

115-005-7E05
MOTC-IOT-114-H3CB001d

應用影像智慧化技術判釋海岸
公路及防波堤越波研究(4/4)
- 浪襲影像判釋自動化及
數值模擬預警



交通部運輸研究所

中華民國 115 年 3 月

115-005-7E05
MOTC-IOT-114-H3CB001d

應用影像智慧化技術判釋海岸 公路及防波堤越波研究(4/4) －浪襲影像判釋自動化及 數值模擬預警

著者：吳漢倫、林雅雯、陳鈞彥、蕭士俊、
陳彥龍、左秀文

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 3 月

GPN : 1011500167
定價 400元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波
研究. (4/4) : 浪襲影像判釋自動化及數值模擬
預警 / 吳漢倫, 林雅雯, 陳鈞彥, 蕭士俊, 陳
彥龍, 左秀文著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部
運輸研究所, 民 115.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-740-9(平裝)

1.CST: 海岸工程 2.CST: 環境監測 3.CST:
影像分析

443.3

115001230

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化
及數值模擬預警

著 者：吳漢倫、林雅雯、陳鈞彥、蕭士俊、陳彥龍、左秀文

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 115 年 3 月

印 刷 者：OOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 46 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：400 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組•電話：(02)2349-6789

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

GPN：1011500167 ISBN：978-986-531-740-9(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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-531-740-9(平裝)	政府出版品統一編號 1011500167	運輸研究所出版品編號 115-005-7E05	計畫編號 MOTC-IOT-114-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：04-26587200 傳真號碼：04-26571329	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 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 114 年 3 月 至 114 年 12 月	
關鍵詞：影像智慧化、越波、海岸防護、浪襲預警			
摘要： <p>為降低海岸公路及港區因越波造成之災害風險，本計畫透過網路攝影監視系統與影像判釋技術，分析易發生越波區域之波浪襲擊情形，並發展越波警示技術。本(114)年度（第4年期）重點在於維護與精進溯升與越波影像資料庫，運用影像特性分析進行自動化判釋，提升海岸公路及花蓮港防波堤之示警能力，同時將判釋結果回傳運輸研究所，推動系統作業化，並整合港區觀測資料，驗證與優化既有機器學習模型，最終導入浪襲預警系統，以提升防災應用效能，本(114)年度持續蒐集人定勝天路段及花蓮港區影像資料，完成設備更新與控制點校正，確保空間對應精度，並累積涵蓋多次颱風事件之完整影像，作為判釋與潛勢分析基礎。系統維運方面，優化自動化判釋流程與準確率檢核機制，港區並導入 ResNet50 深度學習架構，建立彩色與夜間灰階模型，強化不同環境條件下之辨識能力。警戒系統則完成與 TaiCOMS 2.0 介接，建立自動化預報流程，經準確度分析顯示具有一定預測能力。此外，運用影像判釋成果進行溯升與越波潛勢分析，有效提升分析效率，強化整體防災應用效益。</p>			
成果效益及應用情形： <p>本計畫已建置涵蓋影像判釋、資料分析、模型預報與系統作業化之完整技術，並完成與 TaiCOMS 2.0 海象預報系統之介接，具備自動化更新與即時預警能力，研究成果已於花蓮港防波堤及台11線人定勝天路段完成驗證，可有效反映越波事件發生情形。預警模型對無越波時段辨識穩定，對越波事件採較保守預報策略，具防災應用之可靠性，經2場次教育訓練後，提供公路局東區養護工程分局花蓮工務段及臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司應用，可協助因應浪襲、越波之交通管制、港區作業管制等決策，降低災損，提升防災管理效能。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
115 年 3 月	234	400	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 (4/4) - Image recognition of wave overtopping in the nighttime			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-740-9 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011500167	IOT SERIAL NUMBER 115-005-7E05	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-114-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 2025 TO December 2025
RESEARCH AGENCY: National Cheng Kung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Han-Lun Wu PROJECT STAFF: Shih-Chun Hsiao, Yen-Lung Chen, Hsiu-Wen Tso ADDRESS: No. 1, Daxue Rd., East Dist., Tainan City 701401, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (06) 2757575 ext: 63223-28			
KEY WORDS: image recognition technology , wave overtopping and runup , Coastal protection			
<p>ABSTRACT:</p> <p>To reduce the risk of wave overtopping disasters along coastal highways and in port areas, this project applies a video monitoring system and image interpretation techniques to analyze wave impact at overtopping-prone locations. The goal is to develop an image-based overtopping warning technology. In this fourth year, the main tasks include maintaining and improving the wave run-up and overtopping image database, applying automated image analysis to enhance warning capabilities for coastal roads and the Hualien Port breakwaters. The interpretation results are transmitted to the Institute of Transportation to support system operations. In addition, port breakwater observation data are integrated to validate and optimize existing machine learning models for run-up and overtopping, and to evaluate their improvement. Ultimately, the refined models will be incorporated into the Institute's wave impact warning system, supporting the identification of overtopping-prone areas and improving the accuracy of disaster prevention information.</p> <p>Major accomplishments are summarized as follows:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Image Data Collection: Continuous image collection was carried out at both the coastal highway section and Hualien Port. After new video equipment was installed at the highway site, ground control point elevations were re-surveyed and recalibrated to ensure spatial accuracy. At the port site, image observations continued under various environmental conditions. To date, a comprehensive image dataset covering multiple typhoon events has been established, serving as the core reference for subsequent overtopping interpretation and potential analysis. 2. Image Interpretation System Enhancement: In addition to maintaining the existing automated image interpretation system, systematic improvements were made to address previous interpretation errors and performance limitations. For the coastal highway, the automated interpretation workflow and accuracy verification module were enhanced to improve computational efficiency and reliability. For the port area, the ResNet50-based deep learning architecture was applied for overtopping classification, with separate models developed for daytime color and nighttime grayscale imagery to ensure adaptability and stability under varying environmental conditions. Testing results showed that the model accurately identified most non-overtopping periods and successfully captured major overtopping events, demonstrating strong practical potential. 3. Overtopping Warning System Improvement: The overtopping warning system was stably maintained and further refined in coordination with the TaiCOMS 2.0 ocean forecasting system. An automated overtopping forecast process was established to improve computational efficiency and operational stability. Confusion matrix and error distribution analyses indicated that the model exhibits reasonable predictive capability for overtopping events. Following the operational framework, the team continued developing the port overtopping warning system and accuracy verification procedures to strengthen disaster prevention applications. 4. Run-up and Overtopping Potential Analysis: Given the extensive volume of accumulated image data, manual analysis would be highly time-consuming. Therefore, the project applied the established automated image interpretation approach to perform wave run-up and overtopping potential analyses, effectively improving analytical efficiency. The results serve as the foundation for overtopping potential assessment and as reference data for verifying the accuracy of the warning system. 			
DATE OF PUBLICATION Mar 2026		NUMBER OF PAGES 234	PRICE 400
<ol style="list-style-type: none"> 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.....	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	X
第一章 緒論.....	1-1
1.1 緣起.....	1-1
1.2 計畫目的.....	1-1
1.3 研究範圍.....	1-1
1.4 計畫工作項目.....	1-2
1.5 工作流程規劃.....	1-3
1.6 工作執行進度規劃安排.....	1-5
1.7 4年期(111~114年)計畫概述.....	1-5
1.8 預期成果.....	1-19
1.9 環境背景現況說明.....	1-19
1.10 國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集.....	1-30
第二章 溯升與越波影像資料蒐集	2-1
2.1 海岸公路溯升/越波影像資料蒐集.....	2-1
2.2 花蓮港區防波堤溯升/越波影像資料蒐集.....	2-2
第三章 作業化影像判釋系統維運與精進	3-1
3.1 海岸公路溯升/越波影像作業化判釋系統.....	3-1
3.2 花蓮港區防波堤越波影像作業化判釋系統.....	3-27
第四章 作業化越波警戒系統維運與精進	4-1
4.1 作業化海岸公路越波預報系統.....	4-3
4.2 作業化港區防波堤越波預報系統.....	4-12
4.3 越波預報準確率分析.....	4-20
第五章 溯升與越波潛勢分析	5-1
第六章 教育訓練.....	6-1
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 AI 模型與參數說明	附1-1
附錄二 花蓮港東防波堤越波影像判釋示警及數值模擬預警技術研發成果 教育訓練簡報	附3-1
附錄三 海岸公路人定勝天路段越波影像判釋示警及數值模擬預警技術研 發成果教育訓練簡報	附4-1
附錄四 花蓮海岸公路浪襲預警系統-人定勝天路段與花蓮港東堤越波示警 及預警系統	附4-1
附錄五 期中報告審查意見處理情形表	附5-1
附錄六 期末報告審查意見處理情形表	附6-1
附錄七 歷次工作會議紀錄.....	附7-1
附錄八 期末審查簡報.....	附8-1

圖目錄

圖1.1	計畫研究範圍圖	1-2
圖1.2	計畫工作流程與執行架構	1-4
圖1.3	海岸公路原始影像	1-7
圖1.4	RGB色彩空間及其經對比度調整強化後的影像	1-8
圖1.5	HSV色彩空間及其經對比度調整強化後的影像	1-8
圖1.6	YUV色彩空間及其經對比度調整強化後的影像	1-8
圖1.7	YUV色彩空間統計分析結果	1-9
圖1.8	U色彩空間(紅框表示白沫區).....	1-10
圖1.9	水線擷取之成果	1-10
圖1.10	海岸線判釋技術流程圖	1-11
圖1.11	影像分析水線有效性之判釋成果	1-12
圖1.12	影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果	1-12
圖1.13	地形高程資料套疊影像之成果	1-12
圖1.14	溯升影像水線之高程判釋成果	1-13
圖1.15	不同情境之影像水線判釋結果	1-13
圖1.16	影像判釋越波成果圖 (光學影像)	1-15
圖1.17	自動化影像判釋越波警戒線圖	1-15
圖1.18	花蓮港區防波堤影像判釋結果	1-15
圖1.19	實驗配置圖	1-16
圖1.20	本年度作業化影像判釋建置之流程圖	1-17
圖1.21	前期與本期模型水線判釋的比較	1-18
圖1.22	花蓮氣象站月平均溫度與日照時數分布圖(2022/6~2025/5).....	1-20
圖1.23	花蓮氣象站月平均降雨量與降雨日數分布圖(2022/6~2025/5).....	1-20
圖1.24	花蓮港歷年四季及全觀測期海流流速機率分佈圖	1-24
圖1.25	花蓮港歷年四季及全觀測期海流流向機率分佈圖	1-24
圖1.26	花蓮海岸聚落於災害徵兆(Ts)-災害潛勢(Tp)二維分布情形	1-26
圖1.27	浪襲台11線海岸公路事件現場概況	1-28
圖1.28	花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號	1-29
圖1.29	海灘區常見的二類離岸流偵測	1-30
圖1.30	彌陀海堤—燦樹颱風溯升預測值與現地量測資料比對	1-31

圖1.31	葡萄牙海岸越波災害預警系統	1-32
圖1.32	Flash rip偵測方式	1-33
圖1.33	架設波浪溯升監視系統	1-33
圖1.34	透過影像分析技術萃取波浪溯升情況	1-34
圖2.1	海岸公路人定勝天路段日間未降雨影像(瑪娃颱風)	2-3
圖2.2	海岸公路人定勝天路段日間降雨影像(瑪娃颱風)	2-3
圖2.3	海岸公路人定勝天路段夜間未降雨影像(瑪娃颱風)	2-4
圖2.4	海岸公路人定勝天路段夜間降雨影像(瑪娃颱風)	2-4
圖2.5	海岸公路人定勝天路段現階段之影像	2-4
圖2.6	海岸公路人定勝天路段於2025年丹娜絲颱風期間影像	2-4
圖2.7	海岸公路人定勝天路段於2025年薇帕颱風期間影像	2-5
圖2.8	海岸公路人定勝天路段於2025年楊柳颱風期間影像	2-5
圖2.9	海岸公路人定勝天路段於2025年樺加沙颱風期間影像	2-5
圖2.10	花蓮港東防波堤之日間影像	2-5
圖2.11	花蓮港東防波堤之夜間影像	2-6
圖2.12	花蓮港東防波堤於2025年丹娜絲颱風期間的日間越波影像	2-6
圖2.13	花蓮港東防波堤於2025年楊柳颱風期間的日間越波影像	2-7
圖2.14	花蓮港東防波堤於2025年樺加沙颱風期間的日間越波影像	2-8
圖2.15	花蓮港東防波堤於2025年樺加沙颱風期間的夜間越波影像	2-9
圖3.1	海岸線判釋技術流程圖	3-3
圖3.2	本計畫使用之高斯濾波器	3-3
圖3.3	影像邊界鏡射示意圖	3-3
圖3.4	CIE 1931 色度圖	3-4
圖3.5	色彩空間轉換流程圖	3-4
圖3.6	感興趣區域於影像中之相對位置	3-5
圖3.7	感興趣區域示意圖	3-5
圖3.8	陰晴(小浪)之感興趣區域影像分割結果	3-6
圖3.9	降雨(大浪)之感興趣區域影像分割結果	3-6
圖3.10	陰晴(小浪)之群心數值統計圖	3-7
圖3.11	降雨(大浪)之群心數值統計圖	3-7
圖3.12	二值影像示意圖	3-8
圖3.13	形態學運算使用之結構元素	3-8

圖3.14	形態學閉運算之概念圖	3-8
圖3.15	經閉運算之二值影像示意圖	3-9
圖3.16	經後處理之二值影像示意圖	3-9
圖3.17	第一次影像辨識之海岸線示意圖	3-9
圖3.18	第二次影像辨識之感興趣子區域	3-11
圖3.19	第二次影像辨識之海岸線	3-11
圖3.20	熱成像範例影像	3-11
圖3.21	熱成像之K-means分群法結果	3-11
圖3.22	後處理後之熱成像二值影像	3-11
圖3.23	熱成像範例影像之影像判釋結果	3-11
圖3.24	針孔相機模型	3-13
圖3.25	現場量測及量測工具	3-13
圖3.26	影像高程量測 (光學影像)	3-14
圖3.27	影像高程量測 (熱成像影像)	3-14
圖3.28	影像分析水線有效性之判釋成果	3-15
圖3.29	影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果	3-16
圖3.30	人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (光學影像)	3-17
圖3.31	人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (熱成像)	3-17
圖3.32	前期計畫(112年度)影像判釋自動化建置之流程圖	3-18
圖3.33	前期計畫(113年度)影像判釋自動化建置之流程圖	3-18
圖3.34	本年度作業化影像判釋建置之流程圖	3-21
圖3.35	人眼無法判釋水線於不同模型間的比較	3-24
圖3.36	人眼可判釋水線於不同模型間的比較	3-25
圖3.37	人定勝天新增消波塊情況	3-26
圖3.38	K-means門檻調整比較分析	3-26
圖3.39	花蓮港區防波堤破損前	3-27
圖3.40	花蓮港區防波堤破損後	3-27
圖3.41	花蓮港區防波堤一日的單張影像平均亮度(V)分布	3-29
圖3.42	花蓮港區防波堤越波影像判釋模型建置流程	3-31
圖3.43	花蓮港區防波堤夜間影像的測試集混淆矩陣	3-32
圖3.44	花蓮港區防波堤日間影像的測試集混淆矩陣	3-32
圖3.45	花蓮港區防波堤越波影像作業化系統分析流程	3-33

圖4.1	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).....	4-5
圖4.2	影像分析與溯升追算比對結果	4-5
圖4.3	溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果(2023瑪娃颱風事件)	4-6
圖4.4	溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果(2023海葵颱風事件)	4-6
圖4.5	溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果(2024凱米颱風事件)	4-7
圖4.6	溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果(2024山陀兒颱風事件).....	4-8
圖4.7	前期計畫之溯升/越波預報自動化建置流程	4-9
圖4.8	作業化溯升/越波預報系統維運成果	4-10
圖4.9	作業化海岸公路越波預報警戒條件	4-10
圖4.10	花蓮港外廓防波堤示意圖 (影像擷取自 Google 地球).....	4-14
圖4.11	花蓮港東防波堤開放垂釣區域圖	4-14
圖4.12	花蓮港近岸波場模擬結果(1/4)	4-15
圖4.13	2023年海葵颱風事件越波記錄資料	4-17
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	4-17
圖4.15	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	4-18
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	4-18
圖4.17	前期計畫之溯升/越波預報自動化建置流程	4-19
圖4.18	花蓮港東防波堤分段與斷面數量概況	4-19
圖4.19	2022年颱風事件追算模擬結果	4-22
圖4.20	2023年颱風事件追算模擬結果	4-22
圖4.21	2024年颱風事件追算模擬結果	4-23
圖4.22	人定勝天路段越波預報模型混淆矩陣圖	4-23
圖4.23	花蓮港越波預報模型混淆矩陣圖	4-24
圖5.1	2022-2025年間颱風波浪越上人定勝天路段次數統計.....	5-4
圖5.2	2022-2023年間颱風波浪越過花蓮港東防波堤次數統計.....	5-4
圖6.1	臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司教育訓練現場實況.....	6-2

圖6.2 交通部公路局東區養護工程分局花蓮工務段教育訓練現場實況.....6-2

表目錄

表1-1	本年度(114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(2005-2024).....	1-22
表1-3	花蓮潮位站逐月潮位統計表(2005-2024).....	1-22
表1-4	石梯潮位站逐月潮位統計表(2005-2024).....	1-23
表1-5	花蓮港測站分季流速分佈統計表(2003~2020).....	1-23
表1-6	花蓮港測站利年分季流向分佈統計表.....	1-23
表3-1	陰晴(小浪)之感興趣區域各分群群心數值	3-7
表3-2	降雨(大浪)之感興趣區域各分群群心數值	3-7
表3-3	範例影像之最大值指數與平均值指數.....	3-11
表3-4	前期計畫(113年度)自動化影像判釋維運作業項目	3-19
表3-5	本計畫(114年度)海岸公路自動化影像判釋維運作業項目	3-20
表3-6	本計畫(114年度)花蓮港東防波堤自動化影像判釋維運作業項目	3-20
表3-7	人眼無法判釋水線類型之統計資訊.....	3-24
表3-8	人眼可判釋水線之統計資訊.....	3-24
表3-9	花蓮港防波堤夜間影像資料集(來源:2023-2025 颱風期間).....	3-31
表3-10	花蓮港防波堤日間影像資料集(來源:2023-2025 颱風期間).....	3-32
表4-1	以機器學習進行溯升/越波預測之相關研究.....	4-2
表4-2	海岸公路作業化溯升/越波預報系統維運項目	4-11
表4-3	花蓮港東防波堤作業化溯升/越波預報系統維運項目	4-20
表4-4	再分析波場資料規格.....	4-21
表5-1	2022至2025年間有發布颱風警報的颱風資訊及資料蒐集情形.....	5-2
表5-2	2022年至2025年期間溯升/越波影像分析結果.....	5-3
表6-1	114年12月4日至5日教育訓練行程表.....	6-1

第一章 緒論

1.1 緣起

在颱風季節，長浪對臺灣東部海岸造成的災害時有所聞，尤其東部海岸公路受侵襲所引發的災害，除了對用路人的行車安全造成威脅外，更使業管單位的現場巡檢人員面臨一定風險。此外，港區防波堤也可能因風浪越波導致結構破壞。因此，交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)於民國 106 至 110 年間，已分別建置臺東及花蓮海岸公路浪襲預警系統，以提供浪襲預警資訊。然而，越波與浪襲的發生，仍缺乏現場觀測數據或影像等直接資訊。因此，本計畫希望藉由網路攝影機影像畫面，應用自動化判釋技術，為業管單位提供越波、浪襲資訊的示警資訊。

本計畫自民國 111 年至 112 年間，選定台 11 線人定勝天路段作為研究對象。其中，111 年度發展日間越波影像智慧化判釋技術，112 年度則進行夜間影像判釋技術開發與自動化判釋技術研發，並建立機器學習溯升/越波模型。自 113 年度起，研究擴展至花蓮港防波堤，進行越波影像智慧化判釋技術開發。到了 114 年度，計畫將整合海岸公路及港區防波堤影像自動化判釋技術，並提供示警資訊予相關單位，以利實務應用。

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，本計畫計畫透過網路攝影機監視影像資料，利用自動化判釋方式，針對易發生浪襲區段，發展判釋越波(浪襲)示警技術。當發生越波(浪襲)時，能即時向業管單位提出示警，以減少颱風或劇烈天氣狀況下巡檢人員面臨的風險，並增加用路人行車安全。

1.3 研究範圍

本計畫計畫區域為「台 11 線人定勝天路段」與「花蓮港區」兩區域，位置如圖 1.1，主要是透過影像判釋方式分析海岸公路與港區溯升與越波(浪襲)之情況。



圖 1.1 計畫研究範圍圖

1.4 計畫工作項目

本計畫全程為 4 年(民國 111 年~114 年)，本年度(114 年)為最末年度，主要工作項目如下：

1. 維護與精進海岸公路及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波浪溯升與越波影像特性。
2. 精進海岸公路及發展港區防波堤的波浪溯升與越波影像自動化判釋技術，精進海岸公路及港區防波堤波浪溯升與越波示警技術。
3. 分析海岸公路及港區防波堤影像自動化判釋波浪溯升結果，並將資訊回傳至運研所；完成海岸公路與港區防波堤越波影像判釋與越波示警系統作業化。
4. 納入港區防波堤影像判釋越波觀測資料，驗證及精進前(113)年度人定勝天路段及花蓮港之機器學習溯升/越波模型，並評估其精進效益。
5. 海岸公路與港區防波堤越波影像判釋與越波示警系統作業化及機器學習溯升/越波模型作業化，納入運研所海岸公路及花蓮港浪襲預警系統。
6. 依據海岸公路與港區防波堤相關越波影像資料庫，分析各越波潛勢區域及越波情形。
7. 針對計畫重要成果，製作簡報及影片，並提供電子檔。

8. 將本期研究/計畫成果投稿運輸計畫季刊或港灣季刊、國內外期刊、學術研討會。(如屬敏感計畫者，若要將其位涉及敏感性之研究成果投稿者，須經甲方同意，始得為之)
9. 綜整摘要說明 111~114 各年度階段性成果。
10. 辦理 2 場教育訓練。
11. 參考「政府研究資訊系統(GRB) <http://www.grb.gov.tw>」—研究計畫管理—實際成果 (研究計畫績效指標項目) 中之「績效」及「佐證資料」，就本計畫成果之特性，填寫合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。本計畫績效指標項目至少包括下列項目：
 - (1)論文：提供至少 1 篇可供投稿之學術論文。(國內、外重要學術研討會或期刊論文)
 - (2)研究報告：完成 1 本計畫報告。

1.5 工作流程規劃

依據本年度委辦計畫工作需求，擬訂「溯升與越波影像資料蒐集」、「作業化影像判釋系統維運與精進」、「作業化越波預報系統維運與精進」及「溯升與越波潛勢分析」等 4 項工作項目。整體計畫工作項目及步驟流程，如圖 1.2 所示。各工作項目概述如下。

一、溯升與越波影像資料蒐集

此工作項目包含「海岸公路影像資料蒐集」與「港區影像資料蒐集」兩部分。海岸公路影像蒐集方面，主要是蒐集既有攝影設備資料，包含光學影像與熱成像影像兩種，除越波影像外，還需蒐集顯著溯升相關影像資料；港區越波影像蒐集方面，主要是蒐集花蓮港區分析越波所需影像資料，其中包含光學與夜間紅外線拍攝之影像資料。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、作業化影像判釋系統維運與精進

此工作項目主要維運既有海岸公路與港區溯升/越波影像作業化判釋系統，亦要針對自動化判釋方式進行精進。於前期計畫中，已完成海岸公路越波影像判釋系統之作業化與花蓮港防波堤越波影像判釋技術建

立。於本年度中，除維持海岸公路作業化影像判釋系統運作外，亦需精進該系統判釋效率性與穩定性。此外，需以已完成港區越波影像判釋技術為基礎，進一步建立港區自動化判釋系統，並使其能夠作業化運作。

三、作業化越波預報系統維運與精進

於前期計畫中，除已建立海岸公路作業化越波預報與警戒系統外，亦已完成港區防波堤越波機器學習模型。本年度除持續維運海岸公路作業化越波預報與警戒系統外，亦需透過影像判釋資料進行預報資料比對；於港區方面，需以前期港區防波堤越波機器學習模型為基礎，進行作業化預報與警戒系統建立。此外，為瞭解當前預報系統之可靠度，可透過觀測資料或再分析資料的輸入，進行預報資料比對驗證。

四、溯升與越波潛勢分析

此工作項目主要需整合此計畫 4 年期觀測資料，包含溯升計、影像判釋資料，並進行海岸公路與港區溯升或越波潛勢分析。藉此分析成果，可提供海岸公路與港區「可能越波潛勢位置」，並提出可能防護相關建議俾利相關單位參酌。

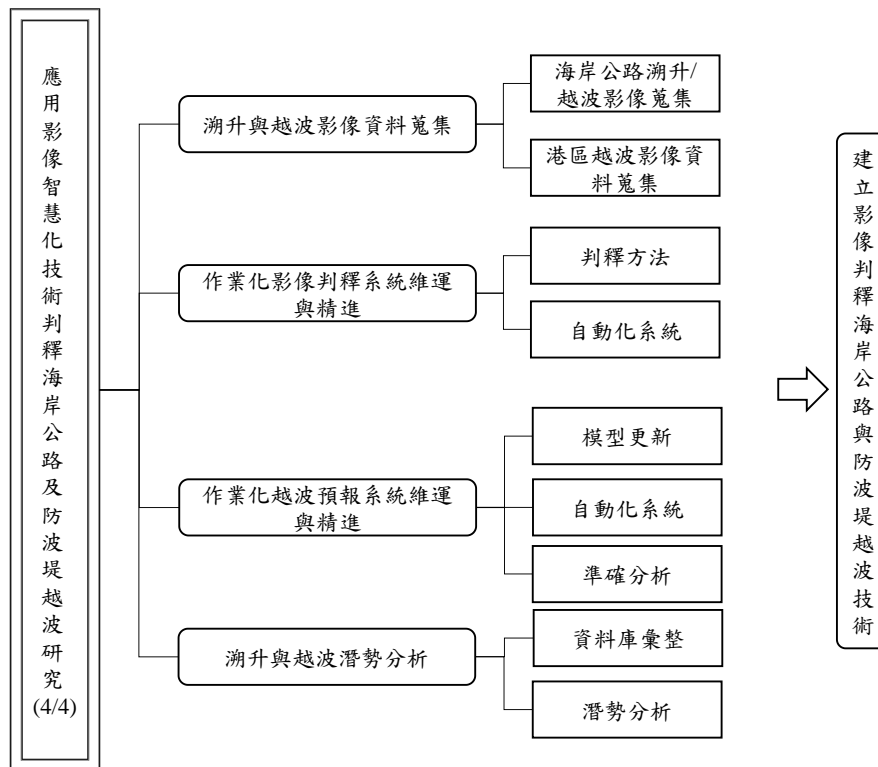


圖 1.2 計畫工作流程與執行架構

1.6 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(114 年)計畫分項工作進度規劃

月份	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
	114 年										
工作項目	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
(一)溯升與越波影像資料蒐集											
(二)作業化影像判釋系統維運與精進											
(三)作業化越波預報系統維運與精進											
(四)溯升與越波潛勢分析											
(五)報告撰寫											
	※			※				※		※	
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	45	55	65	75	85	95	100	
預定查核點	第 1 季：基本資料表登錄										
	第 2 季：期中報告 (114 年 6 月 30 日)										
	第 3 季：期末報告 (114 年 10 月 27 日)										
	第 4 季：修正報告										
<small>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。</small>											

1.7 4 年期(111~114 年)計畫概述

1.7.1 第 1 年度(111 年)計畫成果摘要

第 1 年度(111 年)計畫已建置「人定勝天」路段之日間溯升/越波影像判釋之方法與流程。由於海岸公路影像屬 RGB 的光學影像，參考數位影像分析之「影像輸入」、「影像強化」、「影像區分」、「特徵抽取和表示」和「影像描述」等 5 步驟(賴岱佑，2008)，為了取得水線之位置，藉以計算溯升高度，首先需分析輸入之 RGB 影像是否適用於水線之區分，或需轉

換至其他色彩空間。接著，透過影像強化的方式提升水線與其他特徵間的對比度。影像區分則是進一步聚焦於出水線的部分，以利水線擷取。至此，已完成擷取水線於影像座標位置資訊之工作，但憑此仍無法得知溯升高度，僅能提供定性的水線描述。因此，最後需建立影像二維座標與真實三維座標間的轉換關係，以達到定量之描述，即海岸公路影像識別溯升高度。其中，「影像輸入」、「影像強化」、「影像區分」，以及「特徵抽取和表示」4部分需視實際的狀況進行規劃測試，以制訂合適的作法。第一年度建置之影像判釋技術，將此4步驟整併為「影像輸入及影像強化」與「影像區分及特徵抽取和表示」，說明如下：

1. 影像輸入及影像強化：

在影像觀測海岸方面，因目的和環境條件的不同可能會採用不同的色彩空間進行分析。舉例來說，Andriolo(2019)分析波浪於近岸的特性，以RGB分界出淺化區、沖刷帶和碎波帶等；Liu and Wu(2019)建立裂流觀測預警系統，將RGB轉至HSV以擷取裂流之型態。Molfetta et al.(2015)將RGB轉至YUV建立海岸影像監測系統，藉以監測岸線的變化。因此，本計畫針對海岸公路影像資料進行RGB、HSV和YUV之分析，藉此決定採用之色彩空間格式。

RGB色彩空間是以紅色(R)、綠色(G)和藍色(B)所組成之色彩模型，透過RGB這3種色彩強度不同的搭配，可建構出彩色的數位影像，本計畫所採用海岸公路影像即為此種格式。HSV和YUV色彩空間分別為色差(H, Hue)、飽和度(S, Saturation)和明度(V, Value)，以及明亮度(Y, Luminance)和2個在藍色和紅色的色度(Chrominance)投影分量(U和V)。上述兩者色彩模型皆可透過RGB轉換得到：

(1)HSV：

$$\begin{cases} MAX = \max(R, G, B) \\ MIN = \min(R, G, B) \\ D = \frac{60^\circ}{MAX - MIN} \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} 0^\circ, & \text{if } MAX = MIN \\ D(G - B) + 0^\circ, & \text{if } MAX = R \text{ and } G \geq B \\ D(G - B) + 360^\circ, & \text{if } MAX = R \text{ and } G < B \\ D(B - R) + 120^\circ, & \text{if } MAX = G \\ D(R - G) + 240^\circ, & \text{if } MAX = B \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0^\circ, & \text{if } MAX = 0 \\ 1 - \frac{MIN}{MAX}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V = MAX$$

(2)YUV :

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.147 & -0.287 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

圖1.3 為原始的海岸公路日間影像，影像於原始 RGB、HSV 和 YUV 色彩空間和分別進行對比度強化之結果如圖1.4、圖1.5 和圖1.6 所示。圖1.4 顯示在 RGB 上進行對比度強化的差異不大，並且在 R、G 和 B 三種不同色彩空間上的影像也無顯著差異，從這 3 種影像皆可以肉眼判釋出水線的位置，但亦存有較多的其他特徵。圖1.5 為 HSV 色彩空間，結果顯示 H 和 S 有相當顯著的特徵，H 在道路和部分消波塊與其他特徵的對比顯著，S 則有利於白沫區之分析，但仍不易於水線之判釋。圖1.6 為 YUV 色彩空間，在未經對比度強化之前，U 和 V 的影像幾乎一片漆黑，但經過對比度提升後可看到 U 凸顯了水體和天空，而 V 則強調出了道路和消波塊。如此顯著的差異性非常有利於後續的水線影像分析，然而，U 和 V 在空間解析度上較差，故除了 U 和 V 之外，亦需同時搭配解析度較佳的 H 進行。



圖 1.3 海岸公路原始影像

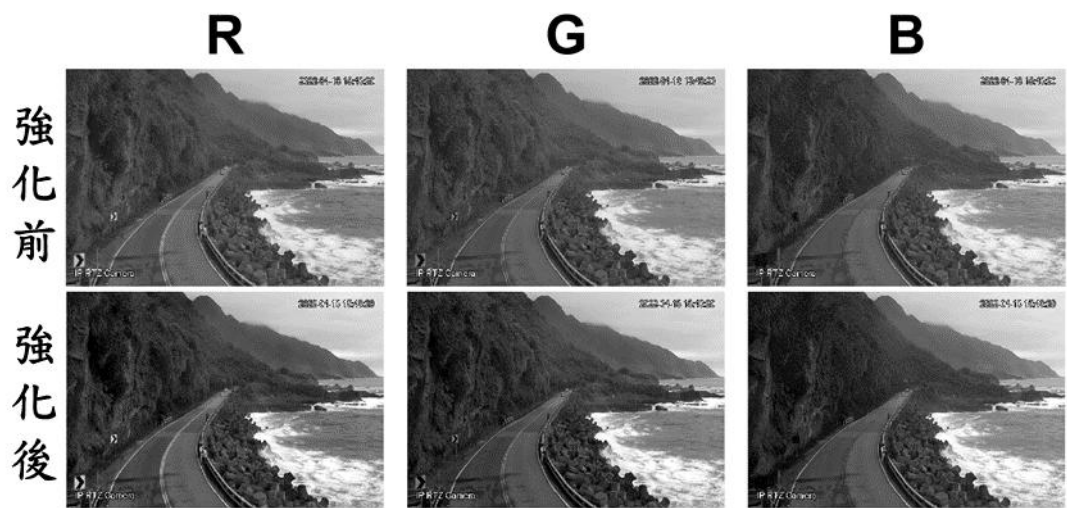


圖 1.4 RGB 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像

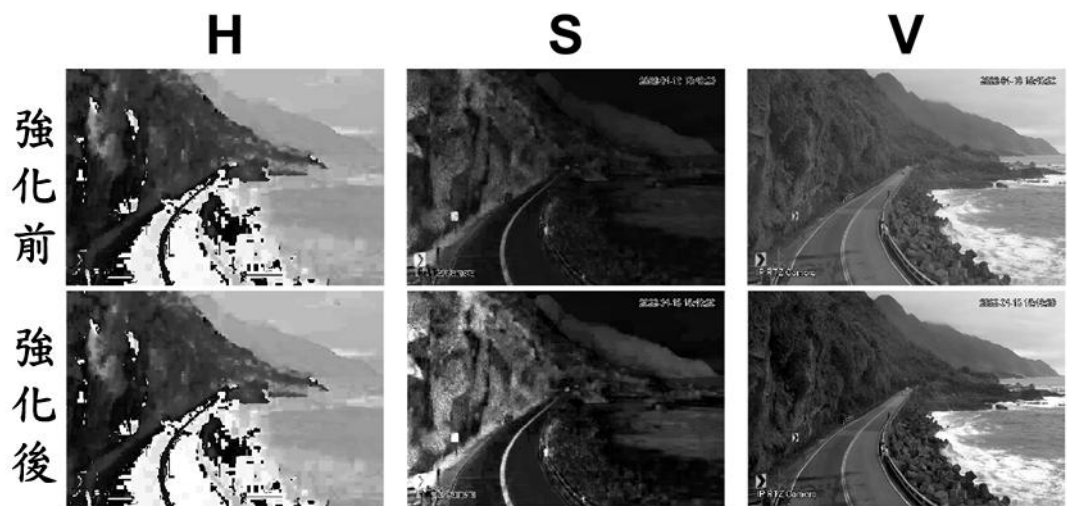


圖 1.5 HSV 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像

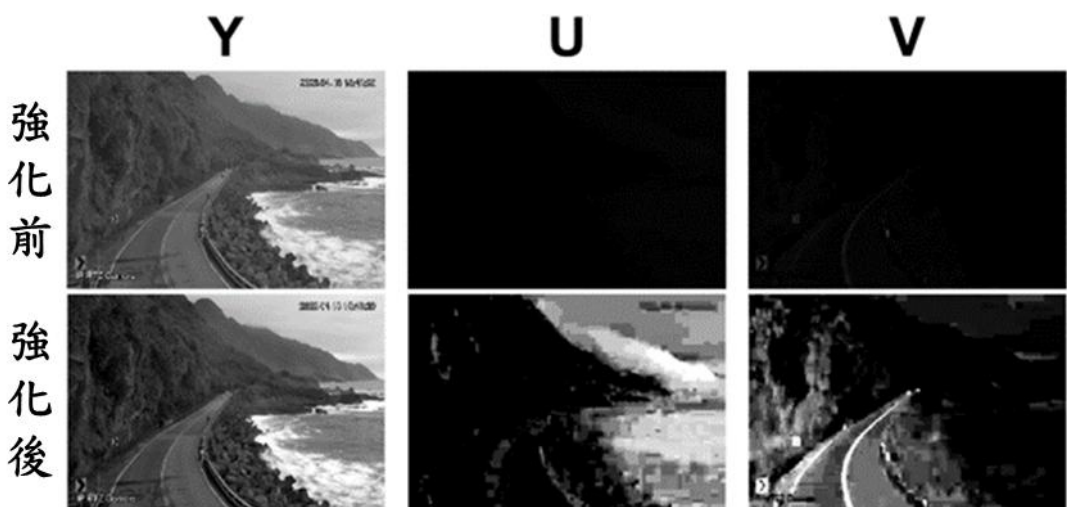


圖 1.6 YUV 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像

2. 影像區分及特徵抽取和表示：

為了進一步區分影像中之水體和其他特徵，需進行統計分析瞭解 YUV 色彩空間於水體區域之變化，藉此設定適當的門檻值。在無降雨的日間條件下，將 6.6 小時之連續影像擷取出 398 幅影像(影像時間間隔為 1 分鐘)，進行平均值(mean)和標準偏差(std)之分析，如圖 1.7 所示。以平均值來看，Y 在水體和天空之像素較強，水體像素值約為 0.4-0.6，且水線交界顯著；相對的，U 和 V 的解析度較差，但能很好的區分出水體大概之區域，水體像素值於 U 落於 0.4-0.6，V 則趨近於 0。另一方面，從標準偏差來看，V 的結果顯示其變化最為穩定，其次是 Y，而 U 的變異性最大。雖然 V 在水體的部分相當突出且穩定，但由於解析度較低且部分陸域亦呈現與水體像素相同之強度。從上述的統計分析結果可瞭解到 Y 在水體的像素值與陸域和消波塊有一定程度的差異，落差較小但解析度較佳，U 在水體的像素值較大但變異性大，V 在水體的像素值極低且變異性小。因此，程式分析以解析度佳之 Y 作為基底，將 Y 和 U 超過門檻值和 V 低於門檻值之區域之像素設為最大值，藉此有效的區分水線與其他特徵。

