100-65-7544
MOTC-IOT-99-H2DA005

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(2/4)

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 100 年 5 月

100-65-7544
MOTC-IOT-99- H2DA005

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(2/4)

著者：邱永芳、何良勝、蔡金吉

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 100 年 5 月

100

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究 (2/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010000776
定價 150 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(2/4)

/邱永芳、何良勝、蔡金吉著. --初版.-- 臺北市：

交通部運輸研究所， 民 100.05

面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7604-6 (平裝)

1. 港埠工程 2 數值分析 3 生態模擬

443.2 100006206

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(2/4)

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 100 年 5 月
印 刷 者：良機事務機器有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 90 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 150 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：1010000776　　ISBN：978-986-02-7604-6 (平裝)

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(2/4)

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN978-986-02-7604-6（平裝）	1010000776	100-65-7544	99-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、林炤圭
參與人員：楊怡芸
聯絡電話：(04)26587101
傳真號碼：(04)26571329

研究期間
自 99 年 01 月
至 99 年 12 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，本年度加入消能結構物應用在海岸公路邊坡保護。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消減長週期波動能量，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。公路邊坡之保護工法特著重海岸公路之消能特性及海岸景觀設計為原則，本年度以臺 9 線及臺 11 線為研究對象。

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、提供近岸保護工法在各港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。海岸公路之保護針對海岸景觀和親水性為主，再考量消能特性。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
100 年 5 月	154	150	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 (2/4)

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN978-986-02-7604-6 (pbk)	1010000776	100-65-7544	99-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, Lin Jaw-Guei, Yang Yi-Yun.
PHONE: 04-26587101
FAX: 04-26571329

PROJECT PERIOD
FROM:January 2010
TO: December 2010

KEY WORDS: Wave dissipation structure, Numerical simulation, Hydraulic model test, Coastal highway, Shore protection

ABSTRACT:

The major goal of this year study is to develop the suitable new wave dissipation structures for Taiwan harbor and coastal zone with different characteristics. The functions of coastal structure around Taiwan can be divided into three types: long period waves dissipation type, fast installation/special purpose type, and environmental protection/restoration type. By using the numerical simulations and hydraulic model tests, the new structures of the three types will be designed, tested, and evaluated. On the study of long period wave dissipation type, a series of hydraulic model tests and numerical simulations with FLOW-3D on the new prototype of wave damper by hydraulic mechanism were done, and the results show their efficiencies. 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 can increased 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 cause the waves in strong mixing and thus should increase the quantities of air inside the water, which is needed for the Development of aquaculture. This year, coastal highway protection method study is the other goal in this study.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
May 2011	154	150	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

目　錄

中文摘要……I

英文摘要……II

目　　錄……III

圖 目 錄……VI

表 目 錄……XI

照片目錄……XIII

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……1-5

第二章 長波坑浪型之消能構造之研究……2-1

2.1 緣起與回顧……2-1

2.2 水力式阻尼結構物的水工模型試驗……2-4

2.3 數值模擬方法……2-12

第三章 臨時簡易功能使用型消能構造之研究……3-1

3.1 繫留浮體水工模型實驗……3-1

3.2 試驗結果與討論……3-6

第四章 理境保護型消能構造之研究……4-1

4.1 研擬構想……4-1

4.2 水工模型試驗……4-4
4.3 水工模型試驗與數值計算結果與分析……4-6
4.4 使用 FLOW-3D 計算結果分析與討論……4-17
4.5 波浪斜向入射結構物數值計算……4-29
4.5.1 數值計算方法……4-29
4.5.2 數值計算結果與討論……4-32
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 臺灣東部海岸公路環境背景……5-2
5.2.1 地形與地質……5-3
5.2.2 波浪……5-4
5.2.3 潮汐……5-6
5.2.4 海流……5-7
5.2.5 颱風……5-11
5.3 臺灣海岸公路之現況……5-11
5.3.1 臺 11 線……5-12
5.3.2 臺 9 線與臺 17 線……5-18
5.4 海岸公路防護因應對策……5-21
5.4.1 歷史災資料庫之建置：……5-21
5.4.2 現有易致災地點之普查：……5-22
5.4.3 易致災地點地文及海象資料監測……5-22

5.4.4 即時監視系統建置……5-23

5.4.5 海岸公路潛勢區段之分類與劃分……5-26

5.4.6 相關單位之合作……5-26

第六章 結論與建議……6-1

6.1 結論……6-1

6.2 建議……6-4

6.3 成果效益與後續應用情形……6-5

參考文獻……參-1

附錄一 簡報資料……附-1

附錄二 期末報告審查意見處理情形表……附-2

圖 目 錄

圖 2.1.1 長週期波消能結構物之研究概觀……2-2

圖 2.1.2 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究……2-2

圖 2.1.3 Kee 等[14]之數值模型定義圖……2-3

圖 2.1.4 Kee 等[14]測試之數值模型系統(a)雙平版；(b)三平版……2-3

圖 2.2.1 長波抗浪型模型的尺寸……2-5

圖 2.2.2 長波抗浪型模型配置圖……2-7

圖 2.2.3 固定縱深比之波浪與斜坡坡度之比較圖……2-10

圖 2.2.4 固定斜坡坡度之波浪與縱深比之比較圖……2-11

圖 2.3.1 試驗設置與網格設定圖……2-13

圖 2.3.2 縱深比 D1 時，不同斜坡坡度之數值模擬反射率比較圖…2-14

圖 2.3.3 縱深比 D2 時，不同斜坡坡度之數值模擬反射率比較……2-15

圖 2.3.4 縱深比 D3 時，不同斜坡坡度之數值模擬反射率比較圖…2-15

圖 2.3.5 坡坡度 S1/2 時，不同縱深比之數值模擬反射率比較圖...2-15

圖 2.3.6 斜坡坡度 S1/4 時，不同縱深比之數值模擬反射率比較圖...2-16

圖 2.3.7 斜坡坡度 S1/8 時，不同縱深比之數值模擬反射率比較圖...2-16

圖 2.3.8 組合式數值模擬模型及尺寸圖……2-17

圖 2.3.9 嵌入組合式數值模擬模型之多孔隙介質外觀尺寸圖……2-17

圖 2.3.10 y-z 平面網格配置及波高擷取位置示意圖……2-18

圖 2.3.11 y-z 平面網格配置……2-18

圖 2.3.12 3D 計算領域示意圖……2-19

圖 2.3.13 平面水槽原始時序圖.....2-19

圖 2.3.14 正 x 軸排水區斷面處之等值側向速度(Vx)時間序列示意圖.....2-21

圖 3.1.1 斷面水槽模型配置圖.....3-5

圖 3.2.1 剛性翼板繫留浮體 0 度水平振幅.....3-6

圖 3.2.2 剛性翼板繫留浮體 30 度水平振幅.....3-7

圖 3.2.3 剛性翼板繫留浮體 0 度垂直振幅.....3-8

圖 3.2.4 剛性翼板繫留浮體 30 度垂直振幅.....3-8

圖 3.2.5 剛性翼板繫留浮體 0 度旋轉振幅.....3-9

圖 3.2.6 剛性翼板繫留浮體 30 度旋轉振幅.....3-9

圖 3.2.7 剛性翼板繫留浮體 0 度反射率.....3-10

圖 3.2.8 剛性翼板繫留浮體 30 度反射率.....3-11

圖 4.1.1(a) 過去傳統保護海岸的工法.....4-1

圖 4.1.1(b) 波浪直接衝擊消波塊.....4-1

圖 4.1.2 生態型潛礁示意圖.....4-1

圖 4.1.3 珊瑚移植示意圖.....4-2

圖 4.1.4 未來防坡堤示意圖.....4-2

圖 4.1.5 凸型曲面防波堤構造示意圖.....4-3

圖 4.1.6 環境保護型消能結構物.....4-4

圖 4.2.1 定床斷面造波水槽波高計配置示意圖(連結式 S/h=0).....4-5

圖 4.2.2 壓力計安裝位置(試驗水深 h=50cm).....4-5

圖 4.3.1 波浪作用於連結式透水結構物|R|與 kh 關係圖.....4-11

圖 4.3.2 波浪作用於分開式透水結構物|R|與 kh 關係圖.....4-11

圖 4.3.3 波浪作用於分開式透水結構物|R|與 kh 關係圖.....4-12

圖 4.3.4 連結式雙潛堤最大波壓力與 Sainflou 重複波壓力比較圖...4-13

圖 4.3.5 分開式雙潛堤最大波壓力與 Sainflou 重複波壓力比較圖...4-14

圖 4.3.6 圓弧曲面板無因次最大波壓分布比較圖(Rc/h=0.6，dc/h=0.3，S/h=0).....4-15

圖 4.3.7 圓弧曲面板無因次最大波壓分布比較圖(Rc/h=0.6，dc/h=0.3，S/h=1).....4-16

圖 4.4.1 環境保護型結構物配置示意圖.....4-18

圖 4.4.2 邊界條件設定圖.....4-18

圖 4.4.3 FLOW-3D 反射率計算結果與水工模型圖(dc/h=0.4, Rc/h =0.4,S/h =1.0).....4-21

圖 4.4.4 環境保護型結構物配置示意圖.....4-22

圖 4.4.5 波形變化圖.....4-22

圖 4.4.6 波浪與環境保護型結構物交互作用之速度分佈.....4-25

圖 4.4.6(續) 波浪與環境保護型結構物交互作用之速度分佈.....4-26

圖 4.4.7 波浪與環境保護型結構物作用之速度分佈.....4-27

圖 4.4.7(續) 波浪與環境保護型結構物作用之速度分佈.....4-28

圖 4.5.1 環境保護型結構物示意圖.....4-29

圖 4.5.2 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 E_ℓ 與 kh 之關係 ($R_c/h=0.4, d_c/h=0.4, S/h=1.0$).....4-34

圖 4.5.3 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 E_1 與 kh 之關係 ($R_c/h=0.6, d_c/h=0.4, S/h=1.0$).....4-35

圖 4.5.4 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 E_1 與 kh 之關係 ($R_c/h=0.4, d_c/h=0.3, S/h=1.0$).....4-36

圖 4.5.5 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 El 與 kh 之關係 ($R_c/h=0.6, d_c/h=0.3, S/h=1.0$).....4-37

圖 5.1.1 臺灣公路網(http://www.wintimes.com.tw/play/tw-map.htm)...5-2

圖 5.2.1 臺九線和臺十一線示意圖.....5-3

圖 5.2.2 東部地區地質圖(黑線為臺 11 位置示意圖).....5-4

圖 5.2.3 臺灣四周海域年平均海況流矢展示圖.....5-9

圖 5.2.4 臺灣四周海域各季平均海況流矢展示圖.....5-10

圖 5.2.5 1897-2009 颱風侵襲臺灣路徑圖.....5-11

圖 5.3.1 臺 11 線 0-20km.....5-12

圖 5.3.2 臺 11 線 20-40km.....5-13

圖 5.3.3 臺 11 線 40-60km.....5-14

圖 5.3.4 臺 11 線 60-80km.....5-15

圖 5.3.5 臺 11 線 80-100km.....5-15

圖 5.3.6 臺 9 線 410K+650(左)及 411K+150 路面塌陷災害.....5-19

圖 5.3.7 臺 9 線 429K+800~430K 路面塌陷災害.....5-19

圖 5.3.8 為臺東縣大武漁港南側臺 9 線之公路現況.....5-20

圖 5.3.9 臺 17 線臺南黃金海岸段邊坡護岸破壞情形.....5-21

圖 5.4.1 海岸道路越波捕捉面.....5-24

圖 5.4.2 道路越波計算步驟.....5-24

圖 5.4.3 日本公路越波監視與預測分析之流程圖.....5-24

圖 5.4.4 日本公路越波防護對策分析流程圖……5-25

表 目 錄

表 2.2.1 長波抗浪型斷面試驗模型配置……2-5

表 2.2.2 長波抗浪型斷面試驗波浪條件(現場與模型)……2-6

表 2.2.3 試驗波浪代號與條件……2-7

表 2.2.4 試驗配置代表名稱……2-8

表 2.3.1 組合式及斷面模型反射率比較表……2-20

表 3.1.1 繫留浮體水工模型試驗條件……3-5

表 4.2.1 水工模型造波試驗條件表……4-6

表 4.2.2 波浪通過環境保護型消能結構物之波浪條件(h=50 cm)……4-6

表 4.4.1 造波條件(h=50cm)……4-17

表 4.4.2 各週期 Turbulent k.e.值……4-18

表 4.4.3 FLOW-3D 計算反射率值與水工模型之比較……4-21

表 4.5.1 不同配置下反射率出現極值大小與發生位置……4-38

表 5.2.1 蘇澳港測站 1990-2008 波浪數據統計……5-5

表 5.2.2 花蓮港測站 1990-2007 波浪數據統計……5-5

表 5.2.3 臺東波浪數據統計……5-6

表 5.2.4 花蓮潮位站潮位統計表……5-6

表 5.2.5 氣象局蘇澳潮位站 2005-2007 潮位統計表……5-6

表 5.2.6 氣象局富岡潮位站潮位統計表……5-9

表 5.2.7 氣象局石梯潮位站潮位統計表……5-9

表 5.3.1 臺 11 線易致災路段說明表……5-16

表 5.3.1(續) 臺 11 線易致災路段說明表……5-17

照片目錄

照片 2.2.1 大斷面水槽……2-12

照片 2.2.2 容量式波高計及訊號增幅器與資料擷取盒……2-12

照片 3.1.1 試驗設備與儀器……3-3

照片 3.1.2 剛性翼板繫留浮體模型(0 度 25 公分)……3-4

照片 4.2.2 水工模型圓弧板上壓力計安裝照片……4-5

第一章 前言

1.1 計畫目的

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。

此外，臺灣東部濱海公路有多處路段緊臨海岸，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。

1.2 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，以及海岸公路邊坡保護工法，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。若從消減波浪的作用能量來思考的話，除了前面所述利用剛性結構物本身的特性、來消耗、降低或反射入射波的能量外，也可以思考利用結構物附近的水理運動行為或結構物的運動來產生不同的消能效果。例如就港內的碼頭結構物而言，對於已經進入港內的入射波能量，能夠做的就是設法讓反射波降到最低，此種方式簡稱為水力結構之阻尼。例如在港內設置自然消波海灘讓入射波能在沙灘上消耗殆盡而不致反射。然而由於現今的港灣規劃往往為了多爭取一些碼頭空間，已經使得港內自然消波海灘已不多見。可以確認的是：設法去消減反射波則可以降低港內的波動甚至避免共振的誘發。

另一方面，波浪的反射主要還包含了水粒子運動與結構物之間的相互運動的問題。目前所使用的消能式結構物幾乎都是剛性且固定不動的形式，但如果參考相關的海上波能發電設備，可以發現當結構物隨波運動時，可以從波動中吸收部分的波浪能量，相對地也可以使波動的能量降低。因此，妥善利用結構物的材質特性與結構物的運動也可能可以達到削減波能的功效，此種方式簡稱為材料阻尼。

為了能夠得到具體且實用的研究成果，對於長波抗浪型的研究將集中人力與能量在水力結構之阻尼特性部分。

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有善破壞較少；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。

4.海岸公路邊坡保護工法

臺灣四面環海，東西兩岸之海象與地形及地質條件差異迥大，西部因砂質海岸居多，且陸側腹地較廣，因此濱海公路雖然仍沿海岸興建，但絕大多數之路線離開海岸尚有一段緩衝距離，颱風暴潮對海岸公路造成之災害極少發生。東部因為平原不多，海岸公路之開發有許多路段被迫不得不緊臨海岸興建，大多興建於高聳陡峻之海岸邊坡

上，先天之安全因素即已受到威脅，加上東部海域水深、坡陡，東北長浪及颱風大浪皆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之安全，道路受大暴浪越波拍打或因邊坡流失而封閉之事件履履發生，嚴重影響東部之發展。再者東部海岸公路亦有部份路段如臺 11 線之大武漁港段，因為嚴重之侵蝕問題，造成海側路界持續內縮，對公路之穩定亦產生嚴重威脅。此些不同破壞型態與機制皆有需要加以探討研究。

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：

以水力式阻尼之長波抗浪型結構物的研發為主，持續且同步進行數值模式與水工模型試驗等研究，以進行新型水力阻尼結構物特性探討及最佳配置的研發。同時也持續討論港灣相關的波浪的溯上與越波。前半年將主要以水工模型試驗的方式，來檢討前一年所設計的結構物型式，並確認其可行性。後續則仍回歸到同時利用水工模型試驗及數值模擬等方式進行研發。

2. 臨時簡易功能使用型：

本年度的工作分水工模型試驗及數值模式建置與模擬。水工模型試驗部份主要延續第一年度所建立之解析構架，進行第一年附加剛性翼板之浮體的水工模型試驗；數值模擬則應考慮將浮體下方之附加翼板推展至可撓性薄板，並以彈性樑理論加以模擬，探討其消波特性之差異，同時並與第一年度之研究成果相互比較。

3. 環境保護型：

本年度的工作分水工模型試驗及數值模式建置與模擬。數值模擬方面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探討斜向入射波作用下，直立堤前透水結構物之消能效果。水工模型試驗方面則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≠0）進行反射率及波壓力之量測，以探討其對消波減壓效果之影響，並與前一年連結式的成果作一比較。其試驗結果應可提供數值計算之驗證，並且可以用來決定試驗材料在數值計算所需之相關參數值。

4.海岸公路邊坡保護工法

本年度的工作為調查及收集國內各海岸公路的特性並分類整理，以及針對幾處曾經發生的破壞案例或有安全威脅之路段進行破壞機制檢討。收集國外有關海岸公路監測及防護作業準則與保護工法，並研擬適合國內海岸公路特性的相關作業準則。

第二章 長波抗浪型之消能構造之研究

2.1 緣起與回顧

本年度首先將就目前所收集之消能式結構物以及第一年度所設計的內建斜坡越波消能式碼頭型式，研討其消能機制、優缺點與可能遭遇的問題，研選可能之斷面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。在第一年度中所遭逢的消波室排水問題，將設法加以處理，以提升消波的效率。

為進一步考量在水工模型試驗中很難取得的堤前流場變化。本研究仍將持續引入 FLOW-3D 以數值模擬方式進行計算。在正式引用之前，將針對 FLOW-3D 是否適用於波場的模擬作深入的探討。

以往在水力阻尼方面的研究， Hiraishi[10]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[11]利用水工模型試驗及數值造波水槽模擬的方式探討如圖 2.1.1 及圖 2.1.2 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[14]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 2.1.3 及 2.1.4 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。

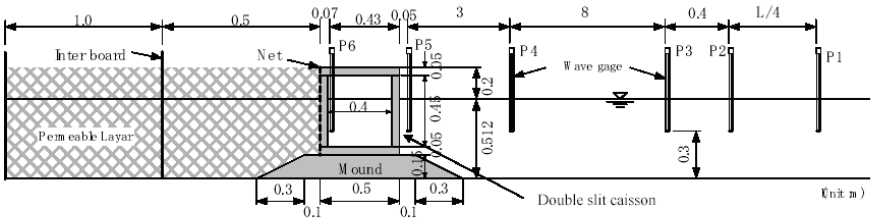


Fig. 1 Cross section of long period wave absorbing sea wall

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

圖 2.1.1 長週期波消能結構物之研究概觀

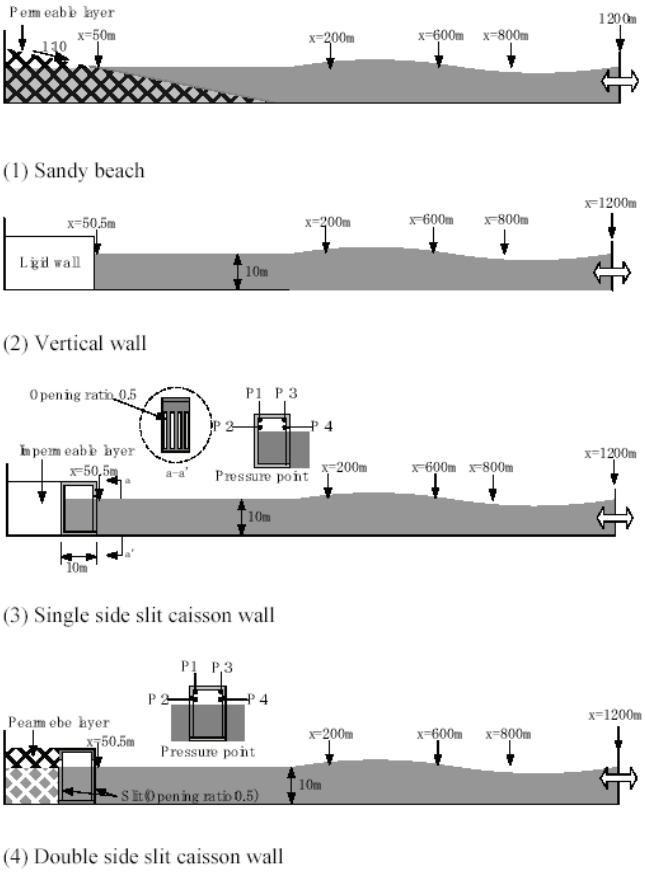


圖 2.1.2 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究

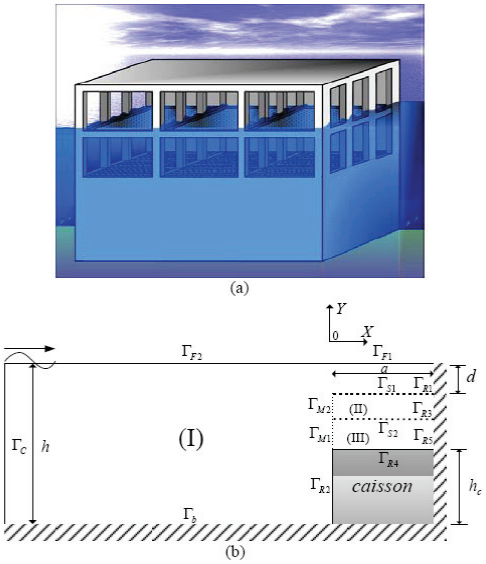


Fig.1 Definition sketch (a) and integration domains (b)

圖 2.1.3 Kee 等[14]之數值模型定義圖

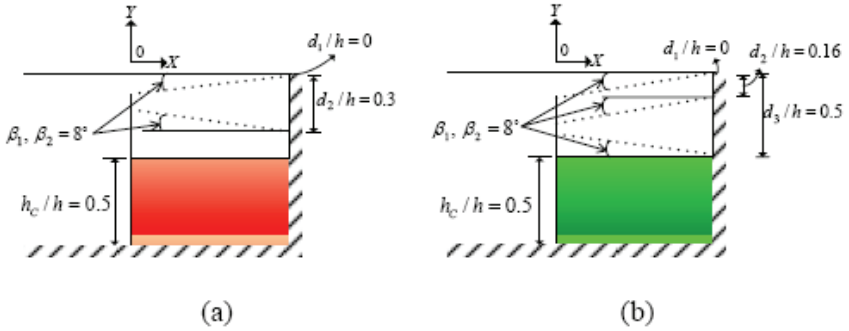


圖 2.1.4 Kee 等[14]測試之數值模型系統(a)雙平版；(b)三平版

在利用數值模擬方法處理自由液面(free surface)之問題 Hirt and Nichols[12]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水工模型試驗

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，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，本研究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。其終極目標是希望能研選適當的新型水力阻尼性碼頭結構物，並提出其設計的步驟與準則，以及未來維護上應注意的事項。

1. 試驗概述

由於本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，因此水工模型試驗主要探討以下各項特性來確認新設計之消能結構物之實用性。

A. 越波排水的方式

B. 斜坡的透水性

C. 斜坡的坡度

D. 堤內拋石的孔隙率與透水性

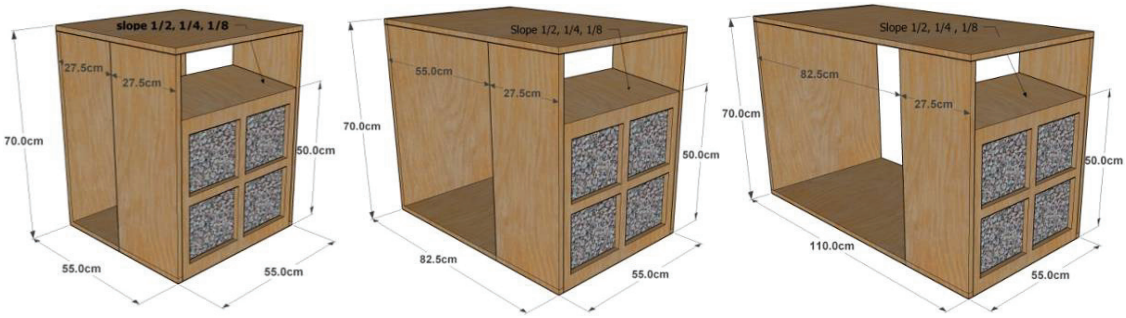
E. 暴潮水位與不同波高

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下表 2.212。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。

表 2.2.1 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)			



(a) Db/Da=1 (b) Db/Da=2 (c) Db/Da=3

圖 2.2.1 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 50cm，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 18 秒至 48 秒之週期波浪，經由模型時間縮尺換算後得到試驗週期為 3 秒至 8 秒，其對應之波長 L=9.0434m 至 25.9764m、kh=0.7643 至 0.2661、波浪尖銳度 H/L=0.0055 至 0.0019 和波速 c=3.0145m/s 至 3.2471m/s。相關現場與模型之波浪條件如下表 2.2.2 所示，其下標 field 代表現場條件，下標 lab 代表模型條件。模型配置圖如圖 2.2.2 所示。

表 2.2.2 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
31.2			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
48.0			506.1	8.0			25.9764	0.2661	0.0019

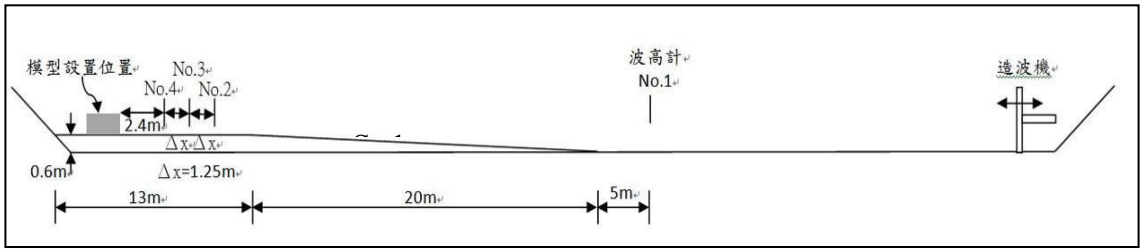


圖 2.2.2 長波抗浪型模型配置圖

本試驗針對不同斜坡坡度與縱深比之不同配對，有 9 種不同之配置，每次配置進行週期 T=3.0 至 8.0 的波浪條件試驗，整理如表 2.2.3 所示，含空水槽試驗共進行 10 次試驗，包含三種不同縱深比 $D = D_b / D_a$，及三種不同斜坡坡度為 $\tan\theta$，其試驗配置代表名稱整理如表 2.2.4 所示。

表 2.2.3 試驗波浪代號與條件

順序	試驗代號	試驗波浪條件		試驗次數
		波高（m）	週期（sec）	
1	T30	0.05	3.0	3
2	T32	0.05	3.2	3
3	T34	0.05	3.4	3
4	T36	0.05	3.6	3
5	T38	0.05	3.8	3
6	T40	0.05	4.0	3
7	T42	0.05	4.2	3
8	T44	0.05	4.4	3
9	T46	0.05	4.6	3
10	T48	0.05	4.8	3
11	T50	0.05	5.0	3
12	T52	0.05	5.2	3
13	T54	0.05	5.4	3
14	T56	0.05	5.6	3
15	T58	0.05	5.8	3
16	T60	0.05	6.0	3
17	T70	0.05	7.0	3
18	T80	0.05	8.0	3

表 2.2.4 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 $\tan\theta = 1/8$

2. 試驗結果綜合比較

為了解波浪條件與模型配置之相互影響結果，本節根據規劃設置的控制參數即斜坡坡度與縱深比兩個方面與波浪進行進一步的深入討論，以瞭解其造成影響的物理機制為何。

(1) 固定縱深比且不同斜坡坡度之討論比較

首先依三種縱深比分別探討固定縱深比時，不同的斜坡坡度對各種造波波浪條件所產生的影響與特性，並進行綜合分析。在固定縱深比下，三種斜坡坡度的反射率迴歸近似曲線整理於圖 2.2.3。

綜觀三種縱深比，消波室縱深較小時，波浪於斜坡較陡之配置會有較大的反射率產生，當入射波浪週期逐漸變長時，縱深比小之反射率受坡度改變之影響差距較大，隨著縱深比漸漸變長後，改變三種坡度試驗條件之各週期反射率差距減小，且整體之反射率也漸漸降低，當縱深比為配置之最大比例(D3)時，三種坡度之反射率非常接近，其中坡度 1/8 較其他兩種坡度反射率略低一點，所以當縱深比固定時利用較緩之斜坡坡度，讓波浪能夠溯上、越波將可消減較多之波浪能量，以達到較佳之消波效果。

(2) 固定斜坡坡度且不同縱深比之討論比較

固定斜坡坡度時，各種試驗波浪條件作用於不同縱深比消波室之堤前反射率變化情形。就各固定斜坡坡度，進行三種不同縱深比之討論與比較。各迴歸反射率近似曲線彙整如圖 2.2.4 所示。

綜觀比較固定三種坡度的斜坡試驗改變縱深比 D1-D3 所得之結果，發現其整體反射率皆隨縱深比之增加而降低，只有在坡度 1/8 週期 3.4s 至 4.4s 間縱深比 D2 反射率低於縱深比 D3，大致上當固定斜坡坡度時以縱深比 D3 為最佳配置。

3. 水工模型試驗結果與討論

綜合上述的水工模型試驗可以得到以下結果：

(1) 短週期波作用於坡度較陡之斜坡，如果溯上能力不足，其順斜坡溯下之水流將會對於前方水域加以擾動，造成反射率之部分增大之現象。

(2) 當縱深比加大時，對整體造波週期而言，反射率皆有降低的趨勢。

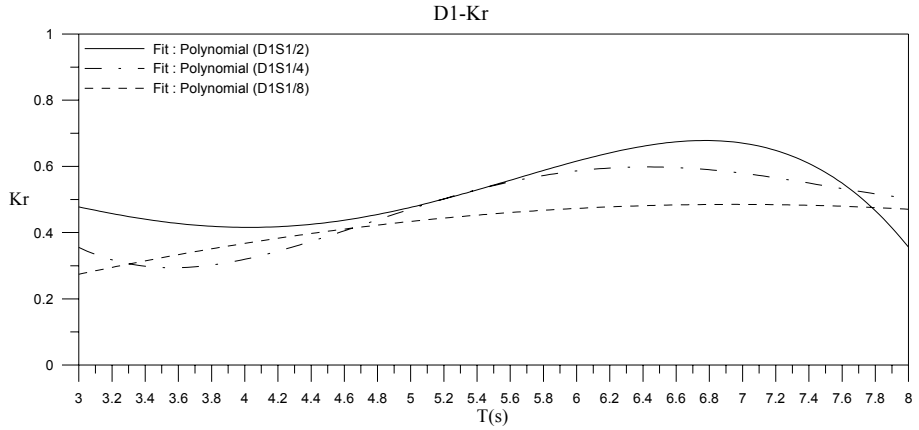
(3) 當縱深比為 D1 時，週期小於 5.0s 之反射率為坡度 1/2 > 1/8 > 1/4，週期大於 5.0s 之反射率為 1/2 >1/4 >1/8；當縱深比為 D2 時，週期小於 3.6s 與週期大於 5.8s 之反射率為坡度 1/2 >1/4 >1/8，在週期 3.8s 至 5.8s 時，反射率非常接近；當縱深比為 D3 時，縱深比 D3 時三種坡度之反射率趨勢相同，反射率約為 0.25 至 0.35。

(4) 斜坡坡度相同時，整體反射率與峰值隨著縱深比增加而降低，但發生的週期有後移之趨勢。

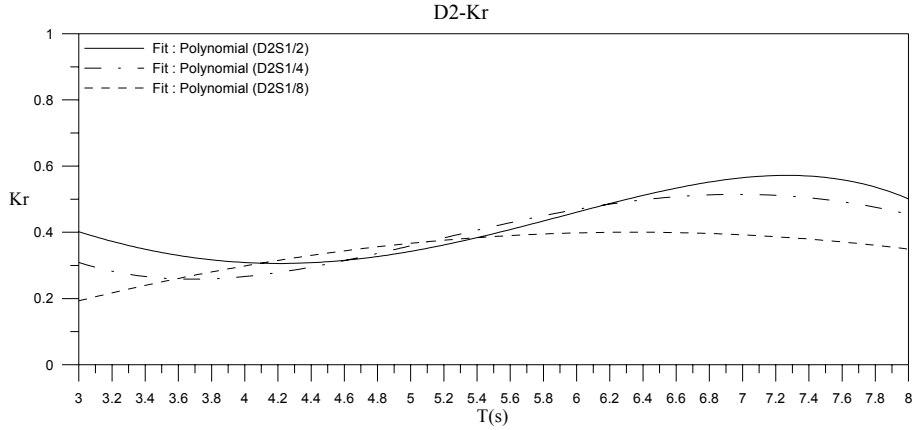
(5) 坡度 1/8 在縱深比 D2 週期 3.8s 時反射率小於縱深比 D1 和 D3 之最小值。

(6) 固定縱深比時以斜坡坡度 1/8 之消波效果最佳。

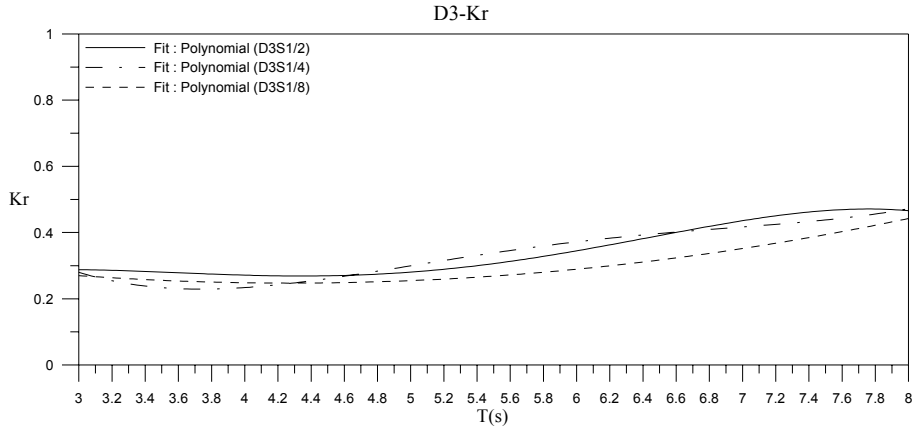
(7) 固定斜坡坡度時以縱深比 D3 之消波效果最佳。



（a） D1



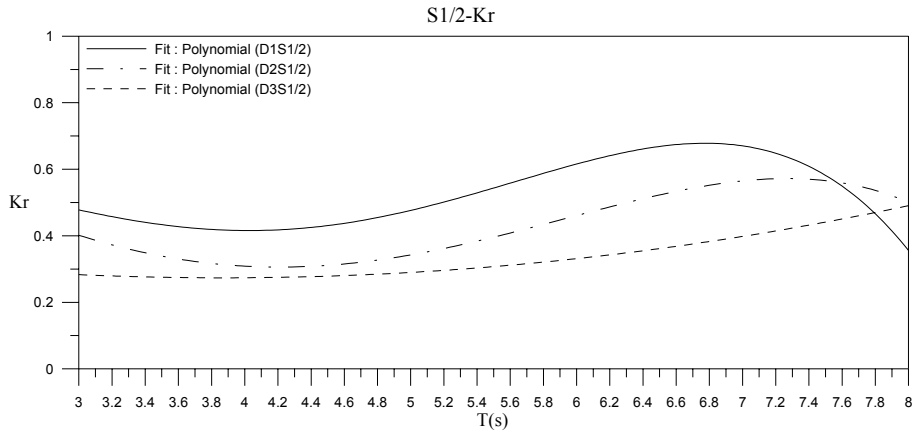
（b） D2



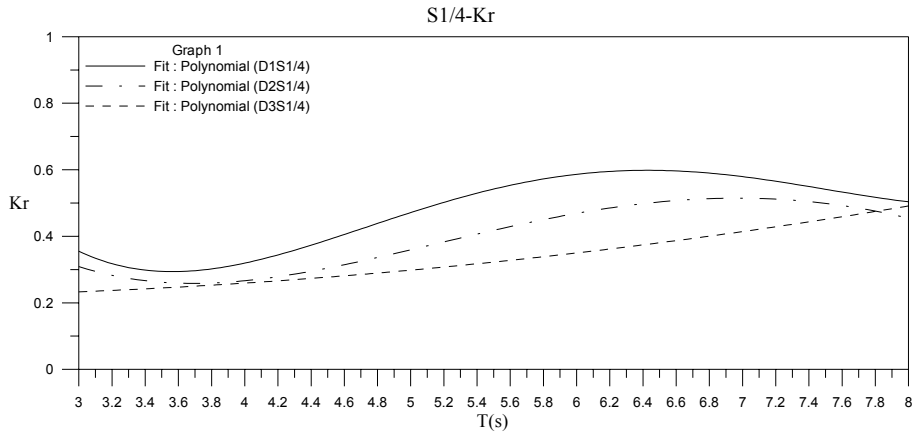
（c） D3

圖 2.2.3 固定縱深比之波浪與斜坡坡度之比較圖

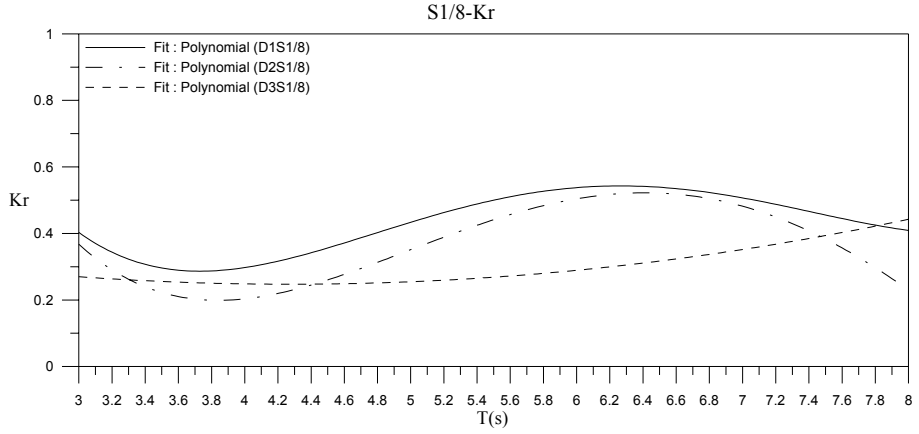
(a)縱深比 D1；(b)縱深比 D2；(c)縱深比 D3



（a） S1/2



（b） S1/4



（c） S1/8

圖 2.2.4 固定斜坡坡度之波浪與縱深比之比較圖

(a)坡度=1/2；(b)坡度=1/4；(c)坡度=1/8

2.3 數值模擬方法

1. 長週期波浪的數值模擬試驗

由於水工模型試驗在造波週期方面有其極限，無法充分模擬極長週期的造波條件。為了更深入了解長週期波浪作用於水力式消能碼頭，本研究嘗試使用 FLOW-3D 進行數值模擬。其目標是首先利用與水工模型試驗相同的造波條件與模型佈置進行數值模擬的比較與驗證，以了解 FLOW-3D 模擬水面波動即與結構物之互制行為的合理性;其次則將利用 FLOW-3D 進行更長週期的數值模擬,以了解長週期波動作用下新型消波式結構物的消波能力與其附近的水理現象。相關設定如下：

(1) 模型縮尺

選用與水工模型斷面試驗相同之模型縮尺為 1/36（即長度縮尺為 1/36、時間縮尺 1/6）。

(2) 試驗模型、水深與波浪條件

數值模擬採用與水工模型試驗相同之模型配置，如表 2.2.4 示，消波孔隙室中使用相同之塊石孔隙率為 0.35。

(3) 試驗地形設置與網格、波高擷取設定

如圖 2.3.1 示，模型設置於試驗地形上，試驗地形為一 20m 平台經由一 20m 斜坡連結造波機前方之水平段。網格設置基本為粗網格 8×8×8cm，並針對試驗模型配置進行網格加密即細網格以 1×1×1cm 進行計算，於平台上距試驗模型 2.5m、3.7m 與 4.9m 間距 1.2m 進行反射率波高擷取位置。

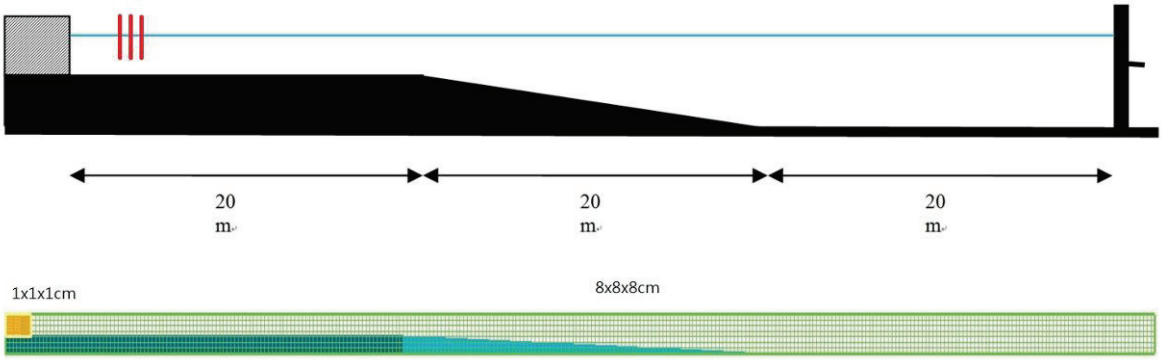


圖 2.3.1 試驗設置與網格設定圖

(4) 試驗結果綜合比較

A. 固定縱深比改變斜坡坡度比較

當固定縱深比改變斜坡坡度時三種斜坡坡度之反射率變化差距並不大且有許多相似的趨勢，見圖 2.3.2 圖 2.3.4 於縱深比 D1 時斜坡坡度較緩於 3.0s~4.0s 消波效果優於其他兩種坡度，坡度 1/2 於週期 3.0s~6.0s 之反射率最高，而於 7.0s~8.0s 時為最低其原因為坡度較緩的兩種配置因為消波式縱深較小，波浪進入後隨即反射且因斜坡高度較小所以少部分經由斜坡下滑至前方水面，故反射率高於斜坡坡度 1/2 之情形。

