

102-22-7671
MOTC-IOT-101-H2DB005a

消能式結構物特性之研究(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-22-7671
MOTC-IOT-101-H2DB005a

消能式結構物特性之研究(4/4)

著 者：邱永芳、林炤圭、蔡金吉

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

消能式結構物特性之研究(4/4)/邱永芳、林炤圭、
蔡金吉著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 102.02

冊 ； 公分

ISBN 978-986-03-6007-3 (平裝)

1. 港埠工程

443

102001595

消能式結構物特性之研究(4/4)

著 者：邱永芳、林炤圭、蔡金吉

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 102 年 2 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：新臺幣 250 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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

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

GPN：1010200243

ISBN：978-986-03-6007-3 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：消能式結構物特性之研究(4/4)			
國際標準書號 978-986-03-6007-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1010200243	運輸研究所出版品編號 102-22-7671	計畫編號 101-H2DB005a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳主任 計畫主持人：邱永芳主任 研究人員：蔡金吉 參與人員：楊怡芸 聯絡電話：04-26587221 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立臺灣海洋大學 計畫主持人：林炤圭副教授 研究人員：岳景雲、翁文凱、楊國誠、陳文俊 地址：20224 基隆市中正區北寧路2號 聯絡電話：02-24622192		研究期間 自 101 年 01 月 至 101 年 11 月
關鍵詞：消能式結構物、數值模擬、水工模型試驗、海岸公路、邊坡保護			
摘要： 本計畫為四年期研究計畫，藉由水工模型斷面試驗及數值模擬等方式探討並研發符合臺灣各區地理環境需求與功能屬性的新型消能式港灣結構物，包含長波抗浪型、功能目的使用型或臨時性設施型、以及環境保護型等三大類型結構物，尋求在符合永續利用的前提下能替代傳統保護港灣、海岸之重力式海岸結構物，並期能達兼具符合海岸空間環境需求及海岸保全之功能。此外，也因應我國海岸公路極為貼近海岸線的特性，連帶探討海岸公路邊坡的破壞案例、機制與防治工法。長波抗浪型結構物的研究中研發了利用內建斜坡及多孔隙消波室，可促使波浪越波消能的碼頭結構離形，並由水工模型試驗確認即使在入射波週期為40sec之長波亦能得到0.5的反射率，顯示其可行性；功能目的使用型或臨時性設施型的研究中探討了外加彈性/剛性襯板的浮式結構物的運動行為及附近波場特性，發現適當的襯板設置可以增加浮體的阻尼效果，同時也探討了利用壓氣沉箱吸收波能的可行性；環境保護型則著重於探討多種型式的繫/離岸潛式多孔隙透水結構物的波動與消能特性，提出適合於生態復育的潛堤結構組合。在探討海岸公路邊坡防護的結構物方面，主要是收集公路邊坡的破壞案例以及相關文獻與資料，並檢討各案例的破壞原因，以及利用水工模型試驗進行個案評估。本年度的計畫主要是綜合評估過去的研究成果，選擇最優配置方案，並就工程應用上所需要的相關參數進行圖表或經驗公式的建置。 成果效益： 1. 針對臺灣地區特性與港灣構造物之使用功能與目的研發出具體可行之可消減長波能量的實用型結構設施、具環境保育與結構安全的港灣結構設施型式及高機動性、符合環境保護的結構設施。針對臺灣各區域之港灣特性決定結構型式，活絡臺灣港灣環境及水質，並提供各港務局及水利署等單位作為改善現有港灣設施及海岸基礎建設之參據。 2. 計畫屬於創新前瞻、技術開發之研究，不僅可促成學界合作研究，其研究成果亦可作為各港務局及公路總局在海岸道路保護及港灣構造物消能設施之依據，以改善海洋環境品質，整體研究過程與成果不僅可培育相關人才，亦可增進公共服務設施之品質與效能，同時在經濟效益上，亦可提供功能性較高之港灣結構物，節省工程建設及維護費用。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
102 年 2 月	290	250	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工本費價購。
機密等級： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 (解密條件：☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密，☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密) ☒普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Water Wave Energy Dissipation Structures (4/4)			
ISBN 978-986-03-6007-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200243	IOT SERIAL NUMBER 102-22-7671	PROJECT NUMBER 101-H2DB005a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-Fang PROJECT STAFF: Tsai Chin-Chi; Yang Yi-Yun PHONE: +886-4-26587221 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2012 TO November 2012
RESEARCH AGENCY: NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lin Jaw-Guei PROJECT STAFF: Yueh Ching-Yun, Weng Wing-Kai, Yang Kuo-Cheng, Chen Wen-Juinn. ADDRESS: 2 Pei-Ning Road, Keelung 20224, Taiwan, R.O.C PHONE: +886-2-24622192			
KEY WORDS: Wave dissipation structure, Numerical simulation, Hydraulic model test, Coastal highway, Shore protection			
ABSTRACT The major goal of the study entitled with “Water Wave Energy Dissipation Structures” is to develop suitable new wave dissipation structures, which satisfy the different coastal characteristics and function requirements of protective facilities for Taiwan coastal zone through the numerical simulations and hydraulic model tests. Three different structures related to the coastal characteristics and the functions required around Taiwan coast are long period wave dissipation type, fast installation/special purpose type, and environmental protection type. Each kinds of the new coastal structure have been designed, tested, and evaluated. For the study on long period wave dissipation type structure, a new wharf structure that utilized an internal slope that can cause the waves run-up, overtop and dissipate their wave energies had been designed, through hydraulic model tests and numerical simulations. The prototype was proved to have good wave dissipation function even in long period incident wave cases. In the study of the fast installation/special purpose type structure, a skirt type floating structure was developed and tested; the rigidity, length and the inclined angle of skirts were found to have dominant influence on wave damping effect. In the study on the environmental protection/restoration type structure, the influence of submerged permeable structure on wave characteristics was studied, several combinations of submerged dike and perforated breakwater were tested and their wave field and flow field were evaluated. For the study of shore protection of coastal highway, the failure cases and the possible solutions were collected and analyzed, and also the relative references and the characteristics about the coastal highway of Taiwan were collected and discussed. In this final year’s researches, all three new types of coastal structure will be studied more detail in accordance to the practical use, the parameters which related to planning and design were evaluated, and the monitoring, protection, and maintenance criteria for coastal highways will be collected and evaluated.			
DATE OF PUBLICATION February 2013	NUMBER OF PAGES 290	PRICE 250	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	IV
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	XIX
照片目錄.....	XXIII
第一章 計畫背景分析.....	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 計畫重要性.....	1-4
1.3 研究範圍與工作項目.....	1-7
1.4 過去研究成果與本年度的工作項目.....	1-10
1.5 本年度工作內容.....	1-14
第二章 長波抗浪型結構物.....	2-1
2.1 研究目的.....	2-1
2.2 重要文獻回顧.....	2-2
2.3 波形尖銳度與碎波參數.....	2-7
2.4 波浪的溯升/溯降(run up/run down)理論.....	2-9
2.5 水工模型試驗的結果分析.....	2-29
2.5.1 常時波浪的水工模型試驗(初期測試).....	2-29
2.5.2 長週期波浪的水工模型試驗與數值模擬.....	2-34

2.6 單一斜坡式結構物的消能效果評估.....	2-42
2.7 內建斜坡消能式碼頭流場特性之數值模擬.....	2-46
2.7.1 數值模擬設計參數之設定.....	2-47
2.7.2 數值計算結果.....	2-51
2.8 內建斜坡消能式碼頭的設計參數的初步.....	2-60
2.8.1 碼頭建構型式及可能施工步驟的探討.....	2-60
2.8.2 設計參數的討論.....	2-65
第三章 功能目的使用型或臨時性設施型.....	3-1
3.1 快速安裝防波堤系統(RIBS)簡介.....	3-2
3.2 翼板式浮式結構物.....	3-8
3.3 翼板式浮式結構物特性之綜合分析檢討.....	3-9
3.3.1 數值模擬妥適性檢討.....	3-9
3.3.2 翼板長度的影響.....	3-13
3.3.3 翼板個數的影響.....	3-15
3.3.4 翼板角度的影響.....	3-17
3.3.5 翼板勁度的影響.....	3-19
3.4 壓氣型浮式結構物的波動特性試驗研究.....	3-21
第四章 環境保護型消能結構物.....	4-1
4.1 研究目的.....	4-1
4.2 相關文獻回顧.....	4-5
4.3 過去三年研究成果.....	4-8

4.3.1 值計算結果與分析(波浪正向入射).....	4-8
4.3.2 工模型試驗.....	4-10
4.3.3 數值計算結果與分析(波浪斜向入射).....	4-10
4.3.4 人工潛礁數值計算結果與分析.....	4-12
4.4 年度工作內容.....	4-15
4.5 綜合討論.....	4-28
第五章 海岸公路邊坡保護工法.....	5-1
5.1 海岸公路背景.....	5-1
5.2 花東海岸公路.....	5-2
5.3 海岸公路邊坡面臨問題.....	5-5
5.3.1 坡腳消能緩衝距離不足.....	5-5
5.3.2 邊坡地質特性問題.....	5-9
5.3.3 逕流及土石沖蝕邊坡問題.....	5-13
5.3.4 邊坡防護工法問題.....	5-14
5.4 海岸公路邊坡監測規劃.....	5-18
5.4.1 海象部份.....	5-18
5.4.2 海灘與水深地形.....	5-20
5.4.3 邊坡穩定性監測.....	5-21
5.4.4 護岸穩定度檢測.....	5-24
5.4.5 波浪越堤監測.....	5-25
5.5 邊坡防護工法試驗.....	5-27

5.5.1 試驗設備與儀器.....	5-27
5.5.2 試驗條件.....	5-28
5.5.3 試驗步驟與流程.....	5-35
5.5.4 結果與討論.....	5-36
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.1 建議.....	6-1
6.3 成果效益與後續應用情形.....	6-4
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表.....	附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表.....	附 2-1
附錄三 期中簡報資料.....	附 3-1
附錄四 期末簡報資料.....	附 4-1

圖 目 錄

圖 1.1.1 臺灣附近海域的水深地形圖(資料來源：海科中心網站).....	1-1
圖 2.2.1 長週期波消能結構物之研究概觀(Hiraishi, 2006).....	2-3
圖 2.2.2 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究(Hiraishi, 2006)....	2-3
圖 2.2.3 Kee 等(2006)之數值模型定義圖.....	2-4
圖 2.2.4 Kee 等(2006)測試之數值模型系統(a)雙平版；(b)三平版.....	2-4
圖 2.2.5 Pilarczyk(1990)非消能及消能防波堤對降低波越量之影響...	2-5
圖 2.2.6 Franco (1999)鼻型防波堤及消波防波堤(堤面層 20%孔隙率).....	2-5
圖 2.2.7 Kortenhuis et al (2003)模型示意圖.....	2-6
圖 2.2.8 Murakami (2008)模型示意圖.....	2-6
圖 2.3.1 斜坡上的碎波形式(EuroTop, 2007).....	2-8
圖 2.4.1 波浪溯升/溯降示意圖.....	2-10
圖 2.4.2 波浪在不同的斜坡表面上的溯升與溯降示意圖(Burcharth, 1993, CEM).....	2-11
圖 2.4.3 光滑斜坡上之正向入射波的 $R_{u2\%}$ (CEM, 2002).....	2-14
圖 2.4.4 光滑斜坡上之正向入射波的 R_{us} (CEM, 2002)	2-14
圖 2.4.5 正向長峰波在光滑斜坡上的溯升 $R_{u2\%}$ (CEM, 2002).....	2-15
圖 2.4.6 正向長峰波在光滑斜坡上的溯升高度(EUROTOP, 2007)....	2-16
圖 2.4.7 Delft Hydraulic 進行台階試驗的相關參數(CEM, 2002).....	2-19
圖 2.4.8 式(2.4.7)中有關 α_{eq} 及 α 的定義(CEM, 2002).....	2-19

圖 2.4.9 根據台階對溯升高度影響度對 ξ_{eq} 選用值的評估(CEM, 2002).....	2-19
圖 2.4.10 台階寬度與長度的決定(EuroTop, 2007).....	2-20
圖 2.4.11 Delft Hydraulic 所進行之光滑斜坡之波浪溯升試驗(CEM, 2002).....	2-22
圖 2.4.12 波浪入射角與方向分佈性對溯升高度的影響(CEM, 2002).....	2-23
圖 2.4.13 標示透水參數(CEM, 2002).....	2-24
圖 2.4.14 不規則正向波在不透水/透水岩石斜坡上 2%及示性溯升高度 (CEM, 2002).....	2-24
圖 2.5.1 內建斜坡式消能結構物的三種方案.....	2-30
圖 2.5.2 小斷面水槽水工模型試驗三次反射率分析結果.....	2-32
圖 2.5.3 內建斜坡式消能結構物的波動與水流現象.....	2-34
圖 2.5.4 長波抗浪型模型的尺寸.....	2-36
圖 2.5.5 大斷面水槽之空水槽試驗反射率分析結果.....	2-38
圖 2.5.6 消能室縱深配置 D1 之反射率分析結果.....	2-39
圖 2.5.7 消能室縱深配置 D2 之反射率分析結果.....	2-40
圖 2.5.8 消能室縱深配置 D3 之反射率分析結果.....	2-41
圖 2.6.1 斜坡式結構物模型示意圖.....	2-43
圖 2.6.2 粗糙度模型示意圖(出水高度 1.0 倍波高).....	2-43
圖 2.6.3 斜坡式結構物水工模型與數值模擬之反射率分析結果比較.....	2-44
圖 2.6.4 斜坡式結構物平滑表面與不同粗糙度表面之數值模擬反射率	

分析比較.....	2-45
圖 2.6.5 兩種不同粗糙度表面與平滑表面之反射率結果比較.....	2-45
圖 2.7.1 沉箱式內建斜坡消能式碼頭構想圖.....	2-46
圖 2.7.2 C1 型無排水元件消能結構物尺寸圖.....	2-48
圖 2.7.3 C2 型有排水元件消能結構物尺寸圖.....	2-48
圖 2.7.4 計算領域示意圖.....	2-50
圖 2.7.5 計算領域及邊界條件示意圖.....	2-51
圖 2.7.6 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖($T=1.4\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-53
圖 2.7.7 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖($T=2.2\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-53
圖 2.7.8 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖($T=3.0\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-54
圖 2.7.9 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖($T=3.8\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-54
圖 2.7.10 C1 型無排水元件消能結構物速度向量時間序列圖($T=3.8\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-55
圖 2.7.11 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖($T=1.4\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-56
圖 2.7.12 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖($T=2.2\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-57
圖 2.7.13 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖($T=3.0\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-57
圖 2.7.14 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖($T=3.8\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-58

圖 2.7.15 C1 型無排水元件消能結構物速度向量時間序列圖($T=3.0\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$).....	2-59
圖 2.8.1 內建斜坡消能式碼頭基本雛形.....	2-61
圖 2.8.2 內建斜坡消能式碼頭預鑄型塊構想雛形.....	2-62
圖 2.8.3 現有直立消波式碼頭增加內建斜坡範例(以萬代福為例)...	2-62
圖 2.8.4 沉箱式內建斜坡消能式碼頭構想圖一.....	2-63
圖 2.8.5 沉箱式內建斜坡消能式碼頭構想圖二.....	2-63
圖 2.8.6 沉箱式內建斜坡消能式碼頭的施工程序構想圖.....	2-64
圖 3.1.1 快速安裝防波堤系統構想圖.....	3-3
圖 3.1.2 在佛羅里達 Cape Canaveral 港外海的現場測試.....	3-4
圖 3.1.3 大型 RIBS 的基本組件及安裝.....	3-4
圖 3.1.4 大型 RIBS 佈放時與波浪的關係圖及佈放後的鳥瞰圖.....	3-5
圖 3.1.5 小型 RIBS 的基本配置圖.....	3-5
圖 3.1.6 小型 RIBS 半比例尺現場實驗.....	3-6
圖 3.1.7 RIBS 水工模型試驗.....	3-6
圖 3.1.8 Hydro RIB 的成品與佈放方式.....	3-7
圖 3.1.9 XM 2001 的結構示意圖及施工圖.....	3-7
圖 3.1.10 XM 2001 的存放與佈放方式.....	3-8
圖 3.2.1 繫留浮體及領域定義圖.....	3-9
圖 3.3.1 自由浮體之數值模擬驗證.....	3-10
圖 3.3.2 繫留浮體之數值模擬驗證(垂直移).....	3-11
圖 3.3.3 繫留浮體之數值模擬驗證(縱轉).....	3-11

圖 3.3.4 繫留浮體之數值模擬驗證(水平移).....	3-12
圖 3.3.5 繫留浮體之數值模擬驗證(反射率).....	3-12
圖 3.3.6 繫留浮體之數值模擬驗證(透過率).....	3-13
圖 3.3.7 繫留浮體之數值模擬驗證(總能量).....	3-13
圖 3.3.8 翼板長度對垂直運動之影響.....	3-14
圖 3.3.9 翼板長度對縱轉運動之影響.....	3-14
圖 3.3.10 翼板長度對反射率之影響.....	3-15
圖 3.3.11 翼板數目對垂直運動之影響.....	3-15
圖 3.3.12 翼板數目對縱轉運動之影響.....	3-16
圖 3.3.13 翼板數目對水平運動之影響.....	3-16
圖 3.3.14 翼板數目對反射率之影響.....	3-17
圖 3.3.15 翼板角度對垂直運動之影響.....	3-18
圖 3.3.16 翼板角度對縱轉運動之影響.....	3-18
圖 3.3.17 翼板角度對水平運動之影響.....	3-19
圖 3.3.18 翼板角度對反射率之影響.....	3-19
圖 3.3.19 數值模型示意圖.....	3-20
圖 3.3.20 不同材質之翼板浮體與無翼板浮體反射率之比較.....	3-21
圖 3.4.1 壓氣型浮式結構物水工模型試驗配置.....	3-22
圖 3.4.2 吃水深度 10 公分之波浪透射係數圖.....	3-22
圖 3.4.3 吃水深度 30 公分之波浪透射係數圖.....	3-23
圖 4.1.1 人工潛堤保護工法.....	4-2

圖 4.1.2 拋石護岸形成的藻場(關西國際機場).....	4-2
圖 4.1.3 人工淺場.....	4-2
圖 4.1.4 蓮南濱海堤原設計斷面與改建後斷面.....	4-3
圖 4.2.1 本文相關之前人研究圖說.....	4-5
圖 4.3.1 來願景模擬環境保護型結構物(繪圖：褚懷宇).....	4-8
圖 4.3.2 改變潛堤間距時反射率 $ R $ 變化與 D/L 關係圖.....	4-9
圖 4.3.3 定床斷面造波水槽波高計配置示意圖(連結式 $S/h=0$).....	4-10
圖 4.3.4 壓力計安裝位置(試驗水深 $h=50\text{cm}$).....	4-10
圖 4.3.5 波浪斜向入射環境保護型結構物示意圖.....	4-11
圖 4.3.6 波浪作用於連結式透水結構物 $ R $ 與 kh 關係圖.....	4-11
圖 4.3.7 波浪作用於分開式透水結構物 $ R $ 與 kh 關係圖.....	4-12
圖 4.3.8 環境保護型構想示意圖.....	4-13
圖 4.3.9 f_r 及 ε_r 改變其 h_s/h 與 $ R $ 之關係(無護坦).....	4-13
圖 4.3.10 $\varepsilon_r \cdot b/h$ 改變其 h_s/h 與 $ R $ 之關係(有護坦).....	4-14
圖 4.3.11 相對護坦長度 b/h 改變下 d/h 、 B/h 與反射率 $ R $ 之關係.....	4-14
圖 4.4.1 摩擦係數 f 與孔隙率 ε 之關係.....	4-18
圖 4.4.2 摩擦係數 f 與相對板厚 b/h 之關係.....	4-18
圖 4.4.3 預測摩擦係數 f 與試驗相對孔隙板厚 b/h 之比較 ($b/h < 0.05$).....	4-18
圖 4.4.4 孔隙薄板示意圖.....	4-20
圖 4.4.5 摩擦係數 f 與相對板厚 b/h 之關係.....	4-20
圖 4.4.6 摩擦係數 f 與孔隙率 ε 之關係.....	4-20

圖 4.4.7 摩擦係數 f 與 cb/h 之關係.....	4-21
圖 4.4.8 試驗資料 f 與 cb/h 與前人試驗之關係.....	4-21
圖 4.4.9 縱條式開孔防波堤示意圖.....	4-22
圖 4.4.10 拋石堤定義圖.....	4-24
圖 4.4.11 拋石堤摩擦係數 f 與相對粒徑 D_k 之關係圖.....	4-24
圖 4.4.12 縱條式開孔板式防波堤 (摘自 Kakuno et al., 1992).....	4-27
圖 4.4.13 Kakuno et al. (1992)計算結果.....	4-27
圖 4.4.14 Nejadkazem and Gharabaghi (2012) 計算結果.....	4-27
圖 5.1.1 海岸公路遭受越波情形.....	5-1
圖 5.1.2 海岸公路破壞情形.....	5-2
圖 5.2.1 台灣公路網(交通部運輸研究所).....	5-2
圖 5.2.2 花蓮縣境內台 9 線及台 11 線路線圖.....	5-3
圖 5.2.3 台 11 線路線示意圖.....	5-4
圖 5.3.1 海岸公路嘉平段路面塌陷情形.....	5-5
圖 5.3.2 海岸公路前消波塊保護公路情形.....	5-7
圖 5.3.3 南迴公路路基波浪沖蝕致路面塌陷毀損(民視畫面).....	5-7
圖 5.3.4 台 9 線舊蘇花公路段廢棄公路持續崩塌陷落情形.....	5-8
圖 5.3.5 台 9 線南迴段道路遭大浪破壞情形(聯合新聞網).....	5-8
圖 5.3.6 海岸公路邊坡前沙灘以消波塊保護.....	5-9
圖 5.3.7 舊台 9 線公路邊坡岩性不佳之崩落情形.....	5-10
圖 5.3.8 台 9 線蘇花公路邊坡岩性不佳之崩落情形.....	5-11

圖 5.3.9 台 11 線公路邊坡坡面滑動及土石崩落情形.....	5-12
圖 5.3.10 坡面滑動及下陷流失造成破壞情形.....	5-12
圖 5.3.11 梅姬颱風侵襲造成邊坡崩塌事件.....	5-13
圖 5.3.12 公路海側邊坡受逕流沖蝕情形.....	5-14
圖 5.3.13 海岸公路前消波塊及護岸混凝土剝落毀損.....	5-15
圖 5.3.14 海岸公路護岸消能不足造成大浪越波.....	5-15
圖 5.3.15 海岸公路邊坡護岸被波浪淘空崩塌(取自自由時報,2009).	5-16
圖 5.3.16 台 11 線大坑段邊坡改善示意圖(地工技術,第 131 期).....	5-17
圖 5.3.17 台 11 線大坑段邊坡改善前後對照圖(地工技術,第 131 期).	5-17
圖 5.4.1 美國加州 Big Sur 海岸公路邊坡後退量分析圖.....	5-23
圖 5.4.2 美國加州 Big Sur 海岸公路邊坡土方崩塌量分析圖.....	5-24
圖 5.4.3 海岸公路越波監視系統示意圖.....	5-26
圖 5.5.1 原型配置圖.....	5-31
圖 5.5.2 雙潛堤(潛沒水深皆為 1cm).....	5-31
圖 5.5.3 雙潛堤(岸側潛沒水深 1cm,海測為 2.5cm).....	5-31
圖 5.5.4 雙潛堤(潛沒水深皆為 2cm).....	5-31
圖 5.5.5 雙潛堤同寬度兩座(潛沒水深為 2cm).....	5-31
圖 5.5.6 雙潛堤(潛沒水深皆為 1cm).....	5-32
圖 5.5.7 雙潛堤(岸側潛沒水深 1cm,海測為 2.5cm).....	5-32
圖 5.5.8 雙潛堤(潛沒水深皆為 2cm).....	5-32
圖 5.5.9 雙潛堤同寬度兩座(潛沒水深為 1cm).....	5-32

圖 5.5.10 單層圍墊(以水深 55cm 為準，高出 5cm).....	5-32
圖 5.5.11 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm).....	5-33
圖 5.5.12 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm).....	5-33
圖 5.5.13 單層圍墊 (與水深 55cm 齊平).....	5-33
圖 5.5.14 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm).....	5-33
圖 5.5.15 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm).....	5-33
圖 5.5.16 雙層圍墊(以水深 55cm 為準，高出 5cm).....	5-34
圖 5.5.17 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm).....	5-34
圖 5.5.18 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm).....	5-34
圖 5.5.19 雙層圍墊與單圍墊(與水深 55cm 齊平).....	5-34
圖 5.5.20 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm).....	5-34
圖 5.5.21 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm).....	5-35
圖 5.5.22 試驗流程圖.....	5-35
圖 5.5.23 原始邊坡之試驗情形.....	5-37
圖 5.5.24 雙潛堤之試驗情形.....	5-37
圖 5.5.25 工法編號 E 之試驗情形.....	5-37
圖 5.5.26 工法編號 F 之試驗情形.....	5-37
圖 5.5.27 工法編號 G 之試驗情形.....	5-37
圖 5.5.28 工法編號 H 之試驗情形.....	5-37
圖 5.5.29 工法編號 I 之試驗情形.....	5-38
圖 5.5.30 工法編號 J 之試驗情形.....	5-38

圖 5.5.31 工法編號 K 之試驗情形.....	5-38
圖 5.5.32 低水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-42
圖 5.5.33 中水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-42
圖 5.5.34 高水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-42
圖 5.5.35 低水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-46
圖 5.5.36 中水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-46
圖 5.5.37 高水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-46
圖 5.5.38 低水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-50
圖 5.5.39 中水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-50
圖 5.5.40 高水位各 CASE 反射率比較圖.....	5-50
圖 5.5.41 低水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-60
圖 5.5.42 中水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-60
圖 5.5.43 高水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-60
圖 5.5.44 低水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-68
圖 5.5.45 中水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-68
圖 5.5.46 高水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-68
圖 5.5.47 低水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-76
圖 5.5.48 中水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-76
圖 5.5.49 高水位各 CASE 溯升高比較圖.....	5-76
圖 5.5.50 各 CASE 越波量比較圖.....	5-77
圖 5.5.51 各 CASE 越波量比較圖.....	5-77

圖 5.5.52 各 CASE 越波量比較圖.....	5-77
-----------------------------	------

表 目 錄

表 2.3-1 不透水斜坡上的碎波型式與相關的 ξ_o 值(CEM, 2002).....	2-9
表 2.4.1 式(2.4.1)的相關係數.....	2-14
表 2.4.2 式(2.4.1)中表面粗糙度減衰係數(適用於 $1 \leq \xi_{op} \leq 3 \sim 4$).....	2-17
表 2.4.3 典型材質的表面粗糙度減衰係數(EUROTOP, 2007).....	2-17
表 2.4-4 Delft Hydraulics 對透水/不透水斜坡上的溯升研究測試條件 (CEM, 2002).....	2-23
表 2.4.5 不規則正向波在不透水/透水岩石斜坡上之相關係數值(CEM, 2002).....	2-25
表 2.5.1 小斷面水槽水工模型試驗三次反射率分析結果.....	2-33
表 2.5.2 長波抗浪型斷面試驗模型配置.....	2-35
表 2.5.3 長波抗浪型斷面試驗波浪條件(現場與模型).....	2-37
表 2.5.4 試驗配置代表名稱.....	2-37
表 2.6.1 斜坡式結構物水深與波浪條件表.....	2-42
表 2.6.2 斜坡式結構物配置設置尺寸.....	2-43
表 2.7.1 物理條件設定表.....	2-49
表 2.7.2 計算網格數目及計算所需時間表.....	2-50
表 2.7.3 入射波條件設定表.....	2-51
表 2.8.1 碎波參數的試算表.....	2-65
表 2.8.2 依據 Hunt (1959)波浪溯上高度公式之試算表(式 2.4.26)....	2-68
表 2.8.3 依據 Mase (1989)波浪溯上高度公式之試算表(式 2.4.34))..	2-68

表 2.8.4 依據 EuroTop(2007)波浪平均溯上高度公式之試算表(式 2.4.5).....	2-69
表 2.85 依據 EuroTop(2007)波浪最大溯上高度公式之試算表(式 2.4.6).....	2-69
表 2.8.6 不同水深及波高之波形尖銳度對照表.....	2-70
表 3.3.1 性翼板之彈性模數約值.....	3-20
表 4.4.1 前人研究之模型試驗條件 (Li et al.2006).....	4-19
表 4.4.2 不同試驗條件下摩擦係數 f 值 (Li et al.2006).....	4-19
表 4.4.3 不同試驗條件下透水參數 G 值($b/h=0.025$) (Li et al.2006)...	4-19
表 4.4.4 相對板厚、孔隙率改變下孔隙薄板摩擦係數 f 之比較.....	4-23
表 4.4.5 反射、透過、消能係數實體與模型之比較(scale 1:30).....	4-25
表 4.4.6 疊代後模型塊石粒徑.....	4-25
表 4.4.7 Kakuno et al. (1992)模型試驗資料及條件 ($h=50\text{cm}$).....	4-26
表 5.5.1 水位條件與編號.....	5-29
表 5.5.2 波浪條件與編號.....	5-29
表 5.5.3 模型條件與代號.....	5-30
表 5.5.4 LD 水深反射分析表.....	5-39
表 5.5.5 LD 水深反射分析表.....	5-39
表 5.5.6 MD 水深反射分析表.....	5-40
表 5.5.7 MD 水深反射分析表.....	5-40
表 5.5.8 HD 水深反射分析表.....	5-41
表 5.5.9 HD 水深反射分析表.....	5-41

表 5.5.10 LD 水深反射分析表.....	5-43
表 5.5.11 LD 水深反射分析表.....	5-43
表 5.5.12 MD 水深反射分析表.....	5-44
表 5.5.13 MD 水深反射分析表.....	5-44
表 5.5.14 HD 水深反射分析表.....	5-45
表 5.5.15 HD 水深反射分析表.....	5-45
表 5.5.16 LD 水深反射分析表.....	5-47
表 5.5.17 LD 水深反射分析表.....	5-47
表 5.5.18 MD 水深反射分析表.....	5-48
表 5.5.19 MD 水深反射分析表.....	5-48
表 5.5.20 HD 水深反射分析表.....	5-49
表 5.5.21 HD 水深反射分析表.....	5-49
表 5.5.22 試驗溯升高度比較表.....	5-51
表 5.5.23 試驗溯升高度比較表.....	5-52
表 5.5.24 試驗溯升高度比較表.....	5-53
表 5.5.25 試驗溯升高度比較表.....	5-54
表 5.5.26 試驗溯升高度比較表.....	5-55
表 5.5.27 試驗溯升高度比較表.....	5-56
表 5.5.28 試驗溯升高度比較表.....	5-57
表 5.5.29 試驗溯升高度比較表.....	5-58
表 5.5.30 試驗溯升高度比較表.....	5-59

表 5.5.31 試驗溯升高度比較表.....	5-61
表 5.5.32 試驗溯升高度比較表.....	5-62
表 5.5.33 試驗溯升高度比較表.....	5-63
表 5.5.34 試驗溯升高度比較表.....	5-64
表 5.5.35 試驗溯升高度比較表.....	5-65
表 5.5.36 試驗溯升高度比較表.....	5-66
表 5.5.37 試驗溯升高度比較表.....	5-67
表 5.5.38 試驗溯升高度比較表.....	5-69
表 5.5.39 試驗溯升高度比較表.....	5-70
表 5.5.40 試驗溯升高度比較表.....	5-71
表 5.5.41 試驗溯升高度比較表.....	5-72
表 5.5.42 試驗溯升高度比較表.....	5-73
表 5.5.43 試驗溯升高度比較表.....	5-74
表 5.5.44 試驗溯升高度比較表.....	5-75

照片目錄

照片 2.5.1 內建斜坡式消能結構物實體模型.....	2-31
照片 3.4.1 試驗造波時浮箱內外的水位變化差異情形.....	3-23
照片 4.1.1 花蓮南濱海岸構造物與水下生態.....	4-3
照片 4.1.2 台東縣第八河川局舉辦攝影比賽_台東海岸線(2011).....	4-4
照片 4.2.1 美國 Gran Dominicus 生態礁球.....	4-7
照片 4.2.2 法國 ECOPODE 凹凸生態塊.....	4-7
照片 4.2.3 德國 Elastocoast 新工法生態礁塊.....	4-7

第一章 計畫背景分析

1.1 計畫目的

臺灣(如圖 1.1.1 所示)由於位處於大陸棚的邊緣，西部海岸以水深約在 100m 以內的臺灣海峽與大陸連接；東部則以陡峻的地形面對深邃的太平洋水域，近岸有花東海盆；東北側水域有琉球島弧、沖繩海槽與和平海盆；東南側有呂宋島弧及北呂宋海槽；南側有恆春海脊及馬里亞那海溝；西南側則有許多峽谷。

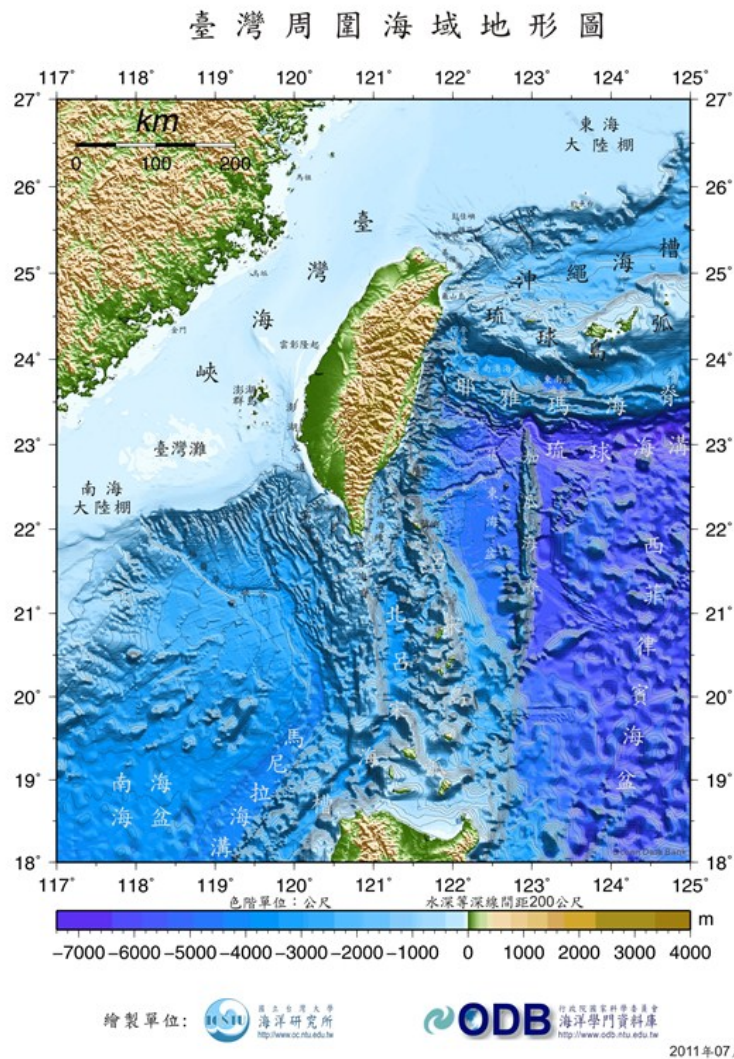


圖 1.1.1 臺灣附近海域的水深地形圖（資料來源：海科中心網站）

由於水深地形相當複雜且變化劇烈，加上我國位處北迴歸線附近，東邊是太平洋的海洋型氣候，西邊則又面臨亞洲板塊的大陸型氣候，鄰近的海氣象變化包括氣壓、風、波、潮位/潮流及海流等的變化不論是時間或空間上都相當激烈，連帶地各處的海岸設施所遭受的外力型式也有不同。例如，臺灣東部海底坡度陡峭，且是颱風波浪必經之地，此區域之港灣構造物經常受到長浪的侵襲，因此該區所設置的港灣構造物幾乎全為重力式大型結構物，然而從以往至今，臺灣東部的港灣結構物常有因颱風期間的長週期及大波高之波浪作用而造成破壞的事例，顯示以現行的重力式結構物設計觀念與技術仍不足以抵擋在此環境下之颱風波浪，有必要考慮可以抵擋外力作用或消減波能的新型式設施以降低長浪之破壞力；而在臺灣西部則由於海底平坦且多沙岸，加上臺灣中央山脈之阻擋，颱風期間之波力不似對東部的影響大，所面對的反而是海洋環境問題，包括海域生態豐富性不足，沿海漁業資源不足，以及因沿岸漂砂劇烈所造成的近岸沙洲(例如外傘頂洲)的流失，使得現今的海堤可能在未來會因失去離岸沙洲的保護，得直接面對颱風波浪的侵襲。有關前一項問題，目前多於近海處拋放人工魚礁期能復育生態，但如果能在兼顧海岸保護及生態復育兩項功能下，找到適當的海岸結構物配置，則將有一舉數得之功效。

而長久以來，不管結構物設施之功能或用途，我國的港灣結構物常以設置永久性設施為主要考量，其原因除了要應付多變且惡劣的海洋環境條件外，也受制於國人習性上喜歡創造但是管理維護的觀念薄弱，導致要在政府年度預算中編列較高的維護費常會遭遇到困難，而只能以資本門屬性的營建設備費的方式，尋求一勞永逸的方法，建造所謂「堅固耐久型」的結構物。但是此種方式對於某些臨時性或季節性的海岸空間使用，其不僅可能造成投資過當，對於後續的維護費用也是一大負擔，此外也很容易被不瞭解海岸災害嚴重性的人們誤認為是破壞海岸景觀及環境的元凶。就僅有數十年歷史的海岸工程技術與理論的發展歷程來看，從單純的抗浪禦潮到如今的注重環境保護、生態復育與景觀協調性，確實目前所興築與開發的海岸工程，仍有可以

檢討的空間。

大約 2000 公里的本島及離島的海岸環境與景觀對我國而言乃是一個重要但很有限的自然資源，一旦破壞了，就很難恢復得回來。然而過去在經濟掛帥、全球環境保護觀念尚未興起之際，國內許多海岸已經遭受到嚴重的干擾與破壞。商港、漁港、工業港、遊艇港、濱海/離島工業區、濱海/近海水產養殖區等等開發，雖然都有其開發的理由，但是卻缺乏了整體性的考量，而造成海岸的過度開發與失衡。如何亡羊補牢？實是目下產官學研各界所應該共同思考的問題，畢竟一個海岸環境的復育工作動輒數十年，今天不開始，以後還是得面對。而本計劃所努力的目標 - 如何因地因事制宜，選擇適當的海岸結構物，以期降低對當地海岸環境的衝擊，並促成正面效益，也是其中的一環。

海岸工程的專家學者都曉得所有的海岸現況都是大自然的平衡結果(風、波、潮、流、地形及地質等)，所有新建的海岸/海洋結構物都會破壞原來的平衡，逼使大自然重新調整波流作用場與地形，而在某一個時程後達到新的平衡。問題在於：我們要付出多少代價？是不是我們要用更多的工程來彌補過去的判斷偏差？而如果我們能夠想清楚每一項工程的真正需求何在，正確地訂定目標，不要一味認定只有利用大型海岸結構物來進行圍堵才能夠解決海氣象所引發的外力作用，尤其是在此異常氣象越顯劇烈之際，是否能降低工程建設與維護經費的編列？

依臺灣海岸地區之環境特性與功能屬性分類，港灣結構物所需要的功能大致可分為長波抗浪型(以東部海岸為主，具備保護港灣結構物減少受長波作用影響的功能)、功能目的使用型或臨時性設施型(以環境保護功能或短期性特殊使用目的功能為主)及環境保護型(以西部海岸為主，兼顧港灣結構物及環境之復育功能)等三大類型。本計畫之研究目標主要在於針對上述三種型態，探討並發展符合臺灣各區地理環境特性及需求的各種新型港灣結構物，以替代傳統保護港灣、海岸之重力式海事結構物，達到符合海岸空間環境需求且具保全功能之目的。此外，由於我國的海岸公路非常地接近海岸線，因此海岸公路的路基

或路面可能遭受到不同狀況的沿海海氣象的外力作用，與國外的狀況不同。有鑑於海岸公路邊坡常因為自然界外力的作用導致坍方，而危及公路設施與人員車輛的安全，我國海岸公路邊坡可能發生的破壞情形與發生機制，以及可能的監測與防治措施乃成為本計畫之研究項目之一。

1.2 計畫重要性

臺灣東部及西部海岸地形因地理環境位置因素有很大的差異，東部岸地形陡峭，而西部海岸則較為平緩，也因此東西兩側海岸在海岸空間的利用與保護的施作方式與遭遇的困難度存在著相當大的差異。例如西部人口集中，而且在過去數十年裡高度追求經濟發展下，海岸呈現出過度開發及過度與海鄰接的問題。在每年總是會有多次颱風侵襲的推波助瀾下，為了保護國民的生命及財產安全，臺灣本島一千餘公里的海岸線佈滿了大大小小三百多個港口以及無數的海堤，而由於我國的河流短陡而流急，河川輸沙情形相當劇烈，連帶著也影響到海岸的漂沙與地形變遷；反觀東部海岸，由於直接受到太平洋深海波浪的直接侵襲，加上海岸地形多屬於曾經歷過劇烈變動的破碎岩層，海岸邊坡經常發生坍方，相關單位為了保護海岸線，以減少侵蝕，乃大量地使用了混凝土的人工構造物。此種高度開發與大量設置重力式剛性設施的結果常易刺激海岸空間環境的劇烈變遷，其不僅影響海岸區域的景觀與環境平衡，且可能引致海岸區域生態的劇烈改變。

自從臺灣海岸逐步開放給大眾使用以來，加上近年來人民生活水準提高，環保意識抬頭，大眾對海岸空間環境與生態之要求與關心亦相對提升，也因此影響到現今海岸保護工法的選擇及施政策略，海岸工程技術的發展與觀念上從單純的剛性保護逐漸演變成整合性的保護、保育、觀光遊憩及景觀等多目標規劃，例如以消能式柔性工法替代傳統剛性工法、以面的保護形式取代過去線狀或點的保護、視海堤後方保護標的物的重要性而決定保護方式與工法等。在行政院經建會民國 94 年編印『挑戰 2008 國家發展重點計畫』報告中將「維持自然

海岸線比例不再降低」列為評估指標，並指出未來海岸地區之利用管理，應以減量、復育為基本原則，且需以符合「資源保護」與「災害防治」者為優先考量。再者，凡涉及海岸地區之相關施政計畫，均應優先考量海岸防災、海岸生態資源保育與護育、環境復育、景觀改善、生態旅遊等價值，並作必要之調整。民國 96 年 6 月行政院核定之「永續海岸整體發展方案」更宣示將全面檢視全臺灣的海岸、港灣等海事結構物，顯示政府整頓海岸空間環境之決心。本計畫乃在配合「國家科學技術計畫」促進國家永續發展的總目標及「研發港灣新科技，改善港灣環境，提升港埠功能及營運效率」等政府政策下，推動符合臺灣各區地理環境需求的各種消能式港灣結構以及海岸公路邊坡保護構造物或方法的研發工作。

目前海岸環境的保護方式，在海堤方面雖然嘗試著以符合生態的柔性工法，但港灣構造物則由於需要考慮其抗浪/消浪的功能，目前尚無有效且妥善的改善方式，仍以重力式結構物為主。雖然，港灣構造物設置的目的主要是提供一可安全進行貨物裝卸、人員休憩、船舶靠泊、整備及避颱、避風之靜穩水域。然而如果深入檢視臺灣各種不同型式的港灣，可發現或因規模太小、或因環境地理因素、或因使用目的功能的需求不同，並非所有港口皆需要具備有避颱的功能，而僅需於平時(觀光遊憩碼頭)或部分時間(如離島的運補碼頭)提供休憩、裝卸貨等功能，此類港口之保護設施如防波堤等若仍然使用傳統重力式結構設施，其不僅耗費大量工程經費但事倍功半而僅得到部分的成效外，對海岸環境的原有平衡影響甚鉅，亦因此而可能破壞海岸空間景觀。另外，由於臺灣東西兩岸地形落差甚大，加上平均每年將近四個颱風的侵襲影響，港灣構造物所面臨之問題亦不同，例如東部海域坡度陡，港灣結構物常遭受到長波作用，結構物所受波壓較大，發生防波堤破壞或港池共振問題的機會很大；西部海域港灣結構所受颱風波浪作用雖較小，但因地形底質因素，其較常面臨海岸沖刷淤積，甚至海岸變遷的問題。在此種臺灣各區地理環境、所面對的問題、及港灣碼頭之使用功能需求皆有所不同的狀況下，目前的重力式結構物方式

似不足以解決所有問題，實有必要針對各種型態提出其解決之方式。

歸納而言，臺灣近岸區域依港灣結構物的功能及所處區域，大致可分為長波抗浪型之區域(主要功能以港灣結構保護為主)、環境保護型區域(兼顧港灣結構及環境之護育功能)及功能目的使用型或臨時性設施型(以環境保護功能或特殊使用目的功能為主)等三大類型。適合長波抗浪型設施之區域大致以臺灣東部為代表，該區域的海岸結構物大都為傳統重力式結構物，由於此區環境地理因素特殊加上位處颱風波浪主要路徑上，常面臨結構破壞或港池共振等問題。以現有傳統之方式去增加結構物之強度或重量來抵擋波浪作用力，至今仍有相當多的結構物破壞案例，而港灣內存在長週期的波浪盪漾也屢見不鮮，顯示其並非有效的解決之道，有必要思考其他之消減長波作用力的結構型式；環境保護型區域則以東北部及西部海岸為代表，近年來臺灣生態工法之應用漸趨成熟，潛堤於海岸保護之應用亦時有所聞，但應用於港灣構造物，使能兼具抗浪及促進生態復育之型態為何，則有必要進一步加以檢討；功能目的使用型或臨時性設施型，主要是以抵擋季節風浪為主，而非颱風波浪，並考量不改變環境因素但平時仍具有保護功能，因此其機動性較高，此類設施之應用的範圍較廣，舉凡污染擴散的防止、海上救難、海洋能源與資源的開發、海岸的保護、休憩觀光碼頭及防波堤之設置、甚或軍事設施、水質之淨化等，設置簡單、不影響海岸空間環境及多樣性、對設置區域環境之高適應性是其優點，可能抗浪性較低為其缺點，然其特性與功能對於目前部份港灣設施及海岸保護之需求是適切的，實有必要進一步加以探討。

此外，臺灣東部濱海公路有多處路段緊臨海岸線，其海側邊坡及趾部常遭長浪及颱風暴浪之侵襲淘刷，導致路基坍塌流失，造成交通中斷嚴重影響東部的觀光及產業運輸。公路單位為防止海岸公路災況之惡化，往往採取拋放大量消波塊之方式防止邊坡之淘蝕現象，但坍塌流失情形仍時有發生，且消波塊之拋放亦嚴重影響海岸公路之景觀與生態環境，要求改善復育之批評聲浪日益高漲。因此探討海岸公路邊坡破壞類型與機制，研提可行監測方案及改善策略，對東部經濟及

觀光之發展將有密切幫助。

1.3 研究範圍與工作項目

本計畫各主要工作項目包括長波抗浪型、環境保護型及功能目的使用型或臨時性設施型三大類型之結構開發新的消能方式，以及海岸公路邊坡保護工法，分別說明如后。

1.長波抗浪型：

傳統消能型海岸結構物主要是利用自體重量、多孔性及表面粗糙度來反射或削減波浪的能量，但這種硬碰硬的行為，除了造成結構體的破壞外，作為防波堤可能引發鄰近的海岸地形變化，作為碼頭岸壁則無法削減港內的長週期振盪。而消能的方式尚可以從利用結構體所構成的水力阻尼方式來思考，也就是利用港灣結構型式與所形成的水理運動特性形成阻尼，以達消減長波能量的功能。本子計畫主要以研究長波抗浪型的碼頭結構物為主。

2.功能目的使用型或臨時性設施型：

快速佈放柔性浮式結構物的開發研究主要的目的是考量我國的海岸環境特殊，不僅是地形，包括風、浪、流、潮位的變化都大，而且還分有颱風季節與週期性的季節變化。當海岸附近發生緊急事故時，例如發生海難事故需要進行搜救任務、海岸發生嚴重侵蝕可能危及後方設施、或重要海岸構造物毀壞需要搶修等，可能需要一種設施可以局部區域性地構成較靜穩的水域，以便能執行搶險任務。或者是在一個沒有固定港灣設施的水域，例如離島，要進行運補或季節性的遊憩活動，需要較靜穩的水域以便能順利安全地登島時，一個能簡易而快速地佈放臨時性的浮式結構物便可能滿足此一需求，而毋需花費大量經費建構一個短期性用途的永久性港灣設施。

因此，如何研發簡易快速佈放浮式結構物，以便能在短時間內可以快速佈放及回收並獲得一個區域性的靜穩海域，以提升海上作業的

安全或者減緩海岸工程事故的擴大，乃是本研究主題的重心所在。由於快速佈放與回收的考量，此類浮式結構物的研發目標並不在抵擋臺灣附近海域的強大颱風波浪。而是在颱風侵襲時間以外的時期，能提供一適合該地區環境地理需求的臨時性或短期性遮蔽，並於颱風來襲前可快速回收的簡易結構物。因此，其設定的功能可包含

- (1) 短期性用途：針對部分水域不需在颱風期間提供避風避浪空間，而僅需於平時作業時能提供符合觀光遊憩或物資運補之靠泊需求。
- (2) 臨時性工程用途：
 - (a) 針對海事結構物破壞維修，以臨時性浮式防波堤替代往昔利用沙袋或混凝土塊體進行圍堰所需花費的時間與經費。
 - (b) 針對海岸嚴重流失時，快速佈放以減緩波浪的侵襲能量，避免災害擴大。
- (3) 臨時性海難事故用途：針對沿近海船舶失去動力或是擱淺，需要進行海上救難時，在波浪作用方向快速佈放以獲取局部性的靜穩水域便利搜救行動。如果需要在颱風時期進行海上救難時，未來可考慮就本計畫的研發成果擴大其規模尺寸及抗浪性的功能。

基於以上各點，消波結構物中浮式結構物應為最佳之選擇，本研究主要以探討此符合前述各項功能之柔性浮式結構物。

3.環境保護型：

海岸保護、海岸環境復育及海岸空間利用必須走向柔性、親水、近自然、近生態等的海岸保護措施，並提供人們最舒適親水的空間，並能兼顧防災、安全、親水、休閒遊憩及良好的視野景觀等的條件，是國內外設計海岸保護結構物之未來趨勢。

由於混凝土塊外表突兀又妨礙民眾親近水岸的通路，並可能因過度設計造成海岸環境或景觀的破壞，目前國內相關的設計已經逐步配

合實際的需求減少直接使用剛性的混凝土結構物，而從柔性工法、綠美化、親水性、生態工法、近自然工法等方法去選擇適當的結構物型式或工法。例如，設法穩定及增進海岸的沙丘、防風林與海灘，形成一自然之海岸景觀，並儘量採用沙土、塊石、木材、植生等天然資源，增進多樣化的生態環境，以期與周圍環境調和，減低對自然環境的衝擊。

臺灣西海岸坡度平緩，但底質大多屬於沙質海岸，加上漂砂活動相當活躍，在此種狀況下，由於海床無法穩定，近岸的水下生態相較於東部海岸就顯得貧瘠，如何穩定海岸地形實為臺灣西部海岸應該思考的首要問題，然而西部海岸地形的變遷又屬於大規模的波潮流與漂砂的活動，顯然不是短時間及有限經費可以解決的工作。但如果能夠清楚掌握西部海岸變遷的機制與特性，利用設置兼具生態礁功能(如藻礁、魚礁或產卵礁)的透水式潛堤、潛礁、生態型消波塊、方塊及通水型沉箱，以佈置適合海草、海藻類及其它海洋生物生活空間，以逐步豐富近岸的生態與水產資源，達到環境復育的功能，也可能有穩定近岸海底砂床的功能。

近年來，潛式多孔隙透水式結構物研究逐漸受到重視，主要是它們具有下列特性：因為具有孔隙易附著生物對生態較為友善，且孔隙間海水可以流通對水質較好；組成元件可以容易在陸地上建造，且可以快速安裝施工；由於不需全力抵抗波浪作用，所需建造及維護費用較少，一旦損壞時也易於更換或修補、恢復性高。

4.海岸公路邊坡保護工法

臺灣四面環海，東西兩岸之海氣象與地形及地質條件差異罔大，西部砂質海岸居多，且腹地較廣，濱海公路雖仍沿海岸興建，但絕大多數離開海岸線尚有一段緩衝距離，因此颱風暴潮對海岸公路造成之災害極少。東部則因平原不多，海岸公路開發有許多路段不得不緊臨海岸線興建，且大多興建於高聳陡峻之邊坡處，先天之安全因素即已受到威脅，加上海域水深坡陡，東北季風長浪及颱風大浪皆可直接拍

打於海岸邊坡，常造成趾部之淘刷及邊壁之崩落而危及公路安全。道路因巨浪越波拍打或邊坡流失而封閉事件屢屢發生，嚴重影響東部之發展。亦有部份路段如臺 11 線之尚武漁港段，因為海岸嚴重侵蝕問題，造成海岸線持續內縮，對公路之穩定亦產生嚴重威脅。此些不同破壞型態與其機制皆有需要加以探討研究。由於東部海岸長達數百公里，加上沿線海岸公路綿長，本計畫將選定幾處有破壞或安全威脅之路段進行探討，同時蒐集國外相關單位其海岸公路之防護準則，就不同類型的海岸公路邊坡破壞類型進行保護工法的研擬與相關試驗，並提出適當工法建議，作為未來研擬作業準則之參考。

1.4 過去研究成果與本年度的工作項目

本計畫前三年已經完成的成果簡述如下：

1.長波抗浪型：

從目前的水工模型試驗以及 Flow-3D 數值模擬所得到的研究心得簡述如下：

- (1) 選擇大約一倍經常性波高的出水高度的內建斜坡可以有效地促使港內波浪在斜坡上溯上並越波，以有效地降低水體溯降所產生的反射波。斜坡坡度過大或者是出水高度過高都可能讓波浪在斜坡上直接溯降而產生反射波浪，降低結構物的消能效果。
- (2) 斜坡表面的粗糙度不一定對消減波能有幫助，其原因是由於港內波高一般都不太大，粗糙物質對其所產生的摩擦損失並不多，但卻可能使得波浪因粗糙元素而直接發生反射，降低其消能效果。
- (3) 消波室的水位可能因為越波水量受到入射波的作用不易向外排出而造成堆積，有效地降低消波室的水位高度可以避免消波室內的水體震盪，甚至逆向造波。從工程的觀點來看，後方排水的可行性並不高，但利用碼頭結構物的內部連通，使水體能向側向流竄並從入射波能較弱之處排出；或者在碼頭下方水粒子運動較弱

的深度設置排水管亦為一可行的方式。

2.功能目的使用型或臨時性設施型：

在數值模式中，將數值模型置於座標中心，取固定水深 h ，而兩端的假想邊界面條件為能有效的將散射波的勢函數值視為零，假設水深夠深，則其分別為距座標中心兩端各 $3h$ 處，而元素結點分割則在以各元素長度為 $0.025h$ 的原則下，採用一定元素的方式對領域的各邊界作等分割。

在柔性翼板的浮體的設置上，繫留浮體在靜止時左右對稱，重心位置設定在沒水深度的一半的位置，在靜平衡時，浮力=重力+纜繩預力，本文設定之浮體沒水深度為 $0.2h$ ，則在計算自由浮體和繫留浮體時，在假設翼板質量遠小於主浮體之質量而將其忽略，則浮體質量分別為 0.2 和 0.183 ，質量慣性矩分別為 0.017 和 0.016 ，纜繩預力為 0.017 ，纜繩徑度為 0.009 ，而繫留索之繫留角度並為本文討論之重點，因此均設定為 30 度。

為判斷所建立之數值模式是否可行，對剛性及柔性翼板做一比較，柔性翼板以鋼和橡膠之彈性模數做為代表，並且加入無翼板之浮體和與翼板相同沒水深度之浮體。

3.環境保護型：

第一年(2009)提出在不透水直立堤前方銜接梯形透水潛堤，並於其上方設置四分之一圓弧形孔隙板，前方距離堤址一段處設置另一道梯形透水潛堤，組合成『環境保護型』消能結構物。

數值解析方法採用多領域邊界元素法(Multi-domain BEM)，數值計算結果顯示：不論相對沒水深(d_c/h)、相對堤寬(R_c/h)及相對間距(S/h)改變下，三者反射率在相對總長(D/L)約在某些特定值附近均會出現有最小反射率值，但是隨著相對沒水深減小，堤寬增加，其發生最小反射率值有漸漸趨近於 $D/L=0.25$ 、 0.75 附近，即大約在 $1/4$ 波長與 $3/4$ 波長處，可以提供給工程設計上作為參考。

第一年亦曾利用海洋大學水工模型試驗室進行初步試驗，四分之一圓弧形孔隙板部分露出水面，直立堤前兩個透水潛堤間之距離為 $S=0$ (稱為連結式)，探討其消波減壓之效果。

第二年(2010)環境保護型消能結構物延續第一年度所使用數值方法，利用多領域邊界元素法(Multi-domain BEM)計算波浪由正向入射推展至斜向入射，探討直立堤前透水結構物之消能效果。水工模型部分同樣延續第一年繼續進行試驗將針對兩潛堤間距離為分開式($S \neq 0$)進行反射率及波壓力之量測，探討其消波減壓之效果，並可與連結式作一比較，其試驗結果並與數值計算作一比較及驗證，其反射率變化趨勢相當一致，驗證了本數值模式用來計算透水環境保護型結構是可行的。

第三年(2011)研究重點包含了下列三種型式：

- (1) 含透水層斜坡式海堤，根據當地海域波浪特性、海堤坡度、透水層厚度、孔隙材質特性等，探討在何種配置下，能將大部份波能反射，降低波能，使其後方陸地不受溯升影響以及避免海堤遭受波浪淘刷影響。
- (2) 將斜坡式海堤前方加潛沒式透水護坦，利用透水護坦之孔隙率及摩擦係數，消滅入射波的能量和降低反射率，使得護坦前後方水面波動大幅下降，潛沒式護坦因具有孔隙易附著生物對生態較為有善，且破壞較少，可豐富當地水產資源，達到環境保護功能。
- (3) 考量除了斜坡式海堤、潛沒式透水護坦外再增加透水潛堤探討，探討用前方離岸堤來消能，降低溯上，因此在堤後方水域空間適合海草、藻類及魚類生活，對環境保護具一定功效。

4.海岸公路邊坡保護工法

第一年之執行成果中已針對臺灣東部濱海公路及西部部份海岸公路之環境背景、安全威脅路段及其危險情況做蒐集與整理，並針對未來海岸公路整體安全性管理之各策略，提出建議性之作業準則。第二

年則針對一般性海岸公路常見的破壞現象進行說明與機制探討，並對臺東海岸公路的特性進行分析。同時也針對適用海岸公路邊坡消能的複合型保護工法進行一系列的試驗研究，由各種柔性與硬性工法相互組合變化的試驗過程中，提出較具消能效果之邊坡消能保護方式，可提供未來海岸公路或其他海岸堤防規劃消能保護工之參考。

本年度需要繼續完成的主要工作項目包括：

1.長波抗浪型：

綜合前三年的研究成果，針對水力阻尼型之消波式碼頭結構物，從設計規範的角度，在規劃設計實務中所需要的參數進行相關的測試、評估與相關圖表的建置；如有需要，再以水工模型試驗或數值模擬進行驗證。

2.功能目的使用型或臨時性設施型：

本年度應從實際應用的角度，檢討柔性浮式結構物在波浪作用下的運動行為與消能特性，同時進行評估與檢討符合實際應用之型式，與相關設計參數的討論。此外，亦針對壓氣型的浮式結構物進行水工模型試驗，以提供後續研發的參考。

3.環境保護型設施：

針對前述三年之研究成果：連結式潛堤、分開式潛堤、寬而廣潛礁或系列透水潛堤作綜合評估，並檢討合於實際應用之方案與配置。

4.海岸公路邊坡保護工法：

依照國內特殊的海岸環境分區檢討各種海岸公路邊坡破壞類型的監測作業準則及保護工法，並以東部海岸公路為例進行專項研討與相關試驗，並提出適當工法建議。

1.5 本年度工作內容

本年度主要是綜合前三年的研究成果與心得，就與設計有關的相關參數進行補強的研究，以期能提供規劃設計時有所參考依據。

1.長波抗浪型

就目前的研究成果，評估最佳的配置，並從未來提供設計規範足夠參考資料的角度，建置內建斜坡的坡度、出水高度、透水性及粗糙度對消波效果的影響，同時亦應引入對常時波浪具消波功能的多孔隙消波室的特性，此外消波室的排水功能亦需要檢討。參考資料不足時，以 FLOW3D 數值模擬進行相關的水理現象探討。

2.功能目的使用型或臨時性設施型

本年度的主要工作項目有兩大項，第一項主要就浮式防波堤底部兩側加設翼板的結構型式，本年度將以數值計算方式檢討其影響波浪反射與透過結構物的參數，同時根據檢討結果綜合整理此類型結構物的適用範圍與較佳的配置方式。第二項工作項目則為針對壓氣型浮式防波堤，以水工模型試驗方式檢討波浪通過後之反射、透過率，並探討其能量損失。

3.環境保護型設施

本年度將參考前三年的研究成果並作適當的整合、分析及研判，並尋求合理參數，進行本年度計畫，探討新型離岸堤是由透水潛堤及其上方剛性薄板組合成半圓形透水結構物，在潛堤形狀、堤寬、高度、坡度、孔隙率、透水參數、摩擦係數及高低水位變化等改變時，探討其反射率、透過率及流場之變化。

本年度(2012)環境保護型消能結構物將繼續探討新型離岸堤是由透水潛堤及其上方剛性薄板組合成半圓形透水結構物，在潛堤形

狀、堤寬、高度、坡度、孔隙率、透水參數、摩擦係數及高低水位變化等改變時，探討其反射率、透過率及流場之變化。

4.海岸公路邊坡保護工法

今年度計畫將針對東部海岸公路邊坡破壞路段依其區域環境特性、防護工法型態等進行破壞機制之分析與檢討，依區域特性分區提出破壞原因及研擬可能之保護方法。另外亦將以東部海岸公路為例，以試驗方式檢討目前公路單位所規劃邊坡防護方法之適宜性，同時亦參酌 100 年度期末審查委員共同意見，以本計畫環境保護型防護工法進行試驗，分析其適用於東部海岸環境之可行性，由整體試驗過程之分析中提出適用於東部海岸公路之可行性保護工法，提供公路養護單位之參考，藉以改善現有海岸公路邊坡之致災脆弱性，提升海岸公路運輸功能保障車行之安全。

第二章 長波抗浪型結構物

2.1 研究目的

一般對於港內長週期波動的處理方式，大致有：其一、利用港灣外廓設施的配置將長週期波動的能量藉由在港外的反射、導波、或消波，以減少其侵入港內的能量比例。但由於長週期波的波長甚長，除非有足夠的作用距離，否則要在短距離內促使波浪的傳播方向改變或能量衰減都相當困難。再者，對於已經入侵港內的長週期波能量設法提高碼頭岸壁的消波能力，以降低反射波的能量。現有的港灣設施對於短週期波可以充分發揮其消波效果，同樣也因為沒有足夠的作用距離，而對長週期波的削減一籌莫展。

但如果進一步分析碼頭附近的波動行為可以發現其間至少包含了兩種流體行為：碼頭岸壁產生的反射波，以及波浪在岸壁上的溯升水流與溯降時的造波行為。因此，要消減長週期波動的反射能量可以思考從這兩方面著手：

- (1) 減少碼頭壁面的反射功能，也就是儘量提高壁面透水性或粗糙度，讓波浪能量進入到碼頭結構物內部，並設法在裡面將波動能量消滅。避免大量反射波的能量與入射波能量結合造成複雜的水面波動；或者利用摩擦損失削減能量。惟此一構想，如前所述，可能因為沒有足夠的作用距離，而無法明顯削減長週期波的能量。
- (2) 減少波浪溯升水流的回溯造波，也就是利用斜坡促使波浪溯升及碎波，並設法將溯升的水體透過某些機制予以排放，避免直接回溯至海水面形成二次造波。讓港域水面裡僅存在入射波的能量，如此將可以降低港灣共振的機會。

本計畫於前三年就目前所收集之消能式結構物型式以及本計畫所設計的內建斜坡越波消能式碼頭型式，評估其消能機制、優缺點與可能遭遇的問題，研選可能之斷面後並進行水工斷面模型試驗以及應用

Flow-3D 進行數值模擬，藉由不同的設計與試驗來瞭解水力阻尼式機構可能遭遇的問題與特性，並證明讓入射波浪沿斜坡溯上越波，以減少回溯水流二次造波，可以有效地降低反射率。

本年度主要的工作主要著重在針對未來訂定設計規範時所需要的設計參數，如內建斜坡的高度、斜率、粗糙度與透水性等對其消波能力的影響等作進一步的分析，除了參考現有的相關參考文獻外，並建立 Flow-3D 模型進行數值模擬，及建置相關參數的參考圖表。

2.2 重要文獻回顧

長波抗浪型結構物主要是使用在於港內水域的碼頭部分，目的是希望能夠將長週期波的反射能量降到最低，同時又能兼具碼頭靠泊船舶及裝卸貨物之用，因此該結構型式基本上外觀應該為直立式多孔隙或透水的壁面。對於直立式消波結構物至今已經開發有相當多種型式且應用於工程實務上，例如利用萬代福等多孔隙直立塊體堆疊或開孔消波室的多孔隙消波碼頭，斜坡棧橋式碼頭等。然而由於縱深有限，對於長週期波的消能功能則不太明顯。

雖然在港灣工程規劃設計與管理中都對港內的長週期波動能量所造成的負面影響相當頭痛。例如，港內的長週期波動可能引致較高的波動變化進而影響繫靠船舶的穩定性及貨物的裝卸作業安全。但有關長波抗浪型結構物的研究文獻並不多。Hiraishi(2002)利用數值模擬的方式探討自然及人工斜坡對長週期波的消能效果，發現長週期波的反射率可以降低到 0.3 以下。Hiraishi(2006)利用水工模型試驗及數值造波水槽模擬的方式探討如圖 2.2.1 及 2.2.2 之長週期波消能結構物在 30 至 300sec 長週期波動作用下的功能，但也發現後側之多孔隙介質之深度至少需要達到將近一倍的波長，在實用上仍有討論的空間。Kee 等(2006)以 2D 線性波理論及 Darcy's law 探討沈箱消波室內裝兩層或三層略微傾斜或水平的多孔隙板(如圖 2.2.3 及 2.2.4 所示)，發現適當的沒水深度、傾斜角及孔隙率可以有效地降低長週期波的能量。

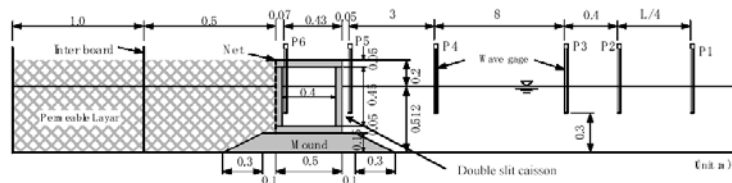
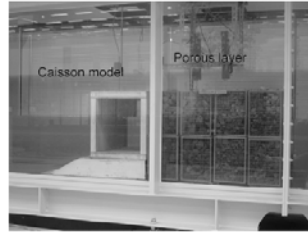


Fig. 1 Cross section of long period wave absorbing sea wall



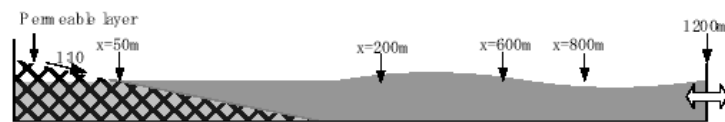
(1) Model caisson and porous layer



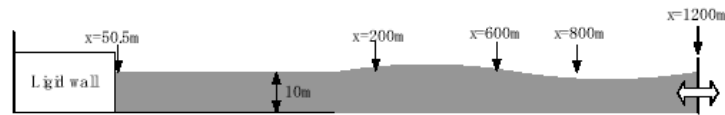
(2) Prototype example of porous layer

Photo. 1 Overview of long period wave absorber

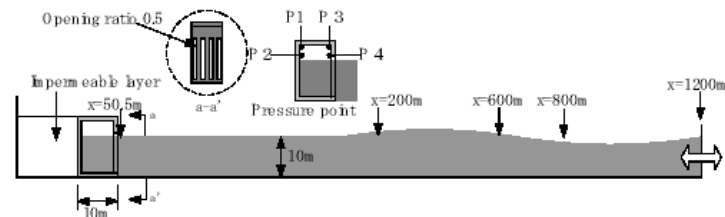
圖 2.2.1 長週期波消能結構物之研究概觀(Hiraishi, 2006)



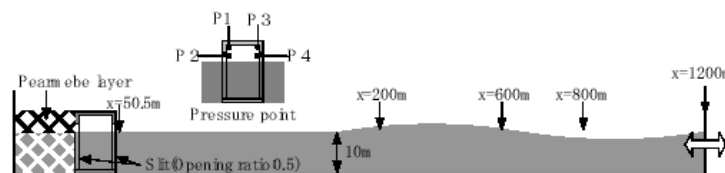
(1) Sandy beach



(2) Vertical wall



(3) Single side slit caisson wall



(4) Double side slit caisson wall

圖 2.2.2 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究(Hiraishi, 2006)

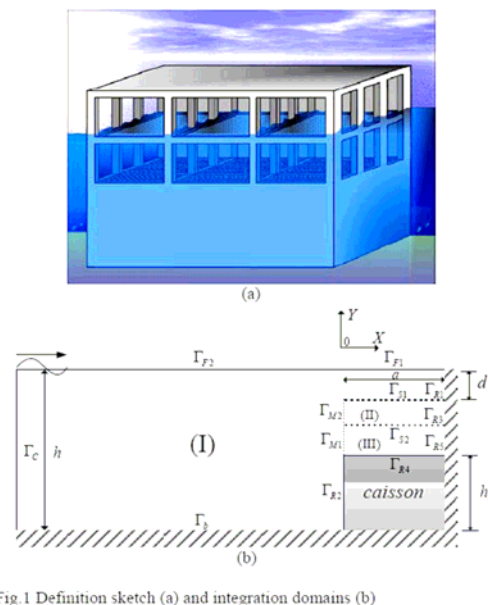


Fig. 1 Definition sketch (a) and integration domains (b)

圖 2.2.3 Kee 等(2006)之數值模型定義圖

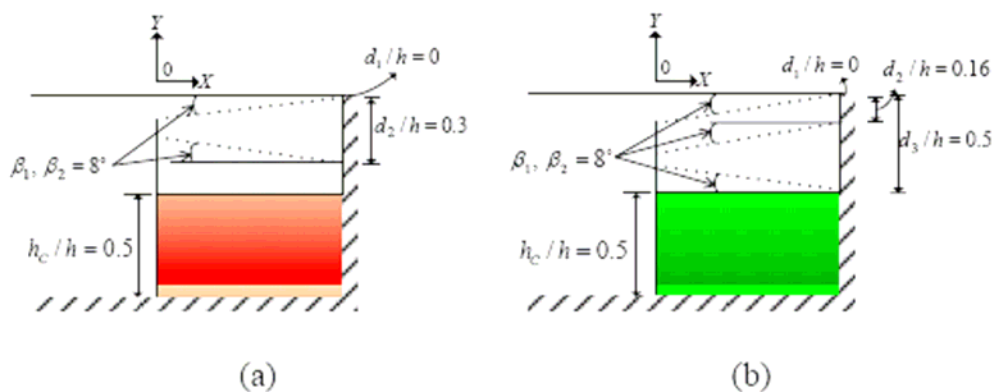


圖 2.2.4 Kee 等(2006)測試之數值模型系統(a)雙平版；(b)三平版

翻水牆的設置在最近幾年被廣泛地注意到，如 Pilarczyk(1990)、Franco (1999)、Kortenhaus et al (2003)、Murakami (2008)等(圖 2.2.5 至圖 2.2.8)僅為部份的研究成果，設置的目的是希望能藉由在冠牆頂端設置一向海側傾斜的形狀導引改變水粒子運動方向，降低波浪能量直接衝擊堤面的比例，而降低波浪作用力。

NON-ENERGY - ABSORBING		ENERGY - ABSORBING	
Vertical Walls	Rubble Mounds	Sloping Walls	
JACKSONVILLE BEACH PALM BEACH JUNIPER ISLAND MIAMI BEACH VIRGINIA BEACH	EUROPE	GREAT BRITAIN HOLLAND DENMARK GERMANY	
GALVESTON, TEXAS GREAT BRITAIN	EUROPE	BELGIUM GREAT BRITAIN HOLLAND DENMARK GERMANY	
GREAT BRITAIN SPAIN	GREAT BRITAIN PORTUGAL SCANDINAVIA	GREAT BRITAIN HOLLAND GERMANY	
GREAT BRITAIN FRANCE	SCANDINAVIA	GREAT BRITAIN HOLLAND GERMANY	

圖 2.2.5 Pilarczyk(1990)非消能及消能防波堤對降低波越量之影響

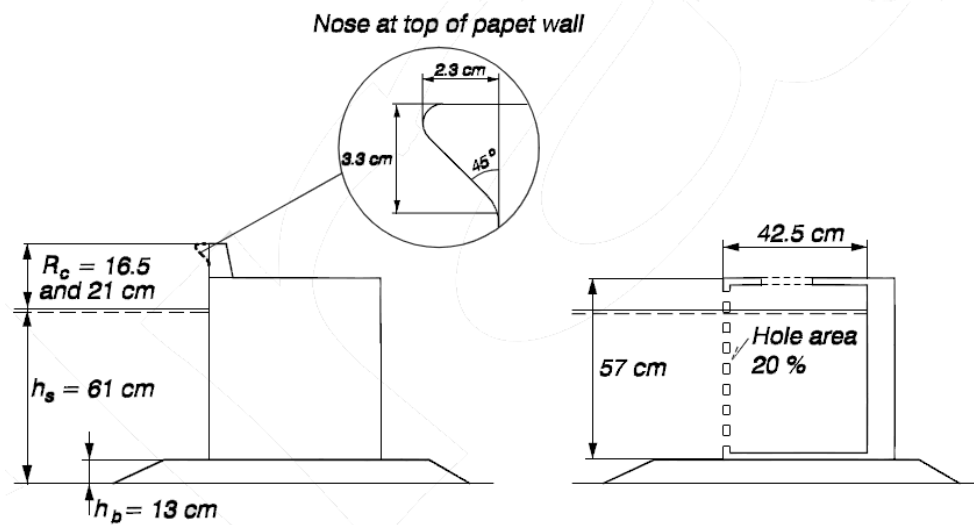


圖 2.2.6 Franco (1999)鼻型防波堤及消波防波堤(堤面層 20%孔隙率)

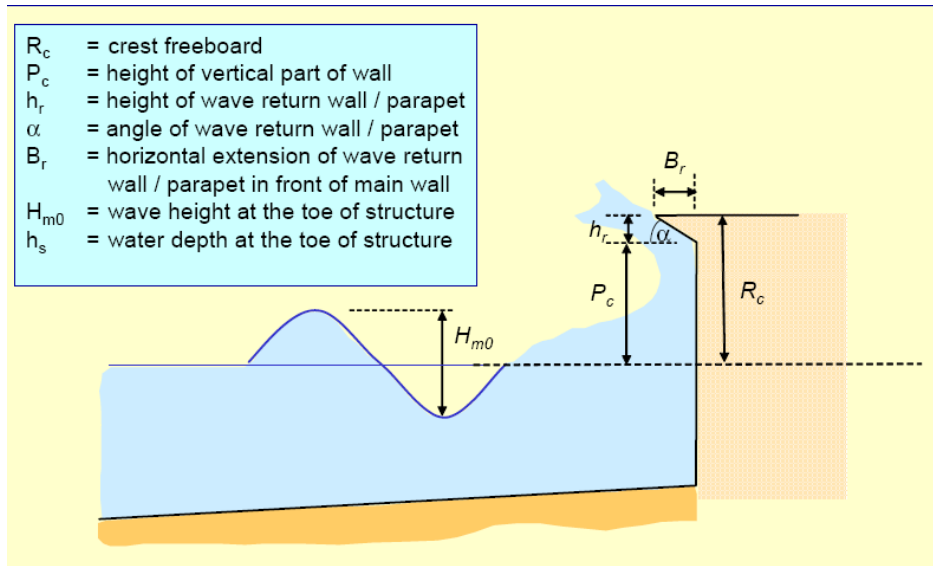


圖 2.2.7 Kortenhaus et al (2003)模型示意圖

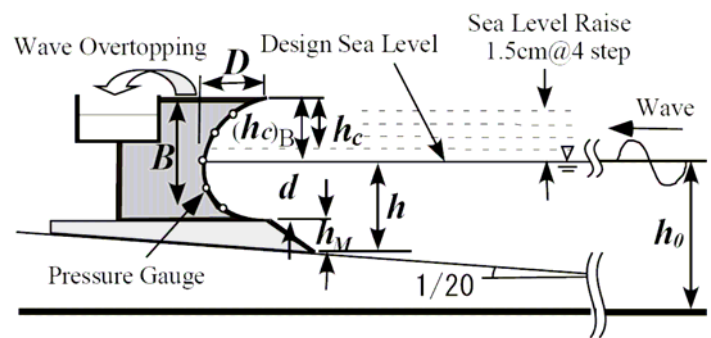


圖 2.2.8 Murakami (2008)模型示意圖

近岸的波浪受到地形水深變化的影響，可能發生淺化、折射、繞射、反射、碎波、溯升等變化，不僅波浪變得非線性與非定常性外，存在的應該是個波流場，而非單純的波動場，也就是水粒子可能以水流的方式向岸傳播運動，而不是往復型的波動行為。因此，利用波浪理論來探討近岸的水面波動，或者是結構物附近的波動可能或有不足的地方，尤其是當波浪發生碎波，水粒子有溯升溯降行為時，有必要考慮以流體動力學理論來探討其行為。

利用數值模擬方法來處理自由液面(free surface)之問題，長久以來一直是相當棘手及困難的課題之一。Hirt and Nichols 首先提出 Volume-of-Fluid(VOF)的概念成功地解決了此項難題，隨後更據此於1985 年發展出 FLOW-3D 計算流體動力分析系統之計算模擬套裝軟

體。其解算技術於實務模擬及計算準確度上，皆受到使用者的肯定。特別是針對常見的金屬鑄造(metal casting)及海岸水力學等複雜之自由液面工程問題上，提供了更高信賴度、更高精度及更高效率的數值解析工具。為了能了解波浪在新型消能式防波堤附近的複雜行為，本研究將引進 FLOW-3D 軟體進行相關的數值模擬。

由於初步構想中之長波消能式結構物與波浪的溯升與越波相關，本計畫乃收集與整理相關的理論如下節所述。

2.3 波形尖銳度與碎波參數

波形尖銳度(wave steepness)一般定義為波高與波長的比值，例如深海波的波形尖銳度可以定義為 $S_0 = H_0/L_0$ (時間域，零切特性波浪)或 $S_0 = H_{m0}/L_0$ (頻率域)，其中 H_0 為零切法所得到的深海波平均波高， $H_{m0} = 4(m_0)^{0.5}$ 為由深海波頻譜換算所得的平均波高， L_0 為深海波的波長。就深海波而言， $S_0 = 0.01$ 一般表示為湧浪的狀態，而 $S_0 = 0.4 \sim 0.6$ 則為典型的風波。湧浪通常都是長週期波，也是影響波浪溯升的主要參數。但在淺水波時，波浪可能由於碎波而擁有較小的波形尖銳度。

波浪在結構物上的溯升與溯降與波浪的碎波型式有關係。碎波的型式可以用碎波相似參數(Surf-Similarity Parameter, Battjes 1974b) ξ 來區分。該參數也被稱為碎波參數(Breaker Parameter or Iribarren Number)。原始的碎波相似參數是以規則波(利用零切法所得的特性波高與周期)定義的

$$\xi_0 = \tan \alpha / (S_0)^{0.5} \dots\dots\dots (2.3.1)$$

其中， α 是結構物前壁的坡度； $s_0 = H_0/L_0$ 是深水波的波形尖銳度； H_0 是深水波波高； L_0 是深水波波長； T 是波浪週期； g 是重力加速度。

為了考慮實際的隨機性海洋波動特性，EUROTOP(2007)定義碎波相似參數為

$$\xi_{m-1,0} = \tan \alpha / (H_{m0} / L_{m-1,0})^{0.5} \dots\dots\dots (2.3.2)$$

其中， $L_{m-1,0} = gT_{m-1,0}^2 / 2\pi$ 為深海波波長， $H_{m,0} = 4(m_0)^{0.5}$ 為由深海波頻譜換算所得的斜坡底部的示性波高。結合結構物前壁的坡度與碎波參數如圖 2.3.1 的關係，可以將碎波形式加以分類。雖然仍然有碎波情形，但一般將 $\xi_{m-1,0} > 2-3$ 視為未碎波(surging waves)；而 $\xi_{m-1,0} < 2-3$ 則視為碎波。

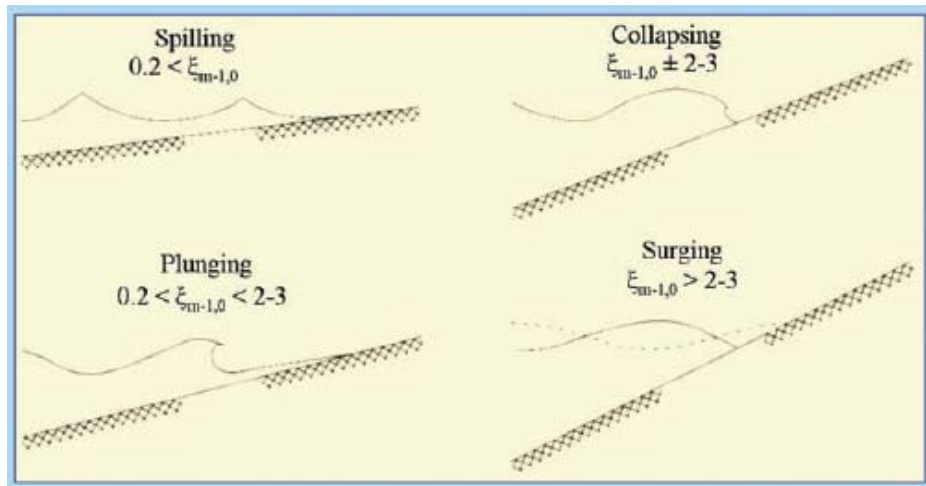


圖 2.3.1 斜坡上的碎波形式(EuroTop, 2007)

為了區分作用在直立壁上的非衝擊波(non-impulsive waves or pulsating waves)以及衝擊波(impulsive waves)，定義參數 h_* 如下

$$h_* = \frac{h_s}{H_s} \frac{h_s}{L_0} \dots\dots\dots (2.3.3)$$

當 $h_* > 0.3$ 時以非衝擊波為主；而當 $h_* \leq 0.3$ 時則以衝擊波為主。

在碎波點處的波高 H_b 有時會被用來取代 H_0 ，此時該參數表示為 ξ_b 。表 2.3.1 顯示碎波型式和相關的 ξ_0 值範圍(CEM, 2002)。各個不同碎波型式中的轉換介面乃是個近似值。