YUV 色彩空間中的 U 經對比度強化後之影像可凸顯水體和天空之區域，然而其白沫區相較於其他水體區域(圖 1.8)像素值較小，雖經門檻值區分後仍可能造成程式誤判。因此，為了處理此狀況，故透過中值濾波器(median filter)降低其空間不均勻性。最後，為了擷取水線的位置，則同時搭配 Canny 邊緣偵測，水線擷取之成果如圖 1.9 所示。

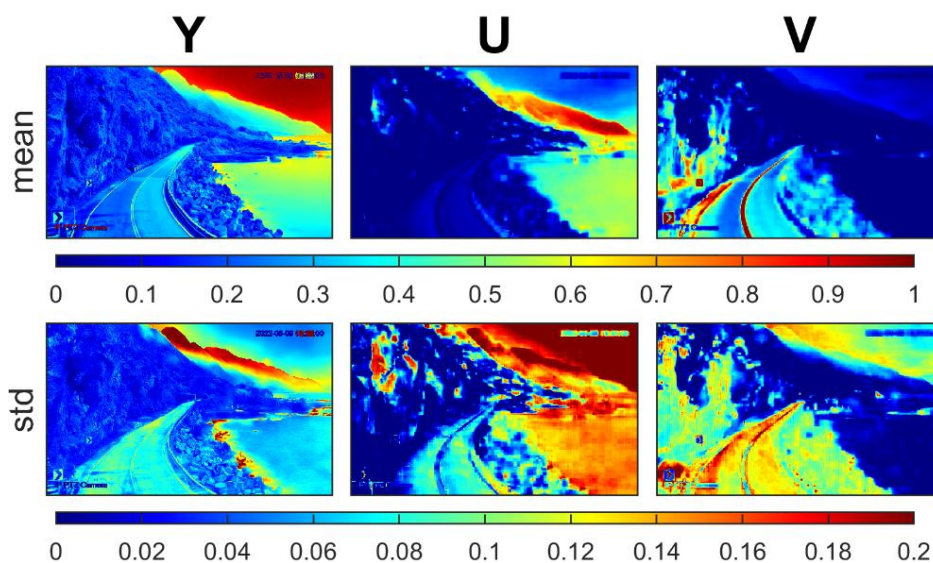


圖 1.7 YUV 色彩空間統計分析結果

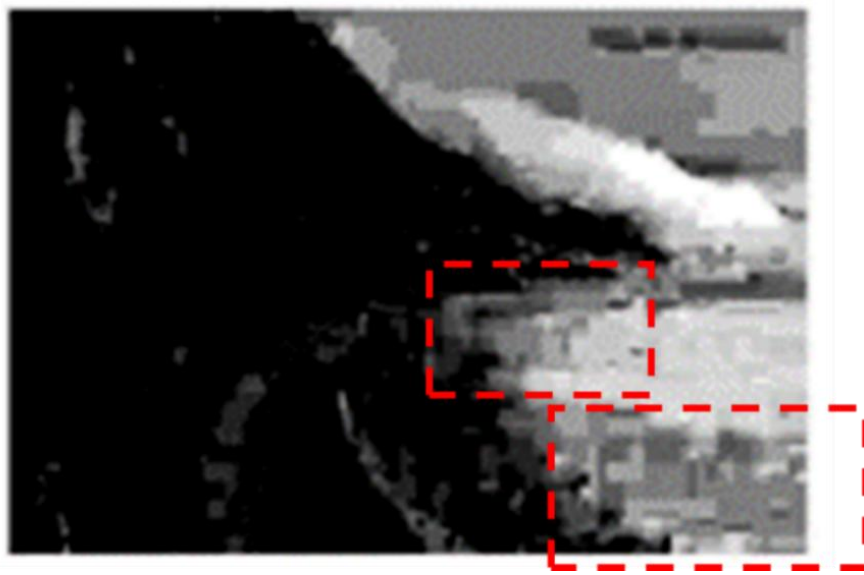


圖 1.8 U 色彩空間(紅框表示白沫區)



圖 1.9 水線擷取之成果

1.7.2 第 2 年度(112 年)計畫成果摘要

第 2 年度(112 年)計畫分別於海岸公路「人定勝天」路段與花蓮港區架設光學攝影機與熱成像攝影機，取得「人定勝天」路段與港區防波堤之光學與熱成像二種不同成像原理之影像，進行日間與夜間越波影像判釋。

對於海岸公路「人定勝天」路段影像，依據如圖 1.10 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1.11 與圖1.12)，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1.13 所示，供後續影像分析出之水線高程計算(如圖1.14)。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1.15 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運研所，透過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，已初步完成海象追算、FUNWAVE 建模與分析及機器學習模型建置與分析作業。

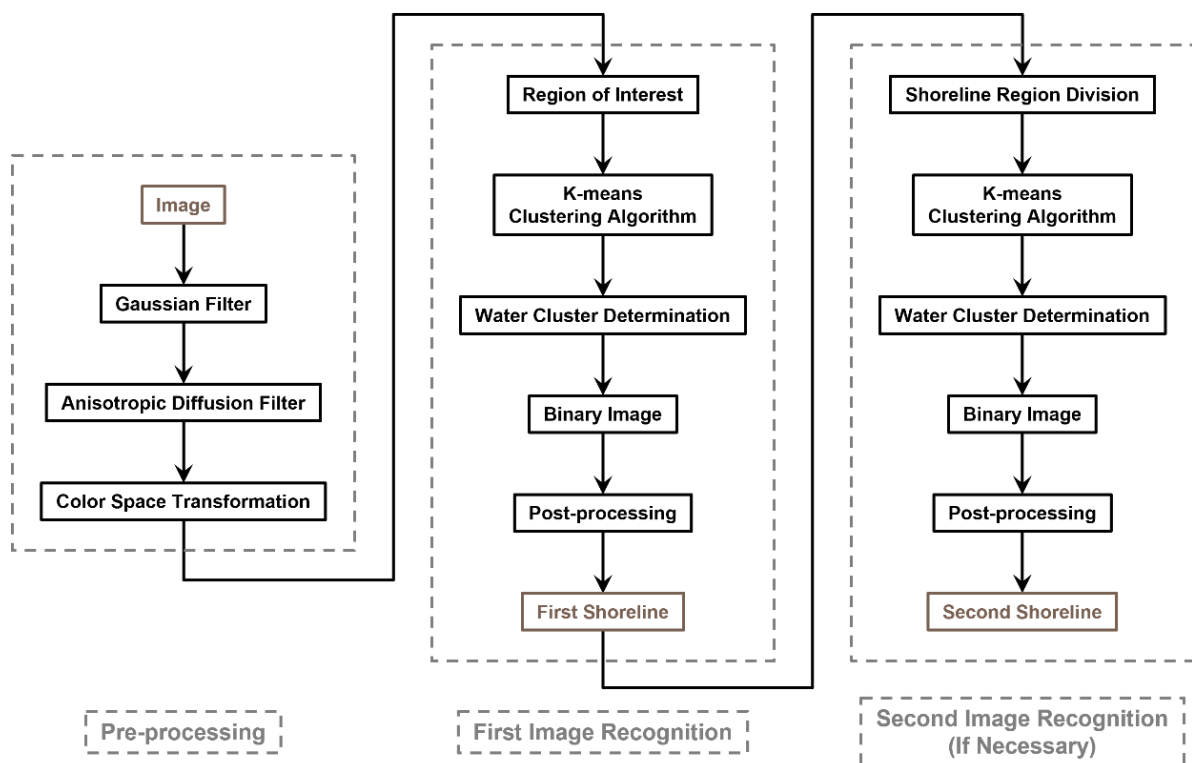


圖 1.10 海岸線判釋技術流程圖

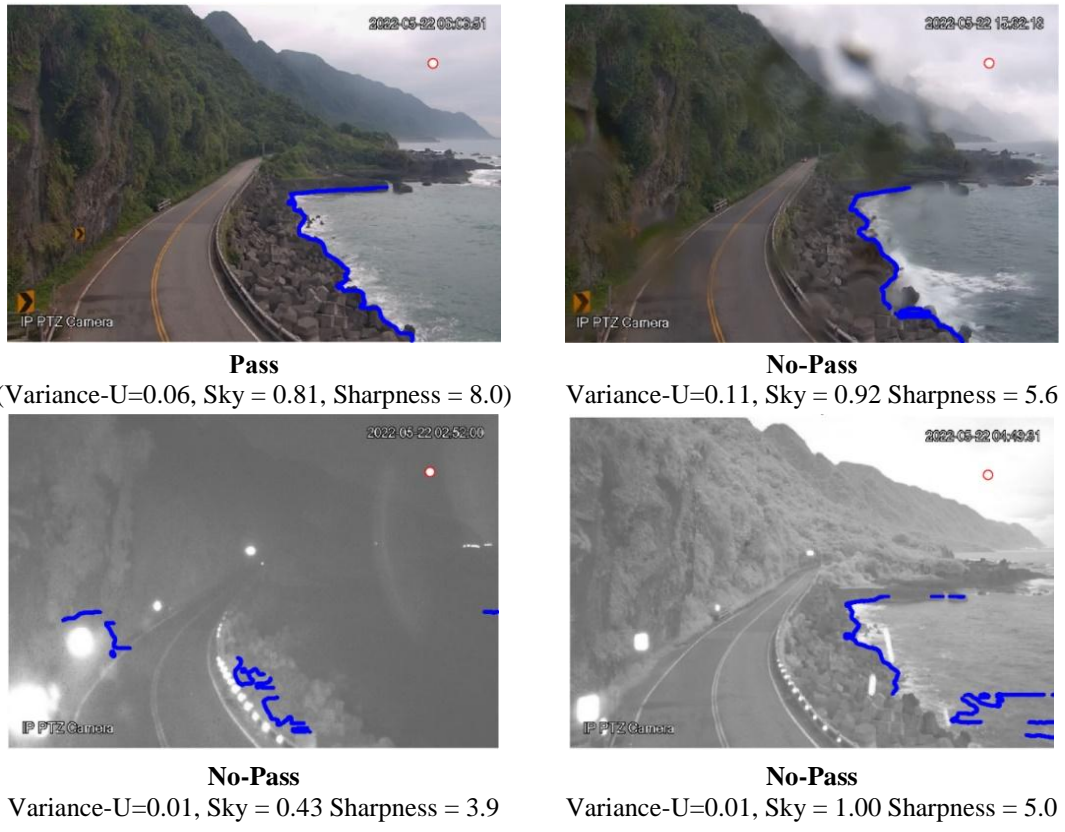


圖 1.11 影像分析水線有效性之判釋成果

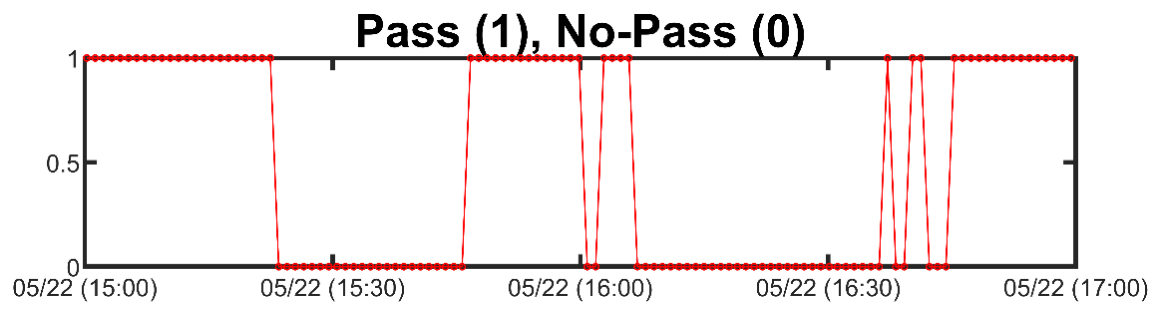


圖 1.12 影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果

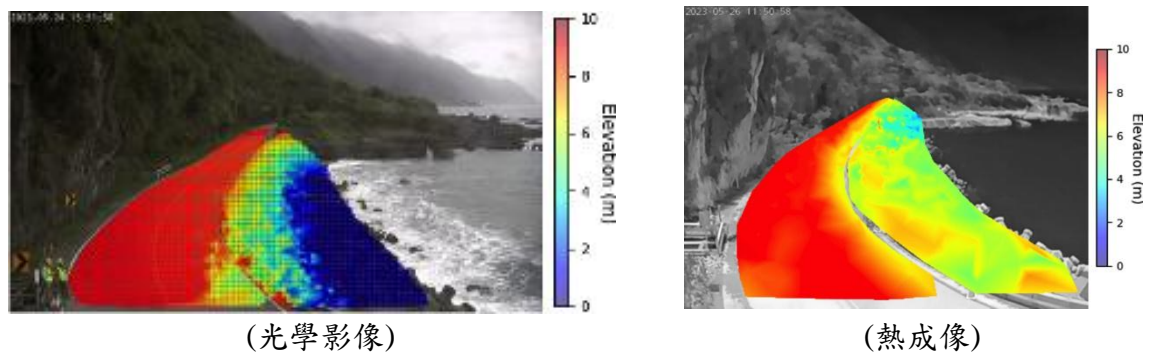
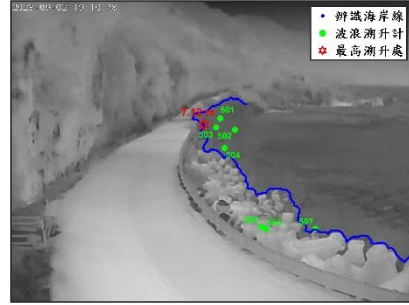


圖 1.13 地形高程資料套疊影像之成果



(光學影像)



(熱成像)

圖 1.14 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 1.15 不同情境之影像水線判釋結果

於第 2 年度計畫中，除加入「夜間」影像判釋技術建置與海岸公路越波機器學習模型建置外，亦針對越波影像判釋技術進行精進。第 1 年度影像判釋技術方面主要單純透過影像特徵抽取來進行分析；第 2 年度則加入非監督式機器學習法(K-means 分群法)來處理影像特徵劃分，藉以強化影像判釋能力。

1.7.3 第3年度(113年)計畫成果摘要

第3年度(113年)計畫除了持續針對海岸公路已發展之影像判釋系統進行維運與精進外，亦完成花蓮港區防波堤越波影像判釋方法之建立。與前二年度海岸公路人定勝天路段溯升/越波影像判釋概念有所不同，海岸公路影像判釋是以水線分析為主軸，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，甚至發生越波時浪花圍的水線(如圖1.16)，藉由水線位置與劃定影像警戒線區域(如圖1.17)判斷是否有公路浪襲之情況；本計畫分析對象則是以越過花蓮港東防波堤區域之浪襲為主(如圖1.18)，相較於前期計畫水線判釋技術，越波影像判釋技術著重於了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1.18為例，影像判釋技術以「圖1.18(1)與(3)判釋為有越波發生，而圖1.18(2)與(4)則判釋為無越波發生」為主要達成目標。惟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。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。夜間影像判釋流程則因影像透過紅外線補光獲取類似灰階影像的畫面，故而將日間影像判釋採用之 K-means 分群法調整為大津二值化法，以適應灰階影像的處理需求。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。



圖 1.16 影像判釋越波成果圖 (光學影像)



光學影像



熱成像

圖 1.17 自動化影像判釋越波警戒線圖



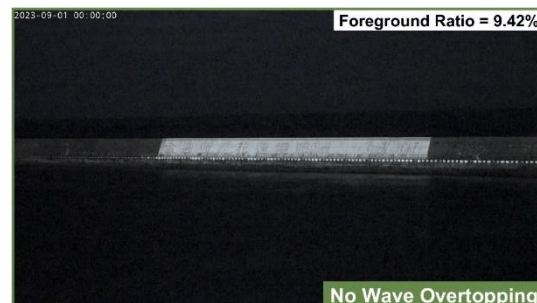
(1)日間有越波



(2)日間無越波



(3)夜間有越波



(4)夜間無越波

圖 1.18 花蓮港區防波堤影像判釋結果

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)」來進行風場混合。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。

除了影像判釋系統之精進與發展外，該年度於國立成功大學水利系一樓實驗室的潰壩水槽進行試驗，針對光達感測溯升技術進行可行性評估，實驗配置如圖 1.19。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。結果顯示，光達用於量測上需考慮其脈衝光束反射特性，當實驗室水太清澈時，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。

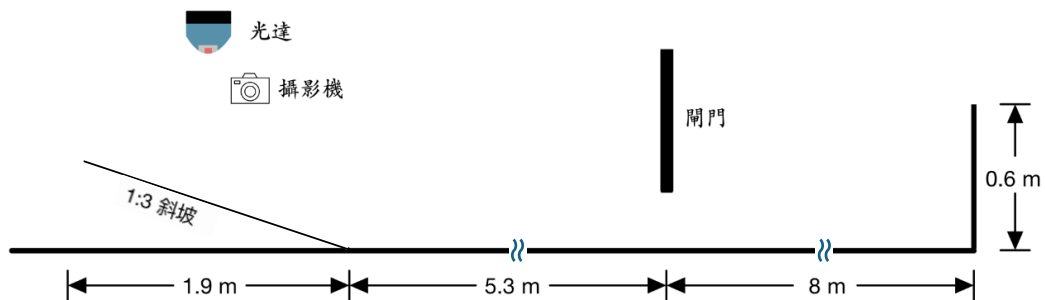


圖 1.19 實驗配置圖

1.7.4 第 4 年度(114 年)計畫成果摘要

本年度(114 年)為全程 4 年計畫之最終年度，主要目標為整合前 3 年之技術成果，將海岸公路及港區防波堤之影像判釋與越波預警技術全面「作業化」，並針對現場環境變遷導入深度學習技術以提升判釋韌性。本年度持續於台 11 線「人定勝天」路段及花蓮港區進行全天候影像監測。在海岸公路部分，針對攝影設備進行更新與控制點校正，確保空間對應之精確度；在港區部分，雖面臨防波堤結構受損之挑戰，仍成功蒐集到丹娜絲、楊柳、樺加沙等多場颱風期間之珍貴越波影像資料。這些資料涵蓋日間彩色與夜間紅外線熱成像影像，成為後續模型訓練與驗證之核心基礎。

為提升自動化影像分析流程的穩定性與擴充性，本計畫將原先以 MATLAB 撰寫之影像判釋模組全面改寫為 Python 架構，藉此強化跨平台相容性並優化系統維護效率。本次改寫導入了 Python 的多執行緒 (multithreading) 與工作佇列(queue) 機制，將整體處理流程明確分工為「影像擷取」、「判釋分析」以及「警戒產製」三大獨立階段(圖 1.20)，透過非同步串接有效提升資料處理效能，降低高負載運作下的資源競爭風險。此外，針對光學與熱成像兩種不同來源的影像資料，系統設計了兩組獨立平行的處理佇列，此舉不僅能分散 CPU 運算壓力，確保不同模組互不干擾，更大幅提升了系統的模組化彈性與未來擴充的便利性。

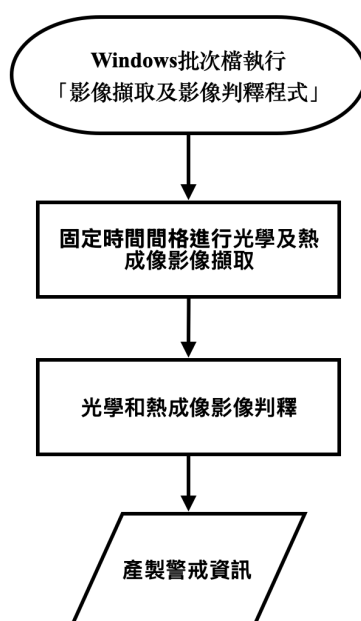


圖 1.20 本年度作業化影像判釋建置之流程圖

為評估本計畫所建置人定勝天影像判釋模型的準確性與適用性，特別彙整 2024 年強烈颱風凱米期間約 80,000 筆監視器影像資料作為測試樣本，以人為判釋方式比對分析模型準確性評估與錯誤類型。本年度藉由加入影像屬性分類與強化排除條件，提升對此類異常影像的識別與處理能力；導入 YOLOv8 模型進行車體辨識，成功於影像中定位車輛；並改善 K-means 分群後之水體分類邏輯，成功提高色彩相似條件下的水體篩選準確性(圖 1.21)。結果顯示，本計畫在排除不可判釋影像及降低誤判率方面已具成效，並維持了對越波事件的判釋能力。

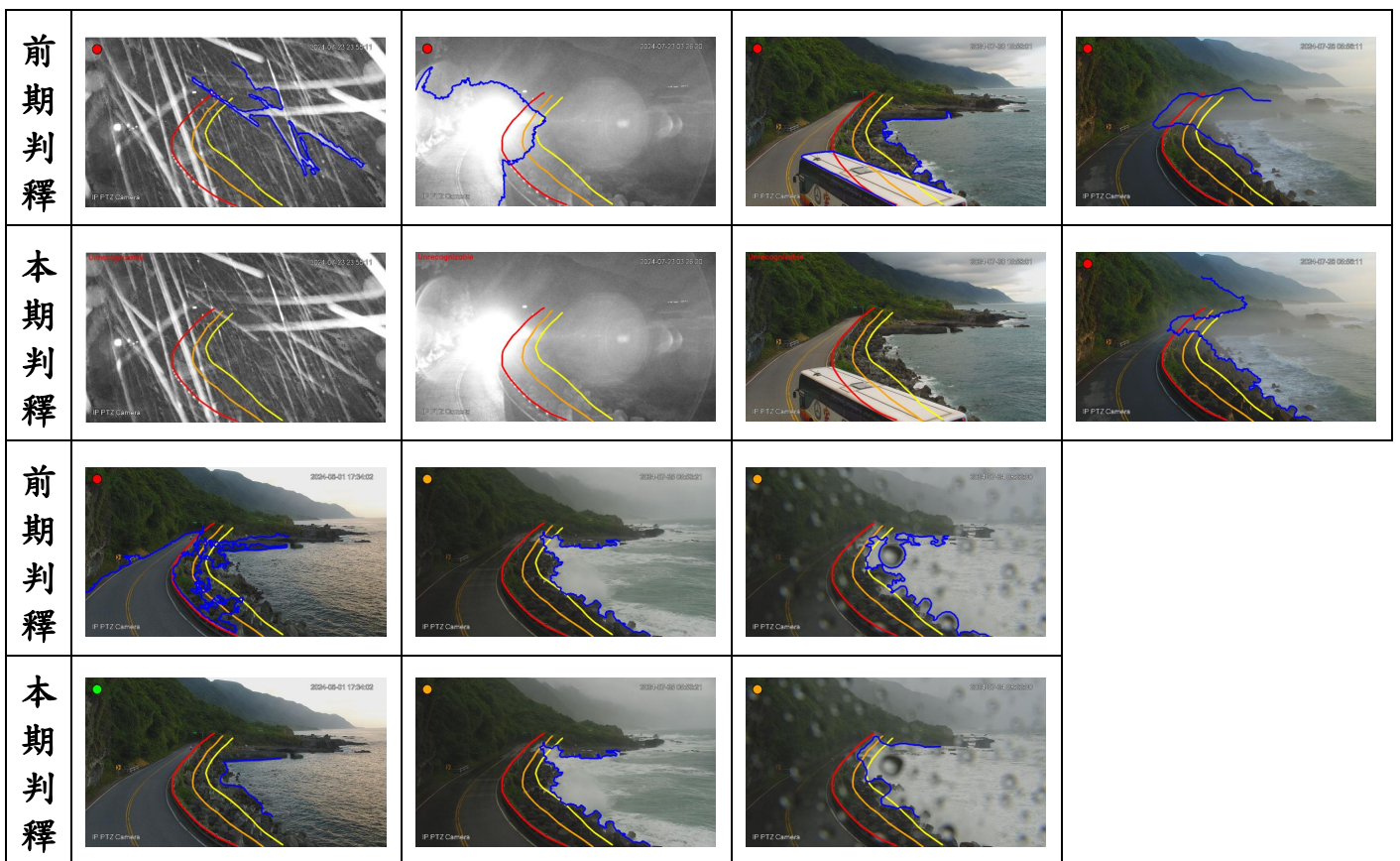


圖 1.21 前期與本期模型水線判釋的比較

鑑於花蓮港東防波堤結構受損導致場景特徵改變，傳統水線偵測法不再適用。本年度改採用以 ResNet50 為骨幹之深度學習分類模型。系統首先依據影像亮度(V 值)自動區分「日間彩色」與「夜間灰階」影像，並分別載入對應之訓練模型進行推論。測試結果顯示，該模型在紅外線夜間模式下之準確率高達 99%，日間模式亦達 97%，成功克服環境光照變化與場景變動之影響，能精確捕捉越波事件。

由於 CFSv2 於部分年度之風場資料有所異常，導致追算資料無法提供越波模型檢核所用。本計畫改與 TaiCOMS 2.0 海象預報系統之自動化介接，建立了一日四報的作業化越波預警流程。系統運用高斯過程 (Gaussian Process, GP) 機器學習模型，將外海波浪預報數據轉換為岸際越波潛勢燈號(紅燈/綠燈)。經由混淆矩陣分析驗證，人定勝天路段模型能合理反映浪高與溯升關係；花蓮港模型則能成功捕捉約 80% 的實際越波事件，顯示該系統已具備支援防災決策之實務應用能力。

此外，本計畫於 4 年期間累積不少溯升計與影像判釋所取得的溯升/越波資料，本年度彙整這些資料進行海岸公路(人定勝天路段)與港區防波堤(花蓮港)溯升或越波潛勢分析。人定勝天路段因今年於越波熱區增設消波塊，大幅耗散波浪的能量，目前尚未觀測到顯著的溯升或越波現象；而花蓮港東防波堤因局部結構受損，導致堤體抗浪能力下降，於多次颱風期間(除薇帕颱風外)皆出現顯著的越波情形。整體而言，該區越波活動與防波堤結構完整性及風浪條件高度相關，顯示港區維護與修復工作對防止越波災害具有關鍵影響。

1.8 預期成果

- 一、完成海岸公路及港區防波堤海象特徵之影像辨識資料庫。
- 二、完成影像自動化判釋海岸公路及港區防波堤越波之示警技術研發。
- 三、納入影像判釋溯升觀測資料，以精進港區防波堤之機器學習溯升/越波模型，並評估其成效。
- 四、完成港區防波堤越波影像判釋與越波示警系統作業化。
- 五、完成海岸公路及港區防波堤越波潛勢區域分析。
- 六、完成海岸公路及港區防波堤越波影像自動判釋之示警資訊提供。
- 七、精進運研所海岸公路浪襲預警系統。

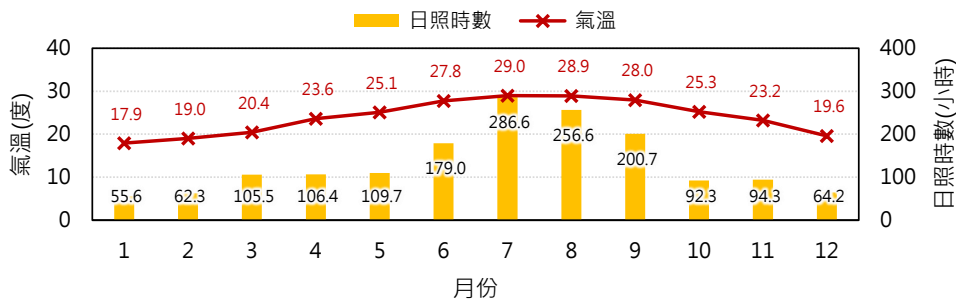
1.9 環境背景現況說明

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，為全台海岸線最長的縣市。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 1000~2000 公尺以上，海氣象環境背景概況說明如下。

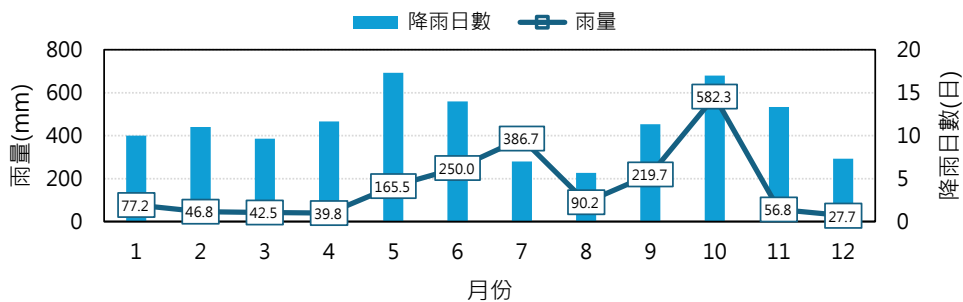
1.9.1 氣象

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。茲蒐集中央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 1.22，由圖可知，近 3 年間月平均溫度介於 17.9~29.0°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 286.6 小時為最多，1 月平均 55.6 小時為最少。圖 1.23 為近 3 年月平均降雨量與降雨日數分布，月平均雨量介於 27.7~582.3 毫米，月平均降雨日數為 5~20 日，平均年雨量約 1,859.7 毫米。其中，10 月份雨量較高於其他月份之主因為 2022 年 10 月尼莎颱風、2024 年 10 月小犬颱風、山陀兒颱風與康芮颱風所致。



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

圖 1.22 花蓮氣象站月平均溫度與日照時數分布圖(2022/6~2025/5)



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

圖 1.23 花蓮氣象站月平均降雨量與降雨日數分布圖(2022/6~2025/5)

1.9.2 海象環境

1. 波浪

中央氣象署於花蓮縣新城鄉外海設有資料浮標(經度：121.63、緯度：24.03)，觀測波浪、風速風向與海流。茲蒐集 2005 年至 2024 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。

2. 潮汐

參考中央氣象署 2005 年至 2024 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，平均潮高之南北差距約為 0.123 公尺，平均潮差亦以南側海域略大，惟南北平均潮差差距較小，約為 0.022 公尺。

3. 海流

茲蒐集運研所「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佈統計、機率分佈整理如表 1-5、表 1-6、圖 1.24 與圖 1.25 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，四季流速分佈均以 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，流向分佈統計資料分別為 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 1-2 花蓮浮標每月波高統計表(2005-2024)

月份	最大示性波高				平均示性波高(公尺)	平均週期(秒)	示性波高分佈百分比			
	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	5.4	13.1	33	2011/1/15	1.5	6.2	1.7	53.5	37.8	7.0
2	6.0	11.6	11	2022/2/23	1.4	6.2	2.8	62.0	29.3	5.8
3	4.7	10.0	45	2023/3/13	1.2	6.0	7.5	69.0	20.0	3.5
4	3.8	10.0	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	12.0	13.1	90	2015/8/8	0.7	6.0	55.1	37.9	4.9	2.2
9	11.9	15.1	56	2010/9/19	1.0	6.2	31.1	50.9	12.6	5.4
10	10.1	15.1	315	2007/10/6	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：中央氣象署網站(<https://www.cwa.gov.tw/>)。

表 1-3 花蓮潮位站逐月潮位統計表(2005-2024)

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	1.087	0.983	0.562	-0.009	-0.665	-1.037	-1.374
2	1.083	0.986	0.568	-0.003	-0.662	-0.984	-1.263
3	1.065	0.988	0.589	0.008	-0.623	-0.905	-1.188
4	1.029	0.977	0.600	0.041	-0.594	-0.977	-1.144
5	1.043	1.021	0.593	0.052	-0.607	-1.025	-1.143
6	1.132	1.069	0.661	0.104	-0.536	-1.021	-1.300
7	1.320	1.158	0.661	0.124	-0.530	-0.974	-1.190
8	1.437	1.194	0.746	0.177	-0.430	-0.885	-0.975
9	1.250	1.194	0.751	0.181	-0.430	-0.767	-0.959
10	1.293	1.054	0.673	0.126	-0.516	-0.879	-1.390
11	1.089	1.024	0.597	0.034	-0.578	-0.991	-1.186
12	1.061	0.990	0.569	-0.018	-0.626	-1.036	-1.177
全年	1.437	1.194	0.635	0.073	-0.566	-1.037	-1.374

資料來源：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(2005-2024)

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	0.704	0.111	-0.518	-1.081	-1.146
2	1.217	1.193	0.726	0.118	-0.496	-1.028	-1.045
3	1.205	1.176	0.719	0.123	-0.493	-0.937	-0.984
4	1.172	1.112	0.729	0.143	-0.499	-1.001	-1.019
5	1.210	1.157	0.763	0.186	-0.455	-1.045	-1.031
6	1.352	1.208	0.819	0.231	-0.423	-1.076	-0.941
7	1.550	1.284	0.838	0.250	-0.414	-1.056	-1.051
8	1.649	1.370	0.895	0.309	-0.334	-0.996	-0.840
9	1.656	1.360	0.886	0.320	-0.317	-0.920	-0.926
10	1.570	1.212	0.832	0.269	-0.376	-1.060	-0.981
11	1.188	1.157	0.749	0.174	-0.473	-1.099	-1.084
12	1.227	1.135	0.715	0.126	-0.529	-1.103	-1.118
全年	1.656	1.370	0.780	0.196	-0.443	-0.967	-1.146

資料來源：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 1-5 花蓮港測站分季流速分佈統計表(2003~2020)

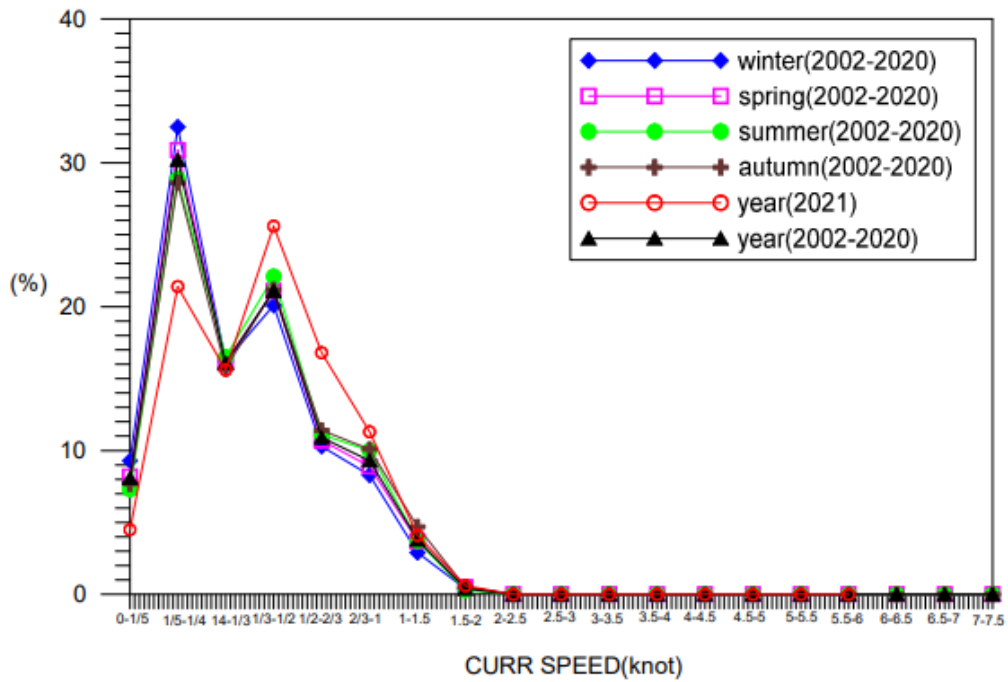
季節	平均流速 (cm/s)	流速 < 25 cm/s (%)	25 ≥ 流速 ≤ 50 cm/s (%)	流速 > 50 cm/s (%)
春	19.4	76.3	19.6	4.2
夏	19.9	74.7	21.2	4.1
秋	20.7	73.2	21.5	5.3
冬	18.4	78.1	18.6	3.3
全期	19.6	75.6	20.2	4.2

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佈統計表

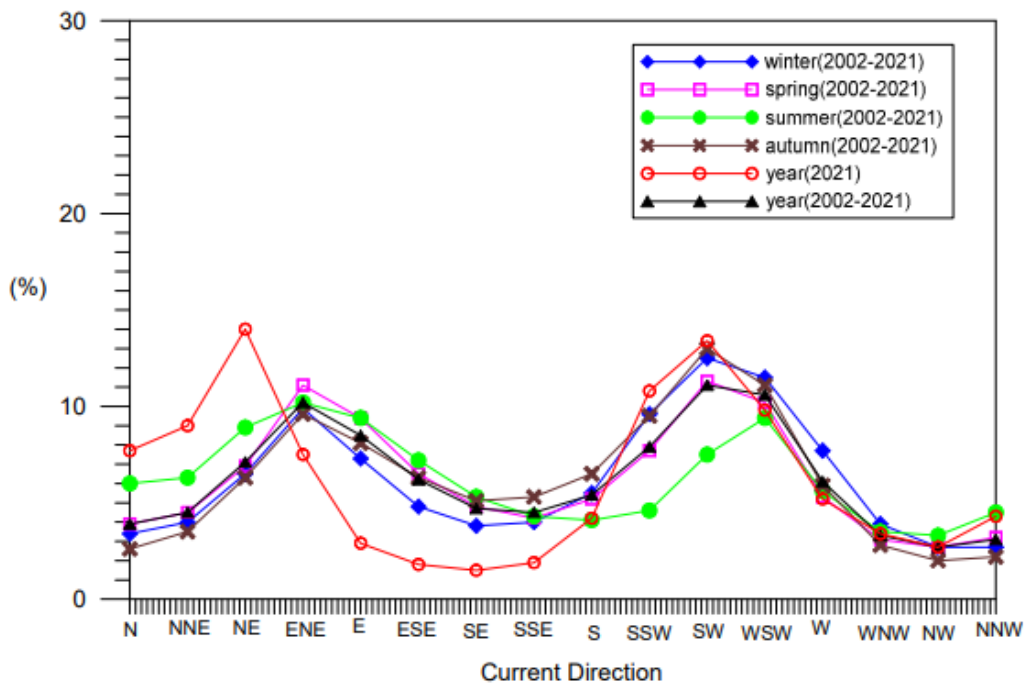
季節	N~E (%)	E~S (%)	S~W (%)	W~N (%)
春	29.5	22.3	35.0	13.1
夏	33.3	23.5	26.6	16.5
秋	25.0	23.5	40.9	10.6
冬	26.2	18.3	41.2	14.3
全期	28.4	21.9	36.1	13.6

