

99-37-7453
MOTC-IOT-98-H2DA005

消能式結構物應用於臺灣港灣 設施保全之研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 4 月

99-37-7453

MOTC-IOT-98- H2DA005

消能式結構物應用於臺灣港灣 設施保全之研究(1/4)

著者：邱永芳、何良勝、蔡金吉

交通部運輸研究所

中華民國 99 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究.
(1/4) / 邱永芳, 何良勝, 蔡金吉著. -- 初
版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 99. 04
面; 公分
參考書目: 面
ISBN 978-986-02-3200-4(平裝)

1. 港埠工程 2. 數值分析 3. 生態模擬

443.2

99007646

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(1/4)

著 者：邱永芳、何良勝、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 99 年 4 月
印 刷 者：良機事務機器有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定 價：新臺幣 100 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

GP N：1009901376

ISBN：978-986-02-3200-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-3200-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1009901376	運輸研究所出版品編號 99-37-7453	計畫編號 98-H2DA005
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 總計劃主持人：邱永芳 計劃主持人：邱永芳 研究人員：何良勝、蔡金吉、張富東、林炤圭、楊怡芸 聯絡電話：(04)26587101 傳真號碼：(04)26571329			研究期間 自 98 年 01 月 至 98 年 12 月
關鍵詞：消能式結構物、數值模擬、水工模型試驗			
摘要： 本計畫為四年期研究計畫之第一年，主要目標在探討並發展符合臺灣各港埠鄰近地理環境需求的消能式港灣結構物。依環境特性與功能屬性分類，消能式結構物的型式包含長波抗浪型、臨時簡易功能型、以及環境保護型等結構物等三大類型。本研究針對上述三種型態分別進行探討及研發新型之消能式結構物以替代傳統保護港灣設施、海岸之重力式海岸結構物，並期能達符合海岸空間環境需求且具保全功能之目的。長波抗浪型結構物主要著重於如何利用水力阻尼削減長週期波動能量，臨時簡易功能使用型的研究著重於快速佈放柔性浮式結構物，以改變其運動型式，來改變運動的週期。環境保護型主要著重於以環境保護型則研擬一由潛堤與消波式圓弧型岸壁構成的潛式多孔隙透水結構物對波浪水理特性影響的探討。從研究中發現本計畫所設計的潛式多孔隙透水結構物除了具備應有的消波功能外，也可促使波浪在堤身上擾動及碎波，應可增加氣水的交換並進而提高水中的含氧量，此一情形有利於近岸的海岸水下生態復育。			
成果效益： 計畫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。研究成果在經濟效益上，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。在應用上，可針對臺灣各區域之港灣特性決定結構型式，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考依據、提供近岸保護工法各港在鄰港區域地形保護之應用、提供消能結構物設計使用，以減低工程經費及延長結構物之壽齡。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
99 年 4 月	88	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Water Wave Energy Dissipation Structures for Taiwan Harbor Facilities (1/4)			
ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN978-986-02-3200-4 (pbk)	1009901376	99-37-7453	98-H2DA005
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PROJECT ADVISOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Ho Liang-sheng, Tsai Chin-chi ; Chang Fu-tung ; Lin Jaw-guei, Yang Yi-yun. PHONE: 04-26587101 FAX: 04-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2009 TO December 2009
KEY WORDS: Wave Dissipation Structure, Numerical Simulation, Hydraulic Model Test			
ABSTRACT: The major goal of this year study (the first year of a four-year project) is to develop suitable new wave dissipation structures for Taiwan's harbors and coastal zones with different characteristics. The functions of coastal structures around Taiwan coast can be divided into three types: long period wave dissipation type, fast installation/special purpose type, and environmental protection/restoration type. By using numerical simulations and hydraulic model tests, the new structures, consisting of those three types, will be designed, tested, and evaluated. On the study of the long period wave dissipation type, a series of hydraulic model tests and numerical simulations with FLOW-3D on the new prototype of wave dampers by a hydraulic mechanism were done, and the results show their effectiveness. For the fast installation/special purpose type structure research, a floating structure with two wings under the bottom was studied via model tests and numerical simulations, the added wings were found to be able to increase the added mass of the floating structure and thus detour the behavior of motions and the frequency of vibrations. For the environmental protection/restoration type structure research, a combination of a submerged dike and a curve-type perforated wave dissipation breakwater was set up and evaluated by hydraulic model tests and numerical simulations. The results show that, except for the functions of coastal structure, such structure can strongly agitate the waves and thus should increase the quantities of air inside the water, which is needed for the development of aquaculture.			
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2010	88	100	☐ 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.....	III
圖 目 錄.....	V
表 目 錄.....	VII
照片目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 研究範圍與對象.....	1-2
1.3 研究內容.....	1-4
第二章 長波坑浪型之消能構造研擬.....	2-1
2.1 緣起與回顧.....	2-1
2.2 水力式阻尼結構物的研究.....	2-4
2.3 數值模擬.....	2-9
2.3.1 FLOW-3D 之主要特性.....	2-9
2.3.2 數值模擬流程.....	2-11
2.3.3 數值計算結果與討論.....	2-17
第三章 臨時簡易功能使用型消能構造研擬.....	3-1
3.1 快速安裝浮式防波堤之應用.....	3-1
3.2 理論推導.....	3-4

3.3	水工模型實驗	3-6
3.3.1	實驗設備與儀器	3-6
3.3.2	實驗方法	3-8
3.4	數值模擬與討論	3-11
3.4.1	翼板長度對浮體消波特性與運動之影響	3-11
3.4.2	翼板角度對浮體消波特性之影響	3-12
3.4.3	翼板個數對浮體消波特性之影響	3-13
第四章	理境保護型消能構造之研擬	4-1
4.1	研擬構想	4-1
4.2	數值模擬	4-6
4.3	數值計算結果與分析	4-9
4.4	水工模型試驗結果分析	4-11
第五章	結論與建議	5-1
5.1	結論	5-1
5.2	建議	5-2
5.3	成果效益與後續應用情形	5-3
	參考文獻	6-1
	附錄一 期末報告審查意見處理情形表	7-1
	附錄二 期末簡報資料	8-1

圖 目 錄

圖 1 長週期波消能結構物之研究概觀·····	2-2
圖 2 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究·····	2-2
圖 3 Kee 等[10]之數值模型定義圖·····	2-3
圖 4 Kee 等[10]測試之數值模型系統(a)雙平版；(b)三平版·····	2-3
圖 5 內建斜坡式消能結構物的初步構想·····	2-6
圖 6 多孔隙隔艙式消能結構物的初步構想·····	2-6
圖 7 修正之內建斜坡式消能結構物的構想一·····	2-6
圖 8 修正之內建斜坡式消能結構物的構想二·····	2-6
圖 9 修正之內建斜坡式消能結構物的三種方案·····	2-6
圖 10 內建斜坡式消能結構物的波動與水流現象·····	2-8
圖 11 數值造波器示意圖·····	2-10
圖 12 數值模擬流程圖·····	2-14
圖 13 立壁開孔模型外觀圖·····	2-15
圖 14 多孔隙介質模型外觀·····	2-15
圖 15 模型元件組合外觀圖·····	2-16
圖 16 x-z 平面網格區塊位置示意圖·····	2-16
圖 17 網格系統之 3D 示意圖·····	2-17
圖 18 計算領域之邊界條件示意圖·····	2-17
圖 19 小斷面水槽預備試驗之波高計量測值示意圖(CASE 1)($T=1.0\text{sec}$, $H=0.04\text{m}$, $h=0.34\text{m}$, $L=1.416\text{m}$, $C=1.416\text{m/sec}$) ·····	2-19

圖 20 快速安裝防波堤系統構想圖·····	3-2
圖 21 RIBS 半比例尺現場實驗·····	3-2
圖 22 RIBS 水工模型試驗·····	3-2
圖 23 小型 RIBS 的基本配置圖·····	3-3
圖 24 大型 RIBS 的基本斷面圖·····	3-3
圖 25 繫留浮體定義圖·····	3-4
圖 26 實驗模型尺寸側面圖·····	3-9
圖 27 模型佈製圖·····	3-11
圖 28 自由浮體不同翼板長度對反射率之影響·····	3-12
圖 29(a) 過去傳統保護海岸的工法·····	4-3
圖 29(b) 波浪直接衝擊消波工·····	4-3
圖 29(c) 利用人工潛堤保護工法·····	4-3

表 目 錄

表 1 數值模擬及水槽試驗之反射率(KR)比較表.....	2-20
表 2 試驗波浪條件.....	3-11
表 3 配置(I)反射率最小值 $ R _{\min}$ 與發生位置.....	4-9
表 4 配置(II)反射率最小值 $ R _{\min}$ 與發生位置.....	4-9
表 5 配置(III)反射率最小值 $ R _{\min}$ 與發生位置.....	4-10
表 6 配置(IV)反射率最小值 $ R _{\min}$ 與發生位置.....	4-10

照片目錄

照片 1 內建斜坡式消能結構物實體模型.....	2-8
照片 2 試驗斷面水槽全景.....	2-8
照片 3 修正之內建斜坡式消能結構物水工模型試驗.....	2-9
照片 4 斷面造波水槽.....	3-7
照片 5 小斷面水槽消波斜坡.....	3-7
照片 6 造波機.....	3-8
照片 7 波高計.....	3-9
照片 8 訊號增幅器.....	3-9
照片 9 彈簧、細鋼索、滑車、繫結器.....	3-12
照片 10(a) 基隆市碧砂漁港(右視)	4-3
照片 10(b) 以高大海堤及消波塊.....	4-3
照片 10(c) 降低堤頂高程後之海洋大學工學院後方海堤.....	4-3
照片 10(d) 海洋大學藝文中心於工學院後方曼波公園舉辦海堤音樂 會.....	4-3

第一章 前言

1.1 計畫目的

臺灣位處於歐亞大陸交界處，東、西部海岸地形因環境位置因素有很大的差異，東部海岸地形陡峭，而西部海岸則較為平緩，也因此東、西部海岸在海岸空間的利用與保護的難易度存在相當大的差異，加上西部人口集中，在過去幾十年高度追求經濟發展，以及每年天然災害颱風的推波助瀾下，導致臺灣本島一千三百餘公里的海岸線，已有超過 55% 的比例成為人工海岸，佈滿了大大小小三百多個港口及看似無限延伸的海堤，此種高度開發建設與充分利用重力式硬體設施的結果亦導致海岸空間環境的強烈變遷，不僅造成海岸區域生態失去平衡，亦影響海岸區域的景觀。

近年來由於人民生活水準提高，環保意識抬頭，對海岸空間環境與生態之要求與關心亦相對提升，也因此影響海岸保護之工法及施政策略，如以消能式柔性工法替代傳統剛性工法、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，2007 年 6 月行政院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。

目前海岸環境的保護方式，在海堤上已經儘量採用符合生態的柔性工法，但是港灣構造物部分則尚無有效而妥善的改善方式，仍以重力式結構物為主要的規劃設計考量。港灣構造物設置的目的主要提供一可供船舶靠泊、上下貨、休憩、整修及避颱、避風之水域，然而檢視臺灣之港口，有部分港灣或因規模太小、或因環境地理因素、或因使用目的功能的需求(並非所有港口皆需要或有能力具有避風、避颱等功能)，而僅能於平時提供休憩、上下貨等功能，此類港口之保護設施如果仍以傳統重力式結構設施作為防波堤等使用的話，由於使用性相對不高但卻長期佔用閒置，其不僅影響海岸環境生態甚鉅，亦可能破

壞了海岸空間景觀，阻礙或阻斷了人們的親水活動。另外，由於臺灣東西兩岸地形特性的差異性甚大，加上平均每年有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。東部海域坡度陡且面向廣闊的太平洋，港灣結構物常面臨長波作用，結構所受波壓較大，亦常發生防波堤破壞或港池共振問題；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，其較常面臨之問題大都為沖刷淤積等海岸劇烈變遷問題。

臺灣近岸區域依港灣結構物的功能，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復育功能)及臨時簡易功能使用型(以環境保護功能或特殊使用目的功能為主)等三大類型，長波抗浪型設施之區域大致以臺灣東部近岸港灣結構物為代表，目前此類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颱風波浪必經之路，經常面臨結構破壞或港池共振等問題，而依現有普遍觀念採用增加結構物之強度或重量以抵擋波浪作用力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，但如果要應用於港灣構造物的話，其適當型式為何，亦有必要進一步加以檢討；臨時簡易功能使用型，主要目的並非抵擋颱風波浪，而是定位於以抵抗季節風浪為主，其規劃特性為以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，以設置簡單快速、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，但抗浪性較低則是其缺點，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。

1.2 研究範圍與對象

針對長波抗浪型之區域、環境保護型區域及臨時簡易功能使用型等三大類型之結構開發新的消能方式，三種結構型式分述如下：

1. 長波抗浪型

傳統的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，但由於這是屬於硬碰硬的行為，往往也造成了結構體的破壞或海岸地形的變化。而消能的方式尚可以從利用結構體的慣性阻尼方式來思考，此為本項研究重點的思考方向。阻尼型消能式結構物可以結構元件或水力結構形成其阻力特性，結構元件之阻尼特性乃利用彈性材料設計阻尼器，並安裝於直立式防波堤海側的適當位置。當大波浪作用於結構體時，藉由彈性材料的變形發揮阻尼作用，以達到消能的目標，本計畫主要以防波堤設施為考量。

2. 臨時簡易功能使用型

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。由於快速佈放的考量，此類浮式結構物的研發並不為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：

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。

針對海岸因為風災而發生嚴重流失時，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。

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。

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破壞較少；組成元件可以容易在陸地上建造；可以快速安裝施工；所需維護費用較少；孔隙間海水可以流通對水質較好；損壞時易於修補恢復性高。

1.3 研究內容

依各研究子題本年度內容說明如后。

1. 長波抗浪型：

能以較柔式的阻尼方式降低波浪之能量，主要以水力式阻尼結構式為主。首先進行水工斷面模型試驗，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，以瞭解水力式阻尼結構之消能能力與在實際應用時所面臨之問題及可解決的方法。

2. 臨時簡易功能使用型：

臨時性設施之海事結構以浮式結構較為通用與合適，其著眼點主要在於施工簡便、符合環境保護與經濟原則，本年度首先對柔性浮式結構物理論解析之基本構架，探討與改進其穩定與消能能力，同時對

在浮體下方之兩薄板則首先假設其為剛性固體，探討薄板長度、間距對規則波消能特性之影響；另外，並探討浮體之運動與繫留索之受力，並進行水工模型試驗以驗證數值模擬結果。

3. 環境保護型：

以數值計算考慮波浪為正向入射通過直立堤前潛式多孔隙透水結構物的情形，探討潛式多孔隙透水結構物對波浪水理特性的影響。

第二章 長波抗浪型之消能構造研擬

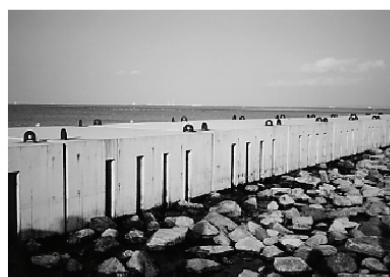
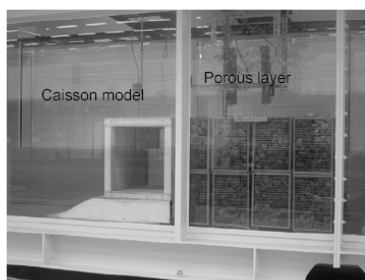
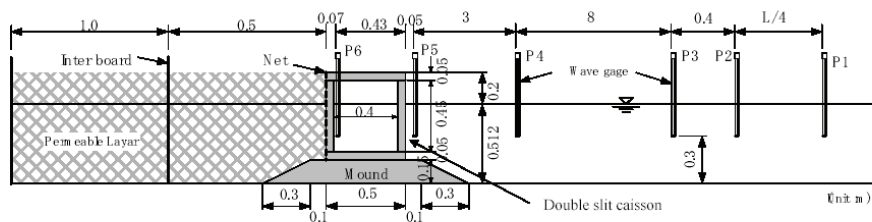
2.1 緣起與回顧

就防波堤抵抗波浪的機制而言，不外乎利用自體的強度與重量或者消波塊的輔助與波力相抗衡、或是利用潛堤促使波浪提早碎波以削減波能、或是在防波堤上加裝翻水牆導引衝擊波轉向、或是利用防波堤上加設消波式胸牆以削減衝擊波壓。然而這些削減波能方式，有的是因為臺灣海岸地形的特殊，導致結構物或消波塊容易因基礎淘空而傾倒或流失，有的是因為長期受強大波力作用而引起結構物的材料或強度老化而破壞，有的則上述兩個原因都有，在在都顯示硬碰硬的抗浪方式，最終人工構造物還是要輸給大自然。

因此，如何進一步利用材料或者型狀的特性，來削減強大波力。因此本研究著重於水力式阻尼構造物消能之研發。本年度提出之研究構想如下：

- a. 收集自然及人工斜坡之相關研究成果，以整理分析斜坡地形之消波特性。
- b. 設計多種直立式多孔隙消波結構物並進行相關之試驗與評估。

在水力阻尼方面的研究，Hiraishi[6]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，結果發現長週期波的反射率可以降低到 0.3 以下。Hiraishi[7]利用水工模型試驗及數值造波水槽模擬的方式探討如圖.1 及 2 之長週期波消能結構物在 30 至 300 秒長週期波動作用下的功能，目前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[10]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 3 及 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。



(1) Model caisson and porous layer (2) Prototype example of porous layer
Photo. 1 Overview of long period wave absorber

圖 1 長週期波消能結構物之研究概觀

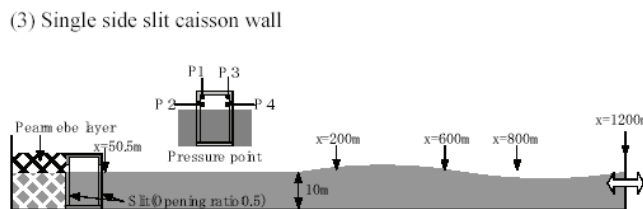
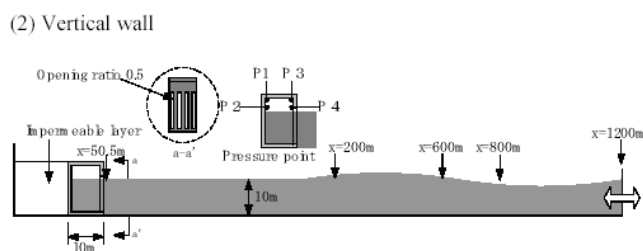
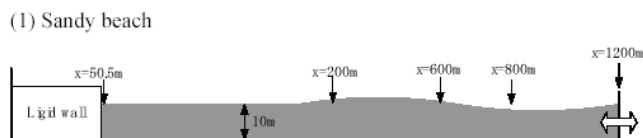
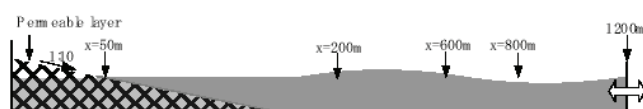


圖 2 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究

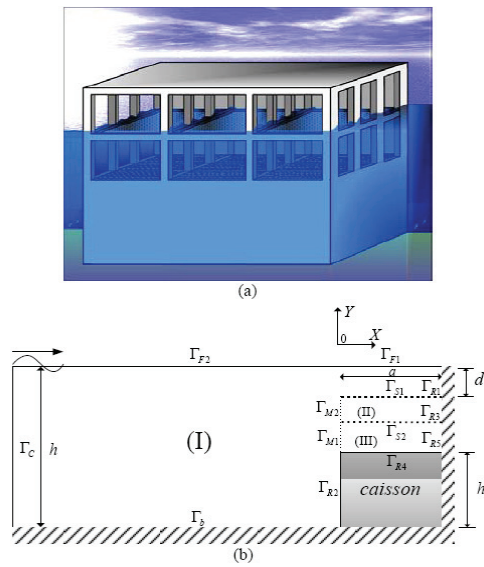


Fig.1 Definition sketch (a) and integration domains (b)

圖 3 Kee 等[10]之數值模型定義圖

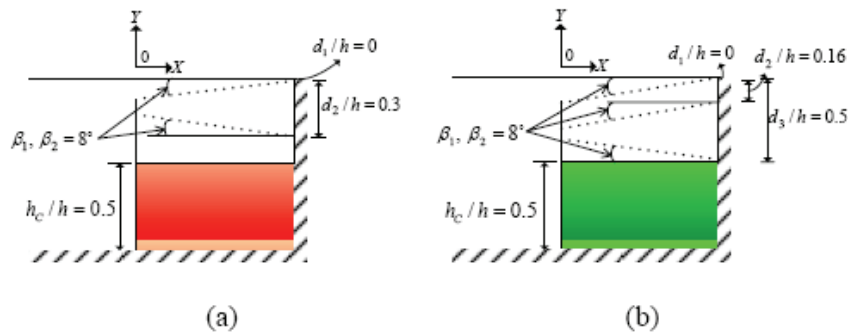


圖 4 Kee 等[10]測試之數值模型系統(a)雙平版；(b)三平版

在利用數值模擬方法處理自由液面(free surface)之問題 Hirt and Nichols[8]首先提出 Volume-of- Fluid(VOF)的概念很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。

