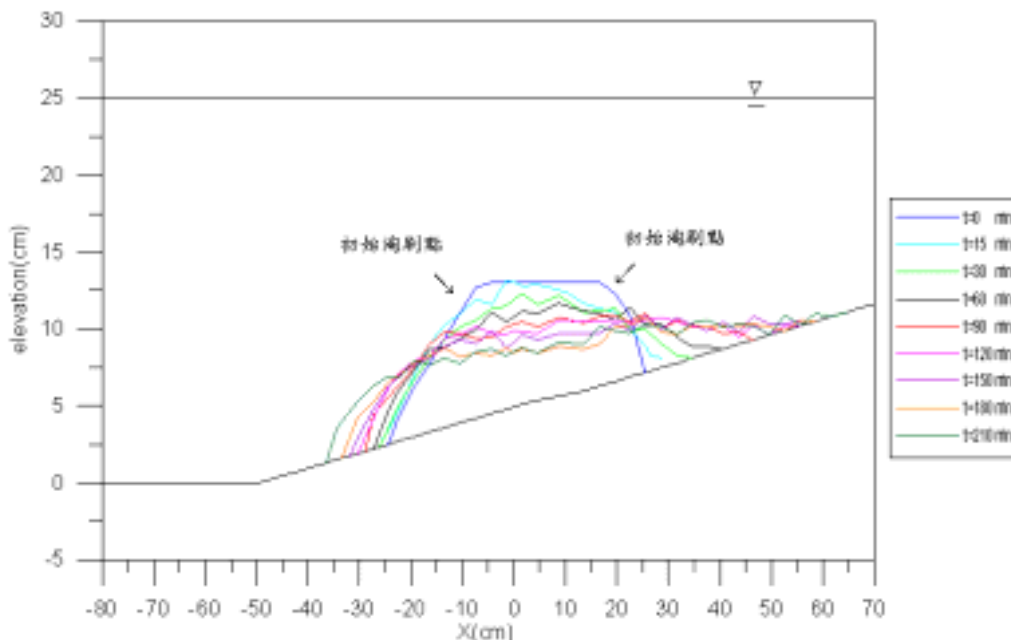


圖 4-14 1/10 斜坡之沙丘演變過程

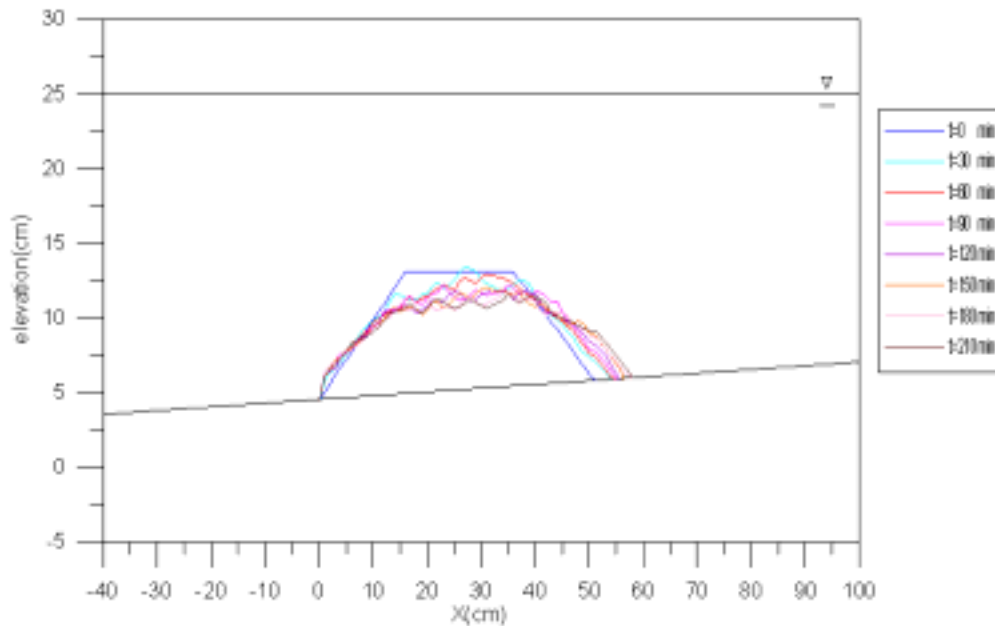


圖 4-15 1/40 斜坡之沙丘演變過程

經水平底床及斜坡底床之分析結果，作以下幾點結論：

- (1)在固定波浪及堤寬條件下，沙丘之高度對波浪反射係數有正向之趨勢；當堤寬由小增至約半波長時，反射係數有隨堤寬增加而減小。而固定波浪條件下，堤寬及堤高之增長皆會減低波浪之透過率。另外，對於估算人工沙丘之初始透過率可以拋石潛堤公式行之。
- (2)固定波浪及堤寬條件下，堤越高則消失率越大；固定波浪及堤高條件下，堤越寬則消失率越低。
- (3)由水平底床試驗之條件，人工沙丘之佈置斷面以高短型較為合宜，建議堤高以超過半放置水深($h_b/h > 0.55$)，而堤寬則以約 3 倍佈置水深之佈置可獲致較佳之效益。
- (4)若固定波浪條件及沙丘佈置下，陡坡(1/10)有較大之離岸傳輸量，而緩坡其向岸傳輸趨勢較明顯。

第五章 堤體附近之流場分佈與渦流強度分析

本章主要利用數值來計算親水性堤岸之水理特性，並由數值模式模擬堤體附近之流場分佈與渦流強度分析，藉以分析並瞭解該區域之水動力特性，進而瞭解沖刷之問題，提供研擬海岸保護及親水性結構物最適化配置之參考依據。

近年來，隨著電腦容量、計算速度以及計算方法的迅速發展，利用數值方法求解波浪之運動越來越受到重視。與試驗相較，數值模式可在短時間內進行更多方案，費用較低且可以得到更多流場訊息。如近年來採用數值方法求解波浪之運動，依據基本方程不同，可分成四種，即 (1) 緩坡方程式 (Mild-Slope Equation, MSE); (2) 布斯尼斯方程式 (Boussinesq Equation, BE); (3) 拉普拉斯方程式 (Laplace Equation); (4) 納維爾-斯托克斯方程式 (Navier-Stokes Equations, NSE)。

實際流體具有黏性，波浪通過結構物在結構物附近會產生分離流，故與勢能流理論之相關模式，如 MSE 及 BE 等已經不適用於結構物附近流場之模擬。使用黏性理論模擬波浪通過結構物之渦流更能符合實際物理現象。納維爾-斯托克斯方程式為求解流體最根本之控制方程式，可描述黏性流體的流場變化趨勢，故以上四種基本方程只有 NSE 可以真實描述波浪通過結構物的渦流特性及邊界層特性。蘇 (1998) 求解波浪通過單一潛置矩形障礙物未碎波的波流場關係，其研究指出求解層流流況下之波浪通過潛堤之流場變化、渦旋變化且和實驗量測作一定性之比較，結果發現求得之渦流強度明顯大於實驗觀測，因此進一步假設此流場具有紊流特性加以求解，發現採用紊流模式模擬效果較接近於實驗值。基於上述原因，本研究也考慮了紊流效應加以求解。

針對本報告所研究波浪作用於階梯式斜坡底床，乃為流體流動力學問題，其所遵行的數學模式為 NSE 方程式。把 NSE 方程式對時間

取平均，可得雷諾平均方程式 (Reynolds average equations)，但卻產生了新變數，造成了方程組無法閉合 (close)，所以要藉著紊流模式來解決，本報告採用當今應用最廣的 $k-\varepsilon$ 二方程模式。因現今之解析法仍未能完全解析此偏微分方程式，故本報告乃採用數值方法來模擬此一流場。下面即分項描述此數學模式的架構。

5.1 Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations 數學模式

5.1.1 控制方程式

在古典力學中，物質體所遵循的物理法則是『質量守恆』及『動量守恆』。對於二維不可壓縮黏性流體，連續方程式及動量方程式在直角座標系的型式為 (Hsu 等人，2004)。

連續方程式：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

動量方程式，在 x 方向和 z 方向分別表示如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + W \frac{\partial U}{\partial z} = & -\frac{\partial P}{\partial x} + (\nu_t + \nu) \nabla^2 U + \frac{\partial}{\partial x} (\nu_t \frac{\partial U}{\partial x}) \\ & + \frac{\partial}{\partial z} (\nu_t \frac{\partial W}{\partial x}) - \frac{2}{3} \frac{\partial K}{\partial x} \quad \dots\dots\dots \end{aligned}$$

(5-2)

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + W \frac{\partial W}{\partial z} = & -\frac{\partial P}{\partial z} + (\nu_t + \nu) \nabla^2 W + \frac{\partial}{\partial x} (\nu_t \frac{\partial U}{\partial z}) - g \\ & + \frac{\partial}{\partial z} (\nu_t \frac{\partial W}{\partial z}) - \frac{2}{3} \frac{\partial K}{\partial z} \quad \dots\dots\dots \end{aligned}$$

(5-3)

上式中 U 、 W 分別表示水平和垂直方向之瞬時速度分量， x 、 z 分別

為水平和垂直方向之座標， P 為瞬時壓力，而 ρ 、 ν 分別為流場之密度和運動黏滯係數。 ρ 和 ν 在數值模擬過程中假設不受其它因素之影響而保持定值。 ν_t 為渦動滯度 (eddy viscosity)，隨流況及流體中所在位置而不同，可表示為

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \dots\dots\dots (5-4)$$

式中 $C_\mu = C_1 C_2$ 為一常數。 K 為紊流動能， ε 為紊流消散，其傳輸方程式分別表示

$$\frac{\partial K}{\partial t} + U \frac{\partial K}{\partial x} + W \frac{\partial K}{\partial z} = \nabla \cdot \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \nabla K \right] + \text{Prod} - \varepsilon \dots\dots\dots (5-5)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + W \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \nabla \cdot \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_1 \nu_t \frac{\varepsilon}{K} \text{Prod} - C_2 \frac{\varepsilon^2}{K} \dots\dots\dots (5-6)$$

式中 Prod

$$\text{Prod} = \nu_t \left[2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial W}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (5-7)$$

式中 σ_k ， σ_ε ， C_μ ， C_1 和 C_2 均為經驗常數 ($\sigma_k = 1.0$ ， $\sigma_\varepsilon = 1.3$ ， $C_\mu = 0.09$ ， $C_1 = 1.44$ 和 $C_2 = 1.92$)。

5.1.2 邊界條件

1. 上游邊界條件

計算波浪變形及其流場通常有四種邊界，分別為上游、下游、自由表面以及底部邊界。上游邊界一般為造波條件，係指選擇何種波形作為入射波之條件。由於波浪行進遇到障礙物時，會有反射波往上游傳遞，因此上游邊界條件之設定不可距離結構物太近，必須取較為足夠之距離，以避免反射波干擾入射波之條件。

一般數值模擬之流場其初始條件為靜止狀態，因此流場內唯一之驅動力為上游邊界給定已知的入射波浪，使其往下游傳遞。目前處理上游造波邊界採用給定波形和速度來產生波浪。根據各種不同波浪的適用範圍，各種不同波浪理論之適用範圍，只要給定入射波之波長 L ，水深 h ，週期 T 和波高 H ，即能決定應採用何種波浪理論來產生入射波。由於波浪行進中遇到障礙物時，會有部份能量被反射，反射波往上游傳遞，因此上游邊界之設定不可距離結構物太近，必須取足夠之距離以避免反射波影響到上游之邊界條件，通常取 5~6 倍之波長作為上游邊界至結構物之距離。

2. 下游邊界條件

本報告計算的例子有親水性堤岸和驗證模式準確性的潛堤，所以下游條件分成兩種：(1) 有結構物時（親水性堤岸），結構物邊界方面，黏性流體在物面上必須滿足不滑動條件 (non-slip condition)。(2) 下游無結構物時，理論上在造波水槽下游邊界，必須滿足輻射條件，亦即波浪是向外傳遞的。本模式下游採用輻射邊界條件為 (Orlanski, 1976)

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + C \frac{\partial \Phi}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (5-8)$$

其中 Φ 為任一變數，如 U 和 d ， C 為波的相速。

3. 底部邊界條件和結構物邊界條件

在底部和結構物邊界方面，黏性流體在物面上必須滿足不滑動條件，即底部和結構物邊界上的水平、垂直速度為零。

4. 自由表面邊界條件

波動之自由表面邊界條件為移動邊界，會隨時間和空間而變，因此必須先得知表面之形狀才能給定速度邊界條件，然而給定之速度又會影響到此表面的變化，所以自由表面和速度邊界條件兩者互為相關。一般自由表面邊界條件可分成自由表面運動邊界條件 (KFSBC) 和自

由表面動力邊界條件 (DFSBC)，而動力邊界條件又可分為切線方向和法線方向兩種。兩者於分別說明如下：

(1)自由表面運動邊界條件 (KFSBC)

在自由表面處，流體與自由表面兩者在法線上之速度分量必須相同，亦即流體質點不能跳脫自由表面，即

$$\frac{\partial d}{\partial t} + U \frac{\partial d}{\partial x} = W \dots\dots\dots (5-9)$$

式中 $d = d(x, t)$ 為自由表面之水位高程，決定自由表面如何隨時間變化。

(2)自由表面動力邊界條件 (DFSBC)

自由表面之合成應力 σ_{ij} 在切線分量 t_i 為零 ($t_i \sigma_{ij} n_j = 0$; $i, j=1$ 或 2)，而在法線之分量 n_i 等於大氣壓力即 $n_i \sigma_{ij} n_j = -P_{atm}$ ，式中 n_i 及 t_i 分別表示自由液面上法線及切線方向的單位向量。在忽略表面張力作用下，切線方向之動力邊界條件如下：

$$2 \frac{\partial d}{\partial x} \left(\frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial W}{\partial z} \right) + \left[\left(\frac{\partial d}{\partial x} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) = 0, \quad z = d(x, t) \dots\dots (5-10)$$

而法線方向之動力邊界條件如下：

$$P = \frac{2\nu_e}{1 + \left(\frac{\partial d}{\partial x} \right)^2} \left[\left(\frac{\partial d}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial d}{\partial x} \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) \frac{\partial W}{\partial z} \right], \quad z = d(x, t) \dots\dots (5-11)$$

式 (5-10) 用來給定自由表面之速度邊界條件，而式 (5-11) 則用來給定自由表面之壓力邊界條件。當流體黏滯性不大和自由表面斜率較小時，則式 (5-11) 可簡化為

$$P = 0, \quad z = d(x, t) \dots\dots\dots (5-12)$$

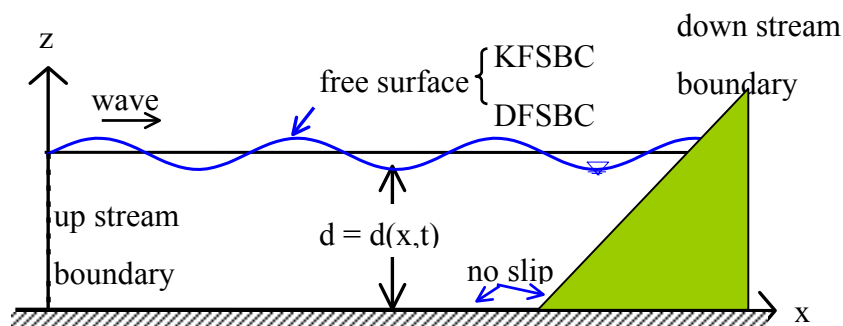


圖 5-1 RANS 模式邊界條件示意圖

5.2 數值模式

本計畫利用數值模式來探討此一研究課題，利用數值方法解偏微分方程式必須先將計算領域分割成許多元素或網格，然後將方程式加以離散化 (discretization) 求解。對控制方程式之離散化使用有限體積法 (Finite Volume Method, FVM)。此法可以提高結構物附近數值計算精度和程式執行之經濟效率。首先，將傳輸方程式對控制體積分，而對流項 (convection term) 和擴散項 (diffusion term) 的流通率總和以 Patankar (1980) 所提出幂次方格式 (Power Law Difference, PLD) 處理；壓力場則以預測-修正 (predictor-correction) 方法建立；自由表面是以高度函數法 (Height Function, HF) 處理，以下即分別詳述之。

5.2.1 網格變數計算點之配置

一般數值模擬所採用之網格可分成二類，一為所有變數都位於同一點的非交錯網格 (non-staggered grid)，另一則為各變數互相錯開各自擁有自己的儲存點之交錯網格 (staggered grid)。本計畫採用 Harlow 和 Welch (1965) 所提出之 MAC (Marker And Cell) 法作為交錯網格之配置。如圖 5-2 所示，將各網格視為一個控制體積，純量變數計算點 (P 、 d) 放在控制體的中央，速度分量 (向量項) 分別置於控制體積表面上，且 U 、 W 各自有以其為中心之控制體積體系，因此 U 、 W 和 d 各

自有其控制體系，在 Patankar (1980) 一書中用方位節點編號 E 、 W 、 N 、 S 、 e 、 n 、 w 、 s 來表示變數計算點編號和變數之控制體積控制面編號，各變數計算點之四周鄰近計算點 E 、 W 、 N 、 S ，而 e 、 w 、 n 、 s 表示各變數之控制體積的四個控制面（如圖 5-3），圖 5-2 和圖 5-3 之關係為 $U_E = U_{i+1/2,k}$ ； $U_W = U_{i-1/2,k}$ ； $W_N = U_{i,k+1/2}$ ； $W_S = U_{i,k-1/2}$ ； $\Delta x = \delta x_i / 2$ 及 $\Delta z = \delta z_k / 2$ ，而各變數計算點和變數之控制體積控制面之關係為 $\Phi_e = (\Phi_E + \Phi_P) / 2$ ； $\Phi_w = (\Phi_W + \Phi_P) / 2$ ； $\Phi_n = (\Phi_N + \Phi_P) / 2$ 及 $\Phi_s = (\Phi_S + \Phi_P) / 2$ 。

交錯網格在使用上其優點在於：(1) 壓力因配置在速度之控制體積的控制面上，而在數值觀點上成為速度變化之自然驅動力，如此可避免在非交錯網格下所可能產生之不合物理現象的棋盤狀 (checkerboard) 速度場或壓力場解；(2) 配合預測-修正方法使得計算壓力時不須使用邊界之壓力值，壓力場是以自我調整的方式建立。

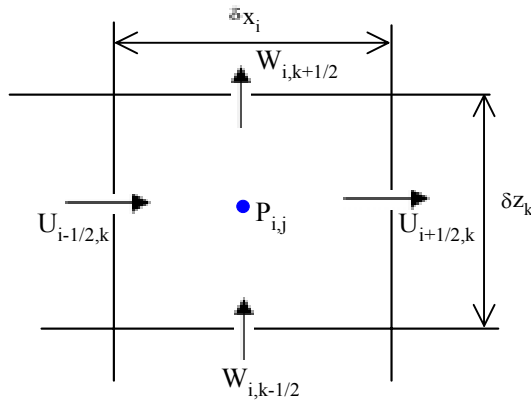


圖5-2 交錯網格系統圖

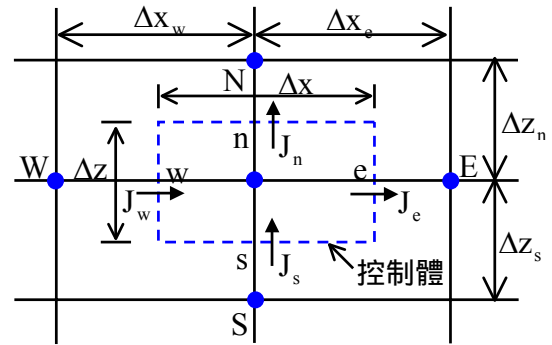


圖5-3 控制體及通量示意

5.2.2 方程式之離散化

對控制方程式求解時，必須對控制方程式進行空間及時間上之離散化，使其成為計算機所能解析的代數聯立方程式。式 (5-1) 式 (5-3) 中變數 Φ ($\Phi = U$ 、 W) 之傳輸方程式可寫為：

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(U\Phi) + \frac{\partial}{\partial z}(W\Phi)}_{\text{對流項}} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z}(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial z})}_{\text{擴散項}} + \underbrace{S_\Phi}_{\text{源項}} \dots (5-13)$$

式中之 Φ 為物理量之變數，如速度 U 和 W ，而擴散係數 Γ_Φ 和源項 S_Φ 則示於表 5-1，表中 $Re = U_\infty h / \nu$ 為雷諾數(Reynolds number)， $Fr = U / \sqrt{gh}$ 為福祿數(Froude number)， h 為水深。為了方便分析，將式 (5-13) 改寫為

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} J_x + \frac{\partial}{\partial z} J_z = S_\Phi \dots (5-14)$$

式中 x 、 z 方向的對流擴散通量分別為 $J_x = U\Phi - \Gamma_\Phi \partial \Phi / \partial x$ ； $J_z = W\Phi - \Gamma_\Phi \partial \Phi / \partial z$ 。

表 5-1 控制方程式中各變數對應之擴散係數與源項關係

變數 方程式	Φ	Γ_Φ	S_Φ
連續方程式	1	0	0
水平動量方程式	U	$\frac{1}{Re}$	$-\frac{\partial P}{\partial x}$
垂直動量方程式	W	$\frac{1}{Re}$	$-\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{1}{Fr^2}$
K 方程式	K	$(\frac{1}{Re} + \frac{\nu_t}{\sigma_k})$	Prod - ε
ε 方程式	ε	$(\frac{1}{Re} + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon})$	$C_1 \nu_t \frac{\varepsilon}{K} \text{Prod} - C_2 \frac{\varepsilon}{K}$

有限體積法對控制方程式之離散過程，即先將變數 Φ 對控制體積分後，得到

$$\int_s^n \int_w^e \frac{\partial \Phi}{\partial t} dx dz + \int_s^n \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} J_x dx dz + \int_w^e \int_s^n \frac{\partial}{\partial z} J_z dz dx = \int_s^n \int_w^e S_\Phi dx dz \dots (5-15)$$

而式 (5-15) 中之源項 S_Φ 可用變量的線性函數表示，即 $S_\Phi = S_C + S_P \Phi_P$ ， S_C 是源項 S_Φ 中的常數部分， S_P 表示源項依賴於變量的線性係數。進一步整理此關係可得

$$\frac{\Phi_P - \Phi_P^0}{\Delta t} \Delta x \Delta z + J_e - J_w + J_n - J_s = (S_C + S_P \Phi_P) \Delta x \Delta z \dots (5-16)$$

式中為 Φ_P^0 上一時刻之值。上式各項分別表示如下：

$$J_e = \int_s^n J_x dz = \int_s^n (U\Phi - \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x})_e dz = \left[(U\Phi)_e - \Gamma_{\Phi,e} \frac{\Phi_E - \Phi_P}{\Delta x} \right] \Delta z \dots (5-17)$$

$$J_w = \int_s^n J_x dz = \int_s^n (U\Phi - \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x})_w dz = \left[(U\Phi)_w - \Gamma_{\Phi,w} \frac{\Phi_P - \Phi_W}{\Delta x} \right] \Delta z \dots (5-18)$$

$$J_n = \int_w^e J_z dx = \int_w^e (W\Phi - \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial z})_n dx = \left[(W\Phi)_n - \Gamma_{\Phi,n} \frac{\Phi_N - \Phi_P}{\Delta z} \right] \Delta x \dots (5-19)$$

$$J_s = \int_w^e J_z dx = \int_w^e (W\Phi - \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial z})_s dx = \left[(W\Phi)_s - \Gamma_{\Phi,s} \frac{\Phi_P - \Phi_S}{\Delta z} \right] \Delta x \dots (5-20)$$

將式 (5-17) 式 (5-20) 代入式 (5-12) 中，可得

$$\begin{aligned}
& \frac{\Phi_P - \Phi_P^0}{\Delta t} \Delta x \Delta z \\
& + \underbrace{\left[(U\Phi)_e - \frac{(\Gamma_\Phi)_e}{\Delta x} (\Phi_E - \Phi_P) \right]}_{J_e} \Delta z - \underbrace{\left[(U\Phi)_w - \frac{(\Gamma_\Phi)_w}{\Delta x} (\Phi_P - \Phi_W) \right]}_{J_w} \Delta z \\
& + \underbrace{\left[(W\Phi)_n - \frac{(\Gamma_\Phi)_n}{\Delta z} (\Phi_N - \Phi_P) \right]}_{J_n} \Delta x - \underbrace{\left[(W\Phi)_s - \frac{(\Gamma_\Phi)_s}{\Delta z} (\Phi_P - \Phi_S) \right]}_{J_s} \Delta x \\
& = (S_c + S_p \Phi_P) \Delta x \Delta z \\
& \dots\dots\dots (5-21)
\end{aligned}$$

將式 (5-21) 用下式的符號，改寫為

$$\begin{aligned}
& \frac{\Phi_P - \Phi_P^0}{\Delta t} \Delta x \Delta z + \underbrace{\left[F_e \Phi_e - D_e (\Phi_E - \Phi_P) \right]}_{J_e} - \underbrace{\left[F_w \Phi_w - D_w (\Phi_P - \Phi_W) \right]}_{J_w} \\
& \quad + \underbrace{\left[F_n \Phi_n - D_n (\Phi_N - \Phi_P) \right]}_{J_n} - \underbrace{\left[F_s \Phi_s - D_s (\Phi_P - \Phi_S) \right]}_{J_s} \\
& = (S_c + S_p \Phi_P) \Delta x \Delta z \\
& \dots\dots\dots (5-22)
\end{aligned}$$

而對流強度 D 、擴散強度 F 之定義為

$$F_e \equiv U_e \Delta z ; \quad F_w \equiv U_w \Delta z \quad ; \quad F_n \equiv W_n \Delta x \quad ; \quad F_s \equiv W_s \Delta x \dots\dots (5-23)$$

$$D_e \equiv (\Gamma_\Phi)_e \Delta z / \Delta x_e \quad ; \quad D_w \equiv (\Gamma_\Phi)_w \Delta z / \Delta x_w \dots\dots\dots (5-24)$$

$$D_n \equiv (\Gamma_\Phi)_n \Delta x / \Delta z_n \quad ; \quad D_s \equiv (\Gamma_\Phi)_s \Delta x / \Delta z_s \dots\dots\dots (5-25)$$

將式 (5-22) 再進一步整理，即得一組由一計算點 P 與其四周鄰近點組合而成之代數方程式：

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + b \dots\dots\dots (5-26)$$

為了加速收斂並提高計算效率，使用幕次方格式處理，對於 Patankar (1980) 所提出之幕次方律差分法，係將傳輸方程式中對流項

及擴散項進行離散化，此方法源自於對一維、非時變、無壓力梯度且無源項之傳輸方程式之正確解所產生的指數差分法 (Exponential Difference Method, EDM)。由於指數差分法在計算上必須使用自然指數函數，因而使計算量增大，因此 Patankar 使用一高次方多項式取代含自然指數之部份，用以減少其計算量，此即為冪次方格式。

式 (5-22) 中各係數表示如下：

$$a_E = D_e \times \text{Max}[0, (1 - 0.1|(Pe)_e|)^5] + \text{Max}(0, -F_e) \dots\dots\dots (5-27)$$

$$a_W = D_w \times \text{Max}[0, (1 - 0.1|(Pe)_w|)^5] + \text{Max}(0, F_w) \dots\dots\dots (5-28)$$

$$a_N = D_n \times \text{Max}[0, (1 - 0.1|(Pe)_n|)^5] + \text{Max}(0, -F_n) \dots\dots\dots (5-29)$$

$$a_S = D_s \times \text{Max}[0, (1 - 0.1|(Pe)_s|)^5] + \text{Max}(0, F_s) \dots\dots\dots (5-30)$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S_P \Delta x \Delta z \dots\dots\dots (5-31)$$

$$b = S_C \Delta x \Delta z + a_P^0 \Phi_P^0 \dots\dots\dots (5-32)$$

其中 $a_P^0 = \Delta x \Delta z / \Delta t$ ，以上各式中的 Pe 稱為貝克來數 (Peclet number)，它反映了對流輸運強度和擴散強度之比。 Pe_e 、 Pe_w 、 Pe_n 和 Pe_s 分別表示為

$$Pe_e \equiv F_e / D_e ; Pe_w \equiv F_w / D_w ; Pe_n \equiv F_n / D_n ; Pe_s \equiv F_s / D_s \dots (5-33)$$

以上即為二維不可壓縮紊流傳輸方程式之離散式，每一個變數在各計算點上必須滿足各自之代數式，至於壓力場則以預測-修正方法建立，其方法將於下節說明之。

5.2.3 速度與壓力耦合技巧

動量方程式是 Φ 的通用方程式，即式 (5-13)，的特殊情況。如取 $\Phi = U$ ， $\Gamma_\Phi = (1/\text{Re})$ ，應用前面的方法可以求解動量方程式，但計

算速度場的真正困難在於壓力場未知，而這個未知量壓力 P 卻沒有明確的控制方程式可以求解，它出現在動量方程的源項中。如何構建一直接求解的壓力方程式，或在假定初始壓力分布條件下，如何構建一間接求解壓力，就成為求解不可壓縮流的關鍵問題，並稱此問題為速度與壓力耦合問題。就直接求解而言，對動量方程式取散度得到壓力泊松方程式 (Poisson equation)，但求解壓力方程式的程序中，將會面臨到不具物理行為的棋盤式壓力振盪現象。

為了克服上述困難，很多學者提出不少方法，目前主要有兩類求解不可壓縮流體力學的方法，原始變量法和非原始變量法，求解不可壓縮流動的原始變量方法將動量方程式寫成壓力和速度的形式，進行直接求解，這種方式已被廣泛應用。非原始變量法有渦量流函數法 (vorticity equation)；原始變量法有人為壓縮法 (artificial compressibility)、壓力泊松法 (Poisson equation for pressure) 和壓力校正法。本報告在壓力處理方面以壓力校正法處理，以下說明之。

渦量流函數法 (vorticity equation) 在控制方程式中消去壓力項，該方程式較適合於二維問題，另外渦度方程式在進行數值計算時也有缺點，例如壁面上的渦度邊界條件很難給定，造成數值計算很難收斂。在物理現象的解析方面，渦度向量和速度向量所包含的物理概念沒有速度分量和壓力場清楚，而且方法中消去的壓力 P 往往是人們所關心的一個重要參數，如果回過頭來再計算 P ，則會相對地增加計算時間。

人為壓縮法為 Chorin (1967) 所提出，假設流體具有虛擬微可壓縮性 (artificial compressibility)，則在連續方程式加入了人為壓力項，此法求定常解可行，但對非定常解常失真。

壓力泊松法 (Poisson) 是由 Harlow 和 Welch (1965) 首先提出，該方法利用動量方程式，求得速度場，然後利用 Poisson 方程求解壓力，由於每一時間上需要求解 Poisson 方程式，求解時非常耗時。

壓力校正法:因為不可壓縮流體運動控制方程中，沒有專門的方程可以直接求解壓力，為了克服這個困難，壓力校正法是一種壓力疊代法，在每一個時間段的運算中先給出壓力場的初始值，再根據動量方程式求出猜測速度場，並由連續方程導出的壓力場修正方程式，得到壓力場修正後，對猜測的壓力場再進行修正，經過不斷的疊代可求得速度場和壓力場，此收斂值又可作為下一時間段的初始值，進行新的運算。對於本模式所採取的收斂條件 ($D = \partial U / \partial x + \partial W / \partial z$) 為殘差小於 10^{-4} 時為其收斂條件。

由雷諾方程式所求得之速度分量，對於任一個滿網格皆須滿足連續方程式，即

$$D = \frac{U_{i+1/2,k}^{n+1} - U_{i-1/2,k}^{n+1}}{\delta x_i} + \frac{W_{i,k+1/2}^{n+1} - W_{i,k-1/2}^{n+1}}{\delta z_k} = 0 \quad (5-34)$$

進行計算時，先以舊時間之壓力 $P_{i,k}^n$ 為猜測值來取代新時間之壓力值 $P_{i,k}^{n+1}$ ，解得新速度，代入式 (5-34) 後得一非零之 D 值，然後再以此 D 值決定一壓力修正量 δP ，並由此再取得新的壓力值與速度值。對所有網格，由壓力所引起之速度修正值分別為

$$(U_{i+1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i+1/2,k}^{n+1})^N + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta x_i + \delta x_{i+1})/2} \quad (5-35)$$

$$(U_{i-1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i-1/2,k}^{n+1})^N - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta x_i + \delta x_{i-1})/2} \quad (5-36)$$

$$(W_{i,k+1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k+1/2}^{n+1})^N + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta z_k + \delta z_{k+1})/2} \quad (5-37)$$

$$(W_{i,k-1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k-1/2}^{n+1})^N - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta z_k + \delta z_{k-1})/2} \quad (5-38)$$

其中 N 表示第 N 次修正疊代之次數，對於計算網格中，某些位置的

速度分量維持不變，如底床的速度等於零及障礙體速度分量為零等，使用網格邊界條件參數 γ ，在速度維持不變之網格可以設 γ 為零，其餘網格則將 γ 設為 1，因此網格的壓力變化所引起之速度修正，可改寫成

$$(U_{i+1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i+1/2,k}^{n+1})^N + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta x_i + \delta x_{i+1})/2} \gamma_{i+1,k} \dots\dots\dots (5-39)$$

$$(U_{i-1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i-1/2,k}^{n+1})^N - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta x_i + \delta x_{i-1})/2} \gamma_{i-1,k} \dots\dots\dots (5-40)$$

$$(W_{i,k+1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k+1/2}^{n+1})^N + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta z_k + \delta z_{k+1})/2} \gamma_{i,k+1} \dots\dots\dots (5-41)$$

$$(W_{i,k-1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k-1/2}^{n+1})^N - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta z_k + \delta z_{k-1})/2} \gamma_{i,k-1} \dots\dots\dots (5-42)$$

1. 滿網格壓力修正量

滿網格處若不滿足連續方程式，所造成的網格變化為

$$(\delta P_{i,k}^{n+1})^N = - \frac{D}{\delta t \left[\frac{\frac{\gamma_{i+1,k}}{DXR} + \frac{\gamma_{i-1,k}}{DXL}}{\delta x_i} + \frac{\frac{\gamma_{i,k+1}}{DZT} + \frac{\gamma_{i,k-1}}{DZB}}{\delta z_k} \right]} \dots\dots\dots (5-43)$$

其中 $DXR = (\delta x_i + \delta x_{i+1})/2$; $DXL = (\delta x_i + \delta x_{i-1})/2$; $DZT = (\delta z_k + \delta z_{k+1})/2$; $DZB = (\delta z_k + \delta z_{k-1})/2$

若 D 小於零，表示有過多的流體流入此網格，則必須增加壓力以減少流體之流入，反之則 D 大於零。式 (5-43) 乘上一鬆弛因子 (relaxation factor) λ ，一般 λ 大於零且不超過 2， λ 的選擇對收斂速度及數值穩定會有相當程度之影響。而關於網格邊界條件參數 γ 之設定，若網格邊界有速度分量維持不變的情況下設 γ 為零，由式

(5-43) 分母可以看出，其網格壓力變化將比一般滿網格有更大之改變量，據此亦可達到收斂的目的。茲定義一新的變數 β 如下：

$$\beta = -\frac{\lambda}{\delta t \left[\left(\frac{\gamma_{i+1,k}}{DXR} + \frac{\gamma_{i-1,k}}{DXL} \right) / \delta x_i + \left(\frac{\gamma_{i,k+1}}{DZT} + \frac{\gamma_{i,k-1}}{DZB} \right) / \delta z_k \right]} \dots\dots\dots (5-44)$$

則式 (5-44) 可改寫為

$$(\delta P_{i,k}^{n+1})^N = -\beta \cdot D \dots\dots\dots (5-45)$$

另外，在此程式中，設定障礙網格其 β 值為負值 (如 $\beta = -1$)，因障礙網格之壓力及速度分量不需要計算，程式迴圈中之運算式可設定其跳過此部份以節省計算時間。

2. 自由表面網格壓力修正量：

自由表面網格之壓力及速度因受內部區的影響，故仍須加以修正。自由表面網格之壓力可由流體液面之壓力 (P_s) 及緊鄰表面網格之壓力 ($P_{i,kt-1}$) 經內插法得到，即：

$$(P_{i,kt}^{n+1})^N = (1 - \eta_0)(P_{i,kt-1}^{n+1})^N + \eta_0 P_s \dots\dots\dots (5-46)$$

其中 $\eta_0 = d_c / d_s$ ； d_c 為液面網格中心點 (i, kt) 至內插網格 ($i, kt-1$) 之距離，而 d_s 為自由表面到內插網格中心點之距離。故在液面區，壓力之修正量可表為：

$$\delta P = (P_{i,kt}^{n+1})^N - (P_{i,kt}^{n+1})^{N-1} = (1 - \eta_0)(P_{i,kt-1}^{n+1})^N + \eta_0 P_s - (P_{i,kt}^{n+1})^{N-1} \dots (5-47)$$

將式 (5-47) 代入式 (5-39) 式 (5-42) 中，可得到新的液面區壓力和速度值。圖 5-4 表計算自由表面網格壓力時，所用到之變數定義：

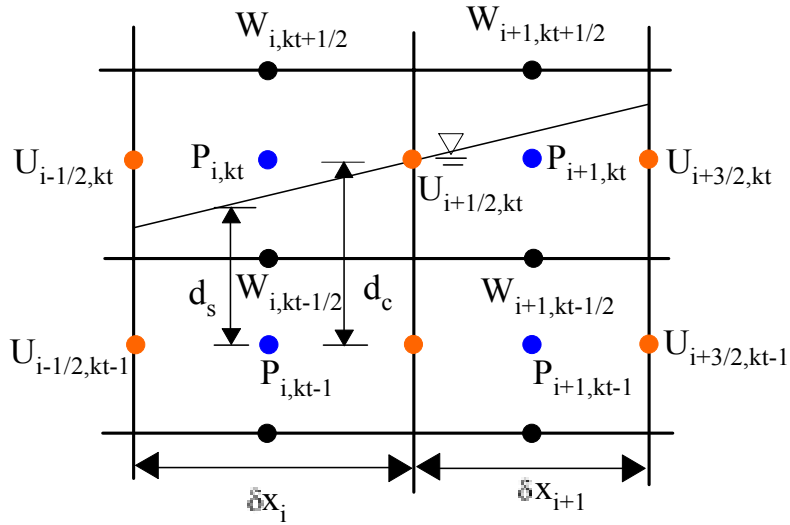


圖 5-4 計算自由表面網格之壓力時所用之變數定義

5.2.4 自由表面的處理

以數值方法處理自由表面變化相當不容易，因為自由表面非為固定而隨時間移動。數值方法處理自由表面的問題應具效率，避免繁複之判斷和疊代。本研究採用高度函數法 (HF)。高度函數法為處理自由表面變化較為簡單的方法，此法根據 KFSBC 定義水位函數如下：

$$\frac{\partial d}{\partial t} + U \frac{\partial d}{\partial x} = W \quad \dots\dots\dots (5-48)$$

利用高度函數 $d = d(x, t)$ 來描述自由表面，其花費的儲存空間約 $O \sim (N)$ ，在未碎波下的流場採用此法是最為有效率的方法。

當壓力、速度疊代至收斂後，則利用式 (5-43) 之差分方程去計算液面的變動，其方程式如下：

$$d_{i,kt}^{n+1} = d_{i,kt}^n + \Delta t [-FHX + W_s] \quad \dots\dots\dots (5-49)$$

式中 FHX 表示 $U_s \partial d / \partial x$ 之差分式， U_s 、 W_s 分別表示液面處之水平及垂直速度。

5.2.5 計算程序

針對本研究所採用的數學模式、邊界條件和數值方法作一總結，如表 5-2 所示。因本章所使用之數值方法為顯性法，所以求解代數式並不需要龐大之矩陣運算，可減少計算量負荷，由於收斂之要求，時間間距不宜太長，否則會導致數值不穩定甚至發散。而下一時刻之變數可用上一時刻之已知值疊代計算，直到每個變數均被修正至合理之範圍，應用此預測-修正之疊代技巧求解方程式，其流程如圖 3-5 所示，說明下：

1. 生成計算網格，給定整個流場初始值。
2. 求解動量方程式，計算 $U_{i+1/2,k}^{n+1}$ 及 $W_{i,k+1/2}^{n+1}$ 。
3. 以疊代法求解壓力場，並同時對流場進行校正。
4. 計算自由表面之高度 d 。
5. 輸出計算結果。
6. 返回 (2) 進行下一時段的求解，直至計算結束。

由上述之程序可以看出，在每一次疊代過程中不斷透過求解速度場所得之資訊來修正壓力場，並同時對流場進行校正。最後在滿足連續方程式時，速度場和自由表面便能滿足傳輸方程式及其邊界條件。以上之程序收斂後只代表某一時段，一直重複此程序直至達到穩態為止，才算完成此流場計算。

表 5-2 RANS 數值方法整理表

解析對象		不可壓縮流體 (週期波)
控制 方 程 式	座標系統	直角座標系
	紊流模式	$k-\varepsilon$ 模式
	邊界條件	上游 : 給定波形、速度和 K 、 ε 下游 (1)無結構物 : Sommerfeld 輻射邊界條件 (2)有結構物 : 無滑動邊界條件 底部 : 無滑動 自由液面 : 運動邊界條件、動力邊界條件 結構物 : 無滑動
	數值方法	有限體積法
數 值 解 法	時間離散	顯性法
	自由液面處理	高度函數法
	網格配置	交錯網格
	離散格式	PLD 差分
	速度與壓力耦合技巧	壓力校正方式

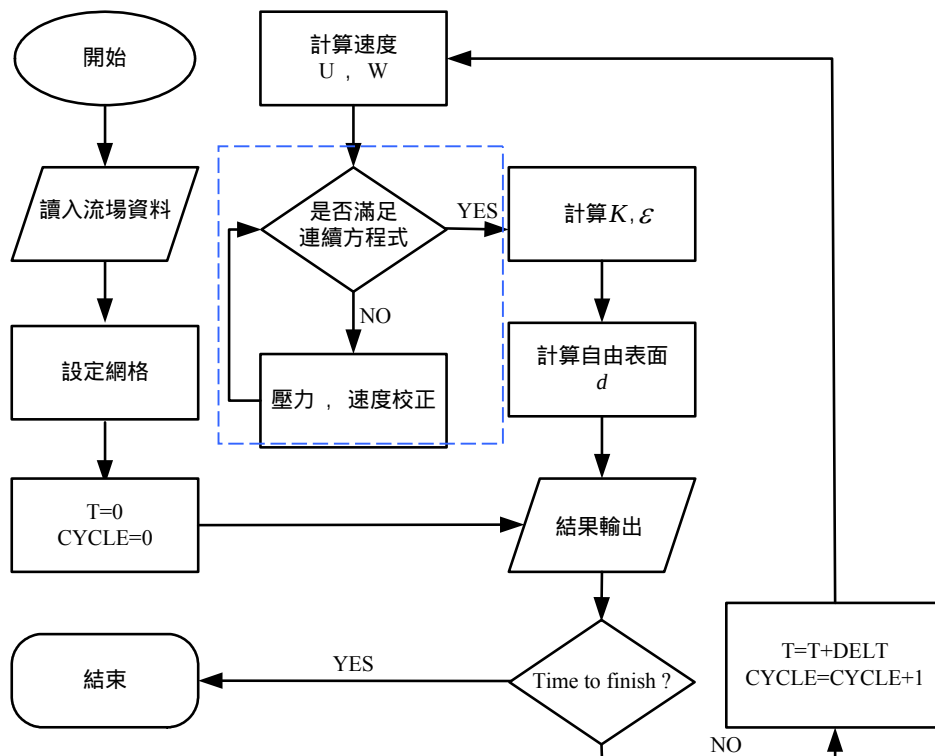


圖 5-5 計算流程圖

5.3 模式驗證

為驗證 RANS 數值計算之準確性,本研究分別選取比較 (1) 驗證有結構物下之波浪通過矩形潛堤之波形、渦流現象比較 (Ting 和 Kim, 1994); (2) 盧 (1999) 之波浪通過雙潛堤之波形、波浪通過單潛堤之水平和垂直速度實驗數據; (3) 歐等人 (2003) 實驗量測波浪通過斜坡潛堤的水位時序列資料; (4) 孤立波在 30° 斜坡上溯升 (runup) 和溯降 (runup down) 之水位變化實驗數據 (Chang 和 Liu, 1996), 藉由實驗來驗證數值計算結果。

Ting 和 Kim (1994) 利用杜普勒雷射測速儀觀察未碎波波浪通過矩形潛堤之渦流現象, 潛堤長 60.69 cm , 寬 91.44 cm , 高 30.48 cm , 試驗水深 60.69 cm , 入射波浪週期 4 sec , 波高 5.85 cm , 波長 9.529 m , 圖 5-6 為其實驗量測和數值之潛堤上方水位變化, 水位變化之橫軸及縱軸分別以潛堤寬度及水深無因次化, 圖 5-7 則為本研究數值模式所模擬之流場。觀察圖 5-7 當 $t/T=0$ 時, 離岸堤頂有一剛發展之順時針渦流, 而向岸堤頂有一消散的逆時針渦流; $t/T=1/4$ 時, 離岸堤頂之順時針渦流已發展完全並開始消散, 向岸堤壁開始形成順時針渦流; $t/T=1/2$ 時, 向岸堤壁之順時針渦流向上抬升後開始消散, 最後當 $t/T=3/4$ 時, 向岸堤頂有一發展成熟之逆時針渦流, 而離岸堤壁已開始生成逆時針渦流。比較圖 5-6 和 圖 5-7 不同相位下之流場及液面變化可發現數值計算與實驗結果相當一致。

