海岸保護及親水性結構物 最適化配置研究(2/2)



交通部運輸研究所 國 立 成 功 大 學 合作辦理

中華民國九十四年三月

海岸保護及親水性結構物 最適化配置研究(2/2)

著者:蔡立宏、許泰文、郭一羽張憲國、劉勁成、楊炳達

交通部運輸研究所 國 立 成 功 大 學 合作辦理

中華民國九十四年三月

海岸保護及親水性結構物最適化配置研究 (2)

交通部運輸研究所

GPN:1009400918 定價 200 元 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(2/2) /蔡立宏等著. -- 初版. -- 臺北市:交通 部運研所, 民 94 面; 公分 參考書目:面 ISBN 986-00-0785-3(平裝) 1. 海岸工程 443.3 94005718

海岸保護及親水性結構物最適化配置研究(2/2)
 著 者:蔡立宏、許泰文、郭一羽、張憲國、劉勁成、楊炳達 出版機關:交通部運輸研究所 地:台北市敦化北路 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
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站 定 價:200 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:台北市重慶南路一段61號4樓•電話:(02)23617511 三民書局復北店:台北市復興北路386號4樓•電話:(02)25006600 國家書坊台視總店:台北市八德路三段10號B1•電話:(02)25787542 五南文化廣場:台中市中山路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: 1009400918 ISBN: 986-00-0785-3 (平裝)

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱:海岸保護及親	水性結構物最適化配置	i研究(2/2)	
國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN 986-00-0785-3 (平裝)	1009400918	94-32-7131	93-H2BB02
本所主辦單位:港研中心	合作研究單位:國	立成功大學	研究期間
主管:邱永芳	計畫主持人:許泰	文	自93年3月
計畫主持人:蔡立宏	研究人員:郭一羽	、張憲國、劉勁成、	
研究人員:何良勝	楊炳達	、謝志敏、林達遠、	至 93 年 10 月
聯絡電話:04-26583121	張人懿	、蔡昀達	
傳真號碼:04-26560661	地址:台南市大學	路1號	
	聯絡電話:06-275	7575	
	目法化时用		

關鍵詞:海岸保護;親水性;最適化配置

摘要:

親水性堤岸除了保有工程安全之機能外,尚有提供遊憩行為及景觀美化等機 能,使堤岸更具多樣功能,且與附近環境更為協調,因此親水性堤岸是國內外設 計堤岸之趨勢。本計畫之研究為透過水理計算來決定最適合的配置及斷面形式, 並針對結構物之親水性,研擬最適化的結構物斷面。本計畫之目標為研究親水性 海岸結構物,並提出不同結構物配置,評估其對海岸保護的效果,且建立一套適 合於親水性堤岸景觀之評估模式,作為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	定費	本出版品取得方式
94年3月	202	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 按定費價購。
機密等級: 限閲 機 ☑普通	密植	極機密 約	B對機密
備註:本研究	記之結論	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: Coasta	I Protection and Optimum Layout of S	Seawall for Recreation	nal Virtual Function
(2/2)			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN		04 22 7121	93-H2BB02
986-00-0785-3	1009400918	94-52-7151	<i>95 1120002</i>
(pbk.)			
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center			PROJECT PERIOD
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang			
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai Li-hung			FROM March 2004
PROJECT STAFF: H	Ho Liang-sheng		IO October 2004
PHONE: (04) 26583	5121		
FAX: (04) 26560661	1		
RESEARCH AGEN	CY: National Cheng Kung University		
PRINCIPAL INVES	TIGATOR: Hsu Tai-Wen		
PROJECT STAFF: I	Kuo Yi-yu, Chang Hsien-kuo, Liou Jin-cheng, Yan	Bin-dar,	
(Chen Yi-fang, Hsieh Chih-min, LinTa-yuan, Chan	gRen-yi, TsaiYun-ta	
ADDRESS: No. 1, 7	fa-hsueh Road, Tainan 701, Taiwan (R.O.C)		
PHONE: (06) 27575	575		
KEY WORDS:			
Coastal Protect	ion, Promenade Breakwaters, Optimal	l Design	
	, , , , ,	C	
ABSTRACT:			
Drom	anada braakwatara baya baan imn	lomontad bacques t	their comfortable
	ienade breakwaters have been hip	the state of the s	
materials	and forms are in highly harmonic with	th the natural enviro	hment. For highly
developed	d coastal areas promenade breakwater	rs have been increasi	ngly built abroad.
Therefore	e, it is important to set up available e	evaluation models for	r constructions of
promenac	le breakwaters in the future. In the	present study. land	scape assessment
model w	as first established and numerical m	odel was carried o	ut to study wave
nronagati	on over promonodo brookwaters. T	ha main nurnasa at	f the study is to
propagan	the memory of the medical and leaders.	ne mani purpose of	the study is to
establish	the numerical model and landsc	ape designed crite	ria for practical
applicatio	ons. Both safety and landscape have	to be considered a	is the promenade
seawalls	are designed.		

DATE OF PUBLICATION March 2005

NUMBER OF PAGES 202

PRICE

200

CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL ØUNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

中文摘要
英文摘要
目錄
圖目錄
表目錄
照片目錄 XIII
符號說明XV
第一章 緒論
1.1 研究動機
1.2 研究目的與成果
1.2.1 研究目的
1.2.2 研究成果 (92年)1-3
1.3 研究方法與步驟 1-5
1.4 本文組織
第二章 堤前波高分佈與反射率分析 2-1
2.1 理論基礎
2.1.1 波場控制方程式
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
2.2.1 差分方程式

2.2.2 邊界條件
2.2.3 收斂條件 2-10
2.3 模式驗證
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2-15
2.4 波浪通過透水斜坡底床之堤前反射率 2-22
第三章 堤體附近之流場分佈與渦流強度分析 3-1
3.1 Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations 數學模式 3-2
3.1.1 控制方程式
3.1.2 邊界條件 3-3
3.2 數值模式
3.2.1 網格變數計算點之配置 3-6
3.2.2 方程式之離散化
3.2.3 速度與壓力耦合技巧
3.2.4 自由表面的處理 3-15
3.2.5 計算程序 3-16
3.3 模式驗證
3.4 結果與討論
3.4.1 流場變化、渦流強度分析 3-26
第四章 護岸消波塊之視覺景觀評估 4-1
4.1 調查方法 4-1
4.2 現地調查 4-2

4.2.1 取景方式 4-2
4.2.2 現況介紹 4-4
4.3 問卷設計 4-6
4.3.1 研究對象及調查方式 4-6
4.3.2 照片選擇 4-10
4.3.3 SD 法之意味尺度 4-13
4.4 調查結果 4-15
4.4.1 結果的準確性 4-15
4.4.2 剖析法之分析 4-18
4.4.3 統計分析 4-26
第五章 新竹港南海岸的海岸保護及親水性結構物之規劃 5-1
5.1 海岸環境資料 5-1
5.1.1 地理位置 5-1
5.1.2 氣象資料
5.1.3 海象資料 5-5
5.1.4 水文資料
5.1.5 地形水深資料 5-8
5.1.6 底質粒徑 5-10
5.2 新竹海岸之規劃構想
5.2.1 海岸保護方案
5.2.2 四種方案之工程評估
5.2.3 四種方案之海洋生態的比較5-24

第六章 新竹港南海岸保護最適方案綜合評估6-1
6.1 綜合評估之原理6-1
6.2 層級分析法(AHP)6-3
6.2.1 AHP 法之層級結構6-4
6.2.2 各層級要素間權值的計算6-4
6.2.3 群體評估的整合6-6
6.3 TOPSIS 法6-6
6.4 綜合評估結果6-8
6.4.1 AHP 分析6-8
6.4.2 TOPSIS 分析6-9
第七章 新竹港南海岸的整體規劃
7.1 民眾對於海岸空間利用的要求
7.2 選擇最佳遊憩行為與堤岸斷面型式7-3
7.3 親水性堤岸的平面配置
7.3.1 各段堤岸的斷面設置7-8
7.3.2 整體的平面配置
第八章 結論
附錄一 參考文獻
附錄二 期中報告審查意見回覆表A-1
附錄三 期末報告審查意見回覆表 B-1
附錄四 期末簡報資料

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 2-4 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 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,沿岸方向上剖面①之相對波高 分佈圖	2-17
圖 2-9(b) 波浪斜向入射離岸堤,沿岸方向上剖面②之相對波高 分佈圖	2-17
圖 2-9(c) 波浪斜向入射離岸堤,沿岸方向上剖面③之相對波高 分佈圖	2-18
圖 2-9(d) 波浪斜向入射離岸堤,沿岸方向上剖面④之相對波高 分佈圖	2-18
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 [本文模式 (颱風波浪條件)] 2	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
圖 2-15 波浪反射率與碎波相似參數之關係圖 2-23
圖 3-1 RANS 模式邊界條件示意圖3-5
圖 3-2 交錯網格系統圖
◎ 3-3
圖 3-3 控制體及通軍小息 3-7 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義 3-15
圖 3-3 控制 6 2 通 重 小息 3-7 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義
圖 3-3 控制體及通重示意 3-7 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義 3-15 圖 3-5 計算流程圖 3-7 圖 3-6 實驗量測之液面變化 3-19
圖 3-3 控制 [2] 2 3-7 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義 3-15 圖 3-5 計算流程圖 3-17 圖 3-6 實驗量測之液面變化 3-19 圖 3-7 實驗量測和數值模擬之流場圖 3-20
圖 3-3 控制 [2] 2] 3-7 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義 3-15 圖 3-5 計算流程圖
 圖 3-3 控制體及通重示息 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義 圖 3-5 計算流程圖 圖 3-5 計算流程圖 3-17 圖 3-6 實驗量測之液面變化 圖 3-7 實驗量測和數值模擬之流場圖 圖 3-8 波浪通過潛堤自由液面振幅之空間變化 圖 3-9 波浪通過潛堤不同位置之波形變化 3-22
 圖 3-3 控制證及通星示息 3-7 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義 3-15 圖 3-5 計算流程圖 3-17 圖 3-6 實驗量測之液面變化 3-19 圖 3-7 實驗量測和數值模擬之流場圖 3-20 圖 3-8 波浪通過潛堤自由液面振幅之空間變化 3-21 圖 3-9 波浪通過潛堤不同位置之波形變化 3-22 圖 3-10 數值計算與實驗量測之流速時序列結果比較 3-23
 圖 3-3 控制 [2] 2] 2] 2] 3-5 [2] 3-6 [2] 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義
 圖 3-3 控制證及通重示息 3-7 圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義 3-15 圖 3-5 計算流程圖 3-17 圖 3-6 實驗量測之液面變化 3-19 圖 3-7 實驗量測和數值模擬之流場圖 3-20 圖 3-7 實驗量測和數值模擬之流場圖 3-20 圖 3-8 波浪通過潛堤自由液面振幅之空間變化 3-21 圖 3-9 波浪通過潛堤不同位置之波形變化 3-22 圖 3-10 數值計算與實驗量測之流速時序列結果比較 3-23 圖 3-11 波浪通過斜坡上潛堤不同位置之波形變化 3-24 圖 3-12 數值計算與實驗量測之不同水位結果比較 3-25