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 1.24 花蓮港歷年四季及全觀測期海流流速機率分佈圖



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 1.25 花蓮港歷年四季及全觀測期海流流向機率分佈圖

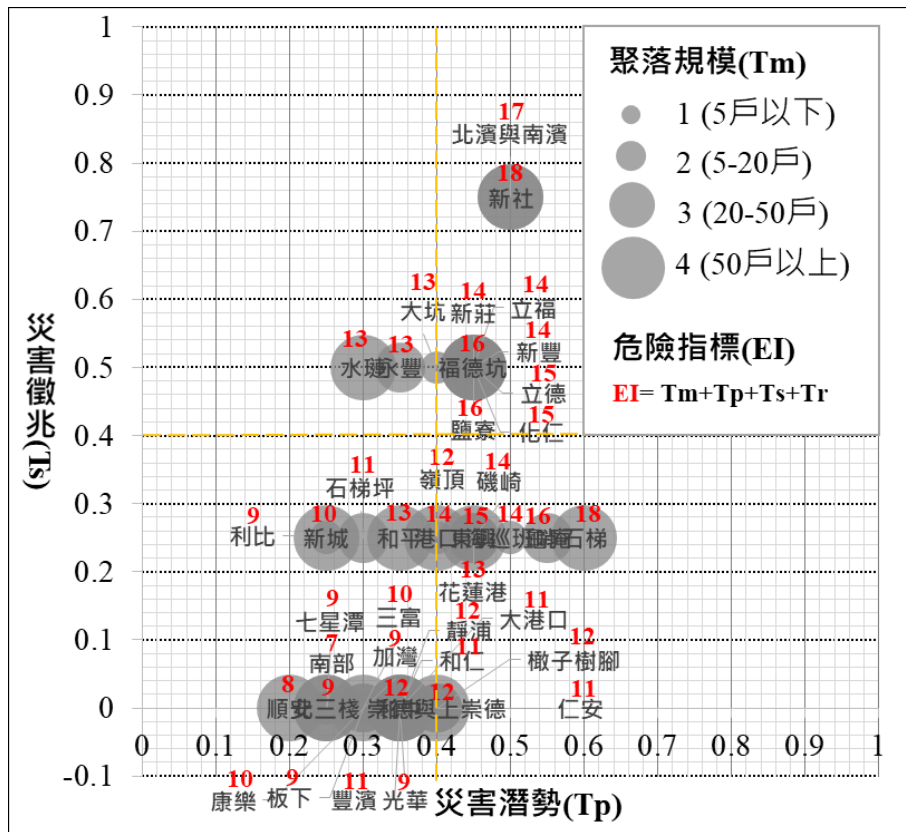
1.9.3 地質環境

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)及片麻岩三類，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。

1.9.4 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 線邊分佈，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 線作為唯一聯外道路，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 1.26 為花蓮地區海岸聚落於災害徵兆(T_s)-災害潛勢(T_p)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 1.26 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 年海洋大學、台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。

中央氣象署統計，自 2000 年至 2022 年底，全台灣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 年中山大學與本所合作研究報告指出(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 1.27(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 1.27(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 1.27(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 1.27(d))。此外，2024 年 10 月康芮颱風來襲，花東海岸公路風強雨驟，台 11 線 61.5K 人定勝天路段即發生海浪越波侵襲至道路之現象(圖 1.27(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。

目前學界對於異常波浪(如瘋狗浪)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，判斷瘋狗浪的形成原因、襲擊岸邊時機和地點等。中央氣象署指出，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台11線61.5公里處

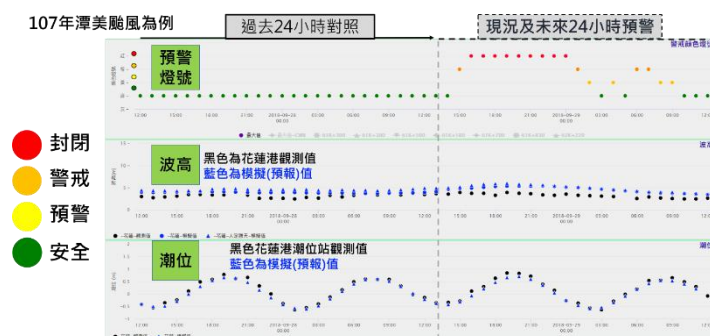
資料來源：(a)(b)自由時報網站、(c)陳冠宇等人，2021，花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置、(d)中時新聞網、(e)中央通訊社

圖 1.27 浪襲台 11 線海岸公路事件現場概況

1.9.5 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。

運研所繼 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 1.28 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，及早掌握具預警性的封路資訊，進而預作因應，提升颱風期間道路通行安全，降低交通風險。



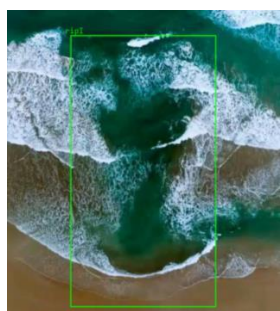
資料來源：花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(2021)。

圖 1.28 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號

1.10 國內外應用影像判釋於港區防波堤越波相關研究蒐集

1.10.1 國內相關研究

海岸公路概為臺灣東部之主要幹道，而其易受颱風長波影響而常有浪襲事件發生。為避免浪襲事件造成較大的生命與財產安危，運研所已發展海岸公路浪襲預警系統，藉由浪襲預報警示，降低浪襲災害事件。此系統主要是透過數值越波資料庫建立，並介接既有海象預報資料，以達到海岸公路浪襲預警之目的，目前已建立花蓮與臺東兩處海岸公路浪襲預警系統(運研所，2018、2021)。影像判釋技術近年來應用範圍廣泛，除民生、安全、醫療等用途外，亦有應用於海岸相關研究。莊士賢等人(2021)以 YOLOv4 深度學習模型為架構，開發出可從影片中自動識別海灘區常見之兩大類型離岸流—通道狀與沉積物雲羽狀(sediment plume)的模式，如圖 1.29 所示，精確度分別為 86.76%和 82.37%。郭晉安與簡仲和(2009)則建議若以較高影像攫取頻率的 CCD 攝影機進行海表面影像拍攝，對於沿岸流監測分析應具可行性。周宗仁等人(2011)探討 CCD 攝影機應用於現場量測波及使用最小二乘法判斷波浪方向的可行性。王敘民等人(2017)利用光學攝影機記錄海岸異常波浪(瘋狗浪)，並應用影像邊界偵測技術自動分辨海岸異常波浪水花之邊界，針對波浪與岸礁交互作用所產生的水花進行特性分析。董東璟等人(2019)針對前述 2 處異常海象的發生機制，研發建置預警系統，並藉由瘋狗浪影像案例，重新率定機率預警系統及雙向驗證。本計畫過往亦有影像判釋技術發展之相關經驗，於 2021 年透過海堤上所架設之攝影設備，拍攝海堤溯升影像，分析影像中溯升訊號，藉以推估海堤溯升高度，提供越波預警系統校驗，作為溯升機器學習模型調校之依據，如圖 1.30。



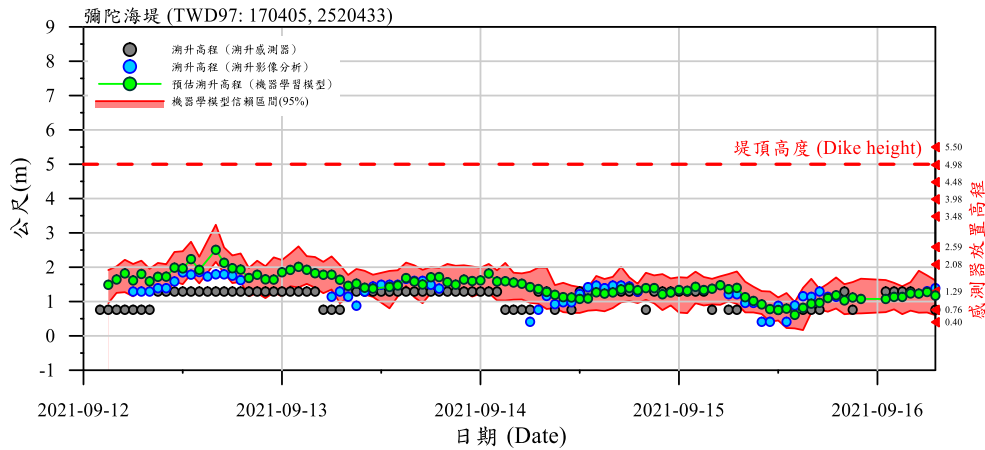
(a)通道狀(channel)離岸流



(b)沉積物雲羽狀(sediment plume)離岸流

資料來源：莊世賢等人, 2021

圖 1.29 海灘區常見的二類離岸流偵測



資料來源：第六河川局，河川監測資訊管理精進計畫，2021

圖 1.30 彌陀海堤—燦樹颱風溯升預測值與現地量測資料比對

1.10.2 國外相關研究

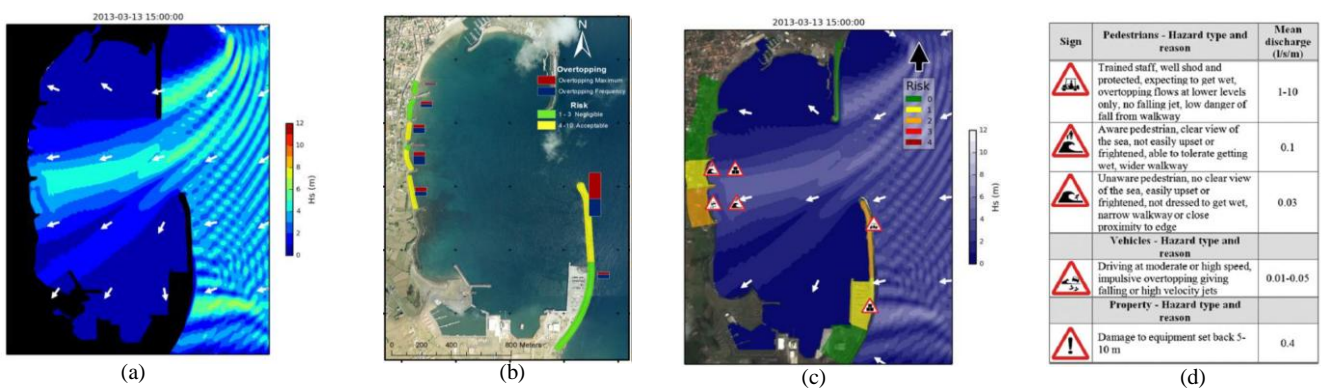
國外針對海岸公路防護，首要目標為準確瞭解海岸情況，進而評估災害來源及結果、評斷風險(risk)、脆弱度(vulnerability)與調適性(adaptation)，並考量極端災害及氣候變遷之影響。如 EurOtop(2016)根據大量的現場調查及實驗數據，利用類人工智慧之類神經網路分析法，提供不同地形及結構物類型之溯升高及越波量估算公式，然其現場觀測資料均以歐洲為主，若欲用於臺灣，需進一步考量因地點不同所造成之差異。FHWA(2014)指出對海岸情況的了解，應包含暴潮(storm surge)、波浪(waves)、海岸地形(coastal morphology)造成之影響，進行風險評估，劃分不同程度之影響區域，進而規劃以人民安全為主之不同程度的管理措施，設置可進一步做為工程手段之先行評估。

以整合式預警系統言之，Sabino et al.(2014)分享葡萄牙海岸越波災害管理經驗，該系統整合多套波浪模式，包含大範圍外海波高模擬，傳遞至近岸之計算，再透過類神經網路或經驗公式(Mase et al., 2013)等計算溯升與越波，最後透過預先設計之門檻值定義不同層面之災害警示，並以地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)呈現災害地圖，透過不同顏色的圖層，展現災害之嚴重程度，如越紅色表可能災害越強烈。然為簡化系統及呈現較親民之數據予居民甚至遊客，呈現之數據僅包含波高、週期及波向，越波之平均越波量則以災害層級之顏色表示，該預警系統介面可參見圖 1.31 所示，系統介面中包含警戒圖示與相關災害門檻值之定義。另就門檻值而言，美國海岸工程手冊(Costal Engineering

Manual, CEM)亦有訂定越波災害之門檻值，且其定義範圍較該系統廣泛，應較適合台 9 線海岸公路預警所用(參考前期計畫公路浪襲之分析結果)。此外，可能之海岸災害除發布於相關政府單位網站及管理層級人員之電子郵件外，亦整合至手機 APP，並於社群網絡發文(e.g., Twitter)，冀期有更多民眾能收到災害警示資訊。而預警系統之建立除用於減災之核心層面外，也可用於未來國土開發規劃之參考與決策依據。

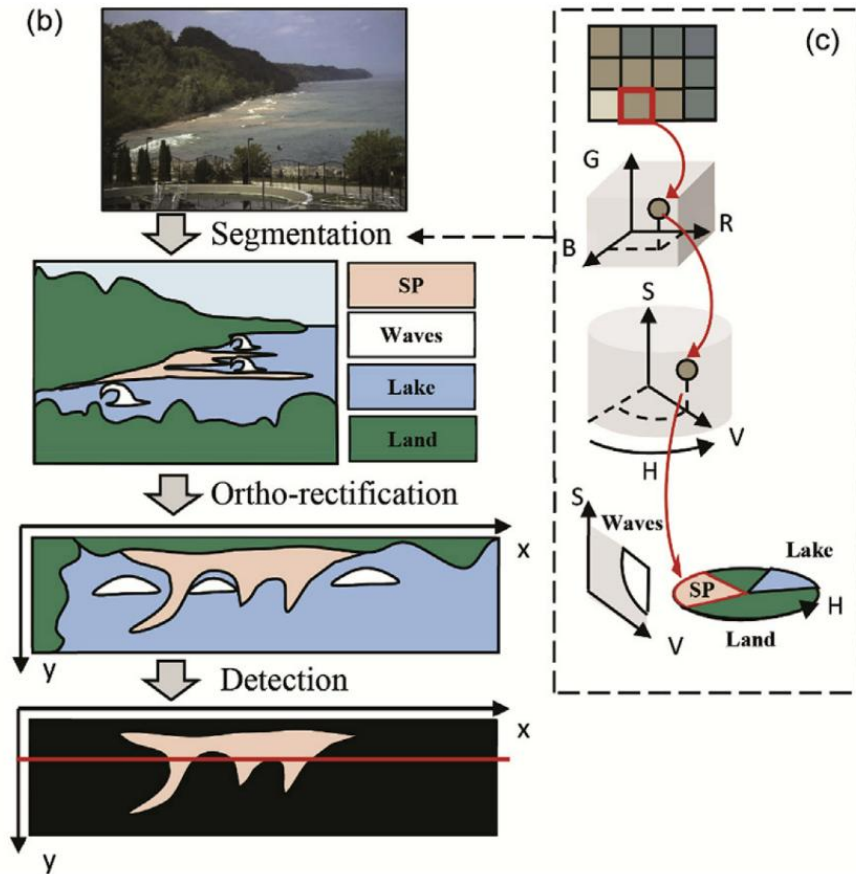
影像判釋技術亦有運用於離岸流判釋之相關研究，Liu and Wu.(2019)以分割(segmentation)、正射糾正(ortho-rectification)、和離岸流偵測(flash rip detection)的方式，從監視影像中自動辨識 Flash rip(圖 1.32)。Maryan et al.(2019)比較 Viola-Jones 演算法、卷積神經網絡(CNN)和基於通道狀圖像數據集的元學習器(Meta-Learner)，指出 CNN 雖具有透過特徵影像進行特徵學習的優勢，但容易出現過度擬和的情形，需要相當大量的資料(數十萬筆)和長時間的對超參數(hyperparameters)進行訓練和驗證。

透過海岸光學監視系統(Beach Optical Monitoring System, BOMS)獲得波浪溯升於時間與空間上分布之影響(參見圖 1.33)，藉由地理圖像校正與影像分析技術，淬取波浪溯升過程與最大溯升位置，以利瞭解觀測區域近岸波浪傳遞特性。有別於一般溯升計之觀測方式，透過影像判識波浪溯升技術，除可獲得高頻時間序列近岸波溯升變化外，同時可檢測較廣域(面分布)的溯升變化情況(參見圖 1.34)。



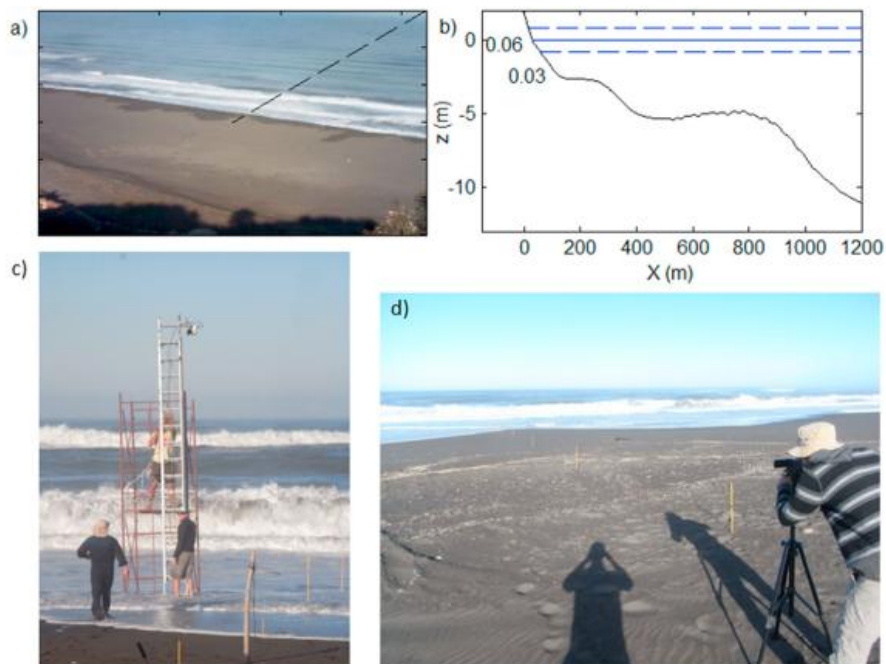
註：(a)波高與波向資訊、(b)越波風險地圖、(c)越波預警圖、(d)越波警戒門檻值定義；資料來源：Sabino et al., 2014

圖 1.31 葡萄牙海岸越波災害預警系統



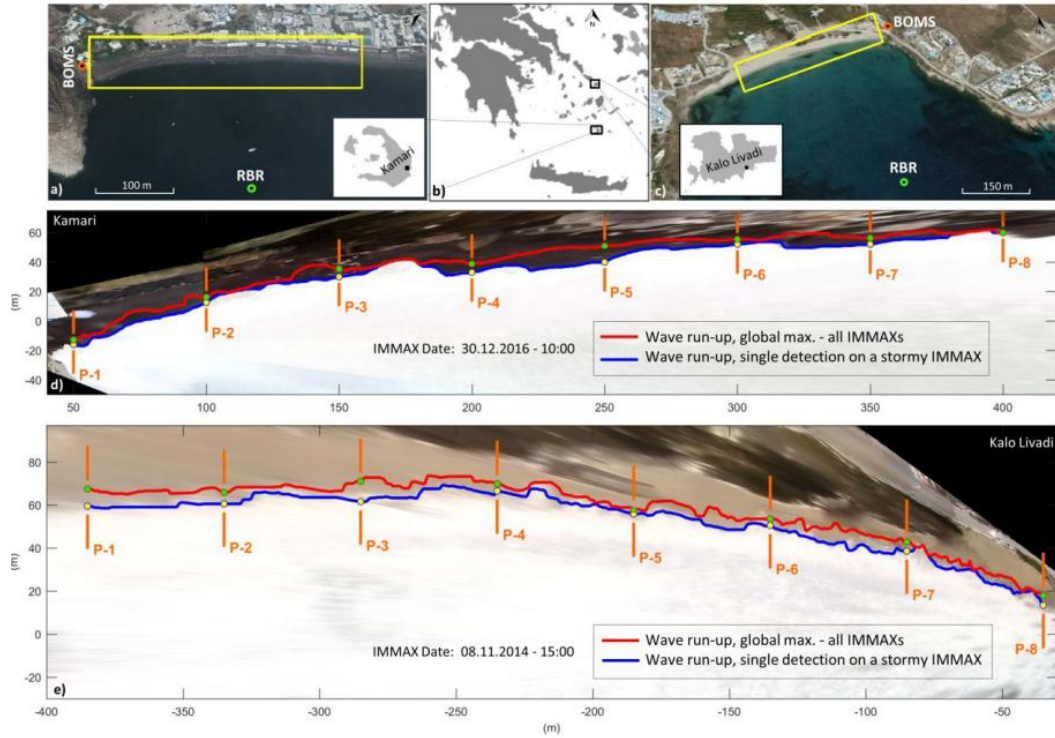
資料來源：Liu and Wu, 2019

圖 1.32 Flash rip 偵測方式



資料來源：Almar et al., 2017

圖 1.33 架設波浪潮升監視系統



資料來源：Chatzipavlis et al., 2019

圖 1.34 透過影像分析技術萃取波浪溯升情況

第二章 溯升與越波影像資料蒐集

本計畫參考過去影像分析相關研究，選擇適合現地應用的方法進行影像判釋技術開發。由於影像分析的準確度受現場環境條件影響，需要針對影像特性(如亮度、顏色、對比度等)進行適當調整，以確保穩定的判釋效果。此外，現有研究顯示，透過大量數據訓練的影像分析技術可提升在複雜環境下的適應性，然而，此方法需要大量標記影像及嚴格的影像品質管理，才能確保有效應用於現地環境。

在前期計畫的觀測經驗中，近年來颱風事件減少，導致越波影像資料累積有限，現階段若直接採用依賴大量數據的技術發展現地影像分析方法，仍面臨樣本不足的挑戰。因此，本計畫將以不依賴大量標註數據的影像分析技術為主要發展方向，並持續累積影像資料庫，以作為未來更進階判釋技術發展的基礎。

2.1 海岸公路溯升/越波影像資料蒐集

本計畫之海岸公路研究區域選定花蓮縣豐濱鄉台 11 線人定勝天路段，該區域具備典型的沿岸越波風險。為提升影像資料資料庫之可用性與豐富度，除設置一部光學攝影機(Axis P5655-E)進行日間監測外，另配置一部熱成像攝影機，以補足夜間水線判釋所需之影像資訊，確保日夜影像的同步採集，累積大量涵蓋不同環境條件之影像樣本，進而強化全天候影像分析的可靠性與準確度。以 2023 年 5 月份瑪娃颱風所攝得之影像為例，將收錄到日夜間影像依據觀測環境特性，劃分為降雨和未降雨 2 種天氣情境，各情境分述如下：

2.1.1 日間影像

圖 2.1 顯示瑪娃颱風期間尚未降雨時的光學與熱成像日間影像，圖 2.2 則呈現颱風期間降雨條件下的影像資料。比較兩者可發現，在日間無降雨的情境下，光學與熱成像影像皆能清楚辨識水體、道路、消波塊及山壁等影像特徵。然而，在降雨條件下，光學影像受降雨影響，畫面因雨滴附著於鏡頭表面而顯著模糊，影像品質大幅降低。相較之下，熱成像影

像則較不受降雨影響，仍能維持良好的影像特徵辨識能力，提供穩定的觀測資訊。

日間影像在降雨條件下的差異性可能與攝影機結構型式及安裝位置相關。熱成像攝影機相較於光學攝影機安裝於較低處，因此鏡頭表面受雨滴直接附著的機會與持續時間較短，減少了因雨滴覆蓋導致影像模糊的影響。此外，熱成像攝影機透過偵測與測量物體所發出的紅外線輻射進行成像，儘管雨滴在下落過程中仍具備一定溫度，但由於其體積小且移動速度快，使其在熱成像影像中難以被顯示，進而減少降雨對影像品質的影響。

2.1.2 夜間影像

在颱風期間尚未降雨的夜晚，熱成像影像相較於光學影像展現顯著優勢，可清晰呈現豐富的影像特徵，如圖2.3所示。然而，相較於日間觀測，夜間水體、消波塊與公路因輻射冷卻效應使溫度分布趨於一致，導致特徵對比降低，進而增加水線判釋的難度。

圖2.4則顯示夜間降雨條件下的影像資料，即使是熱成像影像亦顯得模糊，幾乎無法辨識有效特徵。此現象可能由於降雨導致整體環境溫度趨於一致，使熱成像攝影機難以區分不同物體的溫度差異。此外，強降雨可能影響紅外線的傳播，使影像對比度下降，進而降低熱成像影像的可辨識性與可靠度。

因前期計畫所蒐集的影像資料中發現光學攝影機於下雨情況下，攝影機鏡頭沾附水珠情況較為顯著，因此於本年度進行光學攝影設備更換作業。於4/16至4/18更換攝影設備，並於4/23恢復網路功能，圖2.5為更換設備後之相關影像資料。本年度蒐集2025年颱風期間的影像資料，如圖2.6至圖2.9所示，並於楊柳和樺加沙颱風期間，蒐錄到顯著的溯升影像資料。

2.2 花蓮港區防波堤溯升/越波影像資料蒐集

本計畫於花蓮港區防波堤的研究區域選定新東堤段，並採用 AXIS Q1786-LE 光學攝影機，該設備架設於花蓮港西防波堤上，提供 24 小時不

間斷監測東防波堤之能力，最高影像解析度可達 2560×1440 ，圖2.10 至圖2.11 分別為港區防波堤之越波與無越波影像。

相較於人定勝天路段使用之光學攝影機，港區採用的設備具備紅外線照明功能，可透過內建感測器判斷環境光源狀況，並於光線不足時自動啟動紅外線模式。儘管此模式下影像色彩資訊較日間影像貧乏，但能顯著提升夜間影像的可讀性，使越波發生情境更容易被人眼辨識（如圖2.11(a)所示），進而增強影像判釋技術於低光環境下的應用可行性。

圖2.12 至圖 2.14 為 2025 年颱風期間觀測到的日間越波影像，圖 2.15 則為夜間越波影像。從影像可見，花蓮港東防波堤在不同颱風期間均出現明顯越波現象。其中，楊柳颱風與樺加沙颱風期間浪高顯著，越波頻率與持續時間均較其他時期增加。相較之下，丹娜絲颱風期間的越波情形較為輕微。夜間影像中亦可辨識堤頂外溢之水體，顯示在低光環境下仍能有效記錄越波事件。整體而言，這些影像資料不僅提供實際颱風條件下防波堤越波行為的觀測依據，也能做為後續越波模擬與防波堤安全性評估的重要參考。



圖 2.1 海岸公路人定勝天路段日間未降雨影像(瑪娃颱風)

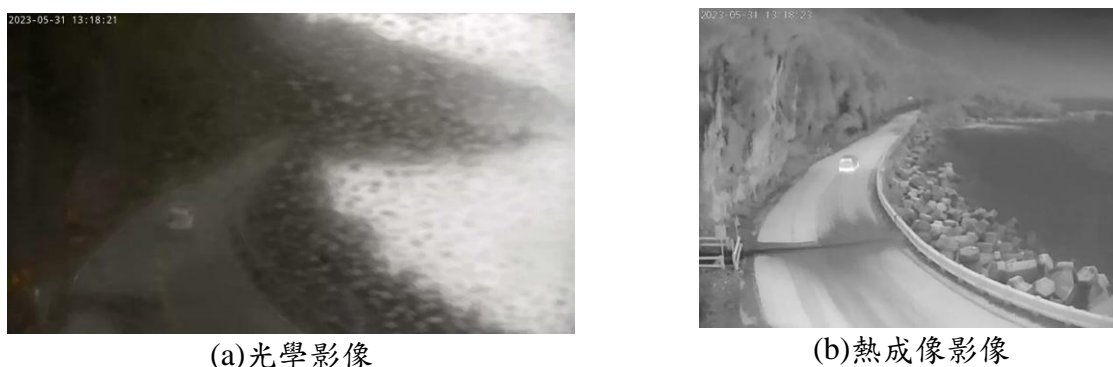
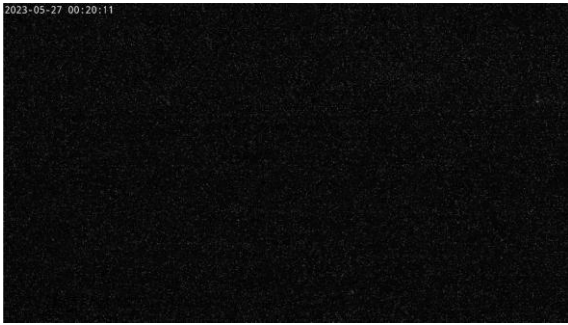


圖 2.2 海岸公路人定勝天路段日間降雨影像(瑪娃颱風)

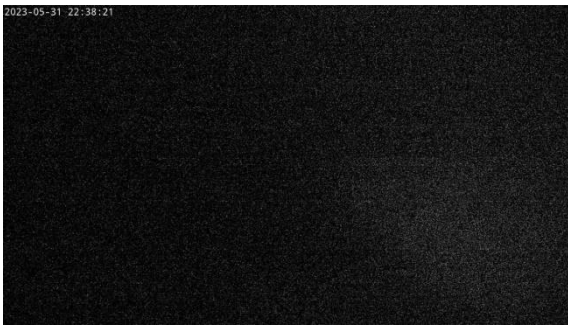


(a)光學影像



(b)熱成像影像

圖 2.3 海岸公路人定勝天路段夜間未降雨影像(瑪娃颱風)

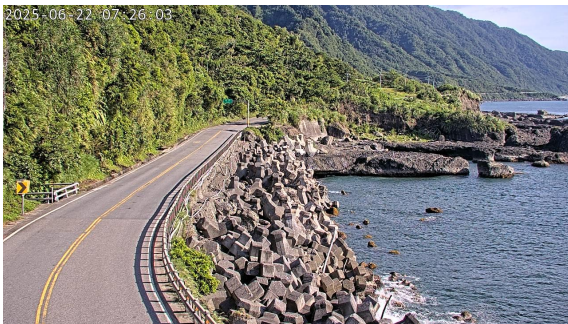


(a)光學影像



(b)熱成像影像

圖 2.4 海岸公路人定勝天路段夜間降雨影像(瑪娃颱風)



(a)光學影像



(b)熱成像影像

圖 2.5 海岸公路人定勝天路段現階段之影像



(a)光學影像



(b)熱成像影像

圖 2.6 海岸公路人定勝天路段於 2025 年丹娜絲颱風期間影像

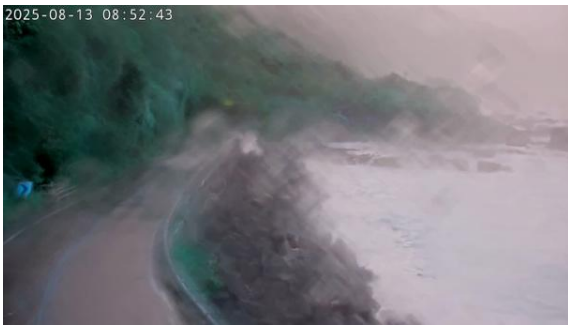


(a)光學影像



(b)熱成像影像

圖 2.7 海岸公路人定勝天路段於 2025 年薇帕颱風期間影像



(a)光學影像



(b)熱成像影像

圖 2.8 海岸公路人定勝天路段於 2025 年楊柳颱風期間影像



(a)光學影像



(b)熱成像影像

圖 2.9 海岸公路人定勝天路段於 2025 年樺加沙颱風期間影像



(a)有越波

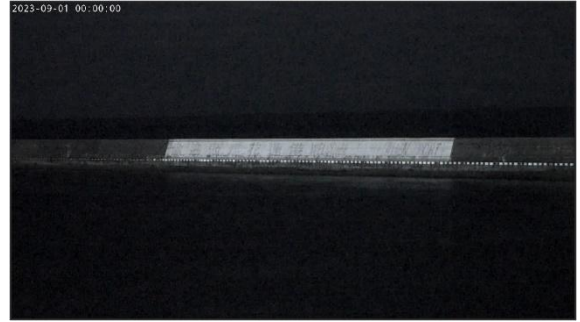


(b)無越波

圖 2.10 花蓮港東防波堤之日間影像



(a)有越波



(b)無越波

圖 2.11 花蓮港東防波堤之夜間影像



圖 2.12 花蓮港東防波堤於 2025 年丹娜絲颱風期間的日間越波影像



圖 2.13 花蓮港東防波堤於 2025 年楊柳颱風期間的日間越波影像



圖 2.14 花蓮港東防波堤於 2025 年樺加沙颱風期間的日間越波影像



圖 2.15 花蓮港東防波堤於 2025 年樺加沙颱風期間的夜間越波影像

第三章 作業化影像判釋系統維運與精進

3.1 海岸公路溯升/越波影像作業化判釋系統

3.1.1 判釋方法概述

數位影像分析流程可參考賴岱佑 (2008)提出的 5 個步驟進行，分別為「影像輸入」、「影像強化」、「影像區分」、「特徵抽取與表示」以及「影像描述」。針對不同的分析目標，各步驟的執行方式需視實際需求進行規劃與測試，以制定最適合的處理流程。光學影像主要透過色彩與對比度增強技術提升影像品質，進一步進行影像分割與特徵抽取，以精確識別水線與環境背景的區別。熱成像影像則利用紅外線輻射特徵進行水體與陸域區分，並藉由溫度對比分析增強水線的可辨識度。以下概述兩種影像的特性及其處理與分析方法。

1. 光學影像

在海岸公路影像分析中，由於輸入影像為 RGB 彩色影像，為了獲取水線位置以計算溯升高度，須先評估 RGB 影像是否適用於水線區分，或是否需轉換至其他色彩空間以提升分析效果。接著，透過影像強化技術提升水線與其他特徵之間的對比度，以增強水線的可辨識性。在影像區分階段，則進一步聚焦於水線的辨識，確保能準確擷取水線資訊。

為研發能夠自動判釋海岸線的技術，本計畫將影像資料進行分析、統計及處理，將整個程式分為三個階段，依序為預處理(pre-processing)、第一次影像辨識(first image recognition)，以及第二次影像辨識(second image recognition)，各階段詳細步驟如圖3.1 所示。

(1) 影像預處理

本計畫針對原始影像資料進行預處理，透過高斯濾波器 (Gaussian filter) 進行模糊化與去除雜訊，再以非等向性擴散濾波器 (anisotropic diffusion filter) 強化物體邊緣位置，最後進行色彩空間轉換 (color space transformation)，可提升後續影像分析的效果，確保水線辨識的穩定性。

A. 高斯濾波器

數位影像在擷取與傳輸過程中，受環境光源變化或設備異

常影響，可能產生高頻雜訊，使影像品質下降並影響後續判釋準確性。因此，影像處理的首要步驟為雜訊濾除，以提高影像品質與分析精度。

濾波器(遮罩)是影像處理中常用的降噪工具，透過數學運算調整像素值，以去除雜訊並平滑影像。本計畫採用高斯濾波器(Gaussian Filter)，其為低通濾波器(Low Pass Filter)的一種，能有效濾除高頻雜訊並保留影像邊緣特徵。相較於均值濾波器(Mean Filter)，高斯濾波器的權重隨距離中心點的增加而遞減，更能保留影像細節。本計畫之高斯濾波器設定邊長為 3、標準差為 0.5 (如圖 3.2)，以兼顧降噪效果與影像特徵保持能力。此外，針對影像邊界處理，當濾波器超出範圍時，採用鏡射補值(如圖 3.3)以確保計算完整性，進一步提升影像處理穩定性與後續水線判釋準確度。

B. 非等向性擴散濾波器

雖然高斯濾波器能有效降低影像中的高頻雜訊，但可能導致海岸線等邊緣特徵模糊化，影響後續影像分割的分群效果。因此，本計畫參考 Paravolidakis et al. (2018) 對空拍影像的預處理方法，並採用 Perona and Malik (1990) 提出的非等向性擴散濾波器 (Anisotropic Diffusion Filter) 進一步優化影像品質。

非等向性擴散濾波器能在保留主要邊緣特徵(如海岸線)的同時，抑制水體及其他區域內的弱邊緣與雜訊，提升區域內的色彩均勻度，使影像更加平滑，從而增強影像分割的準確性與穩定性。這一特性使其特別適用於本計畫的影像分析流程，有助於提升水線判釋精度，並改善影像分群效果。

C. 色彩空間轉換

色彩空間是對色彩在空間中的幾何表示，通常包含三個維度，常見標準包括 sRGB、Adobe RGB、DCI-P3 等，這些標準旨在確保顯示設備間的色彩一致性，如圖 3.4 所示的 CIE 1931 色度圖 (chromaticity diagram) 所涵蓋的範圍即為色域 (color gamut)。其中，sRGB 色彩空間最早由微軟(Microsoft)與惠普(HP)共同制定，後經 國際電工委員會(IEC 61966-2-1, 1999) 正式規範，其三原色與白點色度值參考 ITU-R BT.709，但採用不同的伽瑪曲線(gamma curve)做為轉換函數。

CIE 於 1976 年提出 Lab 色彩空間*，其中 L*表示亮度，a*與 b*分別代表綠-紅與藍-黃色彩通道。與 sRGB 不同，Lab*空間將亮度與色彩信息分開，並基於 感知均勻性(perceptual uniformity) 設計，使人眼感知的色差對應於等距的數學表示，這特性有利於影像分割。為了從 sRGB 轉換至 Lab*，需透過特定轉換函數，其流程如圖3.5 所示。本計畫使用 sRGB 色彩空間進行影像記錄，並根據分析需求將影像轉換至 Lab*色彩空間，以提升後續影像處理的準確性與穩定性。

