

114-022-7D91
MOTC-IOT-113- H2CA001e

長週期波斷面模型試驗(2/3)- 花蓮港現況碼頭之水動力及 改善研究初探



交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114-022-7D91
MOTC-IOT-113- H2CA001e

長週期波斷面模型試驗(2/3)- 花蓮港現況碼頭之水動力及 改善研究初探

著 者：許師瑜、林受勳

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

長週期波斷面模型試驗. (2/3)：花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探 / 許師瑜，林受勳著. --
初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民 114.03
面；公分
ISBN 978-986-531-649-5(平裝)

1.CST: 波動 2.CST: 數值分析

351.941

114001735

長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

著者：許師瑜、林受勳

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 114 年 3 月

印刷者：綠凌興業社

版(刷)次冊數：初版一刷 48 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：150 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 2518-0207

五南文化廣場：40042 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011400210 ISBN：978-986-531-649-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

GPN : 1011400210

定價 150 元

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：長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-649-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1011400210	運輸研究所出版品編號 114-022-7D91	計畫編號 MOTC-IOT-113-H2CA001e
主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：許師瑜 研究人員：林受勳 參與人員：李江澤、陳天時 聯絡電話：(04)2658-7200 傳真號碼：(04)2657-1329			研究期間 自 113 年 01 月 至 113 年 12 月
關鍵詞：長週期波、湧浪、港灣振盪、消能結構物			
摘要： 本計畫以 3 年期研究針對長週期波各相關議題進行探討。第 1 年(112)主要蒐集並回顧國內外長週期波動特性相關研究，及其所可造成的災害與成因，其次綜整長週期波所造成之破壞機制與對策。第 2 年(113)以花蓮港所遭遇的長週期振盪問題做為個案研究主軸，並研擬可能消減長週期波浪作用的碼頭結構物之離形。在權衡港灣工程實務與數值模擬成果後，選定花蓮港 7 號碼頭，以增改建為消能式結構物的方式為工作目標。執行更新之斷面水槽的造波測試，以及進行消能碼頭結構物斷面之水工試驗，確認消能結構物最佳消能效果，反射率大約在 0.6~0.7 之間。相關研究成果亦將提供平面水工模型試驗參考，第 3 年則將進行與工程實務應用相關的研究與改善。			
研究成果及其效益： 本計畫針對花蓮港內港區，提出可消減長週期波浪之碼頭斷面型式方案，並研擬適用於國內港灣內的消能碼頭斷面型式，能消減長週期波浪能量，以減少港灣內長週期波浪振盪而造成的避湧次數，可降低港內船隻斷纜的發生機率。			
提供政府單位應用情形： 提供交通部航港局、臺灣港務股份有限公司、經濟部水利署及各地方政府提升港灣靜穩度及推動海岸防護政策之參據，以及本所海岸及港灣工程相關研究後續探討運用。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
114 年 3 月	186	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。
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: Long Period Wave Flume Tests(2/3) - A hydrodynamic study on the improvement of the Hualien Port tranquility from the remodel of wharf 7			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-649-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400210	IOT SERIAL NUMBER 114-022-7D91	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-113- H2CA001e
DIVISION: TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PROJECT ADVISOR: Shih-Yu Hsu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shou-Shiun Lin PROJECT STAFF: Chiang-Tse Lee, Tian-Shih Chen PHONE: 886-4-26587200 FAX: 886-4-26561329			PROJECT PERIOD FROM January 2024 TO December 2024
KEY WORDS: Long period waves, Swell, Harbor oscillations, Wave dissipation structures			
ABSTRACT: A three-year study has been carried out on the influences of harbor oscillations on long-period wave issue features. The purpose is to reduce the long-period oscillations inside a harbor and to reduce the occurrence of the breakage of ship mooring cable during severe wave climates. In the first year, the related references to theoretical or disaster case studies were collected and reviewed, and the mechanisms of any possible disasters were classified. To take as an example, an integrated study of wave conditions in the vicinity of the Hualien Port has proceeded, including the analysis of field observations of the Longwang Typhoon in 2005, an establishment of the harbor wave conditions assessment numerical model, an evaluation of the hydraulic performances of the wave dissipation structure. The final target is to use a novel wave dissipation structure to dissipate the long-period wave energy inside the harbor in the state of other possible solutions. In this second-year study, the capabilities of the renewed wave flume and the wave dissipation facilities of the wave tank were tested, and three possible prototypes of long-period wave dissipation structures will be assessed in the wave flume. Waves acting on the wharf 7 and the related wave energy dissipation abilities have been studied. All the achievements of the first two years of studies will transfer into third-year study for the practical application of the structure. A summary discussion about the suitable anti-long period wave structures will also be concluded. Results and benefits : In this year's study, the mechanisms of failure and their strategies of previous studies was discussed and integrated for the future studies. The prototypes of the wave energy dissipation structures were proposed and evaluated. Possible Governmental Applications : To provide the available information for the decision making about the improvements of harbor tranquility and shore protection strategies for transportation department of central or local governments, port authorities, Water Resource Agency.			
DATE OF PUBLICATION Mar 2025	NUMBER OF PAGES 186	PRICE 150	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及 改善研究初探

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
圖目錄.....	VI
表目錄.....	XI
第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究緣起與目的.....	1-1
1.2 研究項目與內容.....	1-2
1.3 研究方法.....	1-3
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 長週期波相關研究.....	2-1
2.2 消減港灣波能相關研究.....	2-6
2.3 消能碼頭與設施相關研究.....	2-28
2.4 小結	2-37
第三章 花蓮港改善碼頭位置選定.....	3-1
3.1 花蓮港簡介.....	3-1
3.1.1 花蓮港的挑戰.....	3-1
3.1.2 花蓮港碼頭現況.....	3-3
3.2 先期研究-花蓮港內港改善碼頭選定之數值模擬	3-7

3.2.1 數值模型配置設計	3-7
3.2.2 數值模擬結果討論	3-9
3.3 小結	3-15
第四章 消能碼頭水工斷面模型試驗	4-1
4.1 水工斷面試驗室簡介	4-1
4.2 新型消能碼頭研擬	4-5
4.3 消能碼頭水工斷面模型試驗設計	4-9
第五章 消能碼頭水工斷面模型試驗結果	5-1
5.1 不同週期、振幅及相位之理論波形線性疊加	5-1
5.2 波形時序列之觀察	5-3
5.3 FFT 分析波譜圖之觀察	5-7
5.4 零上切個別波高及週期時序圖之觀察	5-11
5.5 反射率分析的觀察	5-13
5.6 三種模型消波能力之交叉比較	5-17
5.7 檢討	5-26
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 後續研究規劃	6-2
6.3 研究成果及其效益	6-3
6.4 提供應用情形	6-3
參考文獻	參-1

附錄一 期末報告審查意見處理情形表.....	附 1-1
附錄二 期末審查簡報.....	附 2-1
附錄三 專家學者座談會議紀錄.....	附 3-1
附錄四 工作會議紀要.....	附 4-1

圖 目 錄

圖 2.1 海洋波浪分類(改自 Munk, 1950)	2-1
圖 2.2 花蓮港港外 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析.....	2-3
圖 2.2(續) 花蓮港港外 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析.....	2-4
圖 2.2(續) 花蓮港港外 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析.....	2-5
圖 2.3 碎石斜坡與鐵絲網狀消能斜坡的反射係數(Straub et al., 1957a)	2-6
圖 2.4 連續性與非連續性消能斜坡之反射係數比較(Straub et al., 1957a & b).....	2-7
圖 2.5 斜度 6° 坡面的反射係數與波形尖銳度的關係圖(Taira and Nagata, 1968)	2-8
圖 2.6 10 公尺長造波水槽測得入射波與反射波之相位差關係圖(Taira and Nagata, 1968)	2-8
圖 2.7 1:2.5 斜坡的反射率比較圖.....	2-9
圖 2.8 試驗沙灘上之試驗反射係數比較圖.....	2-10
圖 2.9 拋石堤之預測與試驗反射係數與透過係數比較圖.....	2-10
圖 2.10 美國北卡羅萊納州 DUCK 的反射係數譜(Walton, 1991).....	2-11
圖 2.11 美國馬里蘭州 Ocean City 的反射係數譜(Walton, 1991).....	2-11
圖 2.12 3 種型式防波堤(Sollitt and Cross, 1976)	2-13
圖 2.13 1:1.5 不透水斜坡堤之反射係數與能量損耗比(Seelig, 1980)	2-14
圖 2.14 沒水防波堤與不越波防波堤之反射係數(Seelig, 1980).....	2-14

圖 2.15 規則波作用下光滑斜坡之反射係數及透過係數與 H/gT^2 關係圖 (Seelig, 1980)	2-14	
圖 2.16 1:1.5 坡度光滑不透水防波堤之透過係數與 F/R (出水高度/溯升 高度)關係圖(Seelig, 1980).....	2-15	
圖 2.17 直立光滑不透水防波堤之透過係數與 F/R (出水高度/溯升高度) 關係圖(Seelig, 1980)	2-15	
圖 2.18 斜坡拋石堤之反射率與 Iribarren number 的關係圖	2-16	
圖 2.19 Jarlan 型式消波結構物(Jarlan, 1964).....	2-17	
圖 2.20 井島等人(1979)多孔隙消波艙防波堤模型	2-18	
圖 2.21 直立開孔式靜波牆沉箱碼頭示意圖(蘇等人, 1979).....	2-18	
圖 2.22 萬代福直立開孔式消能碼頭的組立方式(作者群繪製).....	2-18	
圖 2.23 直立開孔式靜波沉箱反射係數與水深波長比關係圖(蘇等人, 1979).....	2-19	
圖 2.24 Tanimoto 和 Yoshimoto(1982)狹縫型沉箱數值模型	2-20	
圖 2.25 Bergmann 及 Oumeraci(2000)試驗模型及結果	2-21	
圖 2.26 長週期波消能結構物之研究概觀(Hiraishi, 2006).....	2-22	
圖 2.27 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究(Hiraishi, 2006).. <td><td>2-22</td></td>	<td>2-22</td>	2-22
圖 2.28 附加頂蓋與水平板之部分開孔沉箱防波堤(Kirca and Kabdasli, 2009).....	2-23	
圖 2.29 Huang et al.(2011)回顧之 Jarlan 型防波堤結構之類型	2-24	
圖 2.30 密西根州 Pentwater 的口袋型消波灘(Thompson et al., 2004)	2-24	
圖 2.31 水工模型試驗測試多種口袋型消波灘配置(Thompson et al., 2004).....	2-25	

圖 2.32 密西根湖與 Pentwater 湖間之口袋型消波灘現場監測與成果 (Thompson et al., 2004)	2-25
圖 2.33 美國長灘港 J 碼頭港口處設置共振器的示意圖 (中村等人, 2022)	2-26
圖 2.34 新型被動吸波系統	2-27
圖 2.35 水工模型試驗結果比較	2-27
圖 2.36 Lee et al.(2014)部分開孔沉箱結構物的水工試驗模型	2-28
圖 2.37 大島和森屋(2005)導水式開孔沉箱之模型配置	2-30
圖 2.38 大島和森屋(2005)導水式開孔沉箱模型試驗結果	2-31
圖 2.39 Kee et al.(2006)消波室內置水平版開孔沉箱	2-32
圖 2.40 低反射性沉箱示意圖	2-32
圖 2.41 多孔隙消波結構物模型	2-33
圖 2.42 越波式消能斜坡	2-34
圖 2.43 長波抗浪型斷面試驗模型配置	2-34
圖 2.44 長波抗浪型斷面建議模型	2-34
圖 2.45 2016~2018 年消能結構物斷面水工試驗模型	2-36
圖 3.1 花蓮港位置示意圖	3-1
圖 3.2 花蓮港現況平面配置圖	3-2
圖 3.3 花蓮港專區規劃示意圖	3-3
圖 3.4 花蓮港內港#7 碼頭	3-5
圖 3.5 花蓮港內港#8 碼頭	3-6
圖 3.6 花蓮港外港#17 與#18 碼頭	3-6
圖 3.7 數值模擬範圍及地形	3-8

圖 3.8 數值網格、測點位置及討論水域.....	3-8
圖 3.9 非定值反射率設定值.....	3-9
圖 3.10 花蓮港 3~250 秒週期入射波作用之波高增幅曲線比較圖 ...	3-10
圖 3.11 花蓮港不同配置與週期之波高增幅係數($0.5 < K_D < 2.0$)分布情形	3-12
圖 3.12 LAY01KR1(完全反射)與 LAY01KR3(完全消波)的 K_D 差值	3-14
圖 3.13 LAY01KR1(完全反射)與 LAY02KR2(非定值反射)的 K_D 差值	3-14
圖 4.1 本所水工斷面試驗室	4-1
圖 4.2 斷面水槽試驗觀測段.....	4-2
圖 4.3 造波設備	4-3
圖 4.4 波高量測設備	4-4
圖 4.5 三種試驗模型	4-7
圖 4.6 消能結構物氣室的形成.....	4-8
圖 4.7 弧面越波排水開孔式之改造結構物(FT03)	4-8
圖 4.8 試驗水槽的佈置情形.....	4-10
圖 4.9 試驗地形的佈置情形.....	4-10
圖 4.10 波高計率定結果.....	4-11
圖 4.11 波浪傳播時間計算示意圖.....	4-12
圖 5.1 二維理論倍頻波形之線性疊加.....	5-2
圖 5.2 兩個三維理論波形之線性疊加.....	5-2

圖 5.3 空水槽(FT00)試驗的 8 支波高計波形時序圖	5-4
圖 5.4 FT01 試驗週期 1 秒三次重複的 8 支波高計波形時序圖	5-5
圖 5.5 FT01 試驗週期 5 秒三次重複的 8 支波高計波形時序圖	5-6
圖 5.6 FT01 試驗 8 支波高計之波譜圖	5-8
圖 5.6(續) FT01 試驗 8 支波高計之波譜圖	5-9
圖 5.6(續) FT01 試驗 8 支波高計之波譜圖	5-10
圖 5.7 FT01 試驗 8 支波高計之個別波高/週期時序圖	5-12
圖 5.8 FT01 試驗波高計第一組配對之反射率時序圖	5-14
圖 5.8(續) FT01 試驗波高計第一組配對之反射率時序圖	5-15
圖 5.8(續) FT01 試驗波高計第一組配對之反射率時序圖	5-16
圖 5.9 FT01 應用兩種分析法之反射率比較	5-19
圖 5.10 FT02 應用兩種分析法之反射率比較	5-20
圖 5.11 FT03 應用兩種分析法之反射率比較	5-21
圖 5.12 FT01 反射率彙總圖	5-22
圖 5.13 FT02 反射率彙總圖	5-23
圖 5.14 FT03 反射率彙總圖	5-24
圖 5.15 三個模型第一組配對 2 種波高之反射率與週期關係圖	5-25

表 目 錄

表 2-1 日本 NOWPHAS 即時資訊網每日示性波高實況表	2-2
表 2-2 試驗資料來源.....	2-9
表 3-1 花蓮港內港碼頭簡介	3-4
表 3-2 花蓮港外港碼頭簡介	3-5
表 3-3 9 個位置岸壁類型的反射率設定情形	3-9
表 4-1 HR Wallingford 造波機之造波能力範圍	4-4
表 5-1 3 種模型於各週期之反射率值	5-26

第一章 緒論

1.1 研究緣起與目的

長週期波浪產生的波高通常較小，其瞬時最大波力可能不大，但整體的水體質量傳輸甚大，造成長週期波能的水平動量較大。因此長週期波浪傳遞至近岸，加上碎波後的水體運動，將會造成平均海水位向岸抬升，如受到港灣或灣澳地形的限制，可能因水體不容易消散，而致水位堆積揚升振盪。倘若此時的長週期波浪再加上其他風波能量，可能導致港灣內靜穩度降低、越波及海水溢淹等危害，甚或發生海岸結構物的破壞，嚴重影響到港內船舶航行或停泊、沿海居民生命財產及行車的安全。

參考 112 年 12 月 14 日臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司(以下簡稱花港分公司)「花蓮港-港池共振內港削減改善討論會議」結論：「因花蓮港內港未來十年規劃轉型朝向發展觀光遊憩，港池共振是花蓮港長久問題，並直接影響內港水域能否做為風帆船或遊艇基地之發展。國內外已有相關消能設施案例，建議可考量花蓮港受限航道段整建為消波岸壁、7 號與 12 號碼頭整建為消波岸壁、9 號至 16 號碼頭間水域增建消能擋浪堤、或其他可能工程方案等，做為削減港池共振之評估方案。」

為改善花蓮港內長週期振盪問題，囿於經費限制與時間考量，大規模得改變港形或增設開口，實質上有執行難度，且做了新的變更，亦可能引發新的問題。有鑑於此，本計畫乃以改善現有碼頭型式為研究課題，期望利用降低港內長週期波浪能量的方式，減緩花蓮港的長週期振盪，同時達到提高港內的靜穩度之目的。

1.2 研究項目與內容

本計畫以 3 年期研究進行規劃，針對長週期波浪運動各相關議題進行探討。第 1 年已完成蒐集回顧國內外長週期波動特性相關研究，及其所造成的災害資料與研究，綜整出各種可能破壞的因應策略。再以花蓮港港灣波動為主體，研擬可能消減港內長週期波浪的碼頭結構雛形，並建立必要之港灣波動數值模式，以進行多種情境之港灣波動模擬，瞭解影響港灣靜穩度的關鍵岸線區塊，便於規劃後續之水工模型試驗。

本(第 2)年度先蒐集研讀國內外有關港灣內具消能機制的碼頭與構造物型式之文獻資料，以分析歸納可消減港灣內長週期波能之結構物型式。並彙整研讀花蓮港碼頭興建及修繕相關資料，確認花蓮港現況與可能進行改善的港內位置。再依據交通部運輸研究所(以下簡稱本所)執行之花蓮港現場觀測及港灣波動模擬結果，選定對於改善港池振盪有助益的碼頭位置，針對現況碼頭與新型消能碼頭的斷面，分別進行長週期波浪作用下之水工斷面模型試驗，評估新型碼頭的消能效果。並綜合第 1 年的研究成果，研擬消能碼頭斷面型式建議，以降低長週期波的能量與反射率，改善港內振盪現象。

預計第 3 年以斷面的水工模型試驗模擬花蓮港束縮航道，應用前 2 年的研究成果，探討於束縮的受限航道增加消能結構物或設施，對於長週期波的能量消減成效。最後做綜合整理與評估，以提出國內近岸抵禦長週期波浪的結構物或設施型式。

1.3 研究方法

本計畫研究主要針對探討消能碼頭型式進行探討，以求降低花蓮港之港內振盪現象。研究方法說明如下：

1. 文獻與資料蒐集研讀：蒐集研讀國內外有關港灣內結構物的相關文獻，並彙整研讀花蓮港碼頭興建及修繕相關資料。
2. 選定碼頭位置及規劃消能碼頭型式：依據本所執行花蓮港現場觀測與港灣波動模擬結果，選定一適宜的花蓮港碼頭位置及規劃消能碼頭型式，分別進行長週期波浪作用下之斷面水工模型試驗。
3. 港灣內長週期波作用下斷面試驗：規劃佈置試驗量測項目，進行長週期波作用下之斷面模型試驗，以探討碼頭型式改善前後的反射率差異。
4. 分析斷面試驗結果及改善提案：彙整第 1 年研究成果及斷面試驗結果，提出適用於港灣內，可消減長週期波浪的碼頭斷面或設施型式對策。

第二章 文獻回顧

2.1 長週期波相關研究

海洋裡存在有各種不同類型的波浪，如圖 2.1 所示，Munk(1950)將海洋波浪依作用力及週期分為表面張力波(0.1 秒以下)、短週期重力波(0.1 秒~1 秒)、一般重力波(1 秒~30 秒)、長週期重力波/亞重力波(30 秒~300 秒)、長週期波(5 分鐘~12 小時)、一般潮汐波(12 小時~24 小時)以及週期 24 小時以上的變遷潮汐波。

日本全國港灣海洋波浪情報網(NOWPHAS：Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS)是日本港灣空港技術研究所自 1970 年開始結合國土交通省、各地方整備局、北海道開發局、沖繩綜合事務局、國土技術政策綜合研究所局與等單位逐步建置與推動全國沿岸的波浪資訊網，至 2016 年 4 月已經擴大到 78 個觀測地點在執行定常性的波浪觀測。該資訊網除配合日本氣象廳提供波浪預報以維護海上安全外，也透過長期累積的觀測資料的統計分析，提供給港灣、海岸、空港事業的規劃、調查、設計與施工，以及廣泛地提供沿岸的開發、利用及防災等的應用。

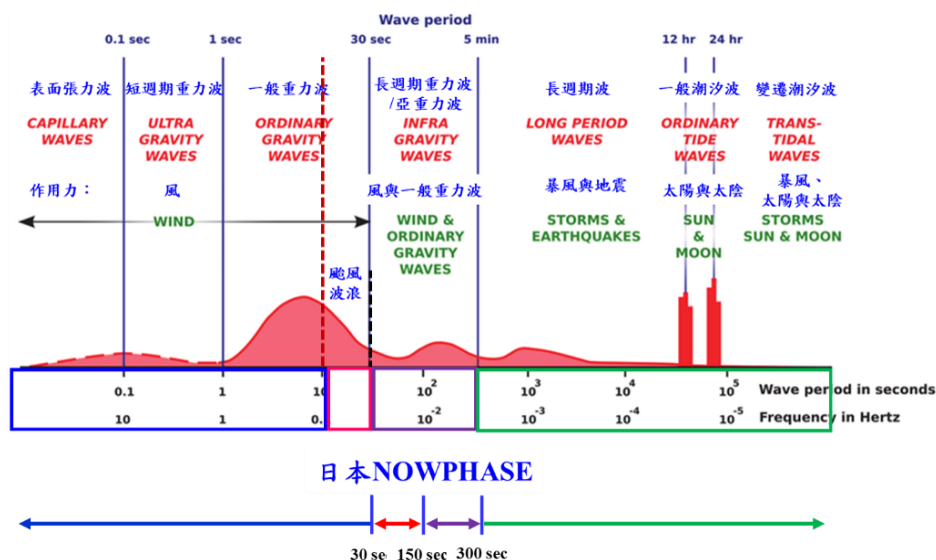


圖 2.1 海洋波浪分類(改自 Munk, 1950)

在 NOWPHAS 即時資訊網頁裡提到將不規則波波譜不同的週期區兼分割並計算其對應波高，但僅提到將 8 秒以下的波浪定義為風波；8 秒至 30 秒為湧浪；30 秒以上(~300 秒)為亞重力波，與 Munk(1950)的定義類似(但強調是為了分析對船舶及其他結構物的影響而定)。不過依表 2-1 所示之苦小牧港每日示性波浪表則將波浪區分為整體示性波高及週期；30 秒以下(包含 6 秒以下、6~8 秒、8~10 秒、10~15 秒及 15~30 秒)；30 秒以上(包含 30~60 秒、60~300 秒、300~600 秒及 600 秒以上)等資料群。

仲井(2013)在沿岸域之長週期波相關研究裡綜整各方面的需求，包括各種海事/海岸/港灣工程及各類型船舶運動需求認為將長週期波動定位在 300 秒以上，但他也提到依財團法人沿岸開發技術研究中心(2000)的沿岸波浪及海象觀測資料分析與應用說明書建議將週期帶分為 3 個範圍，包含 30 秒以下、30 秒~150 秒及 150 秒~300 秒來探討，顯示其關心的範圍受到日本處於高緯度且直接承受太平洋傳播的長週期波浪，以及不同需求之影響而定。

就臺灣而言除了這 3 個週期範圍外，可能還需要因地制宜地探討湧浪及颱風波浪，但週期範圍則尚不明確，當務之急應是重新分析並整理國內的觀測資料，及依不同對象需求，訂定符合自身特性的範圍。

表2-1 日本NOWPHAS即時資訊網每日示性波高實況表



NOWPHAS

新加坡海上交通與船舶管理 新加坡海運發展局 新加坡海運管理局

首頁

地區選擇

通知

歷史數據

使用上的注意

關於NOWPHAS
的詳細說明

鏈接

有义波实況

周期间波浪实況

高龍平均水位(近海)

苦小牧港 有义波实況 每日表

© 2024-02-03

2024/02/03

今天

<

>

在時間	有义波			波浪 (波高/波高方向)						長期波浪 (波高)					
	波高(m)	周期(s)	波高方向	30s不到 (cm)	~ 6s (cm)	6 ~ 8s (cm)	8 ~ 10s (cm)	10 ~ 15s (cm)	15 ~ 30s (cm)	30s或更多 (cm)	30 ~ 60s (cm)	60 ~ 300s (cm)	300 ~ 600s (cm)	600s或更多 (cm)	
00:00	0.38	4.3	SW	42	37	011/WWW	010/SSE	011/SE	006/NE	6	3	3	1	3	
00:20	0.36	4.4	ESE	41	35	009/WSW	012/SSE	013/SE	006/SSE	7	3	3	1	3	
00:40	0.30	5.0	SSW	34	27	010/S	010/S	013/SE	005/E	7	3	3	1	4	
01:00	0.28	5.5	SSW	32	26	009/SSE	011/S	012/SSE	005/SE	6	3	3	1	3	
01:20	0.27	5.2	SSW	31	25	009/S	009/S	012/SW	005/SSW	7	3	3	1	3	
01:40	0.27	5.0	SSE	30	25	008/E	009/SE	011/SE	005/SE	6	3	3	1	2	
02:00	0.30	5.5	S	33	27	010/SSE	010/S	012/S	005/S	5	3	3	1	1	
02:20	0.28	5.4	S	31	25	011/SSW	008/SSE	012/SE	004/ESE	5	3	3	1	1	
02:40	0.25	5.2	SSW	29	23	009/SE	010/S	012/SE	004/ESE	5	3	2	1	1	
03:00	0.26	5.7	ESE	28	22	010/SE	008/SSE	011/SSE	005/SE	5	3	2	1	2	
03:20	0.25	5.7	SSW	29	23	009/S	009/SSE	011/SSE	005/SSW	5	2	2	1	2	
03:40	0.25	4.8	S	28	23	008/SSE	009/S	011/SSE	005/SE	5	2	2	1	2	

港區內最關心的仍是蕩漾(seiche)，以花蓮港 2005 年龍王颱風為例，如圖 2.2 所示為港外觀測水面波動及分析頻譜圖，可發現龍王颱風(2005.09.30 20:30 發布海上颱風警報；2005.10.01 05:30:00 發布陸上颱風警報；2005.10.03 08:30:00 同時解除海上及陸上颱風警報；推估 2005.10.02 05:00:00 颱風登陸(藍色方框)。但是在此之前，港外就已經存在 50 秒以上的長週期波，而一般又常把湧浪視為 15 秒~30 秒的波動。

再者，從一般波浪觀測中經常採用取樣延時(duration，取樣點數×取樣時距)為 1200 秒，週期 150 秒以上的波動，可能找不到其零上切特性波高(個別波個數少於 10 個)，也可能是一個考量因子。

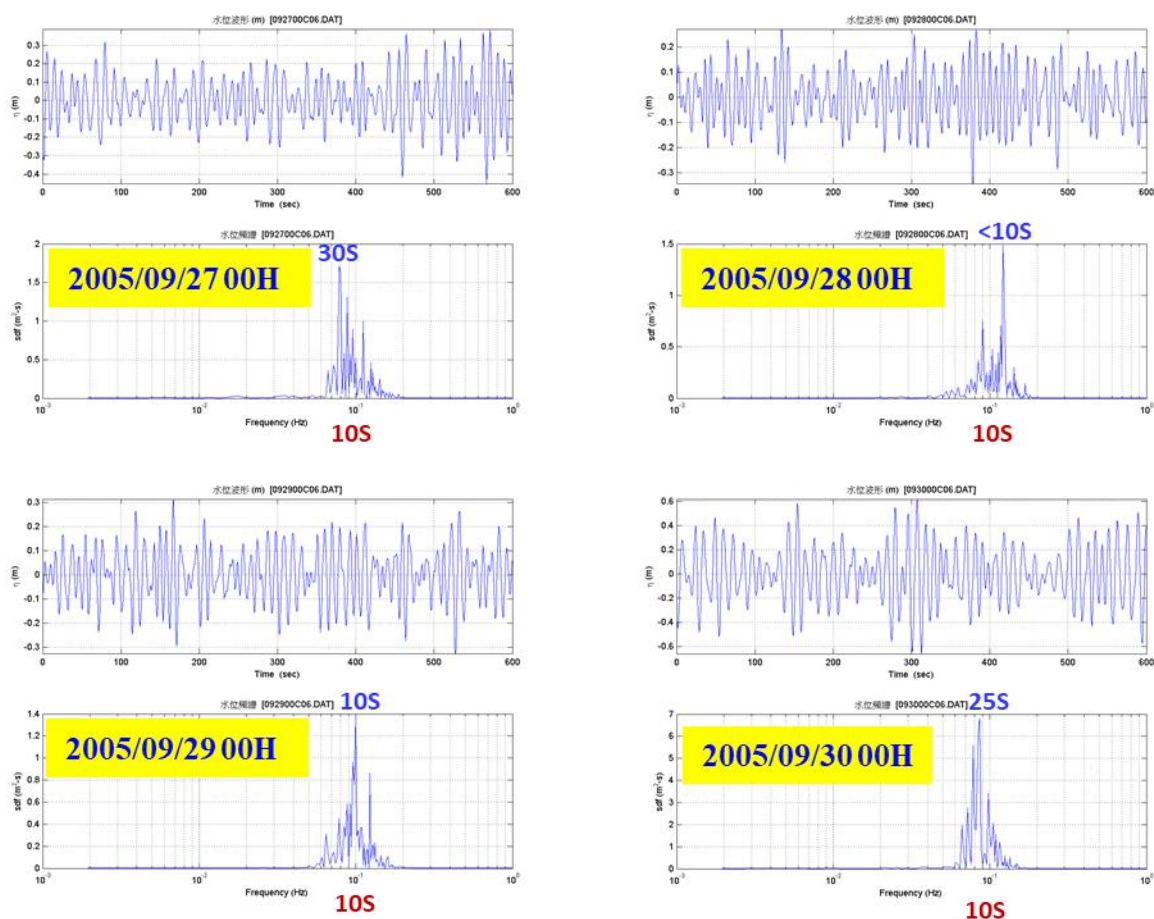


圖 2.2 花蓮港港外 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析

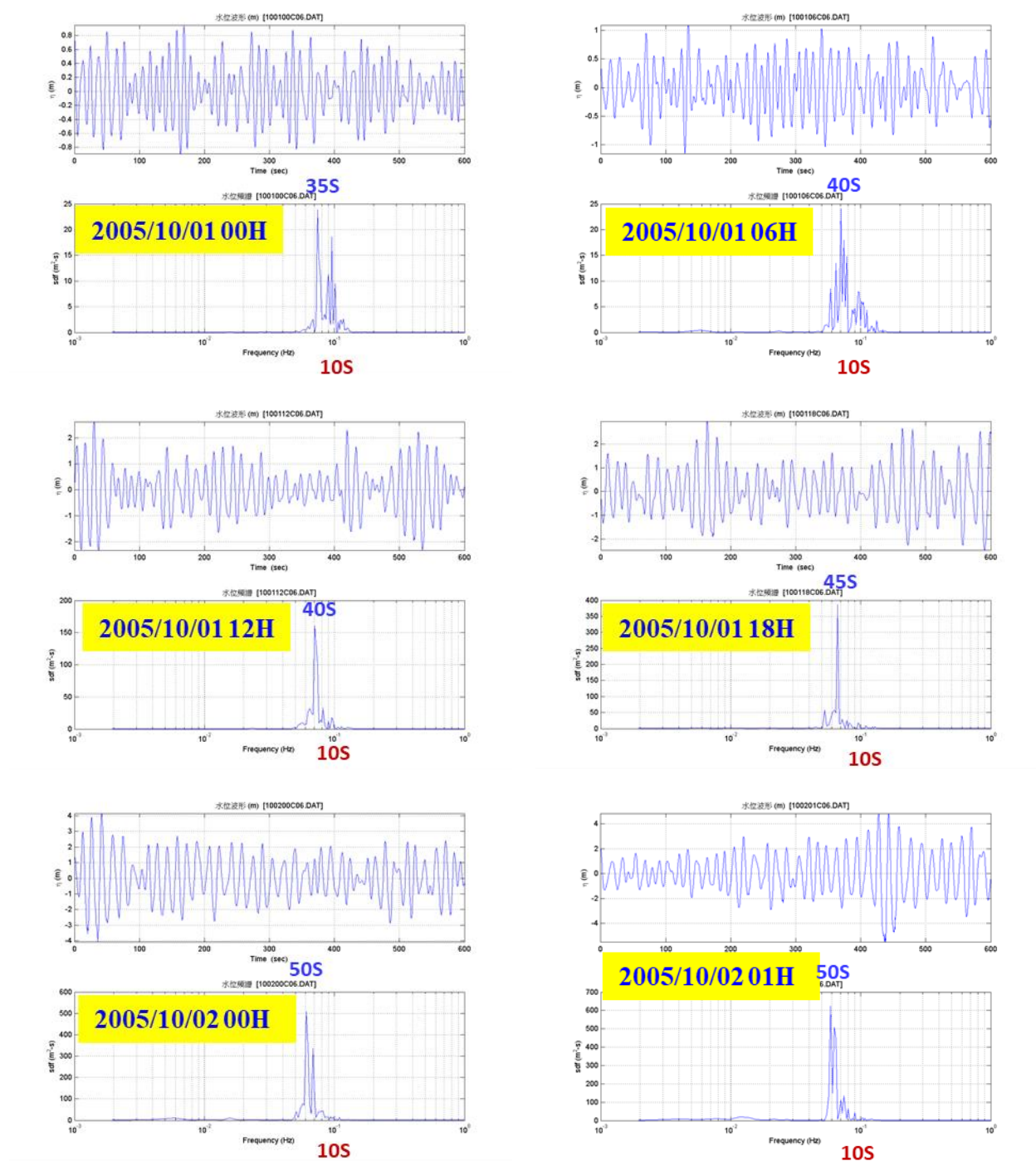


圖 2.2(續) 花蓮港港外 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析

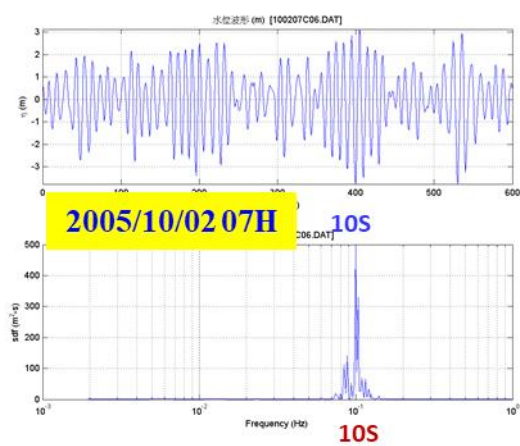
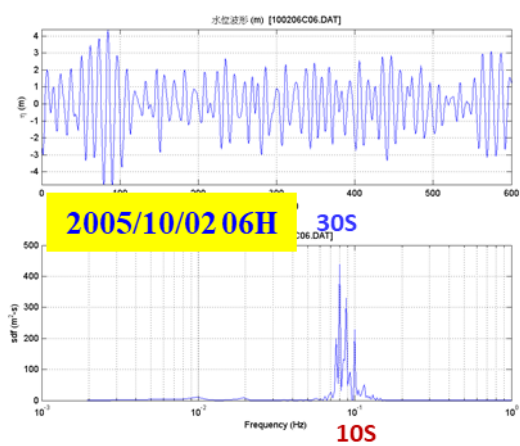
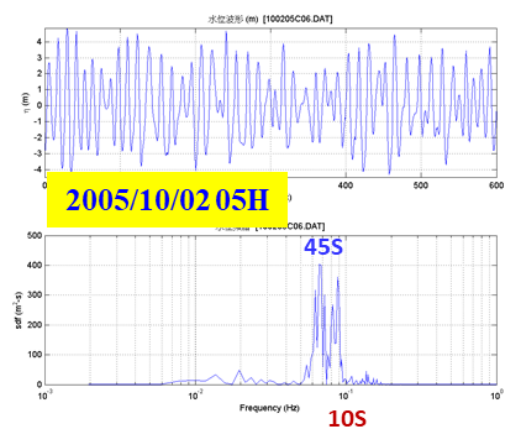
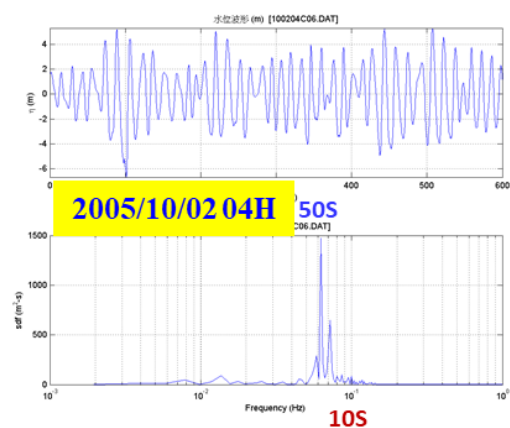
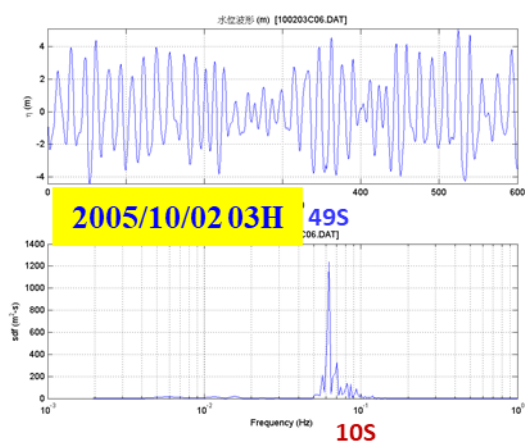
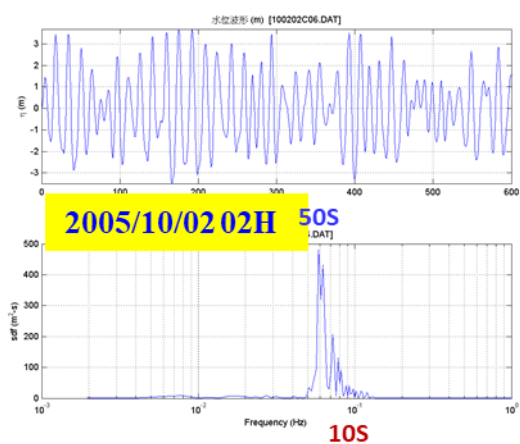


圖 2.2(續) 花蓮港港外 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析

2.2 消減港灣波能相關研究

本計畫研究的目標為透過多元化思維找出港灣內長週期波動問題發生機制，並尋找減緩極改善的策略，而本計畫屬於水工模型試驗部份之斷面試驗，從多個面向蒐集與整理與港灣設施相關的工程方法文章，並針對與長週期波有關的方向進行討論。

本節針對與港灣實務有關的消能結構物之部分文獻，做一簡單回顧與討論：

1. 消能斜坡

Straub et al.(1957a & b)提出針對不透水海灘/透水海灘，包括拋碎石斜坡及金屬網網狀構造物，進行不同坡度、形狀、孔隙率等的斷面水工模型試驗。其後也為了能在有限長度空間提高消能效果，在不透水斜坡面上加拋不同厚度的排水層，並得到相當不錯的效果(如圖 2.3 及圖 2.4)。該項研究中了解到海灘的透水性有利於降減波浪的反射，但並未從水動力學的觀點討論海灘的消能行為。可能因為水下直立壁的反射緣故，不連續的海灘有較大的反射率。

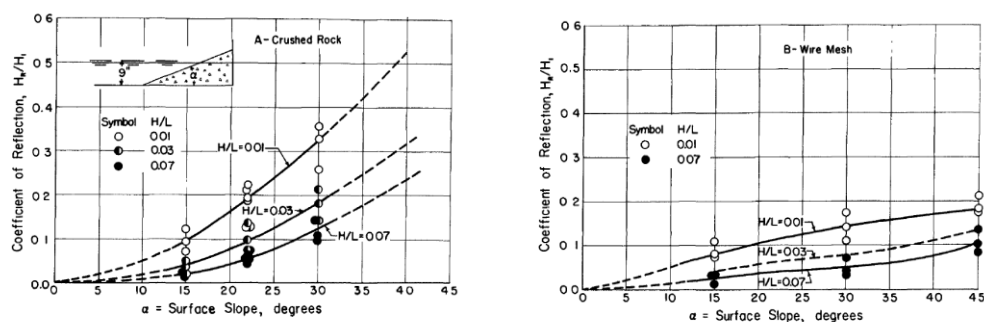


圖 2.3 碎石斜坡與鐵絲網狀消能斜坡的反射係數(Straub et al., 1957a)

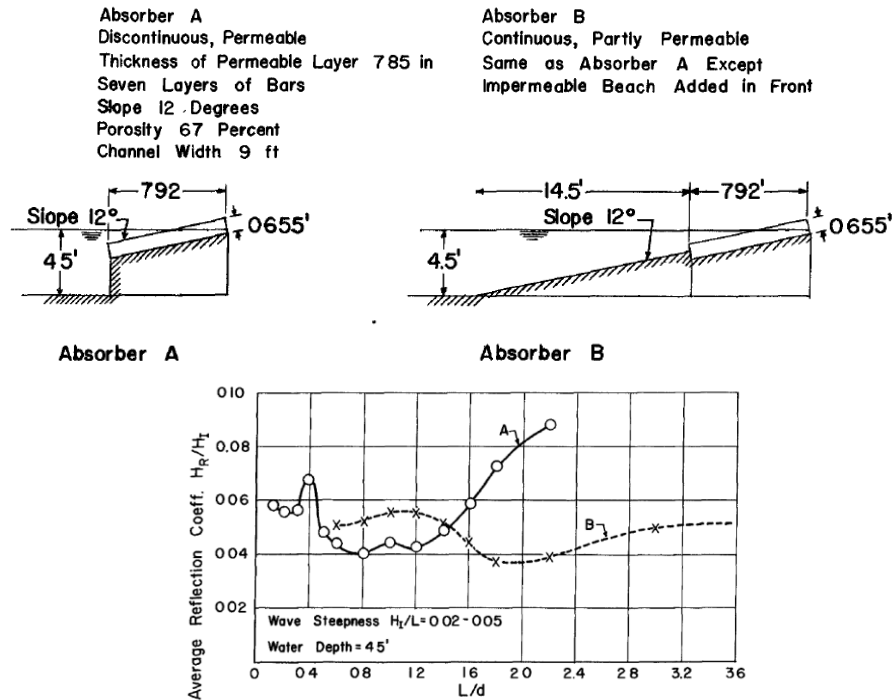


Fig. 8. Comparative reflection coefficients for continuous and discontinuous absorbers.

圖 2.4 連續性與非連續性消能斜坡之反射係數比較(Straub et al., 1957a & b)

Taira 及 Nagata(1968)以 3 種週期針對不同坡度自然海灘，進行波浪反射率試驗研究，並換算為波形尖銳度進行檢討，如圖 2.5。他們在 4 公尺長的小斷面水槽裡設置均勻斜坡，針對不發生碎波條件，以移動式波高計量測各點的波高並換算能量損失。該文指出斜坡因有表面粗糙度，即便不發生碎波，仍無法確保沒有能量損失。而在另一個 10 公尺長斷面水槽試驗中，測得入射波與反射波有相位差，如圖 2.6 所示。該研究顯示由於水流在多孔隙介質裡流動時流速會較慢，因而導致波動的相位遲滯。

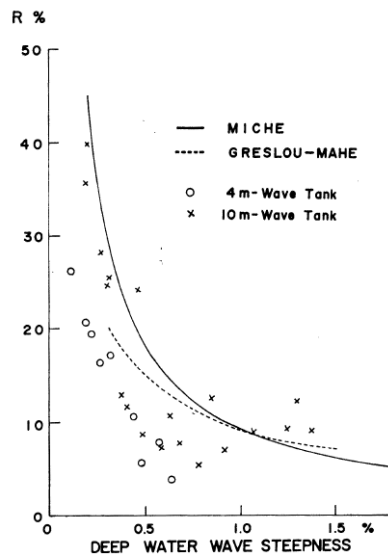


圖 2.5 斜度 6° 坡面的反射係數與波形尖銳度的關係圖(Taira and Nagata, 1968)

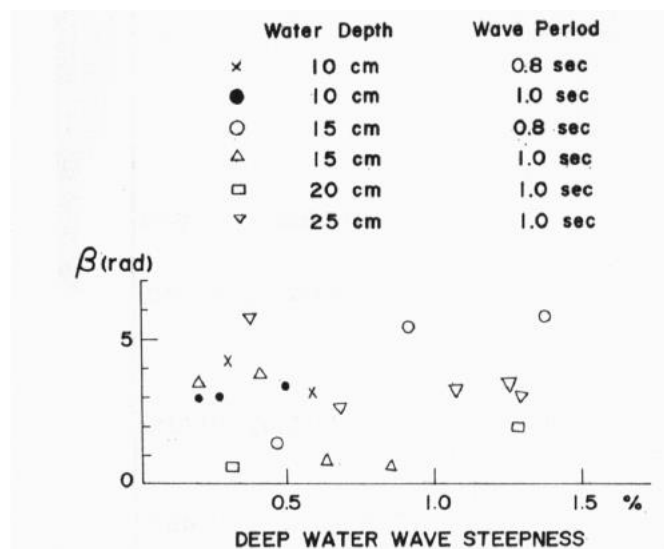


圖 2.6 10 公尺長造波水槽測得入射波與反射波之相位差關係圖(Taira and Nagata, 1968)

Seelig et al.(1981)收集了自然海灘、護坡及防波堤之反射率試驗資料(表 2-2)並嘗試建立推估公式，如圖 2.7 所示為反射率與 Iribarren 數 (ξ)的關係圖。然而，比對圖 2.8 及圖 2.9 的反射率與波長的關係，雖然自然沙灘一直被視為完全消波的象徵，但試驗資料卻顯示其在長週期波作用下，反射率仍高。探究其原因，可能和孔隙介質之間是否充滿水有關。波浪因碎波而溯升時，水體會逐漸入滲並填補砂土的空隙，在波浪反覆碎波溯升入滲後，由於孔隙介質內滲流較慢導致土壤飽含

水，讓外部水體無法進入孔隙之間流動，而只能沿著等同於不透水的斜坡上運動，其溯升高度相對提高甚至會發生越波。因此，實務上自然沙灘不應視為完全消波的岸線，尤其是對長週期波而言。

表2-2 試驗資料來源

Table 1. Sources of data and range of conditions.

Data set	Reference	Struc types ¹	Cotθ of structure seaward slopes	Wave types ²	$\frac{d_s}{RT^2}$	$\frac{d}{d_s}$	$\frac{H_i}{H_b}$	$\frac{d}{L}$	n ³	K _r , calculation method ⁴
a	Ahrens (1980)	1	1.5-2.5	I	0.005-0.04	0.0	0.06-1.0	0.0	0	B
b	Ahrens and Seelig (1980)	2	2.0	S, I	0.001-0.025	0.11-0.2	0.16-1.0	0.004-0.02	2.5	B
c	Debok and Sollitt (1978)	3	1.5-2.0	S	0.031-0.14	0.12-0.17	0.28-1.0	0.010-0.024	1	A
d	Gunbak (1979)	3	1.5, 2.5	S	---	0.03	---	---	---	A
e	Madsen and White (1976)	1, 2	1.5-3.0	S	0.0078-0.012	0.0-0.17	0.07-0.25	0.0-0.02	1	C
f	Moraes (1970)	1, 2	0-10.0	S	0.008-0.035	0.002-0.054	0.0-0.34	0.0-0.007	1	A*
g	Seelig (1980)	3	1.5-2.6	S, I	0.002-0.08	0.04-0.61	0.0-1.0	0.0-0.096	1, 2	B
h	Hydraulics Research Station (1970)	4	1.5	S, I	0.0067-0.015	0.09	0.3-0.8	0.004-0.013	2	A
i	This study	1, 2	2.5, 15.0	S, I	0.0018-0.044	0.0-0.22	0.06-0.7	0.0-0.37	0, 1, 2, 3, 4	B
j	Ursell, Dean, and Yu (1960)	1	15.0	S	0.0014-0.13	0.0	0.05-0.44	0.0	0	A
k	Chesnutt (1978)	5	5.0-5.9	S	0.005-0.032	0.003	0.2-0.36	0.00008-0.0002	---	A

¹Structure types:

- 1, smooth impermeable revetment (nonovertopped);
- 2, impermeable revetment with one or more layers of armor;
- 3, rubble-mound breakwaters (rough, permeable);
- 4, dolos breakwater;
- 5, laboratory beach.

²Wave types tested:

- S, sine blade motion;
- I, irregular waves.

³n = number of layers of armor

⁴Reflection coefficient calculation method:

- A, envelope method;
- A*, modified envelope method (Goda and Abe, 1968);
- B, method of Goda and Suzuki (1976);
- C, method of Madsen and White (1976).