2.2 水力式阻尼結構物的研究

水力結構阻尼之特性研究構想主要是利用港灣結構與波流水理運動間的交互作用特性形成阻尼，以達消減長波能量的功能。初步的構想如圖 5 及 6 所示。但為考量實際的碼頭高度大約在 12 公尺以上，可能無法直接由底部建構一斜坡促使波浪溯升而不會因為坡度太陡而發生反射。因此乃重新檢討碼頭斷面如圖 7 至 9，其主要想法是讓波浪在斜坡上溯升但利用後方的空隙讓上溯的水流發生跌水現象而不直接回溯造波。因為跌水所造成的殘餘水量則設法透過側向或下方排水的方式排出堤體。為了瞭解斜坡式消能結構物各項機構的功能，乃以逐步試驗並改善所發現問題的方式，先後進行下列水工模型試驗

- (1) 空水槽試驗：以瞭解斷面造波水槽的功能，以及為量測反射率而設置的波高計位置的適當性。
- (2) 方案一：如圖 9(a)及照片 1 所示的布置，為斜坡式消能結構物的基本構造。
- (3) 方案二：如圖 9(b)所示，考慮前方開孔部的比例，將其減少 50%。
- (4) 方案三：如圖 9(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。

模型的長寬高如圖 9(c)方案三中所示，詳細尺寸如圖 13 所示。所有的試驗是以 1/25 的比例縮尺，在海洋大學海港工程館的小斷面水槽(50 公尺長、80 公分寬，如照片 2 中進行水工模型試驗(造波水深 37 公分，造波週期分別為 1.0、1.4、1.8 及 2.2 秒，造波波高 1 至 4 公分，各條件重複 3 次)。

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 10 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。

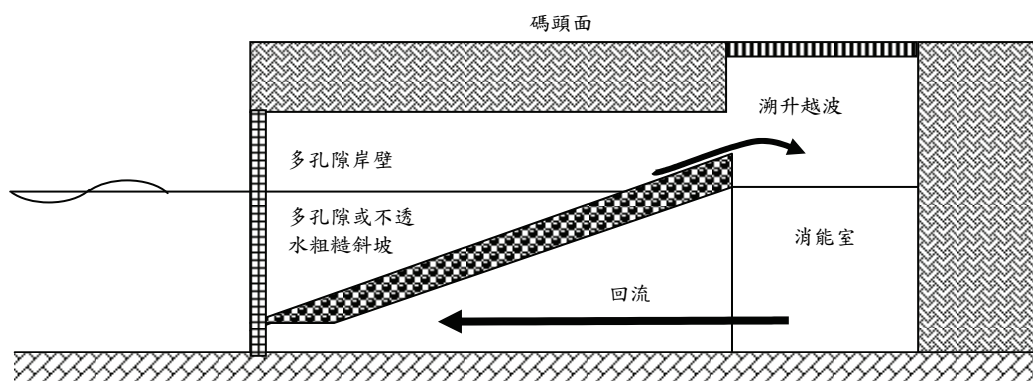


圖 5 內建斜坡式消能結構物的初步構想

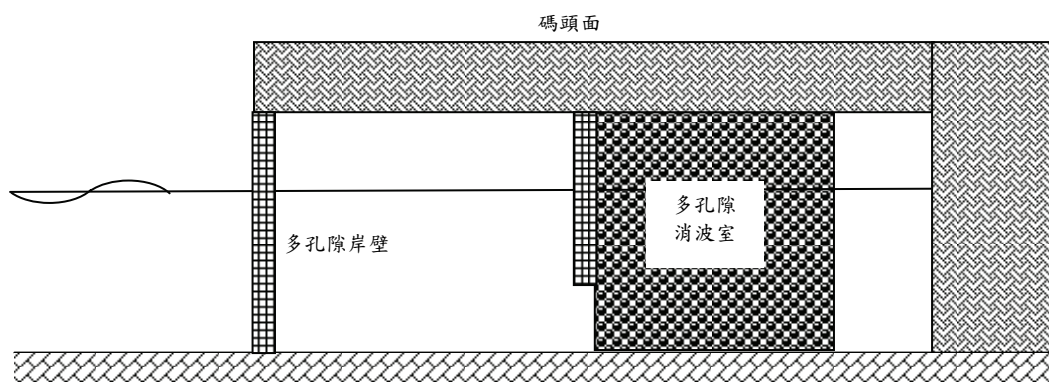


圖 6 多孔隙隔艙式消能結構物的初步構想

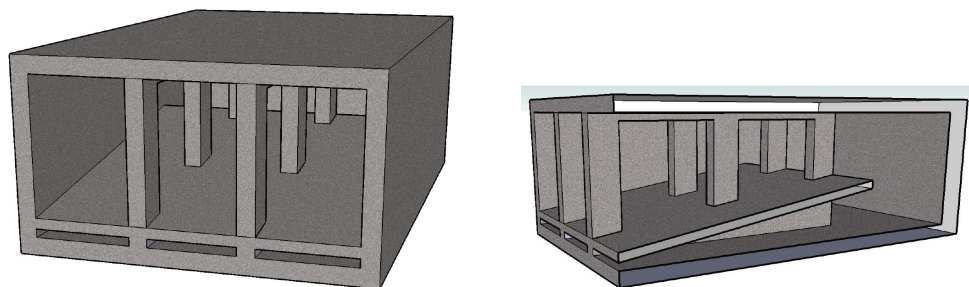


圖 7 修正之內建斜坡式消能結構物的構想一

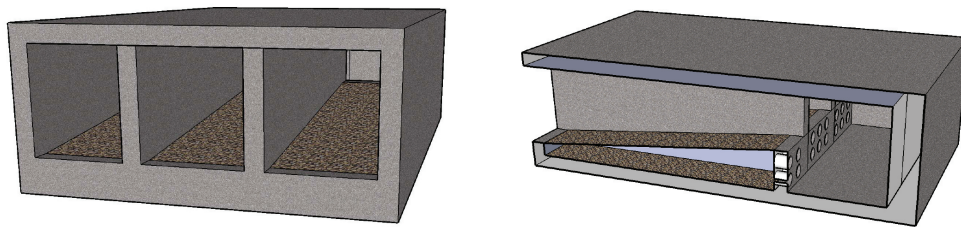
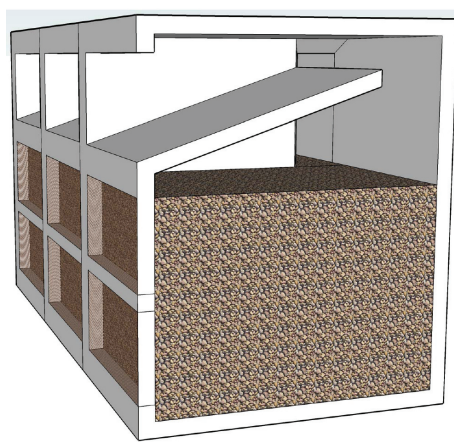
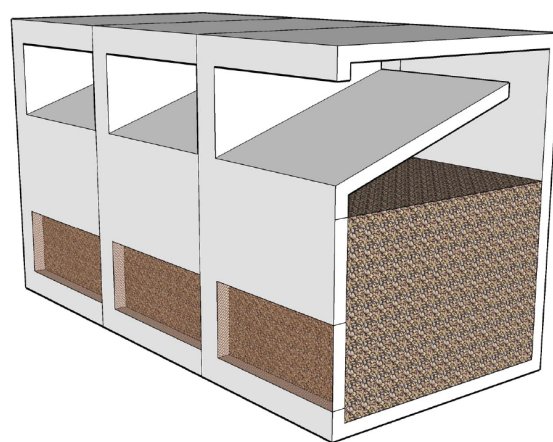


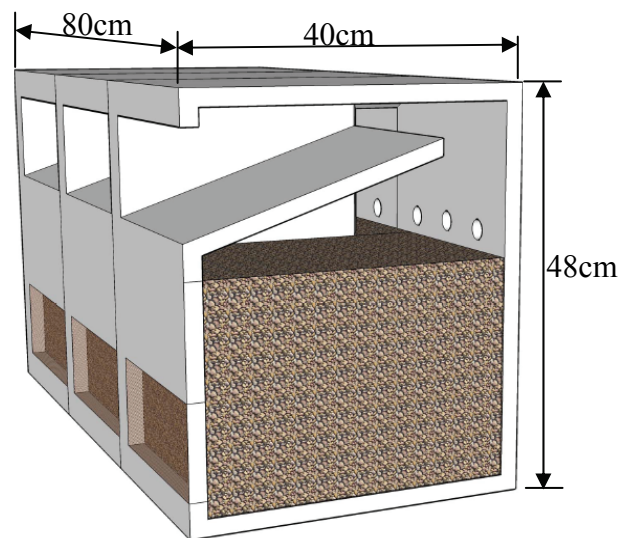
圖 8 修正之內建斜坡式消能結構物的構想二



(a) 方案一



(b) 方案二

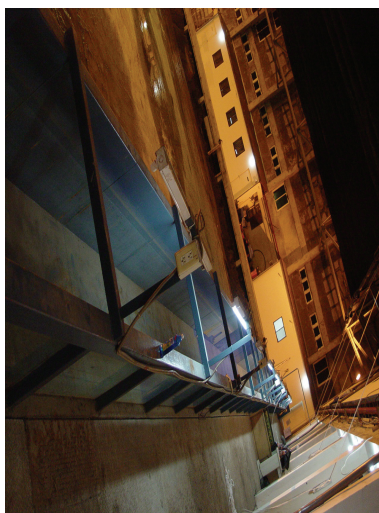


(c) 方案三

圖 9 修正之內建斜坡式消能結構物的三種方案



照片 1 內建斜坡式消能結構物實體模型



照片 2 試驗斷面水槽全景

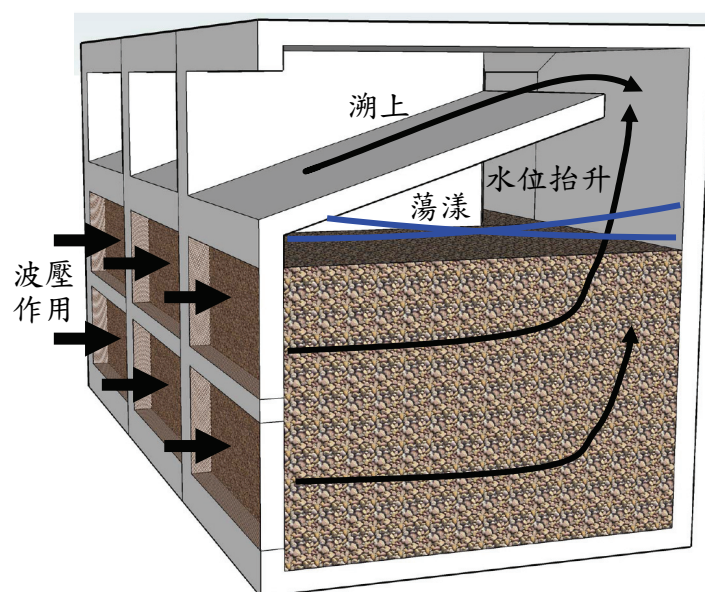
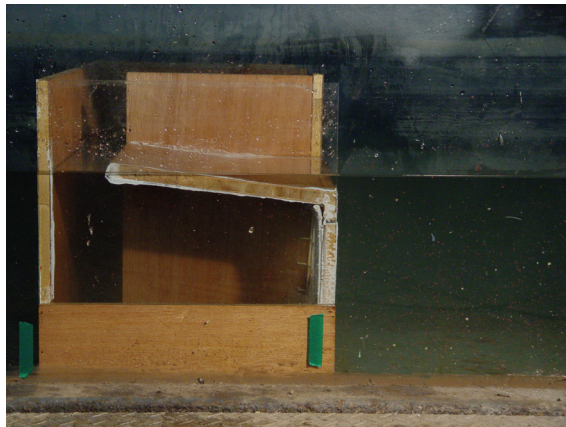


圖 10 內建斜坡式消能結構物的波動與水流現象



照片 3 修正之內建斜坡式消能結構物水工模型試驗

2.3 數值模擬

在水力式阻尼消能結構的數值模擬研究，由於考量消波式碼頭附近，可能包含波動及水流運動之複雜層面。如何精確地描述自由水面 (free surface) 之形狀及位置？並能考慮到自由面形狀如何隨時間而改變？將是影響數值模擬結果之合理性的最主要關鍵點。本計畫擬採用以體積分率法(Fractional Volume of Fluid ,VOF)為解算技術之 FLOW-3D 為初步評估之工具，期能與水工斷面模型試驗結果建構良好之一致性。

FLOW-3D 是國際知名流體力學大師 Dr. C. W. Hirt 畢生之作，從 1985 年正式推出後，其計算流體自由水面複雜運動之 VOF 運算技術，在實務工程問題的模擬與計算準確度上皆受到使用者的好評。

2.3.1 FLOW-3D 之主要特性

FLOW-3D 之主要特性說明如下。

1. 多重區塊結構式網格系統(Multi-Block Structure Grid System)

FLOW-3D 使用有限差分法(Finite Difference Method, FDM)為基礎，建立網格系統的技巧上，FLOW-3D 採用連結型(Linked Blocks)及巢

狀型(Nested Blocks)之多重網格系統，將我們所需要加強的區域產生不同解析度的網格點，來精確描述複雜的幾何結構，以減少網格數目及縮短運算時間，並得到較精確的運算結果。

2. 流體體積分率法(Fractional Volume of Fluid, VOF)

VOF 法(Hirt 等[8])，以其儲存量小、應用簡單而深受廣大使用者的喜愛。其基本原理在於定義通過網格單元(grid cells)中，流體和網格體積比函數 來確定自由水面，追蹤流體的變化，而非追蹤自由水面上質點的運動，可以輕易地處理自由水面合併或翻轉等非線性現象。

3. 可設定多種類型之邊界條件

可指定各類型之邊界條件，以符合實際工程問題之所需。譬如：對稱面(Symmetry)、靜止的壁面(Wall)、與外界大氣接觸面(Out-Flow)、連續面(Continuative)、體積流率(Volume of rate)、波浪(Wave)、比壓力(Specified pressure)、比速度(Specified velocity)等之邊界條件。假設入射波為由平坦底部的大水槽內造波，而進入計算領域，如圖 11 所示。

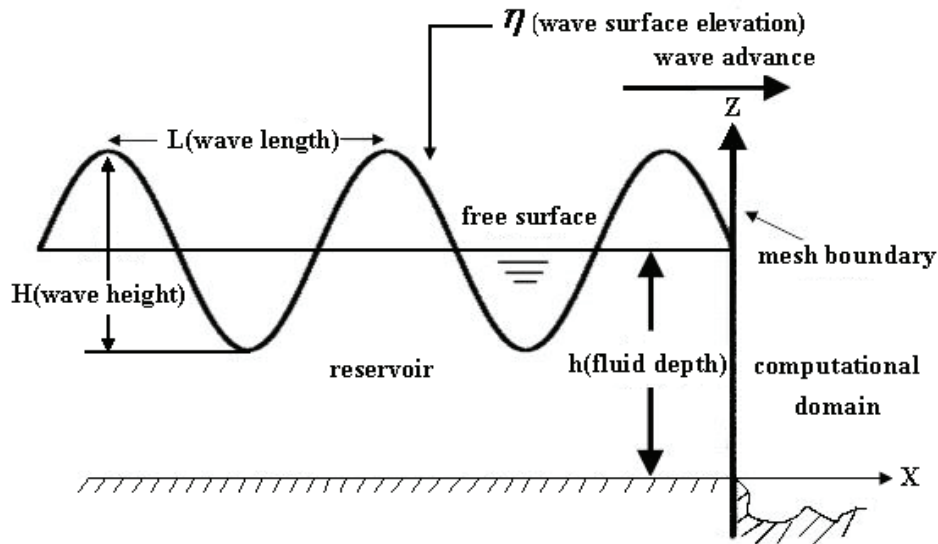


圖 11 數值造波器示意圖

而其基本假設為：

- (1) 二維不可壓縮流(2D incompressible Flow)
- (2) 無黏流(Inviscid) 及非旋性流(Irrational)
- (3) 線性波必須在靜止的水域產生
- (4) 線性波振幅小於水深及波長
- (5) 自由水面的波高可表為 $\eta(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \varphi)$ ，其中 A 為振幅， φ 表相位角， k 為波數及 ω 表頻率。

根據以上的假設，我們可以將波動問題歸納為位勢函數 ϕ ，且滿足 Laplace Equation，其解可表示為

$$\phi(x, z, t) = \frac{A\omega \cosh[k(z+h)] \sin(kx - \omega t + \varphi)}{k \sinh(kh)} \dots\dots\dots(2.2.1)$$

流體速度是二維的 x 及 z 方向組成，可表示為：

$$u(x, z, t) = \frac{A\omega \cosh[k(z+h)] \cos(kx - \omega t + \varphi)}{\sinh(kh)} \dots\dots\dots(2.2.2.)$$

$$w(x, z, t) = \frac{A\omega \sinh[k(z+h)] \cos(kx - \omega t + \varphi)}{\sinh(kh)} \dots\dots\dots(2.2.3)$$

波速 $c = \omega/k$ 關係式可表示為：

$$c^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} \dots\dots\dots(2.2.4)$$

其中， λ 為波長；波的頻率和振幅的關係式為

$$\omega^2 = \frac{2\pi g}{\lambda} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} \dots\dots\dots(2.2.5)$$

一旦入射波進入計算領域內時，不需要限定為平坦底部，且流體可以是無黏流(inviscid)，層流(laminar)或是紊流(turbulent)。

4. 多孔隙介質模組(Porous Media Models)

流體通過多孔性介質時，常會因介質孔隙內之黏性及轉折效應 (tortuosity effect)，致令流速 U 受阻礙變化，並產生流量損失(flow losses)之狀況。

FLOW-3D 針對不同型態之多孔隙流特性，有多種決定 K_d 之方式，以下僅就與本研究相關之方法略述於下：

(1) 孔隙率依存法(Porosity Dependent drag)

$$K_d = a \times \varepsilon^{-b} \dots\dots\dots(2.2.6)$$

(2) 飽和流依存法(Drag Calculations in Saturated Flows)

$$K_d = \frac{D^2 \varepsilon^3}{180(1 - \varepsilon)^2} \dots\dots\dots(2.2.7)$$

上式亦被稱為 Carmen-Kozeny 公式，適用於飽和流之場合。

(3) 雷諾數依存法(Renolds Number Dependent Drag)

當多孔隙介質是由粗砂粒(Coarse particle)或小徑管柱(Fibers)所架構時，流場流速變化急遽，此時流量損失常與速度之平方成正比，

2.3.2 數值模擬流程

FLOW-3D 依據如圖 12 所示之進行數值模擬，以下僅就主要步驟循序略述於後：

1. 建立及讀入計算模型

為了要便於建置多孔隙介質，數值模型採用零件組合的方式建立。圖 13 為直立壁開孔模型外觀圖，而圖 14 多孔隙介質模型外觀圖，最後將其組合成如圖 15 所示之數值模擬模型元件組合外觀圖。

2. 建構網格系統

網格建立的方式採用連結式網格區塊法，設定兩個計算網格區塊。第一區塊置於 $x=0\sim0.4m$ 處，用來納入前述建置之模型；第二區塊

置於 $x=0.4\sim 33\text{m}$ 處，用來做為造波後之行走水道區。數值模擬採用均勻網格切割計算領域，如圖 15 所示，針對第一網格區塊設定單位網格尺寸為 1cm ，總網格數約 5 萬個；第二網格區塊設定單位網格尺寸為 1.6cm ，總網格數約 105 萬個，而圖 16 為網格系統之 3D 外觀圖。