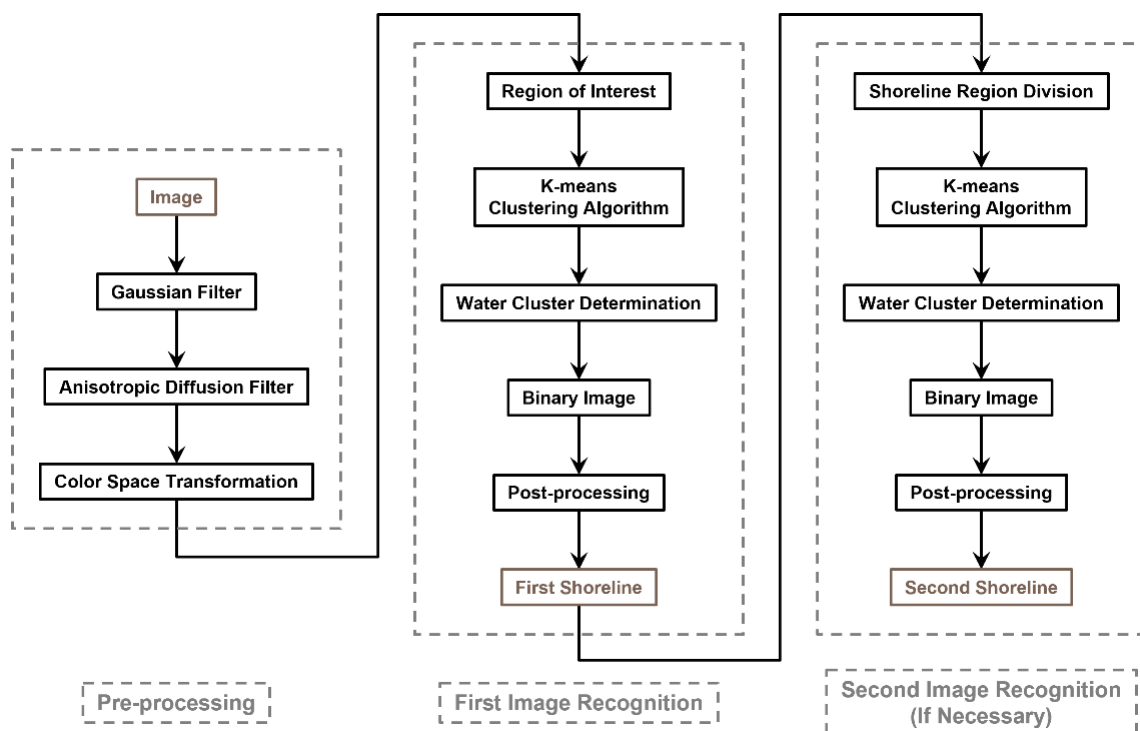


圖 3.1 海岸線判釋技術流程圖

0.0113	0.0838	0.0113
0.0838	0.6193	0.0838
0.0113	0.0838	0.0113

圖 3.2 本計畫使用之高斯濾波器

2	2	3	邊界	
2	2	3	1	0
1	1	0	0	1
	0	2	0	0
	1	1	0	0

圖 3.3 影像邊界鏡射示意圖

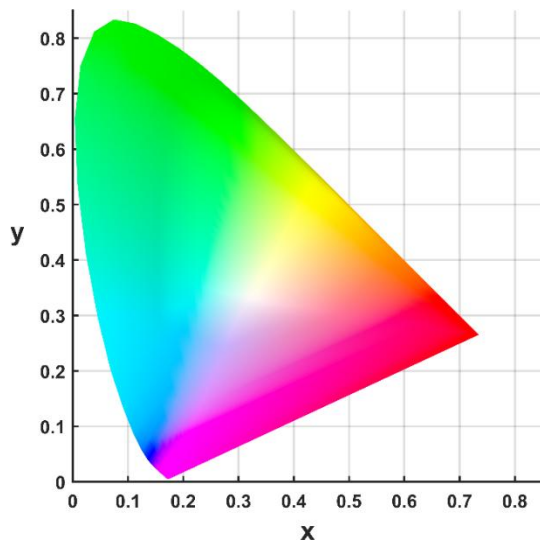


圖 3.4 CIE 1931 色度圖

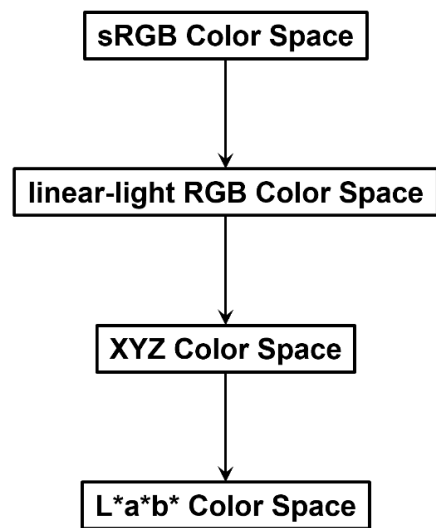


圖 3.5 色彩空間轉換流程圖

D. 第一次影像辨識

在第二階段，針對預處理後的影像，選取感興趣區域(ROI)，並應用 K-means 分群法進行影像分割(image segmentation)。根據色彩特徵，將影像區域分類為水體與非水體(如山壁、公路、消波塊等)，透過對應色彩資訊決定水體分群，進而產生二值影像，經後處理後獲得第一次影像辨識之海岸線。此階段包含 ROI 選取、K-means 分群、水體分群判定、二值化影像轉換及後處理。

E. 感興趣區域

由範例影像可見，海岸線並未遍布整張影像，而主要集中於影像右下角，僅在越波發生或溯升高度較大時，水體才可能影響路面並延伸至影像左側。為提升運算效率，本計畫縮小影像分析範圍，在確保完整捕捉越波與溯升現象的前提下，裁切影像以選定感興趣區域，如圖3.6 黃色區域所示。第一次影像辨識皆針對預處理後的感興趣區域(如圖3.7)進行分析。

F. K-means 分群法

K-means 分群法(Lloyd, 1982)為非監督式機器學習的一種，透過計算資料點間的歐氏距離(Euclidean Distance)，將數據自動分為 K 個群集，使群內相似度最大化、群間相似度最小化。

演算法首先隨機選取 K 個初始群心(Cluster Centroid)，計算所有資料點與群心的距離，將點指派至最近的群心，並不斷更新群心位置，直至收斂。

本計畫應用 K-means 於影像分類與區域分割，根據影像色彩特徵自動分類水體與非水體區域，提高水線判釋的準確性與影像分割效果。圖3.8 與圖3.9 顯示不同觀測環境的影像分割結果，每個區域依據不同特徵自動分類，編號代表其所屬群集。



圖 3.6 感興趣區域於影像中之相對位置



陰晴 (小浪) 之原始影像



降雨 (大浪) 之原始影像



陰晴 (小浪) 之感興趣區域



降雨 (大浪) 之感興趣區域

圖 3.7 感興趣區域示意圖

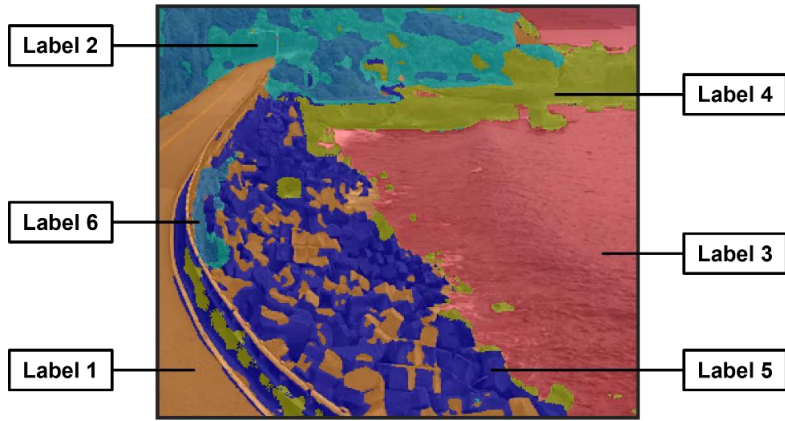


圖 3.8 陰晴 (小浪) 之感興趣區域影像分割結果

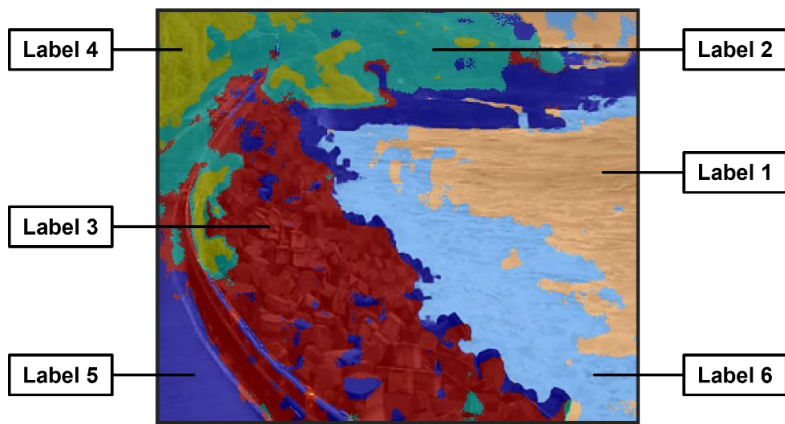


圖 3.9 降雨 (大浪) 之感興趣區域影像分割結果

G. 決定水體分群

影像分割後，需進一步判定水體分群。本計畫統計各分群群心數值(即 Lab*色彩空間各分量的平均值)，表 3-1 及表3-2 顯示圖3.8 與圖3.9 中各分群的對應數值，藍色網底為水體，橙色為非水體，並繪製統計圖(圖3.10 及圖3.11)供分析。

結果顯示，水體分群的 L*分量較高，a*分量接近零且變動幅度小，b*分量則小於零且低於整體平均值。根據此特性，本計畫建立水體判別式，符合條件者歸類為水體，否則判定為非水體，以提高分類準確性。

H. 二值影像

藉由統計分析決定水體與非水體分群後，將水體分群像素值設為最大值(即白色)，非水體分群像素值設為最小值(即黑色)，即可獲得二值化之影像，主交界面即為初步之海岸線位置，圖3.7 之二值影像如圖3.12 所示。

表 3-1 陰晴 (小浪) 之感興趣區域各分群群心數值

分群編號	L*分量	a*分量	b*分量
1	45.15	3.47	2.33
2	27.36	-4.17	3.64
3	56.99	-1.35	-4.66
4	24.97	1.01	-3.65
5	25.85	3.19	1.58
6	32.42	-6.10	11.72

表 3-2 降雨 (大浪) 之感興趣區域各分群群心數值

分群編號	L*分量	a*分量	b*分量
1	73.50	-1.02	-3.99
2	22.40	-2.80	4.87
3	15.96	1.80	2.16
4	22.60	-6.06	13.20
5	28.33	1.79	-1.42
6	84.41	1.21	-3.76

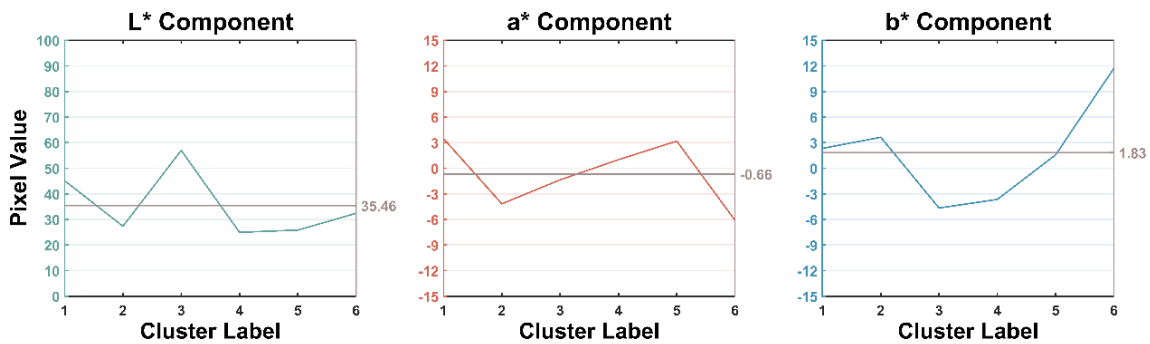


圖 3.10 陰晴 (小浪) 之群心數值統計圖

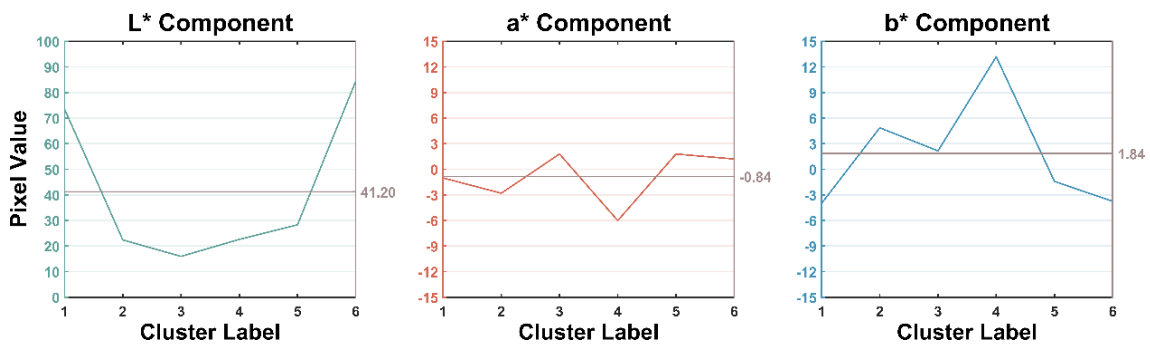
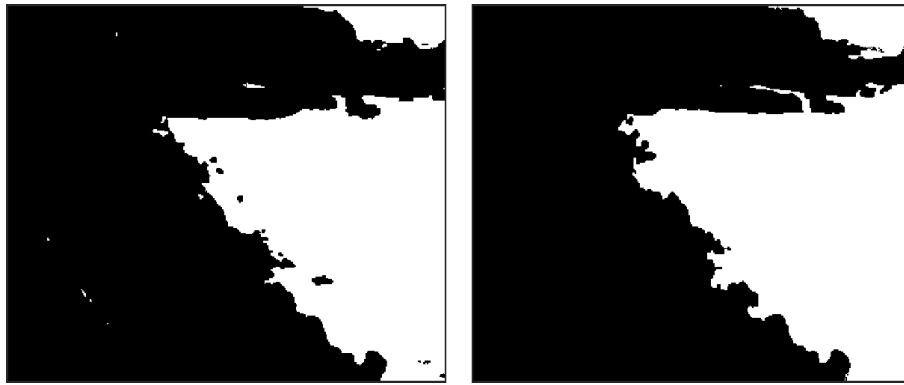


圖 3.11 降雨 (大浪) 之群心數值統計圖



陰晴 (小浪) 之情境

降雨 (大浪) 之情境

圖 3.12 二值影像示意圖

I. 後處理

為了得到第一次影像辨識之海岸線，本計畫將對二值影像進行後處理，主要步驟包括形態學運算(morphological operation)及區塊填充。

形態學運算利用結構元素(structuring element)以及選定的運算規則對二值影像邊界進行處理，能夠將細微的毛邊消去，呈現平順邊界，且不影響整體結構。本計畫設定之結構元素為五乘五的方形矩陣，如圖3.13所示；選用之運算規則為閉運算(closing operation)，即先進行膨脹運算(dilation operation)，再進行侵蝕運算(Erosion operation)，原理如圖3.14所示，處理結果如圖3.15與圖3.16所示。

J. 第一次影像辨識之海岸線

經預處理及第一次影像辨識後，提取二值影像前景(即二值影像白色區域)之影像座標，繪製於原始影像上，即為第一次影像辨識之海岸線，如圖3.17所示。

0	0	1	0	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1
0	1	1	1	0
0	0	1	0	0

圖 3.13 形態學運算使用之結構元素

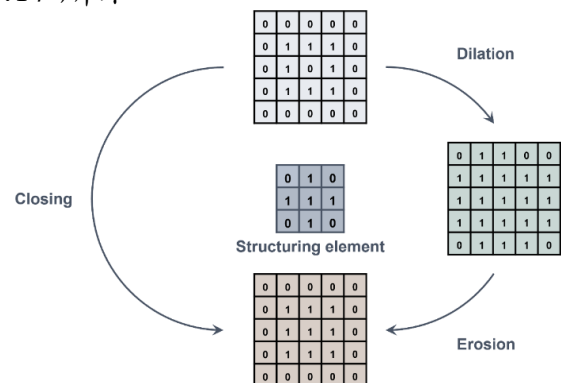


圖 3.14 形態學閉運算之概念圖



陰晴 (小浪) 之情境



降雨 (大浪) 之情境

圖 3.15 經閉運算之二值影像示意圖



陰晴 (小浪) 之情境



降雨 (大浪) 之情境

圖 3.16 經後處理之二值影像示意圖



陰晴 (小浪) 之情境



降雨 (大浪) 之情境

圖 3.17 第一次影像辨識之海岸線示意圖

K. 第二次影像辨識

為減少因海岸線區域特徵不明顯所造成的誤差，將原感興趣區域內的海岸線範圍再細分為四個矩形子區域，如圖3.18所示，作為新的感興趣區域，再次進行 K-means 分群、決定水體分群、二值影像轉換與後處理，以更聚焦於可能發生誤判的區域，提升整體辨識精度。

然而，並非所有影像皆須進行此步驟，系統將透過第一次影像分割結果設定參數指標，分別為最大值指數以及平均值指數。最大值指數定義為水體群心之 L*分量最大值，平均值指數則定義為感興趣區域之 L*分量平均值，若影像辨識結果顯示最大值指數 ≥ 75 或平均值指數 ≥ 45 ，則視為高對比影像，經一次影像辨識即可獲得良好結果，如圖3.17(右圖)；反之，若影像對比不足，則需進行第二次影像辨識以貼近實際海岸線，如圖3.17(左圖)。表3-3 為圖3.17 經第一次影像分割結果之參數值，結果顯示，圖3.17(左圖)未達門檻值，需再進行第二次影像辨識，圖3.19 為第二次影像辨識之海岸線，經比對後可以發現，不只第二子區域貼近影像平面上之海岸線，第三子區域也同樣增加辨識正確率，成功降低了第一次辨識產生的誤差。

2. 熱成像

熱成像因缺乏色彩資訊，在影像分類上屬於灰階影像 (grayscale image)，代表影像只有亮度資訊，故處理方式與前述的光學彩色影像有所不同，惟差異性不大，只在於熱成像在程式設定上只需經過一次影像辨識階段，且提取水體分群步驟主要利用水體分群於空間上面積較大且緊密連接的特性，與非水體分群之特性大相徑庭。

以圖3.20 為例，於感興趣區域之 K-means 分群法結果(如圖3.21)，程式將選取紅框內連續面積大於門檻值的分群做為水體分群，再經後處理之二值影像(如圖3.22)，找出交界面之影像座標並繪於原始影像(如圖3.20)，可得影像判釋結果(如圖3.23)。



圖 3.18 第二次影像辨識之感興趣子區域



圖 3.19 第二次影像辨識之海岸線



圖 3.20 熱成像範例影像

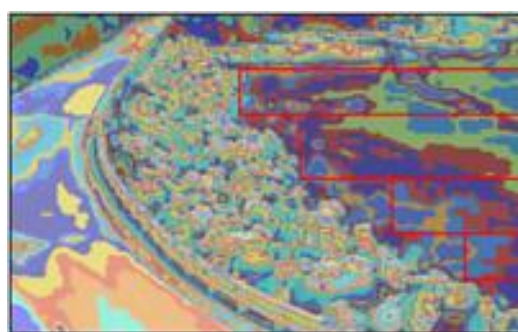


圖 3.21 熱成像之 K-means 分群法結果



圖 3.22 後處理後之熱成像二值影像



圖 3.23 熱成像範例影像之影像判釋結果

表 3-3 範例影像之最大值指數與平均值指數

影像	天氣情境	最大值指數	平均值指數
圖3.17(左圖)	陰晴 (小浪)	56.99	39.84
圖3.17(右圖)	降雨 (大浪)	84.41 (≥ 75)	41.66

3.1.2 影像描述

完成水線擷取後，影像座標雖可提供水線的定性描述，但無法直接獲得溯升高度。因此，需建立影像二維座標與實際三維座標之間的轉換關係，以達成水線的定量分析，進而實現海岸公路影像對溯升高度的識別與測量。為了能將二維的影像資訊連結到現實世界的三維空間座標，一般文獻上採用針孔相機模型(Bechle et al., 2012、Liu and Wu, 2019)，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。

$$u_0 - u_c = -f \left[\frac{m_{11}(X_0 - X_c) + m_{12}(Y_0 - Y_c) + m_{13}(Z_0 - Z_c)}{m_{31}(X_0 - X_c) + m_{32}(Y_0 - Y_c) + m_{33}(Z_0 - Z_c)} \right]$$
$$v_0 - v_c = -f \left[\frac{m_{21}(X_0 - X_c) + m_{22}(Y_0 - Y_c) + m_{23}(Z_0 - Z_c)}{m_{31}(X_0 - X_c) + m_{32}(Y_0 - Y_c) + m_{33}(Z_0 - Z_c)} \right]$$

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，如圖3.24所示。

共線方程之參數可分為內參數 (f, u_c, v_c) 和外參數 (m_{ij}, X_c, Y_c, Z_c) ，內參數一般採用棋盤圖(checkerboard)的方式進行相機率定，但由於現場條件不易進行，故假設 u_c 和 v_c 位於影像中心處， f 則在求解外參數的過程以試誤法調整。外參數的求解需透過在影像範圍內進行控制點量測，藉此建立求解未知外參數所需之方程數目，根據 Bechle et al.(2012)建議需至少 15 個控制點。因此，研究人員於 2025 年 5 月 22 日以 GENSS 進行控制點量測(圖3.25)，共量測 30 個點 (如圖3.26 和圖3.27)，將其中 15 個作為控制點，其餘 15 個作為校驗點進行誤差分析，將分別用於光學影像和熱成像影像(灰階)的參數計算，藉此進行水線影像的高程計算。

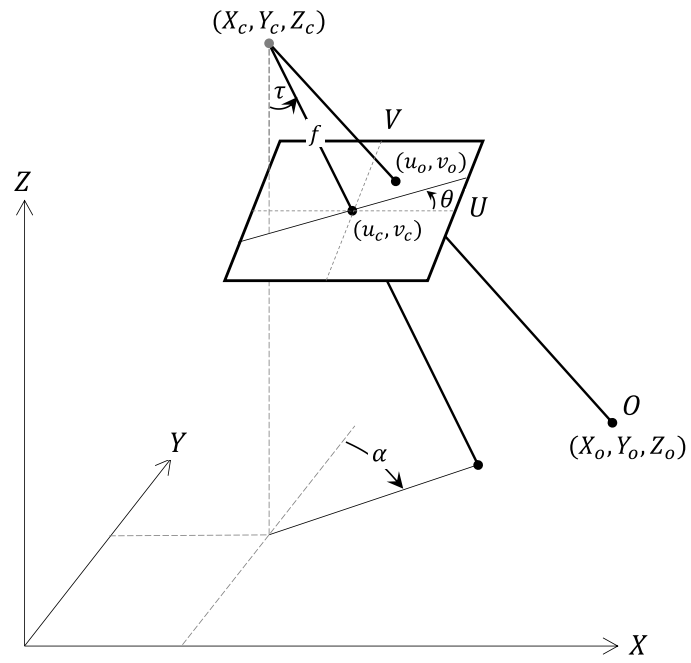


圖 3.24 針孔相機模型



圖 3.25 現場量測及量測工具



圖 3.26 影像高程量測 (光學影像)



圖 3.27 影像高程量測 (熱成像影像)

3.1.3 前期自動化系統概況

前期計畫已建立影像判釋溯升/越波技術架構，透過水線分析方式有效掌握溯升分布情況，並進一步提升影像分析技術於海岸公路防災應用之可行性。為實現影像判釋技術的自動化與作業化，本計畫開發了一套自動化影像判釋系統，導入影像分析水線有效性判釋功能(如圖3.28與圖3.29所示)，透過3項參數門檻值的設定進行影像分析結果篩選，以提高判釋結果的可靠性與穩定性，確保能夠自動化提供準確的溯升與越波觀測成果。此外，考量程式語法的彈性與現場作業的實務需求，本計畫規劃以串流方式回傳影像至運研所，並透過中心電腦進行數據分析，最終獲取溯升資訊。此模式不僅確保影像判釋過程的穩定性，也能有效提升越波警戒功能，進一步強化海岸公路災害預警能力。



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 3.28 影像分析水線有效性之判釋成果

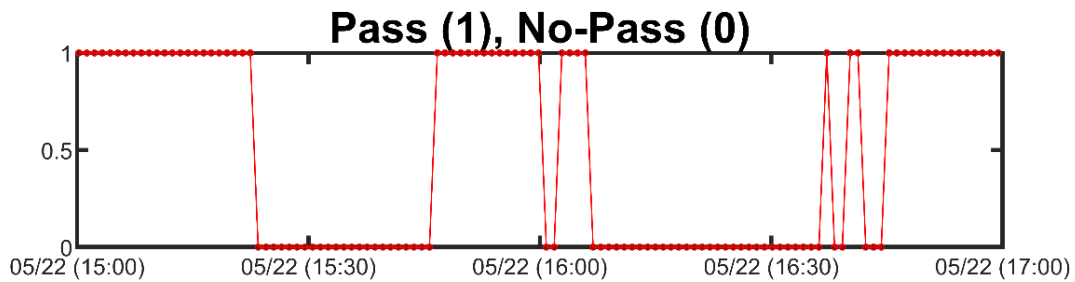


圖 3.29 影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果

影像判釋觀測部分，依據往昔影像分析相關研究可知，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，「良好的影像品質」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，於本計畫第 1 年期(111 年)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，又於第 2 年期(112 年)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3.30 與圖3.31)。第 3 年期(113 年)則維持該判釋系統運作，並持續建置影像資料庫，以做為本期(114 年)影像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3.32 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3-4 至表 3-6 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3.33。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，採用固定時間間隔的方式擷取影像，可降低對於影像伺服器的負載。



圖 3.30 人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (光學影像)



圖 3.31 人定勝天路段日間影像判釋結果圖 (熱成像)

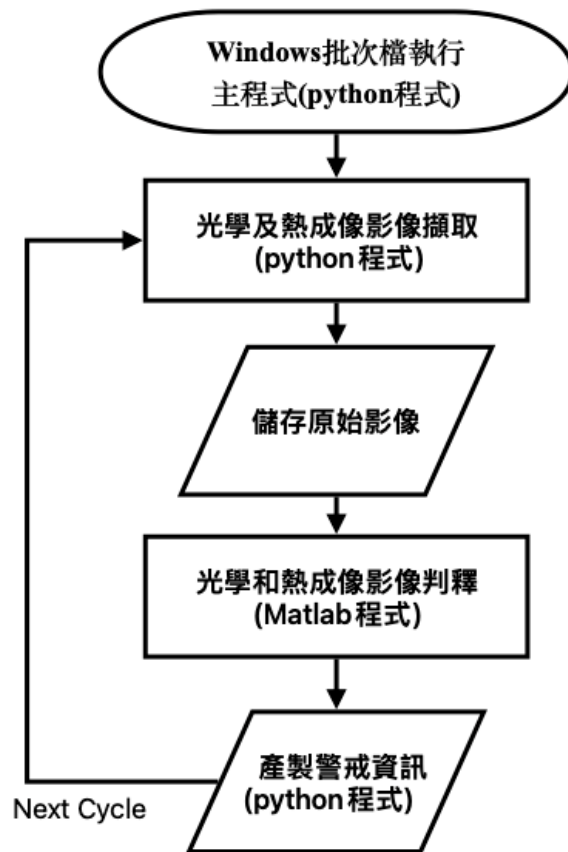


圖 3.32 前期計畫(112 年度)影像判釋自動化建置之流程圖

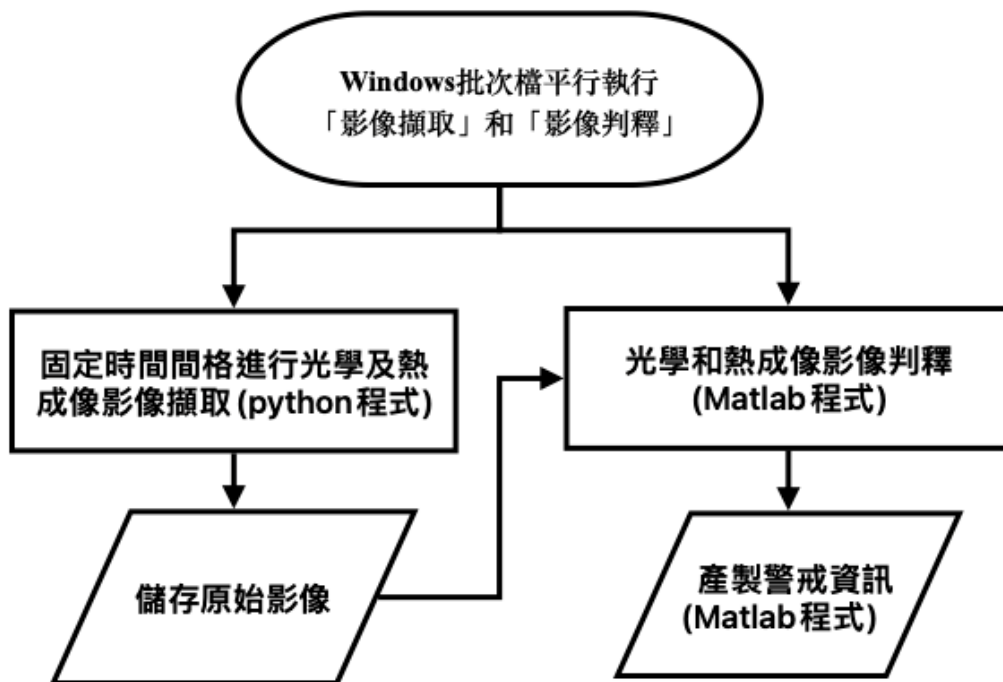


圖 3.33 前期計畫(113 年度)影像判釋自動化建置之流程圖

表 3-4 前期計畫(113 年度)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

表 3-5 本計畫(114 年度)海岸公路自動化影像判釋維運作業項目

日期	事項
11/28	改善運行穩定性，log 檔輸出修正。
8/15	修正編譯 yolo 模組問題
8/12	修正 csv 輸出
8/07	關閉產出 debug 用影像功能(可能被視為惡意攻擊)
7/28	建立每天定時重啟 (00:00) ，避免連續運行 3 日左右不明原因停止的問題。
7/11	調整 API 讀取方式，讓影像擷取可以於運研所運技中心直接透過內部網路連線，強化影像擷取穩定性
4/25	因應影像介接方式調整，修改影像下載程式
4/24	人定勝天路段光學和熱成像影像復站
3/20	透過 2024 凱米颱風影像資料，進行調校
2/21	原 matlab+python 程式，重新以 python 建置

表 3-6 本計畫(114 年度)花蓮港東防波堤自動化影像判釋維運作業項目

日期	事項
10/01	更新越波判釋模型 (savedmodel)。
7/28	加入 csv 輸出。
6/03	因應 2024 年康芮颱風造成花蓮港防波堤毀損，以深度學習方法重新建置影像判釋程式(pyhton 語法)，提供初版程式。

3.1.4 作業化系統建置

基於前期自動化程式運行之經驗，為達成穩定且具擴充性的作業化影像分析流程，本計畫將原先以 MATLAB 撰寫之影像判釋模組全面改寫為 Python，以強化跨平台相容性並提升系統運行的穩定性與可維護性。改寫過程不僅侷限於語言轉換，更同步針對實務執行中遭遇之效能瓶頸、佇列排程與模組耦合問題進行全面優化。

本次改寫的核心設計之一，為導入 Python 的工作佇列(queue)機制並結合多執行緒(multithreading)架構，將整體影像處理流程明確分工為三大階段：「影像擷取與儲存」、「影像判釋分析」以及「警戒資訊產製」(圖 3.34)。各階段由獨立執行緒串接，透過非同步佇列傳遞資料，不僅提升資料處理效率，更有效降低在高負載或長時段影片分析作業中可能發生的系統瓶頸與資源競爭問題。

此外，為因應多來源影像資料並行處理之需求，本系統將光學影像與熱成像模組設計為 2 組獨立且平行運作的 queue 架構，確保不同影像類型在各階段的硬體資源互不干擾。此一設計除可有效分散 CPU 資源壓力，亦大幅提升系統模組化與彈性擴充能力，允許未來針對各影像類型進行獨立優化與模型切換。

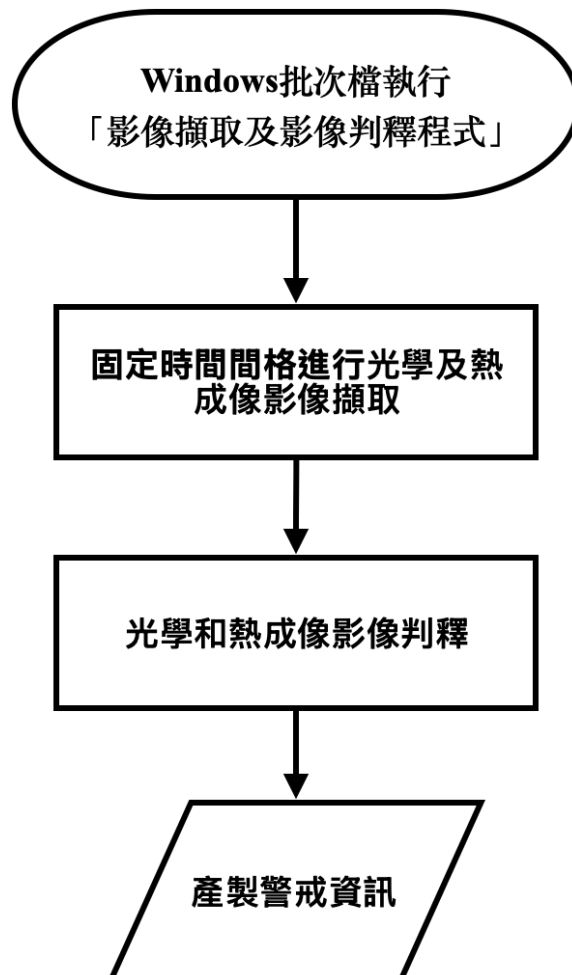


圖 3.34 本年度作業化影像判釋建置之流程圖

3.1.5 溯升/越波影像判釋準確率分析

為評估本計畫所建置之模型在溯升／越波影像判釋任務中的準確性與適用性限制，本年度特別彙整 2024 年強烈颱風凱米 (Kaimi) 期間 (2024/07/23 ~ 2024/08/01) 的監視器影像資料，該期間每 10 秒擷取一張影像，累計共收錄約 80,000 筆影像資料，涵蓋多元時段與氣候條件，具代表性與挑戰性。

為利模型準確性評估與錯誤類型分析，本計畫依據人眼可判釋水線之可行性，將資料初步區分為兩大類：

1. 人眼無法判釋水線之影像類型，此類影像因受環境因素強烈干擾，難以辨識水體邊界，包含：

- (1) 大雨：造成能見度顯著下降；
- (2) 強光干擾：如逆光、日照反射等影響；
- (3) 其他無法判釋水線之情境：如鏡頭起霧、嚴重偏色等。

2. 人眼可判釋水線之影像類型，此類影像具備足夠清晰度與對比度，可辨識水線位置，但部分情境對模型構成挑戰，包括：

- (1) 水體與道路顏色接近：造成邊界不易區分；
- (2) 行經車輛：部分遮擋視野
- (3) 大霧：非降雨但造成低對比
- (4) 無雨：顯著越波或溯升
- (5) 有雨：顯著越波或溯升
- (6) 其他可判釋水線之情境：如風浪平穩但具有微小越波等。

在「人眼無法判釋水線之影像」中，如圖3.35 所示，夜間大雨會造成影像中出現大量白色雨絲，而夜間車輛強光則導致鏡頭過曝。這些條件皆容易造成 113 年度的水線判釋程式發生明顯誤判。本年度藉由加入影像屬性分類與強化排除條件，提升對此類異常影像的識別與處理能力。

在「人眼可判釋水線之影像」部分，本年度程式導入 YOLOv8 模型進行車體辨識，成功於影像中定位車輛(如圖3.36(a))。系統設計邏輯為：僅當水線落於紅色警戒區域以上，且水體區域與車體發生重疊時，該影像才會被視為無法判釋並予以排除。換言之，車體的存在僅在影響水線判釋準確性時才會被納入過濾機制，避免過度排除有效資料。

對於「水體與道路顏色相近」之情境(如圖3.36(b))，113 年度程式常因道路偏藍而誤判為水體區域。本年度透過改善 K-means 分群後之水體分類邏輯，成功提高色彩相似條件下的水體篩選準確性。

針對「無雨但發生顯著越波或溯升」(如圖3.36(c))與「有雨且發生顯著越波或溯升」(如圖3.36(d)) 的情境，113 年度與本年度之判釋結果整體表現相當，顯示核心演算法具有穩定性與遷移性。

至於「大霧情境」(如圖3.36(e))，由於霧層覆蓋道路與水體邊界，導致無法進行分辨。目前本計畫已著手研發以深度學習為基礎之霧區判釋模型，目標為能自動偵測影像中是否存在霧層並主動排除，以降低水線誤判風險。

統計面而言，表 3-7 與表 3-8 彙整目前已標記之影像資料數量與各類型分布，初步成果顯示：本計畫在排除不可判釋影像與避免誤判方面已具成效，並仍保有對於有／無雨時發生明顯越波或溯升情形的判釋能力。

依據前期評估成果，公路局於本年度在人定勝天路段增設消波塊(圖 3.37)，以降低越波風險。惟新設消波塊色澤偏白，與浪花水色相近，致使影像判釋程式易將其誤判為越波。本計畫雖嘗試調整 K-means 門檻值以區隔兩者，然測試結果顯示，此舉雖能減少誤判，卻反致實際越波事件遭漏判(圖3.38)。基於防災安全考量，建議維持現行門檻設定，確保判釋機制採取保守原則，避免漏失警訊。

表 3-7 人眼無法判釋水線類型之統計資訊

類型	樣本(張)	正確率 (113 年度)	正確率 (本年度)
大雨	7	0 / 7	7 / 7
強光干擾	7	0 / 7	7 / 7
其他	暫無	-	-

表 3-8 人眼可判釋水線之統計資訊

類別	樣本(張)	正確率 2025.02.22 版	正確率 2025.03.20 版
水體和道路顏色接近	8	0 / 8	8 / 8
行經車輛	10	0 / 10	10 / 10
大霧	22	0 / 22	0 / 22
無雨，顯著越波或溯升	130	130 / 130	129 / 130
有雨，顯著越波或溯升)	50	50 / 50	48 / 50
其他	暫無	-	-

