

113-025-7D64
MOTC-IOT-112-H2CA001k

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

中華民國 113 年 3 月

113-025-7D64
MOTC-IOT-112-H2CA001k

長週期波斷面模型試驗(1/3)- 長週期波水工模型試驗探討

著 者：許師瑜、林受勳

交通部運輸研究所

中華民國 113 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. (1/3) : 長週期波水工模型
試驗探討 / 許師瑜, 林受勳著. -- 初版. -- 臺北
市 : 交通部運輸研究所, 民 113.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-569-6(平裝)

1.CST: 波動 2.CST: 數值分析

351.941

113001486

長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

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 113 年 3 月

印 刷 者：綠凌興業社

版(刷)次冊數：初版一刷 50 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資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市:104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話:(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號 • 電話：(04)2226-0330

GPN：1011300212 ISBN：978-986-531-569-6(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-569-6(平裝)	政府出版品統一編號 1011300212	運輸研究所出版品編號 113-025-7D64	計畫編號 MOTC-IOT-112-H2CA001k
本所主辦單位：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 112 年 01 月 至 112 年 12 月
關鍵詞：長週期波、湧浪、港灣振盪、消能結構物			
摘要： 本計畫為 3 年期計畫之第 1 年期，主要探討長週期波各相關議題。第一年首先蒐集並回顧國內外長週期波動特性相關研究，以及其造成災害與成因，其次綜整長週期波破壞機制與改善對策。在權衡港灣工程實務與施作時程後，本計畫先以部分碼頭長度為標的，以增改建其為消能式結構物的方式，做為後續 2 年之工作目標。為了能以花蓮港所遭遇的長週期振盪問題做為個案研究主軸，並研擬可能消滅長週期波浪作用的結構或設施之雛形。本年度進行 3 項相關性研究以為輔助：其一分析 2005 年龍王颱風來襲期間之花蓮港波浪觀測資料，主要利用颱風登陸前一週至颱風登陸後，藉以探討這段期間港內波動消長，結果發現全觀測期均有長週期波動成分；其次是建立港灣靜穩度評估模式，以期能藉由數值模擬來鑑識哪些岸壁為主要波浪反射區，便於後續能針對該碼頭岸壁特性研選適當的消能設施；最後則是檢討過去有關消能結構物的效果與優缺點，並確認現有消能結構物最佳消能效果，反射率大約在 0.5~0.6 之間，而增加其排水功能來減少水體下刷製造反射波的量體，才有機會做進一步改善。本計畫第 2 年將執行更新之斷面水槽的造波測試、研選斷面水槽消能設施，以及進行港灣型消能結構物典型斷面之水工試驗，包括長週期波部分，相關研究成果亦將提供平面水工模型試驗參考，第 3 年則進行與工程實務應用相關研究與改善。			
成果效益： 本計畫 112 年度已初步整合長週期波浪造成破壞機制與改善對策，做為後續研究的參考。			
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
113 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: TITLE: Long Period Wave Flume Tests(1/3) - A Study on Hydraulic Model Test of Long Period Waves			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-569-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300212	IOT SERIAL NUMBER 113-025-7D64	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-112-H2C A001k
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shih-Yu Hsu PROJECT STAFF: Shou-Shiun Lin PROJECT STAFF: Chiang-Tse Lee, Tian-Shih Chen PHONE: 886-4-26587200 FAX: 886-4-26561329			PROJECT PERIOD FROM January 2023 TO December 2023
KEY WORDS: Long period waves, Swell, Harbor oscillations, Wave dissipation structures			
ABSTRACT: A three-years study have been carried out on the influences of harbor oscillations by long period wave issues, 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 the severe wave climates. In this first year, the related references about theoretical or disaster case studies were collected and reviewed, the mechanisms of any possible disasters were classified. To Take as an example, an integrated study of wave conditions on the vicinity of the Hualien Port have been proceeded including the analysis of field observations of Longwang Typhoon in 2005, an establishment of harbor assessment numerical model, an evaluation on the hydraulic performances of wave dissipation structure. The final target is allocated to using a novel wave dissipation structure to dissipate the long period wave energy inside the harbor in state of other possible solutions. In the second year study, the capabilities of the renewed wave flume and the wave dissipation facilities of the wave tank will be tested, several possible prototypes of long period wave dissipation structures will be assessed in a wave flume. Wave forces acting on the wharf and the related wave energy dissipationabilities will be studied. All the achievements of first two year's studies will transferred 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 first 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 March 2024	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(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
圖目錄.....	VI
表目錄.....	X
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.....	1-1
1.3 研究方法.....	1-2
第二章 長週期波相關資料回顧	2-1
2.1 國外港灣長週期波相關研究.....	2-6
2.2 國內港灣長週期波相關研究.....	2-15
2.3 小結	2-23
第三章 長週期波造成災害機制及改善對策探討.....	3-1
3.1 國內外長週期波引致的災害.....	3-1
3.1.1 海嘯.....	3-1
3.1.2 氣象暴潮(副振動).....	3-7
3.1.3 湧浪.....	3-9
3.1.4 船舶意外事件.....	3-12
3.2 長週期波破壞機制及改善對策探討.....	3-20

3.2.1 長週期波造成災害破壞機制分類.....	3-20
3.2.2 因應港灣內長週期波之對策彙整.....	3-22
3.3 先期研究-花蓮港 2005 年龍王颱風觀測波浪分析	3-23
3.3.1 龍王颱風實測資料.....	3-23
3.3.2 時間序列與分析波譜.....	3-25
3.4 小結	3-30
第四章 消減長週期波能的新結構型式.....	4-1
4.1 先期研究-非定值反射率港灣波動特性數值模式的建立	4-3
4.1.1 數值模型之建立.....	4-5
4.1.2 數值模擬結果與討論.....	4-8
4.1.3 港灣波動評估模式初探.....	4-12
4.2 消能碼頭結構物或設施.....	4-13
4.3 斷面水工模型試驗前期規劃.....	4-21
4.4 小結	4-26
第五章 斷面水槽平推式造波機更新紀錄.....	5-1
5.1 新購造波系統簡介.....	5-2
5.2 造波機安裝過程.....	5-12
5.3 造波機測試過程.....	5-14
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	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 1 期末審查簡報.....	附 1-1
附錄 2 期末報告審查意見處理情形表.....	附 2-1
附錄 3 專家學者座談會議紀錄.....	附 3-1
附錄 4 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 花蓮港港口 2005 年龍王颱風時期(9/27 0 時至 10/2 0 時)波浪觀測分析	2-2
圖 2.3 美國 Long Beach 港	2-8
圖 2.4 防潮矮牆斷面(山田等人，2021)	2-13
圖 2.5 防潮矮牆設置前後溢淹差值(山田等人，2021).....	2-13
圖 2.6 美國長灘港 J 碼頭港口處設置共振器示意圖(中村等人，2022)	2-14
圖 3.1 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯在東京東北向 450 海浬之 DART 21418 資料浮標水位變動紀錄.....	3-1
圖 3.2 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯傳播至美國西海岸水位變動紀錄.	3-2
圖 3.3 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯傳播至美國阿拉斯加水位變動紀錄	3-2
圖 3.4 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯傳播至太平洋島嶼水位變動紀錄.	3-3
圖 3.5 鹿兒島縣上甕島小島漁港因高潮位及長週期波動引起海水溢淹碼頭面 (仲井，2013).....	3-8
圖 3.6 熊本縣天草下島崎津地區海岸公路溢淹情形(仲井，2013).....	3-8
圖 3.7 薩摩川內市浦內灣小型船翻覆(仲井，2013).....	3-9
圖 3.8 遊艇因長浪的作用而與碼頭強烈衝撞導致受損.....	3-10
圖 3.9 惡劣海象之長浪作用導致船舶進出港操船不易而撞擊碼頭造成雙方毀損	3-10
圖 3.10 2012 年天秤颱風造成蘭嶼開元港南側海堤破壞.....	3-11
圖 3.11 2023 年小犬颱風侵襲蘭嶼開元港造成災害	3-12

圖 3.12 2001~2010 年間國際海事組織(IMO)登錄的 755 件氣候相關船舶意外事件之分類(Zhang and Li, 2017)	3-12
圖 3.13 2001~2010 年間 755 件氣候相關船舶意外事件的發生位置 (Zhang and Li, 2017).....	3-13
圖 3.14 船舶意外事件與(a)示性波高、(b)平均週期秒差、(c)波向角差值及(d)波形尖銳度之比例關係(Zhang and Li, 2017).....	3-13
圖 3.15 港灣共振模態(Carr, 1953).....	3-21
圖 3.16 2005 年龍王颱風路徑圖	3-24
圖 3.17 2005 年太平洋發生之颱風時間軸.....	3-24
圖 3.18 花蓮港港形及波浪儀安裝位置	3-25
圖 3.19 港外測站之波形時序列及分析波譜圖	3-26
圖 3.20 港口測站之波形時序列及分析波譜圖	3-27
圖 3.21 港外測站之波譜及能量累積比例曲線圖	3-28
圖 3.22 港口測站之波譜及能量累積比例曲線圖	3-29
圖 4.1 花蓮港位置示意圖	4-1
圖 4.2 花蓮港現況平面配置圖	4-2
圖 4.3 部分開口矩形港池之網格、測點位置及岸壁類型	4-6
圖 4.4 部分開口矩形港池之網格、測點位置及 4 種消能岸壁配置 ...	4-7
圖 4.5 消能斜坡之變動性反射率	4-7
圖 4.6 配置 KR4 方案中各測點及測區的波高增幅曲線圖	4-10
圖 4.7 配置 KR5 方案中各測點及測區的波高增幅曲線圖	4-10
圖 4.8 週期 15 秒($L=197.46\text{m}$)5 種配置波高增幅係數分布圖	4-11
圖 4.9 斜坡(斜度 6 度)上之反射率與波形尖銳度關係圖(Taira and Nagata, 1968)	4-13

圖 4.10 斜坡反射率與 Iribarren 數關係圖(Seelig and Ahren , 1981).	4-14
圖 4.11 斜坡拋石堤之反射率與 Iribarren number 關係圖	4-14
圖 4.12 Jarlan 型消波結構物(Jarlan, 1961).....	4-15
圖 4.13 直立開孔式靜波牆沉箱碼頭示意圖(井島等人, 1978).....	4-15
圖 4.14 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).....	4-15
圖 4.15 越波排水式消能斜坡(李, 2010).....	4-16
圖 4.16 越波排水式消能斜坡水工模型與數值模擬之反射率比較(李, 2010).....	4-16
圖 4.17 內建斜坡越波排水式消能碼頭斷面試驗模型配置(林等人, 2012)	4-17
圖 4.18 消能碼頭斷面模型之反射率實驗及數模結果(林等人, 2012)	4-17
圖 4.19 低反射性沉箱示意圖	4-18
圖 4.20 Huang 等人(2011)回顧之 Jarlan 型防波堤結構之類型	4-19
圖 4.21 Lee 等人(2014)的部分開孔沉箱結構物水工試驗模型	4-19
圖 4.22 斷面水槽中段消波設施示意圖	4-21
圖 4.23 斷面水槽末端消波設施示意圖	4-22
圖 4.24 空水槽試驗波高計預定配置位置	4-23
圖 4.25 水工模型試驗波高計預定配置位置	4-24
圖 5.1 交通部運輸研究所運輸技術研究中心風洞實驗室	5-1
圖 5.2 斷面水槽第 2 試驗觀測段	5-1
圖 5.3 雙制動活塞平推式造波機	5-2
圖 5.4 造波機主要元件配置規劃圖	5-3
圖 5.5 造波控制專用個人電腦	5-4

圖 5.6 遠端造波板安全單元(緊急停機按鈕).....	5-5
圖 5.7 典型的馬達驅動控制面板(MDCP)內部配置情形.....	5-6
圖 5.8 HR Wallingford 造波機基本操作架構圖.....	5-7
圖 5.9 造波板與雙電子式制動器配置圖.....	5-10
圖 5.10 造波機組件進場照片(112 年 11 月 22 日).....	5-12
圖 5.11 造波機組件安裝照片	5-13
圖 5.12 造波機系統調整及校正測試照片	5-14
圖 5.13 造波機系統教育訓練照片	5-15

表 目 錄

表 2-1 本所長週期波相關研究計畫(不含海氣象觀測年度報告)	2-17
表 2-2 花蓮港共振問題相關期刊及研討會文獻	2-18
表 3-1 過去 2000 年最嚴重災害的海嘯	3-4
表 3-2 101~106 年間斷纜事故表(洪等人，2020)	3-14
表 3-3 2022 年船舶海事案件事故原因綜整(黃等人，2023).....	3-18
表 3-4 海嘯最大波高因子分級表(王等人，2020).....	3-20
表 4-1 各實體邊界之反射率設定情形	4-6
表 4-2 空水槽試驗-規則波造波條件	4-23
表 4-3 空水槽試驗-不規則波造波條件	4-24
表 4-4 水工模型試驗-規則波造波條件	4-25
表 4-5 水工模型試驗-不規則波造波條件	4-25
表 5-1 HR Wallingford 斷面造波系統的基本尺寸	5-3
表 5-2 HR Wallingford 造波系統的安全協定	5-8

第一章 緒論

1.1 研究緣起與目的

臺灣為一特有的海島型環境，其東側海岸線蜿蜒多岩岸，且直接面對深邃的太平洋海洋環境；西部則多屬砂性海岸海岸線，水深變化較為緩和，但臨接臺灣海峽與中國大陸相望僅百餘公里，受到海峽型氣候與大陸型氣候的影響。夏季主要為西南季風季節；冬季為東北季風季節；春及秋季為季節之轉換，但 5~12 月皆有颱風侵襲紀錄，而全年均有鋒面氣候的變化。

季風波浪主要受到季節性氣壓與氣流變化影響，季風波浪一般較為穩定。颱風波浪則因低氣壓集中於氣旋中心，大約在 950mb 左右，而氣壓則以近似同心圓向外遞增至 1020mb 左右，該壓力差所產生的風以輻射狀向外擴散，也造成了隨著颱風行進，且持續成長的颱風波浪，直到離開作用風域，而轉型成較長週期的湧浪。

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，造成長週期波能的動量較大。因此長週期波浪傳遞至近岸，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，可能引致港灣內靜穩度降低、越波及海水溢淹等危害，亦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。

1.2 研究項目與內容

本計畫規劃以 3 年期計畫，探討長週期波浪運動各項相關議題進行。112 年首先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，綜整歸納長週期波所造成之破壞機制與改善對策。另以花蓮港所遭遇的問題為主軸，研擬能消減長週期波浪作用之

結構或設施雛形。113 年開始執行斷面水工模型試驗，選定海岸型結構物或港灣型結構物典型斷面，進行長週期波斷面模型試驗，針對結構物的受力及反射率進行研析，並引入 112 年的研究成果，規劃消能結構斷面型式或設施，以尋求斷面受力及反射率改善。114 年則應用前二年的研究成果，進行改善後斷面的水工模型試驗，驗證消減結構物受力及反射率的成效。最後進行綜合整理與評估，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(112)年度研究主要聚焦在長週期波浪作用下，可能引致港灣內靜穩度降低的探討及分析。研究方法說明如下：

1. 實際破壞案例回顧：蒐集國內外長週期波浪所造成災害實例及參考資料，並初步分析致災因素。
2. 文獻蒐集研讀：蒐集長週期波浪相關議題文獻，並針對可抵禦或消減長週期波能的結構物及設施相關之國內外研究，進行蒐集及研讀整理。
3. 分析長週期波浪造成破壞之機制：利用綜合討論長週期波浪的實際破壞案例致災因素及相關文獻，整合出長週期波浪所造成之破壞機制與對策。
4. 提出消減港灣長週期波浪結構物或設施雛形：經由長週期波浪的結構破壞機制，研擬適用於消減長週期波浪的結構物斷面或設施型式。

第二章 長週期波相關資料回顧

海洋存在有各種不同類型的波浪，如圖 2.1 所示，依 Munk(1950) 可將海洋波浪依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)針對長週期波(30 秒以上)探討 30~60 秒、60~300 秒、300~600 秒及 600 秒以上，共 4 個週期區間，其原因可能是日本處於高緯度，直接承受太平洋傳播的長週期波浪。就臺灣而言除了這 4 個週期區間外，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。港區內最關注的仍是蕩漾(seiche)，以 2005 年龍王颱風侵襲花蓮港為例，如圖 2.2 所示，龍王颱風尚未接近(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；2005/10/02 05:10:00 颱風登陸)，港口航道就已存在 90 秒以上長週期波，而一般常把湧浪視為 15 秒~30 秒波動。

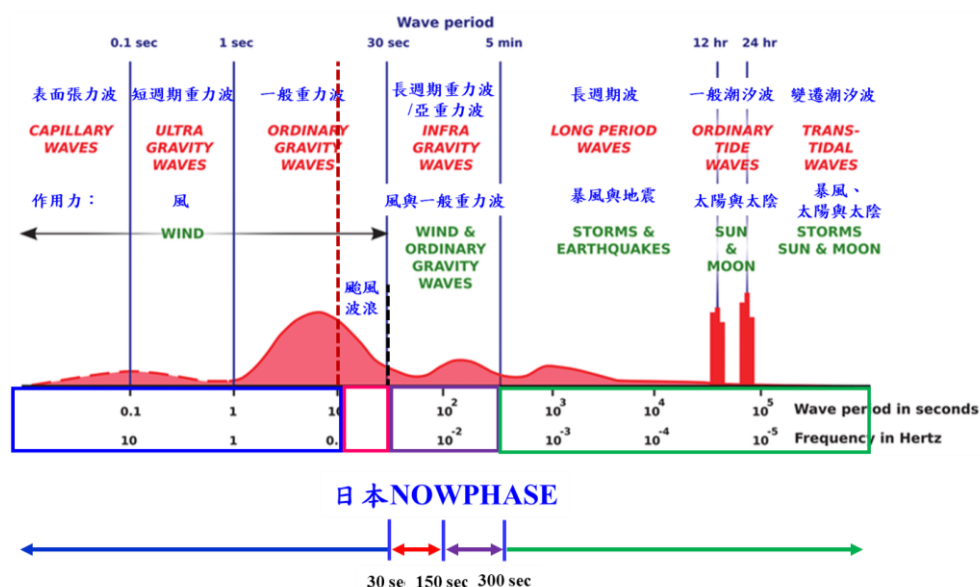
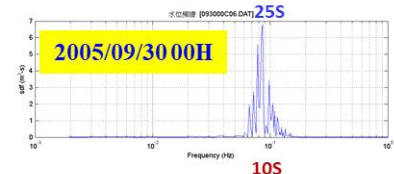
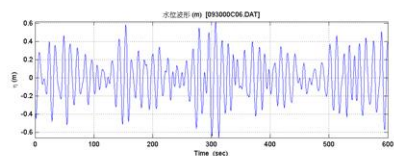
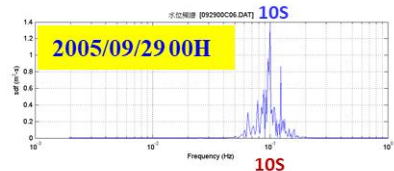
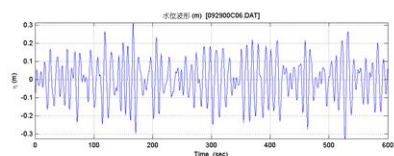
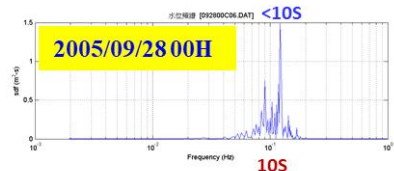
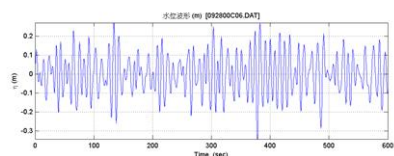
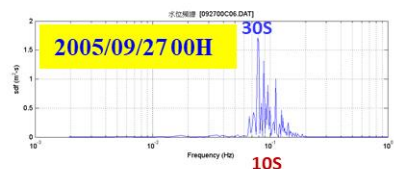
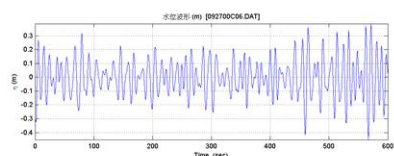


圖 2.1 海洋波浪分類(改自 Munk, 1950)

港外



港口

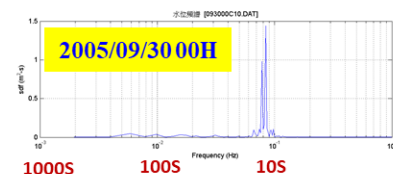
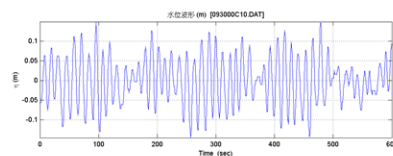
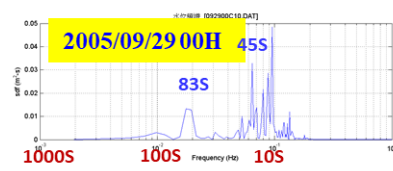
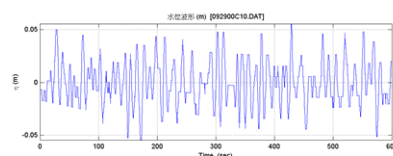
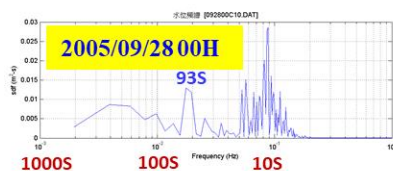
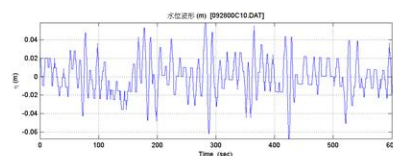
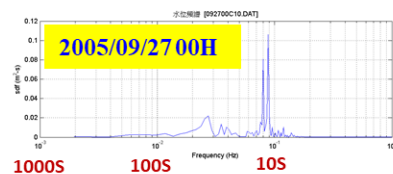
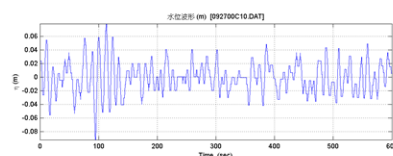
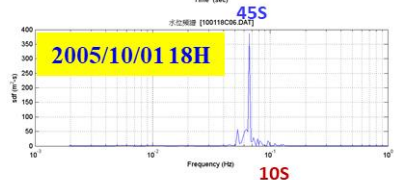
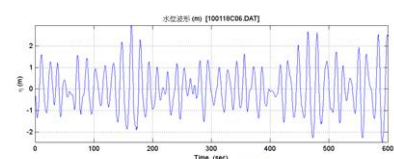
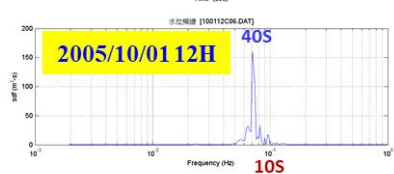
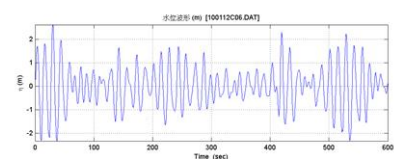
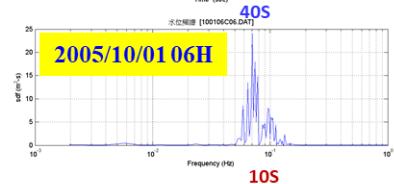
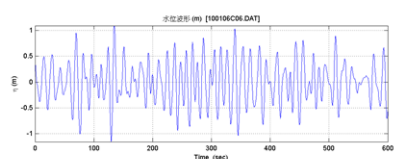
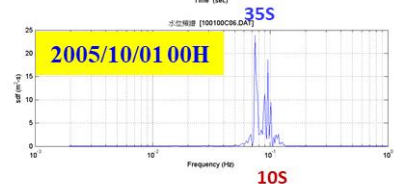
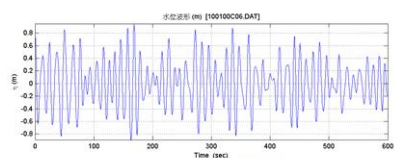


圖 2.2 花蓮港港口 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析

港外



港口

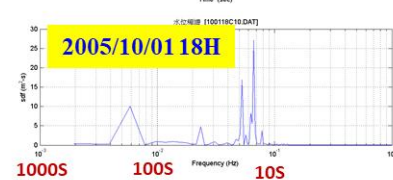
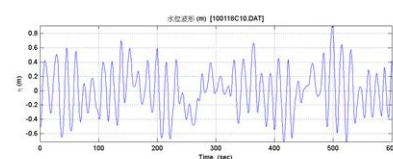
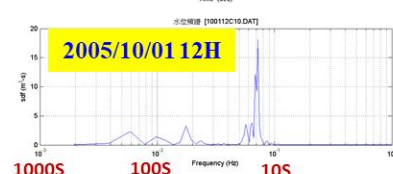
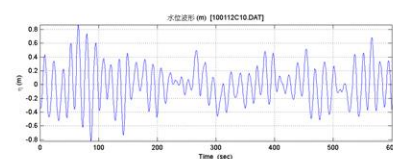
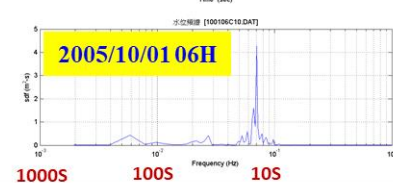
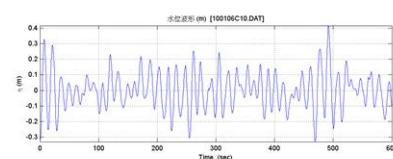
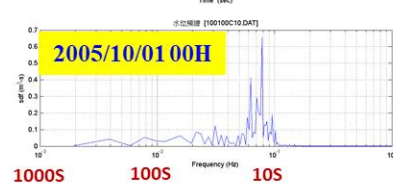
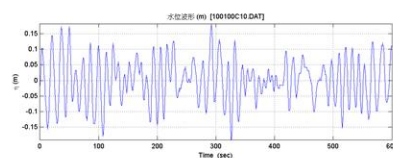
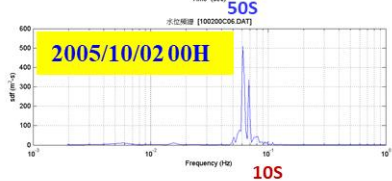
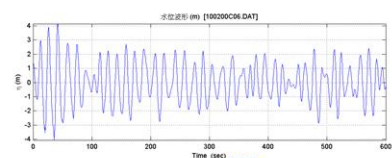


圖 2.2(續) 花蓮港港口 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析

港外



港口

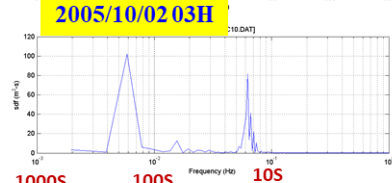
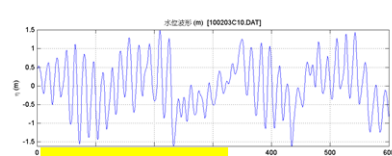
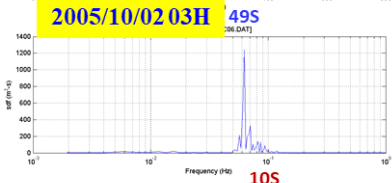
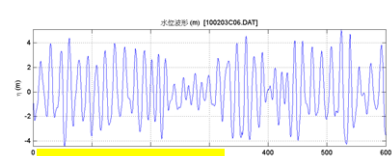
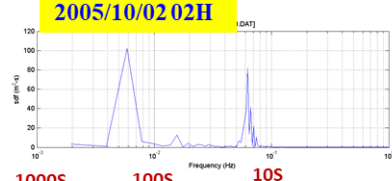
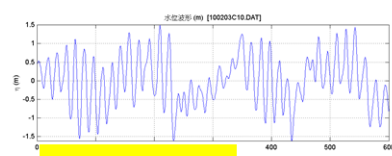
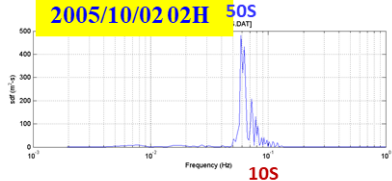
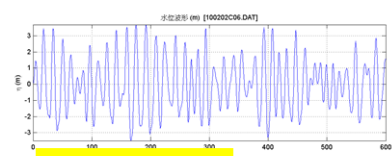
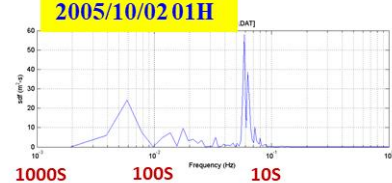
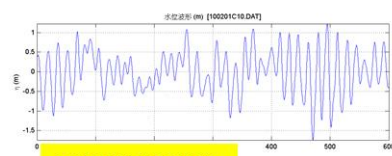
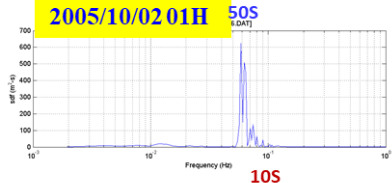
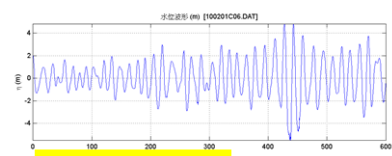
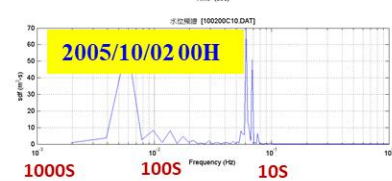
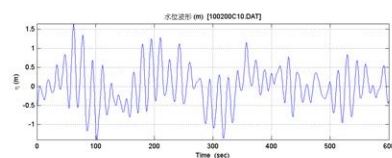
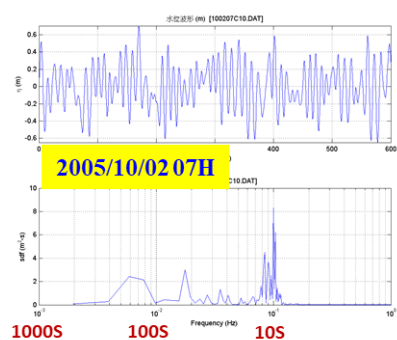
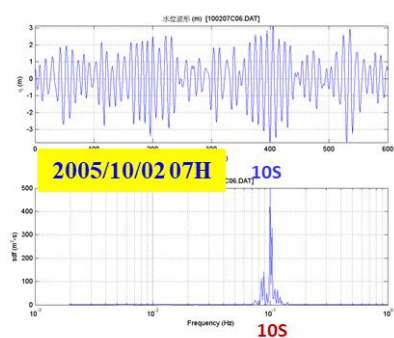
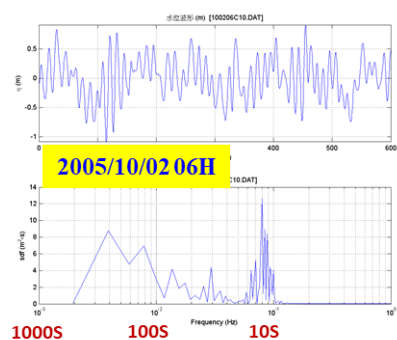
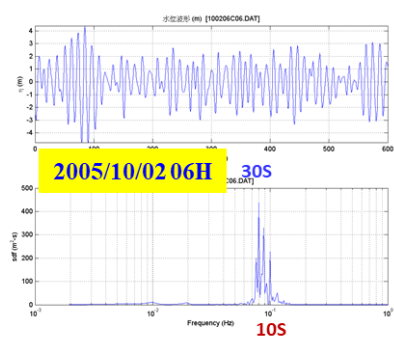
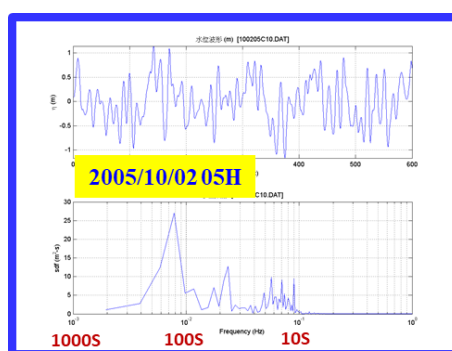
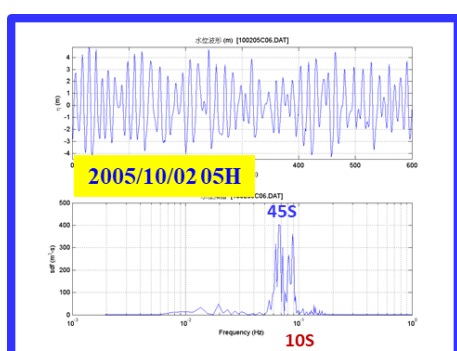
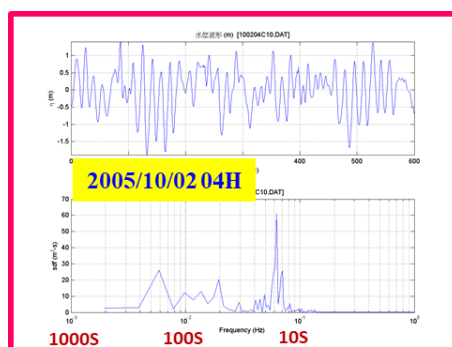
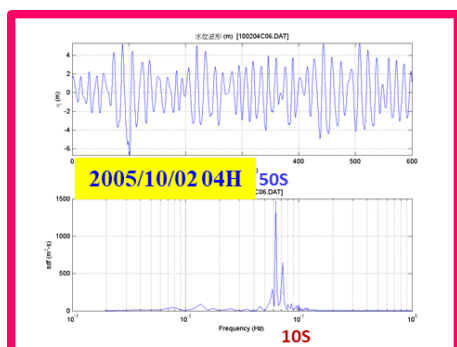


圖 2.2(續) 花蓮港港口 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析

港外

港口



.2(續) 花蓮港港外 2005 年龍王颱風時期波浪觀測分析

2.1 國外港灣長週期波相關研究

有關港灣長週期波動的國外相關研究，目前主要所蒐集到的文獻可歸納為美國、南非、西班牙、法國、加拿大、英國及日本等國家有較大規模的討論，分別敘述如下：

1. 一般討論部分

Grey 等人(2010)基於國際海洋運輸提高，國際商港對深水碼頭需求的增加而向外擴建時，提出因擴建緣故，使得入口航道有加長及加深的趨勢，但必須留意到原有規劃的波浪入射方向以及波高，會因斜向通過深水渠道的改變。

DHI (Danish Hydraulic Institute, 2023)曾應用 MIKE21 套裝軟體，協助檢討西澳 Geraldton 港的長週期振盪問題時，進行以下分析與檢討：

- (1) 淺礁區長週期波之生成 long wave generation over reefs
- (2) 長週期波傳播入港的數值模擬 numerical modelling of long wave propagation into the port
- (3) 港內長週期波特性和特性 characteristics of long waves in the port
- (4) 共振考量與減災 resonance consideration and mitigation
- (5) 船舶運動與纜繩受力 ship motions and mooring line tension
- (6) 繫纜系統的改進 improvements of mooring systems
- (7) 湧浪與長週期波早期預警系統 early alert systems for swell and long waves

另針對改善該港長週期振盪影響提出建議，其思維方向大致與國內接近，包含下列項目：

- (1) 修改防波堤 modification of breakwaters
- (2) 港區浚深 dredging
- (3) 改變繫纜系統 alternative mooring systems
- (4) 依據波浪預報改善港務管理系統 improved management systems based on wave forecasting

Maravelakis 等人(2021)以希臘 Chania 的 Venetian 港觀測 9 年之波浪資料，配合 EuroTop 越波公式及 Boussinesq-type COULWAVE 港灣波動數值模式，探討港灣共振與越波之關係，提出評估方法，該文也提到由於使用傳統性觀測取樣的緣故，無法找到港外及港內的亞重力波間的關係。

2. 美國

主要以 Long Beach 港及其周邊港域進行探討，如圖 2.3 所示。Sargent(1989)以 Chen and Mei(1974)的混合元素法港灣波動數值模擬，評估美國 Long Beach 港 2020 年建港計畫的配置方案，在入射波 60 至 400 秒長週期作用下的港灣波動。其數值模擬結果顯示，各個港渠有其特有的自然週期。

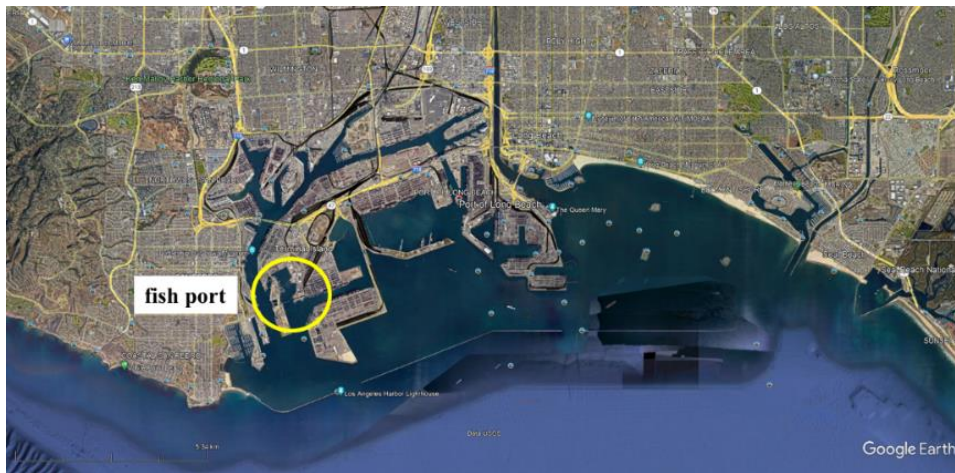
Bottin 等人(1985)以水工模型試驗及 Chen and Mei(1974)的混合元素法港灣波動數值，模擬探討洛杉磯 San Pedro 附近的漁港的改善方案，其模擬入射波週期為 20 秒至 160 秒。

Thompson and Hadley (1995) 以 Chen and Mei(1974)的混合元素模式 HARBD，討論有關港灣波動的評估方法。

Seabergh and Thomas (1995)利用在 Los Angeles 港及 Long Beach 港兩個水工模型試驗，探討 400 號碼頭船渠，在 3 個長週期實測波譜作用下的長週期振盪。

Lee 等人(1998)以有限元素模式，探討 Los Angeles 港及 Long Beach 港的共振問題，並指出適當增加港內突堤，可改變自然共振週期。

Briggs 等人(2004)以水工模型實驗及數值模擬，評估美國 Long Beach 港填海計劃的 4 種配置方案。水工模型實驗部分，包含 18 個規則波週期及 2 個波譜，皆為與長週期振盪有關。其中一個波譜為 1988 年 1 月 17 日，在加州西海岸造成大災害的暴風浪量測記錄；另一個則為涵蓋 25 秒到 512 秒長週期成分，類似白色噪音的波譜。數值模擬則使用 HARBSHIP 有限元素數值模式(Moffatt & Nichol Engineers)，模擬 25 種波浪週期，包含水工模型試驗的 18 個週期。



資料來源：Google Earth

圖 2.3 美國 Long Beach 港

Chang and Wu (2019)以 Chen and Mei(1975)的混合元素法，針對美國 Indiana 港的港灣波動，探討入射波週期 5.8 至 2013.4 秒($ka=2\pi/L$ 介於 0.1~35，其中 k 為波數； a 為特性長度約為港灣的入口寬度)。討論入射波週期和港灣入口寬度，對於港內指定點位造成的共振影響。

Hadley and Thompson (1994)應用 HARBD 模式(Chen and Houston, 1987)，評估夏威夷 Kaumalapau 港和 Maalaea 港的港內波動，評估入射波頻率介於 20 秒~200 秒。

Harkins and Briggs (1994)針對夏威夷歐胡島 Barbers Point 港，依據 1986 年 7 月~1990 年 3 月的現場觀測資料，應用 HARBD 模式(Chen and Houston, 1987)評估週期介於 45 秒~24576 秒的港灣波動，此外也執行水工模型試驗。值得參考的是為了得到較多的波浪資訊，該現場監測計畫共執行以 1Hz 連續取樣 1024 點，蒐集風波資訊以 0.125Hz 連續取樣 2048 點。蒐集湧浪資訊部分，則在 1989 年 1 月開始在港內，以 0.5Hz 連續取樣 4.6 小時(即 8192 點)，以及在港外以 1Hz 連續取樣 4.6 小時(即 16384 點)。

3. 南非

Van der Molen and Moes (2009)針對南非 Cape Town 港、Saldanha 港與 Ngqura 港，利用現場長週期波動觀測與 Mike21 數值模擬，探討長週期波作用造成之船舶繫纜問題，並建議：