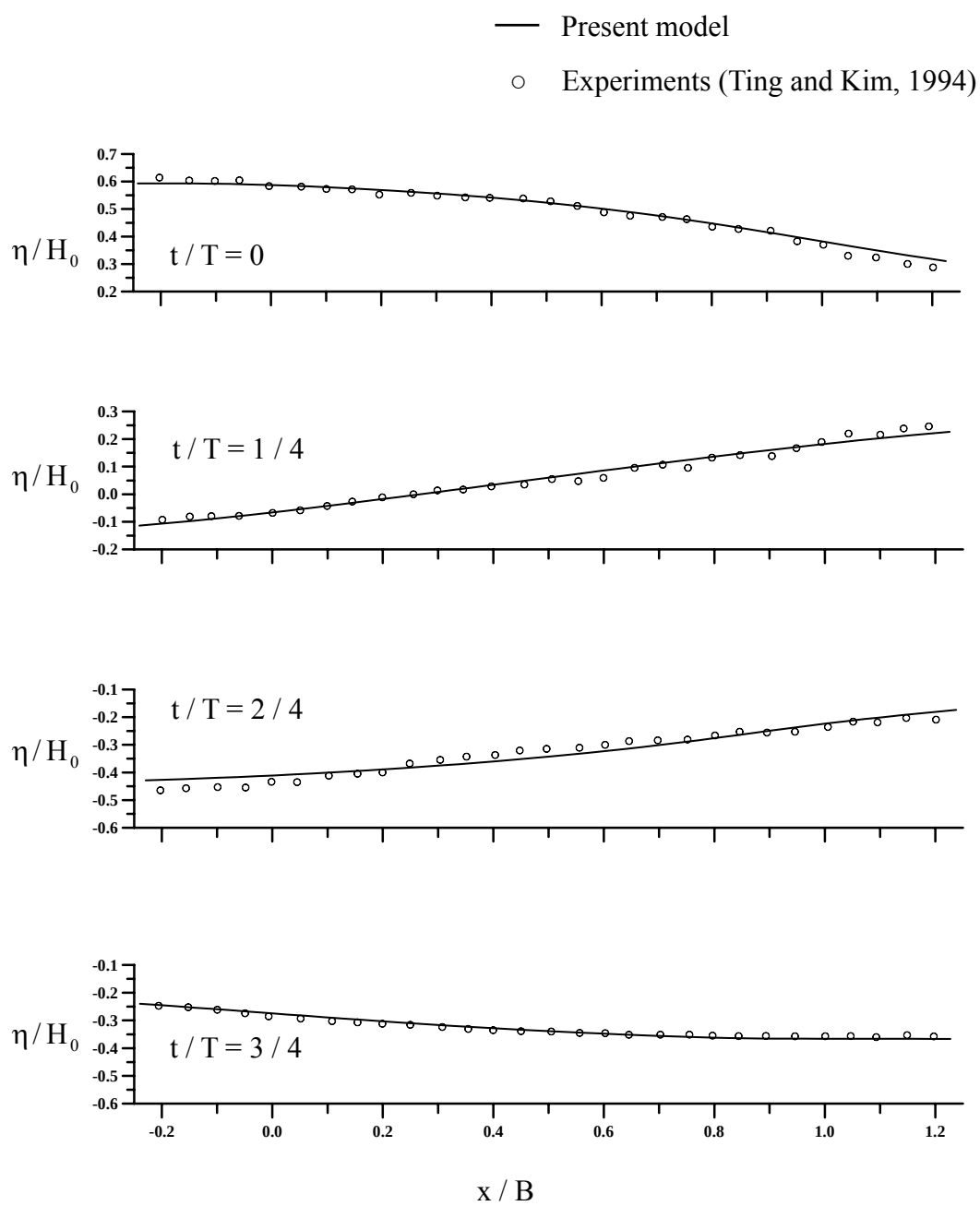
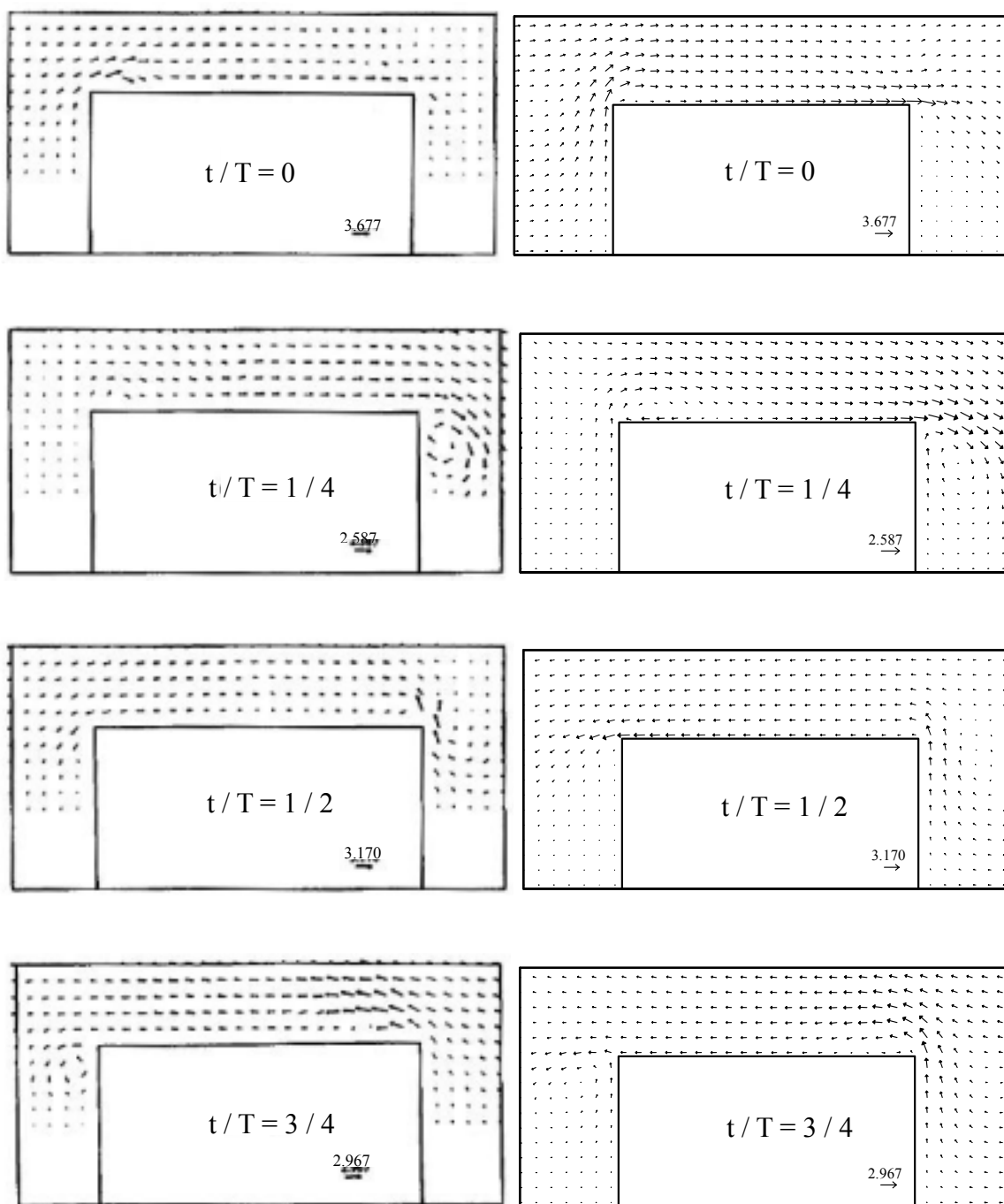


圖 5-6 實驗量測之液面變化

($h = 60.96 \text{ cm}$, $T = 4.0 \text{ sec}$, $H = 5.85 \text{ cm}$, Ting and Kim , 1994)



(a)

(b)

圖 5-7 實驗量測和數值模擬之流場圖

($h = 60.96 \text{ cm}$, $T = 4.0 \text{ sec}$, $H = 5.85 \text{ cm}$)

(a) : 實驗量測 , (b) : 數值解

為進一步驗證數值模式之正確性，吾人依據 Ting and Kim (1994) 之試驗條件計算波浪通過潛堤時自由液面波形主頻 (1st Harmonic)、二倍頻 (2 nd Harmonic) 及三倍頻 (3 rd Harmonic) 波浪振幅之空間變化情形，計算結果如圖 5-8 所示。圖中十字形、星形及圓形符號分別為 Ting and Kim (1994) 試驗結果所分離之無因次主頻、二倍頻及三倍頻波浪振幅，線段則為數值模式計算結果，橫軸以潛堤寬度無因次化，潛堤位於 0 至 1 之間。結果顯示在潛堤上方處一倍頻波浪振幅模式計算值明顯大於實驗值，但在潛堤前方及後方兩者的變化趨勢確是相當的一致，吾人認為波浪振幅的差異主要來自於水槽末端的反射波所導致，除此之外二倍頻及三倍頻亦非常吻合。由圖 5-8 足以驗證本研究數值模式計算波浪變形之正確性。

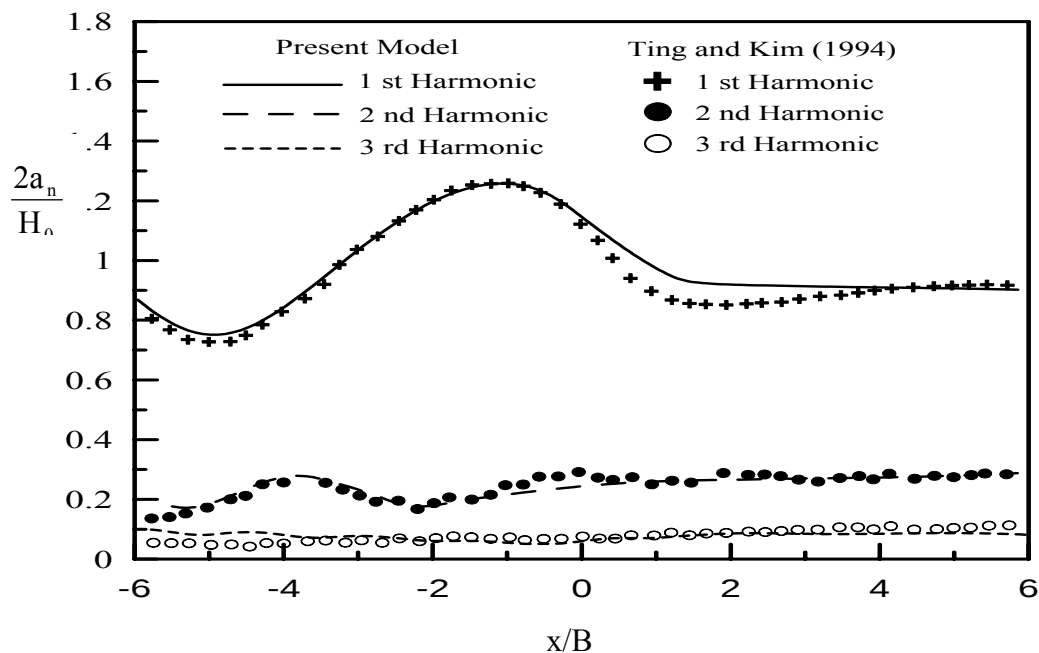


圖 5-8 波浪通過潛堤自由液面振幅之空間變化

($h = 60.96 \text{ cm}$, $T = 4.0 \text{ sec}$, $H = 5.85 \text{ cm}$)

盧 (1999) 之試驗條件之水深為 20 公分、兩潛堤間距為 35 公分、入射波高 4.77 公分、入射週期為 1.8 秒，試驗中擺放五支波高計，波高計位置分別在第一潛堤前 4.47 m、0.43 m 處，及第一潛堤上方 ($x = 0$ m)、第一潛堤後 0.25 m、0.6 m 處。圖 5-9 為波浪通過潛堤不同位置之波形變化圖，圖中實線為數值模擬結果，圓形符號為試驗數據，由圖 5-9 中可發現本研究數值結果與試驗值頗為接近，可見在自由液面方面之模擬能力效果良好。

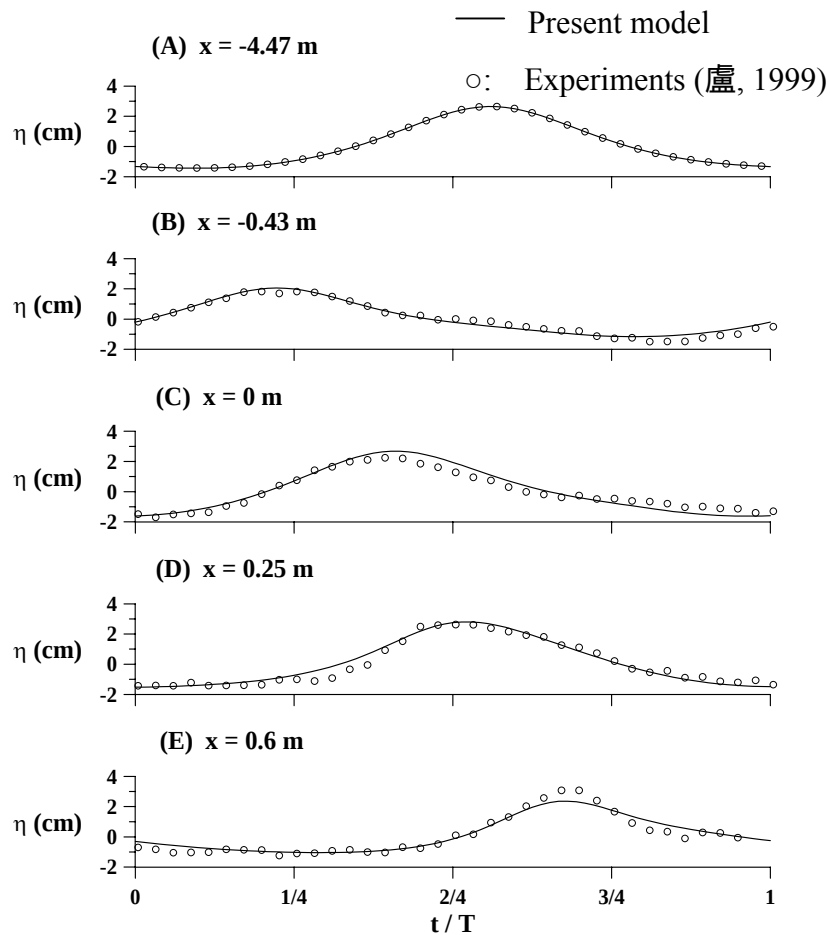


圖 5-9 波浪通過潛堤不同位置之波形變化

($h = 20$ cm、 $S = 35$ cm、 $H = 4.77$ cm、 $T = 1.8$ sec)

(實線: 數值模擬, $\circ$ 號: 實驗值)

為了驗證數值模式所計算之流速，進一步比較盧 (1999) 以 FLDV 量測波浪通過單一不透水潛堤之流速，試驗水深為 20 cm，潛堤高 10 cm，寬 15 cm，入射波高 5.85 cm，入射週期為 1.3 sec。分別取 $x = 0.225$ m、 $z = 0.15$ m 及 $x = -0.075$ m、 $z = 0.081$ m 兩點潛堤附近之流速與試驗值比較，如圖 5-10 所示，數值模式所計算之流速與試驗值相當接近，且相位一致，整體而言，可見在自由液面方面之模擬能力效果良好，可以證明數值模式之正確性。

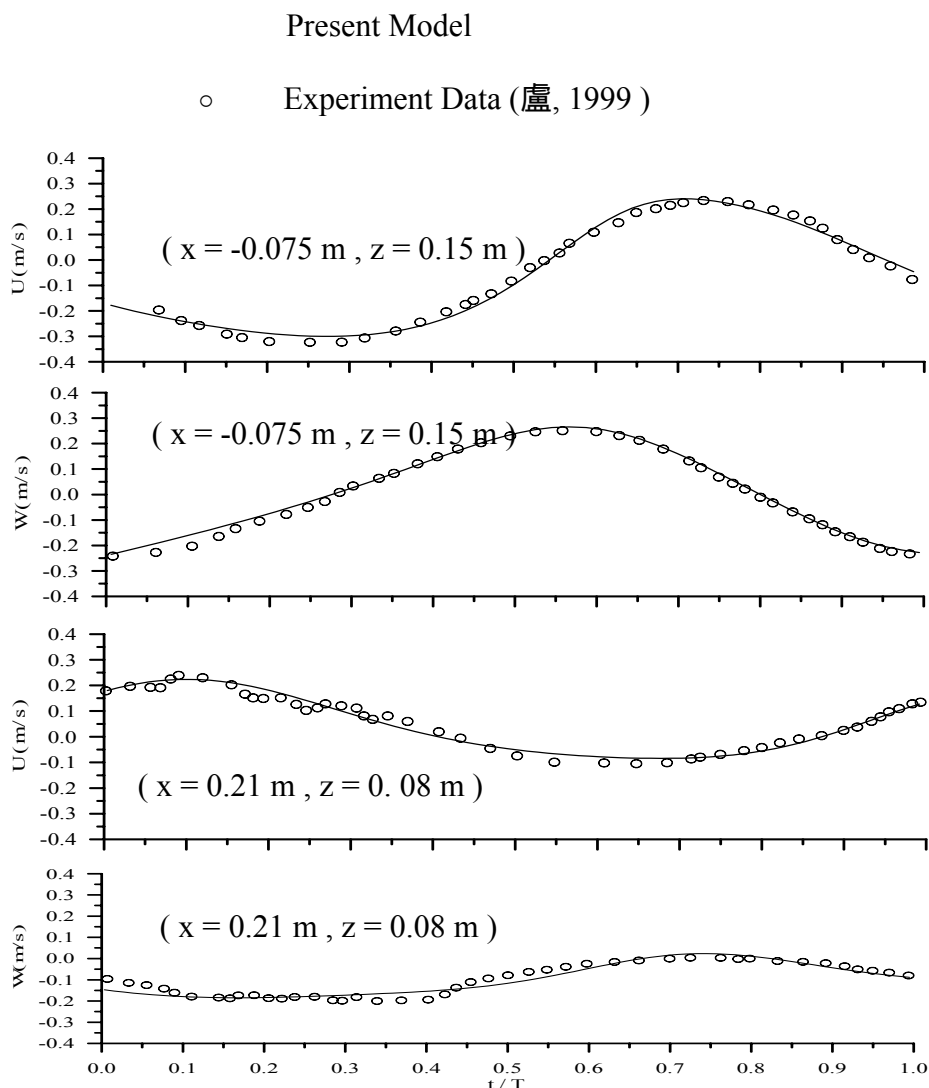


圖 5-10 數值計算與實驗量測之流速時序列結果比較

為驗證數值計算在波浪通過斜坡上之潛堤實例計算上之準確性，本研究利用歐等人 (2003) 實驗所量測的水位時序列資料來驗證數值模式之準確性。試驗的波浪條件 $H = 4.91 \text{ cm}$, $T = 1.5 \text{ sec}$ 。分別在斜坡潛堤前方、潛堤上方以及潛堤後方共架設 3 支波高計，以驗證此模式的準確性。圖 5-11 實線為本報告模擬之結果，圓圈代表試驗所量測的時序列資料。由圖 5-11 可以知道，模擬結果與實測資料相當吻合，故可知本模式準確性尚不錯。

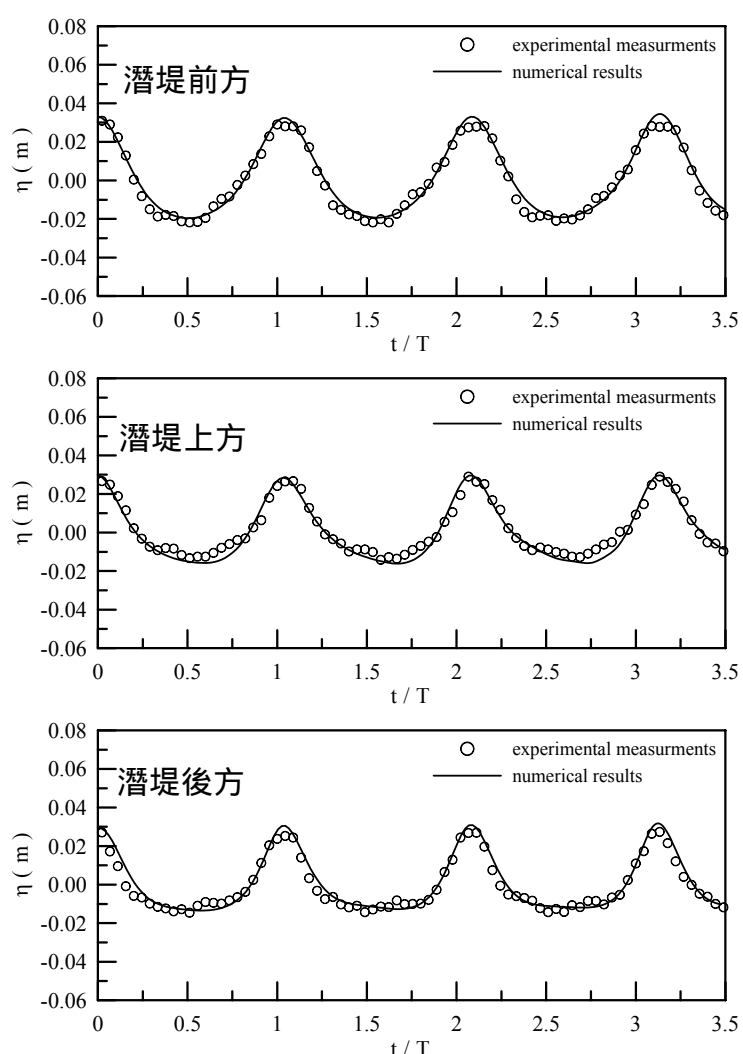


圖 5-11 波浪通過斜坡上潛堤不同位置之波形變化

為了驗證數值模式所計算斜坡溯升 (runup on a beach) 和溯降 (runup down)，本研究計算孤立波在 30° 斜坡上的水位變化，波浪條

件為：水深 16 cm 波高 2.7 cm，實線為本研究模式 虛線為 Chang 和 Liu (1996) 的水位實驗值，圖 5-12 (a) 為 $t = 6.38 \text{ sec}$ 時的液面變化、(b) 為 $t = 6.58 \text{ sec}$ 時的液面變化、(c) 為 $t = 6.78 \text{ sec}$ 時的液面變化、(d) 為 $t = 7.18 \text{ sec}$ 時的液面變化。如圖 5-12 所示，數值模式所計算之液面與試驗值相當接近，整體而言，本研究模式計算結果與 Chang 和 Liu (1996) 之試驗結果吻合，可見在自由液面方面之模擬能力效果良好，可以證明數值模式之正確性。

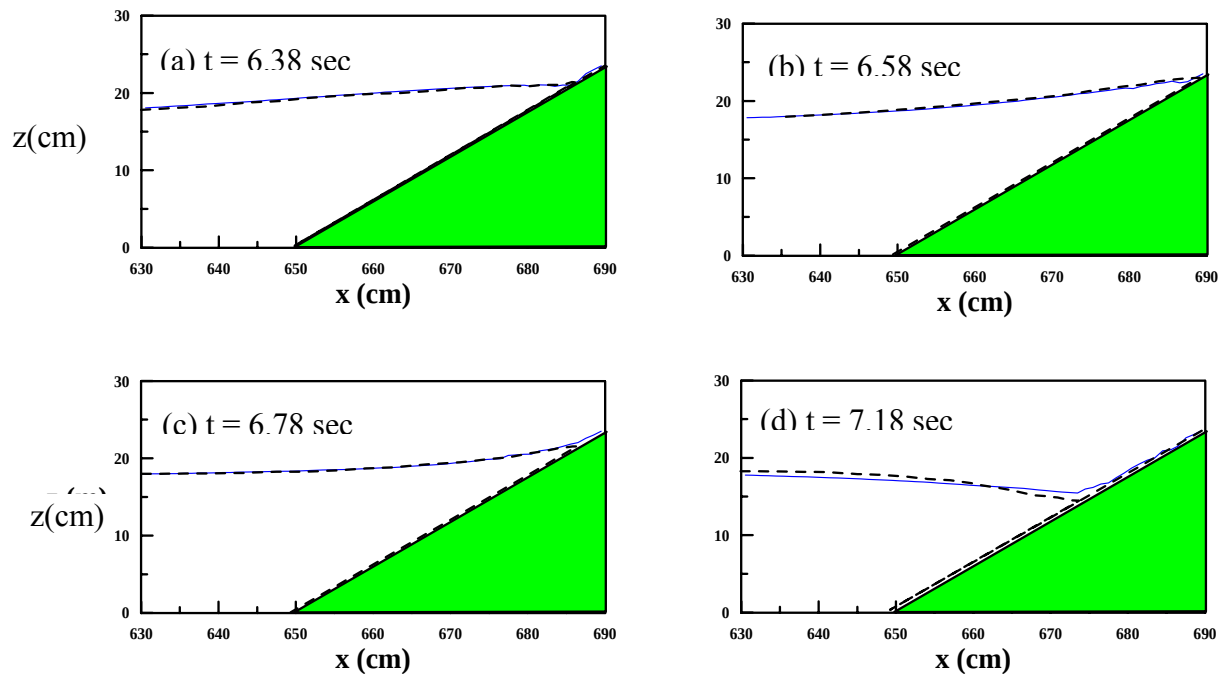


圖 5-12 數值計算與實驗量測之不同水位結果比較

5.4 結果與討論

本節以數值模式模擬堤體附近之流場分佈與渦流強度分析，藉以分析並瞭解該區域之水動力特性，進而瞭解沖刷之問題，提供研擬海

岸保護及親水性結構物最適化配置之參考依據。

本研究針對夏季季風模擬，週期 $T = 4.59 \text{ sec}$ 、波高 $H = 0.67 \text{ m}$ 之波浪，入射於階梯式斜坡底床，坡度為 $1 : 3.75$ ，入射水深 $h = 5 \text{ m}$ ，階梯高 10 cm 、階梯寬 37.5 cm 如圖 5-13 所示。圖 5-14 為數值模擬親水性堤岸之水位變化，圖中相位以波峰到達 $x/L = 0$ 處為基準，定義為 $(t/T = 0)$ ，因此波谷到達 $x/L = 0$ 處為 $t/T = 4/8$ 。波浪進行至斜坡時，因水深變淺，淺化使得波長和波速變小，由圖中亦可發現有此現象。由圖 5-14 可發現在 $t/T = 0$ 時，波浪在斜坡上溯升至最高點；在 $t/T = 2/8$ 時，水位在斜坡上溯降；直至 $t/T = 4/8$ 時，溯降至最低點；在 $t/T = 6/8$ 時，波浪在斜坡上往上溯升。隨著波浪週期性地在斜面堤上升與下降。

當波浪作用於結構物時，由於邊界層之發展，使得結構物附近會有渦流 (vortex) 的生成與消散。相較其附近流場而言，渦流本身流速快，對結構物產生的衝擊力強，不但對自由水面造成影響，亦會影響鄰近流場之運動，帶動水中的沙粒及可漂移物體，對於結構物本身也會造成沖刷破壞及提趾之淘刷，直接威脅結構物本體之安全。

利用數值計算得到之流場可進一步計算渦流強度 (vorticity)，渦流強度之定義如下

$$\Omega = \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial z} \dots\dots\dots (5-46)$$

其中 Ω 為流場中量測點上之渦度值， U 、 W 分別為水粒子之水平速度與垂直速度，而其計算的方法則是利用中央差分作離散化而得。

$$\Omega_p = \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial z} \cong \left[\frac{W_{i+1,k} - W_{i-1,k}}{x_{i+1,k} - x_{i-1,k}} \right] - \left[\frac{U_{i,k+1} - U_{i,k-1}}{z_{i,k+1} - z_{i,k-1}} \right] \dots\dots\dots (5-47)$$

其中 Ω_p 為位置在 (i,k) 時之渦度值， i 、 k 分別代表 x 、 z 方向的陣列足碼。 Ω_p 為正值時，表示渦流逆時針旋轉； Ω_p 為負值時，表示渦

流順時針旋轉。

當週期 $T = 4.59 \text{ sec}$ ，波高 $H = 0.67 \text{ m}$ 之波浪，入射於階梯式斜坡底床，流場計算結果如圖 5-15 所示，圖中相位以波峰到達 $x/L = 0$ 處為基準，定義為 $(t/T = 0)$ 。為明瞭波浪通過階梯式斜坡底床時所生成之大尺度渦流的整個成長與消散過程，圖 5-15 顯示一週期內的流場和渦度變化，其中渦度值負號表順時針，反之渦度值正號表逆時針。所謂大尺度渦流是由固體壁面產生，大尺度渦流與平均流 (mean flow) 作用後，由平均流中取得動能轉給大尺度紊流運動。渦流中漩渦元素彼此擴展，故漩渦擴展 (vortex stretching) 為紊流運動之基本現象，藉此漩渦擴展將能量傳遞至更小的渦流，直到黏滯力明顯重要，而能量消散。雖然能量消散是一種黏滯過程 (viscous process) 且發生在最小渦流，然能量消散率仍由大尺度運動決定。流場中渦流運動間接影響了流速、紊流動能與紊流消散率等。

波浪由右往左入射，由圖 5-15 可知在靜水位以上的水體速度向右運動；反之靜水位以下的水體速度向左運動。為了方便說明渦流的變化，將整個斜坡分成 3 區，波浪溯升和溯降為 A 區 ($x/L = 0.6 \sim 0.8$)；C 區為堤趾處；B 區介於 A 和 C 區之間。

當 $t/T = 0$ 時，波峰到達堤趾時 ($x/L = 0$)，波浪向右運動，此水流受到堤面邊界的限制，在 $x/L = 0.6$ 處分成沿堤面溯升的水流與離堤方向下刷水流，這樣的水流方向造成 A 區和 B 區產生逆時針的渦流，而在 C 區的水體產生順時針的渦流。

在 $t/T = 0$ 時，隨著波浪沿著斜坡溯升至最高點後，開始溯降， $t/T = 2/8$ 時，A 區的水體沿著斜面往下刷，造成逆時針渦流；此時波峰的位置到達 B 區，因此往右的速度與斜坡互制，造成順時針渦流。

當波谷到達堤趾時 ($t/T = 4/8$)，會在斜面上產生向下水流，此時斜坡上的水位降至最低點，水體受到堤面邊界的限制，因此在 $x/L = 0.21$ 分成沿堤面上升的水流與離岸方向的水流。故在 A 區產生順時針渦

流、在 C 區產生逆時針渦流。

當波浪在 $t/T = 4/8$ 時，斜坡上水位降至最低點後，水位開始回升，在 $t/T = 6/8$ 時在 A 區水流向上溯升，產生順時針渦流，在 $x/L = 0.42$ 處分成沿堤面溯升的水流與離堤方向下刷水流，此時 B 區產生逆時針渦流。相同地隨著波浪週期地在斜面堤上升與下降，上述兩種不同的水流亦會交替出現，於是形成下刷水流流況，此種可能是造成堤趾沖刷的重要機制。

圖 5-15 中可發現在親水性堤岸溯升和溯降附近(A 區)的渦流強度較大，此乃由於結構物阻擋波浪、海流經過、致使能量集中於親水性堤岸，堤面下刷水流作用於堤趾時，造成水流作用力，可能導致堤趾沖刷的因素。

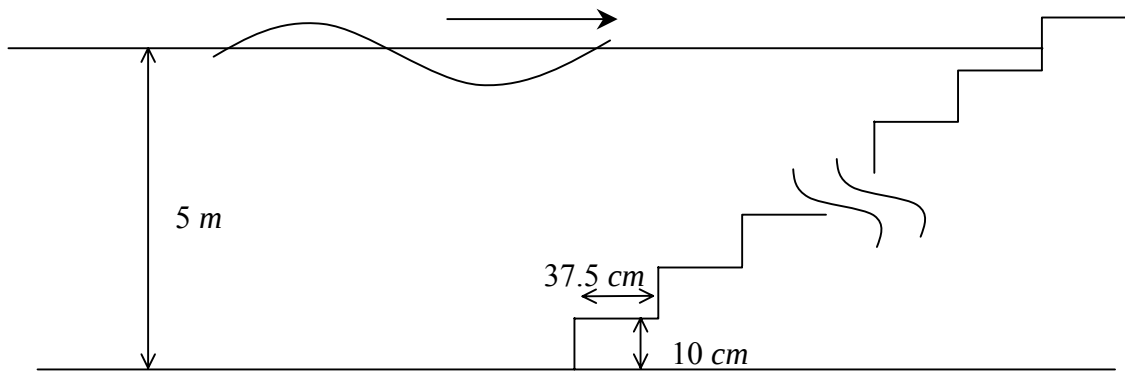


圖 5-13 計算地形示意圖

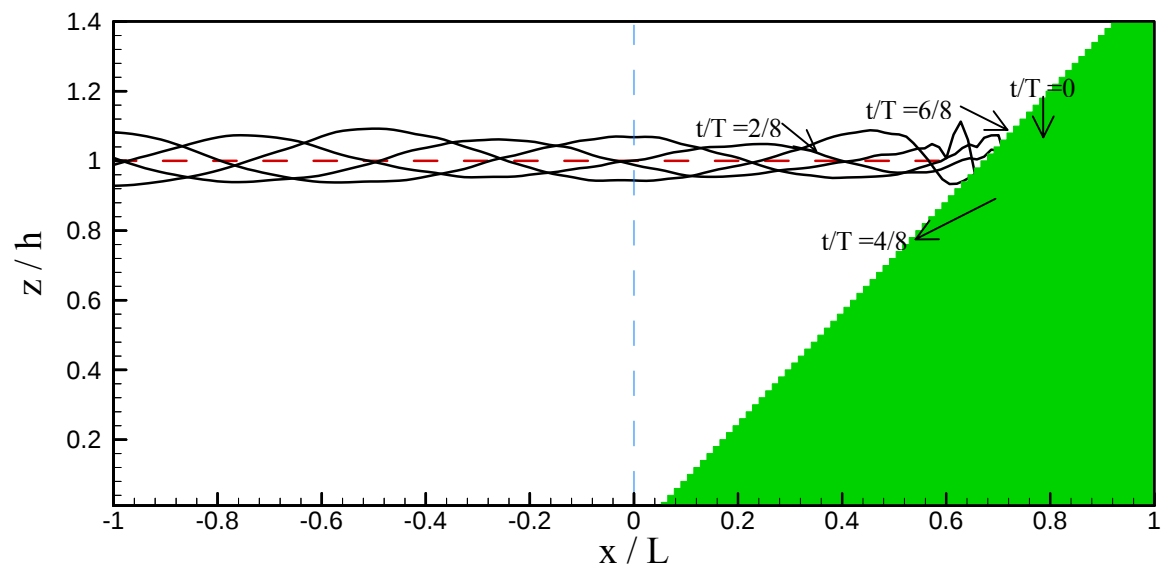


圖 5-14 數值模擬親水性堤岸之水位變化

($T = 4.59 \text{ sec}$; $H = 0.67 \text{ m}$; $h = 5 \text{ m}$)

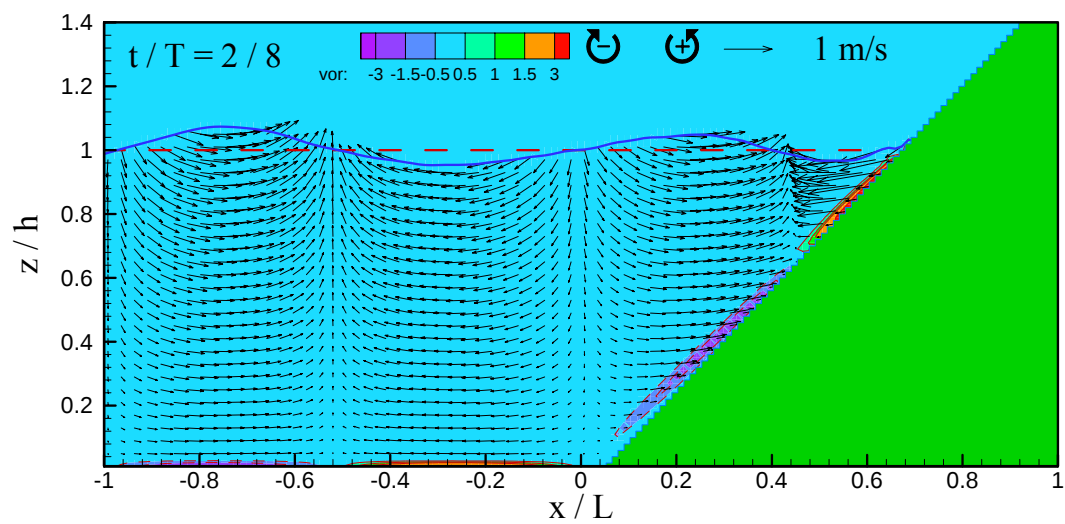
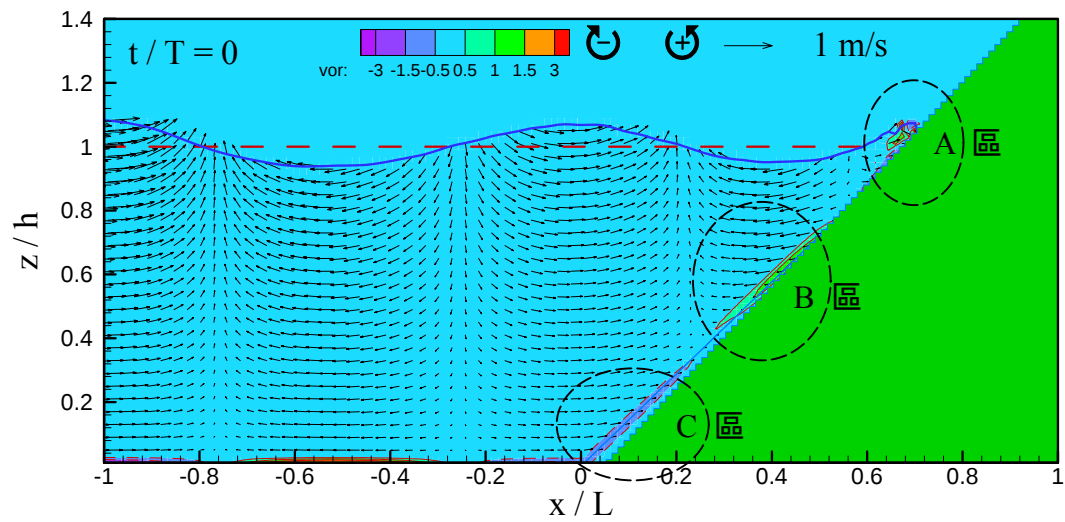


圖 5-15 數值模擬親水性堤岸之流場和渦流強度分佈圖

($T = 4.59 \text{ sec}$; $H = 0.67 \text{ m}$; $h = 5 \text{ m}$)

藍線為自由液面，紅色虛線為平均水位

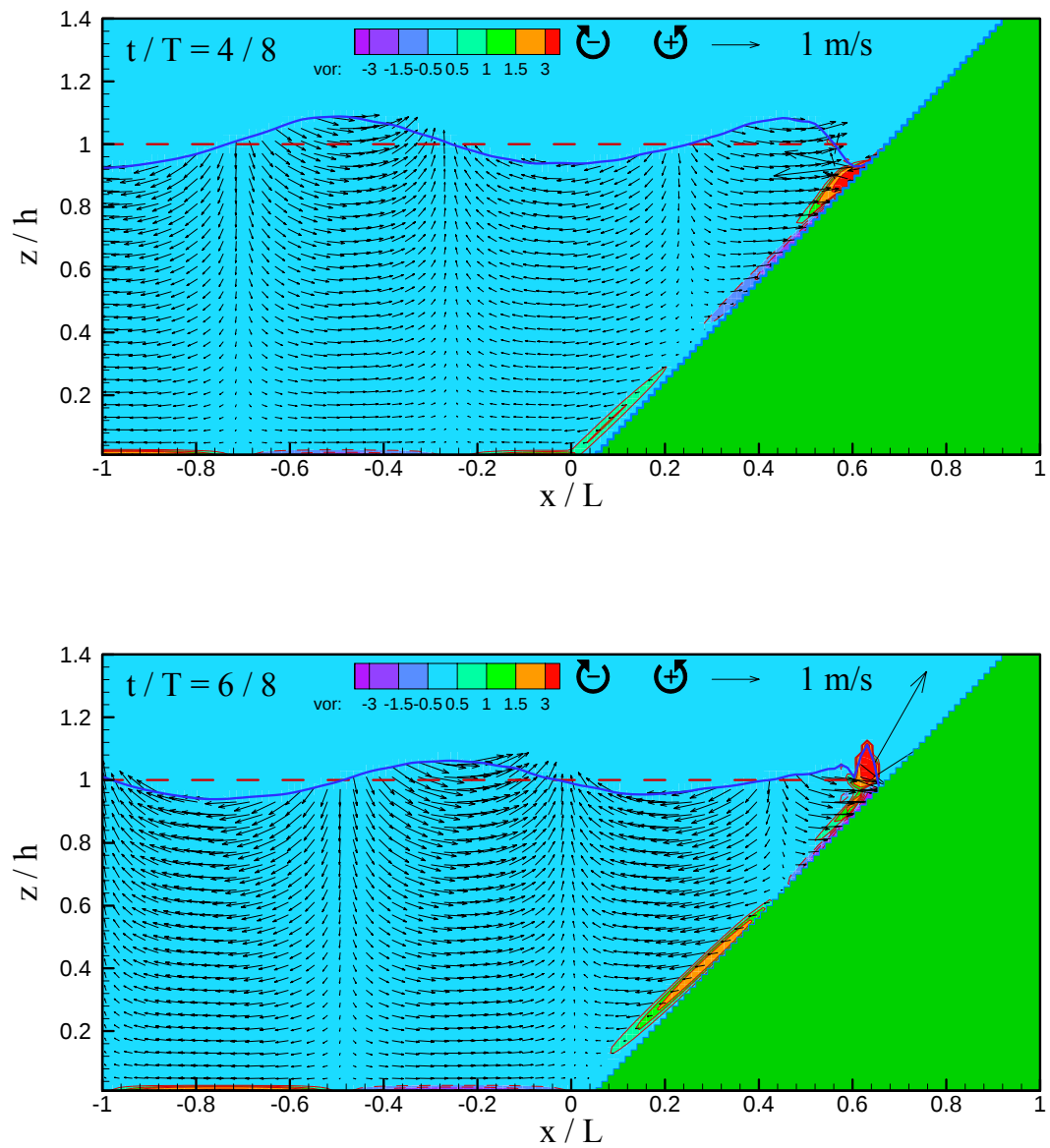


圖 5-15 數值模擬親水性堤岸之流場和渦流強度分佈圖(續)

($T = 4.59 \text{ sec}$; $H = 0.67 \text{ m}$; $h = 5 \text{ m}$)

藍線為自由液面，紅色虛線為平均水位

第六章 護岸消波塊之視覺景觀評估

台灣海岸風景優美，但因直接受到強烈颱風波浪的侵襲，部份地區面臨侵蝕，甚至危害到海濱居民安全，因此政府採取許多防護措施。這些防護措施多以考量安全因素為主，未考慮到景觀及視覺感受而設置了許多單調的消波塊與護岸，使原本優美的海岸景觀失去原貌。本研究欲探討這些防護措施的設置，是否能得到大眾的喜好，選擇以花蓮南濱附近海岸景觀為研究基地，以當地照片加上電腦影像處理的方式，加入海堤或移除消波塊來改變照片的景觀，並以問卷調查方法來探討民眾對這些景觀的喜好程度，進而了解影像處理前後，是否會因護岸的改變或消波塊的存在與否，而影響大眾對海岸景觀的喜好。

6.1 調查方法

本章討論的課題為消波塊對海岸景觀的衝擊性，利用問卷調查的方式，討論海岸上有無消波塊的景觀被大眾接受的程度。若由民眾在現場看實景做問卷，無法比較消波塊拋設前後的差異，因此，透過照片的電腦影像處理來做為景觀的呈現方式。使用照片來做偏好調查，利用實景照相，除較具有真實感，還可以控制變因外，相片要表示的主題也較明確。若欲討論消波塊對海岸景觀的影響時，僅需在原相片之影像中移除消波塊，以控制單一變因，而其他變因卻不變，如此調查結果不會因為其他額外的複雜因素影響受測者的作答，使誤差降到最低。

所謂的 SDM (Semantic Differential Method)，即為意味差分法，乃分析人的“意味”差別的方法，其前提假設為每一個人對同一對象或語言，雖持有不同的意味，但依照人類持有的共同基礎，可以尋出感情的共同傾向，再利用數組兩極性 (bipolar) 的形容詞，如單純 - 複雜、美麗 - 醜惡等，對於調查的事或物加以評估，檢核時假設評定尺度具

