

114-010-7D79
MOTC-IOT-113-H3CB001d

應用影像智慧化技術判釋海岸 公路及防波堤越波研究(3/4) － 防波堤越波影像判釋



交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114-010-7D79
MOTC-IOT-113-H3CB001d

應用影像智慧化技術判釋海岸 公路及防波堤越波研究(3/4) － 防波堤越波影像判釋

著者：吳漢倫、陳鈞彥、林雅雯、蕭士俊、陳彥龍、
左秀文、蕭郁

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

GPN : 1011400220

定價 300元

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究. (3/4)：防波堤越波影像判釋 / 吳漢倫, 陳鈞彥, 林雅雯, 蕭士俊, 陳彥龍, 左秀文, 蕭郁著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所, 民 114.03

面；公分
ISBN 978-986-531-657-0(平裝)

1.CST: 海岸工程 2.CST: 環境監測 3.CST: 影像分析

443.3

114001897

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)–防波堤越波影像判釋

著者：吳漢倫、陳鈞彥、林雅雯、蕭士俊、陳彥龍、左秀文、蕭郁

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 114 年 3 月

印刷者：綠凌興業社

版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：300 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組•電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011400220

ISBN：978-986-531-657-0（平裝）

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波判釋			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-531-657-0(平裝)	政府出版品統一編號 1011400220	運輸研究所出版品編號 114-010-7D79	計畫編號 MOTC-IOT-113-H3CB001d
本所主辦單位：運技中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：林雅雯 研究人員：陳鈞彥 聯絡電話：04-26587132 傳真號碼：04-26564415	合作研究/共同研究單位：國立成功大學 計畫主持人：吳漢倫 研究人員：蕭士俊、陳彥龍、左秀文、蕭郁 地址：701 台南市東區大學路 1 號 聯絡電話：06-2757575 轉 63223 轉 28		研究期間 自 113 年 3 月 至 113 年 12 月
關鍵詞：影像智慧化、越波、海岸防護、浪襲預警			
摘要： 為減少海岸公路及港區因越波（浪襲）所造成的災害，本計畫透過網路攝影監視系統資料，配合影像判釋技術分析易越波區域受波浪襲擊情況，發展影像判釋越波警示技術。本計畫區域為「台 11 線人定勝天路段」與「花蓮港區防波堤」兩區域，需透過已架設之攝影系統，蒐集影像資料及分析溯升與越波情況，並回傳交通部運輸研究所運輸技術研究中心（以下簡稱運研所運技中心），以做為越波警示之依據。 本計畫為 4 年期計畫，本年度（民國 113 年）為第 3 年期，主要為發展花蓮港區防波堤越波影像判釋技術、港區機器學習越波模型及既有的越波觀測與模型維運和精進。越波影像判釋會以「光學」和「熱成像」來進行分析，以使能達到日、夜間判釋能力；機器學習模型則需透過大量追算模擬與機器學習方式建立回歸模型，以使其能夠銜接未來港區越波預報；維運與精進方面，除維持人定勝天路段觀測系統與模型運作更新外，亦會進行「光達感測溯升」技術可行性評估，以強化未來溯升/越波監測之能力。 本年已完成防波堤越波影像判釋方法與流程且透過往昔有越波之影像進行參數率定與調校，目前應可判釋該影像是否適合作為越波分析所用及判釋越波與否，此可做為機器學習模型校驗與未來防波堤越波警戒所用。機器學習越波模型建立方面，已完成花蓮港越波計算所需計算範圍劃定、數位地形與網格建立，並進行近岸波場與越波模擬。以 2023 海葵颱風事件為驗證對象，其有越波事件誤判率約 14%；無越波事件誤判率約 8%。再將各事件模擬結果做為樣本資料，並建立機器學習模型。光達感測溯升技術可行性評估部分，本計畫已進行溯升物理模型試驗，並以光達為量測儀器進行溯升量測，同時透過攝影設備同步拍攝以利比對量測結果。最後，在依據量測成果評估光達量測所需流程與限制。 此外，本年度亦持續進行人定勝天影像判釋、溯升感測器與預報系統之維運作業。於本年度 6 月時完成該路段控制點量測作業與感測器維護工作，並於此期間持續協助人定勝天路段溯升影像判釋警戒系統建立與預報警戒系統作業化建立等工作。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
114 年 3 月	183	300	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: : Intelligent Image Recognition Analyses for Wave Overtopping on Coastal Highways and Seawalls (3/4) - Interpretation of Breakwater Overtopping Images			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-657-0(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400220	IOT SERIAL NUMBER 114-010-7D79	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-113-H3CB001d
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-Wen Lin PROJECT STAFF: Chun-Yen Chen PHONE: (04) 26587132 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM March 2024 TO December 2024
RESEARCH AGENCY: National Cheng Kung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yun-Ta Wu PROJECT STAFF: Chung-Chi Liu, Yu-Chia Chang, Jen-Yu Chen ADDRESS: No. 57, Sec. 1, Dongmen Rd., East Dist., Tainan City 70142, Taiwan, R.O.C. PHONE: (06) 2757575 ext: 63272			
KEY WORDS: image recognition technology , wave overtopping and runup , Coastal protection			
ABSTRACT: To reduce the disasters caused by wave overtopping affecting coastal highways and ports, this research project aims to analyze the areas prone to wave overtopping using network camera monitoring systems and image interpretation technology, and to develop an image-based overtopping warning system. Using the established camera systems, we will collect image data and analyze wave run-up and overtopping situations, and transmit the data to the Transportation Technology Research Center (MOTC) for use as the basis for overtopping warnings. This research is a four-year project, and this year (2024) is the third year. The main goals for this year include developing image interpretation technology for wave overtopping at the Port of Hualien, creating a machine learning overtopping model for the port area, and maintaining and improving the existing overtopping observation and modeling systems. The image interpretation will use both "optical" and "thermal imaging" to achieve day and night interpretation capabilities. The machine learning model will be built using extensive simulations and machine learning techniques to establish a regression model, enabling future overtopping forecasts for the port area. In terms of maintenance and improvement, we will maintain the monitoring system and model operations for the Provincial Highway No. 11, and evaluate the feasibility of "LiDAR sensing for wave run-up" to enhance future run-up/overtopping monitoring capabilities. This year, the methodology and process for interpreting wave overtopping images at breakwaters have been completed. Historical images of overtopping events were utilized for parameter calibration and refinement. The current approach can now assess whether the images are suitable for overtopping analysis and determine the occurrence of overtopping, serving as a basis for machine learning model validation and future breakwater overtopping alert systems. Regarding the development of the machine learning overtopping model, the computational domain required for overtopping analysis at Hualien Harbor has been delineated, and the digital terrain and grids have been established. Coastal wave fields and overtopping simulations have been conducted. Using Typhoon Haikui in 2023 as a validation case, the false positive rate for overtopping events was approximately 14%, while the false negative rate for non-overtopping events was about 8%. The simulation results from various events have been compiled as sample data for the machine learning model. As for the feasibility evaluation of LiDAR sensors for wave run-up measurement, physical model tests of run-up were conducted, with LiDAR employed as the measuring instrument. Simultaneous photography was performed to facilitate comparison with the LiDAR measurements. Based on the outcomes, the processes and limitations required for LiDAR-based measurements were assessed. Additionally, efforts to interpret images of the Provincial Highway No. 11 continued this year, alongside the maintenance and operation of run-up sensors and forecasting systems. In June, the control point measurements and sensor maintenance along the section were completed. During this period, we also provided ongoing support for the development of the image-based run-up warning system and the operational establishment of the forecasting and alert system for the Provincial Highway No. 11.			
DATE OF PUBLICATION March 2025	NUMBER OF PAGES 183	PRICE 300	
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. 2. The budget of this research project is contributed by Institute of Transportation, MOTC.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
目 錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫緣起	1-1
1.2 計畫目的	1-1
1.3 計畫工作項目	1-1
1.4 工作流程規劃	1-2
1.5 工作執行進度規劃安排	1-5
1.6 前期 (111~112 年) 計畫概述.....	1-6
1.7 本 (113) 年度預期效益及成果.....	1-9
1.8 環境背景現況說明	1-9
1.8.1 氣象	1-10
1.8.2 海象環境	1-11
1.8.3 地質環境	1-15
1.8.4 海岸災害	1-15
1.8.5 花蓮海岸公路浪襲預警系統概述	1-20
第二章 國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集	2-1
2.1 國內相關研究	2-1
2.2 國外相關研究	2-3
第三章 港區防波堤越波影像判釋方法建立	3-1
3.1 影像資料	3-4
3.2 影像分類	3-5
3.3 日間影像判釋流程	3-6
3.3.1 預處理	3-7
3.3.2 K-means 分群法	3-8
3.3.3 提取背景分群	3-8
3.3.4 越波判斷	3-10
3.4 夜間影像判釋流程	3-11
3.4.1 灰階影像	3-11
3.4.2 大津二值化法	3-12
3.4.3 越波判斷	3-13
3.5 影像正確率	3-13
第四章 花蓮港區機器學習越波模型建立	4-1

4.1 數值模式與機器學習模型說明	4-4
4.1.1 數值模式說明	4-4
4.1.2 機器學習模型說明	4-14
4.2 模型建置成果說明	4-17
第五章 光達感測溯升技術可行性評估	5-1
5.1 光達試驗	5-3
5.2 可行性評估	5-12
第六章 海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進	6-1
6.1 觀測系統維運與精進	6-1
6.2 機器學習模型維運與精進	6-18
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-2
7.3 成果效益及應用情形	7-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表	附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表	附 2-1
附錄三 期末報告簡報	附 3-1
附錄四 歷次工作會議紀錄	附 4-1

圖目錄

圖 1.1	計畫工作流程與執行架構	1-3
圖 1.2	海岸線判釋技術流程圖	1-7
圖 1.3	影像分析水線有效性之判釋成果	1-7
圖 1.4	影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果(圖為時序 列影像有效性判斷結果，1 為通過門檻值，0 為未通過門檻 值)	1-8
圖 1.5	地形高程資料套疊影像之成果	1-8
圖 1.6	溯升影像水線之高程判釋成果	1-8
圖 1.7	不同情境之影像水線判釋結果	1-9
圖 1.8	花蓮氣象站月平均溫度與日照時數分布圖(2021/5~2024/9)	1-10
圖 1.9	花蓮氣象站月平均降雨量與降雨日數分布圖(2021/5~2024/9)	1-10
圖 1.10	花蓮港歷年四季及全觀測期海流流速機率分布圖	1-14
圖 1.11	花蓮港歷年四季及全觀測期海流流向機率分布圖	1-14
圖 1.12	花蓮海岸聚落於災害徵兆 (Ts) -災害潛勢 (Tp) 二維分 布情形.....	1-16
圖 1.13	浪襲台 11 線海岸公路事件現場概況	1-18
圖 1.14	花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號	1-21
圖 2.1	2016 年梅姬颱風期間花蓮港大浪越堤實況	2-2
圖 2.2	2018 年山竹颱風期間花蓮港大浪越堤實況	2-2
圖 2.3	2021 年利奇馬颱風期間花蓮港大浪越堤實況	2-2
圖 2.4	韓國 Jumunjin 港防波堤 CCTV 架設位置與影像範例.....	2-4
圖 2.5	影像監測系統	2-4
圖 2.6	在不同波浪條件下拍攝到的影像資料	2-5
圖 2.7	8 字湖 (Figure Eight Pools) 及其沿岸的水深地形分布 ...	2-5
圖 2.8	越波評級方式	2-6
圖 2.9	觀測資料與越波評級	2-6
圖 3.1	本計畫影像判釋自動化建置之流程圖	3-2
圖 3.2	影像判釋越波成果圖 (光學影像).....	3-2
圖 3.3	自動化影像判釋越波警戒線圖	3-2
圖 3.4	花蓮港越波範例影像	3-3
圖 3.5	花蓮港無越波範例影像	3-3
圖 3.6	花蓮港夜間越波範例影像	3-3
圖 3.7	花蓮港夜間無越波範例影像	3-4
圖 3.8	花蓮港影像分類過程	3-5

圖 3.9	花蓮港影像分析區域	3-6
圖 3.10	日間越波影像判釋流程圖	3-6
圖 3.11	花蓮港日間越波之分群結果 (感興趣區域).....	3-9
圖 3.12	花蓮港日間無越波之分群結果 (感興趣區域).....	3-9
圖 3.13	花蓮港日間越波之二值影像 (感興趣區域).....	3-9
圖 3.14	花蓮港日間無越波之二值影像 (感興趣區域).....	3-9
圖 3.15	花蓮港日間越波範例影像之判釋結果	3-10
圖 3.16	花蓮港日間無越波範例影像之判釋結果	3-10
圖 3.17	夜間越波影像判釋流程圖	3-11
圖 3.18	花蓮港夜間越波之灰階影像 (感興趣區域).....	3-11
圖 3.19	花蓮港夜間無越波之灰階影像 (感興趣區域).....	3-11
圖 3.20	花蓮港夜間越波之二值影像 (感興趣區域).....	3-12
圖 3.21	花蓮港夜間無越波之二值影像 (感興趣區域).....	3-12
圖 3.22	花蓮港夜間越波之更改後二值影像 (感興趣區域)	3-12
圖 3.23	花蓮港夜間無越波之更改後二值影像 (感興趣區域)	3-12
圖 3.24	花蓮港夜間越波範例影像之判釋結果	3-13
圖 3.25	花蓮港夜間無越波範例影像之判釋結果	3-13
圖 3.26	判釋錯誤之日間影像 (一).....	3-15
圖 3.27	判釋錯誤之夜間影像 (一).....	3-15
圖 3.28	判釋錯誤之日間影像 (二).....	3-15
圖 3.29	判釋錯誤之夜間影像 (二).....	3-15
圖 4.1	花蓮港外廓防波堤示意圖 (影像擷取自 Google 地球).....	4-2
圖 4.2	花蓮港東防波堤及開放垂釣區域圖	4-2
圖 4.3	SCHISM 模式架構圖	4-5
圖 4.4	SCHISM-WWM-III 耦合示意圖 (Chen et al., 2019).....	4-9
圖 4.5	臺灣周圍水深地形與網格分布	4-9
圖 4.6	花蓮港水深地形量測點位資料 (民國 113 年 5 月).....	4-11
圖 4.7	花蓮港模擬範圍與水深地形分布 (Case A).....	4-12
圖 4.8	花蓮港模擬範圍與水深地形分布 (Case B).....	4-13
圖 4.9	示性波高和最大 2% 溯升高斯過程的機器學習流程 示意圖	4-16
圖 4.10	混合風場圖 (以 2016 年梅姬颱風事件為例).....	4-18
圖 4.11	颱風事件追算模擬與量測資料時序列比較(以 2016 年 莫蘭蒂、馬勒卡、梅姬颱風事件為例).....	4-19
圖 4.12	花蓮港周圍潮位測站與波浪測站位置圖	4-19
圖 4.13	花蓮港近岸波場模擬結果(1/4).....	4-20
圖 4.13	(續)花蓮港近岸波場模擬結果(2/4).....	4-20
圖 4.13	(續)花蓮港近岸波場模擬結果(3/4).....	4-21

圖 4.13	(續)花蓮港近岸波場模擬結果(4/4).....	4-21
圖 4.14	2023 年海葵颱風事件越波記錄資料	4-22
圖 4.15	花蓮港防波堤越波機器學習模型的訓練集樣本分布	4-22
圖 4.16	花蓮港防波堤越波機器學習模型之(a)訓練集、(b)驗證 集和(c)測試集.....	4-23
圖 4.17	花蓮港防波堤越波機器學習模型於不同越波誤差值的累 積分布	4-23
圖 5.1	光達量測範圍示意圖	5-1
圖 5.2	現地光達之部署(a)英國 Saltburn 海灘碼頭(b)光達部署位 置位於碼頭前三分之一的區域，架設距離碼頭 2.5 米遠(c) 三台光達設置示意圖.....	5-2
圖 5.3	國立成功大學潰壩水槽	5-4
圖 5.4	斜坡水槽配置	5-4
圖 5.5	光達試驗攝影機	5-4
圖 5.6	光達.....	5-4
圖 5.7	實驗配置圖	5-5
圖 5.8	空水槽量測結果	5-6
圖 5.9	碎波量測結果 (清水且無障礙物).....	5-8
圖 5.10	溯升量測結果 (清水且無障礙物).....	5-8
圖 5.11	水面線量測結果 (清水且無障礙物).....	5-8
圖 5.12	碎波量測結果 (清水且有障礙物).....	5-9
圖 5.13	溯升量測結果 (清水且有障礙物).....	5-9
圖 5.14	水面線量測結果 (清水且有障礙物).....	5-9
圖 5.15	碎波量測結果 (濁水且無障礙物).....	5-10
圖 5.16	溯升量測結果 (濁水且無障礙物).....	5-10
圖 5.17	水面線量測結果 (濁水且無障礙物).....	5-10
圖 5.18	碎波量測結果 (濁水且有障礙物).....	5-11
圖 5.19	溯升量測結果 (濁水且有障礙物).....	5-11
圖 5.20	水面線量測結果 (濁水且有障礙物).....	5-11
圖 5.21	光達量測結果誤差分析(1/3).....	5-13
圖 5.21	(續)光達量測結果誤差分析(2/3).....	5-13
圖 5.21	(續)光達量測結果誤差分析(3/3).....	5-14
圖 6.1	台 11 線人定勝天路段海岸斷面現況 (攝於 2023/5/26)	6-1
圖 6.2	花蓮縣台 11 線人定勝天段溯升感測器安裝完工圖	6-2
圖 6.3	花蓮縣台 11 線人定勝天段溯升觀測站訊號中繼站位置圖	6-2
圖 6.4	本年度感測器運作情況	6-3
圖 6.5	人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (光學影像)	6-5
圖 6.6	人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (熱成像).....	6-5

圖 6.7	前期計畫之影像判釋自動化建置之流程圖	6-6
圖 6.8	本計畫影像判釋自動化建置之流程圖	6-6
圖 6.9	本計畫溯升/越波預報自動化建置之流程圖	6-7
圖 6.10	攝影機更換作業	6-10
圖 6.11	現場量測及量測工具.....	6-10
圖 6.12	針孔相機模型	6-11
圖 6.13	共線方程計算水平誤差分析 (光學影像).....	6-11
圖 6.14	共線方程計算高程誤差分析 (光學影像).....	6-11
圖 6.15	共線方程計算水平誤差分析 (熱成像).....	6-12
圖 6.16	共線方程計算高程誤差分析 (熱成像).....	6-12
圖 6.17	地形高程資料套疊影像之成果 (光學影像).....	6-13
圖 6.18	地形高程資料套疊影像之成果 (熱成像).....	6-13
圖 6.19	人定勝天路段於凱米颱風期間的外海海象預報、溯升預報、溯升計觀測和影像判釋	6-14
圖 6.20	人定勝天路段於山陀兒颱風期間的外海海象預報、溯升預報、溯升計觀測和影像判釋	6-15
圖 6.21	人定勝天路段於凱米颱風期間的浪襲影像判釋資料(溯升預報達 8 m 以上).....	6-16
圖 6.22	人定勝天路段於山陀兒颱風期間的浪襲影像判釋資料(溯升預報達 8 m 以上).....	6-16
圖 6.23	人定勝天路段於凱米颱風期間的浪襲影像判釋資料(溯升預報未達 8 m).....	6-17
圖 6.24	人定勝天路段於山陀兒颱風期間的浪襲影像判釋資料(溯升預報未達 8 m).....	6-17
圖 6.25	溯升/越波機器學習模型建置流程圖	6-18
圖 6.26	前期計畫及本計畫於溯升/越波機器學習模型自動化建置之流程圖.....	6-19

表目錄

表 1-1	本年度(113 年)計畫分項工作進度規劃	1-5
表 1-2	花蓮浮標每月波高統計表 (2004-2023).....	1-11
表 1-3	花蓮潮位站逐月潮位統計表 (2004-2023).....	1-12
表 1-4	石梯潮位站逐月潮位統計表 (2004-2023).....	1-12
表 1-5	花蓮港測站分季流速分布統計表 (2003~2020).....	1-13
表 1-6	花蓮港測站歷年分季流向分布統計表	1-13
表 1-7	相關浪襲台 11 線海岸公路事件新聞蒐集	1-19
表 3-1	本計畫海岸公路與防波堤越波影像判釋方法比較.....	3-14
表 4-1	以機器學習進行溯升/越波預測之相關研究.....	4-4
表 6-1	自動化影像判釋維運作業項目	6-8

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

在颱風季節長浪對臺灣東部海岸的災害時有所聞，尤其東部海岸公路受到侵襲所引致的災害除了對用路人行車安全造成威脅，更讓業管單位的現場巡檢人員受到一定的風險，且港區防波堤可能受颱風波浪越波造成破壞。民國 106 年至 110 年間，交通部運輸研究所(以下簡稱本所)已建置臺東及花蓮海岸公路浪襲預警系統，民國 111 年建立花蓮港外廓防波堤越波預警模組，提供浪襲預警資訊，惟越波及浪襲仍無現場觀測數據或影像等直接資訊，因此，希望藉由網路攝影機影像畫面，應用人工智慧 (AI) 判釋技術，提供業管單位越波、浪襲資訊的示警資訊。111 及 112 年以台 11 線人定勝天段為研究對象，111 年研發日間越波影像智慧化判釋技術，112 年進行夜間影像判釋及研發自動化判釋技術、建立機器學習溯升/越波模型，113 及 114 年以花蓮港防波堤為研究對象並同時精進驗證台 11 線人定勝天段影像智慧化判釋技術，113 年研發花蓮港防波堤越波影像智慧化判釋技術，114 年預計完成海岸公路及港區防波堤影像自動化判釋並提供示警資訊予相關單位實務應用。

1.2 計畫目的

為減少海岸公路及港區外廓防波堤發生越波 (浪襲) 事件所產生的災害，本計畫透過網路攝影機監視影像資料，利用人工智慧 (AI) 判釋方式，針對易浪襲區段，發展判釋越波 (浪襲) 示警技術，於發生越波 (浪襲) 時向業管單位提出示警，減少颱風或劇烈天氣狀況下，巡檢人員面臨越波 (浪襲) 的風險，並增加用路人行車安全。

1.3 計畫工作項目

本計畫研究期程為 4 年 (111 年至 114 年)，本年度 (113 年) 為第 3 年度，主要工作項目如下：

1. 蒐集國內外應用影像判釋技術於港區防波堤越波預警之相關文獻。
2. 於海岸公路 (台 11 線人定勝天路段) 更新設置並維護影像蒐集設備 (更換高解析攝影機，熱成像攝影機由運研所提供)，花蓮港區安裝影像蒐集設備 (人定勝天路段熱成像攝影機移機安裝)，進行海岸公路 (台 11 線人定勝天路段) 及花蓮港區防波堤近岸海象影像蒐集。
3. 維護與精進海岸公路並新建花蓮港區防波堤的波浪溯升與越波影像資料庫，應用影像特性分析自動化判釋花蓮港區防波堤波浪越波影像特性。
4. 應用現階段觀測設備 (影像判釋)，研發防波堤越波示警技術。
5. 購置光達感測器，評估光達感測技術於越波偵測與示警之可行性。
6. 依據颱風事件或顯著越波事件進行影像與越波資料驗證分析判釋成果，並將資訊回傳至本所，評估港區防波堤自動化影像判釋可行性。
7. 納入影像判釋溯升觀測資料，精進前 (112) 年度人定勝天路段之機器學習溯升/越波模型，並評估其精進效益，並於現場設置相關設備即時回傳影像自動化判釋結果。
8. 建立花蓮港機器學習溯升/越波模型，與越波事件影像進行比對。
9. 綜整摘要說明 111 年至 113 年研究計畫累積成果。

1.4 工作流程規劃

依據 113 年度委辦計畫工作需求，擬訂「國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集」、「港區防波堤越波影像判釋方法建立」、「花蓮港區機器學習越波模型建立」、「光達感測溯升技術可行性評估」及「海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進」等 5 項工作項目，且主要架構可分為 4 部分：第一部分為「資料蒐集作業」階段、第二部分為「建立港區影像分析技術與自動化判釋系統作業」階段、第三部分「建立港區機器學習溯升模型作業」階段，以及第四部分「既有系統維運與精進作業」。本計畫工作流程與執行架構如圖 1.1 所示，各階段工作項目概述如下。

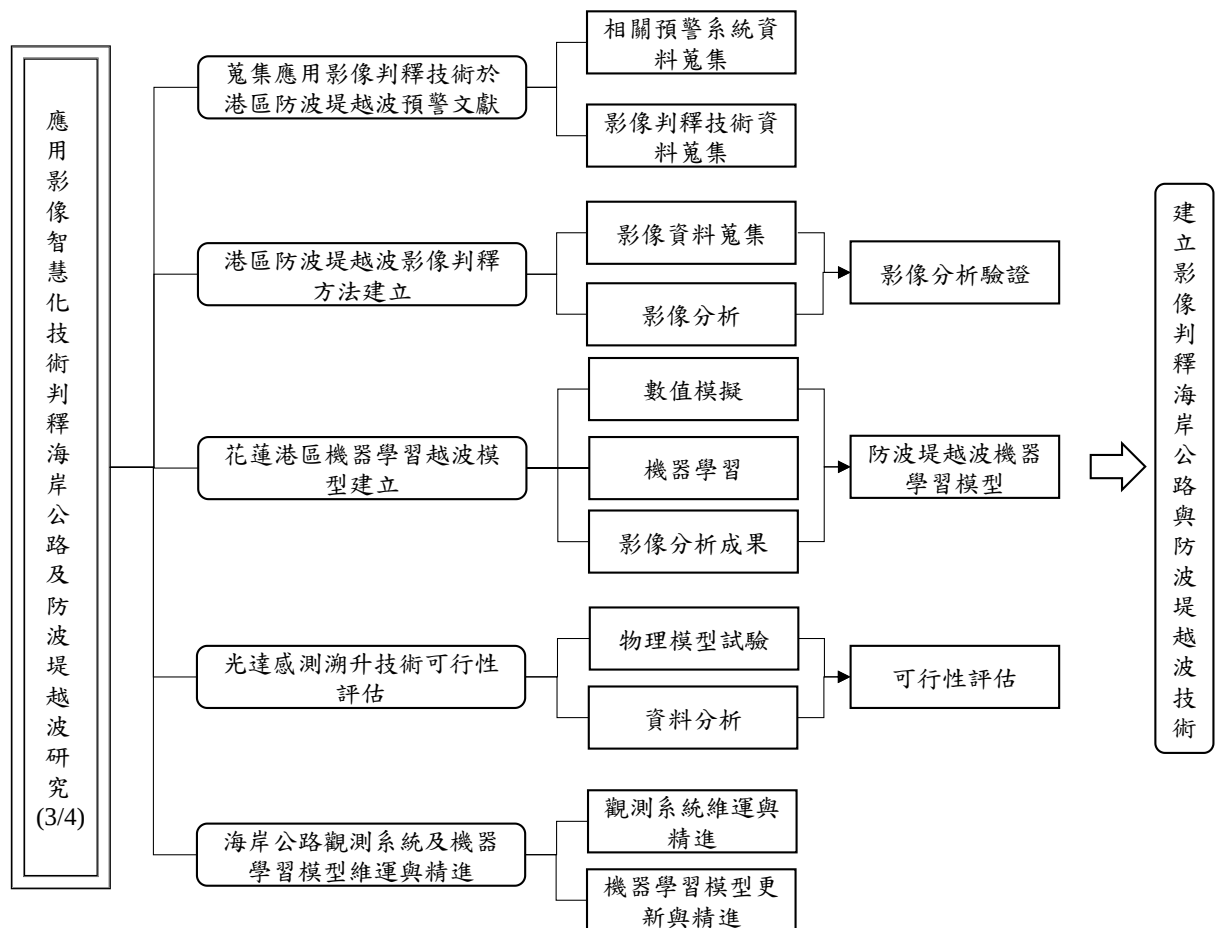


圖 1.1 計畫工作流程與執行架構

(一)資料蒐集作業

此階段涵蓋工作項目包含「國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集」、「港區防波堤越波影像判釋方法建立」與「海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進」3 部分。港區越波研究蒐集方面，主要針對國內外相關港區越波觀測與警戒技術研究進行蒐集，俾利做為後續本計畫技術建立參考。港區越波影像判釋方面，主要蒐集花蓮港區分析越波所需影像資料，其中包含光學與熱成像之影像資料。海岸公路越波系統方面，主要是蒐集既有觀測設備資料，其中包含溯升計資料與網路攝影機影像資料（光學影像與熱成像影像），此資料提供後續自動化影像判釋系統精進與機器學習模型更新所用。

(二)建立港區影像分析技術與自動化判釋系統作業

此階段主要為「港區防波堤越波影像判釋方法建立」之工作項目。透過「資料蒐集作業階段」可獲得研究區域影像資料，則以前期計畫

所發展之判釋技術為基礎，進一步分析日/夜間影像判釋防波堤越波之能力。然而，影像分析技術會受參數（例如：邊緣偵測之門檻值設定）、環境背景不同而有所差異，此時得透過不同觀測方式（例如：人為判釋）來交叉比對，以確定分析參數之可靠性。

(三)建立港區機器學習溯升模型作業

此階段工作項目主要是透過機器學習方式建立花蓮港區機器學習溯升/越波模型，其可藉由海象資料導入而推估港區防波堤越波情況，以利未來介接運研所海象預報系統進行防波堤越波預報所用。此作業旨於建立國內港區防波堤越波警戒技術，因此在建立初期仍需進行比對，以增加該技術越波預報之可靠性。

(四)既有系統維運與精進作業

此階段工作項目主要除維運既有海岸公路（人定勝天路段）越波觀測系統與機器學習模型外，亦要針對自動化判釋方式與模型更新進行精進。本年度技術發展雖是以花蓮港防波堤為主要計畫區，惟仍須針對前期計畫海岸公路區域進行既有系統維運與精進。其中，觀測部分包含溯升計與影像判釋所需影像資料，而該資料透過分析後，需納入目前既有模型再進行修正，以使其模型更能在地化。

1.5 工作執行進度規劃安排

有關本年度工作進度規劃及預定進度甘梯圖如，表 1-1 所示。

表 1-1 本年度 (113 年) 計畫分項工作進度規劃

工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	備 註
	113 年										
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
(一) 國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集											
(二) 港區防波堤越波影像判釋方法建立											
(三) 花蓮港區機器學習越波模型建立											
(四) 光達感測溯升技術可行性評估											
(五) 海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進											
(六) 報告撰寫											
	※			※				※		※	
工作進度估計百分比 (累積數)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
預定查核點	第 1 季：基本資料表登錄										
	第 2 季：期中報告 (113 年 6 月 28 日)										
	第 3 季：期末報告 (113 年 10 月 25 日)										
	第 4 季：修正報告										
說明：(1) 工作項目請視計畫性質及需要或依研究計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。(2) 「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。(3) 每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。											

1.6 前期 (111~112 年) 計畫概述

前期計畫於「人定勝天」路段架設光學攝影機與熱成像攝影機，取得光學與熱成像二種不同成像原理之影像，依據如圖 1.2 之流程，進行預處理 (pre-processing)、第一次影像辨識 (first image recognition)，以及第二次影像辨識 (second image recognition) 等三階段程序，利用 K-means 分群法進行影像分割 (image segmentation)，獲取感興趣區域，執行影像分析、統計及處理，並建立「影像分析水線有效性」判釋功能 (如圖 1.3 與圖 1.4)，藉由三種參數門檻值之設定，進行影像分析成果過濾，使其更能自動化提供可靠判釋之觀測成果。接著，利用共線方程建立影像像素座標 (u_0, v_0) 和空間座標 (X_0, Y_0, Z_0) 間的關係，結合 DEM 高程資料和光學影像和熱成像影像的共線方程，可建立影像上的數值高程，如圖 1.5 所示，供後續影像分析出之水線高程計算 (如圖 1.6)。再透過晴天、陰天與雨天等不同天氣，配合大浪、中浪與小浪等不同海象條件進行情境模擬，成功進行影像水線溯升/越波判釋，如圖 1.7 所示，得以有效瞭解溯升分布情況。最後，用串流方式將影像回傳至本所運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)，透過運技中心電腦進行分析後獲得溯升資料，並透過警戒線與燈號之設立，成功建立自動化影像判釋系統，達到影像判釋越波警戒之目的。此外，為發展溯升機器學習模型，前期計畫分別透過 SCHISM 與 FUNWAVE 進行海象追算與近岸溯升模擬，建立外海海象資料與近岸溯升資料關係，並採用 GP 進行機器學習，初步完成海象追算、FUNWAVE 建模與分析及機器學習模型建置與分析作業。

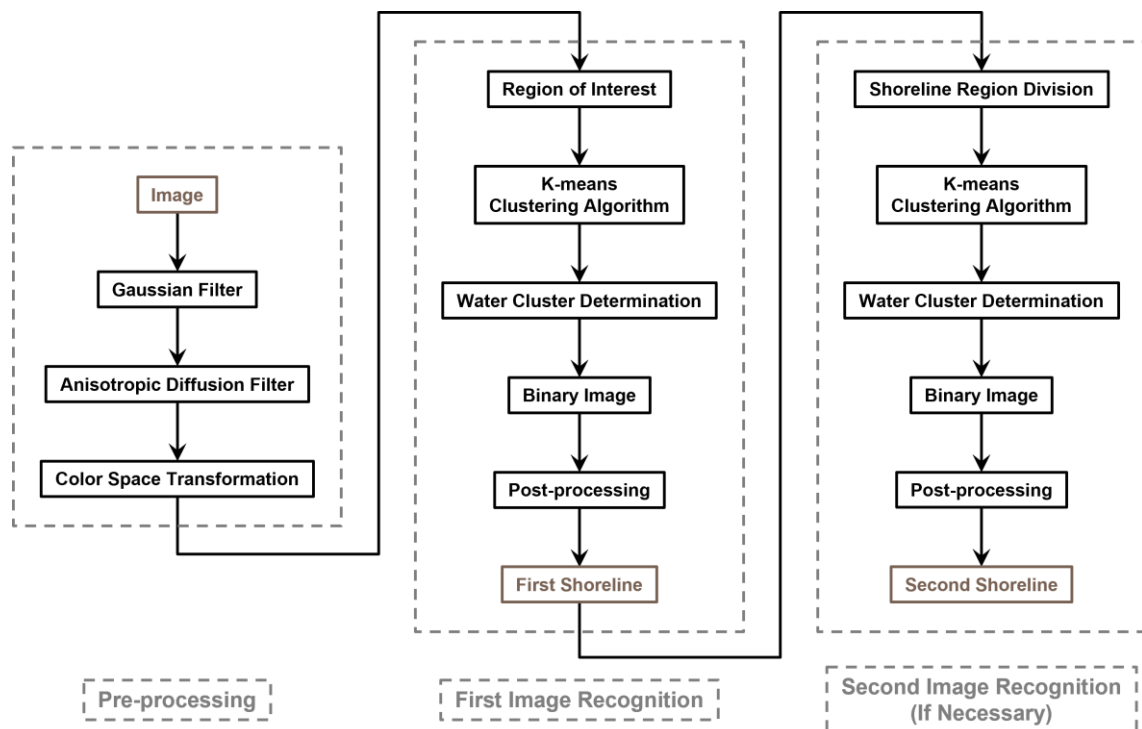


圖 1.2 海岸線判釋技術流程圖



Pass
(Variance-U=0.06, Sky = 0.81, Sharpness = 8.0)



No-Pass
Variance-U=0.11, Sky = 0.92 Sharpness = 5.6



No-Pass
Variance-U=0.01, Sky = 0.43 Sharpness = 3.9



No-Pass
Variance-U=0.01, Sky = 1.00 Sharpness = 5.0

圖 1.3 影像分析水線有效性之判釋成果

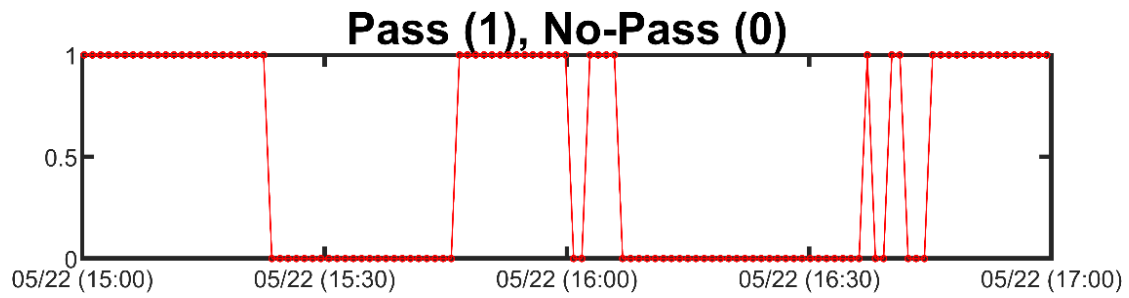
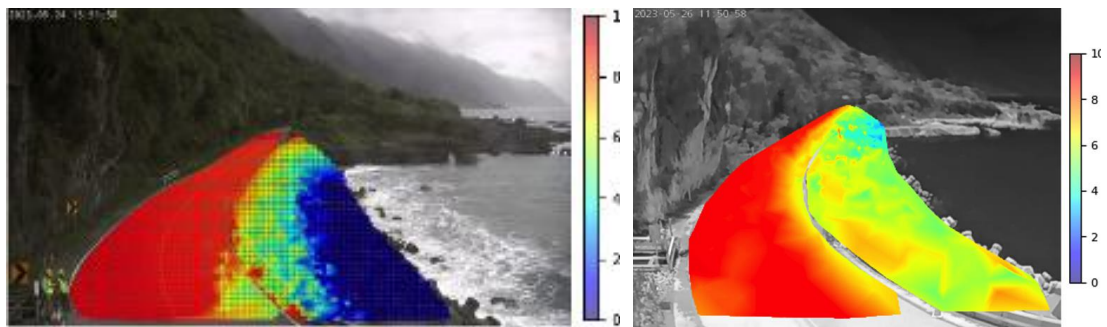


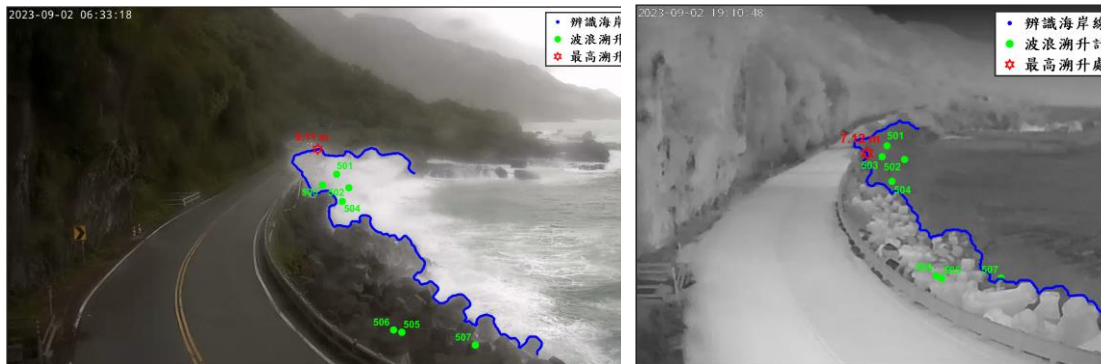
圖 1.4 影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果 (圖為時序列影像有效性判斷結果，1 為通過門檻值，0 為未通過門檻值)



(光學影像)

(熱成像)

圖 1.5 地形高程資料套疊影像之成果



(光學影像)

(熱成像)

圖 1.6 溯升影像水線之高程判釋成果

情境	晴天	陰天	雨天
大浪			
中浪			
小浪			

圖 1.7 不同情境之影像水線判釋結果

1.7 本 (113) 年度預期效益及成果

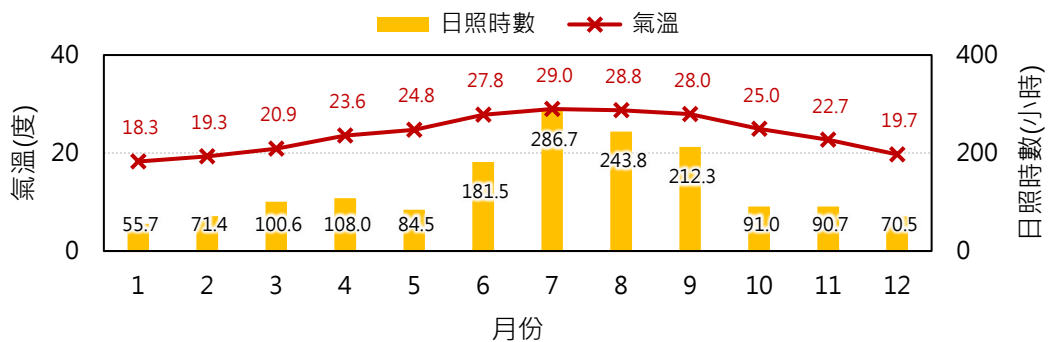
1. 完成港區防波堤影像設備及建置辨識判釋資料庫。
2. 完成影像判釋港區防波堤浪襲之示警技術開發。
3. 建立防波堤即時影像判釋越波技術。
4. 納入影像判釋溯升觀測資料，以精進人定勝天路段之機器學習溯升/越波模型，並評估其成效。
5. 完成港區防波堤浪襲的影像自動判釋示警資訊提供。

1.8 環境背景現況說明

花蓮縣位於臺灣東部，面臨太平洋，北起和平溪，南至秀姑巒溪口以南之靜浦，海岸線全長約 175 公里，為全臺海岸線最長的縣市。花蓮海岸多屬山岩峭壁，立霧溪以北屬斷層岩岸，花蓮溪口以南為海岸山脈東側之岩石海岸，面臨太平洋，且處於大陸板塊斜坡邊緣，海岸坡度較陡，海岸地形變化較小，離岸不遠處即為太平洋海溝，水深可達 1,000~2,000 公尺以上，海氣象環境背景概況說明如下：

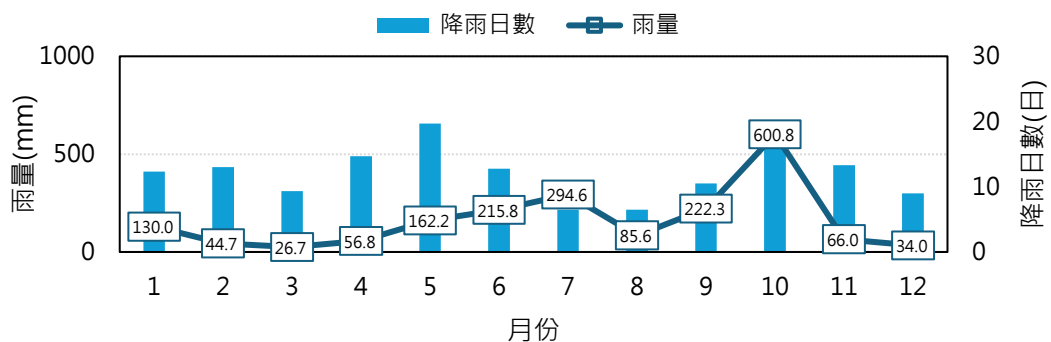
1.8.1 氣象

花蓮地幅狹長，南北長約兩百多公里，北迴歸線從瑞穗通過，氣候上可以瑞穗作分界，以北為亞熱帶氣候，以南為熱帶氣候。此外，高山林立，來自赤道的太平洋暖流—黑潮，亦具有調節氣候的功用。茲蒐集交通部中央氣象署（以下簡稱氣象署）花蓮氣象站近3年觀測資料，月平均溫度與日照時數分布，如圖1.8，由圖可知，近3年間月平均溫度介於18.3~29.0°C，最高月平均溫度出現在7月，最低則為1月；日照時數亦以7月平均286.7小時為最多，1月平均55.7小時為最少。圖1.9為近3年月平均降雨量與降雨日數分布，月平均雨量介於26.7~600.8公厘，月平均降雨日數為7~20日。其中，10月份雨量較高於其他月份，主因為2021年10月圓規颱風與2022年10月尼莎颱風所致。



資料來源：交通部中央氣象署網站 (<https://www.cwa.gov.tw/>)，本計畫重新繪製。

圖 1.8 花蓮氣象站月平均溫度與日照時數分布圖 (2021/5~2024/9)



資料來源：交通部中央氣象署網站 (<https://www.cwa.gov.tw/>)，本計畫重新繪製。

圖 1.9 花蓮氣象站月平均降雨量與降雨日數分布圖 (2021/5~2024/9)

1.8.2 海象環境

1. 波浪

氣象署於花蓮縣新城鄉設有資料浮標（經度：121.63、緯度：24.03），觀測波浪、風速風向與海流。茲蒐集 2004 年至 2023 年間花蓮資料浮標觀測資料，如表 1-2，花蓮海域歷年月平均示性波高約 0.6～1.6 公尺，平均週期介於 5.4～6.4 秒；最大示性波高約 3.6～9.6 公尺，對應週期介於 10.0～15.1 秒。整體來說，花蓮海域受冬季季風影響，每年的 10 月到隔年 3 月屬於風浪較大的時刻，4 月至 9 月屬於風浪較小的時刻。此外，每年 8 月至 10 月為主要颱風季節，颱風威力大小對於海面波浪亦有絕對性的影響。

表 1-2 花蓮浮標每月波高統計表 (2004-2023)

月份	最大示性波高				平均 示性波高 (公尺)	平均 週期 (秒)	示性波高分布百分比			
	波高 (公尺)	尖峰 週期 (秒)	波向 (度)	發生時間 (年/月/日)			< 0.6 公尺 (%)	0.6~1.5 小浪 (%)	1.5~2.5 中浪 (%)	> 2.5 大浪 (%)
1	5.3	13.1	33	2011/1/15	1.5	6.2	1.7	53.5	37.8	7
2	6.0	11.6	11	2022/2/23	1.4	6.2	2.8	62.0	29.3	5.8
3	4.7	10	45	2023/3/13	1.2	6.0	7.5	69.0	20	3.5
4	3.8	10	45	2018/4/7	1.0	5.9	17.2	68.6	13.2	1.1
5	4.8	14.6	90	2023/5/30	0.8	5.7	39.3	54.9	4.9	0.8
6	3.6	13.1	-	2004/6/29	0.6	5.4	66.2	31.3	2.3	0.2
7	9.6	-	101	2008/7/28	0.7	5.7	63.6	30.2	3.9	2.2
8	9.4	15.1	33	2007/8/18	0.7	6.0	55.1	37.9	4.9	2.2
9	9.5	-	-	2008/9/28	1.0	6.2	31.1	50.9	12.6	5.4
10	6.8	10.4	-	2005/10/2	1.5	6.2	4.9	57.1	28.5	9.5
11	6.4	13.1	56	2007/11/27	1.4	6.2	2.3	61.4	29.5	6.8
12	8.1	-	22	2019/12/7	1.6	6.4	1.4	48.2	39.6	10.7

資料來源：交通部中央氣象署網站 (<https://www.cwa.gov.tw/>)。

2. 潮汐

參考氣象署 2004 年至 2023 年間潮位統計資料，花蓮沿海花蓮潮位站（經度：121.62、緯度：23.98）與石梯潮位站（經度：121.51、緯度：23.49）之潮位統計，整理如表 1-3 與表 1-4。結果顯示，花蓮南側海域潮高較北側海域高，平均潮位差距約為 0.112 公尺，平均潮差亦以北側海域略大，惟南北潮差差距較小，約為 0.021 公尺。

表 1-3 花蓮潮位站逐月潮位統計表 (2004-2023)

月份	最高高潮位 暴潮位 (公尺)	最高天文潮 (公尺)	平均高潮位 (公尺)	平均潮位 (公尺)	平均低潮位 (公尺)	最低天文潮 (公尺)	最低低潮位 (公尺)
1	1.114	0.983	0.578	-0.01	-0.647	-1.037	-1.374
2	1.111	0.986	0.581	-0.008	-0.649	-0.984	-1.263
3	1.112	0.988	0.589	0.004	-0.625	-0.905	-1.188
4	1.029	0.977	0.596	0.036	-0.615	-0.933	-1.144
5	1.043	1.021	0.631	0.078	-0.58	-0.926	-1.143
6	1.132	1.069	0.69	0.127	-0.508	-0.886	-1.027
7	1.435	1.158	0.699	0.145	-0.502	-0.812	-1.168
8	1.437	1.194	0.751	0.197	-0.433	-0.771	-0.987
9	1.25	1.194	0.742	0.196	-0.447	-0.668	-0.959
10	1.293	1.054	0.695	0.146	-0.5	-0.853	-1.086
11	1.089	1.024	0.597	0.056	-0.591	-0.946	-1.186
12	1.061	0.99	0.569	0.003	-0.638	-1.027	-1.265
全年	1.437	1.194	0.643	0.079	-0.562	-1.037	-1.374

資料來源：交通部中央氣象署網站 (<https://www.cwa.gov.tw/>)。潮高基準：相對臺灣高程基準 TWVD2001 基隆海平面。

表 1-4 石梯潮位站逐月潮位統計表 (2004-2023)