- (1) 要詳細分析當地的長週期的波浪統計與季節性變化，並計量低頻部分的能量分布。
- (2) 調查港灣是否發生共振現象，以及發生駐波的節點與反曲點的位置。
- (3) 建立船舶尺寸、繫纜繩及碰墊狀況或型式，並決定繫纜船舶的自然運動頻率範圍。
- (4) 找到繫纜船舶對週期敏感的範圍，並討論與當地長波狀況的相關性。

以多個部份去評估長週期的負面影響、減災方法及最佳繫纜狀況，並針對已經存在或正在施工的港灣，應用數值及物理模型計量分析長週期波問題及潛在性解答。

Rossouw 等人(2013)回顧南非的 Cape Town 港、Saldanha 港與 Ngqura 港的長週期波動問題，認為港內的 25 秒到幾分鐘的長週期波，與外海的湧浪變化有關，因此，可以從幾天前的湧浪變化，來預測長週期波的發生。他們指出已經辨識出的兩種長週期波生成機制：伴隨在波群裡的強制波(bound long waves)及自由長波(free long waves)。另根據長短不一的波浪觀測進行分析，結果顯示南非 Saldanha 港顯著譜峰週期介於 25~130 秒；Cape Town 港為 50~200 秒；Ngqura 港為 25~125 秒；Durban 港為 25~100 秒；Richards Bay 港為 250~350 秒，充分顯示長週期波不一定是同一來源。

Stuart 等人(2014)應用港內外波浪觀測資料與 Mike21，檢討 Ngqura 港的港灣長波動情況，分別為介於 5~30 秒的風波與 30~600 秒的長週期波引致。

Troch 等人(2020)針對減緩 Ngqura 港長週期蕩漾的威脅，提出同時考慮港形配置與多種繫纜方法的雙標準分析法(Multi-Criteria Analysis)。

4. 西班牙

Lópeza 及 Iglesias(2014)以西班牙 Ferrol 港的外港區為例，應用一艘散貨輪的六自由度量測配合波浪觀測，討論湧浪以上之長週期波與繫纜船舶運動的相關性。其發現船舶的垂直方向運動(heave、pitch 及 roll)主要與港內的湧浪能量有關；但水平運動(sway、surge 及 yaw)則與總能量有關，尤其是低頻部分(2.5mHz ~ 40mHz)能量與總能量的比例。

5. 法國

André 等人(2021)依據多年的潮位觀測資料庫(ROINIM)，其目標是計算法國沿著大西洋、英吉利海峽及北海海岸的各個港灣蕩漾(seiche)振幅。該研究首先以觀測資料及線性緩坡方程模式，求出各個港灣的自然共振週期，然後以非線性波理論應用 NOAA

Wavewatch III 風波模式推算結果，探討會發生蕩漾的強制性長波 (bound wave) 入射波波譜，結果顯示入射強制性長波與小型港灣的低頻振盪有強烈關係。在找到外海入射波浪與港內長週期蕩漾的波高與週期關係後，可結合 NWW3 的風波推算來進行預報，並改善港灣作業管理。

6. 加拿大

Leys 等人(2018)針對加拿大大西洋沿岸的 8 個大小不同的港灣，從波浪觀測資料與港灣波動數值模擬，探討港灣共振與港形大小的相關性，最後認為港灣共振需要以改變港形來改善，而湧浪與淘刷的改善，則可藉由港灣結構物的新增，與改善現有結構物來處理。

7. 日本

藤繩幸雄等人(1976)以日本神奈川縣平塚市外海 1 公里，水深約 20m 處觀測塔的觀測資料(1974/8/29~1974/9/2，81 個小時颱風侵襲時期)，發現特性波高比值與風波不同，大湧浪波高的機率分布與 Cartwright 及 Longuet-Higgins (1956) 相吻合，小湧浪波高的機率分布則符合 Longuet-Higgins and Stewart (1964) 的理論公式，但大波高則有差距。該研究也找到湧浪波高(週期)與風波的波高(週期)之間的關係，港內長週期波與外海風波波高時序列有一相位差，但長週期波高與預測值一致。研究中也發現共振機制會引發緣波效應，輻射應力的顯著波數及能量傳輸，與共振緣波的波數有關。

平山等人(1977)利用日本 NOWPHAS 的長週期觀測資料，討論長週期波作用下，港灣設施破壞的機制與因應對策，建議改變繫纜繩的材料和繫纜與碰墊位置，可以避免船體運動與港內波動發生共振；擴大及興建防波堤，可減少入射長週期波的能量；應用消能斜坡及底床摩擦損失，可削減長週期波的振幅。

平石等人(1996)分析日本秋田縣能代港及沖繩縣那霸港的觀測資料，發現能代港的港外有 1~5 分鐘之長週期波動，但港內則有 30 分鐘的副振動，研判屬於群波所伴隨的束縛性長週期波；那霸港離岸堤內外的長波週期，皆為約 20 秒波動，但長週期波並沒有在港內造成災害。

平石及平山(2002) 為了探討某些港灣受到長週期波作用，而引發港內繫纜船舶的大型湧浪(水平)運動(large surge motion)。進行了一系列的現場觀察，來調查港內長週期波動的破壞機制。調查結果顯示長週期波主要是由群波裡的非線性受限波(non-linear bounded waves in grouping waves)所引起，而船舶繫纜系統自然週期的共振增幅了水平運動。該研究也使用日本 NOWPHAS 全國港灣海洋波浪情報網，來取得外海長週期波的特性。該研究針對多個對策並以數值模擬進行探討，並提出下列有效對策：

- (1) 利用改變繫纜系統的纜繩材質及繩索與碰墊的位置，來避免共振。
- (2) 利用加大及興建防波堤，來減少長週期入射波的能量。
- (3) 應用消能斜坡及摩擦層，來避免港內長週期波的增幅。

加騰與丹治(2010)針對 2009 年初，發生在日本九州東海岸側的副振動的特性、災害情形與因應對策進行整理與分析，並針對不同漁港及災損特性提出不同建議，包括拆除既有突堤、新設消波堤、新增防波堤及第二道防波堤。

苫小牧港部分：仲井(2013)針對日本海岸長週期波的現象與曾經發生過的災害進行討論，在苫小牧東港自 1895 至 1994 年記錄上發生了 24 次斷纜事件，該報告依據日本 NOWPHAS 全國港灣海洋波浪情報網的觀測資料，並將波浪週期區分為 15~30 秒、30~150 秒、150~300 秒及 300 秒以上，共有 4 個長週期波週期區間，並分為太平洋側與日本海側進行統計分析。松野等人(2009)、今等人(2013)及

城等人(2013)對在苫小牧港施做長週期對策結構物後，進行其有效性的驗證討論。

清水港部分：山田等人(2021)基於 2017 年 27 號颱風及 2019 年 19 號颱風 (哈吉比)通過日本靜岡縣駿河灣時，造成清水港附近的嚴重災損，包含碼頭溢淹導致貨物流失，乃由清水港灣事務所為了對清水港遭受自然災害的防災與減災，結合產官學界進行一系列研究如板倉(2021)及桐山(2021)，為一綜合性報告。該研究應用一溢淹模式，分析溢淹係數並檢視減災的手段，以便能降低對港灣的損害及改善防災的能力。總括來說，造成溢淹的元凶主要是湧浪的傳播，再加上颱風時期的大波浪與風暴潮。應用 Boussinesq 方程式數值模式模擬，可成功地再生 2019 年 19 號颱風現場觀測水位，因此，可用來進行溢淹預報及評估各種減災手段。該文也指出碼頭上構築防潮矮牆，可明顯降低溢淹程度(圖 2.4-圖 2.5)。

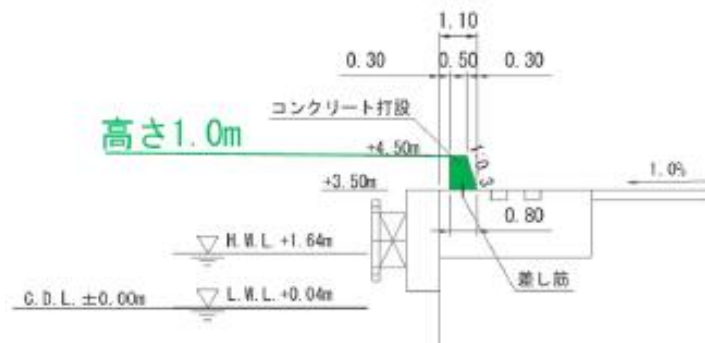


圖 2.4 防潮矮牆斷面(山田等人，2021)

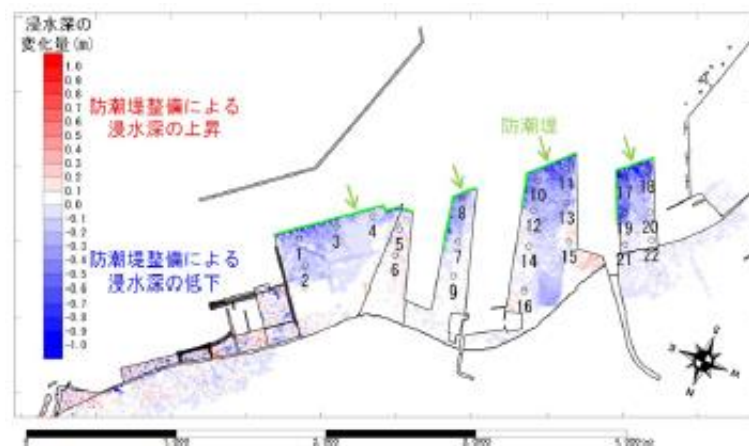


圖 2.5 防潮矮牆設置前後溢淹差值(山田等人，2021)

志布志港部分：松岡等人(2010)針對港灣長週期波動情形，做一敘述並確認長週期波動發生位置，提出改善對策，包括港內增加新型護岸、南防波堤內側或東防波堤內側增加長週期波消波設施。田中等人(2017)針對改善方案，進一步以數值模擬港灣波動，進而推算船舶運動量與預測貨物裝卸作業效率。本田等人(2020)對於湧浪部分，進行包含發生機率的統計分析，並檢核防波堤結構物的穩定性。

秋田港部分：酒井等人(2006)檢討港內的長週期波動與擴建的對策，以 Boussinesq 方程數值模式模擬，評估靜穩度與推算貨物裝卸效率的改善。池內等人(2009)進一步以 Boussinesq 方程數值模式模擬，評估多種港灣配置對波動的改善情形，包括外港區及南防波堤內側加拋消能斜坡與北防波堤的延伸。宮脇等人(2018)進一步檢討碼頭用地擴建，對港灣靜穩度的影響。

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 2.6)，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。

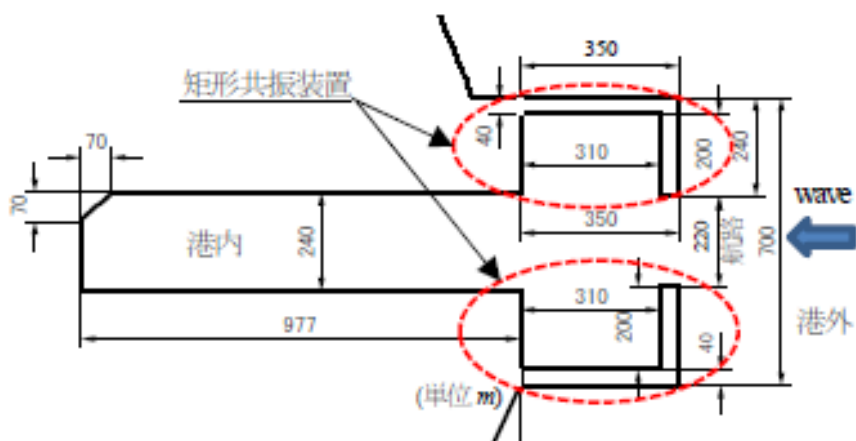


圖 2.6 美國長灘港 J 號碼頭港口處設置共振器示意圖 (中村等人，2022)

(港區水深恆定 $h=20\text{ m}$)

2.2 國內港灣長週期波相關研究

本計畫蒐集國內相關的研究文獻，藉以瞭解花蓮港港池共振機制，並期能研提改善防制對策，發現國內相關調查與研究大部分在本所完成。花蓮港自新東防波堤興建完成後，即發現港內於颱風時期常有長週期振盪的問題，本所自民國 78 年起即展開一系列的調查與研究，從現場觀測、數值模擬及水工模型試驗等多方面，探討花蓮港的港池共振機制，期間亦有相當多的專家學者發表論文，針對本項議題提供寶貴意見。

國內其他港灣是否也有長週期波動，衡諸目前所蒐集多個國家探討或改善有長週期波動問題港灣的文獻，發現都是位在太平洋岸或大西洋岸，因此，國內其他港灣存在有長週期波動是無庸置疑，只是有沒有製造困擾或事故則仍需深入調查及瞭解。本所於 2005-2008「花蓮港港池共振機制研究」計畫中在東海岸進行短期波浪聯測發現花蓮港、花蓮縣鹽寮漁港、臺東縣石梯漁港、金樽漁港及大武漁港等均有 300 秒以上的波動成分，但大多時間其波高並不大。至於臺灣西海岸的港灣是否有長週期波動，其應會受到臺灣海峽的影響，但存在機會仍有，惟實際情形需規畫新的觀測計畫才能清楚掌握。

為了找出花蓮港的長週期振盪(或共振)機制，早期在花蓮港務局的委託下，本所自民國 78 年起即陸續在港內及港外，展開一系列的長期海象觀測，至民國 89 年更擴大至全港內與東防波堤外側，進行多個測波站(最多達 19 個測站)的同步觀測，其間也包括了許多自發性的研究計畫。由於海象觀測蒐集的資料相當龐大(民國 78 年至 112 年已獲多或少持續觀測超過 30 年)，惟因人物力有限，目前僅能完成基本統計分析，至於與港灣規劃、管理及工程設計所需的海象資料，包含極值分析或經驗統計模式等，則尚需持續累積與統計分析整理。

除了現場調查之外，本所也進行相當多的數值模擬及水工模型試驗。花蓮港務局與本所也曾於民國 85 年合作舉辦『花蓮港港池振盪及

其改善方案研討會』，邀集國內產官學的專家學者共同探討花蓮港的共振問題。其他相關的研究有張及曾(1993)、張及曾(1995)、蘇及陳(1995)、曾及簡(1996)、蘇等人(1996)、簡及邱(1996)、張(1996)、曾(1998)、簡及曾(1999)、莊(2000)、莊及江(2000)、李等人(2001)、李(2001)、郭等人(2002)、蕭等人(2000)、邱等人(2003)、張及林(2003)、邱等人(2003)、蘇(2003)等、邱等人(2005)等。為方便後續研究者的搜尋，相關文獻列於表 2-1 及表 2-2 中。

表2-1 本所長週期波相關研究計畫(不含海氣象觀測年度報告)

報告編號	報 告 名 稱
S760390	花蓮港舊東防波堤外側潛堤穩定性及效用斷面模型試驗
S790630	花蓮港舊東防波堤身灌漿加固修護方法之可行性研究
S830990	花蓮港與蘇澳港八十三年颱風災害探討
S851260	花蓮港港灣設施改善計畫之研究第一子計畫現場海氣象調查
S851270	花蓮港港灣設施改善計畫之研究第二子計畫水工模型試驗
S851280	花蓮港港灣設施改善計畫之研究第三子計畫數值模擬
S851290	花蓮港港灣設施改善計畫之研究第四子計畫水深測量與漂沙堆積分析
S851300	花蓮港港灣設施改善計畫之研究第五子計畫防波堤改善方案
S851310	花蓮港港灣設施改善計畫之研究第六子計畫綜合改善方案
S861510	花蓮港整體規劃及未來發展計畫----長浪及漂砂防制研究第一子計畫:防波堤結構斷面型式試驗研究
S861520	花蓮港整體規劃及未來發展計畫----長浪及漂砂防制研究第二子計畫:防波堤堤線配置平面試驗
S861530	花蓮港整體規劃及未來發展計畫----長浪及漂砂防制研究第三子計畫:港口漂砂淤塞改善檢核試驗研究竟
S861540	花蓮港整體規劃及未來發展計畫----長浪及漂砂防制研究第四子計畫:綜合改善方案研定
B085031	臺灣五個國際港附近海域海氣象調查研究
B085032	臺灣五個國際港海氣象資料庫查詢系統建立研究
B085033	臺灣五個國際港波譜預測模式之研究
B085080	花蓮和蘇澳港附近長波研究
B088070	花蓮港波浪預警系統之應用研究
B089180	花蓮港商漁港分道與港池穩靜水工模型試驗研究-可行性分析
B089190	花蓮港商漁港分道與港池穩靜水工模型試驗研究-水工模型試驗報告
B090020	花蓮港港內和港外長波數值模式研究
B090030	臺灣地區整體國內商港暨漁港客貨碼頭發展規劃
B090090	花蓮港共振強度估算模式研究
B0951130	花蓮港港池共振機制研究 (1/4)
B0961840	花蓮港港池共振機制研究 (2/4)
B0972590	花蓮港港池共振機制研究 (3/4)
B0983110	花蓮港港池共振機制研究 (4/4)
B0994320	花蓮港港池共振機制及改善對策之研究

表2-2 花蓮港共振問題相關期刊及研討會文獻

1	張金機、曾相茂(1993)「花蓮港港池不穩靜初步調查研究」，第 15 屆海洋工程研討會，第 489~502 頁。
2	張金機、曾相茂(1995)「花蓮港港池不穩靜初步調查研究」，第 17 屆海洋工程研討會暨兩岸港口及海洋工程研討會，第 131~143 頁。
3	蘇青和、陳明宗(1995)「花蓮港港池之共振特性探討」，第 17 屆海洋工程研討會，第 113~128 頁。
4	簡仲璟、邱永芳(1996)「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-模型試驗」，專刊 127 號，交通處港灣技術研究所。
5	張金機(1996)「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-綜合改善方案」，專刊 131 號，交通處港灣技術研究所。
6	曾相茂、簡仲璟(1996)「花蓮港海域海象現場調查與分析」，花蓮港港池振盪及其改善方案研討會，第 31~59 頁，交通處港灣技術研究所。
7	蘇青和、蔡丁貴、張金機(1996)「花蓮港港灣設施改善計畫之研究-數值模擬」，專刊 128 號，交通處港灣技術研究所。
8	曾相茂(1998)「臺灣海域海岸現象調查與及時回報系統建立之應用研究」，87-研(三)，交通處港灣技術研究所。
9	簡仲璟、曾相茂(1999)「花蓮港颱風波浪特性研究」，第 21 屆海洋工程研討會，第 55~62 頁。
10	蕭松山、王昭文、方惠民、陳建興(2000)「雙互換邊界元素法解析花蓮港港池波動問題」，第 22 屆海洋工程研討會，第 327~334 頁。
11	莊文傑(2000)「亞重力波與花蓮港之波動共振」，港灣報導，第 54 期，第 26~33 頁，交通處港灣技術研究所。
12	莊文傑、江中權(2000)「亞重力波引起花蓮港之共振機制與對策」，第 22 屆海洋工程研討會，第 578~585 頁。
13	邱永芳、蔡金吉、張金機(2000)「花蓮港商漁港分道與港池穩淨水工模型試驗研究-水工模型試驗報告」，MOTC-IOT-IHMT-CE-8801，交通處港灣技術研究所。
14	李兆芳(2001)「港池振盪之數值模擬計算」，2001 海洋數值模式研討會，第 4-1~4-20 頁。
15	李兆芳、劉正琪、張憲國(2001)「港池振盪之數值模擬計算」，海洋工程學刊，第一卷第一期，第 1~22 頁，海洋工程學會。
16	郭一羽、林明儀、曾相茂(2002)「花蓮港池振盪現象的探討」，海洋工程學刊，第二卷第一期，第 55~71 頁，海洋工程學會。
17	邱永芳、蔡瑤堂、張富東、蔡金吉(2003)「花蓮港商漁分道之可行性研究」，第 25 屆海洋工程研討會，第 897~902 頁。
18	邱永芳、蔡金吉、張富東 (2003)「花蓮港長浪防治之試驗研究」，第 25 屆海洋工程研討會，第 655~660 頁。
19	張憲國、林立青(2003)「花蓮港港池振盪之頻率與振幅辨識模式」，第 25 屆海洋工程研討會，第 103~110 頁。
20	蘇明陽(2003)「花蓮港港池振盪入射波種類之探討及建議」，第 25 屆海洋工程研討會，第 917~923 頁。
21	邱永芳、林昭圭、簡仲璟(2004)「花蓮港長浪特性試驗探討」海洋工程學刊
22	陳冠宇、簡仲璟、蘇青和、曾相茂(2006)「邊緣波引致花蓮港共振問題之研究」港灣報導
23	林玉峰、林昭圭、蕭俊賢、鄭璟生、邱永芳(2007)「花蓮港長週期波動之觀測研究」海洋工程學刊，第 47-67 頁
24	Li-Hung Tsai, Xiuying Xing, and Jiin-Jen Lee (2009) "Improving harbor resonance induced by typhoon waves for Hualien harbor", Coastal Engineering 2008, pp. 1236-1248
25	林立青(2013)「花蓮港共振源譜之探究」港灣報導
26	蔡立宏(2010)「花蓮港港池共振機制及改善對策之研究」國科會計畫報告(NSC：96-2918-I-172-001)，交通部運輸研究所。
27	周立言(2022)「數值模擬花蓮港之颱風波浪」淡江大學碩士論文，蔡效忠、蘇仕峰指導

邱等人(2004)的文獻中從改善花蓮港長週期振盪的出發點，整理了過去相關的現場觀測、模型試驗及數值分析的成果。在文章中指出有關現場觀測的資料分析部份，曾(1996)分析民國 79 至 85 年間的 31 個港外颱風波浪，其中民國 83 年的 6 個颱風(提姆、凱特琳、道格、弗雷特、葛拉絲及席斯)，以及民國 84 年的肯特颱風期間港內也進行了同步觀測。分析結果指出外海的颱風波能多集中在 11 至 15 秒之間，但在港口外側則顯示長週期成份波的能量顯著增加；內港區的長週期能量集中在 147 及 158 秒左右，而外港區則在 137、147 及 185 秒左右。由於東防波堤的遮蔽效應，外港區池的短週期能量可以降低 1 階，而內港區池則降了 2 階，然而 160 秒左右的波能卻增加 2 階。文中並指出可能引起港內超長重力波的機制有二：(1)碎波點位置振盪所生的自由長波；(2)伴隨短波群前進之強制長波。

曾及簡(1996) 分析民國 78 年至 82 年的現場觀測資料也指出在民國 83 年提姆颱風侵襲期間港內有明顯的能量集中在 47、82、98、114 及 158 秒成份波處。簡及曾(1999)分析民國 79 年至 87 年間的 45 個颱風動態資料與現場波浪資料指出，颱風波浪的波高逐時變化除與颱風行進路徑、強度規模及移動速度有關外，也和背景波浪場、陸地遮蔽效應有密切關連。對花蓮港而言，颱風波浪的總作用時間大約 1 至 2 天；颱風波浪的明顯增大時間大約是颱風中心距花蓮港約 500~900 公里。

郭等人(2002)利用民國 83 年至 86 年間，5 個颱風時期所觀測的港內及港外波浪資料進行分析，以探討港池振盪的發生機制。其認為港內的振盪機制大致與線性波理論吻合，是由港外波浪低頻域能量所引起。但也指出港外風浪愈大，不一定港內振盪就大，必須視港外的低頻成份波的波向而定，而港外低頻波之波向也不一定與風浪主方向相同。顯示港池振盪的機制有著很複雜的關係。

張及林(2003)利用最小二乘法發展出兩種可辨識水位訊號之主成份波週期及振幅的模式，並將其應用在花蓮港民國 83 年提姆(Tim)颱風

的港內波動訊號上，辨識出港內主要成份波週期為 87.6 及 152 秒，而港外為 15、52、80 及 130 秒。

在水工模型試驗方面，簡等人(1996)嘗試幾種不同的港內配置方案，以試圖改善港內的長週期共振，但只能獲得有限的效果。黃等人(1997)藉由探討舊東堤改建、美崙溪導流堤延伸改善港口淤積、及南濱海岸侵蝕的問題，提出多種配置方案探討港內的長浪防制問題。邱等人(2000)從拓寬內航道、以及在港外加設潛堤或突堤的方式，來探討長浪可能的防制方法，其中共測試了 3 種颱風週期(12.6、13.5 及 15.3 秒)及四種長週期(40、100、140 及 160 秒)，並發現 140 及 160 秒的入射波會引起港內的長週期振盪。在水工模擬方面，由於經費、時程與計畫任務導向的限制，往往只能針對少數幾個特定波浪週期進行實驗，因此我們可以將其視為一項驗證的工作，瞭解某些週期的港池波動情形，或是確認某些週期會引發共振，但是對於沒有進行的波浪週期則無法獲得任何資訊。

邱等人(2004)指出大致上未來應是朝向擴寬港內窄段航道、在外港區增加消波設施、設法疏通進入內港區的波能、以及在南濱海岸建構垂直海岸的沒水結構物等方向思考。而需要考量的事項則是不論外海入射波浪的波向與週期為何，花蓮港港內都會引發 140 秒及 160 秒週期的港池振盪。此一現象顯示該港長週期振盪的發生機制中，在不規則波作用之下，波浪的主頻為何相關性不大，波浪能量可能僅是增幅的作用；而且並非颱風波浪作用才會發生。邱等人(2004)也提出需要檢討的相關事項包括：

1. 花蓮港特有的港池形狀，包含外海的水深地形所引起的特殊水理現象，可能是長週期振盪主要的因素。
2. 過去一直以為花蓮港的共振只是發生在颱風作用時期，而專注於研究如何削減颱風波浪的入侵能量，以解決港內共振的問題的思惟方向，可能需要重新評估。

3. 由於颱風波浪入侵能量可能較大，但可能因為引起船舶斷纜的事故才受到注意。
4. 由於花蓮港入射波來源及港形配置都顯得複雜，港灣共振的機制不易尋得。
5. 試驗結果顯示一旦港灣興建完成後，局部性的修改並不能有效地改善其港內長週期振盪的問題。設定遠程目標為大幅度變化花蓮港的港形，再利用結構物的老舊更新工程進行階段性改善，可能是一可考慮的方向，然而進一步的研究分析，並與數值模擬及現場觀測相結合是有必要的。

在數值模擬方面，蘇等人(1996)利用近岸波場推算數值模式-Model WP21 探討港內的波動，並指出當入射波週期為 42、87、92、118 及 155 秒時，港內會引起明顯的振盪。莊(2000)、莊及江(2000)應用 MIKE21-EMS 以數值模擬方式，探討花蓮港於颱風期間的港池不穩靜機制，並認為亞重力波顯著支配花蓮港的共振特性。他同時指出當亞重力波之入射週期為 100、130、160 及 190 秒時，港內會引起程度不同的共振，而且若花蓮港外海存在具有較顯著振幅(能量)的 195 秒波動時，則花蓮港內港域各碼頭區，將面對全面性之最嚴重共振波動振盪。蕭等人(2000)應用雙互換邊界元素法，解析花蓮港的港池波動問題時，指出港內增設消能池可改善長週期之波動，但港外設置潛堤則無多大效果。航道拓寬與航道浚深可降低波高增幅係數值，但可能引發新的共振週期。李等人(2001)利用緩坡方程式及邊界元素法進行解析並發現入射波週期為 48、56、96、116、140 及 160 秒時會引起港內的長週期振盪。以上數值模擬所得到的振盪週期略有出入，猜測其原因應是各項研究所用數值模擬技巧不同所致，例如數值方法、元素切割等。但是可以確認的是，從數值模擬上可以曉得花蓮港的共振週期特性。

周(2022)利用 FUNWAVE-TVD 波浪數值模式模擬，並以 2005 年龍王颱風之波浪比較不同入射方向作用下，花蓮港的港內示性波高及亞重力波變化。結果顯示模式能模擬出港內外的亞重力波能量，示性波

高僅在外港區較高，內港區相對穩靜，然而亞重力波在內港區及受限水道都十分顯著，最大的亞重力波出現在距離港口最遠的內港碼頭。不同入射波浪方向對外港波動影響較顯著，但對內港影響的差異不大。然而該研究似乎較著重於波高分布，較少探討港灣波動對周期的敏感性。

綜合而言，從過去所有的研究中，可以發現花蓮港的港池共振週期特性，已經透過現場觀測、模型試驗、以及數值模擬的方式加以探討多年，但是對於如何引發此一現象的機制：亞重力波、波群所附帶的長波、緣岸波、或是其他因素，卻仍是無法定論。

蘇(2003)從物理性質的角度，分析 3 種可能的長週期振盪發生機制：亞重力波、波群所附帶的長波、及緣岸波。其認為接近 80 至 90 秒或 130 至 160 秒週期的亞重力波，很難在一般颱風區域內產生。而除非是很規則的湧浪，現場不規則波浪很難出現有規則性的群波，因此推論波群所附帶的長波，不應該是有效引起港池共振的入射波。然而該文僅只是概念性地認為花蓮港的長週期振盪，應是由緣岸波所造成，但未作任何證明。再者，緣波的理論主要說明了入射波浪可以近似平行於海岸線走向的方向沿岸傳播，並可能攜帶大量能量入侵花蓮港。此一現象或許與花蓮港的共振有關，但就波浪週期而言，緣岸波並未改變外海波浪的週期結構，因此，猜測可能尚其他的共振機制。

2.3 小結

綜合以上各節的討論，可確認就目前已完成的各方面研究成果，所用的研究方法與方向，都已涵蓋了過去所有海岸工程方面的知識與技術，然而引發花蓮港長週期波動的機制，似乎仍無法明確定位。目前本研究所獲致的心得，初步為可接續朝向水工模型試驗、數值模擬及現場觀測 3 個方向，分別討論並做為後續研究重點。

1. 所謂長週期波動的定義上有模糊之處，依海洋波浪分類(圖 2.1)可分為海洋波浪可分為表面張力波(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~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。就相關文獻的討論中，實測涵蓋 15~200 秒之間(涵蓋一般重力波至長週期重力波或亞重力波)；數值模擬的討論花蓮港的振盪發生於 40~200 秒之間(屬於長週期重力波/亞重力波)；水工模型試驗測試週期則可因需求指定，並非港灣波動特性探討。但日本的相關研究則考慮從觀測、數值模擬與水工模型試驗，探討港外的一般重力波與港內發生長週期波動之相關性。因此，有關花蓮港長週期波動的研究，有必要再清楚定義討論的週期範圍。
2. 在水工模型試驗部份，本所已經從改變近海入射波能的結構、削減或消散入侵港灣的波能及改變港灣自然振動週期的構想(國外的想法相同)，進行過多次的穩靜度改善試驗，但是發現僅能做到有限程度的改善。邱等人(2005)彙整 3 個與花蓮港港池波動有關的水工模型試驗結果，包括本所於民國 85、86 及 89 年專題計畫的試驗結果(簡與邱，1996、簡等人，1999 及邱等人，2003b)進行綜合性的檢討。雖然這三個計畫嘗試變化各種不同的外廓設施配置方案，以期能削減港內的長週期振盪的發生或其能量，但試驗結果只顯示有限的改善成效，花蓮港的港內仍然會有共振的現象出現。邱等人(2005)指

出一旦港灣的主體佈置定型後，任何局部性改善措施都只能產生有限的效果而已。

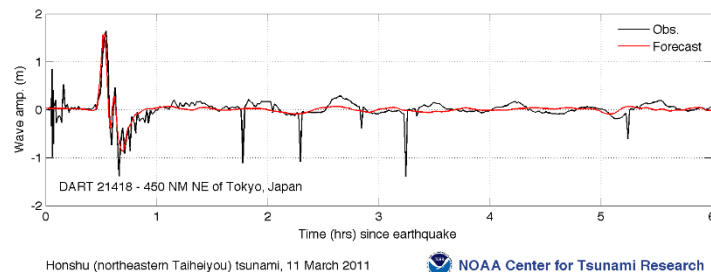
3. 基於人力、物力與時間有限，以及水深地形精度與模型縮尺的限制，水工模型試驗一般較屬於是被動性與趨勢性的研究方法。也就是說，先決定要試驗的狀況與條件後，再進行相關的佈置與試驗測試。因此，大多數的港灣遮蔽或是港灣波動折繞射試驗，多是在驗證或評估指定的波浪條件下，該港灣內外波動情形，僅能做為理論分析與數值模擬結果的驗證，很難找到花蓮港的共振機制。因為港灣波動受入射波週期影響很大，後續可使用白噪音波譜來進行不規則波水工模型試驗，可能有助於發現群波伴隨的長週期波引發的港內波動。若直接探討港灣自然(共振)週期，則受限於數值造波或水工模型試驗的不規則波波形的產生，都需經過成分波分割，波形之間是否能具有自然週期則需要仔細評估。
4. 數值模擬部份則由於各篇研究，可能使用不同的控制方程式、邊界條件與網格分割的解析度來建立數值模式，雖然其都確認了花蓮港有長週期的共振週期，但是各個數值試驗所得的共振週期都略有出入，而無法作成具體的結論。林(1997)曾指出數值模擬網格的不恰當切割或選點的不同，可能導致港內共振週期的偏移。因此，如果檢討數值模擬結果之前，可能先要確認數值模式的收斂性與穩定性。
5. 至於現場觀測部份，從文獻回顧中發現海洋波浪雖然不似潮汐變化那麼有規律性，但仍有其季節性的特性，再者，過去依慣例性的觀測方法限制了最長可分析的波浪週期(例如，以 2Hz 取樣 1024 點可分析的最長週期為 512 秒)，無法真正瞭解花蓮港可能存在的長週期波，而且 FFT 分析中容易產生誤差。如果能觀測並分析長時間連續觀測取樣的資料，將有助於找出花蓮港有甚麼樣的波浪週期，而由於花蓮港內與港外波動相當不同，但港外的波浪測站係位於東防波堤堤端，可能受到港口散射波或地形效應的影響，此部分或可再檢討其適切性。

第三章 長週期波造成災害機制及改善對策探討

3.1 國內外長週期波引致的災害

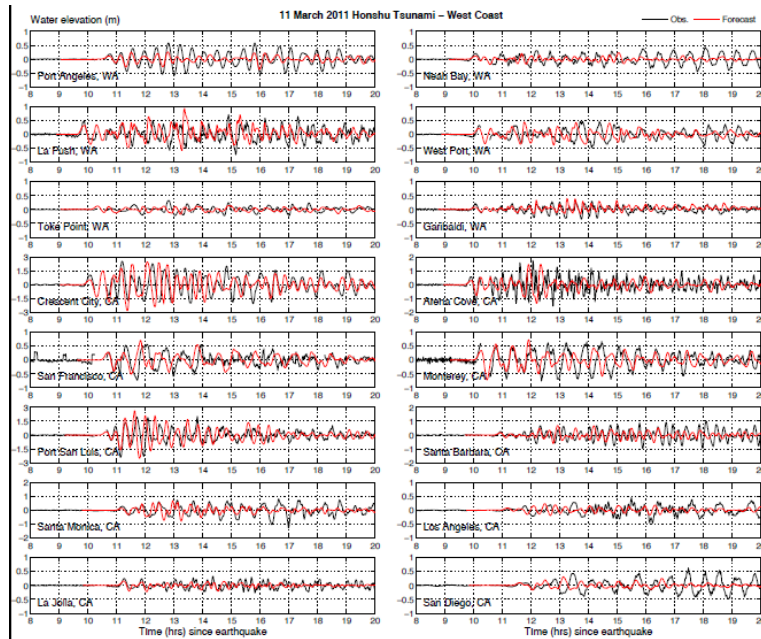
3.1.1 海嘯

海嘯是一種由於地震、火山噴發、或其它各類型的水下瞬間能量的釋放，不論是來自水上或水下，例如山崖崩落、冰川崩解、隕石撞擊、水下大型爆炸、海下斷層的板塊移動所造成的振動或是由其他大型干擾，導致大量的水體移動，而引發的一系列波浪。海嘯和水下洋流或海洋波浪不同，擁有很長的波長，它的初期類似一個水位快速上升的海潮，但較像一個帶有尾波的孤立波。2011/3/11 東京外海東北向 450 海浬之 DART 21418 資料浮標，所測得的日本 Tohoku 海嘯的水位變動紀錄，可以看到有一延時大約 30 分鐘的主要水位變動，但後面則延續往復振動超過 5 小時，如圖 3.1 所示。圖 3.2 至圖 3.4 依序為海嘯傳播至美國西海岸、阿拉斯加海岸及太平洋島嶼的水位變動紀錄，可能因為各種水動力因素及海床地形影響，傳播至美國西海岸及阿拉斯加海岸的水位變動就不再是孤立波形式；傳播至太平洋島嶼則尚有孤立波特性和波形已經改變，尾波的振幅有明顯增加。海嘯的本體不在本計畫研究的長週期範圍內，但其後面的尾波可能蕩漾一至二個星期則可能影響後續的救災工作。因此當港灣設施劫後餘生後仍希望可消減長週期波動讓港灣快速靜穩，以便能讓救援船舶安全靠岸。



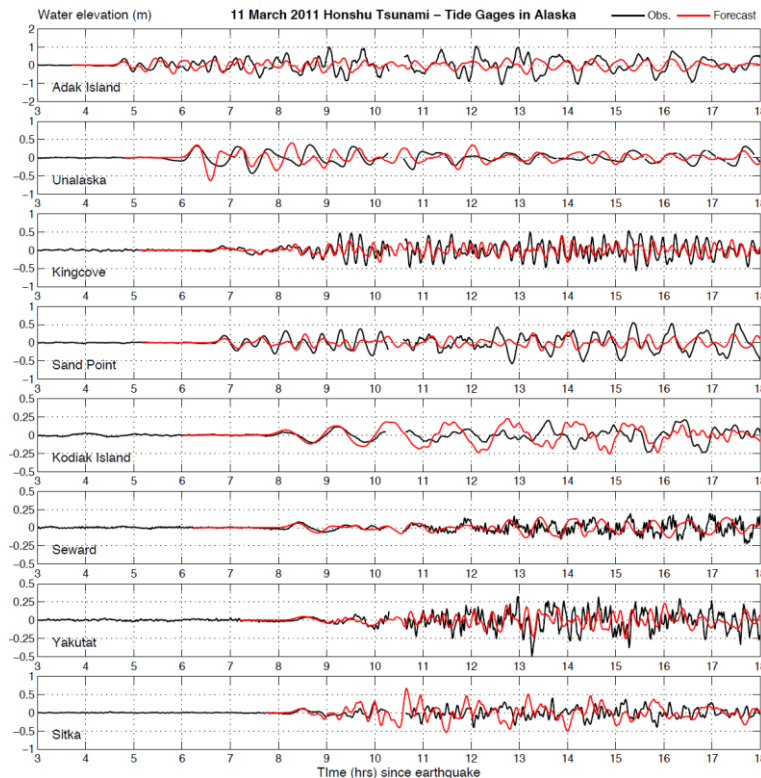
資料來源：NOAA Center for Tsunami Research

圖 3.1 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯在東京東北向 450 海浬之 DART 21418 資料浮標水位變動紀錄



