

115-015-7E15  
MOTC-IOT-114-H2CA001d

# 花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)- 消能措施方案評估



交通部運輸研究所

中華民國 115 年 3 月

115-015-7E15

MOTC-IOT-114-H2CA001d

# 花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)- 消能措施方案評估

著者：蕭安佑、李江澤、陳天時

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估/蕭安佑、  
李江澤、陳天時著.-- 初版.-- 臺北市：交通部運輸研究  
所，民 115.03

面；公分

ISBN 978-986-531-755-3 (平裝)

1.CST: 港埠工程 2.CST: 港埠管理

443.2

115001600

花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估

著者：蕭安佑、李江澤、陳天時

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](http://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 115 年 3 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 44 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：150 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 2518-0207

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

GPN：1011500207

ISBN：978-986-531-755-3 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

115

花蓮港湧浪遮蔽試驗(三)(三)消能措施方案評估

交通部運輸研究所

GPN : 1011500207

定價 150 元

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：花蓮港湧浪遮蔽試驗（3/3）-消能措施方案評估			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-531-755-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1011500207	運輸研究所出版品編號 115-015-7E15	計畫編號 MOTC-IOT-114-H2CA001d
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：蕭安佑 研究人員：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 114 年 01 月 至 114 年 12 月
關鍵詞：港埠工程、港埠管理			
<b>摘要：</b> 本計畫為期 3 年，針對花蓮港港池靜穩度問題進行研究，結合平面水工模型試驗與現地觀測資料，探討長週期波作用下之港池共振特性，並比較原地形與 3 項改善方案之成效。研究利用港外底碇式波流觀測站及港內 9 號、17 號與 25 號碼頭靜穩度觀測站資料，透過波譜分析分離風浪與湧浪成分，分析不同波浪條件下港內外波浪特性與遮蔽效果。結果顯示，港外波浪以示性波高、譜峰週期及波向為主要控制因子；短週期風浪主導時港內遮蔽效果良好，惟當東南東至東南向之中長週期湧浪占優勢且週期大於約 10 秒時，部分碼頭遮蔽係數顯著升高，對港區作業安全造成影響。水工模型試驗顯示，當入射波週期接近港池自然振盪週期時，港內外易產生明顯振盪並導致波能累積。綜合分析結果，單純改變內港水體連通性不足以有效抑制共振，而於外港關鍵邊界配置消能設施、降低反射並增加能量耗散，對改善港池整體靜穩度具有明確成效。			
<b>研究成果及其效益：</b> 本計畫針對花蓮港提出消能措施方案，並研擬通水箱涵、消能碼頭及外港拋石等方案消減長週期波浪能量，藉此減少港灣內長週期波浪振盪而造成的避湧次數，提升港池靜穩度。			
<b>提供政府單位應用情形：</b> 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
115 年 3 月	217	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: Wave Attenuation Experiment of Hualien Port (3/3)- Evaluation of Energy Dissipation Countermeasures.			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-755-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011500207	IOT SERIAL NUMBER 115-015-7E15	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-114- H2CA001d
DIVISION: TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PROJECT ADVISOR: An-Yu Hsiao PROJECT STAFF: Chiang-Tse Lee, Tian-Shih Chen PHONE: 886-4-26587200 FAX: 886-4-26561329			PROJECT PERIOD  FROM January 2025  TO December 2025
KEY WORDS: Long period waves, Swell, Harbor oscillations, Wave dissipation structures			
<b>ABSTRACT:</b>			
<p>This three-year research project investigates harbor tranquility issues at Hualien Harbor by integrating physical plane hydraulic model experiments with field observations to examine harbor resonance characteristics induced by long-period waves, and to compare the performance of the existing harbor configuration with three mitigation schemes. The study utilizes observational data from an offshore bottom-mounted Acoustic Wave and Current Profiler (AWAC) and in-harbor tranquility monitoring stations at Piers 9, 17, and 25. Spectral analysis methods are applied to separate wind-wave and swell components, enabling analysis of wave characteristics and sheltering performance inside and outside the harbor under different wave conditions.</p> <p>The results indicate that offshore wave conditions are primarily governed by significant wave height, peak wave period, and wave direction. Under short-period wind-wave-dominated conditions, effective sheltering is observed within the harbor. However, when medium- to long-period swell propagating from east-southeast to southeast directions dominates and wave periods exceed approximately 10 seconds, sheltering coefficients at certain pier areas increase significantly, adversely affecting harbor operations and safety. Physical model experiment results further show that when the incident wave period approaches the natural oscillation period of the harbor basin, pronounced oscillations occur in both the inner and outer harbor areas, leading to accumulation of wave energy.</p> <p>Overall, the integrated results demonstrate that modifying inner-harbor water connectivity alone is insufficient to effectively suppress resonance. In contrast, implementing energy-dissipating measures at critical outer-harbor boundaries—aimed at reducing wave reflection and enhancing energy dissipation—provides a clear improvement in overall harbor tranquility.</p>			
<b>Research Outcomes and Benefits:</b>			
<p>This project proposes energy-dissipation mitigation measures for Hualien Harbor, including the design of water-exchange culverts, energy-dissipating quay structures, and rubble-mound installations in the outer harbor to reduce long-period wave energy. These measures aim to mitigate long-period wave-induced oscillations within the harbor basin, thereby reducing the frequency of sheltering (harbor closure) operations and improving overall harbor tranquility.</p>			
<b>Possible Governmental Applications :</b>			
<p>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.</p>			
DATE OF PUBLICATION Mar 2026	NUMBER OF PAGES 217	PRICE 150	
The conclusions and recommendations of this study do not represent the views of the Ministry of Transportation.			

# 花蓮港湧浪遮蔽試驗 (3/3) -消能措施方案評估

## 目錄

目錄 .....	III
圖目錄 .....	VI
表目錄 .....	XII
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
1.1 研究緣起與目的 .....	1
1.2 研究項目與內容 .....	2
1.3 研究方法 .....	3
<b>第二章 文獻回顧 .....</b>	<b>1</b>
2.1 風浪與湧浪相關研究 .....	1
2.2 花蓮港港池共振歷年相關研究 .....	3
2.3 小結 .....	6
<b>第三章 花蓮港背景資料 .....</b>	<b>1</b>
3.1 花蓮港地文背景 .....	1
3.2 海象環境 .....	3
3.3 發展與未來展望 .....	8
3.4 小結 .....	10
<b>第四章 現地觀測波浪遮蔽分析 .....</b>	<b>1</b>
4.1 觀測站基本資料 .....	1

4.2 港內、外觀測波浪遮蔽分析 .....	11
4.3 颱風觀測資料波譜特性分析 .....	22
4.4 小結 .....	25
<b>第五章 平面水工模型遮蔽試驗設計與執行.....</b>	<b>1</b>
5.1 平面水工試驗簡介 .....	1
5.2 遮蔽試驗條件規劃.....	5
5.3 試驗波浪條件 .....	8
5.4 試驗方案 .....	8
5.5 波高計點位佈設與試驗流程.....	11
<b>第六章 平面水工模型試驗結果.....</b>	<b>1</b>
6.1 試驗與現地觀測資料比較與驗證 .....	1
6.2 方案 0：現況地形試驗結果 .....	6
6.3 方案 1：內港碼頭間通水箱涵方案試驗結果.....	13
6.4 方案 2：7 號消能碼頭方案試驗結果 .....	24
6.5 方案 3：外港拋石消能方案試驗結果 .....	35
6.6 內、外港區試驗結果綜合比較 .....	47
6.7 同測點不同方案比較 .....	55
<b>第七章 結論與建議.....</b>	<b>1</b>
7.1 結論 .....	1
7.2 建議 .....	2

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

## 圖目錄

圖 2.1 海洋波浪分類 .....	2-2
圖 3.1 花蓮港位置示意圖 .....	3-2
圖 3.2 花蓮港區水深圖 .....	3-3
圖 3.3 花蓮港歷年四季及全觀測期波高機率分布圖 .....	3-4
圖 3.4 歷年花蓮港波浪玫瑰圖(2002-2022).....	3-6
圖 3.5 花蓮港專區規劃示意圖 .....	3-9
圖 4.1 花蓮港港外底碇式波流觀測站 .....	4-2
圖 4.2 港外底碇式波流觀測站架構.....	4-3
圖 4.3 港內靜穩度測站位置 .....	4-3
圖 4.4 9 號碼頭靜穩度測站照片 .....	4-4
圖 4.5 17 號碼頭旁靜穩度測站照片 .....	4-4
圖 4.6 25 號碼頭旁靜穩度測站照片 .....	4-4
圖 4.7 靜穩度測站系統架構圖 .....	4-6
圖 4.8 舒力基颱風路徑 .....	4-8
圖 4.9 谷超颱風路徑 .....	4-8
圖 4.10 蕃琵琶颱風路徑 .....	4-8
圖 4.11 港外 AWAC 之波浪資料歷線圖 .....	4-11
圖 4.12 港內靜穩觀測站波高歷線圖 .....	4-12
圖 4.13 資料處理流程 .....	4-12

圖 4.14 蕃琵颱風港內外波高歷線圖.....	4-15
圖 4.15 蕃琵颱風湧(長)浪波高歷線圖.....	4-15
圖 4.16 蕃琵颱風風浪波高歷線圖.....	4-15
圖 4.17 蕃琵颱風波高 $K_d$ 歷線.....	4-17
圖 4.18 蕃琵颱風湧(長)浪 $K_d$ 歷線.....	4-17
圖 4.19 蕃琵颱風風浪 $K_d$ 歷線.....	4-17
圖 4.20 蕃琵颱風波向歷線圖.....	4-17
圖 4.21 谷超颱風港內外波高歷線圖.....	4-18
圖 4.22 谷超颱風湧(長)浪波高歷線圖.....	4-19
圖 4.23 谷超颱風風浪波高歷線圖.....	4-19
圖 4.24 谷超颱風波高 $K_d$ 歷線.....	4-21
圖 4.25 谷超颱風湧(長)浪 $K_d$ 歷線.....	4-21
圖 4.26 谷超颱風風浪 $K_d$ 歷線.....	4-21
圖 4.27 谷超颱風波向歷線圖.....	4-21
圖 4.28 蕃琵颱風各測站波譜比較圖.....	4-22
圖 4.29 谷超颱風各測站波譜比較圖.....	4-22
圖 4.30 蕃琵颱風各測站遮蔽係數圖.....	4-23
圖 4.31 谷超颱風各測站遮蔽係數圖.....	4-24
圖 5.1 本所運技中心第二試驗廠棚.....	5-2
圖 5.2 試驗水槽平面圖.....	5-2

圖 5.3 HR 造波設備 .....	5-3
圖 5.4 電容式波高計 .....	5-4
圖 5.5 全站式電子速距儀 .....	5-4
圖 5.6 花蓮港區平面圖 .....	5-5
圖 5.7 遮蔽試驗模型配置圖(1/100 比尺).....	5-6
圖 5.8 全域模型建構過程.....	5-7
圖 5.9 各方案平面配置圖 .....	5-9
圖 5.10 通水箱涵配置示意圖 .....	5-9
圖 5.11 越波排水開孔式結構物 .....	5-10
圖 5.12 外港拋石消能設施.....	5-11
圖 5.13 通水箱涵配置示意圖 .....	5-12
圖 5.14 水工試驗流程圖 .....	5-13
圖 6.1 蕃琵颱風遮蔽係數.....	6-2
圖 6.2 蕃琵颱風與模型 9 號碼頭遮蔽係數比較圖 .....	6-2
圖 6.3 蕃琵颱風與模型 17 號碼頭遮蔽係數比較圖 .....	6-3
圖 6.4 蕃琵颱風與模型 25 號碼頭遮蔽係數比較圖 .....	6-3
圖 6.5 凱米颱風遮蔽係數.....	6-4
圖 6.6 凱米颱風與模型 9 號碼頭遮蔽係數比較圖 .....	6-5
圖 6.7 凱米颱風與模型 17 號碼頭遮蔽係數比較圖 .....	6-5
圖 6.8 凱米颱風與模型 25 號碼頭遮蔽係數比較圖 .....	6-6

圖 6.9 方案 0 造波過程.....	6-7
圖 6.10 方案 0 波高分布圖.....	6-11
圖 6.11 方案 1 造波過程.....	6-13
圖 6.12 方案 1--9 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-14
圖 6.13 方案 1--17 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-14
圖 6.14 方案 1--25 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-15
圖 6.15 方案 1 波高分布圖.....	6-19
圖 6.16 方案 1 與方案 0 波高差異分布圖.....	6-23
圖 6.17 方案 2 造波過程.....	6-24
圖 6.18 方案 2--9 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-25
圖 6.19 方案 2--17 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-25
圖 6.20 方案 2--25 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-26
圖 6.21 方案 2 波高分布圖.....	6-30
圖 6.22 方案 2 與方案 0 波高差異分布圖.....	6-34
圖 6.23 方案 3 造波過程.....	6-35
圖 6.24 方案 3--9 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-36
圖 6.25 方案 3--17 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-37
圖 6.26 方案 3--25 號碼頭遮蔽係數比較圖.....	6-37
圖 6.27 方案 3 波高分布圖.....	6-42
圖 6.28 方案 3 與方案 0 波高差異分布圖.....	6-46

圖 6.29(a) 方案 0 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-48
圖 6.29(b) 方案 1 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-48
圖 6.29(c) 方案 2 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-49
圖 6.29(d) 方案 3 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-49
圖 6.30(a) 方案 0 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-51
圖 6.30(b) 方案 1 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-51
圖 6.30(c) 方案 2 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-52
圖 6.30(d) 方案 3 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數 .....	6-52
圖 6.31(a) 方案 0 外港區碼頭遮蔽係數 .....	6-53
圖 6.31(b) 方案 1 外港區碼頭遮蔽係數 .....	6-54
圖 6.31(c) 方案 2 外港區碼頭遮蔽係數 .....	6-54
圖 6.31(d) 方案 3 外港區碼頭遮蔽係數 .....	6-55
圖 6.32 CH27 各方案遮蔽係數 .....	6-56
圖 6.33 CH29 各方案遮蔽係數 .....	6-56
圖 6.34 CH30 各方案遮蔽係數 .....	6-57
圖 6.35 CH23 各方案遮蔽係數 .....	6-58
圖 6.36 CH24 各方案遮蔽係數 .....	6-58
圖 6.37 CH25 各方案遮蔽係數 .....	6-59
圖 6.38 CH26 各方案遮蔽係數 .....	6-59
圖 6.39 CH10 各方案遮蔽係數 .....	6-60

圖 6.40 CH12 各方案遮蔽係數 .....	6-61
圖 6.41 CH15 各方案遮蔽係數 .....	6-61
圖 6.42 CH17 各方案遮蔽係數 .....	6-62
圖 6.43 CH19 各方案遮蔽係數 .....	6-62

## 表目錄

表 3-1 花蓮港歷年分季波高分布統計表 .....	3-4
表 3-2 歷年花蓮港主測站波高分布百分比統計表(2002-2022) .....	3-7
表 3-3 歷年花蓮港主測站波向分布百分比統計表(2002-2022) .....	3-7
表 3-4 歷年花蓮港主測站波浪週期分布百分比統計表(2002-2022) ...	3-8
表 4-1 花蓮港底碇式波流觀測站系統一覽表 .....	4-2
表 4-2 靜穩度測站系統一覽表 .....	4-5
表 4-3 花蓮港防颱作業通報(2016-2024 年) .....	4-9
表 4-4 颱風期間避湧事件波浪統計資料(2016-2024 年) .....	4-10
表 4-5 觀測颱風事件 .....	4-14
表 4-6 薔琵颱風港內測站波高遮蔽係數 .....	4-16
表 4-7 薔琵颱風港內測站湧(長)浪波高遮蔽係數 .....	4-16
表 4-8 薔琵颱風港內測站風浪波高遮蔽係數 .....	4-16
表 4-9 谷超颱風港內測站波高遮蔽係數 .....	4-20
表 4-10 谷超颱風港內測站湧(長)浪波高遮蔽係數 .....	4-20
表 4-11 谷超颱風港內測站風浪波高遮蔽係數 .....	4-20
表 6-1 方案 0 各觀測站發生遮蔽係數峰值及週期基準 .....	6-7
表 6-2 方案 1 各觀測站遮蔽係數比較表 .....	6-15
表 6-3 方案 2 各觀測站遮蔽係數比較表 .....	6-26
表 6-4 方案 3 各觀測站遮蔽係數比較表 .....	6-38

# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起與目的

花蓮港為臺灣東部地區重要的國際商港，承載大量貿易、觀光及物流運輸任務。然而，其臨近太平洋開放性海域的特殊地理位置，常受到季節性強風、颱風及其衍生的長週期波浪影響，嚴重威脅船舶停泊安全性及港口運營穩定性。特別是在颱風侵襲期間，外海所產生的長週期波浪經由港口入口傳遞進入港內，進而引發港內明顯的波動及共振現象。共振效應不僅造成港池水位劇烈變化，也可能導致船舶靠泊困難、船體碰撞與港口設施損壞，嚴重影響貨物裝卸作業與船舶安全。目前實務上，花蓮港務分公司主要依據「花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」規定，根據交通部中央氣象署海上、陸上颱風警報及與交通部運輸研究所運輸技術研究中心(以下簡稱本所運技中心)港池靜穩度測站即時監視系統，觀測外港 25 號碼頭湧浪起伏達 1 公尺以上，適時發佈港內船隻避湧(避颱)訊息等方式，進行船舶管理作業，避免發生船舶碰撞、斷纜等事件，以維護港區安全。

近年花蓮港面臨國際航運格局轉變與區域競爭加劇，除既有運輸功能外，更需積極推動觀光、休閒與多元產業發展，以帶動民間投資並提升港區整體價值。然而，在全球化與氣候變遷雙重壓力下，颱風等極端天候事件的發生頻率逐漸升高，其直接侵襲發生之湧浪對港灣設施造成潛在威脅，不僅可能損害港口及港灣結構物，亦對沿岸民眾生命財產安全形成危害風險。面對上述嚴峻挑戰，臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)花蓮港務分公司已啟動相關規劃作業，評估在現有港型條件下有效提升港池靜穩度、降低湧浪影響並確保港區安全，為當前亟需解決之重要課題。儘管過去已有多項現場觀測或數值模擬研究，探討港內波浪特性與港池共振問題，囿於水工試驗建置模型及試驗進行耗時，人力及維護成本高，故較缺乏相關水工試驗數據研究分析，為進一步探討港內長週期波浪變化特性，以深入瞭解不同方案之港灣內外

波浪特性及其對港池穩定性影響，進行水工試驗分析仍具有實務上之參考價值。

本計畫規劃平面水工試驗針對 8 至 30 秒週期之規則波，探討長週期波浪下花蓮港各位置遮蔽效果，並透過分析現場波浪觀測數據，進一步解析花蓮港在不同氣象條件下的波浪特性，特別是颱風期間長週期波浪的能量傳遞與遮蔽效果，以瞭解港內波浪在不同空間及時間下變化特徵及其影響因素，提出適合花蓮港現況實際可行的改善建議，強化港口設施營運安全性，並提供未來港務管理決策及港灣工程規劃之參考依據。

## 1.2 研究項目與內容

本計畫主要以平面水工模型試驗探討花蓮港港池不靜穩問題，並進一步分析港內波浪特性及進行消能方案研擬，辦理為期 3 年(112 至 114 年)「花蓮港湧浪遮蔽試驗」自行研究計畫，各年度工作項目如下：

本計畫第 1 年(112 年度)首先回顧既有文獻，整理花蓮港港池靜穩度問題相關研究成果，初步釐清引發港池振盪之湧浪特性，包括其週期分布、波高變化及主要入射波向等條件。其次，利用本所長期於花蓮港佈設觀測儀器之海氣象監測資料，進行風場、波浪、潮汐與海流等特性分析，據以選定合宜之造波條件。蒐集港區及周邊地形資料，儘量涵蓋鄰近海域特徵，提升水工模型還原度。試驗規劃方面，依據本所運技中心平面水槽規模及相似律原則，將花蓮港及周邊地形按比例縮小，建置定床水工模型，並依造波機性能規劃湧浪試驗條件，做為不同方案比較之基準。此外，因試驗廠棚歷經多年使用，為確保人員安全與建築結構穩定，112 年度辦理第二試驗廠棚修繕工程，以提供良好的試驗環境。

113 年度主要工作項目為依試驗規劃建置平面水工模型，完善花蓮港及鄰近海域整體模型，並依據花蓮港湧浪特性研擬消能設施與製作模型，供後續進行水工試驗使用。同時針對颱風期間港內外波浪特性，透過原始資料處理及波譜分析，統計示性波高、湧浪及風浪數據，並計

算港內各碼頭遮蔽係數，分析不同波浪條件下港池穩定性，相關結果可做為後續規劃花蓮港遮蔽試驗波浪條件之參考。

本(114)年度依照前期試驗規劃進行平面水工試驗，包括內港碼頭間通水箱涵、具消能機制碼頭構造物及外港拋石消能等不同方案，針對前述各項方案，分別於長週期波浪條件下進行水工模型試驗，藉以評估不同消能措施對港池內各碼頭之影響，並分析其對長週期波浪能量消能成效，期能有效改善花蓮港港池不靜穩問題。

### 1.3 研究方法

本計畫主要探討不同消能方案降低花蓮港港內振盪現象之效果。研究方法說明如下：

#### 1. 蒐集研析文獻與資料：

蒐集並研讀國內外有關港灣靜穩度與港池共振之相關文獻，包含花蓮港歷年港池不靜穩案例分析、颱風湧浪特性研究，以及過往水工試驗與數值模擬成果，進一步歸納港池受湧浪影響之主要條件，供後續試驗規劃之參考。

#### 2. 研擬水工試驗消能方案：

依據前期規劃內容，於平面水工試驗中建置定床 1:100 縮尺模型，並分別施作不同之消能配置，包括內港碼頭間通水箱涵、具消能機制之碼頭構造物，以及於外港東堤設置拋石消能設施等方案。

#### 3. 進行湧浪遮蔽試驗：

為模擬颱風期間港外湧浪入射之情境，本計畫依造波機性能設定適當週期與波高條件，於長週期波浪條件下，逐一進行湧浪遮蔽試驗，藉此評估不同方案在港池內不同碼頭位置之波浪能量消能效果。透過港外與港內量測數據之比較，分析不同方案對於湧浪能量

傳遞與消散之效果，並歸納各碼頭在不同入射波向與週期下之遮蔽與放大特性。

#### 4. 分析試驗結果及研提改善建議：

試驗完成後，將各方案之試驗數據進行統整與比較，結合遮蔽係數計算，檢視長週期波能量於港池內之消減成效。進一步歸納各方案改善港池靜穩度效益，提出具可行性的工程改善建議，作為後續港灣規劃與設計之參考。

## 第二章 文獻回顧

花蓮港自第 4 期擴建工程完成後，由於花蓮港口面向太平洋開放海域，港外水深達 30~40 公尺水深，而距港區 2 公里外即達水深百米以上，外海之長週期波能在未經顯著消散情況下，直接傳遞至港池。自第四期擴建工程完成後，港型呈現狹長且內外港連通型式，港池內長週期波能問題成為國內港灣工程領域持續關注重點，早期研究透過現地觀測辨識港內外水位變化，發現港外波譜週期約 11~15 秒之能量為主，但港內波譜卻呈現 100~200 秒之長週期能量峰值，顯示低頻能量於港池內放大共振。此現象易導致船隻在泊位處產生長時間升沉與橫搖，使繫纜受力劇增，易發生斷纜、碰撞與裝卸中斷等事件，對港池靜穩度與船舶作業安全造成影響。本所運技中心長期與相關學術機構及營運管理單位，曾推動多項以花蓮港港池共振為主軸的系統性研究，涵蓋現地波浪觀測、數值模擬分析及水工模型試驗等各方面探討，以期釐清港池振盪的不靜穩機制與影響因子。

然而，儘管歷經多年研究，對於引發花蓮港港池共振的主導波源仍未獲得一致結論。既有成果普遍指出，花蓮港受制於外海水深與港口朝向太平洋之特殊幾何形狀，外海長週期波進入港池後容易在封閉水域內累積，導致低頻能量放大與共振持續時間延長，使得船舶靠泊及裝卸作業頻繁中斷。加上港區構造物、防波堤與碼頭配置受限於既有設施與通航需求，使結構性改善措施難以大幅更動。

因此，本計畫於進行平面水工試驗前，將系統化回顧與比較歷年研究成果，從風浪與湧浪特性、港池幾何形態等多角度重新審視港池共振問題。藉由歸納過往試驗與模擬成果之關鍵影響因素，做為本計畫後續設定試驗條件與研擬消能方案之參考依據。

### 2.1 風浪與湧浪相關研究

海洋中存在多種不同尺度與動力來源的波動現象，通常為風力、重

力及地震等因素所致所有波動，主要以波高、週期(或波長)及水深等物理量呈現，Munk(1951)將具有不同動力之各類型波動型態及其所對應之波浪名稱，依其對應之顯要週期區間，參考許等人(2025)整理如圖 2.1 所示。

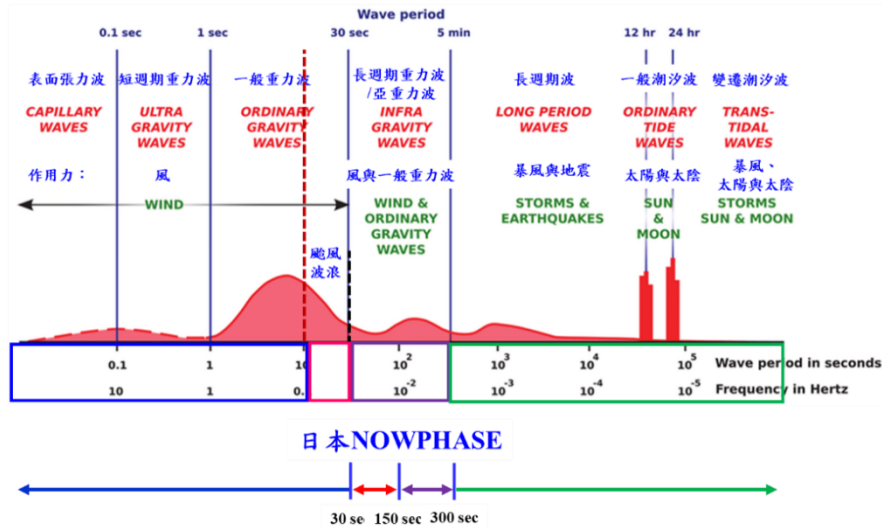


圖 2.1 海洋波浪分類

波浪可依主要作用力與週期長短分為 7 類：表面張力波（週期小於 0.1 秒）、短週期重力波（0.1~1 秒）、一般重力波（1~30 秒）、長週期重力波或亞重力波（30~300 秒）、長週期波（5 分鐘~12 小時）、潮汐波（12~24 小時）以及變遷潮汐波（週期超過 24 小時）。其中，「一般重力波」與「長週期重力波」為港灣工程最常關注的類型，前者主要為風浪，後者與港內共振現象密切相關。

風浪（wind waves）為由氣象條件所產生的短週期重力波，成因與風速、風向、持續時間及風區尺度息息相關。當風力在開放海面上持續作用，能量逐漸由風傳遞至水體，形成波長與波高均隨時間增長的波群。此類波浪多呈現不規則疊加形態，其能量頻帶集中於週期 8~12 秒，屬於港外海況中最常觀測到的主導波動。風浪的特徵在於具高頻能量，入射港口後易受折射與繞射作用影響而迅速衰減，因此，多僅影響港口外圍與突堤端部之穩定性，對港池靜穩度影響有限。

湧浪 (swells) 則為遠離風源區形成之自由重力波，其週期通常介於 5~30 秒，波高可達 1~5 公尺，具有長距離傳遞特性。當風浪離開風場區域後，短週期成分因非線性交互作用而逐漸消散，僅留下週期較長且能量集中的波群繼續前進。由於湧浪尖銳度低、能量集中且破碎率小，因此，在經過數百公里的傳輸後仍能維持相當振幅。

湧浪能量進入港口後，港型與外海開口幾何產生共振條件，將可能激發港內水位長週期振盪。由於花蓮港面向太平洋開放海域，港外波能幾乎不受摩擦衰減，導致長週期能量可直接繞射進入港池。多項觀測研究指出，颱風生成後即使未接近臺灣，仍會對花蓮港等東部港域造成影響，颱風期間港外波浪以週期 11~15 秒的風浪為主，但港內波譜卻可觀測到週期 100 秒以上的振盪能量，顯示湧浪於港內水位有長週期振盪情況。

## 2.2 花蓮港港池共振歷年相關研究

本章文獻回顧多面向廣泛蒐集港灣工程研究成果，包括消能與港池穩靜改善技術文獻，探討港灣內長週期波動問題之成因與影響機制，並進一步研擬具可行性之改善對策。

本計畫研究主軸以模擬波浪由港外傳遞至港內、繞射、反射與消能等行為，進行平面水工模型試驗，藉以評估不同波浪條件於不同結構配置下，對長週期能量的反應，以及抑制長波振盪的有效性。

### 2.2.1 現場觀測

張、曾 (1993) 分析颱風期間造成花蓮港內船舶無法正常裝卸作業時的波浪能譜，結果顯示港池內存在顯著之長週期能量分量，並非僅由一般風浪主導，據此認為長週期能量是影響花蓮港港池穩靜度的關鍵來源。

曾、簡 (1996) 於提姆颱風侵襲期間在花蓮港內外佈設波高計，結果指出，外海測站的主能量週期約落在 11~15 秒之間，並未出現異常

的長週期能量；然而在港口處即已量測到顯著的長週期能量，而內港碼頭（特別是 8 號碼頭）甚至出現長達 150 秒以上的振盪，且短週期成分幾乎消失。此一結果顯示，即使港外主要仍為較短週期風浪，長週期水位擺動會在港內被放大並主導船舶運動。

郭等(2002)以歷次颱風期間之水位紀錄進行快速傅立葉轉換(FFT)頻譜分析，指出外海波浪主峰頻率約為 0.08Hz (約 12~13 秒)，但港內量測卻明顯出現約 0.01Hz (約 100 秒) 之低頻能量。研究亦發現，最劇烈的港內振盪往往出現在颱風尚未直接登陸前，反而在颱風通過後並未持續惡化，推論港內振盪大小除與波高有關外，亦受到入射波向與能量成份影響。

張與林(2003)進一步以最小平方法分解港內水位序列於颱風時段之主要成分，指認內港主控振盪週期約為 87.6 秒與 152 秒，並指出外港區雖仍殘留 15 秒級的能量，但內港區域已幾乎轉為長週期主導，顯示港池內部存在特定自然振盪模態，且這些模態與實務上碼頭繫泊不穩、斷纜與裝卸中斷高度相關。

蕭等人(2025)針對瑪娃、小犬與凱米等颱風個案，比較花蓮港外 AWAC 與內港 3 處碼頭的長時序觀測資料，發現短週期風浪在進入港內後可顯著衰減，但當入射波向偏東南東且週期大於約 10 秒時，長週期湧浪於 17 號與 25 號碼頭附近發生能量放大，導致港池不靜穩情況，且 17 號碼頭遮蔽係數大於 25 號碼頭。研究成果指出，9 號碼頭對短週期波能的遮蔽能力最佳，但對長週期能量之抑制有限，反映不同泊位對特定波浪週期的遮蔽能力並不一致。

## 2.2.2 數值模擬分析

莊(2000)認為花蓮港的長週期港池振盪主要是亞重力波所致，並非單靠傳統「緣波」(edge wave)即可解釋。指出外海雖已有亞重力能量存在，但進入花蓮港南側彎曲岸線與淺化帶後，長週期能量會被放大，再耦合到港內形成顯著的百秒級振幅，說明沿岸地形對低頻波的調變

具有關鍵角色。

蔡等人(2010)建構花蓮港港池共振數值模式，模式採有限元素法求解緩坡方程式，並將完全反射、部分反射、透射邊界以及底床摩擦能量損失等因素納入，模擬不同構造及佈置對港池共振的影響，並以提姆颱風(1994)等實測案例進行驗證。結果顯示，該模式能合理再現港內主要的共振週期、強度與頻寬，證明港池振盪可以透過港形與反射條件的組合被解釋與預測，亦能做為改善方案評估工具。

楊等人(2011)以 Boussinesq 型近岸波浪模式 (MIKE21 BW) 重建海棠颱風期間花蓮港波場，先以實測波浪資料濾除高頻 (<30 秒) 能量，再將低頻成分做為入射條件輸入港域模擬。結果顯示，即使僅給定低頻能量，港內仍會發展出顯著的長週期振盪，說明港池長週期波動不完全只是「外海長波直接灌入」，亦包含港型內部非線性相互作用所再生的長週期分量。同一研究也測試在港外配置離岸堤(離岸消能構造)之情境，結果顯示，入港能量與港內長週期能量均明顯下降，提示「離岸式預消能」具潛在可行性。

周等人(2022)利用 FUNWAVE-TVD (非線性 Boussinesq 類型數值模式)重建龍王颱風(2005)波況，以 JONSWAP 譜(顯著波高約 7.8 公尺、尖峰週期約 14 秒)並分別給定 ENE、E、ESE、SE 等不同入射波向。模擬結果顯示，模式可同時重現港外示性波高分布與港內亞重力波能量場：外港區高波高仍以入射方向為主，但內港區主要由長週期振盪主導，且最大長週期能量往往出現在距離港口最遠的內港碼頭。值得注意的是，ESE 向與 SE 向雖較貼近港口主開口方向，但 ENE 向入射下的亞重力波能量在內港亦可能同等甚至更高，顯示港池共振對入射角度的敏感度並非單純「正面打進來最嚴重」，而是與港形、航道與內外港連通幾何共同作用的結果。

### 2.2.3 水工模型試驗

簡及邱(1996)嘗試幾種不同的港內配置方案，試圖改善港內的長週

期共振，但只能獲得有限的效果。簡等人(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。

水工模型試驗，大多受限於經費、時程與計畫任務導向的限制，僅能擇定少數特定波浪條件進行試驗，因此，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，或確認某些週期會引發共振。

## 2.3 小結

透過歷年花蓮港長週期振盪現象的觀測、模擬與試驗研究可發現，花蓮港面臨的港池共振問題並非單一條件所致，而是來自外部長浪能量輸入與港內幾何條件交互作用下的複合現象。港內振盪與放大位置具有空間差異，受外海波向與波群特性影響顯著，進一步影響船隻靠泊、斷纜與裝卸貨物中斷等安全問題。

現場觀測提供水位振盪與能量分布量測依據，揭示港內出現百秒以上長週期能量並伴隨港池區域性放大行為；數值模擬則強調港型幾何、波向與非線性交互作用對共振現象的影響，並指出長浪並不僅來自單一入射方向，亦可能源於港外頻散與沿岸緣波現象；而水工模型試驗則進一步驗證了港口不同構造配置對抑制長週期振盪的潛力與侷限，反映出現階段工程對策在應對特定頻率帶波浪上仍具改善空間。

既有研究已建立良好基礎，而港池振盪模態與實際波源頻譜的對應關係仍可進一步探討，特別是在港外長浪如何觸發特定模態振盪，另外，改善方案多著重於港型調整與局部消能，但百秒以上週期波能消能效果有限，反映出消能機制與結構配置需進一步優化，此外，多數水工試驗受限於波況組合與頻率範圍無法涵蓋完整能譜，導致對實際海況

下的長浪行為仍難全面掌握，亦限制對不同方案的可行性判別。

因此，本計畫延續過去研究成果，進一步整合「平面水工試驗」與「長週期波浪特性」之關聯，針對港內外重要碼頭，透過結構改建或消能配置，評估其對抑制共振與消能效能之成效，瞭解不同構造物於港灣長週期波浪運動行為，提供花蓮港港池改善方案之基礎。



## 第三章 花蓮港背景資料

### 3.1 花蓮港地文背景

#### 3.1.1 地理條件與建港歷程

花蓮港位於臺灣東岸花蓮市北端，面臨西北太平洋，於北緯 23 度 59 分 11 秒，東經 121 度 37 分 35 秒。港區臨靠中央山脈、東臨太平洋，為臺灣東部地區主要國際商港，如圖 3.1 所示。該區域岸線陡峭，外海水深變化劇烈，距岸僅數百公尺即達 30~40 公尺水深，具深海環境，雖利於大型船舶進出，但亦直接承受東向與東南向來浪能量。

花蓮港的興建歷程可分為 4 個主要階段。第一階段為日治時期（1930~1945），日本政府為發展東部產業運輸，於 1931 年開始興築港口，採陸挖式人工港池工法，在美崙鼻南側開鑿港池，1939 年竣工開港，形成初具規模之東西防波堤及 3 座碼頭。第二階段為戰後修復期（1945~1960），國民政府接收後陸續修復受戰損設施，並於 1959 年啟動第一次擴建，1962 年完工。第三階段為快速擴建期（1960~1990），政府推動全國港灣建設計畫，花蓮港於 1970 年代完成第二與第三期擴建工程，新建外港區與多功能碼頭，擴充泊位並加深航道。第四階段則為現代化發展期（1990 年至今），1991 年完成第四期擴建，港區面積擴增至 1,215 公頃，水域總面積約 390 公頃，設有 25 座碼頭，可容納 3 萬至 10 萬噸級船舶進出。

目前花蓮港由東防波堤與西防波堤圍合形成外港，並以長約 80 公尺的航道銜接內港。內港設有 16 座碼頭，外港 9 座碼頭。港型整體呈狹長漏斗形，自外港開口逐漸收斂至內港，此地形配置可在一般風浪條件下提供良好的遮蔽。

港區地形以砂礫岸灘與岩盤混合為主，北側臨美崙鼻，南接南濱海岸，地勢由西向東急遽下降。港外水深隨距岸距離變化速率約為 1:30 至 1:50，顯示大陸坡坡度陡峭。花蓮港區水深、岸線條件與特有狹長港



小型船舶靠泊作業。內外港間航道平均水深約 11 至 13 公尺，水道寬度 100 公尺，如圖 3.2 所示。

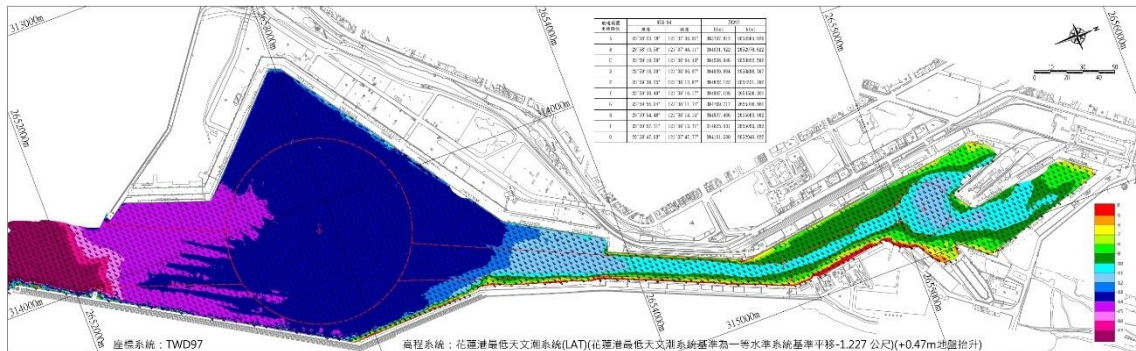


圖 3.2 花蓮港區水深圖

(資料來源：花蓮港務分公司 113 年 11 月測量資料)

花蓮港區整體呈南北向狹長形，港口開口朝東南偏東方向，外港區由東防波堤（長約 1,640 公尺）及西防波堤（長約 1,210 公尺）形成，防波堤基腳以拋石護基與消波塊覆面構成。外港內側海床坡度約 1:200，水深分布均勻，底質以砂礫混合為主；防波堤外側坡度較陡，約 1:30 至 1:50，內港區為早期陸掘工程開挖而成，底床相對平坦，主要由砂質回填與人工整平構成。

### 3.2 海象環境

本節引用本所運技中心 2022 年報及「商港波浪觀測及統計分析」彙整花蓮港波浪相關特性，說明花蓮港之海象環境。

花蓮港歷年波高分布統計資料，波高分布以 0.5~1.5 公尺間比率最高，約為 66.6%，四季統計資料秋季 1.4 公尺、冬季 1.53 公尺，因受東北季風影響，波高大於春季 1.1 公尺、夏季 0.9 公尺，波高分布以 0.5~1.5 公尺間比率最高，夏季時西側受陸地阻隔，波高為四季最小約為 0.9 公尺，波高分布以 0.5~1.5 公尺為主，花蓮港歷年波高觀測資料分布統計、機率分布，整理如表 3-1、圖 3.3 所示。

表 3-1 花蓮港歷年分季波高分布統計表

季節	波高平均 (m)	Hs<0.5(%)	Hs 0.5~1.5(%)	Hs 1.5~3.0(%)	Hs >3.0(%)
春	1.10	2.40	82.50	14.90	0.10
夏	0.90	17.60	70.70	9.80	1.90
秋	1.40	3.60	61.50	32.20	2.80
冬	1.53	0.00	52.00	47.50	0.50
全期	1.23	5.80	66.60	26.30	1.30

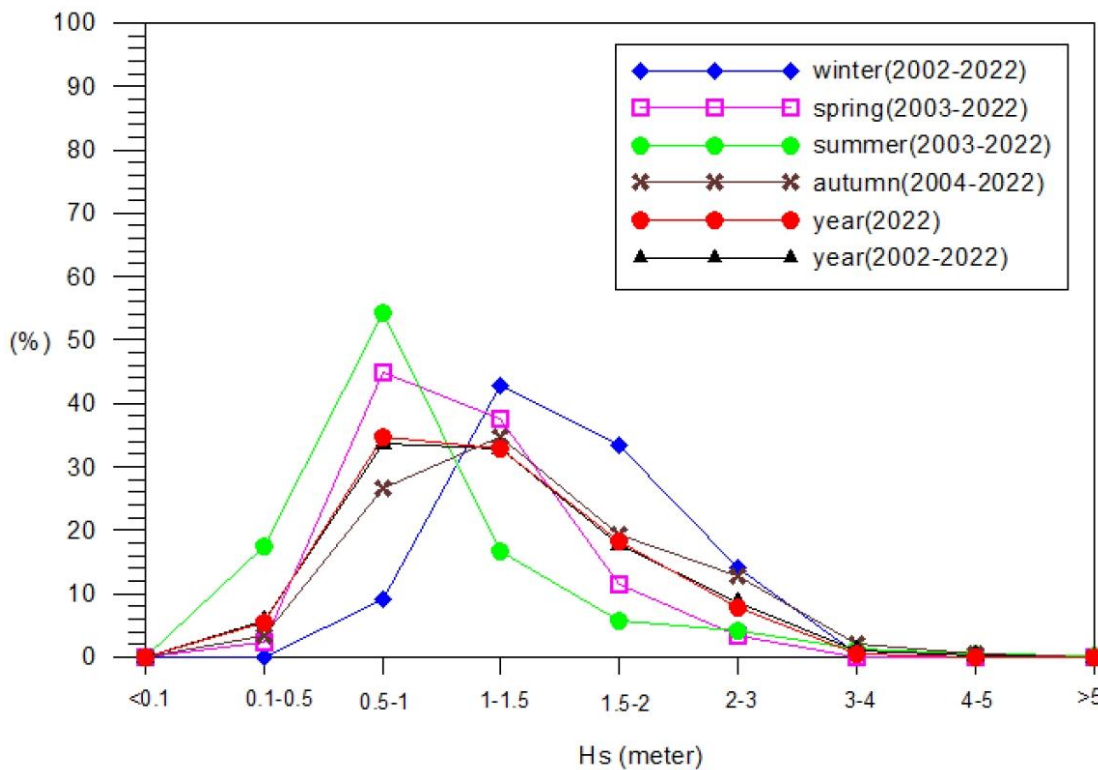


圖 3.3 花蓮港歷年四季及全觀測期波高機率分布圖

統計資料期間為 2002 年至 2022 年(整體資料蒐集率為 96%)，歷年主要測站示性波高、週期及波向統計量，如表 3-2 所示，各波高 Hs、波向及週期 Tp 分布百分比，如表 3-2 至表 3-4 所示，波浪玫瑰圖如圖 3.4 所示。相關資訊彙整如下：

花蓮港歷年全年 Hs 平均值為 1.23m、Tp 平均值為 8.4s，Hs 最大值之波高/週期/波向為 12.5m/7.3s/SW、主波向為 ESE，所佔比例為 38.7%、第 1 次波向為 E(佔 32.1%)、第 2 次波向為 SE(佔 22.4%)。

冬季 Hs 平均值為 1.53m、Tp 平均值為 8.5s，Hs 最大值之波高/週期/波向為 4.4m/9.6s/SE、主波向為 E，所佔比例為 48.3%、第 1 次波向為 ESE(佔 35.4%)、第 2 次波向為 SE(佔 11.0%)。

春季 Hs 平均值為 1.09m、Tp 平均值為 8.2s，Hs 最大值之波高/週期/波向為 3.8m/11.1s/ESE、主波向為 ESE，所佔比例為 43.8%、第 1 次波向為 E(佔 31.8%)、第 2 次波向為 SE(佔 20.0%)。

夏季 Hs 平均值為 0.92m、Tp 平均值為 7.9s，Hs 最大值之波高/週期/波向為 9.3m/11.9s/NNE、主波向為 SE，所佔比例為 46.4%、第 1 次波向為 ESE(佔 33.6%)、第 2 次波向為 SSE(佔 10.4%)。

秋季 Hs 平均值為 1.39m、Tp 平均值為 8.8s，Hs 最大值之波高/週期/波向為 12.5m/7.3s/SW、主波向為 ESE，所佔比例為 42.2%、第 1 次波向為 E(佔 38.5%)、第 2 次波向為 SE(佔 14.0%)。

## Rose Diagram of Wave

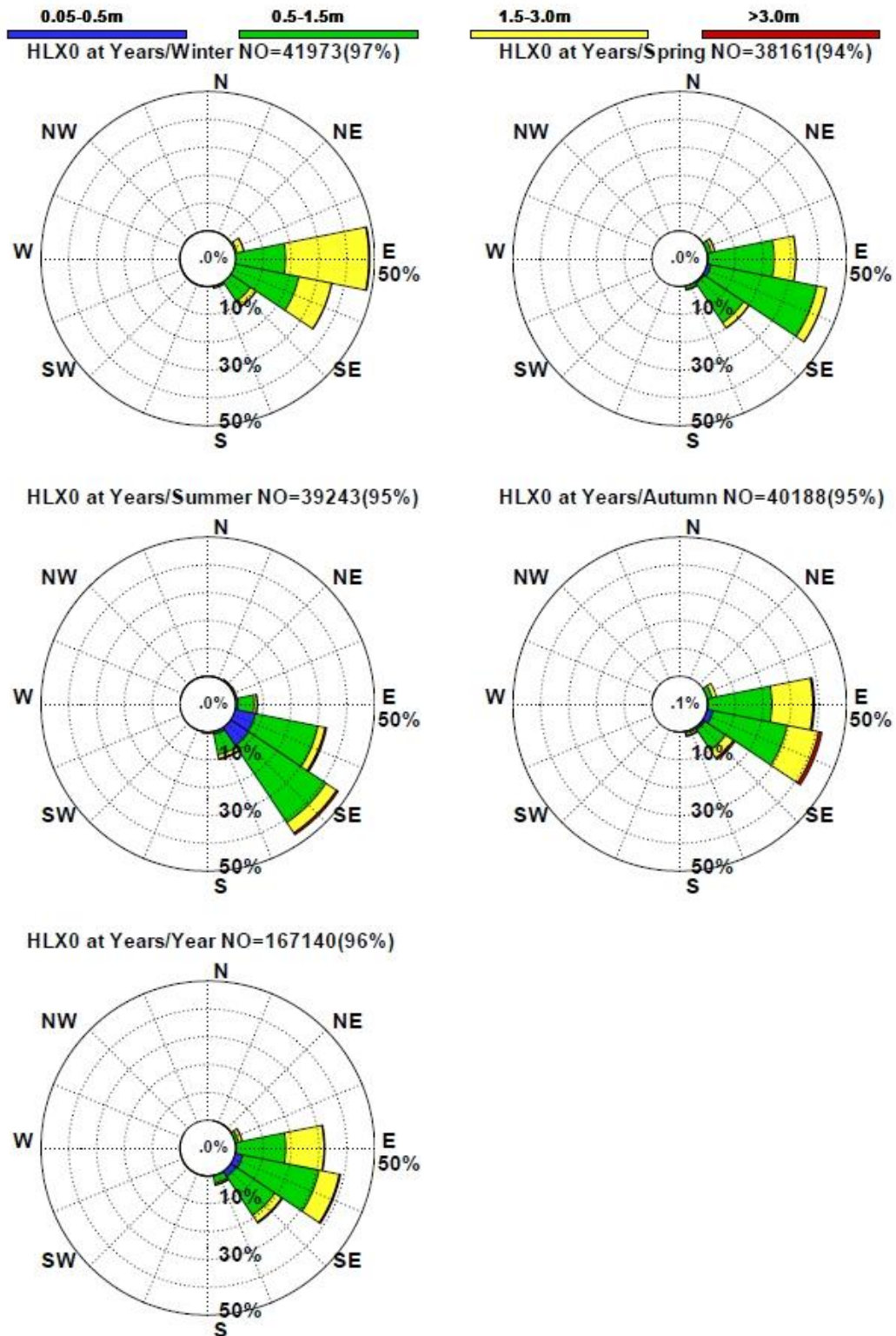


圖 3.4 歷年花蓮港波浪玫瑰圖(2002-2022)

表3-2 歷年花蓮港主測站波高分布百分比統計表(2002-2022)

$H_s$ (m)	微波 <0.1m	小波 ~0.5m	小波 ~1.0	小浪 ~1.5	小浪 ~2.0	中浪 ~3.0	大浪 ~4.0	大浪 ~5.0	大浪 ~6.0	巨浪 ~7.0	巨浪 ~8.0	猛浪 ~10	猛浪 ~12	狂滔 ~16	狂滔 ~20	狂滔 >20	蒐集率 (%)
年、月																	
歷年/12	.0	.0	6.7	36.1	36.5	19.6	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	98.
歷年/01	.0	.0	9.0	44.9	33.9	11.9	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	98.
歷年/02	.0	.0	12.4	48.0	29.4	10.0	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/03	.0	.0	26.1	50.4	18.2	5.1	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	91.
歷年/04	.0	.3	43.9	40.5	11.4	3.6	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/05	.0	6.9	65.2	21.6	5.0	1.3	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/06	.0	10.2	67.2	17.5	3.3	1.6	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/07	.0	23.7	48.7	13.8	6.0	5.3	1.5	.6	.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	93.
歷年/08	.0	18.7	47.3	18.3	7.5	5.4	1.9	.5	.3	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	96.
歷年/09	.0	9.9	42.8	24.8	10.8	7.9	2.7	.7	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	99.
歷年/10	.0	.5	22.4	35.8	22.3	15.5	2.8	.5	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/11	.2	.1	14.2	44.3	25.2	15.3	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	93.
歷年/冬	.0	.0	9.2	42.8	33.5	14.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/春	.0	2.4	45.0	37.5	11.5	3.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/夏	.0	17.6	54.1	16.6	5.7	4.1	1.2	.4	.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/秋	.1	3.5	26.7	34.8	19.3	12.9	2.1	.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/年	.0	5.7	33.6	33.0	17.7	8.6	1.0	.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	96.
DISV5A.BAT	測站編號:HLX															運輸技術研究中心	

表3-3 歷年花蓮港主測站波向分布百分比統計表(2002-2022)

波向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	蒐集率 (%)
年、月																	
歷年/12	.0	.0	.1	2.2	48.5	38.2	9.0	.5	.2	.4	.4	.3	.2	.0	.0	.0	98.
歷年/01	.0	.0	.1	4.4	51.2	32.8	9.4	.6	.2	.3	.3	.2	.3	.0	.0	.0	98.
歷年/02	.0	.0	.1	3.2	44.7	35.2	15.1	1.6	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/03	.0	.0	.0	2.7	38.1	42.1	16.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	91.
歷年/04	.0	.0	.0	3.1	30.8	45.2	19.8	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/05	.0	.0	.0	2.7	26.4	44.1	24.3	2.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/06	.0	.0	.0	1.2	12.6	29.0	42.4	14.3	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/07	.1	.1	.7	.4	3.3	33.7	52.6	8.7	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	93.
歷年/08	.0	.1	.6	.4	7.9	37.8	44.2	8.3	.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	96.
歷年/09	.0	.0	.0	2.9	28.5	41.1	23.2	4.1	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	99.
歷年/10	.0	.0	.0	4.7	47.3	38.1	8.9	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/11	.0	.0	.0	2.5	39.3	47.8	9.8	.5	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	93.
歷年/冬	.0	.0	.1	3.3	48.3	35.4	11.0	.9	.1	.3	.3	.2	.2	.0	.0	.0	97.
歷年/春	.0	.0	.0	2.8	31.8	43.8	20.0	1.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/夏	.0	.1	.5	.6	7.9	33.6	46.4	10.4	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/秋	.0	.0	.0	3.4	38.5	42.2	14.0	1.9	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/年	.0	.0	.1	2.6	32.1	38.7	22.4	3.6	.2	.1	.1	.1	.0	.0	.0	.0	96.
DISV5A.BAT	測站編號:HLX															運輸技術研究中心	

表3-4 歷年花蓮港主測站波浪週期分布百分比統計表(2002-2022)

$T_p$ (Sec)	<3	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20	40	60	>80	蒐集率 (%)
年、月	~4	~5	~6	~7	~8	~9	~10	~12	~14	~16	~20	~40	~60	~80			
歷年/12	.0	.0	.0	1.7	9.2	16.2	27.5	30.4	14.4	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	98.
歷年/01	.0	.0	.0	4.4	9.3	17.0	31.8	27.9	9.3	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	98.
歷年/02	.0	.0	.2	5.2	12.4	17.3	29.1	24.0	10.4	1.3	.2	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/03	.0	.0	.2	3.0	10.2	19.4	28.6	23.3	14.4	.8	.1	.0	.0	.0	.0	.0	91.
歷年/04	.0	.1	.8	6.7	17.4	22.7	23.1	17.6	9.4	1.9	.5	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/05	.0	.3	1.8	10.4	20.5	23.3	20.8	14.0	7.4	1.2	.1	.1	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/06	.0	.4	3.8	20.3	23.1	21.9	15.4	8.9	5.0	1.0	.2	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/07	.0	1.0	3.5	10.6	19.5	17.9	15.7	15.6	10.2	4.2	1.6	.1	.0	.0	.0	.0	93.
歷年/08	.0	.4	2.1	8.9	14.7	17.5	17.0	16.8	15.1	6.6	.8	.1	.0	.0	.0	.0	96.
歷年/09	.0	.0	1.0	4.4	11.4	18.7	18.1	14.3	18.2	10.5	3.2	.1	.0	.0	.0	.0	99.
歷年/10	.0	.0	.2	2.1	9.7	21.7	24.1	17.7	16.2	6.7	1.5	.1	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/11	.1	.0	.0	2.1	10.2	24.7	29.2	22.6	9.7	1.1	.2	.1	.0	.0	.0	.0	93.
歷年/冬	.0	.0	.1	3.7	10.2	16.8	29.5	27.6	11.4	.7	.1	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/春	.0	.1	.9	6.7	16.0	21.8	24.2	18.3	10.4	1.3	.2	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/夏	.0	.6	3.1	13.1	19.0	19.1	16.1	13.8	10.2	4.0	.9	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/秋	.0	.0	.4	2.9	10.4	21.6	23.7	18.1	14.8	6.2	1.7	.1	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/年	.0	.2	1.1	6.6	13.7	19.8	23.4	19.7	11.7	3.0	.7	.0	.0	.0	.0	.0	96.

DISV5A.BAT 測站編號:HLX

運輸技術研究中心

### 3.3 發展與未來展望

依據「商港整體發展規劃(111-115年)」，國際商港發展目標以「強化智慧創新與多元服務，鞏固海運樞紐地位」為核心。花蓮港為臺灣東部重要的國際商港，其未來發展方向朝向多元化、智慧化與區域共榮，結合產業、觀光及海洋文化等多重功能，形成港市共榮的新型態港灣。

花蓮港在全國港灣體系中，定位為兼具貨運、觀光與海洋文化展示的複合型港區。過去港口以砂石與水泥出口為主，近年逐步調整為「貨運與遊憩並重」的發展方向。港務公司規劃將港區土地劃設為多項專區，包括奇萊鼻海岸景觀區、綠循環經濟專區、物流園區、港東洄瀾園區、13~16號碼頭水陸遊憩觀光廊帶、1~4號碼頭親水遊憩區及砂石專區等，如圖 3.3 所示，藉此明確分工與引導投資方向。此專區化規劃可提升港區土地利用效益，並促進港口由單一貨運作業轉型為結合物流、旅運與文化展示的多元化港口。同時，花蓮港轉型方向符合國家港灣整體策略，強調港口應提供多元服務，並結合貨運、客運、觀光與相關產業的發展。未來花蓮港不僅將維持其貨物裝卸與轉運功能，也將發展倉儲、物流與中轉服務，成為東部地區海運節點與海洋旅運平台。

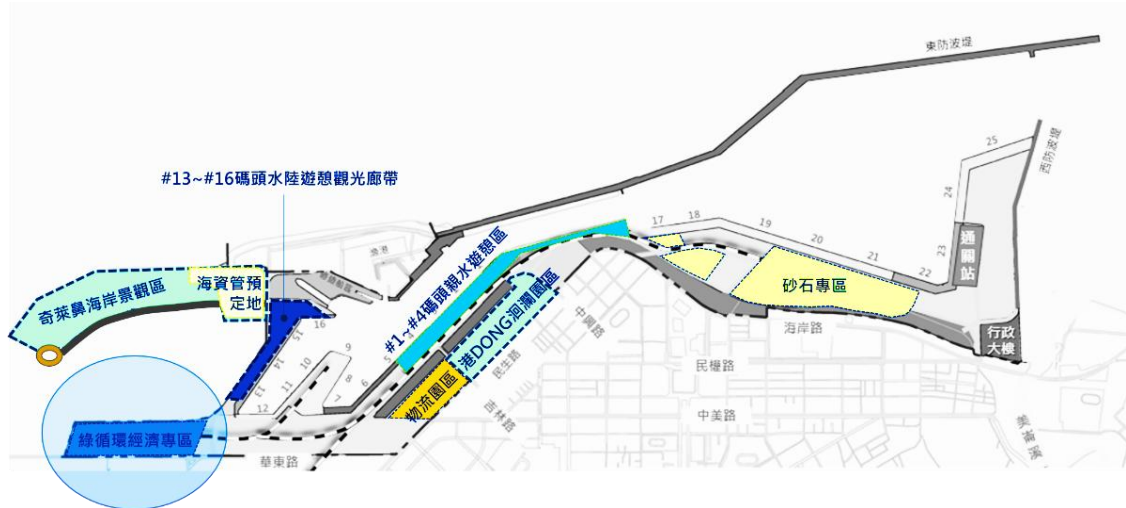


圖 3.5 花蓮港專區規劃示意圖

(資料來源：花蓮港務分公司)

為配合功能再定位，花蓮港未來五年的建設策略著重於基礎設施升級與土地使用變更。現行規劃中，13~16 號碼頭及其後線土地將優先開發為遊憩與觀光用途，而 5~12 號碼頭及其後線將維持為貨運及物流專用區，形成貨運與旅運共榮的雙軸結構。這項分區規劃亦納入前瞻基礎建設計畫之中，預計透過港區都市計畫變更與招商引資，逐步推動港區功能重整。花蓮港同時積極推動港區智慧化與基礎設施改善，包括港區道路與倉儲設施整修、郵輪旅運設施規劃、環境綠化與交通動線優化等。未來 5 年內，港區預定持續改善碼頭設施、完善交通接駁系統，並推動智慧港口管理平台，以強化港區安全與營運效率。港務公司亦與地方政府推動港區土地活化及觀光遊憩開發，提升港灣整體使用效益。

花蓮港土地開發政策以「港區活化與都市共榮」為主要方向。港務公司規劃於未來十年完成港區都市計畫變更，並推動港口與城市空間整合，發展具開放性與休閒導向的水岸環境。港北側規劃設置海洋資源博物館、遊客碼頭及休閒設施，打造海洋教育與觀光遊憩並重的展示空間。此舉不僅能帶動地方觀光人潮，也可形成港區與花蓮市區之間的經濟循環，促進地方產業升級與就業機會。在經濟與社會效益層面，花蓮港的開發策略著重於提升土地使用效率與創造新興產業價值。藉由觀

光與文化導向的港區再生，港口不僅能持續支撐貨運產業鏈，也能吸引民間投資進駐，發展休閒、餐飲、零售及教育推廣等服務產業。這種多元發展模式可望在維持港口營運功能的同時，提升港區形象與營造民眾親水環境。

### 3.4 小結

綜合以上，花蓮港具港外深水地形特性，其地勢條件對港灣功能與發展方向具有決定性影響，位置處於中央山脈東緣，外臨太平洋，外海水深變化迅速，近岸即進入深水區，使港口擁有天然深吃水優勢。然而，波浪能量可沿港口與航道直接傳入港池內部，使港內有不穩靜情形。外港適合大型船舶通航與裝卸，內港則提供中小型泊區及迴船操作空間，故港池靜穩度為營運管理單位亟需重視課題之一。

在港區發展層面，花蓮港已由傳統貨運港轉型為多元化的現代港灣。港務公司依據中長程發展計畫，推動港區土地專區化與港市共榮策略，規劃包括物流園區、綠循環經濟區及親水遊憩區等分區，透過都市計畫變更與招商引資，逐步導入旅運、觀光及海洋文化相關設施。此轉型不僅提升土地利用效益與產業附加價值，也讓港口在維持商港功能的同時，兼具休閒與教育推廣角色。未來花蓮港的發展重點將在於兼顧安全、效率與永續，藉由智慧化管理與環境整合，建立港口營運、城市發展與自然環境三者平衡的協調模式。

## 第四章 現地觀測波浪遮蔽分析

花蓮港常受長週期波浪導致港池不靜穩問題，本所運技中心、港務公司及其花蓮港務分公司自 2020 年起於花蓮港區內陸續增設 3 處靜穩度測站提供全時觀測資料，做為營運管理及學術研究使用。

為瞭解湧浪對花蓮港靜穩度的影響，本節透過花蓮港長期觀測數據，採用波譜分析方法分離風浪與湧浪，解析港外底碇式波流觀測儀器（Acoustic Wave and Current profiler，簡稱 AWAC）與港內靜穩度測站風浪及湧浪波高特性。透過比較港內外波高數據，探討風浪、湧浪與靜穩度間關係，並分析不同波浪條件下港池碼頭的遮蔽效果。

### 4.1 觀測站基本資料

#### 4.1.1 港外底碇式波流觀測站(AWAC)

本所運技中心於 2001 年 8 月在花蓮港東防波堤南方安裝挪威 NORTEK 公司所製造 AWAC 波流儀，專門用於長期波浪觀測。該儀器的設置位置距防波堤南邊約 200m，水深 33m，儀器高度約 1.8m，港外底碇式波流觀測站位置如圖 4.1 所示。自 2023 年 1 月 3 日起主要測站 AWAC 儀器觀測設定波浪觀測時間為每小時第 10 分鐘及第 40 分鐘開始，每次以 1Hz 連續觀測 1024 筆資料，約 17 分鐘，即時回傳原始觀測二進制資料其副檔名為 wpr 資料，每小時 2 筆資料回傳並已作業化自動轉出波流統計資料之文字檔其副檔名為 wap(Wave parameter file) 資料。

AWAC 波高量測模式有 2 種，分別為傳統式壓力感應器量測及聲波式的高度感應器量測，平時以聲波式的高度感應器量測為主，颱風期間因海面紊亂導致訊號無法分析時則改採用傳統式壓力感應器量測分析轉換。AWAC 波向的量測從海面下 3m 以上的流向資料與波高資料計算轉換而得，之後即時回傳原始二進制資料，並生成包含每日每小時波流統計數據的文字檔。經儀器進行波譜分析轉換後，推算示性波高、

譜峰週期、波向。底碇式波流觀測站系統一覽表，如表 4-1 所示。

AWAC 測站供電方式可採市電或太陽能，在花蓮港測站電力採用太陽能進行，觀測資料則透過 4G 無線網路訊號回傳，回傳後則將波流浪統計資料自動化匯入資料庫內，港外底碇式波流觀測站測站架構，如圖 4.2 所示。



圖 4.1 花蓮港港外底碇式波流觀測站

表 4-1 花蓮港底碇式波流觀測站系統一覽表

測站	緯度(N)	經度(E)	水深	觀測期間	儀器	位置概述
HLAW01H01	23°58'02"	121°37'34"	-33 m	2001/08- 2025/12 (觀測中)	AWAC	東防波堤南邊 約 200m 處