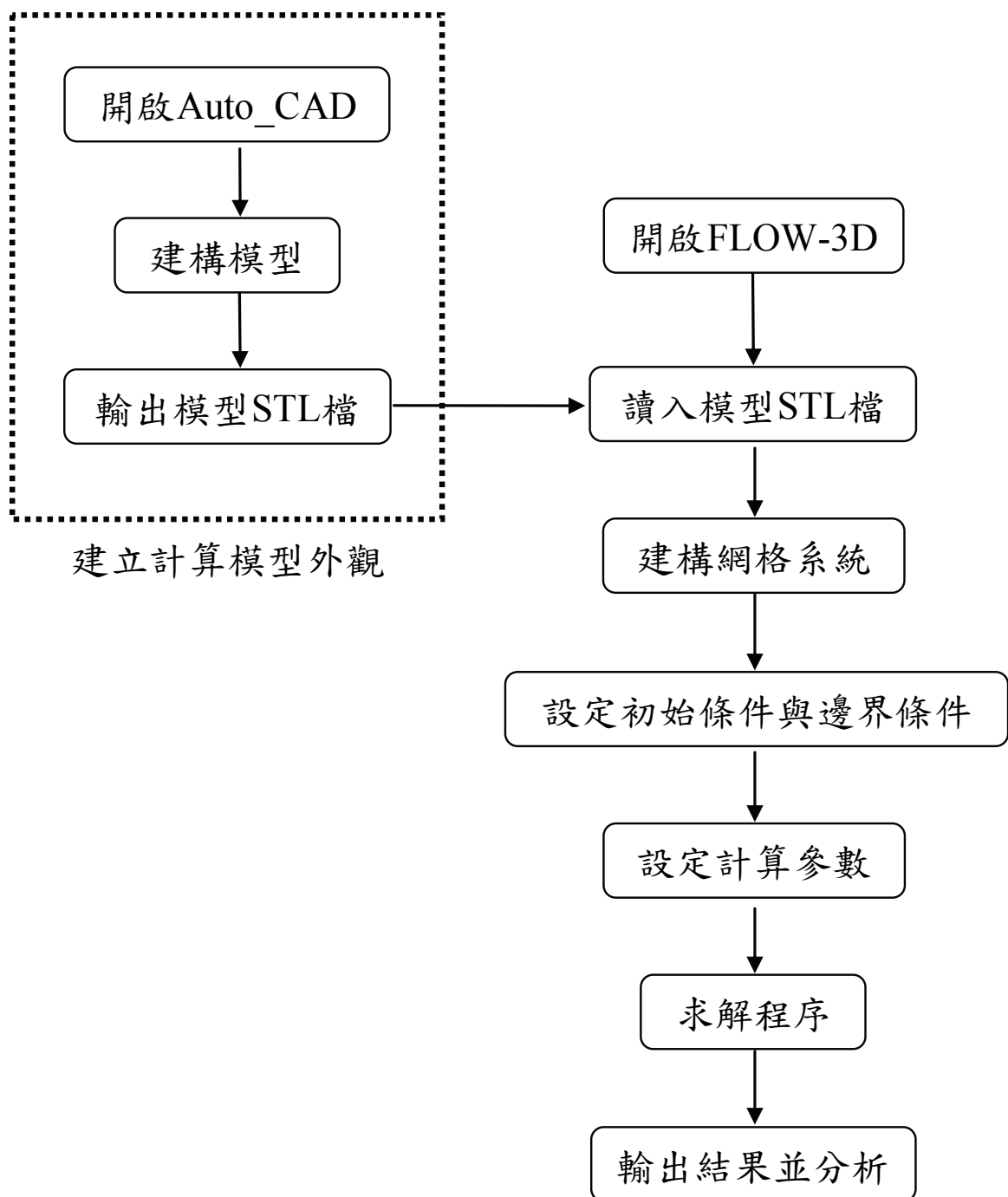


圖 12 數值模擬流程圖

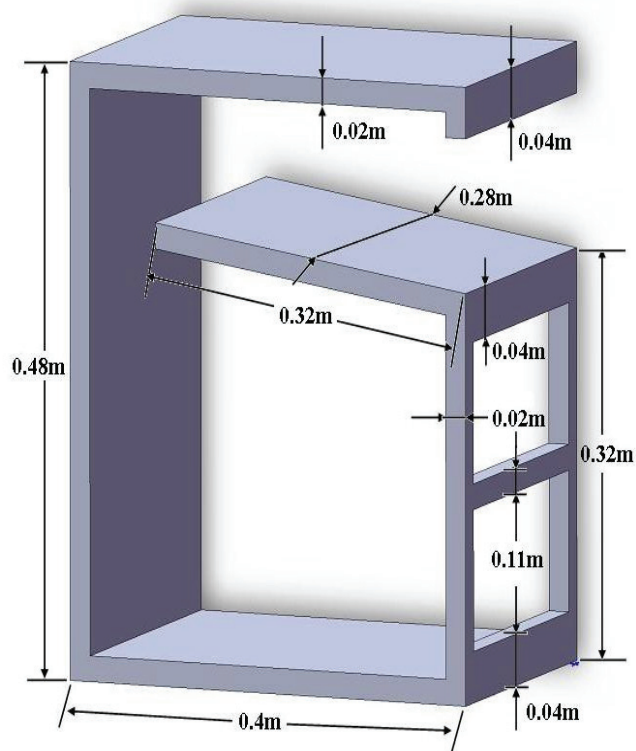


圖 13 直立壁開孔模型外觀圖

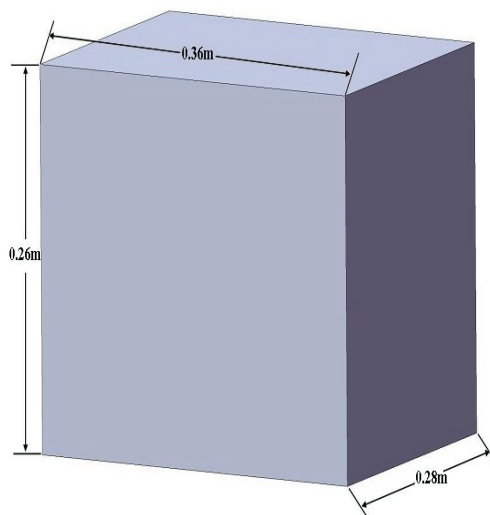


圖 14 多孔隙介質模型外觀圖

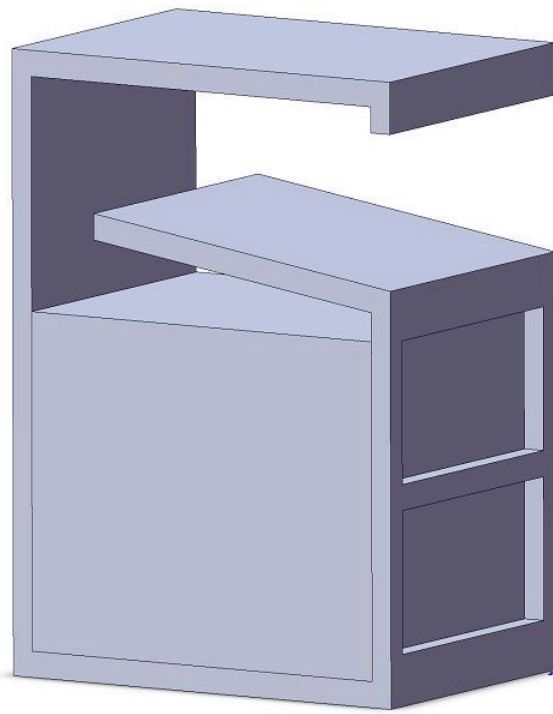


圖 15 模型元件組合外觀圖

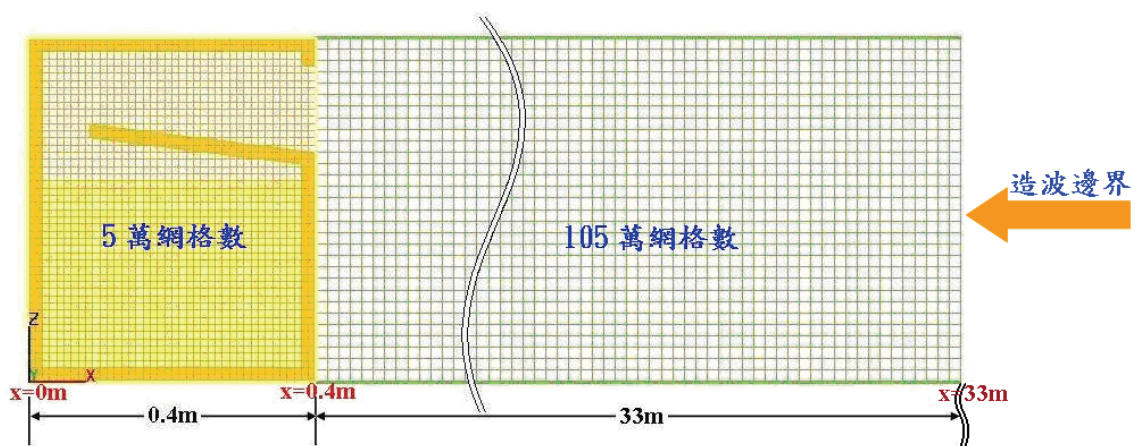


圖 16 x-z 平面網格區塊位置示意圖

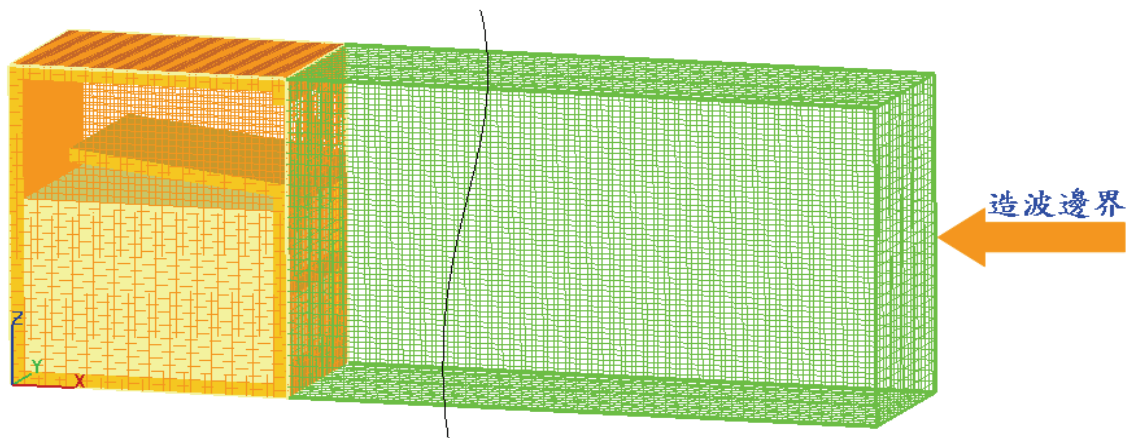


圖 17 網格系統之 3D 示意圖

3. 設定邊界條件

為了能與水工試驗條件具一致性，數值模擬設定如圖 17 所示之邊界條件。W 表無滑動之剛體壁面，流體無法流出此邊邊界；O 表與外界大氣接觸之開放界面；LW 為造波邊界，可依圖 18 所示，給定如：波高(H)、週期(T)、水深(h)及位相角(φ) 等入射波參數；S 表兩個網格之連結面，允許流體連續通過此壁面。

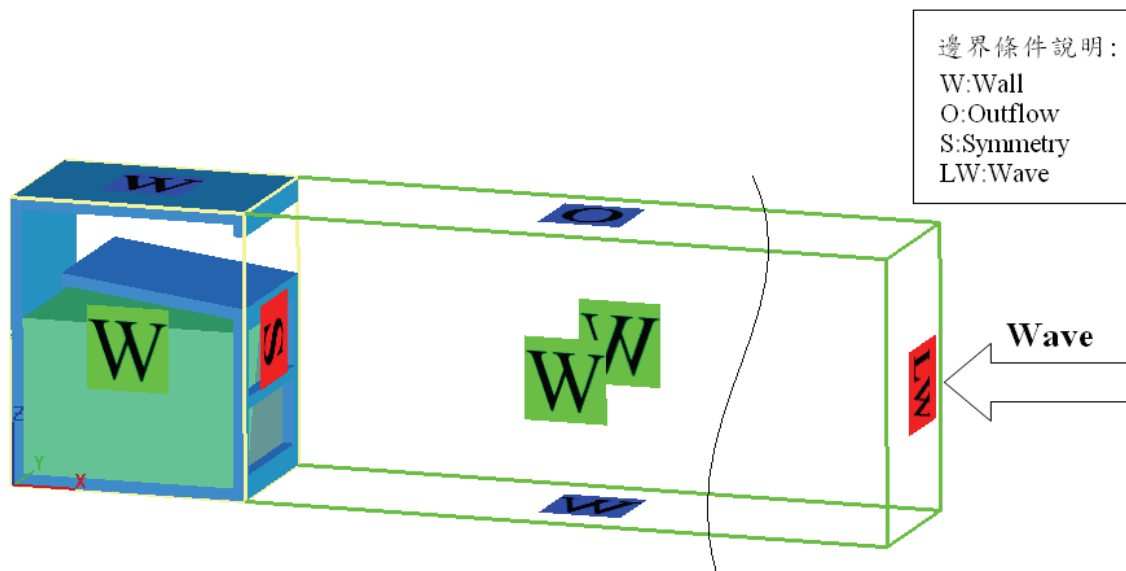


圖 18 計算領域之邊界條件示意圖

2.3.3 數值計算結果與討論

本研究主要著重於導入 FLOW-3D 之多孔隙介質模組(Porous Media Models)，並與試驗結果相互驗證數值模擬之可信性。為了簡單化起見，與試驗條件相同，於數值計算中，將多孔隙介質視為 $\varepsilon=0.35$ 之碎石或粗砂($K_p=10^{-7}\sim 10^{-9}m^2$)材質所組成，並採用 FLOW-3D 之預設之孔隙率依存法(porosity dependent drag)進行數值計算。此外數值造波器自計算開始，即持續不斷地造波，直至計算結束為止(60 秒)，這是與水槽試驗極為不同之處。

此外數值模擬波高計之位置，除了波高計 1 與水槽試驗位置相同外，為了能符合 Healy(1953)之準則，並獲得足以信賴穩定之反射率 KR(reflection ratio)，其餘三支波高計採下列原則設置：

數值波高計 4：距直立壁 2L 處，並自此處擷取 2T 之波高值。

數值波高計 2：距直立壁 4L 處。

數值波高計 3：介於波高計 1 及波高計 2 之間。

圖 19 為 CASE 4 之數值計算結果示意圖，由波高計 1 之計算結果可知，數值造波器開始計算後，前導波約 5 秒後通過，與由波速($C=1.416m/sec$)試算到達波高計 1 之時間完全一致，而水槽試驗延遲至 10 秒才抵達，可足證數值模擬法之精確度。其它波高計前導波，亦與前述同樣狀況。

為了進一步確認本研究採行之數值模擬之合理性，由數值結果試算 Case1~Case4 之反射率，並與試驗結果比較後列於表 1。由結果可看出，除 Case1 較水槽試驗過高評估，尚需後續再予以檢討分析其原因之外，其它之反射率與水槽試驗結果，大致有相同的趨勢，證明反射率(KR)之推算方法具高採信度。

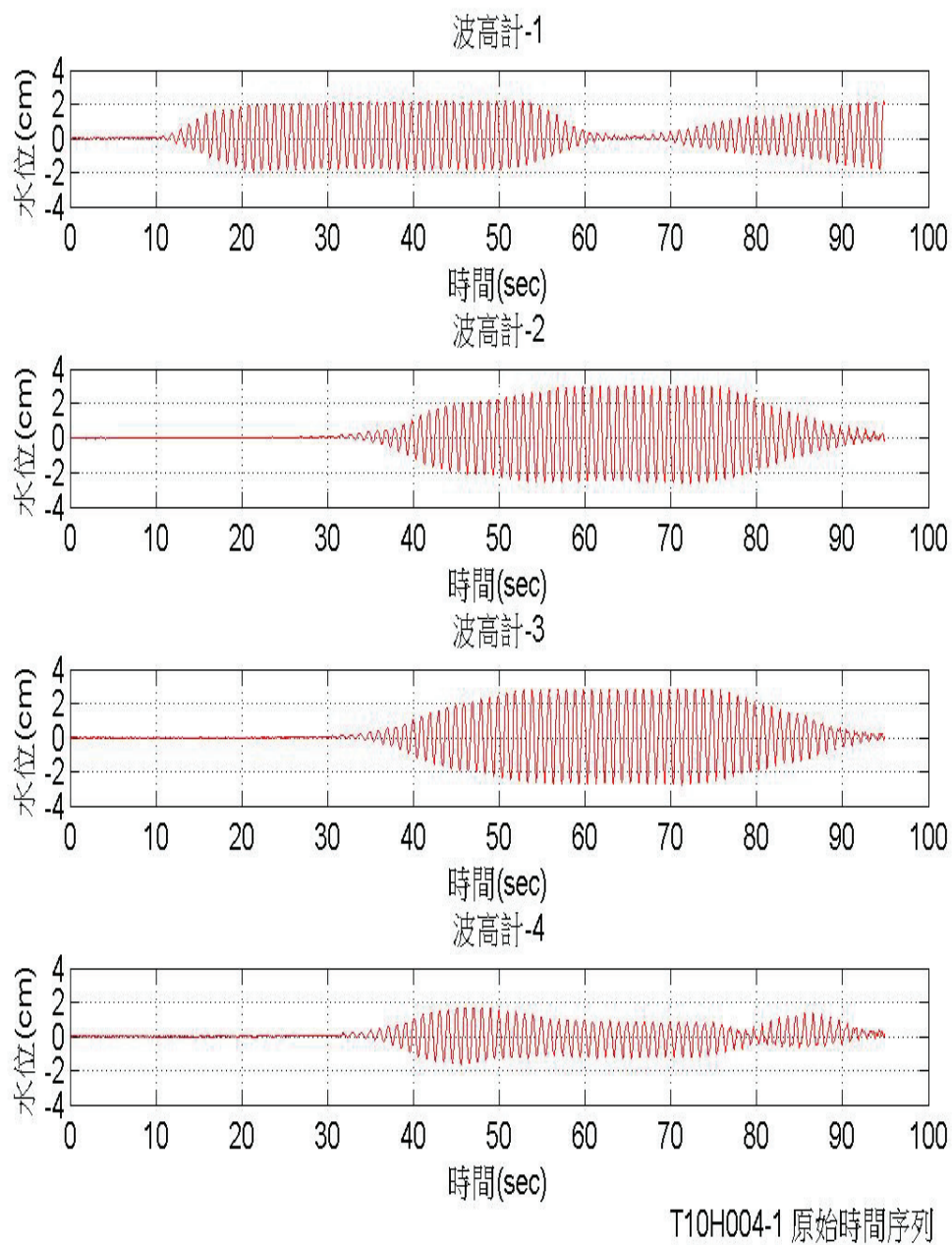


圖 19 小斷面水槽預備試驗之波高計量測值示意圖(CASE 1)($T=1.0\text{sec}$, $H=0.04\text{m}$, $h=0.34\text{m}$, $L=1.416\text{m}$, $C=1.416\text{m/sec}$)

表 1 數值模擬及水槽試驗之反射率(KR)比較表

Case	造波條件	數值模擬	水槽試驗	
1	造波週期：1.0sec 造波波高：4cm	0.1921	空水槽	0.0172
			方案一	0.0251
2	造波週期：1.4sec 造波波高：4cm	0.1111	空水槽	0.0217
			方案一	0.0481
3	造波週期：1.8sec 造波波高：4cm	0.1837	空水槽	0.0171
			方案一	0.1064
4	造波週期：2.2sec 造波波高：4cm	0.1318	空水槽	0.0218
			方案一	0.1592

綜合上述之結果與討論，可歸納本期之研究成果：

1. 所採用之數值模擬方法，能適切地展現合理之波浪水理現象，可供做為後續數值研究之可靠工具。
2. 所建構之反射率(K_R)試算法，與水工模型試驗大致有相同的趨勢，可供做為後續評估分析之準則。

第三章 臨時簡易功能使用型消能構造研擬

3.1 快速安裝浮式防波堤之應用

浮式防波堤(Floating wave breakwaters)主要是在消減週期不超過 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率防波堤，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減透過波能。

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 年代基於以上考量所開發的新型浮式防波堤，其構想如圖 20 所示，其目的是要消減背風處的波高，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。它的構想是藉由一個 V 形的結構幾何及偏向特性來分離波向，讓入射波沿著 V 形的邊界偏向，以遮蔽內部以及下風處某一距離內的水域。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。圖 21 是在現場研究機構(Field Research Facility, FRF, Duck, NC)所進行的 1/2 比例尺現場安裝試驗；圖 22 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。圖 23 及圖 24 是兩種不同的結構物型式。



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

圖 20 快速安裝防波堤系統構想圖



圖 21 RIBS 半比例尺現場實驗



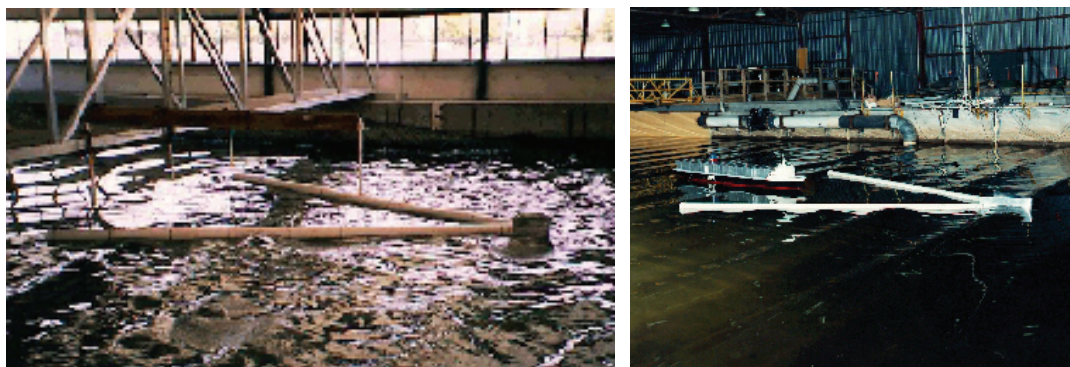
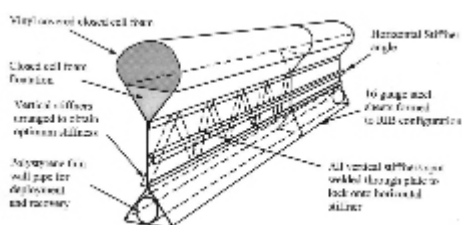
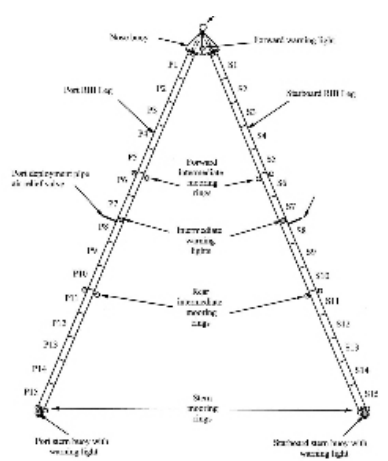