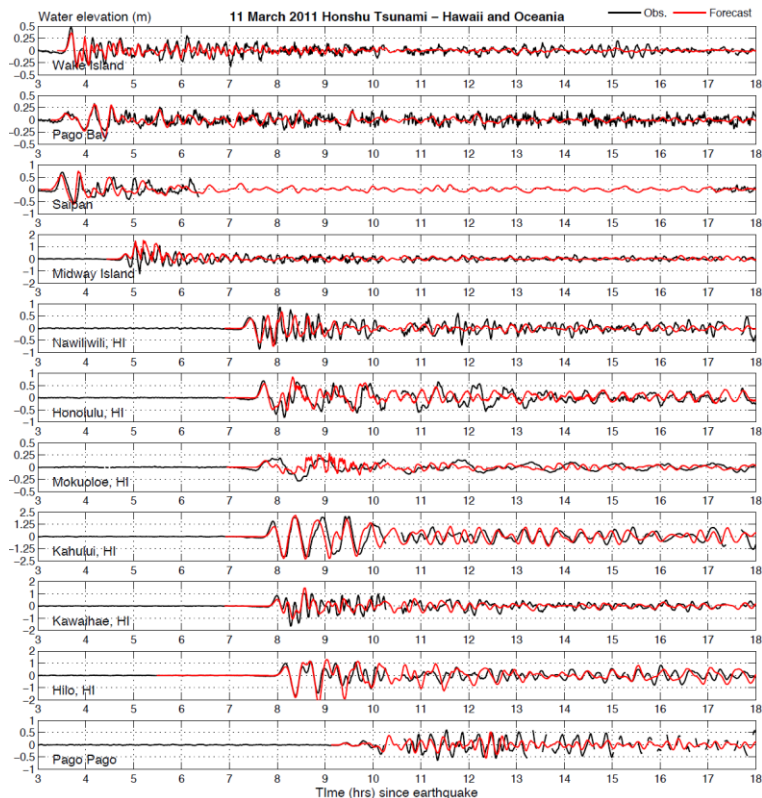
資料來源：NOAA Center for Tsunami Research

圖 3.2 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯傳播至美國西海岸水位變動紀錄



資料來源：NOAA Center for Tsunami Research

圖 3.3 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯傳播至美國阿拉斯加水位變動紀錄



資料來源：NOAA Center for Tsunami Research

圖 3.4 2011/3/11 日本 Tohoku 海嘯傳播至太平洋島嶼水位變動紀錄

Worlddata.info 網頁(<https://www.worlddata.info/>)整理了過去 2000 年來，最具破壞性的海嘯事件，如表 3-1 所示。迄今測得的最大洪水波，為發生在 1958 年阿拉斯加利圖亞灣的「特大海嘯」。峽灣雖只有 3 公里寬，但因峽灣一側的巨大岩石滑坡，導致在另一側引發了高達 524 公尺的海浪。與火山和地震不同，海嘯影響往往波及大片區域。2004 年 12 月，最著名的海嘯發生在印尼和泰國海岸，海嘯造成 17 個國家發生死亡事件。波浪的高度高達 50 公尺，甚至傳播到非洲大陸。

表3-1 過去2000年最嚴重災害的海嘯

發生日期	國家	區域	水位高度	死亡人數
12/26/2004	Indonesia	Off W. Coast Of Sumatra	50 m	227,899
11/01/1755	Portugal	Lisbon	18 m	50,000
09/28/2018	Indonesia	Sulawesi	11 m	4,340
03/11/2011	Japan	Honshu Island	39 m	18,431
06/15/1896	Japan	Sanriku	38 m	27,122
08/27/1883	Indonesia	Krakatau	41 m	34,417
05/21/1792	Japan	Shimabara Bay, Kyushu Island	55 m	15,000
05/22/1960	Chile	Southern Chile	25 m	2,226
12/07/1944	Japan	Off Southeast Coast Kii Peninsula	10 m	1,223
12/12/1992	Indonesia	Flores Sea	26 m	1,169
12/22/2018	Indonesia	Krakatau	85 m	437
04/24/1771	Japan	Ryukyu Islands	85 m	13,486
08/05/2018	Indonesia	Bali Sea	2 m	560
12/30/1703	Japan	Off Sw Boso Peninsula	11 m	5,233
09/20/1498	Japan	Enshunada Sea	10 m	5,000
10/28/1707	Japan	Nankaido	25 m	5,000
03/02/1933	Japan	Sanriku	29 m	3,022
12/24/1854	Japan	Nankaido	28 m	3,000
12/28/1908	Italy	Messina Strait, Ionian Sea	13 m	2,000
10/28/1707	Japan	Enshunada	11 m	2,000

資料來源：<https://www.worlddata.info/>

參考 Phillips(2011/3/16)在 Australian Geographic 網頁列舉了 10 個歷史上影響較大的海嘯以及其他網頁資料，惟其中的死亡人數及財物損失可能因為年代久遠或沒有確實資料而屬於推估值；再者，並沒有所謂的慘重程度標準，包含地震規模、海嘯水位上升高度、影響面積、死亡人數、財物損失或經濟影響或其他等因子都無法制定，因此在網頁仍可找到其它的大規模海嘯。Phillips(2011/3/16)所提的 10 個影響較大的海嘯簡述如下：

1. 印尼蘇門答臘海嘯(2004/12/26)

在蘇門答臘外海深度大約 30km 處發生 9.1 級地震，推估該斷層大約是 1300km 長而垂直變位大約幾公尺。海嘯的水位上升 50 公尺並在 Meubolah, Sumatra 向內陸推進約 5 公里，根據水位觀測紀錄及目擊者報告，這個海嘯也是紀錄上影響最寬廣的海嘯，包括美國、英國與南極洲。估計財物損失達 10 億美元及死亡 23 萬人。

2. 日本本州海嘯(2011/3/11)

在本州外海深度 24.4km 發生 9 級且有 4 次主震的地震，10 公尺高的水體以時速 800km 橫掃本州東北地方及濱太平洋海岸，造成 1.8 萬人以上死亡，45.2 萬人因住家被毀而被安置。該強震及海嘯也摧毀了福島的 Daiichi 核電廠冷卻系統並引發連鎖效應，世界銀行估計財物損失約 235 億美元，約需五年才能復原。

3. 葡萄牙里斯本海嘯(1755/11/1)

一個 7.7 級以上的地震引發了一系列的巨大波浪襲擊葡萄牙、伊比利半島及西北非，海嘯伴隨著大火衝擊了沿著葡萄牙與西班牙南部的數個村莊，里斯本和鄰近地區幾乎全毀，水位有地方達到 30 公尺高。海嘯並傳播至巴貝多卡萊爾灣，水位抬升了 1.5 公尺。並在葡萄牙、摩洛哥及西班牙造成約 1.2 萬人~5 萬人的死亡。

4. 印尼喀拉喀托島海嘯(1883/8/27)

由於喀拉喀托島 caldera 火山的劇烈噴發引發高達 37 公尺的水位變化，並摧毀 Anjer and Merak 兩市鎮。在印度 Bombay 海岸有發現海水後退的情形，並在斯里蘭卡有 1 人死亡。該事件大約造成 4 萬人的死亡，不過其中 2000 人應是死於火山噴發所致。

5. 日本遠州灘海嘯(1498/9/20，又稱為明應海嘯)

一個估計至少是 8.6 級的地震在日本紀伊半島、三河、駿河、伊豆及相模海岸，它的力量打開了濱名湖(原為一潟湖)與海的聯繫。該海嘯衝擊南海島，至少有近 31 萬人死亡。

6. 日本南海島海嘯 Nankaido, Japan – 28 October 1707

一個 8.4 及地震引發 25 公尺高的海嘯衝擊九州、四國和本州的海岸，大阪也被波及。有近 3 萬間建築被破壞及大約 3 萬人死亡。調查報告中指出在當天下午 3 點到 4 點之間至少有十幾個大浪衝擊海岸並在高知縣向內陸延伸數公里。

7. 日本三陸海嘯(1896/5/15)

海嘯起於在三陸外海發生 7.6 級地震以後，報告中指出在白濱町的水位高達 38.2 公尺，並毀壞超過 1.1 萬的房舍及造成 2.2 萬人的死亡，也在中國東海岸除毀壞當地作物也造成約 4 千人的死亡。

8. 智利北部海嘯(1868/8/13)

海嘯是由秘魯 Arica 海岸(現在歸屬智利)外海所發生兩個連續的 8.5 級大地震所引起的，其水位高度達 21 公尺，並影響到整個太平洋周邊(Pacific Rim)延續了 2 到 3 天，連澳洲雪梨都觀測到異常的水位變動。估計由於海嘯沿著秘魯及智利海岸的結合造成了約 2.5 萬人死亡及大約 3 億美元的損失。

9. 日本琉球群島海嘯(1771/4/24)

一個相信是 7.4 級的地震所引發的海嘯衝擊了琉球群島的很多島嶼，不過最嚴重的災害是在石垣島及宮古島，該海嘯以 11~15 公尺的高度襲擊石垣島並摧毀總數 3137 間房舍級造成約 1.2 萬人死亡。

10. 日本伊勢灣海嘯(1586/1/18)

推估最可能的級數是 8.2 級的地震所引發之海嘯，它的水位抬升 6 公尺高，毀壞了好幾個城鎮，長濱市也因此引發大火燒掉了半個城鎮。據報道，附近的琵琶湖洶湧澎湃，淹沒了小鎮，除了城堡之外，沒有留下任何痕跡，也造成了約 8 千人的死亡及龐大財務損失。

3.1.2 氣象暴潮(副振動)

2002 年日本國土交通省發表長週期波動對策的檢討(https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/11/110325_.html)，文中提及由於日本列島位於西北太平洋的岸側，若有低氣壓或颱風接近或通過，就可能引發灣澳的長週期波動。由於長週期波動擁有較大的能量，除了可能因繫纜船舶有較大的運動量，而影響碼頭貨物的裝卸作業與效率外，也可能因此引發船舶斷纜與碰撞事故。更可能影響船舶進出港的航行安全，造成封港而影響海運時程。透過對日本全國 15 個港灣的調查，歸納出志布志港、苫小牧港及小名浜港等，都曾經因長週期波動而發生事故。為維護港區作業、船舶航行及貨物裝卸作業安全，該報告彙集專家的建議，包括：

- (1) 針對港灣規劃，要導入新的港灣靜穩度評估工具與方法。
- (2) 研發長週期的預報與計算方法。
- (3) 建立具體的長週期波因應對策，如消能結構物、船舶繫纜方法與改善，以及長週期波的推算與預警。

其目標包含改善港區作業安全、降低物流成本以及確保海上運輸的準時性及安全性。不過，該檢討中僅將長週期波定義為能讓水域的水面同時上下的波動，顯示長週期波的週期範圍乃因地而異。

2009 年 2 月東海側的日本九州海岸發生了氣象暴潮的長週期副振動，導致多處港灣均發生溢淹現象，從北九州到鹿兒島都有 1 公尺以上的異常水位上升。依據仲井(2013)整理其災害，包含了碼頭及海岸公路溢淹、小型船舶翻覆、海堤護岸之基礎淘刷，如圖 3.5 至圖 3.7。



圖 3.5 鹿兒島縣上甕島小島漁港因高潮位及長週期波動引起海水溢淹碼頭面 (仲井，2013)



圖 3.6 熊本縣天草下島崎津地區海岸公路溢淹情形(仲井，2013)



圖 3.7 薩摩川內市浦內灣小型船翻覆(仲井，2013)

3.1.3 湧浪

由於湧浪並不是一種特殊的波浪，在定義上它們僅係一群離開風域作用後，而自由的以原有波向向外傳播，但在傳播過程中因方向分散與速度分散效應，而使得很多短週期成分的能量散失或因表面張力作用被納入長週期波運動，導致傳播距離越遠，週期越長，但波形相當平緩，一般認知湧浪的週期大約在 15 秒以下。但在金門馬祖沿海的經驗裡，冬季波浪有大約 6 秒的「湧」。湧浪會讓海上作業變得困難，船舶運動也較顛簸，停泊於碼頭或進出港口的船隻亦有可能會受損(圖 3.8-圖 3.9)，但其發生過的災害較少有完整統計比對資料。不過在夏季因颱風波浪作用而侵蝕的海灘，常有機會在冬季回淤，很大的可能是因為湧浪的作用，唯此一部分很難分類。湧浪如果伴隨著暴潮，則其威脅性更大。



資料來源：Superyacht times

圖 3.8 遊艇因長浪的作用而與碼頭強烈衝撞導致受損(2017/3/4)



資料來源：<https://knowledgeofsea.com/>

圖 3.9 惡劣海象之長浪作用導致船舶進出港操船不易而撞擊碼頭造成雙方毀損

蘭嶼開元港也多次因為颱風的長浪作用，加上受地形特殊效應的影響，而發生船舶翻覆，甚至碼頭及岸上設施(例如加油站、農會供應站)嚴重受損。例如 2012 年的天秤颱風之強風、暴潮位及長浪，自蘭嶼開元港南側海岸越波破壞海堤(圖 3.10)，並沿濱海公路下刷毀損加油站、農會超市及導致港內多艘小艇撞擠與沉沒。2023 年的小犬颱風，於 10 月 4 日的 21:53 在蘭嶼氣象站測得每秒 95.2 公尺的風速，大於蒲福風級的 17 級風(風速每秒 61.2 公尺)。在風及浪的疊加作用下，造成蘭嶼開元港內，逾七成船隻被吹翻、沉船(圖 3.11)。

較著名的是金門的漲九降，但其成因很難區分。金門在進入農曆 9 月或 10 月後，在東北季風狂飆下會發生「漲九降」的暴潮事件，海水在料羅港、水頭碼頭和新湖漁港都可能溢淹上岸，造成一個奇景但也造成生活上的不便。



資料來源：著者拍攝

圖 3.10 2012 年天秤颱風造成蘭嶼開元港南側海堤破壞



資料來源：漁業署

圖 3.11 2023 年小犬颱風侵襲蘭嶼開元港造成災害

3.1.4 船舶意外事件

Zhang and Li (2017)從航海安全觀點，整理了 2001 至 2010 年間全球性的海洋湧浪海象及 755 件船舶意外事件(圖 3.12)，並分析海象與船舶意外事件發生的關聯性(圖 3.13)。海象資料包含意外發生時，數值推算的示性波高、平均週期及平均波向。結果指出風浪與湧浪共存時，該複雜海象有最大的威脅，尤其是當風浪與湧浪的主要週期相近，且波浪斜向作用時最具威脅(圖 3.14)。

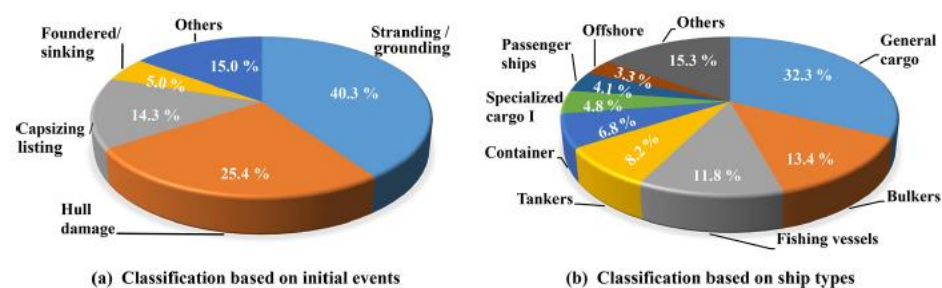


圖 3.12 2001~2010 年間國際海事組織(IMO)登錄的 755 件氣候相關船舶意外事件之分類。(a)意外型式；(b)船舶型式(Zhang and Li, 2017)

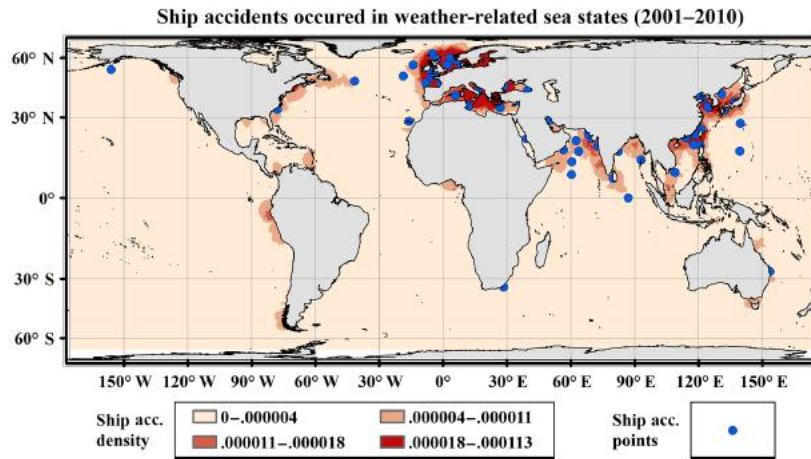


圖 3.13 2001~2010 年間 755 件氣候相關船舶意外事件的發生位置 (Zhang and Li, 2017)

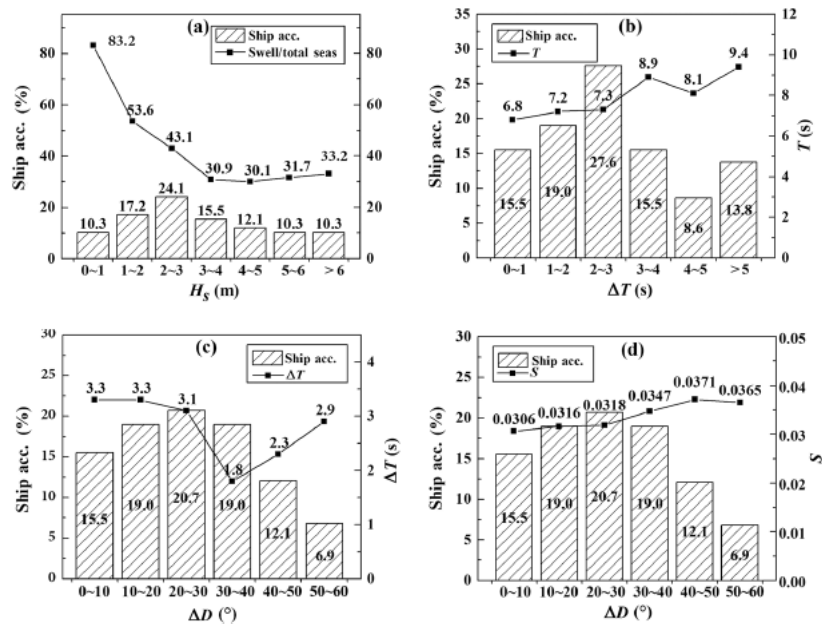


Figure 3. Incidence rate of ship accidents: (a) at different significant wave heights (H_s , bar chart) and the proportional change in swell energy in the total sea (polygonal line); (b) with wave period differences (ΔT , bar chart) and the mean wave period (T , polygonal line); (c) with wave direction differences (ΔD) and ΔT ; and (d) with ΔD and the value of the wave steepness of the total sea (S).

圖 3.14 船舶意外事件與(a)示性波高、(b)平均週期秒差、(c)波向角差值及(d)波形尖銳度之比例關係(Zhang and Li, 2017)

洪等人(2020)收集臺灣港務公司各港區船舶於 101~106 年間斷纜事故如下表 3-2 所示，惟該紀錄中並無波浪週期或流速資料，無法判斷是否為長週期波致災，較為可惜。

表3-2 101~106年間斷纜事故表(洪等人，2020)

發生時間	發生港灣	發生位置	船型	水深 (m)	浪高 (m)	風力	其他
106/07/29 23:47	基隆港	東 4 號	雙胴體 高速船	-9	<0.5	10 級	
104/08/08 03:15	臺中港	連續壁	雜貨輪	-16			蘇迪勒颱風期間，臺中港區最大陣風達 16 級。
104/08/08 04:00	臺中港	連續壁	雜貨輪	-16			
104/08/08 05:27	臺中港	W7 號	油輪	-14			
104/08/08 05:32	臺中港	W6 號	軍艦	-14			
104/08/08 05:49	臺中港	W9 號	散裝輪	-14			
105/09/27 15:39	臺中港	3 號	散裝輪	-13			梅姬颱風期間，臺中港區最大陣風達 17 級。
105/09/27 15:47	臺中港	30 號	散裝輪	-14			
105/09/14 14:30	安平港	29號(現為15號)	臺閩之星 一客貨船	-7.5	1~2	8 級	莫蘭蒂颱風
101/01/25 17:25	高雄港	21/22 浮筒	陸海3號— 運輸駁船			3m/s(2 級)	
101/03/05 06:25	高雄港	21/22 浮筒	陸海3號— 運輸駁船			3m/s(2 級)	
101/04/24 14:05	高雄港	21/22 浮筒	陸海3號— 運輸駁船			6m/s(4 級)	
101/05/27 18:35	高雄港	21/22 浮筒	陸海3號— 運輸駁船			4m/s(3 級)	
101/06/08 14:47	高雄港	21/22 浮筒	陸海3號— 運輸駁船			11m/s(6 級)	
101/08/01 20:25	高雄港	23/24 浮筒	索爾星輪 —全貨櫃			15m/s(7 級)	
101/08/01 23:10	高雄港	23/24 浮筒	索爾星輪 —全貨櫃			15m/s(7 級)	
101/12/01 07:45	高雄港	53/54 浮筒	CAPE WARRIOR —散裝船			1m/s(1 級)	
102/03/05 15:00	高雄港	51/52 浮筒	清像			7m/s(4 級)	

發生時間	發生 港灣	發生 位置	船型	水 深 (m)	浪 高 (m)	風力	其他
102/04/02 15:36	高雄港	49/50 浮筒	—解體船 領導者輪 —煤炭船			10m/s(5 級)	
102/06/02 06:48	高雄港	51/52 浮筒	華衛 7 —油輪			1m/s(1 級)	
102/06/21 15:22	高雄港	52/53 浮筒	清像 —解體船			19m/s(8 級)	
102/08/10 14:00	高雄港	51 號 碼頭	麒麟 —散裝船			5m/s(3 級)	
102/08/21 23:55	高雄港	52/53 浮筒	華衛 7 —油輪			21m/s(9 級)	
102/10/26 12:35	高雄港	21/22 浮筒	陸海 3 號 輪 —運輸駁 船			4m/s(3 級)	
102/11/09 06:35	高雄港	53/54 浮筒	朱紅— 液化石油 氣			1m/s(1 級)	
102/12/26 13:55	高雄港	53/54 浮筒	奈良 —油輪			7m/s(4 級)	
103/01/06 20:00	高雄港	57 碼頭 移泊至 28 碼頭 時	善仁 —油化船			2m/s(2 級)	
103/03/31 03:20	高雄港	53/54 浮筒	賽納 —全貨櫃			28m/s(10 級)	
103/03/31 03:20	高雄港	58 碼頭	瑪特拉 —油化船			28m/s(10 級)	
103/03/31 03:20	高雄港	51/52 浮筒	浩洋 —油輪			28m/s(10 級)	
103/03/31 /04:48	高雄港	52/53 浮筒	台塑八號 —液體化 學船			7m/s(4 級)	
103/03/31 /16:45	高雄港	40 碼頭	來興旺— 液化氣體 船			16m/s(7 級)	
103/03/31 /16:45	高雄港	23/24 浮筒	澳萬達— 軍用船舶			16m/s(7 級)	
103/03/31 /16:45	高雄港	25 浮筒	立竝— 散裝船			16m/s(7 級)	
103/03/31 /16:45	高雄港	49/50 浮筒	賓坦 —油輪			16m/s(7 級)	

發生時間	發生 港灣	發生 位置	船型	水 深 (m)	浪 高 (m)	風力	其他
103/03/31 /16:45	高雄港	51/52 浮筒	浩洋 —油輪			16m/s(7 級)	
103/03/31 /16:45	高雄港	52/53 浮筒	台塑八號 —液體化 學船			16m/s(7 級)	
103/03/31 /16:45	高雄港	53/54 浮筒	賽納— 全貨櫃			16m/s(7 級)	
103/05/17 /05:20	高雄港	52/53 浮筒	立德 —油輪			1m/s(1 級)	
104/02/02 /02:50	高雄港	52/53 浮筒	米洛斯— 油化船			4m/s(3 級)	
104/02/06 /07:28	高雄港	53/54 浮筒	慈利輪— 礦砂船			2 m/s(2 級)	
104/03/08 /12:05	高雄港	40 碼頭	浩帆 2— 雜貨船			6 m/s(4 級)	
104/08/08 /15:03	高雄港	75 碼頭	新能 —油輪			21 m/s(9 級)	
105/01/05 /07:00	高雄港	53/54 浮筒	華運— 油品船			3 m/s(2 級)	
105/02/09 /06:35	高雄港	21/22 浮筒	宏瑞— 雜貨船			3 m/s(2 級)	
105/04/13 /14:30	高雄港	51/52 浮筒	新長鑫輪 — 雜貨船			14 m/s(7 級)	
105/05/21 /16:53	高雄港	53/54 浮筒	興達勝輪 —油輪			1 m/s(1 級)	
105/07/08 /07:55	高雄港	新濱碼 頭	阿凡達— 軍用船舶			32 m/s(11 級)	尼伯特颱風
105/07/08 /07:59	高雄港	35 碼頭	全球— 散裝船			32 m/s(11 級)	尼伯特颱風
105/07/10 /10:39	高雄港	52/53 浮筒	臺塑晶華 —液化氣 體船			4 m/s(3 級)	
105/09/14 /12:11	高雄港	75 碼頭	平多魯— 全貨櫃			29 m/s(11 級)	莫蘭蒂颱風
105/09/14 /12:11	高雄港	86 碼頭	風明輪— 全貨櫃			29 m/s(11 級)	莫蘭蒂颱風
105/09/14 /12:11	高雄港	89 碼頭	獵鷹 9 號 —油輪			29 m/s(11 級)	莫蘭蒂颱風
105/09/14 /12:11	高雄港	51 碼頭	同茂 101 —雜貨船			29 m/s(11 級)	莫蘭蒂颱風
105/09/14 /12:11	高雄港	25 碼頭	海興—			29 m/s(11 級)	莫蘭蒂颱風

發生時間	發生 港灣	發生 位置	船型	水 深 (m)	浪 高 (m)	風力	其他
105/09/14 /13:51	高雄港	由前鎮 漁港 因纜繩 被吹 斷 4 船 相繫 一起飄 移至 61~62 碼頭 擱淺	全貨櫃 順天 606、富冠 606、富冠 707、永興 發 168— 漁船			32 m/s(11 級)	
105/09/15 /10:42	高雄港		平多魯 —全貨櫃			10 m/s(5 級)	
105/09/22 /20:25	高雄港		駿業— 全貨櫃			1 m/s(1 級)	
105/10/22 /15:05	高雄港		連利 57 —油輪			2 m/s(2 級)	
106/07/01 /17:45	高雄港		英格輪— 液化氣體 船			9 m/s(5 級)	
106/07/16 /17:19	高雄港		海興— 全貨櫃			17 m/s(7 級)	
106/08/06 /22:10			豪溢— 油化船			1 m/s(1 級)	
106/10/12 /17:55			新金豐 6 號—拖船			5 m/s(3 級)	
106/11/11 /07:53			領航— 液化氣體 船			2 m/s(2 級)	
106/11/20 /17:17			新吉航— 全貨櫃			2 m/s(2 級)	

黃等人(2023)整理 2022 年臺灣水域船舶海事案件事故及原因，如表 3-3，顯示 10 次事故海象不佳及船舶斷纜仍是主要致災原因。

表 3-3 2022 年船舶海事案件事故原因綜整(黃等人，2023)

時間	船名	傷亡人員數	事故原因
111 年 10 月 31 日	巴拿馬籍 水泥專用船 「鑫順一號」	船上 17 名人員棄 船在救生筏上待 援，5 人被長榮 海運「長源號」 貨櫃輪投擲救生 筏救起，但仍有 12 人在救生筏上 漂流	因颱風導致共伴效應等原因，出現大雨與 風浪，原本要駛入臺中港，不過在彰化風 場航道東側緩衝區距岸 14 海里處因風浪 導致傾斜進水、主機故障
111 年 1 月 22 日	宜蘭縣蘇澳籍 漁船為天號	2 人落海	為天號小型漁船，從南方澳漁港出航，準 備進行漁撈作業，該船行抵南堤海域時， 突遭一陣巨浪襲擊，當場翻覆，船底朝天。
111 年 10 月 17 日 傍晚 5 時	越南籍 「VIMC SUNRISE」 雜貨輪	船上 4 名越南 籍船員不慎落海	麥寮外海實施下錨作業時，船上 4 名越南 籍船員不慎落海，船方投擲救生圈救起 3 人，其中 2 人斷腳、1 人斷手，另有 1 名 大副失蹤。
111 年 11 月 12 日	捕鰻漁船	5 名船員	捕鰻季到，漁民趕著出海捕鰻苗，卻接連 發生擱淺和落海意外，上午，一艘捕鰻漁 船在收魚網時，被強浪打到基隆嶼觸礁擱 淺，因為水太淺加上海象不佳，海巡隊要 5 名船員「棄船漂流」方式獲救。
111 年 11 月 13 日	海洋研究船 「新海研一號」	數人受傷	「新海研一號」夜間在菲律賓西北部外海 傳出電力、引擎主機全部失效，13 日至 15 日海象很差，船身搖晃嚴重，傾斜儀顯示 搖晃程度高達 45 度，造成數人受傷。
111 年 4 月 8 日	獅子山共和國籍 動力推船 「KYOTO1」	6 名南韓籍船員	上午 6 時 30 分許，該船在澎湖澎湖烏坎 漁港外 0.7 哩發出「406」海上遇險信號， 海巡經調派 PP-10087 艇前往查看，發現 1 艘「KYOTO」貨輪在海上漂流，經以無線 電聯繫未獲回應，研判該船可能無動力航 行。另追查發現尚有 1 艘動力推船 「KYOTO1」失聯，船上有 6 名南韓籍船 員，經通報國搜中心轉韓國搜救中心協助 聯繫 K 輪船東獲得回覆，均無法聯繫上 船上 6 名韓國籍船員，即啟動岸海空擴大 搜救。

時間	船名	傷亡人員數	事故原因
111 年 3 月 26 日	臺灣籍 風電工作船	10 名船員	工作船在彰化縣線西鄉外海 17 哩作業時機艙起火，船上 10 名船員無法自行滅火，在船邊待援，海巡隊獲報後立即調派線上 PP-10022 巡防艇馳援，增派 PP-10031 巡防艇緊急出勤加入救援滅火行列。PP-10022 艇抵達工作船位置，目視工作船有冒煙但無明火，巡防艇以消防系統噴水協助滅火降溫，火勢逐漸控制，無明火及悶燒情形，由 2 艘巡防艇現場監控有無殘火復燃。
111 年 3 月 13 日	屏東籍 漁船「水富」號	5 名船員	「水富」號於屏東鵝鑾鼻海域外約 5.7 哩進水翻覆，現場位於鵝鑾鼻三角激浪區，浪高達 4 公尺海象惡劣，5 名船員待援，隨即指派恆春海巡隊前往搜援，船上 5 名船員於翻覆漁船上等待救援。
111 年 2 月 21 日	巴拿馬籍 散裝船「祥富輪」	無人員傷亡	臺中港 19 日深夜 10 點發現港外風速高達 50 節(約 25.7 公尺/秒)，超過航港局中部航務中心所訂「引水人無法出港登船標準：8 級風上限；20 公尺/秒」，引水人開始暫時停止進港船舶領航作業。20 日凌晨 12 點 26 分，巴拿馬籍祥富輪準備靠泊臺中港 44 號碼頭時，斷纜漂離，期間碰撞靠泊 45 號碼頭香港籍亞威輪，造成亞威輪尾欄杆毀損。船務代理公司立刻加強亞威輪繫纜，該船狀況無虞；然而，祥富輪卻往南漂移，最後擱淺在中龍公司承租區前的護岸淺灘，該輪無人員傷亡且無油污外洩。
111 年 1 月 29 日	高雄籍 春吉 8 號漁船	5 名船員	春吉 8 號漁船於晚間失去動力後，呼叫友船協助拖帶進港；但該友船還未趕抵，「春吉 8 號」船已翻覆，擱淺在新北市石門區草里漁港旁消波塊上，船上 4 名外籍漁工獲救上岸，59 歲蘇姓船長則下落不明。

3.2 長週期波破壞機制及改善對策探討

3.2.1 長週期波造成災害破壞機制分類

海嘯為破壞力最大的長週期波動，雖然僅是孤立波，但其波速極快、波長很長且波峰高度甚高，因而蘊含極大的能量。基於前述的特性，海嘯來襲將帶來強勁的水流力，形成極大的衝擊波力及水平推力，後因水體堆積造成越波或溢淹，能推倒或淹沒海岸及沿岸結構物。

王等人(2020)藉由分析本所歷年與學術單位合作之學術研究成果，以鄰近臺灣的馬尼拉海溝及琉球海溝之海嘯源，探討海嘯對臺灣 6 個國際商港之危害分析。包含海嘯最大波高及第一波抵達時間對港埠之影響，而統整出海嘯最大波高因子分級(表 3-4)。分別將馬尼拉海溝及琉球海溝若引致海嘯，針對最大波高、第一波抵達時間之原始資料轉換為分級分數後，帶入評估模型，獲得各港埠的危害度排序，花蓮港皆為排在第 3 序位。

表3-4 海嘯最大波高因子分級表(王等人，2020)

波高分級(m)	分級分數	說明
0 – 1	0 – 0.063	1.海嘯最大波高未逾 1 公尺 2.波高 50 公分成人將會被沖走
1 – 3	0.063 -0.188	1.海嘯最大波高 1(含)至 3 公尺 2.波高 2 公尺會造成木構造建築物全毀 3.波高 2 公尺會造成 RC 構造牆壁屋頂損壞
3 – 6	0.188 -0.37	1.海嘯最大波高 3(含)至 6 公尺 2.波高 3 公尺會造成 RC 構造梁柱損壞 3.波高 5 公尺儲油槽會被沖走
6 – 8	0.375 –0.5	1.海嘯最大波高 6(含)至 8 公尺 2.波高 7 公尺會造成磚造建築物全毀
8 – 16	0.5 – 1	1.海嘯最大波高 8(含)至 16 公尺 2.波高 8 公尺會造成漁船全毀
≥ 16	1	1.海嘯最大波高至少 16 公尺以上 2.波高 16 公尺會造成 RC 構造建築物全毀

港內長週期波動可能引發的破壞機制，主要和波長的長短與結構物的反應有關，就目前文獻整理中大致歸納如下：

(1) 超長週期波動引發的港灣波動

港外超過港灣自然週期(如圖 3.15)的波動作用下，港內水面可能為港外波形的連續但稍有一點相位延遲，由於波長太長相對港灣縱深不足以引發共振或振盪，而呈現類似駐波的行為，只在某些地形特殊處如由寬變窄或由窄變寬處或粗糙或多孔性地形處，水位可能產生壅高(比照明渠水力學理論)。

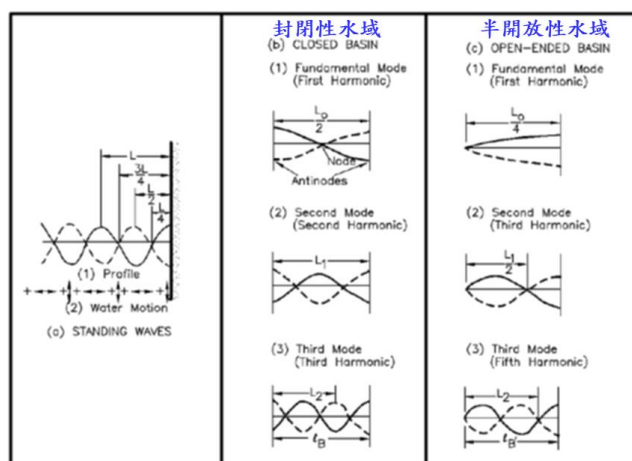


圖 3.15 港灣共振模態(Carr, 1953. Coastal Engineering Manual)

(2) 港外群波引發的港灣波動

群波為離開風域作用範圍的風波，經過相當距離演化的波動，一般認知週期大致為 10 至 15 秒範圍，也就是大約為颱風時期所量測到的週期範圍，但伴隨著波群的長週期波的週期，則可能從 20 秒到上百秒。由於這是一群連續大波伴隨的水面波動，在沒有離開波群之前，很難認定其實際波動(因為在 FFT 分析中，將此水面變化如同海嘯視為一個波動來分析)。但群波裡的連續大波，在港口處由於水域由寬變窄，有類似於 plunging 型造波機的造波行為，有資料顯示其在港內所引發的波動是可以量測的，而且與自然週期有關。

3.2.2 因應港灣內長週期波之對策彙整

彙整目前蒐集有關長週期波的研究，多是對於港灣受到長週期波的影響進行討論，主要還是因為長週期波會造成港灣內的靜穩度降低，使得停靠於碼頭的船舶面臨斷纜或撞擊岸壁的風險。港灣內的靜穩度降低，主要成因可能包含港灣共振、長週期波的蕩漾及暴潮。總結因應長週期波之對策如下，相關深入的檢討將於下年度蒐集較多資料後進行：

- (1) 港灣共振：改變港型來改善。
- (2) 湧浪與淘刷：則可藉由港灣結構物的新增及改善。
- (3) 避免船體運動與港內波動發生共振：改變繫纜繩的材料和繫纜與碰墊位置。
- (4) 減少入射長週期波的能量：擴大及興建防波堤。
- (5) 削減長週期波的振幅：應用消能斜坡及底床摩擦損失。
- (6) 消減長週期波能量：港內增加新型護岸或防波堤內側增加長週期波消波設施。

3.3 先期研究-花蓮港 2005 年龍王颱風觀測波浪分析

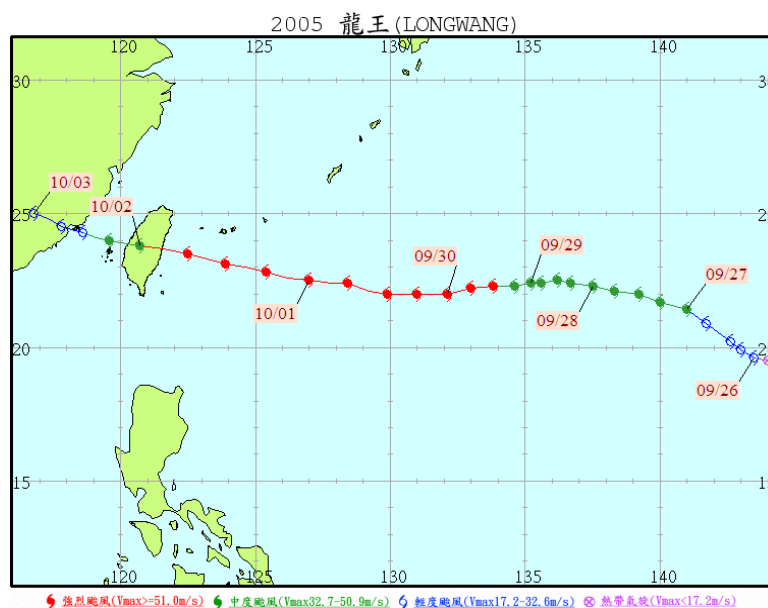
為瞭解花蓮港港外及港內的長週期成分與差異，以 2005 年龍王颱風於 9 月 27 日 0 時至 10 月 3 日 23 時的觀測，主要取其曾經造成大災損(依據 Wikipedia 網頁整理臺灣造成 2 人死亡，116 人以上受傷，以及 1.72 千萬美金的財物損失，日本稍輕但中國大陸傷亡及損失更重)，且觀測資料恰好涵蓋颱風登陸前與登陸後時期共 7 天(168 小時)。

本節內容已發表於 112 年第 45 屆海洋工程研討會(許師瑜、林受勳、林俶寬、林炤圭，最大可能颱風波浪的模擬研究 -- 以 2005 年花蓮港龍王颱風波浪觀測為例)，該文中以觀測波譜配合隨機相位，進行 10000 次波形再生模擬，並證明觀測資料僅是具有相同波譜的隨機波浪中的一個取樣，也不一定擁有最大波浪。本節僅摘錄與觀測有關之結果。

3.3.1 龍王颱風實測資料

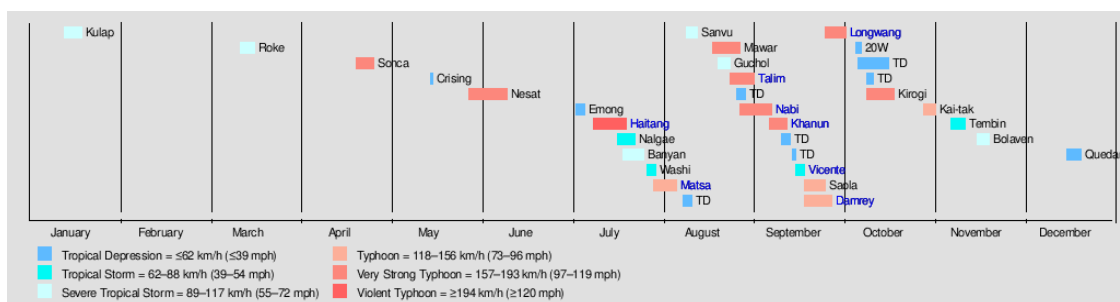
2005 年龍王颱風路徑，如圖 3.16 所示，中央氣象局於 2005/09/29 發布海上颱風警報，於 2005/10/03 解除。依該局的颱風調查報告(廖志翔，2005)，分析颱風中心於 2005/10/02 05 時登陸花蓮豐濱。本所配合花蓮港務局，在花蓮港區及東防波堤外側水域進行了波浪觀測，詳細報告可參考本所『2005 年港灣海氣地象觀測資料年報(波浪部份)上、下冊』。本研究採用在花蓮港入口處(C10，簡稱港口)及東防波堤外側(C6，簡稱港外)兩測站(標示於圖 3.3.3)之觀測資料進行模擬實驗，資料為 2005/9/27 00 時起至 2005/10/03 23 時止，每間隔 1 小時以 2Hz 取樣 1200 點共 168 筆記錄(簡稱全期)。