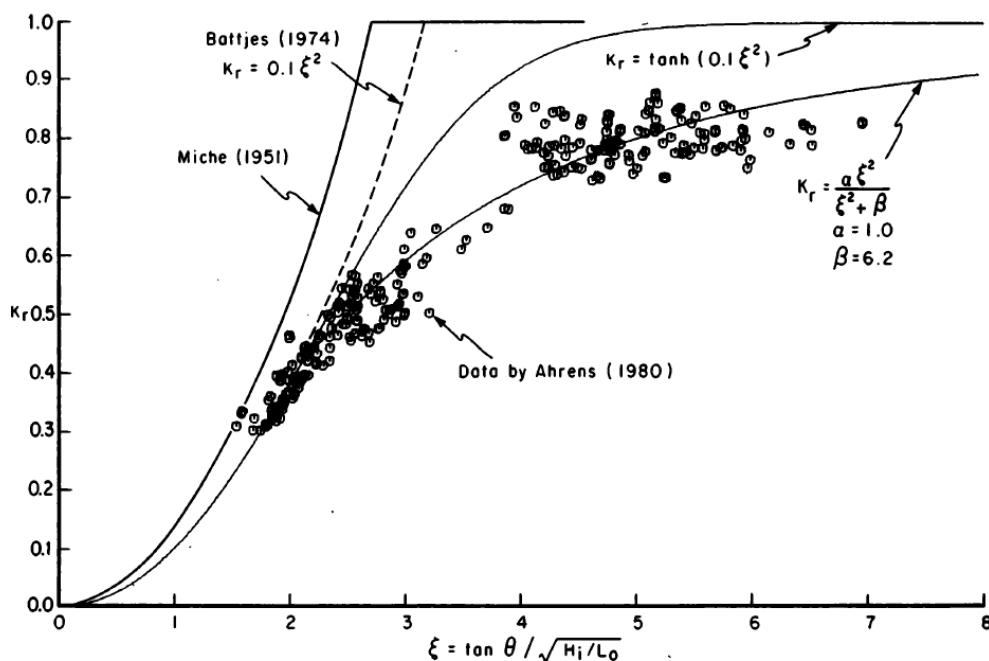


Figure 4. A comparison of wave reflection coefficients for a 1 on 2.5 slope and various equations to predict reflection coefficients.

圖 2.7 1:2.5 斜坡的反射率比較圖

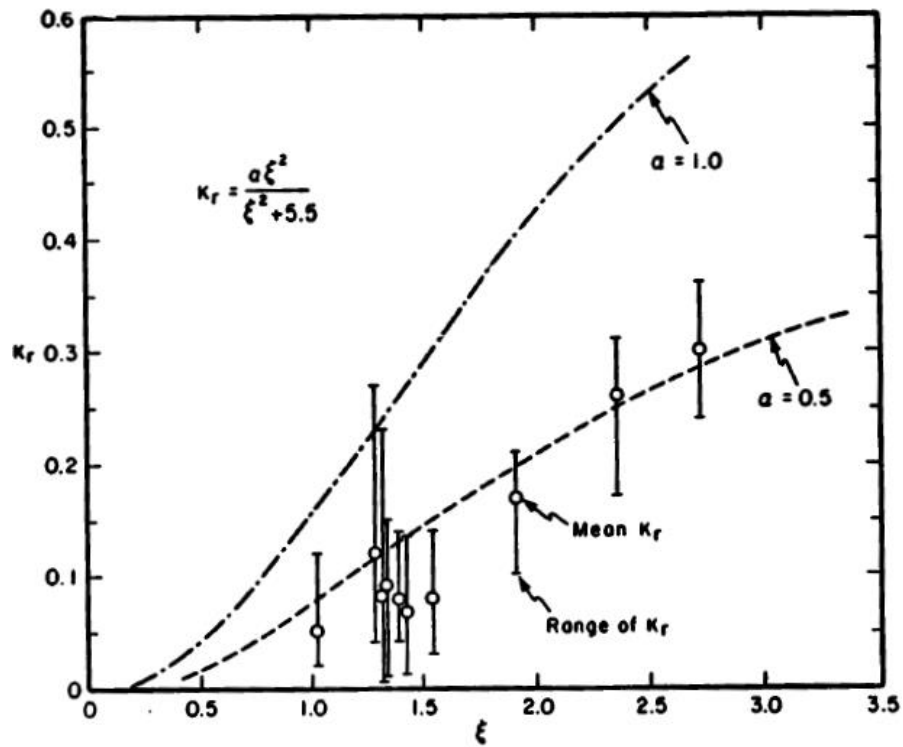


Figure 8. Wave reflection coefficients from laboratory beaches (from Chesnutt, 1978).

圖 2.8 試驗沙灘上之試驗反射係數比較圖

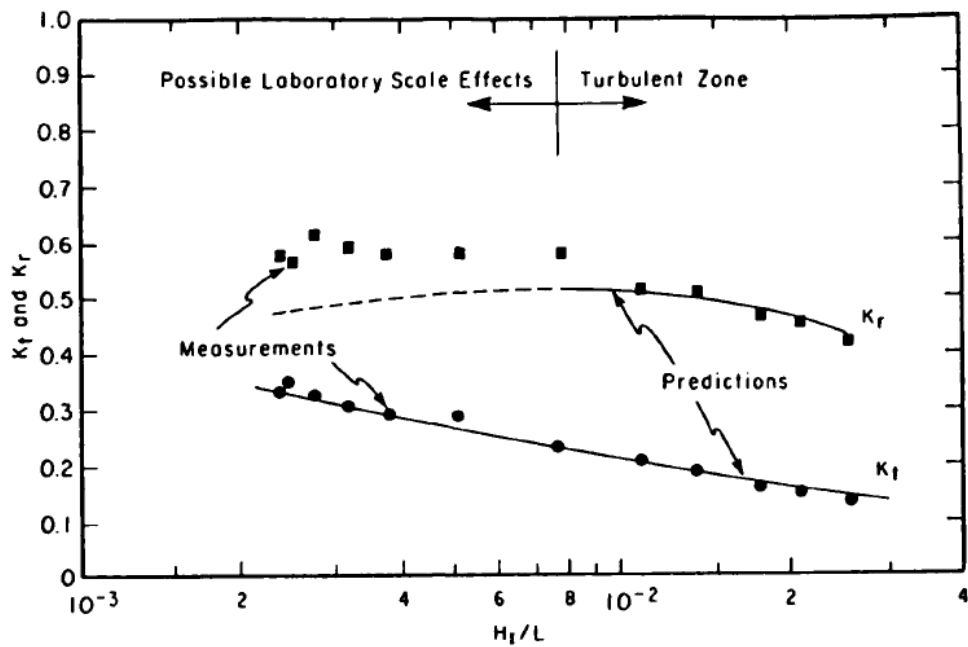


Figure 9. Predicted rubble-mound breakwater wave reflection and transmission coefficients (laboratory data from Sollitt and Cross, 1976).

圖 2.9 拋石堤之預測與試驗反射係數與透過係數比較圖

為了嘗試找出反射波能量的來源，Walton(1991)在美國大西洋海岸兩個場址(DUCK, N.C.及 Ocean City MD.)應用底碇式壓力計及電磁式流速計量測自然沙灘的波浪變化，並計算不規則波作用下之反射係數譜，如圖 2.10 及圖 2.11。同樣地發現長週期部份的消波效果不好，其原因應與前項的討論相似。經查觀測的 2 個時間(1986 年 10 月 11 日及 1990 年 5 月 22 日)，測區裡並沒有颶風事件，基於兩個沙灘的主要粒徑介於 0.15-0.3mm 屬於細沙，可能與沙灘排水不良有關。

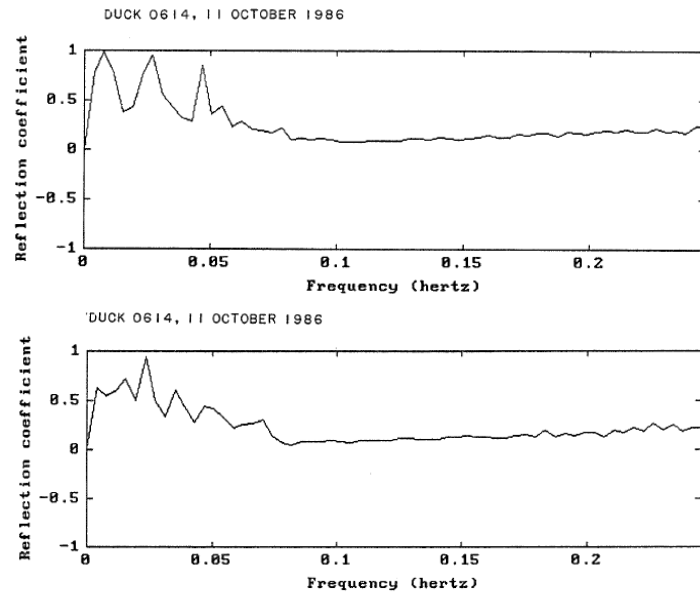


圖 2.10 美國北卡羅萊納州 DUCK 的反射係數譜(Walton, 1991)

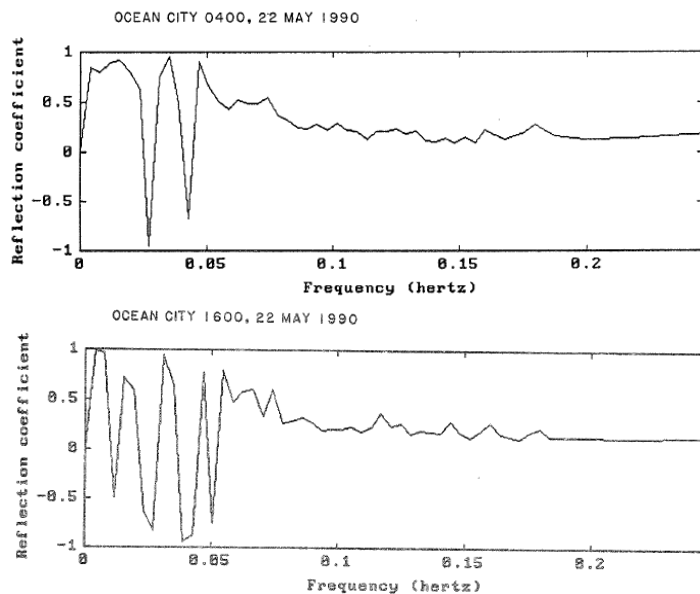


圖 2.11 美國馬里蘭州 Ocean City 的反射係數譜(Walton, 1991)

2. 多孔隙結構物

Sollitt and Cross(1976)以水工模型試驗、現場觀測與理論推導，探討波浪作用於3種型式防波堤(直立箱籠回填石塊堤、梯形拋石堤及對稱型群樁堤)的透過係數與反射係數的變化，其中比較了不同的波浪條件、孔隙率與防波堤寬度，如圖 2.12。該研究執行了一系列水工模型試驗以驗證理論解析解，並獲得下列結論：

- (1) 透過係數隨波長、防波堤的孔隙率與透水性的減少以及波高與防波堤的寬度的增加而降低。
- (2) 反射係數隨波長、防波堤的孔隙率與透水性的增加以及防波堤的寬度的縮短而降低。
- (3) 理論的應用會因波高超過顆粒中值粒徑大小而受到限制，試驗的結果與理論之透過係數的相關性優於反射係數，這應該是反射係數對自由水面運動之影響較為敏感。另外，理論解析無法考慮波浪碎波影響。

Seelig(1980)應用規則波與不規則波水工斷面模型試驗，探討多種出水式與沒水式防波堤的反射係數與透過係數，如圖 2.13~圖 2.17 所示。結構物包含光滑不透水防波堤、拋石堤、以及雙 T 塊群護坡堤。因波浪越波而產生之透過波與前坡溯升及堤頂寬度有關，該研究提出一種推估透過及越波係數的方法。研究討論以沒水深度為 0($F=0$)之潛堤為參考組，由陳文生(2000)的試驗中，發現沒水深度為 0 的直立多孔隙堤的波浪行為很複雜，與其他潛堤不同，不易比較。

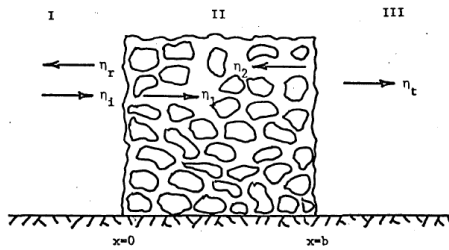
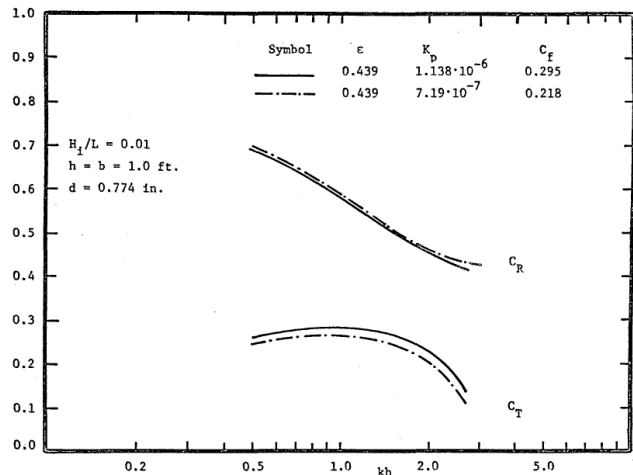


Figure 5. Crib-style breakwater.

箱籠式防波堤



箱籠式防波堤：與波數相關之反射係數與透過係數

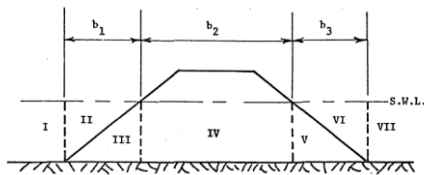
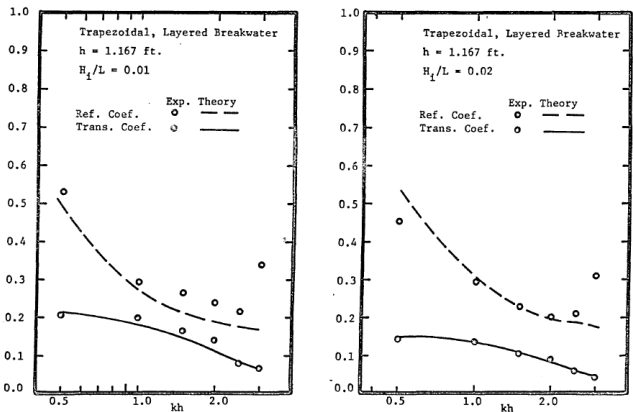


Figure 11. Trapezoidal breakwater.

梯形拋石堤



梯形拋石堤：與波數相關之反射係數與透過係數

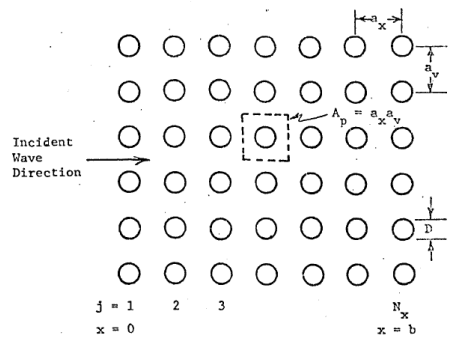
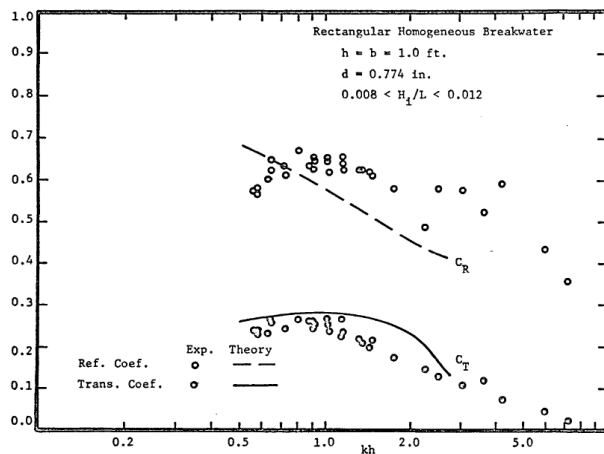


Figure 13. Pile-array pattern.

群樁式防波堤



群樁式防波堤：與波數相關之反射係數與透過係數

圖 2.12 3 種型式防波堤(Sollitt and Cross, 1976)

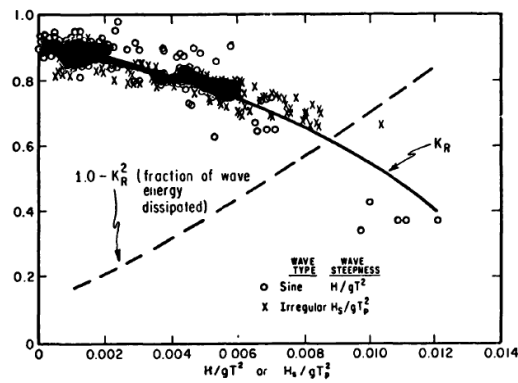


Figure 8. Wave reflection coefficients and fraction of wave energy dissipated for a 1 on 1.5 smooth slope with no wave transmission (data from Ahrens, 1979).

圖 2.13 1:1.5 不透水斜坡堤之反射係數與能量損耗比(Seelig, 1980)

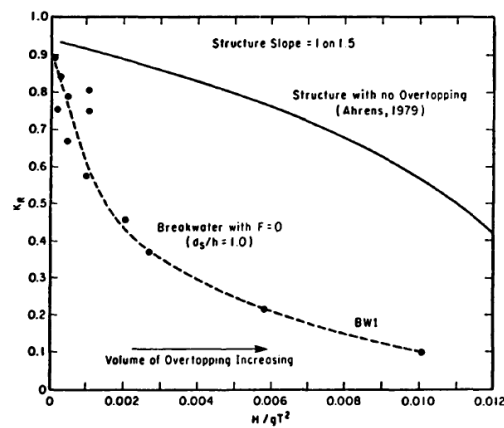
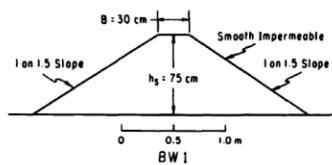


Figure 9. Wave reflection coefficients for a breakwater with zero free-board compared to a similar structure with no overtopping.

圖 2.14 沒水防波堤與不越波防波堤之反射係數(Seelig, 1980)



d_s/gT^2	
1.20	Submerged Breakwater
1.13	
1.07	
1.00	
0.93	
0.87	Subaerial Breakwater
0.80	
0.73	
0.67	
0.60	

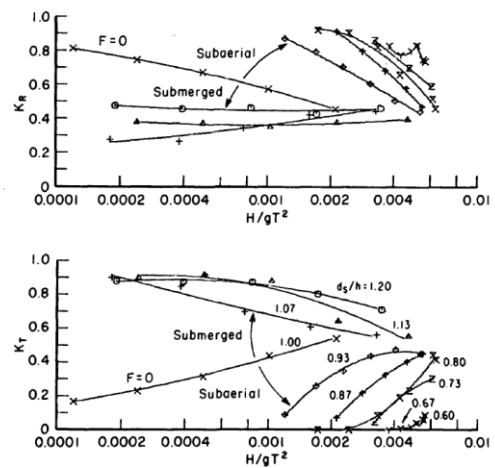


Figure 10. Wave transmission and reflection coefficients for a smooth impermeable breakwater (BW1, $d/gT^2 = 0.016$, monochromatic waves).

圖 2.15 規則波作用下光滑斜坡之反射係數及透過係數與 H/gT^2 關係圖 (Seelig, 1980)

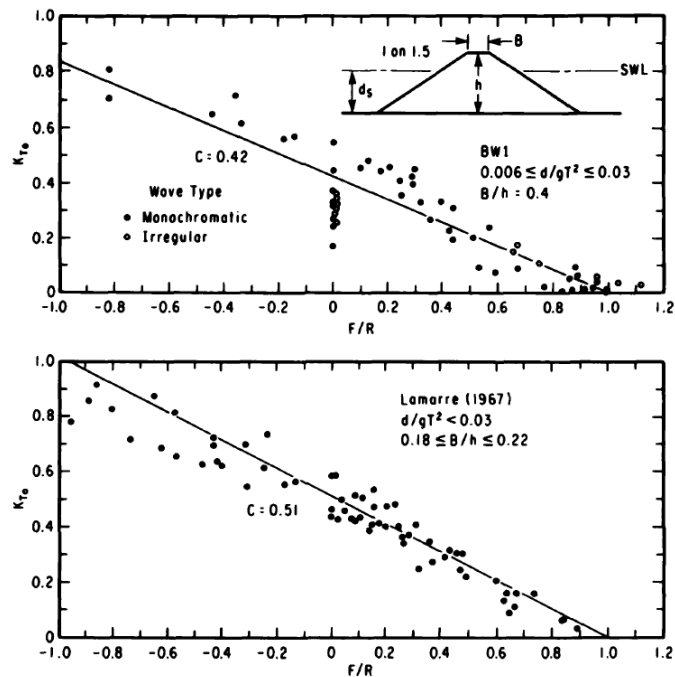


Figure 13. Wave transmission coefficients for smooth impermeable breakwaters with 1 on 1.5 slopes.

圖 2.16 1:1.5 坡度光滑不透水防波堤之透過係數與 F/R (出水高度/潮升高度)關係圖(Seelig, 1980)

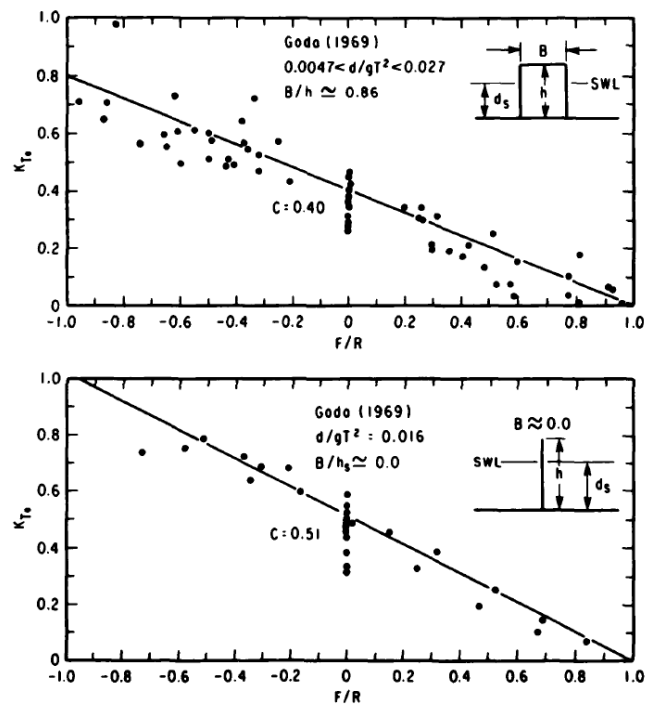


Figure 14. Wave transmission coefficients for vertical, smooth impermeable breakwaters using Goda's (1969) data.

圖 2.17 直立光滑不透水防波堤之透過係數與 F/R (出水高度/潮升高度)關係圖(Seelig, 1980)

Allsop and Hettiarachchi (1988 & 1989)收集多種斜坡拋石堤的反射率試驗資料，整理如圖 2.18(a)所示。Zanuttigh and van der Meer (2007)收集多種消能斜坡的反射率試驗資料，如拋消波塊堤、光滑斜坡、不透水拋石堤及透水拋石堤，整理如圖 2.18(b)所示。圖中顯示透水性結構物的消能效果優於不透水之多孔隙結構物，而光滑表面最差但仍因波浪碎波而不同。拋石堤是利用波浪在孔隙間的衝撞以及表面摩擦損失來削減波能，但反射率仍高。波形進入消波塊或拋石之間，其波形已經被破壞，無法反射出完整的波形，但堤體外側適當距離卻仍可以量測到反射波，應該是因為波浪在塊體孔隙間碎波後，水流排水不會順暢，加上拋石堤外的波浪推擠作用，堤體內只好抬升水位來抗衡，而形成因內外位能差轉換成動能的造波行為。

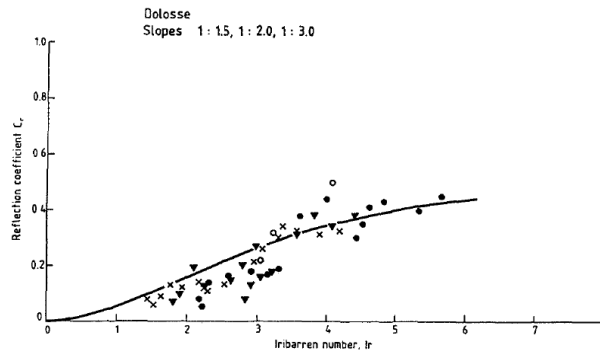
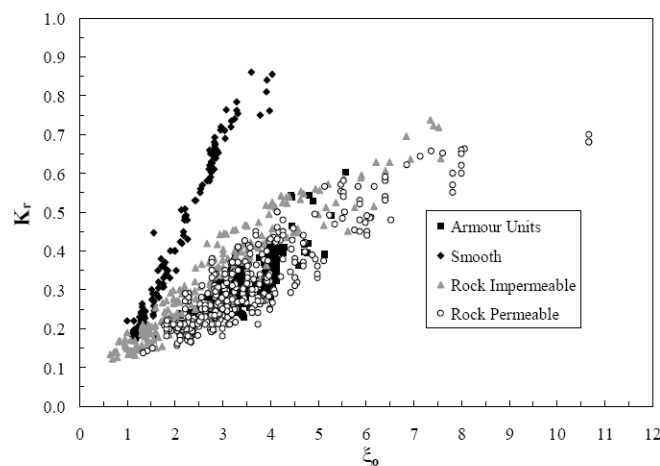


Fig 3 Reflection performance of Dolos armoured slopes, regular waves

(a) 雙 T 塊(Allsop and Hettiarachchi, 1988 及 1989)

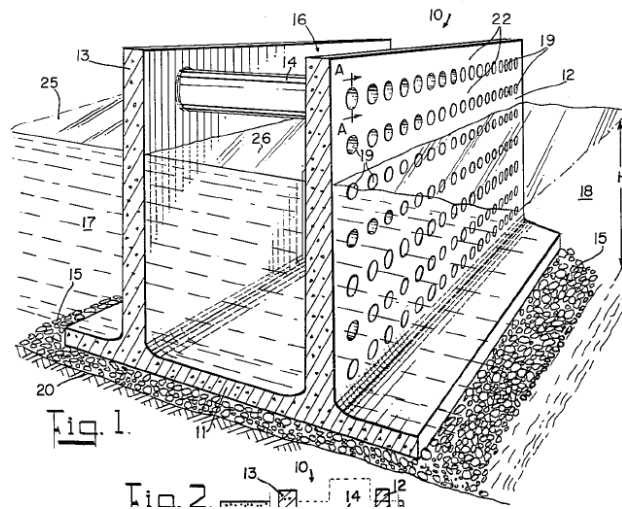


(b) 多種材料(Zanuttigh and van der Meer, 2007)

圖 2.18 斜坡拋石堤之反射率與 Iribarren number 的關係圖

3. 直立型消能結構物

以 Jarlan 型消波結構物(如圖 2.19 所示)為最早有正式文件的記錄(Jarlan, 1964, 專利申請文件), 他首次提出由開孔前牆與不透水後牆所構成一個具消波室的開孔式消能結構物後, 利用入射波進入直立前壁之開孔時, 產生部分透過及部分反射來破壞入射波波形結構的完整, 再利用不透水直立後壁之反射造成消波室的振盪來抵消部分波能。該結構物原設計為防波堤用途, 但後來成為具消波室的開孔式/多孔式消能結構物之起源。

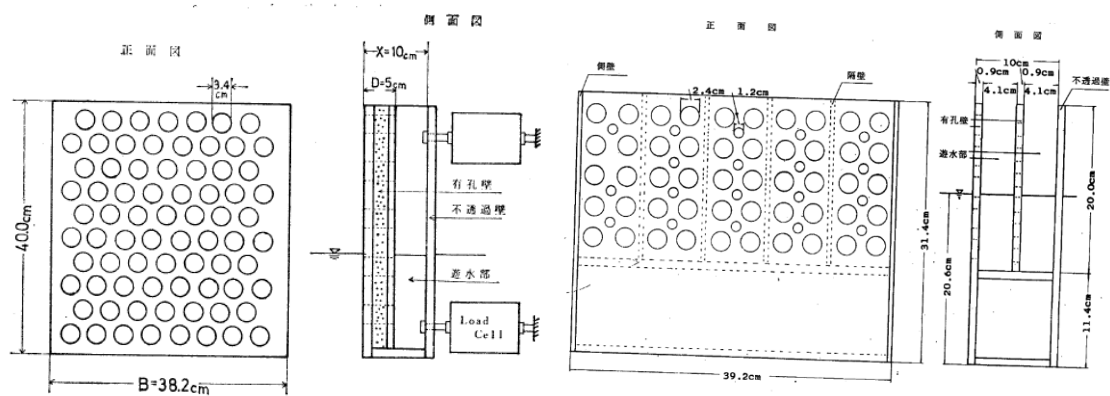


(資料來源：US3118282:Breakwater Structures 美國專利申請書)

圖 2.19 Jarlan 型式消波結構物(Jarlan, 1964)

井島等人(1979)曾對多孔隙直立岸壁防波堤(如圖 2.20 所示)以水工模型試驗探討波力作用情形。其想法是透過改變開孔牆厚度、開孔率及消波艙長度來尋找最佳的消波效果。

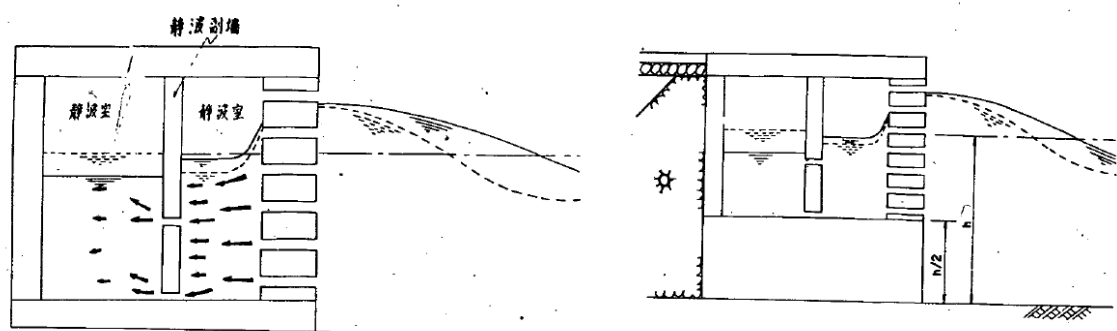
蘇等人(1979)參考井島等人(1979)提出之多孔隙消波艙防波堤, 修改為萬代福靜波牆碼頭結構物, 如圖 2.21 所示, 一直被廣泛應用於碼頭載重較低之漁港中。國內所稱之萬代福組立式消波塊碼頭如圖 2.22 所示, 雖然顯示消波效果似乎不錯, 如圖 2.23 所示, 但若仔細換算水深(30cm 及 45cm)波長比, 其實討論的週期並不長, 大約是一般風波的範圍。



(a)單消波倉

(b)雙消波倉

圖 2.20 井島等人(1979)多孔隙消波倉防波堤模型



(a)雙靜波室型碼頭

(b)混合型碼頭(雙靜波室)

圖 2.21 直立開孔式靜波牆沉箱碼頭示意圖(蘇等人，1979)

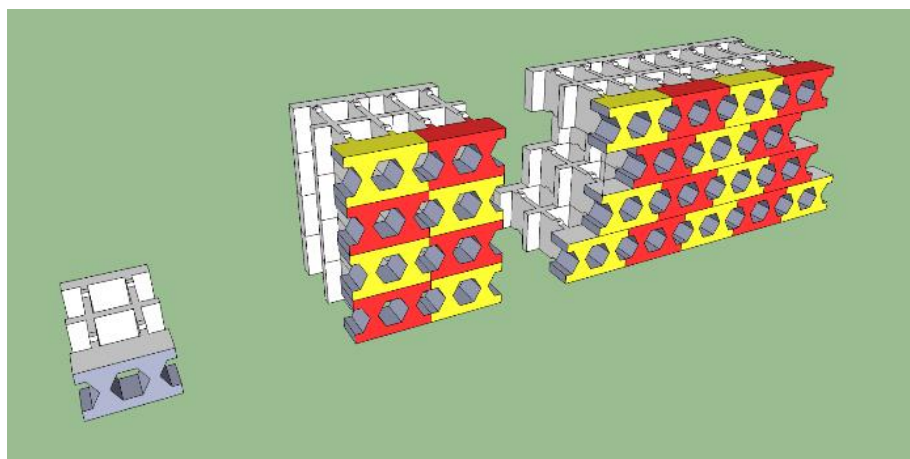
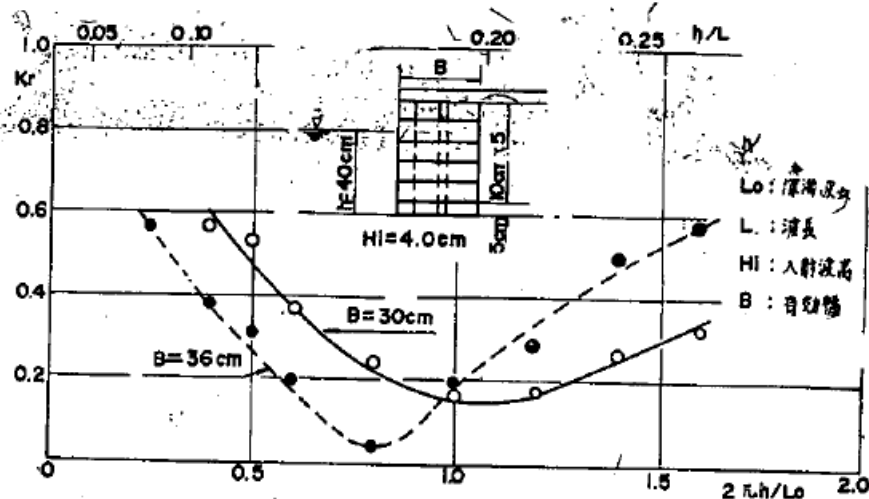
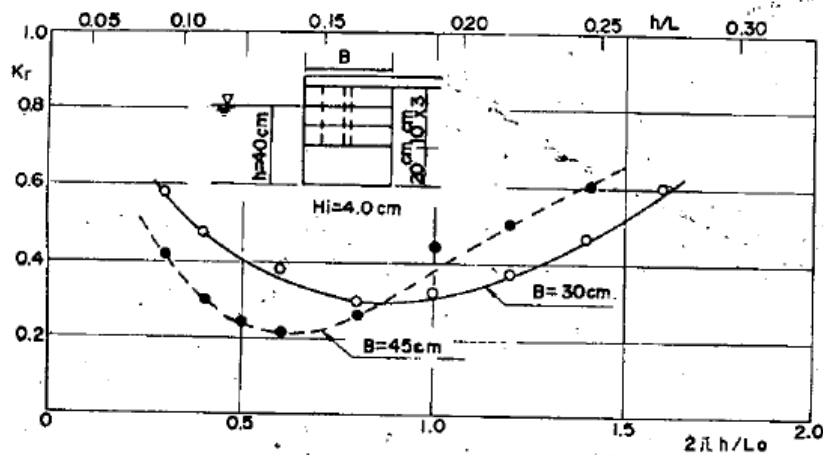


圖 2.22 萬代福直立開孔式消能碼頭的組立方式(著者繪製)



(a)基本型



(b)混合型(縮尺 1/15)

圖 2.23 直立開孔式靜波沉箱反射係數與水深波長比關係圖(蘇等人，1979)

Tanimoto 和 Yoshimoto(1982)分析水流通過狹縫開孔所造成的水頭損失，以近似理論推導不同波浪條件及不同結構物尺寸直狹縫型沉箱(如圖 2.24 所示)的水理特性。並用水工模型試驗進行驗證，其指出影響直立狹縫型沉箱反射率的因素，包含波浪條件、相對水深(h/L)、入射波波浪尖銳度(H/L)；而有關結構物的構造條件，包含狹縫壁的開口比、消波室的水深、開孔壁的厚度及消波室的寬度。最終得到對於部分開孔岸壁沉箱，於消波室寬度比(b/d)為 0.15~0.20；狹縫深度與消波室水深的比值為 0.83~0.33 時，反射係數達到最小值之結論。

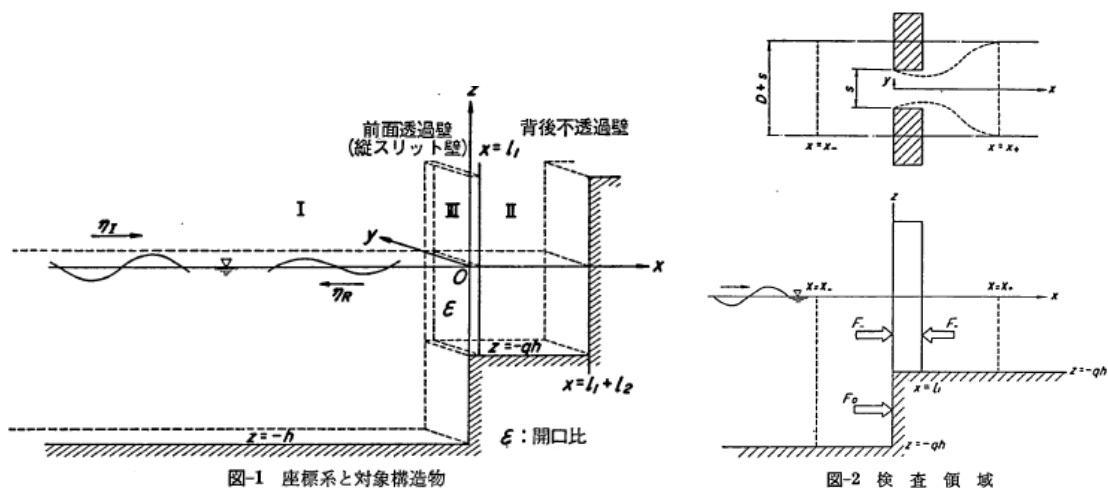
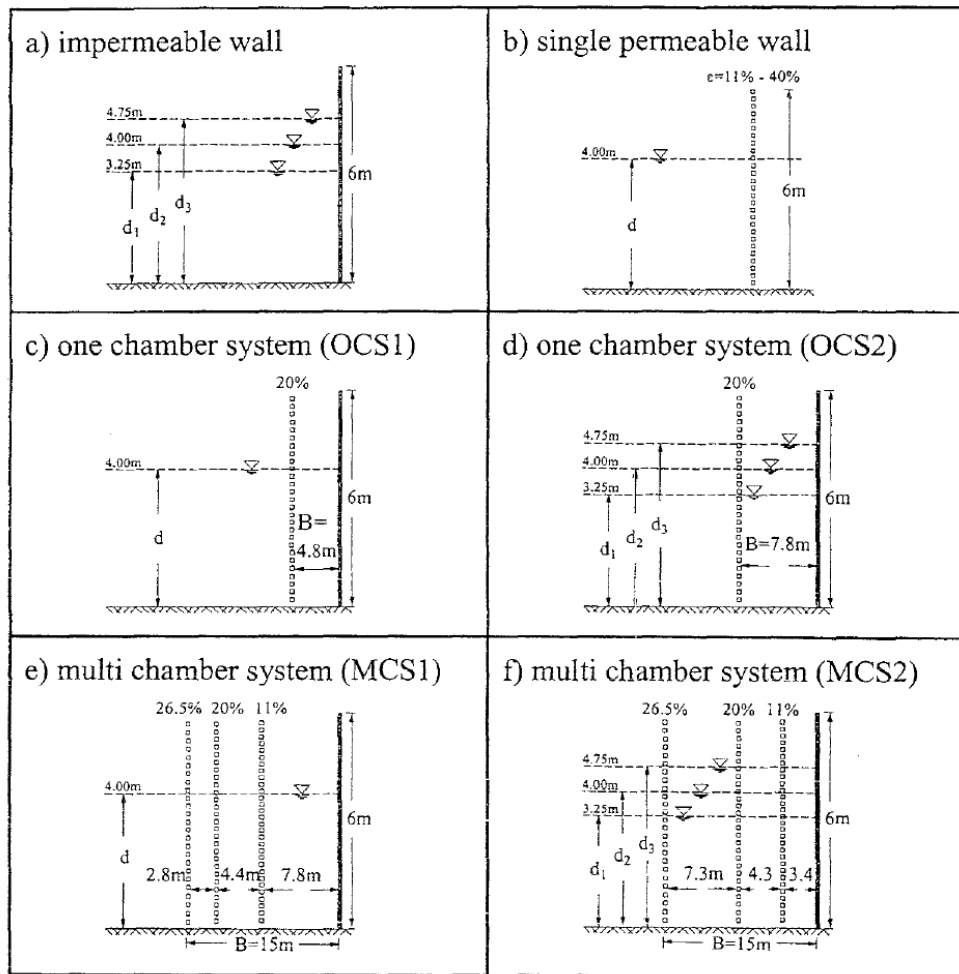


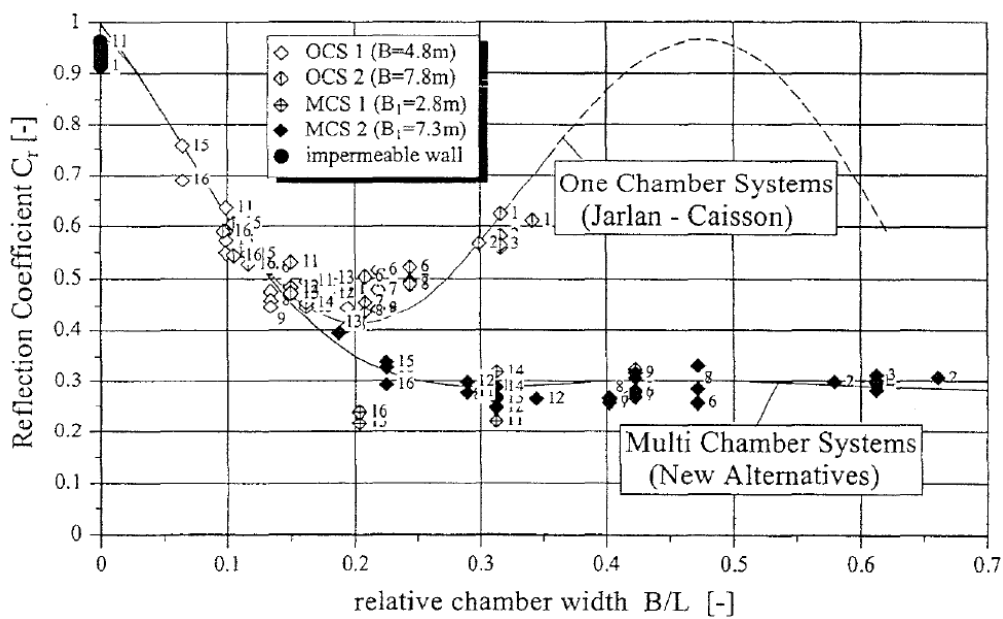
圖 2.24 Tanimoto 和 Yoshimoto(1982)狹縫型沉箱數值模型

Bergmann 及 Oumeraci (2000)在德國漢諾威大型斷面水槽(GWK)裡針對單開孔板、單消波室及三消波室的開孔消能結構物(如圖 2.25 所示)進行多種消波能力與波力試驗，文中提及由於後端不透水岸壁的全反射，單消波室有較單開孔板還大的反射率。反射牆是導致消波室震盪的主因，並且還影響到開孔板附近的水力行為，其最大能量消散發生在 $B/L=0.2$ 處。至於三消波室則可以提供較低的反射率，假如 B/L 大於 0.3，反射率可以趨近於 0.3。

港灣波動常存在著不容易削減的長週期波動，尤其是颱風波浪侵襲期間。Hiraishi 及 Nagase(2002)以數值模擬方式探討自然及人工沙灘對長週期波的效果，結果表明長 50 公尺的自然沙灘，在週期 30s 波浪作用時，反射率可降低到 0.3；而雙消波室開孔結構物，當前消波室 10m 寬與後消波室 40m 寬時，亦可達到相同效率。然而可能因沙灘排水不良或地下水位仍高，反射率仍有 0.3。Hiraishi (2006)利用水工模型試驗及數值模擬方式，探討不同開孔率結構物的消能效果，並提出多孔隙介質的縱深至少要達到 40m 以上，才能有效地消減 30sec 的長週期波浪，如圖 2.26 及 2.27 所示。



(a) 試驗模型



(b) 反射率與 B/L 關係圖

圖 2.25 Bergmann 及 Oumeraci(2000)試驗模型及結果

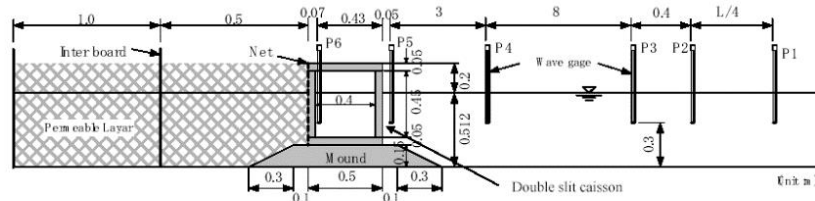
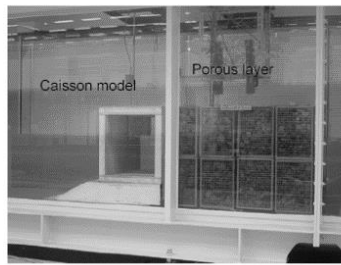


Fig. 1 Cross section of long period wave absorbing sea wall

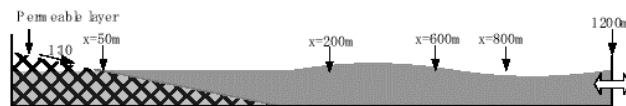


(1) Model caisson and porous layer

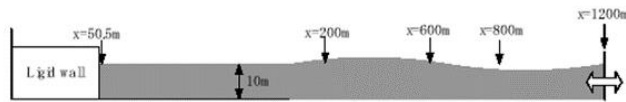
(2) Prototype example of porous layer

Photo. 1 Overview of long period wave absorber

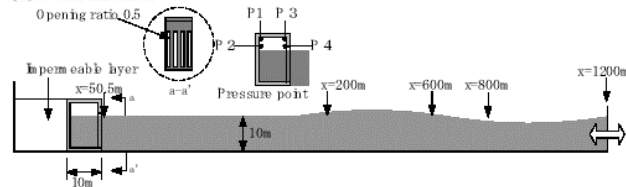
圖 2.26 長週期波消能結構物之研究概觀(Hiraishi, 2006)



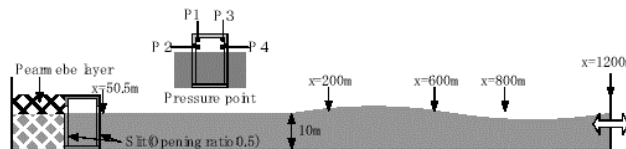
(1) Sandy beach



(2) Vertical wall



(3) Single side slit caisson wall



(4) Double side slit caisson wall

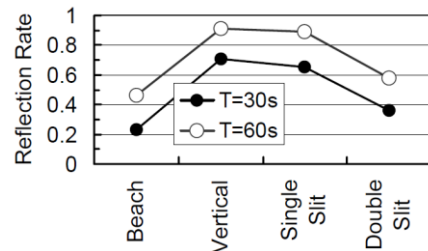


圖 2.27 長週期波消能結構物之數值造波水槽研究(Hiraishi, 2006)

Kirca and Kabdasli (2009)提出一個在附加頂蓋部分開孔沉箱防波堤的單消波室內，加一個水平分割不透水版的設計，如圖 2.28 所示。並以模型試驗證明利用水平板來分裂波浪運動，可以降低作用在結構體上的波力及力矩。但該文章並未討論對波浪反射的影響。

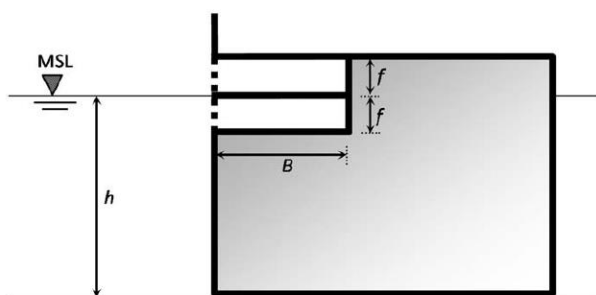


Fig. 3. A perspective of model caisson.

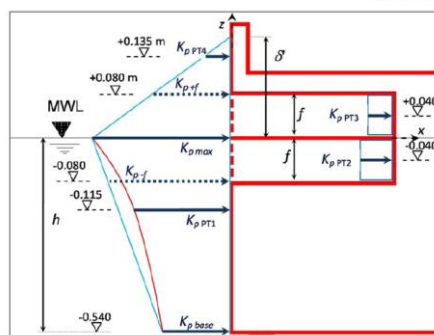


Fig. 7. Wave pressure pattern on the proposed structure.