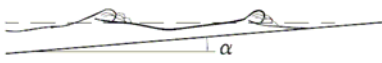
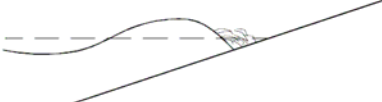
對於不規則波，碎波相似參數可定義為：

$$\xi_{om} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{om}}} \quad \text{or} \quad \xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{op}}} \dots\dots\dots (2.3.4)$$

其中， $S_{om} = \frac{H_s}{L_{om}} = \frac{2\pi}{g} \frac{H_s}{T_m^2}$ ； $S_{op} = \frac{H_s}{L_{op}} = \frac{2\pi}{g} \frac{H_s}{T_p^2}$

且 H_s 為堤趾處的入射示性波高， T_m 為平均週期， T_p 為譜峰週期。必須提醒的是， s_{om} 及 s_{op} 都是虛構的波形尖銳度，因為它們是結構物上的統計波高與深水代表波長的比值。

表 2.3.1 不透水斜坡上的碎波型式與相關的 ξ_o 值(CEM, 2002)

	SPILLING $\xi_o < 0.5$
	PLUNGING $0.5 < \xi_o < 3$
	COLLAPSING $\xi_o \approx 3 \text{ à } 3.5$
	SURGING $\xi_o > 3.5$

2.4 波浪的溯升/溯降(run up/run down)理論

當入射波浪由外海向岸邊傳播時，由於地形逐漸由深變淺，波浪的行進可能發生淺化、折射及碎波；而如果行進中遭遇到島嶼或人工構造物如防波堤時，則會在結構物前方發生反射，而在後方發生繞射現象；當波浪遇到斜坡式的地形或海岸結構物(如防波堤、海堤或護岸)時，由於波浪會因為水深的變淺，波形將變陡，並因為波峰處水粒子速度逐漸增大，終至在斜坡表面上發生碎波，然後以水流型式沿斜坡往上爬升，此一現象被稱為波浪的溯升(wave run-up)，而最大爬升(垂直)高度稱為溯升高度 R_u ，如圖 2.4.1 所示。其後水體將再度回落到水面，此一現象被稱為波浪的溯降(wave run-down)，其最大下降深度稱

為溯降深度 R_d ，而爬落幅度 $R_{ud} = (R_u - R_d)$ 。在決定結構物出水高度(靜水面至堤頂高的垂直距離)或護坡鋪面防護範圍時，溯升高度與溯降深度是重要的參考因素。當溯降水流回落到水面上時，由於重力加速度的作用，將會因造波作用而發生反射波在堤前形成部分重複波系統。而如果波浪溯升高度大於結構物的頂高時，波浪將會越過堤頂而發生越波現象(overtopping)。本節首先參考參考郭一羽教授編輯的海岸工程學及美國陸軍工兵團編定的海岸工程手冊(Coastal Engineering Manual，2002，簡稱 CEM)整理相關的理論。

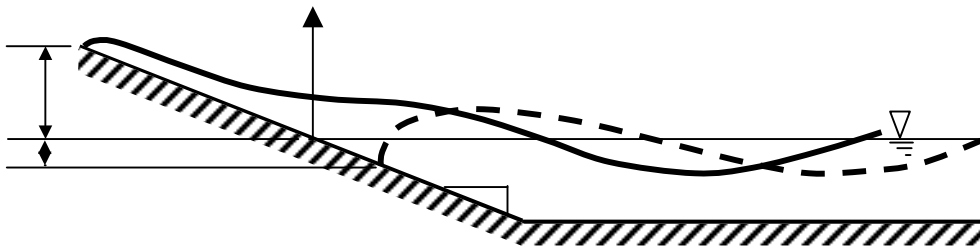


圖 2.4.1 波浪溯升/溯降示意圖

不同的斜坡特性會影響到波浪的溯升/溯降，圖 2.4.2(a)說明在不透水斜坡上當波浪作用過程中的水流量變情形。圖 2.4.2(b)說明如果斜坡具透水性時的變情形。不論是水流的大小或方向對消波塊的安定性都有極重要的影響。一般而言，由於在靜水面附近或以下會發生臨界流場，使得下刷水流往往會產生最大的能使消波塊不安定的最大力量。不過，當坡度小於大約 1：3.5 時，由於上刷水流很弱，則不會發生上述情形。圖 2.4.2(b)中的流速向量也說明拋石防波堤會被重新塑形成 S-曲線的原因。

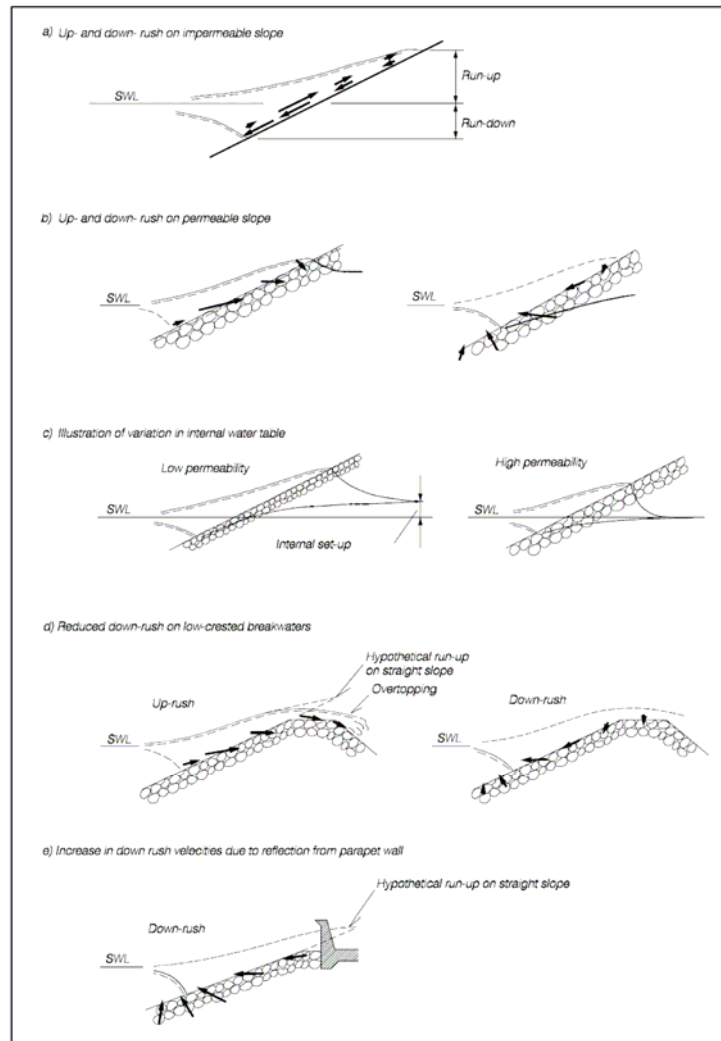


圖 2.4.2 波浪在不同的斜坡表面上的溯升與溯降示意圖(Burcharth, 1993, CEM)

增加斜坡的透水性可以降低沿著波面的水流速度，因為會有大量的水體進入到結構物內部，進而減低溯升的高度。如圖 2.4.2(c)所示，波浪在斜坡上溯升的行為會使得透水堤體內部水位上升，並引致平均孔隙水壓的上升。堤內自由水面將會持續上升到出流量等於入流量。而當結構物的透水性愈低，溯升高度就愈高。

增加結構物的孔隙率可以降低越波的流速，因為可以有大量的入射水體被留存在堤體的孔隙中，也降低了使得消波塊不穩定的力量。不過此一正面的貯留效應會因為內部水位的抬升而降低。

對於防波堤的堤頂低於溯升高度時，雖然和不越波斜坡相比，其溯升速度幾乎不變，但是由於部分入射波浪的越波而使得溯降的速度明顯降低，如圖 2.4.2(d)所示。越波量愈大，溯降的流速和作用在消波塊的流體力就愈小，可提升消波塊的穩定性。如圖 2.4.2(e)所示的胸牆將會因為截斷了溯升水流的路徑，將會提升溯降的流速而因此增加作用在消波塊上的流體力，使其更不穩定。

影響波浪溯升的因素相當多，包含了入射波浪特性(波高及波形尖銳度、入射方向以及其與反射波的交互作用)、水深、結構物前的海床坡度及結構物的堤面坡度、形狀粗糙度、透水性與孔隙率等。

在給定的波浪條件及斜坡坡度狀況下，最大的流速及最大 R_u 及 R_d 值將發生在無透水性的平滑斜坡上。當波浪不發生碎波，且不考慮堤面或底床摩擦時，較陡的堤面會發生波浪完全反射，故在直立堤之情況 $R_u = H$ ， $H = 2a$ 為入射波高， a 為振幅。

我們可以依不同的溯升特性將溯升問題分類為非透水性斜坡與透水性斜坡。非透水性斜坡一般出現在海堤、護坡和防波堤，它們是在細粒料堤心物質上鋪設不透水的表面(如瀝青或混凝土表面)或粗糙表面(如拋石或混凝土塊)透水斜坡則主要是指擁有第二層保護層、濾層及卵石堤心的拋石結構物。

1. 波浪在不透水斜坡上的溯升與溯降

不規則波在不透水斜坡上的溯升 Battjes(1974)以下列型式表示

$$\frac{R_{ui\%}}{H_s} = (A\xi + C)\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta \dots\dots\dots (2.4.1)$$

其中， $R_{ui\%}$ ：超越 $i\%$ 入射波個數的溯升高度； ξ ：碎波相似參數(ξ_{om} 或 ξ_{op})； A, C = 在滿足 Rayleigh 波高分佈的長峰正向波作用在光滑直線不透水斜坡上的溯升中，與 ξ 及 i 有關的係數； γ_r ：受表面粗糙度影響的減衰係數(在光滑表面上， $\gamma_r = 1$)； γ_b ：受台階影響的減衰係數(沒有台階的情形， $\gamma_b = 1$)； γ_h ：受淺水區域波高不在是 Rayleigh 分佈影

響的減衰係數(Rayleigh 分佈時， $\gamma_h = 1$)； γ_β ：受波浪入射角影響的減衰係數(當正向長峰波入射時， $\gamma_\beta = 1$ 即 $\beta = 0^\circ$)。在短峰波入射時，方向分佈的影響也應該涵蓋在本係數中。

(1) 不規則長峰波在平緩不透水斜坡上之溯升

Van Oorschot and d'Angremond (1968) 測試了斜坡坡度為 1:4 及 1:6，且 $\xi_{op} < 1.2$ 時的條件。Ahrens(1981a) 調查了坡度為 1:1 及 1:4，且 $\xi_{op} > 1.2$ 的條件。圖 2.4.3 顯示測試結果的分佈範圍及 $R_{u2\%}$ 的近似公式，如式(2.4.1)所示。大部分應是因為對 $\xi_{op} > 1.2$ 的試驗條件之波浪數只大約 100-200 個波，變化量(coefficient of variation) σ_{R_u} / R_u 大約在 0.15 左右。圖 2.4.4 顯示的示性溯升高程 $R_{us} = R_{u33\%}$ 並不包含 $\xi_{op} < 1.2$ 的資料。變化量 σ_{R_u} / R_u 大約在 0.1 左右。參數 A 及 C，以及 R_u 的變化參數推估值如表 2.4.1 所示。值得注意的是，由 Allsop et al.(1985)所提供的資料顯示溯升高程明顯地小於此處所提供的值。

至目前為止，只有很少的試驗在討論波浪的溯降。對於平緩不透水底床上不規則長峰波作用下與 $R_{d2\%}$ 有關的溯降可以下式估算

$$\frac{R_{d2\%}}{H_s} = \begin{cases} 0.33\xi_{op} & \text{for } 0 < \xi_{op} \leq 4 \\ -1.5 & \text{for } \xi_{op} > 4 \end{cases} \dots\dots\dots (2.4.2)$$

在 Rijkswaterstaat(1990) 編寫的 Dutch publication : Slope Revetments of Placed Blocks 中提出了以混凝土版鋪設的光滑斜面的溯降計算公式如下所示：

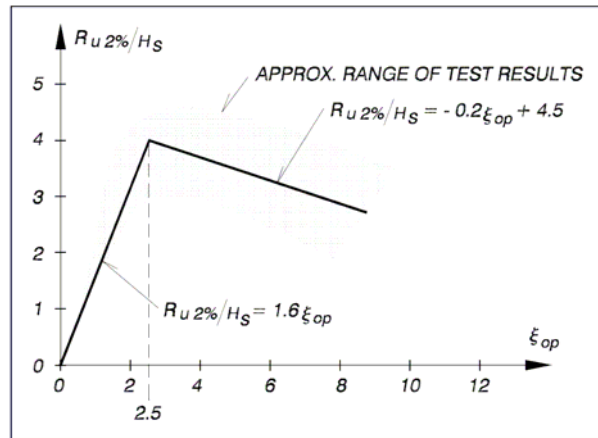


圖 2.4.3 光滑斜坡上之正向入射波的 $R_{u2\%}$ (CEM, 2002)

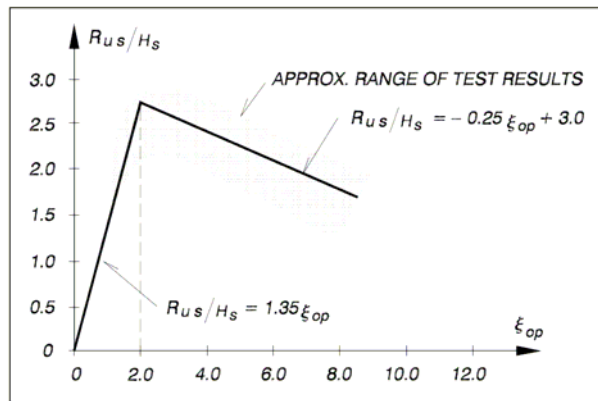


圖 2.4.4 光滑斜坡上之正向入射波的 R_{us} (CEM, 2002)

表 2.4.1 式(2.4.1)的相關係數

ξ	R_u	ξ -Limits	A	C	σ_{R_u}/R_u
ξ_{op}	$R_{u, 2\%}$	$\xi_p \leq 2.5$	1.60	0	$\cong 0.15$
		$2.5 < \xi_p \leq 9$	-0.20	4.5	
	R_{us}	$\xi_p \leq 2.0$	1.36	0	$\cong 0.10$
		$2.0 < \xi_p \leq 9$	-0.15	3.0	

$$\frac{R_{d2\%}}{H_s} = 0.5\xi_{op} - 0.2 \dots\dots\dots(2.4.3)$$

另外，de Waal and van der Meer(1992)也提出長峰波在光滑斜坡上的溯升資料(如圖 2.4.5 所示)。該資料涵蓋小比例尺(其坡度分

別為 1:3, 1:4, 1:5 及 1:6)，與大比例尺(1:3, 1:6 及 1:8)的水工模型試驗。對小比例尺試驗而言，碎波相似參數介於 $0.6 < \xi_{op} < 3.4$ 之間，而大比例尺試驗，則介於 $0.6 < \xi_{op} < 2.5$ 。這些資料曾經被 de Waal and van der Meer (1992) 及 van der Meer and Janssen (1995) 用來評估由式(2.4.1)所定義的 γ 係數。由推導式(2.4.1)的參考資料所得到的平均關係表示如下式，及圖 2.4.5 中的實線。點線包含一較小的安全係數，而且此一關係被荷蘭的 Technical Advisory Committee on Water Defence 推薦作為設計參考。但根據相對於圖 2.4.5 較少的資料，有關式(2.4.4)的不確定性，de Waal and van der Meer (1992) 假設係數 1.5 是一個具正規分佈的隨機變數，並得到變化量為 0.085。

$$\frac{R_{d2\%}}{H_s} = \begin{cases} 1.5\xi_{op} & \text{for } 0.5 < \xi_{op} \leq 2 \\ -3.0 & \text{for } 2 < \xi_{op} < 3-4 \end{cases} \dots\dots\dots (2.4.4)$$

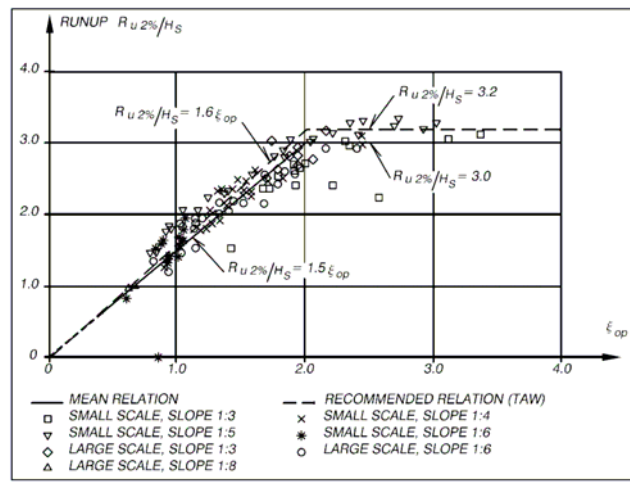


圖 2.4.5 正向長峰波在光滑斜坡上的溯升 $R_{u2\%}$ (CEM, 2002)

EuroTop(2007)根據 10000 組的模型試驗資料提出 2%超越機率的平均溯升高度

$$\frac{R_{d2\%}}{H_{m0s}} = 1.65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_{m-1,0} \quad \text{for } 0.5 < \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \leq 8 \text{ to } 10 \dots\dots\dots (2.4.5)$$

其最大值为

$$\frac{R_{d2\%}}{H_{m0s}} = 1.00 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left(4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right) \quad \text{for } 0.5 < \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \leq 8 \text{ to } 10 \quad (2.4.6)$$

其中， γ_b 、 γ_f 及 γ_β 分別為台階、斜坡粗糙度及波浪斜向入射的影響因子。但報告中也提出基於堤頂高度的安全評估與設計，建議加上一個標準差，如下所示

$$\frac{R_{d2\%}}{H_{m0s}} = 1.75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_{m-1,0} \quad \text{for } 0.5 < \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \leq 8 \text{ to } 10 \dots\dots\dots (2.4.7)$$

其最大值为

$$\frac{R_{d2\%}}{H_{m0s}} = 1.00 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left(4.3 - \frac{1.6}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right) \quad \text{for } 0.5 < \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \leq 8 \text{ to } 10 \dots\dots\dots (2.4.8)$$

在手冊中建議對於簡單斜坡的溯升高度以式(2.4.7)計算。

圖 2.4.6 顯示波形尖銳度對不同斜坡上的溯升高度的影響

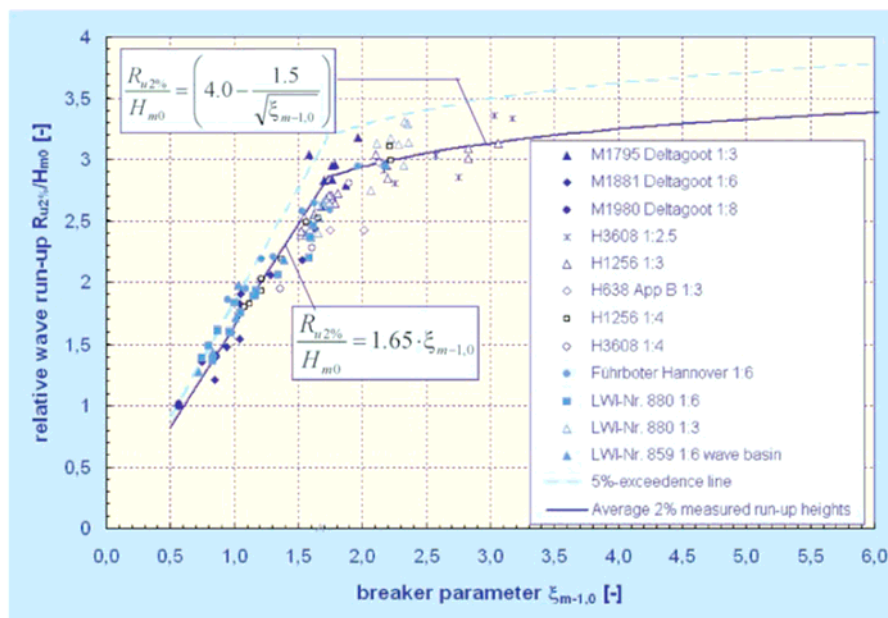


圖 2.4.6 正向長峰波在光滑斜坡上的溯升高度(EUROTOP, 2007)

(a)表面粗糙度對溯升的影響

在荷蘭的出版品及舊版的美國陸軍工兵團海岸保護手冊中，原始的 γ_r 值已經用新的實驗資料(包含大尺度的不規則波試驗)更新過。這些係數提供在表 2.4.2 中。由 de Waal and van der Meer (1992)所得到的新 γ_r 值適用於 $1 \leq \xi_{op} \leq 3 \sim 4$ 。對於較大的 ξ_{op} ， γ_r 值將會漸增至 1。

表 2.4.2 式(2.4.1)中表面粗糙度減衰係數(適用於 $1 \leq \xi_{op} \leq 3 \sim 4$)

Type of Slope Surface			γ_r
Smooth, concrete, asphalt			1.0
Smooth block revetment			1.0
Grass (3 cm length)			0.90 - 1.0
1 layer of rock, diameter D , ($H_s/D = 1.5 - 3.0$)			0.55 - 0.6
2 or more layers of rock, ($H_s/D = 1.5 - 6.0$)			0.50 - 0.55
Roughness elements on smooth surface (length parallel to waterline = ℓ , width = b , height = h)			
Quadratic blocks, $\ell = b$			
h/b	b/H_s	area coverage	
0.88	0.12 - 0.19	1/9	0.70 - 0.75
0.88	0.12 - 0.24	1/25	0.75 - 0.85
0.44	0.12 - 0.24	1/25	0.85 - 0.95
0.88	0.12 - 0.18	1/25 (above SWL)	0.85 - 0.95
0.18	0.55 - 1.10	1/4	0.75 - 0.85
Ribs			
1.00	0.12 - 0.19	1/7.5	0.60 - 0.70

EUROTOP(2007)依據斜坡表面的材質建議如表 2.4.3。

表 2.4.3 典型材質的表面粗糙度減衰係數(EUROTOP, 2007)

Reference type	γ_f
Concrete	1.0
Asphalt	1.0
Closed concrete blocks	1.0
Grass	1.0
Basalt	0.90
Small blocks over 1/25 of surface	0.85
Small blocks over 1/9 of surface	0.80
¼ of stone setting 10 cm higher	0.90
Ribs (optimum dimensions)	0.75

(b) 台階(berm)對溯升的影響

Delft Hydraulics 曾經執行一個試驗計畫來澄清一個水平或幾乎水平的台階對溯升的影響。圖 2.4.7 顯示測試的斷面及波浪條件。根據 de Waal and van der Meer (1992)的研究，台階的影響可以參照式(2.4.4)以下列公式表示

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = \begin{cases} 1.5\xi_{op}\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta = 1.5\xi_{eq}\gamma_r\gamma_h\gamma_\beta & \text{for } 0.5 < \xi_{eq} \leq 2 \\ -3.0\gamma_r\gamma_h\gamma_\beta & \text{for } \xi_{eq} > 2 \end{cases} \dots\dots\dots(2.4.9)$$

其中， ξ_{eq} 是根據一等值坡度(參考圖 2.4.7)計算的碎波時的碎波相似參數。

台階的影響係數 γ_b 定義如下

$$\gamma_b = \frac{\xi_{eq}}{\xi_{op}} = 1 - \gamma_B(1 - \gamma_{dB}), \quad 0.6 \leq \gamma_b \leq 1.0 \dots\dots\dots(2.4.10)$$

其中，

$$\gamma_B = 1 - \frac{\tan \alpha_{eq}}{\tan \alpha} \text{ 及 } \gamma_{dB} = 0.5 \left(\frac{d_B}{H_s} \right)^2, \quad 0 \leq \gamma_{dB} \leq 1 \dots\dots\dots(2.4.11)$$

而等值平衡坡度角 α_{eq} 及平均坡度角 α 定義如圖 2.4.8 所示。當台階的水平表面設置低於在靜水面以下 $H_s\sqrt{2}$ 時，台階的影響可以忽略。而如果高於靜水面以上 $d_B = H_s\sqrt{2}$ ， $B/H_s \geq 2$ 的話，則溯升可以設為 $R_{u2\%} = d_B$ 。最具影響的台階是設在靜水面上，即 $d_B = 0$ 。一個寬度為 B 的最佳台階($\gamma_b = 0.6$)可以從式(2.4.10)及(2.4.11)計算而得。在式(2.4.9)中的 ξ_{eq} 的選用是由圖 2.4.7 中所給的條件下試驗所得的圖 2.4.9 來評估，其中令 $\gamma_r = \gamma_h = \gamma_\beta = 1$ 。

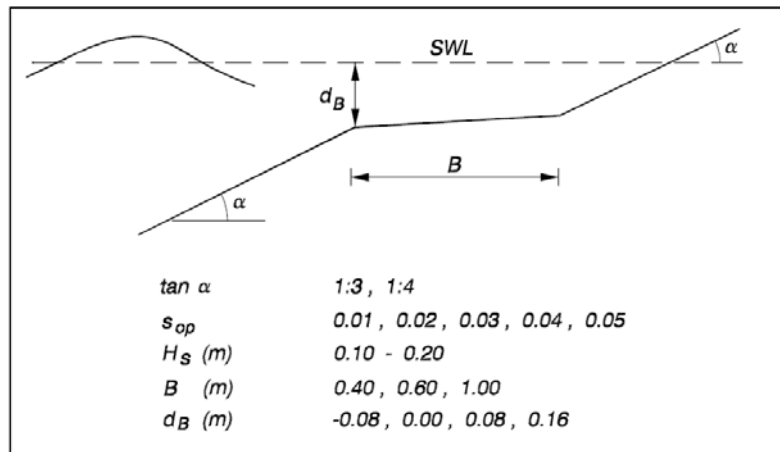


圖 2.4.7 Delft Hydraulic 進行台階試驗的相關參數(CEM, 2002)

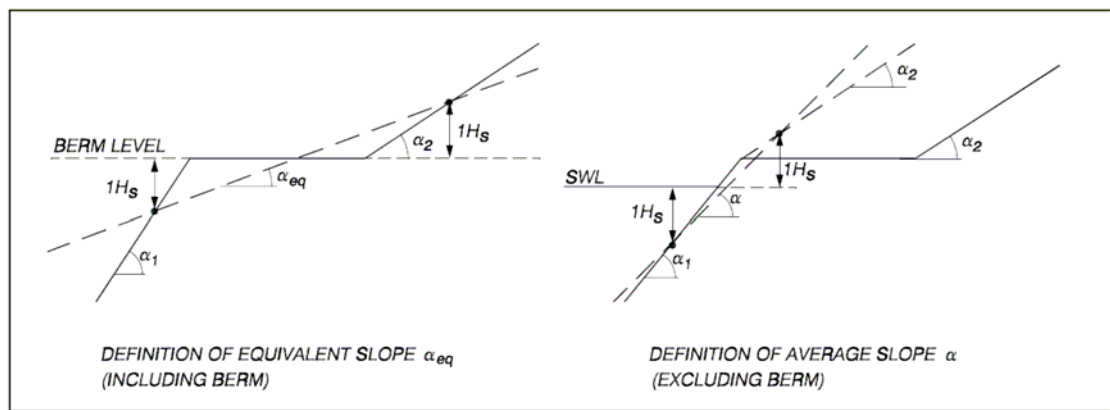


圖 2.4.8 式(2.4.7)中有關 α_{eq} 及 α 的定義(CEM, 2002)

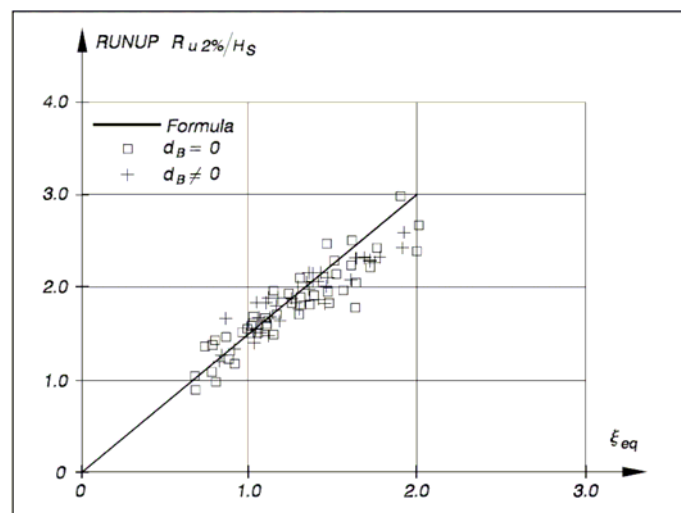


圖 2.4.9 根據台階對溯升高度影響度對 ξ_{eq} 選用值的評估(CEM, 2002)

EuroTop(2007)提議

$$\gamma_b = 1 - \frac{B}{L_{Berm}}(1 - \gamma_{db}) \quad \text{for } 0.6 \leq \gamma_b \leq 1.0 \quad (2.4.12)$$

其中， B 為台階的寬度； L_{Berm} 為台階的長度(如圖 2.4.10 所示)； γ_{db} 與平均海面至台階中點的垂直高度差 d_b 有關，但依台階所處的狀況而有所不同

$$\gamma_{db} = \begin{cases} 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi d_b}{R_{u2\%}}\right) & \text{for a berm above still water level} \\ 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi d_b}{2H_{m0}}\right) & \text{for a berm below still water level} \end{cases} \quad \dots\dots(2.4.13)$$

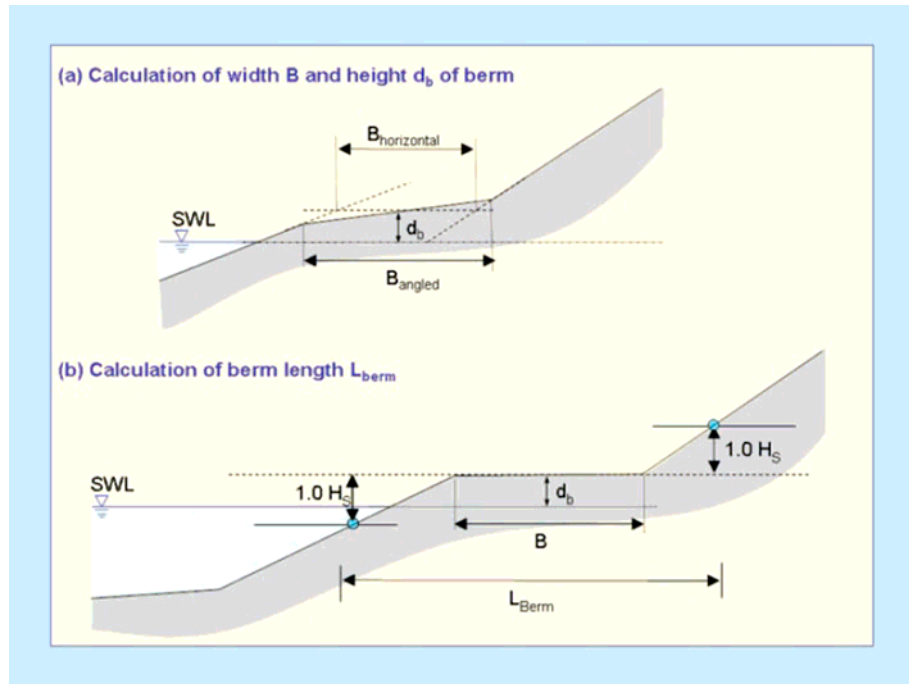


圖 2.4.10 台階寬度與長度的決定(EuroTop, 2007)

(c) 淺水域對溯升的影響

在式(2.4.5)中使用的波高是 H_s ，它可對深水波條件且波高滿足 Rayleigh 分佈提供一個唯一的定義。然而在淺水域中，有一些波浪會在到達結構物前就已發生碎波，使得波高不再是 Rayleigh

分佈。根據 de Waal and van der Meer (1992)的研究，影響係數可以下式估算

$$\gamma_h = \frac{H_{2\%}}{1.4H_s} \dots\dots\dots(2.4.14)$$

其中，示性波高是設定在結構物的堤趾處水深的波高(對 Rayleigh 分佈的波高而言， $H_{2\%}/H_s = 1.4$)

(d)波浪入射角對溯升的影響

不論是入射波的角度和波浪的方向分散情形都會影響到溯升。根據 Delft Hydraulics 有關光滑斜坡上的溯升試驗，如圖 2.4.11 所示的試驗條件，顯示影響係數 γ_β 的變化可以表示如式(2.4.15)及圖 2.4.12 所示。值得一提的是，界於 $10^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$ 的長峰波， γ_β 值會大於 1；而短峰波也會在 β 接近 50° 時， γ_β 值會接近於 1。根據試驗的結果，可以得到下列 γ_β 平均值的公式

$$\text{長峰波(主要是湧浪): } \gamma_\beta = \begin{cases} 1.0 & \text{for } 0^\circ \leq \beta \leq 10^\circ \\ \cos(\beta - 10^\circ) & \text{for } 10^\circ \leq \beta \leq 63^\circ \\ 0.6 & \text{for } \beta > 63^\circ \end{cases} \dots\dots\dots(2.4.15)$$

$$\text{短峰波: } \gamma_\beta = 1 - 0.0022\beta$$

EuroTop(2007)提議

$$\text{對波浪溯升: } \gamma_\beta = \begin{cases} 1 - 0.0022|\beta| & \text{for } 0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ \\ 0.824 & \text{for } |\beta| > 80^\circ \end{cases} \dots\dots\dots(2.4.16)$$

$$\text{對波浪越波: } \gamma_\beta = \begin{cases} 1 - 0.0033|\beta| & \text{for } 0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ \\ 0.736 & \text{for } |\beta| > 80^\circ \end{cases} \dots\dots\dots(2.4.17)$$

當波浪入射方向 $80^\circ < |\beta| \leq 110^\circ$ 時，波浪會在結構物附近發生繞射效應，EuroTop(2007)建議對波高 H_{m0} 及週期 $T_{m-1,0}$ 分別乘上 $\sqrt{(110-\beta)/30}$ 進行修正。而當波浪入射方向 $110^\circ < |\beta| \leq 180^\circ$ 時，則視為沒有溯升現象。

(2)塊石保護斜坡上不規則長波的溯升

表 2.4.4 為 Delft Hydraulics 有關塊石保護的透水/不透水斜坡上的溯升高度研究的測試條件。表 2.4.4 中的堤心透水性的詳細說明可參考圖 2.4.13 的 a, c 及 d (van der Meer, 1988)。該圖提供的標示透水性參數曾被 van der Meer 用在許多不同的考慮透水性對波浪作用力的影響的公式中。圖 2.4.13(b)中的 $P=0.4$ 並非從試驗中得來，而是一個估計值。圖 2.4.14 顯示由表 2.4.4 試驗條件所得的溯升結果。圖中 $\xi_{om} = \tan \alpha / (2\pi H_s / g T_{om}^2)^{1/2}$ ，其中， T_{om} 為波浪平均週期用來取代 ξ_{op} 。如果用 T_{om} 來取代 T_{op} ，則可以考慮頻譜寬度的變化。對於 JONSWAP 頻譜， $T_{om}/T_{op} = \xi_{om}/\xi_{op} = 0.79 \sim 0.87$ ；對於 P-M 頻譜， $T_{om}/T_{op} = \xi_{om}/\xi_{op} = 0.71 \sim 0.82$ 。

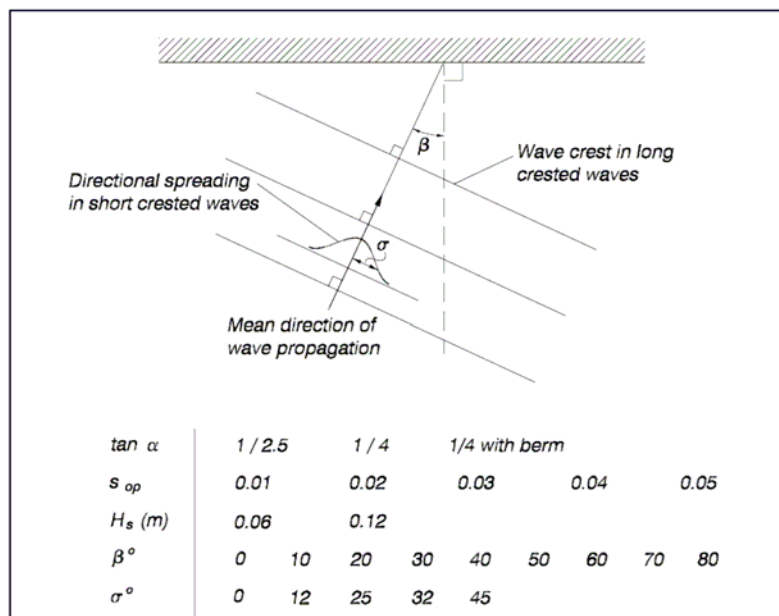


圖 2.4.11 Delft Hydraulic 所進行之光滑斜坡之波浪溯升試驗(CEM, 2002)

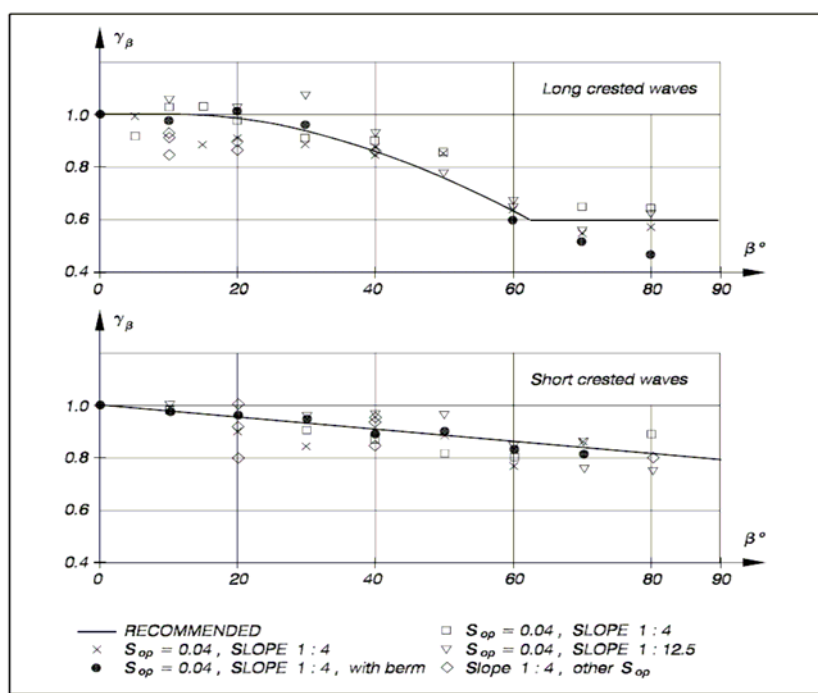


圖 2.4.12 波浪入射角與方向分佈性對溯升高度的影響(CEM, 2002)

表 2.4.4 Delft Hydraulics 對透水/不透水斜坡上的溯升研究測試條件 (CEM, 2002)

Slope Angle $\cot \alpha$	Grading D_{85} / D_{15}	Spectral Shape	Core Permeability	Relative Mass Density	Number of Tests	Range $H_s / \Delta D_{n50}$	Range s_{om}
2	2.25	PM	none	1.63	1.9e+31	0.8-1.6	0.005-0.016
3	2.25	PM	none	1.63		1.2-2.3	0.006-0.024
4	2.25	PM	none	1.63		1.2-3.3	0.005-0.059
6	2.25	PM	none	1.63		1.2-4.4	0.004-0.063
3 ¹	1.25	PM	none	1.62		1.4-2.9	0.006-0.038
4	1.25	PM	none	1.62		1.2-3.4	0.005-0.059
3	2.25	narrow	none	1.63		1.0-2.8	0.004-0.054
3	2.25	wide	none	1.63		1.0-2.4	0.004-0.043
3 ¹	1.25	PM	permeable	1.62		1.6-3.2	0.008-0.060
2	1.25	PM	permeable	1.62		1.5-2.8	0.007-0.056
1.5	1.25	PM	permeable	1.62		1.5-2.6	0.008-0.050
2	1.25	PM	homogeneous	1.62		1.8-3.2	0.008-0.059
2	1.25	PM	permeable	0.95		1.7-2.7	0.016-0.037
2	1.25	PM	permeable	2.05		1.6-2.5	0.014-0.032
2 ²	1.25	PM	permeable	1.62		1.6-2.5	0.014-0.031
2 ³	1.25	PM	permeable	1.62		1.4-5.9	0.010-0.046

PM Pierson Moskowitz spectrum
¹ Some tests repeated in Delta Flume
² Foreshore 1:30
³ Low-crested structure with foreshore 1:30

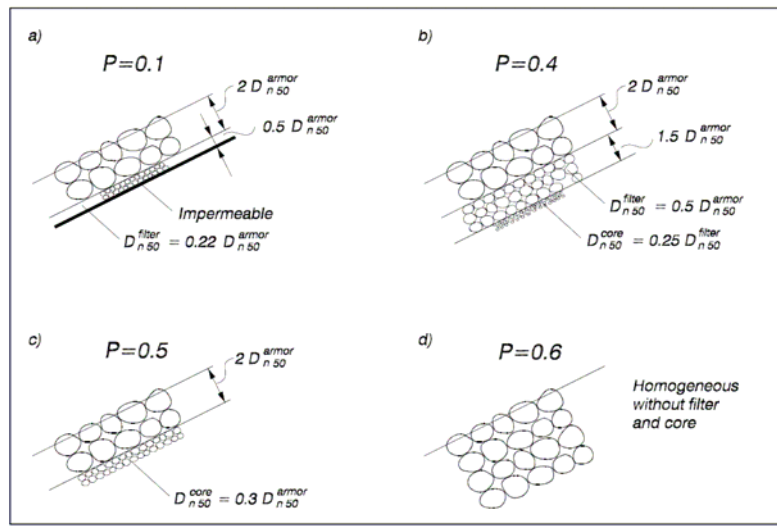


圖 2.4.13 標示透水參數(CEM, 2002)

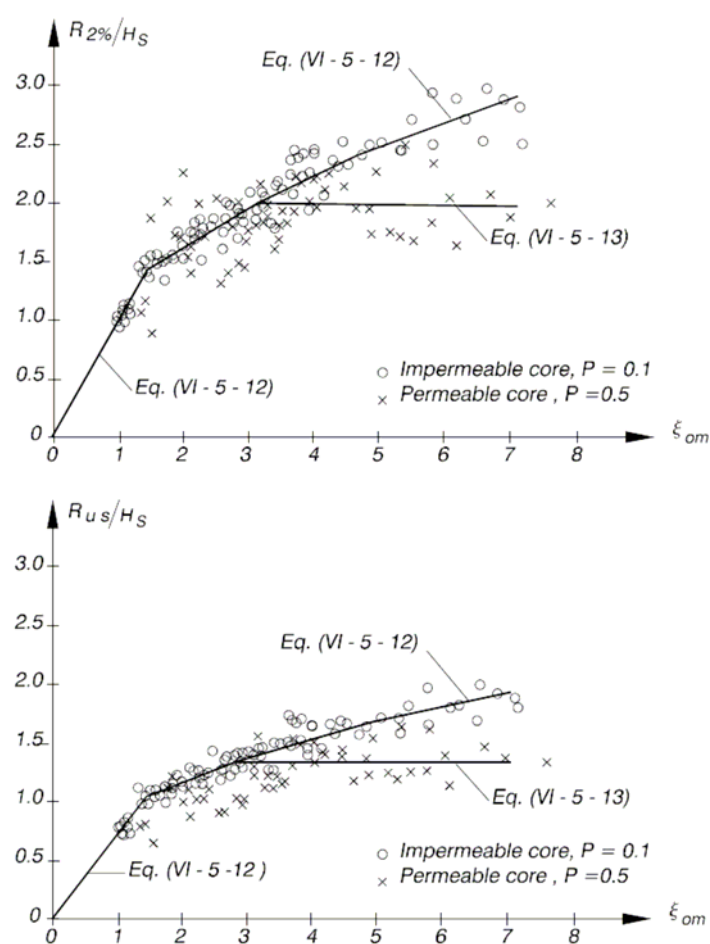


圖 2.4.14 不規則正向波在不透水/透水岩石斜坡上 2%及示性溯升高度 (CEM, 2002)

對於不透水岩性斜坡試驗資料的近似公式如下(Delft Hydraulics , 1989)

$$\frac{R_{ui}\%}{H_s} = \begin{cases} A\xi_{om} & \text{for } 1.0 < \xi_{om} \leq 1.5 \\ -B\xi_{om}^C & \text{for } \xi_{om} > 1.5 \end{cases} \dots\dots\dots(2.4.18)$$

公式中的係數 A，B 及 C 可參考表 2.4.5。對於不透水性斜坡 A、B 及 C 的變化量為 7%。由 Ahrens and Heinbaugh(1988a)所提供不透水亂拋斜坡的最大溯升高度於式(2.4.18)相符。式(2.4.18)也可應用於結構物前的相對深水域，波高滿足 Rayleigh 分佈的情形。波浪在前灘碎波時將會截斷溯升的分佈，而大多得到低超越機率的較低溯升高度。不過，根據 Delft Hydraulics 的試驗及 Texas A&M University 的試驗，有時候也會發生較高的溯升高度。

表 2.4.5 不規則正向波在不透水/透水岩石斜坡上之相關係數值(CEM, 2002)

Percent ¹	A	B	C	D ²
0.1	1.12	1.34	0.55	2.58
2.0	0.96	1.17	0.46	1.97
5	0.86	1.05	0.44	1.68
10	0.77	0.94	0.42	1.45
(significant)	0.72	0.88	0.41	1.35
50 (mean)	0.47	0.60	0.34	0.82

¹ Exceedence level related to number of waves
² Only relevant for permeable slopes

2.波浪在透水斜坡上的溯升與溯降

有關溯升的討論中，透水性結構物是定義為一個具有透水性堤心材料的結構物，堤體內波浪引致的孔隙水流及地下水位面會隨著波浪的頻率而變化。結構孔隙的儲存量會使得最大溯升高度將低於具有不透水堤心的相同結構物。

(1)不規則長峰波作用於岩石護坡的情形

Delft Hydraulics 曾在如表 2.4.4 的模型試驗中，測試不規則正向波在如圖 2.4.13(c)所示岩石保護的透水性斜坡(P = 0.5)的溯升情形，結果顯示如圖 2.4.14 所示，相關的近似公式如下所示

$$R_{ui\%}/H_s = \begin{cases} A\xi_{om} & \text{for } 1.0 < \xi_{om} \leq 1.5 \\ B(\xi_{om})^C & \text{for } 1.5 < \xi_{om} \leq (D/B)^{1/C} \\ D & \text{for } (D/B)^{1/C} < \xi_{om} < 7.5 \end{cases} \dots\dots\dots(2.4.19)$$

係數說明如表 2.4.5 所示。對於透水性結構物而言，A, B, C and D 的變化量為 12%。如圖 2.4.13(d)所示均勻岩石結構(P = 0.6)的結果與圖 2.4.13(c)結果類似。式(2.4.19)亦可用於波高分佈趨近於 Rayleigh 分佈的相對深水域中。由於水深限制導致波浪在堤前碎波會截斷波浪溯升的分佈而導致低超越機率的小溯升高度。不過根據 Delft Hydraulics 的試驗(van der Meer and Stam, 1992)仍然可能發生較高的溯升高度。表 2.4.4 的模型試驗測試了淺水域中透水性岩石護坡的溯升高度，但是其結果與式(2.4.19)沒有明顯的差異。

(2)溯升的統計分佈

有關波高近似 Rayleigh 分佈的波浪在坡度 $\tan \alpha \geq 2$ 的透水性岩石鋪面斜坡上的溯升，van der Meer and Stam (1992)提出最佳擬合的雙參數 Weibull 分佈：

$$\text{Pr ob}(R_u > R_{up\%}) = \exp \left[- \left(\frac{R_{up\%}}{B} \right)^C \right] \text{ 或 } \dots\dots\dots(2.4.20)$$

$$R_{up\%} = B(-\ln p)^{1/C} \dots\dots\dots(2.4.21)$$

其中， $R_{up\%}$ ：波浪發生 P% 溯升機率的溯升高度

$$B = H_s [0.4(s_{om})^{-1/4} (\cot \alpha)^{-0.2}] \dots\dots\dots(2.4.22)$$

$$C = \begin{cases} 3.0\xi_{om}^{-3/4} & \text{for } \xi_{om} \leq \xi_{omc} \text{ (plunging waves)} \\ -0.52P^{-0.3}\xi_{om}^P \sqrt{\cot \alpha} & \text{for } \xi_{om} > \xi_{omc} \text{ (surging waves)} \end{cases} \dots\dots\dots(2.4.23)$$

$$\xi_{om} = (5.77P^{0.3} \sqrt{\tan \alpha})^{1/(P+0.75)} \dots\dots\dots(2.4.24)$$

$$s_{om} = \frac{2\pi H_s}{gT_{om}^2}, \quad P = \text{標示透水率}$$

當 $P = 0.37$ 時， $\ln p = -1$ 。因此從式(2.4.21)可得比例參數 B 等於 $R_{u_{37\%}}$ 。若形狀參數等於 2 的話，式(2.4.20)將成為 Rayleigh 分佈。有關比例參數 B 的不確定性，當 $P < 0.4$ 時，其變化量為 6%，而當 $P \geq 0.4$ 時，其變化量為 9%。

根據 Delft Hydraulics 的試驗(如表 2.4.4 所列試驗條件)顯示在岩石斜坡上的溯降可以得到以下包含結構透水性影響 P 的公式(參考圖 2.4.13)。

$$\frac{R_{d2\%}}{H_s} = 2.1\sqrt{\tan \alpha} - 1.2P^{0.15} + 1.5e^{-60s_{om}} \dots\dots\dots(2.4.25)$$

3. 波浪在沙灘上的溯升

由於影響波浪溯升的因子相當多，包含波浪的非線性變形、波浪反射、三維變化的效應(如地形及亞重力波等)、海床的孔隙率、粗糙度及透水性，以及地下水位的高度等，至今尚無理論方法可以計算溯升的高度。CEM(2002)整理了波浪在沙灘上的溯升理論如下：

(1) 規則波

(a) Hunt (1959) 提出一溯升高度與海床坡度、入射波高及波形尖銳度的經驗公式

$$\frac{R}{H_o} = \xi_o \quad \text{for } 0.1 < \xi_o < 2.3 \dots\dots\dots(2.4.26)$$

其中，下標 O 表示深海波， ξ_o 為碎波相似參數(surf similarity parameter)表示如下：

$$\xi_o = \tan \beta \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-0.5} \dots\dots\dots(2.4.27)$$

Walton 等(1989)利用 Saville(1956)及 Savage(1958)坡度為 1/10 到垂直的模型試驗資料提出對陡坡地形的修正

$$\xi_o = \sin\beta \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-0.5} \dots\dots\dots(2.4.28)$$

(b)Walton 等(1989)也根據 Miche(1951)及 Keller(1961)所作的準則提出對均勻坡度底床的未碎波最高溯升高度可以下式表示

$$\frac{R}{H_o} = (2\pi)^{0.5} \left(\frac{\pi}{2\beta} \right)^{0.25} \dots\dots\dots(2.4.29)$$

(2)不規則波

由於個別溯上水流的交互影響，雖然不規則波的溯上高度仍與碎波相似參數有關，但卻與規則波不同。Mase(1989)根據實驗室的資料提出不規則波在平面不透水海床(坡度 $\tan \beta$ 介於 1/5 至 1/30 之間)的溯上高度推算公式如下所示

$$\frac{R_{\max}}{H_o} = 2.32\xi_o^{0.77} \dots\dots\dots(2.4.30)$$

$$\frac{R_{2\%}}{H_o} = 1.86\xi_o^{0.71} \dots\dots\dots(2.4.31)$$

$$\frac{R_{1/10}}{H_o} = 1.71\xi_o^{0.71} \dots\dots\dots(2.4.32)$$

$$\frac{R_{1/3}}{H_o} = 1.38\xi_o^{0.70} \dots\dots\dots(2.4.33)$$

$$\frac{R_{\text{mean}}}{H_o} = 0.88\xi_o^{0.69} \dots\dots\dots(2.4.34)$$

其中， $H_o/L_o \geq 0.007$ ， H_o 為深水示性波高。

從以上的公式可以發現，Hunt(1959)與 Mase(1989)所提的溯升公式均與波形尖銳度有關，但是 Walton 等(1989)則僅與斜坡坡度有關，不甚合理。同時，為了讓大多數具有較大能量的波動都能發生溯上與越波，應以考慮平均波動為宜，因此本研究後續將以式(2.4.26)及式(2.4.34)為主要參考公式。

2.5 水工模型試驗的結果分析

水力式消能斜坡碼頭結構物之特性研究構想主要是利用港灣結構物的形狀與緩衝區的規劃，促成多種型式的水理運動間的交互作用，並形成阻尼除了消耗入射波的能量外，也降低反射波的發生機會，以達到消減港內長波能量的功能。也就是藉由內設的斜坡令入射的波浪沿斜坡溯上，除可由表面的粗糙度及孔隙率消減波能，也促使發生越波，以降低溯降水流二次造波的機會，如此可以減低反射波的發生。而越波後的水體則利用後設的消波室消減其震盪能量，其後藉由多孔隙介質由碼頭的下部結構排水。因此，本研究中所考慮的機構包含有溯上斜坡、孔隙介質與消波室等影響參數，為了瞭解其間的特性，乃針對此三種影響參數，進行水工模型試驗，以便能掌握水力式消能斜坡碼頭結構物特性。

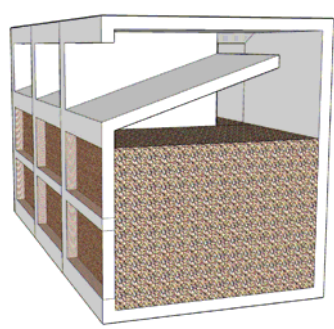
2.5.1 常時波浪的水工模型試驗(初期測試)

為了瞭解斜坡式消能結構物各項機構的功能，本計畫於第一年度以 1/25 的模型比例縮尺，在海洋大學海洋工程館的小斷面水槽(50m 長、80cm 寬)中進行水工模型試驗(造波水深 37cm，造波週期分別為 1.0、1.4、1.8 及 2.2sec，造波波高 1 至 4cm，各條件重複 3 次)。以逐步試驗並檢討改善所發現問題的方式，先後進行下列水工模型試驗，分別說明如下。模型的長寬高如圖 2.5.1(c)方案三中所示，詳細尺寸在圖 2.5.4 中說明。

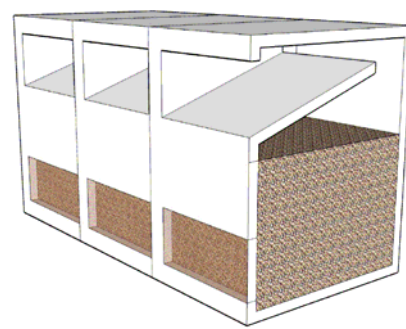
- (1) 空水槽試驗：主要以瞭解斷面造波水槽的造波特性與造波能力，以及檢討為量測反射率而設置的波高計的適當位置，量測的資料並作為後續試驗的對照組資料。
- (2) 方案一：如圖 2.5.1(a)及照片 2.5.1 所示的布置，為斜坡式消能結構物的基本構造。其構想是利用一內建的斜坡促使進入碼頭下方的波浪沿斜坡溯上，但隨即落入後設的消能室，而減少溯降造波的比例。

(3)方案二：如圖 2.5.1(b)所示，考慮前方開孔部的比例，將其減少 50%。為了加強消波室的排水功能，乃增加前方開孔，以期越波落入消波室的水體能利用內外的水位差向外排出以減少消波室水位的抬升量。

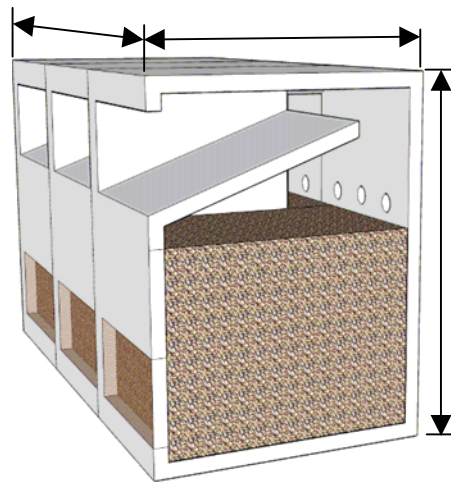
(4)方案三：如圖 2.5.1(c)所示，考慮消波室的排水問題，以方案二為基礎，在後方開孔排水。其目的同樣是為了讓越波落入消波室的水體能利用內外的水位差向外排出以減少消波室水位的抬升量。



(a) 方案一



(b) 方案二



(c) 方案三

圖 2.5.1 內建斜坡式消能結構物的三種方案



照片 2.5.1 內建斜坡式消能結構物實體模型

圖 2.5.2 及表 2.5.1 中整理了包含空水槽及三個配置方案的測試反射率，從試驗結果可看到，由於斷面水槽的側壁及底床無法完全保持平行且光滑，使得波動在傳播過程中仍會有些微的能量損失，而且由於用來求反射率的波高計的設置位置雖然符合 Goda 的兩點法求反射率的規定，但仍因波長與結構物的對應關係而有其不確定因素存在。測試結果以方案一為最佳，方案三次之，而方案二雖然相對表現較差，但其反射率仍在 0.25 以下。探究其原因，應是方案一雖然波浪可能由多孔隙表面向內侵入，甚而影響越波水流的運動，但相對而言，它也減少了直立岸壁的直接反射。而方案二及方案三皆因部分直立岸壁的反射而使得反射率增大。方案三因為消波室設有排水孔洞，因此其反射率普遍較方案二為低，但是長周期時則略大。

從試驗的結果可以看到，三種配置都能夠得到很好的消波效果，所有測試條件所產生的反射率多在 0.25 以下，顯示利用斜坡越波的方式降低堤面的反射率，以及削減溯上水流的溯下造波可能性是有效的。不過從試驗中也發現消波室的排水問題明顯影響到其消波功能，如圖 2.5.3 所示，原設計的構想是藉由內建斜坡促使波浪溯上越波不致產生溯下造波，降低波浪反射率，而越波後的殘流水體則藉由下部多孔隙拋石體藉由內外的水位差將多餘水體以水流排出結構物，並藉以擾動入射波運動。但從試驗中發現，下部多孔隙壁體也會使得波壓及水粒子運動透入結構體，而產生由下向上的水流，造成消波室的水位抬升，以及蕩漾，並進行影響到波浪的溯上越波，甚至產生逆向溯下水流。不過此一現象當在增加後側局部排水時則有改善情形。未來必

須設法解決溯上越波後的排水情形，以免造成消波室內的水體堆積。增加內建斜坡的消能功能(例如增加粗糙度)以及透水功能(例如增加透水性)，以及增加側向排水或後側排水均可明顯改善消波室內水體堆積的問題，並提高其消波功能。

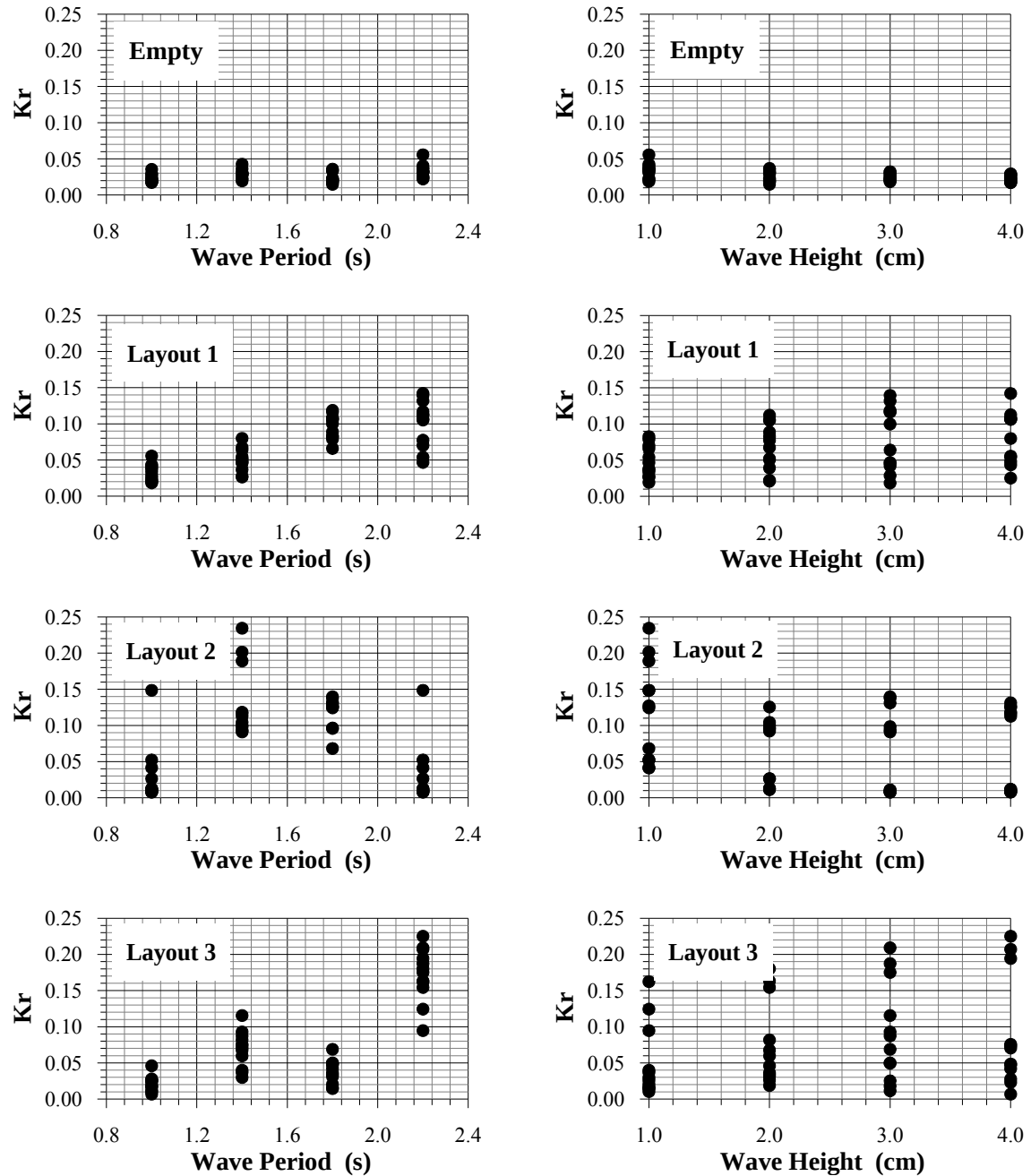


圖 2.5.2 小斷面水槽水工模型試驗三次反射率分析結果

表 2.5.1 小斷面水槽水工模型試驗三次反射率分析結果

波高計配對		空水槽		方案一		方案二		方案三	
週期 (sec)	波高 (cm)	Mean	STD	Mean	STD	Mean	STD	Mean	STD
1.0	1	0.0213	0.0066	0.0192	0.0119	0.1485	0.0473	0.0160	0.0146
		0.0227	0.0068	0.0334	0.0133	0.0522	0.0375	0.0258	0.0162
		0.0188	0.0074	0.0376	0.0125	0.0413	0.0338	0.0103	0.0084
1.0	2	0.0354	0.0085	0.0220	0.0088	0.0114	0.0124	0.0186	0.0108
		0.0185	0.0057	0.0391	0.0106	0.0263	0.0151	0.0262	0.0049
		0.0187	0.0047	0.0210	0.0104	0.0128	0.0105	0.0459	0.0284
1.0	3	0.0208	0.0035	0.0285	0.0096	0.0083	0.0068	0.0178	0.0073
		0.0243	0.0040	0.0183	0.0093	0.0078	0.0058	0.0113	0.0037
		0.0184	0.0038	0.0419	0.0186	0.0107	0.0063	0.0251	0.0114
1.0	4	0.0172	0.0058	0.0555	0.0302	0.0116	0.0072	0.0067	0.0056
		0.0292	0.0048	0.0251	0.0087	0.0092	0.0067	0.0230	0.0082
		0.0284	0.0035	0.0433	0.0182	0.0079	0.0069	0.0277	0.0085
1.4	1	0.0425	0.0214	0.0366	0.0438	0.1891	0.0919	0.0398	0.0216
		0.0309	0.0135	0.0264	0.0149	0.2343	0.1037	0.0369	0.0189
		0.0363	0.0129	0.0272	0.0255	0.2014	0.0953	0.0298	0.0144
1.4	2	0.0194	0.0047	0.0674	0.0595	0.1042	0.0319	0.0675	0.0537
		0.0303	0.0134	0.0518	0.0457	0.0922	0.0484	0.0816	0.0416
		0.0295	0.0064	0.0505	0.0380	0.0998	0.0584	0.0596	0.0358
1.4	3	0.0294	0.0139	0.0639	0.0658	0.0983	0.0476	0.1154	0.0690
		0.0227	0.0044	0.0459	0.0440	0.0910	0.0693	0.0872	0.0487
		0.0282	0.0130	0.0466	0.0416	0.0935	0.0656	0.0928	0.0408
1.4	4	0.0286	0.0119	0.0543	0.0427	0.1182	0.1036	0.0756	0.0476
		0.0269	0.0102	0.0481	0.0432	0.1164	0.1026	0.0739	0.0532
		0.0217	0.0041	0.0799	0.0669	0.1126	0.0995	0.0705	0.0467
1.8	1	0.0357	0.0206	0.0788	0.0416	0.1271	0.1016	0.0203	0.0178
		0.0334	0.0166	0.0825	0.0481	0.0681	0.0730	0.0151	0.0136
		0.0341	0.0126	0.0659	0.0401	0.1243	0.1020	0.0146	0.0113
1.8	2	0.0147	0.0037	0.0826	0.0524	0.1254	0.1093	0.0362	0.0218
		0.0220	0.0047	0.1050	0.0524	0.0961	0.0856	0.0333	0.0370
		0.0227	0.0058	0.0887	0.0420	0.0961	0.0849	0.0310	0.0323
1.8	3	0.0200	0.0040	0.0999	0.0663	0.1309	0.1026	0.0687	0.0328
		0.0205	0.0033	0.1185	0.0613	0.1378	0.1089	0.0494	0.0451
		0.0218	0.0041	0.1163	0.0581	0.1396	0.1099	0.0498	0.0460
1.8	4	0.0171	0.0044	0.1064	0.0727	0.1312	0.1225	0.0420	0.0465
		0.0184	0.0040	0.1073	0.0728	0.1250	0.1194	0.0484	0.0443
		0.0191	0.0039	0.1078	0.0736	0.1263	0.1197	0.0476	0.0461
2.2	1	0.0402	0.0315	0.0537	0.0381	0.1485	0.0473	0.1243	0.0238
		0.0364	0.0259	0.0701	0.0399	0.0522	0.0375	0.1623	0.0407
		0.0556	0.0373	0.0466	0.0314	0.0413	0.0338	0.0946	0.0121
2.2	2	0.0367	0.0246	0.1052	0.0558	0.0114	0.0124	0.1801	0.0839
		0.0321	0.0191	0.0773	0.0492	0.0263	0.0151	0.1630	0.0875
		0.0319	0.0218	0.1120	0.0649	0.0128	0.0105	0.1542	0.0635
2.2	3	0.0252	0.0101	0.1395	0.0915	0.0083	0.0068	0.2091	0.1199
		0.0317	0.0136	0.1168	0.0844	0.0078	0.0058	0.1750	0.1058
		0.0321	0.0158	0.1317	0.0903	0.0107	0.0063	0.1873	0.0929
2.2	4	0.0222	0.0140	0.1127	0.0833	0.0116	0.0072	0.2250	0.1071
		0.0230	0.0142	0.1421	0.0955	0.0092	0.0067	0.1943	0.1178
		0.0247	0.0092	0.1063	0.0802	0.0079	0.0069	0.2070	0.1273

由於本項試驗主要在確認及驗證研究的方向，並瞭解此類防波堤的消波機制，大致由下列幾項：(1) 越波排水的方式；(2) 斜坡的透水性；(3) 斜坡的坡度；(4) 堤內拋石的孔隙率與透水性；及(5) 暴潮水位與不同波高等進行研討。

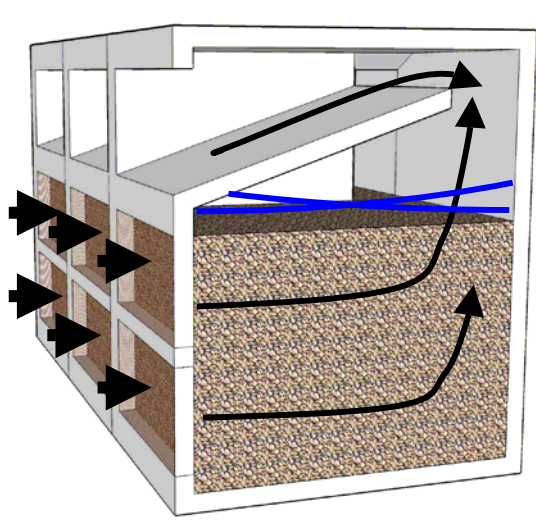


圖 2.5.3 內建斜坡式消能結構物的波動與水流現象

2.5.2 長週期波浪的水工模型試驗與數值模擬

為了瞭解水力式消能斜坡碼頭結構物在長週期波作用下的表現，本計畫也在國立臺灣海洋大學河海工程學系海洋工程綜合試驗館之大型斷面水槽(L100m×W3m×H3m)以模型縮尺 1/36 進行了長週期波的水工模型試驗，同時也以 FLOW-3D 進行相關的數值模擬。

由於規劃的碼頭結構所造成的水理現象複雜，較易評估的是碼頭前面的反射率，依目前的討論，影響結構物前反射率的參數如下：

$$Kr : f(h, T, L, H, \tan \theta, n, \mu, D, \varepsilon) \dots \dots \dots (2.5.1)$$

其中， h ：水深； T ：週期； L ：波長； H ：波高； $\tan \theta$ ：斜坡的坡度； n ：斜坡的粗糙度； μ ：斜坡的滲透性； $D = D_b / D_a$ ：縱深比； D_a ：碼頭(包含斜坡與孔隙室)的縱深； D_b ：消波室的縱深； ε ：碼頭下部結構

的拋石孔隙率。

本項試驗首先針對最基本的參數(斜坡坡度與縱深比)進行討論，也就是考慮光滑不透水斜坡表面、固定水深、波高及孔隙率，改變週期、斜坡坡度與縱深比三項參數，來探討相互影響之關係，以瞭解模型配置的特性是否能發揮消波效果。對於不同斜坡表面性質，如粗糙度、透水性等在後續研究中探討。

表 2.5.2 長波抗浪型斷面試驗模型配置

坡度 (代碼) 縱深比 (代碼)	1/2 (S1_2)	1/4 (S1_4)	1/8 (S1_8)
1 (D1)			
2 (D2)			
3 (D3)			

由於消能斜坡是否能促成入射波浪越波及其越波量的大小，對堤前的波浪反射率有很大的影響，以及後方中空消波室的縱深對越波後所造成的水位上升與振盪的影響，本模型試驗配置藉由改變斜坡坡度 $\tan \theta = 1/2$ 、 $1/4$ 和 $1/8$ ，及縱深比 $D = 1$ 、 2 和 3 。將坡度與縱深比進行相互配對共有 9 種不同的試驗配置如表 2.5.2。其中，也規劃了空水槽的試驗，以瞭解在指定造波條件下，空水槽的波動情形，作為後續的比對。各配置的多孔隙消波室中都使用相同之塊石，其孔隙率為

0.35，而其靠水側(前方)為完全開放，後方靠岸側則為 50%開放，其目的為了使後方水體可以藉由下方排水至前方，維持水位堆積不致過高，以提升消波室接收越波水量與消能的能力。

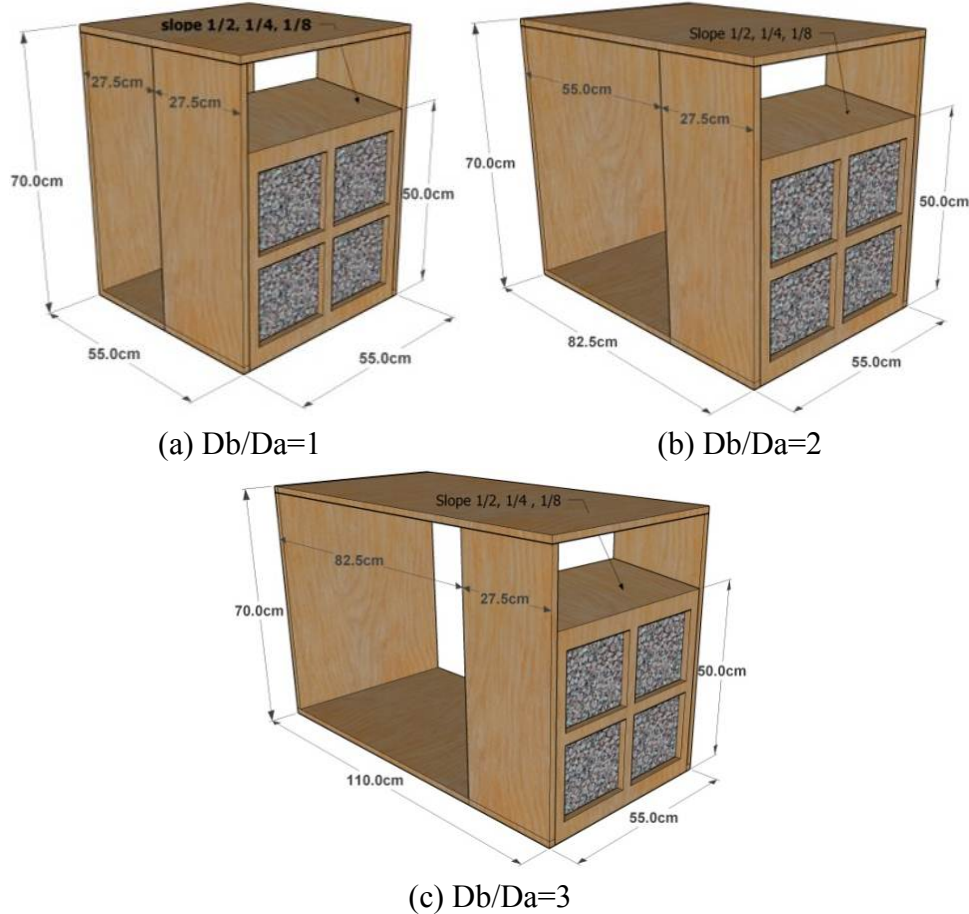


圖 2.5.4 長波抗浪型模型的尺寸

考慮實際碼頭前水深高度可能為 10m 至 18m，由模型長度縮尺換算後得到試驗水深為 0.5m，本次實驗以碼頭消能斜坡的最底端做為參考平均水位點，因此水位放置高度至斜坡之最底端。波浪條件則模擬現場 18sec 至 42sec 之週期波浪，經由模型時間縮尺換算後得到試驗週期為 3sec 至 7sec，其對應之波長 $L=9.04\text{m}$ 至 25.98m 、 $kh=0.7643$ 至 0.2661 、波浪尖銳度 $H/L=0.0055$ 至 0.0019 和波速 $c=3.01\text{m/s}$ 至 3.25m/s 。由於上述試驗週期條件中具有淺水波浪，為避免突變地形影響到入射波浪在淺化過程中可能產生的碎波情形，本研究利用前段 20m 長、斜度 1/33 的緩坡來導引波浪的淺化，並設置高度 0.6m 而長 13m 的平台

以便設置試驗模型，相關現場與模型之波浪條件如下表 2.5.3 所示，表 2.5.4 為試驗配置代表名稱。

表 2.5.3 長波抗浪型斷面試驗波浪條件(現場與模型)

現場波浪條件				模型試驗造波條件					
週期 (s)	水深 (m)	波高 (m)	波長 (m)	週期 (s)	水深 (m)	波高 (m)	波長 (m)	kh	H/L
18.0	18.0	1.8	230.3	3.0	1.1	0.05	9.0434	0.7643	0.0055
19.2			246.8	3.2			9.7512	0.7088	0.0051
20.4			263.2	3.4			10.4531	0.6612	0.0048
21.6			279.6	3.6			11.1500	0.6199	0.0045
22.8			295.9	3.8			11.8427	0.5836	0.0042
24.0			312.2	4.0			12.5318	0.5515	0.0040
25.2			328.5	4.2			13.2179	0.5229	0.0038
26.4			344.7	4.4			13.9013	0.4972	0.0036
27.6			360.9	4.6			14.5825	0.4740	0.0034
28.8			377.1	4.8			15.2616	0.4529	0.0033
30.0			393.3	5.0			15.9389	0.4336	0.0031
131.2			409.4	5.2			16.6146	0.4160	0.0030
32.4			425.6	5.4			17.2890	0.3998	0.0029
33.6			441.7	5.6			17.9621	0.3848	0.0028
34.8			457.8	5.8			18.6341	0.3709	0.0027
36.0			473.9	6.0			19.3051	0.3580	0.0026
42.0			490.0	7.0			22.6480	0.3052	0.0022

表 2.5.4 試驗配置代表名稱

試驗 順序	1	2	3	4	5
配置 代號	empty	D1S1_2	D1S1_4	D1S1_8	D2S1_2
配置 名稱 代表 意義	空水槽	縱深比 D1 $D1 = D_b / D_a = 1$	縱深比 D1 $D1 = D_b / D_a = 1$	縱深比 D1 $D1 = D_b / D_a = 1$	縱深比 D2 $D2 = D_b / D_a = 2$
		斜坡坡度 S1_2 $\tan \theta = 1/2$	斜坡坡度 S1_4 $\tan \theta = 1/4$	斜坡坡度 S1_8 $\tan \theta = 1/8$	斜坡坡度 S1_2 $\tan \theta = 1/2$
試驗 順序	6	7	8	9	10
配置 代號	D2S1_4	D2S1_8	D3S1_2	D3S1_4	D3S1_8
配置 名稱 代表 意義	縱深比 D2 $D2 = D_b / D_a = 2$	縱深比 D2 $D2 = D_b / D_a = 2$	縱深比 D3 $D3 = D_b / D_a = 3$	縱深比 D3 $D3 = D_b / D_a = 3$	縱深比 D3 $D3 = D_b / D_a = 3$
	斜坡坡度 S1_4 $\tan \theta = 1/4$	斜坡坡度 S1_8 $\tan \theta = 1/8$	斜坡坡度 S1_2 $\tan \theta = 1/2$	斜坡坡度 S1_4 $\tan \theta = 1/4$	斜坡坡度 S1_8 $\tan \theta = 1/8$

圖 2.5.5 為在大斷面水槽中進行設置斜坡但未放置碼頭的空水槽試驗，所繪製的反射率分析結果，以了解水槽之波動特性。由於水槽中原已設置的斜坡在 4 到 4.8sec 之間會有較大的反射率，其餘周期尚稱良好。圖中也將各造波週期的九組試驗配對資料以最小二乘方法求其近似曲線。

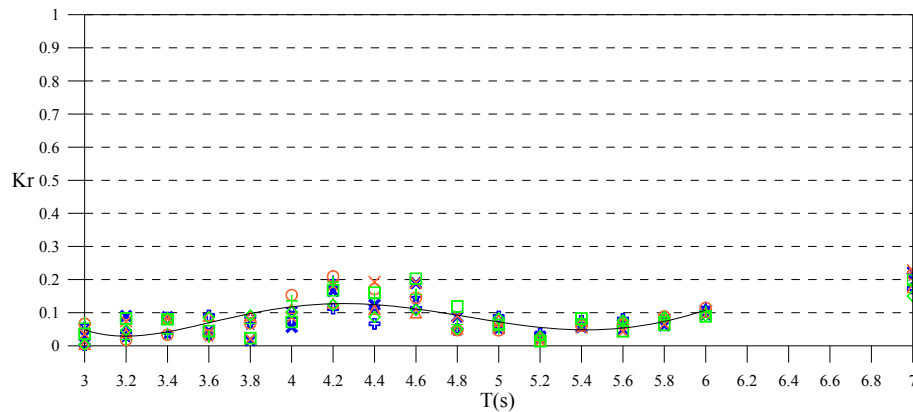
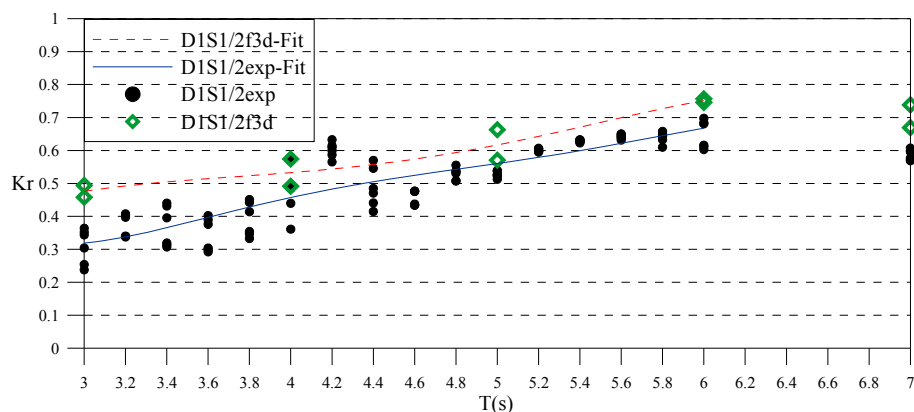


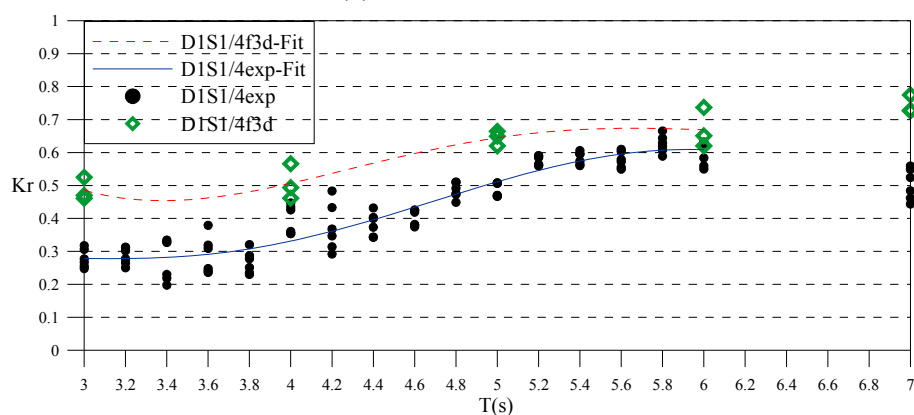
圖 2.5.5 大斷面水槽之空水槽試驗反射率分析結果

圖 2.5.6 至圖 2.5.8 為配置不同消波室縱深(D1、D2 及 D3)的試驗結果，各圖中都有三種不同坡度的內建斜坡。三個圖中均顯示反射率隨著造波週期的加長而增大。縱深配置 D1 及 D2 的最大反射率可達 0.6 左右，而縱深配置 D3 則可低於 0.4，顯示縱深配置越長越具有消波效果，究其原因應是有較大的消波室可以容納較多的越波量，也不致造成消波室內水體震盪過大而沿著斜坡回水造波的現象。而比較不同的斜坡坡度，則可發現坡度越緩消波效果越好。各圖中也繪置了利用 FLOW-3D 的數值模擬結果，由於該軟體有關波動的模擬尚在發展中，邊界條件的選擇不多，因此其能量損失也較水工模型試驗少，以致反射率變化曲線與模型試驗的趨勢相近，但縱深配置 D1 的數值結果普遍有偏大的情形，而縱深配置 D3 則有相反的情形。應與 FLOW-3D 主要以流體運動為主(Navier-Stokes Equation)，其是否能適切反應波動及流體運動交互作用的行為，仍需要進一步研究。