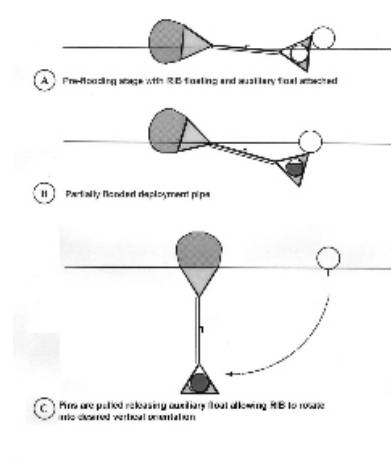
圖 22 RIBS 水工模型試驗



(a) 基本 RIBS 模組



(b) 錨碇的配置圖



(c) 佈放的方式

圖 23 小型 RIBS 的基本配置圖

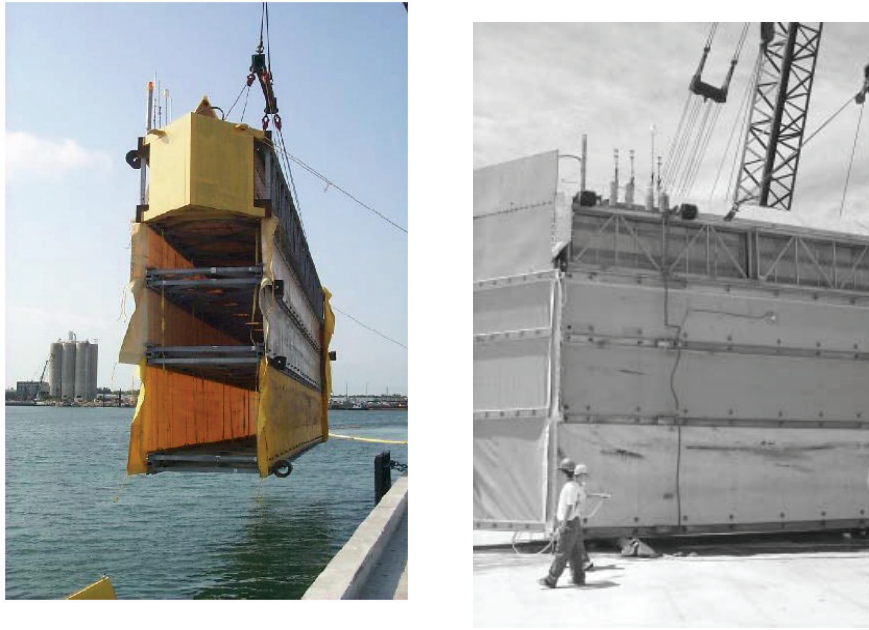


圖 24 大型 RIBS 的基本斷面圖

3.2 理論推導

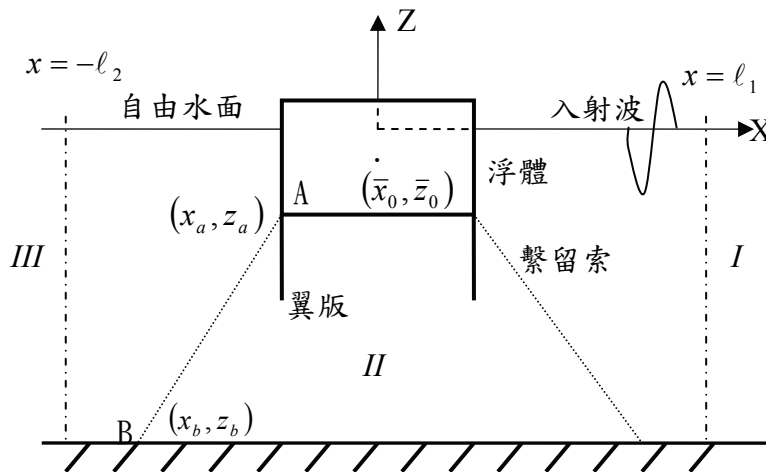


圖 25 繫留浮體定義圖

在圖 25 中所示，在一定水深 h 之海域中有一繫留浮體，設 X 軸水平向右為正，而 Z 軸垂直向上為正，同時在距離浮體極遠處設立兩假想邊界面 $x = \ell_1$ ， $x = -\ell_2$ ，可將整個領域分割為(I)、(II)及(III)之領域，並假設海底及浮體為不透水。

假設討論之流體具有非壓縮性、非黏性和非旋轉性的理想流體運動之特性，則各領域內流體粒子的運動可用速度勢 $\Phi(x, z; t)$ 來描述並且滿足 Laplace 方程式，如下式所示：

$$\Phi(x, z; t) = \frac{g\zeta_0}{\sigma} \cdot \phi(x, z) \cdot e^{i\sigma t} \quad \dots\dots\dots(3.2.1)$$

其中 ζ_0 為入射波振幅， σ 為週頻率。

1. 邊界條件

(1)自由水面邊界條件：

假設自由水面上之大氣壓力一定，由自由水面運動與動力邊界條件可得到：

$$\frac{\partial \phi_{(II)}}{\partial n} = \frac{\sigma^2}{g} \cdot \phi_{(II)}(x, z) \quad , z = 0 \quad \dots\dots\dots(3.2.2)$$

(2)海底底床邊界條件：

設海底底床為固定且不透水，則流體在海底底床之法線方向流速為零，即：

$$\frac{\partial \phi_{(II)}}{\partial n} = 0 \quad , z = -h \quad \dots\dots\dots(3.2.3)$$

(3)假想邊界面上的力學邊界條件與反射率和透過率：

在假想邊界面上 ($x = \ell_1, -\ell_2$)，由於領域(I)、(II)、(III)之流體運動所引起的能量流束與質量流束必須連續，得到：

$$\phi_{(I)} = \phi_{(II)} \quad , x = \ell_1 \quad \dots\dots\dots(3.2.4)$$

$$\frac{\partial \phi_{(I)}}{\partial n} = \frac{\partial \phi_{(II)}}{\partial n} \quad , x = \ell_1 \quad \dots\dots\dots(3.2.5)$$

$$\phi_{(II)} = \phi_{(III)} \quad , x = -\ell_2 \quad \dots\dots\dots(3.2.6)$$

$$\frac{\partial \phi_{(III)}}{\partial n} = \frac{\partial \phi_{(II)}}{\partial n}, x = -\ell_2 \dots\dots\dots(3.2.7)$$

(4)浮体上之邊界條件與運動位移以及各繫留索受力：

領域(II)中 $\phi_{II}(x, z)$ ，因浮體運動重心由 $(\bar{x}_0, \bar{z}_0)$ 移至 (x_0, z_0) ，如果浮體運動的水平、垂直與回轉角振幅為 ξ 、 η 與 ω (逆時針為正)，則兩者的關係如下：

$$x_0 - \bar{x}_0 = \xi e^{i\sigma}, z_0 - \bar{z}_0 = \eta e^{i\sigma}, \delta = \omega e^{i\sigma} \dots\dots\dots(3.2.8)$$

(5)浮體運動邊界條件

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \frac{\partial(x_0 - \bar{x}_0)}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial n} + \frac{\partial(z_0 - \bar{z}_0)}{\partial t} \frac{\partial z}{\partial n} + \frac{\partial \delta}{\partial t} \left[\frac{\partial x}{\partial n} (z_0 - \bar{z}_0) - \frac{\partial z}{\partial n} (x_0 - \bar{x}_0) \right] \dots\dots\dots(3.2.9)$$

設其質量與慣性矩分別為 m 和 I_y ，則整個系統作用於浮體的壓力除重力、流體動壓力 p 外，還有恢復力 R_z 。流體力對各浮箱重心的恢復力矩以 M_y 表示。

利用 Green 函數與積分方程式的分離化，使得領域(II)上之勢函數 $\phi(x, z)$ 滿足 Laplace 方程式，並且假設二次導函數存在。在此方式以複合邊界元素法(Dual Boundary Element Method, DBEM)進行，可解決薄版上同一邊界兩個邊界條件之問題。

經整理各方程式並置換後，得矩陣如下表示

$$[A]\{\phi\} = [B] \dots\dots\dots(3.2.10)$$

將各邊界條件代入式(3.2.10)即可求領域(II)所有勢函數，再由其求得浮體之運動振幅與纜繩受力及反射與透過率。

3.3 水工模型實驗

3.3.1 實驗設備與儀器

本實驗於臺灣海洋大學海洋工程綜合實驗館中進行，實驗之設備儀器如下：

1. 實驗斷面水槽

本實驗於海洋工程綜合實驗館內的小斷面造波水槽中進行，該水槽的長、寬、深分別為 $50\text{m} \times 1\text{m} \times 0.8\text{m}$ 。水槽為鋼製不透水底床，一側不透水鋼板壁，另一側為透明強化玻璃，方便觀察實驗之進行過程。斷面水槽前方為活塞式推拉造波機，後端有一段 1:3 的消波斜坡，為了使消波效果更佳，故使用多孔鐵板與海綿當作消波結構物，同時斜坡上每隔 10 公分設置一 2 公分高之方型格樑，增加斜坡上之粗造度，有利快速消除波浪能量，縮短實驗靜待水面穩定的時間。如照片 4、5。



照片 4 斷面造波水槽



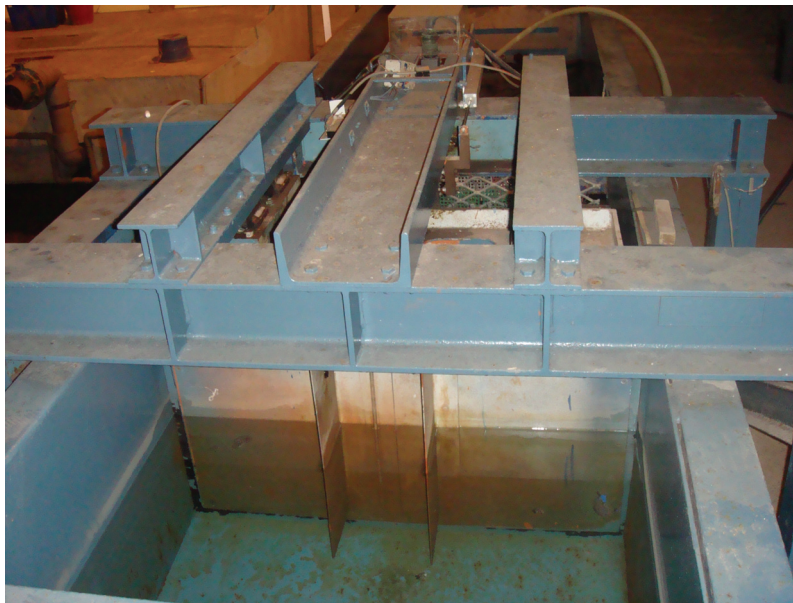
照片 5 小斷面水槽消波斜坡

2. 造波機

本次實驗使用的斷面造波機，其硬體與軟體原為日本伊勢屋機械製作所(ISEYA)所製造，屬於活塞推拉式(piston type)造波機，造波板前

緣設有一回饋訊號波高計，以修正造波機所推出之波高，為一無反射式設計之不規則造波機，其利用油壓來控制造波板的移動以推動水體達到造波目的，可造單方向規則波與不規則波。

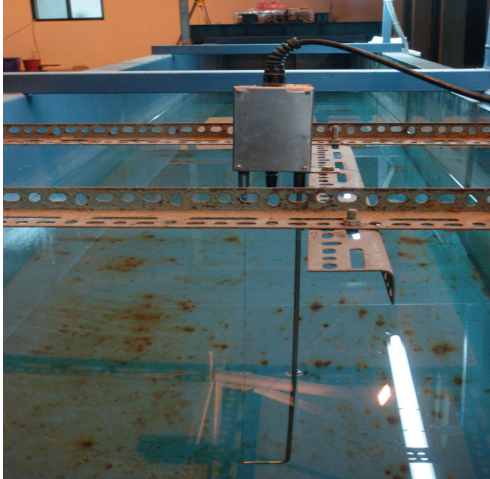
近年來試驗室控制軟體改採用加拿大國家海洋研究中心所研發造波系統，其可造出最大波高為 15 公分，可輸出週期範圍為 0.5 秒至 2.2 秒之間，造波訊號的輸出是由控制電腦直接輸入造波條件以達控制造波週期、波高的目的。如照片 6。



照片 6 造波機

3. 波高計與增幅器

本實驗採用長度 50cm 全英公司製造的容量式波高計量測波高，透過電容式電路感應金屬與訊號線間，因水位波動導致的浸水面積變化轉成電壓起伏，經電纜線傳回波高增幅器將水面變化訊號變大後，由資料擷取系統轉化取得量測波高。如照片 7、8。



照片 7 波高計



照片 8 訊號增幅器

3.3.2 實驗方法

本實驗為繫留浮體所要量測的資料為:反射率、透過率、浮體運動的傾角與浮體運動的位移且與數值分析的資料做比較驗證。

1. 模型的製作

本實驗模型以 Π 型為整體實驗模型，因水槽寬 1m 高 0.8m 避免模型碰撞到水槽，故實驗模型的兩側分別預留 2.5cm。實驗模型尺寸分為兩個部份，主要部份為一矩形木箱長 49.8cm 寬 95cm 高 20cm，次要部份為兩片鋼板長 35cm 寬 95cm 厚 0.2cm，分別與矩形體同高對齊且固定在矩形體前後面，則鋼板會露出 15cm 如圖 26 所示。

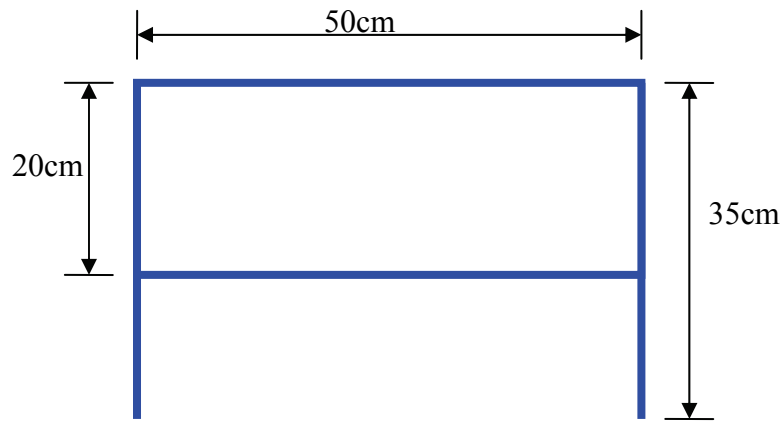


圖 26 實驗模型尺寸側面圖

2. 實驗條件

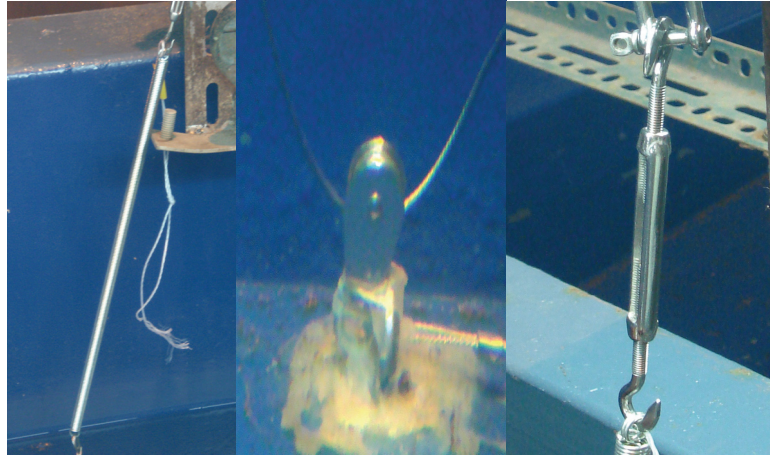
本實驗設定條件:水深為 0.5m，波形為規則波，造波條件如表 2 所示，當水深(h)與波長(L)比值大於 0.5 時為深水範圍，當(h/L)小於 0.05 時為淺水範圍，而介於兩者之間的為中度水深之範圍，故此實驗為中度與淺水深範圍，造波之週期為 1 至 2.5 秒，每個週期重複造波 3 次，入射波波高於 3 至 6 cm。

表 2 試驗波浪條件

週期 (sec)	波高 (m)	波長 (m)	波形尖銳度	試驗水深 (m)	水深波長比	Ursell 數
t	H	L	H/L	h	h/L	Ur
1	0.03	1.513	0.019828	0.5	0.3304	1.1772
1.1	0.03	1.7813	0.016842	0.5	0.2806	1.4244
1.2	0.04	2.0484	0.019527	0.5	0.2440	2.2602
1.3	0.04	2.3116	0.017304	0.5	0.2163	2.6526
1.4	0.04	2.5717	0.015554	0.5	0.1944	3.0764
1.5	0.05	2.827	0.017687	0.5	0.1768	4.4145
1.6	0.05	3.0772	0.016249	0.5	0.1624	5.0227
1.7	0.05	3.3256	0.015035	0.5	0.1503	5.6701
1.8	0.05	3.5711	0.014001	0.5	0.1400	6.3568
1.9	0.06	3.8141	0.015731	0.5	0.1310	8.4993
2	0.06	4.0549	0.014797	0.5	0.1233	9.4176
2.1	0.06	4.2939	0.013973	0.5	0.1164	10.382
2.2	0.06	4.5312	0.013242	0.5	0.1103	11.395
2.3	0.06	4.7669	0.012587	0.5	0.1048	12.454
2.4	0.06	5.0014	0.011997	0.5	0.0999	13.561
2.5	0.06	5.2416	0.011447	0.5	0.0953	14.715

3. 實驗模型與儀器之佈置

水槽中之造波板至消波段長 35m，本實驗模型以模型中心為基準，將模型放置距造波板 21.5m 處；四條細鋼索固定位置具模型中心 0.5m，細鋼索一端固定於實驗模型由上至下 20cm 處，另一端則裝上彈簧，再裝置調整長度之繫節器裝置於拉力計與彈簧間，而拉力計固定位置統一固定在於離水面上 80 公分處。圖 27、照片 9 所示。



照片 9 彈簧、細鋼索、滑車、繫結器

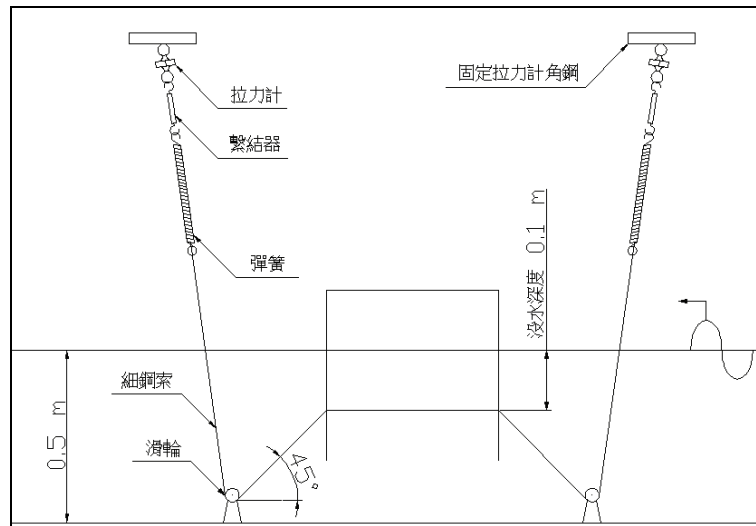


圖 27 模型佈製圖

3.4 數值模擬與討論

3.4.1 翼板長度對浮體消波特性與運動之影響

(1)浮式結構物對長週期波的消波效果普遍不佳，由圖 28 所示，在浮體底部未設置翼板時，其反射率在 $\sigma^2 h / g \leq 1.5 (kh \leq 1.62)$ 時皆在 0.4 以下，當浮體具有底部具有兩個翼板時，可有效地增大對長週期波入侵的阻隔效果，亦即可提升較長週期波作用時的反射率，底部垂直翼板長度越長，對長週期波能量的阻絕效果越明顯。

- (2) 當浮體受較長週期波 ($\sigma^2 h/g \leq 0.5$) 或短週期波 ($\sigma^2 h/g \geq 3.0$) 作用時，有無加設翼板對前後移運動影響變化並不大，但當介於中間週期之波浪入射時，加設垂直翼板浮體的前後移運動則明顯有增大情形，而翼板長度越長，前後移運動振幅有越大、且激發大振幅的頻率亦越傾向於低頻區，此應是浮體加設翼板後，阻絕入射波能量透過的能力增加，而此部份被阻絕的波浪能量反應於浮體運動所致。
- (3) 垂直移運動因受恢復力影響，因此其運動特性存在共振頻率區，其運動將因外力作用的頻率而引起共振。