圖 2.28 附加頂蓋與水平板之部分開孔沉箱防波堤(Kirca and Kabdasli, 2009)

Huang 等人(2011)整理 1974 年至 2010 年間的 109 篇 Jarlan 型直立式消能結構物的相關文獻，並將其歸納為前壁充分開孔型、前壁部分開孔型、多重開孔牆型、有頂蓋開孔型、內填塊石開孔型及內加水平孔板開孔型等 6 類防波堤結構(如圖 2.29 所示)，也彙整出消能機制與消波室的縱深及開孔比例有關。其指出消波室縱深(B)約為 $(2n+1)/4$ 倍波長(L_s)時，可能會得到最低的反射率，其中 n 為整數值。但開孔的幾何及慣性特性，會使得發生最低反射率的消波室縱深與波長比值(B/L_s)略有改變。

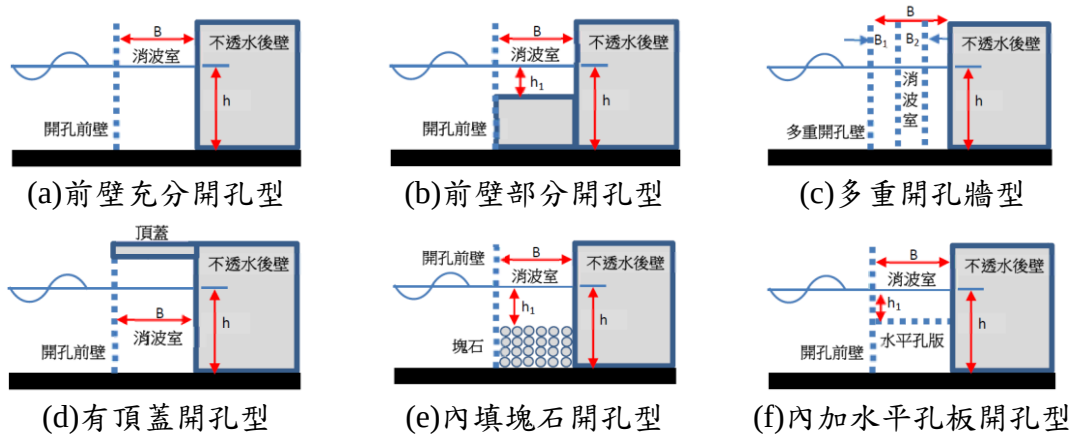


圖 2.29 Huang et al.(2011)回顧之 Jarlan 型防波堤結構之類型

4. 共振箱效應

Thompson et al.(2004)為了配合美國陸軍工兵團(簡稱 USACE)負責維護大湖區內，已使用超過 100 年的沙洲屏蔽港灣入口突堤航道。該突堤與航道兩側護岸早先使用木製石籠堆砌，因木頭長期腐朽改建為雙排鋼板樁上部加建混凝土頂蓋。但改建完成後發現，因直立且不消波的港板樁岸壁的反射，導致航道波動明顯增大，並造成後側港灣繫纜船舶的損傷。為此 USACE 乃開始選擇性拆除部分鋼板樁，並建置口袋型的消波灘，Thompson et al.(2004)就其配置與適切性進行研究。口袋型消波灘係在拆除鋼板樁的部分岸線佈放石塊，以提供一粗糙且多孔隙的斜坡表面來消減波能。石灘的頂高一般至少要和鋼板樁牆等高，以構成一個口袋，長度大約 61~91 公尺，如圖 2.30 所示。該研究綜合多項水工模型試驗(圖 2.31)，也進行現場監測，以確認消波灘可以消減部分波能。圖 2.32 為在密西根湖與 Pentwater 湖之間水道，其口袋型消波灘現場監測與成果。



圖 2.30 密西根州 Pentwater 的口袋型消波灘(Thompson et al., 2004)

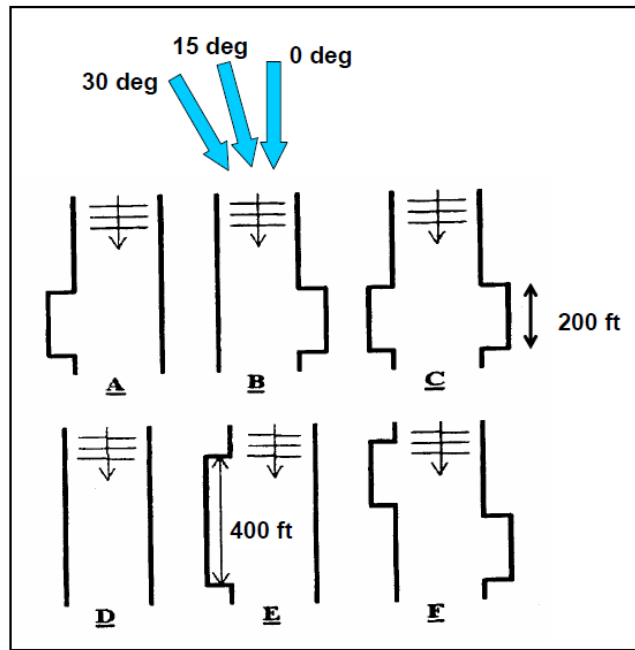


圖 2.31 水工模型試驗測試多種口袋型消波灘配置(Thompson et al., 2004)

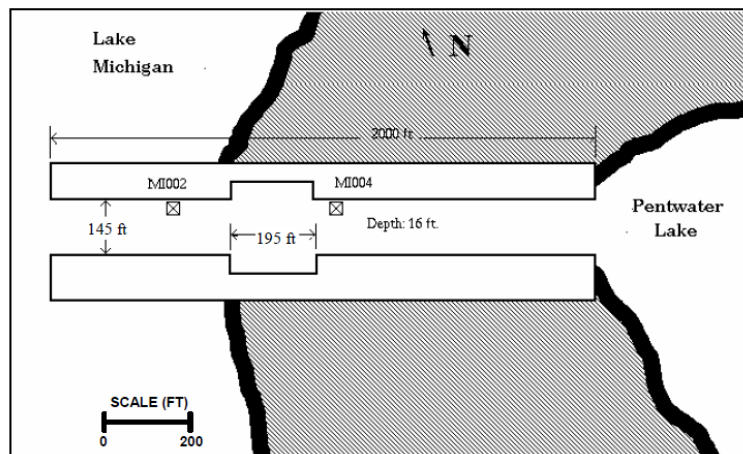


Figure 8. Location of MCNP wave gauges, Pentwater, MI

現場監測位置圖

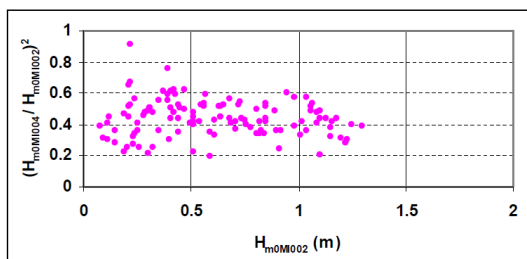


Figure 9. Wave energy fraction passing pocket versus significant height incident to pocket, Pentwater, MI

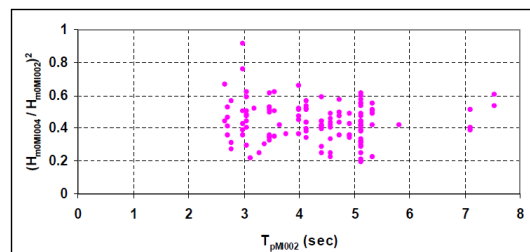


Figure 10. Wave energy fraction passing pocket versus peak wave period incident to pocket, Pentwater, MI

透過波/入射波比值與示性波高關係圖 透過波/入射波比值與譜峰週期關係圖
圖 2.32 密西根湖與 Pentwater 湖間之口袋型消波灘現場監測與成果
(Thompson et al., 2004)

中村等人(2022)提到在美國長灘港 J 號碼頭，在港口處建造了類似共振器的防波堤設施並投入實際使用(圖 2.33)，目的是減少停泊在港口的船舶的長週期運動。因而中村等人利用數值分析方法，模擬在共振器裝置範圍內部設置均勻斜率的斜面，利用波長隨著水深減小而變短的原理，研究在保持共振器功能的同時，減小該裝置規模的可能性。

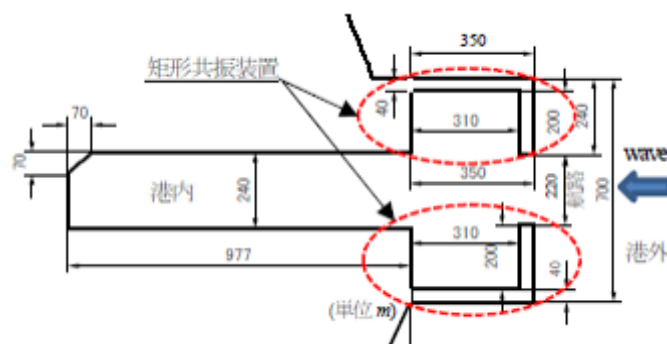


圖 2.33 美國長灘港 J 號碼頭港口處設置共振器的示意圖 (中村等人，2022)

(港區水深恆定 $h=20$ m)

Miranda et al.(2023)在 29 公尺長波流水槽中，將大小不同的軟木圓柱體裝袋成條狀後，排入鐵絲網籠中構成被動吸波系統(如圖 2.34 所示)，並與原來金屬消能網狀構造物箱進行比較。圖 2.35 顯示在其試驗條件範圍內，比舊的被動吸波系統來得好，且反射大約在 0.2 以下。但確認其造波週期範圍介於 1.4~1.7 秒間，如以造波水深 40 公分、模型縮尺 1/25 換算，等於實際水深 10 公尺，大約等於中型港灣的水深。那麼週期則僅限於 7~8.5 秒，大約是常時波浪而已，而且其消波段長度為 3 公尺，等於實際的 75 公尺，似乎不符合現場港灣空間使用的需求。

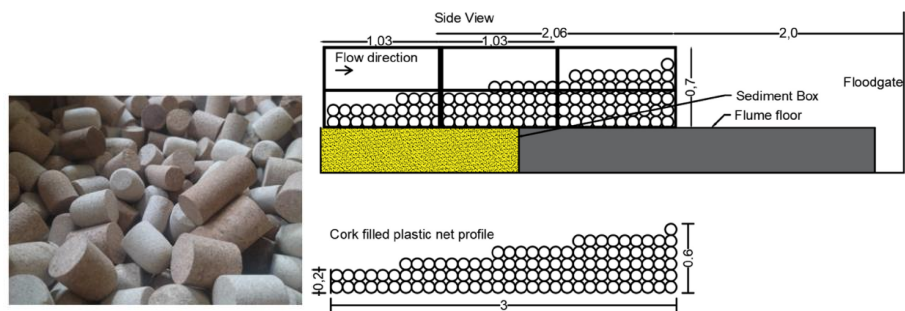


Fig. 7 Cylindrical cork pieces.



圖 2.34 新型被動吸波系統

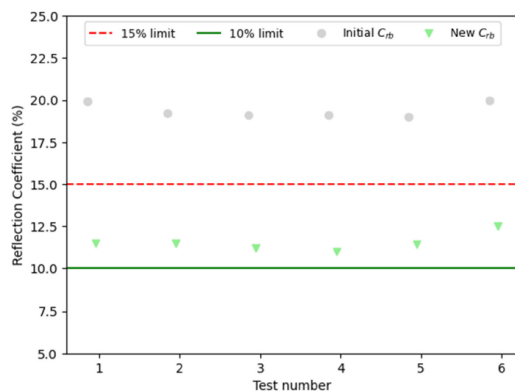


Fig. 10 Reflection coefficient results (Initial vs New systems).

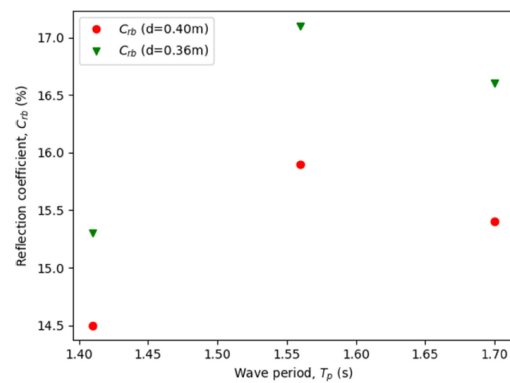


Fig. 14 Wave reflection vs wave period for different water depths.

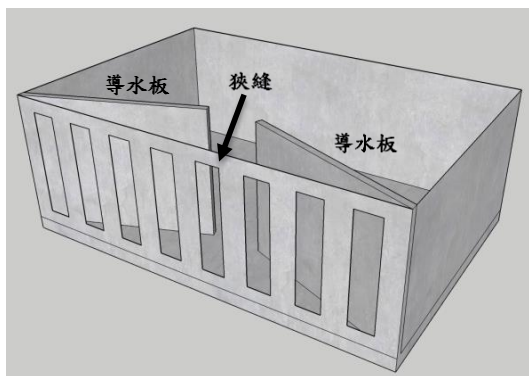
(a) 新舊被動吸波系統之反射率比較

(b) 不同造波水深之反射率比較

圖 2.35 水工模型試驗結果比較

大島和森屋(2005)以水工模型試驗研究在開孔沉箱裡安裝導水板，討論對 10~70 秒(間隔 10 秒)長週期波的消能效果，如圖 2.37 所示。利用在消波室內安裝與前牆有一夾角的直立導水板，將消波室分成導水部及消能室(子圖 a)，利用水體通過束縮的開孔時產生擾動及渦流來削減波能(子圖 b)。該模型配備了 3 種前壁(如子圖 c~e)；以及 3 種導水板型式(如子圖 f~h)，結果如圖 2.38 所示，顯示裝設導水板雖有助於提升消波功能，但反射率仍高於 0.6。回顧本文的大致心得條列如下：

1. 變換導水板形狀：反射率介於 0.7~0.9 之間，比不設導水板(0.6~1.0)稍好，3 種導水板的消波效果差異不大。根據過往累積的經驗，認為不全是導水板製造出渦流的功勞，而是導水板的設置把空間由單艙改變為雙艙。(等於是波動卓越空間與渦流卓越空間分離)。
2. 變換沉箱寬度：反射率介於 0.7~0.9 之間。4 種寬度的差異，為隨著寬度越大，反射率越低，但不太明顯。寬度越大對長週期而言，反射率的差異越大。顯示在消波艙室發生渦流現象，仍是需要較大的空間。
3. 變換波高：反射率介於 0.7~0.8 之間。大波高可能引發較大水位差以及較大渦流，所以反射率較低，但差異不大。
4. 變換導水板及前壁型式：反射率介於 0.7~0.9 之間；3 種前壁型式的消波效果差異不大；導水板①對週期 20 秒以下消波效果稍好，但不是長週期波。



(a) 內設導水板開孔沉箱

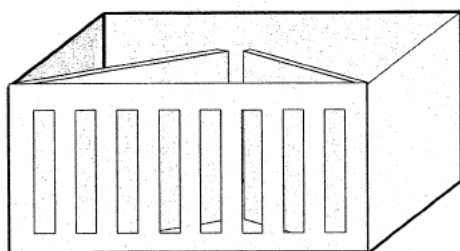


圖-6 模型前面形狀 (前面スリット)

(c) 前壁開狹縫孔模型

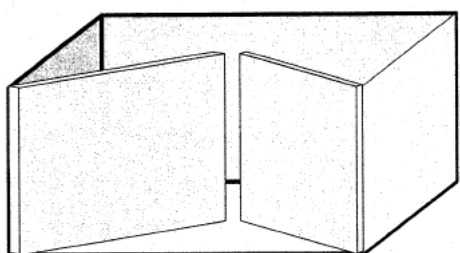


圖-8 模型前面形狀 (前面壁なし)

(e) 不設前壁模型

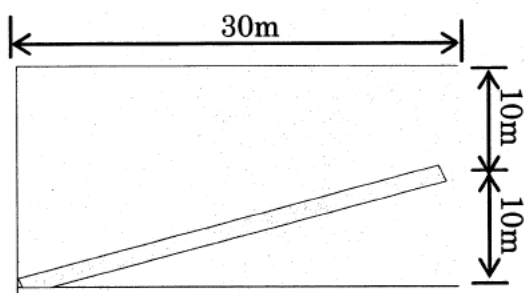
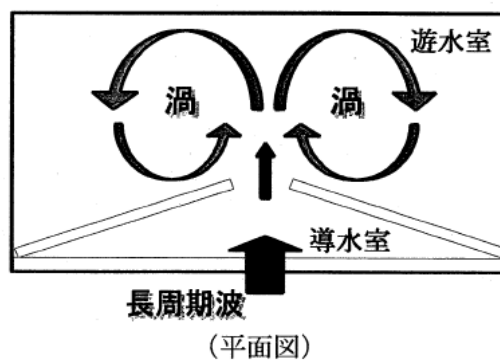


圖-4 導水板形狀 (導水板②)

(g) 單直面導水板



(平面図)

(b) 水動力構想

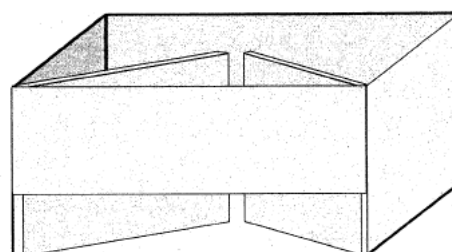


圖-7 模型前面形狀 (前面カーテン壁)

(d) 前壁加帷幕模型

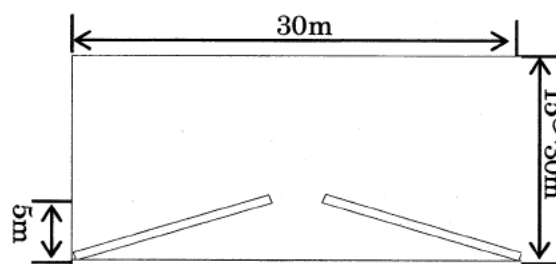


圖-3 導水板形狀 (導水板①)

(f) 雙直面導水板

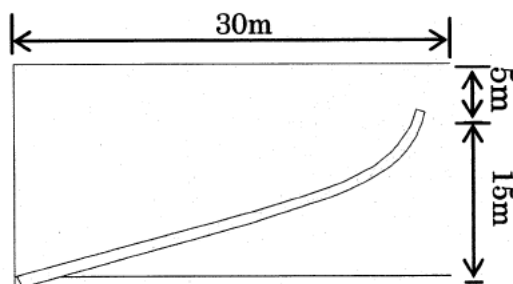
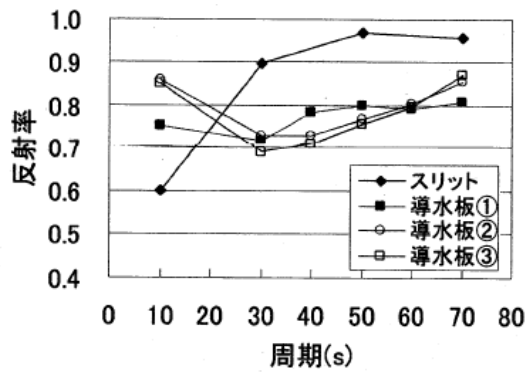


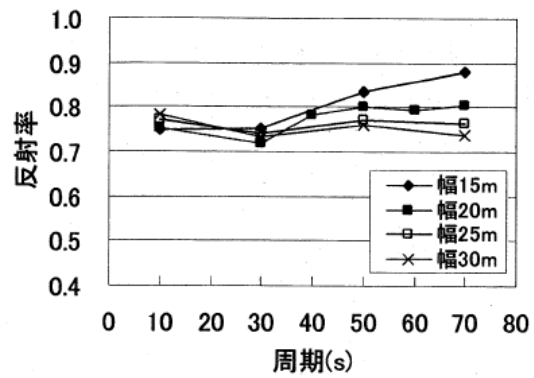
圖-5 導水板形狀 (導水板③)

(h) 單曲面導水板

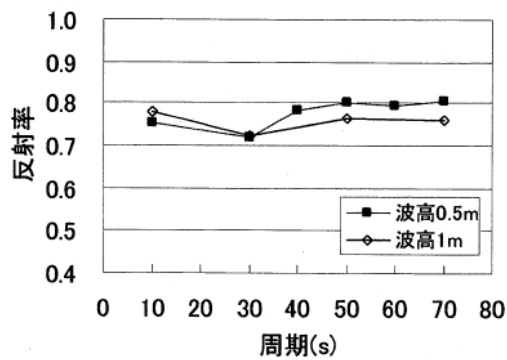
圖 2.37 大島和森屋(2005)導水式開孔沉箱之模型配置



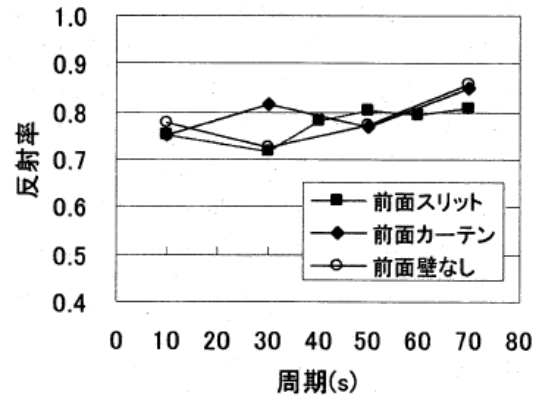
導水板形狀與反射係數的關係



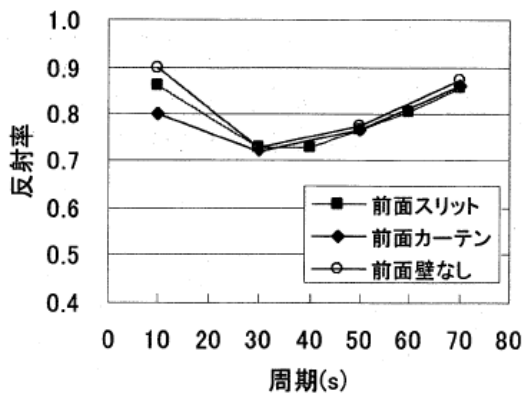
前壁スリットで導水板①
沉箱寬度與反射係數的關係



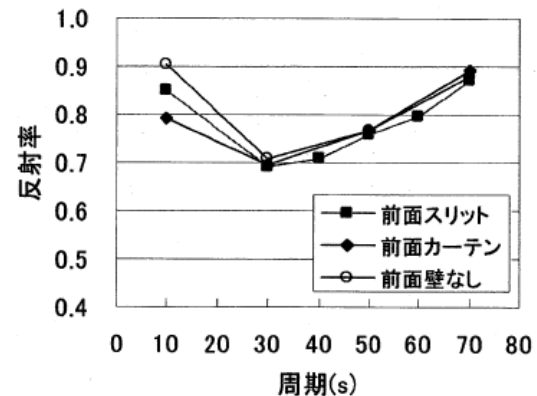
前壁スリットで導水板①
不同波高與反射係數的關係



導水板①配備不同前壁與反射係數的關係



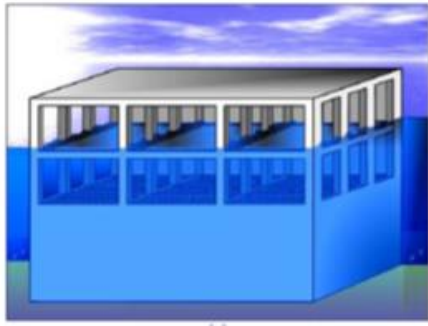
導水板②配備不同前壁與反射係數的關係



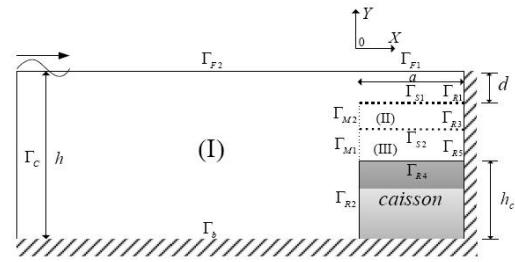
導水板③配備不同前壁與反射係數的關係

圖 2.38 大島和森屋(2005)導水式開孔沉箱模型試驗結果

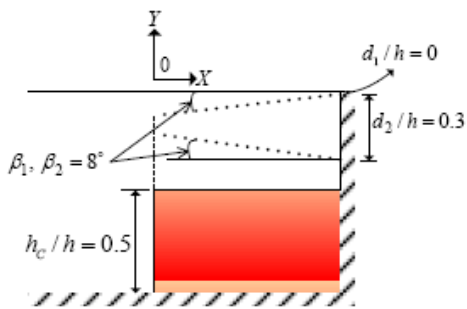
Kee et al.(2006)利用數值模擬方式研究在消波室內設置水平或傾斜多孔板的沉箱式防波堤(如圖 2.39 所示)的消能效果，認為適當地安排水平孔板的傾斜角、開孔率與沒水深度，以及多片孔板的適當配置，可以有效地減少長週期波的反射。



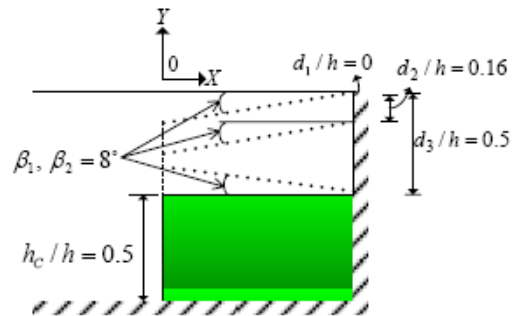
(a) 立體模型示意圖



(b) 三層水平板



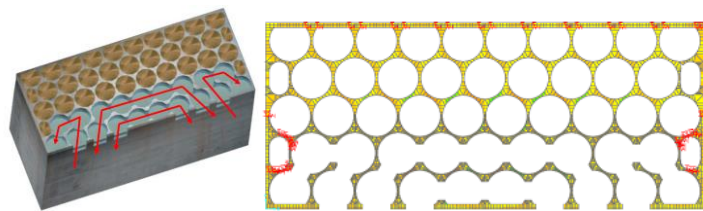
(c) 兩層傾斜板



(d) 三層傾斜板

圖 2.39 Kee et al.(2006)消波室內置水平版開孔沉箱

Feys(2009)、Garrido et al.(2010)提出一種低反射率沉箱，利用開孔圓柱的相互連結形成不同長度的通路(如圖 2.40 所示)，來遲滯長週期波浪，但對長週期波的反射率仍高。Gonzalez-Escrival et al.(2018)繼續延長通路長度，但反射率仍在 0.8 以上。



(a) Garrido, (2010)



(b) Gonzalez-Escrival et al.(2018)ARJ-R 型圓形及矩形消波室

圖 2.40 低反射性沉箱示意圖

陳(2000)以 1.5'x1' 的方形鋁管組合多孔隙沒水潛堤模型，利用不同的間距變換出 3 種規則性孔隙率，以及 3 種不同高度的多孔隙結構物(如圖 2.41 所示)，比較不同孔隙率及沒水深度對反射率所可能產生的影響。研究裡了解到多孔隙結構物的消波能力與波浪的週期(波長)及波高、開孔面積比、孔隙率與長度有關，並以三變量與四變量迴歸分析提出經驗公式。發現沒水深度為 0 的潛堤，因波浪是越過堤頂而發生碎波而非通過堤頂，其機制與沒水潛堤不同。可惜的是該研究並未進行多孔隙介質縱深長度的影響。



圖 2.41 多孔隙消波結構物模型(著者繪製)

李(2010)利用水工模型試驗及 Flow3D 模擬，提出簡易但反射率可低於 0.4 之越波排水式消能斜坡(如圖 2.42 所示)。該斜坡的坡度與表面特性需讓大部分波浪發生越波，並利用內外水頭差，讓越波水體從下方水道克服下方出口處的動能而排出。因此在以水平方向卓越的長週期波作用下，排水效果可能會減弱，此時需要較大的集水槽，以免水槽滿水，而沿坡面回溯造波，反射率無法降太多。所以斜坡的起始深度、斜率及斜坡頂的設置高度等條件，都需要參酌當地海氣象與地理環境做最佳選擇。

李(2010)提出內建斜坡消能結構物，如圖 2.43 所示，利用內建斜坡促使入侵波浪在斜坡上淺化、碎波、溯升及越波並導引排水，使得 K_r 降至 0.5 以下。許等人(2017)討論認為該構造物的設計較為複雜，且

由於前艙為前後透水之多孔隙介質，波浪亦可藉由連通管現象透射到消波艙，而影響消波艙內之下方排水。林等人(2012)曾提出如圖 2.44 之建議模型，沉箱分為相互獨立的消波前艙與越波集水後艙，並在下方埋設排水管。湧升水體可直接越波至後艙，利用內外水位差達到排水效果，搭配前艙開孔板或內置多孔隙消能塊石消減常時波浪的沉箱。惟此一構想尚未經過試驗驗證。

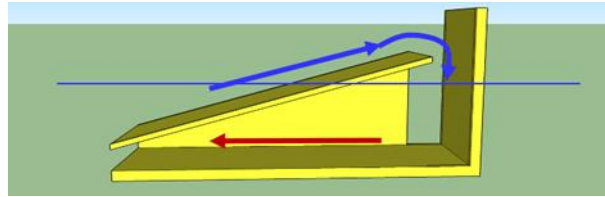


圖 2.42 越波式消能斜坡(李，2010)

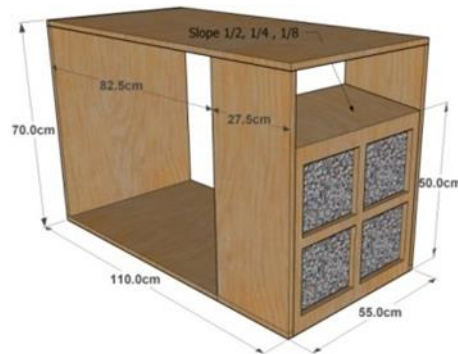


圖 2.43 長波抗浪型斷面試驗模型配置(李，2010)

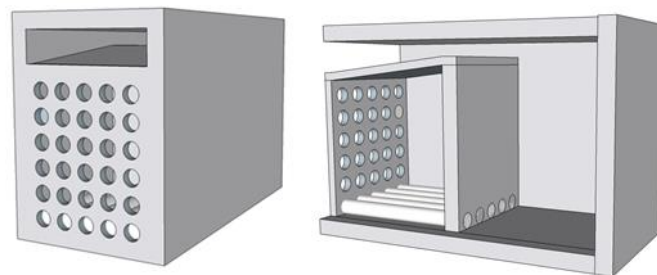


圖 2.44 長波抗浪型斷面建議模型(林等人，2012)

在掌握了排水減波的要領後，林等人(2017a)提出在開孔沉箱模型配置活動摺頁板，如圖 2.45(a)所示。於開口處配置活動式摺頁板，下方留一孔不裝設摺頁板，作為排水孔之用，如圖 2.45(b)所示。在波峰作用時，利用摺頁板向內開啟讓入射波進入消波艙；但在波谷作用時，閉合的摺頁板阻擋入射消波艙之波動及水流向外散射，並藉由位能的

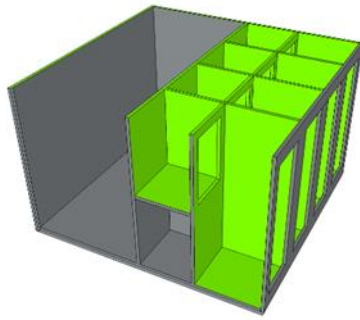
提高，強迫其從下方的開孔排水。從水工模型試驗證明其可提供相當好的消波效果，但此一結構物在實務上，可能還需擴大研究及尋覓耐磨損、耐腐蝕且耐波的材料，以及找尋適合的活動鉸葉固定方式。

林等人(2017b)在開孔沉箱模型設置上斜板及下斜板，如圖 2.45(c)及圖 2.45(d)所示，企圖利用內建的斜板破壞波浪規律型式，改變波動為流動，也強迫從下方排水。從水工模型試驗證明其提供相當好的消波效果，但略遜於配置活動摺頁板之開孔式消能沉箱，主要差別在於它沒有強迫排水效能，未來可再深入研究改良。

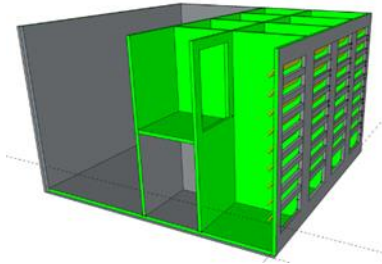
林等人(2017b)亦針對短狹縫型開孔式消能沉箱探討，如圖 2.45(e)所示，利用沉箱前側安裝狹縫板進行水工模型試驗，其消波效果與內建斜坡開孔式消能沉箱相近。不過該項試驗並未探討開孔率與狹縫大小的影響。

王等人(2019)利用不銹鋼架配置開孔與摺頁板，進行水工模型試驗探討消波功能，構成可調整消波艙室深度的消能結構物，如圖 2.45(f)所示。試驗結果雖然發現仍有相當好的消能效果，但是變化趨勢與林等人(2017a)的結果大相逕庭。經檢討比對水工模擬試驗與 Flow3D 模擬結果，蔡(2018)發現階梯式的第 2 消波艙，如圖 2.45(a)所示，扮演了很重要的角色，而沒有消能設施的消波艙只是改變反射波的相位，消波效果不彰。在某一特定週期，最大反射率可達 0.8 左右，應是沒有消能設施且消波艙內引發共振所致，後續可再深入研究。

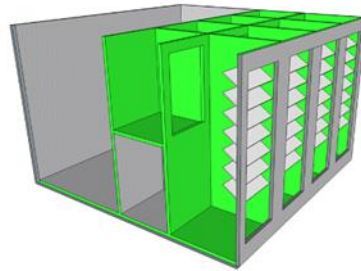
葉等人(2018)利用模型車的輪胎模擬彈性壁，以不同深度的消波艙進行消能結構物的水工斷面試驗研究，其結果顯示單純使用多孔彈性壁仍有相當的消波效果。惟在某一特定週期，最大反射率可達 0.9 左右，應是沒有其它消能機制，且消波艙內引發共振所致，後續亦可再深入研究。



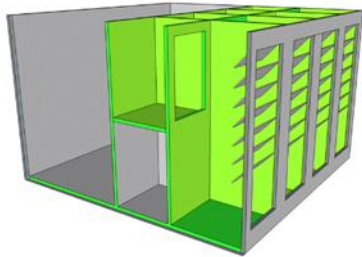
(a)基本開孔沉箱模型尺寸示意圖



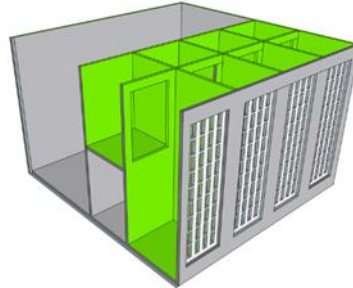
(b)直立摺頁板型開孔沉箱



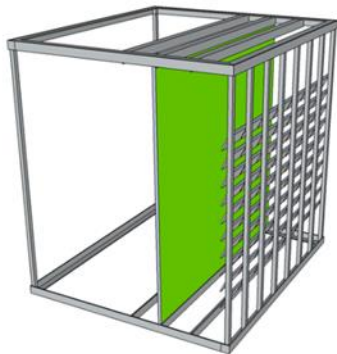
(c)上斜板沉箱配置



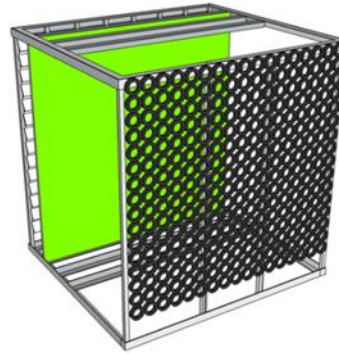
(d)下斜板沉箱配置



(e)短狹縫型消能沉箱



(f)活動式摺頁板開孔結構模型



(g)廢輪胎彈性壁開孔結構模型

圖 2.45 2016~2018 年消能結構物斷面水工試驗模型

2.4 小結

為了消減港內的多次反射，以降低發生港區振盪或共振的機會，國際上專家學者們提供了很多種消能的方法，包括用高壓空氣式及水力式防波堤概念擾動及破壞波浪結構；鋪放多孔隙介質來產生水力阻尼；或者在岸線拋消波塊設置消波灘(如菱形塊、鼎型塊、雙 T 塊等)；或改為多孔隙消能結構物(如狹縫型沉箱、開孔式沉箱、以及用萬代福、達恩塊等型塊堆置的直立式碼頭)；或者改建為內置消能斜坡的棧橋式碼頭，甚至使用多孔隙透水式碼頭等。這些消能結構物或方法都能提供某一範圍的消能效果，但都無法完全涵蓋所有可能週期的波浪範圍。

總而言之，直立式消能結構物是最有機會提供船舶繫纜及碼頭利用空間的設施。在傳統概念中，大部分直立式消能結構物係結合多孔隙(圓孔或方孔或狹縫型)的形狀，並利用縱深不定消波艙且配置多孔隙材料的來消減波能，對於常時波浪(ordinary waves)的消波效果還算有效果，反射率(reflection coefficient, K_r)大約在 0.6 或更小。但在颱風時期發生的長週期浪，其消波表現則不盡理想， K_r 會達到 0.8 以上。

導致在港灣工程規劃設計與管理中，都對港內的長週期波動能量所造成的負面影響相當頭痛。例如，港內的長週期波動可能引致較高的波動變化，進而影響繫靠船舶的穩定性及貨物的裝卸作業安全。藉由本章的消能結構物及設施的文獻回顧，本計畫將同時考量常時與長週期波浪消減，朝向以複合式消能結構物進行探討。

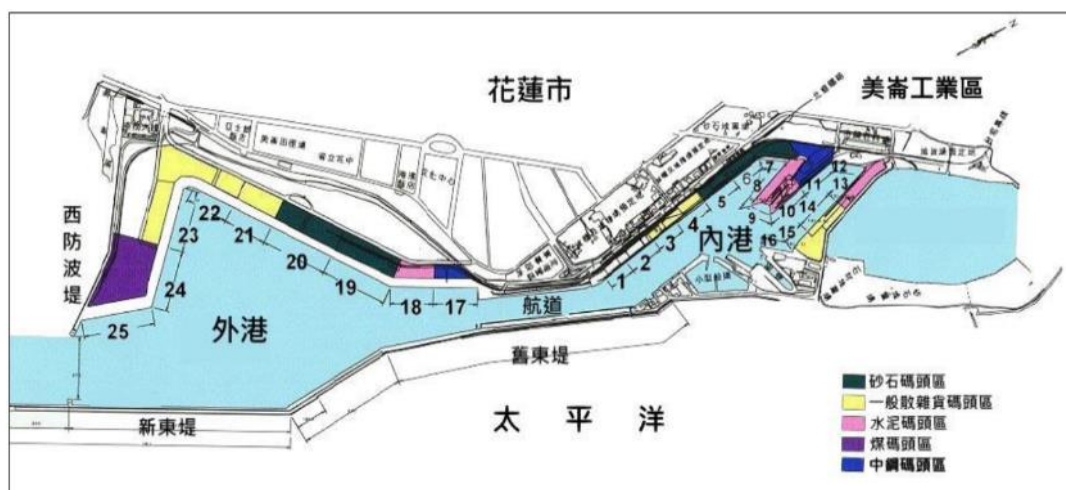


圖 3.2 花蓮港現況平面配置圖(資料來源：花港分公司)

花蓮港於民國 68 年開始至民國 80 年 12 月完成的第四期外港擴建工程，興建了新東堤 1837 公尺，並於外港新建 9 座深水碼頭(#17～#25)。第四期外港擴建工程完成後，讓花蓮港的港形呈現為狹長喇叭形，中間以束縮航道連接內港區與外港區，並開始面臨港池共振的問題，也讓各界持續至今仍在尋找解決方案。

花蓮港屬於商港與漁港入出航道共用而水域相連性質，與其他如蘇澳港、基隆港、臺中港、高雄港等商港相同為漁商港共存的港灣，其中漁業包括了傳統漁業及遊憩(賞鯨豚與海釣)業，這些用途對水域的穩靜度有不同的要求。例如，位於花蓮港內的花蓮漁港原係由商港的小型船渠撥用改建，由於水域空間不足，於民國 89 年起進行專用漁港的規劃設計與建設，原先有另外闢建進出口航道的構想，但基於建設經費與港內穩靜度問題的考量，最後仍決定採用商漁共用航道方式。

目前花蓮港正在推動花蓮國際商港轉型兼具觀光遊憩發展，如圖 3.3 所示，規劃將港區觀光遊憩發展區分別變更為「港埠事業遊憩服務專用區」與「港埠事業旅遊服務專用區」，如何減緩港內長週期波動成為一重要課題。

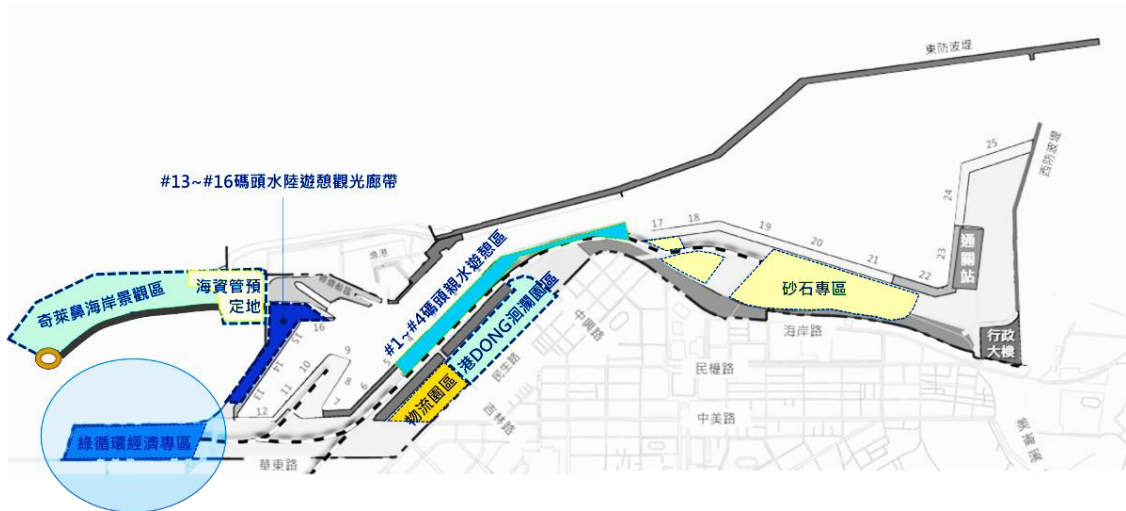


圖 3.3 花蓮港專區規劃示意圖(資料來源：花港分公司)

3.1.2 花蓮港碼頭現況

花蓮港之內港區有 16 座碼頭(#1~#16)，外港區則於民國 80 年 12 月新建完成 9 座深水碼頭(#17~#25)，碼頭簡介如表 3-1 及表 3-2 所列。由表 3-1 可知，內港區之碼頭型式多為重力式，少部份為板樁式。重力式碼頭以 7 號碼頭為例，如圖 3.4，岸壁以方塊混凝土堆疊，後方拋石與回填土構築碼頭。8 號碼頭為板樁式碼頭，如圖 3.5 所示，以鋼板做為岸壁，加上背後的錨碇固定。由圖 3.4 與圖 3.5 可看出重力式及板樁式碼頭岸壁則皆為直立壁，不具有實質消減波浪能量的功能。由此可推斷，當波浪進入內港區，會在內港的各碼頭岸壁反射，接續於內港區發生多次反射，僅有少部份波浪會向外港區而去，造成內港的波浪能量難以有效消減。又因狹長港形的因素，加上波浪能量累積，造成整體花蓮港之港池振盪，於颱風來襲期間尤甚。

花蓮港之外港區則有 9 座深水碼頭，為第四期外港擴建工程所新建而成，僅有 25 號為重力式碼頭，其它 8 座碼頭皆為萬代福消波塊搭配方塊混凝土型式，如圖 3.6 所示。因為屬深水碼頭且需考量承重，雖然外港有 8 座碼頭設置了萬代福消波塊，但其深度僅約 5 公尺，高度則約為 4.5~6 公尺，加上外港區的多邊形岸壁反射，對於波浪能量的削減效能有限。

表 3-1 花蓮港內港碼頭簡介(資料來源：花港分公司)

碼頭 編號	長度	寬度	設計水深	用途說明	碼頭型式
	(公尺)	(公尺)	(公尺)		
1	123	10	7.5	公務碼頭	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
2	153	10	7.5	公務碼頭	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
3	134	10	7.5	公務碼頭	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
4	160	20	8.5	公務碼頭	板樁式碼頭
5	160	20	8.5	公務碼頭	板樁式碼頭
6	150	20	8.5	公務碼頭	板樁式碼頭
7	120	20	6.5	公務碼頭	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
8	220	30	10.5	專業碼頭	板樁式碼頭
9	103	30	9.5	調度碼頭	板樁式碼頭
10	183	30	9.5	亞泥專用碼頭	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
11	185	30	9.5	中鋼專用碼頭	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
12	150	30	7.5	調度碼頭	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
13	185	30	9.5	客運碼頭(國際郵輪 優先,其他客貨輪次 之)	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
14	185	30	9.5	客運碼頭(國內客輪 優先,其他客貨輪次 之)	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
15	100	30	8.5	客運碼頭(停泊次 序:遊艇及賞鯨船優 先,國內客輪次之, 其他客貨輪)	重力式碼頭
					(方塊混凝土)
16	144	15	7.5	客運碼頭(停泊次 序:國內客輪優先, 其他客貨、船修作業 輪次之)	重力式碼頭
					(方塊混凝土)

表3-2 花蓮港外港碼頭簡介(資料來源：花港分公司)

碼頭編號	長度	寬度	設計水深	用途說明	碼頭型式
17	200	20	12	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
18	200	20	12	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
19	310	43	14	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
20	302	43	14	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
21	200	43	14	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
22	200	43	14	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
23	272	43	14	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
24	271	43	14	營運碼頭	萬代福消波塊 方塊混凝土
25	332	54	16.5	營運碼頭	重力式碼頭
					(沈箱式碼頭)

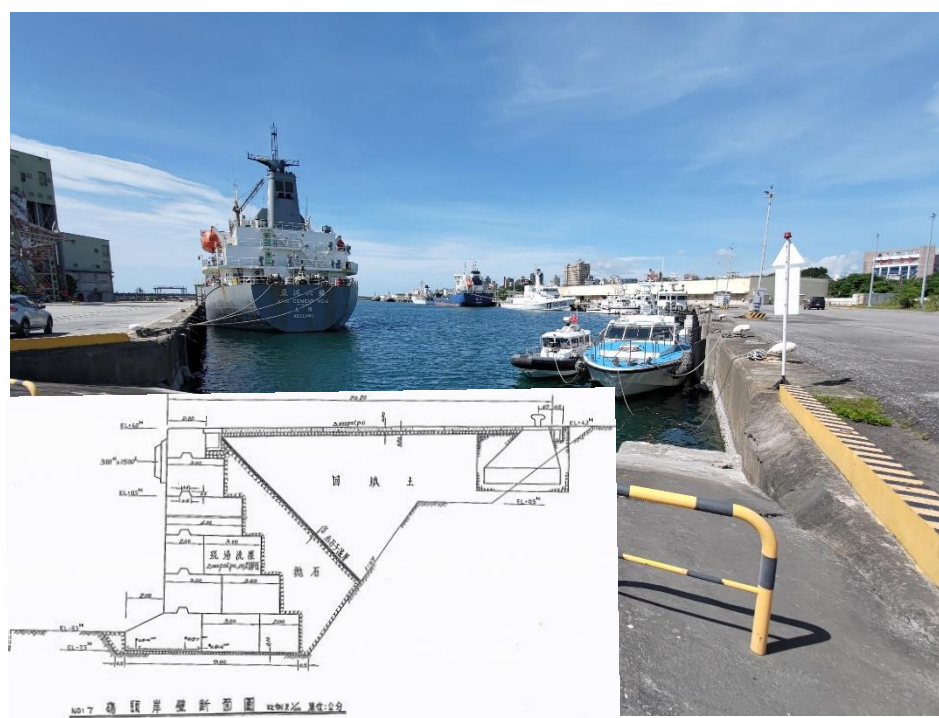


圖 3.4 花蓮港內港#7 碼頭(資料來源：花港分公司)



圖 3.5 花蓮港內港#8 碼頭(資料來源：花港分公司)



圖 3.6 花蓮港外港#17 與#18 碼頭(資料來源：花港分公司)

3.2 先期研究-花蓮港內港改善碼頭選定之數值模擬

依據 112 年 12 月 14 日花港分公司「花蓮港-港池共振內港削減改善討論會議」之結論：「因港池共振是花蓮港長久以來的問題，並直接影響內港水域能否發展風帆船或遊艇基地。國內外已有相關消能設施案例，可考量花蓮港受限航道段整建為消波岸壁、7 號與 12 號碼頭整建為消波岸壁、9 號至 16 號碼頭間水域增建消能擋浪堤、或其他可能工程方案等，做為削減港池共振之評估方案。」

考量未來花蓮港內港 9 號至 16 號碼頭間水域，可能增建消能擋浪堤，又如前節所描述，花蓮港內港之碼頭岸壁皆為直立壁，不具實質削減波浪能量功能。因此，本計畫選定花蓮港內港 7 號碼頭做為改善標的，先利用港灣數值模擬，討論將 7 號碼頭改變為消能型式後，對於花蓮港之港灣靜穩度的影響為何。本部份之數值模擬結果，已刊登於 113 年 10 月港灣季刊第 129 期(林及許，2024)。使用的港灣波動數值模式是沿用改良自 Chen(1990)的無限元素法港灣波動模式，Lin(1995)的版本簡單以波浪折射淺化理論，考慮計算邊界以外的入射波波高與波向之變化，許(2024)進一步進行邊界條件的設定改善。有關花蓮港港灣波動數值模式的建立與數值模擬程序，可參考 95 年「花蓮港港池共振機制研究(1/4)」期末報告第四章，該報告附錄 F 簡述數值模式的理論，部分成果也發表於 Lin(1995)、林(1996)或林等人(2008)，在此不贅述。