2005 年太平洋發生之颱風時間軸，如圖 3.17 所示，可以看到龍王颱風時期前後仍存在有其他颱風，顯示湧浪的來源不只一處，且先後到達時間不同，因此該觀測時期裡，花蓮港附近出現長週期波浪成分是不可免的。圖 3.18 顯示為花蓮港港形及 2 支波浪儀的安裝位置，為討論方便依序稱之為港外及港口。



資料來源：中央氣象局

圖 3.16 2005 年龍王颱風路徑圖



資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/2005_Pacific_typhoon_season

圖 3.17 2005 年太平洋發生之颱風時間軸



資料來源：花蓮港務分公司

圖 3.18 花蓮港港形及波浪儀安裝位置

3.3.2 時間序列與分析波譜

圖 3.19 及圖 3.20 分別為港外及港口測站之時間序列及分析波譜圖。子圖(a)為 2005/9/27~2005/9/30 期間每日的 0 時圖以及 2005/10/2 的每 6 小時圖，目的在觀察花蓮港颱風來襲前的波浪變化；(b)為 2005/10/2 0 時至 2005/10/8 時每小時的圖，目的在觀察花蓮港颱風侵襲期間的波浪變化。

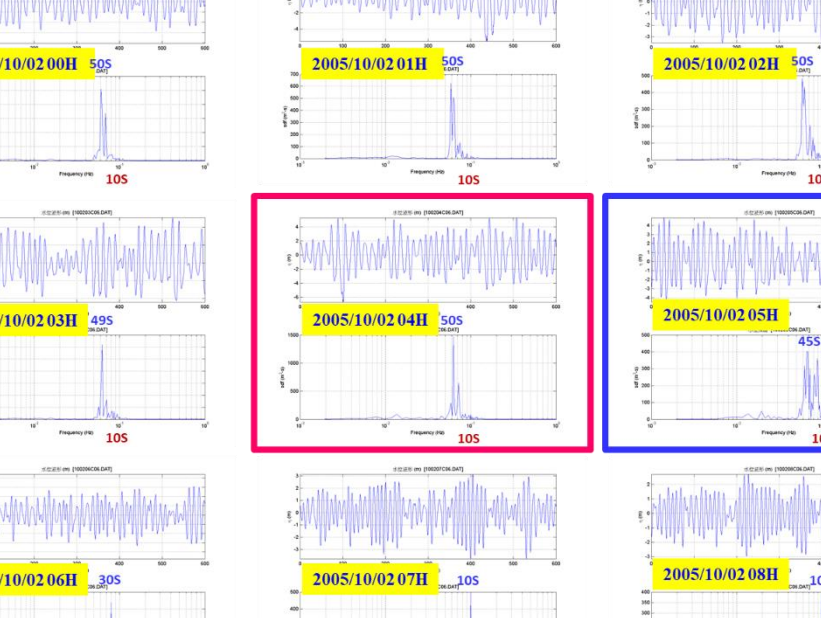
從圖 3.19 之分析可知花蓮港港外從 9/27 起波浪能量多集中在 10~20 秒之間，但都含有 20~50 秒之間的長週期成分。波浪在登陸前約略可看到 2005/10/2 4 時(紅色方框)風浪最大，但湧浪及一般風浪兩群至 2005/10/2 5 時(藍色方框)才可明顯區分，但也出現 100 秒以下之長週期成分。這種變化顯示花蓮港外海存在有多種來源的長週期湧浪。

不過，從圖 3.20 的波譜變化，雖然颱風還沒接近(子圖 a)，但港內已經存在 100 秒以下的長週期波動，而且有消散在增加的情形。2005/10/1 12 時以後開始出現 100~1000 秒之間的成分，能量累積曲線(子圖 b)也產生變化。顯示花蓮港內的長週期振盪，容易因外海的湧浪而累積波動能量。圖 3.21 及圖 3.22 分別為港外及港口測站之分析波譜及能量累積比的雙對數坐標曲線圖。各子圖安排如圖 3.19 及圖 3.20，其變化情形亦同前段討論。

海外

(a) 2005/9/27~2005/10/2 毎日 0 時

港外



2005/10/02 00H 50S

2005/10/02 01H 50S

2005/10/02 02H 50S

2005/10/02 03H 49S

2005/10/02 04H 50S

2005/10/02 05H 45S

2005/10/02 06H 30S

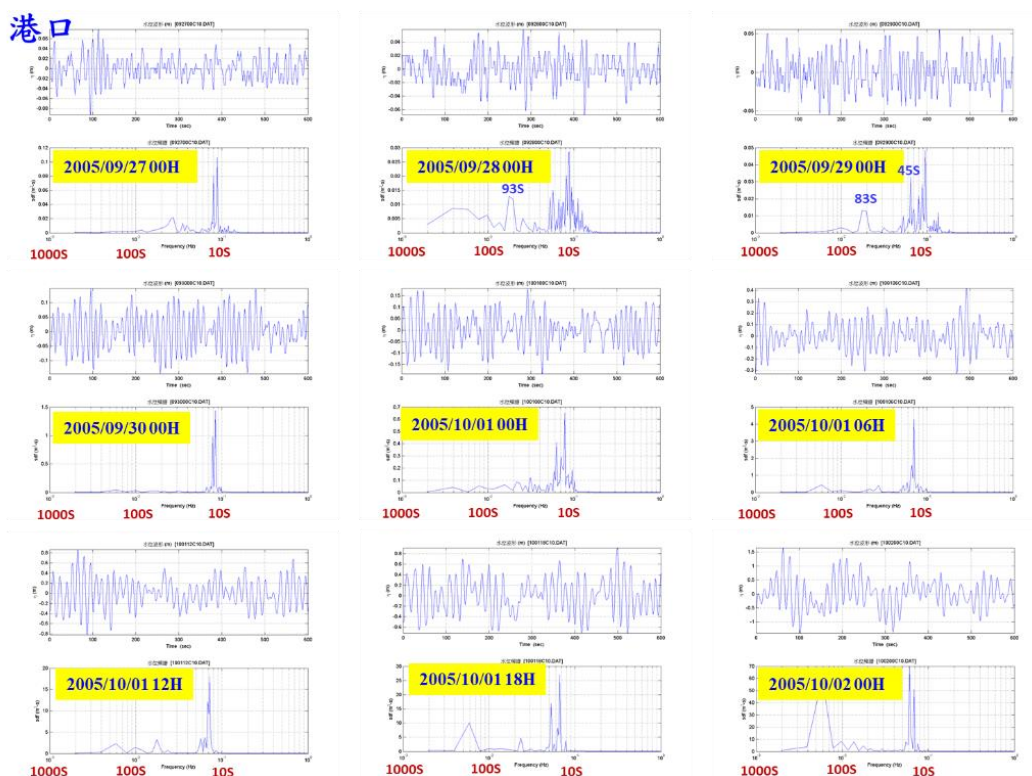
2005/10/02 07H 10S

2005/10/02 08H 10S

(b) 2005/10/2 0 時~2005/10/8 時 每小時

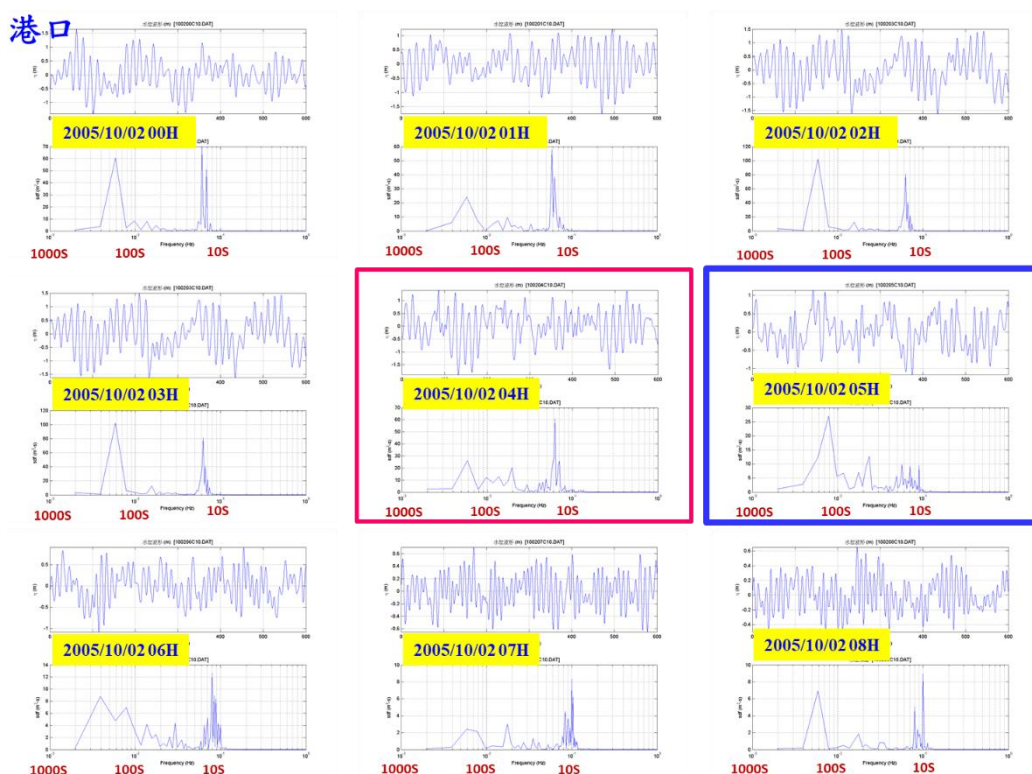
圖 3.19 港外測站之波形時序列及分析波譜圖

港口



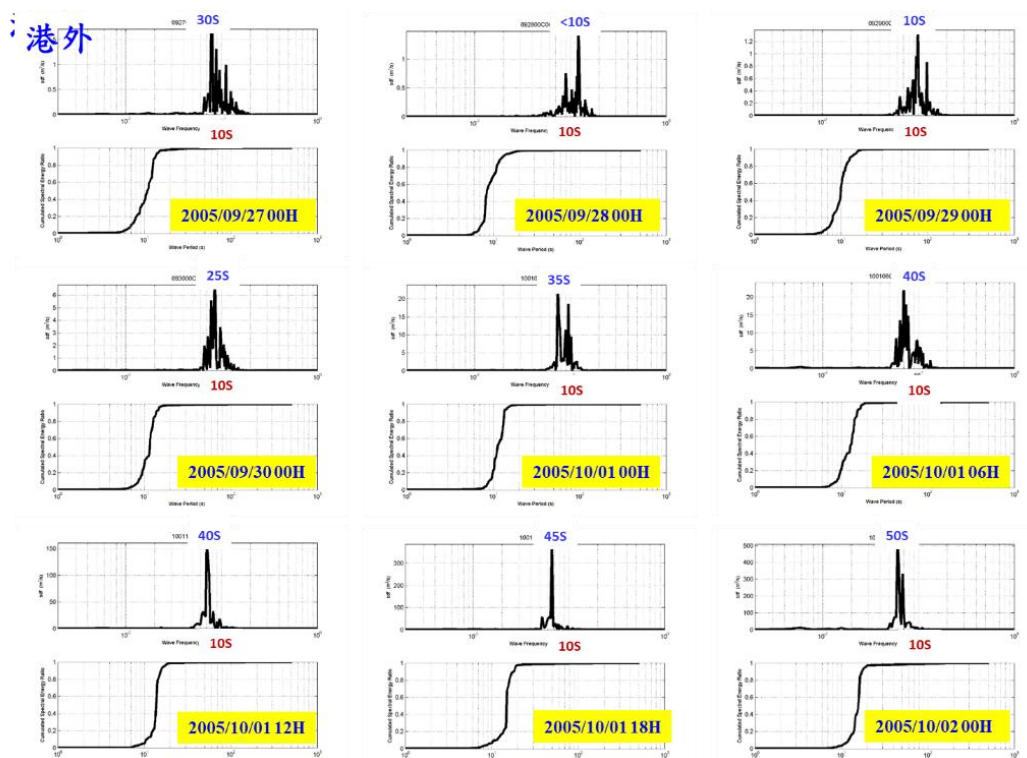
(a) 2005/9/27~2005/10/2 每日 0 時

港口

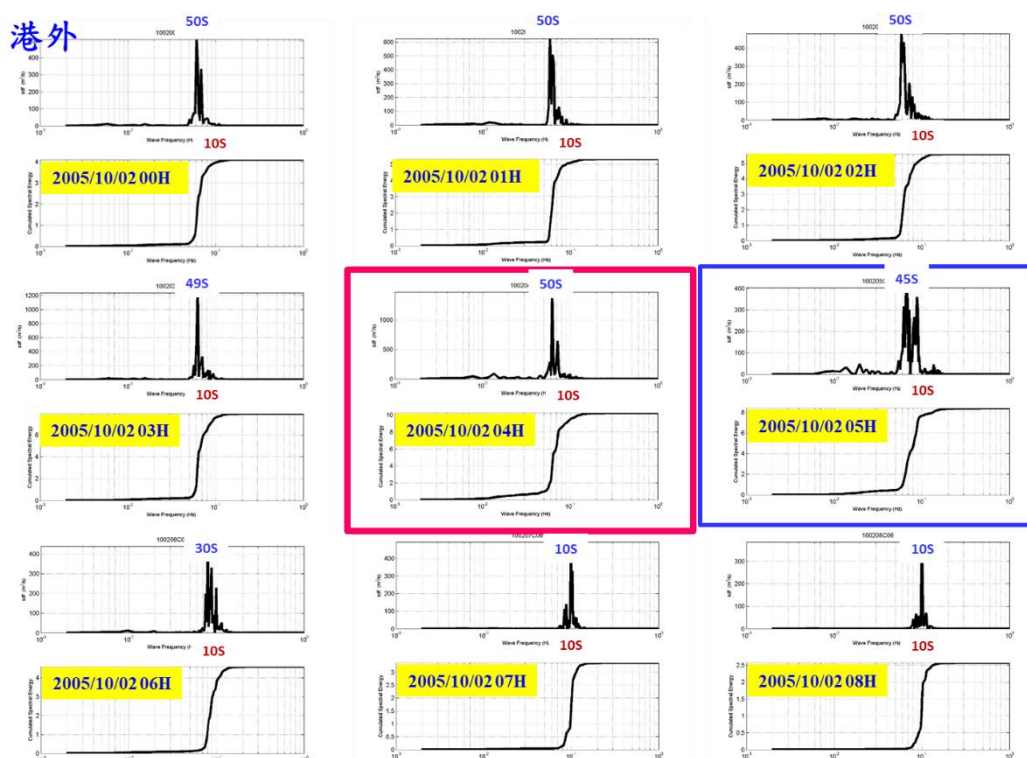


(b) 2005/10/2 0 時~2005/10/8 時 每小時

圖 3.20 港口測站之波形時序列及分析波譜圖

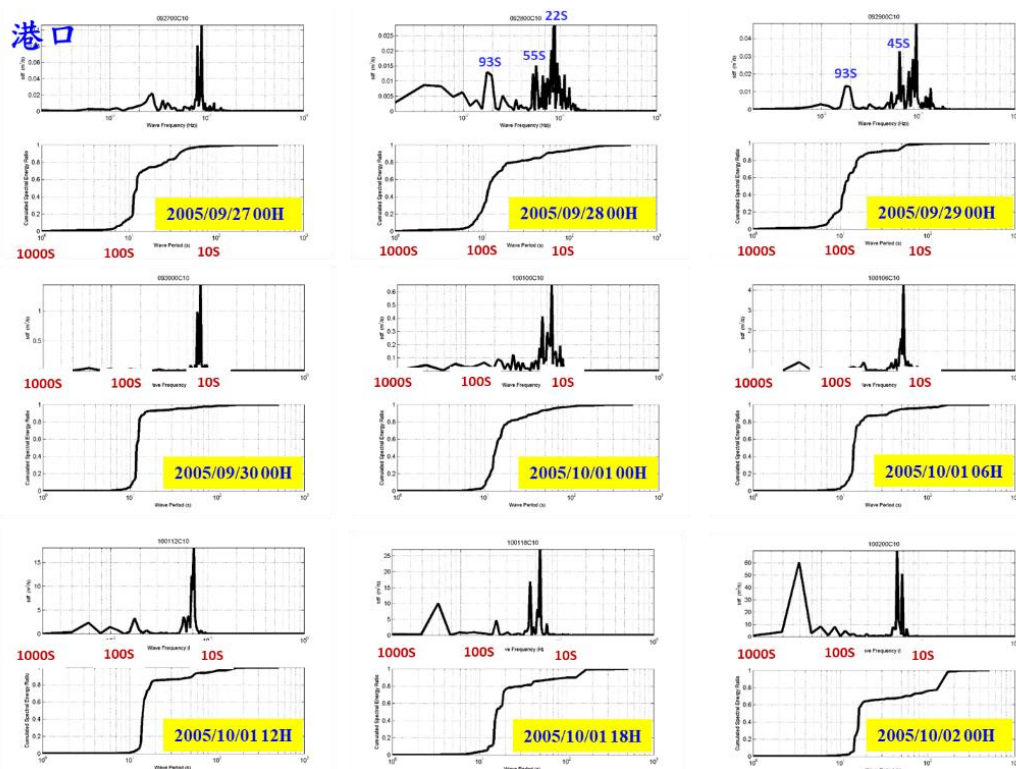


(a) 2005/9/27~2005/10/2 每日 0 時

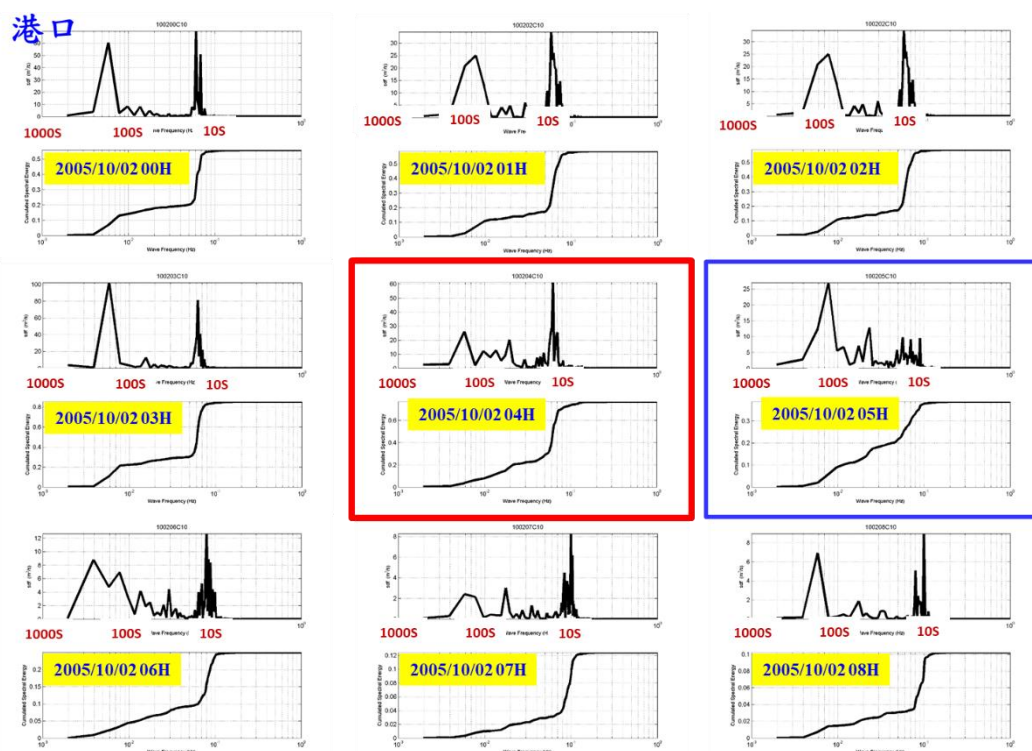


(b) 2005/10/2 0 時~2005/10/8 時 每小時

圖 3.21 港外測站之波譜及能量累積比例曲線圖



(a) 2005/9/27~2005/10/2 每日 0 時



(b) 2005/10/2 0 時~2005/10/8 時 每小時

圖 3.22 港口測站之波譜及能量累積比例曲線圖

3.4 小結

研擬適當而有效的船舶繫纜管理辦法，是因應港內未發生蕩漾之長週期波動的首要對策。對於港內發生蕩漾之長週期波動，則需要加上港內對長週期波動的消波對策。超長週期波動引發的港灣波動之波高通常不大，常扮演波形疊加中的載波角色，但波高增加不多；而其水粒子水平流速雖然較強，亦因週期很長，引發因纜繩材料疲乏而斷纜的機會應較少。

利用 2005 年 10 月份的龍王颱風時期，在花蓮港 2 個測站所收集的各 168 筆觀測時序記錄，進行相關統計分析，發現由每間隔一個小時僅取樣一筆紀錄，連續 7 天的取樣只有 168 筆資料，其長度明顯不足。

由於颱風登陸前與登陸後的波浪屬性不同，例如颱風中心登陸前波向與風向可能同向，風力有增幅作用；颱風中心登陸後波向與風向可能反向，風力有降幅作用。當颱風中心不登陸，而其路徑與海岸大約平行則又另當別論。但颱風波浪統計依其登陸前後分開統計，較容易觀察其特性。

第四章 消減長週期波能的新結構型式

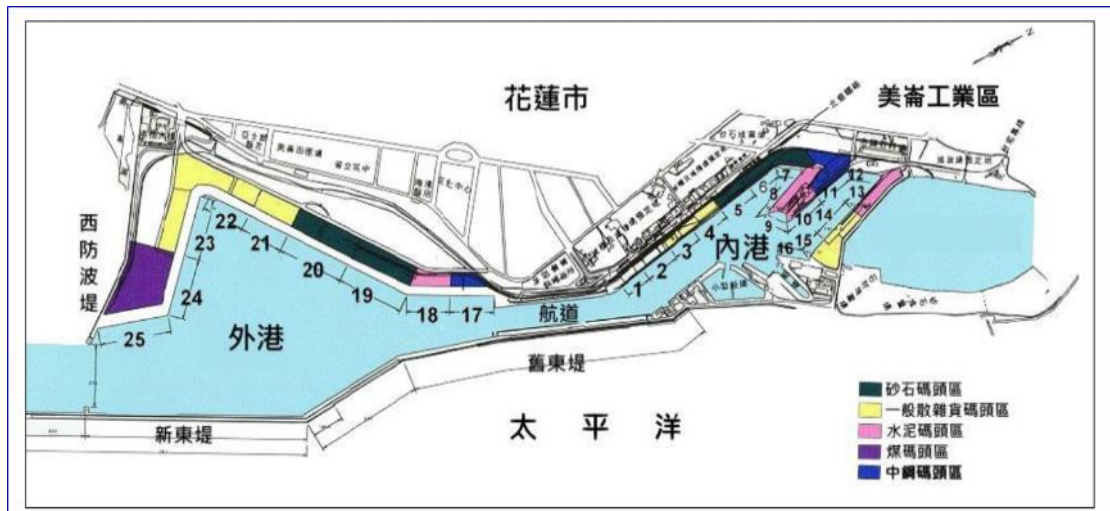
本章主要是研擬選用能消減長週期波能的碼頭或結構型式，在檢討所蒐集的各種消能結構物前，需要先瞭解的港灣波動特性，以下將先簡要報告建立港灣波動模式的初步過程，然後再依據其特性，規劃後續可能需要評估的消能結構物。

花蓮港定位為國際商港的人工港，位於臺灣東部海岸(如圖 4.1 所示)，以向外築堤造陸構築而成。隨著世界潮流趨勢與對天然資源需求的改變，花蓮港服務的對象逐漸由以貨物為主，移轉部分業務為面向以人為輔，相對地對於港灣的相關設施及功能，尤其是港灣穩靜度的要求將會更加提高。然而目前花蓮港由於附近海底地形的陡峭與特有狹長港形的緣故(如圖 4.2 所示)，在港內容易激發與港池特性長度相關的長週期振盪，嚴重地影響到港內船舶的靠泊，以及人員登船與下船過程間的安全性。目前此一長週期蕩漾現象，已經造成在惡劣天候下，尤其是颱風侵襲之前，花蓮港內的船舶必須離港避湧，明顯地違背港灣建設開發的目的。再加上由於花蓮港外海水深浪大，船舶的出海錨泊，仍可能因為流錨，而發生船舶擱淺的船難事件，所以應研擬出改善花蓮港內長週期蕩漾問題，並減少因此而中斷或延宕港務作業的方法。



資料來源：Google Map

圖 4.1 花蓮港位置示意圖



資料來源：花蓮港務分公司

圖 4.2 花蓮港現況平面配置圖

目前，花蓮港屬於商港與漁港入出航道共用而水域相連性質，無異於國內其他商港如蘇澳港、基隆港、臺中港、高雄港等商港，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。如果再加上花蓮港正在推動未來的海上遊樂船舶活動，則將使得對花蓮港港內穩靜度的要求更形提高，而如何解決港內長週期波動的需求也相對提高。

4.1 先期研究-非定值反射率港灣波動特性數值模式的建立

本節部分內容已發表於 112 年第 45 屆海洋工程研討會(林炤圭、許師瑜，岸壁與週期相關的反射率對港灣波動的影響-港灣波動模式的運用與改進)，該文中先討論如何改進港灣波動模式，以便後續可依需要變換多種邊界條件，以及草擬港灣波動評估程序的建議。本節僅摘錄部分結果。

在規劃設計上，港灣波動數值模擬應該要扮演比水工模型試驗更重要的角色，也就是應該利用上述的優點，將各種可能的配置方案分別建模，包括港形配置與消能設施的選擇，如拋消波塊、建置消能斜坡或採用直立式消能結構物等，均關係到邊界條件的設定。建模後快速進行數值模擬，並利用巨集指令的操作，大量產生必要的後處理圖表，再針對模擬結果進行綜合評比，也可局部修正後重作數值模擬。最後再研選最佳配置方案，交付水工模型試驗執行最後的物理性驗證。

要能夠合理而順利地執行以上的程序，邊界條件的設定往往是建模工作中的最大負擔，其原因之一是，除了光滑直立壁為全反射及沙灘視為完全消波外，港灣/海岸結構物的消波能力，常常與波浪的週期與波高、結構物的型式與消能設施的規模及類型有關，甚至漲退潮也直接影響到消能的有效空間，並非一個簡單的數學公式可以表達。基於結構物的形式與消能機制的複雜性，在實務上仍以反射率來表現，並藉由斷面水工模型試驗來獲得反射率值，但過往的諸多試驗結果均顯示反射率至少與週期有關。然而，在港灣波動模擬中，為了簡化計算，岸壁卻通常是假設邊界，具有其特定反射率經驗值，而不論其縱深或型式。

雖然目前已有很先進的計算流體動力學軟體(CFD, Computational Fluid Dynamics)，可以推算水波在多孔隙介質裡的時變性，但因港灣波動的評估是以波動達到穩定狀態時，其無因次最大振幅或波高為參考，也就是所謂的定常狀態(steady state)，而在 CFD 中要達到定常狀態

則非常難以判定，因此港灣波動仍採用一般的以矩陣法解定常狀態的波動方程式，配合適當邊界條件的聯立方程組，但邊界條件多仍沿用與波浪週期無關的定值反射率為之，這也引來如何選定適當代表值的爭議。

基於以上的考量，本計畫乃從文獻或自行規畫執行的反射率水工模型試驗，以蒐集多種消能結構物的反射率曲線。經多方評估後，本計畫乃捨棄過往，以人工逐一修改各岸壁所對應入射波週期反射率的方法，而依港灣的防波堤及碼頭岸壁類型進行分類及編碼，同時建立週期-反射率關係表，以便能在港灣波動數值模擬中，連續模擬各種波浪條件時，直接利用週期參考關係表進行線性內插繼續計算。

有關港灣波動模式是沿用 Lin(1995)的版本進行邊界條件的設定改善，其數值模式的理論與推導可參考 Chen(1990) 或 Lin(1995)，在此不予贅述。

4.1.1 數值模型之建立

為能瞭解岸壁消波能力對港灣波動的影響，本文首先以一部分開口矩形港池，進行多種岸壁反射率的港灣波動數值模擬。矩形港池寬 1600m、縱深 800m、開口寬度 200m、港內水深取等深 20m、港外假想半圓半徑為 1200m，計算網格以三角元素切割，計有 40431 個節點及 79803 個元素、岸壁邊界有 680 個線元素、假想半圓邊界有 377 個線元素，如圖 4.3 所示。透過分散關係式計算對應波長，可知對入口寬度 200m、水深 20m 的港灣而言，3~5 秒為深水波；16 秒以下則有波浪直接入射加上不同程度的繞射效應；而 16 秒以上波浪則以繞射效應為主。

有關數值模擬成果的比較是以波高增幅係數與入射波週期間的關係來進行，圖 4.3 中之黑色圓點是習慣上用來討論波高增幅係數(K_D)與週期(T)關係的指定測點座標，其周圍方框則是用來求 100m×100m 測區範圍內所有節點 K_D 的平均值，以便與單一測點的結果相比較。此種方法也可用來評估船席水域內的波動情形(Lin, 1995)。考慮到實務上不同的配置方案會有不同的三角網格分割，計算節點編號與位置不會一致，測點的 K_D 搜尋採用 6m×6m 範圍搜尋最近節點。

岸壁消波功能測試了 5 種單一區段配置，如圖 4.3 及表 4-1 所示。KR1 為一般港灣波動模擬的作法，五種岸壁均可各自設定固定反射率，為減少防波堤對入射波浪的影響，假設防波堤外側為完全消波，但港內各岸壁則幾乎為完全反射；KR2 僅改變正向面對開口的內側岸壁，假設為變動性反射率之消能斜坡，其餘岸壁同 KR1 設定；KR3 則將內側岸壁改為完全消波，其餘岸壁同 KR1 設定；KR4 則模擬最惡劣情境，即所有的岸壁皆為完全反射狀態；KR5 則模擬最佳情境，即所有的岸壁皆為完全消波狀態。圖 4.4(c)為參考圖 4.5(a)及(b)所設置的岸壁變動性反射率曲線。本次模擬以正向入射週期介於 3~25 秒，間距為 0.1 秒的規則波進行模擬，波浪入射振幅均假設為 1。

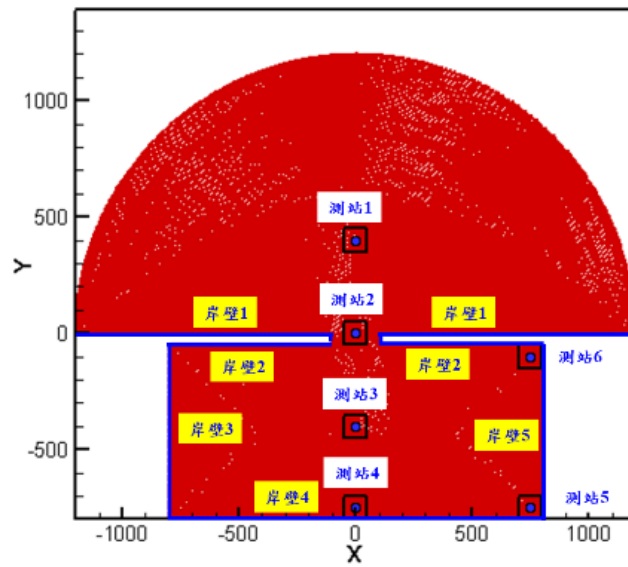
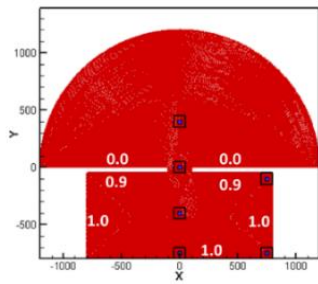


圖 4.3 部分開口矩形港池之網格、測點位置及岸壁類型

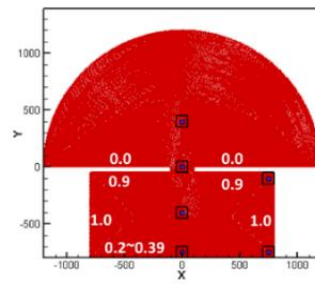
表4-1 各實體邊界之反射率設定情形

(F：定值反射率；V：變動反射率)

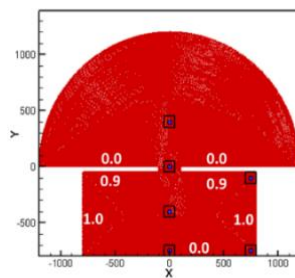
實體 邊界 配置	左防波 堤外側 (岸壁 1)	左防波 堤內側 (岸壁 2)	左側 岸壁 (岸壁 3)	末端岸壁 (岸壁 4)	右側 岸壁 (岸壁 5)	右防波 堤內側 (岸壁 2)	右防波 堤外側 (岸壁 1)
KR1	0.0(F)	0.9(F)	1.0(F)	1.0(F)	1.0(F)	0.9(F)	0.0(F)
KR2	0.0(F)	0.9(F)	1.0(F)	0.2~0.39(V)	1.0(F)	0.9(F)	0.0(F)
KR3	0.0(F)	0.9(F)	1.0(F)	0.0(F)	1.0(F)	0.9(F)	0.0(F)
KR4	1.0(F)	1.0(F)	1.0(F)	1.0(F)	1.0(F)	1.0(F)	1.0(F)
KR5	0.0(F)	0.0(F)	0.0(F)	0.0(F)	0.0(F)	0.0(F)	0.0(F)



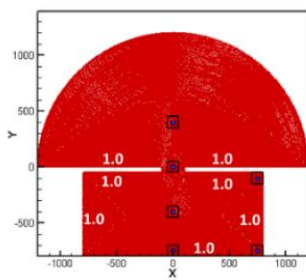
(a) KR1(定值反射率)



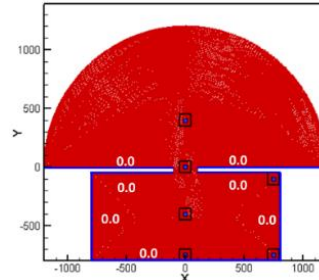
(b) KR2(底端岸壁非定值反射率)



(c) KR3(底端岸壁完全消波)



(d) KR4(全反射)



(e) KR5(全消波)

圖 4.4 部分開口矩形港池之網格、測點位置及 4 種消能岸壁配置

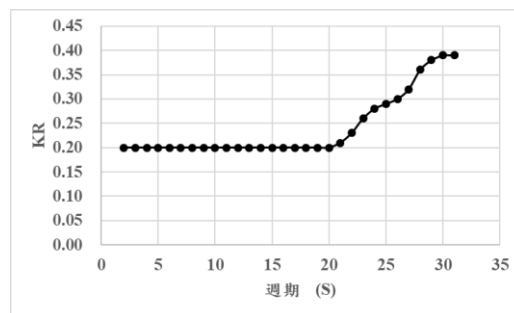


圖 4.5 消能斜坡之變動性反射率

4.1.2 數值模擬結果與討論

一般港灣波動的評估多以無因次 K_D 值來進行評估，若 $K_D \geq 2$ 即視為該水域發生共振；或以 K_D 值乘上外海入射波波高並以評估水域波高不得大於 30cm(小艇碼頭)、50cm (一般貨船)或 1m(大型船舶如貨櫃船或油輪)。此一作法主要是考量大波高小 K_D 值或小波高大 K_D 值都可能引發誤會，而建議直接以波高量化進行評估，但也僅是個原則宣示，未有明文規定。探究原因應是各種形式及規模的船舶對作用波浪的反應皆有不同，而需求也不同，例如郵輪要求的是舒適度及人員上下安全性；貨輪或油輪、LNG 輪、LPG 輪主要是裝卸作業安全性，而繫纜系統的安全性則是共同的要求。

本部分開口矩形港池之計算網格以三角元素切割，計有 40,431 個節點及 79,803 個元素、岸壁邊界有 680 個線元素及假想半圓邊界有 377 個線元素，波浪條件僅執行正向入射單一方向，波浪週期從 3 秒至 25 秒(間距 0.1 秒)計 221 個波浪條件，以 64 位元 Win10 作業系統 Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz 3.60 GHz 處理器 8GB RAM 個人桌上型電腦，平均一個波浪條件須執行 1.6 分鐘，即一個波向約執行 6 小時，如能啟動多核心運算將可縮短執行時間。

圖 4.6 及圖 4.7 依序分別為 KR4(最糟狀況)及 KR5(最佳狀況)兩配置的波高增幅曲線圖(K_D -T)，各圖中依序展示 6 個測點的測點(黑色線)、測區平均(藍色線)及測區最大(紅色線)的 K_D 值。從這些圖中可以發現 3 種波高增幅曲線所表達出的資訊迥然不同。各圖中黑色線顯示單一節點在不同週期波浪作用下的 K_D 值；藍色線是以測點為中心 100m x100m 方型測區範圍內所有節點 K_D 的平均值；而紅色線則為該測區裡的最大 K_D 值。從圖 4.6 的 6 個子圖中可以發現不管是不是自然週期，KR4 的六個測站的波動都很大。而圖 4.7 則顯示從 6 個子圖中可以發現 KR5 中沿港口法線上，4 個測站的波動都幾乎等於入射波高，而由於港池岸壁皆完全消波，測站 5 及 6 在幾乎沒有反射波狀況下，其 K_D 值幾乎為 0。

從各個子圖的交叉比對中可以發現，紅色線的測區最大值明顯地大於藍色線測區平均值很多，而黑色線的測點變化則與藍色或紅色線都不一致，時有最大或最小的值出現，如前所述不同週期波浪的波長不同，多重反射後水域裡的波動有大有小，而不是個均勻的定值，選測點時無法掌握到定常狀態的最大波動位置，且一旦有所偏移就會抓到就或大或小的值，波高增幅曲線只是該測點的波動變化，而不是一個趨勢，而事實上每個週期波浪的波長都不一樣，不會在同一個位置上產生最大值，因此，選點方式有很高的機率不能抓到最大波動值。反之，抓到最大 K_D 值所代表的物理意義為何，也值得思考，因為單點的大波高，不一定代表一個水域裡的波動足以對船舶造成威脅，船體具有壓制波動的作用。Lin(1995)、林及陳(1996)開始討論採用指定船席水域平均 K_D 值，來評估該區的波動情形，以反映水域波動可能受到船舶運動的壓制，而不宜以單點 K_D 值來評估的想法，但至今尚無進一步的結論。本文中可以看到單點或最大 K_D 值，都不足以充分表達港灣波動的程度，如果能以平均 K_D 值、波浪週期 T 值，再配合對船舶運動特性的瞭解，應可獲取更好的港灣波動模擬結果與對港區作業影響資訊。

圖 4.8 為週期 15 秒 ($L=197.46\text{m}$) 5 種配置的 K_D 分布圖。港池縱深約為 4.1 倍波長；而寬度約為 8.1 倍波長。子圖(a) KR1 配置因設定左右兩側及港池底端岸壁為全反射，等 K_D 值分布有呈橫向與縱向振盪的情形。子圖(d)因 KR4 配置因防波堤內側岸壁反射率由 0.9 提高為 1.0，振盪情形加大。子圖(b) KR2 配置因港池底端反射率不大，港內波動與子圖(c) KR3 配置及子圖(e) KR5 配置裡港池底端為完全消波類似。因波長與港灣開口(200m)約略相等，繞射效應開始顯著，港內出現明顯繞射波。