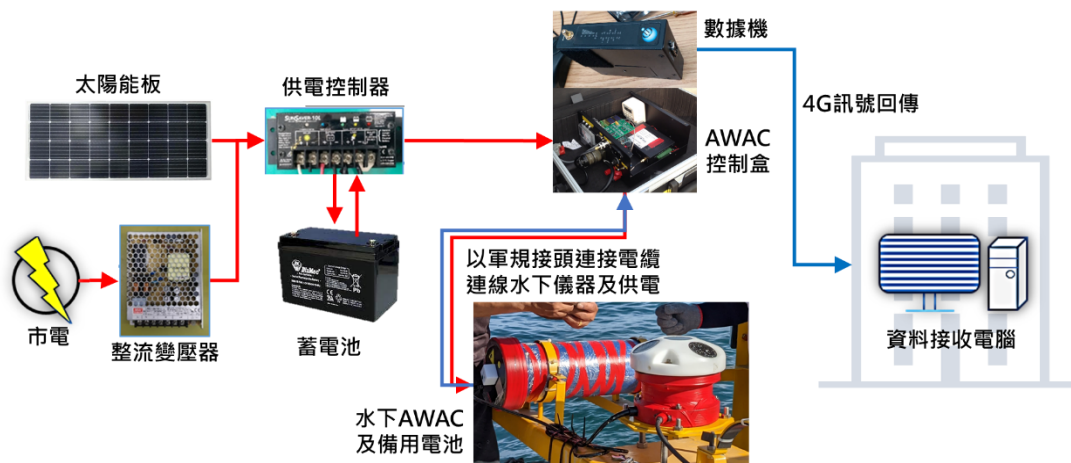


圖 4.2 港外底碇式波流觀測站架構

### 4.1.2 港內靜穩觀測站

本所運技中心於花蓮港 9 號、17 號及 25 號碼頭旁架設港內全時靜穩觀測站，其位置圖如圖 4.3 所示，架設站現場照片如圖 4.4~圖 4.6 所示，各測站位置及座標如表 4-2。

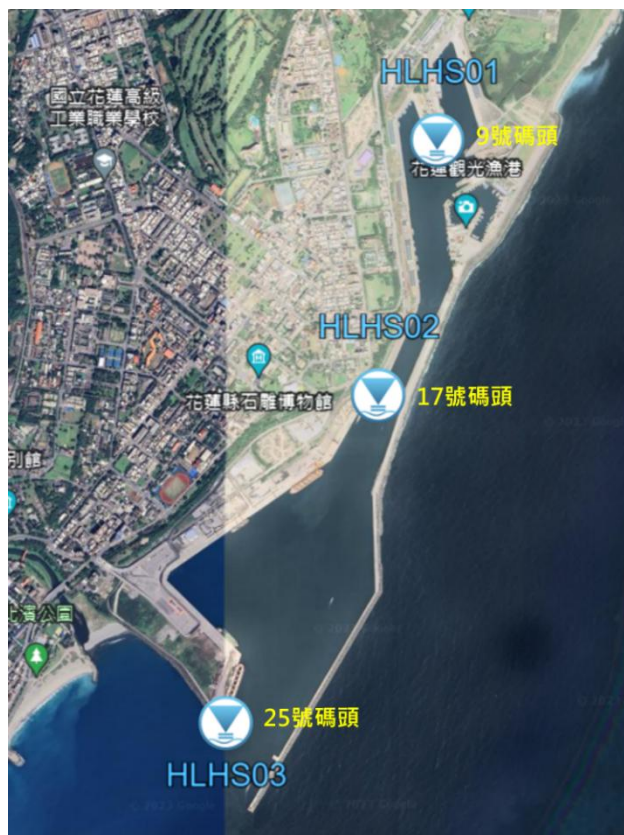


圖 4.3 港內靜穩度測站位置



圖 4.4 9 號碼頭靜穩度測站照片



圖 4.5 17 號碼頭旁靜穩度測站照片



圖 4.6 25 號碼頭旁靜穩度測站照片

表4-2 靜穩度測站系統一覽表

港區	測站編號	測站位置	測站座標	
			緯度	經度
花蓮港	HLHS01	9 號碼頭	24°0'02.5"	121°38'14.6"
花蓮港	HLHS02	17 號碼頭	23°59'19.8"	121°38'03.8"
花蓮港	HLHS03	25 號碼頭	23°58'26.0"	121°37'36.4"

觀測系統為太陽能自主供電系統，採用壓力式水位計量測碼頭附近水面波動，儀器取樣頻率為 2Hz，採全時連續觀測方式，觀測站資料採用 2 種方式進行分析。

- (1) 壓力波譜分析設定採用 2,048 筆數據，觀測時間約耗費 17 分 04 秒，因此，波浪觀測系統設定每 20 分鐘輸出一組波浪觀測資料，內容包含示性波高( $H_s$ )、平均週期( $T_m$ )、譜峰週期( $T_p$ )、湧(長)浪波高( $H_{swell}$ )及湧(長)浪平均週期( $T_{swell}$ )等波浪參數。
- (2) 依據壓力轉換成的水深資料，利用零上切法統計 2048 筆水位時序列資料內最大波高( $H_{max}$ )、最大波週期( $T_{max}$ )、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$  及  $T_{1/10}$  等波浪參數。

港內靜穩度測站系統，基本組成架構區分為現場浪潮觀測系統及遠端監控系統。針對現場監測資料規劃透過 4G 無線網路將現場浪潮觀測系統收錄之監測資訊即時傳回雲端伺服器，於雲端伺服器進行解碼及波浪分析後，再上傳至本所運技中心資料庫，並透過網頁即時展示雲端波浪分析結果及現場系統監測資訊，港區靜穩度測站系統架構，如圖 4.7 所示。

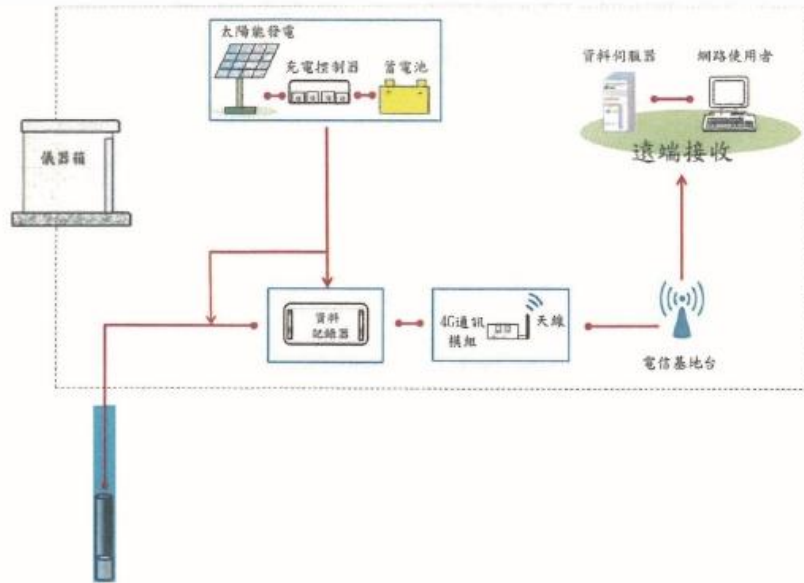
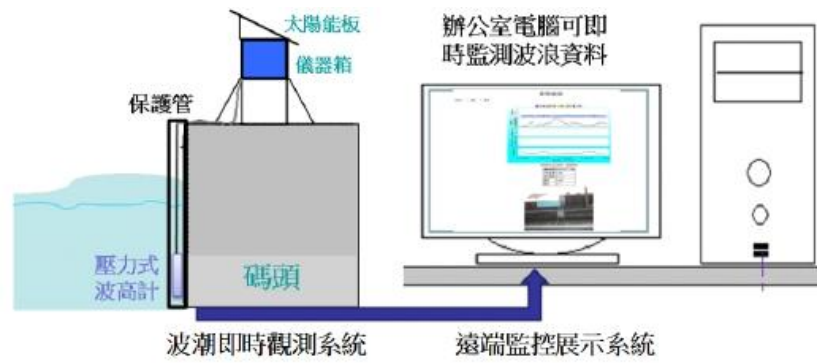


圖 4.7 靜穩度測站系統架構圖

### 4.1.3 颱風期間避湧事件

花蓮港務分公司透過花蓮港即時觀測資料與監看港區即時影像，做為平時進行船舶調度作業，依「花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」規定，於湧浪期間觀測外港 25 號碼頭湧浪起伏達 1 公尺以上、內港 8 號碼頭湧浪起伏未達 1 公尺時，外港船舶依限出港避湧，內港船舶得於裝卸作業完成後再行出港，實施外港「進、出」港管制、內港「進」港管制，如觀測外港 25 號碼頭及內港 8 號碼頭湧浪起伏達 1 公尺以上，內、外港船舶依限出港避湧，實施內、外港「進、出」港管制。

本研究彙整花蓮港務分公司提供資訊如表 4-3，2016~2024 年 9 年期間共有 35 次避湧時段，以 2021 年因受舒力基颱風影響避湧時間 4 日 6 小時最長，2023 年度杜蘇芮颱風為 4 日 2 小時次之，2017 年天鴿

颱風 8 小時最短，平均每場避湧事件持續時間約 52.8 小時。2016 年海馬颱風、2018 年潭美颱風、2019 年玲玲、哈吉貝、北冕颱風、2020 年海神颱風、2021 年舒力基颱風、2023 年谷超颱風，皆屬中央氣象署未發布颱風警報，共計 8 場颱風事件。

進一步檢視港外底碇式波流觀測站觀測統計資料，除 2018 年瑪莉亞颱風因缺少觀測資料外，各颱風事件避湧起始時間之示性波高、尖峰週期及波向統計資料，彙整如表 4-4 所示。

出港避湧之示性波高介於 0.85~3.32 公尺，譜峰週期介於 7.05~15.61 秒，平均波向介於 75.85~133.61 度(約東北東向至東南向)，其中，中央氣象署未發布颱風警報事件，以 2016 年至 2024 年最長避湧時間事件為例，2021 年舒力基颱風港外觀測波浪條件為示性波高 2.35 公尺，譜峰週期 14.27 秒，平均波向 131.38 度(介於東南東向至東南向)，避湧時間 4 日 6 小時。舒力基颱風形成初期以西北偏北方向往菲律賓東方海域前進，位於帛琉、菲律賓東方海面，在強度達峰值後，受高壓引導開始轉向北至東北方向，逐漸遠離菲律賓。以示性波高最小值且未發布颱風警報事件，2023 年谷超颱風為例，港外觀測波浪條件為示性波高 1.22 公尺，譜峰週期 11.31 秒，平均波向 123.58 度(介於東南東向至東南向)，避湧時間 1 日 18 小時。上述颱風系統保持於海上移動，並未直接在臺灣本島登陸，但其外圍環流對臺灣東部及沿海造成影響。

另外，未發布颱風警報且無實施避湧作業之颱風事件，以 2021 年蕃琵颱風為例，港外觀測波浪條件為示性波高 0.70 公尺，譜峰週期 7.35 秒，平均波向 129.2 度(介於東南東至東南向)。

中央氣象署在颱風資料庫(<https://rdc28.cwa.gov.tw/TDB/>)可查詢颱風路徑圖，上述颱風生命期間路徑圖，如圖 4.8~圖 4.10 所示。顯示即便未發布颱風警報，其颱風湧浪傳遞仍會影響花蓮港港池靜穩情形，以致影響港內船隻靠泊安全及裝卸效率。

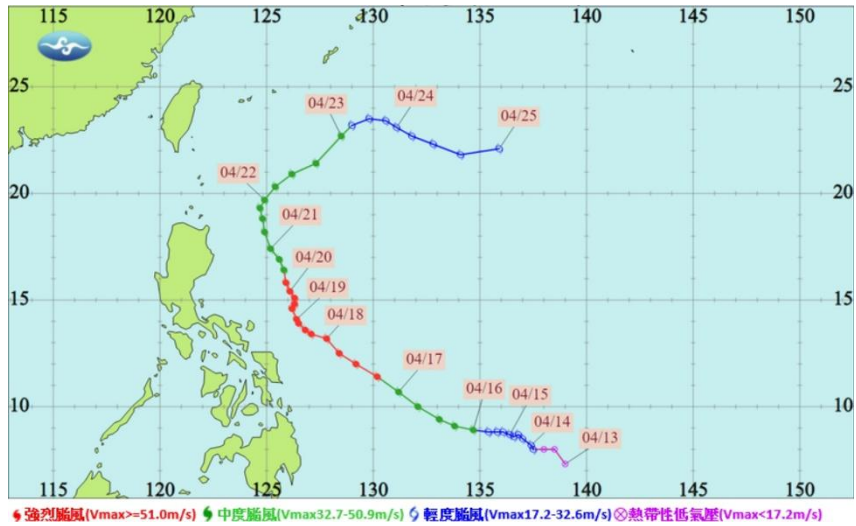


圖 4.8 舒力基颱風路徑

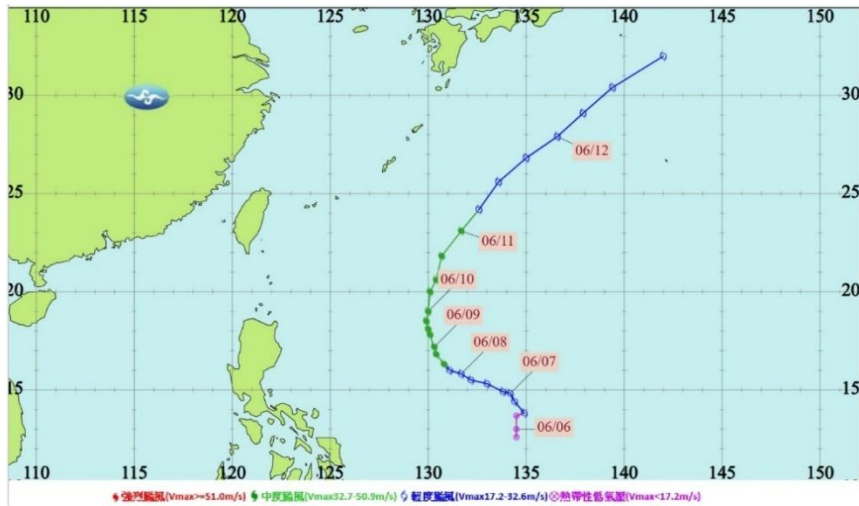


圖 4.9 谷超颱風路徑

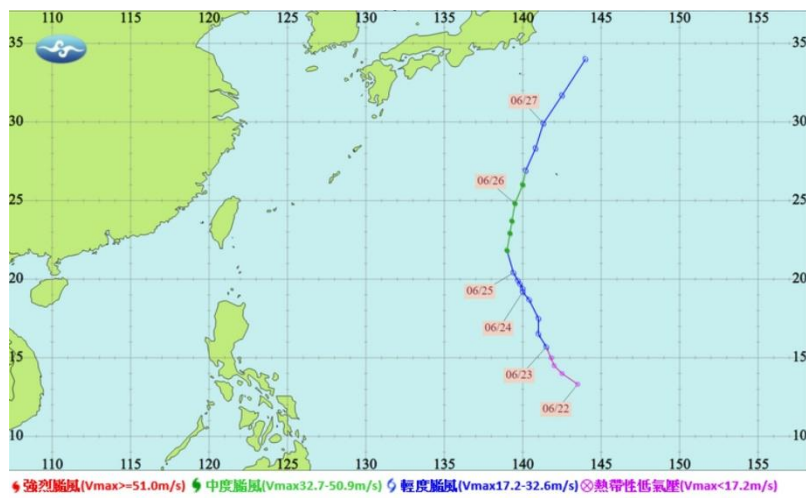


圖 4.10 蕃琵颱風路徑

表 4-3 花蓮港防颱作業通報(2016-2024年)

颱風名稱	出港避湧時間	恢復進港時間	影響時間
尼伯特	2016/07/06 20 時	07/09 07 時	2 日 11 時
莫蘭蒂、馬勒卡	2016/09/13 16 時	09/17 17 時	4 日 1 時
梅姬	2016/09/26 16 時	09/29 07 時	2 日 15 時
海馬*	2016/10/19 13 時	10/21 07 時	1 日 18 時
尼莎、海棠	2017/07/28 18 時	07/31 07 時	2 日 13 時
天鴿	2017/08/22 10 時	08/22 18 時	0 日 8 時
泰利	2017/09/12 18 時	09/14 09 時	1 日 15 時
瑪莉亞	2018/07/09 23 時	07/11 20 時	1 日 21 時
山竹	2018/09/13 22 時	09/16 18 時	2 日 20 時
潭美*	2018/09/25 10 時	09/29 12 時	4 日 2 時
丹娜絲	2019/07/17 17 時	07/19 14 時	1 日 21 時
利奇馬	2019/08/07 17 時	08/10 07 時	2 日 14 時
白鹿	2019/08/23 17 時	08/25 12 時	1 日 19 時
玲玲*	2019/09/03 21 時	09/05 07 時	1 日 10 時
米塔	2019/09/29 20 時	10/01 11 時	1 日 15 時
哈吉貝*	2019/10/10 11 時	10/12 07 時	1 日 20 時
北冕*	2019/12/02 02 時	12/03 13 時	1 日 11 時
海神*	2020/09/06 00 時	09/06 16 時	0 日 16 時
閃電	2020/11/06 07 時	11/07 07 時	1 日 0 時
舒力基*	2021/04/19 14 時	04/23 20 時	4 日 6 時
烟花	2021/07/23 08 時	07/24 07 時	0 日 23 時
璨樹	2021/09/10 17 時	09/13 07 時	2 日 14 時
軒嵐諾	2022/09/02 17 時	09/04 11 時	1 日 18 時
梅花	2022/09/11 11 時	09/12 16 時	1 日 5 時
瑪娃	2023/05/28 12 時	06/01 07 時	3 日 19 時
谷超*	2023/06/09 18 時	06/11 12 時	1 日 18 時
杜蘇芮	2023/07/24 10 時	07/28 12 時	4 日 2 時
卡努	2023/07/31 23 時	08/01 15 時	0 日 16 時
蘇拉	2023/08/29 17 時	08/31 06 時	1 日 13 時
海葵	2023/09/02 10 時	09/04 15 時	2 日 5 時
小犬	2023/10/03 10 時	10/06 10 時	3 日 0 時
凱米	2024/07/23 17 時	07/26 10 時	2 日 17 時
山陀兒	2024/09/30 08 時	10/04 10 時	4 日 2 時
康芮	2024/10/30 08 時	11/02 06 時	2 日 22 時
天兔	2024/11/17 15 時	11/18 10 時	0 日 19 時

註 1：花蓮港務分公司提供相關紀錄，本計畫彙整

註 2：\*為無發布颱風警報

表4-4 颱風期間避湧事件波浪統計資料(2016-2024年)

颱風名稱	出港避湧時間	示性波高 $H_s$	譜峰週期 $T_p$	波向 $M_{dir}$
尼伯特	2016/07/06 20 時	0.86	8.2	111.58
莫蘭蒂、馬勒卡	2016/09/13 16 時	2.57	14.37	126.39
梅姬	2016/09/26 16 時	3.32	13.48	102.12
海馬*	2016/10/19 13 時	2.06	14.62	121.14
尼莎、海棠	2017/07/28 18 時	1.11	7.89	117.34
天鴿	2017/08/22 10 時	1.96	8.43	113.1
泰利	2017/09/12 18 時	0.85	7.05	117.41
瑪莉亞	2018/07/09 23 時	-	-	-
山竹	2018/09/13 22 時	1.7	13.76	126.27
潭美*	2018/09/25 10 時	2.89	12.33	102.93
丹娜絲	2019/07/17 17 時	1.63	9.28	101.94
利奇馬	2019/08/07 17 時	1.47	9.63	95.84
白鹿	2019/08/23 17 時	1.14	7.63	112.47
玲玲*	2019/09/03 21 時	2.02	11.28	131.61
米塔	2019/09/29 20 時	1.13	13.99	113.18
哈吉貝*	2019/10/10 11 時	2.1	15.15	118.45
北冕*	2019/12/02 02 時	2.15	10.98	112.33
海神*	2020/09/06 00 時	2.51	15.61	124.78
閃電	2020/11/06 07 時	2.23	9.89	106.92
舒力基*	2021/04/19 14 時	2.35	14.27	131.38
烟花	2021/07/23 08 時	3.03	12.31	106.64
璨樹	2021/09/10 17 時	1.3	10.39	133.05
軒嵐諾	2022/09/02 17 時	1.13	11.18	75.85
梅花	2022/09/11 11 時	1.8	12.1	110.08
瑪娃	2023/05/28 12 時	1.96	15.19	131.7
谷超*	2023/06/09 18 時	1.22	11.31	123.58
杜蘇芮	2023/07/24 10 時	1.66	9.12	133.61
卡努	2023/07/31 23 時	2.75	12.75	123.95
蘇拉	2023/08/29 17 時	1.5	8.66	124.43
海葵	2023/09/02 10 時	1.91	10.99	107.61
小犬	2023/10/03 10 時	2.23	9.52	92.2
凱米	2024/07/23 17 時	2.18	9.88	98.06
山陀兒	2024/09/30 08 時	2.54	9.48	116.36
康芮	2024/10/30 08 時	2.63	10.02	96.09
天兔	2024/11/17 15 時	1.63	12.77	103.48

註 1：資料來源:本所運技中心花蓮港港外底碇式波流測站統計資料(2018 年瑪莉亞颱風缺少觀測資料)

註 2：\*為無發布颱風警報

## 4.2 港內、外觀測波浪遮蔽分析

本節採 2023 年 1 月至 2024 年 12 月花蓮港內靜穩測站資料及港外波浪觀測主站 AWAC 系統自動計算之統計資料進行分析討論，2024 年 10 月下旬 25 號碼頭觀測儀器因康芮颱風造成損壞，缺漏資料，故無納入探討範圍。

港外 AWAC 主站示性波高  $H_s$ 、譜峰週期  $T_p$ 、平均波向  $M_{dir}$ ，如圖 4.11 所示。主站示性波高  $H_s$  平均值為 1.16m，譜峰週期  $T_p$  平均值為 7.6 秒。示性波高  $H_s$  最大值發生時間 2024 年 10 月 31 日 15 時，其最大值為 11.13m，對應譜峰週期為 12.74 秒，對應平均波向為 165.8 度。

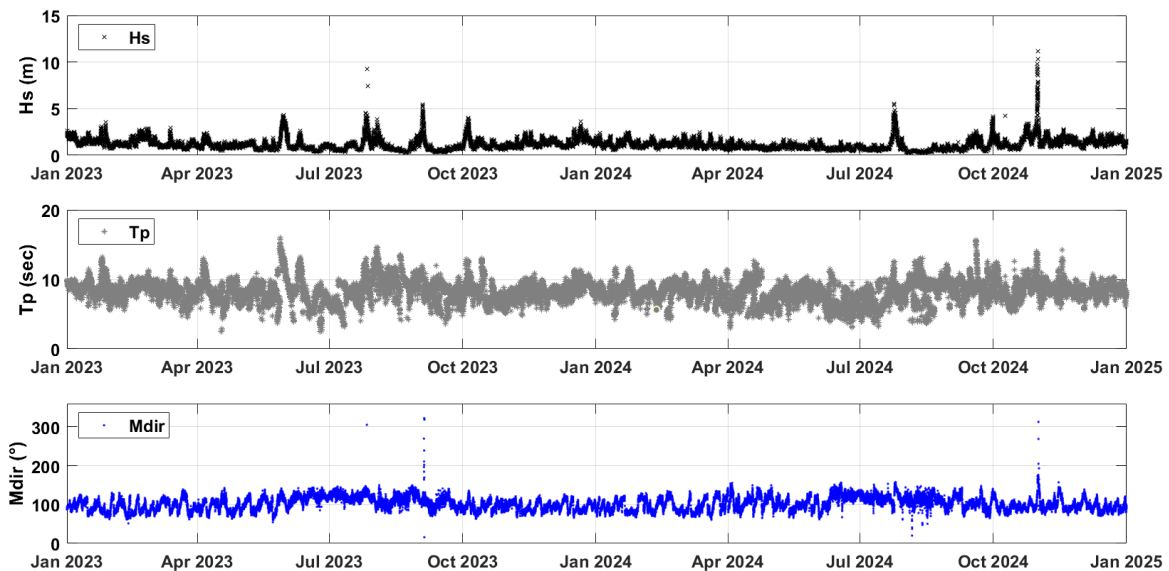


圖 4.11 港外 AWAC 之波浪資料歷線圖

港內靜穩站 9 號、17 號及 25 號碼頭示性波高歷線圖，如圖 4.12 所示。9 號碼頭靜穩站示性波高平均值為 0.08m，湧(長)浪波高(Swell  $H_s$ )平均值為 0.05m，示性波高最大值發生時間 2023 年 4 月 25 日 14 時，其最大值為 3.04m。17 號碼頭靜穩站示性波高平均值為 0.23m，湧(長)浪波高(Swell  $H_s$ )平均值為 0.20m，示性波高最大值發生時間 2023 年 4 月 26 日 11 時，其最大值為 3.84m。25 號碼頭靜穩站示性波高平均值為 0.28m，湧(長)浪波高(Swell  $H_s$ )平均值為 0.21m，示性波高最大值發生時間 10 月 31 日 13 時，其最大值為 4.56m。

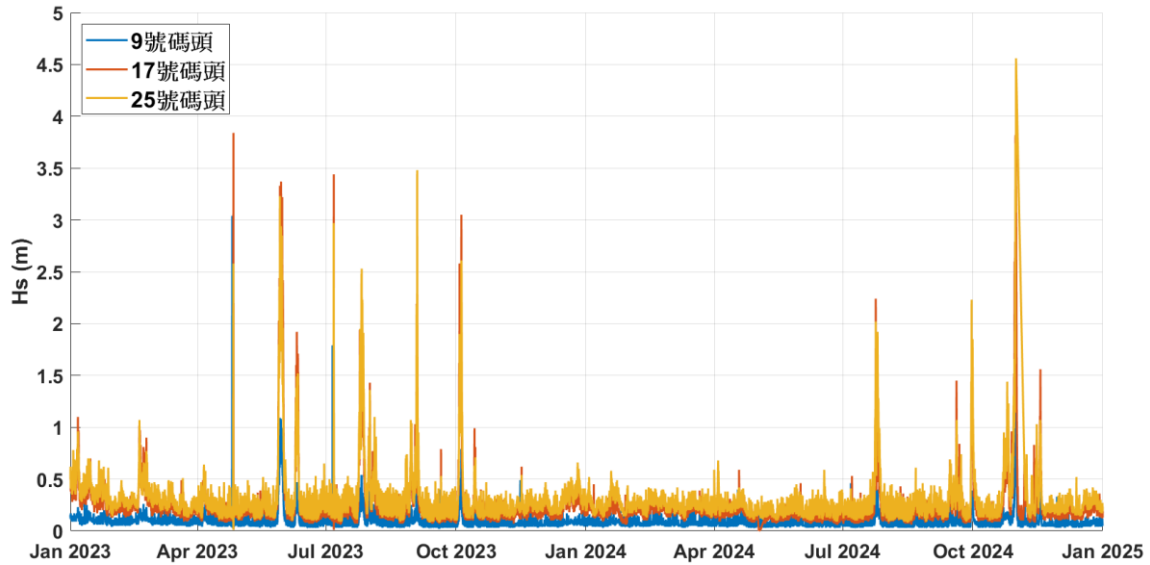


圖 4.12 港內靜穩觀測站波高歷線圖

#### 4.2.1 原始資料處理

原始資料常有資料數不合理及異常值存在情形，當資料短缺與資料內有異常訊號，本計畫處理方式參考李等(2019、2020)報告內水位訊號轉換波浪處理流程，資料處理採用四分位距(interquartile range, IQR)的方法，資料處理流程如圖 4.13 所示。獲得資料後進行調整及波譜轉換作業，取得相關波浪統計資訊。

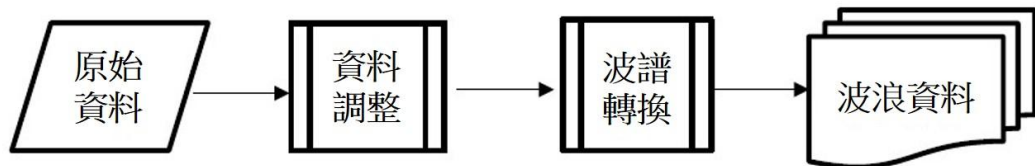


圖 4.13 資料處理流程

港外底碇式波流觀測站及港內靜穩觀測站之每小時原始資料分別為 2,048 筆及 7,200 筆資料，讀取後透過上述資料處理流程，並應用傅立葉轉換求取波浪能譜，換算得示性波高  $H_{m0}$ 、譜峰週期  $T_p$ 、平均週期  $T_m$ 、長浪波高  $Swell H_{m0}$  及風波波高  $Wind H_{m0}$  等波浪參數，其中換算公式如(4-1)~(4-5)式所示。

$$H_{m0} = 4 \sqrt{\int_0^{\infty} S(f) df} = 4 \sqrt{m_0} \quad (4-1)$$

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (4-2)$$

$$T_m = \sqrt{m_0/m_2} \quad (4-3)$$

$$\text{Swell } H_{m0} = 4 \sqrt{\int_0^{f_{swell}} S(f) df} \quad (4-4)$$

$$\text{Wind } H_{m0} = 4 \sqrt{\int_{f_{swell}}^{\infty} S(f) df} \quad (4-5)$$

$H_{m0}$  為推算之示性波高，其中  $f$  為頻率， $S(f)$  為一維波浪波譜， $f_{swell}$  為設定長浪頻率上限，擷取週期 8 秒以上波浪，其中  $f_{swell}=0.125$ 。

#### 4.2.2 颱風觀測波浪分析

考量後續水工試驗波向採單(南)向，為進行試驗數據及觀測資料比較驗證，及探討未發布颱風警報，但有實施避湧作業之颱風波浪條件，本節研究採未發布颱風警報且無實施避湧作業之 2021 年薔琵颱風事件，形成後初期移動方向為西北或偏北，從接近關島東方海域向西北移動，隨著高壓影響，其路徑逐步改變，轉向北偏東朝向日本南方海面接近，未直接侵襲臺灣，以及花蓮港務分公司實施防颱避湧作業之颱風事件，如 2023 年谷超颱風形成後走向為向西北或西北偏北方向移動，朝琉球群島東方海面前進，屬偏離臺灣較遠之颱風，其主路徑並未直接侵襲臺灣本島。

上述颱風外圍環流使臺灣東部沿海出現湧(長)浪增強情況，皆屬常見颱風路徑，可進一步探討外海波浪方向和港口防波設施遮蔽效果，觀測颱風事件，如表 4-5 所示。

表4-5 觀測颱風事件

項次	時間區間	颱風事件
1	2021/6/20 00:00~2021/6/29 12:00	202105 薔琵颱風(CHAMPI)
2	2023/6/6 12:00~2023/6/12 18:00	202303 谷超颱風(GUCHOL)

### 1. 薔琵颱風

透過讀取 AWAC 及 9、17、25 號碼頭靜穩觀測站原始資料，本計畫於資料處理並轉換波譜後，再計算港內外波高、湧(長)浪波高及風浪波高，繪製港內外波高歷線如圖 4.14、湧(長)浪波高歷線如圖 4.15，風浪波高歷線圖如圖 4.16。

港外 AWAC 波高平均值 0.70m，最大值 1.11m 發生時間為 2021 年 6 月 28 日，湧(長)浪波高平均值 0.30m，最大值為 24 日 0.47m，風浪波高平均值 0.62m，最大值為 28 日 1.02m。

港內 9 號碼頭波高平均值 0.04m，最大值 0.09m 發生時間為 2021 年 6 月 20 日，湧(長)浪波高平均值 0.03m，最大值為同日 0.05m，風浪波高平均值 0.02m，最大值為同日 0.08m。港內 17 號碼頭波高平均值 0.10m，最大值 0.22m 發生時間為 6 月 28 日，湧(長)浪波高平均值 0.09m，最大值為 21 日 0.13m，風浪波高平均值 0.05m，最大值為 28 日 0.18m。港內 25 號碼頭波高平均值 0.14m，最大值 0.32m 發生時間為 6 月 28 日，湧(長)浪波高平均值 0.09m，最大值為 26 日 0.15m，風浪波高平均值 0.11m，最大值為 28 日 0.30m。

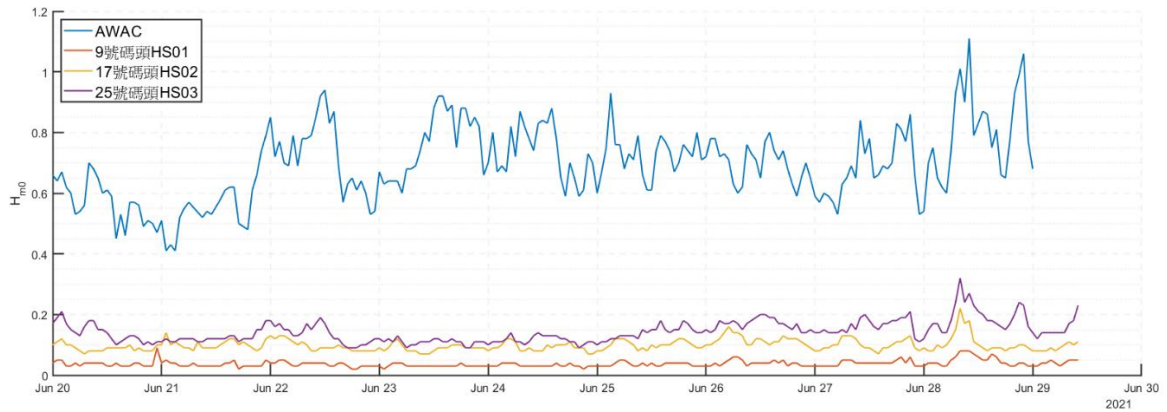


圖 4.14 蕃琵颱風港內外波高歷線圖

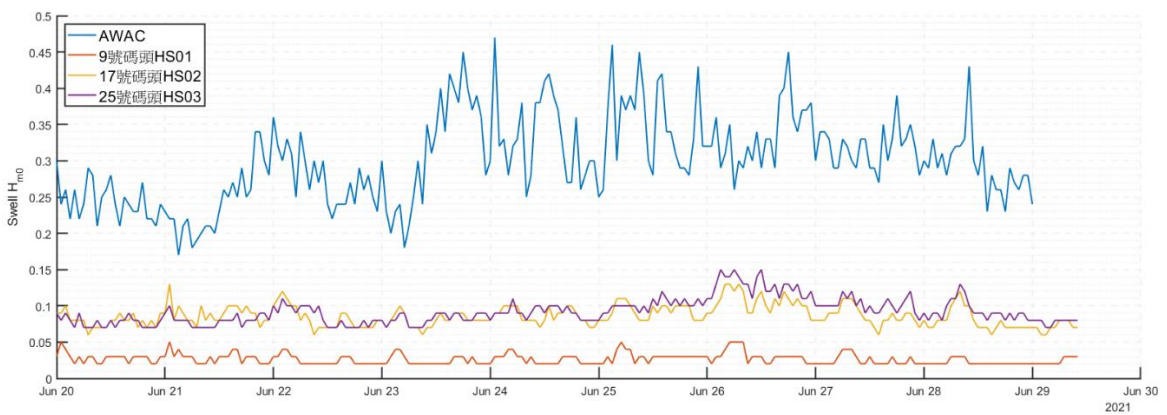


圖 4.15 蕃琵颱風湧(長)浪波高歷線圖

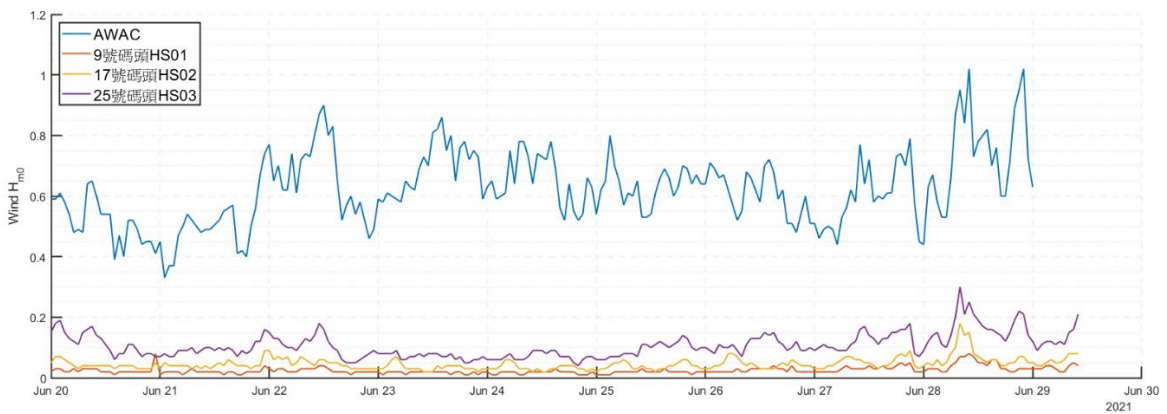


圖 4.16 蕃琵颱風風浪波高歷線圖

本節利用觀測資料轉換後計算港內外示性波高、湧(長)浪波高及風浪波高進行遮蔽係數  $K_d$  計算，計算式如(4-6)式所示，結果如表 4-6～表 4-8。

$$K_d = \text{港內靜穩度測站波高} / \text{港外 AWAC 波高} \quad (4-6)$$

表 4-6 蕃琵颱風港內測站波高遮蔽係數

測站編號	測站位置	遮蔽係數 $K_d$		
		最小值	最大值	平均值
HLHS01	9 號碼頭	0.03	0.19	0.05
HLHS02	17 號碼頭	0.09	0.34	0.15
HLHS03	25 號碼頭	0.10	0.32	0.21

表 4-7 蕃琵颱風港內測站湧(長)浪波高遮蔽係數

測站編號	測站位置	遮蔽係數 $K_d$		
		最小值	最大值	平均值
HLHS01	9 號碼頭	0.04	0.24	0.09
HLHS02	17 號碼頭	0.18	0.59	0.30
HLHS03	25 號碼頭	0.18	0.58	0.32

表 4-8 蕃琵颱風港內測站風浪波高遮蔽係數

測站編號	測站位置	遮蔽係數 $K_d$		
		最小值	最大值	平均值
HLHS01	9 號碼頭	0.01	0.20	0.04
HLHS02	17 號碼頭	0.02	0.19	0.07
HLHS03	25 號碼頭	0.06	0.32	0.17

透過繪製港內各站港內外示性波高、湧(長)浪波高及風浪波高遮蔽係數  $K_d$  歷線圖，以瞭解所在碼頭位置之靜穩度變化，如圖 4.17~圖 4.19 所示。2021 年蕃琵颱風在關島附近海域生成後，主要向北至北北東方向移動，整個發展與成熟階段皆位於臺灣東方數千公里遠洋海面，由於颱風中心離臺灣東岸甚遠，其對花蓮港影響型態並非強風浪直襲，而是以遠域長週期湧浪傳遞，其波浪能量隨距離削減，但仍可在港外 AWAC 觀測站觀察到波高增加趨勢。觀察颱風期間，各碼頭遮蔽係數並無明顯增加，歷線皆為平穩無劇烈起伏情形，觀察 6 月 20 日 12 時至 6 月 21 日 20 時期間，17 號碼頭波高及湧(長)浪波高之遮蔽係數明顯大於 25 號碼頭，統計該期間港外 AWAC 平均譜峰週期為 9.22 秒，平均波向為 142.82 度，波向歷線圖如圖 4.20 所示。從港外 AWAC 資料可見，事件期間湧浪波高逐步緩升，最高約達 0.47 公尺後波高開始緩降，資料與蕃琵颱風北移遠離時間序列相符。其譜峰週期約 8~10 秒。檢視各碼頭  $K_d$  歷線，結果顯示，蕃琵颱風事件對花蓮港影響屬於輕微。

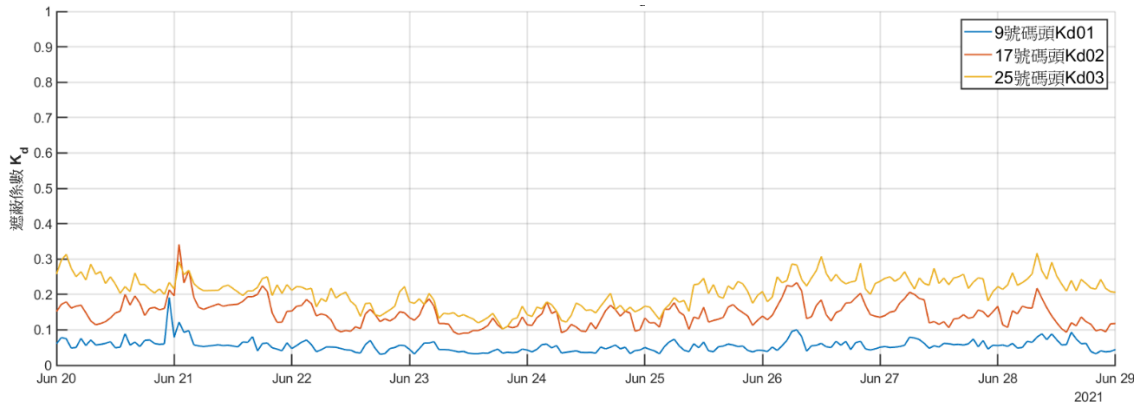


圖 4.17 薔琵颱風波高  $K_d$  歷線

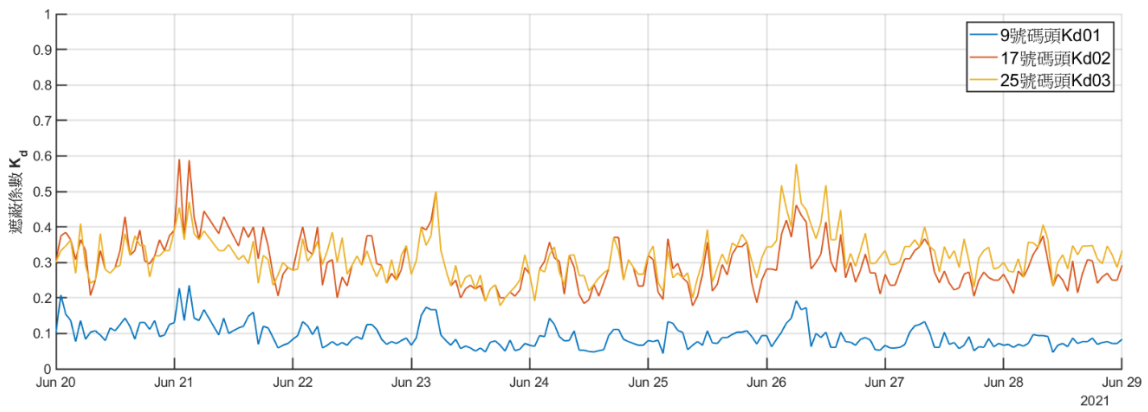


圖 4.18 薔琵颱風湧(長)浪  $K_d$  歷線

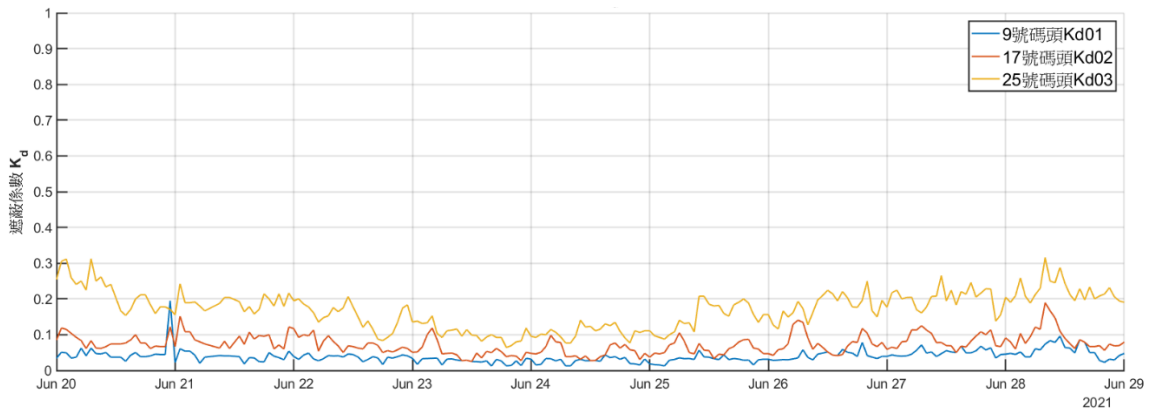


圖 4.19 薔琵颱風風浪  $K_d$  歷線

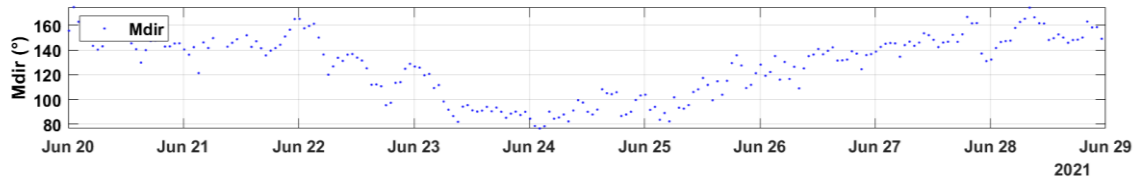


圖 4.20 薔琵颱風波向歷線圖

## 2. 谷超颱風

透過讀取 AWAC 及 9、17、25 號碼頭靜穩觀測站原始資料，依本研究資料處理後轉換波譜後再計算港內外波高、湧(長)浪波高及風浪波高，繪製港內外波高歷線如圖 4.21、湧(長)浪波高歷線如圖 4.22，風浪波高歷線圖如圖 4.23。

港外 AWAC 波高平均值 1.21m，最大值 2.48m 發生時間為 2023 年 6 月 11 日，湧(長)浪波高平均值 0.94m，最大值為同日 2.24m，風浪波高平均值 0.71m，最大值為同日 1.06m。

港內 9 號碼頭波高平均值 0.13m，最大值 0.38m 發生時間為 2023 年 6 月 10 日，湧(長)浪波高平均值 0.12m，最大值為同日 0.37m，風浪波高平均值 0.04m，最大值為同日 0.10m。港內 17 號碼頭波高平均值 0.49m，最大值 1.59m 發生時間為 6 月 11 日，湧(長)浪波高平均值 0.48m，最大值為 10 日 1.58m，風浪波高平均值 0.05m，最大值為 10 日 0.15m。港內 25 號碼頭波高平均值 0.45m，最大值 1.38m 發生時間為 6 月 11 日，湧(長)浪波高平均值 0.44m，最大值為同日 1.36m，風浪波高平均值 0.10m，最大值為同日 0.21m。

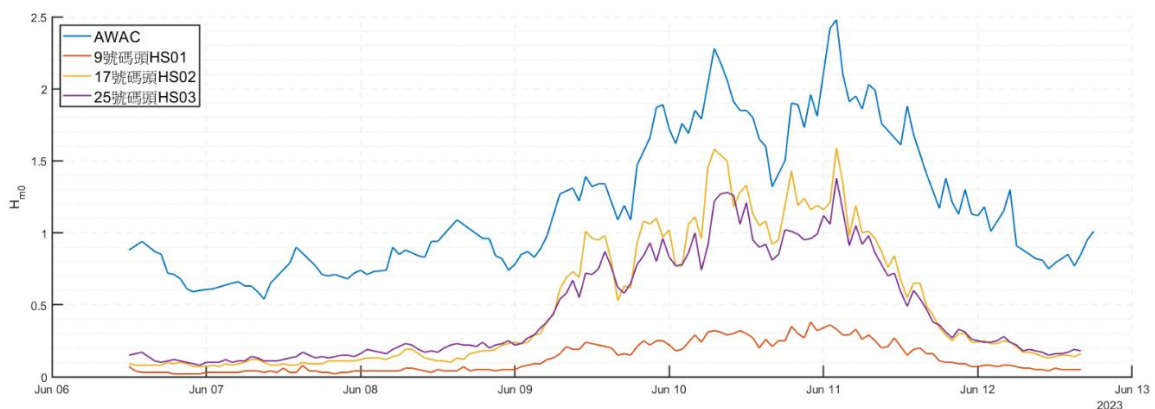


圖 4.21 谷超颱風港內外波高歷線圖

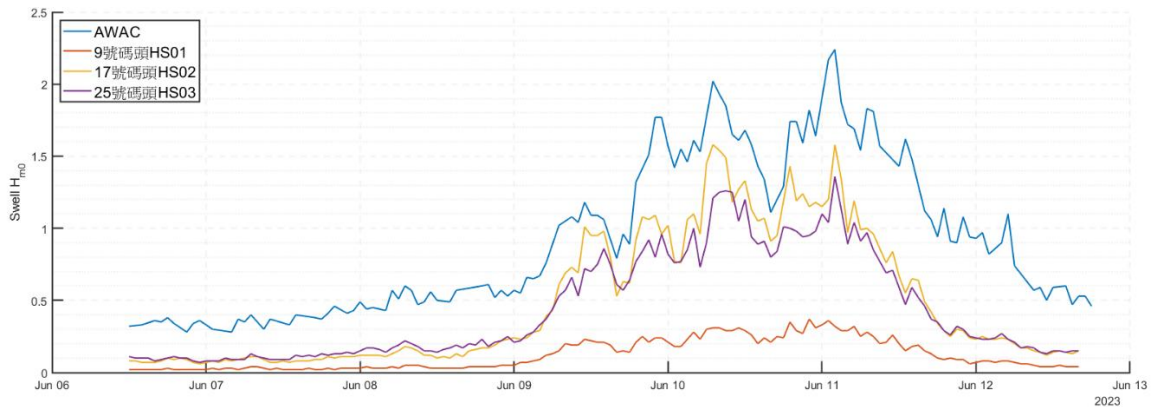


圖 4.22 谷超颱風湧(長)浪波高歷線圖

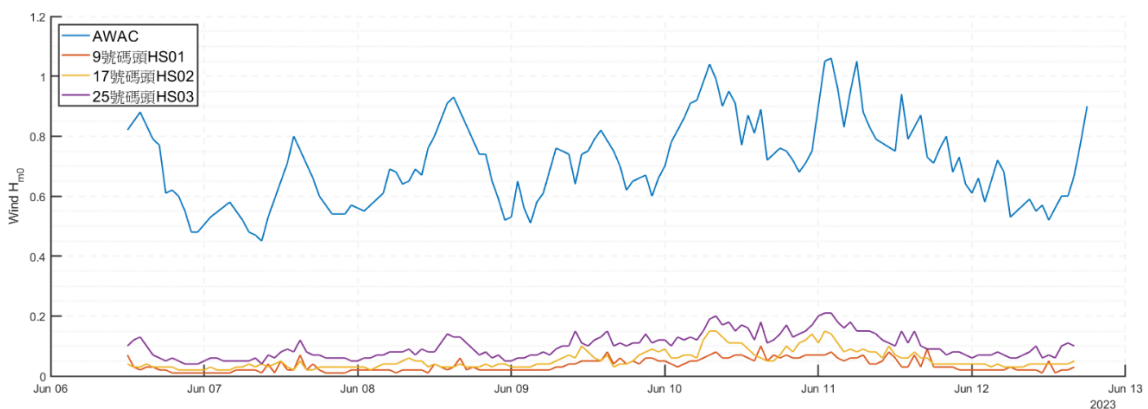


圖 4.23 谷超颱風風浪波高歷線圖

花蓮港務分公司實施谷超颱風防颱避湧作業時間為 2023 年 6 月 9 日 18 時至 6 月 11 日 12 時，避湧時間 1 日 18 小時，進一步比對期間港內外測站波高資料，其中，25 號碼頭觀測波高於 6 月 10 日 4 時前未達波高 1 公尺，惟於 6 月 9 日 18 時即啟動避湧作業，顯示實務上，即使 25 號碼頭觀測浪湧未達管制標準，港區船隻仍有避湧需求。

谷超颱風於 6 月上旬在菲律賓東方生成後，路徑主要朝西北至北北西方向移動，於 6 月 10 日最接近臺灣本島，11 日開始遠離，此颱風雖未直接侵臺，但其對臺灣東岸具有明顯湧浪傳遞，觀察 6 月 9 日 7 時至 6 月 11 日 17 時港內湧浪波高歷線，湧浪波高迅速增加，且 17 號碼頭波高皆明顯高於 25 號碼頭，此時段與避湧作業時間相符，特別是港外 AWAC 波高為本計畫統計未發佈颱風警報之事件中最小值，其湧浪傳遞過程中仍影響花蓮港靠泊作業。利用觀測資料轉換後計算港內外波高、湧(長)浪波高及風浪波高遮蔽係數  $K_d$ ，結果如表 4-9~表 4-11。

表 4-9 谷超颱風港內測站波高遮蔽係數

測站編號	測站位置	遮蔽係數 $K_d$		
		最小值	最大值	平均值
HLHS01	9 號碼頭	0.03	0.19	0.09
HLHS02	17 號碼頭	0.09	0.79	0.35
HLHS03	25 號碼頭	0.12	0.68	0.34

表 4-10 谷超颱風港內測站湧(長)浪波高遮蔽係數

測站編號	測站位置	遮蔽係數 $K_d$		
		最小值	最大值	平均值
HLHS01	9 號碼頭	0.04	0.20	0.11
HLHS02	17 號碼頭	0.17	0.92	0.44
HLHS03	25 號碼頭	0.19	0.81	0.43

表 4-11 谷超颱風港內測站風浪波高遮蔽係數

測站編號	測站位置	遮蔽係數 $K_d$		
		最小值	最大值	平均值
HLHS01	9 號碼頭	0.01	0.12	0.05
HLHS02	17 號碼頭	0.03	0.19	0.07
HLHS03	25 號碼頭	0.07	0.23	0.14

繪製港內各站港內外示性波高、湧(長)浪波高及風浪波高遮蔽係數  $K_d$  歷線圖，以瞭解所在碼頭位置之靜穩度變化，如圖 4.24~圖 4.26 所示。觀察到 2023 年 6 月 9 日 5 時至 6 月 11 日 17 時期間，17 號碼頭波高及湧(長)浪波高之遮蔽係數明顯大於 25 號碼頭，表示期間波高有放大現象。統計該期間港外 AWAC 平均譜峰週期為 11.02 秒，平均波向為 123.78 度；另統計 6 月 6 日 12 時至 6 月 9 日 4 時期間港外 AWAC 平均譜峰週期為 9.31 秒，平均波向為 120.25 度；統計 6 月 11 日 18 時至 6 月 12 日 18 時期間港外 AWAC 平均譜峰週期為 10.2 秒，平均波向為 111.11 度，而進一步觀察 6 月 9 日 4 時與 6 月 11 日 18 時之港外 AWAC 譜峰週期為 10.28 秒及 10.11 秒。

觀察 17 號碼頭波高及湧(長)浪波高之遮蔽係數明顯大於 25 號碼頭前後時段，其平均譜峰週期大於 10 秒以上，颱風歷程港外 AWAC 波向如圖 4.27 所示，該時段波向大部分皆大於 120 度，介於東南東及東南向之間。

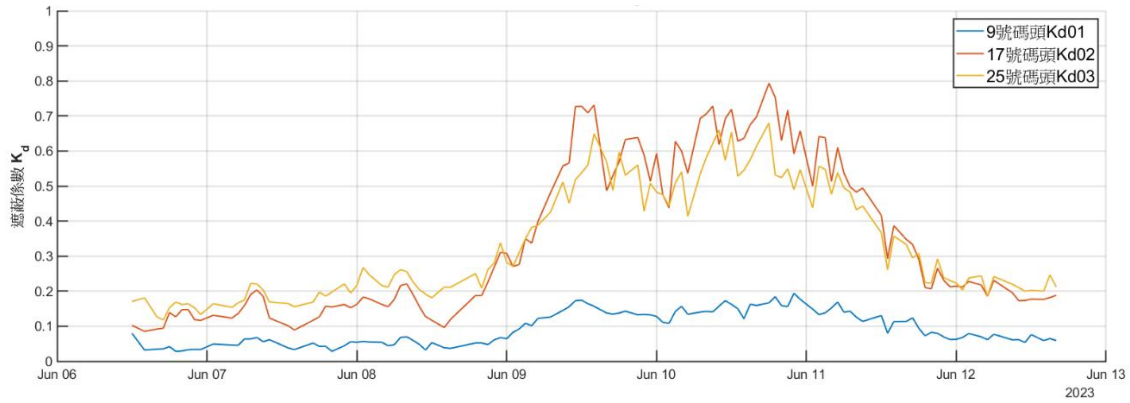


圖 4.24 谷超颱風波高  $K_d$  歷線

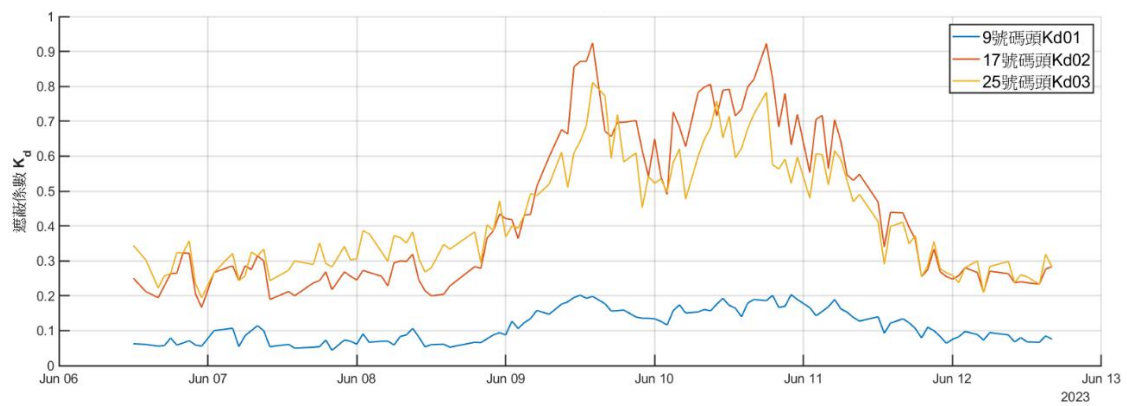


圖 4.25 谷超颱風湧(長)浪  $K_d$  歷線

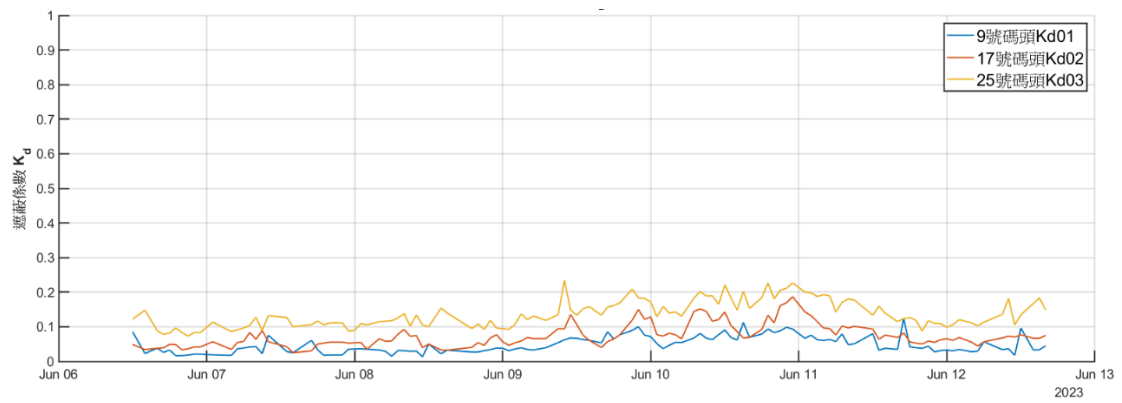


圖 4.26 谷超颱風風浪  $K_d$  歷線

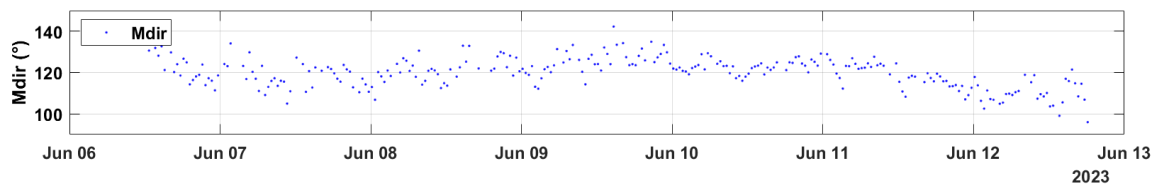


圖 4.27 谷超颱風波向歷線圖

### 4.3 颱風觀測資料波譜特性分析

為探討花蓮港各測站波浪能量於同一時間不同測站之波譜形狀變化，藉此瞭解防波堤設施對於各頻率成份波浪能量之削減情形，本節研究將觀測資料依前述方式處理後進行波譜分析，依同一時間港內各測站與港外測站之波譜分別重疊繪製，薔琵颱風(2021年6月21日01時)與谷超颱風(2023年6月10日19時)波譜分析，如圖4.28及圖4.29。

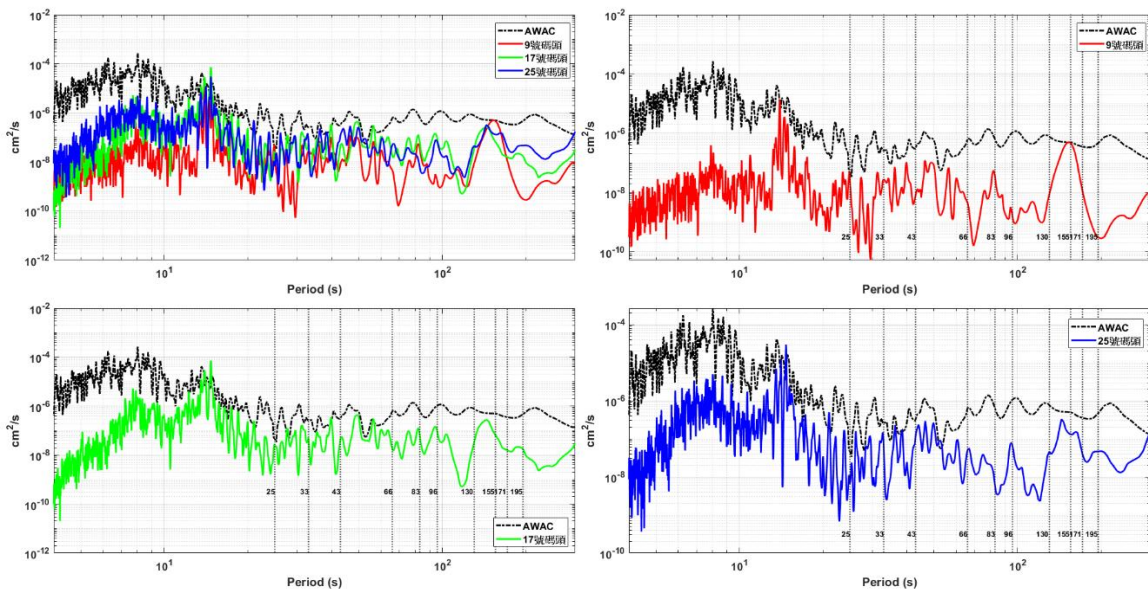


圖 4.28 薔琵颱風各測站波譜比較圖

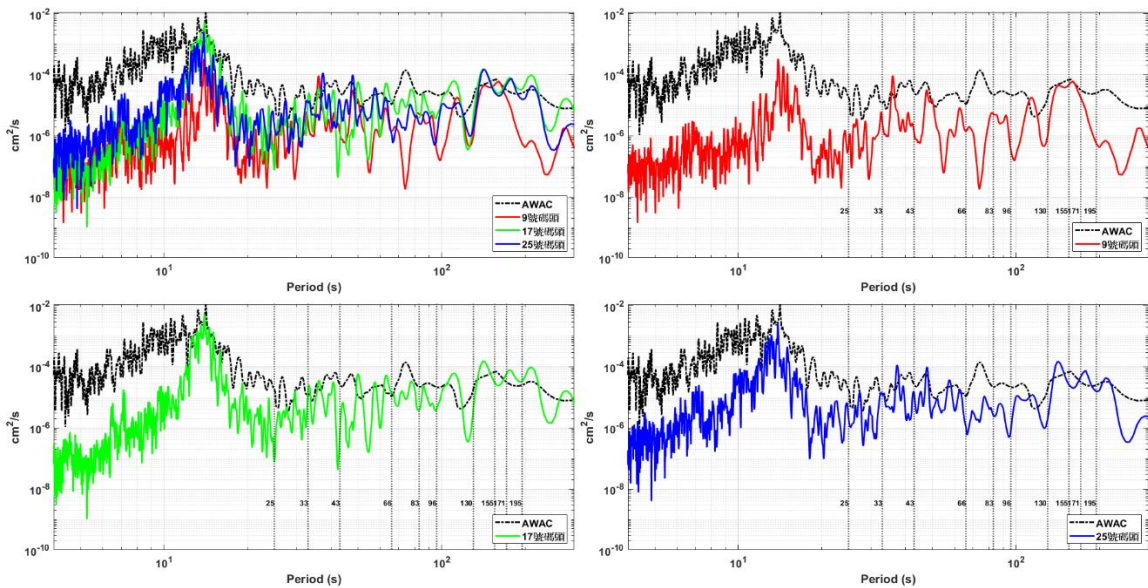


圖 4.29 谷超颱風各測站波譜比較圖

分析時段以 17 號碼頭湧浪遮蔽係數大於 25 號碼頭之觀測資料，薔琵颱風於港區測站大部分波譜能量皆小於港外 AWAC 測站，顯示有明顯遮蔽效果，而谷超颱風則有部分測站波譜能量明顯大於港外 AWAC 測站，如週期 30~35 秒之間與 150~200 秒之間。

參考邱等人(2009)指出週期 25 秒為一區分界線，大於週期 25 秒之波浪於港內有明顯共振現象，而蘇等人(2021)及莊(2021)數值模擬研究指出，當共振週期接近 43 秒、66 秒、83 秒、96 秒、130 秒、155 秒及 195 秒時會有明顯的共振現象，蘇等人(2021)數值模擬研究指出入射波向為 SE 時，內港區在 43 秒、64 秒及 171 秒有尖峰能量。觀察資料分析結果不同颱風事件所引起共振現象情形不同，但存在 100 秒以上共振現象，內港及外港共振週期亦明顯不同，可能與入射波向、能量大小及譜峰週期有關。