有連續性，而受訪者依照個人視覺直接的感受加以評估，依其感覺由各因子中圈選出適當的程度，然後利用統計方法，對使用的兩極性形容詞之相互的關連性加以分析，此法解釋受訪者的心理現象問題。

我們以 SDM 法來調查大眾對於這些照片之喜好程度，再比較各照片間評估值的差異性，藉此可了解變因的改變對於海岸景觀的影響。

6.2 現地調查

6.2.1 取景方式

本研究選擇花蓮港以南，包括北濱海岸、南濱海岸與化仁海岸，全長約四公里為取景範圍。我們選擇天氣晴朗的時候，持相機以固定眼高(約 155 公分，固定三角架高度)到基地取景。照片拍攝時的位置、視點方向如表 6-1，分不同的視點及方向不同來拍攝。共拍攝約 30 張照片。圖 6-1 為拍攝之視點位置及方向圖。

表 6-1 照片拍攝之視點

地點	照片 編號	視點方向	地點	照片 編號	視點方向	地點	照片 編號	視點方向			
北濱	A1*	北岸	南濱 (岸線)	C1*	北岸	化仁	E1*	北岸			
	A2	西堤		C2	港口		E2	港口			
	A3	港口		C3*	海面		E3	海面遠景			
	A4*	海面		C4	海面遠景		E4*	南岸			
	A5	海面遠景		C5*	南岸		E5*	花蓮溪			
	A6*	南岸		C6*	花蓮溪口		E6*	海面近景			
	A7	陸上		C7	岸上	F1*	自由街口				
	A8*	波浪	南濱 (堤上)	D1*	北岸	G1*	自由街口				
	A9*	花蓮溪口		D2*	南岸	打*號者為漲、退潮 各拍一次					
北濱 (堤上)	B1*	海面									
	B2	海面遠景									

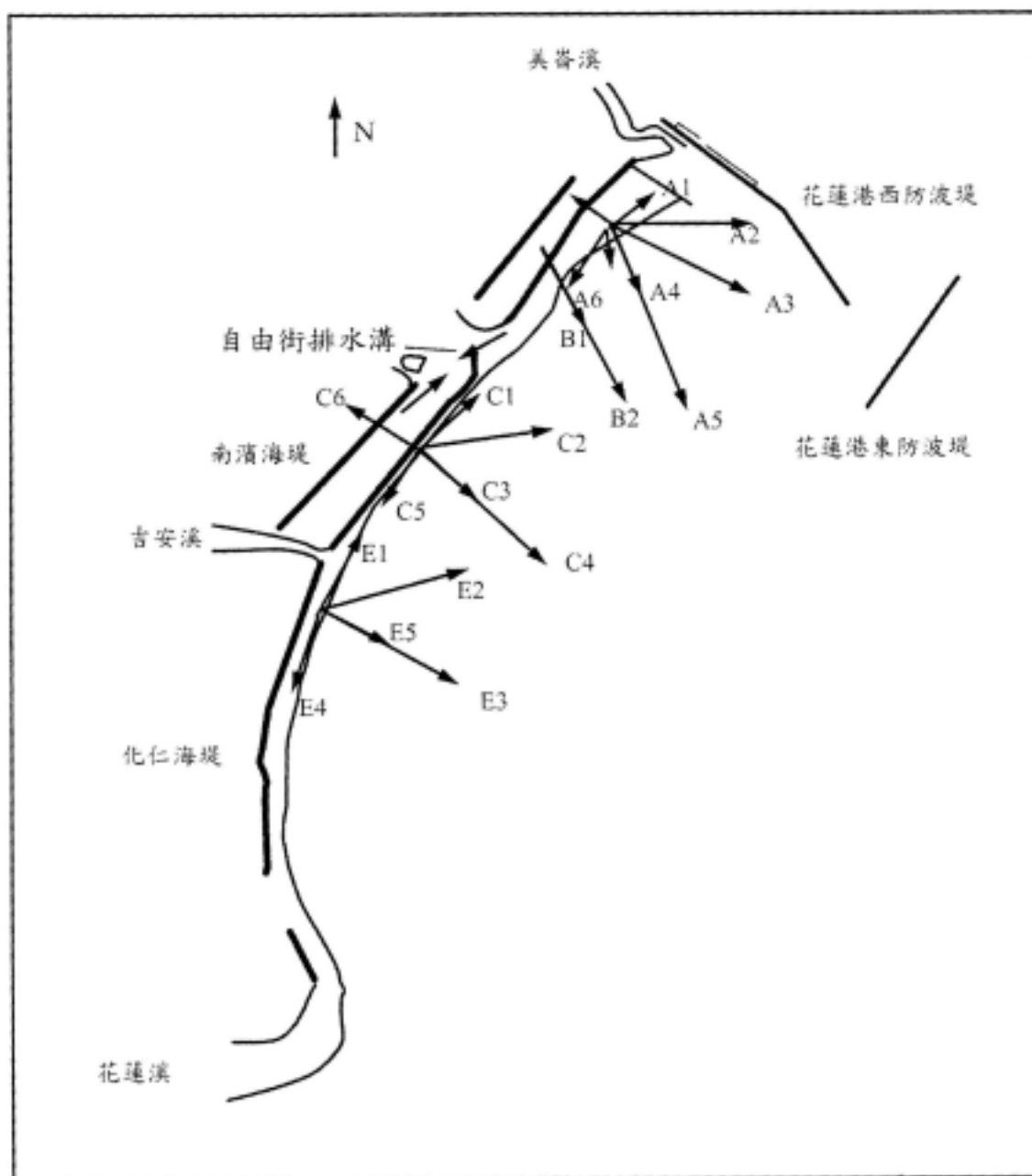


圖 6-1 視點位置及方向圖

6.2.2 現況介紹

在花蓮北濱、南濱及化仁海岸消波塊數量眾多，目前海堤的位置及長度示如表 6-2 及圖 6-2。

表 6-2 本區段現有海堤

海堤名稱	海堤長度
美崙溪口導流堤	205 公尺
北濱海堤	996 公尺
南濱海堤	659 公尺
潛堤（計 7 座）	560 公尺
南濱舊堤	956 公尺
化仁海堤	1100 公尺
化仁海堤保護工	714 公尺
化仁海堤（潛堤）4 座	280 公尺

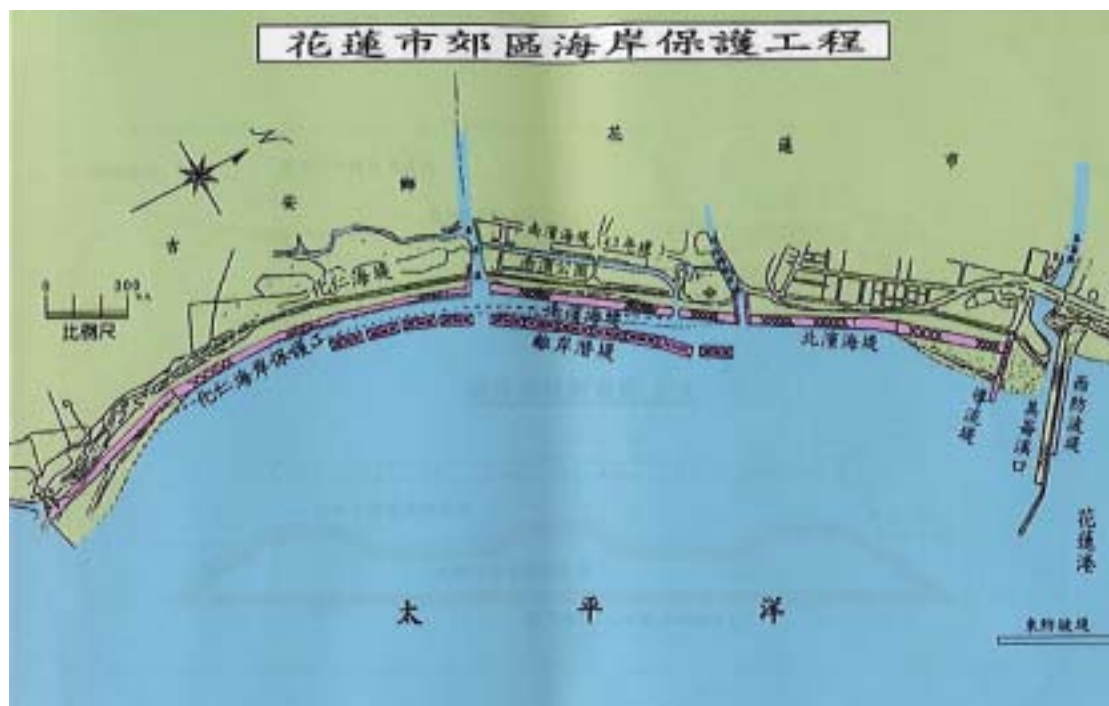


圖 6-2 現有海堤分佈圖

以上興建的海堤是政府為了顧及沿岸居民的安全，而拋設了許多消波塊，目前各區的景觀，我們以當地照片敘述如下：

1.北濱

照片 6-1 為站在吉安溪口，視點往南的方向所拍攝之照片。北濱近來由於花蓮港東防波堤的延長，呈現淤積狀態，而且沙灘寬度長，海浪能危害到岸上居民的機會較少，因此自由街排水口以北的海岸線並沒有做任何防護措施。但自由街排水口以南，由於侵蝕嚴重，堆放了非常多的消波塊，照片 6-2 為站在北濱海堤前，視點往南所拍攝之照片，此照片是站在北濱海堤與海岸線之間的小路上所拍攝，消波塊沿著海岸線堆放，由岸上往海面看的視野完全被消波塊所遮蔽，阻隔了人民接近海的權利，完全無法看見蔚藍的海面，這就是一個只顧慮到防災，卻忽略人民感受的例子。照片 6-3 為站在北濱海堤上由南往北拍攝，照片的盡頭是花蓮港，在陸域交通尚未發達前，港口扮演提供物流的角色，故有特殊景觀意念存在，景觀上有獨特的魅力，但放眼望去，映入眼簾的盡是堆放雜亂的消波塊，浪費了這個美好的景色。

2.南濱

照片 6-4 為站在南濱海堤上，由上往下拍的照片。南濱海岸在歷年的颱風波浪破壞後，在原有的緩坡海堤上再加拋消波塊，以避免再度受破壞。照片中露出海面的是民國 80 年至 86 年間所拋的離岸堤。照片 6-5 為南濱公園之一角，照片 6-6 為公園內之小山山頂往北拍攝整個南濱海岸。南濱公園目前有小山、涼亭及翠綠的草皮，假日吸引許多遊客到此處遊玩，但略嫌美中不足的是因為整個海岸佈滿消波塊，而使民眾無法在此處接觸水，本研究遊客部份問卷即是在此地進行。

3.化仁

整個化仁海岸由於侵蝕嚴重，海岸線逐年退後，因此沿岸拋了許多的消波塊，照片 6-7 是整個化仁海岸的沿岸，除了岸邊的消波塊之外，

還有在海中所拋的離岸堤。照片 6-8 是在化仁南邊往北所拍攝，整個海岸線也是排了滿滿的消波塊，海岸的原貌消失殆盡。照片 6-9 在化仁北邊拍攝，雖然有階梯式的緩波海堤供人走下岸，但由於緩波海堤設計不當，經過幾次颱風波浪的侵蝕，破壞的很嚴重，因此在緩波海堤外側又拋了消波塊，但同時也失去了緩波海堤原來設計時親水、讓民眾走向海的美意。

6.3 問卷設計

6.3.1 研究對象及調查方式

本研究的目的是為了瞭解大眾對於這些景觀的喜好度，並比較其差異性，問卷的調查對象理應針對大眾做調查，但 Evans and Wood (1980)指出學生的調查結果與一般大眾的調查結果相近，故可以學生為受測對象。因此本研究的受測對象主要以學生為主，學生的受訪者有海洋背景與景觀背景的學生，主要欲分析受測者對海岸景觀的喜好程度是否因背景的不同而有差異。此外，還有當地遊客的評估，討論當地遊客是否因地緣關係對當地景觀的偏好與學生的偏好有差異，因此我們也到花蓮海濱對當地的遊客做問卷調查。本問卷的設計含有設計背景資料調查，包括了性別、年齡、居住地、教育程度、職業、去海邊頻率等，以便後續針對各個項目做分析。學生與遊客的調查方式分別敘述如下：

1. 學生部分

學生的調查方式是以電腦簡報軟體 POWER POINT 放映照片，讓全班一起在教室內作答。問卷開始前，先將照片以每張三秒的速度放過一遍，並在放映過程中解說問卷內容及注意事項，待所有學生將問卷內容了解，並填完基本資料後，才正式進行問卷的調查。每張照片放映時間為 90 秒。



照片 6-1 北濱沿岸照片



照片 6-2 北濱海堤至海岸線間之照片



照片 6-3 由北濱海堤堤頂往港口之照片



照片 6-4 南濱海堤之緩坡側



照片 6-5 南濱公園之一角



照片 6-6 南濱公園沿岸之俯視照片



照片 6-7 化仁海岸俯視照片



照片 6-8 化仁海岸消波塊照片



照片 6-9 化仁海堤照片

2.遊客部份

遊客的調查是以花蓮海濱附近的遊客為主，選擇遊客較多的時間，如禮拜六及禮拜天，到花蓮南濱公園對附近遊憩的民眾作調查，照片以筆記型電腦播放，讓他們作答，每次受測者約為 1~2 人。問卷開始前先將十張照片，以每張三秒的速度放過一遍，並在放映過程中解說問卷內容及注意事項，待遊客將問卷內容了解，並填完基本資料後，才開始進行問卷的調查，每張照片的放映時間為 90 秒。

6.3.2 照片選擇

在照片拍攝完成後，由於數量眾多，因此在這麼多的照片中必須挑選適當照片來評估，所以必須先確立討論課題，再挑選與課題相關的照片，以方便將來課題的討論。討論的課題大致上訂為下列五項：

- 1.大眾對船隻在海景中的喜好度。
- 2.大眾對南濱公園現況的喜好度。
- 3.大眾對岸邊消波塊的喜好度。
- 5.大眾對離岸堤呈現方式的喜好度。
- 5.大眾對防波堤及海上構造物的喜好度。

依據這些討論課題，我們選出了五張照片，為照片 6-10 到照片 6-14。然後以影像處理的方式，將照片內之消波塊去除或加上其他物件，以便比較差異性，處理後共有十張照片供問卷調查，這些照片為照片 6-15 到照片 6-24。



照片 6-10 海面上船景的照片



照片 6-11 南濱公園一角



照片 6-12 南濱公園之傾斜式海堤



照片 6-13 南濱公園往花蓮港口之照片



照片 6-14 化仁海岸之護岸

- 1.照片 6-10：為圖 6-1 中照片編號 C3 的照片，是站在南濱往海面拍攝的近景，其主要的探討課題是為了瞭解大眾對於船在海中的喜好及接受程度，因此我們在後續的處理上，將岸邊之消波塊去除，以免影響到受測者對整張照片喜好的評估，其處理後的照片為照片 6-15。
- 2.照片 6-11：為圖 6-1 照片中編號 D1 的照片，拍攝地點位在南濱海堤上，視點往北之方向拍攝。本張照片為南濱公園現況，在這張照片中，由於有“人”的影響變因在內，為了怕影響受測者對此張照片的感受，故利用影像處理方式，將人去除，減少變因。處理後之照片為照片 6-16。

- 3.照片 6-12：為圖 6-1 中照片編號 C7 的照片，拍攝地點在南濱之水際線，由堤下仰角 20 度拍攝。其消波塊整齊排列，但為了探討大眾對於岸上消波塊的喜好度，因此除了這一張以外，還另外以影像處理將消波塊換成以石塊鋪砌而成的緩坡，用大眾對於這兩張照片的喜好程度來做比較，此兩張照片為照片 6-17 與處理後的照片 6-18。
- 4.照片 6-13：為圖 6-1 中照片編號 C2 的照片。我們利用這張照片，來探討大眾對於潛堤的接受度，因此在處理上，先以一張只有離岸堤的照片為照片 6-19，照片 6-20 則將離岸堤移除，並在近岸的海面上加上陰影，做為潛堤沒入海面中的效果，以這兩張照片來探討大眾的接受度。
- 5.照片 6-14：為圖 6-1 照片編號 E4 的照片，在這張照片中，北濱海岸佈滿了消波塊，我們利用這張照片來探討岸邊保護工法的景觀，因此，先利用原來的照片去除離岸堤為照片 6-21，去除離岸堤的目的是為了減少變因，以免離岸堤的存在影響了受測者對照片的喜好度，此張照片與現況最為接近。照片 6-22 則是再將照片 6-21 中岸邊的消波塊去除，只留下原有的階梯式海堤，照片 6-23 則是把日本沖繩縣的人工岬灣、人工島照片植入北濱海岸的背景中。照片 6-24 也是以北濱海岸為背景，接上日本福井縣和田港之階梯式緩坡海堤的照片。以這四張相同背景，但海堤型式不同的照片，來探討對於不同的海堤構造，大眾之喜好度及接受度是否有不同的區別。

所有處理後的照片為照片 6-15 至照片 6-24，這十張照片則為最後問卷所要探討的照片，在照片播放的順序上，是以亂數排列。

6.3.3 SD 法之意味尺度

SD 法所用的尺度稱為“意味尺度”(semantic scale)，一般以“大 - 小”或“優 - 劣”之相反形容詞為尺度，在尺度的中間再加上數段的評估階段。我們先選取約一百多個的形容詞，配以相反的形容詞，再將語意不清及相似的形容詞刪除後，最後得到如表 6-3 的二十一對形容詞。

表 6-3 本研究所提的二十一對 SD 意味尺度

喜歡	←→	討厭
舒適	←→	壓迫
美麗	←→	醜惡
調和	←→	互斥
都會	←→	鄉村
鮮艷	←→	樸素
自然	←→	人工
動感	←→	呆板
親水	←→	離水
柔和	←→	剛硬
簡單	←→	複雜
單調	←→	豐富
順暢	←→	阻礙
廣闊	←→	狹窄
開放	←→	封閉
高級	←→	粗俗
安全	←→	危險
雜亂	←→	整齊
細緻	←→	粗糙
趣味	←→	無趣
風格	←→	普通

SD 的評估階段，一般分段通常使用奇數段，如三段、五段、七段、九段等。評估階段分段越多則意味結果越精細，但受訪者對問題的意味相對也需有區別如此精細的能力，否則徒增統計分析的複雜度，其統計結果也無實質意義。在衡量統計量之複雜度與結果之精細度後，本研究調查決定使用五階段來評估。並將問卷的二十一對意味尺度隨機調整正向形容詞及負向形容詞的左右位置，以避免受測者偏向意味尺度的正向形容詞或負向形容詞。在問卷中，除說明調查問卷的目的及受訪者的基本資料外，並附有一個問卷的範例，說明每一個分段的意義，比方說在喜歡與討厭之間的五個階段中，最靠近喜歡的分段為

非常喜歡，依次為稍微喜歡、普通、稍微討厭，而最靠近討厭之分段則為非常討厭。在問卷調查開始前亦做詳細說明上述意味尺度及分段的意義。

6.4 調查結果

6.4.1 結果的準確性

1. 基本資料分析

問卷共回收了 132 份，其中有效問卷為 126 份，問卷的有效百分比為 96 %。有效問卷中包括學生部份 82 份及遊客部份 44 份，表 6-4 為所有不同背景受訪者之回收份數。

表 6-4 各背景受測者之回收份數

受測者背景	份數
有海洋背景的學生	52
有景觀背景的學生	30
花蓮海濱之遊客	44

2. 獨立樣本 T 檢定

統計資料分析時，常必須先比較不同群體間的特性是否一致，或對某問題的觀點是否一致。群體特性的一致性與否，往往可由群體特性的期望值來判斷。獨立樣本的 T 檢定，是用以檢定群體特性的期望值是否符合常用的統計方法。獨立樣本 T 檢定的重點如下：

- (1) 首先要觀察各群資料的數量是否足夠，一般須為 30 以上。
- (2) 觀察各群的分配是否近似常態分配。

- (3)由於兩群體變異數的檢定為判斷該兩群變數之變異數是否相等。
從變異數檢定之 F-分配的 F-值或 p-值可知，若 p-值小於所設定的顯著水準 α 時，則可判斷此兩群體之變異數不相等，反之，若 p-值大於所設定的顯著水準 α 時，則此兩群體之變異數相等。
- (4)利用第(3)項之結果，查看 T 檢定表中雙尾檢定的 p-值，以判斷該兩群之期望值是否相等。若 p-值小於所設定的顯著水準 α 時，則否定虛無假設 H_0 ，假設二者有否則不否定虛無假設 H_0 。
- (5)觀察此兩期望值之差的信賴區間。若其差介於此區間中，則不否定其母體的期望值是相同的。

由於獨立樣本 T 檢定是討論兩群變數間的關係，而本研究又將所有的受測者資料分為三部份，因此我們將這三部份的受測者對各張照片的“喜歡 - 討厭”程度採交叉比對。首先比較有海洋背景的學生與有景觀背景的學生的獨立性，再比較有海洋背景的學生與遊客部份的獨立性，最後再比較有景觀背景的學生與遊客的獨立性。以 T 檢定的方式求出雙尾 p-值，將顯著水準設為 0.05（建立在 95%的可信距之下），來瞭解各群體之間的期望值是否相同。各群體間相互比較後所得的結果如表 6-5 所示，其中將 p-值小於 0.05 的格子以網底表現。如果 p-值大於 0.05 時，則表示相互比較的組別“不具”顯著差異，肯定原來假設的獨立性，若小於 0.05 時，則表示相互比較的組別“具有”顯著差異，而否定原來假設的獨立性。

表 6-5 各群體間之雙尾 p-值比較

照片編號 群體的比較	照片 1	照片 2	照片 3	照片 4	照片 5	照片 6	照片 7	照片 8	照片 9	照片 10
有海洋背景的學生與遊客之比較	0.463	0.000	0.051	0.563	0.378	0.589	0.088	0.721	0.003	0.017
有景觀背景的學生與遊客之比較	0.144	0.236	0.764	0.000	0.985	0.007	0.000	0.926	0.238	0.053
有海洋背景的學生與有景觀背景的學生之比較	0.439	0.009	0.035	0.000	0.392	0.008	0.001	0.817	0.102	0.842

從表 6-5 的檢定結果可知，三個群體對照片 1、照片 3 及照片 5 之 p-值皆大於 0.05，未達顯著水準，所以我們可以說，受測者對於照片的偏好程度，不會因為這三個群體的背景不同而有所差異。而其他照片中的 p-值有的小於 0.05，表示受測者會因群體的不同而有不同的喜好程度，其詳細討論內容詳見 6.4.2 節。

3. 單因子變異數分析

為了分析受測者的基本資料是否影響評估的結果，我們利用單因子變異數分析的方法，來分析各照片的喜好度是否因每一項基本資料的不同而有所關聯。變異數分析的目的，在探究因變數的不同與反應值之間是否會有差異程度，反應值之間的差異則稱為“變異”。在這裏的反應值為照片的喜好程度，而變數則為受測者的各項基本資料。根據受測者的基本資料，包括性別、年齡等，來分析喜好度的變異數，各項基本資料的分析如表 6-6 所示。其結果利用 p-值是否在顯著水準之內來判定，同樣地，我們將顯著水準定為 0.05，視 p-值的大小來判定是否為顯著相關。

表 6-6 各基本資料間的變異數分析

照片編號 基本資料	5-17	5-18	5-19	5-20	5-21	5-22	5-23	5-24	5-25	5-26
性別	0.359	0.061	0.061	0.320	0.808	0.024	0.397	0.356	0.006	0.061
年齡	0.831	0.970	0.092	0.087	0.000	0.937	0.210	0.015	0.321	0.000
居住地	0.699	0.156	0.682	0.483	0.061	0.006	0.053	0.824	0.023	0.001
教育程度	0.370	0.001	0.040	0.256	0.076	0.010	0.014	0.955	0.009	0.000
職業性質	0.423	0.001	0.094	0.732	0.700	0.009	0.074	0.928	0.056	0.019
去海邊次數	0.005	0.009	0.461	0.156	0.099	0.720	0.105	0.450	0.207	0.506

在表 6-6 中，將 p-值小於 0.05 的格子以網底表現。如果 p-值大於 0.05 時，則表示相互比較的組別“不具”顯著差異，肯定原來假設的獨立性，若小於 0.05 時，則表示相互比較的組別“具有”顯著差異，而否定原來假設的獨立性，其分析討論詳見 6.4.2 節。最後的結果發現只有照片 4，不因各種基本資料的不同而影響結果。

6.4.2 剖析法之分析

剖析法在統計學上，通常用於不同型態或不同調查對象間之傾向比較，以探討其相互間之差異。將所有的問卷經過回收及建檔後，將各照片所獲得尺度數據之平均值求出，並用直線加以連接，獲得各照片之剖析圖如圖 6-3 至圖 6-12 所示。圖 6-3 至圖 6-12 已調整問卷中各項形容詞序對，把較正面之形容詞放於左側，反之將負面形容詞放於右側。所以若尺度數據偏向左側，則此照片之景觀較易被接受，反之若尺度數據偏向右側較多，則照片之景觀較不被接受。



照片 6-15 船隻海景



照片 6-16 南濱公園

— : 所有資料平均
 : 海洋背景學生
 + : 景觀背景學生
 □ : 遊客

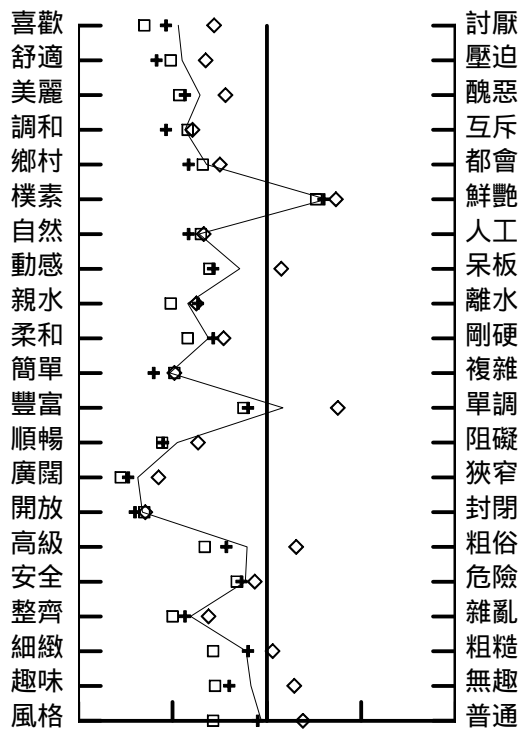


圖 6-3 船景的 SD 曲線

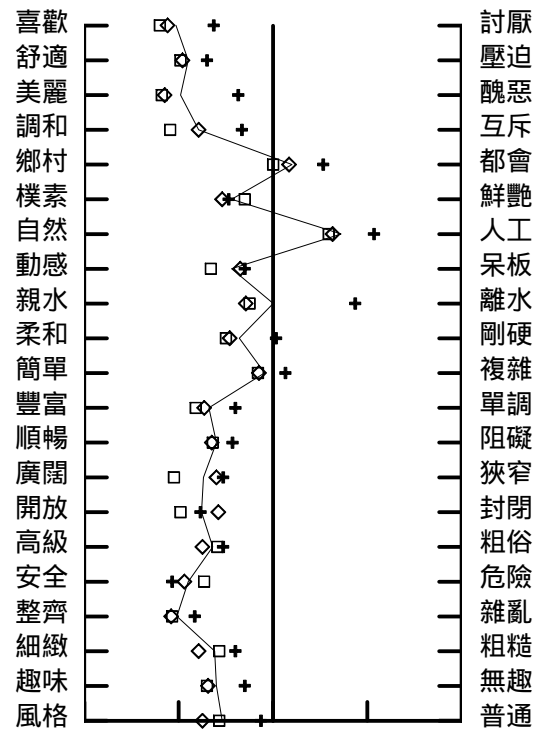


圖 6-4 南濱公園景觀的 SD 曲線

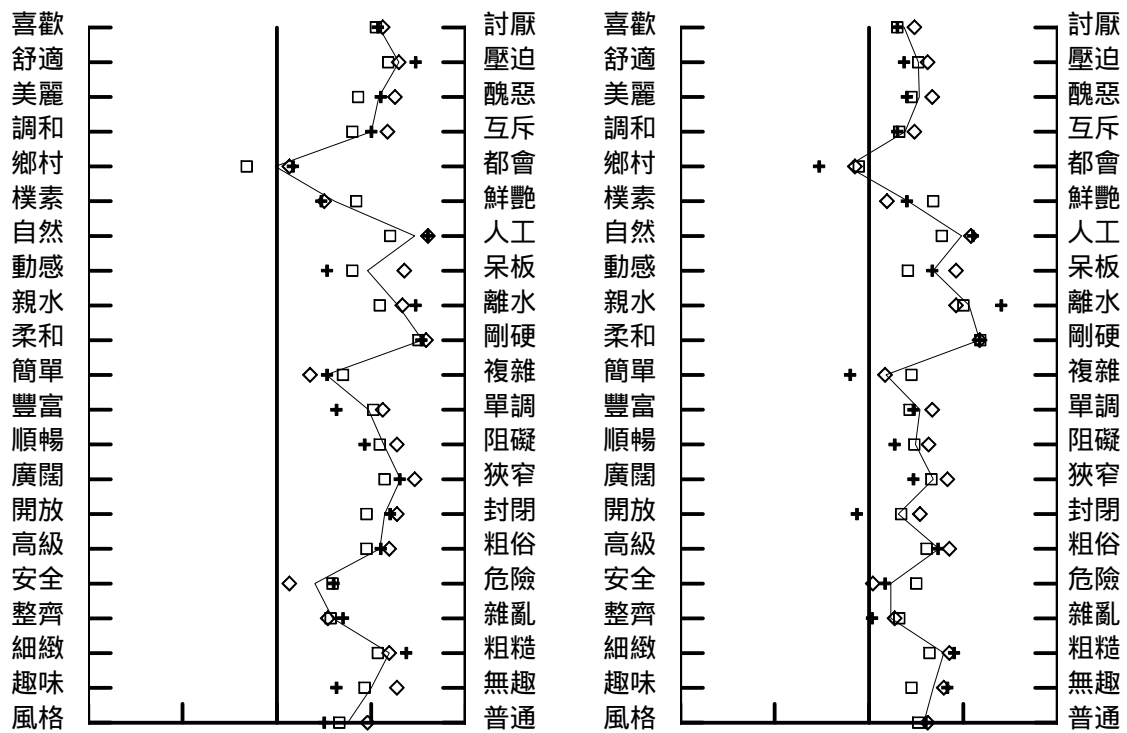


照片 6-17 消波塊 A



照片 6-18 消波塊 B

— : 所有資料平均
 : 海洋背景學生
 + : 景觀背景學生
 □ : 遊客





照片 6-19 離岸堤 A



照片 6-20 離岸堤 B

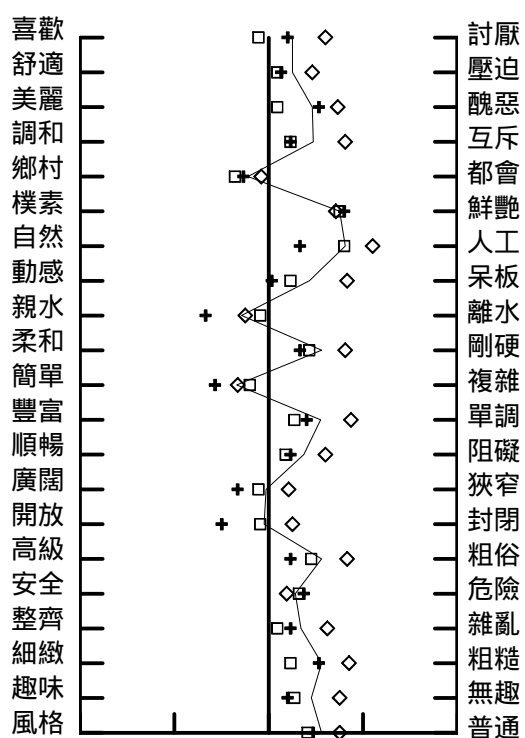
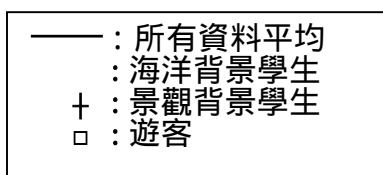


圖 6-7 離岸堤露出水面的 SD 曲線

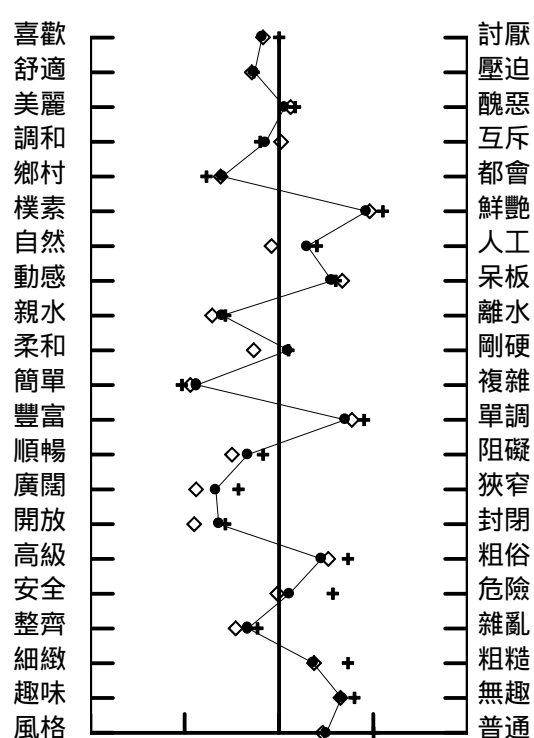


圖 6-8 離岸堤沒入水中的 SD 曲線



照片 6-21 化仁海岸 A



照片 6-22 化仁海岸 B

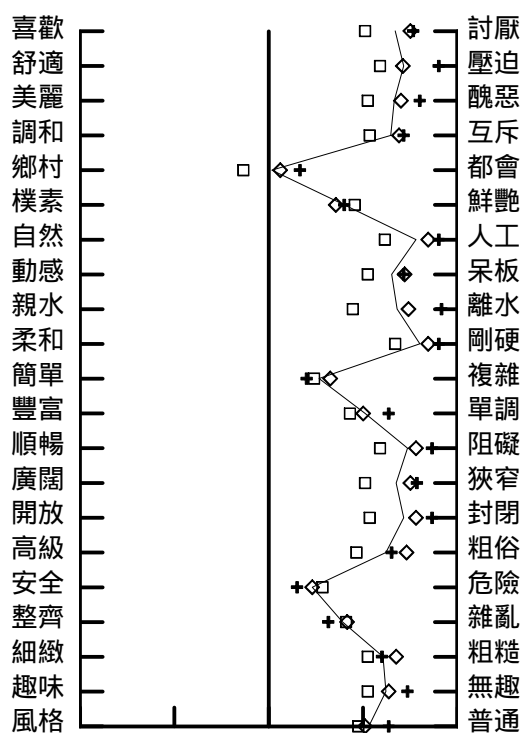
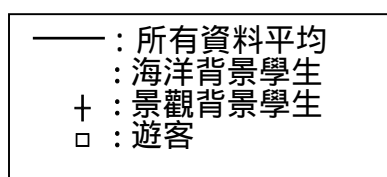


圖 6-9 原有之緩坡與消波塊的 SD 曲線

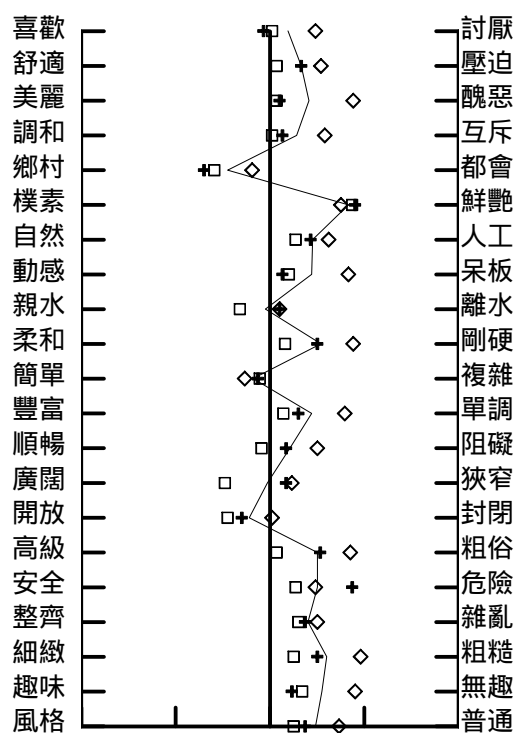


圖 6-10 去除消波塊後的 SD 曲線



照片 6-23 人工岬灣



照片 6-24 緩坡海堤

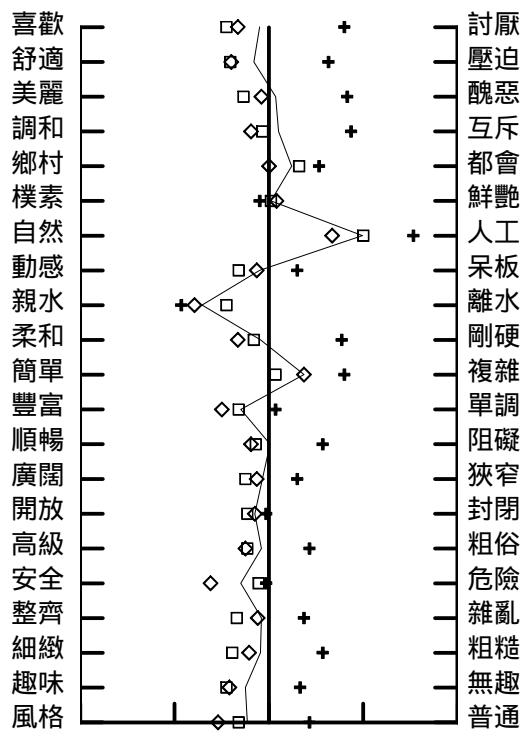
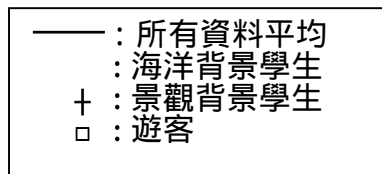


圖 6-11 人工岬灣的 SD 曲線

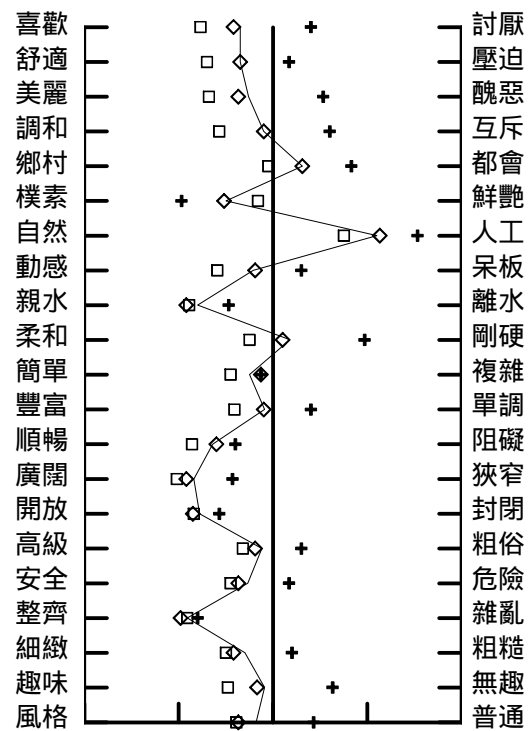


圖 6-12 景觀設計後之緩坡的 SD 曲線

參考表 6-4 及表 6-5 及所有的結果最後可分為五個課題討論如下：

1.大眾對船隻在海景中的喜好度

對照片 6-15 的整體評估值偏向左邊，顯示人們喜好船景，且感覺上都較偏向正向形容詞，整張照片給人自然、和諧的感覺，因此將來若設計規劃海堤，船景在岸邊的景色也是需要考慮到的。此張照片的獨立樣本 T 檢定結果為各背景之受測者，皆不具顯著相關，顯示無論是何種背景的人，對此張照片的喜好程度都是較偏向喜歡的。單因子變異數分析顯示，受測者每個月去海邊次數會影響到對整張照片的喜好程度，研判是因為常去海邊的受測者因為對船的熟悉度高，因此會略偏喜好。

2.大眾對南濱公園現況的喜好度

照片 6-16 是南濱公園的一角，公園目前令人的感覺也是稍微偏向正向的，雖然感覺較人工化，但卻不至於對於整個景色有負面的影響。由圖 6-4 得知此照片的評值，有景觀背景的學生略為偏右，其喜好程度較有海洋背景的學生及遊客略低一點。比較有景觀背景的學生與有海洋背景的學生雙尾檢定的結果，卻是“不具”顯著差異性，顯示此照片的喜好程度不因學生科系的不同而有差異，但景觀系學生受過美學訓練，對自然性及調和性佳的景色較為喜好，因此對此張照片的評分標準稍高，給予較低的分數。

3.大眾對岸邊消波塊的喜好度

大眾對照片 6-17 與 6-18 兩張照片，都予人討厭、壓迫、醜惡、互斥的感覺，稍微呆板，而且感覺上並沒有親水的功能，即使有階梯可供人走向海邊，但研判消波塊的鋪設影響到大眾對於整體景觀的感受，使得所得到的評估值偏向剛硬、單調、雜亂、粗糙，令人有阻礙、空間狹窄、封閉的感受，即使當初拋設消波塊的立意是以安全為主，但大家對於「安全 - 危險」這一項因子的感覺還是偏向稍微危險。這兩張照片整體評估值偏向右邊，顯示受測者對這兩張照片的接受度都不

高，但照片 6-17 之分佈線的趨勢較照片 6-18 向右偏約 0.5 個尺度，說明了緩坡上的消波塊，即使排列整齊，在視覺感受上仍比其他材料鋪面的海堤令人無法接受。由照片 6-17 的單因子變異數分析顯示，無論何種背景，其喜好程度都相同，顯示大眾對此張照片的“討厭”程度，不因背景不同而有差異。而照片 6-18 中，雖然不因基本資料的不同而影響喜好度的結果，但雙尾檢定的 p -值卻是景觀系學生與海洋系所學生及遊客都具顯著關係，由圖 6-6 則可得知景觀系學生的評值，在鄉村、簡單、開放的因子中，評值皆特別向左，顯示對於這張照片，有較鄉村、簡單的感覺，而這些因子中的意見不同或許可能是造成顯著關係的原因。

4.大眾對離岸堤的喜好度

由照片 6-19 在變異數分析及雙尾檢定的 p -值皆大於 0.05，顯示大家對於此照片的觀感是大同小異的。在照片 6-19 及照片 6-20 中，大家對於照片 6-19 之喜好程度較照片 6-20 為高，其中照片 6-19 的離岸堤露出水面，而照片 6-20 離岸堤沒入水中，表示離岸堤沒入水中較為大眾所喜好。比較這兩張喜好曲線圖，我們發現有離岸堤突出海面的照片感覺上與週遭環境較為互斥，空間上也稍微狹窄、封閉一些，而且會令人感覺較雜亂。照片 6-20 的雙尾檢定結果，顯示景觀系學生又與其他兩個群體的受測者呈顯著相關，圖 6-8 景觀系學生對此張照片的評估值又較右偏，顯示景觀系學生對於此張照片的評估標準，還是較其他兩群體嚴苛。

5.大眾對防波堤及海上構造物的喜好度

照片 6-21 至照片 6-24 皆是以化仁海岸為背景的照片。所得到的喜好度，以經過設計的緩坡海堤為最佳，其次為人工岬灣及人工島的照片，再其次為原來的緩坡階梯式海堤，最後喜好程度最差的則為現況。單就照片 6-23 及 6-24 來看，景觀系學生的評估值都較平均值偏右，顯示具有景觀背景的學生對於人工化的海岸都較無法接受。而海洋系學生約在平均值附近，顯示其喜好程度約略介於景觀系學生與遊

客之間。我們可以發現，照片 6-21 是所有十張照片中趨勢最偏右的照片，代表其最不被大眾所接受，其變異數也說明大部份的基本資料都不會影響到對此張照片的喜好程度，也就是偏向於“稍微討厭”。因此化仁海岸的景觀現況，若將岸邊之消波塊去除，則喜好程度稍微改善一些，若再將緩坡海堤經由設計，即使最為人工化，但卻能得到最好的評估值、最佳的喜好程度。

最後我們由以上照片不難發現，只要有消波塊存在的照片，給人的感覺不外是單調、剛硬、粗糙的感覺，而且也會令人覺得空間狹窄。較特別的是，消波塊拋設的目的大都是為了防災與安全性為考量，但得到的結果卻是令人感覺危險、不安全，而有海洋背景的學生則在安全性這一部份比遊客及景觀學生為高，研判可能是海洋系學生經過工程上的訓練，較了解消波塊的施設是以安全為主要考量，所以其評估值會較偏安全那一邊。而景觀學生的評估標準，大致上都較其他兩群體高，評估值皆略偏右邊，尤其是若有人工部份的海岸景觀，其喜好程度的差異性更大，顯示景觀學生由於受過專業的美學訓練，因此對於景觀的評估上所抱持的態度會更為嚴格，所以評估值也會較低。