縱深比 D2 與 D3 於改變斜坡坡度後反射率變化趨勢相似，反射率約隨週期之增加由 0.1 變化至 0.4 左右，縱深比 D2 約在週期 5.0s 時反射率爬升至 0.4，而後變化趨緩有些許下降，縱深比 D3 則由週期 3.0s~8.0s 反射率平緩上升。

B. 固定斜坡坡度改變縱深比

當固定斜坡坡度改變縱深比由圖 2.3.5 圖 2.3.7 射率整體趨勢隨縱深比之增加而降低，固定斜坡坡度 1/2 時縱深比 D1 與 D2 之反射率於週期 5.0s 時差距最小約 0.2，而週期 3.0s 時差距為 0.4，縱深比 D2 與 D3 於週期 4.0s~5.0s 時反射率差距最大約為 0.2 且往兩側週期反射率降低。

固定斜坡坡度 1/4 時縱深比 D1 與 D2 之反射率於週期 5.0s 時差距最小約 0.2，而週期 3.0s 時差距為 0.45，縱深比 D2 與 D3 於週期 5.0s 時反射率差距最大約為 0.1 且往兩側週期反射率降低。

固定斜坡坡度 1/8 時縱深比 D1 與 D2 之反射率於週期 5.0s 時差距最小約 0.1，而週期 3.0s 時差距為 0.35，縱深比 D2 與 D3 於週期 5.0s 時反射率差距最大約為 0.2 且往兩側週期反射率降低。

長週期波浪作用於水力式消能碼頭改變縱深比、斜坡坡度與波浪條件，了解改變變數對於水力式消能碼頭前方式反射率變化情形，用以判斷其配置之消能效果，固定縱深比改變其斜坡坡度之各坡度反射率隨週期變化趨勢相似，固定斜坡坡度時縱深比的增加可使反射率隨週期變化的趨勢下降，利用縱深比來消減入射波波浪能量的效果較斜坡坡度之效果佳，而斜坡坡度延伸之高度對於水體運動於斜坡上是否越波有些微影響。

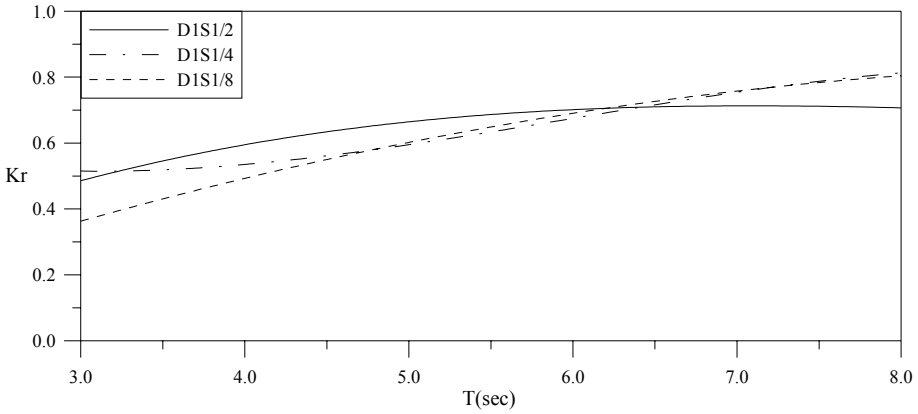


圖 2.3.2 縱深比 D1 時，不同斜坡坡度之數值模擬反射率比較圖

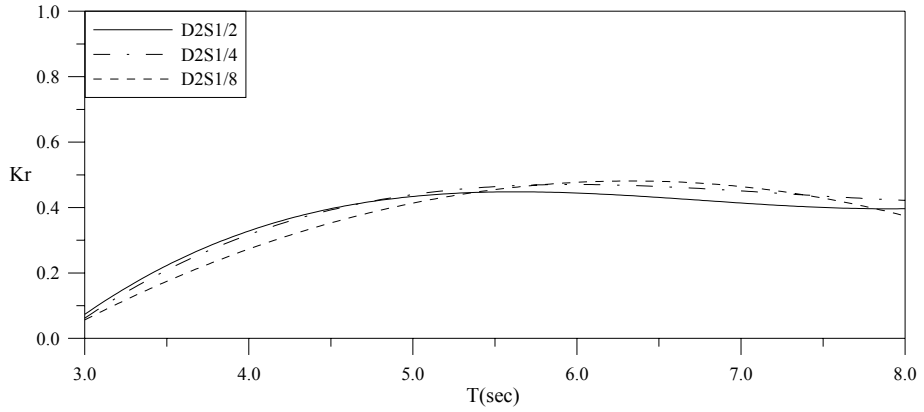


圖 2.3.3 縱深比 D2 時，不同斜坡坡度之數值模擬反射率比較圖

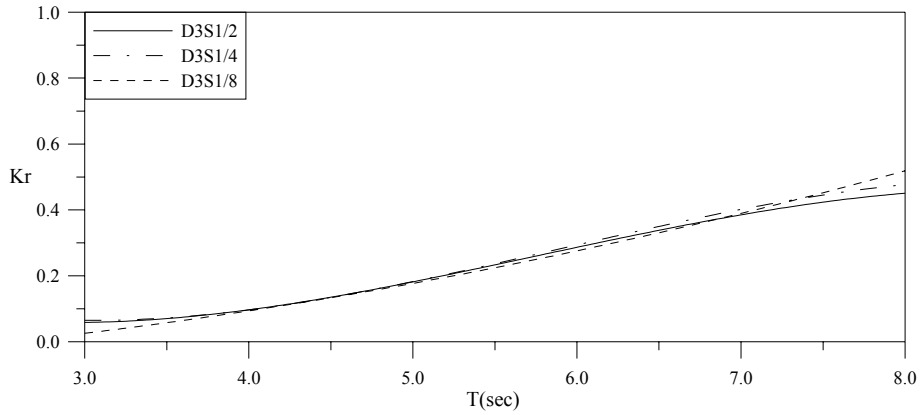


圖 2.3.4 深比 D3 時，不同斜坡坡度之數值模擬反射率比較圖

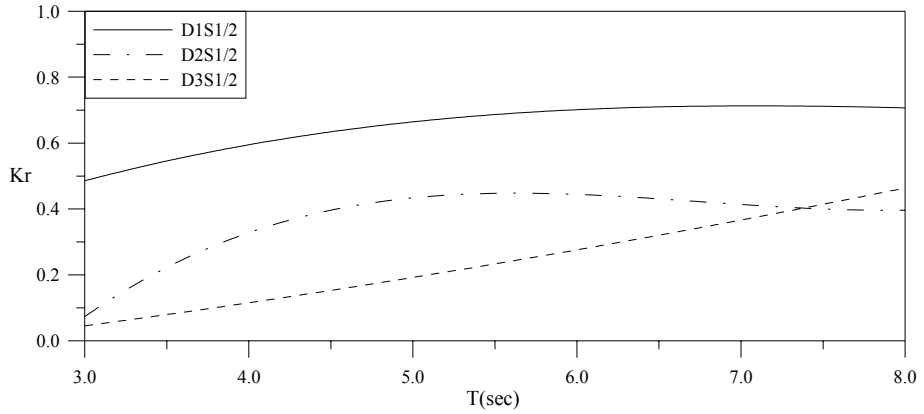


圖 2.3.5 斜坡坡度 S1/2 時，不同縱深比之數值模擬反射率比較圖

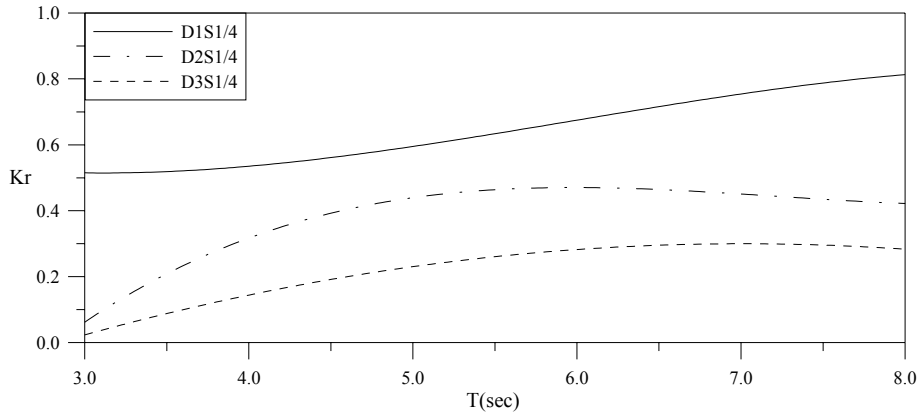


圖 2.3.6 斜坡坡度 S1/4 時，不同縱深比之數值模擬反射率比較圖

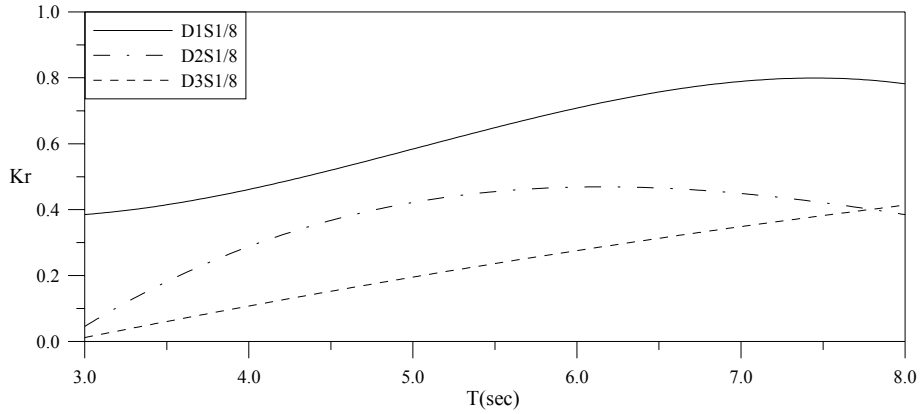


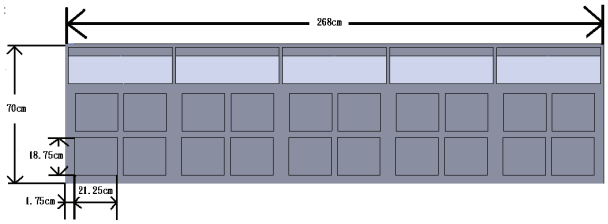
圖 2.3.7 斜坡坡度 S1/8 時，不同縱深比之數值模擬反射率比較圖

2. 平面水槽之數值模擬試驗

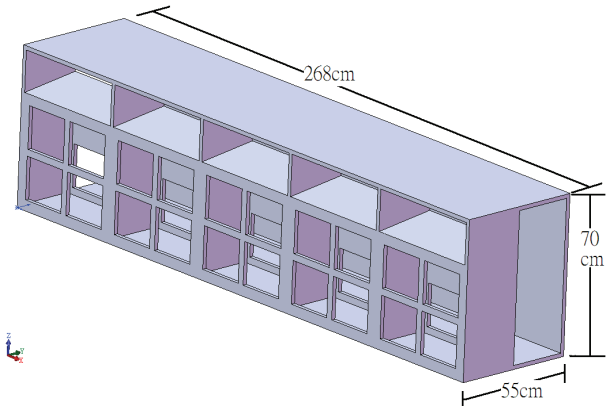
為了解具側向排水之新型消波式結構物，其消波能力與附近的水理現象。另為與前節結果做驗證，以及能契合實際狀況，除了沿用其相同之基本條件外，其他與數值模擬之相關設定如下：

(1) 數值模擬模型設定

採用由五個單一斷面模型，所組合而成 268×70×55cm 之模組化數值模擬模型，如圖 2.3.8 示。另為了往後探討多孔隙介質之效應，於中空之消波室嵌入如圖 2.3.9，孔隙係數 ε =0.35 之透水性介質。



(a) 正視圖



(b) 3D 立體圖

圖 2.3.8 組合式數值模擬模型及尺寸圖

(縱深比 $D1 = D_b / D_a = 1$，斜坡坡度比 S1/8)

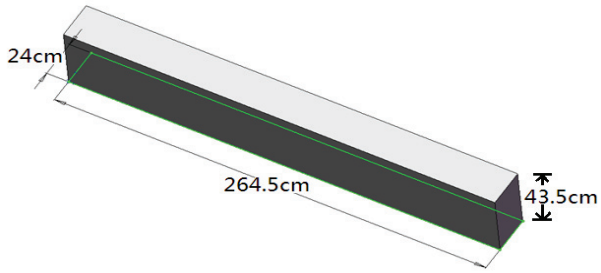


圖 2.3.9 嵌入組合式數值模擬模型之多孔隙介質外觀尺寸圖

(孔隙係數 ε =0.35)

(2) 試驗地形設置與網格、波高擷取設定

數值模型佈置如圖 2.3.10，模型設置於長度 20m 平台地形之一端，另一端為數值造波器之入射波端。

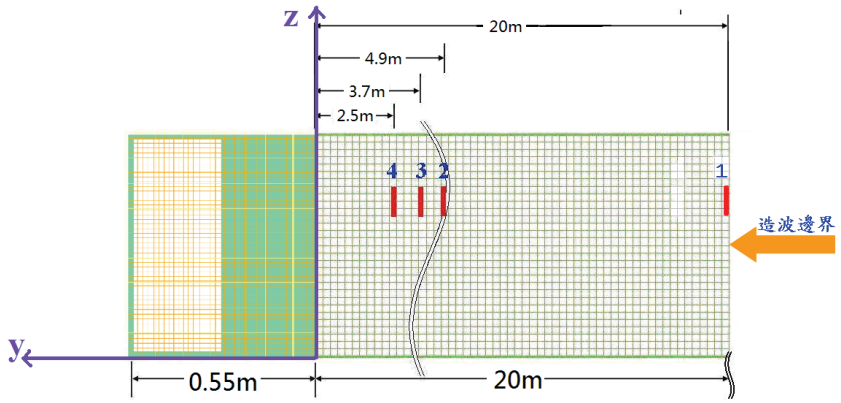


圖 2.3.10 y-z 平面網格配置及波高擷取位置示意圖

此外為了探討側向排水效應，設定如圖 2.3.11 之平面水槽(20.55×5.36m)，並將模型設置於各距二側壁面 1.34m 處，使模型可將前方之水流，從後方通道往 x 方向排水。

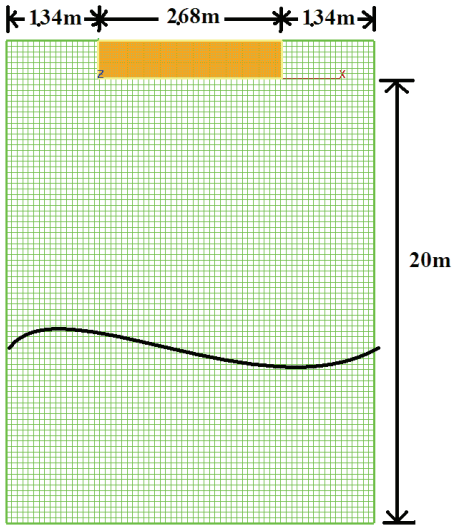
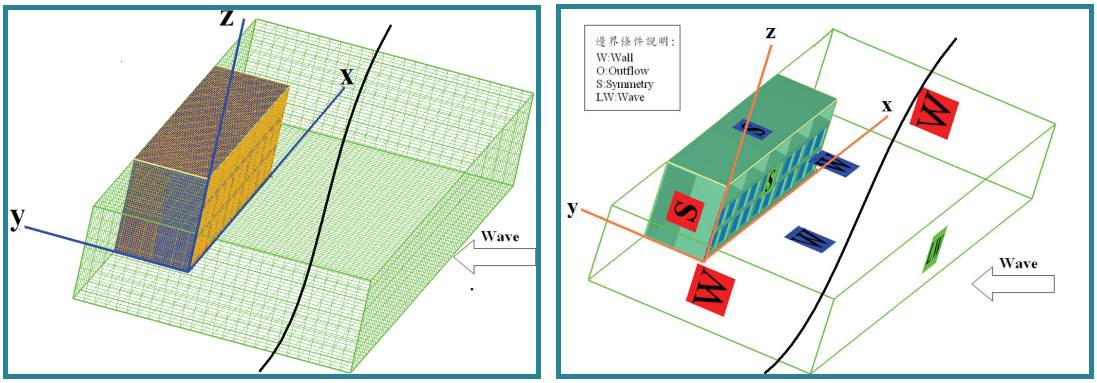


圖 2.3.11 y-z 平面網格配置

網格設置基本為粗網格 8×8×8cm，並針對試驗模型配置以 1×1×1cm 細網格予以加密，並構成如圖 2.3.12(a)所示之三維網格系統。此外設定如圖 2.3.12(b)所示之邊界條件進行計算。



(a) 3D 網格系統　　(b) 邊界條件之設定

圖 2.3.12 3D 計算領域示意圖

(3) 數值計算

將 FLOW-3D 計算所的資料進行輸出，並依據其網格中之網格佔水比例 f 值進行判斷，以求得水面波動情形，並將其繪製成原始時序圖，其波型變化如圖 2.3.13 所示。

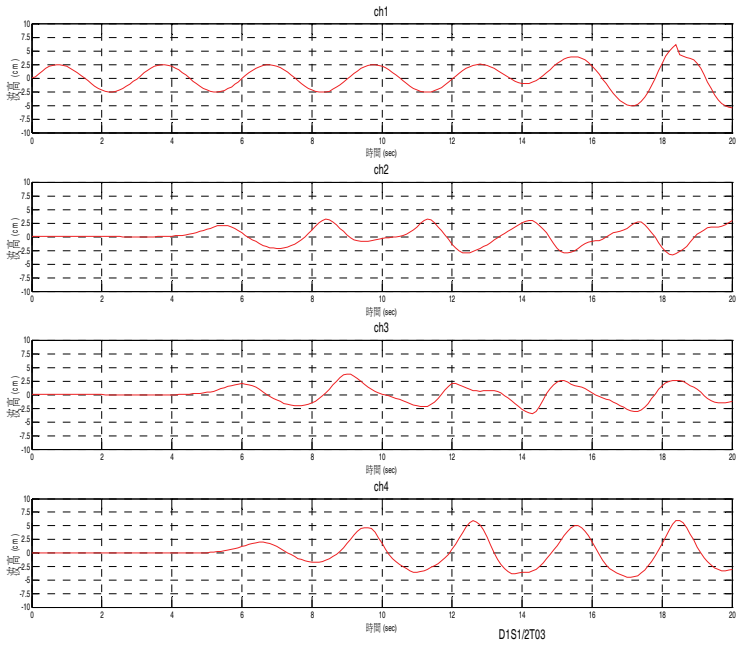
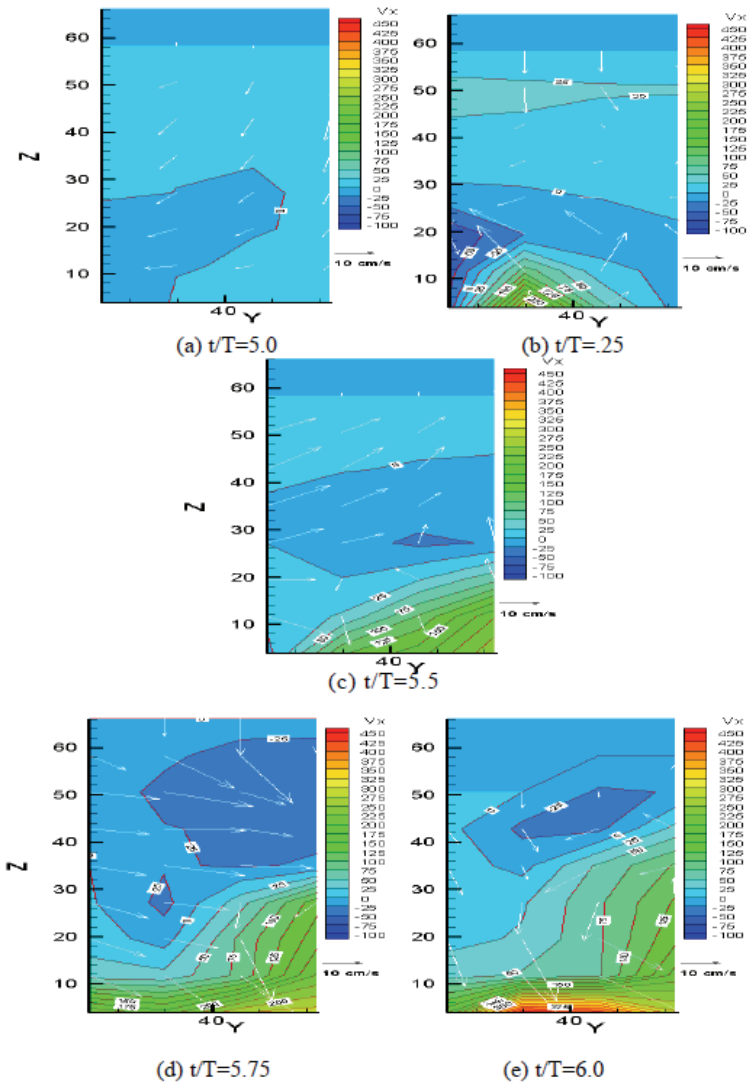


圖 2.3.13 平面水槽原始時序圖(縱深比 D1、斜坡坡度 1/2、週期 3.0s)

此外為探討側向排水效應與反射率間之相互關係，以取週期 3s、波高 5cm 及縱深比 D1 之情況下，在改變斜坡坡度時，比較組合模型及斷面模型間之反射率為計算案例，其計算結果如表 2.3.1 所示。由表可看出，側向排水之反射率較斷面模型之結果為高，其原因應為水道長度過短、計算時間過短所致。另外組合式模型中空消波室內之流場，乃由入射波方向往復進出之水流，及側向往復排進排出之水流所構成極為複雜之三維流場。若側向排水區與二側壁面間距過短(1.34m)，且排出水流速度過大時，撞擊側壁面之迴流勢必造成渦旋區，更增加模型附近流場之複雜度。吾人以表 2.3.1 中之配置代號 D1S1/2 為例，取正 x 軸排水區斷面處之等值側向速度(Vx)之時間序列示意圖，如圖 2.3.14 所示，即可印證上述現象。其中自時間 t=15 秒起，至一週期 3 秒(t=18 秒)止，其 1/4 波段做為時間序列，依序顯示 t/T=5.0, 5.25, 5.5, 5.75 及 6.0 之側向速度等值圖。另若 $V_x > 0$ 表水流流出消波室，反之 $V_x < 0$ 表水流流入消波室。自 t/T≧5.25 起消波室排水通道底部，已漸漸出現極強之正向排出速度，其正向極大速度值依時間序為 2.46, 2.88 及 4.48m/s。此時消波室上半區域，也同時出現負值之流入速度，依時間序為-0.31, -0.49 及-0.32m/s，此亦為產生渦旋之典型特徵。至於此現象如何影響反射率，應是個很值得深入探討的課題。

表 2.3.1 組合式及斷面模型反射率比較表

週期 (s)	波高 (cm)	配置代號	組合式模型 Kr 數值結果			斷面模型 Kr 數值結果
			ch2-ch3 Mean	ch2-ch4 Mean	ch3-ch4 Mean	
3.0	5.0	D1S1/2	0.987	0.426	0.679	0.48
		D1S1/4	0.974	0.345	0.571	0.51
		D1S1/8	0.910	0.412	0.589	0.36



(a) t/T=5.0 (b) t/T=.25

(c) t/T=5.5

(d) t/T=5.75 (e) t/T=6.0

圖 2.3.14 正 x 軸排水區斷面處之等值側向速度(Vx)時間序列示意圖

第三章 臨時簡易功能使用型消能構造之研究

部分港灣設施在使用上有的僅提供上、下貨或補給之功能，並不需完整提供避風、避浪的功能，而其使用上亦僅以平時季節風浪即可達到作業目的的需求，此類港灣設施實不需以傳統港灣結構物設計的方式加以構思。另外，臺灣位於颱風必經區域，部份海岸區域易因颱風波浪的衝擊而使得該區域短暫性的破壞，需以臨時性結構物加以補強，以防止其惡化。凡此種種結構物的功能需具備高機動性，佈設與拆卸須簡單、方便與迅速，而其功能主要抵擋季節風浪為主，並不需能具有抵抗颱風所引起的強浪，環顧相關的港灣結構物以浮式結構物最符合上述需求，其不僅具有上述功能，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。

3.1 繫留浮體水工模型實驗

主要是利用斷面水槽，在不同造波試驗條件下進行水工模型試驗，探討規則波通過繫留浮體在不同翼板長度及角度下之運動特性及反射率與透過率。

1. 實驗設備與儀器

(1) 所進行水工模型試驗的設備與儀器如照片 3.1.1 所示，斷面水槽長、寬、深分別為 50m×1m×0.8m。斷面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，以方便觀察實驗之進行過程。

(2) 使用的造波機為一吸能活塞式造波機，由電力驅動一變速馬達控制，造波板之前後最大位移為 30 公分。造波訊號由控制電腦及控制面板分別控制造波週期、波高，可製造規則波與不規則波，控制軟體使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。

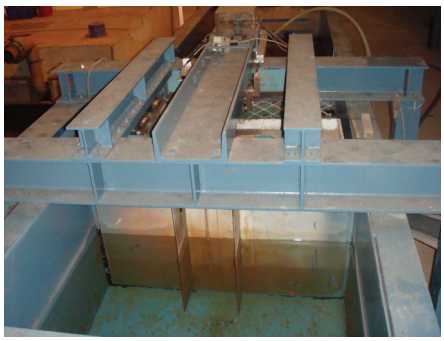
(3) 波高資料擷取設備包含容量式波高計、波高增幅器及波高資料擷取電腦軟體系統，水位變化由波高計量測得到後，經波高增幅器擴大訊號，再由類比-數位轉換系統轉換訊號到個人電腦中，並利用零上切法判斷波高變化，分析計算出入射波波高值。

(4) 變位計內部為碳刷，垂直與水平之變位計是利用線性的電壓變化進行量測，當測桿以軸向進行位移時，會改變其變位計之電壓值，而轉化成位移，水平位移擺設 50 公分之變位計，垂直位移擺設 20 公分之變位計，

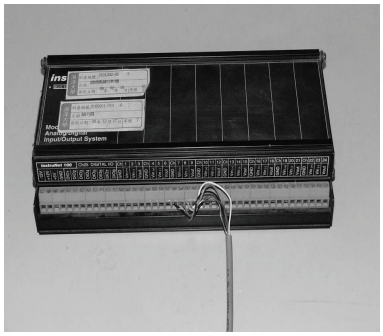
(5) 角度變位計可測得範圍是 0 到 180 度，其當擺動時會改變其電壓，以分析計算出擺動角度。

(a)斷面水槽

(b) 斷面水槽消波斜坡



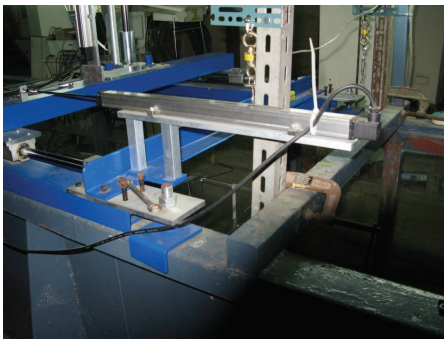
(c)造波機



(d)資料擷取系統硬體

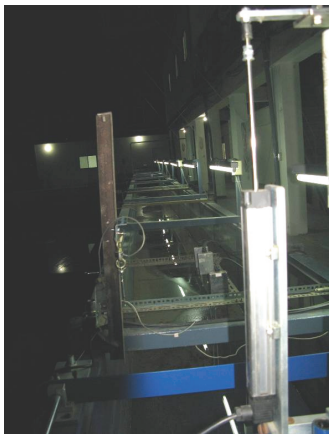
(e)波高計

(f)訊號增幅器



(g)水平變位計

(h)角度變位計



(i)垂直變位計

照片 3.1.1 試驗設備與儀器

2. 模型製作與佈置

(1)剛性翼板繫留浮體模型之製作

所使用的剛性翼板繫留浮體模型，分為主體及翼板兩部分，主體部分長 50 公分，寬 96 公分，高 20 公分，緊鄰斷面水槽兩側，為木板所製成，為避免木板吸水變形及進水，表面作基本的防水

處理，上漆乾燥之後使用矽膠在每一面的接縫由外而內加以塗抹。翼板部分由壓克力所製成，其向下的長度分別為 0、5、15、25 公分，角度為 0、30 度。如照片 3.1.2 所示為剛性繫留浮體模型。

照片 3.1.2 剛性翼板繫留浮體模型(0 度 25 公分)

(2) 模型佈置

水槽中之造波板至消波段長 35m，以模型中心為基準，將模型放置距造波板 21.5m 處，水深為 50cm，沒水深為 10cm；四條細鋼索固定位置具模型中心 0.5m，一端以繫節器連接彈簧固定於水槽底部，固定位置距離模型中心 50 公分處，彈簧預力為 1.4kg，彈簧 K 值為 0.089，繩索與水槽底部角度呈 60 度。斷面水槽模型配置圖如圖 3.1.1 所示。

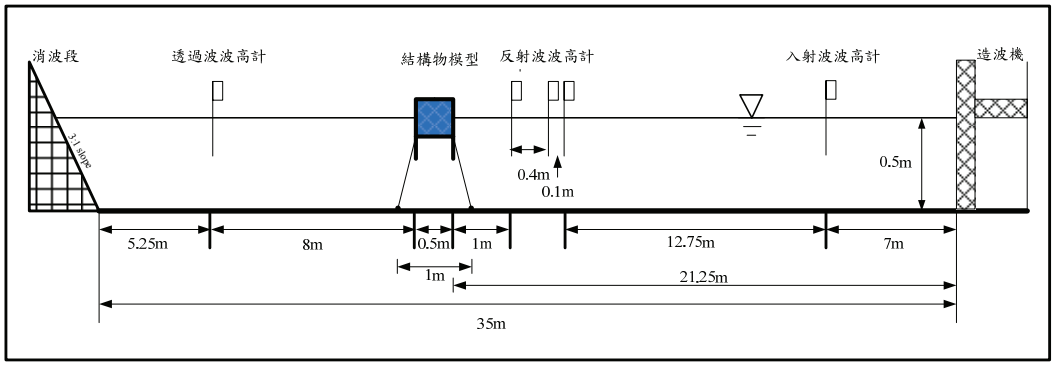


圖 3.1.1 斷面水槽模型配置圖

實驗水深為 0.5m，入射波波高計距造波板 7m 處，應用 Goda 等(1976)之兩點分離推定法量測反射率，反射率用波高計距離模型為 1m，透過波之波高計位置，需距離浮體 1.5 倍波長處，距離模型 10m。

(3) 波浪條件

試驗波浪條件為單一方向週期性規則波，週期由 0.8 秒至 2.5 秒，每一造波時間為 1 分 30 秒，如表 3.1.1 所示。

表 3.1.1 繫留浮體水工模型試驗條件

週 期 (s)	波 高 (cm)	試驗水深(cm)
0.8	6.0	50
0.9	6.1	
1.0	6.0	
1.1	6.0	
1.2	6.0	
1.4	6.0	
1.6	4.1	
1.8	5.0	
2.0	5.6	
2.2	6.0	
2.4	7.1	
2.5	7.0	

3.2 試驗結果與討論

試驗主要目的是探討相同水深下(h=0.5m)，以不同波浪條件，分別改變入射波浪條件、翼板的長度與角度。以探討在不同翼板長度與角度時，浮體的運動情形和反射率與無因次參數的關係。

1. 剛性翼板對繫留浮體之運動特性

運動特性包括水平、垂直與旋轉振幅，分別於圖 3.2.1 至圖 3.2.6 中所示。

圖 3.2.1 所示為剛性翼板繫留浮體在裝設垂直向下(0 度)之翼板，長度分別為 5、15、25cm 時，水平運動振幅之比較，並且與無翼板的情形作比對。其中 x 軸為無因次之週期，y 軸為無因次之水平振幅。

在無翼板與翼板 5 公分時，其自然振頻的位置並不明顯，而在 15 公分與 25 公分可發現其自然振頻的位置分別約在 1.25 及 0.8，可由圖中發現，翼板長度越長其自然振頻有越往低頻的趨勢。

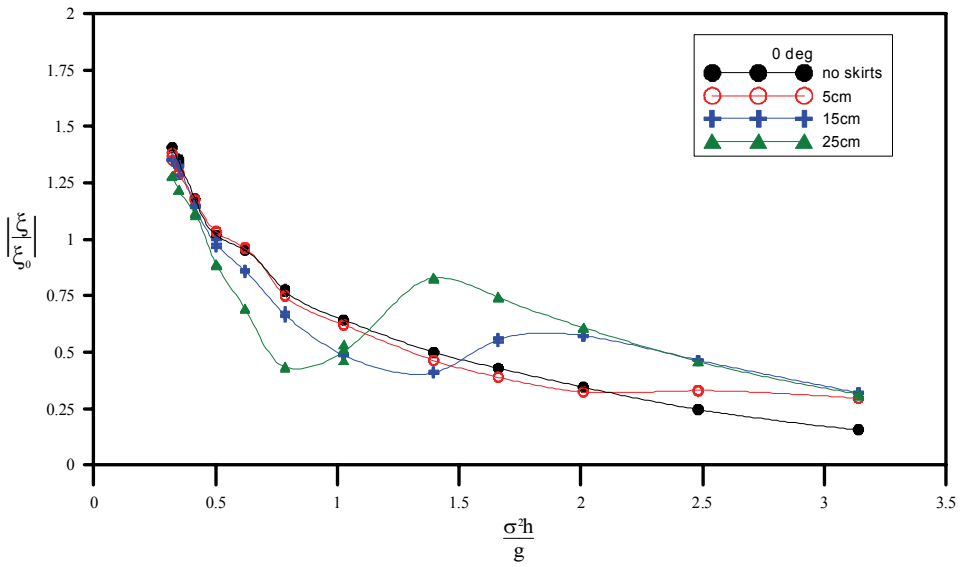


圖 3.2.1 剛性翼板繫留浮體 0 度水平振幅

圖 3.2.2 所示為剛性翼板繫留浮體翼板角度在 30 度時水平振幅之比較，其結果與翼板角度 0 度時的結果相似，其自然振頻同樣有隨翼板長度增加而往低頻的趨勢。

由圖中，在翼板長度 15cm 與 25cm 時之自然振頻分別約為 0.8 與 0.5，與翼板角度 0 度的結果相較下，在 30 度時浮體的自然振頻更往低頻靠近。

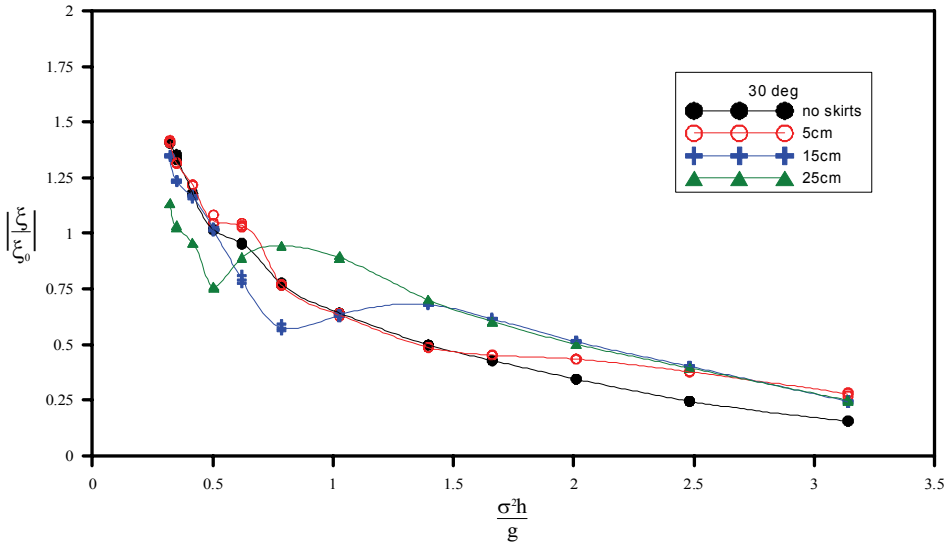


圖 3.2.2 剛性翼板繫留浮體 30 度水平振幅

圖 3.2.3 所示為翼板角度 0 度(垂直向下)時的垂直振幅，y 軸為無因次之垂直振幅。可發現在無翼板時，其自然振頻的位置並不明顯，而在裝設翼板後其最大垂直振幅，也就是自然振頻的位置，隨著翼板長度增加而往低頻的趨勢。