本計畫試驗設計以削減港內長週期波能為目標，藉由水工試驗模擬長週期波浪於不同結構配置下之波浪場分布，爰先行探討花蓮港觀測資料於 8~30 秒波浪週期下，各測站之遮蔽係數變化情形，如圖 4.30 及圖 4.31 所示。

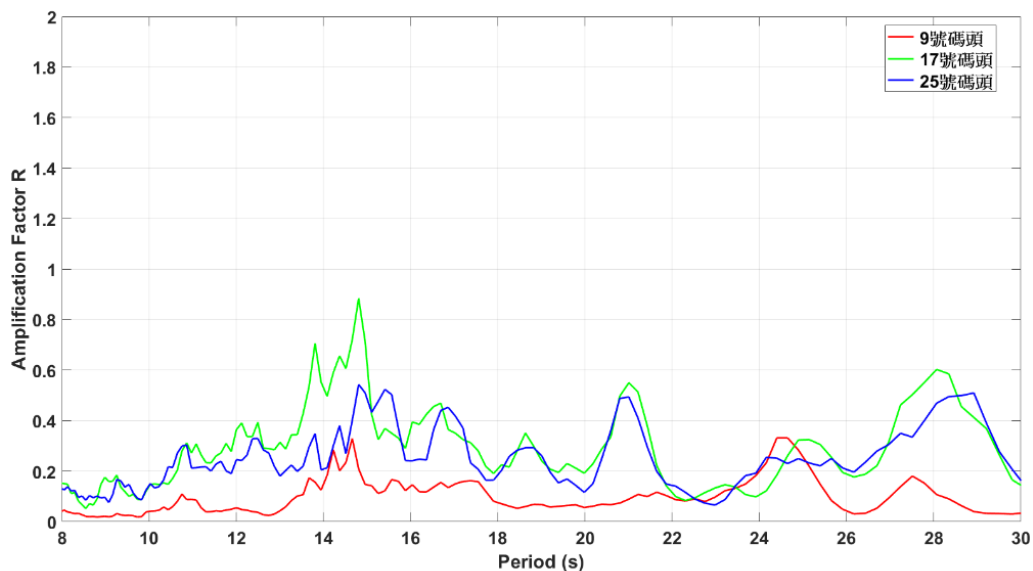


圖 4.30 薔琵颱風各測站遮蔽係數圖

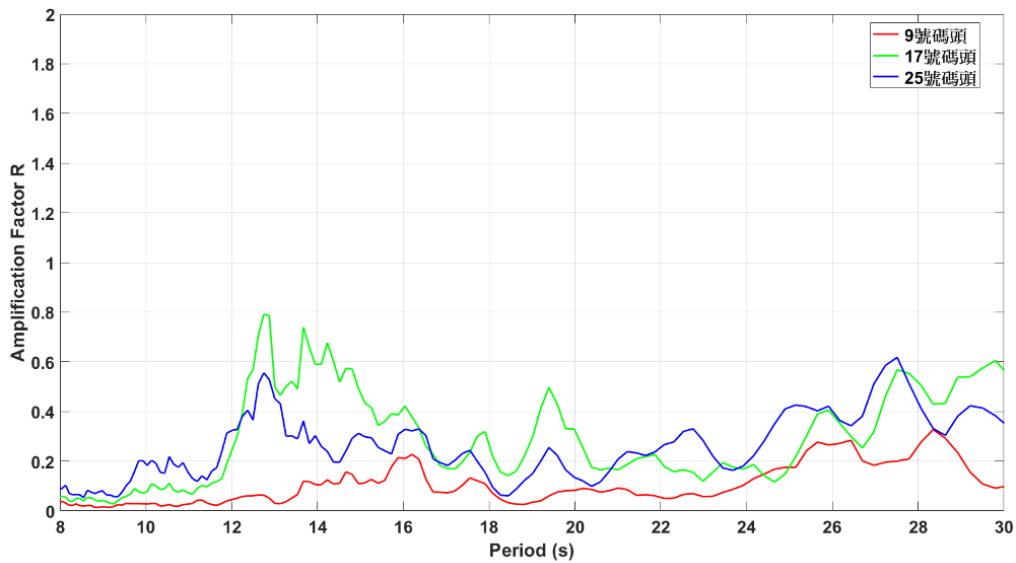


圖 4.31 谷超颱風各測站遮蔽係數圖

針對蕃琵颱風與谷超颱風事件之遮蔽係數圖進行比較，可發現兩者皆顯示花蓮港港池於特定週期範圍內，出現明顯的波高放大現象，顯示港內結構與幾何形狀對特定週期波浪具有共振效應，並可能造成特定位置波能放大。分析 9 號、17 號與 25 號碼頭觀測資料，評估其在不同週期波浪作用下的放大程度，由遮蔽係數圖觀察可知，2 場颱風事件皆於週期約 12 至 14 秒，以及 26 至 28 秒範圍內出現遮蔽係數峰值，顯示此波段與港池共振頻率接近。其中，17 號與 25 號碼頭位於外港水域，在兩場颱風中均有較明顯波能放大現象，特別在谷超颱風期間，17 號碼頭於約 13 秒週期處之遮蔽係數達 0.8，表示港內外波高遮蔽情形不佳，而 25 號碼頭則於 13 秒與 27 秒週期附近各出現一個顯著峰值，顯示該位置存在多個週期能量成份。9 號碼頭遮蔽係數多小於 0.3，顯示該位置受到遠域湧浪影響時，週期 8~30 秒之波浪能量成份，所受放大效應影響較小。

綜合以上，比較 2 場颱風事件結果，在多個週期範圍內皆出現能量峰值，呈現出多週期振盪特徵，可能係入射波方向與波浪能量大小引發不同共振情形，進一步觀察該時段港外觀測站平均波向，蕃琵颱風為 136.21 度，谷超颱風為 124.69 度，介於東南東與東南向。兩場颱風均顯示港池對特定週期波浪能量有放大情形，對碼頭區域有明顯影響，無

論是否有發布颱風警報或實施避湧作業，顯示湧浪所引起港內共振效應實際存在，需進一步進行防護與改善對策規劃。

#### 4.4 小結

颱風來襲時花蓮港內外波浪特性與遮蔽效能會隨時間顯著變化，初期在颱風尚未接近或強度較弱時，外海以短週期風浪為主，防波堤對此類波浪有良好削減效果，港內遮蔽係數維持在低值，代表港池相對平穩，隨著颱風增強與接近，外海浪高上升且週期增大，湧浪成分隨之增加，港內波高開始明顯提高，遮蔽係數同步上升，顯示港口對入射波浪的遮蔽效能下降。特別是當外海主導波向轉為東南東至東南向，且波浪週期超過約 10 秒後，長週期波能較不易在傳播過程中衰減，顯著的湧浪能量得以進入港內，導致港池出現波高放大現象，表示港池已引發長週期振盪。

然而，遮蔽係數峰值在颱風期間對應於外海最大波高時，反映出港內波動主要受制於颱風浪況的變化。花蓮港各碼頭因所處位置差異，其遮蔽效能受入射波浪方向與週期影響有所不同。觀測顯示，在短週期風浪條件下，9 號碼頭波高顯著低於港外，同期遮蔽係數維持最小，說明 9 號碼頭對風浪的遮蔽效果最佳。另一方面，17 號及 25 號碼頭靠近港區開口或受長浪繞射影響較大的區域，受東南東至東南方向之長週期湧浪時，實測波高接近港外波高或甚至超過，造成遮蔽係數顯著升高。這表示在外港碼頭區域長浪遮蔽效果較弱，易受到波向與長週期湧浪影響，使港池出現水位振盪加劇情形。

本節採無發佈颱風警報之事件進行分析，其中蕃琵颱風無實施避湧作業，谷超颱風實施避湧作業時間 1 日 18 小時，谷超颱風期間外海湧浪由東南東方向傳遞進入港內，其港外波高僅 1.22 公尺，顯見波浪週期及波向為主導港池振盪主要因素，且部分碼頭區域為湧浪能量集中位置，需特別關注其對航行和停泊安全的衝擊。花蓮港作為單一開口且港型狹長，其特徵使長週期波浪能量易於港內累積，進而形成水位振盪行為。楊(2011)的數值模擬研究指出，花蓮港內的長週期振盪主要源

自港外波浪群所激發的亞重力長波，而非直接由外海長波放大所致，這與本計畫所觀測到長週期擾動出現的條件頗為吻合。張等(2003)已辨識出花蓮港池的主要固有振盪頻率和模態；本節分析結果與前述研究結果所指港池共振週期特性相互佐證。花蓮港於長週期颱風湧浪作用下容易累積能量並引發顯著的水位振盪，後續可據此研提相關改善對策，以提升港池靜穩度。

## 第五章 平面水工模型遮蔽試驗設計與執行

本計畫進行平面水工模型試驗主要目的為模擬花蓮港於長週期波浪作用下之港池與結構物相互作用行為，評估不同消能方案對港內各碼頭區域靜穩度之改善成效。由於花蓮港面向太平洋，港外海域水深陡降大，當颱風長浪或遠洋湧浪入射時，常於港內引發長週期振盪，造成靠泊船舶受擺動影響而無法正常作業。為減少港池不靜穩情形，本計畫忽略風、海流及潮汐現象，僅探討波浪與花蓮港之交互作用，並研擬各項改善方案，試驗設計以削減港內長週期波能為目標，藉由物理模型模擬不同長波週期及結構配置下之波浪場分布，探討花蓮港於不同湧浪條件下之遮蔽效果。

### 5.1 平面水工試驗簡介

#### 1. 平面試驗水槽

本所運技中心第二試驗廠棚，如圖 5.1 所示，其平面試驗水池尺寸長為 56 公尺、寬 53 公尺，斜邊長度為 77.1 公尺，可提供鋪設地形與佈置造波機、實驗室量測設備與消波設施之空間。

本計畫參照 112 年水深地形圖，試驗範圍預計北起花蓮港 12 號碼頭，南至太平洋公園近吉安溪處，最大長度將近 5.45 公里，最大寬度約為 1.5 公里，水深配合試驗水池條件，擇定至等高線 40 公尺。為儘可能還原花蓮港海域，並降低試驗中受波高計的影響，水工模型比尺最大化，考量試驗水池大小、水深與造波機造波能力後，採用 1/100 等比模型比尺，將花蓮港及其周邊區域之原型縮小納入試驗水池，該比尺亦是迄今花蓮港水工模型試驗最大者，試驗水槽平面圖，如圖 5.2 所示。



圖 5.1 本所運技中心第二試驗廠棚

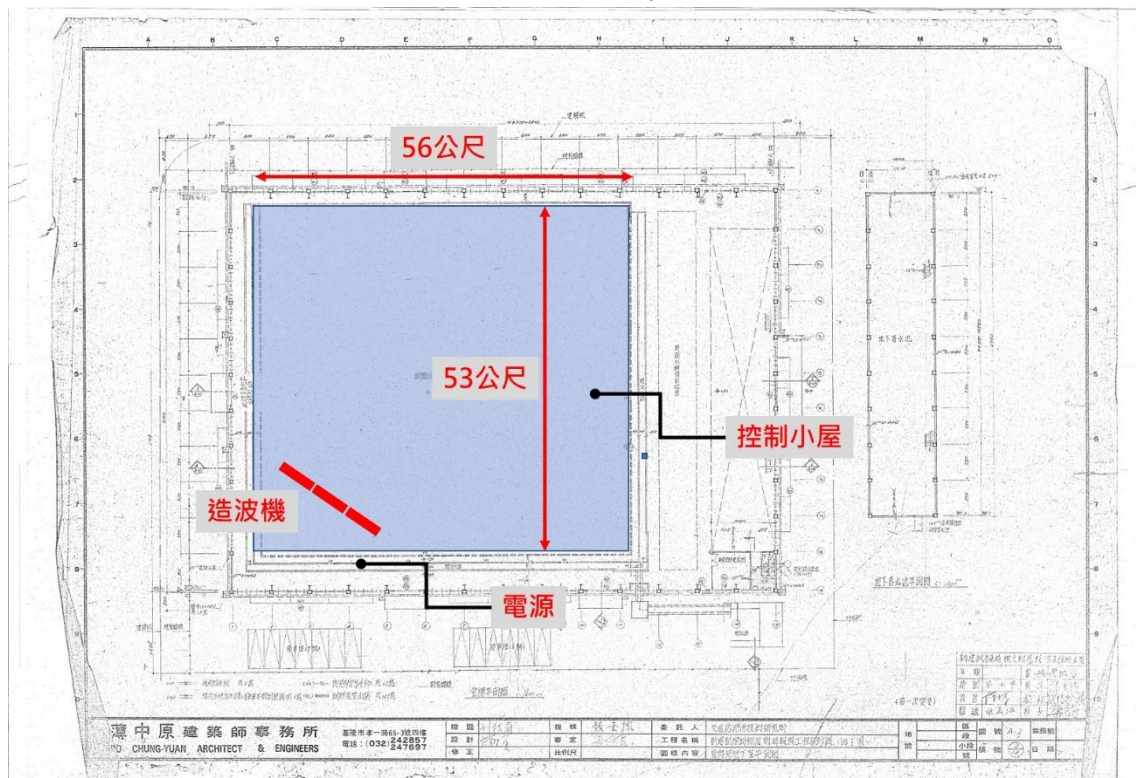


圖 5.2 試驗水槽平面圖

## 2. 造波設備

本計畫使用造波設施為英國 HR Walingford 所製造之造波機，如圖 5.3 所示，造波機共有 4 臺，長、高分別為 6m、0.8m 的往復平推式造波板模組，最大可組成 24m 之平面造波寬度，其中，造波板後方的支撐框架內，設置泡棉能量吸收坡 (Integral Absorbing Beach)，以減少造波板背面之濺水現象，該吸能坡由開孔式泡棉材料組成，可用以吸收造波板回程運動所產生的能量。規則波可以在指定的時間週期、振幅、相位和方向從造波板面產生規則諧波，不規則波造波軟體可供選擇使用之波譜軟體內有建大量的波譜形式，如 JONSWAP、Pierson-Moskowitz、TMA、Bretschneider and ISSC、Ochi double peak、SIWEH 波群模擬等。



圖 5.3 HR 造波設備

## 3. 波高量測設備

波高量測使用之波高計，以日本 KENEK 容量式波高計為主，量測精準度為 $\pm 0.3\%$ ，透過電容式電路感應金屬連桿與測線間因水位變化導致的浸水面積變化，換成電壓的起伏，再經由電纜線傳回波高增幅器，經適當之訊號放大後，由 AD 轉換器將類比訊號轉換為數位訊號輸入電腦存檔並進行資料判別與處理，每部波高量測裝置有獨立的波高增

幅器連接波高計，以量測區域內同時刻之水位變化，並即時顯示擷取之電壓值資料，如圖 5.4 所示。



圖 5.4 電容式波高計

#### 4. 測量儀器

本計畫試驗採用全站式電子速距儀(Total Station)進行造波與測波設備定位、花蓮港模型各測點空間座標量測。全站儀具高精度角距測功能，可建立模型專用座標基準系統，確保各測點位置精確一致，做為試驗空間資料整合之依據，如圖 5.5 所示。



圖 5.5 全站式電子速距儀

## 5.2 遮蔽試驗條件規劃

### 5.2.1 模型範圍與比尺

本計畫平面水工模型試驗係依據花蓮港 112 年水深地形與主要結構配置等資料，於本所運技中心第二試驗廠棚內進行。模型製作範圍涵蓋港外東防波堤外水深 40 公尺外海區域，模型採固定水深 40 公分，以確保造波機入射波於港口前能充分發展，港區範圍包含 25 座碼頭、迴船池與窄航道等主要水域，其中以窄航道區分為內港及外港，內港港區共有碼頭 16 座，水深 6.5~10.5 公尺，外港港區屬於深水碼頭，共有碼頭 9 座，水深約 12~16.5 公尺，由東西 2 個防波堤圍成，港口開口朝向介於南南西至西南方向，如圖 5.6。遮蔽試驗及造波設備布置範圍，如圖 5.7 所示。



圖 5.6 花蓮港區平面圖

由於港域水域靜穩度之遮蔽試驗涉及表面重力波，流場所受之外力以重力為主，其餘如黏滯力、表面張力等影響較小，故一般均採用福祿數 (Froude number,  $Fr$ ) 來決定模型縮尺，本計畫試驗採用 1/100 等

比模型比尺，模擬港內外波浪傳遞、反射與長週期能量放大等現象。

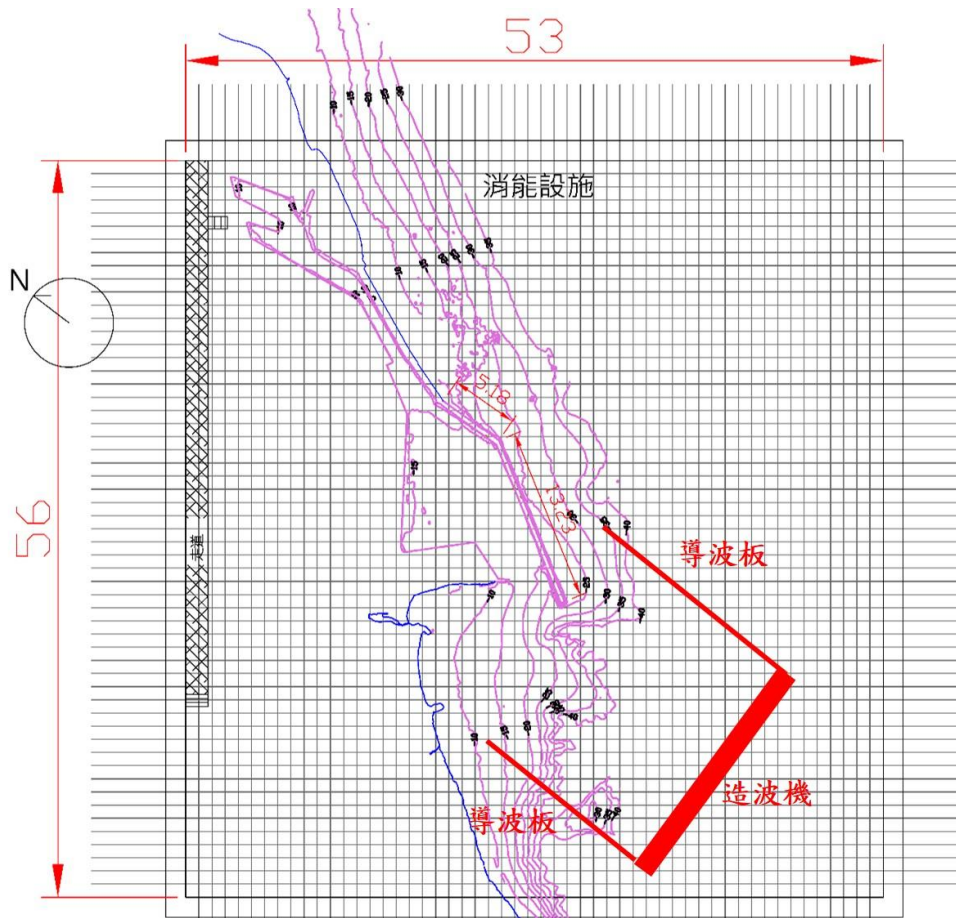


圖 5.7 遮蔽試驗模型配置圖(1/100 比尺)

本計畫試驗與模型參數，如 $L_p$ 為原型長度、 $L_m$ 為模型長度、 $\lambda_d$ 為長度縮尺、 $\lambda_T$ 為時間縮尺，關係推導如式：

$$\lambda_d = \frac{L_m}{L_p} \quad (5-1)$$

因福祿數定律中 $\frac{V_p}{\sqrt{gL_p}}$ 等於 $\frac{V_m}{\sqrt{gL_m}}$ ，原型與模型之重力加速度相同，故流速縮尺 $\lambda_V$ 如式：

$$\lambda_V = \frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{1/2} = (\lambda_d)^{1/2} \quad (5-2)$$

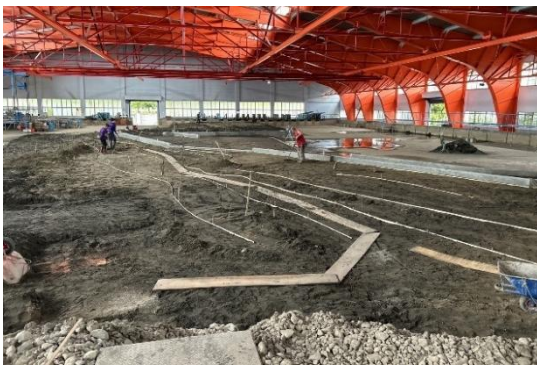
時間縮尺為 $\frac{T_m}{T_p} = \sqrt{\frac{L_m}{L_p}}$ ，將本試驗模型比尺 1/100 帶入上式，可得下

列關係式：

$$T_m = \frac{T_p}{10} \quad (5-3)$$

### 5.2.2 模型建構概述

地形建構以 112 年現地水深資料為基礎，包含填土與整地、局部範圍繪製網格線與等深線高程放樣測量，確保港口、結構折角處與內港碼頭間幾何形狀精確呈現。港區主要構造物如防波堤、窄航道、漁港、修造船區及通水箱涵等，均依設計圖等比例施作，以模擬波浪傳遞過程中反射與繞射行為，最後針對模型主要地形等深線進行高程檢核，全域模型建構過程概況如圖 5.8(a)~5.8(d)所示。



(a) 全區填土與整地



(b) 內港結構物建置



(c) 外港結構物建置



(d) 完成水工模型建構

圖 5.8 全域模型建構過程

### 5.3 試驗波浪條件

水工模型試驗之波浪條件設定，係依據花蓮港外海長期波浪觀測資料、颱風期間波浪特性及港內靜穩度測站結果研擬規劃。波浪條件涵蓋颱風與湧浪週期範圍，以確保能完整探討港池在長週期波浪作用下的動態行為與各改善方案之消能效果。

為評估港嘴開口與波浪入射影響最大情境，試驗造波採單(南)向180度，以規則波形式入射，探討波浪傳遞行為所引起港池振盪特性。原型波浪週期範圍設定為8~30秒，間隔為1秒，對應模型週期為0.8~3.0秒，間隔為0.1秒，涵蓋一般重力波、颱風波浪至長週期湧浪區間。試驗模型入射波高設定為4公分，對應原型波高約4公尺。此條件代表典型颱風外圍湧浪情境，造波時採外海固定水深40公分下進行，使波形於入射區穩定發展後進入港區，藉此評估內港及外港之波高變化。

### 5.4 試驗方案

本計畫平面水工模型試驗除原地形試驗方案0，另規劃三項改善方案，為方案1：「內港碼頭間通水箱涵方案」、方案2：「7號消能碼頭方案」及方案3：「外港拋石消能方案」。

各方案規劃均以上述波浪試驗條件，模擬長週期波浪作用下的動態行為並評估港內外改善方案之遮蔽成效，相關方案平面配置圖，如圖5.9所示，以下分別說明各方案之規劃目的與配置方式說明如下：

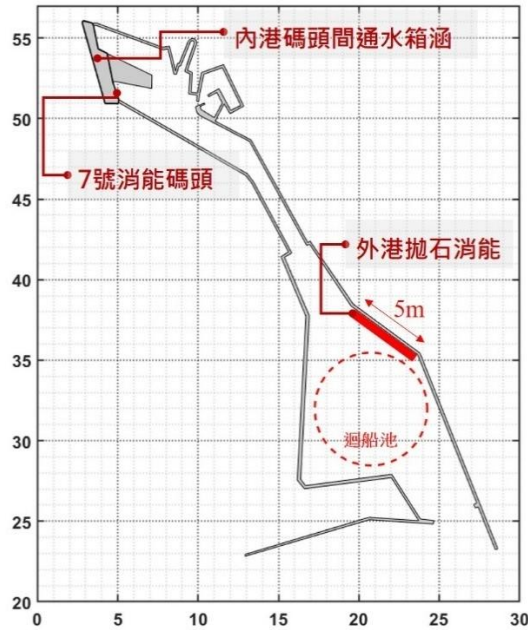


圖 5.9 各方案平面配置圖

#### 5.4.1 方案 1：內港碼頭間通水箱涵方案

基於花蓮港內港區形狀封閉，易造成波能在內港累積或水位抬升而形成港池長週期振盪，為改善此情形，本方案規劃於 7 號與 12 號碼頭間後方，並配合試驗場地增設通水箱涵，模型尺寸如圖 5.10 所示，使內港池及泊區間有流動通道，透過波流流動方式減少長週期波引起之水位差。



圖 5.10 通水箱涵配置示意圖

### 5.4.2 方案 2：7 號消能碼頭方案

花蓮港內多數碼頭結構為直立式混凝土重力式構造，對入射波具有高反射特性，容易在港池內形成反射並與入射波交互影響，進而放大波能。為降低反射波能量，本方案於內港 7 號碼頭設置具消能機制之斜面越波排水開孔式結構物，改變原內港邊界條件，降低港內反射界面之整體反射係數，模型尺寸如圖 5.11 所示。

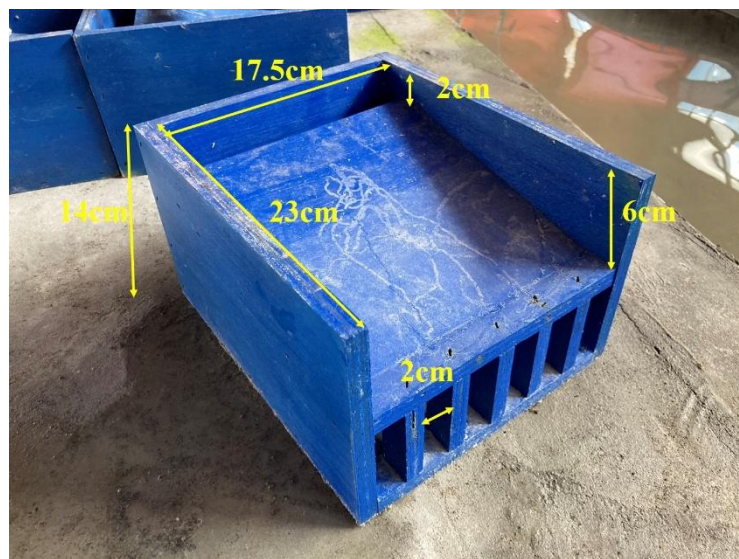


圖 5.11 越波排水開孔式結構物

### 5.4.3 方案 3：外港拋石消能方案

評估花蓮港港型與日本苫小牧港類似，在港灣構造與長週期波行為方面具有相似性，兩者皆屬半封閉式港池，長週期波容易傳遞港內並引發共振現象，港池內部多設置突堤或分隔碼頭，形成狹長水道幾何形狀，使特定週期波浪易在港內腹點區域出現明顯波高放大。苫小牧港透過拋石消能，可有效降低港內共振強度，因此，在現有港型基礎下，參考苫小牧港於防波堤側邊施作消能設施方式，評估入射波能量集中位置，於花蓮港新東防波堤 0K~500K 處設置拋石，並避開外港區迴船池與航道，藉此降低外港區域波浪能量，避免波浪更進一步傳遞至內港或反射引起港池振盪，主要利用粗糙石材不規則方式拋置消散入射波能。拋石區模型底部尺寸自防波堤向港池延伸約 35 公分，高度 13 公分至

20 公分，上寬約 20~28 公分，總長度 500 公分，斜坡比 1:1.5，如圖 5.12 所示。採用粒徑範圍 0.45~0.75 公分不規則石材，外部以白鐵材料製作外框及支架，確保模型結構固定不變形，內部填實石材均勻，孔隙率約 0.35。主要模擬於現地增設一處長約 500 公尺拋石消能設施，在入射波浪進入外港後先消散部分能量，降低波能避免進一步傳遞至內港，同時減少引發港內長週期波振盪。

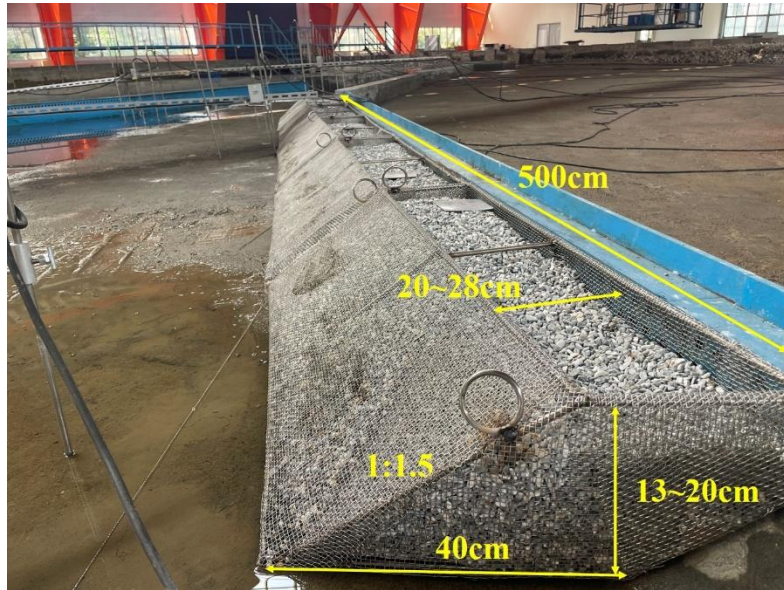


圖 5.12 外港拋石消能設施

## 5.5 波高計點位佈設與試驗流程

為分析花蓮港內港區、外港區、窄航道與迴船池之靜穩度，本計畫規劃 38 支波高計量測主要水域波高，並於造波機前佈設波高計(編號 2 號與 3 號)，俾檢視入射波浪條件符合規劃需求，另外通水箱涵內部設置 2 支波高計量測波高變化(編號 31 號與編號 32 號)，如圖 5.13 所示，

造波機位置距離花蓮港區結構物約 18 公尺以上，確保波浪穩定發展，根據規劃試驗波浪條件及水池深度 0.4 公尺，以超越方程式估算如下(5-4)式，其中， $g$  為重力加速度， $T$  為週期， $h$  為水深、 $L$  為波長。波長約為 1.0~5.7 公尺，應足夠湧浪發展形成後入射至港內。

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (5-4)$$

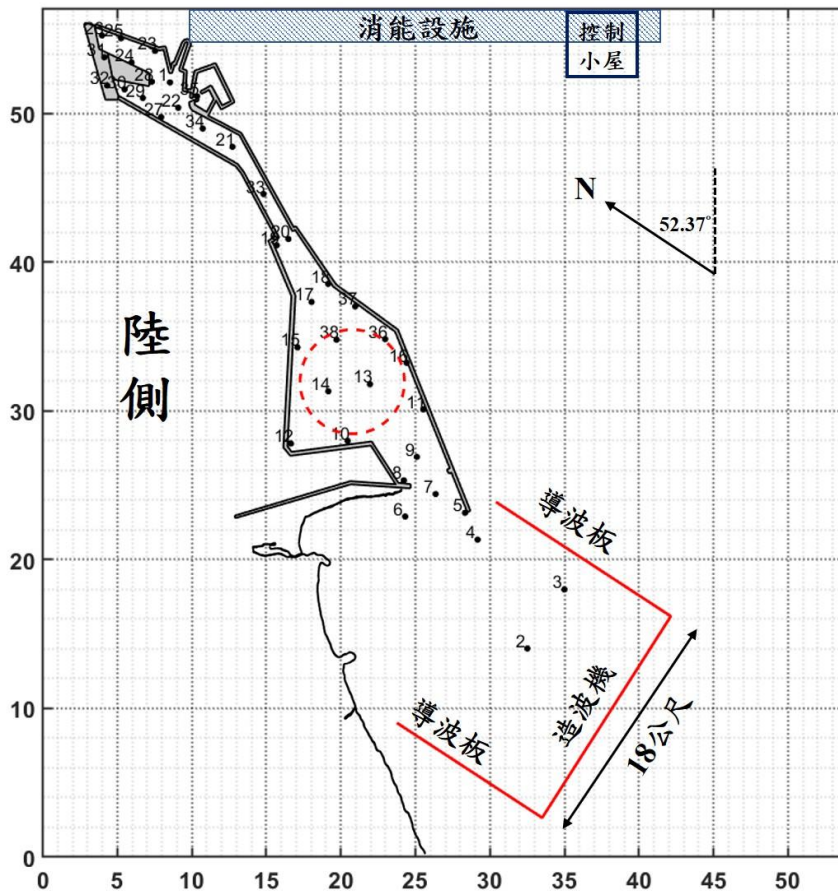


圖 5.13 通水箱涵配置示意圖

試驗開始前，首先進行波高計率定，造波機依規劃試驗波浪條件設定規則波波高與週期，造波過程中於造波區前方設置兩支波高計，檢視試驗波浪條件。造波期間觀測波浪行為並攝影拍照，同時確保資料蒐集正常，俟造波與資料蒐集完成，等待水面靜穩時初步檢視水位資料是否合理，直到完成所有試次。每項方案依照不同試驗波浪條件，均重複進行數次造波與蒐集資料，以確保試驗結果具參考性，試驗流程如圖 5.14 所示。

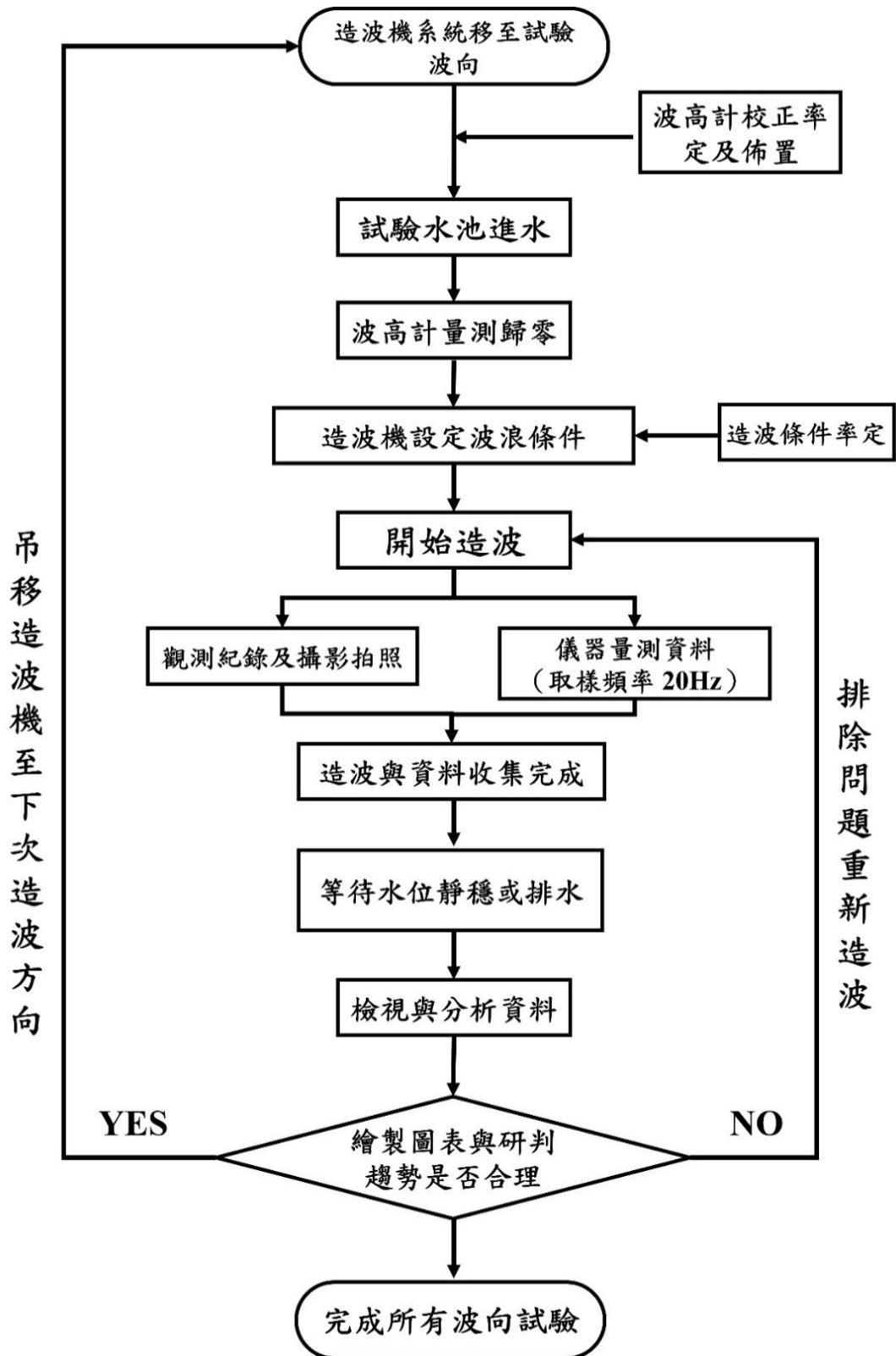


圖 5.14 水工試驗流程圖



## 第六章 平面水工模型試驗結果

本章主要呈現水工模型所進行之長週期規則波試驗成果，評估不同改善方案對花蓮港池靜穩度影響，透過控制水深、港池幾何特性與入射波條件，使水工模型還原現地在長週期波浪作用下之水面振盪模式，並以原地形作為基準，比較通水箱涵、消能碼頭與外港拋石消能等方案之消能效果。由於花蓮港港型屬典型狹長型港埠，外海湧浪於特定週期可能與港池自然振盪週期相互作用，進而形成放大效應，因此，本章試驗呈現原地形試驗、3 項改善方案及其綜合比較，每方案每試次皆以 23 種波浪週期、38 支波高計進行試驗，針對遮蔽效果及週期特性分析，透過不同週期分析，進一步了解港池共振特性，並提供後續港池靜穩度改善方案規劃之參考依據，以下將依試驗分析結果比較做重點摘述。

### 6.1 試驗與現地觀測資料比較與驗證

本小節參考「花蓮港港池共振機制研究(4-4)」將水工試驗數據與既有觀測資料進行模型驗證，將不同週期以規則波進行水工試驗模擬，並儲存各個造波條件的計算結果，以造波條件計算各頻率成份波能量值與外海入射成分波能量值，其比值開根號求得不規則波作用下的遮蔽係數值，計算式如式 6-1：

$$\text{遮蔽係數} = \frac{\text{港內某點波高}}{\text{港外波高}} = \sqrt{\frac{S(f)}{S(f)_i}} \quad (6-1)$$

其中，能量密度與波高平方成正比 ( $H^2 \propto S(f)$ )，取平方根表示為遮蔽係數， $S(f)$  為港內某點之能量密度， $S(f)_i$  為港外之能量密度。

考量本次水工模型波向為 S 向(180 度)，本節透過篩選港外 AWAC 觀測站合適資料進行驗證，使用 2021 年 6 月 28 日 8 時之薔琵颱風觀測資料，此時波向為 174.26 度，示性波高 1.03 公尺，尖峰週期 7.26 秒，港內各測站遮蔽係數如圖 6.1 所示。

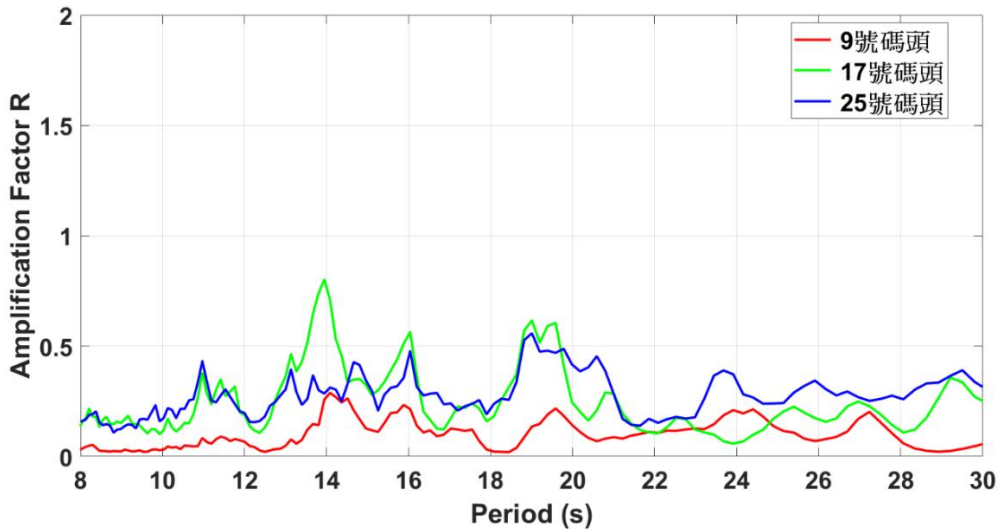


圖 6.1 蕃琵颱風遮蔽係數

選擇時段屬蕃琵颱風遠離時間區間，波向符合本次試驗規劃，進一步觀察，其分布呈現多種週期具有明顯峰值，包含外港 17 號與 25 號碼頭有週期 10~12 秒、13~16 秒及 18~20 秒能量聚集，內港 9 號碼頭則是以 14~16 秒為能量聚集區間，顯示颱風即使遠離期間，仍足以激發港池一定程度的水位振盪。其峰值位置與水工模型試驗所得之 8~30 秒遮蔽係數比較，如圖 6.2~圖 6.4 所示，以確認水工模型是否可合理重現花蓮港之頻率反應特性。

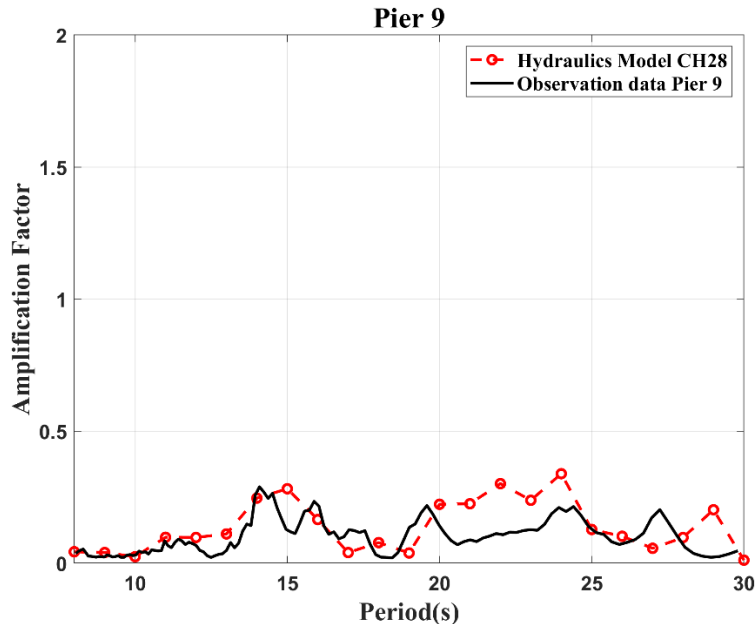


圖 6.2 蕃琵颱風與模型 9 號碼頭遮蔽係數比較圖

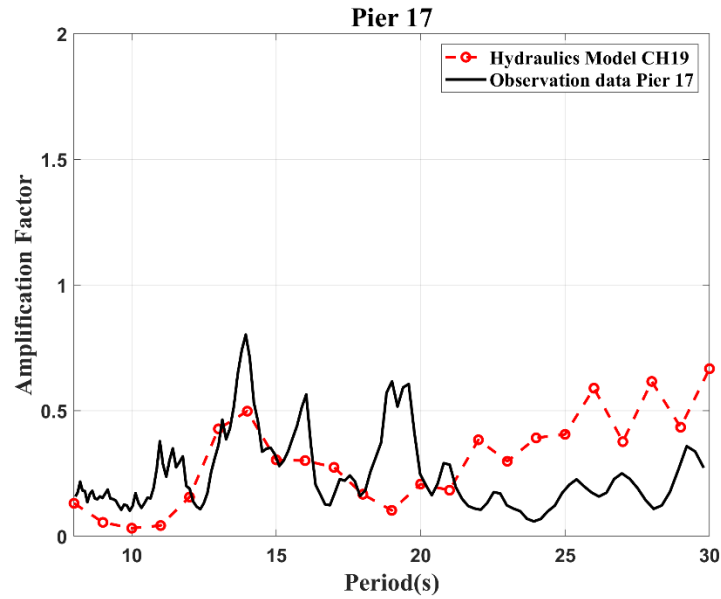


圖 6.3 蕃琵颱風與模型 17 號碼頭遮蔽係數比較圖

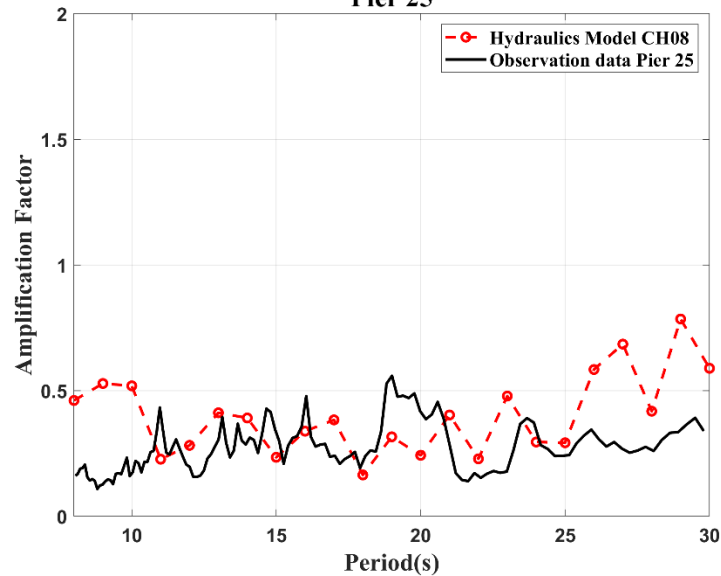


圖 6.4 蕃琵颱風與模型 25 號碼頭遮蔽係數比較圖

圖 6.2 為 9 號碼頭觀測站與水工模型比較遮蔽係數，其值皆小於 0.5，趨勢與峰值位置大致吻合，而 17 號碼頭遮蔽係數呈現 10~18 秒之間趨勢與峰值位置大致相同，但 19~30 秒間趨勢則明顯不同，25 號碼頭遮蔽係數於 8~10 秒間明顯與觀測資料趨勢不同，可能係因碼頭位於港口最外側，其區間之遮蔽係數主要受到外海入射波方向、潮位變化、近岸地形及短週期波浪條件不穩定等現地複雜因素控制，13~16 秒間趨勢與峰值位置大致相同。

考量上述薔琵颱風所引起港內水位振盪，可能因颱風路徑距花蓮港較遠，傳遞進港內波能小，無法明顯觀察遮蔽係數峰值變化，另外港外波浪條件可能受潮位、地形等相關複雜因素影響，擇定颱風路徑侵台且有避湧作業事件，其颱風影響程度較大，故以凱米颱風 2024 年 7 月 24 日 22 時觀測資料進行驗證，此時波向為 125.46 度，示性波高 2.62 公尺，尖峰週期 9.89 秒，港內各測站遮蔽係數如圖 6.5 所示。

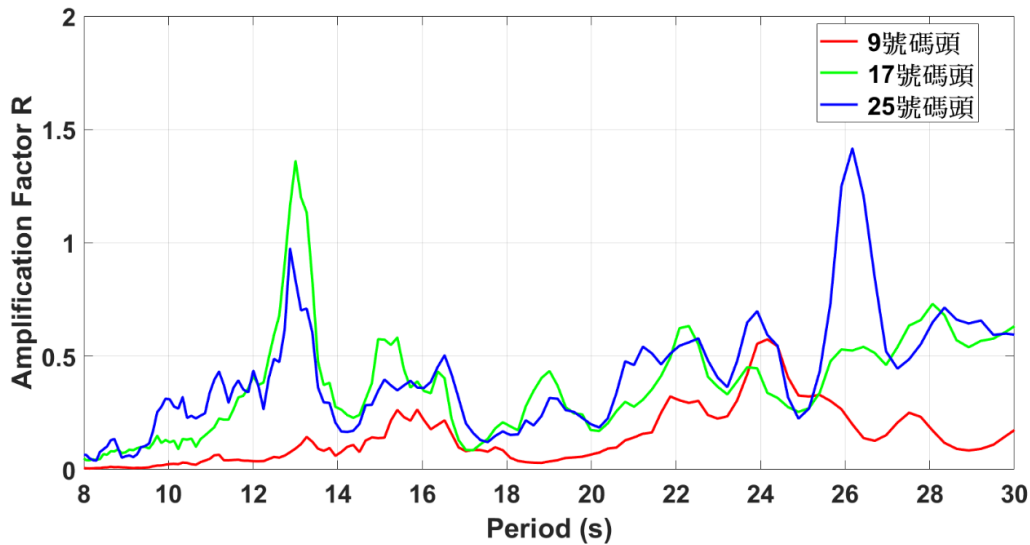


圖 6.5 凱米颱風遮蔽係數

選擇時段屬凱米颱風接近臺灣東部，波向介於東南東至東南方向，外海波高比薔琵颱風大，颱風期間外海湧浪使港池在不同碼頭區域呈現不同程度的週期振盪反應，進一步觀察，其分布呈現多種週期有放大特性，且有港內波高大於港外情形，其中外港 17 號與 25 號碼頭於週期 13 秒時遮蔽係數明顯增強，於 15~17 秒、19 秒及 21~24 秒能量聚集，特別是 25 號碼頭於週期 26 秒時遮蔽係數明顯大於 1，內港 9 號碼頭則是以 15~16 秒與 22~26 秒為能量聚集區間，顯示外海波浪條件可能需達一定門檻，才能進一步激發強度較高之港池振盪。其峰值位置與水工模型試驗所得之 8~30 秒遮蔽係數比較，如圖 6.6、圖 6.7 及圖 6.8 所示。圖 6.6 中 9 號碼頭遮蔽係數與觀測資料趨勢大致符合，主要以 14~16 秒與 21~27 秒之間屬於較明顯共振週期，圖 6.7 中 17 號碼頭觀測資料遮蔽係數於 16 秒為主要峰值，而水工試驗數值趨勢大致相同，且觀測資料與水工試驗於較長週期之遮蔽係數均顯示有增強趨勢，

顯見 17 號碼頭位置屬於外港池較容易受到湧浪影響，圖 6.8 中 8~10 秒與水工試驗結果比較趨勢仍不相同，其中觀測資料波向雖與水工模型波向具有較大差異，港外波浪條件、地形與波浪實際繞射、反射行為等複雜因素而造成不同的共振模態發生，但本計畫水工試驗遮蔽係數峰值位置與觀測資料趨勢亦大致相同，應可做為水工模型與港池自然振盪特性之比較基準。

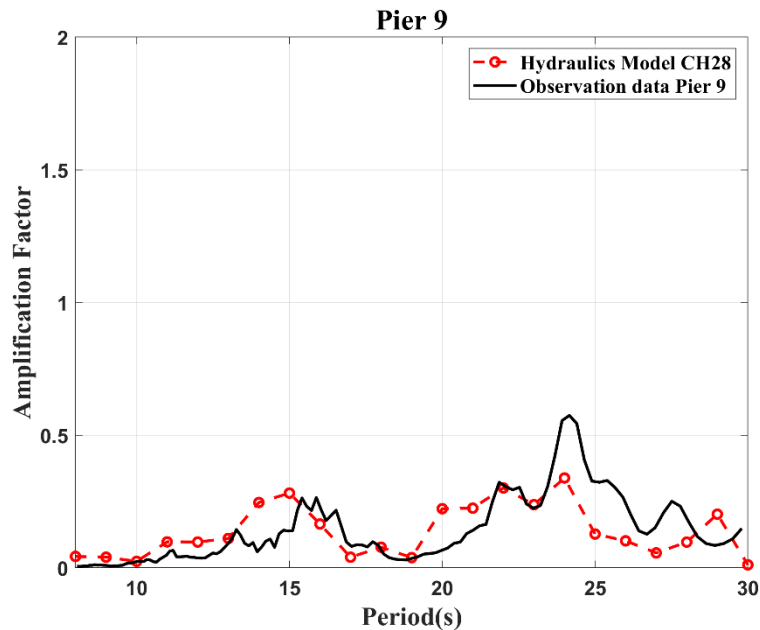


圖 6.6 凱米颱風與模型 9 號碼頭遮蔽係數比較圖

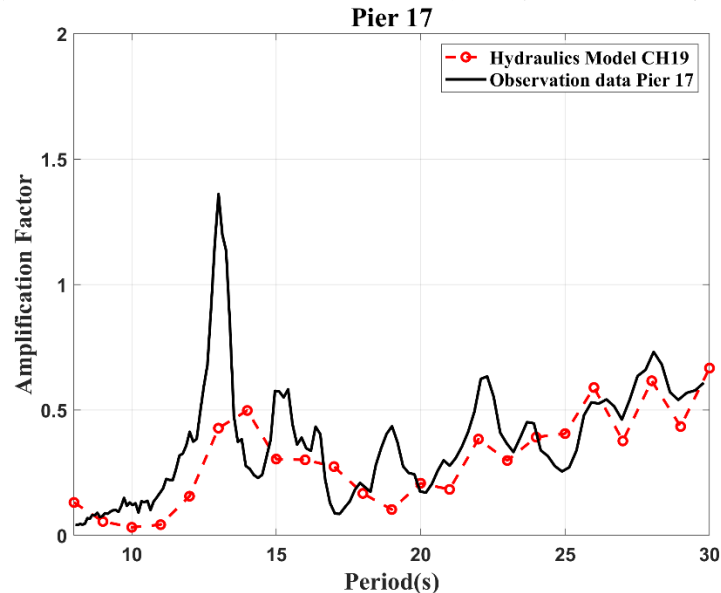


圖 6.7 凱米颱風與模型 17 號碼頭遮蔽係數比較圖

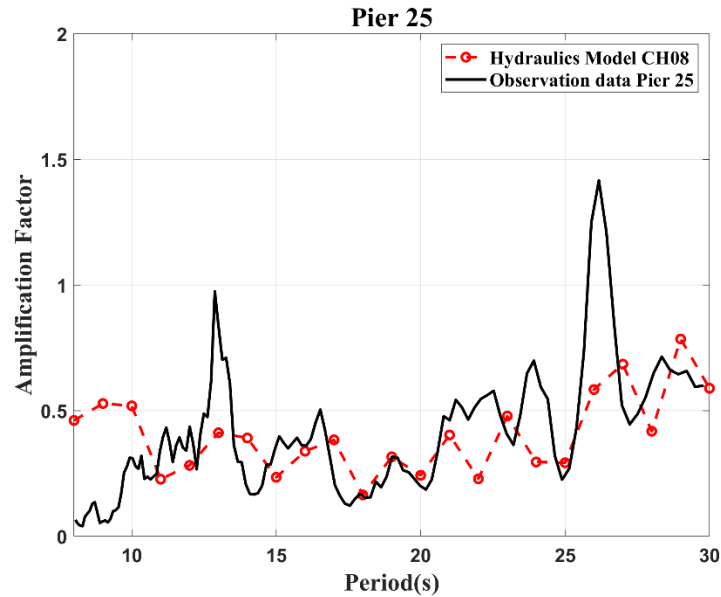


圖 6.8 凱米颱風與模型 25 號碼頭遮蔽係數比較圖

綜上所述，水工試驗與觀測資料驗證比較模擬結果，考量地形複雜、波浪反繞射機制、外海入射波多方向、波浪譜峰週期、潮位差異等現地複雜因素，由於水工模型採用單一規則波、固定水深與理想化邊界條件，可預期與觀測資料仍有出入，但其遮蔽係數峰值及趨勢大致相同，本計畫驗證重點在於頻率反應特性，而非波高重現，後續可再進一步針對共振特性與波場分布評估後續改善方案效果。

## 6.2 方案 0：現況地形試驗結果

造波條件採規則波：波高 4 公分、週期 8~30 秒、水深 40 公分，試驗過程觀察花蓮港外海水域波形穩定，無碎波情形發生，且波浪傳遞過中於東防波堤折繞射亦無明顯越波情形發生，短週期波浪通過花蓮港口及東防波堤後因折繞射以及遮蔽效應，波能逐漸衰減，港池水域相對長週期波浪靜穩，造波過程如圖 6.9 所示。

為評估改善方案，針對各觀測站發生波高放大較大之週期及遮蔽係數彙整如表 6-1 所示(係數由大至小排序)，以做為改善前後評估之基準，了解改善方案實施後遮蔽係數變動情形，其中考量 25 號碼頭於週期 8~10 秒，水工試驗與觀測資料趨勢不相同，本次研究暫不比對改善效果。圖 6.10 為 S 向入射水工模型花蓮港池之波高分布圖，從圖得

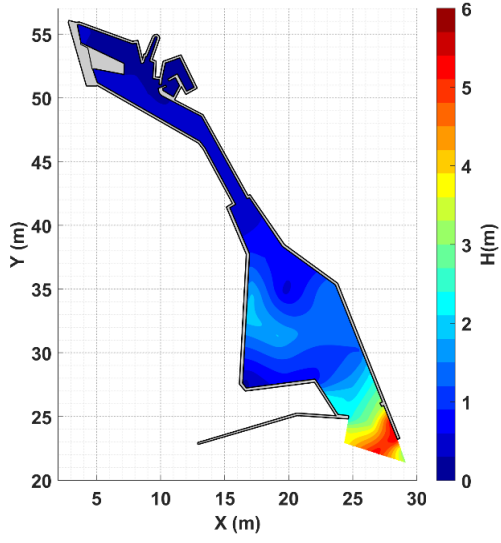
知，內港區於週期 15 秒、24 秒波高明顯較大，此現象與觀測資料 9 號碼頭遮蔽係數趨勢與峰值位置符合，而外港區及迴船池位置於 13~15 秒及 21~30 秒波高明顯較大，顯示外港區及迴船池對於湧浪 21~30 秒遮蔽效果明顯變差，此現象也與觀測資料吻合。



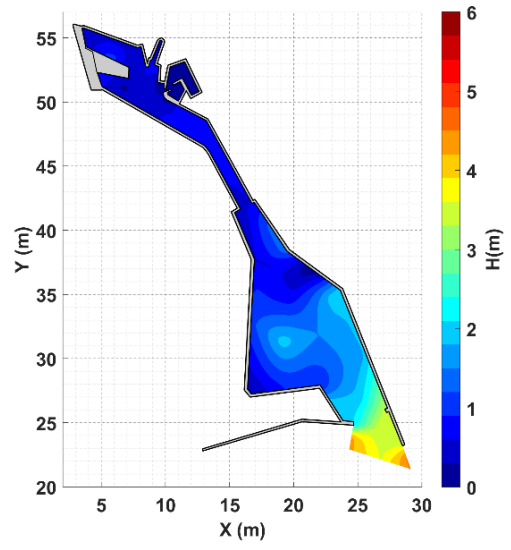
圖 6.9 方案 0 造波過程

表 6-1 方案 0 各觀測站發生遮蔽係數峰值及週期基準

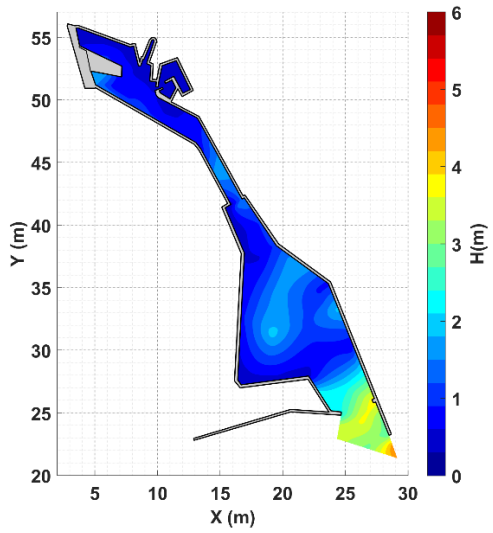
9 號碼頭		17 號碼頭		25 號碼頭	
週期(sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數
24	0.34	30	0.67	29	0.78
22	0.30	28	0.62	27	0.68
15	0.28	26	0.59	30	0.59
14	0.25	14	0.50	26	0.58
23	0.24	29	0.43	23	0.48
21	0.22	13	0.43	28	0.42