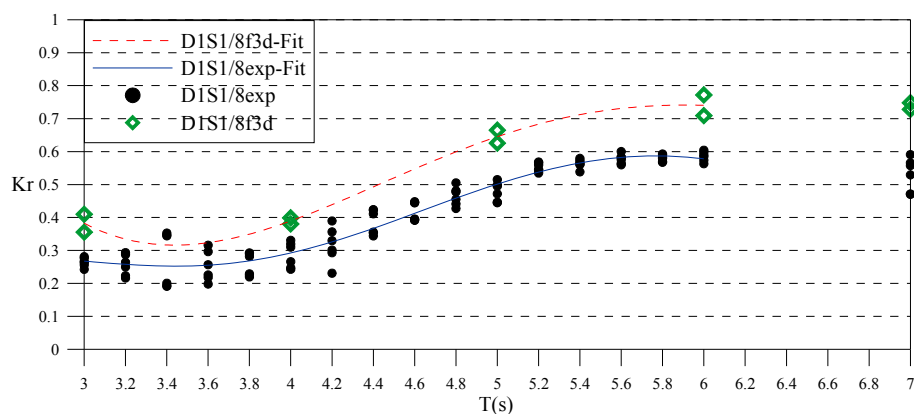
另一種可能情形是消能斜坡式碼頭附近水體運動相當複雜，任何一個參數的變化都可能引起不同的反應。例如，斜坡表面的粗糙度就直接影響到波浪是否會發生越波以及約波量多寡的問題，連帶著也影響到碼頭前的反射率。



(a) 斜坡坡度 S:1/2

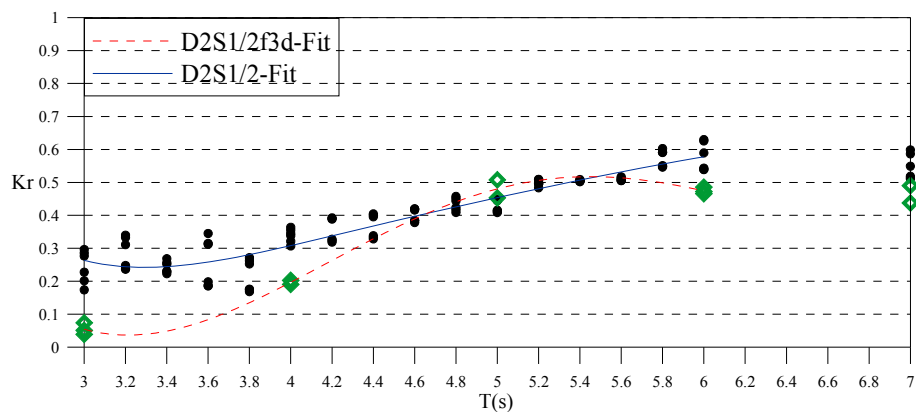


(b) 斜坡坡度 S:1/4

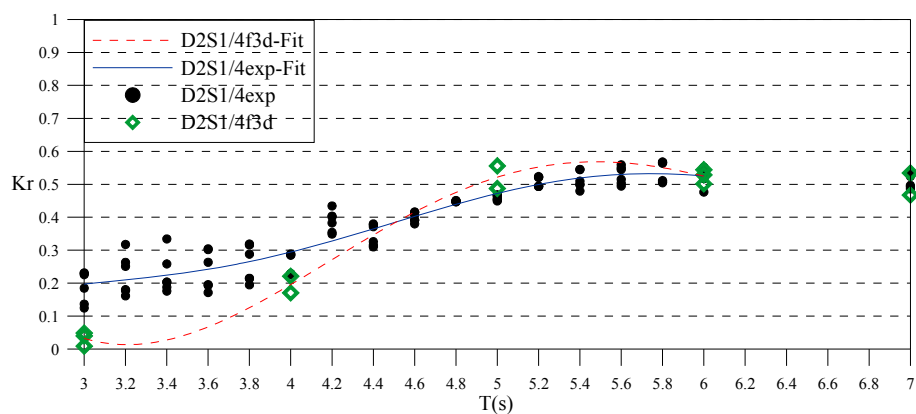


(c) 斜坡坡度 S:1/8

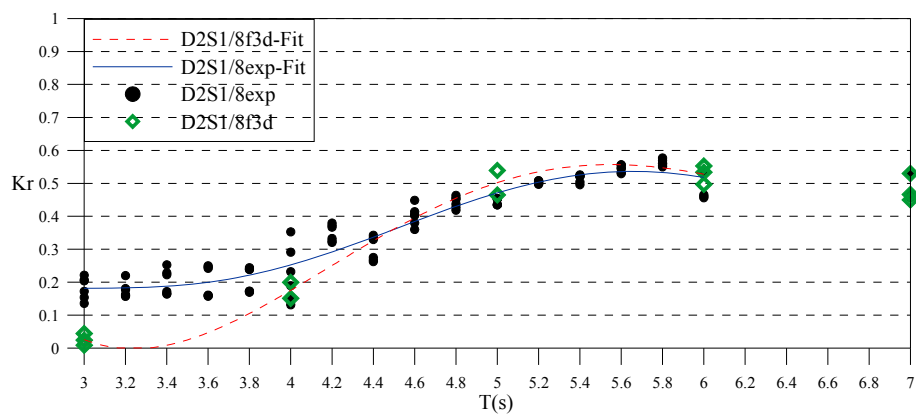
圖 2.5.6 消能室縱深配置 D1 之反射率分析結果



(a) 斜坡坡度 S:1/2

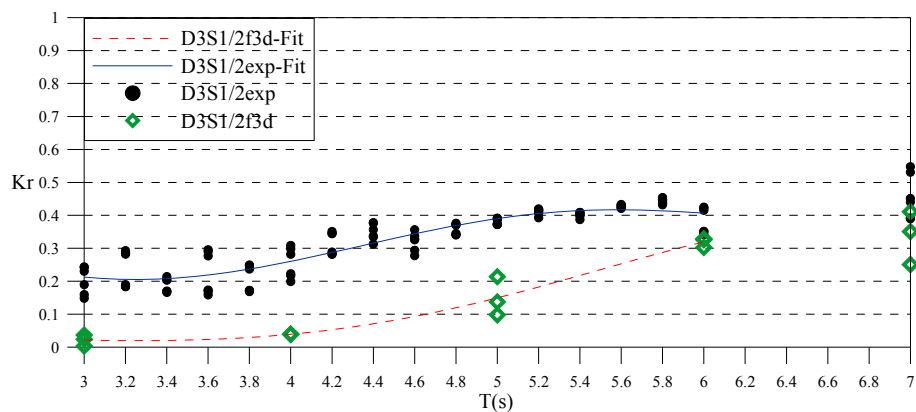


(b) 斜坡坡度 S:1/4

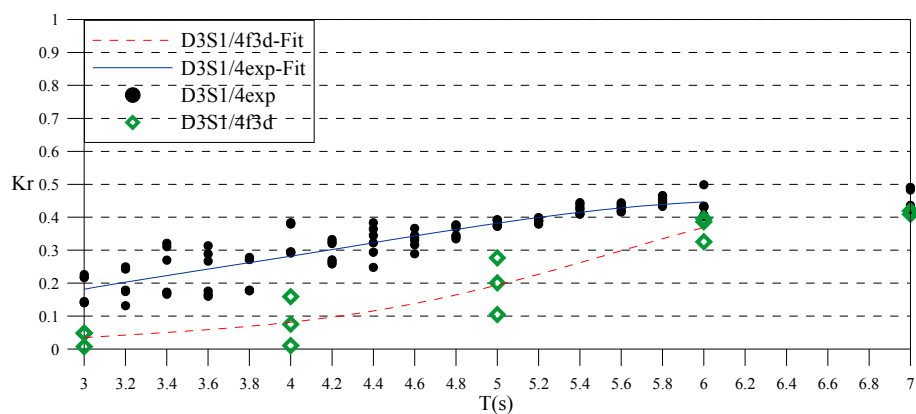


(c) 斜坡坡度 S:1/8

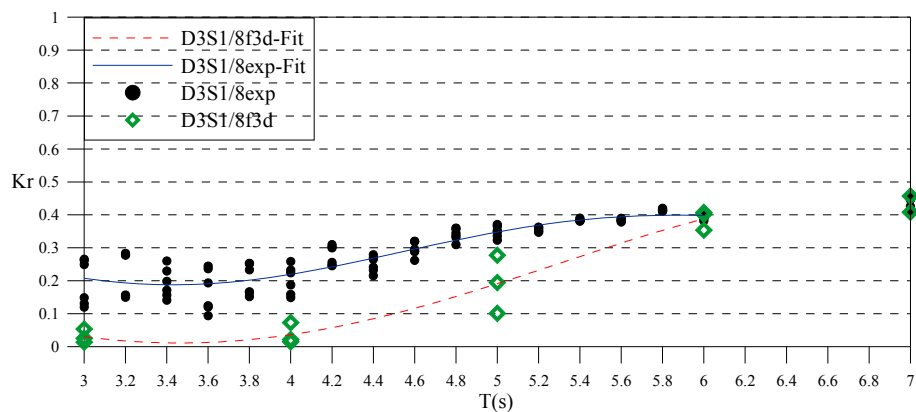
圖 2.5.7 消能室縱深配置 D2 之反射率分析結果



(a) 斜坡坡度 S:1/2



(b) 斜坡坡度 S:1/4



(c) 斜坡坡度 S:1/8

圖 2.5.8 消能室縱深配置 D3 之反射率分析結果

2.6 單一斜坡式結構物的消能效果評估

由於消能式碼頭的水理行為較為複雜，為了單純討論波浪越波與消能的效果，本計畫將結構物簡化為單一斜坡加上後置消能池的型式進行相關的水工模型試驗及 FLOW-3D 數值模擬，以評估單一坡度 ($S=1:4$) 下兩種不同之出水高度(1 倍波高及 1.5 倍波高)且具有下方排水之結構物，了解其波浪條件與斜坡結構物之作用的影響，作為基本的波浪與斜坡式結構物的基本研究試驗，其相關之條件於設置說明如表 2.6.1，表 2.6.2 為斜坡式結構物配置設置尺寸。此外，除平滑表面試驗外也進行兩種表面粗糙度模型之模擬，目的想利用表面的粗糙度破壞未發生越波之波浪的溯升/溯降路徑，使無法越波之波浪條件作用下也具有削減波浪，減少二次造波的機會等效果。就實際應用而言，它可以應用於水深較淺的漁港，或者是棧橋碼頭下方。斜坡下方的開孔是想要促成越波後之後方水位由波動較小的水深向前排水，減少水體的堆積。粗糙度的模擬是在斜坡表面上平均水位上 4 倍波高至平均水位下 3 倍波高之間設置之 $5\times5\times2.5\text{cm}$ 方塊體，如圖 2.6.2 所示。

表 2.6.1 斜坡式結構物水深與波浪條件表

T (sec)	h (cm)	H (cm)	L (m)	kh	H/L	C (m/s)
1.0	50.0	5.0	1.5130	2.0764	0.0330	1.5130
1.1			1.7813	1.7636	0.0281	1.6194
1.2			2.0483	1.5337	0.0244	1.7069
1.3			2.3118	1.3589	0.0216	1.7783
1.4			2.5712	1.2219	0.0194	1.8365
1.5			2.8265	1.1115	0.0177	1.8843
1.6			3.0781	1.0206	0.0162	1.9238
1.7			3.3266	0.9444	0.0150	1.9568
1.8			3.5722	0.8795	0.0140	1.9845
1.9			3.8153	0.8234	0.0131	2.0081
2.0			4.0564	0.7745	0.0123	2.0282
2.1			4.2957	0.7313	0.0116	2.0456
2.2			4.5333	0.6930	0.0110	2.0606
2.3			4.7696	0.6587	0.0105	2.0737
2.4			5.0046	0.6277	0.0100	2.0853
2.5			5.2386	0.5997	0.0095	2.0954

不論是模型試驗或數值模擬，模型的比例縮尺皆為 1/25，外海設

計水深定為 $h=50\text{cm}$ ，相當於現場水深為 12.5m ，而試驗波浪條件為單一波高 $H=5\text{cm}$ ，以及週期 $T=1.0\sim 2.5\text{sec}$ ，相當於現場波高 1.25m 、及週期介於 $5.0\sim 12.5\text{sec}$ 。

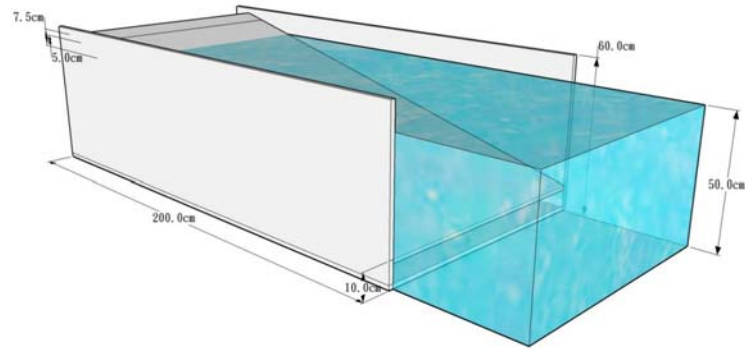


圖 2.6.1 斜坡式結構物模型示意圖

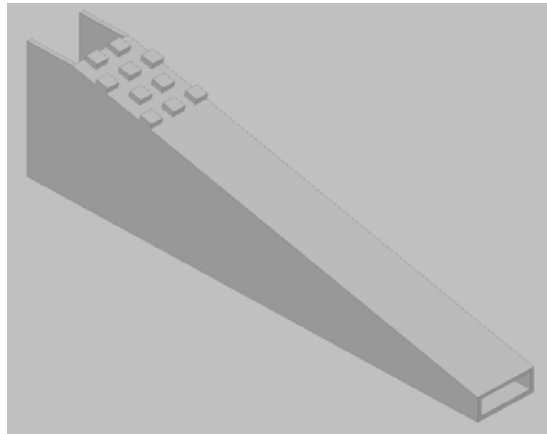
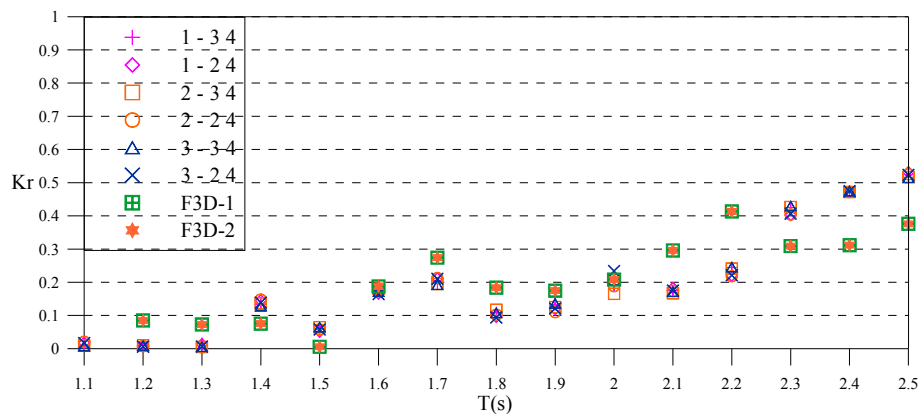


圖 2.6.2 粗糙度模型示意圖(出水高度 1.0 倍波高)

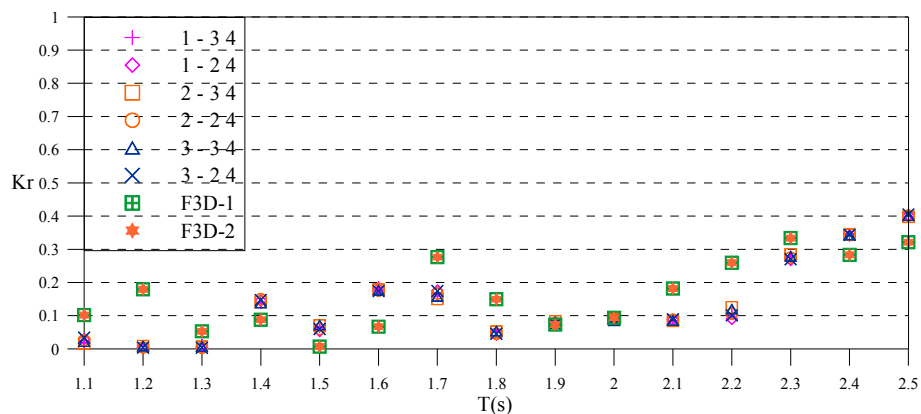
表 2.6.2 斜坡式結構物配置設置尺寸

	水深 $h(\text{m})$	波高 $H(\text{m})$	斜坡坡度 $\tan \theta$	出水高度 R_c	下方排水 $h'(\text{m})$	模型尺寸 (m)
S1/4_I	0.5	0.05	1/4	1.5H(7.0cm)	0.1	2.0X1.0X0.6
S1/4_II				1.0H(5.0cm)		

圖 2.6.3 及圖 2.6.4 分別為出水高度以及表面粗糙度對堤前反射率的影響測試結果。圖 2.6.3 中顯示出水高度較低時堤前的反射率普遍降低。而圖 2.6.4 中顯示兩種粗糙度(RnessI 為覆蓋面積 1/4 與 RnessII 為覆蓋面積 1/2)的測試結果，圖 2.6.5 綜合了兩種不同粗糙表面及光滑表面的模擬結果，可以看到由於選擇的粗糙物體尺寸過大，反而增加了波浪的反射面積造成較大的反射率，顯示如要利用粗糙度削減波能的話，必須要考慮其外型是否會反射大量波能。

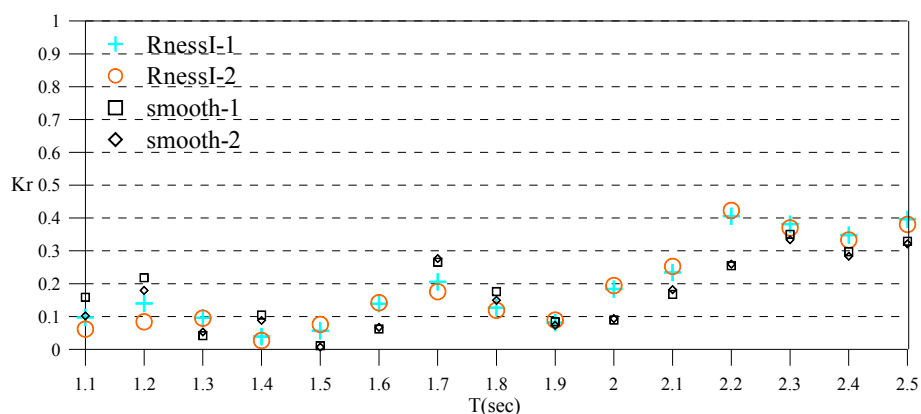


(a) 出水高度 1.5 倍波高

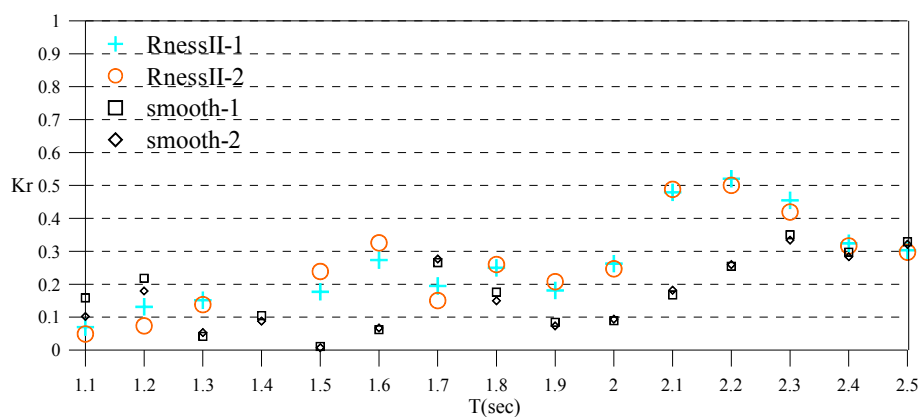


(b) 出水高度 1 倍波高

圖 2.6.3 斜坡式結構物水工模型與數值模擬之反射率分析結果比較



(a) 光滑表面與 RnessI 粗糙表面之比較



(b) 光滑表面與 RnessII 粗糙表面之比較

圖 2.6.4 斜坡式結構物平滑表面與不同粗糙度表面之數值模擬反射率分析比較

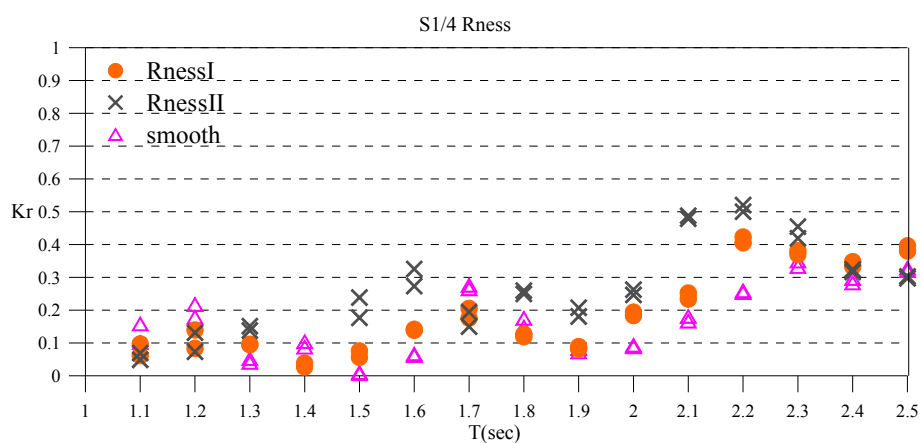


圖 2.6.5 兩種不同粗糙度表面與平滑表面之反射率結果比較

2.7 內建斜坡消能式碼頭流場特性之數值模擬

由於消能式碼頭附近的水理現象非常複雜，不是單一波浪理論可能描述的，因此本計畫自第一年度即開始引進計算流體動理學的軟體-Flow-3D-進行包含波流場的相關水理計算。本節主要是針對最後的建議斷面形式說明數值模擬的結果。

圖 2.7.1 是依據前三年的研究心得，除了考慮內建斜坡之碎波、溯升及越波外，也研擬後側消能室的排水方式所提出的構想。前方多孔隙消波室下方配置了連通後消能室至結構物外側的排水管，其目的是企圖將前方多孔隙消波室與後方消能室的水體加以區隔，避免相互影響。為了了解這樣的處置有何效益，本節將就兩個消能室是否連通進行水理的計算與分析。

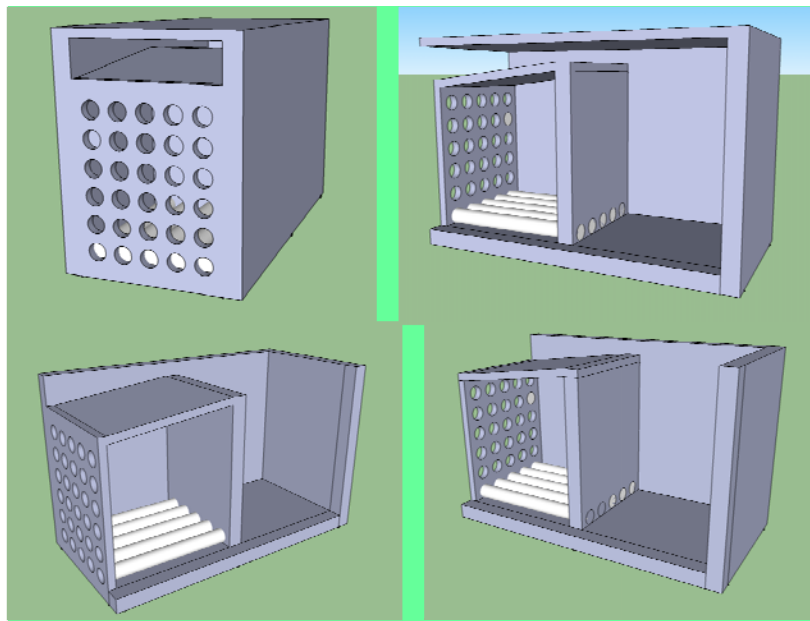


圖 2.7.1 沉箱式內建斜坡消能式碼頭構想圖

2.7.1 數值模擬設計參數之設定

由於消能式碼頭的水理行為較為複雜，本計畫絕大部份著重於波浪越波與消能效果的探討。但實務應用時，三維流場之流動特性，應亦是影響消能效果之主要因子之一。且三維流場之流動特性，極難以實驗量測方法，將其予以可視化，唯有以數值模擬方法，較有實現之可能性。本計畫前此一直以 FLOW-3D 應用於波浪場做過廣範之探討，亦得出合理之結果。故以下之探討，亦採用此方法應用於如圖 2.7.4 所示，適用於深水商港之沉箱式內建消能斜坡碼頭結構物流場之數值探討。

為了能與國立臺灣海洋大學河海工程學系工程綜合試驗館之大型斷面水槽(L100m x W3m x H3m)做實驗驗證及比較，以模型縮尺 1/25 進行 FLOW-3D 相關的數值模擬。本文中所使用的數值模擬設計參數之設定列述於后：

1.數值模擬模型

為能探討及比較沉箱底部有無排水管道之流場特性，本文採用 C1 型無排水元件及 C2 型有排水元件結構物，進行數值模擬比對，其相關外觀與尺寸如圖 2.7.2 及 2.7.3 所示。

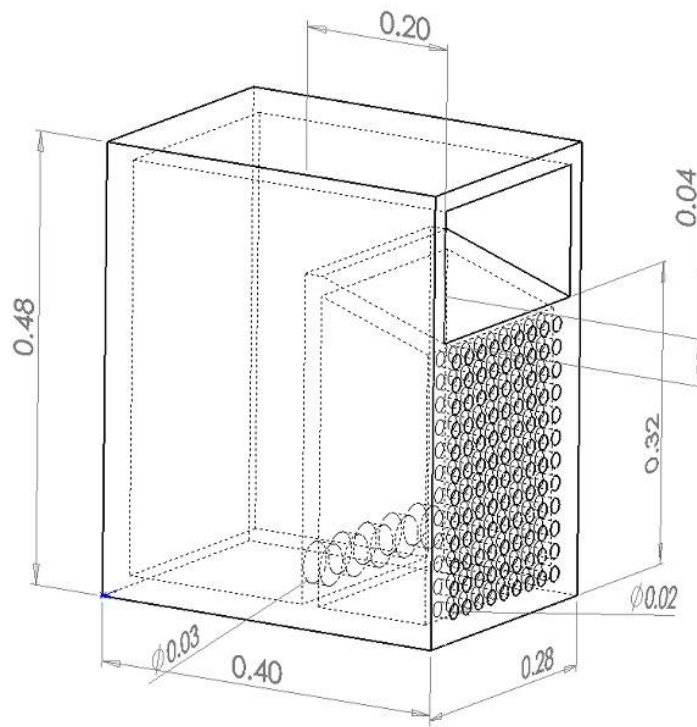


圖 2.7.2 C1 型無排水元件消能結構物尺寸圖

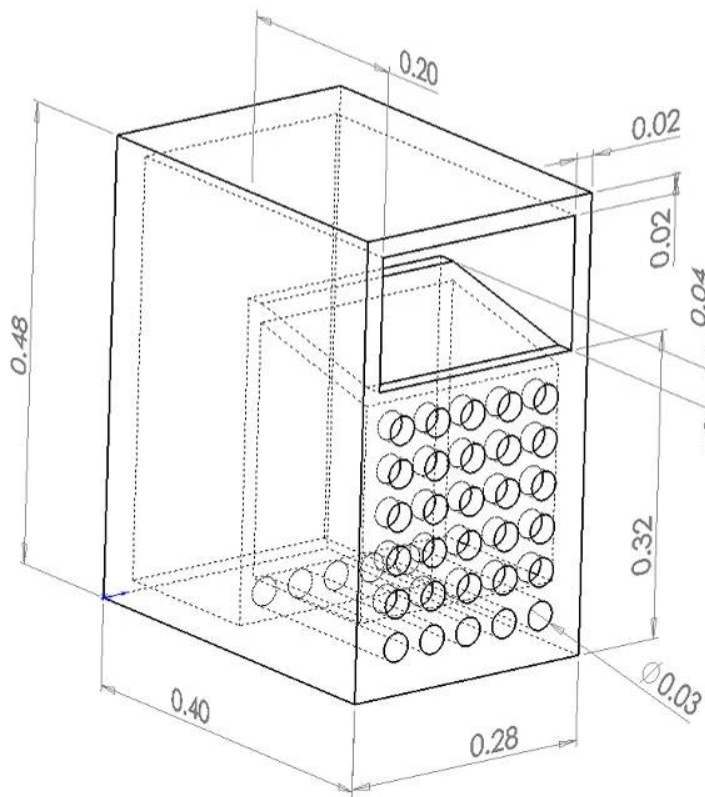


圖 2.7.3 C2 型有排水元件消能結構物尺寸圖

2.物理條件設定

物理條件設定，在 FLOW-3D 中，有一連串的參數需要設定，本文參數設定如表 2.7.1 所示，單位為 CGS 制。

表 2.7.1 物理條件設定表

重力加速度	$G_x = G_y = 0 \quad G_z = -980 \text{ cm/s}^2$ (向上為正)
流體性質	黏性層流(Viscous Laminar Flow)
模擬流體	在 20°C 的水，密度為 1 g/cm^3
環境壓力	一大氣壓 $= 1.013 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$

3.網格系統及計算領域

在以 FLOW-3D 進行淺灘波場之數值分析時，為了更準確描述真實的物理狀況，各參數的設定非常重要，參數包括數值模型的幾何外型、入射波物理參數等，一般而言，座標軸上各方向之網格點間距大小(ΔX 、 ΔY 、 ΔZ)、足以影響計算結果的關鍵參數。另外 FLOW-3D 運算過程中，考量到數值安定性(numerical stability)之因素，會自動修正 Δt 以滿足之，故本研究勿需考量時間間距 Δt 對數值計算結果之影響。

本文的數值計算領域平面波水槽，水深為 0.34m，其計算領域長為 33m，寬為 0.28m 及高為 0.48m。為能減少網格數量縮短數值計算時間，並且希望能兼顧結構物附近的流場變化，使用巢狀式網格將淺灘周圍的網格區塊予以加密，使其能減少數值計算之誤差。

如圖 2.7.4 所示本文所使用數值計算案例，水深 h 均設為 0.34m，入射波由右端造波邊界進入流域。然而為能減少網格數量，縮短計算時間，且能兼顧精確模擬流場急驟變化之區域，本文中將圖中之綠色區域定義為全部之計算領域，予以較為稀疏的 block2 網格(Coarse grid)，網格大小在 x 方向、 y 方向和 z 方向分別取 2cm, 2cm 以及 4cm。針對結構物周圍的藍色區域予以加密的 block2 網格(Dense grid)，網格大小在 x 方向、 y 方向和 z 方向皆為 0.8(cm)，期能減少數值計算

誤差。

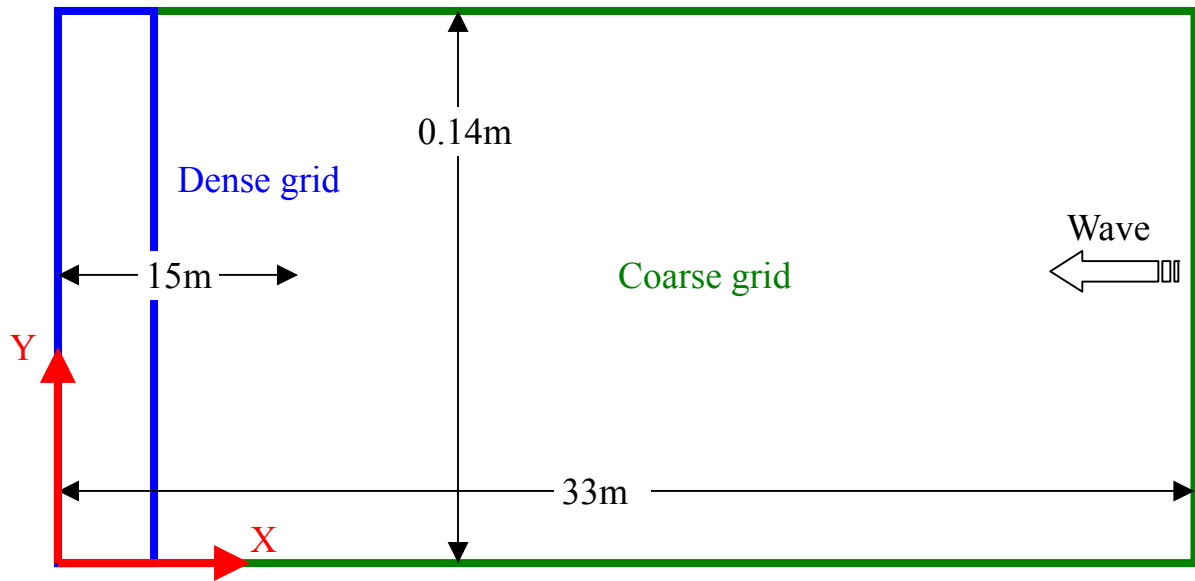


圖 2.7.4 計算領域示意圖

表 2.7.2 計算網格數目及計算所需時間表

模型編碼	粗網格數量	細網格數量	總計算時間
C1	554400	132300	14hr57min
C2	554400	132300	08hr05min

4.邊界條件設定

為了能準確描述現實世界中的物理現象，本文之數值邊界條件設定如圖 2.7.5 所示，分為兩個網格，分別為網格 1(Block 1)和網格 2(Block 2)。其中 Block 2 所有的邊界條件(Xmin、Xmax、Ymin、Ymax、Zmin、Zmax)均為預設的對稱面(Symmetry)邊界條件。Block 1 中入口端 Xmax 為入射波浪邊界條件，其設定值列示於表 2.7.3。

表 2.7.3 入射波條件設定表

波高 H(cm)	週期 T(sec)	波長 L(cm)	波速 C(cm/s)
4	1.4	225.9	161.4
	2.2	382.9	174.1
	3.0	533.8	177.9
	3.8	682.8	179.7

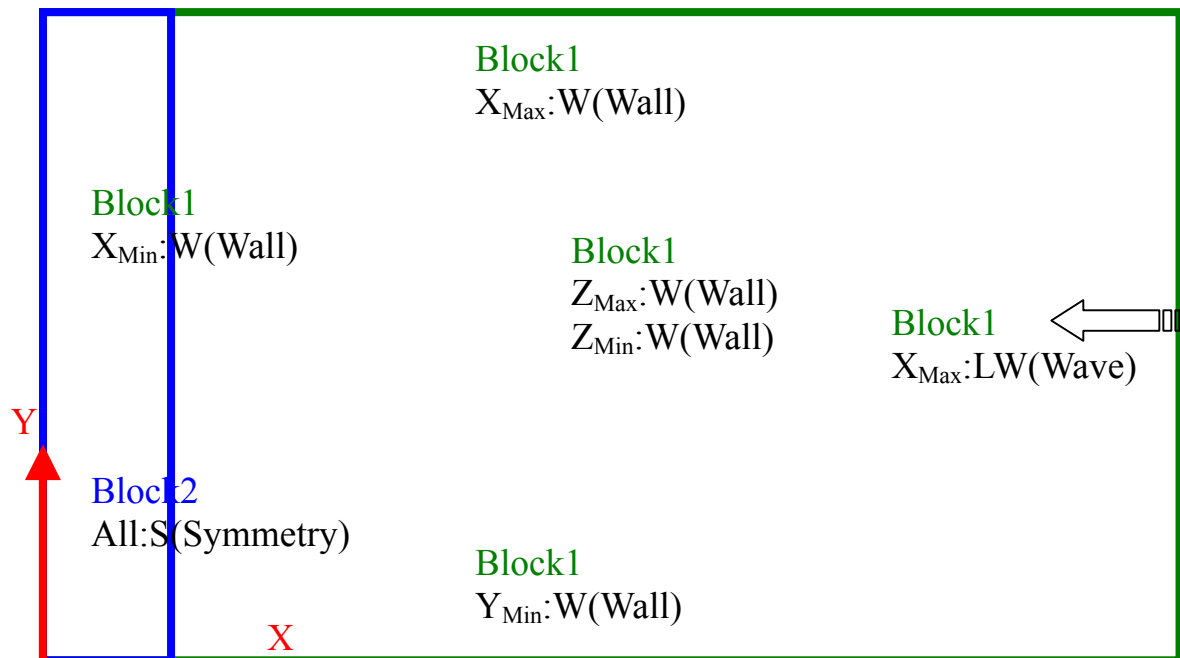


圖 2.7.5 計算領域及邊界條件示意圖

2.7.2 數值計算結果

1.C1 型無排水元件消能結構物

由圖 2.7.6(b)~2.7.9(b) C1 型無排水元件消能結構物於不同週期之斜坡前波高時間序列圖之結果，約於 t 約 17sec 後，入射波抵達結構物前方；由圖 2.7.6(a)~2.7.9(a)於不同週期之造波邊界入射波高時間

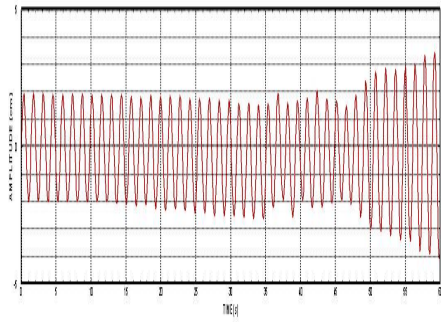
序列圖之結果，得知 t 約 35sec 後，反射波返抵造波邊界，此後入射波高開始增加，其後甚而有增加至 2 倍入射波高，且隨著週期之增加而加大之趨勢。

由圖 2.7.6(c)~2.7.9(c) 為 C1 型無排水元件消能結構物於不同週期時，底部沉箱排水孔前，其 x 方向速度分量 u 之時間序列圖之計算結果。吾人可藉由此，了解並掌握前方多孔隙消波室與後方消能室的水體間之輸送機制。由結果得知 t 約 17sec 於入射波抵達結構物前方時，其 x 方向速度分量 u 為負值，亦即此時水體由前方多孔隙消波室擠入後方消能室，隨後後方消能室堆積之水體再由排水孔排出前方多孔隙消波室。除 $T=1.4\text{sec}$ 之外，隨後水體往復排進排出後方消能室，排出速度隨週期增加而增加之趨勢，且排出速度皆大於排入速度 ($T=3.8\text{sec}$ 除外)。

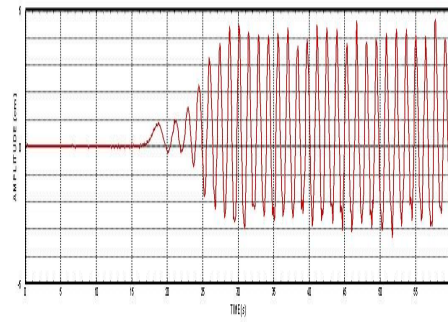
上述之結果應與 C1 型無排水元件消能結構物，前方多孔隙消波室雖與後方消能室區隔，但二者間於底部處為開放連通有關連。此時前後方消能室間之渦流流動相互影響，構成一個複雜之流場所致。吾人可取 $T=3.0\text{sec}$ 為案例，並取圖 2.7.10(c) 底部排水孔前速度 u 之 $t=30.1\text{sec}$ (視同 $0T$)， $t=30.7\text{sec}$ (視同 $1/4T$)， $t=31.4\text{sec}$ (視同 $1/2T$)， $t=32.2\text{sec}$ (視同 $3/4T$)，及 $t=33.1\text{sec}$ (視同 $1T$) 時，其結構物附近流場之速度向量圖，如圖 2.7.10(a)~(e)，由結果可看出其渦流流場之相互消長關係。

2.C2 型有排水元件消能結構物

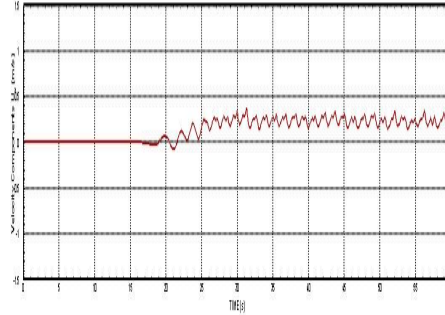
由圖 2.7.11(b)~2.7.14(b) C2 型有排水元件消能結構物於不同週期之斜坡前波高時間序列圖之結果，約於 t 約 17sec 後，入射波抵達結構物前方；由圖 2.7.11(a)~2.7.14(a) 於不同週期之造波邊界入射波高時間序列圖之結果，得知 t 約 35sec 後，反射波返抵造波邊界，此後入射波高開始增加，其後除甚而有增加至 2 倍入射波高，且隨著週期之增加而加大之趨勢。但圖 2.7.14(a) 週期 3.8sec 時，反射波抵造波邊界，正好為一節點，擷取點往入射方向延後 $1/4$ 週期之結果。



(a)入射波高

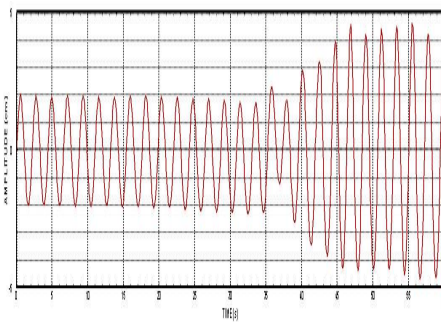


(b)斜坡前波高

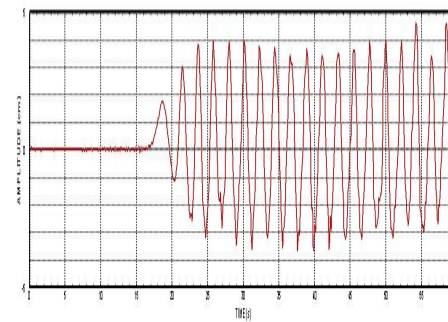


(c)底部排水孔前速度(u)

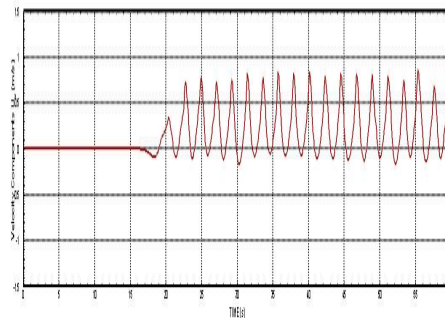
圖 2.7.6 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖
($T=1.4\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



(a)入射波高

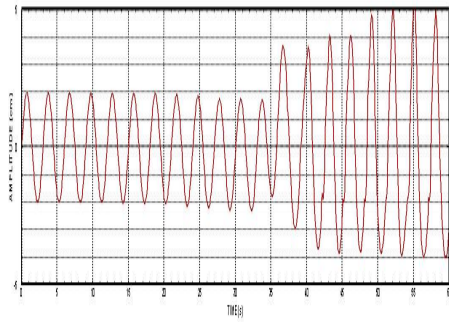


(b)斜坡前波高

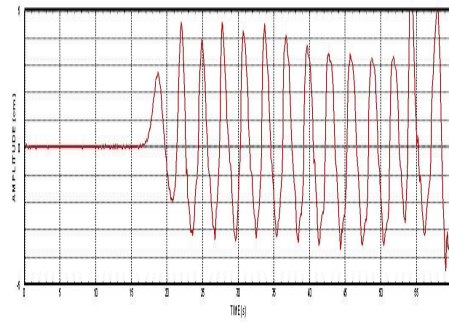


(c)底部排水孔前速度(u)

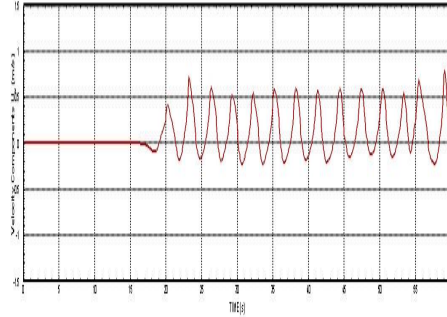
圖 2.7.7 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖
($T=2.2\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



(a)入射波高

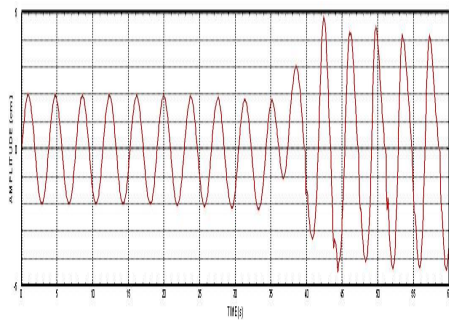


(b)斜坡前波高

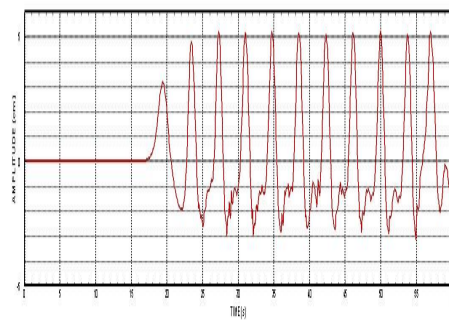


(c)底部排水孔前速度(u)

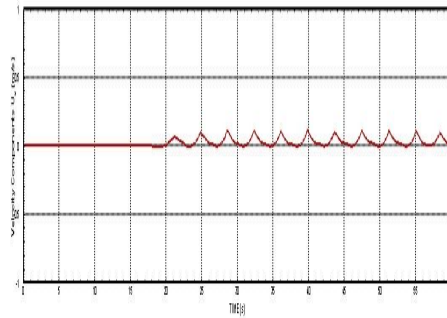
圖 2.7.8 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖
($T=3.0\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



(a)入射波高

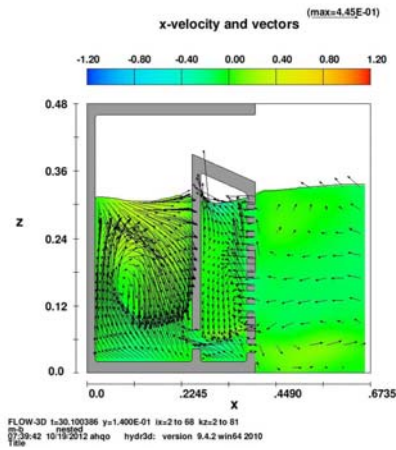


(b)斜坡前波高

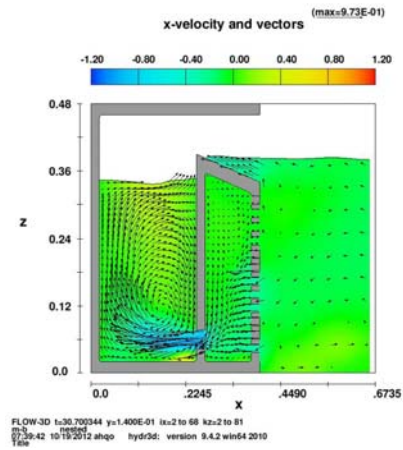


(c)底部排水孔前速度(u)

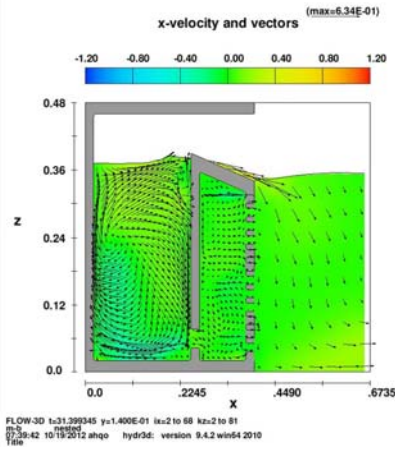
圖 2.7.9 C1 型無排水元件消能結構物時間序列圖
($T=3.8\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



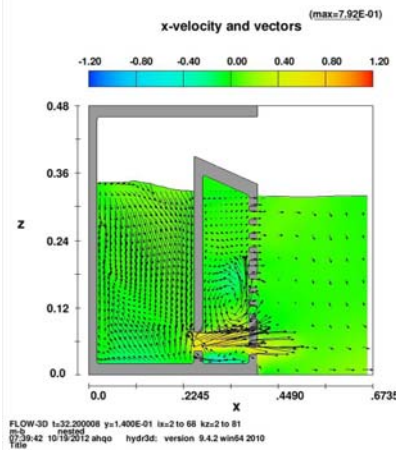
(a) $0T(t=30.1\text{sec})$



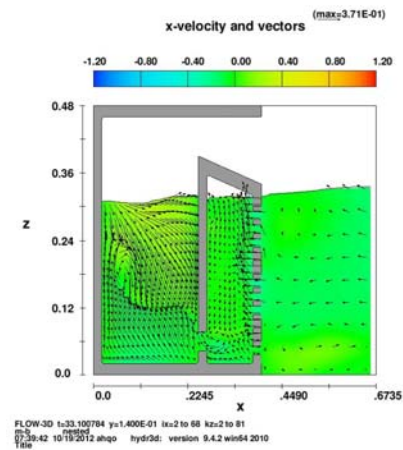
(b) $1/4T(t=30.7\text{sec})$



(c) $1/2T(t=31.4\text{sec})$



(d) $3/4T(t=32.2\text{sec})$



(e) $1T(t=33.1\text{sec})$

圖 2.7.10 C1 型無排水元件消能結構物速度向量時間序列圖
($T=3.8\text{sec}, H=4\text{cm}, h=0.34\text{m}$)

由圖 2.7.11(c)~2.7.14(c) 為 C2 型有排水元件消能結構物於不同週期時，底部沉箱排水孔前，其 x 方向速度分量 u 之時間序列圖之計算結果。由結果得知 t 約 17sec 於入射波抵達結構物前方時，其 x 方向速度分量 u 為負值，亦即此時水體由前方多孔隙消波室擠入後方消能室，隨後後方消能室堆積之水體再由排水孔排出前方多孔隙消波室。除 $T=1.4\text{sec}$ 之外，隨後水體往復排進排出後方消能室，排出速度隨週期增加而增加之趨勢，且排出速度約與排入速度相同。

上述之結果吾人認為應與 C2 型有排水元件消能結構物，前方多孔隙消波室雖與後方消能室獨立區隔，並於底部設置排水管，將水體排進排出後方消能室。此時前後方消能室間之渦流流動完全隔開不相互影響所致。吾人可取 $T=3.0\text{sec}$ 為案例，並取圖 2.7.13(c)底部排水孔前速度 u 之 $t=31.1\text{sec}$ (視同 $0T$)， $t=31.7\text{sec}$ (視同 $1/4T$)， $t=32.4\text{sec}$ (視同 $1/2T$)， $t=33.1\text{sec}$ (視同 $3/4T$)，及 $t=34.1\text{sec}$ (視同 $1T$)時，其結構物附近流場之速度向量圖，如圖 2.7.15(a)~(e)，由結果可看出其渦流流場之相互消長關係。

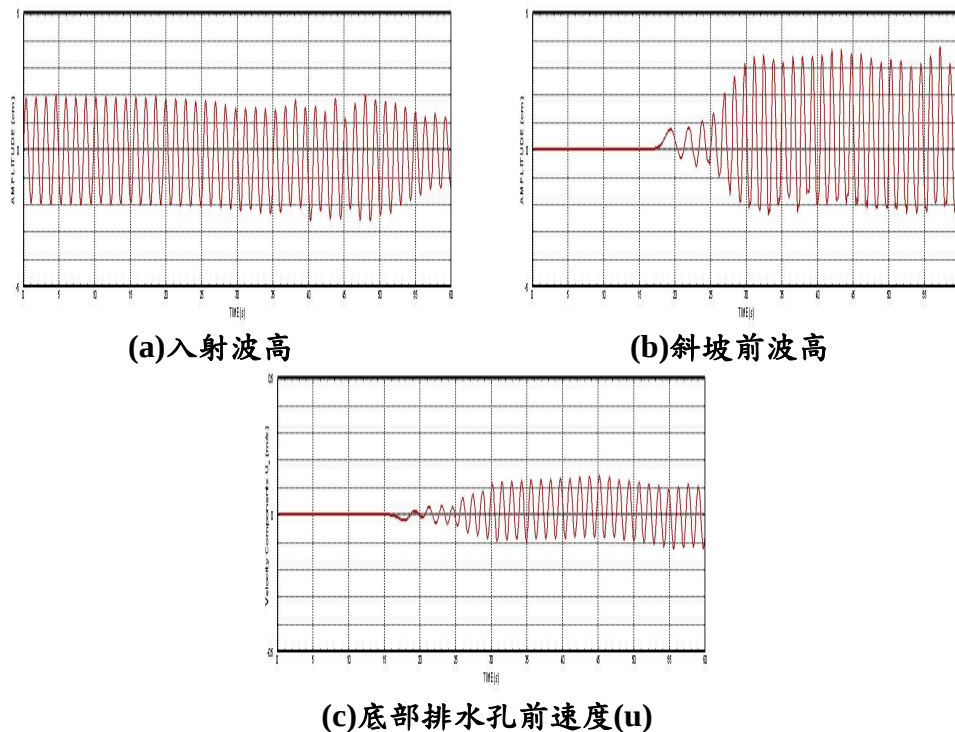
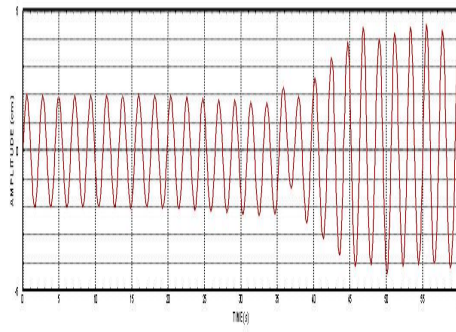
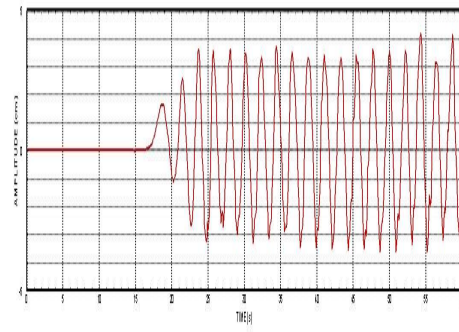


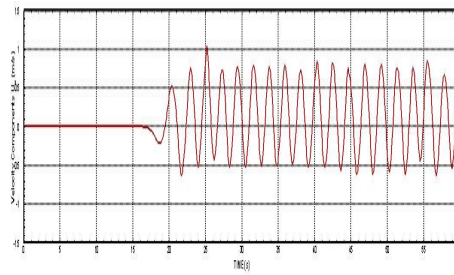
圖 2.7.11 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖
($T=1.4\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



(a)入射波高

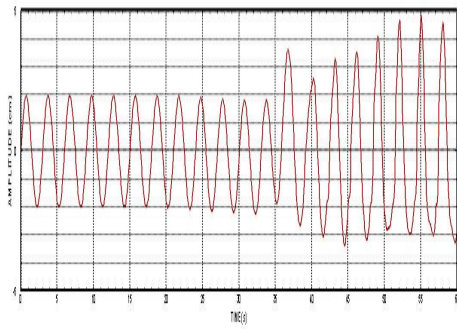


(b)斜坡前波高

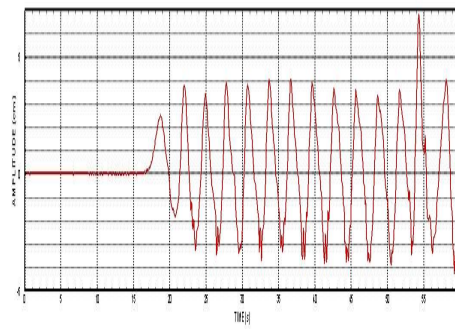


(c)底部排水孔前速度(u)

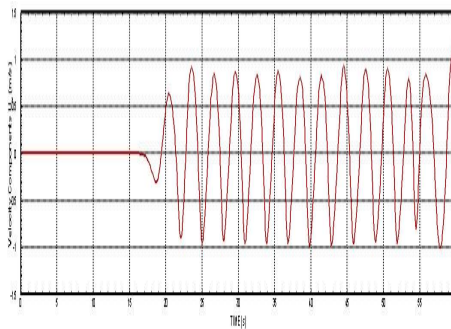
圖 2.7.12 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖
($T=2.2\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



(a)入射波高

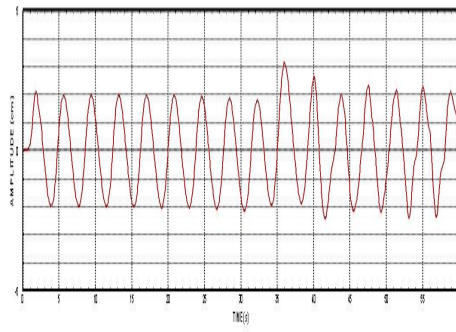


(b)斜坡前波高

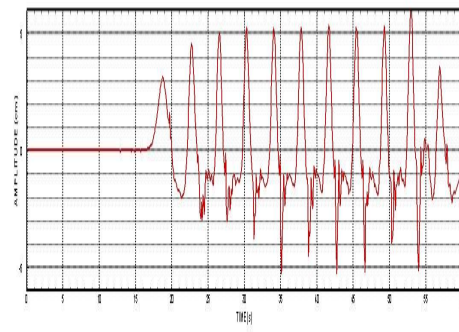


(c)底部排水孔前速度(u)

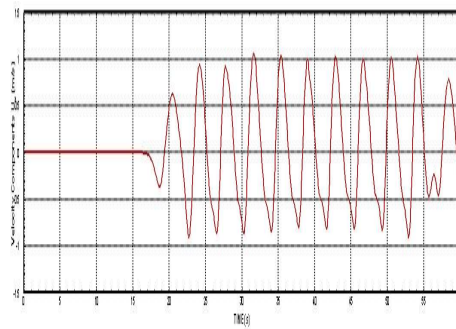
圖 2.7.13 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖
($T=3.0\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



(a)入射波高

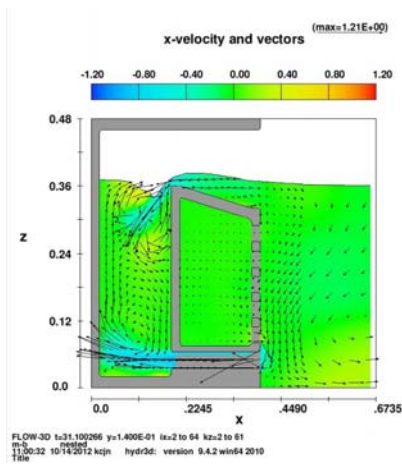


(b)斜坡前波高

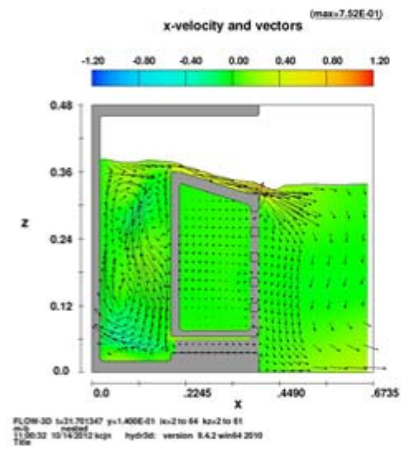


(c)底部排水孔前速度(u)

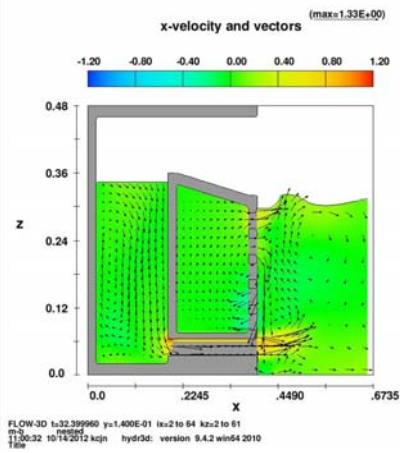
圖 2.7.14 C2 型有排水元件消能結構物時間序列圖
($T=3.8\text{sec}$, $H=4\text{cm}$, $h=0.34\text{m}$)



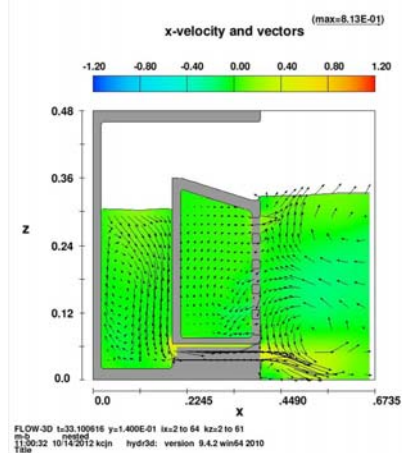
(a) $0T(t=31.1\text{sec})$



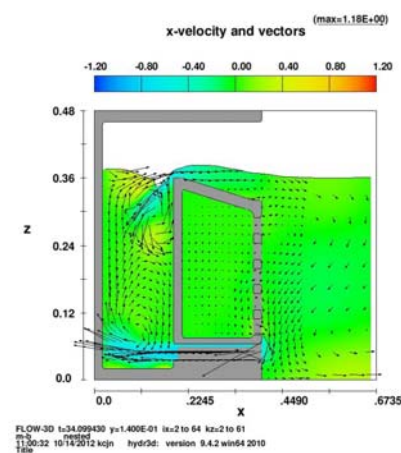
(b) $1/4T(t=31.7\text{sec})$



(c) $1/2T(t=32.4\text{sec})$



(d) $3/4T(t=33.1\text{sec})$



(e) $1T(t=34.1\text{sec})$

圖 2.7.15 C1 型無排水元件消能結構物速度向量時間序列圖
 $(T=3.0\text{sec}, H=4\text{cm}, h=0.34\text{m})$

2.8 內建斜坡消能式碼頭的設計參數的初步探討

2.8.1 碼頭建構型式及可能施工步驟的探討

有關內建斜坡消能式碼頭的規劃設計的考量包含下列事項：

- (1) 需考慮一般碼頭設計標準過程；
- (2) 需考量水位的變化，包含當地的天文潮位及暴潮位；
- (3) 需考量的波動，主要包含季風波浪與颱風波浪；
- (4) 需考量波浪與水位的聯合效應，在港灣規劃射在港灣規劃設計中，一般應考慮平常時期的季風波浪加上大潮，與颱風時期的大波浪加上大潮與暴潮位；
- (5) 需要考慮如何促使波浪在斜坡上發生碎波/溯升，進而發生越波。因此，適當的內建斜坡的坡度與設置高度，以及斜坡的長度都會影響波浪是否能溯升及越波，連帶地影響到消能的效果。

從港灣規劃的觀點來看，一般商港內的波高應小於 50cm，在不發生長週期的共振情況下，長週期入射波浪的波高亦應小於此值。有鑑於本新型碼頭是要在第一時間消減反射波波能而不是等港灣發生共振以後再來削減港內波能，所以我們可以合理地假設港內波高以 1m 為設計條件。再者，由於港內的水深變化不會太大，我們也假設波浪沒有折射淺化的效應。

基於以上的考量，本計畫曾建構如圖 2.8.1 的兩種型式，並據以進行相關的模型試驗及數值模擬，但此一離形的製作與施工可能會遭遇到困難，尤其是因為其四周都通水而無法漂浮拖放，必須仰賴大型吊車或特殊設計的施工浮台，這也使得其施工成本與期程增加，並不經濟。其後也針對可能的預鑄工法提出如圖 2.8.2 的預鑄型塊輔以樁柱基礎的方式，惟由於施工程序太過複雜，不易被施工單位所接受。然而此種構想仍可能適合於小水深的漁港水域，而且可以利用現有的直立多孔隙消波結構物，如萬代福，作為下部結構，再設計斜坡消能的上

部結構，以及底層排水，如圖 2.8.3 所示。整個碼頭結構可分為四個元件：下部排水元件、直立式消波結構物、上部內建斜坡元件、碼頭面版。其中，除了碼頭面版為場鑄以外，其他元件都可以預鑄。此種預鑄型直立消能式碼頭適用於一般中水深以下的漁港或遊艇港。

對於大水深的商港則因為水深較大而且碼頭的載重亦較大，圖 2.8.3 的型式並不適合。本計畫提出如圖 2.8.4 及圖 2.8.5 的沉箱式內建消能斜坡碼頭。整個碼頭分成三個部份：異形沉箱、內建斜坡、以及碼頭面版，如圖 2.8.6 所示。異形沉箱分為兩個艙間：前艙為多孔隙消波室，主要是針對季風波浪的削減波能；後艙則是自斜坡溯升且越波的水流的消能室。後艙消能室藉由堆積水體所產生的較大位能促使水流從下方排水管向前方波動較小的深水處排出。碼頭前壁為多孔隙消波岸壁(如圖 2.8.4)或者式完全開放的樑柱結構(如圖 2.8.5)，形式的選擇端看前面的消波室要填充較大塊石或者是拋消波塊。由於構想上都是利用下部多孔隙介質削減較小的常時波浪，而利用斜坡來消滅颱風時期的港內長週期波動成分。因此，內建斜坡的起點應該參考當地的大潮水位與暴潮位，而原則上建議不低於 1 倍港內最大波高，此外為了讓大部分的颱風波浪可以溯升且越波，建議斜坡版的出水高度不要大於 1 倍港內最大波高。至於常時的季風波浪則由多孔隙消波室來削減。

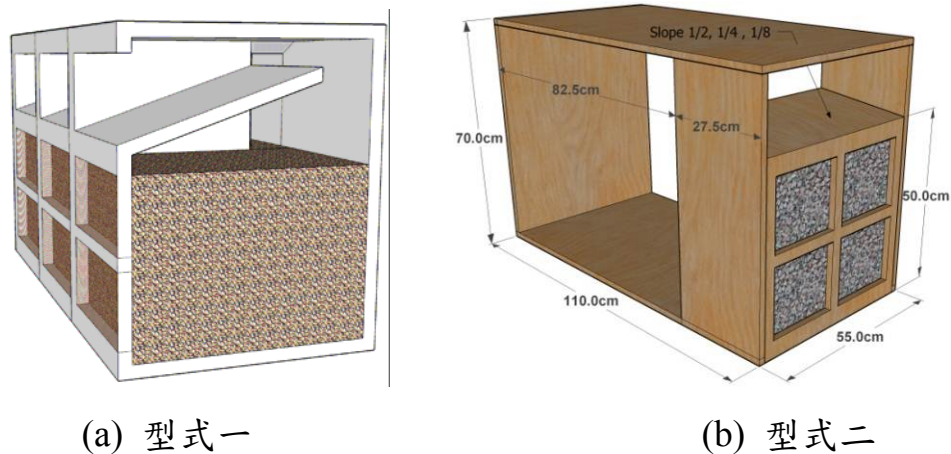


圖 2.8.1 內建斜坡消能式碼頭基本雛形

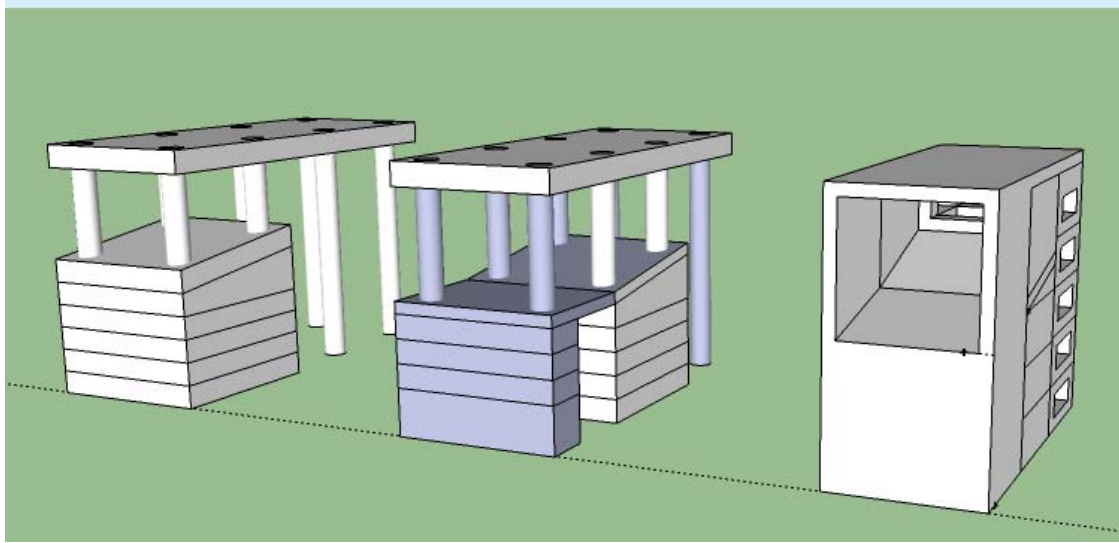
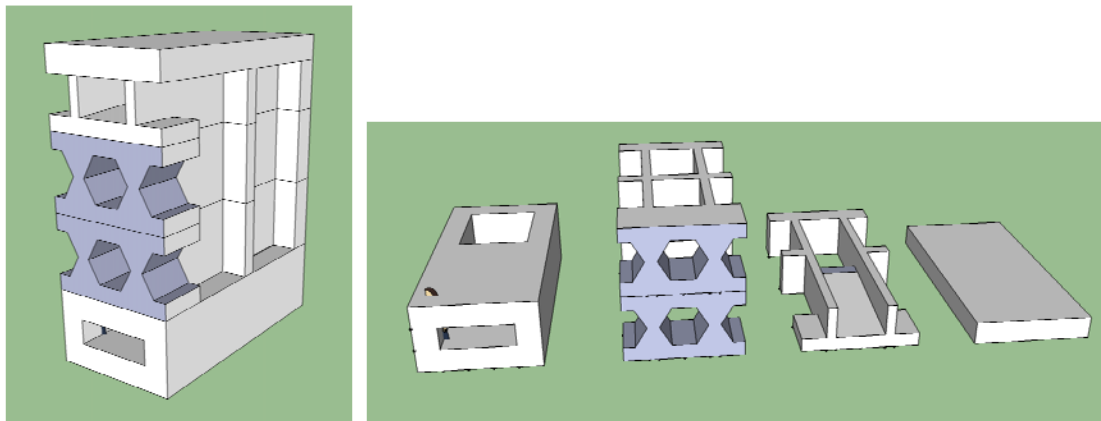


圖 2.8.2 內建斜坡消能式碼頭預鑄型塊構想雛形



(a) 組裝圖

(b) 分解圖

圖 2.8.3 現有直立消波式碼頭增加內建斜坡範例(以萬代福為例)

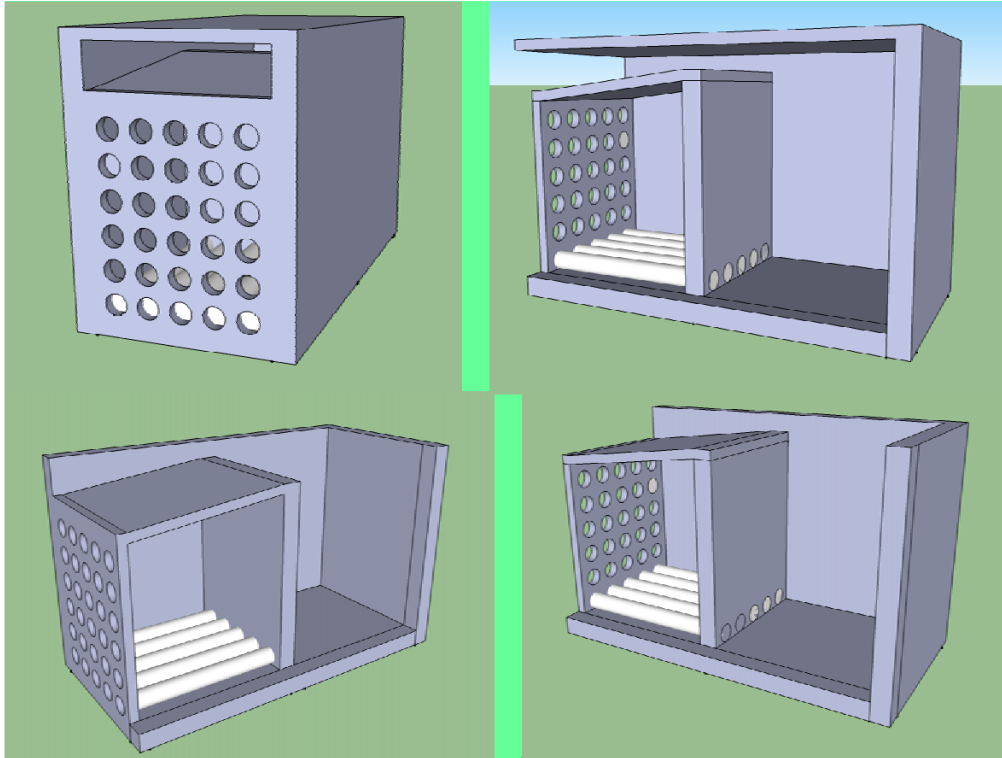


圖 2.8.4 沉箱式內建斜坡消能式碼頭構想圖一

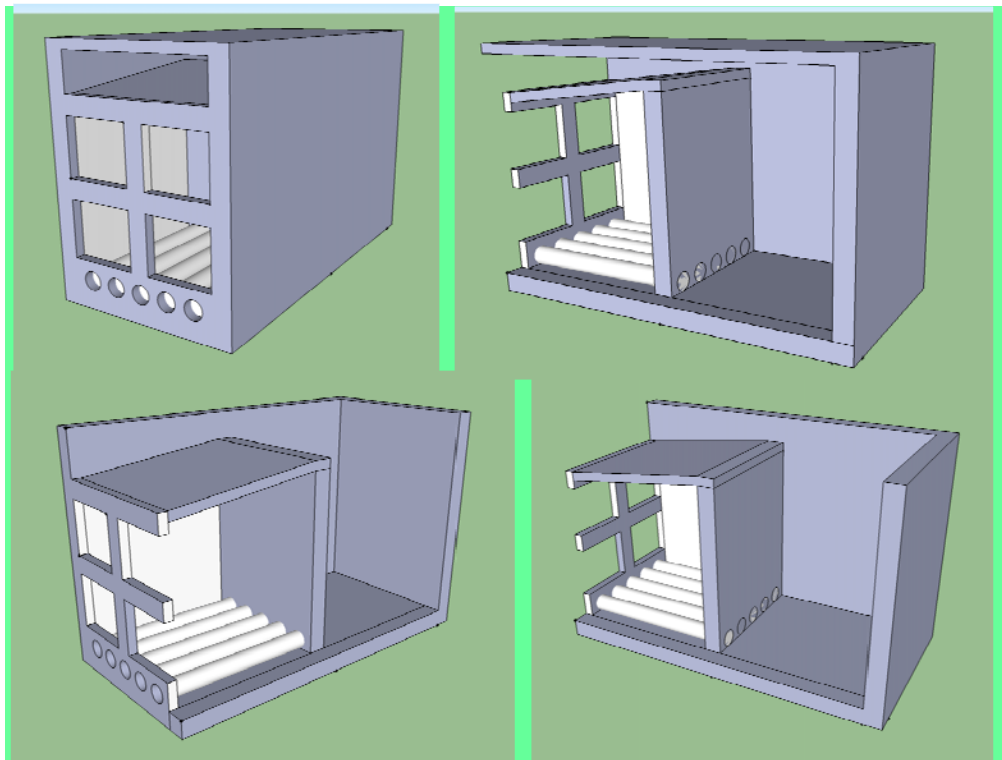
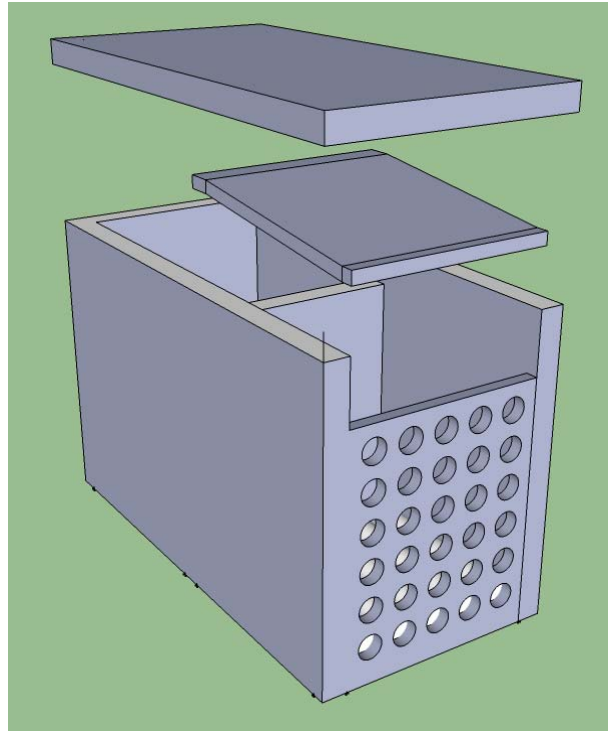
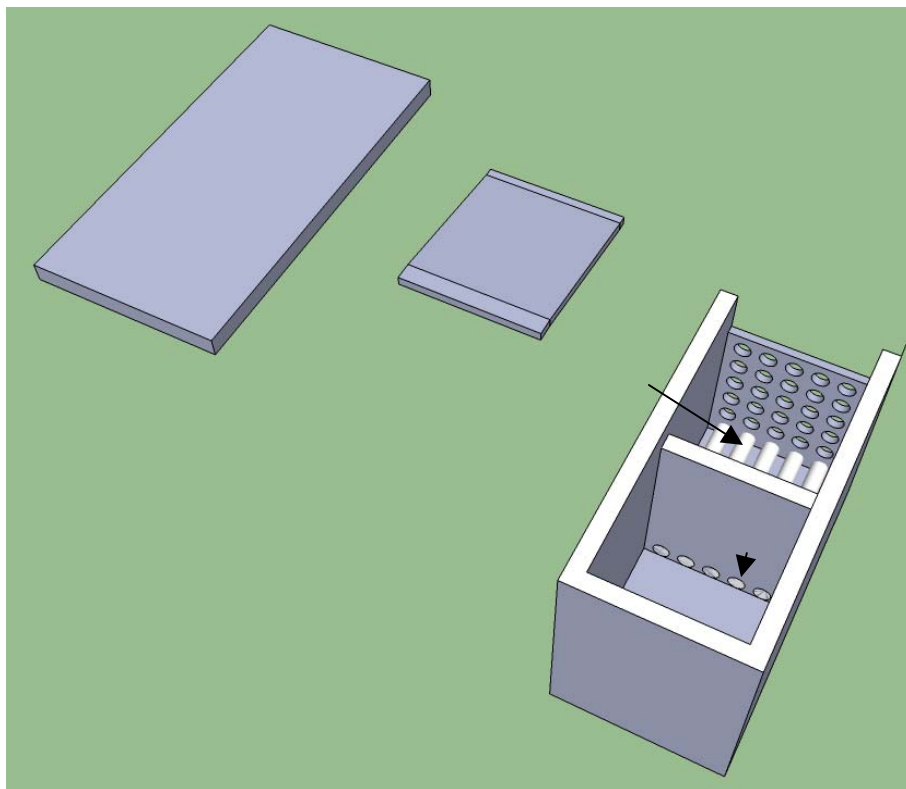


圖 2.8.5 沉箱式內建斜坡消能式碼頭構想圖二



(a) 分解圖



(b) 細部說明

圖 2.8.6 沉箱式內建斜坡消能式碼頭的施工程序構想圖

2.8.2 設計參數的討論

如上面所述，內建斜坡的消能效率與波浪的溯升及越波的能力有關，為了瞭解各種可能的波動情況，本節以不同的斜坡坡度 ($S:1/30-S:1/3$)，以及不同的波形尖銳度 ($H_0/L_0=0.005-0.06$)，進行無因次溯升高度的討論。表 2.8.1 為以式(2.3.2)及圖 2.3.1 檢定測試條件的碎波形式，顯示大部份的坡度與波形尖銳度的組合屬於 plunging 的碎波形式 ($0.2 \leq \xi_{m-1,0} < 2-3$)，另外在陡坡情形下有部份屬於 surging 的碎波形式 ($\xi_{m-1,0} > 2-3$)，而在緩坡部份則有些組合不會碎波 ($\xi_{m-1,0} < 0.2$)。

表 2.8.1 碎波參數的試算表

Breaker Parameter		Bottom Slope											
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3
Ho/Lo	0.0050	0.47	0.57	0.71	0.94	1.41	1.57	1.77	2.02	2.36	2.83	3.54	4.71
	0.0100	0.33	0.40	0.50	0.67	1.00	1.11	1.25	1.43	1.67	2.00	2.50	3.33
	0.0150	0.27	0.33	0.41	0.54	0.82	0.91	1.02	1.17	1.36	1.63	2.04	2.72
	0.0200	0.24	0.28	0.35	0.47	0.71	0.79	0.88	1.01	1.18	1.41	1.77	2.36
	0.0250	0.21	0.25	0.32	0.42	0.63	0.70	0.79	0.90	1.05	1.26	1.58	2.11
	0.0300	0.19	0.23	0.29	0.38	0.58	0.64	0.72	0.82	0.96	1.15	1.44	1.92
	0.0350	0.18	0.21	0.27	0.36	0.53	0.59	0.67	0.76	0.89	1.07	1.34	1.78
	0.0400	0.17	0.20	0.25	0.33	0.50	0.56	0.63	0.71	0.83	1.00	1.25	1.67
	0.0450	0.16	0.19	0.24	0.31	0.47	0.52	0.59	0.67	0.79	0.94	1.18	1.57
	0.0500	0.15	0.18	0.22	0.30	0.45	0.50	0.56	0.64	0.75	0.89	1.12	1.49
	0.0550	0.14	0.17	0.21	0.28	0.43	0.47	0.53	0.61	0.71	0.85	1.07	1.42
	0.0600	0.14	0.16	0.20	0.27	0.41	0.45	0.51	0.58	0.68	0.82	1.02	1.36

除了參考一般碼頭的設計準則外，還需要檢討的相關參數，包含：

1. 設置水位：

斜坡的設置起點應該介於平均水位及暴潮位之間，其起始位置應能考慮長週期波動不致受到直立部分的阻擋而發生大比例的反射。

2. 斜坡的出水高度：

從單一斜坡上的水工模型試驗中，為了能讓大部分的溯升波浪發

生越波，建議內建斜坡的出水高度為 0.5 至 1 倍港內最大波高。也就是以溯升高度為 0.5 倍至 1 倍港內最大波高($R/H_0=0.5$ 或 1.0)。出水高度的選定應該要考慮港內的長週期成份波高一般都不大，為了適度地讓大部分長週期波能越波，出水高度可能要小於 1 倍波高。