圖 3-14 數值模擬親水性堤岸之水位變化3-29
圖 3-15 數值模擬親水性堤岸之流場和渦流強度分佈圖 3-30
圖 4-1 視點位置及方向圖 4-3
圖 4-2 現有海堤分佈圖4-4
圖 4-3 船景的 SD 曲線 4-19
圖 4-4 南濱公園景觀的 SD 曲線 4-19
圖 4-5 以消波塊舖設緩坡的 SD 曲線 4-20
圖 4-6 以石塊舗設緩坡的 SD 曲線 4-20
圖 4-7 離岸堤露出水面的 SD 曲線 4-21
圖 4-8 離岸堤沒入水中的 SD 曲線 4-21
圖 4-9 原有之緩坡與消波塊 4-22
圖 4-10 去除消波塊後的 SD 曲線的 SD 曲線 4-22
圖 4-11 人工岬灣的 SD 曲線 4-23
圖 4-12 景觀設計後之緩坡的 SD 曲線 4-23
圖 5-1 新竹海岸地理位置圖 5-1
圖 5-2 頭前溪與鳳山溪 1992 年至 2000 年之年總輸沙量 5-8
圖 5-3 測量範圍 5-9
圖 5-4 新竹港南海岸消波塊抛置現況5-11
圖 5-5 方案 A(三支突堤)之配置圖5-11
圖 5-6 方案 B(二支 L 型突堤配合二個離岸堤)之配置圖5-12
圖 5-7 方案 C(人工岬頭)之配置圖
圖 5-8 方案 D(二支 L 型突堤配合一個離岸堤)之配置圖5-13

圖 5-9 新竹港南海域未佈置結構物前波場分佈圖5-17
圖 5-10 新竹港南海域波場分佈圖(A 方案) ···············5-18
圖 5-11 新竹港南海域波場分佈圖(B 方案)
圖 5-12 新竹港南海域波場分佈圖(C 方案)
圖 5-13 新竹港南海域波場分佈圖(D 方案) ···············5-21
圖 5-14 擷取斷面位置示意圖 5-22
圖 5-15(a) 新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖5-22
圖 5-15(b) 新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖5-23
圖 5-15(c) 新竹港南海域於擷取斷面之波高分佈比較圖5-23
圖 6-1 各方案評選流程圖 6-2
圖 6-2 各方案評選之層級結構圖

表目錄

表 1-1 親水性堤岸斷面比較表 1-4
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 3-1 控制方程式中各變數對應之擴散係數與源項關係 3-8
表 3-2 RANS 數值方法整理表3-17
表 4-1 照片拍攝之視點 4-2
表 4-2 本區段現有海堤 4-4
表 4-3 本計畫所提的二十一對 SD 意味尺度 4-14
表 4-4 各背景受測者之回收份數 4-15
表 4-5 各群體間之雙尾 p-值比較 4-16
表 4-6 各基本資料間的變異數分析 4-17
表 4-7 兩變數間的皮爾森相關係數與相關程度 4-27
表 4-8 皮爾森相關分析表 4-27
表 4-9 因子分析的成分矩陣表 4-29
表 4-10 因子成分表 4-30
表 5-1 1998 年 9 月至 2002 年 5 月間對新竹地區具有威脅之颱風 5-3
表 5-2 颱風生成至消失期間新竹測站測得之日平均風速 5-4
表 5-3 新竹漁港潮位表 5-6
表 5-4 新竹漁港鄰近波浪觀測資料 5-6
表 5-5 新竹漁港深海颱風波浪統計表 5-7

表 5-6 谷	各剖面坡度值 5-9
表 5-7 [四種規劃方案構想比較
表 5-8 札	模式輸入條件5-16
表 6-1 A	AHP評估尺度意義及說明6-4
表 6-2 着	各專家對於各要素的權重6-8
表 6-3 着	各要素的平均權重及偏差6-8
表 6-4	四個建議方案之排序6-9
表 7-1 化	休閒遊憩活動偏好分析表7-2
表 7-2 新	新竹港南育樂中心最佳遊憩行為與堤岸斷面型式7-4

照片目錄

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

照片 4-21 化仁海岸 A 4-22
照片 4-22 化仁海岸 B ······ 4-22
照片 4-23 人工岬灣 4-23
照片 4-24 緩坡海堤 4-23
照片 7-1 風帆船之斜坡道 17-2
照片 7-2 風帆船之斜坡道 2
照片 7-3 抛石區 A 區 1 ······7-5
照片 7-4 抛石區 A 區 2······7-6
照片 7-5 抛石區 B 區 1 ······7-6
照片 7-6 抛石區 B 區 27-7
照片 7-7 抛石區 C 區 1 ······7-7
照片 7-8 抛石區 C 區 2······7-8

符號說明

數
數
流摩擦係數
岸之漂沙濃度
數
方項係數
方項係數
散係數
子
項
床之距離
高
$(=2\pi/L)$
數
透係數
皮長

L_0	:深海處之波長 (=g $T^2/2\pi$)
m	:底床坡度
n ₀	:透水層孔隙率
Р	:流體壓力
R _e	:雷諾數
S	:波浪相位函數
\mathbf{S}_{ij}	:波浪輻射應力之張量表示
\mathbf{S}_{0}	:海床坡度
t	:時間
ī	:微小時間變量
tanβ	:海床坡度
Т	:週期
U	: x 方向之瞬時流速分量
W	:z 方向之瞬時流速分量
Х	:水平座標
У	:水平座標
Z	:垂直座標
α	:波浪入射角度
â	:吸收係數(absorption coefficient)
3	:攝動參數
φ	:緩變函數
Φ	:速度勢能函數
$\gamma_{\rm b}$:碎波指標
η_{rms}	:波浪均方根平均振幅
κ	:碎波後穩定波高與水深之比例係數
π	:圓周率
ω	:二維渦流 (vorticity)
θ	:波向角,波峰線與海岸線之交角
ρ	:海水密度
σ	:波浪角頻率

- υ : 流體(層流)運動黏滯性係數
- Ω :地球自轉角速度

 ξ_1, ξ_2 : 擴大因子(amplification factor)

- ζ :水面高程變化
- ∀ :控制體體積
- ∇ : = (∂/∂x,∂/∂y), 為水平梯度微分運算子
- ∂B_x : x 軸的邊界

∂B_y : y 軸的邊界

第一章 緒 論

1.1 研究動機

台灣的海岸地區常遭遇颱風及暴潮侵襲而有許多災害,故在民國 六十年初,政府提出全省海岸築堤的計畫,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,且多為陡峭的岩岸;西部 海岸的潮差大,海灘坡度緩,且海岸變遷相當明顯。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, 使其兼具防災與親水的功能,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 堤岸設計,為目前台灣海岸工程的重要課題。

1-1

1.2 研究目的與成果

1.2.1 研究目的

親水性堤岸除了保有工程安全之機能外,並考慮遊憩行為及景觀 美化等機能,使堤岸更具多樣功能與附近環境更為協調,因此親水性 堤岸是國內外設計堤岸之未來趨勢。親水性堤岸與傳統堤岸最大的不 同,即在於親水性堤岸所提供的遊憩行為與堤面的景觀美化,所以在 親水性堤岸的設計原則中,如何選擇海岸適合的遊憩行為,堤岸的斷 面型式,以及堤岸的景觀美化為其設計的重點。親水性堤岸在國內尚 無實例,本計畫的目的為建立一套設計親水性堤岸的原則。本計畫之 研究工作項目分年列述如下:

一、第一年工作項目 (92年)

1. 分析比較國內外親水性結構物之差異性

收集國內外有關親水性結構物的文獻報告,並歸納整理其優劣及 適用的條件,作為本計畫及今後研究參考。

2. 提出完整的波場模式

波場模式必須具備波浪的淺化、反射、折射、繞射及碎波等效應, 完整的適合親水性結構物波場模式,提供施政及設計單位應用波場模 式模擬計算所設計的結構物波場分布情形,無須再耗費時間及經費在 水工模型試驗上。

3. 提出各種配置方案之防禦效果

由完整的波場模式計算波場分佈,進一步計算反射率,評估各式 親水性結構物的防禦效果及優劣,提供研究、施政及設計單位對各式 的親水性結構物配置方案之波場機制及防禦效果更進一步了解,作為 今後研究、施政及規劃設計之參酌。

1-2

二、第二年工作項目 (93年)

1. 數值模式之應用

利用數值來計算親水性堤岸之水理特性,其項目如下:

- 利用緩坡方程式模式計算不同配置方案平面波場分佈,並計算 堤前波高分佈與反射率。
- (2)利用數值模式 (Navier Stokes equation) 模擬堤體附近之波流場 與渦流強度。
- (3) 探討堤腳基礎沖刷與堤體安定之問題。
- 2. 最適化配置方案評估

透過視覺及景觀之整體評估,以選擇最適之方案,以作為(運輸研 究所)水工模型試驗之參考依據。

- (1) 各種配置方案之影響因子的優劣評估。
- (2) 進行國人喜好程度之問卷調查。
- (3) 建立最適化方案之評估準則。
- 以新竹港南海岸作為規劃對象,使其具備景觀、遊憩及海岸防護等 功能。

1.2.2 研究成果 (92年)

1. 分析比較國內外親水性結構物之差異性

收集國內外既有的親水性堤岸實例,並依堤岸的斷面型態做一個 整合、分類,並綜合堤岸在安全上的考量,以及堤面的景觀美化與遊 憩功能,探討研究親水性堤岸的設計原則;在安全性的基礎下,提出 適合的遊憩行為、堤岸型式,與堤岸的景觀美化的一般性設計原則, 做為往後從事親水性堤岸設計者的因循與參考,如表 1-1 所示。

表 1-1 親水性堤岸斷面比較表

型式				型態與適用性	遊憩行為	特徵
				堤面坡度陡於1:3,	堤頂散步、觀	建築於不適用緩坡
	陡:	陡坡斜面式		用於前灘太小 漂沙顯	景、及堤釣。	堤處,親水性較低,
				著 或設置緩坡堤會有	•	成本也較低。
斜				大量越波的地區。		
面				堤面坡度緩於1:3,	觀景、休息、散	確保水陸域的連續
式			ļ	適用於具有廣闊前	步、坐乱、輕微	性,親水性高,防災
	緩	緩傾斜式		灘、海堤坡度極為平	的跑跳。彭水或	力與堤體穩定度
			I	緩 或有離岸堤或其他	風帆船等。	好,成本較高。
				保護工法的海岸。		
				適用於陡坡堤岸,或前	在階梯上休	屬陡坡堤,但防災
	階	梯式	ļ	有沙灘處,一般以居部	息、觀景、走下	力 親水性比陡坡堤
			I	性使用較多,堤面坡度	海堤活動。	好。
台			l	約1:1.5 1:3。		
階		組合階	鏤空	屬於緩低新提,適用性	休息、觀景、散	親水性較高,在應用
式	階	段式	無鏤	與緩傾斜堤大致相	步、及坐乱等。	上也有較多的變
	段		空	同,但海灘坡度緩於		化,成本高。
	式	整砌階	段式	1:30 時即可使用,適		
				用性較高。		
				與台階式相同,適用於	觀景、休息、散	混合式綜合了上述
混			I	利用率較高的地區。	步、坐乱、輕微	兩式的優點,但在合
合			I		的跑跳。膨水、	併處應考慮工程上
式			I		走下堤岸活動	協調性的問題。
			I		或風帆船等。	
直	有	消波工		用於堤前水深大 或不	堤頂散步、瞭	建築於堤趾水深大
立			ļ	適宜建立緩傾斜堤的	望、釣魚或乘坐	的海岸等,親水性很
式			ļ	海岸地區。	遊艇等。	低,景觀上有生硬的
			I			感覺。

2. 提出完整的波場模式

建立二階全非線性 Boussinesq 方程式之近岸波場數值模式,其具 備波浪的淺化、反射、碎波及溯升等效應。應用本文發展之波場模式 計算波浪通過變動地形,由計算結果與前人的試驗資料作比較可確認 本模式能適當地模擬近岸的波浪場變化。