而在高頻的地方，可由圖中發現翼板長度越長，其水平振幅有越小趨向，顯示其較無翼板的繫留浮體而言，擁有較佳的消波能力。

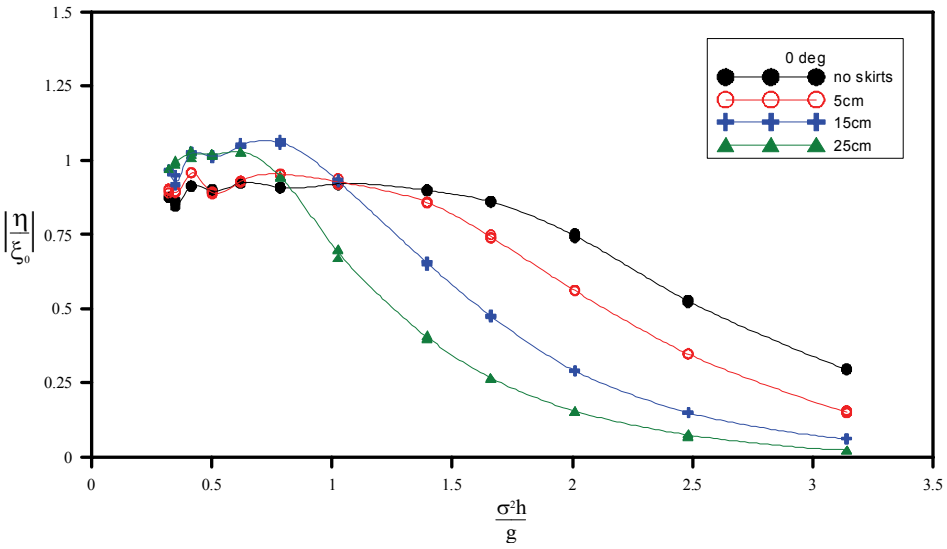


圖 3.2.3 剛性翼板繫留浮體 0 度垂直振幅

圖 3.2.4 所示為翼板角度為 30 度時的垂直振幅，與角度 0 度時結果相似，但翼板角度 30 度的自然振頻較 0 度的浮體更往長週期。

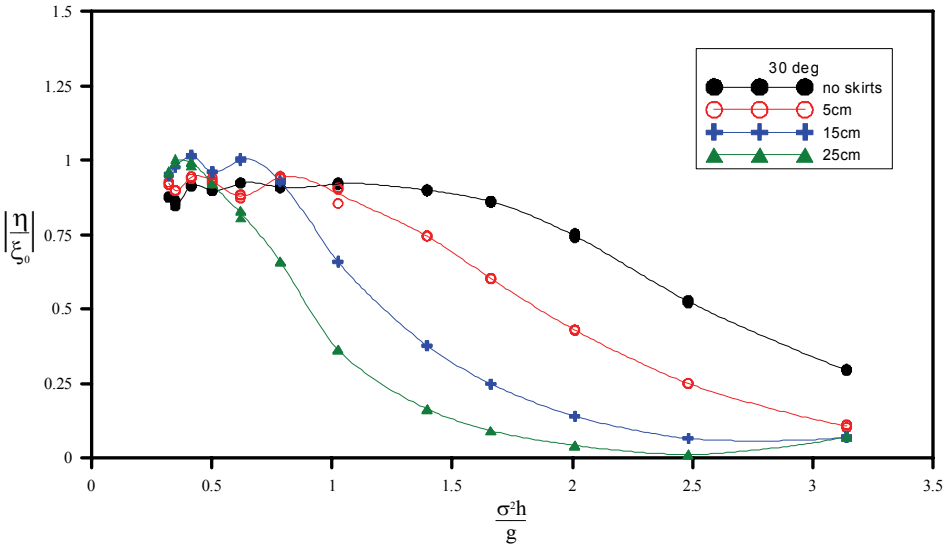


圖 3.2.4 剛性翼板繫留浮體 30 度垂直振幅

圖 3.2.5 所示為剛性翼板繫留浮體角度為 0 度時之旋轉振幅，y 軸為無因次之旋轉振幅，其旋轉振幅隨著翼板長度增加而有往低頻的趨勢。

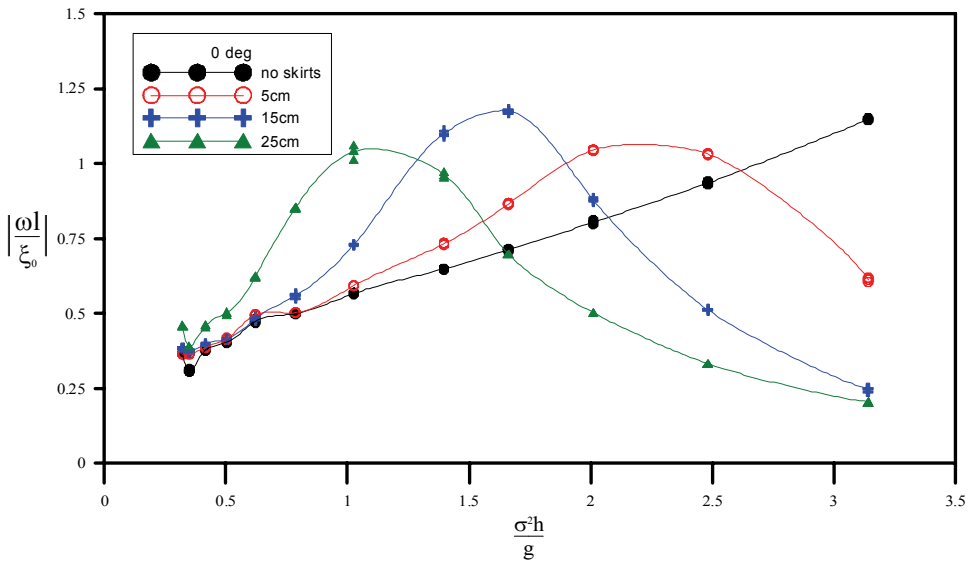


圖 3.2.5 剛性翼板繫留浮體 0 度旋轉振幅

圖 3.2.6 所示為剛性翼板繫留浮體角度為 30 度時之旋轉振幅，其旋轉振幅與 0 度時的特性相似，但其旋轉振幅較 0 度時來的小，其自然振頻也更往低頻靠近。

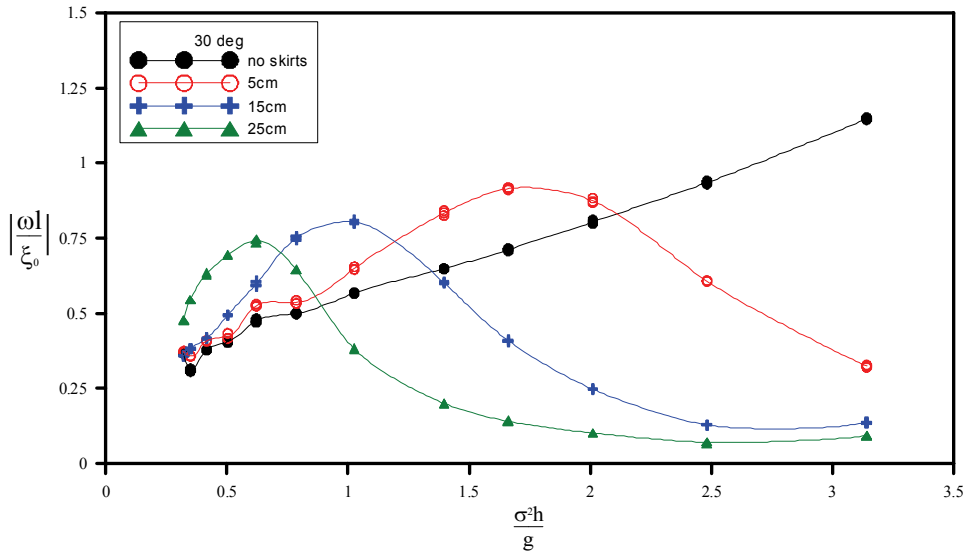


圖 3.2.6 剛性翼板繫留浮體 30 度旋轉振幅

2. 剛性翼板對繫留浮體之反射率

圖 3.2.7 所示為剛性翼板繫留浮體在翼板角度為 0 度時的反射率，y 軸為反射率。一般而言，浮式結構物的對波浪的反射效果與其斷面尺

寸與質量有相當大的關係，斷面尺寸或重量越大，則所得的反射率越大，因此在某一固定斷面或重量下，浮式結構物對越短週期的波浪具有越大的反射效果，如圖 3.2.7 所示，在無翼板情況下(實心圓點)，其反射率隨著入射波長的變短，反射率則逐漸增大。當浮體下方具有一固定剛性翼板時，浮體對波浪的反射率有增大的情形，同時試驗結果亦顯示當翼板增長時，其反射率亦呈增大趨勢。

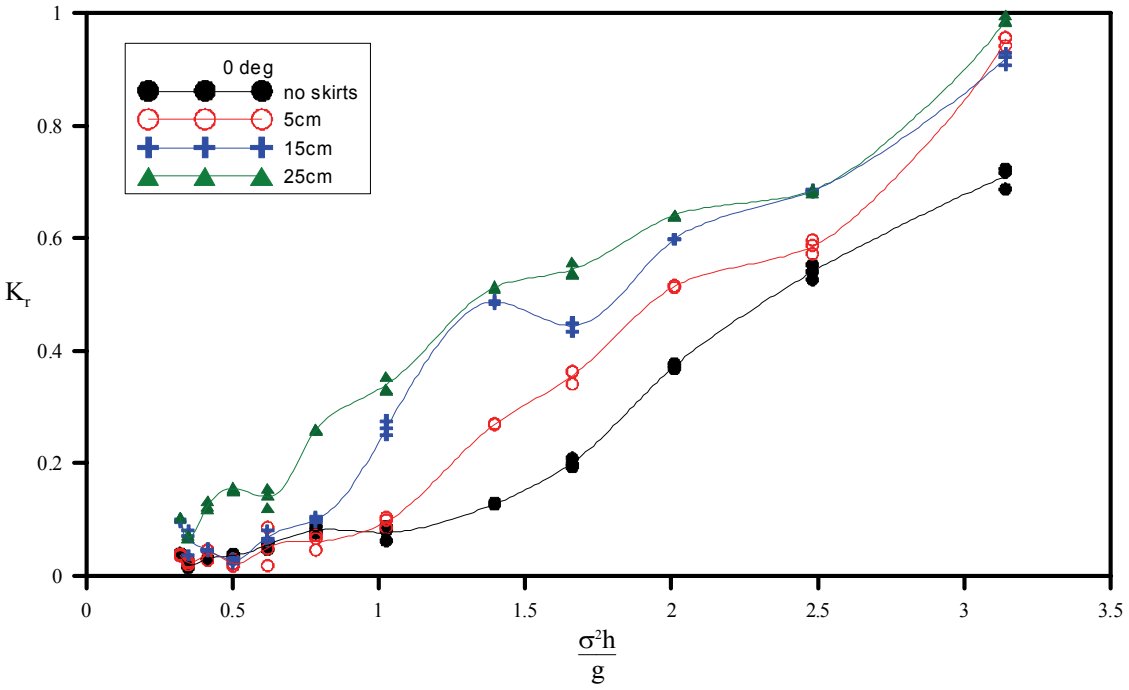


圖 3.2.7 剛性翼板繫留浮體 0 度反射率

圖 3.2.8 所示為剛性翼板繫留浮體在翼板角度為 30 度時的反射率，其反射率與入射波週期及翼板長度間之關係大致與翼板角度 0 度時的結果相似，即翼板增長將提升其反射率，同時與垂直翼板(圖 3.2.7)的反射率比較結果，其在高頻的地方，無因次週期約在 0.75 至 1.75 之間，其翼板傾斜 30 度時有較佳的反射率。

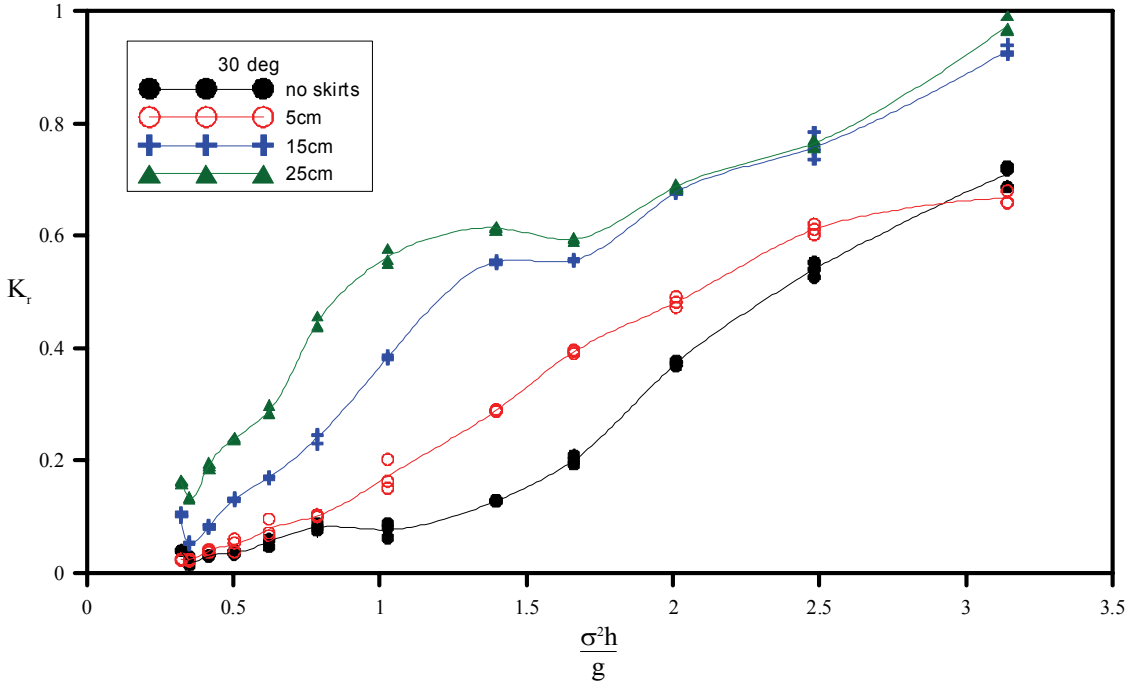


圖 3.2.8 剛性翼板繫留浮體 30 度反射率

第四章 環境保護型消能構造之研究

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 4.1.1 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 4.1.2 至圖 4.1.4 所示。

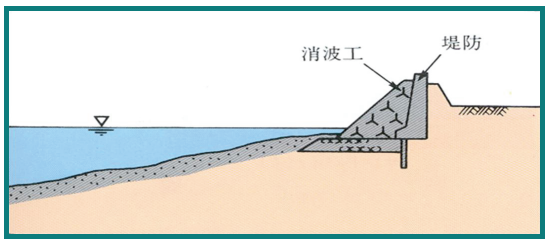


圖 4.1.1(a) 過去傳統保護海岸的工法

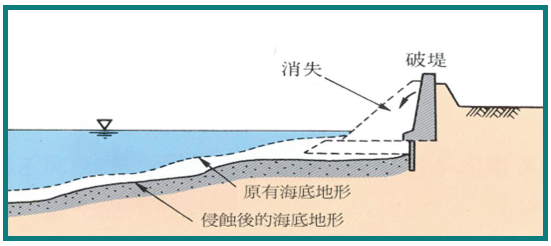


圖 4.1.1(b) 波浪直接衝擊消波塊

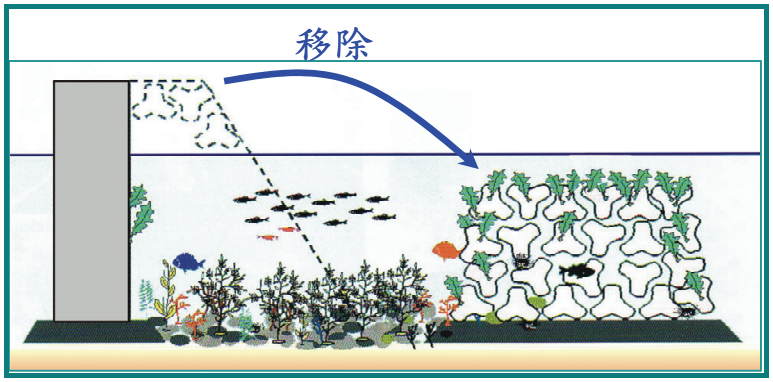


圖 4.1.2 生態型潛礁示意圖

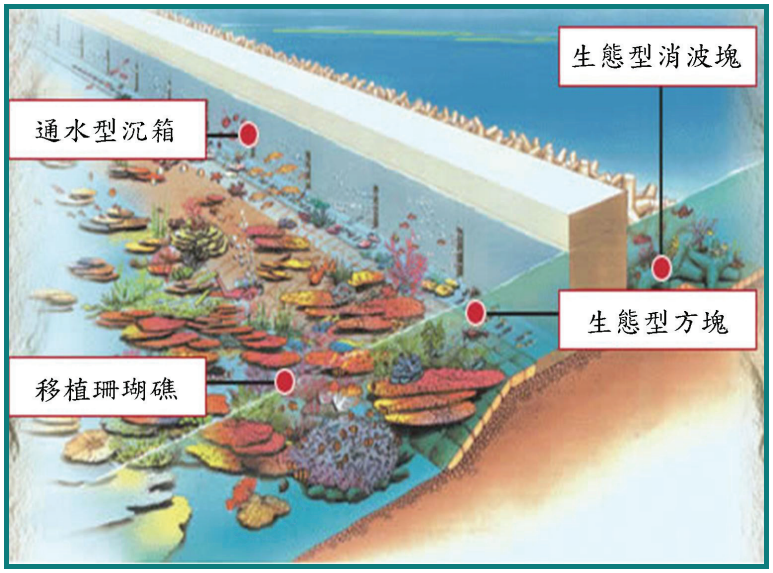


圖 4.1.3 珊瑚移植示意圖(日本平良港)

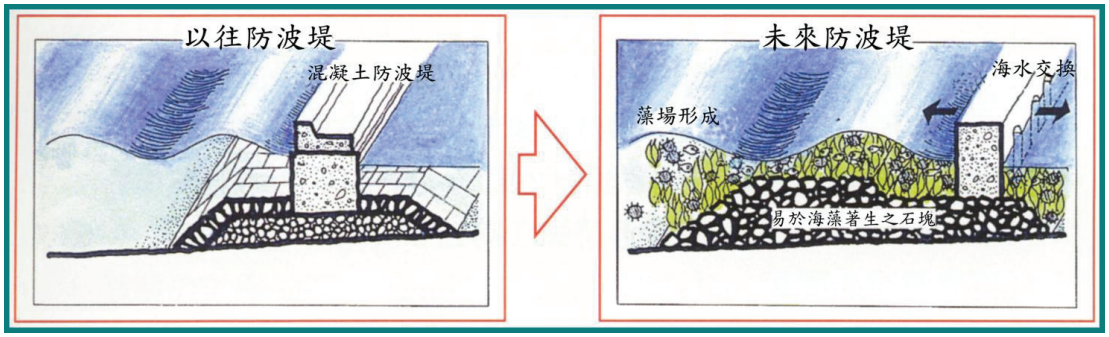


圖 4.1.4 未來防坡堤示意圖

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 4.1.5 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。

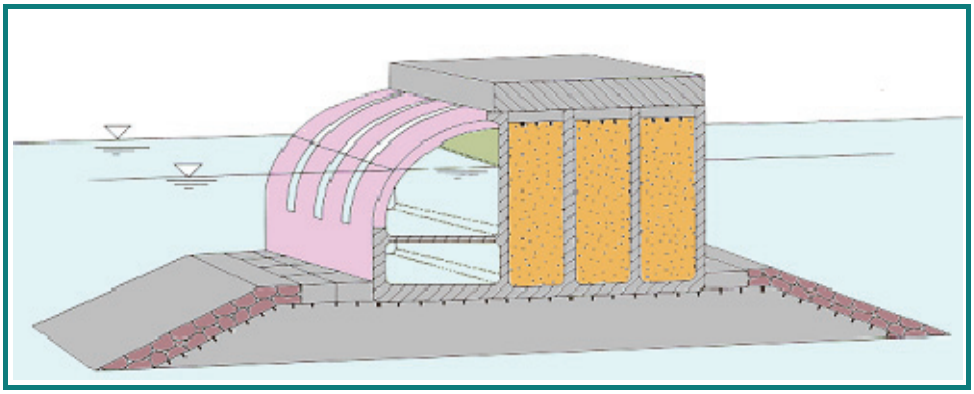
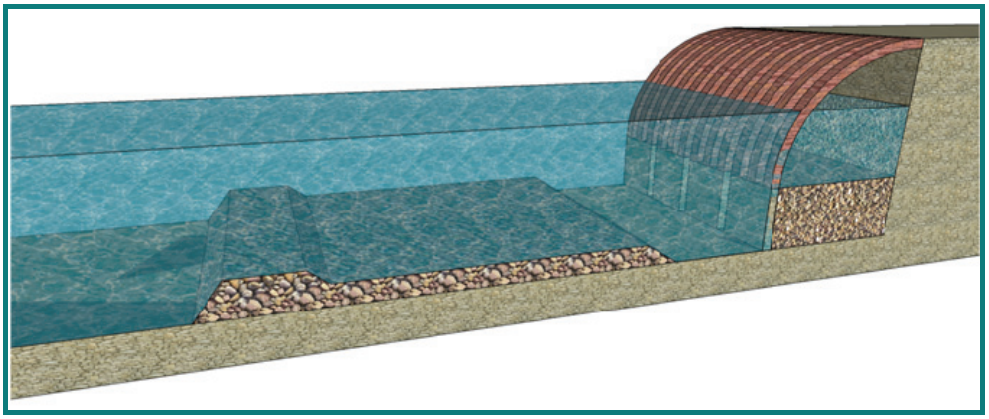
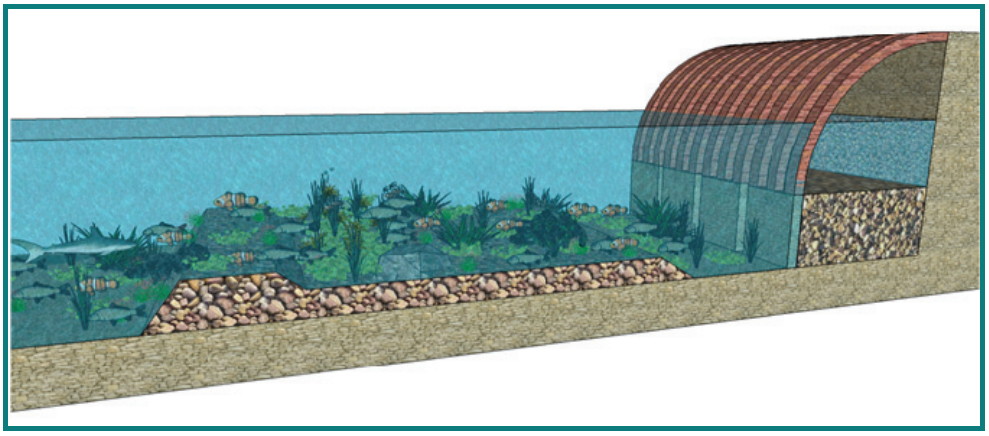


圖 4.1.5 凸型曲面防波堤構造示意圖

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。本文環境保護型消能結構物，其示意圖及未來願景模擬可以圖 4.1.6 表示。



(a)環境保護型(曲面開孔、拋石、分開式)



(b)未來願景模擬

圖 4.1.6 環境保護型消能結構物

4.2 水工模型試驗

本節主要是利用斷面水槽，在不同造波試驗條件下進行水工模型試驗，探討規則波通過環境保護型結構物消能特性，量測四分之一圓弧曲面板上與後方直立岸壁（不透水）之波壓分佈大小，並討論透水潛堤前方反射率大小等現象。

1. 模型製作與佈置

各波高計架設於造波水槽中之位置如圖 4.2.1 所示。在不透水岸壁上相對水深 z/h 為 0.085、0.025、-0.055、-0.5、-0.7 的位置，安裝 5 個壓力計其編號以 1~5 表示;在四分之一圓弧形孔隙板上相對水深 z/h 為-0.39、-0.14、0、0.12、0.23、0.264 的位置，安裝 6 個壓力計其編號以 6~11 表示（試驗水深 h 為 50cm），來探討曲面孔隙板上與直立岸壁上之波壓力大小。其壓力計安裝位置如圖 4.2.2 所示。水工模型圓弧板上壓力計安裝如照片 4.2.1 所示。

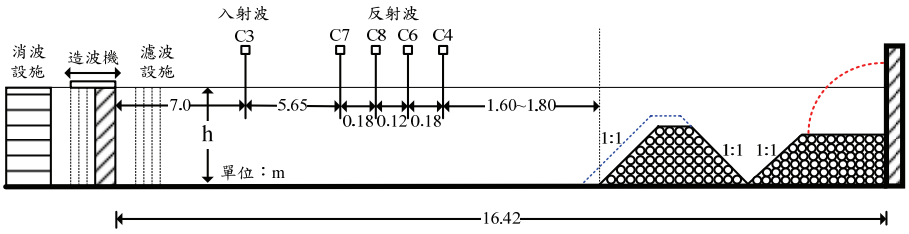


圖 4.2.1 定床斷面造波水槽波高計配置示意圖(連結式 S/h=0)

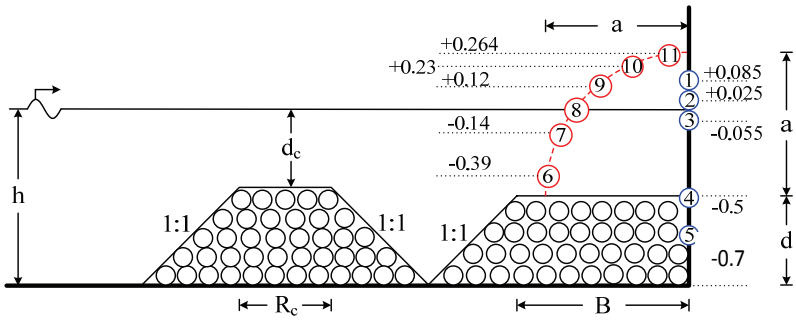
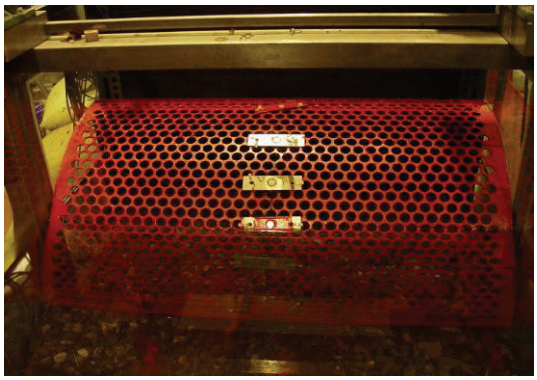


圖 4.2.2 壓力計安裝位置(試驗水深 h=50cm)



照片 4.2.1 水工模型圓弧板上壓力計安裝照片

2. 試驗條件

本試驗為定床等水深之試驗，試驗水深為 50cm，所造波形為規則波，造波週期共有 8 組（T=0.7sec~T=1.7sec），試驗條件如表 4.2.1 所示。

表 4.2.1 水工模型造波試驗條件表

T（sec）	σ^2h/g	kh	L（cm）	H（cm）	H/L	h/L	Ur
0.7	4.11	4.11	76.2	2.29	0.03	0.65	0.11
0.75	3.58	3.58	87.6	2.63	0.03	0.57	0.16
0.8	3.14	3.16	99.5	2.98	0.03	0.50	0.24
0.9	2.48	2.52	124.8	3.74	0.03	0.40	0.47
1.0	2.01	2.08	151.0	4.50	0.03	0.33	0.82
1.1	1.66	1.76	178.1	5.34	0.03	0.28	1.36
1.2	1.40	1.54	204.0	6.12	0.03	0.25	2.04
1.7	0.70	0.95	332.0	9.96	0.03	0.15	8.78

註：0.05 L_{max}=16.6 cm　　0.45 L_{min}=34.3 cm

模型配置中，直立岸壁前方梯形透水潛堤其相對堤頂寬固定為 B/h =0.44，相對堤頂高固定為 d/h =0.5，邊坡固定為 1：1，而上方四分之一圓弧曲面板半徑水深比固定為 a/h = 0.764。主要是改變前方第一道梯形潛堤相對堤寬 R_c/h 有二組 R_c/h = 0.4，0.6；相對沒水深二組 d_c/h =0.3，0.4；兩道潛堤間距有三組 S/h = 0（連結式）、0.5、1.0（分開式）。而水工模型試驗中波浪通過環境保護型消波結構物如表 4.2.2 所示。其中 d_{c1}/L、d_{c2}/L 分別表示堤頂沒水深 15 cm、20 cm 與入射波長之比；而 R_{c1}/L、R_{c2}/L 分別表示堤頂寬 20 cm、30 cm 與入射波長之比。

表 4.2.2 波浪通過環境保護型消能結構物之波浪條件(h=50 cm)

T（sec）	H（cm）	d_{c1}/L	d_{c2}/L	R_{c1}/L	R_{c2}/L
0.7	2.29	0.20	0.26	0.26	0.39
0.75	2.63	0.17	0.23	0.23	0.34
0.8	2.98	0.15	0.20	0.20	0.30
0.9	3.74	0.12	0.16	0.16	0.24
1.0	4.50	0.10	0.13	0.13	0.20
1.1	5.34	0.08	0.11	0.11	0.17
1.2	6.12	0.07	0.10	0.10	0.15
1.7	9.96	0.05	0.06	0.06	0.09

註：d_{c1}=15 cm，d_{c2}=20 cm　　R_{c1}=20 cm，R_{c2}=30 cm

4.3 水工模型試驗與數值計算結果與分析

將每次水工模型試驗所得 8 組反射率值，繪成如圖 4.4.1 至圖 4.4.3 所示，其中縱座標表示反射率，橫座標以無因次週波數（kh）表示。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，紅色符號●則為各次試驗中，所求得之反射率平均值以$|R|_{AVG}$表示，實線部分（ ── ）則為本文數值解。

1. 連結式雙潛堤反射率分析與討論

圖 4.3.1（a）顯示在配置（I）第一道潛堤相對沒水深 $d_c/h=0.4$，相對堤寬 $R_c/h=0.4$ 固定下，探討水工模型試驗反射率|R|變化與無因次週波數 kh 之關係。水工模型試驗結果發現，在 kh=0.95 （相當於週期 T=1.7sec）至 kh=2.52（T=0.9sec）中間性波部份，反射率先行下降而後上升，最小值$|R|_{min}=0.32$ 發生在 kh=1.54（T=1.2sec）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，以及兩潛堤邊坡間遊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=0.9sec）時，反射率卻逐漸上升至 0.77，顯示此配置堤頂沒水深 d_c 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 sec）至 kh=4.11（T=0.7 sec）深水波部份，反射率由 0.62 略微下降至 0.52 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 $d_c/h=0.4$，增加相對堤寬為 $R_c/h=0.6$ 即配置（II），此時反射率變化如圖 4.3.1（b）所示，由於堤寬從 20cm 僅增加為 30 cm，但相對於入射波長比仍太小，因此反射率變化與圖 4.3.1（a）比較差異不大，此時在 kh=1.54~2.08 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（即相對沒水深減少為 $d_c/h=0.3$；水下 15 cm），再次進行配置（III）、（IV）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

離變長、空間變大，消能效果增加，因此在 kh=0.95~2.52 間中間性波，反射率值會降低，其值皆小於 0.5，有一定之消能效果（如圖 4.3.1（c）、（d）所示）。

連結式雙潛堤（s/h=0）經由數值計算結果顯示：不論採用何種配置，反射率都會先急速下降至一最小值，而後隨著 kh 增加，反射率略為上升後再下降至另一最低點，kh>π（深水波）之後反射率值波動變化較不明顯，會漸漸趨於一穩定值。當堤高、堤寬增加其最小反射率值發生在 kh=0.46 及 1.61 之處，值分別為$|R|_{min}$=0.359 與 0.287，經由換算第一道堤前趾至岸壁距離（D）與入射波長之比大約在 D/L=0.25 及 0.86 處。

2. 分開式雙潛堤反射率分析與討論

改變第一道潛堤與第二道潛堤間堤趾之距離 S 分別為 25cm，50cm，其相對無因次堤距水深比為 S/h=0.5、1.0，本文稱為分開式雙潛堤配置。波浪通過時反射率與 kh 之關係如圖 4.3.2 至圖 4.3.3 所示。

當雙潛堤間距較小時（S/h=0.5），整體反射率變化趨勢在中間性波浪區間（kh=0.95~2.52）反射率平均值介於 0.29~0.49，而且在週期 T=1.7 sec（kh=0.95）不論是堤高加大、堤寬加厚，均會得到較小反射率。而在深水波區間（kh>π），反射率平均值大於 0.5 以上機會較多。

若雙潛堤間距拉大至 S/h=1.0 時，表示潛堤間遊水室空間變大，波浪可以利用此空間及潛堤上方水域來作消能，試驗結果如圖 4.3.3 所示，不論何種配置下，由圖明顯看出在長週期波下（T=1.7 sec，kh=0.95）都會有最小反射率值，而且其值會隨著潛堤寬度、高度之增加而下降。在短週期波下（T=0.7 sec，kh=4.11），由於波浪能量大多集中於水面附近，較無法感應到雙潛堤存在，波浪大多從潛堤上方通過，僅有部份進入透水潛堤內，因此消能效果有限，所以反射率會有較大值。

若採用分開式潛堤（s/h≠0）數值計算結果顯示：反射率整體變化

趨勢與連結式很相似，同樣隨著潛堤配置改變都會有二個最小反射率值出現，但是從數值計算結果分析除了反射率值會降低外，發生最小反射率值之位置有漸漸往長週期波（kh 較小）處移動，當堤高、堤寬增加其最小反射率值發生在 kh=0.37 及 1.23 之處，值分別為$|R|_{min}$=0.472 與 0.128，經由換算第一道堤前趾至岸壁距離（D）與入射波長之比大約在 D/L=0.26 及 0.85 處。

3. 直立岸壁波壓力分析與討論

直立岸壁壓力計共安裝 5 組，分別位於水面上+4.25cm、+1.25cm、水面下-2.75cm、-25cm 及 35cm，其無因次水深比分別為 z/h=0.085、0.025、-0.055、-0.5 及-0.7，編號為 P_1 至 P_5。本文所有壓力計量測到壓力 P 值均作無因次化，無因次波壓力是利用 P 值除以各個不同造波週期的波高作無因次化。其試驗結果如圖 4.3.4 至圖 4.3.5 所示(圖中實線為 Sainflou 公式計算結果；◆為試驗值)。

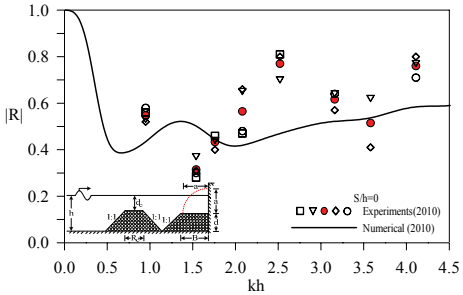
圖 4.3.4 採用連結式雙潛堤配置時，由於有第一道透水潛堤阻擋，波浪通過後作用到直立岸壁波壓力會明顯降低，都比 Sainflou 重複波壓力小，其最大波壓力值發生在水面附近（編號 P_2）；而且壓力會隨著水深漸增壓力漸減；另外，在週期比 T=1.2sec 小之波浪作用，壓力變化差異不大且較無規則性，但在週期 T=1.7sec，直立壁無因次波壓力會隨著堤高、堤寬增加從 P/ρgH=0.723 而下降至 P/ρgH=0.693。

採用分開式雙潛堤配置時，直立岸壁最大波壓與 Sainflou 重複波壓比較如圖 4.3.5 所示。波壓力分佈趨勢與連結式很相似；同樣最大波壓力值發生在水面附近（編號 P_2）；而且壓力會隨著水深漸增壓力漸減；週期 T=1.2sec 以下，採用分開式雙潛堤配置下直立岸壁波壓較連結式為小；但是長週期 T=1.7sec 採用分開式配置，直立岸壁波壓力反而變大，即使堤高堤厚增加，無因次最大波壓力值會從 P/ρgH=0.693（連結式）增加至 P/ρgH=0.833（分開式）。

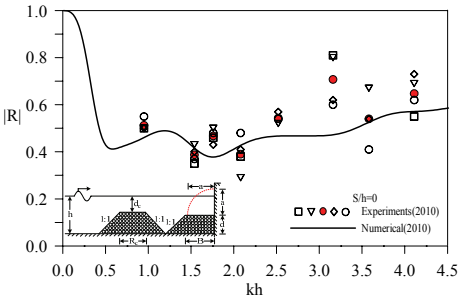
4. 四分之一圓弧板波壓力分析與討論

採用連結式雙潛堤配置時如圖 4.3.6 所示，前面 7 組試驗中，波浪週期 T=0.7 sec 至 T=1.2 sec，由於波高較小，加上圓弧型上孔洞作用，波浪溯上時會有部分波浪落入孔洞中，因此大大降低波浪溯升高，水面上波壓計編號 P_9 至 P_{11} 完全量測不到波浪作用力，因此所測得壓力為零，而且以位於水面下-7cm（編號 P_7）可以量測到最大波壓力；但是最大無因次波壓力 P/ρgH 都小於 1.0。可是當最後一組試驗造波週期 1.7 秒之波浪，由於其波長較長而且波高較大，波浪沿著圓弧板溯上，會直接作用到相對位置較高的壓力計上（P_9），因此會有壓力值，此時壓力以位水面附近（編號 P_7、P_8、P_9）會有最大壓力；最大無因次波壓力 P/ρgH 約為 0.542。而編號 P_{10}、P_{11} 壓力計則位於水面上較高處，完全量不到波壓力。試驗進行中亦發現，長週期波浪進入孔洞中後碰到直立岸壁後，由於大量水體堆積，水位抬升，波浪作用後會有一股水流沿著直立壁往圓弧板上方噴出現象。

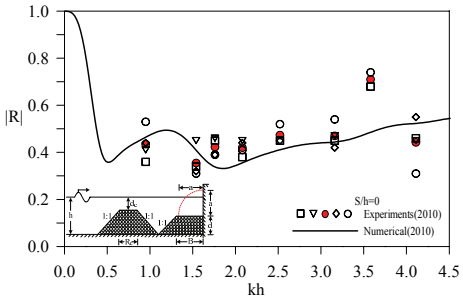
採用分開式雙潛堤配置時，波浪作用於四分之一圓弧板上波壓力分佈如圖 4.3.7 所示，其趨勢上大致與連結式波壓力分佈很相似，但是比較試驗無因次波壓力值結果，可以發現前面 7 組試驗中，編號 P_9 至 P_{11} 壓力作用不到同樣為零；水面下編號 P_7 壓力計量測到最大波壓力；但是其壓力值與連結式壓力值作比較後發現偏小，但是最後一組長週期波試驗，卻發現大部份最大無因次波壓力值會變大。



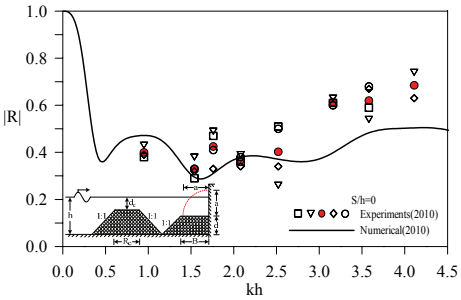
$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.4$ （配置 I）



$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.4$ （配置 II）

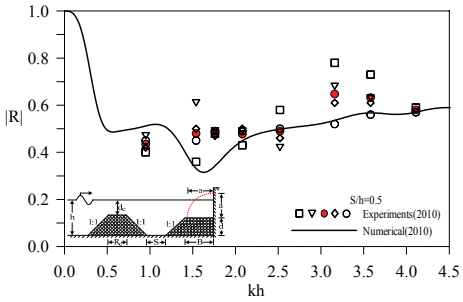


$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.3$ （配置 III）

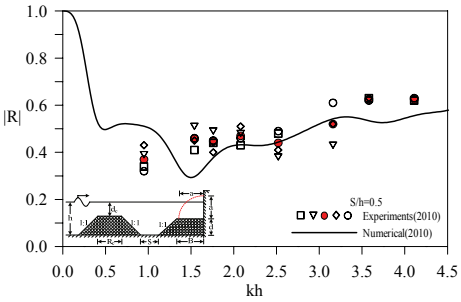


$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.3$ （配置 IV）

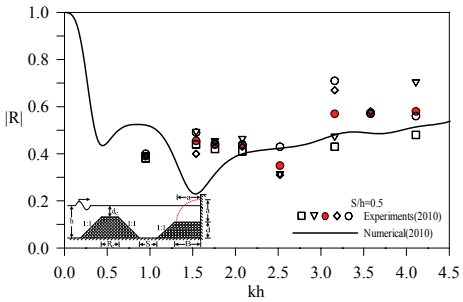
圖 4.3.1 波浪作用於連結式透水結構物|R|與 kh 關係圖



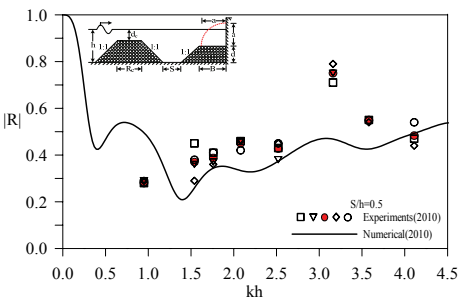
$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.4$ （配置 I）



$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.4$ （配置 II）

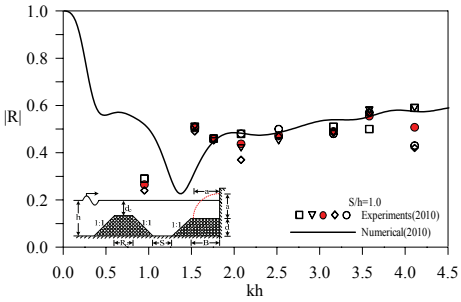


$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.3$ （配置 III）

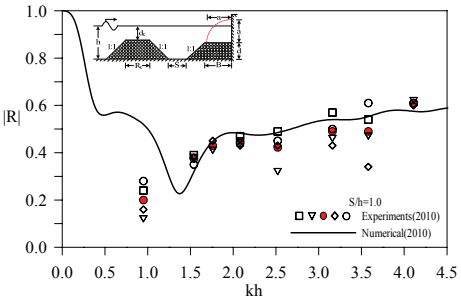


$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.3$ （配置 IV）

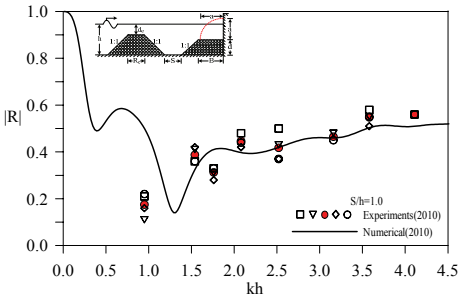
圖 4.3.2 波浪作用於分開式透水結構物|R|與 kh 關係圖



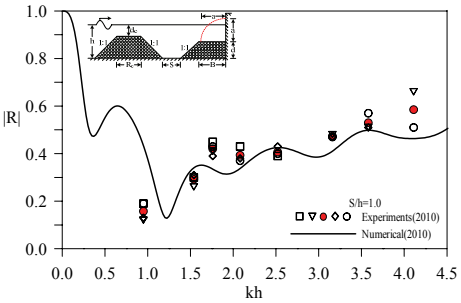
$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.4$ （配置 I）