月份	最高高潮位 暴潮位 (公尺)	最高天文潮 (公尺)	平均高潮位 (公尺)	平均潮位 (公尺)	平均低潮位 (公尺)	最低天文潮 (公尺)	最低低潮位 (公尺)
1	1.171	1.183	0.7	0.104	-0.525	-0.967	-1.146
2	1.217	1.163	0.715	0.108	-0.504	-0.923	-1.126
3	1.205	1.13	0.707	0.112	-0.508	-0.784	-0.984
4	1.172	1.102	0.719	0.135	-0.505	-0.811	-1.019
5	1.21	1.157	0.757	0.18	-0.459	-0.819	-1.031
6	1.352	1.208	0.812	0.223	-0.433	-0.804	-0.941
7	1.51	1.284	0.834	0.245	-0.422	-0.769	-1.107
8	1.649	1.37	0.893	0.308	-0.334	-0.745	-0.84
9	1.656	1.36	0.881	0.312	-0.323	-0.584	-0.926
10	1.351	1.212	0.822	0.264	-0.392	-0.739	-0.981
11	1.188	1.157	0.743	0.165	-0.482	-0.88	-1.084
12	1.227	1.135	0.71	0.12	-0.535	-0.946	-1.118
全年	1.656	1.37	0.776	0.191	-0.45	-0.967	-1.146

資料來源：交通部中央氣象署網站 (<https://www.cwa.gov.tw/>)。潮高基準：相對臺灣高程基準 TWVD2001 基隆海平面。

3. 海流

茲蒐集本所「110 年主要商港波流觀測與特性分析」研究成果，2003 年至 2020 年間花蓮港海流流速與流向觀測資料分布統計、機率分布，整理如表 1-5、表 1-6、圖 1.10 與圖 1.11 所示。結果顯示，花蓮港年平均流速為 19.6cm/s，冬季平均流速均 18.4 cm/s，為四季中較低之季節，秋季平均流速 20.7cm/s 為最高，四季流速分布均以 25 cm/s 以下成份居多，分別為春季 76.3%、夏季 74.7%、秋季 73.2%、冬季 78.1%。根據歷年海流流向觀測資料顯示，花蓮港海流運動方向集中於 N~E、S~W 兩象限，流向分布統計資料分別為 N~E 象限：全期 28.4%、春季 29.5%、夏季 33.3%、秋季 25%、冬季 26.2%；S~W 象限：全期 36.1%、春季 35%、夏季 26.6%、秋季 40.9%、冬季 41.2%。海流隨潮流漲落改變方向，退潮時段流向為 N~E 象限，漲潮時段流向為 S~W 象限，漲退潮方向與位於臺灣東北角之基隆港相似。

表 1-5 花蓮港測站分季流速分布統計表 (2003~2020)

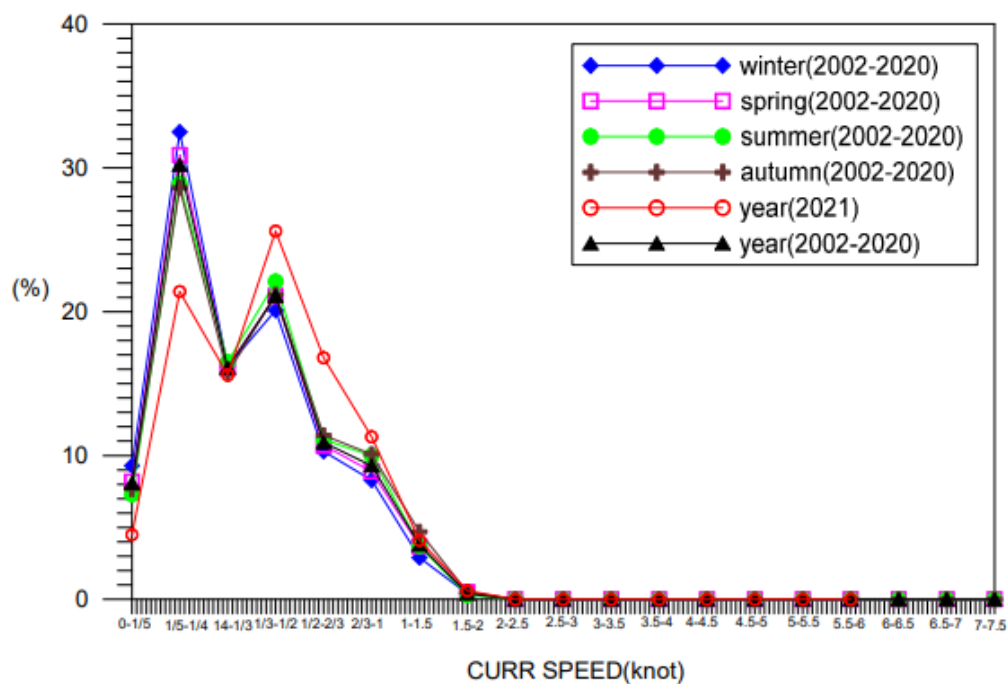
季節	平均流速 (cm/s)	流速 < 25 cm/s (%)	25 ≥ 流速 ≤ 50 cm/s (%)	流速 > 50 cm/s (%)
春	19.4	76.3	19.6	4.2
夏	19.9	74.7	21.2	4.1
秋	20.7	73.2	21.5	5.3
冬	18.4	78.1	18.6	3.3
全期	19.6	75.6	20.2	4.2

資料來源：交通部運輸研究所「110 年主要商港波流觀測與特性分析」

表 1-6 花蓮港測站利年分季流向分布統計表

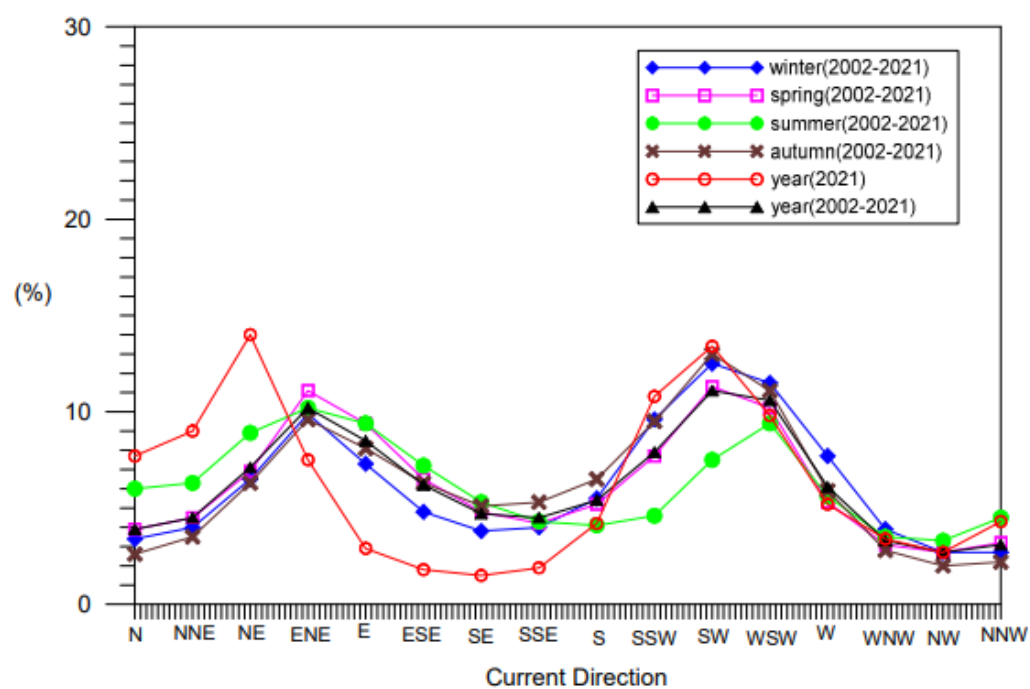
季節	N~E (%)	E~S (%)	S~W (%)	W~N (%)
春	29.5	22.3	35.0	13.1
夏	33.3	23.5	26.6	16.5
秋	25.0	23.5	40.9	10.6
冬	26.2	18.3	41.2	14.3
全期	28.4	21.9	36.1	13.6

資料來源：交通部運輸研究所「110 年主要商港波流觀測與特性分析」



資料來源：交通部運輸研究所「110 年主要商港波流觀測與特性分析」

圖 1.10 花蓮港歷年四季及全觀測期海流流速機率分布圖



資料來源：交通部運輸研究所「110 年主要商港波流觀測與特性分析」

圖 1.11 花蓮港歷年四季及全觀測期海流流向機率分布圖

1.8.3 地質環境

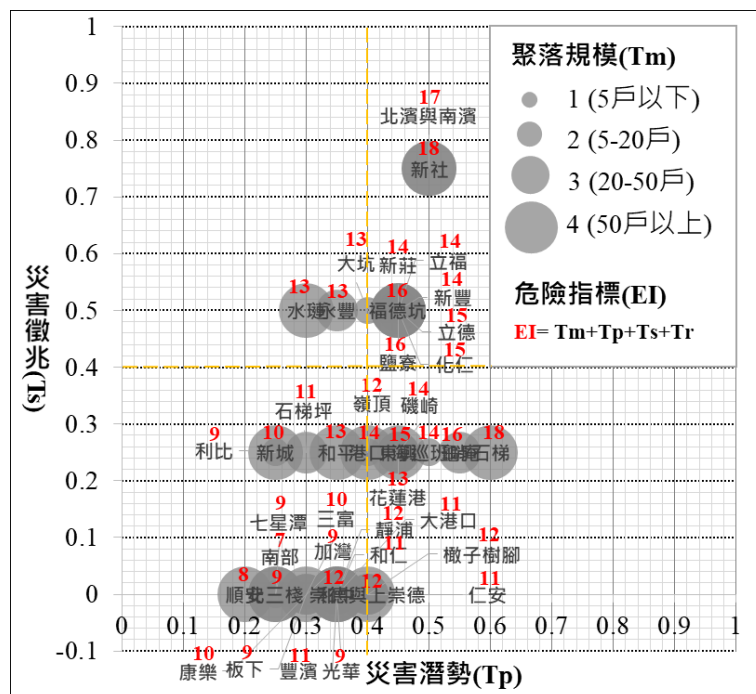
花蓮海岸地質環境約略可以立霧溪與花蓮溪為分界：

1. 和平溪口以南至立霧溪口以北段屬斷層岩岸，略呈東北往西南走向，大致與中央山脈之走向平行，山勢險惡直逼太平洋，海岸偶有少許砂礫土質海灘，主要岩類包括片岩、變質石灰岩（亦稱大理石）及片麻岩 3 類，該段岩質較硬，因此海岸侵蝕自然較不明顯。
2. 立霧溪口至花蓮溪口段為片岩沖積層與砂礫土，歷年受到太平洋巨浪之沖擊，岸邊陸地逐漸後退，因此本段亦屬侵蝕海岸。七星潭奇萊鼻以南至花蓮港段為珊瑚礁海岸；美崙溪口至花蓮溪口段屬砂土質，為砂礫土質海岸，地勢較為平坦，砂土質粒徑小，禦浪能力薄弱，亦同屬侵蝕海岸。
3. 花蓮溪口以南為多層山岩峭壁之岩石海岸，砂灘少而參雜於山岬之間。海岸常見海蝕坪台，或為海浪侵蝕成谷溝，或為海水沖擊切割而成方形岩塊。本段海岸線仍相當平直，由於地殼在更新世時之不等量上升造成梯田狀地形，浮升之珊瑚礁及窄而深之岩石峽道海蝕溝隨處可見。石梯坪段有較為嚴重之侵蝕。

1.8.4 海岸災害

花蓮海岸位於臺灣東部，位處背山面海之狹長海岸地帶，各聚落經濟之發展頗受地形及氣候之限制，因此區內腹地小的聚落多沿著蘇花公路、省道台 11 線邊分布，位於腹地較廣之海階地或丘陵地之聚落則多以務農型態之散村型式存在，其餘因靠近海岸，並附有不同規模之漁港，多從事漁業之經濟活動。國家災害防救科技中心針對花蓮海岸聚落進行災害調查與危險度評估（張志新等人，2019），該研究指出，花蓮縣多數聚落僅依靠台 11 線做為主要聯外道路，缺乏替代道路，在颱風侵襲期間，可能面臨巨浪、河道溢淹、坡地災害及道路中斷形成孤島等威脅，如 1992 年寶莉颱風造成新社海堤被沖毀，巨浪侵蝕陸地，圖 1.12 為花蓮地區海岸聚落於災害徵兆 (Ts)-災害潛勢 (Tp) 二維分布情形，其中，石梯、石梯坪、港口與大港口等四處聚落

位於豐濱鄉港口村，鄰近人定勝天路段，石梯聚落居民表示，2015 年蘇迪勒颱風浪襲台 11 線公路路面，港內漁船都被吹到岸上，顯示該路段確實有浪襲風險。



資料來源：張志新等人，2019，海岸聚落災害調查與危險度評估—以花蓮縣為例

圖 1.12 花蓮海岸聚落於災害徵兆 (Ts)-災害潛勢 (Tp) 二維分布情形

然海岸地區可能因受到異常波浪之侵襲，進而造成重大的災害。漁民、釣客、戲水的民眾或海巡人員，常被「突發性的異常波浪」所襲擊，這種突發性的異常波浪是沒有任何的前兆，如「瘋狗」般的隨便亂咬人，漁民及釣客就稱這「突發性的異常波浪」為「瘋狗浪」。當海浪傳到岸邊，衝擊礁岩或防波堤，激起巨大水花，力量大到連車子都能捲入海，東北季風、颱風期間的長浪也都可能有瘋狗浪。

根據 2015 年國立臺灣海洋大學、臺北城市科技大學及氣象署海象測報中心合作研究報告指出 (郭人維等人，2015)，瘋狗浪事件發生地點在東北部及東部的次數最多，分別為新北、基隆、宜蘭及花蓮皆發生超過 28 件；其次為臺東、高雄、連江，發生 10 件至 28 件；其他西半部及離島縣市相對發生事件較小，至少會發生 1 件至 10 件。當海面上沒颱風發展時，以 1、11、12 月發生瘋狗浪事件最多，皆超

過 20 件，由於當時為冬季，可能是東北季風不斷吹拂海面，使海邊風浪不小；當海面上有颱風發展時，7 月至 11 月皆發生 15 件以上，其中又以 9 月發生的件數最多。另外，再以瘋狗浪事件發生當下，太平洋上是否有颱風進行分類，數據顯示僅有 3% 出現在氣象署發布颱風警報時，多數瘋狗浪事件則出現在無發布颱風警報和非颱風季節期間。

氣象署統計，自 2000 年至 2022 年底，全臺海岸異常波浪事件有 408 件、每年平均 18 件，釀 701 人落海。根據 2021 年本所運技中心與國立中山大學合作研究報告指出（陳冠宇等人，2021），近年來台 11 線花蓮海岸公路的人定勝天碑路段（道路里程約 61K 到 63K）因離海岸近，較易於颱風期間受到長浪的影響，如 2015 年 8 月蘇迪勒颱風期間，除了人定勝天碑被海浪打落海面之外，同時造成台 11 線 62.1K「人定勝天碑」路段有長達 40 公尺、寬 6 公尺的道路流失，下方路基遭到海浪侵蝕、淘空（圖 1.13 (a)），讓相關單位採取單線雙向通行的措施。又如 2016 年 9 月梅姬颱風期間，該路段出現浪花夾帶碎石波及道路路面的情形（圖 1.13 (b)）。除了上述新聞事件外，2018 年 9 月潭美颱風期間公路局亦在台 11 線 61k+400 附近拍攝到浪襲道路的情況，如圖 1.13 (c)。2023 年 5 月瑪娃颱風外圍環流及長浪影響，台 11 線 56.8K 沙灣路段受因長浪侵蝕掏刷公路路側擋土牆肇衍綠帶流失約 56 公尺（圖 1.13 (d)）。2024 年 10 月康芮颱風造成台 11 線豐濱鄉約 5 處大小掏空路段，台 11 線 61.5K 人定勝天路段有海浪越波至道路的情況（圖 1.13 (e)）。台 11 線人定勝天路段已屬公路局列管中之浪襲路段，颱風期間如經氣象資料預判該台 11 線人定勝天路段可能遭受浪襲影響時，公路局將會於防災新聞稿發布時予以納入宣導防避之路段，表 1-7 為臺灣東部海岸地區與海岸公路可能受到颱風波浪或異常浪等長波侵襲事件。

目前學界對於瘋狗浪的成因尚未有定論，此類異常波浪隨機發生的現象，尚無法從實測水位來說明其出現的時空變化，但可以透過一些海氣象變化和海事災害來判斷瘋狗浪的形成原因、襲擊岸邊時機和地點等。氣象署指出，臺灣的瘋狗浪分為兩個類型，第一個為隨時出現型，會不斷地侵襲海岸，岸邊若有人垂釣或游泳，很容易被捲入；

第二個是突然發生型，因為海面上沒有大風浪的徵兆，因此巨浪激起的那一瞬間難以預防。瘋狗浪好發地點包含靠近海邊的平台、海堤邊的消波塊、突出海岸的礁石磯岩以及燈塔附近的防波堤；還有非核定的海水浴場，例如：海底礁石較多的海灘。根據研究指出，當有人被浪擊落海時，於實測波浪資料中並沒有觀察到忽然出現一個特殊大浪，而是在海象不好時（即浪大），偶爾有幾個波高較大的浪逼近，而造成瘋狗浪事件發生。此外，要將人擊落海的浪需有「越波」的現象發生。當浪的波高與週期較大時，有些波浪會越過防波堤或礁岩，因為實海域每一個浪的波高與週期都不太一樣，並不是在同一海況下所有浪都會越波。

東部海岸公路受到浪襲所引致的災害除了對用路人行車安全造成威脅，更讓業管單位的現場巡檢人員受到一定的風險，且港區防波堤可能受颱風波浪越波造成破壞。鑒於許多浪襲意外與越波有關，惟越波及浪襲尚無現場觀測數據或影像等直接資訊，遂應針對海浪溯升情況進行監測，依據溯升計觀測數據和海岸即時影像監測畫面，來預測是否有越波發生，提供業管單位越波、浪襲資訊的警示資訊。



(a) 2015/08/08



(b) 2016/09/27



(c) 2018/9/28晚間61K+400浪襲影像



(d) 2023/05/30台11線56.7公里處



(e) 2024/10/31

資料來源：(a) (b)自由時報網站 (<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1405399>)、(c) 陳冠宇等人，2021，花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究 (1/2)-浪襲預警系統建置、(d) 中時新聞網 <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20230530001819-260405?chdtv>、(e) 中央社新聞

圖 1.13 浪襲台 11 線海岸公路事件現場概況

表 1-7 相關浪襲台 11 線海岸公路事件新聞蒐集

編號	日期	標題	事件地點	颱風	災情	管制措施
1	2015/8/8	人定不勝天!?花蓮「人定勝天碑」不見	台 11 線 62.1K	強颱 蘇迪勒	單線 地基流失	單線雙向 通行
	來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1405399					
2	2015/8/8	花蓮「人定勝天碑」遭捲入海！ 台 11 線先開放單線雙向	台 11 線 62~63K	強颱 蘇迪勒	單線 地基流失	單線雙向 通行
	來源：ETtoday 新聞 https://www.ettoday.net/news/20150808/546984.htm#ixzz6BjnF8DVT					
3	2015/8/8	蘇迪勒肆虐 人定勝天碑也倒	台 11 線 62K	強颱 蘇迪勒	淘空路基	
	來源：聯合新聞網 https://video.udn.com/news/354335					
4	2015/8/9	颱風蘇迪勒強風豪雨 全台 5 死百傷災 情慘	台 11 線 62K	強颱 蘇迪勒	單線 地基流失	
	來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/firstnews/201508080432.aspx					
5	2015/8/23	大浪沖刷! 台 11 線邊坡崩落	台 11 線 47.6K	強颱 天鵝	路肩 邊坡流失	架設護欄
	來源：華視新聞 http://news.cts.com.tw/cts/general/201508/201508231651845.html#.Vdm1i4u5_p8					
6	2016/9/27	梅姬大浪拍擊台 11 線！漂流木、礫石飛 上岸	台 11 線 62~63K	中颱 梅姬	浪襲道路	全面封路
	來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1838616					
7	2018/9/28	台 11 線 61.5k 花蓮豐濱鄉人定勝天路 段路基掏空道路封閉	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	全面封路
	來源：公路局 https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/news/news_details?node=eeb33aa6-58a1-4d5d-b6aa-28dd4d5270b0&id=3283263d-71a8-4b13-8572-286f3d39e232					
8	2018/9/28	颱風掏空路基 海岸公路花蓮豐濱鄉段 封閉至 10 月 1 日	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	全面封路
	來源：中時 https://www.chinatimes.com/realtimenews/20180928004176-260402?chdtv					
9	2018/9/29	台 11 線人定勝天路段路基掏空 緊急搶 修明天上午恢復通行	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：新頭殼 https://newtalk.tw/news/view/2018-09-29/145822					
10	2018/9/29	潭美掀浪！花蓮台 11 線豐濱人定勝天路 段路基掏空 道路封閉	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：ETtoday 新聞雲 https://www.ettoday.net/news/20180929/1269316.htm					
11	2018/9/29	潭美颱風掀浪 花蓮台 11 線豐濱段路基 掏空	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/ahel/201809290031.aspx					
12	2018/9/30	搶修 8 小時 花蓮豐濱人定勝天段單線 雙向通行	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：聯合新聞網 https://news.housefun.com.tw/news/article/162895208427.html					
13	2024/10/31	花蓮「人定勝天」現大浪多條道路、涵洞 積淹水封閉	台 11 線 55~63K		浪襲路面	預警性 封路
	來源：聯合新聞網 https://udn.com/news/story/124258/8328403					
14	2024/10/31	台 11 線 55k~63k (豐濱至石梯坪路段) 因 康芮颱風今 (31) 日 10 時起預警性封路	台 11 線 55~63K	強颱 康芮	-	預警性 封路
	來源：交通部公路局網站 https://www.thb.gov.tw/News_Content_Table.aspx?n=7839&s=258769					
15	2024/11/01	康芮颱風長浪影響，台 11 線豐濱鄉多處 路段路肩綠帶流失	台 11 線 43.5~56.7K	強颱 康芮	路基掏空、 路肩流失	單線通車
	來源：交通部公路局網站 https://www.thb.gov.tw/News_Content_Table.aspx?n=7839&s=258769					

1.8.5 花蓮海岸公路浪襲預警系統概述

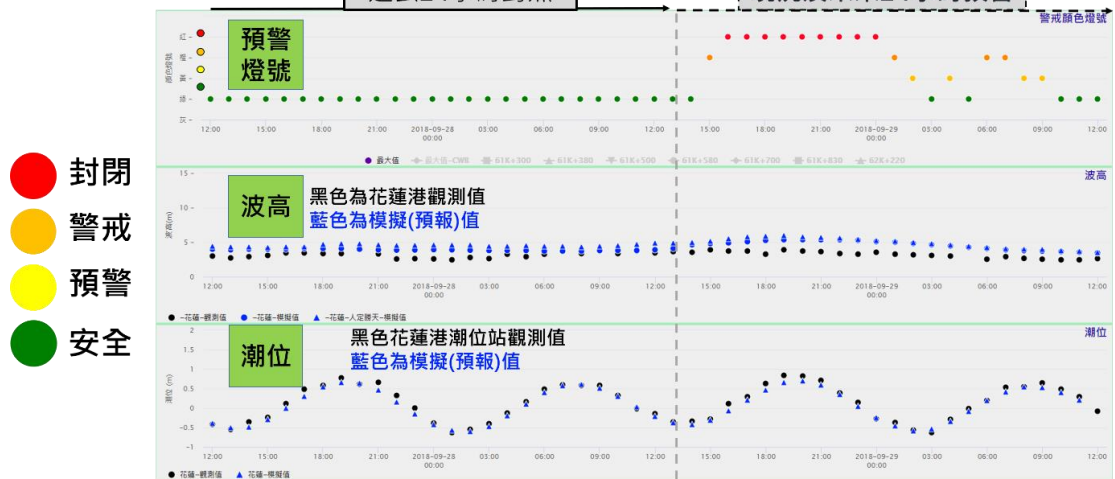
花蓮台 11 線豐濱鄉人定勝天路段 (61k+250~63k+000) ，於颱風影響期間易受長浪侵襲，波浪可能夾帶砂石襲擊路面或護岸，造成民眾通行安全疑慮或路基流失致使通行中斷，如 2015 年蘇迪勒颱風和 2018 年潭美颱風期間出現路基掏空，而 2016 年梅姬颱風期間則有浪襲道路的情況。公路局需於颱風期間派員駐點守視路段狀況，實施預警性或緊急性封路，應變作業採用即時觀測資訊，缺少海象預報資訊，預警及應變較為困難。

本所繼 2017 年建置完成「臺東海岸公路浪襲預警系統」後，於 2020 年與國立中山大學合作，針對花蓮台 11 線海岸公路，運用水動力數值模式模擬颱風波浪溯上情境，並整合臺灣東部海域之海象觀測資料，建置「花蓮海岸公路浪襲預警系統」，提供 24 小時之浪襲預警資訊，作為浪襲封路之決策輔助參據。透過花蓮海域歷年海象條件及颱風事件進行研究分析，發展出可推算颱風波浪在海岸公路溯上之技術，針對人定勝天路段，應用數值模式進行多變數情境分析。根據模擬結果建立颱風波浪溯上資料庫，並依公路局浪襲防災標準，研提參考行動指標（燈號），建立「花蓮海岸公路浪襲預警系統」，預警系統整合本所 (1) 花蓮港波浪、潮位海象觀測資訊，(2) 港灣環境資訊網提供之每日波高、潮位預報資訊，(3) 波浪溯上資訊，透過公路管理單位專屬網頁展示該路段 24 小時預報之警戒燈號，燈號分安全（綠）、預警（黃）、警戒（橙）及封閉（紅）4 種等級，如圖 1.14 所示，讓公路管理單位與第一線人員都可隨時隨地經由電腦或手持裝置進行查詢，即時掌握此具預報性之封路輔助資訊，以預為因應，俾提高颱風期間用路人之安全性，降低行車風險。

107年潭美颱風為例

過去24小時對照

現況及未來24小時預警



資料來源：花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究 (2021)。

圖 1.14 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號

第二章 國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集

2.1 國內相關研究

花蓮港位於臺灣東部，東臨太平洋，由於海底坡度陡峭，消波塊拋置施工不易，故以消波式開孔胸牆防波堤取代傳統防波堤與消波塊。消波式開孔胸牆防波堤除了本身具有消能室，有如同消波塊般削減波能的功能，更因具有堤身可阻擋波浪，兼具了防波堤與消波塊的功能。然而，花蓮港每年平均受 3.1 次有發布警戒之颱風事件的侵襲，颱風暴潮巨浪的作用下，波浪越波容易造成結構損壞。茲蒐集近年來颱風侵臺期間，巨浪越波事件，包含 2016 年 9 月中度颱風梅姬侵臺期間，花蓮外海湧現 10 公尺長浪，巨浪打進花蓮港東堤，如圖 2.1 所示；2018 年 9 月時，強烈颱風山竹行進路徑雖未直接通過臺灣境內，然花蓮港仍一度激起巨浪，淹沒港內約 22.8 公尺高的紅色燈塔，如圖 2.2 所示；2019 年 8 月時，強烈颱風利奇馬行進路徑同樣未直接通過臺灣境內，然花蓮港舊東堤亦有大浪打上岸，浪高超過兩公尺，包括賞鯨船、漁船等都已停駛在港區內避風浪，如圖 2.3 所示；2021 年 7 月烟花颱風造成花蓮港長浪不斷，造成多次越堤，鄰近之七星潭亦出現 6 公尺大浪。邱永芳等人 (2018) 調查結果顯示，越波可能為造成花蓮港東防波堤消波艙側牆發生直線型龜裂現象之主因。為配合行政院頒布「向海致敬」政策，花蓮港務分公司開放花蓮港區內新東防波堤「0K+0」以南區域供民眾垂釣使用，越波事件將恐造成堤上民眾生命隱憂。惟國內現階段尚未有運用影像判釋技術用以監測港區防波堤越波現象之實例，僅有運用無人飛行載具搭配影像分析技術，建立港區設施結構安全監測系統之案例。



資料來源：自由時報

圖 2.1 2016 年梅姬颱風期間花蓮港大浪越堤實況



資料來源：中時新聞網

圖 2.2 2018 年山竹颱風期間花蓮港大浪越堤實況



資料來源：蘋果日報

圖 2.3 2021 年利奇馬颱風期間花蓮港大浪越堤實況

2.2 國外相關研究

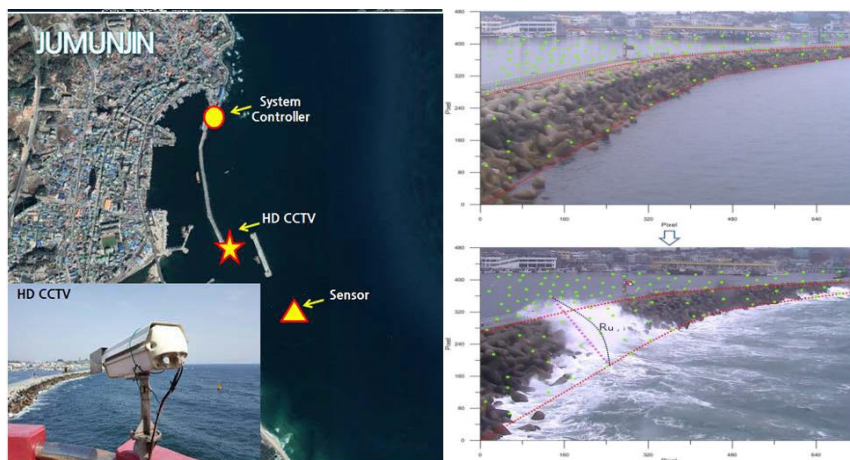
在現地利用影像觀測技術於海堤和防波堤越波的研究方面，透過影像觀測的方式進行越波特性 (e.g., González-Jorge et al., 2016; Lee et al., 2018; Chi et al., 2021) 和其危險程度 (Power et al., 2017) 之評估是兩個相當重要的研究方向。

González-Jorge et al. (2016) 對西班牙阿科魯尼亞省 (Punta Langosteira, A Coruña) 外港的碎石防波堤開發了一套可透過影像判釋越波的技術，利用二值化閾值處理和投影變換的圖像處理方法，可用於評估潮升高並自動檢測越波的發生。Chi et al. (2021) 在 2018 年 7 月中國日照海岸 (Rizhao Coast) 發生風暴期間，以影像觀測的方式監測海堤越波的情況。研究蒐集了每小時前 10 分鐘 (每秒 1 筆) 的海岸影像資料進行分析，並開發判釋越波發生頻率、位置、寬度和持續時間的方法，透過這個方法對一段 360 公尺長的海堤進行監測，從 10 小時的風暴期間檢測出 6,252 個越波事件。

Lee et al. (2018) 的研究利用架設於韓國 Jumunjin 港防波堤上的 CCTV 影像 (如圖 2.4 所示)，結合現地測量的參考高度點與攝影機位置參數，將 CCTV 影像幾何校正為真實世界的座標系統，確保影像中的每個像素能與實際空間位置相對應。為減少環境因素 (如霧、雨、雪等) 對影像質量的干擾，研究採用了多影格取樣技術 (multi-frame sampling)，並通過影像處理技術，排除水滴或其他非水面雜物的影響，提升數據的準確性與穩定性。該研究分析了 2016 年 11 月至 2017 年 5 月期間記錄的 CCTV 影像，基於水面與防波堤交界處因反射光與波浪運動形成的明暗對比，透過像素亮度差異辨識波浪前緣水線的位置，進一步結合波浪越波高度數據與顯著波高，建立入射波浪與越波高度位置的經驗公式，整合至韓國「防波堤災害預警系統 (Breakwater Disaster Warning System)」，提供每日兩次的 72 小時前預測，有效提升災害預警之精確性與時效性。

Power et al. (2017) 指出岩質海岸常因其高曝露度和危險性對遊客構成高風險，然而適用於海灘的傳統沿岸人員安全管理方法並不一定適用於岩質海岸。因此，Power et al. (2017) 提出一種低成本的相機監測系統 (圖 2.5 和圖 2.6) 用於評估澳洲新南威爾斯州的 8 字湖

(Figure Eight Pools) 沿岸，如圖 2.7 所示。此監測系統成功用於分析波浪溢淹平台的距離和頻率，並且根據分析的成果發現，波高是造成此處發生溢淹的主因，而波浪的週期也有一定程度的影響。除此之外，遙測的相機影像資料被用來開發一個初步的越波危險評級系統（圖 2.8），並且從蒐集到的資料顯示，該平台對遊客具有很高的危險性（圖 2.9）。未來將持續發展這個危險評級系統，開發一個基於預報波浪和潮汐資料來評估越波危險等級的預測工具，以改善該地點的遊客安全。



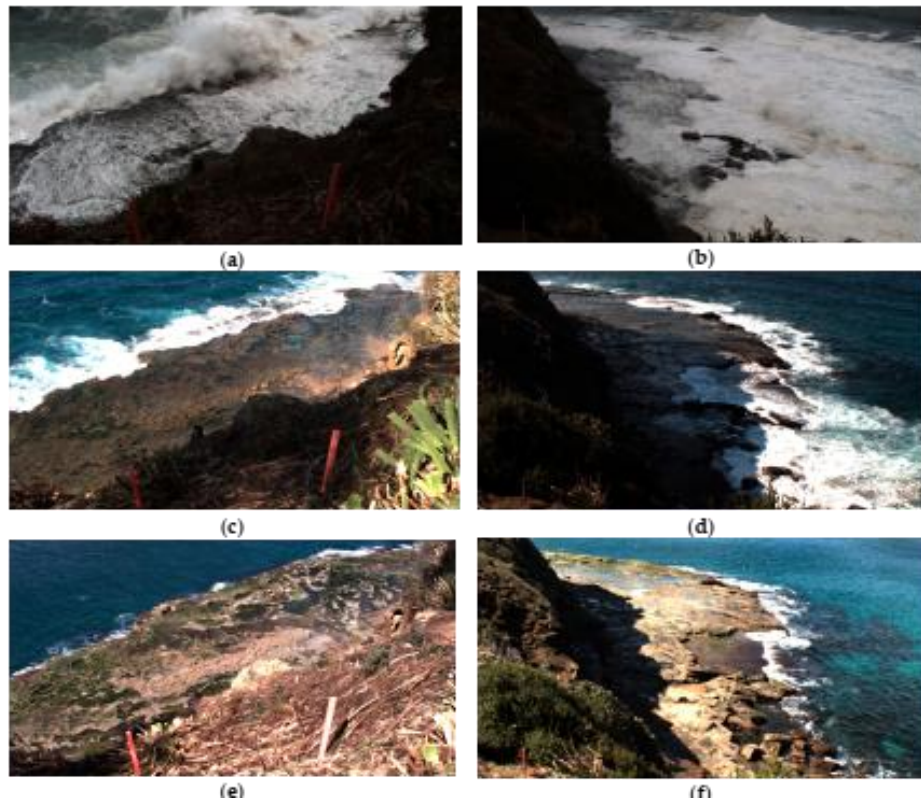
註：（左）攝影機安裝位置；（右上）影像中防波堤與判釋參考線；（右下）越波影像與越波高度判定基準。資料來源：Lee et al. (2018)。

圖 2.4 韓國 Jumunjin 港防波堤 CCTV 架設位置與影像範例



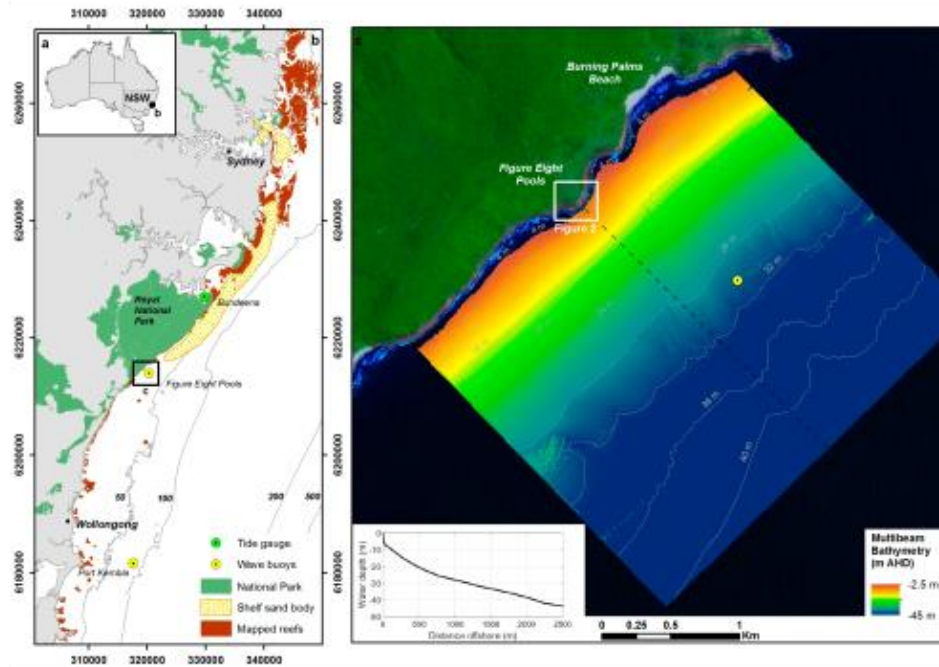
註：（a）太陽能板；（b）凝膠電池、太陽能調節器和電源轉換器；（c）拍攝北向的相機和（d）拍攝南向的相機。資料來源：Power et al. (2017)

圖 2.5 影像監測系統



資料來源：Power et al. (2017)

圖 2.6 在不同波浪條件下拍攝到的影像資料



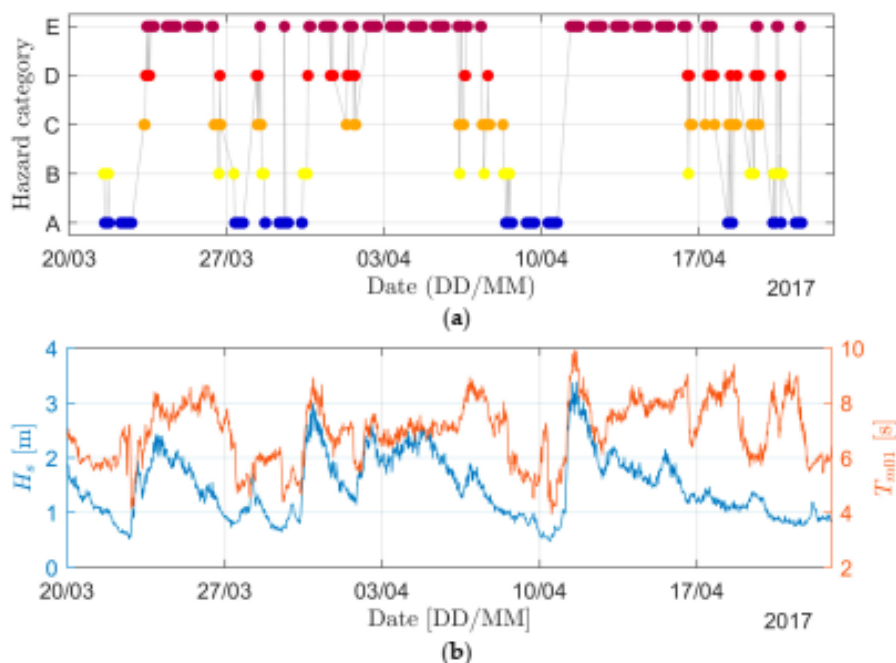
資料來源：Power et al. (2017)

圖 2.7 8 字湖 (Figure Eight Pools) 及其沿岸的水深地形分布

Hazard Category	Hazard Name	Criteria	Hazard Type	Figure 13 Legend
A	Low	XPIF > 0% for $x < 2$ m; & XPIF = 0% for $x \geq 2$ m	Background hazards	
B	Minimal overwash	XPIF > 0% for $x < 10$ m; & XPIF = 0% for $x \geq 10$ m	Some overwash of outer platform, restricted to rampart. Risk to visitors on the outer platform.	 - - - -
C	Moderate overwash	XPIF > 0% for $x < 10$ m; & $0 < \text{XPIF} < 33\%$ for $x = 10\text{--}18$ m; & XPIF = 0% for $x \geq 18$ m	Overwash reaches Figure Eight Pool. High risk to visitors on the outer platform. Moderate risk to visitors near the Figure Eight Pool, particularly if they are not paying attention to the ocean.	 _____
D	Major overwash	XPIF > 0% for $x < 10$ m; & $0 < \text{XPIF} < 33\%$ for $x = 10\text{--}18$ m; & $0 < \text{XPIF} < 33\%$ for $x = 18\text{--}30$ m; & XPIF = 0% for $x \geq 30$ m	Overwash extending past Figure Eight Pool. Very high risk to visitors on the outer platform and near the Figure Eight Pool who may suffer severe injuries from being washed across the platform.	 - - - -
E	Extreme overwash	XPIF > 0% for $x < 10$ m; & XPIF > 33% for $x = 10\text{--}30$ m; & XPIF > 0% for $x \geq 30$ m	Overwash extending over the entire platform. Extreme risk to visitors anywhere on the platform. Very high risk of severe injuries from being washed across the platform and potentially washed out to sea.	 _____

資料來源：Power et al. (2017)

圖 2.8 越波評級方式



資料來源：Power et al. (2017)

圖 2.9 觀測資料與越波評級

第三章 港區防波堤越波影像判釋方法建立

本計畫於前期計畫民國 111 至 112 年，已發展影像判釋溯升/越波技術，並完成自動判釋系統，判釋流程可針對海岸公路(人定勝天路段)進行自動化影像判釋分析，如圖 3.1 所示。該作業化程式已於 112 年度架設於運技中心，達到自動回傳現地影像、水線分析與發布越波警戒燈號之效能。本(113)年度將以前期計畫影像判釋技術為基礎，針對「花蓮港東防波堤區域」建立港區越波影像判釋方法，俾利做為港區警戒所用。由前文獻蒐集所述(2.1 節)，該計畫區域目前仍無系統性的定期定點越波觀測資料能夠做為港區警戒與分析系統率定、校驗之參考。因此，透過 113 年度影像判釋技術之建立，可提供影像判釋越波資訊做為參酌，此不僅加值既有影像設備系統，亦能強化港區開放垂釣區域警戒資訊。

參酌前期計畫影像判釋方法，其概念仍是以水線分析為主軸。於前期計畫中，該判釋技術主要用於判釋海與陸地(或消波設施)交界之水線，甚至發生越波時顯著浪花團的水線 (如圖 3.2)，藉由水線位置與劃定影像警戒線區域(如圖 3.3)判斷是否有公路浪襲之情況；本計畫分析對象以越過花蓮港東防波堤區域之越波為主(如圖 2.3)，相較於前期計畫水線判釋技術，越波影像判釋技術著重於瞭解影像內容是否發生越波，而非越波水體前緣的確切位置，以圖 3.4 至圖 3.7 為例，影像判釋技術以「圖 3.4 與圖 3.6 有越波發生，而圖 3.5 與圖 3.7 無越波發生」為主要達成目標。

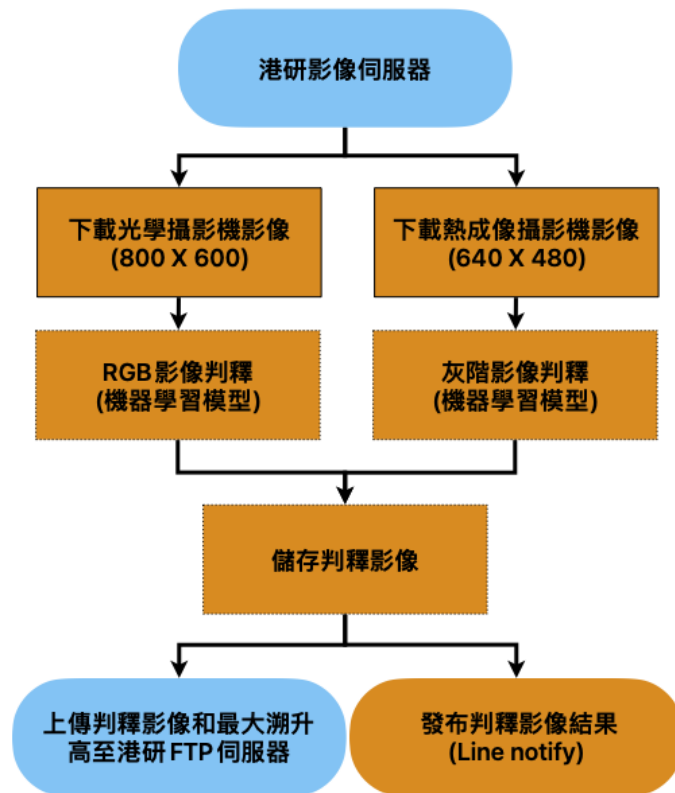


圖 3.1 本計畫影像判釋自動化建置之流程圖



圖 3.2 影像判釋越波成果圖 (光學影像)



光學影像



熱成像

圖 3.3 自動化影像判釋越波警戒線圖



圖 3.4 花蓮港越波範例影像



圖 3.5 花蓮港無越波範例影像



圖 3.6 花蓮港夜間越波範例影像

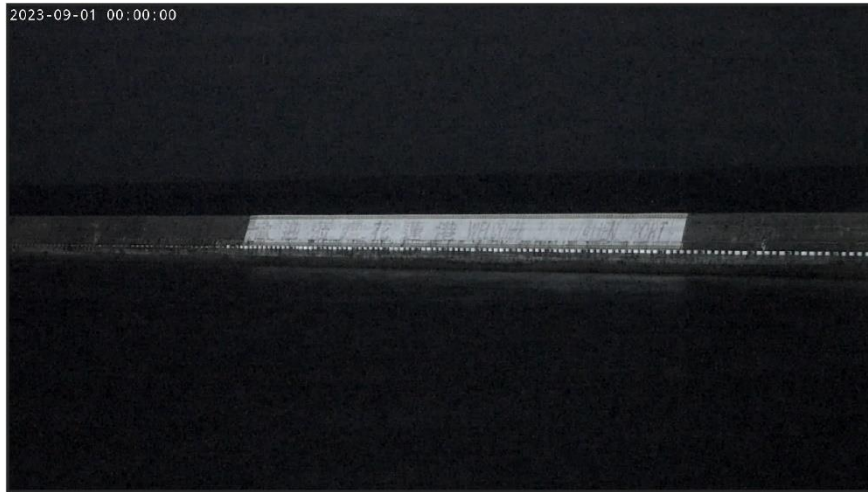


圖 3.7 花蓮港夜間無越波範例影像

3.1 影像資料

本計畫採用之攝影機為 AXIS 生產的 Q1786-LE，架設於花蓮港西防波堤上，24 小時不間斷地監控東防波堤，可提供之影像解析度最高為 2560 x 1440。此攝影機與前期計畫於人定勝天路段使用(Q1952-E)之最大差異在於其配有紅外線照明功能，藉由內建的感測器能夠輔助判斷當下為日間還是夜間，當外部光線不足時，會自動開啟紅外線照明模式，雖然色彩資訊不比日間影像豐富，但此功能增加夜間影像的可讀性，是否有越波發生可被人眼明顯識別，如圖 3.6 所示，同時提供了影像判釋的可行性。

為了能夠有效建立越波影像判釋技術，需要收集多張影像建立影像資料集，以便提供程式架構規劃及參數設定之依據。參考氣象署花蓮浮標觀測歷史資料，其位置位於花蓮七星潭外海約 0.3 公里處，記錄顯示花蓮浮標於 2023 年收錄之最大示性波高發生於 9 月 3 日 13 時，數值為 5.68 公尺，正值海葵颱風海上颱風警報發布時期(9 月 1 日 20 時 30 分至 9 月 5 日 8 時 30 分)，影像資料集的建立便以此為依據，時間範圍為 9 月 1 日至 9 月 5 日共計 60 個小時，並以 1 秒鐘為間隔實際擷取包含日間影像及夜間影像約 36 萬張(因歷史影片在紀錄時有發生中斷的情況，故實際獲取影像比預期數量還少)。

3.2 影像分類

因花蓮港攝影機拍攝之影像特徵於日間及夜間有所不同，越波影像判釋技術將採取對應的處理方式，故需要將輸入之當前影像分類為日間影像或是夜間影像；有些影像因風雨過大造成影像畫面過於模糊，這部分的影像較難獲取有效的影像資訊，再進入正式的判釋流程前將予以剔除，分類過程如圖 3.8 所示。

為了方便取得影像參數及設定判斷式將影像進行分類，根據影像內容劃定天空區域及防波堤區域，如圖 3.9 所示。天空區域用於圖 3.8 中的亮度評估，程式將計算此區域的 $L^*a^*b^*$ 色彩空間之 L^* 分量平均值，並定義為天空亮度，此數值值域範圍為 $[0, 100]$ ，由小至大代表亮度由暗至亮，再參考影像資料集中所有影像之天空亮度後，設定日夜間天空亮度分水嶺為 40，若天空亮度大於 40，則影像被歸類為日間影像；反之為夜間影像。而防波堤區域將用於計算影像清晰度，計算方法為取得此區域灰階影像的梯度後取均方根，若日間影像清晰度小於 3 或夜間影像清晰度小於 2.5，則判定此張影像無法有效分析，將不進入後續的影像判釋流程，反之則繼續進行分析。