3. 提出各種配置方案之防禦效果

計算所得之波浪通過斜坡底床所產生的波浪溯生及反射率,經由 適當的回歸分析,本文提出能適用於較廣泛的波浪及地形條件的經驗 公式。回歸所得之經驗公式與數值模擬的結果之相關係數皆大於 0.97,且公式形態並不複雜,可方便地應用於工程設計上,作為今後研 究、施政及規劃設計之參酌。

1.3 研究方法

本年度則透過水理模式的計算,分析親水性堤岸的波場特性,包括堤前波高分佈與反射率、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。並藉由問卷調查的方式,以統計方法進行護岸工法之視覺景觀評估,以瞭解民眾喜好的傾向。

新竹港南海岸為侵蝕性海岸,目前有消波塊排列於海岸邊,但此 為暫時性的措施,尚待進一步的完善規劃。目前漁業署與水利署均正 對此區進行規劃中,由於現今海岸工程已朝向自然生態工法發展,在 規劃中也期望能加入生態工法。本計畫選定新竹港南海岸作為規劃對 象,以多評準決策的方法,將本計畫的研究內容實際應用於該區域; 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

本文於第二章利用緩坡方程式模式計算不同配置方案的波場分佈,據此計算堤前波高分佈與反射率。第三章利用數值模式 (Navier Stokes equation)模擬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。第四章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。第五章為新竹港南海岸的海岸保護及親水性 結構物之規劃。第六章為本計畫的結論。

第二章 堤前波高分佈與反射率分析

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地區的規劃設計。

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:

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

式中

$$f_{1}(kh) = \frac{\left[-4kh\cosh(kh) + \sinh(3kh) + \sinh(kh) + 8(kh)^{2}\sinh(kh)\right]}{8\cosh^{3}(kh)}$$

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

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

式中 Ф 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

$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (CC_g \nabla \Phi) + cc_g k^2 [(1 + if_d) - \omega^2] \Phi + [f_1(kh)g \nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \Phi = 0$$
(2-4)

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

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

$$\gamma_r = 0.135 \tag{2-6}$$

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

$$\gamma = A/h \tag{2-8}$$

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

$$\bar{t} = \varepsilon t \tag{2-10}$$

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

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

式中 ₩ 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抛物 線 型 緩 坡 方 程 式 (Evolution Equation of Mild-Slope Equation, EEMSE),如下式所示:

$$-2\omega \quad i\frac{\partial}{\partial t} = \nabla \cdot (CC_g \nabla \overline{\psi}) + CC_g k^2 (1 + if_d) \quad \overline{\psi}$$

$$+ [f_1(kh)g \nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \quad \overline{\psi}$$
(2-12)

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:

$$\overline{\psi} = \frac{\phi}{\sqrt{CC_g}} \tag{2-13}$$

則式 (2-12) 可簡化為式 (2-14)

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

其中

$$k_{c} = k^{2} (1 + if_{d}) - \frac{\nabla^{2} \sqrt{CC_{g}}}{\sqrt{CC_{g}}} + \frac{[f_{1}g\nabla^{2}h + f_{2}(\nabla h)^{2}gk]}{CC_{g}}$$
(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*。Rojanakamthorn 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 Rojanakamthorn 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:

$$-\frac{2\omega i}{\alpha_{p}} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^{2} \phi + k_{c}^{2} \phi$$
(2-16)
(a) 透水潛堤
(b) 透水層
(c) 透水層

(b) 透水底床

圖 2-1 波浪通過具透水層底床之示意圖

式中

$$k_{c}^{2} = k^{2} (1 + if_{p}) - \frac{\nabla^{2} \sqrt{\alpha_{p}}}{\sqrt{\alpha_{p}}} + \frac{[f_{1}g\nabla^{2}h + f_{2}(\nabla h)^{2}gk]}{\alpha_{p}}$$
(2-17)

$$\alpha_p = \alpha_1 + n_0 \left(S + i f_p \right) \alpha_2 \tag{2-18}$$

$$\alpha_{1} = gh\beta_{1}^{2} \left\{ \frac{\beta_{2}^{2} \left(1 - e^{-2kh}\right)}{2kh} - \frac{\beta_{3}^{2} \left(1 - e^{2kh}\right)}{2kh} - 2\beta_{2}\beta_{3} \right\}$$
(2-19)

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

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

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

$$\beta_3 = \frac{1}{2} \delta_p \ e^{-kh} \tag{2-23}$$

$$\delta_{p} = n_{0} \sinh(kh_{p}) - (S + if_{p}) \cosh(kh_{p})$$
(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)

$$\omega^{2} = gk \frac{n_{0}e^{kh}\sinh(kh_{p}) - \delta_{p}\sinh(kh)}{n_{0}e^{kh}\sinh(kh_{p}) - \delta_{p}\cosh(kh)}$$
(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, 需由下式計算

$$f_{p} = \frac{1}{\omega} \frac{\int_{\forall} \int_{0}^{T} \left\{ \frac{n_{0}^{2} \upsilon}{k_{p}} \left| \bar{u}_{s} \right|^{2} + \frac{n_{0}^{3} C_{p}}{\sqrt{k_{p}}} \left| \bar{u}_{s} \right|^{3} \right\} dt \, d\forall}{\int_{\forall} \int_{0}^{T} n_{0} \left| \bar{u}_{s} \right|^{2} dt \, d\forall}$$
(2-26)

式中, C_p 為透水層之紊流摩擦係數, k_p 為透水層之滲透係數, 單位 為長度平方, v 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,本文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:

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1/2} - \phi_{p,q}^{n}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \delta_{x}^{2} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_{c}^{2})_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_{y}^{2} \phi_{p,q}^{n} + \frac{1}{2} (k_{c}^{2})_{p,q} \phi_{p,q}^{n} \quad (2-27)$$

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1} - \phi_{p,q}^{n+1/2}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^{n+1} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \quad (2-28)$$

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

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



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

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

分別代入式 (2-27) 及式 (2-28) 可得

$$\xi_{1} = \frac{f_{p,q}i + \left[\frac{\Delta t}{4}(k_{c})_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^{2}}\sin^{2}(\frac{\beta\Delta y}{2})\right]}{f_{p,q}i - \left[\frac{\Delta t}{4}(k_{c})_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^{2}}\sin^{2}(\frac{\alpha\Delta y}{2})\right]}$$
(2-33)

$$\xi_{2} = \frac{f_{p,q}i + \left[\frac{\Delta t}{4}(k_{c})_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^{2}}\sin^{2}(\frac{\alpha\Delta y}{2})\right]}{f_{p,q}i - \left[\frac{\Delta t}{4}(k_{c})_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^{2}}\sin^{2}(\frac{\beta\Delta y}{2})\right]}$$
(2-34)

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

$$|\xi| = |\xi_1 \xi_2| = 1 \tag{2-35}$$

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,於模式中則是採用幅射 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)

$$\frac{d\phi}{dt} = \hat{\alpha}\frac{\partial\phi}{\partial t} + C\frac{\partial\phi}{\partial r} = 0 , \not \oplus \partial B$$
(2-36)

式中 â 為吸收係數 (absorption coefficient)。假設 â=1,則波浪完全 通過邊界;若 â=0,則於邊界上產生全反射;若 0<â<1,則為部 份吸收邊界,式中 â 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

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

代入式(44)可得 x 方向的邊界條件為

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} \mp i \hat{\alpha} k \cos \theta' \phi = 0 \quad , \quad \mathbf{E} \quad \partial B_{x\pm}$$
(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)

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} \mp i \hat{\alpha} k \sin \theta' \phi = 0 \quad , \quad \overleftarrow{\Phi} \quad \partial B_{y\pm}$$
 (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:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = ik(\phi_i - \phi_r) = \pm ik_x \phi + 2ik_{xi}\phi_i \quad , \quad \textcircled{E} \quad \partial B_{\pm}$$
(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_i 等三種成份波,故此邊界上之波浪可表示為

$$\phi = \phi_i + \phi_r + \phi_s \tag{2-41}$$

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

$$\phi = \phi_0 + \phi_s \tag{2-42}$$

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

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \pm ik_{sx}\phi_0 \pm ik_{sx}\phi \quad , \not \boxdot \quad \partial B_{x\pm}$$
(2-43)

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \phi_0}{\partial y} \pm i k_{sy} \phi_0 \pm i k_{sy} \phi \quad , \quad \overleftarrow{\mathbf{E}} \quad \partial B_{y\pm}$$
(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 。本文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:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_{p} \sum_{q} (\phi_{p,q}^{n} - \phi_{p,q}^{n-1})^{2}}}{\sum_{p} \sum_{q} ABS(\phi_{p,q}^{n})}$$
(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:

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

其中 N 為無因次參數,其值界於 O(1)~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,本文選用 Rojanakmathorn 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 *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。

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

	S		C_{f}		$k_p(m^2)$		
快 尘参數	1.0		0.332		$3.77 \cdot 10^{-7}$		
試驗編號	B (cm)	$D_s(cn)$	n)	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

表 2-1 模型試驗之特性係數及試驗條件



圖 2-4 波浪通過透水潛堤時波浪均方根平均振幅 η_{ms} 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_{ms} 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_{ms} 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_{ms} 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 $x \times y = 8 \times 12m^2$ 之大小。模擬波浪以 -30° 入射,入射波高 $H_0 = 3cm$ 、週期 T = 1.0sec, 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 $\alpha = 0.3$ (反射係數 R = 0.538),堤 長 3m 並設置於水深 h = 17.5 cm 處 (x = 3.5 m)。圖 2-8 為計算範圍 內本文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反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 堤前入反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, 本文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文波浪數值模式於 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。本文模式計算之範圍為 $x \times y = 800 \times 1000m^2$ 之大小,而在稍後本文模式所得的計算結果將選 取 $x \times y = 600 \times 1000m^2$ 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 為本文模式計算 之波場位相圖,可觀查出離岸堤間之開口處的波浪繞射現象;圖 2-11 為本文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。為再進一步比較本文模式與 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=150m、y=500m、y= 850m)及沿岸方向斷面④、⑤、⑥(x=400m、x=270m、x=185m), 比較之結果如圖2-13所示,圖中本文模式在各斷面上皆與謝(1998)之 波場計算結果呈現良好之一致性,顯示本文模式可以合理地模擬實際 海域之波場。



7_30 °

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 [本文模式 (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堤前反射率

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 1/2~1/10 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 $H_o/L_o = 0.002 \sim 0.07$ 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 $\xi_o = \tan \beta / \sqrt{H_o/L_o}$ 為碎波相似參數 (surf similarity parameter), K_c 為波浪反射率。

根據表 2-2 計算結果,可繪製波浪反射率 K_r 與碎波相似參數 ξ_a 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,

$$K_r = a \tanh^b (c\xi_a) \tag{2-48}$$

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

$$K_r = 0.463 \tanh^{1.2}(\xi_o/4) \tag{2-49}$$

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,

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





$1/\taneta$	T(sec)	$H_o(m)$	H_o/L_o	ξ_{o}	K _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

表 2-2 計算條件及模式計算結果

$1/\taneta$	T(sec)	$H_o(m)$	H_o/L_o	$\xi_{_o}$	K _r
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

表 2-2 計算條件及模式計算結果 (續 1)

$1/\taneta$	T(sec)	$H_o(m)$	H_o/L_o	ξ_{o}	K _r
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

表 2-2 計算條件及模式計算結果 (續 2)

$1/\taneta$	T(sec)	$H_{o}(m)$	H_o/L_o	ξ_{o}	K _r
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

表 2-2 計算條件及模式計算結果 (續 3)

$1/\tan\beta$	T(sec)	$H_o(m)$	H_o/L_o	$\xi_{_o}$	K _r
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

表 2-2 計算條件及模式計算結果 (續 4)

第三章 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、渦漩變化且和實 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,本文也考慮了紊流效應 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