3. 斜坡坡度：

如 2.4 節的討論，本節依據的波浪溯上公式將以式(2.4.26)及式(2.4.34)為準，同時也以式(2.4.6)檢討最大可能溯升高度，即

$$\frac{R}{H_0} = \xi_0 \quad \text{for } 0.1 < \xi_0 < 2.3 \dots\dots\dots(2.4.26)$$

$$\frac{R_{mean}}{H_0} = 0.88 \xi_0^{0.69} \quad \text{for } 1/30 \leq \xi_0 \leq 1/5 \quad \text{and} \quad H_0/L_0 \geq 0.007 \dots(2.4.34)$$

$$\frac{R_{max}}{H_{m0s}} = 1.00 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left(4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right) \quad \text{for } 0.5 < \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \leq 8 \text{ to } 10 (2.4.6)$$

式(2.4.5)為 EuroTop(2007)平均溯升高度

$$\frac{R_{d2\%}}{H_{m0s}} = 1.65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_{m-1,0} \quad \text{for } 0.5 < \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \leq 8 \text{ to } 10 \dots\dots\dots(2.4.5)$$

利用以上的公式試算不同底床坡度(S:1/30-S:1/3)及不同波形尖銳度($H_0/L_0=0.005-0.06$)的結果如表 2.8.2 至表 2.8.5 所示。表中橫列為不同的底床坡度，縱欄為不同的波形尖銳度，表中以粗線條區分 $R/H_0 \leq 0.5$ 、 $0.5 \leq R/H_0 \leq 1.0$ 及 $R/H_0 \geq 1.0$ 的範圍。深色陰影區域的標示則是顯示不適用溯升高度公式的範圍。在檢討波浪的溯升高度時，應該同時要參考各個公式的適用範圍(ξ_0 或 $\xi_{m-1,0}$)以及表 2.8.1。

從表中亦可以發現，坡度越陡及波形尖銳度越小時，溯升高度越高。如以暴潮水位設置在斜坡的中央位置的話，其出水高度為 1 倍波高，則水下部份的高度也將是 1 倍波高，在假設港內最大波高為 1m 的前提下，斜坡的垂直高度應該為 2m，由於碼頭的縱深有一限度，

如果取自 1/10 的坡度的話，斜坡的水平長度就需要 20m。因此可假設內建斜坡的坡度應大於 1/10。惟在考量工程施作量時，建議以小於 1/6 為原則。實驗資料顯示 1/4 坡度的消波情形與 1/8 相差不遠。

如果將式(2.4.6)視為最大平均溯升高度，則可發現坡度 1/8 以上的溯升高度都在 2 倍以上(如表 2.8.4 所示)；而即使用平均溯升高度(式 2.4.5)計算，溯升高度也都在 1 倍波高以上。

4. 斜坡表面粗糙度：

從目前的試驗結果發現，斜坡表面設置粗糙度不一定對削減波能有好處，因為它雖然可以削減溯升波能，但同時也會降低溯升高度，而減少越波的機會。如果要設置提高表面粗糙度的元件，則可能要檢討是否會造成波浪反射的增加，以及是否要配合坡面的透水性。然而目前所進行的試驗數目僅能當作一預備試驗，尚無法做任何定論。

5. 斜坡的孔隙率與透水性：

斜坡採用多孔隙介質，以提供透水性時，雖然可以讓溯升水流因滲漏而消能，但也可能增加斜坡下方水流反向出水的現象，惟此種現象究係減少斜坡表面摩擦力，促使波浪更容易越波；抑或阻滯溯升水流，引發回流造波提高反射率，就目前的資料尚難判斷。

為了了解港內經常存在的波浪與表 2.8.1 至表 2.8.5 間的關係，表 2.8.6 顯示波浪週期 3 至 20sec 之間在不同水深(5 m, 10 m 及 15m)處，波高分別為 0.5 m 及 1.0 m 時的波形尖銳度，以 EuroTop(2007)的規範來看(即表 2.8.4 及表 2.8.5)，試算範圍內的波浪均能夠達到 1 倍波高以上的溯升高度。

表 2.8.2 依據 Hunt (1959)波浪溯上高度公式之試算表(式 2.4.26)

R/Ho		Bottom Slope											
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3
Ho/Lo	0.0050	0.4714	0.5657	0.7071	0.9428	1.4142	1.5713	1.7678	2.0203	2.3570	2.8284	3.5355	4.7140
	0.0100	0.3333	0.4000	0.5000	0.6667	1.0000	1.1111	1.2500	1.4286	1.6667	2.0000	2.5000	3.3333
	0.0150	0.2722	0.3266	0.4082	0.5443	0.8165	0.9072	1.0206	1.1664	1.3608	1.6330	2.0412	2.7217
	0.0200	0.2357	0.2828	0.3536	0.4714	0.7071	0.7857	0.8839	1.0102	1.1785	1.4142	1.7678	2.3570
	0.0250	0.2108	0.2530	0.3162	0.4216	0.6325	0.7027	0.7906	0.9035	1.0541	1.2649	1.5811	2.1082
	0.0300	0.1925	0.2309	0.2887	0.3849	0.5774	0.6415	0.7217	0.8248	0.9623	1.1547	1.4434	1.9245
	0.0350	0.1782	0.2138	0.2673	0.3563	0.5345	0.5939	0.6682	0.7636	0.8909	1.0690	1.3363	1.7817
	0.0400	0.1667	0.2000	0.2500	0.3333	0.5000	0.5556	0.6250	0.7143	0.8333	1.0000	1.2500	1.6667
	0.0450	0.1571	0.1886	0.2357	0.3143	0.4714	0.5238	0.5893	0.6734	0.7857	0.9428	1.1785	1.5713
	0.0500	0.1491	0.1789	0.2236	0.2981	0.4472	0.4969	0.5590	0.6389	0.7454	0.8944	1.1180	1.4907
	0.0550	0.1421	0.1706	0.2132	0.2843	0.4264	0.4738	0.5330	0.6091	0.7107	0.8528	1.0660	1.4213
	0.0600	0.1361	0.1633	0.2041	0.2722	0.4082	0.4536	0.5103	0.5832	0.6804	0.8165	1.0206	1.3608

註：深色陰影區為公式不適用範圍

表 2.8.3 依據 Mase (1989)波浪溯上高度公式之試算表(式 2.4.34)

Rmean/Ho		Bottom Slope											
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3
Ho/Lo	0.0050	0.5238	0.5940	0.6928	0.8450	1.1177	1.2020	1.3038	1.4296	1.5901	1.8032	2.1034	2.5652
	0.0100	0.4124	0.4676	0.5455	0.6652	0.8800	0.9464	1.0265	1.1256	1.2519	1.4197	1.6560	2.0196
	0.0150	0.3585	0.4066	0.4743	0.5784	0.7651	0.8228	0.8925	0.9786	1.0884	1.2344	1.4398	1.7560
	0.0200	0.3246	0.3682	0.4295	0.5238	0.6928	0.7451	0.8082	0.8862	0.9856	1.1177	1.3038	1.5901
	0.0250	0.3006	0.3409	0.3976	0.4849	0.6415	0.6899	0.7483	0.8205	0.9126	1.0349	1.2072	1.4722
	0.0300	0.2823	0.3201	0.3734	0.4554	0.6024	0.6478	0.7027	0.7705	0.8569	0.9718	1.1336	1.3825
	0.0350	0.2676	0.3035	0.3541	0.4318	0.5712	0.6143	0.6663	0.7306	0.8126	0.9215	1.0749	1.3109
	0.0400	0.2556	0.2899	0.3381	0.4124	0.5455	0.5866	0.6363	0.6977	0.7760	0.8800	1.0265	1.2519
	0.0450	0.2454	0.2783	0.3246	0.3959	0.5238	0.5632	0.6109	0.6699	0.7451	0.8450	0.9856	1.2020
	0.0500	0.2367	0.2684	0.3131	0.3818	0.5051	0.5431	0.5891	0.6460	0.7185	0.8148	0.9504	1.1591
	0.0550	0.2290	0.2597	0.3029	0.3694	0.4887	0.5256	0.5701	0.6251	0.6952	0.7884	0.9197	1.1216
	0.0600	0.2222	0.2520	0.2940	0.3585	0.4743	0.5100	0.5532	0.6066	0.6747	0.7651	0.8925	1.0884

註：深色陰影區為公式不適用範圍

表 2.8.4 依據 EuroTop(2007)波浪平均溯上高度公式之試算表(式 2.4.5)

Rd2%/Ho		Bottom Slope											
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3
Ho/Lo	0.0050	0.7778	0.9334	1.1667	1.5556	2.3335	2.5927	2.9168	3.3335	3.8891	4.6669	5.8336	7.7782
	0.0100	0.5500	0.6600	0.8250	1.1000	1.6500	1.8333	2.0625	2.3571	2.7500	3.3000	4.1250	5.5000
	0.0150	0.4491	0.5389	0.6736	0.8981	1.3472	1.4969	1.6840	1.9246	2.2454	2.6944	3.3680	4.4907
	0.0200	0.3889	0.4667	0.5834	0.7778	1.1667	1.2964	1.4584	1.6668	1.9445	2.3335	2.9168	3.8891
	0.0250	0.3479	0.4174	0.5218	0.6957	1.0436	1.1595	1.3044	1.4908	1.7393	2.0871	2.6089	3.4785
	0.0300	0.3175	0.3811	0.4763	0.6351	0.9526	1.0585	1.1908	1.3609	1.5877	1.9053	2.3816	3.1754
	0.0350	0.2940	0.3528	0.4410	0.5880	0.8820	0.9800	1.1025	1.2599	1.4699	1.7639	2.2049	2.9399
	0.0400	0.2750	0.3300	0.4125	0.5500	0.8250	0.9167	1.0313	1.1786	1.3750	1.6500	2.0625	2.7500
	0.0450	0.2593	0.3111	0.3889	0.5185	0.7778	0.8642	0.9723	1.1112	1.2964	1.5556	1.9445	2.5927
	0.0500	0.2460	0.2952	0.3690	0.4919	0.7379	0.8199	0.9224	1.0541	1.2298	1.4758	1.8448	2.4597
	0.0550	0.2345	0.2814	0.3518	0.4690	0.7036	0.7817	0.8795	1.0051	1.1726	1.4071	1.7589	2.3452
	0.0600	0.2245	0.2694	0.3368	0.4491	0.6736	0.7485	0.8420	0.9623	1.1227	1.3472	1.6840	2.2454

註：深色陰影區為公式不適用範圍

表 2.8.5 依據 EuroTop(2007)波浪最大溯上高度公式之試算表(式 2.4.6)

Rmax/Ho		Bottom Slope											
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3
Ho/Lo	0.0050	1.8153	2.0056	2.2162	2.4552	2.7387	2.8034	2.8718	2.9447	3.0230	3.1081	3.2023	3.3091
	0.0100	1.4019	1.6283	1.8787	2.1629	2.5000	2.5770	2.6584	2.7450	2.8381	2.9393	3.0513	3.1784
	0.0150	1.1248	1.3753	1.6524	1.9669	2.3400	2.4252	2.5152	2.6111	2.7142	2.8262	2.9501	3.0908
	0.0200	0.9103	1.1795	1.4773	1.8153	2.2162	2.3077	2.4045	2.5076	2.6183	2.7387	2.8718	3.0230
	0.0250	0.7331	1.0177	1.3326	1.6899	2.1138	2.2106	2.3130	2.4219	2.5390	2.6663	2.8071	2.9669
	0.0300	0.5807	0.8787	1.2082	1.5822	2.0259	2.1272	2.2343	2.3483	2.4709	2.6041	2.7515	2.9187
	0.0350	0.4464	0.7560	1.0985	1.4872	1.9483	2.0536	2.1649	2.2834	2.4108	2.5492	2.7024	2.8763
	0.0400	0.3258	0.6459	1.0000	1.4019	1.8787	1.9875	2.1026	2.2252	2.3568	2.5000	2.6584	2.8381
	0.0450	0.2160	0.5457	0.9103	1.3243	1.8153	1.9274	2.0459	2.1721	2.3077	2.4552	2.6183	2.8034
	0.0500	0.1150	0.4535	0.8279	1.2529	1.7570	1.8721	1.9938	2.1234	2.2626	2.4139	2.5814	2.7714
	0.0550	0.0213	0.3679	0.7514	1.1866	1.7029	1.8208	1.9454	2.0781	2.2207	2.3757	2.5472	2.7418
	0.0600	0.0000	0.2881	0.6800	1.1248	1.6524	1.7728	1.9002	2.0358	2.1815	2.3400	2.5152	2.7142

註：深色陰影區為公式不適用範圍

表 2.8.6 不同水深及波高之波形尖銳度對照表

週期 (sec)	水深 5 m			水深 10 m			水深 15 m		
	波長 L(m)	0.5m/L	1.0m/L	波長 L(m)	0.5m/L	1.0m/L	波長 L(m)	0.5m/L	1.0m/L
3	13.75	0.0364	0.0727	14.03	0.0356	0.0713	14.04	0.0356	0.0712
4	22.18	0.0225	0.0451	24.65	0.0203	0.0406	24.93	0.0201	0.0401
5	30.29	0.0165	0.0330	36.56	0.0137	0.0274	38.42	0.0130	0.0260
6	38.06	0.0131	0.0263	48.37	0.0103	0.0207	53.03	0.0094	0.0189
7	45.55	0.0110	0.0220	59.78	0.0084	0.0167	67.58	0.0074	0.0148
8	52.61	0.0095	0.0190	70.85	0.0071	0.0141	81.73	0.0061	0.0122
9	58.97	0.0085	0.0170	81.64	0.0061	0.0122	95.51	0.0052	0.0105
10	64.39	0.0078	0.0155	92.14	0.0054	0.0109	108.97	0.0046	0.0092
11	68.81	0.0073	0.0145	102.19	0.0049	0.0098	122.17	0.0041	0.0082
12	72.29	0.0069	0.0138	111.61	0.0045	0.0090	135.07	0.0037	0.0074
13	74.97	0.0067	0.0133	120.18	0.0042	0.0083	147.57	0.0034	0.0068
14	77.02	0.0065	0.0130	127.79	0.0039	0.0078	159.51	0.0031	0.0063
15	78.57	0.0064	0.0127	134.38	0.0037	0.0074	170.72	0.0029	0.0059
16	79.76	0.0063	0.0125	140.00	0.0036	0.0071	181.05	0.0028	0.0055
17	80.67	0.0062	0.0124	144.70	0.0035	0.0069	190.40	0.0026	0.0053
18	81.37	0.0061	0.0123	148.62	0.0034	0.0067	198.74	0.0025	0.0050
19	81.91	0.0061	0.0122	151.86	0.0033	0.0066	206.07	0.0024	0.0049
20	82.34	0.0061	0.0121	154.53	0.0032	0.0065	212.46	0.0024	0.0047

第三章 功能目的使用型或臨時性設施型

臺灣港灣設施眾多，在一千多公里的海岸線上，包含國際、國內商港及漁港、工業港、遊艇港等散佈達三百多個港口，海岸空間利用的密度相當高，但其或因功能、使用目的不同或因環境因素、水域面積的受限，導致部分港灣設施之使用頻率過低，除了造成資源浪費外，也衍生出海岸空間環境資源及景觀的破壞問題。事實上，若仔細檢討評估現有港灣的使用情形，可發現部分港灣設施由於使用上僅需要提供常時波浪作用下貨物或人員能夠安全上下船或補給之功能即可，並不需要提供完整的避風、避浪的功能，颱風時期該港灣不會有船舶需要避難，也就是其使用上僅以平時季節風浪能夠作業即可滿足需求，類似此種港灣設施實不需以傳統永久性港灣結構物設計的方式來構思。另外，臺灣位於颱風必經區域，部份海岸區域因受颱風波浪的衝擊而發生破壞，為了避免破壞的規模增大，需以臨時性結構物加以補強或阻擋大波浪的作用。基於這些檢討，一種結構物需要具備高機動性，組裝與拆卸、以及佈設與回收須簡單、方便與迅速，而其功能主要抵擋季節風浪為主或短期性地抵抗颱風所引起的強浪等功能，環顧現有的港灣結構物形式似乎以浮式結構物最符合上述需求，其對於環境生態破壞亦最小，在大潮差與軟弱海底底質條件下亦能應用。然而，如何能滿足上述的功能需求，則需要進一步地研發新型的浮式結構物。

有關浮式結構物的研究相當早，研究成果亦相當多，基本上，浮式結構物的消能特性與其斷面尺寸及繫留繩勁度及繫留方式有關，斷面越大，消能效果有越佳的趨勢，然斷面尺寸越大並不符合經濟原則，因此有部分學者針對其型式加以改良，如 Araki 等(1979)檢討 IHI 型浮式防波堤的特性，Murali 等(1997)探討箱網型浮式防波堤的消能特性，Gesraha(2006)分析 II 型浮式結構物的運動與消能特性，Weng 等(2007)分析雙筒式浮式結構之消波與運動特性，而 Briggs(2001)更以實體浮式防波堤檢討其消能與運動特性，其所設計浮式防波堤以每單位長 2m 之浮箱為主構件，其下連接以鋼骨為骨架、外披不透水布組成一柔性布

幕延深至水深-7m 左右，其特性為增大斷面，但質輕且拆裝便利，具有高度實用價值。

3.1 快速安裝防波堤系統(RIBS)簡介

浮式防波堤(Floating wave breakwaters)早期被稱為 vertical wave barriers、curtain walls 或 wave screens 等，其開發的目的主要是為了應用在灣澳地區或河口來部分地抵擋非常大的波浪，基本上，這種結構物主要是在消滅週期不超過 4 秒，且波高低於 1.22 公尺的波浪。然而在海洋上當颱風時期波高往往大於 6.1 公尺，且週期可以長達 18 秒，要應用此種結構物到海洋來抵擋將是非常困難的。因此有必要開發新的高效防波堤，它可能是浮式的、潛沒式的或懸吊式的防波堤，也可能是固體式或構架式的防波堤。Mani and Jayakumar (1995)發展了一種懸吊式浮管防波堤，是一列相互貼近的直立管狀結構物，並用來保護漁港。Murali and Mani (1997)研究一種從一個梯形浮箱懸吊具間隙的兩列等間距直立管狀結構物的防波堤。Ohyama 等(1989)、Tanaka 等(1990)、及 Tanaka 等(1992)則研究一固定於底床的充水式彈性構件，藉由入射波及由構件運動所引發散射波的交互作用來消滅透過波能。

Jones (1971)曾經根據過去的研究與試驗成果，指出一個有效的浮式結構物必須要有至少 $1/4$ 到 $1/3$ 波長的寬度。而且必須要有相當的剛性及質量。以避免防波堤的造波行為。還有浮式防波堤具有(a)其防波功能強烈地與波浪週期有關；(b)不容易錨碇；(c)在大波作用之下，很容易發生結構失敗的可能。這些因素主導了浮式防波堤的開發。

RIBS(Rapidly Installed Breakwater System)係美國陸軍工兵團水道試驗站的海岸工程研究中心(Coastal Engineering Research Center (CERC) of the U. S. Army Waterways Experiment Station)在 90 年代基於上述考量所開發的新型浮式防波堤，其構想如圖 3.1.1 所示，它是一個使用高強度海洋纖維所製作的一個 V 形且由海面延伸到海底可承受水壓力的結構物，藉由 V 字形的結構幾何及偏向特性 RIBS 可以如風

向計一般產生兩側力平衡的作用使其尖端自動轉向面對入射波，並可以分向入射波使波浪沿著斜面傳播或反射，而使得波浪遠離 V 形結構物內部，提供遮蔽區或結構物下風處的波高，以提供一個較穩靜的水域給船舶後勤支援用，讓小型船舶及駁船可以安全地裝載貨物並轉運到岸上。隨著設置地點需求的不同，V 形結構物的兩翼長度可以從 700 到 1000 呎。鼻端的絞鏈型設計可以使兩翼的末端可以固定在一起以便利在拖放時的運動或者是在颱風波浪作用下可以降低破壞的可能。由於結構物的形狀入射波能大部分都被偏折而不是被吸收或反射，因此錨碇的外力將可以減到最小。該項結構物的研發，美國陸軍工兵團不僅進行了結構應力分析、數值模擬、水工模型試驗，還進行了小尺度的現場安裝試驗。現場的實體模型測試(XM99)是 1999 年 5 月現場研究機構(Field Research Facility, FRF, Duck, NC)在美國佛羅里達州 Melbone 進行的 1/2 比例尺現場安裝試驗，圖 3.1.2 為佈放位置示意圖及鼻端組件的拖放照片，其兩翼的長度為 77.11 公尺長、2.44 公尺寬及 7.232 公尺深，佈放處的水深平均為 13.4 公尺。圖 3.1.3 是基本組件的調裝圖，圖 3.1.4 是大型 RIBS 佈放時與波浪的關係圖及佈放後的鳥瞰圖。圖 3.1.5 是小型 RIBS 的基本模組、錨碇配置及佈放方式圖，圖 3.1.6 是半比例尺現場實驗照片。圖 3.1.7 是在美國陸軍工兵水道試驗站(U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, WES, Vicksburg, MS)及 O.H. Hinsdale 波浪研究實驗室(Wave Research Laboratory, 奧瑞崗州立大學, OSU, Corvallis, OR)所進行的一系列水工模型試驗。



Figure 1. Rapidly Installed Breakwater System (RIBS) concept.

圖 3.1.1 快速安裝防波堤系統構想圖

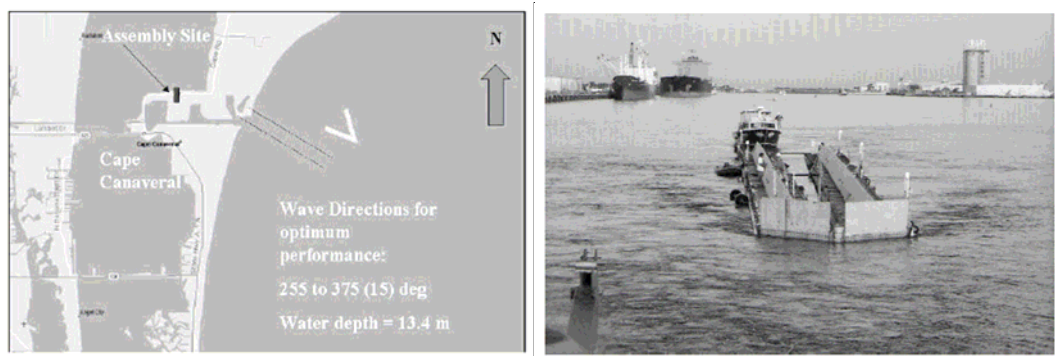


圖 3.1.2 在佛羅里達 Cape Canaveral 港外海的現場測試

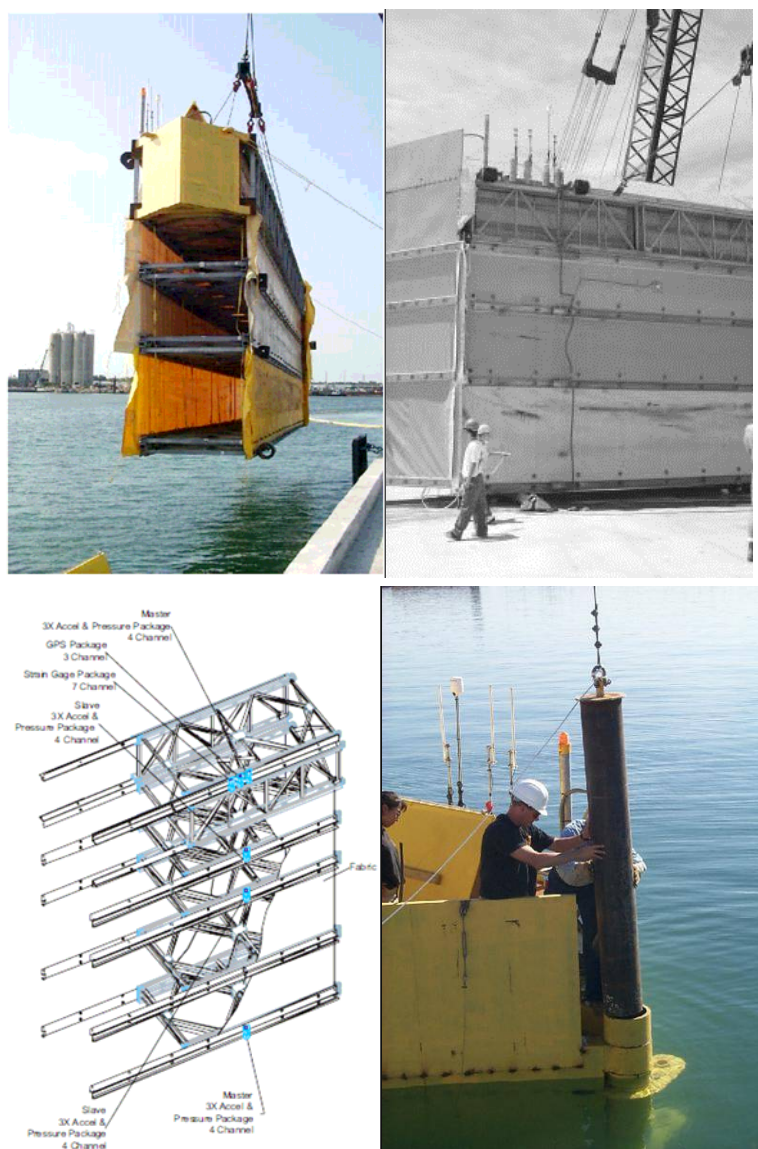


圖 3.1.3 大型 RIBS 的基本組件及安裝

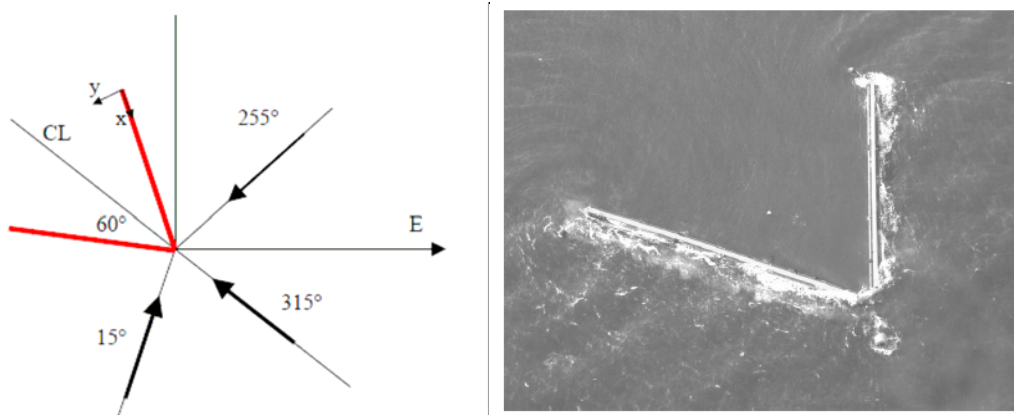
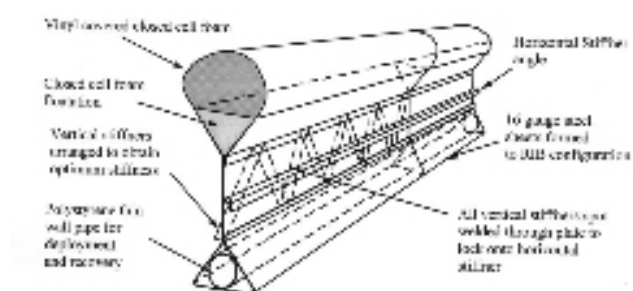
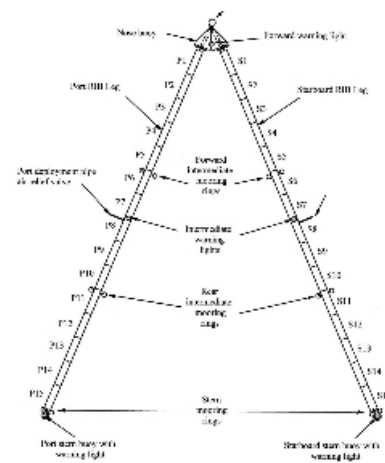


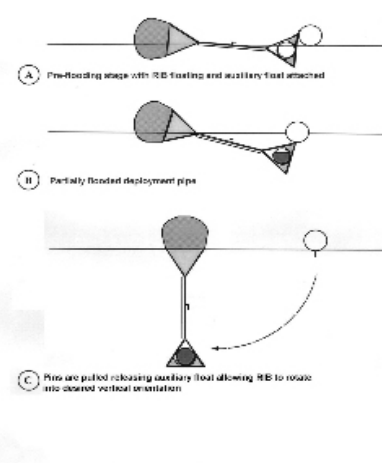
圖 3.1.4 大型 RIBS 佈放時與波浪的關係圖及佈放後的鳥瞰圖



(a) 基本 RIBS 模組



(b) 錨碇的配置圖



(c) 佈放的方式

圖 3.1.5 小型 RIBS 的基本配置圖



圖 3.1.6 小型 RIBS 半比例尺現場實驗



圖 3.1.7 RIBS 水工模型試驗

RIBS 的概念不僅僅是用於軍事用途，它也可以應用於海難事件的搜救或者是海上漏油的油污防擴散裝置。第一個柔性的 RIBS 是如圖 3.1.8 所示的 Hydro RIB，它首先於 1997 年在美國佛羅里達州的 Pensacola 海岸進行測試。Hydro RIB 為一柔性構造物可預先捲在佈放圓筒上，而到達預定位置以後直接佈放於海中，除充氣至浮艙外，也打海水進入主體結構以增加其剛性。雖然此一形式已經有相當好的效果，但仍有可以在改進的地方。

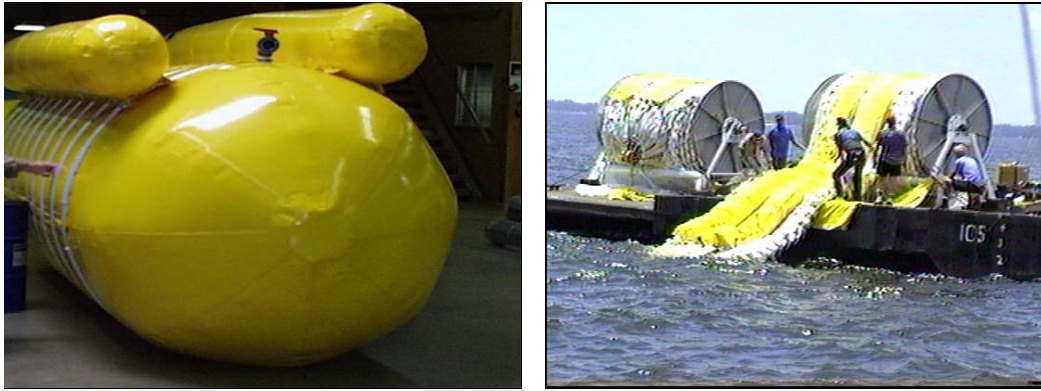


圖 3.1.8 Hydro RIB 的成品與佈放方式

一個改良型的 RIB 系統-XM2000，曾於 2000 年在美國佛羅里達州的 Pensacola 海岸進行了 5 個星期的現場測試。與 Hydro RIB 不同的地方是它在結構體的周圍增加了高強度海洋纖維材料的加勁帶以便增加浮體的強度，同時錨碇系統改採用 Seaflex 系統，它是用加強型吸能彈性繩索製作，可以增加對作用於浮體上波力的吸收能力，並允許較大的錨碇角度以節省空間。圖 3.1.9 是繼 XM2000 之後的改良型 XM2001 的造型。它的主體直徑為 28 呎，每一個區段可以長達 200 呎長。圖 3.1.10 為其存放架模型與現場佈放方式。目前本 RIBS 在佈放時非常的快速及方便，但回收則尚有改進空間。

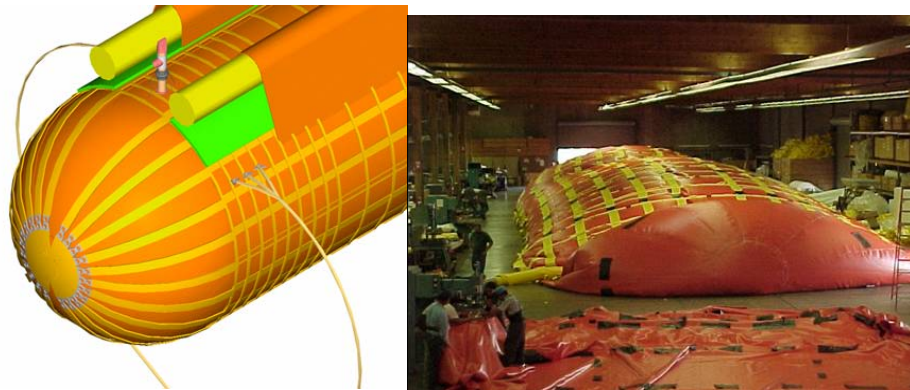


圖 3.1.9 XM 2001 的結構示意圖及施工圖



圖 3.1.10 XM 2001 的存放與佈放方式

綜合而言，快速安裝的浮式防波堤應具備有構造簡單存放空間小而且攜帶方便，安裝簡單且快速，消波抗浪效率佳，以及回收方便等特性，它不僅可以應用於軍事用途中的海上運補，也可以用在海上救難、海上漏油之防擴散、以及其他臨時或短期性的海上活動中的抗浪設施。

3.2 翼板式浮式結構物

從前面的文獻回顧中可以確定如果能夠增加浮體的規模(質量)對於其抗浪功能有正面的助益，但是也造成未來的安裝拆卸與運送不易而降低它的機動性。而如果能夠利用形體上的改變，提高浮體因為波或流的作用所產生的附加質量，也可能會達到抗浪功能提高的要求。本研究中主要是針對傳統式的浮體考慮在其兩側增加翼板，藉由翼板配合浮體的運動而影響附近水流的運動，進而提升浮體的附加質量，並探討其可能的抗浪特性。

本研究以勢流理論解析如圖 3.2.1 中所示的浮體，假設翼板為無厚度，並以邊界元素法及對偶邊界法進行數值解析，同時並於斷面水槽中進行水工模型試驗加以驗證，而後並檢討影響此類型結構之運動與消能係數，最後並考慮黏性組尼對運動與波浪能量之影響。其討論如下列各節所述。

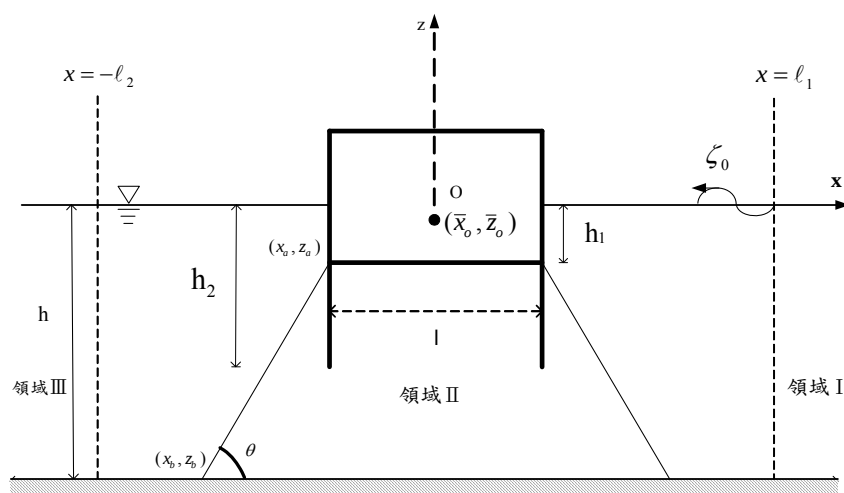


圖 3.2.1 繫留浮體及領域定義圖

3.3 翼板式浮式結構物特性之綜合分析檢討

本研究綜合數值模擬與水工試驗結果，檢討影響浮體運動與消波特性的參數，分別針對翼板個數、翼板長度、翼板角度、翼板柔性等數進行檢討，分數於下列各小節中。

3.3.1 數值模擬妥適性檢討

如圖 3.3.1 所示為自由浮體時，翼板角度垂直、不同翼板長度下的垂直運動振幅，其中圓點為 Mohamed R.Gesraha(2007)以特徵函數法計算之結果，本數值模式則以值線表示，由圖中可明顯看出，兩者極為相近，顯示本試值模式的適當性。

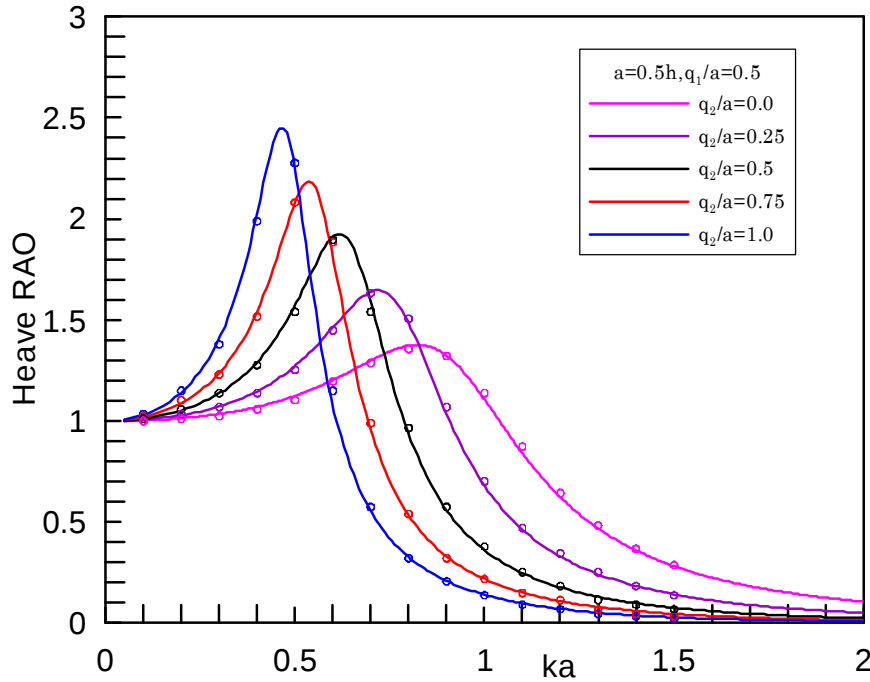


圖 3.3.1 自由浮體之數值模擬驗證

為了解翼板是浮式結構物的特性，本研究於斷水槽中進行繫留翼板式浮體的運動與消能試驗，並以數值模擬相互比較，水工模型試驗於去年度執行完畢，圖 3.3.2 所示為繫留垂直翼板得垂直運動振幅，空心圓點為試驗之結果，由於本研究所使用之理論為勢流理論，僅考慮浮體所受之慣性力，忽略流體黏性阻尼力，由圖中顯示，理想流體計算所得結果在垂直運動自然振頻附近有較大誤差，本研究考慮阻尼項，並以等功法將其線性化加入其運動方程式，由模擬結果可得較近似於水工試驗之結果。圖 3.3.3 及 3.3.4 所示分別為縱轉及水平移之結果，比較試驗結果與數值模擬的結果顯示，數值模擬在未考慮黏性組力的影響下，各自由度運動在自然振頻處與實際有較大的誤差，考慮黏性阻尼力後，對其他頻率的影響並不大，主要影響的範圍在其自然振動頻率附近。

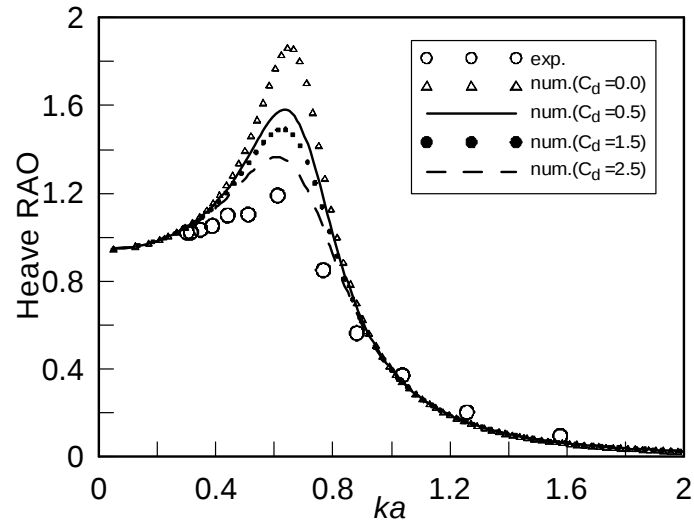


圖 3.3.2 繫留浮體之數值模擬驗證(垂直移)

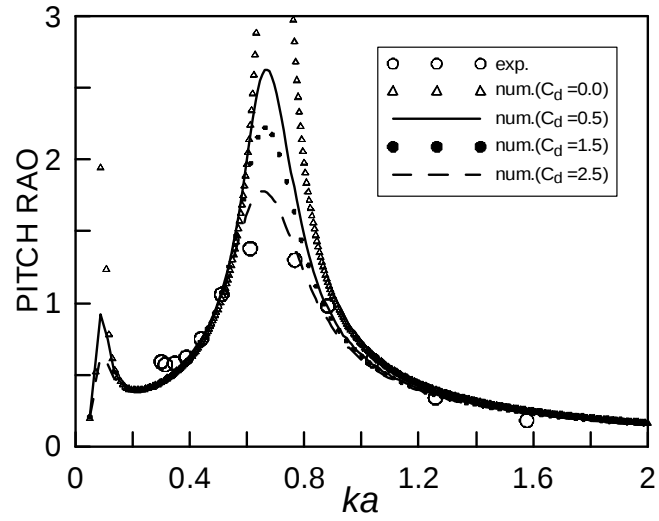


圖 3.3.3 繫留浮體之數值模擬驗證(縱轉)

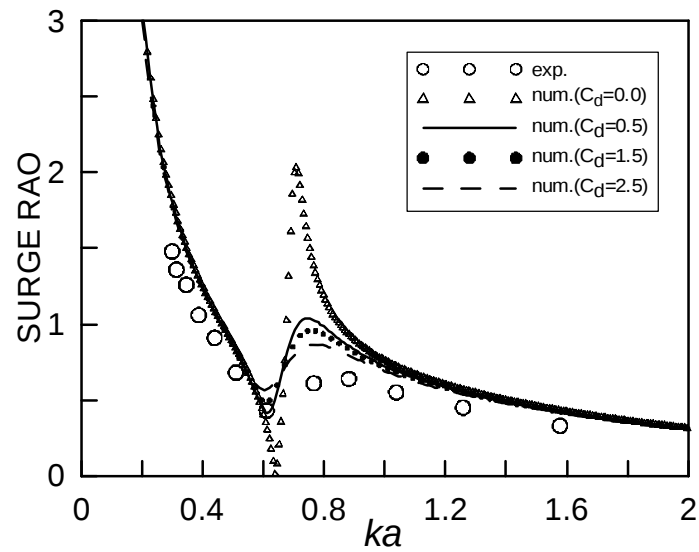


圖 3.3.4 繫留浮體之數值模擬驗證(水平移)

圖 3.3.5 與 3.3.6 所示為其消波特性的驗證，在勢流理論下，能量為守恆的，因此其反射率平方與透過率平方合為一，但在加上阻尼項後，其能量將因黏性而有所損失，由試驗結果顯示，在阻尼係數為 2.5 左右，數值模擬的結果與試驗結果較為接近，圖 3.3.7 顯示其能量變化，而與浮體運動比較結果顯示，在縱轉振然振頻處其能量損失達最大值。

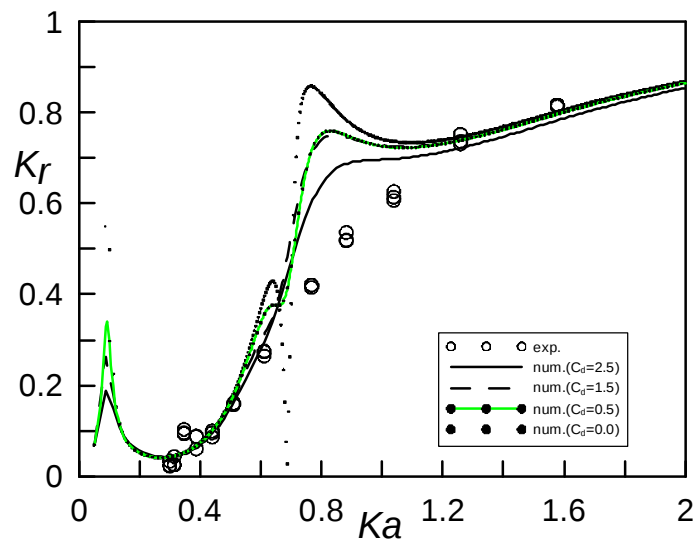


圖 3.3.5 繫留浮體之數值模擬驗證(反射率)

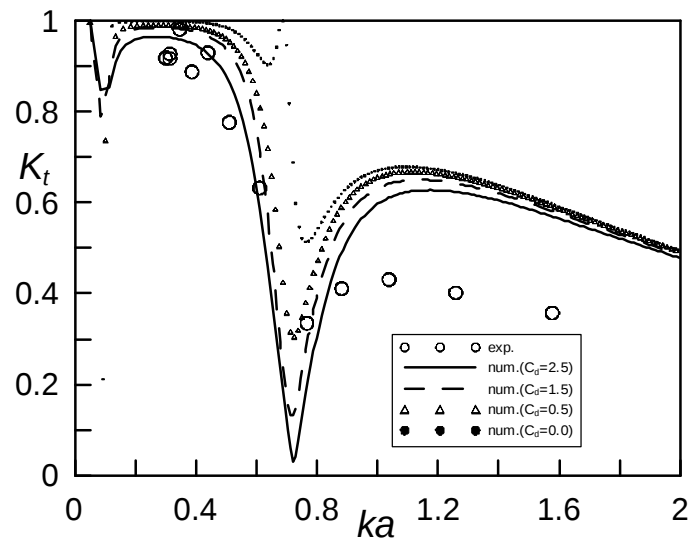


圖 3.3.6 繫留浮體之數值模擬驗證(透過率)

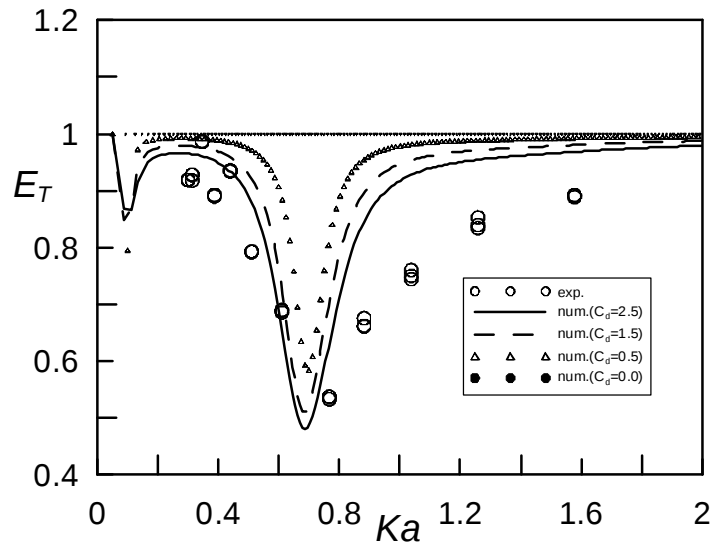


圖 3.3.7 繫留浮體之數值模擬驗證(總能量)

綜合前述比較結果顯示，本研究得數值模式在進行翼板浮式結構物運動與消能特性之模擬應是妥適且接近實際的物理變化。

3.3.2 翼板長度的影響

翼板的長度對浮體運動特性的影響如圖 3.3.8 及圖 3.3.9 所示，由圖中顯示，翼板長度越長，則浮體各自由運動振福之自然振頻將隨著翼板長度的增長而往低頻處偏移，主要原因應是翼板式結構在運動

時，必須帶動翼板所包覆的水體，因而增加其運動時的附加質量，翼板越長，所增加的附加質量越大，因而其自然振頻越趨向於低頻。

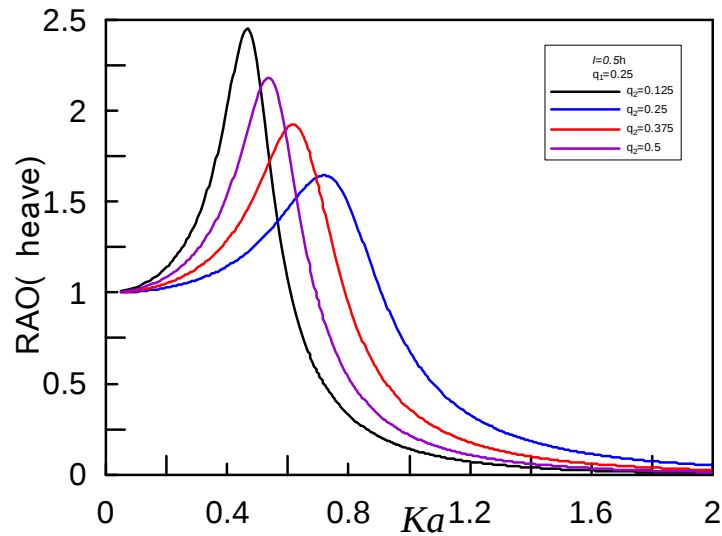


圖 3.3.8 翼板長度對垂直運動之影響

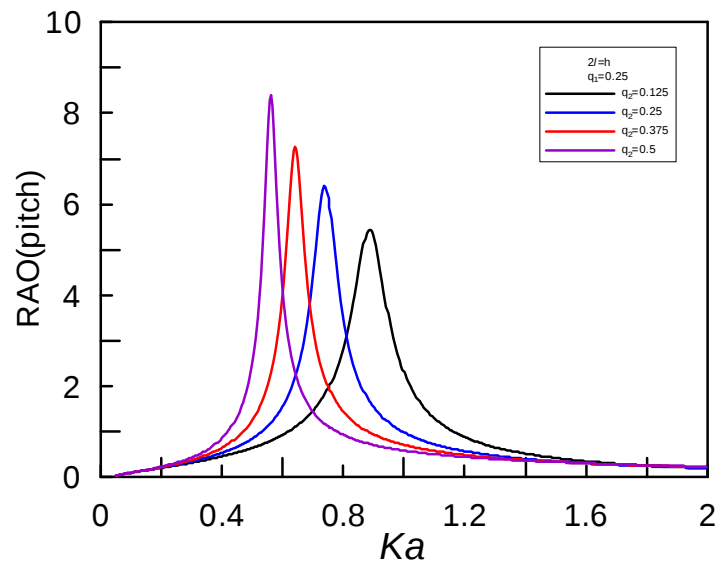


圖 3.3.9 翼板長度對縱轉運動之影響

圖 3.3.10 所示為翼板長度對反射率的影響，由圖中顯示，翼板長度越長對長週期波有較佳的反射效果，但對較短週期波的反射率影響並不大，甚至有稍低的情形。綜合其結果顯示，翼板長度越長，浮體運動的附加質量越大，導致各自由度運動的自然振頻移往較低頻處，進而提升其對較長週期波能的防禦功能。

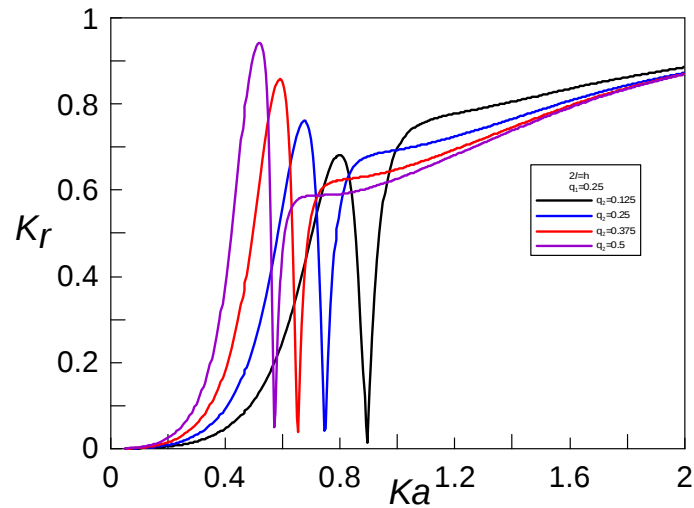


圖 3.3.10 翼板長度對反射率之影響

3.3.3 翼板個數的影響

本研究以垂直翼板進行討論浮體底板設置不同翼板個數時對其運動與消波特性之影響，如圖 3.3.11 至圖 3.3.13 分別為不同翼板數對浮體垂直、縱轉、水平運動之影響，由圖中顯示，翼板個數為一個時，其對垂直運動幾乎無影響，而對縱轉與水平運動的影響亦相當小，翼板個數大於 2 時，即浮體下方於最外緣設置兩個翼板後，在於其內加設多個翼板，對於浮體運動特性的影響並不大。

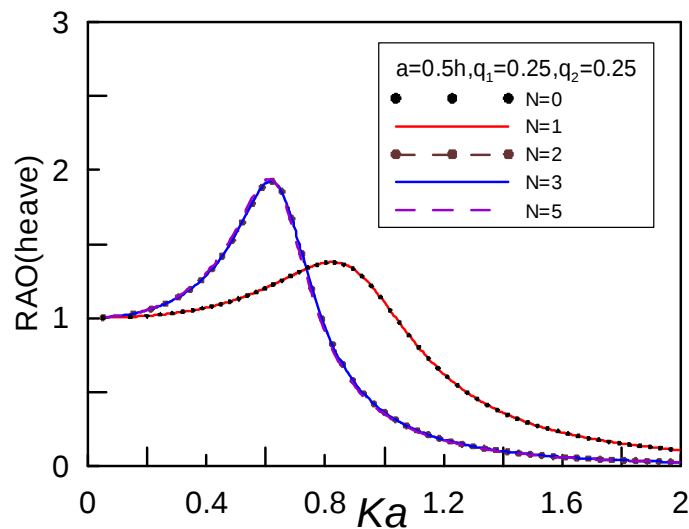


圖 3.3.11 翼板數目對垂直運動之影響

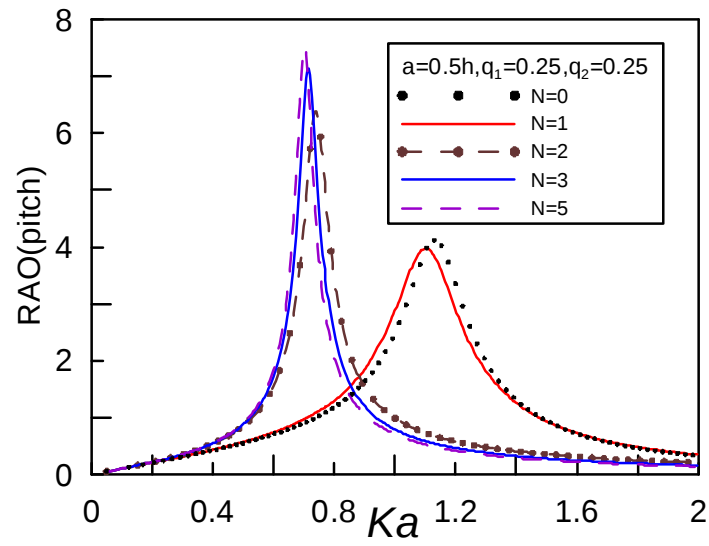


圖 3.3.12 翼板數目對縱轉運動之影響

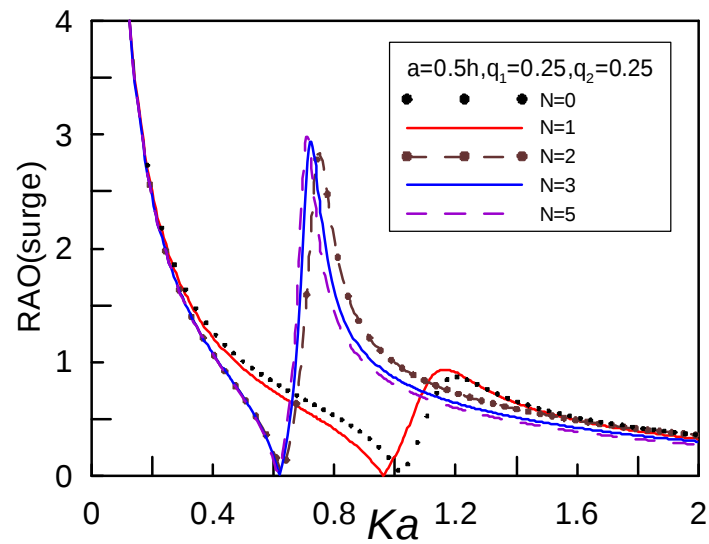


圖 3.3.13 翼板數目對水平運動之影響

圖 3.3.14 所示為翼板數目對波浪反射率的影響，由圖中顯示翼板個數 2 以上時，其反射率差異不大，同時可對較長週期波有較好的反射效果，翼板一個時與無翼板情況下近似。綜合前述，翼板 2 個時、且射至於浮體底板最外緣即可達良好的效能。

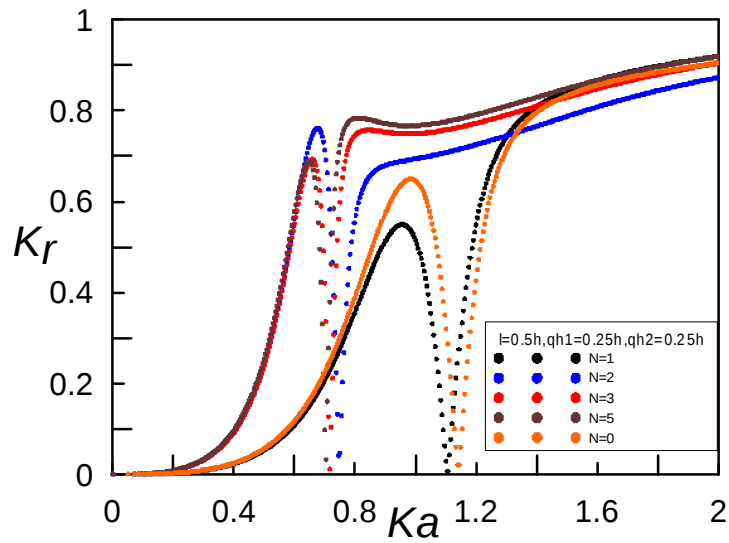


圖 3.3.14 翼板數目對反射率之影響

3.3.4 翼板角度的影響

本研究以垂直兩翼板討論翼板角度對浮體運動及對波浪反射率之影響，如圖 3.3.15 至圖 3.3.17 所示分別為翼板角度由垂直(0 度)至水平(90 度)之各自由度運動之變化，由各圖中顯示，當翼板角度越大時，各自由度運動的自然振頻有往低頻處移動的現象，此現象與增長翼板有相同的效果，而就圖 3.3.18 對反射率的影響而言，翼板角的變大對較長週期波有較好的效果，但對較短週期波的底域功能卻明顯降低，角度越大，其反射率降低的越大。

綜合前述，若以反射效果而言，翼板應以垂直方式設置對波浪有較佳的抑制效果。

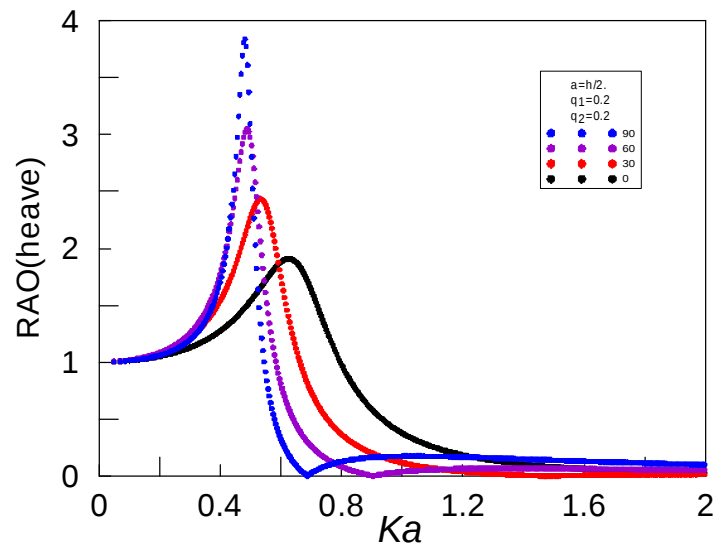


圖 3.3.15 翼板角度對垂直運動之影響

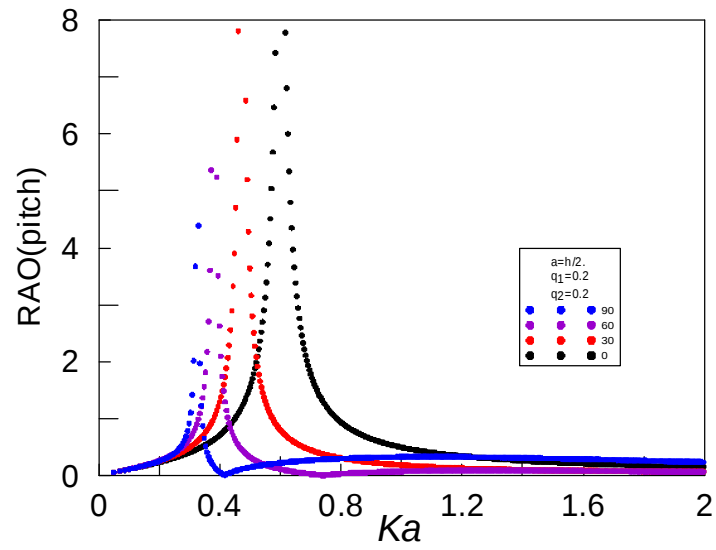


圖 3.3.16 翼板角度對縱轉運動之影響

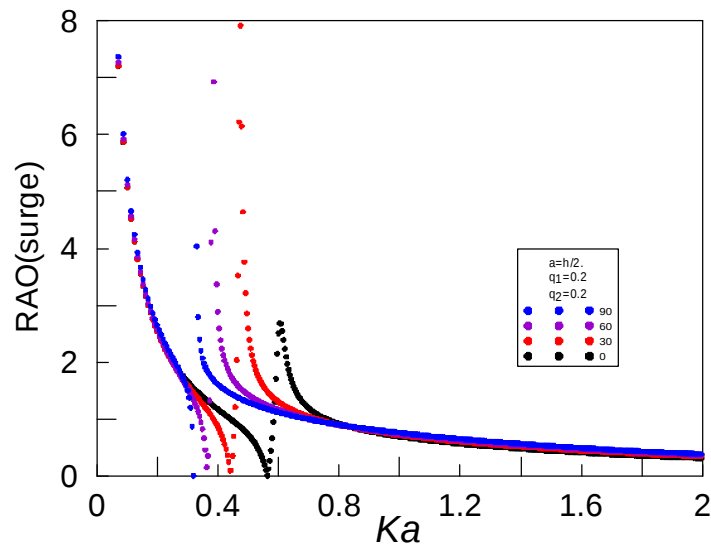


圖 3.3.17 翼板角度對水平運動之影響

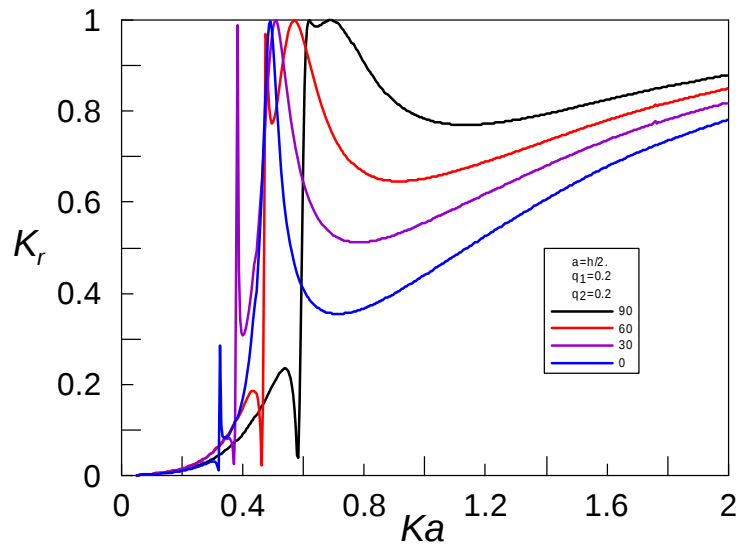


圖 3.3.18 翼板角度對反射率之影響

3.3.5 翼板勁度的影響

本研究分別以如表 3.3.1 所示之六種材料討論翼板勁度對浮體運動與反射率之影響，同時並以圖 3.3.19 的三種浮體沒水深度相互比較，如圖 3.3.20 所示藍色圓為沒水深度 $0.2h$ 、但無翼板的情況，黑色空心圓為翼板長 $0.1h$ ，但材質為柔性之橡膠，比較其結果顯示，兩者反射率差異不大，顯示翼板勁度太小時，其效果相當於無翼板之情況。而

黑色三角形為剛性、虛線為材質鋼的模擬結果，紅色實線則為沒水深度 0.3h 的反射率，由其結果顯示，翼板勁度大時，如鋼材，其效果可相當沒水深度與翼板同深度的浮體。

表 3.3.1 柔性翼板之彈性模數約值

材料	彈性模數	$EI/\rho gh^5$
鋼	200GPa	2.125×10^{-3}
碳纖維強化塑料	150 GPa	1.6×10^{-3}
鋁	70 GPa	7.44×10^{-4}
高強度混凝土	30 GPa	3.19×10^{-4}
塑膠	2.5 GPa	2.66×10^{-5}
橡膠	0.1 GPa	1×10^{-6}

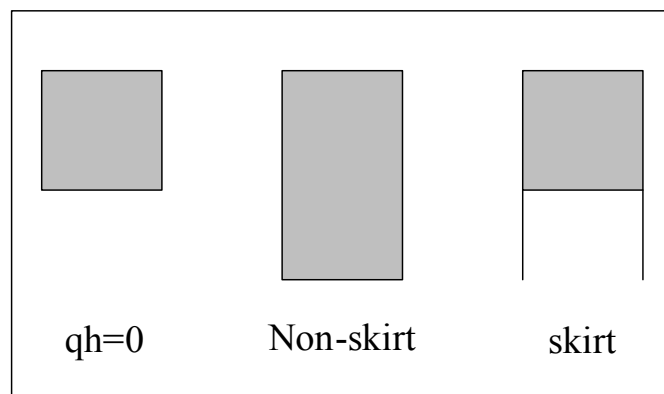


圖 3.3.19 數值模型示意圖

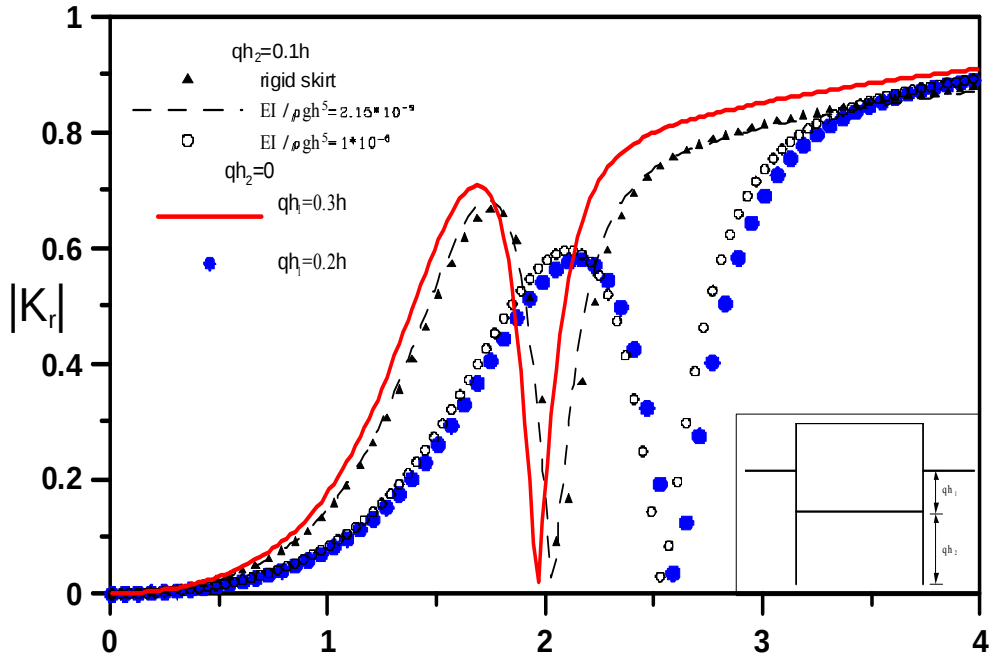


圖 3.3.20 不同材質之翼板浮體與無翼板浮體反射率之比較

3.4 壓氣型浮式結構物的波動特性試驗研究

為了了解壓氣型浮式結構物的波動特性，本研究在長 50 公尺的小斷面水槽進行水工模型試驗，圖 3.4.1 為模型試驗的配置情形。浮式結構物以口字型的木箱替代，為了了解波動通過浮體時，箱內水位的變化情形，本試驗將木箱固定，並控制結構物的吃水深度(10 及 30 公分)，以及在箱內加入壓縮空氣使箱內的水位與靜水面有 0、-3 及-6 公分的差值。造波水深控制在 50 公分，造波波高為 5 至 6 公分，造波週期介於 0.8 至 2.4 秒之間。波高的量測包含 1 支入射波波高計、3 支反射波波高計，以及 1 支透過波波高計。造波時間的選定以配合避免二次反射波影響到量測為原則，分析方法以零上切法為之，反射率則以 Goda 的兩點法進行分析。

圖 3.4.2 及圖 3.4.3 分別為吃水深度 10 公分及 30 公分時，各種不同加壓情形的波浪透過率分布情形。圖中的三種符號(●、◆及▲)分別為箱內靜水位 0、-3 及-6 公分時各三次的試驗值，實線、節線及點節線則依序為其平均值的連線。從圖中可以看到箱內的氣壓大小似乎對

透過率的影響不大，僅在吃水 10 公分時的短週期波較為明顯些。試驗曲線一致地雖週期的加長而透過率變大，應是結構物的寬度與波長之間的關係。吃水 10 公分的狀況下箱內靜水位-6 公分的配置有較低的透過率，由於結構物是固定不動的，因此相對地其反射率應該較高，研判原因可能是箱內氣壓大時造成箱內流體的勁度增加而造成底部的反射。照片 3.4.1 為試驗造波時浮箱內外的水位變化差異情形。

綜合而言，壓氣型浮式結構物可以利用箱內的空氣除了提供相當的浮力外，也提供浮箱內有一類似彈簧的機制，可能波浪通過壓氣室時產生阻尼效應。然而這兩個機制的效能是相反的，因為空氣室越大可能使得結構物的浮力增加而更形不穩定，如果錨碇不足也可能導致浮體造波運動。足夠的錨碇力才能夠發揮壓氣室的阻尼效應，未來應可繼續研究評估其可行性。

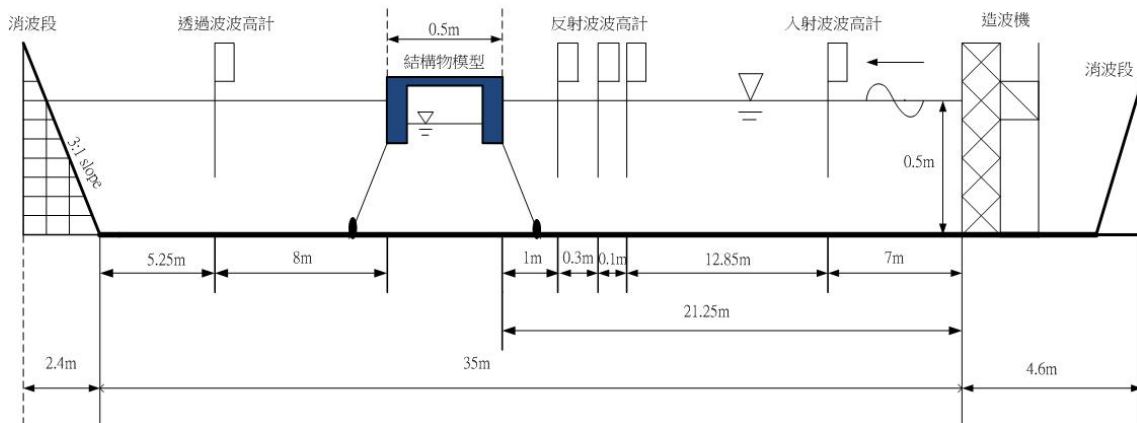


圖 3.4.1 壓氣型浮式結構物水工模型試驗配置

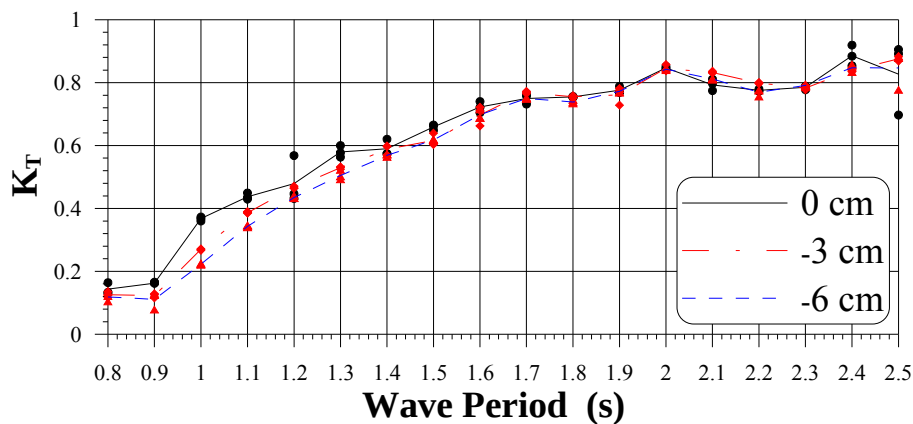


圖 3.4.2 吃水深度 10 公分之波浪透射係數圖

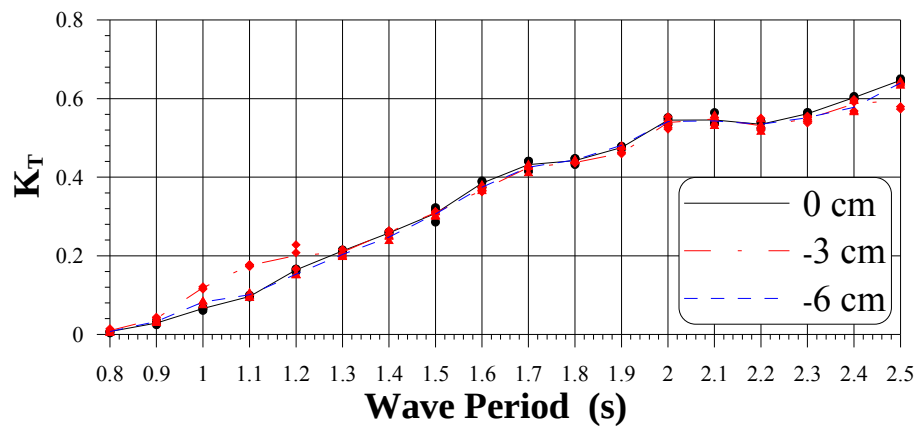


圖 3.4.3 吃水深度 30 公分之波浪透射係數圖



照片 3.4.1 試驗造波時浮箱內外的水位變化差異情形

第四章 環境保護型消能結構物

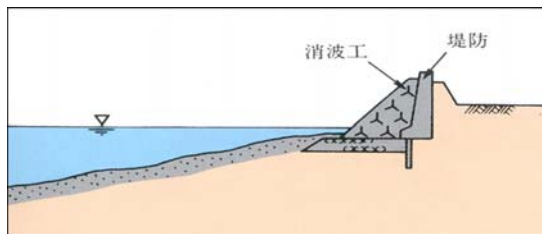
4.1 研究目的

過去海岸開發重安全輕生態，多採工程手段而少用自然生態工法，因此開發的同時卻忽略了環境保護的重要性。臺灣的海岸在歷經多年的努力過後，現已完成大約有 500 公里海岸防護設施，其中包括有：海堤約 392,972 m、護岸約 9,338.2 m、消波工約 56,051 m、潛堤 11 座、離岸堤 184 座、突堤 129 座、導流堤 27 座(郭、李，2005)，確實已經達到保護沿海百姓生命財產安全之目標；但絕大部份海岸防護均以高大混凝土結構物建造，且大多過度安全保護，使得效果不佳；縱使有些地方達到了保護海岸的目的，卻也有些地方反而招致堤防崩塌。過去傳統保護海岸工法是在堤前加拋各種型式之消波塊，以防堤身崩壞，可是當波浪直接衝擊消波工時，會造成某些消波塊滾落消失，使得越波量變大、底床砂灘流失、進而海岸侵蝕及堤防破壞，先行由點的破壞變成線的破壞，進而造成面的破壞。若能將原本拋放在堤前的消波塊移除，吊放至外海一段距離使其成為沒水式潛堤，強迫大部分波浪於堤上碎波而減低波能，並以緩坡式傾斜護岸取代原有高大之消波工，除了可以防止養灘砂的流失外並可避免海岸侵蝕，是一個值得推廣的人工潛堤保護工法，其演變過程如圖 4.1.1(a)至(c)所示。

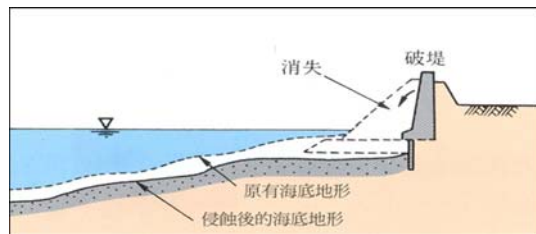
臺灣西海岸海底坡度平緩，但底質大多屬於沙質海岸，因此若稍加以人為方法設置透水式潛堤、潛礁，佈置適合海草、海藻類及其它海洋生物生活空間，例如藻礁、魚礁、產卵礁等生態礁於海底，在緩坡海堤面鋪設孔隙結構物、堤前設置透水潛堤，則可以產生豐富的水產資源，達到環境復育的功能，圖 4.1.2 為日本關西國際機場利用緩坡拋石護岸和種苗移植形成的人工藻場；圖 4.1.3 為在低潮位下 10-15m 之近岸海域，由人工利用泥砂、礫石堆及拋石填築而成人工淺場；

圖 4.1.4 則為國內花蓮南濱海堤案例，海岸前坡原拋放大量混凝土塊，之後將消波塊吊至海堤前緣形成潛沒式平台，前坡改建以 1：6 及

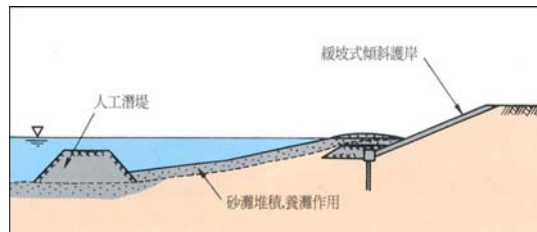
1:10 之緩坡塊石斷面，配合現有離岸堤，兼具安全、防災、親水遊憩等功能。南濱海堤前方之離岸潛堤群，於 94 年水下攝影發現漁群、管蟲及珊瑚群聚，因此可預期將岸邊吊往海中的混凝土消波塊，除具有防災與保護海岸線的效果之外，更可形成海洋生物資源環境，對於海洋生物不僅不會造成損壞，反而營造出人工棲息空間，改建完成後現況如照片 4.1.1(a)至照片 4.1.1(c)所示。臺東縣第八河川局於 2011 年舉辦的攝影比賽，以拍攝美麗臺東海岸線為主要，照片 4.1.2(a)~(f)分別為斜坡式海堤、護坦、消波塊堤腳保護工、沙岸、礫石灘海岸等實際案例照片。



(a)過去傳統保護海岸的工法



(b)波浪直接衝擊消波工



(c)人工潛堤、緩坡式傾斜護岸

圖 4.1.1 人工潛堤保護工法

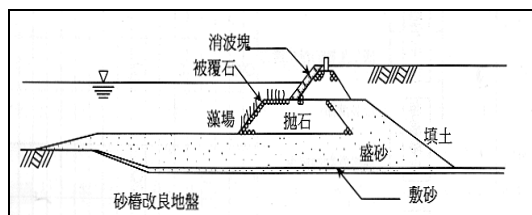


圖 4.1.2 緩拋石護岸形成的藻場
(關西國際機場)

(摘自海岸工程學 2003，郭一羽)

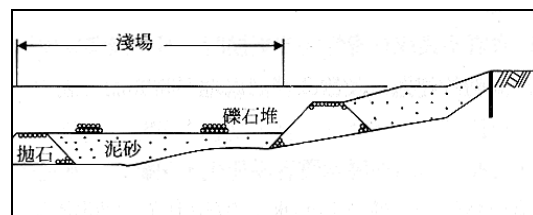


圖 4.1.3 人工淺場

(摘自海岸工程學 2003，郭一羽)

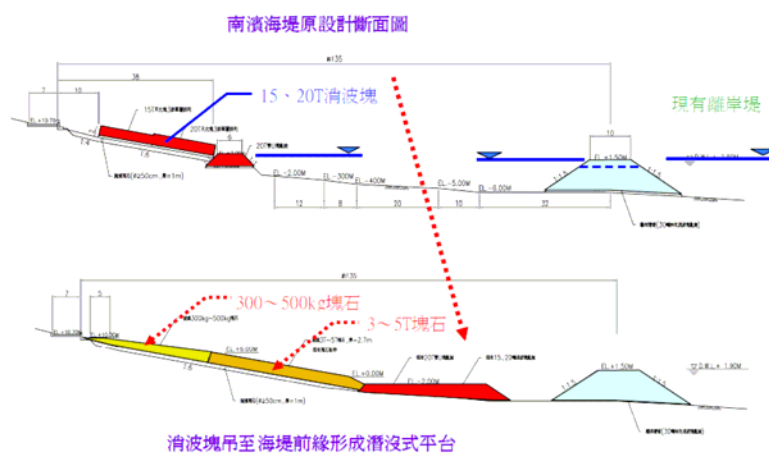
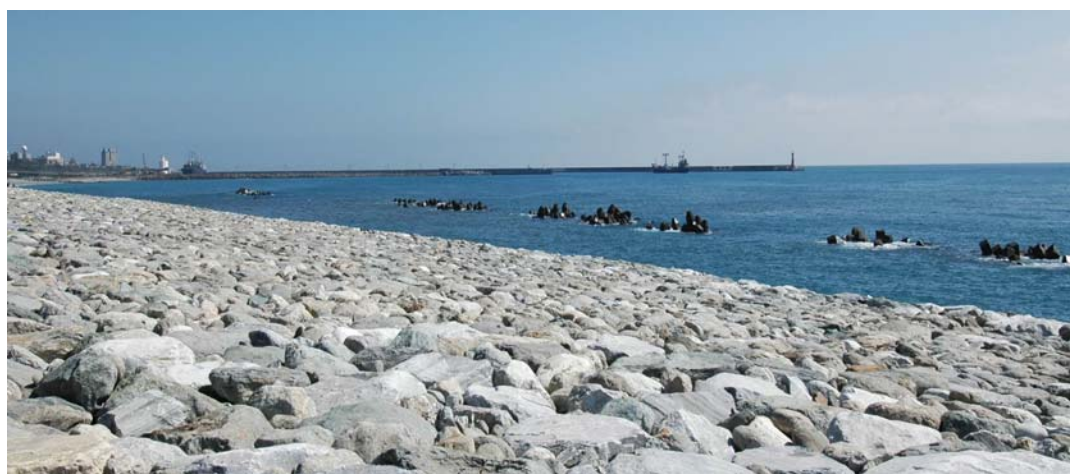


圖 4.1.4 花蓮南濱海堤原設計斷面與改建後斷面
(繪圖：吳明華，2009)



(a) 花蓮南濱海堤及離岸堤



(b) 離岸堤水下管蟲



(c) 離岸堤水下珊瑚

照片 4.1.1 花蓮南濱海岸構造物與水下生態



(a)臺東海堤 (楊美玉攝)