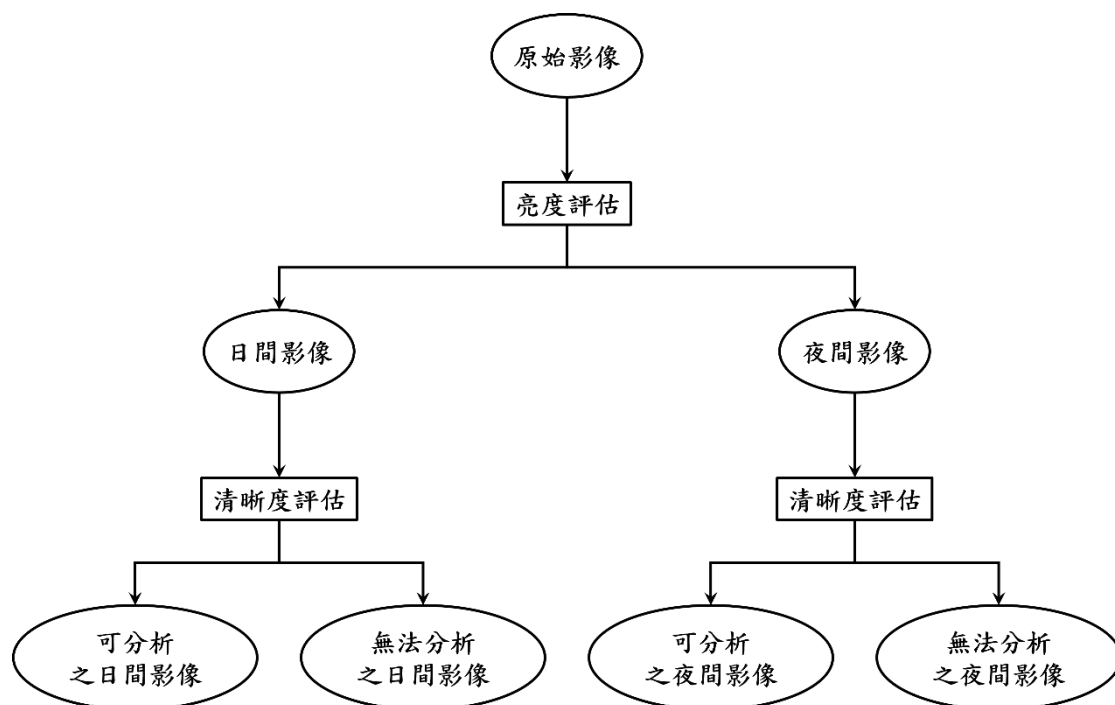


圖 3.8 花蓮港影像分類過程



圖 3.9 花蓮港影像分析區域

3.3 日間影像判釋流程

因日夜間影像特徵的不同，越波影像判釋技術採取不同的處理方式，此節將先討論花蓮港日間影像判釋流程，花蓮港夜間影像判釋流程則待下節討論。日間影像判釋流程主要可以分為六個步驟，分別為濾波器處理、色彩空間轉換、感興趣區域、K-means 分群法、提取背景分群及越波判斷，其中將前三個步驟統稱為預處理，流程圖如圖 3.10 所示。

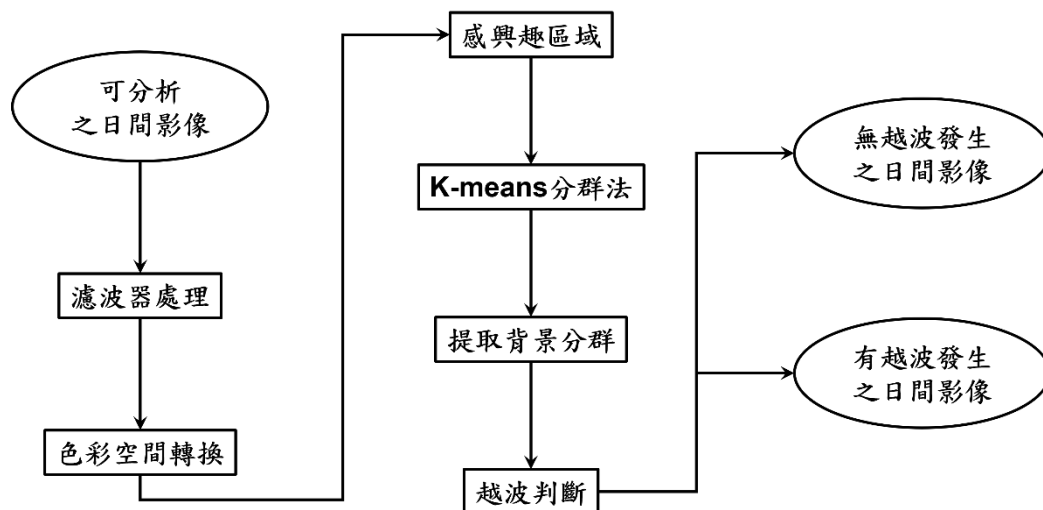


圖 3.10 日間越波影像判釋流程圖

日間影像具備了豐富的色彩資訊，判釋技術利用此特性採用 K-means 分群法，根據輸入的色彩分量及設定的分群數量將影像劃分為數個分群，色彩特性相似的像素點將被歸類為同一分群，這些像素點

可能數量龐大又彼此緊密連接因而形成一個大區塊，亦有可能相鄰數量較少零星散落在影像上。

實際越波事件的水體必定跨越防波堤上緣且水體連續，利用此特性再配合 K-means 分群法的結果，判斷日間影像是否發生越波的策略可採用是否有分群區塊涵蓋在防波堤上緣，造成防波堤上緣缺漏或是中斷。

3.3.1 預處理

判釋流程的第一步先對原始影像使用非等向性擴散濾波器 (anisotropic diffusion filter)，此濾波器由 Perona 與 Malik 於 1990 年提出，能夠有效降低影像中的雜訊，但又不會影響到影像中重要的邊界，如海洋水體與堤防的交界面，此特性有利於 K-means 分群法之結果。

第二步將對經濾波器作用的影像進行色彩空間轉換，不論是否經濾波器作用，影像像素值皆以 sRGB 色彩空間的格式表示，此色彩空間一般俗稱為 RGB 色彩空間，三分量分別為代表紅色分量 (R)、綠色分量 (G) 及藍色分量 (B)，數值區間皆為[0, 255]。對每個像素點進行數學計算可將 sRGB 色彩空間轉換為 $L^*a^*b^*$ 色彩空間，此色彩空間由國際照明委員會 (International Commission on Illumination, CIE) 於 1976 年建立，三分量分別為亮度 (L^*)、紅綠度 (a^*) 及黃藍度 (b^*)，亮度的值域為[0, 100]，數值由大到小代表色彩由亮到暗；紅綠度及黃藍度的值域一般為[-128, 127]，紅綠度由大到小代表色彩由紅色漸至綠色，黃藍度則為黃色漸至藍色，此色彩空間具有感知均勻性 (perceptually uniformity)，意思是若任意兩組於人眼感知上具有相同色差的色彩，於感知均勻色彩空間中將具有相同的直線距離，此特性對 K-means 分群法之結果具有極大的助益。

第三步為了節省程式計算時間，進而加快結果產生，可於影像上劃定感興趣範圍，即為越波實際於影像上發生的位置，如圖 3.9 所示。

3.3.2 K-means 分群法

通過可行性評估的影像將進行影像分割，本計畫採用 K-means 分群法 (Lloyd, 1982) 執行影像分割任務，其為機器學習 (machine learning) 中非監督式學習 (unsupervised learning) 的一種，原理係依據空間中資料間的距離大小，將整個資料集劃分為 K 個分群，根據指定的 K 值，能自動識別資料中隱藏的特徵及相似度，並加以分門別類，達到群集間相似度 (inter-cluster similarity) 低且群集內相似度 (intra-cluster similarity) 高的特性，即群集內資料與其群心的組內平方和 (Within-Cluster Sum of Squares, WCSS) 達到最小。K-means 分群法普遍用於解決分群問題，其理論上有依據、算法簡單明瞭、收斂速度快，且能夠有效處理龐大的資料，在許多領域皆被廣泛的運用。

K-means 分群法能夠根據 K 值的設定與色彩空間的分量，將輸入的影像範圍區分成 K 個分群，此處 K 值設為 12，圖 3.11 與圖 3.12 分別為圖 3.4 與圖 3.5 經 K-means 分群法處理的前後對照，其中，不同顏色代表不同分群。

3.3.3 提取背景分群

在成功將感興趣區域區分為 12 個分群後，利用分群的空間分布特性可將分群結果再簡化為二值影像。程式利用圖 3.9 中的防波堤區域獲取二值影像中的背景分群，若某一分群於防波堤區域中的占比達到整個感興趣區域之 95%，則判定該分群屬於背景，反之為前景，圖 3.4 及圖 3.5 的感興趣區域二值影像結果，如圖 3.13 及圖 3.14 所示。

感興趣區域



分群結果

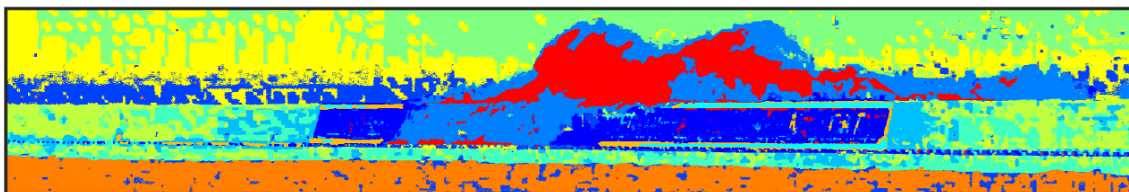


圖 3.11 花蓮港日間越波之分群結果 (感興趣區域)

感興趣區域



分群結果

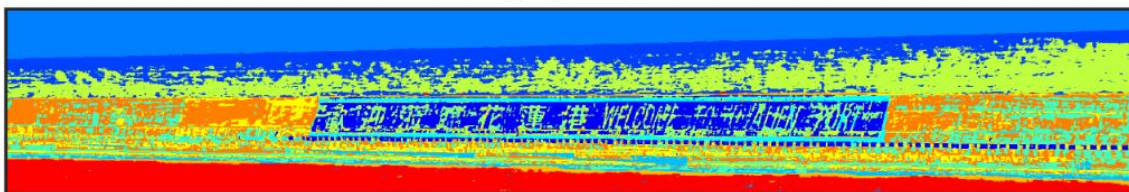


圖 3.12 花蓮港日間無越波之分群結果 (感興趣區域)

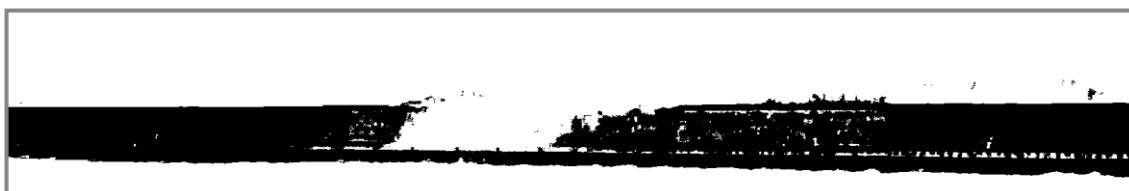


圖 3.13 花蓮港日間越波之二值影像 (感興趣區域)

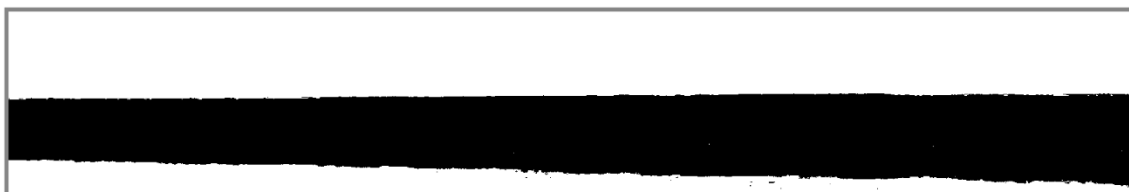


圖 3.14 花蓮港日間無越波之二值影像 (感興趣區域)

3.3.4 越波判斷

為了有效判讀影像是否發生越波，必須設定一條越波判斷線。本計畫選擇防波堤上緣的位置做為越波判斷線，並將其簡化為 $y = 623$ 之水平線（影像座標原點位於左上角）。選擇防波堤上緣作為越波判斷線之主要原因為，影像中，該區域的斜率較平緩且晃動幅度較小，因此可將其視為一條水平線。透過二值化影像處理，可分別歸納出屬於前景或是背景之分群（如圖 3.13 與圖 3.14），而被歸類為前景之分群區塊皆有可能為實際發生越波之水體。當前景分群中的某一區塊跨越越波判斷線，則該影像會被判釋為發生越波；反之，若無區塊跨越越波判斷線，則視為無越波。圖 3.15 與圖 3.16 分別屬於判釋為有越波與無越波之影像，圖中橘線為設定的越波判斷線，紅框則標示出被判定為越波發生之的區塊。



圖 3.15 花蓮港日間越波範例影像之判釋結果

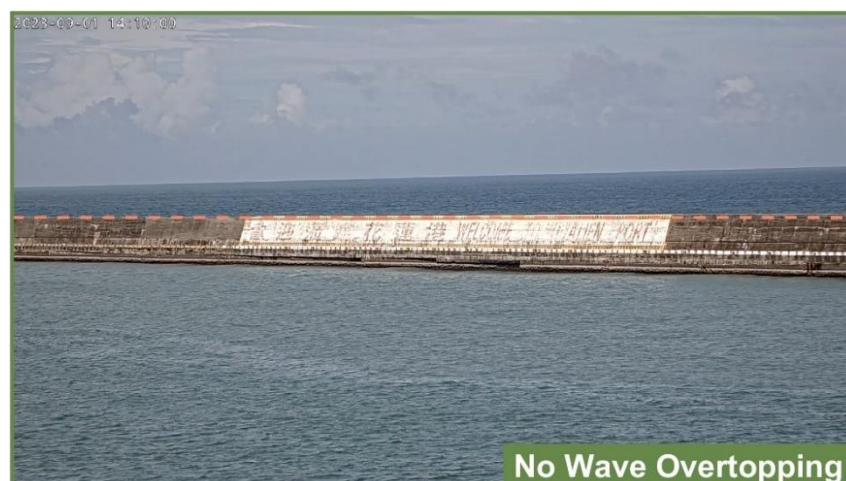


圖 3.16 花蓮港日間無越波範例影像之判釋結果

3.4 夜間影像判釋流程

夜間影像判釋流程主要可以分為四個步驟，分別為感興趣區域、灰階影像、大津二值化法及越波判斷，流程如圖 3.17 所示，其中感興趣區域選取範圍與前節敘述相同，此節不再贅述。

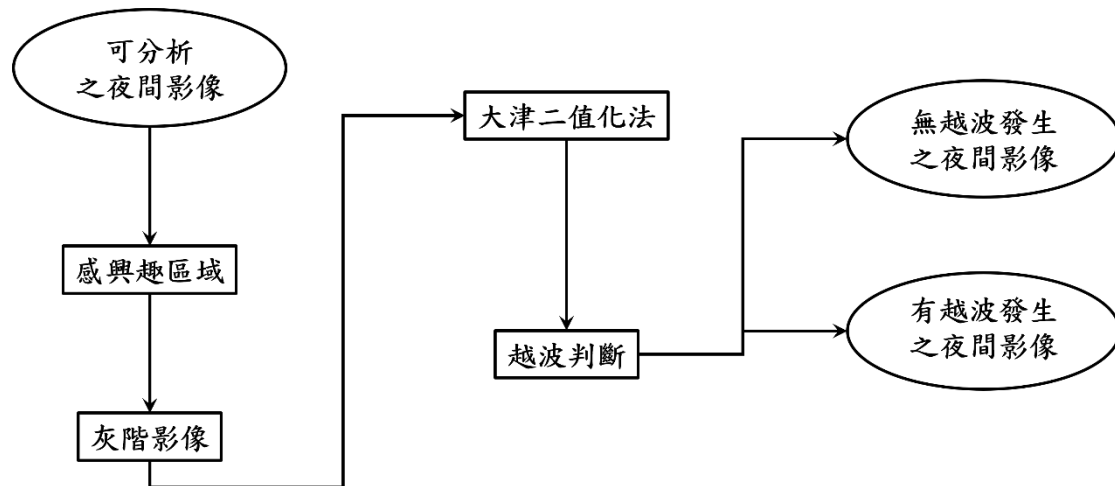


圖 3.17 夜間越波影像判釋流程圖

3.4.1 灰階影像

夜間影像因缺乏充足的自然光，色彩資訊匱乏，所幸攝影設備具備紅外線照明模式，使防波堤、碎波與越波等特徵仍可被輕易識別。在將影像分析縮限至感興趣區域後，為了配合後續的大津二值化法，必須先將影像轉換為灰階影像，圖 3.6 及圖 3.7 感興趣區域之灰階影像，如圖 3.18 及圖 3.19 所示，兩組對比下將發現差異性很低，代表紅外線補光之影像非常近似灰階影像。



圖 3.18 花蓮港夜間越波之灰階影像 (感興趣區域)



圖 3.19 花蓮港夜間無越波之灰階影像 (感興趣區域)

3.4.2 大津二值化法

大津二值化法 (Otsu's Method) 是一種將灰階影像二值化的技術，由日本學者大津展之 (Nobuyuki Otsu) 在 1979 年提出。這個方法透過分析灰度圖像的直方圖，尋找出最佳的灰階閾值，將影像中的像素分為前景和背景兩類。大津二值化法廣泛應用於影像處理領域，尤其是在文檔掃描、物體識別以及模式識別等需要將灰階影像轉換為二值影像的場合中，因其運算簡單而受到青睞。

因夜間影像相似於灰階影像，且當越波發生時，影像內容將呈現出大量高強度的像素值，如圖 3.6 所示，故夜間影像的主要分析方法便採用大津二值化法，二值化結果如圖 3.20 及圖 3.21 所示。為了降低變因進而增加判釋準確率，程式將設定部分防波堤底部為背景，如圖 3.22 及圖 3.23 所示。



圖 3.20 花蓮港夜間越波之二值影像 (感興趣區域)

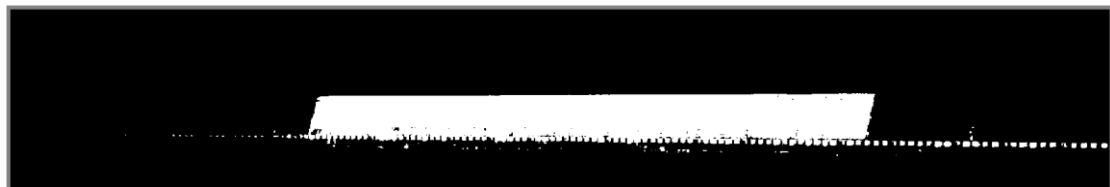


圖 3.21 花蓮港夜間無越波之二值影像 (感興趣區域)



圖 3.22 花蓮港夜間越波之更改後二值影像 (感興趣區域)



圖 3.23 花蓮港夜間無越波之更改後二值影像 (感興趣區域)

3.4.3 越波判斷

夜間影像判定越波是否發生主要採用前景門檻值的方式，在統計影像資料庫中的夜間影像前景占比後，將門檻值設定為 12%，若前景門檻值超過 12%，則判定當前影像發生越波，反之則無越波發生。圖 3.22 及圖 3.23 的前景門檻值分別為 20.72%及 9.42%，故圖 3.6 及圖 3.7 之判釋結果，如圖 3.24 及圖 3.25 所示。



圖 3.24 花蓮港夜間越波範例影像之判釋結果

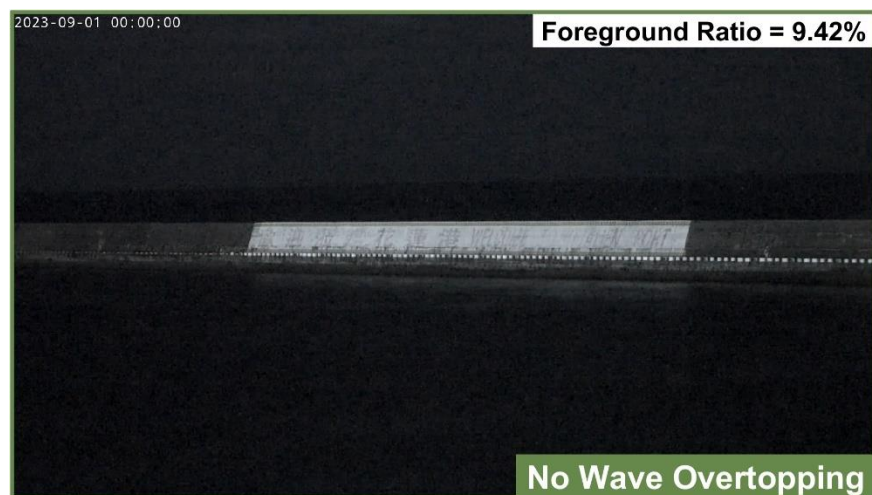


圖 3.25 花蓮港夜間無越波範例影像之判釋結果

3.5 影像正確率

為驗證影像判釋越波之正確性，將以影像判釋結果與人為判釋(假設為真值)結果進行比對，並計算影像判釋正確率。鑑於目前海象預報系統大多以每小時為單位進行預報資料產出，因此，判釋正確率

將用「每小時」為單位，以「越波事件」方式來進行影像判釋驗證比對。即若某一小時內的某一張影像有發生越波，則記錄此小時有越波事件發生，影像判釋結果與真值均以此方式來進行分析比對。於目前比對的事件顯示，真值有發生越波事件的時間集中於9月3日，時間為1時至10時、12時至14時以及16時，其餘時間皆無越波發生。

將影像判釋結果與真值比較後，可得影像判釋正確率為80.83%，大部分的影像判釋結果不錯，但也有些許影像判釋錯誤，表示判釋技術還有進步的空間。日間影像判釋錯誤的主因為影像過於模糊造成分群結果產生錯誤，如圖3.26所示；夜間影像判釋錯誤的主因則為有大於越波門檻值但不是越波之情況發生，如圖3.27所示；其次，不論日間影像或夜間影像，當越波水體體積過少時，越波現象很難被程式判定為越波發生，如圖3.28及圖3.29所示；當越波水體體積龐大時，則無此問題產生。後續若要完善越波影像判釋技術，這些都是不可忽略的問題。

表3-1為本計畫之海岸公路及防波堤兩區域越波影像判釋方法比較。依據兩判釋區攝影機不同特性，分別使用各自適合的判釋方法來建置相關技術。目前均能達到警戒越波之目的，惟因攝影機拍攝距離限制防波堤越波部分，無法分析量化的越波高度資料，僅能透過影像特性來建立越波警戒之方法。

表 3-1 本計畫海岸公路與防波堤越波影像判釋方法比較

項目	海岸公路	防波堤
判釋日間影像	光學影像	光學影像
判釋夜間影像	熱成像	紅外線照射之近似灰階影像
主要判釋方法	日間：K-mean 分群法 夜間：K-mean 分群法	日間：K-mean 分群法 夜間：大津二值法
判釋影像機制	光學影像與熱成像會同時進行各自的影像可行性評估分析後，並判斷各自影像是否進行越波影像判釋	先區分影像是屬於光學影像或近似灰階影像，再進行影像可行性評估分析後，並判斷該影像是否進行越波影像判釋
判斷越波方法	量化水線高程，藉由該高程與路面高程差值來判斷越波，並以分級方式進行燈號警戒： 1.綠燈：(路面高-潮升高)≥3 m 2.黃燈：(路面高-潮升高)≥2 m 3.橘燈：(路面高-潮升高)≥1 m 4.紅燈：(路面高-潮升高)<1 m	日間：判斷分群中為水的資料是否超過越波警戒線 夜間：透過前景像素門檻來判斷是否越波 ※因攝影機距離限制，無法進行水線量化，僅以「有、無越波」來作為警戒標準

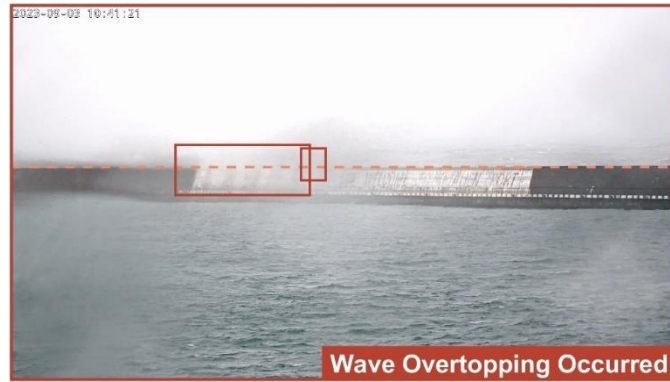


圖 3.26 判釋錯誤之日間影像 (一)



圖 3.27 判釋錯誤之夜間影像 (一)



圖 3.28 判釋錯誤之日間影像 (二)



圖 3.29 判釋錯誤之夜間影像 (二)

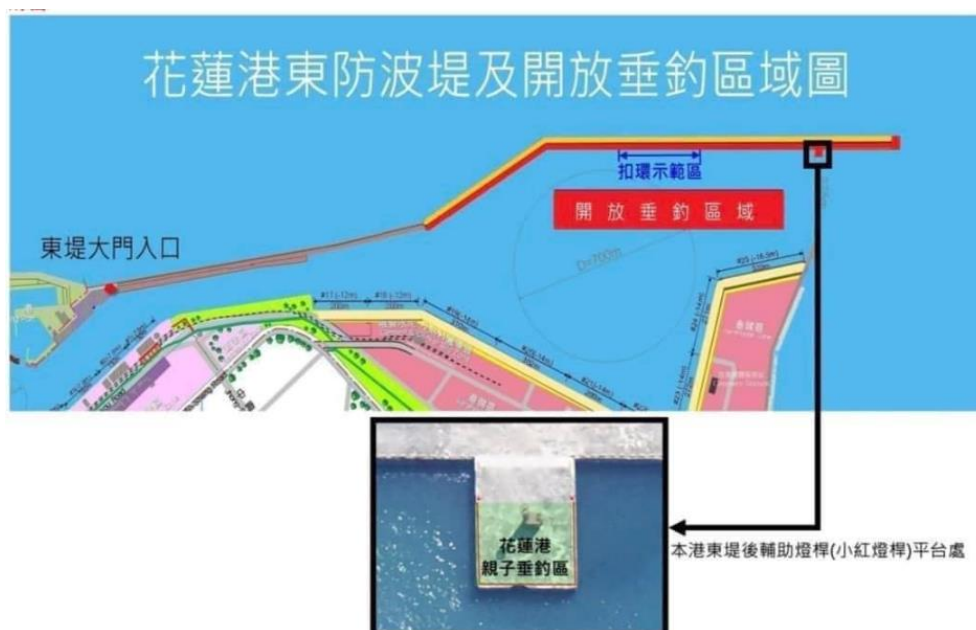
第四章 花蓮港區機器學習越波模型建立

花蓮港位於臺灣東部，面向太平洋。港口呈南北走向，狹長型態。它是一個人工建造的港口，由東、西兩個防波堤相接形成，如圖 4.1 所展示的。在圖中，東防波堤分為舊東防波堤和新東防波堤延伸段（以下稱為新東堤）。新東堤全長 1835 米，堤頭長 30 米，總長達 1865 米。由前述參考文獻（參見 5-1-1 節）可知，花蓮港東防波堤於颱風期間有發生越波事件之可能性。此外，花蓮港開放新東防波堤部分區域為垂釣活動範圍，如圖 4.2 所示。開放條件規定，在花蓮港附近漁業氣象平均風力達到六級（含）或以上，最大陣風達九級（含）以上，浪高超過 2 公尺，或遇颱風外環流影響、發布海上颱風警報且花蓮列在警戒區內、暴雨、暴潮等天氣不佳的情況下，則取消開放釣魚區。因此，本工作項目將以新東防波堤為對象，發展港區機器學習越波模型，俾利未來可介接海象預報資料，達至越波警戒之成效。

以前期計畫中海岸公路越波模型建置流程為基礎，進行港區越波機器學習模型之建立。此發展工作可分為兩階段進行，第一階段（本年度）透過數值模擬（二維平面數值模式）建立樣本，再納入波高、週期、波向及潮位參數進行機器學習模型建立，再搭配目前 TaiCOMS 2.0 預報資料即可分析該模型溯升/越波預報成果；第二階段（114 年度）待影像分析越波資料量足夠後，可將其作為觀測資料，並納入 TaiCOMS 2.0 預報資料至機器學習模型，進行模型修正，以使溯升/越波預報資料可更為在地化。本(113)年度先以第一階段「發展港區機器學習越波模型」為主。



圖 4.1 花蓮港外廓防波堤示意圖 (影像擷取自 Google 地球)



資料來源：花蓮港東防波堤釣魚活動安全須知

圖 4.2 花蓮港東防波堤及開放垂釣區域圖

近年來，國外已逐漸運用機器學習來強化越波預報技術 (Scott et al., 2020)，表 4-1 研究指出透過機器學習的方式將試驗資料或現地資料進行分析，可獲取比一般經驗公式更佳的預測結果。然而，需要注意的是其適用性受限於原始資料的變化範圍 (da Silva et al., 2020)。而本研究所使用之模型主要是透過機器學習方式連結外海波高、潮位、週期、波向、及越波關係，發展由外海海象資料推估防波堤越波情況之技術，俾供港區越波警戒之依據，其中各步驟與關鍵技術建立過程分述如下：

- (一)首先，透過數值模式進行颱風事件追算，以建立各颱風事件外海波高與水位分布資料。本計畫研究團隊採用開源模式 SCHISM [Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model, (Zhang et al. 2016)] 作為數值模擬工具。該模式為波-流耦合模式，結合 WWM-III [Wind Wave Model III, Roland et al. (2012)] 可模擬颱風風浪情況。另運用混合風場技術，強化颱風波高和暴潮偏差追算之可靠性(Hsiao et al., 2020[a]；Hsiao et al., 2020[b])。
- (二)次之，導入上述颱風波浪追算成果，進行該研究範圍越波追算。透過數值模式 FUNWAVE [Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model] (Kirby et al., 1998) 進行港區周圍波場與越波模擬，透過相對應海象追算資料之港區越波模擬，得以建立港區越波資料。此外，需建立越波訓練樣本資料，其來源可分為「外海」與「港區海域」兩類，外海主要為各颱風事件之波高、波向、週期與水位資料；港區海域則為相對應之港區越波推估資料。
- (三)最後，透過機器學習方式建構外海海象資料與港區越波之連結性，後續則可透過海象資料(預報值)預測越波情況，以此作為越波警戒依據。依據過往文獻研究內容與過去研究經驗，採用高斯過程 (Gaussian Process, GP) 方式進行機器學習。

表 4-1 以機器學習進行溯升/越波預測之相關研究

參考文獻	機器學習	資料來源	輸入資料
Bakhtyar et al. (2008)	適應性類神經模糊推論系統 (ANFIS)	波浪：規則波和不規則波 結構物：平滑不透水斜坡 198 筆試驗資料	Iribarren 數 坡度
Abolfathi et al. (2016)	M5 model tree	波浪：規則波和不規則波 結構物：平滑透水和不透水斜坡 451 筆試驗資料	碎波相似參數 坡度 透水率 相對波高 (H/h) 波譜參數 波動量通量
Passarella et al. (2018)	遺傳規劃法 (Genetic Programming, GP)	波浪：不規則波 結構物：平滑不透水斜坡 636 筆試驗資料	示性波高 尖峰週期 坡度
Beuzen et al. (2019)	高斯過程 (機率式機器學習的一種)	澳洲東南海岸 8328 筆 (取樣頻率：1 小時)，約一年的現地資料	離岸示性波高 (搭配 SWAN 求得) 坡度 尖峰週期
第六河川分署 (2021)	高斯過程	臺南、高雄浮標資料 臺南、高雄潮位站資料 臺南、高雄溯升計資料 高雄溯升影像資料	示性波高 潮位 波向 尖峰週期
運技中心	高斯過程	人定勝天溯升感測器資料及影像分析資料	示性波高 潮位 波向 尖峰週期

4.1 數值模式與機器學習模型說明

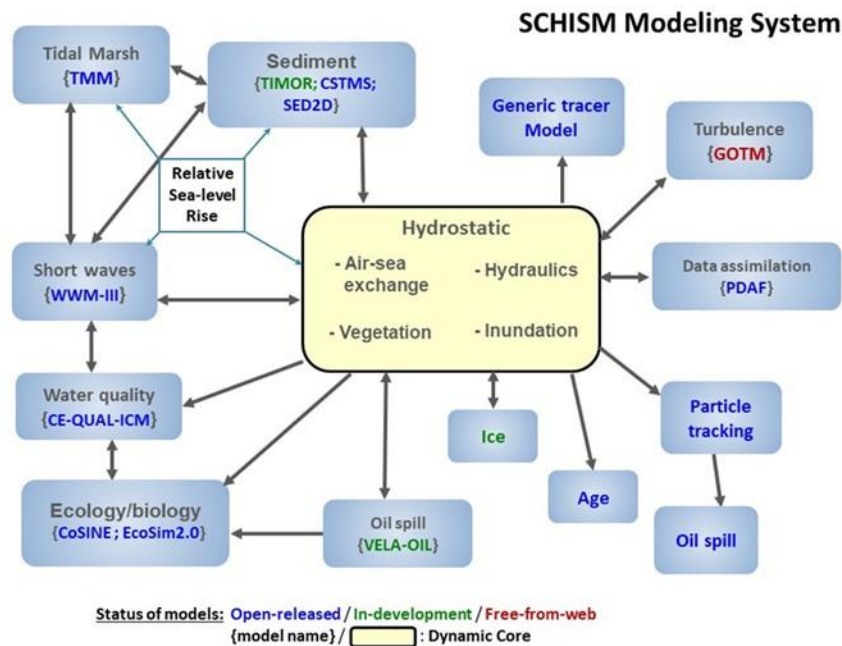
承如前期計畫溯升機器學習模型發展需透過數值模式與機器學習模型來建置，數值模式主要是進行事件追算，藉以創造機器學習模型所需之訓練樣本資料；機器學習模型亦為迴歸模型，主要是連結樣本資料建立其相對關係，即建立外海海象資料與近岸溯升資料關係。

4.1.1 數值模式說明

本計畫採用 SCHISM 與 FUNWAVE 分別進行海象追算與近岸溯升模擬。各模式相關說明如下：

1. SCHISM 模式：

本計畫採用 SCHISM 模式作為海象追算之工具。SCHISM 模式為 SELFE (Semi-implicit Eulerian-Lagrangian Finite Element model, Zhang and Baptista, 2008) 模式之改良進化版，使用半隱式有限元素法，可使用較大時距 (time step) 進行數值計算，不受 Courant–Friedrichs–Lewy 穩定條件限制 (CFL stability constraints)。SELFE 與 SCHISM 因其可擴充性、穩定性與高度運算效能已被廣泛應用於海嘯波傳遞模擬 (Zhang et al., 2011) 及颱風引致之都市與集水區風暴潮溢淹模擬 (Wang et al., 2014; Chen and Liu, 2016) 等。SCHISM 模式為波-流耦合模式，結合 WWM-III (Wind Wave Model III, Roland et al., 2012) 可模擬颱風風浪演變。透過 SCHISM 模式將風速、深度平均流速與水面高程傳遞至風浪模式；而 WWM-III 模式則將輻射應力傳遞二維海岸水動力模式，以達天文潮-暴潮-風浪全耦合計算效果。此外，該模式本身已有介接相當多開放模組，使之能模擬多種物理問題，如圖 4.3 所示，舉凡漂砂、油污、水質、生態、植生、海平面上升、溢淹等問題等能夠計算模擬。



資料來源：Schism官網(<https://ccrm.vims.edu/schismweb/>)

圖 4.3 SCHISM 模式架構圖

於水理方面是採用水深積分之平面二維 SCHISM 模式 (SCHISM-2D) 進行海象模擬。SCHISM-2D 基於靜水壓與布氏假設，求解淺水方程式 (shallow-water equations) 之自由液面高度與二維方向之流速，卡式座標下二維控制方程式如式 4-1 至 4-3 所示：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} = 0 \quad (4-1)$$

$$\frac{Du}{Dt} = fv - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ g(\eta - \alpha \hat{\psi}) + \frac{P_A}{\rho_0} \right\} + \frac{\tau_{sx} + \tau_{rx} - \tau_{bx}}{\rho_0 H} \quad (4-2)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -fu - \frac{\partial}{\partial y} \left\{ g(\eta - \alpha \hat{\psi}) + \frac{P_A}{\rho_0} \right\} + \frac{\tau_{sy} + \tau_{ry} - \tau_{by}}{\rho_0 H} \quad (4-3)$$

其中， $\eta(x, y, z)$ 為自由液面高程； $H = \eta(x, y) + h(x, y)$ 為總水深，即自由液面高程加上地形深度 $h(x, y)$ ； $u(x, y, z, t)$ 與 $v(x, y, z, t)$ 為 x 與 y 方向的水平流速； f 為科氏因子； g 為重力加速度； $\hat{\psi}$ 為地球潮汐潛勢； α 為效率地球彈性因子； ρ_0 為參考水體密度； $P_A(x, y, t)$ 為自由液面之大氣壓力。方程式中，風剪應力於 x 、 y 方向分量 τ_{sx} 、 τ_{sy} 如式 4-4、4-5 所示：

$$\tau_{sx} = \rho_a C_s \sqrt{(W_x + W_y)^2} W_x \quad (4-4)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_s \sqrt{(W_x + W_y)^2} W_y \quad (4-5)$$

其中， W_x 和 W_y 分別為距離自由液面 (free-surface) 10 公尺高處之 x 與 y 方向的風速； ρ_a 為空氣密度； C_s 為風拖曳係數， C_s 的數值隨風速提高而增大，然而，Powell et al. (2003) 建議 C_s 數值需要設定上限。SCHISM-2D 中 C_s 與合成風速 W 的關係，如式 4-6 所示：

$$C_s = 1 \times 10^{-3} \begin{cases} (0.61 + 0.063 \times 6.0), & W < 6.0 \\ (0.61 + 0.063W), & 60 \leq W \leq 50.0 \\ (0.61 + 0.063 \times 50.0), & W > 50.0 \end{cases} \quad (4-6)$$

底部邊界層不易於在一般海洋模式中描述，因此，控制方程式中底床剪應力於 x 、 y 方向分量 τ_{bx} 、 τ_{by} 可以式 4-7、4-8 所示：

$$\tau_{bx} = \rho C_b \sqrt{(u+v)^2} u \quad (4-7)$$

$$\tau_{by} = \rho C_b \sqrt{(u+v)^2} v \quad (4-8)$$

其中， C_b 為底床拖曳係數，於 SCHISM-2D 中，可透過曼寧公式 (Manning's formula) 計算後獲得，如式 4-9 所示：

$$C_b = gn^2 / H^{1/3} \quad (4-9)$$

根據臺灣海底底床地質特性， n 值於模式中設定為 0.025。由方程式 (4-9) 可知， C_b 將隨總深度 H 而變化。 τ_{rx} 與 τ_{ry} 為風浪引起之輻射應力在 x 、 y 方向之分量，採用 Longuet-Higgins and Stewart (1962, 1964) 研究成果所建議之方法，可以式 4-10、4-11 表示：

$$\tau_{rx} = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (4-10)$$

$$\tau_{ry} = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (4-11)$$

S_{xx} 、 S_{xy} 與 S_{yy} 為輻射應力張量之分量，由風浪模式計算而得，依據 Battjes (1974) 所提出之建議，可以式 4-12 至 4-13 表示：

$$S_{xx} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N \sigma \frac{C_g}{C_p} \sin(\theta) d\theta d\sigma \quad (4-12)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N \sigma \left[\frac{C_g}{C_p} (\cos^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \quad (4-13)$$

$$S_{yy} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N \sigma \left[\frac{C_g}{C_p} (\sin^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \quad (4-14)$$

其中， N 為波作用密度 (wave action density)， σ 為風浪之相對角頻率， θ 為波向， C_g 與 C_p 分別表示波之群速度及相速度。

於波浪模式方面，本計畫採用第三代頻譜風浪模式 WWM-III (Wind Wave Model III, Roland et al. 2012) 模擬近岸波場浪變化情況。

過往研究顯示，只要輸入足夠精確的海面風場，而 SCHISM 採用的第三代頻譜風浪模式就具備有預測風浪之能力；而相位平均 (phase-averaged) 的頻譜風浪模式能有效率地應用於實際海況推算 (Komen et al., 1994)。WWM-III 已被使用在臺灣近海的長期浪高推算，並用以分析平均風浪能量最高之海域 (Su et al., 2018；Shih et al., 2018) WWM-III 模式於卡式座標下之控制方程式如式 4-15：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (C_{gx} + u)N}{\partial x} + \frac{\partial (C_{gy} + v)N}{\partial y} + \frac{\partial (C_{\sigma}N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial (C_{\theta}N)}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (4-15)$$

其中， N 為波作用密度頻譜； C_{gx} 與 C_{gy} 為波群速在 x 、 y 方向之分量； u 與 v 為流速在方向之 x 、 y 分量； σ 為波相對角頻率； θ 為波向； C_{σ} 與 C_{θ} 為 σ 、 θ 空間之傳播速度； C_{tot} 為波變異源項之總和。SCHISM-2D 模式將風速、深度平均流速與水面高程傳遞至風浪模式；而 WWM-III 模式則將輻射應力傳遞二維海岸水動力模式，以此方式進行耦合計算(參見圖 4.4)。本計畫設置 WWM 數個主要參數，包含最小波向為 0° ，最大波向為 360° ，分成 36 個 bin；離散波週期之最高和最低頻率限制分別為 0.03 Hz 及 1.0 Hz，同樣分為 36 個 bin；波-波交互作用之非線性項以 Hasselmann et al.(1985)提出之離散交互近似 (DiscreteInteraction Approximation, DIA)處理；淺水區域之碎波計算使用(Battjes and Janssen, 1978) 所提出的方法，碎波係數設為 0.78；計算波譜演化時需要考慮到的底部摩擦的係數和波譜的尖峰係數(peak enhancement factor)參考 JONSWAP(JOint North Sea WAve Project，Hasselmann et al., 1973)分別設為 0.067 和 3.3。

計畫中使用 SCHISM-WWM 耦合模式追算颱風風浪及暴潮，以建立颱風事件期間的波場與水位分布資料。圖 4.5 為追算模擬之計算範圍與水深地形分布，其中水深地形資料來源為 ETOPO1 與國科會臺灣周圍海域 200 公尺數位地形資料。採用非結構三角網格來進行建模，於近岸處採用相對細緻網格，藉以提高海象資料之可靠性。

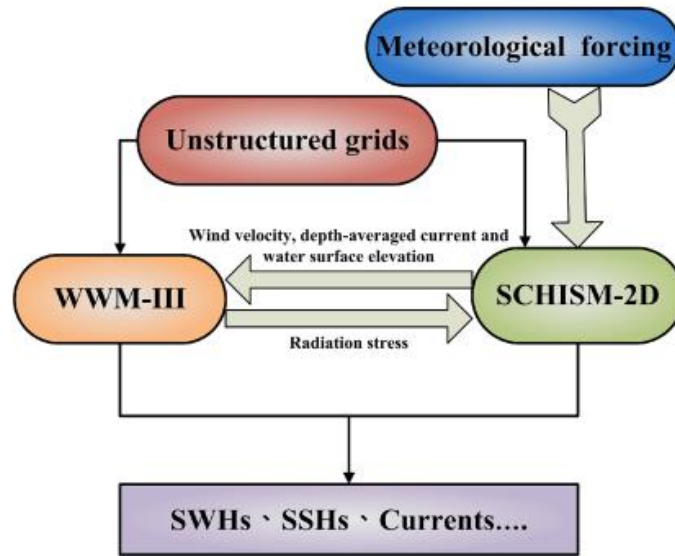


圖 4.4 SCHISM-WWM-III 耦合示意圖 (Chen et al., 2019)

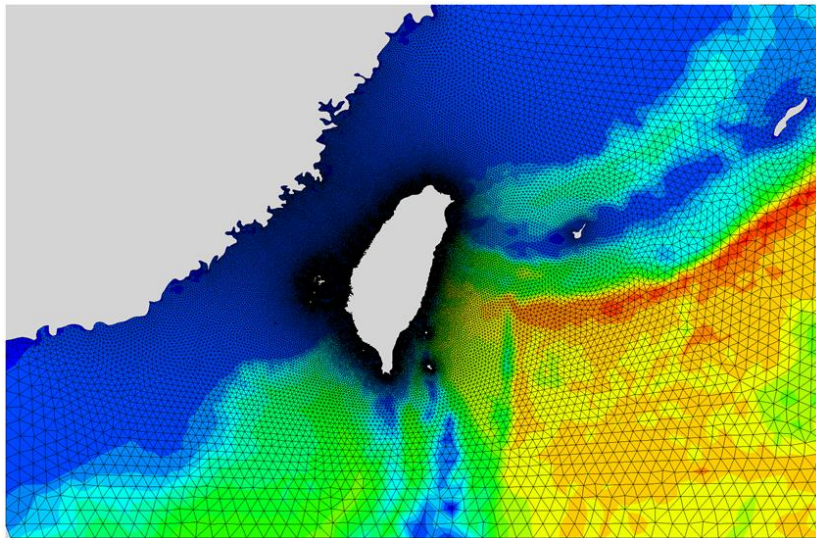


圖 4.5 臺灣周圍水深地形與網格分布

2. FUNWAVE 模式：

本計畫運用相位解析模式(phase-resolving) FUNWAVE 來模擬近岸溯升現象。採用 Shi et al. (2012)發展之完全非線性 Boussinesq 波浪模式(FUNWAVE-TVD)進行近岸溯升模擬分析，模式使用之 Boussinesq 方程為沿著水深積分的平面二維波浪運動方程，並包含摩擦阻力、吸收邊界、乾濕移動邊界等處理，其控制方程式如式 4-16 至式 4-17 (粗體代表向量)：

$$\eta_t + \nabla \cdot \mathbf{M} = 0 \quad (4-16)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_t + \nabla \cdot \left[\frac{\mathbf{M}\mathbf{M}}{H} \right] + gH\nabla\eta \\ = H \{ \bar{\mathbf{u}}_{2,t} + \mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla \bar{\mathbf{u}}_2 + \bar{\mathbf{u}}_2 \cdot \nabla \mathbf{u}_\alpha - \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_3 - \mathbf{R} \} \end{aligned} \quad (4-17)$$

其中， η 為水位高、 h 為靜水深、 $H = h + \eta$ 為總水深、 $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 、 g 為重力加速度、下標 t 為對時間的偏微分、 $M = H\{u_\alpha + \bar{u}_2\}$ 為水平體積通量、 $\mathbf{u}_\alpha$ 為水深 $z_\alpha = -0.531h$ 處之水平速度向量、 $\bar{u}_2$ 為平均水平速度的消散項 ($O(\mu^2)$) 沿著水深的貢獻。式 4-16 和式 4-17 分別為質量和動量守恆方程， $\mathbf{V}_1$ 和 $\mathbf{V}_2$ 為頻散項， $\mathbf{V}_3$ 為垂直渦度的次級效應， $\mathbf{R}$ 為擴散和消散項，包括碎波、底部摩擦以及次網格橫向紊流混合，詳細資訊可參閱 Shi et al. (2016)。

於本計畫中海象追算資料與相對應之近岸溯升資料為重要訓練樣本資料，因此在海象追算能夠可靠模擬的基礎上，如何產製相對應之近岸溯升資料乃為重要課題。本計畫透過 SCHISM 模式與 FUNWAVE 模式銜接來達到溯升資料產製之目的，其中由 SCHISM 模式追算資料中輸出特定點位之海象資料(目前以 TaiCOMS 2.0 於花蓮港外海預報點位為主)，其中包含波高、週期、水位與波向等四參數追算資料。再者，將此資料作為 FUNWAVE 模式之波浪邊界條件與起始水位條件，並採用源項造波(Internal Source)與隨機波方式進行波場模擬。最後，分析波浪傳遞至花蓮港東防波堤時溯升高度，以作為訓練樣本條件。

圖 4.6 為花蓮港地形水深量測點位資料圖，其解析度約為 5m。本年度 4 月 3 日時花蓮地震影響使花蓮港防波結構物高程有所變動，因此於今年(民國 113 年) 5 月時，臺灣港務股份有限公司辦理 113 年花蓮港 0403 震後碼頭海陸域地形測量工作，量測港內、港外周圍與防波堤之水深與結構物高程(量測點如圖 4.6 所示)。本計畫會以此地形資料配合國科會 200m 水深地形資料建立計算所需之數位地形。

為提升計畫區(花蓮港東防波堤)之模擬精度，並兼顧波向與計算效率，本計畫將網格進行角度轉置，使其造波邊界盡量平行東側防波堤。依據往昔研究(Choi et al., 2019, Zheng et al., 2020, Torres et al., 2022)