3-1

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。

3.1 Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations 數學模式

3.1.1 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:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \tag{3-1}$$

動量方程式,在x方向和z方向分別表示如下:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + (v_t + v)\nabla^2 U + \frac{\partial}{\partial x} (v_t \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_t \frac{\partial W}{\partial x}) - \frac{2}{3} \frac{\partial K}{\partial x}$$

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

$$(3-2)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} (v_t \frac{\partial W}{\partial z}) - \frac{2}{3} \frac{\partial K}{\partial z}$$

$$(3-3)$$

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 、v 分別為流場之密 度和運動黏滯係數。 ρ 和 v 在數值模擬過程中假設不受其它因素之 影響而保持定值。v_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

$$v_{t} = C_{\mu} \frac{k^{2}}{\varepsilon}$$
(3-4)

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

$$\frac{\partial K}{\partial t} + U \frac{\partial K}{\partial x} + W \frac{\partial K}{\partial z} = \nabla \cdot \left[(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k}) \nabla K \right] + \Pr{od - \varepsilon}$$
(3-5)

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + W \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \nabla \cdot \left[(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_{\varepsilon}}) \nabla \varepsilon \right] + C_1 \nu_t \frac{\varepsilon}{K} \operatorname{Pr} od - C_2 \frac{\varepsilon^2}{K}$$
(3-6)

式中 Prod

$$\operatorname{Pr} od = \operatorname{v}_{t} \left[2\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^{2} + 2\left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^{2} + \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x}\right)^{2} \right]$$
(3-7)

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 $C_2 = 1.92$)。

3.1.2 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)

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + C \frac{\partial \Phi}{\partial x} = 0 \tag{3-8}$$

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

$$\frac{\partial d}{\partial t} + U \frac{\partial d}{\partial x} = W \tag{3-9}$$

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:

$$2\frac{\partial d}{\partial x}\left(\frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial W}{\partial z}\right) + \left[\left(\frac{\partial d}{\partial x}\right)^2 - 1\right]\left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x}\right) = 0, \quad z = d(x,t) \quad (3-10)$$

而法線方向之動力邊界條件如下:

$$P = \frac{2\nu_{e}}{1 + \left(\frac{\partial d}{\partial x}\right)^{2}} \left[\left(\frac{\partial d}{\partial x}\right)^{2} \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial d}{\partial x} \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x}\right) \frac{\partial W}{\partial z} \right], \quad z = d(x, t) \quad (3-11)$$

式 (3-10) 用來給定自由表面之速度邊界條件,而式 (3-11) 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 (3-11) 可簡化為



3.2 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) 所提出冪次方格式 (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 (Hight Function, HF) 處理,以下即分別詳述之。

3.2.1 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 擁有自已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 3-2 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UW各自有以其為中心之控制體積體系,因此UW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 3-3),圖 3-2 和圖 3-3 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 $\Delta z = \delta z_{\mu}/2$,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 3-2 交錯網格系統圖

圖 3-3 控制體及通量示意

3.2.2 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 (3-1)~(3-3) 中 變數 Φ (Φ= *U*、*W*) 之傳輸方程式可寫為:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(U\Phi) + \frac{\partial}{\partial z}(W\Phi)}_{\text{Big}} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_{\Phi}\frac{\partial \Phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z}(\Gamma_{\Phi}\frac{\partial \Phi}{\partial z})}_{\text{ijk}\bar{\mu}q} + \underbrace{S_{\Phi}}_{\text{ij}\bar{\mu}}$$
(3-13)

式中之 Φ 為物理量之變數,如速度 U 和 W,而擴散係數 Γ_{0} 和 源項 S_{0} 則示於表 3-1,表中 Re = $U_{\infty}h/v$ 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 (3-13) 改寫為

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} J_x + \frac{\partial}{\partial z} J_z = S_{\Phi}$$
(3-14)

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

變數 方程式	Ф	Γ_{Φ}	S_{Φ}
連續方程式	1	0	0
水平動量方程式	U	$\frac{1}{\text{Re}}$	$-\frac{\partial P}{\partial x}$
垂直動量方程式	W	$\frac{1}{\text{Re}}$	$-\frac{\partial P}{\partial z}-\frac{1}{Fr^2}$
K 方程式	K	$(\frac{1}{\text{Re}} + \frac{v_t}{\sigma_k})$	Prod -ε
ε 方程式	3	$\left(\frac{1}{\text{Re}} + \frac{v_t}{\sigma_{\epsilon}}\right)$	$C_1 v_1 \frac{\varepsilon}{K} \operatorname{Pr} od - C_2 \frac{\varepsilon}{K}$

表 3-1 控制方程式中各變數對應之擴散係數與源項關係

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

$$\int_{s}^{n} \int_{w}^{e} \frac{\partial \Phi}{\partial t} dx dz + \int_{s}^{n} \int_{w}^{e} \frac{\partial}{\partial x} J_{x} dx dz + \int_{w}^{e} \int_{s}^{n} \frac{\partial}{\partial z} J_{z} dz dx = \int_{s}^{n} \int_{w}^{e} S_{\Phi} dx dz \qquad (3-15)$$

而式 (3-15) 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

$$\frac{\Phi_p - \Phi_p^0}{\Delta t} \Delta x \Delta z + J_e - J_w + J_n - J_s = (S_c + S_p \Phi_p) \Delta x \Delta z \qquad (3-16)$$

式中為 Φ[°]_p 上一時刻之值。上式各項分別表示如下:

$$J_{e} = \int_{s}^{n} J_{x} dz = \int_{s}^{n} (U\Phi - \Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x})_{e} dz = \left[(U\Phi)_{e} - \Gamma_{\Phi,e} \frac{\Phi_{E} - \Phi_{P}}{\Delta x} \right] \Delta z \quad (3-17)$$

$$J_{w} = \int_{s}^{n} J_{x} dz = \int_{s}^{n} (U\Phi - \Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x})_{w} dz = \left[(U\Phi)_{w} - \Gamma_{\Phi,w} \frac{\Phi_{P} - \Phi_{W}}{\Delta x} \right] \Delta z \quad (3-18)$$

$$J_{n} = \int_{w}^{e} J_{z} dx = \int_{w}^{e} (W\Phi - \Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial z})_{n} dx = \left[(W\Phi)_{n} - \Gamma_{\Phi,n} \frac{\Phi_{N} - \Phi_{P}}{\Delta z} \right] \Delta x \quad (3-19)$$

$$J_{s} = \int_{w}^{e} J_{z} dx = \int_{w}^{e} (W\Phi - \Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial z})_{s} dx = \left[(W\Phi)_{n} - \Gamma_{\Phi,s} \frac{\Phi_{p} - \Phi_{s}}{\Delta z} \right] \Delta x \quad (3-20)$$

將式 (3-17)~(3-20) 代入式 (3-12) 中,可得

$$\frac{\Phi_{p} - \Phi_{p}^{0}}{\Delta t} \Delta x \Delta z$$

$$+ \left[(U\Phi)_{e} - \frac{(\Gamma_{\Phi})_{e}}{\Delta x} (\Phi_{E} - \Phi_{P}) \right] \Delta z - \left[(U\Phi)_{w} - \frac{(\Gamma_{\Phi})_{w}}{\Delta x} (\Phi_{P} - \Phi_{W}) \right] \Delta z$$

$$+ \left[(W\Phi)_{n} - \frac{(\Gamma_{\Phi})_{n}}{\Delta z} (\Phi_{N} - \Phi_{P}) \right] \Delta x - \left[(W\Phi)_{s} - \frac{(\Gamma_{\Phi})_{s}}{\Delta z} (\Phi_{P} - \Phi_{S}) \right] \Delta x$$

$$= (S_{c} + S_{p} \Phi_{p}) \Delta x \Delta z \qquad (3-21)$$

將式 (3-21) 用下式的符號, 改寫為

$$\frac{\Phi_{p} - \Phi_{p}^{0}}{\Delta t} \Delta x \Delta z + \underbrace{\left[F_{e} \Phi_{e} - D_{e} (\Phi_{E} - \Phi_{p})\right]}_{J_{e}} - \underbrace{\left[F_{w} \Phi_{w} - D_{w} (\Phi_{p} - \Phi_{w})\right]}_{J_{w}} + \underbrace{\left[F_{n} \Phi_{n} - D_{n} (\Phi_{N} - \Phi_{p})\right]}_{J_{n}} - \underbrace{\left[F_{s} \Phi_{s} - D_{s} (\Phi_{p} - \Phi_{s})\right]}_{J_{s}} = (S_{c} + S_{p} \Phi_{p}) \Delta x \Delta z$$
(3-22)

而對流強度 D、擴散強度 F 之定義為

$$F_e \equiv U_e \Delta z$$
; $F_w \equiv U_w \Delta z$; $F_n \equiv W_n \Delta x$; $F_s \equiv W_s \Delta x$ (3-23)

$$D_e \equiv (\Gamma_{\Phi})_e \Delta z / \Delta x_e \quad ; \quad D_w \equiv (\Gamma_{\Phi})_w \Delta z / \Delta x_w \tag{3-24}$$

 $D_{n} = (\Gamma_{\Phi})_{n} \Delta x / \Delta z_{n} \quad ; \quad D_{s} = (\Gamma_{\Phi})_{s} \Delta x / \Delta z_{s} \tag{3-25}$

將式 (3-22) 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:

$$a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + b \tag{3-26}$$

為了加速收斂並提高計算效率,使用冪次方格式處理,對於 Patankar (1980)所提出之冪次方律差分法,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 (3-22) 中各係數表示如下:

$$a_{E} = D_{e} \times Max[0, (1 - 0.1 | (Pe)_{e} |)^{5}] + Max(0, -F_{e})$$
(3-27)

$$a_{w} = D_{w} \times Max[0, (1 - 0.1 | (Pe)_{w}|)^{5}] + Max(0, F_{w})$$
(3-28)

$$a_{N} = D_{n} \times Max[0, (1 - 0.1 | (Pe)_{n} |)^{5}] + Max(0, -F_{n})$$
(3-29)

$$a_{s} = D_{s} \times Max[0, (1 - 0.1 | (Pe)_{s} |)^{5}] + Max(0, F_{s})$$
(3-30)

$$a_{P} = a_{E} + a_{W} + a_{N} + a_{S} + a_{P}^{0} - S_{P} \Delta x \Delta z$$
(3-31)

$$b = S_c \Delta x \Delta z + a_p^0 \Phi_p^0 \tag{3-32}$$

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_e*分別表示為

 $Pe_{e} \equiv F_{e} / D_{e} ; Pe_{w} \equiv F_{w} / D_{w} ; Pe_{n} \equiv F_{n} / D_{n} ; Pe_{s} \equiv F_{s} / D_{s}$ (3-33)

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。

3.2.3 速度與壓力耦合技巧

動量方程式是 Φ 的通用方程式,即式 (3-13),的特殊情况。如 $\Psi = U$, $\Gamma_0 = (1/\text{Re})$,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,對動量方成式取散度得到壓力 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式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);原始變量方法有人為壓縮法 (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。

3-11

壓力泊松法(Poission)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 Poission 方程求 解壓力,由於每一時間上需要求解 Poission 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*=∂*U*/∂*x*+∂*W*/∂*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

$$D = \frac{U_{i+1/2,k}^{n+1} - U_{i-1/2,k}^{n+1}}{\delta x_i} + \frac{W_{i,k+1/2}^{n+1} - W_{i,k-1/2}^{n+1}}{\delta z_k} = 0$$
(3-34)