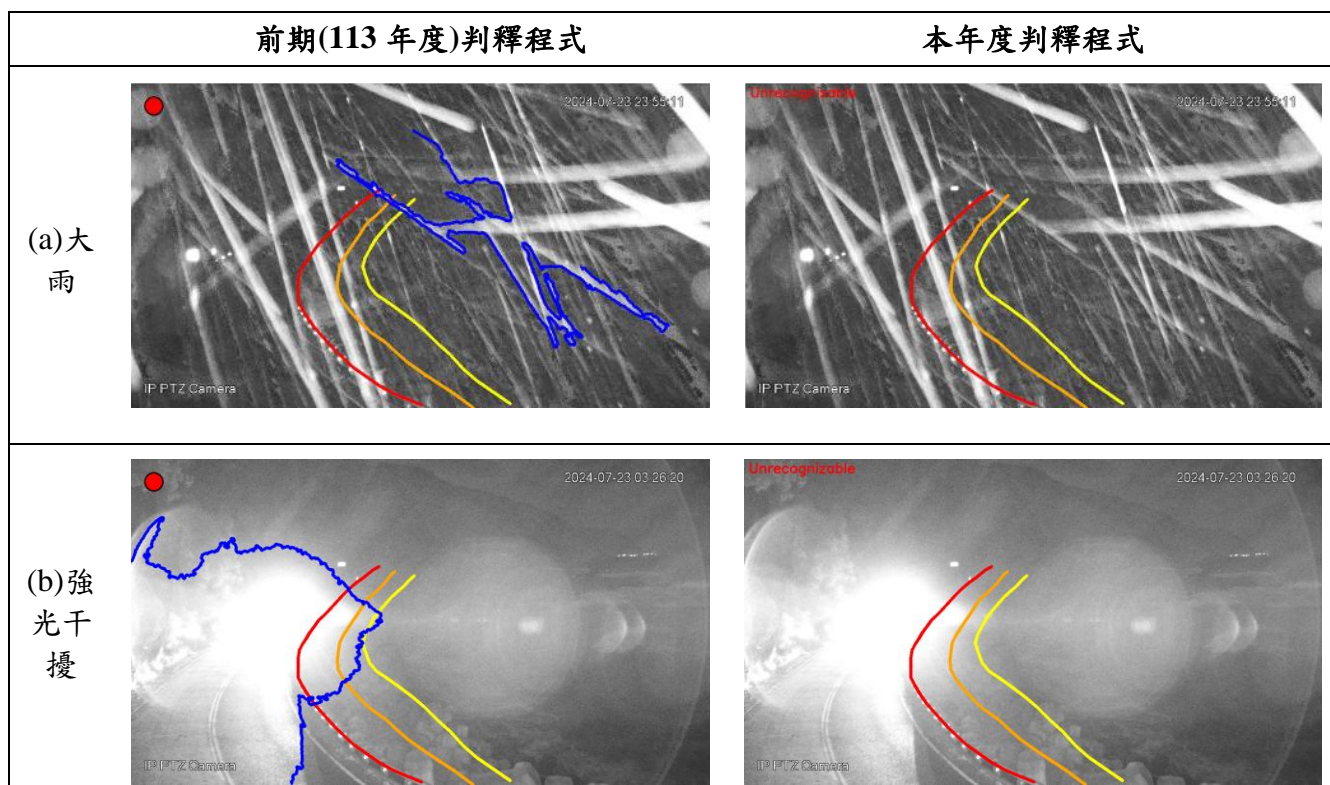


圖 3.35 人眼無法判釋水線於不同模型間的比較

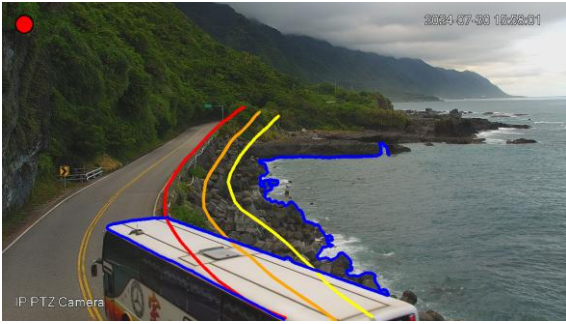

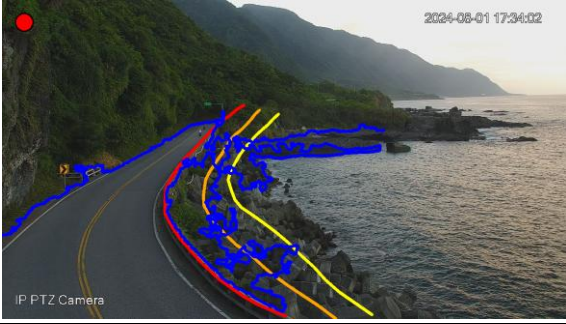
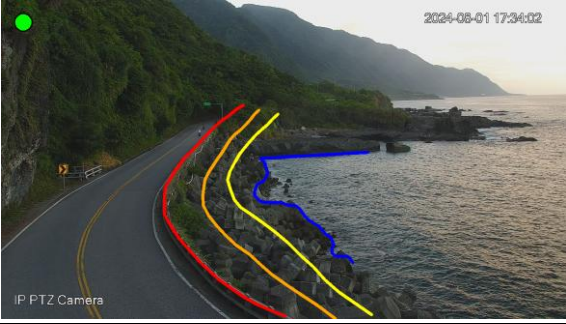






	前期(113 年度)判釋程式	本年度判釋程式
(a) 車輛 行經		
(b) 水體 和 道路 顏色 接近		
(c) 無雨 ， 顯著 越波 或 溯升		
(d) 有雨 ， 顯著 越波 或 溯升		
(e) 大霧		

圖 3.36 人眼可判釋水線於不同模型間的比較

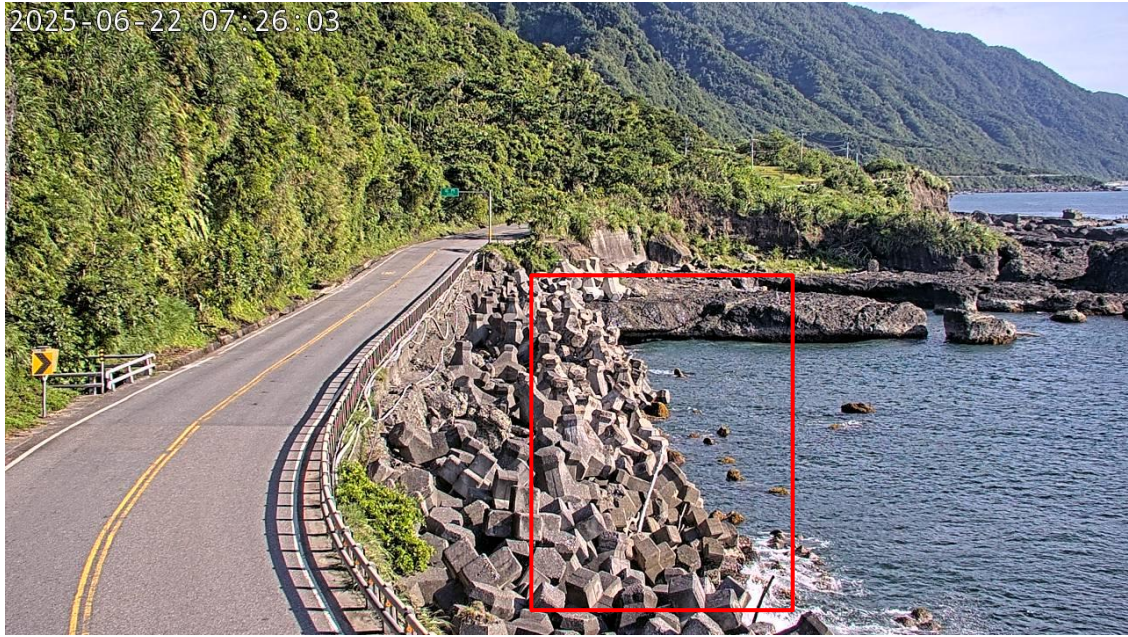


圖3.37 人定勝天新增消波塊情況



圖3.38 K-means 門檻調整比較分析

3.2 花蓮港區防波堤越波影像作業化判釋系統

3.2.1 判釋方法概述

113 年度計畫主要採用水線擷取法進行花蓮港區越波影像之判釋，其核心為透過偵測影像中水體邊界與防波堤之位置，推估是否發生越波。然而於 113 年底，因連日強風豪雨導致防波堤結構損壞與影像場景變動，如圖 3.39 和圖 3.40 所示。這使原本高度依賴場景穩定性之水線判釋方法，需耗費大量重新進行內部參數調校，方能維持合理辨識準確率。



圖 3.39 花蓮港區防波堤破損前

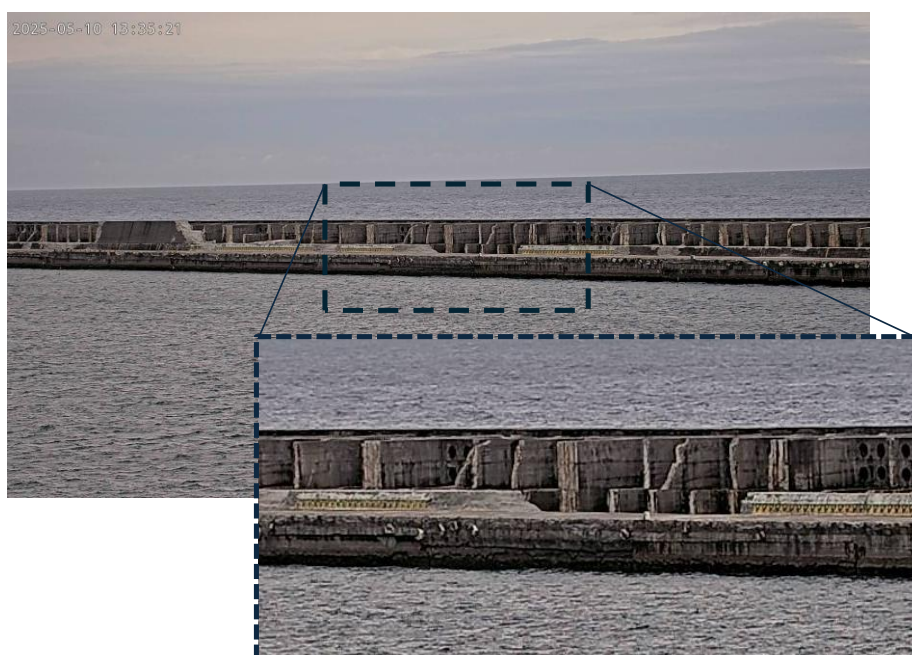


圖 3.40 花蓮港區防波堤破損後

鑑於越波影像判釋的最終目的在於判別影像中是否發生越波事件，而非精確定位水線位置，為提升系統的彈性、效能與可遷移性，本計畫自本年度起改採用深度學習技術，並以 ResNet50 架構為基礎開發針對花蓮港防波堤之在地化越波影像分類模型。

ResNet50 屬於一種殘差神經網路 (Residual Network)，其建立於卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)之上，具備多層深度與跨層連接機制，能有效解決深層網路訓練過程中的梯度消失問題。CNN 為專為圖像處理設計的深度學習架構，擅長從原始影像中自動萃取多層次、具有空間語意的局部特徵，進而提升模型對於不同場景與擾動條件下的分類準確率與泛化能力。

透過本模型的訓練與在地化調校，可使系統擺脫對特定水線條件的依賴，更具備即時性與長期維運所需之穩定性，為未來進一步應用於其他港區或惡劣海況下的越波判釋作業建立可擴展基礎。

1. 影像判釋流程

為因應監視器具備夜間補光功能(紅外光照明)，導致在天色昏暗時所擷取之影像呈現近似灰階的單色調特性，與白天所取得之彩色影像在色彩分布與特徵表現上存在明顯差異。考量此差異將顯著影響影像特徵萃取與模型推論準確度，本計畫規劃針對彩色與近似灰階影像分別進行深度學習模型訓練與應用，以確保模型在不同光照條件下均具備良好適用性與穩定性。

本年度建置之越波判釋模型，整體判釋流程分為下列三個步驟：

- (1)自動區分彩色與近似灰階影像
- (2)依據影像特性選擇對應模型進行推論
- (3)輸出判釋結果(文字標記與標註影像)

在訓練資料部分，本計畫選取 2023 至 2025 年颱風期間所蒐集之影像，做為越波與非越波影像資料庫的主要來源，以進行模型訓練與效能驗證。此資料集不僅涵蓋多樣化的越波與非越波事件，能反映不同氣象條件下之實際場景，更重要的是納入了花蓮港防波堤於 113 年間 (2024 年) 發生破損前後之監測影像，包含其越波與非越波情形。透過此資料庫的建立，可使模型學習到防波堤結構完整與受損兩種狀態下的越波特徵，進而提升模型對實際港區環境變化的辨識能力與應

用廣度。

為有效區分彩色與近似灰階影像，預先將每張 RGB 影像轉換為 HSV 色彩空間，並計算其中 V(亮度)通道的平均值作為該影像之代表亮度指標。以海葵颱風 2024/09/03 為例，所計算之 V 通道平均值的數量分布圖顯示(圖 3.41)，整體分布集中於兩個主要區間，其中數值較低者(約 0.1~0.2)對應夜間大部分的影像，具有高度集中現象；而數值較高者則屬於日間影像，分布相對較為分散。此分布特性反映出：夜間影像因紅外照明穩定，外部光源影響較少，故亮度變異較小；而日間影像因自然光條件變化大，故亮度變異範圍較廣。

為自動化分界門檻的設定，本計畫採用 K-means 分群演算法對所有影像之 V 通道平均值進行二群分群，所得之最佳分界值為 0.4。此門檻即作為彩色與近似灰階影像的分類依據，進一步導入判斷流程中，用以決定後續推論階段所使用的模型版本(彩色模型或夜間模型)。

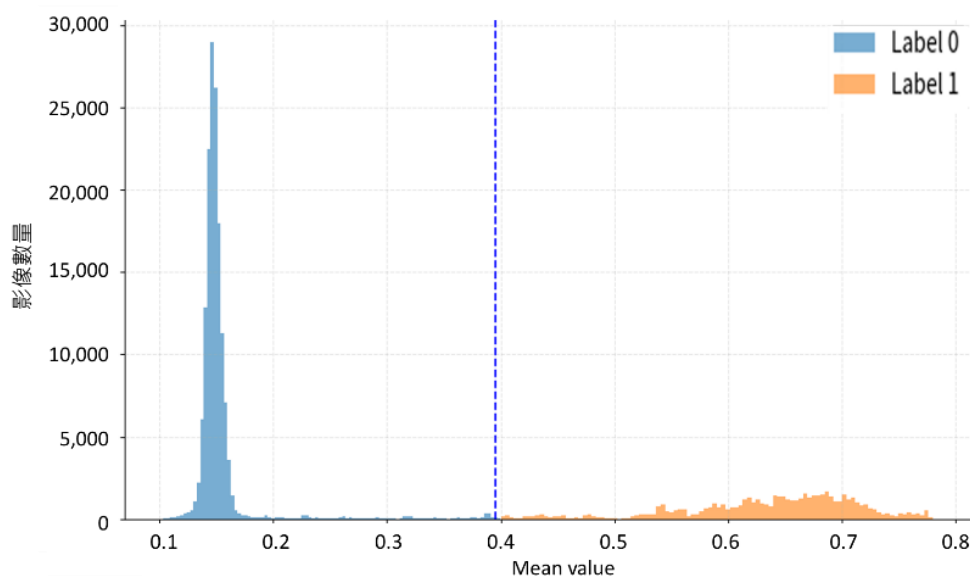


圖 3.41 花蓮港區防波堤一日的單張影像平均亮度(V)分布

2. 影像資料集及模型訓練成果

為建立具備日夜間辨識能力之越波影像深度學習模型，本計畫分別針對夜間與日間影像進行資料集建立與標記。依據前述 V 通道平均亮度分類結果，將擷取之影像區分為兩大類，並依照常見之影像分類訓練流程，將各類資料進一步以 6:2:2 的方式劃分為訓練集(train)、驗證集(val)與測試集(test)。

圖 3.42 為本計畫花蓮港越波影像判釋模型之建置流程示意圖。為能有效率地建立影像資料集，初期先以少量經人工標註之越波與非越波影像建立初步分類模型。接著，利用該模型進行大規模影像之初步分類，將模型自動分類後的新影像結果納入資料庫，再經人工檢視與修正後重新訓練模型。透過此循環式流程，可逐步擴充影像資料庫並提升標註品質，使模型訓練樣本更趨完整，最終達成高效且準確的越波影像判釋能力。

其中，表 3-9 彙整自夜間影像資料，資料量相對較大，整體涵蓋 Normal(無越波)與 Overtopping(越波)兩類情境，且正負樣本比例近似平均，有利於模型訓練過程的穩定性與判釋準確度。相對地，表 3-10 為日間影像資料集，其中無越波影像數量明顯多於越波影像，主要原因有二：(1)颱風前後或非風浪期間，常有船舶行經，船體若出現在防波堤附近易被模型誤判為越波現象；(2)日間影像受光照變化顯著影響，易產生反光與陰影，需蒐集更多非越波影像以增進模型對光照差異的適應能力。

針對無越波影像顯著多於越波影像之資料不平衡問題，本計畫於訓練階段採用資料增強(data augmentation)策略，針對越波影像進行隨機旋轉、對比度增強與亮度調整等操作，以擴充少數樣本並提升模型的學習多樣性。此方法可使訓練資料於學習過程中維持相對平衡，進而有效提升模型之泛化能力與判釋穩定性。

為評估模型於不同環境條件下之判斷效能，本計畫分別以夜間與日間影像資料進行測試，並繪製混淆矩陣(confusion matrix)進行精度分析，結果如圖 3.43 與圖 3.44 所示。夜間模型測試結果顯示，在總計 1,539 張影像中，無越波(Normal)影像有 848 張正確分類，僅 4 張誤判為越波；越波(Overtopping)影像則有 676 張正確辨識，誤判為無越波者僅 11 張，整體分類錯誤張數僅 15 張，對應整體準確率為 $(1,539-15)/1,539 = 99\%$ ，越波判釋準確率為 $676/(4+676) = 99\%$ 。此結果顯示夜間模型於紅外補光模式下具備高度辨識穩定性與準確性，能非常高準確的判釋出越波，滿足實務應用需求。

另一方面，日間模型測試集共計 1,586 張影像，其中無越波影像有 1,362 張正確分類，僅 7 張誤判為越波；越波影像有 202 張正確辨識，另有 16 張誤判為無越波。整體分類錯誤張數為 23 張，整體準確率為 $(1,586-23)/1,586 = 99\%$ ，越波判釋準確率為 $202/(7+202) = 97\%$ 。

綜合分析結果可知，本計畫建立之分類模型於日間與夜間影像皆

展現出極高的辨識效能。然而，模型仍可能因日照變化、氣象條件或船舶通過等複雜因素而產生誤判。未來可進一步針對誤判影像進行錯誤型態分析與樣本擴充，以提升模型於多樣環境下之泛化能力與實務應用效益。

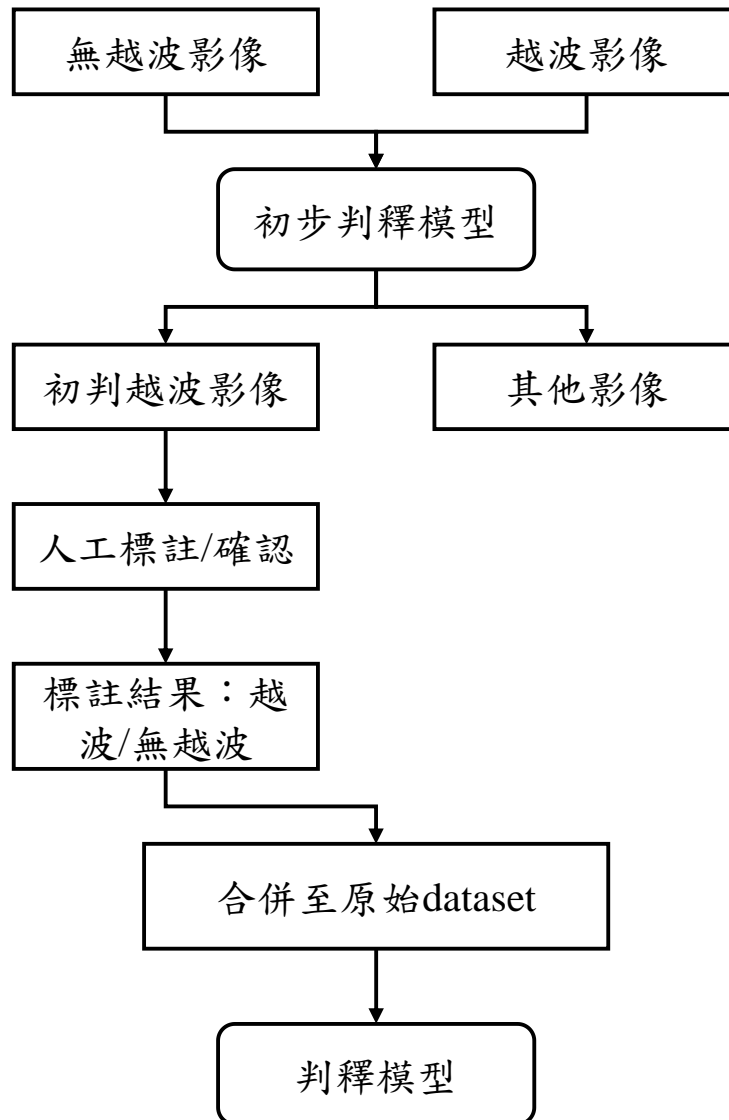


圖 3.42 花蓮港區防波堤越波影像判釋模型建置流程

表 3-9 花蓮港防波堤夜間影像資料集 (來源：2023-2025 颱風期間)

	Normal	Overtopping
train	2553	2059
val	851	686
test	852	687

表 3-10 花蓮港防波堤日間影像資料集 (來源：2023-2025 颱風期間)

	Normal	Overtopping
train	4102	651
val	1367	217
test	1368	218

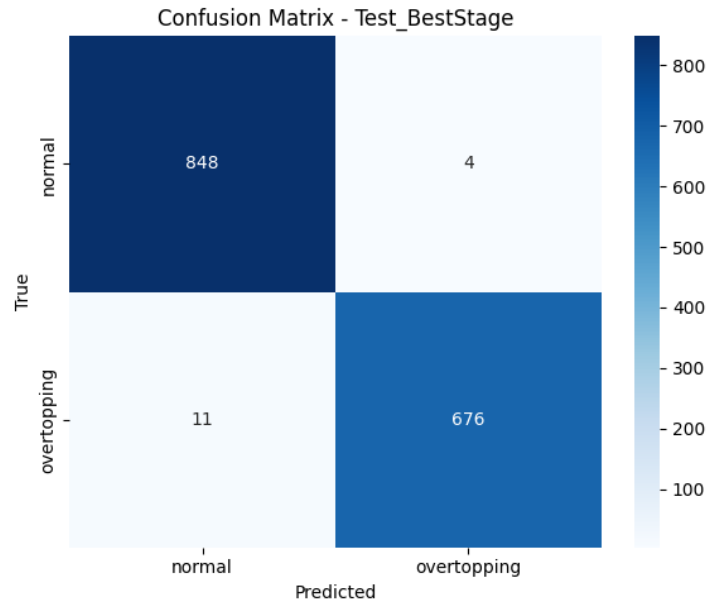


圖 3.43 花蓮港區防波堤夜間影像的測試集混淆矩陣

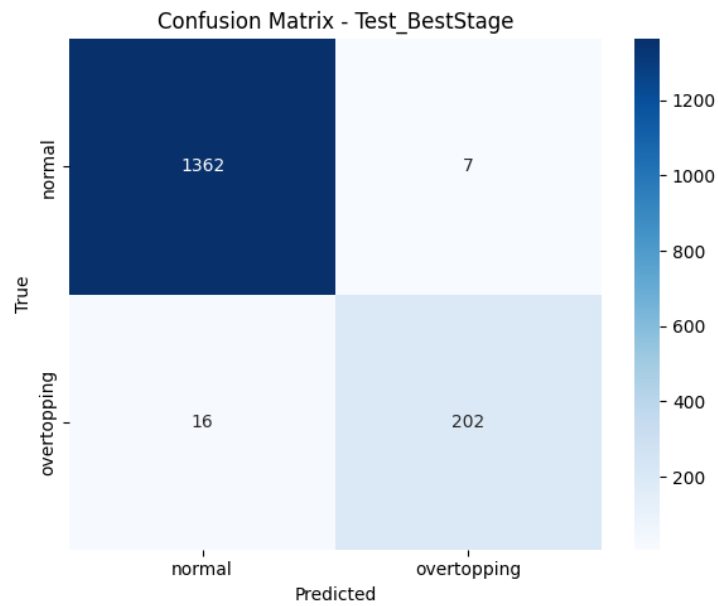


圖 3.44 花蓮港區防波堤日間影像的測試集混淆矩陣

3.2.2 作業化系統建置

為實現花蓮港區越波影像之長期穩定監測與判釋，本計畫建置一套完整的影像作業化分析流程，系統架構如圖3.45 所示。整體系統以自動化機制運作並以 Python 程式撰寫，首先透過接入式 API 介接監視器設備，定期自動下載影像資料，並進行後續分析。

下載之每張影像將先轉換為 HSV 色彩空間，並取其中 V 通道 (亮度) 之平均值作為分類依據。若亮度平均值 $V < 0.4$ ，則視為夜間影像，導入夜間影像專用之越波判釋模型；反之，若 $V \geq 0.4$ ，則視為日間影像，交由日間模型進行判釋。此分類機制可有效因應影像光照條件差異，選用最適模型以提升整體準確度。當影像經模型判定為發生越波事件時，系統將此類影像視為有效資料，並標記為危險狀態(紅燈)。至於判釋結果為無越波之影像，在無風險顯現之情境下，系統將其直接標記為安全狀態(綠燈)。此一設計不僅有助於提升資料品質控管，也能針對具風險潛勢之事件進行有效篩選與回報，確保整體預警系統之實用性與準確性。

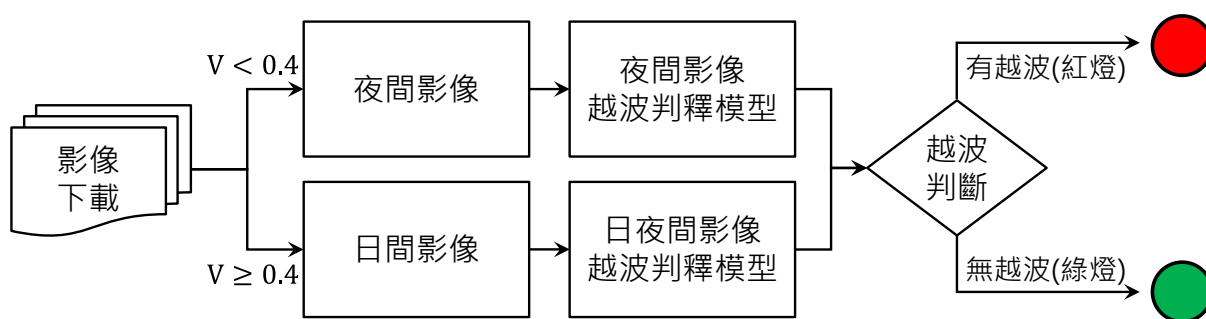


圖 3.45 花蓮港區防波堤越波影像作業化系統分析流程

第四章 作業化越波警戒系統維運與精進

本計畫作業化越波預報系統主要是參酌運研所前期計畫所發展的「浪襲預警系統」架構來進行精進發展。浪襲預警系統主要是由「海象預報模擬」與「波浪溯升資料庫」所組成。其中，波浪溯升資料庫為判斷面越波情況之核心，其是由透過數值模式模擬各斷面潮位、波高、週期不同情境條件之斷面溯升情況，並將其成果納入資料庫作為預警備用。當相對遠域之海象預測系統(TaiCOMS 2.0)資料發布時，即會將外海波浪與潮位條件代入資料庫中，並提取適合情境條件下各斷面溯升情況，以達到越波/浪襲預警之成效。由此可知，此技術可連結相對精緻斷面模擬資料(溯升)與大範圍海象預報資料之間關係，且透過資料庫建立方式，確實可以達到快速獲得斷面溯升與越波之情況。然而，因預警系統建立時採用斷面模式搭配情境條件來建置溯升資料庫，因此，波向的影響相對較難反應在斷面模擬之中。此外，因海象預報有其不確定性存在，此亦會反應至浪襲預報結果之中。

鑑此，本計畫透過機器學習方式，於現有預報系統基礎下，透過機器學習模型方式增加波向影響連結，以配合預警系統海象資料來進行分析，並可進一步透過迴歸模型方式來建立其關係。此建置工作可分為兩階段進行，第一階段透過數值模擬(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，搭配目前 TaiCOMS 2.0 預報資料即可進行溯升/越波預報；第二階段當影像/溯升計分析溯升資料量足夠後，可將其作為觀測資料，並納入海象觀測或再分析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。

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)。而本計畫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，俾供海岸公路與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：

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。本計畫採用開源模式 SCHISM [Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model, (Zhang et al. 2016)]做為數值模擬工具。

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，來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])。

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
第六河川局 (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(約 88 筆) 高雄溯升影像資料(約 60 筆)	示性波高 潮位 波向 尖峰週期

其次，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)來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。

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本計畫過往研究經驗，採用高斯過程(Gaussian Process, GP)方式進行機器學習。

4.1 作業化海岸公路越波預報系統

於前期計畫(2/4)至(3/4)中，已在人定勝天計畫區域建立機器學習溯升模型及作業化越波預報系統。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。其概述如下。

4.1.1 颱風事件追算模擬

追算模擬所採用風場為混合風場，採用「再分析風場(ECMWF-ERA5再分析風場資料)」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。目前追算颱風事件共模擬 33 場颱風(1990 年至 2022 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4.1 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。

4.1.2 溯升模擬分析

透過追算模擬後，輸出特定位置之外海海象條件，並給予 FUNWAVE 模式作為波浪邊界與初始水位條件，進行近岸溯升模擬。模擬分析結果可知，因地形因素人定勝天路段海域溯升現象較為複雜，目前透過模式計算結果概能將其特性掌握。圖4.2 則是 2022 年軒嵐諾颱風事件影像分析與溯升追算之比對結果，其事件於影像分析資料中發現人定勝天北側有較顯著越波情況發生，因此，透過影像分析水線資料與數值模擬進行比較。橘色箭頭為影像與模擬區域相對應之位置，於該處發生越波期間，

追算模擬結果於該處亦有顯著溯升現象產生，惟相對於橘色箭頭處，模擬結果中紅色箭頭處，因地勢較低，為較易發生越波之地點。

4.1.3 機器學習模型建置與分析

將模擬 33 場追算颱風事件結果以上述溯升模擬方式進行各事件溯升追算模擬，並其計算結果做為機器學習模型建立所用。機器學習模型輸入部分(input)包含海象追算的波高、週期、潮位及波向；而輸出部分(output)則為追算的溯升高資料，再進一步匯入 GP 中建置機器學習溯升模型。模型建置後可導入 TaiCOMS 2.0 海象預報資料，進行人定勝天路段溯升預報。為瞭解目前建立之溯升機器學習模型預報可靠度，將其預報資料與溯升感測器及影像分析結果進行比較，其驗證事件包含颱風事件包含瑪娃颱風與海葵颱風 2 場事件。圖4.3 與圖4.4 則分別為兩事件分析比較結果。因感測器空間解析度較低，於有觀測值之感測器圖示中會加註誤差線(error bar)以利瞭解各值之誤差關係。於比較結果顯示，模型預報結果與影像分析結果大多位於感測器觀測值誤差線範圍之間，此代表目前預報與影像分析結果應據其合理性。然而，於瑪娃颱風事件中，其預報值大多能夠保守預報；海葵颱風事件則有部分低估預報情形發生，此應與海象預報可靠度有關。圖4.5 和圖4.6 分別為凱米和山陀兒颱風期間的外海海象預報和溯升資料，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，如凱米颱風於 7/24 04:00 - 7/24 11:00 (圖4.5)，山陀兒颱風於 9/30 10:00 - 10/01 00:00 (圖4.6)。整體來說，影像分析與溯升預報相對於感測器觀測資料而言仍有一定的誤差存在，但大多仍可在誤差區間內，應可做為未來精進預報模型與影像分析之參考。

此外，於前期計畫(2/4)與(3/4)中，以海岸公路越波機器學習模型為基礎，建立作業化海岸公路越波預報系統。圖4.7 為海岸公路溯升/越波機器學習模型自動化建置之流程，前期計畫(2/4)主要進行的是可行性之評估作業，採用的是歷史的 TaiCOMS 2.0 預報資料進行處理，於前期計畫(3/4)則修改程式，完成與一日 4 報的 TaiCOMS 2.0 海象預報資料介接之功能，產出一日 4 報的溯升/越波預報，提供預報警戒資訊。本年度計畫因有進行人定勝天路段影像判釋系統維運，因此，仍可持續蒐集觀測資料。該

資料則可作為機器學習模型精進更新所用，透過溯升觀測資料匯入，可修改目前模型推估溯升功能，使其更能夠符合在地化之效益。

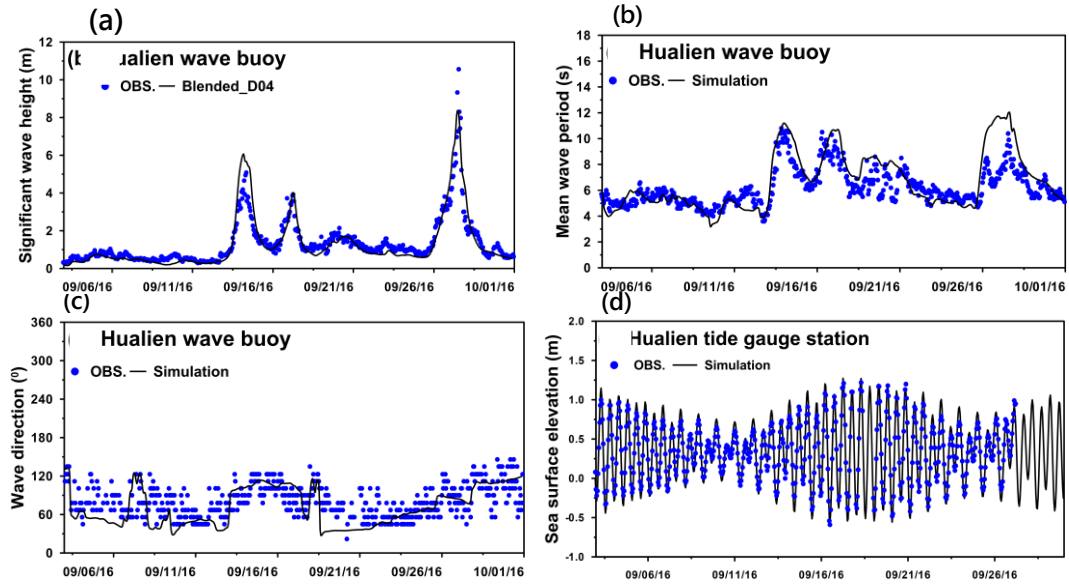


圖 4.1 颱風事件追算模擬與量測資料時序列比較
(以 2016 年莫蘭蒂、馬勒卡、梅姬颱風事件為例)

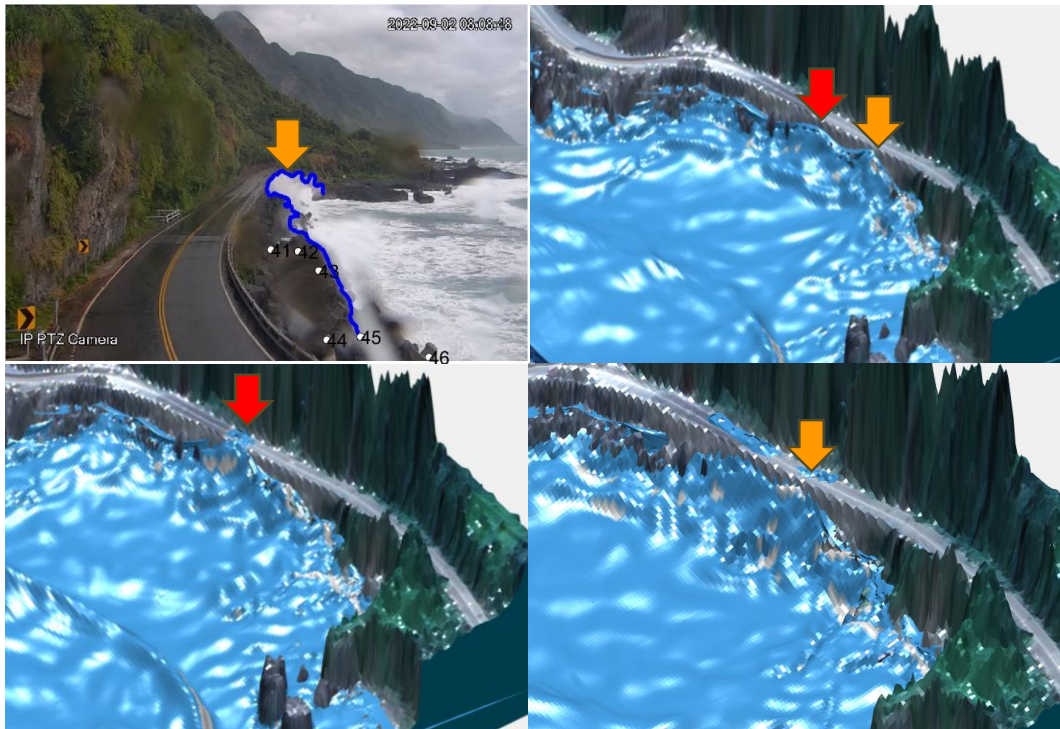
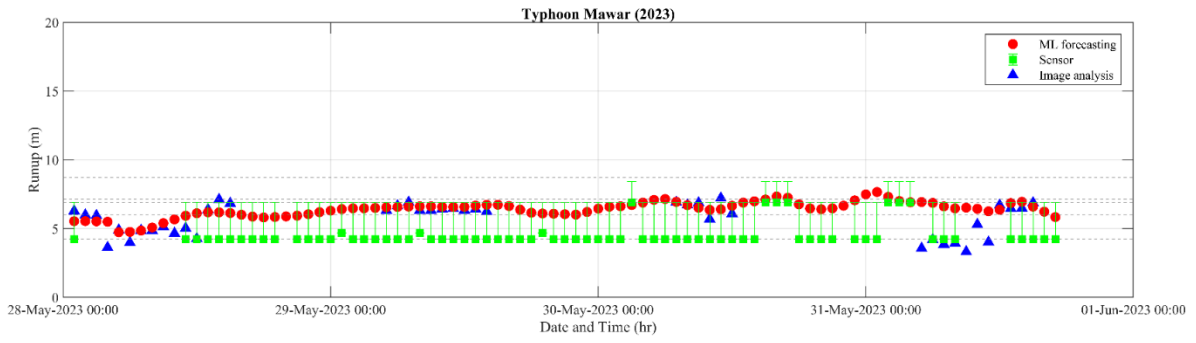
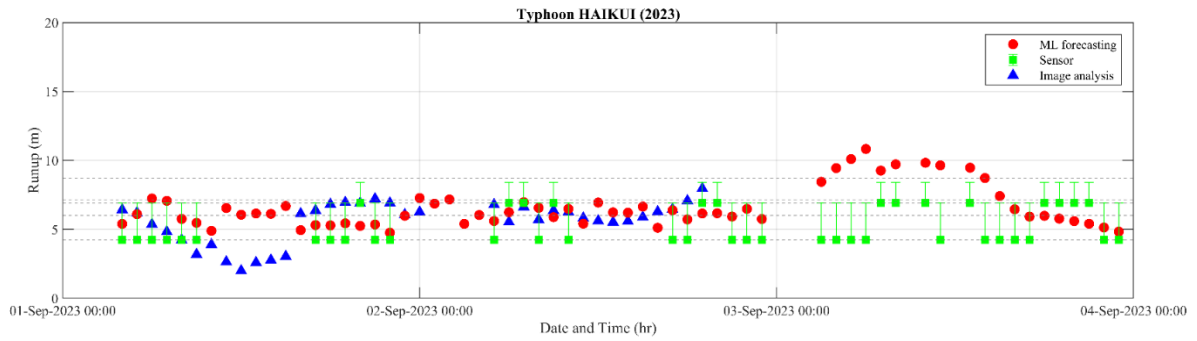