6.4.3 統計分析

為了能夠進一步瞭解學生部份及遊客部份在進行照片之意味評估時，對於各個形容詞因子及照片之偏好間的關聯性，我們做了相關分析的比較，再者，各個因子間是否存在相當的關係，是否為同一個心理向度，足以令我們將它們歸於同一類，因此我們做了因子分析來驗證。詳細之分析方法與結果敘述如下：

1. 相關分析

此處我們利用統計學中的皮爾森 (Pearson) 相關係數，來討論各個評估因子與整體偏好間的關係，表 6-7 表示兩變間的皮爾森相關係數與其密切程度。

表 6-7 兩變數間的皮爾森相關係數與相關程度

相關係數	相關程度
0.8 以上	極高
0.6-0.8	高
0.4-0.6	普通
0.2-0.4	低
0.2 以下	極低

表 6-8 皮爾森相關分析表

	相關係數	p-值
舒適	0.76	0.00
美麗	0.84	0.00
調和	0.75	0.00
鄉村	0.21	0.00
樸素	0.09	0.04
自然	0.44	0.00
動感	0.62	0.00
親水	0.50	0.00
柔和	0.62	0.00
簡單	0.29	0.00
豐富	0.54	0.00
順暢	0.66	0.00
廣闊	0.63	0.00
開放	0.59	0.00
高級	0.67	0.00
安全	0.40	0.00
整齊	0.55	0.00
細緻	0.64	0.00
趣味	0.66	0.00
風格	0.55	0.00

表 6-8 為喜好程度與其他各個因子間的相關性分析表， p 值為 t 檢定的雙尾檢定，其設定的顯著水準為 0.05，即當 p 值大於 0.05 時，則表示兩變數間不具顯著相關。所有的變數 p 值，除了樸素一項為 0.04 外，其他皆為 0.00，遠小於顯著水準 0.05，而達到顯著相關，顯示皮爾森相關係數，表示所有的變數，其與喜好度的正相關很高，也就是說整張照片感覺舒適度愈高、看起來愈美麗、愈調和等，則其喜好度會愈高。在所有的因子中，美麗與喜歡的相關係數為 0.84，其相關程度為極高，代表美麗的程度與喜歡的程度呈極高度相關。而相關係數在 0.6 ~ 0.8 範圍內的因子有舒適、調和、動感、柔和、順暢、廣闊、高級、細緻與趣味，這些因子與喜好的相關程度為高度相關，表示這些因子在喜歡的程度還是有相當的影響力。而其他普通相關及低相關的因子，則在喜歡的程度影響力較小。樸素對喜歡程度幾乎沒有什麼影響力，可能是由於樸素這個形容詞很少用來形容海岸的景觀，因此一般人較不會將樸素套用在海岸景觀的評估上，所以其與喜歡的相關程度極低。

2. 因子分析

因子分析能夠將眾多的因子濃縮成為較少的幾個精簡因子，於變數的分析處理上能節省許多時間，其分析過程大致可分為三個步驟：

- (1) 算出各種變數的相關係數，並排列成相關矩陣圖 (R-matrix)。
- (2) 利用 Principal Factor 法從 R-matrix 中粹取出因子。
- (3) 使用 Varimax 法提高變數與因子之間的關係到最高值。

表 6-9 為所有評估因子經過因子分析，分成四類因子，並將小於 0.5 之相關係數刪除後所得之結果。

表 6-9 因子分析的成分矩陣表

	1	2	3	4
喜歡	0.71			
舒適	0.56	0.53		
美麗	0.74			
調和	0.63			
鄉村				0.60
樸素				-0.55
自然				
動感	0.70			
親水		0.58		
柔和	0.50	0.55		
簡單				
豐富	0.72			
順暢		0.65		
廣闊		0.81		
開放		0.79		
高級	0.72			
安全				
整齊			0.63	
細緻	0.66			
趣味	0.77			
風格	0.70			

由表 6-9 的結果可得，經因子分析後所選擇的因子有因子群 1、因子群 2、因子群 3、因子群 4 共四類，其中，與四群因子群的相關係數皆低於 0.5 的因子有自然、簡單、安全，分析的結果是這三個因子不列入分類的因子中。舒適在因子群 1 與因子群 2 的係數分別為 0.56、0.53；柔和在因子群 1 與因子群 2 的相關係數分別為 0.50、0.55，由於這兩項因子在因子群 1 與因子群 2 中皆存在著高度的相關係數，因此這些具有雙重相關的變數必須加以排除。

分析後的結果，因子群 1 所含有的變數為：喜歡、美麗、調和、動感、豐富、高級、細緻、趣味、風格，其中趣味的相關係數最高，因此我

們將因子群 1 以趣味性來概括；因子群 2 所含有的變數為：親水、順暢、廣闊、開放，其中廣闊的相關係數最高，因子 2 則定為廣闊性；由於因子群 3 中所含有的變數只有整齊一項，所以因子 3 則為整齊性；因子群 4 所含有的變數為鄉村、樸素，而鄉村的相關係數大於樸素的相關係數，因此因子 4 則定為鄉村性，最後可得到各因子所含有的變數如表 6-10。

表 6-10 因子成分表

因子	含有之變數
趣味性	喜歡、美麗、調和、動感、豐富、高級、細緻、趣味、風格
廣闊性	親水、順暢、廣闊、開放
整齊性	整齊
鄉村性	鄉村、樸素

有趣的是，在各因子群中，就字面上來講感覺很類似，比如說開放、順暢的空間令人有廣闊的感覺，而樸素也不免讓人立刻聯想到鄉村的味道，所謂的趣味性，為引起觀察者興趣的能力，至於美麗、動感、豐富等因子，也都具有引發觀察者興趣的能力，觀察者會因為景色美麗、具動感、景色豐富等，而覺得有趣。

因此因子分析的結果最後可歸納出四個主因子，此四個主因子為此次評估法最後精簡的重要因子，日後在海岸工程的景觀上若有需要較精簡的因子，則可應用做為評估的依據。

第七章 高雄彌陀海岸系列潛堤保護工之規劃

本單元以第二章波浪通過透水系列潛堤反射機制特性的研究成果，實際應用於台灣的侵蝕海岸，探討系列潛堤佈置於實際海岸的可行性。本研究選取台灣西部彌陀附近海岸作為系列潛堤佈置區域。依據經濟部水利署「彌陀鄰近海岸環境及景觀整體改善研究規劃」報告(93, 9)，彌陀附近海岸由於受到颱風波浪的作用，海岸長年呈現侵蝕趨勢，本研究在該區佈置系列潛堤以減輕颱風波浪對於近岸區的侵襲。

7.1 彌陀附近海岸現況

彌陀附近海岸範圍北起阿公店溪口南至蚵仔寮漁港，沿海屬都市計畫區之範圍。主要工業用地則集中在林園工業區、永安工業區、高雄臨海工業區及高雄加工出口區。此外本區沿海還有興達火力發電廠、永安液化天然氣接收站、中洲污水處理廠及海洋放流管、大林蒲南星計畫、南部火力電廠及大林火力發電廠等設施。然濱海之社區與工廠多處侵蝕性海岸之地段，飽受威脅，基於工業區設置之維護及居民生命財產安全確保而言，本區重新規劃有效的保護工實為重要。

本區域海岸長期受到潮浪不斷地侵蝕，致使海岸線逐年向後退縮，目前海堤前之沙灘可說是幾已消失殆盡，破壞的堤段，如彌陀、蚵仔寮及漯底等，其中以彌陀鄉附近之鹽埕排水至海尾排水海岸尤甚。目前本區海岸雖無重大之海岸災害發生，但海岸侵蝕仍使沙灘持續消失，如照片 7-1 及照片 7-2 所示。依據經濟部水利署「彌陀鄰近海岸環境及景觀整體改善研究規劃」報告(93, 9)，本區民國 88 年 4 月至 90 年 5 月之地形變化侵淤分析(圖 7-1)。圖中除阿公店溪口至鹽埕排水間以及彌陀漁港南北兩側之近岸區有明顯淤積外，整體侵淤特性大致呈現近岸侵蝕(等深線-5m 以內)、遠岸淤積(等深線-5m ~ -10m)的現象。造成侵蝕原因主要為本區域的海岸保護工均為陡坡式海堤且離

灘線太近，颱風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無法將遠岸沙粒再搬移回近岸。



照片 7-1a 彌陀海岸 (2004 年 3 月)



照片 7-1b 彌陀海岸 (2004 年 3 月)

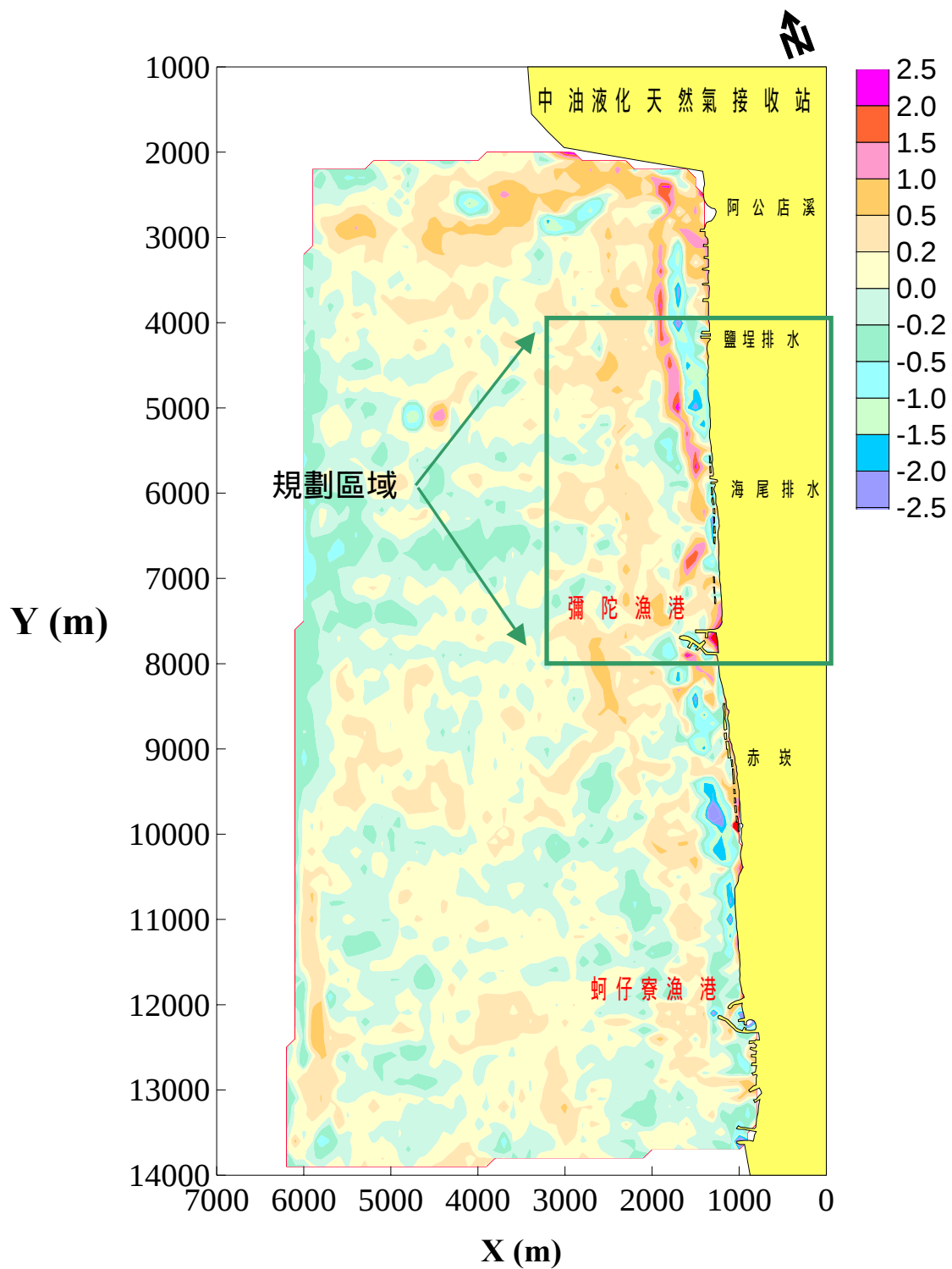


圖 7-1 彌陀鄰近海岸實測之地形侵淤變化圖
(88 年 4 月至 90 年 5 月)

7.2 設計步驟及方法

本研究主要以佈置系列潛堤，針對造成海岸侵蝕的颱風波浪進行海岸保護工規劃設計，並探討颱風波浪防禦效果。系列潛堤佈置範圍為鹽埕排水至海尾排水的海域。颱風波浪條件則依據歷年影響附近海域之資料，考慮 10 年迴歸期之颱風波浪，以 NW 向颱風波浪及 SW 向颱風波浪為主，波高分別為 $H = 3.4m$ 及 $5m$ ，週期分別為 $T = 8.7\text{sec}$ 及 10.9sec ，水位為 $+0.93m$ ，水深地形以 93 年 3 月量測的資料為依據，如圖 7-2 所示。數值模式之計算領域範圍為 4.0 公里 $\times$ 3.0 公里，波場數值格網採 5 公尺 $\times$ 5 公尺之矩形網。設計步驟及方法說明如下：

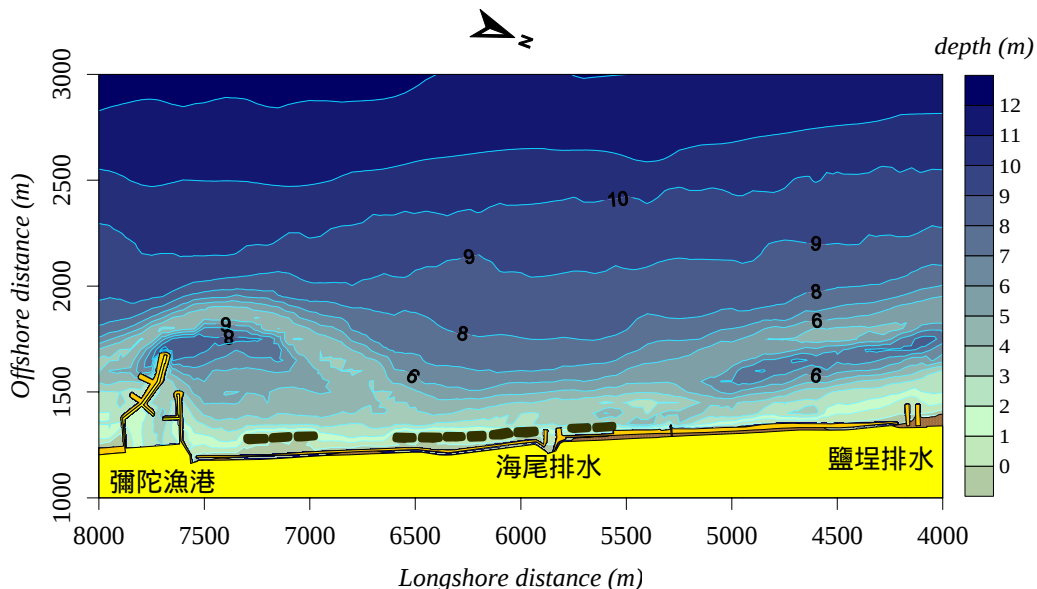


圖 7-2 赤崁段海域水深地形分佈圖 (民國 93 年 3 月實測)

1. 潛堤間距設計

本研究在進行現場平面佈置前，首先對斷面水深佈置系列潛堤進行設計測試，探討其海岸保護效果。由於本區海域中，除南方彌陀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，其餘地區波浪入射在近岸區與等水深線約成垂直。在斷面水深佈

置測試上，選取的位置為 $X = 5000m$ 斷面，座標示意圖如圖 7-2 所示。圖形顯示：若假設佈置潛堤水深為 $-8m$ (水位 $+1.93m$)，依據分散關係式 (dispersion relation) 深海入射波浪週期為 $T = 10.9sec$ ，則波長為 $92m$ 。根據布拉格反射原理，最大反射率發生於潛堤間距為波長之半附近，故本區布拉格反射可能發生在潛堤間距約為 $S \approx 45m$ 佈置條件。若假設潛堤堤寬為 $B = 10m$ ，根據第二章研究結果布拉格反射發生於 $S/B \approx 3$ 條件及具有往低頻平移的特性，故布拉格反射可能發生在 $35m \leq S \leq 45m$ 佈置條件。

首先在波高為 $H = 5.0m$ 、水位 $+1.93m$ 、堤寬為 $B = 10m$ 、堤數為 $N = 4$ 、堤頂水深 $-4.0m$ 固定之條件下，以不同的潛堤間距 $S = 35m$ 、 $40m$ 及 $45m$ ，分析不同的波浪週期 $T = 6sec$ 至 $16sec$ 作用下，不同的潛堤間距的適用性。圖 7-3 為不同的潛堤間距佈置，不同波浪週期的反射率變化圖，圖形顯示 $S = 40m$ 及 $45m$ 的佈置在波浪週期 $T = 10.9sec$ 的作用下，均能發生布拉格反射，反射率分別為 $R = 0.60$ 及 0.62 。其中以 $S = 40m$ 佈置較為適當，其原因為該佈置發生布拉格反射 $R > 0.5$ 的波浪週期為 $T = 8.8sec$ 至 $12.0sec$ ，而 $S = 50m$ 佈置在 $T = 9.8sec$ 至 $12.9sec$ 發生布拉格反射，依據當地的颱風條件，颱風週期均介於 $T = 9.0sec$ 至 $11.0sec$ 之間，故潛堤間距 $S = 50m$ 佈置防禦颱風波浪條件較不適當。另外，潛堤間距 $S = 50m$ 的佈置發生布拉格反射 $R > 0.5$ 的波浪週期為 $T = 8.1sec$ 至 $10.2sec$ 範圍，不適宜應用防禦本區域的颱風波浪條件。

圖 7-4a 至 7-4c 分別為在波高為 $H = 5.0m$ 、週期為 $T = 10.9sec$ 及水位為 $+1.93m$ 條件下，波浪入射不同系列潛堤間距 $S = 35m$ 、 $40m$ 及 $45m$ 波高分布圖，圖形顯示潛堤間距 $S = 50m$ 佈置條件的堤前反射較小，相對堤後透射波高與無潛堤時減少不多。而潛堤間距 $S = 40m$ 及 $45m$ 佈置，於堤前均有明顯反射現象，堤後碎波波高由 $6m$ 減小為約 $3.8m$ 。

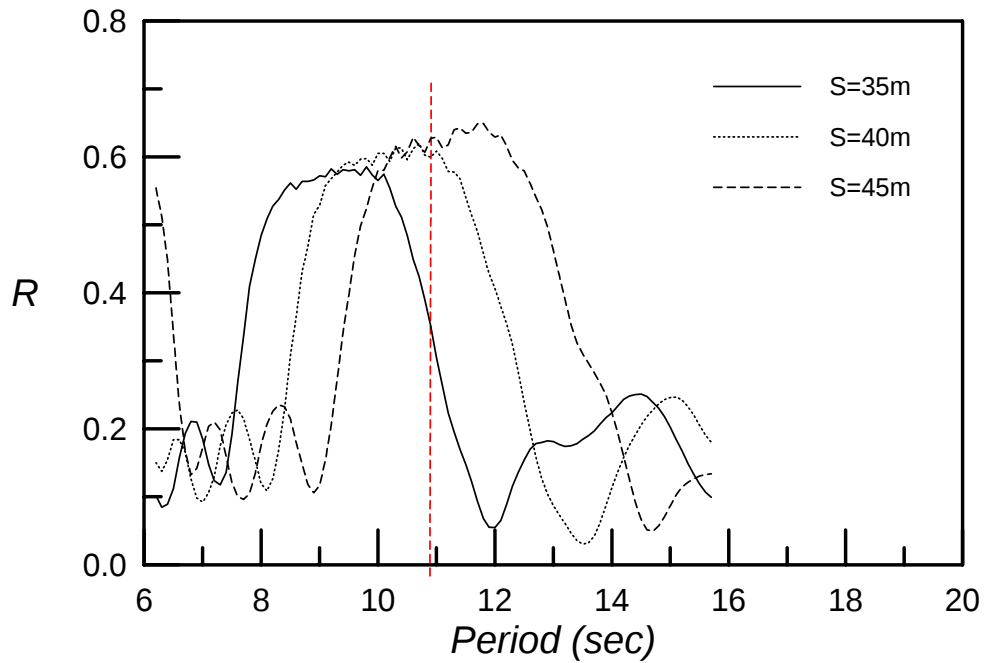


圖 7-3 不同的潛堤間距佈置下，不同波浪週期的反射率變化圖

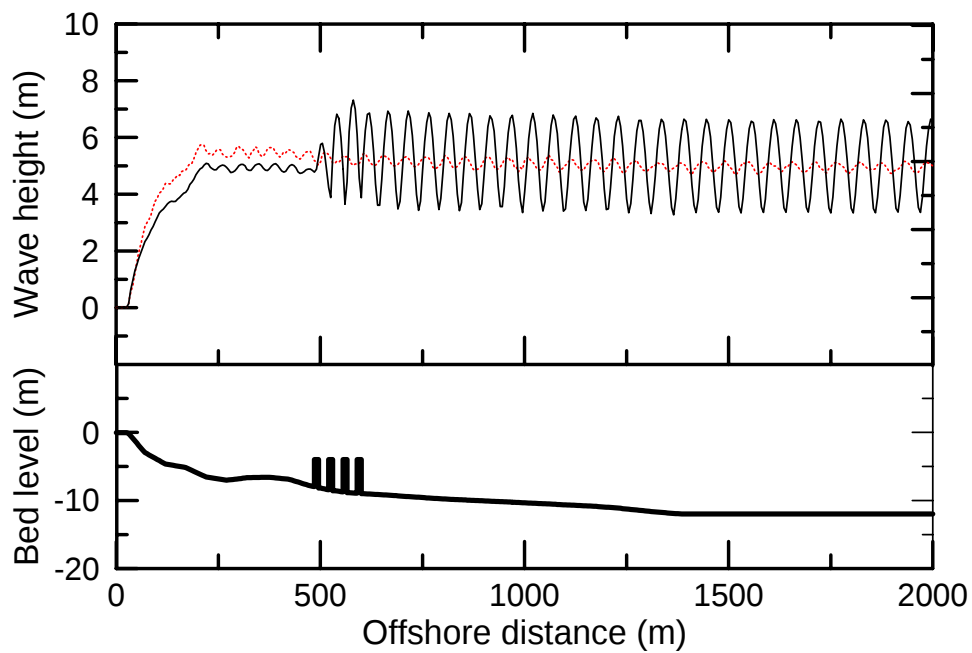


圖 7-4a 潛堤堤數 $S = 35m$ 佈置及波高變化圖
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

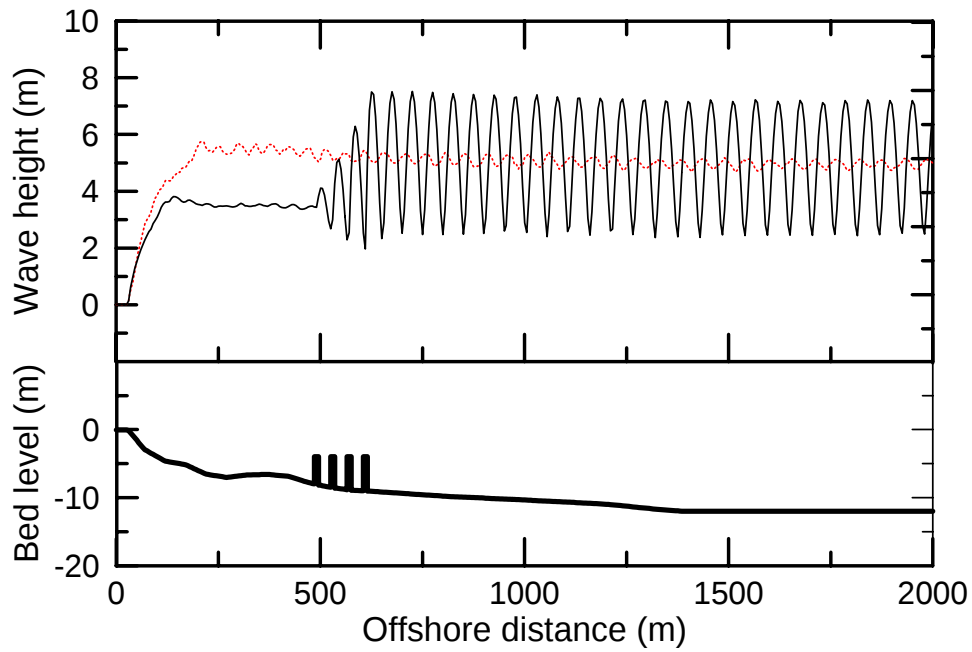


圖 7-4b 潛堤堤數 $S = 40m$ 佈置及波高變化圖
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

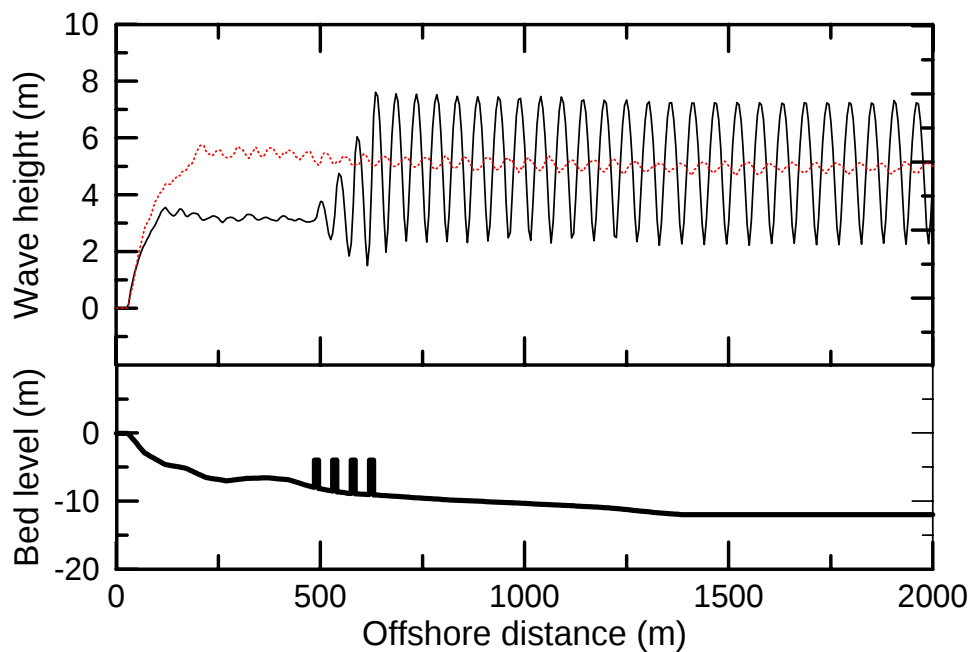


圖 7-4c 潛堤堤數 $S = 45m$ 佈置及波高變化圖
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

2. 堤趾水深選定

完成堤距初步設計後，再作潛堤堤趾水深的選定。本研究選擇在水深 $h = -7m$ 、 $h = -8m$ 及 $h = -9m$ (水位 $+0.97m$ 時) 處，以不同波浪入射週期，在相同的相對堤高 $D/h = 0.5$ (堤頂水深 $d' = -3.5m$ 、 $4.0m$ 及 $4.5m$)、潛堤個數 $N = 4$ 、堤距 $S = 40m$ 及堤寬 $B = 10m$ 佈置條件下，比較其反射率分布情形如圖 7-5 所示。圖形顯示佈置在較大水深之潛堤條件，布拉格反射曲線已明顯往高頻即短週期處平移，波浪週期 $T = 10.9sec$ 發生在布拉格反射曲線之右側，雖然布拉格反射較強，但反射率帶寬較小，適用防禦波浪範圍較小，不符合實際需求。

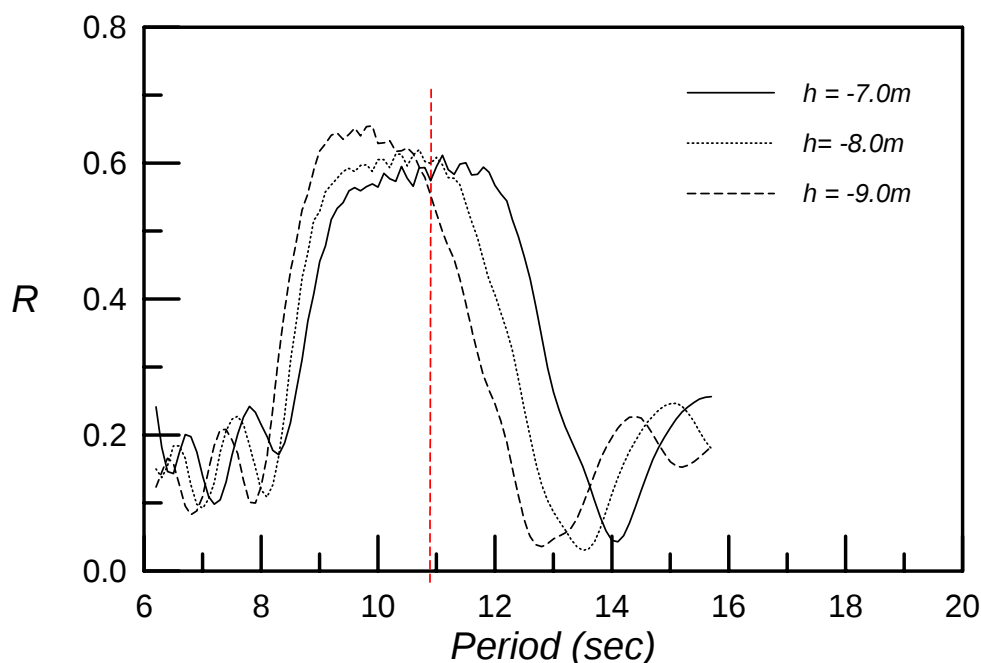


圖 7-5 不同堤址潛堤佈置在不同波浪入射週期反射率分佈圖

圖 7-6a 及圖 7-6b 為入射波浪條件波高為 $H = 5.00m$ 、週期為 $T = 10.9sec$ 以及潛堤堤數 $N = 4$ 、堤距 $S = 40m$ 、堤寬 $B = 10m$ 佈置條件下，不同佈置水深位置 ($h = -7m$ 及 $-9m$) 的波高比較圖。圖形顯示潛堤佈置在較小水深 $h = -7m$ 及 $h = -8m$ (如圖 7-4b) 的反射率雖比佈置較深處 $h = -9m$ 的反射率高一點，但潛堤後方的透射波及碎波波高明顯減小，碎波波高由 $H \approx 6.0m$ 降為 $H \approx 3.8m$ 。在考量漁船行進安全及堤頂水深較深受波浪破壞力較小情形，選定佈置水深 $d = -8m$ 為設計水深。

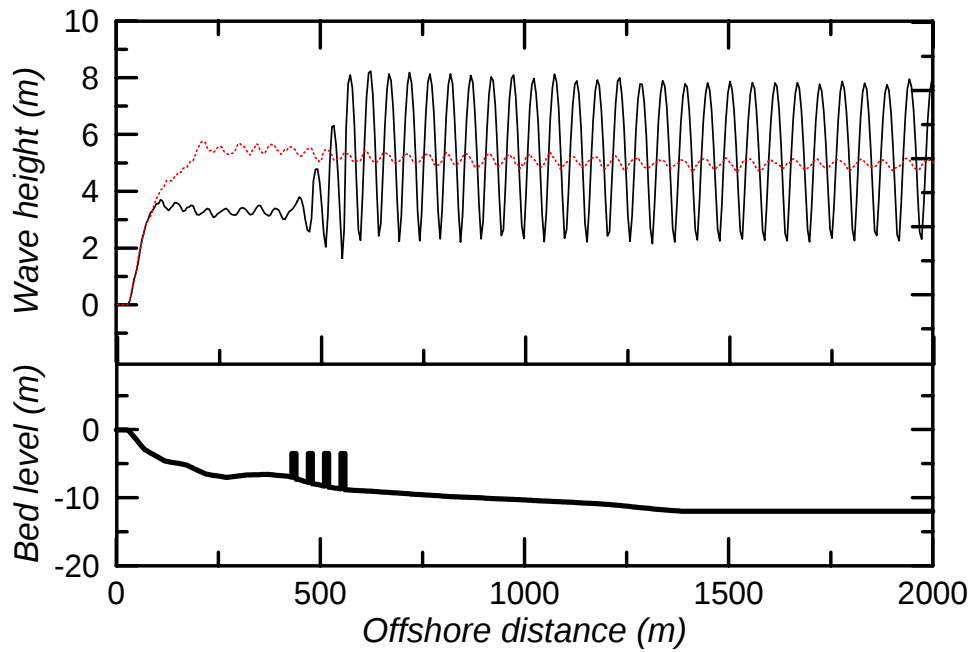


圖 7-6a 不同水深潛堤佈置之波高變化比較圖($h = -7m$)
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

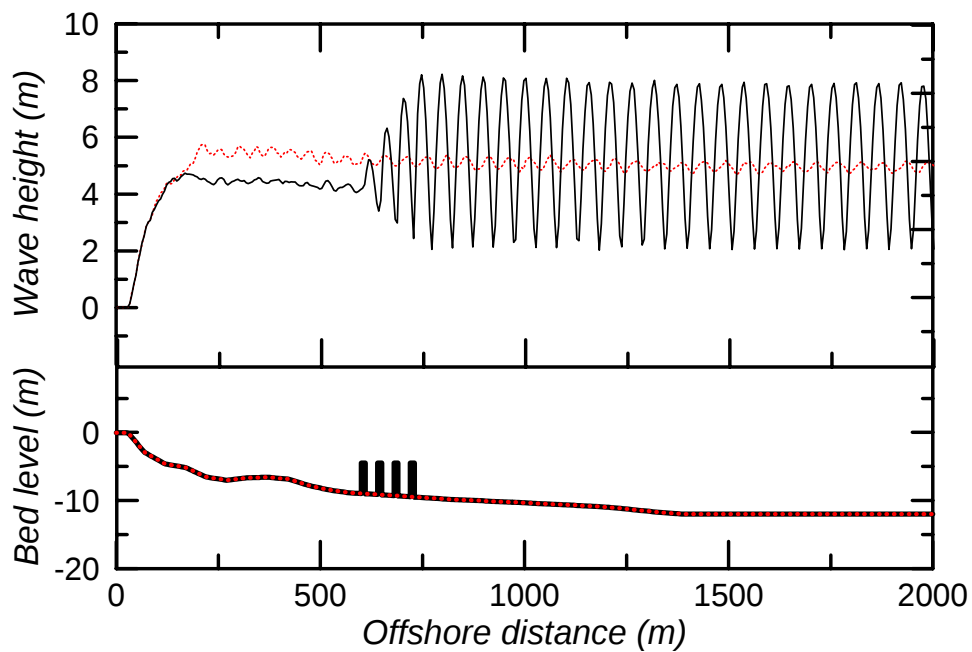


圖 7-6b 有無潛堤佈置之波高變化比較圖($h = -9m$)
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

3. 潛堤堤數設計

堤距 $S = 40m$ 及堤趾水深 $h = 8m$ 初步決定後，在堤寬及堤高條件相同下，作不同的堤數 ($N = 2、4、6$) 反射率分析，圖 7-7 為不同的潛堤個數佈置，不同波浪週期的反射率變化圖，圖形顯示堤數為 $N = 4$ 及 $N = 6$ 佈置條件，在波浪週期為 $T = 8.9sec$ 11.3sec 均能達到反射率 $R > 0.5$ 的效果，而潛堤個數 $N = 2$ 條件，發生布拉格反射極大值為 $R_{max} = 0.43$ ，不適宜作海岸保護佈置。圖 7-8a、圖 7-4b 及圖 7-8b 為不同堤數 ($N = 2、4、6$) 在入射波浪為週期 $T = 10.9sec$ 、入射波高 $H = 5.00m$ 條件下的潛堤佈置及波高變化圖。圖形顯示隨堤數的增加，堤前反射率愈大，相對透射波愈小碎波波高亦愈小。潛堤個數 $N = 4$ 及 $N = 6$ 碎波波高約相等 $H_b = 3.9m$ ，雖然潛堤個數 $N = 6$ 的布拉格反射較強，但反射率帶寬較小，實際能防禦的波浪條件範圍較小，在考量實際應用及經費下，本研究選取堤數為 $N = 4$ 為設計之依據。

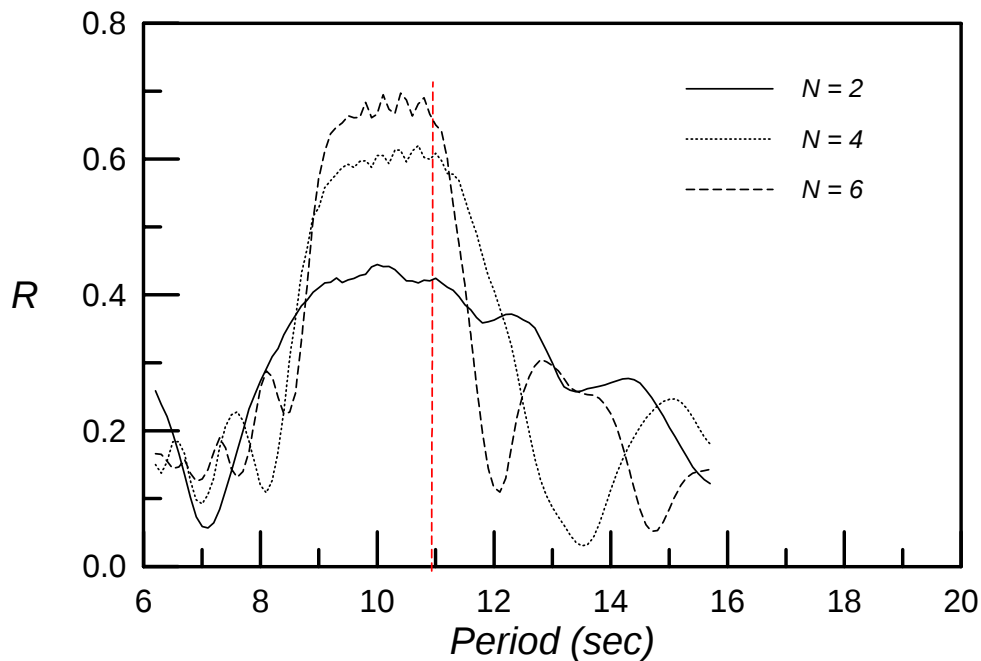


圖 7-7 不同的潛堤個數佈置，不同波浪週期的反射率變化圖

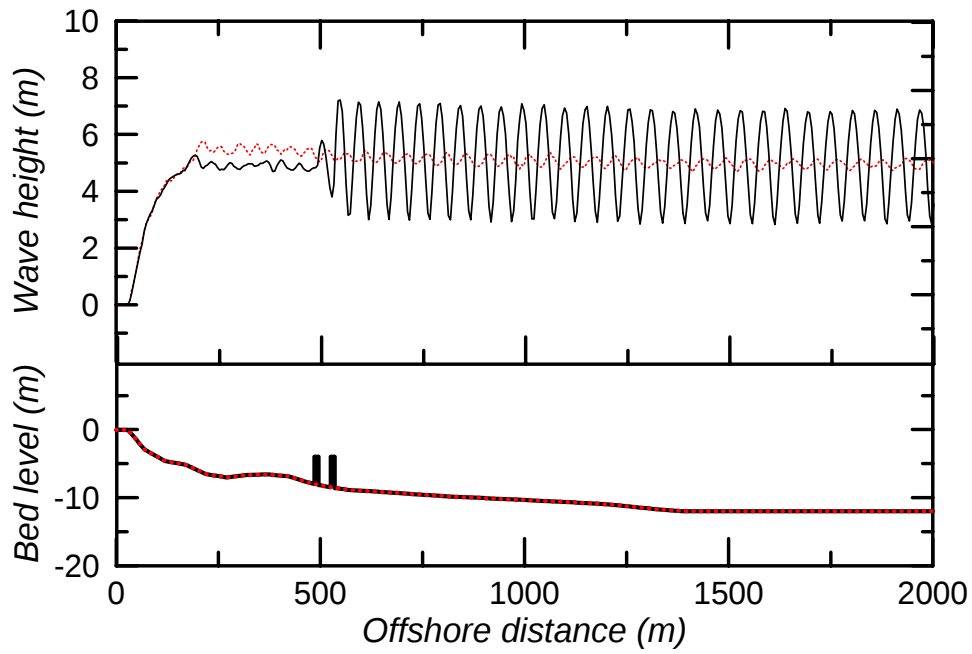


圖 7-8a 潛堤堤數 $N = 2$ 佈置及波高變化圖
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

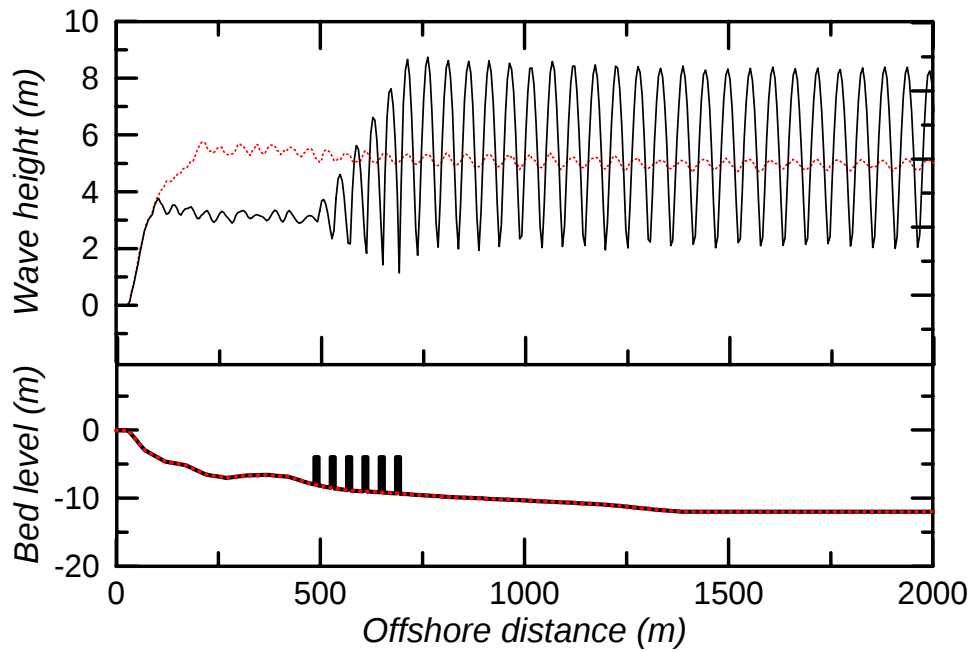


圖 7-8b 潛堤堤數 $N = 6$ 佈置及波高變化圖
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

4. 潛堤堤高設計

堤距 $S = 40m$ 、堤趾水深 $h = 8m$ 及堤數 $N = 4$ 初步決定後，在堤寬 $B = 10m$ 相同條件下，作不同的堤高 ($D/h = 0.32$ 、 0.40 及 0.48) 反射率分析。由於本設計佈置的底床為現場變化底床，故以第 1 座 (最靠近岸側) 潛堤的堤趾水深 (h) 作相對堤高基準，每座潛堤堤頂水深均相同條件下，不同的相對堤高 ($D/h = 0.40$ 、 0.50 及 0.60) 即有不同的堤頂水深 ($d' = 4.8m$ 、 $4.0m$ 及 $3.2m$)，在不同波浪週期條件的反射率比較如圖 7-9 所示。圖形顯示堤頂水深較深 $d' = 4.8m$ 的佈置條件，布拉格反射帶寬明顯減小，本研究所欲防禦波浪條件 $T = 10.9sec$ 已偏離布拉格反射尖峰，反射率約 $R = 0.48$ ，碎波波高由原無潛堤佈置的 $H_b \approx 5.9m$ 減小至 $H_b \approx 5.0m$ (如圖 7-10a)，防禦效果有限。另外，堤頂水深較小 $d' = 3.2m$ (堤高較高) 的佈置條件，布拉格反射帶寬明顯增加，反射率比 $d' = 4.0m$ 佈置條件增加少許。由入射波浪波高 $H = 5.00m$ 及週期 $T = 10.9sec$ 的波高分佈 (如圖 7-10b) 結果顯示，碎波波高由原無潛堤佈置的 $H_b \approx 5.9m$ 減小至 $H_b \approx 3.0m$ ，波浪防禦效果極佳。但在考量堤頂水深 $d' = 4.0m$ 的佈置即能達到有效的防禦效果 ($H_b \approx 5.9m$ 變為 $H_b \approx 3.8m$)，故本研究在堤高選擇上仍選定堤頂水深 $d' = 4.0m$ 作為設計之依據。

由於本研究初始設計的堤距、堤址位置、堤數及堤高條件，經過一連串的測試驗證後，證實初始系列潛堤佈置設計在所欲防禦波浪條件下，可得到最佳防禦效果，故不再重複作設計測試。若測試驗證結果，必須改變原初始設計條件，則必須重作堤距最佳化再次驗證測試。