可知，FUNWAVE 於模擬波浪傳遞時，會有一些限制條件存在，條件說明如下：

- (1) 適用範圍：需確認場址或波浪和水位條件是否在 FUNWAVE-TVD 可解析的波候有效範圍內。波長必須至少為水深的兩倍，或者波數與水深的乘積必須小於 π (Torres et al., 2022)。
- (2) 網格解析度應至少達到最需要解析的波長(可能是波譜的峰值波長或預期產生的最短波長)的 60 個點。
- (3) 空間解析度與水深的比例應大於 1/15，以維持模型穩定性。
- (4) 為減少域內的波反射，邊界吸波層的寬度應至少為峰值波長或預期最長波長的一半

基於上述模式限制，國外研究採用 FUNWAVE 進行港灣海象模擬相關研究中，大多以不同造波條件搭配合適網格範圍來進行模擬，以避免數值不穩定情況發生。以過往研究成果為借鏡，本計畫採用兩種不同網格設置來進行花蓮港越波模擬，其網格解析度均為 5m x 5m (如圖 4.7 與圖 4.8 所示)。此兩組網格主要差異在於造波邊界離岸距離與造波水深有所差異，其主要是配合造波條件來篩選不同方案網格進行模擬。波浪週期 16.1s ~ 18.3s 採用 CaseA 網格來進行模擬；波浪週期 6.0s~16.0s 則採用 CaseB 網格來進行模擬。



圖 4.6 花蓮港水深地形量測點位資料 (民國 113 年 5 月)

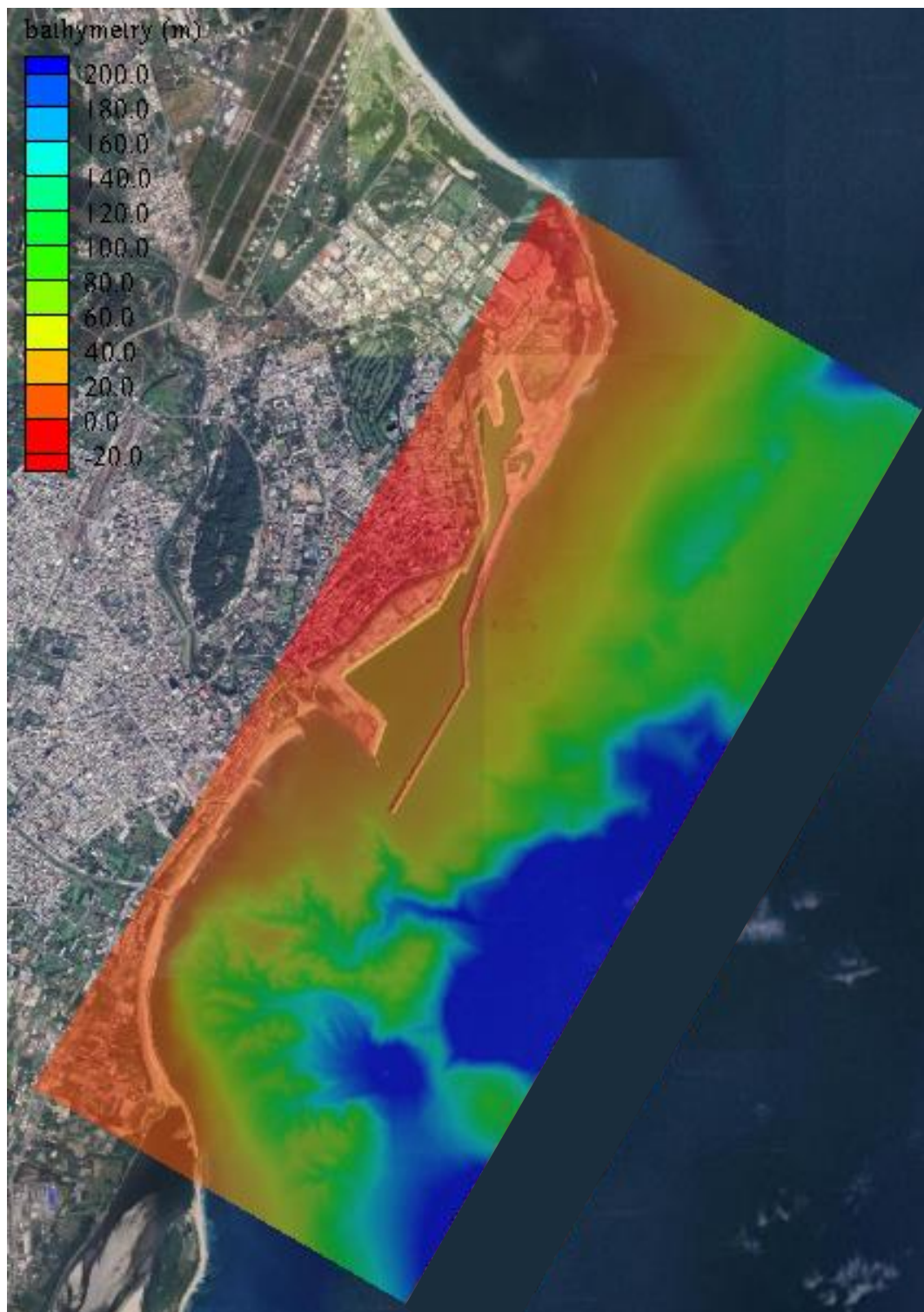


圖 4.7 花蓮港模擬範圍與水深地形分布 (Case A)

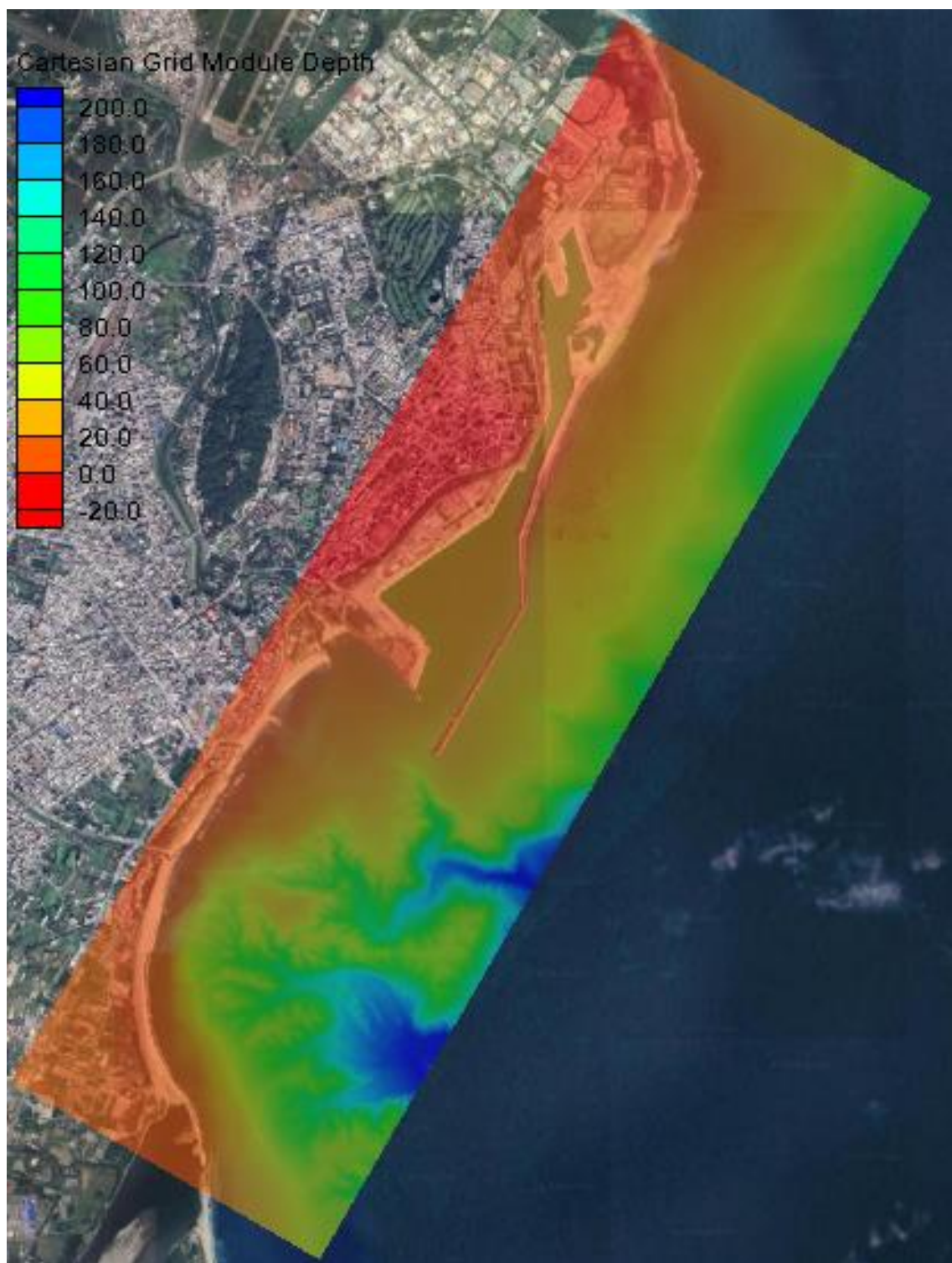


圖 4.8 花蓮港模擬範圍與水深地形分布 (Case B)

4.1.2 機器學習模型說明

而於溯升機器學習模型建立方面，由過往文獻研究內容可知(表 4-1)，高斯過程(GP)能考量資料的不確定性，且已被用於現地資料(Beuzen et al., 2019)，故本計畫採用 GP 進行機器學習，其原理如下所述：

1. 資料分類演算流程

在建構機器學習模型的過程中，如何將資料分為訓練(training)、驗證(validation)和測試(testing)之用是相當重要的一步。目前文獻上有許多不同的分類方式，例如，隨機選擇(random selection)，交叉驗證(cross-validation)和分層限定抽樣(stratified sampling)等(Camus et al., 2011)。

Beuzen et al. (2019)為節省機器學習於訓練階段所需之計算資源，故需盡可能減少訓練採用之資料組數。但另一方面，訓練資料仍須保有整體資料變異性，以確保結果之適用性。因此，Beuzen et al. (2019)採用「最大差異演算法(Maximum Dissimilarity Algorithm, MDA)」將資料分為訓練、驗證和測試之用。

MDA 首先會在資料中挑選出與其餘資料差異性最大的一筆資料作為訓練資料，接著，重複加入與訓練資料差異性最大的一筆資料，直到達到指定的訓練資料筆數上限。透過 MDA 挑選具代表性的訓練資料後，其餘未被選為訓練用之資料則以隨機且平均的方式分為驗證和測試之用。

2. 高斯過程演算流程

資料的迴歸分析可透過兩種方式決定其最佳函數，一種是以方程進行迴歸(例如：多項式)，找出最佳的參數；另一種則是考慮所有能擬合資料的方程，找出方程之間最佳的權重分配，換句話說，擬合度最好的方程具有較大的權重。前一種方式的缺點在於若所選擇之方程無法很好的擬合部分或所有的資料，則會得到較差的預測值。相對的，後一種方式則考慮了所有可能用於擬合的方程，故可得到較好的結果。GP 即為上述之第二種形式，GP 可計算出多個能

符合資料的方程，並提供預測值(多個 GP 分析方程之平均值)和其信賴區間。

GP 定義為隨機變量的集合，其中任何有限集合都具有多元高斯分布(multivariate Gaussian distribution)。對於所有輸入向量 $\tilde{x}$ ，用於描述資料的未知函數 $f(\tilde{x})$ 皆符合多元高斯分布，則稱 f 是一個高斯過程，如式 4-18：

$$f(\tilde{x}) \sim N(\mu(\tilde{x}), k(\tilde{x}, \tilde{x}')) \quad (4-18)$$

其中， $\mu(\tilde{x})$ 為均值函數， $k(\tilde{x})$ 為共變異數函數(covariance function)或稱核函數(kernel function)。

共變異數函數有不同的型態，而較常被使用的為平方指數共變異數函數 (squared exponential covariance function)，如式 4-19：

$$k(x_i, x_j) = \sigma_f^2 \exp \left[-\sum_{d=1}^D \frac{1}{2l_d^2} (x_{d,i} - x_{d,j})^2 \right] \quad (4-19)$$

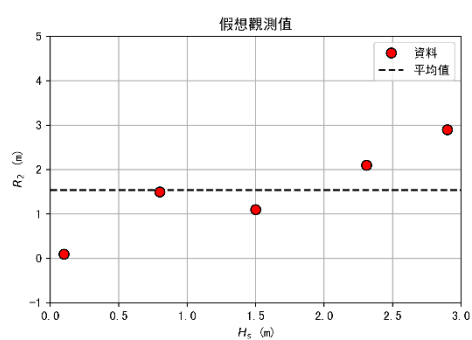
其中， σ_f 和 l 為超參數(hyperparameters)，分別代表變異量和函數變化的範圍。

圖 4.9 為 GP 的計算說明(Beuzen et al., 2019)，假設有 5 組有義波高和最大 2%溯升高的資料(圖 4.9(a))，首先於自變數(輸入變數，即有義波高)變化範圍，以及最大 2%溯升高的平均值建立先驗分布(圖 4.9(b))。從 GP-先驗的結果中可知 GP 模型在未以假想觀測值作為訓練前所建立的預測值有相當多種的可能性，其最大 2%溯升高的 95%信賴區間範圍相當大(-0.3 m 至 3.4 m)，且 GP 的預測模型為最大 2%溯升高的平均值。

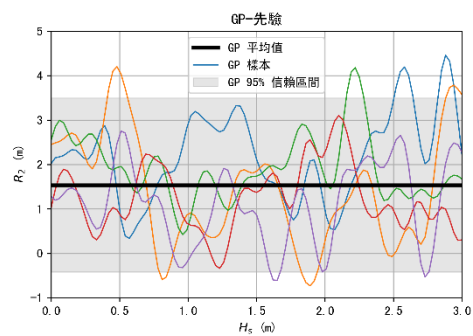
圖 4.9(c)則是將 5 組假想觀測資料帶入後的結果，可發現到訓練後的 GP 模型能很好的擬合假想觀測資料，其信賴區間隨有義波高而有所不同，並且在假想觀測資料處有最窄的 95%信賴區間。然而，由於資料本身可能存有雜訊(noise)，欲考慮此影響，故將式 4-19 加入雜訊加以考量，得式 4-20，結果如圖 4.9(d)所示。

$$k(x_i, x_j) = \sigma_f^2 \exp \left[-\sum_{d=1}^D \frac{1}{2l_d^2} (x_{d,i} - x_{d,j})^2 \right] + \sigma_n^2 \delta_{ij} \quad (4-20)$$

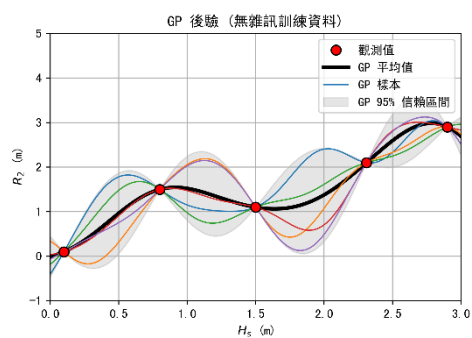
其中， σ_n 和 δ_{ij} 分別為雜訊變異量和 Kronecker delta 函數。



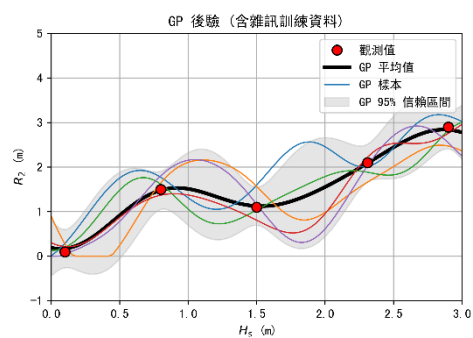
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 4.9 示性波高和最大 2% 溯升高高斯過程的機器學習流程示意圖

4.2 模型建置成果說明

海象追算部分於前期計畫中已經完成，本年度將會持續採用，並新增去年度颱風事件追算資料。海象追算模擬所採用風場為混合風場，採用「再分析風場(ECMWF-ERA5 或 CFSV2)」與「參數風場(Modified Rankine Vortex, MRV)」來進行風場混合，主要將參數風場於靠近颱風中心風場資料與再分析風場資料作為背景風場資料方式來做結合，以提升風場可靠度，進而增加颱風事件追算之準確性(如圖 4-10)。目前追算颱風事件共模擬 33 場颱風(1990 年至 2023 年)，每場颱風至少模擬 252 小時，並以每小時海象資料作為訓練樣本。圖 4.11 為颱風事件追算模擬之海象資料驗證圖，該圖是以 2016 年莫蘭蒂、馬勒卡、梅姬颱風事件為例，其波、潮驗證測站位置如圖 4-12 所示。

於溯升追算模擬部分，目前計算範圍劃定、數位地形製作與網格製作如圖 4.7 與圖 4.8 所示。圖 4.13 為設定情境模擬結果(波高：5m；週期：16.1s；水位：1.2m)，其顯示波浪入花蓮港時，因地形較為陡變，於港口南側有顯著波浪變形現象發生。隨波浪傳遞至港口時，因防波堤影響使波浪於港嘴處產生明顯的繞射現象。而在 A 區域有類似駐波現象發生，此部分需在進行確認是否真有此現象發生，或是模式設定時該處因消波參數需要再調整，使其反射能量降低。於圖 4.13 (3/4) 中 B 區，為目前情境條件中有發生越波的區域，大致集中於東側新防波堤與舊防波堤銜接區域、本計畫攝影機拍攝範圍與堤頭位置。進一步挑選前年度有分析到防波堤越波之案例，來作為模式模擬越波驗證所用。圖 4.14 為 2023 年海葵颱風越波記錄資料，其中包含影像資料與人為判釋越波結果，並將越波事件列表記錄。本計畫透過上述模擬方式，對應該事件每小時海象資料進行越波模擬，並與越波記錄資料進行比對，於該事件 85 筆資料比對中有發生越波事件的誤判率約 14%；無發生越波的誤判率約 8%。

進一步透過上述方法，模擬 33 場颱風事件，並將數值模擬分析之越波結果(0：沒越波，1：越波)作為輸出值，外海虛擬浮標的波高、週期、潮位和波向作為輸入值進行 GP 機器學習模型之建置。首先，透過最大差異演算法(MDA)依輸入值的資料集分布劃分為訓練集、驗

證集和測試集，接著以訓練集(3170 筆資料，如圖 4.15)進行機器學習模型之參數訓練，並透過驗證集(3698 筆資料)調整訓練集的超參數，最後以測試集(3698 筆資料)進行模式成效的確認，成果如圖 4.16 所示。不同資料集的相關係數 r^2 皆高於 0.8 以上，顯示訓練所得之模型具有不錯的適用性。由於用於訓練模型的輸出參數為「有越波=1」和「無越波=0」兩種，故資料庫的真值僅會有 1 或 0 兩種。而機器學習模型的預測值呈現仍呈現 0~1 的浮點數值結果，可以看到預測的結果雖呈現散佈的型態，但仍相當集中於真值附近。

圖 4.17 展示了在發生越波情況(真值為 1)的情況下，預測值與真值之間差異的累積分布。結果顯示，誤差在 0.02 內的情況佔整體的 90%，而誤差在 0.04 以內的情況佔了整體的 95%。因此，可以將這些結果用作預報值警戒的門檻條件。例如，若設定 95% 的信心水準，可以將越波的定義設定為預報值介於 0.96 到 1.04 之間，超出這個範圍的預報值則判定為無越波情況。

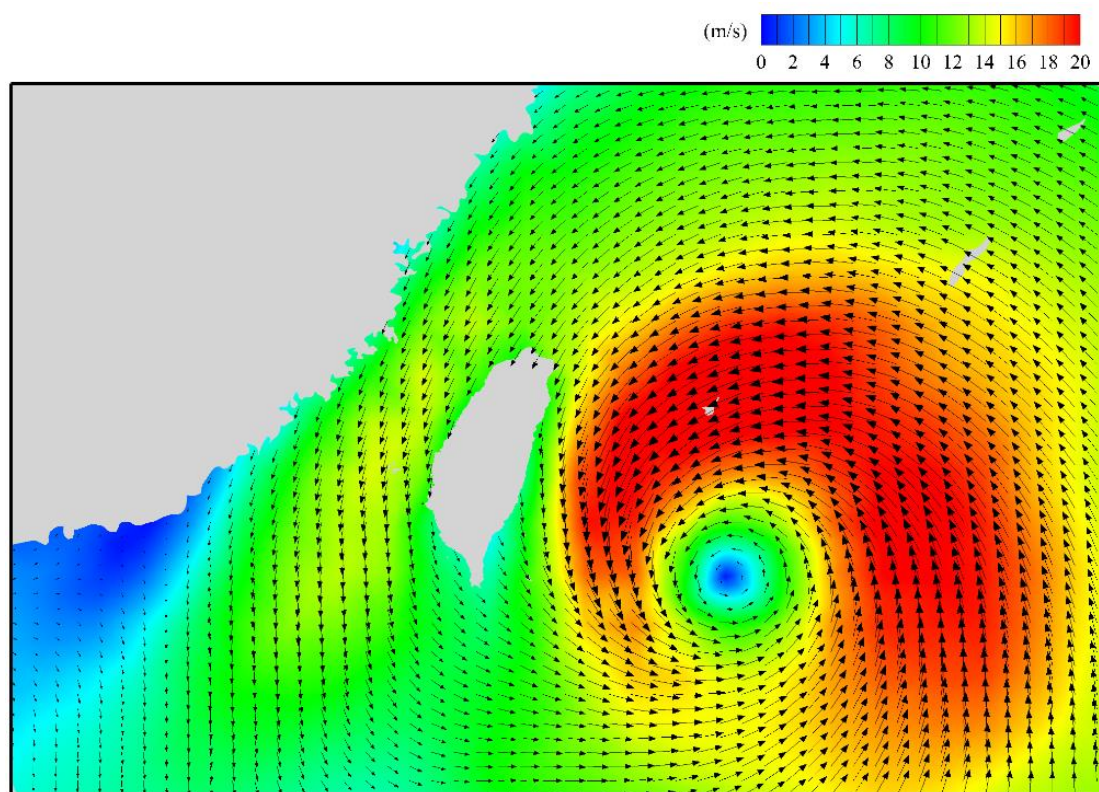


圖 4.10 混合風場圖 (以 2016 年梅姬颱風事件為例)

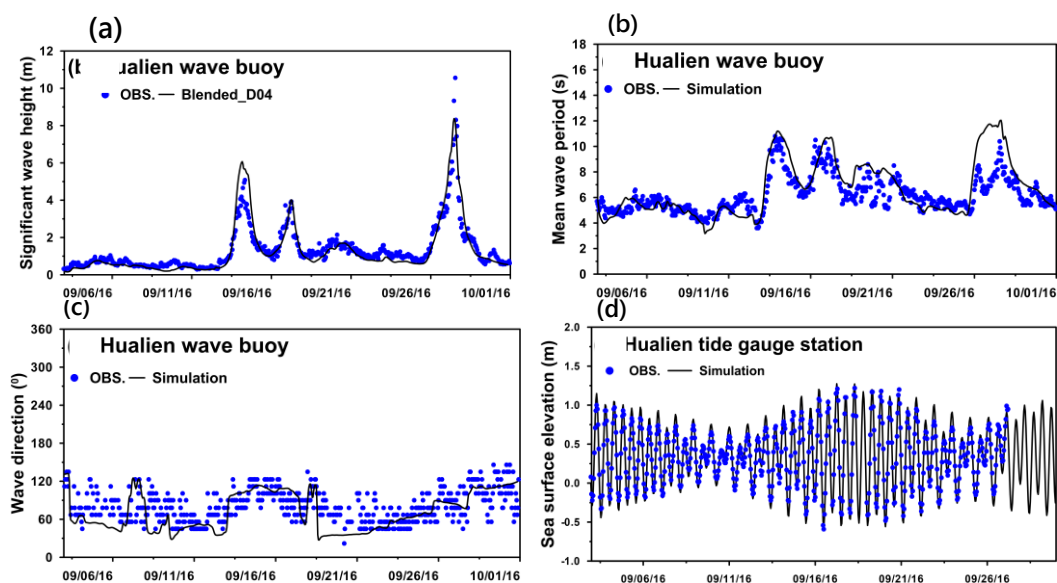


圖 4.11 颱風事件追算模擬與量測資料時序比較
(以 2016 年莫蘭蒂、馬勒卡、梅姬颱風事件為例)

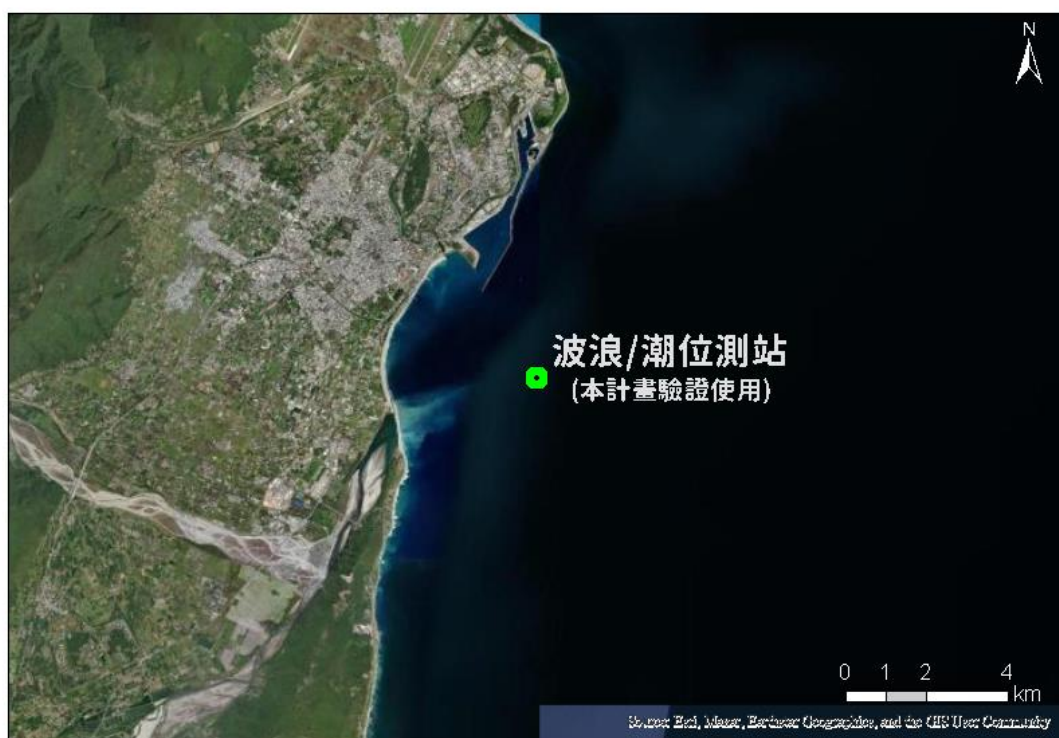


圖 4.12 花蓮港周圍潮位測站與波浪測站位置圖

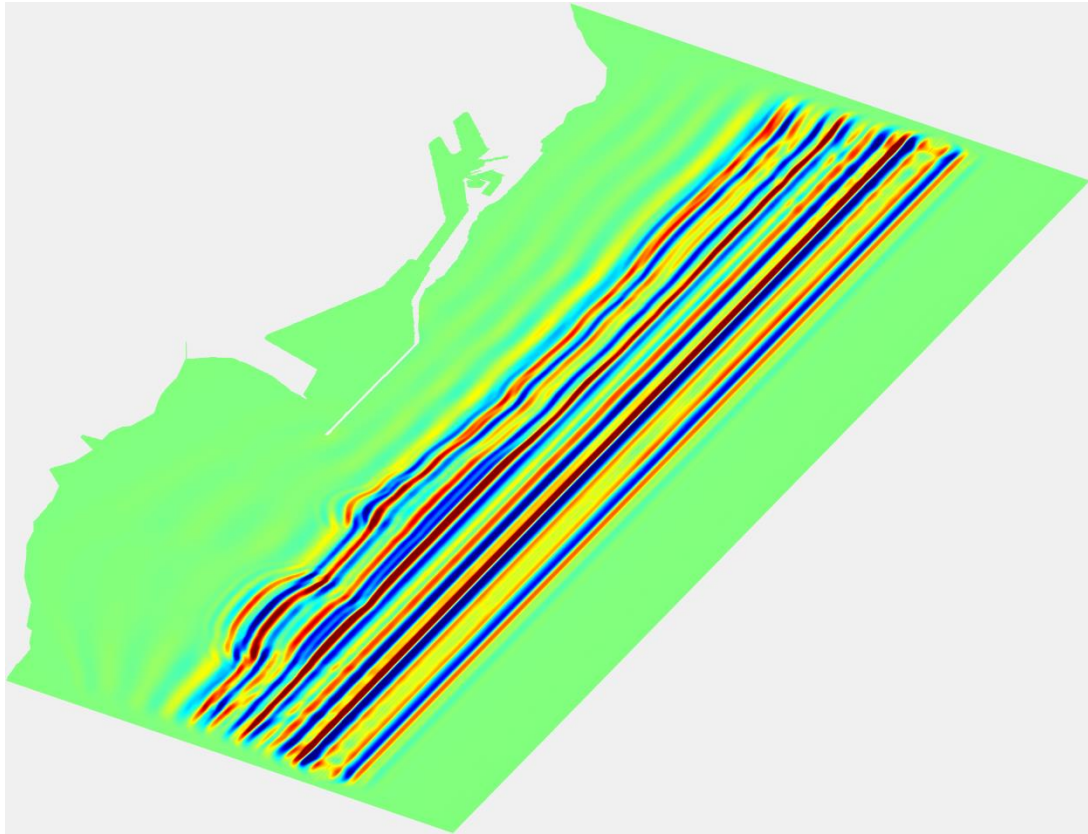


圖 4.13 花蓮港近岸波場模擬結果(1/4)

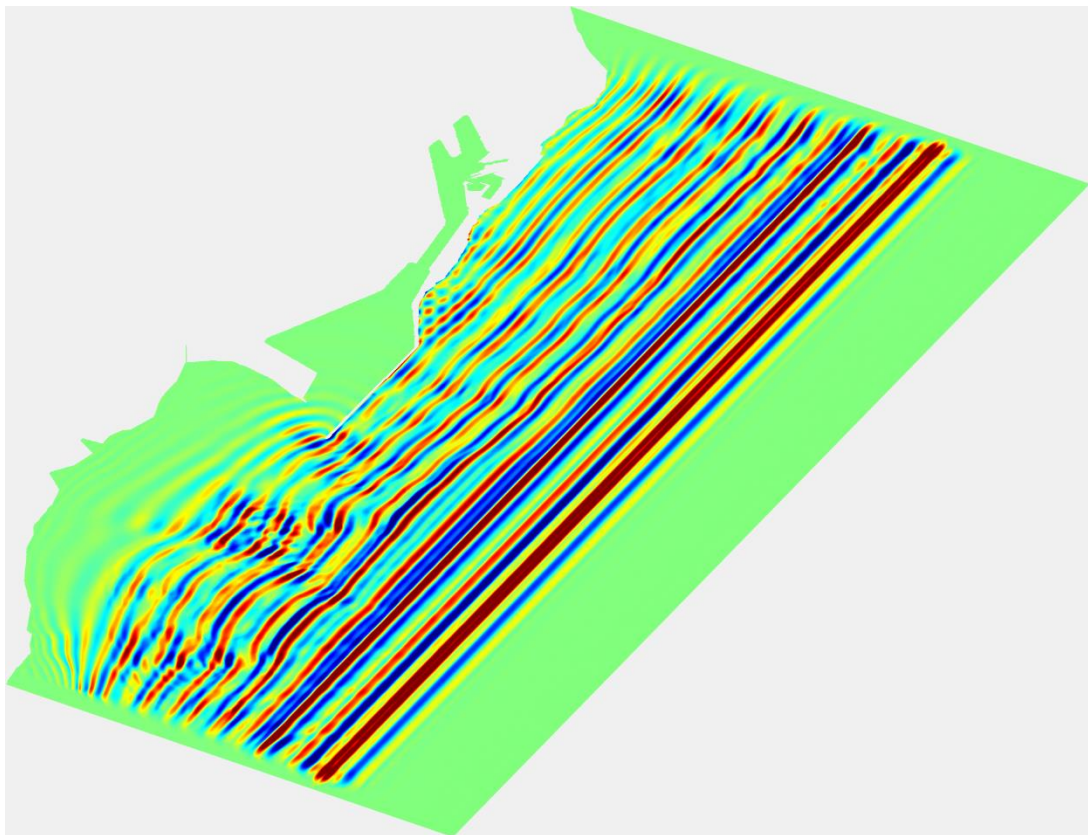


圖 4.13(續) 花蓮港近岸波場模擬結果(2/4)

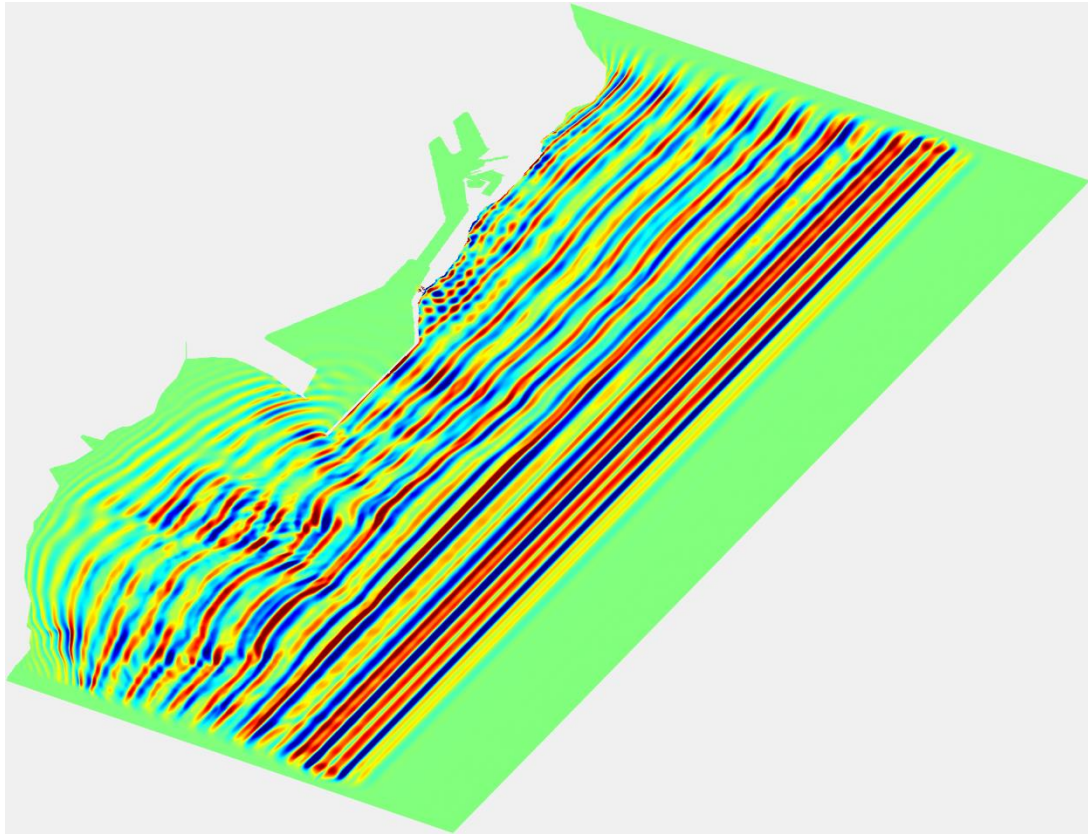


圖 4.13(續) 花蓮港近岸波場模擬結果(3/4)

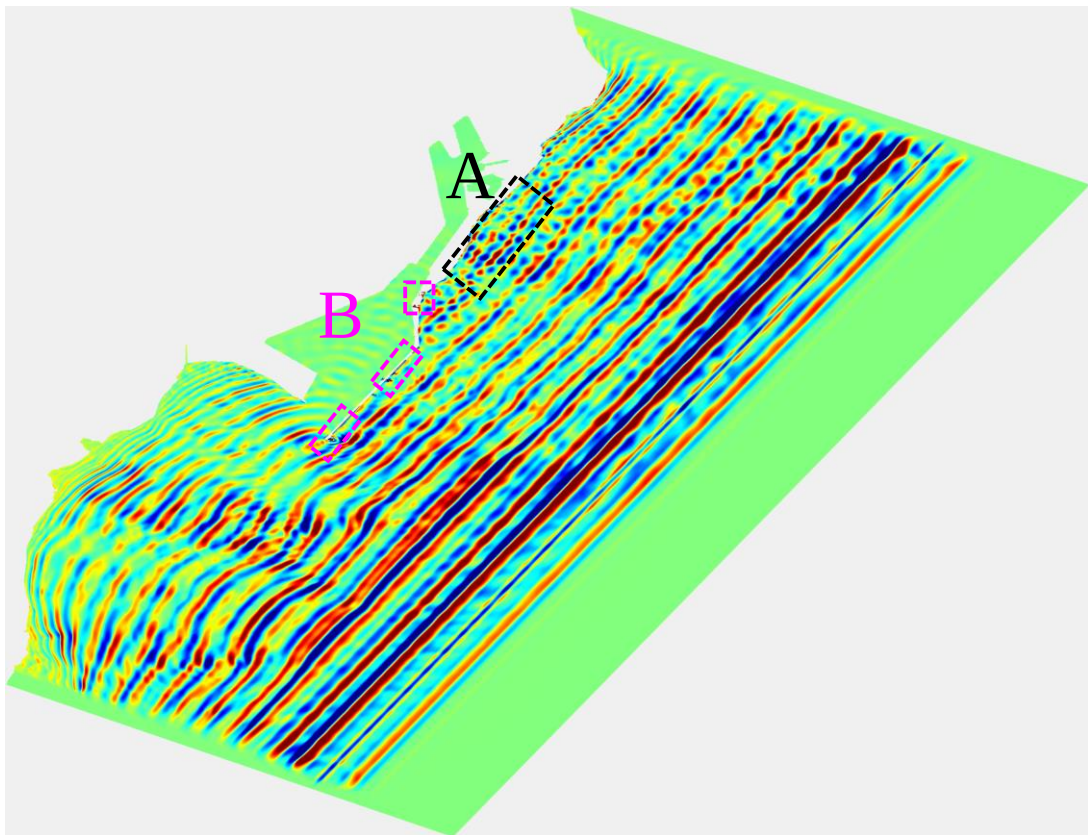


圖 4.13(續) 花蓮港近岸波場模擬結果(4/4)



2023 海葵颱風越波事件

30	2023/09/03/00	0
31	2023/09/03/01	1
32	2023/09/03/02	1
33	2023/09/03/03	1
34	2023/09/03/04	1
35	2023/09/03/05	1
36	2023/09/03/06	1
37	2023/09/03/07	1
38	2023/09/03/08	1
39	2023/09/03/09	1
40	2023/09/03/10	1
41	2023/09/03/11	0
42	2023/09/03/12	1
43	2023/09/03/13	1
44	2023/09/03/14	1
45	2023/09/03/15	0
46	2023/09/03/16	1

人為判釋越波資料
(1 為越波；0 為無越波)

圖 4.14 2023 年海葵颱風事件越波記錄資料

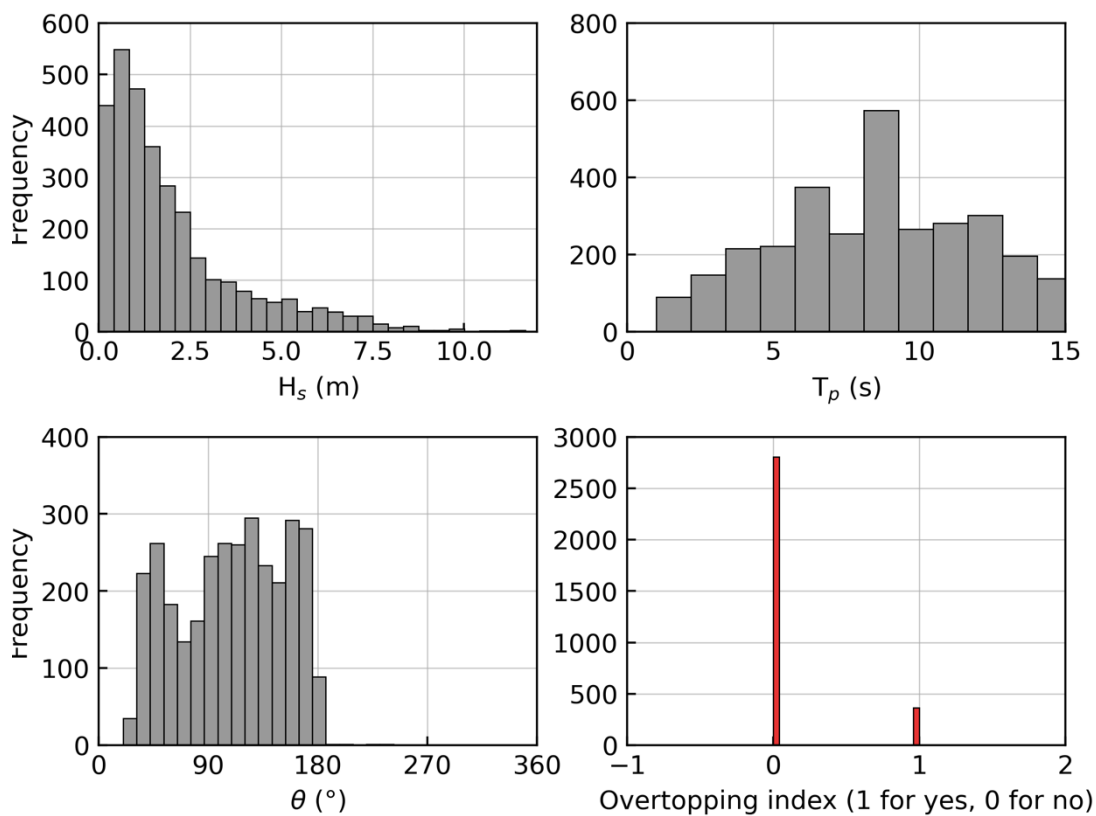


圖 4.15 花蓮港防波堤越波機器學習模型的訓練集樣本分布

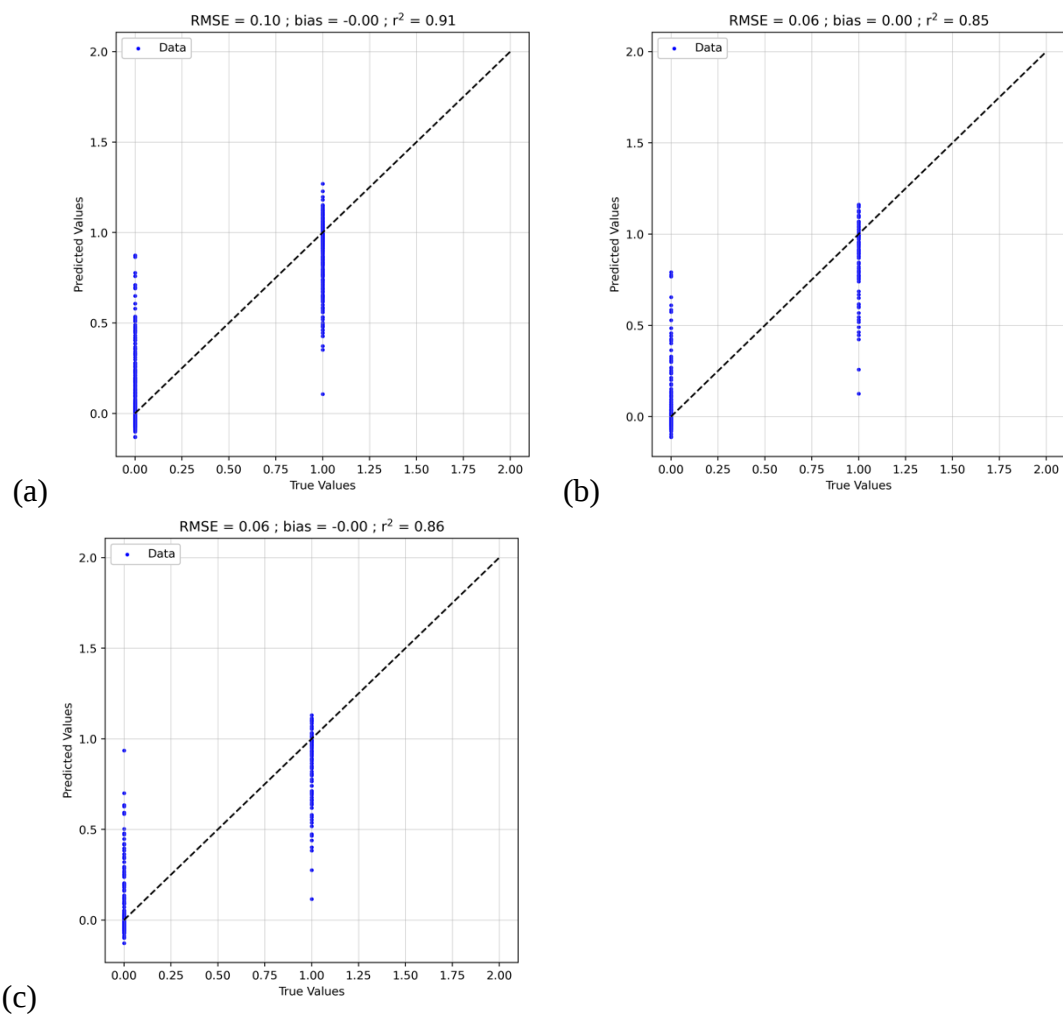


圖 4.16 花蓮港防波堤越波機器學習模型之(a)訓練集、(b)驗證集和(c)測試集

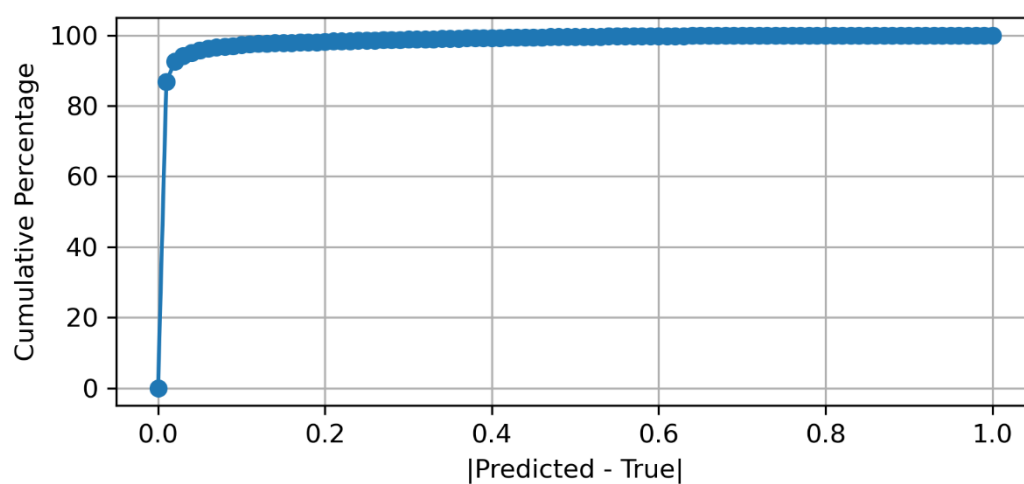
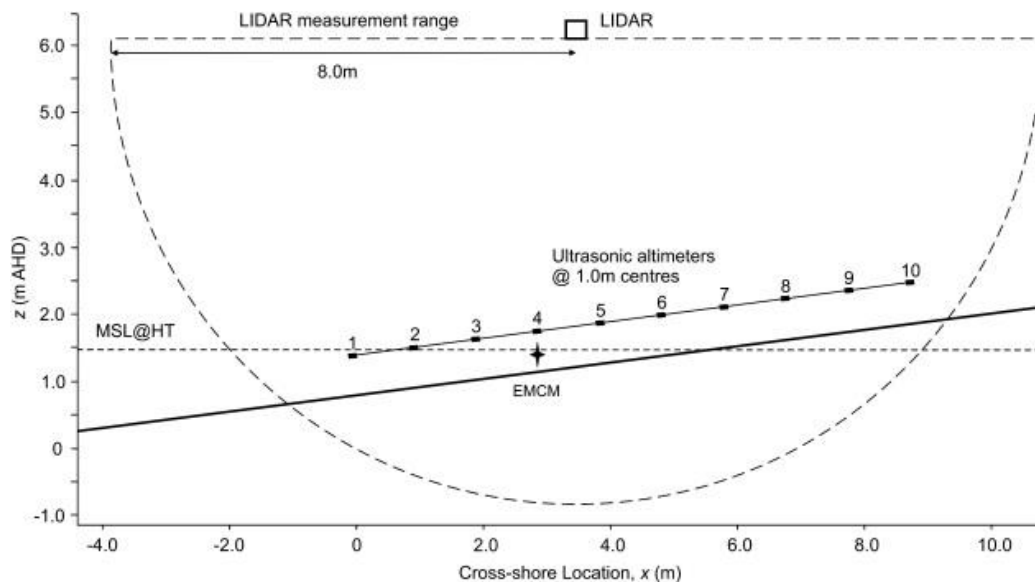