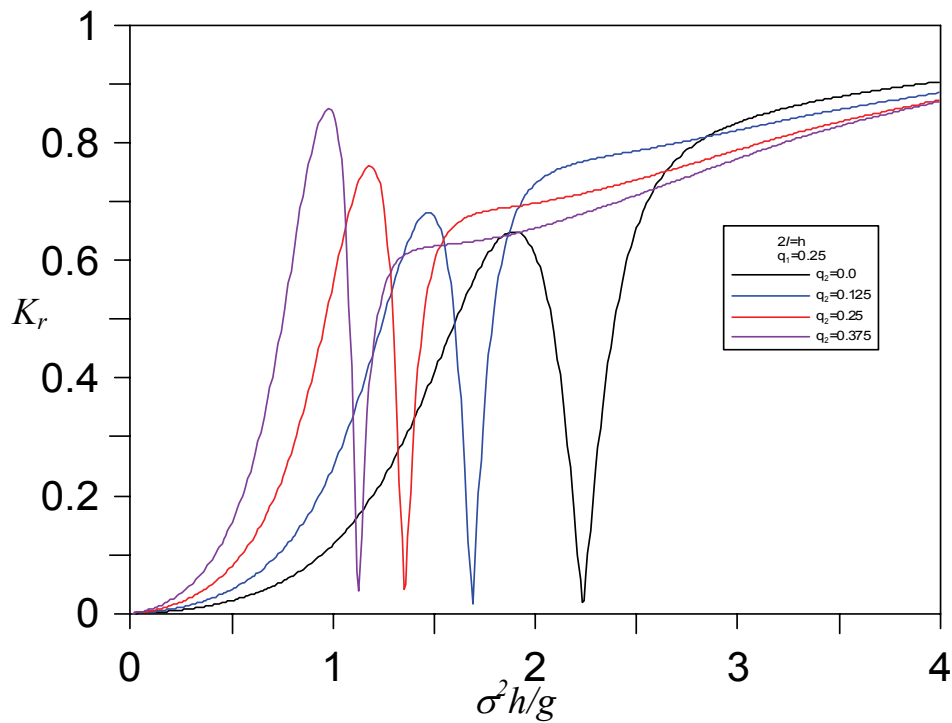


圖 28 自由浮體不同翼板長度對反射率之影響

3.4.2 翼板角度對浮體消波特性之影響

- (1) 在比較範圍的較短週期波浪作用下，翼板角度對其反射率的影響大致呈現一規律的變化，越短週期波在兩側翼板為水平時，其反射率較佳，而翼板角度逐漸向下傾斜時，其反射率首先降低，

而後右逐漸增大並達到其最大的反射率值，此最大反射率發生的翼板角度隨入射波週期而不同，越短週期的波浪作用下，其角度越傾斜。

- (2)翼板水平時並無法得到最佳的消波效果，與較短週期波作用時相同的是，翼板由水平傾斜至垂直向下時，各週期的波浪均會在某一翼板角度達一最佳之反射率，越長週期波入射時，翼板傾斜在較小角度時，其反射率可達一極值，此現象與短週期波之結果恰巧相反。

3.4.3 翼板個數對浮體消波特性之影響

單翼板置於浮體的消波特性與單浮體未設置翼板時大致相同，而三翼板較設置雙翼板時的反射率稍佳，但差異並不大，顯示在浮體底部兩側設置雙翼板後，再加設其他翼板，對於浮體消波效果的提升並不大。

第四章 環境保護型消能構造之研擬

4.1 研擬構想

臺灣的海岸歷經多年之努力，現已完成大約有 500 公里海岸防護設施，確實已經達到保護沿海百姓生命財產安全之目標；但絕大部分海岸防護均以高大混凝土結構物建造，並在堤前加拋各種型式之消波塊，以防堤身崩壞，如圖 29 所示，而且大多過度安全保護。在侵蝕嚴重地區，有時消波塊也會流失或因底部被淘刷而沉陷。

臺灣西海岸坡度平緩，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，採用生態型消波塊、方塊及通水型沉箱，則可以產生豐富的水產資源，達到環境復育的功能，其示意圖如圖 30 至圖 32 所示。

近年來，潛沒式多孔隙透水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，對生態較為友善且所造成之破壞較少，其組成元件易於在陸上建造，安裝施工快速，所需維護費用較少，損壞時易於修補恢復性高，以及海水可在孔隙間交換流通等優點。一般防波堤或碼頭上部結構物多為不透水型式，但可以採用縱條型、中空型多孔消波式沉箱堤及萬代福靜波沉箱，如圖 33 至圖 35 所示，即沉箱前面設置多孔堤取代原有消波塊，或利用中間的游水室可以吸收部份波能成為魚類棲息的很好場所，若表面適當加以處理則具有藻礁功能。

近年來港灣工程由於在施工技術上有突破性發展與進步，新型式防波堤陸續被開發出來，例如：半圓形防波堤、凹型曲面堤、凸型曲面堤、圓形防波堤、雙重圓筒沉箱堤、弧形防波堤、連結式透過堤及開孔型透過堤等(Tanimoto et al.[31]；郭[46]；陳和林[49])。此類新型防波堤除了可以擋浪外又兼具有消波性、安全性、景觀性、經濟性等

特點，值得作進一步的研究。

所謂景觀、親水、環境保護型結構物是將直線形改為曲面，在外形及擋波功能上均有不同的變化，如圖 36 至圖 38 所示。此種曲面結構物除了對港灣波浪有防波效果外，工程建設與自然環境和諧共生，符合時代潮流，更可增加海岸景觀上的特殊視覺美感，靜穩海域、保護海岸等功能，是一個值得積極研究開發的海岸結構物。

因此，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弧形孔隙板之想法，使波浪在入射到堤前多了一層的消波室，並利用波浪通過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，使得堤前水面波動能大幅下降，並減少越波量及波壓力之作用。

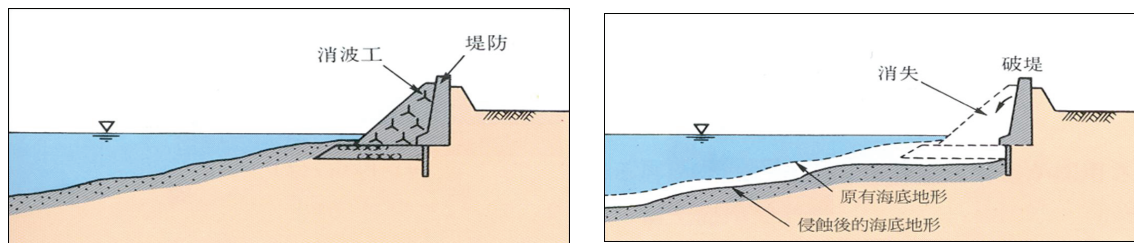


圖 29(a) 過去傳統保護海岸的工法

圖 29(b) 波浪直接衝擊消波塊

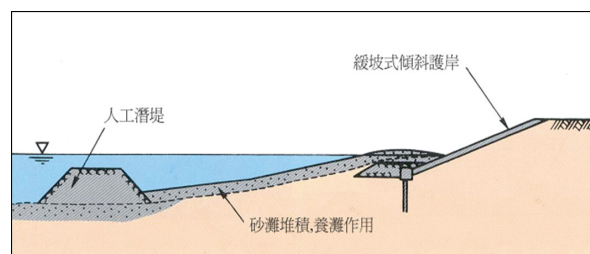


圖 29(c) 利用人工潛堤保護工法



照片 10(a) 基隆市碧砂漁港(右視)



照片 10(b) 以高大海堤及消波塊構成之海岸保護工法(左視)



照片 10(c) 降低堤頂高程後之海洋大學工學院後方海堤



照片 10(d) 海洋大學藝文中心於工學院後方曼波公園舉辦海堤音樂會

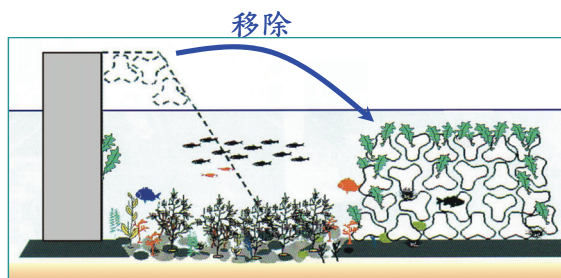


圖 30 生態型潛礁示意圖

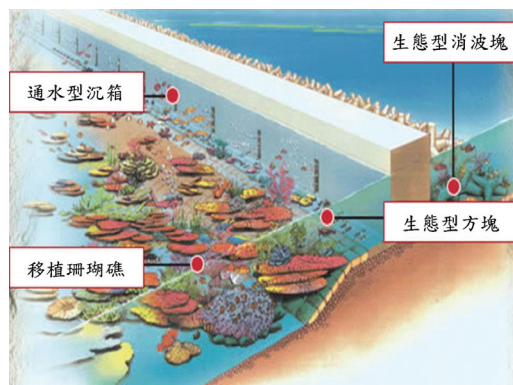


圖 31 珊瑚移植示意圖(日本平良港)

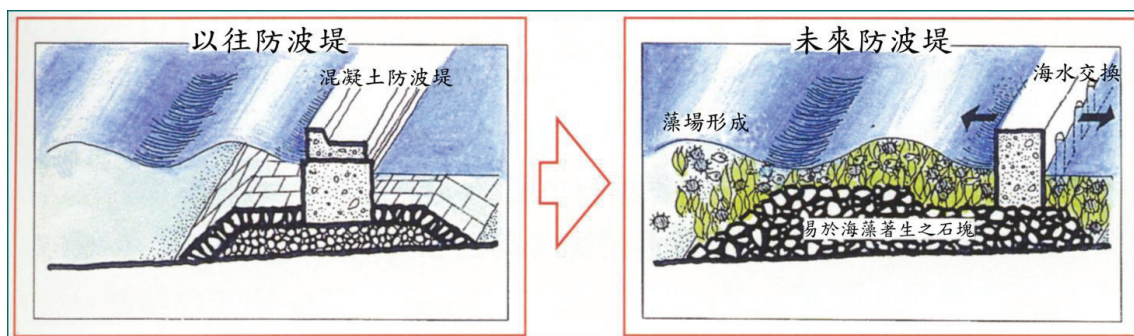


圖 32 未來防坡堤示意圖

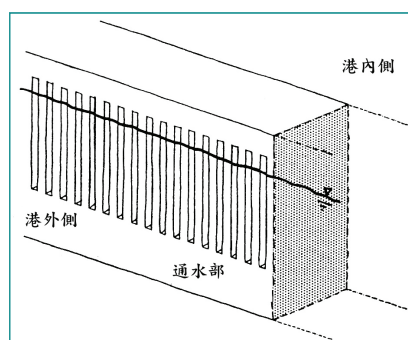


圖 33 縱條型開孔堤

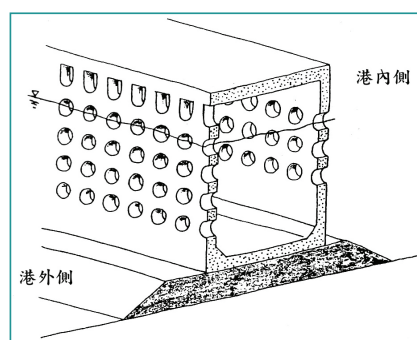


圖 34 中空型多孔堤

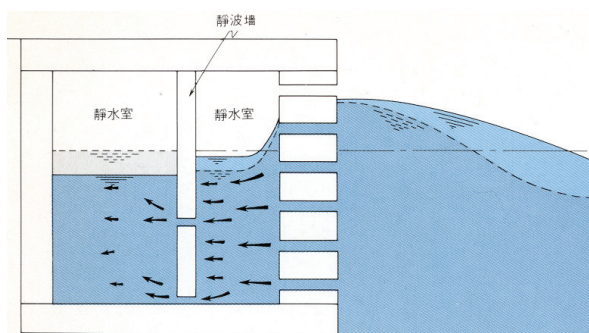


圖 35 萬代福靜波沉箱側視圖

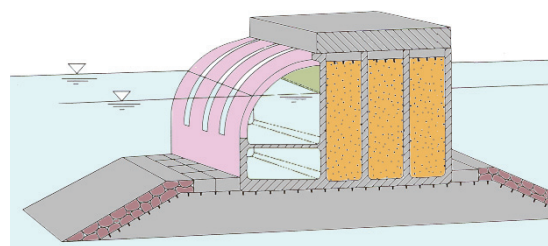


圖 36 凸型曲面防波堤構造示意圖



圖 37 凸型曲面防波堤(日本船川港)



(a) 日本宮崎港



(b) 大陸天津港

圖 38 半圓形防波堤

4.2 數值模擬

本研究使用多領域邊界元素法(Multi-domain BEM)，於眾多數值方法中，邊界元素法因為可以將問題降低一個維度，故可以減少電腦空間使用量及計算時間。針對多個領域相互連接之問題，將對各領域獨自使用邊界元素法後，再將各領域的代數方程式依相鄰領域相互的連續條件或邊界條件聯立來處理。而本計畫研究之問題即可使用此數值方法來求解。

1. 線性波浪通過環境保護型防波堤之理論分析

考慮在不透水直立牆前方銜接梯形透水潛堤(坡度為 1:1)，並於其

上方設置四分之一圓弧形孔隙板，前方距離 S 處設置另一道梯形透水潛堤，組成環境保護型防波堤。將此環境保護型防波堤設置在一定水深 h 的海域中，且規則波由左方向此防波堤正向入射。其中四分之一圓弧形孔隙板半徑為 a ；直立牆前方潛堤堤高 d ，堤頂寬為 B ；前方距離 S 處之透水潛堤堤頂寬 R_c ，堤頂沒水深 d_c 。原點 O 位於不透水直立牆左方距離 B 之靜水面處， z 軸垂直水面向上為正， x 軸沿波浪入射方向為正。並於結構物左方一定距離處設立一假想邊界線 ($x = -\ell$)，而將此斷面領域中純水區域分為(I)、(II)及(III)三個領域，而梯形透水潛堤則為領域(IV)，合計四個領域，其定義圖如圖 39 所示；其中 Γ^{M_2} 為領域(III)與領域(IV)在潛堤堤頂之邊界， Γ^{M_3} 為領域(II)與領域(IV)在潛堤斜坡之邊界， Γ^{M_4} 為領域(II)與領域(III)在弧形薄板曲面之邊界。

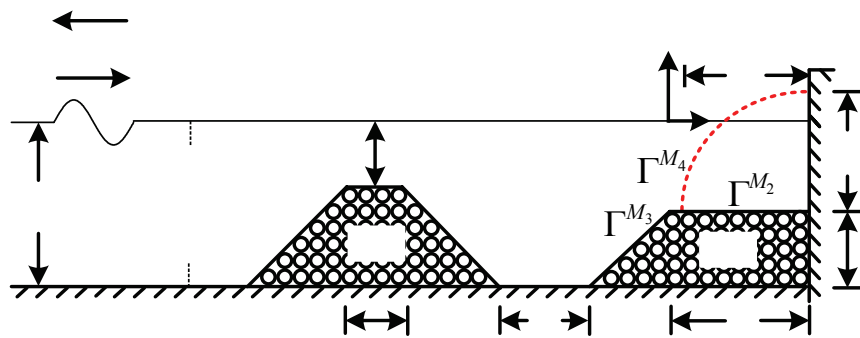


圖 39 環境保護型防波堤定義圖

2. 基本假設與速度勢之表示

(1) 純水區域(I)、(II)及(III)領域

各純水領域速度勢可表示為：

$$\Phi^{(j)}(x, z; t) = \frac{g\zeta_0}{\sigma} \phi^{(j)} e^{-i\sigma t}, \quad j = \text{I, II, III} \dots\dots\dots (4.2.1)$$

上式中， g 為重力加速度， $\Phi^{(j)}(x, z)$ 則為各領域勢函數，上標 j 表示位於第 j 領域。

(2) 透水結構物區域—(IV)領域

$$\nabla^2 \Phi^{(IV)} = 0$$

領域(IV)的速度勢可表示為：

$$\Phi^{(IV)}(x, z; t) = \frac{g \zeta_0}{\sigma} \phi^{(IV)} e^{-i\sigma t} \dots\dots\dots (4.2.2)$$

3. 領域(I)之勢函數表示

$$\Phi^{(I)}(x, z) = [e^{ik(x+\ell)} + R \cdot e^{-ik(x+\ell)}] \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \dots\dots\dots (4.2.3)$$

其中 R 為複數反射率。

4. 邊界條件

各領域的勢函數必須滿足以下邊界條件：

(1) 自由水面之邊界條件

$$\bar{\phi}^{(j)}(x, z) = \frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial z} = \frac{\sigma^2}{g} \phi^{(j)}(x, z) \quad , z = 0 \quad , j = \text{I, II, III} \dots\dots\dots (4.2.4)$$

(2) 海底底床及不透水岸壁之邊界條件

$$\bar{\phi}^{(j)}(x, z) = \frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial z} = 0 \quad , z = -h \quad , j = \text{I, II, IV} \dots\dots\dots (4.2.5)$$

$$\bar{\phi}^{(j)}(x, z) = \frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial x} = 0 \quad , x = B \quad , j = \text{III, IV} \dots\dots\dots (4.2.6)$$

(3) 假想邊界線($x = -\ell$)上之邊界條件

$$\phi^{(I)}(x, z) = \phi^{(II)}(x, z) \quad , x = -\ell \dots\dots\dots (4.2.7)$$

$$\bar{\phi}^{(I)}(x, z) = \bar{\phi}^{(II)}(x, z) \quad , x = -\ell \dots\dots\dots (4.2.8)$$

(4) 四分之一圓弧形孔隙板之邊界條件

透水邊界條件(porous boundary condition)為：

$$\frac{\partial \phi^{(\text{II})}(x, z)}{\partial n^{(\text{II})}} = -\frac{\partial \phi^{(\text{III})}(x, z)}{\partial n^{(\text{III})}} = ikG(\phi^{(\text{II})} - \phi^{(\text{III})}) \quad , \text{on } \Gamma^{M_4} \dots\dots\dots(4.2.9)$$

上式中， n 為向外法向之單位向量， G 為複數透水性影響參數 (complex porous effect parameter)。

5. 反射率(R)之解析

反射率 R 如下：

$$R = -1 + \frac{k}{N_0 \sinh kh} \sum_{p=1}^{M_1} \phi^{(\text{II})}(z_p) \cosh k(h + z_p) \Delta Z_p \dots\dots\dots(4.2.10)$$

$$\text{其中，} N_0 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)。$$

6. 勢函數之解析

x 負方向之導函數值 $\bar{\phi}^{(\text{II})}(z_p)$ 與勢函數值 $\phi^{(\text{II})}(z_p)$ 間之關係，如下所示：

$$\bar{\phi}^{(\text{II})}(z_p) = -\frac{2ik \cosh k(h + z_p)}{\cosh kh} + \frac{ik^2 \cosh k(h + z_p)}{N_0 \sinh kh \cosh kh} \sum_{p=1}^{M_1} \phi^{(\text{II})}(z_p) \cosh k(h + z_p) \Delta Z_p \dots\dots(4.2.11)$$

其中 $p = 1, 2, 3, \dots, M_1$ 。

7. 結構物上壓力之求解

依擬勢流理論(Sollitt and Cross[29])再導入線性化伯努力方程式可得動壓如式(4.2.13)所示

$$P = pe^{-i\sigma} = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} = i\rho g \zeta_0 \phi e^{-i\sigma} \dots\dots\dots(4.2.12)$$

$$P = pe^{-i\sigma} = -\rho \left(S \frac{\partial \Phi}{\partial t} + f\sigma \Phi \right) = i(S + if)\rho g \zeta_0 \phi e^{-i\sigma} \dots\dots\dots(4.2.13)$$

若要表示成無因次波壓則可將式(4.2.12)及式(4.2.13)改寫如下：

$$P / \rho g \zeta_0 = p e^{-i\sigma} / \rho g \zeta_0 = i \phi e^{-i\sigma} \dots\dots\dots(4.2.14)$$

$$P / \rho g \zeta_0 = p e^{-i\sigma} / \rho g \zeta_0 = i(S + if) \phi e^{-i\sigma} \dots\dots\dots(4.2.15)$$

4.3 數值計算結果與分析

各種配置下反射率最小值與發生位置整理成表3至表6所示。

表3 配置(I)反射率最小值 $|R|_{\min}$ 與發生位置

潛堤配置	(I) $d_c/h=0.4$, $R_c/h=0.4$					
潛堤間距	S/h=0.0		S/h=0.5		S/h=1.0	
kh	0.66	1.99	0.57	1.63	0.48	1.38
D/L	0.31	0.94	0.32	0.90	0.31	0.88
$ R _{\min}$	0.386	0.416	0.486	0.315	0.558	0.227

表4 配置(II)反射率最小值 $|R|_{\min}$ 與發生位置

潛堤配置	(II) $d_c/h=0.4$, $R_c/h=0.6$					
潛堤間距	S/h=0.0		S/h=0.5		S/h=1.0	
kh	0.60	1.77	0.48	1.50	0.44	1.29
D/L	0.28	0.84	0.27	0.83	0.28	0.82
$ R _{\min}$	0.413	0.378	0.497	0.293	0.557	0.210

表 5 配置(III)反射率最小值 $|R|_{\min}$ 與發生位置

潛堤配置	(III) $d_c/h=0.3$, $R_c/h=0.4$					
潛堤間距	S/h=0.0		S/h=0.5		S/h=1.0	
kh	0.51	1.86	0.44	1.54	0.39	1.29
D/L	0.24	0.88	0.24	0.85	0.25	0.82
$ R _{\min}$	0.360	0.331	0.434	0.230	0.490	0.141

表 6 配置(IV)反射率最小值 $|R|_{\min}$ 與發生位置

潛堤配置	(IV) $d_c/h=0.3$, $R_c/h=0.6$					
潛堤間距	S/h=0.0		S/h=0.5		S/h=1.0	
kh	0.46	1.61	0.42	1.41	0.37	1.23
D/L	0.22	0.76	0.23	0.78	0.23	0.78
$ R _{\min}$	0.358	0.287	0.424	0.209	0.472	0.128