圖 4.2 影像分析與溯升追算比對結果



**圖 4.3 溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果
(2023 瑪娃颱風事件)**



**圖 4.4 溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果
(2023 海葵颱風事件)**

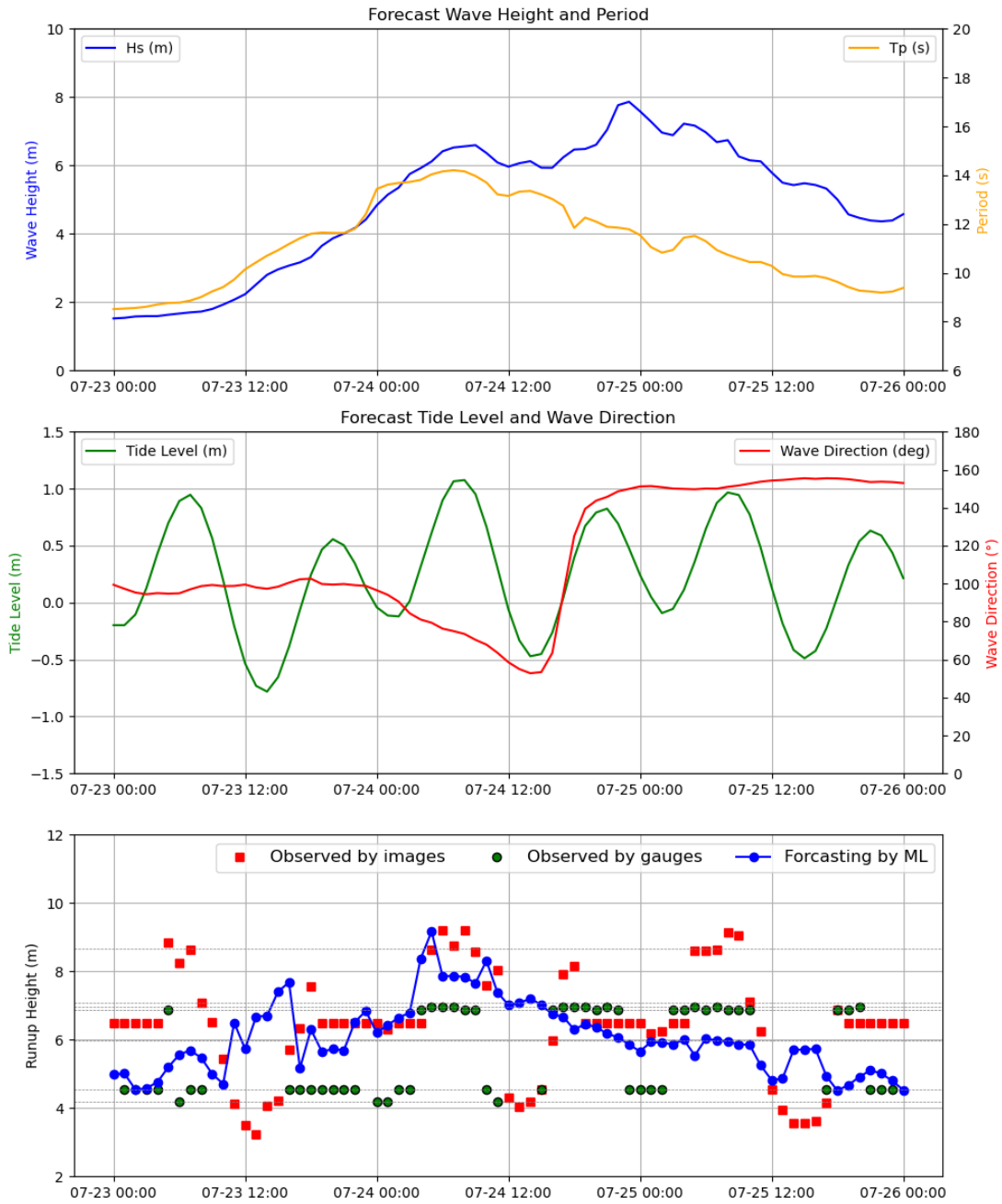


圖 4.5 溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果 (2024 凱米颱風事件)

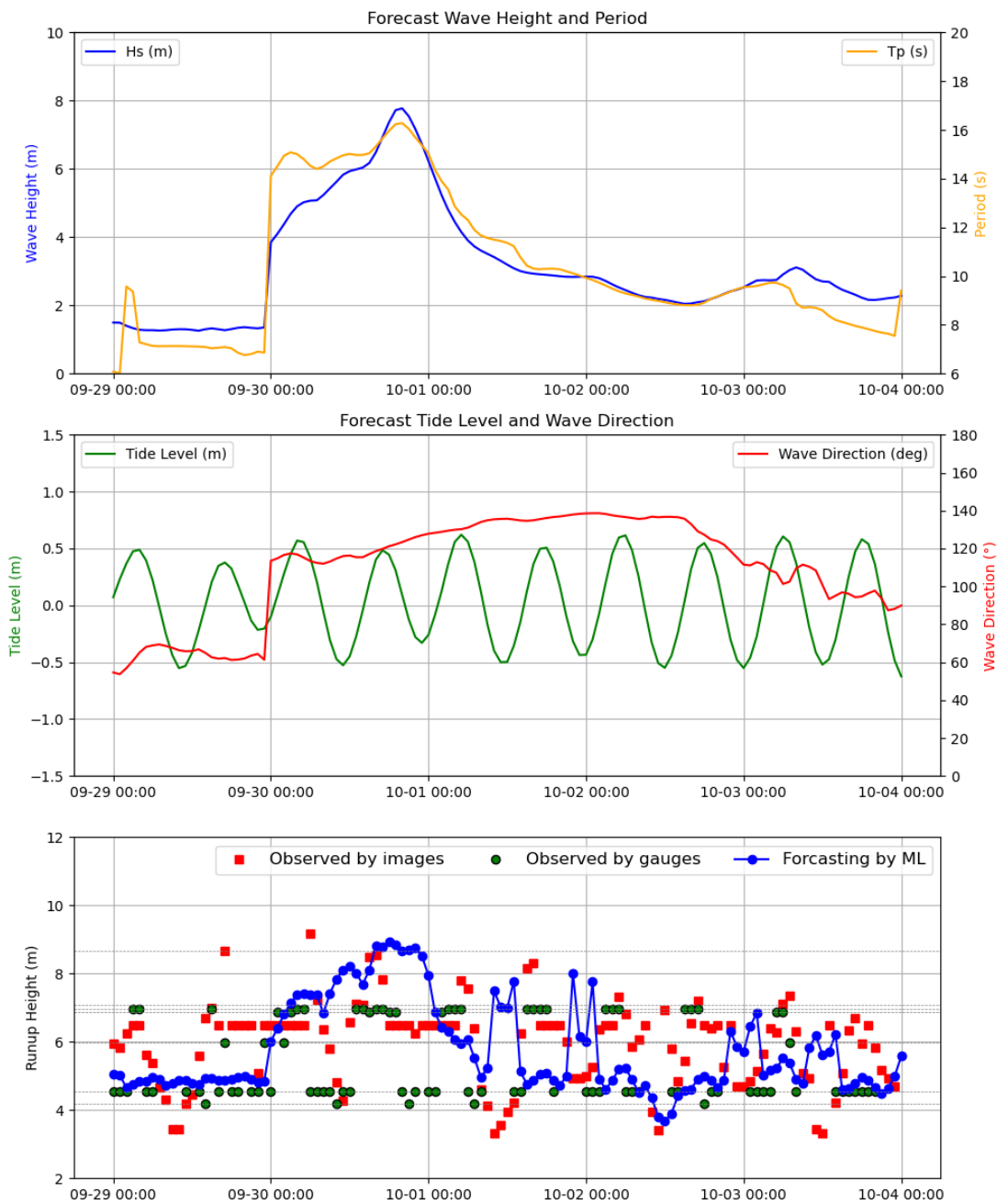


圖 4.6 溯升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果
(2024 山陀兒颱風事件)

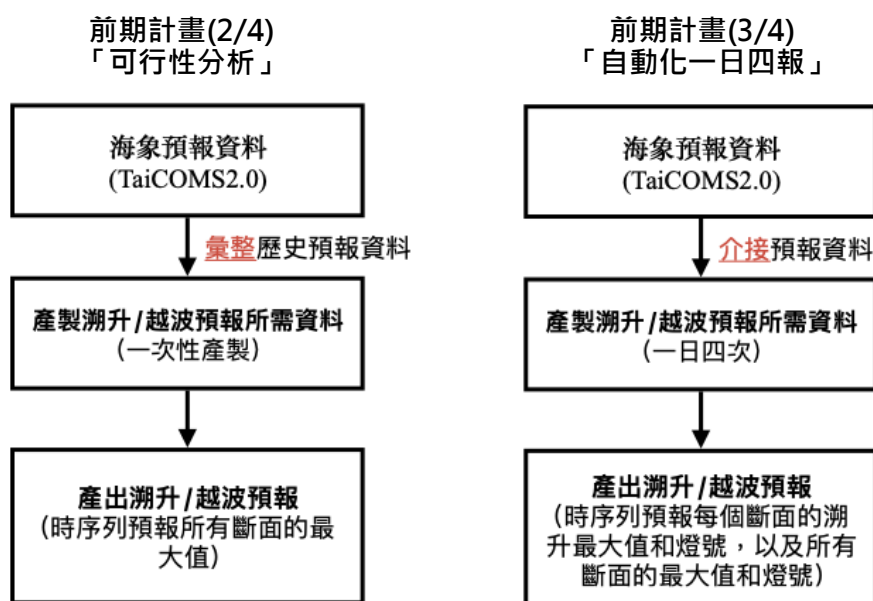


圖 4.7 前期計畫之溯升/越波預報自動化建置流程

4.1.4 作業化溯升/越波預報系統維運

為落實前期計畫成果，並確保溯升/越波預報作業之穩定與可持續運行，本年度重點聚焦於既有 TaiCOMS 2.0 預報模組的關鍵程式結構與排程流程進行系統性優化與錯誤防範強化。透過盤點實際運作中常見的問題類型，包含預報資料缺漏導致程式終止、追報時間處理未納入、重啟程序無差別重新計算，以及排程自動啟動條件不足等，逐一研擬對應的改進策略與實作方案(如表4-2)。

具體而言，本年度透過下列四大面向進行精進：

- 1.提升預報程序容錯能力：於主程式中加入預報資料完整性檢查與錯誤跳過機制，有效防止因單筆檔案缺失導致整體流程中斷；
- 2.補強追報資料納入機制：重構資料產製邏輯，確保涵蓋所有必要時間點的預報與追報需求，提升資料完整性；
- 3.優化重啟邏輯與資源利用效率：新增預報檔案比對功能，僅針對尚未產製之時段執行重算，減少重複計算所耗費之時間與運算資源；
- 4.改寫排程架構為持續監控式服務：原先仰賴 Windows 排程的啟動方式已無法因應即時性要求，故改以背景常駐服務模式執行，實現自動偵測與即時處理。

實作後的預報模組可自動偵測檔案產出與狀態，並僅針對缺漏資料

進行處理；如圖 4.8 所示，系統將自動略過已產製結果，節省資源，同時啟用 Python watchdog 機制即時監控目錄變化以啟動後續流程，顯著提升預報系統穩定度與作業效率，另因配合 109 年建置浪襲預警系統，經與花蓮工務段討論後，調整本計畫海岸公路浪襲預報警戒條件，並與前浪襲預警系統相同燈號之警戒定義(如圖4.9)。

上述改進項目全面強化了系統對於作業中異常狀況的處理能力，並有效縮短預報時程、降低計算資源浪費，建立起可長期穩定運行的溯升預報作業化系統。未來亦可持續擴充預報模組或結合即時監測資料，以強化防災應用之整體效能。

```

2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025060918, skipping.
2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025061000, skipping.
2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025061006, skipping.
2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025061012, skipping.
2025-06-12 15:51:07,456 - INFO - Output already exists for 2025061018, skipping.
2025-06-12 15:51:07,456 - INFO - Processing D:\taicoms218\EAST4\V2025061100SMHL.T70:
2025-06-12 15:51:09,457 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FB2025061100.txt.
2025-06-12 15:51:09,457 - INFO - Processing D:\taicoms218\EAST4\V2025061106SMHL.T70:
2025-06-12 15:51:10,035 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FB2025061106.txt.
2025-06-12 15:51:10,035 - INFO - Processing D:\taicoms218\EAST4\V2025061112SMHL.T70:
2025-06-12 15:51:10,659 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FB2025061112.txt.
2025-06-12 15:51:10,660 - INFO - Processing D:\taicoms218\EAST4\V2025061118SMHL.T70:
2025-06-12 15:51:11,259 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FB2025061118.txt.
2025-06-12 15:51:11,261 - INFO - Starting watchdog observer for live file monitoring...

```

圖 4.8 作業化溯升/越波預報系統維運成果

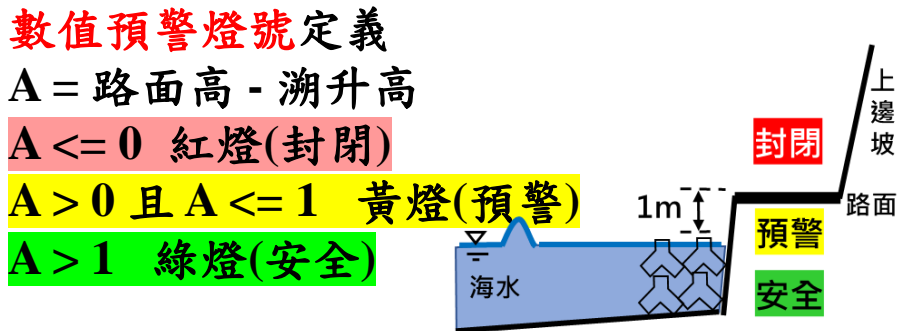


圖 4.9 作業化海岸公路越波預報警戒條件

表 4-2 海岸公路作業化溯升/越波預報系統維運項目

項目	問題說明	處理方式
1. TaiCOMS 2.0 波浪預報資料缺漏導致程式終止	當 TaiCOMS 2.0 波浪預報資料缺漏時，溯升預報程式會因讀取失敗而異常終止，影響預報產出流程。	於程式中加入波浪預報檔案的存在性檢查機制，若檔案缺漏則跳過處理，避免程式當機。
2. 未處理 TaiCOMS 2.0 追報時間	原始設計僅針對預報 (Forecast) 時間進行處理，導致追報時間的資料未能被納入，影響溯升預報的完整性。	調整溯升預報資料的產製邏輯，使其涵蓋對應的預報與追報時間，確保時間軸一致。
3. 重啟預報時每次皆重新計算所有資料	溯升預報程式在每次啟動時，會針對 EAST4 (波浪 1 日 4 報資料) 所有時間點重新計算，即使部分資料已產製完成，仍會耗費大量時間與資源。	新增預報檔案比對機制，自動跳過已完成的時間段，只針對尚未產製的時段執行計算。同時保留強制重算功能，透過設定 FORCE_REDO = true 來觸發全面重算。
4. 預報程式需仰賴 Windows 排程定期啟動	原本設計在完成一次溯升預報後即結束執行，需依賴 Windows 排程機制週期性啟動。若 TaiCOMS 2.0 預報服務中斷後重啟，溯升預報程式未必能及時自動接續運行。	調整程式為常駐服務模式，持續監控是否有新的 TaiCOMS 2.0 預報檔案加入，達成即時自動觸發溯升預報處理流程，無須手動或排程重啟。
5. 越波預報警戒條件更新	原本計畫海岸公路預報警戒條件與前浪襲預警系統條件不同	調整本計畫海岸公路預報警戒條件，並與前浪襲預警系統相同(參見圖4.9)

4.2 作業化港區防波堤越波預報系統

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 4.10 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 公尺，堤頭長 30 公尺，總長達 1865 公尺。由前述參考文獻(參見 2.1 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 4.11 所示。開放條件規定，在花蓮港附近漁業氣象平均風力達到 6 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。本計畫中是以新東防波堤為對象，發展港區機器學習越波模型，俾利介接海象預報資料後，達至越波警戒之成效。

4.2.1 越波模擬分析

以前期計畫(2/4)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。此發展工作一樣可分為兩階段進行，且於前期計畫(3/4)中已完成第一階段港區機器學習越波模型之發展。模型建置流程大多與海岸公路模型相同，惟因主要差異在於港區越波模型僅考量是否有越波來作為警戒門檻，此與海岸公路採用溯升高程門檻警戒有所差異。圖 4.12 為港區追算情境模擬結果(波高：5 公尺，週期：16.1 秒，水位：1.2 公尺)，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 4.12(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，來做為模式模擬越波驗證所用。圖 4.13 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%。

4.2.2 機器學習模型建置與分析

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：無越波，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 4.14)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 4.15 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。

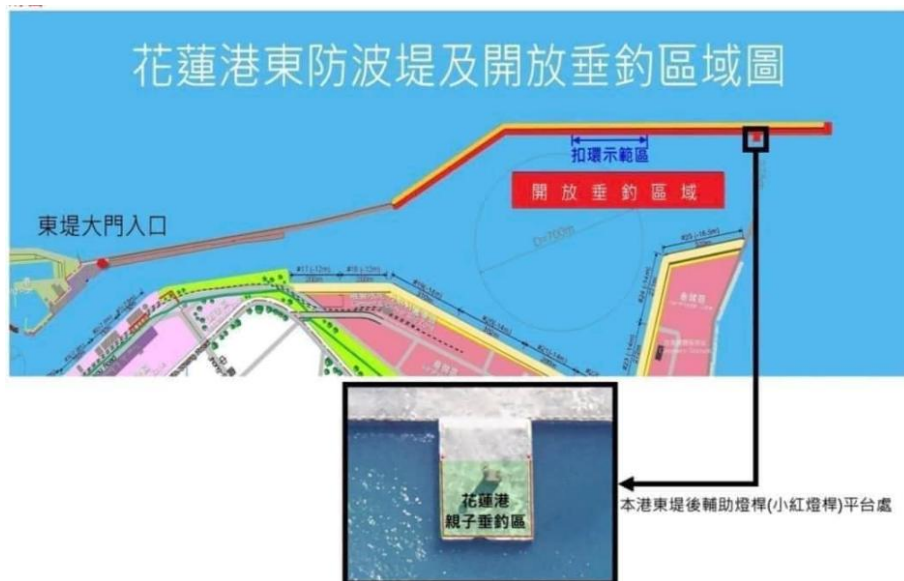
圖 4.16 展示發生越波情況(真值為 1)下，預測值與真值之間差異的累積分佈。結果顯示，誤差在 0.02 內的情況佔整體的 90%，而誤差在 0.04 以內的情況佔了整體的 95%。因此，可以將這些結果用作預報值警戒的門檻條件。例如，若設定 95%的信心水準，可以將越波的定義設定為預報值介於 0.96 到 1.04 之間，超出這個範圍的預報值，則判定為無越波情況。

4.2.3 作業化越波預報系統建置

本年度將前期計畫所建置之越波預報系統進行作業化建置，預報模式將透過介接 TaiCOMS 2.0 海象預報資料，執行每日 4 次的港區越波預報作業(圖 4.17)。整體系統流程由自動讀取 TaiCOMS 2.0 預報結果開始，依序完成所需變數的擷取與重組，最後輸出斷面越波預報結果(含有無越波警示)，以利後續應用於決策或警戒通報。此外，為提升花蓮港防波堤越波警戒能力，除東防波堤外，亦建置東堤延伸至漁港段之越波模型，並採用多斷面方式來進行警戒。圖 4.18 為各段防波堤分段與斷面數量，若各分段任一斷面紅燈警戒，則該段即發佈紅燈警戒；反之則顯示綠燈訊息，作業化後維運紀錄，如表 4-3 所示。



圖 4.10 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 4.11 花蓮港東防波堤開放垂釣區域圖

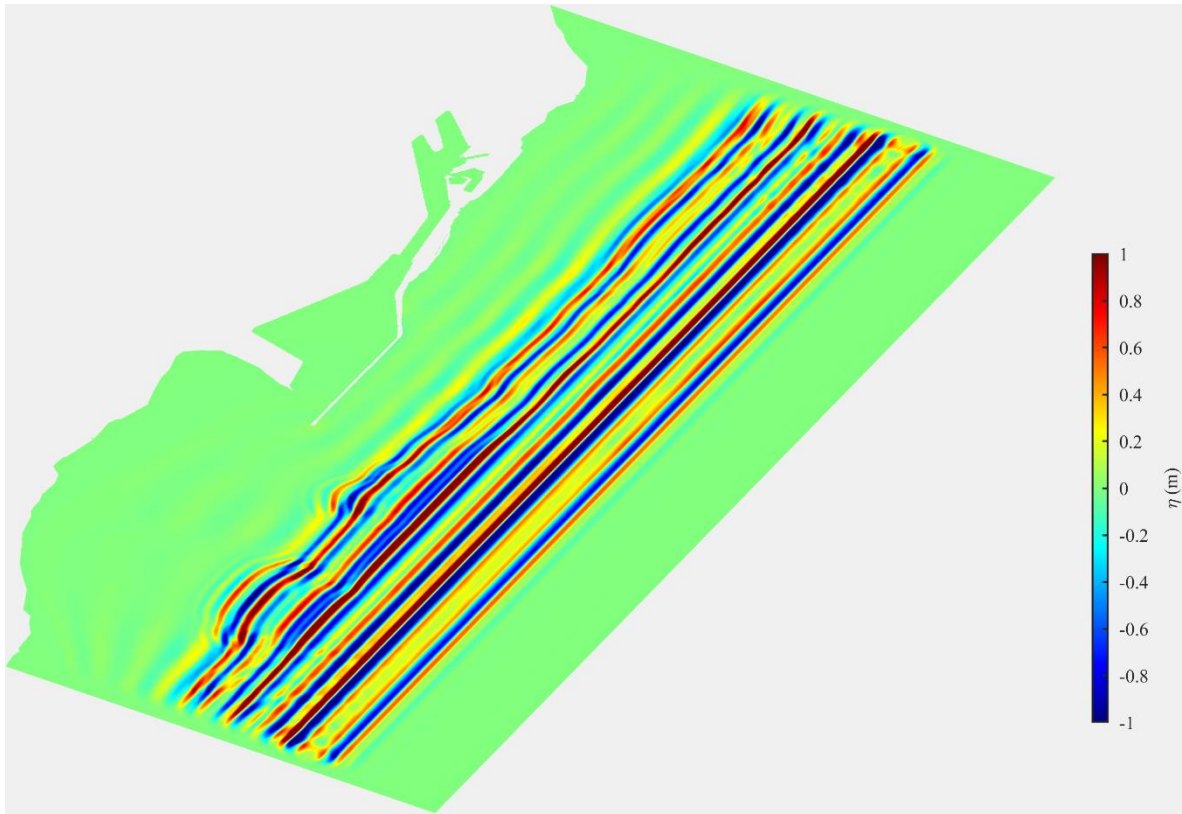


圖 4.12 花蓮港近岸波場模擬結果(1/4)

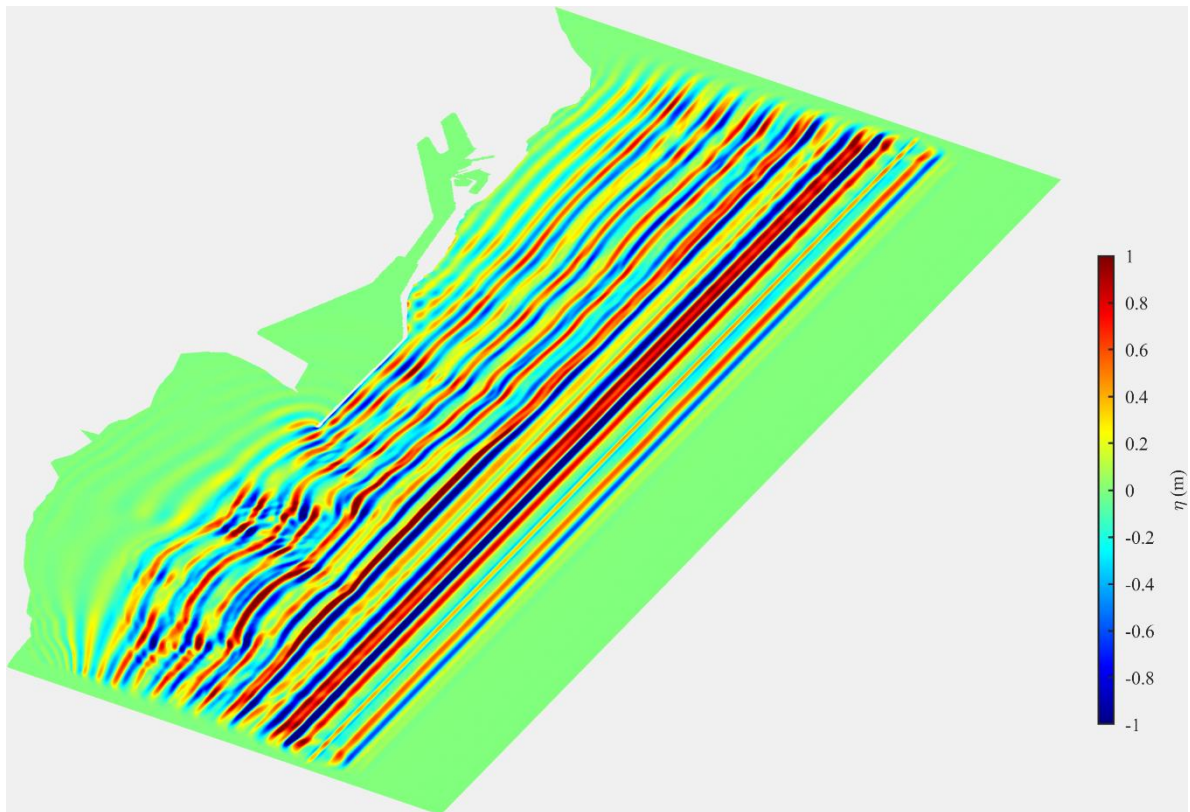


圖 4.12 花蓮港近岸波場模擬結果(2/4)

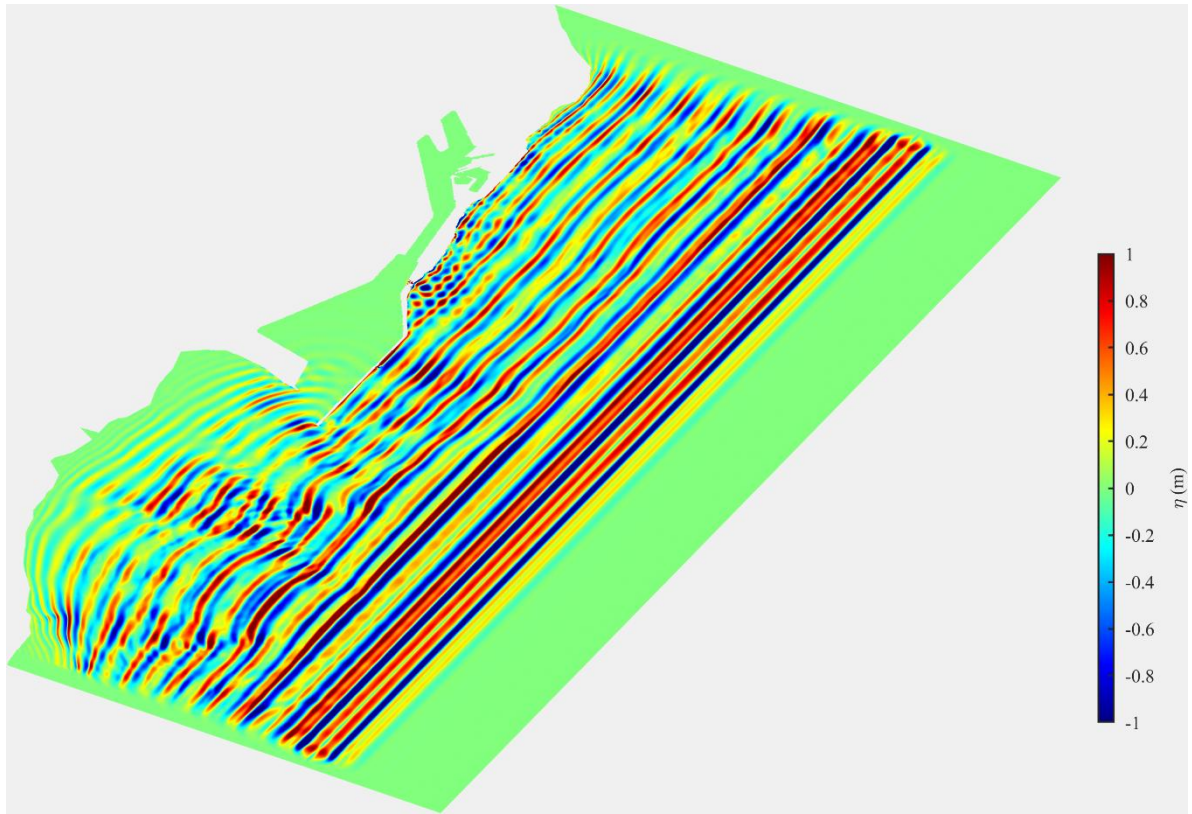


圖 4.12 花蓮港近岸波場模擬結果(3/4)

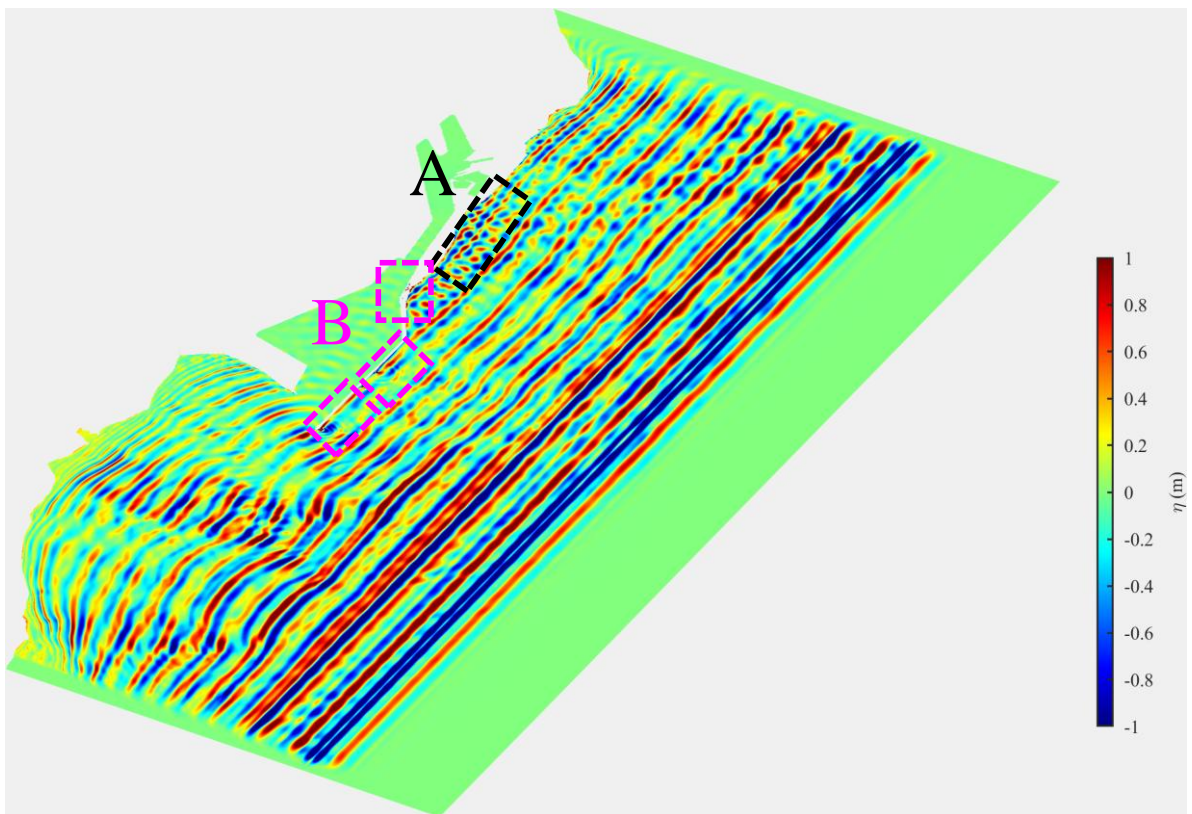


圖 4.12 花蓮港近岸波場模擬結果(4/4)



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 4.13 2023 年海葵颱風事件越波記錄資料

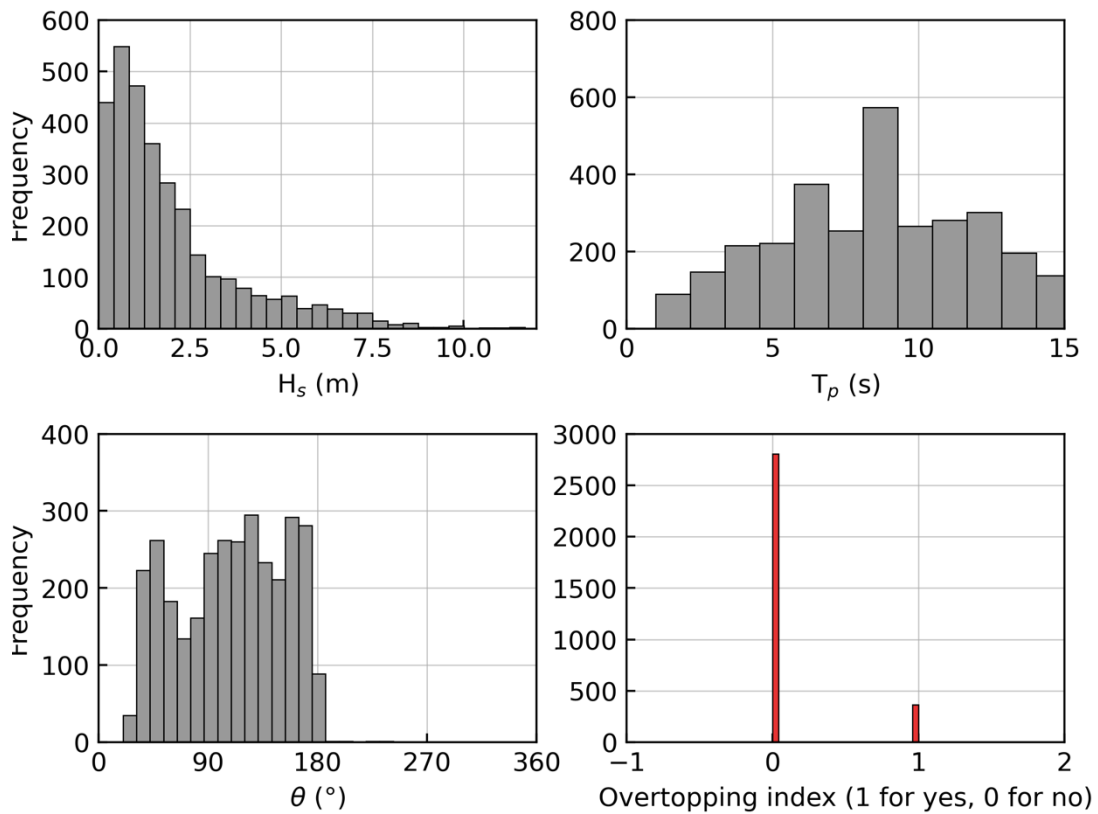
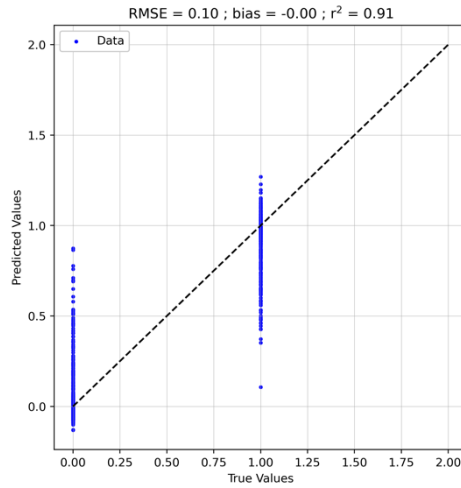
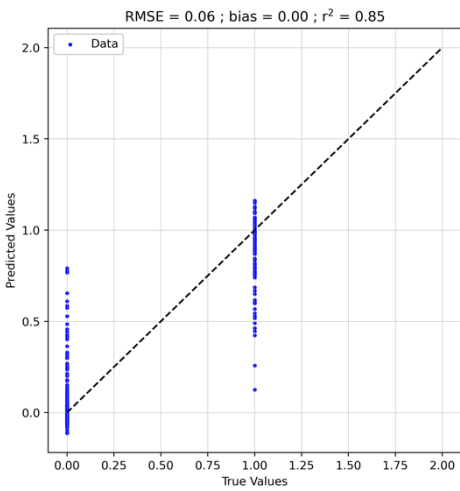


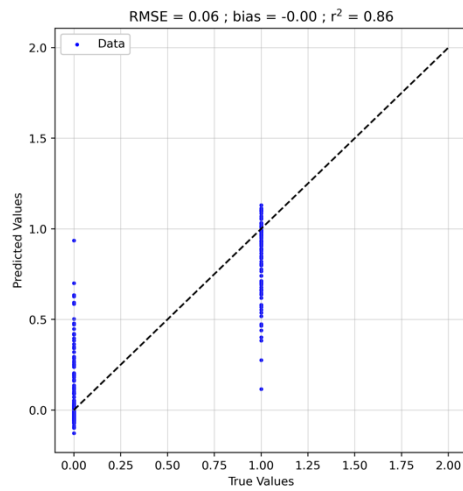
圖 4.14 花蓮港防波堤越波機器學習模型的訓練集樣本分布



(a)



(b)



(c)