(b)臺東海堤 (張孟如攝)



(c)臺東海堤 (陳信憲攝)



(d)臺東富岡海堤 (游秀娥攝)



(e)臺東海堤 (楊美玉攝)



(f)臺東海堤 (楊美玉攝)

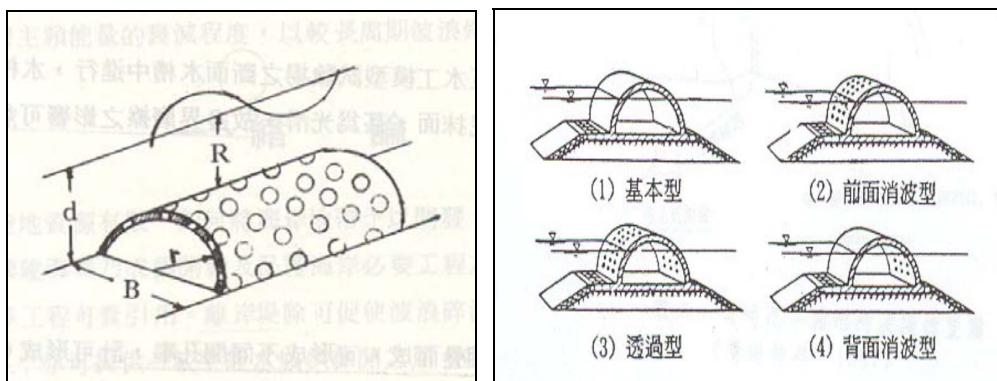
照片 4.1.2 臺東縣第八河川局舉辦攝影比賽_臺東海岸線(2011)

摘自：<http://www.wra08.gov.tw/news981029a.html>

4.2 相關文獻回顧

過去已有許多學者都對波浪與透水結構物之間交互作用做過相關研究：國外學者：Sollitt and Cross (1972)利用 Lorentz 能量等功原理，提出線性摩擦係數描述多孔介質流體之能量消散特性。謝(2000)介紹天津港半圓形防波堤和長江口半圓形導堤其結構斷面圖及設計應用情況。謝等(2006)針對堤身由四分之一圓和直立後牆所組成圓弧面防波堤，進行波浪力初步分析，並與半圓形防波堤波浪力作比較。

至於針對曲面型透水防波堤則有：郭和黃(1990)利用水工模型試驗針對規則波及不規則波通過半圓形開孔堤其反射率及透過率加以試驗研究。林東廷(2001,a)針對半圓形防波堤因為具有：中空構造、能阻擋較大波浪、適用於軟弱地盤嚴苛條件下、能充分發揮安定性、低反射率之功效，亦即兼顧了消波、環境及景觀等優點。林東廷(2001,b)利用直立堤之合田波壓計算方法，考慮曲面形狀所引起波壓相位差及弧形曲面所引起波壓減衰效果，利用試驗探討半圓形防波堤之波力計算並加以修正。謝志敏等(2008)針對半圓形防波堤底寬約為其高的 2 倍，有可能太寬而不經濟，採用四分之一圓弧面新堤型，可以減少大量拋石數量，並使用空間平均 RANS 模式，自由液面以流體體積法(VOF)，模擬波流與透水結構物互制之作用。



(a) 摘自郭和黃(1990)

(b) 摘自林東廷(2001a)

圖 4.2.1 與本文相關之前人研究圖說

此外，國內對於海岸保護、親水性、生態性及港灣生態景觀等研究亦有許多單位及學者從事研究：

蔡立宏等(2005)執行「海岸保護及親水性結構物最適化配置研究(4/4)」，根據具有親水性質的系列潛堤、沙丘及護岸等作水理機制與視覺景觀分析與探討，並應用於新竹港南海岸及高雄彌陀海岸，達到親水及海岸保護之功效。

徐如娟等(2006)執行「生態型海岸保護工法研究(1/4)」，探討海岸保護工法之發展演進、海岸生態工法之發展概況、國內海岸生態環境及生態型海岸保護工法之發展方向與型態。在改善工法上可考慮基本斷面形狀改良、原有斷面附加生態機能、改良原有斷面部材構造等三種基本對策。

經濟部(2009)「南濱及化仁海岸生態情勢調查及新工法研發之研究(2/2)」，第五章中海岸生態工法提及國外案例：美國生態礁球潛堤，高1.2m 重約 3000kg，對海灘休閒區具有保護作用，如照片 4.2.1 所示。法國以特殊模板澆灌具有凹凸不平溝紋與粗糙表面的生態塊，抵抗南大西洋暴浪，如照片 4.2.2。德國研發特殊的塑膠黏著劑，以黏結小碎石塊，成為高孔隙率而安定的生態礁塊，可有效消滅波能。而針對化仁及南北濱海岸，建議今後可以改用類似法國生態塊，增強管蟲附著及生長的底基；以德國生態礁塊替代目前使用拋石緩坡，不但可以固灘並有效降低波浪溯升高，如照片 4.2.3 所示。

簡仲璟等(2010)分四年長期研究收集資料，執行「港灣生態景觀規劃設計應用研究(1/4)」，其內容涵蓋有：港灣生態環境評估準則；景觀營造技術探討；親水設施營造；景觀美質評估因子及分級標準，其研究成果可以作為工程、景觀、生態三者不同科技領域的整合及經驗培養。資料豐富並得到不錯結果，可以提供後續工程之參考。



(a)礁球成品



(b)礁球放置水中

照片 4.2.1 美國 Gran Dominicus 生態礁球



(a)法國 ECOPODE 生態塊



(b)施工後海岸護岸的實景

照片 4.2.2 法國 ECOPODE 凹凸生態塊



(a)德國生態礁塊施工



(b)德國生態礁塊護岸

照片 4.2.3 德國 Elastocoast 新工法生態礁塊

4.3 過去三年研究成果

4.3.1 數值計算結果與分析(波浪正向入射)

本研究第一年(2009)提出在不透水直立堤前方銜接梯形透水潛堤，並於其上方設置四分之一圓弧形孔隙板，前方距離堤址一段處設置另一道梯形透水潛堤，組合成『環境保護型』消能結構物。利用兩透水梯形潛堤間之空間水域當成游水室，並配合曲面弧形孔隙板之構想，使波浪在入射到堤前多了一層的消波室，並利用波浪通過孔隙薄板其所造成波浪相位差及透水潛堤之孔隙率及摩擦係數，消減入射波的能量和降低反射率，使得堤前水面波動大幅下降，並可以減少越波量及降低波浪作用於直立堤之波壓力。本文環境保護型消能結構物，其未來願景模擬如圖 4.3.1 所示。

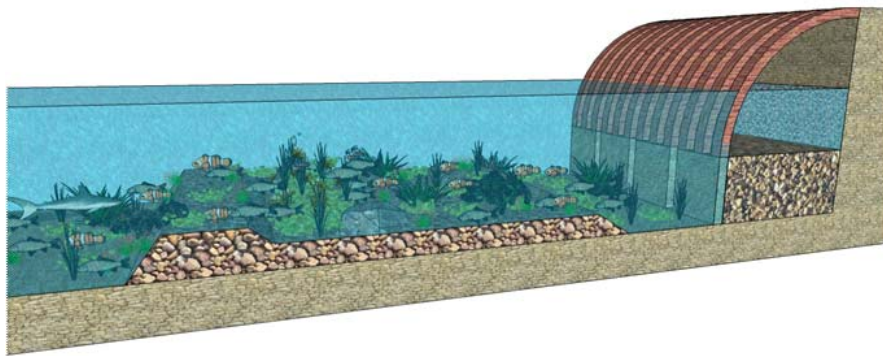
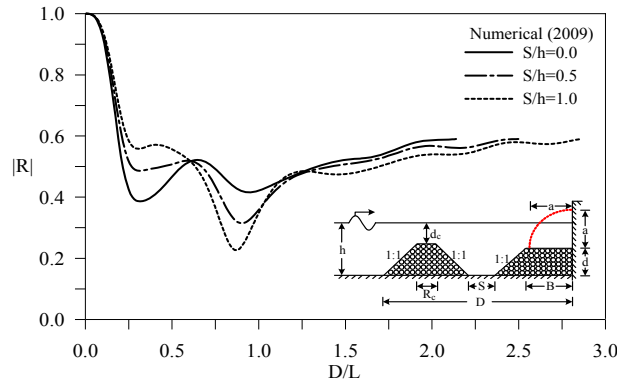
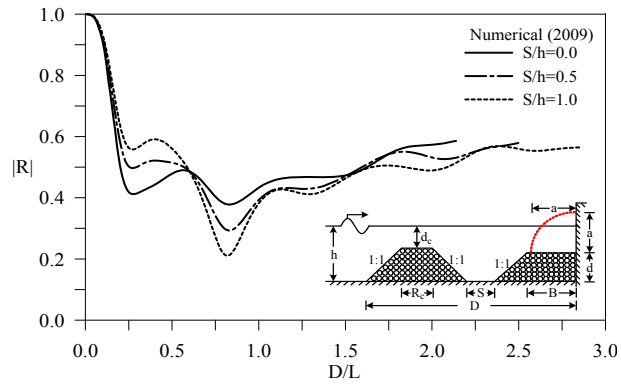


圖 4.3.1 未來願景模擬環境保護型結構物(繪圖：褚懷宇)

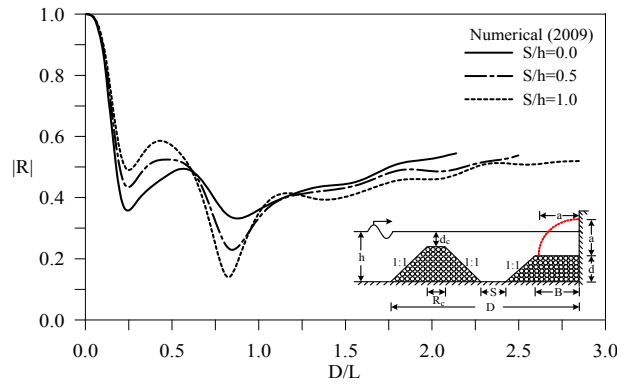
數值解析方法採用多領域邊界元素法(Multi-domain BEM)，數值計算結果顯示：不論相對沒水深(d_c/h)、相對堤寬(R_c/h)及相對間距(S/h)改變下，三者反射率在相對總長(D/L)約在某些特定值附近均會出現有最小反射率值，但是隨著相對沒水深減小，堤寬增加，其發生最小反射率值有漸漸趨近於 $D/L=0.25$ 、 0.75 附近，即大約在 $1/4$ 波長與 $3/4$ 波長處，可以提供給工程設計上作為參考。其數值計算結果如圖 4.3.2 所示。



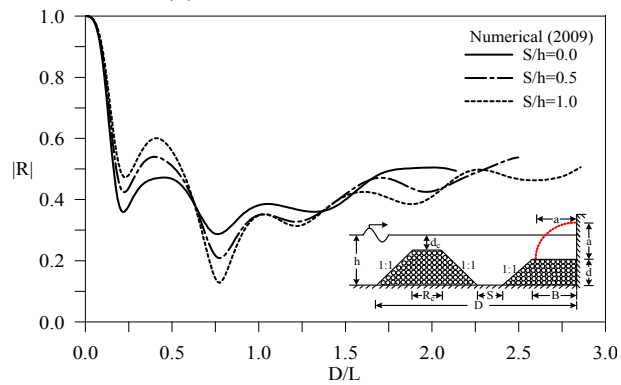
(a) $d_c/h=0.4$, $R_c/h=0.4$



(b) $d_c/h=0.4$, $R_c/h=0.6$



(c) $d_c/h=0.3$, $R_c/h=0.4$



(d) $d_c/h=0.3$, $R_c/h=0.6$

圖 4.3.2 改變潛堤間距時反射率 $|R|$ 變化與 D/L 關係圖

4.3.2 水工模型試驗

第一年亦曾利用海洋大學水工模型試驗室進行試驗，四分之一圓弧形孔隙板部分露出水面，直立堤前兩個透水潛堤間之距離為 $S=0$ (稱為連結式)，探討其消波減壓之效果。第二年進行兩潛堤間有一段距離形成游水室， $S \neq 0$ (分開式)，並可以與連結式作一比較。其定床斷面造波水槽波高計配置示意圖如圖 4.3.3 所示，其壓力計安裝位置如圖 4.3.4 所示

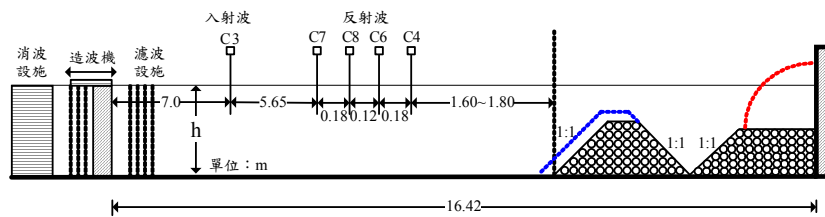


圖 4.3.3 定床斷面造波水槽波高計配置示意圖(連結式 $S/h=0$)

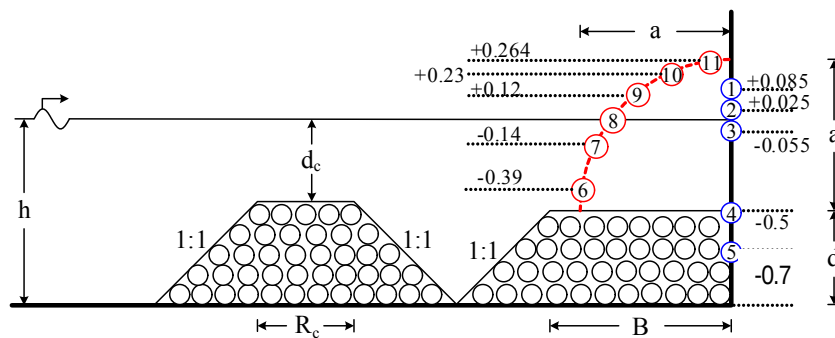


圖 4.3.4 壓力計安裝位置(試驗水深 $h=50\text{cm}$)

4.3.3 數值計算結果與分析(波浪斜向入射)

本研究第二年(2010)環境保護型消能結構物延續第一年度所使用數值方法，利用多領域邊界元素法(Multi-domain BEM)計算波浪由正向入射推展至斜向入射，探討直立堤前透水結構物之消能效果，其示意圖如圖 4.3.5 所示。水工模型部分同樣延續第一年繼續進行試驗將針對兩潛堤間距離為分開式($S \neq 0$)進行反射率及波壓力之量測，探討其消波

減壓之效果，並可與連結式作一比較，其試驗結果並與數值計算作一比較及驗證，其反射率變化趨勢相當一致，驗證了本數值模式用來計算透水環境保護型結構是可行的。其數值計算結果如圖 4.3.6 與圖 4.3.7 所示。

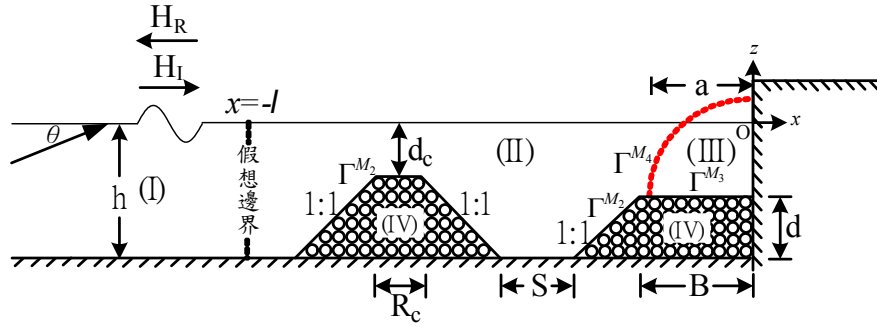


圖 4.3.5 波浪斜向入射環境保護型結構物示意圖

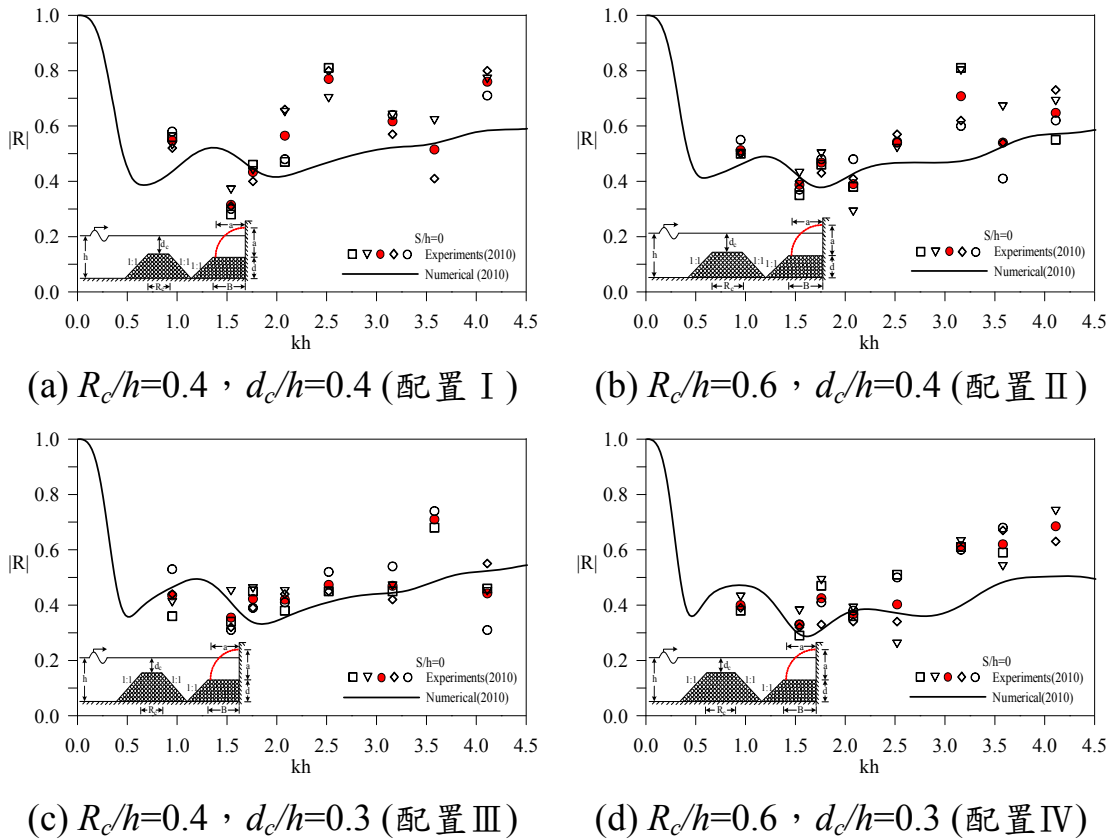


圖 4.3.6 波浪作用於連結式透水結構物|R|與 kh 關係圖

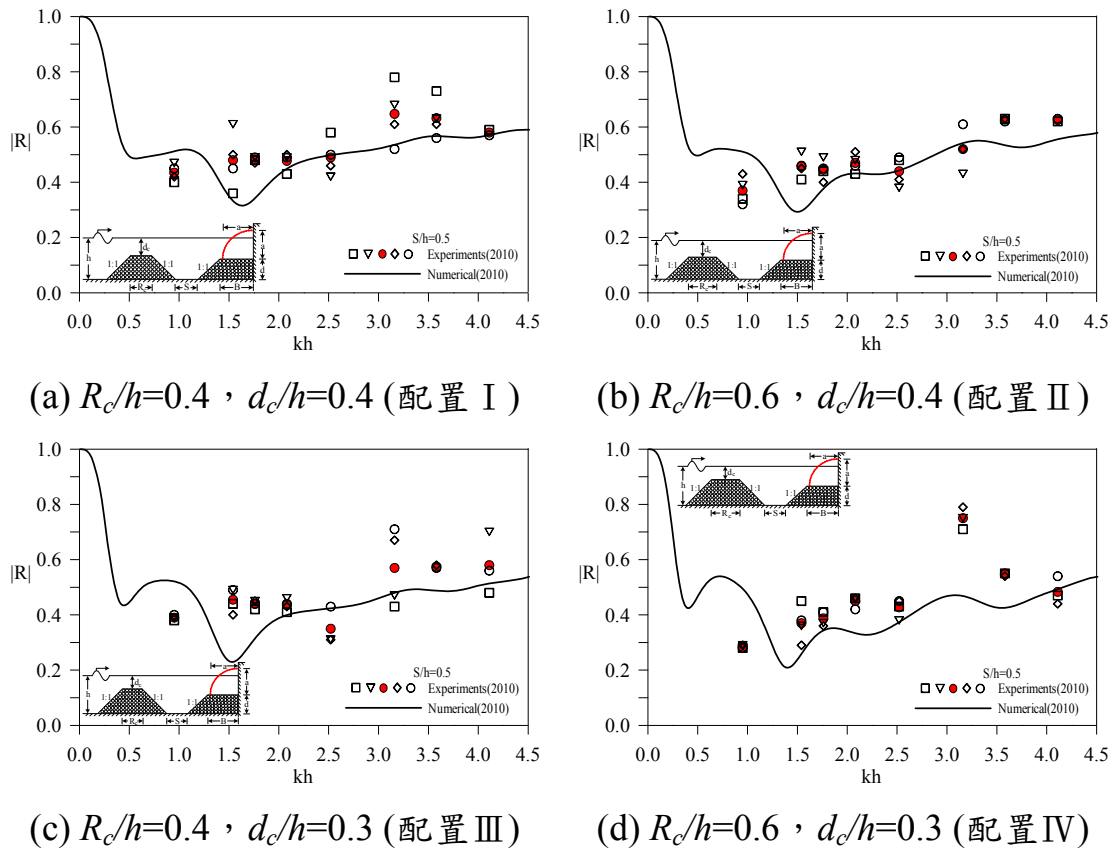


圖 4.3.7 波浪作用於分開式透水結構物 $|R|$ 與 kh 關係圖

4.3.4 人工潛礁數值計算結果與分析

第三年(2011)，由於人工潛礁(reef)常被用來取代離岸堤或潛堤，主要是利用其寬而廣潛礁可以消散部分波能、降低水流流速並使漂砂沉積於堤後，進而控制海灘侵蝕保護海岸，又因其潛沒水下避免破壞視覺景觀，增加魚類資源等多重功能。第三年(2011)探討當直立堤不存在時，改以寬而廣人工潛礁進行研究；或是考量工程施工上之方便性及可行性，可以選取不同形狀、堤寬較小、堤頂高程較低之透水潛堤，利用堤與堤之間水域空間使波浪產生共振，進而使得到達海岸前波高衰減目的。

環境保護型結構物構想示意圖如圖 4.3.8 所示，包含了下列三種型式：(a)含透水層斜坡式海堤，根據當地海域波浪特性、海堤坡度、透水層厚度、孔隙材質特性等，探討在何種配置下，能將大部份波能反

射，降低波能，使其後方陸地不受潮升影響以及避免海堤遭受波浪淘刷影響。(b)將斜坡式海堤前方加潛沒式透水護坦，利用透水護坦之孔隙率及摩擦係數，消減入射波的能量和降低反射率，使得護坦前後方水面波動大幅下降，潛沒式護坦因具有孔隙易附著生物對生態較為有善，且破壞較少，可豐富當地水產資源，達到環境保護功能。(c)考量除了斜坡式海堤、潛沒式透水護坦外再增加透水潛堤探討，探討用前方離岸堤來消能，降低潮上，因此在堤後方水域空間適合海草、藻類及魚類生活，對環境保護具一定功效。其數值計算結果如圖 4.3.9 至圖 4.3.11 所示。

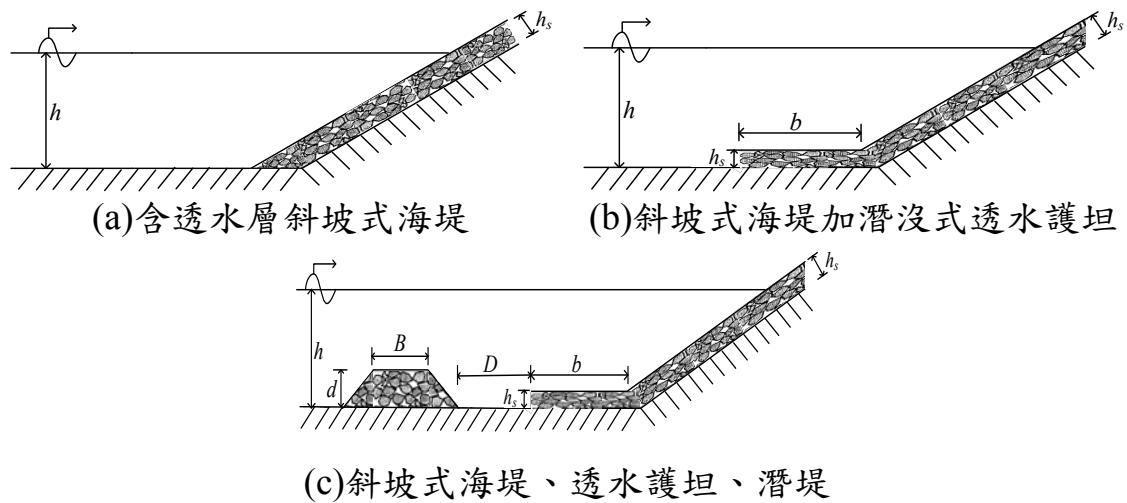


圖 4.3.8 環境保護型構想示意圖

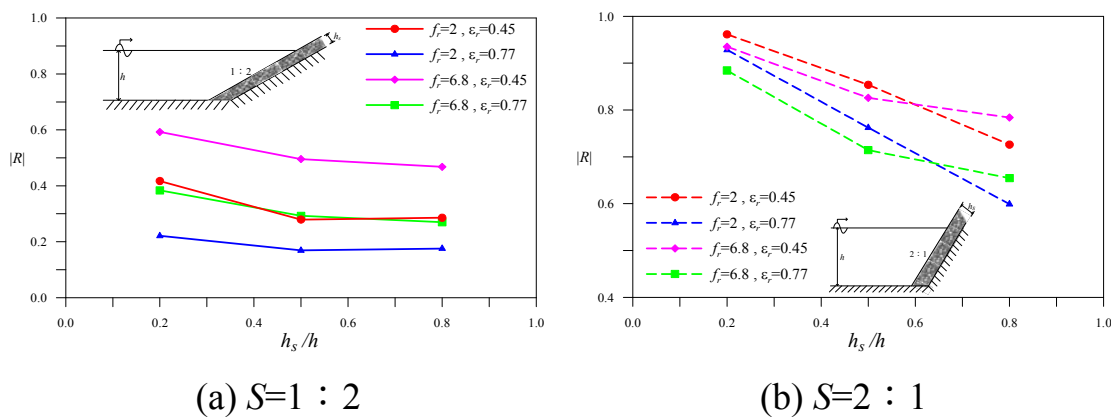
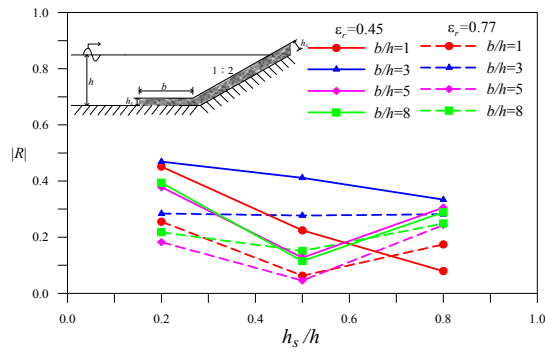
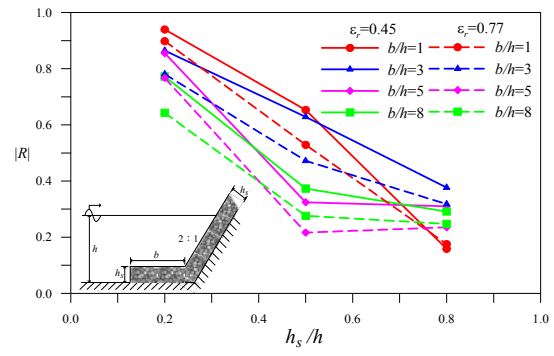


圖 4.3.9 f_r 及 e_r 改變其 h_s/h 與 $|R|$ 之關係(無護坦)

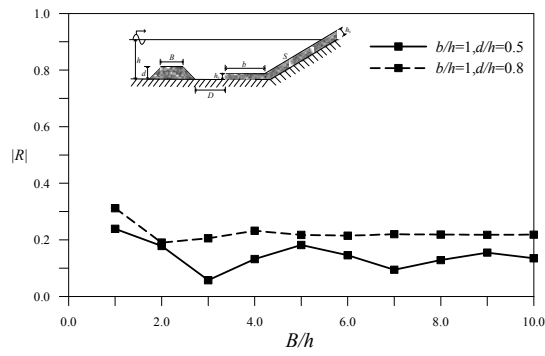


(a) $f_r=2.0$, $S=1:2$

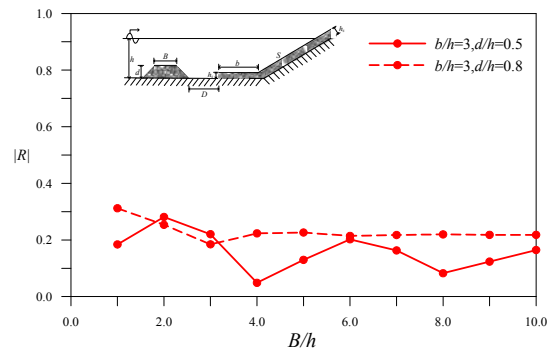


(b) $f_r=2.0$, $S=2:1$

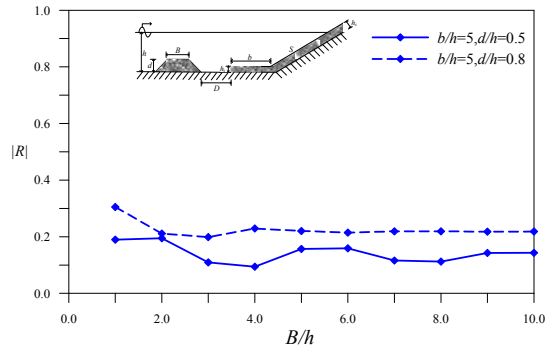
圖 4.3.10 ϵ_r 、 b/h 改變其 h_s/h 與 $|R|$ 之關係(有護坦)



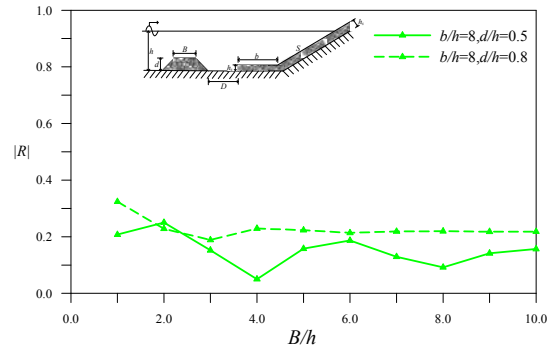
(a) ($b/h=1$, $D/h=1$)



(b) ($b/h=3$, $D/h=1$)



(c) ($b/h=5$, $D/h=1$)



(d) ($b/h=8$, $D/h=1$)

圖 4.3.11 相對護坦長度 b/h 改變下 d/h 、 B/h 與反射率 $|R|$ 之關係

4.4 本年度工作內容

本年度(2012)將針對前述三年之研究成果：圓弧形孔隙板、連結式透水潛堤、分開式透水潛堤、含透水層斜坡式海堤、斜坡式海堤加潛沒式透水護坦及斜坡式海堤、透水護坦、潛堤作綜合評估，並檢討於數值計算所採用參數，例如孔隙板的厚度 b 、孔隙率 p 、摩擦係數 f_p 及孔隙板透水參數 G 、塊石摩擦係數 f_r 及孔隙率 r 等，於計算及實際應用時所必須注意事項。

港灣及海岸結構物中有許多是可透水的，例如：拋石斜坡堤、開孔胸牆防波堤、以消波塊堆疊而成的離岸堤、突堤及潛堤、孔洞型防波堤等，大都可以降低波浪溯上、越波及作用力，並提高港池靜穩度。另外，於水工模型試驗造波水槽中，為避免水槽後方反射波影響到進行波及試驗量測，通常會在水槽尾端設置具有孔洞透水性質材料，儘量消除反射波來增加試驗量測時間。

一般透水結構物之消波特性，除了受波浪條件波高(H)、週期(T)、波長(L)、水深(h)及波浪入射方向(θ)等影響外，透水結構物之幾何形狀、孔隙率、材料特性等也是重要因素。

關於透水結構內部流場的控制方程式，一般均採用 Sollitt and Cross (1972)提出的運動方程式，即

$$\frac{du_j}{dt} = \frac{-1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (P + \rho g z) - \beta_{1j} u_j - \beta_{2j} |u_j| u_j - \beta_{3j} \frac{du_j}{dt} \dots\dots\dots(4.4.1)$$

式中， $\beta_{1j} = \frac{\nu \varepsilon_j}{K_{pj}}$ ； $\beta_{2j} = \frac{C_{fj} \varepsilon_j^2}{\sqrt{K_{pj}}}$ ； $\beta_{3j} = \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j} C_a$ ，其中 β_{ij} ($i=1,2,3; j=1,2$) 是由試驗或經驗式得到的。 ν 為流體運動黏滯係數， ε 為孔隙率， K_{pj} 為透水結構之本質透水性，稱比滲透係數(intrinsic permeability)， C_{fj} 為無因次紊流係數， C_a 為透水介質附加質量係數(added mass coefficient)。

式(4.4.1)中的 $\beta_{2j} |u_j| u_j$ 項為非線性，在數學解析上有其困難度，為

了使問題方便解析，可應用等功法(Lorentz's condition of equivalent work)的觀念將摩擦阻力與形狀阻力在一波浪週期內所消耗的功率，以一個線性摩擦阻力 $f_j u_j$ 所消耗的功率來取代(Sollitt and Cross, 1972)，如下式表示：

$$\iint_{\forall} \int_{t_0}^{t_0+T} (\sigma f_j u_j) u_j dt d\forall = \iint_{\forall} \int_{t_0}^{t_0+T} (\beta_{1j} u_j + \beta_{2j} |u_j| u_j) u_j dt d\forall \dots\dots\dots (4.4.2)$$

其中， σ 為波浪週頻率， $\sigma = 2\pi/T$ ， T 為波浪週期， t_0 為任一時刻， $\forall$ 為所計算孔隙介質流場領域的體積。由(4.4.2)式所定義之線性摩擦係數 f_j ，若所計算透水體為均勻介質則可寫為

$$f_j = \frac{\varepsilon_j}{\omega} \left\{ \frac{\nu}{K_{pj}} + \frac{C_{fj} \varepsilon_j}{\sqrt{K_{pj}}} \frac{\int_{\forall} \int_0^T u_j |u_j| u_j dt d\forall}{\int_{\forall} \int_0^T u_j u_j dt d\forall} \right\} \dots\dots\dots (4.4.3)$$

透水結構物波浪流場之計算過程中，包含一線性摩擦係數 f_j 之計算，而 f_j 係數為流場流速、透水結構特性(比滲透係數、無因次紊流係數)以及入射波振幅之函數；同時，波浪流場亦受 f_j 係數之影響。因此在理論計算上可利用疊代計算法。

本文在進行數值計算時，首先需確定孔隙板影響參數(porous effect parameter) G 值，本文採用 Yu(1995)提出 G 值的公式如下所示

$$G = \frac{\varepsilon}{kb(f - is)} \dots\dots\dots (4.4.4)$$

其中： ε 為孔隙率， b 為孔隙板厚度， k 為入射波週波數， f 為摩擦係數， s 為慣性係數，一般在工程常用條件下 s 值通常取為 $s = 1.0$ 。

一般數值計算時，摩擦係數值的大小很難決定，會影響數值計算之結果，本年度蒐集 Li et al.(2006)、Suh et al.(2011)、Nejadkazem and Gharabaghi (2011)、Pérez-Romero et al. (2009) 及 Nejadkazem and Gharabaghi (2012) 五篇文章，針對摩擦係數(f)與孔隙板相對板厚(b/h)、孔隙率(ε)之關係，其次探討摩擦係數(f)與透水堤相對塊石粒

徑(D_k)之關係，分別加以討論：

1. Li et al.(2006)利用水工模型試驗配合數值計算結果探討孔隙薄板的摩擦係數 f ，蒐集前人之模型試驗條件如表 4.4.1 所示，針對不同開孔形狀(slit, screen, string, slot, circular holes, rectangular holes)及孔隙率(ε)及不同試驗條件下摩擦係數 f 值如表 4.4.2 所示，探討其反射率、透過率及開孔沉箱水平作用力並分別與前人試驗研究結果作一比較及驗證。

圖 4.4.1 為摩擦係數(f)與孔隙率(ε)之關係圖，由圖中可以發現 Tanimoto and Yoshimoto (1982)試驗結果中摩擦係數隨者孔隙率增加而增加，但是此種變化趨勢與 Kondo (1979)之結果及 Li et al. (2006)之試驗結果不太一致，正好相反；其次，將摩擦係數與相對板厚(b/h)之關係繪成圖 4.4.2 所示，由圖中顯示當 $b/h < 0.1$ 時，摩擦係數會隨者相對板厚之增加而有下降趨勢，但是當 $b/h \geq 0.1$ 時，摩擦係數會趨近於一定值約為 $f = 2.0$ ，但此與假設孔隙板是很薄的又不太適當，因此 Li et al. (2006)利用最小平方法迴歸出下列方程式：

$$f = -3338.7\left(\frac{b}{h}\right)^2 + 82.769\left(\frac{b}{h}\right) + 8.711, \quad 0.0094 \leq \frac{b}{h} \leq 0.05 \quad (4.4.5)$$

但是相對板厚度不可超過 0.05，有其使用條件上限制，經由方程式 (4.4.5) 計算出結果與前人研究互相驗證如圖 4.4.3 所示，其趨勢非常一致。

Li et al. (2006)並將其試驗四種週期，相對板厚 $b/h = 0.025$ ，首先利用公式求出 f 值，之後透水參數 G 值即可被計算出。

案例一：若已知週期 $T = 1.2 \text{ sec}$ ，無因次週波數 $kh = 1.3$ ，相對板厚 $b/h = 0.025$ ，孔隙率 $\varepsilon_w = 0.2$ ，慣性係數 $S_w = 1.0$ ，則可利用方程式(4.4.5) 求出摩擦係數 f 為 8.694，再將其帶入透水參數 G 值方程式(4.4.4)即可求得 $G = 0.70 + 0.08i$ ，與表 4.4.3 第二列相吻合。

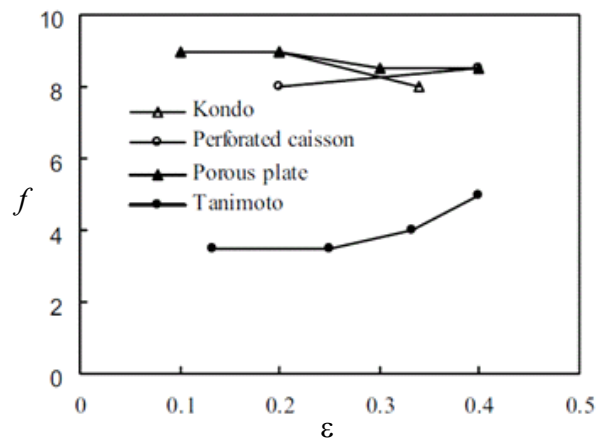


圖 4.4.1 摩擦係數 f 與孔隙率 ε 之關係

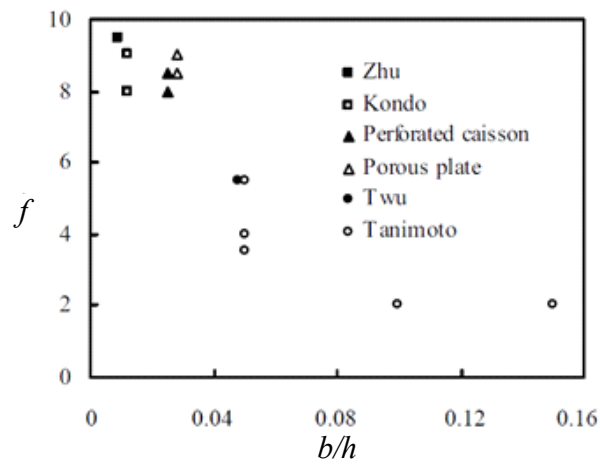


圖 4.4.2 摩擦係數 f 與相對板厚 b/h 之關係

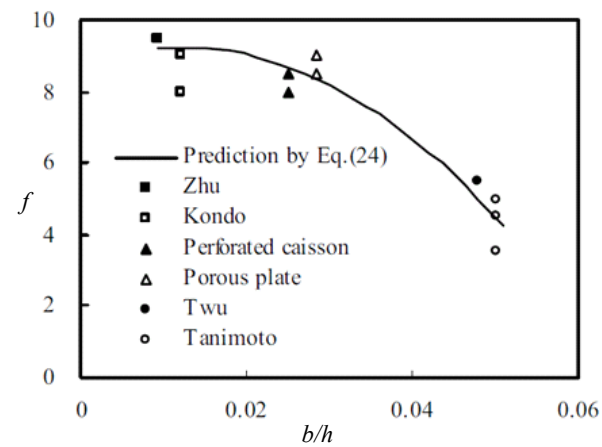


圖 4.4.3 預測摩擦係數 f 與試驗相對孔隙板厚 b/h 之比較 ($b/h < 0.05$)

表 4.4.1 前人研究之模型試驗條件 (Li et al.2006)

Experiments	Tanimoto [1982]	Twu [1991]	Kondo [1979]	Zhu [2001a]
Wave period T (s)	0.85–3.00	0.85–3.00	0.7–2.1	0.5–1.0
Wave height H (cm)	3.3–22.5	2–4	4	3
Water depth d (cm)	60	50	50	32
Water depth d_1 (cm)	20–60	50	50	32
Wave chamber width B (cm)	17–97	44	50	2.4–48.4
Porosity ε	0.143, 0.25, 0.333, 0.4	0.58	0.2, 0.34	0.2
Plate thickness b (cm)	3.0, 6.0, 9.0	2.4	0.6	0.3
Porous shape	slit	screen	circular holes	slit

表 4.4.2 不同試驗條件下摩擦係數 f 值 (Li et al.2006)

Experiments	Relative plate thickness b/h	Values of f							
		$\varepsilon = 0.1$	0.133	0.2	0.25	0.3	0.34	0.4	0.58
Zhu [2001a]	0.0094			9.5					
Kondo [1979]	0.012			9			8		
Perforated caisson	0.025			8				8.5	
Porous plate	0.0286	9		9		8.5		8.5	
Twu [1991]	0.048								5.5
Tanimoto [1982]	0.05		3.5		3.5		4	5	
	0.1, 0.15				2				

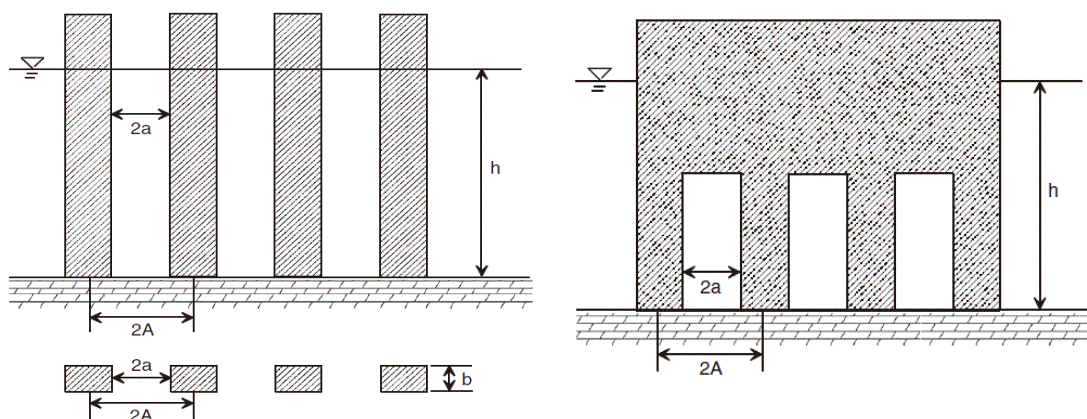
表 4.4.3 不同試驗條件下透水參數 G 值($b/h=0.025$) (Li et al.2006)

Incident wave period (s)	Porous effect parameter G			
	Li et al. $\varepsilon = 0.2$	Present $\varepsilon = 0.2$	Li et al. $\varepsilon = 0.4$	Present $\varepsilon = 0.4$
1.4	$0.79 + 0.05i$	$0.86 + 0.09i$	$1.88 + 0.51i$	$1.73 + 0.20i$
1.2	$0.69 + 0.00i$	$0.70 + 0.08i$	$1.85 + 0.00i$	$1.40 + 0.16i$
1.0	$0.68 + 0.00i$	$0.53 + 0.06i$	$1.09 + 0.00i$	$1.06 + 0.12i$
0.86	$0.65 + 0.00i$	$0.41 + 0.05i$	$0.85 + 0.00i$	$0.81 + 0.09i$

2. Suh *et al.* (2011) 研究波浪通過開孔板式防波堤及帷幕牆式防波堤 (curtain-wall-pile breakwater, CPB) 之反射率與透過率變化情形，其結構定義圖如圖 4.4.4 所示。根據其試驗結果提出波浪通過孔隙板時其孔隙率(ε)，亦是一個很重要影響變數，藉由蒐集前人試驗資料做

分析，同樣發現摩擦係數(f)不論與相對板厚(b/h)或孔隙率(ε)均非常散亂，較無規則性，如圖 4.4.5 及 4.4.6 所示；但是將其橫座標改為孔隙率與板厚之關係($\varepsilon \cdot b/h$)，其結果如圖 4.4.7 所示，似乎存在一相關性，因此將其試驗資料與前人試驗結果一併放入一起討論，如圖 4.4.8 所示，並迴歸出一組方程式如下式所示：

$$f = 0.0584(\varepsilon \cdot b/h)^{-0.7} \dots\dots\dots(4.4.6)$$



(a) a perforated wall with vertical slits

(b) a curtain-wall-pile breakwater

圖 4.4.4 孔隙薄板示意圖

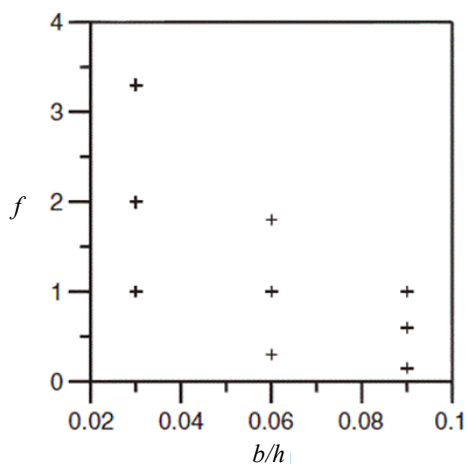


圖 4.4.5 摩擦係數 f 與相對板厚 b/h 之關係

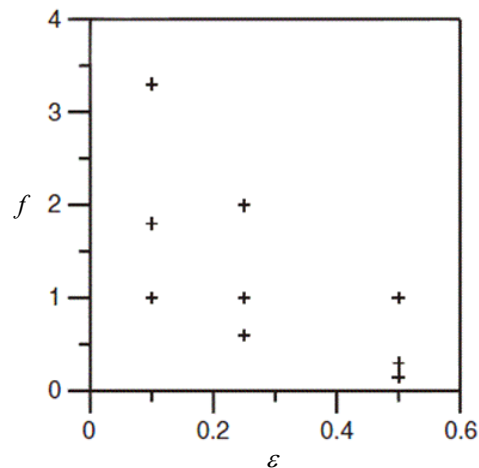


圖 4.4.6 摩擦係數 f 與孔隙率 ε 之關係

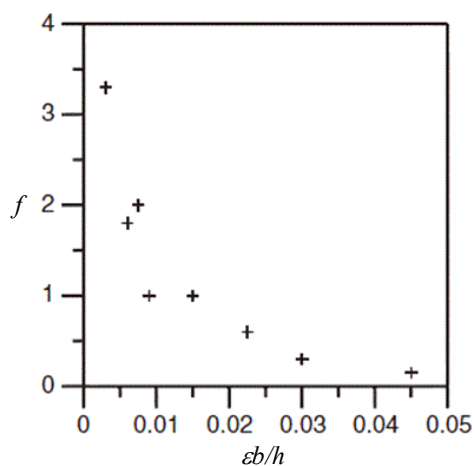


圖 4.4.7 摩擦係數 f 與 $\varepsilon b/h$ 之關係

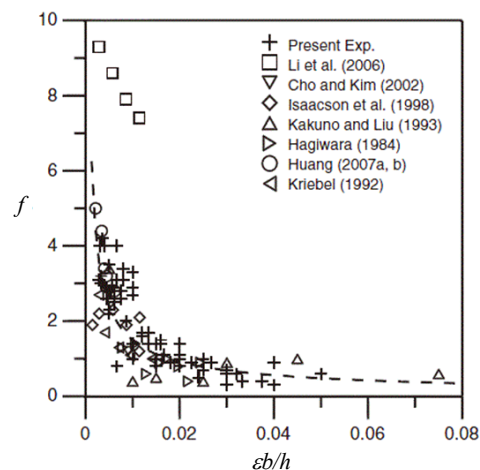


圖 4.4.8 試驗資料 f 與 $\varepsilon b/h$ 與前人試驗之關係

另一位韓國學者 Kim (2009) 在其論文中亦曾對孔隙薄板進行研究，提出另一個迴歸方程式如下式所示：

$$f = 0.064 \cdot \left(\varepsilon \cdot \frac{b}{h}\right)^{-0.77} \dots\dots\dots(4.4.7)$$

本文將一併比較此兩方程式計算結果之差異。

3. 伊朗學者 Nejadkazem and Gharabaghi (2011) 研究規則波通過縱條式開孔防波堤(slotted breakwater)由水面上往下全擋或半擋如圖(4.4.9)所示，在各種不同孔隙率及無因次週波數，利用特徵函數展開法(EEM)探討其反射率、透過率、能量損失、波浪溯上、水平力及傾倒力矩之變化情形，由於方程式(4.4.6)及(4.4.7)中，雖然將孔隙率(ε)與相對板厚(b/h)一併考慮，但是兩者對摩擦係數(f)的影響程度感覺上是一樣的，Nejadkazem and Gharabaghi (2011)選取了過去四位學者所做過試驗資料作一比對，得到一致的結果並迴歸出摩擦係數(f)、孔隙率(ε)與相對板厚(b/h)之關係式如下所示：

$$f = 3.75 + [\exp(\varepsilon) - 1.4] \cdot \left[98.3 \cdot \frac{b}{h}\right] ; 0.002 \leq \frac{b}{h} \leq 0.2 \dots\dots\dots(4.4.8)$$

本文將 Li *et al.* (2006)、Kim (2009)、Suh *et al.* (2011)及

Nejadkazem and Gharabaghi (2011)所提出 4 種計算孔隙薄板摩擦係數(f)與孔隙率(ε)及相對厚度(b/h)之關係，配合前人試驗研究作一整理及比較如表 4.4.4 所示。

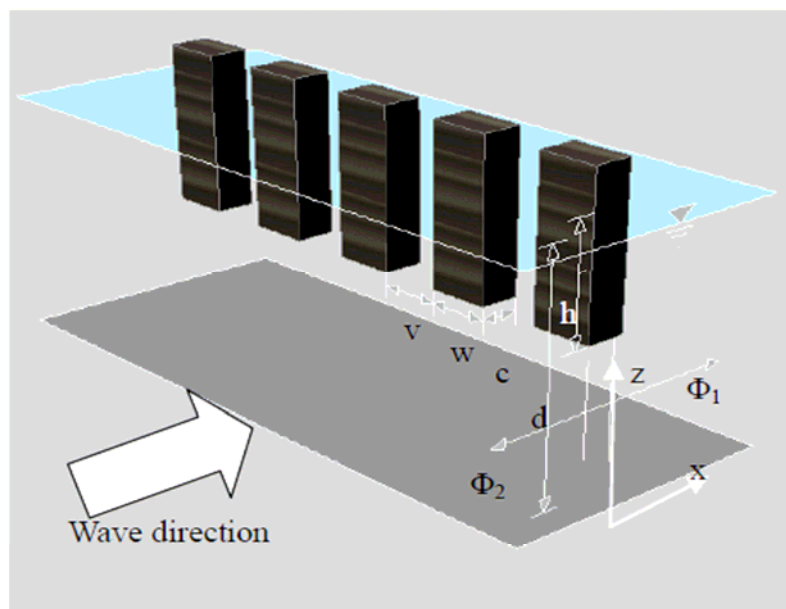


圖 4.4.9 縱條式開孔防波堤示意圖

(摘自 Nejadkazem and Gharabaghi, 2011)

經由整理後表中可發現 Li *et al.* (2006) 所提出方程式中相對板厚僅(b/h)能適用於 $0.0094 \leq b/h \leq 0.05$ ，因此當相對板厚大於此上限，計算出摩擦係數為負值，則無法使用。

Kim (2009) 與 Suh *et al.* (2011) 分別提出摩擦係數 f 之迴歸方程式，雖然兩者很相似，僅是係數略有差異，但計算出結果明顯不同，採用 Suh *et al.* (2011) 公式 f 值會較小。

Nejadkazem and Gharabaghi (2011) 公式中相對板厚使用範圍提高至 $b/h \leq 0.2$ ，計算出摩擦係數 f 值與 Tonimoto and Yoshimoto (1982) 之 f 值很接近。

表 4.4.4 相對板厚、孔隙率改變下孔隙薄板摩擦係數 f 之比較

前人研究	相對板厚 b/h	孔隙率 ε	$\varepsilon \cdot b/h$	摩擦係數 f	Li <i>et al.</i> (2006) f	Kim (2009) f	Suh <i>et al.</i> (2011) f	Nejadkazem and Gharabaghi (2011) f
Tonimoto And Yoshimoto (1982)	0.05	0.143	0.00715	3.5	4.50	2.87	1.86	2.53
	0.05	0.250	0.01250	3.5	4.50	1.87	1.25	3.18
	0.05	0.330	0.01665	4.0	4.50	1.50	1.03	3.73
	0.05	0.400	0.02000	5.0	4.50	1.30	0.90	4.20
	0.10	0.250	0.02500	2.0	-16.40	1.10	0.77	2.61
	0.15	0.250	0.03750	2.0	-53.99	0.80	0.58	2.04
Twu and Lin (1991)	0.048	0.580	0.02784	5.5	4.99	1.01	0.72	5.57
Issacson et al. (1998)	0.029	0.050	0.00145	2.5	8.30	9.82	5.67	2.76
	0.029	0.200	0.00580	3.4	8.30	3.38	2.15	3.24
Cho and Kim (2002)	0.032	0.286	0.00915	1.9	7.94	2.38	1.56	3.54

4. 對於孔隙板不存在，而僅有塊石粒徑組成之透水式防波堤其摩擦係數 (f) 之決定，西班牙學者 Pérez-Romero *et al.* (2009) 針對粒徑均勻分佈矩形拋石防波堤，在模型縮尺為 1/30，2 種拋石堤長 ($B=1.0$ m, 1.5 m)，5 種不同塊石粒徑下 ($D=80, 52, 40, 26, 12$ mm)，利用水工模型進行一系列試驗，其試驗配置如圖 4.4.10 所示，探討摩擦係數 f 與透過率 K_T 之關係，並且與特徵函數展開法之結果作一比較，最後發現摩擦係數 (f) 與相對粒徑 (Dk) 之關係較為明顯，並提出一個迴歸方程式如下式所示：

$$f = 0.31 \cdot (Dk)^{-0.57} \dots\dots\dots (4.4.9)$$

摩擦係數 (f) 與相對粒徑 (Dk) 之關係如圖 4.4.11 所示。文中並對一個設

計案例作討論，波浪週期 $T=14$ sec、外海水深 $h=15$ m 設置一拋石堤，是由重量 200 kg(相當於直徑 $D=0.43$ m)之塊石組成，其孔隙率 $\varepsilon=0.45$ 、週波數 $k=0.039$ (1/m)，並利用斷面水槽進行水工模型試驗(縮尺為 1:30)，其實體與模型之條件如表 4.4.5 所示。

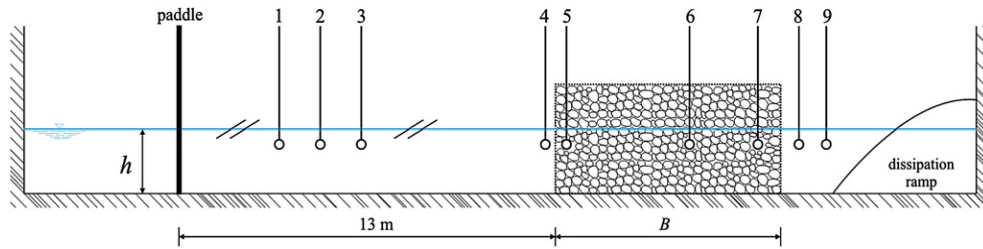


圖 4.4.10 拋石堤定義圖

(摘自 Pérez-Romero et al., 2009)

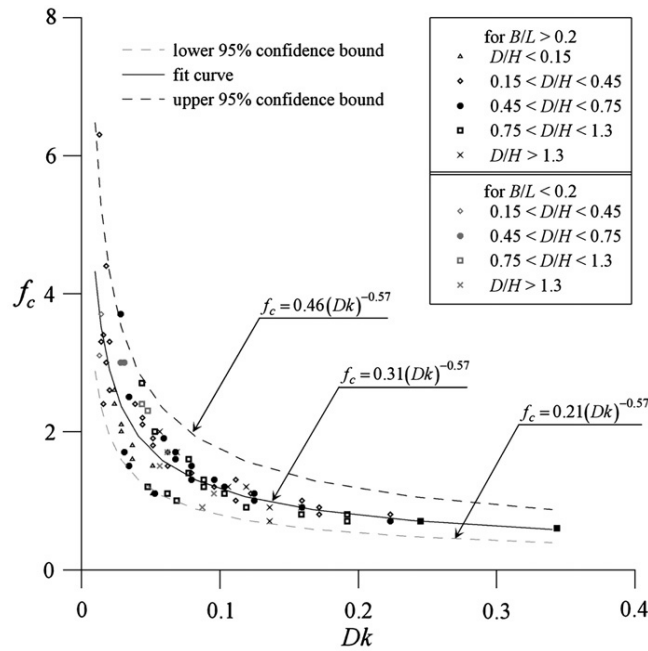


圖 4.4.11 拋石堤摩擦係數 f 與相對粒徑 Dk 之關係圖

($0.006 \leq H/L \leq 0.095$; $0.07 \leq h/L \leq 0.3$; $0.013 \leq Dk \leq 0.34$; $0.173 \leq B/L \leq 1.02$)

(摘自 Pérez-Romero et al., 2009)

由表 4.4.5 中可發現在摩擦係數 $f=3.22$ 下，實體所量測反射率

$K_R=0.57$ 、透過率 $K_T=0.41$ 、能量損失係數 $K_L=0.51$ ，滿足能量守恆，但是經由水工模型試驗所得資料顯示：反射率 $K_R=0.61$ 大於實體、透過率 $K_T=0.37$ 小於實體、能量損失係數 $K_L=0.50$ 與實體相當，同樣滿足能量守恆。

表 4.4.5 反射、透過、消能係數實體與模型之比較(scale 1:30)

(摘自 Pérez-Romero *et al.*, 2009)

	D (m)	ε	k	Dk	f	K_R	K_T	K_L
實體	0.430	0.450	0.039	0.0168	3.22	0.57	0.41	0.51
模型	0.014	0.398	1.169	0.0166	3.23	0.61	0.37	0.50

Pérez-Romero *et al.* (2009) 判斷可能是由於模型試驗因為縮尺比例關係，所採用粒徑較小($D=0.014$ m)，其模型孔隙率與實體孔隙率不同，造成尺度效應(scale effects)所形成兩者誤差，亦即模型孔隙率減小，造成波浪反射率會稍微增加而透過率會下降之趨勢，但是能量損失係數是相差不大的，因此建議利用疊代法改變摩擦係數 f ，第一次疊代直到所計算出 K_R 、 K_T 與實體一致，此時即可知道摩擦係數 $f=2.63$ ，再利用方程式(4.4.9)，可以反推求得相對粒徑 $Dk=0.024$ ，即可換算成模型塊石粒徑 $D=0.02$ m，而此時孔隙率為 $\varepsilon=0.402$ ，較接近於實體，所量測 K_R 、 K_T 與實體相近，其疊代結果如表 4.4.6 所示。

表 4.4.6 疊代後模型塊石粒徑

縮尺	第一次疊代					第二次疊代					
	ε	f	k	K_R	K_T	Dk	D (m)	ε	f	K_R	K_T
1:30	0.398	2.63	1.169	0.57	0.42	0.024	0.02	0.402	2.66	0.57	0.42

5. 日本學者 Kakuno *et al.* (1992) 在不透水防波堤前方設置一系列縱條式開孔板式防波堤(Slit-type Breakwater)如圖 4.4.12 所示，利用理論解析(matched asymptotic expansion method)波浪通過時其反射率之變

化，並利用水工模型進行試驗，消波室寬度有三種($b=30、60、65\text{cm}$)，板厚有兩種($w=5、15\text{cm}$)，孔隙率有三種($\varepsilon=0.1、0.15、0.25$)，固定波浪尖銳度 $H/L=0.01$ ，文中理論計算時摩擦係數(f)均採用 $f=1.5$ ，最後理論反射率計算結果與試驗值均非常一致，如圖 4.4.13 所示。

伊朗學者 Nejadkazem and Gharabaghi (2012) 利用 Kakuno *et al.* (1992) 試驗資料、條件及其結果如表(4.4.7)所示，修正 Jarlan (1961)所提出開孔板式防波堤摩擦係數，並迴歸出下列方程式

$$f_w = 1.78 + [\exp(\varepsilon_w) - 0.7] \cdot \left[-12.34 \cdot \frac{w}{b} \right] \dots\dots\dots (4.4.10)$$

其中： ε_w 為孔隙率、 b 為消波室寬度、 w 為開孔板厚度，式中 w/b 為板厚與消波室寬度之比而不是採用水深(h)，計算結果如圖 4.4.14 所示。

表 4.4.7 Kakuno et al. (1992)模型試驗資料及條件 ($h=50\text{cm}$)

	(1)	(2)	(3)	(4)
孔隙率 (ε_w)	0.15	0.1	0.25	0.25
B/b	0.0495	0.129	0.056	0.113
h/B	16.84	5.96	14.72	14.52
消波室寬度 b (cm)	60	65	60	30
開孔板厚 w (cm)	5	15	5	5
相對板厚 w/b	0.0833	0.2308	0.0833	0.1666
摩擦係數 f_w	1.3053	0.6260	1.1797	0.5788

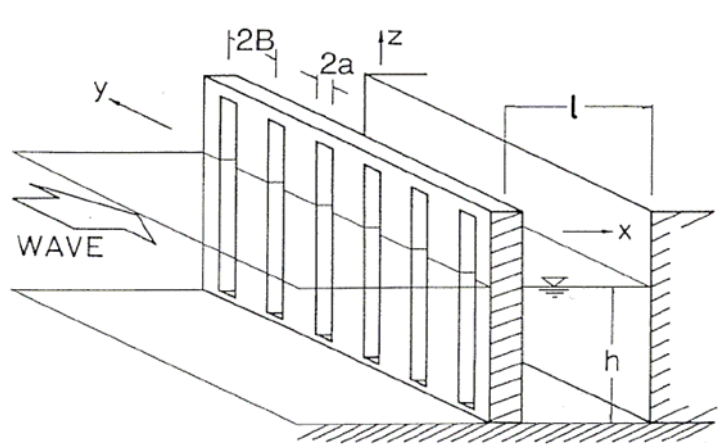


圖 4.4.12 縱條式開孔板式防波堤 (摘自 Kakuno et al., 1992)

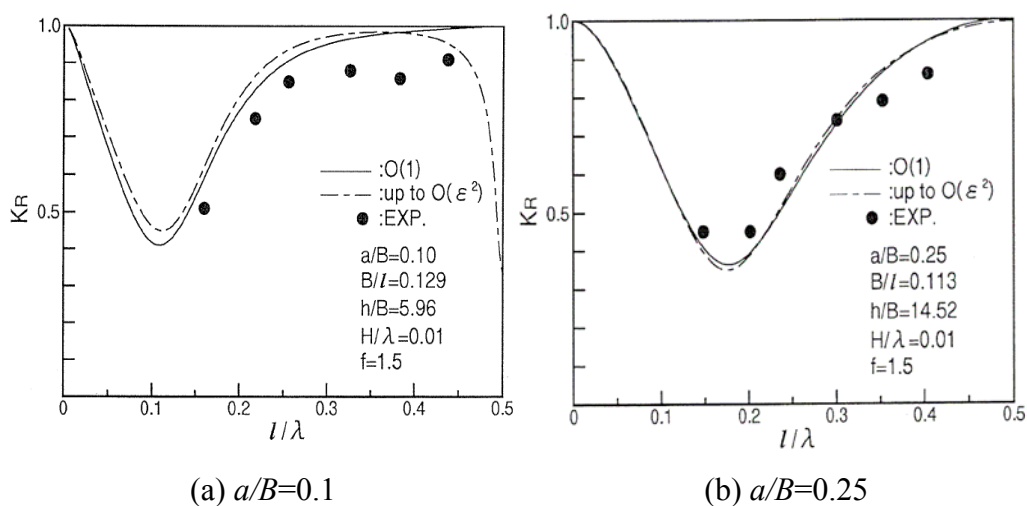


圖 4.4.13 Kakuno et al. (1992) 計算結果

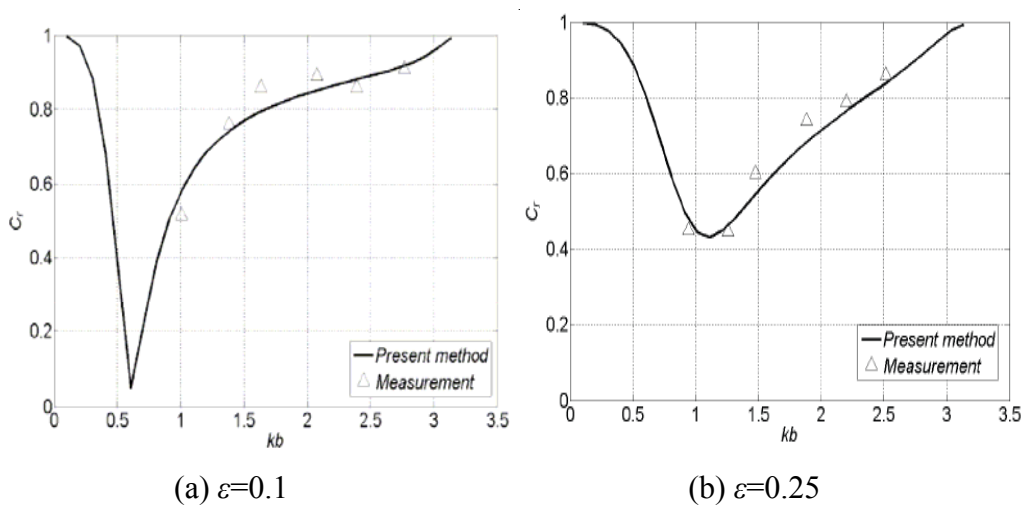


圖 4.4.14 Nejadkazem and Gharabaghi (2012) 計算結果

4.5 綜合討論

本研究第一年(2009)提出在不透水直立堤前方銜接梯形透水潛堤，並於其上方設置四分之一圓弧形孔隙板，前方距離堤址一段處設置另一道梯形透水潛堤，組合成『環境保護型』消能結構物。第二年(2010)環境保護型消能結構物，利用多領域邊界元素法(Multi-domain BEM)，探討直立堤前透水結構物之消能效果。第三年(2011)探討當直立堤不存在時，改以含透水層斜坡式海堤及透水護坦，或是考量工程施工上之方便性及可行性，選取不同形狀、堤寬較小、堤頂高程較低之透水潛堤，利用堤與堤之間水域空間使波浪產生共振，進而使得波浪到達海岸前波高衰減目的。

本年度(2012)將針對前三年之研究成果：圓弧形孔隙板、含透水層斜坡式海堤、透水護坦、潛堤，檢討於數值計算所採用參數，例如孔隙板厚度 b 、孔隙率 ε_p 、摩擦係數 f_p 及孔隙板透水參數 G 、塊石摩擦係數 f_r 、孔隙率 ε_r 等，於數值計算及實際應用時所必須注意事項。

在進行數值計算時，孔隙板、拋石堤、透水層斜坡式海堤、透水潛堤及人工潛礁其孔隙率(ε)均可以直接計算，但是對於摩擦係數(f)則較不容易計算，本文蒐集前人研究資料建議孔隙板摩擦係數(f)當相對板厚(b/h) ≤ 0.05 時可以採用 Li et al. (2006)方程式(4.4.5)

$$f = -3338.7\left(\frac{b}{h}\right)^2 + 82.769\left(\frac{b}{h}\right) + 8.711; \quad 0.0094 \leq \frac{b}{h} \leq 0.05$$

若相對板厚(b/h) 增加介於 0.05~0.2 之間則可以採用 Nejadkazem and Gharabaghi (2011)迴歸方程式(如式 4.4.8)。

$$f = 3.75 + [\exp(\varepsilon) - 1.4] \cdot \left[98.3 \cdot \frac{b}{h} \right]; \quad 0.002 \leq \frac{b}{h} \leq 0.2$$

數值計算塊石所組成透水拋石堤其摩擦係數(f)則建議採用 Pérez-Romero et al. (2009)迴歸方程式(如式 4.4.9)可以得到與試驗較吻

合之結果。

$$f = 0.31 \cdot (Dk)^{-0.57}$$

但使用上要特別小心，有其範圍限制：波浪尖銳度 $0.006 \leq H/L \leq 0.095$ 、
相對水深 $0.07 \leq h/L \leq 0.3$ 、相對粒徑 $0.013 \leq Dk \leq 0.34$ 、相對堤長
 $0.173 \leq B/L \leq 1.02$ 。

第五章 海岸公路邊坡保護工法

5.1.海岸公路背景

緊鄰水岸環境之交通道路向來是其周邊地區民生與經濟發展之重要動線，概此類公路之另一側即為水域，無法提供橫向運輸連結，所以沿著水岸周邊構築之公路成為繁榮發展指標之一。亦因此濱海興建之海岸公路往往成為各國攸關民生與經濟之重要交通脈絡，許多海岸公路也成為該國觀光旅遊之經濟資產，同時海岸公路往往亦成為許多濱海國家國防安全重要之戰略要道。肩負戰時運輸要道與災時防救災之重要整備應變道路，因此維持海岸公路安全之重要性自不可言喻。

海岸公路(Coastal highway)之定義各有不同之概念，一般常以供公共通行之行車道路兩側皆臨海面或至少有一側濱臨海岸者稱之。美國聯邦公路局 FHWA(2008)之防護報告手冊中將海岸公路定義為路面之一側或雙側因濱臨海岸且易受到海水位、波浪、暴潮及漂砂影響之公路，此定義即是將海岸公路明確侷限在會受到海岸環境與海象條件影響者方稱之為海岸公路。由於海岸公路經常是緊臨海岸邊側興建，部份路段可能濱臨海面或貼臨海崖峭壁，故常因地質條件及海象環境等因素之影響，於外力作用時(颱風、大浪、海嘯等)而有越波(圖 5.1.1)或波浪淘蝕等危及橋梁、路面、邊坡或道路附屬設施之安全問題(圖 5.1.2)，故其興建及防護之挑戰性遠比一般純陸域公路來得嚴峻。

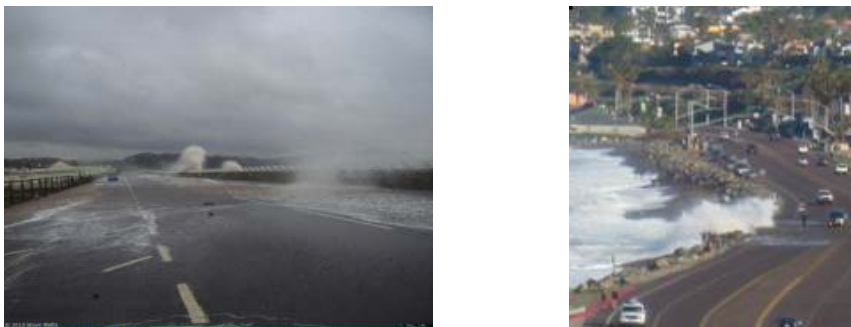


圖 5.1.1 海岸公路遭受越波情形



圖 5.1.2 海岸公路破壞情形

5.2.花東海岸公路

臺灣於全島交通公路網脈中，因應人口成長、城鄉開發及經濟開發之需求，隨著不同年代之更替，亦陸續興建有多條濱海的海岸公路，目前環島之海岸公路網已全面完成(圖 5.2.1)。東部兩條主要濱海公路為臺 9 線和臺 11 線，尤其臺 9 線與臺 11 線部份路段皆依山傍海開闢，沿途可欣賞海岸山脈及太平洋之美景，目前已成為花東地區部重要的觀光廊道，為沿線地區帶來不少的綠色產值收入。

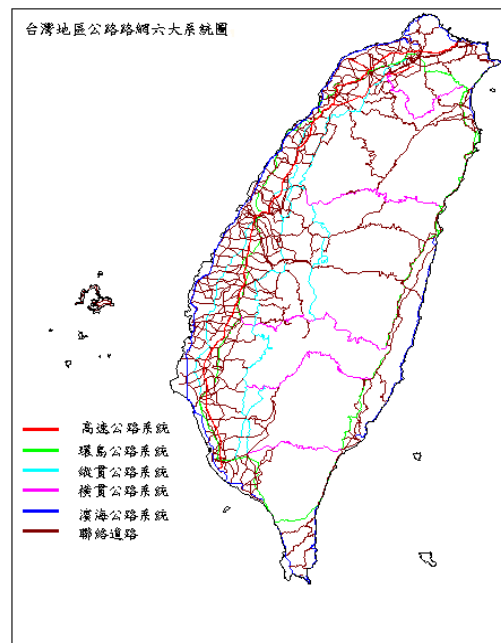


圖 5.2.1 臺灣公路網(交通部運輸研究所)

臺 9 線為臺灣里程數最長之公路，全長 475.646km，包含有慣稱之

北宜公路路段、蘇花公路路段、花東公路縱谷路段、南迴公路路段等；臺 9 線由宜蘭縣頭城鎮二城至花蓮市田埔及臺東縣知本至達仁段為濱海興建之海岸公路。而其中一段以路段險峻及風景秀麗聞名之蘇花公路，北起宜蘭縣蘇澳鎮白米橋，南至花蓮市中山中正路口，全長 118 公里（現今里程縮短至 102.4 公里），大致依海岸線修築，沿路可看太平洋海景與峭壁山色，是一條世界著名的景觀公路，惟蘇花公路因運量、地質及海岸侵蝕問題，部份路段已內移改線，舊道路目前已改為觀光步道，圖 5.2.2 為經過花蓮縣之海岸公路路線示意圖。

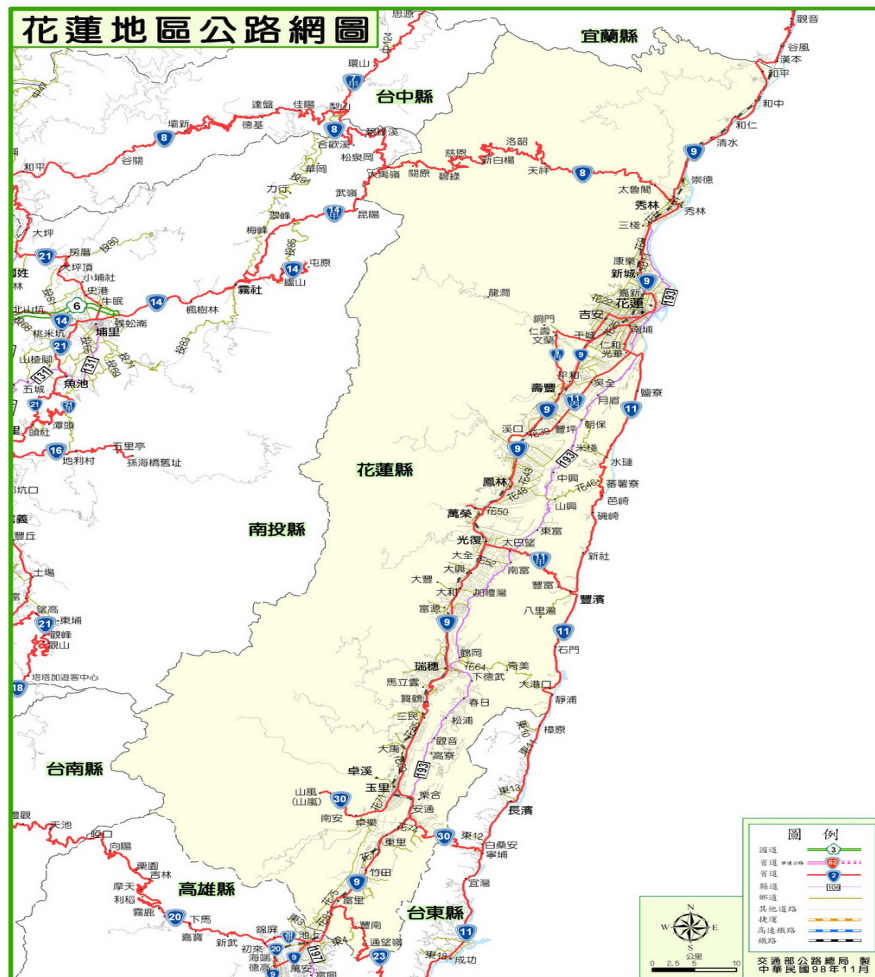


圖 5.2.2 花蓮縣境內臺 9 線及臺 11 線路線圖

臺 11 線海岸公路全線緊鄰花蓮至臺東之太平洋海岸邊修築，北起花蓮市田埔，經鹽寮、磯崎、豐濱、靜浦、長濱、成功、東河、都蘭至臺東市知本，全長 182 公里。根據「臺灣道路發展史」記載，東部

濱海公路由花蓮港至大港口段，即現今靠近花蓮與臺東縣界處，是由早期行人行走之產業道路演替而來。而從大港口至臺東卑南段，由於腹地較寬廣，於清朝光緒三年(西元 1877 年)闢建道路，日治時期循此路修築，是為臺 11 線之前身。臺 11 線海岸公路除肩負東部運輸功能外，沿線觀景點密佈，目前已成為重要之觀光動線，為臺東地區帶來另一股繁榮之契機，圖 5.2.3 即為臺 11 線的路線示意圖。



圖 5.2.3 臺 11 線路線示意圖

此兩條海岸公路牽動東部之發展，但多處濱海路段長久以來都面臨邊坡地質不穩、坡腳遭波浪沖刷及海岸侵蝕等問題，實亟需進行探討與研究之必要並規畫適宜保護方法，以提升公路運輸安全。

5.3. 海岸公路邊坡面臨問題

臺灣東部地區位於板塊碰撞之交界處，山壁陡峭、岩層大多脆弱且地質不穩定，常易引發落石崩塌災害。加上東部海岸濱臨太平洋為颱風侵襲頻繁之處，在颱風暴潮巨浪之侵襲及季風長浪常年拍打作用下，公路常因下邊坡之崩塌、掏空而造成道路中斷情形(見圖 5.2.4)，再者波浪長期作用之海岸侵蝕亦已威脅公路路基之安全，海岸公路有被迫改線之情形，部份路段亦因長浪越波沖擊危及行車安全，這些問題皆有待檢討及改善。但因目前主管道路及負責養護之機關其專業人力主要多為土木工程領域背景，缺乏海岸工程背景之專業人力較少，故可能無法適時研判致災原因及規劃事宜保護對策。再者；臨海側道路邊坡與基腳之巡視檢測不如陸側之方便，故其定期之巡檢與安全評估較常被忽略或無法確實檢測，致使海岸公路臨海側之部份路段可能潛藏有不確定之損壞風險。且臨海側海岸公路之保護方法除該地段之地質、地形及水文條件有關外，主要尚須考慮波浪、潮汐、海岸地形及漂砂等問題，故其防護工法之規劃與設計亦與一般陸側公路不同，因此必須有海岸工程專業人力參與方能研提較適宜的保護策略。



圖 5.3.1 海岸公路嘉平段路面塌陷情形

5.3.1 坡腳消能緩衝距離不足

海岸公路之路線係濱臨海陸交界面之海岸線邊興建，如公路海側

邊坡前方之海灘緩衝距離不夠，而該處海岸又因漂砂來源之減少具有侵蝕潛勢時，則該海岸公路極易受到海岸侵蝕之威脅而影響到公路之安全狀態。據美國公路聯邦總署(FEHA)之研究報告指出，海岸公路完全不受波浪暴潮威脅之緩衝距離至少應維持具有約 130m 之海灘寬度方能安全。因為公路邊坡海崖下側之坡趾過於接近海水面，常遭致波浪、潮水之淘蝕，造成坡趾持續刷深後退侵蝕，導致邊坡無法支撐而崩落。此類因為侵蝕威脅而造成海岸公路之破壞型態大致可分成兩種，即因海岸侵蝕導致邊坡持續崩塌而引起上面公路之陷落或崩塌，另一種則是海岸線之持續後退，公路沿線屢遭大浪越波危害或因海水面逼近，公路已濱臨極大災害威脅而被迫廢棄內移改線之情形。全球各地皆有此類海岸公路致災問題，如美國舊金山 Sloat Boulevard 地區的 Great Highway、日本靜岡縣三保松原海岸公路等。美國弗羅里達洲 Cape San Blas 附近 Stump Hole 地區之海岸公路其外側本來有 300 英尺寬的海灘，但在嚴重侵蝕問題的威脅下，該公路於 2005 年完全被海水所吞噬，由此可見消能緩衝距離不足時對海岸公路之安全有嚴重之威脅性。

臺 9 線及臺 11 線興建至今也不時面臨因為邊坡坡腳無緩衝沙灘或沙灘緩衝寬度不足而釀災況之情形。有部分路段因為坡腳處無沙灘消能，常年受波浪水流之衝擊，而有持續崩塌現像，公路單位或以興建護岸、擋土牆或以拋放消波塊、塊石等方式給予保護。公路單位對於崩塌侵蝕嚴重路段則予改道重建方式闢築新路線代替。興建擋土牆或拋放消波塊路段，雖然初期有減緩波浪淘刷坡腳之功效，但卻有擋土牆滑落毀損、波浪越波增強及消波塊流失問題，仍需不定期補強並非長久有效方法。如圖 5.3.2 所示為臺 11 線 59k-62k 因無緩衝沙灘，以拋放大量消波塊保護之情形，但仍可見路基下方仍有被波浪沖刷之現象圖 5.3.3 為南迴公路臺東縣路段 440K 附近 2012 年颱風多次侵襲，因公路外側沙灘寬度不足，路基遭大浪撞擊淘空造成多處路面下陷毀損之情形，嚴重影響公路行車安全，公路養護單位已發包以擋土牆加強保護。



圖 5.3.2 海岸公路前消波塊保護公路情形



圖 5.3.3 南迴公路路基波浪沖蝕致路面塌陷毀損(民視畫面)