3.2.1 數值模型配置設計

選定花蓮港位於內港西船渠的 7 號碼頭，以改善該碼頭的消波能力對全港區靜穩度影響做為應用例說明，圖 3.7 為數值模擬範圍及水深。模擬的港形有兩種：港形一為現況(Lay01)設置，而港形二(Lay02)為假設不拆除現有設施，但犧牲西船渠約 30m 縱深做為消能設施的改善空間。Lay01 計有 281,530 個三角元素網格、142,060 個節點、岸壁邊界 1,428 個線元素及假想邊界為 1,160 個線元素；Lay02 計有 281,504

個三角元素網格、142,046 個節點、岸壁邊界 1,424 個線元素及假想邊界為 1,160 個線元素。波浪條件為正東向入射，週期 3~30 秒間距 0.1 秒，以及 30~250 秒間距 1 秒，波高則假設為 1 公尺。在假設其他岸壁採用固定值反射率前提下，7 號碼頭岸壁的消波能力配置有 3 種：

1. 配置一：港形一假設 7 號碼頭為完全反射(模擬最惡劣情形，LAY01KR1)；
2. 配置二：港形一假設 7 號碼頭為完全消波(模擬最佳情形，LAY01KR3)；
3. 配置三：港形二假設 #7 號碼頭為非定值反射率岸壁(LAY02KR2)。

圖 3.8 為花蓮港數值網格，有 8 個測點位置及 3 種討論水域(全港域、外港區及內港區)。表 3-3 為 9 種岸壁類型的反射率設定情形，其中 LAY02KR2 的 Type 7 非定值反射率設定值，如圖 3.9 所示。目前本計畫僅模擬東向入射波浪，分析結果以波浪繞射效應為主。

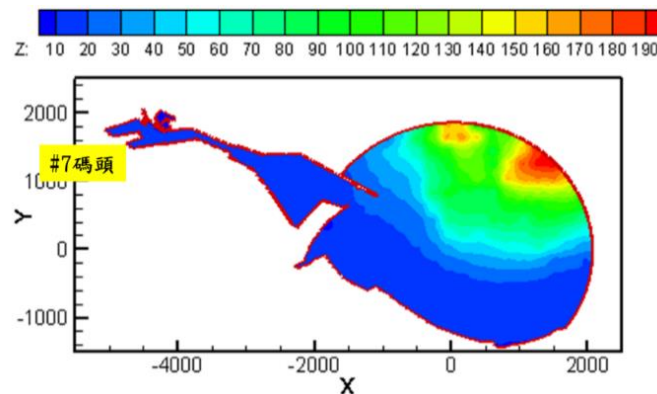


圖 3.7 數值模擬範圍及地形

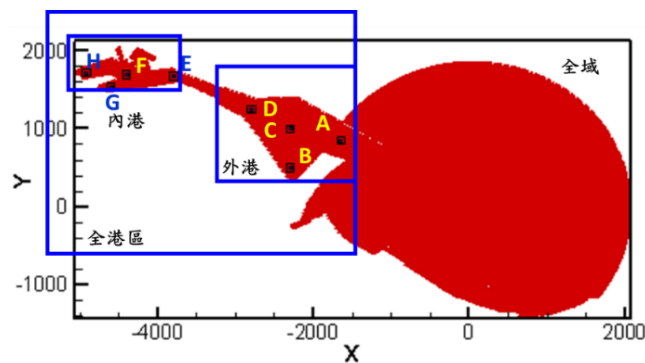


圖 3.8 數值網格、測點位置及討論水域

表3-3 9個位置岸壁類型的反射率設定情形

Case	週期	岸壁類型									備 註
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
LAY01 KR1	5s~30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	Type 1：東防波堤外測及至東縮水道前的內側 Type 2：東縮水道 Type 3：漁港全區 Type 4：#13~#16碼頭 Type 5：#12碼頭 Type 6：#8~#11碼頭 Type 7：#7碼頭 Type 8：所有西岸碼頭 Type 9：西防波堤外測及南北濱海岸 v：隨週期變動之反射率
	>30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	
LAY02 KR2	5s~30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.2~0.39(v)	1.0	0.5	
	>30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.39	1.0	0.5	
LAY01 KR3	5s~30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0	1.0	0.5	
	>30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0	1.0	0.5	

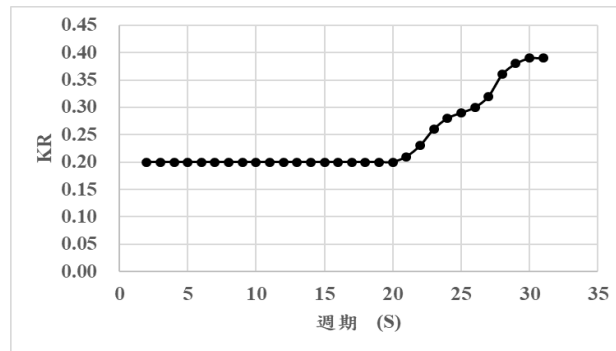


圖 3.9 非定值反射率設定值

3.2.2 數值模擬結果討論

圖 3.10 為 3~250 秒週期入射波作用之波高增幅曲線比較圖，分為外港區(A、B、C、D 測站)及內港區(E、F、G、H 測站)，圖中繪製了 3 種波高增幅曲線，分別為測區最大值(紅色線)、測區平均值(藍色線)及測點值(黑色線)；圖 3.10 為 3 種配置全港區波高增幅係數分布情形，入射波作用週期為 25s、30s、60s、100s、150s 及 200s，為能清楚觀察港灣波動的差異性，本圖設定了門檻值($0.5 < K_D < 2.0$)。

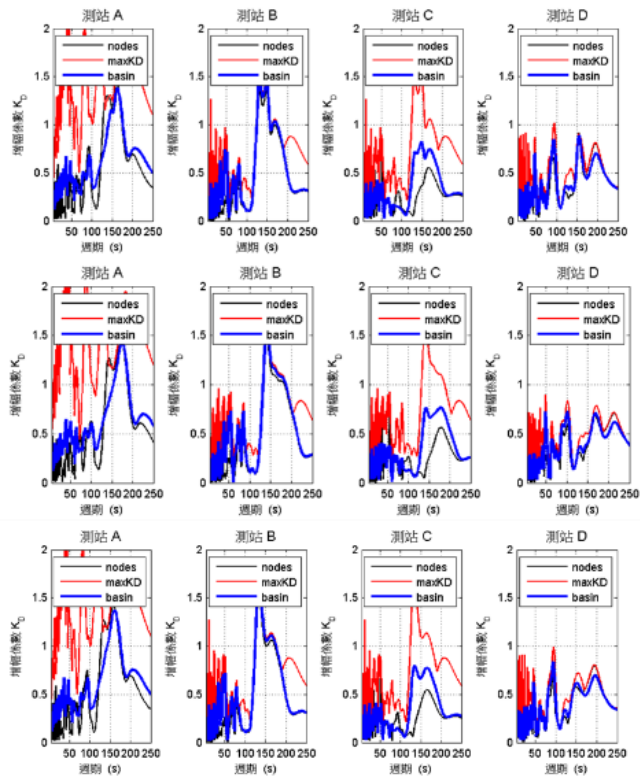
外港區

3s~250s

#7完全反射
LAY01KR1

#7改善
LAY02KR2

#7完全消波
LAY01KR3



(a) 外港區

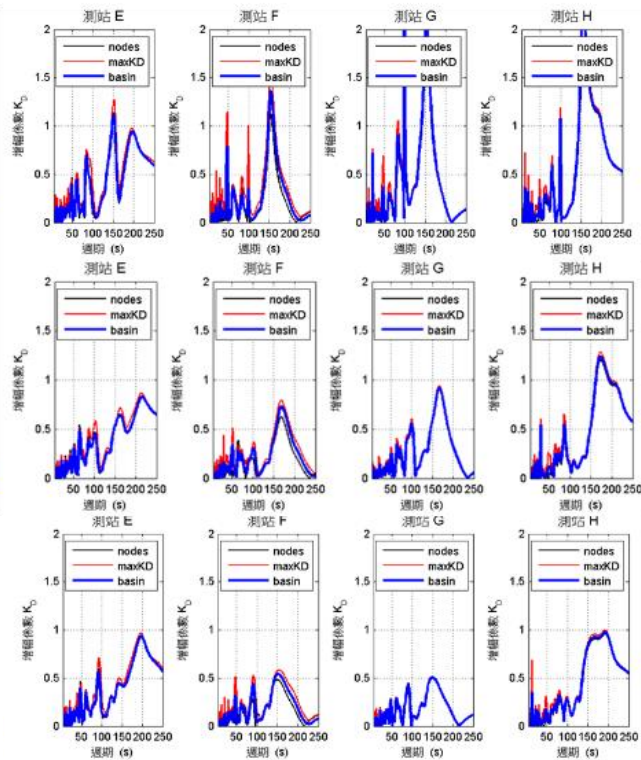
內港區

3s~250s

#7完全反射
LAY01KR1

#7改善
LAY02KR2

#7完全消波
LAY01KR3



(b) 內港區

圖 3.10 花蓮港 3~250 秒週期入射波作用之波高增幅曲線比較圖

從圖 3.10 各測站波高增幅曲線可發現：

1. 測區最大值始終大於測區平均值及測點值；而測點值則極不穩定，顯示用測區最大值或測點值的 K_D 均較不恰當，無法代表該港區的波動特性。
2. 比較 LAY01KR1(完全反射)與 LAY01KR3(完全消波)的 K_D 變化，外港區由於邊界條件設定相同，其趨勢幾乎相同，但仍略為受 7 號碼頭的完全消波之影響。內港區則明顯表現出 7 號碼頭的完全消波對內港區之影響。
3. LAY02KR2(非定值反射)的波高變化趨勢介於 LAY01KR1 與 LAY01KR3 之間，推測其原因除了消波能力外，可能是港形二的碼頭岸線少了 60m，改變了西船渠的縱深以及港灣共振特性，詳細原因則需要另外深入探討。然而，也須留意到 LAY01KR3 的完全消波是一種理想狀態，實際港灣很難達到此一境界。

圖 3.11 顯示外港區的波動差異不大，主要差異從受限航道開始，而且入侵波浪似乎以 19 號及 20 號碼頭為第一主要反射區；內港區則顯示 7 號碼頭的消波功能有明顯正面影響。

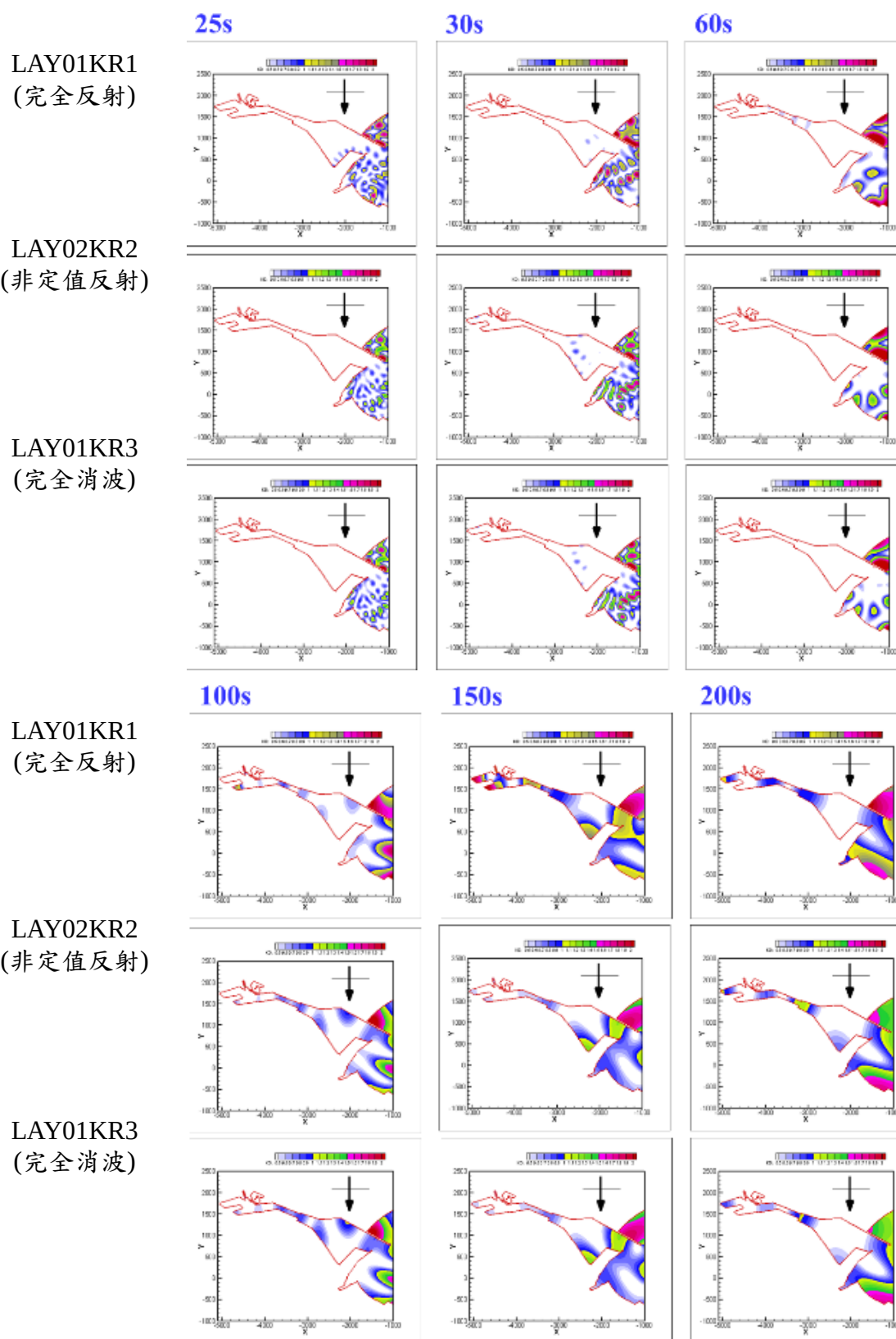
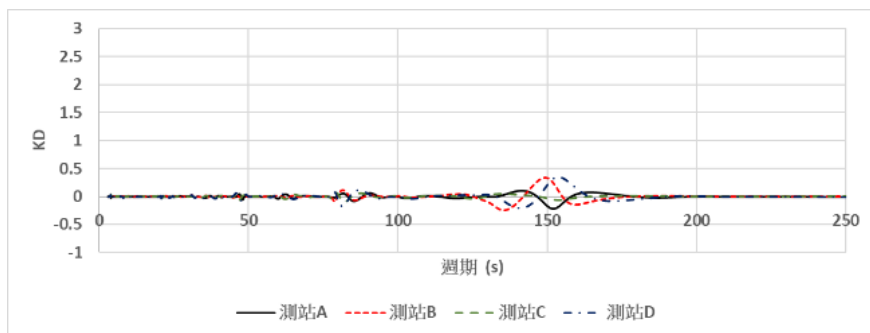


圖 3.11 花蓮港不同配置與週期之波高增幅係數($0.5 < K_D < 2.0$)分布情形

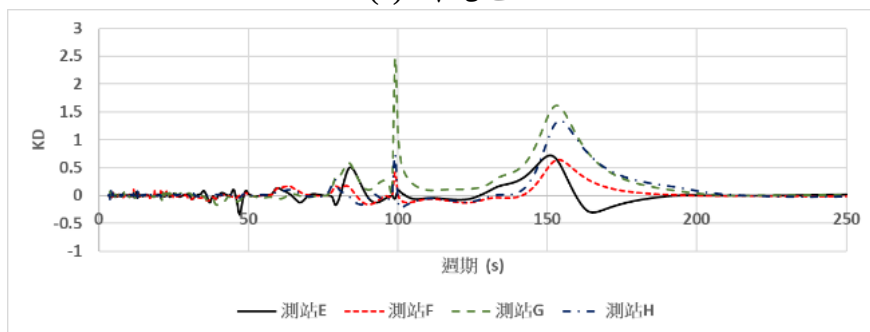
圖 3.12 及圖 3.13 為 LAY01KR1(完全反射) 分別與 LAY01KR3(完全消波)及 LAY02KR2(非定值反射)的 8 個測區平均 K_D 值差值，在交叉比較中獲致下列初步心得：

1. 由於兩種港形(LAY01 及 LAY02)的縱深與網格分割不同，指定座標值的測點與港灣水域的相對位置(例如距離岸壁的遠近)會有不同，因此，兩港型的變化趨勢可能會有差異。
2. LAY01KR1 及 LAY01KR3 為相同港型，僅有#7 碼頭的消波能力不同，比較其 K_D 差值 (正值表示完全反射 KR1 的波動的較大，也是完全消波 KR3 有較佳靜穩度)，外港區在 135 秒至 185 秒之間差異較大，顯示 7 號碼頭消波能力的改善，對外港區(測點 B、C 及 D)有較多正面改善，但入口航道(測點 A)則可能因合成波能之影響，反而大於完全反射 KR1 狀態而有負值情形；束縮水道末端(測點 E)在 160 秒至 180 秒之間亦有類似情形；但是內港區(測點 F、G 及 H)則顯示 7 號碼頭消波能力的改善，對於大部分波浪週期都有助益。
3. LAY01KR1 及 LAY02KR2 的港型不同，比較其 K_D 差值 (正值表示完全反射 KR1 的波動較大，也表示非定值消波 KR2 有較佳靜穩度)，顯示 7 號碼頭的消波能力的改善，對整個港區大部分週期的波動都有助益；外港區與內港區皆有較多負差值的原因，應是西船渠的長度縮短改變了自然週期所致。

綜合而言，從 3 種配置方案的比較中發現以取單點 K_D 值的方式來評估港灣靜穩度時，容易因座標錯位而有低估情形。但若以一個船席水域裡的最大 K_D 值又可能過於高估，因為船舶實際上會因船體運動特性有壓波情形，因此，目前建議以船席水域的平均 K_D 值來評估。未來如能瞭解波高與船舶運動量間的關係，靜穩度的評估將更能符合需求。

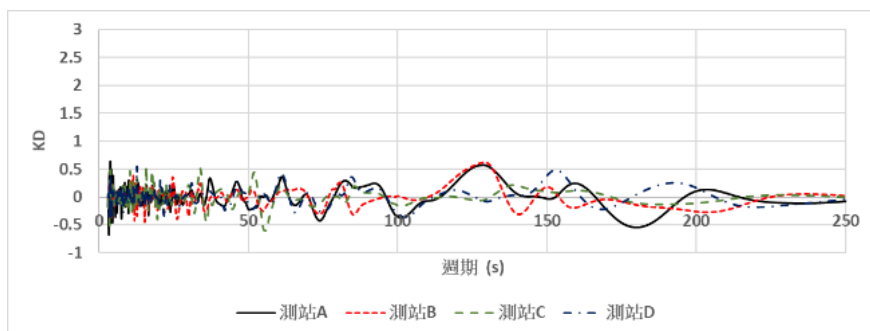


(a) 外港區

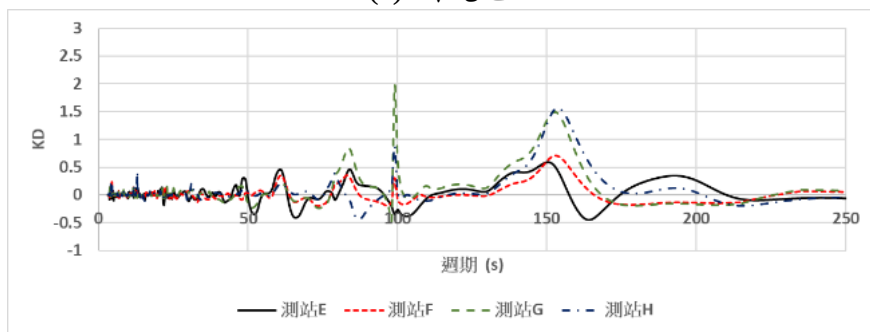


(b) 內港區

圖 3.12 LAY01KR1(完全反射)與 LAY01KR3(完全消波)的 K_D 差值



(a) 外港區



(b) 內港區

圖 3.13 LAY01KR1(完全反射)與 LAY02KR2(非定值反射)的 K_D 差值

3.3 小結

本章之先期研究為初步確認選定改善花蓮港 7 號碼頭可行性，僅綜合 3 種配置及單一正東向入射，入射波週期 3~30 秒間距 0.1 秒，以及 30~250 秒間距 1 秒等 491 個波浪條件的成果與比較。對於包括花蓮港全港區、外港區、內港區之波高增幅值(K_D)平面分布圖、 K_D 值大於 1.0 以上的超越平面分布圖及不同測站、測區及船席水域之波高增幅曲線圖進行討論。模擬結果顯示 7 號碼頭的消波能力的改善，對整個港區大部分週期的波動都有助益；外港區與內港區皆有較多負差值的原因(即 LAY02KR2 之 K_D 值較大)，應與西船渠的長度縮短改變了自然週期所致，造成部分船席水域波高變大。

港灣共振發生原因主要是入侵波浪在港內發生多次反射，導致能量累積而引發的自然振盪。常用的港灣波動評估方法包括進行系列性多個週期的模擬，以尋找港內各水域的自然共振週期，或是針對某些特定週期評估港區水面可能的波動情形。如想瞭解港區各岸壁段的消波能力對港區靜穩度有多少貢獻，則可先模擬全港區岸壁為完全反射及完全消波，以極端的 2 種情境來瞭解最差及最佳的波動情形。其次可將港區岸壁依其消波特性分類，且蒐集其波浪週期與反射率相關曲線來建立變動反射率對照表，以便模擬符合港區現況之波動情形，接著再針對可能改善之岸線段與可能選用之消波結構物(假設其它岸壁之邊界條件不變)進行模擬，透過交叉比較可瞭解影響港灣靜穩度的各項因子，並評估其改善的成效，本計畫建議以船席水域的 K_D 平均值進行評估。

港灣靜穩度的評估應包含各個分區水域，在各種波浪週期條件下的波動情形。港灣共振的發生並不全然是整個港域，而可能只發生在某些局部水域內，但也可能港灣並未發生共振，而某些水域如船渠的末端、角隅或束縮水道等水域的波動特別大。長方形港池底端的波高增幅曲線常被用來觀察港灣靜穩情形，但換個位置或換個港形就又另當別論。因此，如何選擇適當的位置來繪製波高增幅曲線，以便能適

切地評估港灣靜穩度，應列為港灣規劃的先決課題。

在數值模擬過程中，岸壁消波能力的改變會影響到港內波高；而港形改變則因改變了港灣特性長度，而影響到自然共振週期。本計畫刻意參考工程實務，將港形 LAY01 改變成港形 LA02，主要是想凸顯港區內岸線的改變，可能會影響到整個港灣的波動情形。

第四章 消能碼頭水工斷面模型試驗

本章主要是研擬消減波浪能量之碼頭型式及設計水工斷面模型試驗。利用第二章蒐集並研讀的文獻彙整，分析各種消能型式構造之特性，規劃適用於本研究標的花蓮港內港 7 號碼頭之新型式。再針對研究標的設計水工斷面試驗，藉以評估新型碼頭的消能機制與效能。

4.1 水工斷面試驗室簡介

1. 斷面試驗水槽

本所運輸技術研究中心水工斷面試驗室為 3 棟建築物組成，如圖 4.1 所示，其中間貫穿設有一斷面水槽，整體水槽內尺寸為 1.5m 寬、2m 高及全長約 100m。斷面水槽設有 2 段試驗觀測段，如圖 4.2 所示，皆為 15m 長，分別位於第 2 與第 3 棟建築物內，供試驗進行過程中，可即時觀察試驗情況。斷面水槽觀測段由加厚強化玻璃與固定鍍鋅鋼架所組成，水槽頭尾兩端設有多孔板被動消波設施。為避免波浪的二次反射影響，並爭取最大波浪作用時間，通常海岸結構物是在第 2 觀測段進行，而第 1 觀測段則做為波浪傳播的觀測段。



圖 4.1 本所水工斷面試驗室



第 1 試驗觀測段



第 2 試驗觀測段

圖 4.2 斷面水槽試驗觀測段

2. 造波設備

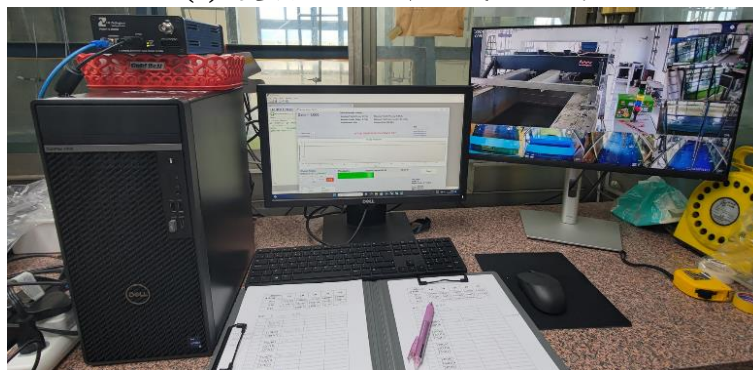
目前使用之造波設備是 112 年底更新設置完成，為英國 HR Wallingford 斷面造波系統（具有主動消波裝置），使用造波軟體-HR Merlin)如圖 4.3 所示。其造波能力如表 4-1 所示。為能全程監看造波機做動與造波過程，水槽前中段的週邊裝置有 8 頻道封閉式監視系統，圖 4.3 (b)的右上角為監視器的畫面。

3. 波高量測設備

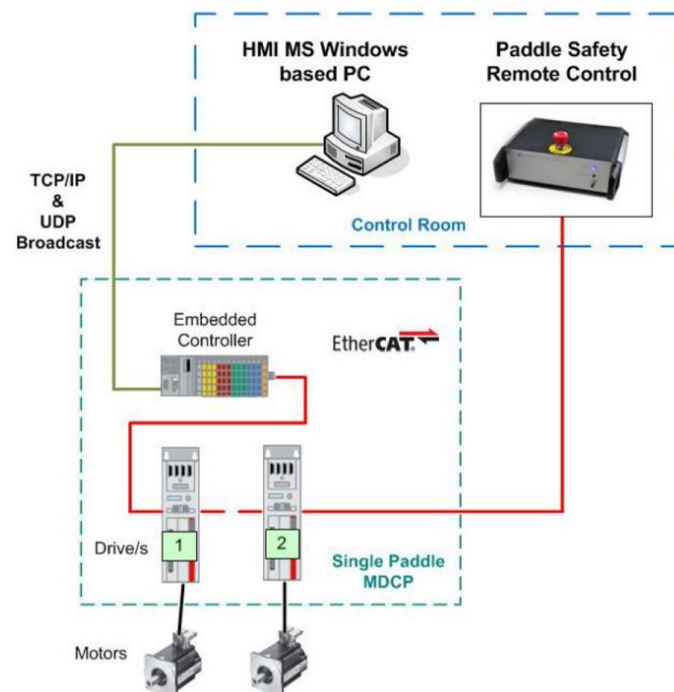
使用英國 HR Wallingford 生產的 8 頻道電阻式波高計系統，並使用擷取軟體-HR DAQ，可即時顯示擷取波形與紀錄波形時序列資料，如圖 4.4 所示。



(a) 雙制動活塞平推式造波機



(b) 造波控制專用個人電腦

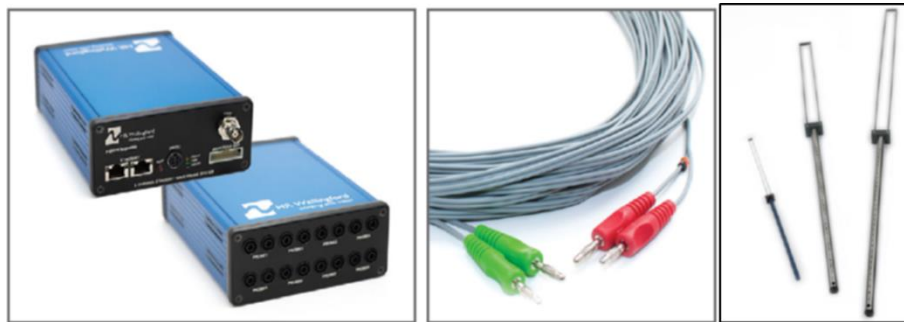


(c) 造波機控制系統圖

圖 4.3 造波設備

表 4-1 HR Wallingford造波機之造波能力範圍

波形類別	可造波水深	設計最大波高	可製造波譜
規則波	0.3m~1.2m	預期設計0.6m @週期：2.3~3.6 sec	
不規則波		預期設計0.31m @週期：2.3~3.6 sec	(1)Pierson-Moskowitz (2)JONSWAP (3)SIWEH 波群模擬 (4)自設波譜 (user-defined spectrum)



(左起) 8 頻道集線放大器、30 公尺訊號線及阻抗式測棒〔中：量測範圍 60 公分〕(From: HR Wallingford)

圖 4.4 波高量測設備

4.2 新型消能碼頭研擬

為了能夠改善長週期波浪作用下的港灣共振問題，首先研析花蓮港之港灣環境及波動特性，在考慮儘量保留碼頭的使用功能原則下，研討設計 3 種消能式結構物，進行水工模型斷面試驗，以評估各模型之消波功能。消能結構物可以分割為多個消能單元進行組合測試，再評估彼此間的耦合或互制關係，本(113)年度先以基本型消能式結構物進行模型試驗，以便能釐清各個消能單元的消波效果，並能於第 3(114)年提出改善方案進行試驗。

在經過文獻回顧後，本(113)年度水工斷面試驗模型的設計，選定幾個設計單元：

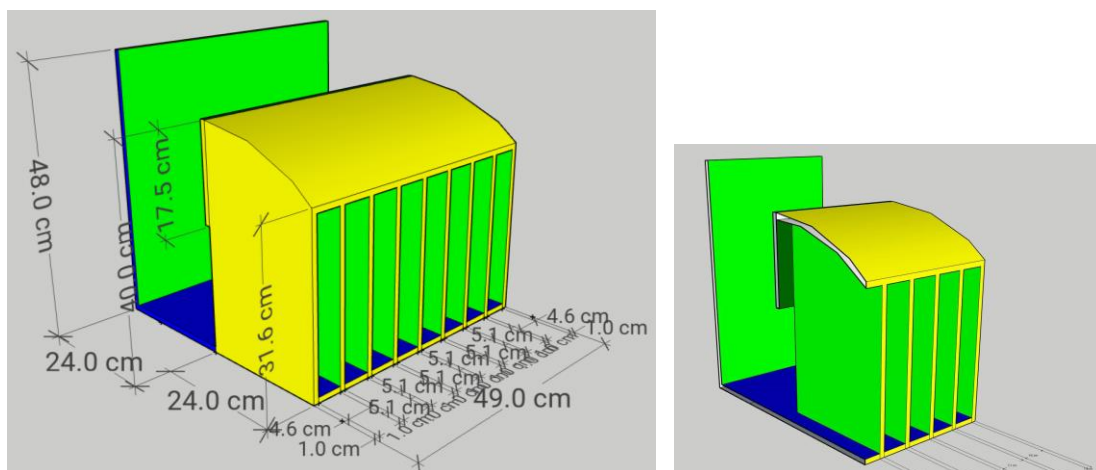
- (1) 上部越波排水單元：主要考量針對高水位、大波高條件下，波浪可以產生強烈溯升波浪水體。即結構物上部單元以能發生越波之斜面或弧面光滑表面為原則，本(113)年度暫不考慮短週期小波高之波動的溯升與溯降及其因應的策略，例如加設表面凸起或洩水孔。為了讓波浪容易發生溯升與越波，斜坡面需要在有限寬度內盡量和緩，以及斜坡底部必須伸入平均潮位以下。
- (2) 下部消能結構物：主要考量平均潮位以下的波動，目前先考慮開孔式(slotted)結構物，以樁柱或隔艙壁為之，而不考慮多孔性(perforated)或狹縫型 slit type)前壁。為利於越波排水，先以伸入平均潮位以下之下垂板，以便與後側集水靜波槽連通並擾動水流。目前此一消波艙間尚未增加各種消能設施，為一空洞的空間。
- (3) 後側集水槽：收集越波後的水量，以便能造成位能大於結構物外側的位能，方便利用內外側能量差異來排水。但由於下垂板之前後兩側可能有 U 型連通管效應，必須觀察集水槽之波動情形，以便後續能改善下垂板與消波艙區隔，來降低水面波動的干擾。

模型縮尺：由表 3-1 得知花蓮港內港 7 號碼頭之尺寸資料：長度 120 公尺、寬度 20 公尺、設計水深 6.5 公尺。考量斷面水槽的尺寸及可設置水深，擬定本次試驗採用 Froude Law(福祿定律)相似律，將試驗縮尺訂為長度縮尺 1/25，時間縮尺為 1/5。

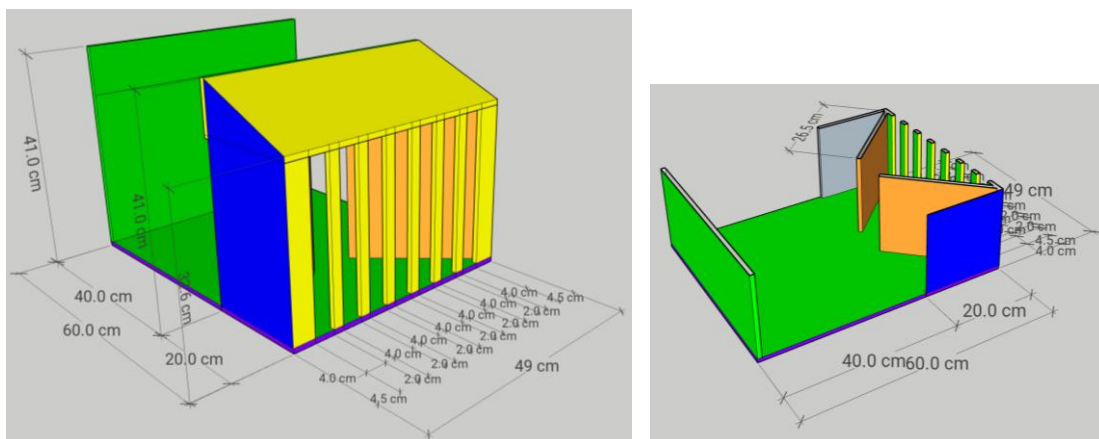
模型單元：考量模型縮尺，以及工程實務的規格，各種模型以 3 個不大於 50cm 長×50cm 寬組合而成，各個單元相當於約為原型現場的 12.5m 長×12.5m 寬。因設定為現況港灣設施改善工程，原則上考量可現場施工或預鑄元件型式為主，不考慮沉箱結構。

模型設計：分別選用上述消能單元，組合設計了 3 種試驗模型(如圖 4.5 所示)，說明如下：

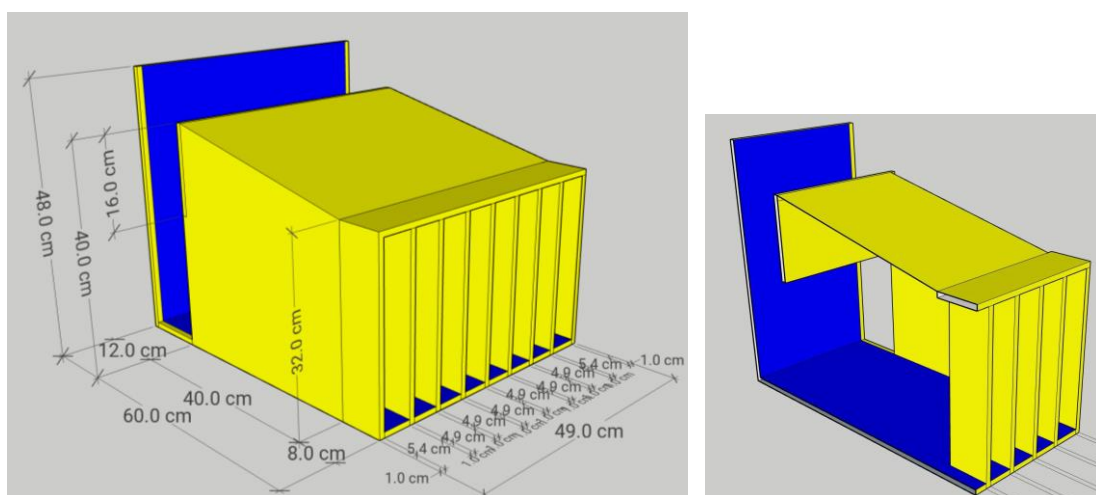
- (1) 模型一(FT01)：圖 4.5(a)為弧面越波排水開孔式結構物，弧面的選擇是考慮讓溯升波浪更容易越波。為了弧面的製作考量，下部結構的開孔式以隔艙壁替代，形成每個模型單元都有 8 個隔艙，而非一整體。實務上可以鋼模的預鑄混凝土結構施做。
- (2) 模型二(FT02)：圖 4.5(b)為斜面越波排水導水板(渦流式)結構物(參考 Oshima 等人的相關研究)，前壁為柱狀開孔，消波艙內設以有交角的兩片斜向隔間板分隔成前艙的集波艙與後艙的渦流艙，試圖利用隔間板的交角與開口在後側渦流艙產生渦流來將波能轉為流能並滯留能量。本次試驗僅做特性觀察，並未探討最佳導水板夾角與開口寬度。
- (3) 模型三(FT04)：圖 4.5(c)為斜面越波排水開孔式結構物，斜面的選擇是針對一般概念中的消能斜坡。前壁以短牆來替代開孔樁柱，也加強結構強度及干擾入射波動為了，所以後側仍為一整體之消波艙。



(a) 弧面越波排水開孔式結構物 (FT01)



(b) 斜面越波排水導水板(渦流式)結構物 (FT02)



(c) 斜面越波排水開孔式結構物 (FT04)

圖 4.5 三種試驗模型

(4) 模型一改造(FT03)：本模型原預定為 3 個試驗模型，並期待參考前兩個模型之試驗結果，對 FT04 做滾動式的改善，但前兩個模型試驗過程中，發現斜面或弧面面板和後側的下垂板的末端因為都設計未沒入平均潮位以下，而與水面波動構成了一個氣室的耦合現象(如圖 4.6 所示)，乃在模型一(FT01)弧面頂端鑽孔排氣，如圖 4.7 所示，並以代碼 FT03 模型來比較氣室的排氣與不排氣在消能上的差異。

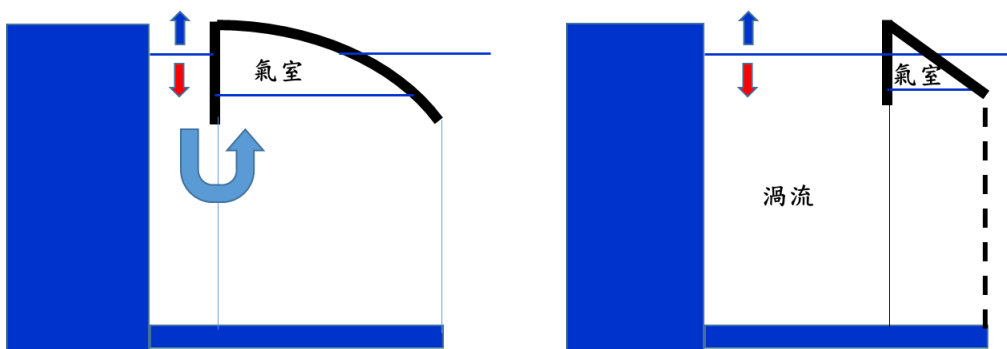


圖 4.6 消能結構物氣室的形成

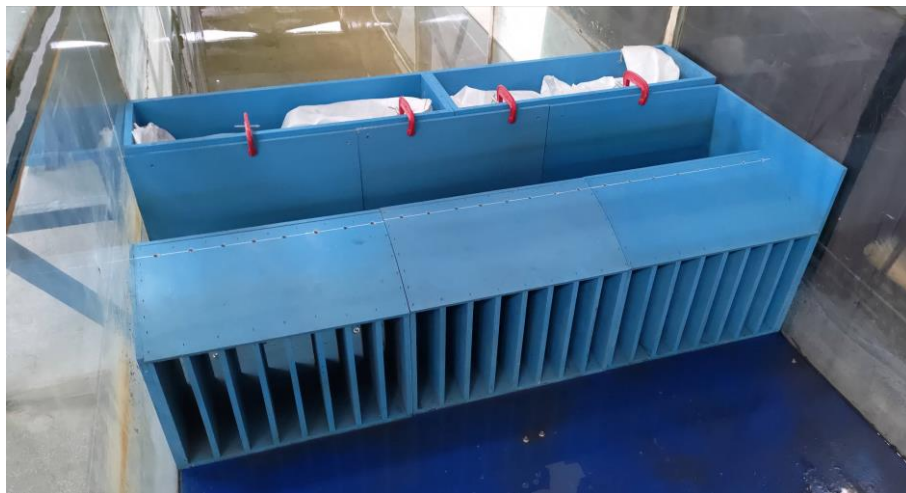


圖 4.7 弧面越波排水開孔式之改造結構物(FT03)

4.3 消能碼頭水工斷面模型試驗設計

基於考量後續年度的試驗項目，參考造波水槽之規格，選定模型縮尺為 1/25，如圖 4.8 為試驗水槽的佈置情形。使用的水槽長度約 83m，造波水深為 74cm，在距造波板約 66m 處設置一 6%斜率之緩坡(7m 長，42cm 頂高)以將入射波調整為淺水波，後面續接一沒水 32cm 之 9.6m 平台，做為試驗區。整個模型地形是以 45x45x3mm 厚鍍鋅角鋼焊接及組裝而成，上面鋪設木芯板並做防水塗層。如圖 4.9(a)所示，斜坡為了安全性，最終以縱軸向分成兩個單元，而平台部分則以 16 個 120cm(長)x74cm(寬)x40cm(高)單元進行組裝，方便後續因試驗需要的延長。為避免模型地形與兩側水槽壁因漏水而影響波形，相接縫均以彈性泡棉膠條填塞。圖 4.9(b)為地形的完工照片。相關的試驗規劃簡述如下：

1. 造波條件

為能測試各消能結構物模型的消波效果，本次試驗以規則波進行，造波週期介於 0.9sec 至 5sec 之間，實際執行了 0.9、1.0、1.1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5sec 共 11 個條件，造波波高原則以 5cm(小波高)及 10cm(大波高)為主，如傳播過程作用於結構物之前發生碎波情形，該條件改為 8cm 重做。每個造波條件原則重複 3 次，並以造波 120 秒及波高計 100Hz 同步取樣 300 秒進行。

為了確認試驗造波之穩定性，本次試驗另增加了空水槽試驗(FT00)，即結構物岸壁位置設置為直立壁。

2. 波高計佈置

8 支波高計的佈置及編號，如圖 4.8 所示，W1 做為入射波高計，W2~W8 則以等間距 0.68m 佈置於碼頭模型前，量測波形時序列做為分析波浪反射率之用。波高計於設置前，先進行率定，使用英國 HR Wallingford 之波高計擷取軟體-HR DAQ，結果如圖 4.10 所示。

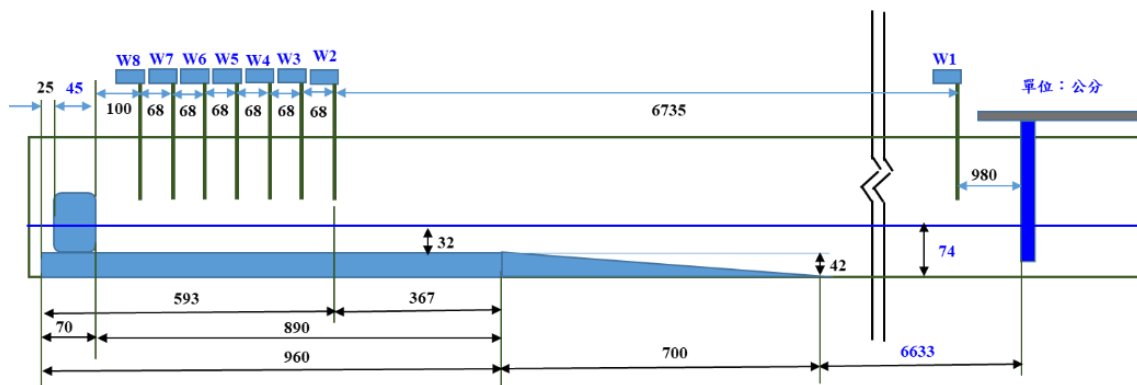
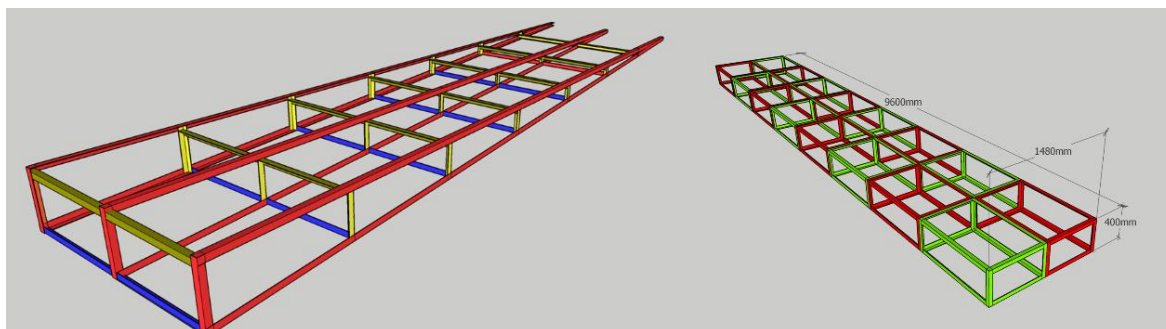


圖 4.8 試驗水槽的佈置情形



(a) 模型地形角鋼構架



(b) 完工照片

圖 4.9 試驗地形的佈置情形

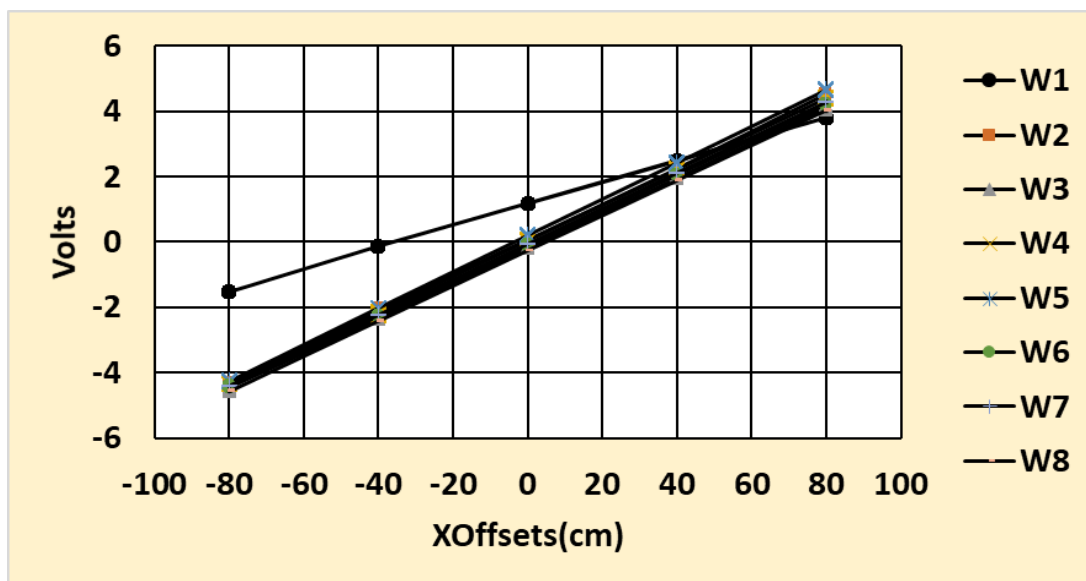


圖 4.10 波高計率定結果

3. 試驗分析

本(113)年度試驗初步擬定進行下列的基本分析：

- (1) 波列傳播過程及穩定分析：以線性波理論之分散關係式配合模型及波高計與造波板間的距離，計算入射波、一次反射波及二次反射波到達各之波高計的時間(如圖 4.11 所示)，以觀察波浪的穩定性及選定適合分析的波段。
- (2) 零上切個別波分析：對每一個測試條件之每一支波高計量測波形時序列以零上切法判讀個別波高與週期，並繪製時序圖以瞭解波高及週期與設定波高及週期期間的差異。
- (3) FFT 波譜分析：對每一個測試條件之每一支波高計量測波形時序列進行 FFT 分析並繪製波譜圖，以瞭解波浪能量的變化。
- (4) 將 7 支(W2~W8)波高計進行配對，並以 Goda and Suzuki (1976) 的個別波兩點求反射率法對每一組配對之同步波形進行分析，為增加參考反射率數，以每次位移五分之一週期擷取一個週期的個別波波形來分析的方式進行，並繪製 Kr-T 之時序圖。
- (5) 將 7 支(W2~W8)波高計進行配對，並以 Goda and Suzuki (1976) 的不規則波(時序列)兩點求反射率法對每一組配對之同步波形