圖 4.15 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

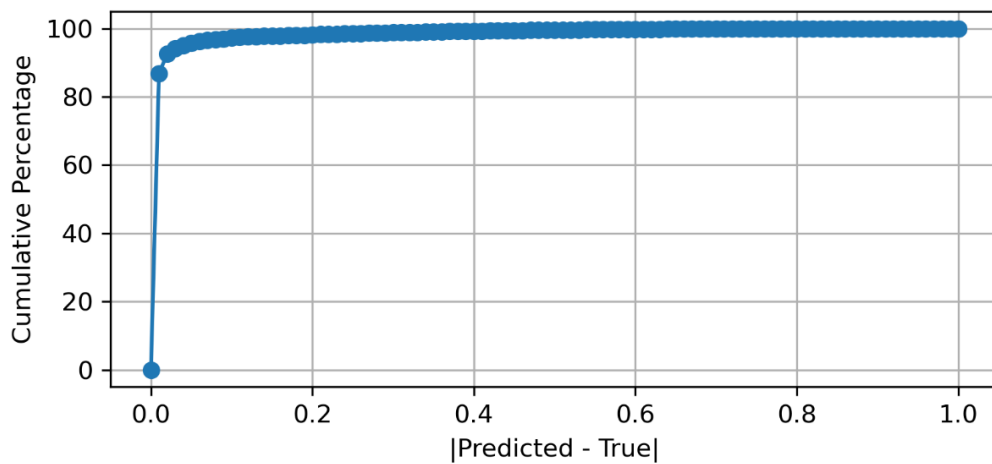


圖 4.16 花蓮港防波堤越波機器學習模型於不同越波誤差值的累積分佈

「自動化一日四報」

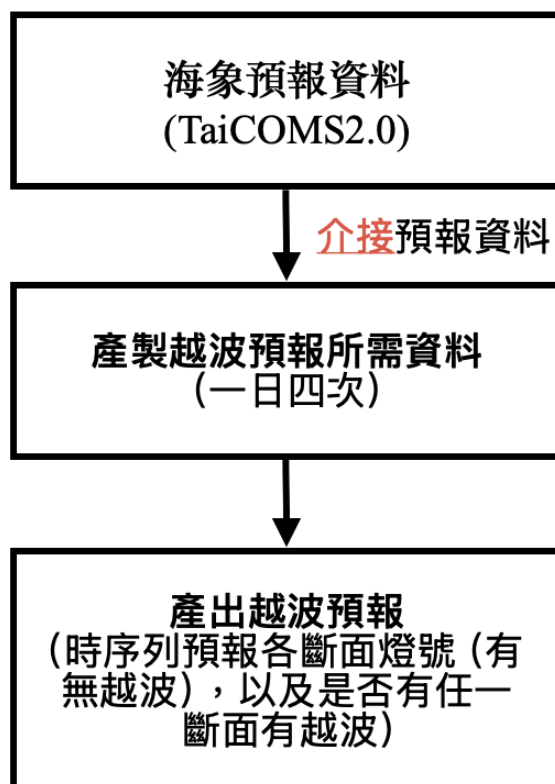


圖 4.17 前期計畫之溯升/越波預報自動化建置流程



圖 4.18 花蓮港東防波堤分段與斷面數量概況

表 4-3 花蓮港東防波堤作業化溯升/越波預報系統維運項目

項目	說明
2025/09/05	安裝越波預報，同時進行防波堤三區域的越波警戒預報。

4.3 越波預報準確率分析

於前期計畫(2/4、3/4)中已建立海岸公路與港區越波機器學習模型，且透過 TaiCOMS 2.0 海象預報資料的介接，已可進行越波預報與警戒。其中，影響預報準確率之主要來源為「海象預報誤差」與「越波模型誤差」兩項。為瞭解現階段預報準確率，本年度將會納入觀測資料或再分析資料來進行溯升/越波推算，並與越波影像判釋資料或觀測資料進行比對。

越波機器學習模型建立後，若輸入海象預報資料，輸出則為越波預報資料。假設海象觀測資料(潮位站、浮標站、波流儀)為真值，透過該資料的輸入所得到的越波資料亦為真值，此可做為預報資料的比較基準。藉此比對方式瞭解其誤差是來自海象預報或模型本身誤差。然而，依據目前兩研究區域而言，花蓮港區與人定勝天路段目前銜接的海象預報邊界並無觀測站做為真值來進行分析。因此，均需透過再分析資料推算溯升或越波資料，才能夠進行模型準確度分析。

本計畫蒐集歐盟(ERA5)與美國(CFSv2)再分析波浪與風場資料做為準確度分析的基礎。表 4-4 為再分析波場資料規格，其顯示波場空間解析度分別約為 25 公里(ERA5)與 20 公里(CFSv2)，其對於較近岸區域之海象可能無法得到較佳的資訊。因此，本計畫會採用再分析風場資料重新進行海象追算模擬方式來進行邊界真值的產製。雖然再分析風場資料空間解析度與波場資料相同，惟透過模擬方式相對較能夠反應近岸海象情況。

然而，本計畫進行追算模擬後，其結果(圖 4.19 至圖 4.21)顯示於 2023 與 2024 年模擬值與觀測值吻合度不佳。其原因是可能為 CFSv2 於此兩年度之風場資料所有異常，導致模擬波場有異常現象。因此，此追算資料無法提供越波模型檢核所用。鑑此，本計畫會透過運研所取得 TaiCOMS 2.0

追算資料來作為檢核資料所用。代入 TaiCOMS 2.0 的追算資料後，與影像判釋結果進行比對，以瞭解目前兩區域的機器學習模型之準確度。

圖 4.22 為人定勝天路段越波預報模型(Model Result)與影像判釋結果(Image Result)之混淆矩陣比對結果(包含 2024 年與 2025 年颱風事件)。由圖可見，模型在「無越波(No Overtopping)」之預測表現整體穩定，能有效辨識大部分無越波時段，顯示其具備一定的辨識準確性。然而，在「有越波(Overtopping)」事件之預測方面，仍存在部分情形被誤判為「無越波」之情況。

圖 4.23 為花蓮港越波預報模型(Model Result)與影像判釋結果(Image Result)之比對混淆矩陣(包含 2023 年至 2025 年颱風事件)。由結果可觀察到，模型在「無越波(No Overtopping)」事件之辨識表現相對穩定，能準確預測多數無越波時段，顯示模型在一般浪況條件下具有一定的分類能力與基礎準確性。然而，在「有越波(Overtopping)」事件之預測方面，仍可見部分誤判為「無越波」的情形，反映出模型仍有提升空間。整體而言，模型能反映越波事件的發生趨勢，且目前對越波事件的預報相對保守。儘管預測結果仍有偏差，本計畫所建立之花蓮港越波預報模型，已成功捕捉約 80% 的主要越波事件。

由上結果反映出目前的模型於越波發生的判斷能力仍有改進空間。其誤判情形可能與追算模擬差異、樣本追算模擬差異，或影像判釋過程中之判定不確定性有關。儘管如此，模型已能掌握越波事件發生之時間趨勢，呈現出一定程度之相關性與預報潛力。此結果證實該模型於越波事件模擬中具備實際應用價值，可做為海岸防災之輔助分析工具，並為後續越波機制分析及災害防減策略，提供可靠之技術基礎。

表 4-4 再分析波場資料規格

項目	ERA5	CFSV2
空間解析度	0.25° × 0.25° (~25 km)	0.205° × 0.204° (~20 km)
時間解析度	1 小時	1 小時 (或 3 小時)
時間範圍	1979 年起至今	2011 年起至今

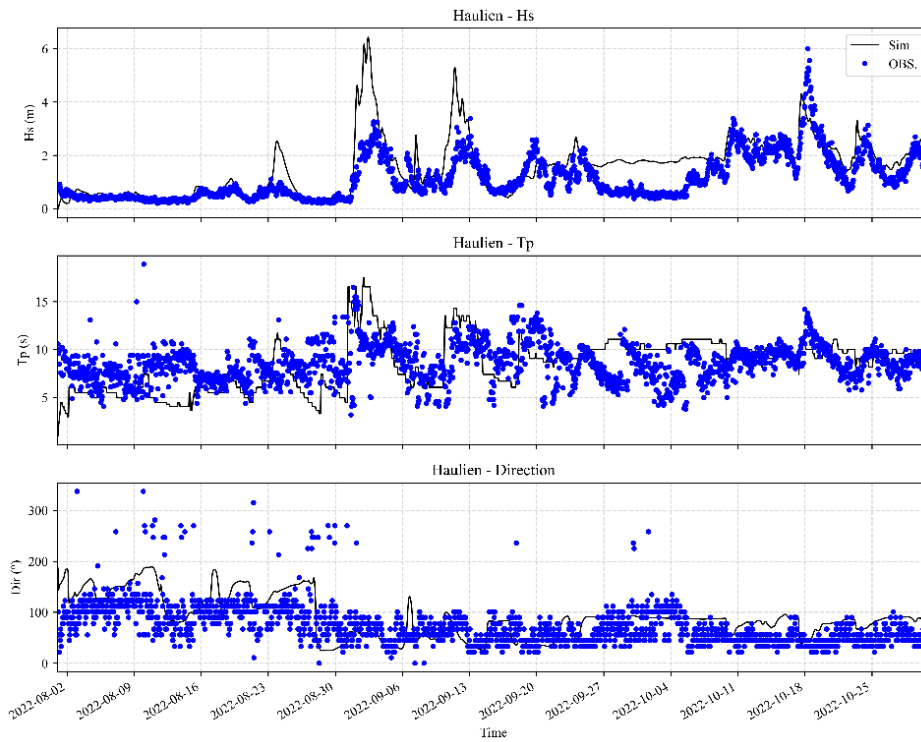


圖 4.19 2022 年颱風事件追算模擬結果

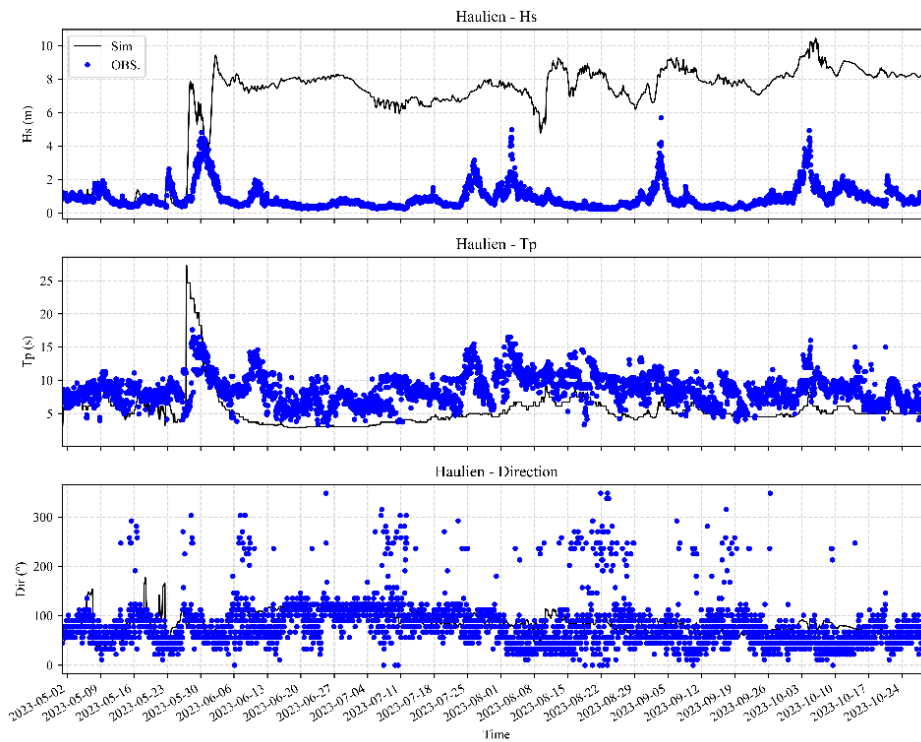


圖 4.20 2023 年颱風事件追算模擬結果

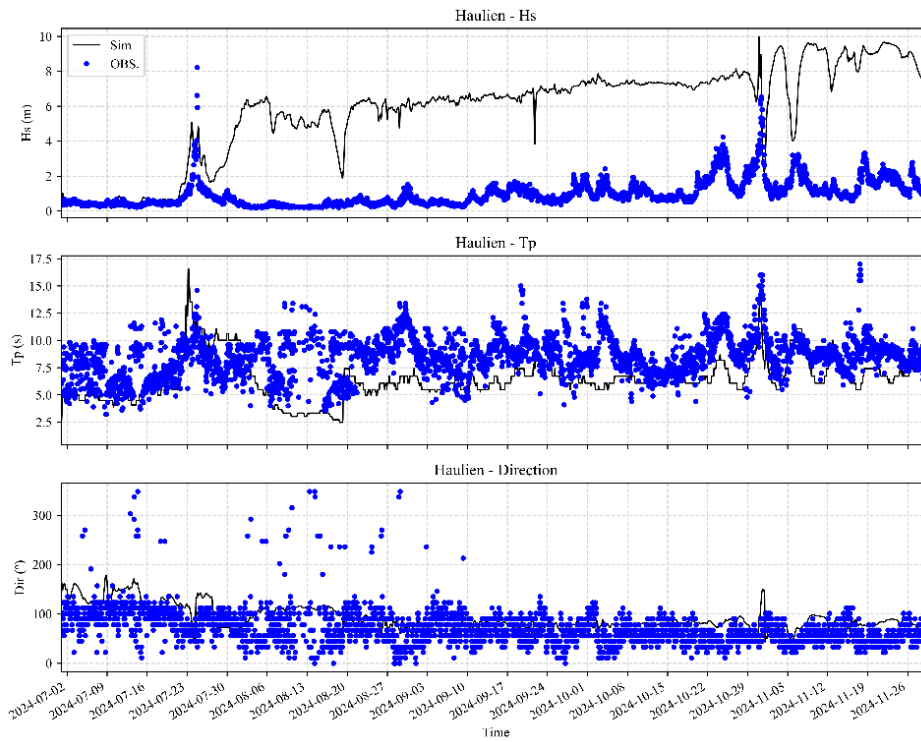


圖 4.21 2024 年颱風事件追算模擬結果

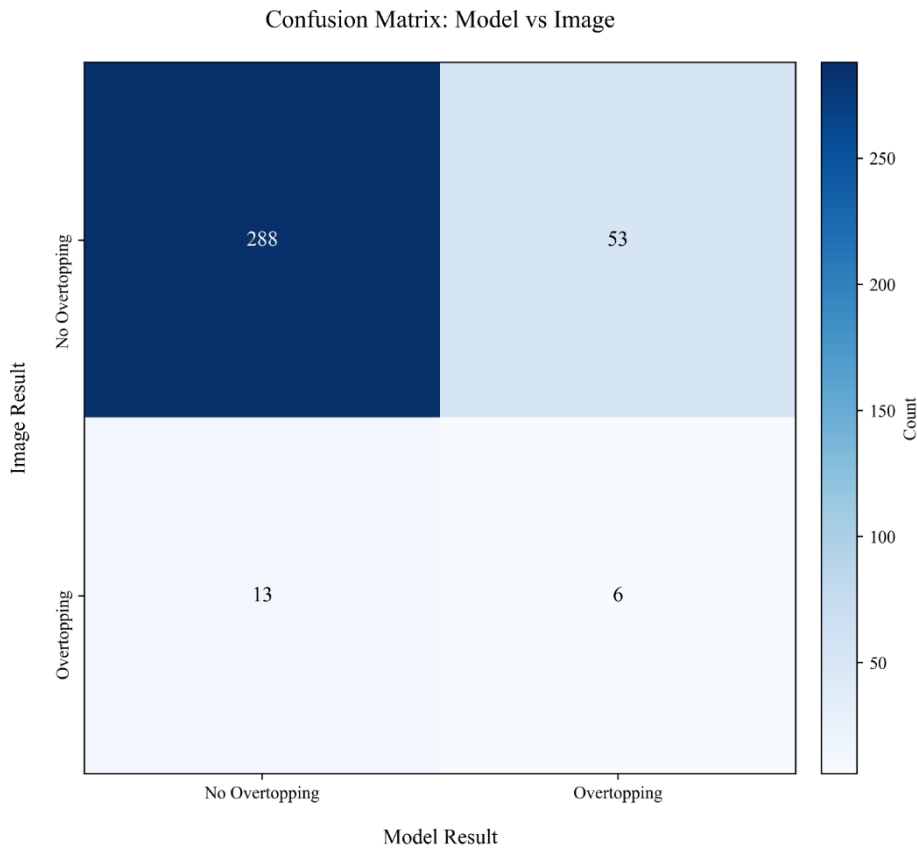


圖 4.22 人定勝天路段越波預報模型混淆矩陣圖

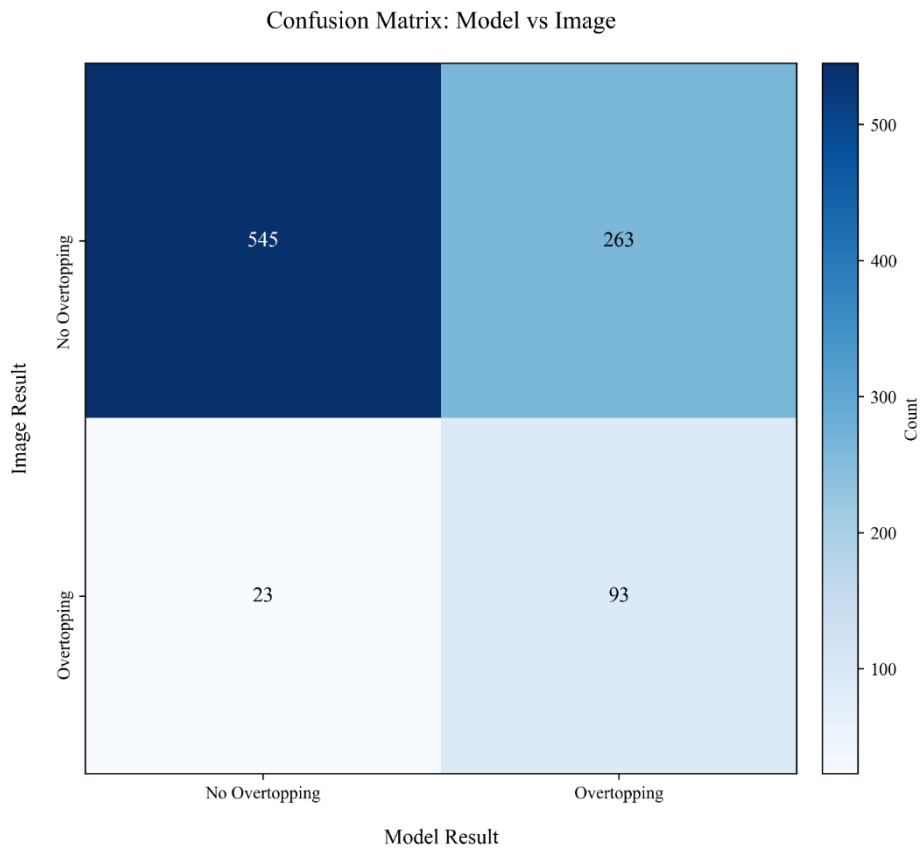


圖 4.23 花蓮港越波預報模型混淆矩陣圖

第五章 溯升與越波潛勢分析

本年度為此計畫第 4 年期，於此期間已有累積不少觀測資料。而於計畫執行期間均有依據颱風事件彙存觀測資料，其中包含溯升計與影像判釋所取得的溯升/越波資料。因此，於本年度將彙整這些資料進行海岸公路(人定勝天路段)與港區防波堤(花蓮港)溯升或越波潛勢分析，此分析成果，可提供海岸公路與港區「可能越波潛勢位置」，並提出可能防護相關建議供相關單位參考。

表5-1 彙整 2022 年至 2025 年間，中央氣象署發布颱風警報期間，本計畫於前述兩處位置所進行之影像資料蒐集情形。表中除記錄各次颱風的警報期間外，亦明確標註每次事件之監視影像蒐集結果。需特別注意的是，實務作業中曾因判釋需求或設備損壞而進行攝影機更換，使部分資料在色彩調性與攝影角度上略有差異，若未加辨識即混用，可能導致判釋準確性下降，故本計畫亦特別註記資料取得情況，以利後續分析使用時進行有效過濾與比對。

本計畫透過建置之影像判釋模型對人定勝天和港區防波堤歷史資料進行溯升與越波分析，並為確保判釋結果之正確性與實用性，以人工對結果進行審核，其成果彙整如圖 5.1、圖 5.2 及表5-2，包含 2022 至 2025 年間越波分析結果，顯示不同颱風事件於人定勝天路段及花蓮港東防波堤的越波觀測情形。由表可見，多數事件於花蓮港區皆能觀測到明顯的越波現象，特別是 2023 年的杜蘇芮與海葵颱風，其越波出現時間分別達 40 小時與 27 小時，顯示該區在強颱作用下具高度越波潛勢。目前人定勝天路段因今年增設消波塊，大幅耗散波浪的能量，故尚未觀測到顯著的溯升或越波現象。相對而言，花蓮港東防波堤因局部結構受損，導致堤體抗浪能力下降，於多次颱風期間(除薇帕颱風外)皆出現顯著的越波情形。整體而言，該區越波活動與防波堤結構完整性及風浪條件高度相關，顯示港區維護與修復工作對防止越波災害具有關鍵影響。

進一步統計海水確實翻越堤防或淹沒路面的事件次數，以同 1 小時內的越波次數統計為 1 次的情況，2022 至 2025 年間 13 場颱風於人定勝天路段共計造成 3 次波浪越上路面事件，其中北段路面 2 次、中段路面 1 次，南段路面則未出現波浪越上路面之情況；2022 至 2023 年間 6 場颱風於花蓮港東防波堤共計造成 42 次波浪越過堤防事件，其中左段堤防 12 次、中

段堤防 14 次、右段堤防 16 次，並未特別突顯那一側堤段特別會或不曾越波。透過此區分，亦可呈現系統對於「潛在風險偵測(警戒)」與「實際災害紀錄(越波)」之不同層次成果。

表 5-1 2022 至 2025 年間有發布颱風警報的颱風資訊及資料蒐集情形

年份	颱風名稱	警報期間	近臺強度	海岸公路 (人定勝天路段) 光學 / 熱成像	港區 防波堤 (花蓮港)
2022	軒嵐諾	09/02-09/04	強烈	☑ / ☒	☒
	梅花	09/11-09/13	中度	☑ / ☒	☑
	尼莎	10/15-10/16	中度	☒ / ☒	☒
2023	瑪娃	05/29-05/31	中度	☑ / ☑	☑
	杜蘇芮	07/24-07/28	中度	☑ / ☑	☑
	卡努	08/01-08/04	中度	☑ / ☑	☑
	蘇拉	08/28-08/31	強烈	☑ / ☑	☑
	海葵	09/01-09/05	中度	☑ / ☑	☑
	小犬	10/02-10/06	中度	☒ / ☒	☑
2024	凱米	07/22-07/26	強烈	☑ / ☑	☑
	山陀兒	09/29-10/04	強烈	☑ / ☑	☑
	康芮	10/29-11/01	強烈	☒ / ☒	△
	天兔	11/14-11/16	中度	☒ / ☒	☒
2025	薇帕	07/18-07/19	中度	☑ / ☑	☑
	丹娜絲	07/05-07/07	中度	☑ / ☑	☑
	楊柳	08/12-08/14	中度	☑ / ☑	☑
	樺加沙	09/21-09/23	強烈	☑ / ☑	☑

資料來源：中央氣象署颱風資料庫

備註：☑：蒐集完成；☒：無資料；△：設備異常僅有部分資料

2022 年人定勝天路段尚未建置熱成像攝影機

2023 年更換光學和建置熱成像攝影機

2023 年 9 月海葵期間光學攝影機損壞

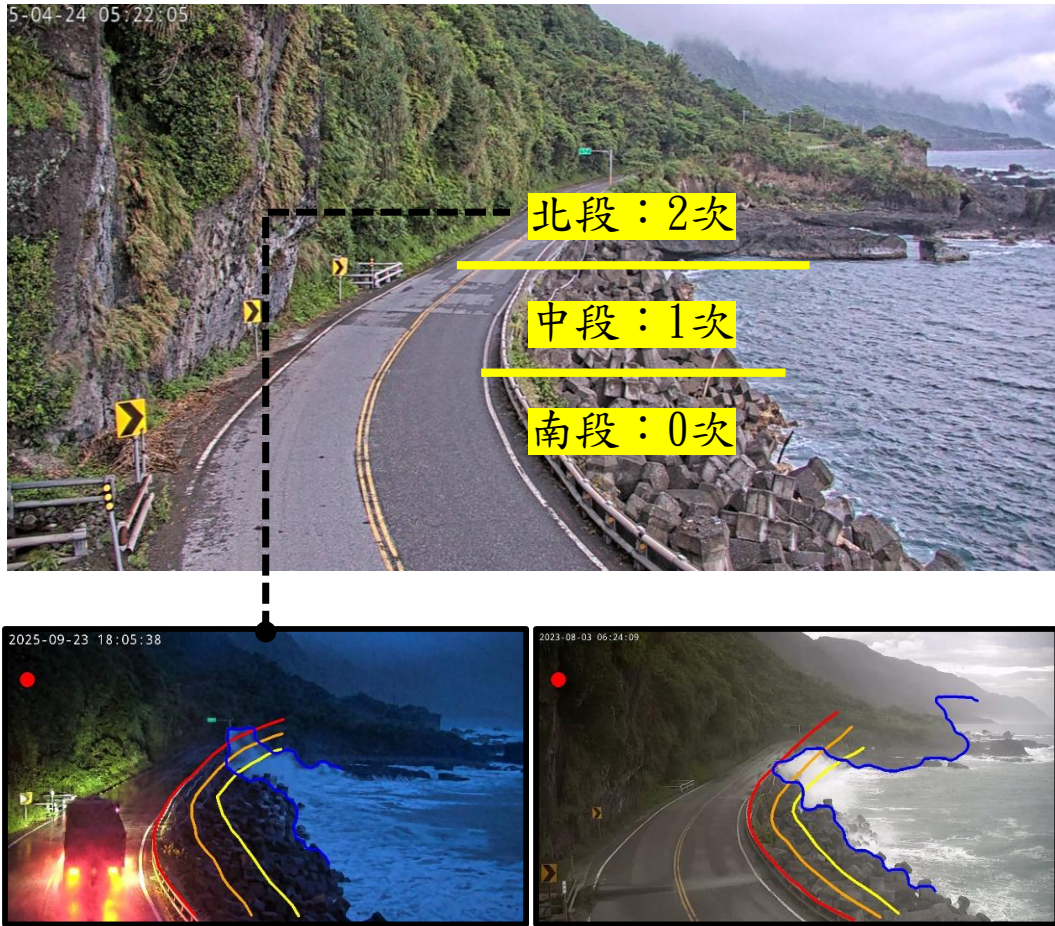
2024 年 4 月修復光學攝影機並更換熱成像監視器

2025 年 4 月更換光學和熱成像監視器

表 5-2 2022 年至 2025 年期間溯升/越波影像分析結果

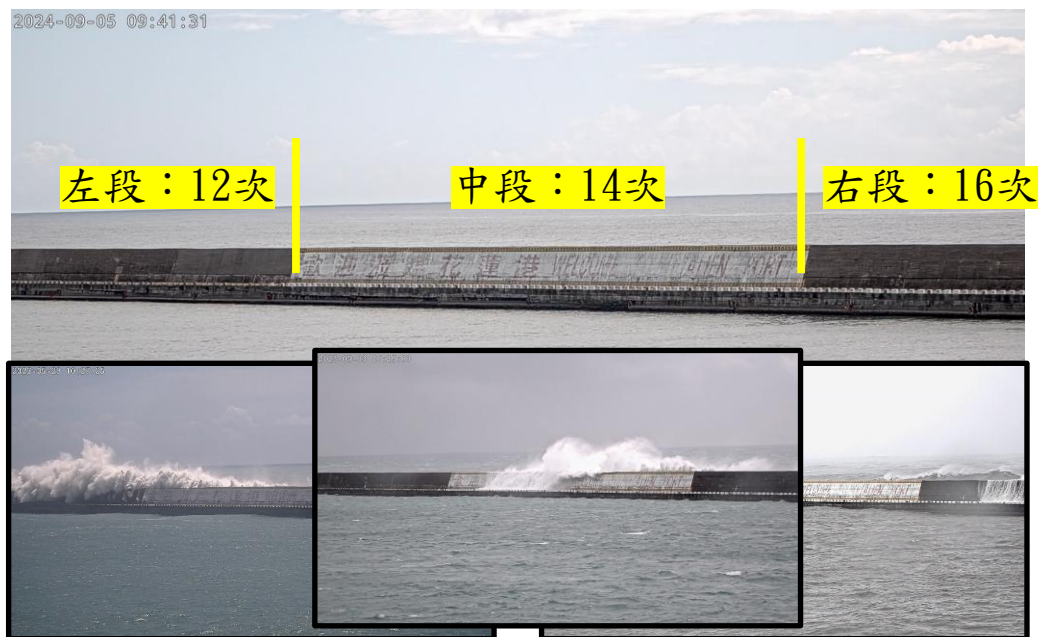
年份	颱風 名稱	人定勝天路段 溯升越波 / 總分析時間	花蓮港東防波堤 越波 / 總分析時間
2022	軒嵐諾	1 / 1	-
	梅花	2 / 2	1 / 7
	尼莎	-	-
2023	瑪娃	1 / 72	42 / 56
	杜蘇芮	0 / 120	33 / 122
	卡努	1 / 15	10 / 98
	蘇拉	2 / 38	0 / 97
	海葵	5 / 39	24 / 122
	小犬	-	16 / 121
2024	凱米	8 / 120	30 / 146
	山陀兒	3 / 144	11 / 139
	康芮	-	3 / 20
	天兔	-	-
2025	丹娜絲	0 / 72	7 / 98
	薇帕	0 / 48	0 / 120
	楊柳	0 / 63	13 / 121
	樺加沙	5 / 63	32 / 121

備註：單位分析時間為 1 小時



備註：單位分析時間為 1 小時

圖 5.1 2022-2025 年間颱風波浪越上人定勝天路段次數統計



備註：單位分析時間為 1 小時

圖 5.2 2022-2023 年間颱風波浪越過花蓮港東防波堤次數統計

第六章 教育訓練

本年度於 12 月 4 日與 12 月 5 日分別至臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司(以下簡稱花蓮港務分公司)與交通部公路局東區養護工程分局花蓮工務段(以下簡稱花蓮工務段)辦理教育訓練課程，課程行程如表 6-1。與會人數分別為花蓮港務分公司 13 人、花蓮工務段 14 人、本所 3 人與成大團隊 3 人，2 場次分別計有 19 人次與 20 人次，分別針對花蓮港東防波堤與海岸公路人定勝天路段 2 處越波影像判釋示警及數值模擬預警技術研發成果進行說明與交流，教育訓練課程簡報如附錄二與附錄三，教育訓練現況如圖 6.1 與圖 6.2 所示。

表 6-1 114 年 12 月 4 日至 5 日教育訓練行程表

114年12月4日 星期四	
時間	14:00-16:00
地點	花蓮港務分公司3樓會議室
內容	教育訓練及成果說明及交流 1.交流議題1：花蓮港東防波堤越波影像判釋示警及數值模擬預警技術研發成果教育訓練(成功大學、運研所簡報) 2.交流議題2：東防波堤災損及修復情形(花蓮港務分公司簡報) 3.東防波堤現勘
114年12月5日 星期五	
時間	9:00-13:00
地點	花蓮工務段1樓會議室
內容	1.海岸公路人定勝天路段浪襲影像判釋示警及數值模擬預警技術研發成果教育訓練(成功大學、運研所簡報) 2.人定勝天路段現勘



圖 6.1 臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司教育訓練現場實況



圖 6.2 交通部公路局東區養護工程分局花蓮工務段教育訓練現場實況

第七章 結論與建議

7.1 結論

本年度延續前期(111 - 114 年度)之工作主軸，聚焦於「溯升與越波影像資料蒐集」、「作業化影像判釋系統維運與精進」、「作業化越波預報系統維運與精進」，以及「潛勢分析」等四大面向，整體流程與年度任務已大致完成，作業化系統亦已順利展開運行。該計畫共分為 4 年期，本年度為第 4 年期，各工作項目完成內容分述如下。

- (一)本年度於花蓮港及台 11 線人定勝天路段持續進行越波與溯升影像之蒐集與管理，彙整不同情境條件的影像資料。在人定勝天路段，針對車輛遮擋與天候變化較劇之狀況，持續擴增具代表性之影像樣本，以平衡模型訓練資料分布。此強化後續影像判釋與預報模型的可靠性，也建立長期可用的高時空解析度影像資料，為後續越波影像判釋系統應用奠定基礎；於港區部分，補強紅外夜間影像及強風浪事件樣本，確保模型能於低光或極端環境下仍具辨識能力，亦針對破損防波堤影像進行蒐集，以利越波影像判釋模型建置所用。
- (二)為提升影像判釋之穩定性與準確度，本年度完成影像自動分類與多模型分流架構建置。花蓮港越波影像採用 ResNet50 為核心之影像分類模型，針對彩色與夜間灰階影像分別進行訓練與推論，以強化模型在不同光照條件下的適應性。人定勝天路段則導入 YOLOv8 車體偵測模型，以排除車輛遮擋造成的誤判，並整合 K-means 影像分群及閾值分割等影像處理方法，提升系統於不同環境的泛化能力。同時，本計畫完成影像下載、分類、判釋、及輸出結果之自動化串接流程，並建立例行化的系統維運機制，使影像判釋模組能長期穩定運作。整體而言，影像判釋系統已由原始研究型雛形，進化為具備工程化特性之持續作業系統，能即時支援越波與溯升事件的判釋需求。
- (三)越波預報系統在本年度完成與 TaiCOMS 2.0 海象預報資料之全面接軌。系統能持續進行越波資料產製，且提升預報作業之效率與穩定性。在花蓮港越波模型表現方面，混淆矩陣檢核結果顯示，模型對「無越波」事件辨識穩定，對「有越波」事件則略顯保守，其中花蓮港模型可成功捕捉約 80% 的實際越波事件，反映出其在事件趨勢掌握與實務應用上具相當潛力。人定勝天路段模型則能合理反映浪高與溯升關係，整體預測

表現與影像判釋資料趨勢一致。整體而言，系統已達到穩定運行，具備長期作業化應用能力。

- (四)本年度為本計畫第 4 年期執行階段，經過連續多年的觀測與資料累積，已建置相當完整之溯升與越波觀測資料庫。於計畫期間，持續依據中央氣象署發布之颱風警報進行資料蒐集，整合自動影像判釋系統形成兼具時間與空間一致性的長期資料集。配合本計畫影像判釋程式，可大量分析可能發生越波的影像資料，以利瞭解各區域越波潛勢分布。然而，為確保自動判釋結果之正確性與實用性，仍需同步導入人工審核流程，進行樣本交叉驗證與誤判修正。

7.2 建議

- (一)目前已建立花蓮港及台 11 線人定勝天路越波警戒系統，惟其針對「有越波」情況的判斷仍差異。初判分析，若假設影像判釋資料為「真值」的條件下，人定勝天於波向 120 度至 150 度時溯升計算會有略為低估情況發生。此外，於花蓮港越波模型顯示，東防波堤南區溯升高則推估會較影像判釋結果保守。未來可再透過影像判釋資料持續累積，以確認越波模型特性與之差異，藉以調校模型進行可靠度優化。
- (二)過去人定勝天路段影像判釋系統為擷取水線高程資料供越波預報系統驗證所用，因此透過 K-means 機器學習模型方式來進行分類，以配合水線判釋。然而，此方式雖可便於判釋水線詳細分布情況，惟於環境適應力較差，此會增加判釋技術建置之難度。在本計畫目前所建置的 K-means 判釋技術基礎之下，已可大致判釋各情境可用於越波判釋之影像資料，未來將此技術加值至「深度學習」影像判釋技術的發展，應可提升越波判釋模型之適用性。
- (三)本計畫所建立之越波影像判釋系統，已能有效分析多數越波影像資料並進行警戒判斷。然而，影像資料仍易受天候條件及人為設施影響，可能導致無法判釋或判釋結果不準確的情形。建議未來可將判釋系統與海象預報或浮標即時觀測資料進行整合，以輔助系統進行更精確之判釋與判斷。

7.3 成果效益及應用情形

- (一)本計畫歷經4年期推進，已成功建置涵蓋「影像判釋、資料分析、模型預報與系統作業化」之完整技術體系。透過整合溯升計、觀測影像及機器學習/深度學習法，計畫已建立可自動化判釋越波/溯升事件之作業平台，並完成與 TaiCOMS 2.0 海象預報系統的資料介接，使預報能自動接收外部輸入並即時更新結果。此成果不僅顯示已具備自主開發海岸公路與港口防波堤越波影像判釋與預報系統的能力，更可做為運研所防災資訊平台整合的重要技術基礎。
- (二)本計畫成果已於「花蓮港防波堤」及「台11線人定勝天路段」兩處完成驗證，並能適時反映越波事件的發生。模型對「無越波」時段辨識穩定，對「有越波」事件則較為保守預報，顯示其具備防災應用上的可靠性。該成果可做為颱風期間港區與海岸公路越波警戒的輔助依據，協助相關單位提前進行交通封閉、港區作業管制及人員疏散等決策，減少人員與財產損失。此外，系統化的影像監測與資料記錄也為歷年災害事件提供長期追蹤依據，可支援港灣工程設計檢核、防波結構維護評估與公路護岸維護等實務工作，強化海岸防災之科學化管理。
- (三)隨著系統作業化程度提升，本計畫成果已具備長期維運之潛力，所建置的資料處理流程、影像判釋模型與預報模組均具可擴充性。未來可將該技術應用至其他海岸公路段或港口，以達成即時監測與主動預警之目標。另一方面，持續累積的觀測與影像資料，亦可做為學術研究與模式驗證的重要資源，支援海岸工程、氣候變遷及災害風險評估等領域之應用。

(四)

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., 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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. Kortenhuis, T. Pullen, H.

- Schüttrumpf, P. Troch and B. Zanuttigh.
10. 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.
 11. 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.
 12. 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.
 13. 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.
 14. Kirby, J. T., Wei, G., Chen, Q., Kennedy, A. B. and Dalrymple, R. A., 1998, "FUNWAVE 1.0, Fully nonlinear Boussinesq wave model. Documentation and users manual". Report CACR98-06, Center for Applied Coastal Research, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware.
 15. Liu, Y. and Wu, C.H., 2019. Lifeguarding operational camera kiosk system (LOCKS) for flash rip warning: Development and application. *Coastal Engineering*, 152.
 16. 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.
 17. 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.