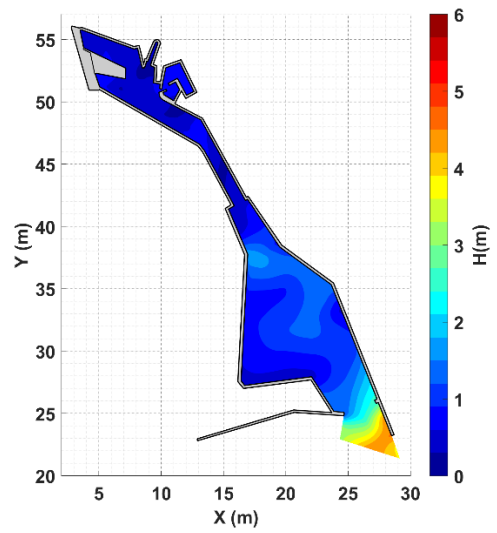
(a) 週期 8 秒，波高 4 公分



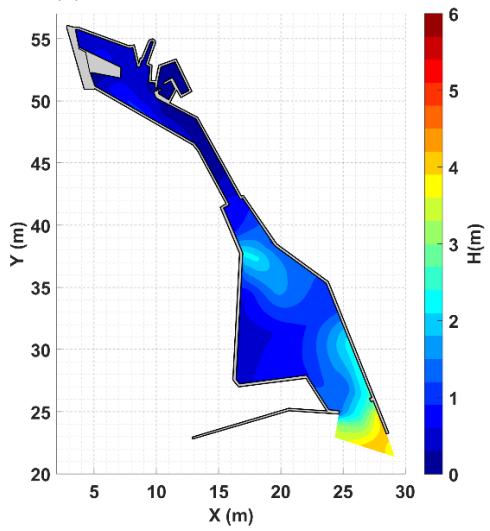
(b) 週期 9 秒，波高 4 公分



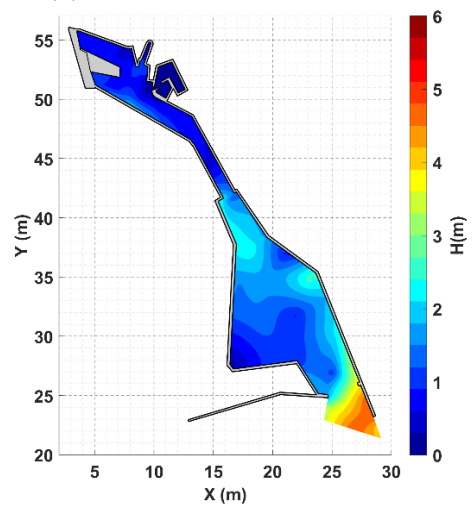
(c) 週期 10 秒，波高 4 公分



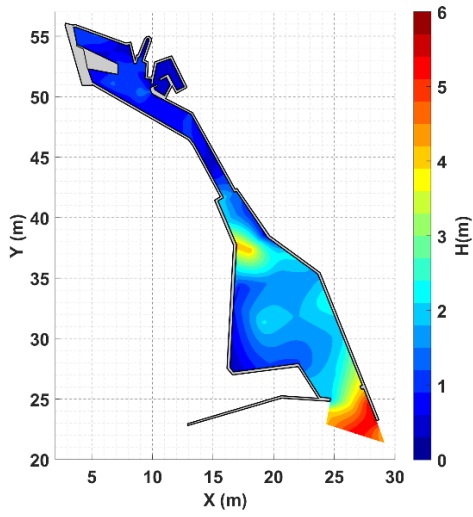
(d) 週期 11 秒，波高 4 公分



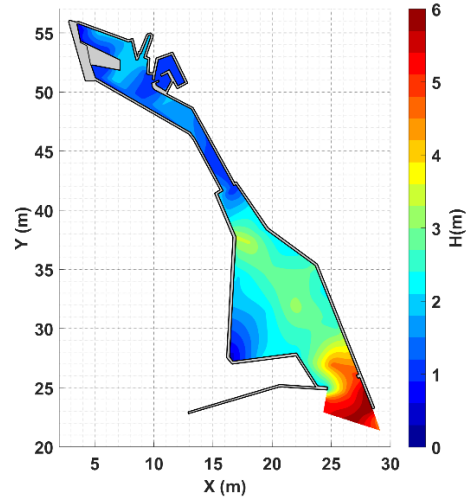
(e) 週期 12 秒，波高 4 公分



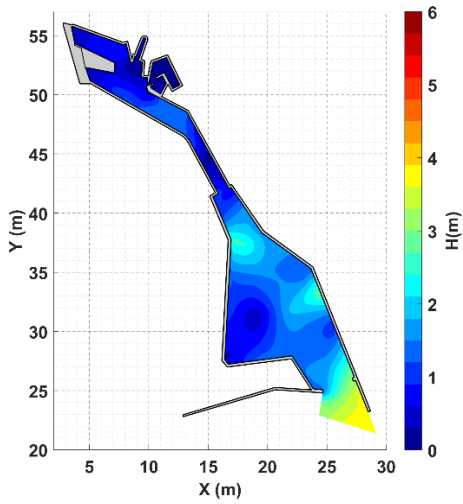
(f) 週期 13 秒，波高 4 公分



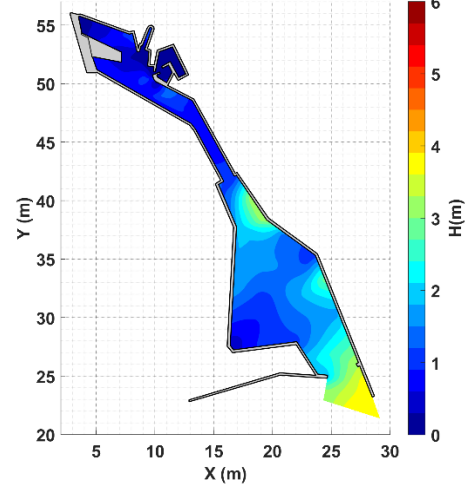
(g) 週期 14 秒，波高 4 公分



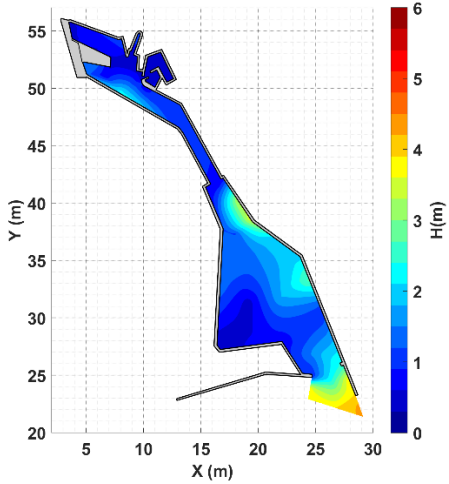
(h) 週期 15 秒，波高 4 公分



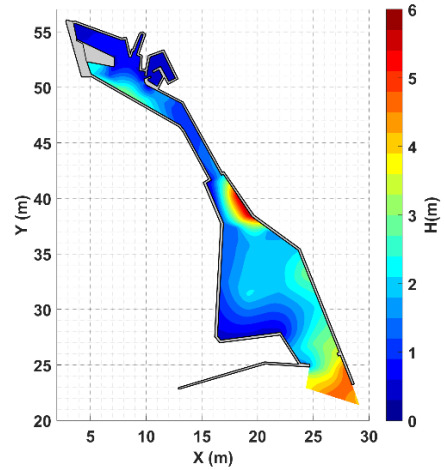
(i) 週期 16 秒，波高 4 公分



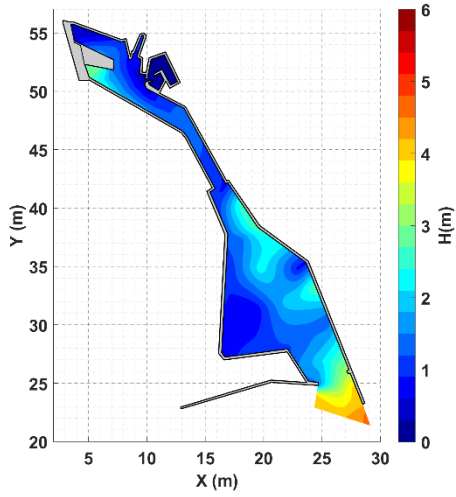
(j) 週期 17 秒，波高 4 公分



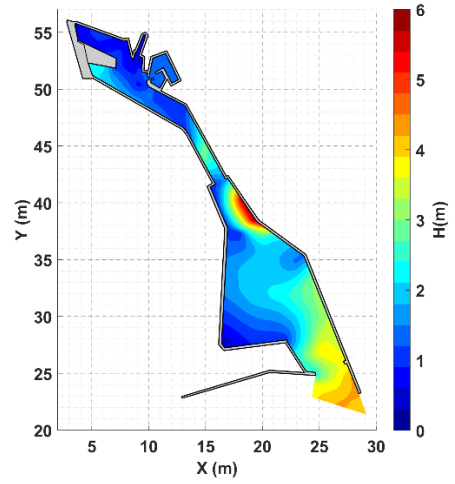
(k) 週期 18 秒，波高 4 公分



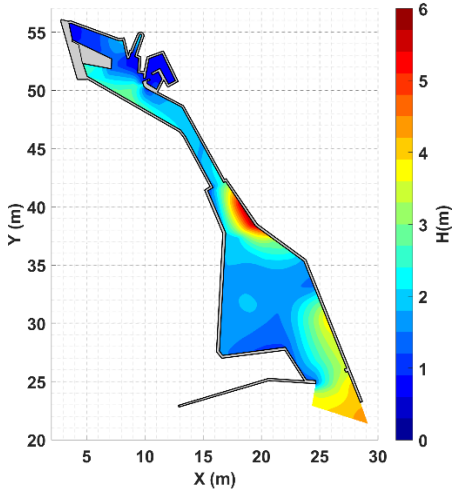
(l) 週期 19 秒，波高 4 公分



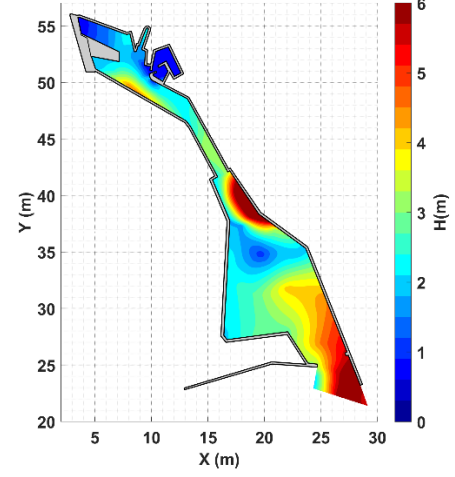
(m) 週期 20 秒，波高 4 公分



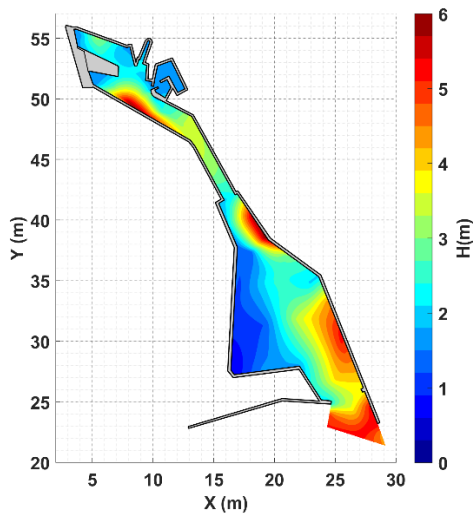
(n) 週期 21 秒，波高 4 公分



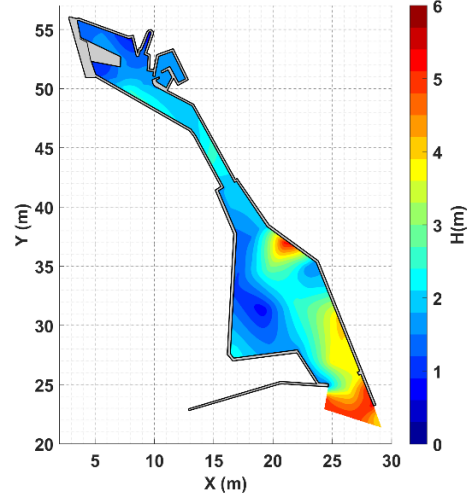
(o) 週期 22 秒，波高 4 公分



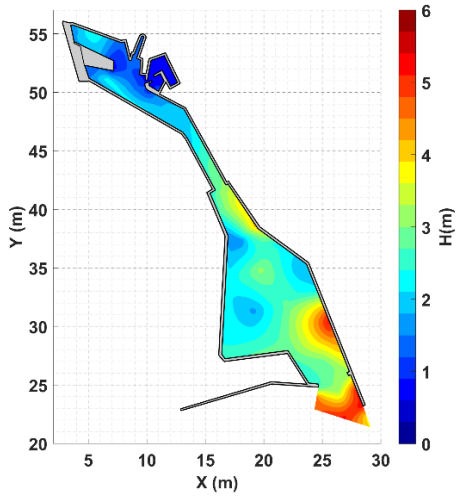
(p) 週期 23 秒，波高 4 公分



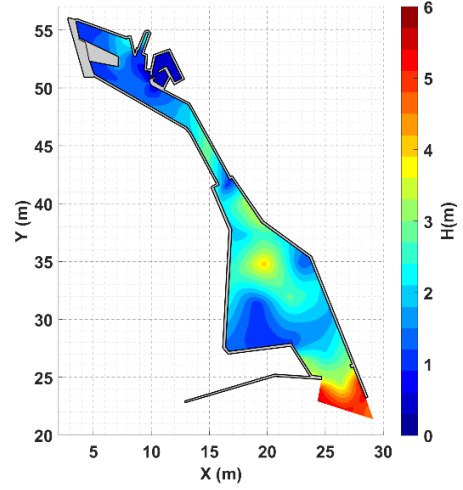
(q) 週期 24 秒，波高 4 公分



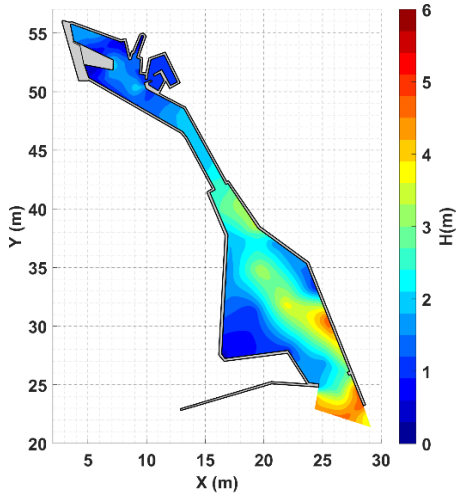
(r) 週期 25 秒，波高 4 公分



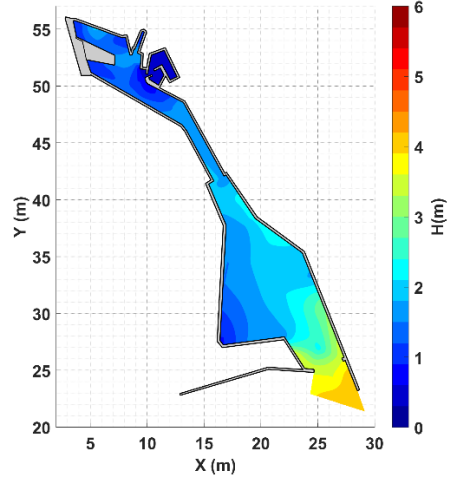
(s) 週期 26 秒，波高 4 公分



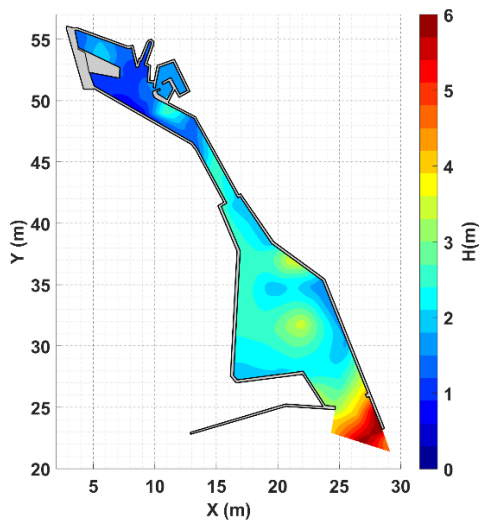
(t) 週期 27 秒，波高 4 公分



(u) 週期 28 秒，波高 4 公分



(v) 週期 29 秒，波高 4 公分



(w) 週期 30 秒，波高 4 公分

圖 6.10 方案 0 波高分布圖

由於花蓮港近岸海域地形變化劇烈，外海短週期波浪容易受到地形變化產生波能衰減的現象。由圖 6.10 可知不同週期的波浪特性，在短週期波浪作用下，東防波堤有效地遮蔽外海波浪，使得外海波浪能量不易繞射至港內，惟在週期 21~30 秒波浪作用下，波浪能量較容易入射至外港，主要影響外港區域及迴船池之靜穩度。

依據本所運技中心「花蓮港港灣設施改善計畫之研究」，由花蓮港現場觀測之波浪特性分析可知，一般短週期波浪比較容易受到防波堤結構物之遮蔽及地形摩擦等效應，波浪能量在進入港內後快速消散，蘇、陳等人(1995)，分析 1994 年提姆颱風資料，經頻譜分析顯示外海主頻在 15 秒左右有雙尖峰現象，長週期成份不明顯，港內 8 號及 10 號碼頭對應外海主頻 15 秒處無相對尖峰存在，但長週期處則有明顯成份波存在，結果表示外海波浪進入港內後，短週期波浪受防波堤影響快速衰減，由圖 6.10(h)中外港區域及迴船池波高明顯較圖 6.10(g)大，且大於 15 秒週期之波能明顯開始由港外傳遞進來外港區及迴船池，防波堤遮蔽效果逐漸減弱，周(2022)於數值模擬花蓮港之颱風波浪，以不同波向模擬亞重力波，結果顯示在港外之短週期波浪能量尖峰皆出現在 14 至 15 秒處，與圖 6.10(g)、(h)港口波高分布相似，上述結果亦與本次水工試驗波高分布相互印證。由圖 6.10 中可知，於週期 14~15 秒時，18 號碼頭有較明顯波高，16~21 秒時外港及迴船池區域波高明顯較小，僅有東防波堤沿岸有較顯著波高放大，對應 17 號碼頭觀測資料遮蔽係數於 17~21 秒時相對較低，17 與 25 號碼頭觀測資料遮蔽係數於 21~30 秒時趨勢逐漸增強，整體波高分布與觀測資料遮蔽係數趨勢大致相符，可進一步做為改善方案評估之參考。

### 6.3 方案 1：內港碼頭間通水箱涵方案試驗結果

方案 1 採內港區 7 號與 12 號碼頭間後方增設通水箱涵，使內港池及泊區間有流動通道，波浪由港外傳遞至內港過程中，透過波流流動方式減少長週期波引起水位差振盪之構想，造波過程如圖 6.11 所示。



圖 6.11 方案 1 造波過程

經分析探討，將觀測資料、方案 0(現況地形)與方案 1 之遮蔽係數進行比較，如圖 6.12~圖 6.14 所示，因改善方案僅針對內港區碼頭間進行港型調整，17 與 25 號碼頭遮蔽係數無明顯變化，9 號碼頭共振週期峰值則有明顯改變位置，但整體係數介於 0.01~0.34 之間，其數值與方案 0 差異不大，主要峰值仍維持於 15 秒與 24 秒處。

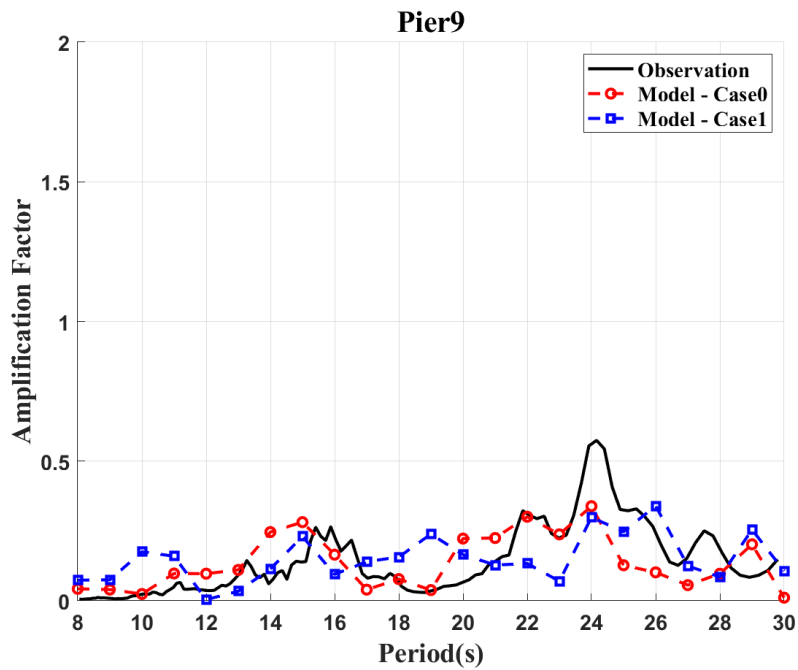


圖 6.12 方案 1--9 號碼頭遮蔽係數比較圖

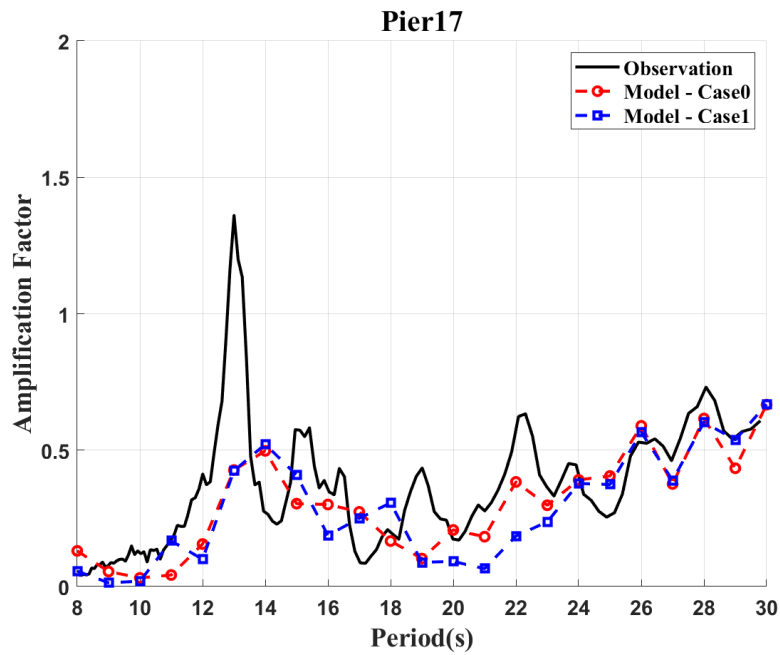


圖 6.13 方案 1--17 號碼頭遮蔽係數比較圖

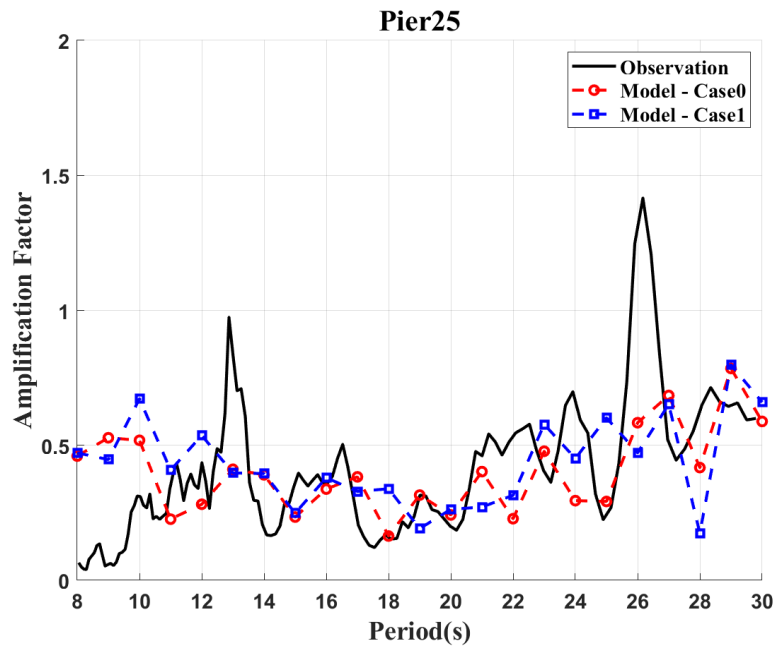
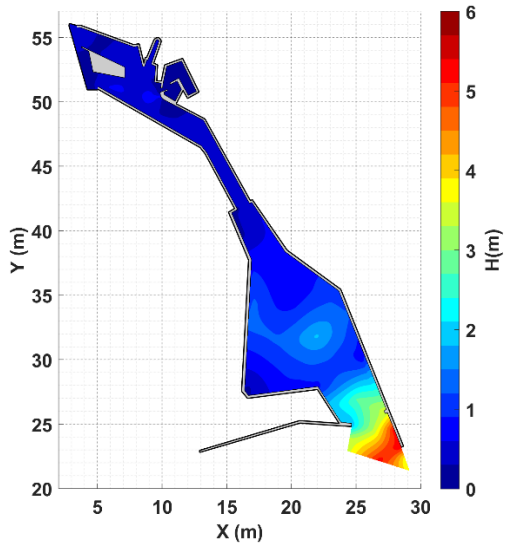


圖 6.14 方案 1--25 號碼頭遮蔽係數比較圖

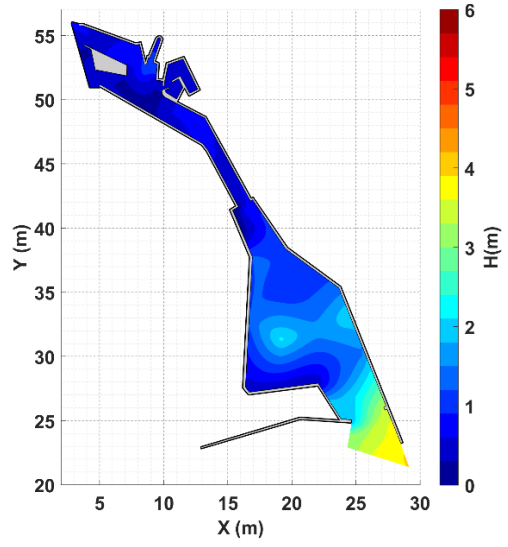
將方案 0 各觀測站發生遮蔽係數峰值之週期與方案 1 進行比較，彙整如表 6-2 所示，9 號碼頭於週期 22 秒處係數明顯由 0.30 降至 0.13、週期 23 秒處由 0.24 降至 0.07，但於週期 10 秒、19 秒及 26 秒處明顯提升，但整體遮蔽係數仍偏小，差異性並不大，17 號與 25 號碼頭遮蔽係數趨勢於方案 0 與方案 1 中相似，僅於 25 碼頭週期 28 秒處由 0.42 降至 0.17，但 25 秒處則是由 0.29 提升至 0.60。

表 6-2 方案 1 各觀測站遮蔽係數比較表

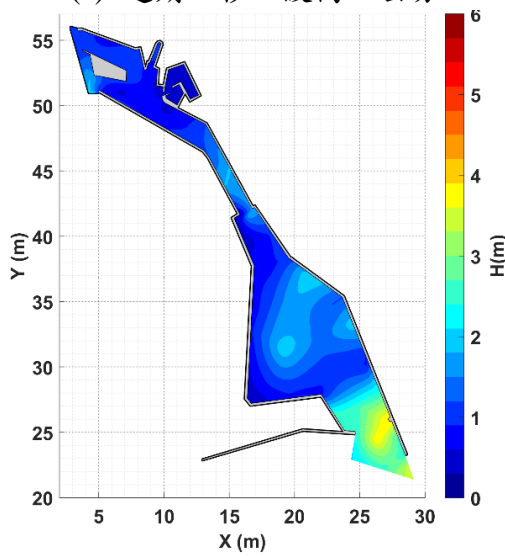
9 號碼頭		17 號碼頭		25 號碼頭	
週期 (sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數
24	0.30	30	0.67	29	0.80
22	0.13	28	0.60	27	0.65
15	0.23	26	0.41	30	0.66
14	0.11	14	0.52	26	0.47
23	0.07	29	0.54	23	0.58
21	0.13	13	0.07	28	0.17



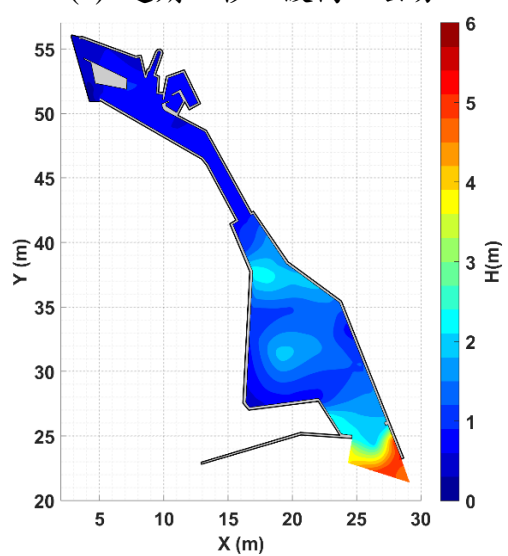
(a) 週期 8 秒，波高 4 公分



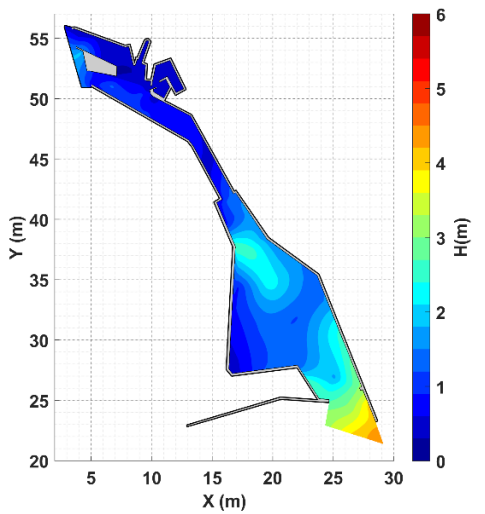
(b) 週期 9 秒，波高 4 公分



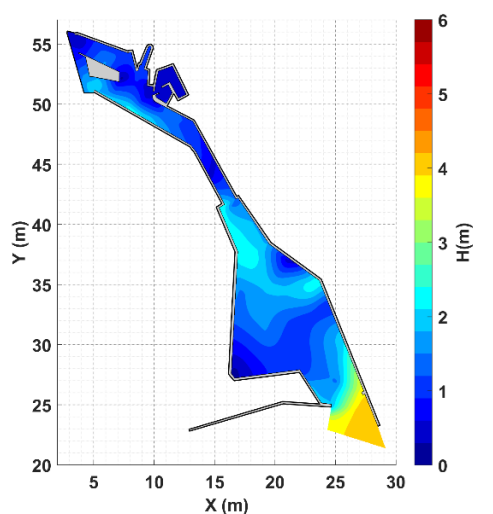
(c) 週期 10 秒，波高 4 公分



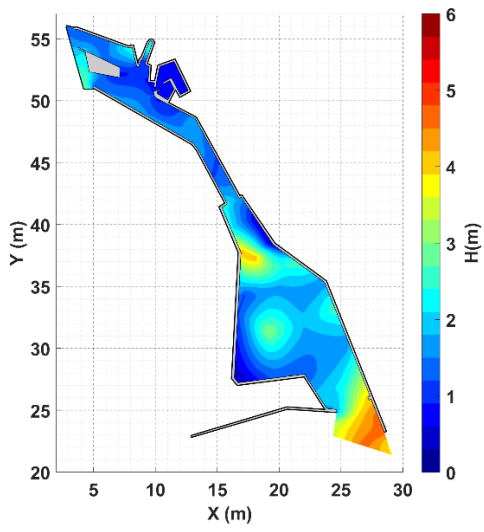
(d) 週期 11 秒，波高 4 公分



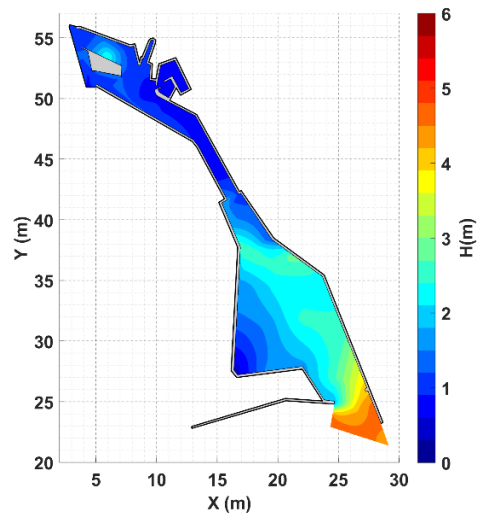
(e) 週期 12 秒，波高 4 公分



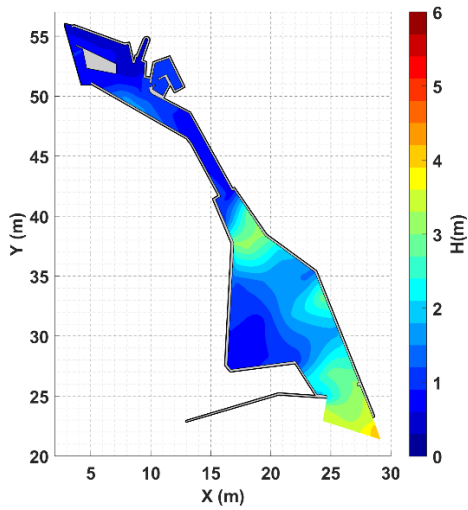
(f) 週期 13 秒，波高 4 公分



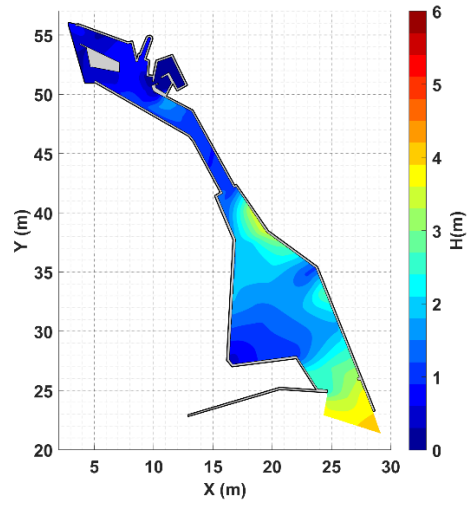
(g) 週期 14 秒，波高 4 公分



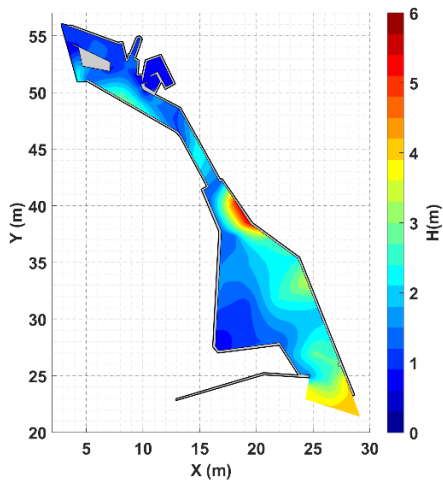
(h) 週期 15 秒，波高 4 公分



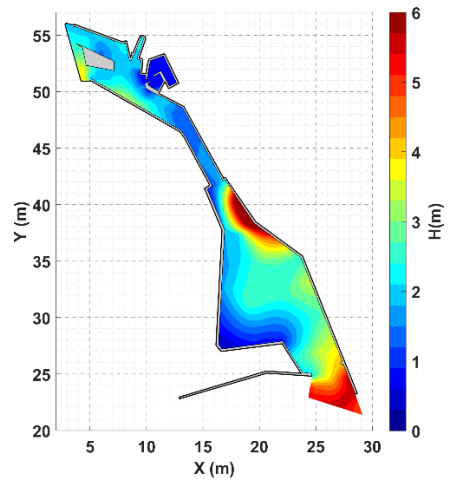
(i) 週期 16 秒，波高 4 公分



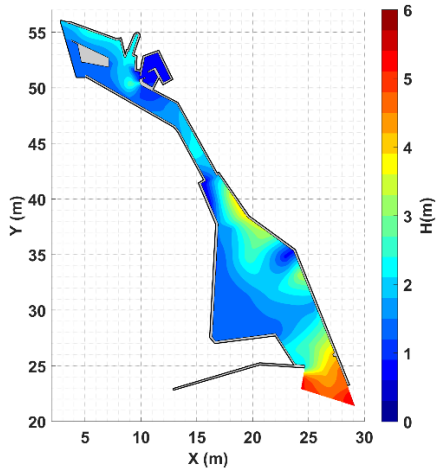
(j) 週期 17 秒，波高 4 公分



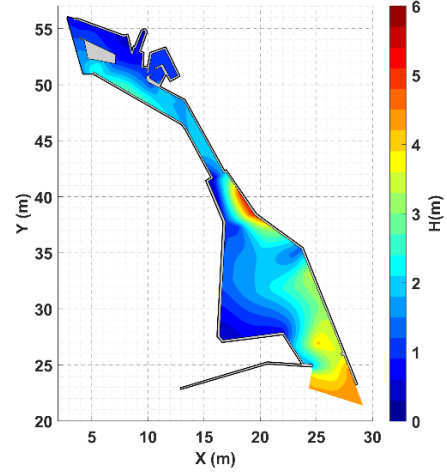
(k) 週期 18 秒，波高 4 公分



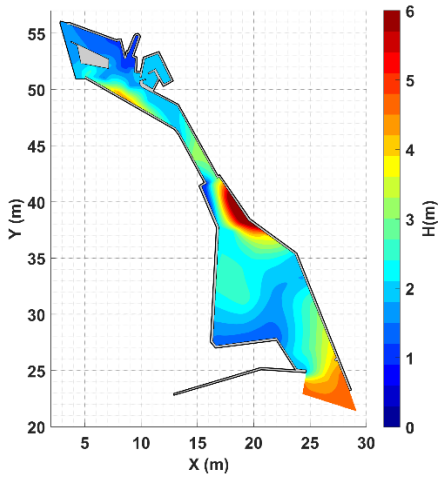
(l) 週期 19 秒，波高 4 公分



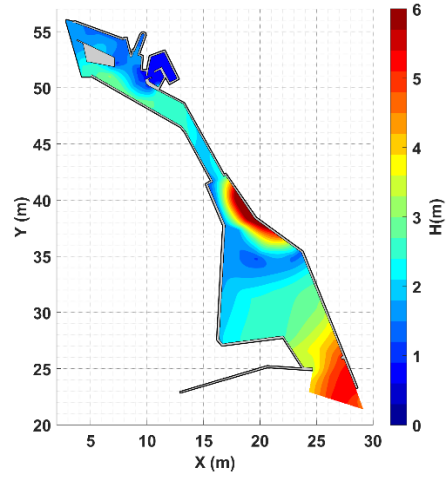
(m) 週期 20 秒，波高 4 公分



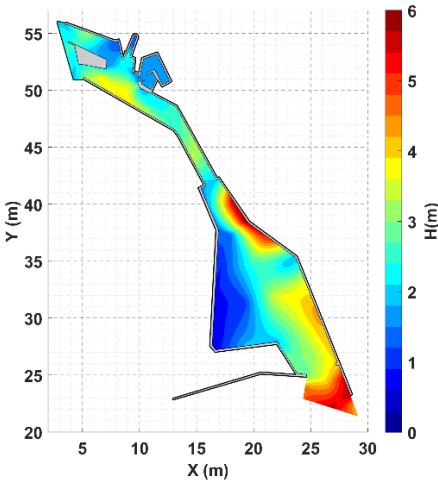
(n) 週期 21 秒，波高 4 公分



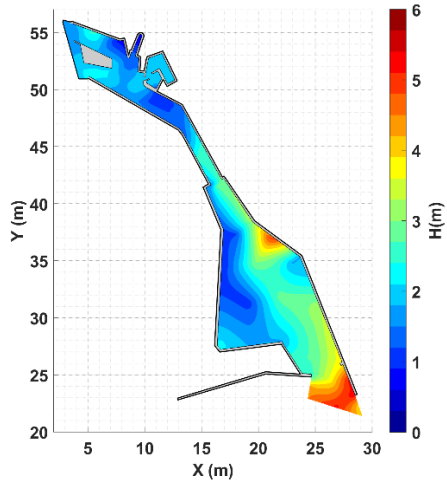
(o) 週期 22 秒，波高 4 公分



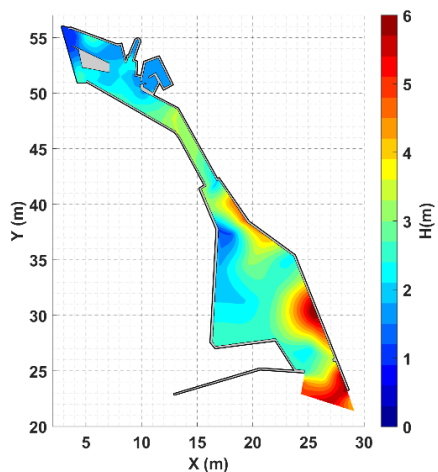
(p) 週期 23 秒，波高 4 公分



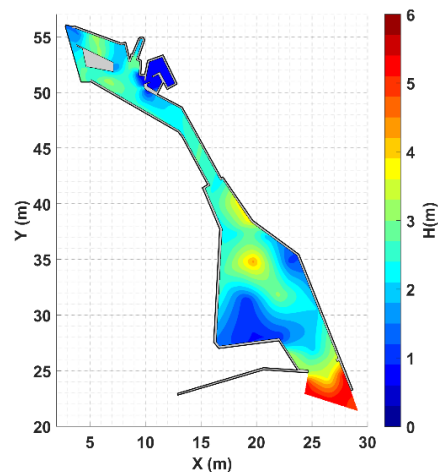
(q) 週期 24 秒，波高 4 公分



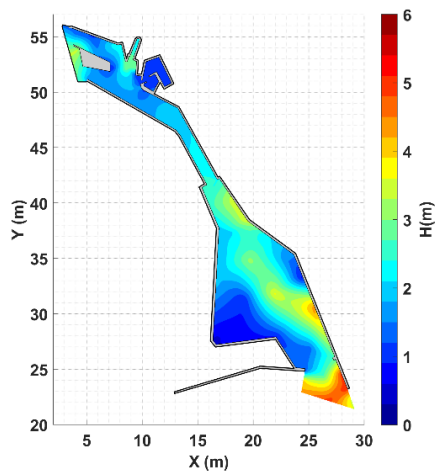
(r) 週期 25 秒，波高 4 公分



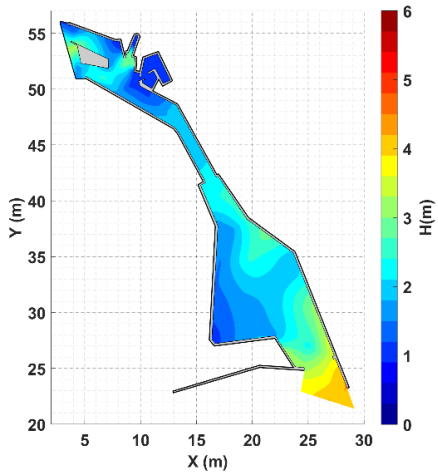
(s) 週期 26 秒，波高 4 公分



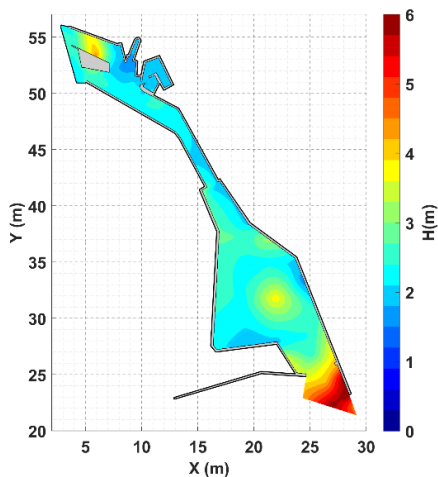
(t) 週期 27 秒，波高 4 公分



(u) 週期 28 秒，波高 4 公分

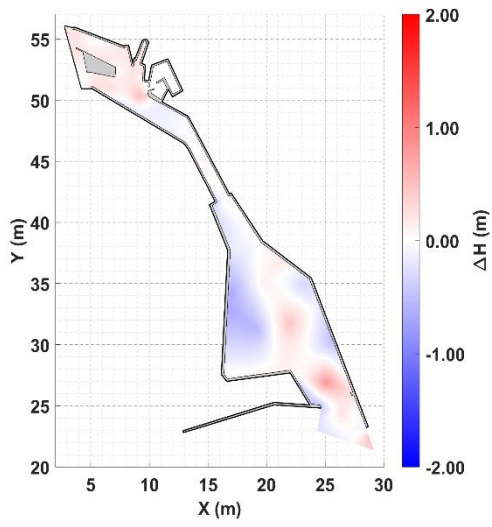


(v) 週期 29 秒，波高 4 公分

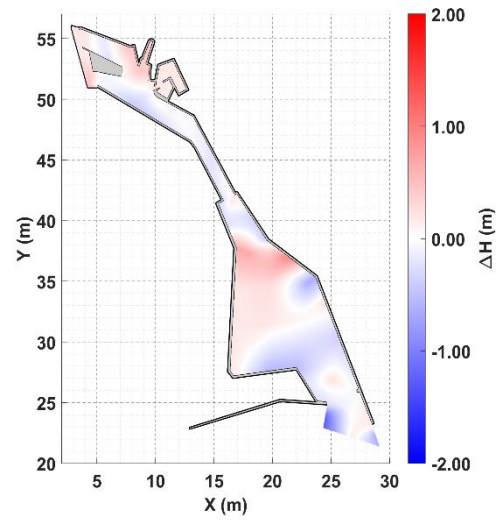


(w) 週期 30 秒，波高 4 公分

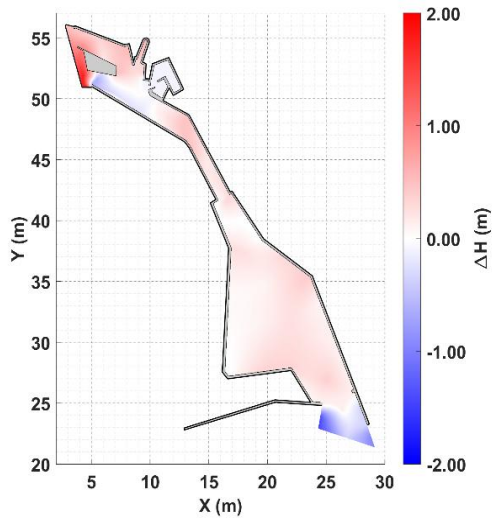
圖 6.15 方案 1 波高分布圖



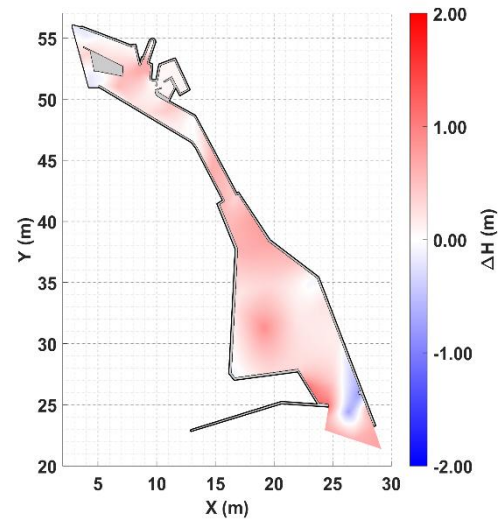
(a) 週期 8 秒，波高 4 公分



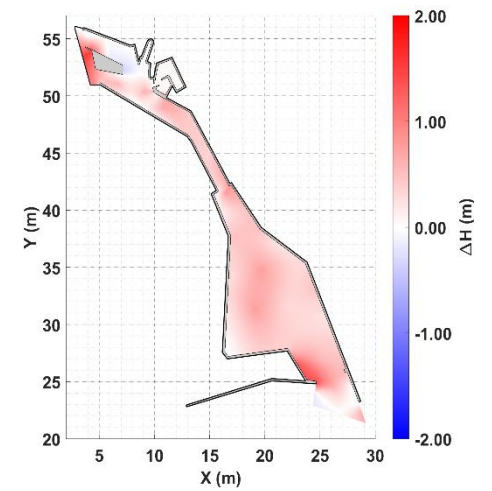
(b) 週期 9 秒，波高 4 公分



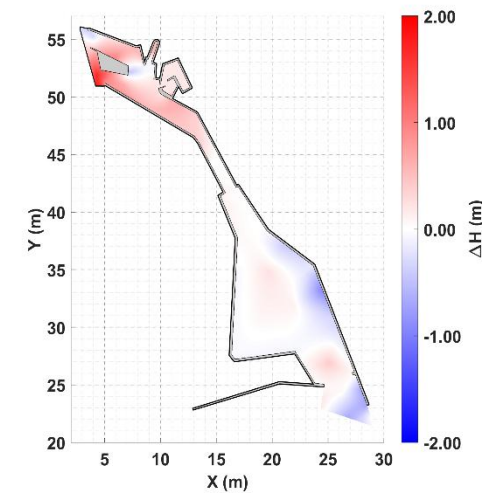
(c) 週期 10 秒，波高 4 公分



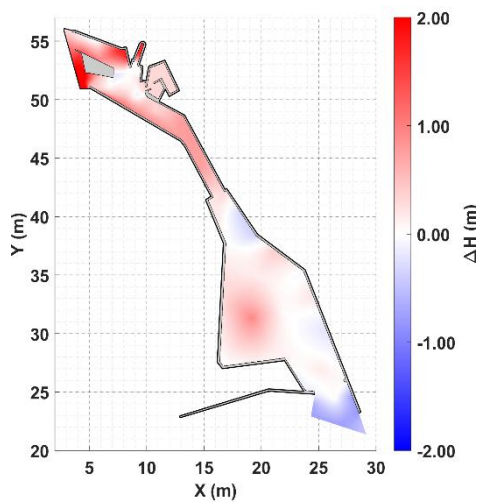
(d) 週期 11 秒，波高 4 公分



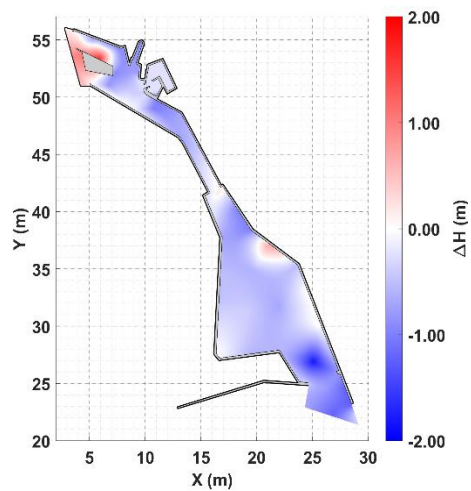
(e) 週期 12 秒，波高 4 公分



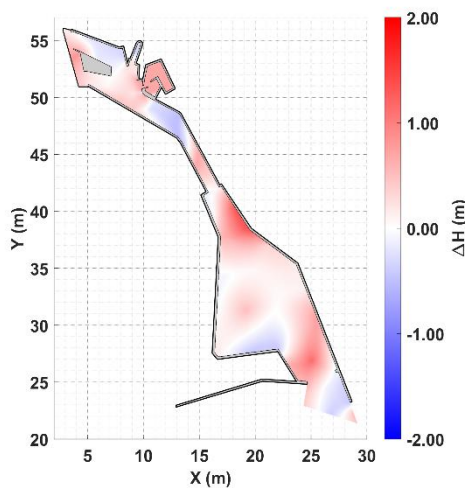
(f) 週期 13 秒，波高 4 公分



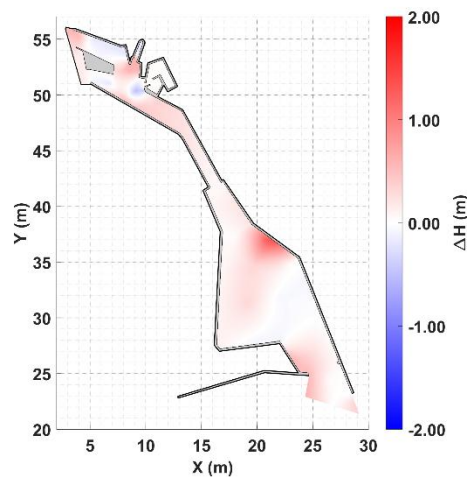
(g) 週期 14 秒，波高 4 公分



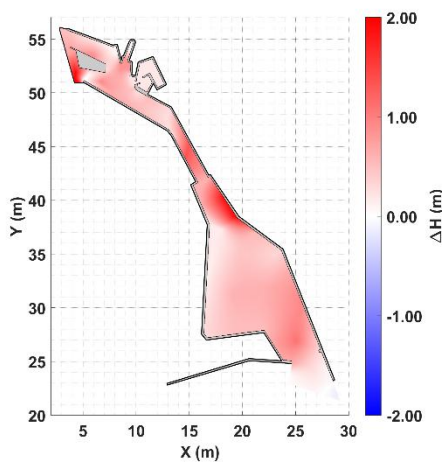
(h) 週期 15 秒，波高 4 公分



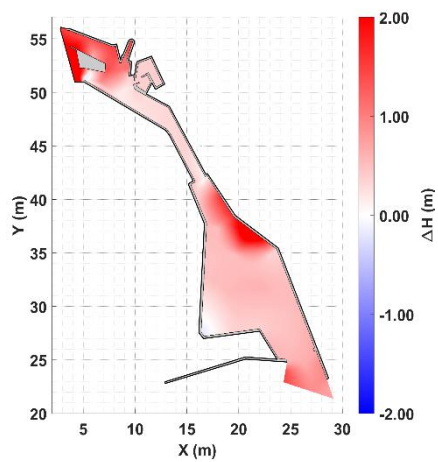
(i) 週期 16 秒，波高 4 公分



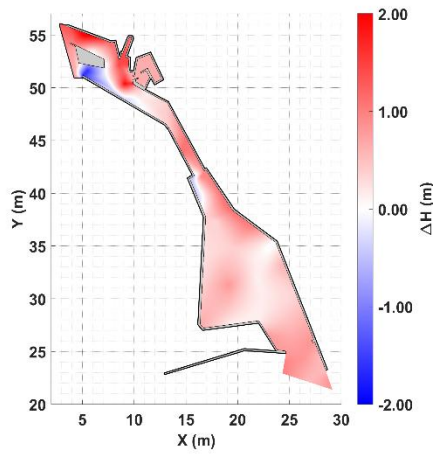
(j) 週期 17 秒，波高 4 公分



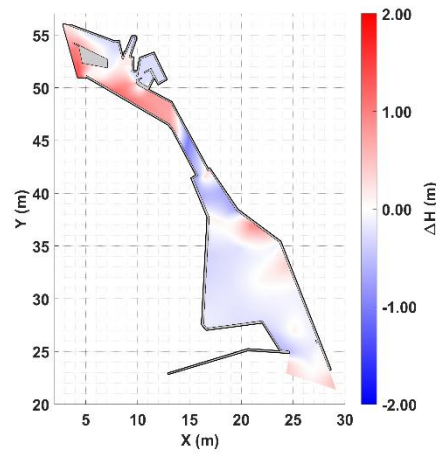
(k) 週期 18 秒，波高 4 公分



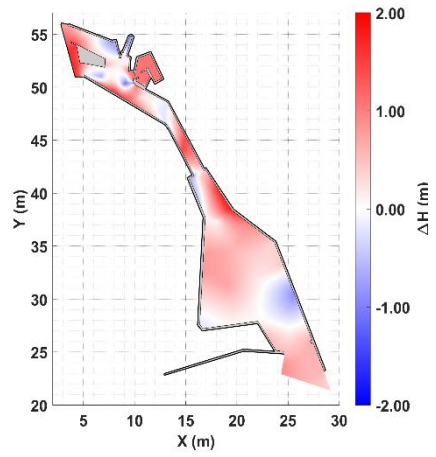
(l) 週期 19 秒，波高 4 公分



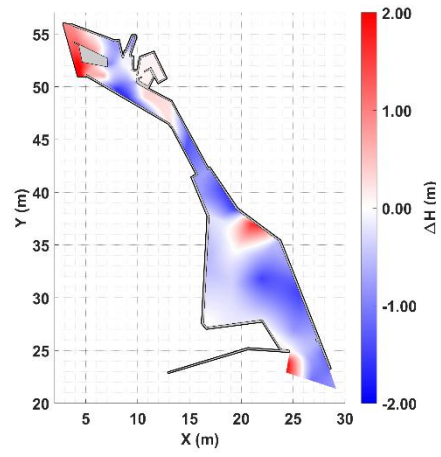
(m) 週期 20 秒，波高 4 公分



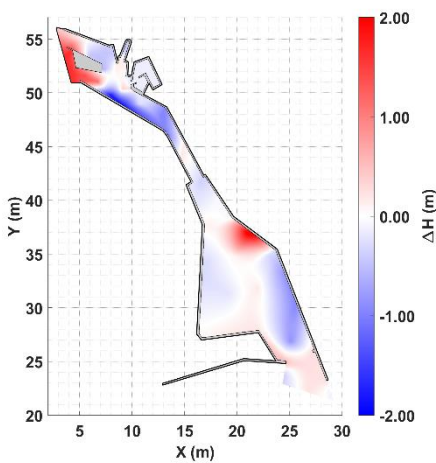
(n) 週期 21 秒，波高 4 公分



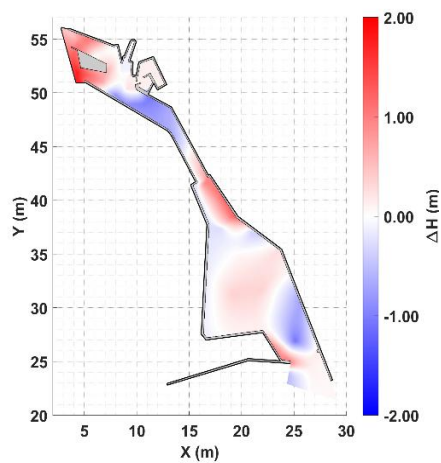
(o) 週期 22 秒，波高 4 公分



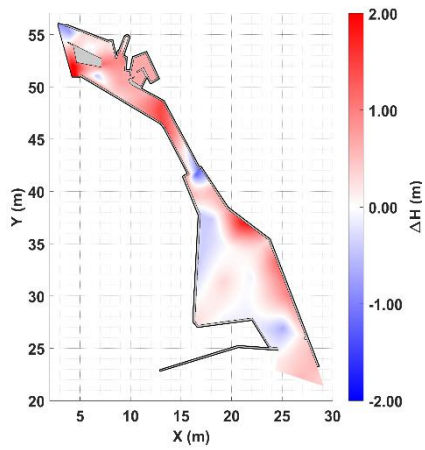
(p) 週期 23 秒，波高 4 公分



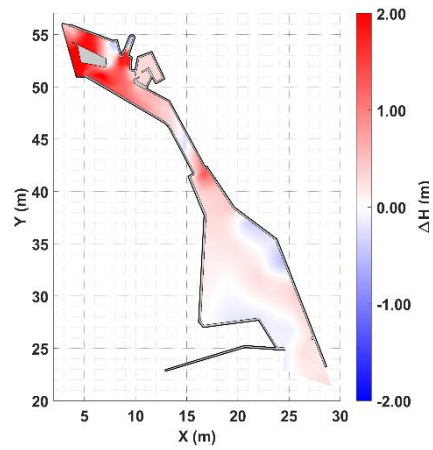
(q) 週期 24 秒，波高 4 公分



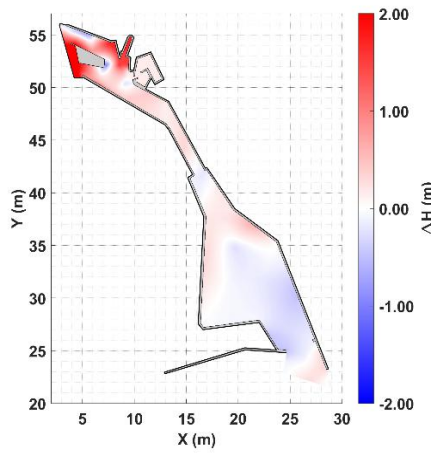
(r) 週期 25 秒，波高 4 公分



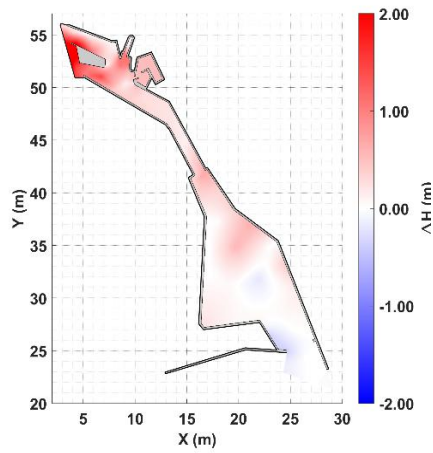
(s) 週期 26 秒，波高 4 公分



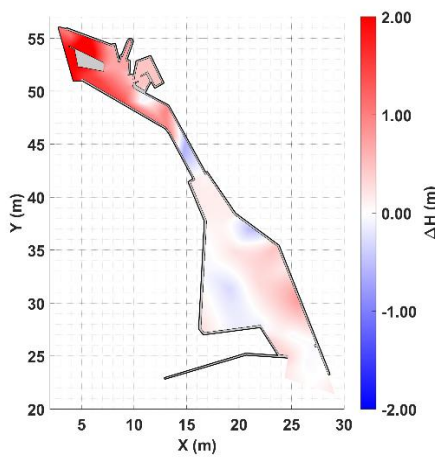
(t) 週期 27 秒，波高 4 公分



(u) 週期 28 秒，波高 4 公分



(v) 週期 29 秒，波高 4 公分



(w) 週期 30 秒，波高 4 公分

圖 6.16 方案 1 與方案 0 波高差異分布圖

進一步將試驗結果繪製方案 1 波高分布圖，如圖 6.15 所示，從圖得知，內港區 1 號~6 號碼頭於週期 21 秒後波高明顯較大，25 秒時方案 0 與方案 1 之內港區靜穩度良好，但於週期 30 秒處 10~15 號碼頭波高明顯變大，可能為內港區波腹處。透過觀察波場分布可知，越長週期波浪之能量應是沿東方波堤傳遞至內港，而外港區 21~24 號碼頭因受遮蔽影響，其靜穩度相對其他碼頭穩定，新舊東防波堤交接處於週期 21~26 秒時有波高明顯變大情形，可能是外港區域波腹處，將方案 0 與方案 1 波高分布圖進行差異比較，如圖 6.16 所示，可以看到通水箱涵區域波高於週期 18~30 秒時明顯較大。

#### 6.4 方案 2：7 號消能碼頭方案試驗結果

本方案於內港 7 號碼頭設置具消能機制之斜面越波排水開孔式結構物，改變原內港邊界條件，降低港內反射界面之整體反射係數，造波過程如圖 6.17 所示。



圖 6.17 方案 2 造波過程

經分析探討，將觀測資料、方案 0(現況地形)與方案 2 之遮蔽係數進行比較，如圖 6.18~圖 6.20 所示，因改善方案僅針對內港區 7 號碼

頭進行改造，17 與 25 號碼頭遮蔽係數大部分無明顯變化，9 號碼頭於週期 20、21 秒有明顯提升，主要峰值改變至 20 秒處，15 秒處係數則是降低，但整體係數與方案 0 差異不大。

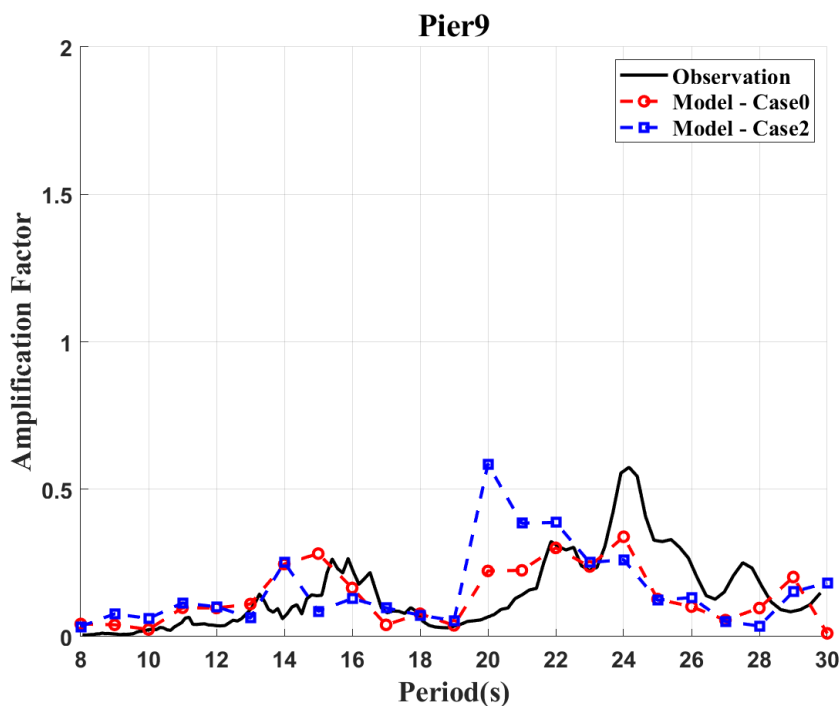


圖 6.18 方案 2--9 號碼頭遮蔽係數比較圖

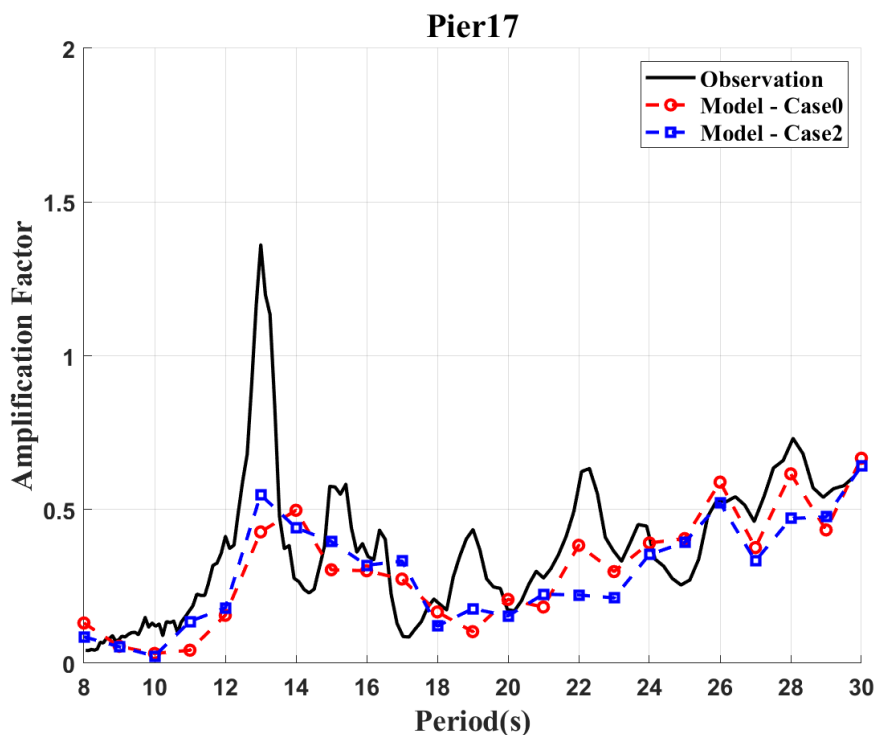


圖 6.19 方案 2--17 號碼頭遮蔽係數比較圖

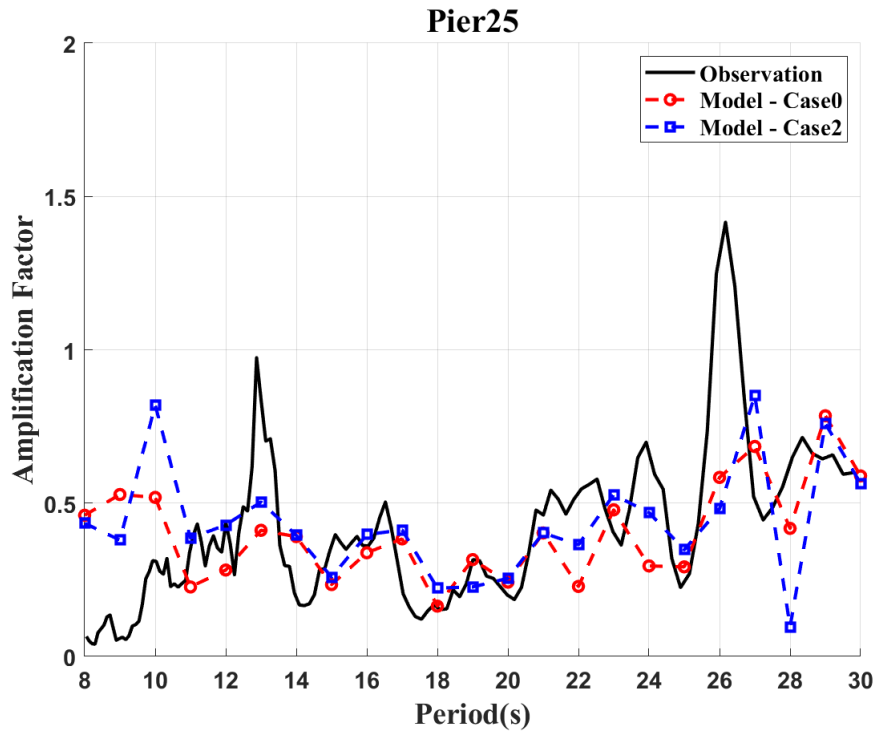
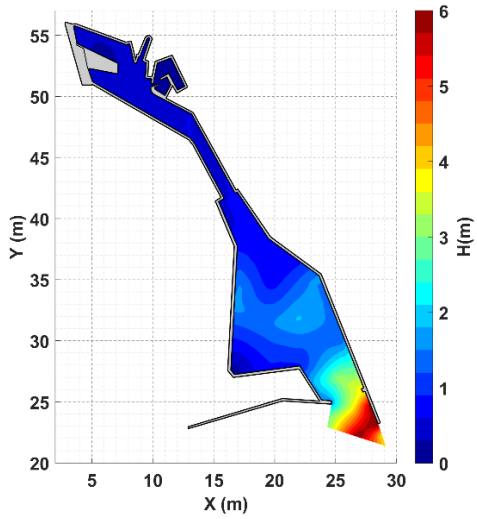


圖 6.20 方案 2--25 號碼頭遮蔽係數比較圖

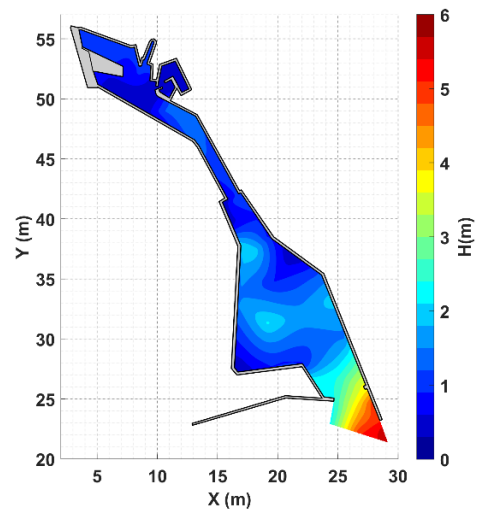
將方案 0 各觀測站發生遮蔽係數峰值之週期與方案 2 進行比較，彙整如表 6-3 所示，9 號碼頭於週期 15 秒處係數明顯由 0.28 降至 0.09，週期 20 秒處由 0.22 升至 0.59，週期 21 秒處由 0.22 升至 0.38，其餘週期遮蔽係數與方案 0 差異不大，17 號與 25 號碼頭遮蔽係數趨勢於方案 0 與方案 2 相似，僅於 25 號碼頭週期 28 秒處由 0.42 降至 0.10。