根據以上研究設計方法，要將系列潛堤設計佈置於現場斷面水深，欲得到最適化的佈置，首先必須經過堤距、堤址位置、堤數及堤高的設計測試，得到初始的佈置條件，若堤址位置、堤數及堤高與原先假設條件不同，應再作堤距的適當性測試，以確定所選定的佈置條件，其發生布拉格反射的範圍為現場所欲防禦的波浪條件。茲將上述設計步驟繪製成流程圖，如圖 7-11 所示。

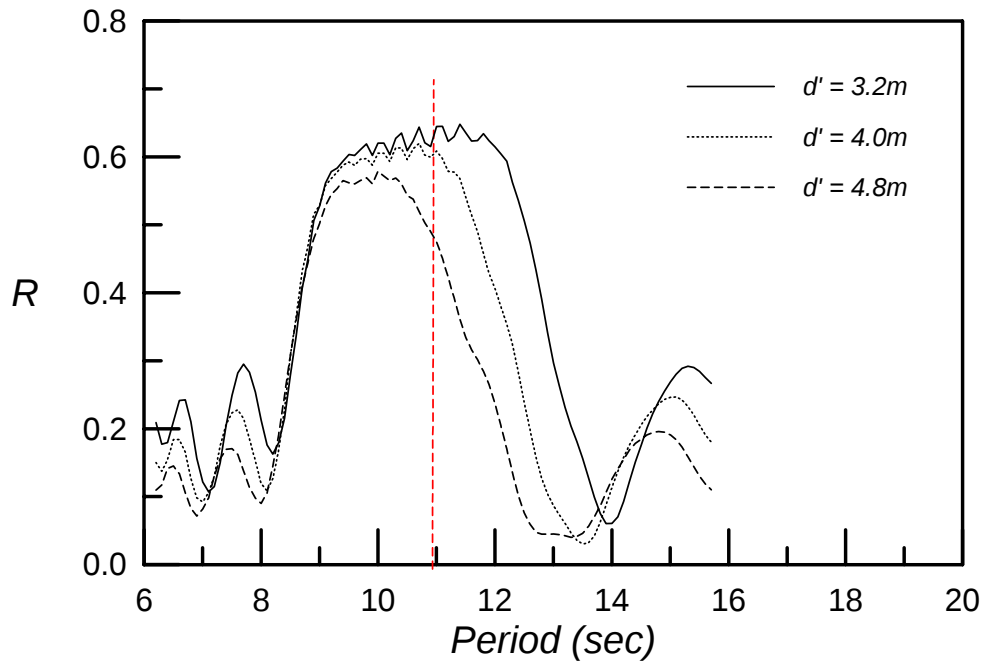


圖 7-9 不同的潛堤高度佈置下，不同波浪週期的反射率變化圖

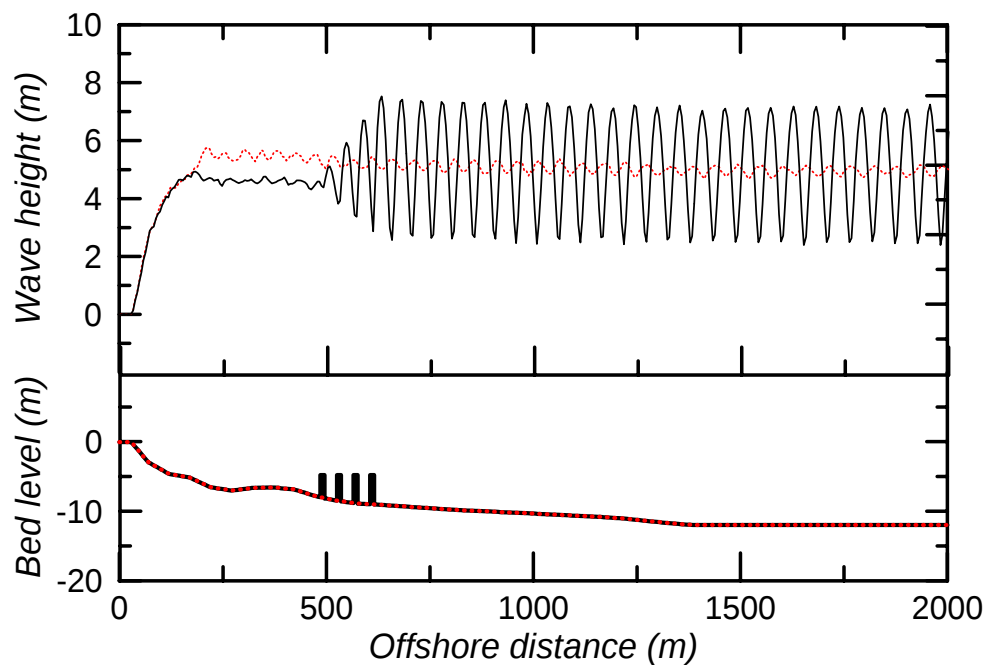


圖 7-10a 有無潛堤佈置之波高變化比較圖($d' = 4.8m$)
(—有潛堤佈置，.....無潛堤佈置)

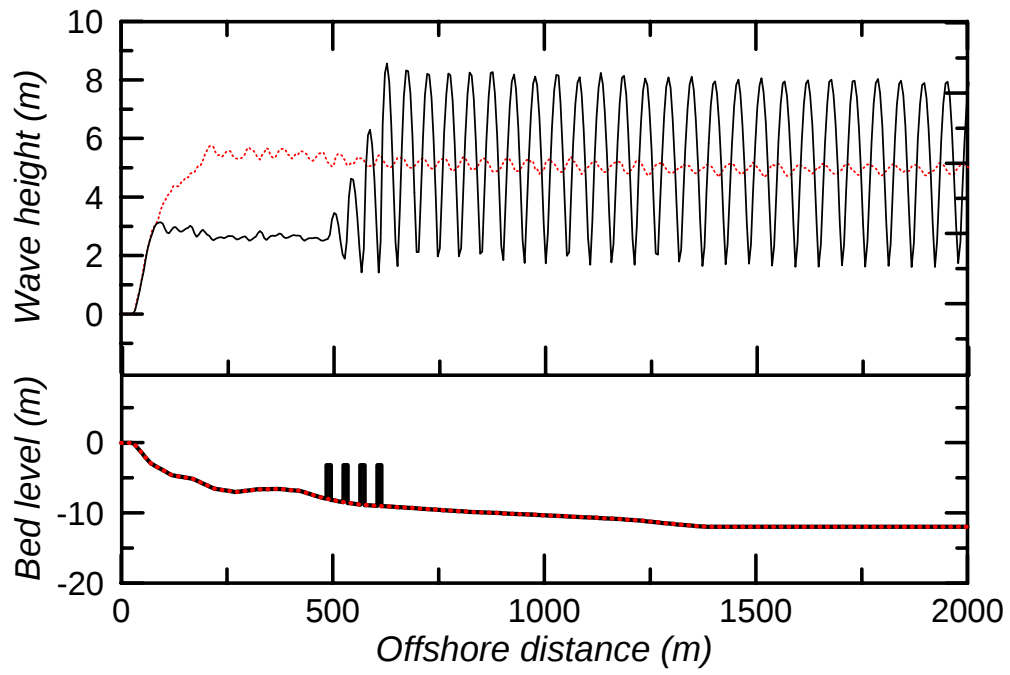


圖 7-10b 有無潛堤佈置之波高變化比較圖($d' = 3.2m$)
(—有潛堤佈置,無潛堤佈置)

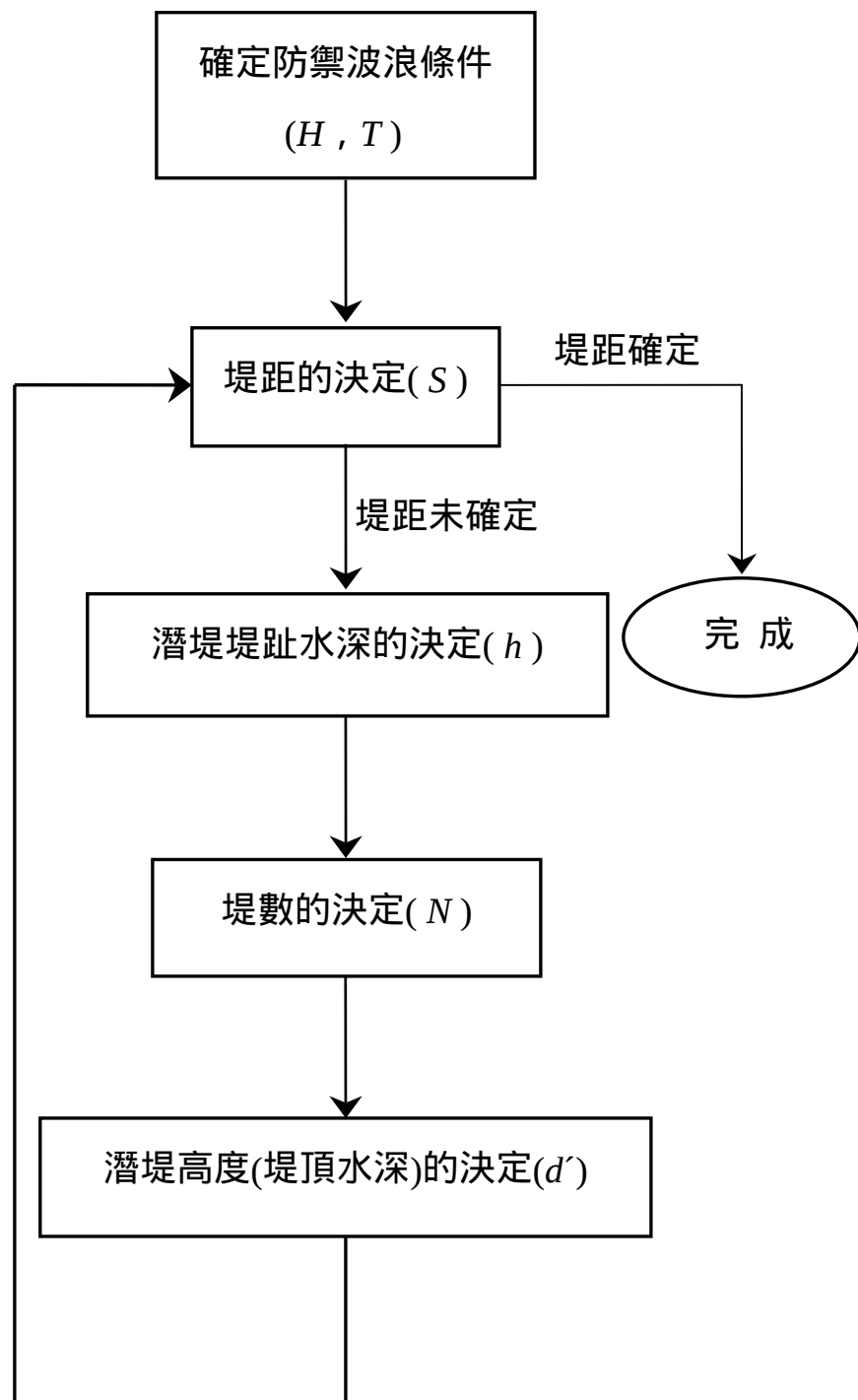


圖 7-11 系列潛堤佈置設計步驟流程圖

根據以上設計的結果，以平面佈置方式應用至實際現場，佈置條件為堤數為 $N = 4$ 、堤寬 $B = 10m$ ，第一座潛堤水深 $h = -8m$ (水位為 $+0.93m$ 時)，依序往深水處佈置，堤頂水深保持 $d' = 4m$ ，潛堤中心間距為 $S = 40m$ ，潛堤長度 $L' = 400m$ ，平面佈置及斷面佈置示意圖如圖 7-12 及圖 7-13。將以上佈置條件以三組系列潛堤佈置至彌陀附近海域，實際的佈置位置及水深變化如圖 7-14。

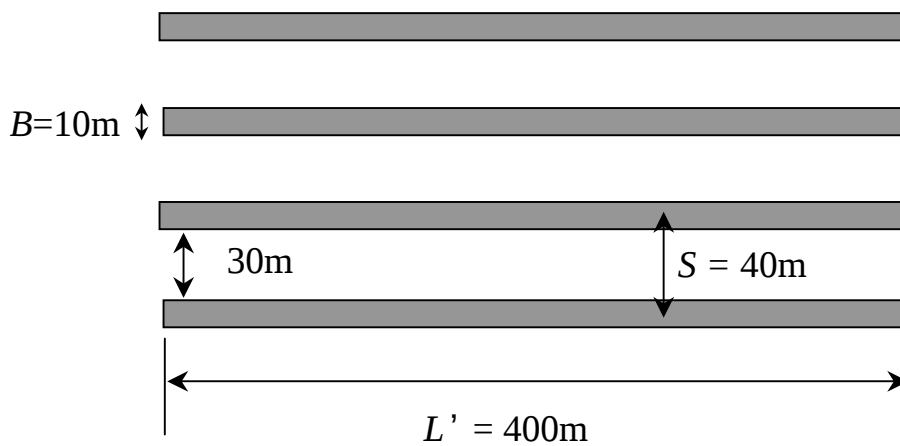


圖 7-12 系列潛堤平面佈置相關參數尺度示意圖

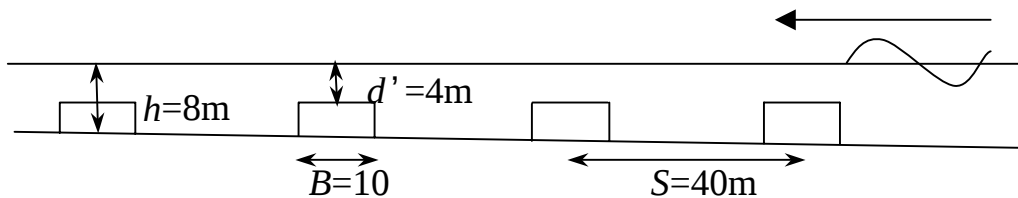


圖 7-13 系列潛堤斷面佈置相關參數尺度示意圖

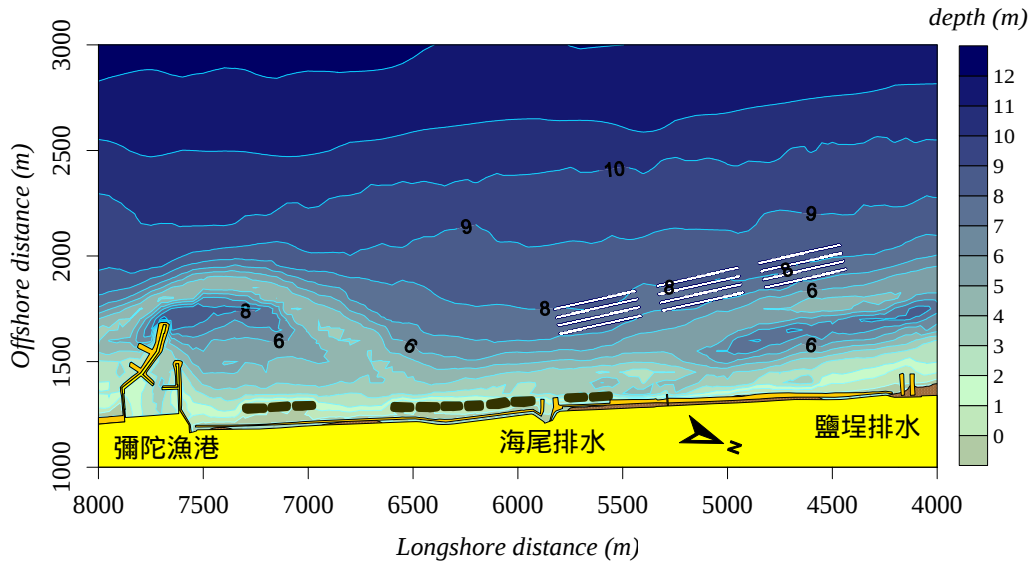


圖 7-14 彌陀附近海域系列潛堤佈置示意圖

圖 7-15 為現況(未佈置系列潛堤) 海岸結構物及水深地形，以 SW 向颱風波浪($H = 5m$ 、 $T = 10.9\text{sec}$ 、水位為 $+0.93m$)入射彌陀附近海域的波場分佈圖，圖形顯示波浪直接進入近岸區，於水深約 $4m$ 處碎波向岸側傳遞。圖 7-16 為系列潛堤佈置的波高分佈圖，圖形顯示於系列潛堤前發生明顯的反射波高震盪，波高震盪長度規則且相近，在堤頂則波高因布拉格反射機制而劇減，而堤後的透射波高則明顯減小。

以另一 NW 方向颱風條件($H = 3.4m$ 、 $T = 8.7\text{sec}$ 、水位為 $+0.93m$)，計算波浪入射彌陀附近海域有無系列潛堤佈置波場分布如圖 7-17 及圖 7-18 所示，圖形中波高 $H < 2.5m$ 的分佈範圍明顯由水深 $d < -4m$ 區域增加至水深 $d < -7m$ 區域，以上顯示本研究的系列潛堤佈置亦能對不同方向入射颱風波浪具有防禦效果。

由以上系列潛堤佈置於實際海岸地形的研究成果顯示，本研究所設計之系列潛堤條件，於實際現場能利用布拉格反射的特性，發揮預期的的颱風波浪防禦效果，將往昔文獻在布拉格反射的基礎研究提升為現場的應用研究，此成果在系列潛堤的布拉格反射研究上實為一大突破。

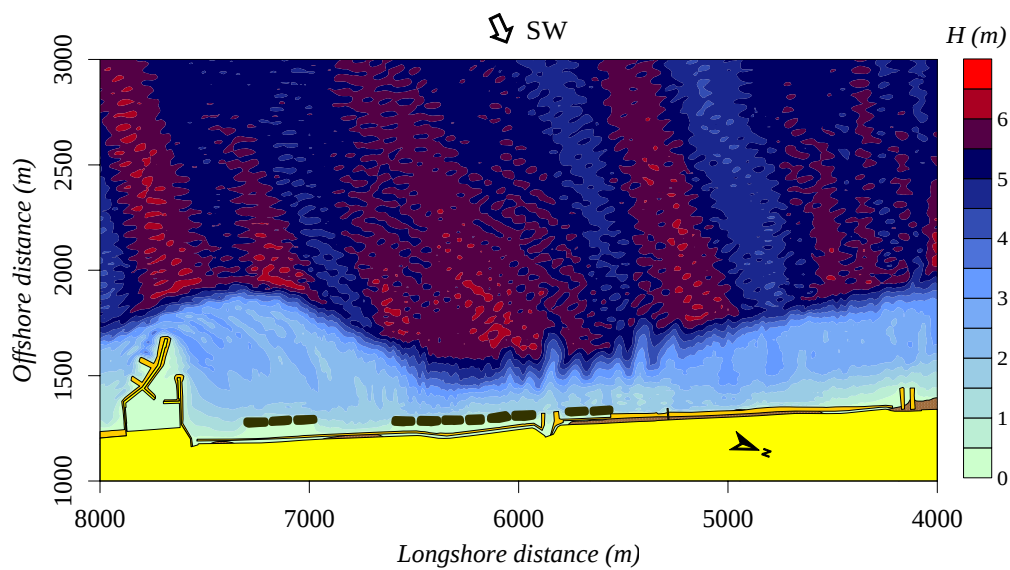


圖 7-15 SW 向颱風波浪彌陀附近海域無系列潛堤波場分布圖
($H = 5m$ 、 $T = 10.9sec$ 、水位 $+0.93m$)

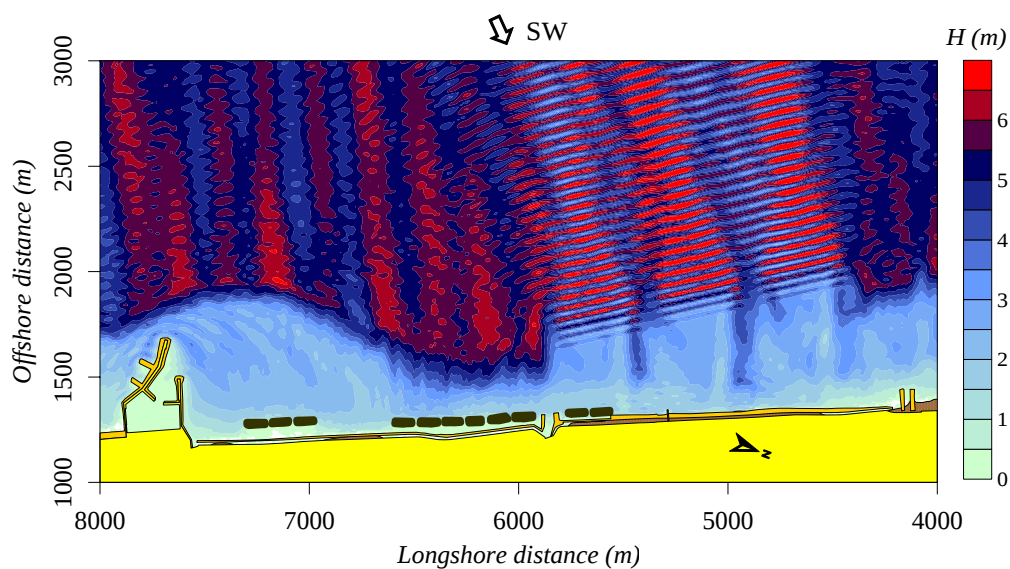


圖 7-16 SW 向颱風波浪彌陀附近海域系列潛堤佈置波場分布圖
($H = 5m$ 、 $T = 10.9sec$ 、水位 $+0.93m$)

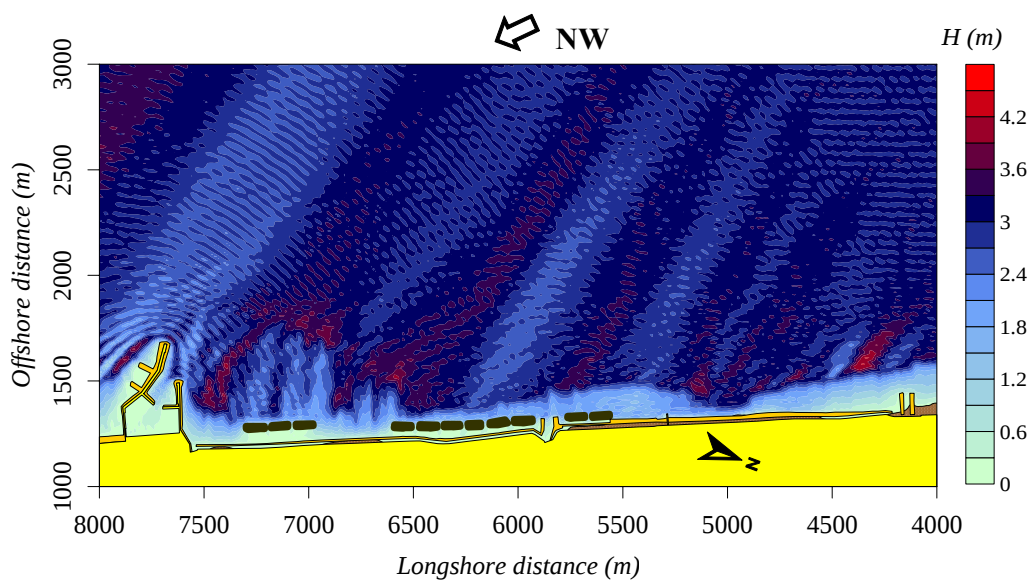


圖 7-17 NW 向颱風波浪彌陀附近海域無系列潛堤波場分布圖
($H = 3.4m$ 、 $T = 8.7sec$ 、水位為 $+0.93m$)

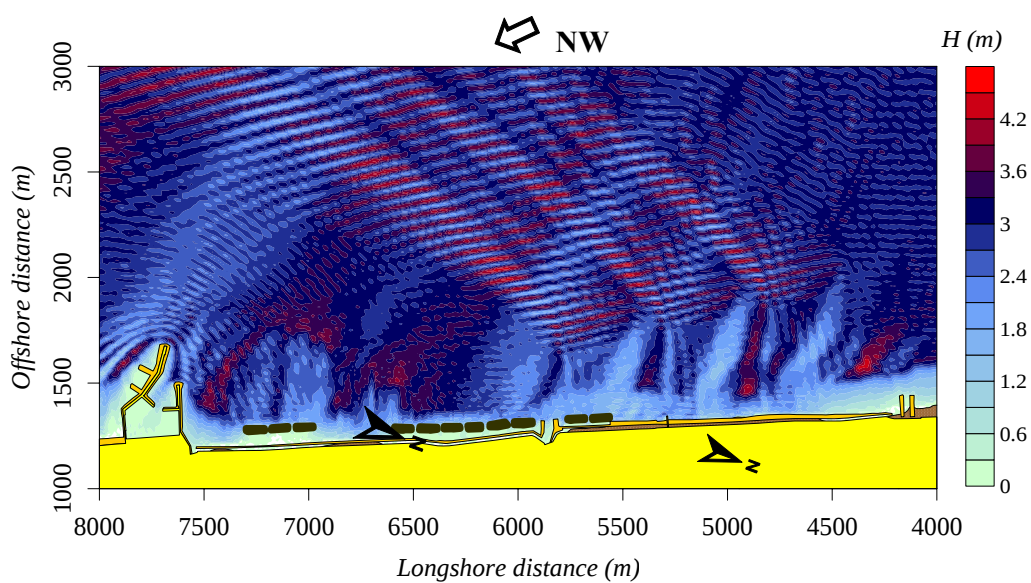


圖 7-18 NW 向颱風波浪彌陀附近海域系列潛堤佈置波場分布圖
($H = 3.4m$ 、 $T = 8.7sec$ 、水位為 $+0.93m$)

第八章 新竹港南海岸的海岸保護及親水性結構物之規劃

8.1 海岸環境資料

8.1.1 地理位置

本研究所探討之新竹南寮漁港鄰近海岸的地理位置，如圖 8-1 所示。研究基地自漁港北方之頭前溪出海口至港南海岸南方之客雅溪出海口，全長約 7.5 公里。早期此處海岸因為有頭前溪大量輸沙補助的影響，而成為海埔新生地，因此海岸地形屬於砂質地形。新竹南寮漁港由於防波堤的延伸，攔截由北向南的沿岸漂沙，導致下游的港南海岸沿岸漂沙之沙源減少。高潮時及颱風期間近岸沙灘被搬離，沙源無法補充而使海岸嚴重侵蝕，雖然目前該海岸有拋放消波塊予以保護，但政府和民間相關單位仍研擬更適當的海岸保護對策。

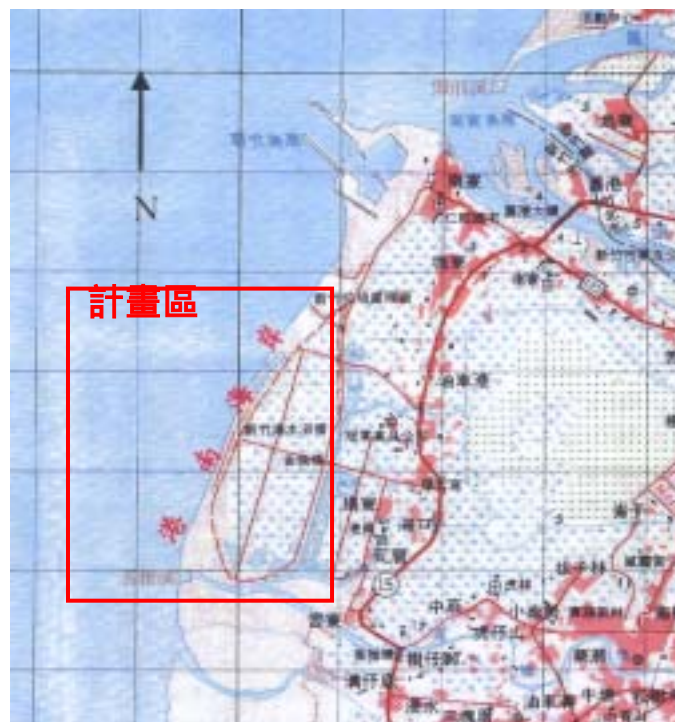


圖 8-1 新竹海岸地理位置圖 (資料來源:台灣漁業及海洋技術顧問社)

8.1.2 氣象資料

1. 氣溫

由中央氣象局新竹測站，1971~1981 年的氣溫紀錄，新竹地區最高溫為 7~8 月間，平均為 28.8 °C，1~2 月間最低，平均為 15.1 °C，全年平均為 22.2 °C。

2. 雨量

由中央氣象局新竹測站，1971~1990 年的雨量紀錄，新竹地區每月平均降雨量以 5 月最高，達 305.2 mm，10 月最低，僅 38.4 mm，年平均降雨量為 1,876 mm，全年平均降雨天數約 140 天。

3. 季風

根據台灣漁業及海洋技術顧問社在 2002 年之「新竹港南海岸侵蝕調查與防制計畫」報告書，新竹地區的風速全年最高頻率風向為東北向，其中 9 月至翌年 4 月為東北東~東北向之東北季風，風速大多在 10~15 m/sec 間。5 月以後風向逐漸衰減且轉為西南向，但風速不強，約在 5~10 m/sec 間，是屬於夏季季風。

4. 颱風

在 1998 年 9 月至 2002 年 5 月間，對於新竹地區具有威脅性的颱風，整理如表 8-1 所示。分析風速資料與颱風侵台時間，我們發現，颱風侵台時期，新竹地區的日平均風速大小和颱風強度之間的相關性並不大，甚至風速值並沒有東北季風期間來得大。由表 8-2，可以看出在颱風期間，新竹地區測得的日平均風速，通常都只有一天或兩天的風速值會大於 7 m/sec，甚至有的日平均風速值很低，一點也不像是颱風侵襲的樣子，而東北季風期間，常常一連三、四天日平均風速值都維持在 7 m/sec 以上，可見颱風並不是影響新竹地區最主要的因素。

表 8-1 1998 年 9 月至 2002 年 5 月間對新竹地區具有威脅之颱風

年份	颱風名稱	侵(近)台日期 (月/日)	最大強度	近中心最大風速 (m/s)	登陸地段
1998	楊妮(YANNI)	09/28	輕度	23	
	瑞伯(ZEB)	10/16	強烈	55	
	芭比絲(BABS)	10/27	中度	35	
1999	瑪姬(MAGGIE)	06/06	中度	38	
	丹恩(DAN)	10/04	中度	38	
2000	啟德(KAI-TAK)	07/09	中度	35	台東成功
	碧利斯(BILIS)	08/22	強烈	53	台東成功
	象神 (XANGSANE)	11/01	中度	38	未登陸
2001	奇比(CHEBI)	06/23	中度	35	未登陸
	潭美(TRAMI)	07/11	輕度	20	台東大武
	桃芝(TORAJI)	07/30	中度	38	花蓮秀姑巒溪口
	納莉(NARI)	09/10 及 09/17、18	中度	40	台北三貂角至宜蘭頭城一帶
	利奇馬(LEKIMA)	09/27	中度	35	台東、大武之間

*資料來源：中央氣象局。

表 8-2 颱風生成至消失期間新竹測站測得之日平均風速

颱風名稱	日期	日平均 風速 (m/s)	颱風名稱	日期	日平均 風速 (m/s)
楊妮	1998/09/27	6.6	象神	2000/10/28	5.2
	1998/09/28	4.9		2000/10/29	7.6
	1998/09/29	1.5		2000/10/30	9.8
瑞伯	1998/10/13	1.8		2000/10/31	5.0
	1998/10/14	2.8		2000/11/01	7.5
	1998/10/15	9.1	奇比	2001/06/19	2.0
	1998/10/16	6.4		2001/06/20	1.8
	1998/10/17	3.1		2001/06/21	1.9
芭比絲	1998/10/21	6.2		2001/06/22	1.8
	1998/10/22	6.0		2001/06/23	1.9
	1998/10/23	7.8	潭美	2001/07/10	1.8
	1998/10/24	8.4		2001/07/11	1.9
	1998/10/25	6.7	桃芝	2001/07/28	1.5
	1998/10/26	5.2		2001/07/29	3.7
	1998/10/27	3.1		2001/07/30	4.0
瑪姬	1999/06/03	1.8		2001/07/31	2.4
	1999/06/04	4.4	納莉	2001/09/11	1.5
	1999/06/05	7.8		2001/09/12	2.5
	1999/06/06	4.6		2001/09/13	2.9
丹恩	1999/10/03	5.8		2001/09/14	1.5
	1999/10/04	8.6		2001/09/15	1.9
	1999/10/05	7.3		2001/09/16	3.8
	1999/10/06	1.3		2001/09/17	6.3
	1999/10/07	1.0		2001/09/18	5.9
	1999/10/08	1.0		2001/09/19	2.0
	1999/10/09	1.5		2001/09/20	1.5
	1999/10/10	1.5		2001/09/21	7.2
啟德	2000/07/06	8.2	利奇馬	2001/09/24	7.8
	2000/07/07	4.1		2001/09/25	8.3
	2000/07/08	3.9		2001/09/26	10.1
	2000/07/09	2.7		2001/09/27	1.5
	2000/07/10	2.1		2001/09/28	1.3
碧利絲	2000/08/20	1.9		2001/09/29	2.7
	2000/08/21	2.9			
	2000/08/22	9.5			
	2000/08/23	2.3			

*資料來源：中央氣象局。

8.1.3 海象資料

1. 潮汐

依據 2000 年 1 月 12 月，在新竹漁港南內堤所設置之潮位觀測站資料，推算得新竹漁港各種潮位，如表 8-3 所示。

2. 季風波浪

有關新竹地區波浪資料蒐集整理如下：

- (1)整理中油公司在新竹外海長康海域（CBK）的長期波浪資料，得到本區季風代表性波浪，夏季波浪示性波高為 1.0 公尺，週期為 6.0 秒，而冬季波浪之示性波高為 2.0 公尺，週期為 8.0 秒。
- (2)1984 年 9 月 1988 年 6 月，台大海研所在新竹外海國光平台附近海域，測得的波浪資料為：冬季的 $H_{1/3}$ 集中在 2.5 公尺左右， $T_{1/3}$ 集中於 7 秒左右。夏季除颱風影響外，一般 $H_{1/3}$ 皆小於 1 公尺左右， $T_{1/3}$ 則在 4 秒左右。
- (3)根據漁業署於民國 89 年 2 月完成之「新竹漁港鄰近海岸監測及穩定對策整體規劃調查評估報告」，整理波浪觀測資料如表 8-4 所示。
- (4)根據 1996 年 5 月 3 10 日、7 月 25 日 8 月 5 日、11 月 15~30 日，工研院能資所在新竹香山外海測量的結果，5、7、8 月除颱風侵襲時波高可達 6 公尺外， $H_{1/3}$ 約在 1 公尺左右。11 月約 2 公尺左右。夏季波浪週期平均值約 3~5 秒，颱風時約 7 秒，11 月平均值約 5 秒左右。

綜合以上的結果，顯示冬季波浪示性波高可達 2.0 2.5 公尺，週期 7 8 秒，夏季波浪之示性波高約在 1 公尺左右，週期 3 7 秒，範圍相當大。由波浪一般特性，當波浪波高小時，週期相對較小，因此本

計畫選擇波高 2 公尺、週期 8 秒作為新竹地區的冬季季風代表波浪，而夏季則選擇波高 1 公尺、週期 6 秒的波浪作為夏季季風代表波浪。

3. 颱風波浪

根據台灣漁業及海洋技術顧問社在 2002 年之「新竹港南海岸侵蝕調查與防制計畫」報告書，颱風波浪依五十年頻率之模型颱風推算本區海域之深海颱風波浪資料如表 8-5 所示。

表 8-3 新竹漁港潮位表

潮汐特性	中潮系統
最高潮位 H.H.W.L.	+2.71m
大潮平均高潮位 H.W.O.S.T.	+2.35m
平均潮位 M.W.L.	+0.22m
大潮平均低潮位 L.W.O.S.T.	-2.19m
最低潮位 L.L.W.L.	-2.73m

*資料來源：台灣漁業及海洋技術顧問社，「新竹港南海岸侵蝕調查與防制研究計畫」。

表 8-4 新竹漁港鄰近波浪觀測資料

觀測日期	觀測位置	最大 $H_{1/3}(cm)$	平均 $H_{1/3}(cm)$	$T_{1/3}$ 範圍(sec)	平均 $T_{1/3}(sec)$
1999/05/22	N	116.8	20.2	4.2~10.0	5.9
	M	87.7	19.7	4.5~8.6	6.5
1999/06/08	S	145.7	36.4	3.8~8.4	5.4
1999/09/30	N	201.3	90.3	4.0~10.8	6.6
	M	214.3	80.3	4.0~10.8	6.7
1999/10/10	S	204.9	76.3	4.4~10.8	7.0

*資料來源：行政院農委會漁業署，「新竹漁港鄰近海岸監測及穩定對策整體規劃調查評估報告」。表中觀測位置，N 約位於漁港北方水深 8 公尺處，M 約位於漁港港口外水深約 12 公尺處，S 約位於漁港南方水深 9 公尺處。

表 8-5 新竹漁港深海颱風波浪統計表

波向	波高(m)	週期(sec)
WNW	5.0	9.8
NNE	5.0	9.2
NNW	5.8	9.9
WSW	4.6	8.7
SW	4.3	8.4
NW	5.4	9.9
W	4.7	9.3
N	5.7	9.7

*資料來源：台灣漁業及海洋技術顧問社，「新竹港南海岸侵蝕調查與防制研究計畫」。

8.1.4 水文資料

新竹漁港位於頭前溪出海口南方，頭前溪北方有鳳山溪，其中頭前溪為台灣 19 條主要河川之一。根據經濟部水利署出版之 1992 年至 2000 年台灣水文年報，頭前溪流域採用經國橋測站資料，鳳山溪流域則採用新埔(2)站資料。先由實測之輸沙量數據，推估月平均之懸浮質輸沙量，而推移質部分則以懸浮質量之 25% 估計。計算結果顯示，河川懸移質輸沙量主要集中在 5~8 月份，其量大都在 100~200 公噸/日以上。1、11、12 月輸沙量明顯較少，頭前溪與鳳山溪加起來幾乎都在 100 公噸/日以下，而 2~4 月及 9、10 月的輸沙量變動較大，偶而會有較大的量出現。另外由圖 8-2 可以發現，頭前溪與鳳山溪的年輸沙量在 1996 年及 1997 年明顯較其他年份大，可達 160 萬立方公尺以上。而 1993~1995 年與 1998~ 2000 年之年輸沙量都相當小，最少者不到 5 萬立方公尺。由此可見輸沙量彼此間的差異相當大，同時也可以明顯看出從 1998 年後河川之年輸沙量明顯下降很多，幾乎低於 5 萬立方公尺，足見本海岸的沙源補注量在 1998 年後均下降。

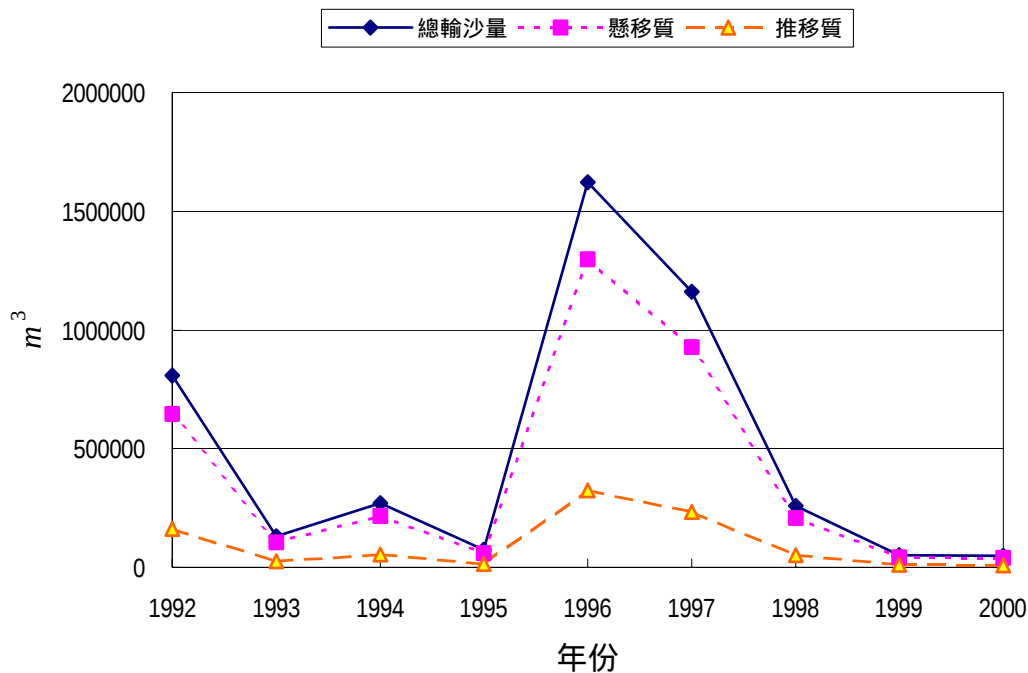


圖 8-2 頭前溪與鳳山溪 1992 年至 2000 年之年總輸沙量

8.1.5 地形水深資料

本計畫所使用的新竹海域水深測量資料共計 7 筆，依次有 1998 年 9 月及 1999 年 8 月(漁業署實施之地形水深測量)，2001 年 2 月、2001 年 4 月、2001 年 10 月、2002 年 3 月及 2002 年 5 月(台灣漁業及海洋技術顧問社實施之地形水深測量)。水深測量範圍如圖 8-3 所示，其涵蓋約港南側 5 公里、北側 3 公里及離岸 2 公里，但並非每筆資料測量範圍皆相同，故所有資料皆取有共同重複的範圍來分析，因此水深只取至 -20m 處。另外，分析時亦不考慮漁港內的區域，也就是從漁港南防波堤堤頭處往港內方向的區域皆不列入計算範圍。圖 8-3 為 1998 年 9 月的等水深圖，因測量範圍差異，可以見到左側客雅溪口前並沒有施行水深測量。

港南地區的地形剖面圖，取 1998 年 9 月所施測的資料來分析，剖面選取位置如圖 8-3 所示，各剖面的坡度比較整理如表 8-6。整體的坡

度大致在 1/100~1/120 左右，越往南坡度就變的越陡。水深-5 公尺以上的近岸地區，坡度大致介於 1/55~1/65 間，屬於較陡的坡度。水深-5~-10 公尺間的坡度則明顯較平緩，越往北坡度就越緩。水深-10~-20 公尺間的坡度則明顯較陡峻，大約介於 1/50~1/60 間。

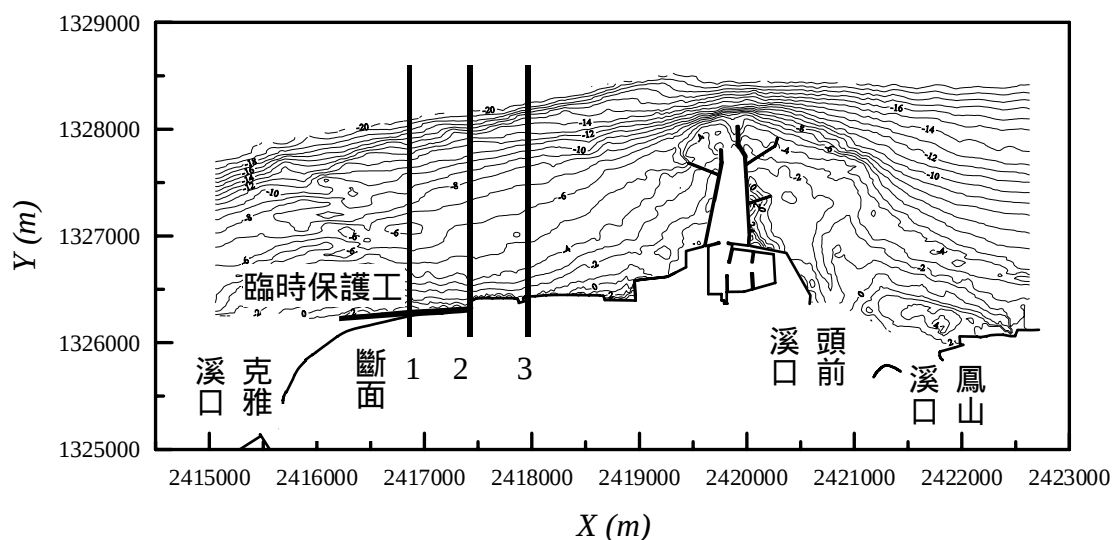


圖 8-3 測量範圍

表 8-6 各剖面之平均坡度

斷面編號	位置	平均坡度
1	水深-5 公尺以上	1/65
	水深-5~-10 公尺	1/260
	水深-10~-20 公尺	1/60
	整體	1/120
2	水深-5 公尺以上	1/55
	水深-5~-10 公尺	1/235
	水深-10~-20 公尺	1/50
	整體	1/120
3	水深-5 公尺以上	1/65
	水深-5~-10 公尺	1/165
	水深-10~-20 公尺	1/50
	整體	1/100