4.4 水工模型試驗結果分析

1. 反射率 $|R|$ 試驗與數值計算結果比較

為了驗證及比較水工模型試驗結果與數值計算結果之合理性，本文將水工模型試驗所得資料，點繪入以數值計算所得之波浪通過環境保護型消能式結構物反射率 $|R|$ 與 kh 關係圖中，如圖 40 至圖 43。

圖中符號□、▽、◇、○分別代表在各試驗條件下，經由四支波高計所量測到之反射率，反射率之計算是經由 Goda 二點法計算而得之反射率值 $|R|_{76}$ 、 $|R|_{64}$ 、 $|R|_{84}$ 、 $|R|_{78}$ ，其中下標代表計算反射率 $|R|$ 值之波高計編號，符號●則為各次試驗中，所求得之反射率平均值

$|R|_{AVG}$ ，實線(——)部分則為本文數值計算結果。

圖 40 顯示在第一道潛堤相對沒水深 $dc/h=0.4$ ，相對堤寬 $Rc/h=0.4$ 固定下，探討水工模型試驗與數值計算結果二者間反射率 $|R|$ 變化與無因次週波數 kh 之關係。經由數值計算結果顯示在 $kh<0.66$ 時，反射率會急速下降至一最小值 $|R|_{min}=0.386$ ，而後隨著 kh 增加，反射率略為上升後下降至另一低點 0.416 ，發生位置在 $kh=1.9$ 處。其後隨著 kh 增加至 4.5 ，深水波反射率緩緩上升至 0.57 。另外，水工模型試驗結果發現，在 $kh=0.95$ (相當於週期 $T=1.7\text{sec}$) 至 $kh=2.52$ ($T=0.9\text{sec}$) 中間性波部份，反射率先行下降而後上升，最小值 $|R|_{min}=0.31$ 發生在 $kh=1.54$ ($T=1.2\text{sec}$) 處，顯示加設第一道潛堤可以有效的使波浪通過透水潛堤時，在堤頂與內部塊石間之孔隙因摩擦而產生能量損失，以及兩潛堤邊坡間游水室空間使其產生相位差，因而產生較佳之消波效果。但在 $kh=2.52$ ($T=0.9\text{sec}$) 時，反射率卻逐漸上升至 0.77 ，顯示此配置堤頂沒水深 dc 較深，試驗設計波高較低，致使波浪大多直接通過堤頂，再經由堤前消波室與四分之一圓弧形孔隙板消減部分波能後，最後由直立岸壁反射。在 $kh=3.16$ ($T=0.8\text{sec}$) 至 $kh=4.11$ ($T=0.7\text{sec}$) 深水波部份，反射率由 0.62 略微下降後上升至 0.76 ，顯示對深水短波消能效果較差。

當潛堤相對沒水深固定為 $dc/h=0.4$ ，增加相對堤寬為 $Rc/h=0.6$ ，此時反射率變化如圖 41 所示，此時在 $kh=1.54\sim 2.08$ 間有最低反射率值，之後反射率值則漸漸變大。

若提高透水潛堤高度(即相對沒水深減少 $dc/h=0.3$)，再次進行兩組試驗(相對堤寬 $Rc/h=0.4$ 、 0.6)，由於堤高增加、堤寬變厚，透水潛堤體積變大，波浪通過時其消能距離、空間變大，消能效果增加，因此在 $kh=0.95\sim 2.52$ 間反射率會降低，有一定之消能效果。(如圖 42 至圖 43 所示)

2. 直立岸壁波壓力之比較

圖 44 為本文數值計算波浪通過環境保護型消能結構物後直立岸

壁上之波壓分佈圖。其中實線為 Sainflou 公式計算結果，◆為試驗結果，虛線則為數值計算結果，而在數值計算時，摩擦係數分別以 $fr=1.8$ 、 1.0 、 0.5 及 0 代入模式計算，而 $fr=0$ 即表示波浪通過無潛堤只有直立岸壁時之結果，與 Sainflou 公式計算結果非常一致，隨著透水潛堤 fr 之增加，作用於直立岸壁之波壓力則明顯的變小，而在週期較小時，改變摩擦係數 fr 之大小，對直立岸壁波壓力影響不顯著，但都小於 Sainflou 公式，而試驗結果分析與數值結果比較則有較大差異。

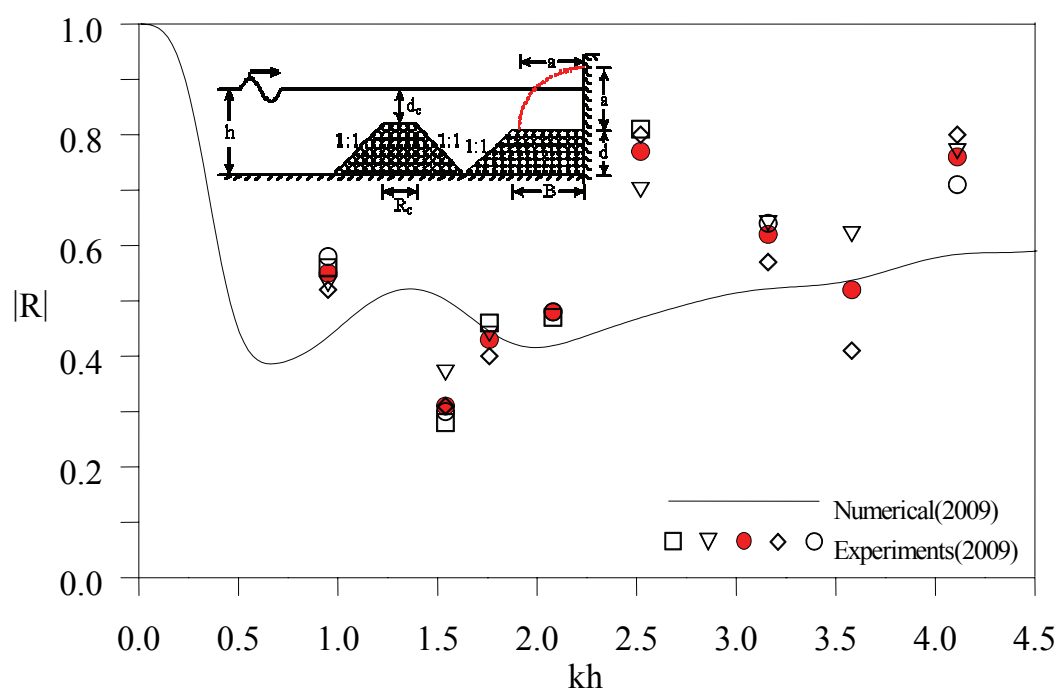


圖 40 波浪通過連結式消能結構物之 $|R|$ 與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.4$ 、 $c/h=0.4$)

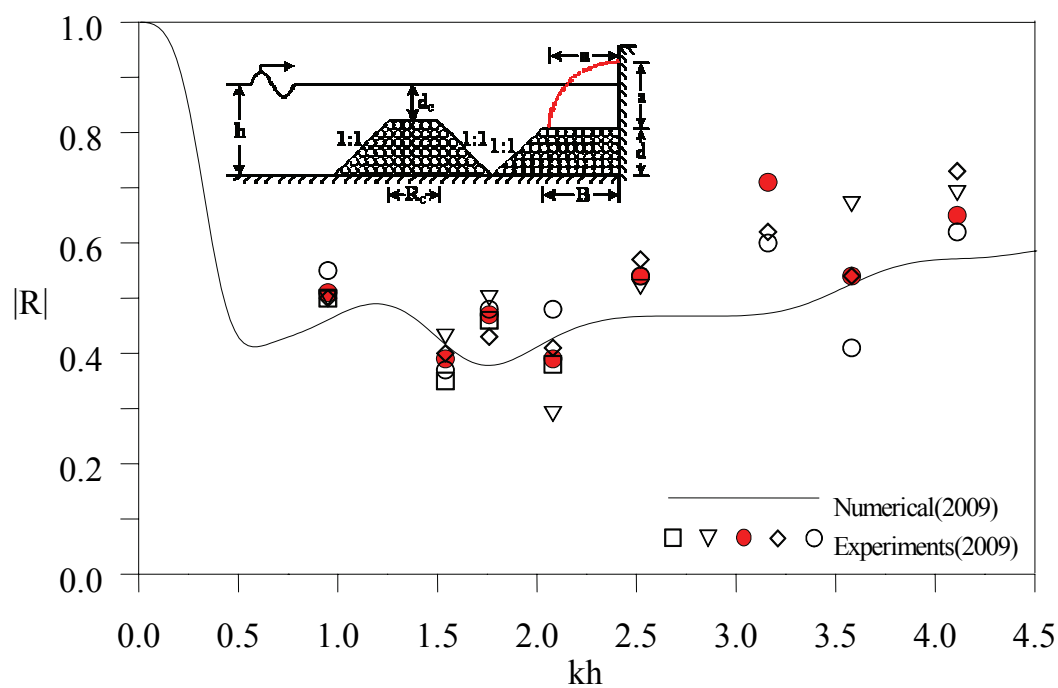


圖 41 波浪通過連結式消能結構物之 $|R|$ 與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.4$ 、 $R_c/h=0.6$)

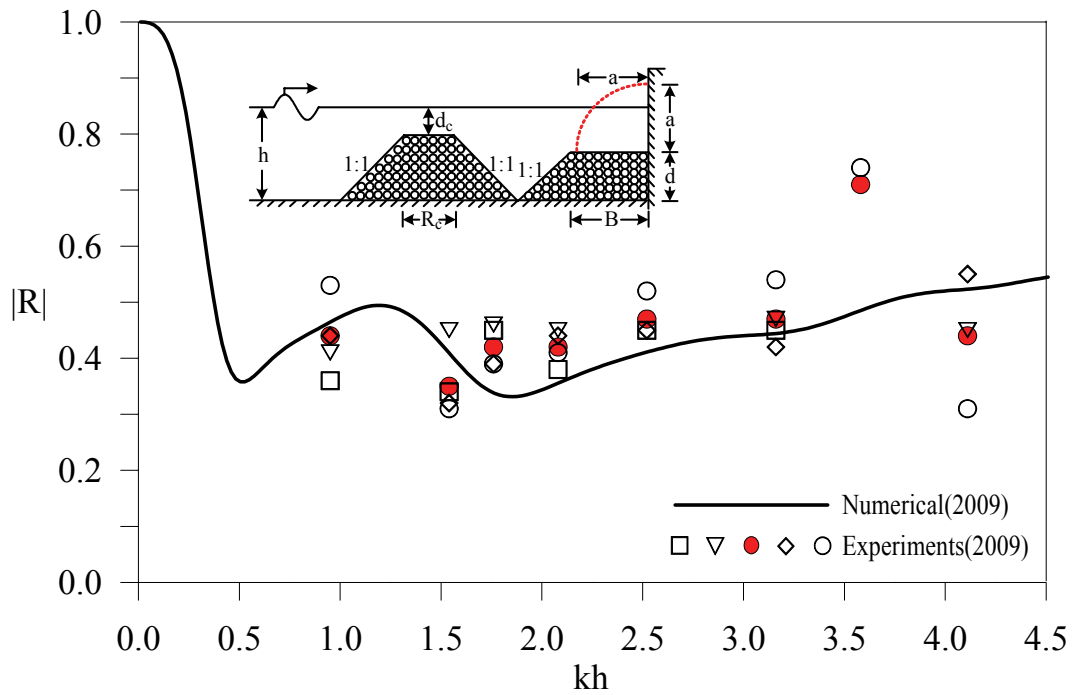


圖 42 波浪通過連結式消能結構物之 $|R|$ 與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.3$ 、 $R_c/h=0.4$)

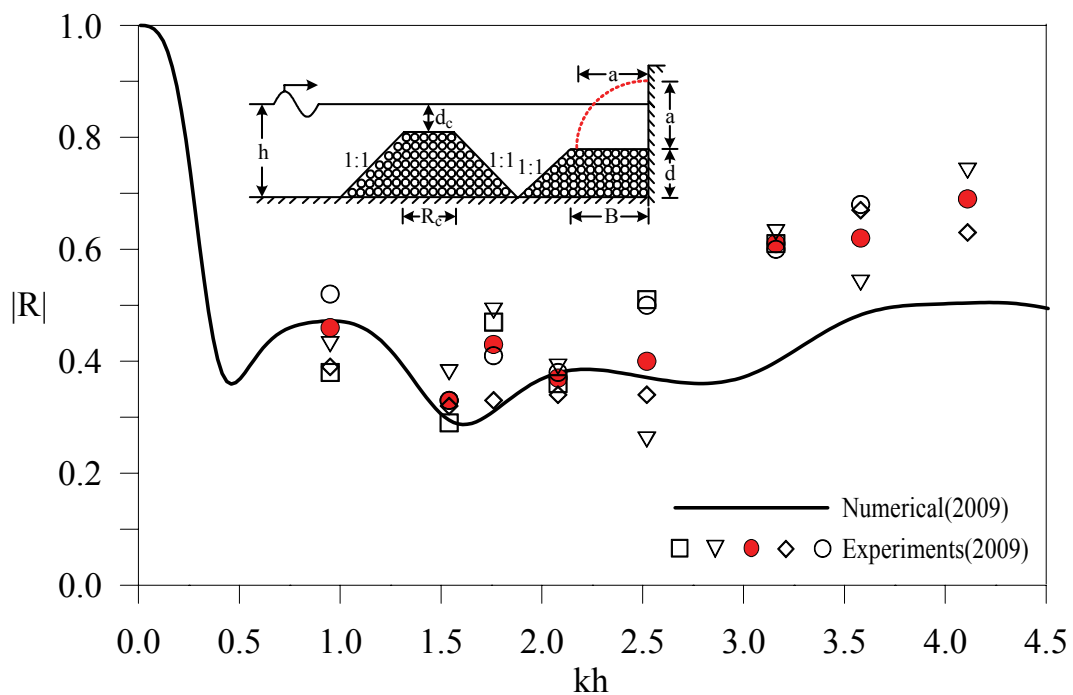
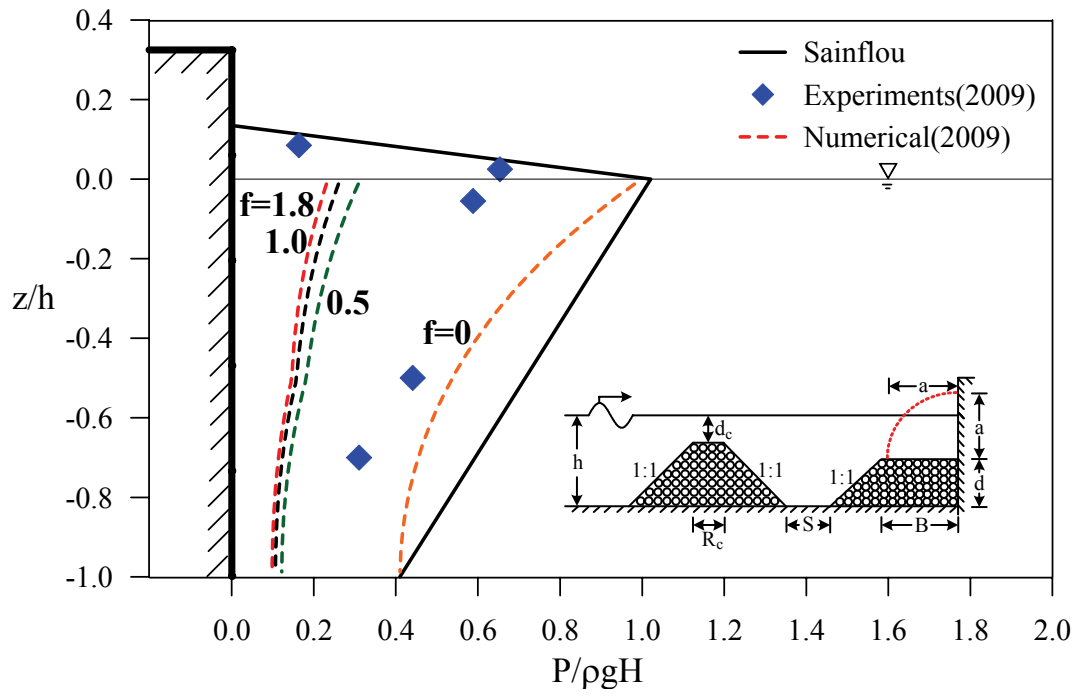
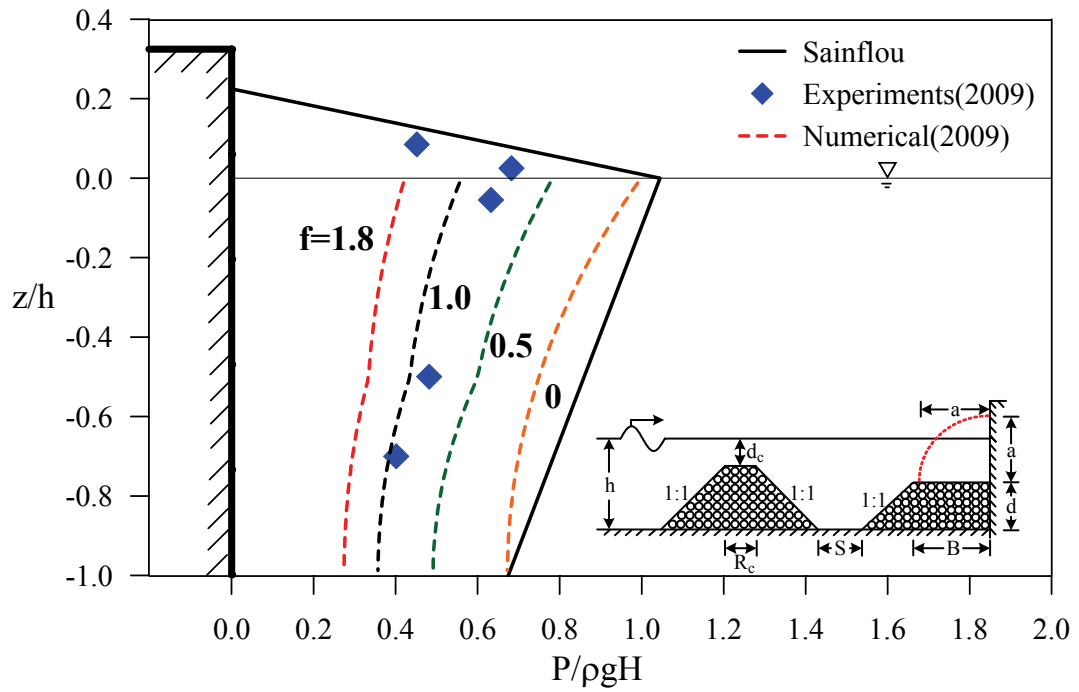


圖 43 波浪通過連結式消能結構物之 $|R|$ 與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.3$ 、 $R_c/h=0.6$)



(a) $T=1.2\text{sec}$



(b) $T=1.7\text{sec}$

圖 44 直立岸壁上波壓與 Sainflou 重複波壓理論比較圖($S/h=0$,
 $d_c/h=0.3$, $R_c/h=0.4$)

第五章 結論與建議

本計畫之目的主要在於探討並研發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(以臺灣東部海岸為主要考量，主要功能以港灣結構保護為主)、環境保護型區域(以臺灣西部海岸為主要考量，為兼顧港灣結構及環境之護育功能)及臨時簡易功能使用型(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。

針對三種消能式構造之數值計算與水工模型試驗比較驗證下，可初步得到以下分項結論，如明如下：

5.1 結論

1. 長波抗浪型

藉由針對內建斜坡水力消能式結構物的基本型態所演變的三種配置方案的水工模型試驗及數值模擬，可以發現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，未來必須設法解決溯上越波後的排水情形，以免造成消波室被的水體堆積。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。

2. 簡易功能使用型

本研究利用複合邊界元素法以處理邊界值問題中退化邊界問題，同時探討浮體底部配置無厚度翼板時的消波特性，結果發現浮體在底板兩側增設雙翼板時，可有效提升其對較長週期波的反射效果，同時增加浮體各自由度運動的附加質量與力矩係數，使得激發浮體自然振動的頻率更向低頻區偏移，提升對長週期波的消波能力，在實用上可以較小斷面而得到較佳的消波效果。

就影響加裝翼板的浮式結構而言，翼板的傾斜角度與長度及翼板數目為影響此類型結構消波特性的主要參數，其中長度為主要影響參數，翼板的傾斜角度雖對結構的反射率亦有影響，但視其作用波浪的週期而定，令外，翼板數目在一個時，並無法有效的提升其消波能力，但雙翼板與三翼板之消波能力差異並不大。

3. 環境保護型消能結構物

利用多領域邊界元素法數值計算波浪通過環境保護型消能式結構物之反射率及波壓力，其方法是可行的，反射率變化所獲得結論：不論透水潛堤相對沒水深(d_c/h)、相對堤寬(R_c/h)及相對間距(S/h)如何改變，其反射率變化與直立岸壁堤前至潛堤向海堤址處之距離 D 與入射波長 L 之比(D/L)有一明顯關係存在；亦即 D/L 在某些特定值時反射率會有一極小值存在，可以提供給工程設計上做為參考。因為環境保護型消能結構物之設置，希望能發揮消波減壓的功效。

5.2 建議

1. 長波抗浪型

本計畫為執行的第一年，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，以及需要配套的措施。在未來水工模型試驗部分將在此一基礎下，研究設計新的型式，並就以下事項進行檢討改進並進行相關測試。

- (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
- (5)暴潮水位與不同波高
- (6)在數值模擬方面也將要再精進，適當地控制所有的相關參數設定，以求能正確地模擬結構物附近的水力現象。

2.簡易功能使用型

後續將就附加剛性翼版的浮式結構物進行水工模型試驗，同時也研究建置附加彈性翼版的可行性。

3.環境保護型消能結構物

後續除繼續進行數值模擬外，也將進行水工模型試驗，量測反射率值及波壓力大小，並與數值計算作一比對及討論。

5.3 成果效益與後續應用情形

計畫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。研究成果在經濟效益上，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。在應用上，可針對臺灣各區域之港灣特性決定結構型式，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考依據、提供近岸保護工法各港在鄰港區域地形保護之應用、提供港域之停泊與航行安全之使用、提供消能結構物設計使用，以減低工程經費及延長結構物之壽齡。

參 考 文 獻

1. Chen, C.Y. and C.P. Lee. "Flow characteristics inside large porous structure by constant head device," Journal of Chung Cheng Institute of Technology, 32 (1), 2003, 1-16
2. Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers
3. Dalrymple, R.A., M.A. Losada and P. A. Martin. "Reflection and transmission from porous structures under oblique wave attack," Journal of Fluid Mechanics, 224,
4. Elchahal, G., R. Younes and P. Lafon. "The effects of reflection coefficient of the harbour sidewall on the performance of floating breakwaters," Ocean Engineering, 35(11-12), 2008, 1102-1112.
5. Gesraha , M. R.. "Analysis of Π shaped floating breakwater in oblique waves : I. Impervious rigid wave boards," Applied Ocean Research, 28(5), 2006, 327-338.
6. Gu, H.B., X.L. Jiang, and Y.B. Li. "Research on hydraulic performances of quarter circular breakwater," Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, 2008, 21-25.
7. Hiraishi, T., "Long period wave absorbing by artificial beach," Proc. 6th, LITTORAL 2002, EUROCOAST, 2002, pp.601-606.
8. Hiraishi, T., "Development of Long Period Wave Absorber," Proceedings of the Sixteenth (2006) International Offshore and Polar Engineering Conference, 2006, 621-625
9. Hirt C.W. and B.D. Nichols. "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries," J. Comp. Phys., 39, 1981, 201.
10. Jia, D.H.. "Study on the interaction of water waves with semi-circular breakwater," China Ocean Engineering, 13(1), 1999, 73-80.
11. Kee, S.T., S.H. Lee, and Jin-Seok, Kuo. "Submerged porous plate wave absorber," Proceedings of the Sixteenth (2006) International Offshore and Polar Eagineering Conference, 2006, 626-631.