表 6-3 方案 2 各觀測站遮蔽係數比較表

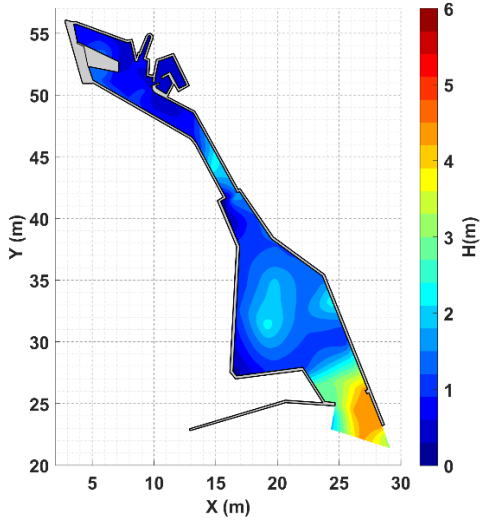
9 號碼頭		17 號碼頭		25 號碼頭	
週期(sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數
24	0.26	30	0.64	29	0.76
22	0.39	28	0.47	27	0.85
15	0.09	26	0.13	30	0.26
14	0.25	14	0.44	26	0.40
23	0.25	29	0.21	23	0.53
21	0.38	13	0.22	28	0.10



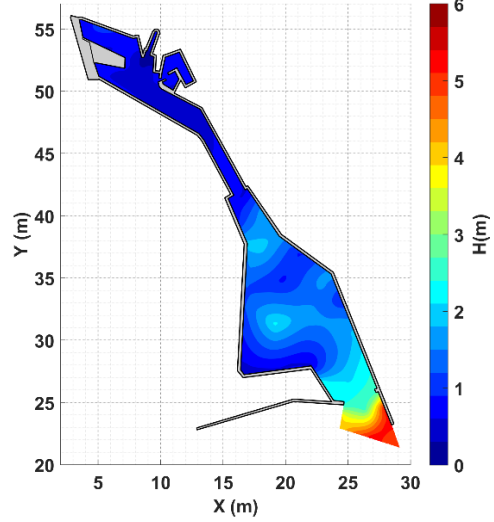
(a) 週期 8 秒，波高 4 公分



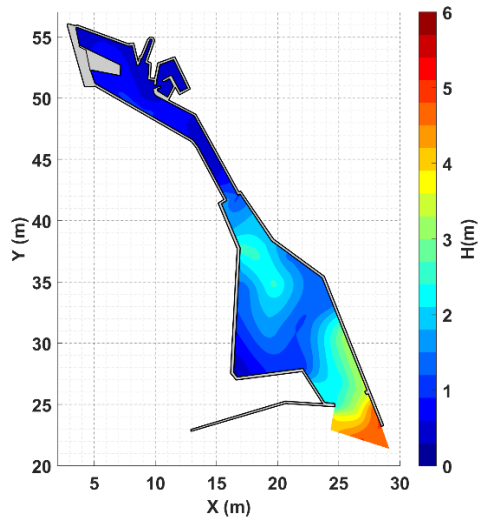
(b) 週期 9 秒，波高 4 公分



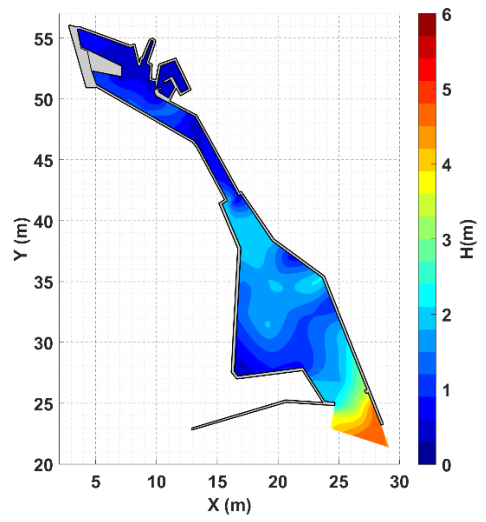
(c) 週期 10 秒，波高 4 公分



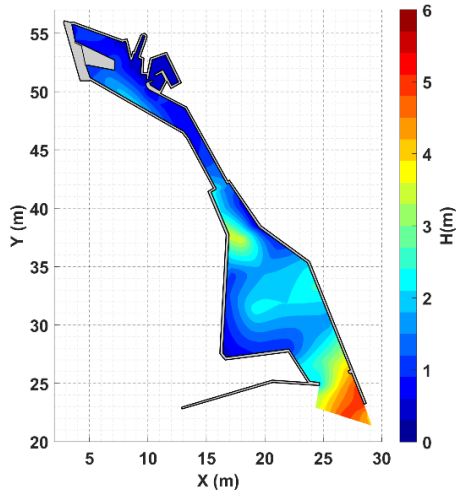
(d) 週期 11 秒，波高 4 公分



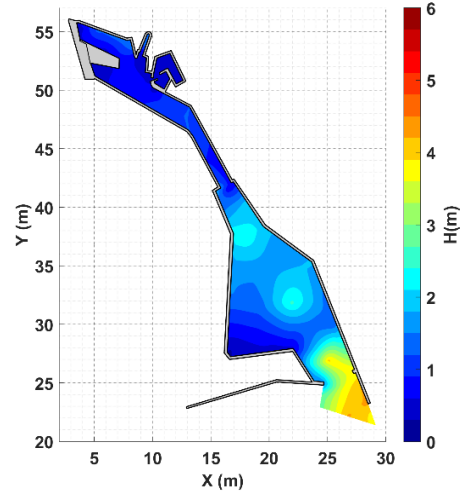
(e) 週期 12 秒，波高 4 公分



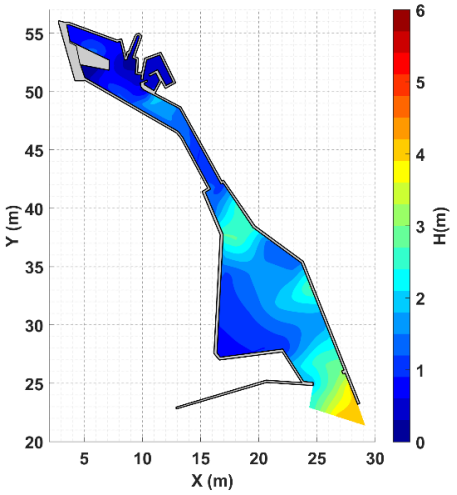
(f) 週期 13 秒，波高 4 公分



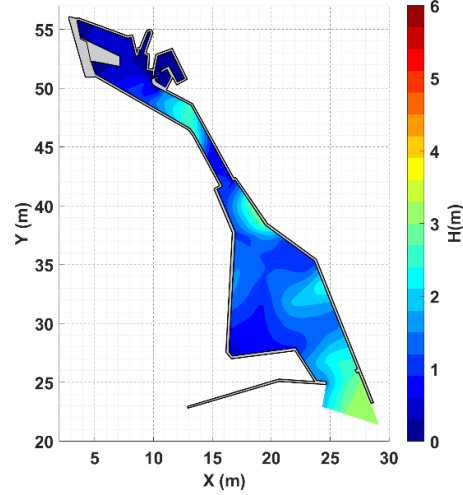
(g) 週期 14 秒，波高 4 公分



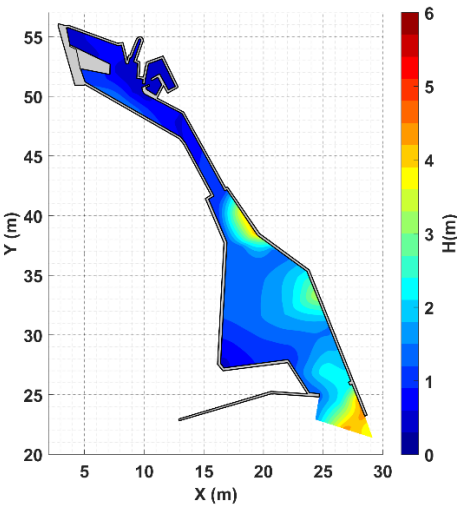
(h) 週期 15 秒，波高 4 公分



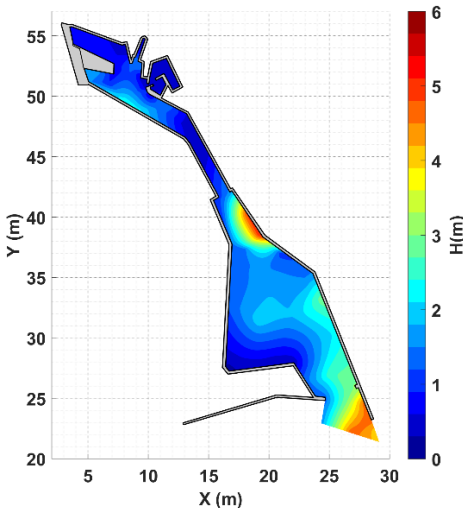
(i) 週期 16 秒，波高 4 公分



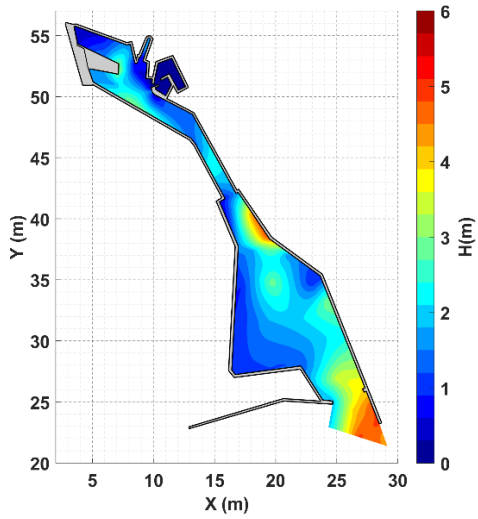
(j) 週期 17 秒，波高 4 公分



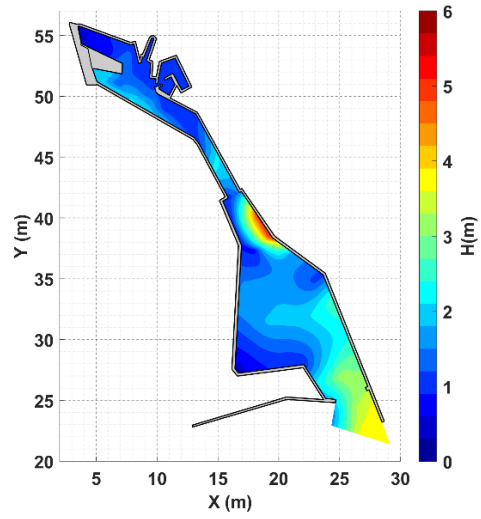
(k) 週期 18 秒，波高 4 公分



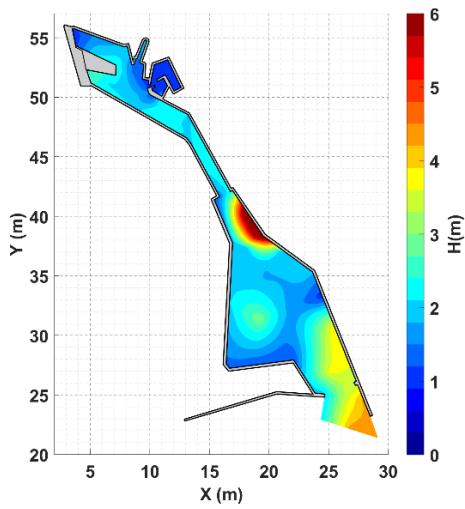
(l) 週期 19 秒，波高 4 公分



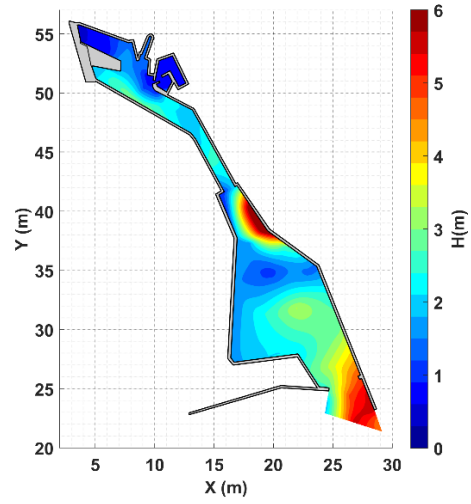
(m) 週期 20 秒，波高 4 公分



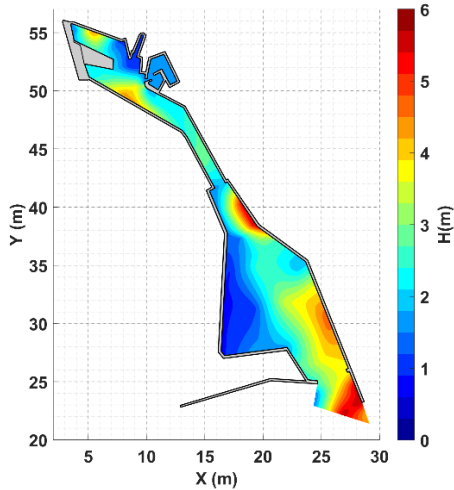
(n) 週期 21 秒，波高 4 公分



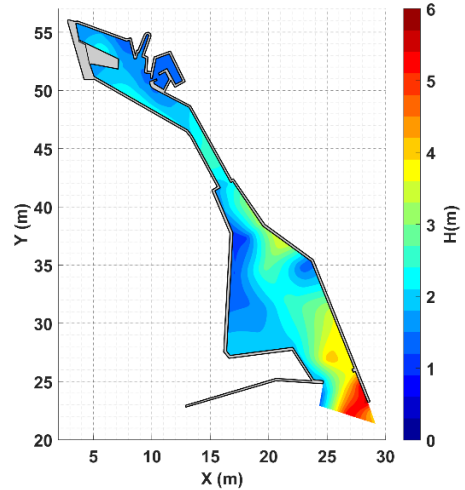
(o) 週期 22 秒，波高 4 公分



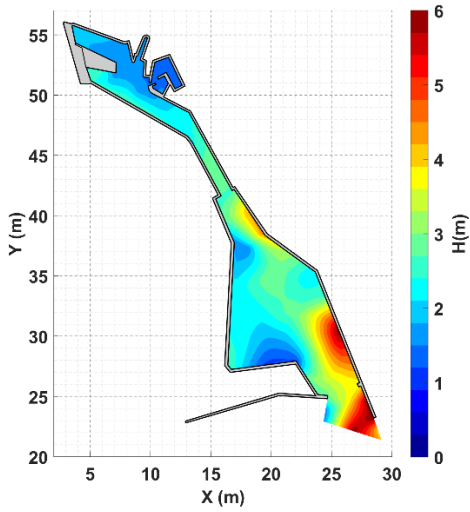
(p) 週期 23 秒，波高 4 公分



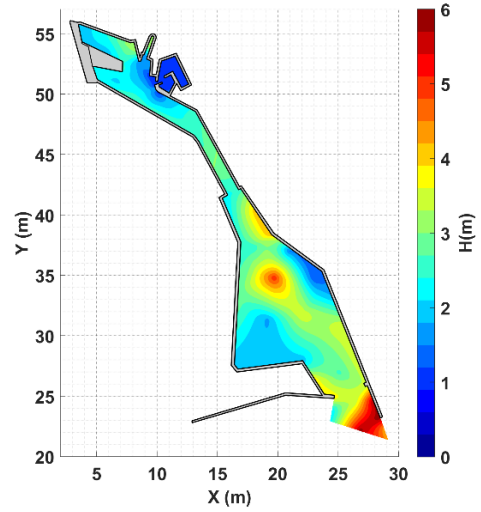
(q) 週期 24 秒，波高 4 公分



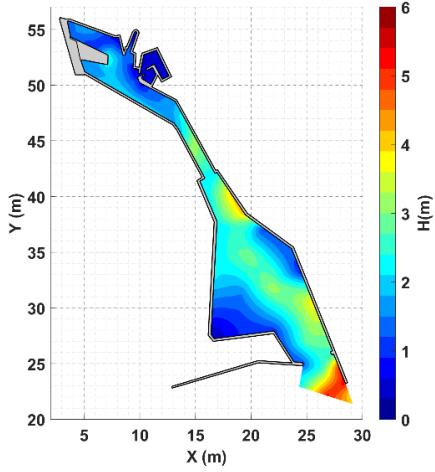
(r) 週期 25 秒，波高 4 公分



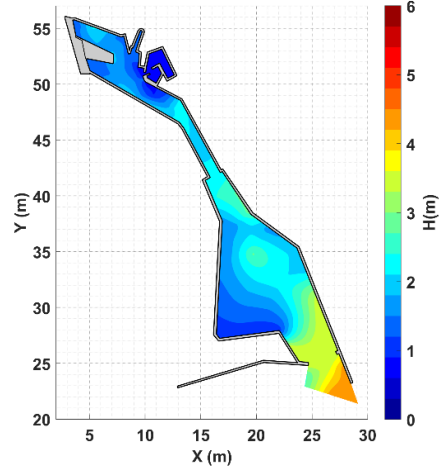
(s) 週期 26 秒，波高 4 公分



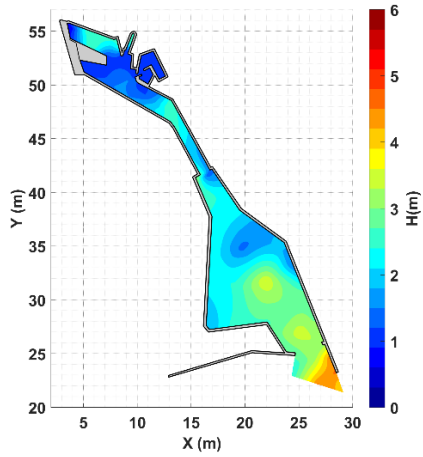
(t) 週期 27 秒，波高 4 公分



(u) 週期 28 秒，波高 4 公分

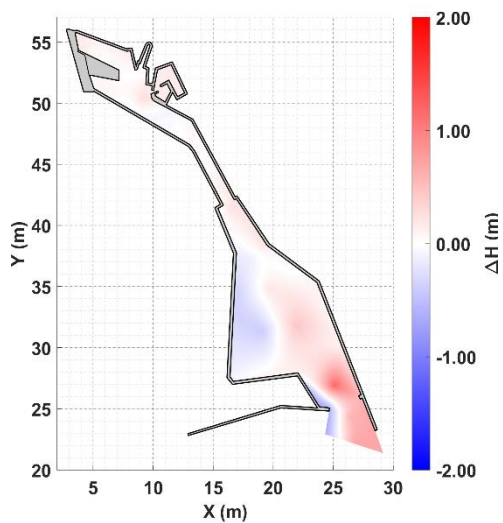


(v) 週期 29 秒，波高 4 公分

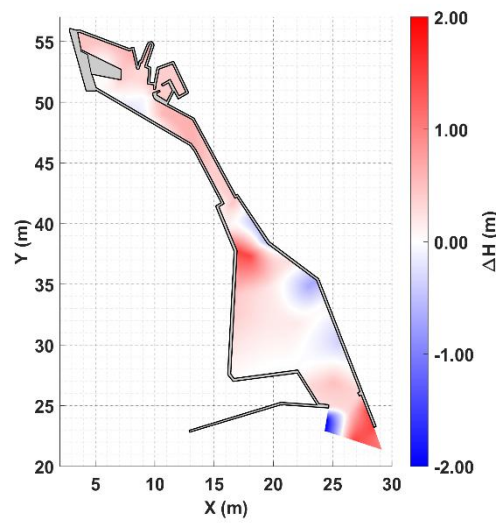


(w) 週期 30 秒，波高 4 公分

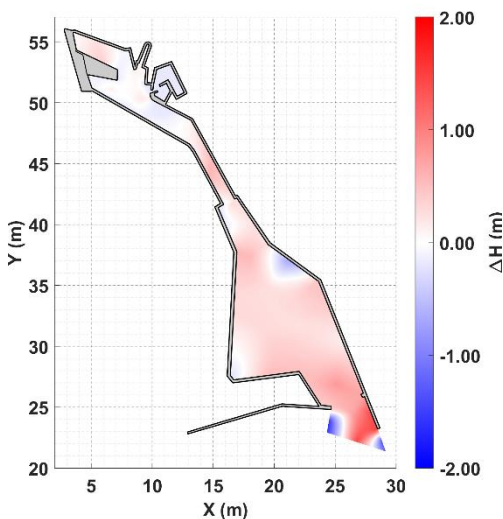
圖 6.21 方案 2 波高分布圖



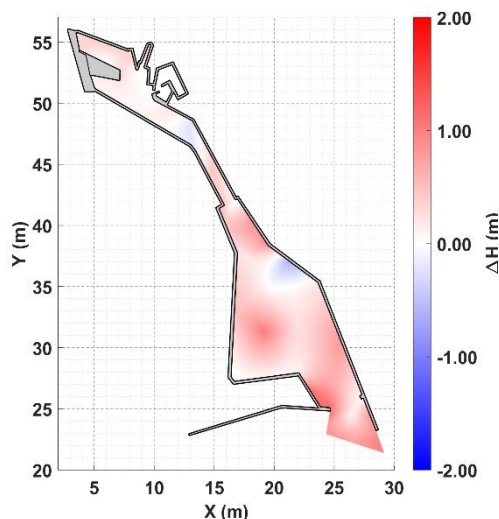
(a) 週期 8 秒，波高 4 公分



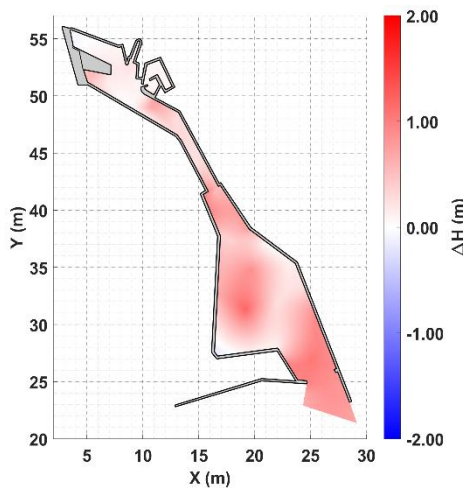
(b) 週期 9 秒，波高 4 公分



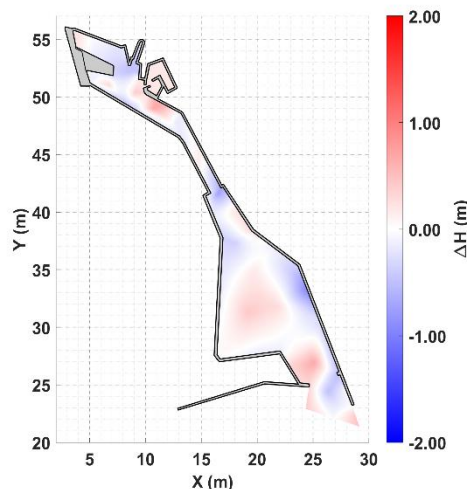
(c) 週期 10 秒，波高 4 公分



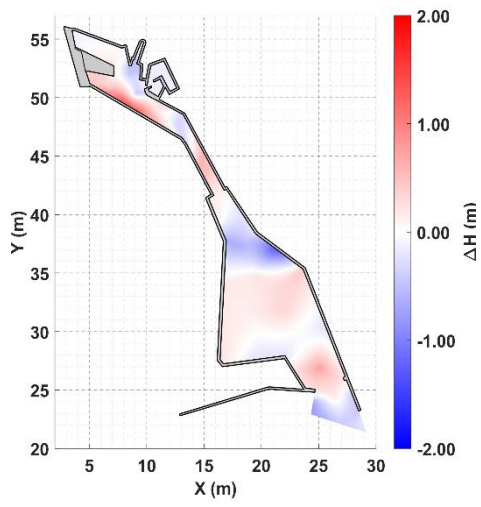
(d) 週期 11 秒，波高 4 公分



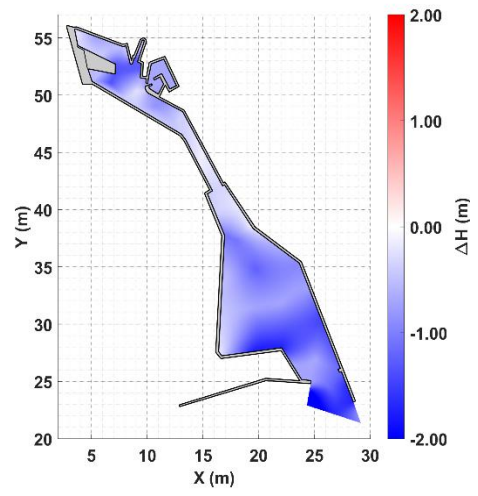
(e) 週期 12 秒，波高 4 公分



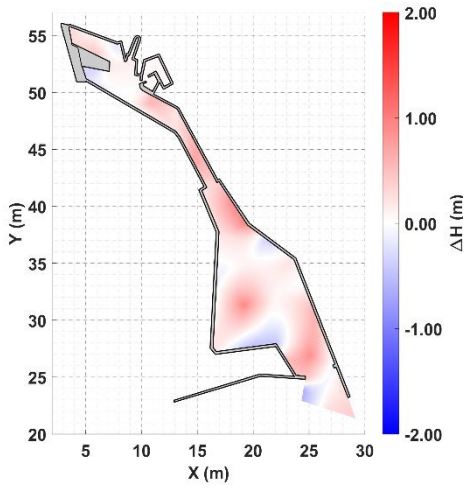
(f) 週期 13 秒，波高 4 公分



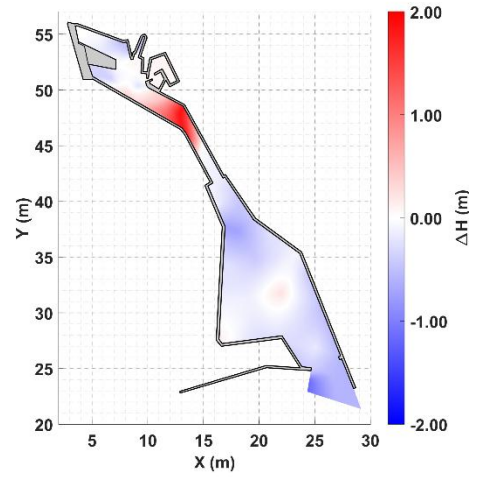
(g) 週期 14 秒，波高 4 公分



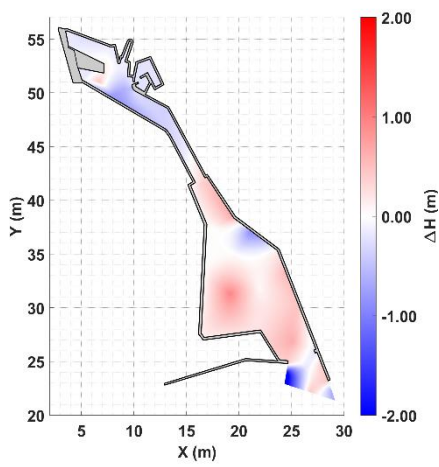
(h) 週期 15 秒，波高 4 公分



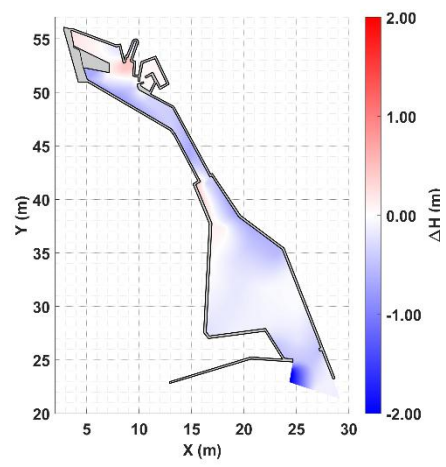
(i) 週期 16 秒，波高 4 公分



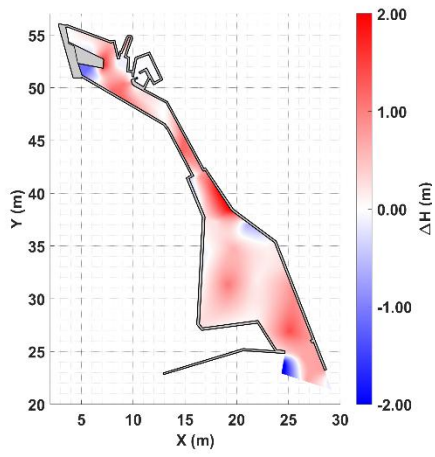
(j) 週期 17 秒，波高 4 公分



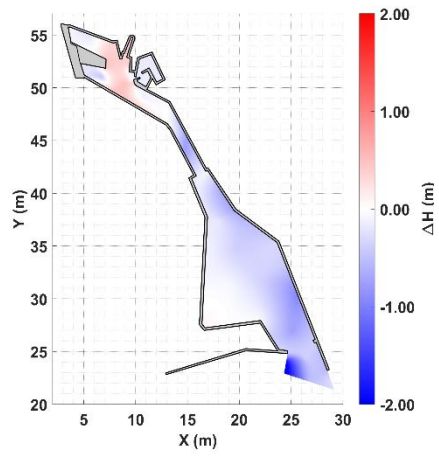
(k) 週期 18 秒，波高 4 公分



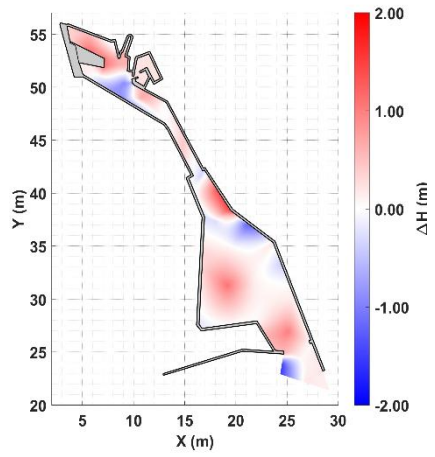
(l) 週期 19 秒，波高 4 公分



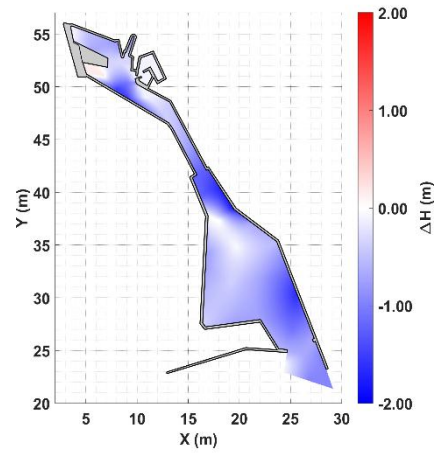
(m) 週期 20 秒，波高 4 公分



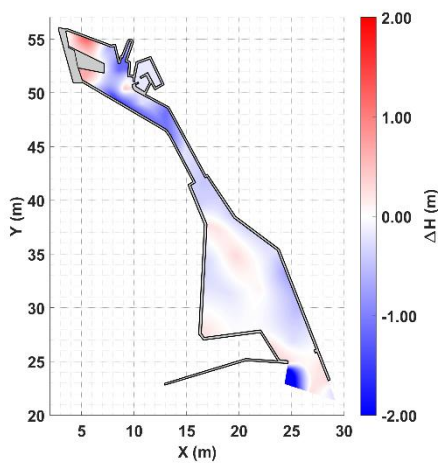
(n) 週期 21 秒，波高 4 公分



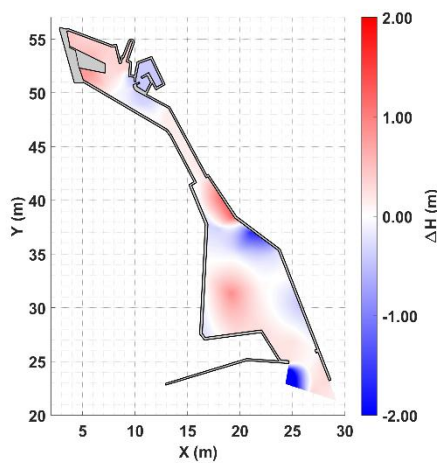
(o) 週期 22 秒，波高 4 公分



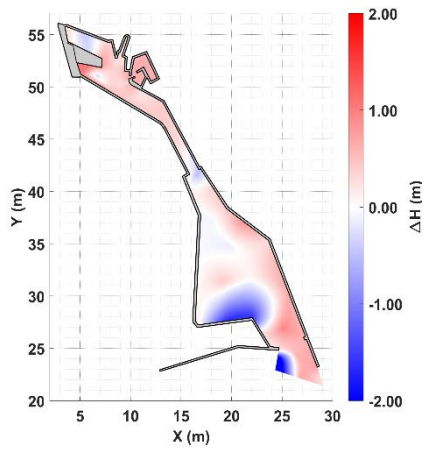
(p) 週期 23 秒，波高 4 公分



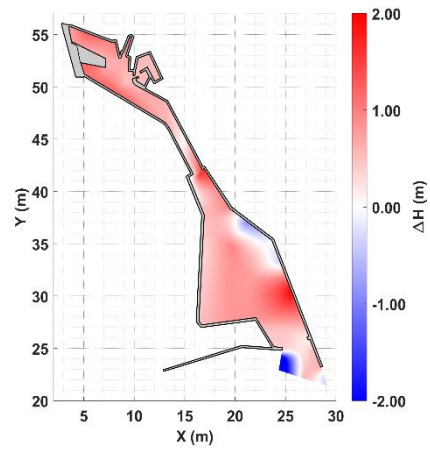
(q) 週期 24 秒，波高 4 公分



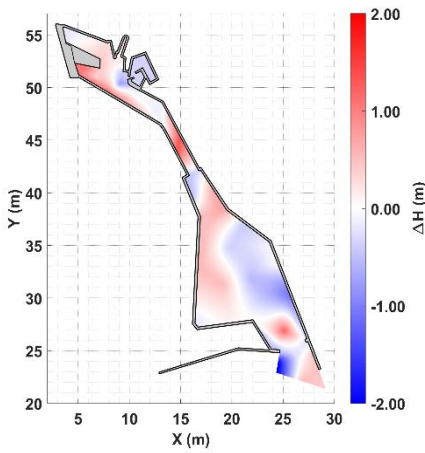
(r) 週期 25 秒，波高 4 公分



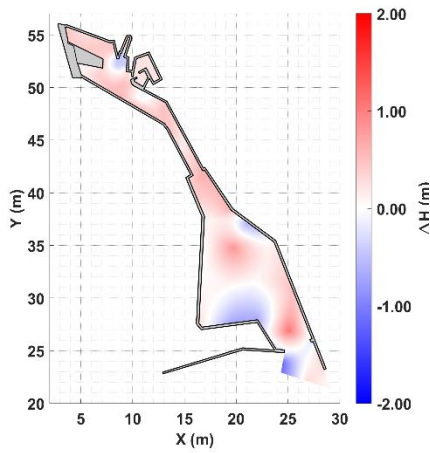
(s) 週期 26 秒，波高 4 公分



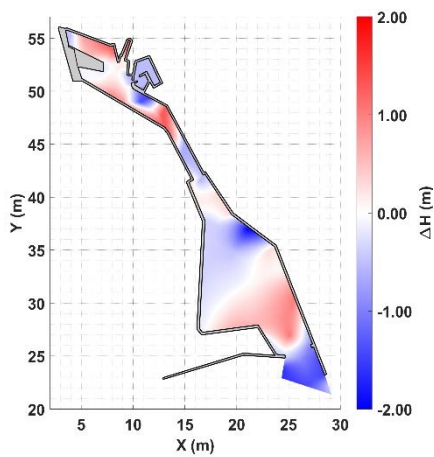
(t) 週期 27 秒，波高 4 公分



(u) 週期 28 秒，波高 4 公分



(v) 週期 29 秒，波高 4 公分



(w) 週期 30 秒，波高 4 公分

圖 6.22 方案 2 與方案 0 波高差異分布圖

進一步將試驗結果繪製方案 2 波高分布圖，如圖 6.21 所示，從圖得知，短週期 8~14 秒原本受遮蔽影響，在方案 0 及方案 2 皆不具顯著波高分布差異，然而於 17 秒處，波能在窄航道處有較顯著波高與方案 0 有波高分布改變情形，方案 2 於週期 27 秒處，內港區整體波高比方案 0 亦有顯著提升，整體而言，越長週期波浪之能量沿東方波堤傳遞至內港，與方案 0 相同，但內港區於較長週期時，波高有放大現象，將方案 0 與方案 2 波高分布圖進行差異比較，如圖 6.22 所示。

### 6.5 方案 3：外港拋石消能方案試驗結果

評估花蓮港港型與日本苫小牧港類似，屬面臨開放海域之港口，在現有港型基礎下，參考苫小牧港於防波堤側邊施作拋石消能設施方式，於花蓮港新東防波堤 0K~500K 處設置拋石設施，並避開外港區迴船池與航道，藉此降低外港區域波浪能量，避免波浪更進一步傳遞至內港或反射引起港池振盪，主要利用粗糙石材以不規則方式拋置消散入射波能，造波過程如圖 6.23 所示。



圖 6.23 方案 3 造波過程

經分析探討，將觀測資料、方案 0(現況地形)與方案 3 之遮蔽係數進行比較，如圖 6.24~6.26 所示，方案 3 針對外港區新舊東防波堤處設置拋石進行消能，9 號碼頭遮蔽係數於週期 15、20 秒有明顯增高，

21~22 秒處係數則是降低，其餘週期之係數與方案 0 差異不大，趨勢亦大致相同，17 號碼頭於週期 8~12 秒間趨勢與方案 0 差異不大，但在週期 21~30 秒間方案 3 係數均小於方案 0，顯示外港拋石方案對於 17 號碼頭較長週期波能有達到消能作用，而方案 3 在 25 號碼頭對長週期遮蔽係數之影響有限，未能有效削弱波能。

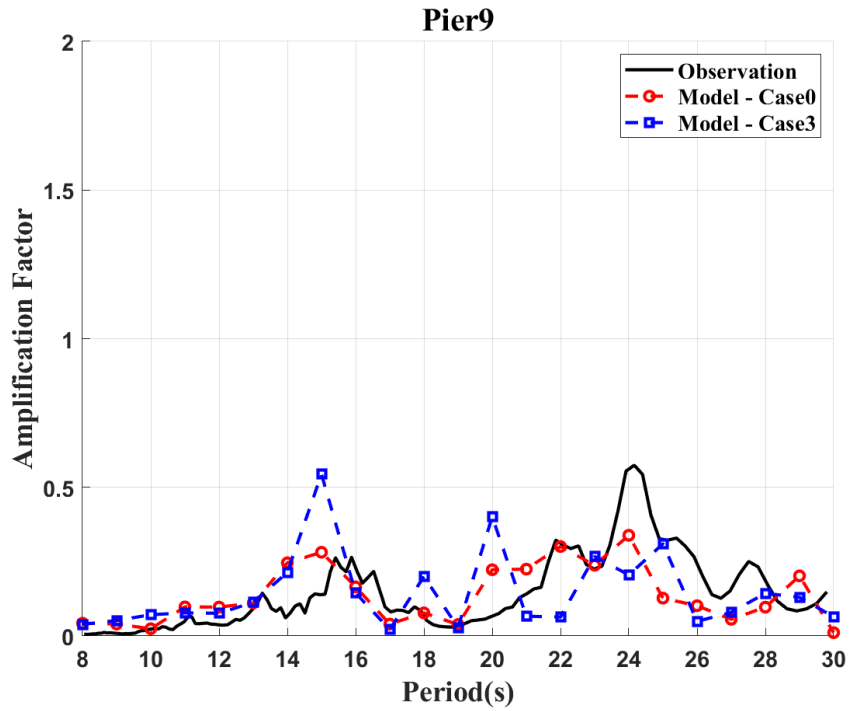


圖 6.24 方案 3--9 號碼頭遮蔽係數比較圖

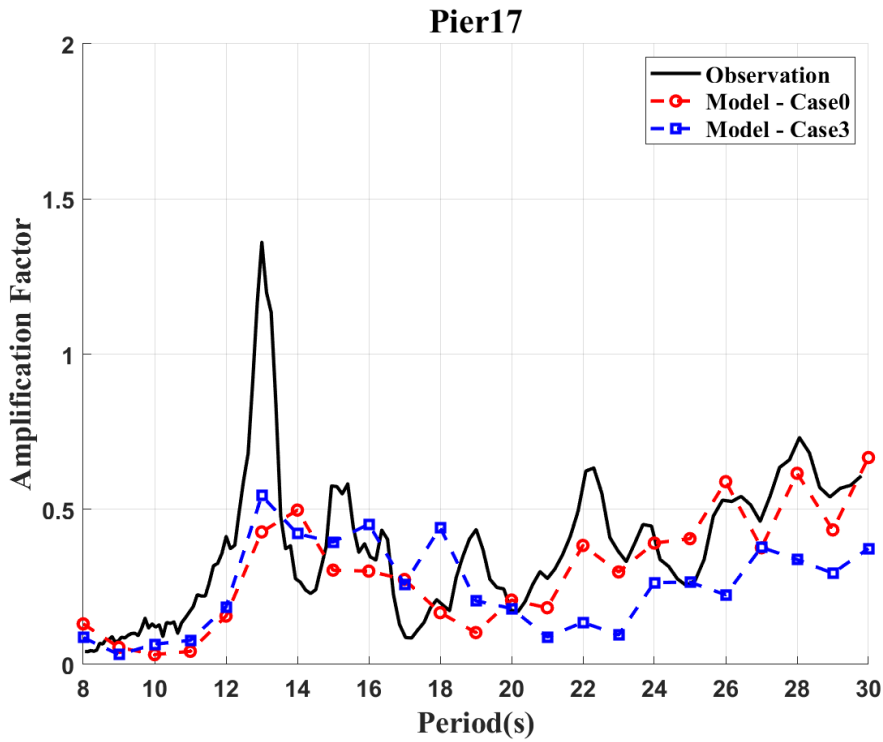


圖 6.25 方案 3--17 號碼頭遮蔽係數比較圖

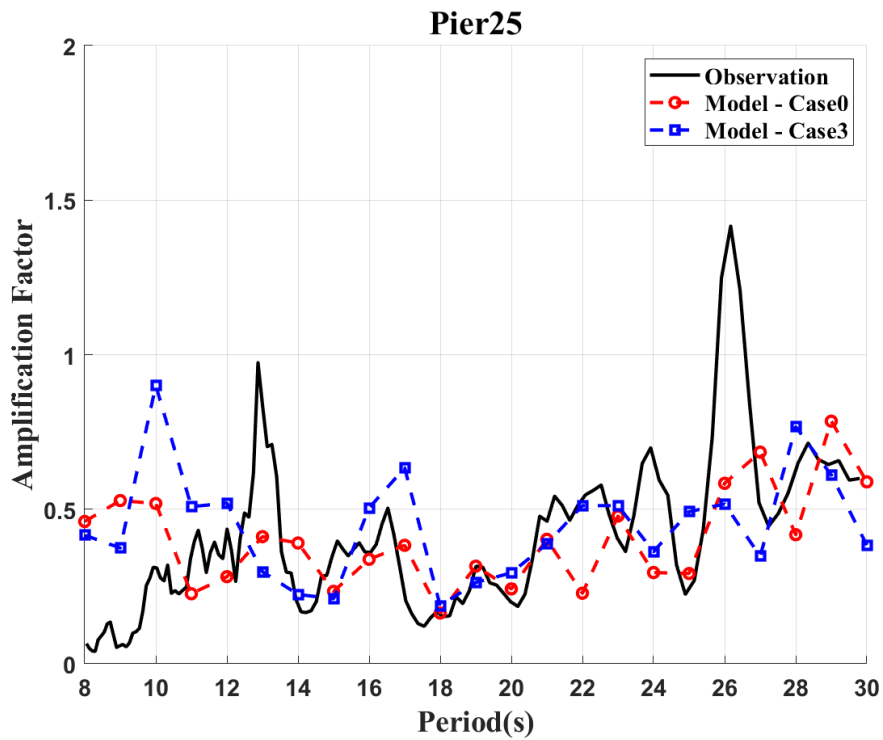


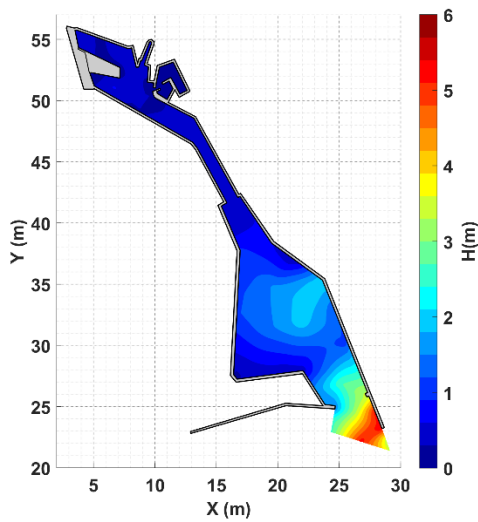
圖 6.26 方案 3--25 號碼頭遮蔽係數比較圖

將方案 0 各觀測站發生遮蔽係數峰值之週期與方案 3 進行比較，彙整如表 6-4 所示，9 號碼頭於週期 15 秒處係數明顯由 0.28 升至 0.54，

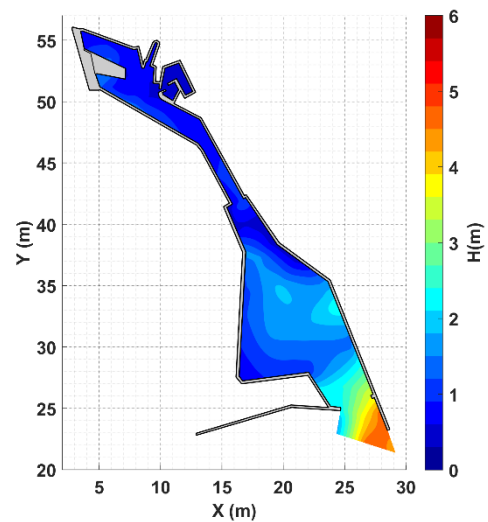
週期 20 秒處由 0.22 升至 0.40，其餘週期遮蔽係數與方案 0 差異不大，17 號碼頭週期 18 秒處由 0.17 升至 0.44，週期 21 秒後之係數均有明顯下降，而 25 號碼頭短週期遮蔽係數趨勢有上升情形。

表 6-4 方案 3 各觀測站遮蔽係數比較表

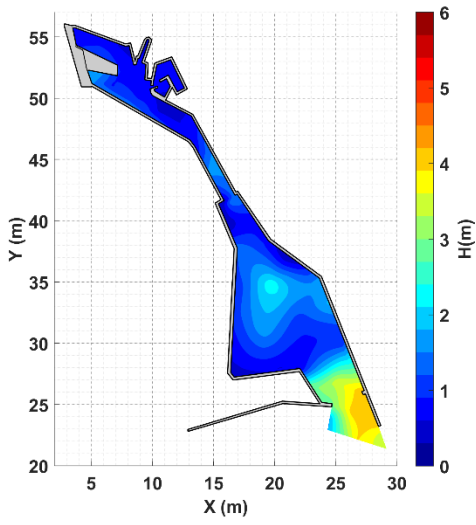
9 號碼頭		17 號碼頭		25 號碼頭	
週期(sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數	週期(sec)	遮蔽係數
24	0.21	30	0.37	29	0.61
22	0.06	28	0.34	27	0.35
15	0.54	26	0.22	30	0.38
14	0.21	14	0.42	26	0.52
23	0.27	29	0.29	23	0.51
21	0.07	13	0.54	28	0.77