進行分析。因為是以 60 秒時序列計算反射率，只會得到一個值，將以同時段長度的黑色實線標示於個別波分析的 Kr-T 時序圖上以利觀察。

(6) 波高計配對條列如下：

(a) 第一組：W2-W3、W3-W4、W4-W5、W5-W6、W6-W7 及 W7-W8；

(b) 第二組：W2-W4、W3-W5、W4-W6、W5-W7 及 W6-W8；

(c) 第三組：W2-W5、W3-W6、W4-W7 及 W5-W8；

(d) 第四組：W2-W6、W3-W7 及 W4-W8；

(e) 第五組：W2-W7 及 W3-W8；

(f) 第六組：W2-W8。

(7) 應用試算表針對各個試驗模型的分析文字檔結果，進行個別分析與 3 個模型間之交叉比較。

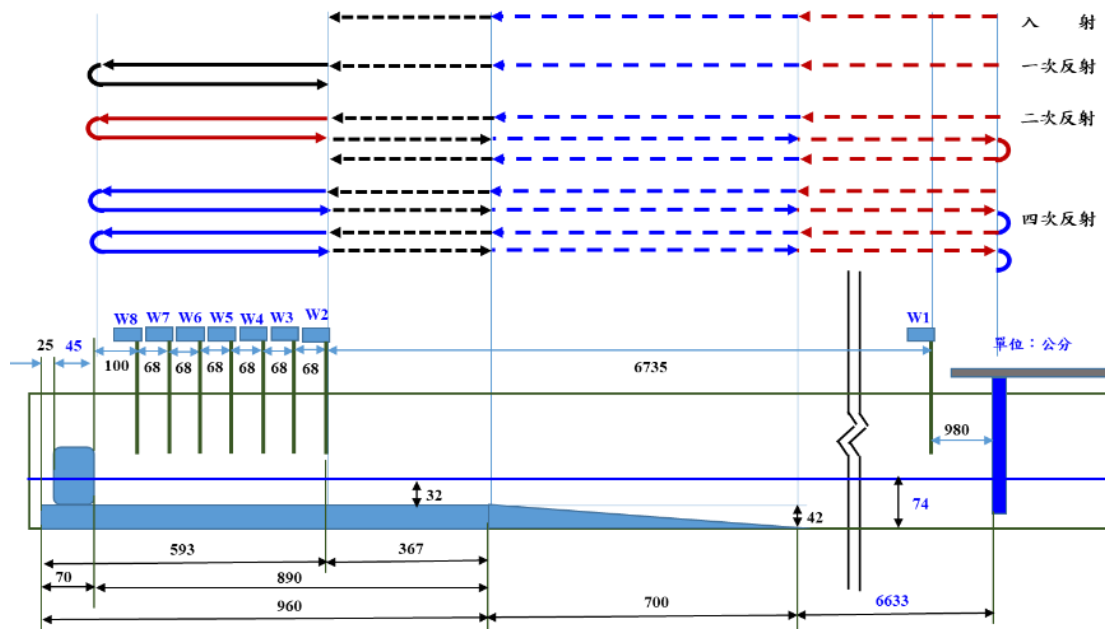


圖 4.11 波浪傳播時間計算示意圖

第五章 消能碼頭水工斷面模型試驗結果

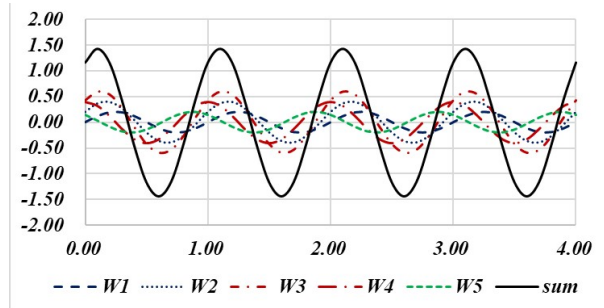
本章針對 3 種消能結構物的試驗資料進行分析與討論，由於每一種模型有 11 個造波週期、2 種波高、3 次重複以及有 8 支波高計，分析繪製的圖雖已將 8 支波高計的分析放在同一張圖，包含波形時序圖、波譜圖、零上切個別波高與週期時序圖、多種配對之反射率分析圖，其數量仍達數百張，無法在本報告中完整呈現，以下將依第四章所規劃的試驗分析步驟進行之比較做重點摘述，首先將模擬可能遭遇到的理論波形。

5.1 不同週期、振幅及相位之理論波形線性疊加

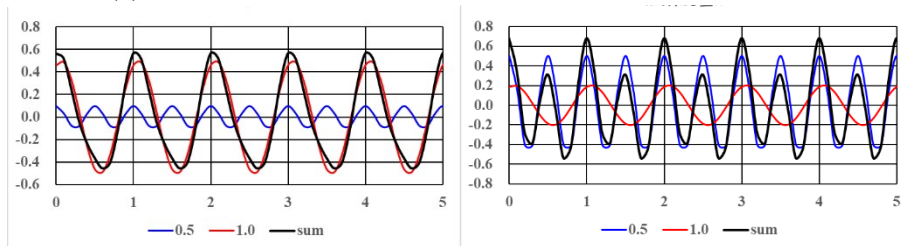
圖 5.1 以倍頻波為探討對象，進行不同振幅及相位的波形疊加，以了解單一週期規則造波受消能式結構物反射後，可能發生的情形。圖 5.1(a)為 5 個週期相同，但振幅及相位不同之正弦波的成分波與疊加合成波之波形時序列。測試中發現只要週期相同，合成波仍保持原來週期不會改變。圖 5.1(b)為 2 個倍頻波且振幅及相位不同之正弦波的成分波與疊加合成波之波形時序列。左小圖為主頻波振幅大於倍頻波，合成波之週期與主頻相同；右小圖為主頻波振幅小於倍頻波，合成波之週期與倍頻相同，而且零上切波高會有交叉高低變化。圖 5.1(c)為 3 倍頻波且振幅及相位不同之正弦波的成分波與疊加合成波之波形時序列。左小圖為主頻波振幅大於 2 種倍頻波，合成波之週期與主頻相同；右小圖為第 1 倍頻振幅大於主頻波及第 2 倍頻波，合成波之週期與第 1 倍頻相同，零上切波高會有強烈變化。

本計畫也編寫二維及三維之兩線性波形疊加測試程式，前者可繪製不同週期、振幅及相位之入射波與反射波的線性疊加；後者可繪製不同週期、振幅及相位之入射波與斜向反射波的線性疊加。做為觀察波形成分組合之輔助工具，圖 5.2 為兩個三維同週期波形，即週期、振幅與相位相同但有不同的方向角之合成波形(公式如式 5.1 所示)。

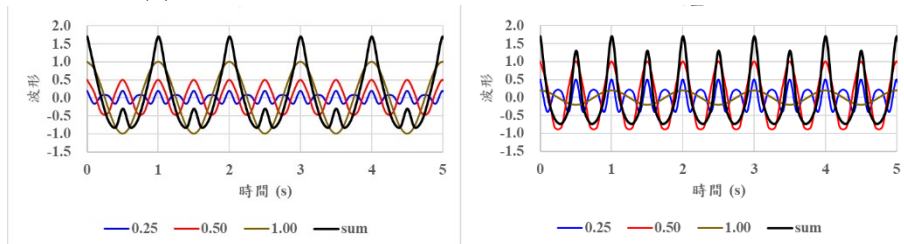
$$\eta(x, y; t) = a_1 \cos(k_1 x \cos \theta_1 + k_1 y \sin \theta_1 + \omega_1 t + \phi_1) + a_2 \cos(k_2 x \cos \theta_2 + k_2 y \sin \theta_2 + \omega_2 t + \phi_2) \dots\dots\dots (式 5.1)$$



(a) 5 個週期相同但振幅及相位不同之正弦波的疊加



(b) 2 倍頻波但振幅及相位不同之正弦波的疊加



(c) 3 倍頻波但振幅及相位不同之正弦波的疊加

圖 5.1 二維理論倍頻波形之線性疊加

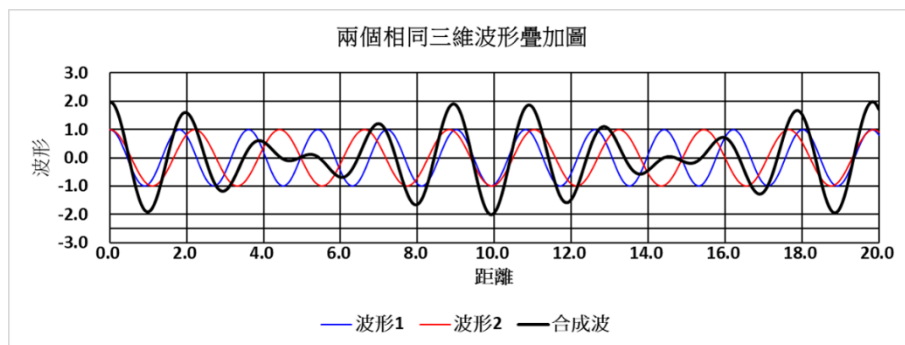
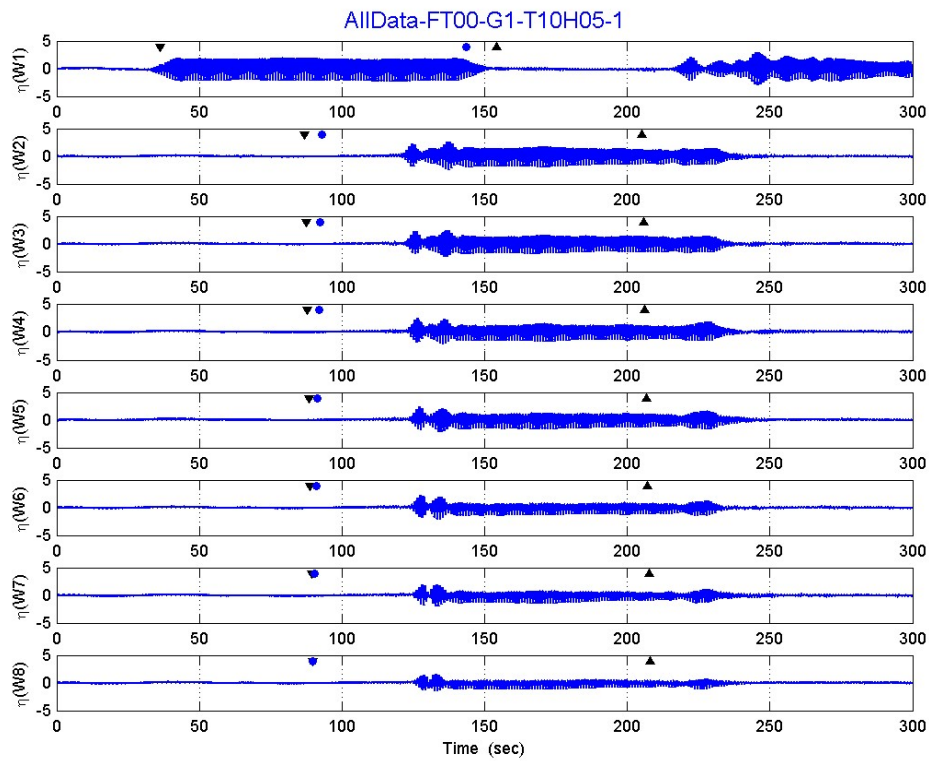


圖 5.2 兩個三維理論波形之線性疊加

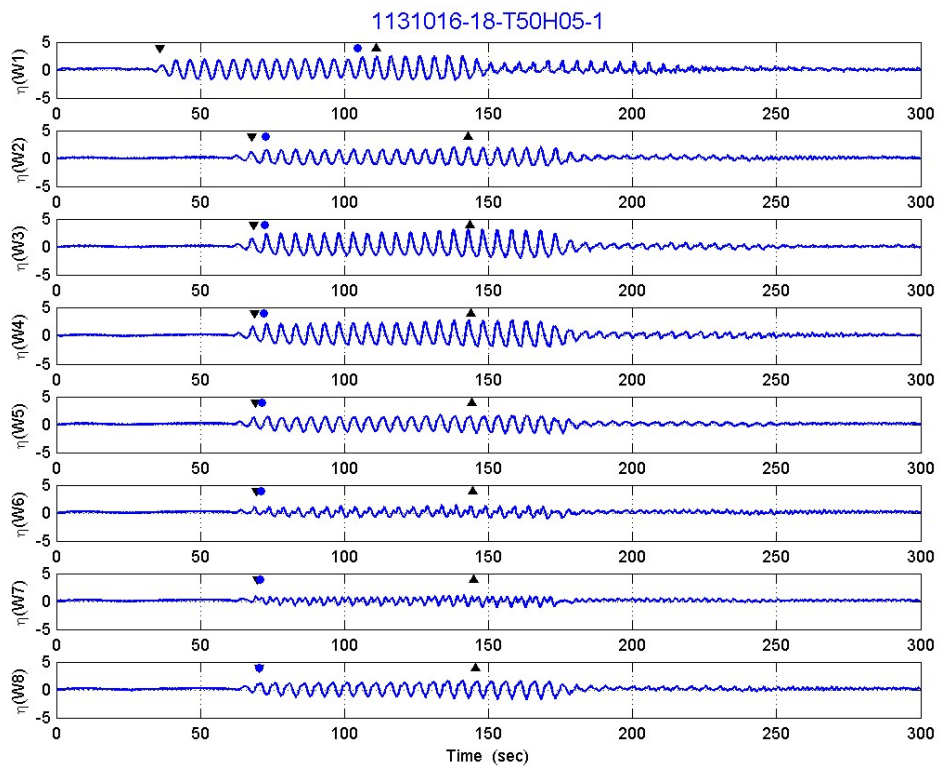
5.2 波形時序列之觀察

圖 5.3 為空水槽(FT00)試驗的 8 支波高計波形時序圖，子圖(a)為代碼 T10H05-1(週期 1 秒、波高 5 公分、第一次重複)；子圖(b)為代碼 T50H05-1(週期 5 秒、波高 5 公分、第一次重複)。每個時序圖都以 W1 為參考，自通過 W1 之波形大於 1 公分開始起算到達時間(leaddt)。配合水深及週期透過分散關係式計算波速，再據以推算「理論」通過每支波高計的時間(包含入射波、一次反射及二次反射波)，並以下列符號標示▼：入射波到達時間、●：一次反射波到達時間及▲：二次反射波到達時間。從子圖(a)中發現量測的波形並未依線性波理論的推估到達時間通過各波高計；但從子圖(b)中則發現推估到達時間與實際通過各波高計的時間相近。經多方研討，確認波浪在水槽中確實依理論推估時間通過每一支波高計，沒有延遲，只是前導波與尾波的波高有衰減情形，而且短週期波衰減到無法辨認。

圖 5.4 及圖 5.5 分別為 FT01 試驗週期 1 秒及 5 秒三次重複的 8 支波高計波形時序圖，圖中各子圖，第二欄為波高 5 公分；第三欄為波高 10 公分；第二至第四列為依序為三次重複，顯示各個造波條件的三次重複相當接近，即造波機與水槽配置的穩定性高。週期 1 秒、波高 10 公分的波形較不穩定；週期 5 秒、波高 10 公分的波形則明顯非線性，應與 FT01 之消能有關。



(a) 代碼 T10H05-1(週期 1 秒，波高 5 公分、第一次重複)



(b) 代碼 T50H05-1(週期 5 秒，波高 5 公分、第一次重複)

圖 5.3 空水槽(FT00)試驗的 8 支波高計波形時序圖

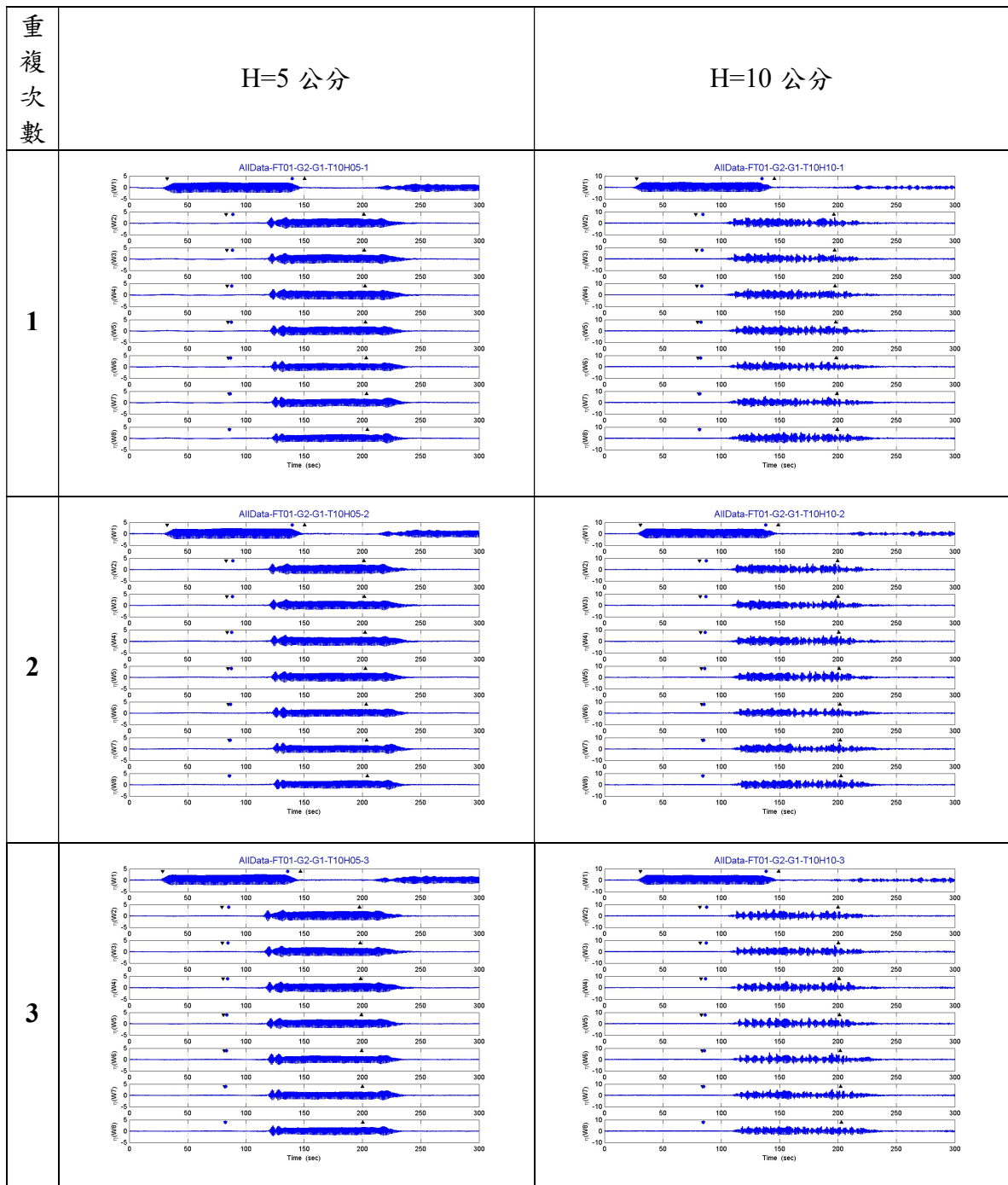


圖 5.4 FT01 試驗週期 1 秒三次重複的 8 支波高計波形時序圖

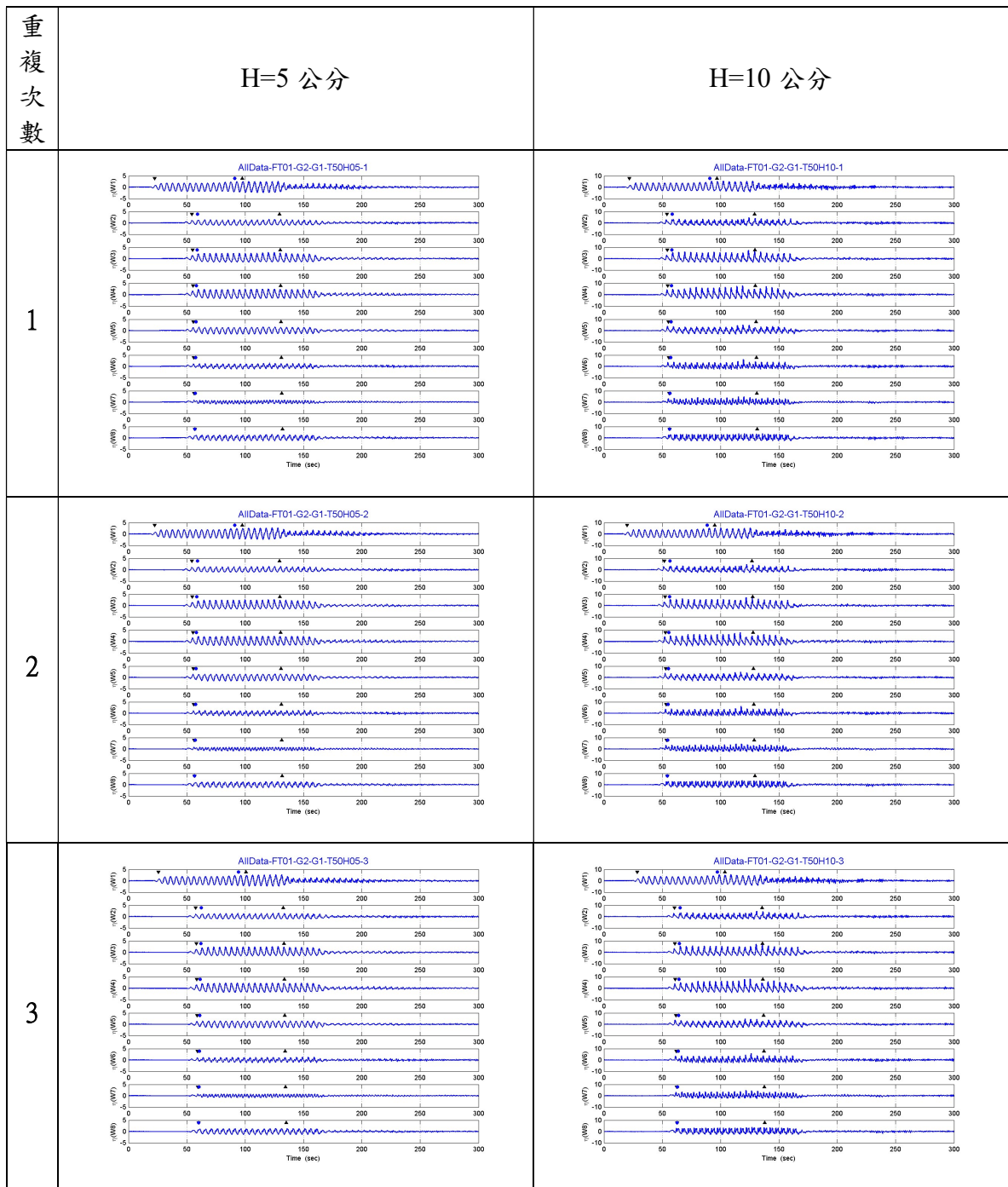


圖 5.5 FT01 試驗週期 5 秒三次重複的 8 支波高計波形時序圖

5.3 FFT 分析波譜圖之觀察

圖 5.6 為 FT01 試驗：其中 5 個週期、波高公分之 8 支波高計波譜圖，子圖(a)為各波高計之波譜的配置情形；子圖(b)~子圖(f)依序為週期 1、2、3、4 及 5 秒的分析波譜。為便於閱讀，波譜圖的縱軸範圍並非相同。

子圖(b)FT01-T10H05 的各個波譜明顯符合規則波之單脈衝譜，W1 的譜峰值明顯大於其它，W2~W8 能量大約相近，顯示波浪在傳輸過程中明顯衰減。

子圖(c) FT01-T20H05 的 W2~W8 的波譜出現了倍頻成分脈衝譜，它可能是非線性波或三維斜向波所造成。其中，W2~W8 出現譜峰值不對等的情形，可能是消能結構物前的波動有接近定常之趨勢(例如駐波狀態下，波峰/波谷極值點處的能量最大；而節點處的能量趨近於 0)。

子圖(d)FT01-T30H05 中，W3、W6 及 W7 呈現雙脈衝譜；但 W4、W5 及 W8 則出現三脈衝譜，而 W8 更是倍頻能量高於主頻，顯然不是非線性波。藉此，本計畫發現消能結構物可能會引發三維的斜向反射波。

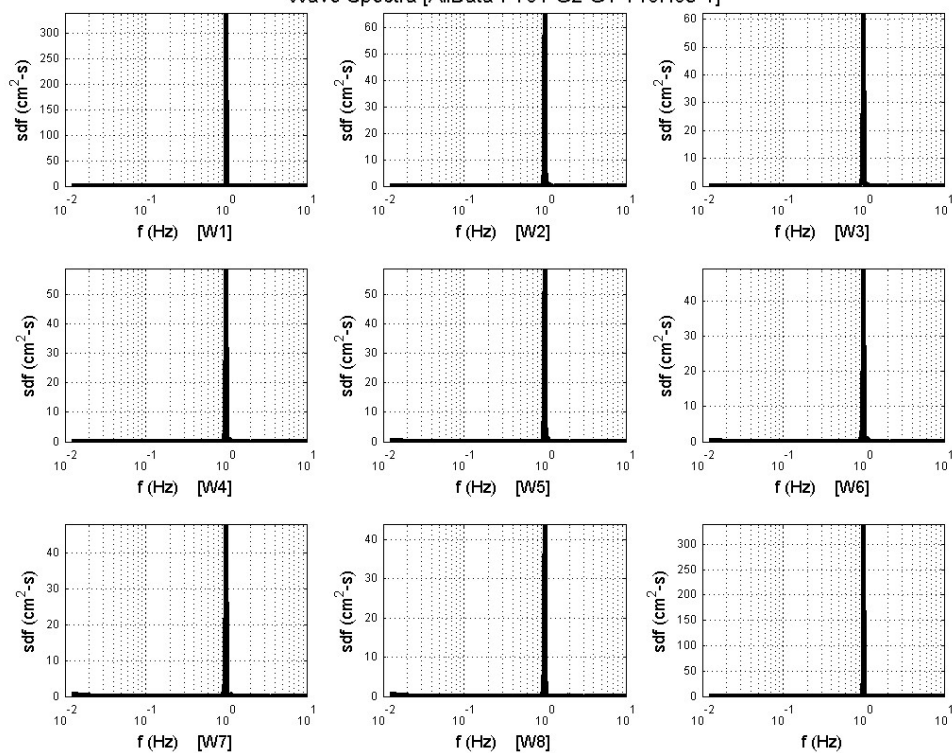
子圖(e) FT01-T40H05 中，W2、W3、W7 及 W8 出現倍頻能量大於主頻的三脈衝譜；W1、W4、W5 及 W6 則出現主頻能量最高的雙脈衝譜，可能也是消能結構物引發的三維斜向反射波。

子圖(f) FT01-T50H05 中，W6 及 W8 出現主頻能量最高的三脈衝譜；W3、W4 及 W7 為雙脈衝譜，但 W7 的倍頻能量明顯大於主頻。

W1	W2	W3
W4	W5	W6
W7	W8	W1~W8 波譜疊加

(a) 波譜圖中各波高計之配置情形

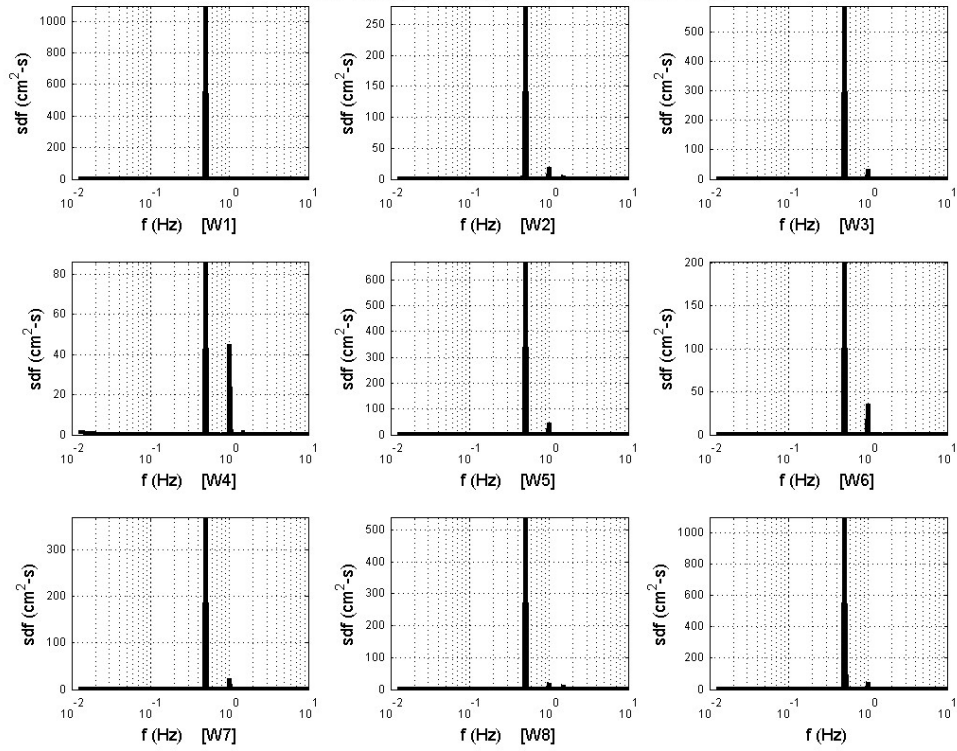
Wave Spectra [AllData-FT01-G2-G1-T10H05-1]



(b) 週期 1 秒，波高 5 公分

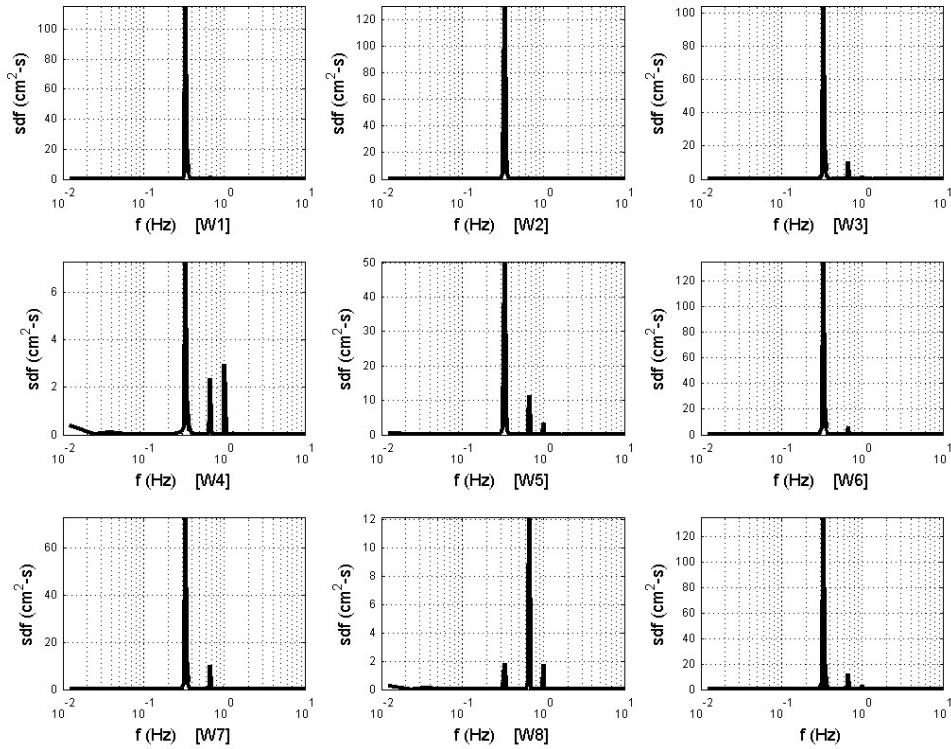
圖 5.6 FT01 試驗 8 支波高計之波譜圖

Wave Spectra [AllData-FT01-G2-G1-T20H10-1]



(c) 週期 2 秒，波高 5 公分

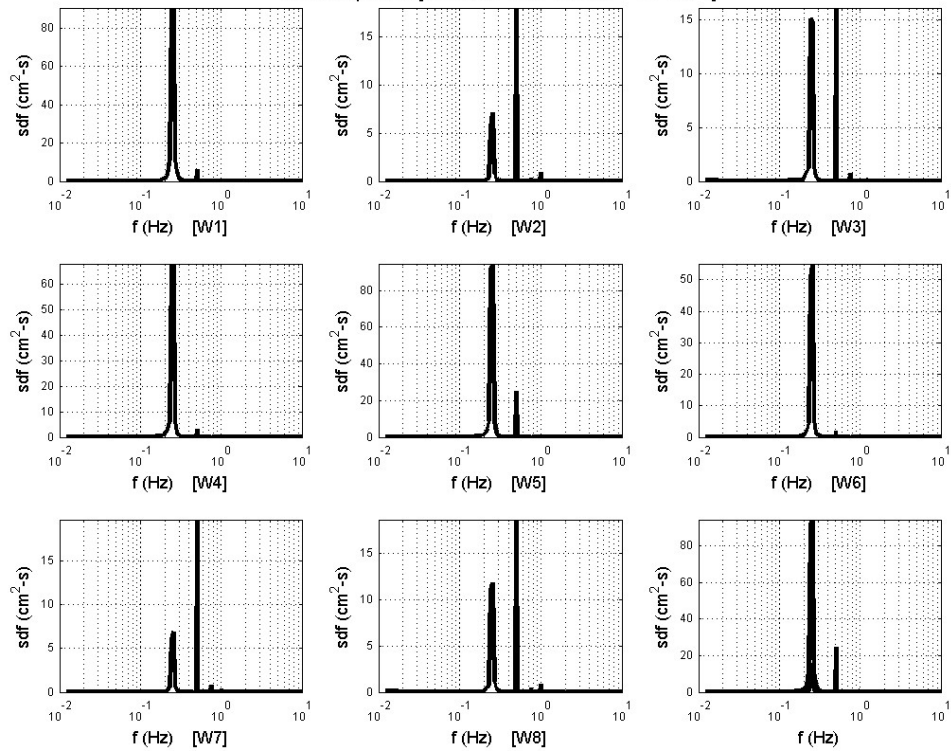
Wave Spectra [AllData-FT01-G2-G1-T30H05-1]



(d) 週期 3 秒，波高 5 公分

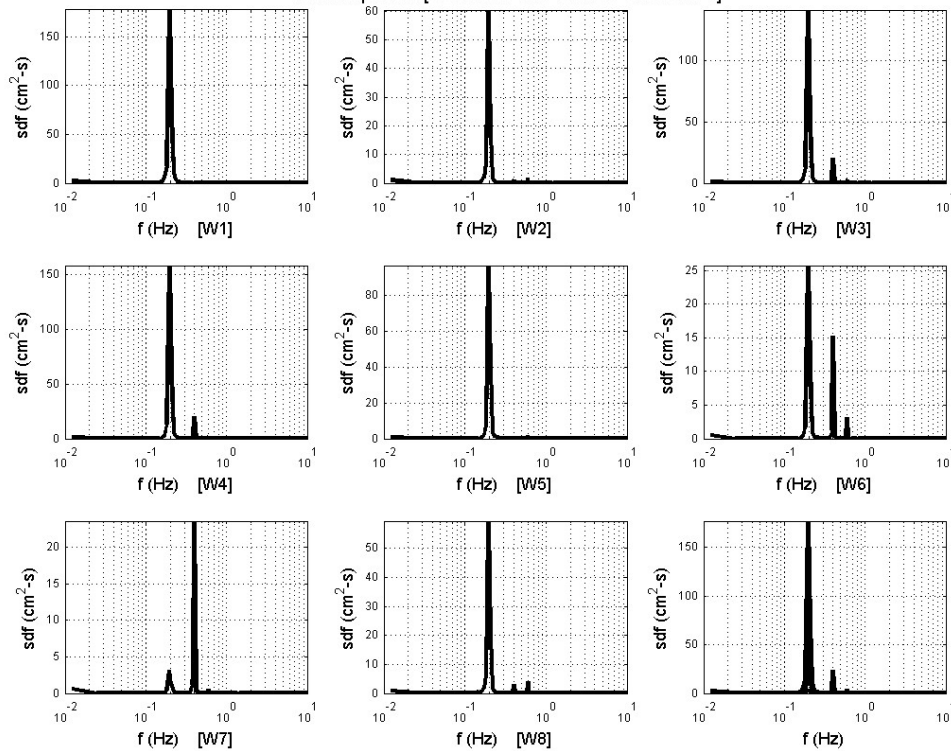
圖 5.6(續) FT01 試驗 8 支波高計之波譜圖

Wave Spectra [AllData-FT01-G2-G1-T40H05-1]



(e) 週期 4 秒，波高 5 公分

Wave Spectra [AllData-FT01-G2-G1-T50H05-1]



(f) 週期 5 秒，波高 5 公分

圖 5.6(續) FT01 試驗 8 支波高計之波譜圖

5.4 零上切個別波高及週期時序圖之觀察

圖 5.7 羅列了 FT01 試驗中波高 5 公分、週期為 1、2.5、3、3.5、4 及 5 秒，依序為子圖(a)~子圖(f)，8 支波高計(由上而下)之個別波高(左欄)及週期(右欄)的時序圖，從圖中可以發現，單純波浪入射與反射應只會得到單一波高值及單一週期值的時序列。

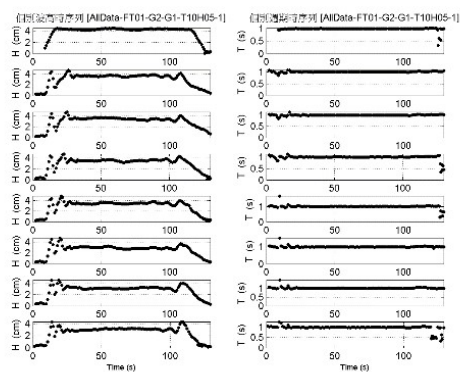
子圖(a) FT01-T10H05 中，各波高計之波高出現前後較小的情形，應該與波形的衰減有關。波高的突然變化，可能發生在衰減的反射前導波與後續的進行波交會之際，尾波亦有類似情形，但分析波高未達到指定的造波波高；週期部分除了前後端部分序列外，中段相當穩定。

子圖(b) FT01-T25H05 中，發現 W2 出現 3 種波高值和 4 種週期值，而 W5 出現 2 種波高值和 2 種週期值。依據 5.1 節的討論，顯示波動並不是非線性波，或倍頻波所引致，應該是水槽裡面出現三維的波動。

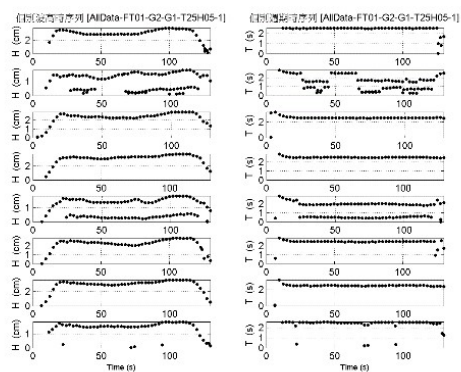
子圖(c) FT01-T30H05 中，發現 W4 出現 2 種波高值和 2 種週期值，而 W8 出現 2 種波高值和 1 種週期值，可能也是因為水槽裡面出現三維的波動。

子圖(d) FT01-T35H05 中，發現 W3、W4 及 W8 出現 2 種波高值和 2 種週期值；子圖(e) FT01-T40H05 中，發現 W2、W7 及 W8 出現 2 種波高值和 2 種週期值；子圖(f) FT01-T50H05 中，發現 W6、W7 及 W8 出現 2 種波高值和 2 種週期值。

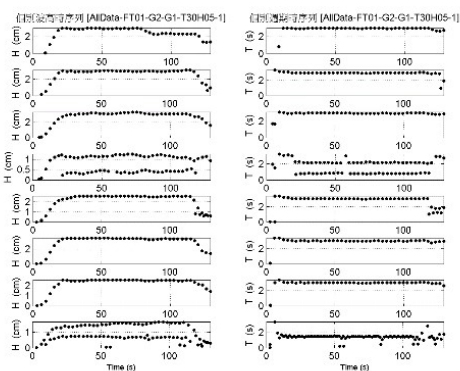
綜合而言，試驗水槽因為消能結構物的反射，而發生三維波動的可能性很高。



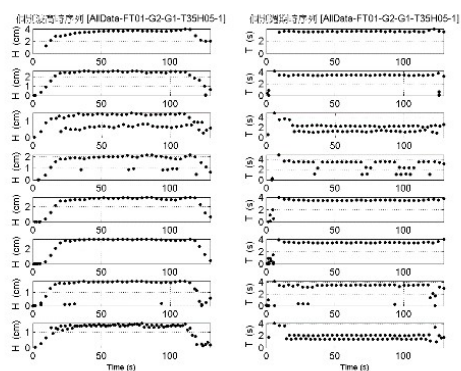
(a) 週期 1 秒，波高 5 公分



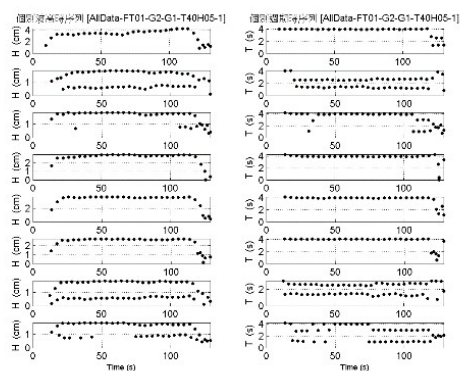
(b) 週期 2.5 秒，波高 5 公分



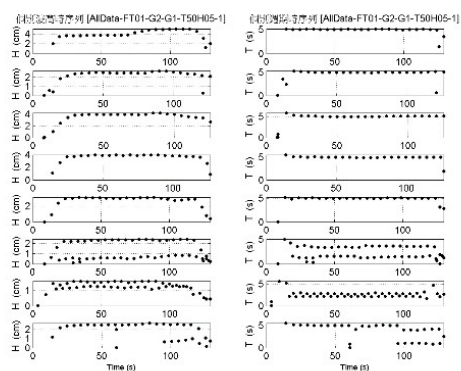
(c) 週期 3 秒，波高 5 公分



(d) 週期 3.5 秒，波高 5 公分



(e) 週期 4 秒，波高 5 公分



(f) 週期 5 秒，波高 5 公分

圖 5.7 FT01 試驗 8 支波高計之個別波高/週期時序圖

5.5 反射率分析的觀察

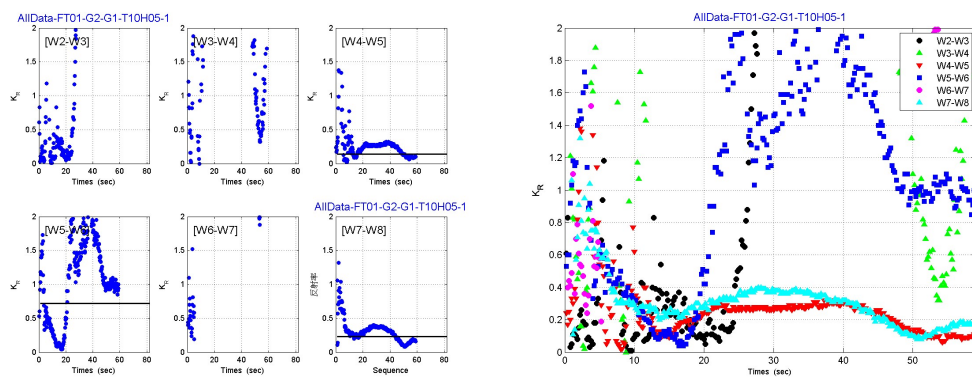
為瞭解利用 Goda 及 Suzuki(1976)兩點法，進行多組配對波高計求反射率的可行性，本計畫同時啟用個別波分析法及波列分析法，而波高計配對僅呈現相鄰兩支波高計之 6 組配對。分析步驟說明如下：

1. 針對每一組波高計配對，搜尋第 1 支波高計的波形大於 1 公分的時間點，再加上 2 個週期時間做為起始時間。
2. 個別波分析法：自起始時間開始擷取 60 秒(造波 120 秒的一半)，然後每次平移 0.2 倍週期，擷取 1 個週期的波形進行 Goda 兩點法單一波分析，最後每一組配對會得到很多個反射率(K_r)值(反射率時序圖中的藍圓點)。
3. 波列分析法：自起始時間開始擷取 8192 個點波形，進行 Goda 兩點波譜法分析，最後每一組配對會得到一個反射率(K_R)值(反射率時序圖中的黑實線)。
4. 如果時間序列擷取不當，反射率時序圖可能會發散。
5. 從各組配對的交叉比較，可以篩選掉不適當的配對(例如波高計間距不對)，本報告暫不啟動篩選。

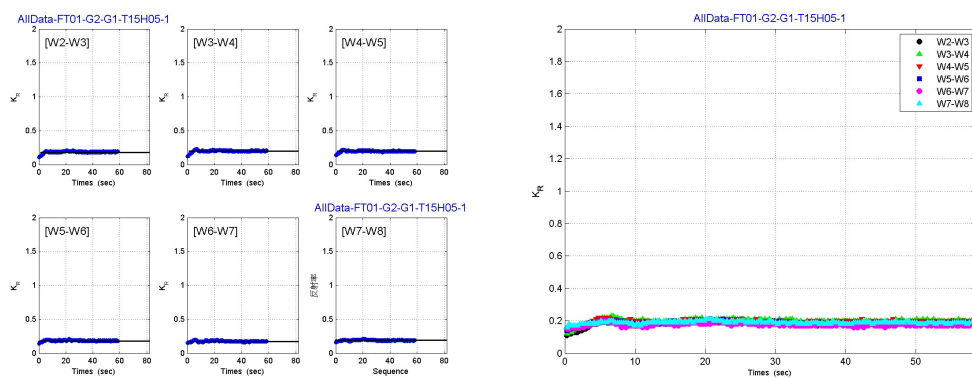
圖 5.8 羅列了 FT01 試驗中，波高 5 公分、週期為 1~5 秒(每間隔 0.5 秒)之反射率分析時序圖(左圖)及各個配對合成圖(右圖)，依序如子圖(a)~子圖(i)，各圖中有 W2-W3、W3-W4、W4-W5、W5-W6、W6-W7 及 W7-W8 等 6 張子圖。

子圖(a)明顯看到反射率值的發散情形，可能是波形不穩定緣故。在本計畫中，週期 0.9、1.0 及 1.1 秒的波形都不穩定，所求反射率也都發散無法求得代表值。但週期 1.5 秒的波形則趨於正常。

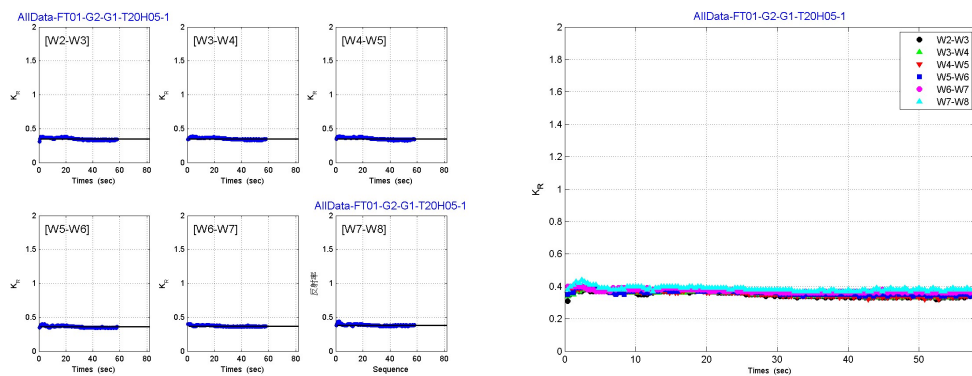
子圖(b)~子圖(i)中，左側時序圖顯示個別波分析法所求得之反射率值(藍色圓點)相當集中，與應用波列法所求得之反射率值(黑色實線)亦近乎相同。右側 6 個配對的所有反射率合成圖，也顯示出具有集中性。