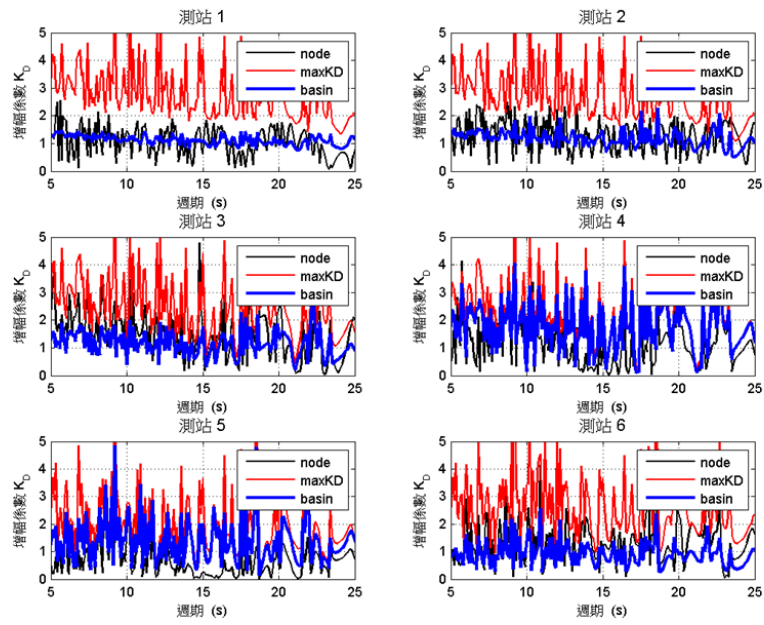


圖 4.6 配置 KR4 方案中各測點及測區的波高增幅曲線圖

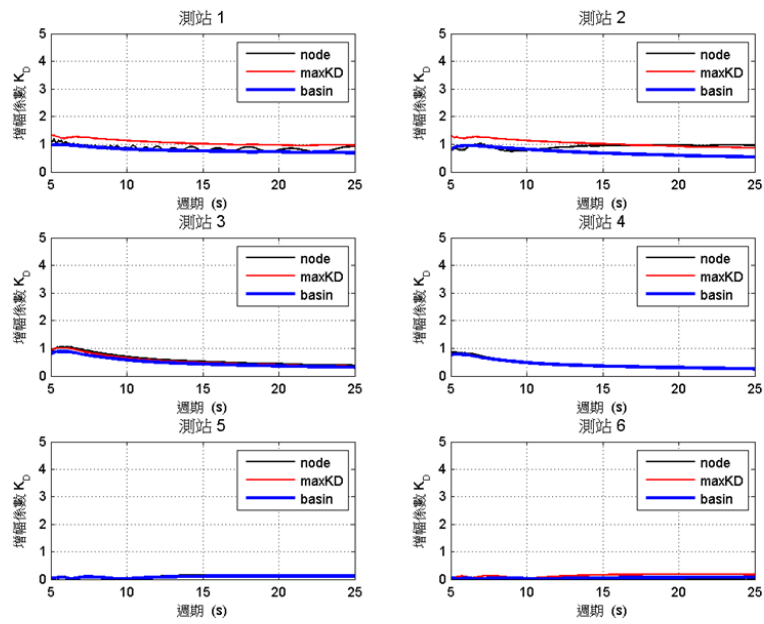
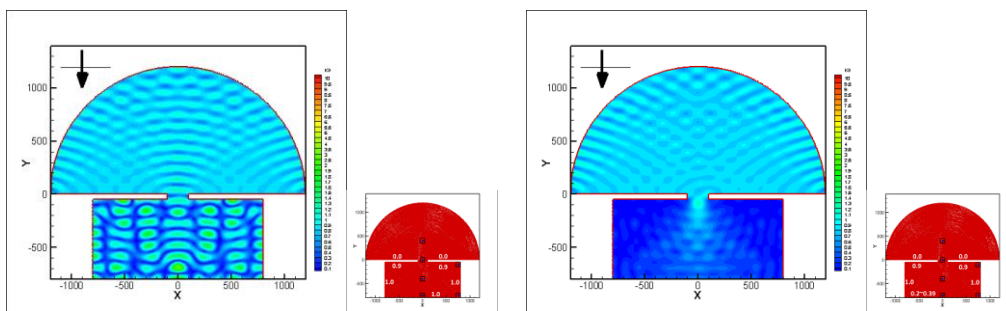
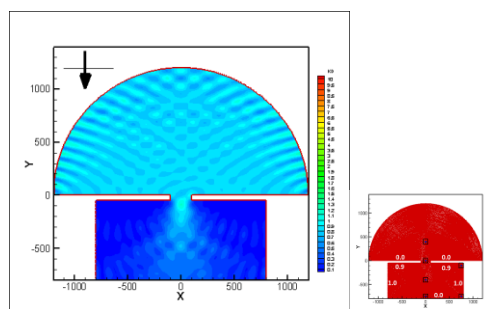


圖 4.7 配置 KR5 方案中各測點及測區的波高增幅曲線圖

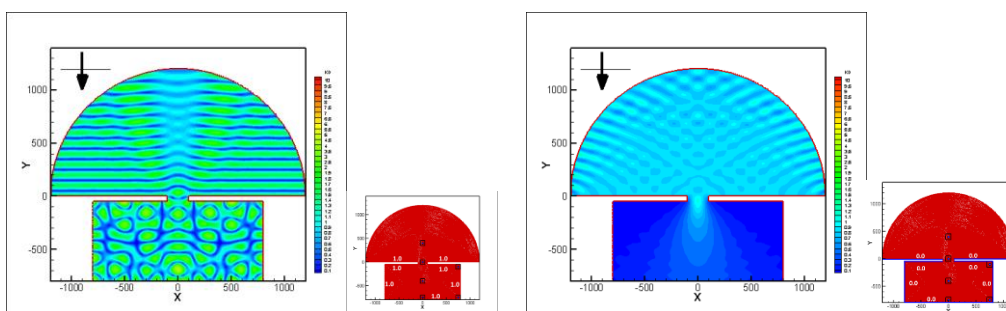


(a) KR1 配置

(b) KR2 配置



(c) KR3 配置



(d) KR4 配置

(e) KR5 配置

圖 4.8 週期 15 秒($L=197.46\text{m}$)5 種配置波高增幅係數分布圖

4.1.3 港灣波動評估模式初探

藉由以上的討論與試驗，發現藉由系統性進行複式區段岸壁的消波能力評估，可以清楚地瞭解各區段對整體波動的影響，初步擬定港灣波動評估模式程序如下：

- (1) 選定可能之港灣配置方案，依照碼頭與岸壁可能使用情形，以及可能使用之消波設施型態進行分類，在數值模式邊界設定以代碼定義。
- (2) 蒐集各種消波設施之反射率曲線資料，必要時進行消能結構物反射率斷面試驗，並依預定模擬之週期範圍，以線性內插求得各反射率值，建立 K_D - T 對照表並建成檔案。
- (3) 針對每一個獨立岸壁，假設其為完全反射，而其他岸壁為完全消波，逐一檢討各岸壁的反射，對整個港灣波動的影響。
- (4) 啟動複式(多區段)岸壁，重複上一項作業。
- (5) 進行交叉比較及綜合評估，瞭解主要影響港灣波動的主要區段後，啟動其非定值反射率的模擬。

4.2 消能碼頭結構物或設施

與海岸工程相關消能結構物很多樣化，如適用於港內、港外及海岸或出水及沒水結構物等，但鮮少有較完整的消波能力討論，本節簡單回顧部分與港內消能設施有關的相關試驗文獻。

- (1) 自然海灘：Taira and Nagata (1968)以 3 種週期條件，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檢討，如圖 4.9 所示。Seelig and Ahren (1981)蒐集 4000 個自然海灘、護坡及防波堤的反射率試驗資料，並嘗試建立推估公式，如圖 4.10 所示，為反射率與 Iribarren 數(ξ)的關係圖。然而，比對圖 4.9 及圖 4.10 的反射率愈波長的關係，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，只能沿著坡面運動，等同於在不透水斜坡上運動，其溯升高度相對提高，甚至發生越波。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。

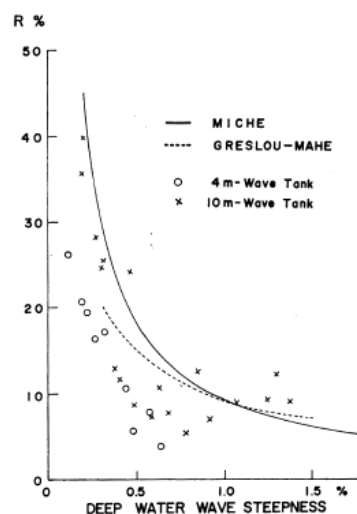
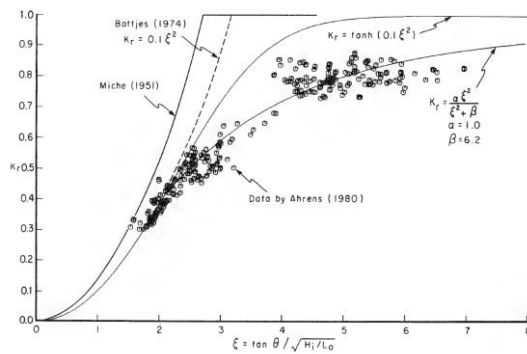
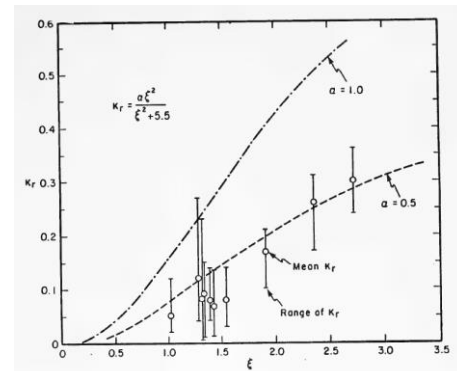


圖 4.9 斜坡(斜度 6 度)上之反射率與波形尖銳度關係圖(Taira and Nagata, 1968)



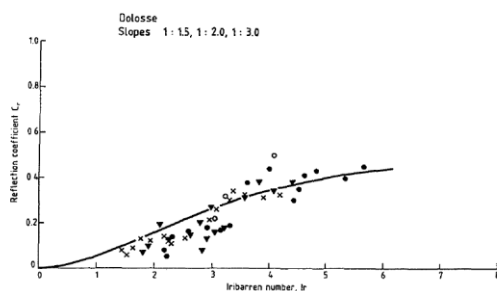
(a) 不同坡度之經驗公式值



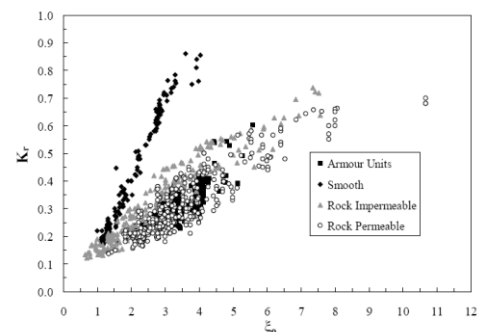
(b) 試驗值

圖 4.10 斜坡反射率與 Iribarren 數關係圖(Seelig and Ahren, 1981)

(2) 拋石堤：Allsop and Hettiarachchi (1989 及 1998)蒐集多種斜坡拋石堤的反射率試驗資料，如圖 4.11(a)所示。Zanuttigh and van der Meer (2007)蒐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，如圖 4.11(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，因此而形成位能差轉動能的造波行為。



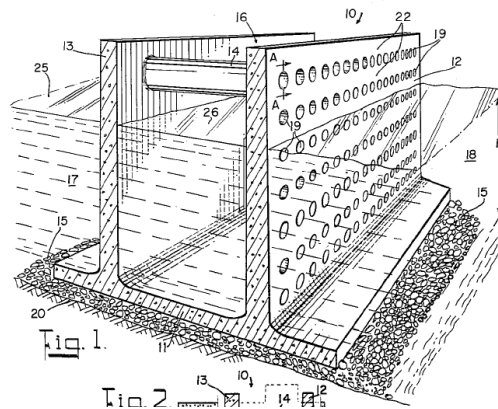
(a) 雙 T 塊(Allsop and Hettiarachchi, 1989 及 1998)



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

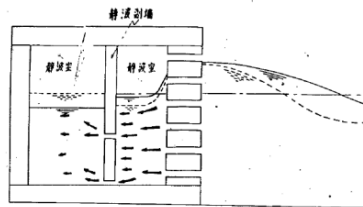
圖 4.11 斜坡拋石堤之反射率與 Iribarren number 關係圖

(3) 直立式消能結構物：以 Jarlan 型消波結構物(如圖 4.12 所示)為最早有正式文件的記錄(Jarlan, 1961，專利申請)。井島等人(1978)的研究開發直立開孔式靜波牆沉箱碼頭如圖 4.13 所示；蘇等人(1979)修改為國內所稱之萬代福組立式消波塊碼頭，如圖 4.14 所示。雖然圖 4.14 顯示消波效果似乎不錯，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。

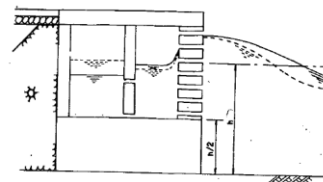


(資料來源：US3118282:Breakwater Structures 美國專利申請書)

圖 4.12 Jarlan 型消波結構物(Jarlan, 1961)

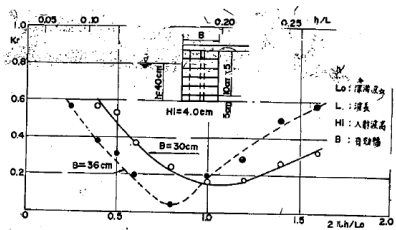


(a) 基本型

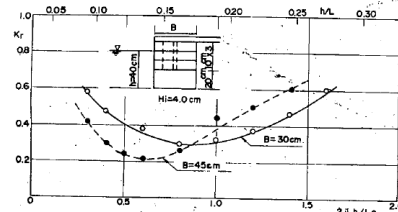


(b) 混合型

圖 4.13 直立開孔式靜波牆沉箱碼頭示意圖(井島等人，1978)



(a) 基本型



(b) 混合型

圖 4.14 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)

(4) 排水式消能斜坡：李(2010)研究開發越波排水式消能斜坡(如圖 4.15 所示)，利用斜坡能促使波浪淺化、碎波、溯升及越波的功能，再加上進行下方排水，而得到相當好的消波效果，如圖 4.16 所示，反射率可以降至 0.5 以下，而其關鍵在於建置的斜坡是否能促成有效的越波與排水。本消能斜坡的研發過程，可參考本所於 2009 年至 2012 年期間「消能式結構物特性之研究」之研究報告。

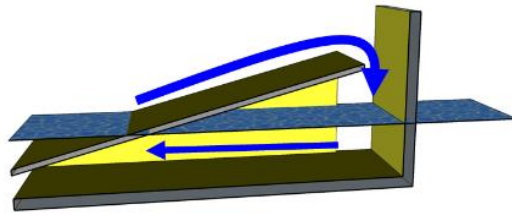
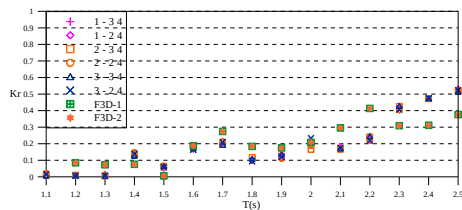
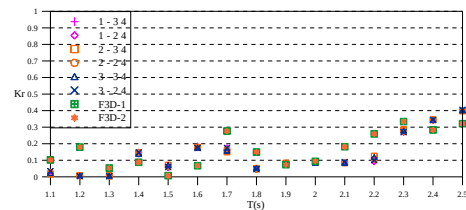


圖 4.15 越波排水式消能斜坡(李，2010)



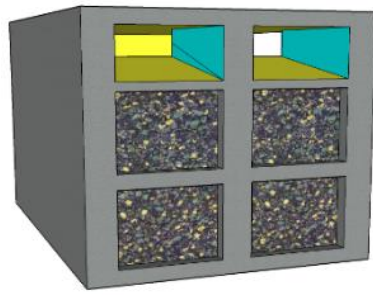
(a) 斜坡出水高度：1.5 倍波高



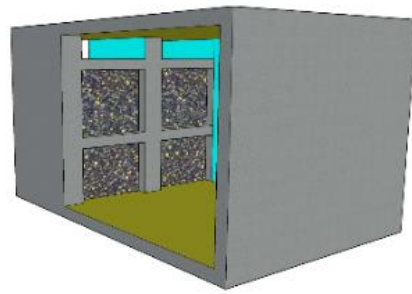
(b) 斜坡出水高度：1 倍波高

圖 4.16 越波排水式消能斜坡水工模型與數值模擬之反射率比較(李，2010)

(5) 排水式消能結構物：林等人(2012)及許等人(2017)提出一種內建斜坡排水式消能碼頭(如圖 4.17 所示)，其中 D3S1 配置之反射率與週期關係如圖 4.18 所示。不論是水工模型試驗或 FLOW3D 數值模擬，反射率都在 0.5 以下。後續還有林等人(2017)、歐陽等人(2018)、林等人(2018)、葉等人(2018)及王等人(2019)陸續提出多種新型直立式消能碼頭的構想。

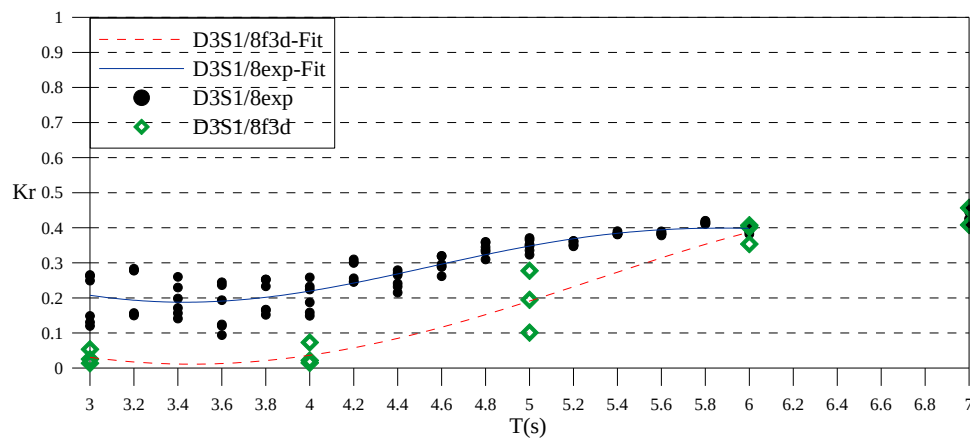


(a) 前視圖



(b) 後視圖

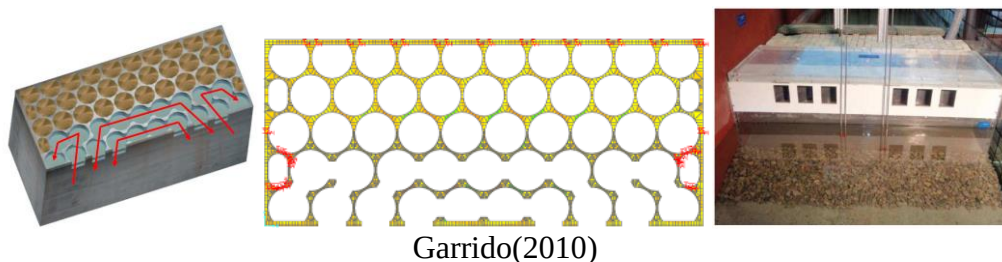
圖 4.17 內建斜坡越波排水式消能碼頭斷面試驗模型配置(林等人，2012)



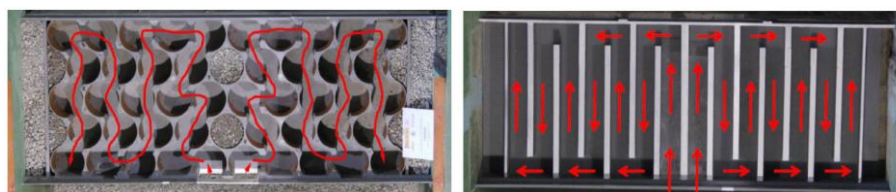
(實心圓點為試驗值；中空菱形為 FLOW3D 模擬值)

圖 4.18 消能碼頭斷面模型之反射率試驗及數模結果(林等人，2012)

- (6) 迴路型低反射性沉箱：Garrido 等人(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 4.19 所示)來遲滯長週期波浪，但對長週期波的反射率仍高。Gonzalez-Eecrival 等人(2018)繼續延長通路長度，但反射率仍在 0.8 以上，且該結構物之開孔率似乎不高，且開在靜水位附近，當波動以正向入射時，每個開孔都進水，需再確認其是否能反射大部分波能。



Garrido(2010)



Gonzalez-Eecrival 等人(2018)ARJ-R 型圓形及矩形消波室

圖 4.19 低反射性沉箱示意圖

綜合而言，上述 6 種類型的消能結構物，其應用的機制不外是如前所述的多孔隙結構物(如塊石堤或拋消波塊堤)，利用較密的開孔破壞原來的波浪結構，在開孔後側產生渦流消耗部分能量，並在多孔隙介質內促使水粒子其在孔隙間衝撞，並用滲流路徑的加長增加摩擦損失的機會，也導致波形相位的遲滯。

開孔結構物則採較大的開孔，讓大部分能量進入堤體內，降低直接反射的量體，在開孔後側產生渦流來消耗部分能量，而後利用消波室內的形狀或消能設施削減波能，但除非路徑很長，否則對相位的遲滯效用不大。

排水式消能結構物及斜坡則是模仿自然沙灘，利用平均海水面以上的滲透消波功能，在現有消能結構物上設置斜坡促使波浪碎波及越波，再利用集水槽與獨立通路系統排水減少二次造波能量。此外，從以上的討論可知，大部分消能結構物的反射率試驗多是針對一般風浪至十幾秒的颱風波浪，湧浪都鮮少討論，更遑論針對極長週期的消波能力。未來的水工模型試驗有必要著重於此一部份，否則就只能視為全反射看待。

Huang 等人(2011)整理 1974 年至 2010 年間，共有 109 篇 Jarlan 型直立式消能結構物的相關文獻，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 4.20 所示)，彙整出消能機制與消波室的縱深及開孔比例有關。當消波室縱深(B)約為 $(2n+1)/4$ 倍波長(L_s)時，可能得到最低的反射率，其中 n 為整數值，但開孔的幾何及慣性特性，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。

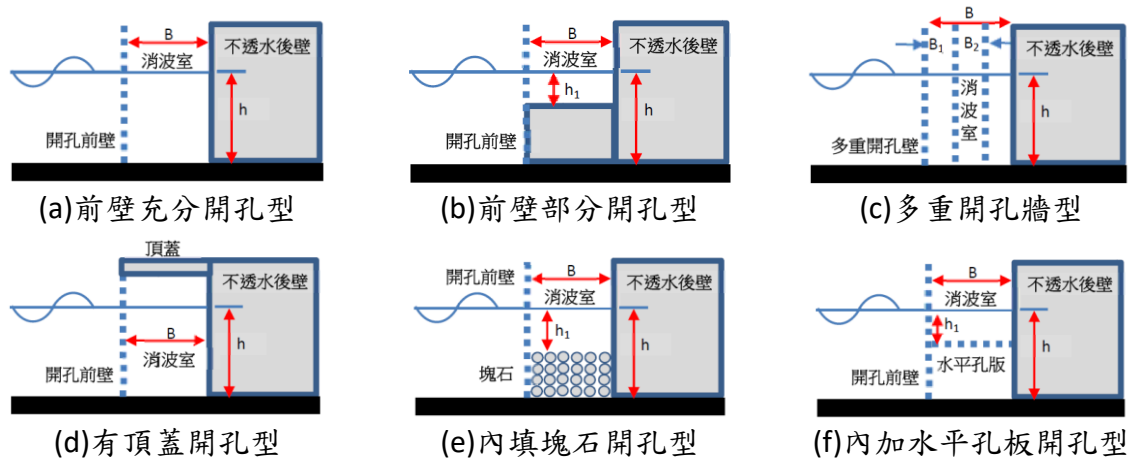


圖 4.20 Huang 等人(2011)回顧之 Jarlan 型防波堤結構之類型

Lee 等人(2014)針對部分開孔沉箱(如圖 4.21 所示)進行了一系列的評估，主要包含利用孔洞的寬度及數量，來調整不同的孔隙率、單消波室、雙消波室及消波室的寬度等。該研究指出，單消波室部分，前牆的孔隙率較小時，有較低的反射率，大多數結果顯示 $(B/L_s)=0.15$ 左右有最小的反射率。不過，狹縫的數量對反射率的影響不大。雙消波室部分，等寬度消波室的消波效果，較非等寬度的配置好。當孔隙率在 20~60%範圍內時，隔間牆的孔隙率小於前牆的孔隙率時，有較好的消波效果。雙消波室的大小對反射率的影響不明顯，但雙消波室在隔間牆具較低孔隙率時，相較於單消波室有比較好的消波表現。

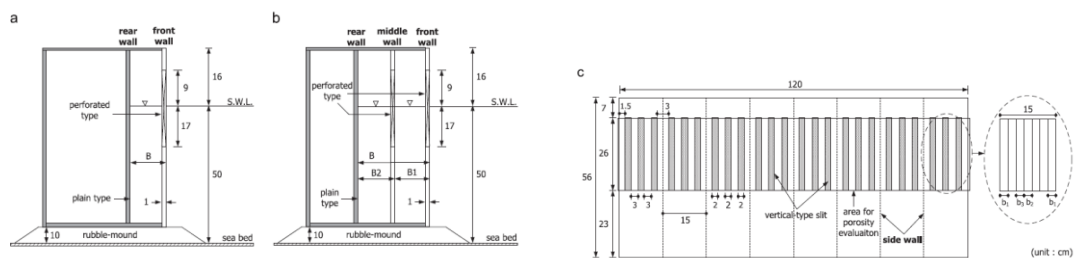


圖 4.21 Lee 等人(2014)的部分開孔沉箱結構物水工試驗模型

從以上的回顧，消能結構物的型式大致可分為：

1. 直立壁式(upright wall, verticle wall)及斜坡式(sloping surface)

直立壁式通常用於水域空間，須充分且有效利用的環境裡，如防波堤及碼頭；斜坡式則多用於有足夠空間使用的環境裡，如使用天然塊石或人工塊石(混凝土塊或消波塊)的拋石堤。

2. 開槽孔式(slotted structure)、開孔式(perforated structure)及多孔性結構物(porous structure)

開槽孔式可分為垂直式槽孔及水平式槽孔(slotted structure)，其開孔較大且多為矩形開孔，使較大比例波浪可直接通過；穿孔式(perforated structure)大多在沉箱外壁採圓型穿孔，容許某一比例(與垂直投影的有效通水面積有關)的波浪反射與通過；多孔性結構物則如以拋石，製造出消能斜坡(porous structure)或人工沙灘。

這些結構物的消波能力，除了與波浪特性(波高及週期)及結構物特性(開孔性、孔隙率、坡度)有關外，也與水位的高低有關，是因為消能效果主要發生於空氣、水與固體物間的交互作用部分，也就是自由水面附近。例如，當波浪進入自由水面以上的空隙部分，容易因固體邊界的摩擦與反射，而導致水粒子的衝撞而消減波能。但當固體物的空隙間充滿水時，此類衝撞行為就明顯降低而降低消能效果。自然沙灘會讓溯升水體滲入孔隙內，而減少下刷水量及減少反射，但若沙灘排水不良，則容易形成飽和含水，不僅無法滲透，還提升波浪的溯升高度甚至越波。因此加強消能結構物的排水功能，有利於提升其消波能力，若能透過現場調查波浪與水位的變化，以便能確認波浪隨季節不同的作用型式，將可訂出適當的消能機制。

4.3 斷面水工模型試驗前期規劃

斷面水槽基本造波/消波特性測試包含規則波及不規則波之造波特性測試，以及斷面水槽消波機制改善，將在 113 年度執行。

1. 斷面水槽中段消波設施

考慮諸多海岸結構物斷面試驗時，水體一端為造波板而另一端為部分消能的結構物，在造波量測停止造波後，波浪可能在造波板及結構物之間多次往返反射，需要 5 至 10 分鐘始能衰減到靜穩，始可進行下一組試驗程度，嚴重影響試驗進度的推動。為縮短等待時間，本計畫將參考過往試驗經驗，設計一組中段消波設施。如圖 4.22 所示，在造波水槽中段裝置有一組升降活動式消能板架，長 2.5m、寬 1.4m、由鍍鋅鐵或不銹鋼角鋼焊接而成，中間再加橫向支撐。鋼架上用束縮帶固定人工草皮(2m 長、1.5m 寬，仿生草長 4cm，可透水)，安裝時靠造波機近端以橫桿支撐，遠端約 2m 中間桿固定一吊繩，以便於需要消波時沉放入水中並以其自重形成消能斜坡；而於水面波動小於 1cm 後拉出水面，並使其滴水及等待靜穩，實際需要操作時間由試驗資料做調整，使用材料則依其為臨時性或長期性設施之定位來決定。試驗過程中全程蒐集水面波動，以期能分析波動衰減情形。

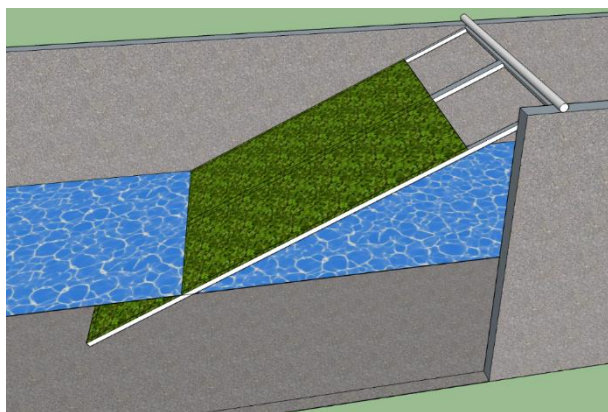
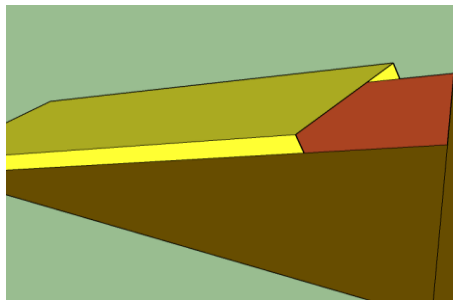


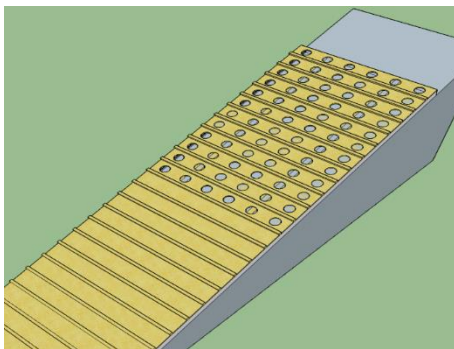
圖 4.22 斷面水槽中段消波設施示意圖

2. 斷面水槽末端消波設施：

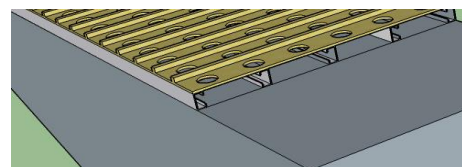
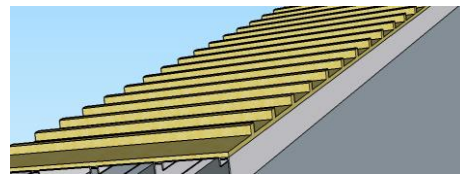
主要在空水槽，浮式、沒水式、透水式或容許越波等結構物造波試驗時，在結構物後方有波動需消波時候使用。基於斷面水槽中，現存在有遠端消能斜坡，初步規劃以既有斜坡之改善為主，試驗過程中全程蒐集水面波動，並分析反射率以期能瞭解波動衰減情形(如圖 4.23 所示)。



(a)鋼板輾壓矩形斜坡專用排水道



靜水面以上適當位置鑽落水孔



C 型鋼建構支撐架與排水道

(b)開孔橫條消能斜坡

圖 4.23 斷面水槽末端消波設施示意圖

3. 空水槽試驗規劃

- (1) 預定使用波高計：至少 6 支。
- (2) 波高計配置：如圖 4.24，6 支波高計預定配置於距造波板靜止位置 10、20、40、75、80 及 85 公尺處(依序由近至遠為#1~#6)。其中，#1 為量測入射波，#2 及#3 為檢核波浪的傳播過程，#4~#6 為經常用的試驗段。

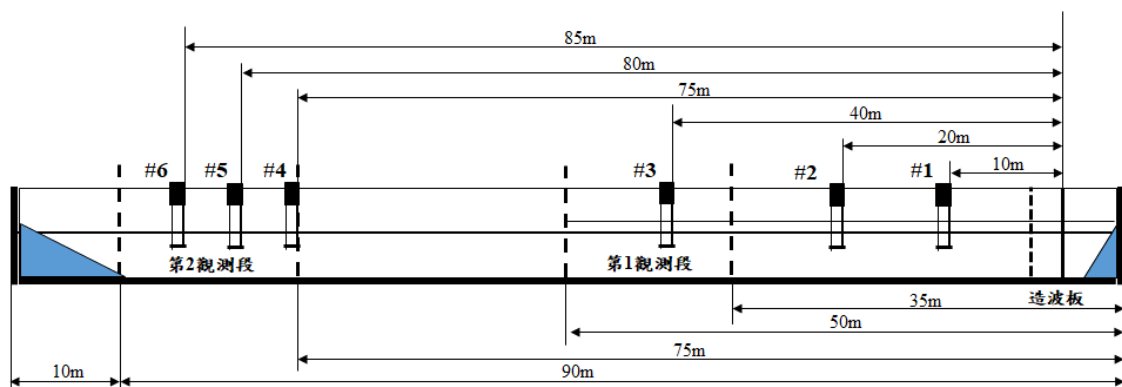


圖 4.24 空水槽試驗波高計預定配置位置

4. 空水槽試驗造波規劃：

包括規則波及不規則波試驗：造波條件如表 4-2 及表 4-3 所示，每個造波條件重複進行 3 次。

表 4-2 空水槽試驗-規則波造波條件

造波週期	0.5~5.0s，每間隔 0.5s
造波波高	5cm 到 30cm，每間隔 5cm
造波時間	90 秒
造波水深	40cm 及 100cm
試驗目標	瞭解規則造波於不同週期及波高條件下是否穩定
測試項目	(1) 測試並記錄到達各波高計時間及波形，以零上切法分析特性波高與週期，並量測水面靜止(主動消波)時間。 (2) 測試並記錄到達各波高計時間及波形，以零上切法分析特性波高與週期，並量測水面靜止(被動消波)時間，必要時增加活動式消波板並進行測試。

表4-3 空水槽試驗-不規則波造波條件

造波週期	0.5~5.0s，每間隔 0.5s
造波波高	5cm 到 30cm，每間隔 5cm
造波時間	90 秒或 180 秒
理論波譜	P-M、B-M 及 JONSWAP 波譜
造波水深	40cm 及 100cm
試驗目標	瞭解不規則造波於不同週期及波高條件下是否穩定
測試項目	(1) 測試並記錄到達各波高計時間及波形，以零上切法分析特性波高，並量測水面靜止(主動消波)時間。 (2) 測試並記錄到達各波高計時間及波形，以零上切法分析特性波高，並量測水面靜止(被動消波)時間，必要時增加活動式消波板並進行測試。

5. 水工模型試驗規劃

- (1) 設定縮尺：暫定 1/36 (Froude Law, Fr)。
- (2) 地形佈置：如圖 4.25 所示，參考花蓮港#7 碼頭前水深約 10m，先以 10:1 斜坡自外海調整水深後，設置適當長度平台以穩定波形。
- (3) 預定使用波高計：至少 6 支。
- (4) 波高計配置：如圖 4.25，3 支波高計預定配置於距造波板靜止位置 10、20 及 40 公尺處，另外 3 支波高計則設置於結構物前，主要作為量測反射波之用 (依序由近至遠為#1~#6)。一樣讓#1 量測入射波，#2 及#3 為檢核波浪的傳播過程，#4~#6 為經常用的試驗段。

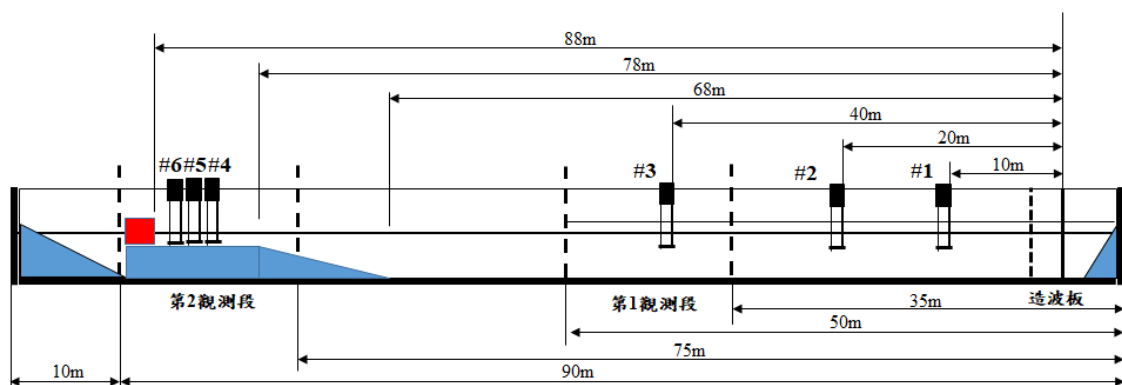


圖 4.25 水工模型試驗波高計預定配置位置

6. 水工模型試驗造波規劃：

包括規則波及不規則波試驗：造波條件如表 4-4 及表 4-5 所示，每個造波條件重複進行 3 次。

表 4-4 水工模型試驗-規則波造波條件

造波週期	1.0~6.0s，每間隔 1.0s
造波波高	4cm 到 10cm，每間隔 2cm
造波時間	暫定 90 秒
造波水深	100cm
試驗目標	測定反射率
測試項目	(1) 測試並記錄到達各波高計時間、波形及以零上切法分析特性波高與週期、以及量測水面靜止(主動消波)時間。 (2) 測試並記錄到達各波高計時間、波形及以零上切法分析特性波高、以及量測水面靜止(被動消波)時間。 (3) 採用系列式波高量測並配對分析反射率。

表 4-5 水工模型試驗-不規則波造波條件

造波週期	參考花蓮港之颱風波浪及設計波浪規劃譜峰週期
造波波高	參考花蓮港之颱風波浪及設計波浪規劃示性波高
造波時間	暫定 90 秒
理論波譜	P-M、B-M、JONSWAP 波譜及自訂波譜
造波水深	100cm
試驗目標	測定反射率
測試項目	(1) 測試並記錄到達各波高計時間、波形及以零上切法分析特性波高、以及量測水面靜止(主動消波)時間。 (2) 測試並記錄到達各波高計時間、波形及以零上切法分析特性波高。 (3) 採用系列式波高量測並配對分析反射率。

4.4 小結

長週期波動研究應該先設定目標港灣，以免討論過於失焦，而且最好先用現場觀測或數值模擬，先瞭解影響港灣波動的因子與可能機制。港灣靜穩度的評估應包含各個分區水域，在各種浪條件下的波動情形。長方形港池底端的波高增幅曲線，可以很清楚地觀察到引發共振的週期，但換個位置或任意港形就另當別論。

藉由反射率表的建立，使 Lin(1995)模式進一步優化，利用與波浪週期強烈相關的非定值反射率，來定義實體邊界的消波能力，也較有機會能反映實務上，港灣各種消波岸壁的消波特性。本模式的改進也容許港灣波動模擬時，可藉由反射率表的選用，快速地採用不同型式的消能設施來進行評估。

港灣消能結構物的功能，除針對如何破壞波形結構與削減波能外，應增加考慮利用消波艙的排水，來降低波浪的反射。

第五章 斷面水槽平推式造波機更新紀錄

本章針對本所運輸技術研究中心風洞試驗室內，設置之斷面水槽的造波機更新過程，做一摘要性整理。風洞試驗室為3棟建築物組成，如圖 5.1 所示，其中間貫穿設有一斷面水槽，其整體尺寸為 1.5m 寬、2m 高及全長約 100m。斷面水槽設有 2 段實驗觀測段，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，可及時觀察試驗情況，圖 5.2 為第 2 觀測段。斷面水槽觀測段由 20 mm 厚強化玻璃與固定鐵架所組成，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 5.1 交通部運輸研究所運輸技術研究中心風洞實驗室



圖 5.2 斷面水槽第 2 試驗觀測段

5.1 新購造波系統簡介

本造波系統係 HR Wallingford 設計，本節簡介內容及圖表皆自 HR Wallingford 的造波機系統規劃書中節錄。本造波機為在淺水槽使用的活塞平推式，它可以在不同的水深中造波。該系統包含一個驅動的背濕活塞式造波板(即造波板的後側浸水)，圖 5.3 所示為雙制動活塞平推式造波機，造波機主要元件詳細配置規劃，如圖 5.4 所示。造波機的骨架為不銹鋼或陽極氧化鋁材質，以螺栓固定於斷面水槽壁的頂部，除可加勁遠端的造波板，並能減少造波板基座的變位，設計使用壽命為 20 年，表 5-1 為 HR Wallingford 斷面造波系統的基本尺寸。