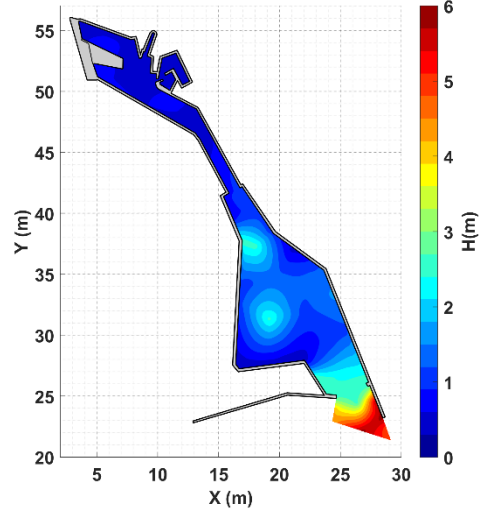
(a) 週期 8 秒，波高 4 公分



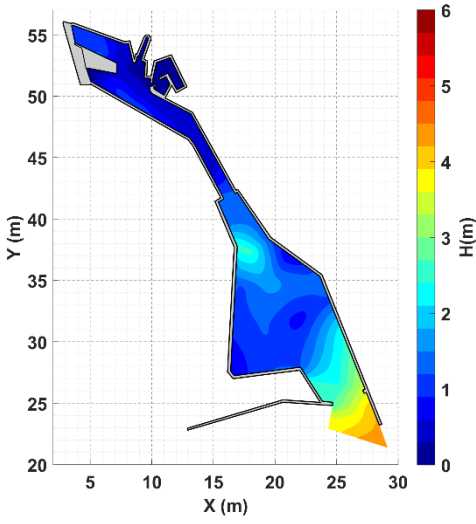
(b) 週期 9 秒，波高 4 公分



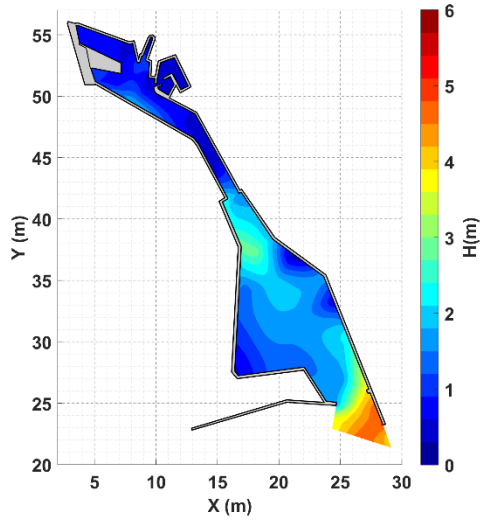
(c) 週期 10 秒，波高 4 公分



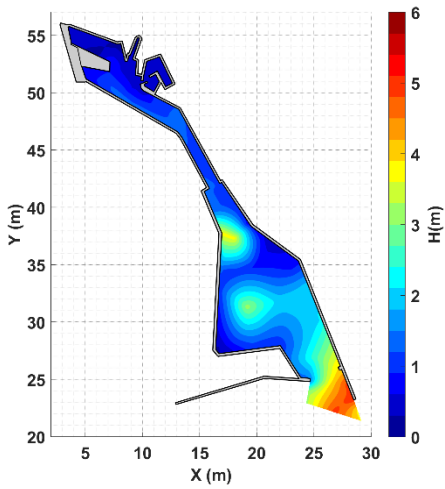
(d) 週期 11 秒，波高 4 公分



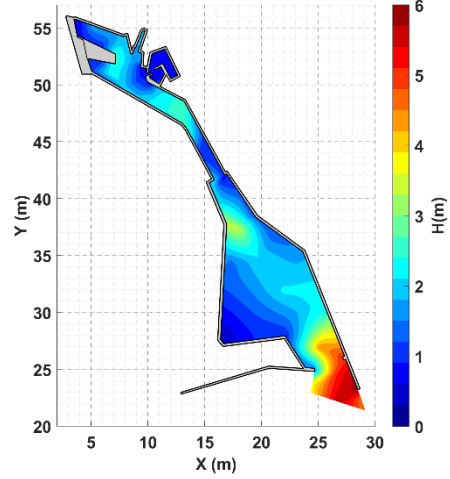
(e) 週期 12 秒，波高 4 公分



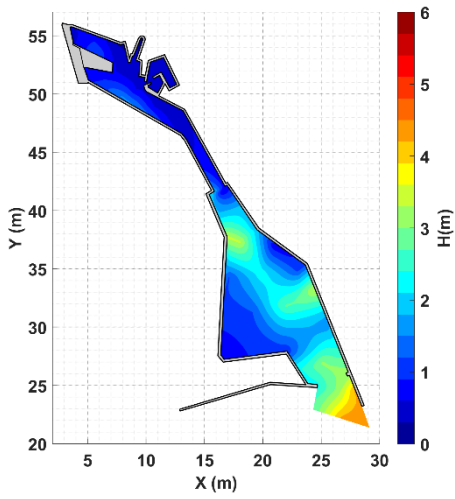
(f) 週期 13 秒，波高 4 公分



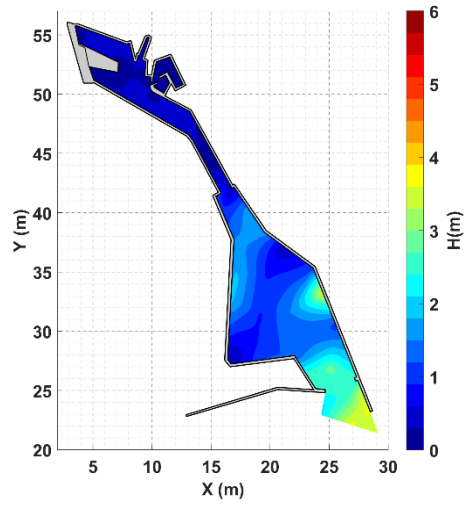
(g) 週期 14 秒，波高 4 公分



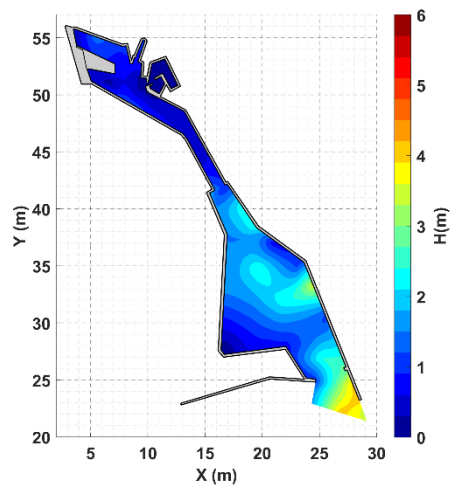
(h) 週期 15 秒，波高 4 公分



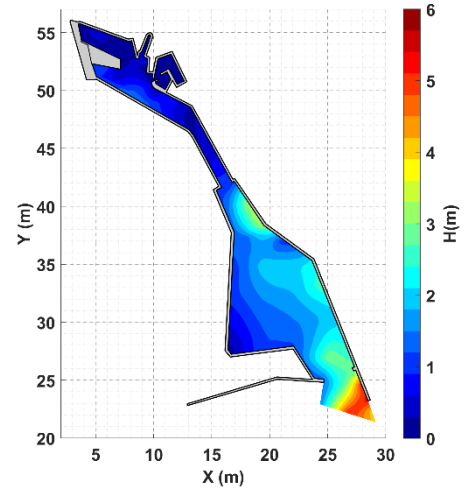
(i) 週期 16 秒，波高 4 公分



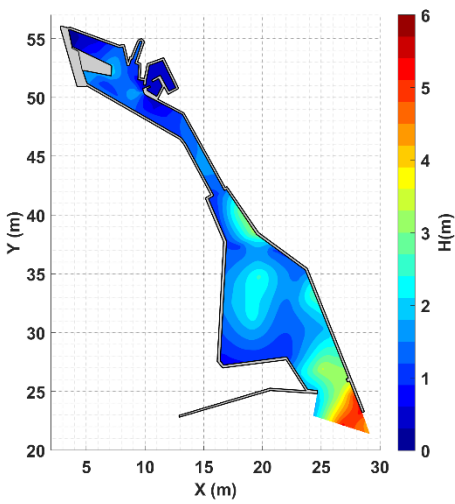
(j) 週期 17 秒，波高 4 公分



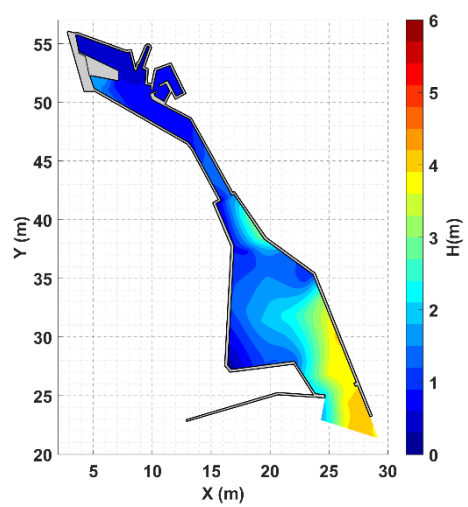
(k) 週期 18 秒，波高 4 公分



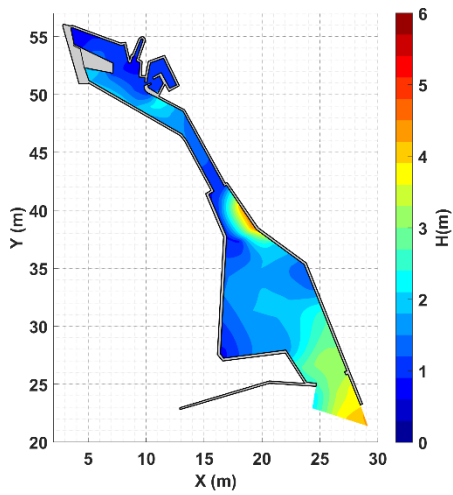
(l) 週期 19 秒，波高 4 公分



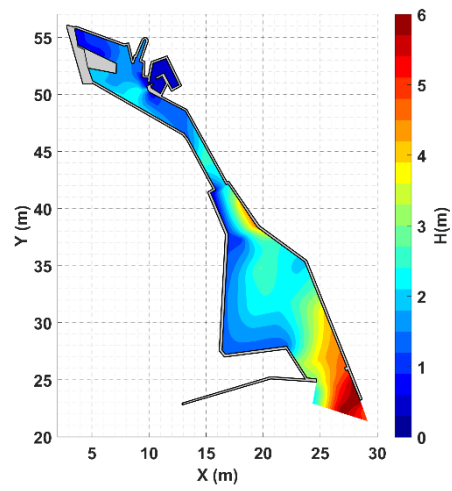
(m) 週期 20 秒，波高 4 公分



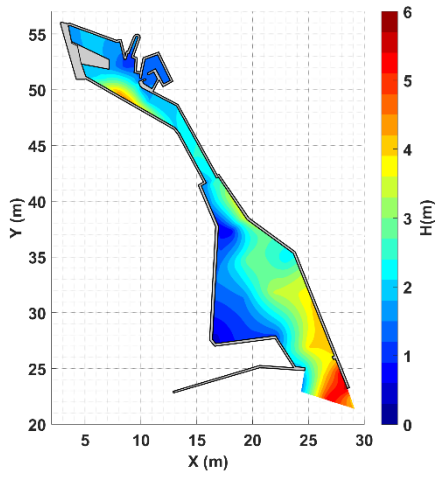
(n) 週期 21 秒，波高 4 公分



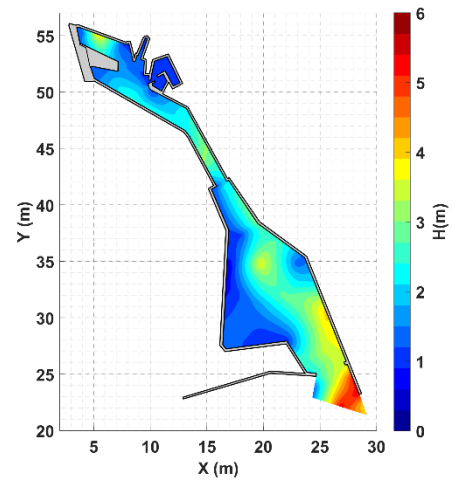
(o) 週期 22 秒，波高 4 公分



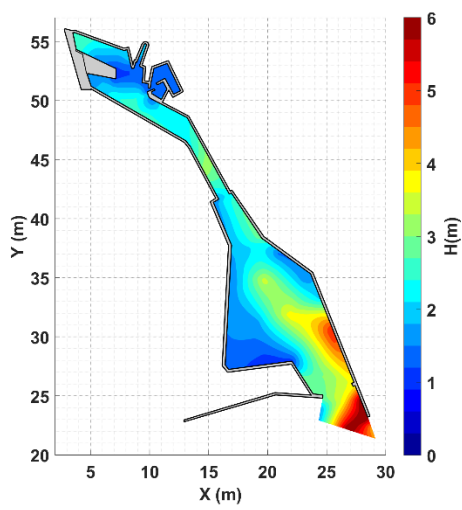
(p) 週期 23 秒，波高 4 公分



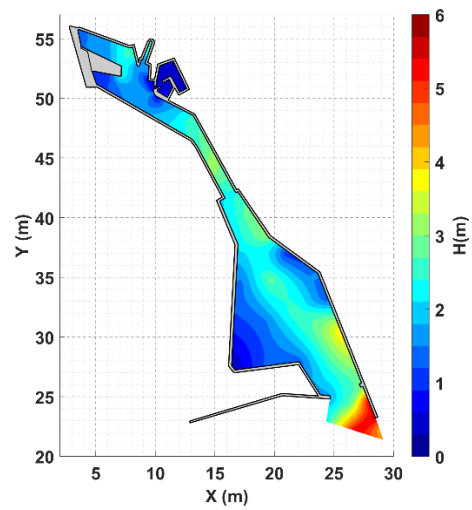
(q) 週期 24 秒，波高 4 公分



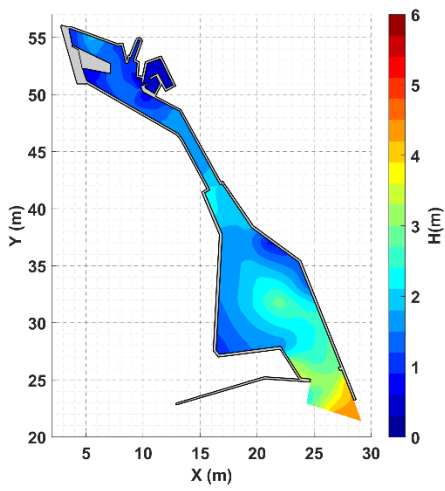
(r) 週期 25 秒，波高 4 公分



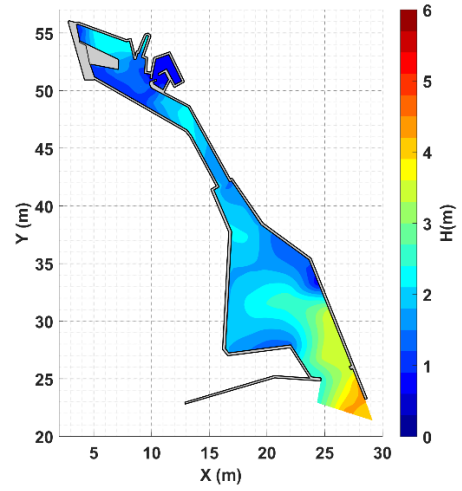
(s) 週期 26 秒，波高 4 公分



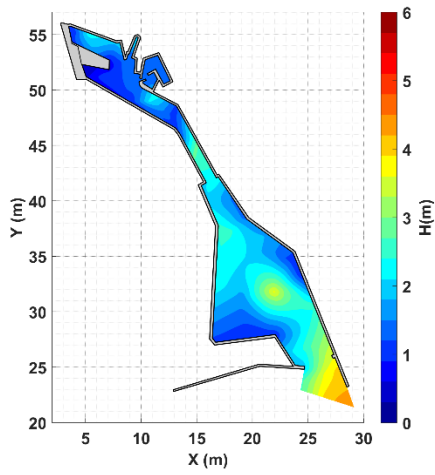
(t) 週期 27 秒，波高 4 公分



(u) 週期 28 秒，波高 4 公分

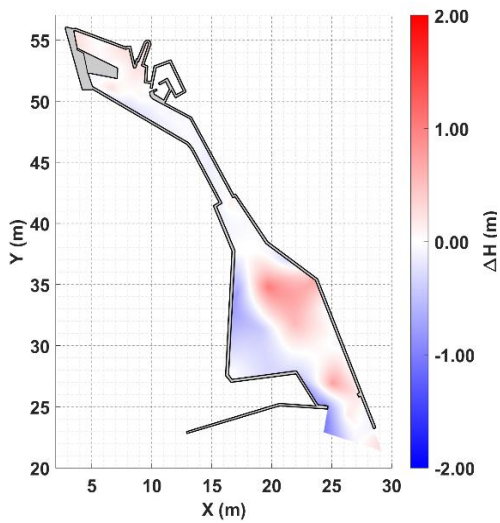


(v) 週期 29 秒，波高 4 公分

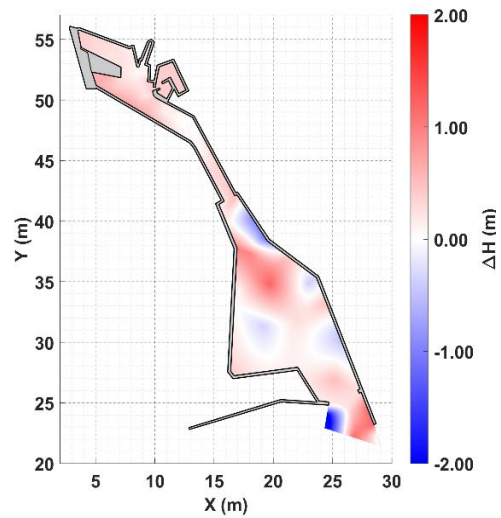


(w) 週期 30 秒，波高 4 公分

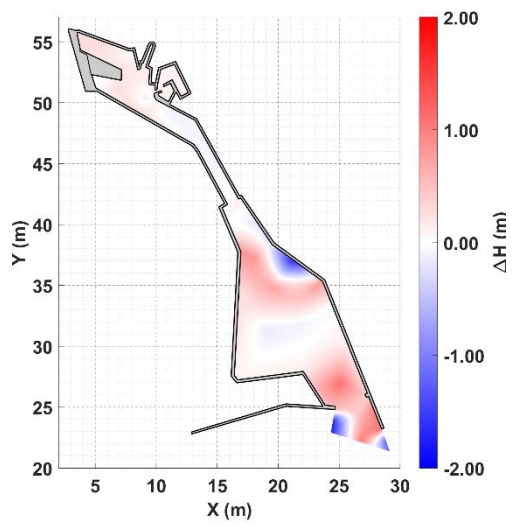
圖 6.27 方案 3 波高分布圖



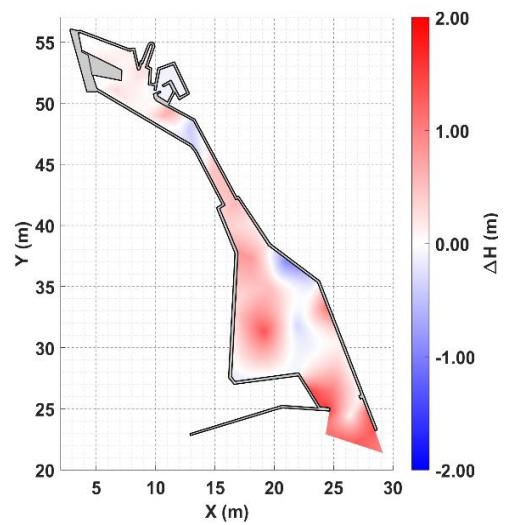
(a) 週期 8 秒，波高 4 公分



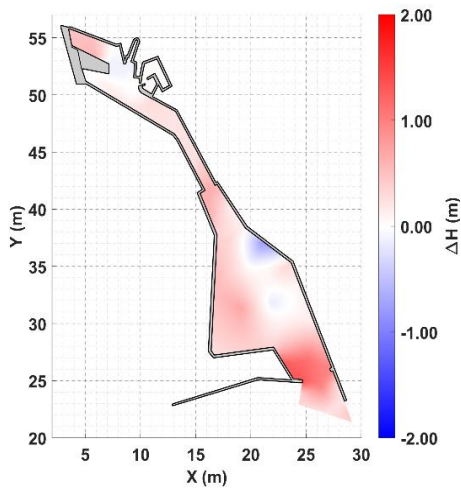
(b) 週期 9 秒，波高 4 公分



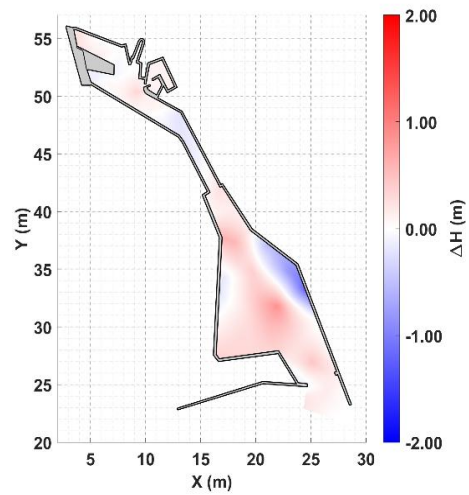
(c) 週期 10 秒，波高 4 公分



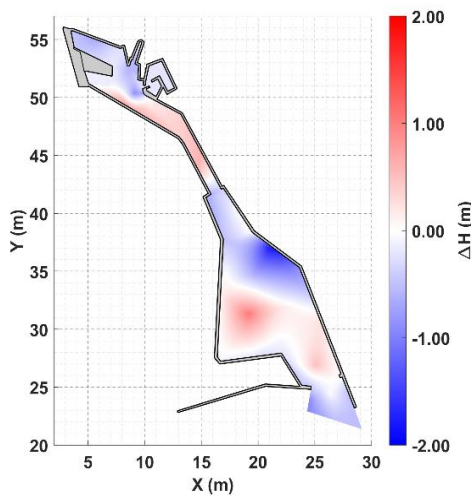
(d) 週期 11 秒，波高 4 公分



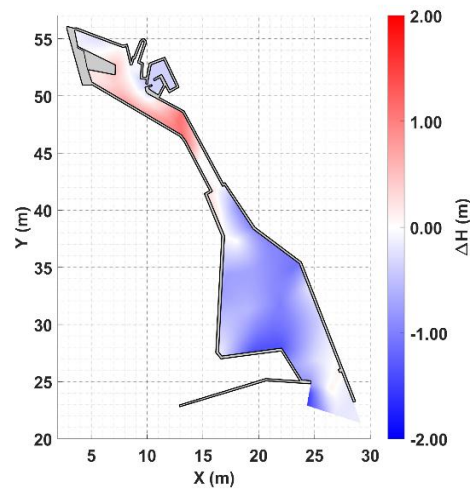
(e) 週期 12 秒，波高 4 公分



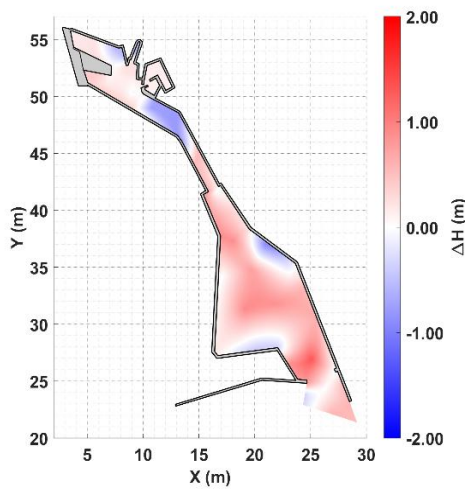
(f) 週期 13 秒，波高 4 公分



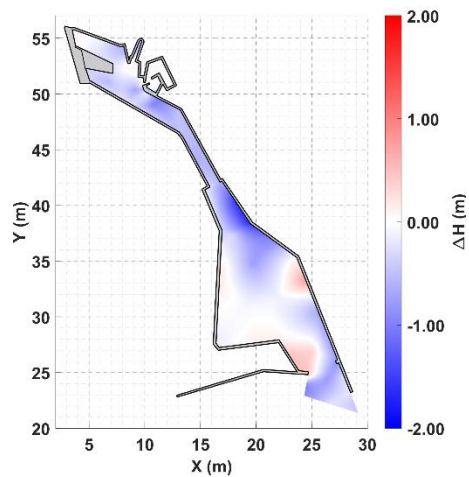
(g) 週期 14 秒，波高 4 公分



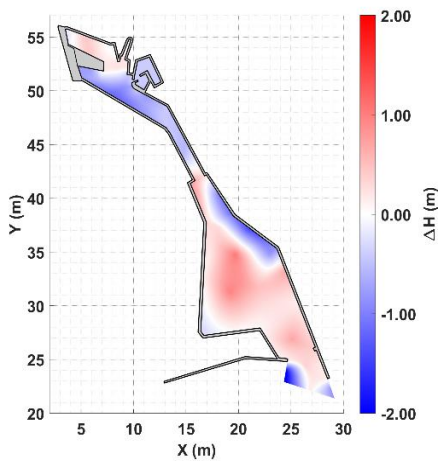
(h) 週期 15 秒，波高 4 公分



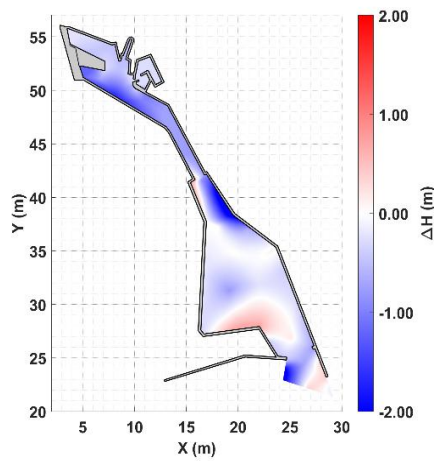
(i) 週期 16 秒，波高 4 公分



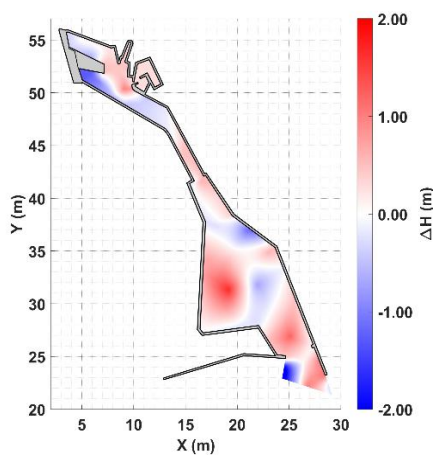
(j) 週期 17 秒，波高 4 公分



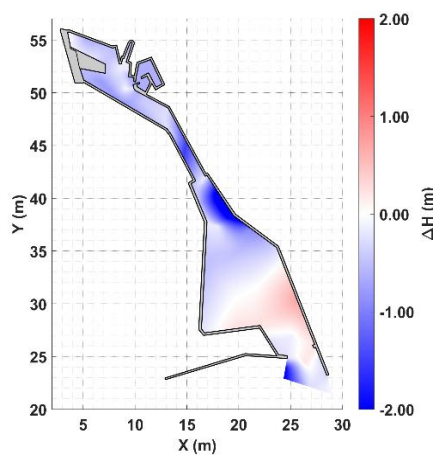
(k) 週期 18 秒，波高 4 公分



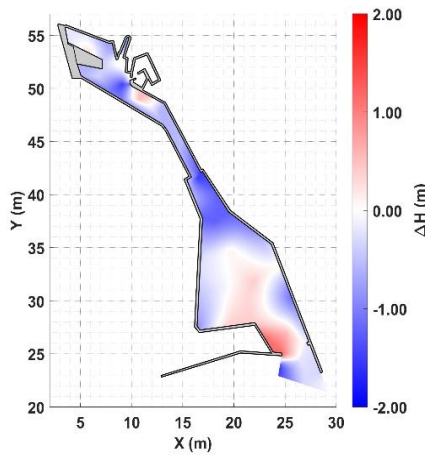
(l) 週期 19 秒，波高 4 公分



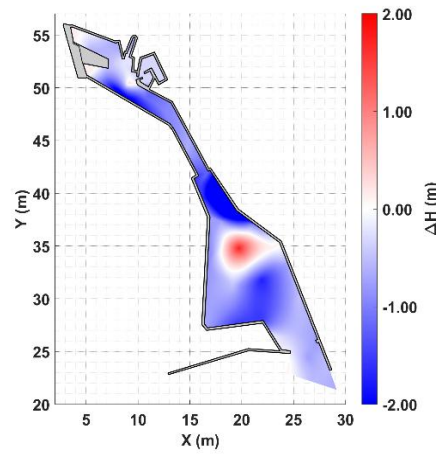
(m) 週期 20 秒，波高 4 公分



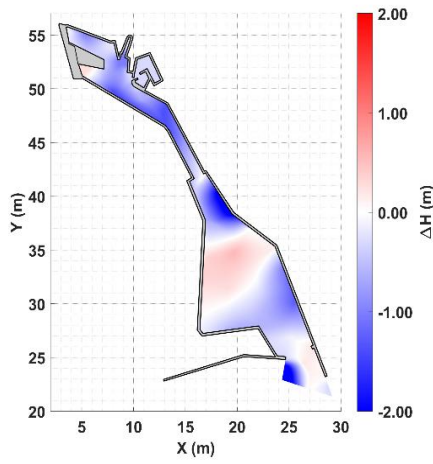
(n) 週期 21 秒，波高 4 公分



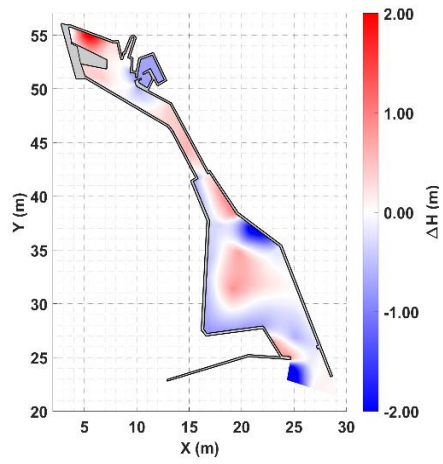
(o) 週期 22 秒，波高 4 公分



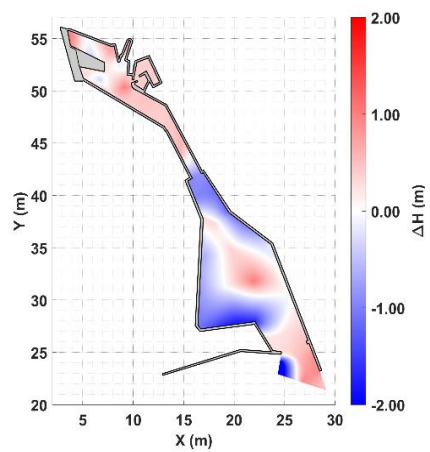
(p) 週期 23 秒，波高 4 公分



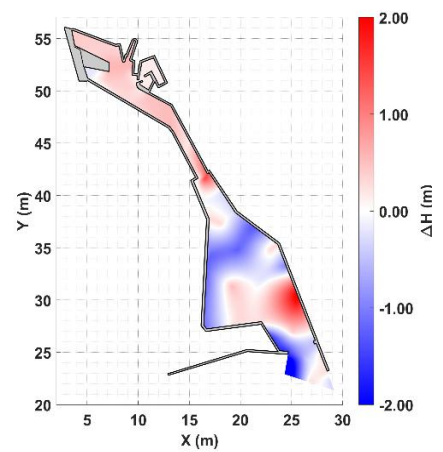
(q) 週期 24 秒，波高 4 公分



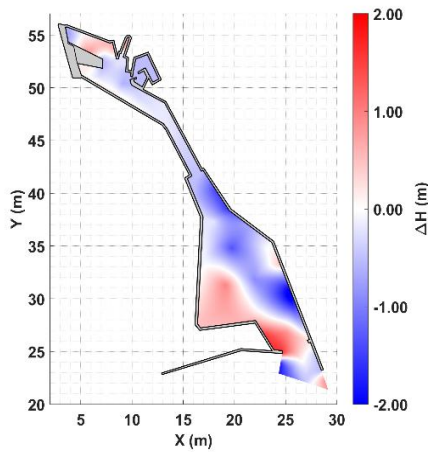
(r) 週期 25 秒，波高 4 公分



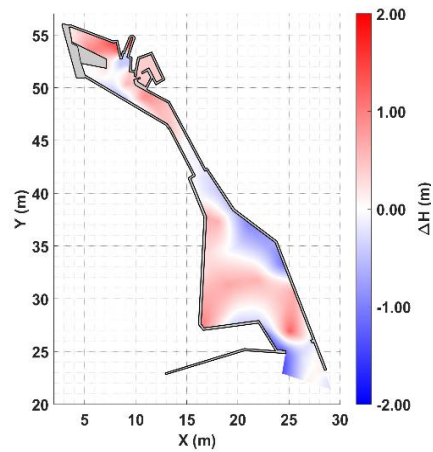
(s) 週期 26 秒，波高 4 公分



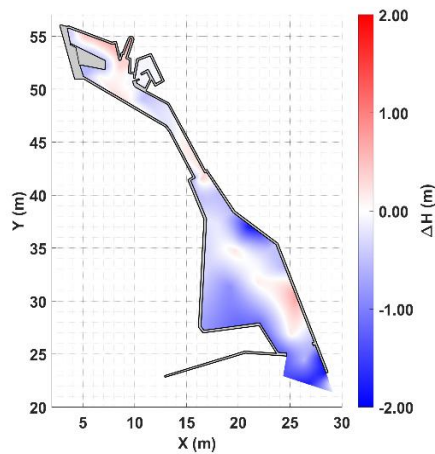
(t) 週期 27 秒，波高 4 公分



(u) 週期 28 秒，波高 4 公分



(v) 週期 29 秒，波高 4 公分



(w) 週期 30 秒，波高 4 公分

**圖 6.28 方案 3 與方案 0 波高差異分布圖**

將試驗結果繪製方案 3 波高分布圖，如圖 6.27 所示，從圖得知，新舊東防波堤交接處原於週期 17~23 秒時波高較大情形，設置拋石後波高有明顯變小，而觀察外港區波高分布明顯與方案 0 有差異，共振週期以 24~30 秒影響為主，外港區波高也從 23 秒起開始增加，與 17 號及 25 號碼頭遮蔽係數趨勢相符，將方案 0 與方案 3 波高分布圖進行差異比較，如圖 6.28 所示。

## 6.6 內、外港區試驗結果綜合比較

### 6.6.1 內港區 7 號碼頭港渠

內港區 7 號碼頭港渠以水工模型測點 CH27、CH29 及 CH30 代表，由 7 號碼頭港渠各方案之遮蔽係數及週期關係可知，如圖 6.29 所示，港渠於約 18~26 秒具明顯放大反應，於 24 秒處呈現峰值，但 22~25 秒為最主要峰值範圍，而 CH27 明顯高於其他測點，可能 CH27 位置更接近港渠腹點，如圖 6.29(a)所示。各改善方案中，通水箱涵方案能降低部分週期放大幅度，對於週期 22 秒處放大反應抑制有限，兩碼頭後方水道連通後，整體共振週期重新分配及轉移，使波浪能量更集中於特定頻率，而遮蔽係數於長週期區部分也有明顯上升，可能會使得長週期振盪情形更明顯，如圖 6.29(b)所示；7 號碼頭消能式結構方案則是更進一步降低週期 22~25 秒放大幅度，使得整體遮蔽係數呈現較為扁平一些，較無呈現特別明顯共振週期，各測點曲線趨勢較一致，代表空間差異相對較小，顯示港渠內較不易形成明顯腹點，但峰值帶仍存在，如圖 6.29(c)所示；外港拋石方案則是改變方案 0 之共振模態，較為明顯峰值為 10、15 及 24 秒處，其餘週期放大幅度呈現持平或降低，但 10~15 秒出現較明顯局部峰值，代表外港邊界反射條件調整後，7 號碼頭港渠對較短週期能量之影響度提升，顯示外港反射條件改變後與內港共振模態有關，如圖 6.29(d)所示。

綜合 7 號碼頭港渠各方案之遮蔽係數分析結果，原地形於約 22~25 秒呈現明顯主要共振反應。通水箱涵方案雖能調整部分週期放大幅度，但於 22 秒附近反而形成較大峰值，並於長週期端產生放大現象，整體改善效果有限。外港拋石方案改變了外港邊界反射條件，重新分布共振週期位置，但主要共振週期仍於 24 秒顯著存在，並提升 10~15 秒之次要頻帶。相較之下，消能碼頭方案可有效降低主要共振週期，使 22~25 秒之遮蔽係數轉為較為平緩之寬頻分布，且未產生顯著共振週期，顯示其對於 7 號碼頭港渠長週期波動抑制效果較為全面。

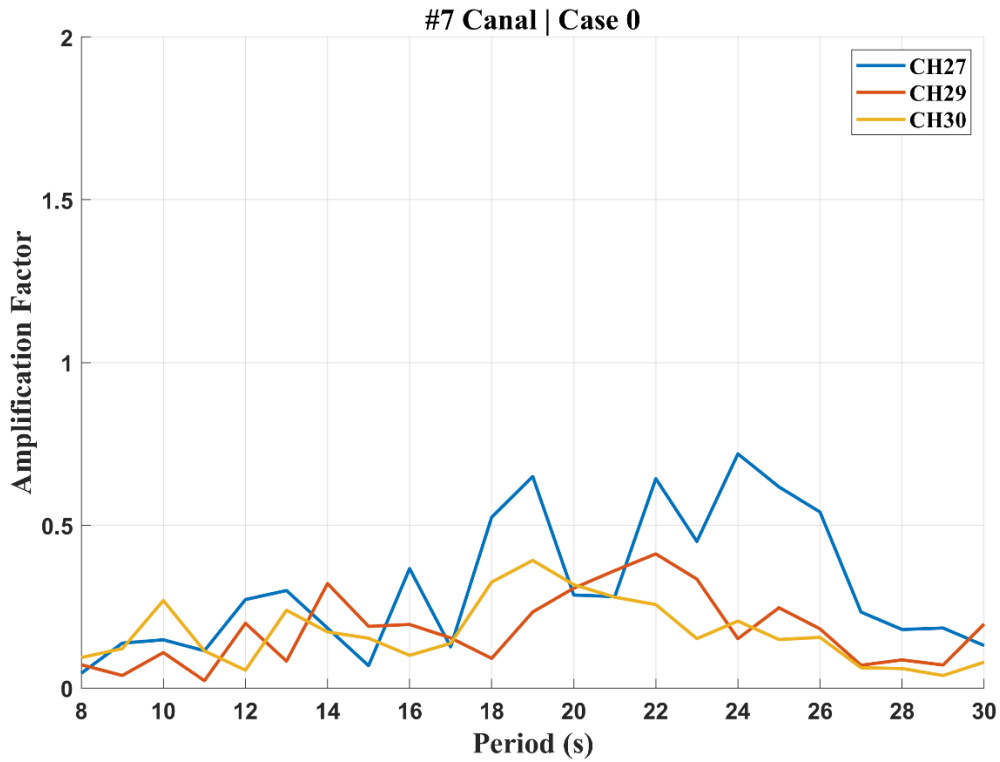


圖 6.29(a) 方案 0 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數

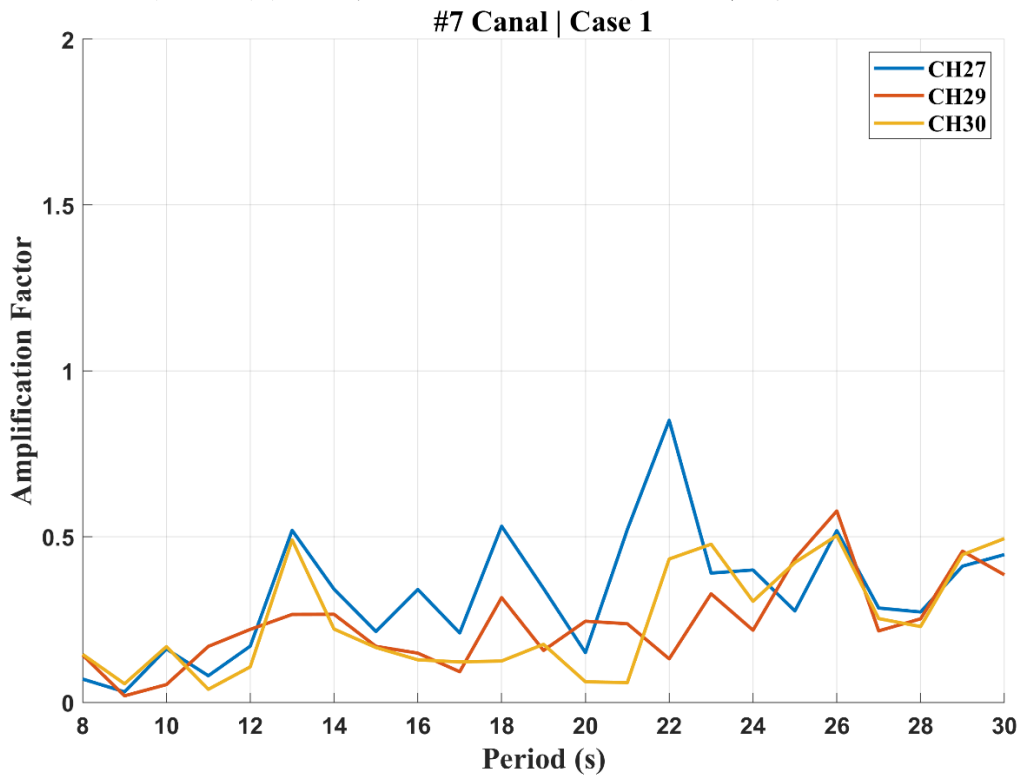
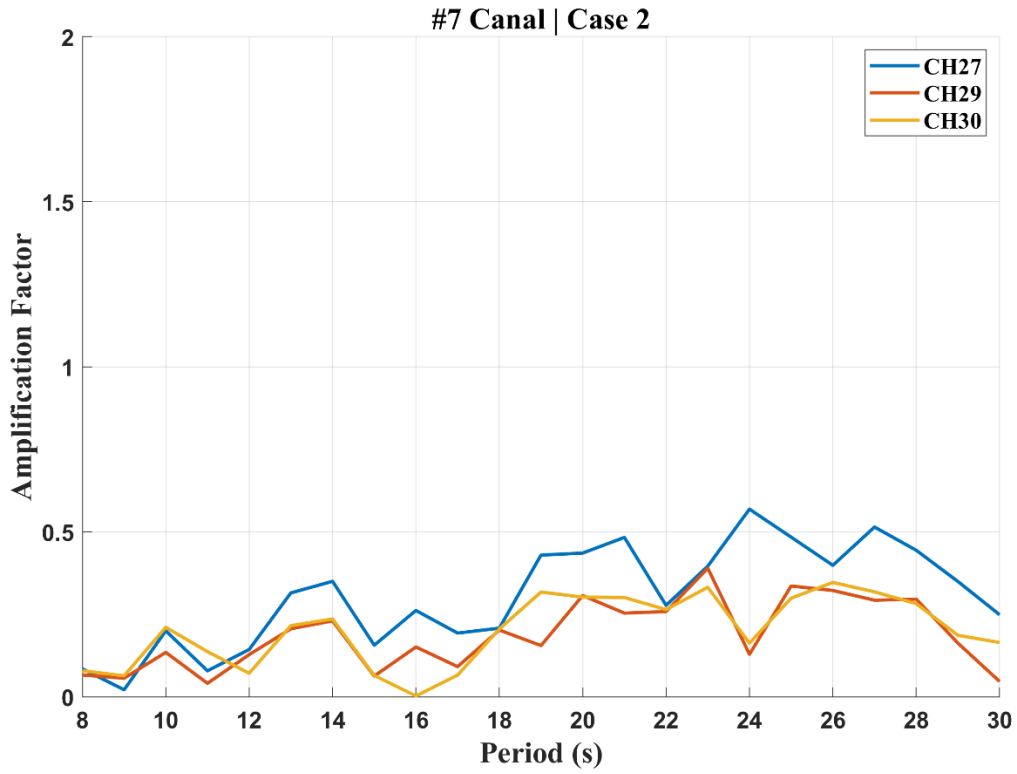
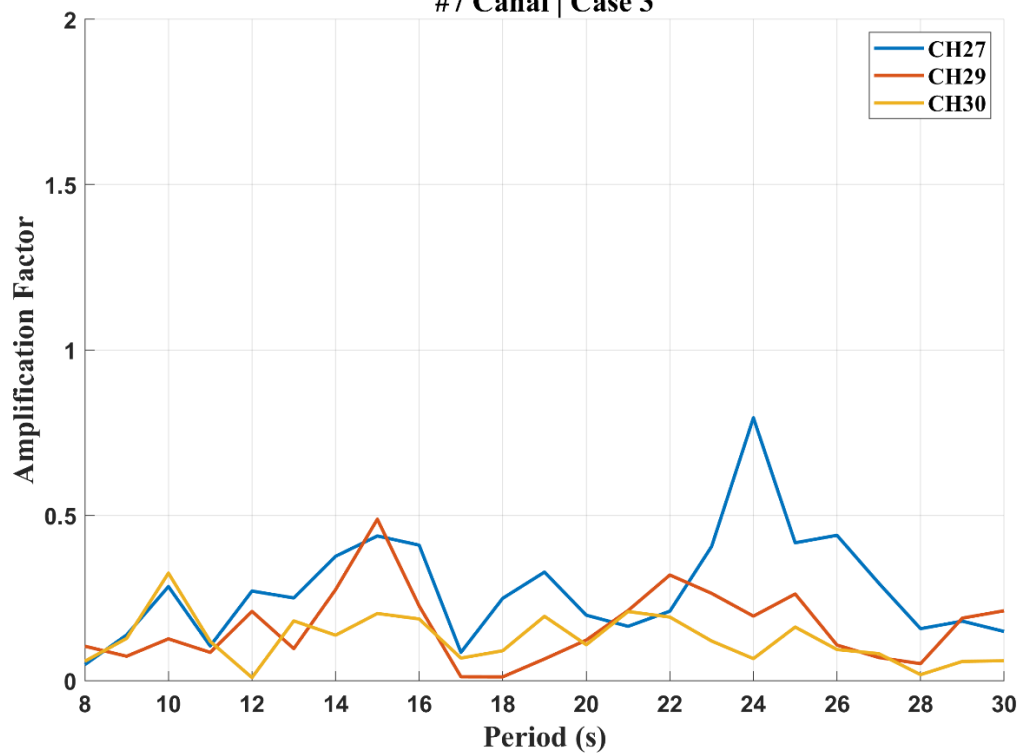


圖 6.29(b) 方案 1 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數



**圖 6.29(c) 方案 2 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數**  
#7 Canal | Case 3



**圖 6.29(d) 方案 3 內港區 7 號碼頭港渠遮蔽係數**

## 6.6.2 內港區 12 號碼頭港渠

內港區 12 號碼頭港渠以水工模型測點 CH23、CH24、CH25 及 CH26 代表，由 12 號碼頭港渠各方案之遮蔽係數及週期關係可知，如圖 6.30 所示，整體放大幅度相較 7 號碼頭港渠低，各測點之遮蔽係數大部分皆小於 0.4，週期分布而言，以 14~15 秒區間及 22~26 秒區間為可辨識主要放大反應頻帶，其中以 24 秒附近呈現相對明顯之局部峰值，但各測點間差異有限，如圖 6.30(a)所示，未出現 7 號港渠 CH27 單一測點顯著放大情形，顯示 12 號碼頭港渠於 8~30 秒週期區間，其腹點位置可能不明顯落於測點附近，或港型幾何條件不利於形成強烈節腹點。

在通水箱涵方案雖能改變水體交換與動量傳遞路徑，對部分週期波浪能量具有一定程度消能效果，如圖 6.30(b)所示，波浪能量更集中於特定頻率，如 15、20 及 26 秒處出現峰值，而遮蔽係數於長週期區部分也有明顯上升趨勢；消能碼頭方案則是於 24 及 27 秒處出現局部峰值，與原地形相比，整體遮蔽係數差異不大，但於長週期端有些微上升，如圖 6.30(c)所示；外港拋石方案顯示 12 號碼頭港渠週期峰值位置相較原地形發生明顯調整，原於 22~26 秒區間之遮蔽係數降低，但 CH25 出現相對突出的局部峰值，顯示外港邊界反射條件改變後，波能傳遞至港渠於特定測點形成局部放大現象，改善效果具空間差異性，如圖 6.30(d)所示。

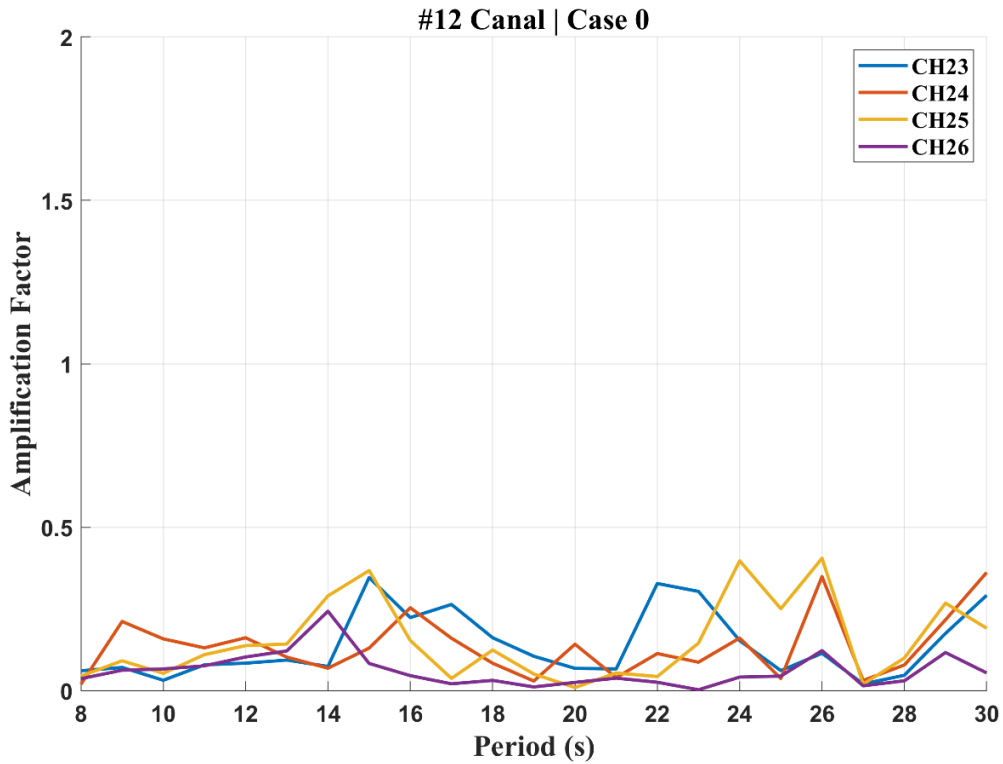


圖 6.30(a) 方案 0 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數

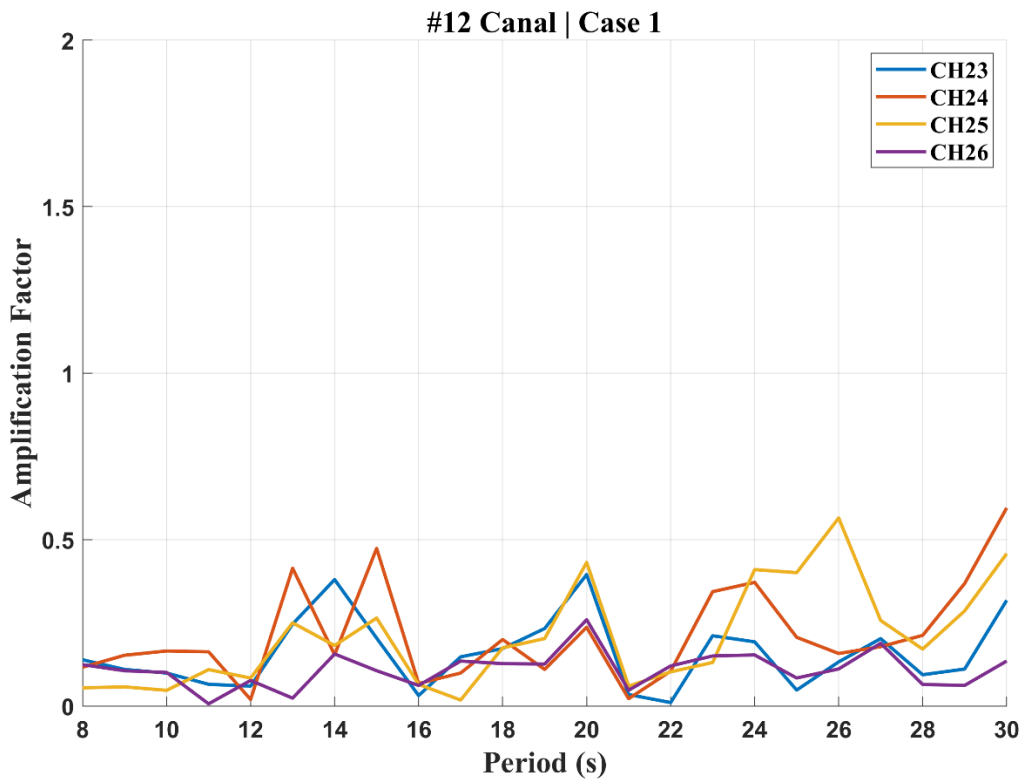


圖 6.30(b) 方案 1 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數

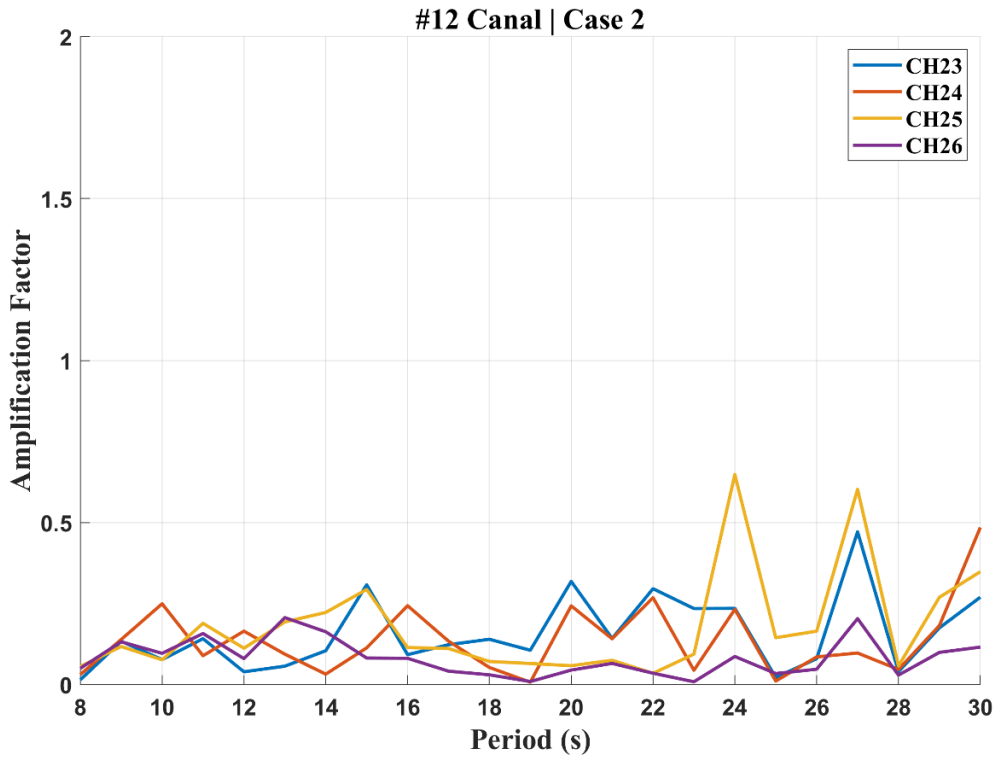


圖 6.30(c) 方案 2 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數  
#12 Canal | Case 3

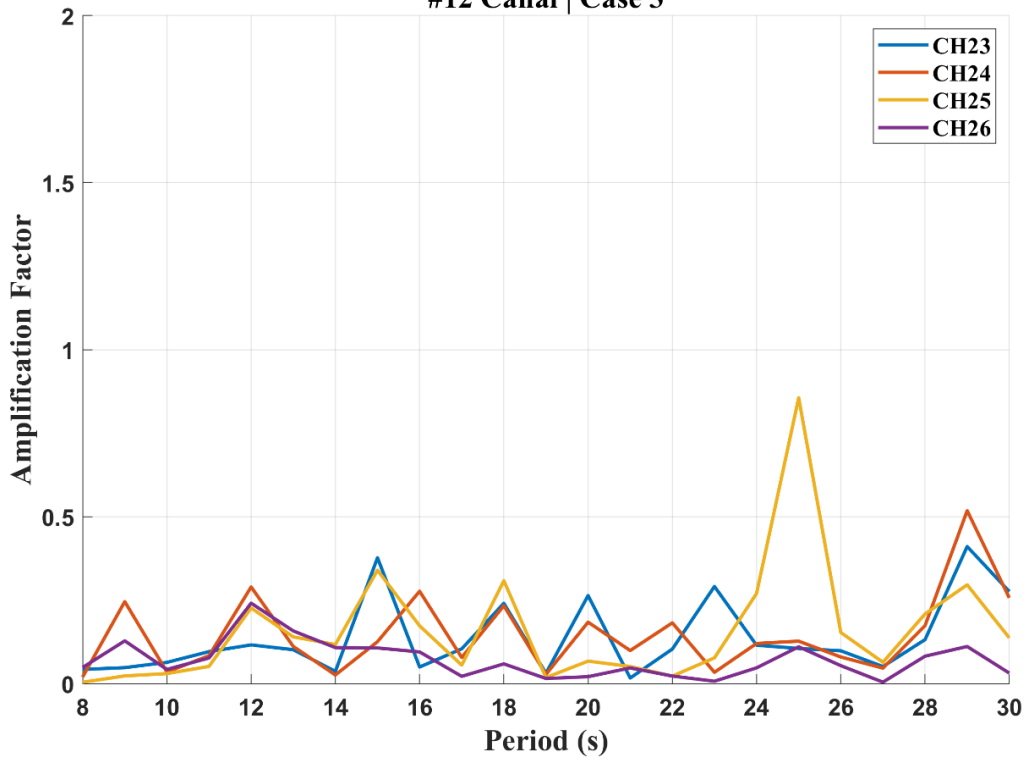


圖 6.30(d) 方案 3 內港區 12 號碼頭港渠遮蔽係數

### 6.6.3 外港區域

外港區 12 號碼頭港渠以水工模型測點 CH08、CH10、CH12、CH15、CH17 及 CH19 代表，由外港區各方案之遮蔽係數與週期關係可知，如圖 6.31 所示，外港在各方案下皆呈現對特定週期具顯著放大反應之特性，以 12~16 秒及 25~30 秒兩個頻帶最為明顯，於原地形下，外港多數測點在約 13~15 秒出現明顯放大峰值，甚至 CH17 測點遮蔽係數超過 1，顯示外港區對長週期波浪具高度相關性，且於 25~30 秒頻帶也可觀察到明顯峰值。

通水箱涵方案相較原地形遮蔽係數，未見明顯改善，顯示通水箱涵主要影響內港水體連通，對外港消能效果有限。消能碼頭方案則可明顯降低外港 CH17 測點測點於 11~17 秒之主要放大峰值，部分週期如 27 及 29 秒處之峰值有提升現象。外港拋石方案雖觀察到局部峰值提升，但大多數測點放大反應下降，如 20~28 秒區間趨勢，且長週期端遮蔽係數也有下降趨勢，顯示外港區之改善成效以拋石方案最為顯著，能降低長週期湧浪能量，提升外港區域整體靜穩度。

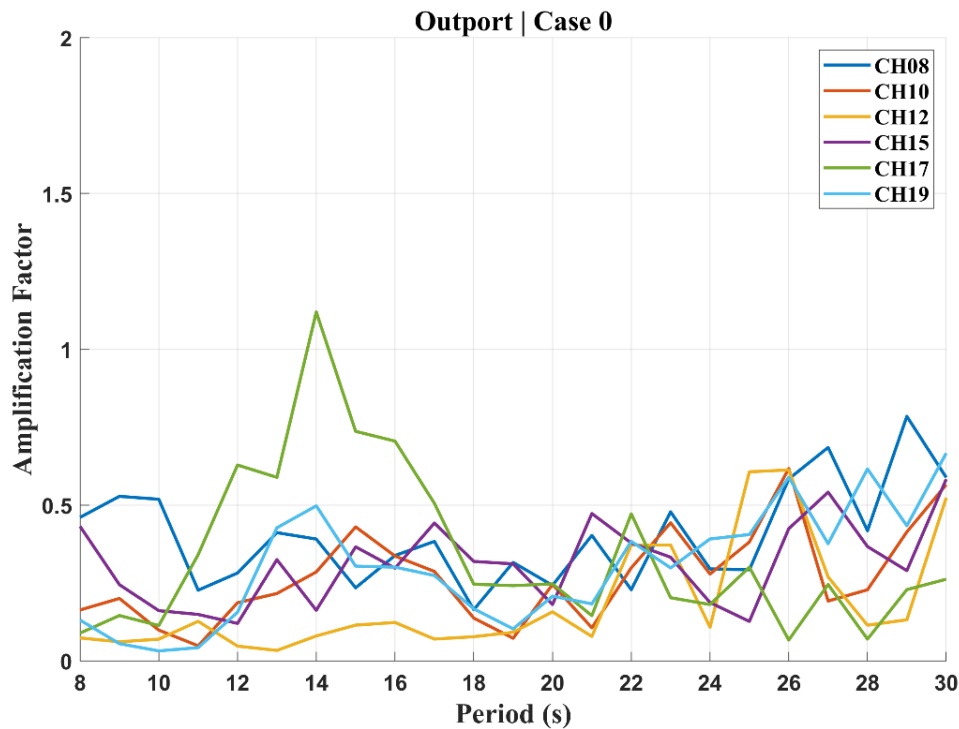


圖 6.31(a) 方案 0 外港區碼頭遮蔽係數

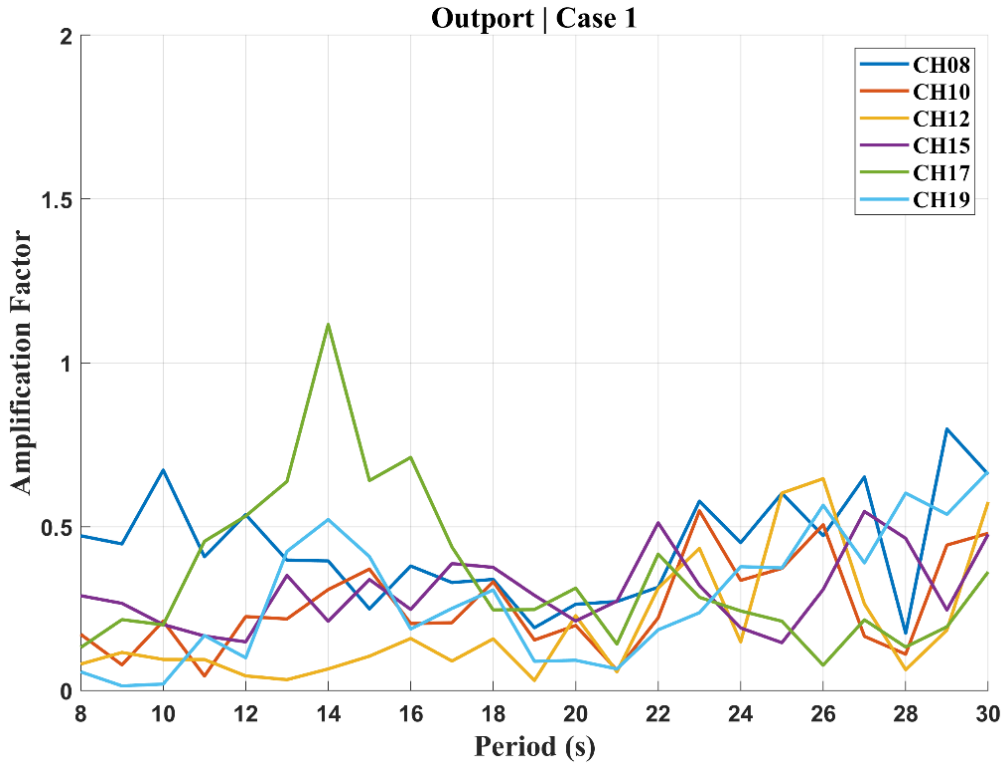


圖 6.31(b) 方案 1 外港區碼頭遮蔽係數

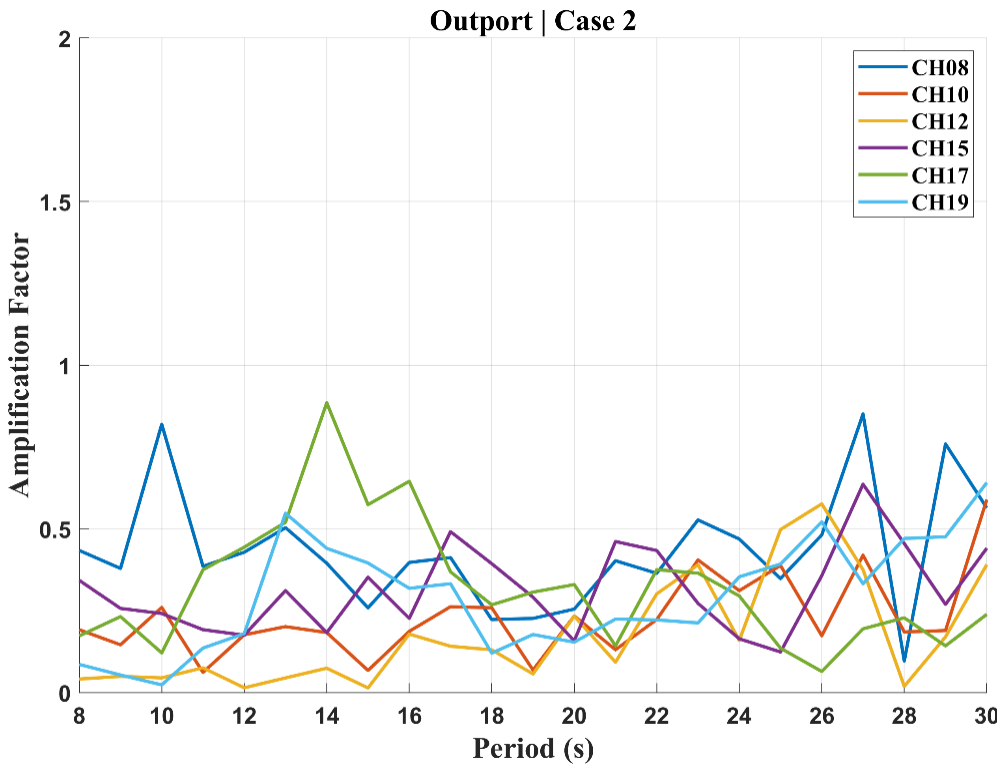


圖 6.31(c) 方案 2 外港區碼頭遮蔽係數

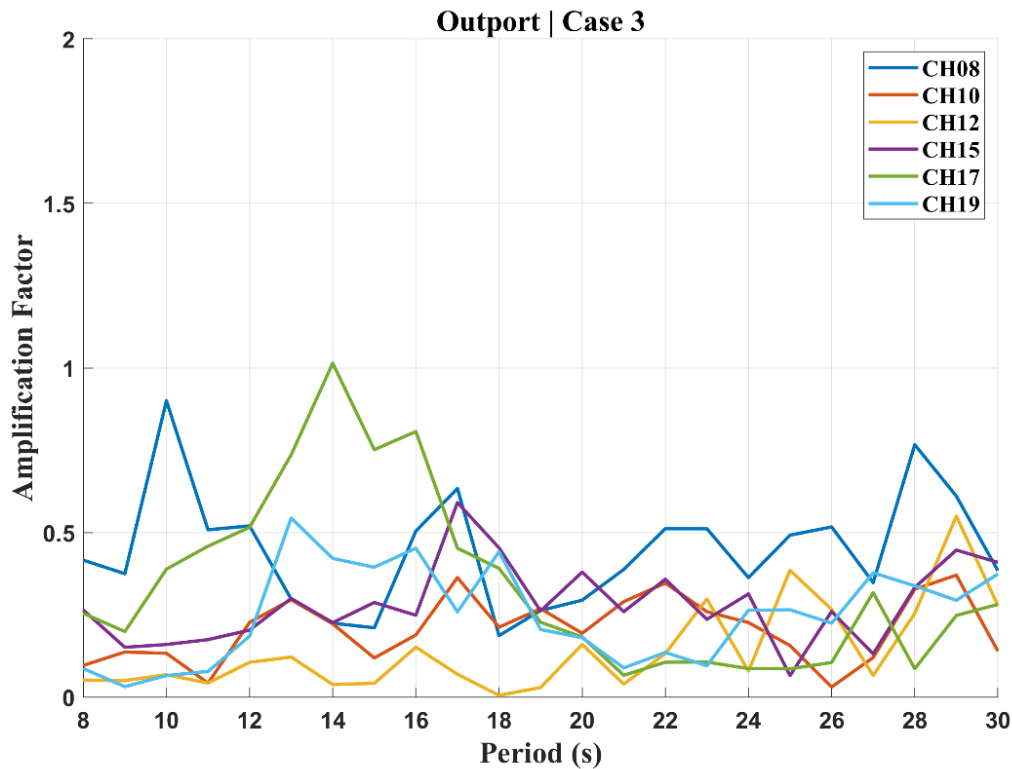


圖 6.31(d) 方案 3 外港區碼頭遮蔽係數

## 6.7 同測點不同方案比較

本小節進行同測點不同方案比較，其中內港 7 號碼頭港渠(1~8 號碼頭)以 CH27、CH29、CH30 測站進行比較，如圖 6.32~圖 6.34 所示，綜合 3 個測點於不同方案下之遮蔽係數分析結果，各方案能有效降低週期 18~22 秒間遮蔽係數，而 26 秒以上則是以外港拋石方案消能效果較其他方案佳，各測點放大反應與原地形相差不大，通水箱涵方案及消能碼頭方案皆有呈現提升情形，消能碼頭方案在 3 測點中皆能有效降低主要共振週期之峰值幅度，原本於 22~25 秒集中之放大反應轉為較為平緩之寬頻分布，各測點間放大曲線趨勢亦趨於一致，顯示港渠內腹點與節點差異減弱，整體而言，消能碼頭方案在 3 測點上皆展現一致且穩定之放大抑制效果，能有效削弱港渠主要共振週期之能量累積，為內港 7 號碼頭港渠長週期波動改善中，消能效果較為全面，外港拋石方案則是能更有效抑制較長週期波能的放大，相對地，短週期波能抑制效果會更集中部分週期。

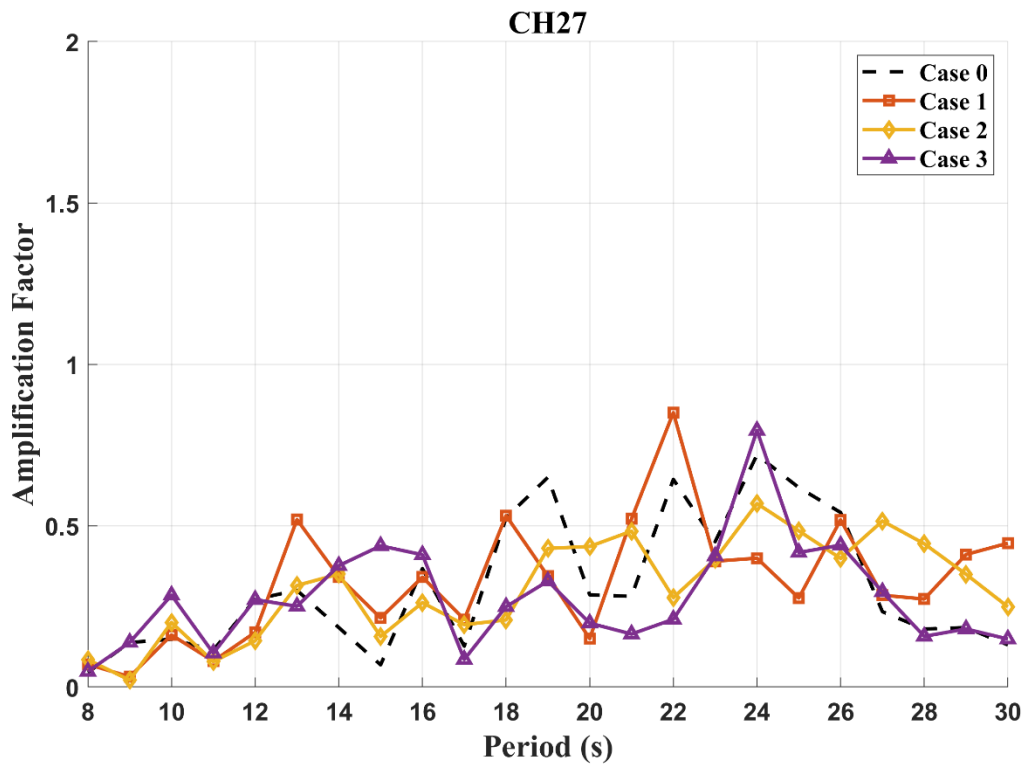


圖 6.32 CH27 各方案遮蔽係數

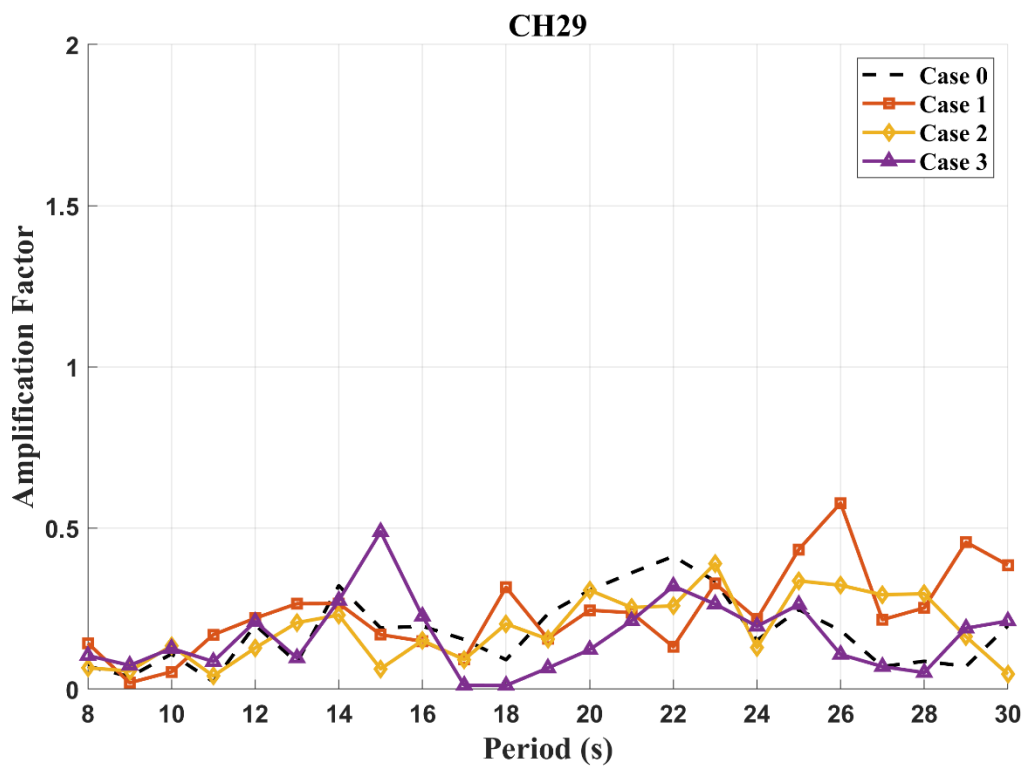


圖 6.33 CH29 各方案遮蔽係數

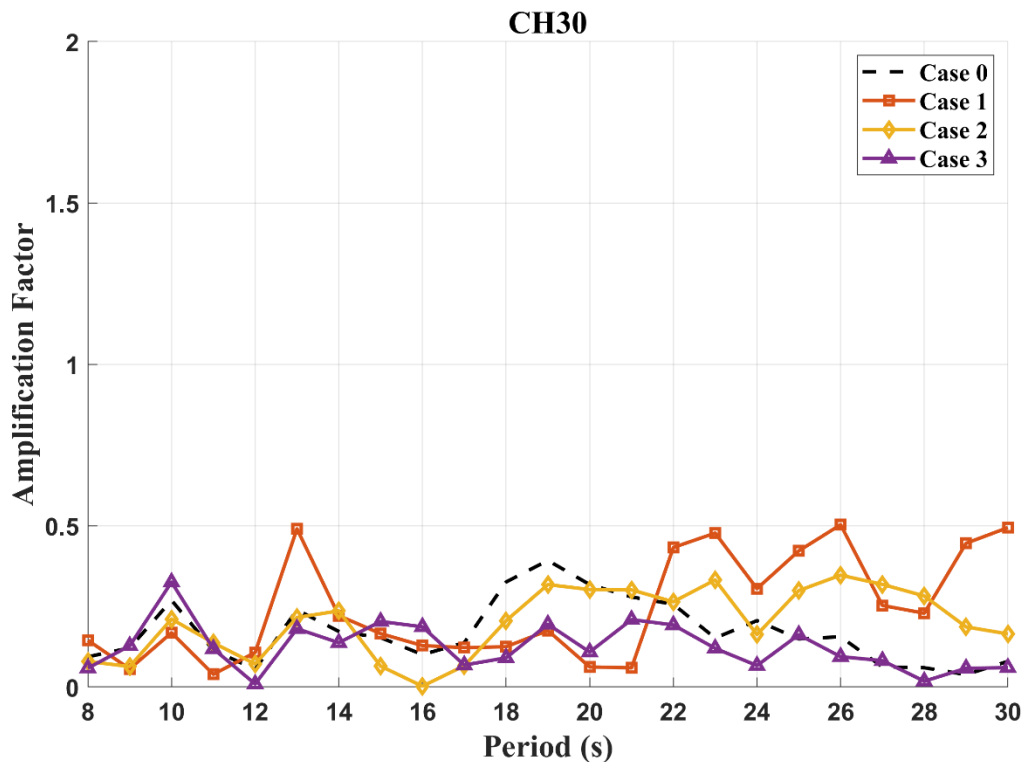


圖 6.34 CH30 各方案遮蔽係數

內港 12 號碼頭港渠(10~16 號碼頭)以 CH23~CH26 測站進行比較，如圖 6.35~圖 6.38 所示，綜合 4 個測點於不同方案下之遮蔽係數分析結果，原地形中在 CH25 以週期 15 秒處及 22~26 秒區範圍內，呈現較明顯放大反應，各方案皆在 24~28 秒區範圍呈現遮蔽係數上升，顯示波能更集中於長週期端，消能碼頭方案與外港拋石方案能有效降低短週期之峰值並減少空間差異，整體表現較優，通水箱涵方案改變內港池內水體連通性，原本封閉式內港多一條連通水道，等效水體體積增加，港池整體尺度增大可能使振盪週期變長、共振頻率降低，導致某些頻率下波能增強及腹點轉移。因此，通水箱涵方案改變港池邊界條件，重塑內港波場節腹點分布，導致局部波高放大現象。另外，考量方案 2 消能碼頭主要設置於 7 號碼頭後方，後續研究可再針對 12 號碼頭設置消能式結構碼頭進行水工試驗。