$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.4$ （配置 II）



$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.3$ （配置 III）



$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.3$ （配置 IV）

圖 4.3.3 波浪作用於分開式透水結構物|R|與 kh 關係圖

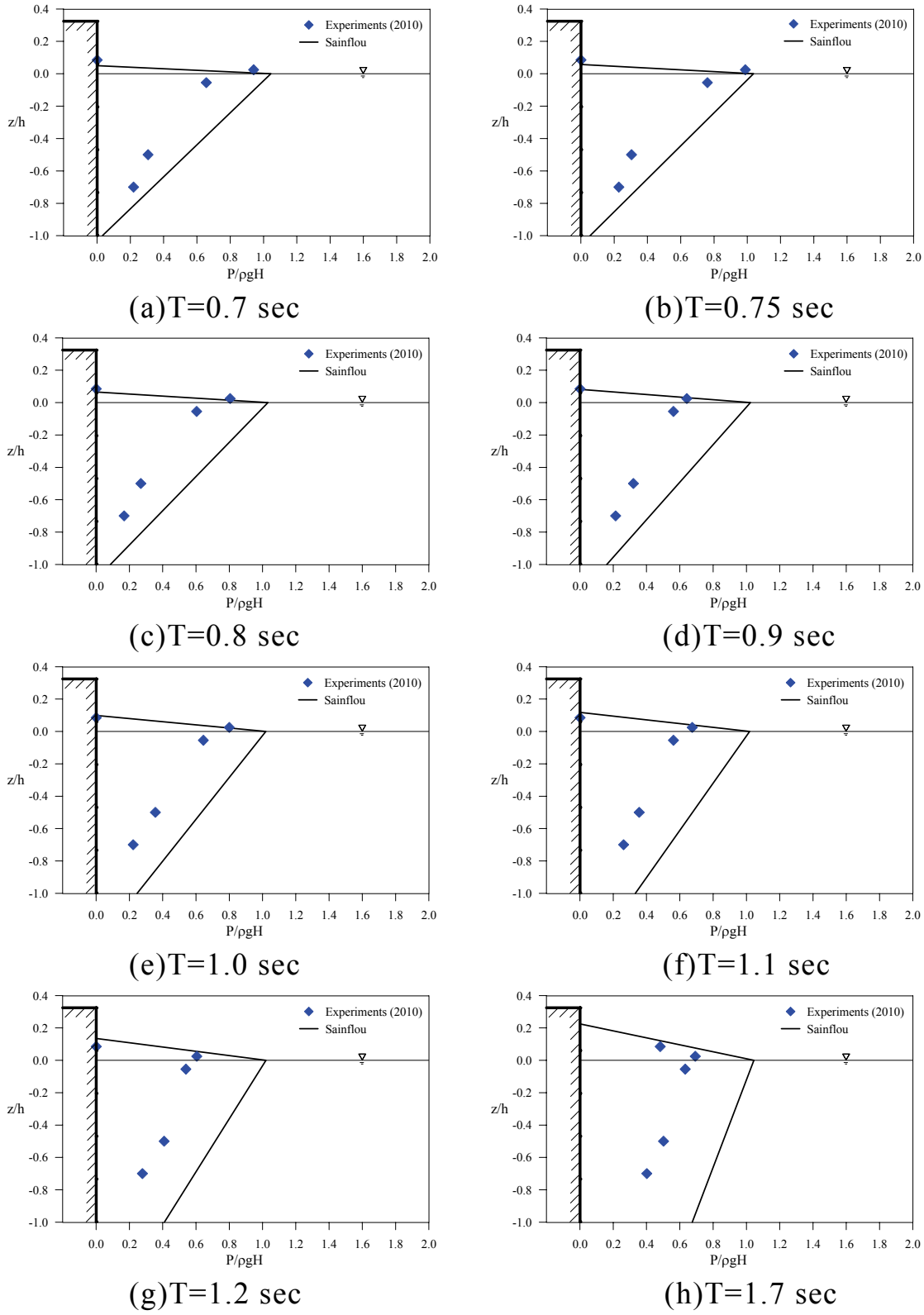


圖 4.3.4 連結式雙潛堤最大波壓力與 Sainflou 重複波壓力比較圖
（Rc=0.6，dc=0.3，S/h=0）

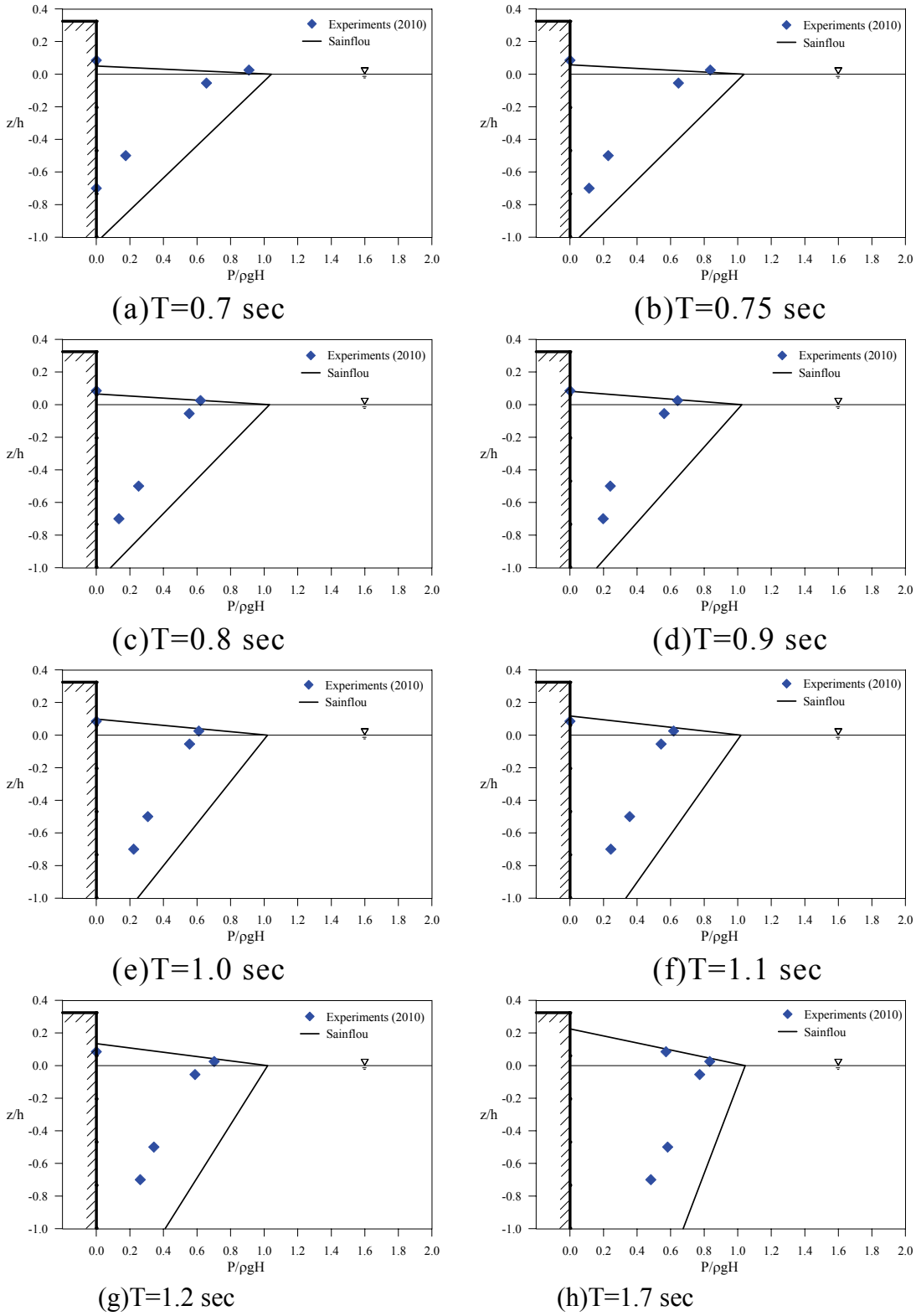


圖 4.3.5 分開式雙潛堤最大波壓力與 Sainflou 重複波壓力比較圖

（Rc=0.6，dc=0.3，S/h=1.0）

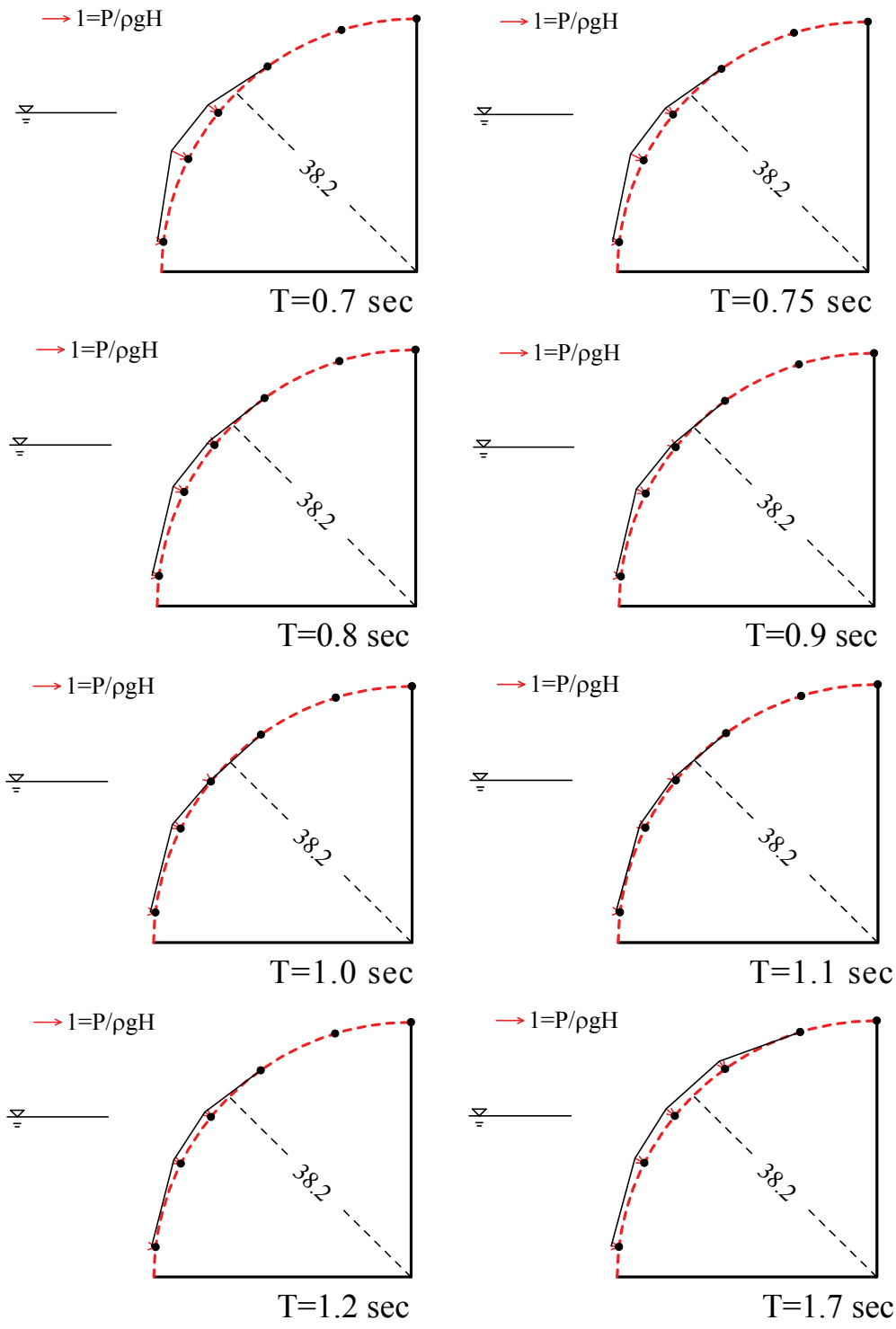


圖 4.3.6 圓弧曲面板無因次最大波壓分布比較圖

（Rc/h=0.6，dc/h=0.3，S/h=0）

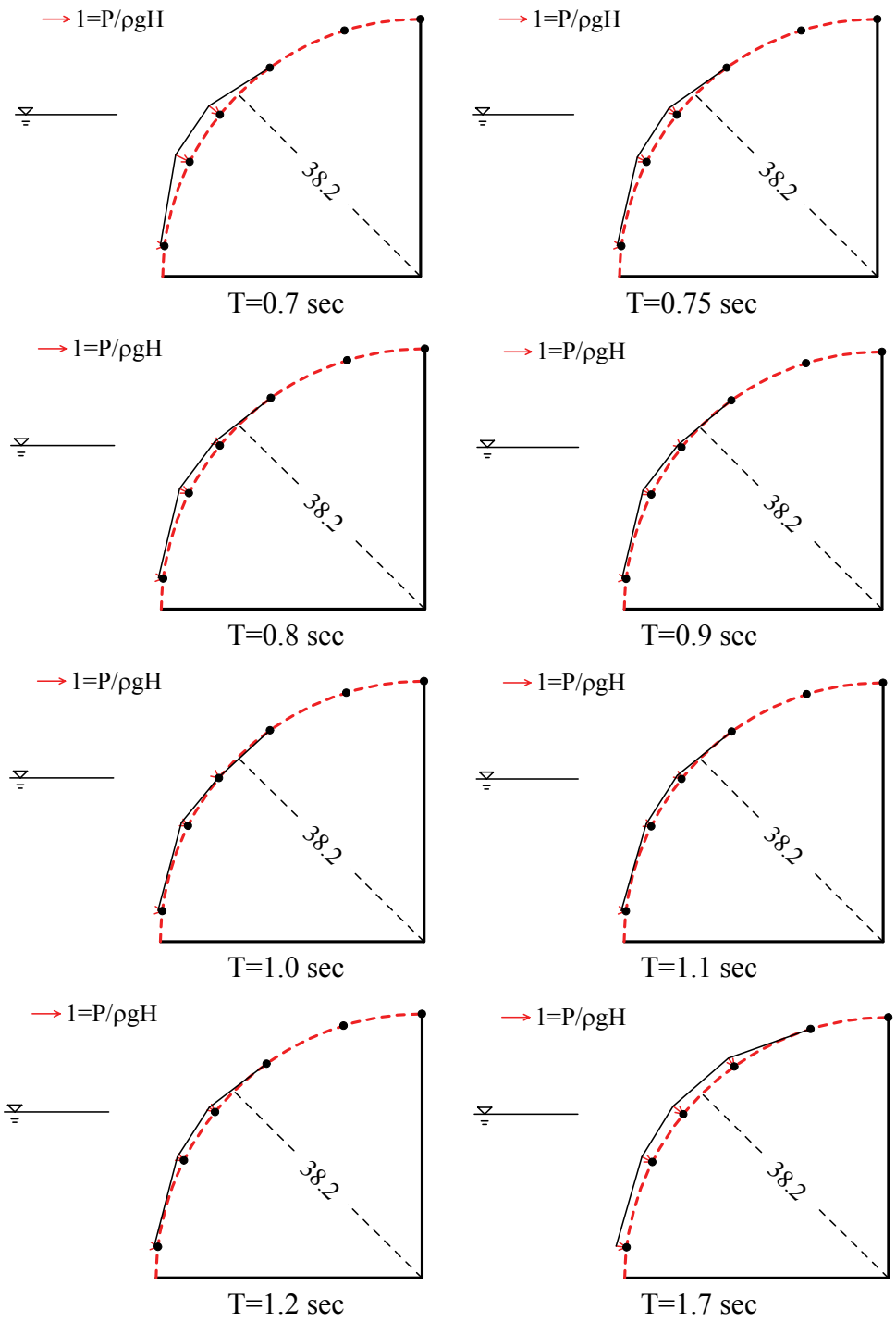


圖 4.3.7 圓弧曲面板無因次最大波壓分布比較圖
（Rc/h=0.6，dc/h=0.3，S/h=1）

4.4 使用 FLOW-3D 計算結果分析與討論

FLOW-3D 軟體以 Navier-Stokes 方程式作為控制方程式，考慮實際流體之黏滯性以及結構物附近紊流的發生，因此必須加入紊流模式，並以有限差分法將控制方程式離散。

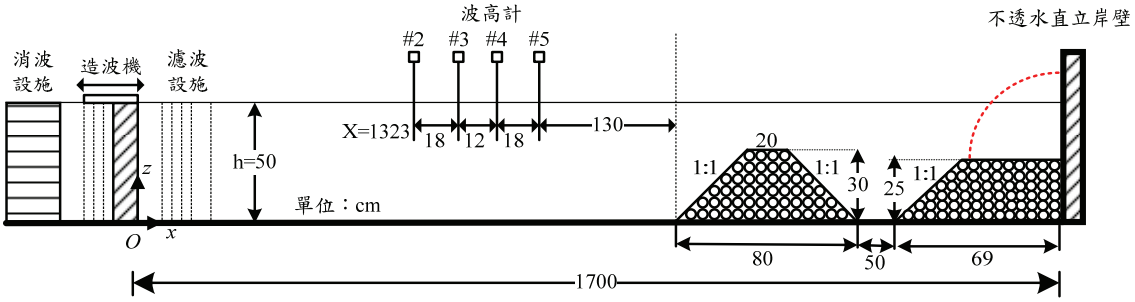
1. FLOW-3D 數值計算設定

(1)造波條件：以週期 T=0.7sec 至週期 T=1.7sec 共分 8 組進行造波模擬，水深固定為 h=50cm，如表 4.4.1 所示

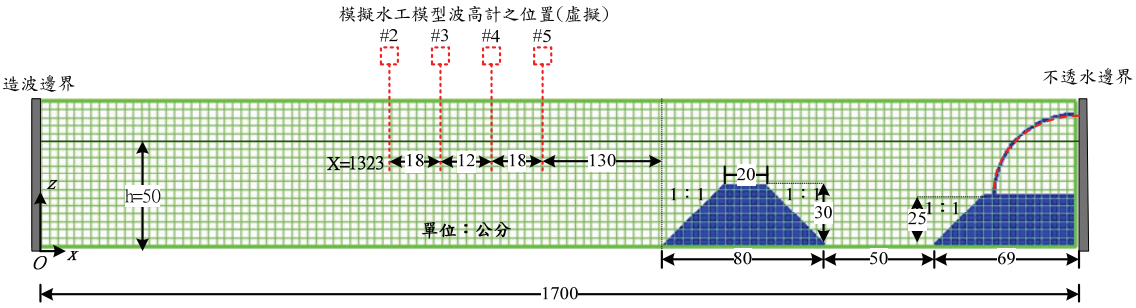
表 4.4.1 造波條件(h=50cm)

T(sec)	kh	H(cm)	L(cm)	C(cm/s)
0.7	4.11	2.286	76.4	109.1
0.75	3.58	2.63	87.6	116.8
0.8	3.16	2.98	99.5	124.3
0.9	2.52	3.74	124.8	138.6
1.0	2.08	4.5	151.3	151.3
1.1	1.76	5.34	178.1	161.9
1.2	1.54	6.12	204.8	170.6
1.7	0.95	9.96	332.6	195.6

(2)模型配置：於 FLOW-3D 中 Model Setup 建立一數值造波水槽；將 x 方向長度設定為 1700cm，y 方向長度設定為 20cm，z 方向高度設定為 80cm；將 x y z 三方向之網格以 1cm 等間距分配。模型配置則在不透水邊界前方銜接梯形透水護基潛堤(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=50cm 處設置另一道梯形透水潛堤，組合成環境保護型結構物。且規則波由左向右於防波堤正向入射。其中四分之一圓弧形孔隙薄板半徑為 a=38.2cm、厚度設定為 1.5cm；直立牆前方護基潛堤堤高 d=25cm，堤頂寬為 B=44cm；前方距離處 S=50cm 之透水梯形潛堤堤頂寬 Rc=20cm，堤頂沒水深 dc=20cm，坡度 1：1。原點 O 位於造波邊界起點不透水底床處，z 軸垂直向上為正，x 軸沿波浪入射方向為正，其配置圖如圖 4.4.1(a)(b)所示。



(a) 水工模型



(b) FLOW-3D(Goda and Suzuki (1976))

圖 4.4.1 環境保護型結構物配置示意圖

(3) 邊界條件：邊界條件將上游邊界設定為造波邊界 Wave(x_{min})，入射波由左方入射，下游邊界設定為不透水牆邊界 Wall(x_{max})，水槽兩側(y_{min}、y_{max})及底床(z_{min})處亦設定為不透水牆邊界 Wall，如圖 4.4.2 所示。

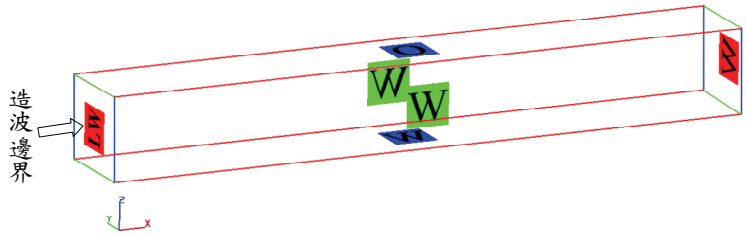


圖 4.4.2 邊界條件設定圖

(4) 求解設定：單位使用 CGS 制，流體選定溫度為 20˚C 之水，密度為ρ=1g/cm^3，動力黏性μ=0.01$g/cm/s$，模擬造波時間設定為 60 秒，資料輸出間隔 0.05 秒(擷取頻率為 20Hz)。起始時間步長(Initial time step)設定為 10^{-4} 秒，最大時間步長(Maximum time step)則限定為網格間距與波速比≤1，即一個時間步長內流體的

運動速度位移不超過一個網格間距，以網格 1*cm*、波速 C=151.3*cm/s* 來計算，最大時間步長限制為 1/151.3=6.6×10^{-3} 秒。

(5) 參數設定：在 Viscosity and turbulence 選項中選定 k-ε紊流模式必須設定以下兩點(1)TLEN 值(Turbulent mixing length)=0.07，當作起始值，預設情況最小尺寸的 7%，在這指的是水槽水位深度。 (參考賴，2009)(2) Turbulent k.e.值-$K=U_p^2/2$，$U_p=A_1C_p$ 其中 U_p 水平速度、C_p 波速、A_1=2.5×10^{-3}，如表 4.4.2 所示。(參考劉，2009)

表 4.4.2 各週期 Turbulent k.e.值

T(sec)	C(cm/s)	Turbulent k.e.值(*K*)
0.7	109.1	3.71×10^{-2}
0.75	116.8	4.26×10^{-2}
0.8	124.3	4.82×10^{-2}
0.9	138.6	6.00×10^{-2}
1.0	151.3	7.15×10^{-2}
1.1	161.9	8.19×10^{-2}
1.2	170.6	9.09×10^{-2}
1.7	195.6	11.95×10^{-2}

2. 數值計算結果與討論

本節使用 FLOW-3D 軟體模擬實際斷面造波水槽中波浪與環境保護型結構物交互作用時之反射率與速度分佈。針對造波條件取其中 T=1*sec*、T=1.7*sec* 來分析，但因週期 T=1.7*sec* 波速較快，波浪作用於結構物的時間較迅速，加上前導波至成形波的過程占也了不少時間，使得計算結果的可用範圍縮減，為了避免二次反射波影響整個流廠，因此把原先 FLOW-3D 計算領域水平長度由 x=1700*cm* 拉長至 x=2200*cm*。

其中透水潛堤之設定以粒徑 d_s=3*cm* 計算，得到參數 a_r=180/3^2=20，b_r 以 1.8/d_s 計算得，b_r=1.8/3=0.6 潛堤孔隙率 ε_r 為 0.46，透水薄板其上孔隙率設定為 ε_p=0.367。以下分別針對反射率與速度分佈進行分析。

1. 反射率結果與分析

利用水工模型試驗結果與 FLOW-3D 數值計算之反射率值|*R*|與無因次關係如圖 4.4.3 所示。圖中圓點“●”為利用斷面水槽水工模型試驗結果，而三角點“▲”為 FLOW-3D 數值計算結果。發現各週期的試驗結果與 FLOW-3D 數值解相當接近，數值解皆小於水工模型試驗值，另外由表 4.4.3 週期大於 *T*=1.1*sec* 以後反射率差異比較大，試驗結果與數值解差值百分比大於 10%以上，剩下幾組週期差值較小反射率都相當接近。

另外在這幾組週期當中取一週期 *T*=1.7*sec* 利用 Healy(1953)提出的方法(|*R*|=(波腹-波節)/(波腹+波節))求反射率，首先利用 FLOW-3D 模擬水工模型試驗中移動式波高計在某一段距離來回移動量測時間變化的自由液面波動變化量，相對在 FLOW-3D 數值計算中輸出不同時間但同一段距離的自由液面波動變化量，如圖 4.4.4 所示，之後在造波 11.2*sec* 以後波浪進行一次反射至 24.1*sec* 波浪開始二次反射之間的範圍選定一時間往後推一個週期，把此週期分為 8 個相位，針對每個相位的波形變化進行探討，在此本研究擷取 *t*=15.09*sec*~16.79*sec* 來進行分析，因為時間的變化把各相位的波形重疊於水平方向 *x*=1600*cm*~1900*cm* 這段距離，可以明顯看出波形呈一包絡線，如圖 4.4.5 所示，分別計算出包絡線之波腹與波節的值為 10.17*cm*、5.62*cm*，再帶入 Healy 法求出反射率|*R*|=0.288，與利用 Goda 二點法算出的反射率|*R*|=0.232 及水工模型試驗求得的反射率|*R*|=0.27 相當接近。

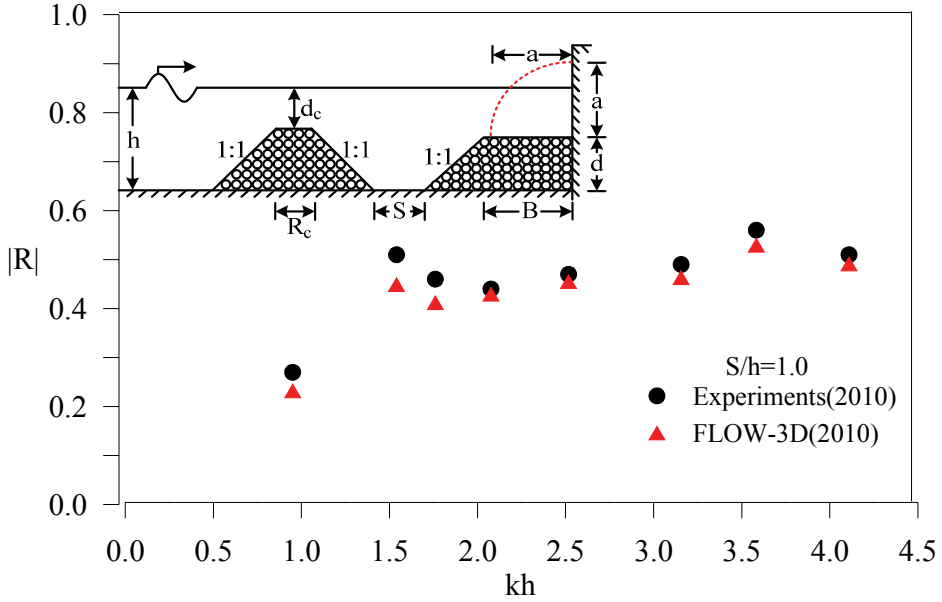
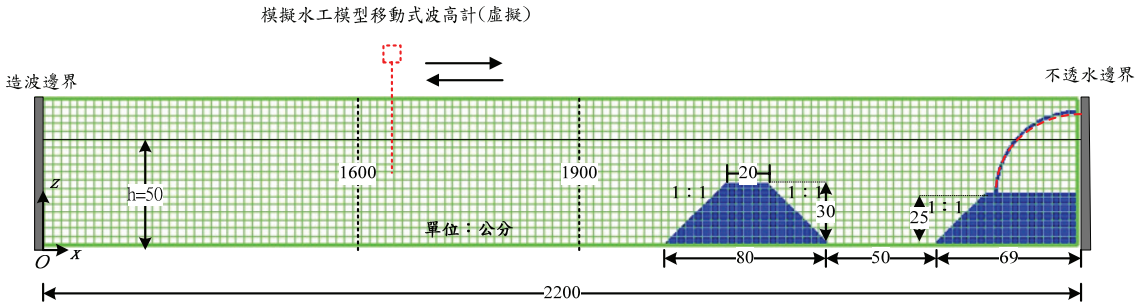


圖 4.4.3 FLOW-3D 反射率計算結果與水工模型圖
(dc/h=0.4, Rc/h =0.4,S/h =1.0)

表 4.4.3 FLOW-3D 計算反射率值與水工模型之比較

T (sec)	kh	L (*cm*)	K_r (試驗值)	K_r (FLOW-3D)	差值百分比 (%)
0.70	4.11	76.2	0.51	0.49	3.9
0.75	3.58	87.6	0.56	0.53	5.4
0.80	3.16	99.5	0.49	0.46	6.1
0.90	2.52	124.8	0.47	0.45	4.3
1.00	2.08	151	0.44	0.43	2.3
1.10	1.76	178.1	0.46	0.41	10.9
1.20	1.54	204	0.51	0.45	11.8
1.70	0.95	332	0.27	0.23	14.8



FLOW-3D(Healy(1953)

圖 4.4.4 環境保護型結構物配置示意圖

(T=1.7sec, H=9.96cm, kh=0.95, L=332.6cm, C=195.6cm/s)

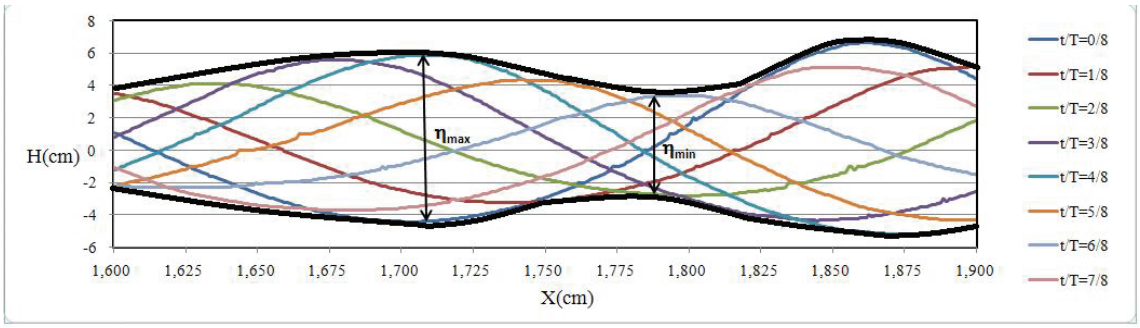


圖 4.4.5 波形變化圖

(T=1.7sec, H=9.96cm, kh=0.95, L=332.6cm, C=195.6cm/s)

2. 速度分佈結果與分析

圖 4.4.6(a)~(h)為週期 *T*=1*sec*，波速 *C*=151.3*cm/sec*，波浪由外海傳遞至環境保護型結構物與其交互作用之速度分佈情形，波浪到達直立堤前需約 11.2*sec*，而超過 31.2sec 波浪開始進行二次反射，因此圖中擷取造波後第 20*sec*~21*sec* 間一個週期，將其分為 8 個相位，每一相位相距 1/8 週期，以波峯到達第一道潛堤堤趾前水深處為基準，定義為(*t*/*T*=0)，針對環境保護型結構物中各部份速度分佈進行討論。

由前半個週期圖 4.4.6(a)*t*/*T*=0/8 至(d) *t*/*T*=3/8 時可發現，波浪於接觸第一道潛堤向海處邊坡時由於水深漸淺造成淺化現象，因此水位會

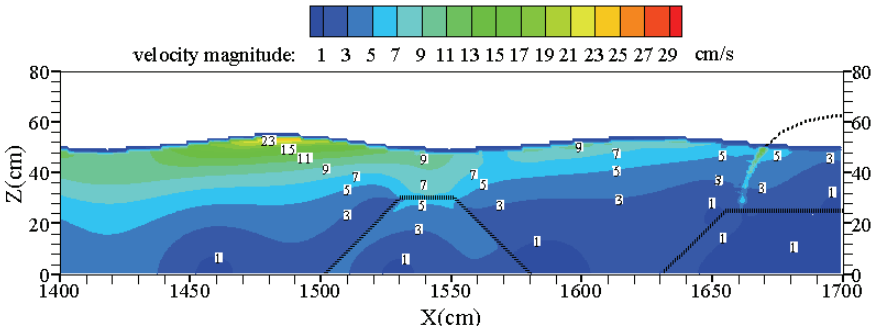
略為抬升、波高有變大趨勢，其後於潛堤堤頂處及堤頂上方自由水面有較大之速度分佈，分別為 11*cm*/*sec* 及 29*cm*/*sec*。

後半個週期時經過第一道潛堤進入二潛堤之間消波空間時,(如圖 4.5.6(e) *t*/*T*=4/8 至(h) *t*/*T*=7/8)所示，堤頂上方水面附近流速分佈明顯降低，而後接觸四分之一圓弧形孔隙板，於 *t*/*T*=7/8 時孔隙板前方水面附近產生較大之速度分佈，且因孔隙板的設置，可使得孔隙板後方與岸壁間之遊水室速度有變小趨勢。圖中亦顯示在外海加設第一道潛堤，於此中間性波海域下，可有效降低兩潛堤之間消波空間區域速度，且對於透水潛堤孔隙介質內之速度分佈亦可以被計算出並清楚的顯示其流場分佈。

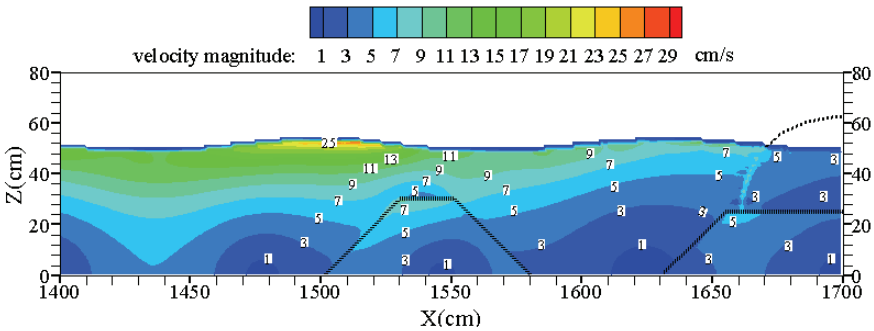
其次計算週期 *T*=1.7*sec*，波速 *C*=195.6*cm*/*s*，波浪由外海傳遞至環境保護型結構物與其交互作用後流場之速度分佈情形，如圖 4.4.7(a)~(h)所示，*x* 方向水平計算領域若取 1700*cm*，則波浪 8.7 約 *sec* 即到達直立堤，而超過 24.14*sec* 就量測到波浪進行二次反射的值，而前導波到成形波這段時間亦影響到計算結果的可用範圍，因此將 *x* 方向長改為 2200*cm*，圖中擷取造波後第 20.19~21.89 秒間一個週期，將其分為 8 個相位，每一相位相距 1/8 週期，以波峯到達第一道潛堤堤趾前等水深處為基準，定義為 *t*/*T*=0/8，針對環境保護型結構物中各部份速度分佈進行討論。

由圖 4.4.7(a)*t*/*T*=0/8 至圖 4.4.7(b)*t*/*T*=1/8 時發現波浪由左方漸漸往右進行時流速緩緩提升，圖 4.4.71(c)*t*/*T*=2/8 時波浪接觸第一道潛堤向海處邊坡時造成淺化，因而水位抬升、波高變大，潛堤堤頂有較大速度分佈，自由液面流速由 26*cm*/*s* 增大至 36*cm*/*s*，而且孔隙板內部的流速也逐漸變大。圖 4.4.7(d)*t*/*T*=3/8 至圖 4.4.7(f)*t*/*T*=5/8，波浪經過第一道潛堤進入第二道潛堤時，之間的消波空間與水面附近流速慢慢的降低，之後接觸四分之一圓弧形孔隙板，如圖 4.4.7(g)*t*/*T*=6/8 至圖 44.7(h)*t*/*T*=7/8 所示，遊水室上方及孔隙板前方產生較大之流速分佈。在外海設置第一道透水潛堤及孔隙板，可使得岸壁前方遊水室與兩到潛堤之間的消波區域速度降低；週期 *T*=1*sec* 與 *T*=1.7*sec* 同屬於中間

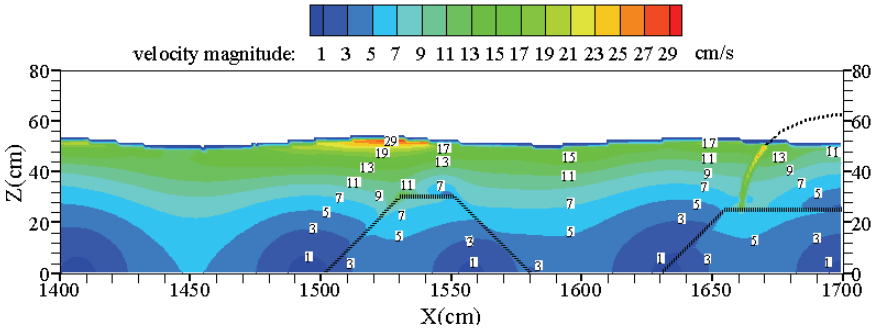
性波，但因週期 T=1.7sec 波速及波長比週期 T=1sec 來的大，週期 T=1.7sec 在此配置下遊水室上方及四分之一薄板附近的整體波速較 T=1sec 來的大。



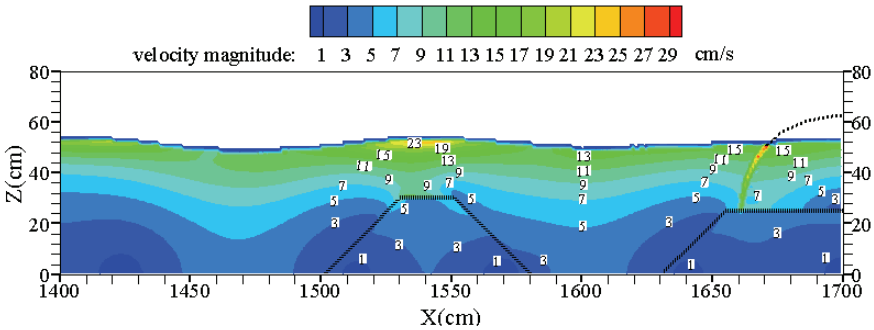
(a) $t/T = 0/8$



(b) $t/T = 1/8$

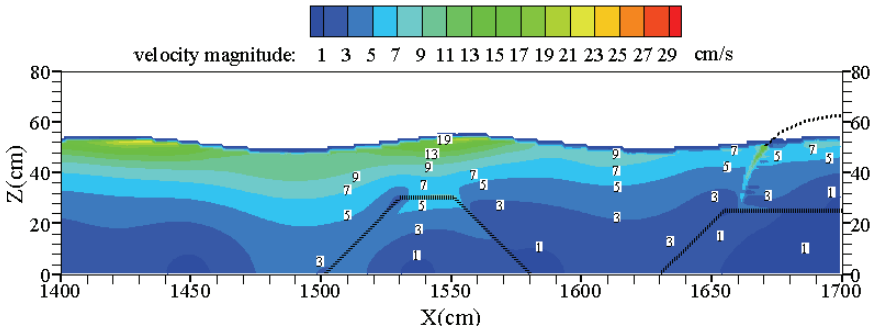


(c) $t/T = 2/8$

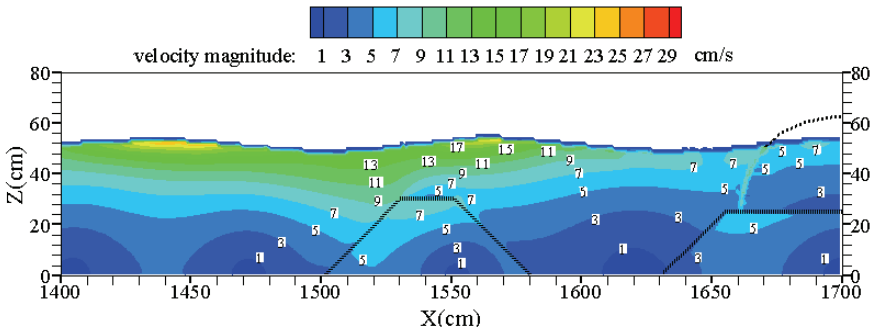


(d) $t/T = 3/8$

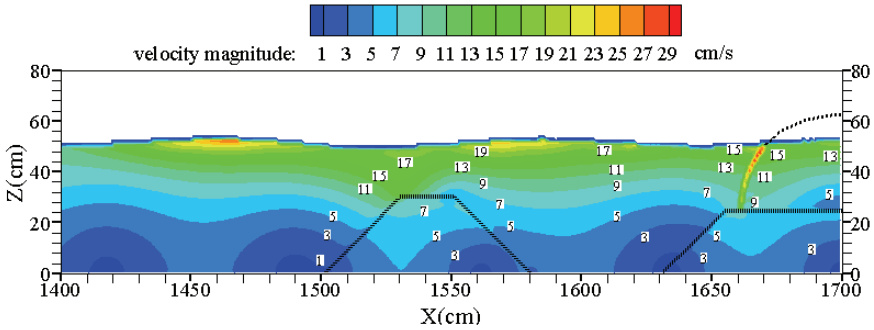
圖 4.4.6 波浪與環境保護型結構物交互作用之速度分佈
(T=1.0s, H=4.5cm, kh=2.08, L=151.3cm, C=151.3cm/s)



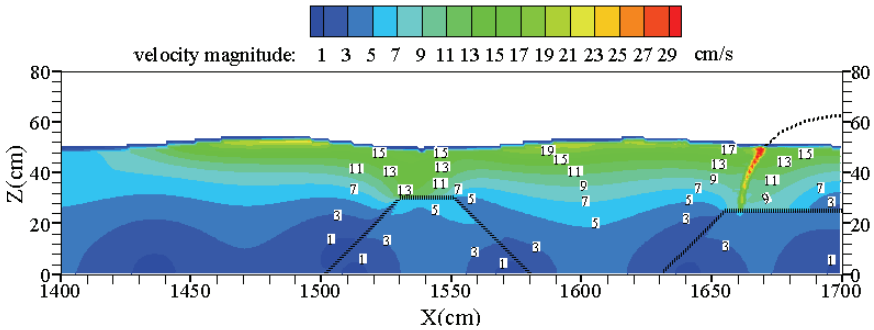
(e) $t/T = 4/8$



(f) $t/T = 5/8$

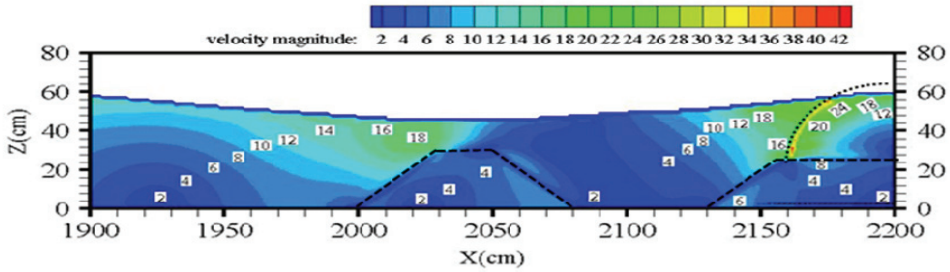


(g) $t/T = 6/8$

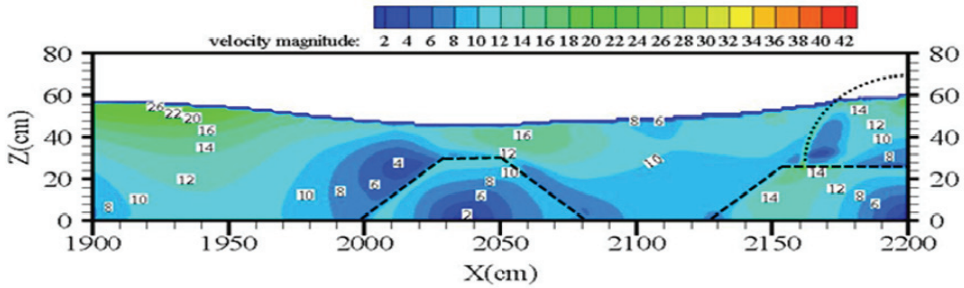


(h) $t/T = 7/8$

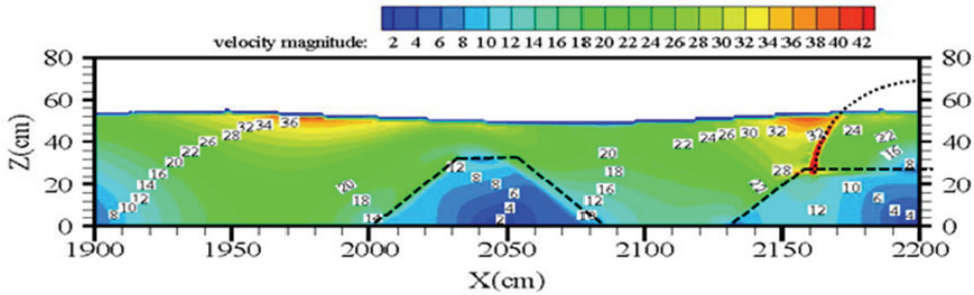
圖 4.4.6(續) 波浪與環境保護型結構物交互作用之速度分佈
(T=1.0s, H=4.5cm, kh=2.08, L=151.3cm, C=151.3cm/s)