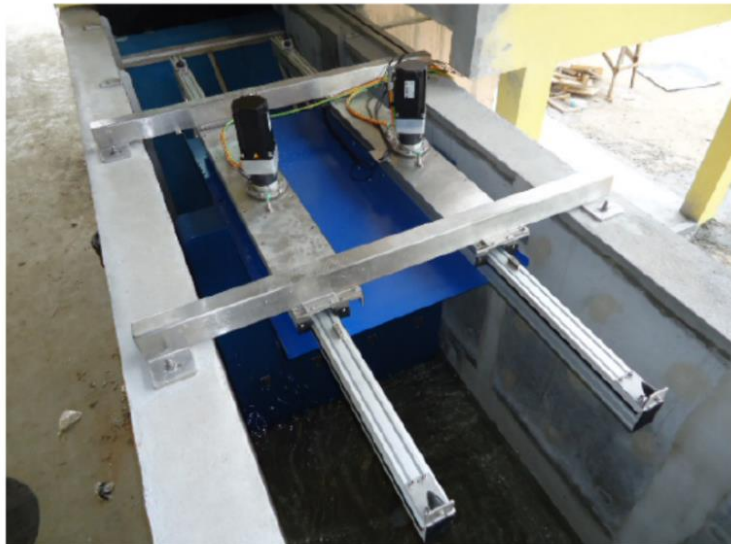


Figure 2.1: Typical flume piston paddle wavemaker (dual actuator)

圖 5.3 雙制動活塞平推式造波機

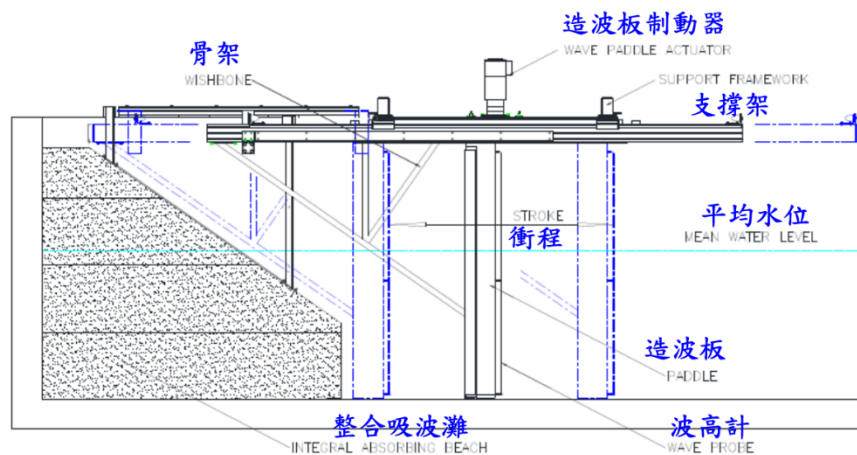


Figure 2.2: Typical shallow water flume wavemaker with single actuator

圖 5.4 造波機主要元件配置規劃圖

表5-1 HR Wallingford斷面造波系統的基本尺寸

Parameter	Value
Flume Width	1.5m
Individual paddle width (nominal)	1.5m
Number of actuators per paddle	2
Paddle full stroke	1.1m
Maximum paddle velocity	0.8m/s
Maximum paddle force	12.2kN
Max motor power (rms)	4.4kW
Total motor power (rms)	8.8kW

造波系統包含下列單元：

1. 使用者介面

斷面水槽造波系統通常設置在鄰近斷面水槽，或者在一個可以綜觀整個水槽的專用控制室裡，以便控制造波過程並隨時監看造波機作動以及造波情形。控制室裡將配備造波專用個人電腦，可透過工業級的乙太網路線與造波機模組進行通訊，且擁有一個造波板安全單元，在發生緊急事件時，可以快速關閉造波機。

造波軟體 HR Merlin 允許操作者遠端啟動造波機及執行一系列的啟動程序，包含：

- (1) 啟動歸位程序：讓造波板回到參考位置。

- (2) 率定造波板上的波高計。
- (3) 在造波之前選定主動吸波。
- (4) 預選要測試的造波波列。
- (5) 在測試過程間，監看造波板位置、造波板上的要求訊號與波高訊號。
- (6) 評估測試過程所收集資料的造波後報告。
- (7) 緊急停機按鈕係設置在馬達驅動控制面板，以及控制室裡靠近造波專用個人電腦附近的遠端造波板安全系統上。

a. 造波專用個人電腦

- (a)主控制室裡將隨造波系統配備一台個人電腦及網路埠與平板螢幕(如圖 5.5 所示)，電腦會在裝運之前安裝(Windows 7、8 或 10 作業系統)以及 HR Wallingford 的軟體。
- (b)個人電腦的主要功能是儲存及分布每一個造波板的位移時間序列，並傳送到馬達驅動控制面板裡面的嵌入式可程式化邏輯電路裡。該電腦也記錄造波板的表現資料與狀況參數，前述資料可以用虛擬時間序列顯示並展現在測試後報告中。



Figure 2.5: Flat screen monitor with HR Merlin

圖 5.5 造波控制專用個人電腦

b. 遠端造波板安全單元

圖 5.6 顯示一個在主控室裡的遠端造波板安全單元(緊急停機按鈕)，讓造波系統可以在運作狀態下快速關機。遠端造波板安全單元，則是透過工業級網路線與造波機模組連接，它也提供使用者一個由 5V TTL 訊號組成的外部觸動裝置。



Figure 2.6: Remote paddle safety unit

圖 5.6 遠端造波板安全單元(緊急停機按鈕)

2. 電子控制系統

一個馬達驅動控制面板(MDCP)必須安裝在造波機附近，該控制面板包含有嵌入式可程式化邏輯電路(PLC)、伺服驅動器及驅動造波板所需的訊號節單元。

(1) 馬達驅動控制面板(MDCP)

完整造波系統的電子控制系統是包含在一個馬達驅動控制面板裡面，也就是在距離造波機不到 5 公尺的位置。圖 5.7 為一個範例。

MDCP 將會依歐洲合格認證的電子標準設計，並可在 50Hz 環境中操作，並包含下列控制硬體：

- a. 馬達驅動控制面板裡各單元的電源獨立與分散。
- b. 每一個造波板制動器的交流伺服馬達驅動控制器。
- c. 嵌入式可程式化邏輯電路。

- d. 系統感知器的數位/類比輸入與輸出。
- e. 主動吸波的波高計訊號調節器。
- f. 造波機控制系統的設計與組裝符合 IEC61508-3; 2010 的要求。



圖 5.7 典型的馬達驅動控制面板(MDCP)內部配置情形

(2) 即時操作系統與工業級網路

造波專用電腦及嵌入式可程式化邏輯電路是透過即時乙太網路連接，專用電腦與馬達驅動控制面板的距離最遠不可超過 100 米。圖 5.8 為 HR Wallingford 造波機的基本操作架構。

作業系統(OS)控制一個數位網路來執行一個 EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology)協定。作業系統有一個可調式循環時間($>50\mu\text{s}$)以及應用於工業上運動控制的合併程式庫來控制造波板的位置移動。

EtherCAT 是一個工業級的乙太網路協定，它使用標準的乙太網路纜線但有很好的表現。例如 1000 個分散式輸入/輸出操作可以在 $30\mu\text{s}$ 執行完成。該協定有幾乎完美的規模並可透過乙太網路協定提供充分的系統安全(例如 TwinSAFE)。從該協定的表現向外延伸，它允許在每 $100\mu\text{s}$ 時間區間裡與達到 100 個的感知器

序列通訊。依據這樣的循環時間，可以提供所有感知器時間軸的資料集與控制資料並報告它降的位置狀況。分散式時鐘的技巧讓所有的感知器以不到 1 為秒的秒差幾乎同步。

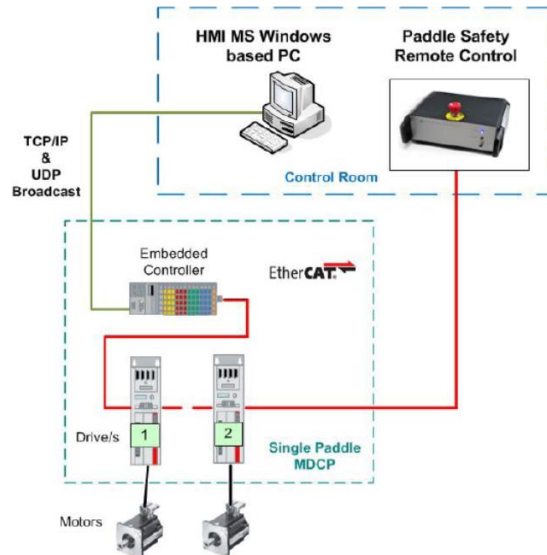


Figure 2.8: Control system hierarchy – dual axis paddle

圖 5.8 HR Wallingford 造波機基本操作架構圖

(3) 嵌入式運動控制系統

造波機由連接到專用電腦的馬達驅動控制面板(MDCP)裡的嵌入式可程式化邏輯電路(PLC)來控制。此一可程式化邏輯電路管理機櫃裡，各個驅動器的所有動作以及主動吸波的修正。

造波板的要求位置是在專用電腦裡預先產生並傳輸至嵌入式可程式化邏輯電路裡，可程式化邏輯電路再線性內插至 1ms 區間然後在造波期間週期性地傳輸至馬達制動裝置。真實的造波板位置是使用這個目標位置及嵌入式可程式化邏輯電路與驅動裝置間的封閉式迴路來完成。

嵌入式可程式化邏輯電路也執行造波板的歸位程序並監視造波板上的波高計。這 2 支波高計提供可用來監視造波板表現與主動吸波所需的自由水面資料。

3. 安全系統

HR Wallingford 造波系統係設計在安全狀態下才能操作，因此，安全系統同時存在於硬體(MDCP)及造波軟體內，讓系統不會在超過其能力範圍時還可以操作。緊急停機裝置也安置在當緊急狀態發生時，可以快速到達來迅速關閉造波系統的位置。每一個造波系統都配備了 HR Wallingford 標準安全系統，包含裝置在馬達驅動控制面板頂部的顯示燈與喇叭，如表 5-2 所示。

表5-2 HR Wallingford造波系統的安全協定

Table 2.1: Standard safety protocol for HR Wallingford wavemakers

Task description	Beacon activation
Power On in HR Merlin – “Standby”	Solid orange
Home – “Homing”	Flashing orange with 10 second burst of klaxon
Ready to receive command	Solid green
Begin wave generation – “Start”	Solid green and 5 second burst of klaxon (optional feature available to users)
Park – “Parking”	Flashing blue and 5 second burst of klaxon
Fault	Solid red
Emergency stop	Solid red and solid blue

緊急停機按鈕裝置在馬達驅動控制面板上，以及主控制室裡專用電腦旁的遠端造波板安全單元上。HR Wallingford 造波系統在軟體及控制系統上，擁有好幾個進一步的安全與緊急處理功能。造波軟體具有下列安全功能：

- (1) 自動避免使用者產生超過造波板衝程極限的波浪，並提供造波機每一個軸的即時回饋狀況資料。
- (2) 透過密碼保護系統作業極限參數的使用權存取。
- (3) 避免使用者在關閉造波視窗或軟體後，讓造波機還繼續主動吸波。
- (4) 提供軟體互鎖功能，讓只有在安全無虞狀態下，才能對造波機下達命令。例如，直到電源啟動且造波板已經歸位後，系統才能執行。而只有在造波板歸位且波高計率定後，才能啟動主動

吸波。

- (5) 如果發生通訊上的誤差，或執行緊急停機，即使硬體問題已排除，也必須在清除軟體的誤差後，才能傳送指令到造波機。這樣的操作可避免已無法控制的方式啟動，例如在緊急停機後，由控制機櫃來解除。
- (6) 開始及停止造波時，波浪會在軟體設定的時間延時裡，漸進式地上升與下降，即使比計畫的時間提早停止造波。

4. 機械單元

(1) 造波板制動器

造波機擁有一片由固定在支撐架上，為雙電子式制動器驅動的造波板。這樣的安排可以讓軸承及精度單元，可以適當地定位在水面以上。

每一個造波板制動器包含特殊設計的擠壓成型桿件，在 4 組線性軸承之間運動如圖 5.9 所示，它被設計成讓任何使造波板擦撞水槽側壁，而可能發生的側向位移達到最小化。

桿件由齒條和小齒輪驅動，使其作向前與向後運動。小齒輪係作偏心固定，以便能調整而使任何反彈達到最小，以確保造波板可精準運動。

齒條和小齒輪是由不銹鋼製作，軸承與滑桿有特殊的防腐保護層。齒條和小齒輪驅動造波板的方法很簡便，且不需要密封式潤滑系統，滑桿只需要經常性地清潔與重新潤滑，以保持最佳狀況，這樣的設計可減少其例行性的維護。

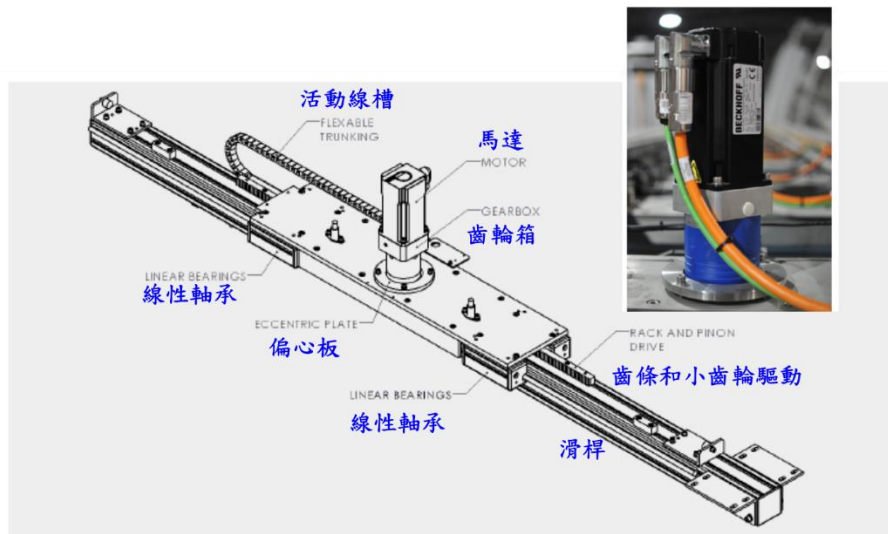


Figure 2.3: General arrangement for wave paddle actuator

圖 5.9 造波板與雙電子式制動器配置圖

(2) 機械單元-造波板

造波板是以 GRP(Glass Fiber Reinforced plastics，玻璃纖維加勁塑鋼)或不鏽鋼材料製作，並剛性地固定在造波板製動器上，其重量並不會太笨重。造波板周邊裝有可調整式止水帶，以期使造波板與水槽側壁及底部保持最小的縫隙。

造波板上裝有兩支阻抗式波高計(如圖 5.4 所示)，可量測板面上的水位變化，並作為主動吸波系統的輸入值。波高計將會配合造波板與實驗水深，來調整其長度與安裝位置，以確定能夠量測造波機所可產生的所有波浪條件下的水位變化。

(3) 支撐架

所有 HR Wallingford 造波機的支撐架，皆是採用 304 不銹鋼擠壓成型的中空方管或矩形管並滿焊而成。

5. 造波軟體-HR Merlin

HR Merlin 造波軟體提供下列造波技術：

- (1) 正向規則造波。
- (2) 正向不規則波。
- (3) 多種內建的理論波譜(如 JONSWAP, Pierson-Moskowitz, TMA, Bretschneider 及其他)。
- (4) 使用者定義外部建立並儲存於檔案的波譜。
- (5) 特殊波形如過渡波、碎波、聚焦波群或孤立波。
- (6) 以 ASCII 文字檔格式，儲存的外部產生造波板移動時間序列。
- (7) 造波機的主動線上吸波。
- (8) 二階超諧波與次諧波分量的轉換函數。
- (9) 時變性率波器已逐步提高不同頻率的波浪分量，以期減少長週期反射波並使水槽中造波測試時間能達最大。

5.2 造波機安裝過程

HR Wallingford 造波機組件，採空運方式以 4 個木箱裝運，於 112 年 11 月 22 日送抵本所運輸技術研究中心，如圖 5.10。12 月 4 日開始進行組裝，於 12 月 13 日完成造波機組裝，如圖 5.11，後續開始進行造波測試。



圖 5.10 造波機組件進場照片(112 年 11 月 22 日)

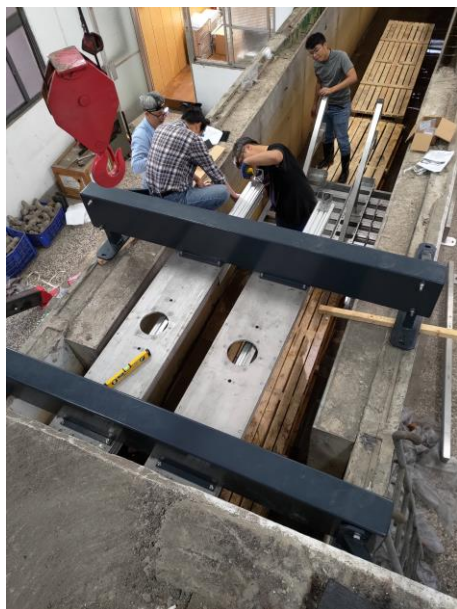


圖 5.11 造波機組件安裝照片

5.3 造波機測試過程

造波機組裝完成後，接續進行測試，HR Wallingford 原廠工程師於 112 年 12 月 14~19 日進駐本所，進行造波機系統調整、校正及測試。期間並依造波機更新案契約規定，進行造波機系統控制之教育訓練，如圖 5.12 與圖 5.13。

造波測試條件(規則造波或不規則波 Wave Condition)，操作水深設定 1.0m：

- (1) 規則波最大波高：預期設計 0.3m@週期：2.3~3.6 秒。
- (2) 不規則波最大有義波高(H_s):預期設計 0.3m@週期:2.3~3.6 秒。
- (3) 主動吸波控制系統，包含造波板上安裝 2 支波高計與軟體內建主動吸波功能。

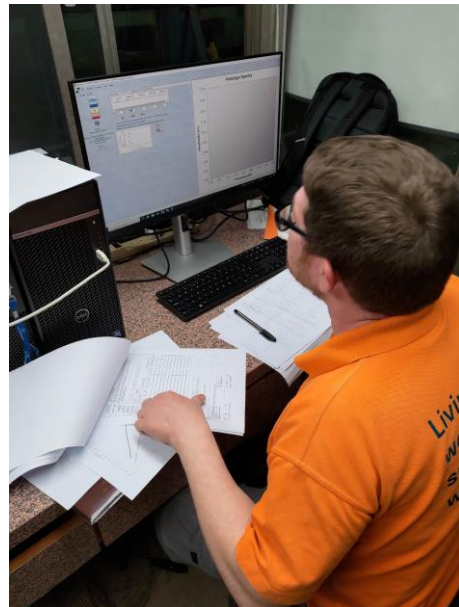


圖 5.12 造波機系統調整及校正測試照片



圖 5.13 造波機系統教育訓練照片

第六章 結論與建議

6.1 結論

總結本年度之工作內容，將本報告的結論條列如下：

1. 國內外的文獻蒐集回顧，顯示港灣發生長週期波的問題存在於世界各地，或者說存在於五大洋海岸線附近的港灣裡。對於港內發生蕩漾之長週期波動的因應對策，所獲致的想法是：
 - (1) 藉由延伸或拆除部分防波堤，來改變港形或改變外海主要的波浪(波向)由直接入射轉為繞射：但此部分牽涉甚大，例如經費與時程，衡諸國內多個漁港的案例，如果沒有長期且廣泛的調查，若設計不夠周全，或許引起另外的問題，必須審慎為之。
 - (2) 藉由新建突堤或離岸式防波堤，來減少直接入射的主要波浪(波向)能量：因為量體太大，亦需花費較多時間與經費，且涉及航道規畫，仍然需要長期且廣泛的調查，以免影響船隻進出港的操船。
 - (3) 藉由港池的浚深以減少淺水波效應：因涉及原有港灣設施的設計水深，浚深可能導致原有碼頭的基礎外露，造成其結構不穩定，而必須重新加強所有碼頭。
 - (4) 港內增設突堤，藉以改變港灣各水域的自然共振週期：如馬公港，將整個水域切割成很多小水域，可能影響後續發展。
 - (5) 拆除部分不必要碼頭，並恢復為自然消波海灘：除非選擇在關鍵反射區的碼頭，否則效益可能不會很大。
 - (6) 將現有碼頭岸線增設或改變消能式結構物：以目前已知且為使用中之消能結構物，幾乎都只對一般風浪有部分效果。必須依各港灣波動特性，針對特定碼頭岸線研選適當的消能結構物。

- (7) 以非工程的方法，研擬適當而有效的船舶繫纜與港務管理辦法：臺灣各商港的碼頭大約為南北向居多，但仍需針對各港灣在當地海氣象作用下，調查研究後歸納港灣波動與船舶運動及發生斷纜事件之間的關係。
2. 對於極長週期的波動，在外海中可能以自由波型式存在，但也可能以群波的強制伴隨波的型式存在。港內的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，因水頭堆積所產生的水動力造波行為，而此造波週期可能與港灣自然週期有關。
 3. 港灣消能結構物除針對如何破壞波形結構與削減波能外，應增加考慮利用消波艙的排水來降低波浪的反射。消能結構物大致可分為開槽式(slotted 包含垂直式或水平式開槽孔)、多孔性(perforated, 有開圓孔之直立或傾斜岸壁)及孔隙結構物(拋天然或人工塊石斜坡)。其消能效果與波浪的反射與垂直投影的通水面積有關，但水平式開孔容易因水位的高低變化，而影響波浪的反射比例。

6.2 建議

1. 因為港灣波動受入射波週期影響很大，後續可使用白噪音波譜來進行不規則波水工模型試驗，可能有助於發現群波伴隨的長週期波所引發之港內波動。
2. 過去的觀測方法，限制了最長可分析的波浪週期(例如，以 2Hz 取樣 1024 點，可分析的最長週期為 512 秒)，無法真正瞭解花蓮港可能存在的長週期波，若觀測儀器又置於岸壁，則可能受邊界效應影響。由於電源供應、資料傳輸與儲存設備進步，未來若能進一步分析長時間連續觀測取樣資料，將有助於找出花蓮港有甚麼樣的波浪週期，而且應可找出港內與港外波動特性的差異性。
3. 港灣發生共振係因為波浪進入港灣後發生多次反射，導致能量累積而引發港內的自然振盪，因此除了在港外設法減除入射波的能量

外，如能在港內關鍵反射位置，設法消波切斷其繼續傳遞的路徑，將有助於改善港灣共振，但前提是反射波的發生機制必須釐清。因應對策是必須找到所有可能發生機制，再逐一針對討論，不能只看到最後的波動表象來評估，以免因波浪條件改變，而導致因應對策失效。針對目標港灣的評估，如何繪製適當的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。為有效執行水工模型試驗，斷面水槽本身的造波與消波能力應先確認，以期能達到事半功倍。

6.3 研究成果及其效益

1. 本年度研究初步彙整出長週期波浪造成的破壞機制與對策，可作為後續研究的參考。
2. 研擬適用於國內港灣內的結構物斷面或設施雛型構想，能消減長週期波浪能量，以減少港灣內的長週期波浪盪漾，降低港內船隻斷纜的發生機率。
3. 建置港灣波動評估模式雛型，可協助瞭解主要影響港灣波動的反射區，並可測試式選用不同消能結構物對港灣波動的改善效果。

6.4 提供應用情形

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. André, Gael, Florian Bellafont, Fabien Leckler, Denis Morichon (2021). “Predicting seiche hazard for coastal harbours along the northern and western coasts of France”, *Natural Hazards*, 106:1065–1086
2. Bottin, Robert R., Jr., Douglas G. Outlaw, William C. Seabergh (1985). “Effects of Proposed Harbor Modifications on Wave Conditions, Harbor Resonance, and Tidal Circulation at Fish Harbor, Los Angeles, California,” Technical report CERC-85-2, Department of Army, Waterways Experiment Section, Corps of Engineers, 180 pages.
3. Briggs, Michael J., David Dykstra, and Thomas Baldwin (2004). “Modeling of Harbor Resonance In Port of Long Beach”, Conference: Civil Engineering in the Oceans VI, (CEO6)At: Baltimore, MD, Volume: 1
4. Chang, Yan-Sheng and Jiun-Yuen Wu (2019). “An Extensive Analysis of Oscillations in Arbitrary Harbors with Reflecting, Absorbing and Transmitting Boundaries – Case study of the Port of Indiana”, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 304, 032035.
5. U.S. Army Corps of Engineers (2002). “Coastal Engineering Manual”.
6. Garrido, J., D. Ponce, A. Berruguete, S. Martinez, J. Manuel, L. Fort, D. Yagüe, J.A. Gonzalez-Escriva, and J.R. Medina (2010). “Study of Reflection of New Low-Reflectivity Quay Wall Caisson”, *Proceedings of 32nd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 466-480.
7. Gonzalez-Escriva, J. A., Molines, J., Medina, J. R., & Gómez-Martín, M. E. (2018). “Analysis of long-circuit type caissons for attenuation of long-period waves”. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(36), papers.19.

8. Grey, Stephen M., Ian C. Cruickshank, Paul J. Beresfors and Nigel P. Tozer (2010). “The Impact of Navigation Channels on Berth Protection,” Proceedings of the ICE – Civil Engineering, Vol. 163, 11 pages.
9. H. S. Chen and C. C. Mei (1975). “Hybrid Element Method for Water Waves”, Symposium on Modelling Techniques, 2nd Annual symposium of the Waterways Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE, Vol. 1, pp. 63-81.
10. H. S. Chen and C. C. Mei (1974). “Oscillation and Wave Forces in an Offshore Harbor”, Ralph M. Parsons Lab., Report No. 190 M. I. T. .
11. Hadley, Lori L. and Edward F. Thompson (1994). “Numerical Modeling of Wave Response in Hawaiian Harbors” Vol CERC-94-4, The CERCular, CERC, Department of Army, Waterways Experiment Section, Corps of Engineers, 11 pages.
12. Harkins, Gordon S. and Michael J. Briggs (1994). “Resonant Forcing of Harbors by Infragravity Waves”, ICCE 1994, pp. 806-820.
13. Headland, John R., Ying-Keung Poon (1998). “Numerical Modeling of Long Wave Ship Motions” ICCE 1998, pp. 1337-1349.
14. 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.
15. Jarlan G.E. (1960). “Breakwater Structure”, 美國專利書 US3118282。
16. Kazamaa, Motoki and Toshihiro Noda, (2012). “Damage statistics (Summary of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake damage)”, Soils and Foundations, The Japanese Geotechnical Society; 52(5):780–792.
17. 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):1–10.

18. Lee, Jiin-Jen, Ching-Piau Lai and Yigong Li (1998). “Application of Computer Modeling for Harbor Resonance Studies of Long Beach & Los Angeles Harbor Basins”. Coastal Engineering Proceedings, 1(26), pp. 1196-1209.
19. Leys, Vincent, Victoria Fernandez and Danker Kolijn (2018). “Resonant Oscillations in Small Craft Harbours: Observations and Mitigation Modeling Examples from Atlantic Canada,” ICCE 2018, 7 pages.
20. Li, DongCheng (2002). “Los Angeles-Long Beach Harbor Pier 400 Harbor Resonance Study Using Numerical Model”, CGWAVE, Electronic Theses and Dissertations. 295
21. López, M., G. Iglesias (2014). “Long wave effects on a vessel at berth,” Applied Ocean Research 47, pp. 63–72.
22. Maravelakis, Nikolaos, Nikos Kalligeris, Patrick J. Lynett, Vassilios L. Skanavis and Costas E. Synolakis (2021). “Wave overtopping due to harbour resonance”, Ocean Engineering V.139, 103973, 16 pages.
23. OCDI (The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan) (2002). the Technical Standards and Commentaries of Port and Harbour Facilities in Japan, Goda, Y., T. Tabata and S. Yamamoto Supervisors for Editorial Works of the English Edition edited, 599 pages.
24. Phillips, Campbell (2011). “The 10 most destructive tsunamis in history”,
<https://www.australiangeographic.com.au/topics/science-environment/2011/03/the-10-most-destructive-tsunamis-in-history/>
25. Rossouw, M., Terblanche, L., Moes, J. (2013). “General characteristics of long waves around the South African coast”, Coasts and Ports 2013: 21st Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 14th Australasian Port and Harbour Conference. Engineers Australia, p. 653.

26. Sargent, Francis E. (1989). “Los Angeles - Long Beach Harbor Complex 2020 Plan - Harbor Resonance Analysis”, Technical Report CERC-89-16, Department of Army, Waterways Experiment Section, Corps of Engineers, 98 pages.
27. Seabergh, William C. and Leonette J. Thomas (1995). “Los Angeles Harbor Pier 400 Harbor Resonance Model Study”, Technical Report CERC-95-8, Department of Army, Waterways Experiment Section, Corps of Engineers, 284 pages.
28. Stuart, Duncan, Geoffrey Toms, Stephen Luger and Marius Rossouw (2014). “Characterising Long Wave Agitation in the Port of Ngqura Using a Boussinesq Wave Model”, ICCE 2014, 11 pages.
29. Thompson, Edward F. and Lori L. Hadley (1995). “Numerical modeling of harbor response to waves.” *Journal of Coastal Research*, 11(3), 744-753. Port Lauderdale (Florida), ISSN 0749-0208.
30. Troch, Christophe, Luther Terblanche, Marius Rossouw , Zanele Ntantala and Gerrit du Plessis (2020). “Long-Wave Mitigation Study for the Port of Ngqura” ICCE 2020, 14 pages.
31. Van der Molen, Wim and Hans Moes (2009). “General Characteristics of South African ports and the Safe Mooring of Ships,” *Proceedings of the 28th Southern African Transport Conference (SATC 2009)*, pp. 308-314.
32. Zhang, Zhiwei and Xiao-Ming Li, (2017). “Global ship accidents and ocean swell-related sea states”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17, pp. 2041–2051.
33. 山田貴裕、大竹剛史、大崎佑也、堀池昌生、三崎隆央、竹田裕亮、桐山友香理、富田孝史、平山克也、(2021)，“清水港における高潮高波の減災対策について”，*日本土木学会論文集 B2(海岸工学)*，Vol. 77, No. 2, I_103~I_108。
34. 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”，土木学会論文集 B2（海岸工学），78(2)：667-672。
35. 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。
36. 今 卓也、松野 健、小葉松和也、田川人士、葛西弘行，(2013)，“苫小牧港における長周期波対策工の効果検証”，日本國土交通省苫小牧港湾事務所報告，5頁。
37. 王志鵬、施邦築，(2020)，”海嘯最大波高及第一波抵達時間對港埠影響之研究”，第42屆海洋工程研討會論文集，第385-388頁。
38. 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”，水道港口，第40卷第1期，2019年01期，第35-40頁。
39. 加騰広之、丹治雄一，(2010)，“あびきの特性とその被害対策工の検討”，調査研究論文集 (22):2011年度，pp. 23-31
40. 平石哲也、平山克也，(2002)，“港湾における長週期波対策の現状と課題”，日本海洋開発論文集，第18卷，pp. 143-148。
41. 平石哲也、田所篤博、藤咲 秀可，(1996)，“港湾で観測された長週期波の特性”，日本港湾技術研究所報告第35卷第3號，日本運輸省港湾技術研究所，pp.3-36。
42. 平石哲也、白石 悟、永井紀彦、横田 弘、松渕 知、藤咲 秀可、清水勝義，(1977)，“長週期波による港湾施設の被害特性とその対策工法に関する調査”，日本港湾技研資料 873 號，日本運輸省港湾技術研究所，39頁。

43. 本田浩隆、鈴木善光、服部俊朗、山本修司、大瀬信一、吉本幸太，(2020)，“志布志港におけるうねり性波浪の検討”，沿岸技術研究センター論文集 No.20，4 頁。
44. 田中真史、高山知司、惟住智昭、荒田育弥，(2017)，“志布志港における港内静穏度向上策の検討”，沿岸技術研究センター論文集 No.17，4 頁。
45. 仲井圭二，(2013)，“沿岸域の長週期波に関する研究”，九州大学 学術情報リポジトリ，139 頁。
46. 池内章雄、高山知司、三井道雅、森屋陽一，(2009)，“長周期波対策施設による静穏度向上効果”，日本沿岸技術研究センター論文集 No.9，37-40。
47. 李健鴻，(2010)，“越波式消能結構物之研究”，海洋大學河海工程研究所碩士論文，77 頁。
48. 松岡義博、池内章雄、岸良安治、外戸保勝，(2010)，“志布志港における長周期波対策について”，沿岸センター研究論文集 No.10，pp. 25-28。
49. 松野 健、青野 奨、矢野隆博，(2009)，“苫小牧港西港区における長周期波対策工の概要とその効果について”，第 53 回平成 21 年度北海道開発局技術研究発表会論文集。
50. 板倉 颯，(2021)，“清水港の防災・減災力強化に向けた検討～高潮・高波に負けない港を目指して～”，国土交通省中部地方整備局管内事業研究発表会(Web)。
51. 林昭圭、楊國誠、岳景雲、翁文凱、楊國誠、陳文俊、許師瑜，(2012)，“消能式結構物特性之研究(4/4)”，交通部運輸研究所合作研究計畫報告(計畫編號：MOTC-IOT-101-H2DB005a)，300 頁。

52. 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，(2017)，“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。
53. 林炤圭、陳文生、許師瑜、尹彰、黃偉柏 (2018)“多孔隙消波性結構物前後之不規則波特性試驗研究”，海洋工程學刊，第 18 卷，第 1 期，第 39-57 頁。
54. 城 敏也、田川人士、今 卓也，(2013)，“苫小牧港西港区における長周期波対策工の効果検証”，第 57 回 (2013 年度)，北海道開発技術研究発表会発表論文集。
55. 洪維屏、蘇青和、楊瑞源、陳信宏、莊紫晴、余昇鴻、潘詠祈、許文陽，(2020)，“船舶斷纜預警系統建置及繫纜方式研擬”，交通部運輸研究所研究報告，MOTC-IOT-108-H2DB001e。
56. 宮脇周作、高山知司、菊地隆二、津谷達彦，(2018)，“用地拡張に伴う秋田港静穏度の再検討”，沿岸技術研究センター論文集 No.18，pp. 15-18。
57. 桐山友香理，(2021)，“清水港の防災・減災力強化に向けた検討～大型台風に備えた対策の方向性について～”，国土交通省中部地方整備局管内事業研究発表会(Web)。
58. 酒井浩二、吉田九隆、木村貴彦(2006)，“秋田港における港内長周期波対策施設による静穏度向上効果”，土木學會東北支部技術演就發表會，II-103，2 頁。
59. 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。
60. 湯麟武，(1989)，“港灣及海域工程”，中國土木水利工程學會出版，

882 頁。

61. 黃茂信、李俊穎、洪維屏、陳子健、鄭信鴻，(2023)，“智慧航安與海氣象資訊應用探討（1/4）-整合船舶海事案件與海氣象即時模組”，交通部運輸研究所研究報告，MOTC-IOT-111-H2CA001e。
62. 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，pp.40-51。
63. 歐陽榮桓、楊升耀、阮天野、楊輝斌、林炤圭、林 蔚、林 鵬、陳池威、李大鴻、陳德鋼，(2018)，“內建斜板直立開孔式消能結構物的消波特性研究”，水運工程，中國，2018,(2):29-35。
64. 藤繩幸雄、岡田憲司、渡部 勲，(1976)，“波浪に伴う長週期波（サーフ・ビート）の特性（I）”，国立防災科学技術センター研究報告 第 15 号，pp. 159-191。
65. 藤繩幸雄、岡田憲司、渡部 勲，(1976)，“波浪に伴う長週期波（サーフ・ビート）の特性（II）”，国立防災科学技術センター研究報告 第 17 号，p. 111-165。
66. 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，pp.139-157，臺灣。

附錄 1

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所 112 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：長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

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 鍾英鳳委員	
1. 提到白色噪音波譜，建議多加說明如何應用於本計畫中。	感謝委員建議，有關白色噪音波譜理論定義，為各種可能成分波都具有相同的能量密度強度。後續將嘗試利用造波機的使用者定義之造波功能，以白噪音理論波譜來進行不規則波水工模型試驗。則只需要造一種波浪條件，最大能量即應發生在共振頻率上，可能有助於發現群波伴隨的長週期波引發的港灣共振。
2. 何謂入射強制性長波？	強制性長波一般指的是在某種造波機制下所產生的波，當造波機制解除就消失的長週期波動(如海嘯、亞重力波、湧浪以及群波引起的 bounded long period waves)，有別於如港灣蕩漾(seiches)的自由長週期波。
3. 第 2-10 頁在碼頭構築「海堤」，建議修改為擋水牆。	感謝委員建議，第 2-10 頁日文原文為防潮堤，將修正為防潮矮牆。
4. 對於國外案例，建議針對長週期波之週期改善方案做一小結，一般改善方式包括繫纜材質方式之改變(針對船體斷纜)，改善港池振盪應為結構配置、型式之改變、港池形狀改變、海床地形變化、防波堤之增改建及設消波設施等，唯一般消能設施面對長週期波其功效不大。	感謝委員建議，長週期波之週期改善方案彙整於第 3.2.2 節進行說明。 有關目前國內外港灣工程實務所採用的消能設施除了各種斜坡拋石堤外，直立式兼作碼頭之消能結構物多著重在一般的短週期風波，對長週期波的消能效果都不顯著(反射率在 0.6 以上)，因此必須進行能兼顧消減一般風波與長週期波的消能結構物的研究。
5. 國內資料中，會發生港池振盪的有哪些港？在哪些情況下發生？建議予以歸納分析。	目前各港內的現場觀測資料點較少，僅能藉由目視、船隻停泊的穩定度及斷纜等災損發生，判斷港池發生振盪。而災損的發生，大多為劇烈天氣引致。 有關港灣存在長週期波動的問題，在本所 2005-2008 年「花蓮港港池共振機制研究」

	計畫中，在東海岸進行短期波浪聯測發現花蓮港、花蓮鹽寮漁港、臺東石梯漁港、金樽漁港及大武漁港均有 300 秒以上的波動成分，但大部分時間其波高並不大。而文獻閱讀也發現日本、美國、澳洲等各國，面臨大洋的港灣也都存在有長週期波動。所以長週期波存在是肯定的，關鍵應在於是否因港內的長週期振盪，發生斷纜甚至撞船事故。而目前所知，長週期振盪常發生於颱風時期或鋒面過境且波動能量較大時期，花蓮港及蘇澳港都曾因颱風侵襲而出海避湧。 由於目前仍欠缺針對長週期波的港內觀測資料，(龍王颱風資料為登陸前後各一個星期)，亦無氣壓資料對照，因此還難做具體歸納。
6. 針對花蓮港發生港池振盪之海氣象資料、發生時機、發生地點，應予以說明。	感謝委員建議，請參考第 5 項說明。
7. 第三章討論長週期波造成之災害，將海嘯列入，似乎與報告目的不相同，海嘯與振盪，本報告應以振盪對港口之傷害為主。	海嘯的納入原因如第 2 項答覆，且於整理文獻過程中，研判海嘯發生後的餘波盪漾可能也是個威脅，因此將其納入彙整說明。
8. 氣象暴潮與湧浪是否已納入觀測範圍內？可否研究將來納入此一部份？	目前本所已經延長觀測時間，在風浪推算上亦可嘗試執行湧浪分離。委員意見將會轉達給其他研究團隊。
9. 第 3-9 頁冬季回淤，很大可能是因為湧浪作用，此一說明有無依據？	在海岸變遷研究論述中，即強調沙洲的形成主要是 30~300 秒的波動作用，以福隆海灘雙溪河口的颱風浪侵蝕，而冬季明顯回淤即是一例，但須為當地屬於向離岸漂沙類型，新北市和美漁港附近的金沙灣即因沿岸漂沙而無法回淤。
10. 部分圖表不清晰建議改善。	謝謝委員指正，遵照委員建議修改。
11. 第 3-14 頁斷纜事故中說明，無波浪週期或流速資料，則表 3.2 有何作用？另臺中港斷纜之發生均在颱風風力達 16、17 級，造成風壓其亦可能斷纜，另高雄港、臺中港有港池振盪情形嗎？建議可先了解。	謝謝委員建議，斷纜事故表內未標註波浪週期或流速資料，主要受限於各港內的現場觀測資料點較少。唯部分斷纜事故發生時，風力未達 3 級，或許值得另案探討。如第 5 項所述，高雄港或臺中港是否有港池振盪問題，因定義上的不同，可能需要先與兩個商港管理單位討論是否有此顧