進行計算時,先以舊時間之壓力 *P*ⁿ_{i,k} 為猜測值來取代新時間之壓力值 *P*ⁿ⁺¹_{i,k},解得新速度,代入式 (3-34) 後得一非零之 *D* 值,然後再以此 *D* 值決定一壓力修正量 δ*P*,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

$$(U_{i+1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i+1/2,k}^{n+1})^{N} + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N}}{(\delta x_{i} + \delta x_{i+1})/2}$$
(3-35)

$$(U_{i-1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i-1/2,k}^{n+1})^{N} - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N}}{(\delta x_{i} + \delta x_{i-1})/2}$$
(3-36)

$$(W_{i,k+1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k+1/2}^{n+1})^{N} + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N}}{(\delta z_{k} + \delta z_{k+1})/2}$$
(3-37)

$$(W_{i,k-1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k-1/2}^{n+1})^N - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^N}{(\delta z_k + \delta z_{k-1})/2}$$
(3-38)

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

$$(U_{i+1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i+1/2,k}^{n+1})^{N} + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N}}{(\delta x_{i} + \delta x_{i+1})/2} \gamma_{i+1,k}$$
(3-39)

$$(U_{i-1/2,k}^{n+1})^{N+1} = (U_{i-1/2,k}^{n+1})^{N} - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N}}{(\delta x_{i} + \delta x_{i-1})/2} \gamma_{i-1,k}$$
(3-40)

$$(W_{i,k+1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k+1/2}^{n+1})^{N} + \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N}}{(\delta z_{k} + \delta z_{k+1})/2} \gamma_{i,k+1}$$
(3-41)

$$(W_{i,k-1/2}^{n+1})^{N+1} = (W_{i,k-1/2}^{n+1})^{N} - \Delta t \frac{(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N}}{(\delta z_{k} + \delta z_{k-1})/2} \gamma_{i,k-1}$$
(3-42)

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

$$(\delta P_{i,k}^{n+1})^{N} = -\frac{D}{\delta t \left[\frac{\gamma_{i+1,k}}{DXR} + \frac{\gamma_{i-1,k}}{DXL}}{\delta x_{i}} + \frac{\gamma_{i,k+1}}{DZT} + \frac{\gamma_{i,k-1}}{DZB}}{\delta z_{k}}\right]}$$
(3-43)

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 (3-43) 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 (3-43) 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:

$$\beta = -\frac{\lambda}{\delta t \left[\left(\frac{\gamma_{i+1,k}}{DXR} + \frac{\gamma_{i-1,k}}{DXL} \right) / \delta x_i + \left(\frac{\gamma_{i,k+1}}{DZT} + \frac{\gamma_{i,k-1}}{DZB} \right) / \delta z_k \right]}$$
(3-44)

則式 (3-44) 可改寫為

$$(\delta P_{i,k}^{n+1})^N = -\beta \cdot D \tag{3-45}$$

另外,在此程式中,設定障礙網格其 β 值為負值 (如 β=-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_{ini}*) 經內插法得到,即:

$$(P_{i,kt}^{n+1})^{N} = (1 - \eta_{0})(P_{i,kt-1}^{n+1})^{N} + \eta_{0}P_{s}$$
(3-46)

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:

 $\delta P = (P_{i,kt}^{n+1})^{N} - (P_{i,kt}^{n+1})^{N-1} = (1 - \eta_0)(P_{i,kt-1}^{n+1})^{N} + \eta_0 P_s - (P_{i,kt}^{n+1})^{N-1}$ (3-47) 將式 (3-47) 代入式 (3-39) ~ (3-42) 中,可得到新的液面區壓力和速度 值。圖 3-4 表計算自由表面網格之壓力時,所用到之變數定義:



圖 3-4 計算自由表面網格之壓力時所用到之變數定義

3.2.4 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。本文採用高度函數法(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:

$$\frac{\partial d}{\partial t} + U \frac{\partial d}{\partial x} = W \tag{3-48}$$

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 ~ (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 (3-43) 之差分方程去計算 液面的變動,其方程式如下:

 $d_{i,kt}^{n+1} = d_{i,kt}^{n} + \Delta t \left[-FHX + W_{s} \right]$ (3-49) $\dot{T} = FHY = \frac{1}{2} \frac{\partial d}{\partial r} + \frac{1}{2$

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

3.2.5 計算程序

針對本文所採用的數學模式、邊界條件和數值方法作一總結,如 表 3-2 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 場所得到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。

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

表 3-2 RANS 數值方法整理表



圖 3-5 計算流程圖
3.3 模式驗證

為驗證 RANS 數值計算之準確性,本文分別選取比較(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 3-6 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 3-7 則為本文數值模式 所模擬之流場。觀察圖 3-7 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 3-6 和 3-7 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 3-6 實驗量測之液面變化

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



(a)

(b)

圖 3-7 實驗量測和數值模擬之流場圖

(h = 60.96 cm , T = 4.0 sec , H = 5.85 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 3-8 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 3-8 足以驗證本文 數值模式計算波浪變形之正確性。





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 3-9 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 3-9 中可發現本文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 3-9 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,○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 3-10 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。



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, 本文利用歐等人 (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 (cm), T = 1.5 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 3-11 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 3-11 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 3-11 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),本文計算孤立波在 30° 斜坡上的水位變化,波浪條件 為:水深 16 cm 波高 2.7 cm,實線為本文模式 虛線為 Chang 和 Liu (1996) 的水位實驗值,圖 3-12 (a) 為 t = 6.38 sec 時的液面變化 (b) 為 t = 6.58 sec 時的液面變化 (c) 為 t = 6.78 sec 時的液面變化 (d) 為 t= 7.18 sec 時的液面變化。如圖 3-12 所示,數值模式所計算之液面與 試驗值相當接近,整體而言,本文模式計算結果與 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 3-12 數值計算與實驗量測之不同水位結果比較

3.4 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。

本文針對夏季季風模擬,週期 $T = 4.59 \, sec$ 、波高 $H = 0.67 \, m$ 之波 浪,入射於階梯式斜坡底床,坡度為1:3.75,入射水深 $h = 5 \, m$,階梯 高 10 cm、階梯寬 37.5 cm 如圖 3-13 所示。圖 3-14 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 3-14 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。

3.4.1 流場變化、渦流強度分析

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

$$\Omega = \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial z}$$
(3-46)

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。

$$\Omega_{P} = \frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial z} \cong \left[\frac{W_{i+1,k} - W_{i-1,k}}{x_{i+1,k} - x_{i-1,k}} \right] - \left[\frac{U_{i,k+1} - U_{i,k-1}}{z_{i,k+1} - z_{i,k-1}} \right]$$
(3-47)

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 $T = 4.59 \ sec$,波高 $H = 0.67 \ m$ 之波浪,入射於階梯式斜坡 底床,流場計算結果如圖 3-15 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 3-15 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 3-15 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 ~ 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。

3-27

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 3-15 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 3-14 數值模擬親水性堤岸之水位變化

(T = 4.59 sec; H = 0.67 m; h = 5 m)



圖 3-15 數值模擬親水性堤岸之流場和渦流強度分佈圖

(T = 4.59 sec; H = 0.67 m; h = 5 m)

藍線為自由液面,紅色虛線為平均水位







(T = 4.59 sec; H = 0.67 m; h = 5 m)

藍線為自由液面,紅色虛線為平均水位

第四章 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的安全,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。本計畫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。

4.1 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,無法比較消波塊抛設前後的差異,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做答,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 (biplan)的形容詞,如單純-複雜、

4-1

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。

由於 SD 法可得到民眾喜好的傾向,因此我們以 SD 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。

4.2 現地調查

4.2.1 取景方式

本計畫選擇花蓮港以南,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 4-1,分不同的視點及方向不同來拍攝。共拍攝約 30 張 照片。圖 4-1 為拍攝之視點位置及方向圖。

地點	照片	視點方向	地點	照片	視點方向	地點	照片	視點方向	
	编號			编號			编號		
	A1*	北岸	南濱	C1*	北岸		E1*	北岸	
	A2	西堤		C2	港口		E2	港口	
	A3	港口		C3*	海面	////—	E3	海面遠景	
北濱	A4*	海面		C4	海面遠景	161_	E4*	南岸	
	A5	海面遠景	(干称)	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	D1*	北岸		G1*	自由街口	
	A9*	花蓮溪口	(堤上)	D2*	南岸				
北濱	B1*	海面				打*别	虎者為	ふ漲、退潮	
(堤上)	B2	海面遠景				各拍一次			

表 4-1 照片拍攝之視點



圖 4-1 視點位置及方向圖

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 4-2 及圖 4-2。

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

表 4-2 本區段現有海堤





以上興建的海堤是政府為了顧及沿岸居民的安全,而抛設了許多 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 4-1 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 4-2 則為站在北濱海堤前,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,即使海洋就近在咫尺,卻完全無法看見蔚藍的海 面,這就是一個只顧慮到防患災害,注意安全,卻忽略了人民感受的 例子。照片 4-3 為站在北濱海堤上由南往北拍攝的,照片的盡頭處是花 蓮港,在陸域交通尚未發達前,港口扮演提供物流的角色,因此有特 殊的景觀意念存在,景觀上有其獨特的魅力,但放眼望去,映入眼簾 的盡是堆放雜亂的消波塊,有點浪費了這個美好的景色。

2.南濱:

照片 4-4 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抛消波塊,以避免再度 受破壞。照片中露出海面的是民國 80 年至 86 年間所抛的離岸堤。照 片 4-5 為南濱公園之一角,照片 4-6 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,因此沿岸抛了許 多的消波塊,照片 4-7 是整個化仁海岸的沿岸,除了岸邊的消波塊之 外,還有在海中所抛的離岸堤。照片 4-8 是在化仁南邊往北所拍攝,整

4-5

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 4-9 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 堤外側又抛了消波塊,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。

4.3 問卷設計

4.3.1 研究對象及調查方式

本計畫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。因此本計畫的受測對象主要以學生為主,學生的受訪者分 為有海洋背景與有景觀背景的學生,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。除了學生外,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:

(一)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做答。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。

4-6







照片 4-2 北濱海堤至海岸線間之照片



照片 4-3 由北濱海堤堤頂往港口之照片



照片 4-4 南濱海堤之緩坡側



照片 4-5 南濱公園之一角



照片 4-6 南濱公園沿岸之俯視照片



照片 4-7 化仁海岸俯視照片



照片 4-8 化仁海岸消波塊照片



照片 4-9 化仁海堤照片

(二)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,讓他們做答,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。

4.3.2 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。

4. 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 4-10 到照片 4-14。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 4-15 到照片 4-24。



照片 4-10 海面上船景的照片



照片 4-11 南濱公園一角



照片 4-12 南濱公園之傾斜式海堤



照片 4-13 南濱公園往花蓮港口之照片



照片 4-14 化仁海岸之護岸

- 1. 照片 4-10: 為圖 4-1 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 4-15.
- 2. 照片 4-11:為圖 4-1 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 4-16。

- 3. 照片 4-12: 為圖 4-1 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舖砌而成的緩坡,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 4-17 與處理後的照片 4-18。
- 4. 照片 4-13: 為圖 4-1 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,先以一張只有潛堤的 照片為照片 4-19,照片 4-20 則將潛堤移除,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 4-14:為圖 4-1 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 4-21,去除離岸堤的目的 是為了減少變因,以免潛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 4-22 則是再將照片 4-21 中岸邊的 消波塊去除,只留下原有的階梯式海堤,照片 4-23 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 4-24 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 4-15 至 4-24, 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。

4.3.3 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 4-3 的二十一對形容詞。

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	← →	普诵

表 4-3 本計畫所提的二十一對 SD 意味尺度

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。

4.4 調查結果

4.4.1 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 4-4 為所有不同背景受訪者之回數份數。

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

表 4-4 各背景受測者之回收份數

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 H₀,假設二者有否則不否定虛無假設 H₀。
- (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,而本計畫又將所 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 4-5 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。