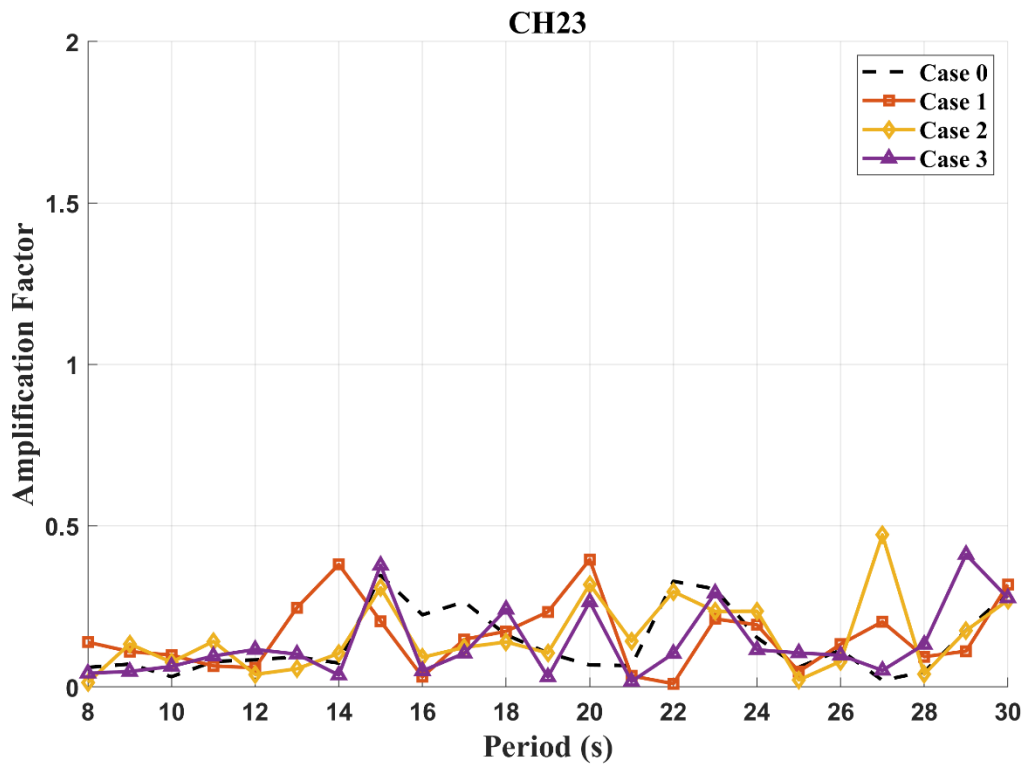


圖 6.35 CH23 各方案遮蔽係數

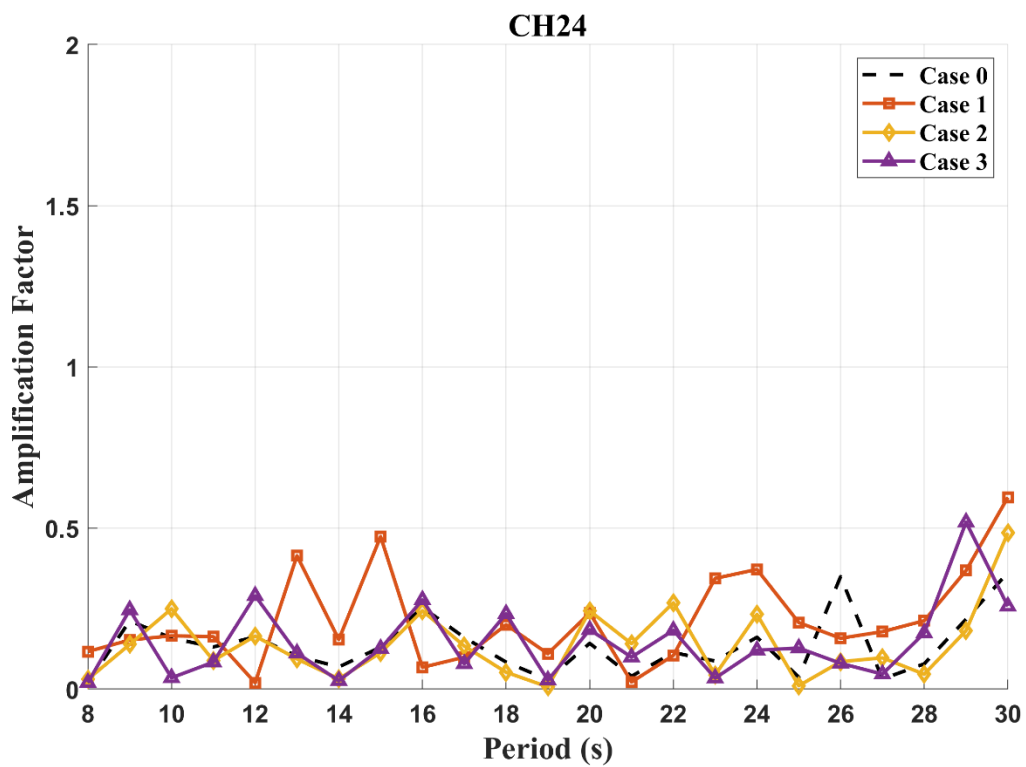


圖 6.36 CH24 各方案遮蔽係數

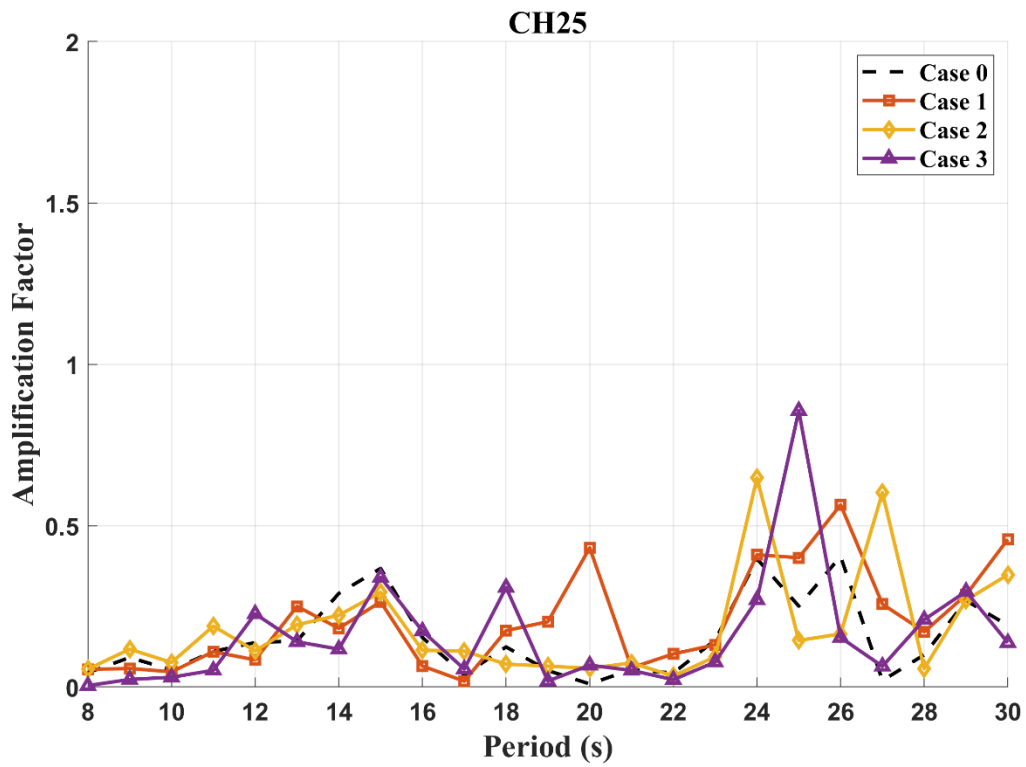


圖 6.37 CH25 各方案遮蔽係數

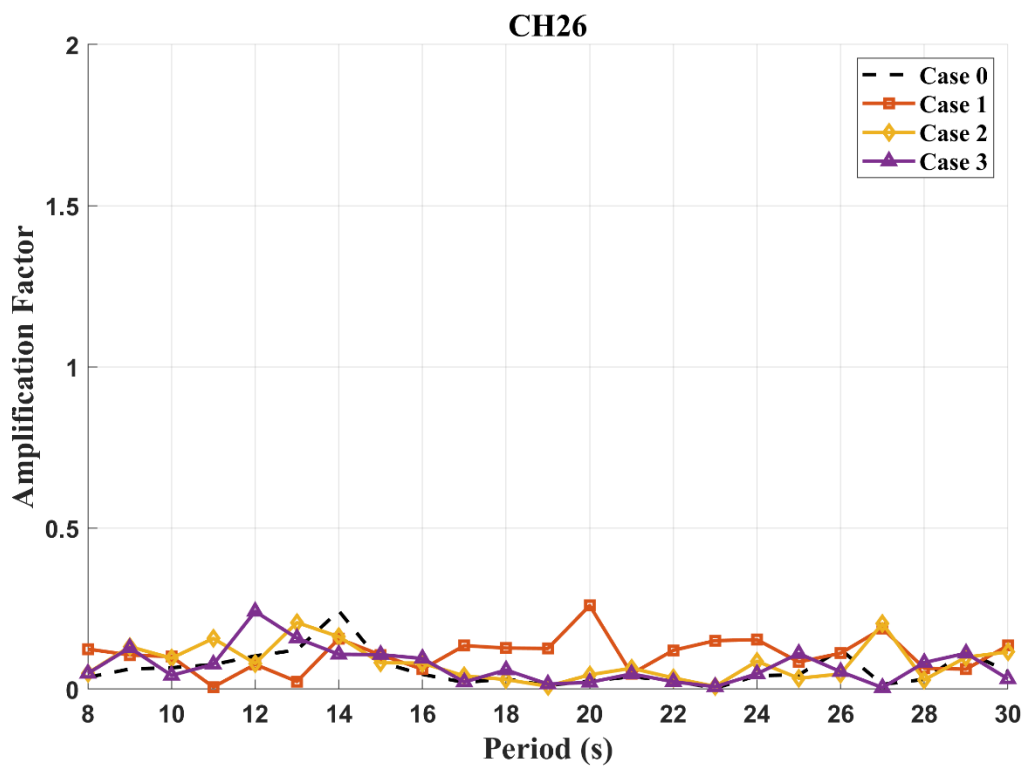


圖 6.38 CH26 各方案遮蔽係數

外港碼頭 (17~24 號碼頭)以 CH10、CH12、CH15、CH17、CH19 測站進行比較，如圖 6.39~圖 6.43 所示，綜合 5 個測點於不同方案下之遮蔽係數分析結果，在原地形條件下，部分週期於外港區出現較高的遮蔽係數，相比之下，通水箱涵與消能碼頭方案設置於內港區域，遮蔽係數曲線相對原地形結果差異不大，外港拋石方案呈現出有效消能效果，在各測點 8~30 秒週期範圍內，其遮蔽係數曲線明顯較低，特別是長週期端，週期 22 秒以後遮蔽係數均下降，表示波浪能量有效消能，抑制長週期共振峰值，顯著改善外港區域碼頭靜穩度，外港拋石方案採用了拋石結構降低邊界反射，使港內難以形成大幅振盪，因此，各測點長週期波能削減，並沒出現明顯長週期遮蔽係數峰值，各個週期遮蔽係數相較其他方案與原地形條件明顯較低，表示入射波能受到有效抑制。

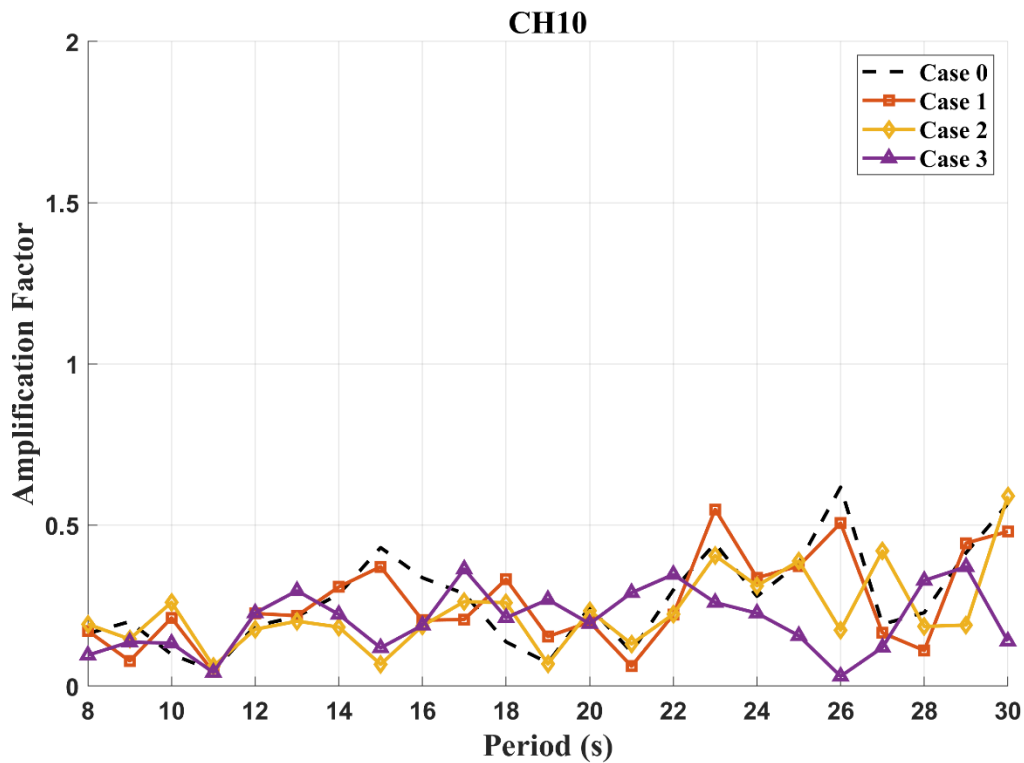


圖 6.39 CH10 各方案遮蔽係數

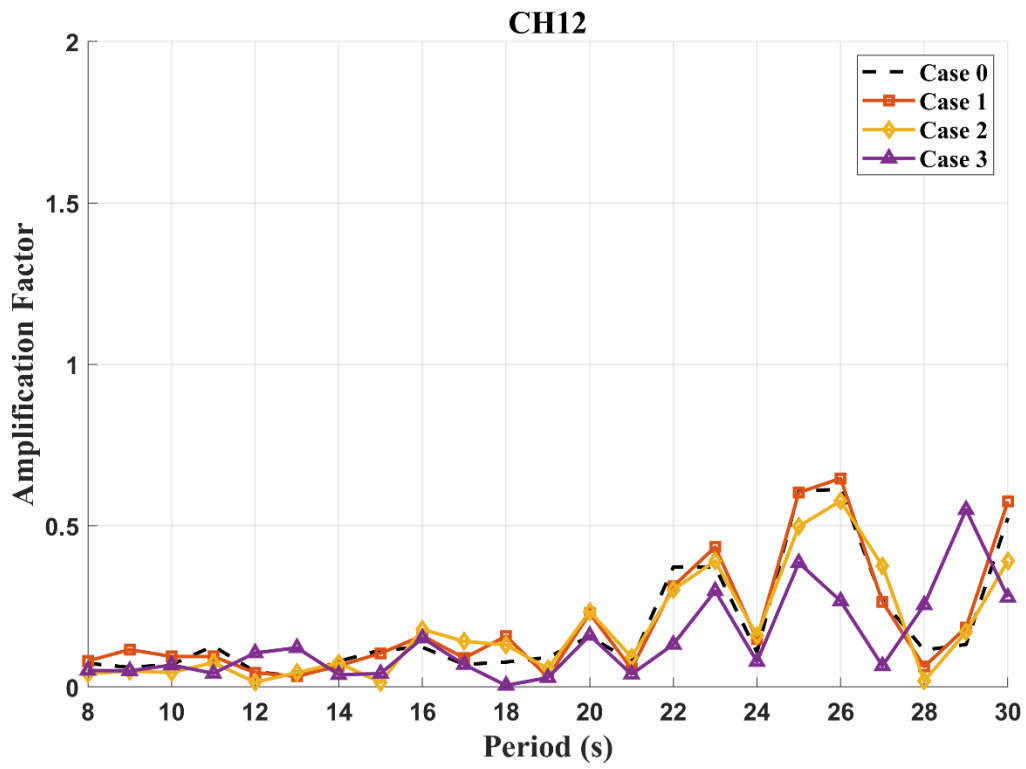


圖 6.40 CH12 各方案遮蔽係數

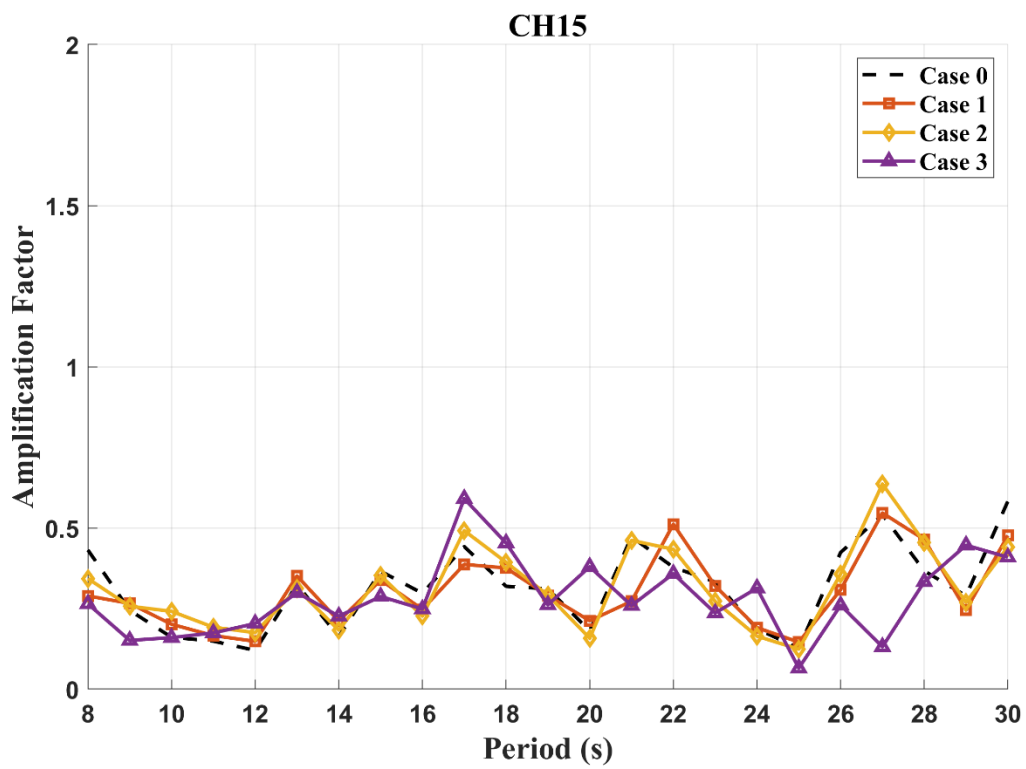


圖 6.41 CH15 各方案遮蔽係數

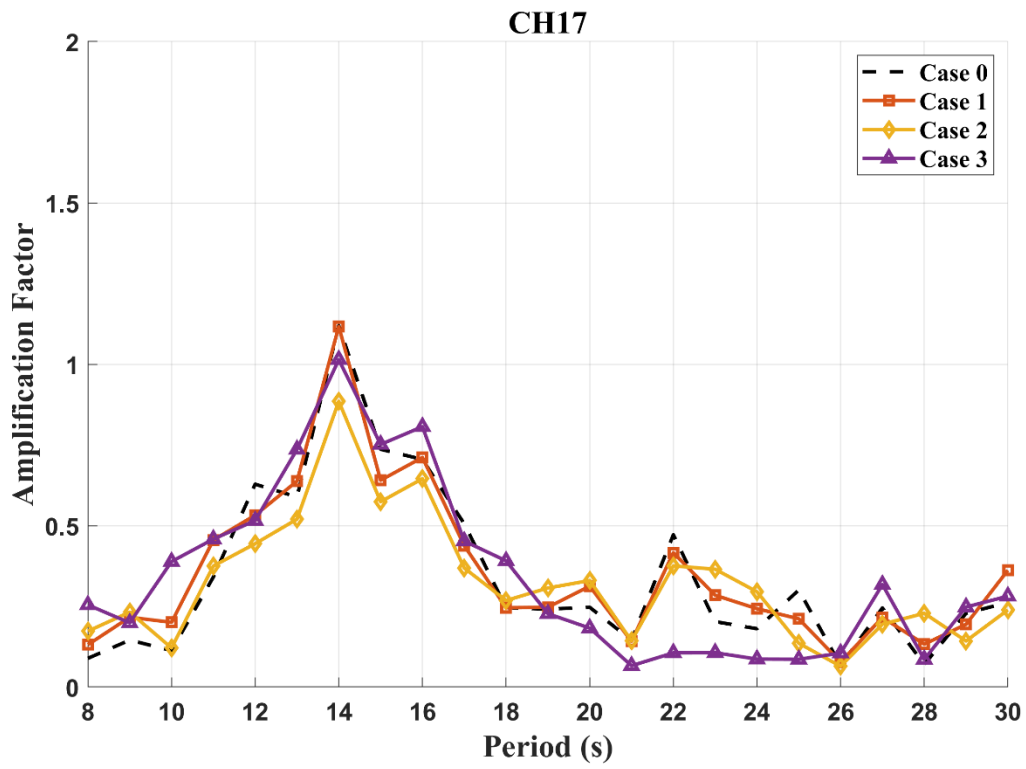


圖 6.42 CH17 各方案遮蔽係數

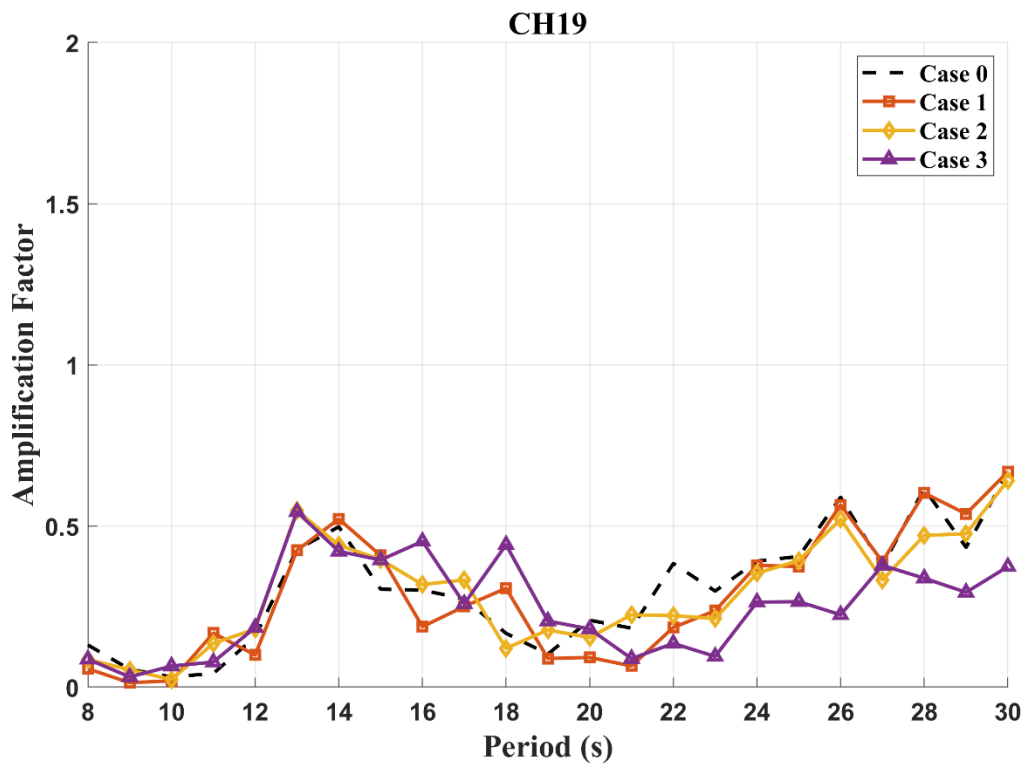


圖 6.43 CH19 各方案遮蔽係數

## 第七章 結論與建議

### 7.1 結論

本計畫利用花蓮港港外底碛式波流觀測站 (AWAC) 與港內 9 號、17 號及 25 號碼頭靜穩度觀測站之長期觀測資料，透過波譜分析方法分離風浪與湧浪成分，探討不同波浪條件下港內外波浪特性及港池遮蔽效果之时序變化。分析結果顯示，港外波浪條件以波高、譜峰週期及波向為主要控制因子，於短週期風浪主導情況下，港內波高顯著低於港外，遮蔽效果良好，惟當外海以東南東至東南向之湧浪為主，且波浪週期大於約 10 秒時，港內部分碼頭區域遮蔽係數明顯升高。薈琵與谷超颱風事件分析顯示，即便颱風未直接侵襲臺灣或未發布颱風警報，其外圍環流所引致之湧浪仍足以影響花蓮港靜穩度，顯示長週期波浪對港池運作安全具有關鍵影響。

水工試驗部分以規則波進行試驗，模型週期 0.8 秒~3 秒，每試次間隔 0.1 秒，波高 4 公分，依據平面水工模型試驗成果，原地形條件下港區在長週期波作用時出現較明顯振盪，內港區域（包含 7 號碼頭港渠與 12 號碼頭港渠）與外港區域的遮蔽係數及波場分布顯示，在特定週期附近，局部區域的波能顯著放大，本研究提出三種改善方案，試驗結果探討還原現地週期 8~30 秒範圍內遮蔽情形，說明如下：

方案 1 (通水箱涵)：主要透過連通內港 7 號與 12 號碼頭港渠來降低港內振盪幅度，改變內港池內水體連通性，原本封閉式內港多一條連通水道，內港水體體積增加，港池整體尺度增大可能使振盪週期變長、共振頻率降低，導致某些頻率下波能增強及腹點轉移。因此，通水箱涵方案改變港池邊界條件及幾何條件，重新改變內港波場節腹點分布，導致局部波高放大現象，試驗結果顯示此方案可能使長週期波能振盪更明顯，進一步增加內港波高。

方案 2 (消能碼頭)：在 7 號碼頭岸壁增設緩坡消能結構降低長波反射，以減少港內長週期振盪強度，此方案有效降低主要共振週期，使

22~25 秒之遮蔽係數轉為較為平緩之寬頻分布，且未產生顯著共振週期，顯示其對於 7 號碼頭港渠長週期波動抑制效果較為全面。

方案 3 (外港拋石)：在外港布設拋石設施以改變港域邊界條件以削減長週期波能，呈現出有效消能效果，在各測點 8~30 秒週期範圍內，其遮蔽係數曲線明顯比其他方案低，特別是長週期端，週期 22 秒以後遮蔽係數均下降，表示波浪能量有效消能，抑制長週期共振峰值，顯著改善外港區域碼頭靜穩度，外港拋石方案採用了拋石結構降低邊界反射，使港內難以形成大幅振盪，因此，各測點長週期波能削減，並沒出現明顯長週期遮蔽係數峰值，各個週期遮蔽係數相較其他方案與原地形條件明顯較低，表示入射波能受到有效抑制。

## 7.2 建議

在試驗設計與量測佈置方面，建議依本研究波高分布加強測點規劃與觀測，量測布點應涵蓋港區內潛在的共振熱點與節點位置，以掌握港內各區域的波動特性及共振模態分布。在波浪條件組成與週期範圍方面，建議在試驗中加入能代表真實環境的波浪條件，如模擬颱風浪中的低頻波群，或採用廣頻帶的不規則波序列，使入射能譜中包含港池潛在共振週期附近的能量，試驗波浪應覆蓋從短週期風浪到長週期湧浪的週期範圍，以充分激發港池的各階共振模式，辨識港區對不同週期波浪的共振特性，透過不規則波試驗或寬、窄頻帶之波譜條件試驗，來確認港池的主要共振週期與機制，水工模型試驗則能反映真實港灣在長週期波作用下的動態行為，確保結果具備足夠的代表性。

在改善方案研擬與驗證方面，需結合數值模擬與觀測資料驗證颱風事件中改善方案之效果，以制定更有效的靜穩度提升對策，由於花蓮港現有防波堤對長週期波缺乏有效遮蔽作用，湧浪造成港池明顯振盪不穩，因此，未來規劃改善方案時可優先思考阻擋或減少長週期波能量進入港內，或是可考慮在港內適當位置增設消能設施或新型消波構造物，以吸收進入港池的長週期波能，因此建議結合水工模型試驗與數值模擬進行方案研討，利用數值模型篩選出具穩定效果的改善構想，再透

過水工模型試驗驗證其消能效果及實際影響，兩者相互比對印證可提高改善方案可靠度與工程適用性，並輔以現地觀測資料進行驗證，將可強化遮蔽試驗之精確性與可信度，提供港灣工程規劃或營運管理之參考依據。

## 參考文獻

1. Shih-Feng Su & Gangfeng Ma,(2025), “Boussinesq modeling of typhoon-induced infragravity oscillations in Hualien Harbor, eastern Taiwan Influence of the adjacent coast.” Coastal Engineering, Volume 200, 15 July 2025, Pages 104793.
2. 今 卓也、松野 健、小葉松和也、田川 人士、葛西 弘行(2012), 「苫小牧港における長周期波対策工の効果検証」, 日本海岸工學會年會論文集。
3. 松野 健、青野 獎、矢野 隆博(2013), 「苫小牧港西港区における長周期波対策工の効果検証」, 日本海岸工學會年會論文集。
4. 日本國土交通省北海道開發局(2022), 「苫小牧港長周期波対策事業の効果検証に関する調査報告書」。
5. 臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司(2023), 「花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」。
6. 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。
7. 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。
8. 曾相茂、簡仲璟 (1996), 「花蓮港海域海象現場調查與分析」, 交通處港灣技術研究所。

9. 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。
10. 簡仲璟(1997),「花蓮港整體規劃及未來發展計畫—長浪及漂砂防制研究 2.防波堤堤線配置平面試驗」,專刊 152 號,交通處港灣技術研究所。
11. 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。
12. 邱永芳、蔡金吉、張金機(2000),「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」,專刊 190 號,交通處港灣技術研究所。
13. 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 26-42 頁。
14. 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。
15. 郭一羽 (2001),「海岸工程學」,文山書局。
16. 李兆芳、劉正琪、張憲國 (2001),「港池振盪之數值計算模擬計算」,海洋工程學刊,第 1 卷,第 1 期,第 1-22 頁。
17. 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 2 卷,第 1 期,第 55-71 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. 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。
20. 張憲國、林立青(2003)，「花蓮港池振盪之頻率與振幅辨識模式」，第 25 屆海洋工程研討會論文集，第 103-110 頁。
21. 邱永芳、林焯圭、簡仲璟(2004)，「花蓮港長浪特性試驗研究」，海洋工程學刊，第 4 卷，第 1 期，第 89-121 頁。
22. 林焯圭、林玉峰、蕭俊賢、鄭璟生、邱永芳(2006)，「花蓮港長週期振盪之觀測研究」，第 25 屆海洋工程研討會。
23. 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」。港灣報導第 74 期，第 27-40 頁。
24. 單誠基、林焯圭 (2007)。「淺談花蓮港港池共振研究經驗與未來方向」。港灣報導第 76 期，第 34-40 頁。
25. 簡仲璟、張富東、單誠基(2009)，「花蓮港颱風波浪之長週期波動研究」，第 31 屆海洋工程研討會論文集，第 441-446 頁。
26. 楊一中、陳佑廷、蔡政翰(2009)，「群波與花蓮港內亞重力波」，第 31 屆海洋工程研討會論文集，第 55-60 頁。
27. 邱永芳、簡仲璟、何良勝、蘇青和、張富東、李俊穎、錢爾潔、馬維倫、陳正義(2009) 「花蓮港港池共振改善計畫」，交通部運輸研究所。
28. 林焯圭、岳景雲、林玉峰、簡仲璟、李俊穎(2009) 「花蓮港港池共振機制研究(4/4)」，交通部運輸研究所。

29. 楊自立、楊一中、陳佑廷、蔡政翰(2010),「使用 Boussinesq 模式探討群波與花蓮港亞重力波的關係」,第 32 屆海洋工程研討會論文集,第 109-113 頁。
30. 楊自立、楊一中、陳佑廷、蔡政翰(2011),「颱風時期花蓮港亞重力波之探討」,第 32 屆海洋工程研討會論文集。
31. 蔡立宏(2010),「花蓮港港池共振機制及改善對策之研究」,交通部運輸研究所。
32. 李俊穎、謝佳紘、陳鈞彥、傅怡釗、羅冠顯(2019)「花蓮港 2016、2017 年度觀測長浪特性分析」,第 41 屆海洋工程研討會論文集。
33. 李俊穎、傅怡釗、劉清松、陳鈞彥、謝佳紘(2020)「港灣風波潮流模擬及長浪預警之研究-模擬評估及長浪預報研究」,交通部運輸研究所。
34. 莊文傑(2020),「臺灣東部海岸颱風長浪群波引致之港灣振盪」,交通部運輸研究所。
35. 周立翔、夏武成、蘇仕峰(2021),「花蓮港颱風波浪之數值模擬」,第 32 屆海洋工程研討會論文集,第 397-401 頁。
36. 臺灣港務股份有限公司(2021),「國際商港未來發展及建設計畫(111~115 年)」。
37. 蘇青和,洪維屏,陳鈞彥(2021),「離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)」,交通部運輸研究所。
38. 蘇仕峯、夏武成、周立翔、謝杰恩、吳瑋軒(2021),「長週期亞重

力波於港灣及及河口海岸之數值模擬」，淡江大學學校財團法人淡江大學水資源及環境工程學系。

39. 李政達、林受勳、李江澤、陳天時、李俊穎 (2022)，「臺中港靜穩度水工試驗暨波浪數值水槽之初步探討」，交通部運輸研究所。
40. 周立翔(2022)，「數值模擬花蓮港之颱風波浪」，淡江大學碩士論文。
41. 羅冠顯、林達遠、廖慶堂、劉明鑫、曹勝傑、柯拓宇、陳子健、陳孟宏(2023)，「2022年臺灣海氣象觀測資料統計年報」，交通部運輸研究所。
42. 臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司(2023)，「花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」。
43. 羅冠顯、李俊穎、林達遠、曹勝傑、陳子健、陳孟宏、柯拓宇(2024)，「商港波浪觀測及統計分析」，交通部運輸研究所。
44. 陳智恆、李俊穎、林受勳、李江澤、陳天時(2024)「花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置」，交通部運輸研究所。
45. 許師瑜、林受勳(2025)「長週期波斷面模型試驗(2/3)-花蓮港現況碼頭之水動力及改善研究初探」，交通部運輸研究所。
46. 蕭安佑、李俊穎、羅冠顯、林達遠、蔡立宏(2025)「花蓮港港域觀測波浪遮蔽分析」，交通部運輸研究所。

附錄一

期末報告審查意見處理情形表



# 交通部運輸研究所 114 年度自行研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-114-H2CA001d 花蓮港湧浪遮蔽試驗（3/3）-消能措施方案評估

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花蓮港務分公司工程處 鄭璟生委員	
1. 研究方法邏輯清晰，資料搜集完整。	感謝委員肯定。
2. 本研究是以實務為出發，3 個方案在研究期間都與港務公司有充討論，都有機會。從成果看來，消能碼頭對內港的能量消減較完整，東堤拋石方案就是在外港水域有可見成果。	感謝委員意見，本文已於結論補充說明各方案改善成效與適用條件，後續研究將納入不規則波試驗，模擬真實颱風波浪條件，以提供實務上參考。
3. 消能碼頭期待能在同時佈置#12 甚至#9，驗證能否有更顯著成果。	感謝委員意見，將納入後續研究規劃參考方案。
4. 東堤拋石方案可謂離實務工程手段最近的方案，考量未來東堤修復完成後堤頂高程降到+7，以消波塊照研究方案之比例堆砌，是否可行。	後續研究將納入不規則波試驗，並先以外港拋石方案進行測試，因消波塊堆疊後孔隙較大，可能不利於消能作用，仍將進一步評估改善成效。
5. 通水大排的 1 概念，早期曾有#13 直通東工地通水大排的構想提出，大排的長度與寬度，是否也會影響研究結果。當然本研究建議後續渠底佈置消波塊也是可能機會，以增加能量削減。	通水箱涵長度與寬度可能影響消能程度，後續研究將先測試布設拋石評估消能效果，並視消能效果程度再進一步評估箱涵尺寸的影響性。

<p>6. 本案的 3 個方案，在港型不變的前提下，實務看來都是有機會的改善手段，尤其通水大排更是少見討論的方案，本次研究無論離目標有多遠，都值得備記錄下來，也期待持續相關研究，本研究與另案（許）都有機會找到改善花港港池穩靜的可切入工程方案。</p>	<p>感謝委員建議，後續研究將持續精進改善方案，評估方案消能成效，以期提升花蓮港池靜穩度。</p>
<p>(二)國立成功大學水工試驗所 江文山委員</p>	
<p>1. 計畫藉由現地資料分析與模型實驗進行探討，資料詳實豐富，值得肯定，整體上，資料分析方法與參數可再檢討與比較，以利現象的說明與解讀。</p>	<p>感謝委員肯定及意見，資料分析方法與參數已於內文補充說明。</p>
<p>2. 圖 4.12 港內靜穩度測站波高歷線圖，請再檢視。</p>	<p>已依委員意見檢視 9、17 及 25 號碼頭靜穩度測站數據，因維護廠商於 4/25~4/26 進行水位計維護作業，故 3 處測站歷線圖呈現水位較高。</p>
<p>3. 港內各測站颱風期間的 <math>K_d</math> 歷線，建議可嘗試結合波向進行分析。</p>	<p>感謝委員指導，已補充蕃琵及谷超颱風期間港外 AWAC 波向歷線。</p>
<p>4. 模型試驗水深在港內與港外的設定，請再補充說明。</p>	<p>試驗水深已於內文 5-5 補充說明。</p>
<p>5. 實測的放大係數在某種週期出現特定尖峰，試驗結果的尖峰相對不顯著，請再檢視。</p>	<p>因水工試驗波浪條件採固定水深、規則波(8~30 秒)及固定波高進行試驗，探討不同週期下遮蔽係數變化，再與實際觀測資料進行驗證，可預期驗證結果會有出入，但其峰值位置及趨勢大致相同，而現地颱風時期波浪</p>

	條件通常波能較集中 10~15 秒區間，可能也是造成無法於規則波試驗中呈現出明顯峰值之原因，後續將以不規則波試驗模擬颱風情境，進一步比較驗證。
(三)國立臺灣海洋大學 蘇仕峯委員	
1. 本研究以平面水工試驗針對 8 至 30 秒週期之規則波，探討湧浪花蓮港各位置之遮蔽效果，並分析現場波浪觀測數據，解析花蓮港在不同波浪特性及颱風期間湧浪的遮蔽效果，報告可以標示各碼頭位置之效果。	感謝委員意見，已於內文 6.6 小節中補充說明。
2. 平面水工試驗包括內港碼頭間通水箱涵、具消能機制碼頭構造物及外港拋石消能等 3 個方案，評估不同消能措施對各碼頭之影響，有助於數值模式設定港內邊界。	感謝委員指導，本計畫研究成果可做為後續數值模擬研究參數設定之參考依據。
3. P.3-4 表 3-1 花蓮港歷年分季波高分布統計表，建議補充歷年年份資料，其說明文字在 P.3-5，請確認全年和四季之平均波高值須與表 3-1 內容一致。	感謝委員指導，表 3-1 內容誤植，已修正統計表，已於內文附上歷年統計資料，如表 3-2。
4. P.3-9 請檢視標點符號使用。	已於內文中修正標點符號。
5. P.4-4 圖 4-3~圖 4-6，”靜穩度監測站”和”靜穩度測站”用語不一致，請擇一統一使用。	已於內文中修正用語。

<p>6. P.4-5 一般波浪資料處理流程為壓力資料轉換成水位資料，文中“零上切及逐波分析法”，零上切即所謂的逐波分析法 (wave-by-wave analysis)，建議於文中說明兩者為同一方法。</p>	<p>已於內文 4-5 中將分析方法修正為零上切法。</p>
<p>7. P.4-10 表 4-4 颱風期間避湧事件波浪統計資料(2016-2024 年)，註明示性波高、譜峰週期及波向來是港外底碇式波流測站資料。</p>	<p>感謝委員意見，已於表 4-4 註明為港外底碇式波流測站資料。</p>
<p>8. P.4-11 圖 4.11 建議將 3 個波浪時序列利用 3 張子圖方式呈現，如圖 4.12，以利辨識各測站數據變化。</p>	<p>感謝委員建議，圖 4.11 以 3 張子圖呈現，以利測站數據閱讀。</p>
<p>9. P.4-12 圖 4.12 建議 3 個碼頭測站資料畫在同一張圖，以利比較其相對大小。</p>	<p>感謝委員建議，圖 4.12 之 3 張圖以同一張圖內呈現，以利測站數據大小比較。</p>
<p>10.P. 4-12 子標題 4.2.1 原始資料處理介紹波浪參數如何計算，建議放在 4.2 之後，接著內容才有波浪分析結果。</p>	<p>感謝委員建議，4.2 節為呈現花蓮港內外測站逐時資料經系統換算之波浪參數資料，非以本文方法計算之波浪參數，將於內文補充說明，以利閱讀。</p>
<p>11.放大係數(Amplification Factor)利用 P.6-1 公式，<math>S(f)</math>為波譜能量密度，用來計算示性波高。其物理意義和遮蔽係數一樣，建議統一使用遮蔽係數 <math>K_d</math> 即可。</p>	<p>感謝委員建議，於報告內文中將波高放大係數用語，統一修正為遮蔽係數。</p>
<p>12.當放大係數等於 1 時，代表全反射狀態，一般而言，放大係數多數</p>	<p>感謝委員意見，於報告內文中修正相</p>

<p>應用在湧浪以上的亞重力波分析，當其值大於 2 以上時，通常會視為具有共振現象。</p>	<p>關用語。</p>
<p>13.外港拋石效能讓 22 秒以上能量具有消減效果，但對於亞重力波能量消能效果仍屬有限，尤其是水位高於拋石的情境。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫研究成果為探討 8~30 秒範圍遮蔽係數變化情形，於規則波週期 22~30 秒較有明顯消能效果，本次試驗水位低於拋石堆，後續研究將以不規則波模擬颱風事件進一步評估各方案消能效果。</p>
<p>14.通水箱涵會造成水位抬升，讓振盪週期變長，可以推論內港設置泊船渠可能造成長週期振盪變大，可供未來港灣規劃參考。</p>	<p>感謝委員意見，通水箱涵方案可能使水體增加造成振盪週期更長，後續將透過不規則波試驗進一步探討更長週期是否有此情形，以提供未來相關研究參考依據。</p>
<p>(四) 本所運輸技術研究中心第二科 李俊穎研究員兼科長</p>	
<p>1. 計畫內探討分析花蓮港波浪特性及應用水工試驗進行 3 項改善方案試驗，成果具參考性。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
<p>2. 觀測資料分析結果要納入摘要及結論內。</p>	<p>感謝委員意見，觀測資料分析結果已納入摘要及結論。</p>
<p>3. 第 4-6 頁花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項，請依最新版本來說明。</p>	<p>感謝委員意見，依花蓮港務分公司最新規定補充說明。</p>
<p>4. 第 5-8 頁建議補充說明試驗週期間距。</p>	<p>感謝委員建議，已補充說明試驗週期間距。</p>
<p>5. 參考文獻請再檢視，部分未納入。</p>	<p>感謝委員意見，已檢視並補充參考文獻。</p>

(五)本所運輸技術研究中心第一科 賴瑞應研究員兼科長

<p>1. 報告指出，在特定週期下（如 13-15 秒及 21-30 秒），外港 17 號與 25 號碼頭的波高放大係數最為顯著，目前的實務作業主要依據 25 號碼頭湧浪達 1 公尺做為避湧標準，試驗數據顯示 17 號碼頭的放大係數有時甚至高於 25 號碼頭，可建議花蓮港評估將 17 號碼頭納入「花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」的正式監測指標，或建立兩碼頭間的聯動預警機制，以更全面地覆蓋外港作業風險。</p>	<p>感謝委員意見，考量本計畫尚未全面分析歷年避湧事件，且因現地波浪條件、潮位、地形、颱風路徑或營運安全管理等複雜因素皆可能影響避湧啟動機制，後續將納入相關議題研議，如有明確結果再進一步將提供港務公司參考。</p>
<p>2. 花蓮港正推動轉型，將 13 至 16 號碼頭劃設為遊憩觀鎖廊帶，5 至 12 號碼頭維持貨運專區，報告雖驗證了 7 號碼頭消能方案能抑制內港共振，但後續可針對未來遊憩觀光專區（13-16 號碼頭）的靜穩度進行專題分析，因為遊客碼頭對波動的敏感度遠高於一般貨輪，建議後續試驗可模擬「中小型遊艇/郵輪」在消能方案後的受力情形，以支持後續的開發政策。</p>	<p>感謝委員意見，後續研究將規劃於 12 號碼頭設置消能結構物並進行不規則波水工試驗，分析 13~16 號碼頭靜穩度情形，如有明顯改善再進一步將研究成果提供港務公司參考，以規劃提升船隻靠泊安全性。</p>
<p>3. 試驗結論明確指出方案 3 對於削減 22 秒以上長週期波能的效果最為全面，能顯著改善外港靜穩度，從管理者立場，需考慮拋石工程</p>	<p>感謝委員意見，本計畫研究成果為探討 8~30 秒範圍遮蔽係數變化情形，本計畫試驗拋石布置範圍已避開航道及迴船池區域，結果顯示於波浪條</p>

<p>對航道寬度與船舶操縱的影響，建議後續報告可結合「操船模擬」，確認在新東防波堤設置拋石設施後，是否會壓縮現有航道安全裕度，並進一步計算拋石工程的成本效益比 (C/B 值)，做為向交通部爭取建設經費的依據。</p>	<p>件規則波週期 22~30 秒較有明顯消能效果，後續研究將以不規則波模擬颱風事件進一步評估拋石方案消能效果，如有明顯改善再進一步將研究成果提供港務公司，以利後續花蓮港工程方案規劃設計之參考。</p>
<p>(六)本所運輸技術研究中心第三科 林雅雯研究員兼科長</p>	
<p>1. 第 4-11 頁圖 4.11 圖例不清楚，113 年 10 月 31 日的示性波高及平均波向顯示不清楚。</p>	<p>感謝委員意見，圖 4.11 改以 3 個子圖呈現，以利測站數據閱讀。</p>
<p>2. 第四章為何選蕃琵颱風及谷超颱風，第六章選蕃琵颱風及凱米颱風?建議補充說明。</p>	<p>感謝委員意見，於內文 4-13、6-4 補充說明颱風事件擇定原因。</p>
<p>3. 建議方案 1~3 波高分布圖可與方案 0 相減，較易看出差異。</p>	<p>感謝委員意見，已補充各方案波高差異分布圖，如圖 6-16、圖 6-22、圖 6-28。</p>
<p>4. 簡報第 10 頁波向比例加起來大於 100%，建議檢核。</p>	<p>感謝委員意見，簡報與報告內文數據誤植，已修正表 3-1。</p>
<p>5. 建議補充說明試驗進行規則波的條件及執行設定。</p>	<p>感謝委員意見，於 5.3 小節補充說明規則波的條件及執行設定。</p>



附錄二  
期末審查簡報





報告人：蕭安佑 副研究員

1

## 人力分配

經費: 1425千元  
來源: 本所業務費

人力分配	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/科長	監督計畫執行
計畫主持人	蕭安佑/副研究員	計畫統籌、試驗規劃、資料分析、試驗執行及投稿撰寫
研究人員	李江澤/技工	模型修改及設備布置
	陳天時/技工	模型修改及設備布置



# 簡報內容

- 一、緒論
- 二、文獻回顧
- 三、花蓮港背景資料
- 四、現地觀測波浪遮蔽分析
- 五、平面水工模型遮蔽試驗設計及執行
- 六、平面水工模型試驗結果
- 七、結論與建議



## 一、緒論

### 研究緣起與目的

- 花蓮港自建港以來，為**東部運輸**及經濟發展的關鍵港口，然而其地理位置易受**颱風湧浪**影響，港內湧浪能量不易消散，常發生港池振盪**不靜穩現象**，嚴重影響船隻穩定及人員安全
- 面對**氣候變遷**和**觀光轉型**的挑戰，提升港池靜穩度為首要課題，本計畫將進行平面水工**模型試驗**及**消能方案評估**，期望試驗結果可提供相關單位參考



# 一、緒論

## 研究項目及內容

### 花蓮港湧浪遮蔽試驗

第一年



#### 試驗規劃及建置

- 試驗及造波條件規劃
- 海氣象資料彙整
- 花蓮港模型建置
- 第二試驗廠棚整建

第二年



#### 觀測波浪遮蔽分析

- 颱風事件觀測資料彙整
- 文獻資料整理
- 觀測資料遮蔽分析

第三年



#### 消能措施方案評估

- 進行規則波試驗
- 試驗資料分析
- 消能方案評估



# 一、緒論

## 計畫範圍

北起花蓮港區#12、#13號碼頭，南至近南濱太平洋公園處

## 研究方法

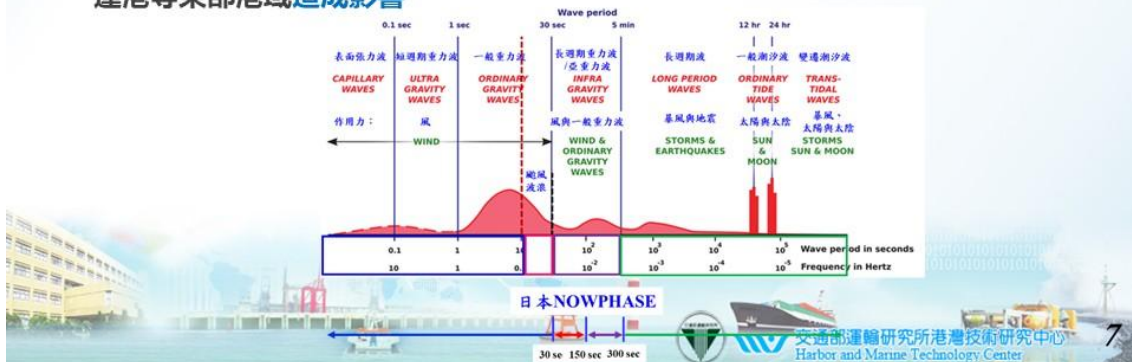
- **水工試驗消能方案**：於平面水工試驗中建置定床**1:100**縮尺模型，並分別施作不同之消能配置，包括內港碼頭間**通水箱涵**、具**消能機制之碼頭構造物**，以及於外港東堤設置**拋石消能設施**等方案
- **湧浪遮蔽試驗**：於試驗中設定適當**週期與波高**條件，於長週期波浪條件下逐一進行**規則波**試驗，藉此評估各方案在港池內不同碼頭位置之波浪能量消能效果，分析不同方案對於湧浪能量傳遞與消散之效果
- **分析試驗結果及改善提案**：各方案試驗數據統整與比較，結合**放大係數**計算，檢視長週期波能量於港池內之消滅成效，歸納各方案消能效益



## 二、文獻回顧

### 風浪與湧浪

- 風浪為季風、颱風引起之波浪，週期大多 $\leq 30$ 秒；交通部中央氣象署定義波高超過1.5公尺，平均週期超過8秒者為湧浪
- 當風浪週期及波高逐漸發展，其波速就會大於風速，進而脫離風區，但仍以重力波型態向外持續傳播。故一旦太平洋海面上有颱風生成，即使未接近臺灣，仍會對花蓮港等東部港域造成影響



## 二、文獻回顧

### 歷年相關研究

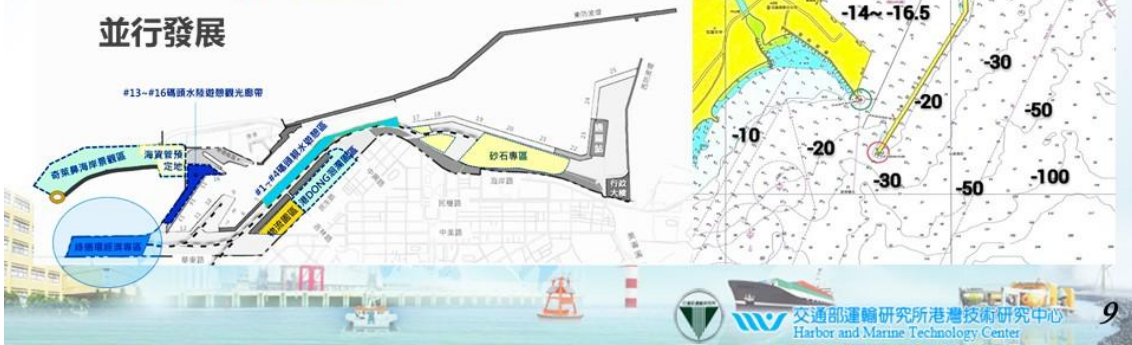
- 曾及簡(1996)在花蓮港內外設置波高計觀測提姆颱風來襲期間波浪資料，結果指出於外海測站波浪能量峰值的週期集中在11秒至15秒之間，無異常的長週期能量，但是在港口附近測站已有顯著的長週期波浪能量出現，於港內有明顯的能量集中在47、82、98、114及158秒成份波處，而小於15秒的短週期波浪能量已變得很小
- 林等人(2006)，延長連續取樣時間，針對花蓮港附近水域收集較長時間的水位變動資料，並用數值濾波方式分離水位資料的時間序列，結果發現花蓮港內外水域除了一般的重力波，還存在亞重力波以及週期大於1000秒的超長重力波
- 楊等(2010)使用Mike21(BW)模式模擬Bowers(1977)群波產生共振的水槽實驗，模擬在水槽岸壁增加孔隙層，該設置能夠降低共振槽內的振幅；另外模擬以群波輸入花蓮港地形，若於外港增加孔隙層可減低內港的共振現象
- 蔡(2010)以Lee等人(1998)的港池共振波場數值模式為基礎，於碼頭壁加設消波設施可以消滅長週期波，有效降低共振強度，但無法對100秒以上長波消能，並建議將#13及#14碼頭形式，變更為棧橋式碼頭，並在碼頭後側附近的防風林帶加以浚挖，使內部港池與北部外海相通，以達到消滅
- 楊等(2011)利用Mike21 BW模式，採用實測之2005年海棠颱風波浪資料，模擬該颱風期間花蓮港內產生亞重力波的現象，由結果得知於港內8號碼頭所測得的亞重力波之波浪能量，主要是因為港外短週期波群所造成，而非港外長週期波浪的輸入後在港內放大



# 三、花蓮港背景資料

## 地理條件與建港歷程

- 花蓮港於1991年12月完成第四期擴建工程，港區水域面積為1,045公頃、陸域面積為170公頃，總面積共1,215公頃
- 商港整體發展規劃(111-115年)將花蓮港定調為觀光遊憩港，與既有運輸功能並行發展



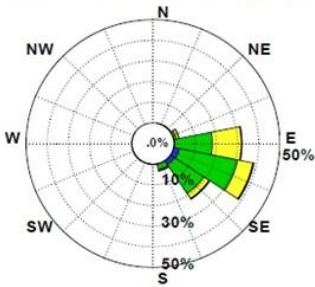
# 三、花蓮港背景資料

## 海象環境

- 花蓮港歷年波高分布統計資料，波高分布以0.5至1.5公尺間比率最高，約為66.6%，因受東北季風影響，冬季平均波高最大
- 歷年全年Hs平均值為1.23m、Tp平均值為8.4s，主波向為ESE，所佔比例為38.7%、第1次波向為E(佔32.1%)、第2次波向為SE(佔22.4%)

Hs (m)	微波 <0.1m	小波 0.1~0.5m	~1.0	~1.5	~2.0	~3.0	~4.0	~5.0	~6.0	巨浪 ~7.0	巨浪 ~8.0	暴浪 ~10	暴浪 ~12	狂浪 ~16	狂浪 ~20	狂浪 >20	蒐集率 (%)
歷年/12	.0	.0	6.7	36.1	36.5	19.6	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	98.
歷年/01	.0	.0	9.0	44.9	33.9	11.9	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	98.
歷年/02	.0	.0	12.4	48.0	29.4	10.0	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/03	.0	.0	26.1	50.4	18.2	5.1	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	91.
歷年/04	.0	.3	43.9	40.5	11.4	3.6	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/05	.0	6.9	65.2	21.6	5.0	1.3	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/06	.0	10.2	67.2	17.5	3.3	1.6	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/07	.0	23.7	48.7	13.8	6.0	5.3	1.5	.6	.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	93.
歷年/08	.0	18.7	47.3	18.3	7.5	5.4	1.9	.5	.3	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	96.
歷年/09	.0	9.9	42.8	24.8	10.8	7.9	2.7	.7	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	99.
歷年/10	.0	.5	22.4	35.8	22.3	15.5	2.8	.5	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/11	.2	.1	14.2	44.3	25.2	15.3	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	93.
歷年/冬	.0	.0	9.2	42.8	33.5	14.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	97.
歷年/春	.0	2.4	45.0	37.5	11.5	3.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	94.
歷年/夏	.0	17.6	54.1	16.6	5.7	4.1	1.2	.4	.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/秋	.1	3.5	26.7	34.8	19.3	12.9	2.1	.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	95.
歷年/年	.0	5.7	33.6	33.0	17.7	8.6	1.0	.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	96.

HLX0 at Years/Year NO=167140(96%)



DISV5A.BAT 測站編號:HLX

運輸技術研究中心

## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 底碇式波流觀測儀 (AWAC)

- 平時以聲波式的高度感應器量測為主
- 每次收集 1Hz 頻率之 1024 筆數據，觀測時長約為 17.07 分鐘
- 測量波高、波向、波週期及流速



### 靜穩觀測站

- 9號、17號及25號碼頭旁架設港內全時靜穩觀測站，採用觀測水深之壓力計觀測水面波動引起的壓力變化
- 取樣頻率為 2Hz，採連續觀測方式，每 20 分鐘輸出一組波浪參數觀測值



靜穩觀測站



AWAC



## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 颱風避湧事件

- 花蓮港颱風期間依「花蓮港颱風湧浪期間船舶靠泊作業注意事項」規定，如觀測外港 25 號碼頭湧浪起伏達一公尺以上，內、外港船舶依限出港避湧，實施進出港管制
- 統計 2016~2024 共 9 年期間計有 35 次避湧時段，平均影響 52.8 小時，其中以 2021 年舒力基颱風影響避湧時間 4 日 6 小時最長，且有 8 場颱風屬中央氣象署未發布颱風警報事件



舒力基颱風路徑



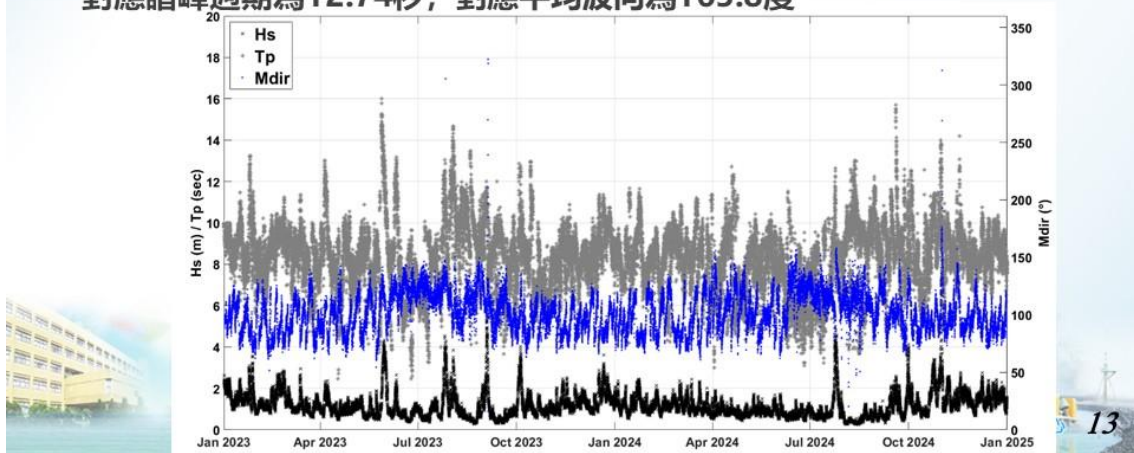
谷超颱風路徑



## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 港內、外觀測波浪遮蔽分析

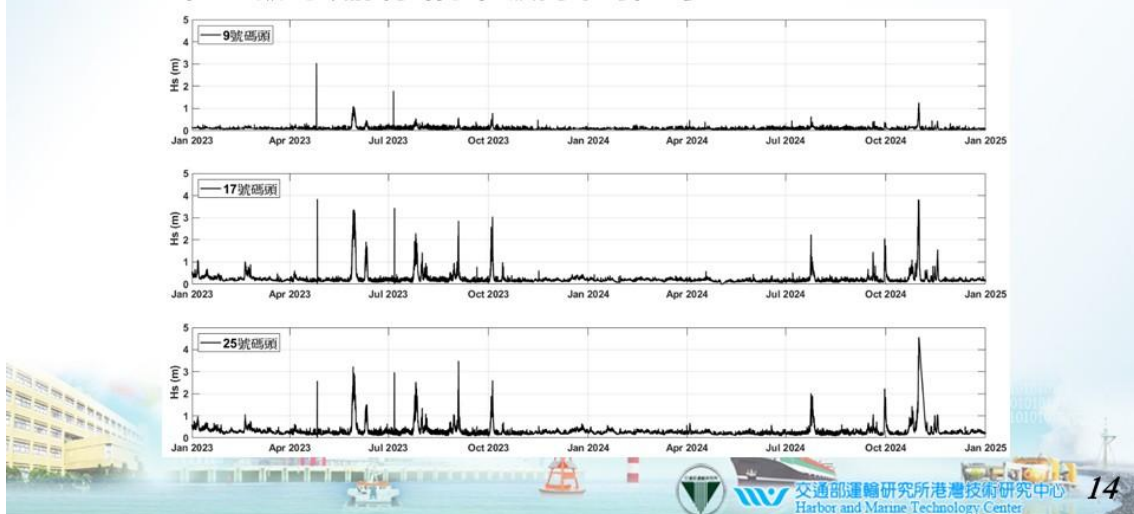
- 2023年1月至2024年12月花蓮港外波浪觀測主站AWAC統計資料，示性波高Hs平均值為1.16m，譜峰週期Tp平均值為7.6秒。
- 示性波高Hs最大值發生時間2024年10月31日15時，其最大值為11.13m，對應譜峰週期為12.74秒，對應平均波向為165.8度



## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 港內、外觀測波浪遮蔽分析

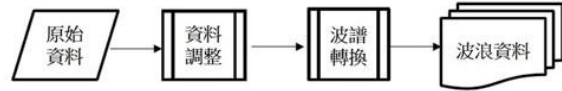
- 港內靜穩站9號、17號及25號碼頭示性波高歷線圖如下圖所示，9號碼頭靜穩站示性波高平均值為0.08m，7號碼頭靜穩站示性波高平均值為0.23m，25號碼頭靜穩站示性波高平均值為0.28m



## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 資料處理

- 原始資料常有資料數不合理及異常值存在情形，當資料短缺與資料內有異常訊號，處理方式參考李等(2019、2020) 水位訊號轉換波浪處理流程
- 應用傅立葉轉換求取波浪能譜，換算湧浪波高及風浪波高等波浪參數，其中f為頻率，S(f)為一維波浪波譜，fswell為設定長浪頻率上限，擷取週期8秒以上波浪



湧浪波高

$$Swell H_{m0} = 4 \sqrt{\int_0^{f_{swell}} S(f) df}$$

風浪波高

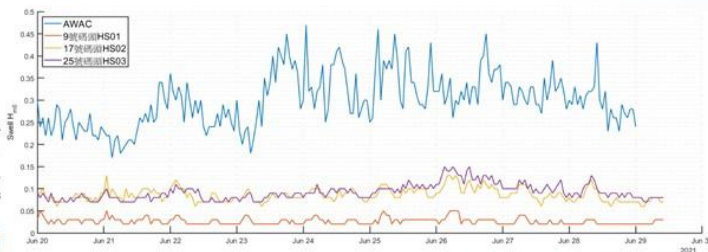
$$Wind H_{m0} = 4 \sqrt{\int_{f_{swell}}^{\infty} S(f) df}$$



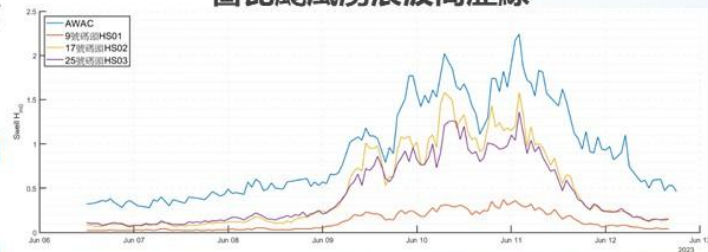
## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 波高歷線

- 讀取AWAC及9、17、25號碼頭靜穩觀測站原始資料，透過資料處理後轉換波譜後再計算港內外湧浪波高，繪製港內外波高歷線
- 進一步比對谷超颱風避湧時段為6月9日18時~11日12時，該時段17號碼頭波高明顯大於25號碼頭



薈瑟颱風湧浪波高歷線



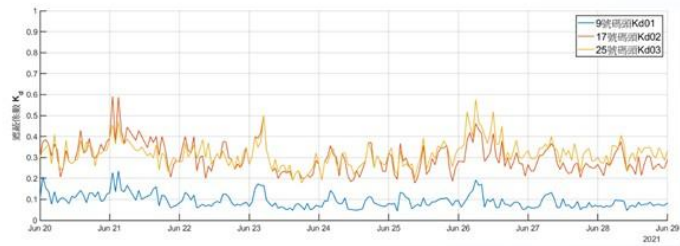
谷超颱風湧浪波高歷線



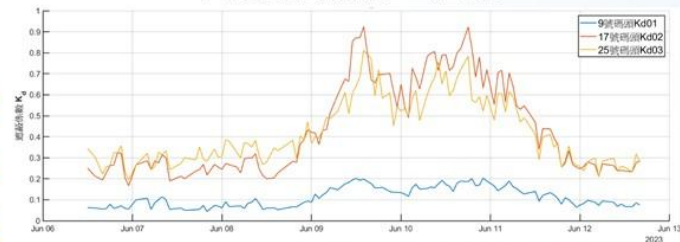
## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 遮蔽係數歷線

- 利用觀測資料轉換後計算港內外波高、湧浪波高及風浪波高遮蔽係數Kd
- 薔琵颱風17號與25號碼頭遮蔽係數差異小
- 谷超颱風避湧時段17號碼頭遮蔽係數明顯大於25號碼頭，其平均波向介於東南東及東南向之間，湧浪平均週期均大於10秒以上



薔琵颱風湧浪Kd歷線



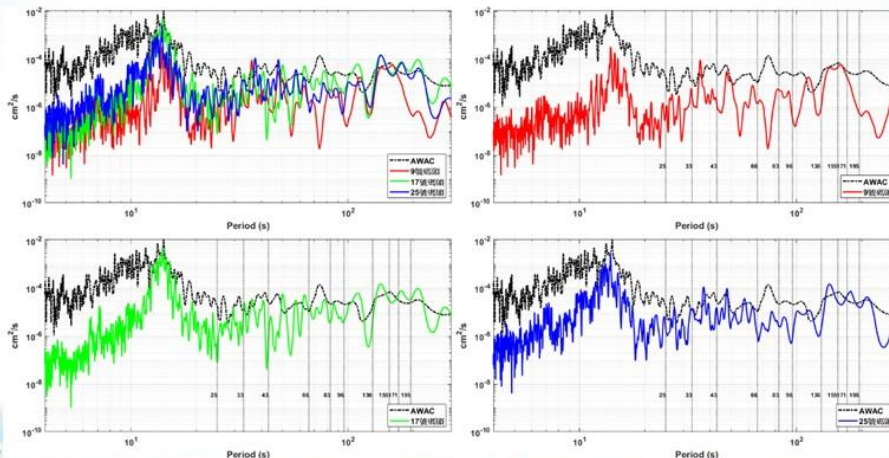
谷超颱風湧浪Kd歷線



## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 波譜特性分析

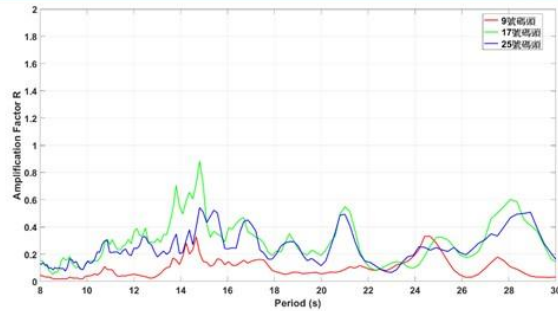
- 谷超颱風(2023年6月10日19時)波譜分析，各站約於10.5秒處有明顯峰值，且於130~150秒間長週期能量接近或大於港外AWAC