8.1.6 底質粒徑

根據前台灣省漁業局於 1992 年所做的新竹漁港漂沙調查工作報告，新竹漁港南防波堤以南區域，大部分的中值粒徑(d_{50})均介於 0.2~0.3mm 間，但水深在-15 或-20 公尺處之粒徑較不一致，有的達 0.3mm，有的小至 0.1mm，普遍的粒徑變化趨勢為由近岸處往外海有增大的趨勢。另根據漁業署於 2001 年 3 月、2002 年 3 月及 6 月所做的調查，陸上採樣顯示漁港南堤以南區域，高潮灘線砂樣的中值粒徑介於 0.176~0.319mm 間，低潮灘線砂樣的中值粒徑則介於 0.148~0.296mm 間，港南沿岸地區砂樣中值粒徑均大於 0.20mm。而海域採樣顯示漁港南堤以南區域的底質中值粒徑介於 0.035~0.365mm 之間，範圍變化相當大。綜合以上調查結果，將三組範圍分別求平均值，再將平均值相加後再平均，得到 0.223 mm 的平均粒徑，本計畫依此取 0.22mm 作為計算漂沙臨界移動水深時沙粒的中值粒徑。

8.2 新竹海岸之規劃構想

根據台灣漁業及海洋工程技術顧問社(簡稱漁顧社)承辦漁業署之新竹漁港港口及航道疏浚工期之報告，可知新竹漁港第一次疏浚之土方量約為 65 萬方。且港南海岸自 87 年起有明顯的侵蝕現象，雖經第二河川局於 89 年採取臨時離岸堤式的防護措施(如圖 8-4)。然而，此措施不僅無親水性，且對景觀視覺衝擊頗大。所以，解決港南海岸的侵蝕問題，除了安全性考慮外，應對親水性及景觀性來規畫。



圖 8-4 新竹港南海岸消波塊拋置現況

8.2.1 海岸保護方案

由經濟部水利署之「海岸生態復育之結構物的研發及應用研究——以新竹港南海岸為例」報告中，漁顧社共提出四種海岸保護方案，此四種方案之規畫配置分別如圖 8-5 至 8-8 所示。

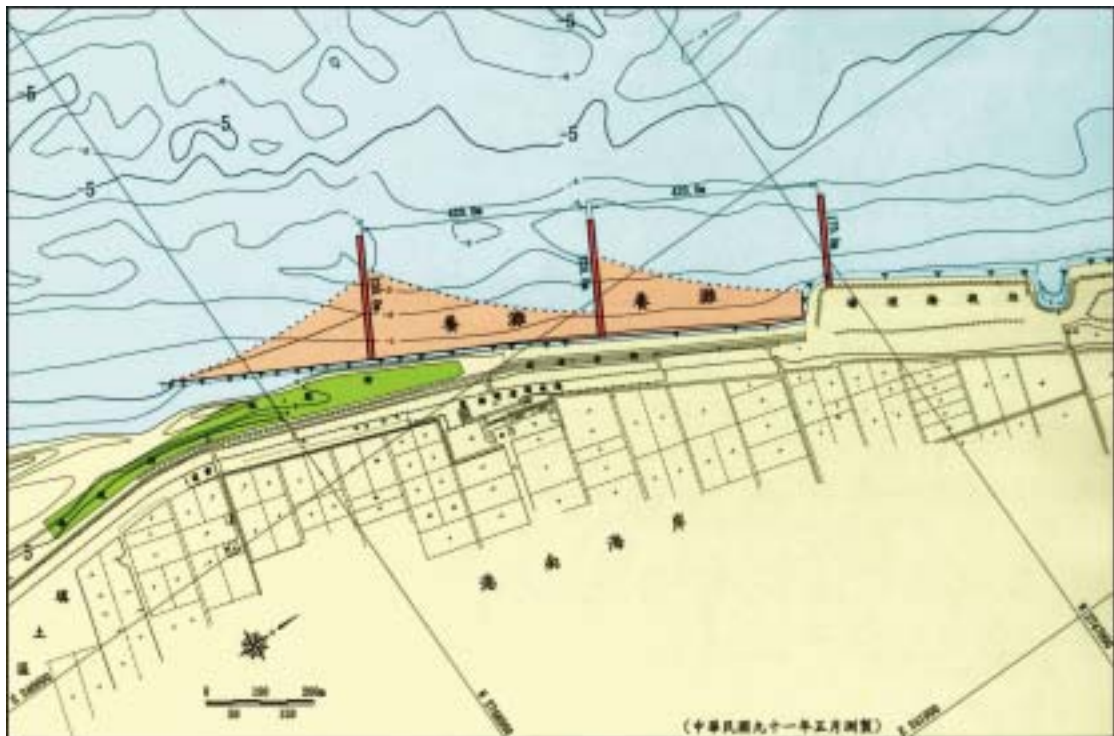


圖 8-5 方案 A(三支突堤)之配置圖



圖 8-6 方案 B(二支 L 型突堤配合二個離岸堤)之配置圖

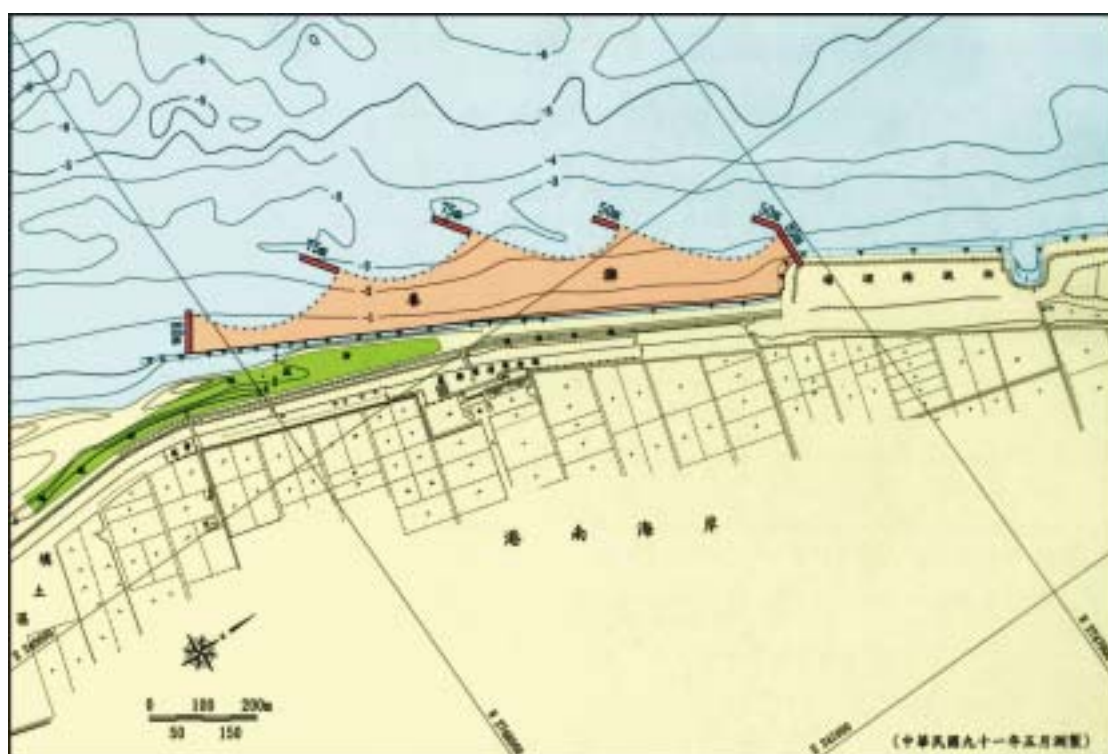


圖 8-7 方案 C(人工岬頭)之配置圖

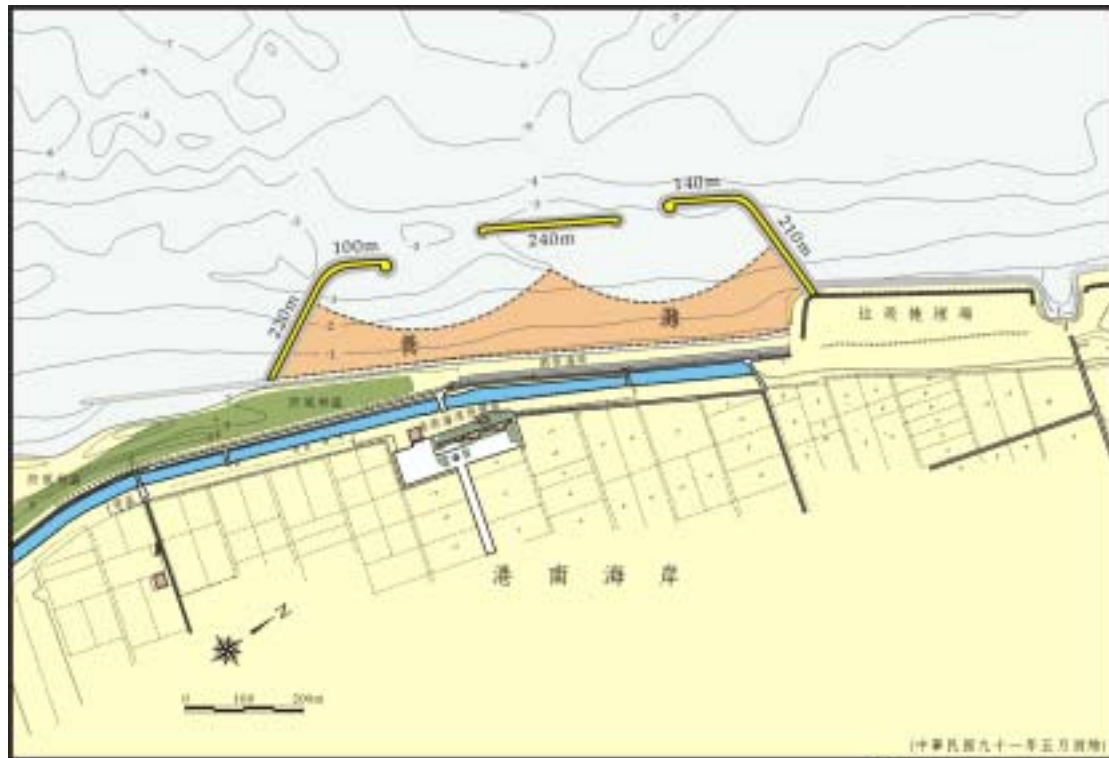


圖 8-8 方案 D(二支 L 型突堤配合一個離岸堤)之配置圖

第一種方案 A 為漁顧社的原規劃，其保護工法為三支突堤，北自新竹垃圾場圍堤之南側起，間距 420 公尺，突堤長度為 170,220 及 230 公尺。原本規劃構想將漁港淤沙養灘在突堤間，利用波浪將砂子部分帶離突堤之開口，而使得漁港內淤沙未來每年可以浚渫後，再補注此突堤間，因波浪造成漂砂外流減少之砂量，以達到常年平衡狀態。

第二種方案 B 為兩支 L 型突堤配合二個離岸堤的保護工法。北 L 型堤的長度 210 公尺，沿岸長 140 公尺，而南側突堤長 120 公尺，沿岸長 100 公尺，二支離岸堤均為 140 公尺，開口間距為 100 公尺，離岸堤之離岸距離在 L 型突堤端點的連線上。此規劃構想是以面的保護工法為原則，以離岸堤及 L 型的海上部分段來有效阻擋波浪之作用，降低堤後之流速，使在保護區內養灘之砂幾乎不會流出保護區外。而且因為兩個離岸堤的設置，使未來之海灘線可能形成一個沙舌(salient)及繫岸沙洲(tombolo)，提供海岸較佳的親水效果，在視覺上也會較為舒適。

第三種方案 C 為以人工岬灣概念出發的離岸堤及突堤組合的配置。南北兩側為突堤，其長度各為 80 公尺及 135 公尺，而三支離岸堤二支為 75 公尺，另一支為 50 公尺。此種配置主要利用離岸堤及突堤的堤頭當為人工岬灣的控制點(control head)來形成彎月型的平衡沙灘。此種方案若夏季颱風來襲，因為離岸堤之開口太大，可能形成沙較大之彎形海岸，灘線侵入率較大，為防止此現象發生需有多的養灘寬度，而無法像方案 B 可以有效地保護養灘之砂子。

第四方案 D 如圖方案 B 為平面保護工法概念，以二支突堤配合一支大的離岸堤的組合，其配置示如圖 8-7。南突堤長 320 公尺。北突堤長 350 公尺，而離岸堤為 240 公尺。此方案之保護效果應與方案 B 相當。而未來形成之沙灘會成兩個較方案 B 大的彎月形。

將此四種方案做比較其規劃構想及其目標分析程表 8-7。

表 8-7 四種規劃方案構想比較

方案	配置	構想	規劃目標	初估經費
A	1.三支突堤	全部以突堤保護突堤間之養灘沙粒，每年讓突堤的砂部分可流出保護區域	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港浚渫砂子 3.每年漁港浚渫砂可在此養灘	1.1 億
B	1.二支長突堤 2.二支離岸堤	平面保護工法之概念，有效保護養灘的砂子，並形成沙舌或繫岸沙洲之海灘	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港第一次浚渫的淤沙 3.具有親水性及生態機能	1.7 億
C	1.二支短突堤 2.三支短離岸堤	以人工岬灣的概念讓養灘形成平衡的海岸	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港浚渫淤沙 3.每年漁港浚渫砂可在此養灘 4.具有親水性	1.2 億
D	1.二支長突堤 2.一支長離岸堤	以平面保護概念有效保護灘之沙子，並形成二個彎月形海灘	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港浚渫砂子 3.具有親水性及生態機能	1.8 億

註：初估經費由漁顧社提供，因防波堤設計斷面尚未決定，經費估計乃以傳統標準斷面為準，其中尚不包括原置於灘線之臨時消波塊移除及養灘經費。

漁顧社的規劃構想為，以工程安全及原來新竹漁港需浚渫及港南海岸侵蝕之保護為首先規劃目標，以海岸線變遷是否能達到養灘是否能被保護為評估指標，再進行細部之波流場及地形變化之數值計算，以減少計算的工作量。

8.2.2 四種方案之工程評估

為了評估前述四種海岸侵蝕防禦工法的消浪功能，本計畫應用 2.1 節 Hsu 和 Wen (2001) 所發展的演進型緩坡方程式 (EEMSE) 進行數值模擬，由計算結果評估四種方案對於波浪消滅的優劣，作為本計畫綜合評估之依據。

數值計算之範圍為整個港南海岸，海岸線長度約為 1.7 km，而離岸寬度 1.0 km，水深約為 7.0 m，即計算領域大小為 1.7 km × 1.0 km。數值計算格網為 5.0 m × 5.0 m，滿足可蘭數 (Courant number) $C_r = 0.9$ 之要求。根據本計畫表 8-4 的分析，本研究採取的計算條件分別考慮冬季和夏季季風波浪和颱風波浪，計算輸入條件之代表波高、週期與波向，如表 8-8 所示，其中颱風波浪條件係為五十年頻率之 WSW 方向波浪，颱風波浪所採用之暴潮水位為 1.2 m。

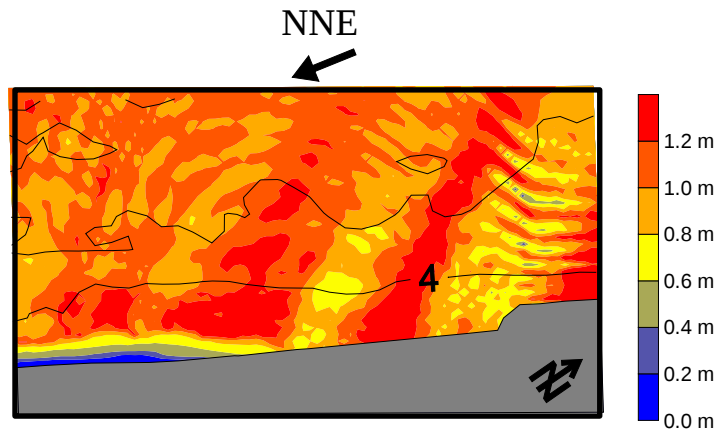
圖 8-9 為未興建結構物前的波場分佈圖，從圖中之結果發現，無論季風波浪或颱風波浪，波浪都可從外海傳遞至近岸，較高的波能對海岸之沙灘再造有不利的影響。在圖 8-10 中，可以看出 A 方案 NNE 和 WSW 方向季風波浪在遮蔽區均能發揮消能效果，而颱風波浪則消波功能類似於季風，唯消波之遮蔽範圍似乎不大。圖 8-11 則為 B 方案之波場分佈，圖中之結果顯示，此方案之離岸堤後波高有明顯的消減，波能消滅範圍比 A 方案大。圖 8-12 為 C 方案為波高分佈圖，從圖中之結果可以看出，由於此方案堤長較短，所消滅的波浪範圍較為有限。D 方案的波浪消滅係由二支長突堤和一隻離岸堤結合而成，從圖 8-13 的波高分佈可以看出，季風波浪可由突堤發揮遮蔽消浪功能，而颱風波浪則可由離岸堤和突堤共同發揮功能。在四種方案中，D 方案消波的

遮蔽面積較其他方案為大。

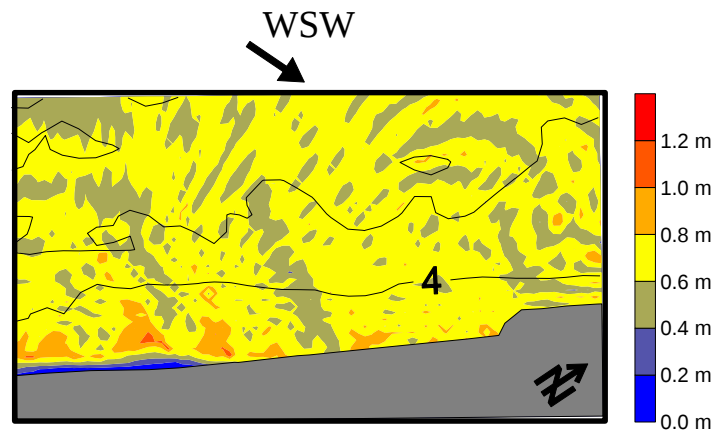
圖 8-14 為沿著海岸線截取各種方案的波高分佈，以便評估其消波之功能。季風波浪和颱風波浪的堤後波高變化，如圖 8-15 所示，從圖中(a)、(b) 與 (c) 三種波浪條件分別比較，以 D 方案之消波功能和遮蔽範圍較佳，B 方案次之，A 方案和 C 方案則較不理想。

表 8-8 模式輸入條件

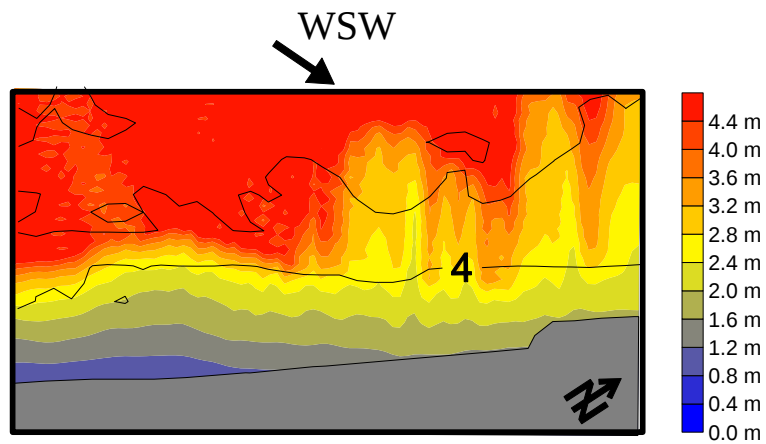
輸入條件	波高 H (m)	週期 T (sec)	波向
冬季季風	1.2	4.95	NNE
夏季季風	0.67	4.59	WSW
颱風波浪	4.6	8.7	WSW



(a) 冬季波浪 (波高：1.2 m，週期：4.95 sec)

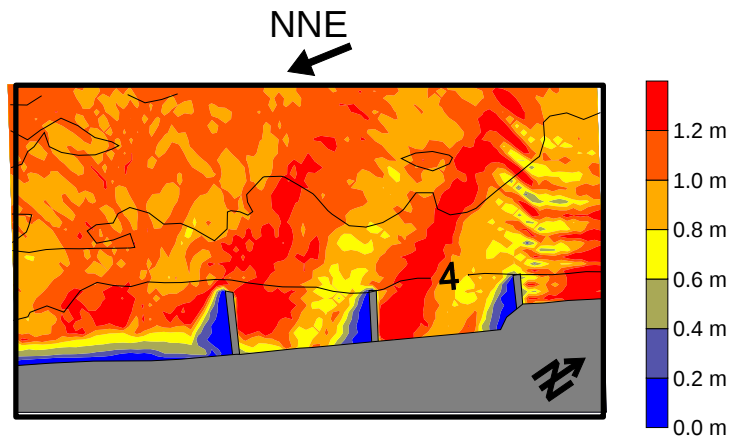


(b) 夏季波浪 (波高：0.67 m，週期：4.59 sec)

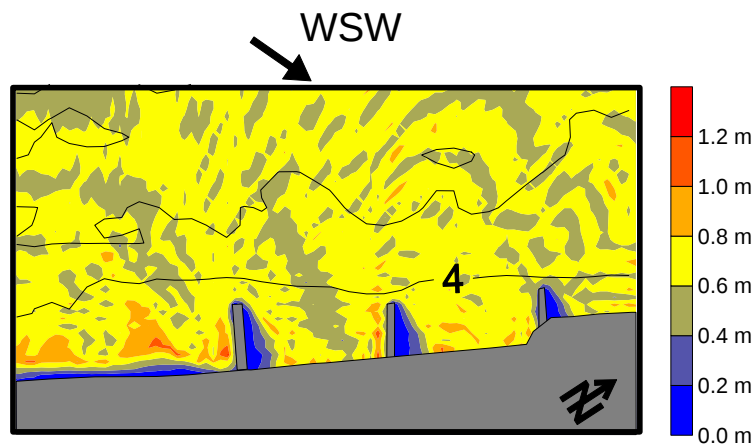


(c) 颱風波浪 (波高：4.6 m，週期：8.7 sec，暴潮位：1.2 公尺)

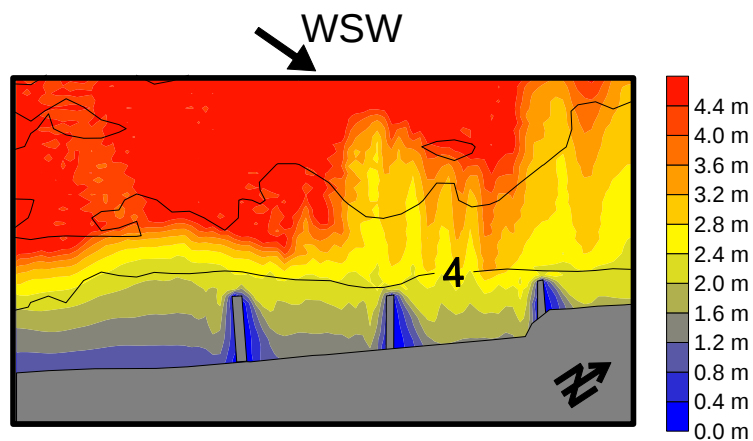
圖 8-9 新竹港南海域未佈置結構物前波場分佈圖



(a) 冬季波浪 (波高：1.2 m , 週期：4.95 sec)

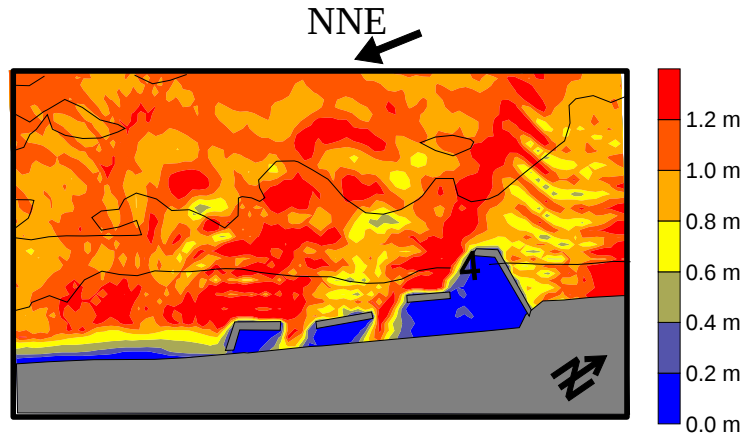


(b) 夏季波浪 (波高：0.67 m , 週期：4.59 sec)

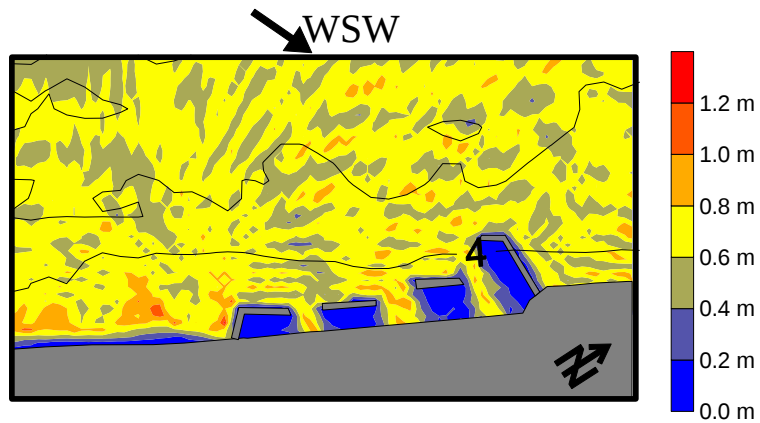


(c) 颱風波浪 (波高：4.6 m , 週期：8.7 sec , 暴潮位：1.2 公尺)

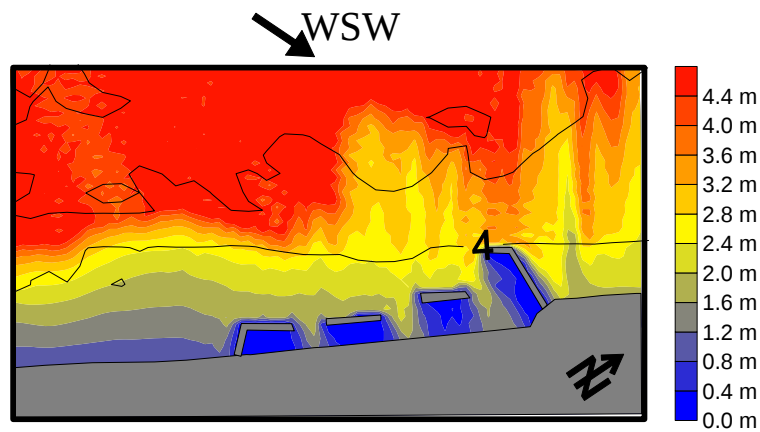
圖 8-10 新竹港南海域波場分佈圖(A 方案)



(a) 冬季波浪 (波高：1.2 m , 週期：4.95 sec)

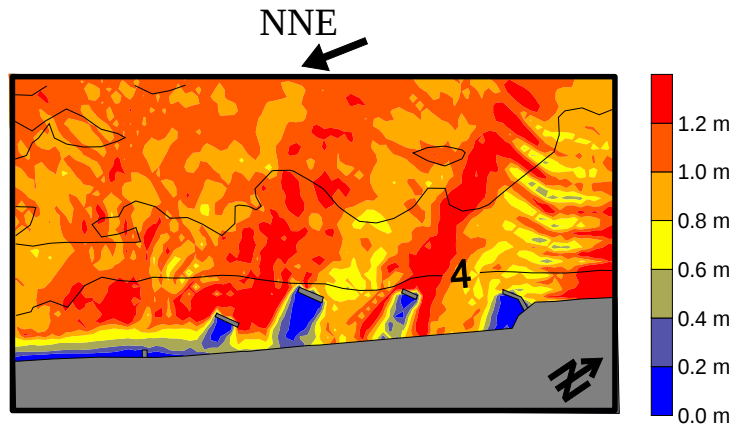


(b) 夏季波浪 (波高：0.67 m , 週期：4.59 sec)

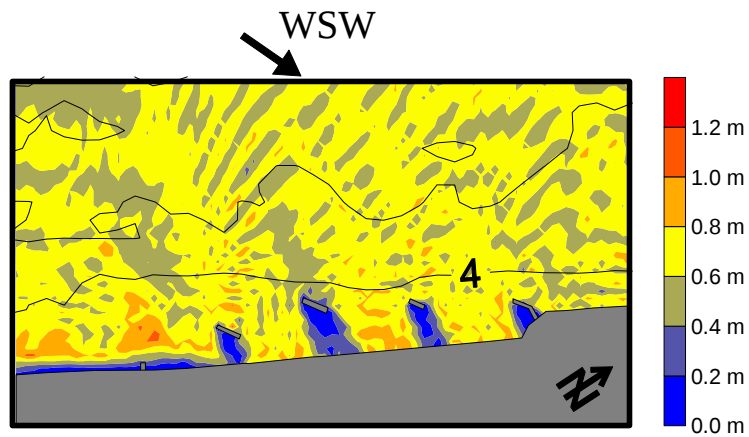


(c) 颱風波浪 (波高：4.6 m , 週期：8.7 sec , 暴潮位：1.2 公尺)

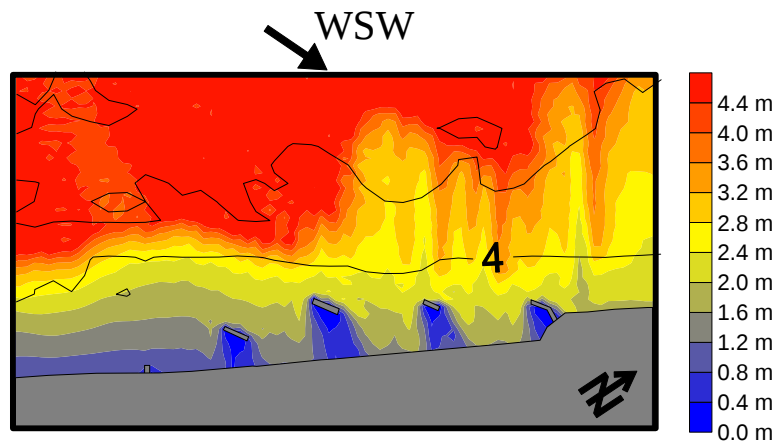
圖 8-11 新竹港南海域波場分佈圖(B 方案)



(a) 冬季波浪 (波高：1.2 m , 週期：4.95 sec)

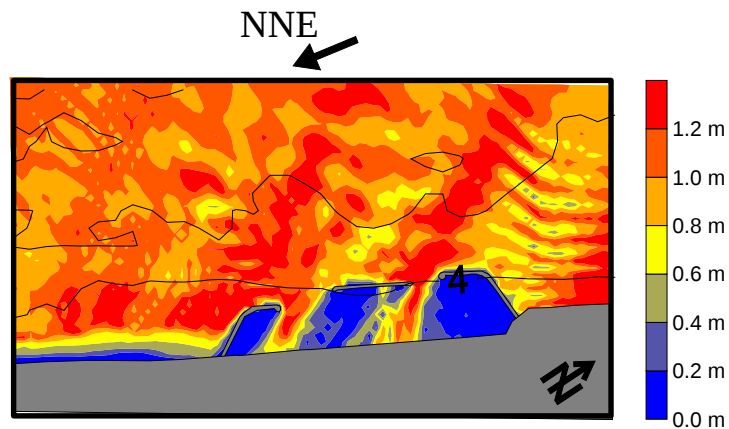


(b) 夏季波浪 (波高：0.67 m , 週期：4.59 sec)

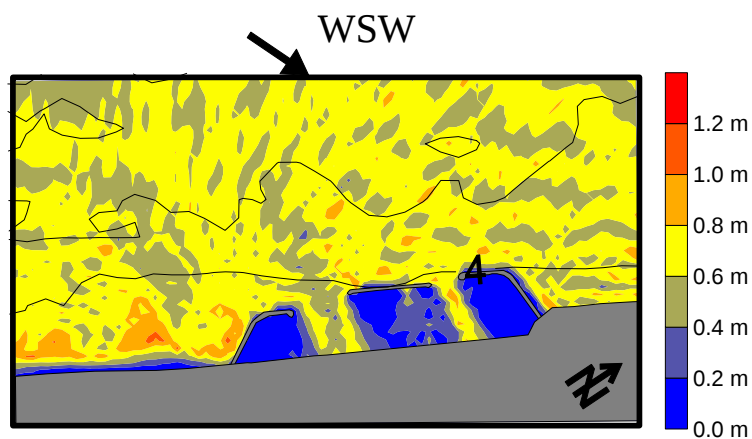


(c) 颱風波浪 (波高：4.6 m , 週期：8.7 sec , 暴潮位：1.2 公尺)

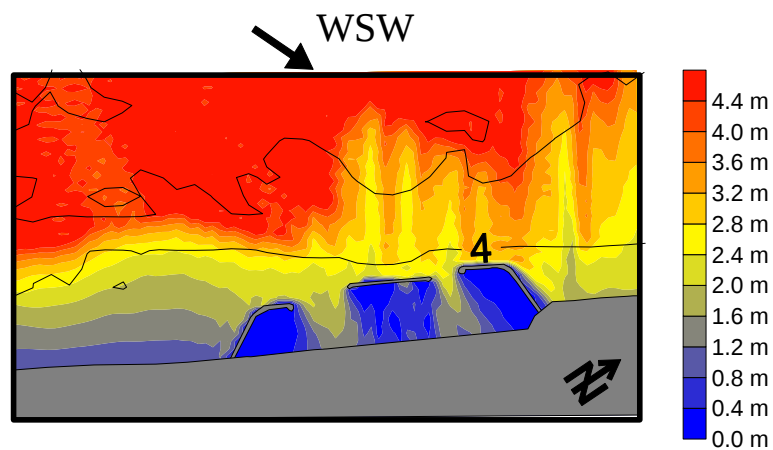
圖 8-12 新竹港南海域波場分佈圖(C 方案)



(a) 冬季波浪 (波高：1.2 m , 週期：4.95 sec)



(b) 夏季波浪 (波高：0.67 m , 週期：4.59 sec)



(c) 颱風波浪 (波高：4.6 m , 週期：8.7 sec , 暴潮位：1.2 公尺)

圖 8-13 新竹港南海域波場分佈圖(D 方案)

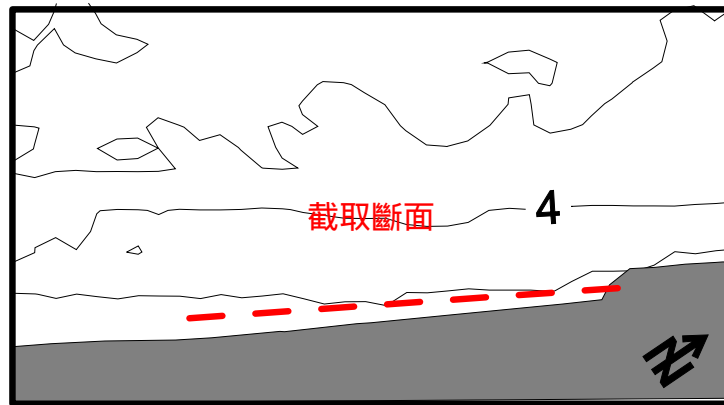


圖 8-14 擷取斷面位置示意圖

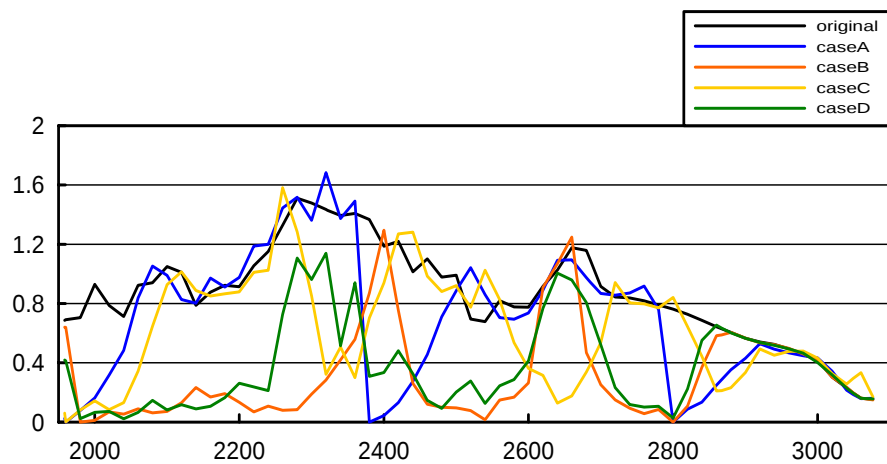


圖 8-15(a) 新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖
(波高：1.2 m，週期：4.95 sec，外海波向：NNE)

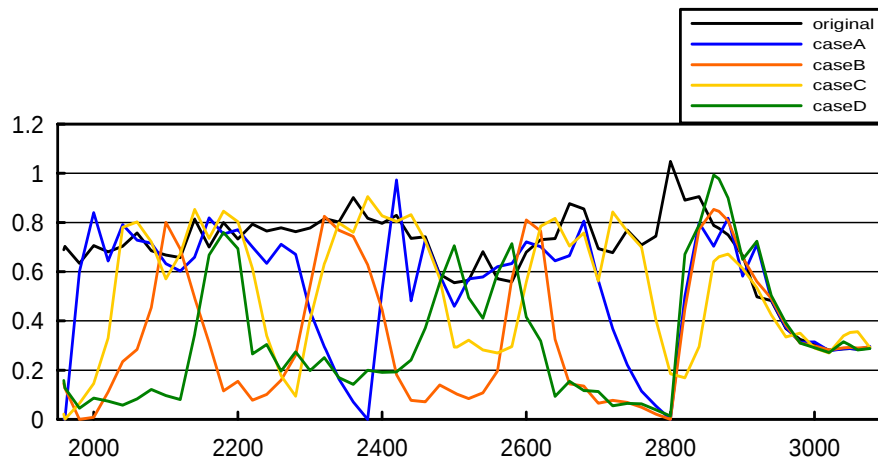


圖 8-15(b) 新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖
(波高：0.67 m，週期：4.59 sec，外海波向：WSW)

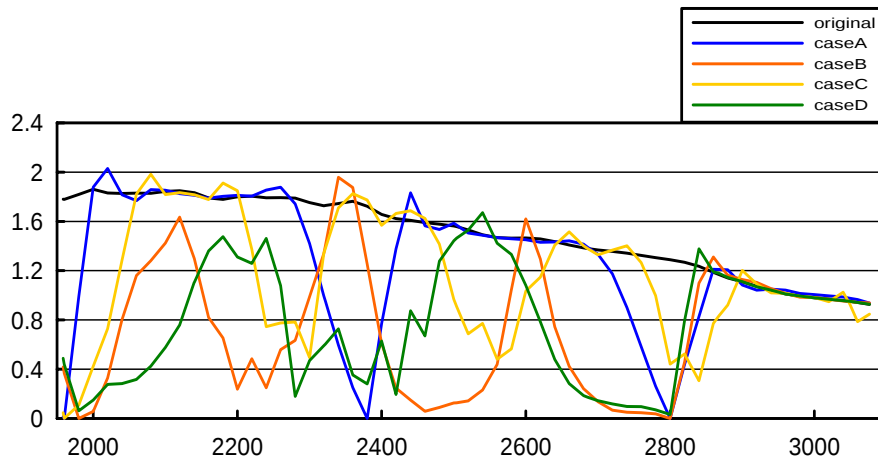


圖 8-15(c) 新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖
(波高：4.6 m，週期：8.7 sec，外海波向：WSW，暴潮位：1.2 公尺)

8.2.3 四種方案之海洋生態的比較

礁石海岸的生態豐富度優於沙灘海岸，石塊或混凝土塊置放於海水中可以產生比沙灘更好的生態，在水深 10 公尺以內離岸較遠生態效果較好。對沙灘而言，安定的沙灘又比移動劇烈的沙灘生態效果好。此外水質交換良好的礁石附近水域生態多樣性佳。依此，上述四種配置方案之生態效果分析如下：

方案 A：能夠浸泡於水中的固定基質（結構物）不多，雖沙灘有底棲生物，但生態多樣性不是很好。颱風時造成的砂灘流失對底棲生物存活有影響。垂直海岸的突堤會影響底棲生物的沿岸方向移動。因為開放性海岸，水質交換良好。

方案 B：有比較多浸泡於水中的固定基質，可營造生態型結構物。但沙灘密閉，雖沙粒安定不流失有助生物存活，但水質交換較差，底棲生物多樣性也會受影響。

方案 C：為開放型海岸有利親水和景觀營造，但水中固定基質不多，颱風來時沙灘不安定，對生態不利。雖水質交換良好，但整體而言生態效果不佳。

方案 D：大致上與方案 B 類似，唯開口較少，水質交換較差。但沒於水中的基質較多，適用生態型離岸堤，是生態效果較好的一種。

第九章 新竹港南海岸保護最適方案綜合評估

9.1 綜合評估之原理

最適化配置的考量因素包括：防災效果、景觀、親水、生態、工程費。為能以更客觀之科學方式，進行各可行方案之評選作業，本計畫將導入多評準決策(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)之方法進行方案評選。

由於各可行方案評選問題本身除具有「多構面」、「多準則」特性外，更是「群體決策」下之結果，因此，屬於多評準決策之範圍。為了在評選順序上有較多之依據並提高評估結果上之準確性，本研究透過決策四要素：替選方案(Alternatives)、評估準則(Criteria)、績效值(Performance)、偏好結構(Preference Structure)來進行各方案之評選。

首先針對各可行方案之條件進行分析，並擬定評估準則，再透過問卷針對各專家、學者進行偏好結構之調查作業，再採取層級分析程序法(AHP)求取各評估準則之權重，再利用 TOPSIS 法進行各方案優劣之排序(Ranking)。有關各方案評選流程，詳圖 9-1 所示。

進行各方案評選時，將從防災效果、景觀、親水、生態及工程費...等評估準則來進行各方案之評估。整個方案評選結構可區分成三個階層(如圖 9-2 所示)，第一階層為分析之課題；第二階層為各評估準則；第三階層為各評選方案。

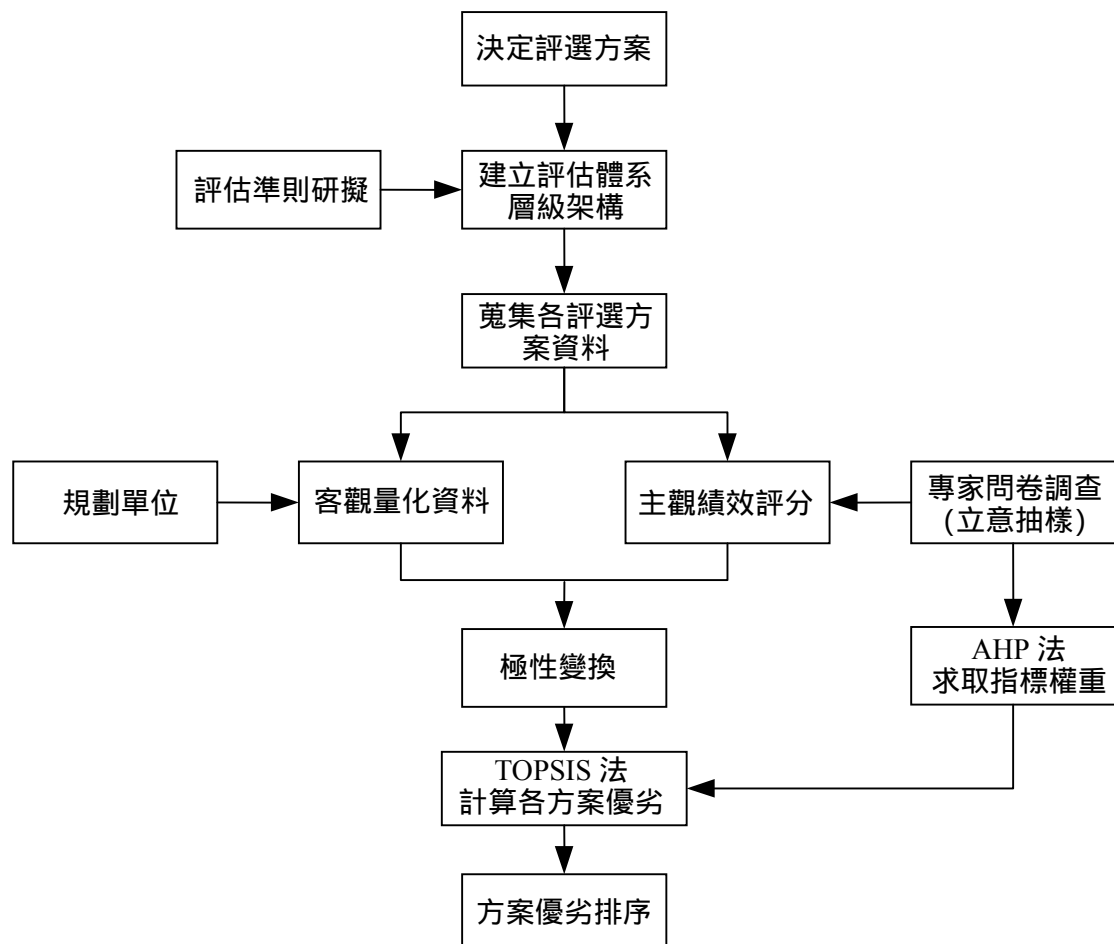


圖 9-1 各方案評選流程圖

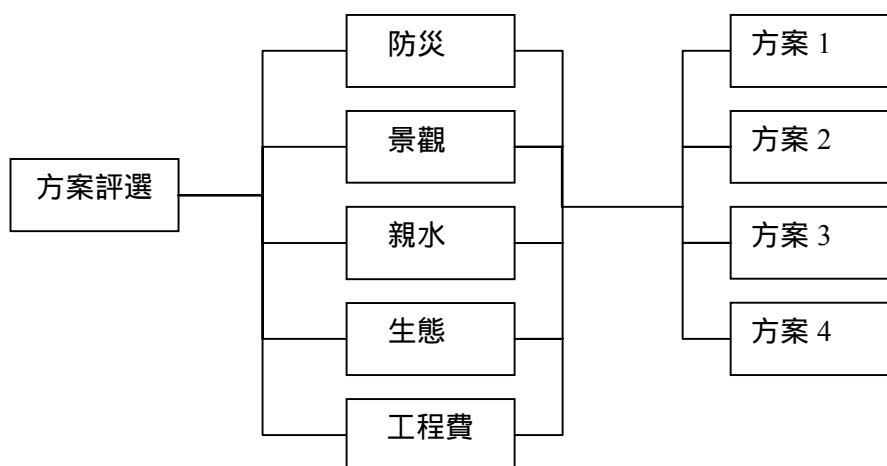


圖 9-2 各方案評選之層級結構圖

9.2 層級分析法(AHP)