圖 4.17 花蓮港防波堤越波機器學習模型於不同越波誤差值的累積分布

第五章 光達感測溯升技術可行性評估

光達是一種通過發射雷射光束並接收其反射訊號的時間延遲來測量目標距離的技術。雷射光束由儀器內部的旋轉鏡進行偏轉，以 0.25 度至 1 度的角分辨率(依使用儀器有所不同)進行扇形掃描，如圖 5.1 所示。在使用光達進行水面測量時，水面上的氣泡對於雷射光束的傳輸至關重要。這是由於光達依賴雷射光束與物體的相互作用來進行測量，氣泡的存在可以增加雷射光束的散射，有助於光達捕捉返回的信號，從而提升測量的準確性和可靠性。然而，當水面上缺乏氣泡或其他散射體的情況下，水面可能會大幅反射雷射光束，導致雷達接收到的訊號減弱，進而影響檢測結果的品質(Blenkinsopp et al., 2010)。

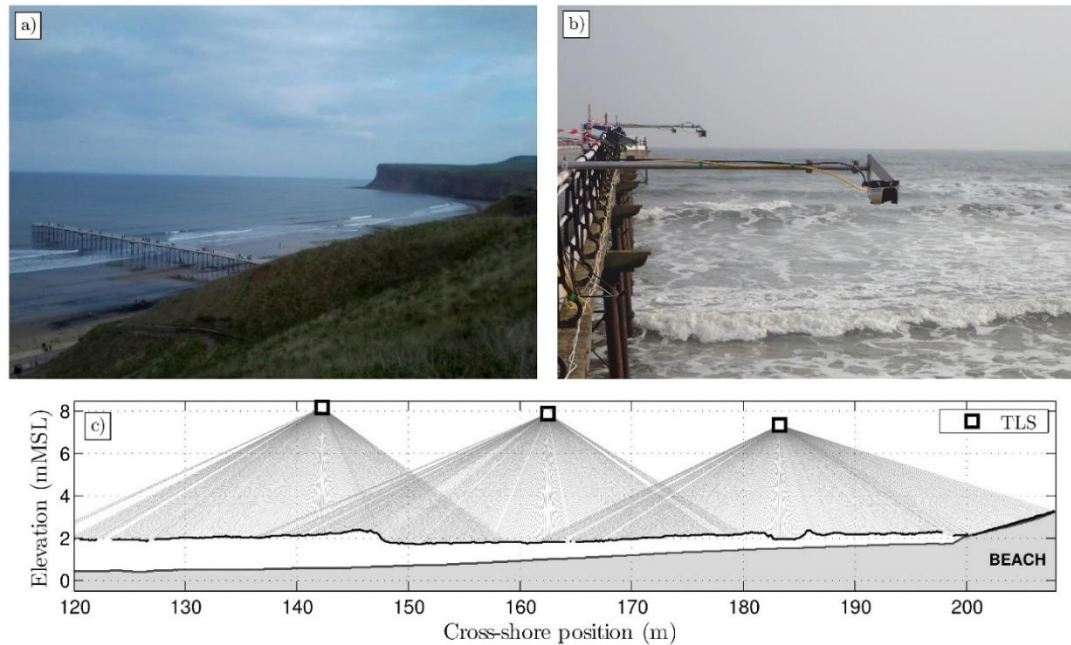


資料來源：Brodie et al., 2015

圖 5.1 光達量測範圍示意圖

過往文獻上，光達感測技術在海岸工程領域有許多應用，Brodie et al. (2015)於沿海設置光達和 10 支超音波高度計，結果顯示兩者的量測結果相當(均方根誤差小於 0.04 公尺)；Martins et al. (2017)於碼頭邊布設光達，藉以量測碎波帶(surf zone)與沖刷帶(swash zone)的自由液面(圖 5.2)；水槽實驗方面，Montano et al. (2018)應用光達量測水躍，驗證光達可以採非侵入的方式量測複雜流況(波浪夾帶空氣)下的自由液面，相較於傳統方法，如水下或近岸壓力感測計，壓力感測計容易因碎波導致低估自由液面高程；Baker et al. (2023)實驗結果顯示，光達量測結果較壓力感測計佳，並且在時間和空間資料的提供上展現

更全面的優勢。此外，Schoonees et al. (2022)亦利用光達量測階梯式護岸上的波浪溯升。整體而言，光達技術在海岸複雜水流條件下的展現出較高的準確性。



資料來源：Martins et al., 2017

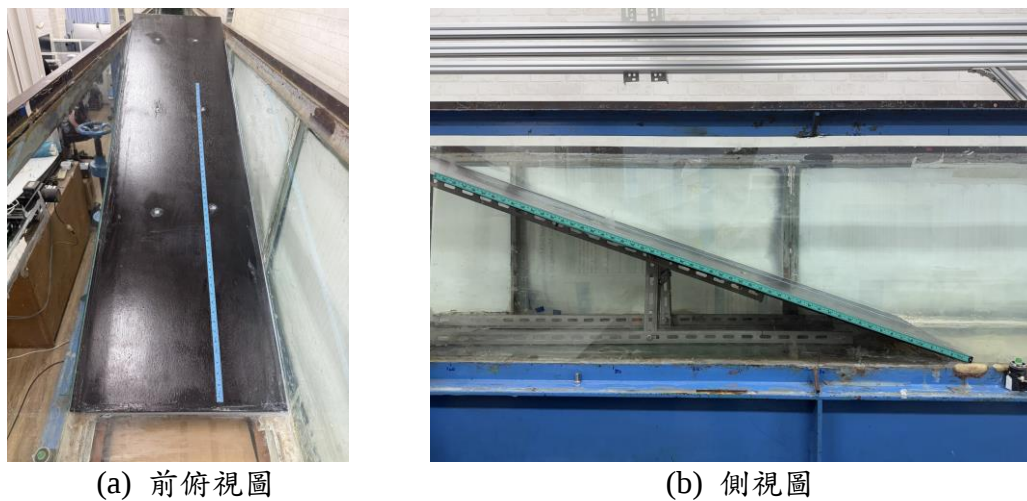
圖 5.2 現地光達之部署 (a) 英國 Saltburn 海灘碼頭 (b) 光達部署位置位於碼頭前三分之一的區域，架設距離碼頭 2.5 米遠 (c) 三台光達設置示意圖

5.1 光達試驗

為評估光達感測技術應用於越波偵測與示警的可行性，本計畫於國立成功大學水利系一樓實驗室的二維斷面水槽進行試驗。水槽長 25 公尺、寬 0.5 公尺、深 0.6 公尺，水槽前段設有潰壩閘門，蓄水段長 8 公尺，如圖 5.3 所示。本試驗於水槽內配置 1:3 木板斜坡，用於模擬波浪溯升及碎波。斜坡長 200 公分、寬 50 公分，厚 2 公分，外層塗上防水漆，配置如 (a) 前俯視圖所示。試驗過程中，使用 2 部攝影機配合光達進行同步影像拍攝。這 2 部攝影機分別從俯視角度與側視角度錄製整個試驗過程，攝影機設備型號為 Logitech MX Brio 4K Ultra HD，外觀如圖 5.5 所示，拍攝幀率於解析度 $3,840 \times 2,160$ 時可達 30 fps、於解析度 $1,920 \times 1,080$ 時可達 60 fps；光達型號為 SICK LMS511-20100 PRO，外觀如圖 5.6 所示，採用的頻段為紅外光，波長為 905 nm，水平掃描範圍可達 190° ，距離涵蓋 0.2 ~ 80 公尺，搭載多回波分析與智慧型掃描技術，可在計算量測值的過程中抵消天候條件因素帶來的影響，進而獲取最佳化數值，提高採集數據的可靠性，放置於實驗室外亦可正常運作並保持高精度(Martins et al., 2017)。光達及俯視拍攝之攝影機相對於實驗水槽配置如圖 5.7 所示。其中，光達距離斜坡與底床交點之水平距離為 92 公分，而攝影機為 72 公分，光達距離底床為 120 公分，而攝影機為 94 公分，側視攝影機未呈現於圖 5.7 上，其水平距離為 41 公分。



圖 5.3 國立成功大學潰壩水槽



(a) 前俯視圖

(b) 側視圖

圖 5.4 斜坡水槽配置



圖 5.5 光達試驗攝影機



圖 5.6 光達

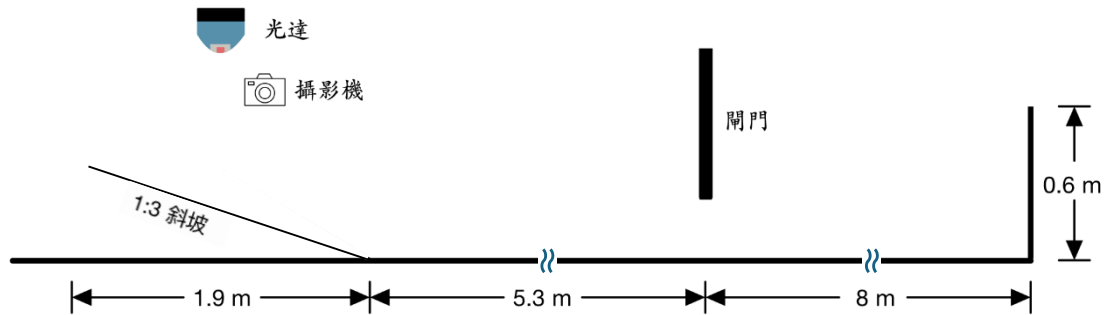


圖 5.7 實驗配置圖

本試驗預計以乾背形式且固定上游水位 20 公分測試兩種不同情況，第一種為斜坡上無障礙物時，另一種則是於斜坡上放置障礙物，障礙物採用鋁擠型替代，長 8 公分、寬 40 公分、高 8 公分，主要用於模擬人定勝天路段海堤，以此評估光達於人定勝天路段量測越波或溯升之可行性。空水槽量測結果如圖 5.8 所示，藍點為光達接收回傳訊號之位置，斜坡訊號可完整地接收，進一步得出光達距離斜坡之垂直距離約 0.75 公尺，距離底床約為 1.2 公尺。其中，在斜坡與底床的交界處，缺失部分訊號的原因是由於該區域被厚度為 2 公分的木板斜坡遮蔽，導致光達無法接收到遮蔽區底床的反射訊號。圖 5.8 中，上方的影像為俯視攝影機拍攝之畫面，藍色皮尺為光達的掃描斷面，用於量化溯升高程；下方影像則為側視攝影機拍攝之畫面，可用於觀察波形，亦貼上與俯視畫面相同刻度之皮尺；兩台攝影機拍攝範圍皆包含閘門輔助燈源，當閘門開始時會亮起綠色燈，用於確認兩台攝影機具有相同時刻。此外，本實驗將參考 Hofland et al. (2015) 的實驗過程，於水中放入高嶺土，增加水體濁度，使光達能夠完整量測波形。因此，實驗條件共有四組，分別為清水且無障礙物、清水且有障礙物、濁水且無障礙物及濁水且有障礙物，使用濁度計量測清水及濁水之濁度分別為 0.4 及 50 NTU。不同實驗條件下的碎波與溯升情況概述如下。

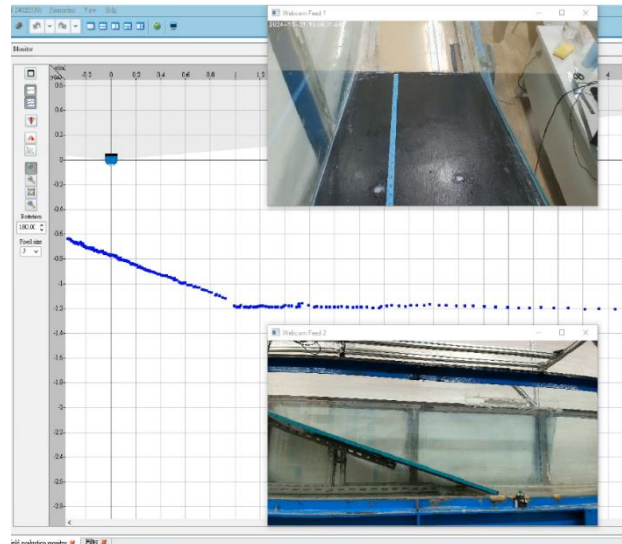


圖 5.8 空水槽量測結果

(一)清水且無障礙物

圖 5.9 至圖 5.11 分別為清水且無障礙物實驗條件下的碎波、溯升及水面線量測結果，由圖 5.9 及圖 5.10 可以看出碎波白沫及溯升前緣皆能夠被光達量測，碎波高約 15 公分，溯升斜坡高約 48 公分，但當水面趨於靜止時，卻無法捕捉水面訊號，如圖 5.11 所示，水體甚至使斜坡無法反射訊號至光達，後方訊號源也來自底床而非水面線。

(二)清水且有障礙物

圖 5.12 至圖 5.14 分別為清水且有障礙物實驗條件下的碎波、溯升及水面線量測結果，與無障礙物的量測結果相互比較，因波浪直接打在障礙物上，缺乏斜坡緩衝，碎波高上升了 5 公分，約為 20 公分左右，溯升斜坡高則降低了 4 公分，約為 44 公分，也因為存在障礙物的關係，造成溯升的訊號比起無障礙物時較為凌亂，趨於靜止時之水面線依然難以回傳訊號，但卻多了障礙物的訊號，可看出障礙物距離光達之水平距離約為 1 公尺。

(三)濁水且無障礙物

圖 5.15 至圖 5.17 分別為濁水且無障礙物實驗條件下的碎波、溯升及水面線量測結果，溯升訊號與清水量測結果相近，溯升斜坡高約 48 公分，而側視影像顯示碎波大小大於清水量測結果，光達量測碎波高約為 20 公分左右，接近清水且有障礙物的量測結果，目前尚無法

確認原因，僅能猜測為實驗誤差或是光達接收訊號擾動之關係，而濁水量測結果與清水量測結果最大的差異在於圖 5.17，在濁度為 50 NTU 的情況下(實驗量測結果濁度需達至 50 NTU 才能獲得完整水面線，滿足 Blenkinsopp et al. (2012) 建議大於 40 NTU)，整體水面線訊號可被光達完整接收，水深約為 15 公分左右。

(四)濁水且有障礙物

圖 5.18 至圖 5.20 分別為濁水且有障礙物實驗條件下的碎波、溯升及水面線量測結果。圖 5.18 與圖 5.15 相比，碎波位置後退了約 10 公分左右，接近障礙物的長度 8 公分(障礙物與斜坡因黏膠關係並未完全貼齊)；圖 5.19 與圖 5.13 相比之下水面訊號更穩定，歸因於水面懸浮著充足的高嶺土粒子；而圖 5.20 與圖 5.17 基本上完全相同，光達顯示之完整的水面線訊號，無法看出圖 5.14 中的障礙物輪廓。

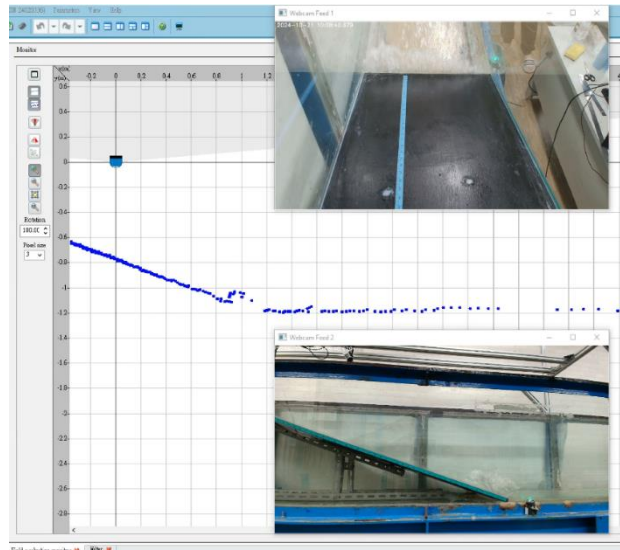


圖 5.9 碎波量測結果 (清水且無障礙物)

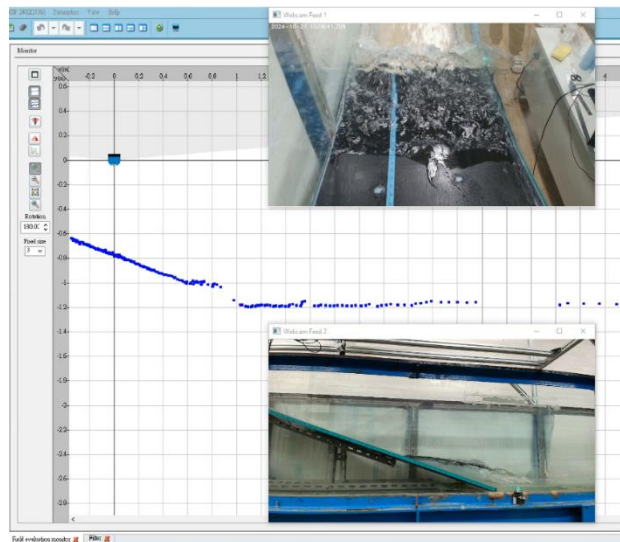


圖 5.10 溯升量測結果 (清水且無障礙物)

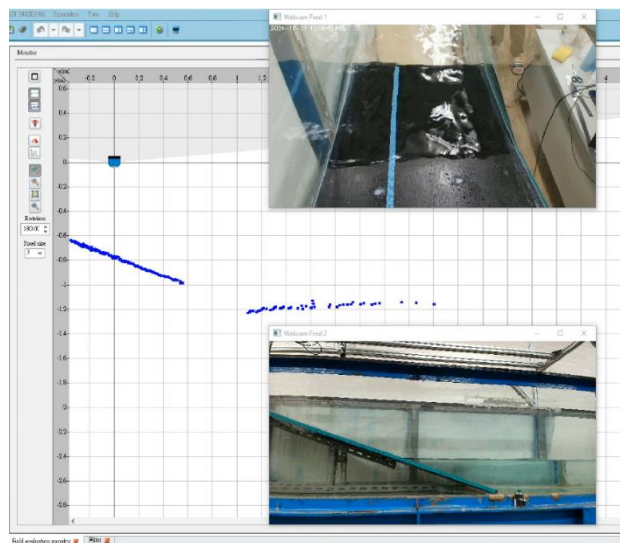


圖 5.11 水面線量測結果 (清水且無障礙物)

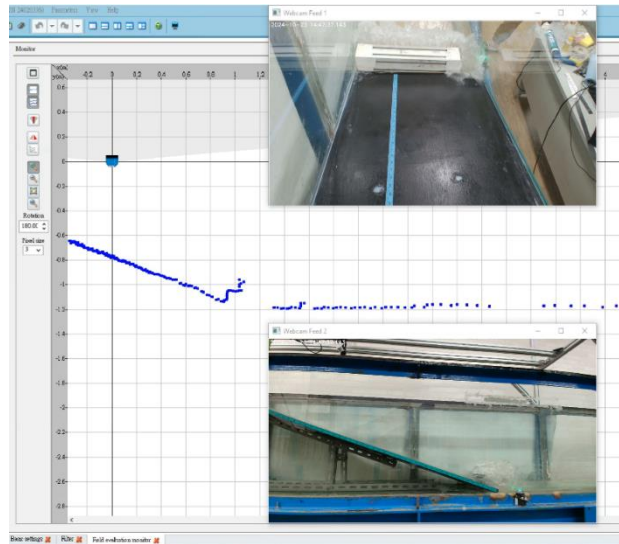


圖 5.12 碎波量測結果 (清水且有障礙物)

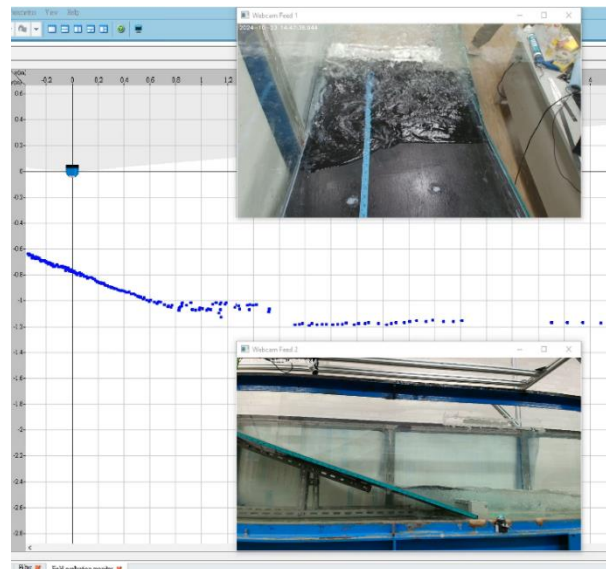


圖 5.13 溯升量測結果 (清水且有障礙物)

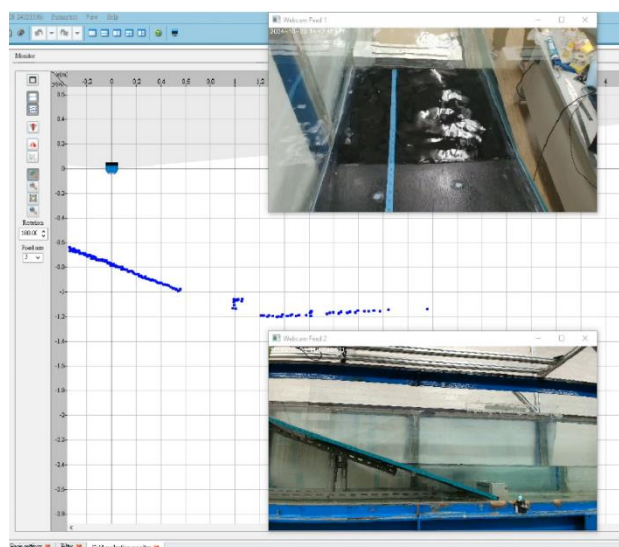


圖 5.14 水面線量測結果 (清水且有障礙物)

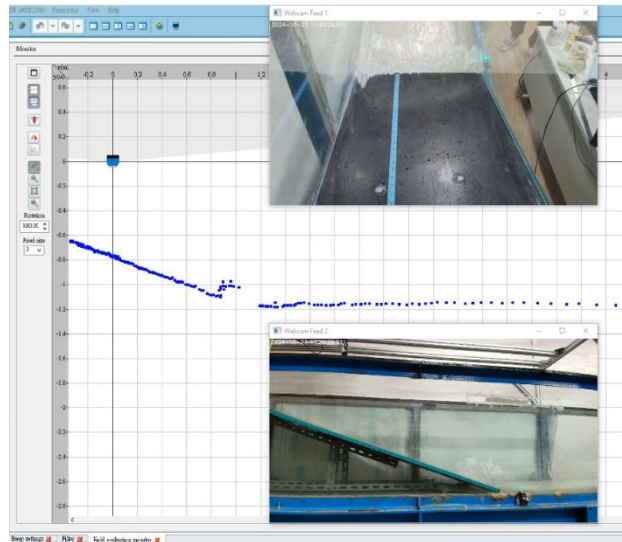


圖 5.15 碎波量測結果 (濁水且無障礙物)

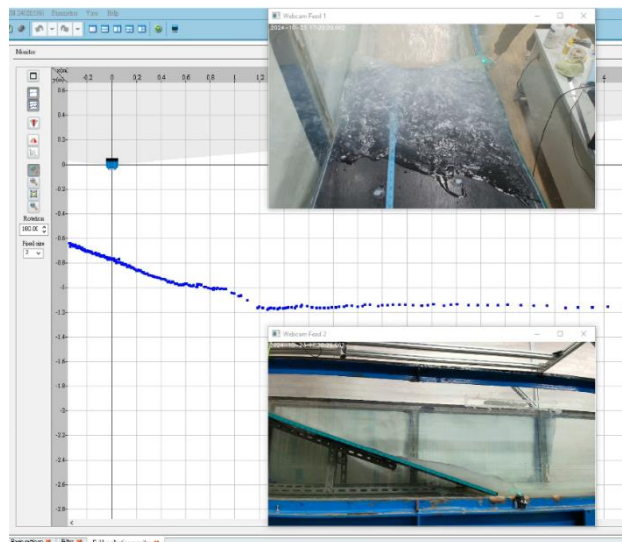


圖 5.16 溯升量測結果 (濁水且無障礙物)

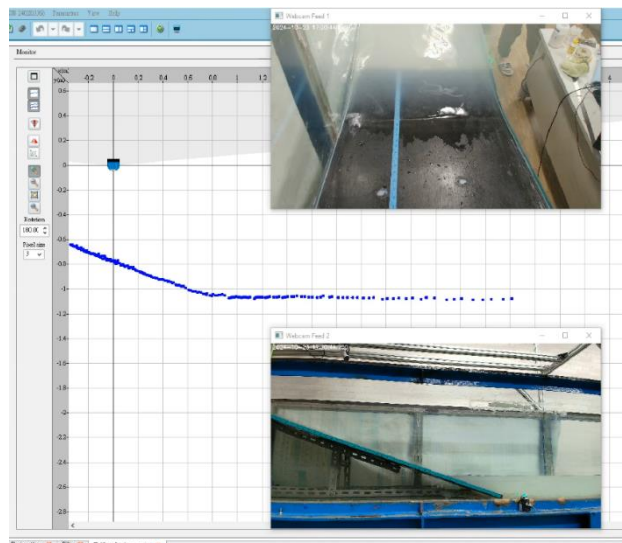


圖 5.17 水面線量測結果 (濁水且無障礙物)

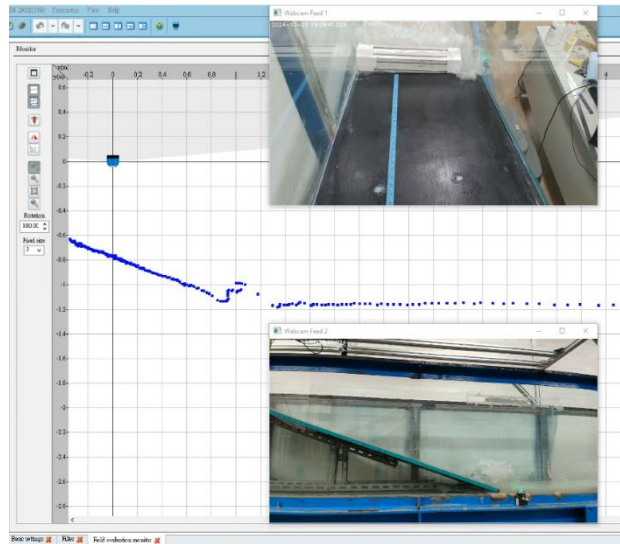


圖 5.18 碎波量測結果 (濁水且有障礙物)

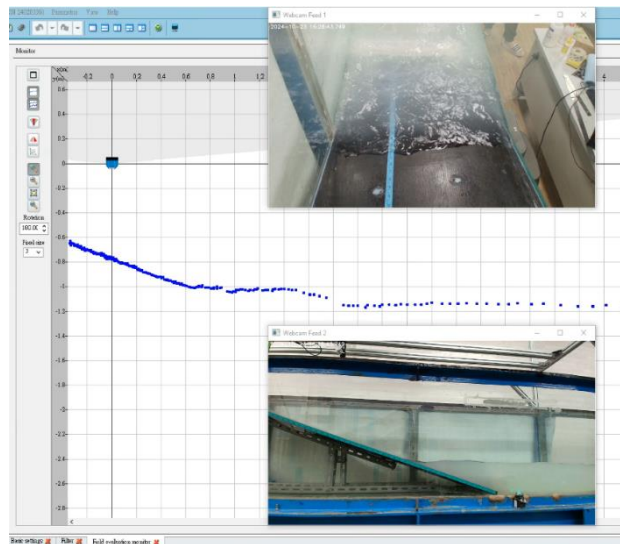


圖 5.19 湧升量測結果 (濁水且有障礙物)

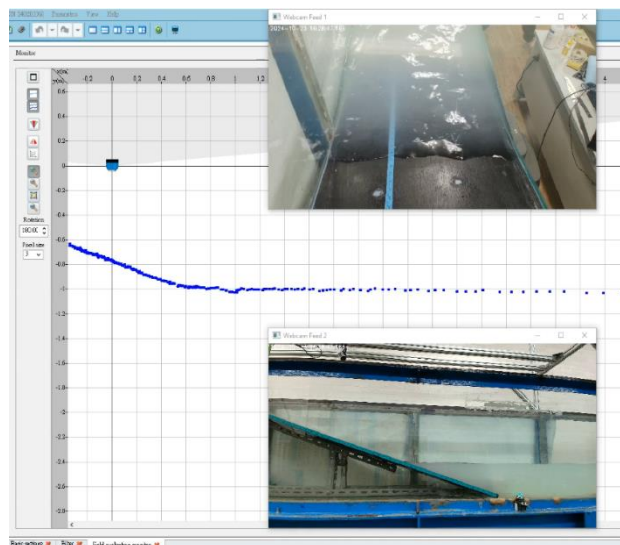


圖 5.20 水面線量測結果 (濁水且有障礙物)

5.2 可行性評估

此節將根據實驗後的數據及經驗討論花蓮人定勝天路段使用光達量測越波及溯升之可行性。於實驗數據分析部分，將光達量測結果量化分析，並以貼附於斜坡上皮捲尺數據為真值進行觀測數據比對，其結果如圖5.21所示。由溯升高比對結果可知，光達與真值相對誤差約於-7%~7%之間，顯示光達量測結果應具可靠度；於實務運用可行性評估方面，首先，人定勝天路段發生越波或溯升較大時，波浪會撞擊沿海緩衝帶上佈放的消波塊，進而產生大量的碎波，這些碎波能夠反射光達發出的脈衝光束，感測器亦可接收反射訊號，碎波訊號能夠被完整接收。其次，在上述實驗案例中，缺乏碎波的清水無法有效反射光達發出的脈衝光束，導致光達無法識別水體存在，此情況再加入高嶺土後得到了改善，而現地的海洋水體亦非清水，其中必然夾雜著許多砂土，光達高機率可完整接收波形的訊號。最後，若要安裝於現地，需特別注意的是安裝的位置以及量測距離，本實驗使用之光達最大量測範圍為80公尺，且光達發出的脈衝光束會隨著行走的距離增加而變大，若光達行走了80公尺，其直徑約為39公分，即在80公尺處，直徑39公分內的任何物體皆可反射脈衝光束，不僅限於水體，這種情況下該如何確認光達接收之訊號來源為何，又是另一個待處理的問題，故在實際使用上應將此問題納入考量。

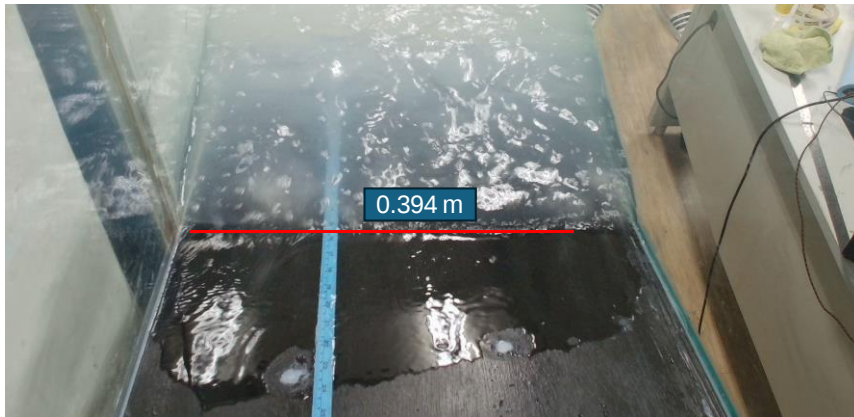
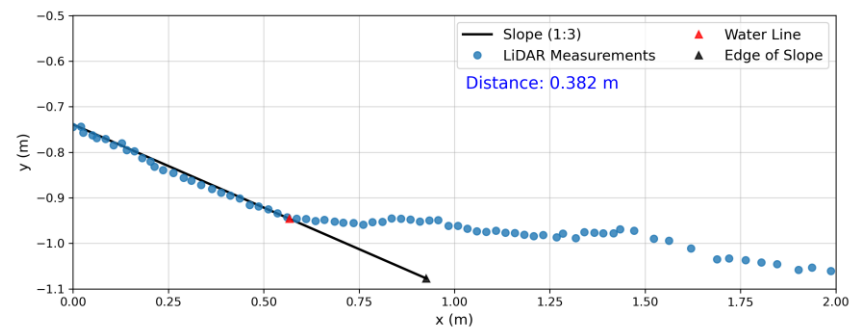


圖 5.21 光達量測結果誤差分析(1/3)

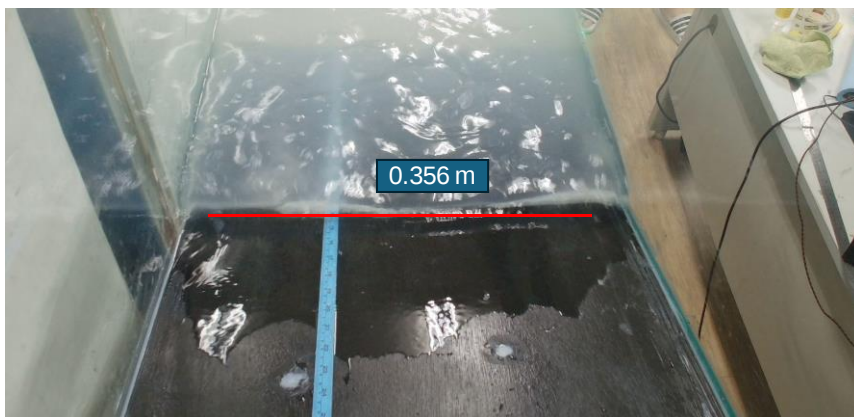
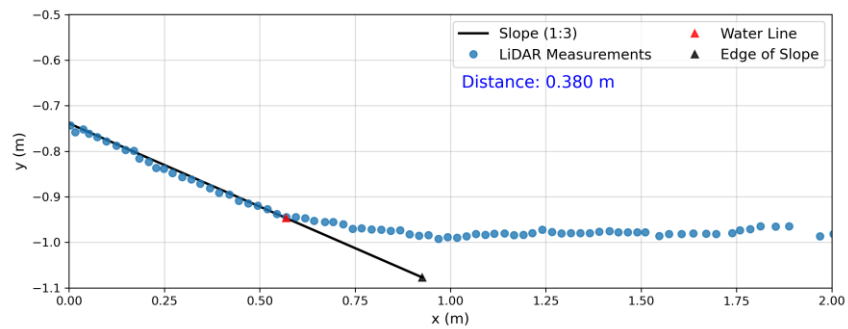


圖 5.21(續) 光達量測結果誤差分析(2/3)

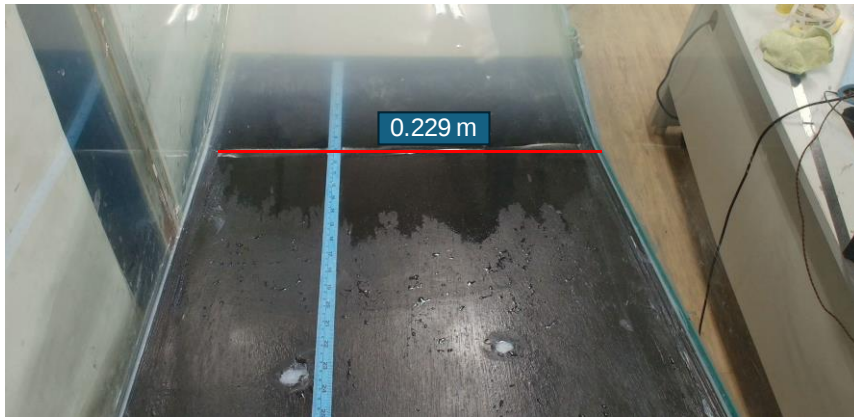
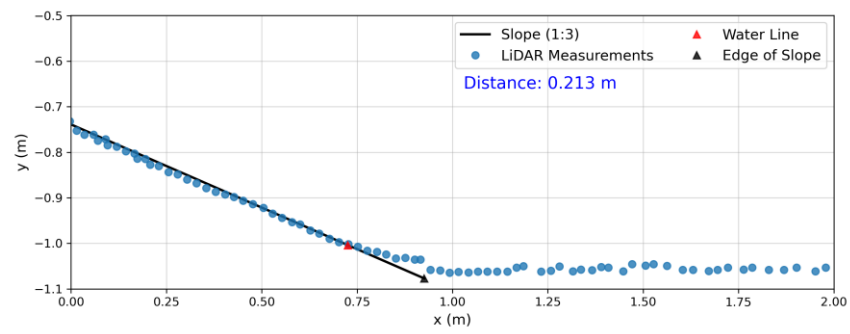


圖 5.21(續) 光達量測結果誤差分析(3/3)

第六章 海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

此工作項目除維運既有海岸公路(人定勝天路段)越波觀測系統與機器學習模型外，亦要針對自動化判釋方式與模型更新進行精進。

6.1 觀測系統維運與精進

於前期計畫中，人定勝天路段所採用觀測系統分為「溯升計」與「影像判釋」兩種不同方式。溯升計方面，於適當位置安裝溯升感測器，以利蒐集溯升或越波相關資料，此屬於侵入式的觀測，其技術相對影像判釋上單純，惟於適合設置點位、感測器維護運作、訊號率定與傳輸等考量上需要透過現地勘查來評估；影像判釋方面，主要蒐集既有網路攝影機影像資料，並配合影像判釋技術進行分析，其屬於非侵入式觀測，雖可較不受環境因素而導致觀測設備易破壞之影響，惟其在分析技術上相對較為複雜，且需透過多方校驗才能確認分析技術之可靠性。而本年度仍維持上述兩種觀測運作方式進行溯升/越波資料蒐集。

該海岸段斷面現況如圖 6.1 所示，圖中左側電桿上方設有運研所攝影設備，本團隊於前期計畫時已於前方向海側消波塊上布設溯升感測器數只，建構 3 處斷面之溯升觀測站，用以記錄並回傳波浪溯升與越波的逐時資料。因該設備為接觸式量測，可在颱風事件或顯著越波事件發生時持續進行量測，不受驟雨或夜間能見度低的影響，用以作為後續影像判釋成果的比對驗證，提升海岸公路浪襲預警系統預警成效。



資料來源：應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究 (1/4)

圖 6.1 台 11 線人定勝天路段海岸斷面現況 (攝於 2023/5/26)

實際應用於現場，溯升觀測站以 2 赫茲觀測頻率記錄感測探頭測得電壓值，用以界定海水是否已到達感測探頭高度；獨立電源功能乃規劃採用太陽能充電、鋰電池儲電方案，足供本年度期間使用電量；設備防水防塵特性乃透過聚碳酸酯外殼及矽利康澆注方式達成；即時傳輸功能部分，為改善電信訊號因海堤屏蔽造成訊號不良，乃新增規劃設置儀器箱(訊號中繼站)，在蒐集堤前感測器的觀測資料後，利用國內電信商所提供 4G 通訊方案，回傳逐時溯升觀測資料。儘管感測器本體機構設計具防水防塵、抗壓等耐候特性，惟臺灣位處極端氣象環境，仍有可能因不可抗拒外力導致破壞或設備遺失，本計畫將於事件發生後，在施工安全無虞前提下，以備品支應，恢復觀測。本年度布置方式仍維持北、中、南側路段等 3 處斷面，分別設置 2 至 3 只感測器。感測器編號如圖 6.2 所示，且於本年度 6 月重新維護並安裝對應位置。資料傳輸中繼站則是延用計畫前期(111 年)設備，並執行維護工作確保正常資料傳輸，如圖 6.3 所示。圖 6.4 為本(113)年度感測器維護後之運作情況，其供電與資料回傳均為正常情況，且共收錄 558 筆資料。



註：圖中數字為感測器編號

圖 6.2 花蓮縣台 11 線人定勝天段溯升感測器安裝完工圖

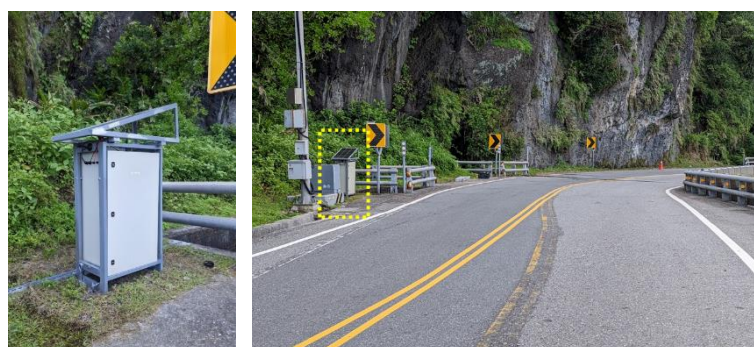


圖 6.3 花蓮縣台 11 線人定勝天段溯升觀測站訊號中繼站位置圖

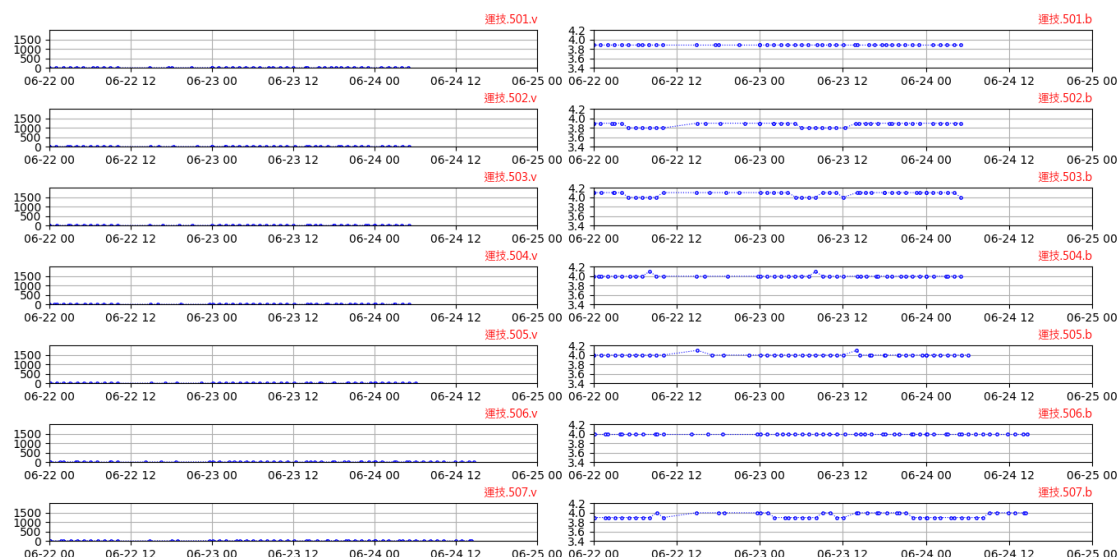


圖 6.4 本年度感測器運作情況

影像判釋觀測部分，依據往昔影像分析相關研究料可知，影像判釋技術可分為「非學習型」與「學習型」兩類，前者需要因地制宜進行調校(例如：亮度、顏色和對比度等)才可獲得可靠的結果，後者則透過機器學習或深度學習的方式，可更好的運用在不同的觀測條件上，甚至可提升環境背景較差情境下時之判釋可靠度，惟此方式需要蒐集數千筆以上的資料以建立學習所需之資料樣本。無論是上千筆資料之蒐集、前處理和校正，或是圖像以人工或演算法的方式進行標註，都需要相當的時間、人力和物力。除此之外，以深度學習於溯升方面之判釋，現階段是在實驗室下進行之成果(即 den Bieman et al. (2020))，運用到現地除了有「大量圖像標註」之需求外，「良好的影像品管」亦是另一個需要建立的基礎任務。於前期計畫觀測經驗中，因近年來發生颱風事件次數降低，使越波影像資料數量較少。若要以目前資料來發展現地「學習型」影像分析方法，仍有樣本不足之困難。因此，於前期計畫(1/4)以「非學習型」的影像分析法為主要發展目標，且有不錯的判釋成果產出。惟為考量未來自動化判釋效率，又於前期計畫(2/4)精進為「非監督式」機器學習方法來重新建立判釋系統，同時亦納入熱成像影像資料，使其能夠進行日、夜間溯升/越波影像判釋(參見圖 6.5 與圖 6.6)。本年度維持該判釋系統運作，並持續建置影像資料庫，以作為未來「學習型」判釋方法發展之基礎。

除此之外，本年度持續精進前期計畫所建立之自動化判釋系統，

使其判釋效率與分析結果能夠更穩定。圖 6.7 為 112 年度計畫自動化判釋系統的架構流程，程式安裝於 Windows Server 2016 作業系統，故採用批次檔的方式執行一個由 python 語法撰寫之主程式。主程式首先會執行光學和熱成像影像的擷取，保存原始影像。接著，以 python 呼叫 Matlab 程式進行影像判釋，在完成警戒資訊之後，隨即執行影像擷取、判釋和產製警戒的程序，並不斷重複執行。

惟程式實際運作後，程式可能於「影像擷取」或「影像判釋」部分導致自動化程式無法持續運行。目前本計畫根據程式運行之問題，條列其項目及處理方式，如表 6-1 所述。為了能更穩定的擷取並保存影像觀測資料，自動化判釋程式改採用將「影像擷取」和「影像判釋」分開執行的方式進行，如圖 6.8。這樣的優點在於，即使影像判釋程序中斷，仍不影響保存影像觀測資料程式之進行。除此之外，採用固定時間間格的方式擷取影像，可降低對於影像伺服器的負載。本計畫亦持續優化影像判釋程式，提升其準確度和穩定性。

本計畫亦提供本所 112 年度完成的溯升/越波預報程式進行自動化，透過介接 TaiCOMS2.0 的海象資料進行 1 日 4 報的預報作業，如圖 6.9。警戒透過預報值與路面高的差值進行分類，訂定 4 種不同燈號，綠燈「(路面高-溯升高) ≥ 3 m」；黃燈「(路面高-溯升高) ≥ 2 m」；橘燈「(路面高-溯升高) ≥ 1 m」；紅燈「(路面高-溯升高) < 1 m」。



圖 6.5 人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (光學影像)



圖 6.6 人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (熱成像)