圖 5.3.4 所示則為臺 9 線舊蘇花公路段於崇德附近廢棄舊公路持續崩塌陷落之情形，顯現該段海岸邊坡仍然呈不穩定之狀態。圖 5.3.5 則為今年臺東縣境內臺 9 線公路臨海測幾已無沙灘，以直立式護岸興建，在波浪沖刷衝擊下，路基高度又不足，於颱風大浪時因波浪衝擊夾帶巨石與漂流木撞及路面造成路面塌陷中斷事件。11 線跳浪段附近因為受海岸侵蝕影響，為行車安全而另闢新路線公路後，原路線所留下之公路橋梁，由此可看出海岸侵蝕對公路安全之威脅。圖 5.3.6 則為臺 11 線海岸公路邊坡前沙灘消能緩衝寬度不足，利用消波塊協助消能，但

可見消波塊大都被波浪沖刷下沉，消能能力應該已降低，對坡腳之防護能力相對亦減小，該處公路之坡腳未來可能有淘刷威脅，應持續觀察並思考對策。



圖 5.3.4 臺 9 線舊蘇花公路段廢棄公路持續崩塌陷落情形



圖 5.3.5 臺 9 線南迴段道路遭大浪破壞情形(聯合新聞網)



圖 5.3.6 海岸公路邊坡前沙灘以消波塊保護

5.3.2 邊坡地質特性問題

東部海岸公路沿海岸山脈東側與太平洋西側間之海岸階地上闢建，海岸地形之分類屬於岩岸，邊坡下海灘成分大多偏粗，以礫灘為主。沿線興建工址之邊坡穩定性除前述海灘消能緩衝距離之影響外，邊坡自身之地文因子如植被狀態、地形坡度、地質特性等更為重要之影響因子。依多位學者發表文獻綜整後得知，公路位址之土壤性質多屬石質土夾雜有沖積土及崩積土，地層有八里灣層砂岩、砂頁岩互層、都鑾山層、沖積層、八里灣層礫岩、蕃薯寮層、安山岩質崩移岩塊、港口石灰岩層等。由於多處海岸公路位址之地質狀況不佳，土壤抗剪能力不足，加上岩性多處為節理不連續且長久風化、破碎之不穩定岩面，故極易引發落石、崩塌與邊坡滑動等問題，進而造成海岸公路路基或路面的安全性問題，如臺 11 線大坑段附近未整治前，除里程 7k+800 至 8k+230 區間外，其出露的岩性為蕃薯寮層砂頁岩與泥岩，遇水後易膨脹軟化而崩坍。圖 5.3.7 顯示舊臺 9 線公路某段邊坡因長年風化造成岩性不佳，加上邊坡陡峭、植被不佳及波浪沖刷而經常引發

落石、崩塌之情形，由圖中亦可看出因風化崩塌而露出的岩層節面即旁側之堅硬岩盤，該處岩層於地震、豪雨及大浪之作用下皆可能發生崩落情形，因為此段路線之邊坡顯示出有不穩定之現象，才会有後續之新路線改道計畫或內移改以隧道方式確保行車安全。



圖 5.3.7 舊臺 9 線公路邊坡岩性不佳之崩落情形



圖 5.3.8 臺 9 線蘇花公路邊坡岩性不佳之崩落情形

圖 5.3.8 亦為臺 9 線蘇花公路南澳和平段也是遭遇海側邊坡岩層破碎有高崩塌潛勢之問題，由該圖兩個三角形標示區可發現已有明顯邊坡崩落現象，大三角形因邊坡崩塌而裸露，小三角形標示區域則因岩層崩落及波浪沖蝕有明顯坡面內凹現象，很可能會造成其上方坡面崩陷之危機，右側長方型標示區可發現許多由上方坡面崩落碎岩塊堆積之情形，上述狀況都說明海岸公路邊坡岩層若已風化嚴重將會有危及坡面穩定進而影響海岸公路路面之安全，邊坡岩層地質穩定之檢測應該即刻規劃並進行。

圖 5.3.9 則為臺 11 線跳浪段附近公路邊坡因土壤凝聚力及植生根系抓地性不足，坡面在外力(地震、降雨)作用及坡腳趾部在波浪之淘刷下，造成軟弱坡面產生滑動及下側岩盤石塊的掉落現象，長久下將危及此段公路的安全，公路單位因而於原路內側開鑿隧道闢築新道路以策行車安全。雖然另闢新路可延長公路壽命及行車安全，但卻耗費工程費用、衝擊生態環境，最重要者原有海岸公路之景致風光將不復；因此此種公路邊坡問題應思索可行防護對策，除非迫不得已，儘量避免廢道重建之思維，以利永續環境之發展。



圖 5.3.9 臺 11 線公路邊坡坡面滑動及土石崩落情形

另外臺 11 線沿線有多處如大坑段、跳浪段、大崩段等局部區域其地質是極易弱軟化的砂頁岩、泥岩與凝聚不佳之土壤，容易造成坡面塌陷、土壤流失引發路基流失或路面陷落之災況(如圖 5.3.10)，公路單位過去至今持續進行改善計畫，並以隧道開挖土方進行護岸外側填土培厚邊坡並配合地工加勁擋土結構、植生綠化及坡趾處加拋消波塊方式來穩定邊坡，目前成效尚可，惟若消波塊流失或配合移除後，邊坡之穩定性如何應加以探討。



圖 5.3.10 坡面滑動及下陷流失造成破壞情形

5.3.3 逕流及土石沖蝕邊坡問題

東部海岸公路多沿陡峭山壁闢建，因此其路側之上邊坡坡度皆非常陡峭，加上地質非常不穩定，常常於颱風或豪雨季節發生土石或岩塊崩塌之事件，此種情形輕者僅是造成交通中斷，若是崩或之土石量體龐大或岩石巨大，則會有壓毀路面並損及側邊坡之穩定，進而造成後續海岸公路路基之穩定受到威脅，此種事件屢屢發生。最嚴重者即為 2010 年 10 月 21 日梅姬颱風侵襲期間，颱風和東北季風帶來了破記錄的大豪雨，蘇花公路發生從 1932 年通車至今最嚴重的大崩塌事件(112K 到 116K 之間 5 公里的路段皆影崩塌)，其龐大量重之土方除沖毀路面外，逕流與土石也沖刷海側邊坡造成坡面大片之滑落，引發嚴重之傷亡事件(見圖 5.3.11)。



圖 5.3.11 梅姬颱風侵襲造成邊坡崩塌事件

而圖 5.3.12 可見臺 9 線臺東縣路段多處海側邊坡受豪雨逕流下刷沖蝕所造成邊坡土石流失而裸露之情形，此種現象持續發生也常造成公路路基發生下陷、路面產生裂縫之現象，如何加強邊坡植生之抓地力或輔於地工補強技術，加強邊坡土壤的抗沖蝕能力應是公路養護單位必須重視之問題。另外由此圖亦可看出公路海側之消能沙灘寬度不足，高潮位時波浪應可上溯坡腳上方，以致沙灘上方一定高度之邊坡皆無植生生長，長久而言此種降雨竟流沖刷加上波浪沖蝕之現象也可能影響坡腳之安定，對公路之安全將造成影響，未來之海岸公路養護應加強此類問題之防護。



圖 5.3.12 公路海側邊坡受逕流沖蝕情形

5.3.4 邊坡防護工法問題

海岸公路因為沿線邊坡地質成份與高度不同之差異，過去公路單位對海岸公路之防護作法因而有不同的防護規劃，若邊坡高聳且岩性良好則不施以防護設施，如坡腳有沖刷危及路基安全問題則以拋放消波塊保護，在地質不佳常有崩塌或邊坡高度不足之處，則會興建擋土牆或護岸並拋放消波塊保護。上述之保護方式事實上在防護之初確實也收到一定的成效，但在水文、地文及海象條件的變異下，造成前述防護工法逐漸失去效果，如消波塊流失、護岸毀損、擋土牆基腳淘空、邊坡滑落等進而引起公路路基流失、路面塌陷等安全問題。如前述圖 5.3.3 海岸公路因外側幾已無沙灘，加上路基高度不高，波浪常沖蝕路

基及上溯路面影響交通安全，有關單位於路基外側拋放大量消波塊保護公路，但也常引起波浪反射衝擊造成路基仍有局部之淘空情形。圖 5.3.13 則為公路邊坡前已無沙灘，仍是依靠消波塊及護岸保護路基，但直立式護岸易加強反射，在波浪作用下消波塊被打亂下沉，波能持續衝擊護岸造成混凝土面發生剝落毀壞情形。圖 5.3.14 則是直立式護岸路基外側加拋消波塊保護，於颱風侵襲時因為消能不足，引起越波危及公路行車安全問題。圖 5.3.15 為臺 11 線 57 公里處花蓮縣豐濱鄉路段在波浪長年之淘刷下路基護岸崩塌損壞，公路單位緊急打樁保護路基護岸之情形。



圖 5.3.13 海岸公路前消波塊及護岸混凝土剝落毀損



圖 5.3.14 海岸公路護岸消能不足造成大浪越波



圖 5.3.15 海岸公路邊坡護岸被波浪淘空崩塌(取自自由時報,2009)

上述常見之海岸防護工法雖然無法有效達到長久之安全防護效果，甚至也有間接影響邊坡安全之負面問題，但因為公路單位並無海岸工程方面之專業人力，加上目前針對海岸公路防護工法檢討與改善之文獻不多，故公路養護單位一般多以拋放消波塊、興建擋土牆或護岸之設計方法來規劃保護設施，以致消能效果有限，加上此類方法目前也遭遇到景觀協調及生態保育之衝突，故如何有效改善實值得檢討。公路局第四工程處在臺 11 線大坑段之改善時，以該處剩餘之大量廢棄土石於原來常崩塌之邊坡外側給予填土並以地工加勁擋土結構配合植生綠化，外側並拋放消波塊保護基腳(圖 5.13.16 為該路段之設計圖，圖 5.13.17 則為施工前後之對照圖)。此一保護方法具柔性消能及融合景觀、生態之優點，但因此方法並非所有海岸公路之現況(地文、水文、環境)皆適用，加上需大量之土石也是問題，再者其外側之消波塊如遭大浪捲走流失，加勁材能否負荷安全仍待考驗，建議應藉由持續監測檢討其成效。由於目前多數易致災海岸公路路段大多邊坡岩性不佳、堤前緩衝寬度不足、消波塊下沉流失，尤其多出以直立式護岸保護之公路也面臨反射增強等問題，故結合目前公路現況之替代式消能保護方法應是較可行之規劃方式。

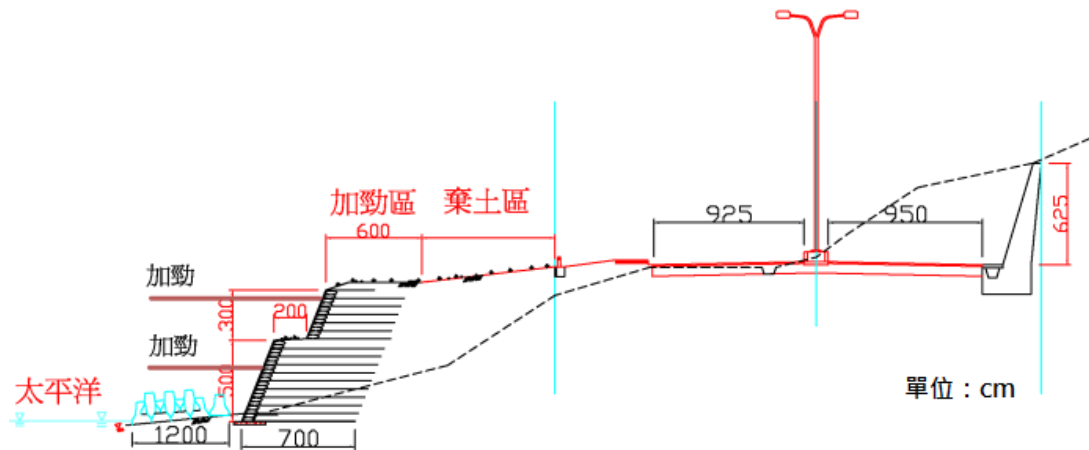


圖 5.3.16 臺 11 線大坑段邊坡改善示意圖(地工技術，第 131 期)



圖 5.3.17 臺 11 線大坑段邊坡改善前後對照圖(地工技術，第 131 期)

前述東部海岸公路邊坡面臨問題大多屬自然條件之影響，如不予開發建設自無致災釀險問題，惟海岸公路皆已開發建設完成且成為民眾生活與經濟發展之重要動線，維護公路安全是不可避免之課題。尤其邊坡地質特性會持續風化脆弱，坡腳海灘緩衝寬度亦會因為海岸侵蝕問題可能持續縮減甚至消失。解決方法之中，消極的廢線改道固是可行方法之一，惟工程費可觀、破壞環境且衝擊生態，如非迫不得已應該儘量避免。興建護岸、拋放消波塊則是目前較常採用之作法，但會破壞景觀、加速堤趾淘刷，最主要是往往於一段時間會降低防護功效而必須再予補強保護。要能保護堤腳海灘緩衝寬度之流失或減少堤趾淘刷造成坡面崩塌、滑落現象，較實務可行的方法應是將造成堤趾沖刷及上溯坡面之波浪能量給予減緩消減，如此應可穩定公路邊坡，增加公路行車安全。

5.4 海岸公路邊坡監測規劃

由於目前海岸公路主要致災原因部分是於規劃設計時欠缺規劃路段之海側邊坡地質與地形資料及無完整規劃路段海域海象條件及水深地形資料可供規劃設計時之參考，以致設計之邊坡或路基之保護方式無法因應當地條件而失去功效。另一原因則是臨海側邊坡坡面之不穩定、波趾處遭到淘刷、消能沙灘流失所造成。此種公路邊坡災況之發生多非突發事件，而是日積月累後所造成之結果；所以若能有完整之監測系統，藉由這些監測資料的分析與判釋，除可提供公路邊坡防護工法設計之參考之外，平時亦可由監測資料之研判盡早發現可能出現之問題，預先給予排除，可減少邊坡釀災之機會，提升公路運輸之安全。現今國內海岸公路邊坡或結構物並無任何有關之監測法規或規劃可供養護單位作為辦理之依據，以致此部分之監測工作往往被忽視，造成許多可藉由監測資料之分析可以盡早排除或改善之問題未能於災害發生前解決，因而常常發生波浪越波、坡面滑落、路基流失、路面下陷及擋土牆毀壞之災況，屢屢造成交通中斷影響民生及經濟之發展，所以公路相關單位未來應該盡速針對海岸公路臨海側之邊坡及海岸區域制訂設計養護之監測規劃，研擬監測手冊提供各設計及養護單位作為辦理之依據，以提升海岸公路海側邊坡之穩定，確保行車之安全。以下針對未來海岸邊坡設計或維護時應有之監測事項作初步之建議，未來詳細的監測項目、監測設備、監測頻率、分析項目、辦理單位等參考目前山區邊坡穩定監測規範及海域水深地形及海象條件之監測規範等作參考，並結合大地、土木、海岸、水保及生態景觀等領域之專家學者共同制定出適宜海岸邊坡安全防護所需之監測規範與作業要點。

5.4.1 海象部份

由於海岸公路之臨海側邊坡除受到氣象水文條件之影響外，更具威脅之影響則是來自海側波浪、潮汐及水流等海象條件之侵襲，尤其是颱風期間暴潮巨浪的作用更是造成公路臨海側邊坡崩塌、護岸損毀及

堤趾或坡腳淘刷之主要原因,因此欲有效防護公路邊坡之安全,沿線路段位處海岸之海象特性必須能確實了解方能規劃適宜之邊坡保護方法。雖然可藉由鄰旁之觀測資料藉由推算方式求得規劃路段之海象數據,但對重要或危害度高之路段仍應有實測海象資料提供驗證與參考之用。尤其目前環島之海象觀測網尚未建置完成,鄰近無海象觀測資料之公路位址其海象條件之監測計畫更顯需要。海象觀測站可依需求規劃固定測站或機動測站,固定測站可規劃於重要之常致災路段或具戰略及重大流量路段之事當海域建置。機動觀測站可選擇於無資料之公路區段因計畫改善或因釀災而須有海象資料提供災因判斷及改建工程規劃設計引用時臨時機動設站。

因為固定式海象觀測站之建置及後續維護管理經費可觀,要能沿著全臺灣海岸公路均勻佈設確實有困難,因此如鄰近海域已有其他單位設置之海象觀測站者則可不須規劃,直接引用現有單位之觀測資料進行分析計算。現地海域周邊無觀測站且公路屬高潛勢致災路段區域則建議能建置固定站長期監測,其監測項目至少包括波高、波向、週期、潮位、近岸流等資料,詳細之監測項目、監測儀器規格、設置水深、資料格式與監測頻率等可與參考相關單位如中央氣象局或水利署之作業規範之需求修訂,期能格式相容以利資料庫之整合與分享。唯大部分海岸公路遭致破壞係近岸側之堤腳或砂灘遭致沖蝕流失所致,因此如能補充量測碎波帶附近之海象資料更佳,此與氣象單位之需求可能有異,設計人員於參考引用時應特別留意換算問題。

對於低潛勢致災路段或因現有邊坡及結構設施遭致破壞,須有海象資料提供作為災因分析及後續規劃設計參考時,則建議可暫不須設置固定式海象監測站,但為能掌握該路段之海象資料,若鄰近無相關測站,則建議可設置機動之臨時海象觀測站作適當期間之觀測,比如每季施予觀測,另外亦應機動於中央氣象局發佈有颱風形成之初即佈設觀測平台,量測颱風侵襲前後之海象資料,將更有助於後續參考引用。若受限經費問題無法每季施測,至少須有冬、夏兩季之觀測資料,此種短期觀測之量測時間至少應含蓋半個月以上之連續監測資料,監測

之量測項目、儀器規格、設置水深、資料格式與監測頻率則應與固定站相同，以利未來資料庫之整合應用。

5.4.2 海灘與水深地形

由於海岸公路臨海側邊坡或護岸之穩定與否除與作用於海岸之海象條件有關外，邊坡或護岸前之海灘寬度及水深地形對它們之安全亦有密切關係。若堤趾或坡趾前已無砂灘或砂灘寬度不足時，波浪及水流將直接衝擊坡腳、堤身，長久下來將使邊坡崩塌滑落、護岸損壞倒塌進而危及公路之安全。臺東南迴公路許多地方如多良、南興及大武等路段，即因路基外側沙灘寬度不夠或無沙灘，在颱風或季風長浪時屢屢因為消能不夠，大浪直接越堤而過並挾帶石塊、漂流木等撞及路基及路面，引發公路損毀事件。再者許多消波塊之拋放或堤趾之擇定位置必須有當地之水深地形資料方能做有效之位置選擇，但有許多路段即因欠缺水深地形資料，故僅能憑經驗或依當地沙灘現況而給予決定位置故海岸地形之掌握實有其必要性。海域水深地形之監測亦可分為定期與不定期，今分述如下：

(1) 定期監測

定期監測之主要目的乃是建立長期之水深地形資料庫，提供海岸公路邊坡規劃設計或整體維護管理時研擬適當工法之參考使用。公路規劃及養護單位可經由當地水深地形及砂灘寬度等資料推算波浪強度、溯升高度、越波狀況、邊坡受力情形及坡趾淘刷等狀況，進而選擇最安全且可行之邊坡保護工法。另外亦可由長期之地形資料分析當地海岸地形之侵淤特性，了解海灘寬度之增減趨勢。這些數據之掌握可讓規劃設計單位於公路路線之選擇時避開易侵蝕或有侵蝕危機、緩衝消能沙灘寬度不足路段或可設計適當工法克服侵蝕危害之問題。而養護單位可由沙灘寬度之變化判斷邊坡護岸是否有遭致沖蝕淘刷之危險，可預先做好防護設施，降低災害發生之機會。此種定期之水深地形監測主要希望能提供每年或隔年每季沿線某一定需求水深範圍內之地形數據、近岸沙灘寬度與坡度、沙灘及海域底值之粒徑、漂沙趨勢

與漂砂量等等，詳細之需求監測項目、監測範圍、儀器需求與規格、資料格式及監測頻率與要求可參考目前水利單位之監測規範，再依公路設計之需求作調整，但仍建議未來能協調相同的格式以利資料庫之整合及數據共享方便。

(2)不定期監測

不定期地形監測之目的乃是彌補定期監測時間間隔期間發生重大氣象事件，對海灘及海域地形造成明顯變化時或因公路邊坡發生重大災況，表徵原因可能是因為侵蝕問題或水深地形變化導致海象條件變易所引起時，為明確判斷災因或提供規劃設計之參考時所啟動之監測計畫。海岸公路邊坡遭致破壞釀災之期間大都發生於颱風侵襲時或東北季風長浪作用期間，此時之沙灘及水深地形都可能產生明顯之變化，雖然事後沙灘及水深會有逐漸回淤之情形，但在目前漂砂量明顯減少，颱風浪又有增強趨勢，此種現象將導致沙灘或海域水深地形無法回復侵襲前之狀態，且很可能會逐漸成為侵蝕地形，對邊坡及護岸之安全皆會造成影響，因此確實需要掌握此種極端氣候作用後之地形資料，因而必須施予不定期監測以彌補定期監測之不足，尤其當定期監測並非每年辦理時此種不定期監測之數據將更顯重要。

不定期監測之測量項目及其他規定亦應比照定期監測之要求辦理，監測之辦理時間則可在颱風或極端海象事件後即刻進行，以利掌握各項地形資料，測量結束後應與最近一次的測量結果進行分析比較，了解沙灘及地形之變化現象，藉以判斷是否是災況致災原因或提供研判路況地點是否已因沙灘流失有侵蝕危機，以作為是否進行坡腳或堤基保護之參考。

5.4.3 邊坡穩定性監測

由於海岸公路安全與否與其所在之邊坡地質之穩定性有密切之關係，故邊坡之安定狀況實有必須性之掌握。目前山區公路之邊坡監測制度與監測方法已非常健全，並有持續性之監測計畫，尤其在常釀災之路段其監測系統極為完備。海岸公路臨海側之邊坡，其巡查較為不

易與困難，故對邊坡穩定與否之掌握較為不易，故安全需求之監測理應更予重視。但因並無強制性之規定，且東部海岸公路臨海側之邊坡多數為陡峭之崖坡，監測設備之安裝也較為困難，要如同陸域公路邊坡落實安置監測設備實是較為不易，因此目前海岸公路臨海側邊坡之監測可謂幾乎沒有。但因海側邊坡穩定問題是導致公路損壞、護岸倒塌之主要原因之一，故應有因應之對策給予實施。為充分了解公路邊坡地層滑動及位移量變化情形，養護單位可就轄屬海岸公路選擇地質破碎風化嚴重、海側邊坡或護岸常發生崩塌及滑動之路段、坡腳常遭淘空陷落地區規劃適宜之監測系統，如於邊坡滑動面或破壞面，裝設如電子式位移計、傾度管、水位計、水壓計等，觀測坡面及岩層之縱橫向位移、土壤中水位即孔隙水壓之變化等，藉由監測系統了解該路段邊坡之特性，以掌握分析邊坡地之穩定狀況，並可藉監測資料掌握邊坡可能之變異現象，提早做好因應對策，避免危及公路行車安全。目前邊坡穩定之監測系統之設備與分析處理技術皆已非常完整，此類監測系統之建置應可即刻規劃實施，但因東部海岸公路臨海側邊坡要全線建置監測系統實有其困難度，可挑選歷年屢有邊坡滑動、崩塌之路段今監測系統之建置。

上述邊坡穩定監測主要是掌握邊坡之特性及預知變異行為，如要掌握邊坡滑動範圍及土方滑動量等資料尚無法完全克服，此一問題應可參考美國及日本之作法，即定期以 3D 雷射掃瞄儀搭配攝影系統對沿線公路進行掃瞄測量及攝影，建立公路及邊坡之數值地形模型 (DEM)，藉由歷次邊坡之三維地形資料計算邊坡之坡面滑動範圍、土方變化及坡面植生變異等情形，如此可有效判斷邊坡是否有崩落、崩塌面積及崩塌土方量等滑動現象，圖 5.4.1 及圖 5.4.2 即為美國加州中部 Big Sur 海岸公路利用所建立之 3D 數值高程地形模型所分析之海岸公路崖趾後退量及崖坡土方崩塌量之成果分析圖。

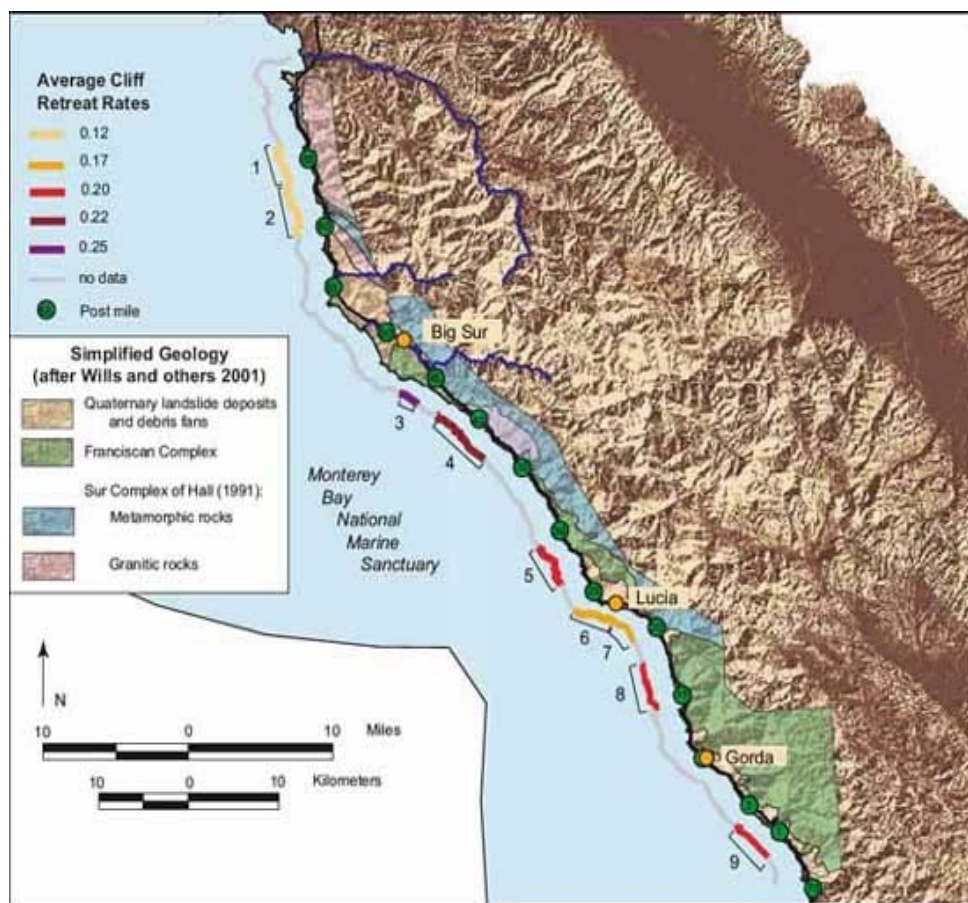


圖 5.4.1 美國加州 Big Sur 海岸公路邊坡後退量分析圖

此種成果亦可由計算之崩落土方配合地形調查了解沿岸漂沙量及地形之相對應關係，可有效提早掌握邊坡位處海岸地形之穩定情。現今遙測技術進步，3D 數值地形掃描系統之設備與處理技術皆已非常完整，其所需經費也已降低，值得參考採用。此種 3D 雷射掃描監測工作可視需要定期 1~2 年辦理一次，視經費與邊坡狀況而定，但在發生一定規模之地震、颱風豪雨事件或坡地突然發生大崩塌時，可視巡查狀況機動舉行不定期之掃描拍攝工作，以評估邊坡是否受到極端事件之影響產生可能之不穩定狀況，3D 雷射掃描及影像拍攝之必須項目可依邊坡穩定分析需求項目給予規定並參考目前遙測規範制定必須之儀器規格需求。

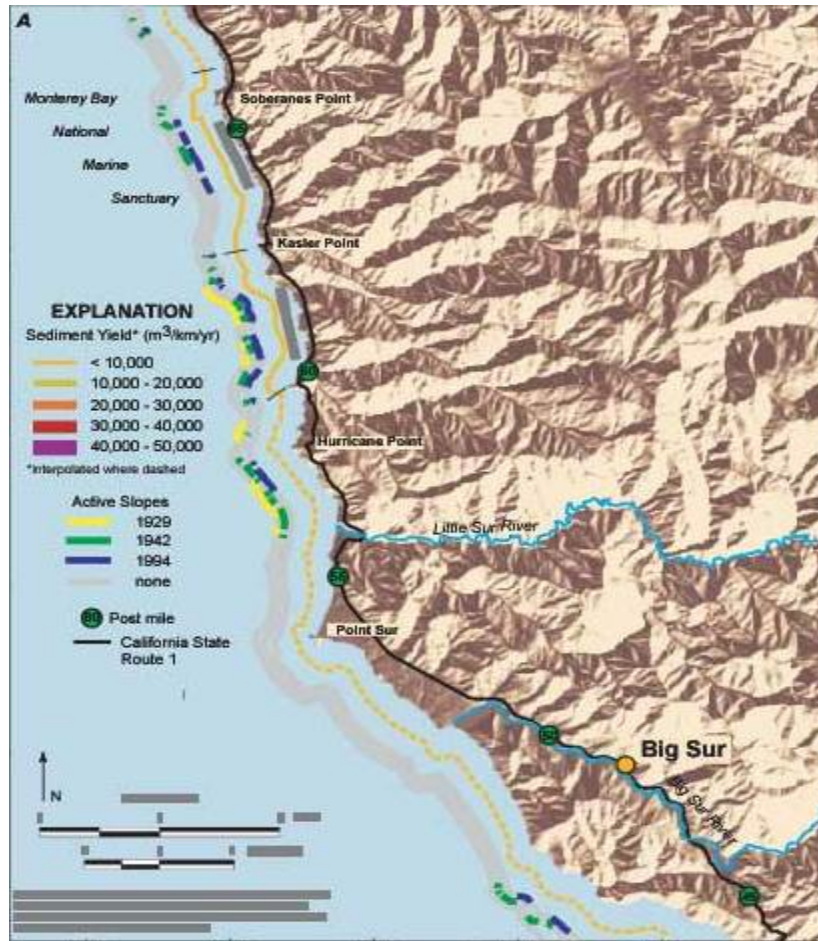


圖 5.4.2 美國加州 Big Sur 海岸公路邊坡土方崩塌量分析圖

另外因為部份海岸公路邊坡地質風化嚴重，對部份未能有效掌握其地質特性之路段，可沿沿線於坡面選擇幾處位址鑽探取樣並進行分析，了解其地質特性並建立其各項參數因子，以做為未來邊坡穩定分析或工程設計時引用，此鑽孔取樣之深度、孔數及分析項目可依一般地質鑽探規範及公路建設需求之項目要求即可。

5.4.4 護岸穩定度檢測

如同臨海邊坡般，一般海岸公路之護岸、擋土牆或消波工，因係臨海設置，平時實不易巡查檢視，尤其若結構物基腳如位於海水位以下，更無法判視基腳是否有淘刷情形，故建置結構物監測系統亦有其必要性，可於海側邊坡擋土牆及護岸等結構物裝設傾斜計、位移計或荷重計及雨量計等，用以了解結構物之傾斜變化情形，以及波面受力

及降雨量等以評估其穩定度，作為結構安全之參考。若無法全面安裝監測系統，增加臨海側邊坡或擋土牆等狀況之巡查檢測則有其必要性。目前水利單位有海堤安全性檢測與評估規範與辦法，公路單位亦有一般公路目視檢測巡查之機制，可參考這些機制建立適宜海岸公路邊坡結構物安全檢測之辦法。此種巡查檢測除平時之目視檢查外，亦可依航拍影像先行判視臨海結構物之狀況，如發現有安全疑義者，則應即刻啟動現地檢測工作。

因為海岸公路臨海邊坡可分有砂灘腹地及無砂灘腹地之情形，有砂灘者可由公路外側之砂灘對邊坡及結構物等進行巡查檢視，如有需要亦可借由檢測儀器輔助巡查工作。已無砂灘或無通路可進行沿線巡查檢視工作之路段，如邊坡或護岸之高差不大，而養護單位現有之檢視工程車垂放可及者，則可利用檢視工程車搭載巡查人員垂下邊坡、護岸進行巡查檢視工作。如高度過高或檢測工程車無法延伸垂下時，則可由船載方式或以無人飛機搭配高精度攝影設備進行沿線之拍攝記錄，再由有經驗之工程人員借由影像資料進行室內之巡查檢視工作。至於巡查之頻率可依目前山區道路之巡查機制辦理，亦可視人力與經費做適當之辦理時機。此檢測項目應包含結構物外觀(裂縫、孔洞、位移)及非破壞性檢測(淘空、陷落)及水下攝影，檢視結構體基腳之狀況，並依檢測結果評估該結構物是否有安全上之疑義，並研擬可行之補強改善對策。因為海側結構物之危害度較高，故其安全評估之等級應較一般陸側結構物之評估來得嚴謹，以確保其防護海岸公路之安全性。

5.4.5 波浪越堤監測

海岸公路因濱臨海岸興建，若臨海側緩衝海灘寬度不夠、公路邊坡高度不足，或邊坡、護岸消波不夠時，於颱風大浪或湧浪作用時可能會有越波現象，恐會危及公路行車安全。另外亦常有因越波大浪將海中石塊、漂流木沖上路面，造成路面產生裂縫、孔洞及塌陷情形造成交通中斷之現象，比如今年臺東臺9線422K~441K，在杰拉華颱風過境時有石塊及漂流木被沖上路面，造成沿線道路路面破損而封閉情

形，此種現象往往在颱風期間或季風長浪侵襲期間屢屢發生。為能確實掌握可能之越波現象、越波高度、越坡水量及挾帶石塊情況，公路養護單位應於常有此類災況之路段架設監測攝影機，平時可做為交通流量狀況掌握、道路安全狀況檢視之用，颱風期間則可利用其捕捉之越波畫面，藉影像處理技術之輔助，可分析越波高度、越波範圍及越波量體，這些資訊配合颱風資料、波浪資料及現地地形、防護工法之分析，可評估公路之護岸或邊坡保護是否得當，並可規劃適宜之改善方法，例如加強邊坡護岸之消能設施或公路臨海側加設擋水設施之參考。日本在其多處有越波潛勢之海岸公路路段，加裝此種分析越波資料之自動監視系統，並由研發之系統進行分析，所得結果有效的改善此種事件對海岸公路行車安全之威脅。圖 5.4.3 為日本海岸公路裝設越波監視系統之示意圖，此類系統多結合波浪觀測系統、風速雨量觀測系統、電子警示看板、無線傳輸系統等結合而成，再配合影像處理系統可分析及預測可能之波浪越波時機與可能之越波量，此分析結果可提供發布於危險路段前方之電子警示看板上，提醒用路人小心，亦可作為公路管理單位最為適時封路之參考，另外此類分析系統亦可將其分析結果或監測畫面透過行動裝置讓用路人隨時透過網路瀏覽參考，有助於將地降低進入危險路段的機會。

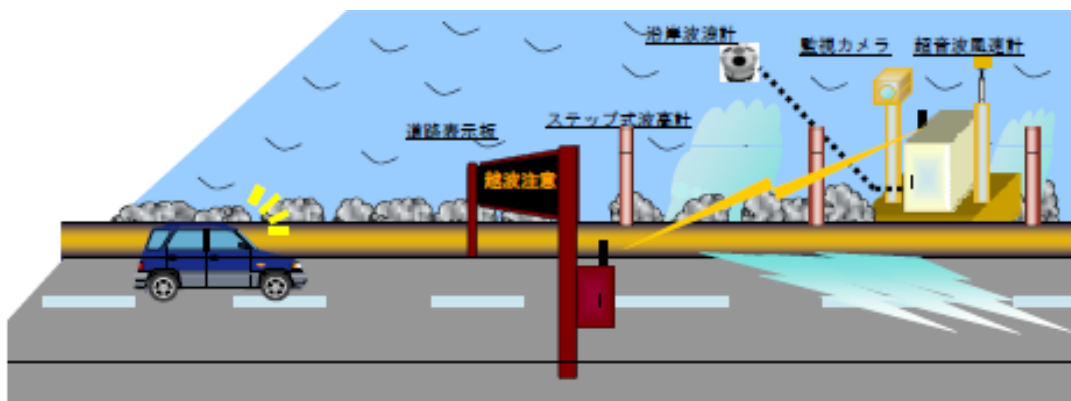


圖 5.4.3 海岸公路越波監視系統示意圖

由於目前東部海岸公路常有邊坡崩塌、崖趾侵蝕之狀況，造成公路路面下陷、毀損情形，亦可考慮於有上述災況之地點架設監視攝影機，由定期攝錄之影像資料比對，輔助了解邊坡之滑動或崖趾之侵蝕

後退量，亦可有效掌握邊坡之崩塌前兆。

5.5 邊坡防護工法試驗

由於東部海岸目前常有護岸基腳或邊坡坡趾處因為波浪沖刷作用造成破壞情形，為研提適宜的邊坡消能保護工法，本計畫亦針對東部海岸公路邊坡保護工法進行可行之改善試驗研究，提供海岸公路養護單位參考，作為未來進行邊坡改善工程規劃設計參考之用。

5.5.1 試驗設備與儀器

本試驗係於二維斷面水槽中進行，試驗所用水槽全長 36m，寬 0.7m，高 0.8m，水槽底部為不銹鋼材質，兩側邊壁皆由透明強化玻璃構成，以利於試驗中進行觀測，水槽前端設置有活塞式造波機，造波板由 HSR 滑軌固定在獨立機架上滑動，獨立機架完全獨立設置地面上不與試驗水槽相連，並由一組伺服馬達轉動滾珠導螺桿推動。造波板前上裝有一容量式波高計作為測量計算並推動造波板，使用者給予波浪條件經電腦計算由 PCL-818 轉換器送出訊號推動造波板，再經造波板前波高計測出實際波高回饋至電腦修正，以確定造波時是否隨著輸入波高條件造波，並可借訊號回饋達成吸收反射波之功能。尾端則設有一 8m,長之電動可調式斜坡，可供鋪設試驗地形模型。

試驗使用之波高計是由盛邦科技及日進公司製造的 60cm 容量式波高計，其可量測水位零點上下 25cm 之水位變化，波高計量得之水位訊號，經由增幅器處理後，再將各波高計擷取之類比訊號經 AD/DA 轉換卡轉換為數位訊號，以利電腦處理分析所得之波高資料。

資料擷取系統分別利用 NI (National Instruments)公司生產資料擷取卡 PCI-6221、AD/DA 轉接器分別為 SCB-68、BNC-2090 轉換器，資料擷取系統是使用 NI 公司之 LabVIEW 軟體，此系統可以量測 Current、Voltage、Strain...等。

5.5.2 試驗條件

雖然本計畫主要是以研究性質探討具消能效果之保護工法，基本上無現地狀況考量問題，但為使能模擬狀況較符合東部海岸現況。於正式佈置模型及決定造波條件前，參考東部海岸公路護岸常況路段之南興、多良、大竹等路段之邊坡坡度及鄰近水深測量地形圖中計算坡趾至水深約 5m 內之淺灘坡度及水深 5m 以下之海床坡度做綜合考量後，我們採以 1/5 護岸坡度，護岸前方則為 1/15 的陡坡海床，再有一 1/10 坡度沿海測延伸至水槽底床。為考量高低潮為之變化，規劃三種水深，波浪條件除考慮冬夏季示性波浪外，亦考慮長波湧浪之作用，所規劃條件係以 1/25 比尺作為規劃試驗條件之參考依據，以下分別說明各項試驗條件。

1. 試驗水深

本試驗使用三個試驗水深模擬高潮位、平均潮位以及低潮位之狀況，試驗水深分別為 55cm、50cm 和 45cm，其試驗代號以 HD，MD，LD 區分，詳見表 5.5.1。

2. 波浪條件

本試驗以九種條件進行；一是周期 1.2sec，波高分別為 4、6、8cm 三種；二是周期 1.5sec，波高分別為 5、8、10cm 三種；以及三是周期 1.8sec，波高分別為 6、10、14cm 三種情形，波浪條件之試驗代號是以 W1、W2 及 W3~...至 W9 加以區分。詳見表 5.5.2。

3. 消能模型

此次試驗使用三種模式與堤防工法配合進行：

- (1) 原型(純鋪石設置)+雙潛堤
- (2) 於鋪石與斜坡斷面之間放置海綿，厚度為 1cm，並搭配上潛堤
- (3) 於鋪石與斜坡斷面之間放置海綿，厚度為 2cm，並搭配上潛堤

最後與原型狀態做比較，藉此得出適合的消能工法，模型代號以英文字母表示，見表 5.5.3，模型的設計圖詳見圖 5.5.1~圖 5.5.21。

表 5.5.1 水位條件與編號

編號	水位
LD	45cm
MD	50cm
HD	55cm

表 5.5.2 波浪條件與編號

編號	波浪條件
W1	週期 1.2sec，波高 4cm
W2	週期 1.2sec，波高 6cm
W3	週期 1.2sec，波高 8cm
W4	週期 1.5sec，波高 5cm
W5	週期 1.5sec，波高 8cm
W6	週期 1.5sec，波高 10cm
W7	週期 1.8sec，波高 6cm
W8	週期 1.8sec，波高 10cm
W9	週期 1.8sec，波高 14cm

表 5.5.3 模型條件與代號

編號	模 型
A	原型狀態 (只有鋪石層)
以下距離為鋪石端至第一座堤 50cm，第一座堤至第二座堤 50cm	
B	雙潛堤 (潛沒水深皆為 1cm)
C	雙潛堤 (潛沒水深為 1cm(靠近邊坡)與 2.5cm(往海測))
D	雙潛堤 (潛沒水深皆為 2cm)
E	使用與雙潛堤同寬度兩座合併 (潛沒水深為 2cm)
以下距離為鋪石端至第一座堤 30cm，第一座堤至第二座堤 50cm	
B1	雙潛堤 (潛沒水深皆為 1cm)
C1	雙潛堤 (潛沒水深為 1cm(靠近邊坡)與 2.5cm(往海測))
D1	雙潛堤 (潛沒水深皆為 2cm)
E1	使用與雙潛堤同寬度兩座合併 (潛沒水深為 1cm)
以下距離為鋪石端至第一座堤 50cm	
F	圍墊厚度 1cm (以水深 55cm 為準，高出 5cm)
G	F+潛堤 (潛沒水深為 1cm)
H	F+潛堤 (潛沒水深為 2cm)
以下距離為鋪石端至第一座堤 30cm	
F1	圍墊厚度 1cm (與水深 55cm 齊平)
G1	F1+潛堤 (潛沒水深為 1cm)
H1	F1+潛堤 (潛沒水深為 2cm)
以下距離為鋪石端至第一座堤 50cm	
I	圍墊厚度 2cm (以水深 55cm 為準，高出 5cm)
J	I+潛堤 (潛沒水深為 1cm)
K	I+潛堤 (潛沒水深為 2cm)
以下距離為鋪石端至第一座堤 30cm	
I1	圍墊厚度 2cm (與水深 55cm 齊平)
J1	I1+潛堤 (潛沒水深為 1cm)
K1	I1+潛堤 (潛沒水深為 2cm)

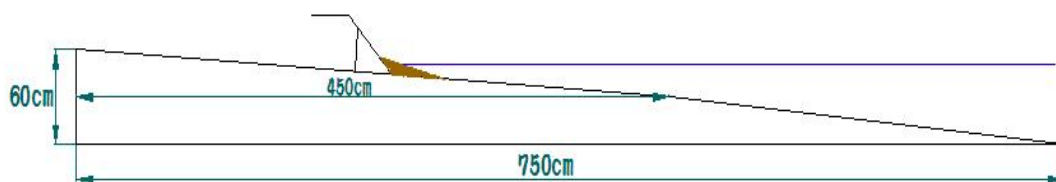


圖 5.5.1 原型配置圖

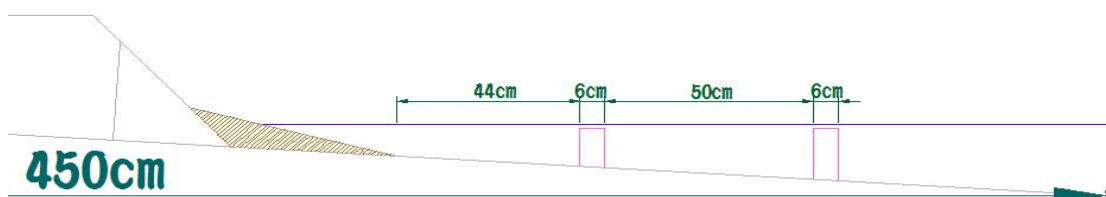


圖 5.5.2 雙潛堤(潛沒水深皆為 1cm)

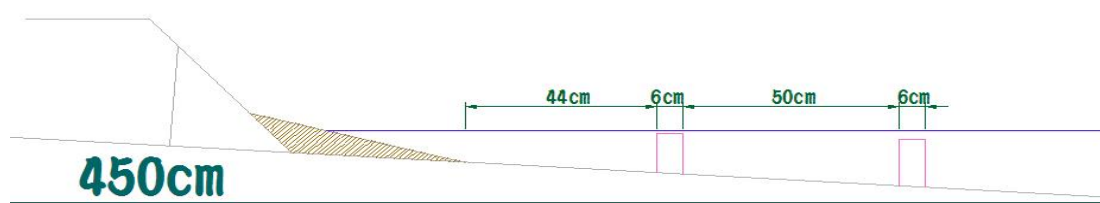


圖 5.5.3 雙潛堤(岸側潛沒水深 1cm，海測為 2.5cm)

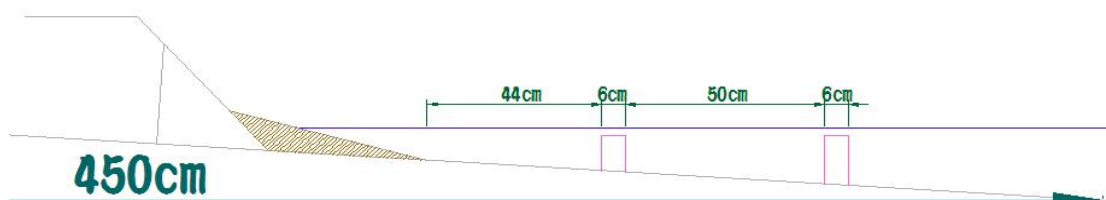


圖 5.5.4 雙潛堤(潛沒水深皆為 2cm)

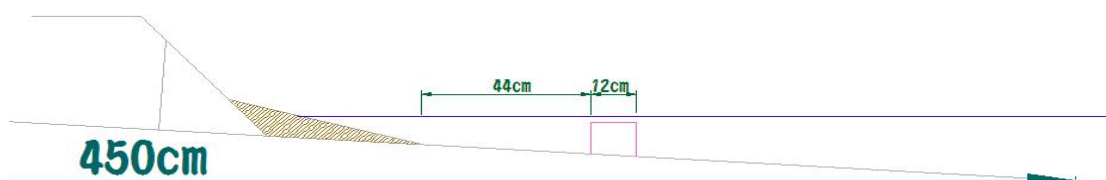


圖 5.5.5 雙潛堤同寬度兩座(潛沒水深為 2cm)

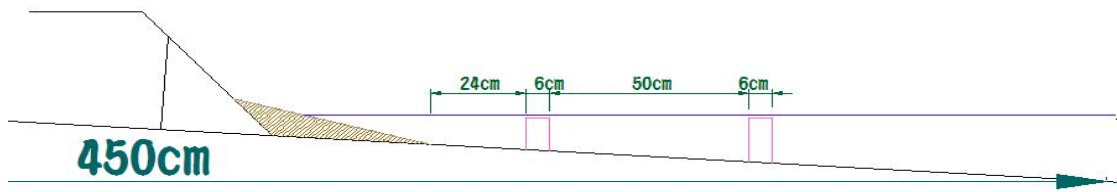


圖 5.5.6 雙潛堤(潛沒水深皆為 1cm)

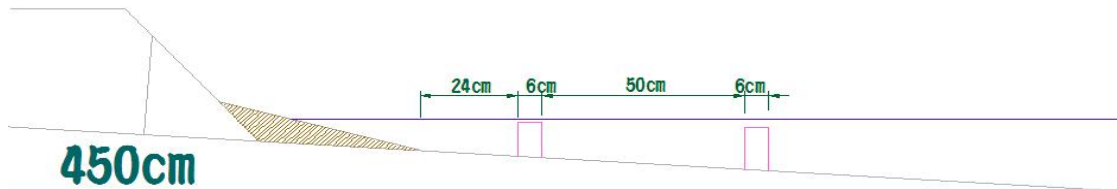


圖 5.5.7 雙潛堤(岸側潛沒水深 1cm，海測為 2.5cm)

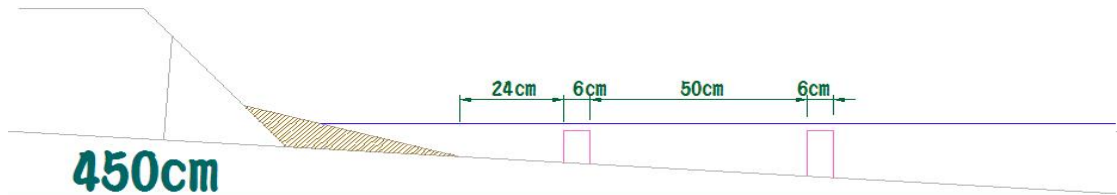


圖 5.5.8 雙潛堤(潛沒水深皆為 2cm)

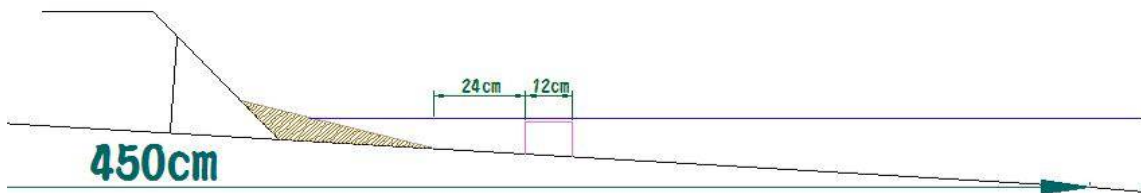


圖 5.5.9 雙潛堤同寬度兩座(潛沒水深為 1cm)

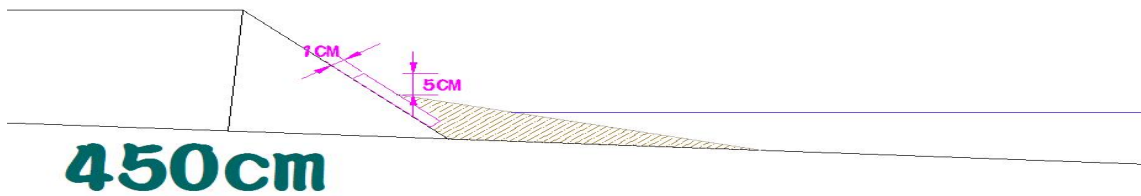


圖 5.5.10 單層圍墊(以水深 55cm 為準，高出 5cm)

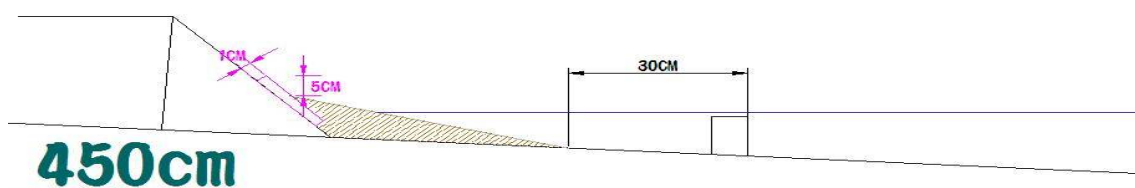


圖 5.5.11 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm)

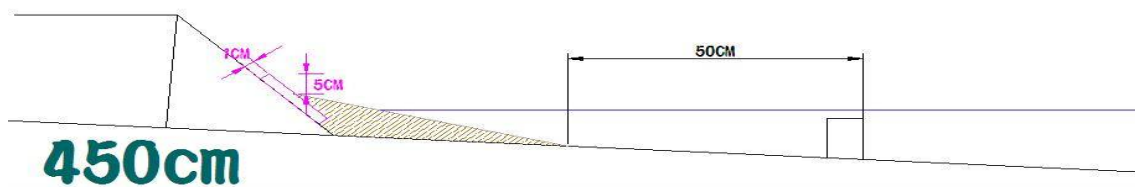


圖 5.5.12 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm)

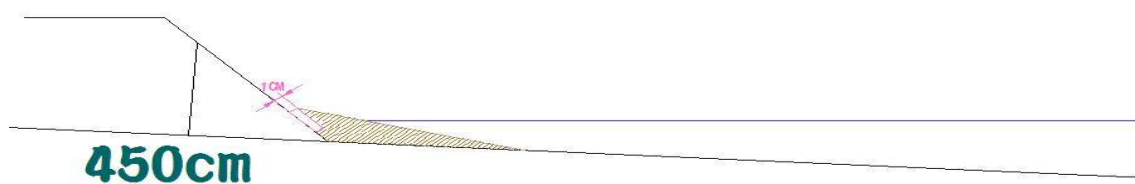


圖 5.5.13 單層圍墊 (與水深 55cm 齊平)

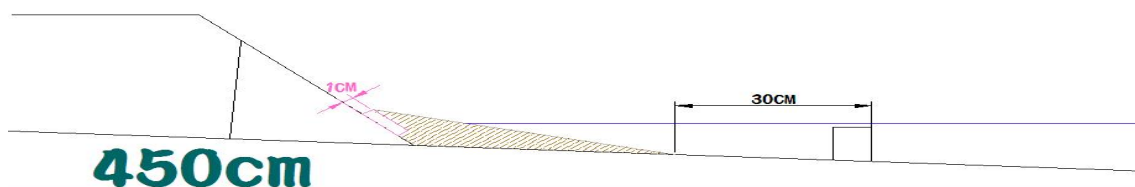


圖 5.5.14 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm)

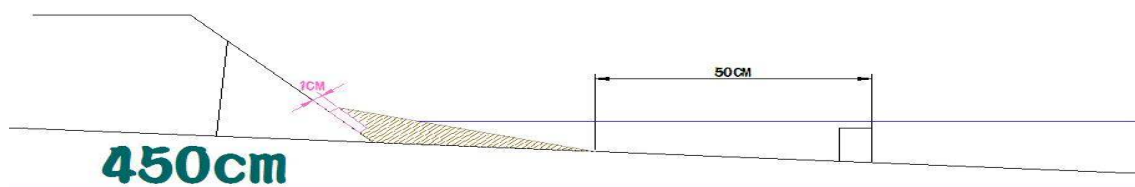


圖 5.5.15 單層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm)

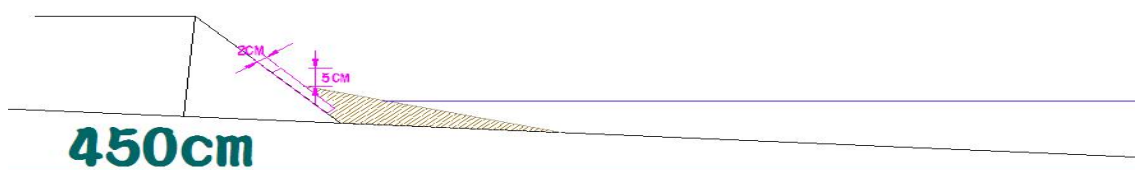


圖 5.5.16 雙層圍墊(以水深 55cm 為準，高出 5cm)

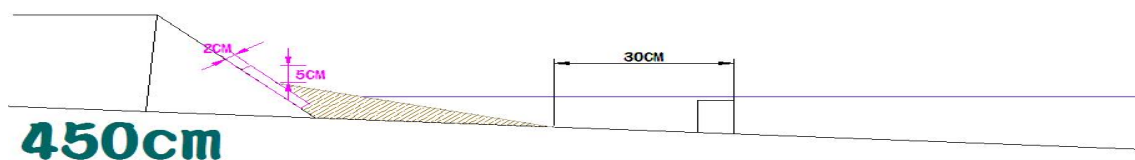


圖 5.5.17 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm)

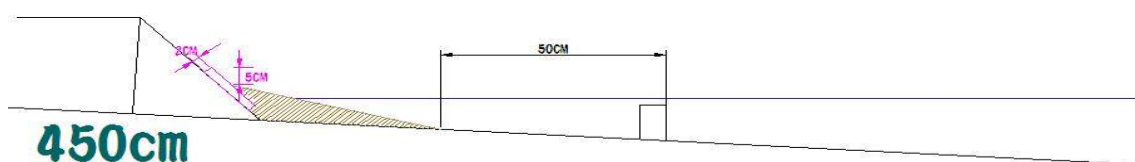


圖 5.5.18 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm)

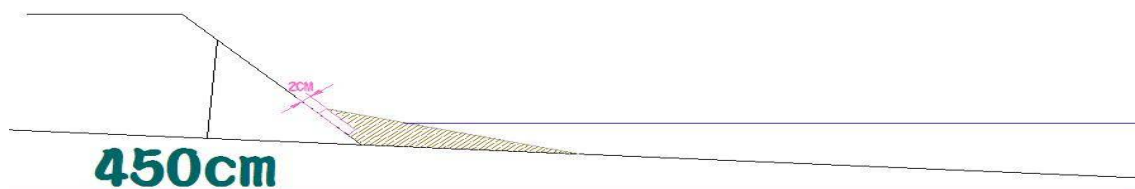


圖 5.5.19 雙層圍墊與單圍墊(與水深 55cm 齊平)

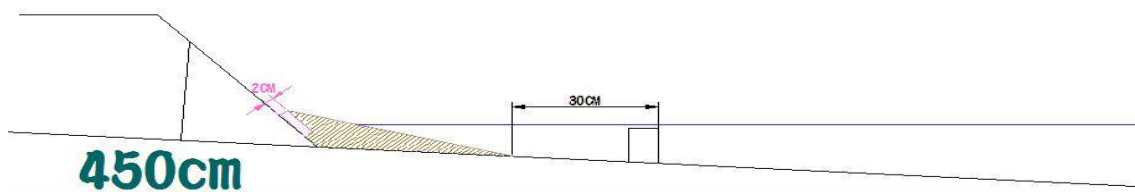


圖 5.5.20 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 1cm)

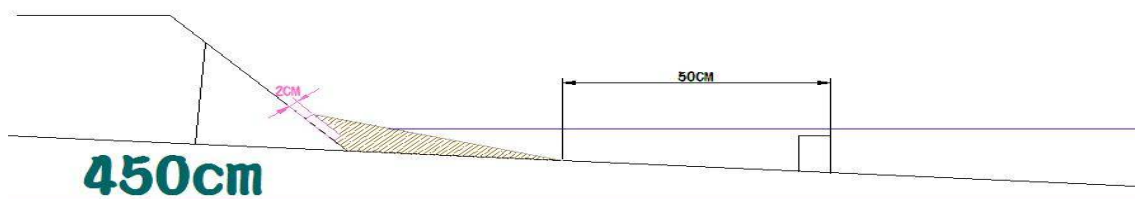


圖 5.5.21 雙層圍墊與單潛堤(潛沒水深為 2cm)

5.5.3 試驗步驟與流程

依所擬定之試驗條件與模型整類，依序進行試驗，圖 5.5.22 即本計畫之試驗步驟與流程。

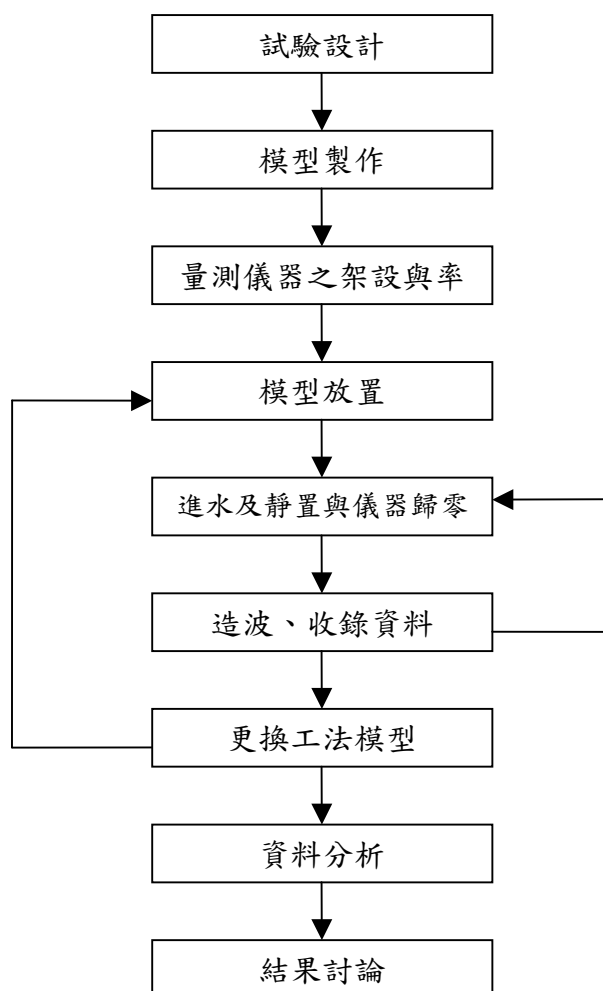


圖 5.5.22 試驗流程圖

試驗方法與步驟概述如下：

1. 試驗設計

規劃和設計試驗中所需要的改變參數及保護工法模型尺寸。

2. 模型製作

製作沿岸公路、地形與保護工法模型，在水槽中用木板組合成試驗所用之公路地形模型，並將模型上之木板塗上防水漆；雙潛堤以軟絲網拼裝，內裝碎石。

3. 量測儀器架設、率定與模型放置

將量測所需要之波高計加以率定，架設於試驗所規劃量測之位置，並將試驗工法模型擺放於水槽中之規劃放置位置。

4. 進水、靜置與儀器歸零

在試驗模型架設完成後，即在試驗水槽進行進水並確定試驗水位，在試驗造波前水槽需靜置一段時間，消除水槽中可能殘存之長週波震盪，確定水面無震盪情況後，再收錄零值。

5. 造波、收錄資料及錄製

零值收錄後開始造波，於造波機啟動造波時，開始收錄水位及流速資料。水位變化取樣頻率為 50 Hz。另擷取時間到達後，繼續造波以錄製試驗及觀測消能設施之穩定性、有無越波、最大溯升高。試驗結束後重複上述靜置、造波、收錄步驟。

5.5.4 結果與討論

本節針對試驗結果進行分析討論，圖 5.5.23~圖 5.5.31 為試驗之部分照片。



圖 5.5.23 原始邊坡之試驗情形



圖 5.5.24 雙潛堤之試驗情形



圖 5.5.25 工法編號 E 之試驗情形

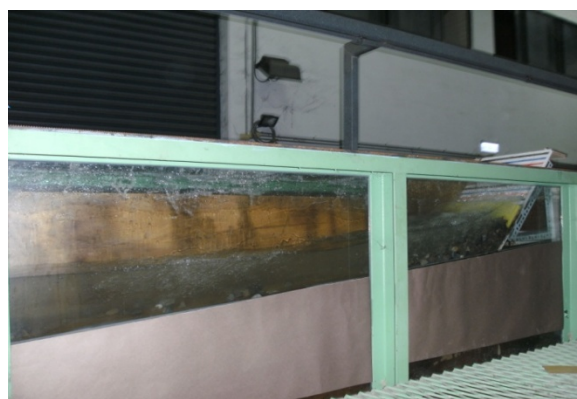


圖 5.5.26 工法編號 F 之試驗情形



圖 5.5.27 工法編號 G 之試驗情形



圖 5.5.28 工法編號 H 之試驗情形

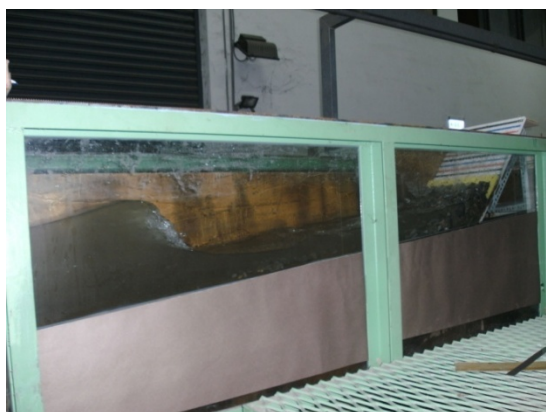


圖 5.5.29 工法編號 I 之試驗情形



圖 5.5.30 工法編號 J 之試驗情形



圖 5.5.31 工法編號 K 之試驗情形

試驗所觀測、記錄與擷取之各類資料，依反射率、堤前波高變化、溯升高度、越波量等加以分析，各試驗之反射率分析結果示之如表 5.5.4~5.5.21 及圖 5.5.32~5.5.40。溯生高度與越波量之結果則示之於表 5.5.22~5.5.44 及圖 5.5.41~5.5.52。

表 5.5.4 LD 水深反射分析表

	LDW1		LDW2		LDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.036	-17.41	-0.027	-12.75	-0.057	-25.31
C	0.013	6.02	0.035	16.46	0.025	11.08
D	-0.054	-25.94	-0.074	-34.45	-0.016	-6.98
E	-0.073	-34.98	-0.097	-45.28	-0.111	-49.31
	LDW4		LDW5		LDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.040	-12.94	-0.040	-15.04	-0.065	-23.82
C	-0.007	-2.66	-0.132	-49.51	-0.150	-54.72
D	-0.115	-42.18	-0.127	-47.46	-0.162	-59.09
E	-0.036	-13.10	-0.057	-21.36	-0.075	-27.50
	LDW7		LDW8		LDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.044	-19.36	-0.054	-23.76	-0.062	-24.32
C	-0.067	-29.83	-0.063	-27.53	-0.116	-45.24
D	-0.032	-14.11	-0.078	-34.16	-0.138	-54.12
E	-0.028	-12.42	-0.047	-20.66	-0.119	-46.62

表 5.5.5 LD 水深反射分析表

	LDW1		LDW2		LDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.022	-9.89	-0.013	-5.69	-0.025	-11.03
C1	0.018	8.42	0.067	29.93	0.042	18.22
D1	-0.040	-18.24	-0.039	-17.42	-0.035	-15.05
E1	-0.066	-30.08	-0.008	-3.56	-0.012	-5.17
	LDW4		LDW5		LDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.025	-8.80	-0.023	-8.61	-0.058	-21.65
C1	0.006	2.01	-0.127	-48.17	-0.133	-49.35
D1	-0.040	-14.10	-0.070	-26.59	-0.099	-36.74
E1	-0.044	-15.79	-0.001	-0.38	-0.014	-5.14
	LDW7		LDW8		LDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.075	-32.23	-0.056	-22.52	-0.114	-43.99
C1	-0.084	-36.16	-0.123	-49.79	-0.140	-53.75
D1	-0.079	-34.21	-0.082	-33.15	-0.082	-31.67
E1	-0.080	-34.50	-0.053	-21.24	-0.133	-51.05

表 5.5.6 MD 水深反射分析表

	MDW1		MDW2		MDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.091	-31.28	-0.070	-24.31	-0.023	-9.79
C	-0.001	-0.21	-0.024	-8.35	0.006	2.58
D	-0.046	-15.93	-0.051	-17.87	-0.027	-11.81
E	-0.118	-40.70	-0.062	-21.63	-0.077	-33.37
	MDW4		MDW5		MDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.224	-60.29	-0.184	-57.57	-0.143	-55.65
C	-0.021	-5.62	-0.043	-13.34	-0.033	-13.01
D	-0.163	-43.91	-0.107	-33.53	0.018	6.96
E	-0.046	-12.30	0.067	21.13	0.003	1.12
	MDW7		MDW8		MDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.086	-34.35	-0.105	-48.01	-0.050	-22.37
C	0.008	3.20	-0.103	-47.50	-0.109	-48.88
D	-0.112	-45.01	-0.093	-42.60	-0.042	-18.59
E	-0.078	-31.19	-0.088	-40.26	-0.095	-42.42

表 5.5.7 MD 水深反射分析表

	MDW1		MDW2		MDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.084	-28.81	-0.091	-31.73	-0.044	-19.45
C1	-0.005	-1.75	-0.060	-21.09	0.054	24.02
D1	-0.020	-6.82	0.010	3.49	0.030	13.08
E1	-0.070	-24.20	-0.043	-14.92	-0.007	-2.96
	MDW4		MDW5		MDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.186	-49.06	-0.145	-47.71	-0.122	-45.02
C1	-0.079	-20.78	-0.066	-21.70	-0.076	-28.13
D1	-0.144	-37.98	-0.049	-16.08	0.001	0.32
E1	-0.116	-30.52	-0.040	-13.06	-0.041	-15.35
	MDW7		MDW8		MDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.115	-48.59	-0.089	-40.14	-0.050	-24.05
C1	0.014	5.93	-0.076	-34.14	-0.081	-38.87
D1	-0.077	-32.76	-0.076	-34.15	-0.083	-39.86
E1	-0.044	-18.54	-0.099	-44.72	-0.073	-35.07

表 5.5.8 HD 水深反射分析表

	HDW1		HDW2		HDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.162	-49.08	-0.158	-50.90	-0.170	-56.25
C	-0.022	-6.79	0.013	4.32	-0.070	-23.21
D	-0.166	-50.48	-0.135	-43.32	-0.145	-47.73
E	0.089	27.06	0.150	48.41	0.167	55.09
	HDW4		HDW5		HDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.058	-19.91	-0.006	-2.08	-0.037	-13.01
C	-0.131	-45.34	-0.157	-58.77	-0.121	-43.01
D	-0.058	-19.95	-0.135	-50.47	-0.044	-15.75
E	-0.119	-41.01	-0.141	-52.77	-0.113	-40.03
	HDW7		HDW8		HDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B	-0.184	-50.84	-0.190	-52.58	-0.104	-35.43
C	-0.092	-25.38	-0.130	-35.86	-0.013	-4.31
D	-0.222	-61.26	-0.201	-55.50	-0.141	-48.08
E	0.125	34.38	0.114	31.42	0.088	30.13

表 5.5.9 HD 水深反射分析表

	HDW1		HDW2		HDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.128	-38.80	-0.129	-41.33	-0.139	-44.25
C1	0.001	0.30	-0.032	-10.39	-0.133	-42.60
D1	-0.099	-29.94	-0.085	-27.11	-0.116	-36.94
E1	-0.064	-19.47	-0.058	-18.49	-0.102	-32.61
	HDW4		HDW5		HDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.050	-16.69	-0.050	-18.01	-0.055	-20.22
C1	-0.013	-4.46	-0.021	-7.59	0.006	2.14
D1	-0.085	-28.37	-0.130	-46.63	-0.012	-4.50
E1	-0.062	-20.84	-0.080	-28.82	-0.037	-13.73
	HDW7		HDW8		HDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
B1	-0.160	-41.09	-0.168	-47.29	-0.085	-27.28
C1	-0.067	-17.11	-0.120	-33.85	-0.107	-34.28
D1	-0.131	-33.63	-0.122	-34.53	-0.096	-30.80
E1	-0.060	-15.33	-0.116	-32.79	-0.121	-38.85

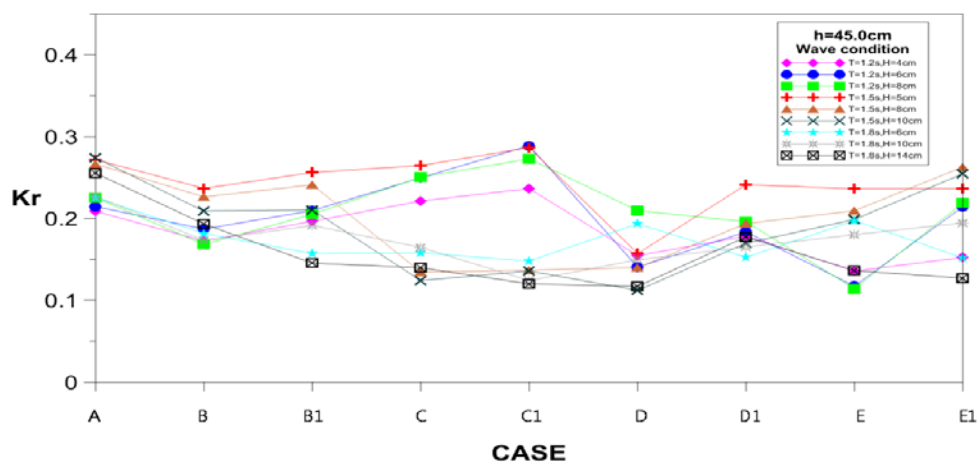


圖 5.5.32 低水位各 CASE 反射率比較圖

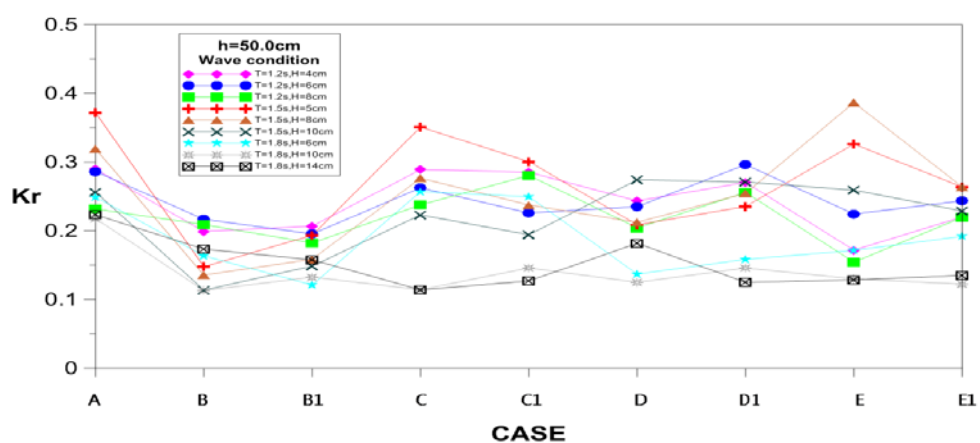


圖 5.5.33 中水位各 CASE 反射率比較圖

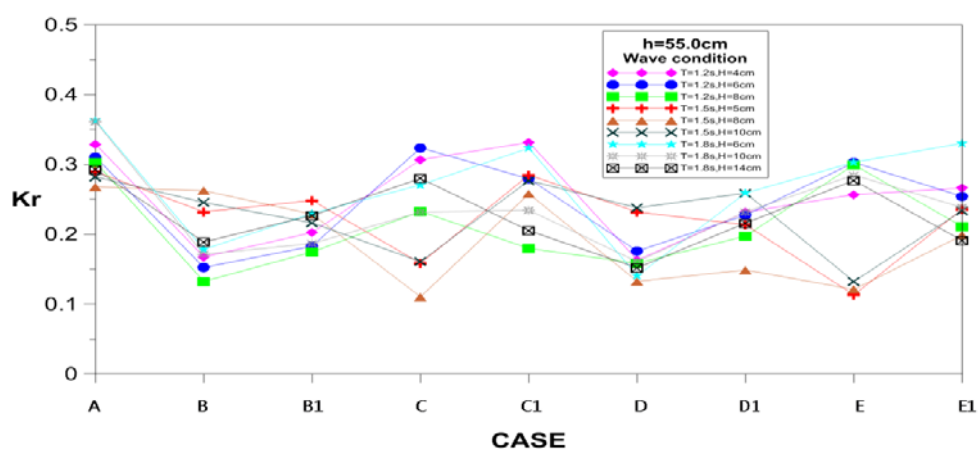


圖 5.5.34 高水位各 CASE 反射率比較圖

表 5.5.10 LD 水深反射分析表

	LDW1		LDW2		LDW3	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.020	-9.70	-0.019	-8.72	-0.027	-12.08
G	-0.037	-11.20	-0.028	-10.78	-0.022	-10.61
H	-0.029	-18.14	-0.024	-17.50	-0.025	-17.78
	LDW4		LDW5		LDW6	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.030	-19.70	-0.029	-14.16	-0.029	-11.23
G	-0.033	-13.82	-0.040	-16.92	-0.044	-17.93
H	-0.040	-28.42	-0.044	-28.36	-0.034	-20.74
	LDW7		LDW8		LDW9	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.041	-14.06	-0.040	-11.27	-0.045	-10.91
G	-0.052	-14.78	-0.053	-16.63	-0.044	-12.30
H	-0.048	-21.25	-0.042	-18.36	-0.034	-13.23

表 5.5.11 LD 水深反射分析表

	LDW1		LDW2		LDW3	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.025	-11.73	-0.019	-8.76	-0.015	-6.75
G1	-0.025	-8.83	-0.030	-12.00	-0.028	-11.21
H1	-0.027	-15.82	-0.024	-19.28	-0.027	-15.68
	LDW4		LDW5		LDW6	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.024	-11.97	-0.032	-13.90	-0.031	-12.27
G1	-0.047	-17.44	-0.040	-14.94	-0.034	-12.53
H1	-0.041	-21.45	-0.039	-18.96	-0.035	-20.85
	LDW7		LDW8		LDW9	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.036	-13.04	-0.044	-11.38	-0.040	-11.94
G1	-0.048	-15.08	-0.043	-14.79	-0.053	-12.59
H1	-0.048	-21.37	-0.042	-18.47	-0.048	-18.97

表 5.5.12 MD 水深反射分析表

	MDW1		MDW2		MDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.031	-10.57	-0.021	-7.25	-0.035	-15.12
G	-0.055	-14.90	-0.065	-20.50	-0.061	-23.65
H	-0.068	-27.18	-0.071	-32.71	-0.072	-32.30
	MDW4		MDW5		MDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.061	-20.98	-0.062	-21.57	-0.054	-23.11
G	-0.076	-20.54	-0.083	-26.15	-0.054	-20.89
H	-0.035	-13.95	-0.025	-11.61	-0.021	-9.27
	MDW7		MDW8		MDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.065	-22.35	-0.059	-20.76	-0.060	-25.69
G	-0.057	-15.33	-0.059	-18.61	-0.052	-20.24
H	-0.088	-35.16	-0.087	-39.73	-0.076	-34.20

表 5.5.13 MD 水深反射分析表

	MDW1		MDW2		MDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.027	-9.35	-0.026	-9.19	-0.024	-10.40
G1	-0.056	-15.07	-0.059	-18.56	-0.066	-25.76
H1	-0.069	-27.55	-0.073	-33.35	-0.079	-35.29
	MDW4		MDW5		MDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.053	-18.22	-0.063	-21.95	-0.061	-26.33
G1	-0.080	-21.42	-0.074	-23.05	-0.040	-15.77
H1	-0.026	-10.57	-0.024	-10.88	-0.031	-13.97
	MDW7		MDW8		MDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.059	-20.22	-0.056	-19.68	-0.060	-25.90
G1	-0.060	-16.01	-0.059	-18.42	-0.052	-20.27
H1	-0.083	-33.30	-0.081	-37.12	-0.087	-38.83

表 5.5.14 HD 水深反射分析表

	HDW1		HDW2		HDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.050	-15.21	-0.049	-15.71	-0.057	-18.81
G	-0.060	-20.86	-0.059	-22.10	-0.059	-20.87
H	-0.061	-16.72	-0.060	-16.62	-0.065	-22.36
	HDW4		HDW5		HDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.052	-15.92	-0.043	-13.91	-0.037	-12.25
G	-0.035	-12.14	-0.042	-15.81	-0.046	-16.30
H	-0.037	-10.30	-0.038	-10.52	-0.028	-9.71
	HDW7		HDW8		HDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F	-0.047	-14.16	-0.041	-13.31	-0.042	-13.87
G	-0.055	-18.95	-0.059	-22.14	-0.049	-17.19
H	-0.051	-13.92	-0.044	-12.19	-0.036	-12.29

表 5.5.15 HD 水深反射分析表

	HDW1		HDW2		HDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.054	-16.53	-0.049	-15.70	-0.046	-15.03
G1	-0.040	-12.06	-0.045	-14.34	-0.043	-14.04
H1	-0.045	-13.55	-0.042	-13.48	-0.044	-14.46
	HDW4		HDW5		HDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.054	-18.73	-0.061	-22.89	-0.061	-21.59
G1	-0.049	-16.94	-0.042	-15.50	-0.037	-12.97
H1	-0.056	-19.19	-0.055	-20.42	-0.050	-17.55
	HDW7		HDW8		HDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
F1	-0.056	-15.37	-0.063	-17.56	-0.060	-20.65
G1	-0.033	-9.13	-0.028	-7.83	-0.028	-9.61
H1	-0.050	-13.73	-0.044	-12.18	-0.051	-17.43