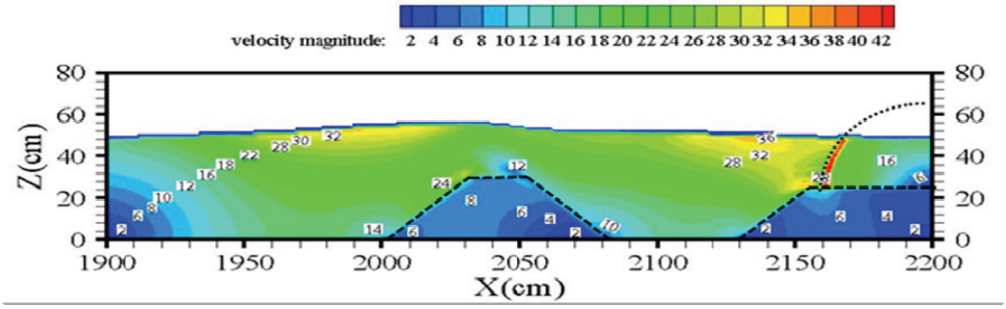
(a) t/T=0/8



(b) t/T=1/8



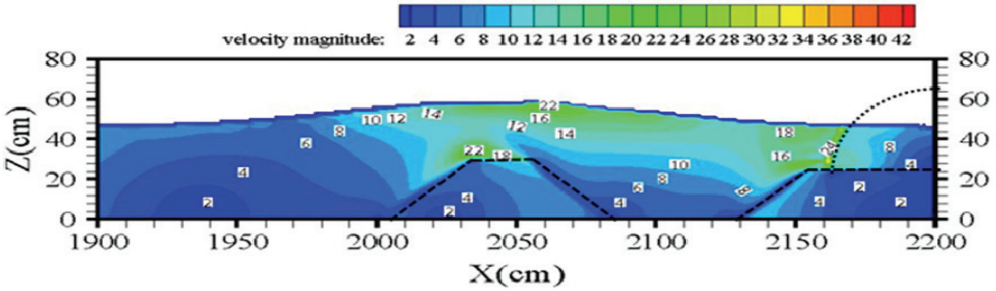
(c) t/T=2/8



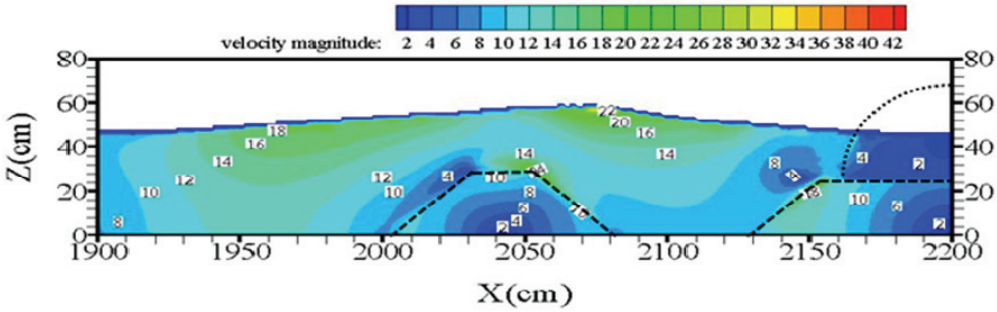
(d) t/T=3/8

圖 4.4.7 波浪與環境保護型結構物作用之速度分佈

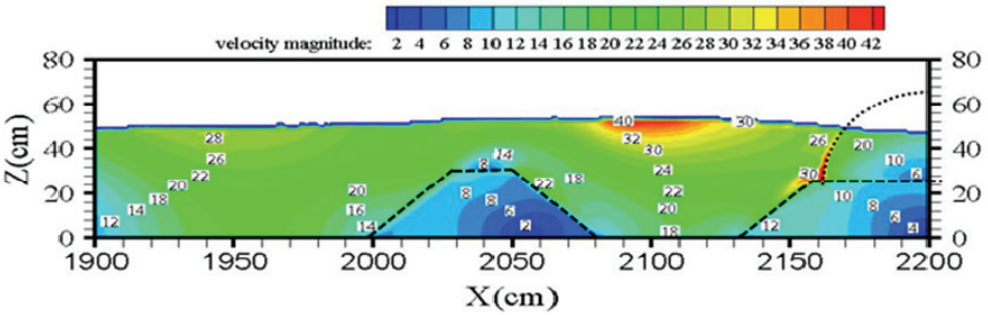
(T=1.7sec, H=9.96cm, kh=0.95, L=332.6cm, C=195.6cm/s)



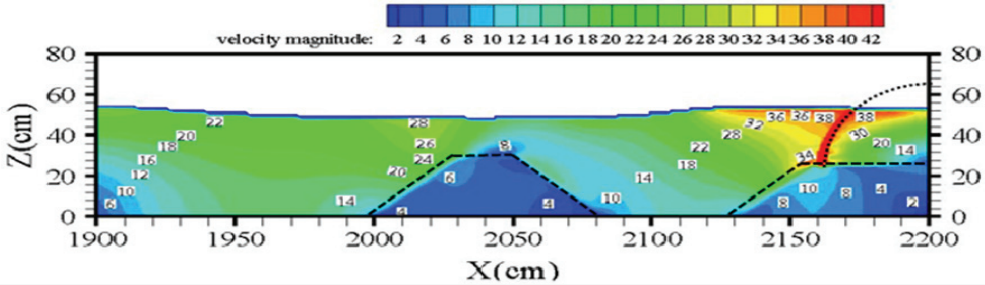
(e) t/T=4/8



(f) t/T=5/8



(g) t/T=6/8



(h) t/T=7/8

圖 4.4.7(續) 波浪與環境保護型結構物作用之速度分佈

(T=1.7sec, H=9.96cm, kh=0.95, L=332.6cm, C=195.6cm/s)

4.5 波浪斜向入射結構物數值計算

考慮在一定水深之海域中不透水直立堤前方銜接梯形透水護基塊石潛堤，並於其上方設置四分之一圓弧形孔隙板，前方距堤址位置 S 處設置另一道梯形透水潛堤，其坡度皆為 1：1，組合成所謂「環境保護型」消能結構物。假設有一規則波由左方與 x 軸夾以 θ 角度向此結構物入射。其中透水薄板(孔隙板)之厚度與入射波長之比趨近於零，即薄板與入射波長相較之下為一厚度非常薄之結構物，其四分之一圓半徑為 a。直立堤前護基塊石填入之高度為 d，頂寬為 B，第一道梯形潛堤頂寬為 R_c，與自由水面距離為 d_c。取座標原點 O，位於直立堤中間上方之靜水面處。x 軸向右為正，z 軸垂直向上為正。並且於第一道潛堤左側一定距離處($x=-\ell$)設立一假想邊界線，由假想邊界線及透水薄板將此斷面領域中純水區域分為(Ⅰ)、(Ⅱ)及(Ⅲ)三個領域，而填石的透水結構物區域則為領域(Ⅳ)，其中領域(Ⅱ)、(Ⅳ)交界處之邊界定為 Γ^{M_2}，領域(Ⅲ)、(Ⅳ)交界處之邊界為 Γ^{M_3}，領域(Ⅱ)、(Ⅲ)交界處之邊界則為 Γ^{M_4}，如圖 4.6.1 所示。

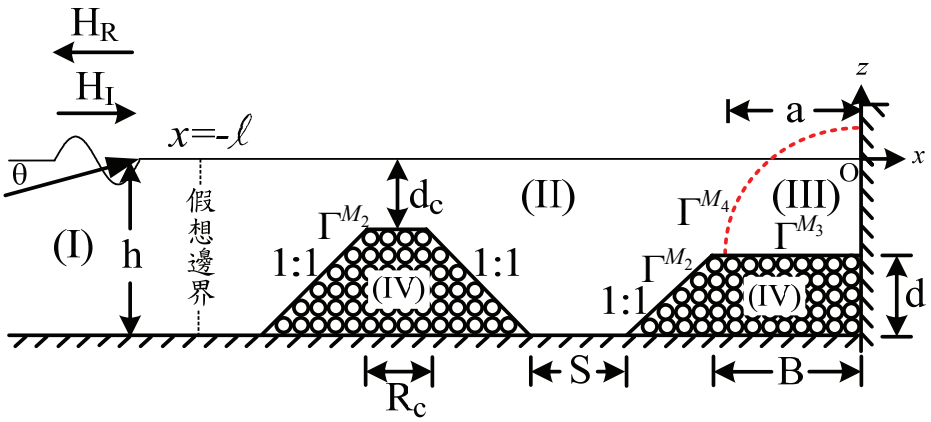


圖 4.5.1 環境保護型結構物示意圖

4.5.1 數值計算方法

1. 基本假設

(1) 純水區域—(Ⅰ)、(Ⅱ)、(Ⅲ)領域：

各純水領域速度勢可表示為：

$$\Phi^{j}(x,y,z;t)=\frac{g\zeta_0}{\sigma}\varphi^{j}(x,z)\cdot e^{i(\beta y-\sigma t)} \quad , \quad j=\mathrm{I,II,III} \quad \text{.....(4.6.1)}$$

其中，g 為重力加速度，$\phi^{j}(x,z)$ 為領域(j)的勢函數(potential function)，$\beta=k\sin\theta$，k 為入射波週波數。

(2) 透水潛堤結構物區域—(Ⅳ)領域：

$$\nabla^2\Phi^{\mathrm{IV}}(x,y,z;t)=0$$

領域(Ⅳ)的速度勢可表示為：

$$\Phi^{\mathrm{IV}}(x,y,z;t)=\frac{g\zeta_0}{\sigma}\phi^{\mathrm{IV}}(x,z)\cdot e^{i(\beta y-\sigma t)} \quad \text{.....(4.6.2)}$$

其中，$\phi^{\mathrm{IV}}(x,z)$則為領域(Ⅳ)的勢函數。

2. 領域(Ⅰ)之勢函數表示

$$\phi^{\mathrm{I}}(x,z)=\left[e^{i\alpha(x+\ell)}+R\cdot e^{-i\alpha(x+\ell)}\right]\frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad \text{.....(4.6.3)}$$

上式，右邊第一項表示入射波勢函數，第二項表示反射波勢函數，其中，R 為複數反射率，$\alpha=k\cos\theta$ 。

3. 邊界條件

(1) 自由水面之邊界條件

$$\frac{\partial\phi^{j}}{\partial z}=\frac{\sigma^2}{g}\phi^{j} \quad \text{on} \quad z=0 \quad , \quad j=\mathrm{I,II,III} \quad \text{.....(4.6.4)}$$

(2) 不透水海底底床及直立堤之邊界條件

$$\frac{\partial\phi^{j}}{\partial n}=0 \quad \text{on} \quad z=-h \quad , \quad j=\mathrm{I,II,III,IV} \quad \text{.....(4.6.5)}$$

(3) 假想邊界線上之力學條件

$$\phi^{\mathrm{I}} = \phi^{\mathrm{II}} \quad \text{on} \quad x = -\ell \qquad (4.6.6)$$

$$\frac{\partial \phi^{\mathrm{I}}}{\partial x} = \frac{\partial \phi^{\mathrm{II}}}{\partial x} \quad \text{on} \quad x = -\ell \qquad (4.6.7)$$

(4) 透水薄板兩側邊界條件

薄板兩側之邊界條件為：

$$\frac{\partial \phi^{\mathrm{II}}}{\partial n} = \frac{\partial \phi^{\mathrm{III}}}{\partial n} = ikG\left(\phi^{\mathrm{II}} - \phi^{\mathrm{III}}\right) \quad \text{on} \quad \Gamma^{M_4} \qquad (4.6.8)$$

其中，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) 純水領域與透水潛堤塊石介質領域接觸面之邊界條件

$$\phi^{\mathrm{II}} = (S + if)\phi^{\mathrm{IV}} \quad \text{on} \quad \Gamma^{M_2} \qquad (4.6.9)$$

$$\frac{\partial \phi^{\mathrm{II}}}{\partial n} = \varepsilon \frac{\partial \phi^{\mathrm{IV}}}{\partial n} \quad \text{on} \quad \Gamma^{M_2} \qquad (4.6.10)$$

$$\phi^{\mathrm{III}} = (S + if)\phi^{\mathrm{IV}} \quad \text{on} \quad \Gamma^{M_3} \qquad (4.6.11)$$

$$\frac{\partial \phi^{\mathrm{III}}}{\partial n} = \varepsilon \frac{\partial \phi^{\mathrm{IV}}}{\partial n} \quad \text{on} \quad \Gamma^{M_3} \qquad (4.6.12)$$

4. 反射率 *R* 求解

$$R = -1 + \frac{k}{N_0 \sinh kh} \sum_{p=1}^{N1_{11}} \phi_{1p}^{\mathrm{II}} \cosh k(h + z_p)\Delta z_p \qquad (4.6.13)$$

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

其中，N_1 為假想邊界線上 $(x = -\ell)$ 之分割節點數，z_p 為水深方向節點座標，Δz_p 則為節點所在分割元素之長度。

5. 勢函數之解析

x 負方向之導函數值與勢函數值間之關係，如下所示

$$\bar{\phi}_p^{\mathrm{II}} = \frac{-2i\alpha\cosh k(h+z_p)}{\cosh kh} + \sum_{r_1=1}^{N_1}\int_{\Gamma_{r_1}} f_{pr_1}\phi_{r_1}^{\mathrm{II}}dz \quad \text{.....(4.6.14)}$$

上式中，$f_{pr_1} = \dfrac{i\alpha k\cosh k(h+z_{r_1})\cosh k(h+z_p)}{N_0\sinh kh\cosh kh}$ ；$p = 1,\cdots,N_1$ ；

$r_1 = 1,\cdots,N_1$ ；而 z_p 表示水深方向特定點座標，z_{r_1} 表示水深方向任意點座標。

6. 結構物上壓力之求解

結構物上的動壓分佈，及其無因次化以求得無因次壓力如下所示：

$$\frac{p^j(x,z)}{\rho g\zeta_0} = i\phi^j(x,z) \quad , \quad j = \mathrm{I,II,III} \quad \text{.....(4.6.15)}$$

$$\frac{p^{\mathrm{IV}}(x,z)}{\rho g\zeta_0} = i(S+if)\phi^{\mathrm{IV}}(x,z) \quad \text{.....(4.6.16)}$$

7. 水面波形之求解

水位 η 如下式所示：

$$\eta^j = -\frac{1}{g}\frac{\partial\Phi^j}{\partial t}\bigg|_{z=0} = i\zeta_0\phi^j\cdot e^{i(\beta y-\sigma t)} \quad , \quad j = \mathrm{I,II,III} \quad \text{.....(4.6.17)}$$

4.5.2 數值計算結果與討論

在本節中，我們將討論波浪斜向入射環境保護型防波堤其反射率及能量損失之結果。首先固定兩潛堤之相對間距 S/h=1.0，並以第一道潛堤相對頂寬兩種配置 R_c/h =0.4、0.6，第一道潛堤距水面相對沒水深兩種配置 d_c/h =0.3、0.4 去作探討，共四種配置，所有數值計算例中固定塊石摩擦係數 $f_r = 1.8$ 、孔隙率 $\varepsilon_r = 0.46$ 、塊石慣性係數 $S_r = 1.015$ ，並分別以波浪與 x 軸夾以 0°、30°、45°及 60°入射去作計算，討論其無因次週波數 kh 與反射率|R|及能量損失 E_l 之關係，數值計算結果如圖 4.5.2

至圖 4.5.5 所示，其各配置下之反射率極值大小及其發生位置如表 4.5.1 所示。

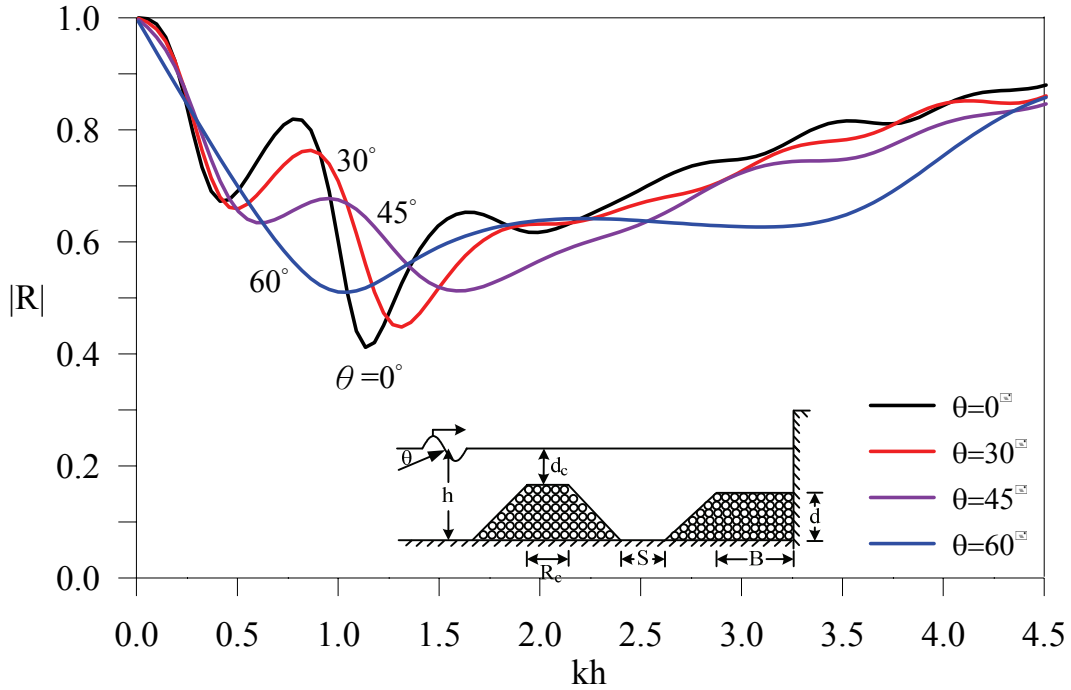
波浪斜向入射第一種配置 ($R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.4$)，反射率與能量損失結果如圖 4.5.2(a)、(b)所示。由圖中我們可以明顯看出其反射率會出現兩個局部最小值及一個局部最大值，又以正向入射時($\theta=0^\circ$)會有較大反射率$|R|=0.819$，發生在 $kh=0.775$ 的位置，且隨著波浪入射的角度變大(30°、45°、60°)，反射率尖峰值其分佈會漸漸往圖右側，也就是往較大的 kh 側移動。然而約在 kh 大於 1.5 之後各線段反射率變化較為散亂發生許多交叉點，並無一定的規律性存在。但是在 kh=4.5(深水波)波浪能量大多被反射，因此反射率值都趨近於 0.86 附近，能量損失係數則在 0.2~0.3 附近。

圖 4.5.3 為第二種配置($R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.4$)，保持第一道潛堤距離水面高度，即相對沒水深不變，但增加其寬度，其反射率變化各線段趨勢基本上與第一種配置大致相同，唯獨在局部極值的部份無論是$|R_{min}|$或$|R_{max}|$亦或是出現的 kh 值都相對較小，但同樣在較大的 kh 值時趨勢大致相同，仍會有各線段交會但無一規律性的情況出現。

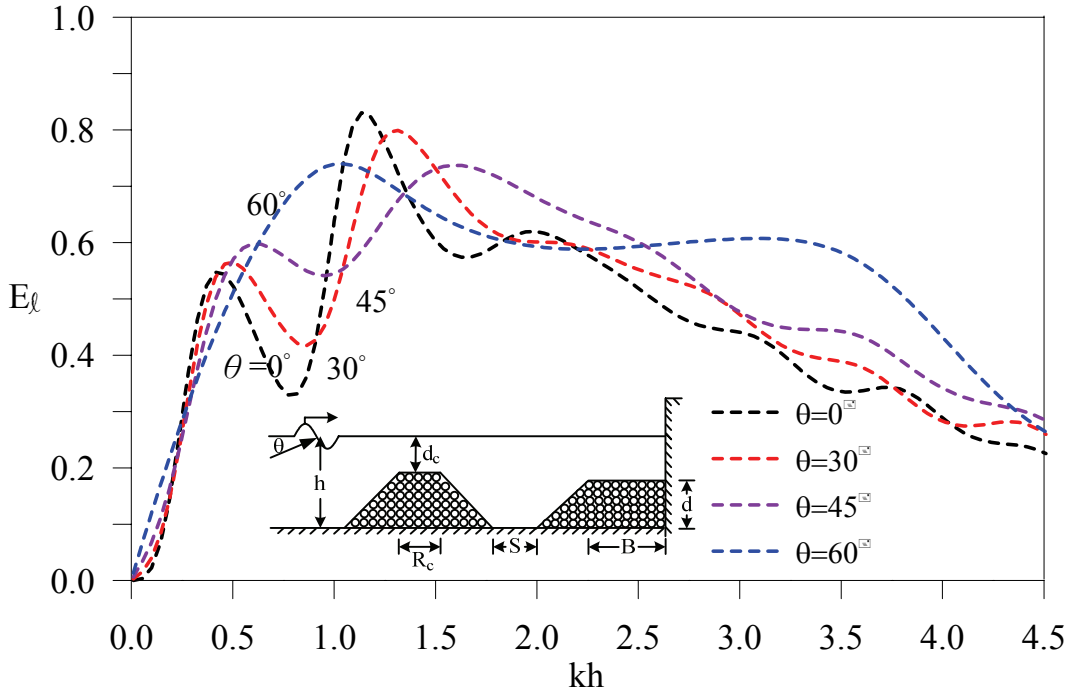
在第三種配置($R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.3$)下我們加高第一道潛堤的高度使相對沒水深為 $d_c/h=0.3$，其相對頂寬變回 $R_c/h=0.4$，結果如圖 4.5.4 所示，此種配置下使得反射率再度降低，由此可見增加透水潛堤塊石的體積，在無論任何角度的波浪入射下都可以降低反射率、增加其能量的損失，以達到保護後方直立岸壁的效果，相同的，此種配置下的所有極值發生位置亦都相對往更小的 kh 值移動。

在第四種配置 ($R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.3$) 下，如圖 4.5.5 所示，我們再度加寬了第一道潛堤的相對頂寬至 $R_c/h=0.6$，相對沒水深固定不變為 $d_c/h=0.3$，此為四種配置中第一道潛堤體積最大的($\forall=0.91$單位)，波浪通過此又高又寬大之透水潛堤能充分利用塊石摩擦及其孔隙內部水流來消減波能，因此其反射率變化仍然滿足前述之規律性，即隨著波浪入射角度變大，其局部極值的反射率則會相對變小，且發生在更小的

kh 值上。但其在較大的 kh 值上(kh=4.5)所呈現的反射率各線段變化同樣會趨於一定值，約在 0.7 附近，因此其能量損失係數則在 0. 5 附近。



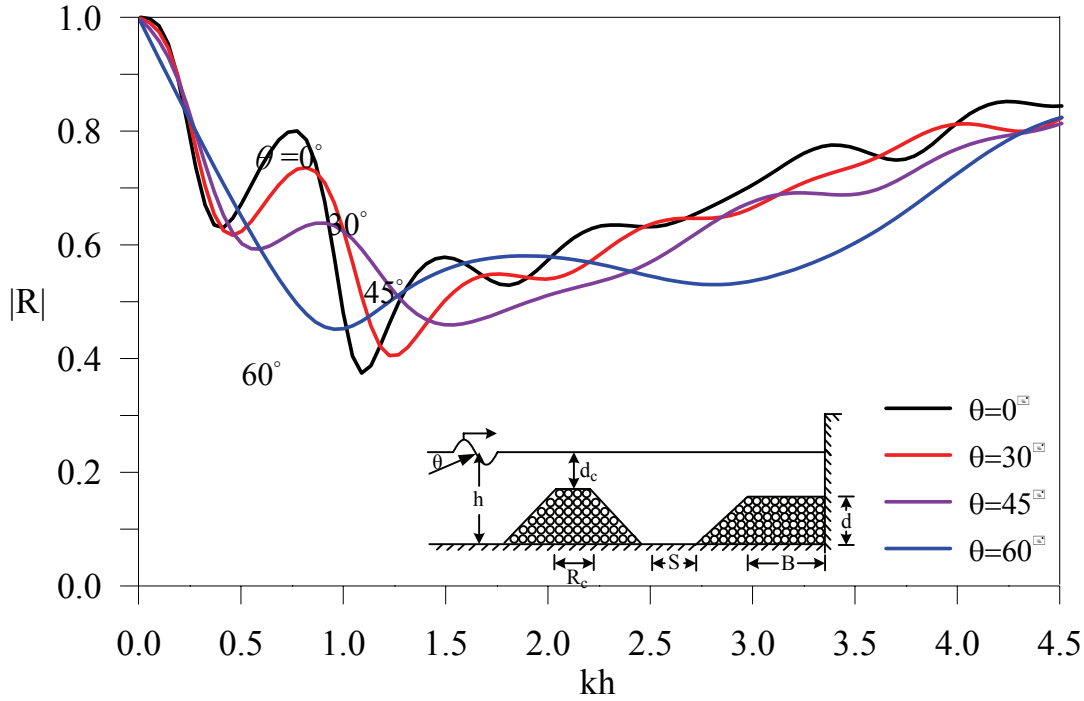
(a)反射率



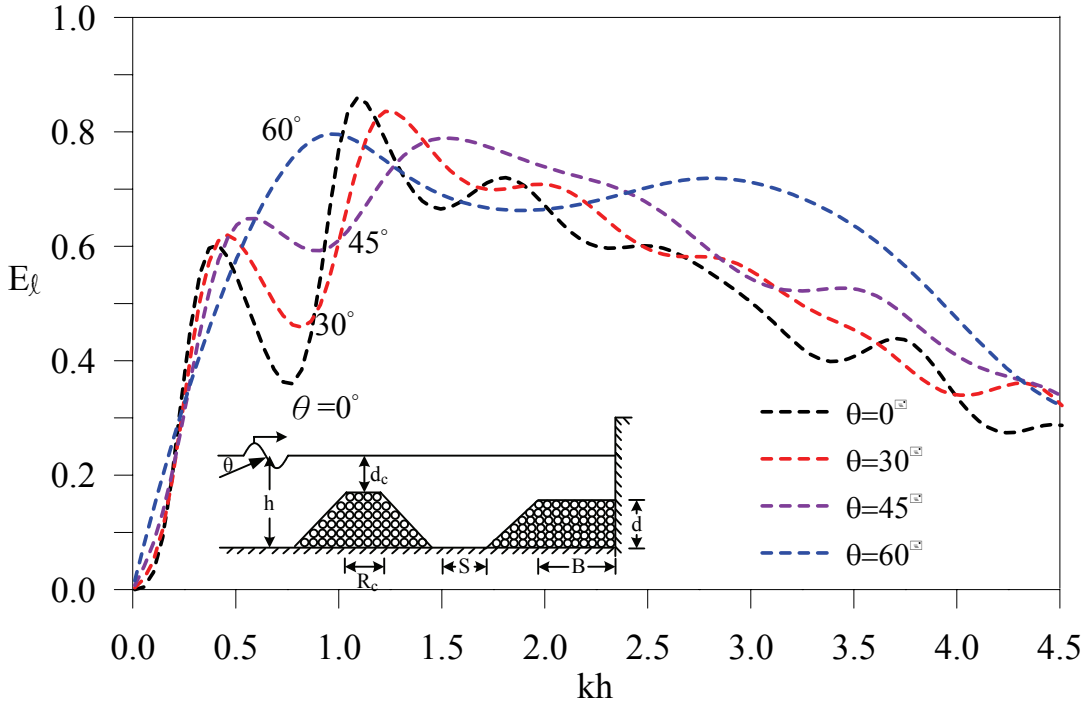
(b)能量損失

圖 4.5.2 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 Eℓ與 kh 之關係

$(R_c/h=0.4, d_c/h=0.4, S/h=1.0)$



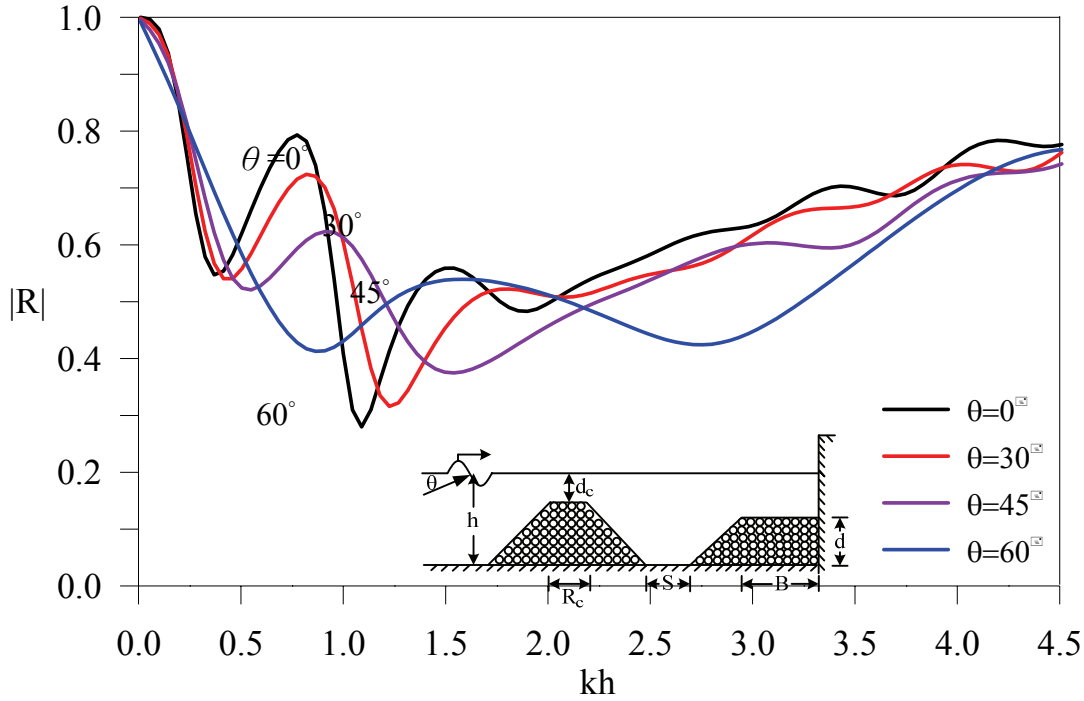
(a)反射率



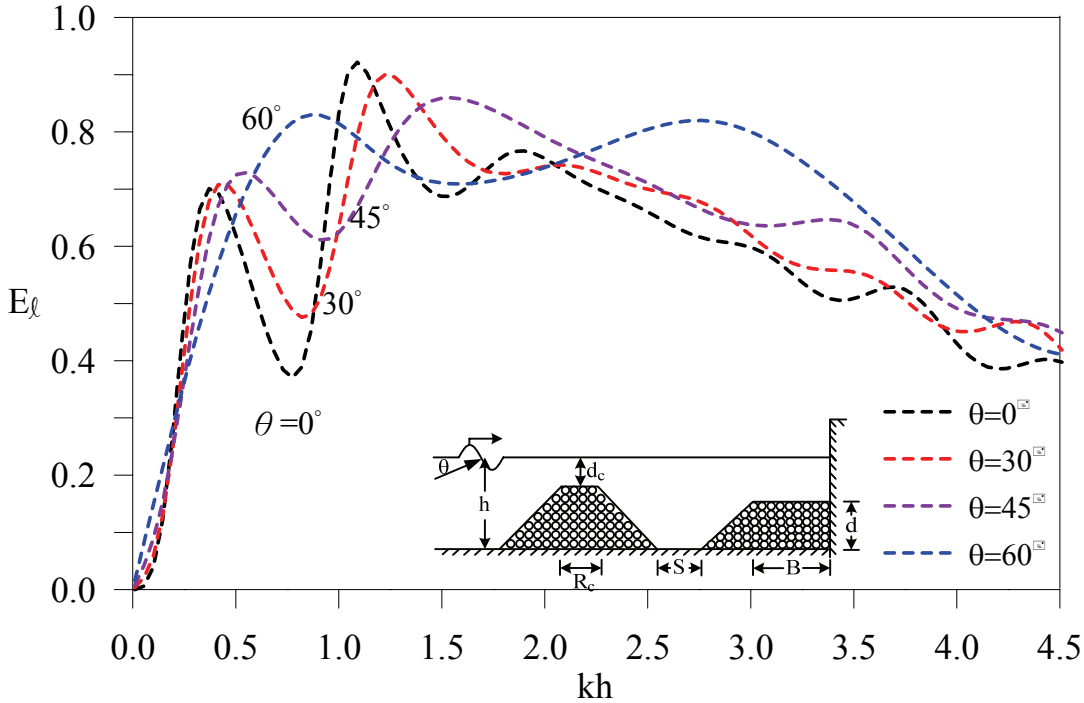
(b)能量損失

圖 4.5.3 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 E_l 與 kh 之關係

$(R_c/h=0.6, d_c/h=0.4, S/h=1.0)$



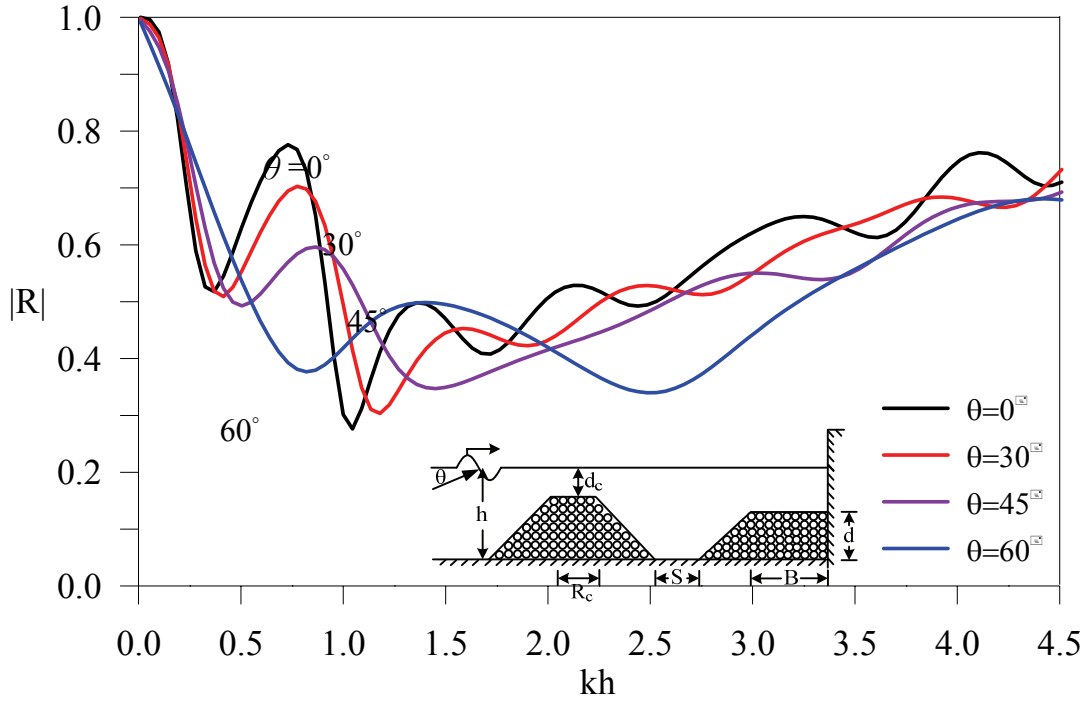
(a)反射率



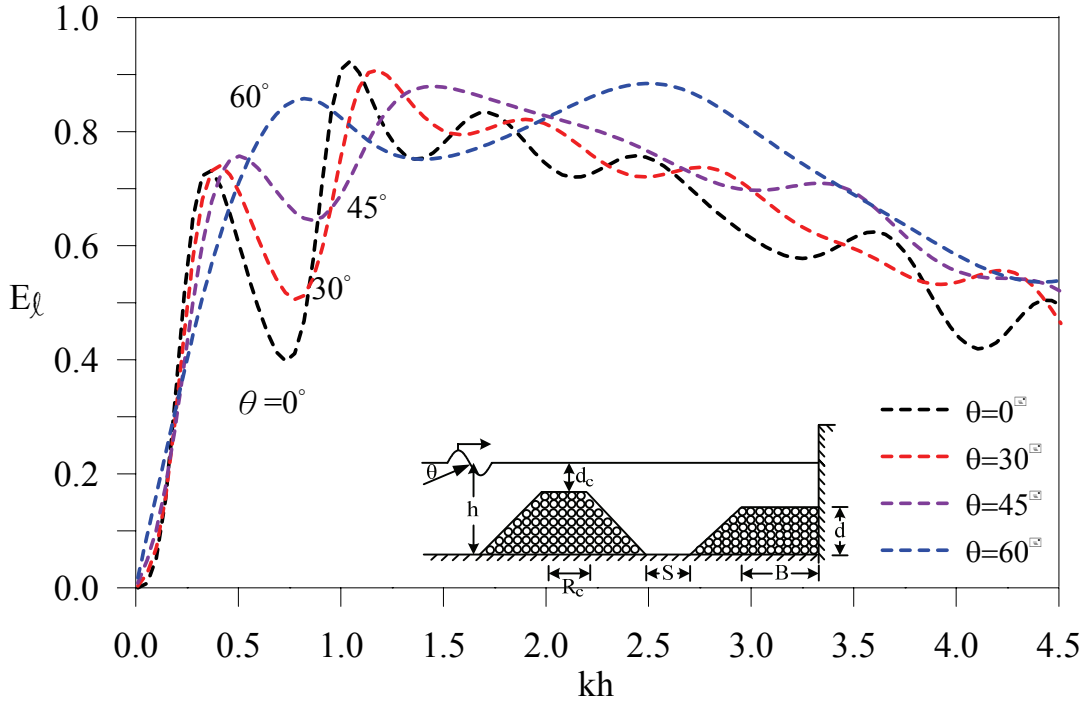
(b)能量損失

圖 4.5.4 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 E_l 與 kh 之關係

$(R_c/h = 0.4, d_c/h = 0.3, S/h = 1.0)$



(a)反射率



(b)能量損失

圖 4.5.5 波浪斜向入射反射率|R|及能量損失 El 與 kh 之關係

$(R_c/h=0.6, d_c/h=0.3, S/h=1.0)$

表 4.5.1 不同配置下反射率出現極值大小與發生位置

(a) Rc/h=0.4，dc/h=0.4，S/h=1.0						
波向	$\|R_{min}\|_1$		$\|R_{max}\|_1$		$\|R_{min}\|_2$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.415	0.672	0.775	0.819	1.135	0.412
θ=30°	0.505	0.659	0.865	0.763	1.315	0.448
θ=45°	0.595	0.634	0.955	0.677	1.585	0.512
θ=60°	1.045	0.51	2.215	0.642	3.115	0.627

(b) Rc/h=0.6，dc/h=0.4， S/h=1.0						
波向	$\|R_{min}\|_1$		$\|R_{max}\|_1$		$\|R_{min}\|_2$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.415	0.63	0.775	0.8	1.09	0.374
θ=30°	0.46	0.617	0.82	0.736	1.225	0.405
θ=45°	0.595	0.593	0.91	0.638	1.54	0.459
θ=60°	0.955	0.452	1.9	0.581	2.8	0.53

(c) Rc/h=0.4，dc/h=0.3，S/h=1.0						
波向	$\|R_{min}\|_1$		$\|R_{max}\|_1$		$\|R_{min}\|_2$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.37	0.547	0.775	0.792	1.09	0.279
θ=30°	0.46	0.54	0.82	0.724	1.225	0.316
θ=45°	0.55	0.521	0.91	0.623	1.54	0.375
θ=60°	0.865	0.412	1.585	0.54	2.755	0.424

(d) Rc/h=0.6，dc/h=0.3， S/h=1.0						
波向	$\|R_{min}\|_1$		$\|R_{max}\|_1$		$\|R_{min}\|_2$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.37	0.518	0.73	0.775	1.045	0.276
θ=30°	0.415	0.51	0.775	0.703	1.18	0.303
θ=45°	0.505	0.493	0.865	0.596	1.45	0.347
θ=60°	0.82	0.377	1.405	0.499	2.485	0.34

第五章 海岸公路邊坡保護工法

5.1 海岸公路背景

一般常謂之海岸公路(Coastal highway)即是行車道路兩側皆臨海面或至少有一側濱臨海岸者，惟美國聯邦公路局 FHWA(2008)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)而有越波或波浪淘蝕等危及橋梁、路面、邊坡或道路附屬設施之安全。圖 5.1.1 為不同類型之海岸公路災害。