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

表 4-5 各群體間之雙尾 p-值比較

從表 4-5 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 4.4.2 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 4-6 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。

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

表 4-6 各基本資料間的變異數分析

在表 4-6 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 4.4.2 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。

4.4.2 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 4-3 至圖 4-12 所示。圖 4-3 至圖 4-12 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 4-15 船隻海景

照片 4-16 南濱公園



圖 4-3 船景的 SD 曲線

圖 4-4 南濱公園景觀的 SD 曲線





照片 4-17 消波塊 A

照片 4-18 消波塊 B





圖 4-5 以消波塊舖設緩坡的 SD 曲線 圖 4-6 以石塊舖設緩坡的 SD 曲線





照片 4-19 離岸堤 A

照片 4-20 離岸堤 B





圖 4-7 離岸堤露出水面的 SD 曲線

圖 4-8 離岸堤沒入水中的 SD 曲線





照片 4-22 化仁海岸 B





討厭 喜歡 壓迫 舒適 美麗 醜惡 調和 互斥 鄉村 都會 +□≪ 樸素 鮮艷 自然 人工 呆板 動感 親水 離水 柔和 剛硬 複雜 簡單 ♦ 豐富 單調 Ô 順暢 阻礙 0 狹窄 廣闊 ÷ 封閉 開放 **0+** 粗俗 高級 危險 安全 雜亂 整齊 ⊌≪≫ 細緻 粗糙 **- +** \diamond 趣味 無趣 \diamond +0 風格 普通

圖 4-10 去除消波塊後的 SD 曲線

圖 4-9 原有之緩坡與消波塊

的 SD 曲線


照片 4-23 人工岬灣

照片 4-24 緩坡海堤





參考表 4-4 及表 4-5 及所有的結果最後可分為五個課題來討論:1. 大眾對船隻在海景中的喜好度:

對照片 4-15 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 4-16 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 4-4 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 4-17 與 4-18 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,但研判消波塊的舖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,即使當初抛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

4-24

不高,但照片 4-17 之分佈線的趨勢較照片 4-18 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 舖面的海堤令人無法接受。由照片 4-17 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 4-18 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 4-6 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 4-19 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 4-19 及照片 4-20 中,大家 對於照片 4-19 之喜好程度較照片 4-20 為高,其中照片 4-19 的離岸堤 露出水面,而照片 4-20 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 4-20 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 4-8 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 4-21 至照片 4-24 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 4-23 及 4-24 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 4-21 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。

4.4.3 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 4-7 表示兩變間的皮爾森相關係數與 其密切程度。

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 4-8 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
们田 囲内	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 4-8 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上還是有相當的影響力。而其他普通相關及低相 關的因子,則在喜歡的程度上影響力較小。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 4-9 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。

	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 4-9 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 5-10。

 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

表 4-10 因子成分表

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。

第五章 新竹港南海岸的海岸保護及親水性結構物 之規劃

5.1 海岸環境資料

5.1.1 地理位置

本文所探討之新竹南寮漁港鄰近海岸的地理位置,如圖 5-1 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,雖然目前該海岸有抛放消波塊予以保護,但 政府和民間相關單位仍研擬更適當的海岸保護對策。



圖 5-1 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)

5.1.2 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 10~15m/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 5-1 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 5-2,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 7m/s,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 7m/s 以上,可見颱風並不是影響新竹地區最主要的因素。

表 5-1 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
	楊妮(YANNI)	09/28	輕度	23	
1998	瑞伯(ZEB)	10/16	強烈	55	
	芭比絲(BABS)	10/27	中度	35	
1000	瑪姬(MAGGIE)	06/06	中度	38	
1999	丹恩(DAN)	10/04	中度	38	
	啟德(KAI-TAK)	07/09	中度	35	台東成功
2000	碧利斯(BILIS)	08/22	強烈	53	台東成功
2000	象神 (XANGSANE)	11/01	中度	38	未登陸
	奇比(CHEBI)	06/23	中度	35	未登陸
	潭美(TRAMI)	07/11	輕度	20	台東大武
2001	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 5-2 颱風生成至消失期間新竹測站測得之日平均風速

		日平均			日平均
颱風名稱	日期	風速	颱風名稱	日期	風速
		(m/s)			(m/s)
	1998/09/27	6.6		2000/10/28	5.2
楊妮	1998/09/28	4.9		2000/10/29	7.6
	1998/09/29	1.5	象神	2000/10/30	9.8
	1998/10/13	1.8		2000/10/31	5.0
	1998/10/14	2.8		2000/11/01	7.5
瑞伯	1998/10/15	9.1		2001/06/19	2.0
	1998/10/16	6.4		2001/06/20	1.8
	1998/10/17	3.1	奇比	2001/06/21	1.9
	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	酒主	2001/07/10	1.8
芭比絲	1998/10/24	8.4	/	2001/07/11	1.9
	1998/10/25	6.7		2001/07/28	1.5
	1998/10/26	5.2	세/ 보	2001/07/29	3.7
	1998/10/27	3.1	190~~	2001/07/30	4.0
	1999/06/03	1.8		2001/07/31	2.4
10月11日	1999/06/04	4.4		2001/09/11	1.5
与又民	1999/06/05	7.8		2001/09/12	2.5
	1999/06/06	4.6		2001/09/13	2.9
	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	納莉	2001/09/16	3.8
四因	1999/10/06	1.3		2001/09/17	6.3
万志	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
	2000/07/06	8.2		2001/09/24	7.8
啟德	2000/07/07	4.1		2001/09/25	8.3
	2000/07/08	3.9	利本用	2001/09/26	10.1
	2000/07/09	2.7	利可应	2001/09/27	1.5
	2000/07/10	2.1		2001/09/28	1.3
	2000/08/20	1.9		2001/09/29	2.7
珀毛瓜么	2000/08/21	2.9			
石州称	2000/08/22	9.5			
	2000/08/23	2.3			

*資料來源:中央氣象局。

5.1.3 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 5-3 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 5-4 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。

综合以上的結果,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 5-5 所示。

表 5-3 新竹漁港潮位表

潮汐特性	中潮系統
最高潮位 H.H.W.L.	+2.71 <i>m</i>
大潮平均高潮位 H.W.O.S.T.	+2.35 <i>m</i>
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」。

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

表 5-4 新竹漁港鄰近波浪觀測資料

*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。

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

表 5-5 新竹漁港深海颱風波浪統計表

*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」。

5.1.4 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 5-2 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 5-2 頭前溪與鳳山溪 1992 年至 2000 年之年總輸沙量

5.1.5 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5-3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-20*m* 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5-3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 5-3 所示,各剖面的坡度比較整理如表 5-6。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 5-3 測量範圍

表 5-6 各剖面之平均坡度

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

5.1.6 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 0.2~0.3*mm* 間,但水深在-15 或-20 公尺處之粒徑較不一致,有的達 0.3*mm*,有的小至 0.1*mm*,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 0.176~0.319*mm* 間,低潮灘線砂樣的中值粒徑則介於 0.148~0.296*mm* 間,港南沿岸地區砂樣中值粒徑均大於 0.20*mm*。而海域採樣顯示漁港南堤以南區域的底質中值粒徑介於 0.035~0.365*mm* 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 0.22*mm* 作為計算漂沙臨界移動水深時沙粒的中值粒徑。

5.2 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(簡稱漁技社)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 5-4)。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 5-4 新竹港南海岸消波塊拋置現況

5.2.1 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,漁技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 5-5 至 5-8 所示。







圖 5-6 方案 B(二支 L 型突堤配合二個離岸堤)之配置圖



圖 5-7 方案 C(人工岬頭)之配置圖



圖 5-8 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 為漁技社的原規劃,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 5-7。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 5-7。

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
В	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
С	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

表 5-7 四種規劃方案構想比較

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。 漁技社的規劃構想為,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。

5.2.2 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減的優劣,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,=0.9 之要求。根據本計畫表 5-4 的分析,本文所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 5-8 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 5-9 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 5-10 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 5-11 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 能消減範圍比 A 方案大。圖 5-12 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,所消減的波浪範圍較為有限。D 方案的波浪消減係由二支長突堤和一隻離岸堤結合而成,從圖 5-13 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 5-14 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 5-15 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。

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

表 5-8 模式輸入條件



(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 5-9 新竹港南海域未佈置結構物前波場分佈圖



WSW 1.2 m 1.0 m 0.6 m 0.4 m 0.2 m 0.0 m

(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 5-10 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 5-11 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 5-12 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 5-13 新竹港南海域波場分佈圖(D 方案)



圖 5-14 擷取斷面位置示意圖



圖 5-15(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 5-15(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 5-15(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)

5.2.3 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。

第六章 新竹港南海岸保護最適方案綜合評估

6.1 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,及提高評估結果上之準確性,本計畫 將透過決策四要素: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。

本計畫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,之後採取層 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 6-1 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 6-2 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。

6-1



圖 6-1 各方案評選流程圖



圖 6-2 各方案評選之層級結構圖

6.2 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。

6.2.1 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。

6.2.2 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 6-1),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 $A = [a_{ij}]$ 。

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
v		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	各相鄰尺度間需要折衷值時
Ť	(Intermediate values)	

表 6-1 AHP 評估尺度意義及說明

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 $a_n = 1/a_n$,矩陣如式(6-1)所示。
$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$
(6-1)

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

$$W_{i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \cdots, n$$
(6-2)

(2)列向量平均值標準化法

$$W_{i} = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \cdots, n$$
(6-3)

(3)行向量和倒數標準化法

$$W_{i} = \frac{1/\sum_{i=1}^{n} a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} (1/\sum_{i=1}^{n} a_{ij})} \quad i, j = 1, 2, \cdots, n$$
(6-4)

(4)列向量幾何平均值標準化法

$$W_{i} = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^{n} \left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad i, j = 1, 2, \cdots, n$$
(6-5)

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。

6.2.3 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 $x_1 x_2 \dots x_n$ 。

6.3 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)

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

其中 X"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 $w = (w_1, w_2, ..., w_n)$,其中 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1j} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2j} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{i1} & v_{i2} & \cdots & v_{ij} & \cdots & v_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mj} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_j r_{1j} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_j r_{2j} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{i1} & w_2 r_{i2} & \cdots & w_j r_{ij} & \cdots & w_n r_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_j r_{mj} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$
(6-7)

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

$$A^{*} = \{(\max_{i} v_{ij} | j \in J) \text{ or } (\min_{i} v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, ..., m \}$$

$$= \{ v_{1}^{*}, v_{2}^{*}, ..., v_{j}^{*}, ..., v_{n}^{*} \}$$

$$A^{-} = \{(\min_{i} v_{ij} | j \in J) \text{ or } (\max_{i} v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, ..., m \}$$

$$= \{ v_{1}^{-}, v_{2}^{-}, ..., v_{j}^{-}, ..., v_{n}^{-} \}$$

$$\exists \mathbf{P} \quad J = \{ j = 1, 2, ..., n | j \; \hat{\mathbf{s}} \hat{\mathbf{x}} \hat{\mathbf{x}} \hat{\mathbf{m}} \hat{\mathbf{m}} \hat{\mathbf{m}} \hat{\mathbf{m}} \hat{\mathbf{s}} \}$$

$$(6-8)$$

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

4.計算分離測度 (Separation Measure)

各方案與正理想解之分離測度為

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad , \quad i = 1, 2, ..., m$$
(6-10)

各方案與負理想解之分離測度為

$$S_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^{-})^2} , \quad i = 1, 2, ..., m$$
(6-11)

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

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)} , \quad 0 < C_i^* < 1 , \quad i = 1, 2, ..., m$$
 (6-12)