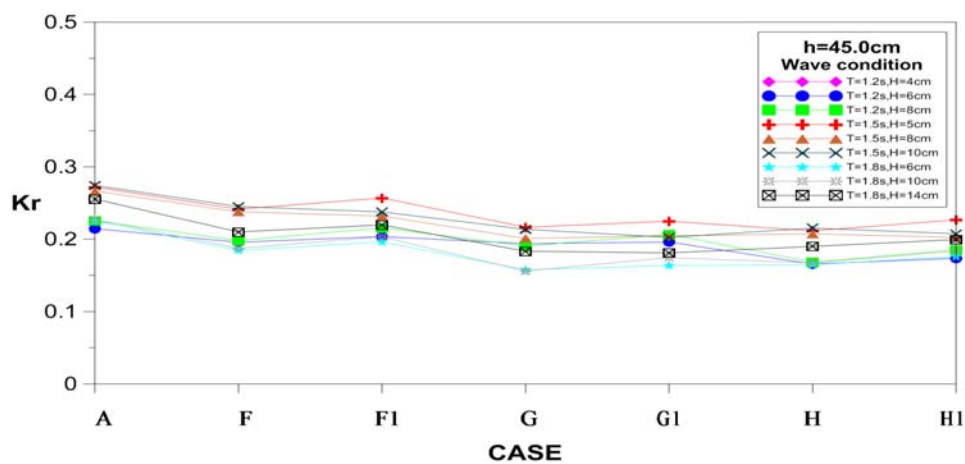


圖 5.5.35 低水位各 CASE 反射率比較圖

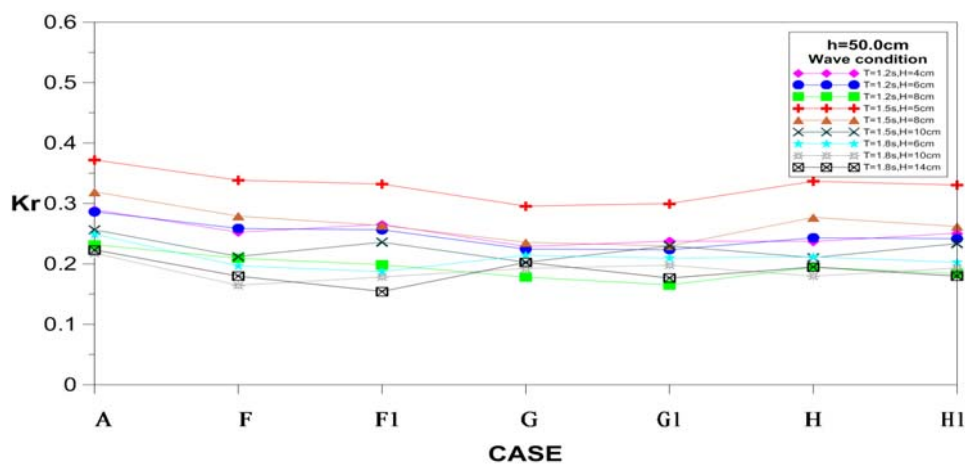


圖 5.5.36 中水位各 CASE 反射率比較圖

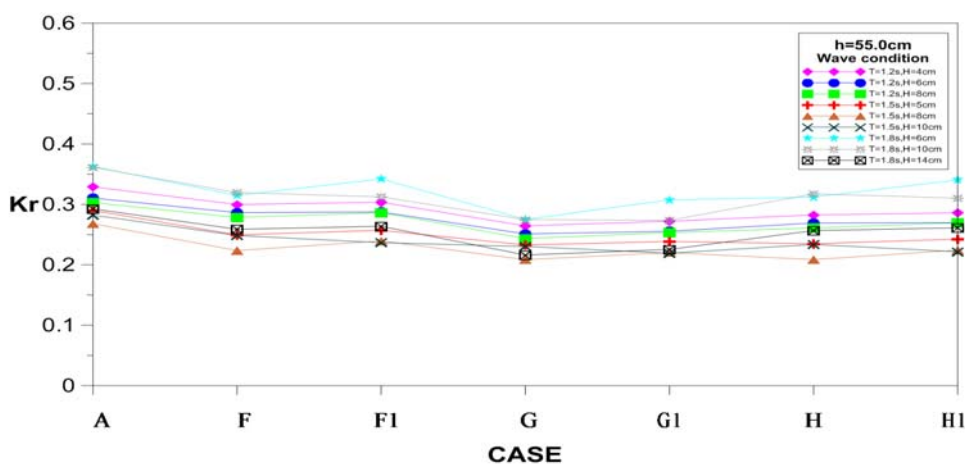


圖 5.5.37 高水位各 CASE 反射率比較圖

表 5.5.16 LD 水深反射分析表

	LDW1		LDW2		LDW3	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.045	-21.43	-0.043	-20.14	-0.050	-22.28
J	-0.056	-20.61	-0.054	-20.38	-0.055	-19.94
K	-0.071	-31.49	-0.070	-30.74	-0.076	-29.56
	LDW4		LDW5		LDW6	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.055	-26.36	-0.064	-29.60	-0.061	-26.85
J	-0.066	-24.40	-0.075	-28.00	-0.075	-27.34
K	-0.076	-33.84	-0.079	-34.83	-0.096	-37.50
	LDW7		LDW8		LDW9	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.050	-23.73	-0.048	-22.38	-0.065	-28.85
J	-0.071	-26.06	-0.069	-25.93	-0.070	-25.34
K	-0.066	-29.18	-0.075	-32.85	-0.090	-35.35

表 5.5.17 LD 水深反射分析表

	LDW1		LDW2		LDW3	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.049	-22.45	-0.043	-19.47	-0.038	-16.56
J1	-0.050	-17.66	-0.058	-21.81	-0.056	-20.98
K1	-0.066	-28.35	-0.074	-29.91	-0.070	-26.99
	LDW4		LDW5		LDW6	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.059	-27.17	-0.064	-28.59	-0.059	-25.35
J1	-0.070	-24.88	-0.078	-29.50	-0.077	-28.54
K1	-0.086	-37.10	-0.094	-38.12	-0.090	-34.80
	LDW7		LDW8		LDW9	
工法	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)	反射率 増減	増減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.059	-26.94	-0.058	-26.12	-0.053	-22.97
J1	-0.064	-22.93	-0.072	-27.42	-0.071	-26.49
K1	-0.081	-34.73	-0.089	-35.90	-0.085	-32.69

表 5.5.18 MD 水深反射分析表

	MDW1		MDW2		MDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.061	-21.01	-0.051	-17.96	-0.046	-19.84
J	-0.069	-18.44	-0.075	-23.63	-0.059	-23.08
K	-0.065	-26.24	-0.066	-30.35	-0.056	-25.30
	MDW4		MDW5		MDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.081	-28.12	-0.072	-25.16	-0.047	-20.10
J	-0.089	-23.98	-0.096	-30.09	-0.070	-27.22
K	-0.086	-34.52	-0.069	-31.55	-0.077	-34.52
	MDW7		MDW8		MDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.076	-26.29	-0.067	-23.31	-0.061	-26.44
J	-0.084	-22.55	-0.091	-28.43	-0.074	-29.05
K	-0.081	-32.39	-0.061	-28.19	-0.072	-32.15

表 5.5.19 MD 水深反射分析表

	MDW1		MDW2		MDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.049	-16.77	-0.054	-18.70	-0.051	-22.70
J1	-0.083	-21.77	-0.075	-24.73	-0.050	-18.34
K1	-0.061	-25.99	-0.056	-25.29	-0.056	-27.04
	MDW4		MDW5		MDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.069	-23.87	-0.074	-25.90	-0.047	-20.76
J1	-0.103	-27.20	-0.096	-31.52	-0.070	-25.96
K1	-0.082	-34.73	-0.077	-34.59	-0.064	-30.70
	MDW7		MDW8		MDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.064	-22.04	-0.069	-24.05	-0.057	-25.05
J1	-0.098	-25.80	-0.090	-29.77	-0.065	-24.00
K1	-0.077	-32.48	-0.071	-32.20	-0.054	-26.22

表 5.5.20 HD 水深反射分析表

	HDW1		HDW2		HDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.061	-18.46	-0.056	-17.90	-0.056	-18.48
J	-0.061	-21.22	-0.066	-24.49	-0.055	-19.50
K	-0.063	-17.23	-0.056	-15.59	-0.028	-9.70
	HDW4		HDW5		HDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.087	-26.30	-0.081	-26.20	-0.082	-26.99
J	-0.087	-30.12	-0.091	-34.11	-0.081	-28.64
K	-0.078	-21.59	-0.082	-22.73	-0.047	-16.13
	HDW7		HDW8		HDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I	-0.081	-24.63	-0.076	-24.43	-0.076	-25.18
J	-0.082	-28.22	-0.086	-32.06	-0.075	-26.69
K	-0.083	-22.83	-0.077	-21.21	-0.039	-13.22

表 5.5.21 HD 水深反射分析表

	HDW1		HDW2		HDW3	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.059	-17.72	-0.056	-17.89	-0.058	-18.62
J1	-0.062	-20.89	-0.061	-21.76	-0.056	-20.59
K1	-0.063	-16.08	-0.057	-15.96	-0.043	-13.79
	HDW4		HDW5		HDW6	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.084	-25.52	-0.082	-26.16	-0.084	-26.86
J1	-0.088	-29.55	-0.087	-31.00	-0.082	-30.10
K1	-0.089	-22.69	-0.082	-23.24	-0.069	-22.05
	HDW7		HDW8		HDW9	
工法	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)	反射率 增減	增減百分比 (%)
A	0	0	0	0	0	0
I1	-0.079	-23.86	-0.076	-24.40	-0.079	-25.10
J1	-0.083	-27.70	-0.081	-29.03	-0.076	-28.07
K1	-0.083	-21.28	-0.077	-21.69	-0.053	-17.11

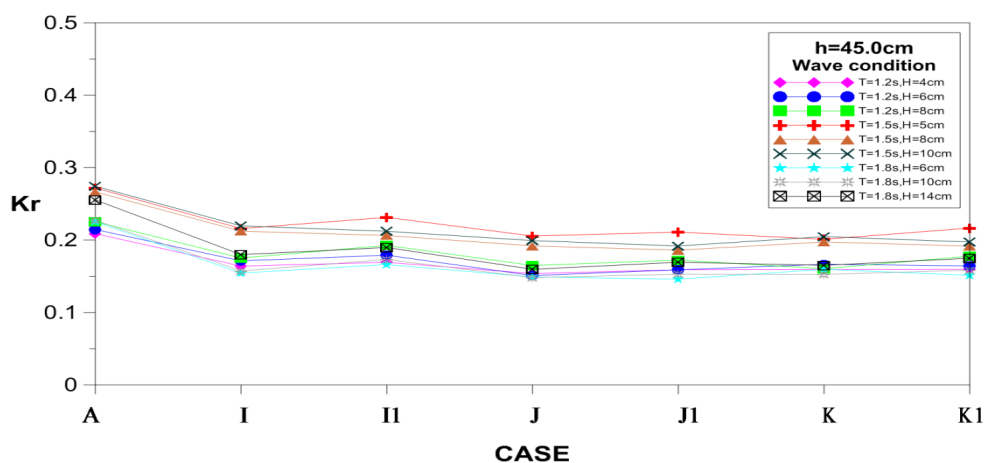


圖 5.5.38 低水位各 CASE 反射率比較圖

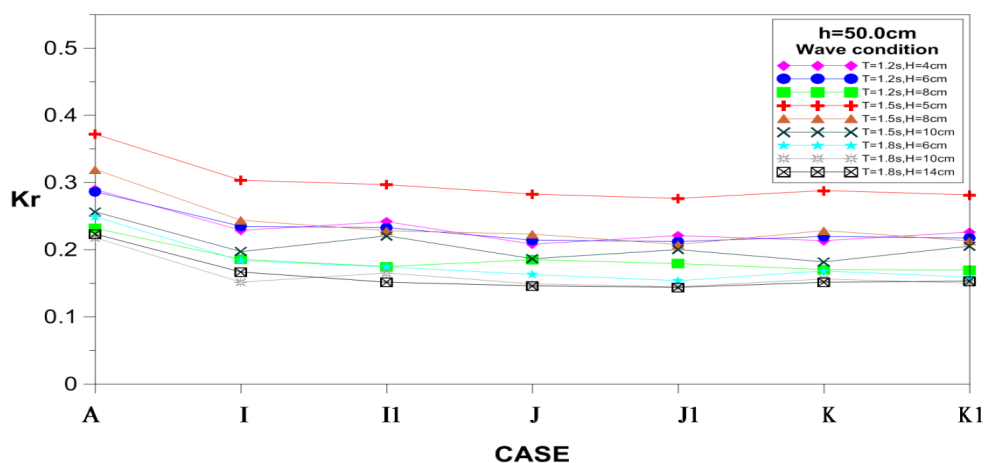


圖 5.5.39 中水位各 CASE 反射率比較圖

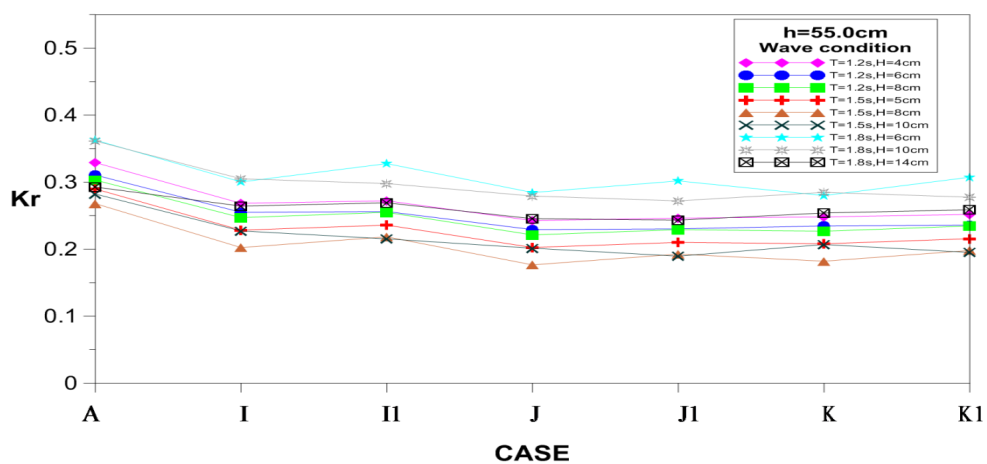


圖 5.5.40 高水位各 CASE 反射率比較圖

溯升高度之討論係從試驗錄影中所攫取觀察波浪在各工法的溯升高度，並與原始斷面配置的溯升高度做比較，以觀察各工法之優劣，各試驗溯升高度詳見如下之附表及無因次越波量圖。

表 5.5.22 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
A	HD-W1	7	X	X	N/A	N/A
	HD-W2	10	X	X	N/A	N/A
	HD-W3	11	X	X	N/A	N/A
	HD-W4	10	X	X	N/A	N/A
	HD-W5	23	X	X	N/A	N/A
	HD-W6	25	X	X	N/A	N/A
	HD-W7	20	X	X	N/A	N/A
	HD-W8	X	O	300	N/A	N/A
	HD-W9	X	O	500	N/A	N/A
	MD-W1	5	X	X	N/A	N/A
	MD -W2	8	X	X	N/A	N/A
	MD -W3	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W4	8	X	X	N/A	N/A
	MD -W5	9	X	X	N/A	N/A
	MD -W6	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W7	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W8	15	X	X	N/A	N/A
	MD -W9	24	X	X	N/A	N/A
	LD-W1	5	X	X	N/A	N/A
	LD -W2	6	X	X	N/A	N/A
	LD -W3	8	X	X	N/A	N/A
	LD -W4	8	X	X	N/A	N/A
	LD -W5	10	X	X	N/A	N/A
	LD -W6	12	X	X	N/A	N/A
	LD -W7	9	X	X	N/A	N/A
	LD -W8	13	X	X	N/A	N/A
	LD -W9	16	X	X	N/A	N/A

表 5.5.23 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面 比較	增減百分比 (%)
B	HD-W1-R	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-R	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W3-R	10	X	X	-1	-9.09
	HD-W4-R	9	X	X	-1	-10.00
	HD-W5-R	22	X	X	-1	-4.35
	HD-W6-R	26	X	X	1	4.00
	HD-W7-R	11	X	X	-9	-45.00
	HD-W8-R	X	O	50	N/A	N/A
	HD-W9-R	X	O	130	N/A	N/A
	MD-W1-R	3	X	X	-2	-40.00
	MD -W2-R	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-R	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-R	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W5-R	8	X	X	-1	-11.11
	MD -W6-R	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W7-R	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W8-R	12	X	X	-3	-20.00
	MD -W9-R	21	X	X	-3	-12.50
	LD-W1-R	2	X	X	-2	-60.00
	LD -W2-R	2	X	X	-2	-66.67
	LD -W3-R	4	X	X	-1	-50.00
	LD -W4-R	4	X	X	-1	-50.00
	LD -W5-R	6	X	X	-1	-40.00
	LD -W6-R	8	X	X	1	-33.33
	LD -W7-R	5	X	X	-9	-44.44
	LD -W8-R	8	X	X		-38.46
	LD -W9-R	13	X	X		-18.75

表 5.5.24 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面 比較	增減百分比 (%)
B1	HD-W1-L	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-L	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W3-L	10	X	X	-1	-9.09
	HD-W4-L	9	X	X	-1	-10.00
	HD-W5-L	23	X	X	0	0.00
	HD-W6-L	26	X	X	1	4.00
	HD-W7-L	11	X	X	-9	-45.00
	HD-W8-L	X	O	50	N/A	N/A
	HD-W9-L	X	O	150	N/A	N/A
	MD-W1-L	3	X	X	-2	-40.00
	MD -W2-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W5-L	7	X	X	-2	-22.22
	MD -W6-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W7-L	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W8-L	12	X	X	-3	-20.00
	MD -W9-L	20	X	X	-4	-16.67
	LD-W1-L	2	X	X	-3	-60.00
	LD -W2-L	3	X	X	-3	-50.00
	LD -W3-L	5	X	X	-3	-37.50
	LD -W4-L	4	X	X	-4	-50.00
	LD -W5-L	7	X	X	-3	-30.00
	LD -W6-L	9	X	X	-3	-25.00
	LD -W7-L	5	X	X	-4	-44.44
	LD -W8-L	8	X	X	-5	-38.46
	LD -W9-L	13	X	X	-3	-18.75

表 5.5.25 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面 比較	增減百分比 (%)
C	HD-W1-R	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-R	7	X	X	-3	-30.00
	HD-W3-R	10	X	X	-1	-9.09
	HD-W4-R	7	X	X	-3	-30.00
	HD-W5-R	17	X	X	-6	-26.09
	HD-W6-R	23	X	X	-2	-8.00
	HD-W7-R	14	X	X	-6	-30.00
	HD-W8-R	X	O	50	N/A	N/A
	HD-W9-R	X	O	180	N/A	N/A
	MD-W1-R	3	X	X	-2	-40.00
	MD -W2-R	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-R	7	X	X	-3	-30.00
	MD -W4-R	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W5-R	7	X	X	-2	-22.22
	MD -W6-R	7	X	X	-3	-30.00
	MD -W7-R	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W8-R	11	X	X	-4	-26.67
	MD -W9-R	21	X	X	-3	-12.50
	LD-W1-R	2	X	X	-3	-60.00
	LD -W2-R	3	X	X	-3	-50.00
	LD -W3-R	5	X	X	-3	-37.50
	LD -W4-R	4	X	X	-4	-50.00
	LD -W5-R	6	X	X	-4	-40.00
	LD -W6-R	8	X	X	-4	-33.33
	LD -W7-R	5	X	X	-4	-44.44
	LD -W8-R	8	X	X	-5	-38.46
	LD -W9-R	14	X	X	-2	-12.50

表 5.5.26 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面 比較	增減百分比 (%)
C1	HD-W1-L	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-L	7	X	X	-3	-30.00
	HD-W3-L	9	X	X	-2	-18.18
	HD-W4-L	7	X	X	-3	-30.00
	HD-W5-L	18	X	X	-5	-21.74
	HD-W6-L	21	X	X	-4	-16.00
	HD-W7-L	15	X	X	-5	-25.00
	HD-W8-L	X	O	50	N/A	N/A
	HD-W9-L	X	O	200	N/A	N/A
	MD-W1-L	3	X	X	-2	-40.00
	MD -W2-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W5-L	7	X	X	-2	-22.22
	MD -W6-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W7-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W8-L	12	X	X	-3	-20.00
	MD -W9-L	21	X	X	-3	-12.50
	LD-W1-L	2	X	X	-3	-60.00
	LD -W2-L	3	X	X	-3	-50.00
	LD -W3-L	5	X	X	-3	-37.50
	LD -W4-L	4	X	X	-4	-50.00
	LD -W5-L	7	X	X	-3	-30.00
	LD -W6-L	9	X	X	-3	-25.00
	LD -W7-L	5	X	X	-4	-44.44
	LD -W8-L	8	X	X	-5	-38.46
	LD -W9-L	13	X	X	-3	-18.75

表 5.5.27 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面 比較	增減百分比 (%)
D	HD-W1-R	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-R	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W3-R	9	X	X	-2	-18.18
	HD-W4-R	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W5-R	19	X	X	-4	-17.39
	HD-W6-R	21	X	X	-4	-16.00
	HD-W7-R	16	X	X	-4	-20.00
	HD-W8-R	X	O	60	N/A	N/A
	HD-W9-R	X	O	220	N/A	N/A
	MD-W1-R	3	X	X	-2	-40.00
	MD -W2-R	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-R	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-R	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W5-R	7	X	X	-2	-22.22
	MD -W6-R	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W7-R	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W8-R	13	X	X	-2	-13.33
	MD -W9-R	21	X	X	-3	-12.50
	LD-W1-R	2	X	X	-3	-60.00
	LD -W2-R	4	X	X	-2	-33.33
	LD -W3-R	8	X	X	0	0.00
	LD -W4-R	3	X	X	-5	-62.50
	LD -W5-R	4	X	X	-6	-60.00
	LD -W6-R	6	X	X	-6	-50.00
	LD -W7-R	4	X	X	-5	-55.56
	LD -W8-R	7	X	X	-6	-46.15
	LD -W9-R	10	X	X	-6	-37.50

表 5.5.28 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面 比較	增減百分比 (%)
D1	HD-W1-L	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-L	9	X	X	-1	-10.00
	HD-W3-L	11	X	X	0	0.00
	HD-W4-L	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W5-L	20	X	X	-3	-13.04
	HD-W6-L	22	X	X	-3	-12.00
	HD-W7-L	17	X	X	-3	-15.00
	HD-W8-L	X	O	62.3	N/A	N/A
	HD-W9-L	X	O	250.7	N/A	N/A
	MD-W1-L	3	X	X	-2	-40.00
	MD -W2-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W5-L	7	X	X	-2	-22.22
	MD -W6-L	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W7-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W8-L	13	X	X	-2	-13.33
	MD -W9-L	22	X	X	-2	-8.33
	LD-W1-L	2	X	X	-3	-60.00
	LD -W2-L	4	X	X	-2	-33.33
	LD -W3-L	7	X	X	-1	-12.50
	LD -W4-L	3	X	X	-5	-62.50
	LD -W5-L	4	X	X	-6	-60.00
	LD -W6-L	6	X	X	-6	-50.00
	LD -W7-L	4	X	X	-5	-55.56
	LD -W8-L	7	X	X	-6	-46.15
	LD -W9-L	10	X	X	-6	-37.50

表 5.5.29 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面比 較	增減百分比 (%)
E	HD-W1-R	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-R	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W3-R	9	X	X	-2	-18.18
	HD-W4-R	10	X	X	0	0.00
	HD-W5-R	23	X	X	0	0.00
	HD-W6-R	25	X	X	0	0.00
	HD-W7-R	10	X	X	-10	-50.00
	HD-W8-R	35	X	X	-5	-12.50
	HD-W9-R	38	X	X	-2	-5.00
	MD-W1-R	4	X	X	-1	-20.00
	MD -W2-R	5	X	X	-3	-37.50
	MD -W3-R	6	X	X	-4	-40.00
	MD -W4-R	7	X	X	-1	-12.50
	MD -W5-R	8	X	X	-1	-11.11
	MD -W6-R	10	X	X	0	0.00
	MD -W7-R	10	X	X	0	0.00
	MD -W8-R	15	X	X	0	0.00
	MD -W9-R	20	X	X	-4	-16.67
	LD-W1-R	4	X	X	-1	-20.00
	LD -W2-R	5	X	X	-1	-16.67
	LD -W3-R	7	X	X	-1	-12.50
	LD -W4-R	7	X	X	-1	-12.50
	LD -W5-R	8	X	X	-2	-20.00
	LD -W6-R	10	X	X	-2	-16.67
	LD -W7-R	7	X	X	-2	-22.22
	LD -W8-R	10	X	X	-3	-23.08
	LD -W9-R	14	X	X	-2	-12.50

表 5.5.30 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷面比 較	增減百分比 (%)
E1	HD-W1-L	5	X	X	-2	-28.57
	HD-W2-L	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W3-L	9	X	X	-2	-18.18
	HD-W4-L	10	X	X	0	0.00
	HD-W5-L	22	X	X	-1	-4.35
	HD-W6-L	25	X	X	0	0.00
	HD-W7-L	10	X	X	-10	-50.00
	HD-W8-L	X	O	50.8	N/A	N/A
	HD-W9-L	X	O	200.9	N/A	N/A
	MD-W1-L	4	X	X	-1	-20.00
	MD -W2-L	5	X	X	-3	-37.50
	MD -W3-L	7	X	X	-3	-30.00
	MD -W4-L	7	X	X	-1	-12.50
	MD -W5-L	8	X	X	-1	-11.11
	MD -W6-L	10	X	X	0	0.00
	MD -W7-L	10	X	X	0	0.00
	MD -W8-L	14	X	X	-1	-6.67
	MD -W9-L	18	X	X	-6	-25.00
	LD-W1-L	4	X	X	-1	-20.00
	LD -W2-L	5	X	X	-1	-16.67
	LD -W3-L	7	X	X	-1	-12.50
	LD -W4-L	7	X	X	-1	-12.50
	LD -W5-L	8	X	X	-2	-20.00
	LD -W6-L	10	X	X	-2	-16.67
	LD -W7-L	8	X	X	-1	-11.11
	LD -W8-L	10	X	X	-3	-23.08
	LD -W9-L	14	X	X	-2	-12.50

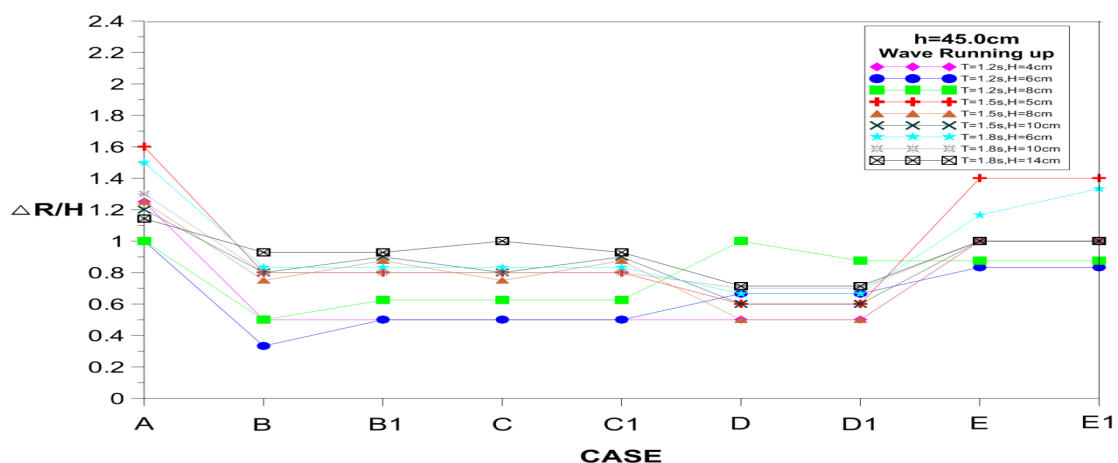


圖 5.5.41 低水位各 CASE 溯升高比較圖

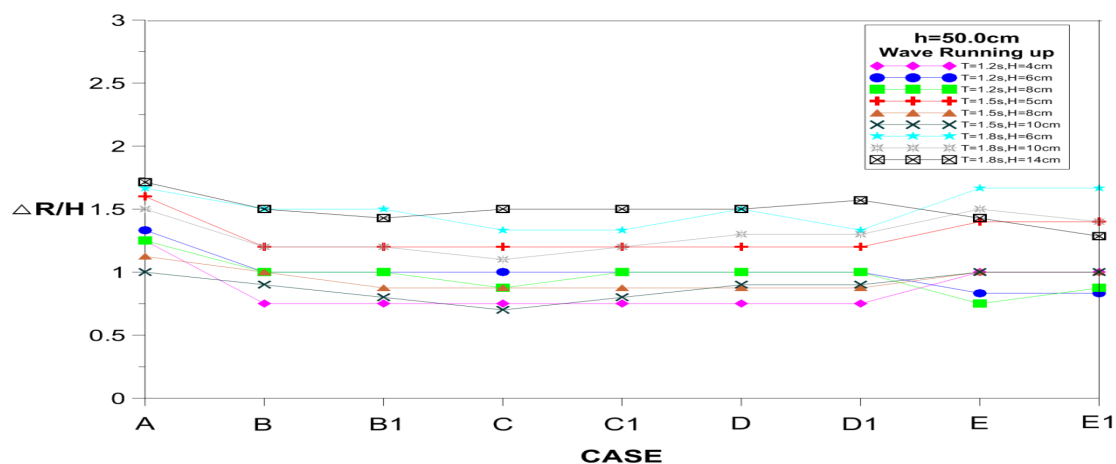


圖 5.5.42 中水位各 CASE 溯升高比較圖

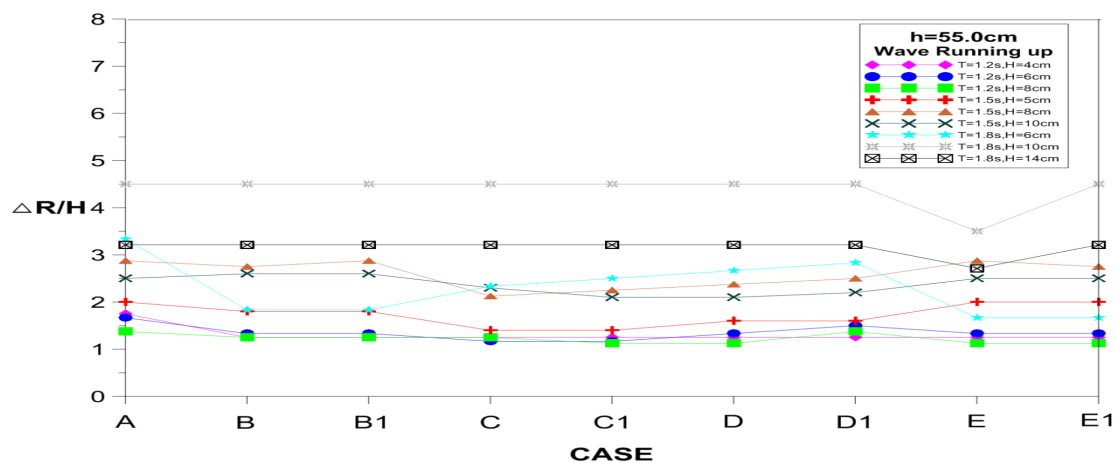


圖 5.5.43 高水位各 CASE 溯升高比較圖

表 5.5.31 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
A	HD-W1	7	X	X	N/A	N/A
	HD-W2	10	X	X	N/A	N/A
	HD-W3	11	X	X	N/A	N/A
	HD-W4	10	X	X	N/A	N/A
	HD-W5	23	X	X	N/A	N/A
	HD-W6	25	X	X	N/A	N/A
	HD-W7	20	X	X	N/A	N/A
	HD-W8	X	O	300	N/A	N/A
	HD-W9	X	O	500	N/A	N/A
	MD-W1	5	X	X	N/A	N/A
	MD -W2	8	X	X	N/A	N/A
	MD -W3	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W4	8	X	X	N/A	N/A
	MD -W5	9	X	X	N/A	N/A
	MD -W6	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W7	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W8	15	X	X	N/A	N/A
	MD -W9	24	X	X	N/A	N/A
	LD-W1	5	X	X	N/A	N/A
	LD -W2	6	X	X	N/A	N/A
	LD -W3	8	X	X	N/A	N/A
	LD -W4	8	X	X	N/A	N/A
	LD -W5	10	X	X	N/A	N/A
	LD -W6	12	X	X	N/A	N/A
	LD -W7	9	X	X	N/A	N/A
	LD -W8	13	X	X	N/A	N/A
	LD -W9	16	X	X	N/A	N/A

表 5.5.32 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
F	HD-W1-R	4	X	X	-3	-42.86
	HD-W2-R	12	X	X	2	20.00
	HD-W3-R	15	X	X	4	36.36
	HD-W4-R	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W5-R	20	X	X	-3	-13.04
	HD-W6-R	23	X	X	-2	-8.00
	HD-W7-R	10	X	X	-10	-50.00
	HD-W8-R	X	O	300.5	N/A	N/A
	HD-W9-R	X	O	450.6	N/A	N/A
	MD-W1-R	5	X	X	0	0.00
	MD -W2-R	8	X	X	0	0.00
	MD -W3-R	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-R	8	X	X	0	0.00
	MD -W5-R	10	X	X	1	11.11
	MD -W6-R	11	X	X	1	10.00
	MD -W7-R	10	X	X	0	0.00
	MD -W8-R	16	X	X	1	6.67
	MD -W9-R	24	X	X	-3	-11.11
	LD-W1-R	5	X	X	0	0.00
	LD -W2-R	6	X	X	0	0.00
	LD -W3-R	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W4-R	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W5-R	8	X	X	-2	-20.00
	LD -W6-R	9	X	X	-3	-25.00
	LD -W7-R	6.5	X	X	-2.5	-27.78
	LD -W8-R	9	X	X	-4	-30.77
	LD -W9-R	13	X	X	-3	-18.75

表 5.5.33 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
F1	HD-W1-L	3	X	X	-4	-57.14
	HD-W2-L	11	X	X	1	10.00
	HD-W3-L	14	X	X	3	27.27
	HD-W4-L	7	X	X	-3	-30.00
	HD-W5-L	19	X	X	-4	-17.39
	HD-W6-L	25	X	X	0	0.00
	HD-W7-L	9	X	X	-11	-55.00
	HD-W8-L	X	O	230.2	N/A	N/A
	HD-W9-L	X	O	430.5	N/A	N/A
	MD-W1-L	5	X	X	0	0.00
	MD -W2-L	8	X	X	0	0.00
	MD -W3-L	10	X	X	0	0.00
	MD -W4-L	9	X	X	1	12.50
	MD -W5-L	11	X	X	2	22.22
	MD -W6-L	11	X	X	1	10.00
	MD -W7-L	11	X	X	1	10.00
	MD -W8-L	13	X	X	-2	-13.33
	MD -W9-L	17	X	X	-10	-37.04
	LD-W1-L	5	X	X	0	0.00
	LD -W2-L	6	X	X	0	0.00
	LD -W3-L	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W4-L	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W5-L	8	X	X	-2	-20.00
	LD -W6-L	9	X	X	-3	-25.00
	LD -W7-L	8	X	X	-1	-11.11
	LD -W8-L	11	X	X	-2	-15.38
	LD -W9-L	15	X	X	-1	-6.25

表 5.5.34 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
G	HD-W1-R	4	X	X	-3	-42.86
	HD-W2-R	7	X	X	-3	-30.00
	HD-W3-R	13	X	X	2	18.18
	HD-W4-R	9	X	X	-1	-10.00
	HD-W5-R	19	X	X	-4	-17.39
	HD-W6-R	20	X	X	-5	-20.00
	HD-W7-R	12	X	X	-8	-40.00
	HD-W8-R	21	X	X	-19	-47.50
	HD-W9-R	37	X	X	-3	-7.50
	MD-W1-R	4	X	X	-1	-20.00
	MD -W2-R	5	X	X	-3	-37.50
	MD -W3-R	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-R	9	X	X	1	12.50
	MD -W5-R	9	X	X	0	0.00
	MD -W6-R	10	X	X	0	0.00
	MD -W7-R	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W8-R	12	X	X	-3	-20.00
	MD -W9-R	14	X	X	-13	-48.15
	LD -W1-R	4	X	X	-1	-20.00
	LD -W2-R	5	X	X	-1	-16.67
	LD -W3-R	6.5	X	X	-1.5	-18.75
	LD -W4-R	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W5-R	7	X	X	-3	-30.00
	LD -W6-R	8	X	X	-4	-33.33
	LD -W7-R	7	X	X	-2	-22.22
	LD -W8-R	10	X	X	-3	-23.08
	LD -W9-R	14	X	X	-2	-12.50

表 5.5.35 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
G1	HD-W1-L	4	X	X	-3	-42.86
	HD-W2-L	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W3-L	14	X	X	3	27.27
	HD-W4-L	9	X	X	-1	-10.00
	HD-W5-L	20	X	X	-3	-13.04
	HD-W6-L	22	X	X	-3	-12.00
	HD-W7-L	12	X	X	-8	-40.00
	HD-W8-L	24	X	X	-16	-40.00
	HD-W9-L	37	X	X	-3	-7.50
	MD-W1-L	4	X	X	-1	-20.00
	MD -W2-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-L	7	X	X	-3	-30.00
	MD -W4-L	8	X	X	0	0.00
	MD -W5-L	9	X	X	0	0.00
	MD -W6-L	11	X	X	1	10.00
	MD -W7-L	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W8-L	13	X	X	-2	-13.33
	MD -W9-L	15	X	X	-12	-44.44
	LD-W1-L	4	X	X	-1	-20.00
	LD -W2-L	5	X	X	-1	-16.67
	LD -W3-L	6.5	X	X	-1.5	-18.75
	LD -W4-L	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W5-L	8	X	X	-2	-20.00
	LD -W6-L	8	X	X	-4	-33.33
	LD -W7-L	8	X	X	-1	-11.11
	LD -W8-L	11	X	X	-2	-15.38
	LD -W9-L	13	X	X	-3	-18.75

表 5.5.36 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
H	HD-W1-R	4	X	X	-3	-42.86
	HD-W2-R	5	X	X	-5	-50.00
	HD-W3-R	9	X	X	-2	-18.18
	HD-W4-R	6	X	X	-4	-40.00
	HD-W5-R	18	X	X	-5	-21.74
	HD-W6-R	20	X	X	-5	-20.00
	HD-W7-R	8	X	X	-12	-60.00
	HD-W8-R	X	O	50.2	N/A	N/A
	HD-W9-R	X	O	200.3	N/A	N/A
	MD-W1-R	5	X	X	0	0.00
	MD -W2-R	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-R	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-R	7	X	X	-1	-12.50
	MD -W5-R	10	X	X	1	11.11
	MD -W6-R	12	X	X	2	20.00
	MD -W7-R	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W8-R	15	X	X	0	0.00
	MD -W9-R	22	X	X	-5	-18.52
	LD-W1-R	4	X	X	-1	-20.00
	LD -W2-R	5	X	X	-1	-16.67
	LD -W3-R	7	X	X	-1	-12.50
	LD -W4-R	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W5-R	8	X	X	-2	-20.00
	LD -W6-R	8	X	X	-4	-33.33
	LD -W7-R	9	X	X	0	0.00
	LD -W8-R	10	X	X	-3	-23.08
	LD -W9-R	14	X	X	-2	-12.50

表 5.5.37 試驗溯升高度比較表

工 法 編 號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
H1	HD-W1-L	4	X	X	-3	-42.86
	HD-W2-L	5	X	X	-5	-50.00
	HD-W3-L	11	X	X	0	0.00
	HD-W4-L	6	X	X	-4	-40.00
	HD-W5-L	16	X	X	-7	-30.43
	HD-W6-L	24	X	X	-1	-4.00
	HD-W7-L	10	X	X	-10	-50.00
	HD-W8-L	X	O	100.6	N/A	N/A
	HD-W9-L	X	O	300.5	N/A	N/A
	MD-W1-L	5	X	X	0	0.00
	MD -W2-L	6	X	X	-2	-25.00
	MD -W3-L	8	X	X	-2	-20.00
	MD -W4-L	7	X	X	-1	-12.50
	MD -W5-L	10	X	X	1	11.11
	MD -W6-L	11	X	X	1	10.00
	MD -W7-L	9	X	X	-1	-10.00
	MD -W8-L	16	X	X	1	6.67
	MD -W9-L	23	X	X	-4	-14.81
	LD-W1-L	4	X	X	-1	-20.00
	LD -W2-L	5	X	X	-1	-16.67
	LD -W3-L	7	X	X	-1	-12.50
	LD -W4-L	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W5-L	8	X	X	-2	-20.00
	LD -W6-L	8	X	X	-4	-33.33
	LD -W7-L	9	X	X	0	0.00
	LD -W8-L	11	X	X	-2	-15.38
	LD -W9-L	13	X	X	-3	-18.75

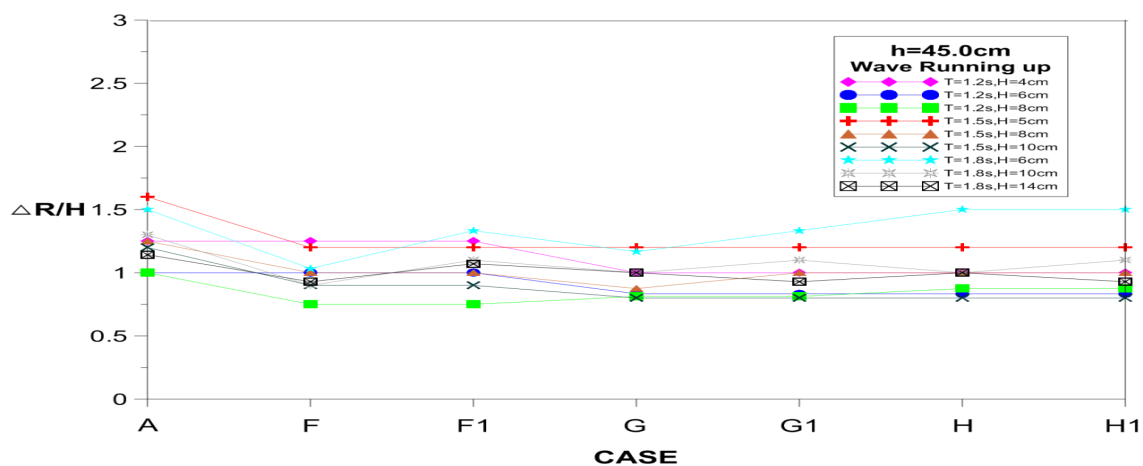


圖 5.5.44 低水位各 CASE 溯升高比較圖

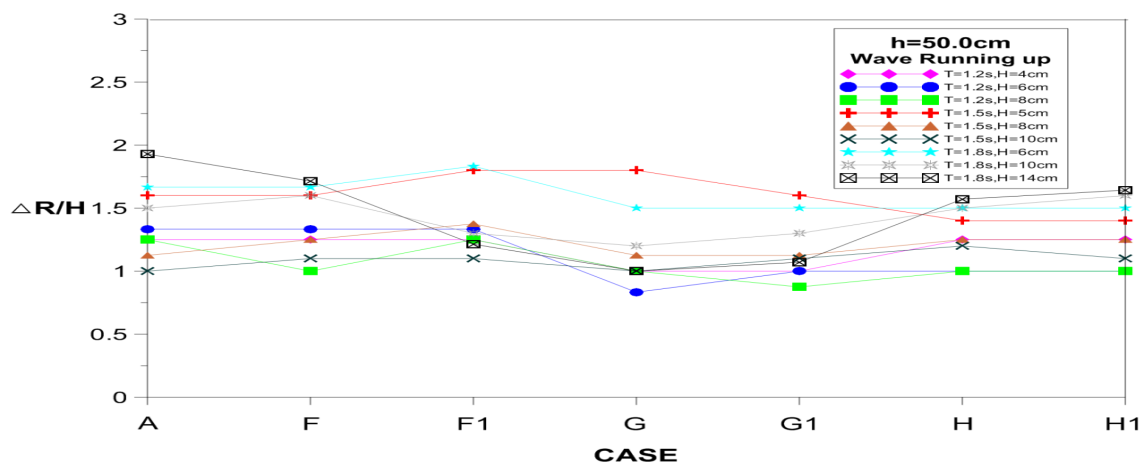


圖 5.5.45 中水位各 CASE 溯升高比較圖

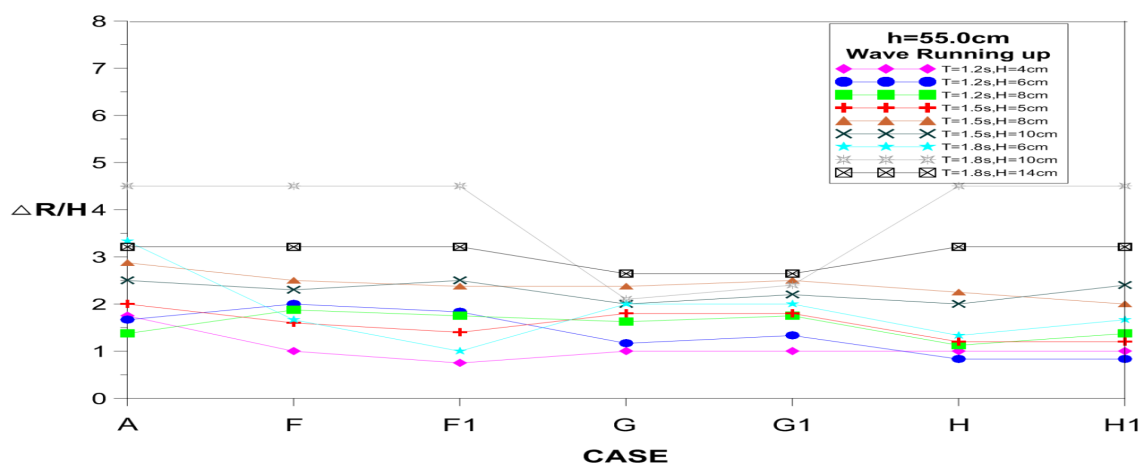


圖 5.5.46 高水位各 CASE 溯升高比較圖

表 5.5.38 試驗溯升高度比較表

工 法 編 號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
A	HD-W1	7	X	X	N/A	N/A
	HD-W2	10	X	X	N/A	N/A
	HD-W3	11	X	X	N/A	N/A
	HD-W4	10	X	X	N/A	N/A
	HD-W5	23	X	X	N/A	N/A
	HD-W6	25	X	X	N/A	N/A
	HD-W7	20	X	X	N/A	N/A
	HD-W8	X	O	300.6	N/A	N/A
	HD-W9	X	O	500.7	N/A	N/A
	MD-W1	5	X	X	N/A	N/A
	MD -W2	8	X	X	N/A	N/A
	MD -W3	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W4	8	X	X	N/A	N/A
	MD -W5	9	X	X	N/A	N/A
	MD -W6	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W7	10	X	X	N/A	N/A
	MD -W8	15	X	X	N/A	N/A
	MD -W9	24	X	X	N/A	N/A
	LD-W1	5	X	X	N/A	N/A
	LD -W2	6	X	X	N/A	N/A
	LD -W3	8	X	X	N/A	N/A
	LD -W4	8	X	X	N/A	N/A
	LD -W5	10	X	X	N/A	N/A
	LD -W6	12	X	X	N/A	N/A
	LD -W7	9	X	X	N/A	N/A
	LD -W8	13	X	X	N/A	N/A
	LD -W9	16	X	X	N/A	N/A

表 5.5.39 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
I	HD-W1-R	3	X	X	-4	-57.14
	HD-W2-R	6.2	X	X	-3.8	-38.00
	HD-W3-R	8.4	X	X	-2.6	-23.64
	HD-W4-R	8	X	X	-2	-20.00
	HD-W5-R	13.2	X	X	-9.8	-42.61
	HD-W6-R	15.8	X	X	-9.2	-36.80
	HD-W7-R	9.2	X	X	-10.8	-54.00
	HD-W8-R	29.1	X	X	-10.9	-27.25
	HD-W9-R	X	O	100.4	N/A	N/A
	MD-W1-R	2.8	X	X	-2.2	-44.00
	MD -W2-R	5.2	X	X	-2.8	-35.00
	MD -W3-R	7.1	X	X	-2.9	-29.00
	MD -W4-R	7.5	X	X	-0.5	-6.25
	MD -W5-R	9	X	X	0	0.00
	MD -W6-R	9.6	X	X	-0.4	-4.00
	MD -W7-R	9.4	X	X	-0.6	-6.00
	MD -W8-R	12.1	X	X	-2.9	-19.33
	MD -W9-R	16.2	X	X	-10.8	-40.00
	LD-W1-R	3	X	X	-2	-40.00
	LD -W2-R	4.2	X	X	-1.8	-30.00
	LD -W3-R	6	X	X	-2	-25.00
	LD -W4-R	5.4	X	X	-2.6	-32.50
	LD -W5-R	6.9	X	X	-3.1	-31.00
	LD -W6-R	7.8	X	X	-4.2	-35.00
	LD -W7-R	7.6	X	X	-1.4	-15.56
	LD -W8-R	9	X	X	-4	-30.77
	LD -W9-R	13	X	X	-3	-18.75

表 5.5.40 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
I1	HD-W1-L	3	X	X	-4	-57.14
	HD-W2-L	6.3	X	X	-3.7	-37.00
	HD-W3-L	8.6	X	X	-2.4	-21.82
	HD-W4-L	7.9	X	X	-2.1	-21.00
	HD-W5-L	13.3	X	X	-9.7	-42.17
	HD-W6-L	15.7	X	X	-9.3	-37.20
	HD-W7-L	9.3	X	X	-10.7	-53.50
	HD-W8-L	29.4	X	X	-10.6	-26.50
	HD-W9-L	X	O	100.8	N/A	N/A
	MD-W1-L	3	X	X	-2	-40.00
	MD -W2-L	5.5	X	X	-2.5	-31.25
	MD -W3-L	7.2	X	X	-2.8	-28.00
	MD -W4-L	8	X	X	0	0.00
	MD -W5-L	9.5	X	X	0.5	5.56
	MD -W6-L	10.4	X	X	0.4	4.00
	MD -W7-L	9.5	X	X	-0.5	-5.00
	MD -W8-L	13.5	X	X	-1.5	-10.00
	MD -W9-L	16.8	X	X	-10.2	-37.78
	LD-W1-L	3	X	X	-2	-40.00
	LD -W2-L	4.6	X	X	-1.4	-23.33
	LD -W3-L	6.3	X	X	-1.7	-21.25
	LD -W4-L	5.2	X	X	-2.8	-35.00
	LD -W5-L	6.6	X	X	-3.4	-34.00
	LD -W6-L	7.8	X	X	-4.2	-35.00
	LD -W7-L	7.2	X	X	-1.8	-20.00
	LD -W8-L	9.3	X	X	-3.7	-28.46
	LD -W9-L	13	X	X	-3	-18.75

表 5.5.41 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
J	HD-W1-R	2.4	X	X	-4.6	-65.71
	HD-W2-R	5.5	X	X	-4.5	-45.00
	HD-W3-R	7.3	X	X	-3.7	-33.64
	HD-W4-R	7.2	X	X	-2.8	-28.00
	HD-W5-R	11.3	X	X	-11.7	-50.87
	HD-W6-R	13.9	X	X	-11.1	-44.40
	HD-W7-R	7.9	X	X	-12.1	-60.50
	HD-W8-R	26.5	X	X	-13.5	-33.75
	HD-W9-R	35.6	X	X	-4.4	-11.00
	MD-W1-R	2.3	X	X	-2.7	-54.00
	MD -W2-R	4.7	X	X	-3.3	-41.25
	MD -W3-R	6.3	X	X	-3.7	-37.00
	MD -W4-R	6.3	X	X	-1.7	-21.25
	MD -W5-R	8.5	X	X	-0.5	-5.56
	MD -W6-R	9.1	X	X	-0.9	-9.00
	MD -W7-R	6.4	X	X	-3.6	-36.00
	MD -W8-R	9.5	X	X	-5.5	-36.67
	MD -W9-R	15.9	X	X	-11.1	-41.11
	LD -W1-R	2.2	X	X	-2.8	-56.00
	LD -W2-R	3.9	X	X	-2.1	-35.00
	LD -W3-R	4.2	X	X	-3.8	-47.50
	LD -W4-R	4.7	X	X	-3.3	-41.25
	LD -W5-R	5.7	X	X	-4.3	-43.00
	LD -W6-R	6.8	X	X	-5.2	-43.33
	LD -W7-R	5.5	X	X	-3.5	-38.89
	LD -W8-R	8.4	X	X	-4.6	-35.38
	LD -W9-R	10.3	X	X	-5.7	-35.63

表 5.5.42 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
J1	HD-W1-L	2.4	X	X	-4.6	-65.71
	HD-W2-L	5.7	X	X	-4.3	-43.00
	HD-W3-L	7.2	X	X	-3.8	-34.55
	HD-W4-L	7	X	X	-3	-30.00
	HD-W5-L	11.5	X	X	-11.5	-50.00
	HD-W6-L	13.8	X	X	-11.2	-44.80
	HD-W7-L	8.1	X	X	-11.9	-59.50
	HD-W8-L	26.4	X	X	-13.6	-34.00
	HD-W9-L	35.7	X	X	-4.3	-10.75
	MD-W1-L	2.3	X	X	-2.7	-54.00
	MD -W2-L	5	X	X	-3	-37.50
	MD -W3-L	6.5	X	X	-3.5	-35.00
	MD -W4-L	6.6	X	X	-1.4	-17.50
	MD -W5-L	8.6	X	X	-0.4	-4.44
	MD -W6-L	9.3	X	X	-0.7	-7.00
	MD -W7-L	6.6	X	X	-3.4	-34.00
	MD -W8-L	9.6	X	X	-5.4	-36.00
	MD -W9-L	16	X	X	-11	-40.74
	LD -W1-L	2.3	X	X	-2.7	-54.00
	LD -W2-L	4	X	X	-2	-33.33
	LD -W3-L	4	X	X	-4	-50.00
	LD -W4-L	4.6	X	X	-3.4	-42.50
	LD -W5-L	5.5	X	X	-4.5	-45.00
	LD -W6-L	7	X	X	-5	-41.67
	LD -W7-L	5.4	X	X	-3.6	-40.00
	LD -W8-L	8.5	X	X	-4.5	-34.62
	LD -W9-L	10.5	X	X	-5.5	-34.38

表 5.5.43 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越 波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
K	HD-W1-R	2.9	X	X	-4.1	-58.57
	HD-W2-R	6	X	X	-4	-40.00
	HD-W3-R	7.6	X	X	-3.4	-30.91
	HD-W4-R	7.6	X	X	-2.4	-24.00
	HD-W5-R	12	X	X	-11	-47.83
	HD-W6-R	14.3	X	X	-10.7	-42.80
	HD-W7-R	8.3	X	X	-11.7	-58.50
	HD-W8-R	26.9	X	X	-13.1	-32.75
	HD-W9-R	38.5	X	X	-1.5	-3.75
	MD-W1-R	2.6	X	X	-2.4	-48.00
	MD -W2-R	5.1	X	X	-2.9	-36.25
	MD -W3-R	6.4	X	X	-3.6	-36.00
	MD -W4-R	6.8	X	X	-1.2	-15.00
	MD -W5-R	9	X	X	0	0.00
	MD -W6-R	9.5	X	X	-0.5	-5.00
	MD -W7-R	6.9	X	X	-3.1	-31.00
	MD -W8-R	10.2	X	X	-4.8	-32.00
	MD -W9-R	16.2	X	X	-10.8	-40.00
	LD-W1-R	3.1	X	X	-1.9	-38.00
	LD -W2-R	4.1	X	X	-1.9	-31.67
	LD -W3-R	5	X	X	-3	-37.50
	LD -W4-R	4.9	X	X	-3.1	-38.75
	LD -W5-R	6.6	X	X	-3.4	-34.00
	LD -W6-R	7.5	X	X	-4.5	-37.50
	LD -W7-R	6.9	X	X	-2.1	-23.33
	LD -W8-R	8.7	X	X	-4.3	-33.08
	LD -W9-R	11	X	X	-5	-31.25

表 5.5.44 試驗溯升高度比較表

編號	波浪條件	溯升高度 (cm)	有無越波	越波量 (cm ³ /m)	與原斷 面比較	增減百分比(%)
K1	HD-W1-L	2.8	X	X	-4.2	-60.00
	HD-W2-L	6.1	X	X	-3.9	-39.00
	HD-W3-L	7.5	X	X	-3.5	-31.82
	HD-W4-L	7.8	X	X	-2.2	-22.00
	HD-W5-L	12.3	X	X	-10.7	-46.52
	HD-W6-L	14.2	X	X	-10.8	-43.20
	HD-W7-L	8.5	X	X	-11.5	-57.50
	HD-W8-L	27.1	X	X	-12.9	-32.25
	HD-W9-L	38.8	X	X	-1.2	-3.00
	MD-W1-L	2.7	X	X	-2.3	-46.00
	MD -W2-L	5.2	X	X	-2.8	-35.00
	MD -W3-L	6.7	X	X	-3.3	-33.00
	MD -W4-L	6.9	X	X	-1.1	-13.75
	MD -W5-L	8.9	X	X	-0.1	-1.11
	MD -W6-L	9.3	X	X	-0.7	-7.00
	MD -W7-L	7	X	X	-3	-30.00
	MD -W8-L	10.6	X	X	-4.4	-29.33
	MD -W9-L	16.7	X	X	-10.3	-38.15
	LD -W1-L	3.2	X	X	-1.8	-36.00
	LD -W2-L	4	X	X	-2	-33.33
	LD -W3-L	4.8	X	X	-3.2	-40.00
	LD -W4-L	5	X	X	-3	-37.50
	LD -W5-L	6.5	X	X	-3.5	-35.00
	LD -W6-L	7.4	X	X	-4.6	-38.33
	LD -W7-L	7	X	X	-2	-22.22
	LD -W8-L	8.9	X	X	-4.1	-31.54
	LD -W9-L	11	X	X	-5	-31.25

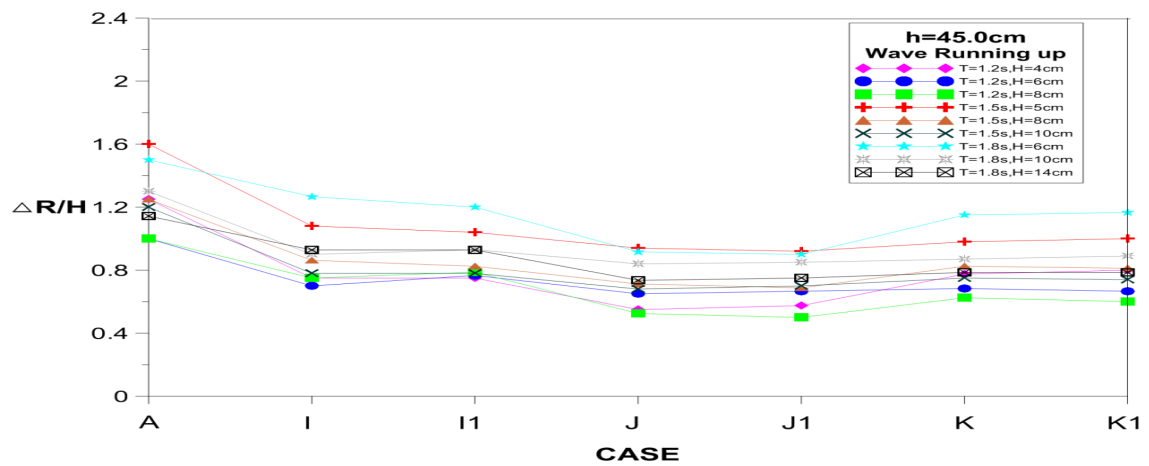


圖 5.5.47 低水位各 CASE 溯升高比較圖

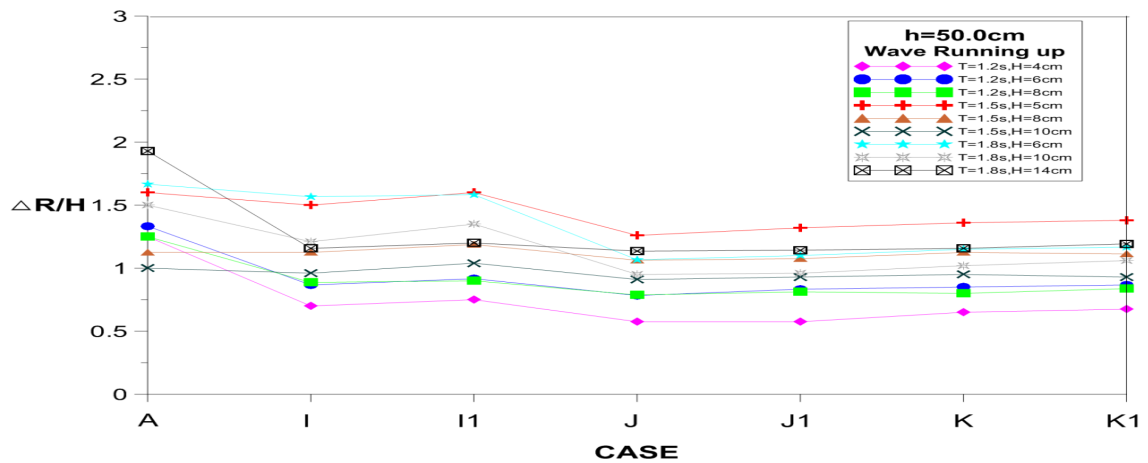


圖 5.5.48 中水位各 CASE 溯升高比較圖

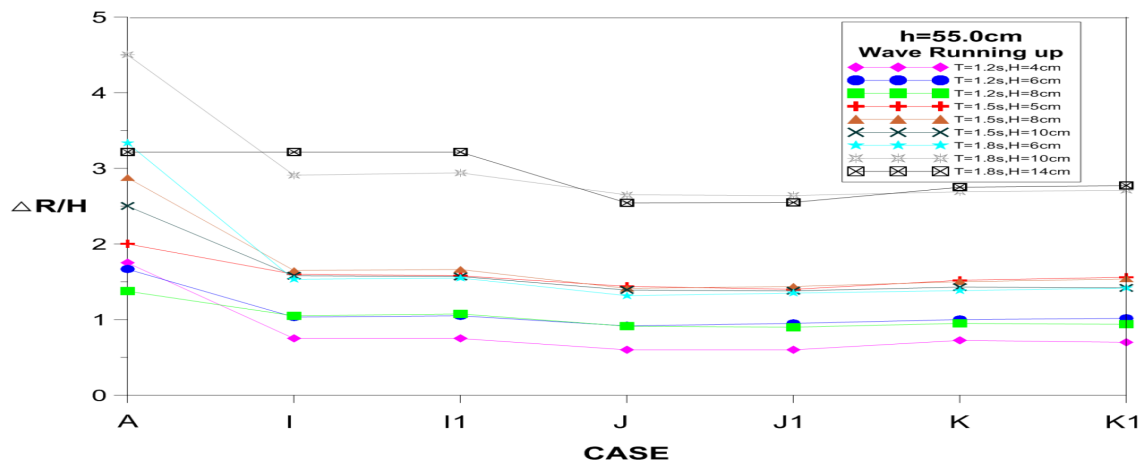


圖 5.5.49 高水位各 CASE 溯升高比較圖

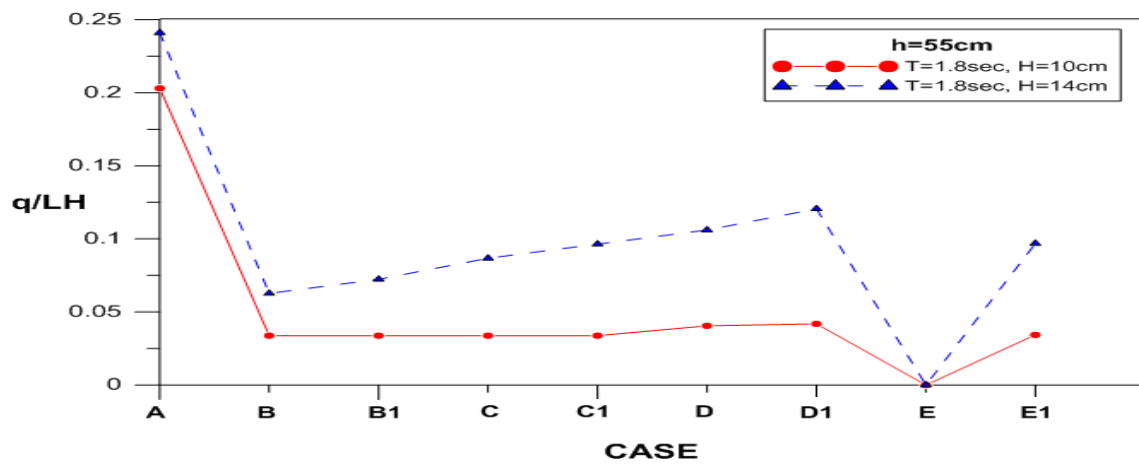


圖 5.5.50 各 CASE 越波量比較圖

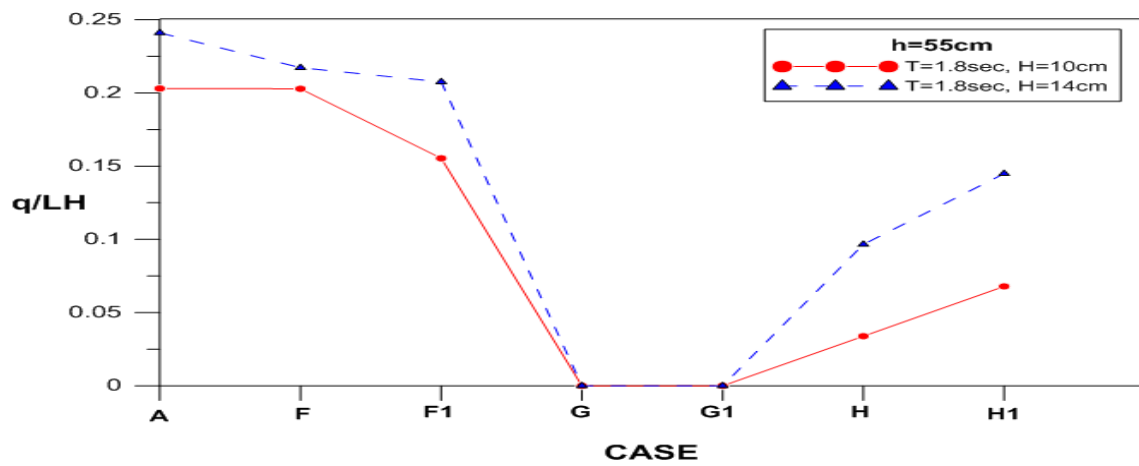


圖 5.5.51 各 CASE 越波量比較圖

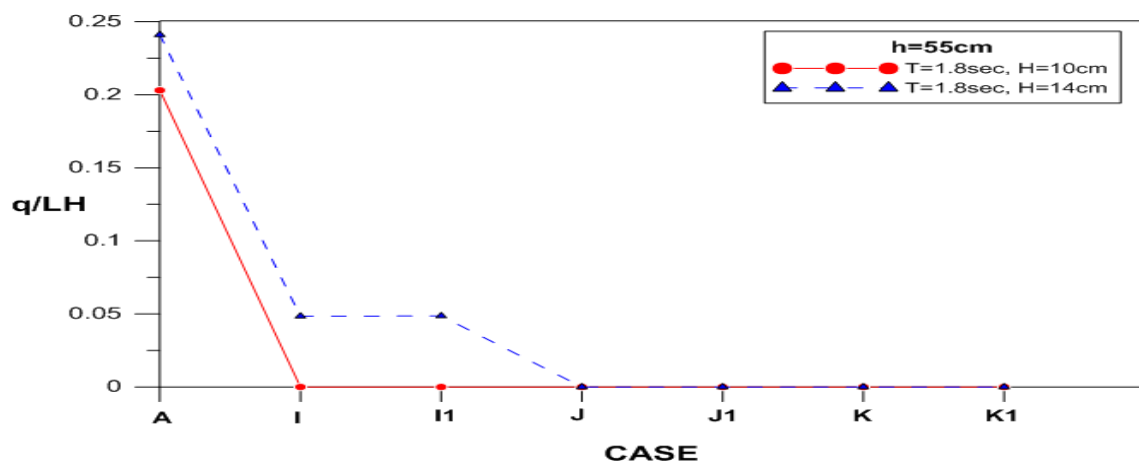


圖 5.5.52 各 CASE 越波量比較圖

由圖 5.5.32~圖 5.5.34 或表 5.5.4~5.5.9 不同模型反射率分佈圖或表的比較中可發現，在水深 45cm 之低水位時，工法編號 B 與 D 即以雙潛堤作為邊坡消能可有效好的消能效果，而在水深 50cm 時，工法編號 B 與 D 對減少反射是有較好的效果，在水深 55cm 的高水位時，工法編號 B 與 B1 之功效差距不多，但工法 B1 有稍微較佳之消能效果。綜觀若以雙潛堤作為邊坡消能的保護工法時皆有減少反射之效果，惟將兩座潛堤合併為堤頂加寬的單潛堤時，可能因堤頂寬度不夠波能磨損不多，加上此中設置方式無兩座潛堤間的水域讓波浪減衰能量，故其反射率較其他工法稍大。僅以反射率降低效益而言，低潛沒水深的工法 B 為較佳之消能改善方法，工法 B1 次之。

考量東部海岸因為坡度陡水深大，設置兩座潛堤的施工較為困難且經費亦高，因此另以僅設置單座潛堤並在邊坡底部鋪上消能墊作為保護工法進行探討，由圖 5.5.35~圖 5.5.40 或表 5.5.10~5.5.21 不同模型反射率分佈圖或表的比較中可發現，可發現在水深 45cm 低水位下，邊坡鋪設單層圍墊並設置單座潛堤之工法亦皆具有降低堤前反射率之效果，且會比雙潛堤工法有少好的效果，其中以工法編號 G 與 H 效果不錯，在水深 50cm 時，工法編號 G 效果較其他布置條件好，而在水深 55cm 之高水位時，工法編號 G 與 H 的效果亦十分有效，其中以工法 G 尤佳，即單層圍墊加低潛沒水深之單潛堤設置方式會有不錯的效果。將消能墊加厚之後(即鋪設雙層圍墊)，發現在不同水深的試驗結果彼此差異不大，且與單層圍墊比較顯示，將消能墊加厚的情形與單層圍墊的效果並沒有太大差距。綜觀以上，可得知低潛沒水深的雙潛堤工法 B 的消能效果不錯，但設置單潛堤並於邊坡下方鋪設消能圍墊之工法會更能有效的減少反射率。

在溯升高度之分析上，由表 5.5.22~表 5.5.30 之溯升量高度表及差異比較表或附圖 5.5.41~圖 5.5.43 的無因次相對溯升圖中得知，在雙潛堤設置之所有試驗中，於低水位 45cm 水深下，低潛沒水深的雙潛堤方案(工法 B)有較小的相對溯升高，約分佈在 0.3~1.0 左右。至於中、高水位下各種不同潛沒水深、不同潛堤間距的試驗其相對溯升高差異並

不大，雖然工法 E 在高水位時偶會有比工法 B 有較低的相對溯升量，但整體而言，工法 B 低潛沒水深的雙潛堤方案仍是較佳的保護方式。設置單座離岸潛堤並在邊坡底部鋪上單層或雙層消能墊之保護工法其溯升高之觀測結果及相對溯升高分佈圖分佈示之如 5.5.31~表 5.5.44 及圖 5.5.44~圖 5.5.49。由附表或附圖中可看出雖然加厚的雙層消能墊方案在反射率降低之效果上與單層消能墊比較沒有明顯的影響，但兩者在溯升高度上的比較可發現，雙層消能墊方案在中、低水位時其溯升高度會比單層效果好，於高水位時兩者之差異則不大。分析結果顯示，單層圍墊搭配單座潛堤的試驗中，以工法 G 及 G1 會有較低的溯升高；雙層圍墊搭配單座潛堤的試驗中則可看出仍是以低潛沒水深的方案會有較小的溯升高；即以工法 J 即 J1 會有較好的結果。

在越波量之分析上，圖 5.5.50~圖 5.5.52 為所有工法案例中有發生越波量 CASE 之無因次越波量分佈圖。在所有試驗中僅在長周期之大波浪下有發生越波現象，其餘波浪條件其溯升高度皆尚未超過模型坡頂，故無越波量的發生。另外由附表或附圖之比較中可發現由於原始模型為陡坡護岸，故其越波量為所有試驗中之最大者，其無因次越波量 q/LH 約在 0.2~0.24 之間，加入各類消能保護工法後，都可有效降低越波量。由圖 5.5.50 之結果中可看出，在雙潛堤之各類方案中其越波量約可減小 2~6 倍左右，其中以將兩座潛堤合併而成的低潛沒水深寬頂潛堤(工法 E)效果最好，此種工法保護時虎時堤面已無越波現象發生，次之則以低潛沒水深之雙座潛堤(工法 B 及 B1)較好，越波量明顯比未設置雙潛堤時平均約減小 4~6 左右。而由圖 5.5.51 單潛堤配合單層圍墊的試驗中可發現若僅於邊坡底部鋪設消能圍墊時，雖亦有降低越波量的效果，但成效不大，其越波量最大僅能降低約 21%左右。但若在單層圍墊前方海域中設置單座潛堤時，對越波量的降低有明顯效果，尤其以低潛沒水深的工法 G 及工法 G1 的效果最好，此種兩種佈置方式已無越波量的發生。若採相同單潛堤的設置狀況而將圍墊改以雙層鋪設時，由圖 5.5.52 中可清楚看出，若僅將圍墊由單層改為雙層鋪設時，因為波能撞擊時被加厚的海綿層吸附了許多能量，所以其越

波量明顯比單層圍墊要小許多，大約減小了四倍左右。此時若再將單座潛堤加入試驗中，可發現不管潛沒水深的高低或潛堤離岸距離的遠近，在此種雙層圍墊配合單座離岸潛堤的布置方式都可有效抑制越波現象，已完全無越波量的產生。已在雙潛堤之各類方案中其越波量約可減小 2~6 倍左右，其中以低潛沒水深之工法 B 及 B1 最佳，越波量明顯比未設置雙潛堤時平均約減小 4~6 左右。

綜合分析討結果，無論是採用低潛沒水深的雙潛堤工法或邊坡鋪設消能圍墊配合單座離岸潛堤的工法皆能有效削減衝擊邊坡之波浪能量。若以降低反射率及不對邊坡進行任何工程措施之情況下，則可考慮以低潛沒水深的雙座離岸潛堤作為保護的規劃參考。若考量東部海床坡度陡水深大，施作雙座離岸堤有經費的問題時，則可考慮以單層消能圍墊保護護岸或邊坡的底部，同時於離岸位置興建單座低潛沒水深的離岸潛堤作為設計的參考。如僅以抑制越波為主要考量時，且又不考慮興建結構物時，則利用雙層消能圍墊保護邊坡下方應是最好的選擇，雖然此種保護方式於長波大浪時無法完全不發生越波，但越波量已明顯降低許多，可能不會影響公路安全，若擔心少許的越波量會影響用路人安全時，則可再搭配離岸近、潛沒水深低的單座離岸潛堤來加強消能，此種工法的搭配都無越波情形發生。若考慮不興建結構物的限制下，也可以搭配目前公路單位於於颱風大浪期間為避免越波影響交通安全而採取封路之權宜方法來避免危害事件的發生。

以上僅為本計畫條件之試驗結果，未來在海岸公路邊坡的應用上，仍需進一步試驗，考慮現地坡度、水深、海象、公路等級等多項因素後，整體評估後再依經費、環境生態考量優選事宜的保護工法。

第六章 結論與建議

本計畫之目標主要在於探討並發展符合臺灣各區地理環境需求的消能式港灣結構，依臺灣地區之環境特性與功能屬性分類，港灣結構物的功能大致可分為長波抗浪型區域(主要功能以港灣結構保護為主)、環境保護型區域(兼顧港灣結構及環境之護育功能)及功能目的使用型或臨時性設施型(以環境保護功能或特殊使用目的功能為主)等三大類型，針對前述三種型態，分別進行探討個別之消能式結構型式以替代傳統保護港灣、海岸之重力式海事結構物，以達符合海岸空間環境需求且具保全功能之目的。而海岸公路邊坡保護工法的研究則分別針對臺灣東部及西部海岸公路的特性進行破壞機制與防治方法的研究。

6.1 結論

1. 長波抗浪型消能式碼頭的開發所引用的都是過去大家所熟悉的波動現象，波浪淺化、碎波、溯上及越波，其目標是設法將入射波的能量削減在有限長度的斜坡上，減少因為水體的溯降發生二次造波，也就是降低反射波的發生，如此便可大幅地減少因為港內的多次反射波所造成的能量累積，與發生港池振盪或共振。目前本計畫也提出具體可行的消能式沉箱型式或配合一般淺水碼頭所採用的直立消波型塊(以萬代福為例)。
2. 當某些海岸的利用不是經年累月的，而是每年偶而會有幾次，或使用時間不長的情形，這種地方或許不需要永久性的設施。屬於功能目的使用型或臨時性設施型的翼板浮式結構物的研發即在此一觀念下進行的。利用附加翼板的浮式結構物可以增加結構物的附加質量產生運動阻尼，使其具備輕量、運輸方便及快速安裝又具較佳的消波效果等功能，除了可以作為臨時/短期性港灣的防波堤外，未來也可以發展成海上救難、海上油污染擴散、或海岸結構物搶災的臨時

性設施。

3. 適當的海岸結構物形式選定，不僅可以降低淺海波浪對海岸或海床的作用，同時也可以因為促成波浪的碎波行為所產生的劇烈氣水交互作用而提高海水中含氧量；而適當地選擇配置方案也可能促進灣澳裡面的海水交換而降低水質的污濁，例如雙開口港灣的海水交換就比單開口又狹長的港灣來得好。環境保護型海岸結構物設施與配置的研發，也是希望能夠適當地選用與安排海岸結構物，促成淺海波浪在近岸區碎波或削減波能，以降低其作用於海岸或結構物上的波力，而同時又能促成氣水的交換，提高海水中的含氧量以及提供依水中動植物容易生長棲息的空間。目前的研究已經顯示多種可能的組合，以及應該考量的參數。
4. 我國的許多海岸公路緊臨著海岸線，緩衝區非常地窄，因此靠海側的邊坡可能直接受到波潮流作用。這種狀況使得我國的海岸公路在規劃設計時，除了需要參考陸側邊坡以及公路路面的標準設計外，也需要考慮它們直接暴露在惡劣海氣象變化裡的影響與加速老化的情形。本計畫收集及檢討了台灣東部海岸公路邊坡的破壞案例，依各路段的區域環境特性、防護工法型態等進行破壞機制之分析與檢討，再依區域特性分區提出破壞原因及研擬可能之保護方法。同時，也以試驗方式檢討目前公路單位所規劃邊坡防護方法之適宜性，包括引用本計畫所研究的環境保護型防護工法進行試驗，比較分析其適用於東部海岸環境之可行性，提供公路養護單位之參考，藉以改善現有海岸公路邊坡之致災脆弱性，提升海岸公路運輸功能保障車行之安全。

6.2 建議

在四年的研究裡，綜合研究心得以及各年度審查委員的意見，有以下幾點建議：

1. 各個子計畫的研究成果後續應該要考慮如何進行現場實體的測試，

以及規劃與推動實務性的應用，以免淪入單純學術研究，最後束之高閣，毫無實用價值。

2. 不僅是大型商港內有長週期的波動，一般的漁港內也有。未來應考慮在小型港灣內施作長波抗浪型碼頭的實體測試，以評估其實用性。再者，現今港灣的波浪觀測僅止於大型港灣的港外部分，對於港內的水位變化以及波動特性至今尚未能充分掌握，應該再加強。小型港灣也是如此，例如交通船碼頭。
3. 功能目的使用型或臨時性設施(快速佈放柔性浮式結構物)在海上救難或者是海岸防災等都應有相當的功效，但實務應用上可能還需要考慮保管、運送、安裝及維護的問題，未來應該持續研究探討，並進行實際海上的測試。此外，有關彈性翼板的性質對鄰近波動的影響也可以深入研究。
4. 環境保護型的設施可以有很多種組合方式，最重要是需要收集當地的水中環境與生態以便能做正確的選擇，讓我們的海岸保護、海岸環境復育及海岸空間利用必須走向柔性、親水、近自然、近生態等的海岸保護措施，並提供人們最舒適親水的空間，並能兼顧防災、安全、親水、休閒遊憩及良好的視野景觀等的條件，是國內外設計海岸保護結構物之未來趨勢。利用設置兼具生態礁功能(如藻礁、魚礁或產卵礁)的透水式潛堤、潛礁、生態型消波塊、方塊及通水型沉箱，以佈置適合海草、海藻類及其它海洋生物生活空間，以逐步豐富近岸的生態與水產資源，達到環境復育的功能，也可能有穩定近岸海底砂床的功能。
5. 海岸公路邊坡的環境特性與破壞類型的調查應積極展開，以期能確實掌握與規劃設計相關的參數，適合我國海岸公路特性的規劃設計準則也應該僅早訂定，使工程人員能有所依循與參考。然而，我們也發現現行的公路設計準則中並無有關海側邊坡的保護與設計規範，有必要就此部分作一檢討與彌補。

6.3 成果效益與後續應用情形

1. 本計劃主要針對臺灣地區特性與港灣構造物之使用功能與目的研發出具體可行之可消減長波能量的實用型結構設施、具環境保育與結構安全的港灣結構設施型式及高機動性、符合環境保護的結構設施。
2. 可針對臺灣各區域之港灣特性決定結構型式，活絡臺灣港灣環境及水質，並提供各港務局及水利署等單位作為改善現有港灣設施及海岸基礎建設之參據。
3. 計畫屬於創新前瞻、技術開發之研究，不僅可促成學界合作研究，其研究成果亦可作為各港務局及公路總局在海岸道路保護及港灣構造物消能設施之依據，以改善海洋環境品質，整體研究過程與成果不僅可培育相關人才，亦可增進公共服務設施之品質與效能，同時在經濟效益上，亦可提供功能性較高之港灣結構物，節省工程建設及維護費用。

參考文獻

1. Araki, T. and T. Chujo, 1979. "Development of the IHI Floating Breakwater," Coastal Engineering in Japan, Vol.22, PP.75-89.
2. Briggs, M.J., 2001. Analytical and Numerical Models of the RIBS XM99 Ocean-Scale Prototype, Report of US Army Corp of Engineers, ERDC/CHL TR-01-19.
3. Coastal Engineering Manual, 2002. U.S. Army Corps of Engineers, EM-1110-2-1100
4. Cuomoa, G., Shimosakob, K.I. and Takahashic, S., 2009. "Wave-in-deck loads on coastal bridges and the role of air," Coastal Engineering, Vol.56, pp.793-809.
5. Dalrymple, R.A., Losada, M.A. and Martin, P.A., 1991. "Reflection and Transmission from Porous Structures under Oblique Wave Attack," Journal of Fluid Mechanics, 224, pp.625-644.
6. Elchahal, G., Ra.c Younes and P. Lafon, 2008. "The Effects of Reflection Coefficient of the Harbour Sidewall on the Performance of Floating Breakwaters," Ocean Engineering, Vol.35, pp.1102-1112.
7. EurOtop, 2007. "Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures : Assessment Manual", pp.127-144.
8. Flow Science, lic., 2009 "FLOW-3D User Manual," FLOW-3D and TruVOF are registered in the US Patent and Trademark Office.
9. Gesraha, M.R., 2006. "Analysis of Π shaped floating breakwater in oblique waves : I. Impervious rigid wave boards", Journal of Applied Ocean Research, Vol.28, pp.327-338.
10. Gu, H.B., Jiang, X.L. and Li, Y.B., 2008, "Research on Hydraulic Performances of Quarter Circular Breakwater," Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, pp.21-25.