臺灣因為經濟開發及運輸交通需求，於全島公路網中，有多條濱海興建的海岸公路(圖 5.1.1)。臨海側路段邊坡與基腳之巡視檢測不若陸側之方便，故其定期之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域公路不同。

東部地區兩條濱海公路為臺 9 線和臺 11 線，此二條公路為東部地區之主要交通幹道，對東部之產業及經濟發展功不可沒，且臺 9 線臺 11 線大部份路段皆濱海開闢，沿途可欣賞海岸山脈及太平洋之美景，亦是東部之觀光資源。惟臺灣東部地區位於板塊碰撞之交界處，山壁陡峭及地質不穩定，加上東部海岸濱臨太平洋為颱風侵襲頻繁之處，在暴潮巨浪及長浪拍打作用下，公路常因下邊坡之崩塌、掏空而造成道路中斷情形，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，這些情形皆有待檢討及改善。

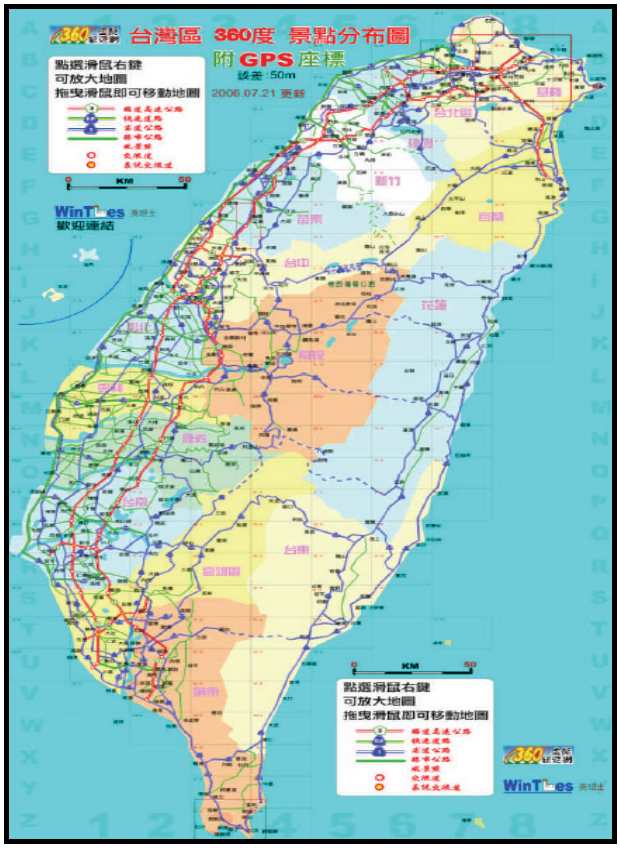


圖 5.1.1 臺灣公路網(http://www.wintimes.com.tw/play/tw-map.htm)

5.2 臺灣東部海岸公路環境背景

臺灣東部海岸公路主要由臺 9 線和臺 11 線所構築而成，其公路範圍如圖 5.2.1 所示。臺 9 線是一條縱貫臺灣東部之公路，涵蓋北宜公路、蘇花公路、花東公路和南迴公路。臺 9 線北起為臺北市忠孝東路，經新店、頭城、羅東、蘇澳、南澳、花蓮市、玉里、池上、鹿野、臺東市、太麻里、大武到臺東楓港，全長約為 475km，為臺灣公路里程數最長的公路。其中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花蓮郵局前，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。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。臺 11 線海岸公路緊鄰花蓮至臺東之太平洋海岸修築，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。

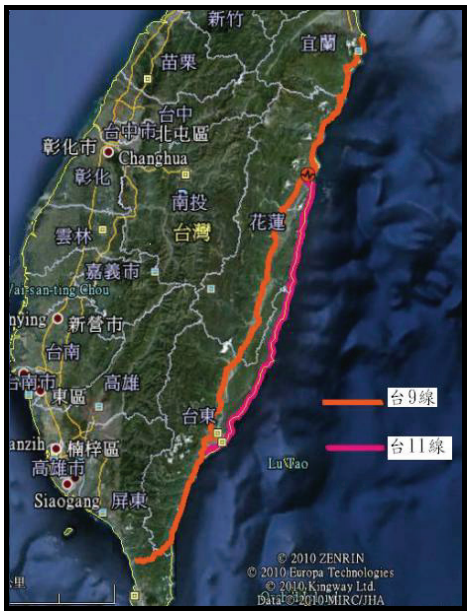


圖 5.2.1 臺九線和臺十一線示意圖

5.2.1 地形與地質

臺灣東部海岸地區以豐富的地質地形景觀聞名，所露出的岩層地質主要有火山岩、沈積岩、深海碎屑岩和泥岩層，且仍在繼續隆升中，因長年受風化、海水侵蝕以及堆積作用，地形更富變化，有海岸階地、沙灘、礫石灘、礁岸、離岸島、海岬和海蝕平台、海蝕溝、海蝕洞等等，另外亦因受到地殼構造運動的影響，山脈直接入海，部分以岩岸為主之海岸形成壯觀的峽谷及斷崖海岸地形，其中夾雜零星的小沙灘點綴其間。由此更孕育了豐富的動植物及海底生態景觀，沿線可欣賞清水斷崖、石梯坪、三仙台、石雨傘與小野柳獨特的海蝕地形景觀。綜觀東部海岸公路其沿線地形大致可區分為灣澳礁岩地形、海崖斷層地形、礫石沙灘地形等。如前述由於東部海岸大部分屬於離水型(隆升型)海岸，侵蝕作用較為發達，除了河口與港灣之外，多處都有海岸侵

蝕的現象。而東部海岸地區之地質也較為脆弱，其岩層主要為火山岩層、礫岩、頁岩、砂岩和和部分泥岩所構成，由於岩層上的差異，也可能造成不同的災害。比如花蓮境內豐濱鄉以北山脈地質脆弱，一遇颱風，常常容易引發山崩挾帶大量土石，造成道路中斷，著名之蘇花公路，由於其地質結構屬於石灰岩地形，土質較為鬆散，自修建以來擴寬改善工程就不曾間斷，而邊坡露頭之尖硬岩層部分也因長期風化作用而易於外力衝擊時產生剝落崩離，對公路之安全構成威脅。往後評估災害保護之工法，亦會有所不同。有鑑於此，對於東部海岸地形和地質應審慎觀察，作為往後施工時評估對策之參考條件。

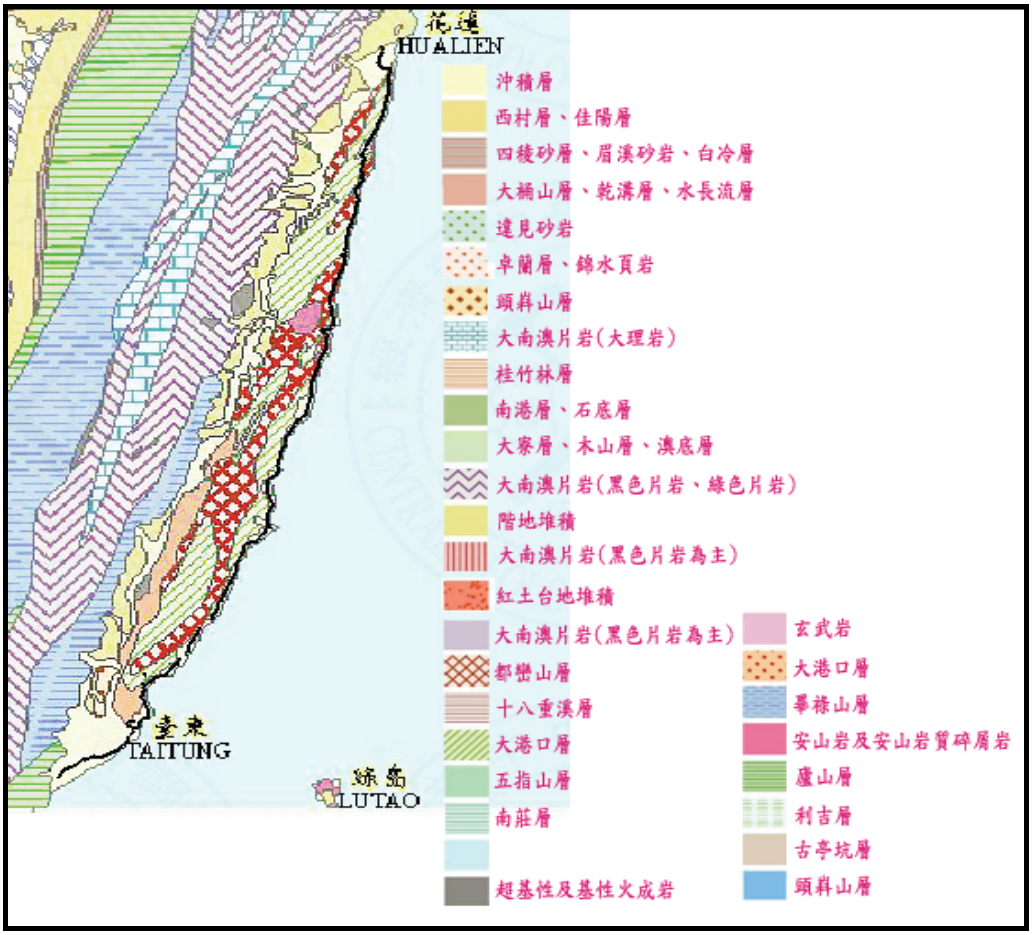


圖 5.2.2 東部地區地質圖 (黑線為臺 11 位置示意圖)

5.2.2 波浪

本節波浪海象資料主要取自於本所和中央氣象局，本所港灣技術

研究中心東部觀測站主要為蘇澳港和花蓮港，蘇澳港測站位置位於24°36’04”N，121°51’32”E，花蓮港測站位置位於 23°59’36”N，121°37’42”E；中央氣象局東部觀測站主要為龜山島、蘇澳站、花蓮站和成功站，蘇澳站浮標位置位於24°37’31”N，121°51’32”E，花蓮站浮標位置位於 24°02’07”N，121°37’50”E，成功站浮標位置位於23°04’47”N，121°23’00”E。

依據本所波浪年報及中央氣象局臺東測站的統計數據顯示（表5.2.1、表5.2.2、表5.2.3），東部沿海地區因為受到東北季風之影響，冬季示性波高介於1.02~1.85公尺之間，而週期介於6.0~9.0秒，波向多為東北向，夏季波高介於0.5~1.0公尺之間，週期介於6.0~7.0秒，且最為頻繁的波高除夏季的 0.34~1.58 公尺以外，其他各季皆在0.47~2.1公尺之間；但週期除了夏、秋季的6.0~10.0秒之間最為頻繁之外，其他各季皆在6.0~7.0秒之間；夏、秋季為颱風最為頻繁之期，由表可知東部海岸波浪長期受至颱風引響。

表 5.2.1 蘇澳港測站 1990-2008 波浪數據統計

季節	示性波高 (m)	示性波高週期 (sec)	最大 示性波高(m)	最大 示性波高週期(sec)
春	0.55-1.38	6.0-9.0	2.43	11.4
夏	0.34-1.58	6.0-10.0	4.98	13.1
秋	0.47-2.1	6.0-10.0	4.94	14.2
冬	1.02-1.85	6.0-9.0	2.75	10.7

表 5.2.2 花蓮港測站 1990-2007 波浪數據統計

季節	示性波高 (m)	示性波高週期 (sec)	最大 示性波高(m)	最大 示性波高週期(sec)
春	0.8-1.3	6.6-7.6	3.92	8.0
夏	0.5-1.0	6.0-7.0	8.78	11.7
秋	1-1.5	6.8-7.8	8.64	12.3
冬	1-1.5	7.0-8.0	3.95	8.5

表 5.2.3 臺東波浪數據統計

單　位	期間（年/月）	位置	水深（m）	波高（m）	週期（sec）
中央氣象局	69/06~71/08	新港	-36	夏季:0.5~0.75	夏季：6.5~8.0
				冬季：1.0~1.5	冬季：7.0~8.5
中央氣象局	69/06~76/10	成功	-36	夏季：1.03	夏季：6.84
				冬季：1.15	冬季：6.90
中央氣象局	92/01~96/10	成功	-38	夏季：0.97	夏季：8.12
				冬季：1.64	冬季：8.06

5.2.3 潮汐

東部海岸地區之潮汐設站不若西部海岸來得分佈密集與均勻，目前中央氣象局、水利署及港灣技術研究中心等有關單位於東部建置之長期潮汐觀測站計有宜蘭海岸之烏石、梗枋、蘇澳港，花蓮海岸之石梯、花蓮港及臺東海岸之成功、富岡、大武及綠島等。表 5.2-4~表 5.2-7 為花蓮、蘇澳、富岡及石梯之巢位統計表。

表 5.2.4 花蓮潮位站潮位統計表

最高高潮位	H.H.T	1.06
平均潮位	M.W.L	0.00
最低低潮位	L.L.W.L	-1.04
最大潮差	MM.T.R	2.10
平均潮差	MEAN	0.93
觀測基準面		以花蓮測站年平均潮位為基準
資料年度		民國 88 年 1 月~民國 96 年 12 月

表 5.2.5 氣象局蘇澳潮位站 2005-2007 潮位統計表

最高高潮位	H.H.T	1.330
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T	0.851
平均高潮位	M.H.W.L	0.561
小潮平均高潮位	H.W.O.N.T	0.497
平均潮位	M.W.L	0.038
小潮平均低潮位	L.W.O.N.T	-0.476
平均低潮位	M.L.W.L	-0.553
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T	-0.789

最低低潮位	L.L.W.L	-1.080
平均潮差	MEAN	1.114
資料年度		民國 84 年 1 月~民國 95 年 12 月

表 5.2.6 氣象局富岡潮位站潮位統計表

最高高潮位	H.H.T	1.37
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T	0.89
平均高潮位	M.H.W.L	0.63
小潮平均高潮位	H.W.O.N.T	0.56
平均潮位	M.W.L	0.12
小潮平均低潮位	L.W.O.N.T	-0.39
平均低潮位	M.L.W.L	-0.35
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T	-0.67
最低低潮位	L.L.W.L	-1.15
平均潮差	MEAN	0.96
潮差基準		潮位水準點 TG16 為 2.9810m
資料年度		民國 89 年 12 月~民國 95 年 12 月

表 5.2.7 氣象局石梯潮位站潮位統計表

最高高潮位	H.H.T	1.37
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T	0.82
平均高潮位	M.H.W.L	0.66
平均潮位	M.W.L	0.07
平均低潮位	M.L.W.L	-0.50
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T	-0.70
最低低潮位	L.L.W.L	-1.23
最大潮差	MM.T.R	2.30
平均潮差	EAN	1.16
大潮平均潮差	S.T.R	1.53
觀測基準面		以基隆平均海水面為基準
資料年度		民國 90 年 11 月~民國 96 年 12 月

5.2.4 海流

海流猶如大洋中的河流，會向某一特定的方向流動，流動的路徑大致固定。唯有在沿岸部份，會因潮汐、地形及河流的注入等影響其

變化。近岸海域之海潮，除受到漲退潮影響外，終年大多受由南往北之黑潮主流流經的影響，流向為北或東北，流經臺灣東部者為黑潮主流，具高溫、高鹽度等特性，最強流速出現在接近臺灣的海岸處，流速向東逐漸降低，主流沿臺灣東部海岸北上，對臺灣東部的氣候與漁產有相當大的影響。再者，東海岸地形陡降，黑潮主流常年流經東部海域，是大洋性洄游性魚類必經的通路，在此的底棲、上中層洄游性魚類及貝介類也十分豐富，是良好的漁場。

圖 5.2.3 為 1991~2007 年臺灣四周海域臺灣附近水深 30 公尺，15 分網格平均海況流矢展示圖，為上述期間各季之平均海況流矢展示圖，其中以彩色水深地形圖為底圖，箭頭方向表示流向，箭頭大小為流速大小，箭頭起始點代表該網格點內，在該時間區間與深度區間所有流速資料的平均。臺灣附近的流場以東岸的黑潮最為明顯，流向北北東。黑潮是北太平洋環流的一部份，經菲律賓東北轉而沿著臺灣東岸外海北上，黑潮主流平行且靠近臺灣岸邊，距岸約 40km，寬度約 200km。臺灣海峽內冬季東北季風來臨時，黑潮水從巴士海峽流向西北，進入臺灣海峽，在澎湖群島附近與往北的黑潮水相遇；夏季西南季風強時，黑潮水由巴士海峽經臺灣東岸向北流，南海海水則從巴士海峽通過臺灣海峽北上。

圖 5.2.4 為臺灣於深度-20m 之海流展示圖，以時間及深度為區分 49 張圖，其中以彩色水深地形圖為底圖，並畫上該深度之等深線，箭頭方向表示流向，箭頭大小為流速大小，箭頭起始點代表該網格點內，在該時間區間與深度區間所有流速資料的平均。

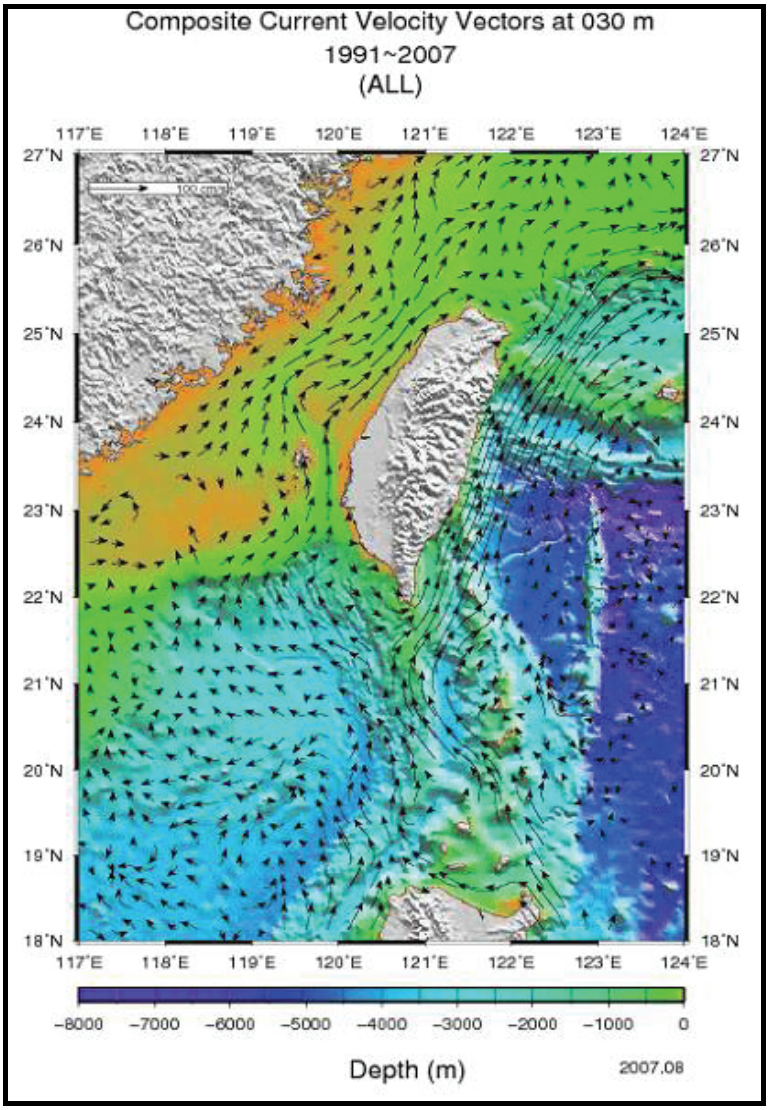


圖 5.2.3 臺灣四周海域年平均海況流矢展示圖

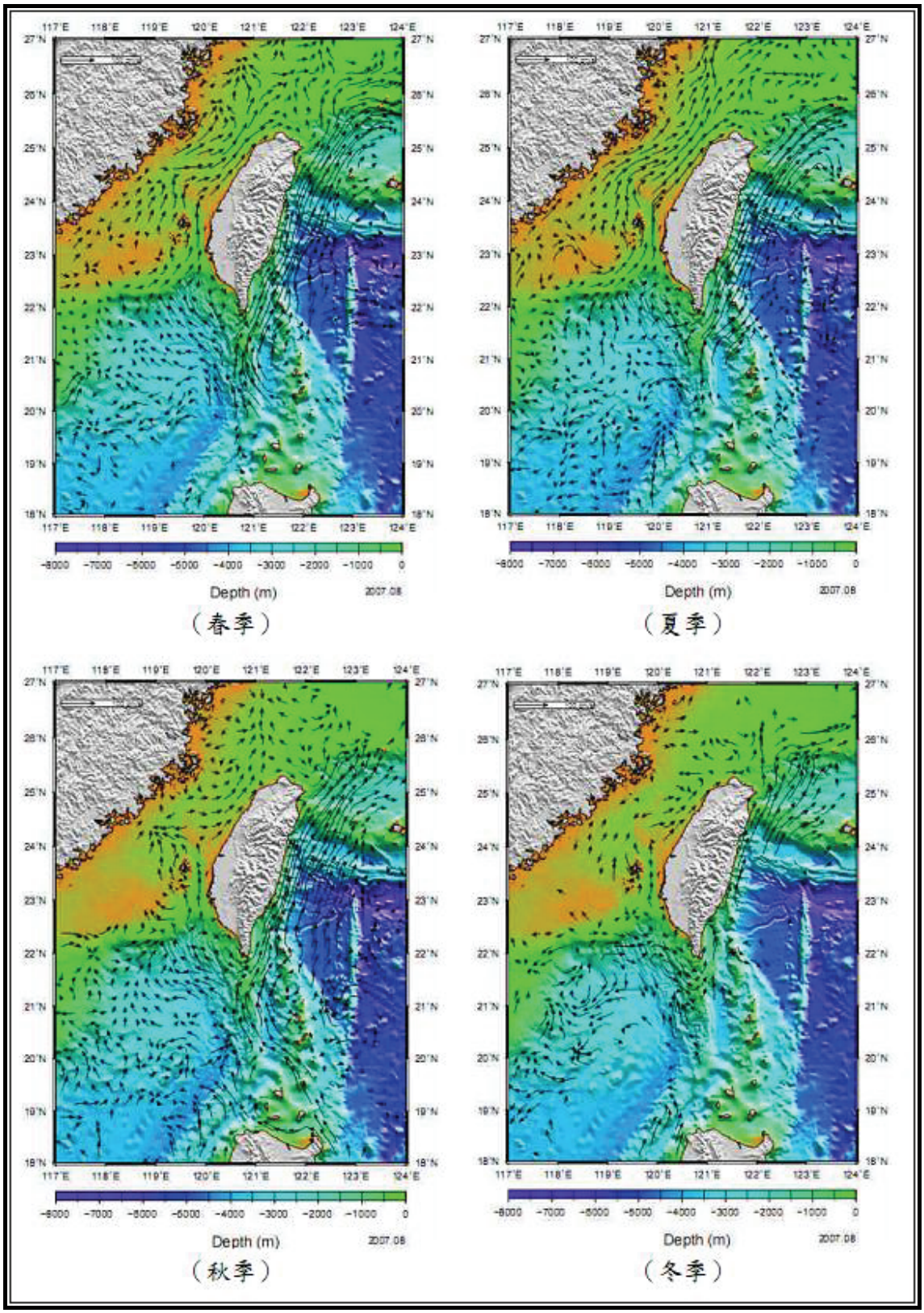


圖 5.2.4 臺灣四周海域各季平均海況流矢展示圖

5.2.5 颱風

臺灣因位於西太平洋颱風區，所以每當夏季時，常有颱風侵襲臺灣，根據颱風侵襲臺灣路徑分析圖(圖 5.2.5)得知，東部海岸於颱風侵襲季節時，有甚多路徑皆會對其照成威脅，因此東部地區海岸公路，往往首當其衝受到颱風豪雨及暴潮巨浪的嚴重侵襲，造成莫大的災害。

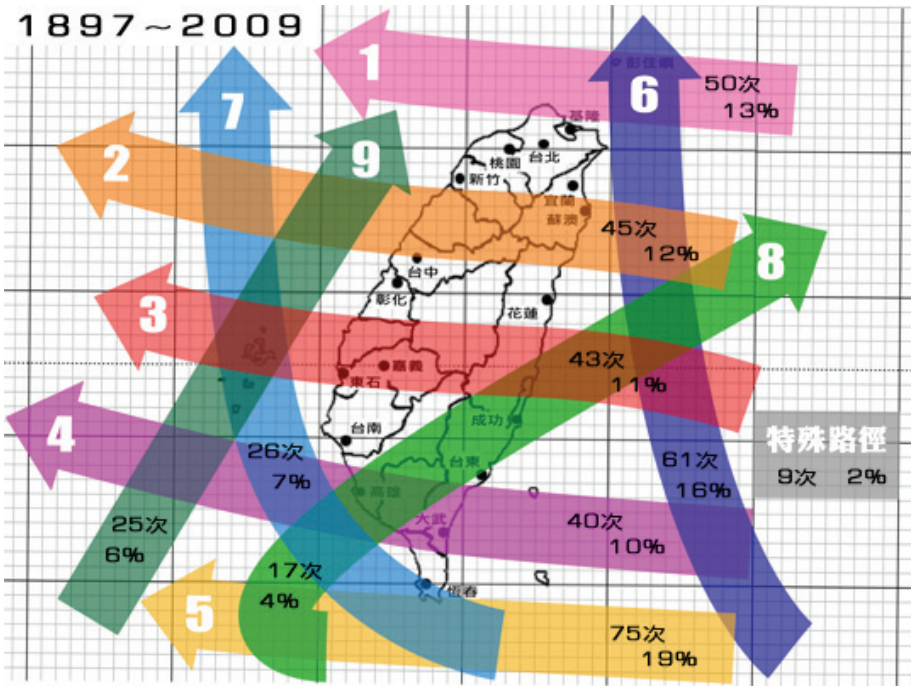


圖 5.2.5 1897-2009 颱風侵襲臺灣路徑圖

5.3 臺灣海岸公路之現況

臺灣海岸公路因受前述地文、水文、海象及漂砂等因素影響，導致海岸公路臨海側常發生越波、邊坡崩塌、路基流失、堤址侵蝕及保護工毀損等災害，其中又以東部海岸公路之災況較為頻繁與嚴重，西部海岸公路因大都距離海岸線有一定距離，故由海象環境引起之災況較少。本節主要以臺 11 線截至目前為止之蒐集資料，就易致災各路段發生災害之原因和保護方式，整理如下，最後再就臺 9 線及臺 17 線各一處之災害說明。

5.3.1 臺 11 線

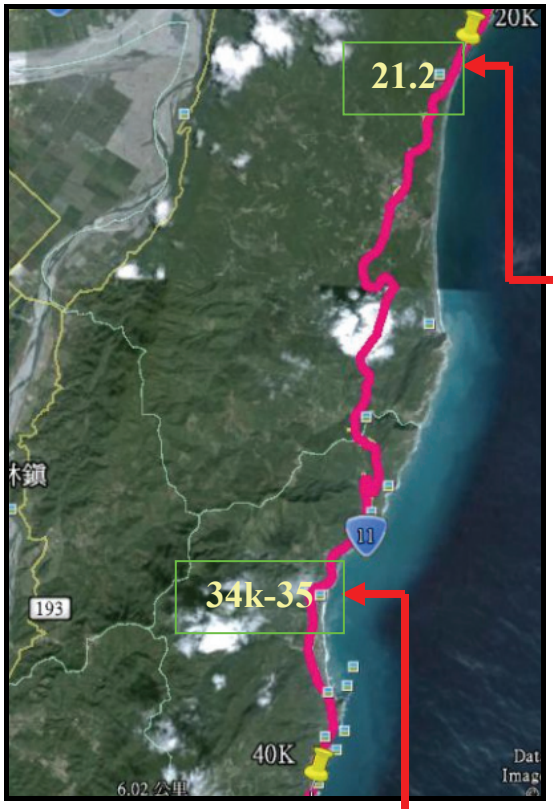
因海浪長期沖蝕下邊坡，造成路基流失，而形成崩塌。經四工處證實，鹽寮至目前為止，仍有侵蝕的現象。

離岸邊距離：0.01km

此處因地質多為砂岩與頁岩，地質狀況較為脆弱，所以容易造成崩塌。經四工處證實，18k-22k 道路已內縮 500m，原道路已廢棄，作為觀浪用。

離岸邊距離:0.05km

圖 5.3.1 臺 11 線 0-20km



此段為跳浪段，左邊兩張照片分別為公路上下邊坡，下邊坡因海岸侵蝕後退，已危急公路路基的穩定。經四工處證實，18k-22k 道路已內縮 500m，原道路以廢棄，作為觀浪之用。

離岸邊距離：0.11km

此段為大崩段，地質包含了凝灰岩和泥岩…等。凝灰岩膠結性不佳，孔隙率大，風化快；泥岩則是遇水則軟化。因此處有了這兩種地質特徵，所以此處形成了臺 11 線的大崩段。經四工處證實，該段道路崩塌之情況，趨於減緩。

離岸邊距離：0.18km

圖 5.3.2 臺 11 線 20-40km

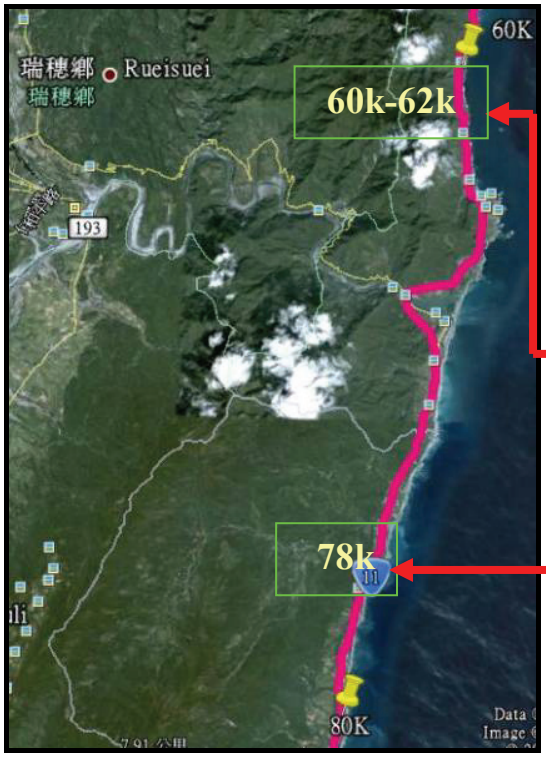
該段有設置新機隧道，但因地質多為舊崩積土，加上離海近，路基易被海岸侵蝕淘刷，進而產生崩塌。目前四工處已將此段內縮 100m，現今仍在施工中。

離岸邊距離：0.1km

此地段因路基長期被海岸侵蝕淘刷，進而產生崩塌。

離岸邊距離:0.1km

圖 5.3.3 臺 11 線 40-60km



此區因地質為火山岩，抗剪力較弱，所以易造成崩塌，有多次路基掏空紀錄。
離岸邊距離:0.05km

此段因較鄰近海域，常有越波情況，已設置防浪牆，不過礙於景觀視野，設置高度受限，效果亦有限。

圖 5.3.4 臺 11 線 60-80km

臺 11 線 80k~100k，依三工處說明，此路段過去並無破壞情形，惟因所拋消波塊逐漸失去消能作用，致使今年颱風侵襲期間 90K_700~830 處護岸下側混凝土坡面工被波浪侵襲而大片剝落毀損。

圖 5.3.5 臺 11 線 80-100km

依公路局第三養護工程處之說明，臺 11 線 100K~終點為止，此段公路尚稱安定，並無明顯之公路災況發生。

上述曾發生災害地點，其災害發生原因及現有實施的保護工法和現況整理於表 5.3.1。

表 5.3.1 臺 11 線易致災路段說明表

災害地點里程數	災害原因	保護方式與現況	現況照片
7k-9k	公路離海約 10-20m，易造成海岸侵蝕，路基流失。	以拋 3000 餘個消波塊減緩海岸侵蝕，並施做防波堤和防浪堤。大致已穩定，不過鹽寮段仍有部分海岸侵蝕的現象。	 8k+600  9k+700
18k-22k	此段稱為跳浪段，公路離海約 50m，加上地質脆弱，造成海岸侵蝕，且易崩塌。	原本拋 1600 餘個消波塊，但還是嚴重侵蝕，經評估過後，該段公路已內縮 500m，原公路已廢棄，留作觀光海浪之用。	 臺 11 線 十二號橋

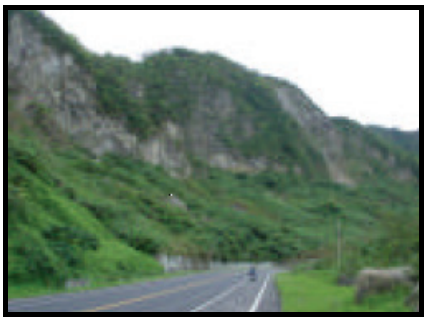
災害地點里程數	災害原因	保護方式與現況	現況照片
34k-35k	此段稱為大崩段，因地質含有凝灰岩和泥岩，特別容易造成崩塌，因此該段有大崩段之稱號。	以地工和植生等技術，穩定其下邊坡。經四工處證實，該路段已穩定。	

表 5.3.1（續） 臺 11 線易致災路段說明表

災害地點里程數	災害原因	保護方式與現況	現況照片
41k	該段為新機隧道之路段，因其地質多為舊崩積土，加上離海亦近，易造成海岸侵蝕。	現今四工處已將該段內縮100m，正在施工中。	
42k-44k	該段因路基長期被海岸侵蝕淘刷，進而產生崩塌。	已設置防波堤和拋置消波塊。經四工處證實，該段已穩定。	

災害地點 里程數	災害原因	保護方式 與現況	現況照片
59k-62k	公路旁的邊坡過於陡峭，並緊臨海岸，易造成下邊坡崩塌和海岸侵蝕；62k 的人定勝天附近，有多次路基掏空之紀錄。	已拋置 1000 餘個消波塊。經四工處證實，該段已趨於穩定。	 62k 人定勝天
78k	該段因離海近，常有越波發生，已影響公路及用路人之安全。	已設置防浪牆，不過礙於景觀視野，設置高度受限，效果也有限。	

5.3.2 臺 9 線與臺 17 線

臺 9 線過去常見大浪越波及海岸侵蝕危及路線安全之災害，尤以稱蘇花公路和平溪至立霧溪段最為險峻，但在歷經內移改線、興建隧道等工程改善措施後，因海象條件所引起之公路災害已不多見。今年梅姬颱風於此段公路所釀巨大災況，雖然海側邊坡亦有大片滑落崩塌情形，但此災害係因公路上邊坡大量土石瞬間擠壓加上暴雨強烈沖刷所造成，並非海象因素所引發之公路災況。圖 5.3.6 及圖 5.3.7 分別為臺東縣境內臺 9 線 410K~411K 及 429K~430K.於莫拉克颱風侵襲期間，因為上邊坡流下土石擠壓、暴雨逕流及大浪之淘刷，引起海側邊坡崩塌、路基流失後所造成之公路路面塌陷災害。由於臺 9 線於太麻里至大武間之路線有多處離海岸之距離僅有 60 公尺左右，甚至亦有公路邊坡趾部已臨海面，於颱風大浪時，波浪激烈沖刷邊坡及崖壁趾部，日積月累已逐漸危及公路之安全。2003 年杜鵑颱風來侵時，臺 9 線南迴公路 435K 大溪明隧道口附近，發生巨浪越波將車子打落公路之意

外。2004 年 10 月陶卡基颱風過境之外圍環流所引起之長浪將南迴公路多良及尚武路段之水泥護欄沖毀道路面上並將路基淘空約近百餘公尺。2009 年莫拉克颱風侵襲期間，臺 9 線 438.5K，即在臺東大武南興路段，路基因為被海浪嚴重侵蝕，交通受到影響，當時僅能維持單線雙向通車。

圖 5.3.6 臺 9 線 410K+650(左)及 411K+150 路面塌陷災害

圖 5.3.7 臺 9 線 429K+800~430K 路面塌陷災害

圖 5.3.8 為臺東縣大武漁港南側臺 9 線之公路現況，此段海岸目前因漂砂被北堤攔阻及繞射進入港內而缺少砂源，致使南岸地形持續崩塌後退，一些臨時搭建的屋舍已落入海中，現南迴公路臨海側路基也面臨塌陷危險。由此圖可發現，受到大武漁港北堤阻擋沿岸漂沙造成南側海岸嚴重侵蝕，公路海側已無砂灘，颱風大浪時，波浪直逼公路基腳，雖然屢拋消波塊保護，但侵蝕問題持續發生，越波及路基沖

蝕災況持續不斷，研擬適當對策應刻不容緩。

圖 5.3.8 為臺東縣大武漁港南側臺 9 線之公路現況

臺 17 線在臺南市區黃金海岸段之路線因海灘侵蝕，路基於颱風大浪期間有被沖刷問題，此乃因公路外側緩衝消能海灘寬度不足，據成大水工試驗所「臺南市海岸環境監測計畫」之分析，發現二仁溪北岸灣裡一帶海岸線於 1993 年至 2004 年的侵淤變化中，後退量最大約 100 公尺左右。圖 5.3.9 為臺 17 線於臺南市黃金海岸附近公路海側之邊坡護岸於非颱風季節時之長浪作用下，造成嚴重之破損現象，已明顯危及護岸內側車道之安全，事後第六河川局緊急復原修護確保公路之穩定。由於臺 17 線於二仁溪南、北兩側之路線離海岸消波工之距離大都僅在 60~100 公尺內，最近者距離不到 30 公尺，此些路段皆可能潛藏有波浪上溯淘刷之危害風險。

圖 5.3.9 臺 17 線臺南黃金海岸段邊坡護岸破壞情形

5.4 海岸公路防護因應對策

由於緊鄰海岸闢建之海岸公路其所處之環境除一般陸域公路之外力條件外，尚須考慮海象條件及海域地形變遷之影響，故其定期維護或災害防護之作業準則應該與一般陸域公路有所區隔，尤其在臨海側，對可能有致災風險之海象環境應該有具體之考量。臺灣東西兩岸之海岸公路地形型態及海象環境差異迥大，惟整體海岸公路防護作業應該具有相似之因應對策。

參考國外相關單位之作業方式及臺灣現地環境狀況，本計畫初步擬定臺灣海岸公路防護之作業準則應該朝以下之方式思考、研擬：

5.4.1 歷史災資料庫之建置：

過去至今之許多公路災害狀況皆未做有系統之歸類建檔，以致資料零散於各單位，或資訊之不公開等因素，致使相關歷史災況資料之搜集頗為困難。惟不同期程歷史災況之資料，可供研究單位參考分析，

歸納易致災地段、探討致災原因及檢討防護工法之效益，此對探討目前海岸公路各路段之致災風險與規劃適宜防護工法甚有幫助，因此海岸公路災況資料庫之建置應該是最基本與必須之工作，相關單位可參考歐美等國公路主管單位之作法，建置完整之災況資料庫系統。

5.4.2 現有易致災地點之普查：

一般公路養護單位對其轄區內各公路之現況皆有完整的資料，大致了解其管轄公路網中哪些路況於颱風豪雨季節屬於較易釀災之危險路段，也會有定期之維護巡視，隨時掌握各路段之穩定狀況，對交通網之順暢與行車安全有很大之幫助。惟此一工作對陸域公路系統較容易獲得掌握一切狀況，但對臨海側公路之邊坡、崖腳、護岸及海灘寬度等狀況之掌握較為不易，根本無法對整條海岸公路進行確實之巡視維護工作。尤其東部海岸公路有許多路段崖壁陡峭或高差甚大，平時根本無法掌握邊坡及崖腳之穩定狀況，僅能於公路發生塌陷或損壞時方能得知可能之狀況。因此各養護單位應就其轄屬道路於颱風、大浪季節經常發生越波、邊坡崩塌或路面塌陷之路段加以普查並作成資料庫。再依人力、經費及設備之狀況，定期對這些易致災路段之海側邊坡、崖腳、沙灘及保護設施等進行檢視、量測，以供研判是否會有持續性之致災風險或研判防護設施是否有機能降低情形，期能即時維護，減少路況災害之發生。

5.4.3 易致災地點地文及海象資料監測

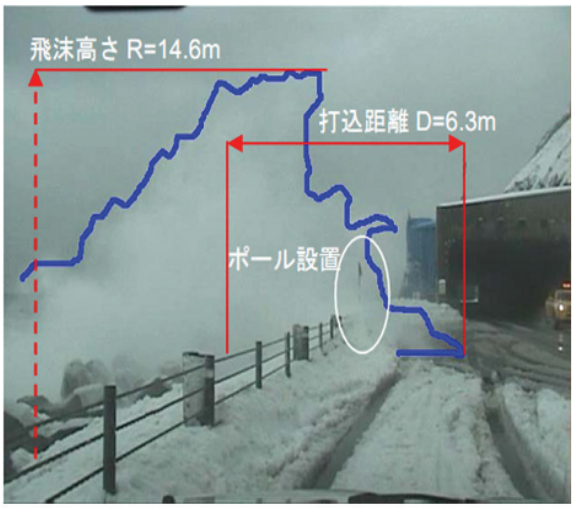
臺灣公路系統中，山區或邊坡易崩塌路段之監測系統之建置與監測資料之蒐集皆較完備，除公路養護單位之邊坡位移與地下水觀測等系統外，尚有氣象局、水利署、水保局、地調所及其他研究機構所建置之水文、地文測站可供輔助參考使用，但東部海岸公路海側邊坡之監測系統幾乎沒有。且因為邊坡、崖腳、沙灘主要受到暴潮巨浪之上溯淘蝕為主要之破壞外力，但目前海象觀測網尚無法均佈於環島四周海域，以致部分路段欠缺實測之海象資料可資應用參考。建議公路養