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。

6.4 綜合評估結果

6.4.1 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 6-2 所示。

	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

表 6-2 各專家對於各要素的權重

接著利用 6.2.3 節所述群體評估整合的方式,可獲得各要素的權 重,如表 6-3 所示。

表 6-3 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

6.4.2 TOPSIS 分析

本計畫依照第五章的分析,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

0.20850.24810.18260.34280.37120.62550.49610.54770.57590.57370.41700.37210.36510.34280.40500.62550.74420.73030.65820.6075

將正規化決策矩陣及表 6-5 代入式(6-7), 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(6-8)及(6-9)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(6-10)至式(6-12),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 6-4 所示。

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
А	0.1854	0.0311	0.1436	4
В	0.0560	0.1593	0.7398	2
С	0.1165	0.0819	0.4128	3
D	0.0311	0.1854	0.8564	1

表 6-4 四個建議方案之排序

由表 6-4 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。

第七章 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,只有一大片沙灘及抛石區,而往南邊金城湖的方向走去,生態 環境豐富,除了抛石區內有一大片的木麻黃外,尚有野鳥、蟹類可供 觀賞。

7.1 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 7-1)。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 7-1 及照片 7-2。

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、撿貝殻、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

表 7-1 休閒遊憩活動偏好分析表



照片 7-1 風帆船之斜坡道 1



照片 7-2 風帆船之斜坡道 2

7.2 選擇最佳遊憩行為與堤岸斷面型式

綜合整理第五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,示如表 7-2。

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				
	堤面活動	B、D、F				
動態活動型	海灘活動	B、C、D、E、F				
	海面活動	B、D、F、E				

表 7-2 新竹港南育樂中心最佳遊憩行為與堤岸斷面型式

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,在下節中會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。

7.3 親水性堤岸的平面配置

由 7.2 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,本文將抛石區分為三個部分設

計,第一個部分自抛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 7-3 及照片 7-4);第二個部分 B 區,為舊海堤 入口左右共約 200 公尺(照片 7-5 及照片 7-6);以及舊海堤入口左側 100 公尺至抛石區的最南端,為第三部份 C 區,長約 400 公尺(照片 7-7 及照片 7-8),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 7-3 抛石區 A 區 1



照片 7-4 抛石區 A 區 2



照片 7-5 抛石區 B 區 1



照片 7-6 抛石區 B 區 2







照片 7-8 抛石區 C 區 2

7.3.1 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、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。

一、A區堤岸的斷面設置

1.景觀考量方面:

就第五章調查此地的環境條件知道,此區抛石區前的沙灘非常 大,海灘坡度平緩約為1:60,在抛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、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。

因為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,以斜面接續抛石區內外的海岸,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、 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, 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。

二、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、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、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。

三、C 區的平面設置

1.景觀考量方面:

C區抛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、蟹類可供觀賞、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、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,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、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。 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。

由上文所述,因為C區景觀上比較豐富,堤岸內有樹林可供散步、 遮陽,堤岸外可賞鳥、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。

7.3.2 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--以抛石區北端為起點,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, 與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。 而另外港南育樂中心的海岸現今因漁港防波堤的興建、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、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。

第八章 結論

- 本計畫所發展之緩坡方程式波浪模式,可計算不同配置方案的平面 波場分佈。本文據此計算透水斜坡底床之堤前波高分佈與反射率, 並迴歸出經驗公式以作為設計護岸之參考。
- 本計畫所發展之 RANS 波浪模式,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,可能導致堤趾沖刷的因素。
- 3. 本計畫選擇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,結果顯示,大 眾對於消波塊抛放在海岸上的景觀,明顯有討厭的感覺,在所有照 片中,只要有消波塊的抛放,其喜好程度都較差,但對於人工規劃 的海岸,其喜好程度略高於消波塊抛放的海岸,顯示大眾並非排斥 人工海岸,但只要能作良好規劃,也能令人接受。
- 4. 本計畫選定新竹港南海岸作為規劃對象,依照漁技社所提出的四個 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。
- 本計畫並進一步對新竹港南海岸作整體規劃,由抛石區北端開始至 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;舊海堤入口左側至抛石區最南端約 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。

附錄一 參考文獻

- 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).
- 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).
- 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).
- Harlow, F. H. and Welch, J. E., "Numerical calculation of timedependent viscous incompressible flow of fluid with free surface," *Physical Fluids*, Vol. 8, pp. 2182-2189 (1965).
- 5. 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).
- 6. 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).
- Isobe, M., "A parabolic equation model for transformation of irregular waves due to refraction, diffraction and breakingm," *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 30, pp. 33-47 (1987).

- 8. Mei, C. C., *The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves*, Wiley-interscience, New York (1983).
- 9. Orlanski, I., " A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows," *Journal of Computational Physics*, Vol. 21 (1976).
- 10. 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).
- 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).
- 12. Patankar, S. V. and Splading, D. B., *Heat and Mass Transfer in Boundary Layers*, 2nd ed., Intertext, London (1970).
- 13. Patankar, S. V., "A calculation procedure for two-dimensional elliptic situations," *Numerical Heat Transfer*, Vol. 2, pp. 231-251 (1979).
- Patankar, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Washington, D.C. (1980).
- Radder, A. C., "On the parabolic equation method for water wave propagation," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 95(1), pp. 159-176 (1979).
- 16. 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).

- 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).
- 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).
- 19. Yoon, K. and Hwang, C. L., Multiple attribute decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Berlin (1981).
- 20. 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)。
- 21. 台灣水文年報,經濟部水利署 (1992~2000)。
- 22. 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)。
- 23. 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)。
- 24. 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)。
- 25. 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)。
- 26. 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)。
- 27. 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)。

28. 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)。

附錄二 期中報告意見處理情形

時間:中華民國九十三年七月十五日(星期四)下午一點三十分

地點:交通部運輸研究所港灣技術中心二樓簡報室

主持人:邱永芳 主任

審查意見及處理情形

審查意見	辦 理 情 形
中山大學陳陽益委員	
1.堤體附近之流場分與渦流強度分析中,以 T=4sec,H=1.0m,h=12.0m,需說明是以 此條件進行本模式的計算結果而已,並敘	此計算例較不符真實狀況 , 期末報告將針對合 理的計算例進行模擬計算、分析。
及其合理度 (量化值下的)。 2 本 搏式 所引用的試驗值 — 其独喜頂名	期士起生收寻找海觉的封险资料准行比款。武
2. 本模式所引用的試驗值, 其波高損多 4~5cm, 似乎嫌太小點, 建議以高波試驗 值來驗證則更好。	考慮自行作試驗驗證之。
3.承接上點,若能有不錯的結果,則可延伸 應用到颱風大浪衝擊,並以一例推估之。	遵照辦理。
4.對海岸保護及親水性結構物最適化的配置,應以安全性作最大權重的考量,即以 安全性為前提來告知受民調者作圈選意	由於安全評估非一般民眾可作到,因此問卷設 計並不作任何安全性提示,純粹分析民眾對護 岸結構物的喜惡。在作決策評估時,將就數個
見時的考量。	計算案例進行專家問卷,其中工程安全所佔的決策百分比會大於景觀設計,如工程安全 80%,景觀設計20%,以確保防護工程的安全
	性,业考重氏承到京觀的需水。
1.海岸保護與親水性結構物二大主題間的 連結性尚嫌不足,有待加強。	海岸保護與親水性結構物二大主題間的連結 性,將在新竹港南海岸的規劃中,實例應用之。
2.階梯斜面海堤的波浪反射率值似介於透 水與不透水斜坡底床間,為如何算定宜加 補充說明。	遵照辦理。
3.不同海岸結構物(人工礫石建造或消波塊 組成的透水斜坡底床)的透波性或透波率 如何訂定宜加補充說明。	遵照辦理。

審查意見	辦 理 情 形
4.視覺景觀評估未有調查結果初步結論或	期中報告中 4.4.3 節已有初步結論及建議,不
親水性配置方法之建議,應加補充。	足之處將在期末報告中補充。
5.第五章之初步規劃構想如何未見說明	依合約進度,第五章於期中報告主要工作項目 為資料收集 期末報告則會有完整規劃。
 逢甲大學林朝福委員	
1.本文數值模式皆有試驗數據驗證,相當合	感謝委員肯定。
理,具實用性。	
2.如何落實視覺景觀之評估結果,融入海岸	在作決策評估時,將就數個計算案例進行專家
保護及親水性結構物的最適化配置中。	問卷,其中工程安全所佔的決策百分比會大於
	景觀設計,如工程安全 80%,景觀設計 20%,
	以確保防護工程的安全性,並考量民眾對景觀
	的需求。
3.海岸工程的生態工法如何定義、施作。	海岸工程的生態工法是以工程角度考慮生態
	環境,並評估護岸工程對棲地之影響。
4.新竹港南海岸之波浪建議列入颱風浪之	遵照辦理。
波高 , 俾做為安全計算之波浪波高。	
港灣技術中心何良勝委員	
1.模式計算中以潛堤作為驗證,如此如何引	波浪斜向入射於斜坡上之潛堤,其效應包含了
用至相關海堤計算之實例。	波浪六大變形,以此作為模式驗證,具有相當
	的代表性,可確保模式於實際海域計算的可信
	度。
2.是否可增加某些先決條件 (例如較安全或	由於安全評估非一般民眾可作到,因此問卷設
較危險)做為視覺景觀之評估。	計並不作任何安全性提示 , 純粹分析民眾對護
	岸結構物的喜惡。在作決策評估時,將就數個
	計算案例進行專家問卷,其中工程安全所佔的
	決策百分比會大於景觀設計,如工程安全
	80%,景觀設計20%,以確保防護工程的安全
	性, 並考量民眾對景觀的需求。
3.建議提供堤面、斷面規劃方案,作為本所	遵照辦理。
試驗之依據,並作為數值之驗證比較。	
港灣技術中心邱永芳主任	
1.計畫完成後之觀念或成果轉移到使用單	遵照辦理。
位應有考量,是否舉辦研討會或訓練班。	

審查意見	辦 理 情 形
2.海岸保護工法加入景觀或生態後,其數值	遵照辦理,期末報告於新竹港南海岸之規劃會
模擬如何做應有說明。	有完整說明。
3.請依照合約,提出第二期款申請,期末報	遵照辦理。
港灣技術中心間仲堭委員(書面番鱼) ————————————————————	
1. 第二章及第三章之研究成果與第一年有	第一年是針對不透水性底床進行反射率分
何差異?請補充說明	析,而本年度第二章則是針對透水性底床進行
	分析。第三章分析流場分佈及渦流強度,為第
	一年所未分析之成果。
2. 第三章所探討堤體附近之流場分布與渦	本文第三章僅探討波浪與堤體附近之流場分
流強度分析 , 是否有考量非波浪引致之流	布與渦流強度分析 , 未考量流之作用。本章僅
作用?本章研本章研究成果是否適用於	就基礎問題探討,對於複雜地形尚未考慮。
台中港北防波堤堤頭西南側地形沖刷探	
討?	
3.第 3-10 頁有關速度與壓力耦合問題係利	每一次疊代過程中不斷透過求解速度場所得到
用疊代技巧處理。請補充說明疊代過程中之	之資訊來修正壓力場,並同時對流場進行校
收斂值如何設定。	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
	序直至達到穩定態為止,才算完成此流場計算。
4.第 3-22 百倒數第二行,"為明瞭波浪诵過	遵照辦理。大尺度渦流由壁面產生,大尺度渦
潜堤時所生成之大尺度渦流…"中之潛堤係	流與平均流 (mean flow) 作用後,由平均流中
屬誤值,請修正為階梯式斜坡底床。此外何	取得動能轉給大尺度紊流運動。渦流中漩渦元
謂大尺度渦流?也請補充說明。第3-23頁	素彼此擴展,故漩渦擴展 (vortex stretching) 為
第一行至第五行敘述含義不夠清楚。請就溯	紊沇連動乙基本現家, 耤此漩淌擴展將能量傳 振云再小的温法。 古利科湾力明顯重要。 五約
升、溯降與渦流強度(流速變化梯度)間之	巡王史小叻响派,且到和帝刀呐艇里女,叫能 十二十十十十十十十十十十十十十十十十十十十十一 十二十十十十十十十十十十十十
關係作較清晰的說明。	(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。有
	關溯升、溯降與渦流強度(流速變化梯度)間
	之 爾16請
5.圖 3-11 之渦流強度表示顏色色階層請改	遵照辦理。
善(渦流強度-2至-0.5顏色色階相似無法區	