層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 為 Saaty(1971) 所發展出來，主要應用在不確定情況下及具有多個評估準則的決策問題上。早先為替美國國防部從事應變計劃問題的研究；1972 年在美國國家科學基金會 (NSF) 資助下，進行各產業電力合理分配的研究。1972 年七月替埃及政府評估其「無和平、無戰爭」政策對埃及經濟、政治及軍事狀況的影響時，開始將有關的判斷尺度化。Saaty(1973) 將層級分析法應用在蘇丹之運輸研究後，AHP 理論才漸趨成熟；其後在 1974 年至 1978 年間，經不斷應用、修正及證明，使整個理論更臻完備。

層級分析法為一解決複雜化問題的簡易評估法，其利用評估準則的層級結構化，針對系統內的各個組合體，將問題簡化為一個元素階層系統，並藉由專家問卷的成對比較，來計算各個替選方案對上一層級 (Upper Level) 評估準則的貢獻程度，作為問題分析的依據。由於 AHP 法使用上的簡便，以及其能克服若干準則無法量化的限制因素，因此，廣泛被應用在公共建設與地區發展的決策評估上。

9.2.1 AHP 法之層級結構

面對複雜的決策問題，層級分析法採用"分解" (Decomposition) 的原則，由上而下依序分解形成一種層級化之結構：決策目標 (Objective)→決策準則 (Criteria)→決策子準則 (Sub-criteria)，其中每一層級只影響另一層級，同時亦僅受另一層級影響。基於人類無法同時對七種以上事物進行比較之假設下，每一層級之要素不宜超過七個。

9.2.2 各層級要素間權值的計算

1. 建立判斷矩陣 (Judgment Matrix)

以上一層級某一要素為評估基準，就其下一層級之組成要素，根據一事先設定之相對重要性比值評估尺度(參見表 9-1)，進行要素間重要性的成對比較 (Pairwise Comparison)。再依據各要素間之重要性相對比值的設定，即可產生判斷矩陣 $A = [a_{ij}]$ 。

表 9-1 AHP 評估尺度意義及說明

評估尺度	定 義	說 明
$C_{ij} = 1$	同等重要(Equal Importance)	i j 兩比較要素之貢獻程度具同等重要性
$C_{ij} = 3$	稍重要(Weak Importance)	經驗與判斷稍微傾向喜好 i 方案
$C_{ij} = 5$	頗重要(Essential Importance)	經驗與判斷強烈傾向喜好 i 方案
$C_{ij} = 7$	極重要(Very Strong Importance)	實際顯示非常強烈傾向喜好 i 方案
$C_{ij} = 9$	絕對重要(Absolute Importance)	有足夠證據肯定絕對喜好 i 方案
$C_{ij} = 2.4.6.8$	相鄰尺度之中間值 (Intermediate values)	各相鄰尺度間需要折衷值時

假設有 n 個要素時，則需進行 $n(n-1)/2$ 個成對比較。將 n 個要素比較之結果，置於成對比較矩陣 A 的上三角形部分(主對角線為要素自身的比較，故均為 1)，而下三角形部分的數值，由於成對比較具有倒數性質 (Reciprocal Property)，故為上三角形相對位置數值的倒數，即 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ，矩陣如式 (9-1) 所示。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9-1)$$

2. 計算各層級要素的權值 (Weight)

當矩陣建立完成後，接下來就需計算出其權重。Saaty (1971)提出以下四種方式求取權重

(1) 行向量平均值標準化法

$$W_i = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (9-2)$$

(2) 列向量平均值標準化法

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (9-3)$$

(3) 行向量和倒數標準化法

$$W_i = \frac{1 / \sum_{i=1}^n a_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 / \sum_{i=1}^n a_{ij})} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (9-4)$$

(4)列向量幾何平均值標準化法

$$W_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (9-5)$$

一般而言，AHP 法在計算權重時，是採用第一種行向量平均值標準化法來計算，運用該法計算其精確度較佳。

9.2.3 群體評估的整合

當方案的選擇由決策群體進行群體決策時，則需將決策群體成員的偏好加以整合，因此，判斷的整合在 AHP 法中是相當重要的部分。Saaty (1971)在一些合理的假設下，利用幾何平均數做為整合的函數，而不是算數平均數，因為若某一個決策成員的判斷值為 a ，而其他決策成員的判斷值為 $1/a$ 時，其平均值應為 1，而不是 $(a + 1/a)/2$ ，所以 n 個決策成員的判斷值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，其平均值應為 $\sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n}$ 。

9.3 TOPSIS 法

TOPSIS (Yoon 和 Hwang, 1981)之觀念乃在於先界定理想解 (Ideal Solution) 和負理想解 (Negative Ideal Solution)，前者指各替選方案效益面準則值最大，成本面準則值最小者；而後者是各替選方案效益面準則值最小，成本面準則值最大者。在選擇方案時，以距離理想解最近，而距負理想解最遠的方案為最佳方案。TOPSIS 可以避免產生一方案距離理想解最近，又距負理想解最近，以及距理想解最遠，又距負理想解最遠，不易比較的缺點。其步驟有六：

1. 建立正規化決策矩陣 (Normalized Decision Matrix)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (9-6)$$

其中 x_{ij} 為第 i 個替選方案中所對應第 j 個屬性的評比結果。

2. 建立加權正規矩陣 (Weighted Normalized Decision Matrix) 加入權重

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad , \quad \text{其中} \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1j} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2j} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{i1} & v_{i2} & \cdots & v_{ij} & \cdots & v_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mj} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_j r_{1j} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_j r_{2j} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{i1} & w_2 r_{i2} & \cdots & w_j r_{ij} & \cdots & w_n r_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_j r_{mj} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (9-7)$$

3. 決定正理想解 A^* 與負理想解 A^- (Ideal and Negative-Ideal Solutions)

$$A^* = \{ (\max_i v_{ij} | j \in J) \text{ or } (\min_i v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m \} \quad \dots\dots\dots (9-8)$$

$$= \{ v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^* \}$$

$$A^- = \{ (\min_i v_{ij} | j \in J) \text{ or } (\max_i v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m \} \quad \dots\dots\dots (9-9)$$

$$= \{ v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^- \}$$

其中 $J = \{ j = 1, 2, \dots, n | j \text{ 就效益層面而言} \}$

$J' = \{ j = 1, 2, \dots, n | j \text{ 就成本層面而言} \}$

4.計算分離測度 (Separation Measure)

各方案與正理想解之分離測度為

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots (9-10)$$

各方案與負理想解之分離測度為

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots (9-11)$$

5.計算各個方案對正理想解的相對靠近度 (Relative Closeness to The Ideal Solution)

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)} \quad , \quad 0 < C_i^* < 1 \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots (9-12)$$

6.方案排序(Rank)

根據相對靠近度 C_i^* 的大小，來對各個方案進行排序，其值愈大者，方案之偏好愈高。

9.4 綜合評估結果

9.4.1 AHP 分析

本計畫邀請 10 位不同背景的專家進行專家問卷，專家背景包括生態、景觀、工程設計、海岸規劃及機關行政之專家各 2 名，共有 10 份問卷結果。

依照專家問卷的結果決定決策矩陣，並透過行向量平均值標準化法可獲得各專家對於各要素的權重，如表 9-2 所示。

表 9-2 各專家對於各要素的權重

	生態	生態	景觀	景觀	工程 設計	工程 設計	行政	行政	規劃	規劃
防 災	0.2843	0.1973	0.3150	0.3019	0.4584	0.4087	0.3549	0.4472	0.2868	0.4524
景 觀	0.1281	0.1813	0.1783	0.2252	0.1744	0.1166	0.1917	0.1332	0.1484	0.2319
親 水	0.1281	0.3176	0.1276	0.1267	0.0838	0.1166	0.1917	0.0906	0.1348	0.0809
生 態	0.3443	0.1071	0.2914	0.2552	0.0553	0.0845	0.1917	0.2786	0.1674	0.0857
工 程 費	0.1152	0.1966	0.0877	0.0911	0.2280	0.2737	0.0700	0.0503	0.2626	0.1491

接著利用 9.2.3 節所述群體評估整合的方式，可獲得各要素的權重，如表 9-3 所示。

表 9-3 各要素的平均權重及偏差

要素	權重及偏差
防災	0.3399 ± 0.0838
景觀	0.1668 ± 0.0374
親水	0.1284 ± 0.0666
生態	0.1582 ± 0.0967
工程費	0.1316 ± 0.0782

9.4.2 TOPSIS 分析

本計畫依照第八章的分析，可將各替選方案中所對應屬性的評比結果，建立正規化決策矩陣如下

$$\begin{bmatrix} 0.2085 & 0.2481 & 0.1826 & 0.3428 & 0.3712 \\ 0.6255 & 0.4961 & 0.5477 & 0.5759 & 0.5737 \\ 0.4170 & 0.3721 & 0.3651 & 0.3428 & 0.4050 \\ 0.6255 & 0.7442 & 0.7303 & 0.6582 & 0.6075 \end{bmatrix}$$

將正規化決策矩陣及表 9-5 代入式 (9-7)，可獲得加權正規矩陣如下

$$\begin{bmatrix} 0.0709 & 0.0414 & 0.0234 & 0.0542 & 0.0489 \\ 0.2126 & 0.0828 & 0.0703 & 0.0911 & 0.0755 \\ 0.1417 & 0.0621 & 0.0469 & 0.0542 & 0.0533 \\ 0.2126 & 0.1241 & 0.0938 & 0.1041 & 0.0799 \end{bmatrix}$$

決定正理想解 A^* 與負理想解 A^- 的部分，依照式 (9-8) 及 式 (9-9) 的方式，由加權正規矩陣可訂出正理想解與負理想解(A^* 及 A^-)

$$A^* = \{0.2126, 0.1241, 0.0938, 0.1041, 0.0489\}$$

$$A^- = \{0.0709, 0.0414, 0.0234, 0.0542, 0.0799\}$$

接著透過式 (9-10) 至式 (9-12)，分別計算出分離測度及相對靠近度，即可獲得各方案的排序如表 9-4 所示。

表 9-4 四個建議方案之排序

方案	與正理想解 之分離測度	與負理想解 之分離測度	對正理想解的 相對靠近度	方案排序
A	0.1854	0.0311	0.1436	4
B	0.0560	0.1593	0.7398	2
C	0.1165	0.0819	0.4128	3
D	0.0311	0.1854	0.8564	1

由表 9-4 可知，透過 TOPSIS 的分析，我們可獲得各方案的優劣為 $D > B > C > A$ ，故透過最適化綜合評估的過程，在同時考慮效益與成本之下，方案 D 為最佳的方案。

第十章 新竹港南海岸的整體規劃

新竹港南青年育樂中心，近來已經由原來的海水浴場型態，轉型為濱海公園，區內有觀景區、遊憩區、烤肉區，是擁有多元化的綜合遊樂區，目前是西部濱海公路遊憩系統的重要休息站之一。而此區北有新竹漁港，南接金城湖，現在是北台灣一處重要的野鳥棲息地，擁有廣大的潮間帶，豐富的生態環境可供遊客賞鳥、觀景等。

新竹海岸海灘坡度極為平緩，若在退潮時，站在港南青年育樂中心的舊海堤，會面對一片廣闊的沙灘，遊客可在其上散步、跑跳、或做些沙灘活動等；海堤後為已規劃完整的濱海公園，設有其他的遊憩設施，可提供遊客多樣化的選擇；而在舊海堤入口往北方看去，較為空曠，只有一大片沙灘及拋石區，而往南邊金城湖的方向走去，生態環境豐富，除了拋石區內有一大片的木麻黃外，尚有野鳥、蟹類可供觀賞。

10.1 民眾對於海岸空間利用的要求

在遊客對於海岸地區所偏好的遊憩行為方面：根據曾（1999）針對海岸地區可提供之遊憩行為，所做的遊客偏好的問卷，可得知遊客對於海岸地區遊憩行為的喜好（示如表 10-1）。藉由這項研究，在規劃海岸地區時，可配合遊客對於海岸空間利用的喜好，設計適合的活動設施。

而新竹海岸擁有廣大的前灘，且因為漁港防波堤的興建，以致港南海岸地區夏季的風速大、波浪小，自然條件非常適合玩風帆船，在民國 88 年時，風帆協會與新竹市政府在此區規劃一個斜坡道，以利風帆船的使用，此斜坡道位於舊海堤入口處的右邊，示如照片 10-1 及照片 10-2。

表 10-1 休閒遊憩活動偏好分析表

排序	海岸休閒遊憩活動項目
1	觀景（看海天景色、吹海風、聽濤）
2	散步（漫步沙灘、撿貝殼、堤上散步）
3	戲水（洗海水浴、踏浪、打水仗）
4	曬太陽（做日光浴、躺在堤上睡覺）
5	吃海產、買海鮮
6	海上活動
7	釣魚（磯釣、堤釣、船釣）
8	放風箏
9	其他



照片 10-1 風帆船之斜坡道 1



照片 10-2 風帆船之斜坡道 2

10.2 選擇最佳遊憩行為與堤岸斷面型式

綜合整理第八章所調查的新竹港南育樂中心的自然條件，可以知道此處波浪、潮位小，氣溫、日照適中，降雨率小，海灘為沙岸、且由於海灘坡度緩，具有廣闊的前灘等，參照黃(2000)遊憩行為與自然條件的相關性，可看出此處可以提供遊客散步、觀景、休息、戲水、海灘活動及風帆船等遊憩行為，所以整理歸納後，選擇新竹港南育樂中心最佳之遊憩行為，包括觀景型、健康散步型、堤面活動型、海灘活動型與海面活動型等五種遊憩行為。

綜合黃(2000)堤面遊憩行為與堤岸斷面型式，可找出新竹港南育樂中心適用之堤岸斷面型式如表 10-2 所示。其中各堤岸斷面型式的分類則根據蔡和何(2004)的研究結果。

表 10-2 新竹港南育樂中心最佳遊憩行為與堤岸斷面型式

分類 遊憩行為	活動分類	堤岸斷面型式
觀賞型	特殊觀景	A、B、C、D、E、F、G
散步型	以健康為主	B、D、F、G
動態活動型	堤面活動	B、D、F
	海灘活動	B、C、D、E、F
	海面活動	B、D、F、E

註：A 陡坡斜面式；B 緩傾斜式；C 階梯式；D 階段式；
E 階梯混合式；F 階段混合式；G 直立式

由上表可看出符合新竹港南育樂中心，可設計之堤岸斷面型式有：B 型緩傾斜式、D 型階段式和 F 型階段混合式三種。此三種堤岸的斷面型式皆達到此區欲提供之遊憩行為的要求，而因為新竹港南育樂中心海岸，現今為受侵蝕的海岸，在建造親水性堤岸時，必須特別注意堤岸對於海岸的防護，而根據黃(2000)對於各堤岸斷面型式的比較與堤岸整體配置的考量，於下節將此區對親水性堤岸的斷面型式選擇與堤岸整體的平面設置有更詳細的說明。

10.3 親水性堤岸的平面配置

由 10.2 節可以看出港南育樂中心附近的海岸，適用的堤岸斷面型式包括了緩傾斜式、階段式及階段混合式。而除了上節對於各適用堤岸斷面所簡述的優缺點的考量外，對於親水性堤岸的平面配置，還必須同時考慮此處堤岸的安全性、成本、景觀及遊客的舒適性等其他的因素。

港南育樂中心的堤岸設計範圍長達 1 公里，為增加堤岸在景觀設計上的變化與配合現地的環境現況，本研究將拋石區分為三個部分設

計，第一個部分自拋石區北端至舊海堤入口右側 100 公尺處為 A 區，長約有 400 公尺（照片 10-3 及照片 10-4）；第二個部分 B 區，為舊海堤入口左右共約 200 公尺（照片 10-5 及照片 10-6）；以及舊海堤入口左側 100 公尺至拋石區的最南端，為第三部份 C 區，長約 400 公尺（照片 10-7 及照片 10-8），以下將先個別對此三區與選擇適用之斷面型式，而後在做整體的平面配置。



照片 10-3 拋石區 A 區 1



照片 10-4 拋石區 A 區 2



照片 10-5 拋石區 B 區 1



照片 10-6 拋石區 B 區 2



照片 10-7 拋石區 C 區 1



照片 10-8 拋石區 C 區 2

10.3.1 各段堤岸的斷面設置

港南地區適用的堤岸斷面，包括了緩傾斜式、階段式及階段混合式三種，參照黃(2000)對於堤岸的整體設置需要考慮的條件與親水性堤岸斷面型式的比較表，歸納出此處堤岸在考慮景觀與安全性後，各段地區最適宜之堤岸斷面的選擇。

1.A 區堤岸的斷面設置

(1)景觀考量方面：

就第八章調查此地的環境條件知道，此區拋石區前的沙灘非常大，海灘坡度平緩約為 1:60，在拋石區陸側為一大片的碎石草地，在景觀上較空曠，也沒有特定的景觀主題，所以堤岸若建築緩傾斜式，可以讓遊客自由在堤面活動，且此種堤岸可使水陸域比較有連續性，讓堤岸與環境景觀有一個整體性，使得海岸的空間利用上比較沒有拘束感。

(2)安全性考量方面：

在堤岸的水理條件來看，緩坡堤岸的坡度越緩，其抑制波浪、防止越波及溯上等的效果越好，所以減緩堤岸堤面的坡度即可增加堤岸的防災力。而因此處的海岸本為受侵蝕的區域，除了可配合其他的保護工法外，還可將此處的堤岸坡度建築的緩一點，增加堤岸的消波效果。而若同時考慮成本上，因為階段式與階段混合式的建造成本比緩傾斜式大，所以在此區可考慮選擇緩傾斜式為堤岸的斷面。

此外，此區的陸域環境為一片草地，且景觀上比較單調沒有變化，所以在遊憩行為的利用上就比較少，基於景觀的考量，若在此區建造緩傾斜式斷面，以斜面接續拋石區內外的海岸，在地形上能較有連續性。緩傾斜堤岸的設計坡度若緩於 1：10，可以提高堤岸的防災效果，也讓遊客有更舒適的遊憩環境；若考慮降低堤高，在視覺上能有更好的親水效果，景觀上也可以增加堤岸與環境景觀的配合，同時也可兼顧到堤岸的建造成本。在堤面的景觀設計上，斷面的材料以天然石料及大石塊等的利用較佳，應避免使用混凝土，以增加堤岸整體的自然度以及與環境的協調性，另外材料的選擇上還應注意人在堤面上行走的舒適度，如小型卵石即不利行走。

2.B 區的平面配置

(1)景觀考量方面：

此區位於舊海堤的入口處，為整個堤岸區遊客利用率最高的地方，所以堤岸在遊憩行為的提供上，就必須有更多的選擇。堤岸前廣大的沙灘，可做為遊客散步與堆沙等海灘活動與海水浴場的利用，又因為港南育樂中心的海岸環境風速大、波浪小，適合玩風帆船，因此此區的堤岸應要可以提供風帆船的進出以及遊客散

步、堆沙等海灘活動與海水浴場這些遊憩行為的要求，所以建築此區堤岸型式為階段混合式。

(2)安全性考量方面：

在同坡度下，階段式的消波效果優於階段混合式，兩者都比斜面式佳，但在建築階段式與階段混合式時，堤岸坡度即不需要太緩。若要在此建築階段混合式，基於此地海岸侵蝕的原因，所以此區堤岸斷面的工程規劃上需特別注意堤趾的沖刷與兩種斷面在接合處的連續性，因此建築的成本也較高。

因為此處是遊客進出的地區，在景觀的變化與堤岸遊憩行為的利用上，要增加堤岸的多樣化，且基於遊憩行為的需求，親水性堤岸必須可以提供包括散步、戲水、海水浴場與風帆船等活動。在舊堤岸的入口處 B 區興建的堤岸斷面，必須要有可以提供風帆船進出的斜坡道，所以將堤岸的斷面設計為階段混合式，此斷面型式雖然成本較高，但是可以兼顧到遊客的各種要求。堤面的景觀設計方面，在階段斷面的材料選擇可以用混凝土塊堆砌而成，在緩傾斜面可以用人工合成的石料、混凝土搭配使用，但要避免整片堤面用混凝土，整體上要注意搭配的協調性。

3.C 區的平面設置

(1)景觀考量方面：

C 區拋石區內有一大片的木麻黃，且越往南走，生態系越豐富，有野鳥與蟹類可供觀賞及遊玩，所以此區堤岸斷面設計成階段式，可讓遊客在堤面觀景、賞鳥及散步，亦可任意坐臥其上，在遊憩行為的應用上有較多的變化，讓堤岸與現地環境的配合，在景觀上感覺較為活潑、多變化。

(2)安全性考量方面：

相同的坡度下，階段式斷面及階段混合式斷面比緩傾斜式斷面的消波效果好，在防止溯上、越波率及反射率上均有極佳的效果。若同時考量成本與堤岸的安全性來看，在此處的堤岸建築階段式或階段混合式，堤岸堤面坡度在 1：6 即可達到最佳的效果。而如果在工程上來說，因階段混合式需要注意兩個斷面型式在接合處的工程施工設計，考慮合併的協調性，在堤體的安全性來說沒有階段式來的好，且成本也比階段式還貴。所以在堤岸的防災力、堤體的穩定性與成本來看，可選擇建築階段式的堤岸斷面。

由以上所述，因為 C 區景觀上比較豐富，堤岸內有樹林可供散步及遮陽，堤岸外可賞鳥及抓螃蟹等，所以建築階段式的堤岸斷面可以提供多樣化的親水效果，可以達到景觀與遊憩利用上的連續性；而在堤岸的安全性來看，在同坡度下，階段式的消波能力比緩傾斜式的效果好，在堤體穩定性上也比階段混合式好，所以在同時考慮景觀、安全性與成本時，建議此區可建築堤岸坡度 1：6 的階梯式斷面。在堤面的景觀設計上，階段式的斷面材料可用石塊或混凝土塊，堆砌排列成幾何圖形或其他圖案，以增加造型的變化，在顏色的選擇上，可配合背景做搭配，或在斷面上做彩繪，增加視覺效果。

10.3.2 整體的平面配置

根據上節對於在各段堤岸的斷面型式選擇後，整理出設計新竹港南育樂中心，親水性堤岸整體的平面設置--以拋石區北端為起點，建築長約 400 公尺，建議堤岸坡度 1：10 的緩傾斜式斷面堤岸（A 區）；後接 200 公尺的階段混合式堤岸（B 區）；之後再設置長約 400 公尺，建議坡度為 1：6 的階梯式的斷面堤岸（C 區）。

在細部工程設計方面：親水性堤岸的工程設計（堤高、堤寬等）與傳統堤岸的設計原則大致相同，可參照一般的海岸結構物基準。對於堤岸的堤面坡度與其他注意事項，可參考黃(2000)堤岸的工程設計，

並配合現地原有的堤岸與海岸地形等做設計。

而在堤岸整體的景觀設計方面：將此區堤岸的斷面型式、與堤岸整體的配置做基本的設計後，在整體堤岸堤面的景觀規劃，可參照黃(2000)堤面設計需注意之基本原則外，還需要配合港南育樂中心原本的景觀設施（濱海公園），做整體性的景觀規劃，方能達到最佳結果。

另外，港南育樂中心的海岸現今因漁港防波堤的興建及河川漂沙量減少等原因，導致海岸受到侵蝕。因此在此處設計親水性堤岸時，除了上述對於堤岸的親水性、景觀美化及安全性等考量外，在工程上必須特別注意海岸的侵蝕防護，除了堤岸本身基礎工的設置外，建議另外還能配合其他的保護工法（例如離岸潛堤、人工養灘等），讓對於海岸的防護，從“線”的保護擴大為“面”的保護，能同時考慮到堤岸的親水性，及海岸的安全保護，讓海岸的空間利用達到最好的效果。

第十一章 結論

1. 以考慮透水介質的 EEMSE 波浪模式，計算波浪入射不同的透水斜坡底床佈置及波浪條件的波場分佈，本研究迴歸出經驗公式以作為設計之參考。
2. 以考慮透水介質的 EEMSE 波浪模式，計算波浪通過透水系列潛堤波場分佈，當堤體孔隙率為 $n_0 = 0.4$ 時可得到較佳的布拉格反射效果，堤數愈多，布拉格反射愈明顯但頻寬較窄；堤高愈大，布拉格反射愈大且頻寬愈大， $D/h \geq 0.5$ 條件時布拉格反射率達 $R > 0.5$ ；堤距 $S/B = 3$ 條件，可得到較佳的布拉格反射效果。
3. 以 RANS 模式模擬堤體附近之波流場與渦流強度，發現最大渦流強度集中於溯升和溯降區。堤面下刷水流作用於堤趾時，造成水流作用力，為導致堤趾沖刷的因素。
4. 單層潛堤之透波係數隨孔隙率之增加而減少，因此波能損失百分率隨孔隙率之增加而增加。雙層潛堤之透波係數低於單層者，參層潛堤之透波係數又低於雙層者。波能損失百分率則單層潛堤低於雙層潛堤，雙層潛堤又低於參層潛堤，故層數較多之透水潛堤具較佳之消波效率。
5. 人工沙丘的堤寬愈小，堤高愈大，則輸沙率愈大。人工沙丘之斷面以高短型較為合宜。堤高以超過半佈置水深 ($h_b/h > 0.55$)，而堤寬則以約 3 倍放置水深之佈置可獲致較佳之波浪反射效果。
6. 花蓮南濱附近海岸景觀問卷結果顯示，大眾對於消波塊拋放在海岸上的景觀，明顯有討厭的感覺。對於人工規劃的海岸，喜好程度略高於消波塊拋放的海岸，顯示大眾並非排斥人工海岸，但只要能作良好規劃，亦能令人接受。
7. 依據漁顧社所提出的四個新竹港南海岸規劃方案，在考慮防災、景觀、親水、生態及工程費五個因素之下進行專家問卷，並透過多評

準決策的方法，利用 AHP 法求出各因素的權重，再將權重加入 TOPSIS 法，對各方案進行排序，由最適化的過程可知，在同時考慮經濟效益與工程成本之下，方案 D 為最佳方案。

8. 本研究對新竹港南海岸作整體規劃，由拋石區北端開始至舊海堤入口右端，建築長約 400 公尺，堤面坡度為 1：10 的緩傾斜式斷面堤岸，以增加海岸地形的連續性；舊海堤入口左右側共 200 公尺堤岸，建築堤面坡度 1：6 的階段混合式斷面堤岸，提供遊客玩風帆船及其他的多樣化的利用；舊海堤入口左側至拋石區最南端約 400 公尺，建築階段式斷面堤岸，提供景觀與遊憩利用的連續性。
9. 本研究在高雄彌陀海域規劃設計系列潛堤佈置，作為防禦颱風波浪的海岸保護工，證實系列潛堤能利用其布拉格反射特性，應用於現場的波浪防禦。本研究並提出系列潛堤設計的準則，提供相關單位應用系列潛堤設計之參酌。

參考文獻

1. Chang, K. A. and Liu, P. L-F., "Measurement of breaking waves using particle image velocimetry," *Proceedings of the 25th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp.527-536 (1996).
2. Evans, G. W. and Wood, K. W., "Assessment of environmental aesthetics in scenic highway corridors," *Environment and Behavior*, Vol. 12(2), pp. 255-273 (1980).
3. Goda, Y. and Suzuki, Y., "Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments," *Proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Hawaii, pp. 628-650 (1976).
4. Gunyakti, A., "Beach preservation by means of offshore submerged mound of dredged materials," *Proceedings of Coastal Zone '87*, ASCE, NY, pp. 2461-2471 (1987).
5. Hallermeier, R. J., "A profile zonation for season sand beaches from wave climate," *Coastal Engineering*, Vol. 4, pp. 253-277 (1981).
6. Harlow, F. H. and Welch, J. E., "Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with free surface," *Physical Fluids*, Vol. 8, pp. 2182-2189 (1965).
7. Hsu, T. W., Hsieh, C. M. and Hwung, R., "Using RANS to simulate vortex generation and dissipation around submerged breakwaters," *Coastal Engineering*, Vol. 51, pp. 557-579 (2004).

8. Hsu, T. W. and Wen, C. C., "A study of using parabolic model to describe wave breaking and wide-angle wave incidence," *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 23(4), pp. 515-527 (2000).
9. Isobe, M., "A parabolic equation model for transformation of irregular waves due to refraction, diffraction and breaking," *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 30, pp. 33-47 (1987).
10. Jamieson, W. W. and Mansard, E. P. D., "An efficient upright wave absorber," *Proceedings of the Conference on Coastal Hydrodynamics*, Newark, pp. 124-139 (1987).
11. Jonsson, I. G., "Wave boundary layers and friction factors," *Proceedings of the 10th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, NY, pp. 127-148 (1966).
12. Larsen, M. and Kraus N.C., "Analysis of cross-shore movement of natural longshore bars and material placed to create longshore bars," Technical Report DRP-92-5, US Army Engineering Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS (1992).
13. Losada, I. J., Losada, M. A. and Baquerizo, A., "An analytic method to evaluate the efficiency of porous screens as wave dampers," *Applied Ocean Research*, Vol. 15, pp. 207-215 (1993).
14. Mansard, E. P. D. and Funke, E.R., "The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method," *Proceedings of the 17th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 154-172 (1980).
15. Mei, C. C., "The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves,"

Wiley-interscience, New York (1983).

16. Nielsen, P., "Coastal bottom boundary layers and sediment transport," *Advanced Series on Ocean Engineering*. Vol. 4 (1992).
17. Orlanski, I., "A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows," *Journal of Computational Physics*, Vol. 21 (1976).
18. Otay "Long-term evolution of nearshore disposal berms," Doctoral dissertation, University of Florida (1994).
19. Ou, S. H., Tzang, S. Y. and Hsu, T. W., "Wave field behind the permeable detached breakwater," *Proceeding of 21st Conference on Coastal Engineering*, Malaga, ASCE, pp. 659-714 (1988).
20. Panchang, V., Chen, W., Xu, B., Schlenker, K., Demirbilek, Z. and Okihiro, M., "Exterior Bathymetric Effects in Elliptic Harbor Wave Models," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 126, pp. 71-78 (2000).
21. Patankar, S. V. and Splading, D. B., *Heat and Mass Transfer in Boundary Layers*, 2nd ed., Intertext, London (1970).
22. Patankar, S. V., "A calculation procedure for two-dimensional elliptic situations," *Numerical Heat Transfer*, Vol. 2, pp. 231-251 (1979).
23. Patankar, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Washington, D.C. (1980).
24. Radder, A. C., "On the parabolic equation method for water wave propagation," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 95(1), pp. 159-176 (1979).

25. Rojanakamthorn, S., Isobe, M. and Watanabe, A., "A mathematical model of wave transformation over a submerged breakwater," *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 32(2), pp. 209-234 (1989).
26. Sleath, J. F. A., "Measurements of bed-load in oscillatory flow," *Proceedings, ASCE*, Vol. 104, No. WW4, pp. 291-307 (1970).
27. Sollitt, C. K. and Cross, R. H., "Wave transmission through permeable breakwaters," *Proceeding of 13st Conference on Coastal Engineering*, Vancouver, pp. 1827-1846 (1972).
28. Stuart, R.S. and Kevin, R.H., "Wave transmission at submerged rubble-mound breakwater," *Proceeding of 26st Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 2000-2013 (1998).
29. Suh, K. D., Lee, C. and Part, W. S., "Time-dependent equations for wave propagation on rapidly varying topography," *Coastal Engineering*, Vol. 32, pp. 91-117 (1997).
30. Ting, F. C. K. and Kim, Y. K., "Vortex Generation in water waves propagation over a submerged obstacle," *Coastal Engineering*, Vol. 24, pp. 23-49 (1994).
31. Twu, S. W., Liu, C. C. and Hsu, W. H., "Wave damping characteristics of deeply submerged breakwaters," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 127(2), pp. 97-105 (2001).
32. Twu, S. W. and Chieu, C. C., "A highly wave dissipation offshore breakwater," *Ocean Engineering*, Vol. 27, pp. 315-330 (2000).
33. Twu, S. W. and Lin, D. T., "On highly effective wave absorber,"

Coastal Engineering, Vol. 15, pp. 389-405 (1990).

34. Twu, S. W. and Wang, Y. T., "A computational model of the wave absorption by the multi-layer porous media," *Coastal Engineering*, Vol. 24, pp. 97-109 (1994).
35. Vera-Cruz, D., "Artificial nourishment of Copacabana Beach," *Proceeding of 13st Conference on Coastal Engineering*, ASCE, NY, pp. 1451-1463 (1972).
36. Yoon, K. and Hwang, C. L., *Multiple attribute decision making: methods and applications*, Springer-Verlag, Berlin (1981).
37. 台灣水文年報，經濟部水利署 (1992~2000)。
38. 李兆芳、劉正琪，波浪通過透水潛堤之新理論解析，第十七屆海洋工程研討會論文集，593 頁~606 頁 (1995)。
39. 謝祥生，離岸堤背後灘線變化與堆沙效果之研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文 (1998)。
40. 涂盛文、許文鴻、劉正琪，多目標離岸潛堤之研究，第廿一屆海洋工程研討會論文集，183 頁~190 頁 (1999)。
41. 曾子祥，親水性緩坡海堤最佳面坡及休憩功能之研究，國立交通大學土木工程學系碩士論文 (1999)。
42. 盧建林，以 FLDV 量測波浪作用下潛堤附近之渦流特性，國立成功大學水利暨海洋工程研究所碩士論文 (1999)。
43. 黃美琪，親水性堤岸設計原則之建立，國立交通大學土木工程學系碩士論文 (2000)。

44. 新竹港南海岸侵蝕調查與防制研究計畫，台灣漁業及海洋技術顧問社 (2002)。
45. 海岸生態復育之結構物的研發及應用研究—以新竹港南海岸為例，經濟部水利署 (2002)。
46. 歐善惠、謝志敏、陳義芳，波浪通過斜坡底床上潛堤之流場研究，第二十五屆海洋工程研討會論文集，171 頁～178 頁 (2003)。
47. 許泰文等，建立波潮流與海岸線變遷模式，經濟部水利署水利規劃試驗所 (2003)。
48. 涂盛文、藍聰義，海堤覆面結構物之物理特性對波浪溯升之影響，第廿六屆海洋工程研討會論文集 (2004)。
49. 蔡立宏、何良勝，海岸保護及親水性結構物最適化配置研究(3/4)，交通部運輸研究所 (2004)。
50. 「彌陀鄰近海岸環境及景觀整體改善研究規劃」，經濟部水利署 (2004)。

交通部運輸研究所 九十三年度自辦計畫審查意見表

計畫名稱：海岸保護及親水性結構物最適化配置研究 (4/4)		
審查委員	審查意見	辦理情形
國立台灣大學海洋研究所 梁乃匡教授	研究內容紮實，頗具參考價值。	謝謝。
國立台灣大學工程科學及海洋工程學系 林銘崇教授	1. 數值模式分析方法合理且分析方法詳盡，研究內容甚為豐富。 2. 海洋結構物最適化如何確定。 3. P2-23 之圖 2-15 中，方程式 (2-48) 及 (2-49) 應為式 (2-49) 及 (2-50) 之誤。	1. 謝謝。 2. 海洋結構物最適化可分為最適工法的選定(第六、八及九章)以及特定工法最適化佈置之選定(第七章)。 3. 遵照修正。
建國科技大學土木工程系 莊甲子教授	1. 表 2-1 特性係數 C_f 及 K_p 之定義及給定值之依據出處宜加說明。 2. 波浪通過透水斜坡底床之反射率計算所採用 Goda 漢 Suzuki(1976)之二點法，建議日後研究可採用較新 Isacson(1992)的三點法做比較。 3. 對視覺景觀評估分析結果的四個主因子，日後在海岸工程的景觀評估權重建議加以補充以利應用。	1. P2-6 中已說明特性係數 C_f 及 K_p 之定義，另外於 P2-11 中已說明其值為應用 Rojanamthorn 等人 (1989) 之試驗資料。 2. 遵照辦理。 3. 遵照辦理。
港灣研究中心 張金機研究員	1. P2-15 計算結果與謝 (1998) 呈現良好一致性，從圖 2-13 差異極大，尤其圖 2-13(f)。 2. 孔隙率愈大，透射係數降低，應有某些限制條件。 3. 波長變化範圍甚大，如何調整堤距，以產生布拉格效應。	1. P2-11 中已有說明。 2. P2-14 中已提及在系列潛堤研究，孔隙率在 $n_0 = 0.4$ 會有最佳反射效果。 3. 針對會發生海岸災害之波浪條件設計的堤距佈置，所發生的布拉格反射高反射率適用週期具有範圍，並不是固定週期，且可藉由佈置條件搭配使適用週期範圍更廣。

港灣研究中心三科 簡仲璟科長	1. 系列潛堤與多層潛堤可否合併使用,以提昇消波效果。此外對於亞重力波之長週期奇波之效果如何,建議於後續研究中考慮辦理。 2. 彌陀海岸系列潛堤保護工是否已於現場施工?未來若完工後建議進行現場調查,以便和本研究成果做一對照驗證。 3. 生態方面的探討較少,建議未來可再加強。 4. 報告內容豐富,極具參考價值。	1.謝謝建議。 2.系列潛堤保護工目前並未於現場彌陀海岸施工,本研究針對系列潛堤應用的可行性進行探討。 3.生態方面將於 94 年進行研究。 4.謝謝。
---------------------------	--	---

海岸保護及親水性結構物 最適化配置研究 (4/4)

著者：蔡立宏、何良勝、陳明宗

交通部運輸研究所

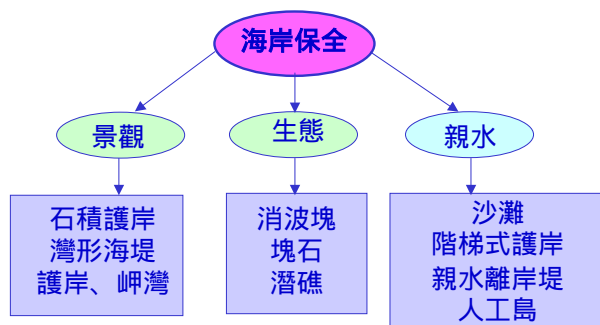
中華民國九十四年元月三十一日

研究成果

年度	主要成果	論文發表
90 92	1. 理論及數值模式推導與發展 2. 水工模型試驗及模式驗證 3. 各式親水性結構物水理特性分析	期刊：4 研討會：5
93	1. 最適化配置評估 2. 最適化配置設計 3. 各式工法可行性探討	期刊：(1~2) 研討會：(2)

研究動機

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



研究目的

- 在保護海岸安全及親水遊憩的基礎下，分別利用理論解析、數值計算、水工試驗以及問卷分析，針對親水性結構物的水理特性、保護效果及親水性作一綜合性有系統分析研究。
- 利用分析結果，實際應用至台灣海岸地區，設計最適化的親水性海岸保護結構物，探討其海岸保護及親水性效果。

研究內容

1. 親水性堤岸與柔性工法系列潛堤的水理特性分析
2. 潛堤消波效率提升研究
3. 潛沒沙丘波浪防禦效果
4. 親水性堤岸附近之流場及渦流分析
5. 親水性堤岸視覺景觀評估
6. 高雄彌陀海岸系列潛堤保護工規劃
7. 新竹港南海岸親水性結構物規劃
8. 新竹港南海岸保護最適方案綜合評估
9. 新竹港南海岸堤岸規劃

1.親水性堤岸與系列潛堤的水理特性分析

以能適當描述波浪折射、淺化、繞射及反射共同效應之緩坡方程式(EEMSE)為基礎，並增加考量碎波及透水效應，透過數值模式的計算，分析波浪入射親水性堤岸以及系列潛堤的波場特性。

分析項目包括：波高分佈、堤前反射率以及布拉格反射特性，並探討入射波浪條件與結構物佈置參數間之關係。

□ 數值模式 - 緩坡方程式

□ 控制方程式

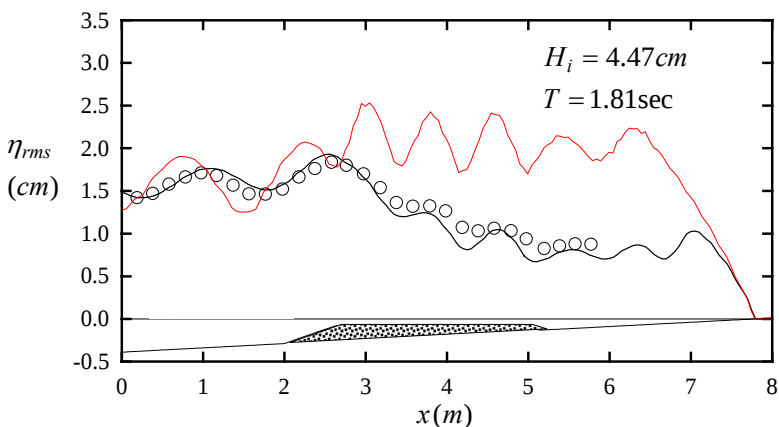
時變性拋物線型緩坡方程式
(time-dependent parabolic mild-slope equation)

$$-\frac{2\omega i}{\alpha_p} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi$$

ω, α_p, k_c 參見式(2-17)~(2-26)

- 含有底床非線性項 (Suh 等人, 1997)
- 包含波浪能量消散項 (Isobe 等人, 1987)
- 考慮透水介質效應 (Rojanakamthorn 等人, 1989)

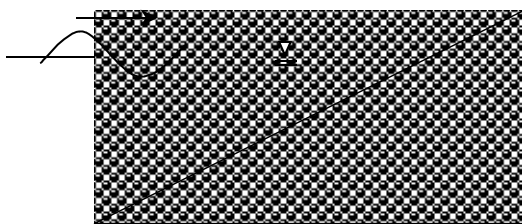
□ 模式驗證 - 波浪通過透水潛堤(1/3)



- 試驗值 (Rojanakamthorn 等人, 1989)
- 模式計算結果 (包含透水層效應)
- 模式計算結果 (不包含透水層效應)

□ 波浪通過透水斜坡底床之堤前反射率 (1/2)

模擬計算不同波浪條件作用於各種不同坡度之透水斜坡底床的波高分佈，再計算其堤前反射率。最後再由分析結果，以最小二乘法回歸適當的反射率經驗公式，以利於工程之應用。



計算條件：

底床坡度 1/2 ~ 1/10 (9組)

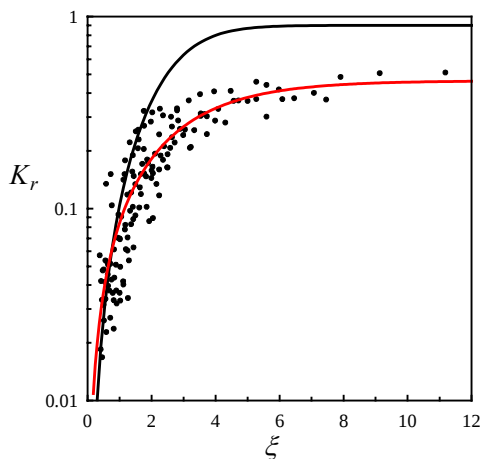
週期 3.5, 5, 6.5, 8 sec (4組)

深海波浪尖銳度

0.002 ~ 0.07 間 (4組)

總共計算例為 144 組

□ 波浪通過透水斜坡底床之堤前反射率 (2/2)