護單位除能於常釀邊坡崩塌路段加強巡查外，亦應選擇適當路段裝測邊坡穩定偵測系統，除能掌握易致災地點之邊坡特性外，亦可觀測邊坡暴雨逕流及波浪之沖刷狀況。同時亦應協調氣象局或委由學術單位於欠缺海象資料之高風險地點，建置長期之海象觀測站，蒐集諸如波浪、潮汐、海流、風速等相關海象水文資料，以提供災況研判、防護工法設計及災情預警分析之應用。

5.4.4 即時監視系統建置

雖然目前環島海域有氣象局或水利署等單位所設置之海象觀測站可提供相關之海氣象資料，但為能提供掌握異常氣象條件時路面越波狀況及提供釋判海灘寬度之變化，公路相關單位可於易發生大浪越波災害或常發生因緩衝海灘寬度不足致海岸公路有因坡趾或崖趾侵蝕而產生邊坡崩塌或路面崩陷等災況之路段，在適當岸側地點架設越波影像監視設備，搭配影像分析技術，可分析出公路在波浪作用時之最大越波高度及越波影響範圍，提供防護工程規劃設計之參考。另外所分析數據亦可結合波浪、潮汐、越波即時推算模式，提供模式演算之驗核，再由演算結果，由道路主觀機關或災害應變指揮中心依據當地道路路型與行車速限等資料之配合，可於颱風暴潮時提供即時越波預警作用，提供公路單位做為封路或暫時管制行車之參考。

圖 5.4.1 即為日本海岸道路所架設越波監視系統捕捉波浪越坡時之分析畫面，圖 5.4.2 則為提供道路越波預警分析之分析步驟示意圖。圖 5.4.3 及圖 5.4.4 則為日本研究單位所規劃海岸公路越波監測與分析之作業流程示意圖，公路養護或研究單位可參考制定適合臺灣之作業方式。



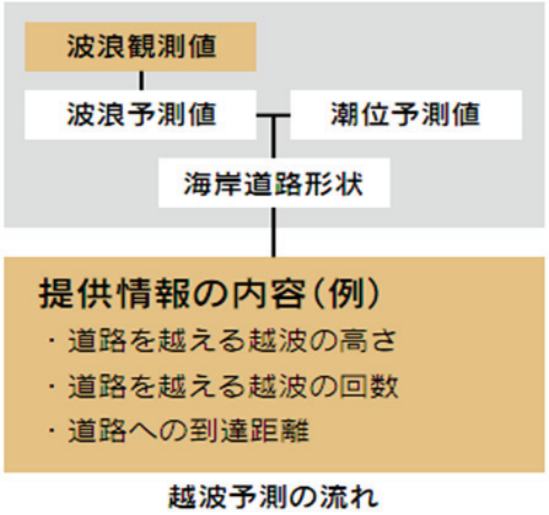


圖 5.4.1 海岸道路越波捕捉面　　圖 5.4.2 道路越波計算步驟

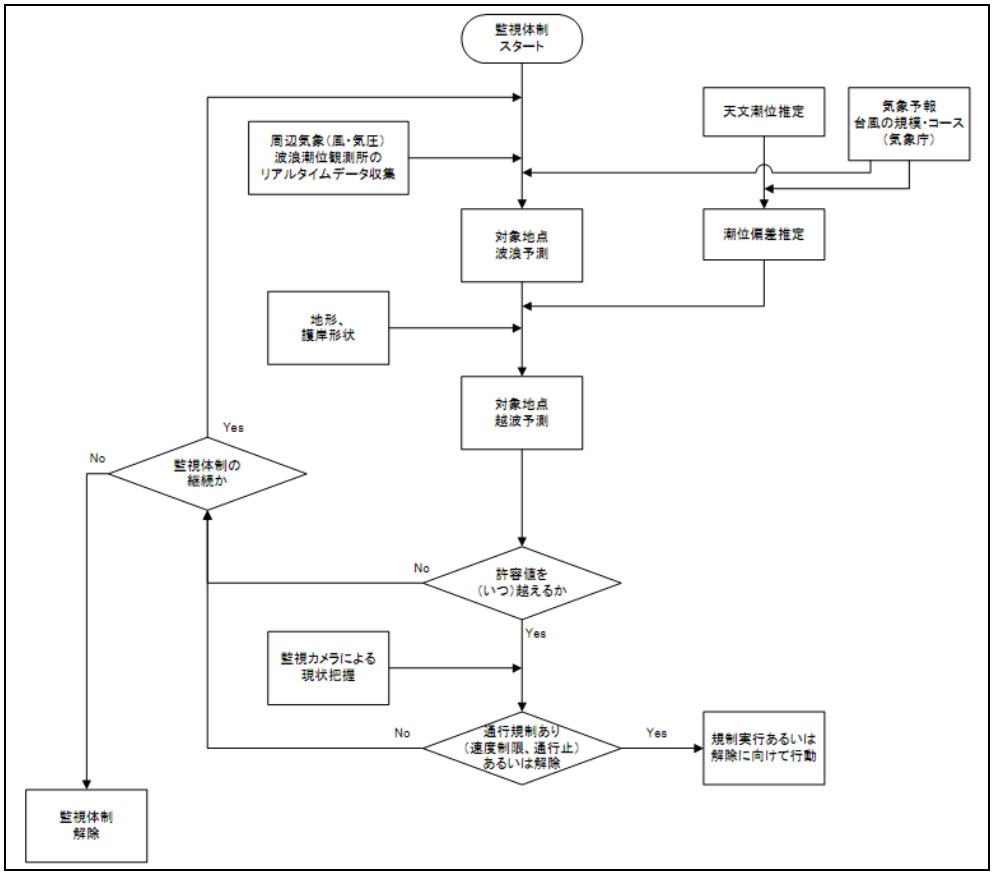


圖 5.4.3 日本公路越波監視與預測分析之流程圖

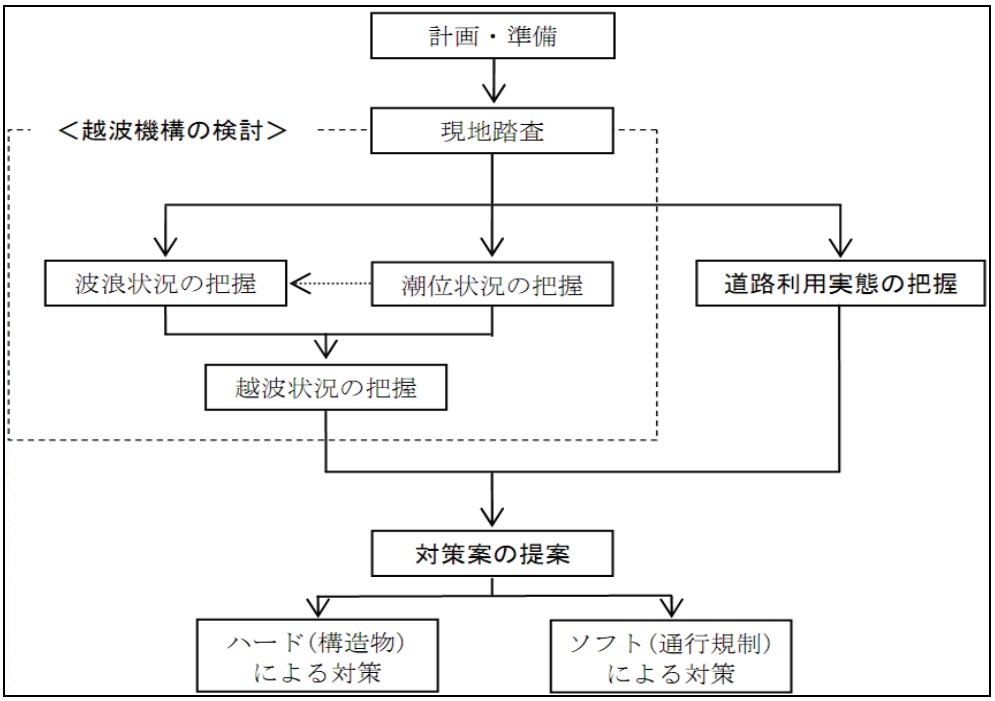


圖 5.4.4 日本公路越波防護對策分析流程圖

由於目前世界各地海岸公路釀災原因之一即為海岸侵蝕嚴重，公路外側海灘緩衝寬度明顯不足，造成波浪直接淘刷邊坡或衝擊海堤護岸而引發公路災害，臺灣海岸公路亦面臨海岸侵蝕所衍生之破壞問題。海岸線之變遷問題非常複雜，除波流外力影響外，尚與當地海岸地形特徵及漂沙有密切關係，若無完整資料，無法有效預測與分析，且往往一場颱風巨浪之作用即造成海灘嚴重流失，有時在季風浪能量之傳輸，海灘也無法完全回復颱風前之寬度，為有效掌握海岸公路外側海岸線之變遷，了解海灘緩衝寬度之變化，公路主管單位亦可同時利用前述之即時影像監視系統之功能，由監測影像資料分析岸線位置及海灘寬度，如此養護單位可評估公路海側海灘是否有侵蝕後退情形，據此對有崩塌之路段預先規劃適當之防護措施。另外此砂灘寬度侵淤之變化，亦可提供研判或制訂海岸公路安全緩衝帶之依據，依美國加州公路局之研究，認為公路側之海灘至少應有 230 英呎以上之緩衝寬度方能提供海岸公路之安全。臺灣東海岸部份路段易於暴潮大浪時產生越波，且部份路段亦因砂灘消能寬度不足而發生趾部遭受波浪淘蝕情形，故此系統應適宜建置，提供公路安全防護及預警管制參考。

5.4.5 海岸公路潛勢區段之分類與劃分

每段海岸公路之運輸功能、環境區位、地質條件及海氣象因素皆有不同，因此其致災之脆弱性因子與致災之潛勢風險皆有差異，所以無法以單一之防護對策或施工方法運用於所有海岸公路之養護上。目前東部海岸公路致災之主要原因應為地質條件與海象條件兩大因素，目前路線之地質因素之了解與掌握較為完整，但公路外側臨海邊坡之穩定性與崖趾之承載性則因觀測與調查不易，尚無法有效了解，目前觀測技術與設備之進步應可克服地形上之困難，公路主管關機關應該分期全面檢測，以分類各公路在地質與地形上之脆弱程度。另外由於自然與人為外力之作用，海岸漂沙失去供輸平衡，造成各處海灘嚴重侵蝕，海岸線明顯後退之情形，此一現象導致高能量之波浪與海流頻頻直接侵襲至公路之邊坡或基腳，終至引起保護工失效，路基流失、道路塌陷之災害。究竟每段海岸尚有多少海灘寬度？各段海岸公路需要多少之緩衝寬度方能將低波浪對公路之危害？目前海灘侵蝕之速率又是多少？這些數據將直接影響到海岸公路之安全與否？也關連到該段海岸公路究竟是以侵蝕防護工法保護即可或是必須以路線內移改道方式規劃？因此公路主管單位可參考美國之作法，對各區段海岸公路進行海岸變遷分析與不同年度之侵蝕幅度預測，據以繪製海岸公路侵蝕潛勢分區圖。最後再依地質脆弱性、侵蝕脆弱性、海氣象條件與運輸功能等級等加以評比，劃分出各段海岸公路之災害潛勢與防護等級，提供研擬最佳防護對策之參考依據。

5.4.6 相關海岸相關單位之合作

由於海岸公路海側邊坡或保護工之破壞機制之分析或相關適宜防護設施之設計規劃須有完整之海氣象資料、地形與漂砂資料、現有防護工法資料外，尚須有海岸工程背景之專業人士相互配合方能提供海岸公路得到較佳之安全防護機制。惟目前公路主管機關之進用工程人力較少海岸及海洋科學方面之人力，亦較缺少相關之監測、調查與研究設備。因此公路主管機關應可參考美國各州相關公路單位之作

法，可與水利、海岸研究單位或機關合作或進行縱橫間之合作溝通、協調、互享資料，同時委由海岸相關學術研究單位進行相關海氣象與海岸地形變遷之評估與研判，提供最終端之分析成果與防護建議方案，再由公路單位進行相關工程之設計與施工。另外公路單位亦可定期分批選派適當人力至水利單位及學術機構進行專業培訓與技術研習，讓各養護單位能培育編制內之海岸工程專業人力，如此將有助於平時海岸公路之安全檢測與現地災況潛勢之預判，同時亦能在設計時能融入海岸工程之知識，規劃出更適於當地海岸環境之防護工法，如此將有助於海岸公路之安全性之提升。美國各州公路局皆與 FEMA 及美國工兵團合作，除採納專業諮詢並選配人員至該單位學習，成效良好，故此一方法應該亦為提升臺灣海岸公路安全之一軟性策略。

第六章 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。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

在確認促使波浪溯升越波可以消減波浪因溯降造波可能提高堤前的反射率的機制後，在第二年度的研究裡，水工模型試驗方面，主要考慮內建斜坡的坡度，以及後方中空消波室的縱深對波浪越波以及越波後的振盪與排水等的影響，結果顯示斜坡越緩，消波室越深都可以降低堤前的波動。然而我們也注意到在實際港灣內的波動場裡，可能存在的是很短週期的波動及很長週期的蕩漾，如何有效地調整斜坡的坡度、長度及出水高度以促使主要的成分波在斜坡上發生越波，將會是一個很重要的研究課題。

2. 簡易功能使用型

由裝置剛性翼板之繫留浮體試驗，剛性翼板繫留浮體翼板角度在30 度時水平振幅之比較，其結果與翼板角度 0 度時的結果相似，其自然振頻同樣有隨翼板長度增加而往低頻的趨勢。可發現，在翼板長度

15cm 與 25cm 時之自然振頻分別約為 0.8 與 0.5，與翼板角度 0 度的結果相較下，在 30 度時浮體的自然振頻更往低頻靠近。翼板角度為 30 度時的垂直振幅，則與角度 0 度時結果相似，但翼板角度 30 度的自然振頻較 0 度的浮體更往長週期。剛性翼板繫留浮體角度為 30 度時之旋轉振幅，其旋轉振幅與 0 度時的特性相似，但其旋轉振幅較 0 度時來的小，其自然振頻也更往低頻靠近。

剛性翼板繫留浮體在翼板角度為 30 度時的反射率，其反射率與入射波週期及翼板長度間之關係大致與翼板角度 0 度時的結果相似，即翼板增長將提升其反射率，同時與垂直翼板的反射率比較結果，其在高頻的地方，無因次週期約在 0.75 至 1.75 之間，其翼板傾斜 30 度時有較佳的反射率。

3. 環境保護型消能結構物

本年度經由水工模型試驗與數值計算結果，初步得到下列幾點結論：

1. 當波浪正向入射時，採用分開式雙潛堤配置，表示潛堤間遊水室空間變大，波浪可以利用此空間及潛堤上方水域來作消能，水工模型試驗結果顯示在長週期波下都會有最小反射率值，而且其值會隨著潛堤寬度、高度之增加而下降。在短週期波下，由於波浪能量大多集中於水面附近，較無法感應到雙潛堤存在，波浪大多從潛堤上方通過，僅有部份進入透水潛堤內，因此消能效果有限，所以反射率會有較大值。

   另外，當波浪正向入射時，數值計算結果顯示發生最小反射率值之位置有漸漸往長週期波(kh 較小)處移動，當堤高、堤寬增加，經由換算第一道堤前趾至岸壁距離(D)與入射波長之比大約在 D/L=0.26 及 0.85 附近處；而且其趨勢與水工模型試驗結果相當一致。

2. 水工模型試驗結果顯示採用分開式雙潛堤配置時，由於有第一道透水潛堤阻擋，波浪通過後作用到直立岸壁波壓力會明顯降低，都比 Sainflou 重複波壓力小，其最大波壓力值發生在水面附近(z/h=0.025)；而且壓力會隨著水深漸增壓力漸減；但是長週期 T=1.7sec 採用分開式配置，直立岸壁波壓力反而變大，即使堤高堤厚增加，無因次最大波壓力值會從 P/ρgH=0.693(連結式)增加至 P/ρgH=0.833(分開式)。

3. 水工模型試驗結果顯示四分之一圓弧板上由於孔洞作用，波浪溯上時會有部分波浪落入孔洞中，因此大大降低波浪溯升高，水面上波壓計完全量測不到波浪作用力，因此所測得壓力為零，而且以位於水面下-7cm(z/h=-0.14)可以量測到最大波壓力，但是其壓力值與連結式壓力值作比較後發現偏小，而最後一組長週期波試驗，卻發現大部份最大無因次波壓力值會變大。

4. 運用 FLOW-3D 套裝軟體模擬波浪作用於環境保護型結構物之反射率與流速分佈進行研究。利用自由水面計算結果，擷取相對於水工模型試驗虛擬之波高計量測位置的水面波形資料，分別利用 Goda and Suzuki (1976)二點法或 Healy(1953)公式求得反射率，與數值模式計算結果與水工模型試驗量測值大致接近。另外流速分佈在本研究計算例中向海第一道透水潛堤相對沒水深 dc/h=0.4、相對堤寬 Rc/h=0.4 及二潛堤相對間距 S/h=1.0 時，利用 FLOW-3D 計算流場分佈可以清楚顯示第一道潛堤上方流速變大，而且二潛堤間遊水室流速有降低趨勢，且因四分之一圓弧形孔隙板之設置，亦可有效降低其與直立岸壁間之流速大小。

5. 波浪正向或斜向入射環境保護型防波堤，不論在何種配置下，其反射率皆會產生兩個局部最小值及一個局部最大值，其中又以正向入射時(θ=0°)會有較大反射率，但會隨著波浪斜向入射的角度變大(30°、45°、60°)，反射率尖峰值其分佈會漸漸往較大

的 kh 值側移動。而在 kh=4.5(深水波)時，波浪能量大多被反射，無論入射角度為何，各配置下反射率皆會趨於一定值。

4. 海岸公路邊坡保護工法

臺灣東部地區兩條濱海公路位於板塊碰撞之交界區域，山壁陡峭及地質不穩定，加上東部海岸濱臨太平洋為颱風侵襲頻繁之處，在暴潮巨浪及長浪拍打作用下，公路常因下邊坡之崩塌、掏空而造成道路中斷情形，再者波浪長期作用之海岸侵蝕亦已威脅公路路基之安全，部份路段亦因長浪越波沖擊危及行車安全。這些不同破壞型態與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，本年度主要針對臺 11 線公路邊坡的災害進行調查，後續將持續收集並分類整理國內各海岸公路的災害特性。

6.2 建議

1. 長波抗浪型

未來在水工模型試驗的部分將在此一累積的經驗下，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

在數值模擬方面經由兩年的測試，目前已經能夠初步掌握及確認 FLOW-3D 在波動模擬方面的適切性，本年度也應用水工模型試驗的佈置進行數值模擬，結果顯示週期越長其試驗與模擬的結果趨勢越接近。此外，亦嘗試著進行三維的造波平面水槽數值模擬。在進行相關

的驗證後，未來的研究將以水工模型試驗探討其他可能影響消波能力的參數，並用 FLOW-3D 繼續進行更長週期的二維及三維的數值模擬，以彌補水工模型試驗在造波週期方面的限制。

2.簡易功能使用型

完成第一年度所建立之繫留浮體解析構架，進行附加剛性翼板之浮體的水工模型試驗，後續將再構思其他如樁柱式壓氣型浮式結構物等消能特性。

3.環境保護型消能結構物

後續研究中,將再進一步檢討其工程應用上可能遭遇的問題並作適當地改良。用 FLOW-3D 進行模擬中，孔隙介質內的流體現象仍需要進一步探討。

4.海岸公路邊坡保護工法

後續將持續收集並分類整理國內各海岸公路的災害特性，藉以針對幾處曾經發生的破壞案例或有安全威脅之路段進行破壞機制檢討，並研擬適合國內海岸公路特性的相關作業準則。亦將加強蒐集海外海岸公路之資料、監測方式與保護工法。

6.3 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，提供公路總局在海岸道路保護的可行監測方案及改善策略。

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 Engieering 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. Gesraha, M.R., 2006. “Analysis of Π shaped floating breakwater in oblique waves： I. Impervious rigid wave boards”, Joural of Applied Ocean Research, Vol.28, pp.327-338.

8. 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.

9. Hassan, R.M., 2002. “Coastal protection and development of Alexandria,” Coastal Environment： Environmental Problems in Coastal Regions IV.

10. Hiraishi, T., 2002. “Long Period wave absorbing by artificial beach,”

Proceeding of 6th Littoral 2002, EUROCOAST, pp.601-606.

11. Hiraishi, T., 2006. “Development of long period wave absorber,” Proceeding of the 16th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol.3, pp.621-625.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. Madsen, P.A., 1983. "Wave Reflection from a Vertical Permeable Wave Absorber," Coastal Engineering, Vol.7, pp.381-396.

23. Mars W.V. & A. Fatemi, 2004. "A literature survey on fatigue analysis approaches for rubber," International Journal of Fatigue, Vol.24, 949-961.

24. Mars W.V. & A. Fatemi, 2006. "Multiaxial stress effects on fatigue behavior of filled natural rubber," International Journal of Fatigue, Vol.28, 521-529.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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

29. 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.

30. 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.

31. 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.

32. Sullisz, W., 1985. "Wave Reflection and Transmission at Permeable Breakwaters of Arbitrary Cross Section," Coastal Engineering, Vol.9, pp.317-386.

33. 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.

34. Weng, W.K. and C.R. Chou, 2007. "Analysis of Responses of Floating Duel Pontoon Structure," China Ocean Engineering, Vol.21, No. 1, pp.91-104.

35. 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.

36. Xie, S.L., 1999. "Wave forces on submerged semi-circular breakwater and similar structures," China Ocean Engineering, Vol.13, No.1, pp.63-72.

37. Yu, X., 1995. "Diffraction of Water Waves by Porous Breakwaters," Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, Vol.121, pp.275-282.

38. 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。

39. 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。

40.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。

41.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。

42.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。

43.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。

44.林東延，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。

45.林東延，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。

46.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，國立台灣海洋大學河海工程學系，基隆，台灣。

47.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。

48.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。

49.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。

50.孫維芳，2002，海岸山脈北段公路沿線邊坡崩塌特性研究，國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。

51.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。

52.許泰文，2003，“近岸水動力學”，科技書局。

53.郭一羽，2003，海洋工程學，文山書局。

54.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。

55.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。

56.郭金棟，海岸工程，第 10-8～10-10 頁。

57.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。

58.陳崇華，2004，“台十一線海岸公路邊坡崩塌災害分析”，國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。

59.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。

60.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。

61.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。

62.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。

63.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。

64.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。

65.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。

66.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。

67.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。

68.邱永芳、林炤圭、蔡金吉，2010，“消能式結構物特性之研究(1/4) ”，交通部運輸研究所。

69.邱永芳、林炤圭、蔡金吉，2011，“消能式結構物特性之研究(2/4) ”，交通部運輸研究所。

附錄一 簡報資料

消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究（2/4）

著者：邱永芳、何良勝、蔡金吉

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

1

研究目的

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物。

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式結構物。

海岸公路邊坡保護工法以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。

2

研究項目

- 長波抗浪型之消能構造之研究

  以水力式阻尼之長波抗浪型結構物的研發為主。進行數值模式與水工模型試驗等研究，以進行新型水力阻尼結構物特性探討及最佳配置的研發。

- 臨時簡易功能使用型消能構造之研究

  探討規則波通過繫留浮體在不同翼板長度及角度下之運動特性及反射率與透過率。

3

■ 環境保護型消能構造之研究

由前期開發的環境保護型消能結構以水工模型試驗及數值模式建置與模擬。進行反射率及波壓力之量測，以探討其對消波減壓效果之影響。

■ 海岸公路邊坡保護工法

調查及收集國內各海岸公路的特性並分類整理，以及針對幾處曾經發生的破壞案例或有安全威脅之路段進行破壞機制檢討。收集國外有關海岸公路監測及防護作業準則與保護工法，並研擬適合國內海岸公路特性的相關作業準則。

4

長波抗浪型之消能構造之研究

■ 長週期波浪的水工斷面模型試驗

由於本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，因此水工模型試驗主要探討以下各項特性來確認新設計之消能結構物之實用性。

A. 越波排水的方式 B. 斜坡的透水性 C. 斜坡的坡度

D. 堤內拋石的孔隙率與透水性 E. 暴潮水位與不同波高

1.模型以1/36比例縮尺，在大型斷面水槽(100mx3mx3m)中進行試驗

2. 試驗模型配置改變斜坡坡度tanθ=1/2、1/4和1/8及縱深比D=Da+Db=D1、D2和D3。將坡度與縱深比配對得到9種不同試驗配置

5

長波抗浪型之消能構造之研究

長波抗浪型斷面試驗模型配置

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

6

(a) Db/Da=1　　(b) Db/Da=2　　(c) Db/Da=3

長波抗浪型模型的尺寸

經由模型縮尺(1/36)換算後得到長波抗浪型斷面試試驗條件如下（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
31.2			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
48.0			506.1	8.0			25.9764	0.2661	0.0019

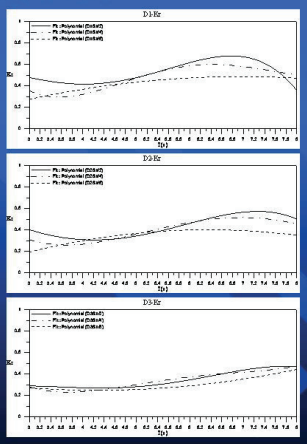
- 試驗結果綜合比較

1.固定縱深比且不同斜坡坡度之討論比較

當縱深比固定時利用較緩之斜坡坡度，讓波浪能夠溯上、越波將可消減較多之波浪能量，以達到較佳之消波效果。

2.固定斜坡坡度且不同縱深比之討論比較

固定三種坡度的斜坡試驗改變縱深比D1-D3所得之結果，發現其整體反射率皆隨縱深比之增加而降低。

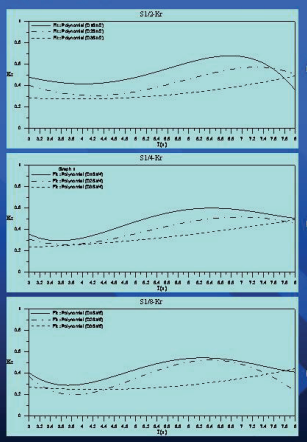


(a)縱深比D1

(b)縱深比D2

(c)縱深比D3

固定縱深比之波浪與斜坡坡度之比較圖



(a)坡度=1/2

(b)坡度=1/4

(c)坡度=1/8

固定斜坡坡度之波浪與縱深比之比較圖

➢ 水工模型試驗結果與討論

1.短週期波作用於坡度較陡之斜坡，如果溯上能力不足，其順斜坡溯下之水流將會對於前方水域加以擾動，造成反射率之部分增大之現象。
2.當縱深比加大時，對整體造波週期而言，反射率皆有降低的趨勢。
3.當縱深比為D1時，週期小於5.0s之反射率為坡度1:2＞1/8＞1/4，週期大於5.0s之反射率為1/2>1/4>1/8；當縱深比為D2時，週期小於3.6s與週期大於5.8s之反射率為坡度1:2>1/4>1/8，在週期3.8s至5.8s時，反射率非常接近；當縱深比為D3時，縱深比D3時三種坡度之反射率趨勢相同，反射率約為0.25至0.35。
4.斜坡坡度相同時，整體反射率與峰值隨著縱深比增加而降低，但發生的週期有後移之趨勢。
5.坡度1:8在縱深比D2週期3.8s時反射率小於縱深比D1和D3之最小值。
6.固定縱深比時以斜坡坡度1:8之消波效果最佳。
7.固定斜坡坡度時以縱深比D3之消波效果最佳。

■ 長週期波浪的數值模擬試驗

為更深入了解長週期波浪作用於水力式消能碼頭，使用FLOW-3D進行數值模擬計算比較其結果與水工模型試驗之消波能力與水理表現是否相符，故將進行一系列之數值模擬測試，利用類似的試驗條件進行比較，相關設定如下。

1.模型縮尺

以Froude 相似率定義選用與水工模型斷面試驗模型縮尺相同之縮尺為1/36（即長度縮尺為1/36、時間縮尺1/6）。

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	9.04	0.7643	0.0055
24.0			312.2	4.0			12.53	0.5515	0.0040
30.0			393.3	5.0			15.94	0.4336	0.0031
36.0			473.9	6.0			19.31	0.3580	0.0026
42.0			490.0	7.0			22.65	0.3052	0.0022
48.0			506.1	8.0			25.98	0.2661	0.0019

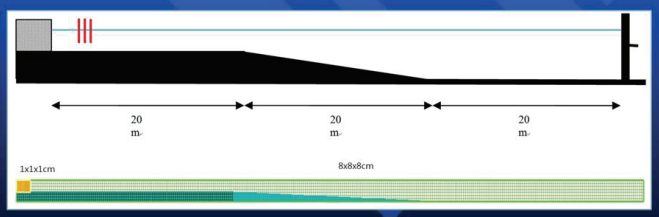
2.試驗模型、水深與波浪條件

與水工模型試驗採相同之模型配置藉由改變斜坡坡度1/2、1/4和1/8， 以及縱深比1、2和3，斜坡坡度與縱深比進行相互配對共有9種不同的試驗配置。

試驗順序	1	2	3
配置代號	D1S1/2	D1S1/4	DS1/8
配置名稱代表說明	縱深比 $D_b/D_a=1$	縱深比 $D_b/D_a=1$	縱深比 $D_b/D_a=1$
	斜坡坡度 $\tan\theta=1/2$	斜坡坡度 $\tan\theta=1/4$	斜坡坡度 $\tan\theta=1/8$
試驗順序	5	6	7
配置代號	D2S1/2	D2S1/4	D2S1/8
配置名稱代表說明	縱深比 $D_b/D_a=2$	縱深比 $D_b/D_a=2$	縱深比 $D_b/D_a=2$
	斜坡坡度 $\tan\theta=1/2$	斜坡坡度 $\tan\theta=1/4$	斜坡坡度 $\tan\theta=1/8$
試驗順序	8	9	10
配置代號	D3S1/2	D3S1/4	D3S1/8
配置名稱代表說明	縱深比 $D_b/D_a=3$	縱深比 $D_b/D_a=3$	縱深比 $D_b/D_a=3$
	斜坡坡度 $\tan\theta=1/2$	斜坡坡度 $\tan\theta=1/4$	斜坡坡度 $\tan\theta=1/8$

3. 試驗地形設置與網格、波高擷取設定

模型設置於試驗地形上，試驗地形為一20公尺平台經由一20公尺斜坡連結造波機前方之水平段。網格設置基本為粗網格8 × 8 × 8cm，並針對試驗模型配置進行網格加密即細網格以1×1 × 1cm進行計算，於平台上距試驗模型2.5m、3.7m與4.9m間距1.2m進行反射率波高擷取位置。



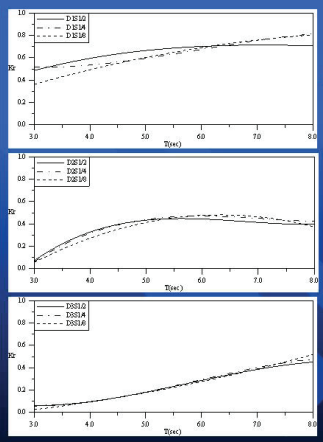
➢ 試驗結果綜合比較

1.固定縱深比改變斜坡坡度比較

當固定縱深比改變斜坡坡度時三種斜坡坡度之反射率變化差距並不大且有許多相似的趨勢。

2.固定斜坡坡度改變縱深比比較

當固定斜坡坡度改變縱深比由圖中顯示反射率整體趨勢隨縱深比之增加而降低。

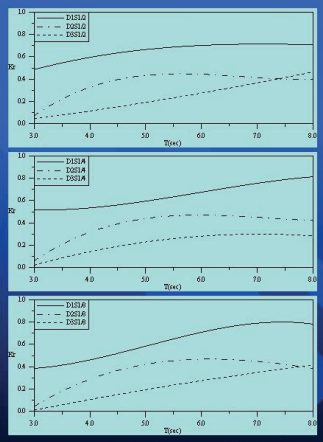


縱深比D1

縱深比D2

縱深比D3

固定縱深比，改變斜坡坡度之數值模擬反射率比較圖



斜坡坡度S1/2

斜坡坡度S1/4

斜坡坡度S1/8

固定斜坡坡度，改變縱深比之數值模擬反射率比較圖

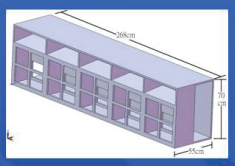
■ 平面水槽之數值模擬試驗

為了解具側向排水之新型消波式結構物，其消波能力與附近的水理現象。另為與前節結果做驗證，以及能契合實際狀況，除了沿用其相同之基本條件外，其他與數值模擬之相關設定如下：

1.數值模擬模型設定

採用由五個單一斷面模型，所組合而成268×70×55cm之模組化數值模擬模型，如圖所示。另為了往後探討多孔隙介質之效應，於中空之消波室嵌入如圖，孔隙係數 ε =0.35之透水性介質。

(a) 正視圖



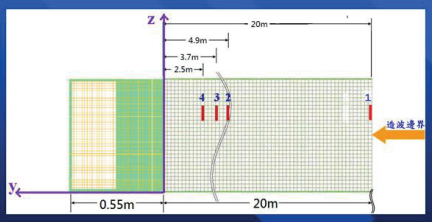
(b) 3D立體圖

組合式數值模擬模型及尺寸圖(縱深比，斜坡坡度比S1/8)

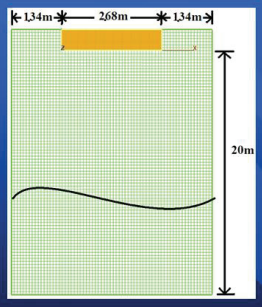
嵌入組合式數值模擬模型之多孔隙介質外觀尺寸圖(孔隙係數 ε =0.35)

2.試驗地形設置與網格、波高擷取設定

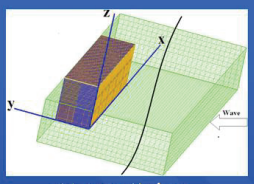
數值模型佈置如圖，模型設置於長度20m平台地形之一端，另一端為數值造波器之入射波端。



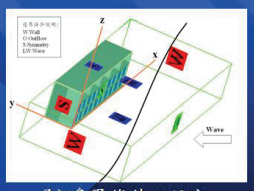
y-z平面網格配置及波高擷取位置示意圖



y-z平面網格配置



(a) 3D網格系統



(b) 邊界條件之設定

3D計算領域示意圖

3.數值計算

為探討側向排水效應與反射率間之相互關係，以取週期3s、波高5cm及縱深比D1之情況下，在改變斜坡坡度時，比較組合模型及斷面模型間之反射率為計算案例，其計算結果如表所示。由表可看出，側向排水之反射率較斷面模型之結果為高。

組合式及斷面模型反射率比較表

週期 (s)	波高 (cm)	配置代號	組合式模型Kr數值結果			斷面模型 Kr數值結果
			ch2-ch3 Mean	Ch3-ch4 Mean	Ch2-ch4 Mean	
3.0	5.0	D1S1/2	0.987	0.426	0.679	0.48
		D1S1/4	0.974	0.345	0.571	0.51
		D1S1/8	0.910	0.412	0.589	0.36

FLOW-3D數值模擬與水工模型試驗之趨勢不同處初步判斷為數值模擬之孔隙可能無法完全模擬如水工模型試驗之拋石孔隙間的水體流動所造成之效果，於縱深比D1的FLOW-3D模擬之反射率皆大於水工模型實驗，孔隙室消波效果不明顯，而縱深比D2與D3於週期較短週期部分又有變低之趨勢，有需要更深入之探討是否需要更改孔隙模擬之設定，以模擬至接近水工模型試驗之結果。

臨時簡易功能使用型消能構造之研究

■繫留浮體水工模型實驗

主要是利用斷面水槽，在不同造波試驗條件下進行水工模型試驗，探討規則波通過繫留浮體在不同翼板長度及角度下之運動特性及反射率與透過率。

1.實驗設備與儀器

A. 斷面水槽：長、寬、深分別為50mx1mx0.8m。

B. 造波機：為一吸能活塞式造波機，由電力驅動一變速馬達控制，造波板之前後最大位移為30公分。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。

C. 波高資料擷取設備 ：包含容量式波高計、波高增幅器及波高資料擷取電腦軟體系統。

D. 變位計：內部為碳刷，垂直與水平之變位計是利用線性的電壓變化進行量測 。

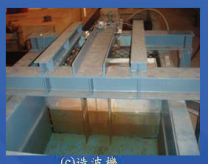
E. 角度變位計：可測得範圍是0到180度，其當擺動時會改變其電壓，以分析計算出擺動角度。

25

臨時簡易功能使用型消能構造之研究

(a)斷面水槽

(b)斷面水槽消波斜坡



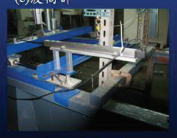
(c)造波機

(d)資料擷取系統硬體

(e)波高計

(f)訊號增幅器

(i)垂直變位計



(g)水平變位計

(h)角度變位計

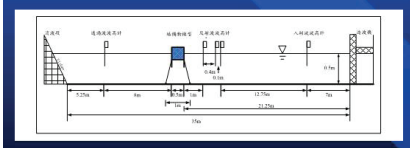
26

臨時簡易功能使用型消能構造之研究

2.模型製作與佈置

主體部分：
50cmX96cmX20cm
翼板長度：
0、5、15、25cm
翼板角度：
0、30度

剛性翼板繫留浮體模型(0度25公分)



斷面水槽模型配置圖

繫留浮體水工模型試驗條件

週期(sec)	波高(cm)	試驗水深(cm)
0.8	6.0	50
0.9	5.1	
1.0	5.0	
1.1	5.4	
1.2	6.0	
1.4	5.0	
1.6	5.1	
1.8	5.0	
2.0	5.6	
2.2	6.0	
2.4	5.1	
2.5	5.0	

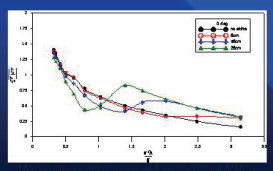
27

■試驗結果與討論

試驗主要目的是探討相同水深下(h=0.5m)，以不同波浪條件，分別改變入射波浪條件、翼板的長度與角度。以探討在不同翼板長度與角度時，浮體的運動情形和反射率與無因次參數的關係。

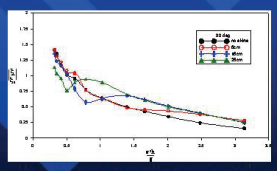
1. 剛性翼板對繫留浮體之運動特性(水平振幅)

翼板長度越長其自然振頻有越往低頻的趨勢。



剛性翼板繫留浮體0度水平振幅

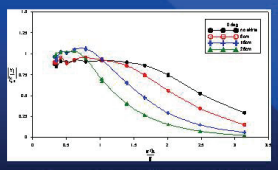
在30度時浮體的自然振頻更往低頻靠近。



剛性翼板繫留浮體30度水平振幅

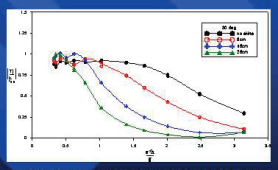
1. 剛性翼板對繫留浮體之運動特性(垂直振幅)

裝設翼板後其最大垂直振幅，也就是自然振頻的位置，隨著翼板長度增加而往低頻的趨勢。



剛性翼板繫留浮體0度垂直振幅

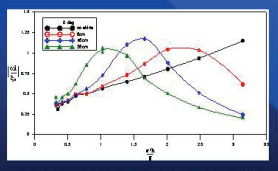
翼板角度30度的自然振頻較0度的浮體更往長週期。



剛性翼板繫留浮體30度垂直振幅

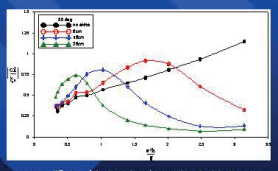
1. 剛性翼板對繫留浮體之運動特性(旋轉振幅)

其旋轉振幅隨著翼板長度增加而有往低頻的趨勢。



剛性翼板繫留浮體0度旋轉振幅

旋轉振幅較0度時來的小，其自然振頻也更往低頻靠近。

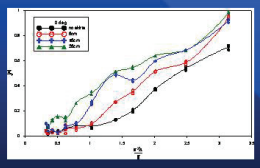


剛性翼板繫留浮體30度旋轉振幅

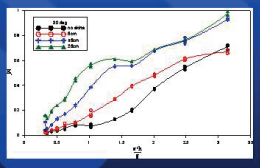
2. 剛性翼板對繫留浮體之之反射率

試驗結果亦顯示當翼板增長時，其反射率亦呈增大趨勢。

翼板增長將提升其反射率，同時與垂直翼板的反射率比較結果，其在高頻的地方，無因次週期約在0.75至1.75之間，其翼板傾斜30度時有較佳的反射率。



剛性翼板繫留浮體0度反射率



剛性翼板繫留浮體30度反射率

■綜合結論

浮體的遮蔽效能主要由其重量與尺寸大小決定，重量與尺寸越大，透過波越小，遮蔽率越佳。

翼板的增加與增長可有效提高浮式防波堤的制波能力。

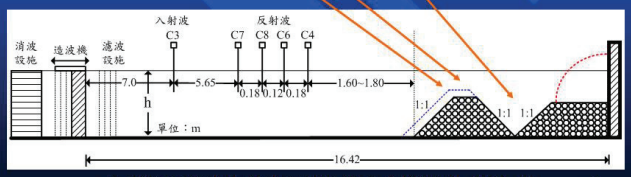
翼板的增設可使重量輕、尺寸小的浮式防波堤達到大尺寸的遮蔽效能

環境保護型消能構造之研究

■水工斷面模型試驗

本節主要是利用斷面水槽，在不同造波試驗條件下進行水工模型試驗，探討規則波通過環境保護型結構物消能特性，量測四分之一圓弧曲面板上與後方直立岸壁（不透水）之波壓分佈大小，並討論透水潛堤前方反射率大小等現象。