	審	查	意	見			辦	理	情	形	
別)。											
6.第六章	6.第六章內容比較像工作事項進度報告,不遵照辦理。										
像是結	鴍 本章	請參照	前面幾	章之研究	〔主要						
成果編寫	高。										

附錄三 期末報告意見處理情形

時間:中華民國九十三年十一月二十三日(星期四)上午九點三十分

地點:交通部運輸研究所港灣技術中心二樓簡報室

主持人:黃德治 所長

審查意見及處理情形

審查意見	辦 理 情 形
高雄海洋科技大學沈建全委員	
1.研究成果十分豐碩,為一個物超所值的計	感謝委員的肯定。
	成批禾昌嘉串旧田
2.	您砌安貝頁貝旋甠。
3.請注意新竹港南海濱之南側是否會有侵	由於新竹南寮漁港防波堤的延伸,攔截頭前溪
蝕問題發生,是否須不斷供沙。	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,故需要補充沙源以達到海
	岸穩定平衡。
4.可採用人工藻床工法(浮球、尼龍索、水	本區域位於新竹海岸有極寬之淺灘區,平常浪
泥塊)以增加生態復育速度及效果。	大時,近岸即呈現漂沙嚴重之混濁海水,若設
	置人工藻床工法效果恐不佳,唯在規劃施工
	中, 可以試驗性設置, 若效果良好, 再行推廣。
5.可作為未來海岸規劃及設計之標準作業	本計畫已建立一個整體評估之方法及流程,未
方式。	來可先應用在新竹海岸保護、規劃、設計,若
	成功可將此模式推廣至其他地區。
建國技術學院莊甲子委員(書面審查)	
1.有關波浪之均方根平均波形振幅 η_{ms} 如何	遵照辦理。
計算於理論分析中宜加補充說明。	
2.圖 2-7 中模式計算結果與試驗結果有部分	圖 2-7 為模式計算波浪通過不透水潛堤之結
的差異 , 其原因何在宜加補充說明。	果,而試驗為波浪通過透水潛堤之結果,故模
	式計算結果與試驗結果有明顯的差異。
3.第三章分析中有關夏季季風模擬用週期	採用此條件是根據以往的當地波浪條件來設
T = 4.59 sec 波高 $H = 0.67m$ 之波 浪	計此波浪。
(P.3-26)似有偏小之嫌。	
4.親水性堤岸階梯高寬 ee(10cm:37.5cm)宜	在模擬時,採用階梯高 10 cm、階梯寬 37.5 cm

審查意見	辦 理 情 形
更改採用整數化(例如 1:3 or 1:4)以利日後 工程建造方便應用。	坡度為1:3.75,此因為考量實際一般設計階梯 的尺度,往後在設計會採用整數化的設計,感 謝委員寶貴意見。
 5.護岸消波塊之視覺景觀評估的四個主因子,日後在海岸景觀評估上如何定位與應用之說明宜加補強。 	本計畫所得景觀評估之四個主因子 , 主要可提 供設計時評估景觀之依據或設計上之參考。
6.新竹港南育樂中心可設計的三種海岸斷 面型式圖建議加以補附以增進報告之完 整性。	本計畫為兩年期的計畫 , 所有斷面型式在上年 度已有詳加討論 , 故今年度將不再贅述。
逢甲大學林朝福委員(書面審查)	
 A H P 權重的分析調查中,在"防災"權 重有低至 0.1972, "生態"權重有落差達 六倍,顯示被訪問者對海岸工程應達成的 成效有嚴重的認知差異,其對本文分析結 果的影響,希望在報告內討論呈現。 	本計畫考慮不同背景之專家來評估權重,主要 能知道不同領域專家之見解,且平衡不同領域 之看法。一般使用各項因子之平均值當為所有 專家權重,來代表整個專家群之最終結果。
 2.海岸生態工法強調消波塊的減量使用,甚 至不使用,在本規劃中也希望能針對此點 予以討論說明。 	新竹海岸原置於岸上之消波塊會外移當為離 岸堤,新製消波塊之使用應降低,且需考慮景 觀因素。
港灣技術中心何良勝委員	
 1.以理論與試驗方式探討海岸保護結構物 之配置,同時以實例調查景觀、生態之方 法,顯示本研究針對軟水性結構物之探討 方式正確且有良好結果。 	感謝委員的肯定。
 2. 文章內容應修正或補充說明之處: 1. 中、英文摘要應用本所格式。 2. 查證(2-12)式。 3. 圖 2-9(a)~(d)圖說與文內說明應一 致。 	遵照辦理。
3.有關第四章之調查評估方式或第五章之 方案評選可能因不同地點而有不同之評 估方式,如何有效建立一基頻性之通用評 估方法?	不同地點可遵循本計畫之模式,但需重新訂定 規劃目標、權重及設計方案,通過 TOPSIS 方 法即可評估適合不同地區之較佳方案。
 4.建議未來應盡量將數值計算與案例結合 探討,並對可能之地形變化影響.結構物 	感謝委員之建議。

審	查 意	見		辦	理	情	形
安全性等進行研	究探討。						
港灣技術中心邱永	芳委員		·				
1.二年報告請綜合 效的推展。	整理成完整	報告 , 以利績	遵照辦理。				
2.請整理本計畫所 未來各海岸保護	提出之方法 之參考使用	與步驟 , 提供 。	遵照辦理。				
3.堤址沖刷是防波 保護方式應有進	堤破壞主因 一步說明。	之一 , 對堤址	由於堤趾的 在此應設- 趾。	う渦流強 −些護/	館度較大 末工或月	、故易 用地工	}沖刷 , 故建議 沙管來保護堤
4.問卷調查有沒有 表示,其比較如 應有說明。	頁可能加進絲 │不明顯時,〕	充計法做量化 其取捨法如何	本計畫引月 測者做統言 作景觀因子 僅為相對比	目 SD	长做問卷 及正常分 及對消波 女無需再	評分依 術測記 現偏好 進行約	
5.報告例子為花蓮 能否直接引用到 可否直接運用到 應再說明。	景觀的問卷 新竹港南海 其他區域 , [,]	調查,其效果 岸,亦即未來 代表性為何?	花蓮景觀; 擊,此結 因此,此码	之評估作 果與當地 开究結界	僅對消》 地海岸背 見是可以	波塊在 「景景觀 、用至其	岸上之景觀衝 ���明顯關係 , ��他地點。
港灣技術中心簡仲	璟委員						
1.模式介紹說明 性,避免讀者 2-1~2-14 頁以潛 則以離岸堤作說	, 請注意文 發生混淆。 堤作說明, 但 ;明。	字用語之連貫 例如第二章 目2-15 頁以後	本文對透; 驗證,目前 淆。	水性潛 ^力 市已在朝	堤與透7 8告內容	水性離 加上討	岸堤均有進行 E解,以避免混
2.參照第七章 7.3.港南育樂中心之	2 節之說明 整體平面配	,請補充新竹 置圖。	遵照辦理。				
3.第六章之海岸 法,是否有區域 一套評估標準作 於其他地區?請	保護最適方 性限制?換 業程序(或 補充說明。	ī 案的評估方 言之 , 是否為 準則) 而適用	此評估標準 需依不同地	售可應用 也點重新]至其他 〔執行。	地區,	唯操作之內容
4.第三章中有關速 採用壓力校正法 法是否有何優點 採用。建議補充	度與壓力耦 ?和其他方 占?或是基訪 說明。	合技巧 , 為何 法比較 , 本方 仒哪些考量而	遵照辦理, 力耦合技工 力泊給計算 數值計算 定,程式加 續方程式加	於文章 5有壓力 5 小 動 5 小 章 5 小 章 5 小 章 5 小 章 5 小 5 小 5 小 5 小	中補充 這 定 正 法 面 上 的 派 軍 人 難 收 、 為 壓 力	說法、人 制 引 し 記 間 度 過 人 山 ()	有關速度與壓 、為壓縮法、壓 函數法在進行 界條件很難給 、為壓縮法在連 法求定常解可

審	查	意	見		辦	理	情	形	
				行,但對非	定常的	解常失真	も。壓ス	力泊松法	,由於
				每一時間上	需要	衣解 Po	ission	方程式,	求解時
				非常耗時。	採用	墅力校ī	E法,フ	方法簡單	,故本
				報告在壓力	」處理ス	方面以圖	壓力校Ⅰ	E法處理。	b











本年度計畫研究項目								
□利用數值來計算親水性堤岸之水理特性:								
利用緩坡方程式模式計算堤前波高分佈與反射率。								
利用數值模式 (Navier Stokes equation) 模擬堤體附 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。								
□最適化配置方案評估:								
透過視覺及景觀之整體評估,以選擇最適之方案, 以作為 (運輸研究所) 水工模型試驗之參考依據。								
□以新竹港南海岸作為規劃對象,使其具備景 觀、遊憩及海岸防護等功能。								
































□ 護岸消波塊之視覺景觀評估

• 調查方法 — SD法

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









□ 因子成分表(Principal Factor Analysis)

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

□ 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。













□ 海岸保護方案 (2/2)

方案	配置	構想	規劃目標	初估 經費
А	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
В	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
С	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

表5-7 四種規劃方案構想比較







□ 四種方案海岸生態之比較(2/2)

- 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。



□ 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	
			-



□ 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(1/3)

• 建立正規化決策矩陣

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

• 建立加權正規矩陣

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



□ TOPSIS法(3/3)

- 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
А	0.1854	0.0311	0.1436	4
В	0.0560	0.1593	0.7398	2
С	0.1165	0.0819	0.4128	3
D	0.0311	0.1854	0.8564	1

□ 民眾對於海岸空間利用的要求

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
	堤面活動	B、D、F
動態活動型	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













 本計畫所發展之緩坡方程式波浪模式,可計算不同配置方案的平面波場分佈。本文據此計算透水斜坡底床之堤前波高分佈與反射率,並迴歸出經驗公式以作為設計護岸之參考。 本計畫所發展之 RANS 波浪模式,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,可能導致堤趾沖刷的因素。
▶ 本計畫所發展之 RANS 波浪模式,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,可能導致堤趾沖刷的因素。
本計畫選擇化運南濱附近海岸景觀為研究基地,以富地照片加上 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,結果顯示, 大眾對於消波塊抛放在海岸上的景觀,明顯有討厭的感覺,在所 有照片中,只要有消波塊的抛放,其喜好程度都較差,但對於人 工規劃的海岸,其喜好程度略高於消波塊抛放的海岸,顯示大眾 並非排斥人工海岸,但只要能作良好規劃,也能令人接受。

結論 (2/2)
▶ 本計畫選定新竹港南海岸作為規劃對象,依照漁技社所提出的四個規劃方案,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。
▶ 本計畫並進一步對新竹港南海岸作整體規劃,由抛石區北端開始 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;舊海堤入口左側至抛石區 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。