(a) 週期 1 秒，波高 5 公分

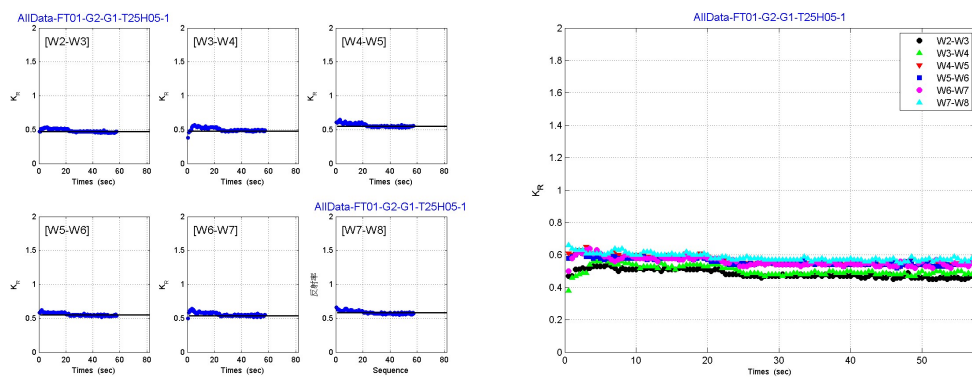


(b) 週期 1.5 秒，波高 5 公分

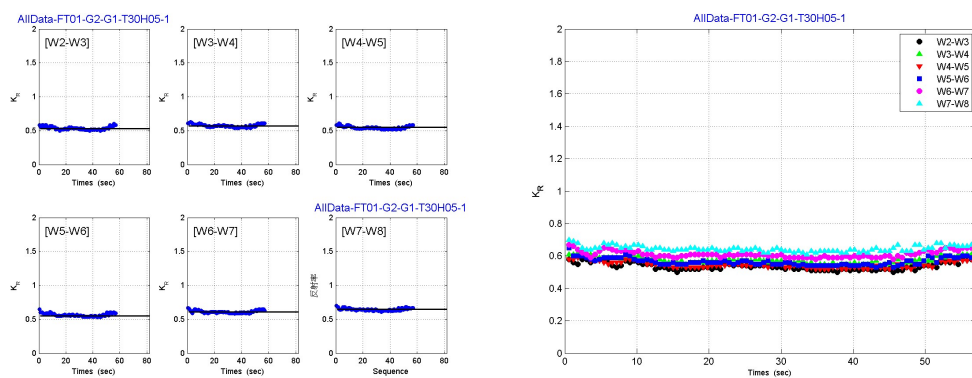


(c) 週期 2 秒，波高 5 公分

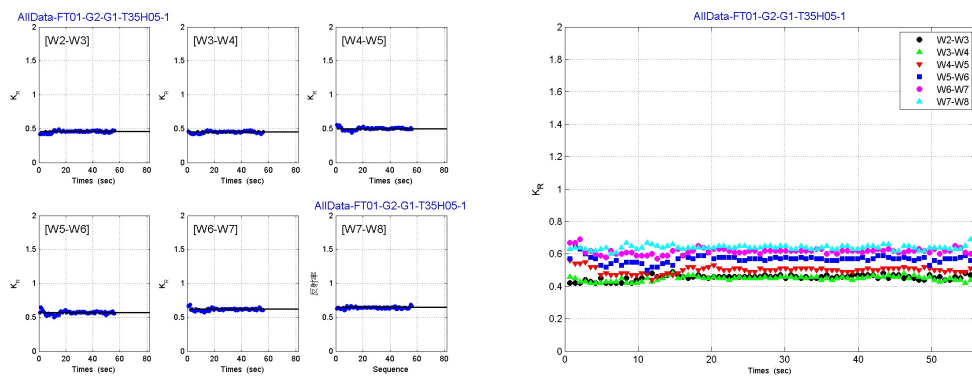
圖 5.8 FT01 試驗波高計第一組配對之反射率時序圖



(d) 週期 2.5 秒，波高 5 公分

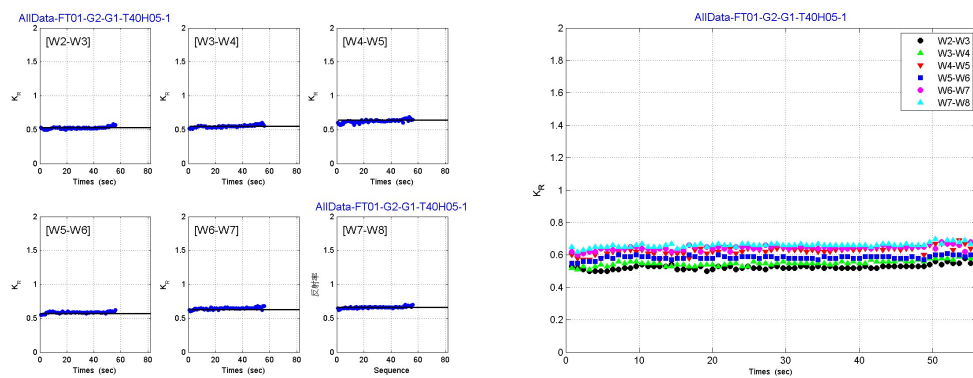


(e) 週期 3 秒，波高 5 公分

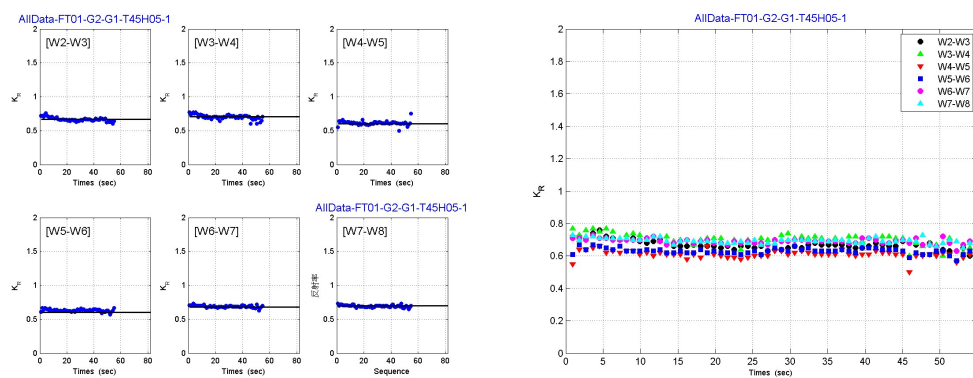


(f) 週期 3.5 秒，波高 5 公分

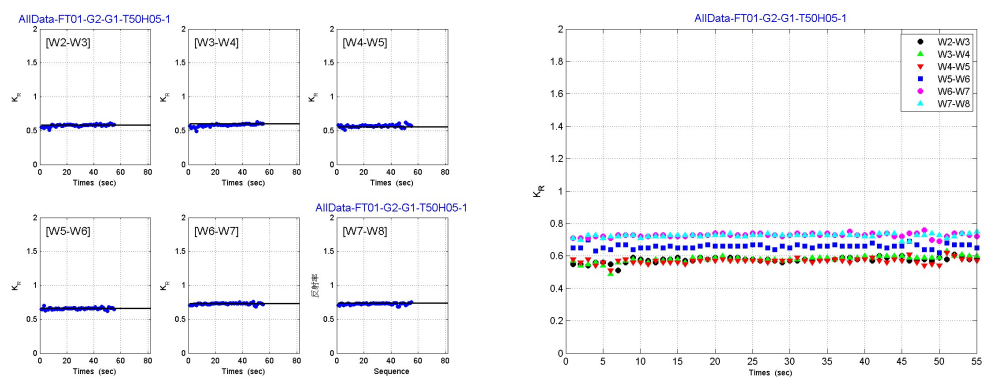
圖 5.8(續) FT01 試驗波高計第一組配對之反射率時序圖



(g) 週期 4 秒，波高 5 公分



(h) 週期 4.5 秒，波高 5 公分



(i) 週期 5 秒，波高 5 公分

圖 5.8(續) FT01 試驗波高計第一組配對之反射率時序圖

5.6 三種模型消波能力之交叉比較

在針對 3 種模型各個造波條件做基本分析後，本節將所有造波條件，以 3 種模型分別所得之反射率值做總體彙整。圖 5.9 至圖 5.11 裡，分別為 3 種模型第一組至第三組(依序對應於 3 個欄位)波高計配對，應用兩種分析法所得之反射率比較。

為能做清晰之比較，本計畫初步將各單一造波條件，應用個別波法分析所得之所有反射率平均值，求出平均值與 95%信賴區間值，再以此與波列法分析所得之反射率值進行比較。圖 5.9 至圖 5.11 各欄的上圖為個別波法反射率平均值與週期之關係圖；中圖為波列法反射率值與週期之關係圖；而下圖為兩者之差值。比較各圖可知：

1. 週期 1 秒附近因波形容易衰減且不穩定，反射率分布很亂。
2. 各組配對裡，應用個別波法所計算之反射率平均值，與波列法分析的反射率值相當接近，但是前者的計算步驟比較繁複，且須慎選適當的取樣時段。
3. 第一至第三組配對的分析結果仍有些微差異。

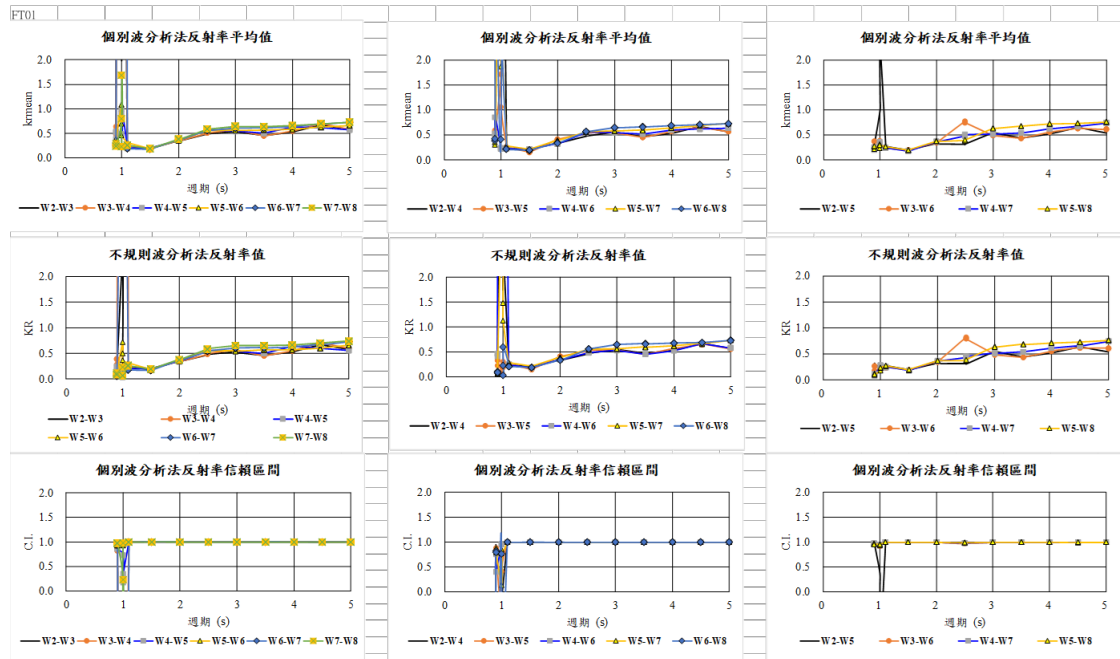
圖 5.12 至圖 5.14 裡分別為 3 種模型以波列法分析之反射率值，包含六組配對(6 個子圖)2 種波高(紅點：波高 5 公分、黑點：波高 10 公分)反射率與週期關係彙總圖。觀察 6 個子圖可發現其分布情形相當接近，2 種波高的反射率趨勢有所不同，應與結構物尺寸效應有關，後續可再做進一步之統計與迴歸分析討論。

圖 5.15 分別以 FT01 為對照組，比較與 FT02 及 FT03 之反射率和週期關係圖(紅點：波高 5 公分、黑點：波高 10 公分)。由 FT01 反射率和週期關係圖，可得知其整體反射率低於 0.7，小波高(5 公分)於週期 5 秒有最大反射率(約 0.7)；大波高(10 公分)於週期 3 秒有最大反射率(約 0.7)。於試驗過程中觀察及藉由結果研判，FT01 於小波高之反射率隨週期增加而升高，應是小波高無法爬升越過弧面斜坡，而下部結構之開孔隔艙壁的消能效果有限。FT01 在大波高之波浪條件，週期 3 秒以

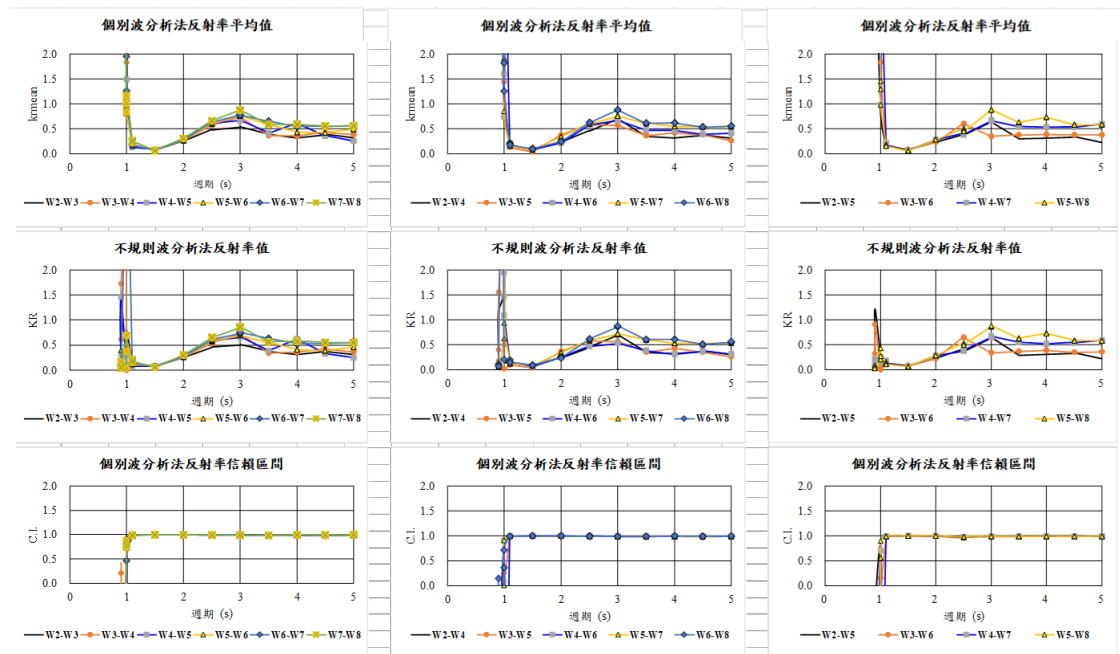
下，反射率隨週期增加而升高；超過週期 3 秒，反射率降到低於 0.5。應是 FT01 在大波高與較長週期的條件下，弧面斜坡達到消波效果。惟於試驗進行過程中，波浪衝擊結構的聲音極響，因而後續改造 FT01，在弧面斜坡頂端鑽氣孔，但反射率結果不降反升。推斷可能是氣室的存在，造成空氣壓縮與波浪衝擊作用，對於消能有較正面影響。

由圖 5.15 中 FT02 反射率和週期關係圖，得知整體反射率幾乎低於 0.6，小波高(5 公分)在週期 4 秒有最大反射率(約 0.6)；大波高(10 公分)於週期 3 秒以上有最大反射率(約 0.4)。於試驗中觀察及由結果研判，FT02 在 2 種波高條件，週期 3 秒以下，反射率隨週期增加而升高的趨勢較 FT01 緩和，顯見於較短週期區間時，導水板的消波效果優於開孔隔艙。因為小波高無法爬升越過斜坡，所以在較長週期區段，大波高之反射率較小波高為低。

藉助於兩條輔助線(反射率 0.25 與 0.6)，於圖 5.15 中可以看到 FT02 的消能效果優於 FT01，主要應是因為 FT02 多配備了導水板引發渦流效應，達到消能效果。而於波高 5 公分的條件，FT01 的消能效果優於 FT03，顯示氣室的排氣解壓有負面的效果。最後針對 3 種模型於 2 個波高與各週期之反射率值區間，彙整如表 5-1。

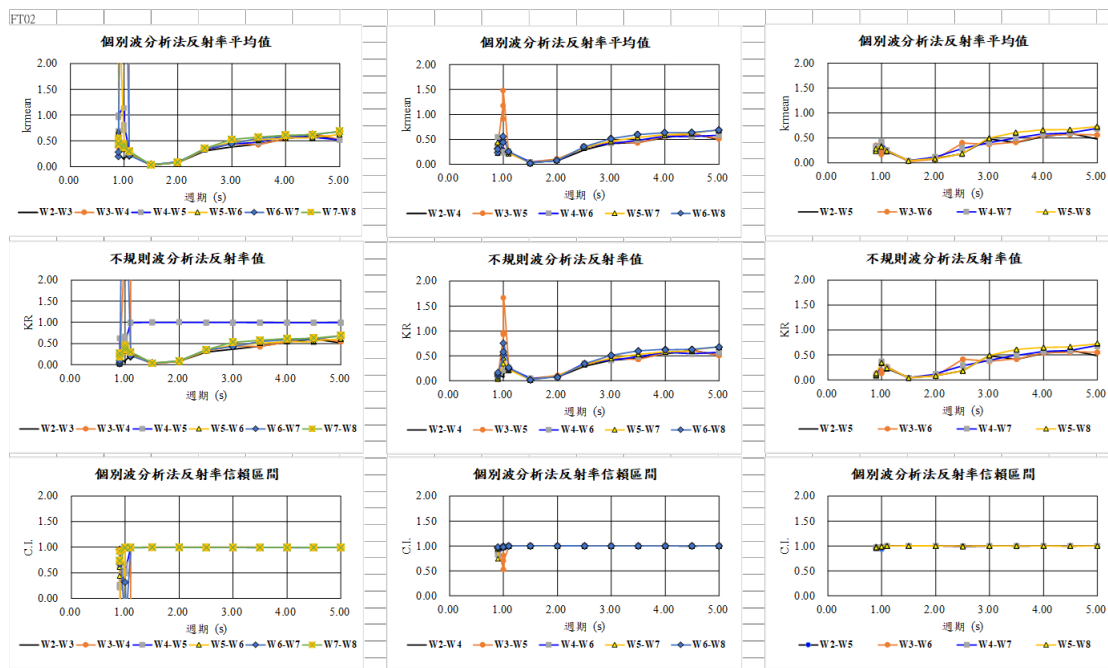


(a) H=5 公分

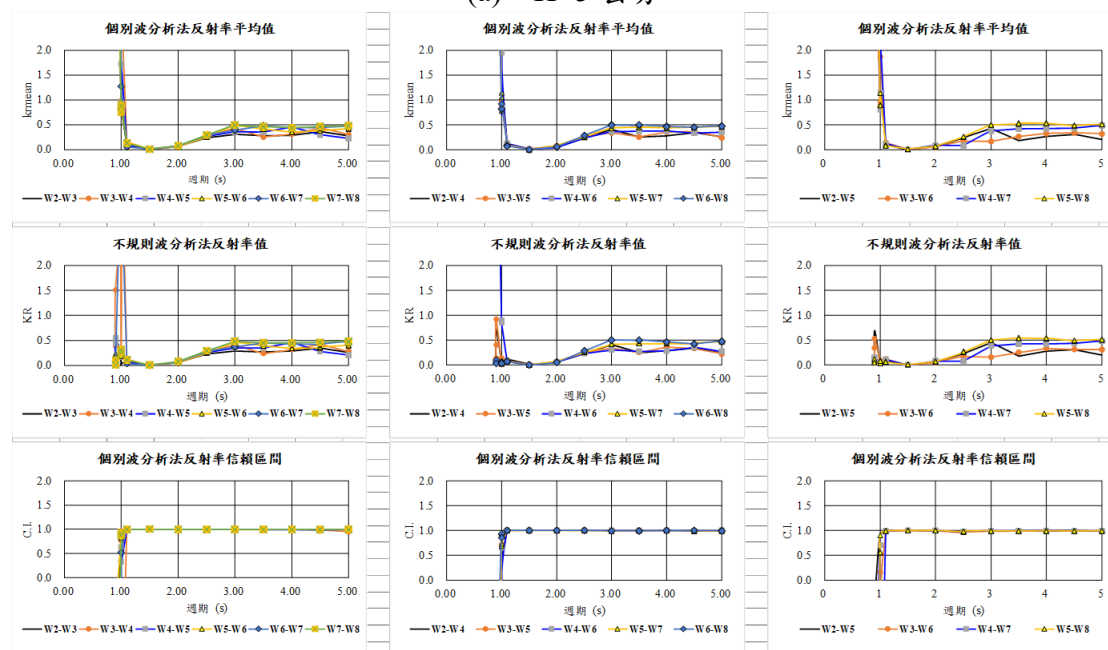


(b) H=10 公分

圖 5.9 FT01 應用兩種分析法之反射率比較

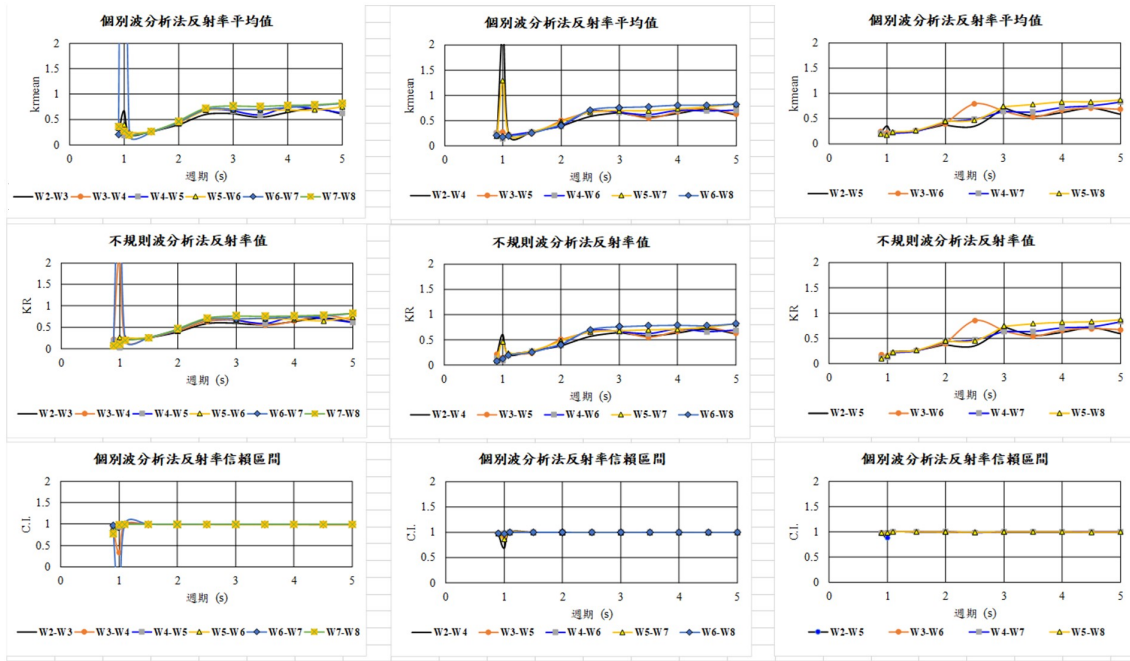


(a) H=5 公分

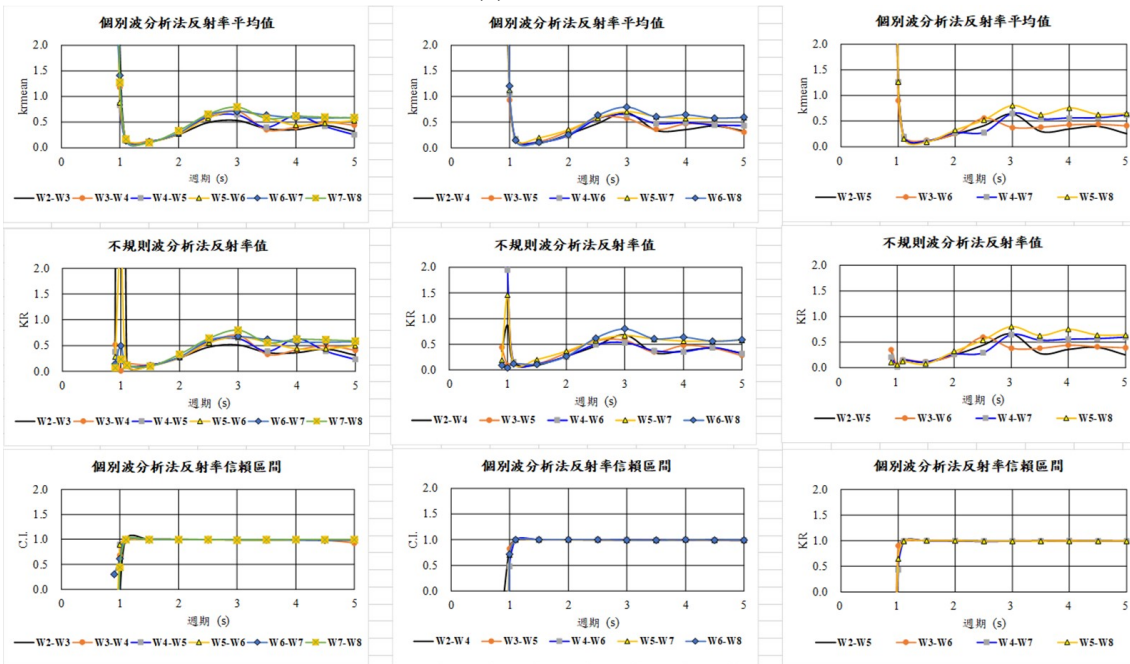


(b) H=10 公分

圖 5.10 FT02 應用兩種分析法之反射率比較

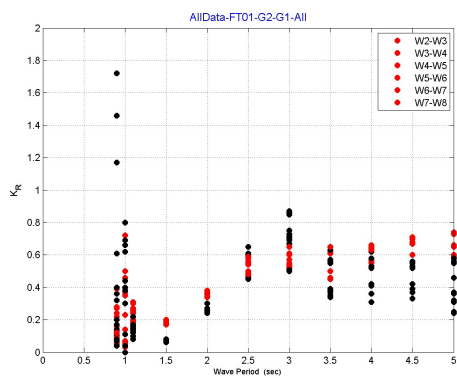


(a) H=5 公分

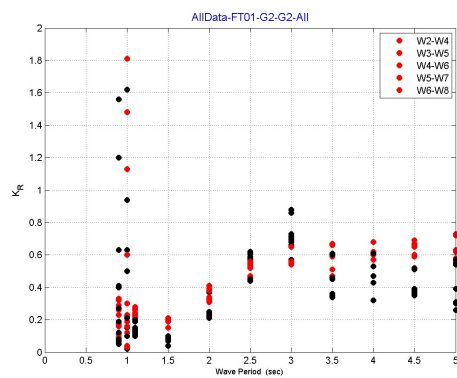


(b) H=10 公分

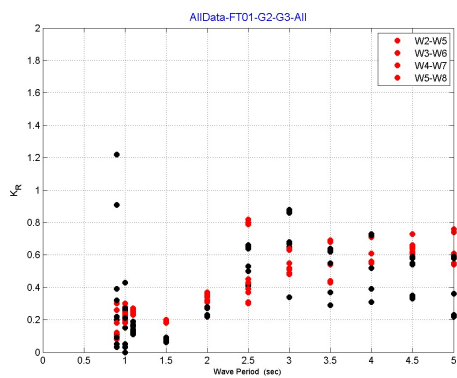
圖 5.11 FT03 應用兩種分析法之反射率比較



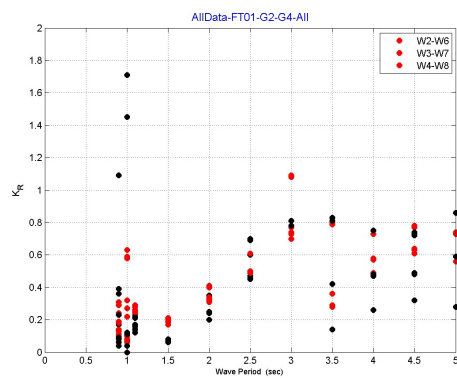
(a) 第一組配對



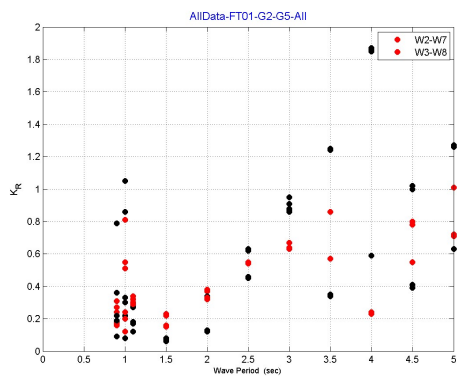
(b) 第二組配對



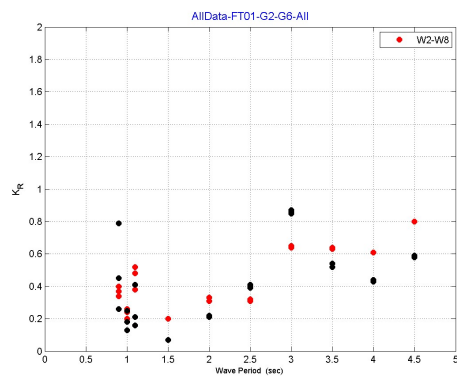
(c) 第三組配對



(d) 第四組配對



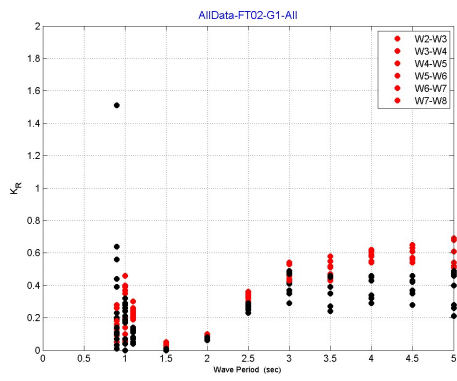
(e) 第五組配對



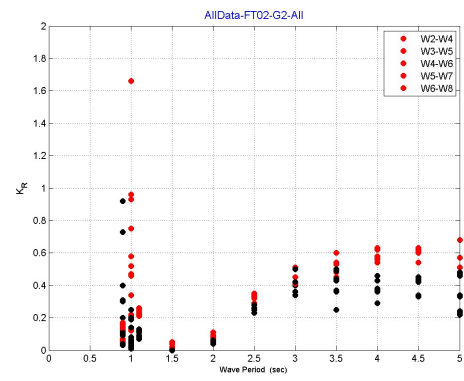
(f) 第六組配對

(紅點：波高 5 公分、黑點：波高 10 公分)

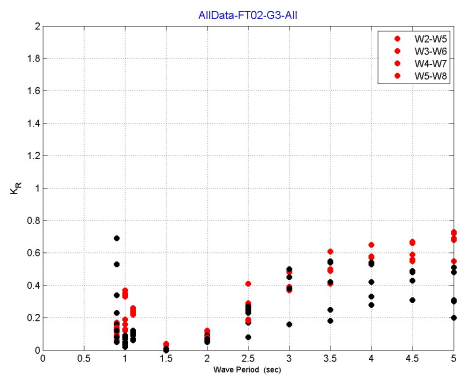
圖 5.12 FT01 反射率彙總圖



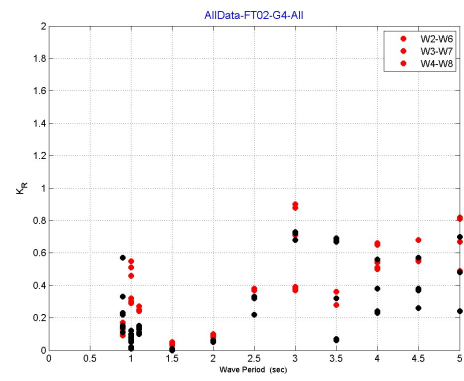
(a) 第一組配對



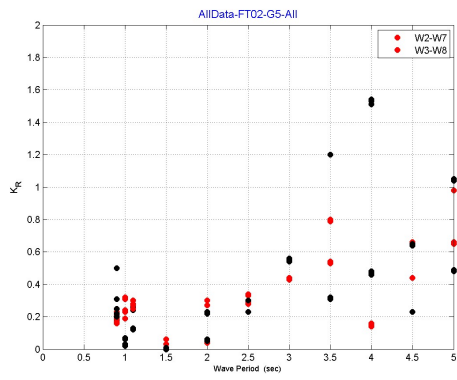
(b) 第二組配對



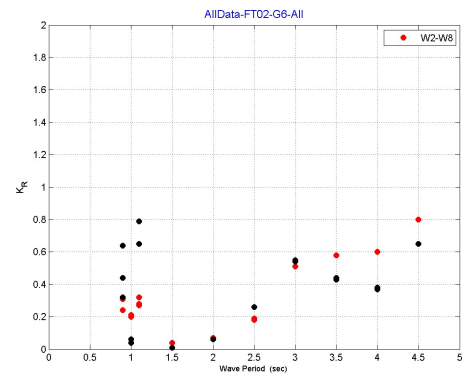
(c) 第三組配對



(d) 第四組配對



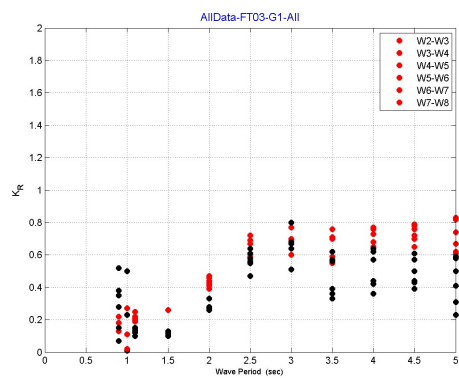
(e) 第五組配對



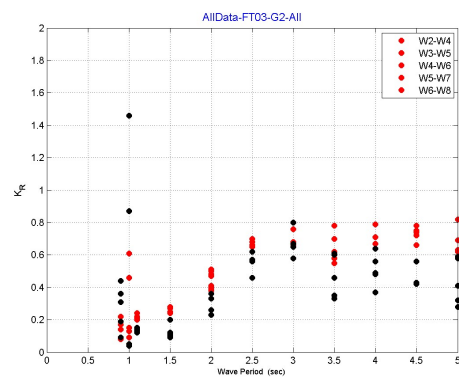
(f) 第六組配對

(紅點：波高 5 公分、黑點：波高 10 公分)

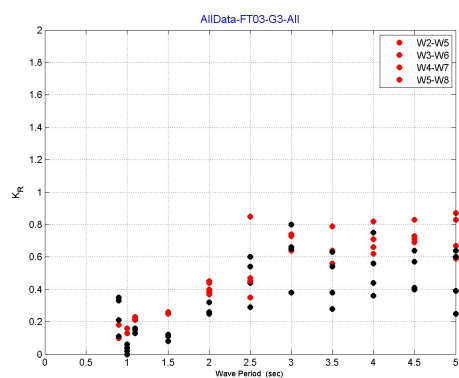
圖 5.13 FT02 反射率彙總圖



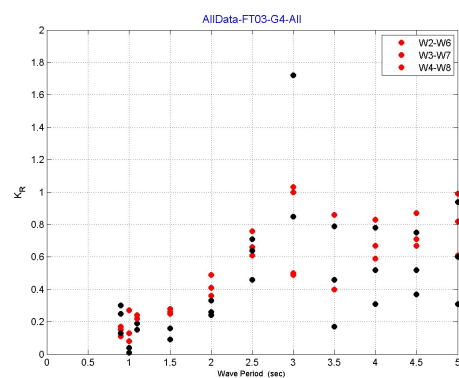
(a) 第一組配對



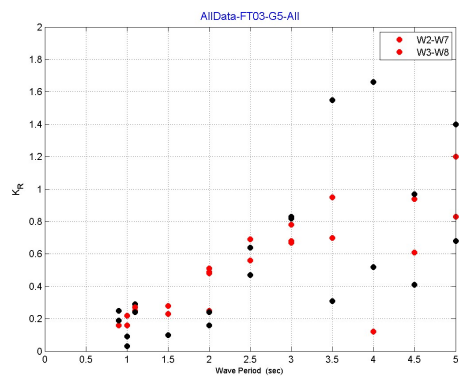
(b) 第二組配對



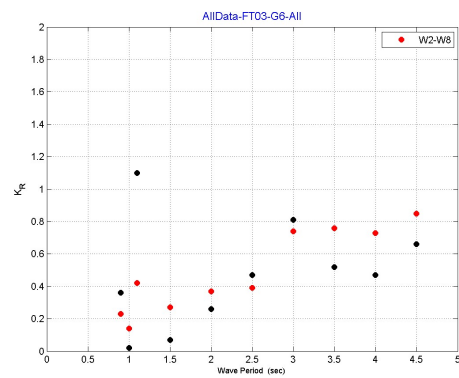
(c) 第三組配對



(d) 第四組配對



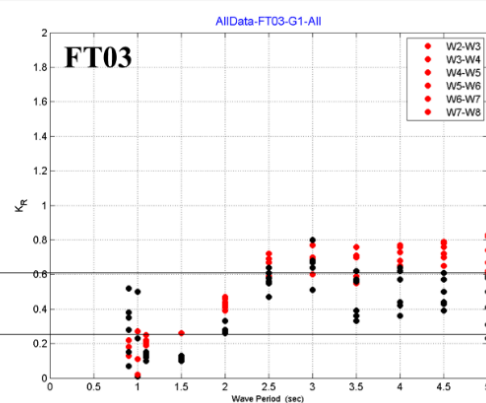
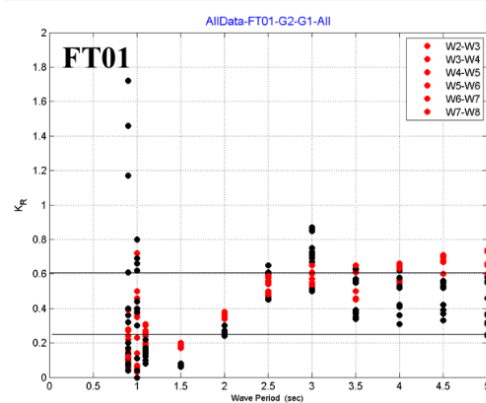
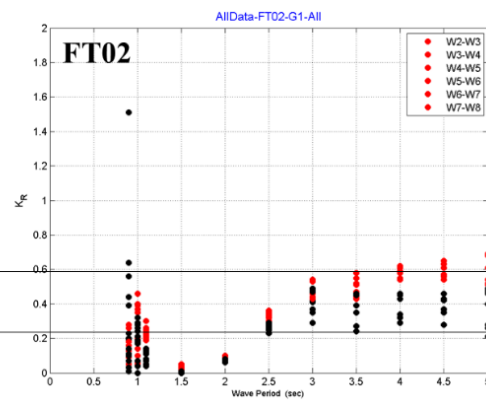
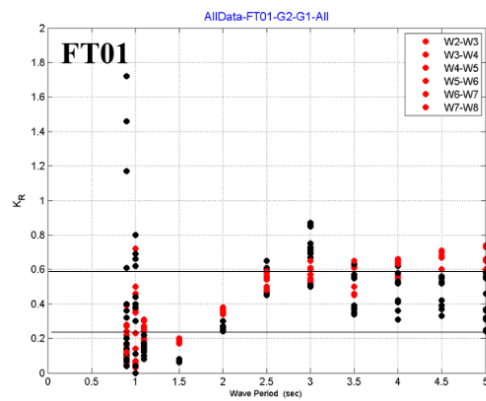
(e) 第五組配對



(f) 第六組配對

(紅點：波高 5 公分、黑點：波高 10 公分)

圖 5.14 FT03 反射率彙總圖



(紅點：波高 5 公分、黑點：波高 10 公分)

圖 5.15 3 種模型第一組配對 2 種波高之反射率與週期關係圖

表 5-1 3 種模型於各週期之反射率值

模型	FT01		FT02		FT03	
波高(cm)	5	10	5	10	5	10
週期(sec)	反射率					
1.5	0.15~0.20	0.05~0.10	0.02~0.08	0.02~0.03	0.25~0.26	0.08~0.14
2.0	0.30~0.40	0.25~0.30	0.10~0.12	0.05~0.10	0.38~0.48	0.25~0.34
2.5	0.45~0.60	0.45~0.65	0.30~0.38	0.22~0.30	0.62~0.72	0.47~0.63
3.0	0.50~0.70	0.50~0.90	0.41~0.55	0.30~0.50	0.59~0.78	0.50~0.80
3.5	0.45~0.68	0.32~0.65	0.42~0.59	0.25~0.48	0.58~0.77	0.32~0.62
4.0	0.50~0.70	0.30~0.65	0.53~0.67	0.28~0.50	0.65~0.78	0.35~0.65
4.5	0.60~0.73	0.30~0.58	0.53~0.68	0.28~0.50	0.64~0.79	0.39~0.60
5.0	0.60~0.76	0.23~0.60	0.50~0.70	0.22~0.52	0.661~0.82	0.22~0.58

5.7 檢討

1. 依所回顧的文獻顯示：單一消能機制的試驗反射率大多在 0.6~0.9 以上。
2. 本次所有試驗模型之試驗，所得反射率大多在 0.6 以下，經研討認為並非單一消能機制所能達成。後續還是應朝向複合式消能機制思考，惟各機制之間可能互制也可能耦合，需要透過水工斷面試驗及數值模擬才能驗證整合效果。
3. 本次所使用斷面水槽在傳播過程中波浪會衰減，導致判定起始波動的困難。
4. 本試驗在長平台上進行測試，而分析用的波列以入射加一次反射時段為宜。
5. 消能式結構物因結構較為複雜，會引起三維波動，FFT 分析中很容易被誤會為非線性波。
6. 應用 Goda 兩點法，以多組波高計配對方式，可以免去調整波高計位置的困擾，目前顯示第一組~第三組配對的結果很接近。

第六章 結論與建議

6.1 結論

綜合 112 年及本(113)年度的國外文獻研讀彙整，顯示港灣會發生長週期波的問題，存在於全世界五大洋的許多海岸港灣裡，甚至連五大湖區都有。而且長週期波不屬於偶發的事件，異常海象只是放大及凸顯了它的能量。由於缺乏足夠的港區內外聯合波浪觀測資料，本計畫初步著重於如何消滅進入港灣或已經發生的長週期波動能量。以及從工程規劃上，研擬港內如何削減長週期波動的對策。其他有關的因應策略，可研擬適當而有效的船舶繫纜與港務管理辦法，但不在本計畫設定研討範圍內。本年度的研究成果與心得整理摘要如下：

1. 有關研究的文獻蒐集與研讀部份，延續上一年度的工作持續蒐集整理。在蒐集與分析裡，發現對於極長週期的波動，在外海波動中，可能以自由波或以群波的伴隨波之形式存在。港內長週期波動，除了源自於外海入射波浪外，也可能是外海波浪在縮口的港灣入口處，因水體堆積所產生的水動力造波行為。此一因水面傾斜引致的造波運動，可能較容易與港灣自然週期有關。長週期波動研究如能先確認其來源係存在於外海入射波裡，抑或是一種港灣入口處的水動力作用行為，應能避免研究思維過於發散。
2. 針對花蓮港港灣靜穩度進行數模評估中，發現由於港形的特殊，內外港區的波動，大致可以看成由受限航道連通的外港與內港兩個水域，亦可以分開來各自評估。對於外港區波動主要波浪源是入口航道，由內港經由受限航道散射出來的波動影響並不大；內港區的波動則是由入口航道及受限航道自成一體，包含東西船渠等各個分區水域的波動情形。而且港灣會發生共振或長週期振盪，並不一定是整個港灣的波動都很大，而只是某些局部性水域或水道的特殊增幅。如果這種現象屬實，意味著水域的消波措施可以(或必須)分別對兩個港區進行處理。另外，港灣波動模擬不僅是對入射波週期敏

感，也對位置敏感，因為港區波動的短峰波之波峰、波谷與反曲點太多，換個鄰近位置的波高增幅值都不一定類似。所以本計畫採用測區或船席水域面積的平均為參考值。

3. 本年度針對港內消能結構物設計 3 種模型，進行水工模型斷面試驗，這些模型複合 3 種單元，包含堤頂越波排水斜面或弧面、開孔前壁以及後側集水槽。首先確認了港灣消能結構物的消波機制可以用單元性組合，再評估其間的耦合或互制作用。FT02 略優於 FT01 及 FT03，主要原因是多了一個產生渦流設施。FT01 及 FT03 之差異在於氣室的有無通氣孔，三者對長短週期波動的消能各有擅長。但本次試驗發現，即便僅應用到的消能機制為基本設置，也能達到文獻回顧中各種消能結構物反射率在 0.6 以下，顯示如果本計畫之模型能在消波艙內增加消能設施，或有機會優於現有之消能結構物。當然，還是必須要兼顧碼頭之用途。
4. 本次水工模型試驗採用多組波高計配對分析，確認可以縮短後處理的時間，加速試驗作業。

6.2 後續研究規劃

由於本報告為多年期研究計畫之第二年度，還有研究項目等待推動，因此本節在此不做建議而僅陳述後續可進行之研究方向：

1. 消能結構物之改善斷面試驗研究：持續檢視量測與分析資料，並回溯所拍攝的造波監看影片，找出各種配置的優缺點，設法補強或改善。也繼續蒐集並深入檢討各種消能機制，以增強各個模型消波艙內之消能效果。
2. 花蓮港 7 號碼頭與受限航道內之消減波能之斷面試驗研究：明年度將持續從波動力學與水動力學觀點，蒐集與整理水道相關之消能設施與規劃設計，並進行水工模型斷面試驗探討可行性。
3. 港灣波動數值模擬：針對花蓮港的雙船渠特性，先規劃典型的雙船渠港灣進行模擬，以了解其間的互制作用，再針對以花蓮港的受限

航道東西船渠為單元進行港灣波動模擬。

4. 港灣內外聯合波浪觀測資料分析：目前本計畫僅蒐集到 2005 年龍王颱風花蓮港觀測資料，如能蒐集更多花蓮港內外的同步觀測資料，應更有助於後續造波條件的規劃。
5. 針對多組波高計配對分析反射率繼續驗證與改善分析程式。
6. 增加斷面水槽造波後之消波設施，以縮短消波等待時間。

6.3 研究成果及其效益

本計畫針對花蓮港內港區，提出可消減長週期波浪之碼頭斷面型式方案，並研擬適用於國內港灣內的消能碼頭斷面型式，能消減長週期波浪能量，以減少港灣內長週期波浪振盪而造成的避湧次數，可降低港內船隻斷纜的發生機率。

6.4 提供應用情形

本計畫研究成果可提供交通部航港局、臺灣港務股份有限公司、經濟部水利署及各地方政府提升港灣靜穩度及推動海岸防護政策之參據，以及本所海岸及港灣工程相關研究後續探討與運用。

參考文獻

1. Allsop, N. W.H. & A.R. Channell, (1988), “Reflections from Coastal Structures” Conference: 21st International Conference on Coastal Engineering.
2. Allsop, N. W.H. & S. S. L. Hettiarachchi, (1989), “Wave reflections in harbours: design, construction and performance of wave absorbing structures”, Report OD 89, HR Wallingford, 94 pages.
3. Bergmann H and H. Oumeraci, (2000), “Performance of new multi chamber systems vs. conventional Jarlan caisson breakwaters”. VI^{mes} Journées Nationales Génie Civil- Génie Côtier, Caen, France, 17-19 May 2000, pp.299-306, ISBN 2-9505787-5-6.
4. Goda, Y., & Suzuki, Y., (1976). “Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments”. Proceedings of 15th International Conference on Coastal Engineering, Hawaii, pp.828-845.
5. Hiraishi T., (2006) “Development of long period wave absorber”, Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.621-625.
6. Hiraishi, T, and Nagase, K., (2002). “Long period wave absorbing by artificial beach”, Littoral 2002: 6th International Symposium Proceedings: A Multi-disciplinary Symposium on Coastal Zone Research, Management and Planning, Porto, 2002,(2), pp.601-606
7. Huang, Z.H., Y.C. Li and Y. Liu, (2011). “Hydraulic performance and wave loadings of perforated/slotted coastal structures: A review”, Ocean Engineering, Vol. 38, pp.1031-1053

8. Jarlan G.E., (1964). “ Breakwater Structure ” , 美國專利 US3118282 。
9. Kee S.T., Lee S.H., et al., (2006). “Submerged porous plate wave absorber”. Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.626-631.
10. Kirca, V.S. Ozgur and Mehmet Sedat Kabdaşlı, (2009).”Reduction of non-breaking wave loads on caisson type breakwaters using a modified perforated configuration”, Ocean Engineering 36(17), pp.1316-1331.
11. Lee J.L. Y.T. Kim and Shin S., (2014). “Experimental study on the wave reflection of partially slotted wall caissons with single and double chambers”. Ocean Engineering, (91), pp.1-10.
12. Miranda, Filipe, Ana Margarida Bento, João Chambel, Maria Francisca Sarmiento, Paulo Rosa-Santos, Francisco Taveira-Pinto, Tiago Fazeres-Ferradosa, (2023). “A novel and simple passive absorption system for wave-current flumes.” Alexandria Engineering Journal, 71, pp.463-477.
13. Munk, Walter H. (1950) “Origin and generation of waves”. Proceedings 1st International Conference on Coastal Engineering, Long Beach, California. ASCE, pp.1-4.
14. Seelig, William N. and John P. Ahrens, (1981). Estimation of Wave Reflection and Energy Dissipation Coefficients for Beaches, Revetments, and Breakwaters, Technical Paper NO. 81-1, CERC, USACE, 40 Pages.
15. Seelig, William N., (1980), “Two-Dimensional Tests of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters”, Technical Paper NO. 80-1, CERC, USACE, 187 Pages.

16. Sollitt, Charles K. and Cross, Ralph H., (1976). “Wave Reflection and Transmission at Permeable Breakwaters”, Vicksburg, Mississippi: U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC) (Technical Paper, TP 76-8).
17. Straub, Lorenz G., C. E. Bowers, and John B. Herbich, (1957a). “Laboratory Tests of Permeable Wave Absorbers,” Proceedings of Coastal Engineering, 1(5), pp.729-742.
18. Straub, Lorenz G., John B. Herbich, and C. E. Bowers, (1957b). “An Experimental Study of Wave Absorbers,” St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Project Report No. 54 for The Office of Naval Research, Department of the Navy, Washington, D.C., 56 Pages.
19. Taira, Keisuke and Yutaka Nagata, (1968). “Experimental Study of Wave Reflection by a Sloping Beach,” Journal of the Oceanographical Society of Japan, Vol. 24, No. 5, pp. 242-252.
20. Tanimoto K. and Yoshimoto Y., (1982). “Theoretical and experimental study of reflection coefficient for wave dissipating caisson with a permeable front wall”. Report of the Port and Harbour Research Institute, 1982, 21(3), pp.44-77 (in Japanese).
21. Thompson, Edward F., Robert R. Bottin, Jr., and James P. Selegan, (2004). “Effectiveness of Pocket Wave Absorbers in Vertical-Wall, Coastal Entrance Structures,” ERDC/CHL CHETN-III-69, USACE.
22. Walton, Todd L. Jr, (1991), “Wave Reflection from Natural Beaches”, Miscellaneous paper CERC-91-9, CERC, USACE. 42 Pages.
23. Zanuttigh and van der Meer, (2007), “Wave reflection from coastal structures”, Coastal Engineering 2006, pp.4337-4349.