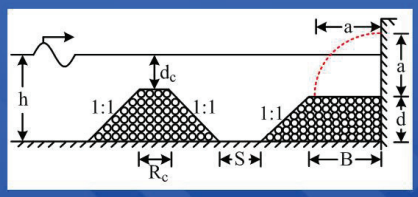
以改變規寬、規高以及間距去討論其反射率以及壓力之變化



定床斷面造波水槽波高計配置示意圖(連結式S/h=0)

環境保護型消能構造之研究

模型製作與佈置



探討兩潛堤在間距改變時，消波減壓之效果。

固定：1.弧形薄板半徑a與水深h比為0.764(a/h=0.764

2.直立堤前透水潛堤高d與水深比為0.5(d/h=0.5)

透水潛堤寬B與水深比為0.5(B/h=0.88)

3.邊坡之坡度固定為1:1

4.堤前兩潛堤間之距離**S/h**

改變：1.相對堤頂沒水深**d_c=0.3、0.4**

2.相對堤頂寬**R_c=0.4、0.6**

34

環境保護型消能構造之研究

壓力計配置示意圖

直立壁安裝

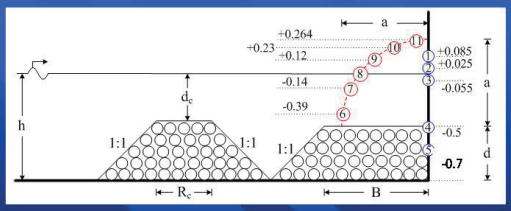
P_1~P_5

共五支壓力計

圓弧板安裝

P_6~P_{11}

共六支壓力計



壓力計安裝位置(試驗水深h=50cm)

35

環境保護型消能構造之研究

水工模型造波試驗條件表

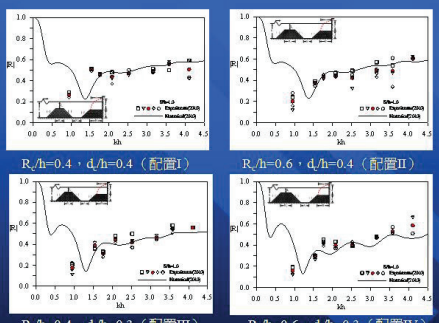
$T_{(SEC)}$	σ^2h/g	kh	$L_{(cm)}$	H(cm)	H/L	h/L	Ur
0.7	4.11	4.11	76.2	2.29	0.03	0.65	0.11
0.75	3.58	3.58	87.6	2.63	0.03	0.57	0.16
0.8	3.14	3.16	99.5	2.98	0.03	0.50	0.24
0.9	2.48	2.52	124.8	3.74	0.03	0.40	0.47
1.0	2.01	2.08	151.0	4.50	0.03	0.33	0.82
1.1	1.66	1.76	178.1	5.34	0.03	0.28	1.36
1.2	1.40	1.54	204.0	6.12	0.03	0.25	2.04
1.7	0.07	0.95	332.0	9.96	0.03	0.15	8.78

註：$0.05L_{max}$=16.6 cm　$0.45L_{min}$=34.3 cm

共造波8個週期 kh=0.95~4.11 3個深水短波 5個中間性波

36

■ 水工模型試驗與數值計算結果與分析



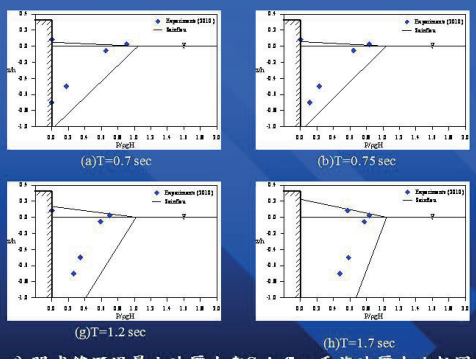
$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.4$（配置I）　$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.4$（配置II）

$R_c/h=0.4$，$d_c/h=0.3$（配置III）　$R_c/h=0.6$，$d_c/h=0.3$（配置IV）

波浪作用於分開式透水結構物|R|與kh關係圖

長週期波下都會有最小反射率值，而且其值會隨著潛堤寬度、高度之增加而下降。

在短週期波下，由於波浪能量大多集中於水面附近，較無法感應到雙潛堤存在，波浪大多從潛堤上方通過，僅有部份進入透水潛堤內，因此消能效果有限，所以反射率會有較大值。

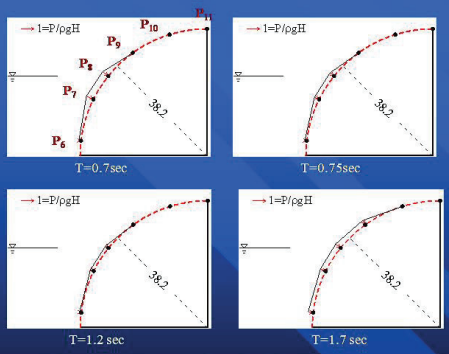


(a)T=0.7 sec　(b)T=0.75 sec

(g)T=1.2 sec　(h)T=1.7 sec

分開式雙潛堤最大波壓力與Sainflou重複波壓力比較圖
（Rc=0.6，dc=0.3，S/h=1.0）

由於有第一道透水潛堤阻擋，波浪通過後作用到直立岸壁波壓力會明顯降低！



T=0.7sec　T=0.75sec

T=1.2 sec　T=1.7 sec

圓弧曲面板無因次最大波壓分布比較圖
（Rc/h=0.6，dc/h=0.3，S/h=1）

編號P_9至P_{11}壓力作用不到其壓力為零；而水面下編號P_7壓力計則都會量測到最大波壓力！

環境保護型消能構造之研究

■使用FLOW-3D計算結果分析與討論

FLOW-3D數值計算設定

造波條件：以週期T=0.7sec至週期T=1.7sec共分8組進行造波模擬，水深固定為h=50cm

T(sec)	kh	H(cm)	L(cm)	C(cm/s)
0.7	4.11	2.286	76.4	109.1
0.75	3.58	2.63	87.6	116.8
0.8	3.16	2.98	99.5	124.3
0.9	2.52	3.74	124.8	138.6
1.0	2.08	4.5	151.3	151.3
1.1	1.76	5.34	178.1	161.9
1.2	1.54	6.12	204.8	170.6
1.7	0.95	9.96	332.6	195.6

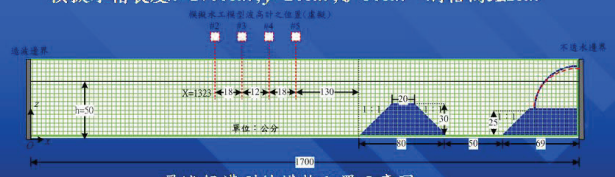
40

環境保護型消能構造之研究

■使用FLOW-3D計算結果分析與討論

FLOW-3D數值計算設定

模擬水槽長度x=1700cm，y=20cm，z=80cm　網格間距1cm



環境保護型結構物配置示意圖

直立牆前方護基潛堤堤高d=25cm，堤頂寬為B=44cm，坡度1：1

四分之一圓弧形孔隙薄板半徑為a=38.2cm、厚度設定為1.5cm

兩堤間距S=50cm

第一道潛堤堤頂寬R_c=20cm，堤頂沒水深d_c=20cm，坡度1：1

41

環境保護型消能構造之研究

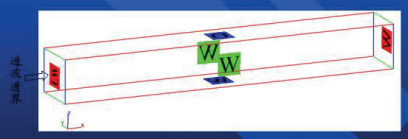
■使用FLOW-3D計算結果分析與討論

FLOW-3D數值計算設定

邊界條件將上游邊界設定為造波邊界Wave(x_{min})。

下游邊界設定為不透水牆邊界Wall(x_{max})。

水槽兩側(y_{min}、y_{max})及底床(z_{min})處亦設定為不透水牆邊界Wall，如圖所示。



邊界條件設定圖

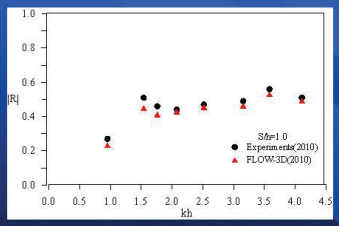
42

環境保護型消能構造之研究

■使用FLOW-3D計算結果分析與討論

數值計算結果與討論(反射率結果與分析)

➢與水工模型試驗結果相符



FLOW-3D反射率計算結果與水工模型圖
(dc/h=0.4, Rc/h =0.4,S/h =1.0)

FLOW-3D計算反射率值與水工模型之比較

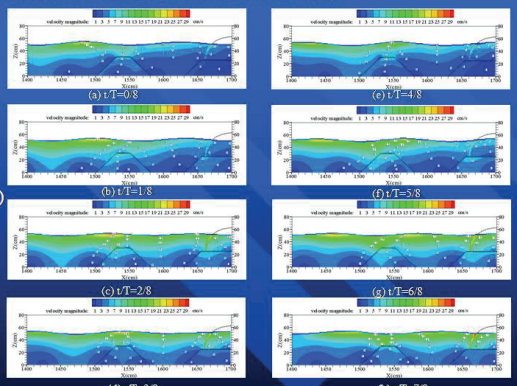
T (sec)	kh	L (cm)	K_r (試驗值)	K_r (FLOW-3D)	差值百分比 (%)
0.70	4.11	76.2	0.51	0.49	3.9
0.75	3.58	87.6	0.56	0.53	5.4
0.80	3.16	99.5	0.49	0.46	6.1
0.90	2.52	124.8	0.47	0.45	4.3
1.00	2.08	151	0.44	0.43	2.3
1.10	1.76	178.1	0.46	0.41	10.9
1.20	1.54	204	0.51	0.45	11.8
1.70	0.95	332	0.27	0.23	14.8

43

環境保護型消能構造之研究

數值計算結果與討論(速度分佈結果與分析)

速度分佈
(T=1.0sec)



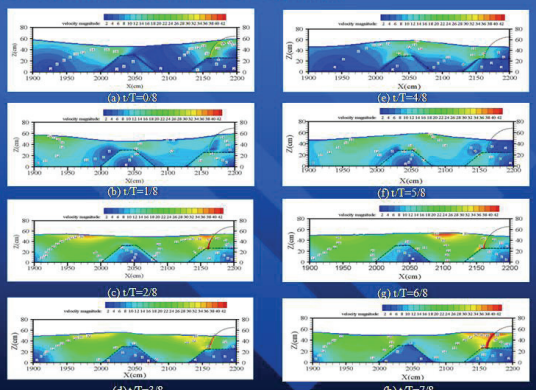
波浪與環境保護型結構物交互作用之速度分佈
(*T*=1.0*s*, *H*=4.5*cm*, *kh*=2.08, *L*=151.3*cm*, *C*=151.3*cm/s*)

44

環境保護型消能構造之研究

數值計算結果與討論(速度分佈結果與分析)

速度分佈
(T=1.7sec)



波浪與環境保護型結構物作用之速度分佈
(*T*=1.7*sec*, *H*=9.96*cm*, *kh*=0.95, *L*=332.6*cm*, *C*=195.6*cm/s*)

45

環境保護型消能構造之研究

■波浪斜向入射結構物數值計算

1.基本假設

純水領域速度勢 $\Phi^{I}(x,y,z;t)=\frac{g\zeta_0}{\sigma}\varphi^{I}(x,z)\cdot e^{i(\beta y-\sigma t)}$

領域(IV)的速度勢 $\Phi^{IV}(x,y,z;t)=\frac{g\zeta_0}{\sigma}\varphi^{IV}(x,z)\cdot e^{i(\beta y-\sigma t)}$

2. 領域(Ⅰ)之勢函數

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

3.邊界條件

自由水面 $\frac{\partial\varphi^{I}}{\partial z}=\frac{\sigma^2}{g}\varphi^{I}$

不透水海底底床及直立堤 $\frac{\partial\varphi^{I}}{\partial n}=0$

假想邊界線上之力學條件 $\frac{\partial\varphi^{I}}{\partial x}=\frac{\partial\varphi^{II}}{\partial x}$

透水薄板兩側 $\frac{\partial\varphi^{II}}{\partial n}=\frac{\partial\varphi^{III}}{\partial n}=ikG\left(\varphi^{II}-\varphi^{III}\right)$

純水領域與透水潛堤塊石介質領域接觸面

$\varphi^{II}=(S+if)\varphi^{IV}$ $\frac{\partial\varphi^{II}}{\partial n}=\varepsilon\frac{\partial\varphi^{IV}}{\partial n}$ $\varphi^{III}=(S+if)\varphi^{IV}$ $\frac{\partial\varphi^{III}}{\partial n}=\varepsilon\frac{\partial\varphi^{IV}}{\partial n}$

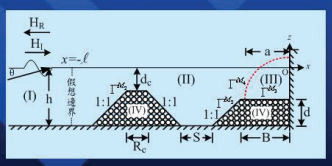
4.反射率R求解 $R=-1+\frac{k}{N_0\sinh kh}\sum_{p=1}^{m_h}\phi_{1p}^{II}\cosh k(h+z_p)\Delta z_p$

5.勢函數之解析 $\phi_p^{II}=\frac{-2i\alpha\cosh k(h+z_p)}{\cosh kh}+\sum_{n=1}^{M_c}\int_{\Gamma_n}f_{pn}\phi_n^{II}dz$

6.結構物上壓力之求解

$\frac{p^{I}(x,z)}{\rho g\zeta_0}=i\phi^{I}(x,z)$ $\frac{p^{IV}(x,z)}{\rho g\zeta_0}=i(S+if)\varphi^{IV}(x,z)$

7.水面波形之求解 $\eta^{I}=-\frac{1}{g}\frac{\partial\Phi^{I}}{\partial t}\Big|_{z=0}=i\zeta_0\phi^{I}\cdot e^{i(\beta y-\sigma t)}$



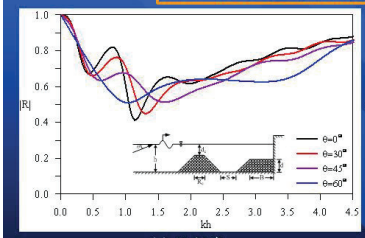
環境保護型結構物示意圖

環境保護型消能構造之研究

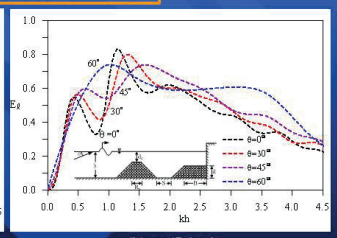
■數值計算結果與討論

隨著波浪入射的角度變大(30°、45°、60°)，反射率尖峰值分佈會漸漸往較大的kh側移動

深水波波浪能量大多被反射，反射率值趨近於0.86附近，能量損失係數則在0.2~0.3附近



(a) 反射率



(b) 能量損失

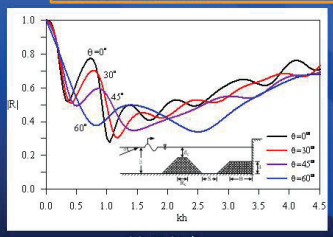
波浪斜向入射反射率|R|及能量損失E_l與kh之關係($R_c/h=0.4, d_c/h=0.4, S/h=1.0$)

環境保護型消能構造之研究

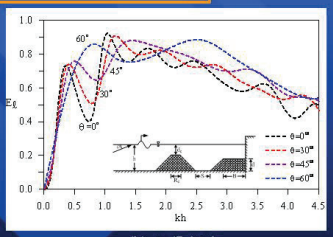
■數值計算結果與討論

加大加寬後的潛堤配置，其反射率變化仍然滿足前述之規律性，隨著波浪入射角度變大，其局部極值的反射率則會相對變小。

反射率各線段變化同樣趨於一定值，約在0.7附近，因此其能量損失係數則在0.5附近。



(a) 反射率



(b) 能量損失

波浪斜向入射反射率|R|及能量損失E_l與kh之關係($R_c/h=0.6, d_c/h=0.3, S/h=1.0$)

■數值計算結果與討論

不同配置下反射率出現極值大小與發生位置

(a) $R_c/h=0.4$，$d_s/h=0.4$，$S/h=1.0$ （$\forall = 0.6$ 單位）

波向	$\lvert R_{max}\rvert_1$		$\lvert R_{max}\rvert_2$		$\lvert R_{min}\rvert_3$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.415	0.672	0.775	0.819	1.135	0.412
θ=30°	0.505	0.659	0.865	0.763	1.315	0.448
θ=45°	0.595	0.634	0.955	0.677	1.585	0.512
θ=60°	1.045	0.51	2.215	0.642	3.115	0.627

(b) $R_c/h=0.6$，$d_s/h=0.4$， $S/h=1.0$ （$\forall = 0.72$ 單位）

波向	$\lvert R_{max}\rvert_1$		$\lvert R_{max}\rvert_2$		$\lvert R_{min}\rvert_3$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.415	0.63	0.775	0.8	1.09	0.374
θ=30°	0.46	0.617	0.82	0.736	1.225	0.405
θ=45°	0.595	0.593	0.91	0.638	1.54	0.459
θ=60°	0.955	0.452	1.9	0.581	2.8	0.53

(c) $R_c/h=0.4$，$d_s/h=0.3$，$S/h=1.0$ （$\forall = 0.77$ 單位）

波向	$\lvert R_{max}\rvert_1$		$\lvert R_{max}\rvert_2$		$\lvert R_{min}\rvert_3$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.37	0.547	0.775	0.792	1.09	0.279
θ=30°	0.46	0.54	0.82	0.724	1.225	0.316
θ=45°	0.55	0.521	0.91	0.623	1.54	0.375
θ=60°	0.865	0.412	1.585	0.54	2.755	0.424

(d) $R_c/h=0.6$，$d_s/h=0.3$， $S/h=1.0$ （$\forall = 0.91$ 單位）

波向	$\lvert R_{max}\rvert_1$		$\lvert R_{max}\rvert_2$		$\lvert R_{min}\rvert_3$	
	kh	|R|	kh	|R|	kh	|R|
θ=0°	0.37	0.518	0.73	0.775	1.045	0.276
θ=30°	0.415	0.51	0.775	0.703	1.18	0.303
θ=45°	0.505	0.493	0.865	0.596	1.45	0.347
θ=60°	0.82	0.377	1.405	0.499	2.485	0.34

透水潛堤體積愈大，其反射率極小值愈小且發生位置的kh值愈小。

■小結(1/2)

1. **採用分開式雙潛堤配置**，表示潛堤間遊水室空間變大，波浪可以利用此空間及潛堤上方水域來作消能，水工模型試驗結果顯示在長週期波下都會有最小反射率值，而且其值會隨著潛堤寬度、高度之增加而下降。在短週期波下，由於波浪能量大多集中於水面附近，較無法感應到雙潛堤存在，波浪大多從潛堤上方通過，僅有部份進入透水潛堤內，因此消能效果有限，所以反射率會有較大值。

2. **數值計算結果顯示**發生最小反射率值之位置有漸漸往長週期波(kh較小)處移動，當堤高、堤寬增加，經由換算第一道堤前趾至岸壁距離(D)與入射波長之比大約在D/L=0.26及0.85附近處；而且其趨勢與水工模型試驗結果相當一致。

3. **由於有第一道透水潛堤阻擋**，波浪通過後作用到直立岸壁波壓力會明顯降低，都比Sainflou重複波壓力小，其最大波壓力值發生在水面附近(z/h=0.025)；而且壓力會隨著水深漸增壓力漸減；但是長週期T=1.7sec採用分開式配置，直立岸壁波壓力反而變大，即使堤高堤厚增加，無因次最大波壓力值會從P/ρgH=0.693(連結式)增加至P/ρgH=0.833(分開式)。

■小結(2/2)

4. **水工模型試驗結果顯示**：四分之一圓弧板上由於孔洞作用，波浪湧上時會有部分波浪落入孔洞中，因此大大降低波浪湧升高，水面上波壓計完全量測不到波浪作用力，所測得壓力為零，而且以位於水面下-7cm(z/h=-0.14)可以量測到最大波壓力，但是其壓力值與連結式壓力值作比較後發現偏小，而最後一組長週期波試驗，卻發現大部份最大無因次波壓力值會變大。

5. **FLOW-3D計算流場分佈**清楚顯示第一道潛堤上方流速變大，且二潛堤間遊水室流速有降低趨勢，而四分之一圓弧孔隙板的設置，有效降低了其與直立岸壁間之流速大小。另外，週期T=1sec與T=1.7sec雖同屬於中間性波，但因週期T=1.7sec波速及波長比週期T=1sec來的大，週期T=1.7sec在此配置下遊水室上方及四分之一薄板附近的整體波速較T=1sec來的大。

6. **波浪正向或斜向入射**環境保護型防波堤，不論在何種配置下，其反射率皆會產生波動變化，又以正向入射時(θ=0°)會有較大反射率，但會隨著波浪斜向入射的角度變大，反射率尖峰值分佈會往較大的kh值側移動。而在kh=4.5(深水波)時，波浪能量大多被反射，無論入射角度為何，各配置下反射率皆會趨於一定值。

海岸公路邊坡保護工法

■研究目的

臺灣東部濱海公路有多處路段緊臨海岸，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。

■研究內容

本年度的工作為調查及收集國內各海岸公路的特性並分類整理，以及針對幾處曾經發生的破壞案例或有安全威脅之路段進行破壞機制檢討。收集國外有關海岸公路監測及防護作業準則與保護工法，並研擬適合國內海岸公路特性的相關作業準則。

52

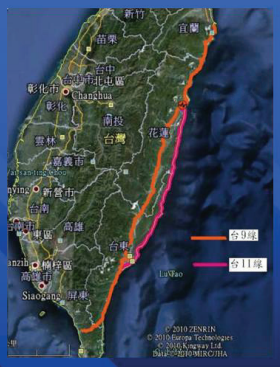
海岸公路邊坡保護工法

- 一般常謂之海岸公路(Coastal highway)即是行車道路兩側皆臨海面或至少有一側濱臨海岸者。
- 美國聯邦公路局FHWA(2008)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。

53

海岸公路邊坡保護工法

台灣主要公路網

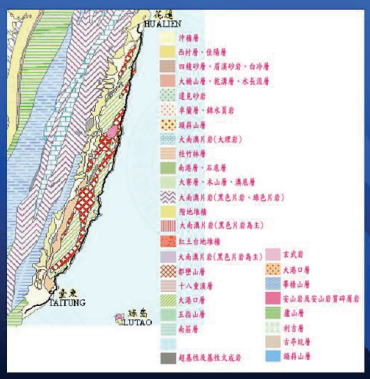


台灣東部海岸公路主要由台9線和台11線所構築而成。

54

海岸公路邊坡保護工法

東部海岸公路地質特性



東部海岸地區之地質較為脆弱，其岩層主要為火山岩層、礫岩、頁岩、砂岩和和部分泥岩所構成，由於岩層上的差異，也可能造成不同的災害。比如花蓮境內豐濱鄉以北山脈地質脆弱，一遇颱風，常常容易引發山崩挾帶大量土石，造成道路中斷，著名之蘇花公路，由於其地質結構屬於石灰岩地形，土質較為鬆散，自修建以來擴寬改善工程就不曾間斷，而邊坡露頭之尖硬岩層部分也因長期風化作用而易於外力衝擊時產生剝落崩離，對公路之安全構成威脅。

海岸公路邊坡保護工法

臺11線路段

臺灣海岸公路之現況

主要以臺11線截至目前為止之蒐集資料，就易致災各路段發生災害之原因和保護方式，整理如下，最後再就臺9線及臺17線各一處之災害說明。

因海浪長期沖蝕下邊坡，造成路基流失，而形成崩塌。經四工處證實，鹽寮至目前為止，仍有侵蝕的現象。
離岸邊距離：0.01km

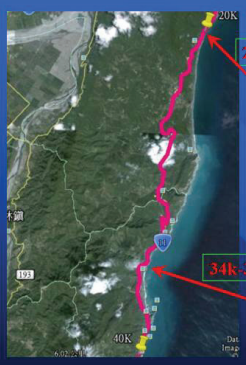
此處因地質多為砂岩與頁岩，地質狀況較為脆弱，所以容易造成崩塌。經四工處證實，18k-22k道路已內縮500m，原道路已廢棄，作為觀浪用。
離岸邊距離:0.05km

臺11線0-20km

海岸公路邊坡保護工法

臺11線路段

臺灣海岸公路之現況



此段為跳浪段，左邊兩張照片分別為公路上下邊坡，下邊坡因海岸侵蝕後退，已危急公路路基的穩定。經四工處證實，18k-22k道路已內縮500m，原道路以廢棄，作為觀浪之用。
離岸邊距離：0.11km

此段為大崩段，地質包含了凝灰岩和泥岩…等。凝灰岩膠結性不佳，孔隙率大，風化快；泥岩則是遇水則軟化。因此處有了這兩種地質特徵，所以此處形成了台11線的大崩段。經四工處證實，該段道路崩塌之情況，趨於減緩。
離岸邊距離:0.18km

臺11線20-40km


海岸公路邊坡保護工法
臺灣海岸公路之現況
臺11線路段
41k
42.44k
此段有設置新機隧道，但因地質多為舊崩積土，加上離海近，路基易被海岸侵蝕淘刷，進而產生崩塌。目前四工處已將此段內縮100m，現今仍在施工中。
離岸邊離:0.1km
此地段因路基長期被海岸侵蝕淘刷，進而產生崩塌。
離岸邊距離:0.1km
40K
60K
臺11線40-60km
58


海岸公路邊坡保護工法
臺灣海岸公路之現況
臺11線路段
60k-62k
此區因地質為火山岩，抗剪力較弱，所以易造成崩塌，有多次路基掏空紀錄。
離岸邊距離:0.05km
78k
此路段因比較鄰近海域，常有越波情況，已設置防浪牆，不過礙於景觀視野，設置高度受限，效果亦有限。
60K
80K
臺11線60-80km
59

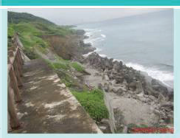

海岸公路邊坡保護工法
臺灣海岸公路之現況
臺11線路段
台11線80k~100k，依三工處說明，此路段過去並無破壞情形，惟因所拋淸波塊逐漸失去淸能作用，致使今年颱風侵襲期間90K_700~830處護岸下側混凝土坡面工被波浪侵襲而大片剝落毀損。
90k
80K
100K
臺11線80-100km
60

海岸公路邊坡保護工法

臺11線路段

臺灣海岸公路之現況

上述曾發生災害地點，其災害發生原因及現有實施的保護工法和現況

災害地點里程數	災害原因	保護方式與現況	現況照片
7k-9k	公路離海約10-20m，易造成海岸侵蝕，路基流失。	以拋3000餘個消波塊減緩海岸侵蝕，並施做防波堤和防浪堤。大致已穩定不過鹽寮段仍有部分海岸侵蝕的現象	 8k+600  9k+700

61

海岸公路邊坡保護工法

臺11線路段

臺灣海岸公路之現況

上述曾發生災害地點，其災害發生原因及現有實施的保護工法

災害地點里程數	災害原因	保護方式與現況	現況照片
18k-22k	此段稱為跳浪段，公路離海約50m，加上地質脆弱，造成海岸侵蝕，且易崩塌。	原本拋1600餘個消波塊，但還是嚴重侵蝕，經評估過後該段公路已內縮500m，原公路已廢棄，留作觀光海浪之用。	 臺11線 十二號橋
34k-35k	此段稱為大崩段，因地質含有凝灰岩和泥岩，特別容易造成崩塌，因此該段有大崩段之稱號。	以地工和植生等技術，穩定其下邊坡經四工處證實，該路段已穩定。	

62

海岸公路邊坡保護工法

臺11線路段

臺灣海岸公路之現況

上述曾發生災害地點，其災害發生原因及現有實施的保護工法和現況

災害地點里程數	災害原因	保護方式與現況	現況照片
41k	該段為新機隧道之路段，因其地質多為舊崩積土，加上離海亦近，易造成海岸侵蝕	現今四工處已將該段內縮100m，正在施工中。	
42k-44k	該段因路基長期被海岸侵蝕淘刷，進而產生崩塌。	已設置防波堤和拋置消波塊。經四工處證實，該段已穩定。	

63

海岸公路邊坡保護工法

臺灣海岸公路之現況

臺11線路段

上述曾發生災害地點，其災害發生原因及現有實施的保護工法和現況

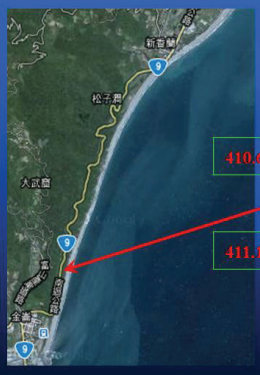
災害地點里程數	災害原因	保護方式與現況	現況照片
59k-62k	公路旁的邊坡過於陡峭，並緊臨海岸，易造成下邊坡崩塌和海岸侵蝕62k的人定勝天附近，有多次路基掏空之紀錄。	已拋置1000餘個消波塊。經四工處證實，該段已趨於穩定。	 62k人定勝天
78k	該段因離海近常有越波發生已影響公路及用路人之安全	已設置防浪牆，不過礙於景觀視野，設置高度受限，效果也有限。	

64

海岸公路邊坡保護工法

臺灣海岸公路之現況

臺9線路段



台9線410K~411K於莫拉克颱風侵襲期間，因為上邊坡流下土石擠壓、暴雨逕流及大浪之淘刷，引起海側邊坡崩塌、路基流失後所造成之公路路面塌陷災害。

臺9線410K+650(左)及411K+150路面塌陷災害

65

海岸公路邊坡保護工法

臺灣海岸公路之現況

臺9線路段

台9線429K~430K.於莫拉克颱風侵襲期間，因為上邊坡流下土石擠壓、暴雨逕流及大浪之淘刷，引起海側邊坡崩塌、路基流失後所造成之公路路面塌陷災害。

此段位於大武漁港南側，目前因漂砂被北堤攔阻，致使造成南側海岸嚴重侵蝕，地形持續崩塌後退，一些臨時搭建的屋舍已落入海中，現南迴公路臨海側路基也面臨塌陷危險，雖然屢拋消波塊保護，但侵蝕問題持續發生，越波及路基沖蝕災況持續不斷

臺9線429K+800~430K路面塌陷災害

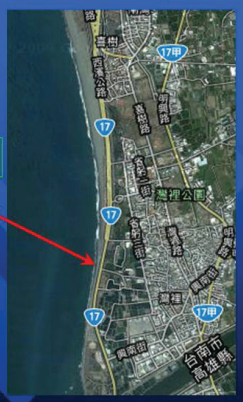
66

海岸公路邊坡保護工法

臺17線路段

臺灣海岸公路之現況

183k



台南市黃金海岸附近公路海側之邊坡護岸於非颱風季節時之湧浪作用下，造成嚴重之破損現象，已明顯危及護岸內側車道之安全，事後第六河川局緊急復原修護確保公路之穩定。由於台17線於二仁溪南、北兩側之路線離海岸消波工之距離大都僅在60~100公尺內，最近者距離不到30公尺，此些路段皆可能潛藏有波浪上溯淘刷之危害風險。

臺17線臺南黃金海岸段邊坡護岸破壞情形

67

海岸公路邊坡保護工法

海岸公路防護因應對策

- 歷史災資料庫之建置
- 現有易致災地點之普查
- 易致災地點地文及海象資料監測
- 即時監視系統建置
- 海岸公路潛勢區段之分類與劃分
- 相關海岸相關單位之合作

68

結 論

1.長波抗浪型

在確認促使波浪溯升越波可以削減波浪因溯降造波可能提高堤前的反射率的機制後，在第二年度的研究裡，水工模型試驗方面，主要考慮內建斜坡的坡度，以及後方中空消波室的縱深對波浪越波以及越波後的振盪與排水等的影響，結果顯示斜坡越緩，消波室越深都可以降低堤前的波動。然而我們也注意到在實際港灣內的波動場裡，可能存在的是很短週期的波動及很長週期的蕩漾，如何有效地調整斜坡的坡度、長度及出水高度以促使主要的成分波在斜坡上發生越波，將會是一個很重要的研究課題。

2.簡易功能使用型

由裝置剛性翼板之繫留浮體試驗，剛性翼板繫留浮體翼板角度在30度時水平振幅之比較，其結果與翼板角度0度時的結果相似，其自然振頻同樣有隨翼板長度增加而往低頻的趨勢。可發現，在翼板長度15cm與25cm時之自然振頻分別約為0.8與0.5，與翼板角度0度的結果相較下，在30度時浮體的自然振頻更往低頻靠近。翼板角度為30度時的垂直振幅，則與角度0度時結果相似，但翼板角度30度的自然振頻較0度的浮體更往長週期。剛性翼板繫留浮體角度為30度時之旋轉振幅，其旋轉振幅與0度時的特性相似，但其旋轉振幅較0度時來的小，其自然振頻也更往低頻靠近。

69

結 論

剛性翼板繫留浮體在翼板角度為30度時的反射率，其反射率與入射波週期及翼板長度間之關係大致與翼板角度0度時的結果相似，即翼板增長將提升其反射率，同時與垂直翼板的反射率比較結果，其在高頻的地方，無因次週期約在0.75至1.75之間，其翼板傾斜30度時有較佳的反射率。

3.環境保護型

當波浪正向入射時，採用分開式雙潛堤配置，表示潛堤間遊水室空間變大，波浪可以利用此空間及潛堤上方水域來作消能，水工模型試驗結果顯示在長週期波下都會有最小反射率值，而且其值會隨著潛堤寬度、高度之增加而下降。在短週期波下，由於波浪能量大多集中於水面附近，較無法感應到雙潛堤存在，波浪大多從潛堤上方通過，僅有部份進入透水潛堤內，因此消能效果有限，所以反射率會有較大值。

另外，當波浪正向入射時，數值計算結果顯示發生最小反射率值之位置有漸漸往長週期波(kh較小)處移動，當堤高、堤寬增加，經由換算第一道堤前趾至岸壁距離(D)與入射波長之比大約在D/L=0.26及0.85附近處；而且其趨勢與水工模型試驗結果相當一致。

70

結 論

水工模型試驗結果顯示採用分開式雙潛堤配置時，由於有第一道透水潛堤阻擋，波浪通過後作用到直立岸壁波壓力會明顯降低，都比Sainflou重複波壓力小，其最大波壓力值發生在水面附近(z/h=0.025)；而且壓力會隨著水深漸增壓力漸減；但是長週期T=1.7sec採用分開式配置，直立岸壁波壓力反而變大，即使堤高堤厚增加，無因次最大波壓力值會從P/ρgH=0.693(連結式)增加至P/ρgH=0.833(分開式)。

水工模型試驗結果顯示四分之一圓弧板上由於孔洞作用，波浪溯上時會有部分波浪落入孔洞中，因此大大降低波浪溯升高，水面上波壓計完全量測不到波浪作用力，因此所測得壓力為零，而且以位於水面下-7cm(z/h=-0.14)可以量測到最大波壓力，但是其壓力值與連結式壓力值作比較後發現偏小，而最後一組長週期波試驗，卻發現大部份最大無因次波壓力值會變大。

71

結 論

運用FLOW-3D套裝軟體模擬波浪作用於環境保護型結構物之反射率與流速分佈進行研究。利用自由水面計算結果，擷取相對於水工模型試驗虛擬之波高計量測位置的水面波形資料，分別利用Goda and Suzuki (1976)二點法或Healy(1953)公式求得反射率，與數值模式計算結果與水工模型試驗量測值大致接近。另外流速分佈在本研究計算例中向海第一道透水潛堤相對沒水深dc/h=0.4、相對堤寬Rc/h=0.4及二潛堤相對間距S/h=1.0時，利用FLOW-3D計算流場分佈可以清楚顯示第一道潛堤上方流速變大，而且二潛堤間遊水室流速有降低趨勢，且因四分之一圓弧形孔隙板之設置，亦可有效降低其與直立岸壁間之流速大小。

波浪正向或斜向入射環境保護型防波堤，不論在何種配置下，其反射率皆會產生兩個局部最小值及一個局部最大值，其中又以正向入射時(θ=0°)會有較大反射率，但會隨著波浪斜向入射的角度變大(30°、45°、60°)，反射率尖峰值其分佈會漸漸往較大的kh值側移動。而在kh=4.5(深水波)時，波浪能量大多被反射，無論入射角度為何，各配置下反射率皆會趨於一定值。

72

結 論

4.海岸公路邊坡保護工法

台灣東部地區兩條濱海公路位於板塊碰撞之交界區域，山壁陡峭及地質不穩定，加上東部海岸濱臨太平洋為颱風侵襲頻繁之處，在暴潮巨浪及長浪拍打作用下，公路常因下邊坡之崩塌、掏空而造成道路中斷情形，再者波浪長期作用之海岸侵蝕亦已威脅公路路基之安全，部份路段亦因長浪越波沖擊危及行車安全。這些不同破壞型態與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，本年度主要針對台11線公路邊坡的災害進行調查，後續將持續收集並分類整理國內各海岸公路的災害特性。

73

報告完畢敬請指教
謝謝！！

74

附錄二 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所 99 年度科技計畫
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臺灣港灣設施保全之研究(2/4)

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、李忠潘委員 1. 海岸公路邊坡受到的外力，除了季風浪的長期作用外，應考慮颱風浪及伴隨之暴潮造成之衝擊。 2. 2.2 水力式阻尼結構物的水工試驗，可以增加結構受波力時的穩定測試(量測結構的位移與轉動量)。	1. 本年度會特別注意颱風、暴潮對邊坡之影響性。 2. 先以假定不互制作用下做試驗，了解其消能特性。
二、沈建全委員 1. 本研究成果十分合理且具有實際運用價值，成果豐碩，值得肯定。 2. 消能式結構之水工試驗結果在不同斜坡上不同波高與週期波浪之反射率並未呈線性關係，宜深入探討。 3. 消能式結構未來應用時，其頂部水平結構宜注意波能之衝擊壓力與上昇揚波力，並應注重其材質之強度。 4. 臨時性消能結構實驗結果具參考價值，但若加測在不同波浪條件下之繫留錨碇拉力，應更具應用之參考價值。 5. 環境保護消能構造，目前因重視景觀及生態效果，故十分受到重視，凸型曲面防波堤構造，日本已行之有年，本報告未見蒐集日本之實驗成果及實際運用時所產生之效果，較為可	1. 謝謝。 2. 反射率與週期有較大相關，並與斜坡之斜率不同而有不同。會深入探討其間之關係。 3. 同意考量。 4. 謝謝建議。 5. 環境保護型主要是想改變現況，調整目前散亂之消波佈置，同時注意不影響消波功能又能達良好之視覺景觀和促進生態之多樣性。

惜。 6. 同上，採用雙潛堤模式，有關潛堤高度及潛堤間距，宜採用國內研究成果，加以參考運用，建議其波浪採用極端波高及最常發生之波浪做為條件。 7. 海岸公路邊坡之損壞應考量坡度太陡，及大量洪水及土石流之破壞。(台9線大武北側之破壞屬此類)	6. 謝謝建議。 7. 本年度之試驗會考量有效消波坡度及沖刷堤腳破壞之原因並提保護工法。
三、蔡政翰委員 1. 考慮在報告中詳細說明為何選擇在2-4 頁圖 2.2.1 所示之消波模型作為研究對象，是否有其它形態的消波裝置可考慮？ 2. 3-6 頁之圖 3.2.1 使用之符號 σ,ξ,ξ_0 須於文中說明代表什麼參數，圖 3.2.3,3.2.4,3.2.5 之 η,ω_1,與圖 3.2.7 之 K_r 是什麼？須說明。 3. 2.2 節之水工模型試驗結果與 2-3 節之數值試驗不太相同，是否可解釋其原因？	1. 消波構造之型式相當多，考量施作之可行性與週期特性來設計消波裝置。 2. 符號說明會加強改善。 3. FLOW-3D 數值模擬與水工模型試驗之趨勢不同處初步判斷為數值模擬之孔隙可能無法完全模擬如水工模型試驗之拋石孔隙間的水體流動所造成之效果，於縱深比 D1 的 FLOW-3D 模擬之反射率皆大於水工模型實驗，孔隙室消波效果不明顯，而縱深比 D2 與 D3 於週期較短週期部分又有變低之趨勢，有需要更深入之探討是否需要更改孔隙模擬之設定，以模擬至接近水工模型試驗之結果。
四、李兆芳委員 1. 在長波消浪方面，調整緩坡或縱深比，建議考慮實作空間可用之大小，規範實用上的數值，並配上參考之反射率。 2. 在臨時簡易功能上，目前以有無翼板	1. 謝謝建議。 2. 翼板長度與穩定興性、施作性有關，

互相比較，建議以有翼板和加上翼板尺寸作比較。 3. 在環境保護型方面，目前以透水結構模擬，建議考慮實際使用生態材料之特性，再作進一步探討。 4. 海岸公路保護方面，仍然需要針對不同破壞型態與機制，再進一步研究。	尺寸變化可能性不太大，應進一步考量翼板尺寸之限制。 3. 生態在透水結構上之考量以降低流速創造生物存在之空間達永續性之要求。 4. 同意辦理。
五、翁文凱委員： 1. 消能式結構以坡度 1/8 的消波效果最佳，此坡度在實際應用時，實際長度是否有足夠空間？建議未來能進一步檢討其可行性。 2. 整個報告內各式結構特性與構思及目的，在報告中建議能說明清楚。 3. 試驗結構建議能呈現原始資料圖，而非僅呈現回歸線之趨勢。 4. 環境保護型之試驗或數值模擬建議未來增加大波高、長週期(如颱風波浪)之結果。	1. 同意辦理。 2. 在第一年度報告中已有詳述，本年度著重於特性之說明，在計畫結束時之綜整說明。 3. 謝謝建議。 4. 謝謝建議。