12. Ker, W.K. & C.P. Lee. "Interaction of waves with a floating porous TLP," J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 128(2), 2002, 88-95.
13. Kim, W.D., H.J. Lee, J.Y. Kim, and S.K. Kohb. "Fatigue life estimation of an engine rubber mount," International Journal of Fatigue, 26, 2004, 553-560.
14. Kim, J.H. and H.Y. Jeong. "A study on the material properties and fatigue life of natural rubber with different carbon blacks," International Journal of Fatigue, 27, 2005, 263-272.
15. Kozhushko, G.G. and V.A. Koponv. "Fatigue strength function in shear loading of fabric conveyor belt," International Journal of Fatigue, 17(8), 1995, 539-544.
16. Lee, C.P. & J.F. Lee. "Wave-induced surge motion of a tension leg structure," Ocean Engineering, 20(2), 1993, 171-186.
17. Lee, C.P. and W.K. Ker. "Coupling of linear waves and a hybrid porous TLP," Ocean Engineering, 29(9), 2002, 1049-1066.
18. Lee, C.P., W.K. Ker, and J.R. You. "Wave field with a submerged porous breakwater," J. of the Chinese Institute of Engineers, 26(3), 2003, 333-342
19. Lee, C.P.. "Dragged surge motion of a tension leg structure," Ocean Engineering, 21(3), 1994, 311-328.
20. Lee, H.H., P.W. Wang and C.P. Lee. "Dragged surge motions of tension-leg platforms and strained elastic tethers," J. of Ocean Engineering, 26, 1999, 575-594.
21. Lee, M.M. and A. T. Chwang 2000. Scattering and radiation of water waves by permeable barriers. Physics of Fluids, 12, 54-65.
22. Legorju-jago, K. and C. Bathias. "Fatigue initiation and propagation in natural and synthetic rubbers," International Journal of Fatigue, 24, 2004, 85-92.
23. Liu, Y., Y.C. Li, B. Teng, and B.L. Ma. "Reflection of regular and irregular waves from a partially perforated caisson breakwater with a rock-filled core," Acta Oceanologica Sinica, 26(3), 2007, 129-141.

24. Liu, Y., Y.C. Li, B. Teng, and J.J. Jiang. "Experimental and theoretical Investigation of wave forces on a partially-perforated caisson breakwater with A rock-filled core," *China Ocean Engineering*, 20(2), 2006, 179-198.
25. Madsen, P.A.. "Wave reflection from a vertical permeable wave absorber," *Coastal Engineering*, 7, 1983, 381-396.
26. Mars W.V. and A. Fatemi. "Multiaxial stress effects on fatigue behavior of filled natural rubber," *International Journal of Fatigue*, 28, 2006, 521-529.
27. Mars, W.V. and A. Fatemi. "A literature survey on fatigue analysis approaches for rubber," *International Journal of Fatigue*, 24, 2004, 949-961.
28. Saintier N., G. Cailletaud and R. Piques. "Crack initiation and propagation under multiaxial fatigue in a natural rubber," *International Journal of Fatigue*, 28, 2006, 61-72.
29. Saintier N., G. Cailletaud and R. Piques. "Multiaxial fatigue life prediction for a natural rubber," *International Journal of Fatigue*, 28, 2006, 530-539.
30. Sollitt, C.K. and R.H. Cross. "Wave Transmission through permeable breakwaters," *Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference*, Vancouver, BC, 1972, 1827-1846.
31. Sullisz, W.. "Wave reflection and transmission at permeable breakwaters of arbitrary cross section," *Coastal Engineering*, 9, 1985, 317-386.
32. Tanimoto, K., H. Endoh and S. Takahashi. "Field experiments on a dual cylindrical caisson breakwater," *Proceedings of the 23th International Conference on Coastal Engineering, ICCE, Venice, II*, 1992, 1625-1638.
33. Weng, W.K. and C.R. Chou. "Analysis of responses of floating dual pontoon structure," *China Ocean Engineering*, 21(1), 2007, 91-104.
34. Wu, J.H., Z.P. Wan, and Y. Fang. "Wave reflection by a vertical wall with a horizontal submerged porous plate," *Ocean Engineering*, 25, 1998, 767-779.
35. Xie, S.L.. "Wave forces on submerged semi-circular breakwater and similar structures," *China Ocean Engineering*, 13(1), 1999, 63-72.

36. Yu, X.. "Diffraction of Water Waves by Porous Breakwaters," Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, 121, 1995, 275-282.
37. 吳永照、許瑞昌 與 陳俊吉，「斜向入射波與透水潛堤的交互作用」，第 21 屆海洋工程研討會論文集，1999，第 259~266 頁。
38. 李兆芳 與 劉正琪，「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，1995，第 593~605 頁。
39. 林東廷 與 涂盛文，「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，1991，第 126~140 頁。
40. 林東廷，「多層透水式防波堤之消波及波力探討」，港灣技術，第 11 卷，第 1 期，1996，第 1~37 頁。
41. 林東廷，「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，2001，第 43~47 頁。
42. 林東廷，「淺談半圓形防波堤之發展」，海洋技術期刊，第 11 卷，第 2 期，2001，第 31~37 頁。
43. 柯文貴，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，台灣，1997。
44. 柯文貴、李忠潘 與 陳陽益，「透水潛堤內外波流場之理論解析」，第 8 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)，1997，第 715~722 頁。
45. 郭一羽 與 李麗雪，海洋生態景觀環境營造，田園城市文化事業有限公司，2006，402 頁。
46. 郭一羽 與 李麗雪，海洋景觀與生態設計，田園城市文化事業有限公司，2005，282 頁。
47. 郭一羽主編，海岸工程學，文山書局，2003，474 頁。
48. 郭金棟 與 黃貴麟，「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，1990，第 502~522 頁。

49. 郭金棟，海岸工程，中國土木水利工程學會，1989，第 10-8～10-10 頁。
50. 陳昌生 與 林東廷，「淺談日本新形式防波堤之發展」，港灣報導，第 64 期，2003，第 15～27 頁。
51. 黃清和、蔡立宏、陳昌生 與 林東廷，「淺談生態型消波塊之發展類型」，港灣技術，第 75 期，2006，第 33～38 頁。
52. 謝世楞，「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，2000，第 35-39 頁。
53. 謝世楞、李炎保、吳永強 與 谷漢斌，「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，2006，第 14-18 頁。
54. 蘇青和、歐善惠 與 章梓雄，「多孔岸壁港池之波能消散現象」，中國港灣技術期刊，第 7 期，1992，第 126～140 頁。
55. 涂盛文 與 林東廷，「孔隙板對微小振幅波之影響」，港灣技術，第 5 期，1990，第 95～124 頁。
56. 涂盛文 與 劉正琪，「系列透水潛堤之消波效應」，第 12 屆水利工程研討會論文集，2001，H-41～48 頁。

附 錄 一

交通部運輸研究所科技計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：消能式結構物應用於台灣港灣設施保全之研究(1/4)

執行單位：運輸研究所港研中心

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形
一、郭一羽委員： 1. 提出若干消能結構物之構想，具有創新研究之貢獻，內容豐富。 2. 應先對所有已被研發出的新型消波結構物做研究，探討其在國內的適用性。 3. 所新研發的結構物型式構想，已知效益不佳者儘快放棄，另嘗試其他構想。	同意委員所提建議，材料阻尼消浪方式已放棄研發。
二、李兆芳委員： 1. 計畫研究構想有想法，具重要性。 2. 消能工法可就效能上繼續研究。	同意委員意見。
三、莊甲子委員： 1. 簡報資料內容較年度報告內容豐富，各研究子題對計畫目標的達成度亦稱妥適，惟年度報告內容中宜增補簡述四年期計畫之預定內容進度，對於長波抗浪型之消能結構亦宜考慮日後施工之可能性。 2. 部份消能結構之初步試驗結果與數值計算結果之比較，建議於後續修訂時應加以補入。	消能構造物之試驗將更進一步做詳細檢討，再經數值模擬做較多波浪條件之驗證，施工方式將在往後研究列入考量。
四、翁文凱委員：	

五、鐘英鳳委員 1. 港灣工程目前已走向綠色工法，講究節能、減碳，生態環保，本研究之研究方向符合目前之所需，值得去深入探討。 2. 本研究尚受限於實驗階段要落實現場使用，尚需進一步研究，唯研究時應考量未來施工之可能性、經濟性。 3. 針對長波抗浪型之消能，其關鍵在排水，所建議之排水現實上恐難執行，建議進一步研擬其可行性。 4. 目前港灣材料需甚多石料、混凝土，如何減少材料之使用，又可營造生態環境，應是未來可考量之方向。	新型消能結構物先以消能特性為優先考量，施工方法亦是考量之重點，本研究將會深入探討。 排水方式與消能之效能有關會加以重視。結構物維持生態特性有二個重點，一為多孔隙二為低流速，使生物能順利繁殖，促進生物多樣性。 材料之考量以施工性和安全性為主，特別製程應是結構物可行之依據，本研究將會列入考量與研發。
---	---

附錄二 簡報資料

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究 (1/4)

著者：邱永芳、何良勝、蔡金吉、張富東
林煥主、岳景雲、翁文凱、楊國誠
簡報：蔡金吉 助理研究員

交通部運輸研究所 港灣技術研究中心

研究目的

- 本計畫為四年期研究計畫之第一年，主要目標在探討並發展符合臺灣各港埠鄰近地理環境需求的消能式港灣結構物。依環境特性與功能屬性分類，消能式結構物的型式包含長波抗浪型、環境保護型、以及臨時簡易功能使用型等結構物等三大類型。
- 長波抗浪型設施之區域大致以台灣東部近岸港灣結構物為代表，目前此類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颱風波浪必經之路，經常面臨結構破壞或港池共振等問題，而依現有普遍觀念採用增加結構物之強度或重量以抵擋波浪作用力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。

研究目的

- 環境保護型區域則以東北部及西部海岸為代表，近年來台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，但如果要應用於港灣構造物的話，其適當型式為何，亦有必要進一步加以檢討。
- 臨時簡易功能使用型，主要目的並非抵擋颱風波浪，而是定位於以抵抗季節風浪為主，其規劃特性為以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，以設置簡單快速、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，但抗浪性較低則是其缺點，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。

研究內容

■ 長波抗浪型：

能以較柔式的阻尼方式降低波浪之能量，主要以水力式阻尼結構式為主。首先進行水工斷面模型試驗，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，以瞭解水力式阻尼結構之消能能力與在實際應用時所面臨之問題及可解決的方法。

14

研究內容

■ 臨時簡易功能使用型：

臨時性設施之海事結構以浮式結構較為通用與合適，其著眼點主要在於施工簡便、符合環境保護與經濟原則，本年度首先對柔性浮式結構物理論解析之基本構架，探討與改進其穩定與消能能力，同時對在浮體下方之兩薄板則首先假設其為剛性固體，探討薄板長度、間距對規則波消能特性之影響；另外，並探討浮體之運動與繫留索之受力，並進行水工模型試驗以驗證數值模擬結果

■ 環境保護型：

以數值計算考慮波浪為正向入射通過直立堤前潛式多孔隙透水結構物之情形，探討潛式多孔隙透水結構物對波浪水理特性的影響。

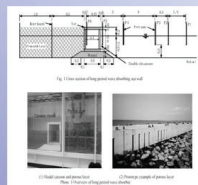
15

長波抗浪型之消能構造研擬

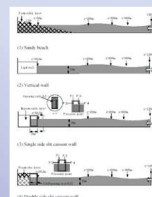
■ 往昔相關研究

Hiraishi[7]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，

Hiraishi[8]利用水工模型試驗及數值造波水槽模擬的方式探討長週期波消能結構物在30至300秒長週期波動作用下的功能。



長波消能構造之研究與設計



長波消能構造之研究與設計

16

長波抗浪型之消能構造研擬

■往昔相關研究

Kee等[11]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

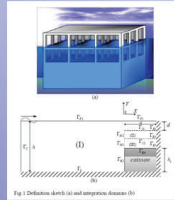


Fig. 11 Definition sketch (a) and parameter domain (b)

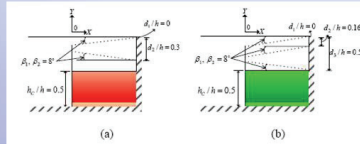


Fig. 12 Definition sketch of system with (a) two plates, (b) triple plates.

Kee等[11]之消能構造示意圖

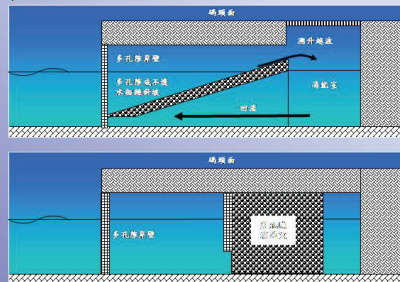
Kee等[11]消能之消能結構示意圖(a)雙層板；(b)三層板

長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

水力結構阻尼之特性研究初步構想

利用港灣結構與波流水理運動間的交互作用特性形成阻尼，以達消減長波能量的功能



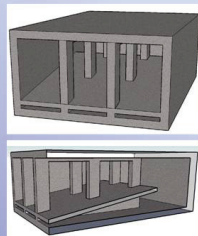
內建斜坡式消能結構物的初步構想

多孔隙隔艙式消能結構物的初步構想

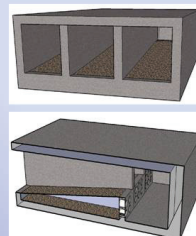
長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

水力結構阻尼之特性研究構想



修正之內建斜坡式消能結構物的構想一



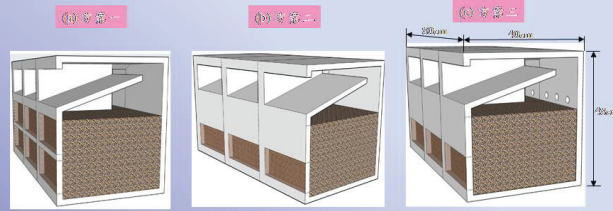
修正之內建斜坡式消能結構物的構想二

但實際的碼頭高度大約在12m以上，在有限縱深情形下，可能無法直接由底部建構一斜坡促使波浪潮升而不會因為坡度太陡而發生反射。

長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

水力結構阻尼之特性研究構想(定案試驗)



修正之內建斜坡式消能結構物的構想三

讓波浪在斜坡上溯升利用後方的空隙讓上溯的水流發生跌水現象而不直接回溯造波，跌水所造成的殘餘水量則設法透過側向或下方排水的方式排出堤體。

10

長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

水工模型試驗：

- (1) 空水槽試驗：以瞭解斷面造波水槽的功能，以及為量測反射率而設置的波高計位置的適當性。
- (2) 方案一：為斜坡式消能結構物的基本構造。
- (3) 方案二：考慮前方開孔部的比例，將其減少50%。
- (4) 方案三：考慮消波室的排水問題，以方案二為基礎，在後方開孔排水。



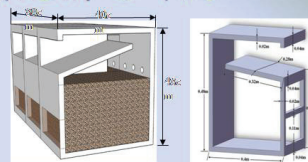
11

長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

水工模型試驗：試驗條件

- 斷面水槽：50公尺長、80公分寬
 比例縮尺：1/25
 造波週期：1.0、1.4、1.8及2.2秒
 造波波高：1至4公分



模型尺寸



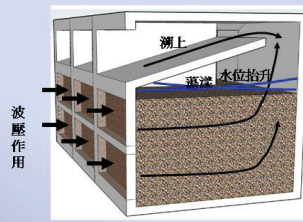
水工模型試驗

12

長波抗浪型之消能構造研擬

水工模型試驗：結果討論

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，以及削減潮上水流的潮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，如圖所示，原設計的構想是藉由內建斜坡促使波浪潮上越波不致產生潮下造波，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滲入結構體，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潮上越波，甚至產生逆向潮下水流。



內建斜坡式消能結構物的流動與考慮現象

13

長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

數值模擬：

在水力式阻尼消能結構的數值模擬研究，由於考量消波式碼頭附近，可能包含波動及水流運動之複雜層面。如何精確地描述自由水面(free surface)之形狀及位置？並能考慮到自由面形狀如何隨時間而改變？將是影響數值模擬結果之合理性的最主要關鍵點。本計畫擬採用以體積分率法(Fractional Volume of Fluid, VOF)為解算技術之FLOW-3D為初步評估之工具，期能與水工斷面模型試驗結果建構良好之一致性。

FLOW-3D是國際知名流體力學大師Dr. C. W. Hirt畢生之作，從1985年正式推出後，其計算流體自由水面複雜運動之VOF運算技術，在實務工程問題的模擬與計算準確度上皆受到使用者的好評。

14

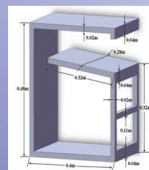
長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

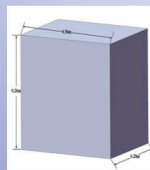
數值模擬流程

1. 建立及讀入計算模型

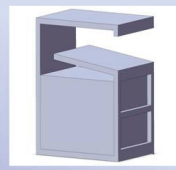
為便於建置多孔隙介質，數值模型採用零件組合的方式建立。圖為直立壁開孔模型外觀圖、多孔隙介質模型外觀圖，最後將其組合成之數值模擬模型元件組合外觀圖。



直立壁開孔模型外觀圖



多孔隙介質模型外觀圖



模擬元件組合外觀圖

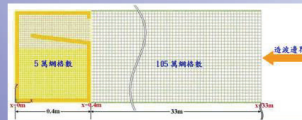
長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

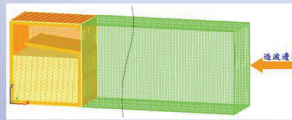
數值模擬流程

2. 建構網格系統

網格建立的方式採用連結式網格區塊法，設定兩個計算網格區塊。第一區塊置於 $x=0\sim0.4\text{m}$ 處，用來納入前述建置之模型；第二區塊置於 $x=0.4\sim33\text{m}$ 處，用來做為造波後之行走水道區。



x-z平面網格區塊位置示意圖



網格系統之3D示意圖

16

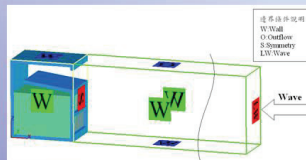
長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