24. 大島香織、森屋陽一，(2005)，“導水板によるスリット構造物の長周期波消波特性”，海洋開発論文集,第 21 卷，第 791~796 頁。
25. 中村孝幸、佐伯信哉、濱野直矢、村上剛、Nyein Zin LATT，(2022)，“一樣斜面を設けた共振装置による長周期波の制御効果”，日本土木学会論文集 B2（海岸工学），78(2)，第 667~672 頁。
26. 井島武士、奥藺英明、蘇棋福、牛房幸光、米村幸久，(1979)，“作用於擁有靜波室開孔防波堤之碎波壓力實驗研究及實例”，第 3 屆海洋工程研討會論文專輯，第 63~77 頁，臺灣。
27. 王芳宇、巫子揚、黃劭華、鄭智超、鄭劍豪、葉子怡、王雪迎、倪旭暉、施俊超、陳燕玲、林嘉琪、林炤圭，(2019)，“直立摺頁板開孔式結構物之消波特性改善研究”，中國水道港口，第 40 卷第 1 期，2019 年 01 期，第 35~40 頁。
28. 仲井 圭二，(2013)，“沿岸域の長週期波に関する研究”，日本九州大学学術情報リポジトリ，139 頁。
29. 李健鴻，(2010)，越波式消能結構物之研究，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程研究所，77 頁。
30. 林炤圭、許師瑜，(2024)，“岸壁非定值反射率對港灣波動評估模式之影響”，港灣季刊，(129)，第 1~19 頁。
31. 林炤圭、連皓宇、張維庭、蔡世璿、李大鴻、林蔚、林鵬、阮天野、陳池威、陳德鋼、楊升耀、楊輝斌、歐陽榮桓，(2017b)，“新型設置導流板之直立開孔式結構物的消波特性初期研究”，海洋工程學刊，第十七卷 第四期，第 242~268 頁，臺灣。
32. 林蔚、林鵬、陳池威、李大鴻、陳德鋼、楊升耀、歐陽榮桓、阮天野、楊輝斌、林炤圭，(2017a)，“直立摺頁板開孔式沉箱之消波特性初期研究”，中國海岸工程，2017(04)，第 11~19 頁。

33. 許師瑜、李建鴻、楊國誠、蔡金吉、邱永芳、林炤圭，(2017)，“內建斜坡式消能碼頭之開發研究”，海洋工程學刊，第 17 卷，第 2 期，第 91~113 頁，臺灣。
34. 許師瑜、林受勳，(2024)，“長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討，交通部運輸研究所。
35. 陳文生(2000)，孔隙結構物附近之不規則波斷面試驗研究，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程研究所。
36. 葉子怡、王雪迎、倪旭暉、施俊超、陳燕玲、林嘉琪、巫子揚、王芳宇、黃劭華、鄭劍豪、鄭智超、林炤圭(2018)“廢舊輪胎型消波結構物特性之初期研究”，中國海岸工程，第 38 卷第 1 期，第 40~51 頁。
37. 蔡世璿 (2018)，活動式摺頁板開孔結構物的消波能力水理特性研究，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程系，110 頁。
38. 蘇棋福、井島武士、詹政祥、陳樹旺、村山盛見，(1979)“萬代福直立式靜波牆沉箱碼頭在本省各海岸應用之特徵”，第 3 屆海洋工程研討會論文專輯，第 139~157 頁，臺灣。

附錄一

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所 113 年度自行研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-113- H2CA001e 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花

蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

執行單位：運輸研究所運輸技術研究中心

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形
(一)臺灣港務股份有限公司(退休) 鍾英鳳委員	
1. 第 1-2、1-3 頁研究項目與研究方法撰寫內容差異不大，建議項目及內容以條列之方式撰寫。方法中消能碼頭之選定是由什麼方式來確定，目的應是消除花蓮港港池振盪之能量為主。	第 1-2 頁研究項目係闡述本計畫三年期各個年度之執行進度與規劃內容；第 1-3 頁則條列說明本年度各研究項目執行方法。 有關消能碼頭的選定，係依據(報告第 1-1 頁)112 年 12 月 14 日花港分公司「花蓮港-港池共振內港削減改善討論會議」之結論：「因花蓮港內港未來十年規劃轉型朝向發展觀光遊憩，港池共振是花蓮港長久問題，...。國內外已有相關消能設施案例，建議可考量花蓮港受限航道段整建為消波岸壁、7 號與 12 號碼頭整建為消波岸壁、9 號至 16 號碼頭間水域增建消能擋浪堤、或其他可能工程方案等，做為削減港池共振之評估方案。」所定之目標碼頭。
2. 圖 2.2 請補充說明其意義，如圖中 10sec(紅字)代表什麼？上方有 30sec、<10sec...表示什麼？又 90sec 之長週期波在哪一張圖。	圖 2.2 各子圖下方之秒數，係為方便討論 2005 年龍王颱風時期之能量變化情形，而在頻率軸下加註對應的週期，便於觀察各時段波浪能量如何從一般風波轉換到長週期部分。2005/10/1 06 時即有出現 90 秒以上之長週期波能量，於第 2-4 頁圖 2.2 中可見。
3. 第 2-6 頁 1.消能斜坡...「可能因為水下直立壁反射緣故，不連續	第 2-6 頁係回顧 Straub et al.(1957a & b)針對多種海灘斷面所進行之斷面

的海灘…」請詳加說明。第 2-11 頁「可能與沙灘排水不良…」應該以砂粒徑太小孔隙率是否較小？消能是否與孔隙有關？另以長週期來看砂之孔隙相對是小的。	試驗結果，請見圖 2.4 型式 A 之不連續海灘水下直立壁。 第 2-11 頁委員所提文字是本報告嘗試去闡述 2 個沙灘的主要粒徑都介於 0.15-0.3mm 屬於細沙，消波效果不好，尤其是對於長週期波。本計畫從去年度即一再檢視自然消波海灘的消能效果，也從諸多防波堤外側拋放大量消波塊，卻仍會偶發波浪越堤事件，領悟到多孔隙結構物在充滿水(大地工程中所謂的飽和含水)的狀態下，消能效果會減少。
4. 第 2-12 頁 2(1)波高..增加而降低—>？是否正確。在(2)中無波高這一因素。另文獻蒐集相關圖說字太小或不清楚，不易閱讀。	該項(2)係 Sollitt and Cross(1976)綜合當年的模型試驗所作的結論，其反射係數受波高變化影響並不明確。基於 1976 年印刷與資料留存技術均不如今，本報告已盡量改進。
5. 文獻回顧中消能斜坡與拋石堤二者結合一起，以斜坡角度、材質為分類說明。	雖然消能斜坡與拋石堤皆具有斜坡外型，但消能機制具有差異，難以明確分類說明。消能斜坡著重在促進波浪溯升、越波與排水以減少波浪能量的反射，但拋石堤則著重於利用多孔隙與摩擦消能。
6. 第 2-22 頁圖 2.27 是用週期多少的波浪，及其反射四種狀況似乎均相同？請補充說明。	補充數值造波水槽之反射率結果，如圖 2.27。
7. 對於第 2-17 頁直立型消能結構物可否有相關長週期波浪消能之成效文獻報告？波長是多少？	所有蒐集到相關直立式消能結構物的文獻回顧，並非針對長週期波所規劃，但有文獻提及若有 40m 以上的縱深，將可有效地削減 30sec 的長週期波。
8. 依第 2-23 頁中消波室縱深 $B=(2n+1)/4$ 倍波長，顯示不同波長、消波室縱深不同，所以在此做減波能就有範圍限制。	該段文字係 Huang 等人(2011)整理 1974 年至 2010 年間的 109 篇 Jarlan 型直立式消能結構物相關文獻所作歸納，的確消波範圍侷限在各文獻的波浪條件與尺寸內。

9. 建議瞭解目前花蓮港港池振盪要解決的是內港或外港，並查有無相關文獻瞭解發生時期之波高、週期及各碼頭振盪的情形。	有關花蓮港港池振盪包括長週期部分，在 112 年報告中有較詳細的回顧與討論。目前本所已於花蓮港內設置靜穩度計，後續將有相關分析的研究發表。
10. 建議第 3-10、3-11 頁依週期來敘述影響情形。又圖 3.12 與 3.13 在完全反射情況下，線型為何差距如此大。	第 3-10 頁及第 3-11 頁的確是以週期表示港灣波動數模的結果。圖 3.12 及圖 3.13 因岸壁反射特性不同，確實可能在某些測站水域得到較大的差異值。
(二)國立臺灣海洋大學 翁文凱委員	
1. 長週期波的消能具有相當的難度，建議訂定改善目標。因為無法完全消除長週期波，建議先釐清危害標準，藉以做為改善的效果確認依據。	本計畫屬於任務型導向的試驗研究—改善花蓮港長週期波動問題，自始即不以消滅任何週期波浪為目標，而僅是檢討如何將港內波高(能量)降低，因此本計畫著重於針對花蓮港已知的現象進行瞭解與尋求解決之道。至於危害標準的釐清，由於目前港內觀測資料不足，因而僅能參考花蓮港分公司的避湧標準：於異常氣候影響下，外港 25 號碼頭示性波高大於 1m。
2. 報告書中數模與試驗結果圖應放大，以避免判讀困難或錯誤。	圖幅已檢討並適量放大。
3. 建議報告成果說明加強論述。	成果部分已於內文補充說明。
4. 本研究嘗試以流體渦流與摩擦等機制消減波能，建議計算說明消減量。	本計畫僅從應用觀點測試導流與渦流效應，應用在可能適合花蓮港的消能式碼頭之消能效果，暫屬於特性研究，待確定功效後，未來或將再進一步針對尺寸等條件進行定量討論，以加強改善效能。
5. 建議可嘗試利用能譜分析反射率進行討論。	本項試驗的基本分析已完全包含波浪時序列觀察、零上切分析、FFT 波譜分析，確認取樣的時段後再進行 Goda & Suzuki(1976) 的兩點法分析。且進一步以多組波高計配對，避

	免人為主觀的擷取選用波形分析，其中有關於全波列分析即為 Goda & Suzuki(1976)用波譜觀念所推導的求反射率公式。
(三)國立成功大學水工試驗所 江文山委員	
1. 報告內容建議略做調整與補充，第三章內容請再加強說明。	已依委員所提建議進行調整與補充。然因本計畫著重於斷面水工模型試驗與複合式消能結構物的組合研發(即第四章以後)，港灣波動模擬僅為一佐證參考。
2. 關於“選定花蓮港 7 號碼頭，以增改建為消能式結構的方式為工作目標”，請加強設定目標的考量因素。	7 號碼頭係依據(報告第 1-1 頁)112 年 12 月 14 日花港分公司「花蓮港-港池共振內港削減改善討論會議」所做之結論：「因花蓮港內港未來十年規劃轉型朝向發展觀光遊憩，港池共振是花蓮港長久問題，...。國內外已有相關消能設施案例，建議可考量花蓮港受限航道段整建為消波岸壁、7 號與 12 號碼頭整建為消波岸壁、9 號至 16 號碼頭間水域增建消能擋浪堤、或其他可能工程方案等，做為削減港池共振之評估方案。」所定之目標碼頭。
3. 第 2-3 頁頻譜分析參數請補充說明，建議改變參數使頻譜特性更顯著。	該分析並未引用理論頻譜，僅是利用觀測資料進行分析，以觀察頻譜能量的集中情形，亦並未迴歸經驗波譜。
4. 數值模式的理論基礎，請補充說明，設定之波浪條件亦請說明。	相關理論說明已增列。波浪條件如第 3-7 頁所述：為正東向入射，週期 3~30 秒間距 0.1 秒，以及 30~250 秒間距 1 秒，波高則假設為 1 公尺。
5. 非定值反射率設定是否為實務上的特定條件？	目前非定值反射率的設定係參考消能斜坡的水工模型試驗成果(李健鴻，2010 碩士論文)，後續可依本計畫選定的消能結構物反射率曲線，再重新進行花蓮港之港灣波動數值模擬。

6. 第 3-10 頁各種模擬方案的比較，以同方案不同計算方式呈現，建議比較不同方案、相同計算方式的結果，以利瞭解改善效果。	圖 3.10 呈現不同 Kd 值選用方式的比較結果，為討論若僅以單一節點的數值結果來檢討一個水域靜穩度的優劣，可能會造成誤判。 有關港灣波動模擬的結果，分別於圖 3.11 全港域之波高增幅係數圖與圖 3.12~3.13 模擬方案波高增幅係數之差值來呈現。
7. 模擬結果中部份完全消波的條件結果比完全反射結果差，請再多加探討。	數值模擬岸壁完全消波之港灣波動結果，部分點位出現比完全反射結果較差是有可能發生的。
8. 第 3-14 頁請針對模擬結果再補充。	模擬結果已於第 3.2.2 小節內文補充說明。
9. 試驗條件的非線性參數請列表說明。	試驗條件中並未涉及非線性波的試驗，分析波譜中出現一支以上譜峰的情形，應是在單一週期波試驗中，消能結構物的波浪正向反射(單向合成波)可能改變相位與週期、反(散)射波的多方向性及水槽側壁反射(多方向合成波)為最大可能。
(四)臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司工程處 鄭璟生委員	
1. 消能構造物相關文獻蒐集詳盡。	感謝委員肯定，後續將再努力。
2. 本篇報告架構完整，三種模型消波能力交叉比較結論明確，但個別方案之消波能力結果描述略顯不足。	有關個別方案之消波能力結果已加強論述。
3. 第 3.2.2 節數值模型討論是本篇報告的重點之一，可探究#7 碼頭改善對於花蓮港水域消波功能影響範圍，其中第 3-11 頁所述圖 3.11 顯示外港區的波動差異不大，主要差異從受限航道開始，而且入侵波浪似乎以 19 號及 20 碼頭為第一主要反射區……結果論述文字一段，反映出實務上花蓮港 19 號及 20 碼頭確實會有裝卸船舶反	圖幅已檢討並適量放大。

映港池穩靜不佳的情形。另圖 3.9、3.10、3.11 等波高增幅比較圖實在太小，十分不易閱讀!!!	
4. 報告第 4-6 頁至 4-8 頁提出本報告採用 4 種消波模型，模型設計的條件敘述清楚，但第 5.6 節僅見三種模型消波能力之交叉比較。而本節應該是本報告最精彩的重點篇章，但未見對各方案結果較詳細的描述，與方案組合的結果描述，建議補足。	成果部分已於第 5.6 節內文加強說明。
5. 下一期執行斷面分析的方式是否延續本次所提 3(4)種消波方案?未來導入消能工程之場址與方案組合會是重點。	下一期(114 年)計畫將以本年度之消波方案為基礎，加強探討消波艙消波功能。
6. 建議下一期消能方案可依結論建議納入艙內消能設計的分析結果討論，探求反射率是否能如預期降至 0.6 以下。	如第六章所述，本計畫第 3 年度將著重與消波艙消波功能的加強。以將反射率降低到 0.6 以下為目標，但朝 0.4 努力。
7. 本期報告聚焦 7 號碼頭設置消能設施之試驗分析討論，肯定本報告研究方向，依據 112.12.14 本公司與貴中心研商決議，期待本案 3 年計畫及接續 116 年度花蓮港港池穩靜改善計畫完成後，能就花蓮港 #7 碼頭設置消能設施、#10~#16 水域(東船渠)設置擋浪堤(因配合亞泥中鋼搬遷後發展風帆船基地需要)、受限航道改善為消能岸壁、與貴中心刻正評估之新東堤 0k+000~0k+520 港側萬代福構造段增拋 40 噸雙 T 塊等可行性納入評估並獲有具體成果。	本意見將轉交相關子計畫參酌辦理。
(五)本所運輸技術研究中心第二科 李俊穎研究員兼科長	
1. 本計畫進行三種消波設施水工斷面試驗加以分析並取得良好成果	感謝委員肯定，後續將再努力。

值得肯定。	
2. 圖 4.5 建議放大詳細尺寸。	因 3 種模型只是概念性模型中配合斷面水槽與造波條件的暫行尺寸，例如木心板的厚度，並非符合工程實務的最佳尺寸，已適量放大。
3. 第 5-17 頁建議製表說明方案及成果。	方案及成果已製表，如表 5-1。
4. 部份圖面太小，不易辨識其內圖案及文字，建議放大。	圖幅已檢討並適量放大。
(六)本所運輸技術研究中心第三科 蔡世璿副研究員	
1. 第 2-2 頁，第 1 段第 6 行，「30 以下」缺少「秒」；第 2 段第 4 行，「觀」測資料，文字是否誤繕，請修正。第 2-26 頁，第 2 段第 4 行，「0.2 以下」多一空白，請修正。第 2-37 頁，第 3 段第 4 行，「常」週期波浪消減，文字誤繕，請修正。	已修正完成。
2. 第 3-3 頁，第 1 段第 5 行，「6 號碼頭為板樁式碼頭，如圖 3.5 所示」，與第 3-6 頁圖標題描述不一致，請修正。	已修正完成。

附錄二
期末審查簡報

長週期波斷面模型試驗(2/3)

花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究 初探

期末審查

簡報者：許師瑜 助理研究員

113.12.30

長週期波斷面模型試驗(2/3)

花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

人力分配

經費: 1230千元
來源: 本所業務費

類別	姓名／職稱	主要工作內容
計畫主管	蔡立宏/主任 柯正龍/副主任 李俊穎/副研究員	監督計畫執行
計畫主持人	許師瑜/助理研究員	計畫統籌、文獻資料蒐集分析、斷面水槽測試、試驗規劃及報告書撰寫
研究人員	林受勳/助理研究員	協助斷面水槽測試、試驗規劃及工作時程安排進行
研究/計畫 參與人員	李江澤/技工	斷面水槽測試、模型及設備布置
	陳天時/技工	斷面水槽測試、模型及設備布置

簡報內容

壹、緒論

貳、文獻回顧

參、花蓮港改善碼頭位置選定

肆、消能碼頭水工斷面模型試驗

伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果

陸、結論與後續研究規劃



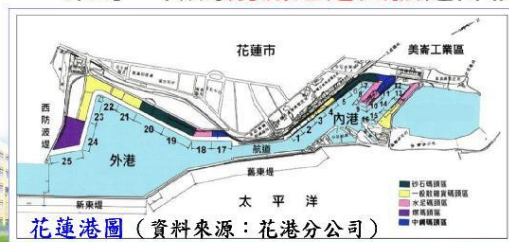
壹、緒論 / 研究緣起與目的

- ✓ 長週期波浪若傳遞至近岸，因其動量較大加上碎波，將會造成平均海水位向岸抬升。再加上地形效應與其他風波的能量，可能引致港灣內靜穩度降低、越波及海水溢淹等危害，亦或發生船隻斷纜與海岸結構物的破壞，甚至影響到港內船舶航行或停泊、沿海居民生命財產及行車的安全。
- ✓ 本年度計畫乃以改善現有碼頭型式為研究課題，期望利用降低港內長週期波浪能量的方式，減緩花蓮港的長週期振盪，同時達到提高港內的靜穩度之目的。



壹、緒論 / 研究緣起與目的

- ✓ 112 年 12 月 14 日臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司召開「**花蓮港-港池共振內港削減改善討論會議**」所做之結論：「因**花蓮港內港未來十年規劃轉型朝向發展觀光遊憩**，**港池共振**是花蓮港長久問題，並直接影響內港水域能否做為**風帆船或遊艇基地**之發展。國內外已有相關消能設施案例，建議可考量**花蓮港受限航道段整建為消波岸壁**、**7 號與 12 號碼頭整建為消波岸壁**、**9 號至 16 號碼頭間水域增建消能擋浪堤**、或其他可能工程方案等，做為**削減港池共振**之評估方案。」



壹、緒論 / 研究項目與內容

- 112年** 蒐集回顧國內外長週期波動特性相關研究及其所造成的災害資料
另綜整歸納長週期波所造成之破壞機制與對策
以花蓮港所遭遇的問題為主軸，研擬可能消減長週期波浪作用的結構或設施之雛形
- 113年** 先蒐集研讀國內外有關港灣內具消能機制的碼頭與構造物型式之文獻資料，以分析歸納可消減長週期波能之結構物型式
選定標的碼頭位置及規劃消能碼頭型式，
執行斷面水工模型試驗，針對現況碼頭與新型消能碼頭的斷面
綜合第一年的研究成果及今年之試驗成果，研擬消能碼頭斷面型式建議，尋求降低長週期波的能量與反射率，以改善港內振盪現象
- 114年** 應用前二年的研究成果，進行改善後斷面的水工模型試驗，並另探討於束縮的受限航道增加消能結構物或設施
驗證消減結構物受力及反射率的成效。最後作綜合整理與評估，以提出國內近岸抵禦長週期波浪的結構物或設施型式

壹、緒論 / 研究方法

文獻與資料蒐集研讀：

- 蒐集研讀國內外有關港灣內消能結構物的相關文獻，並彙整研讀花蓮港碼頭興建及修繕相關資料。

選定碼頭位置及規劃消能碼頭型式：

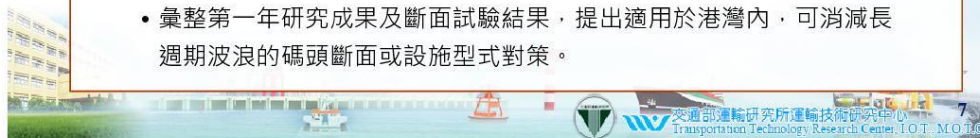
- 依據本所執行花蓮港現場觀測與港灣波動模擬結果，選定一適宜的花蓮港碼頭位置及規劃消能碼頭型式，分別進行長週期波浪作用下的斷面水工模型試驗。

港灣內長週期波作用下斷面試驗：

- 規劃佈置試驗量測項目，進行長週期波作用下之斷面模型試驗，以探討碼頭型式改善前後的反射率差異。

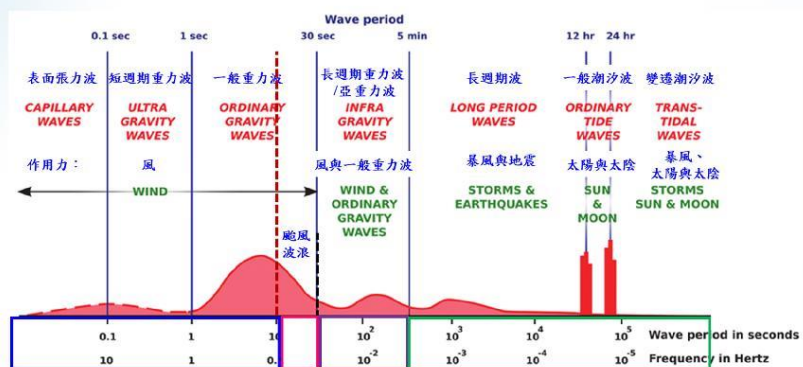
分析斷面試驗結果及改善提案：

- 彙整第一年研究成果及斷面試驗結果，提出適用於港灣內，可消減長週期波浪的碼頭斷面或設施型式對策。



貳、文獻回顧/ 長週期波相關研究

Munk(1950)將海洋波浪依週期分為：

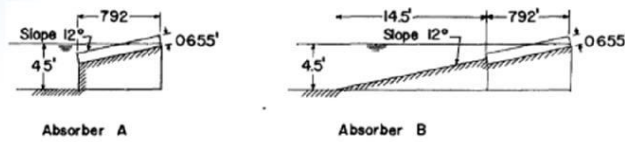


日本NOWPHASE



貳、文獻回顧/ 消減港灣長週期波相關研究

消能斜坡



連續性與非連續性消能斜坡之反射係數比較
(Straub et.al, 1957a & b)

拋石堤結構物→多孔隙結構物

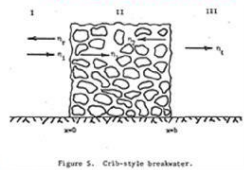


Figure 5. Crib-style breakwater.

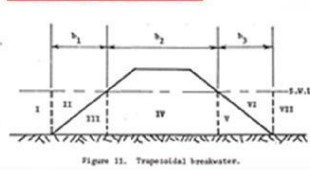


Figure 11. Trapezoidal breakwater.

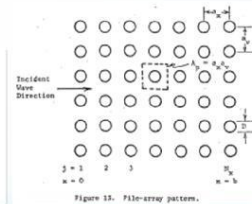


Figure 13. File-array pattern.

箱籠式防波堤

梯形拋石堤

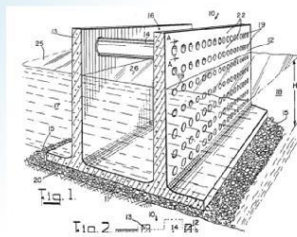
群樁式防波堤

3種型式防波堤 (Sollitt and Cross, 1976)

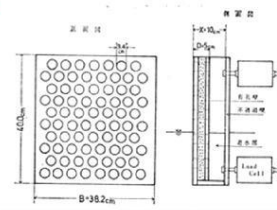


貳、文獻回顧/ 消減港灣長週期波相關研究

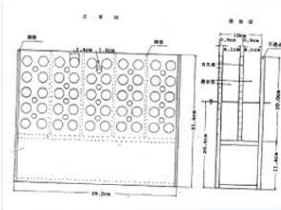
直立型消能結構物



Jarlan型式消波結構物
(Jarlan, 1964)

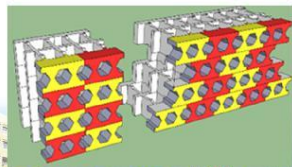


單消波室

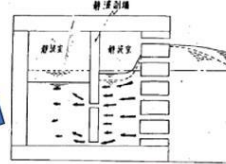


雙消波室

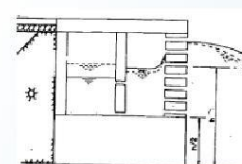
井島等人 (1979) 多孔隙消波室防波堤模型



萬代福直立開孔式消能碼頭



雙靜波室型碼頭

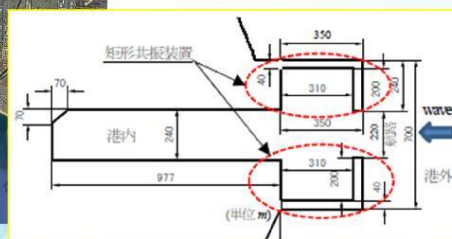
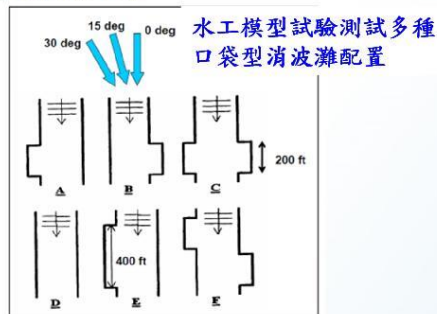


混合型碼頭 (雙靜波室)

直立開孔式靜波牆沉箱碼頭 (蘇等人, 1979)



共振箱效應



日本(2015)

第31回台日工技術懇談会

日本の港湾における長周期波対策

国立研究開発法人 港湾空港技術研究所
海洋研究領域 波浪研究チーム
チームリーダー 平山克也

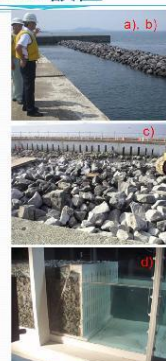
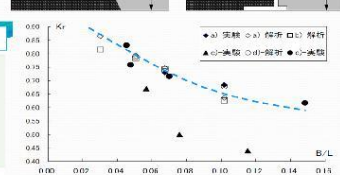

National Research and Development Agency
FRAI
Research and Development Research Institute
横浜市東区岡本町

a) 捨石造堤堤

b) 捨石不透堤堤

c) 両面スリットケーソン+消波層

d) スリット付L型ブロック消波層



反射面
スリット面
側壁面
底面

捨て石型に比べると
反射率は高い

[押し潰し]
底面が凹み、反射率低下

[引き出し]
底面が凹み、反射率低下

反射率 (%)

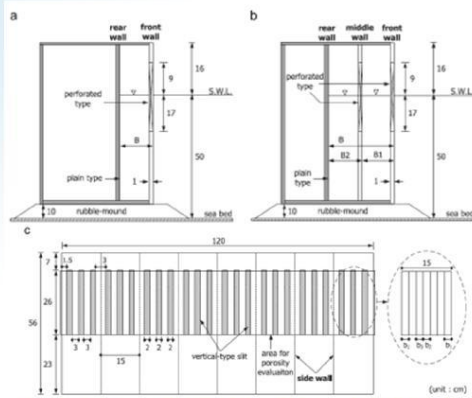
周波数 (G)

● 周波数計 (BW=0.2mm)
○ 合成紙5+30s
□ 合成紙5+60s
△ 合成紙5+90s
◇ 合成紙10+30s
△ 合成紙10+60s
△ 合成紙10+90s

長周期波に対する反射率	
構造様式	反射率
直立岸壁	1.0
両面スリットケーン護岸, 人工海浜等の透水性構造物	0.7
消波ブロック被覆護岸, 直立消波護岸(スリットケーン等)	0.9~1.0
自然海浜, 干潟	0.5~0.7

貳、文獻回顧/ 消能碼頭與設施相關研究

開孔沉箱



內設導水板開孔沉箱

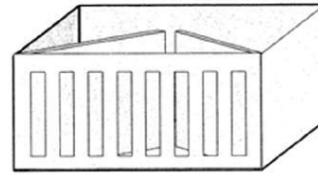
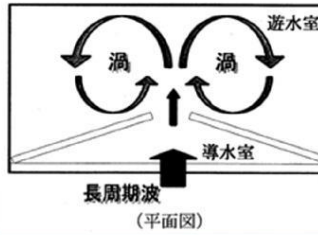


圖-6 模型前面形狀 (前面スリット)



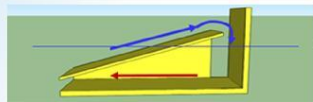
部分開孔沉箱結構物的水工試驗模型
(Lee et al., 2014)

導水式開孔沉箱之模型配置
(大島和森屋, 2005)

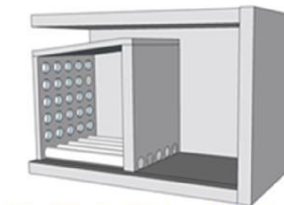
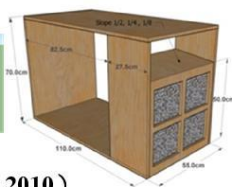


貳、文獻回顧/ 消能碼頭與設施相關研究

斜坡式消能沉箱

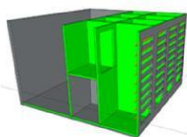


越波式消能斜坡
(李, 2010)

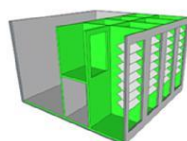


長波抗浪型断面建議模型
(林等人, 2012)

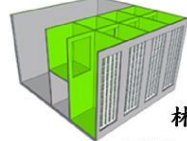
各型式開孔沉箱



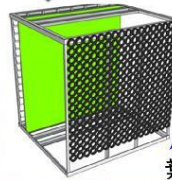
活動摺頁板
林等人 (2017a)



上斜板及下斜板型式
林等人 (2017b)



短狹縫型
林等人 (2017b)

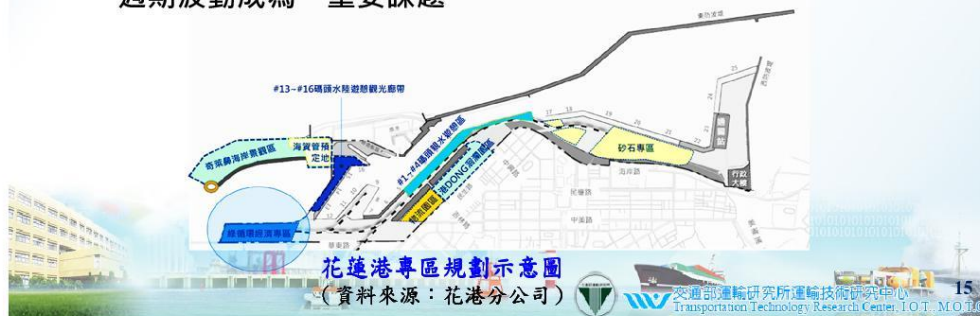


廢輪胎彈性壁
葉等人 (2018)



參、花蓮港改善碼頭位置選定/ 花蓮港簡介

- 花蓮港於民國80年12月完成的**第四期外港擴建工程**，讓花蓮港的港形呈現為狹長形，中間以束縮航道連接內港區與外港區，並開始面臨**港池共振**的問題，也讓各界持續至今仍在尋找解決方案。
- 目前花蓮港正在推動**花蓮國際商港轉型兼具觀光遊憩發展**，規劃將**港區觀光遊憩發展區**分別變更為「**港埠事業遊憩服務專用區**」與「**港埠事業旅遊服務專用區**」，如何減緩港內長週期波動成為一重要課題。

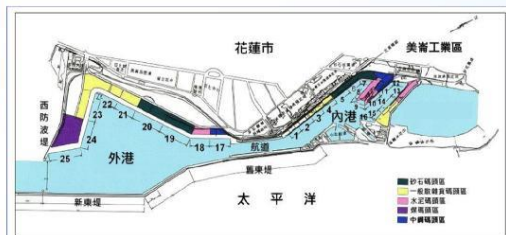


參、花蓮港改善碼頭位置選定/ 花蓮港簡介

- 花蓮港之**內港區**有16座碼頭（#1～#16），內港區之碼頭型式多為重力式，少部份為板樁式，即碼頭岸壁則皆為**直立壁**。**外港區**則於民國80年12月新建完成9座深水碼頭（#17～#25），25號為重力式碼頭，其它8座碼頭皆為**萬代福消波塊**搭配方塊混凝土型式，**萬代福消波塊**深度僅約5公尺，高度則約為**4.5~6公尺**，對於波浪能量的削減效能有限。



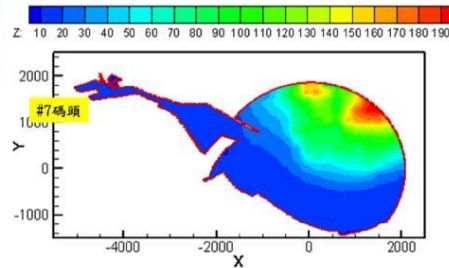
花蓮港內港#7碼頭
(資料來源：花港分公司)



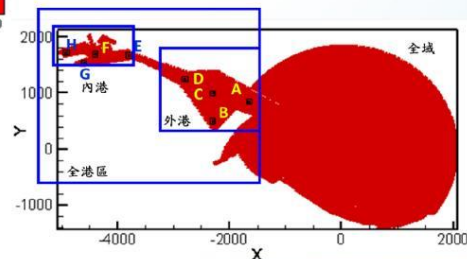
花蓮港圖
(資料來源：花港分公司)

參、花蓮港改善碼頭位置選定/ 數值模擬

- 考量未來花蓮港內港東船渠9號至16號碼頭間水域，可能增建消能擋浪堤，因此先選定花蓮港內港西船渠底7號碼頭做為改善標的，利用港灣數值模擬，討論將7號碼頭改變為消能型式後，對於花蓮港之港灣靜穩度的影響為何。



數值模擬範圍及地形



數值網格、測點位置及討論水域

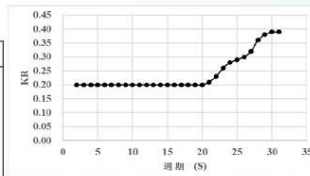


參、花蓮港改善碼頭位置選定/ 數值模擬

- 在假設其他岸壁採用固定值反射率前提下，7號碼頭岸壁的消波能力配置有3種：
- 配置一：港形一假設7號碼頭為**完全反射**（模擬最惡劣情形，LAY01KR1）；
 - 配置二：港形一假設7號碼頭為**完全消波**（模擬最佳情形，LAY01KR3）；
 - 配置三：港形二假設7號碼頭為**非定值反射率岸壁**（LAY02KR2）。

9個位置岸壁類型的反射率設定表

Case	週期	岸壁類型									備註
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
LAY01KR1	5s~30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	Type 1: 東防波堤外側及至東側水頭前內側 Type 2: 東側水頭 Type 3: 港區全區 Type 4: #12~#14碼頭 Type 5: #15碼頭 Type 6: #8~#11碼頭 Type 7: #7碼頭 Type 8: 所有內港碼頭 Type 9: 西防波堤外側及至西側水頭前 V: 碼頭間地形之反射率
LAY01KR1	>30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	
LAY02KR2	5s~30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.2~0.39(V)	1.0	0.5	
LAY02KR2	>30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.39	1.0	0.5	
LAY01KR3	5s~30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0	1.0	0.5	
LAY01KR3	>30s	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0	1.0	0.5	

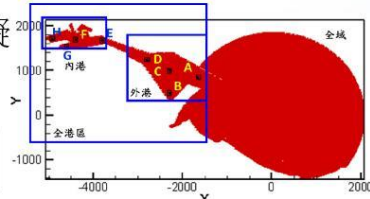


非定值反射率設定值



參、花蓮港改善碼頭位置選定/數值模擬

- 顯示7號碼頭消波能力的改善，對整個港區大部分週期的波動都有助益。



外港區
3s~250s

#7完全反射
LAY01KR1

#7改善
LAY02KR2

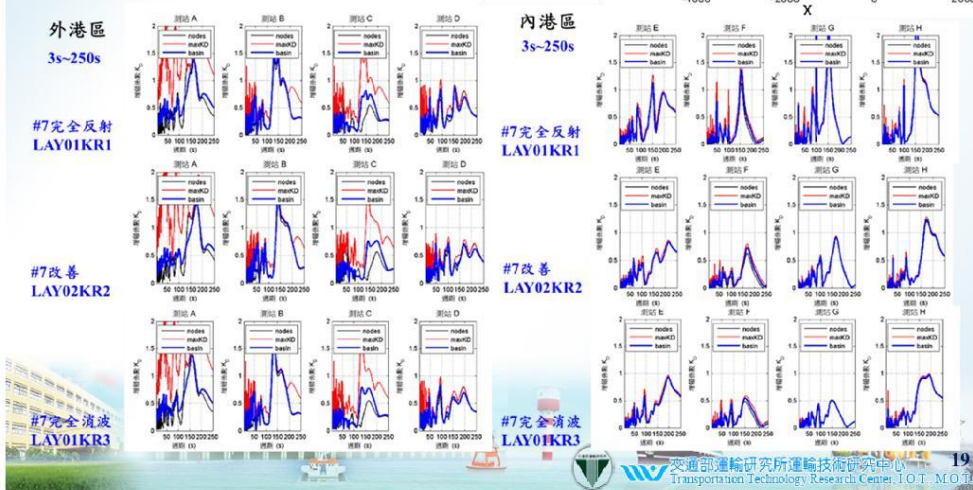
#7完全消波
LAY01KR3

內港區
3s~250s

#7完全反射
LAY01KR1

#7改善
LAY02KR2

#7完全消波
LAY01KR3



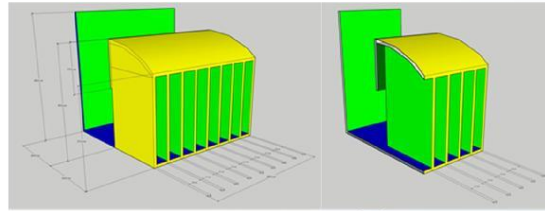
肆、消能碼頭水工斷面模型試驗/水工斷面試驗室簡介

- 水槽內尺寸為1.5m寬、2m高及全長約100m。
- HR Wallingford斷面造波系統與8頻道電阻式波高計系統。

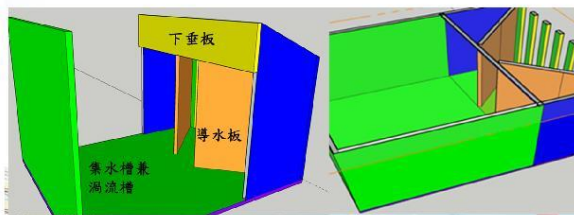


肆、消能碼頭水工斷面模型試驗/ 新型消能碼頭研擬

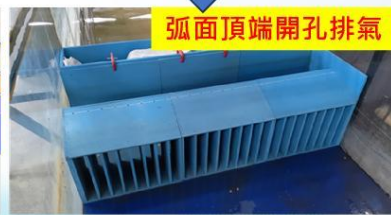
模型縮尺：1/25



模型一 (FT01)



模型二 (FT02)



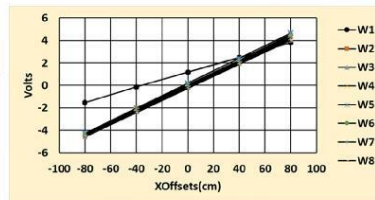
模型一改造 (FT03)



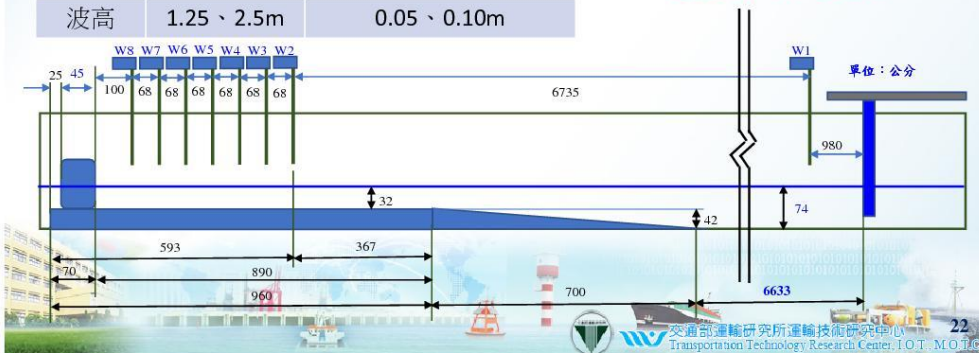
肆、消能碼頭水工斷面模型試驗/ 試驗設計

模型縮尺：1/25 造波120秒，擷取300秒

內港#7	現場	試驗
水深	EL-6.5m~ EL-8m	EL-0.26m~EL-0.32m
週期	4.5~25sec	0.9、1.0、1.1、1.5、2、 2.5、3、3.5、4、4.5、 5sec
波高	1.25、2.5m	0.05、0.10m



8支波高計率定結果



肆、消能碼頭水工斷面模型試驗/ 試驗分析

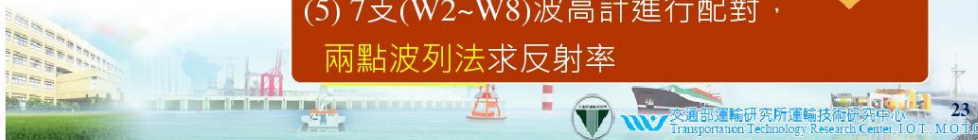
(1) 波列傳播過程及穩定分析

(2) 零上切個別波分析

(3) FFT波譜分析

(4) 7支(W2~W8)波高計進行配對，
兩點個別波法求反射率

(5) 7支(W2~W8)波高計進行配對，
兩點波列法求反射率



肆、消能碼頭水工斷面模型試驗/ 試驗分析

波高計配對分組條列如下：

第一組：W2-W3、W3-W4、W4-W5、W5-W6、W6-W7及W7-W8；

(相鄰)

第二組：W2-W4、W3-W5、W4-W6、W5-W7及W6-W8；

(間隔一支)

第三組：W2-W5、W3-W6、W4-W7及W5-W8；

(間隔兩支)

第四組：W2-W6、W3-W7及W4-W8；

(間隔三支)

第五組：W2-W7及W3-W8；

(間隔四支)

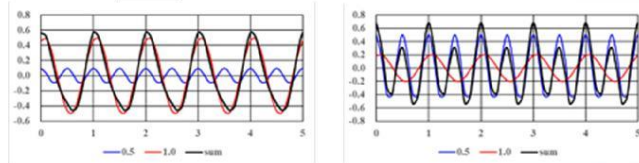
第六組：W2-W8。

(間隔五支)

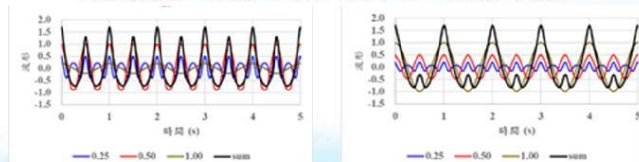


伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ 理論波形線性疊加

- 如果斷面水槽規則波試驗過程中仍屬於**二維長峰波運動**，則量測波形應保持相同週期的波動；一旦出現**不同週期波動**，表示可能有**側向的三維波動或因碎波或其他機制**產生不同週期的波動，其波形將**不會保持規則三角函數波形**。



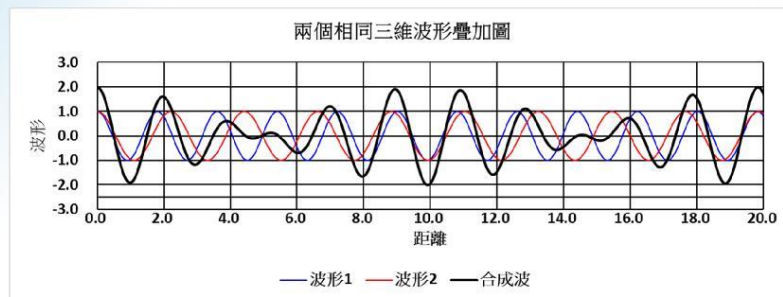
2倍頻波但振幅及相位不同之正弦波的疊加



3倍頻波但振幅及相位不同之正弦波的疊加



伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ 理論波形線性疊加

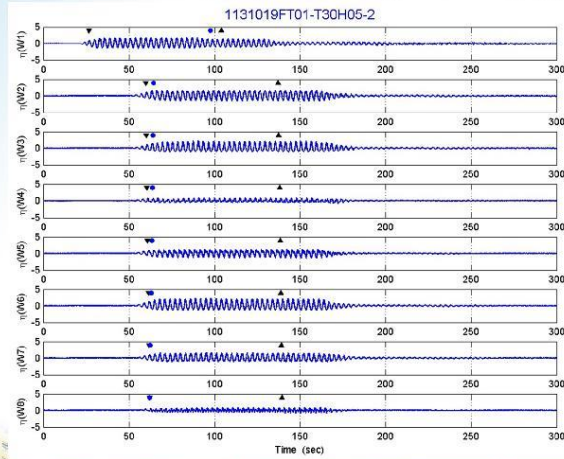


- 兩個三維同週期波形，即**週期、振幅與相位相同**但有**不同的方向角**之合成波形
- 只有不同方向的三維波浪疊加，才會在斷面水槽裡看到**短峰波**，個別波分析中，如何才會測到兩組波高和週期不同的波浪
→**斜向或多方向反射**



伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ 波形時序列之觀察

(日期、模型、週期3秒、波高5公分、第二次重複)

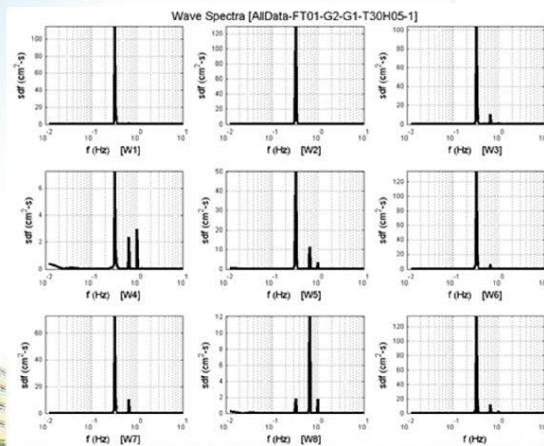


▼：入射波到達時間
●：一次反射波到達時間
▲：二次反射波到達時間

□ 自通過W1入射波之波形大於1公分開始起算到達時間(leadtdt)，配合水深及週期透過分散關係式計算波速，再據以推算「理論」通過每支波高計的時間(包含入射波、一次反射及二次反射波)。

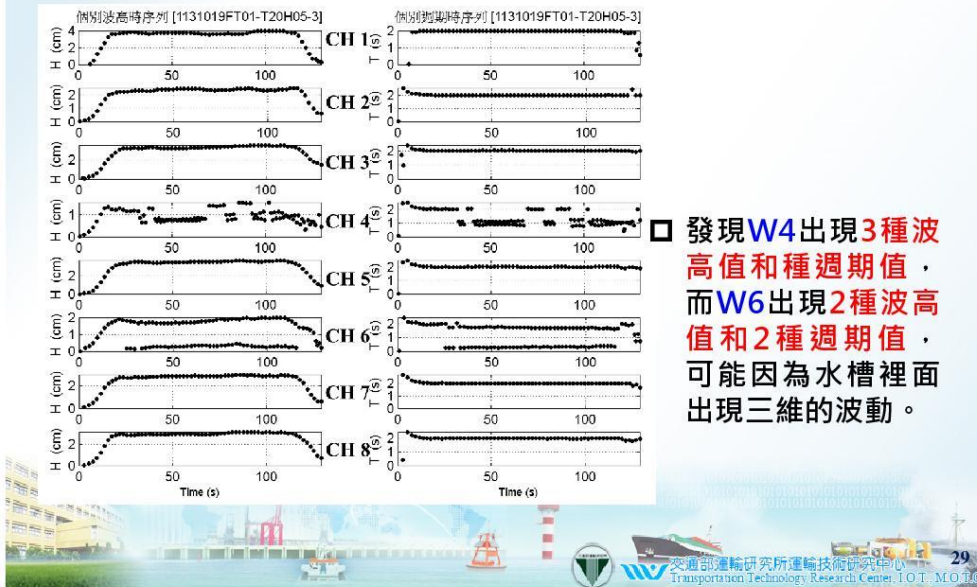
伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ FFT分析波譜圖之觀察