• 數值計算結果

— 回歸公式

$$K_r = 0.463 \tanh^{1.2}(\xi / 4) \\ (r^2 = 0.833)$$

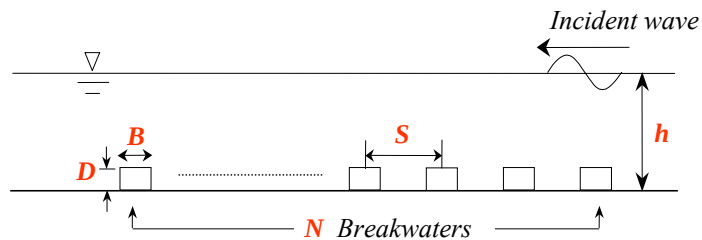
— 回歸公式 - 不透水底床
(上年度結果)

$$K_r = 0.9 \tanh^{1.3}[(\xi / 3)^{1.5}]$$

K_r : 反射率 ; $\xi = \tan \beta / \sqrt{H_0 / L_0}$: 碎波相似參數

H_0 / L_0 : 深海波浪尖銳度 ; $\tan \beta$: 底床坡度

□波浪通過透水系列潛堤特性分析

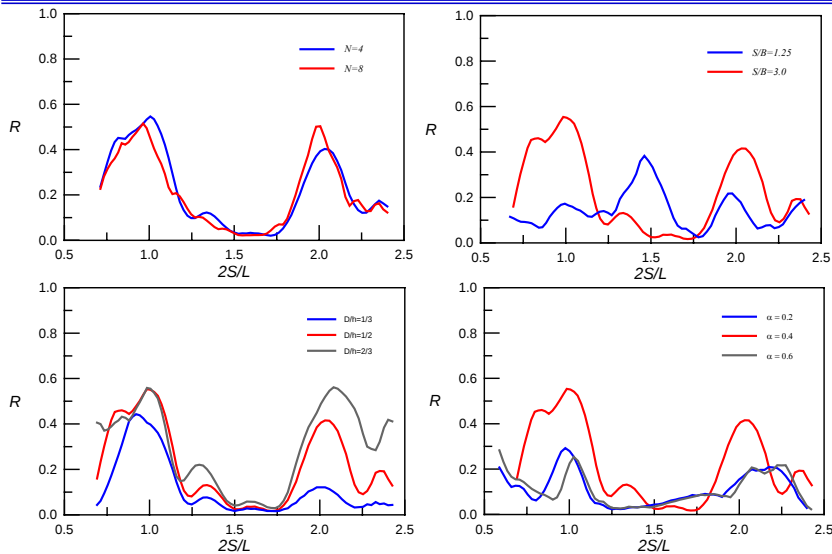


□系列潛堤佈置條件及入射波浪條件

潛堤型式	堤數 (N)	堤距 (S)	堤高 (D)	孔隙率 n_0	波浪條件	
					週期	波高
矩型	4	25	10	0.2	0.4 ~ 4.0	1.0
	8	60	15	0.4		
			20	0.6		

共進行3600種條件計算

□ 透水系列潛堤特性分析



2. 潛堤消波效率提升之研究

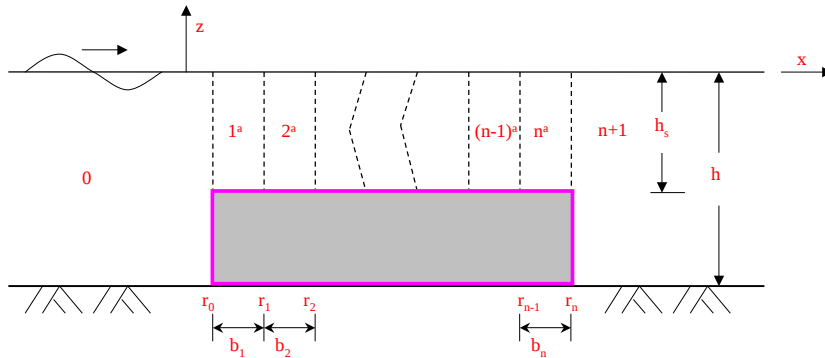
以往研究潛堤之消波特性的者，絕大部分局限於潛堤幾何特性對消波特性之影響，潛堤幾何特性包括潛堤之潛沒深度、潛堤堤頂寬度、幾何形狀等。

本研究將探討潛堤之物理特性對潛堤消波效率之影響，考慮之物理特性包括孔隙率及摩擦係數。

實際上透水係數與孔隙率及波浪條件有一定之關係，本研究即建立並依循其間之關係，探討多層透水潛堤的消波效率。

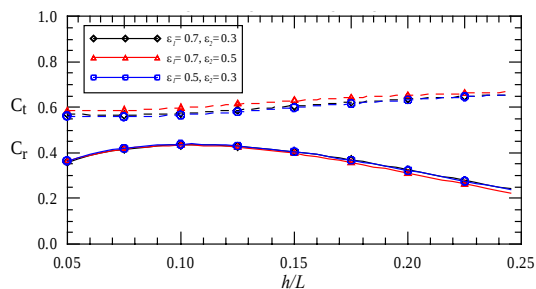
□ 多層潛堤示意圖

利用Twu等人(2001)之理論解析，進一步推導求得**多層透水潛堤**之反射係數、透水係數及波能損失。

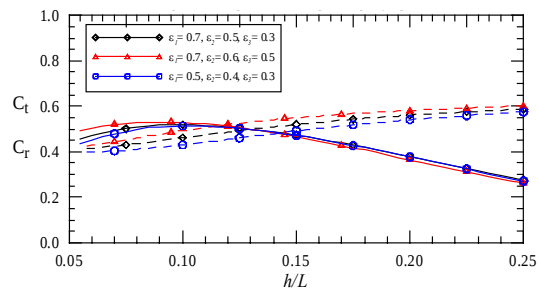


□ 多層透水潛堤反射、透波係數與水深波長比之關係

雙層



三層



3.潛沒沙丘波浪防禦效果

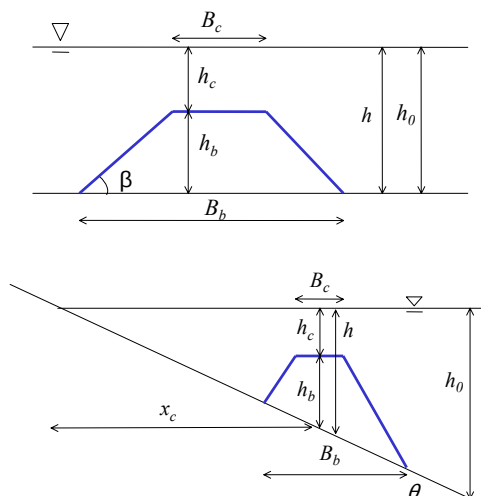
潛沒沙丘可提前消滅波能，具有類似潛堤之功效，可使後方之海域靜穩，提供較佳親水環境，另可藉由自然營力作用將沙源運行至海灘，達到間接養灘的效果。潛沒式沙丘結合潛堤和人工養灘二者之功效。

本研究進行水工模型試驗探討歷經時間、沙丘消失比例、波浪特性和沙丘佈置之關係。

□研究項目

1. 沙丘演變過程
2. 最大高程與輸沙率之關係
3. 沙丘幾何形狀(堤高、堤寬)對消失率之影響
4. 消失率與史爾茲參數之關係
5. 平均輸沙率與史爾茲參數之關係
6. 沙丘幾何形狀對波浪反射率及透過率之影響
7. 不同坡度底床之比較

□試驗佈置

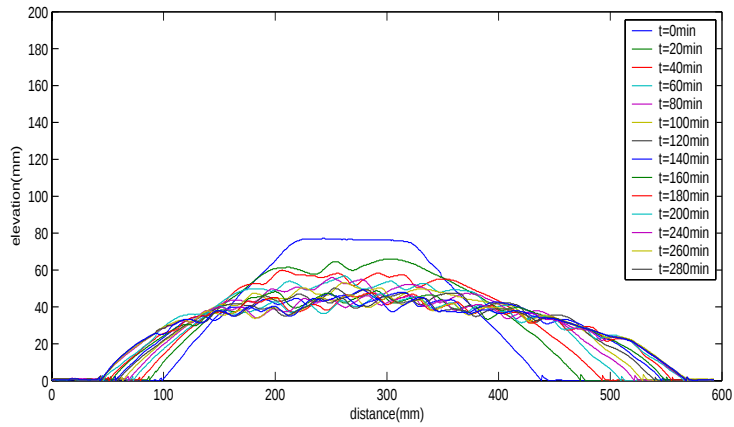


□試驗條件

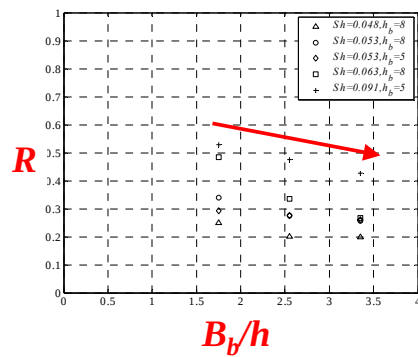
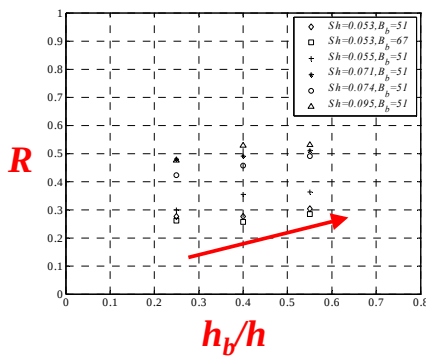
$H(\text{cm})$	$T(\text{sec})$	$h_b(\text{cm})$	$B_b(\text{cm})$	$Sh \text{ no.}$
3.5、 4、	0.85	5、 8、 11	35	0.031 0.095
4.5、 5、	0.95		51	
5.5、 6、	1.15		67	
6.5、 7	1.30			

- 共進行40個佈置及波浪條件之試驗次
- 每20分鐘量測一次
- 量測時間210~280分鐘

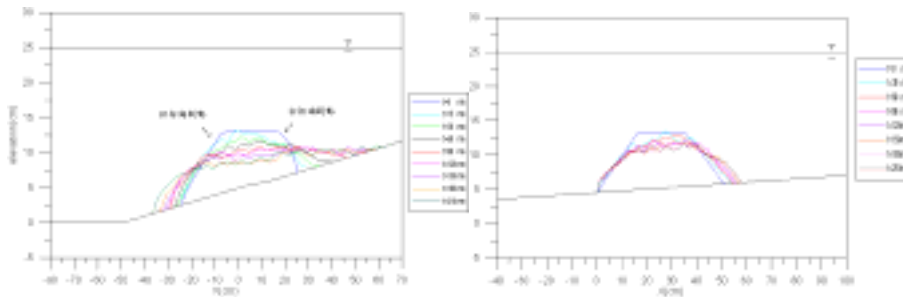
沙丘之演化過程



消失率 R 與 堤高 h_b/h 及 堤寬 B_b/h 之關係



□不同斜坡底床(1/10及1/40)沙丘演變過程



4.堤體附近流場與渦流強度研究

□ Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations, **RANS**

連續方程式：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0$$

動量方程式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + W \frac{\partial U}{\partial z} &= -\frac{\partial P}{\partial x} + (v_t + \nu) \nabla^2 U + \frac{\partial}{\partial x} (v_t \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_t \frac{\partial W}{\partial x}) - \frac{2}{3} \frac{\partial K}{\partial x} \\ \frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + W \frac{\partial W}{\partial z} &= -\frac{\partial P}{\partial z} + (v_t + \nu) \nabla^2 W + \frac{\partial}{\partial x} (v_t \frac{\partial U}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_t \frac{\partial W}{\partial z}) - \frac{2}{3} \frac{\partial K}{\partial z} - g \end{aligned}$$

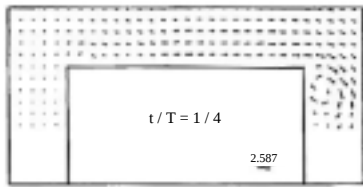
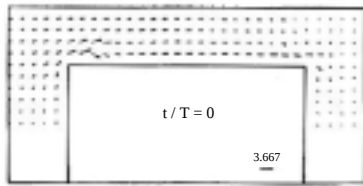
紊流模式 - k-ε model: $v_t = C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon}$

$$\frac{\partial K}{\partial t} + U \frac{\partial K}{\partial x} + W \frac{\partial K}{\partial z} = \nabla \cdot \left[\left(\nu + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \nabla K \right] + \text{Prod} - \varepsilon$$

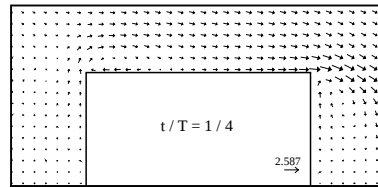
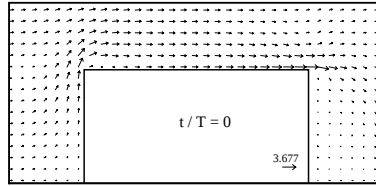
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + W \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \nabla \cdot \left[\left(\nu + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_1 v_t \frac{\varepsilon}{K} \text{Prod} - C_2 \frac{\varepsilon^2}{K}$$

□ RAN 模式驗證 (1/3)

波浪通過單列潛堤之流場驗證 (Ting 和 Kim, 1994)



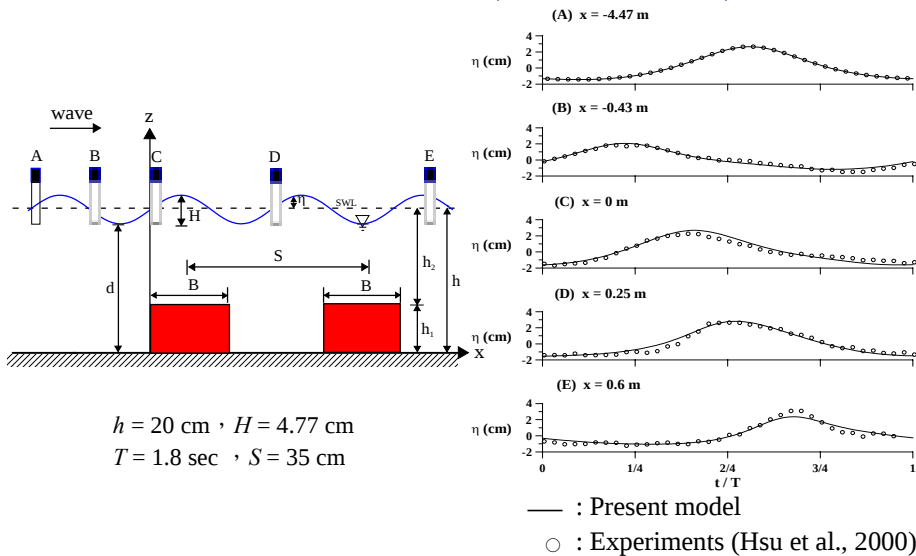
實驗結果 (Ting 和 Kim, 1994)



本研究模式計算結果

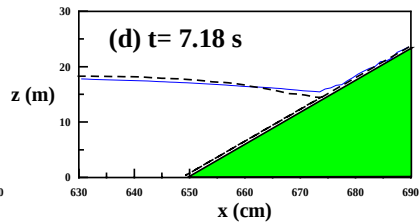
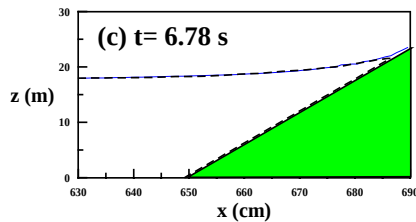
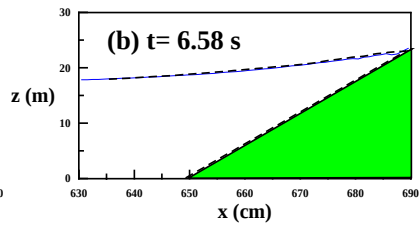
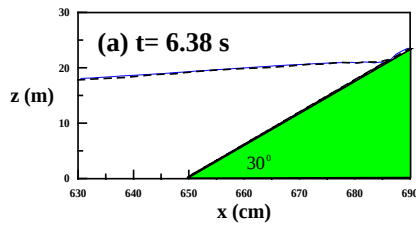
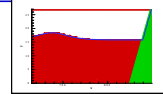
□ RAN 模式驗證 (2/3)

波浪通過系列潛堤之波形驗證 (Hsu et al., 2000)



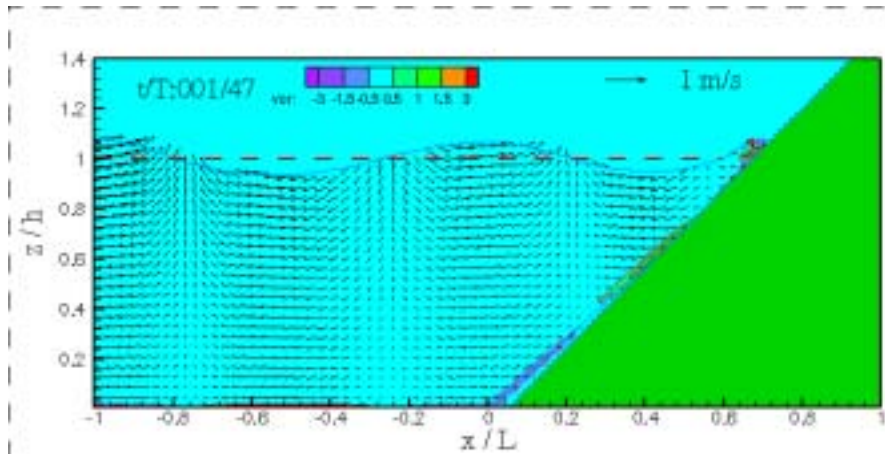
☐ RAN 模式驗證 (3/3)

Solitary wave runoff



$H = 2.7$ cm , $h = 16$ cm , 坡度 30°

☐ 堤體附近之流場分佈與渦流強度分析



$T = 4.59$ sec , $H = 0.67$ m , $h = 5.0$ m

5. 護岸消波塊之視覺景觀評估

以SDM(意味差分法)來調查大眾對於這些照片之喜好程度，再比較各照片間評估值的差異性，藉此可了解變因的改變對於海岸景觀的影響。

受測者背景	份數
有海洋背景的學生	52
有景觀背景的學生	30
花蓮海濱之遊客	44

□ 討論課題

- 大眾對船隻在海景中的喜好度
- 大眾對南濱公園現況的喜好度
- 大眾對岸邊消波塊的喜好度
- 大眾對離岸堤呈現方式的喜好度
- 大眾對防波堤及海上構造物的喜好度

評估分段：

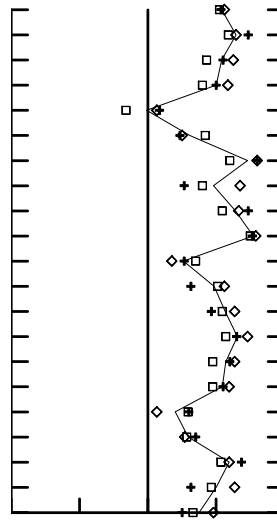
非常喜歡—稍微喜歡—普通—稍微討厭—非常討厭

□ 剖析法(1/4)



- : 所有資料平均
 ◇ : 海洋背景學生
 + : 景觀背景學生
 □ : 遊客

喜歡
舒適
美麗
調和
鄉村
樸素
自然
動感
親水
柔和
簡單
豐富
順暢
廣闊
開放
高級
安全
整齊
細緻
趣味
風格



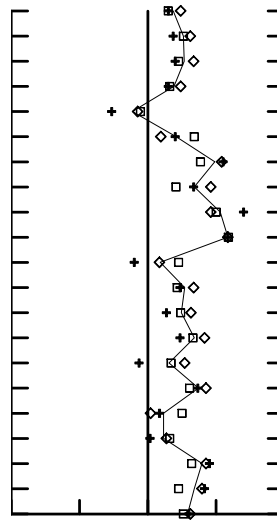
討厭
壓迫
醜惡
互斥
都會
鮮艷
人工
呆板
離水
剛硬
複雜
單調
阻礙
狹窄
封閉
粗俗
危險
雜亂
粗糙
無趣
普通

□ 剖析法(2/4)



- : 所有資料平均
 ◇ : 海洋背景學生
 + : 景觀背景學生
 □ : 遊客

喜歡
舒適
美麗
調和
鄉村
樸素
自然
動感
親水
柔和
簡單
豐富
順暢
廣闊
開放
高級
安全
整齊
細緻
趣味
風格



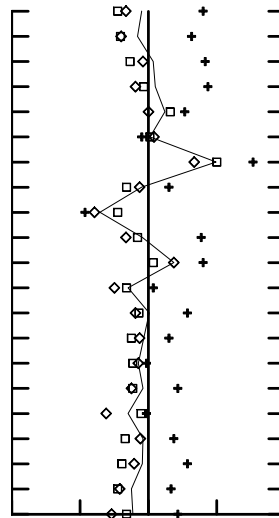
討厭
壓迫
醜惡
互斥
都會
鮮艷
人工
呆板
離水
剛硬
複雜
單調
阻礙
狹窄
封閉
粗俗
危險
雜亂
粗糙
無趣
普通

□ 剖析法(3/4)



- : 所有資料平均
 ◇ : 海洋背景學生
 + : 景觀背景學生
 □ : 遊客

喜歡
 舒適
 美麗
 調和
 鄉村
 樸素
 自然
 動感
 親水
 柔和
 簡單
 豐富
 順暢
 廣闊
 開放
 高級
 安全
 整齊
 細緻
 趣味
 風格



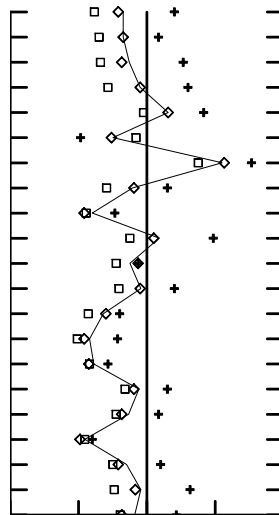
討厭
 壓迫
 醜惡
 互斥
 都會
 鮮艷
 人工
 呆板
 離水
 剛硬
 複雜
 單調
 阻礙
 狹窄
 封閉
 粗俗
 危險
 雜亂
 粗糙
 無趣
 普通

□ 剖析法(4/4)



- : 所有資料平均
 ◇ : 海洋背景學生
 + : 景觀背景學生
 □ : 遊客

喜歡
 舒適
 美麗
 調和
 鄉村
 樸素
 自然
 動感
 親水
 柔和
 簡單
 豐富
 順暢
 廣闊
 開放
 高級
 安全
 整齊
 細緻
 趣味
 風格



討厭
 壓迫
 醜惡
 互斥
 都會
 鮮艷
 人工
 呆板
 離水
 剛硬
 複雜
 單調
 阻礙
 狹窄
 封閉
 粗俗
 危險
 雜亂
 粗糙
 無趣
 普通

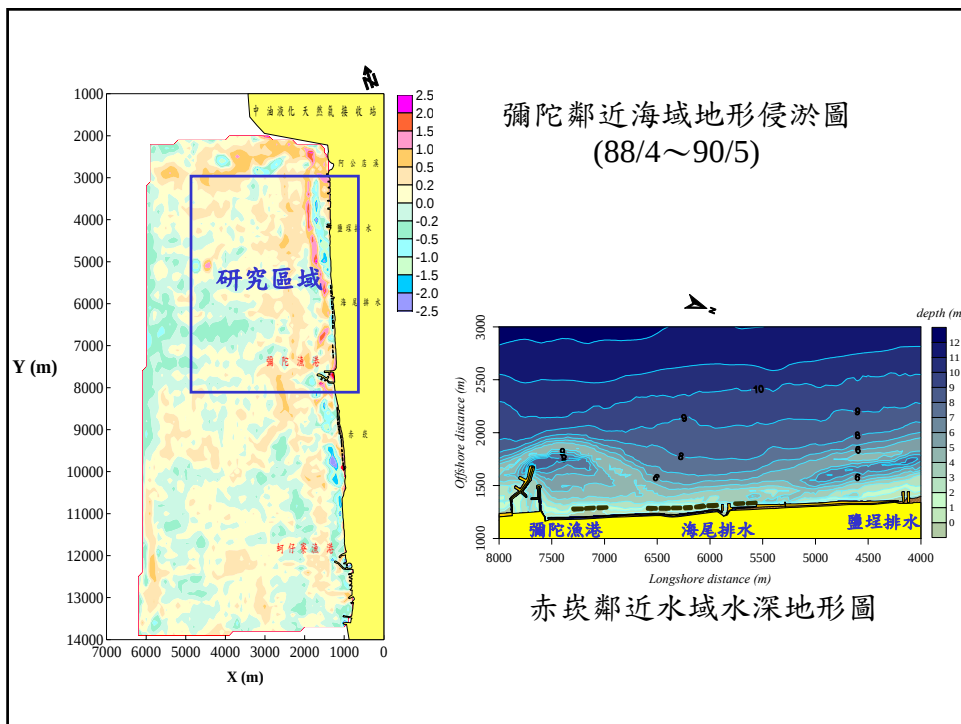
□ 景觀評估結果

- 景觀系學生受過美學訓練，對自然性及調和性佳的景色較為喜好。
- 大眾對岸邊消波塊的喜好度—受測者接受度都不高。
- 大眾對離岸堤呈現方式的喜好度—離岸堤沒入水中較為大眾所喜好。
- 大眾對防波堤及海上構造物的喜好度—以經過設計的緩坡海堤為最佳，其次為人工岬灣及人工島的照片，再其次為原來的緩坡階梯式海堤。

7. 彌陀海岸系列潛堤保護工之規劃

目的：利用第二章對系列潛堤反射特性的研究成果，實際應用於台灣海岸，探討其可行性。

地點：高雄彌陀海岸(改善波浪侵襲)。



□設計步驟

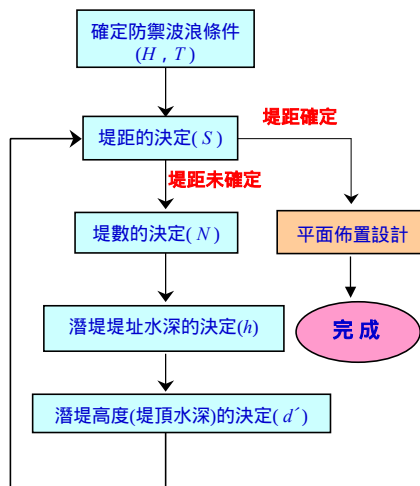
● 斷面設計($x=5000m$)

1. 潛堤間距選定
2. 潛堤堤址水深的選定
3. 潛堤個數的選定
4. 潛堤高度的選定

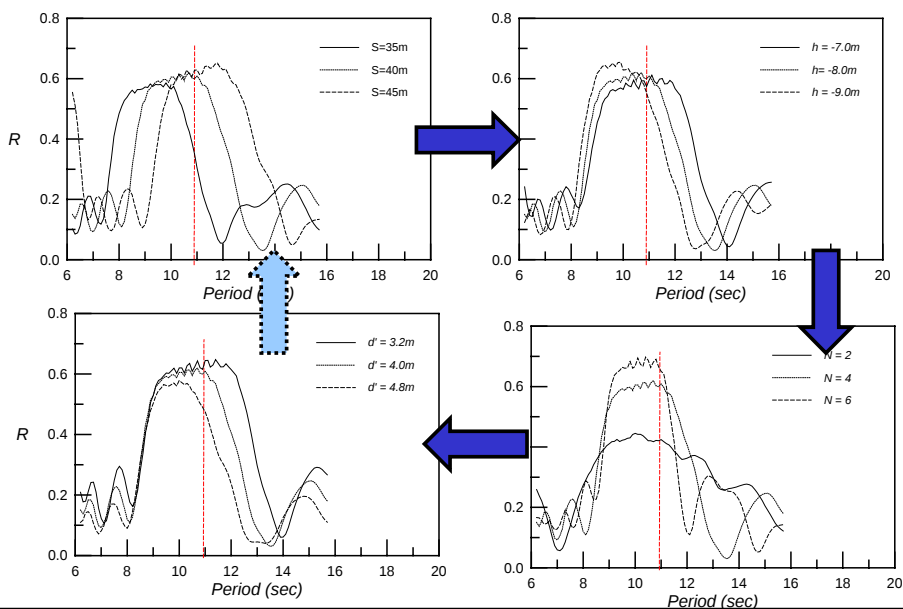
● 平面設計

應用斷面設計結果作平面佈置

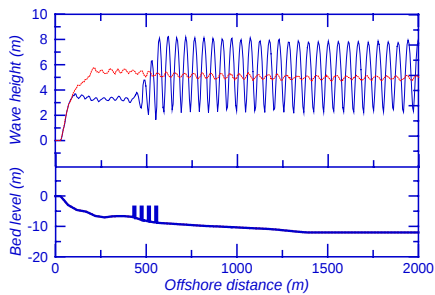
□ 設計方法及步驟流程圖



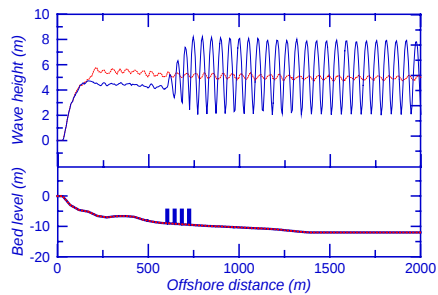
□ 系列潛堤設計過程



□ 有、無潛堤佈置波高比較

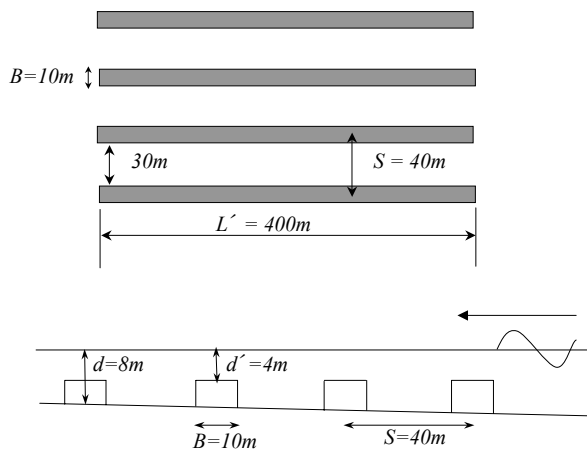


$h = -7m$

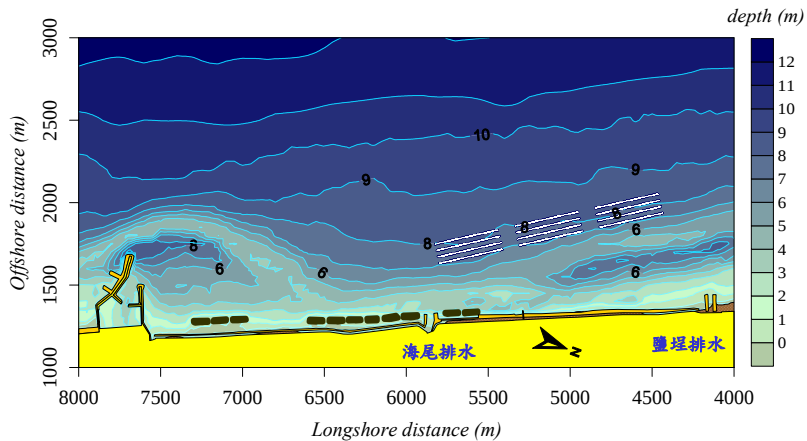


$h = -9m$

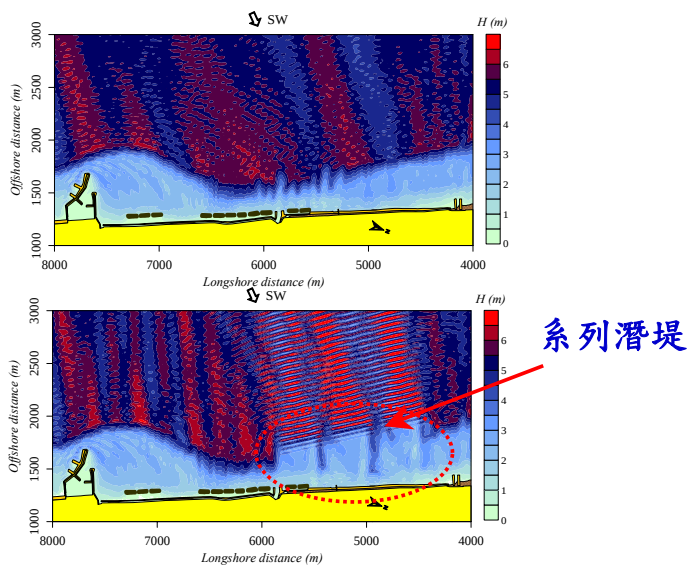
□ 平面及斷面佈置參數示意圖



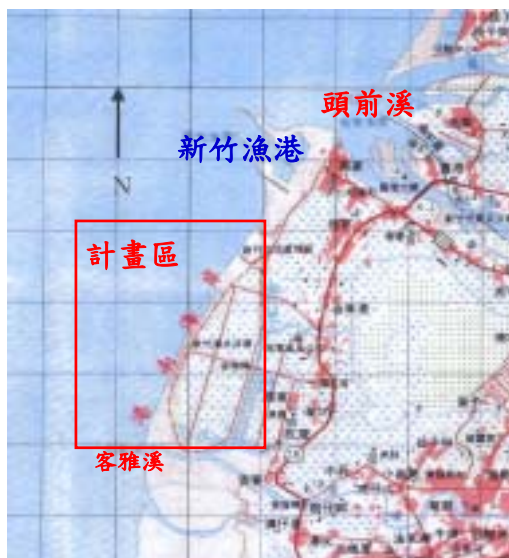
□ 平面佈置示意圖



□ 有無系列潛堤佈置波場分佈圖(SW颱風)



8. 港南海岸的保護工及親水性結構物之規劃



規劃構想

- 防災
- 景觀
- 親水
- 生態
- 工程費

□ 海岸保護方案 (1/2)



圖8-5 方案A(三支突堤)之配置圖



圖8-6 方案B(二支L型突堤配合二個離岸堤)之配置圖



圖8-7 方案C(人工岬頭)之配置圖



圖8-8 方案D(二支L型突堤配合一個離岸堤)之配置圖

□ 海岸保護方案 (2/2)

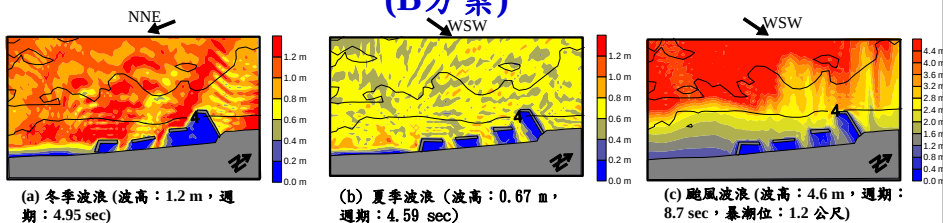
四種規劃方案構想比較

方案	配置	構想	規劃目標	初估經費
A	1.三支突堤	全部以突堤保護突堤間之養灘沙粒，每年讓突堤的砂部分可流出保護區域	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港淺漂砂子 3.每年漁港淺漂砂可在此養灘	1.1億
B	1.二支長突堤 2.二支離岸堤	平面保護工法之概念，有效保護養灘的砂子，並形成沙舌或繫岸沙洲之海灘	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港第一次淺漂的淤沙 3.具有親水性及生態機能	1.7億
C	1.二支短突堤 2.三支短離岸堤	以人工岬灣的概念讓養灘形成平衡的海岸	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港淺漂淤沙 3.每年漁港淺漂砂可在此養灘 4.具有親水性	1.2億
D	1.二支長突堤 2.一支長離岸堤	以平面保護概念有效保護灘之沙子，並形成二個彎月形海灘	1.配合養灘保護港南海岸 2.解決漁港淺漂砂子 3.具有親水性及生態機能	1.8億

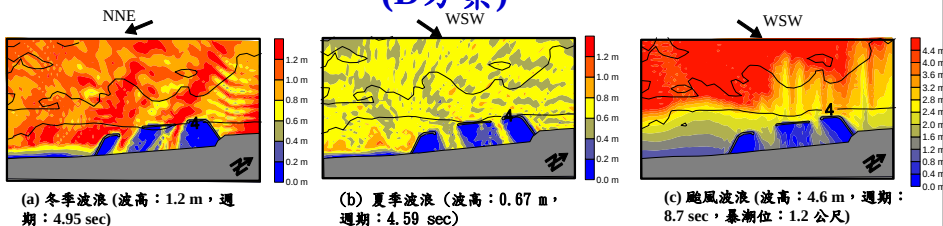
註：初估經費由漁技社提供，因防波堤設計斷面尚未決定，經費估計乃以傳統標準斷面為準，其中尚不包括原置於灘線之臨時消波塊移除及養灘經費。

□ 工程評估 (1/2)

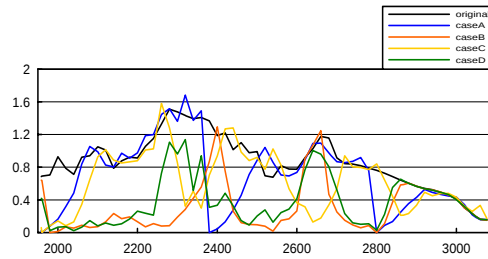
(B方案)



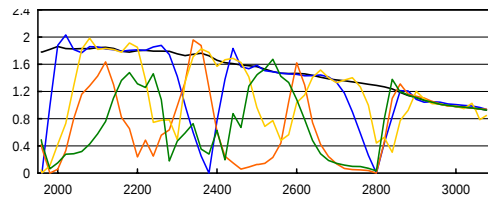
(D方案)



□ 工程評估 (2/2)



(波高：1.2 m，週期：4.95 sec，波向：NNE)



(波高：4.6 m，週期：8.7 sec，外海波向：WSW，暴潮位：1.2 公尺)

□ 四種方案海岸生態之比較

• 方案A

- 能夠浸泡於水中的結構物不多，生態多樣性不是很好。
- 颱風時造成的砂灘流失對底棲生物存活有影響。垂直海岸的突堤會影響底棲生物的沿岸方向移動。
- 開放性海岸，水質交換良好。

• 方案B

- 有比較多浸泡於水中的固定基質，可營造生態型結構物。
- 沙灘密閉，雖沙粒安定不流失有助生物存活，但水質交換較差，底棲生物多樣性也會受影響。

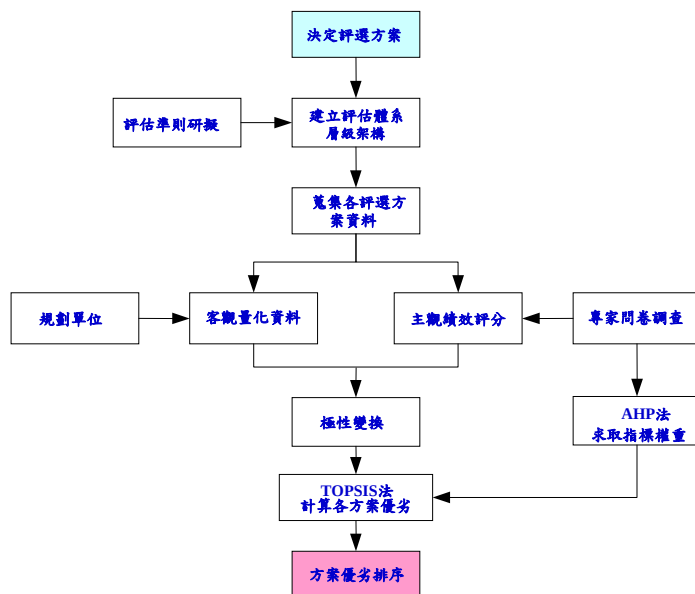
• 方案C

- 開放型海岸有利親水和景觀營造，但水中固定基質不多，颱風來時沙灘不安定，對生態不利。
- 雖水質交換良好，但整體而言生態效果不佳。

• 方案D

- 大致上與方案B類似，唯開口較少，水質交換較差。但沒於水中的基質較多，適用生態型離岸堤，是生態效果較好的一種。

9. 最適方案綜合評估



□ 專家問卷

專家背景	人數
生態	2
景觀	2
工程設計	2
海岸規劃	2
機關行政	2

□ 層級分析法(AHP)各要素的平均權重及偏差

要素	權重及偏差
防災	0.34±0.08
景觀	0.17±0.04
親水	0.13±0.07
生態	0.16±0.10
工程費	0.13±0.08

□ TOPSIS法方案排序

- 計算分離測度
- 計算各個方案對正理想解的相對靠近度
- 方案排序

方案	與正理想解之 分離測度	與負理想解之 分離測度	對正理想解的 相對靠近度	方案排序
A	0.1854	0.0311	0.1436	4
B	0.0560	0.1593	0.7398	2
C	0.1165	0.0819	0.4128	3
D	0.0311	0.1854	0.8564	1

9. 新竹港南海岸堤岸規劃

休閒遊憩活動偏好分析表

排序	海岸休閒遊憩活動項目
1	觀景（看海天景色、吹海風、聽濤）
2	散步（漫步沙灘、撿貝殼、堤上散步）
3	戲水（洗海水浴、踏浪、打水仗）
4	曬太陽（做日光浴、躺在堤上睡覺）
5	吃海產、買海鮮
6	海上活動
7	釣魚（磯釣、堤釣、船釣）
8	放風箏
9	其他

□ 遊憩行為與堤岸斷面型式

分類	活動分類	堤岸斷面型式
觀賞型	特殊觀景	A、B、C、D、E、F、G
散步型	以健康為主	B、D、F、G
動態活動型	堤面活動	B、D、F
	海灘活動	B、C、D、E、F
	海面活動	B、D、F、E

註：A陡坡斜面式；B緩傾斜式；C階梯式；D階段式；
E階梯混合式；F階段混合式；G直立式

□ 親水性堤岸的平面配置(1/6)

- 範圍

- 自拋石區北端至舊海堤入口右側100公尺處，長約有400公尺



□ 親水性堤岸的平面配置(2/6)

- 景觀考量

- 此區海灘坡度平緩約為1：60
- 在景觀上較空曠，也沒有特定的景觀主題
- 堤岸若建築緩傾斜式，可以讓遊客自由在堤面活動，讓堤岸與環境景觀有一個整體性，使得海岸的空間利用上比較沒有拘束感。

- 安全性考量

- 緩坡堤岸的坡度越緩，其抑制波浪、防止越波、溯上等的效果越好
- 階段式與階段混合式的建造成本比緩傾斜式大

- 整體建議

- 以拋石區北端為起點，建築長約400公尺，堤岸坡度1：10的緩傾斜式斷面堤岸

□ 親水性堤岸的平面配置(3/6)

- 範圍
 - 舊海堤入口左右共約200公尺



□ 親水性堤岸的平面配置(4/6)

- 景觀考量
 - 遊客利用率最高的地方，所以堤岸在遊憩行為的提供上，就必須有更多的選擇
 - 堤岸前廣大的沙灘，可做為遊客散步、堆沙等海灘活動與海水浴場的利用
 - 海岸環境風速大、波浪小，適合玩風帆船，因此此區的堤岸應要可以提供風帆船的進出
- 安全性考量
 - 在同坡度下，階段式的消波效果優於階段混合式，兩者都比斜面式佳
 - 建築階段式與階段混合式時，堤岸坡度不需要太緩
- 整體建議
 - 200公尺的階段混合式堤岸

□ 親水性堤岸的平面配置(5/6)

- 範圍

- 舊海堤入口左側100公尺至拋石區的最南端，長約有400公尺



□ 親水性堤岸的平面配置(6/6)

- 景觀考量

- 區內有一大片的木麻黃，且越往南走，生態系越豐富，有野鳥、蟹類可供觀賞、遊玩
- 讓遊客在堤面觀景、賞鳥、散步，或可任意坐臥其上，在遊憩行為的應用上有較多的變化

- 安全性考量

- 相同的坡度下，階段式斷面、階段混合式斷面比緩傾斜式斷面的消波效果好，在防止溯上、越波率、及反射率上皆有極佳的效果

- 整體建議

- 長約400公尺，坡度為1：6的階段式的斷面堤岸
- 斷面材料可用石塊或混凝土塊，堆砌排列成幾何圖形或其他圖案，以增加造型的變化

結 論 (1/2)

1. 以考慮透水介質的EEMSE波浪模式本研究迴歸出經驗公式以作為設計之參考。當系列潛堤堤體孔隙率為0.4時可得到較佳的布拉格反射效果;堤數愈多，布拉格反射愈明顯但頻寬較窄;堤高愈大，布拉格反射愈大且頻寬愈大，堤距 $S/B=3$ 條件，可得到較佳的布拉格反射效果。
2. 以 RANS 模式模擬堤體附近之波流場與渦流強度，發現最大渦流強度集中於溯升和溯降區。堤面下刷水流作用於堤趾時，造成水流作用力，為導致堤趾沖刷的因素。
3. 單層潛堤之透波係數隨孔隙率之增加而減少，因此波能損失百分率隨孔隙率之增加而增加。層數較多之透水潛堤具較佳之消波效率。

結 論 (2/2)

4. 人工沙丘的堤寬愈小，堤高愈大，則輸沙率愈大。人工沙丘之斷面以高短型較為合宜。
5. 花蓮南濱附近海岸景觀問卷結果顯示大眾並非排斥人工海岸，但只要能作良好規劃，亦能令人接受。
6. 在考慮防災、景觀、親水、生態及工程費五個因素下進行專家問卷，並透過多評準決策的方法，利用AHP法求出各因素的權重，再將權重加入TOPSIS法，對各方案進行排序，新竹港南海岸規劃以方案D為最佳方案。
7. 在高雄彌陀海域規劃設計系列潛堤，作為防禦颱風波浪的海岸保護工，證實系列潛堤能利用其布拉格反射特性，應用於現場的波浪防禦。本研究並提出系列潛堤設計的準則，提供相關單位應用系列潛堤設計之參酌。

報告完畢、敬請指教