	慮與紀錄，其次可重新審視過往觀測資料，必要時需規劃新的觀測計畫。
12. 對於消波消能之結構物是以多少週期之波來測試？如何選定？	有關消能結構物，本計畫是想先延續本所 2009 至 2012 年「消能式結構物特性之研究」計畫成果，以及 2017 至 2019 在海洋大學所做的延伸性研究。在 2011 年的研究即曾在斷面水槽中，針對簡易的排水式光滑斜坡構造物，進行 6 秒週期造波，以 1/36 比例縮尺換算為現場的 36 秒，但更長週期則需以流體動力模式進行。上述 2012 年計畫報告嘗試以歐盟 EuroTop 手冊，推算出入射波週期與波高、斜坡坡度、斜坡頂高(越波高度)等參數。本計畫第 2 年度將以水工模型斷面試驗，採用花蓮港特性為試驗設計條件，進行更深入的測試與必要的修正。
(二)國立臺灣海洋大學 蘇仕峯委員	
1. 本計畫分三年期，第一年主要工作是蒐集各國港灣長週期波之文獻，作為第二年斷面模型試驗所用，目的要採用消波設施降低長週期能量，從量測反射率來確認。然而，文獻多為現場二維平面空間形成之波浪，利用斷面試驗探討需仔細評估其效果。	感謝委員建議，將納入後續研究考量。本斷面試驗計畫主要是從功能上研選適當的消能結構物，可提供平面試驗做進一步的效果評估。 為了能切實掌握問題的實質內容與重點，本計畫必須做多方面的思考，研擬消能結構物的驗證、改良或新創的可能，因此本計畫仍蒐集很多平面波動探討的文獻回顧。
2. 斷面水槽製造長週期波，水深、消波設施尺寸和孔隙大小等，以及波浪週期，需要評估試驗比尺。	感謝委員建議，後續將依本次新設造波機的性能及斷面水槽設施，設定適宜的試驗比尺。本計畫亦將依需求(如研選的消能結構物或海床坡度)選用適當模型縮尺，會介於 1/36~1/100 之間。
3. 長週期波浪的週期範圍可用波譜主頻和低頻中最小頻率當成界限，大約可以用 20 或 25 秒以上的波浪稱之。	感謝委員建議，將納入後續研究考量。長週期的定義雖有理論上的建議(25 秒~250 秒或 30 秒~300 秒)，但實務上所關心的週期範圍仍莫衷一是。例如也有些研究把亞

	重力波視為長週期波，本計畫將會收集更多相關文獻來彙整討論。
4. 試驗造波機製造規則波也可能形成群波，群波會衍生出更長的長波，在試驗資料分析需要注意。	感謝委員建議，文獻中群波常有伴隨的長週期波，唯至今尚少有相關的試驗文獻，僅以濾波方式進行消除，後續資料分析時將會留意。
5. 試驗水槽製造不規則波的功能需要檢視是否有波高一致，搭配各種週期成分之功能。	感謝委員建議，後續進行試驗時將會留意。如第2項回覆，在每個試驗進行之前都會先執行試驗條件的確定。再者，從過去參與的試驗經驗覺得由於不規則造波關係到很多隨機參數，很難要求波高達到一致，只能盡力而為。
6. 斷面水槽可思考建模成花蓮港內外港中間的渠道，量測波浪通過的變化，再進行渠道底床增加粗糙度或增設淺階消波。	感謝委員建議，2 維斷面水槽進行模擬 3 維束縮水道相關的試驗，可考慮規劃在第三年研究項目中，第二年將先進行文獻收集，以瞭解目前的研究成果中，系列潛堤的結構物高度與水深的關係，以及其波浪反射的效果。
(三)國立成功大學水工試驗所 江文山委員	
1. 本文收集文獻範圍廣泛，然就相關文獻的分析後，與本計畫主要議題：進行長週期波水工模型試驗探討，其間的關聯性不明顯。究竟後續計畫要如何試驗？較不容易具象理解。	本年度主要針對長週期波相關文獻及資料進行蒐集與研讀，以瞭解長週期波的作用與機制。主要仍聚焦於花蓮港內的長週期波振盪問題，因而僅初步提出一消能結構物雛形。 為了讓研究成果能更符合花蓮港需求，本計畫乃訂定： (a).瞭解花蓮港的波動特性，尤其是長週期波部分：引此本年度先以目前擁有的龍王颱風觀測資料為例，並參考相關文獻的探討設法瞭解長週期波該如何掌握； (b).必須瞭解花蓮港內的波動特性，包含瞭解主要影響港內振盪的主要岸壁位置，以便後續能針對該岸壁位置研擬適當消能結構物； (c).必須瞭解現有與研發中的各種消能結構物的類型、消能機制與效果，以便

	能挑選可能結構物進行水工模型試驗驗證。 本年度先就消能式結構物方面做一文獻整理與分析，然對於整個港區波動的影響，則需另由平面遮蔽試驗評估。
2. 建議針對規劃的計畫目標：綜整歸納長週期波浪造成之破壞機制與對策，其次對花蓮港所遭遇問題，分章節整理說明。若可以用表格方式呈現整理結果應該會更清楚。	感謝委員建議，長週期波浪造成之破壞機制與對策於第3章進行說明。由於本計畫係以花蓮港內的長週期波影響為標的，目前所知花蓮港所遭遇問題為：港內發生長週期波動，船舶必須出海避湧；消波胸牆斷裂；沉箱護基方塊流失；沉箱基礎淘刷導致沉陷與碼頭面破裂；沉箱因沉箱壁破裂導致回填料流失；沉箱內部因回填料含水量蒸發，加上波浪震動造成回填料震動壓密沉陷，導致碼頭面破裂等，但卻不一定是長週期波所致。
3. 第 2-18 頁第二段與第三段文字重複。	感謝委員建議，已刪除。
4. 日本全國港灣海洋波浪情報網主要探討 30 秒以下、30~150 秒及 150~300 秒三個範圍，臺灣可能還需要探討湧浪與颱風波浪，請教其間的差異為何？	本年度所收集的日本港灣的相關文獻，都指出臨太平洋的港灣有長週期波動。NOWPHASE 所訂的波浪範圍，應係針對日本區域的太平洋海域屬性，包括海床水深變化都不同。本計畫認為對臺灣東岸而言，至少應分別討論颱風造成的湧浪、颱風登陸前與後的颱風波浪特性，另外還有鋒面浪可進行探討(但目前尚未收集到同步的氣壓觀測，無法釐清氣壓和波浪的關係)。
5. 改善方向包括工程措施如消波結構與非工程措施例繫纜及管理系統等，本研究後續是針對特定方向或是會考慮各種方式改善？	本計畫的改善方向以工程措施為主，後續朝向提出一消能結構物，提供花蓮港可設置於內港碼頭。 本計畫將不深入討論非工程手段的港灣管理，而聚焦於工程手段的施作。目標是先嘗試減緩花蓮港的長週期振盪問題，而排水式消能結構物的概念是一可能方向。
6. 區位確認於簡報中描述主要是針對花蓮港，試驗條件的設計是如何？其與實際狀況的關聯性如何？	本計畫以花蓮港為主要研究標的，後續將先以現況及 7 號碼頭位置為討論目標，進行明年的試驗，試驗條件將利用現場及觀測資料的分析結果進行設計。 依目前所瞭解的斷面水槽試驗的比例縮

	尺可選擇的不多，大約是 1/36~1/100，而即使採用 1/100 縮尺，能造的週期最長大約是現場週期 60 秒。因此，對於可能要探討的更長週期波動，或許要輔以流體動力數值模式，進行更長週期的模擬試驗。
7. 歷年的研究計畫主要在 98 年之前，目前港內的量測資訊已有顯著的增加，建議針對最近的資料進行分析嘗試了解最新的狀況。	感謝委員建議，後續將重新審視過去及新增觀測資料，做為消能結構物規劃與試驗設計的基本條件。
8. 長波試驗若未碎波，則試驗水槽中的消波要如何適切處理宜特別注意，避免重複反射造成試驗的不可控制，後續的資料也可能受到污染。	感謝委員建議，後續進行試驗時將會留意取樣區段，以避免多次反射波干擾資料分析結果，另關於斷面水槽中消能設施的改進，也列在試驗研究項目中。
9. 第二章基本上已經將貴所過去長期針對花蓮港所做的研究做整理，並提出幾點後續需要釐清與研究之方向，建議由此深入探討決定本計畫後續的焦點。	感謝委員建議，對於歷年的研究成果，如同相關的文獻回顧，本計畫瞭解到傳統的消波工法可能無法符合花蓮港的需求。故嘗試走新的方向，而從消能結構物研究計畫中，發現排水可以降低波浪的反射，因此本計畫嘗試從此概念出發。
10. Maravelakis (2021) : 由於使用傳統性觀測取樣的緣故，無法找到港外與港內的亞重力波間的關係，針對此點建議用更完整的量測資料進行分析了解。	謝謝委員建議，本計畫也有嘗試收集近年的觀測資料進行分析。目前本所已經延長取樣時間，未來應會有更完整的資料可進行分析討論。
(四) 本所運輸技術研究中心第一科 賴瑞應科長	
1. 本計畫蒐集國內外長週期波相關研究文獻及本所過去花蓮港的研究計畫，並彙整長週期波可能造成的災害機制及處理對策，研擬後續研究方向，報告內容豐碩值得肯定。	感謝委員的鼓勵與肯定。
2. 長週期波造成港區災害類型很多，本計畫目標由報告得知似乎以消減長週期波能量為主，建議能在計畫摘要或目標說明清楚。	遵照委員建議於摘要加強文字說明，本計畫設定目標包含改變部分港灣的配置以及其他可能措施，削減長週期波能量係本子計畫在收集多方文獻資料並權衡現下國內港灣政策後，認為選擇利用部分碼頭來增設消能結構物，將是比較快速而低成本的努力的方向。
3. 未來研究成果若要提供給花蓮港務分公司應用，建議能加強與花蓮港務分公	遵照委員建議辦理，未來仍將持續與花蓮港務分公司的工程與港務單位密切溝通

司的聯繫溝通，以確保後續研究成果能落實執行。	與聯繫，務必使本計畫所有研究成果能配合本所之決策，並符合該分公司的需求及實際之可行性。
(五)本所運輸技術研究中心第二科 李俊穎副研究員	
1. 建議結論部分可再加強今年度研究成果論述。	遵照委員建議，補充結論內容。
2. 第 2-20 頁及第 6-2 頁報告內所提慣例性觀測方法與花蓮港觀測現況不同，建議酌修文字部分。	遵照委員建議，酌修文字。
3. 建議補充確認預計採用試驗斷面型式及結構尺寸與對應造波條件。	遵照委員建議，於第 4.3 節補充內容。
4. 建議第 5 章內補述斷面造波機造波能力。	遵照委員建議，於第 5 章補充內容。
(六)本所運輸技術研究中心第三科 陳鈞彥副研究員	
1. 試驗相關資料彙整齊全，對後續研究應用有所助益，值得肯定。	感謝委員肯定。
2. 第 4-22 頁之圖 4.22 及 23，初擬的「中段消波設施」構想如何與現場條件連結？	中段消波設施的功能為消除斷面水槽的水體振盪，藉以加速斷面水槽的水體靜穩。若使用於現場，其類似的概念為浮式消能結構物。

附錄 2

期末審查簡報

長週期波斷面模型試驗(1/3)

長週期波水工模型試驗探討

期末審查

簡報者：許師瑜 助理研究員

112.12.26

長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

人力分配

經費: 50千元

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、長週期波相關資料回顧

參、長週期波造成災害機制及對策探討

肆、消減長週期波能的新結構型式

伍、斷面水槽平推式造波機更新紀錄

陸、結論與建議



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**，將會造成平均海水位向岸抬升。倘若再加上其他風波的能量，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**。
- ✓ 本計畫將針對**長週期波浪運動模式**進行探討，蒐集回顧其所造成的災害資料及相關研究，綜整歸納各種可能**破壞的機制及對策**，進一步**研擬可消減長週期波浪的近岸結構物或設施**，做為後續研究的應用。

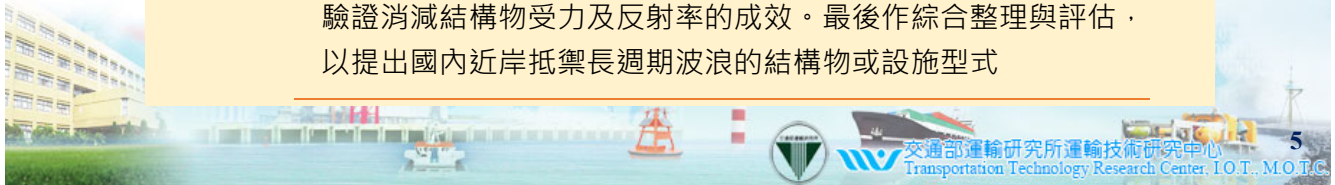


針對花蓮港內提出可消減長週期波浪能量的碼頭結構物或設施



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	執行斷面水工模型試驗 A. 針對花蓮港內現有典型斷面，探討其受力及反射率 B. 引入第一年的研究成果，規劃消能結構斷面型式或設施，尋求斷面受力及反射率改善
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 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



交通部運輸研究所運輸技術研究中心
Transportation Technology Research Center, I.O.T., M.O.T.C.

5

壹、緒論 / 研究方法

- ✓ **文獻蒐集研讀：**
蒐集長週期波浪相關議題文獻，並針對可抵禦或消減長週期波能的結構物及設施相關之國內外研究，進行蒐集及研讀整理。
- ✓ **實際破壞案例回顧：**
收集國內外長週期波浪所造成災害實例及參考資料，並初步分析致災因素。
- ✓ **分析長週期波浪造成破壞之機制：**
利用綜合討論長週期波浪的實際破壞案例致災因素及相關文獻，整合出長週期波浪所造成之破壞機制與對策。
- ✓ **提出消減港灣長週期波浪結構物或設施雛形：**
經由長週期波浪的破壞機制，研擬適用於消減長週期波浪的結構物斷面或設施型式。

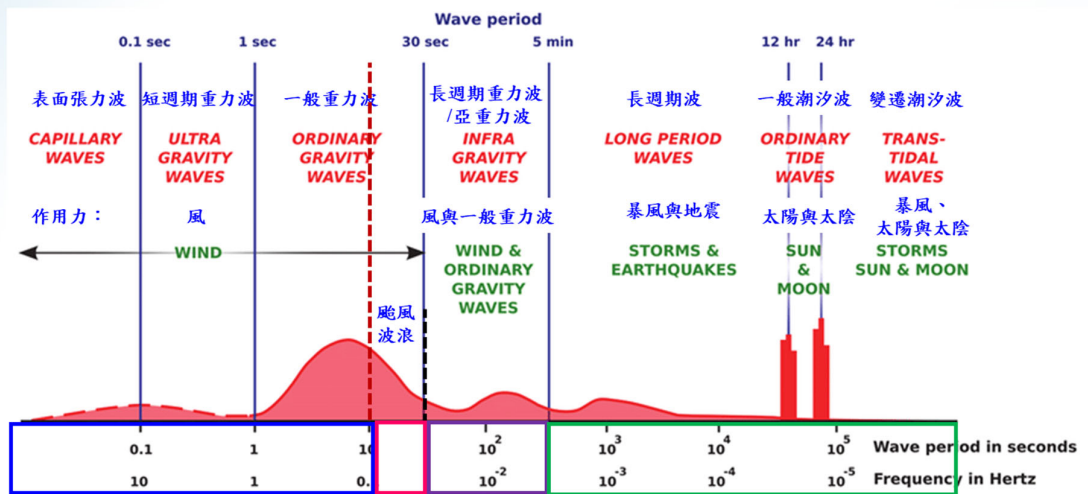


交通部運輸研究所運輸技術研究中心
Transportation Technology Research Center, I.O.T., M.O.T.C.

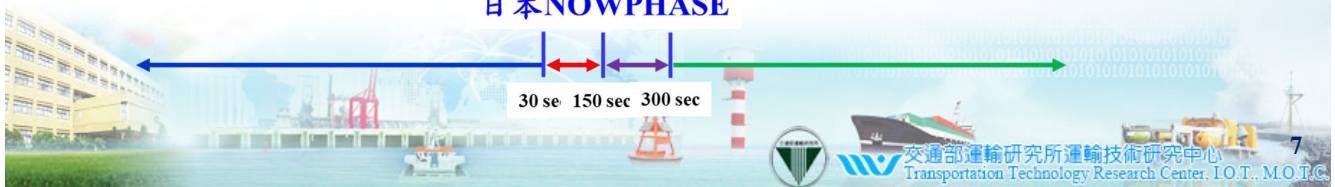
6

貳、長週期波相關資料回顧 / 長週期波的定義

Munk(1950)將海洋波浪依週期分為：



日本NOWPHASE



貳、長週期波相關資料回顧 / 國外港灣長週期波相關研究

- 1) 有關港灣長週期波動的國外相關研究，目前所收集到的文獻可歸納為美國、南非、西班牙、法國、加拿大、英國及日本等國家有較大規模的討論
- 2) 針對改善長週期振盪影響，其思維方向大致與國內接近，包含下列項目：
 - a. 改變港形與修改防波堤：美國、加拿大、日本
 - b. 改變繫纜系統：南非、西班牙、日本
 - c. 依據波浪預報改善港務管理系統：法國
 - d. 應用消能結構、消波塊及底床摩擦損失：日本
 - e. 共振器設施：美國、日本



貳、長週期波相關資料回顧 / 國外港灣長週期波相關研究

日本(2015)

第31回台日工程技術研討會

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



長周期波に対する反射率

構造様式	反射率
直立岸壁	1.0
両面スリットケソン護岸, 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(スリットケソン等)	0.9~1.0
自然海浜, 干潟	0.5~0.7

長周期波に対する港内静穏度の状況とその対策

● : 既に何らかの問題が生じている港湾
青字: ほぼ対策済み
黒字: 施工・計画中
※長周期うねり対策は含まない(富山, 敦賀, 那覇, etc)



交通部運輸研究所運輸技術研究中心
Transportation Technology Research Center: I.O.T., M.O.T.C.

貳、長週期波相關資料回顧 / 國外港灣長週期波相關研究

日本(2015)

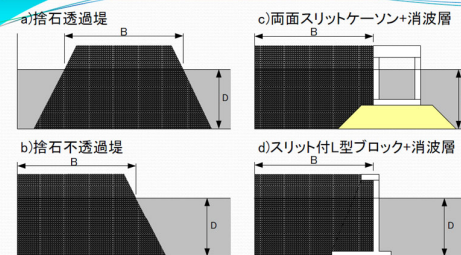
第31回台日工程技術研討會

日本の港湾における長周期波対策

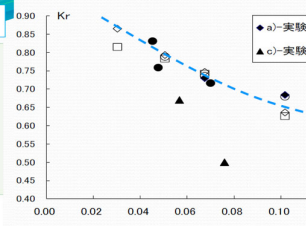
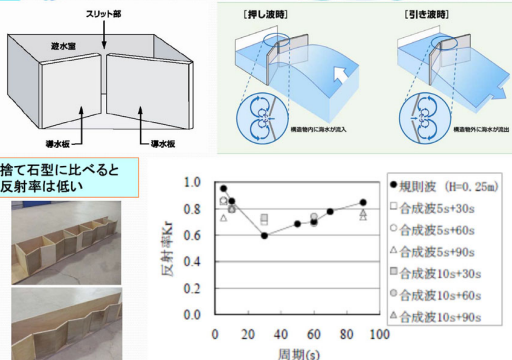
国立研究開発法人 港湾空港技術研究所
海洋研究領域 波浪研究チーム
チームリーダー 平山克也



長周期波対策—港内消波工の設置—



長周期波対策—港内消波工の設置—



長周期波に対する反射率

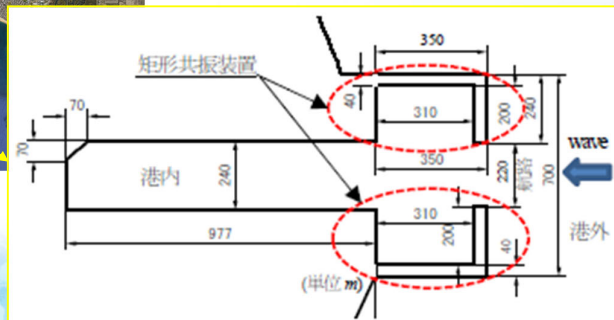
構造様式	反射率
直立岸壁	1.0
両面スリットケソン護岸, 人工海浜等の透水性構造物	0.7
消波ブロック被覆護岸, 直立消波護岸(スリットケソン等)	0.9~1.0
自然海浜, 干潟	0.5~0.7

交通部運輸研究所運輸技術研究中心
Transportation Technology Research Center: I.O.T., M.O.T.C.

貳、長週期波相關資料回顧 / 國外港灣長週期波相關研究

日本-美國

中村等人(2022)提到在美國長灘港J號碼頭，在入口航道處建造了類似共振器的防波堤設施(pocket wave absorber)並投入實際使用



貳、長週期波相關資料回顧 / 國內港灣長週期波相關研究

- 1) 本所自民國 78 年起即陸續在花蓮港港內及港外，展開一系列的長期海象觀測，至民國 89 年更擴大至全港內與東防波堤外側，進行多個測波站(最多時曾達 19 個測站)的同步觀測。另亦進行了相當多的數值模擬及水工模型試驗。
- 2) 花蓮港務局與本所也曾於民國 85 年合作舉辦『花蓮港港池振盪及其改善方案研討會』，邀集國內產官學的專家學者，共同探討花蓮港的共振問題。
- 3) 曾(1996)分析民國79至85年間的31個港外颱風波浪，分析結果指出外海的颱風波能多集中在 11 至 15 秒之間，但在港口外側顯示長週期成份波的能量顯著增加；內港區的長週期能量集中在 147 及 158 秒左右，而外港區則在 137、147 及 185 秒左右。



貳、長週期波相關資料回顧 / 國內港灣長週期波相關研究

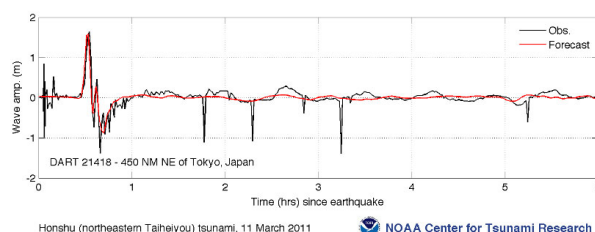
本所於民國96-98年受花蓮港務局委託，進行「**花蓮港港池共振改善計畫**」研究，研擬結構性工程替代方案

	方案1	方案2	方案3	方案4
				
工期	3年	—	1年	3年
工程經費	100億元	—	5.23億元	105.23億元

	方案5	方案6	方案7
			
工期	—	3年	3年
工程經費	—	40.7億元	30.7億元

參、長週期波造成災害機制及對策探討 / 國內外長週期波引致的災害

海嘯



2011/3/11日本Tohoku海嘯在東京東北向450海哩之
DART 21418資料浮標的水位變動紀錄 外海週期約30分鐘

發生日期	國家	區域	水位高度	死亡人數
12/26/2004	Indonesia	Off W. Coast Of Sumatra	50 m	227,899
11/01/1755	Portugal	Lisbon	18 m	50,000
09/28/2018	Indonesia	Sulawesi	11 m	4,340
03/11/2011	Japan	Honshu Island	39 m	18,431
06/15/1896	Japan	Sanriku	38 m	27,122

資料來源：<https://www.worlddata.info/>

參、長週期波造成災害機制及對策探討 / 國內外長週期波引致的災害

氣象暴潮

112/08/30 中元節

蘇拉(SAOLA)

海上警報2023-08-28 23:30:00~08-31 14:30:00

陸上警報2023-08-31 14:30:00~08-30 23:30:00

0831天文大潮箔子寮漁港現況相片

福安橋



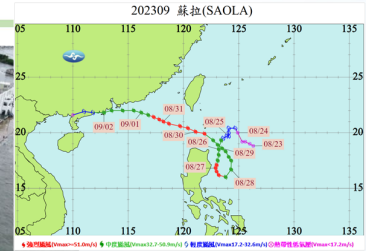
福安橋北側



安檢所、加油站



養殖協會旁破口



雲林縣政府水利處

2

技術研究中心

15

Transportation Technology Research Center, I.O.T., M.O.T.C.

參、長週期波造成災害機制及對策探討 / 國內外長週期波引致的災害

湧浪(+暴潮)



遊艇Paradise經歷了強風和長浪後，
處於半淹沒狀態



2012年天秤颱風從蘭嶼開元港的南側海堤
越波上岸，除破壞海堤、沖毀附近供應站與
加油站，還造成港內數十艘小艇的碰撞沉沒



參、長週期波造成災害機制及對策探討 / 國內外長週期波引致的災害

船舶意外事件

海象不佳及船舶斷纜仍是主要致災原因

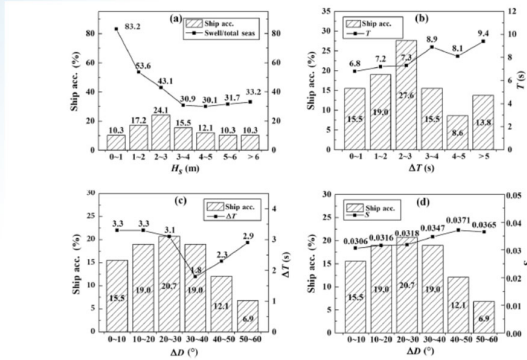


Figure 3. Incidence rate of ship accidents: (a) at different significant wave heights (H_s , bar chart) and the proportional change in swell energy in the total sea (polygonal line); (b) with wave period differences (ΔT , bar chart) and the mean wave period (T , polygonal line); (c) with wave direction differences (ΔD) and ΔT ; and (d) with ΔD and the value of the wave steepness of the total sea (S).

風浪與湧浪共存時，該複雜海象有最大的威脅，尤其是當風浪與湧浪的主要週期相近，且波浪斜向作用時最具威脅

參、斷纜原因分析

強烈颱風「龍王」於民國94年10月02日侵襲台灣，並於清晨05:10在花蓮豐濱附近登陸，為台灣東部帶來史上最強烈的17級以上(56.1m/s以上)陣風。由於適逢大潮期間，且復逢颱風中心於花蓮港附近登陸，原停泊於花蓮港12號碼頭船舶總噸為7,852(GT) (載重噸13,323)之「金龍輪」，雖已加強船邊帶纜之應變作為，但仍不敵大自然威力，於2日凌晨03:30發生斷纜事件並造成東防波堤之多處損壞。

<http://www.lhmt.gov.tw>

交通部運輸研究所運輸技術研究中心



參、長週期波造成災害機制及對策探討 / 長週期波破壞機制及對策探討

港內長週期波動可能引發的破壞機制，主要和波長的長短與結構物的反應有關，就目前整理大致歸納如下：

✓ 超長週期波動引發的港灣波動

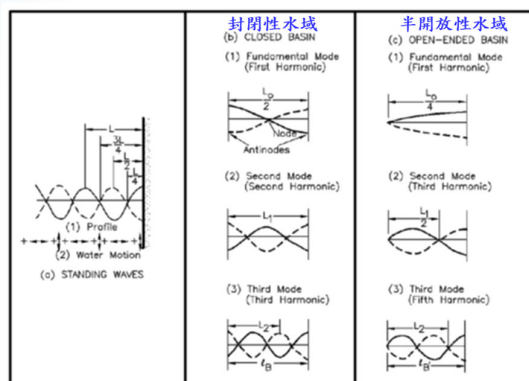


Figure II-7-26. Surface profiles for oscillating waves (Carr 1953)

✓ 港外群波引發的港灣波動

群波為離開風域作用範圍的風波後經過相當距離演化的波動，一般認知週期大致為10至15秒範圍。但群波裡的連續大波，在港口處由於水域由寬變窄，有類似於plunging型造波機的造波行為，有資料顯示其在港內所引發的波動是可以量測的，而且與自然週期有關。



參、長週期波造成災害機制及對策探討 / 長週期波破壞機制及對策探討

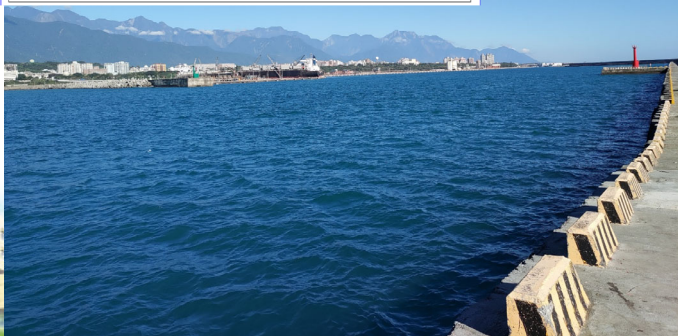
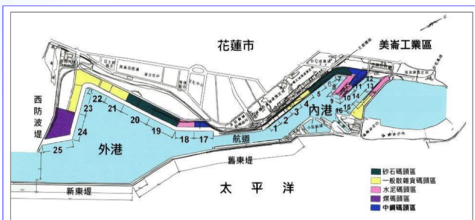
因應港灣內長週期波之對策探討：

- (1)港灣共振：藉由**改變港形及碼頭岸線配置**來改善。
- (2)湧浪與淘刷：則可藉由**港灣消能結構物**的新增及改善。
- (3)避免船體運動與港內波動發生共振：改變**繫纜繩**的材料、繫纜**方式與碰墊位置**。
- (4)減少長週期波的入射能量：擴大及興建**防波堤**。
- (5)削減長週期波的振幅：應用**消能斜坡及底床摩擦損失**。
- (6)消滅長週期波能量：港內增加新型**護岸**或防波堤內側增加長週期波**消波設施**。



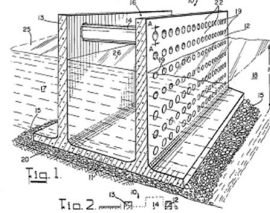
肆、消滅長週期波能的新結構型式 / 花蓮港簡介

花蓮港由於外海的**海底地形陡峭**與特有**狹長港形**之緣故，在港內容易激發與港池特性長度相關的**長週期振盪**，嚴重地影響到港內船舶的靠泊，以及人員登船與下船過程間的安全性。目前此一長週期蕩漾現象，已經造成在惡劣天候下，尤其是颱風侵襲之前，花蓮港內的船舶必須**離港避湧**，明顯地違背港灣建設開發的目的。



肆、消減長週期波能的新結構型式 / 消能碼頭結構物或設施

- (1)自然海灘
- (2)拋石堤
- (3)直立式消能結構物
- (4)排水式消能斜坡
- (5)排水式消能結構物
- (6)迴路型低反射性沉箱



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

圖 4.12 Jarlan 型消波結構物 (Jarlan, 1961)



(a) 基本型 (b) 混合型

圖 4.13 直立開孔式靜波牆沉箱碼頭示意圖(井島等人, 1978)

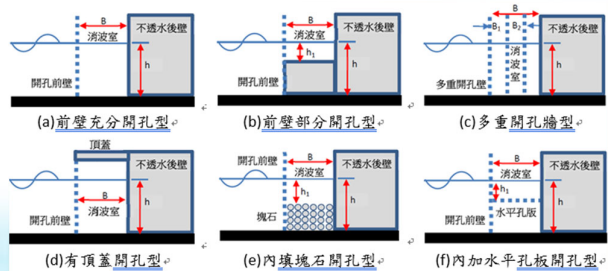
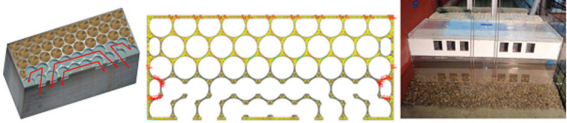
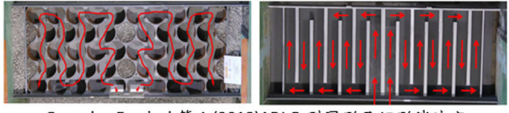


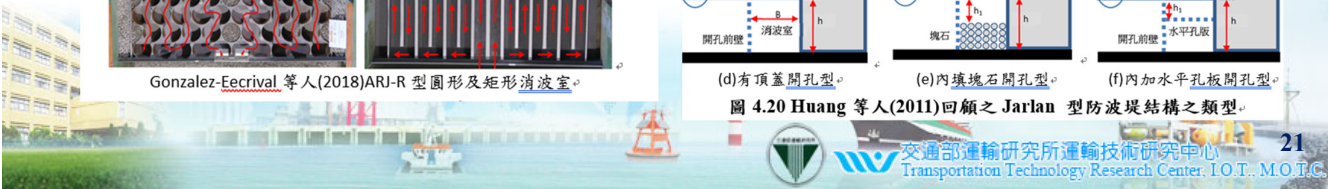
圖 4.20 Huang 等人(2011)回顧之 Jarlan 型防波堤結構之類型



Garrido(2010)

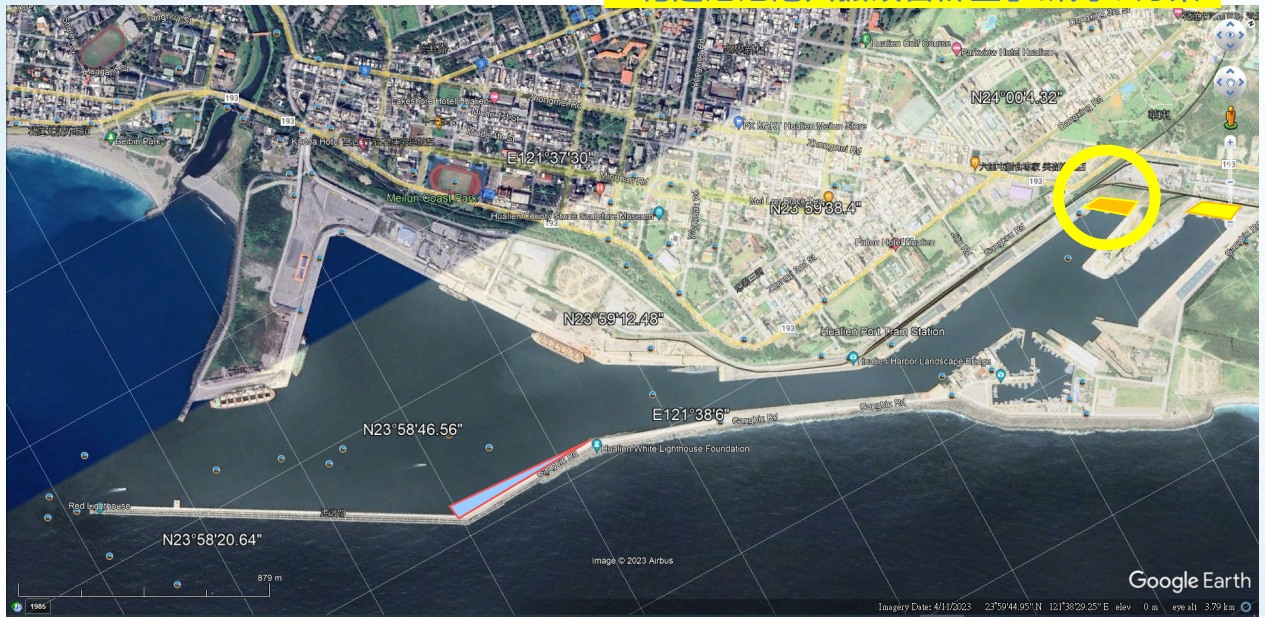


Gonzalez-Ecruval 等人(2018)ARJ-R 型圓形及矩形消波室



肆、消減長週期波能的新結構型式 / 断面水工模型試驗前期規劃

「花蓮港港池共振改善計畫」研究：方案2



#7碼頭的消波能力改善對內港有影響，對外港影響較小



肆、消減長週期波能的新結構型式 / 断面水工模型試驗前期規劃

護岸—消能式斜坡雛形

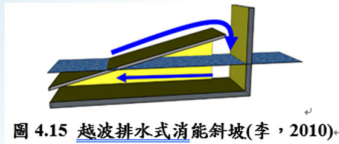
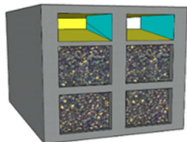
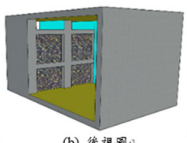


圖 4.15 越波排水式消能斜坡(李, 2010)

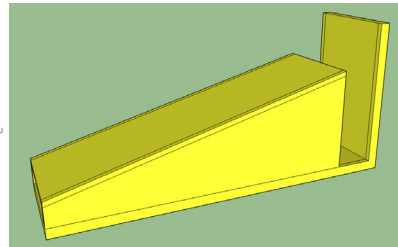


(a) 前視圖

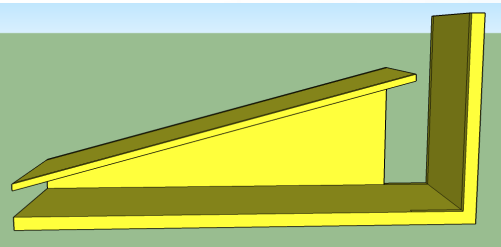
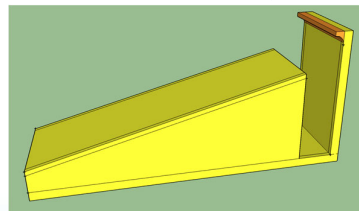


(b) 後視圖

圖 4.17 內建斜坡越波排水式消能碼頭断面試驗模型配置(林等人, 2012)



加翻水牆



設計構想：

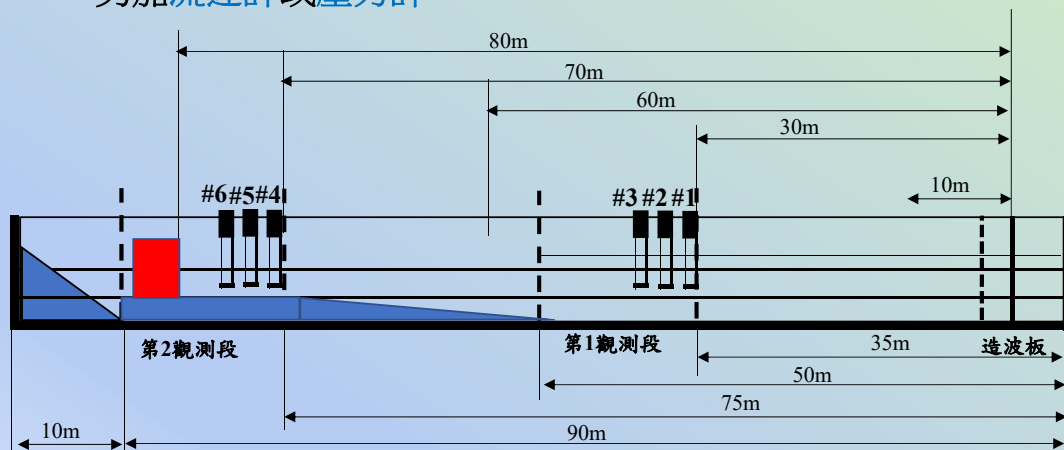
加排水路，避免回溯造波，
讓入射水體繞路回流，波浪
有去無回



肆、消減長週期波能的新結構型式 / 断面水工模型試驗前期規劃

✓ 設計斷面試驗

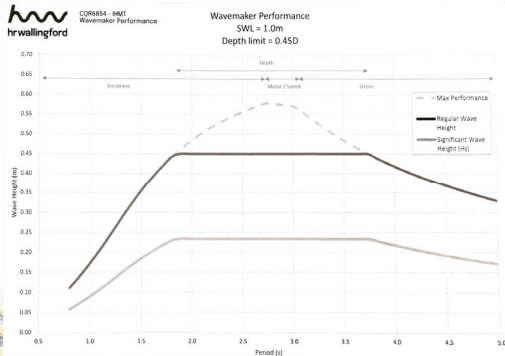
- 波高計配置
- 另加流速計或壓力計



伍、断面水槽平推式造波機更新紀錄 / 新購造波系統簡介



圖 5.1 交通部運輸研究所運輸技術研究中心風洞實驗室
断面水槽尺寸為1.5m寬、2m高及全長約100m，設有2段實驗觀測段，皆為15m長



造波機型式	雙制動活塞平推式造波機
造波模式	規則波、不規則波(如 JONSWAP, Pierson-Moskowitz, TMA, Bretschneider, 其他)及使用者定義外部建立並儲存於檔案的波譜
設計水深	0.3~1.2m
其他	主動吸波控制系統

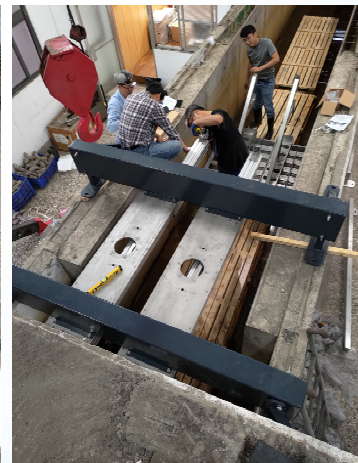
造波性能：週期-波高(水深1m)