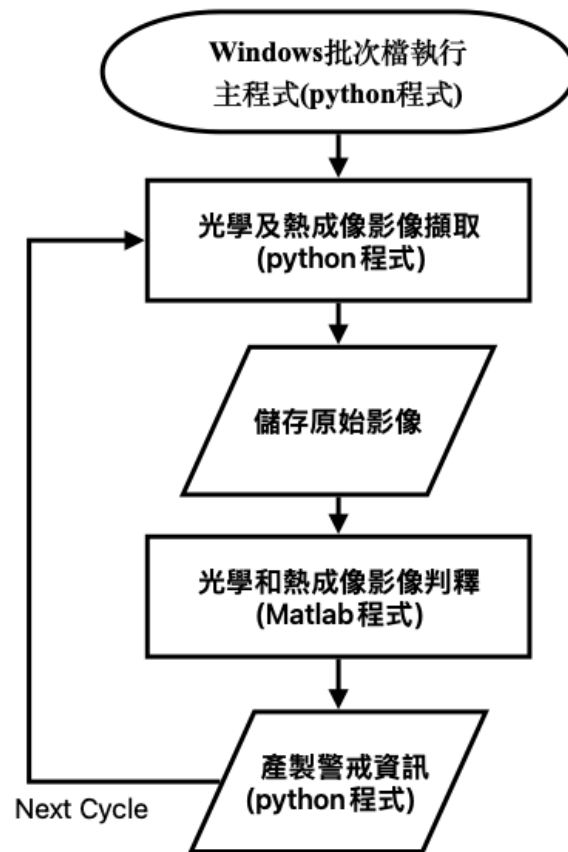


圖 6.7 前期計畫之影像判釋自動化建置之流程圖

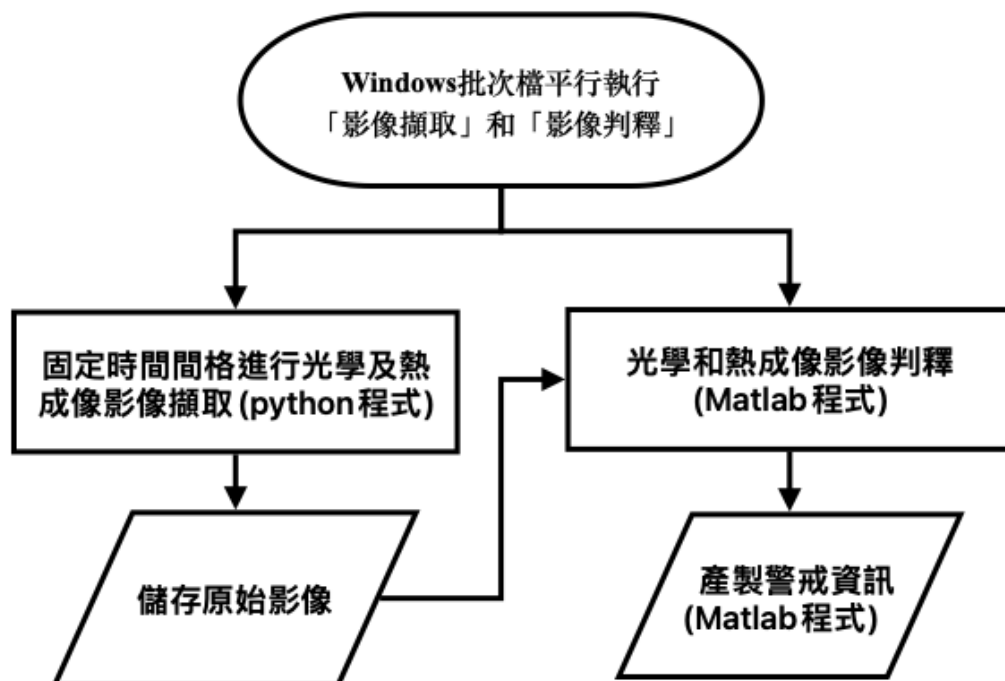


圖 6.8 本計畫影像判釋自動化建置之流程圖

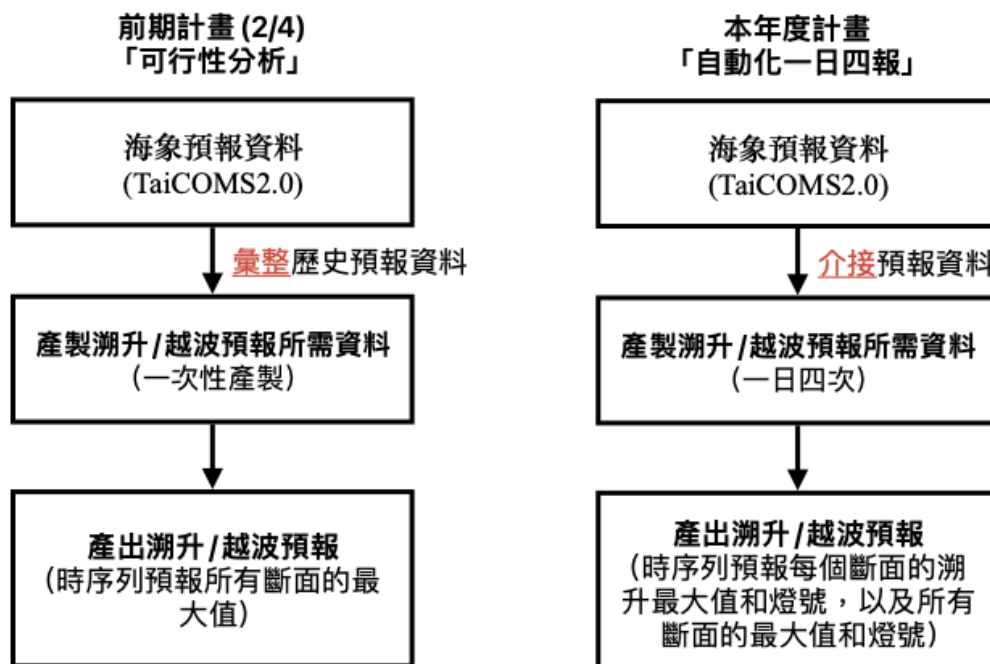


圖 6.9 本計畫溯升/越波預報自動化建置之流程圖

表 6-1 自動化影像判釋維運作業項目

改善/更新項目 (完成日期)	處理方式
影像判釋程式 (Matlab) 無法產出分析結果，造成自動化分析程序停滯 (113.03)	修改 Matlab 程式，使自動化分析程序不會因判釋問題而停滯 (後續持續修正優化 Matlab 程式，提升準確率)
影像判釋有顯著誤差 (113.04)	調整影像判釋程式，並定期分析過往資料，藉以提升判釋成功率
影像下載程序 (python) 嘗試多次連線影像伺服器失敗，造成自動化分析程序中斷 (113.05)	程式是以 python 撰寫程序控制「影像擷取」和「影像分析」之流程，並於 Unix-based 系統可穩定執行。惟，程式於 Windows 作業系統穩定性不佳，故重新調整分析流程，採用獨立執行「影像擷取」和「影像分析」的方式
攝影機重新架設，拍攝角度改變 (113.05-06)	調整影像判釋程式相關參數
光學影像來源更改 (113.06)	修改影像擷取程式
影像高程與警戒線更新 (113.07)	重新套疊高程資料，並依據目前影像解析度調整警戒線
觀測影像擷取頻率修改 (113.07)	修改為光學：1 張/10s；熱成像 1 張/3s
因下載影像不完整 (可能是影像伺服器或網路問題)，使分析程式讀取不正確的影像檔案 (0 kB)，造成分析程式中斷 (113.09)	修改分析程式，讀取影像前確認檔案大小是否正常
因光學和熱成像分析產出之溯升高和警戒燈號之檔案 (csv) 在運行中出現讀寫的權限問題 (113.09)	修改分析程式，增加嘗試讀寫檔案的次數和間隔

本計畫因人定勝天路段更換光學及熱成像攝影機(圖 6.10)，故於 2024 年 6 月 12 日以 GENSS 量測控制點 (圖 6.11)，透過針孔相機模型(Bechle et al., 2012、Liu and Wu, 2019)的方式(圖 6.12)，計算影像上對應的高程。計算方式採用共線方程，透過在影像上量測控制點的影像像素座標(u_0, v_0)和空間座標(X_0, Y_0, Z_0)，藉此建立兩者間的轉換方程，如式 6-1、式 6-2。

$$u_0 - u_c = -f \left[\frac{m_{11}(X_0 - X_c) + m_{12}(Y_0 - Y_c) + m_{13}(Z_0 - Z_c)}{m_{31}(X_0 - X_c) + m_{32}(Y_0 - Y_c) + m_{33}(Z_0 - Z_c)} \right] \quad (6-1)$$

$$v_0 - v_c = -f \left[\frac{m_{21}(X_0 - X_c) + m_{22}(Y_0 - Y_c) + m_{23}(Z_0 - Z_c)}{m_{31}(X_0 - X_c) + m_{32}(Y_0 - Y_c) + m_{33}(Z_0 - Z_c)} \right] \quad (6-2)$$

其中， f 為相機焦距， u_c, v_c 為影像的中心位置， m_{ij} 為相機旋轉矩陣參數、 X_c, Y_c, Z_c 為相機的空間座標位置。

在光學影像方面，總共量測 31 個點位，將其中 16 個作為控制點，其餘 15 個作為校驗點進行誤差分析。將校驗點的空間座標 X 、 Y 和 Z 帶入共線方程，可得到計算出來的像素座標 u 和 v 。接著計算與量測之像素座標的距離，可得到平均誤差為 2.9 pixel，最大值為 6.4 pixel，最小值為 0.2 pixel，如圖 6.13 所示。為了確保產出之影像上各點高程之合理性，需確認座標轉換使用之控制點和校驗點的量測成果與 DEM 高程資料之一致性。因此，將校驗點的 GPS 空間座標 X 、 Y 和 Z 與 DEM 高程資料進行比較(計算方式為兩者相減取絕對值)，其平均值為 6.0 cm，最大值為 28.4 cm，最小值為 0.1 cm，如圖 6.14 所示。

在熱成像影像的部分，總共量測 27 個點位，將其中 17 個作為控制點，其餘 10 個作為校驗點進行誤差分析。分析結果顯示，計算與量測之像素座標的距離之平均誤差為 4.1 pixel，最大值為 6.3 pixel，最小值為 1.5 pixel，如圖 6.15 所示。在高程誤差的部分，其平均值為 5.7 cm，最大值為 28.4 cm，最小值為 0.1 cm，如圖 6.16 所示。

上述誤差分析結果顯示，熱成像影像的座標轉換誤差相較於光學影像要來的大，造成這個結果的原因有兩個，其一為光學影像的解析度較大(光學影像為 1280×720，熱成像影像為 800×600)，其二為光學影像的對焦範圍較廣。而在高程誤差方面，彩色和熱成像的影像分析

結果平均值小於 6 cm，最大值小於 30 cm，整體上 GPS 量測成果與 DEM 高程資料相符。最後，分別結合 DEM 高程資料和光學影像和熱成像影像的共線方程，可建立影像上的數值高程，如圖 6.17 和圖 6.18 所示，供後續以影像分析出之水線的高程計算。



圖 6.10 攝影機更換作業

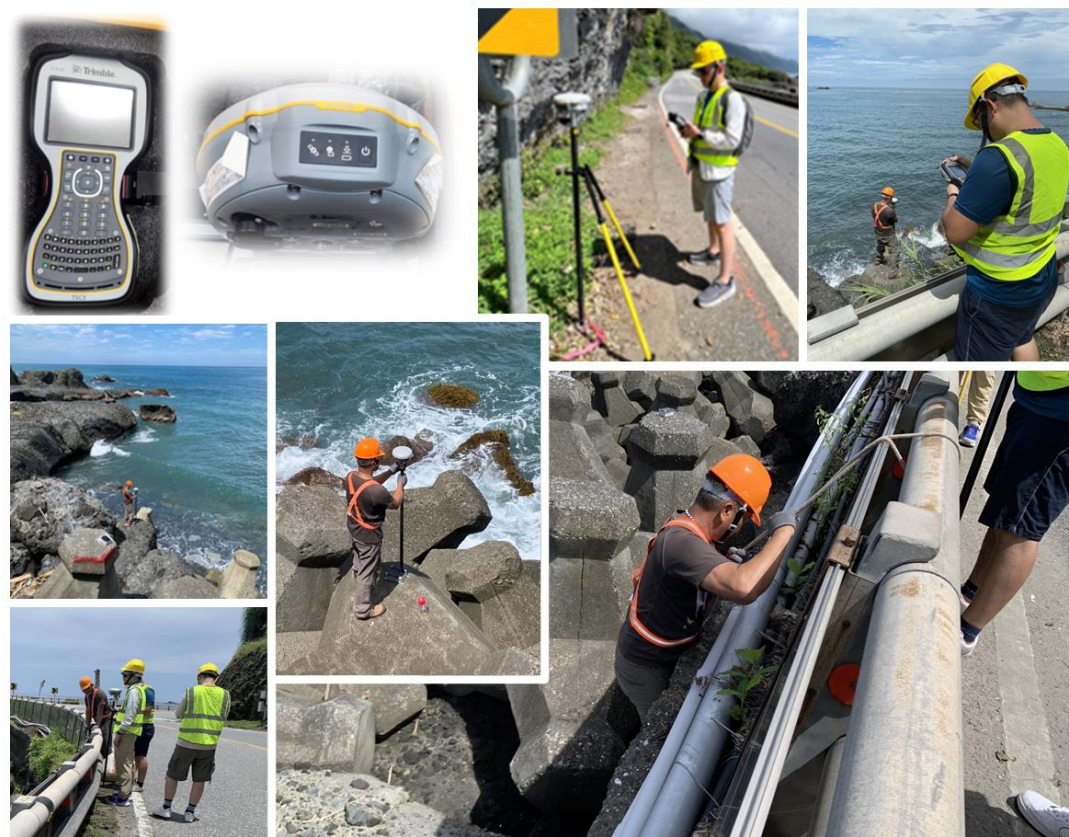


圖 6.11 現場量測及量測工具

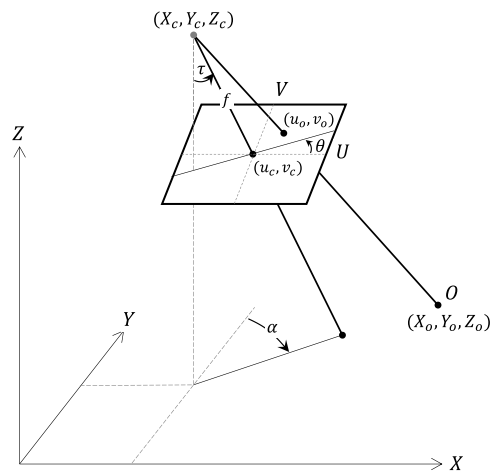


圖 6.12 針孔相機模型



圖 6.13 共線方程計算水平誤差分析 (光學影像)



圖 6.14 共線方程計算高程誤差分析 (光學影像)



圖 6.15 共線方程計算水平誤差分析 (熱成像)



圖 6.16 共線方程計算高程誤差分析 (熱成像)

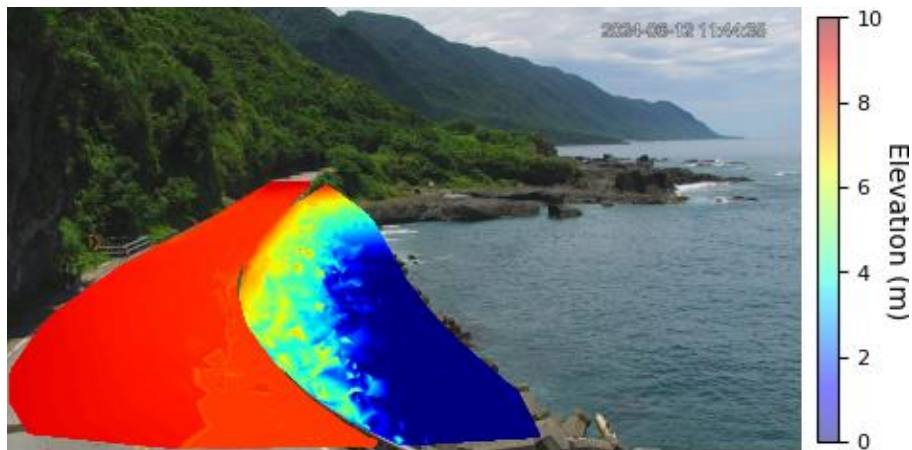


圖 6.17 地形高程資料套疊影像之成果 (光學影像)

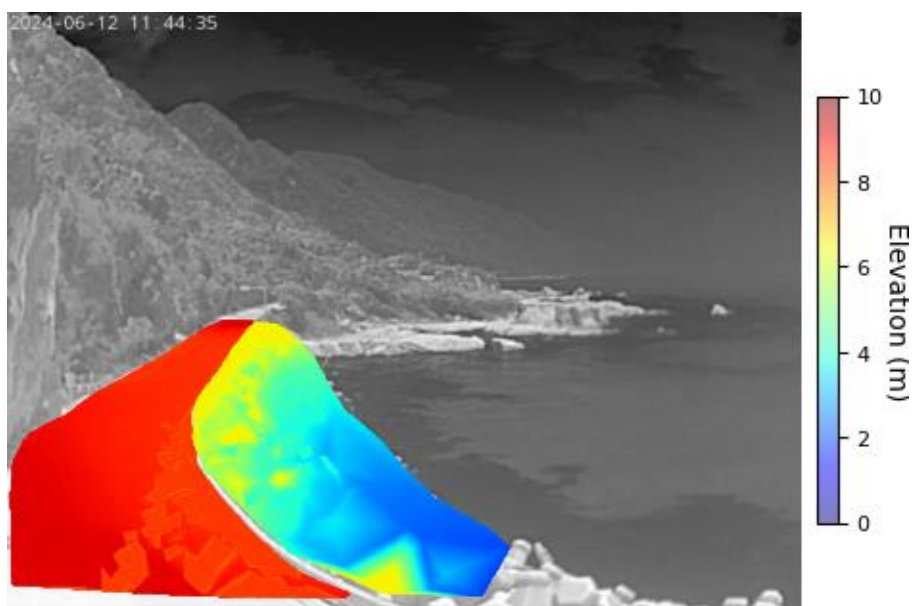


圖 6.18 地形高程資料套疊影像之成果 (熱成像)

本年度氣象署發布影響臺灣之颱風包含「凱米(2024/07/22-2024/07/26)」和「山陀兒(2024/09/29-2024/10/04)」，分別屬於第 2 類(通過臺灣北部向西或西北進行者)和第 7 類(沿臺灣西岸或臺灣海峽北上者)的強烈颱風。本計畫透過分析比較凱米和山陀兒颱風期間的「溯升觀測」、「溯升預報」和「溯升影像判釋」資料，藉以檢視本案的溯升影像判釋和溯升預報系統之適用性，如圖 6.19-圖 6.24 所示。惟最大溯升發生位於路段北側，該處安裝之溯升計最高僅可量測到約 7 m 的情形。

圖 6.19 和圖 6.20 分別為凱米和山陀兒颱風期間的外海海象預報(運研所提供)和溯升資料，比較溯升預報和溯升的觀測資料(包括影像分析和溯升計)可以觀察到溯升預報超過 8 m 時，皆有觀測到相當大

的溯升(凱米颱風：7/24 04:00 - 7/24 11:00 (圖 6.21)，山陀兒颱風：9/30 10:00 – 10/01 00:00 (圖 6.22))。

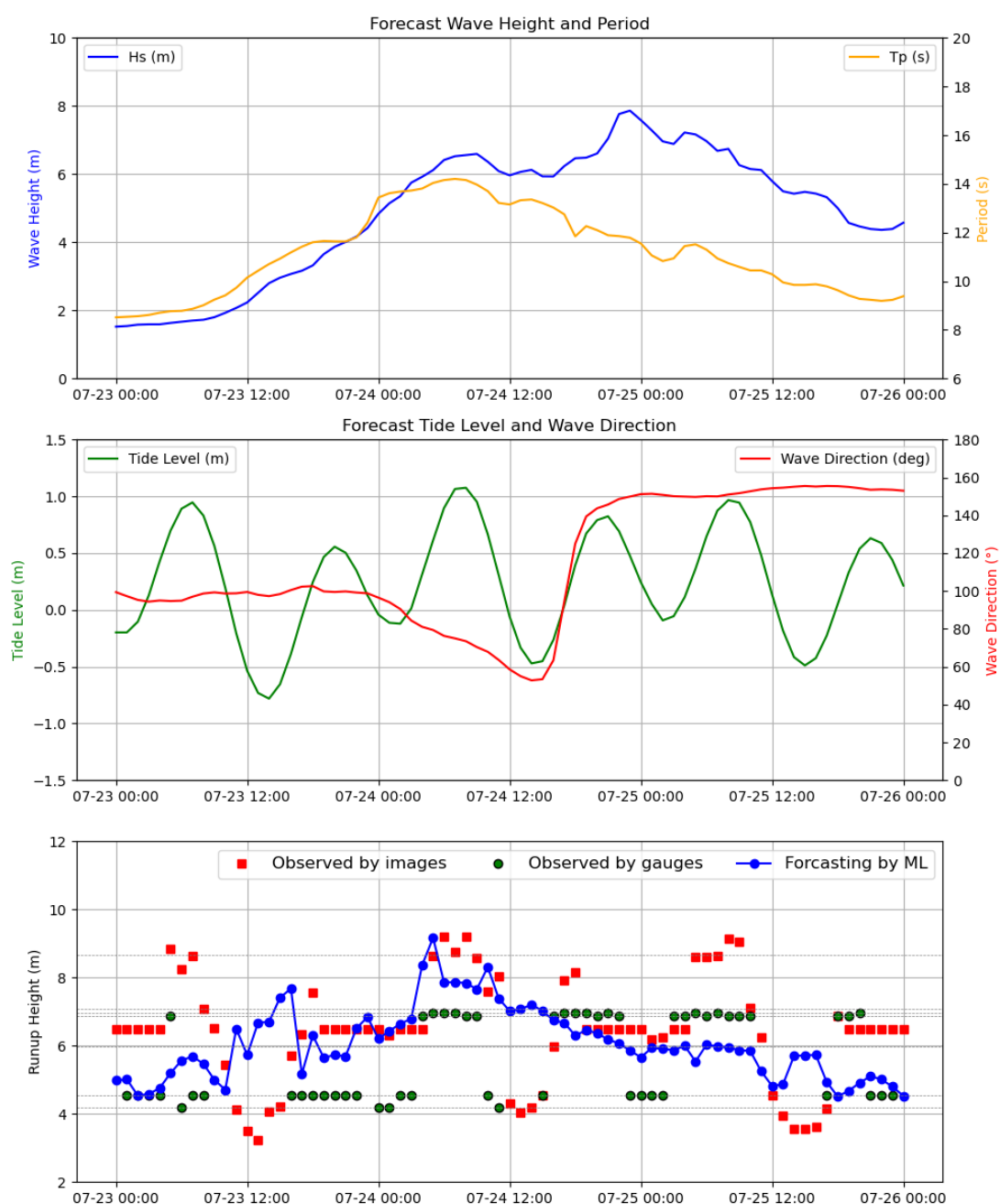


圖 6.19 人定勝天路段於凱米颱風期間的外海海象預報、溯升預報、溯升計觀測和影像判釋

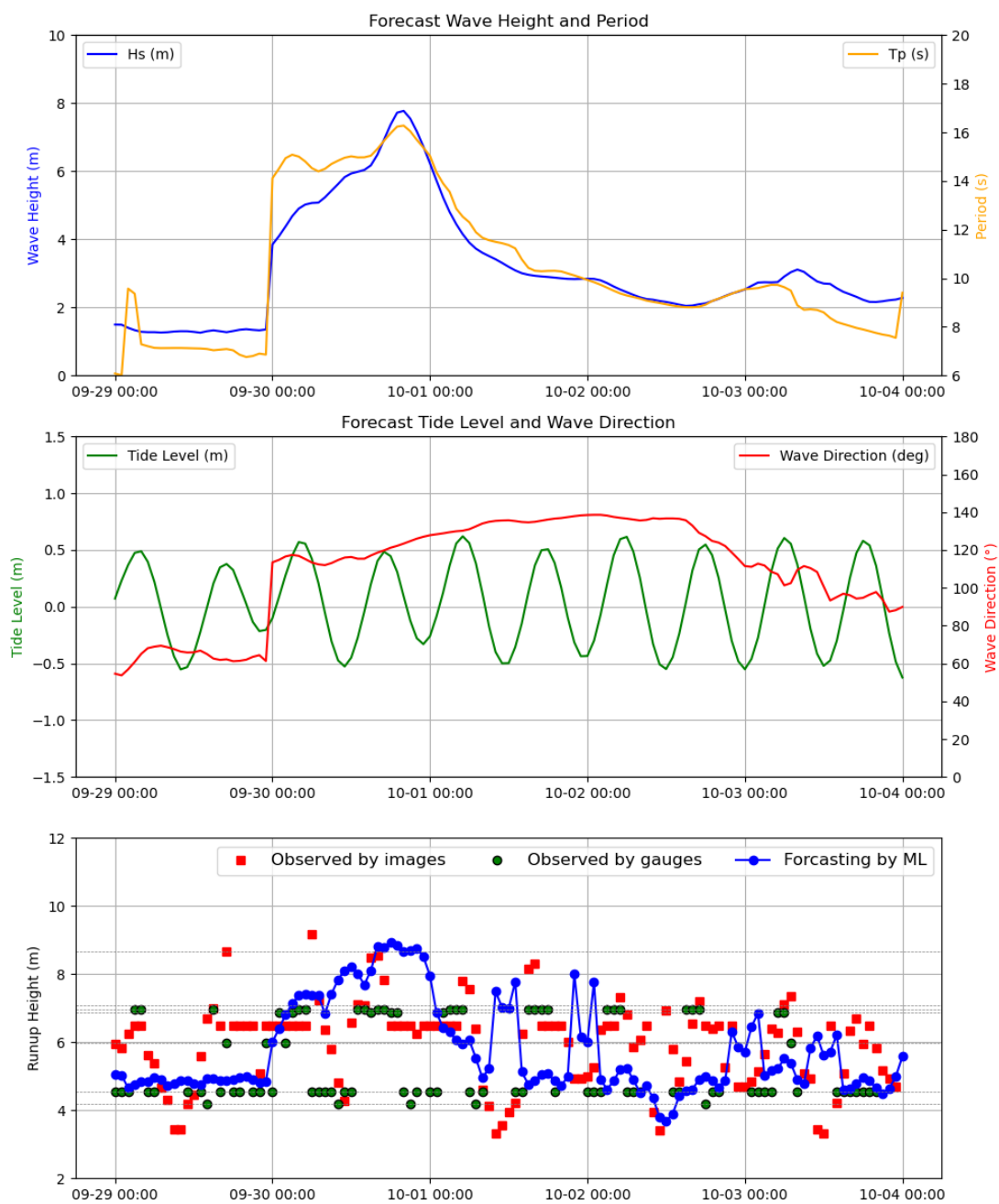


圖 6.20 人定勝天路段於山陀兒颱風期間的外海海象預報、
潮升預報、潮升計觀測和影像判釋

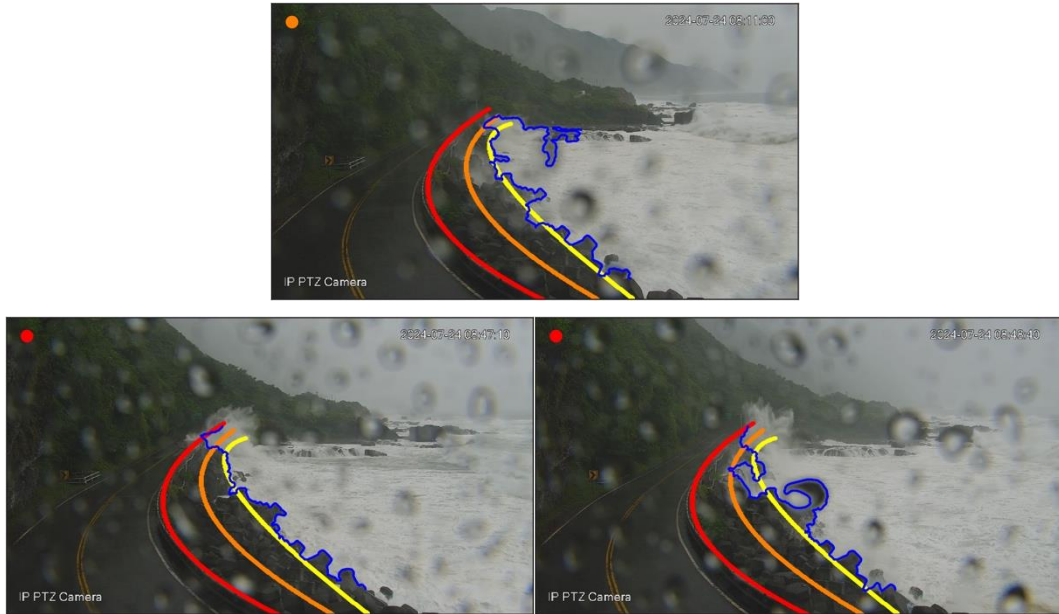


圖 6.21 人定勝天路段於凱米颱風期間的浪襲影像判釋資料
(溯升預報達 8 m 以上)



圖 6.22 人定勝天路段於山陀兒颱風期間的浪襲影像判釋資料
(溯升預報達 8 m 以上)

另一方面，當外海海象預報的波浪尚未顯著增強時(凱米颱風：7/23 05:00 - 7/23 07:00，山陀兒颱風：9/29 17:00 – 09/30 17:59 和 09/30 06:00 – 9/30 07:00)，其溯升預報高度皆未達 6 m，但在皆於溯升計和影像判釋上仍觀測到相當大的溯升高，如圖 6.23 和圖 6.24。

造成溯升預報低估的情況在此兩場颱風可能有所不同，以圖 6.23 來看，其影像顯示出近岸的白沫帶並未顯著增大(代表外海波浪應較

小)，而圖 6.24 則可看到觀測區幾乎為白沫(代表外海波浪應較大)。凱米颱風(圖 6.19)預報之波浪(波高 2 m 以下)與觀測到的結果相當，但仍造成了相當大的溯升，而山陀兒颱風(圖 6.20)的波高預報有 4 m 以上。圖 6.23 反映了即便在白沫帶較小時，仍有發生溯升越波至公路的可能性，此現象類似異常浪，較難透過溯升模型進行預報。圖 6.24 則顯示除了溯升模型本身的誤差之外，另外一個來源可能是因為山陀兒颱風的預報難度高造成溯升預報高度偏低(<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202410020179.aspx>)。

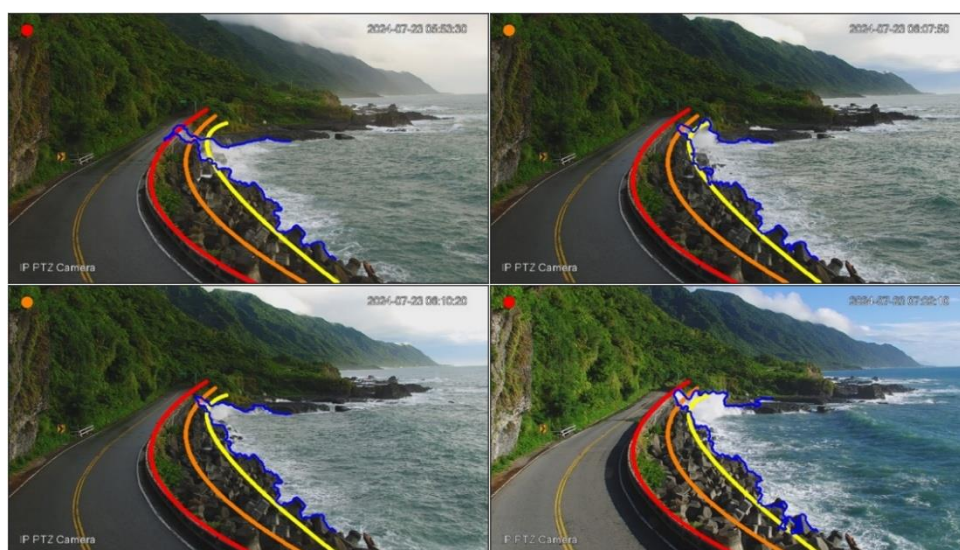


圖 6.23 人定勝天路段於凱米颱風期間的浪襲影像判釋資料
(溯升預報未達 8 m)



圖 6.24 人定勝天路段於山陀兒颱風期間的浪襲影像判釋資料
(溯升預報未達 8 m)

6.2 機器學習模型維運與精進

於前期計畫(2/4)中，已在人定勝天計畫區域初步建立機器學習溯升模型。其發展需透過數值模式與機器學習模型來建置，其中數值模式主要是進行事件追算，藉以創造機器學習模型所需之訓練樣本資料；機器學習模型亦為迴歸模型，主要是連結樣本資料建立其相對關係，以本計畫而言，即是以建立外海海象資料與近岸溯升資料關係。圖 6.25 為模型建置之流程圖，於前期計畫(2/4)時已完成第一階段模型建置。圖 6.26 為前期計畫(2/4)與本計畫於溯升/越波機器學習模型自動化建置之流程，前期計畫主要進行的是可行性之評估作業，採用的是歷史的 TaiCOMS2.0 預報資料進行處理，本計畫則修改程式，完成與 1 日 4 報的 TaiCOMS2.0 海象預報資料介接之功能，產出 1 日 4 報的溯升/越波預報，提供預報警戒資訊。

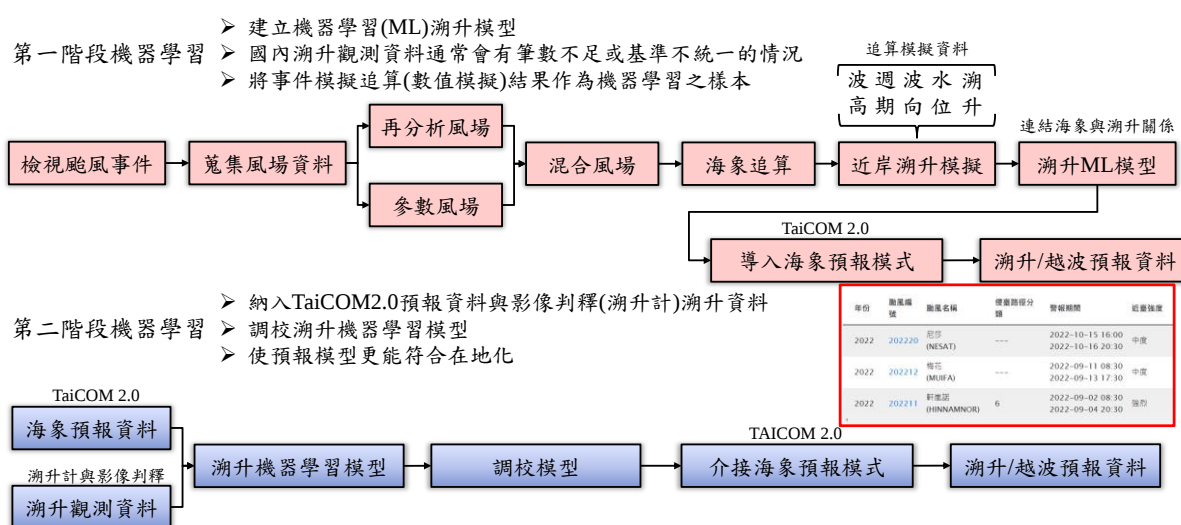


圖 6.25 溯升/越波機器學習模型建置流程圖

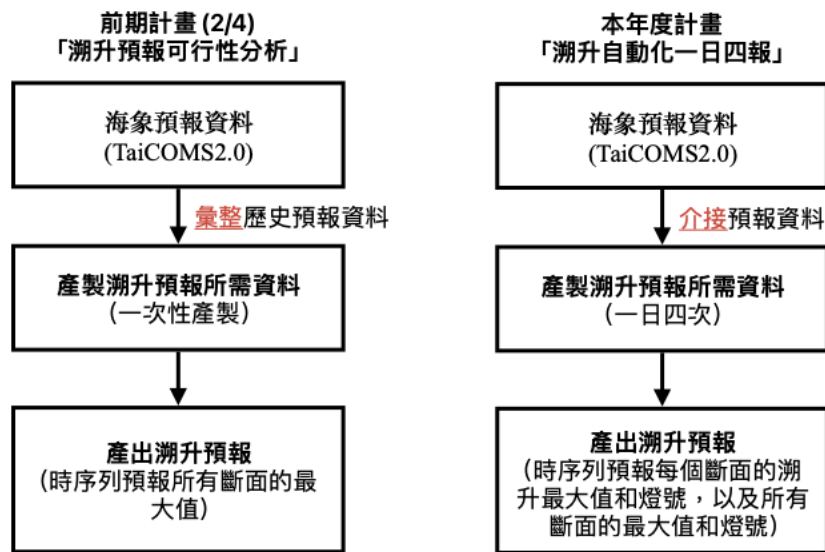


圖 6.26 前期計畫及本計畫於溯升/越波機器學習模型自動化建置之流程圖

第七章 結論與建議

7.1 結論

本計畫主要透過網路攝影機監視影像資料，利用影像判釋方式發展溯升/越波觀測技術，藉以作為越波（浪襲）警示所用。該計畫共分為4年期，本年度為第3年期，需完成花蓮港防波堤越波影像判釋技術研發、機器學習溯升模型發展、光達感測溯升可行性評估及海岸公路觀測系統與機器學習模型維運與精進。各工作項目完成內容分述如下。

(一)港區越波影像判釋技術建立方面，主要是運用影像判釋技術分析港區影像資料，藉以達到越波判釋與警戒之目的。目前所分析之攝影機具備紅外線功能，因此於夜間時亦能夠判釋部分影像，以達到日、夜間影像判釋越波之能力。透過蓋攝影機特性，分別建立日間判釋與夜間越波影像判釋流程。於日間時，因影像色彩較為豐富需採用 K-means 分群方式來輔助判釋，再透過越波判斷線作為門檻，則可判釋有無越波事件；於夜間時，因影像為近灰階影像，可採用大津二值化法來區分影像前、背景，配合越波判斷線則可判釋有無越波情況。目前該技術影像判釋越波正確率約為 80.83%。

(二)於機器學習越波模型發展方面，越波機器學習模型建置作業已完成海象追算、防波堤越波模式建模與測試、模型建置與分析等。追算模擬所採用風場為混合風場，採用「再分析風場(ECMWF-ERA5 或 CFSV2)」與「參數風場(Modified Rankine Vortex, MRV)」進行風場混合。運用 FUNWAVE 模式進行港區越波模擬，配合模式方程限制，採用兩組不同網格搭配波浪條件進行追算模擬。模擬分析顯示，當波浪由外海向港區傳遞時，因港區南側地形較為陡變，使波浪有明顯變形發生，於港嘴處亦因防波堤影響而產生繞射現象，而在舊堤外圍海域會有類似駐波現象發生。目前模擬結果顯示，較易發生越波的區域大致集中於東側新防波堤與舊防波堤銜接區域、本計畫攝影機拍攝範圍與堤頭位置。模擬結果與人為判釋進行比對，其生越波事件的誤判率約 14%；無發生越波的誤判率約 8%。進一步將模擬資料做為樣本，建立機器學習模

型，其不同資料集的相關係數皆高於 0.8 以上，顯示訓練所得之模型具有不錯的適用性。

(三)於光達感測溯升可行性評估方面，本計畫透過物理模型試驗來進行光達感測溯升評估。該實驗於成功大學水槽中執行，透過潰霸波傳遞至 1:3 斜坡造成溯升與碎波的現象。依據實驗結果進行量測評估，光達用於量測上需考慮其脈衝光束反射特性，當時實驗室水太清澈時，會因無法反射而導致偵測不到水線，而當發生碎波時因有氣泡捲入可有效反射光束，使之能夠順利回水線訊號；而當水濁度增加時，即便是平穩的水面亦能夠反射光束訊號，以利偵測到水線資料。未來若要應用於現地觀測，需考量該路段海岸型式(例如：消波設施易產生浪花，增加量測可能性)、海水濁度等條件。

(四)於海岸公路溯升觀測系統與溯升模型維運及精進方面，本計畫除維運溯升感測器與攝影機外，亦針對既有的自動化影像判釋系統與預報模型系統進行精進。其中，修改自動化影像判釋系統流程，以提升其自動化穩定性，且於預報系統部分，完成與 1 日 4 報的 TaiCOMS2.0 海象預報資料介接之功能，產出 1 日 4 報的溯升/越波預報，提供預報警戒資訊。此外，本計畫亦協助影響判釋系統與溯升/越波預報系統作業化建置作業。

7.2 建議

(一)本計畫初步建立防波堤越波機器學習模型，並進行預報驗證比對。後續可藉由目前所累積觀測資料（影像分析），將該觀測資料進行率定，並匯入模型中進行修正，以期提升模型可靠性。

(二)於預報資料比對時，相較於感測器觀測資料，預報資料中部分時間點仍有顯著的誤差存在。然而，其誤差來源可能為海象預報，亦有可能為模型本身誤差。為釐清誤差來源，需於模型輸入相對海象預報的真值，藉以瞭解模型誤差與海象預報誤差。本計畫研究區域分別為人定勝天海岸公路與花蓮港區防波堤。於港區防波堤海域有浮標與潮位觀測站，因此，可以此觀測資料為真值輸入模型，藉以測試模型的可靠性。惟人定勝天路段外圍海域並無觀測資料可做為真值輸入，建議後續可將相對預報資料更為準確的

再分析資料做為真值輸入模型進行比對，以瞭解其模型或海象預報誤差來源。

7.3 成果效益及應用情形

- (一)本計畫已完成港區防波堤日/夜間影像判釋越波技術建置，並以人為判釋結果進行比對，目前判釋正確率可達 80.83%。待未來將其判釋自動化與作業化後，即可於中心進行架設，使其能夠自動下載影像與分析港區越波成效。藉由影像越波警戒功能建置，可提供港務單位應用於港區警戒所用，以提升巡檢人員與垂釣民眾之安全。
- (二)本計畫亦有建置「防波堤機器學習越波模型」，透過 TaiCOMS2.0 海象預報資料介接可進行港區越波預報。此部分可提前進行港區越波預警，且未來可銜接影像判釋分析之觀測結果，使其進行學習訓練更為在地化。待未來建置作業化港區越波警系統後，其可提供更彈性與可靠之越波預報予港務單位防災參考。
- (三)本計畫統計海岸公路 111 年至 113 年「有進行分析之影像資料」，其顯示颱風警報前發生越波次數為 0 筆；警報期間發生越波次數至少 33 筆(且均於北側斷面發生)；警報後發生越波次數約 0 筆。由此可知，影像判釋技術確實能夠達到越波警戒功效，且其資料庫能夠輔助災後檢討所用。惟因影像資料較為龐大，後續計畫將會持續針對 111 年至 114 年資料進行詳細的越波統計分析，以利瞭解海岸公路段越波潛勢區域。

參考文獻

1. Abolfathi, S., Yeganeh-Bakhtiary, A., Hamze-Ziabari, S. M., & Borzooei, S., 2016. Wave runup prediction using M5' model tree algorithm. *Ocean Engineering*, 112, 76-81.
2. Almar, R., Blenkinsopp, C., Almeida, L. P., Cienfuegos, R., & Catalan, P. A., 2017. Wave runup video motion detection using the Radon Transform. *Coastal Engineering*, 130, 46-51.
3. Bakhtyar, R., Bakhtiary, A. Y., & Ghaheri, A., 2008. Application of neuro-fuzzy approach in prediction of runup in swash zone. *Applied Ocean Research*, 30 (1) , 17-27.
4. Beuzen, T., Goldstein, E. B., & Splinter, K. D., 2019. Ensemble models from machine learning: an example of wave runup and coastal dune erosion. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19 (10) , 2295-2309.
5. Blenkinsopp, C. E., Turner, I. L., Allis, M. J., Peirson, W. L., & Garden, L. E. (2012) . Application of LiDAR technology for measurement of time-varying free-surface profiles in a laboratory wave flume. *Coastal Engineering*, 68, 1-5.
6. Blenkinsopp, C., Mole, M., Turner, I., Peirson, W., 2010. Measurements of the time-varying free-surface profile across the swash zone obtained using an industrial LIDAR. *Coastal Engineering* 57 (11-12) , 1059-1065.
7. Chatzipavlis, A., Tsekouras, G. E., Trygonis, V., Velegrakis, A. F., Tsimikas, J., Rigos, A., & Salmas, C., 2019. Modeling beach realignment using a neuro-fuzzy network optimized by a novel backtracking search algorithm. *Neural Computing and Applications*, 31 (6) , 1747-1763.
8. Chi, S. H., Zhang, C., Sui, T. T., Cao, Z. B., Zheng, J. H., & Fan, J. S. (2021) . Field observation of wave overtopping at sea dike using shore-

- based video images. *Journal of Hydrodynamics*, 33 (4) , 657-672.
9. Choi, Y. K., Seo, S. N., Choi, J. Y., Shi, F., & Park, K. S. (2019) . Wave prediction in a port using a fully nonlinear Boussinesq wave model. *Acta Oceanologica Sinica*, 38, 36-47.
 10. da Silva, P. G., Coco, G., Garnier, R., & Klein, A. H., 2020. On the prediction of runup, setup and swash on beaches. *Earth-Science Reviews*, 103148.
 11. EurOtop, 2016. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: An overtopping manual largely based on european research, but for worldwide application, Second Edition, Authors: J.W. van der Meer, N.W.H. Allsop, T. Bruce, J. DeRouck, A. Kortenhaus, T. Pullen, H. Schüttrumpf, P. Troch and B. Zanuttigh.
 12. FHWA, 2014. Highways in the Coastal Environment: Assessing Extreme Events. Hydraulic Engineering Circular, 25 (2) , FHWA-NHI-14-006, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
 13. González-Jorge, H., Díaz-Vilariño, L., Martínez-Sánchez, J., Riveiro, B., & Arias, P. (2016) . Wave run-up monitoring on rubble-mound breakwaters using a photogrammetric methodology. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30 (4) , 04015075.
 14. Hsiao, S. C., Chen, H., Wu, H. L., Chen, W. B., Chang, C. H., Guo, W. D., ... & Lin, L. Y. (2020) . Numerical simulation of large wave heights from super typhoon Nepartak (2016) in the eastern waters of Taiwan. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (3) , 217.
 15. Hsiao, S. C., Wu, H. L., Chen, W. B., Chang, C. H., & Lin, L. Y. (2020) . On the sensitivity of typhoon wave simulations to tidal elevation and current. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (9) , 731.
 16. Hofland, B., Diamantidou, E., van Steeg, P., & Meys, P. (2015) .

- Wave runup and wave overtopping measurements using a laser scanner. Coastal engineering, 106, 20-29.
17. Kirby, J. T., Wei, G., Chen, Q., Kennedy, A. B., & Dalrymple, R. A. (1998) . FUNWAVE 1.0: fully nonlinear Boussinesq wave model- Documentation and user's manual. University of Delaware.
 18. Lee, S. C., Choi, J. Y., Park, K. S., Kim, S. S., Kim, S. J., & Jun, K. C. (2018). Use of optical video imagery to improve wave run-up prediction accuracy. Journal of Coastal Research, (85), 1271-1275.
 19. Liu, Y. and Wu, C.H., 2019. Lifeguarding operational camera kiosk system (LOCKS) for flash rip warning: Development and application. Coastal Engineering, 152.
 20. Martins, K., Blenkinsopp, C.E., Power, H.E., Bruder, B., Puleo, J.A., Bergsma, E.W., 2017. High-resolution monitoring of wave transformation in the surf zone using a LiDAR scanner array. Coastal Engineering 128, 37-43.
 21. Maryan, C., Hoque, M.T., Michael, C., Ioup, E. & Abdelguerfi, M., 2019. Machine learning applications in detecting rip channels from images. Applied Soft Computing, 78: 84-93.
 22. Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S., & Reis, M. T., 2013. Wave runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 139 (5) , 346-357.
 23. Montano, L., Li, R., Felder, S., 2018. Continuous measurements of time-varying free-surface profiles in aerated hydraulic jumps with a LIDAR. Experimental Thermal and Fluid Science 93, 379-397.
 24. Passarella, M., Goldstein, E. B., DEMURO, S., & Coco, G., 2018. The use of genetic programming to develop a predictor of swash excursion on sandy beaches.