W1	W2	W3
W4	W5	W6
W7	W8	W1~W8 波譜疊加



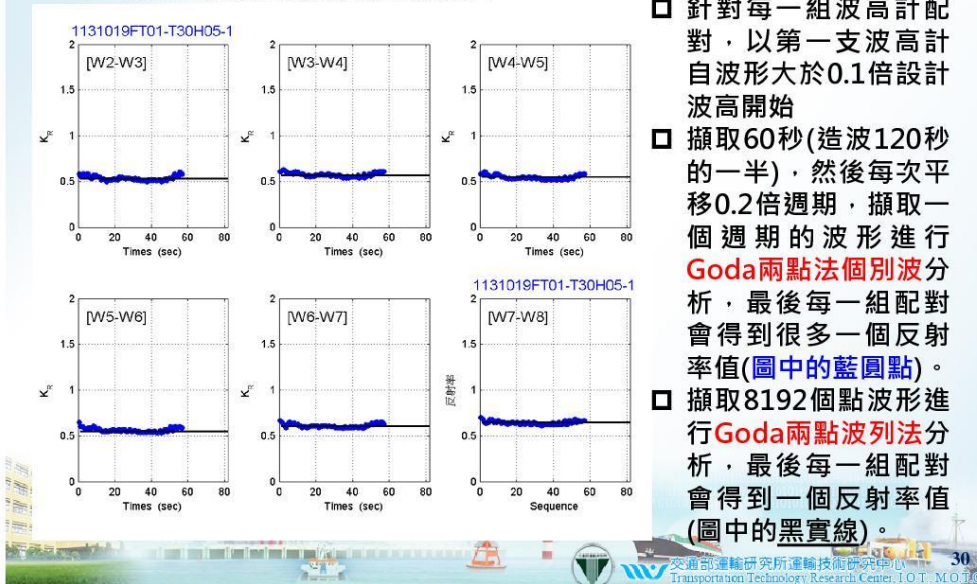
□ W3、W6及W7呈現雙脈衝譜；但W4、W5及W8則出現三脈衝譜，而W8更是倍頻能量高於主頻，顯然不是非線性波。藉此發現消能結構物可能會引發三維的斜向反射波。

伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ 零上切時序圖之觀察



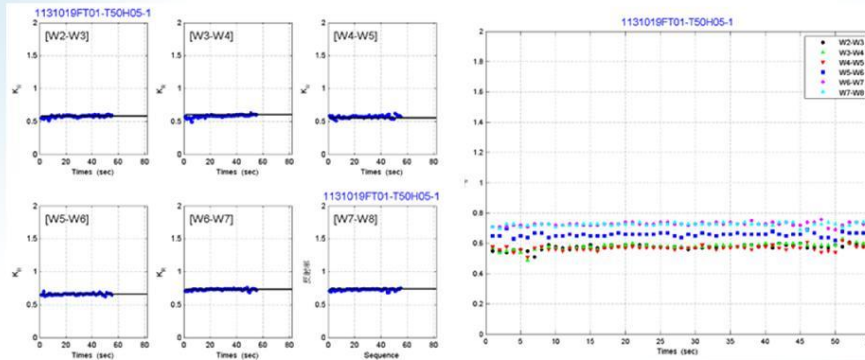
伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ 反射率分析的觀察

兩點個別波及波列法分析反射率



伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ 反射率分析的觀察

兩點個別波及波列法分析反射率



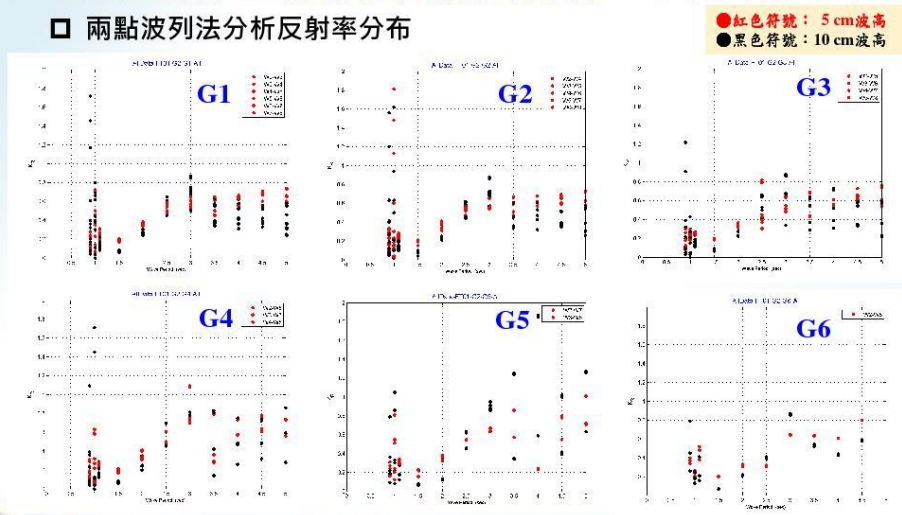
- 仔細比較時會發現W5-W6、W6-W7與W7-W8的反射率略大0.1~0.15，W2-W3、W3-W4與W4-W5則相當接近。

- 可能是消能式結構物前的波浪反射很不穩定，波形擷取需要距離結構物遠一點。



伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果解讀/ 反射率分析的觀察

兩點波列法分析反射率分布



G1 : W2-W3、W3-W4、W4-W5、W5-W6、W6-W7、W7-W8；

G2 : W2-W4、W3-W5、W4-W6、W5-W7、W6-W8；

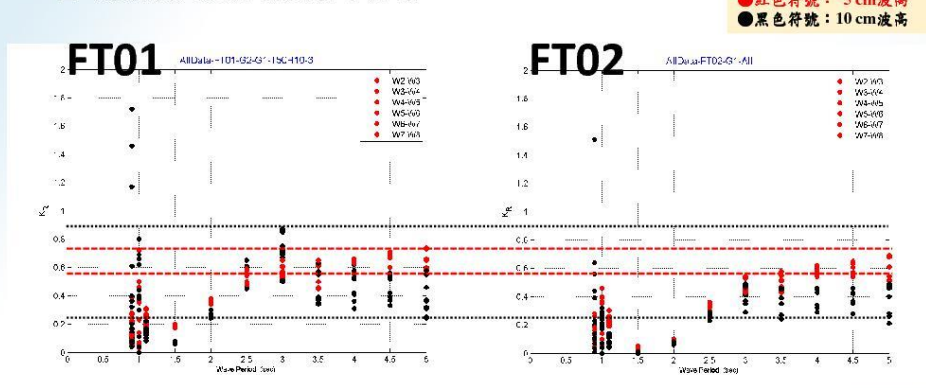
G3 : W2-W5、W3-W6、W4-W7、W5-W8；G4 : W2-W6、W3-W7、W4-W8；

G5 : W2-W7、W3-W8；G6 : W3-W8。



伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果解讀/ 反射率分析的觀察

□ 兩點波列法分析反射率分布

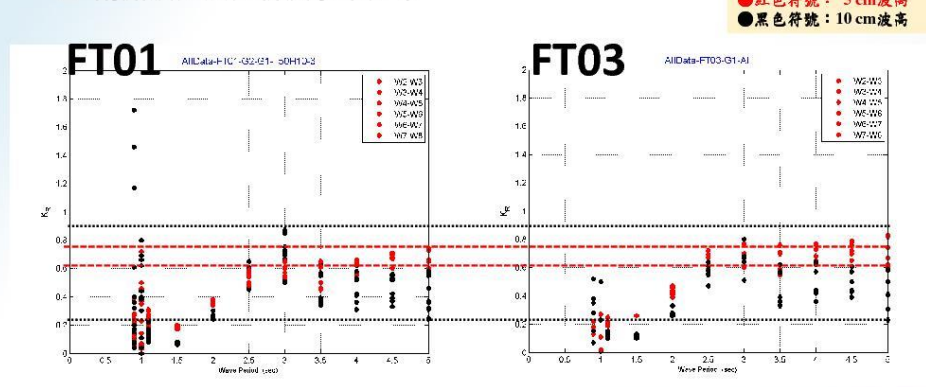


□ FT02的消能效果優於FT01，主要應是因為FT02多配備了導水板引發渦流效應，達到消能效果。



伍、消能碼頭水工斷面模型試驗結果/ 反射率分析的觀察

□ 兩點波列法分析反射率分布



□ 於波高5公分的條件，FT01的消能效果優於FT03，顯示氣室的排氣解壓有負面的效果。



陸、結論與後續研究規劃

✓ 結論

- 本年度研究複合三種單元，包含**堤頂越波排水斜面或弧面**、**開孔前壁**以及**後側集水槽**。首先確認了港灣消能結構物的消波機制可以用單元性組合，以對應**不同波浪條件**，再評估其間的耦合或互制作用。
- **FT02**略優於**FT01**及**FT03**，主要原因是多了一個產生**渦流設施**。**FT01**及**FT03**之差異在於氣室的有無**通氣孔**，三者對長短週期波動的消能各有擅長。。
- 本次試驗發現，即便僅應用到的消能機制為基本設置，也能達到文獻回顧中各種消能結構物**反射率在0.6以下**，顯示如果本研究之模型能在**消波艙內增加消能設施**，或有機會優於現有之消能結構物。當然，還是必須要兼顧碼頭之用途。



陸、結論與後續研究規劃

✓ 後續研究規劃

- **消能結構物之改善斷面試驗研究**：持續檢視量測與分析資料，並回溯所拍攝的造波監看影片，找出各種配置的優缺點，設法補強或改善。也繼續蒐集並深入檢討各種消能機制，以增強各個模型消波艙內之消能效果。。
- **花蓮港7號碼頭與受限航道內消減波能之斷面試驗研究**：明年度將從波動力學與水動力學觀點，蒐集與整理水道相關之消能設施與規劃設計，並進行水工模型斷面試驗探討可行性。
- 針對多組波高計配對分析反射率繼續驗證與改善分析程式。
- 增加斷面水槽造波後之消波設施，以縮短消波等待時間。



密西根州Pentwater的口袋型消波灘 (Thompson et al., 2004)

簡報結束 敬請指教

參考文獻

1. Allsop, N. R. H. & A. R. Channell, (1989), "Reflections from Coastal Structures" Conference: 21st International Conference on Coastal Engineering, Report OD 89, HR Wallingford, 94 pages.
2. Allsop, N. R. H. & S. S. I. Bettiagachchi, (1989), "Wave reflections in harbours: design, construction and performance of wave absorbing structures", Report OD 89, HR Wallingford, 94 pages.
3. Bergmann H and R. Buerger, (2010), "Performance of new multi-chamber systems vs. conventional Jarlan caisson breakwaters", Vices Journees Nationales Genie Civil- Genie Cotier, Caen, France, 17-19 May 2010, pp.290-308, ISBN 2-9505787-5-0.
4. Goda, Y., & Suzuki, Y., (1970), "Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments", Proceedings of 15th International Conference on Coastal Engineering, Hawaii, 1970:828-845.
5. Hiraishi T., (2006) "Development of long period wave absorber", Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 2006:821-825.
6. Hiraishi, T. and Nagase, K., (2002), "Long period wave absorbing by artificial beach", Littoral 2002: 6th International Symposium Proceedings: A Multi-disciplinary Symposium on Coastal Zone Research, Management and Planning, Porto, 2002, (2): 601-606.
7. Huang, Z. H., Y. C. Li and Y. Liu, (2011), "Hydraulic performance and wave loadings of perforated/slotted coastal structures: A review", Ocean Engineering, Vol. 38, pp.1931-1953.
8. Jarlan G.E., (1964), "Breakwater Structures", 美國專利 US318282.
9. Lee S.T., Lee S.H., et al., (2008), "Submerged porous plate wave absorber", Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 2008: 628-631.
10. Kirca, Y. S., Ozgur and Mehmet Sedat Kaldaglı, (2009), "Reduction of non-breaking wave loads on caisson type breakwaters using a modified perforated configuration", Ocean Engineering 36(17):1310-1320.
11. Lee J.L, Y.T. Kim and Shin S., (2014), "Experimental study on the wave reflection of partially slotted wall caissons with single and double chambers", Ocean Engineering, 2014, (91):1-18.
12. Miranda, Felipe, Ana Margarida Bento, João Chagabel, Maria Francisca Sacramento, Paulo Rosa-Santos, Francisco Taveira-Pinto, Tiago Faneiros-Ferradosa, (2023), "A novel and simple passive absorption system for wave-current flumes," Alexandria Engineering Journal (2023) 71, 483-477.
13. Munk, Walter B. (1950) "Origin and generation of waves", Proceedings 1st International Conference on Coastal Engineering, Long Beach, California, ASCE, pp. 1-4.
14. Seelig, William N. and John P. Ahrens, (1981), Estimation of Wave Reflection and Energy Dissipation Coefficients for Beaches, Revetments, and Breakwaters, Technical Paper No. 81-1, CEBC, USACE, 40 Pages.
15. Seelig, William N., (1980), "Two-Dimensional Tests of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters", Technical Paper No. 80-1, CEBC, USACE, 187 Pages, (CEBC Technical).
16. Solitt, Charles K. and Cross, Ralph H., (1976), "Wave Reflection and Transmission at Permeable Breakwaters", Vicksburg, Mississippi: U.S. Army Engineer Research and Development Center (CEBC) (Technical).
17. Straub, Lorenz G., C. E. Bowers, and John R. Herbrich, (1957a), "Laboratory Tests of Permeable Wave Absorbers," Proceedings of Coastal Engineering, 1(5), pp. 729-742.
18. Straub, Lorenz G., John R. Herbrich, and C. E. Bowers, (1957b), "An Experimental Study of Wave Absorbers," St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Project Report No. 54 for The Office of Naval Research, Department of the Navy, Washington, D.C., 50 Pages.
19. Tajiri, Keisuke and Yukiyo Nagata, (1985), "Experimental Study of Wave Reflection by a Sloping Beach," Journal of the Oceanographical Society of Japan, Vol. 24, No. 5, pp. 242-252.
20. Tanimoto K. and Yoshimoto Y., (1982), "Theoretical and experimental study of reflection coefficient for wave dissipating caisson with a permeable front wall", Report of the Port and Harbour Research Institute, 1982, 21(3):44-77 (in Japanese).
21. Thompson, Edward F., Robert R. Rottin, Jr., and James P. Sealegan, (2004), "Effectiveness of Pocket Wave Absorbers in Vertical-Wall, Coastal Entrance Structures," ERDC/CHL CHETN-111-68, USACE.
22. Walton, Todd L. Jr., (1991), "Wave Reflection from Natural Beaches", Miscellaneous paper CEBC-81-9, CEBC, USACE, 42 Pages.
23. Zanetti and van der Meer, (1997), "Wave reflection from coastal structures", Coastal Engineering 2006, pp. 4337-4349.
24. 大島孝雄、森島昭一、(2005), "海水域に上る人工構造物の波の反射特性", 海洋技術論文集, 第21巻, pp. 795-798.
25. 中村孝幸、佐藤信哉、須野直夫、村上剛、Nyein Zin LATT, (2022), "一様斜面を設けた表層設置による長周期波の制御効果", 日本土木学会論文集(海岸工学), 78(2): 887-872, 2022.
26. 井島武士、森島昭一、藤原誠、片岡孝志、沢村孝久、(1970), "波の透過係数と開口部波の透過係数の比較", 第三回海洋工学研究會論文專輯, pp.63-77, 臺灣。
27. 王守宇、莊平福、翁智勝、鄭智聰、鄭劍豪、葉子怡、王勝記、倪曉輝、陳錦添、陳嘉謀、林紹奎、(2018), "直立牆式開口式結構之消波特性研究", 中國水運港口, 第48卷第1期, 2018年1期, pp.35-40.
28. 仲井生二、(2013), "沿岸域の長周期波に関する研究", 日本九州大学学術情報リポジトリ, 130頁。
29. 李健鴻、(2010), "垂直式消波牆之研究", 碩士論文, 國立臺灣海洋大學河海工程研究所, 77頁。
30. 林紹奎、許智勝、(2024), "垂直式消波牆之消波特性研究", 臺灣學刊, (120), 1-10頁。
31. 林紹奎、趙曉宇、張俊成、蔡世瑞、李天瑞、林蔚、林曉、阮天野、陳兆成、陳德興、賴升耀、歐陽發雄、(2017b), "新型設置垂直式之直立開口式結構之消波特性研究", 海洋工程學刊 第十七卷 第四期, 242-268, 臺灣。
32. 林蔚、張俊成、陳兆成、李天瑞、賴德興、賴升耀、阮天野、賴德興、林紹奎、(2017a), "直立開口式消波牆之消波特性研究", 中國海洋工程, 2017(04): 11-19。
33. 許智勝、李健鴻、林紹奎、蔡金堂、邱永芳、林紹奎、(2017), "垂直式消波牆之消波特性研究", 海洋工程學刊, 第17卷, 第2期, 第91-115頁, 臺灣。
34. 陳文生(2000), "孔狀消波牆附近之波面剖面線研究", 碩士論文, 國立臺灣海洋大學河海工程研究所。
35. 陳子怡、王守宇、倪曉輝、陳錦添、陳嘉謀、莊平福、王守宇、翁智勝、鄭智聰、林紹奎(2018), "垂直式消波牆之消波特性研究", 中國海洋工程, 第38卷第1期, pp.40-51。
36. 莊世瑞(2018), "垂直式消波牆之消波特性研究", 碩士論文, 國立臺灣海洋大學河海工程系, 110頁。
37. 藤原誠、井島武士、唐政祥、陳耀廷、村山隆克、(1970) "開口式消波牆之消波特性研究", 第三回海洋工学研究會論文專輯, pp.130-157, 臺灣。

附錄三

專家學者座談會議紀錄

交通部運輸研究所運輸技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：交通部運輸研究所運輸技術研究中心第二科與第三科自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：113 年 4 月 29 日(星期一)上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心 2 樓會議室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：蔡世璿

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、交通部中央氣象署呂國臣副署長

有關運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)第二科和第三科自行研究計畫分別有9項及6項研究，其內容符合運技中心自行研究計畫的需求。在個別計畫方面有以下幾點建議：

- (一)在商港風力觀測技術精進部分，風力觀測的定義一致性很重要，例如風速觀測的採樣頻率和平均秒數等，聯合國氣象組織規定平均風為連續 600 秒紀錄之平均值，期間連續 3 秒之最大平均值為瞬間風(或陣風)，船舶觀測亦同，惟因各類群使用有其特殊性，例如航空飛行上之平均風採 120 秒平均。在儀器校驗部分，若有需要可送到中央氣象署新北園區新建的風洞進行。
- (二)馬祖港福澳碼頭潮位站旁即是中央氣象署的潮位站，2 站是否有合作或整併機制，可進一步去瞭解。
- (三)關於臺灣港群觀測的統計資料精進部分，須注意無線電傳輸和電力供應技術。
- (四)關於智慧航安的海氣象資料應用的探討，可以依使用者角度進行客製化監測與預警；惟對公眾發布部分，可參考中央氣象署發布之港口客製化天氣預報，若需要有較特殊之天氣或海象預報，可逕與中央氣象署合作，評估是否採共同發布。
- (五)臺中港陣列雷達的訊號處理應用於海流與波浪，已有一定的技術，但在落地應用上，仍有許多技術開發備受期待。這部分未來建議能有跨單位的交流與合作。
- (六)觀測資料系統的建置需要有資料治理的觀念，在大數據需求日增趨

勢下，包含的資料一致性、格式、品管、資料履歷和生命週期，還有觀測儀器變遷等，都需要長時且階段性的規劃。

二、海洋委員會國家海洋研究院翁健二副院長

(一)第 1 案，商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究：

1.研究中分別用超音波風速計與螺旋槳風速計進行比對，但 2 者設備後續的比對方式，建議再詳細論述。

2.經費概估表中儲存伺服器概估費用為 30 萬元，建議增加規格說明。

(二)第 3 案，臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)：

1.建議說明觀測傳輸方式改成無線後，通訊距離、傳輸速率與電力搭配的問題。

2. 112 年於室內水槽進行研究，而 113 年則在開放海域進行驗證測試，惟測試環境條件不同應如何比對？

(三)第 7 案，臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)：

1.請說明 112 年與 113 年探討雙雷達系統平面波浪觀測時，其特性與執行內容的差異。

2.計畫書中提及空間解析度為 500 公尺方能判讀，然而部分船舶長度小於 500 公尺的部分如何監測判讀？

3.114 年延續 113 年船舶判讀研究，透過 AIS 進行船舶航安研究，而微波雷達有進行船舶監測，在陣列雷達則較少，其 2 者差異應注意。

(四)第 8 案，海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)，建議於系統建置前先行律定資料庫系統資料格式。

(五)第 9 案，港區水下巡查技術初探(2/3)，建議可參考臺灣港務股份有限公司於 110 年港區水下無人載具及擴充設備應用研究，已初步探討之相關內容。

(六)第 10 案，運技中心網頁資訊安全現況分析與探討，建議分析後可提出改善方法，如狀況處理、事先預防等。

(七)第 12 案，花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究，請說明計畫經費於文字概述為 1,670 仟元，與總計畫經費 5 萬元之差異。

三、臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司鄭智文總工程司

(一)第 1 案，商港風力觀測技術精進及強風特性分析研究，建議後續可應用風速與延時在不同高度風力梯度之推算與模擬，以提供港區大

型船舶受高度較高之風壓對於航行操控之影響。

(二)第 3 案，臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)：

- 1.經費概估無水聲通訊數據機。
- 2.建議可增加電力損耗、船舶通過干擾、底泥及水域混濁干擾之校正與應用。
- 3.建議可建立港區即時波流資訊與颱風長浪預測及潮位之關聯模型。

(三)第 4 案，花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)，今年評估消能設施布設於花蓮港之模型，除評估設施布設前後波高變化情形以外，應增加布設前後波浪頻率(週期)之變化。

(四)第 6 案，智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)：

- 1.針對船舶於不利航行之海氣象水域，可提高預測及識別，並對船舶操航及港口管理單位，雙方提出危險預警。
- 2.建議研究範圍可擴大至港口外之錨泊區，或商港區域範圍外之領海。
- 3.建議系統可針對船舶運動狀態與航行軌跡，深度學習及識別其是否受局部海流與風力紊亂影響，或船舶機械故障之情形，並提早提出警示。
- 4.建議可結合港區塔臺雷達系統，針對刻意關掉 AIS 應答機之船舶，提出警告。

(五)第 7 案，臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)，建議可針對海域受油污染時之波高壓抑特性，觀測海域污染之分布及趨勢，並預測未來流向及範圍。

(六)第 8 案，海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)，於過往觀測取得之 Raw data 整理與比對時，應要求建立資料之校正與回歸標準作業程序，以利後續更精確之研究與模型建立。

(七)第 9 案，港區水下巡查技術初探(2/3)，建議水下無人載具可結合機械手臂，以利取樣及強化定位能力。

(八)第 12 案，花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究：

- 1.有關經費概估為 1,670 千元，與計畫經費概估表有異。
- 2.建議可蒐集過往資料，經校正及回歸後，導入深度學習及人工智能，強化預測模型，提高預測準確度。

四、國立中山大學陳冠宇教授

- (一)第 1 案，商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究：
 - 1.建議說明儀器不確定性的檢驗方式。
 - 2.建議是否以某些參數(如 Gustiness)為中心，較易突顯？
- (二)第 2 案，馬祖港福澳碼頭設計水位之探討，建議說明水位以中潮系統為準，是以大地水準面亦或引測求得？
- (三)第 3 案，臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)，聲波通訊在淺水域易有多重反射，建議藉由例證說明其適合應用於港域。
- (四)第 4、5 案，花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)、長週期波斷面模型試驗(2/3)，花蓮港震盪乃亞重力波(約 100 多秒的週期)引致，建議透過相關例證說明可有效消能與模擬。
- (五)第 6 案，智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)，111 年與 114 年、112 年與 113 年的工作項目有重覆。
- (六)第 7 案，臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)，建議波流觀測儀器 AWAC 遠離防波堤，以利與雷達的觀測結果進行驗證比較。
- (七)第 8 案，海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)，數位管理系統之建置是否有自動化品管、自動即時回傳與自動補遺(年報)的功能？
- (八)第 9 案，港區水下巡查技術初探(2/3)，是否引進 ROV？
- (九)第 10 案，運技中心網頁資訊安全現況分析與探討，建議可列入各資料庫。
- (十)第 12 案，花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究，港池震盪造成的困擾可能更要注意流所造成的斷纜狀況。
- (十一)第 13、15 案，評估 SCHISM 模式於港區波浪模擬可行性、評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性，建議說明採用模式之原因與應用的方向。

五、臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司鄭璟生處長(書面意見)

- (一)第 4 案，花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)：
 - 1.本計畫著重於如何透過佈設消能設施，評估消能工法對於各湧浪條件下之波能削減成效。在消能選址方面，花蓮港新舊東防波堤

交界處起算 500 公尺處係常受颱風損壞之弱點(沉箱編號 #1~#22)，建議可選擇新東堤 0k+000~0k+500 港側規劃設置消能設施，此外，建議可選擇佈放消能設施位址如以下 3 處：

- (1) 束縮航道(有效寬度僅 100 公尺)之兩側，設施方案宜檢討不得影響操船空間。
- (2) 7 號碼頭。
- (3) 12 號碼頭。

2. 參考歷年運技中心於花蓮港港池共振研究與相關研討論文，曾有 1 方案檢討是否於花蓮港港形底部(#7、#12 碼頭)設置通水箱涵的方案，讓能量能透過此箱涵予以遲滯消散。因#7 碼頭與#12 碼頭後線基地均有大排，是有機會透過拓寬大排斷面的方式，以此發揮一定程度的消能功效，規模也較小，故提請本案考量在消能設施的選擇方案方面，有無機會就此一併納入研究。
3. 本案模型的平面佈置目前仍以花蓮港現有港形為基礎，做為規劃配置可行的消能設施方案，如有其他港形變化的空間，是否可考慮#10至#16碼頭間設置具消能設施的擋浪堤，於內部研究案內先有最初步的探討，臺灣港務股份有限公司亦於 114 年起提編 2,500 萬元預算辦理「花蓮港港池共振削減方案暨可行性評估」。
4. 有關新東堤 0k+000~0k+500 港側規劃設置消能設施，如設施方案為通用型之鼎形塊或林克塊，臺灣港務股份有限公司可從 114 年度預算內優先試拋，以利驗證。

(二)第 5 案，長週期波斷面模型試驗(2/3)：

1. 本案為評估選定花蓮港內港 1 座碼頭，探討更新為消能碼頭，並規劃於第 3 年期規劃設置束縮航道的消能斷面或設施，以削減長週期波波能，並建立模型。請問選定花蓮港內港 1 座碼頭探討更新為消能碼頭，是否也做斷面模型？
2. 內港碼頭的選擇建議優先考量#7 與#12 碼頭。
3. 未來消能碼頭仍須有靠泊需求，即消能碼頭仍需安裝防舷材與繫船柱，故建議設施方案的評估要納入此實務需求。

(三)第 12 案：花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究

1. 據悉花蓮港在通告港內船隻避湧的決策判斷，除運技中心建置的「花蓮港區靜穩展示」系統外，亦仰賴觀察 CCTV 鏡頭對準外港堤口

水尺的刻度觀測值，本研究成果預期提出建置 113 年度花蓮港碼頭波高預測模式，提供未來 2 日於#9、#17、#25 等 3 處之波高預測值，建議其模擬值時間尺度宜在小時以內，以爭取監控中心決策時間與航商移泊時間。

- 2.建議系統所呈現的波高預測值可參考監控中心發佈通告所採之警戒值，同目前系統根據預測波高所作出的紅黃綠 3 色燈號告警

六、國立成功大學董東璟主任（書面意見）

- （一）提送之 15 項計畫均有其重要性與必要性，予以支持。
- （二）關於「商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究」計畫，建議本案產出應確定能符合利害關係者(stakeholder)的需求。
- （三）關於「馬祖港福澳碼頭設計水位之探討」計畫，各潮位參數之定義(算法)宜和相關機關(如中央氣象署)一致或有所說明(若定義不同)。
- （四）關於「臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)」計畫，第 1 年度水下無線通訊現場測試是否有訂相關達成指標以評估其妥善率？第 2 年度工作標題註明要建置，但工作項目內容似乎僅為建置評估，現場海洋狀況與實驗室不同，建議測試妥當後始開始進行建置。
- （五）關於「花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)」計畫，建議有系統且完整地蒐集並說明過去數十年來關於花蓮港港池不穩度之相關研究成果或作為，以給予本計畫清楚之定位。
- （六）關於「長週期波斷面模型試驗(2/3)」計畫，計畫第 2 年和第 3 年仍在進行文獻蒐集，建議重點工作著重在水動力分析與改善試驗研究，此外，長波試驗條件如何定義，應有明確說明。
- （七）關於「智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)」計畫，計畫中的 VDES 等船舶通訊技術發展是如何達到船舶監控預警的應用，請詳細說明。此外，「預警」之標的為何？建議更明確闡述。
- （八）關於「臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)」計畫，應特別著重在觀測結果正確性的探討。
- （九）關於「海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)」計畫，如何整合管理不同觀測系統、測站型式、儀器類別等，建置符合運技中心需求之管理系統應有妥善規劃。
- （十）關於「港區水下巡查技術初探(2/3)」計畫，取得之水下影像如何進

行分析、解讀，為計畫成敗關鍵，建議可引入 AI 判識技術。

(十一)關於「運技中心網頁資訊安全現況分析與探討」計畫，支持目前辦理方案。

(十二)關於「商港能見度告警機制探討」計畫，目標是要提出告警機制，抑或告警標準，建請釐清。

(十三)關於「花蓮港碼頭波高預測模式作業化研究」計畫，建議確認計畫目標為預測某幾個碼頭的波高？統計模式用以預測局部地區特性，是否具有足夠能力，需稍加留意。

(十四)關於「評估 SCHISM 於港區波浪模擬可行性」計畫，運技中心原已有 TaiCOMS 模式可用來進行風浪模擬、潮汐和水動力模擬，引入 SCHISM 模式之定位為何？建請詳細考慮。

(十五)關於「馬祖海氣象特性分析」計畫，建議著重在 Mike21 HD 模式的海流模擬結果之驗證。

(十六)關於「評估 FUNWAVE 模式於港內波浪模擬可行性」計畫，建請強化模擬結果之驗證。

柒、結論：

感謝委員提供本所自行研究計畫之專業建議，請案關同仁將委員意見納為執行計畫重要參採依據，俾以達到成果實際應用目的，以及提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：中午 12 時 40 分

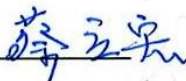
會議簽到表

會議名稱：交通部運輸研究所運輸技術研究中心第二科與第三科自行
研究計畫專家學者座談會議

時間：113 年 4 月 29 日(星期一)上午 10 時

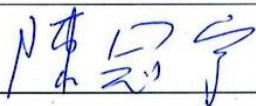
地點：本所運輸技術研究中心 2 樓簡報室

主持人：蔡立宏主任

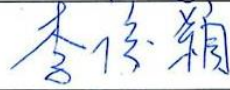


紀錄：蔡世璿

專家學者：

專家學者	簽名
呂國臣委員	
翁健二委員	
鄭智文委員	
鄭璟生委員	請假 提供書面意見
董東璟委員	請假 提供書面意見
陳冠宇委員	

出席單位與人員：

出席單位	職稱	簽名
交通部運輸研究所 運輸技術研究中心	科長	
	副研究員	
	科長	

單位	簽名
交通部運輸研究所 運輸技術研究中心	陳劍鋒 羅冠毅 洪雅倫 傅怡釗 蔣敏玲 黃麗伶 林有騰 許義宏 古政達 蔡世瑜 林夏利 陳志恆 曹騰陽 劉清彬

附錄四

工作會議紀要

113年6月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科113年自行研究計畫第1次工作會議

時間：113年6月25日(星期二)上午10時00分至16時30分

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李俊穎 科長

彙整：廖慶堂

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 蒐集國內外風力觀測技術相關文獻。
2. 分析螺旋槳式風速計與超音波式風速計之量測差異。
3. 蒐集我國商港因強風事件封港之資料。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區暴潮資料文獻蒐集進度報告。
2. 馬祖地區海氣象設備維運作業情形摘要說明。
3. 馬祖地區南竿福澳港潮位資料統計分析報告。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 臺灣港群波流觀測系統更新、建置及遷移。
2. 水中無線通訊設備海域測試規劃。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 港灣消能措施文獻蒐集與回顧。
2. 花蓮港平面水工模型建置優化。
3. 花蓮港內消能設施研擬及佈設規劃。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善

研究初探

1. 消能碼頭及結構物文獻與資料蒐集研讀。
2. 選定標的碼頭位置及規劃消能碼頭型式。
3. 進行港灣內長週期波作用下斷面試驗前置作業。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況說明。
2. 臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流分析進度。
3. 海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用規劃情形。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 進行海洋雷達波浪觀測應用相關文獻回顧。
2. 辦理波浪資料品管與檢核工作，報告波浪品管之作業情形。
3. 進行海洋陣列雷達設備維護與保養作業，辦理陣列雷達站架高工作。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 現有測站資源盤點狀況說明。
2. 海氣象觀測作業數位管理系統委外開發進度說明。
3. 上次工作會議後修正情形說明。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 進行港埠設施分析及測試機型探討。
2. 進行港區水下巡查項目探討。
3. 進行港區 ROV 水下定位測試規劃。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 討論螺旋槳式風速計與超音波式風速計在不同風速下之差異及風向不確定性。。
2. 討論不同年期之超音波式風速計之實驗結果。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區暴潮相關報告、迴歸分析資料可信度討論。
2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式討論。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 臺灣港群波流觀測站建置概況及本年度現場作業期程討論。
2. 討論水中無線通訊設備實際海域測試規劃。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 建議評估花蓮港內消能設施型式佈設方式及考量其它方案。
2. 討論花蓮港平面水工模型建置內容。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 討論標的碼頭選定方式之評估方式與結果。
2. 評估新消能碼頭型式設計型式之可行性。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 蒐集國外 VDES 資料等相關船舶航行安全通訊技術。
2. 辦理芳苑燈塔 VDES 系統之天線移置作業。
3. 整合交通部航港局提供的船舶 AIS 動態資訊。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 討論海洋陣列雷達波浪觀測相關文獻。
2. 比較雷達站品管檢核資料情形。
3. 6月5日出席國家海洋研究院「113年第1次海洋雷達願景工作會議」，討論海洋雷達合作與應用服務推廣事宜。
4. 配合臺中港務分公司「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期工程」施工需要，於北側雷達站進行架高作業。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 現有測站資源盤點之討論。

2. 既有電子表單資料批次上傳之討論。
3. 系統委外開發進度及建議事項之討論。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) - 水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查作業之無人載具分析說明。
2. 港區水下設施之巡查方式說明。
3. ROV 水下定位測試方法討論。

貳、主要結論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 針對螺旋槳式風速計與超音波式風速計之量測不確定性問題，後續可與氣象署氣象儀器校正實驗室合作進行風洞試驗。
2. 為確保風力量測標準及數據品質，後續可向氣象署大氣觀測組瞭解現行風力編報之解算方式，以求一致性。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 建議持續針對馬祖地區暴潮資料文獻進行蒐集工作。
2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式建議利用調和分析結果，可降低人為校正所造成長週期水位變化消失之程度。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (1/2) - 水中無線通訊設備海域測試

1. 請依規劃期程督導廠商，使本年度波流觀測系統現場相關作業能如期如質完成。
2. 本年度將於實際海域執行水中通訊系統測試，請注意作業期間海況變化，以維人員安全。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 須確實掌握花蓮港試驗地形及平面水工模型鋪設進度。
2. 於執行試驗過程中，應滾動檢討港內消能設施型式。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 斷面試驗地形及水工模型建置案，需掌握採購規劃時程。

2. 加速進行新消能碼頭型式設計的定案，以免延誤試驗進程。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控
預警系統之應用

1. 有關船舶 VDES 或 AIS 訊號，可針對研究特定區域，自行接收訊號解碼使用。

2. 透過與丹麥 Sternula 討論國際 VDES 發展趨勢，藉以學習其系統架構。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 有關高頻雷達波浪資料品管與檢核部分，建議持續辦理品管作業，以維持海氣象資料之正確性。

2. 本年度報告書章節規劃尚屬合宜，惟主要研究項目之研究內容建議持續檢討。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 本案於建置階段之測站資料建檔，或驗證測試與完成後階段之維護紀錄填報，皆賴同仁配合協助進行。建議於系統提供好用及易用之功能，以增加同仁協助配合意願。

2. 測站維護時資料中斷之時間區間，建議於維護紀錄呈現。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查項目之檢測方法可再進行評估。

2. 水下無人載具之定位方式可再進行補述。

會議簽到表

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 113 年度自行研究計畫第 1 次工作會議

時間：113 年 6 月 25 日(星期二)上午 10 時 00 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞璽	
第三科科長	林雅雯	
第二科		
	黃茂信	
		顏震香
	羅冠勳	郭淑芬
	洪維儀	陳天吟
	李欣豪	李仁鴻
	柯振宇	陳孟宏
	曹勝傑	劉淑敏
	洪子仁	許師瑜
	林受文	許義宏
	邱慶乾	孫達遠

113年8月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科113年自行研究計畫第2次工作會議

時間：113年9月2日(星期一) 10時至16時30分

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李俊穎 科長

紀錄：廖慶堂

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 蒐集國內外風力觀測技術相關文獻。
2. 探討最大瞬間風速與3秒移動平均法之差異，以及平均風向之計算方法差異。
3. 主要商港紊流強度計算及風速機率模型繪製。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區海氣象設備維運及建置辦理進度說明。
2. 馬祖地區南竿福澳港潮位資料統計分析報告。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 臺灣港群波流觀測系統建置情形說明。
2. 波流觀測系統於凱米颱風期間災損報告。
3. 水中無線通訊設備執行進度說明。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 花蓮港平面水工模型及消能設施建置。
2. 二廠棚天車操作平台故障修復進度說明。
3. 消能設施佈設方案評估。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 3種消能碼頭型式規劃完成。
2. 進行港灣內長週期波作用下斷面試驗準備工作。
3. 進行空水槽斷面試驗。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流分析。
3. 海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 辦理波浪資料品管與檢核工作，報告波浪品管之作業情形。
2. 進行波浪資料交互驗證工作，探討凱米颱風海象觀測分析。
3. 進行海洋陣列雷達設備維護與保養，完成架高作業驗收核付。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 海氣象觀測作業數位管理系統第一版測試狀況說明。
2. 海氣象觀測作業數位管理系統資料建置狀況說明。
3. 上次工作會議及委外契約期中審查後修正情形說明。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3)-水下無人載具測試分析

1. 進行港區水下巡查作業之無人載具分析。
2. 進行港區水下巡查項目探討。
3. 進行港區 ROV 水下定位測試。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 討論颱風期間平均風速與最大風速之差異。
2. 討論風速機率模型及強陣風比例之呈現方式。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區潮位資料可信度討論。
2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式討論。
- (三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試
 1. 臺灣港群波流觀測系統配置規劃。
 2. 水中無線通訊設備控制器處理邏輯討論。
- (四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估
 1. 建議評估花蓮港內消能設施型式佈設方式及考量其它方案。
 2. 討論花蓮港平面水工模型建置優化內容。
- (五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探
 1. 討論造波機控制及波高計資料擷取電腦之設置問題。
 2. 評估消能碼頭斷面水工模型試驗規劃期程。
- (六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用
 1. 蒐集國外 VDES 資料等相關船舶航行安全通訊技術。
 2. 完成芳苑燈塔 VDES 系統不斷電系統架設。
 3. 完成臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流繪製。
- (七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析
 1. 討論雷達站品管檢核資料情形。
 2. 討論凱米颱風海象觀測分析情形。
 3. 探討波浪與海流資料交互驗證工作。
- (八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置
 1. 海氣象觀測作業數位管理系統第一版問題處理情形之討論。
 2. 海氣象觀測作業數位管理系統資料建置情形之討論。
 3. 港灣季刊投稿內容之討論。
- (九) 港區水下巡查技術初探(2/3)-水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查之無人載具定位方式說明。
2. 港區水下設施之使用儀器巡查方式說明。
3. ROV 水下定位測試方法討論。

貳、主要結論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 考量臺灣港務公司針對颱風期間風力量測之防災應變需要，建議可增加颱風事件之分析內容。
2. 風速機率模型圖之展示方式可清楚看出各月份之風力趨勢，建議可再調整各月份之圖形顏色呈現，以利閱讀。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 加速進行馬祖地區歷年潮位資料基準校正工作。
2. 建議開始著手進行港灣季刊投稿文章初稿撰寫工作。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 波流觀測站颱風災損修復請依規劃期程辦理，各港觀測站仍請持續監控，確保觀測系統正常運作。
2. 水中無線通訊設備控制器，需於無人職守狀態自動處理資料傳遞延遲或錯誤等情況，控制器處理邏輯編寫及測試需謹慎留意。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 須確實掌握花蓮港試驗地形及平面水工模型鋪設進度。
2. 於執行試驗過程中，應滾動檢討港內消能設施型式。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 斷面試驗地形及水工模型建置案，須儘快如期如質完成。
2. 斷面地形及水工模型設置完成後，應依期程加速進行消能碼頭斷面水工模型試驗，以免延誤後續工作及報告書撰寫進程。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控

預警系統之應用

1. 提早規劃針對後續於航港局智慧航安監控船「航港1號」上架設船舶 VDES 相關事宜。
2. 整理有關特高頻資料交換系統 (VDES) 本所測試站之接收訊號發展及國際標準制定情形，以利投稿使用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 有關南側雷達站波浪訊號品質較差，請儘速安排人員前往排查，並應建立快速檢查機制，以維持海氣象資料之正確性。
2. 本年度報告書章節規劃尚屬合宜，惟主要研究之平面波浪特性，建議持續分析探討。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 本案擇日邀同仁一同測試運作，以利發現其他待修正部分。
2. 須持續按步測試並盤點問題，將問題彙整交由開發單位一次處理。並持續定期召開工作會議討論測試與修正情況。
3. 開發完成後須再執行系統弱點掃描。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查項目之檢測方法優先順序可再進行評估。
2. 水下無人載具之巡查作業時間可再進行補述。

會議簽到表

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 113 年度自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：113 年 9 月 2 日(星期一)上午 10 時 00 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞惠	
第三科科長		
第二科		
	李仁澤	
	謝子健	劉淑敏
	黃芳行	郭淑芬
	蘇冠銘	吳維敏
	林夏以	李政文
	曹勝仁	許師瑜
	許義宏	蕭安佑
	邱永堂	林意廷
	陳天時	顏麗香

113年10月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科113年自行研究計畫第3次工作會議

時間：113年10月29日(星期二)上午10時00分至16時00分

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李俊穎 科長

彙整：廖慶堂

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 蒐集國內外風力觀測技術相關文獻。
2. 進行商港強陣風特性分析。
3. 進行颱風事件分析。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 馬祖地區海氣象設備維運及建置辦理進度說明。
2. 馬祖地區南竿福澳港潮位資料統計分析及歷年潮位資料修正結果說明。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試

1. 波流觀測系統運作情形。
2. 統計年報及研究報告進度。
3. 水中無線通訊設備進度。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 試驗設備修復及率定佈設。
2. 消能設施研擬及佈設。
3. 觀測資料分析說明。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探

1. 進行港灣內長週期波作用下斷面水工模型試驗。
2. 分析斷面水工模型試驗結果及構思改善提案。
3. 開始撰寫期末報告初稿。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流分析。
3. 海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 辦理波浪資料品管與檢核工作，雷達南站橫向雜訊過高與訊躁比大於10dB，訊號品質不佳與品管改善情況。
2. 進行波浪資料交互驗證工作，探討凱米與山陀兒颱風波浪觀測與方向波譜分析之情形。
3. 進行海洋陣列雷達設備維護與保養，報告於10月8日突發北站電纜線挖掘斷裂改善事件。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 數位管理系統委外建置契約完工說明。
2. 數位管理系統資料持續建置狀況說明。
3. 114年度工作規劃情形說明。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3)-水下無人載具測試分析

1. 進行港區水下巡查作業之無人載具分析。
2. 進行港區水下巡查項目探討。
3. 進行港區 ROV 水下定位測試數據分析。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 討論臺中港強風日歷圖之展示方式及應用性。

2. 討論颱風事件之強陣風影響。
- (二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討
 1. 馬祖地區潮位資料統計分析結果討論。
 2. 馬祖地區歷年潮位資料基準校正方式討論。
- (三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(1/2)-水中無線通訊設備海域測試
 1. 本年度觀測系統採購案執行情形、災損說明及修復規劃。
 2. 水中無線通訊設備控制器處理邏輯測試成果及水密箱體製作。
- (四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估
 1. 討論花蓮港平面水工模型試驗條件。
 2. 討論水工模型改善方案內容。
- (五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探
 1. 討論消能碼頭斷面水工模型試驗之反射率結果。
 2. 評估碼頭改善提案方向。
- (六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用
 1. 完成蒐集國外 VDES 資料等相關船舶航行安全通訊技術。
 2. 完成臺灣周圍海域船舶資料蒐集與交通流繪製。
 3. 完成第46屆海洋工程研討會投稿。
- (七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析
 1. 討論雷達站品管檢核資料情形，探討9月28日雷達訊號品管改善與雷達原廠溝通檢修之情形。
 2. 討論凱米與山陀兒颱風海象觀測分析情形。
 3. 探討波浪與海流資料交互驗證工作，實際與 AWAC 進行波浪與海流資料的比對情形。
- (八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置
 1. 數位管理系統資料持續建置狀況之討論。

2. 數位管理系統問題修正建議方案之討論。
3. 數位管理系統浮標儀器管理追蹤之討論。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3)-水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查之無人載具定位方式說明。
2. 港區水下設施巡查儀器精度說明。
3. ROV 水下定位測試結果討論。

貳、主要結論

(一) 商港風力觀測技術精進及強風特性分析之研究

1. 2024年2起強烈颱風事件對港區之影響極大，建議於期末報告可將相關強陣風分析數據呈現，以提供港務公司參考。
2. 本計畫繪製臺中港強風日歷圖，可清楚看出東北季風期間之強風延續時間及對港口造成之影響，未來可將相關資料提供航港局及港務公司參考應用。

(二) 馬祖港福澳碼頭設計水位之探討

1. 建議將已知基準之歷年潮位資料結合已校正之(原基準偏移)歷年潮位資料進行分析，期獲得保留長周期之結果。
2. 請加速進行港灣季刊投稿文章初稿撰寫工作。

(三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (1/2) -水中無線通訊設備海域測試

1. 颱風後現場勘災，務必謹慎小心，年報及研究報告請依預定期程辦理。
2. 水密箱體入水前，箱體密封性需多加測試，避免因水體滲漏造成控制器短路，影響測試成果。

(四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(2/3)-消能措施方案評估

1. 2023~2024年波浪觀測資料分析結果，可作為試驗內容基本資料。
2. 加速進行平面水工模型試驗，避免影響試驗進度。

(五) 長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改

善研究初探

1. 應加速進行消能碼頭斷面水工模型試驗。
2. 依期程分析斷面試驗結果及提出改善提案，如期完成報告書撰寫。

(六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討(3/4)-海氣象資訊於船舶監控預警系統之應用

1. 安排規劃後續於航港局智慧航安監控船「航港1號」上架設船舶 VDES 相關事宜。
2. 整理本計畫相關成果，以利投稿港灣季刊使用。

(七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(2/3)-波浪觀測分析

1. 有關雷達站10月份訊號品質劣化，請檢討是否發生於山陀兒颱風後，並敬請安排人員巡查解決，後續應評估建立快速檢查機制，以維持海氣象資料之正確性。
2. 有關 HF 雷達波譜部分，波譜外圍特性似乎消失，以及方向上偏移仍有待確認是否為單點與平面觀測間之差異，建議持續分析探討。

(八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究(1/2)-系統建置

1. 系統修正測站資材導致歷程發生衝突等問題，建議系統表單連動保持部分彈性，如即時顯示明確錯誤訊息，減少因人員操作所導致系統問題。
2. 部分測站定義應更為明確，如資料浮標測站含有風速及波流等儀器資料，且需再加以管理其細部儀器之歷程。
3. 港灣季刊請於期限內完成投稿。

(九) 港區水下巡查技術初探 (2/3) -水下無人載具測試分析

1. 港區水下巡查項目之檢測方式，可分別進行效益評估。
2. 水下無人載具巡查拍攝影像，未來可進行後續影像拼接處理。

會議簽到表

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 113 年度自行研究計畫第 3 次工作會議

時間：113 年 10 月 29 日(星期二)上午 10 時 00 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長



出席單位	簽名	
第一科科長		
第三科科長		
第二科		
		