伍、断面水槽平推式造波機更新紀錄 / 造波機安裝過程

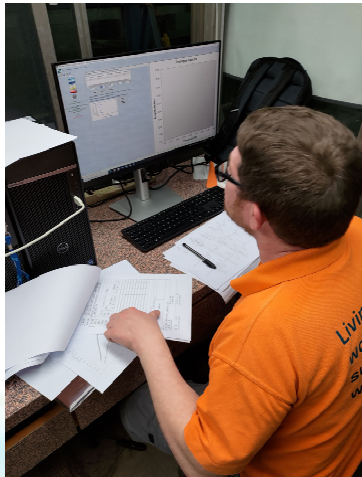
HR Wallingford 造波機組件，採空運方式以4個木箱裝運，112年11月22日送抵本中心

112年11月30日開始將零組件吊放進入断面水槽後，接續進行組裝



伍、断面水槽平推式造波機更新紀錄 / 造波機測試過程

HR Wallingford 原廠工程師於112年12月14日進駐本中心，進行現場測試、說明及教育訓練



陸、結論與建議

✓ 結論

- 對於港內發生蕩漾之長週期波動的因應對策，可從管理上研擬適當而有效的船舶繫纜與港務管理辦法，以及從工程上研擬港內對長週期波動的消波對策。
- 港灣發生共振係因為波浪進入港灣後，發生多次反射導致能量累積而引發港內的自然振盪。因此於適當位置設置消波設施以降低反射波，將有助於提高港內的靜穩度。
- 港灣消能結構物除針對如何破壞波形結構與削減波能外，應增加考慮利用消波艙的排水來降低波浪的反射。

✓ 建議

- 目標性的研擬適用於花蓮港消減長週期波能的結構物断面，並設計断面試驗方法，以利後續驗證其可行性。



後續

✓ 113年

- 針對花蓮港內現有典型斷面，探討其受力及反射率
- 引入第一年的研究成果，規劃消能結構斷面型式或設施，尋求斷面受力及反射率改善



- (1)現有典型斷面的水工模型試驗
- (2)選定7號碼頭為首要標的位置
- (3)以現地條件規劃試驗條件及消能斜坡基本尺寸
- (4)消能斜坡斷面的水工模型試驗
- (5)評估下一個位置的設置可行性



簡報結束 敬請指教



附錄 3

專家學者座談會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：交通部運輸研究所港灣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：112 年 4 月 28 日(星期五)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓會議室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：蔡金吉、蔡世璿

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、委員意見：

一、臺灣港務股份有限公司鍾英鳳副總經理(退休)

- (一)計畫建議將維護資料庫列入，並進行品管作業、資料整合分析及成果繪製，及統計分析均納入。
- (二)臺北、臺中、高雄因近年來有繼續擴建，對波、潮、流及漂沙之影響程度為何？建議納入研究範圍內，作為未來港口擴建造成之影響探討。
- (三)蘇澳、高雄、安平波浪站更新，以及基隆港遷移，是否造成資料中斷不連續，建議可敘明及分析變動情形。
- (四)相關之原始數據(Raw Data)建議可開放外界使用，並將資料整合以利各方應用及驗證模式之參考。
- (五)海流之觀測主要在港外且屬垂直剖面，目前港口對於海象氣象之需求甚殷，對未來發展智慧港口甚為重要；建議可否整理出上、中、下層海流之實際觀測值，配合數值模擬場域之流速比對。
- (六)商港潮位觀測統計分析，基於資料顯示部分港口潮位資料不連續，建議潮位計高程應定期檢測。
- (七)智慧港口之海氣象觀測之應用分析內容非在港口，建議考量修正成港口周邊之船舶航道及海氣象，即第二年著重在港口，第三年近海航道（包括離岸風場之影響、漁港），第四年為 AI 運用於船舶安全、操航、廢氣排放。本計畫四年中，其中第 1、2、3 項每年均同建議可調整。
- (八)港區巡查只是初步的作為，但水下巡查涉及效率、能見度，及水下載具目前之功能及可做項目，來設定各年之工作項目，建議第一年

須了解水下巡查可做及需做之項目，及目前水下載具之功能。

- (九)花蓮港湧浪遮蔽及長週期波斷面模型試驗，其中湧浪遮蔽試驗，又含消能措施規劃，二者並不一致，遮蔽試驗通常常以防波堤、擋浪堤為主，以平面佈置為主，而消能措施則以斷面→如消波塊、消能池、緩波、沙灘、消波碼頭，建議是否以平面布置作為花蓮港湧浪遮蔽試驗，長週期波斷面模型試驗則建議以斷面消能為主。
- (十)海氣象觀測作業數位管理規劃時，建議確認為儀器設備管理或資料庫管理。儀器設備管理主要在設備之維護更新、使用效能、維護費，而資料庫管理亦有不同之思維。
- (十一)離岸堤出水高度計畫，因其與不同之波向、波流、風向、地形、漂砂方向等有關，建議可先設定研究案例。
- (十二)商港海氣象風力及波浪示警機制，未來建議考量預報示警。

二、臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司港務處羅偉佑處長

- (一)海象觀測設備應定期校正避免數據誤差，而影響後續分析結果，如遇實際環境改變，應注意觀測數據的使用。
- (二)觀測結果建議網頁可提供簡易報表，供相關單位決策參考。
- (三)有關港池共振改善研究建議將花蓮港形狀因素納入研究分析。

三、國立成功大學水利及海洋工程學系董東璟教授

- (一)建議在海氣象觀測方法、儀器、取樣頻率檢校、品管方法、資料庫等宜與國內相關夥伴單位，如中央氣象局、國家海洋研究院有定期研討及整合，促使觀測資料品質趨於一致。
- (二)可以考慮推動船舶上的海氣象觀測(長期)，短期可考慮蒐集各港域船舶已有海氣象觀測數據以充實港域海氣象資料庫。
- (三)所有觀測儀器之檢校、品管宜有完整之文件紀錄。
- (四)港區風力、波浪示警研究工作目標設定宜仔細思考，因此議題影響因子太多如船舶型態、港域特性，不易有很綜整的結果，另因子間的聯合效應如風、浪關係也可納入考量，港域海氣象時空變化快，參考何種資料(現場即時或未來模擬資料)也需討論，若是參考現場資料，何點位資料也需討論。
- (五)發展 AI 技術如第 4 案使用倒傳遞類神經網路預測波高是未來方向予以支持，但要注意是否有足夠資料可以訓練模式，另，利用非物

理模式針對非常小點位(9、17、25 號碼頭)進行預測，是否合宜值得多加探究。

四、交通部航港局中部航務中心張家豪主任

(一) 商港風力、潮位、波浪、海流觀測與統計分析

1. 金門港之潮位、波浪、海流(運研所有觀測)是否能公開於港灣環境資訊網?
2. 第 1 頁，金門港是否考慮增設風力觀測工作?
3. 第 2 頁，風力觀測系統 112 年預計汰換 10 站，汰換標準(頻率)為何? 第 7 頁，經費概估未計算汰換以及緊急搶修費用。
4. 第 3 頁，甘特圖所示應共計 12 個月(11 個月應為誤植)。
5. 本中心去年研議臺中港船舶進港風力管制標準時參考港研中心提供之歷年風力觀測資料，發現 110 年底至 111 年初臺中港北堤測站因設備故障致該段期間無相關風力觀測資料，建議應提升設備之巡查頻率及即時修復能力。
6. 統計分析作業(公開的年報)似乎停滯於 2019 年，港灣環境資訊網海氣象觀測資料年報會重新發布 2022、2023 年版本嗎?
7. 潮位(臺中港暴潮特性)、波浪(水下無聲傳輸技術可行性及洲際二期港內波浪特性)、海流(臺北港海流特性)除維運及統計年報工作項目外，皆有規劃 1 個研究主題，風力是否增加其他研究主題，例如：臺中港各測站風力特性分析，可供臺中港船舶進港風力管制標準改採單一測站之參酌。
8. 第 11 頁，表示將分析近幾年臺中港潮位資料，探討颱風發生時實際潮位資料與天文潮預測潮位差異，但近幾年實際侵襲臺灣的颱風很少，是否會影響分析作業?
9. 第 16 頁，欲瞭解基隆港既有底碇式波浪觀測站遷移原因。

(二) 智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 第 30 頁，本計畫主要利用 AIS 船舶動態資訊分析之交通流量與海氣象資訊及海事案件之關係，111 年度-海氣象資訊與船舶海事案件關係探討的結果為何?
2. 第 31 頁，依據 112 年工作計畫包含分析臺灣周圍海域與主要港埠航道交通流量，因此研究範圍應該有包括各商港港區範圍外之

海域 (包含彰化風場)，由於彰化風場目前已公告設有南北向航道，並由本局成立彰化航道 VTS 中心管理該航道，研究單位希望本研究成果可以提供管理單位分散航線的評估，以減少碰撞事故發生機率，可否更具體說明如何分散航線。

3. 第 31～32 頁，比對 2022-2024 年的船舶分布軌跡，預期可以得到什麼樣的成果？
4. 第 33 頁，海氣象資訊於船舶監控預警系統將如何運用？如船舶即將進入 10 級風範圍前先預警(SOLAS/V/5-9 鼓勵船長通知鄰近船舶及岸台)？結合 AI 技術於船舶航行安全整合系統的初步規劃內容為何？其優於現行 NAVTEX 或其他傳遞海氣象資訊設備的功能為何？

(三) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析

1. 第 44 頁，相關設施自 109 年即建置，建議先說明先前已完成的工作項目，例如是否已完成海洋陣列雷達與現行觀測儀器的差異分析(是否會較一般儀器精確)？另陣列雷達是否受天候或其他因素影響？
2. 第 46～47 頁本次主要探討單雷達與雙雷達差異分析，故原始資料是否會有 109 年單站雷達、110 年南側雷達，以及雙雷達共同調查分析的資料？那單站及南側雷達是否有差異？

(四) 應用微波雷達於臺北港域環境監測

臺中港選擇海洋陣列雷達、臺北港選擇微波雷達有無特別考量？

(五) 港區水下巡查技術

1. 工作計畫未說明水下無人載具將採用哪一類 ROV/AUV 來測試？
2. 計畫緣起為以機器替代潛水員進行水下巡查可行性，文內提及兩大類操作技術似乎已是既有技術，故本研究結論倘分析不具可行性的原因可能為何？另本案欲得到的結論為何(怎樣的巡查成果可稱之為可行、是否涉及成本效益分析)？
3. 本研究如具可行性，未來可以水下無人載具作為港區水下設施巡查作業之應用，相同的，因港區內易會發生船與船或船與固定設施碰撞事件，亦可利用 ROV/AUV 進行船底水下檢查船舶損壞情形。

(六) 花蓮港湧浪遮蔽試驗、長週期波斷面模型試驗

第 85 頁，第 10 案長週期波浪之研究亦提及「將研擬適用於花蓮港消減長週期波浪的結構物斷面或設施型式」，此研究成果與第九案湧浪消能措施是否會互相衝突？

(七) 海氣象觀測作業數位管理規劃

計畫緣起提及儀器、資材、通訊資源之維護、稽查、紀錄等，成果卻未提及這一方面的內容。另目前觀測數位管理所遭遇之難題為何？各觀測站的統計整理方式會有不同嗎？

(八) 離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

本案規劃運用 Youtube 影片進行研究，是否已掌握相關資源？

(九) 商港風力、波浪示警機制

應用面上風力示警燈號未來可否運用在各港之船舶進港管制標準上，供使用者標準判別更為淺顯易懂。

(十) 倒傳遞類神經網路建置花蓮港波高預測模式、花蓮港風浪模組模擬參數條校探討

第 15 案應用 TaiCOMS2.0 預測碼頭波高，第 16 案則欲精進 TaiCOMS 正確性，兩案之間會相互配合嗎？

(十一) 風力及波浪準確度分析

比對模擬資料與觀測資料的準確度，並展示於港灣環境資訊網的意圖為何？準確度的定義是什麼？預計未來的參考應用方向是什麼？

五、國立中山大學海洋科學系陳冠宇教授

(一)風波潮流的即時觀測與分析多年來已經累積大量成果，持續的進行資料蒐集十分重要，也值得肯定。這些資料取得主要在計畫一～四，配合計畫十七、十八進行近一步的分析與品管，構成完整的資料系統。

(二)除了傳統的單點觀測，計畫九、十以及與計畫十六相關的數值模式，都可以提供面的，甚至 3-D 的資訊，點和面的資料可以相互印證。

(三)資料的加值運用，如計畫五、十一、十三～十五，和以上的資料

取得與品管的計劃相互呼應，顯示第 科與第 科的合作。

(四)針對實際的海岸與港灣工程問題的研究很有意義，惟一般人不易了解其詳細沿革，建議多強調這些計畫之創新性。

六、海洋委員會國家海洋研究院翁健二主任秘書

(一)第 2 頁，商港風力觀測編列經費是否有包含設備更換？

(二)商港波浪觀測與海流工作項目相似。

(三)第 18 頁，商港波浪觀測，水下無線傳輸系統測試，有無評估通訊距離、速率？通訊方式？

(四)雷達表面流觀測，如何驗證觀測資料正確性？

(五)陣列雷達表面流觀測編列經費是否包含維運經費？

(六)陣列雷達觀測數據如何呈現以提供相關單位參考依據？

(七)第 54 頁，陣列雷達維運是否同仁自行維運？

(八)臺北港雷達站，觀測數據如何驗證？

(九)第 55 頁，陣列雷達解析度 500m，如何進行船舶觀測分析？

(十)第 122 頁，花蓮港碼頭波高預測使用 LSTM 預測解析度？另硬體設備是否有相關配套措施？

(十一)港區水下巡查技術初探 港 公司已有計畫在執行。

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：上午 12 時 45 分

會議簽到表

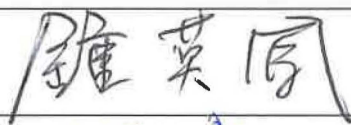
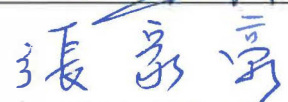
會議名稱：交通部運輸研究所臺灣技術研究中心第二科與第三科自行研究計畫專家學者座談會議

時間：112 年 4 月 28 日(星期五)上午 10 時

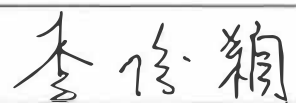
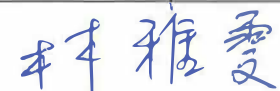
地點：本所港研中心2樓會議室

主持人：蔡立宏主任 

專家學者：

專家學者	簽名
鍾英鳳 委員	
羅偉佑 委員	
董東璟 委員	
張家豪 委員	
陳冠宇 委員	
翁健二 委員	

出席單位及人員：

出席單位	職稱	簽名
交通部運輸研究所 臺灣技術研究中心	科長	
	科長	
	科長	

單位	簽名
交通部運輸研究所 港灣技術研究中心	黃茂信 李政達 羅桂顯 陳釗亮 洪維屏 陳智恆 劉淑敏 許義宏 林有勝 郭漢芳 郭文傑 邱元亮 傅怡釗 蕭敏玲 蔡金吉 曹騰臨 蔡世瑞 劉鴻平 劉明春
	顏碩香 謝榮基 劉煥明

附錄 4

工作會議紀要

112 年 6 月工作會議紀要

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年自行研究計畫第 1 次工作會議

時間：112 年 06 月 28 日(星期三)下午 02 時 00 分至 04 時 30 分(第 1 場次)

112 年 06 月 29 日(星期四)上午 09 時 30 分至 12 時 30 分(第 2 場次)

112 年 07 月 12 日(星期三)上午 10 時 00 分至 11 時 30 分(第 3 場次)

地點：本所港灣技術研究中心 3 樓會議室

主持人：李俊穎科長

彙整：許師瑜

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所港灣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)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測系統維運作業情形摘要說明。
2. 風力觀測資料庫整合及更新進度。
3. 風力觀測資料品管作業精進及方法導入情形。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 整理與彙整主要商港潮位觀測資料。
2. 彙整 2011 至 2020 台中港潮位觀測資料及侵臺颱風資料。
3. 蒐集國內外相關暴潮研究文獻。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 底碇式波浪觀測系統更新、遷移及海氣象資料浮標建置。
2. 無線式水下波流觀測系統可行性評估。
3. 高雄港洲際二期港內波浪資料特性分析。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 商港海流觀測系統維運作業情形說明。
2. 臺北港潮流特性分析初步成果報告。
3. 年度研究報告章節編排討論。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分

析

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 臺灣周圍海域與主要港埠航道交通流量。
3. 彙整高雄港和基隆港之海氣象觀測資料。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 海洋雷達觀測應用相關文獻回顧。
2. 海洋雷達設備維護與校正作業摘要說明
3. 海流監測資料分析與交互驗證工作情形。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港域背景觀測資料蒐集情形說明(包含底碇式波流儀、資料浮標、微波雷達)。
2. 臺北港微波雷達測站現況說明。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 完成港區水下設施巡查項目初步盤點。
2. 港區水下設施巡查方式探討。
3. 蒐集國外水下無人載具應用相關文獻。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 第二試驗廠棚修繕工程進度說明。
2. 花蓮港海氣象資料初步彙整。
3. 模型比尺及試驗條件初步規劃。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 蒐集研讀國內長週期波及花蓮港相關研究文獻。
2. 可能致災的波浪定義與分析。
3. 熟悉斷面水槽目前配置、新增設備及後續研究規劃。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 海氣象觀測儀器盤點情形說明。
2. 各觀測儀器系統架構、維護流程、資料流向、品管方法之彙整。
3. 報告書章節之規劃。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 風力觀測資料庫系統之數據傳輸方式及資安管理作業。
2. 臺灣港務股份有限公司海氣象觀測資料庫(臺中 IDC 機房)與本所港研中心之異地備援機制及資料庫整合工作。
3. 利用紊流強度分析觀測站受鄰近結構物之影響。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 潮位觀測年報內容討論。
2. 潮汐分潮研議。
3. 颱風路徑與暴潮分析交換意見。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 商港波浪觀測站建置概況及本年度觀測系統現場相關作業期程。
2. 無線式水下波流觀測系統水下實測期程規劃。
3. 高雄港洲際二期 S03 及 S13 碼頭靜穩度觀測站建置進度。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 剔除極端氣候(如颱風)影響期間觀測資料之潮流特性分析可行性討論。
2. 垂直剖面流分析方法及成果呈現方式討論。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 彙整國內外特高頻資料交換系統(VDES)發展現況。
2. 分析彰化風場航道與離岸風電浮動式風場(苗栗及墾丁外海)各類船舶往(來)及返(回)的交通流統計量與航跡密度。
3. 針對高雄港和基隆港之海事事故，彙整船舶航行軌跡與海氣象狀況。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 雷達電力系統改善與海洋雷達天線劣化汰舊更新討論。
2. 針對 6 月 15 日表面海流監測資料進行分析與驗證討論
3. 討論期末報告章節規劃與後續工作檢討

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底碇式波流儀資料蒐集情形討論。
2. 臺北港資料浮標觀測資料蒐集情形討論。

3. 臺北港微波雷達觀測資料蒐集情形討論。

(八) 港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 港區水下檢測項目之判定標準討論。

2. 港區水下設施巡查方式說明。

3. 國外水下無人載具應用案例分析。

(九) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 花蓮港季風及颱風波浪資料呈現方式。

2. 水工模型規劃及相關試驗設備材料需求評估。

3. 花蓮港湧浪型態探討。

(十) 長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 更新造波機測試過程內容，建議於報告書定稿前彙整進報告書。

2. 考量斷面水槽的尺寸及造波機效能，週期縮尺最大僅能模擬原型 36 秒的波浪，後續再評估是否以數值方法，模擬更長週期的波浪。

3. 應針對花蓮港的現況及破壞紀錄多加探討，以研擬出適用花蓮港內消減長週期波能的結構物斷面或設施型式。

(十一) 海象觀測作業數位管理規劃

1. 儀器盤點需補充說明處之討論。

2. 各系統維護程序及資料流向需補充說明處之討論。

3. 報告書文獻回顧可加強處之討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一) 商港風力觀測與統計分析

1. 目前風力年報已利用 Python 重新編程，並透過公用區分享程式碼，相關研究同仁可參考交流，以精進工作職能。

2. 112 年度海洋工程研討會預定 9 月開始徵稿，階段性研究成果可適時投稿。

3. 建議補充紊流強度之數學定義，以及測站配置與現場圖片，以利瞭解測站與結構物之相對位置。

(二) 商港潮位觀測與統計分析

1. 彙整潮位觀測資料進行統計分析，繪製成圖表並出版統計年報，年報內容擇期再討論。

2. 建議優先擇取有發布陸上颱風警報的歷史颱風做暴潮分析。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 請依規劃期程督導現場作業廠商，使本年度波浪觀測系統現場佈放及維護等作業能如期如質完成。
2. 無線通訊數據機目前已可與底碇式波流儀(AWAC)溝通，後續將至國立成功大學水工試驗所斷面水槽實際測試，建議測試期間同步實施造浪，模擬未來應用於港區執行監測作業之情境。
3. 高雄港洲際二期 S03 及 S13 碼頭靜穩度觀測站已建置完成，後續請持續掌握觀測站運作情形，並可著手分析船席遮蔽係數。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 建議於年度研究報告內增加資料浮標之流速剖面儀設備說明。
2. 潮流特性分析建議延長分析期間，確保分析結果之正確性。
3. 垂直剖面流建議採完整斷面呈現，可擷取年度最大潮或最小潮之觀測資料進行分析，期能獲得具代表性之成果。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 針對目前 AIS 所蒐集的船舶資訊與 VDES 系統蒐集資料，建議進行相關資料比對。
2. 建議「彙整特定港口之海氣象觀測資料」與「船舶動態與海氣象資訊應用分析」，兩章節內容要互相連動整合。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 本案表面流觀測資料量龐大且時程緊迫，工作量繁重，請相關研究人力與工作安排須合理進行。建議本案未來海流資料提供予應用單位時，須確定資料提供標準與項目，以保海氣象資料之正確性。
2. 有關本所與國海院、氣象局及大氣海洋局規劃合作辦理 114-117 跨部會案件，後續年度工作項目建議於後續年度適時配合調整。
3. 有關高頻雷達訊號應用文獻回顧部分，請盤點過去相關研究成果，以利瞭解過去研究發展階段情形。
4. 有關表面流觀測資料的統計與比較分析，建議參考氣象局於臺中港南側佈放的浮標資料進行比較分析與討論，特別是冬季東北季風期間特性，以及大潮與小潮時段的特性，建議納入分析探討。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底碇式波流儀資料完成蒐集至 112 年 3 月份。
2. 臺北港資料浮標觀測資料完成蒐集至 112 年 6 月份。
3. 建議盡速蒐集臺北港微波雷達觀測資料進行資料比對。
4. 自辦計畫報告中，有關微波雷達測站及各測站之位置平面圖應清楚呈現。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 目前已蒐集國外水下無人載具應用相關案例，建議可針對國內新興技術應用於港區水下巡查作業之相關文獻，進行補充。
2. 水下無人載具應用於港區發展之架構可再進行補述。
3. 水下無人載具之影像取得及定位測試，預計納入明年計畫辦理。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 花蓮港季風波浪及颱風波浪資料建議妥善整理。
2. 請評估本案所需相關試驗設備材料。
3. 俟水工模型規劃完成及確認試驗條件後，加強敘述相關過程。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 更新造波機設備的到貨及測試時程，應確實掌握進度，朝向提前完成的目標執行。
2. 針對造波機效能的測試內容，需先提出斷面配置規劃，以利設置斷面的測試設施。
3. 研究過程及報告書撰寫期間若遇困難，應及時提出，再一同進行討論。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 本案原工作計畫書階段有納入岸基高頻雷達 2 站及微波雷達 1 站之規劃，惟考量雷達站設備複雜，相關架構及程序尚待後續研究擬定，故本案有關雷達站部分建議先不予規劃。
2. 各種儀器之資料定義、各系統維護頻率及資料流向未列部分，建議再補充說明。
3. 報告書之文獻回顧章節，建議可參考儀器之說明文件，及納入測站維護與資料品管計畫之參考文獻與投稿文章等。

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 1 次工作會議(第 1 場次)

時間：112 年 6 月 28 日(星期三)下午 2 時

地點：本所港研中心 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	賴瑞華
第三科科長	林雅雯
第二科	
	柯政宇
	許義宏
	陳孟宏
	劉朋生
	曹勝山
	李仁河
	陳智怡
	林學文
	洪維屏
	羅冠勳
	孫遠達
	王公亮
	許師瑜

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 1 次工作會議(第 2 場次)

時間：112 年 6 月 29 日(星期四)上午 9 時 30 分

地點：本所港研中心 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	賴瑞輝
第三科科長	林雅雯
第二科	
	傅惠安
	劉朋豪
	謝佳銘
	潘子健
	許義宏
	柯振宇
	蔡國昌
	陳孟宏
	陳冠宇
	曹勝仁
	洪維屏
	許靜瑜

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 1 次工作會議(第 3 場次)

時間：112 年 7 月 12 日(星期三)上午 10 時 00 分

地點：本所港研中心 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	賴瑞輝	
第三科科長	林雅雯	
第二科	黃民信	
		孫建志
		李政達
	林文如	柯招亨
	劉明志	陳智仁
	陳孟宏	曹騰江
	洪維廣	羅冠穎
	邱志光	許師海

112 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 112 年自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：112 年 08 月 31 日(星期四)上午 09 時 30 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：許師瑜

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：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)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測系統維運作業情形摘要說明。
2. 風力觀測資料庫整合及更新進度。
3. 風力觀測資料品管作業精進及方法導入情形。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 彙整並分析主要商港潮位觀測資料。
2. 彙整 2011 至 2020 臺中港潮位觀測資料及侵臺颱風資料。
3. 期末報告初稿大綱說明。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 底碇式波浪觀測系統更新、遷移及海氣象資料浮標建置。
2. 無線式水下波流觀測系統可行性評估。
3. 高雄港洲際二期港內波浪資料特性分析。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 商港海流觀測系統維運作業情形說明。
2. 臺北港海流垂直剖面流分析方式討論。
3. 年度研究報告章節編排檢討。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。

2. 風電工作船軌跡與主要港埠航道交通流量。

3. 彙整高雄港海事案件資料。

(六) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 進行海洋雷達觀測應用相關文獻回顧，並完成期刊研討。

2. 報告海洋雷達設備維護與校正作業情形。

3. 報告海流監測資料品管與檢核工作。

4. 討論海流資料分析驗證情形。

(七) 應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港域背景觀測資料蒐集情形說明(包含底錠式波流儀、資料浮標、微波雷達)。

2. 臺北港微波雷達測站現況說明。

(八) 港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 完成水下遙控載具(ROV)功能分析比較。

2. 完成港區水下巡查設施項目盤點及巡查方式探討。

3. 持續蒐集國外水下無人載具應用相關文獻。

(九) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 第二試驗廠棚修繕工程及本計畫材料採購進度說明。

2. 花蓮港海氣象資料彙整。

3. 水工模型平面配置及消波設施配置。

(十) 長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 彙整國內外長週期波及花蓮港相關研究文獻。

2. 選定可能致災的長週期波浪類型，供後續進行分析討論。

3. 規劃測試新設造波機的斷面水槽配置。

(十一) 海象觀測作業數位管理規劃

1. 海氣象觀測儀器盤點系統架構之補充說明。

2. 各觀測儀器維護流程、資料流向補充說明，自主檢查表之彙整。

3. 報告書撰寫進度說明。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 商港風力觀測與統計分析

1. 風力觀測資料品管機制及整合資料庫系統架構。
2. 商港風力觀測統計年報辦理進度。
3. 商港強風延時統計程式計算結果。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 潮位觀測年報出版研議。
2. 調和常數採用 6 個潮汐分潮。
3. 侵臺颱風路徑分析。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 蘇澳港測站更新、基隆港測站遷移與海氣象資料浮標建置進度。
2. 無線式水下波流觀測系統水下實測進度。
3. 高雄港洲際二期瑪娃颱風港內靜穩度分析成果探討。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 臺北港潮流恆流特性分析成果討論。
2. 垂直剖面流資料蒐集、分析方法及成果呈現方式探討。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 彙整國內外特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 繪製 112 年 12 月 31 日前，航港局核可之非本國籍從事離岸風電工作船舶之許可，及已入級驗船中心(CR)之風電工作船軌跡。
3. 彙整高雄港之海事事故船舶航行軌跡。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 討論雷達天線間距量測與卡努颱風後雷達南站自譜與雷達地網情形。
2. 討論雷達資料(L0 級產品)品管與檢核工作。
3. 針對雷達表面海流觀測與其他觀測資料進行分析與驗證。
4. 討論雷達表面海流流向之正確性。與後續工作檢討

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底錠式波流儀資料蒐集情形討論。
2. 臺北港資料浮標觀測資料蒐集情形討論。
3. 臺北港微波雷達觀測資料蒐集情形討論。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 水下遙控載具(ROV)功能分析說明。
2. 港區水下設施巡查項目及方式討論。
3. 國內外水下無人載具應用案例分析。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型平面配置調整。
2. 水工模型消能設施佈設方式。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 抵禦長週期波斷面水工模型試驗的成果，建議未來可提供給平面遮蔽試驗做為結構物配置參考。
2. 建議未來可考量進行防波堤的港內外兩側斷面水工模型試驗，針對同一防波堤斷面討論港內外的消波情況。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 系統架構及資料流向補充處之討論。
2. 現有管理模式及自檢表之討論。
3. 儀器資料格式及欄位之討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 風力觀測資料品管方法尚屬妥適，原則同意納入港務公司之海氣象即時應變系統，並請將品管詳細流程納入期末報告初稿。
2. 風力觀測品管資料之可疑數據處理，建議強化人工品管檢核及回補機制，以避免資料誤刪。
3. 風力觀測統計年報資料，請於9月底前將報告初稿送主管核閱。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 依中央氣象局侵臺颱風路徑分析對臺中港潮位影響。
2. 自辦計畫報告請盡速規劃章節及撰寫。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 本年度已完成更新、遷移及建置之測站，請持續留意傳輸狀況，颱風期間各測站即時通訊情形亦需加強注意。
2. 水下無線通訊數據機通訊品質易受水面及固體邊界影響，後續觀測儀

器架設計需將此因素納入考量。

3. 持續蒐集分析本年度颱風及季風期間之監測數據，測站即時系統運作情形請持續留意。
4. 高雄港洲際二期港內靜穩度請持續掌握冬季季風觀測資料，做為重點分析成果，期能獲得具代表性之成果。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 請盡速完成海流統計年報初稿。
2. 針對垂直剖面流所蒐集底碇式波流儀及資料浮標等測站資料，建議進行相關資料比對工作。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 針對高雄港海事事故發生案件，建議增加船舶 AIS 航行軌跡。
2. 有關利用 AIS 傳發海氣象觀測資料，建議可參考目前氣象局相關研究報告。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 雷達表面流觀測工作量繁重，有關高頻雷達資料品管與檢核部分，建議持續辦理品管作業，對於海流方向部分請與 SeaView 原廠討論可能造成此問題的原因，並予以排除，須確保資料演算標準與項目規範，以維持海氣象資料之正確性。
2. 本年度雷達站於今(112)年 4 月份進行調整，關於海流觀測資料分析，建議探討雷達調整前後表面海流觀測差異。
3. 關於本案主要研究項目內容，建議持續檢討，異常部分請納入分析檢討，並安排後續工作，以確保數據與期末報告之品質。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底碇式波流儀資料完成蒐集至 112 年 3 月份。
2. 臺北港資料浮標觀測資料完成蒐集至 112 年 8 月份。
3. 自辦計畫報告請盡速規劃章節及撰寫。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 目前已蒐集國內外水下無人載具應用相關案例，建議可針對應用於港區水下巡查之案例進行分析比較。

2. 本年度計畫成果可進行彙整，並投稿相關期刊。

3. 水下無人載具之影像取得及定位測試可進行規劃，以利明年計畫進行。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型配置，建議後續可與花蓮港務分公司相關單位討論。

2. 俟水工模型規劃完成及確認試驗條件後，加強敘述相關過程。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 依照報告書章節規劃，開始依序撰寫報告書內容。

2. 分析長週期波作用機制，以構思抵禦長週期波結構物方案。

3. 針對新設造波機部分，持續跟進並調整測試規劃。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 文獻及後續規劃可參考本所港灣構造物維護管理系統及港灣環境資訊網維護之相關規劃。

2. 本中心既有設備管理 E 化系統可供參考，惟現場維護介面建議簡化並留下重要維管資訊。

3. 架構方面，需考量儀器產出原始資料保存之規劃。

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：112 年 8 月 31 日(星期四)上午 9 時 30 分

地點：本所港研中心 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	賴瑞雄	
第三科科長	林雅雯	
第二科		
	陳子信	郭俊芳
	劉淑敏	陳智恒
	黃民信	許義宏
	劉明基	柯達達
	林京文	柯拓宇
	羅彩霞	曹勝強
	李政之	陳天時
	李以渭	陳孟宏
	許張芝	許師瑜
		顏麗香

112 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 112 年自行研究計畫第 3 次工作會議

時間：112 年 10 月 30 日(星期一)上午 09 時 30 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 副研究員

彙整：許師瑜

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：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)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測系統維運作業情形摘要說明。
2. 風力觀測資料分析結果說明。
3. 期末報告撰寫進度。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 完成主要商港潮位資料統計分析。
2. 完成 2011 至 2020 臺中港潮位觀測資料及侵臺颱風資料分析。
3. 期末報告初稿大綱概述。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 波浪觀測系統更新、遷移及海氣象資料浮標建置。
2. 水下無線傳輸技術應用於底碇式波流觀測系統可行性評估。
3. 高雄港洲際二期港內波浪資料特性分析。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 臺北港海流垂直剖面流分析方式討論。
2. 年度研究報告章節編排檢討及撰寫進度說明。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 船舶動態與海氣象資訊應用分析。

3.彙整海事案件資料。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

- 1.進行海洋雷達觀測應用相關文獻回顧。
- 2.辦理南站雷達天線組更換，報告海洋雷達設備維護與校正作業情形。
- 3.報告海流監測資料品管與檢核工作。
- 4.與國外教授探討海流資料比對結果，討論海流資料分析驗證情形。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

- 1.臺北港域背景觀測資料蒐集情形說明(包含底碇式波流儀、資料浮標、微波雷達)。
- 2.臺北港微波雷達測站現況說明。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

- 1.完成港區水下巡查設施項目盤點及巡查方式探討。
- 2.完成水下遙控載具(ROV)功能分析比較及國內外文獻回顧。
- 3.進行水下遙控載具定位試驗之初步規劃。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

- 1.第二試驗廠棚修繕工程及本計畫材料採購進度說明。
- 2.花蓮港海氣象資料彙整。
- 3.水工模型平面配置及消波設施配置。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

- 1.彙整長週期波致災案例及分析破壞機制。
- 2.研提長週期波消能結構物方案及未來研究方向。
- 3.期末報告書撰寫。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

- 1.本所海氣象觀測既有管理模式風險之說明。
- 2.海氣象觀測數位化管理系統架構規劃說明。
- 3.海氣象觀測資料庫管理規劃說明。
- 4.報告書撰寫進度說明。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測特性及強陣風分析結果。
2. 商港颱風分析內容及產出項目。
3. 期末報告章節編排。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 侵臺颱風路徑分析。
2. 侵臺颱風路徑對臺中港潮位影響分析探討。
3. 年度研究報告章節編排檢討。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 商港波浪觀測站運作情形及海氣象資料浮標建置進度。
2. 無線式水下波流觀測系統於大型斷面水槽測試結果。
3. 高雄港洲際二期港內靜穩度分析成果探討。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 臺北港潮流特性分析成果討論。
2. 垂直剖面流資料蒐集、分析方法及成果呈現方式探討。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 彙整國內外特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 繪製航港局核可之非本國籍從事離岸風電工作船舶之許可，及已入級驗船中心(CR)之風電工作船軌跡，並針對軌跡異常船舶進行說明。
3. 分析船舶動態與當日海氣象狀況。
3. 彙整高雄港之海事事故船舶航行軌跡。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 辦理南側雷達站資料品管與檢核工作
2. 於 10 月 5-6 日第 45 屆海洋工程研討會辦理發表研究成果。
3. 本所與國家海洋研究院、交通部中央氣象署、國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心與國立成功大學近海水文中心，共同舉辦 2023 年海洋達人工作坊，進行臺灣海洋雷達遙測發展與技術交流。
4. 討論雷達表面海流流向之正確性。與後續數據追算工作。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技

術優化

1. 臺北港底碇式波流儀資料蒐集情形討論。
2. 臺北港資料浮標觀測資料蒐集情形討論。
3. 臺北港微波雷達觀測資料蒐集情形討論。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 水下遙控載具(ROV)功能分析說明。
2. 港區水下設施巡查項目及方式討論。
3. 國內外水下無人載具應用案例分析及定位測試之初步規劃。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型消能設施形式之構思。
2. 花蓮港未來觀光發展議題及港內構造物改善。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 針對花蓮港的現況，討論消減長週期波能的結構物或設施配置方式。
2. 討論於花蓮港內，設置抵禦長週期波結構物或設施的之可行性。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 海氣象觀測數位化管理系統架構規劃之討論。
2. 海氣象觀測資料庫管理規劃之討論。
3. 後續工作事項及報告書撰寫之討論。
4. 113 年度工作規劃及委外事項之討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 本計畫原則符合工作計畫書之各項進度，請依限完成期末報告撰擬，並於 12 月中旬召開期末報告審查。
2. 同一港區不同測站之風力資料比對是否存在時間位相差，建議可進一步檢查。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 颱風路徑對臺中港潮位影響討論。
2. 自辦計畫報告書於 11 月底初稿完成。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 已建置完成之資料浮標測站，請留意系統運作情形，霧燈及夜間警示燈

須確保正常運作。

2. 大型斷面水槽測試結果顯示，已可透過水下聲學數據機與 AWAC 溝通，但隨著通訊距離拉長，訊號傳遞呈現不穩定情形，本年度獲取之相關數據，可做為後續開放海域實測應用參考。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 請盡速完成年度研究報告初稿。
2. 針對垂直剖面流所蒐集底碇式波流儀及資料浮標等測站資料，建議進行相關資料比對工作。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 針對電子海圖顯示與資訊系統目前使用中心舊版 S-57 海圖，建議可向國土測會中心購置新版海圖。
2. 有關利用蘇澳港漁船及漁具濫用 AIS，建議可移除不列入考量，避免誤解。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 有關高頻雷達資料品管與檢核部分，建議持續辦理品管作業，並盡快完成 SeaView 資料演算工作，以維持海氣象資料之正確性。
2. 本年度報告書建議將原機關單位名稱，修改為組改過後名稱，以免發生名稱錯植與其他誤會。
3. 關於本案主要研究項目內容，建議持續檢討，並盡快完成報告書初稿撰寫工作，以確保期末報告之品質。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底碇式波流儀資料完成蒐集至 112 年 3 月份。請盡快蒐集後續觀測資料。
2. 臺北港資料浮標觀測資料完成蒐集至 112 年 10 月份。
3. 波向資料異常，可能為匯出資料時之設定問題，應再檢視。
4. 請確認後續報告撰寫內容如何搭配主題。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 就目前已蒐集之港區水下巡查設施及方式，再進行分類及探討，研擬可優先適用於水下無人載具巡查之物件。

2. 本年度計畫成果可進行彙整，並投稿相關期刊。
3. 建議針對目前盤點之港區水下巡查標的物，蒐集合適作業之水下無人載具，以利進行明年定位試驗。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型配置，預計於 12 月中旬與花蓮港務分公司相關單位討論。
2. 俟水工模型規劃完成及確認試驗條件後，加強敘述相關過程。
3. 請妥善彙整過往相關研究。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 依照報告書章節規劃，於期程內完成報告書撰寫。
2. 再深入探討長週期波作用機制，加強抵禦長週期波結構物方案內容。
3. 針對新設造波機部分，持續跟進並確認測試規劃。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 有關時序列資料及 RAW 檔資料上傳及下載連結，規劃須考量該網址或路徑變更時系統如何管理維護。
2. 後續年度之實施計畫，基礎資料建置為重要步驟，建議強化匯入功能，將既有基本資料表單直接匯入以減少人力負擔；另考慮強化資料匯出功能，將本所需產出資料簡便匯出。系統便易性及其他擴充功能期於後續透過使用者回饋精進。
3. 所內人員訪談請接續進行，並建議邀請測站目前維護廠商進行訪談，討論實際需要及規劃架構是否有其他問題。

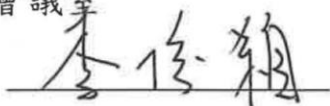
會議簽到表

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 3 次工作會議

時間：112 年 10 月 30 日(星期一)上午 9 時 30 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎副研究員



出席單位	簽名	
第一科科長		
第三科科長		
第二科		
	