25. Power, H. E., Kinsela, M. A., Stringari, C. E., Kendall, M. J., Morris, B. D., & Hanslow, D. J. (2017) . Automated sensing of wave inundation across a rocky shore platform using a low-cost camera system. *Remote Sensing*, 10 (1) , 11.
26. Roland, A., Zhang, Y. J., Wang, H. V., Meng, Y., Teng, Y. C., Maderich, V., ... & Zanke, U. (2012) . A fully coupled 3D wave-current interaction model on unstructured grids. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117 (C11) .
27. Sabino, A., Rodrigues, A., Araújo, J., Poseiro, P., Reis, M.T., & Fortes, C.J., 2014. Wave overtopping analysis and early warning forecast system. *Computational Science and Its Applications (ICCSA 2014)* , Cham, 267-282.
28. Schoonees, T., Kerpen, N.B., Schlurmann, T., 2022. Full-scale experimental study on wave reflection and run-up at stepped revetments. *Coastal Engineering* 172, 104045.
29. Scott, F., Antolinez, J. A., McCall, R., Storlazzi, C., Reniers, A., & Pearson, S., 2020. Hydro-morphological characterization of coral reefs for wave runup prediction. *Frontiers in Marine Science*.
30. Torres, M. J., Lam, M. A. Y. H., & Malej, M. (2022) . Practical guidance for numerical modeling in FUNWAVE-TVD.
31. Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E. V., & Grashorn, S., 2016. Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
32. Zheng, Z., Ma, X., Ma, Y., & Dong, G. (2020) . Wave estimation within a port using a fully nonlinear Boussinesq wave model and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 216, 108073.
33. 王敘民、陳盈智、董東璟、滕春慈 (2017) “海岸瘋狗浪光學影像分析之研究”，第 39 屆海洋工程研討會論文集，弘光科技大學，pp. 555-560。
34. 交通部運輸研究所 (2018) “海岸公路異常波浪特性及防災應用

技術之研究”。

- 35.交通部運輸研究所 (2021) “花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究”。
- 36.交通部運輸研究所 (2022) “海氣象預測模擬系統之維運與精進 (1/4) —精進基隆海域模組”。
- 37.周宗仁、石瑞祥、翁文凱、黃恩得 (2011) “CCD 遙測波浪適用於現場觀測研究 (II) ”，第 33 屆海洋工程研討會論文集，國立高雄海洋科技大學，pp. 711-716。
- 38.邱永芳、洪維屏、洪志偉、薛憲文 (2018) “花蓮港防波堤沉箱圖像資料調查分析評估”，《港灣季刊》 110 期 (2018/06) Pp. 53-71
- 39.莊士賢、徐新綸、陳美慧、劉正千、鍾曉緯 (2021) “應用深度學習自動識別光學影片中離岸流”，第 43 屆海洋工程研討會論文集，國立中央大學，pp. 89-94。
- 40.郭晉安、簡仲和 (2009) “高斯模糊函數應用於波浪水位影像偵測研究”，第 31 屆海洋工程研討會，台中，國立中興大學，pp.775-780.。
- 41.經濟部水利署第六河川局 (2021) “110 年第六河川局河川監測資訊管理精進計畫。
- 42.董東璟、蔡政翰、蔡仁智、陳憲宗 (2019) “異常海象機率預警研究與作業試用 (4/4) ”，交通部中央氣象局研究報告。

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究 (3/4)-防波堤越波影像判釋

合作研究單位：國立成功大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
一、陳冠宇委員		
本研究對海岸公路影像判釋溯升量測與光達量測及數值模擬皆有相當成果，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
本 4 年期研究計畫最終之成果，是否建置一新的預警系統？若是，是否會有紅橙黃綠之燈號呈現？影像與溯升計之成果與燈號目前並無連結，與中央氣象署之比較也建議加入。	感謝委員意見，本 4 年期計畫主要是建置影像判釋示警系統，而預警系統部分，除前期浪襲預警模組外，將增加本期之數值模型預測成果。另溯升計資料主要是為驗證使用，並不會納入作業化警戒設備。影像判釋及預警系統皆會有警戒燈號於系統上呈現供實務單位參考應用。中央氣象署花蓮資料浮標位於七星潭，人定勝天路段外圍亦沒有較相近的觀測站，未來可透過觀測資料及模型進行越波計算，以確認模型之可靠性。	同意合作單位之處理情形。
有關評估光達於越波偵測之後續規劃為何，建議說明。	於本年度計畫中，光達偵測是以室內實驗為主，評估光達觀測操作方法與流程及其可能量測限制。評估所得相關建議，可供未來實地觀測參酌。	同意合作單位之說明。
本研究採用各種機器學習之技巧，但似乎未採用深度學習，建議說明。	感謝委員建議，目前主要是將機器學習運用在溯升/越波警戒技術。參考國外已有相關研究文獻作法，建立機器學習預報模型系統。於影像分析部分，目前仍採用非監督式機器學習方式來處	同意合作單位之處理情形。

	理，主要是因為目前對於越波的影像掌握度和數量有所不足，俟該部分有所提升後再進一步採用監督式的機器學習或深度學習方法。	
二、黃偉柏委員		
計畫內容成果均按規劃進度執行，成果豐碩，予以肯定。	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
第三章出現格式錯誤部分，建議於期末報告修正。	感謝委員意見，已修正相關錯誤格式。	同意合作單位之說明。
第四章數值模擬部分，大域的網格佈設以圖 4.4 展示，建議針對關切區，也就是花蓮港範圍放大另外展示，以利作為網格佈設是否合宜之研判參考，兩模式如何銜接也建議於報告說明。	感謝委員意見，因配合 FUNWAVE 造波相關限制，已將網格配置進行修改，使其更能提升模擬可靠性。兩模式銜接部分亦已於報告中進行說明，詳 p.4-9~4-10。	同意合作單位之處理情形。
第五章，未來本計畫擬以波浪溯升計、光達監測水位，針對現地以飛躍方式的越波如何監測，宜事前妥善規劃。	感謝委員建議，各觀測儀器確實均有其限制存在，因此，以不同形式的觀測儀器同時觀測乃為較保守方式。針對飛躍方式越波，當其量體較大時，溯升計或影像監測系統應該均能捕捉，惟其門檻值可透過兩儀器進行相互率定。而光達監測目前仍為實驗階段，本年度已針對其研提相關評估資料。	同意合作單位之處理情形。
請問花蓮港越波影像，從拍攝到判別需要多久時間。	拍攝到判別約 3 秒左右，但實際時間需視最後作業化硬體設備來確認。	同意合作單位之說明。
三、鍾權宏委員（書面意見）		
報告書 P23「淹沒港內近 3 公尺高的紅色燈塔」，其中紅色燈塔高度應為 23.8 公尺。	感謝委員意見，已修正誤植數據。	同意合作單位之說明。
花蓮港目前係以 CCTV 遠端監視東防波堤之堤上狀況，運輸技術研究中心建議之港區影像判釋方法，應可提升警戒，並彌補人力監視盲點，以及夜間或	感謝委員建議。透過 CCTV 影像判釋應能協助監測越波情況。而其資料能進一步輔助提升越波預警系統可靠度。	同意合作單位之說明。

天候因素引起攝影機影像不明時，不易監看到越波之窘況。		
花蓮港新東防波堤 0K+0 附近(新舊東堤交接處)係颱風侵襲期間，最容易發生越波之區域。該區域緊鄰東防波堤人車進出位置，該區域若監測到有越波情形，臺灣港務股份有限公司即管制人車進入堤防，並通知堤上施工人員機具撤離。上述可列為安裝影像設備位置之選定參考。	感謝委員寶貴建議，惟目前均沿用既有的影像設備來進行影像判釋，現階段尚無法新增影像設備。而相關越波潛勢資訊，團隊會納入警戒系統率定及越波潛勢分析所需之重要參考資訊。	同意合作單位之處理情形。
本報告將天空亮度、影像清晰度，及水體色度設置為可行性評估指標，並分別列出：天空亮度需大於 80、影像清晰度需大於等於 1.75，及水體色度需大於等於 -12，並同時滿足上述 3 條件才能通過可行性評估一節。上述評估所列指數之訂定原因及數據，係囿於機器本身性能？或是另有原因？此外，除颱風範圍尚未接觸到花蓮港前，東堤若發生越波時，天空亮度及水體色度有機會符合上開指數標準，一旦暴風圈接觸到陸地上，上開指數似難達到評估標準，屆時將如何確認發生越波與否？	感謝委員意見，該可行性評估門檻條件乃由若干影像判釋率定所獲得。因此，其乃由機器性能、天候情況、人為情況(船隻、儀器晃動)等會影響影像品質之因素共同造成。另外，當颱風事件發生時，仍需視上述所提因素對影像影響程度來決定是否能夠列入影像判釋越波。舉例來說，即便於颱風事件中，其雨勢並非大到使影像模糊的條件下，該影像還是能夠進行判釋(例如：2023 瑪娃與海葵颱風事件)。	同意合作單位之處理情形。
花蓮港西堤因緊鄰港區作業區，西堤上之通道亦為港區主要聯絡道路，建議本研究案亦可考量將該處納入觀測範圍選項，且若觀測設施架設位置與西堤平行，即可同時觀測波浪與越波情形(類似台 11 線人定勝天路段)，如此可獲得更多所需之判讀資訊。	感謝委員寶貴建議，惟目前均沿用既有的影像設備來進行影像判釋，現階段尚無法新增影像設備。而相關越波潛勢資訊，團隊會納入警戒系統率定及越波潛勢分析所需之重要參考資訊。	同意合作單位之處理情形。
本研究案調後若有需花蓮港務分公司協助之地方，將全力配合辦理。	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
四、李建華委員(書面意見)		

p15 之 1.8.4 小節，有關「台 11 線...做為唯一聯外道路」之描述，建議可修正為「台 11 線...做為主要聯外道路」，因台 11 線與台 9 線有多條橫貫海岸山脈道路可供通行，如台 11 甲線、花 64 線、台 23 線、台 30 線等。	感謝委員建議，已修改相關文字敘述。	同意合作單位之說明。
p17 之段落敘述有關圖 1.19(a)、圖 2.8(b)、圖 1.19(c)、圖 2.8(d)，及 p20 之段落敘述圖 1.20 標註有誤，請修正。	感謝委員意見，已修改相關文字敘述。	同意合作單位之說明。
p32 之 3.1 節及 3.2 節中均有「找不到參照來源」之格式錯誤，p33 之 3.2.1 節敘述「紅綠度及黃藍度的值數一般為 [-128,127)」，括號有誤，請修正。	感謝委員意見，已修改相關錯誤格式與文字敘述。	同意合作單位之說明。
五、本所運輸技術研究中心蔡立宏主任		
本案研究目的為提供花蓮港務分公司或公路局於防災管理、管制之應用，現發展之判釋方法可判釋明顯越波情況，但對可能越波的波浪，較有預警需求。	感謝委員意見，本計畫除運用影像判釋來進行越波警戒外，亦以機器學習為基礎，發展越波預警系統。未來將其作業化後，即可依據海象預報資料進行越波預報和警戒。	同意合作單位之說明。
光達感測海岸公路越波之評估，有無後續於現場應用之規劃？	目前光達觀測測試是以室內實驗為主，透過物理實驗瞭解該儀器相關特性與限制，以利未來現地應用參考。	同意合作單位之說明。
現有之海岸公路越波影像判釋成果，是否納入花蓮海岸公路浪襲預警系統，若有，於系統中如何呈現，及與數值模式如何搭配？	感謝委員意見，目前影像判釋成果已初步完成作業化，並於預警系統中進行警戒。影像判釋部分乃以現況為主要警戒目的，而數值模式主要為預警所用。	同意合作單位之說明。
有關影像判釋之誤判，如何提升準確度？	目前計畫以蒐集更多樣本資料為主，配合門檻值率定，使其成果更為準確（非監督式機器學習模型）。未來當影像資料數量夠充足後，可以此為輔助工具建立監督式機器學習模型，以提升其準確性。	同意合作單位之說明。

六、本所運輸技術研究中心林雅雯科長		
第 1 頁及第 5 頁本年度 112 年文字有誤，請修正。	感謝提供意見，已修正文字誤植情況。	同意合作單位之說明。
頁碼編號請依本所出版品格式。	感謝提供意見，已修正頁碼編碼方式。	同意合作單位之說明。
第 8 頁圖 1.4 建議補充說明圖中的內容。	感謝提供意見，已於期末報告補充說明。	同意合作單位之說明。
第 17、20 頁報告書圖號標記錯誤。	感謝提供意見，已修正相關圖號。	同意合作單位之說明。
第 25 頁圖 2.4 文章未提及。	感謝提供意見，該圖片實屬誤植，已撤除。	同意合作單位之說明。
第 26 頁國外文獻判釋越波發生頻率、位置、寬度及持續時間，建議本案於觀測期間亦能有此統計資料。	感謝提供意見，該統計資料確實能夠瞭解該區域越波潛勢情況。而觀測資料數量越多其統計結果可更有可靠性，可先就現有資料進行彙整與分析，以研提目前越波潛勢情況	同意合作單位之說明。
第 28 頁圖 2.8 圖太小，不夠清晰。	感謝提供意見，已調整圖片尺寸與解析度。	同意合作單位之說明。
第 32 頁「錯誤!找不到參照來源」，請修正。	感謝提供意見，已修正相關錯誤格式。	同意合作單位之說明。
第 43 頁花蓮港垂釣區開放條件內是否有越波情形？	目前模擬結果和開放垂釣條件比對起來，開放時間發生越波的機會不大。	同意合作單位之說明。
第 48 頁公式 4-6 有誤，應為 1×10^{-3} 。	感謝提供意見，已修正相關內容。	同意合作單位之說明。
第 49 頁 C_b C_s 將隨總深度 H 而變化，應只有 C_b 隨總深度 H 而變化。	感謝提供意見，已修正相關內容。	同意合作單位之說明。
第 50 頁 N 為作用「力」密度頻譜， $C_{g\sigma}$ 、 $C_{g\theta}$ 為 σ 、 θ 空間之傳播速度應為 C_σ 、 C_θ 為 σ 、 θ 空間之傳播速度； C_{tot} 應為 C_{tot} 。	感謝提供意見，已修正相關內容。	同意合作單位之說明。
第 60 頁花蓮港潮位測站在 9 號碼頭，25 號碼頭為靜穩測站。	感謝提供意見，驗證測站位置已於期末報告修改。	同意合作單位之說明。
第 70 頁即使影像判釋程序中斷，仍不影響保存影像觀測資料程式之進行，建議瞭解中斷	感謝提供建議，目前已有與中心同仁滾動式檢視該作業化程式問題，儘量達到不中斷之需求。	同意合作單位之說明。

原因，且為示警需求應儘量影像判釋程序不中斷。		
工作會議紀錄應作為附錄。	感謝提供意見，已補充歷次工作會議紀錄於附錄四。	同意合作單位之處理情形。
七、本所運輸技術研究中心陳鈞彥副研究員		
有關花蓮港東防波堤之越波影像判釋門檻，簡報描述之判釋方式及門檻與報告書似有不同(如報告書 p41)，請於審查意見答覆表說明差異。	感謝提供意見，花蓮港東防波堤越波日間影像判釋技術於期中報告書中的最初想法採用超過二值影像之前景門檻值即為越波發生，但後續檢視更多影像後發現，前景門檻值會隨時間變動，主因為水面會隨著潮汐上升或下降，造成門檻值訂定產生難處，故更改判釋方法，採用分群區塊是否涵蓋防波堤上緣最為主要的判斷依據。	同意合作單位之處理情形。
1.報告書 p35，水體色度及影像清晰度之定義請補充說明。	感謝提供意見，已於期末報告補充說明。	同意合作單位之說明。
2.影像判釋的可行性評估步驟，請補充於報告書。	感謝提供意見，已於期末報告補充說明。	同意合作單位之說明。

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫 (具委託性質)

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究 (3/4) -防波堤越波影像判釋

合作研究單位：國立成功大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、許弘莒委員		
建議補充並強化國外參考文獻之收集與整理，針對計畫相關技術進行分析。	感謝委員建議。本計畫於前期已針對國外發展之溯升影像判釋技術進行收集與探討，而本年度主要是收集「國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究」。然而，文獻收集過程中發現，國外溯升影像判釋技術大多用於海岸的溯升觀測，針對防波堤越波影像判釋相關議題較少，本計畫亦已儘量收集這些文獻(e.g., González-Jorge et al., 2016; Lee et al., 2018; Chi et al., 2021)，並於 2.2 節作說明。其中，Lee et al., 2018 為期末審查後補充新增之文獻。此外，本計畫亦有收集「光達量測」相關文獻，亦已於第五章進行說明。	同意合作單位之處理情形。
越波影像判釋是否同時使用「光學」和「熱成像」進行？建議加強說明其分析技術。	本計畫中主要有兩個計畫區域，分別為「海岸公路」與「港區防波堤」。其中，海岸公路是採用「光學影像」和「熱成像」影像資料來進行分析，此部分是屬於同時採用各自的判釋方法來進行分析；而港區防波堤則是先判斷該影像是屬於「光學影像」或「近似灰階影像」後，再進行各自的影像判釋分析方法。該內容已於修正報告補充說明，並整理至表 3-1 內。	同意合作單位之處理情形。
數模建置建議補充說明相關參數之設定，入射條件、水深等，模式之率定，亦建議驗證補充說明。	感謝委員建議，修正報告已補充 SCHISM-WWM 耦合模式參數說明(圖 4.4)；波浪條件所需參數說明；模式率定所需限制條件。此外，SCHISM 與 FUNWAVE 亦已有透過浮標、潮位站及影像人為判釋進行相關驗證。	同意合作單位之處理情形。
光達感測溯升技術之研發，建議可參考國內外已有的技術。	感謝委員建議。過往文獻上，光達感測技術確實在海岸工程領域有許多應用。Brodie et al. (2015) 於沿海設置光達和 10 支超音波高度計，結果顯示兩者的量測結果相當 (均方根誤差小於 0.04 公尺)；Martins et al. (2017)	同意合作單位之處理情形。

	於碼頭邊布設光達，藉以量測碎波帶與冲刷帶的自由液面；水槽實驗方面，Montano et al. (2018) 應用光達量測水躍，驗證光達可以採非侵入的方式量測複雜流況；Baker et al. (2023) 實驗結果顯示，光達量測結果較壓力感測計佳，並且在時間和空間資料的提供上展現更全面的優勢。此外，Schoonees et al. (2022) 亦利用光達量測階梯式護岸上的波浪溯升。該內容已於第五章說明。	
越波判釋是否可以量化？	本計畫中主要有兩個計畫區域，分別為「海岸公路」與「港區防波堤」。海岸公路區域影像，可透過影像數位高程分析方式量化水線(溯升/越波)高程。港區防波堤區域則因攝影機拍攝距離限制，使其較難量化越波高程，因此僅以「有、無越波」方式來進行越波警戒。該部分內容已補充至修正報告表 3-1。	同意合作單位之處理情形。
所建立的影像判釋技術與國外已有之技術比較，是否有精進之處？另外，是否可達成做為港區警戒的目標？	本計畫目前所用判釋方法大多參酌國外既有技術所建立。由研究文獻可知，國外運用溯升判釋大多屬於相對平整海岸，而本計畫海岸公路區域越波判釋上，需面臨眾多消波設施堆置之海岸，其於水線判釋上難度較高。然而，本計畫透過溯升感測器的建置，以此資料作為真值，可有效調校影像判釋相關門檻參數，使其較能用於較複雜之海岸。此外，港區防波堤越波影像判釋相關研究較為稀少，因此目前團隊是以在地攝影機影像特性來進行越波判釋技術建立，目前應能有效作為港區警戒之目標。	同意合作單位之處理情形。
海岸公路觀測系統之成果展現，建議補充今年颱風時期的溯升影像，建議能有量化成果。	感謝委員建議，於修正報告中圖 6.21 與圖 6.22 分別為今年度凱米颱風與山陀兒颱風事件之溯升影像資料。	同意合作單位之處理情形。
二、陳文俊委員		
本期末報告執行成果具科研與應用價值，且對東部海岸公路行車及花蓮港營運安全有極大幫助，給予委辦單位及執行團隊肯定。	感謝委員肯定。	同意合作單位說明。

近兩年有較多颱風侵臺，建議 1.8.4 節海岸災害及表 1-7 內容可再蒐集有無更新的公路災害及越波事件。	感謝委員意見，已蒐集並更新近兩年颱風侵臺所造成的相關海岸災害、公路災害及越波事件資料於 1.8.4 節與表 1-7。	
文中有出現「本所」之敘述，建議與主辦單位瞭解目前期末報告之用詞如何運用。	感謝委員意見，經與主辦單位確認，報告書係以運研所的立場進行撰寫，因此「本所」的用法符合報告書撰寫要求，故予以保留。	同意合作單位說明。
港區防波堤越波影像分析中，目前設定之天空亮度、清晰度判釋門檻值，是否有經驗驗證後採用之最佳分界？另該門檻值是否會隨軟、硬體之提升而有修訂？	感謝委員意見，本計畫目前所設定門檻參數是透過與人為判釋結果交叉比對所訂定，惟因越波影像資料有限，僅能說明該訂定門檻值為「目前」最佳分界。未來若能蒐集更多越波影像資料則可視資料滾動式驗證情況進行微調。此外，該門檻主要適合目前的影像規格，換言之，若更換硬體(攝影機)或拍攝角度變換，造成影像規格有顯著改變的話，都需要再重新調教門檻值，都會影響門檻值的率定。	同意合作單位之處理情形。
夜間越波判釋在前景門檻值設定超過 12% 即判定有越波，反之無越波，可得影像判釋正確率達 80%，同樣門檻值是否是軟、硬體之提升修正後，可得更佳之判釋正確率；另日間判釋之正確率約為多少？	感謝委員意見，影像正確率達 80% 乃為日、夜間影像判釋綜合結果。此外，軟、硬體之提升或許有可能獲得更好的判釋正確率，惟其門檻值需再次進行率定才能因應變動後的影像特性。	同意合作單位說明。
光達試驗中目前敘述清水、濁水及有無障礙物之試驗所偵測到之碎波高、溯升斜坡高之數值有無與實際量測結果比對？另可進行性評估敘述光達最大量測範圍 80m，直徑 39cm 內之物體皆可反射脈衝光束，不知現場安裝是否仍可採用，抑或可選取依現地安裝條件之儀器規格？概現地如安裝距離長恐 decay。	感謝委員意見，已補充光達量測量化分析結果，並以貼附於斜坡上皮捲尺數據為真值進行觀測數據比對。由溯升高比對結果可知，光達與真值相對誤差約於-7%~7%之間，顯示光達量測結果應具可靠度。相關資料已補充至圖 5.21。此外，目前本計畫所使用光達已為廠商建議可用於現地之規格，且於國外亦有運用於現地量測。本計畫僅透過室內試驗瞭解目前光達量測特性與限制，後續若要運用於國內現地，仍要進一步評估後才能瞭解其適用性。	同意合作單位之處理情形。

1.本計畫於人定勝天路段裝設之溯升感測器，依設置地點照片，不知是否可以量測到越波？另圖 6.19、圖 6.20 比較視之，結果已不錯，或許後續可針對影像判釋局部放大，彼此差異情形給予調校修正。	1.感謝委員建議。目前感測器共安裝 7 顆，並安裝於計畫區北、中、南三個斷面。本年度共收錄 558 筆資料，主要集中於北側與中側斷面。未來於分析比較圖部分會在參酌建議進行調整。	2.
三、溫志中委員		
計畫所提方法成果豐碩可行。	感謝委員肯定。	同意合作單位說明。
以波浪模式模擬波浪越波，建議可測試不同邊界形狀及波浪入射角度，以確認波浪模擬過程因模式設定所產生之差異。	感謝委員建議，因 FUNWAVE 於模擬時，邊界條件有水動力相關限制，因此有考量不同邊界範圍來進行模擬。入射角度部分則有參考相對大範圍的模式產製參數來給定，因此於模擬樣本部分已包含不同入射角度成果。	同意合作單位說明。
如有施工過程，建議要符合職安衛相關法規。	感謝委員意見，攝影機與溯升感測器安裝過程皆符合法規要求。	同意合作單位說明。
建議越波發生時間點，可增加波向線，以確認波浪集中之點位。	感謝委員建議，目前波場結果雖亦可看到波浪集中現象，透過增加波向線應可強化此現象的展現。未來於相關分析上會在參酌該建議加入波向線，以利使波浪分布情況更為顯著。	同意合作單位之處理情形。
建議可提取發生越波時間點，測站資料與模擬輸入資料情境之差異。	感謝委員建議，本年度主要是初步建立防波堤越波機器學習模型，後續確實可透過觀測資料給定來進行情境比對，藉以瞭解模型的可靠性，該建議已列於修正報告建議內容之中。	同意合作單位之處理情形。
四、謝志敏委員（書面意見）		
目前團隊已初步建立花蓮港防波堤越波機器學習模型，並取得良好的訓練結果。建議可將實際事件的海象預報資料納入模型中，進一步檢視和調整當前模型的推估精	感謝委員建議，本年度主要是初步建立防波堤越波機器學習模型，後續確實可透過觀測資料給定來進行情境比對，藉以瞭解模型的可靠性。該建議已列於修正報告建議內容之中。	同意合作單位之處理情形。

度，以提升其在現實情境下的預測效能。		
此計畫已進入第3年度，應該已積累了不少影像判釋越波相關資料。建議彙整這些資料，並對目前已完成的分析成果進行概述，特別是針對海岸公路區域中，較為顯著的越波潛勢區位進行詳細說明。	本年度統計海岸公路111年至113年「有進行分析之影像資料」，其顯示颱風警報前發生越波次數為0筆；警報期間發生越波次數至少33筆(且均於北側斷面發生)；警報後發生越波次數約0筆。由此可知，影像判釋技術確實能夠達到越波警戒功效，且其資料庫能夠輔助災後檢討所用。惟因影像資料較為龐大，後續計畫中會持續針對111年至114年資料進行詳細的越波統計分析，以利瞭解海岸公路段越波可能潛勢區域。	同意合作單位之處理情形。
報告中提及FUNWAVE造波的相關限制，建議在列舉相關文獻的基礎上，簡要概述這些限制條件，讓讀者能更清楚理解該模型的使用範圍及其可能的誤差來源。	感謝委員建議，已於修正報告中補充FUNWAVE造波相關限制內容，並條列說明。參見p.4-11	同意合作單位之處理情形。
該計畫研究區域包括花蓮港與人定勝天路段，建議簡要彙整2個區域的影像判釋分析概念或技術上的差異。這樣不僅有助於對比兩個區域的研究情況，也能更清楚地指出各自面臨的挑戰和適用的技術。	本計畫中主要有兩計畫區域，分別為「海岸公路」與「港區防波堤」。其中，海岸公路是採用「光學影像」和「熱成像」影像資料來進行分析，此部分是屬於同時採用各自的判釋方法來進行分析；而港區防波堤則是先判斷該影像是屬於「光學影像」或「近似灰階影像」後，再進行各自的影像判釋分析方法。該內容已於修正報告補充說明，並整理至表3-1內。	同意合作單位之處理情形。
五、陳麗華委員（書面意見）		
p3-4, 112年海葵颱風期間影像資料收集以1秒為間隔擷取，其中提及影像在紀錄中有卡頓的現象，是否會影響影像判釋的結果？建議加大影像傳輸的頻寬及速率或調整（縮小）擷取的速率。	感謝委員建議，因卡頓現象會遺失部分影像擷取結果，使之無法記錄完全。然而，此現象發生時間短，因此對應分析時間與溯升延時現象而言應不至於影響判釋結論。	同意合作單位說明。

p4-1，同樣等級的颱風因路徑不同應該造成越波時機亦有不同，建議將中央氣象署海象資料介接並納入分析以精進準確度。	於海象追算部分，確實已有涵蓋不同颱風路徑，而其模擬成果均有與氣象署海象資料進行比對，以確認其準確性。	
p4-10，「於今年 (113 年)5 月時港務局重新測量…」，請釐清為航港局或是臺灣港務股份有限公司。	感謝委員建議，已修正為臺灣港務股份有限公司重新辦理 113 年花蓮港 0403 震後碼頭海陸域地形測量工作。	同意合作單位說明。
第六章本年度影響花蓮地區之康芮颱風為人定勝天路段帶來極高的浪高，造成路面多次波浪攻擊，公路單位為維護用路人行駛安全，遂依本浪襲預警系統中 CCTV 與廠商人力監控後決定實施封路作業，因本次預警系統之警示燈號並無示警，故不知於何時可預判行動作業，後續系統雖已恢復正常，惟仍建議於每次調整系統後應作完整確認，避免再次發生無預警資訊 (燈號) 之情況。	感謝委員建議，後續團隊會再協助中心滾動式進行預警系統優化，以使其更為穩定提供預警資料。	同意合作單位之處理情形。
光達運用目前仍以室內試驗為主，建議於後續年度能夠增加光達觀測，以增進判釋準確度。	感謝委員建議，近年來國外確實逐漸有光達運用於現地觀測之相關研究，未來若國內有相關研究議題可再持續評估其於國內現地觀測之適用性。	同意合作單位之處理情形。
六、鍾權宏委員(書面意見)		
建議後續修訂時，考量將花蓮港舊東堤及西堤納入越波影像判釋範圍。	感謝委員建議，因本計畫所採用攝影機均為現地既有攝影設備，且其具備適合觀測越波之影像條件，未來若相關位置之影像條件能夠滿足，亦可進一步納為分析考量。	同意合作單位說明。

113 年 10 月 31 日康芮颱風造成花蓮港東防波堤消波胸牆與堤面道路損壞約達 1,550 公尺，日後修復若改變胸牆樣式修復，或加拋消波塊時，是否會影響觀測設備觀測及判讀？	堤面損壞確實會影響目前的影像判釋，後續得再針對該影像參數進行調校，才能夠恢復其適用性。	
七、本所運輸技術研究中心蔡立宏主任		
花蓮港東堤外地形底床坡度較陡，加上堤外消波塊及防波堤消波孔及隔艙，以 FUNWAVE 模式模擬近岸波浪傳遞及溯上，因模式有其限制性，未來可考量再以斷面二維模式模擬，期更符合實況之溯上及越波。	各種數值模式在模擬物理問題上確實都會有所限制，因此僅能以模擬目的來篩選適合之數值模式工具。以目前本計畫而言，不同海象條件情境下(波高、波向、週期、潮位)所導致的防波堤越波，乃為主要模擬物理現象。其中，波向乃為重要考量參數，而目前採用的二維平面模式較適合模擬整體波場傳遞行為，在透過消波參數率定後，即可近似達至防波堤消波設施的消能現象。雖然斷面二維模式更能有效模擬實際消波設施影響，但也因此無法模擬平面整體波浪的折繞射傳遞現象。	同意合作單位說明。
從影像上在較大波浪來襲時，因波浪衝擊結構物會有飛濺現象而高度超過胸牆，但此時尚未越波，從影像上如何判釋越波與否？	判釋程式是以防波堤港內堤面作為判釋越波基準，先分析無越波時堤面佔前景比例，該參數固定後，若有浪越過堤高至港內堤面處，該影響前景比例則會發生改變，藉此判斷是否有越波情況。因此若飛濺現象僅超過胸牆，但並未觸及堤面則該前景比例不至於變動情況下，並不會判釋為越波影像。	同意合作單位說明。
八、本所運輸技術研究中心林雅雯科長		
p2-1，花蓮港每年平均受 3.1 次颱風的侵襲，應是指有發布警報的颱風？未發布警報之西北太平洋颱風長浪亦會影響到花蓮港。	該數據指的是有發布警報之颱風事件，已於修正報告補充說明。	同意合作單位之處理情形。
p3-8，K-means 分群法，K 設為 12，是最佳的分群數？p3-9 圖 3.11 越波的波浪分為 2 群。	K 設定為 12，是目前率定後，判釋結果與效率上最佳的分群數。圖 3.11 中各色塊均代表不同分群，其中應不只有兩群在越波分群內。	同意合作單位說明。

p3-10 圖 3.15 判釋完會有紅框標示越波發生的區塊？	該紅框僅作為團隊檢視成果所用，作業化的判釋結果目前並不會顯示紅框。	
p3-15 圖 3.27 是否可結合辨識船的程式來排除誤判？	透過判釋船隻程式、環境影像參數判釋、影像延時等應都可能作為排除誤判的方法，後續團隊再針對此問題進行瞭解，以利排除誤判。	同意合作單位之處理情形。
p4-8，建議說明 SCHISM-WWM 耦合情形、輸入及輸出物理量。	已於修正報告補充 SCHISM-WWM 耦合情況，並新增圖 4.4 說明耦合架構。	同意合作單位之處理情形。
p4-10，港務局應為花蓮港務分公司。	感謝提供意見，已修正為臺灣港務股份有限公司重新辦理 113 年花蓮港 0403 震後碼頭海陸域地形測量工作。	同意合作單位說明。
p7-2，建議第 (二) 點後續透過再分析資料比對或不同海象預報資料比對，建議補充說明。	於預報資料比對時，相較於感測器觀測資料，預報資料中部分時間點仍有顯著的誤差存在。然而，其誤差來源可能為海象預報，亦有可能為模型本身誤差。為釐清誤差來源，需於模型輸入相對海象預報的真值，藉以瞭解模型誤差與海象預報誤差。本計畫研究區域分別為人定勝天海岸公路與港區防波堤。於港區防波堤海域有浮標與潮位觀測站，因此可以此觀測資料為真值輸入模型，藉以測試模型的可靠性。惟人定勝天路段外圍海域並無觀測資料可作為真值輸入，因此建議後續應可將相對預報資料更為準確的再分析資料作為真值輸入模型進行比對，以瞭解其模型或海象預報誤差來源。	同意合作單位之處理情形。
請國立成功大學持續協助影像判釋作業化，將判釋結果快速穩定呈現。	遵照辦理。	同意合作單位說明。
簡報第 57 頁統計期間為何？建議研究期間 111-114 年皆進行統計。	該期間為民國 111-113 年之影像（不包含本年度年康芮颱風），惟影像資料龐大，因此目前僅針對已有分析過的結果進行統計，該數據僅為簡易參考，後續會再針對 111-114 影像進行詳細統計。	同意合作單位之處理情形。
九、本所運輸技術研究中心陳鈞彥副研究員		
113 年康芮颱風造成本所於花蓮港區之即時影像系統中斷，日	依據目前判釋程式邏輯來說，在不影像攝影設備影像規格的前提下，系統修復後應該還能夠進行判釋。但該颱風事件所造成的堤面	同意合作單位說明。

後如有類似等級颱風造成故障，修復後越波判釋參數、門檻是否會受到影響？	損壞確實會影響目前的影像分判釋，後續得再針對該影像參數進行調校，才能夠恢復其適用性。	
p6-4，機器學習越波模型產生之模擬燈號(預警值)定義，請比照期末簡報第 54 頁清楚說明。	遵照辦理。	同意合作單位說明。

附錄三

期末報告簡報



交通部運輸研究所運輸技術研究中心





應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)

-防波堤越波影像判釋

期末報告 審查簡報





計畫主持人：吳漢倫 研究員
協同主持人：蕭士俊 教授
協同主持人：陳彥龍 博士後研究員




成大水利及海洋工程學系
 Department of Hydraulic and Ocean Engineering

中華民國 113 年 11 月 13 日

期中審查意見處理情形表	
委員意見	意見回覆與處理情形表
陳冠宇委員	
- 本研究對海岸公路影像判釋測升量測與光達量測及數值模擬皆有相當成果，值得肯定。 - 本4年期研究計畫最終之成果，是否建置一所的預警系統？若是，是否有紅橙黃綠之燈號呈現？影像與潮升計之成果與燈號目前並無連結，與中央氣象署之比較也建議加入。 - 有關評估光達於越波偵測之後續規劃為何，建議說明。 - 本研究採用各種機器學習之技巧，但似乎未採用深度學習，建議說明。	- 感謝委員肯定。 - 感謝委員意見，本4年期計畫主要是建置影像判釋示警系統，而預警系統部分，除前期浪器預警模組外，將增加本期之數值模型預測成果，另潮升計資料主要是為驗證使用，並不會納入作業化警戒設備，影像判釋及預警系統皆會有警戒燈號於系統上呈現供實務單位參考應用。中央氣象署花蓮資料浮標位於七星潭，人定勝天路段外亦沒有較相近的觀測站，未來可透過觀測資料及模型進行越波計算，以確認模型之可靠性。 - 於本年度計畫中，光達偵測是以室內實驗為主，評估光達觀測操作方法與流程及其可能量測限制，評估所得相關建議，可供未來實地觀測參考。 - 感謝委員建議，目前主要是將機器學習運用在潮升/越波警戒技術，參考國外已有相關研究文獻作法，建立機器學習預報模型系統，於影像分析部分，目前仍採用非監督式機器學習方式來處理，主要是因為目前對於越波的影像量測度和數量有所不足，俟該部分有所提升後再進一步採用監督式的機器學習或深度學習方法。
黃偉伯委員	
- 計畫內容成果均按規劃進度執行，成果豐碩，予以肯定。 - 第二章出現格式錯誤部分，建議於期末報告修正。 - 第四章數值模擬部分，大域的網格佈設以圖4.4展示，建議針對閘切區，也就是花蓮港範圍放大另外展示，以利作為網格佈設是否合宜之研判參考。兩模式如何銜接也建議於報告說明。 - 第五章，未來本計畫擬以波浪湧升計、光達監測水位，針對現地以飛躍方式的越波如何監測，宜事前妥善規劃。	- 感謝委員肯定。 - 感謝委員意見，已修正相關錯誤格式。 - 感謝委員意見，因配合FUNWAVE強波相關限制，已將網格配置進行修改，使其更能提升模擬可靠性，兩模式銜接部分亦已於報告中進行說明，詳p.4-9~4-10。 - 感謝委員建議，各觀測儀器確實有其限制存在，因此，以不同形式的觀測儀器同時觀測乃為較保守方式，針對飛躍方式越波，當其量體較大時，潮升計或影像監測系統應該均能捕捉，惟其門檻值可透過兩儀器進行相互牽制。而光達監測目前仍為實驗階段，本年度已針對其研提相關評估資料。
請問花蓮港越波影像，從拍攝到判別需要多久時間。	拍攝到判別約3秒左右，但實際時間需視最後作業化硬體設備來確認。



交通部運輸研究所運輸技術研究中心





應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4) -防波堤越波影像判釋

期末報告 審查簡報





計畫主持人：吳漢倫 研究員
協同主持人：蕭士俊 教授
協同主持人：陳彥龍 博士後研究員



成大水利及海洋工程學系
 Department of Hydraulic and Ocean Engineering

中華民國 113 年 11 月 13 日

委員意見	意見回覆與處理情形表
陳冠宇委員	
• 本研究對海岸公路影像判釋潮升量測與光達量測及數值模擬皆有相當成果，值得肯定。	感謝委員肯定。
• 本4年期研究計畫最終之成果，是否建置一所的預警系統？若是，是否有紅橙黃綠之燈號呈現？影像與潮升計之成果與燈號目前並無連結，與中央氣象署之比較也建議加入。	感謝委員意見，本4年期計畫主要是建置影像判釋示警系統，而預警系統部分，除前期浪器預警模組外，將增加本期之數值模型預測成果，另潮升計資料主要是為驗證使用，並不會納入作業化警成設備，影像判釋及預警系統皆會有警成燈號於系統上呈現供實務單位參考應用。中央氣象署花蓮資料浮標位於七星潭，人定勝天該段外圍亦沒有較相近的觀測站，未來可透過觀測資料及模型進行越波計算，以確認模型之可靠性。
• 有關評估光達於越波偵測之後續規劃為何，建議說明。	於本年度計畫中，光達偵測是以室內實驗為主，評估光達觀測操作方法及流程及其可能量測限制，評估所得相關建議，可供未來實地觀測參酌。
• 本研究採用各種機器學習之技巧，但似乎未採用深度學習，建議說明。	感謝委員建議，目前主要是將機器學習運用在潮升/越波警戒技術，參考國外已有相關研究文獻作法，建立機器學習預報模型系統。於影像分析部分，目前仍採用非監督式機器學習方式來處理，主要是因為目前對於越波之影像量測度和數量有所不足，俟該部分有所提升後再進一步採用監督式的機器學習或深度學習方法。
黃偉柏委員	
• 計畫內容成果均按規劃進度執行，成果豐碩，予以肯定。	感謝委員肯定。
• 第三章出現格式錯誤部分，建議於期末報告修正。	感謝委員意見，已修正相關錯誤格式。
• 第四章數值模擬部分，大域的網格佈設以圖4.4展示，建議針對閘切區，也就是花蓮港範圍放大另外展示，以利作為網格佈設是否合宜之研判參考，兩模式如何銜接也建議於報告說明。	感謝委員意見，因配合FUNWAVE遙波相關限制，已將網格配置進行修改，使其更能提升模擬可靠性。兩模式銜接部分亦已於報告中進行說明，詳p.4-9~4-10。
• 第五章，未來本計畫擬以波浪潮升計、光達監測水位，針對現地以飛躍方式的越波如何監測，宜事前妥善規劃。	感謝委員建議，各觀測儀器確實均有限制存在，因此，以不同形式的觀測儀器同時觀測乃為較保守方式，針對飛躍方式越波，當其量體較大時，潮升計或影像監測系統應該均能捕捉，惟其門檻值可透過兩儀器進行相互半定，而光達監測目前仍為實驗階段，本年度已針對其研提相關評估資料。
• 請問花蓮港越波影像，從拍攝到判別需要多久時間。	拍攝到判別約3秒左右，但實際時間需視最後作業化硬體設備來確認。

期中審查意見處理情形表

委員意見	意見回覆與處理情形表
林雅雯科長	
• 第1頁及第5頁本年度112年文字有誤，請修正。	• 感謝提供意見，已修正文字誤植情況。
• 頁碼編號請依本所出版品格式。	• 感謝提供意見，已修正頁碼編號方式。
• 第8頁圖1.4建議補充說明圖中的內容。	• 感謝提供意見，已於期末報告補充說明。
• 第17、20頁報告書圖號標記錯誤。	• 感謝提供意見，已修正相關圖號。
• 第25頁圖2.4文章未提及。	• 感謝提供意見，該圖片實屬誤植，已撤除。
• 第26頁國外文獻判釋越波發生頻率、位置、寬度及持續時間，建議本案於觀測期間亦能有此統計資料。	• 感謝提供意見，該統計資料確實能夠瞭解該區域越波潛勢情況，而觀測資料數量越多其統計結果可更有可靠性，可先就現有資料進行彙整與分析，以研提目前越波潛勢情況。
• 第28頁圖2.8圖大小，不夠清晰。	• 感謝提供意見，已調整圖片尺寸與解晰度。
• 第32頁「錯誤!找不到參照來源」，請修正。	• 感謝提供意見，已修正相關錯誤格式。
• 第43頁花蓮港垂直區開放條件內是否有越波情形？	• 目前模擬結果和開放垂釣條件比對起來，開放時發生越波的機會不大。
• 第48頁公式4-6有誤，應為 1×10^{-3} 。	• 感謝提供意見，已修正相關內容。
• 第49頁 C_b 將隨總深度 H 而變化，應只有 C_b 隨總深度 H 而變化。	• 感謝提供意見，已修正相關內容。
• 第50頁 N 為作用「力」密度短語， C_{gs} 、 C_{gs} 為 $\sigma\sigma$ 、 θ 空間之傳播速度應為 C_σ 、 C_θ 為 σ 、 θ 空間之傳播速度； C_{tot} 應為 C_{tot} 。	• 感謝提供意見，已修正相關內容。
• 第60頁花蓮港潮位測站在9號碼頭，25號碼頭為靜態測站。	• 感謝提供意見，驗證測站位置已於期末報告修改。
• 第70頁即使影像判釋程序中斷，仍不影響保存影像觀測資料程式之進行，建議瞭解中斷原因，且為示警需求應儘量影像判釋程序不中斷。	• 感謝提供建議，目前已有與中心同仁滾動式檢視該作業化程式問題，儘量達到不中斷之需求。
• 工作會議紀錄應作為附錄。	• 感謝提供意見，已補充歷次工作會議紀錄於附錄二。



National Cheng Kung University

5

期中審查意見處理情形表

委員意見	意見回覆與處理情形表
陳鈞參副研究員	
• 有關花蓮港東防波堤之越波影像判釋門檻，簡報描述之判釋方式及門檻與報告書似有不同（如報告書p41），請於審查意見答覆表說明差異。	• 感謝提供意見，花蓮港東防波堤越波日間影像判釋技術於期中報告書中的最初想法採用超過二值影像之前景門窗值即為越波發生，但後續檢視更多影像後發現，前景門窗值會隨時間變動，主因為水面會隨著潮汐上升或下降，造成門窗值訂定產生難處，故更改判釋方法，採用分群區域是否涵蓋防波堤上緣最為主要的判斷依據。
• 報告書p35，水體色度及影像清晰度之定義請補充說明。	• 感謝提供意見，已於期末報告補充說明。
• 影像判釋的可行性評估步驟，請補充於報告書。	• 感謝提供意見，已於期末報告補充說明。
結論	
• 本案期中報告審查結果，原則通過，請國立成功大學針對前開審查意見，配合檢視調整計畫相關內容。	
• 另請國立成功大學就前開審查意見，研提處理情形答覆意見表，逐項具體回應，並配合修正報告書相關內容。	



National Cheng Kung University

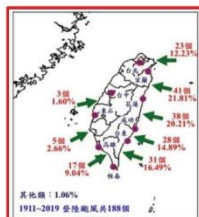
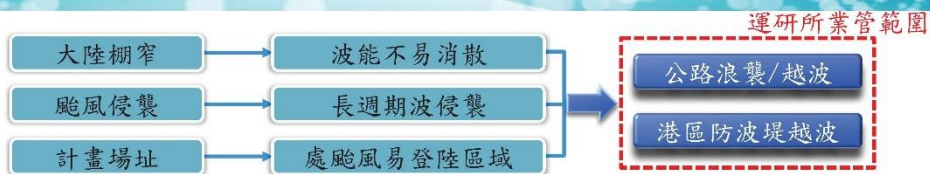
6

簡報大綱

- ◆計畫緣起與目的
- ◆工作流程與架構
- ◆工作進度
- ◆國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集
- ◆港區防波堤越波影像判釋方法建立
- ◆花蓮港區機器學習越波模型建立
- ◆光達感測溯升技術可行性評估
- ◆海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進
- ◆結論



計畫緣起與目的



計畫區為颱風經常登陸區域



花蓮石梯坪受浪襲情況



璨樹颱風期間花蓮海岸公路浪襲情況

計畫緣起與目的

- ◆ 近年來台11線花蓮海岸公路的人定勝天碑路段常為公路總局公告之浪襲路段
- ◆ 運研所已建置浪襲預警系統作為警戒工具
- ◆ 往昔越波及浪襲無現場觀測數據或影像分析等直接資訊



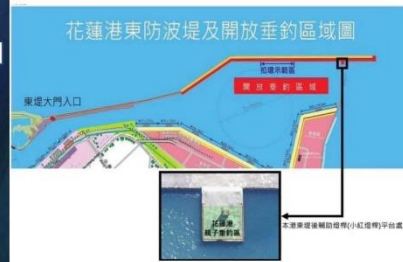
※資料來源：(a)(b)自由時報網站(<https://news.fri.com.tw/news/ife/breakingnews/1405399>)、(c)陳冠宇等人，2021，「花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)」-浪襲預警系統建置

相關浪襲台11線海岸公路事件新聞蒐集

標題	災情	事件地點
2015/8/8 ~ 2015/8/9 強烈颱風迪力		
蘇澳防壁人定勝天碑也倒	掏空路基	台11線62K
人定不勝天? 花蓮「人定勝天碑」不亮		台11線62.1K
花蓮「人定勝天碑」遭捲入海! 台11線先期封閉雙向	岸線地基流失	台11線62~63K
颱風蘇迪勒襲擊台台5死百傷災情慘		台11線62K
2015/8/23 強烈天鵝		
大浪沖刷! 台11線連城崩塌	路肩連城流失	台11線47.6K
2016/9/27 中颱梅姬		
梅姬大浪拍擊台11線! 漂流木、碎石塵土	浪襲道路	台11線62~63K
2018/9/28 ~ 2018/9/30 強烈潭美		
台11線61.5K花蓮豐濱鄉人定勝天路段路基掏空道路封閉		台11線61.5K
颱風潭美襲擊海岸公路花蓮豐濱鄉封閉至10月1日		台11線61.5K
台11線人定勝天路段路基掏空緊急搶修明天上午恢復通行		台11線61.5K
潭美掀浪! 花蓮台11線豐濱人定勝天路段路基掏空道路封閉	路基掏空	台11線61.5K
潭美颱風掀浪花蓮台11線豐濱段路基掏空		台11線61.5K
潭美8小時花蓮豐濱人定勝天從單線雙向通行		台11線61.5K

計畫緣起與目的

- ◆ 開放花蓮港區內新東防波堤部分區域供民眾垂釣使用
- ◆ 強烈颱風山竹行進路徑雖未直接通過臺灣境內，然花蓮港仍一度激起巨浪
- ◆ 無現場越波觀測資料作為警戒所用



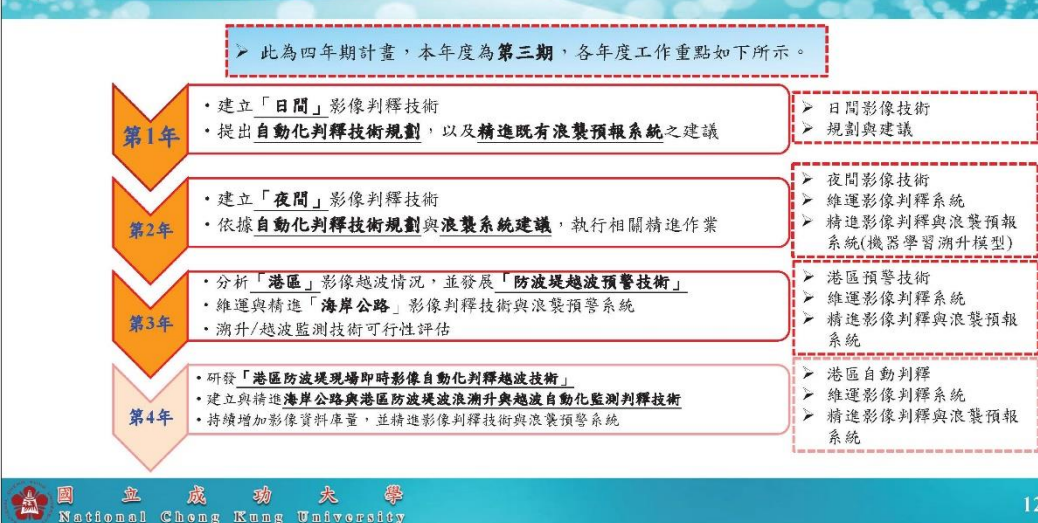
資料來源：花蓮港東防波堤釣魚安全預知

計畫緣起與目的



11

計畫緣起與目的



12

工作流程與架構



工作進度

工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	年別	113年										
	月份	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(一)國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集												
(二)港區防波堤越波影像判釋方法建立												
(三)花蓮港區機器學習越波模型建立												
(四)光達感測測升技術可行性評估												
(五)海岸公路觀測系統及機器學習模型維護與精進												
(六)報告撰寫												
預定進度累積百分比(%)		10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	100
查核點(▲)	預定查核點	查核點內容說明										
1	第一季	政府部門研究計畫基本資料表登錄										
2	第二季	期中報告初稿(112年6月28日)										
3	第三季	期末報告初稿(112年10月25日)										
4	第四季	成果報告修正及經費支出報告表										

國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集

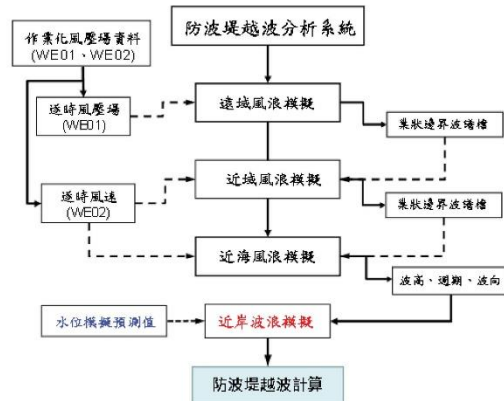
國內相關研究資料蒐集

- 海象模擬作業化系統新增花蓮港外廓防波堤越波模組建置，並以新東防波堤為研究對象
- 現階段尚未有運用影像判釋技術用以監測港區防波堤越波現象之實例



資料來源：自由時報、中時新聞網、蘋果日報

颱風期間花蓮港大浪越堤實況



資料來源：交通部運輸研究所(2022)，「海氣象預測與系統之維護與維護(1/4)-維護基隆港海堤」

花蓮港外廓防波堤越波分析系統整體架構圖

國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集

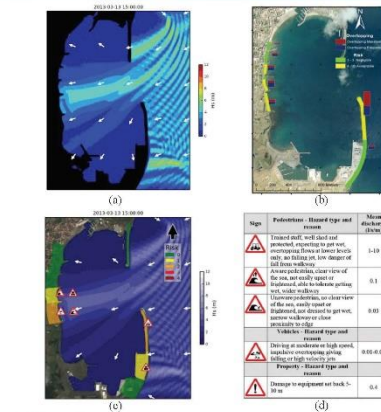
國外相關研究資料蒐集

- 透過影像觀測的方式進行越波特性分析、危險程度分級及警戒流程(Power et al., 2017)
- 國外已有針對港區建立越波預警系統，其中包含港內區域與防波堤處越波警戒