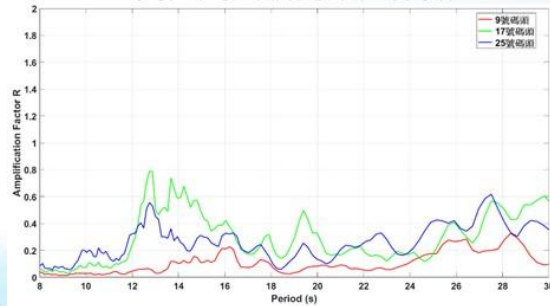
## 四、現地觀測波浪遮蔽分析

### 波譜特性分析

- 本計畫設計以削減港內長週期波能為目標，進一步探討觀測資料於**8至30秒波浪週期**之波高放大係數
- 兩場颱風事件皆於週期約**12至14秒**，以及**26至28秒**範圍內出現放大係數峰值，顯示此波段與港池共振頻率接近
- 無論有無發布颱風警報或實施避湧作業，顯示湧浪所引起港內**共振效應**實際存在



薔琵颱風波高放大係數

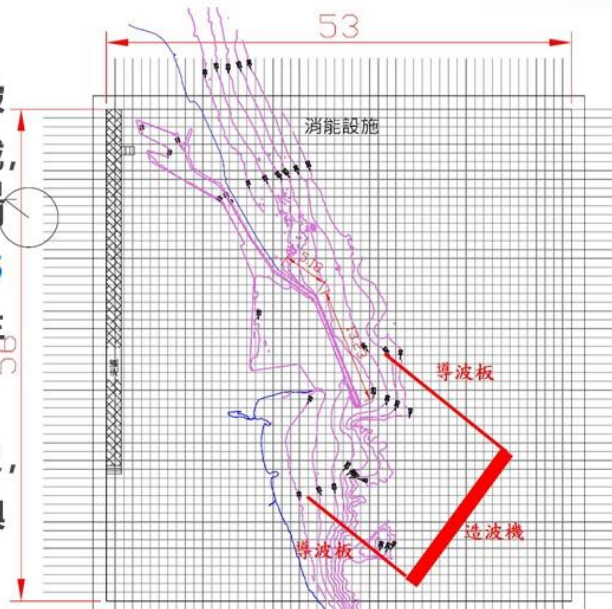


谷超颱風波高放大係數

## 五、平面水工模型遮蔽試驗設計與執行

### 平面水工模型

- 模型製作範圍涵蓋港外東防波堤以外水深**40公尺**之外海區域，以確保造波機入射波於港口前能充分發展，港區範圍包含**25座碼頭**、**迴船池**與**窄航道**等主要水域
- 試驗採用**1/100**等比模型比尺，模擬港內外波浪傳遞、反射與長週期能量放大等現象



## 五、平面水工模型遮蔽試驗設計與執行

### 試驗設備

#### HR造波機



- 造波機4臺，長、高分別為6m、0.8m 的往復平推式造波板模組
- 規則波：可在指定週期、振幅、相位和方向產生規則諧波
- 不規則波：內建各種波譜型式可供選擇使用，進行群波模擬

#### 容量式波高計



- 透過電容變化感測水面高度變化，記錄波浪峰與波谷數據

#### 全站儀



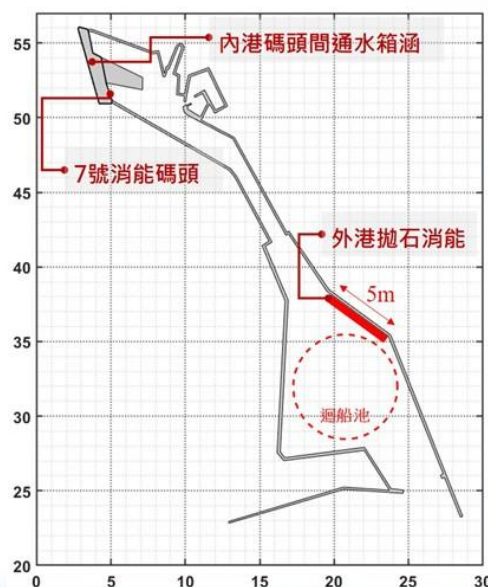
- 具角度測量、距離測量、高程測量與數據處理功能的測量儀器，可精確放樣造波機及波高計位置



## 五、平面水工模型遮蔽試驗設計與執行

### 波浪條件與改善方案

- 試驗造波採單(南)向180度，以規則波形式入射，探討波浪傳遞行為所引起港池震盪特性
- 波浪週期範圍設定為原型8至30秒，對應模型週期為0.8至3.0秒，涵蓋一般重力波、颱風波浪至長週期湧浪區間
- 試驗模型入射波高設定為4公分，對應原型波高4公尺



## 五、平面水工模型遮蔽試驗設計與執行

### 改善方案

通水箱涵



- 設置位置：內港7號與12號碼頭後方
- 提供內港港池水位低頻擾動的通水渠道，減少封閉式反射與長週期波發生

消能碼頭#7



- 改造區位：內港7號碼頭原直立壁
- 改變港池內部邊界反射條件，以緩坡結構物吸收波能

外港拋石



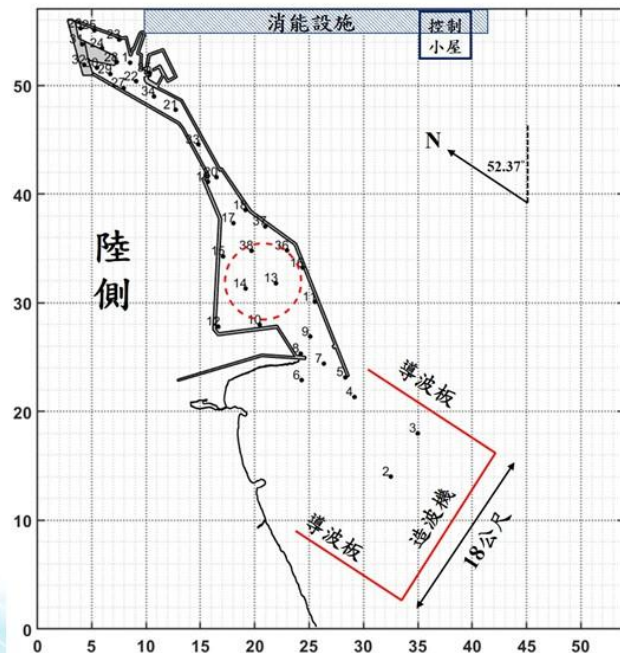
- 設置位置：東防波堤處
- 針對入射波進入港池後，作為能量消滅設施，吸收波能以減少長週期波於港池內震盪



## 五、平面水工模型遮蔽試驗設計與執行

### 波高計點位佈設

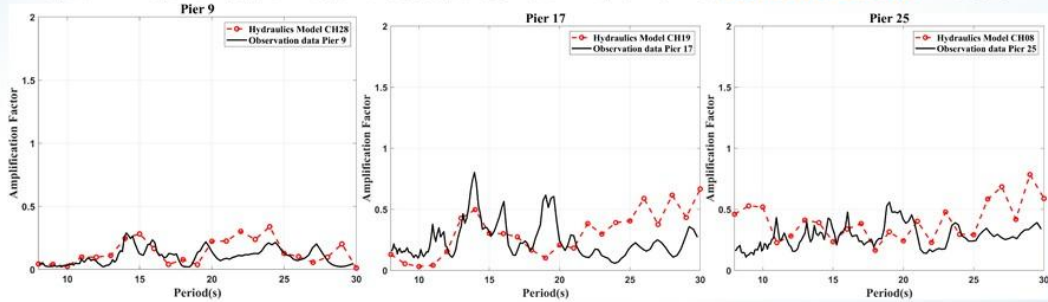
- 為分析花蓮港內港區、外港區、窄航道與迴船池之靜穩度，規劃38支波高計量測主要水域波高
- 造波機位置距離花蓮港區結構物約18公尺以上，確保波浪穩定發展，並採固定水池深度0.4公尺



## 六、平面水工模型試驗結果

### 比較驗證

- 以2021年6月28日8時之**薔琵颱風**觀測資料進行比較，此時波向為174.26度，示性波高1.03公尺，尖峰週期7.26秒
- 9號、17號碼頭及25號碼頭觀測站與水工模型比較**波高放大係數**如下圖



放大係數主要受到外海入射波方向、潮位變化、近岸地形及短週期波浪條件不穩定等複雜現地因素控制

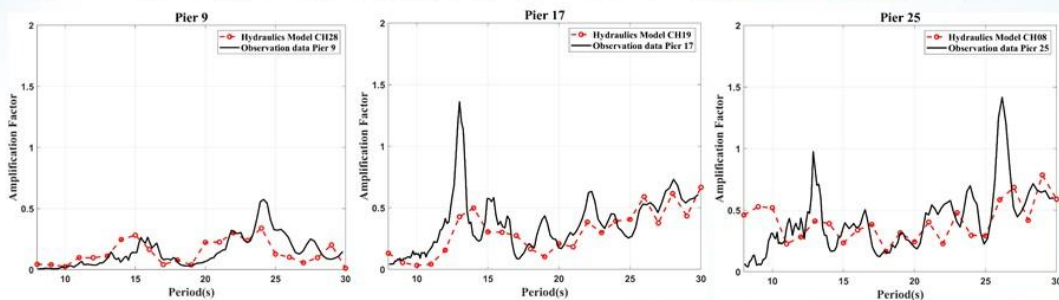


25

## 六、平面水工模型試驗結果

### 比較驗證

- 以2024年7月24日22時之**凱米颱風**觀測資料進行比較，此時波向為125.46度，示性波高2.62公尺，尖峰週期9.89秒
- 9號、17號碼頭及25號碼頭觀測站與水工模型比較**波高放大係數**如下圖



水工模型採用**單一規則波**、**固定水深與理想化邊界條件**，可預期與觀測資料仍有出入，但其波高放大係數峰值及趨勢大致相同

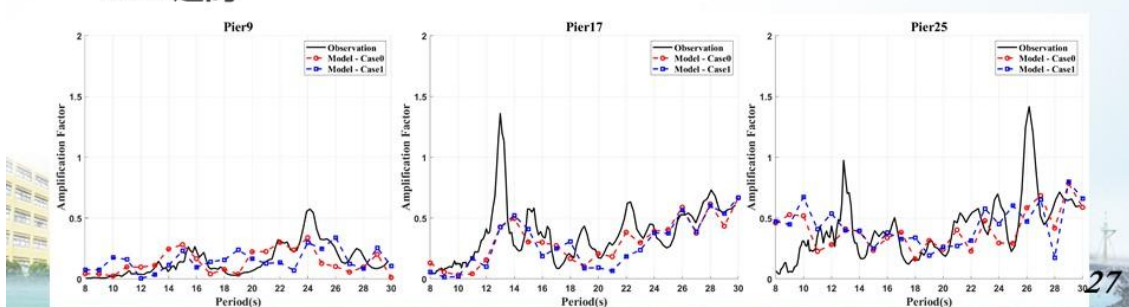


26

## 六、平面水工模型試驗結果

### 方案1試驗結果

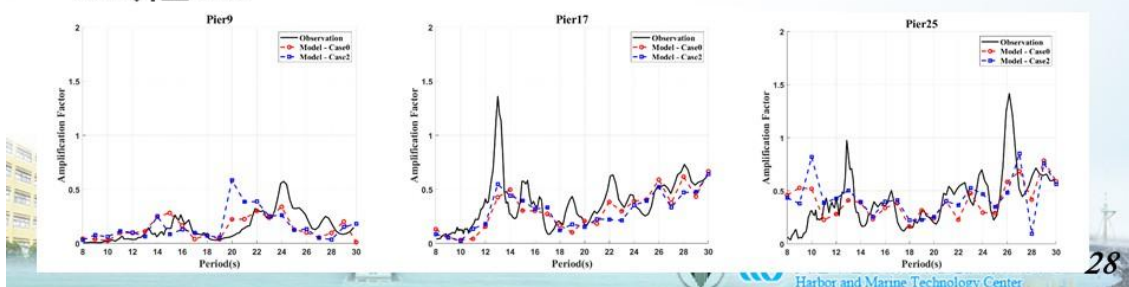
- 方案1僅針對內港區碼頭間進行港型調整，17與25號碼頭波高放大係數無明顯變化
- 9號碼頭共振週期峰值明顯改變位置，但整體係數介於0.01 ~ 0.34之間



## 六、平面水工模型試驗結果

### 方案2試驗結果

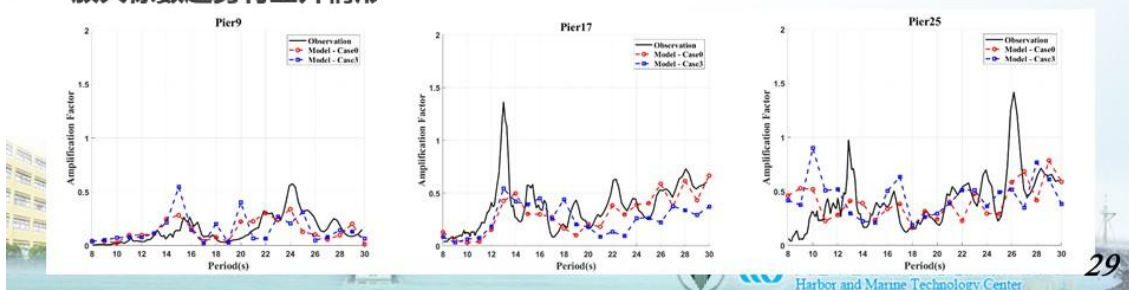
- 方案2針對內港區7號碼頭進行岸壁調整，17與25號碼頭波高放大係數無明顯變化
- 9號碼頭於週期15秒處係數明顯由0.28降至0.09，週期20秒處由0.22升至0.59，週期21秒處由0.22升至0.38



## 六、平面水工模型試驗結果

### 方案3試驗結果

- 9號碼頭於週期15秒處係數明顯由0.28升至0.54，週期20秒處由0.22升至0.40
- 17號碼頭週期18秒處由0.17升至0.44，週期21秒後之係數均有明顯下降，而25號碼頭短週期波高放大係數趨勢有上升情形



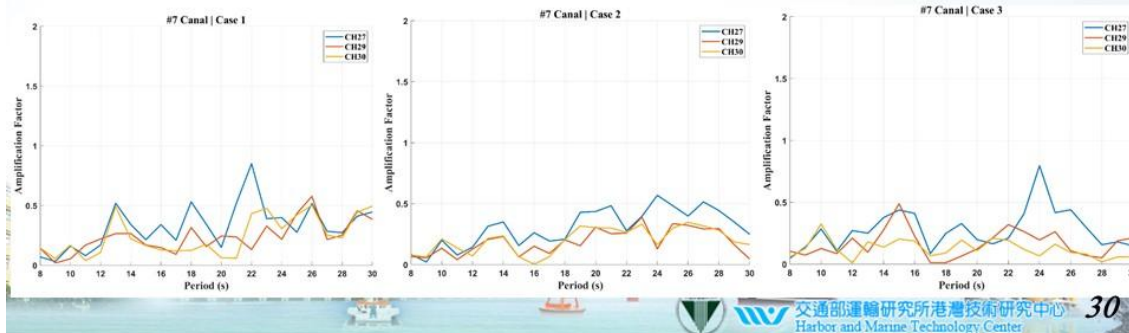
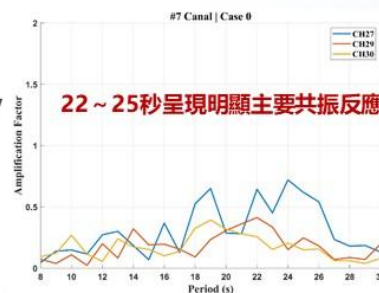
29

Harbor and Marine Technology Center

## 六、平面水工模型試驗結果

### 同方案不同測點比較(7號港渠)

- 通水箱涵方案雖能調整部分週期放大幅度，但於22秒附近反而形成較大峰值，並於長週期端產生放大現象，整體改善效果有限
- 消能碼頭方案可有效降低主要共振週期，使22~25秒之放大係數轉為較為平緩之寬頻分布，顯示其對於7號碼頭港渠長週期波動抑制效果較為全面



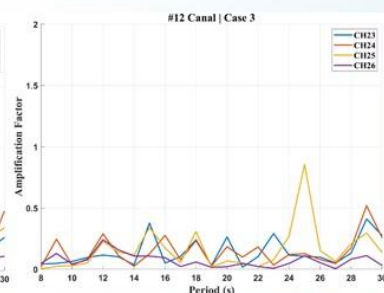
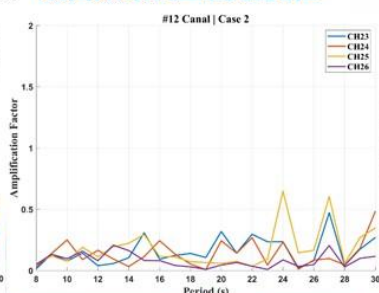
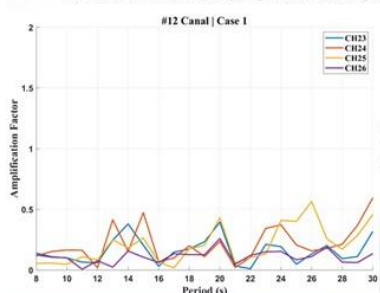
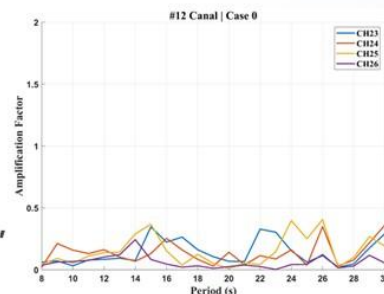
30

交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
Harbor and Marine Technology Center

## 六、平面水工模型試驗結果

### 同方案不同測點比較(12號港渠)

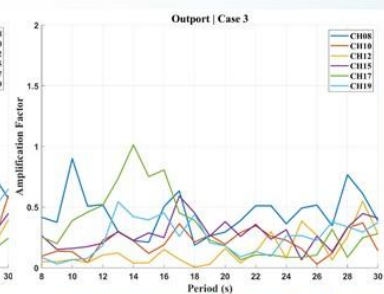
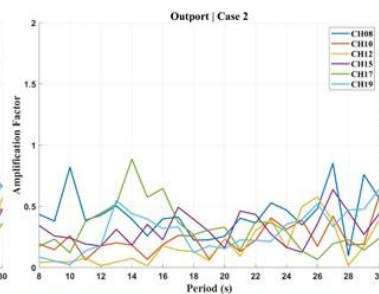
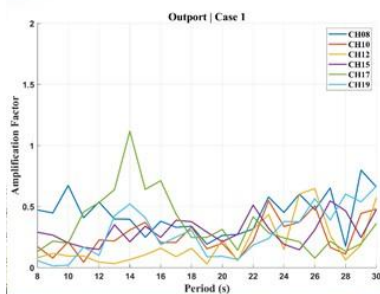
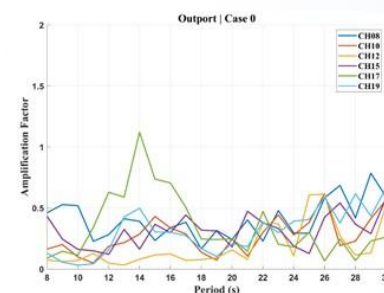
- 原地形週期分布而言，以14~15秒及22~26秒區間為可辨識**主要放大反應頻帶**，但各測點間**差異有限**
- 外港拋石方案顯示**峰值位置調整**，原於22~26秒區間之放大係數降低，但CH25出現相對突出的**局部峰值**，顯示外港邊界反射條件改變後，波能傳遞至港渠於特定測點形成局部放大現象，**改善效果具空間差異性**



## 六、平面水工模型試驗結果

### 同方案不同測點比較(外港區域)

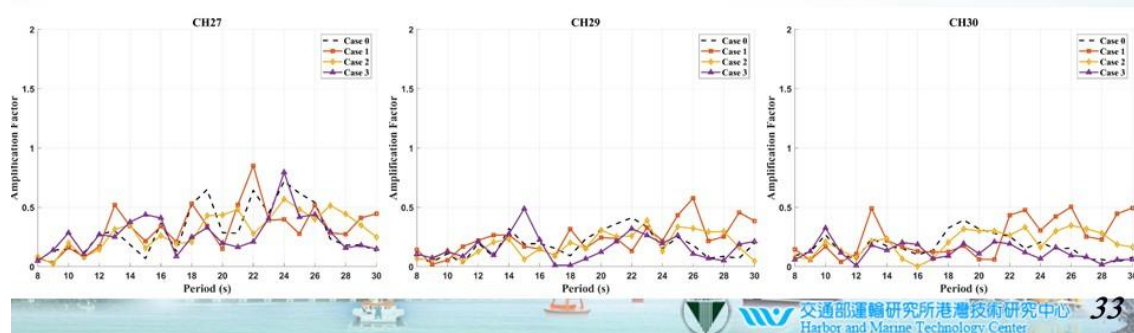
- 通水箱涵方案未見明顯改善，顯示通水箱涵主要影響內港水體連通，對外港消能效果有限。消能碼頭方案則可明顯降低外港CH17測點於11~17秒之**主要放大峰值**。外港拋石方案雖觀察到局部峰值提升，但大多數測點放大反應**下降**，如20~28秒區間趨勢，且長週期端放大係數也有**下降趨勢**，顯示外港區之改善成效以拋石方案較為顯著



## 六、平面水工模型試驗結果

### 同測點不同方案比較(7號碼頭港渠)

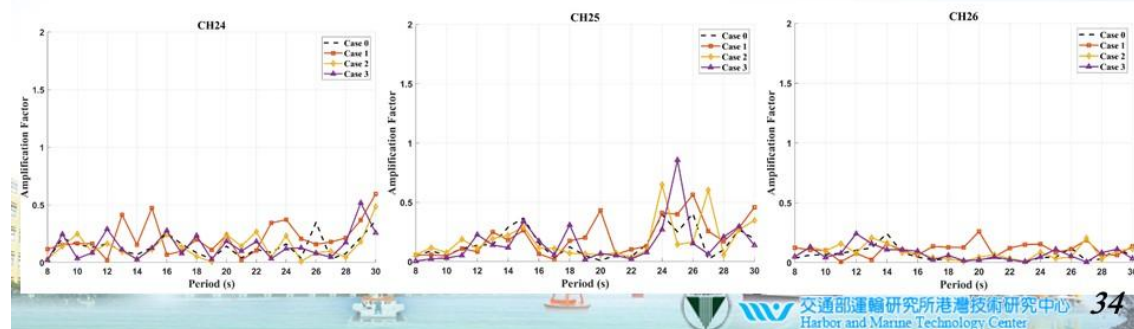
- 消能碼頭方案在三測點上皆展現一致且穩定之放大抑制效果，能有效削弱港渠主要共振週期之能量累積，為內港7號碼頭港渠長週期波動改善中，消能效果較為全面
- 外港拋石方案則是能更有效抑制較長週期波能的放大，相對地，短週期波能抑制效果會更集中部分週期。



## 六、平面水工模型試驗結果

### 同測點不同方案比較(12號碼頭港渠)

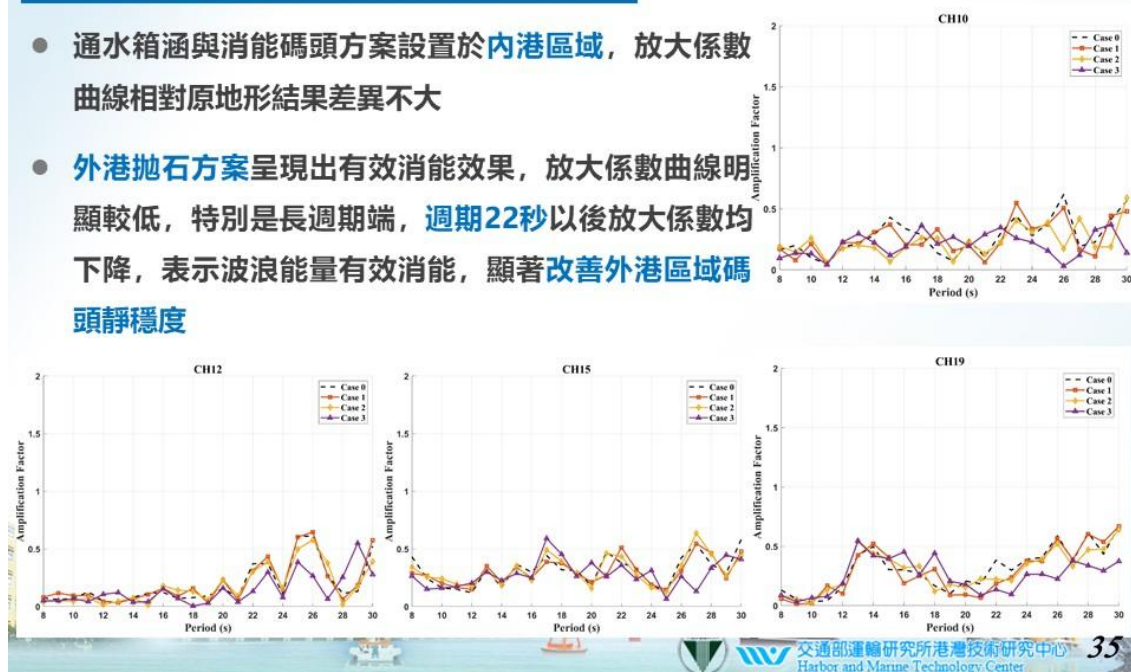
- 原地形中在CH25以週期15秒處及22~26秒區範圍內，呈現較明顯放大反應，各方案皆在24~28秒範圍呈現放大係數上升，顯示波能更集中於長週期端
- 通水箱涵方案改變內港池內水體連通性，原本封閉式內港多一條連通水道，等效水體體積增加，港池整體尺度增大可能使振盪週期變長



## 六、平面水工模型試驗結果

### 同測點不同方案比較(外港區域)

- 通水箱涵與消能碼頭方案設置於內港區域，放大係數曲線相對原地形結果差異不大
- 外港拋石方案呈現出有效消能效果，放大係數曲線明顯較低，特別是長週期端，週期22秒以後放大係數均下降，表示波浪能量有效消能，顯著改善外港區域碼頭靜穩度



## 七、結論與建議

### 結論

- 本次水工模型試驗成果，原地形條件下港區在長週期波作用時出現明顯的共振振盪，內港區域與外港區域的波高放大係數及波場分布顯示，在特定週期附近，局部區域的波能顯著放大
- 方案1（通水箱涵）：改變港池連通性與邊界條件，導致共振型態重組，部分長週期反而出現波高放大，整體改善效果有限且具放大風險
- 方案2（消能碼頭）：透過降低碼頭反射有效減少波能，使長週期能量轉為寬頻分布，對內港長週期振盪具穩定抑制效果
- 方案3（外港拋石）：於港外即削減長週期波能，主要降低22秒以後放大係數，有效改善外港區域靜穩度



## 七、結論與建議

### 建議

- 依本研究波高分布**加強測點規劃與觀測**，以掌握港內各區域的波動特性及共振模態分布
- 模擬颱風浪中的低頻波群，或採用廣頻帶的不規則波序列，透過**不規則波試驗**，來確認港池的主要**共振週期與機制**
- 未來規劃改善方案時可優先思考**阻擋或減少長週期波能量**進入港內，或是可考慮在港內適當位置**增設消能設施或新型消波構造物**，以吸收進入港池的長週期波能



簡報完畢  
敬請指教





### 附錄三

## 專家學者座談會議紀錄



## 交通部運輸研究所運輸技術研究中心會議紀錄

會議名稱：114年度本所運輸技術研究中心第二科及第三科自行研究計畫專家學者座談會議

時間：14年5月14日(星期三) 上午10時

地點：本所運輸技術研究中心2樓會議室

主持人：蔡立宏主任

紀錄：林英爵

出席單位及人員：如後附簽到表

壹、審查意見：

一、張家豪委員：

(一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

風力限制係船舶進出臺中港重要條件之一，目前航港局訂定之臺中港船舶進港風力管制標準係採用北堤運輸技術研究中心（以下簡稱運技中心）測站及南堤台灣中油股份有限公司（以下簡稱中油公司）測站風力數據之平均值，惟引水人反映中油公司南堤測站之數據並非公開資料，建議改採用南堤運技中心測站。但各測站因設置地點、障礙物、角度不同，測得之風力數據亦不同，如果可透過本研究之校正機制，採用運技中心南北堤兩個測站公開資料重新調整風力管制標準，亦可解決引水人因現行中油公司南堤測站資訊沒公開而無法即時判斷及預測風力大小的問題。

(二)澎湖港設計水位之探討：

1. 本研究之範圍界定無敘明清楚，請釐清是否只探討澎湖港碼頭設計水位，抑或有包括蒐集臺北港等11個商港之潮位觀測資料並進行分析。
2. 另請確認臺灣港務股份有限公司（以下簡稱港務公司）委託代管測站是否有包含馬祖港及金門港，因目前上述二港係由行政院指定連江及金門縣政府代管。

(三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(2/2)-水中無

線通訊系統建置：

1. 計畫中說明113年於基隆港、114年於高雄港布設無線底碇式波流觀測站外，尚會優先針對易斷纜之港口規劃設置上述測站，目前尚有規劃哪些港口要設置。
2. 臺中港時常有海豚洄游至港區，本案利用聲波無線通訊取代傳輸纜線方式傳送資料，是否對海豚等水下生物聽覺造成影響，這部分可能成為另一個保育課題。

(四)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

據瞭解運輸研究所長期研究花蓮港港池靜穩度，本案為3年期計畫，今年為第3年，簡報亦說明將會研擬包括通水箱涵、消能碼頭及拋石消能設施等改善方案，由於用在港口公共基礎設施之航港建設基金建設經費逐年減少，在資源有限下，建議各方案可納入財務及經濟效益分析，以提供耗費少卻具改善效益之方案予港務公司參考。

(五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

P34-36本案3年期計畫第2年(113年)係選定花蓮港7號碼頭規劃改善為消能碼頭型式，第3年(114年)是否亦針對該碼頭之消能碼頭型式予以改良及精進。上述之研究成果是否有可能與第4案消能措施方案予以整合，以有效改善花蓮港內港區之水域靜穩度。

(六)智慧航安與海氣象資訊應用探討(4/4)-整合船舶智慧航行管理系統：

為了降低我國周邊海域船舶在劇烈海象下發生海難的風險，目前已由航港局協調中央氣象署進行優化災害性天氣及颱風期間近岸12浬淨空措施，依據該署新一代劇烈天氣監測系統(QPEplus)客製化逐3小時預報資料，規劃我國海域海象監控區域及設定預警閾值，當氣象單位預測劇烈海象即將影響某一海域時，航港局會至少於12小時前利用基隆海岸電台 NAVTEX、該局海事中心 AIS 信文廣播推播訊息及各港口 VTS 無線電通報等管道通知該海域警戒區滯留船舶勸離近岸12浬，以確保該等船

船在劇烈海象影響前具有充裕時間可航行至安全水域避風。建議未來也可以研議是否結合目前運輸研究所正在研究的特高頻資料交換系統(VDES)進行船舶資訊傳遞。另外航港局之航港1號智慧監控船舶亦可提供運輸研究所做為測試研究使用。

(七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(3/3)-船舶觀測分析：

報告中說明海洋陣列雷達船舶觀測資訊運用將有助於船舶航行安全，由於目前政府亦重視非本國籍船舶於領海內航行之國安問題，想瞭解目前海巡署利用岸際雷達監控近岸12浬可疑船舶，如運用海洋陣列雷達是否也可以強化船舶辨識及監控成效。

(八)港區水下巡查技術初探(3/3)-水下無人載具可應用性評估：

本案縱使於港區內水域海流亦非常強勁，是否亦需考量水下無人載具(ROV)抗流能力，以避免影響其檢測及辨識成效。另 ROV 運用面，除可使用於港區水下設施巡查外，當於港區內外沉船海難應變時，抽油業務係為優先處理項目，ROV 是否也可以運用在船體外觀及船艙油櫃探測上，甚至是否也有鑽孔及抽油能力，亦值得研議。

(九)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

本案研究範圍係針對馬祖商港福澳碼頭鄰水區域進行影像辨識作業，由於該港係由連江縣政府經營，而非港務公司經營，建議修正。

(十)智慧港口環境資訊平臺探討：

經航港局中部航務中心分析去年臺中港發生之5起海事案件中，部分案件肇因受到風力及海流影響，進出港船舶無法控制航向，導致碰撞防波堤或其他靠泊船舶。本案研究成果尚可提供港務公司建置港區海氣象資訊平臺，利用視覺化及圖形化工具提供即時港區風波潮流等觀測與預測資訊，方便船長或引水人進出港或移泊時可即時參考及判斷，並適切操縱船舶航向及航速，將可降低非人為海事發生風險。

(十一)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)-水動力模式研究：

有關研究項目部分，想瞭解如何以生成式 AI 協助蒐集文獻。其

他計畫是否也可以利用 AI 蒐集資料？

## 二、江文山委員：

- (一)商港風力案，測站校正部分，建議考量納入預報數據，相關分析多著重在極端數據。
- (二)港群流的觀測類型包含雷達表面流，底碇與航道水平海流等，各項觀測之間的比較探討。
- (三)航安與海氣象資訊應用案，建議考量探討各項海氣象因子，以瞭解相項因子的重要性。
- (四)部分港的研究有多個單項各別探討，建議考量整合為一個整合性的計畫，提供更全面的成果。
- (五)花蓮碼頭波高預測，除以波高進行模式訓練以外，建議嘗試以波譜進行訓練，並比較其成果。
- (六)相關研究成果建議再考量對外推廣，以凸顯運技中心的研究能量。

## 三、林芳如委員：

- (一)大部分計畫與中央氣象署(海象氣候組)業務相關，希望相關成果可與該組交流分享。
- (二)感謝提供花蓮港即時影像監測資料，供中央氣象署發展異常波浪預報系統使用。
- (三)108年起中央氣象署即開始發展 schism-wwm 波潮流耦合模式，目前已作業化運作，並和該署 NWW3波浪作業模式結果做比較與相關校驗，相關波浪輸出已經可供波浪預報參考使用，相關報告與研究可提供運技中心建置模式參考。簡報內之計算網格範圍很大，未來是只分析花蓮港區或全部？因模式計算需耗費計算資源，建議可再加以評估。
- (四)單一港區如有多個數值模式模擬，可以系集方式呈現，供使用者一起參考。

## 四、鍾權宏委員：

- (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 本計畫透過商港風力觀測資料檢核、風速測站相關性分析、各商港主要測站校正機制探討，預期完成「商港主要測站之相關性」，與「商港風力資料檢核機制」，應用面在於「建立各港區之風力資料校正係數與方法，提供港務管理單位做為即時資料修正、推估及模擬預測之應用參據」，以及「訂定適用商港風力觀測資料校正機制之作業流程」，做為未來運技中心建立自動化及作業化資料檢核及校正之參考依據。請問本研究未來所提出的各港校正係數值(可能內港1個係數、外港1個係數)，將來應用上是預計哪一種方式：(1)港務單位在取得風速資料數列測值時，乘上該校正係數後，基本上就是信賴可靠的風速資料；(2)各港港務單位須先行參照運技中心112年建立9項風力資料品管程序，剔除異常數據後，在使用本研究所提出的修正係數；(3)運技中心港灣系統呈現的風力數據，即透過本研究所提的修正係數做校正後發布，各港港務單位無需自行檢視或修正。
2. 本研究所提修正係數，未來仍會因各港陸續建立的風速計數量位置與環境差異，而持續滾動調整，所以除此修正係數會持續更新外，使用上會是(3)較務實且充分發揮本研究之成效。

(二)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 本研究根據花蓮港湧浪特性，評估合適之消能方案，並將消能設施布設於花蓮港模型，再接續施以前期探討之湧浪條件，量測消能設施布設前後波高變化情形，進行後續數據處理，比對波浪能量削減成果，所以消能方案的選擇將是本研究重要關鍵，建議儘量蒐集相關國外針對長週期波的實務案例，也包含同樣到(3/3)期本次運技中心自行研究案「長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究」的方案結果。
2. 本案前兩期研究期間，花蓮港務分公司與運技中心實務交流期間也提到幾個方案(向)，目前所悉可能方向包括：
  - (1)#10~#16碼頭水域，以雙T塊堆築擋浪堤，圍築成一有限開口船渠，降低擋浪堤反射波對其他水域之影響。

(2)#7碼頭與#12碼頭屬重力式碼頭，改建為消能式碼頭，碼頭後現有大排水溝，可延長水體消能空間。

(3)新東堤0k+000~0k+500港側萬代福消波岸壁，增拋40噸雙T塊，削減正面入港之湧浪能量。

(4)受限航道400公尺長，東側為斜坡，西側為鋼板樁岸壁，可評估是否有適當消能設施導入的機會。

### (三)FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)-港區波浪模擬建立：

1. 本研究以花蓮港區為主要研究範圍，依其水深地形、海象條件及港內結構特性進行數值模擬分析，模擬範圍涵蓋港外波浪傳遞至港內的過程，考慮波浪在港內的繞射、反射與消能情形，並針對港區內不同區域(如航道、碼頭等)進行波浪變化的比較與評估。針對以下兩種情境，建議可納入研究案作分析比較：

(1)依據113年10月30日康芮颱風來襲時，運技中心於花蓮港外港所拍攝的最大堤前浪高海氣象紀錄，納入本研究分析其影響。

(2)針對#10~#16碼頭水域，以雙T塊或其他形式堆築擋浪堤，圍築成一有限開口船渠，波浪在港內遭遇此擋浪堤之繞射、反射與消能情形，與擋浪堤本身造成反射波對其他水域之影響。

2. 113年10月的康芮颱風，將花蓮港新東堤約1,200公尺里程的第三道胸牆打落至港池，接下來的修復工程也將設計打除混凝土塊拋放至港側堤趾，修築增厚成為堤趾保護工，接下來製作約200顆40噸雙T塊，預計嘗試拋放新東堤 0k+000~0k+500港側萬代福消波岸壁，完成時機預計在115年6月底，建議運技中心可配合設置相關監測設備，以進行相關研究分析，或於本案可做部分驗證。

### (四)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

1. 進一步優化第2年的新型消能結構物並評估其可行性部分：

(1)113年(第2期)的研究方案已針對#7碼頭消能碼頭方案提出試驗結果分析，請問預期本(114)期的優化方向為何？

(2)花蓮港形狀似口袋，#7碼頭與#12碼頭都是位於袋底，而#7與#12碼頭後線均有大排水溝，可延長水體消能空間，建議可納入分析評估。

2. 航道消能方案的選擇部分，因航道寬度限制，所以消能方案的選擇上，不宜僅限於拋放預鑄混凝土消波構造(影響有效寬度)，如果國外有不錯的實務案例，縱使工程金額更高(如岸壁改建為消能岸壁)，此在本階段執行研究方案評估上都可納入，未來可行性研究階段再去做財務面的考量。

#### 五、鄭志宏委員：

- (一) 本案所提各研究案均非常有價值，非常肯定。
- (二) 計畫可跟國內外研究單位或機構合作，如港務公司、工業技術研究院、成功大學、高雄科技大學、航港局、中央氣象署、海洋大學、船舶中心、引水人等交流。
- (三) 研究內容包含之前研究案，希望可以公開分享。
- (四) 未來商港如有擴建案，包含臺北港、臺中港、高雄港、基隆港，希望可以先研議。
- (五) 澎湖水位案，希望可以整合海洋大學之成果一併檢討，並納入LAT高程討論。
- (六) 花蓮研究案，希望可以納入管理機制。
- (七) 水下無人載具，港務公司有成果可提供分享。
- (八) 消能結構物，希望可以帶入港務公司消波式碼頭結構模型，提供消能碼頭反射係數研究。
- (九) 馬祖北竿機場跑道刻正要辦理整建加長，可否協助分析海象。

#### 六、蘇仕峯委員：

- (一) 商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：
  - 1. 各港區風力觀測站校正因子訂定時，可考量未來氣候變遷對極端風力事件的影響。
  - 2. 如何評估測站位置具有代表性？即當初決定設定的位置所獲得的資料是否符合需求。
- (二) 澎湖港設計水位之探討：
  - 1. 澎湖港設計水位分析時，是否蒐集歷年相關澎湖地區海岸及港灣工程規劃設計之報告，對這些工程規劃使用之設計水位是否

有疑慮？

2. 設計水位分析結果，可注意是否有極端水位發生，因為島嶼地貌和臺灣陸地邊界之潮位有所不同。
3. 可應用到交通部觀光署，例如摩西分海等景點。

(三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (2/2)：

水中無線通訊系統建置後，資料傳輸穩定性可與既有有線系統相比。

(四)花蓮港湧浪遮蔽試驗 (3/3) -消能措施方案評估：

1. 水工模型試驗結果可結合數值模擬進行驗證，以提高方案適用性。
2. 試驗除了規則波，也要考量真實環境的不規則波。

(五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

長波不易消散能量，但可改變港型地貌，產生不同模態週期振盪，降低波高。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3)：

1. 雷達訊號應用可比對現場觀測波浪與數值模擬結果。
2. 可積極與相關使用單位技術交流，例如國家海洋研究院。

(七)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

影像辨識系統可針對不同能見度（如濃霧）或夜間進行辨識精度驗證。

(八)花蓮港碼頭波高預測模式作業化成果評估：

9、17、25碼頭波浪觀測可與港外觀測波高建立關係，可以不用模擬資料。港外數據進一步和花蓮浮標比對。

(九)花蓮海域海象模擬分析：

1. SCHISM-WWM 與 SWAN 波浪模擬差異性不大，可以檢視模式之控制方程式。SCHISM 模式不適合用於港區波浪，適合於花蓮港近岸波流場。
2. 網域模擬納入黑潮，中央氣象署利用相同模式。

(十)馬祖海域數值模式建置研究(1/2)：

馬祖島嶼礁岩多，地貌複雜，波浪有明顯繞射現象，利用 MIKE21

水動力與波浪模組，如何訂定模式網格邊界潮位條件？（利用 SCHISM-WWM）島嶼下風處繞射效應利用波浪模組能符合需求嗎？

(十一) FUNWAVE 模式港內模擬探討(1/2)：

可利用「花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估」之試驗結果進行模式驗證。

(十二) 114年度運技中心期刊研討計畫：

1. 建議蒐集近20年知名國際期刊有關港灣工程或管理的論文，先瞭解鄰近國家在港灣方面的研究方向與成果。
2. 鼓勵投稿國際期刊，與國際學術機構合作，提升國際能見度與影響力。

(十三) 基隆海域風浪模組模擬參數調校探討

SWAN 可與「花蓮海域海象模擬分析」之模擬結果比較，兩位置海象環境特性接近。

貳、結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

參、散會：中午12時15分

會議簽到表

會議名稱：114年度本所運輸技術研究中心第二科與第三科自行研究計畫專家學者座談會議

時間：114年5月14日(星期三)上午10時

地點：本所運輸技術研究中心2樓簡報室

主持人：蔡宏宏

紀錄：林英爵

專家學者：

專家學者	簽名
鄭志宏委員	鄭志宏
鍾權宏委員	鍾權宏
江文山委員	江文山
蘇仕峯委員	蘇仕峯
張家豪委員	張家豪
林芳如委員	林芳如

出席單位與人員：

出席單位	職稱	簽名
交通部運輸研究所 運輸技術研究中心	科長	李信翰
	科長	林雅雯
	科長	賴瑞華

單位	簽名
<p>交通部運輸研究所 運輸技術研究中心</p>	<p>許義宏 林英爵 黃我信 孫運璿 羅冠群 劉煥明 劉淑敏 郭煥芬 李以廷 盧昕彤 陳天時 蕭安佑 許師瑜 劉清松 林翰騰 傅怡釗 顏麗香 蔣敏玲 李亭華 李世琦</p>

林文華



附錄四  
工作會議紀要



## 114年6月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科114年度自行研究計畫第1次  
工作會議

時間：114年6月25日(星期三) 上午10時

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李研究員兼科長俊穎

彙整：林英爵

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱：

### 一、工作進度說明：

#### (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 專家學者座談會意見處理情形。
2. 商港風力觀測資料檢核作業化程式開發成果。
3. 風力測站相關分析測試結果。

#### (二)澎湖港設計水位之探討：

1. 參考文獻及觀測資料蒐集進度報告。
2. 海氣象設備維運作業情形摘要說明。
3. 設計水位分析方法盤點說明。

#### (三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(2/2)-水中無線通訊系統建置：

1. 臺灣港群波流即時觀測系統布設概況及運作情形。
2. 水中無線通訊系統建置規劃。

#### (四)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 試驗設備狀況及率定佈設。
2. 消能設施研擬及佈設。
3. 通水箱涵方案初步成果分析。

#### (五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

1. 應用生成式 AI 協助搜尋消減波能設施文獻並研讀。
  2. 精進消能碼頭型式並以斷面水工模型試驗進行驗證。
  3. 規劃窄航道岸壁之消能斷面型式。
- (六)智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) -整合船舶智慧航行管理系統：
1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
  2. 探討 AI 技術於船舶航行安全整合系統。
- (七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) -船舶觀測分析：
1. 回顧海洋雷達船舶觀測應用相關文獻。
  2. 蒐集臺中港 AIS 船舶資料。
  3. 分析雷達船舶調適性偵測法程式。
  4. 說明114年第1次海洋雷達願景會議的辦理情形。
- (八)海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) -系統精進：
1. 現有觀測資料與資料庫盤點狀況之說明。
  2. 海氣象觀測作業數位管理系統精進與開發進度之說明。
  3. 後續工作項目之說明。
- (九)港區水下巡查技術初探 (3/3) -水下無人載具可應用性評估：
1. 進行港區 ROV 水下定位測試數據分析。
  2. 進行港區 ROV 影像獲取及處理技術分析。
- (十)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：
1. 高解析度攝影機佈設工作情形。
  2. 影像數位化監控系統建置進度說明。
  3. 後續工作項目之說明。

## 二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：
1. 討論風力觀測資料檢核作業化程式及鄰站檢核程序方法。
  2. 討論風力測站相關分析方法及校正機制之後續規劃。
- (二)澎湖港設計水位之探討：

1. 討論澎湖港馬公碼頭及龍門尖山碼頭之潮汐型態差異性。
  2. 討論設計水位一暴潮位分析方法之選用。
- (三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (2/2) -水中無線通訊系統建置：
1. 不同觀測系統配置與即時資料中斷原因。
  2. 水中儀器架及離近岸端模組設計。
- (四)花蓮港湧浪遮蔽試驗 (3/3) -消能措施方案評估：
1. 討論花蓮港內消能設施型式佈設方式及考量其它方案。
  2. 討論花蓮港平面水工模型建置內容。
- (五)長週期波斷面模型試驗 (3/3) -消能結構物型式之可行性研究：
1. 目前消能碼頭型式僅有下部結構部分，若加入消能碼頭之上部或為完整結構，建議考量是否會對反射率造成影響。
  2. 窄航道岸壁之消能斷面設置的直立斜板方向，建議評估其方向為向著波流進入內港方向或是背向能得到最好效果。
- (六)智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) -整合船舶智慧航行管理系統：
1. 蒐集國外 VDES 資料等相關船舶航行安全通訊技術。
  2. 評估可應用於 VDES 監控與預警之 AI 技術。
- (七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) -船舶觀測分析：
1. 討論海洋雷達船舶觀測應用相關文獻。
  2. 比較海洋雷達船舶與臺中港 AIS 資料差異。
  3. 探討雷達船舶調適性偵測法程式之辨識情形。
  4. 討論114年第1次海洋雷達願景會議之後續推動。
- (八)海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) -系統精進：
1. 現有測站觀測資料與資料庫盤點狀況之討論。
  2. 委外系統精進優化之進度討論。
- (九)港區水下巡查技術初探 (3/3) -水下無人載具可應用性評估：

1. ROV 水下定位測試結果討論。
  2. 水下影像獲取及處理流程說明。
- (十) 港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：
1. 影像物件標註及應用討論。
  2. 監控系統測試及操作介面情形說明。

## 貳、主要結論：

### (一) 商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 風力觀測資料檢核作業化程式，建議可優化檢核結果報表產出功能，以提供更詳盡的資料檢核資訊。
2. 階段成果投稿部分，後續請配合海工研討會規劃之格式要求，另提供2頁摘要文章內容。

### (二) 澎湖港設計水位之探討：

針對設計水位—暴潮位分析方法仍以蒐集模型颱風參考文獻為主，建議可嘗試利用實測資料進行暴潮位計算。

### (三) 臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (2/2) - 水中無線通訊系統建置：

1. 已修復完成之測站請持續觀察，年度維運作業請依規劃期程進行。
2. 離近岸端模組設計，需將後續維運及檢修作業可能面臨之狀況納入考量。

### (四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗 (3/3) - 消能措施方案評估：

1. 持續滾動檢討消能設施方案。
2. 於執行試驗過程中，應觀察港內水位抬升變化情形。

### (五) 長週期波斷面模型試驗 (3/3) - 消能結構物型式之可行性研究：

1. 窄航道岸壁之消能斷面設置的直立斜板方向，應可一併測試平行岸壁的型式。
2. 應加速進行窄航道岸壁型式設計的定案，以免延誤採購及試驗進程。

### (六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) - 整合船舶智慧航行

管理系統：

1. 透過 IMO 國際 VDES 發展趨勢，確認相關技術整合架構。
2. 可透過新 AI 技術於減少航安事故及提升港口效率。

(七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) -船舶觀測分析：

1. 有關雷達船舶調適性偵測法程式之辨識情形，與臺中港 AIS 資料差異，請妥為釐清偵測偏差原因。
2. 由於臺中港南側雷達站訊號品質較差，請協助釐清造成訊號不穩的原因，並安排相關人員進行檢修，以確保資料穩定性與持續性。

(八)海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) -系統精進：

1. 系統建置原始資料下載功能，下載資料建議加密確保資訊安全。
2. 系統須符合使用者需求，建議開發階段多與相關承辦人員交換意見確認系統功能開發方向。

(九)港區水下巡查技術初探 (3/3) -水下無人載具可應用性評估：

1. 港區水下定位測試分析，可再針對精度誤差進行評估。
2. 影像解析度影響水下目標物檢測能力，未來可再深入研究。

(十)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

1. 請向連江縣政府港務處瞭解客運碼頭小白屋之監控影像資料情形，以利納入影像物件數據辨識分析。
2. 建議物件辨識能透過數值量化方式呈現，以利港區管理。

參、散會：下午3時30分。

會議簽到表

壹、會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 114 年度自行研究計畫第 1 次工作會議

貳、時間：114 年 6 月 25 日(星期一) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

肆、主持人：李科長俊穎 李俊穎

伍、出席單位及人員：

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	孫道宜 黃茂右 陳孟宏 李天時 羅光毅 許義宏 柯振宇 李政達 曹騰浩 林學仁 林英爵 陳子儀 張祐樞 蕭宇佑 許師瑜 劉淑敏 郭慶芳 洪雅倫 顏麗香

會議逾用餐時間

李俊穎

## 114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114年度自行研究計畫第2次  
工作會議

時間：114年8月27日(星期三) 上午9時30分

地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主持人：李研究員兼科長俊穎 彙整：林英爵

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱：

### 一、工作進度說明：

#### (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 進行高雄港鄰近測站資料蒐集及整理分析。
2. 進行高雄港各測站相關性分析。
3. 運用決策樹回歸模型(屬監督式機器學習模型)與長短期記憶模型(LSTM)進行高雄港風速風向資料補遺之初步測試。

#### (二)澎湖港設計水位之探討：

1. 參考文獻及觀測資料蒐集進度報告。
2. 設計水位初步成果報告。

#### (三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(2/2)-水中無線通訊系統建置：

1. 臺灣港群波流即時觀測站修復進度及後續規劃。
2. 水中無線通訊系統執行進度及規劃。

#### (四)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 造波設備狀況說明。
2. 初步試驗成果分析。
3. 規劃改善方案工作期程說明。

#### (五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

1. 以斷面水工模型試驗進行驗證精進消能碼頭型式。
  2. 規劃窄航道岸壁之消能斷面型式。
  3. 分析斷面試驗結果及改善提案。
- (六)智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) -整合船舶智慧航行管理系統：
1. 特高頻資料交換系統 (VDES)國際應用趨勢。
  2. 探討 AI 技術於船舶航行安全整合系統。
- (七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) -船舶觀測分析：
1. 辦理國家雷達觀測網整合分項工作。
  2. 辦理7月4日雙首長平台第3次會議本中心海洋陣列雷達研究成果分享。
  3. 辦理雷達船舶目標訊號檢測、驗證與系統調整改善工作。
  4. 開發雷達原始功率頻譜偵測船舶分析程式。
  5. 辦理雷達南站訊號中斷排除工作。
- (八)海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) -系統精進：
1. 資訊流與備份範圍盤點說明。
  2. 原始資料及時序列資料備份方法說明。
  3. 系統上版測試結果及後續待修正部分說明。
- (九)港區水下巡查技術初探 (3/3) -水下無人載具可應用性評估：
1. 進行水下影像擷取及處理技術分析。
  2. 進行水下影像品質評估。
- (十)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：
1. 智慧電子圍籬系統強化進度說明。
  2. 電腦主機規格及採購工作進度。

## 二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：
1. 討論本所代管之高雄港風力測站資料與氣象署測站之差異。
  2. 討論決策樹回歸模型(屬監督式機器學習模型)與長短期記憶

模型(LSTM)補遺效果。

(二)澎湖港設計水位之探討：

1. 檢討設計水位—天文潮預測之準確性及差異性。
2. 討論設計水位—暴潮位不同分析方法結果差異原因。

(三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (2/2) -水中無線通訊系統建置：

1. 已恢復即時傳輸及後續預計修復之港口討論。
2. 水中儀器架及離岸端電池桶製作情形。

(四)花蓮港湧浪遮蔽試驗 (3/3) -消能措施方案評估：

1. 花蓮港凱米颱風觀測數據分析及現況遮蔽效果探討。
2. 消能設施試驗規劃方案及布設內容。

(五)長週期波斷面模型試驗 (3/3) -消能結構物型式之可行性研究：

1. 窄航道岸壁型式於實際應用上，可採用何種結構形式與材料，建議依斷面試驗結果進行規劃。
2. 建議針對消能碼頭型式精進之型式構造與試驗結果關係，進行更深入的討論。

(六)智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) -整合船舶智慧航行管理系統：

1. 蒐集國外 VDES 資料等相關船舶國際應用趨勢。
2. 評估可應用於 VDES 監控與預警之 AI 技術。

(七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) -船舶觀測分析：

1. 討論國家雷達觀測網整合分項工作。
2. 討論雷達船舶目標訊號檢測、驗證與系統調整改善工作。
3. 探討雷達原始功率頻譜偵測船舶分析程式之開發情形。
4. 討論雷達南站訊號中斷排除之後續工作。

(八)海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) -系統精進：

1. 既有核可之維護紀錄刪除並保存歷程之討論。
2. 增加系統自動化儀表板與異常通知之討論。

(九)港區水下巡查技術初探 (3/3) -水下無人載具可應用性評估：

1. 水下影像擷取及處理方法說明。
2. 水下影像品質評估結果討論。

(十)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

1. 電子圍籬功能項目及展示情形。
2. 影像物件辨識成果探討。

貳、主要結論：

(一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 本所代管之高雄港風力測站資料與氣象署測站差異討論部分，後續可適時提供氣象署參考。
2. 本研究所建置之機器學習模型，後續可與實測資料進行驗證測試。

(二)澎湖港設計水位之探討：

1. 建議再檢視設計水位之天文潮分析方式是否有誤。
2. 針對設計水位之暴潮位分析方法，建議先行檢視何種分布較佳再行分析。

(三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (2/2) -水中無線通訊系統建置：

1. 臺中港底碇式波流即時觀測站修復，請依照所訂時程執行。
2. 高雄港無線式底碇波流即時觀測系統建置完成後，需詳加留意系統運作情形，以利即時調整。

(四)花蓮港湧浪遮蔽試驗 (3/3) -消能措施方案評估：

1. 請掌握造波機設備維修及更新相關工作時程，以利後續試驗及分析工作推動。
2. 波浪條件為8-30秒週期規則波，後續分析建議與觀測資料之8-30秒間之放大係數進行比較。

(五)長週期波斷面模型試驗 (3/3) -消能結構物型式之可行性研究：

1. 精進消能碼頭型式之成效討論，應於期末報告詳細完整呈現。
  2. 待窄航道岸壁模型完成，依規劃期程安排，儘快進行窄航道岸壁之水工斷面試驗。
- (六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) - 整合船舶智慧航行管理系統：
1. 透過國際 VDES 發展趨勢，評估以傳遞天氣資訊相關技術。
  2. 配合 VDES 合作計畫，協助進行實海域訊號實測，注意相關安全防護。
- (七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) - 船舶觀測分析：
1. 有關雷達所偵測船舶回波與實際船舶尺寸之關聯性，請進一步探討其對辨識準確度之影響，並釐清可能造成偵測偏差之因素。
  2. 有關研究報告書章節規劃，第五章標題敘述略顯口語化，建議重新修訂，以提升專業性與報告整體一致性。
- (八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) - 系統精進：
1. 系統服務對象為現場觀測同仁，須持續由同仁協助回饋及修正。
  2. 請於9月份邀集美寶公司及觀測同仁召開工作會議。
- (九) 港區水下巡查技術初探 (3/3) - 水下無人載具可應用性評估：
1. 水下影像增強處理流程，建議可再詳加敘述。
  2. 水下影像品質評估結果，未來可再結合港區水下構造物維護管理手冊之設施劣化度判定標準一併探討。
- (十) 港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：
1. 建議補充辨識貨櫃物件，以利辨識港區貨櫃作業管理。
  2. 有關纜繩物件，影像截圖纜繩似乎被視作船體一部分，以及人員在有欄杆內，有無法辨識情形，請瞭解相關可能影響因素並進行改善。

3. 請於9月上旬安排工作會議，以利掌握工作進度。

參、散會：下午4時整。

會議簽到表

壹、會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 114 年度自行研究計畫第 2 次工作會議

貳、時間：114 年 8 月 27 日(星期三) 上午 9 時 30 分

參、地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

肆、主持人：李科長俊穎 李俊穎

伍、出席單位及人員：

出席單位	簽名
第一科科長	賴瑞壽
第三科科長	林雅夏
第二科	<p>羅光如 郭淑芬 孫建良</p> <p>林英爵</p> <p>黃氏存 洪維爵</p> <p>李以通 陳子健</p> <p>陳天時 柯拓宇</p> <p>劉淑敏 陳孟忠</p> <p>林登人 李心鴻</p> <p>許義宏 曹騰浩</p> <p>顏麗香 許翔瑜</p> <p>張裕榕</p>

會議前用餐時間 李俊穎

# 114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114年度自行研究計畫第3次  
工作會議

時 間：114年10月29日(星期三) 上午9時30分

地 點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

主 持 人：李研究員兼科長俊穎 彙整：林英爵

出 席 者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱：

## 一、工作進度說明：

### (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 進行臺灣港群各測站相關性分析。
2. 高雄港風速風向資料補遺之決策樹回歸模型驗證分析。

### (二)澎湖港設計水位之探討：

1. 設計水位成果報告。
2. 港灣季刊投稿文章撰寫進度說明。

### (三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(2/2)-水中無線通訊系統建置：

1. 臺灣港群波流即時觀測系統現況。
2. 高雄港水中無線通訊系統建置情形。

### (四)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 即時系統維運情形及後續修復規劃。
2. 水中無線通訊系統建置進度。

### (五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

1. 以斷面水工模型試驗進行4種窄航道側壁之消能功能驗證。
2. 分析斷面試驗結果及研擬改善提案。
3. 規劃期末報告書章節。

(六)智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) -整合船舶智慧航行管理系統：

1. 特高頻資料交換系統 (VDES) 國際應用先導測試。
2. 探討 AI 技術於船舶航行安全整合系統。

(七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) -船舶觀測分析：

1. 報告臺灣陣列高頻海洋雷達遠端檢測標準作業程序手冊專家座談會，故障樹具體作法，進行跨部會合作討論事宜。
2. 說明雷達系統調整與天線改善注意事項。
3. 說明分析雷達船舶解算程式與驗證。
4. 討論如何提升空間圖譜船舶與背景之訊噪比。

(八)海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) -系統精進：

1. 委外勞務契約進度說明。
2. 時序列資料及原始資料下載與資料蒐集率統計功能說明。
3. 新增品保標籤管理功能說明。

(九)港區水下巡查技術初探 (3/3) -水下無人載具可應用性評估：

1. 進行水下影像品質評估。
2. 進行水下無人載具應用性評估。

(十)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

1. 電子圍籬系統介面及功能說明。
2. 成果報告章節規定說明。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 討論臺灣港群各測站相關分析結果。
2. 討論決策樹回歸模型補遺效果及後續精進方向。

(二)澎湖港設計水位之探討：

1. 設計水位調和分析之平均潮位誤差來源探討。

(三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進 (2/2) -水中無線通訊系統建置：

1. 即時系統維運情形及後續修復規劃。
  2. 水中無線通訊系統建置進度。
- (四) 花蓮港湧浪遮蔽試驗 (3/3) - 消能措施方案評估：
1. 試驗設備狀況及率定佈設。
  2. 試驗配置及方案成效分析。
  3. 115年自行研究計畫規劃說明。
- (五) 長週期波斷面模型試驗 (3/3) - 消能結構物型式之可行性研究：
1. 依據目前斷面試驗初步成果，建議可投稿國際期刊。
  2. 建議評估窄航道的實際現況是否能於斷面水槽中完整呈現。
  3. 於斷面水槽中進行消能側壁之試驗，造成之三維波流現象應如何進行分析討論，建議審慎評估。
- (六) 智慧航安與海氣象資訊應用探討 (4/4) - 整合船舶智慧航行管理系統：
1. 蒐集國外 VDES 資料等相關船舶國際應用先導測試。
  2. 彙整可應用於 VDES 監控與預警之 AI 技術。
- (七) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) - 船舶觀測分析：
1. 討論海洋雷達船舶觀測應用相關文獻。
  2. 討論陣列雷達船舶辨識技術評估。
  3. 探討船舶辨識資料分析與驗證情形。
- (八) 海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) - 系統精進：
1. 討論後續如何有效利用精進及定期教育訓練。
  2. 討論底碇式波流觀測系統資料搬遷進度與金門港、馬祖港之資料流與備份流程。
- (九) 港區水下巡查技術初探 (3/3) - 水下無人載具可應用性評估：
1. 水下影像品質評估過程討論。
  2. 水下無人載具應用性評估結果說明。
- (十) 港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

1. 目前成果及未來精進內容探討。
2. 建議可串流馬祖福澳港相關影像，以利評估相關功能運作。

## 貳、主要結論：

### (一)商港風力觀測站風力資料校正因子探討之研究：

1. 在各測站相關性分析，建議後續可進一步將靜風區的資料篩除再比較分析結果，另臺北港相關性偏低且具有海陸風等問題，建議後續可進一步分析。
2. 本研究所建置之機器學習模型，在誤差較大的部分，建議可從風向因子進一步分析。

### (二)澎湖港設計水位之探討：

1. 建議釐清調和分析之平均潮位誤差來源是否來自水準點引測。
2. 有關暴潮偏差之計算可考慮利用以往實測資料扣除調和分析而得，不須侷限於模型颱風模擬結果。

### (三)臺灣港群波流觀測資料統計分析及通訊技術精進(2/2)-水中無線通訊系統建置：

1. 已修復完成之測站請持續觀察，尚未修復之測站請依規劃進度執行。
2. 水中無線通訊系統建置後，請持續觀察並滾動式調整。

### (四)花蓮港湧浪遮蔽試驗(3/3)-消能措施方案評估：

1. 試驗成果宜再確認波高計數據。
2. 內港碼頭改善方案建議採單支波高計進行比較。

### (五)長週期波斷面模型試驗(3/3)-消能結構物型式之可行性研究：

1. 消能碼頭型式成效之討論，應有具體完整說明。
2. 應依規劃期程安排，如期完成期末報告書。

### (六)智慧航安與海氣象資訊應用探討(4/4)-整合船舶智慧航行管理系統：

1. 針對國際 VDES 發展趨勢，評估後續可發展相關技術。
2. 配合 VDES 整體發展架構，可彙整對應我國各機關執行業務

內容，以供參考。

(七)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析 (3/3) -船舶觀測分析：

1. 探討雷達系統調整與天線品管標準能否評估增加訊噪比，以利定量性評估。
2. 建議將海洋雷達船舶軌跡與臺中港 AIS 資料進行案例比較與分析探討。

(八)海氣象觀測作業數位管理系統建置之研究 (2/2) -系統精進：

1. 金門港、馬祖港測站資料流與備份流程，請再持續追蹤確認。
2. 系統持續加強同仁使用率與教育訓練。

(九)港區水下巡查技術初探 (3/3) -水下無人載具可應用性評估：

1. 水下無人載具可應用性評估結果建議可再詳加敘述。
2. 影像品質評估過程及目的建議可再進行補充。

(十)港埠鄰水作業管理影像智慧辨識技術研究：

1. 請於連江縣港務處交流會議中分享本案研究成果，以利瞭解港埠管理單位相關想法及需求。
2. 請蒐集港務公司戰情中心監控系統或其他相關商業化使用情形，以利參考納入未來精進參考。

參、散會：下午4時10分。

會議簽到表

壹、會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 114 年度自行研究計畫第 3 次工作會議

貳、時間：114 年 10 月 29 日(星期三)上午 9 時 30 分

參、地點：本所運輸技術研究中心3樓會議室

肆、主持人：李科長俊穎 李俊穎

伍、出席單位及人員：

出席單位	簽名
第一科科长	請假
第三科科长	林雅雯
第二科	<p>陳孟忠 羅冠影 鄭浩芳 蕭安佑 林英爵 林崇文 劉淑敏</p> <p>許師瑜 顏震香</p> <p>洪雅屏 李仁清 柯拓奇 林建遠 方文廷 曹鵬 黃茂倫 許義宏 陳天時 張祐揚</p>

會議逾用製時間

李俊穎