數值模擬流程

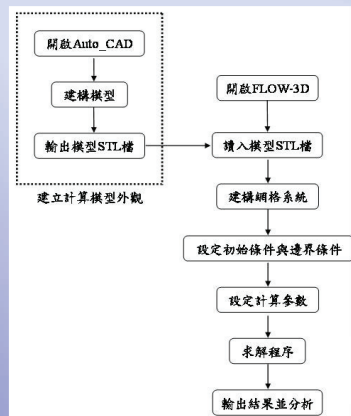
3. 設定邊界條件

為了能與水工試驗條件具一致性，數值模擬設定如圖所示之邊界條件。W表無滑動之剛體壁面，流體無法流出此邊邊界；O表與外界大氣接觸之開放界面；LW為造波邊界，可依圖所示，給定如：波高(H)、週期(T)、水深(h)及位相等入射波參數；S表兩個網格之連結面，允許流體連續通過此壁面。



計算領域之邊界條件示意圖

17



數值模擬流程圖

18

長波抗浪型之消能構造研擬

■水力式阻尼結構物的研究

數值模擬：結果與討論

1. 所採用之數值模擬方法，能適切地展現合理之波浪水理現象，可供做為後續數值研究之可靠工具。
2. 所建構之反射率(K_R)試算法，與水工模型試驗大致有相同的趨勢，可供做為後續評估分析之準則

15

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■快速安裝浮式防波堤之應用

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年代基於以上考量所開發的新型浮式防波堤，其構想如圖所示，其目的是要消減背風處的波高，以提供一個較穩靜的水域給船舶後勤支援用。



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

快速安裝浮式防波堤系統構想圖

16

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■快速安裝浮式防波堤之應用



RIBS現場研究機構(Field Research Facility, FRF, Duck, NC)所進行的1/2比例尺現場安裝試驗

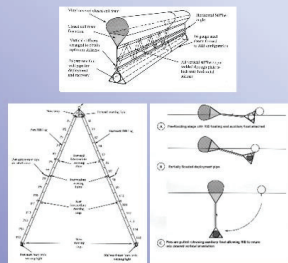


■美國陸軍工兵水道試驗站(U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, WES, Vicksburg, MS)及O.H. Hinsdale波浪研究實驗室(Wave Research Laboratory, 奧瑞崗州立大學, OSU, Corvallis, OR)所進行的一系列水工模型試驗。

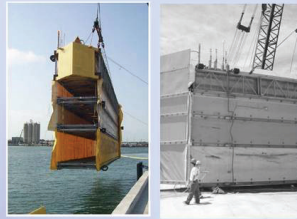
17

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■快速安裝浮式防波堤之應用



小型RIBS的基本配置圖



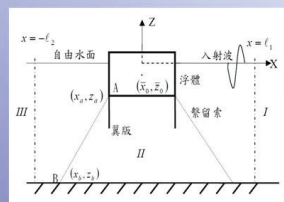
大型RIBS的基本斷面圖

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■理論推導

探討浮式結構物的運動振幅、繫留索受力、反射率和透過率的問題。

使用複合式邊界元素法(DBEM)，解決浮體邊界問題。



繫留浮標定義圖

■基本假設

流體：不可壓縮、無黏性

浮體運動：微小振幅運動

流體運動具有一速度勢： $\Phi(x, z, t)$

控制方程式：Laplace方程式

$$\nabla^2 \Phi(x, z, t) = 0; \Phi(x, z, t) = \frac{\partial \phi}{\partial t}(x, z) e^{i\omega t}$$

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■理論推導

邊界條件

(1)自由水面

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} \quad \text{at } z=0$$

(2)海底底床

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z=-H$$

(3)邊界面上的力學邊界條件與反射率和透過率

$$\begin{aligned} \Phi|_I &= \Phi|_{II} & \frac{\partial \Phi}{\partial z}|_I &= \frac{\partial \Phi}{\partial z}|_{II} & K_r &= \frac{i}{N_0 \sinh k h} \int_0^h \frac{\partial \Phi}{\partial z} \cosh k(h+z) dz \\ \Phi|_{III} &= \Phi|_{IV} & \frac{\partial \Phi}{\partial z}|_{III} &= \frac{\partial \Phi}{\partial z}|_{IV} & K_t &= 1 + \frac{i}{N_0 \sinh k h} \int_0^h \frac{\partial \Phi}{\partial z} \cosh k(h+z) dz \end{aligned}$$

(4)浮體上之邊界條件與運動位移及各繫留索受力

$$\begin{aligned} x_0 - \bar{x}_0 &= \hat{x}_0^{(0)} & z_0 - \bar{z}_0 &= \hat{z}_0^{(0)} & \phi &= \omega \phi^{(0)} \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} &= \frac{\partial (x_0 - \bar{x}_0)}{\partial t} \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial (z_0 - \bar{z}_0)}{\partial t} \frac{\partial \phi}{\partial z} & \frac{\partial \phi}{\partial t} &= \frac{\partial (x_0 - \bar{x}_0)}{\partial t} \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial (z_0 - \bar{z}_0)}{\partial t} \frac{\partial \phi}{\partial z} \\ F_x &= -K_{xx}(x_0 - \bar{x}_0) - K_{xz}(z_0 - \bar{z}_0) - K_{x\phi} \phi & F_z &= -K_{zx}(x_0 - \bar{x}_0) - K_{zz}(z_0 - \bar{z}_0) - K_{z\phi} \phi \\ M_y &= -K_{\theta\theta}(\theta_0 - \bar{\theta}_0) - K_{\theta\phi} \phi & & & \end{aligned}$$

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■理論推導

積分方程與離散化

用Green函數與積分方程式的分離化，令計算領域之勢函數滿足Laplace方程式，並且假設二次導函數存在。以複合邊界元素法(DBEM)進行，可解決薄版上同一邊界有兩個邊界條件之問題。得矩陣如下式：

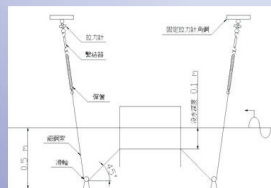
$$[A]\{\phi\} = [B]$$

將各邊界條件代入上式即可求領域(II)所有勢函數，再由其求得浮體之運動振幅與纜繩受力及反射與透過率。

763

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■水工模型實驗



模型裝置圖



浮體、系纜索、浮標、量測點

浪高 (cm)	浪高 (m)	浪長 (m)	波型 坡度	試驗水深 (m)	水深與 波長比	U/m(s)
1	0.01	1.515	0.01928	0.5	0.5104	1.1772
1.1	0.01	1.7815	0.016842	0.5	0.2806	1.4244
1.3	0.04	2.0454	0.019327	0.5	0.2440	2.3603
1.5	0.04	2.5116	0.017904	0.5	0.2185	2.6336
1.4	0.04	2.5717	0.015534	0.5	0.1944	5.0764
1.5	0.05	2.827	0.017087	0.5	0.1768	4.4145
1.6	0.05	5.0772	0.016309	0.5	0.1624	5.0227
1.7	0.05	5.5256	0.015085	0.5	0.1505	5.6701
1.8	0.05	5.5711	0.014001	0.5	0.1400	6.5568
1.9	0.06	5.8141	0.015711	0.5	0.1510	8.4095
2.0	0.06	4.0549	0.014797	0.5	0.1235	9.4176
2.1	0.06	4.2999	0.015971	0.5	0.1164	10.582
2.2	0.06	4.5132	0.015302	0.5	0.1105	11.595
2.3	0.06	4.7669	0.013587	0.5	0.1045	12.454
2.4	0.06	5.0014	0.011997	0.5	0.0999	13.561
2.5	0.06	5.2416	0.011407	0.5	0.0955	14.715

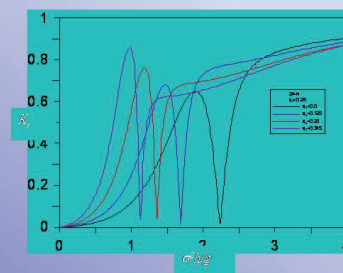
試驗波條件

繫留浮體所要量測的資料為：反射率、透過率、浮體運動的傾角與浮體運動的位移且與數值分析的資料做比較驗證。

臨時簡易功能使用型消能構造研擬

■數值模擬與討論

1. 翼板長度對浮體消波特性與運動之影響



各系浮體不同翼板長度對反射率之影響

在浮體底部未設置翼板時，其反射率在時皆 $\sigma^2 h/g \leq 1.5$ ($kh \leq 1.62$) 在0.4以下，當浮體具有底部具有兩個翼板時，可有效地增大對長週期波入侵的阻隔效果，亦即可提升較長週期波作用時的反射率，底部垂直翼板長度越長，對長週期波能量的阻隔效果越明顯。

764

環境保護型消能構造之研擬

■研擬構想



品型曲面防波堤(日本船川港)



日本宮崎港



大陸天津港

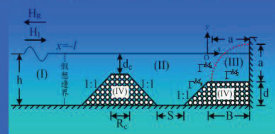
79

環境保護型消能構造之研擬

環境保護型之消能結構型式

潛式多孔隙透水式結構物

- ◆ 具有孔隙易附著生物，對生態較為友善破壞較少
- ◆ 組成元件可以容易在陸地上建造
- ◆ 可以快速安裝施工
- ◆ 所需維護費用較少
- ◆ 孔隙間海水可以流通對水質較好
- ◆ 損壞時易於修補恢復性高



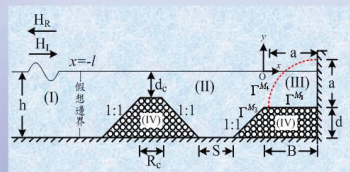
曲面透水薄板

- ◆ 減少衝擊波壓作用
- ◆ 波力指向於圓心
- ◆ 增加抗滑及傾倒力矩
- ◆ 確保堤體安定
- ◆ 較不會發生衝擊碎波
- ◆ 堤體可於陸地上預製，減少海上施工，並有利於重新吊放使用
- ◆ 下部結構採用多孔隙型結構，可以成為很好的生物棲息環境
- ◆ 形成消能、景觀、生態三者兼具之結構物

80

環境保護型消能構造之研擬

■數值模擬



基本假設與速度勢

以線性波理論為基本假設，假設流體為不可壓縮、無黏滯性與非旋性流體，持有一速度勢 $\Phi(x,z,t)$ ，且滿足Laplace方程式。

(1)領域(I)、(II)及(III)

$$\Phi^{(j)}(x,z,t) = \frac{g\zeta_0}{\sigma} \phi^{(j)}(x,z) e^{-i\sigma t}, \quad j = I, II, III$$

(2)領域(IV)

$$\Phi^{(IV)}(x,z,t) = \frac{g\zeta_0}{\sigma} \phi^{(IV)}(x,z) e^{-i\sigma t}$$

81

環境保護型消能構造之研擬

■數值模擬

■領域(I)之勢函數

$$\Phi^{(I)}(x, z) = \left[e^{k(x+e)} + R \cdot e^{-k(x+e)} \right] \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh}$$

■邊界條件

(1)自由水面 $\frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial z} = \frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial z} - \frac{\sigma^2}{g} \phi^{(j)}(x, z) = 0, z=0, j=I, II, III$

(2)海底底床及不透水岸壁 $\frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial z} = \frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial z} = 0, z=-h, j=I, II, IV$

$\frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial x} = \frac{\partial \phi^{(j)}}{\partial x} = 0, x=B, j=III, IV$

(3)假想邊界線上 ($x=-\ell$)

$\phi^{(I)}(x, z) = \phi^{(II)}(x, z), x=-\ell$ $\frac{\partial \phi^{(I)}}{\partial x}(x, z) = \frac{\partial \phi^{(II)}}{\partial x}(x, z), x=-\ell$

(4)四分之一圓弧形孔隙板

$\frac{\partial \phi^{(II)}}{\partial n} = -\frac{\partial \phi^{(III)}}{\partial n} = ikG(\phi^{(II)} - \phi^{(III)}), \text{on } \Gamma^{M_4}$

$\frac{\partial \phi^{(II)}}{\partial n} = -\frac{\partial \phi^{(IV)}}{\partial n}, \text{on } \Gamma^{M_1}$

$\phi^{(II)}(x, z) = (S_r + if_r) \phi^{(IV)}(x, z), \text{on } \Gamma^{M_1}$

$\frac{\partial \phi^{(II)}}{\partial z} = \frac{\partial \phi^{(IV)}}{\partial z}, \text{on } \Gamma^{M_2}$

$\phi^{(III)}(x, z) = (S_t + if_t) \phi^{(IV)}(x, z), \text{on } \Gamma^{M_2}$

環境保護型消能構造之研擬

■數值模擬

■反射率(R)之解析

$$R = -1 + \frac{k}{N_0 \sinh kh} \sum_{p=1}^{M_1} \phi_p^{(II)}(z_p) \cosh k(h+z_p) \Delta z_p$$

■勢函數之解析

$$\left\{ \phi_p^{(II)} \right\} = \left\{ S_p \right\} + \left\{ S_{pp} \right\} \left\{ C_{kp} \right\} \left\{ \phi_p^{(II)} \right\}$$

■子領域之勢函數

$$[A^*] \left\{ \phi^{(*)} \right\} = \left\{ B^* \right\}$$

由上式可求得各子領域各邊界線上之勢函數，將位於假想邊界線上之勢函數代入反射率(R)，即可求出反射率R

■結構物上壓力與合力之求解

$P_{max} = |p| / \rho g \zeta_0 = |i\phi|$

$F_{px} = -i\rho g \zeta_0 \left[\int_0^{h+\Delta z} \left(\phi^{(II)} - \phi^{(III)} \right) \sin kx dx \right] e^{-i\sigma t}, \text{on } \Gamma^{M_4}$

$P_{max} = |p| / \rho g \zeta_0 = |i(S + if)|$

$F_{pz} = -i\rho g \zeta_0 \left[\int_0^{h+\Delta z} \left(\phi^{(II)} - \phi^{(III)} \right) \cos kx dx \right] e^{-i\sigma t}, \text{on } \Gamma^{M_4}$

$F_w = i\rho g \zeta_0 \left[(S + if) \int_{-\ell}^{h+\Delta z} \phi^{(IV)} dz + \int_{-\ell}^0 \phi^{(III)} dz \right] e^{-i\sigma t}, \text{on } x=B$

環境保護型消能構造之研擬

■數值計算結果與分析

各種配置下反射率最小值與發生位置整理成表3與表4所示。

障礙配置	(I) $d_r/h=0.4, R_r/h=0.4$					
	S/h=0.0		S/h=0.5		S/h=1.0	
kh	0.66	1.99	0.57	1.63	0.48	1.38
D/L	0.31	0.94	0.32	0.90	0.31	0.88
R _{min}	0.386	0.416	0.486	0.315	0.558	0.227

表3 配置(I)反射率最小值|R|_{min}與發生位置

障礙配置	(II) $d_r/h=0.4, R_r/h=0.6$					
	S/h=0.0		S/h=0.5		S/h=1.0	
kh	0.60	1.77	0.48	1.50	0.44	1.29
D/L	0.28	0.84	0.27	0.83	0.28	0.82
R _{min}	0.413	0.378	0.497	0.293	0.557	0.210

表4 配置(II)反射率最小值|R|_{min}與發生位置

環境保護型消能構造之研擬

■數值計算結果與分析

潛堤配置	(III) $d_c/h=0.3, R_c/h=0.4$					
潛堤間距	$S/h=0.0$		$S/h=0.5$		$S/h=1.0$	
kh	0.51	1.86	0.44	1.54	0.39	1.29
D/L	0.24	0.88	0.24	0.85	0.25	0.82
$ R _{min}$	0.360	0.331	0.434	0.230	0.490	0.141

表5 潛堤(III)反射率最小值 $|R|_{min}$ 與發生位置

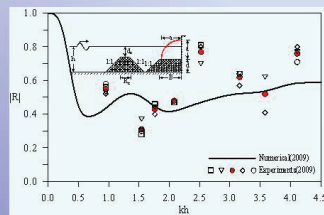
潛堤配置	(IV) $d_c/h=0.3, R_c/h=0.6$					
潛堤間距	$S/h=0.0$		$S/h=0.5$		$S/h=1.0$	
kh	0.46	1.61	0.42	1.41	0.37	1.23
D/L	0.22	0.76	0.23	0.78	0.23	0.78
$ R _{min}$	0.358	0.287	0.424	0.209	0.472	0.128

表6 潛堤(IV)反射率最小值 $|R|_{min}$ 與發生位置

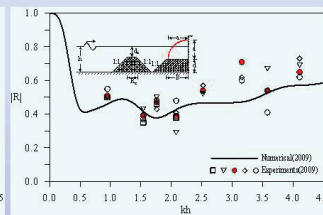
環境保護型消能構造之研擬

■水工模型試驗結果分析

反射率 $|R|$ 試驗與數值計算結果比較



波浪通過矩形潛堤試驗結果與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.4, R_c/h=0.4$)



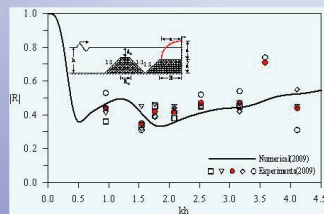
波浪通過矩形潛堤試驗結果與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.4, R_c/h=0.6$)

- 水工模型試驗結果發現，最小值 $|R|_{min}=0.31$ 發生在 $kh=1.54$ ($T=1.2\text{sec}$)處。
- 在 $kh=2.52$ ($T=0.9\text{sec}$)時，反射率卻逐漸上升至0.77。
- 深水波部份，反射率由0.62略微下降後上升至0.76，顯示對深水短波消能效果較差。

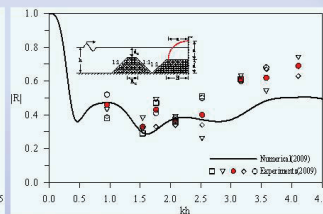
環境保護型消能構造之研擬

■水工模型試驗結果分析

反射率 $|R|$ 試驗與數值計算結果比較



波浪通過矩形潛堤試驗結果與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.3, R_c/h=0.4$)



波浪通過矩形潛堤試驗結果與 kh 關係圖 ($d_c/h=0.3, R_c/h=0.6$)

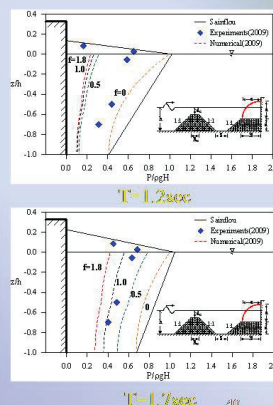
- 若提高透水潛堤高度(即相對水深減少 $d_c/h=0.3$)，再次進行兩組試驗(相對堤寬 $R_c/h=0.4, 0.6$)
- 由於堤高增加，堤寬變厚，透水潛堤體積變大，波浪通過時其消能距離、空間變大，消能效果增加。
- 因此在 $kh=0.95-2.52$ 間反射率會降低，有一定之消能效果。

環境保護型消能構造之研擬

■水工模型試驗結果分析

直立岸壁波壓力之比較

- 其中實線為Sainflou公式計算結果。
- ◆ 為試驗結果。
- 虛線則為數值計算結果，在數值計算時，摩擦係數分別以 $f=1.8$ 、 1.0 、 0.5 及 0 代入模式計算。
- $f=0$ 即表示波浪通過無潛堤只有直立岸壁時之結果，與Sainflou公式計算結果非常一致。
- 隨著透水潛堤 f 之增加，作用於直立岸壁之波壓力則明顯的變小。
- 在週期較小時，改變摩擦係數 f 之大小，對直立岸壁波壓力影響不顯著，但都小於Sainflou公式。
- 試驗結果分析與數值結果比較則有較大差異。



結 論

■長波抗浪型

藉由針對內建斜坡水力消能式結構物的基本型態所演變的三種配置方案的水工模型試驗及數值模擬，可以發現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，未來必須設法解決溯上越波後的排水情形，以免造成消波室被的水體堆積。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。

未來在水工模型試驗的部分將在此一基礎下，研究設計新的型式，並就以下事項進行檢討改進並進行相關測試。

- (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
- (5)暴潮水位與不同波高

在數值模擬方面也將要再精進，適當地控制所有的相關參數設定，以求能正確地模擬結構物附近的水力現象。

結 論

■簡易功能使用型

本研究利用複合邊界元素法以處理邊界值問題中退化邊界問題，同時探討浮體底部配置無厚度翼板時的消波特性，結果發現浮體在底板兩側增設雙翼板時，可有效提升其對較長週期波的反射效果，同時增加浮體各自由度運動的附加質量與力矩係數，使得激發浮體自然振動的頻率更向低頻區偏移，提升對長週期波的消波能力，在實用上可以較小斷面而得到較佳的消波效果。

就影響加裝翼板的浮式結構而言，翼板的傾斜角度與長度及翼板數目為影響此類型結構消波特性的主要參數，其中長度為主要影響參數，翼板的傾斜角度雖對結構的反射率亦有影響，但視其作用波浪的週期而定，另外，翼板數目在一個時，並無法有效的提升其消波能力，但雙翼板與三翼板之消波能力差異並不大。

結 論

■環境保護型消能結構物

利用多領域邊界元素法數值計算波浪通過環境保護型消能式結構物之反射率及波壓力，其方法是可行的，反射率變化所獲得結論：不論透水潛堤相對沒水深(d_c/h)、相對堤寬(R_c/h)及相對間距(S/h)如何改變，其反射率變化與直立岸壁堤前至潛堤向海堤址處之距離 D 與入射波長 L 之比(D/L)有一明顯關係存在；亦即 D/L 在某些特定值時反射率會有一極小值存在，可以提供給工程設計上做為參考。因為環境保護型消能結構物之設置，希望能發揮消波減壓的功效。

8/15

報告完請指教
謝謝！！

8/15