資料來源：Power et al. (2017)

利用影像觀測技術於海堤和防波堤越波之研究



資料來源：Sabino et al. (2014)

葡萄牙海岸越波災害預警系統

港區防波堤越波影像判釋方法建立

- ◆ 業於112年5月25日辦理花蓮港區防波堤現地勘查作業，藉以評估花蓮港區防波堤所需攝影機架設地點。
- ◆ 勘查評估地點包含花蓮港務警察總隊東堤分駐所樓頂、向日廣場景觀台涼亭，以及花蓮港東防坡堤等處。
- ◆ 考量架設攝影機之位置與高度限制，建議改以判釋越波與否作為警戒標的，並採用既有之花蓮港西防波堤堤頭攝影機 (AXIS Q1786-LE)。



港區防波堤越波影像判釋方法建立

花蓮港攝影機 (AXIS-Q1786-LE) 因具有紅外線照明功能，於夜間亦有拍攝影像之能力，惟影像為近似灰階。該越波影像判釋系統將分析日間影像及夜間影像，並以能夠判釋越波事件的發生為主要目標。

2023-09-03 04:08:22



2023-09-03 06:25:00



港區防波堤越波影像判釋方法建立

夜間影像

- 近似灰階影像色彩較為單純
- 較容易分辨碎波資訊(白色區塊)
- 二值化比例關係判釋



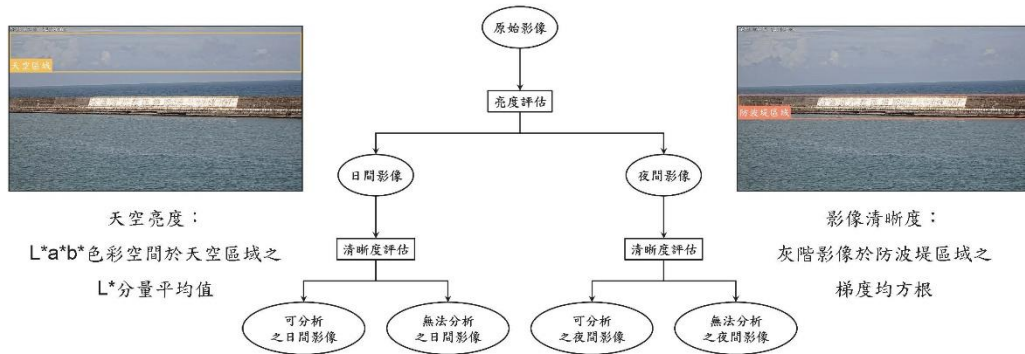
日間影像

- 日間影像具備豐沛的色彩資訊
- 需進行像素分群
- 分群區塊是否涵蓋判斷線



港區防波堤越波影像判釋方法建立

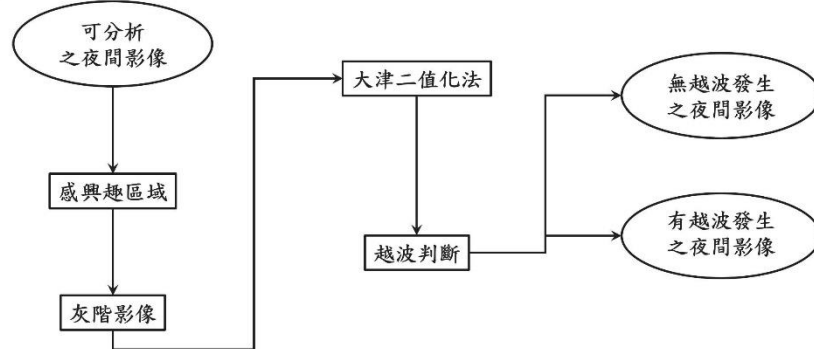
第一步先將影像分類為日間影像或夜間影像，其次再藉由清晰度評估影像是否適合繼續分析。



港區防波堤越波影像判釋方法建立

夜間影像判釋方法建立

夜間影像判釋流程：因紅外線照明，夜間影像類似於灰階影像，缺少色彩資訊僅有亮度資訊，建立初期採用大津二值化法為核心處理。



港區防波堤越波影像判釋方法建立

夜間影像判釋方法建立

感興趣區域(實際執行影像分割之區域)：



將影像分割範圍縮小至感興趣區域，可節省計算資源，加快判釋結果產出。

港區防波堤越波影像判釋方法建立

夜間影像判釋方法建立

大津二值化法(Otsu's Method)：



影像分割方法：大津二值化法

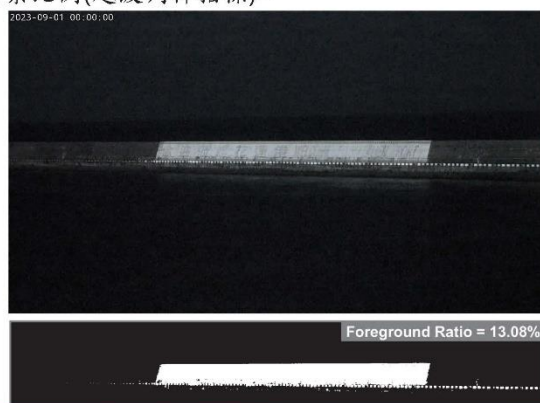


影像分割結果之白色像素為前景，包含防波堤白色區塊及越波(碎波)水體，剩餘黑色像素為背景。

港區防波堤越波影像判釋方法建立

夜間影像判釋方法建立

前景比例(越波判釋指標)：



在無颱風影響之一般情況下，大津二值化法後之二值影像前景比例約為13%左右。

港區防波堤越波影像判釋方法建立

夜間影像判釋方法建立

判釋越波：

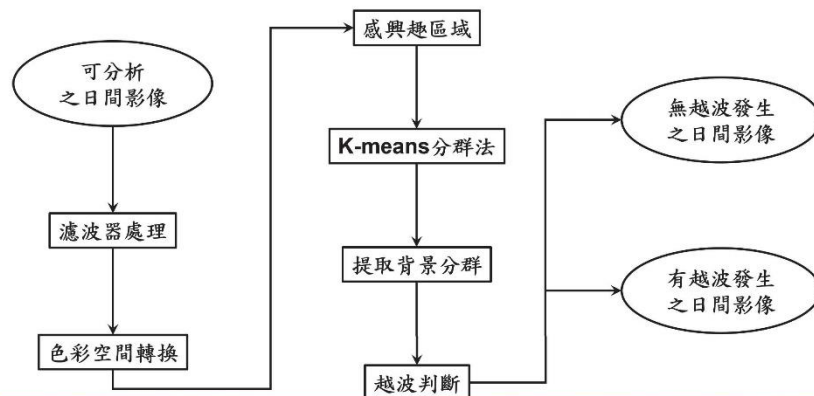


在越波發生時，前景比例會隨著越波(碎波)水體增加而上升，故設定前景門檻值判釋越波，目前將此門檻值設定為12%

港區防波堤越波影像判釋方法建立

日間影像判釋方法建立

日間影像判釋流程：日間影像具備豐富的色彩資訊，故技術以K-means分群法為主體(與人定勝天路段相同)。

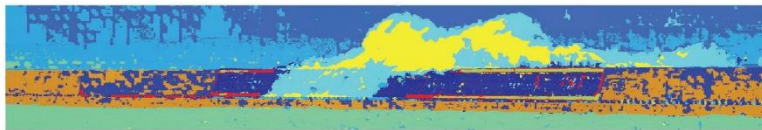


港區防波堤越波影像判釋方法建立

日間影像判釋方法建立
K-means分群法：



影像分割方法：K-means分群法

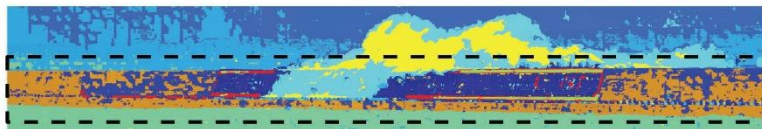


在影像分割結果中，同顏色之像素位置代表被分類為同一分群，而不同顏色代表不同分群。

港區防波堤越波影像判釋方法建立

日間影像判釋方法建立
提取背景：

K-means分群結果之黑框為防波堤區域



將包含防波堤像素之分群轉為背景
剩餘分群為前景



若某分群像素數量於防波堤區域內佔比大於等於總數量之95%，則定義為二值影像的背景。

港區防波堤越波影像判釋方法建立

日間影像判釋方法建立

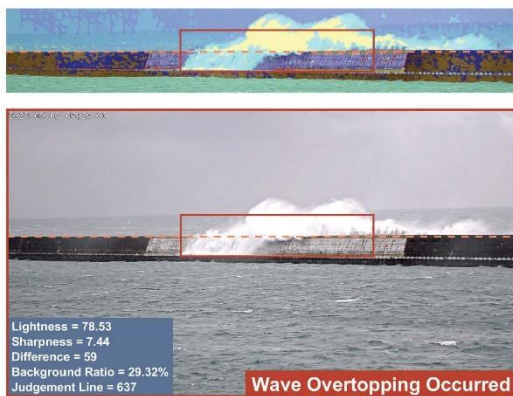
劃定越波判斷線：



港區防波堤越波影像判釋方法建立

日間影像判釋方法建立

判釋越波：



若前景分群小區塊涵蓋越波判斷
線，則此影像將判釋越波發生。

港區防波堤越波影像判釋方法建立

總結：

- 花蓮港越波影像判釋技術整體判釋正確率於海葵颱風警報期間約為**80%**，較大越波發生時皆能夠正確判釋，剩餘20%則為越波水體較少或是影像清晰度較低導致錯誤發生。
- 夜間影像以**大津二值化法**為核心，設立**前景門檻值**判斷是否發生越波；而日間影像以**K-means分群法**為核心，設立**判斷線**檢視是否有**前景區塊涵蓋**，藉此判斷是否發生越波。後續將持續納入更多影像資料，以精進判釋技術。

花蓮港區機器學習越波模型建立

以前期計畫中海岸公路越波模型建置流程為基礎，進行港區越波機器學習模型之建立

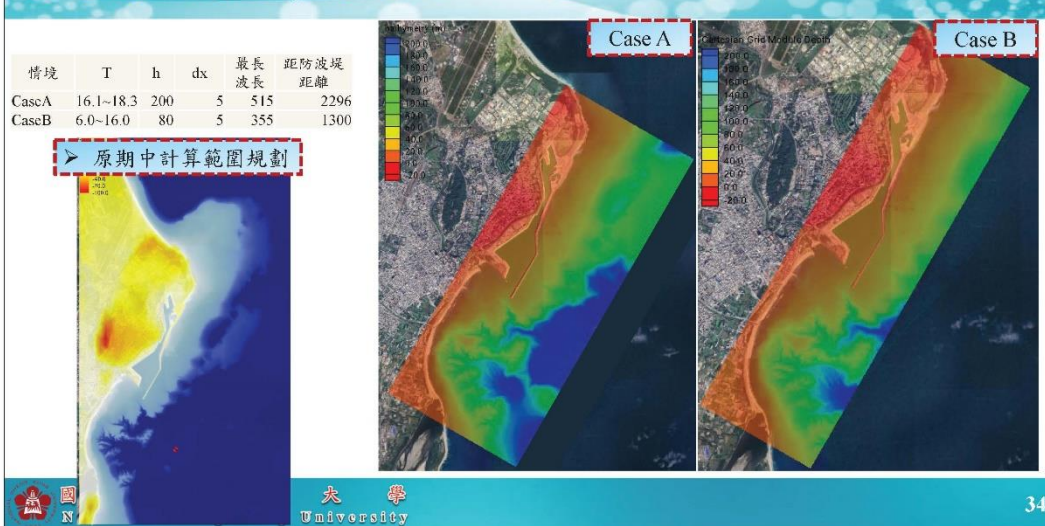


花蓮港區機器學習越波模型建立

- ◆ 海象追算模擬：採用 SCHISM 模式
- ◆ 近岸溯升模擬：採用 FUNWAVE 模式



花蓮港區機器學習越波模型建立



花蓮港區機器學習越波模型建立

波高：3 m；週期：12s；波向：120°；水位：0.69m



波高：7 m；週期：18s；波向：120°；水位：0.69m

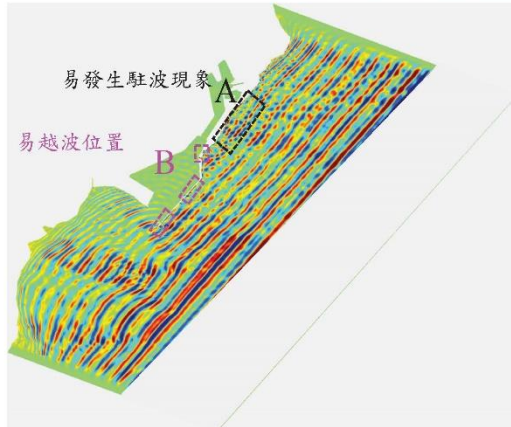


花蓮港區機器學習越波模型建立



30	2023/09/03/00	0
31	2023/09/03/01	1
32	2023/09/03/02	1
33	2023/09/03/03	1
34	2023/09/03/04	1
35	2023/09/03/05	1
36	2023/09/03/06	1
37	2023/09/03/07	1
38	2023/09/03/08	1
39	2023/09/03/09	1
40	2023/09/03/10	1
41	2023/09/03/11	0
42	2023/09/03/12	1
43	2023/09/03/13	1
44	2023/09/03/14	1
45	2023/09/03/15	0
46	2023/09/03/16	1

2023 海葵颱風事件為驗證對象(共86筆)，其有越波事件誤判率約 14%；無越波事件誤判率約 8%



花蓮港區機器學習越波模型建立

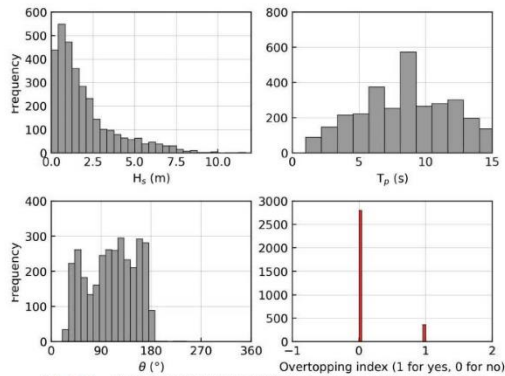


圖 4.14 花蓮港防波堤越波機器學習模型的訓練集樣本分布

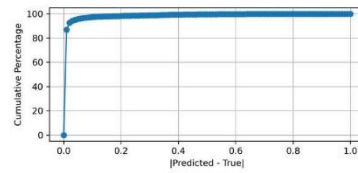


圖 4.16 花蓮港防波堤越波機器學習模型於不同越波誤差值的累積分佈

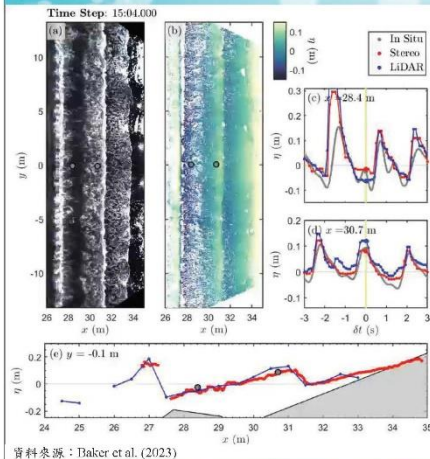
在發生越波情況（真值為 1）的情況下，預測值與真值之間差異的累積分佈。結果顯示，誤差在 0.02 內的情況佔整體的 90%，而誤差在 0.04 以內的情況佔了整體的 95%。因此，可以將這些結果用作預報值警戒的門檻條件。例如，若設定 95% 的信心水準，可以將越波的定義設定為預報值介於 0.96 到 1.04 之間，超出這個範圍的預報值則判定為無越波情況。

花蓮港區機器學習越波模型建立

總結：

- 透過目前追算模擬資料分析，花蓮港較易發生越波的區域大致集中於東側新防波堤與舊防波堤銜接區域、本計畫攝影機拍攝範圍與堤頭位置。
- 舊堤外圍海域會有類似駐波現象發生，惟此需要相關資料進一步瞭解該現象是否合理。
- 目前機器學習模型不同資料集的相關係數皆高於 0.8 以上，顯示訓練所得模型具不錯的適用性。

光達感測溯升技術可行性評估



資料來源: Baker et al. (2023)



國立成功大學波流水槽 (潛在實驗場1)



國立成功大學潰壩水槽 (潛在實驗場2)

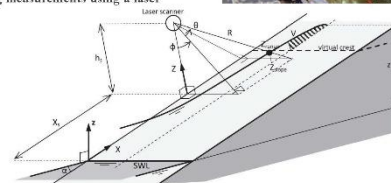
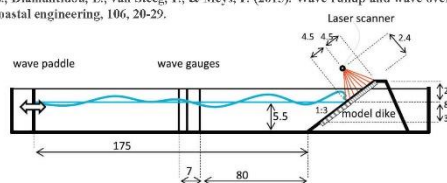
國立成功大學水工試驗所大型斷面水槽 (潛在實驗場3)

39

光達感測溯升技術可行性評估

- 光達型號為LMS511pro-HR、波長為905微米、掃描頻率32赫茲
- 水槽：240公尺長、5公尺寬、7公尺高、衝程5公尺、水深5公尺下示性波高達1.6公尺
- 光達架設高為2.378公尺、傾斜角度 26°
- 光達量測將與電阻式波高計(3支)及目測(2人)對照
- 水體濁度建議大於 40 NTU
- 建議傾斜角度至少 5° 到 15°

Hofland, B., Diamantidou, E., van Steeg, P., & Meys, P. (2015). Wave runup and wave overtopping measurements using a laser scanner. Coastal engineering, 106, 20-29.



40

光達感測溯升技術可行性評估

光達資訊：

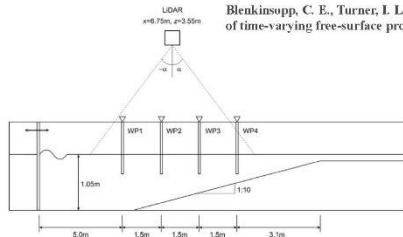
- LMS200-30106
- 波長為905微米
- 角解析度為 0.5° 、視野為 180°
- 掃描頻率37.5赫茲

波浪探針資訊：

- 4支電容式
- 有 ± 3 毫米的誤差
- 頻率120赫茲

水體資訊：

- 1公斤高嶺土(kaolinite)
- 中值粒徑20微米



Blenkinsopp, C. E., Turner, I. L., Allis, M. J., Peirson, W. L., & Garden, L. E. (2012). Application of LiDAR technology for measurement of time-varying free-surface profiles in a laboratory wave flume. Coastal Engineering, 68, 1-5.

實驗配置：

- 水槽：35公尺長、0.9公尺寬、水深1.05公尺
- 斜坡：0.9公尺高
- 光達位於水槽中心線
- 掃描範圍6公尺長(4.5公尺~10.5公尺)

光達實驗

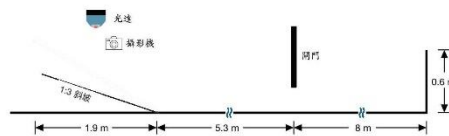
參考Hofland et al. (2015)後之實驗配置，斜坡1:3，並使用角鋼將光達傾斜 15° ，同時參考Blenkinsopp et al. (2015)於水體中加入高嶺土增加光達接收資訊，本實驗將於清澈水體中加入高嶺土，並使濁度超過40NTU。



斜坡俯視圖



斜坡側視圖



實驗配置圖



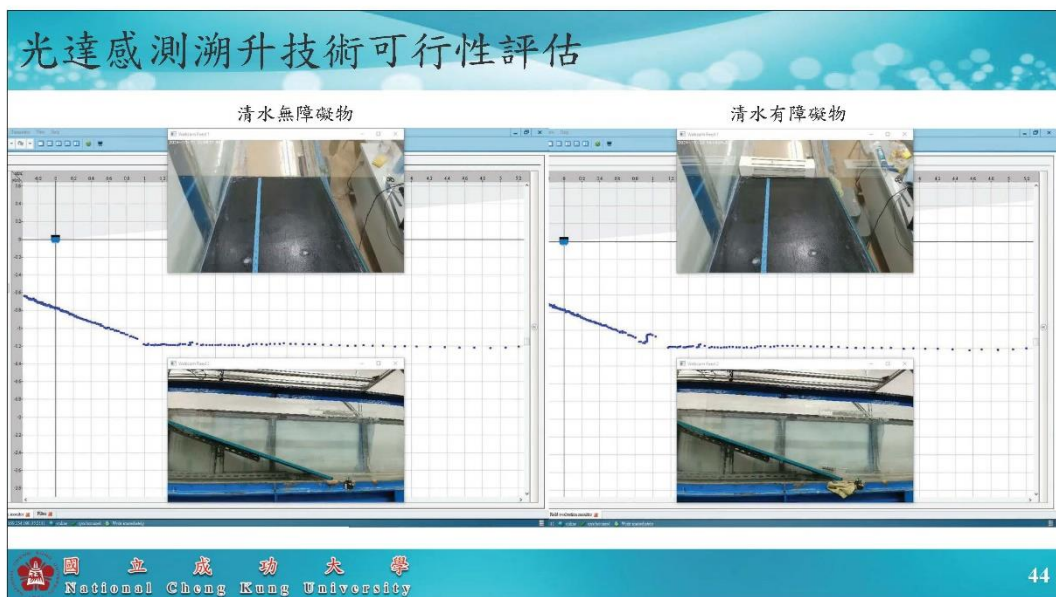
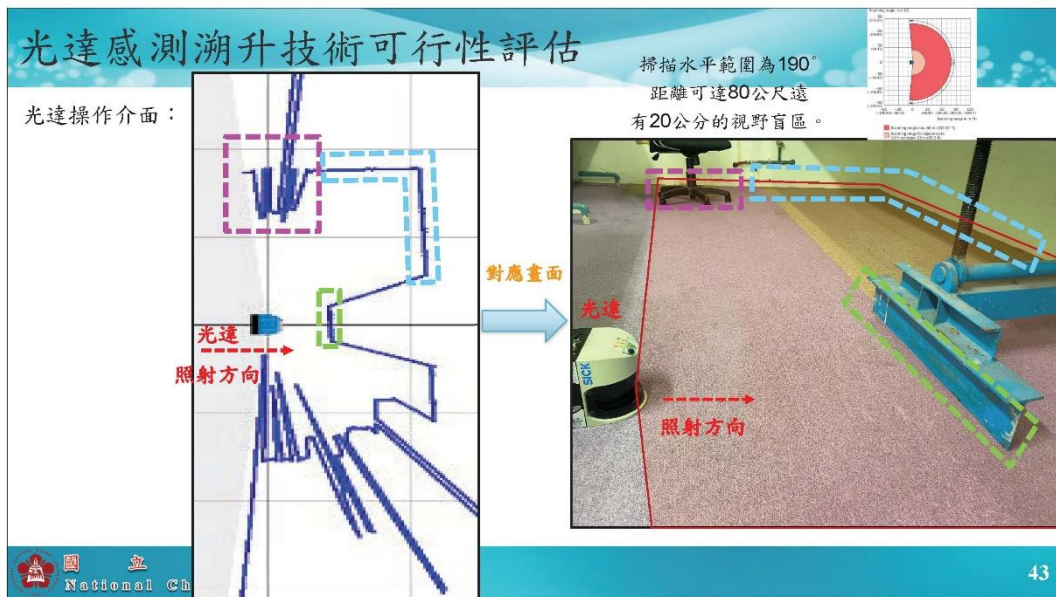
Logitech
MX Brio 4K Ultra HD



濁度計

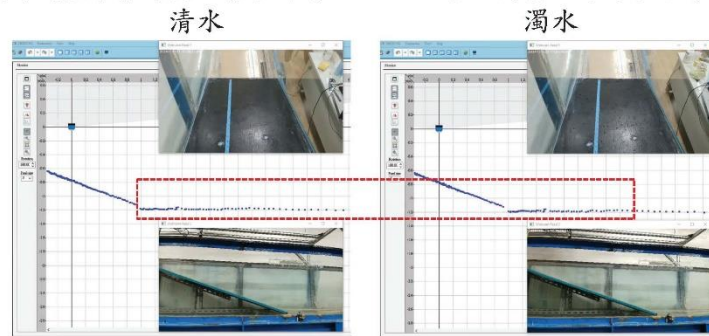


SICK
LMS511-20100 PRO



光達感測溯升技術可行性評估

實驗使用濁度計測量水質濁度，清水約為 0.4 NTU，添加高嶺土的濁水約為 50 NTU。



由光達量測清水與濁水的結果比較可知，**濁水**在水面線變化的量測結果較好。

光達感測溯升技術可行性評估

總結：

- 當碎波發生時，不論清水(NTU約為0.4)或濁水(NTU約為50)，光達皆可獲取碎波訊號。
- 添加高嶺土後的溯升水面線於光達上有更佳的觀測效果。
- 放置障礙物會使碎波高程上升，溯升高程降低，此現象可被反映在光達的量測結果中。
- 光達的光束會隨著距離而發散，若要實際應用需要納入考量。

海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

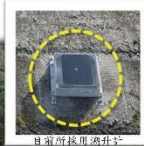
海岸公路觀測系統維運與精進

影像觀測資料蒐集
(非侵入式)



- 設備不易受損害
- 影像易受天候影響

溯升計觀測資料蒐集
(侵入式設備)



- 觀測物理機制較單純且直接



花蓮人定勝天路段

海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

海岸公路觀測系統維運與精進

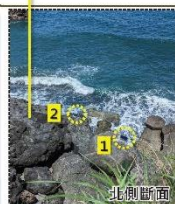
- 前期計畫中攝影機有因颱風事件而損毀，今年得需重新安裝該路段攝影設備(已於4/10完成)
- 需彙集更多情境影像資料，同步精進判釋功能
- 精進自動化判釋系統效率與穩定性。
- 協助影像判釋與越波預報警戒作業化工作



人定勝天路段夜間影像判釋結果圖(熱成像)

海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

潮升計觀測資料蒐集



即時回傳 感測電壓

斷面	09-21 00	09-22 12	09-23 00	09-23 12	09-24 00	09-24 12	09-25 00
北側斷面 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
北側斷面 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中側斷面 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中側斷面 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
南側斷面 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
南側斷面 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
南側斷面 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

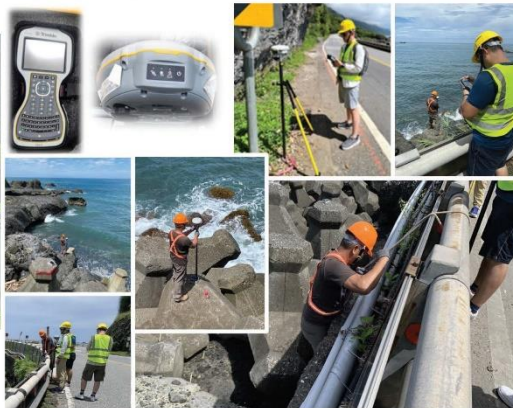
- ◆ 已於6月11日進行安裝
- ◆ 本年度共蒐集558筆資料

海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

潮升觀測維運



攝影機更換作業



現場量測及量測工具潮升計安裝



海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

測升觀測精進

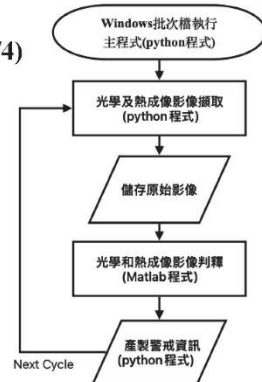
本年度自動化影像判釋系統改善內容

改善/更新項目 (完成日期)	處理方式
影像判釋程式(Matlab)無法產出分析結果，造成自動化分析程序停滯 (113.03)	修改Matlab程式，使自動化分析程序不會因封釋問題而停滯 (後續持續修正優化Matlab程式，提升準確率)
影像判釋有顯著誤差 (113.04)	調整影像判釋程式，並定期分析過往資料，藉以提升判釋成功率
影像下載程序(python)嘗試多次連線影像伺服器失敗，造成自動化分析程序中斷 (113.05)	程式是以python撰寫程序控制「影像擷取」和「影像分析」之流程，並於Unix-based系統可穩定執行。惟，程式於Windows作業系統穩定性不佳，故重新調整分析流程，採用獨立執行「影像擷取」和「影像分析」的方式
攝影機重新架設，拍攝角度改變 (113.05-06)	調整影像判釋程式相關參數
光學影像來源更改 (113.06)	修改影像擷取程式
影像高程與警戒線更新(113.07)	重新套疊高程資料，並依據目前影像解析度調整警戒線
觀測影像擷取頻率修改(113.07)	修改為光學：1張/10s；熱成像1張/3s
因下載影像不完整 (可能是影像伺服器或網路問題)，使分析程式讀取不正確的影像檔案(0 kb)，造成分析程式中斷 (113.09)	修改分析程式，讀取影像前確認檔案大小是否正常。
因光學和熱成像分析產出之測升高和警戒線號之檔案(csv)在運行中出現讀寫的權限問題 (113.09)	修改分析程式，增加嘗試讀寫檔案的次數和間隔。

海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

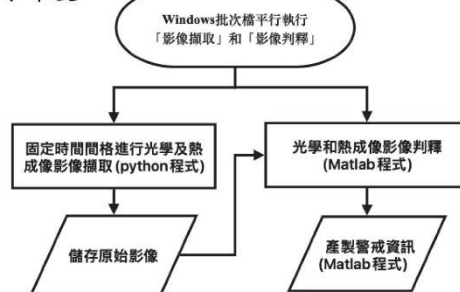
潮升觀測精進

前期計畫(2/4)



本年度

本年度自動化影像判釋系統改善內容

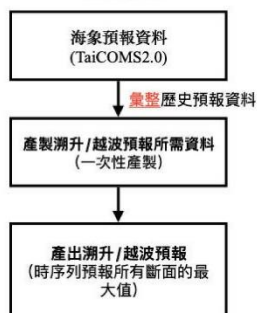


將「影像擷取」和「影像判釋」分開執行的方式進行，提升穩定性，並可提升影像觀測資料持續收錄的可靠度。

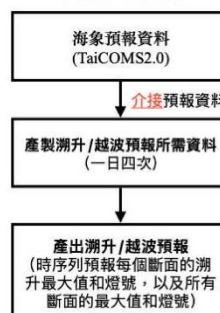
海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

機器學習模型精進

前期計畫(2/4) 「可行性分析」



本年度計畫 「自動化一日四報」

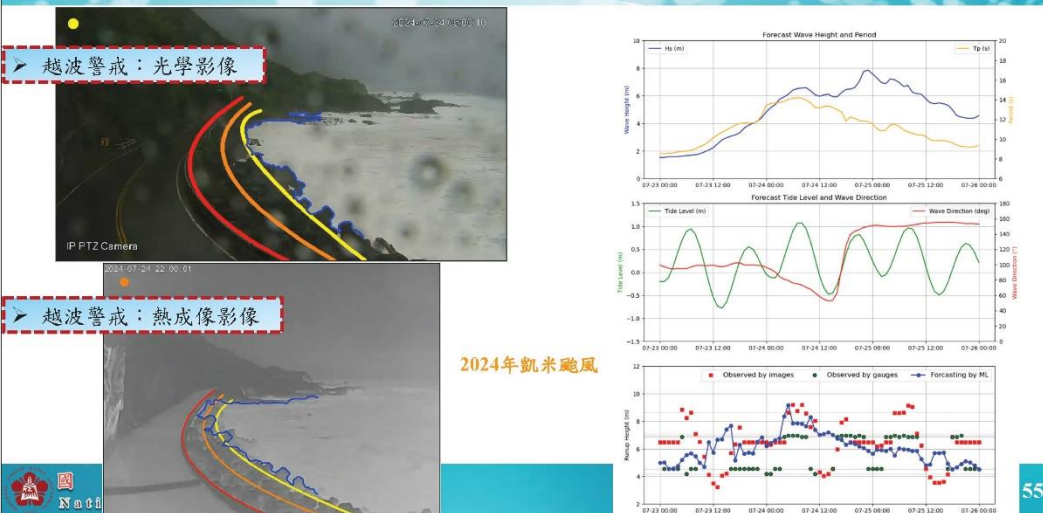


四種燈號

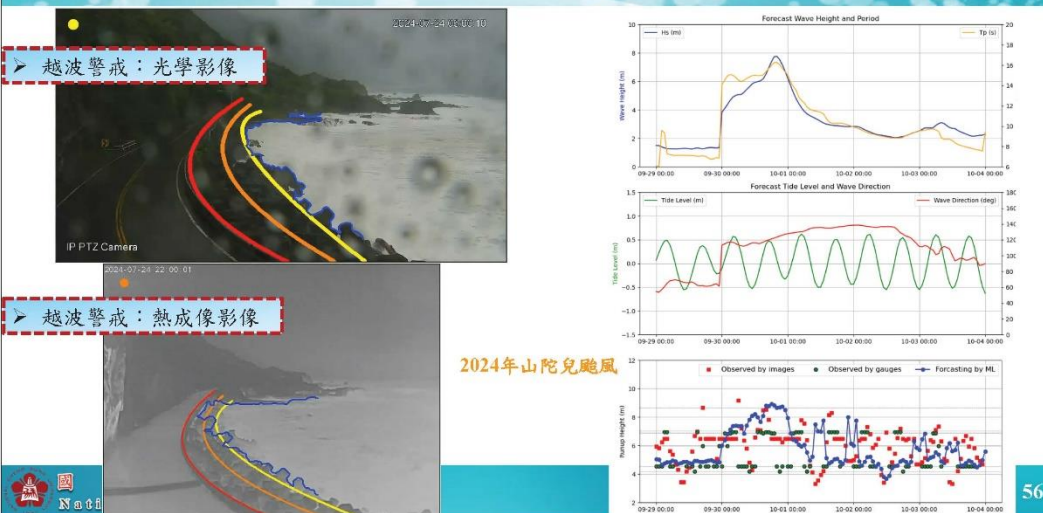
- 1: (路面高 - 潮升高) ≥ 3 m
- 2: (路面高 - 潮升高) ≥ 2 m
- 3: (路面高 - 潮升高) ≥ 1 m
- 4: (路面高 - 潮升高) < 1 m

➢ 已完成潮升/越波預報自動化模組建立。

海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進



海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進



海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

判釋資料初步統計



- 警報前發生越波次數：0筆
- 警報前發生越波次數：至少33筆
(均於北側斷面發生)
- 警報後發生越波次數：0筆

海岸公路觀測系統及機器學習模型維運與精進

總結：

- 維運部分：
 - ✓ 溯升計資料共蒐錄558筆資料。
 - ✓ 分析判釋凱米颱風與山陀兒颱風事件。
- 精進部分：
 - ✓ 協助作業化越波預報系統與影像判釋系統。
 - ✓ 越波警戒燈號建立
 - ✓ 提升影像蒐錄與判釋效率
 - ✓ 配合風場資料修改為一日4次預報

結論

- ◆ 已完成防波堤越波影像日、夜間判釋方法與流程且透過往昔有越波之影像進行參數率定與調校。前該技術影像判釋越波正確率約為80%
- ◆ 已完成花蓮港越波追算模擬，並與觀測資料與人為判釋越波結果進行驗證。進一步將模擬資料作為樣本，建立機器學習模型，其不同資料集的相關係數皆高於 0.8 以上，顯示訓練所得之模型具有不錯的適用性。
- ◆ 已完成光達採購作業、實驗規劃與設置及測試等工作。濁度與碎波特性均會影響光達反射訊號的順利傳遞。
- ◆ 於人定勝天路段維運與精進作業中，完成控制點量測作業與感測器維護工作。於此期間持續協助人定勝天路段溯升影像判釋警戒系統建立與預報警戒系統作業化建立等工作。

建議

- ◆ 本年度已有初步建立防波堤越波機器學習模型，並有進行預報驗證比對。後續可藉由目前所累積觀測資料(影像分析)，將該觀測資料進行率定，並匯入模型中進行修正，以期提升模型可靠性。
- ◆ 於預報資料比對時，相較於感測器觀測資料，預報資料中部分時間點仍有顯著的誤差存在。然而，其誤差來源可能為海象預報，亦有可能為模型本身誤差。後續應可透過再分析資料比對，或是不同海象預報資料來進行比對，以瞭解其誤差來源。

附錄四

歷次工作會議紀錄

3 月工作會議紀要

時間：113年3月27日（星期三）上午10時至11時30分

主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

壹、討論議題

- 一、花蓮港區及人定勝天路段攝影機預計於 113 年 4 月份完成更新汰換，並於更新後辦理現地勘查作業，進行相關控制點位測量定位。
- 二、人定勝天路段之溯升感測器預計於 113 年 4 月份完成安裝，光達感測器採購作業進行中，後續將於室內潰壩水槽進行試驗，除採用光達感測器量測以外，亦將透過超音波波高計進行相關資料量測。
- 三、持續蒐集 112 年度花蓮港區颱風期間之越波影像，做為越波機器學習模式之驗證與率定使用。此外，已更新自動化影像判釋程式，針對自動化分析程序中斷與停滯的現象進行修正，以確保自動化作業可持續性。
- 四、有關人定勝天路段之公路自動化判釋越波影像，現已修正部分程式，使用「例外處理（try、except）」語法，使 requests 出錯時能繼續執行並調整 requests 之重試邏輯，增加重試的時間間隔（1 秒改為 10 秒，避免太過頻繁的讀取），可避免錯誤發生時，程式不斷重試而停止運作，另針對水線分析之誤判現象，已調整影像中感興趣區域 (ROI) 的劃定及精進水體分群判別，以優化水線判釋。

貳、主要結論

- 一、花蓮港區新增之攝影機拍攝角度，原則上維持與現有攝影機拍攝角度一致。
- 二、有關公路自動化判釋越波影像，誤判影像建議收錄於校驗資料庫，供後續程式精進應用。
- 三、請提出影像自動化判釋之準確率及誤判率資訊，並逐步提升準確率。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案 3 月份工作會議

貳、時間：113 年 3 月 27 日(星期三) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	研究助理	左秀文(視訊)
本所運輸技術研究中心	副研究員	陳金碧

4 月工作會議紀要

時間：113年4月26日（星期五）上午10時至11時40分

主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

壹、討論議題

- 一、花蓮港區及人定勝天路段攝影機已於 113 年 4 月 10 日完成更新汰換，有關溯升感測器安裝，受近期花蓮地震影響，原訂 4 月中完成安裝之規劃延期，擬於 5 月初完成。
- 二、完成 112 年度花蓮港區颱風影像資料蒐集，正辦理影像分割作業，後續擬進行現有影像判釋技術應用於花蓮港區越波影像判釋之適用性分析。
- 三、花蓮港區水深地形與防波堤結構資料業已蒐集完成，數值模式之機器學習模型建置規劃中，雖 4 月 3 日大地震後造成花蓮港區地表抬升，為避免新地形產製時程影響計畫執行期程，先採用 112 年度颱風期間之花蓮港海象觀測及越波影像資料進行分析，待取得更新地形後，再重新進行模擬校正。
- 四、有關光達試驗評估越波偵測與示警可行性，初步規劃以 1:10 斜坡搭配消波塊，進行碎波與溯升模擬，透過光達感測器及超音波波高計同步進行量測，以驗證光達感測溯升技術之可行性，光達感測器採購作業進行中。

貳、主要結論

- 一、關於人定勝天路段數值越波模型，先採用現行花蓮海岸公路浪襲預警系統警示燈號設定之高程資料，提供測試版本供本所測試，另請國立成功大學修改海岸公路越波影像分析程式時，路徑資料夾採用固定名稱。
- 二、請國立成功大學將本所花蓮港區港內靜穩度觀測站資料，納入數值模式驗證使用。
- 三、本所（運輸技術研究中心）截取之影像將定期傳送給國立成功大學，請接續辦理水線判釋準確度分析及判釋技術精進。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案 4 月份工作會議

貳、時間：113 年 4 月 26 日(星期五) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	研究助理	左秀文(視訊)
本所運輸技術研究中心	副研究員	<u>陳金峰</u>

5 月工作會議紀要

時間：113年5月20日（星期一）下午2時至3時30分

主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

壹、討論議題

- 一、有關溯升感測器安裝，受近期花蓮地震影響，原訂4月中完成安裝之規劃延期，擬於6月上旬完成。
- 二、持續進行花蓮港區颱風影像資料蒐集，初步規劃影像判釋溢堤為主，判釋方法使用 K-means 分群法將感興趣區域影像進行分割，並使用濾波器與色彩空間轉換法進行影像處理，並排除無法判釋之情境（如：雨天因霧氣造成越波水線無法判釋、受船隻經過遮擋判釋區畫面、夜間光線不足等情境）。
- 三、花蓮港區水深地形與防波堤結構資料業已蒐集完成，數值模式之機器學習模型因4月3日大地震後造成花蓮港區地表抬升，現已取得花蓮港務分公司之地震後港區水深測量初步資料，正辦理數值模式建模及模擬測試。
- 四、有關光達試驗評估越波偵測與示警可行性，初步規劃以 1:10 斜坡搭配消波塊，進行碎波與溯升模擬，已完成試驗水槽配置與光達感測器架設位置規劃，預計6月初完成光達感測器採購。

貳、主要結論

- 一、關於人定勝天路段數值模擬越波模型產製預警資訊，請國立成功大學參考既有花蓮海岸公路浪襲預警系統之流程與產出資料格式範例進行修改，以利本所作業化應用。
- 二、本所運輸技術研究中心近期將進行影像傳輸品質提升作業，請國立成功大學因應辦理影像判釋程式修改。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案 5 月份工作會議

貳、時間：113 年 5 月 20 日(星期一) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	研究助理	左秀文(視訊)
	研究助理	江佳倫(視訊)
本所運輸技術研究中心	副研究員	陳金彥

6 月工作會議紀要

時間：113年6月28日（星期五）上午10時至11時30分

主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

壹、討論議題

- 一、113 年 6 月 12 日完成人定勝天路段溯升感測器安裝及控制點高程測量工作。
- 二、已建立花蓮港區防波堤越波影像判釋方法，包含使用 K-means 分群法、濾波器、色彩空間轉換法進行影像處理，並歸納出天空亮度、影像清晰度與水體色度等 3 參數分析影像之判釋可行性，並以 112 年海葵及瑪娃等颱風進行情境測試，初步設定越波判釋門檻，後續將納入夜間影像分析及探討判釋門檻值設定。
- 三、有關花蓮港區越波機器學習，已蒐集 112 年 1 月至 113 年 6 月之本所花蓮港波浪、潮位觀測資料，並完成數值模型建立，模型之第 1 層採用 10m 解析度網格，第 2 層採用 5m 解析度，正辦理模擬測試。
- 四、有關光達試驗評估越波偵測與示警可行性，已完成試驗水槽配置與光達感測器架設位置規劃，及光達感測器採購。
- 五、已於 113 年 6 月 28 日完成期中報告繳交，符合契約規定。

貳、主要結論

- 一、有關花蓮港區防波堤越波影像判釋門檻，應涵蓋較小規模越波情況，請國立成功大學於報告書說明門檻值設定標準，並確認目前已分析日間影像之可判釋比例。
- 二、有關人定勝天路段數值模擬越波模型產製預警資訊，請國立成功大學持續協助本所進程式修改，以利本所作業化應用。
- 三、花蓮港區防波堤越波影像判釋請分析判釋準確度。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案 6 月份工作會議

貳、時間：113 年 6 月 28 日(星期五) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	研究助理	左秀文(視訊)
	研究助理	江佳倫(視訊)
本所運輸技術研究中心	副研究員	陳劍銘

7 月工作會議紀要

時間：113年7月29日（星期一）上午10時至11時30分

主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

壹、討論議題

- 一、經檢視花蓮港東防波堤光學攝影機 (AXIS-Q1786-LE) 影像，該攝影機具紅外線補光功能，使得夜晚影像仍可辨識越波發生的現象，因夜間光線不足，初步建立將夜間灰階影像以大津二值化法 (Otsu's Method) 為基礎之越波判釋方法，日間影像則將 RGB 影像以 K-means 分群法進行越波判釋。
- 二、有關花蓮港區越波機器學習，已完成數值模型建立，模型之第 1 層採用 10m 解析度網格，第 2 層採用 5m 解析度，持續辦理模擬測試，並納入 112 年颱風事件模擬追算。
- 三、有關光達試驗評估越波偵測與示警可行性，已完成光達感測器採購，正辦理感測範圍測試，初步測試結果，感測距離可達 80 公尺，水平感測範圍為 190 度。
- 四、人定勝天路段數值模擬越波模型產製預警資訊，已完成程式修改，另有關影像判釋程式，正針對作業化應用辦理程式修改。

貳、主要結論

- 一、有關花蓮港東防波堤夜間越波判釋，以 112 年海葵颱風期間為例，判釋正確率約為 62%，誤判主因受防波堤表面白色漆面影響，後續將持續精進。
- 二、請國立成功大學比較花蓮港東防波堤堤頭與目前研究區域之越波情形。
- 三、期中報告預訂於 8 月 22 日召開，請國立成功大學準備簡報資料，以利辦理期中審查事宜。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案 7 月份工作會議

貳、時間：113 年 7 月 29 日(星期一) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	研究助理	左秀文(視訊)
	研究助理	江佳倫(視訊)
本所運輸技術研究中心	副研究員	陳鈞彥

9 月工作會議紀要

時間：113年9月30日（星期一）上午10時至11時30分

主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

壹、討論議題

- 一、已進行花蓮港區防波堤越波影像判釋正確率分析，影響花蓮港防波堤越波影像判釋正確率有四種情境：(1) 後方碎波水體使前景比例超過門檻值而誤判越波；(2) 越波水體過於稀少，使前景比例未達門檻值而無法判釋；(3) 影像局部模糊造成分群錯誤而影響判釋；(4) 分群結果未能有效將堤防白色區塊與越波水體分開而誤判，後續將針對前述誤判情境進行改善，以提升判釋正確率。
- 二、有關花蓮港區越波機器學習，已完成數值模型建立及模擬追算，以歷史颱風事件進行花蓮港區越波模型模擬驗證時，海葵颱風模擬結果相對較佳，惟觀測值疑似有異常偏高現象，波高達 14 公尺。
- 三、參考相關研究資料，調整實驗配置，為提升碎波機率和光達訊號接收成效，調整實驗斜坡坡度、光達量測角度與水體濁度。
- 四、持續修改精進人定勝天路段數值模擬越波模型及影像判釋自動化程式，解決因影像下載不完整造成程式中斷與讀寫權限等問題。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學持續改善花蓮港區防波堤越波誤判情形，有關花蓮港區越波機器學習，建議納入花蓮港區波浪測站之副站資料進行比對。
- 二、本案期末報告初稿繳交期限為 10 月 25 日，請國立成功大學掌握計畫進度，於期限前函文提送。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案 9 月份工作會議

貳、時間：113 年 9 月 30 日(星期一) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	研究助理	左秀文(視訊)
	研究助理	江佳倫(視訊)
本所運輸技術研究中心	副研究員	陳鈞彥

113年10月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-113-H3CB001d

會議名稱：「應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究
(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案10月份工作會議

時間：113年10月28日(星期一)下午2時至3時30分

地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室(視訊)

主持人：林雅雯科長

出席者：如簽到單

主辦單位：本所運輸技術研究中心第三科

執行廠商：國立成功大學

紀錄：陳鈞彥

壹、討論議題

- 一、已依契約規定完成期末報告初稿繳交。
- 二、已進行花蓮港區防波堤越波影像判釋正確率分析，及花蓮港區機器學習越波模型建立，根據目前追算模擬分析，較易發生越波的區域大致集中於東側新防波堤與舊防波堤銜接區域、本計畫攝影機拍攝範圍與堤頭位置。
- 三、有觀光達感測溯升技術，清水或濁水，光達皆可獲取碎波訊號，惟添加高嶺土後(濁水)的溯升水面於光達上有更佳的感測效果。
- 四、持續修改精進人定勝天路段數值模擬越波模型及影像判釋自動化程式，經調校參數後，影像判釋越波正確率可達約80%。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學持續維護精進人定勝天路段影像判釋程式。
- 二、期末報告審查會議預計於11月13日召開，請國立成功大學預先準備簡報資料，於會議前提供本所。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-113-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(3/4)-防波堤越波影像判釋」合作研究案 10 月份工作會議

貳、時間：113 年 10 月 28 日(星期一) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 林雅雯

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	研究助理	左秀文(視訊)
	研究助理	江佳倫(視訊)
本所運輸技術研究中心	副研究員	陳劍彥