- 11.Hassan, R.M., 2002. “Coastal protection and development of Alexandria,” Coastal Environment : Environmental Problems in Coastal Regions IV.
- 12.Healy, J.J.,“Wave damping effect of beaches,”Proceedingd of Minnesota International Hydraulics Convention,pp.213-220(1953).
- 13.Hedges T.S., 1995.“Regions of validity of analytical wave” , Proc. Instn Civ. Engrs Wat.Marit . and Energy , 112, June , pp.111-114.
- 14.Hiraishi, T., 2002. “Long Period wave absorbing by artificial beach,” Proceeding of 6th Littoral 2002, EUROCOAST, pp.601-606.
- 15.Hiraishi, T., 2006. “Development of long period wave absorber,” Proceeding of the 16th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol.3, pp.621-625.
- 16.Hirt, C.W. and B.D. Nichols, 1981. “Volume of Fluid (VOF) Mehtod for the Dynamics of Free Boundaries,” J. Computational Physics, Vol.39, pp.201-225.
- 17.[http : //www.artificialreefs.org/PressPhotos/HiResPressPhotos.html](http://www.artificialreefs.org/PressPhotos/HiResPressPhotos.html)
- 18.[http : //www.concretelayer.com/index.asp?ID=510&IDF=2](http://www.concretelayer.com/index.asp?ID=510&IDF=2)
- 19.Jia, D.H., 1999. “Study on the interaction of water waves with semi-circular breakwater,” China Ocean Engineering, Vol.13, No.1, pp.73-80.
- 20.Jon Pearson et al., 2004.“Effectiveness of recurve walls in reducing wave overtopping on seawalls and breakwater” , ASCE, ICCE 2004, Lisbon, Vol.4, Coastal Structures, pp.4404-4416.
- 21.Kee, S.T., Lee, S.H. and Ko, Jin-Seok, 2006 “Submerged Porous Plate Wave Absorber,” Proceedings of the Sixteenth (2006) International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.626-631.
- 22.Keisuke M et al., 2008. “Hydraulic Performances of Non-Wave

- Overtopping Type Seawall Against Sea Level Rise Due to Global Warming” Proceedings of the Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference Vancouver, BC, Canada, July 6-11, pp.706-712.
- 23.Kim, J.-H. and H.-Y. Jeong, 2005. “A study on the material properties and fatigue life of natural rubber with different carbon blacks,” International Journal of Fatigue, Vol.27, pp.263-272.
 - 24.Kim, W.D., H.J. Lee, J.Y. Kim, and S.-K. Kohb, 2004. “Fatigue life estimation of an engine rubber mount,” International Journal of Fatigue, Vol.26, pp.553-560.
 - 25.Kim, Y.W., 2009. “Permeability Parameter of Perforated Wall with Vertical Slits” ,M. thesis.Seoul, Korea : Seoul National University
 - 26.Kozhushko G.G. & V.A. Koponv 1995. “Fatigue strength function in shear loading of fabric conveyor belt,” International Journal of Fatigue, Vol.17, No.8, pp.539-544.
 - 27.Lee, Chung-Pan and Jaw-Fang Lee, 1993,“Wave-Induced Surge Motion of a Tension-Leg Strudture”, Ocean Eng., Vol. 20, No 2, pp.171-186.
 - 28.Lee, Chung-Pan, 1994,“Dragged Surge Motion of A Tension Leg Structure”, Ocean Eng., Vol. 21, No3, pp.311-328.
 - 29.Lee, Chung-Pan, Wen-Kuei Ker, and Jia-Ray You, 2003. “Wave field with a submerged porous breakwater,” J. of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 26, No. 3, pp. 333-342.
 - 30.Lee, M.M. and A.T. Chwang, 2000. “Scattering and radiation of water waves by permeable barriers,” Physics of Fluids, Vol.12, pp.54-65.
 - 31.Legorju-jago, K. and C. Bathias, 2004. “Fatigue initiation and propagation in natural and synthetic rubbers,” International Journal of Fatigue, Vol.24, pp.85-92.
 - 32.Li, Y. C., Liu, Y., Teng, B., 2006. “Porous effect parameter of thin permeable plates,” Coastal Engineering Journal, Vol. 48, No. 4,

pp.309-336.

- 33.Liu, Y., Y.C. Li, B. Teng, and B.L. Ma, 2007. "Reflection of regular and irregular waves from a partially perforated caisson breakwater with a rock-filled core," *Acta Oceanologica Sinica*, Vol.26, No.3, pp.129-141.
- 34.Liu, Y., Y.C. Li, B. Teng, and J.J Jiang, 2006. "Experimental and Theoretical Investigation of Wave Forces on A Partially-Perforated Caisson Breakwater with A Rock-Filled Core," *China Ocean Engineering*, Vol.20, No.2, pp.179-198.
- 35.Madsen, P.A., 1983. "Wave Reflection from a Vertical Permeable Wave Absorber," *Coastal Engineering*, Vol.7, pp.381-396.
- 36.Mars W.V. & A. Fatemi, 2004. "A literature survey on fatigue analysis approaches for rubber," *International Journal of Fatigue*, Vol.24, 949-961.
- 37.Mars W.V. & A. Fatemi, 2006. "Multiaxial stress effects on fatigue behavior of filled natural rubber," *International Journal of Fatigue*, Vol.28, 521-529.
- 38.Murali, K. and J. S. Mani, 1997. "Performance of Cage Floating Breakwater," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol.123, No.4, pp.172-179.
- 39.Nejadkazem Omid and Gharabaghi Ahmad R.M., 2011. "Wave effect on slotted breakwaters considering evanescent modes", *Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*
- 40.News from BASF Plastics
- 41.Ohkusu, M., M. Kashiwagi, K. Ikegami, M. Ozaki, Y. Isozaki, 1991. "Study of Performance of Floating Breakwater Utilizing the Relative Motion of Inside Water," *日本造船協會論文集*，169 號，pp.215- 222.
- 42.Overton, M.F. and Fisher, J.S., 2005. *NC Coastal Highway Vulnerability, Final Reprt*, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, North Carolina State University.

43. Pérez-Romero, D.M., Ortega-Sánchez, M.; Moñino, A., Losada, M.A., 2009. "Characteristic friction coefficient and scale effects in oscillatory porous flow", *Coastal Engineering* ,56,pp.931–939
44. Saintier, N., G. Cailletaud and R. Piques, 2006a. "Multiaxial fatigue life prediction for a natural rubber," *International Journal of Fatigue*, Vol.28, pp.530–539
45. Saintier, N., G. Cailletaud, and R. Piques, 2006b, "Crack initiation and propagation under multiaxial fatigue in a natural rubber," *International Journal of Fatigue*, Vol.28, pp.61-72.
46. Sollitt, C.K. and Cross, R.H., 1972. "Wave Transmission through Permeable Breakwaters," *Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference*, Vancouver, BC, pp.1827-1846.
47. Suh, K. D., Kim, Y. W., Ji, C. H., 2011. "An empirical formula for friction coefficient of a perforated wall with vertical slits" *Coastal Engineering*, 58, pp. 85-93
48. Sullisz, W., 1985. "Wave Reflection and Transmission at Permeable Breakwaters of Arbitrary Cross Section," *Coastal Engineering*, Vol.9, pp.317-386.
49. Tanimoto, K., Endoh, H. and Takahashi, S., 1992. "Field experiments on a dual cylindrical caisson breakwater," *Proceedings of the 23th International Conference on Coastal Engineering, ICCE, Venice*, Vol. II , pp.1625-1638.
50. *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures : Assessment Manual*, 2008. Environment Agency UK. Expertise Network Waterkeren, NL. Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, DE.
51. Weng, W.K. and C.R. Chou, 2007. "Analysis of Responses of Floating Dual Pontoon Structure," *China Ocean Engineering*, Vol.21, No. 1, pp.91-104.
52. Wu, J.H, Wan, Z. P. and Fang, Y., 1998. "Wave reflection by a vertical

- wall with a horizontal submerged porous plate,” Ocean Engineering, Vol.25, pp.767-779.
- 53.Xie, S.L., 1999. “Wave forces on submerged semi-circular breakwater and similar structures,” China Ocean Engineering, Vol.13, No.1, pp.63-72.
- 54.Yu, X., 1995. “Diffraction of Water Waves by Porous Breakwaters,” Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, Vol.121, pp.275-282.
- 55.古明洲，2010，“導波式沉箱堤之研究”，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程學系，基隆，臺灣。
- 56.邓超文，2003，“廣東西部沿海高速公路臺山段某邊坡滑塌機理及整治”，廣東公路交通，第4期。
- 57.交通技術標準規範港灣類工程設計部，1997，“港灣構造物設計基準-碼頭設計基準及說明”，交通部頒佈。
- 58.吳永照、許瑞昌，陳俊吉，1999，“斜向入射波與透水潛堤的交互作用”，第二十一屆海洋工程研討會論文集，259頁～266頁。
- 59.李兆芳、劉正琪，1995，“波浪通過透水潛堤之新理論解析”，第17屆海洋工程研討會論文集，593頁～605頁。
- 60.李健鴻，2011，“越波式消能結構物之研究”，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程學系，基隆，臺灣。
- 61.李德河，2000，邊坡保護設施成效評估與改善方法之研究，國科會專題研究計畫成果報告。
- 62.林宇銓，2003，“孔隙斜坡底床反射波之實驗研究”，碩士論文，國立成功大學水利及海洋工程研究所，臺南，臺灣。
- 63.林東廷，1996，“多層透水式防波堤之消波及波力探討”，港灣技術，第十一卷第1期，1頁～37頁。

- 64.林東廷、涂盛文，1991，“孔隙牆防波堤所受波力之研究”，第 13 屆海洋工程研討會論文集，126 頁～140 頁。
- 65.林東廷，2001a，“淺談半圓形防波堤之發展”，海洋技術期刊，第 11 卷，第 2 期，第 31～37 頁。
- 66.林東廷，2001b，“半圓形防波堤之設計波力介紹」，海洋技術期刊，第 11 卷，第 3 期，第 43～47 頁。
- 67.林炤圭、岳景雲、翁文凱、楊國誠，2009，「消能式結構物特性之研究 (1/4)」，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-98-H2DB004，中華民國 98 年 12 月。
- 68.林炤圭、岳景雲、翁文凱、楊國誠、陳文俊，2010，「消能式結構物特性之研究 (2/4)」，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-99-H2DB004，中華民國 99 年 12 月。
- 69.林炤圭、岳景雲、翁文凱、楊國誠、陳文俊，2011，「消能式結構物特性之研究 (3/4)」，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-100-H2DB005，中華民國 100 年 12 月。
- 70.林英傑，2004，“規則波作用下直立式防波堤動態行為試驗研究”，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程學系，基隆，臺灣。
- 71.涂盛文、林東廷，1990，“孔隙板對微小振幅波之影響”，港灣技術，第五期，95 頁～124 頁。
- 72.涂盛文、劉正琪，2001，“系列透水潛堤之消波效應”，第 12 屆水利工程研討會論文集，H-41 頁～H-48 頁。
- 73.柯文貴，1996，“波浪與浮式透水防波堤之交互作用”，碩士論文，國立中山大學海洋環境工程研究所，高雄，臺灣。
- 74.柯文貴、李忠潘、陳陽益，1997，“透水潛堤內外波流場之理論解析”，第八屆全國海岸工程學術討論會暨 1997 年海峽兩岸港口集海岸開發

研討會論文集（下），715 頁-722 頁。

- 75.孫維芳，2002，海岸山脈北段公路沿線邊坡崩塌特性研究，碩士論文，國立東華大學自然資源管理研究所，花蓮，臺灣。
- 76.徐如娟、黃清和、陳建志、曾森煌、林秀美、林東廷、蔡立宏，2006，“生態型海岸保護工法研究（1/4）”，交通部運輸研究所。
- 77.第八河川局辦理「卑南溪水系及臺東海岸線治理與復育成果攝影比賽」，2011，<http://www.wra08.gov.tw/news981029a.html>。
- 78.許泰文，2003，“近岸水動力學”，科技書局。
- 79.郭一羽，2003，海洋工程學，文山書局。
- 80.郭一羽、李麗雪，2005，海洋景觀與生態設計，田園城市文化事業有限公司。
- 81.郭金棟，海岸工程，第 10-8~10-10 頁。
- 82.郭金棟、黃貴麟，1990，“半圓型開孔堤反射透射特性之試驗研究”，第 12 屆海洋工程研討會論文集，第 502~522 頁。
- 83.陳昌生、林東廷，2003，“淺談日本新形式防波堤之發展”，港灣報導，第 64 期，15 頁-27 頁。
- 84.陳建志，2005，“海堤覆面層及堤址結構物之物理特性對波浪溯升之影響”，碩士論文，國立成功大學水利及海洋工程研究所，臺南，臺灣。
- 85.陳崇華，2004，“臺十一線海岸公路邊坡崩塌災害分析”，碩士論文，國立東華大學自然資源管理研究所，花蓮，臺灣。
- 86.程偉傑，2002，“利用消波護坦減低海堤溯上高之研究”，碩士論文，國立成功大學水利及海洋工程研究所，臺南，臺灣。
- 87.黃清和、蔡立宏、陳昌生、林東廷，2006，“淺談生態型消波塊之發

- 展類型”，港灣技術，第 75 期，33 頁～38 頁。
- 88.楊昊，2008，“遼寧濱海公路潮差侵蝕路段路基頂面標高的推算方法”，北方交通，第 4 期。
- 89.經濟部，2004，“南、北濱及化仁海岸環境及景觀改善規劃”，經濟部水利署第九河川局。
- 90.經濟部，2009，“南濱及化仁海岸生態情勢調查及新工法研發之研究（2/2）”，經濟部水利署第九河川局，國立中山大學承辦。
- 91.經濟部，2010，“海岸防護及環境復育規劃參考手冊（上冊）”，經濟部水利署水利規劃試驗所。
- 92.經濟部，2010，“海岸防護及環境復育規劃參考手冊（下冊）”，經濟部水利署水利規劃試驗所。
- 93.蔡立宏、何良勝、陳明宗，2005，“海岸保護及親水性結構物最適化配置研究（4/4）”，交通部運輸研究所。
- 94.謝世楞，2000，“半圓型防波堤的設計和研究進展”，中國工程科學，第 2 卷，第 11 期，第 35-39 頁。
- 95.謝世楞、李炎保、吳永強、谷漢斌，2006，“圓弧面防波堤波浪力初步研究”，中國大陸海洋工程，第 24 卷，第 1 期，第 14-18 頁。
- 96.謝志敏、黃榮鑑、楊文昌，2008，“波浪與透水結構物互制之研究”，第 30 屆海洋工程研討會論文集，第 373-378 頁。
- 97.簡仲璟，2010，“港灣生態景觀規劃設計應用研究（1/4）”，交通部運輸研究所。
- 98.蘇青和、歐善惠、章梓雄，1992，“多孔岸壁港池之波能消散現象”，中國港灣技術期刊，第七期，126 頁～140 頁。

附錄一 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫 ■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：消能式結構物特性之研究(4/4)

執行單位：國立臺灣海洋大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、陳陽益委員：		
1. 與實測值比較否(現場的)？	1. 本消能式碼頭為一新的構想，且係針對港內長週期波動進行消波，其功能與多孔隙消波胸牆防波堤不同，因此目前尚未有類似結構物的現場實測值可資比較。	1. 依處理情形辦理。
2. 結構性的穩定性，尤其長波來襲下(消波與透過波及反射波)。	2. 由於為消能式碼頭因此不會有透過波，且整個碼頭的設計仍需要依循碼頭設計基準，其中包含穩定性的檢核。	2. 依處理情形辦理。
3. 環境保護型,摩擦係數是否有最佳化的可能。	3. 感謝委員建議，將綜合各學者水工模型試驗及數值方法所提出之經驗公式進行研究。	3. 依處理情形辦理。
4. 海岸公路邊坡保護工法是否考量堤址被波的沖擊及其力距。	4. 感謝委員建議，將納入研究參考。	4. 依處理情形辦理。
二、李兆芳委員：		
1. 計畫由四部份內容組成在編輯上建議繼續改進。	1. 未來將設法作一整合性討論。	1. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
2. 抗長浪型加入施工的考慮在型式上是否產生很大特性的改變。	2. 目前所思考的型式皆是針對施工的便利性探討，同時也配合現下常用的混凝土方塊堤或沉箱堤形式來改良，特性改變上應是同時考慮孔隙消波及溯升越坡消能兩部份，不致改變碼頭的特性。	2. 依處理情形辦理。
3. 功能型加入數值計算，ppt 比書面好，預期會加入期末成果。	3. 期末報告時將做完整敘述。	3. 依處理情形辦理。
4. 環境保護型引用相關文獻的摩擦參數，作法正確預期會有不錯結果。	4. 感謝委員肯定，將持續蒐集相關文獻進行比較，希望能提出合理的結果。	4. 依處理情形辦理。
5. 東海岸公路邊坡保護需要釐清是山坡的保護或是海坡的保護。	5. 感謝委員建議，本計畫主要著重於海坡的保護。	5. 依處理情形辦理。
三、余進利委員：		
1. 本計畫至今成果豐碩且具創新價值，值得肯定。	1. 感謝委員肯定。	1. 符合。
2. 在長波抗浪型結構物與功能目的使用型或臨時性設施型所使用的數值模式是否相同，如果是不同的模式則請交待清楚。	2. 各個計畫子題所使用的數值模式有部份相同、但大部分是自行發展，未來在期末報告將再補充說明。	2. 依處理情形辦理。
3. 長波抗浪型結構物除了進行水工模型試驗，同時也以 Flow-3D 進行相關的數值模擬，但數值模擬結果，如報告 2-39 頁所述，表示仍需要進一步之研究，此種敘述似	3. 應用 FLOW-3D 探討長波抗浪結構物為一新的嘗試，其目的是希望能達到模擬一般水工模型試驗所未能進行的長週期波試驗。但由於尚有	3. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
有待商榷。	些模擬的流體現象需要評估，因此仍需要再進一步確認。	
四、韓文育委員： 1. 本計畫長波抗浪型結構物已提出初步設計參數，值得肯定，但離可實際應用於設計仍待後續努力，建議本計畫下半年能集中於可行斷面各項參數研析，並設法尋一適當地點實地設置。 2. 功能目的使用型或臨時性設施型係針對浮箱底部加設翼板之探討，惟目前尚無實用之建議尺寸參數，另翼板材質亦須進一步探討，建議下半年持續努力。 3. 環境保護型在過去 3 年之研究提出諸多配置，應予肯定，建議在計畫最後半年將過去研究成果彙整可應用於實際設計之斷面與參數，以突顯計畫效益。 4. 海岸公路邊坡保護工法，既提及「坡面圍繞護墊」之概念，並在歐洲證實某凝結材料拌合石塊鋪築之護坡有耐沖刷及降低波浪崩升效果，似可針對是項概念進一步研析經濟可用之凝結材料或許可竟全功，另本部分建議參酌環境保護型設施之研究成果，	1. 長波抗浪型結構物將再後半年徵詢顧問公司的建議，務求其實務化。現地實驗則因經費不足，勢將無法進行。 2. 感謝委員，將持續進行探討。 3. 感謝委員肯定，將持續進行分析並彙整前三年的研究成果及可行性。 4. 感謝委員，將納入研究考量。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。 4. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
或可應用於海岸公路邊坡保護。		
五、何良勝委員：		
1. 請於期末報告中，增列前三年的研究成果彙整。	1. 遵照辦理。	1. 依處理情形辦理。
2. 建議於期末報告中，研提各種方案之可行性施行方法。	2. 將盡力達成目標。	2. 依處理情形辦理。
3. 於報告結論宜考量如何結合及整合各分項工作的成果。	3. 將設法作一整合性敘述。	3. 依處理情形辦理。
六、蔡立宏委員：		
1. 長波抗浪型與翼板浮體消波特性，除反射與透射率分析建議增加能損分析。	1. 由於長波抗浪型部分不會有透過波，因此能損係直接由反射率計算，其意義相同。浮式結構物將再增加討論。	1. 依處理情形辦理。
2. 分析討論中不同翼板長的分析結果建議畫在同一圖中以方便比較。	2. 將於期末報告中補充。	2. 依處理情形辦理。
3. 反射率分析圖中因不同材質與翼板長度所造成平移，請說明原因。	3. 將於期末報告中說明。	3. 依處理情形辦理。

附錄二 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：消能式結構物特性之研究(4/4)

執行單位：國立臺灣海洋大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、陳陽益委員：		
1. 建議補強彙整四年之研究成果，並可能陳列可以應用之處。	1. 感謝委員意見，將於定稿的第六章中加強說明。	1. 依處理情形辦理。
2. 補充或修正之處： (1) 圖示之座標請標示清楚。 (2) 單位宜統一，如“公尺”或“m”。 (3) 第四章之節名稱，請適度修正。	2. (1) 感謝委員建議，將於定稿中修正。 (2) 感謝委員建議，將於定稿中修正。 (3) 感謝委員意見，章節編排已於定稿中作適度修正。	2. 依處理情形辦理。
3. 建議結論部份，以條列式說明。	3. 感謝委員意見，將於定稿中修正。	3. 依處理情形辦理。
4. 第五章海岸公路邊坡保護工法之試驗條件與結果，宜再補充說明。	4. 感謝委員指正，遵照辦理。	4. 依處理情形辦理。
二、李兆芳委員：		
1. 計畫包括四個子題，各部份成果內容很多，成果之彙整	1. 感謝委員建議，將於定稿的第六章中加強說	1. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
不容易，建議把確實之研究成果表現出來。	明。	
2. 長波消浪之研究在 FLOW 3D 之計算結果，在特性討論上可以在未來研究上給予建議。	2. 感謝委員建議。	2. 依處理情形辦理。
3. 壓氣式浮體之研究，以及縮漲材料之消波特性為很好之研究題目，可以在未來研究上列出。	3. 感謝委員指正，建議中以做適當陳述。	3. 依處理情形辦理。
4. p.4-24 下標之編輯可修改。另建議之經驗式若確實有效，則公式可列出。	4. 感謝委員寶貴建議。經驗公式(4.4.5)、公式(4.4.8)、公式(4.4.9)已列入文中作綜合討論。	4. 依處理情形辦理。
5. p.5-52 (1) 雙潛堤”工法。 (2) 建議以無因次參數討論特性。	5. 感謝委員指正，遵照辦理。	5. 依處理情形辦理。
6. p.6-1 其目標“指示”設法…。	6. 感謝委員意見，將於定稿中修正。	6. 依處理情形辦理。
三、李忠潘委員：		
1. 章，3.6 節實驗結果，請與理論值比較後討論，加入報告內。	1. 感謝委員意見，將於定稿中修正。	1. 依處理情形辦理。
四、余進利委員：		

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
1. p.l-11~p.l-14 中，往昔成果摘要應更具體說明，如長波抗浪型消能結構物之內建斜坡之坡度多少效果最佳、功能目的使用型之最佳配置方式為何？而環境保護型之相對沒水深、相對堤寬及相對間距這類參數，於不同入射波浪條件下，達最佳保護效果之建議值或範圍應列出，俾利工程設計上應用。結論部分亦應摘錄本計畫各類型消能結構物具體研究成果。	1. 感謝委員意見，由於本計畫所有的四個子計畫所得之具體成果太多，無法一一敘述於摘要中，將於結論與建議中加強。	1. 依處理情形辦理。
2. p.2-51 表 2.7-1 所列 FLOW-3D 參數過少，黏滯係數設定為多少？另，報告中應簡介 FLOW-3D 所使用的控制方程式與邊界條件。	2. FLOW-3D 數值模擬中所引用的標準的海水，但暫不考慮黏滯性的影響。有關 FLOW-3D 的相關理論與邊界條件的設置說明可參考前三年的報告，本年度報告被要求針對研究目標作具體敘述，因此予以省略。	2. 依處理情形辦理。
3. 功能目的使用型或臨時性設施型、環境保護型及海岸公路邊坡保護工法之消能結構物，能否如長波抗浪型以 FLOW-3D 進行模擬？	3. 基本上是不可能的，但是相關設定必須花時間去率定。	3. 依處理情形辦理。
4. p.2-52 圖 2.7.4 中，15m 與 0.14m 之尺寸標註有誤，請確認。	4. 該圖僅為一示意圖，因此尺寸並不對稱，將再做修改。	4. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
5. p.2-55、p.2-56、p.2-59 及 p.2-60 等圖形，座標軸標註模糊，難以判讀，請修正。	5. 已調整。但因該輸出僅為部分計算之結果，主要目地在說明 FLOW-3D 可能模擬的成果，本文並未對該圖之數據進行討論。	5. 依處理情形辦理。
6. 表 2.8-4 及表 2.8-5 中，計算溯上高度時所用之台階、斜坡粗糙度及波浪斜向入射影響因子各為多少？	6. 因經費有限，本研究尚未探討到台階、斜坡粗糙度及波浪斜向入射之影響，惟目前以光滑斜坡即可得到相當好的消能效果。	6. 依處理情形辦理。
7. 繫留浮體消波效果最好之彈性模數與翼板長度為何應予以列出。	7. 由於消波效果不僅與翼板之彈性模數與長度有關，還與浮體的規模及波浪條件相關，本文僅能做個案的討論。	7. 依處理情形辦理。
8. p.3-26 第二段末 x 軸與 y 軸描述顛倒。	8. 感謝委員指正，將再查修正。	8. 依處理情形辦理。
9. 討論繫留浮體部分，有完整理論推導，後續亦以浮箱加設翼板進行水工模型試驗，此結果可供其數值計算案例相互比較驗證，以提高數值計算結果之可信度。	9. 感謝委員肯定。	10. 符合。
五、韓文育委員：		
1. 本計畫目標為“研發適合臺灣地區環境之轉型消能式港	1. 感謝委員肯定。	1. 符合。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
灣結構物及探討海岸公路邊坡破壞機制與防治工法”，應屬實務型計畫，研究項目繁多充實，應予肯定。		
2. 本研究研發之各式構造物，仍建議各海岸及港務機關(構)能予支持構造於實地，並作較長期之資料調查研析，以落實本計畫最終目的。	2. 感謝委員建議。	2. 感謝委員建議。
3. p.4-2，花蓮南濱海岸之案例，除照片外，建議於文中加強結(成)果分析。	3. 感謝委員寶貴建議。已增加(2005)離岸堤水下攝影管蟲、珊瑚群聚部分照片。	3. 依處理情形辦理。
4. 海岸公路邊坡防護，以雙潛堤方式進行試驗，建議於文中補述實際海床坡度、水深與實驗之相關性。	4. 感謝委員指正，遵照辦理。	4. 依處理情形辦理。
5. 請加強報告書文字校核，例如 p.5-17 標題漏字。P.6.2 第 13 行錯別字等。	5. 感謝委員意見，將於定稿中修正。	5. 依處理情形辦理。
6. p.6-1 結論，前二段文字與本研究似無直接關連，建議刪除。並建議對第六章“結論與建議”以條列式編寫。	6. 感謝委員意見，將於定稿中修正。	6. 依處理情形辦理。
六、何良勝委員：		
1. 報告格式，請依本所規定辦理。	1. 遵照辦理。	1. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
2. 本計畫在有限經費下，研究成果可提供港務單位或相關規劃設計工程參考應用，值得肯定。	2. 感謝委員寶貴肯定。	2. 依處理情形辦理。
3. 建議可增列專章，補充彙整四年之研究成果。	3. 感謝委員寶貴意見，將於定稿的第六章中加強說明。	3. 依處理情形辦理。
4. 本計畫包含四大部分研究工作，各研究成果內容說明宜有一致性。(如 chap 4 之章節名稱可適度修正)。	4. 感謝委員寶貴意見，章節編排已於定稿中作適度修正。	4. 依處理情形辦理。

附錄三 期中簡報資料

交通部運輸研究所合作研究計畫

消能式結構物特性之研究(4/4)
(MOTC-IOT-101-H2DB005a)
期中簡報

國立臺灣海洋大學
林昭士、詹景雲、黃文凱、楊國誠
國立嘉義大學
陳文俊

國立臺灣海洋大學河海工務系

計畫內容及主要工作目標

1. 研究期數：四年期研究計畫，本年度為第4年。
2. 主要目標：透過水工模型與數值模擬方式探討並發展符合臺灣各區域地理環境需求的消能式結構物，以及建置海岸公路建設的監測與保護系統。

消能式結構物特性之研究

長波抗浪型、功能型的使用型/臨時性使用型、環境保護型、海岸公路建設保護型

文獻收集整理、水工模型試驗及數值模擬

設置觀察站
傳統保護設施、海岸工程式保護設施

國立臺灣海洋大學河海工務系

計畫內容及主要工作目標

目錄

一、長波抗浪型
二、功能型的使用型/臨時性使用型
三、環境保護型
四、海岸公路建設保護工法

國立臺灣海洋大學河海工務系

一、長波抗浪型

101年主要工作項目

從設計規範的角度，在規劃設計實務中所需要之數據進行相關的測試、評估與相關圖表的建置；如有需要，再以水工模型試驗或數值模擬進行驗證。

101年主要工作內容

就前期研究成果評估最佳的配置，並從未來實際設計規範足夠參考資料的角度，建置內建消浪的設施、引水高度、透水性及離縫度與消浪效果的影響，同時也應引入對消浪效果具有消浪功能的多孔消浪設施的特性，此外消浪室的排水功能亦需要檢討。參考資料不足時，將進行水工模型試驗或數值模擬。

探討可能影響消浪效能的因子，包含：

- 消浪室的離縫
- 消浪室及出水高度
- 消浪室的離縫度
- 消浪室的透水性
- 不同形式的開孔剖面
- 其他

國立臺灣海洋大學河海工務系

一、長波抗浪型

水工模型試驗的結果分析

實驗結果的水工模型試驗(如圖測試)

圖 101-1 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-2 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-3 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-4 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-5 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-6 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-7 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-8 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-9 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-10 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-11 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-12 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-13 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-14 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-15 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-16 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-17 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-18 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-19 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-20 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-21 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-22 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-23 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-24 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-25 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-26 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-27 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-28 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-29 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-30 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-31 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-32 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-33 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-34 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-35 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-36 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-37 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-38 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-39 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-40 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-41 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-42 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-43 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-44 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-45 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-46 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-47 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-48 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-49 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-50 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-51 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-52 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-53 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-54 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-55 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-56 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-57 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-58 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-59 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-60 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-61 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-62 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-63 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-64 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-65 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-66 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-67 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-68 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-69 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-70 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-71 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-72 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-73 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-74 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-75 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-76 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-77 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-78 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-79 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-80 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-81 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-82 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-83 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-84 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-85 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-86 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-87 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-88 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-89 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-90 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-91 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-92 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-93 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-94 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-95 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-96 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-97 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-98 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-99 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-100 消浪室消浪效果之數值模擬結果

國立臺灣海洋大學河海工務系

一、長波抗浪型

水工模型試驗的結果分析

長波抗浪型的水工模型試驗與數值模擬

圖 101-1 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-2 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-3 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-4 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-5 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-6 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-7 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-8 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-9 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-10 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-11 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-12 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-13 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-14 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-15 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-16 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-17 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-18 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-19 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-20 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-21 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-22 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-23 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-24 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-25 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-26 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-27 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-28 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-29 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-30 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-31 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-32 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-33 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-34 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-35 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-36 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-37 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-38 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-39 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-40 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-41 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-42 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-43 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-44 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-45 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-46 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-47 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-48 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-49 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-50 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-51 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-52 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-53 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-54 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-55 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-56 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-57 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-58 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-59 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-60 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-61 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-62 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-63 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-64 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-65 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-66 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-67 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-68 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-69 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-70 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-71 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-72 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-73 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-74 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-75 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-76 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-77 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-78 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-79 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-80 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-81 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-82 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-83 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-84 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-85 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-86 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-87 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-88 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-89 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-90 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-91 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-92 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-93 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-94 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-95 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-96 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-97 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-98 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-99 消浪室消浪效果之數值模擬結果

圖 101-100 消浪室消浪效果之數值模擬結果

國立臺灣海洋大學河海工務系

一、長波抗浪型

遠東式結構物特性之研究 (14-1)

水工模型試驗的結果分析

第一種波式結構物的遠程效果評估

不適宜的拋石物尺寸，可能反而增加了波浪的反射而導致較大的反射率。圖中如要利用拋石物減低波浪的反射，必須要考慮其型式是否會反射大量波浪。

圖 14-1 第一種波式結構物之反射係數

圖 14-2 第一種波式結構物之反射係數

圖 14-3 第一種波式結構物之反射係數

國立臺灣海洋大學河海工學系

一、長波抗浪型

遠東式結構物特性之研究 (14-2)

內建消波龍式碼頭之型式設計圖則

有關內建消波龍式碼頭之設計時應考慮包含下列事項：

1. 需考慮一般碼頭設計標準規範；
2. 需考慮水作之變化，包含當地的大潮位及低潮位；
3. 需考慮波浪之反射，主要包含波浪反射與透射；
4. 需考慮波浪與水作之聯合效應，在碼頭設計中，一般應考慮平均海面的波浪加上大潮，與波浪反射的大浪加上大潮與低潮位；
5. 需考慮如何促使波浪在碼頭上發生碎波，進而發生越波，因此，適當的內建消波龍之高度與位置，以及斜坡的坡度都會影響波浪是否能夠中流越波，進而影響到港口的效果。

圖 14-2 內建消波龍式碼頭之型式設計圖則

可以引用消波龍式結構件進行現場組合，但是由於結構件太多，不論是施工或維護程序上都有其困難。

國立臺灣海洋大學河海工學系

一、長波抗浪型

遠東式結構物特性之研究 (14-3)

內建消波龍式碼頭之型式設計圖則

現有直立式波式碼頭增加內建消波龍式(以龍代碼為例)

(a) 龍代碼 (b) 分組圖

國立臺灣海洋大學河海工學系

一、長波抗浪型

遠東式結構物特性之研究 (14-4)

內建消波龍式碼頭之型式設計圖則

新型內建消波龍式碼頭

圖 14-4 新型內建消波龍式碼頭之型式設計圖則

國立臺灣海洋大學河海工學系

一、長波抗浪型

遠東式結構物特性之研究 (14-5)

設計相關參數的整理

- 基本設計：港灣構造物設計基準
- 主要參考資料：CEN及EuroTop
- 波型與坡度與波浪參數、波浪的跑升/跑降 (run up/run down) 理論

1. 設置條件：

新建的設置地點應位於平均水位與高潮位之間，其他位置應考慮為退潮時波浪的反射係數之影響而發生反射的反射。

2. 新建的設置高度：

設置一種波式的水工模型試驗中，為了能擴大部分的波浪發生越波，建議內建消波龍的設置高度為1.5倍於所最大波高，也就是以波高為1.5倍於所最大波高(1.5H)，此波高的設定應以所考慮的波浪的波高為1.5倍於所最大波高，為1.5倍於所最大波高，此波高的設定應以所考慮的波浪的波高為1.5倍於所最大波高，為1.5倍於所最大波高。

3. 新建的設置高度：

設置一種波式的水工模型試驗中，為了能擴大部分的波浪發生越波，建議內建消波龍的設置高度為1.5倍於所最大波高，也就是以波高為1.5倍於所最大波高(1.5H)，此波高的設定應以所考慮的波浪的波高為1.5倍於所最大波高，為1.5倍於所最大波高。

4. 新建的設置高度：

設置一種波式的水工模型試驗中，為了能擴大部分的波浪發生越波，建議內建消波龍的設置高度為1.5倍於所最大波高，也就是以波高為1.5倍於所最大波高(1.5H)，此波高的設定應以所考慮的波浪的波高為1.5倍於所最大波高，為1.5倍於所最大波高。

5. 新建的設置高度：

設置一種波式的水工模型試驗中，為了能擴大部分的波浪發生越波，建議內建消波龍的設置高度為1.5倍於所最大波高，也就是以波高為1.5倍於所最大波高(1.5H)，此波高的設定應以所考慮的波浪的波高為1.5倍於所最大波高，為1.5倍於所最大波高。

國立臺灣海洋大學河海工學系

一、長波抗浪型

遠東式結構物特性之研究 (14-6)

設計相關參數的整理

新建波式與波浪高度的關係：

圖 14-6 新建波式與波浪高度的關係

國立臺灣海洋大學河海工學系

二、功能目的使用/臨時性設施型 浮筒式結構物特性之研究(14-1)

101年度主要工作項目：

本年度應從實際應用的角度，檢討柔性浮筒結構物在波浪作用下的運動行為與功能特性，同時進行評估與檢討符合實際應用之型式，與相關設計參數的討論。此外，亦針對新型型的浮筒結構物進行水工模型試驗，以提供後續研發的參考。

101年度主要工作內容：

本年度的主要工作內容有兩大項：

1. 就浮筒防波堤底部附加式翼板的結構型式，本年度將以數值計算方式檢討其影響波浪反射與透過結構物的參數，同時根據檢討結果部分整理此類型結構物的適用範圍與最佳的配置方式。
2. 針對新型浮筒式防波堤，以水工模型試驗方式檢討波浪通過後之反射、透過率，並探討其能量損失。

國立臺灣海洋大學河海工程系

功能目的使用型/臨時性設施型 浮筒式結構物特性之研究(14-1)

翼板浮筒式之結構形式配置之適用範圍檢討

- 以前三年所發展的數值模擬方式進行檢討
- 結構形式在輕巧、易拆卸安裝的原則下，固定浮筒尺寸
- 檢討翼板各影響參數適用範圍

翼板厚度，翼板長度，翼板角度，翼板個數

國立臺灣海洋大學河海工程系

功能目的使用型/臨時性設施型 浮筒式結構物特性之研究(14-1)

模式驗證

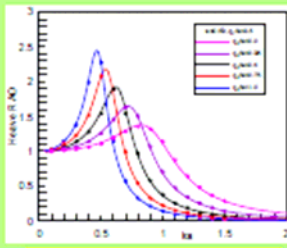
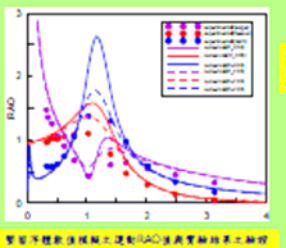


圖 Mohamed R. Ghebra (2007) 所提數值法結果 (資料擷取)

國立臺灣海洋大學河海工程系

功能目的使用型/臨時性設施型 浮筒式結構物特性之研究(14-1)

模式驗證



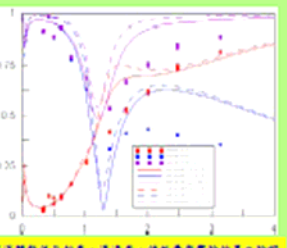
浮筒運動方程式
by Morison 式
模式。

實況浮筒數值模擬之運動RAO值與實驗結果之驗證

國立臺灣海洋大學河海工程系

功能目的使用型/臨時性設施型 浮筒式結構物特性之研究(14-1)

模式驗證



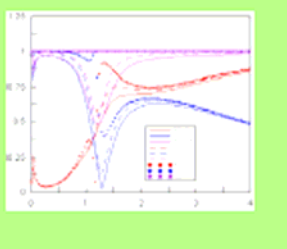
實況浮筒數值模擬之反射、透過率、繞射量與實驗結果之驗證

國立臺灣海洋大學河海工程系

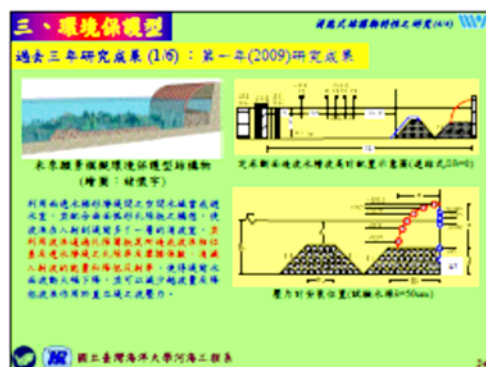
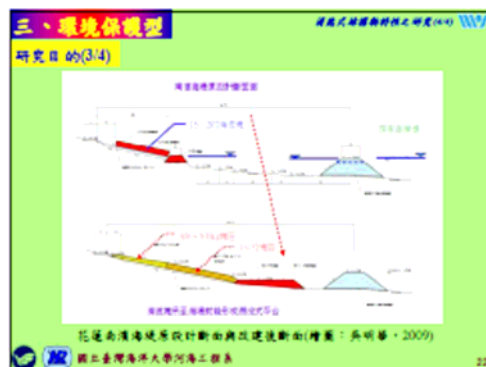
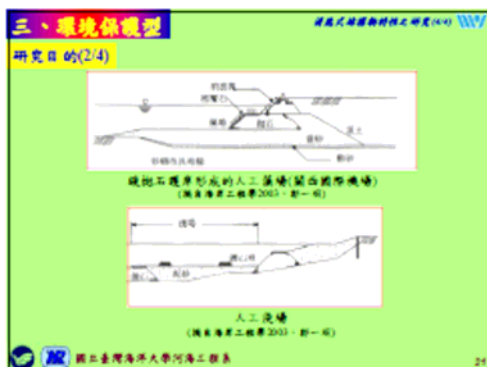
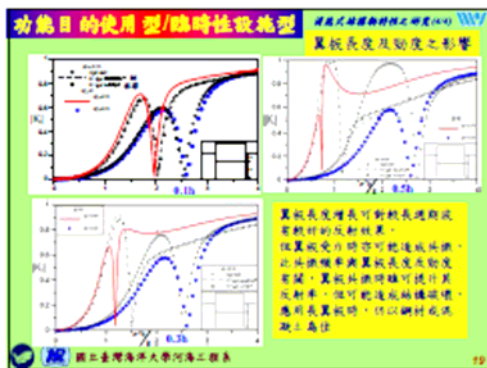
功能目的使用型/臨時性設施型 浮筒式結構物特性之研究(14-1)

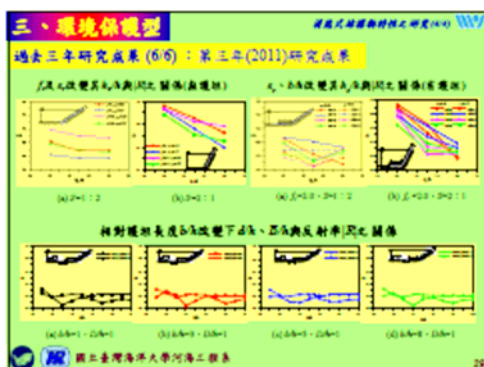
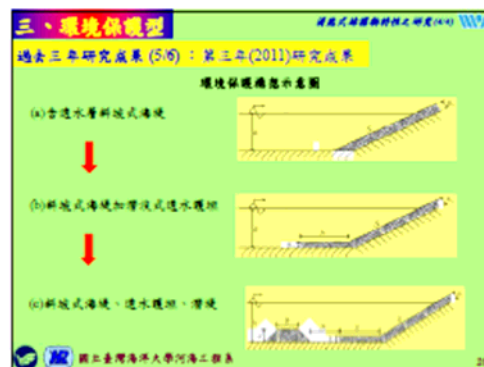
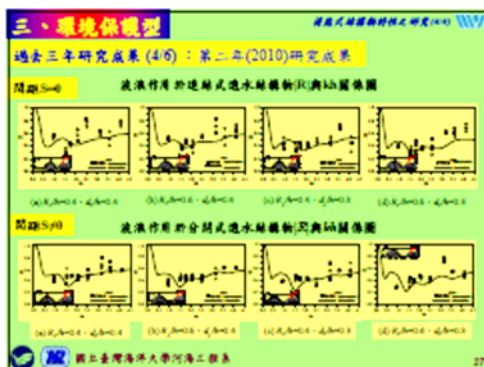
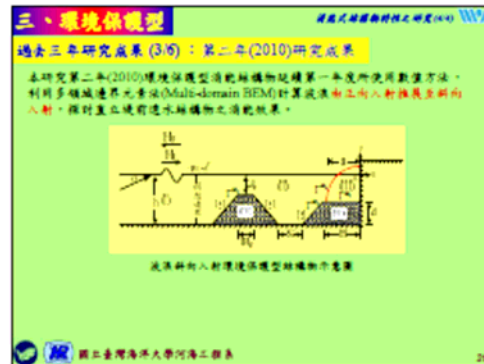
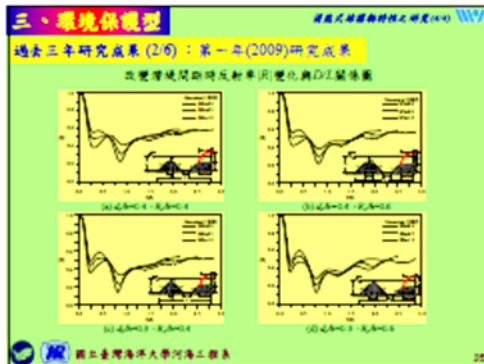
能量損失特性

翼板式浮筒結構物不僅可增大其附加質量，增大對波浪運動的反射率，另外，可造成其能量損失，降低透過率，而能量損失率與波浪運動有關，其運動由於結構或能量損失而大。



國立臺灣海洋大學河海工程系





三、環境保護型 演義式破壞試驗之研究 (8/9)

本年度(2012)工作內容 (8/9) :

2. Sub et al (2011) :

$$f = 0.0584 (cb/h)^{-0.7} \quad (8.3.6)$$

(a) a perforated wall with vertical slots 牆面有垂直縫隙之牆體 試驗/高度與最大試驗之關係

(b) a perforated wall with vertical slots 牆面有垂直縫隙之牆體 試驗/高度與最大試驗之關係

國立臺灣海洋大學河海工學系 27

三、環境保護型 演義式破壞試驗之研究 (8/9)

本年度(2012)工作內容 (8/9) :

本年度期中報告整理前二年研究成果作一討論 :

四分之一圓弧形障礙其厚度為 $b=0.3(\text{cm})$
試驗水深 $h=50(\text{cm})$
充隙率 $\phi=0.367$

Li et al. (2006) : $f = -3338.7 \left(\frac{b}{h} \right)^2 + 82.769 \left(\frac{b}{h} \right) + 8.711$
 $0.0094 \leq \frac{b}{h} \leq 0.05$
求得 $f=9.687$

Sub et al (2011) : $f = 0.0584 (cb/h)^{-0.7}$
求得 $f=4.23$

求得 $Q=0.1123 \times 10^{-10}$
求得 $Q=0.1123 \times 10^{-10}$

國立臺灣海洋大學河海工學系 28

四、海岸公路邊坡保護工法 演義式破壞試驗之研究 (8/9)

海岸公路之重要性

- 海岸公路屬自濱海地區民生與經濟之重要交通網路。
- 海岸公路沿線景點多，常常成為發展觀光旅遊之特色動線。
- 海岸公路亦國防安全重要之戰略要道，自負戰時運輸要道與平時防救災之重要整備應變道路。
- 因此維持海岸公路之重要性自不可言喻，故持續之安全與服務性較一般道路重要。

國立臺灣海洋大學河海工學系 29

四、海岸公路邊坡保護工法 演義式破壞試驗之研究 (8/9)

海岸公路之重要性

- 海岸公路海側邊坡其遭致破壞之外力型態與可行之保護方法與一般平地或山區道路之狀況有所差異。
- 海岸公路海側邊坡之檢測與維護比一般道路來得困難。
- 海岸公路之發生破壞，其釀災之危害與影響比一般道路嚴重。
- 海岸公路之規畫設計，迎擊要應有專屬之規範。
- 目前公路設計規劃中缺乏有關海岸公路邊坡保護之相關規定或手冊等。

國立臺灣海洋大學河海工學系 40

四、海岸公路邊坡保護工法 演義式破壞試驗之研究 (8/9)

台灣公路單位之相關規範

序號	類別	類別	規範項目名稱	頒布日期
1	新填	公路	公路管理規範	2012-09-03
2	新填	公路	路基填土設計規範	2011-12-28
3	新填	公路	公路三級土路堤規範	2011-10-03
4	新填	公路	公路填土設計規範	2011-04-13
5	新填	公路	填土三級土路堤	2010-12-31
6	新填	公路	公路填土設計及施工技術規範	2010-12-08
7	新填	公路	公路填土設計規範	2009-12-31
8	新填	公路	公路填土設計規範	2009-12-31
9	新填	公路	公路填土設計規範	2009-06-29
10	新填	公路	公路填土設計規範	2008-12-30
11	新填	公路	公路填土設計規範	2008-11-28
12	新填	公路	公路填土設計規範	2007-12-13
13	新填	公路	公路填土設計規範	2007-12-13
14	新填	公路	公路填土設計規範	2012-01-11
15	新填	公路	公路填土設計規範	2002-01-11

國立臺灣海洋大學河海工學系 41

四、海岸公路邊坡保護工法 演義式破壞試驗之研究 (8/9)

台灣公路單位之相關規範

- 公路工程規劃設計之邊坡處理原則(行政院工研會)
- 台灣地區山區道路規劃設計參考手冊(行政院工研會)
- 山區道路坡地災害防治技術整合研究(港研中心)

海岸公路之破壞主要原因之一即為邊坡之不穩定或邊坡防護工法設計之不當，目前公路主管單位或其他單位所制定之規範或手冊，無論是規劃、監測、設計或養護內容皆為一般道路或山區道路為處理對象，尚無內容針對海岸公路部分提供設計規範。

國立臺灣海洋大學河海工學系 42



四、海岸公路邊坡保護工法 海濱式結構物特性之研究(46)

邊坡養護考量因素：缺乏海岸環境影響之項目！

常見的邊坡養護考量因素如下，如有所述情形應查明原因，並採用適當方法予以修復。對於潛在危險邊坡（如堆砌式），必要時應於適當地點設立警告標誌並安裝監測系統，以觀測位移情形。

1. 逆流及雨水侵蝕。
2. 邊坡發現裂縫或有移動跡象。
3. 由上邊坡將落於車道、路肩或邊溝之土石雜物。
4. 邊坡滲水、坍塌或嚴重沖蝕等現象。

來源：公路養護手冊

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法 海濱式結構物特性之研究(47)

檢討

- 國外相關公路單位皆有許多有關海岸公路防護或規劃之手冊；相關學術或技術研究文獻亦多。
- 國內應積極研制定海岸公路邊坡設計與養護之規範與手冊，同時產官學界亦應積極投入海岸公路致災探討、防護方法研究與現地防護技術之研發。
- 公路主管部門應正視此一問題，召集產官學界共同投入。

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法 海濱式結構物特性之研究(48)

美國有關海岸公路之相關手冊

- Highways in the Coastal Environment: Second Edition (U.S. of Transportation Federal Highway Administration)
- Hydraulic Design Manual (Texas Department of Transportation)
- Guidelines for Highways Along Coastal Zones and Lakeshores (AASHTO)
- Potential Vulnerability of National Bridge Inventory to Coastal Storms (U.S. of Transportation Federal Highway Administration)
- NC Coastal Highway Vulnerability (North Carolina Department of Transportation)
- Options For North Carolina Coastal Highways Vulnerable to Long Term Erosion, Final Report (North Carolina Department of Transportation)
- Assessing the Vulnerability of Florida Coastal Highways to Hurricane Induced Storm Surge and Coastal Flooding Damage
- Vulnerability of Road Network to Coastal Processes in East of Quebec: Impact of Climatic Changes

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法 海濱式結構物特性之研究(49)

海岸公路邊坡面臨問題

- **波腳消能緩衝距離不足**
台灣自11條興建至今也不得不面臨為邊坡迎浪消能距離不足而導致沉陷之情形，有部份路段為迎浪消能距離不足，常導致泥沙淤積，而有坍塌等現象。
- **邊坡地質特性問題**
由於多處海岸公路係以地質狀況不佳，土壤抗剪能力不足，加上岩性多為弱質不連續或大塊化，破碎之不穩定岩面，故易引起崩塌、滑動與邊坡滑動等問題。
- **路側上邊坡崩塌滑動之荷重破壞**
由於海岸公路多處都是利用邊坡迎浪消能，造成路側，加上地質不穩，於颱風暴雨時常有大量土石崩落壓下邊坡，造成下邊坡承荷不足而引發破壞。
- **防護工法機能降低問題**
海岸公路邊坡防護為缺乏適用設計規範，故設計時常有缺乏考慮海岸外力因素，故所設計之邊坡防護方法無法有效長期防護。

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法

海岸公路邊坡保護工法之研究 (44)

海岸公路邊坡問題案例

- 英國Barton on Sea, Hampshire 海岸邊坡之滑動，雖然建造了一些海岸防護設施，但不穩定邊坡問題仍然持續，主要是制度的問題(滑動邊坡被聯處)的問題。(因波濤持續之衝，而制水流失之持續冲刷)
- 美國沿著Big Sur coast的1號海岸公路經常受到海崖邊坡崩落後退的影響，道路經常遭毀壞。(因地質的邊坡受到在大量降雨和冬季高能量波濤的衝擊，1號海岸公路共45公里的海岸線，其平均退縮率是18feet/year)

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法

海岸公路邊坡保護工法之研究 (45)

海岸邊坡防護改善策略之建議

- 規範面
 - 短期：於現有公路相關規範中，增補考慮海岸外緣條件適用於海岸公路之設計與養護。
 - 長期：參考國外相關海岸公路規範及國內現有公路規範，制定針對海岸公路之規劃、設計、建造、養護等專用之規範與參考手冊。
- 研究面
 - 由於海岸公路之防護與設計考量因素較一般道路複雜，許多問題心，僅藉由學理與經驗及相關之研究方能有效掌握，目前國內有關海岸公路議題之研究極少，相關單位應鼓勵研究，藉以提供未來規範之制定及可行防護方法之擬訂。

尤其海岸環境影響長期及有系統之研究與分析方能具體得知變遷原因，再由其中尋求有效之防護減災方案。

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法

海岸公路邊坡保護工法之研究 (46)

加州一號海岸公路Big Sur, California



Oblique aerial photograph of Big Sur coast. Red line shows feature digitized as cliff edge. Letters A, B, and C highlight different morphologies of the cliff edge. A, sharp cliff; B, active slope extending to road grade; C, active slope not visible to road grade. White arrow shows an engineered slope above road.

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法

海岸公路邊坡保護工法之研究 (47)

加州一號海岸公路Big Sur, California



FEHA與 CDOT 研長其研究後，所分析繪製之1號海岸公路沿線9處區段之海崖平均後退速率圖

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法

海岸公路邊坡保護工法之研究 (48)

加州一號海岸公路Big Sur, California



FEHA與 CDOT 研長其研究後，所分析繪製之1號海岸公路沿線9處區段之海崖平均後退速率圖

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法

海岸公路邊坡保護工法之研究 (49)

邊坡防護工模型試驗

- 為探討邊坡防護之消能防護工法，本計畫亦將針對東部海岸公路邊坡保護工法進行可行之改善試驗研究，提供海岸公路養護單位參考，作為未來進行邊坡改善工程規劃設計參考之用。
- 利用二維水槽進行水工模型試驗方式進行研究。
- 依反射率、堤前波高變化、潮升高度、超流量、消波塊穩定性等加以分析比較探討各項模型之消能效果。

國立臺灣海洋大學河海工學系

四、海岸公路邊坡保護工法 海濱式海濱輪轉研究(2013)

邊坡防護工法之試驗

- ◆ 試驗模型將以現地改善模型及可行性研究模型兩種。
- ◆ 現地改善模型將以公路局第三養護工程處所提供之設計斷面進行試驗，探討該規劃之斷面是否具有防護效益。
- ◆ 可行性研究模型將以本計畫建議保護模型效能結構子計畫所提出之最佳效益暨營運佈置方式進行模型試驗，探討其對現有公路邊坡之消能效益。



國立臺灣海洋大學河海工程系

四、海岸公路邊坡保護工法 海濱式海濱輪轉研究(2013)

後續建議

- 海岸邊坡規範制定方案之研擬建議
- 台11線沿線致災原因分類
- 台11線邊坡保護可行方案之建議



國立臺灣海洋大學河海工程系

海濱式海濱輪轉研究(2013)

簡報完畢
敬請指正



國立臺灣海洋大學河海工程系

附錄四 期末簡報資料

消能式結構物特性之研究 (4/4)
(MOTC-IOT-101-H2DB005a)
期末簡報

國立臺灣海洋大學
林昭主、包景雲、黃文凱、楊國誠
國立嘉義大學
陳文俊

國立臺灣海洋大學河海工學系

計畫內容及主要工作目標

1. 研究期數：四年期研究計畫，本年度為第4年。
2. 主要目標：透過水工模型斷面試驗及數值模擬方式探討並發展符合臺灣各區域環境需求的消能式海墾結構物，以及建置海岸公路通道的監測與保護原則。

消能式海墾物
斷面之研究

長波抗浪型 消能式的運用型 環境保護型 海岸公路防護型

定數值模擬、水工模型試驗及數值模擬

設備與器材
消能式海墾物、海岸公路防護型

國立臺灣海洋大學河海工學系

二、長波抗浪型

101年主要工作項目及內容

從設計規範的角度，在規劃設計實務中所需要的參數進行相關的測試、評估與相關圖表的建置；如有需要，再以水工模型試驗或數值模擬進行驗證。

內建消能式海墾物之型式設計探討

有關內建消能式海墾物之規劃設計的考量包含下列事項：
1. 考量一般海墾設計標準規範；
2. 考量消浪的變化，包含當地的尺寸潮位及暴潮位；
3. 考量消浪的流動，考量包含當地的風浪與潮流；
4. 考量消浪與水流的關係，在選擇規劃設計時，一般應考慮平流期的風浪加上大潮，與退潮期的風浪加上大潮與暴潮位；
5. 考量消浪如何促進水流在消能式海墾上產生回流，進而產生回流，因此，適當的內建消能式海墾物高度，以及消能式的長度都會影響消浪是否產生回流，進而影響消浪的效果；
6. 考量消能式海墾上的可能遭遇的狀況，如果採用預鑄式海墾上則進行現場組合，考量現場條件不可太多，以免造成製作、管理或維修上的困難。

國立臺灣海洋大學河海工學系

二、長波抗浪型

內建消能式海墾物之型式設計探討

現有內建消能式海墾物內建消能式海墾物(以某代碼為例)

內建消能式海墾物之型式設計探討

國立臺灣海洋大學河海工學系

二、長波抗浪型

內建消能式海墾物之型式設計探討

為了瞭解消能式海墾物之型式設計，以及評估消能式海墾物之型式設計，本研究將進行消能式海墾物之型式設計。

C1型 C2型

消能式海墾物之型式設計

國立臺灣海洋大學河海工學系

二、長波抗浪型

內建消能式海墾物之型式設計探討

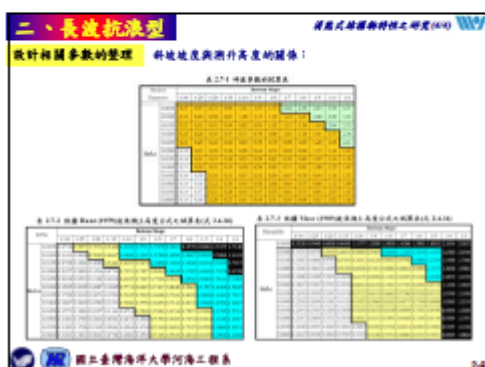
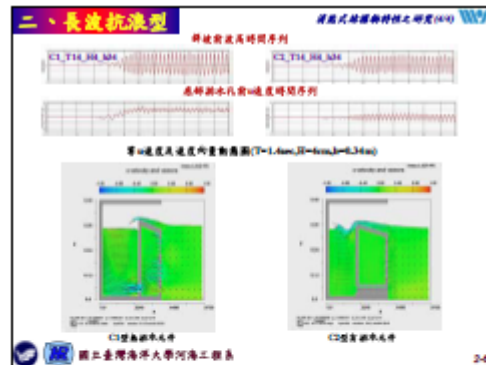
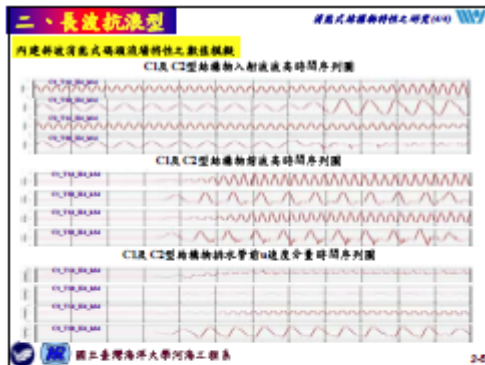
計算領域、計算網格及邊界條件

計算領域及計算網格

邊界條件設定

輸入條件

國立臺灣海洋大學河海工學系



三、功能目的使用型/臨時性設施型

中國海洋工程之研究 (40%)

101年主要工作項目與內容：

從實際應用的角度，檢討

- 整合本計畫所發展的數值模擬及水工試驗成果，針對異板浮式結構物的適用範圍與最佳的配置方式進行檢討，在結構形式創制巧思搬運、易拆卸及安裝且早一尺寸的前提下，檢討各影響參數適用範圍，包含異板角度、異板長度、異板厚度、及異板傾斜。
- 針對異板型的浮式結構物進行水工模型試驗，以提供後續研發的參考。

國立臺灣海洋大學河海工程系 3-1

三、功能目的使用型/臨時性設施型

中國海洋工程之研究 (40%)

98~100年完成之進度

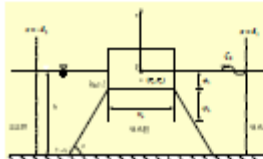
- 在數值模式中，將數值模型置於座標中心，取固定水深 h ，而兩端的假想邊界面條件為能有效的將數值射波的影響數值視為零，假設水深夠深，則其分別為距座標中心兩端各 $3h$ 處，而元素節點分別在以各元素長度為 $0.025h$ 的原則下，採用一定元素的方式對領域的各邊界作等分。
- 在柔性異板的浮體的設置上，繫留浮體在靜止時左右對稱，重心位置設定在淡水深度的一半的位置，在靜平衡時，浮力=重力+繫繩拉力，本文設定之浮體淡水深度為 $0.2h$ ，則在計算自由浮體和繫留浮體時，在假設異板質量遠小於本浮體之質量而將其忽略，則浮體質量分別為 0.24 和 0.183 ，質量慣性矩分別為 0.017 和 0.016 ，繫繩拉力為 0.017 ，繫繩角度為 0.009 ，而繫留索之繫留角度並為本文討論之重點，因此均設定為 90 度。
- 為判斷所建立之數值模式是否可行，對剛性及柔性異板做一比較，柔性異板以鋼和橡膠之彈性模數為代表，並加入無異板之浮體和與異板相同淡水深度之浮體。

國立臺灣海洋大學河海工程系 3-2

三、功能目的使用型/臨時性設施型

中國海洋工程之研究 (40%)

異板繫留浮體 理論發展



微小振幅理論
異板及異板
對稱邊界元方法 (SERIAL DQM)
彈性異板
選用彈性樑之理論
Green function
Laplace transform
能量損失
Morison Equation

$$\frac{\partial^2 \phi(\xi, \eta)}{\partial \eta^2} = \left[\phi(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial \eta} (-\ln r) \right] - \left[\frac{\partial \phi(\xi, \eta)}{\partial \eta} (-\ln r) \right]$$

$$\frac{\partial \phi(\xi, \eta)}{\partial \eta} = \left[\phi(\xi, \eta) \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} (-\ln r) \right] - \left[\frac{\partial \phi(\xi, \eta)}{\partial \eta} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\ln r) \right]$$

國立臺灣海洋大學河海工程系 3-3

三、功能目的使用型/臨時性設施型

中國海洋工程之研究 (40%)

柔性異板繫留浮體 繫留浮體邊界條件

$$\left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=0} = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=L} = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=0} = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=L}$$

動力邊界條件

$$\left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=0} = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=L} = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=0} = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \\ \phi \end{array} \right]_{\eta=L}$$

運動邊界條件

$$\frac{\partial \phi}{\partial \eta} = \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial \eta} = \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial \eta} = \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial \eta} = \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial \eta}$$

國立臺灣海洋大學河海工程系 3-4

三、功能目的使用型/臨時性設施型

中國海洋工程之研究 (40%)

柔性異板繫留浮體

柔性異板的動力方程式

$$\frac{\partial^2 \phi(x, z)}{\partial z^2} - \frac{N(z)}{2I} \frac{\partial^2 \phi(x, z)}{\partial x^2} - \frac{m}{2I} \frac{\partial^2 \phi(x, z)}{\partial t^2} = \frac{\partial \phi(x, z)}{\partial z} \frac{\partial \phi(x, z)}{\partial x} = \frac{\partial \phi(x, z)}{\partial z} \frac{\partial \phi(x, z)}{\partial x}$$

Green function基本解

$$\nabla^2 \phi(x, z) = 0$$

邊界條件

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z = -\infty$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z = -(\phi_0 + \phi_1)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{N(z)}{2I} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{at } z = -(\phi_0 + \phi_1)$$

Laplace Transforms

$$f(x) = \mathcal{L}\{f(x)\} = \int_0^\infty f(x) e^{-sx} dx$$

$$f(x, z) = \frac{1}{\sqrt{R_1 + R_2}} \cos \sqrt{R_1} z - \cos \sqrt{R_2} z + \frac{1}{\sqrt{R_1 + R_2}} \frac{\sin \sqrt{R_1} z}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_1 + R_2}} \frac{\sin \sqrt{R_2} z}{\sqrt{R_2}}$$

異板變位

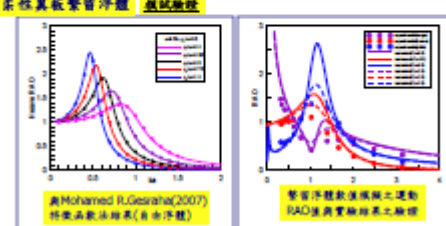
$$\phi(x, z) = \frac{-i \omega C}{2I} \int_0^\infty \phi(x, z) \phi(x, z) dx$$

國立臺灣海洋大學河海工程系 3-5

三、功能目的使用型/臨時性設施型

中國海洋工程之研究 (40%)

柔性異板繫留浮體 測試驗證

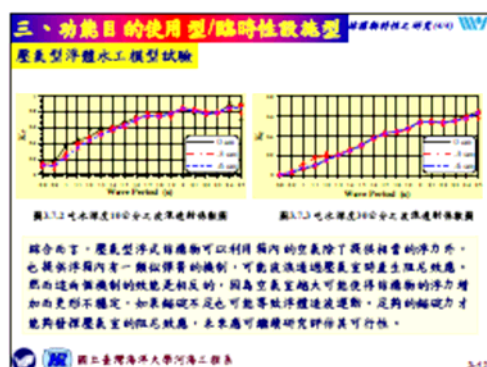
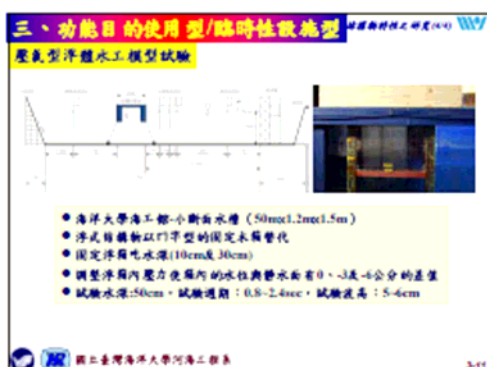
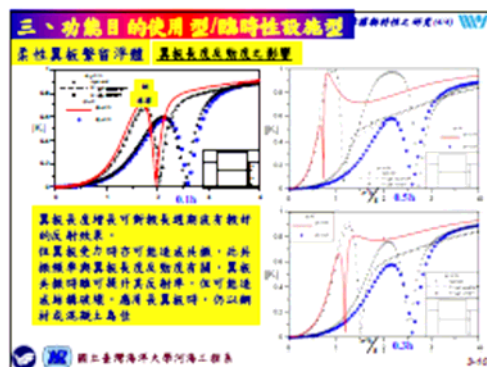
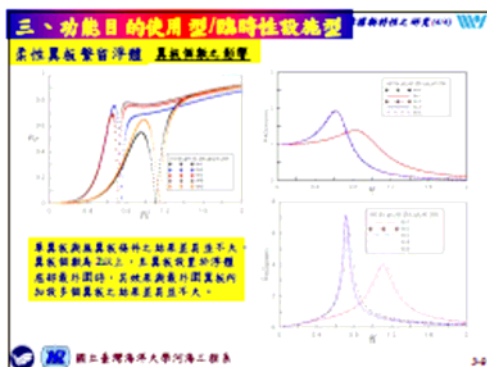
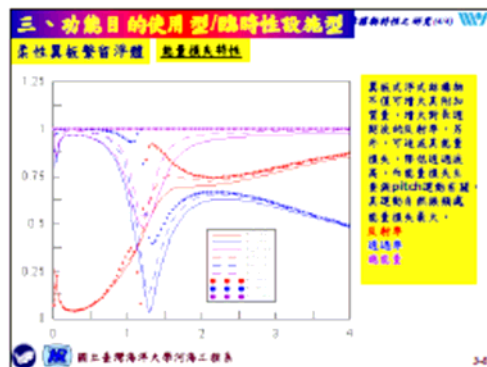
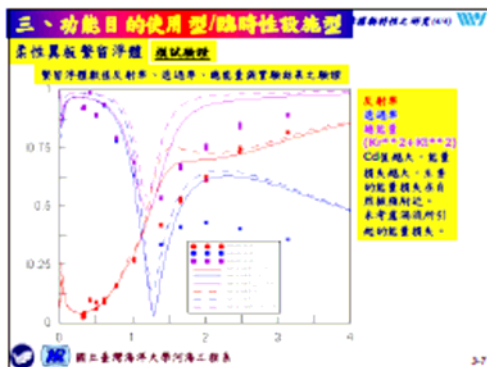


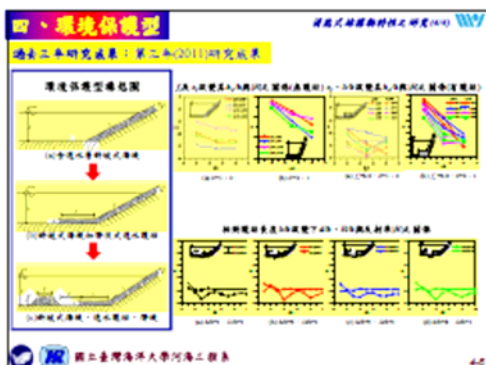
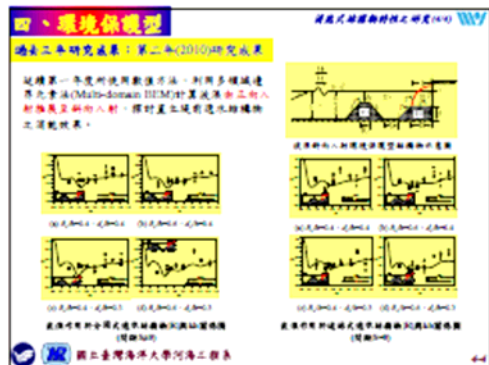
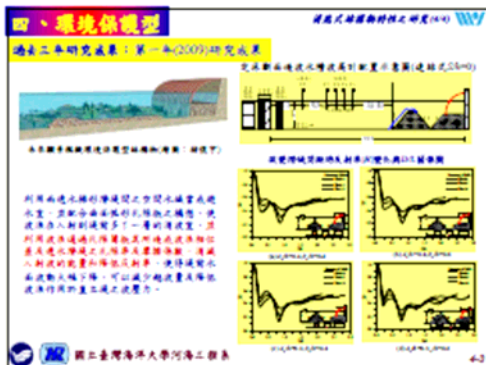
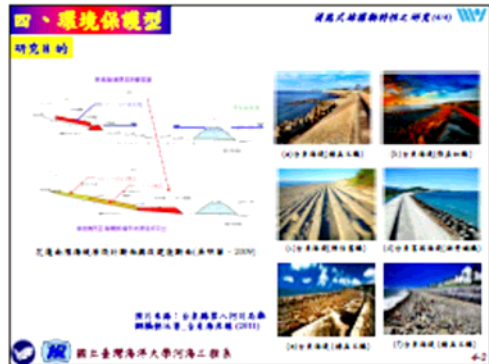
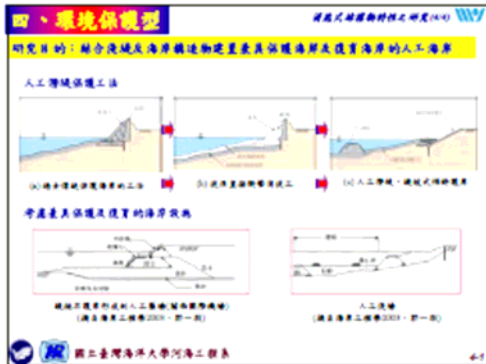
與 Mohamed El-Gasraha (2007)
特徵函數法結果(自由浮體)

繫留浮體數值模擬之運動
RAO法與實驗結果之驗證

• 浮體運動方程式加入 Morison 方程式，並以疊代方式求解
• 試驗結果與數值結果主要在於共振頻率附近
• Cd 值越大，各自由運動之自然振頻有低頻振動的情形

國立臺灣海洋大學河海工程系 3-6





四、環境保護型 海濱公路建設與保護(14-3)

結論：

(4) 填海造地或填海不填其害無幾(5) 新建堤防與Pérez-Romero et al. (2009)所提之模式(如式4.3.9)可以達到與試驗相似之結果

$$f = 0.31 \cdot (Dk)^{0.47} \quad (4.3.9)$$

但使用上應特別小心，有甚麼限制：

- 1) 填海高度0.005m至0.025m
- 2) 相對水深0.07至0.3
- 3) 相對距離0.013至0.34
- 4) 相對高度0.175至0.102

國立臺灣海洋大學河海工學系 4-52

五、海岸公路建設保護工法 海濱公路建設與保護(14-3)

海岸公路之重要性

- 海岸公路是海島型環境重要的交通命脈，它關係到濱海地區之民生與經濟，也由於路線多，常發展成觀光旅遊之綠色動線；而且也是國防安全重要之戰略要道，以及發生大型災害時的疏散及重要運輸路線，因此海岸公路之重要性是不言而喻，故海岸公路之安全與保護性也較一般道路重要。
- 然而，海岸公路海側建設其建設破壞之介型應與可行之保護方法與一般平地或山區道路之狀況有所差異，例如：
 - 海岸公路海側建設之損則與陸地一般道路有所區別。
 - 海岸公路之發生破壞，其類型及危害與影響程度會比一般道路嚴重。
- 因此，海岸公路之規劃設計，應考慮應有差異之規範，但是目前公路設計規劃中缺乏有關海岸公路建設保護之相關規定或標準。



國立臺灣海洋大學河海工學系 5-4

五、海岸公路建設保護工法 海濱公路建設與保護(14-3)

海岸公路建設與保護問題

● 堤腳消滅破壞問題

台9線及台11線興建至今也不時面臨因海堤堤腳無填砂灘或沙灘被衝寬度不足而發生沉下情形，有部分路段則為堤腳被無填砂灘沖，常造成海水侵入之害，而有持續破壞現象。



台11線425+025至無填砂灘以阻水大量消滅堤腳

台9線公路多處因10月22日連日暴雨沖刷，造成堤腳被無填砂灘沖，造成海水侵入之害，而有持續破壞現象。

國立臺灣海洋大學河海工學系 5-2

五、海岸公路建設保護工法 海濱公路建設與保護(14-3)

海岸公路建設與保護問題

● 建設地質特性問題

由於多處海岸公路係以地質狀況不佳，土壤鬆弱，抗剪能力不足，加上部分多處為斷崖不連續及長大風化，風化之土壤易受冲刷，故易引起崩塌，而與建設相關問題，影響公路安全。



台9線斷崖公路建設，因土質不穩易崩塌

台11線公路建設，因土質不穩易崩塌

國立臺灣海洋大學河海工學系 5-3

五、海岸公路建設保護工法 海濱公路建設與保護(14-3)

海岸公路建設與保護問題

● 建設地質特性問題

由於海岸公路多處係以地質狀況不佳，土壤鬆弱，抗剪能力不足，加上部分多處為斷崖不連續及長大風化，風化之土壤易受冲刷，故易引起崩塌，而與建設相關問題，影響公路安全。



海堤堤岸被海水沖刷造成堤腳被無填砂灘沖

公路海側堤岸被海水沖刷被無填砂灘沖

國立臺灣海洋大學河海工學系 5-4

五、海岸公路建設保護工法 海濱公路建設與保護(14-3)

海岸公路建設與保護問題

● 建設地質特性問題

海岸公路海側建設無缺乏通設計規範，故設計時應有缺乏考慮海濱設計因素，故所設計之建設防護不周易造成其崩塌，及有保護性設施不足，甚至引起反射加劇，造成崩塌、沙灘流失情形。



臺立式護岸設施因缺乏通設計規範，造成設計時應有缺乏考慮海濱設計因素，故所設計之建設防護不周易造成其崩塌，及有保護性設施不足，甚至引起反射加劇，造成崩塌、沙灘流失情形。

海岸公路護岸設施不足造成大海蝕

國立臺灣海洋大學河海工學系 5-5

清風式靜電集塵特性之研究(4/4)

●缺乏相關研究與規範

●缺乏相關研究與規範

由於目前台灣省屬海岸公路之設計規劃與維護管理皆屬通用之規範或作業手冊可供參考，大都以一般道路之觀念處理，故許多設計皆無法調適海岸環境而顯失，加上海岸公路臨海側多係填地不實，也會無法取得實際顯現色彩，終結最後多半崩陷破壞情形。

- 公路工程施工设计交通疏解导则(行政院工研會)
- 台灣地區山區道路規劃設計參考手冊(行政院工研會)

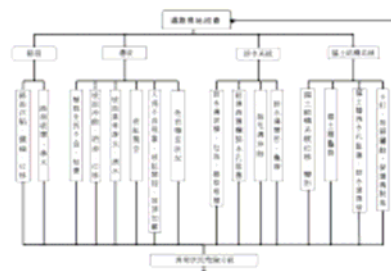
附錄 2 獲獎紀錄				
1	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
2	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
3	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
4	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
5	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
6	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
7	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
8	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
9	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
10	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
11	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
12	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
13	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
14	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
15	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
16	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
17	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
18	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
19	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10
20	2008	1/4	全國中學數學聯合競賽	2012-03-10

國外相關公路單行書中許多有關海峽公路的建設或規劃之介紹：相關學術或技術研究之數亦多。

國內應積極探討定海岸公路建設設計與營運之規範與手冊，同時宜考慮為積極投入海岸公路與觀光、休閒方法研究與規劃的建設之研發，公路局與金門應積極配合一問題，目前宜考慮共同投入。

滑流式磁碟機特性之研究(64)

公路巡查項目：無海岸相關項目！

潤滑式靜態軸特性之研究 (4-4)

邊境災害分析：缺乏海岸環境影響之致災原因 |



邊界條件轉態，適應度因之有所異動則

[渦流式靜電集塵特性之研究\(4/4\)](#)

海岸邊境防護改善策略之建議

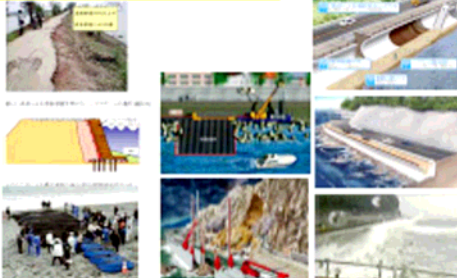
- ◆ 各縣海晏公路建設規模應與縣村可能之收入齊步，並研提適宜之防護工程，建議村多以填土牆或鐵架防護，並視情況實施海晏延伸。
- ◆ 建路、建庫有已無沙灘或河堤破壞寬度不足之地方，應思考復耕原則再謀求解決對策，將保護農產或河溪漁業及解決之道。



◆建議多參考國外經驗環境之防護工法或適宜之聯式工法，可減少誤會及工程失敗。

調流式靜態軸特性之研究(4/4)

各類海岸公路災害問題適宜之新式工法



調製式離膜特性之研究(4/4)

海岸邊坡防護改善策略之建議

- ❑ **研究現況**
 - 根據「中國港外輪船開闢統計表」,增建臺灣海岸外輪船港灣之港口數計與長度。
 - 長期一步中國外輪船開港公路統計表,增建臺灣內河有公路開港。制定針對臺灣公路之統計、統計、測量、長度等研究之現況與未來研究現況。
- ❑ **研究內容**
 - 由於臺灣公路之物理與統計測量重要,一般道路短,許多問題必須藉由專業與統計與物理之研究才能有效解決。目前國內有關海岸公路建設之研究偏少,相關研究應加強研究。藉由統計與測量之制定及可行據方法來解決。
 - 公路研究應應注重人員在有關海岸公路之統計與測量之研究,增建臺灣公路之測量知識,有利於未來海岸公路之統計與測量與測量之提升,增建公路安全。

五、海岸公路邊坡保護工法

海濱式結構與特性之研究(14-3)

海岸公路邊坡監測規劃

由於目前海岸公路主要致災原因部分是於規劃設計時欠缺規劃路段之海側邊坡地質與地形資料及無完整規劃路段海側邊坡條件及水深地形資料可供規劃設計時之參考，以致設計之邊坡或路基之保護方式無法因應當地條件而失去功效。另一原因則是海側邊坡被海水之不穩定，造成邊坡崩落，造成沙灘流失而造成，此種公路邊坡見況之發生多非突發事件，而是日積月累所造成之結果，所以若能有完整之監測系統，藉由這些監測資料的分析與判斷，除可提供公路邊坡防護工法設計之參考之外，平時亦可由監測資料之研判提早發現可能出現之問題，預先給予排除，可減少邊坡崩落之機會，提升公路運輸之安全。

國立臺灣海洋大學河海工學系

五、海岸公路邊坡保護工法

海濱式結構與特性之研究(14-3)

海岸公路邊坡監測規劃

◆ 海象監測

1. 固定監測站——現地海濱側邊坡監測站及公路屬高灘地路段區域側邊坡設置固定站長期監測。
2. 移動監測站——由海濱側邊坡或僅有海象資料提供作為空間分析及後續規劃設計參考時，則建議移動之臨時海濱監測站作適當期間或颱風侵襲前後之海象資料。

◆ 海濱與水深地形監測

1. 定期監測——建立長期之水深地形資料庫，提供海岸公路邊坡規劃設計或整體維護管理時研擬適當工法之參考使用。
2. 不定期監測——目的乃是彌補定期監測所察覺發生重大災害事件，對海濱及海濱地形造成明顯變化時或對公路邊坡發生重大見況，其原因可能是因為侵蝕問題或水深地形變化導致海象條件變異所引起時，為明確判斷見況或提供規劃設計之參考時所採取之監測計畫。

國立臺灣海洋大學河海工學系

五、海岸公路邊坡保護工法

海濱式結構與特性之研究(14-3)

海岸公路邊坡監測規劃

◆ 邊坡穩定性監測

1. 掌握地質參數及地質狀況
2. 判斷邊坡不穩定因素與掌握可能致災時機
3. 無不穩定因素與掌握可能致災時機

◆ 邊坡穩定度監測與巡查

1. 了解結構物之傾斜、滑動與崩落變化情形，並由受力及降雨量等資料以評估其穩定度，預防可能之側傾災害，作為維護安全之參考。
2. 無海濱監測系統處，則定期對海濱側邊坡邊坡上端等狀況之巡查檢測，結構體有安全疑慮者應進行破壞性檢測，評估其安全性。

國立臺灣海洋大學河海工學系

五、海岸公路邊坡保護工法

海濱式結構與特性之研究(14-3)

海岸公路邊坡監測規劃

◆ 越流監測

1. 海岸公路安全護岸高灘地防越流規劃與維護
2. 海岸公路可能越流條件分析與越流量估算(公路排水)
3. 海岸公路行車安全警燈
4. 現有海岸公路邊坡防護消能設施檢討

國立臺灣海洋大學河海工學系

五、海岸公路邊坡保護工法

海濱式結構與特性之研究(14-3)

邊坡防護水工模型試驗

◆ 為探討邊坡防護之消能防護工法，本計畫亦將針對東部海岸公路邊坡保護工法進行可行之水工模型試驗研究，提供海岸公路邊坡維護參考，作為未來進行邊坡防護工法規劃設計參考之用。

◆ 利用二維水槽進行水工模型試驗方式進行研究。

◆ 依及材料、堤前波高變化、海升高度、越流量等加以分析比較探討各種模型之消能效果。

試驗條件

模型	波高	海升高度
W1	波高1.2公尺，波高4公分	
W2	波高1.2公尺，波高4公分	
W3	波高1.2公尺，波高4公分	
W4	波高1.2公尺，波高4公分	
W5	波高1.2公尺，波高4公分	
W6	波高1.2公尺，波高4公分	
W7	波高1.2公尺，波高4公分	
W8	波高1.2公尺，波高4公分	
W9	波高1.2公尺，波高4公分	

國立臺灣海洋大學河海工學系

五、海岸公路邊坡保護工法

海濱式結構與特性之研究(14-3)

邊坡防護水工模型試驗

模型條件

模型	波高	海升高度
W1	波高1.2公尺，波高4公分	
W2	波高1.2公尺，波高4公分	
W3	波高1.2公尺，波高4公分	
W4	波高1.2公尺，波高4公分	
W5	波高1.2公尺，波高4公分	
W6	波高1.2公尺，波高4公分	
W7	波高1.2公尺，波高4公分	
W8	波高1.2公尺，波高4公分	
W9	波高1.2公尺，波高4公分	

國立臺灣海洋大學河海工學系