18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Roland, A., Zhang, Y. J., Wang, H. V., Meng, Y., Teng, Y. C., Maderich, V., Brovchenko, I., Dutour-Sikiric, and Zanke, U. (2012). A fully coupled 3D wave-current interaction model on unstructured grids. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C11).
23. 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.
24. 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.
25. 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*.
26. Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E. V., & Grashorn, S., 2016. Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
27. 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。

- 28.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”。
 - 29.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”。
 - 30.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”。
 - 31.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。
 - 32.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。
 - 33.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。
 - 34.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，臺中，國立中興大學，pp.775-780。
 - 35.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”。
- 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

AI 模型與參數說明

一、AI 模型總覽

本計畫影像判釋共應用四類主要 AI 模型技術，分別用於「人定勝天路段」與「花蓮港區」兩個作業化影像判釋系統。在花蓮港部分，因 2024 年康芮颱風造成防波堤嚴重毀損，原始影像場景出現顯著變化，因此改以建立新的深度學習模型，並納入防波堤破損前後影像資料訓練，以強化模型的泛化能力與長期穩定性。此外，為發展溯升機器學習模型，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。

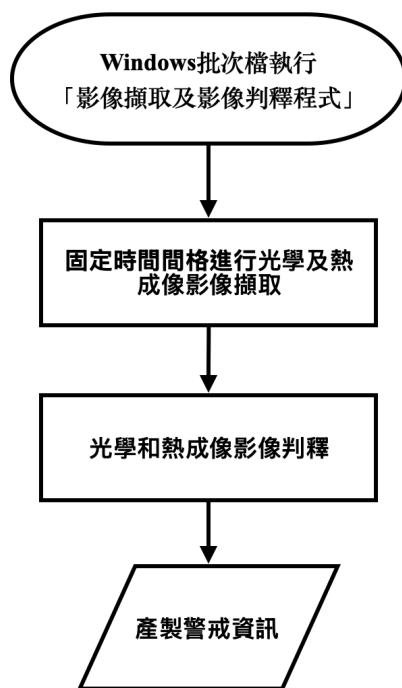
二、AI 模型分類與應用範圍

類別	模型名稱	架構／演算法	功能定位	應用區域	備註
分群演算法	K-means Clustering	非監督式聚類演算法	分類彩色與灰階影像、水體與非水體區塊	人定勝天	應用於影像前處理階段，用以自動判別影像屬性並建立水體遮罩
物件偵測模型	YOLOv8 - Car	即時物件偵測 (You Only Look Once)	偵測車輛，以排除干擾	人定勝天	用於越波判釋結果的輔助篩選
影像分類模型	ResNet50	殘差卷積神經網路 (Residual CNN)	判別港區影像是否發生越波	花蓮港區	以 ImageNet 預訓練模型為基礎進行遷移學習，建立在地化版本
高斯過程機器學習模型	Gaussian Process, GP	監督式迴歸	建立外海海象資料與越波或溯升高程之間的對應關係	人定勝天、花蓮港區	越波預報

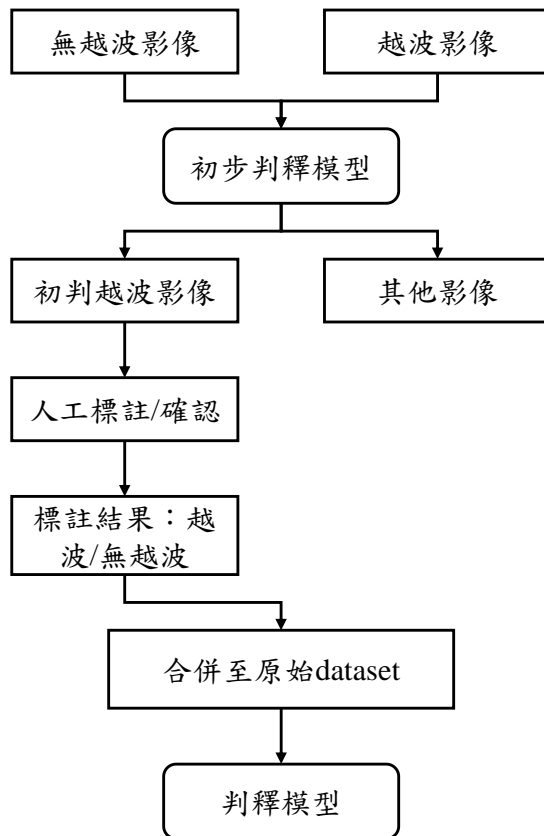
三、AI 模型輸入參數與輸出說明

模型名稱	訓練資料	輸入參數名稱	輸出結果	備註
K-means 分群	Lab*值	Lab 色彩空間	水體／非水體	用於水體與非水體分類，a/b 色度能有效區分藍綠水面與灰白結構
	亮度 V 值	V 通道平均亮度值	日間(彩色)／ 夜間(灰階)	本計畫亮度 V 值門檻分界約 0.4
YOLOv8	車輛標註影像	YOLOv8-Car	車體邊界框	幫助越波判釋 排除車輛干擾
ResNet50	彩色與 夜間灰階影像	影像像素 矩陣	類別標籤 (越波／正常)	對彩色與夜間影像分別 訓練獨立模型，以提升 光照變化下之穩定性
高斯過程機器 學習模型 (GP)	外海海象資 料與相對應 之近岸波高	波高、波 向、週期、 水位	溯升高程／ 越波機率	結合 TaiCOMS 2.0 預 報資料，每日 4 報運行

四、AI 模型輸入參數與輸出說明



附圖 1-1 本年度人定勝天作業化影像判釋建置之流程圖



附圖 1-2 花蓮港區防波堤越波影像判釋模型建置流程

附錄二

花蓮港東防波堤越波影像判釋示警及數值
模擬預警技術研發成果教育訓練簡報

交通部運輸研究所運輸技術研究中心




花蓮港東防波堤越波影像判釋示警及數值模擬預警技術 研發成果教育訓練

Speaker: 吳漢倫 研究員





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

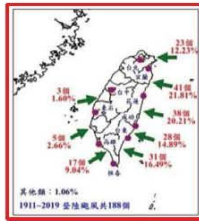
中華民國 114 年 12 月 4 日

簡報大綱

- ◆研發目的
- ◆研發方法與流程
- ◆越波影像判釋示警技術研發
- ◆數值模擬預警技術研發
- ◆結論
- ◆建議



研發目的



計畫區為颱風經常登陸區域



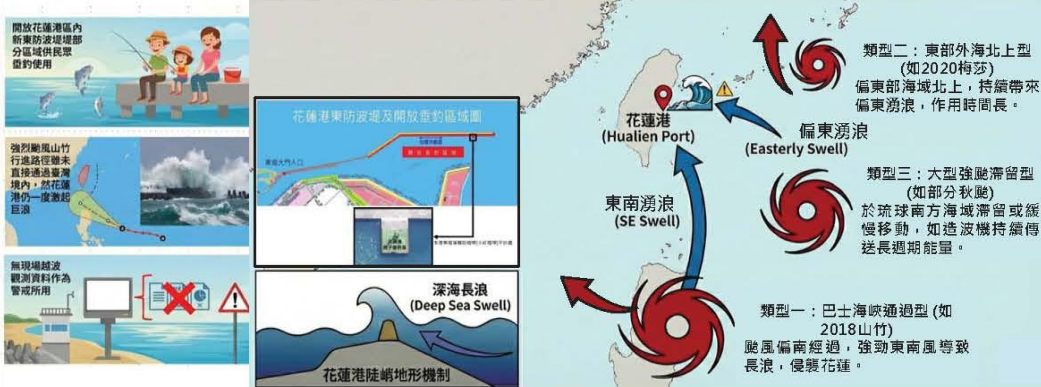
花蓮石梯坪受浪襲情況



璨樹颱風期間花蓮海岸公路浪襲情況

研發目的

未發陸警情況下，花蓮港卻可能有越波的情況



研發目的



研發方法與流程



越波影像判釋示警技術研發

港區防波堤(花蓮港)

- ◆ 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)。



越波影像判釋示警技術研發

港區防波堤(2023海葵颱風事件)

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



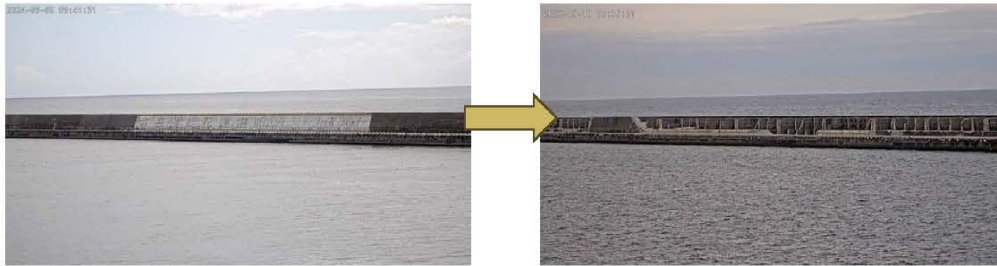
2023-09-03 06:25:00



越波影像判釋示警技術研發

防波堤損毀

- ◆ 於去年底，因康芮颱風事件導致防波堤結構損壞與影像場景變動。
- ◆ 去年所建置之越波影像判釋程式亦需重新建構。
- ◆ AI機器學習模型導入的重要性。

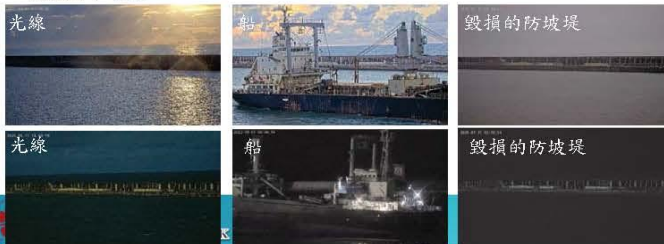


越波影像判釋示警技術研發

判釋模型建置

[基於ResNet50的影像判釋模型建置]

- 首先，透過已有的越波影像（2023海葵颱風）建立初步的影像判釋模型。
- 然而，越波事件中的影像，其天空與水面的光線條件、船隻行經情況，皆與平日影像有所不同，且防波堤於2024年有毀損情形。
- 因此，進一步將模型應用於不同的無越波影像上，篩選出誤判為越波的影像，再由人工進行標註，並與原始資料合併，藉此提升模型對無越波影像的判釋準確度。



無越波影像 越波影像

初步判釋模型

初判越波影像 其他影像

人工標註/確認

標註結果：越波 / 無越波

合併至原始 dataset

判釋模型

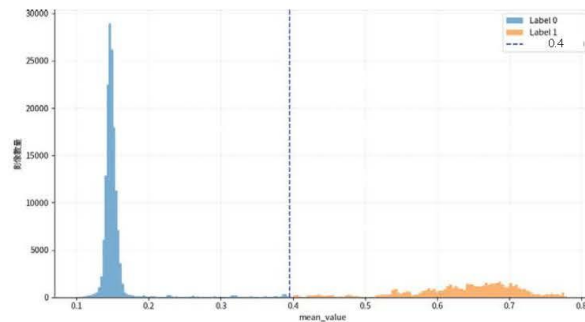
越波影像判釋示警技術研發

判釋模型建置

[劃分日夜間影像之方式]

由於日夜間影像特性不同，分別建立模型是較佳的方案

- 將 RGB 影像轉換為 HSV 色彩空間後，取其中的 V (亮度) 通道計算平均值，藉此區分日間 (彩色) 與夜間 (紅外線補光) 影像。
- 透過k-means計算得到之門檻值為0.4
- 雖然部分彩色影像因亮度不足而被歸為夜間影像，但這也代表其影像特性接近夜間條件，因此納入夜間模型的建置與辨識範疇之中。



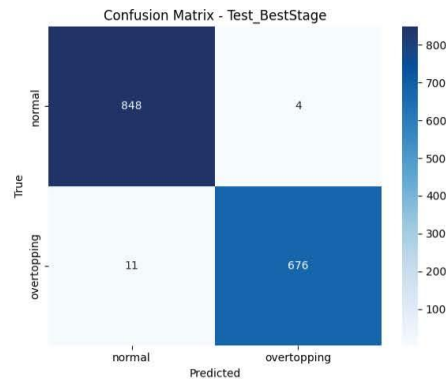
越波影像判釋示警技術研發

判釋模型建置

[夜間影像判釋模型建置] (來源：2023-2025颱風期間)

	Normal	Overtopping
train	2553	2059
val	851	686
test	852	687

- 夜間模型測試結果顯示，在總計 1,539 張影像中，無越波 (Normal) 影像有 848 張正確分類，僅 4 張誤判為越波；越波 (Overtopping) 影像則有 676 張正確辨識，誤判為無越波者僅 11 張，整體分類錯誤張數僅 15 張！
- 整體準確率為 $(1,539 - 15) / 1,539 = 99\%$ ，越波判釋準確率為 $676 / (4 + 676) = 99\%$ 。
- 夜間模型於紅外線補光模式下具備高度辨識穩定性與準確性，能非常高準確的判釋出越波，滿足實務應用需求。



花蓮港區防波堤夜間影像的測試集混淆矩陣

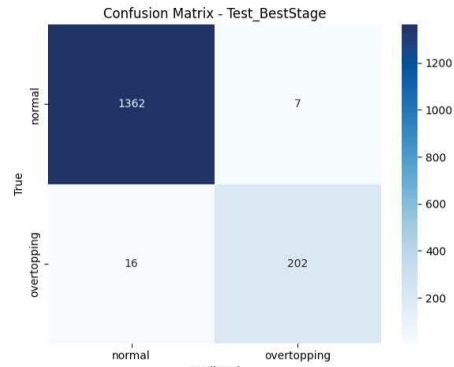
越波影像判釋示警技術研發

判釋模型建置

[日間影像判釋模型建置] (來源：2023-2025颱風期間)

	Normal	Overtopping
train	4102	651
val	1367	217
test	1368	218

- 日間模型測試集共計 1,586 張影像，其中無越波影像有 1,362 張正確分類，僅 7 張誤判為越波；越波影像有 202 張正確辨識，另有 16 張誤判為無越波。
- 整體分類錯誤張數為 23 張，**整體準確率為 $(1,586-23)/1,586 = 99\%$** ，越波判釋準確率為 $202/(7+202) = 97\%$ 。
- 本計畫建立之分類模型於日間與夜間影像皆展現出極高的辨識效能。然而，模型仍可能因日照變化、氣象條件或船舶通過等複雜因素而產生誤判。未來可進一步針對誤判影像進行錯誤型態分析與樣本擴充，以提升模型於多樣環境下之泛化能力與實務應用效益。

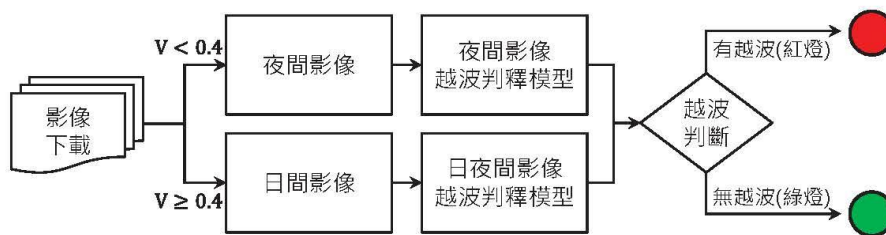


花蓮港區防波堤日間影像的測試集混淆矩陣

越波影像判釋示警技術研發

作業化流程

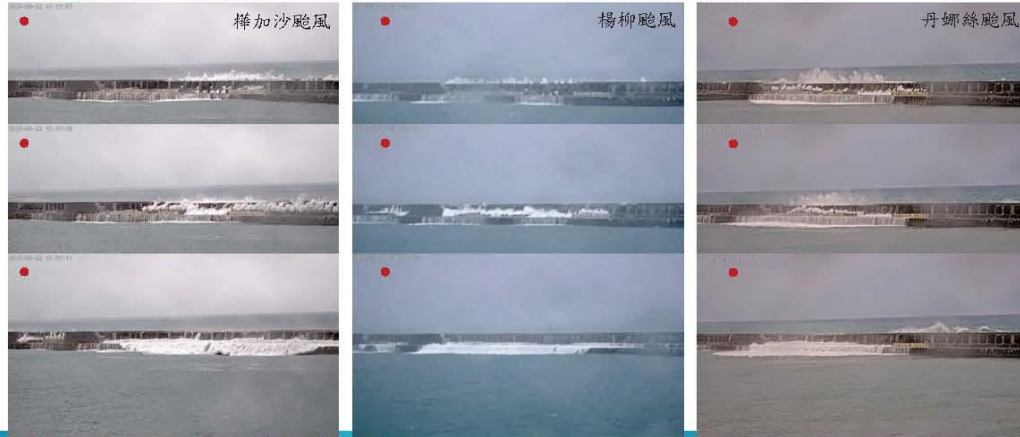
- 為實現花蓮港區越波影像之長期穩定監測與判釋，本計畫建置一套完整的影像作業化分析流程。
- 整體系統以自動化機制運作並以Python程式撰寫，定期自動下載影像資料，並進行後續分析。
- 當影像經模型判定為發生越波事件時，系統將此類影像視為有效資料，並標記為**危險狀態(紅燈)**；至於判釋結果為無越波之影像，在無風險顯現之情境下，系統將其直接標記為**安全狀態(綠燈)**。



花蓮港區防波堤越波影像作業化系統分析流程

越波影像判釋示警技術研發

本年度越波影像判釋成果



越波影像判釋示警技術研發

年份	颱風名稱	花蓮港東防波堤 越波警戒/總分析時間
2022	軒嵐諾	-
	梅花	1 / 7
	尼莎	-
2023	瑪娃	42 / 56
	杜蘇芮	33 / 122
	卡努	10 / 98
	蘇拉	0 / 97
	海葵	24 / 122
	小天	16 / 121
2024	凱米	30 / 146
	山陀兒	11 / 139
	康芮	3 / 20
	天兔	-
2025	丹娜絲	7 / 98
	薇帕	0 / 120
	楊柳	13 / 121
	樺加沙	32 / 121

- 以人工對結果進行審核，彙整成果，包含 2022 至 2025 年間越波分析結果。
- 多數事件於花蓮港區皆能觀測到明顯的越波現象，顯示該區在強颱作用下具高度越波潛勢。
- 花蓮港東防波堤因局部結構受損，今年度於多次颱風期間（除薇帕颱風外）皆出現顯著的越波情形。
- 整體而言，該區越波活動與消波結構物及風浪條件高度相關，顯示維護與修復工作對防止越波災害具有關鍵影響。

數值模擬預警技術研發

- ◆ 海象追算模擬：採用 SCHISM 模式
- ◆ 近岸潮升模擬：採用 FUNWAVE 模式

SCHISM Modeling System

Modules include: Tidal Atmos (TMM), Sediment (SIMON, ESTM, SSTD), Generic tracer Model, Turbulence (SGTM), Short waves (WAVE-H), Relative bedload flow, Hydrostatic, Air-sea exchange, Hydraulics, Data assimilation (DWA), Water quality (CE-QUAL-ICM), Vegetation, Inundation, Particle tracking, Ecology/biology (CE-QUAL-B), Oil spill (EILA-OS), Age, Oil spill, and Oil spill.

Status of models: Open-release (red), Underdevelopment (green), Free from web (blue), Dynamic Core (yellow).

Wave prediction in a port using a fully nonlinear wave model

Young-Kwang Choi¹, Seung-Nam Seo^{2*}, Jin-Yong Choi³, Fengran Shi⁴, Kwang...

Wave estimation within a port using a fully nonlinear Boussinesq wave model and artificial neural networks

Zhenjun Zheng¹, Xiaohou Ma¹, Yuxiang Ma¹, Guohai Dong¹

混合風場產製

國立成功大學 National Cheng Kung University

數值模擬預警技術研發

數值模擬

易發生駐波現象 (A)

易越波位置 (B)

Wave Overtopping Occurred

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%

國立成功大學 National Cheng Kung University

數值模擬預警技術研發

機器學習模型建立

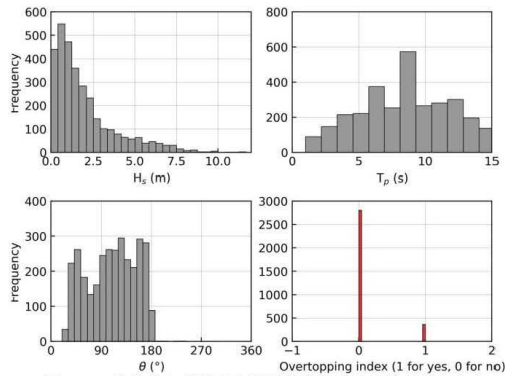


圖 4.14 花蓮港防波堤越波機器學習模型的訓練集樣本分布

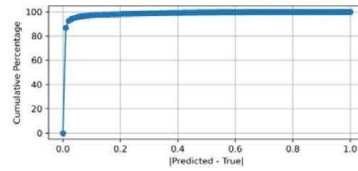


圖 4.16 花蓮港防波堤越波機器學習模型於不同越波誤差值的累積分佈

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。

數值模擬預警技術研發

港區越波警戒系統作業化

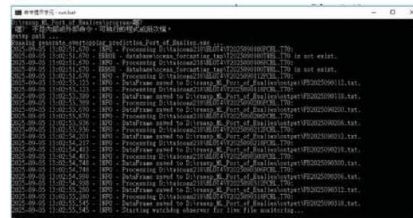
✓ 程式運行畫面

✓ 斷面劃分

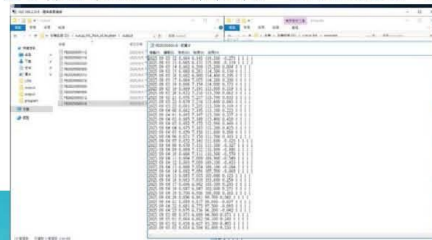


✓ 越波警戒燈號

- 2 >> 紅燈 (越波警戒)
- 1 >> 綠燈 (正常)



✓ 產出資訊 (TaiCOMS 海象預報、三個區域燈號、最大燈號)

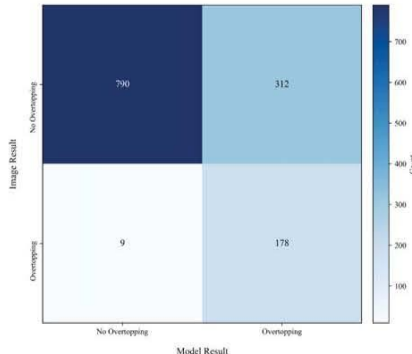


數值模擬預警技術研發

越波預報準確率分析

- 模型都傾向於「多報」越波（誤報率高於漏報率），預報相對保守。
- 模型已能掌握越波事件發生之時間趨勢，呈現出一定程度之相關性與預報潛力。此結果證實該模型於越波事件模擬中具備實際應用價值，可作為海岸防災之輔助分析工具

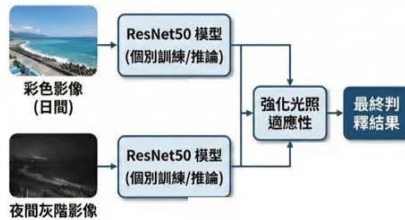
Confusion Matrix: Model vs Image



花蓮港越波預報模型混淆矩陣圖

結論

花蓮港越波影像判釋示警系統 (ResNet50核心)



混淆矩陣檢核：準確率 > 97%

誤判影像分析與樣本擴充
→ 提升泛化能力與實務效益
未來展望

花蓮港越波預報系統表現 (混淆矩陣特徵)

		系統預測	
		無越波	有越波
實際情形	無越波	辨識穩定	略顯保守(誤報)
	有越波		成功捕捉約 80% 實際事件

實務應用潛力
掌握事件趨勢，具相當潛力

建議

- ◆ 於花蓮港越波模型顯示，南區防波堤潮升高則推估則會較影像判釋結果保守。未來可再透過影像判釋資料持續累積，以確認越波模型特性與之差異，藉以調校模型進行可靠度優化。
- ◆ 本計畫所建立之越波影像判釋系統，已能有效分析多數越波影像資料並進行警戒判斷。然而，影像資料仍易受天候條件及人為設施影響，可能導致無法判釋或判釋結果不準確的情形。建議未來可將判釋系統與海象預報或浮標即時觀測資料進行整合，以輔助系統進行更精確之判釋與判斷。

花蓮港東堤越波示警及預警系統

預警系統網址：

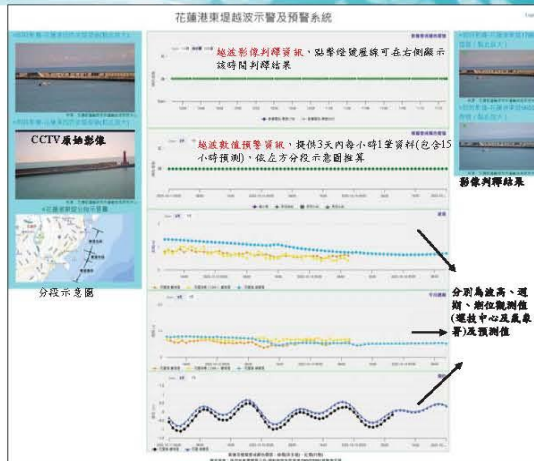


<https://isohe.ihmt.gov.tw/station/display/Hualien/Hualien-31.aspx>

影像判釋結果

紅燈：越波

綠燈：無越波



附錄三

海岸公路人定勝天路段越波影像判釋示警
及數值模擬預警技術研發成果
教育訓練簡報

交通部運輸研究所運輸技術研究中心




海岸公路人定勝天路段浪襲影像判釋示警及數值模擬預警 技術研發成果教育訓練

Speaker: 吳漢倫 研究員





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

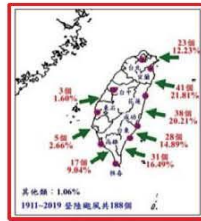
中華民國 114 年 12 月 5 日

簡報大綱

- ◆研發目的
- ◆研發方法與流程
- ◆越波影像判釋示警技術研發
- ◆數值模擬預警技術研發
- ◆結論
- ◆建議



研發目的



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

研發目的

- ◆ 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



(a) 2015/08/08



(b) 2016/09/27

(c) 2018/9/28晚間61K+400附近浪襲影像

※資料來源：(a)(b)自由時報網站(<https://news.ln.com.tw/news/breakingnews/1405399>)、(c)陳琮宇等人，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

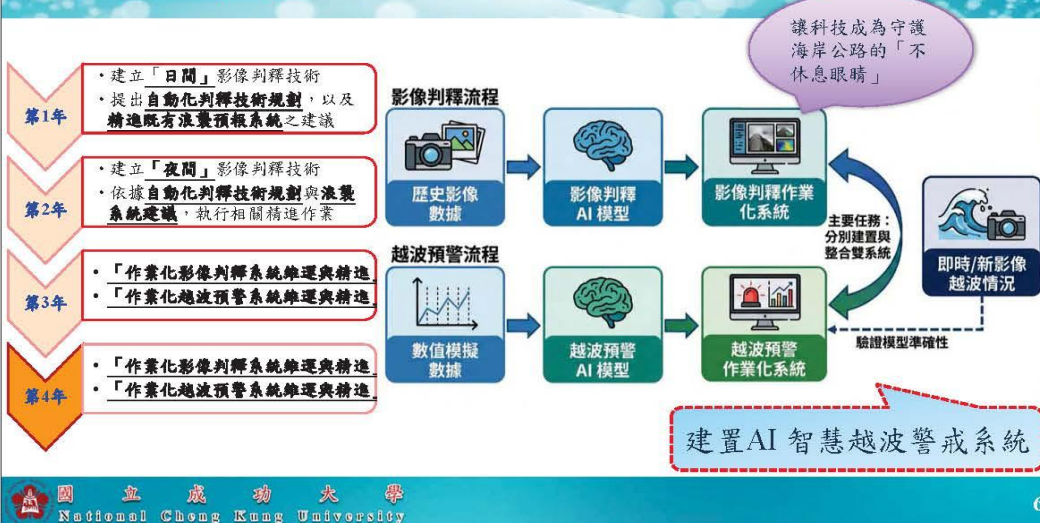
相關浪襲台11線海岸公路事件新聞蒐集

標題	事件	事件地點
2015/8/8 - 2015/8/9 強颱蘇迪勒		
蘇迪勒肆虐人定勝天碑也倒	衝空路基	台11線62K
人定不勝天? 花蓮「人定勝天碑」不見		台11線62-1K
花蓮「人定勝天碑」遭輸入海! 台11線先開成單線雙向	單線地基流失	台11線62-63K
颱風蘇迪勒強風暴雨全台5死百傷災情慘		台11線62K
2015/8/23 強颱天鵝		
天鵝沖刷! 台11線連坡崩落	路肩連坡流失	台11線47-6K
2016/9/27 中颱梅姬		
梅姬大浪拍擊台11線! 漂浪木、礁石飛上岸	浪襲道路	台11線62-63K
2018/9/28 - 2018/9/30 強颱潭美		
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
颱風桐空路基隆月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
潭美解決! 花蓮台11線豐濱鄉人定勝天路段路基掏空道路封閉	路基掏空	台11線61.5K
潭美颱風釀成花蓮台11線豐濱鄉路段路基掏空		台11線61.5K
搶修8小時花蓮豐濱鄉人定勝天路段單線雙向通行		台11線61.5K

研發目的



研發方法與流程



越波影像判釋示警技術研發

觀測設備

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

潮升計觀測資料蒐集
(侵入式設備)



- 觀測物理機制較單純且直接



越波影像判釋示警技術研發

2023瑪娃颱風事件

日間影像

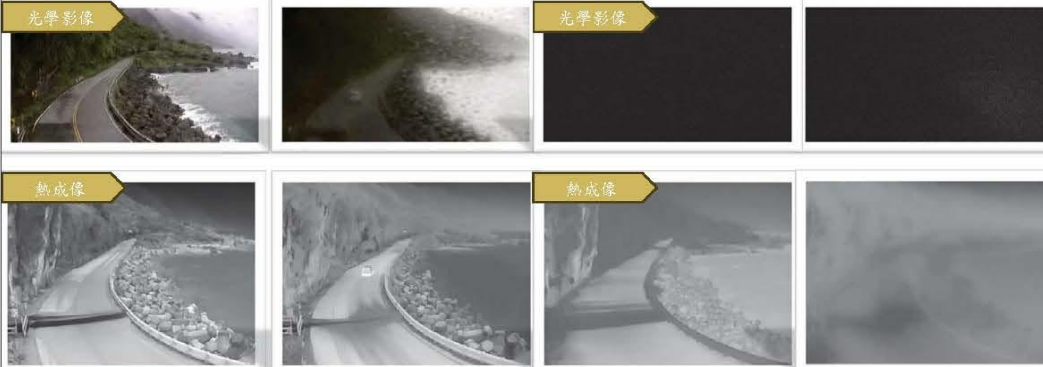
夜間影像

颱風期間(無雨)

颱風期間(有雨)

颱風期間(無雨)

颱風期間(有雨)



越波影像判釋示警技術研發

增設消波塊

- ◆ 四年期間，因設備損毀、雨滴影響影像品質等因素，均曾替換攝影設備。因此，影像判釋技術需滾動式更新。
- ◆ 於4/16至4/18更換攝影設備，並於4/23恢復網路功能。
- ◆ 攝影機拍攝範圍與前期計畫略有差異，判釋部分仍須進行相關參數調整。
- ◆ 今年度因該研究區域增設消波塊，該判釋程式有所影響。



越波影像判釋示警技術研發

海岸公路 (2025薇帕颱風事件)

海岸公路 (2025楊柳颱風事件)

海岸公路 (2025樺加沙颱風事件)

光學影像

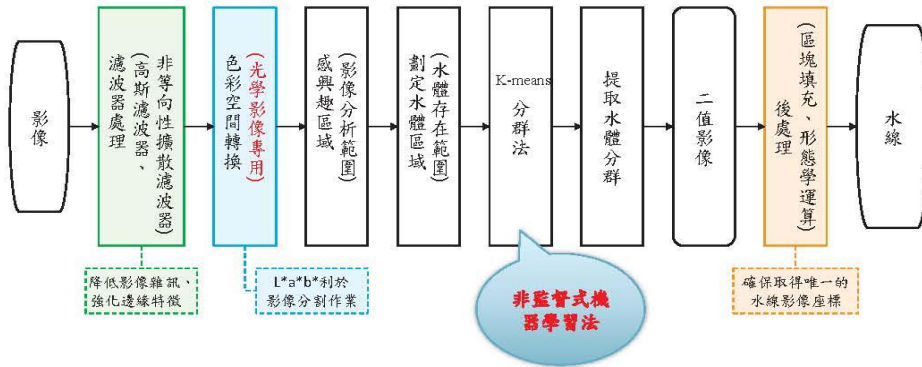


熱成像



越波影像判釋示警技術研發

判釋技術



越波影像判釋示警技術研發

判釋成果(2023年~2024年)

> 越波警戒：光學影像 2023年海葵颱風

> 越波警戒：熱成像影像

2024年凱米颱風

IP PTZ Camera

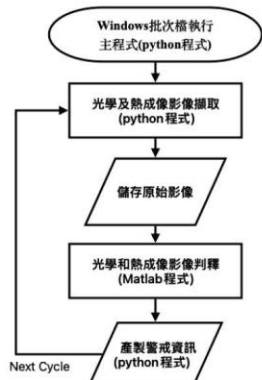
2023-09-03 00:01:00 警戒燈號：●

2024-07-24 22:00:01

The figure displays four screenshots showing wave warning results. The top-left shows optical imagery for Typhoon Haiyan (2023). The top-right shows optical imagery for Typhoon Kemi (2024) with a red dot indicating a warning. The bottom-left shows thermal imagery for Typhoon Haiyan (2023) with a green dot indicating a warning. The bottom-right shows thermal imagery for Typhoon Kemi (2024). Each image features a curved coastline with red and yellow lines indicating wave boundaries and a blue line representing the water line.

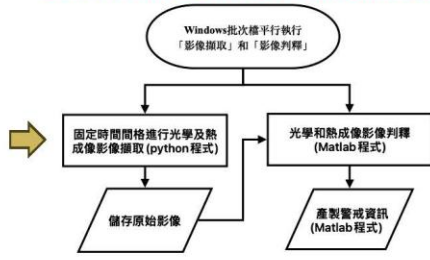
越波影像判釋示警技術研發

判釋技術精進

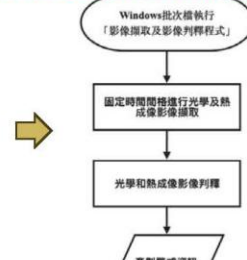


前期計畫(2/4)

- > 將原本matlab的程式，以python重新改寫，藉此增加穩定性。
- > 演算法優化方面，針對 K-means 分類分析，目前改採 Mini-Batch K-Means，成功將運算效率提升至少兩倍。
- > 各階段由獨立執行緒串接，不僅提升資料處理效率，更有效降低在高負載或長時段影片分析作業中可能發生的系統瓶頸與資源競爭問題。
- > 本系統將光學影像與熱成像模組設計為兩組獨立且平行運作的架構，確保不同影像類型在各階段的硬體資源互不干擾。



前期計畫(3/4)



本年度

越波影像判釋示警技術研發

判釋技術精進

- 期間：2024/07/23 ~ 2024/08/01 (含強烈颱風凱米)
- 總量：約 8 萬張影像 (每 10 秒一張，影像類型多元)
- 應用：進行影像分類，用於模型精度優化與正確率評估

人眼無法可判釋水線之類型	樣本 (張)	正確率 v2025.02.21	正確率 v2025.03.20
Heavy Rain (大雨)	7	0/7	7/7
Strong Light Interference (強光干擾)	7	0/7	7/7
Others (其他人眼無法判釋水線之影像)	-	-	-
人眼可判釋水線之類型	樣本 (張)	正確率 2025.02.22版	正確率 2025.03.20版
Water and Road with Similar Colors (水體和道路顏色接近)	8	0/8	8/8
Passing Vehicles (行經車輛)	10	0/10	10/10
Dense Fog (大霧)	22	0/22	0/22
Significant Wave Overtopping or Runup without Rain (無雨，顯著越波或湧升)	130	130/130	129/130 (1張高估)
Significant Wave Overtopping or Runup with Rain (有雨，顯著越波或湧升)	50	50/50	48/50 (2張列為無法判釋)
Others (其他人眼可判釋水線之影像)	-	-	-

越波影像判釋示警技術研發

Heavy Rain (大雨) Passing Vehicles (行經車輛) 海岸公路-精進

Strong Light Interference (強光干擾) Dense Fog (大霧)

Water and Road with Similar Colors (水體和道路顏色接近)

大霧

- 目前大霧造成的誤判無法移除 (會造成大量雨天影像被排除)

行經車輛

- 判釋車輛與水體鄰近時，將影像判釋為「無法判釋」

15

越波影像判釋示警技術研發

Significant Wave Overtopping or Runup without Rain (無雨，顯著越波或湧升) Significant Wave Overtopping or Runup with Rain (有雨，顯著越波或湧升) 海岸公路-精進

Model 1 Analysis (v20250221) Model 2 Analysis (v20250318)

v2025.03.20 在影像可用性判釋、KMeans分群處理、車輛識別與大雨判釋方面進行了優化。

- ✓ 正確率提升 (如統計表所述)
- ✓ 顯著提升可判釋影像的數量 (透過連續影像的比較)

越波影像判釋示警技術研發

判釋成果(2025年樺加沙颱風)



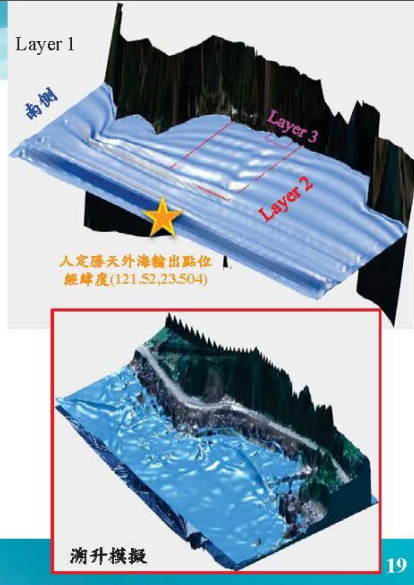
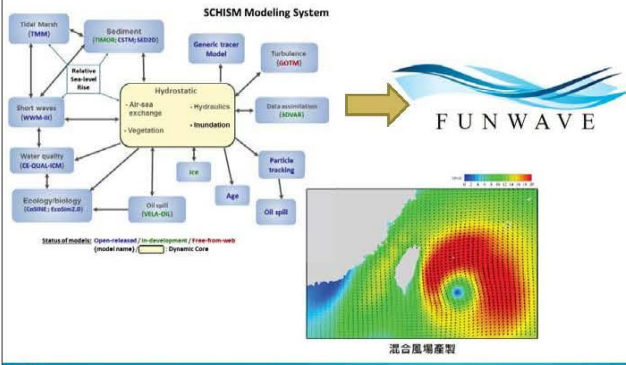
越波影像判釋示警技術研發

年份	颱風名稱	人定勝天路段 越波警戒 / 總分析時間
2022	軒嵐諾	1 / 1
	梅花	2 / 2
	尼莎	-
2023	瑪娃	1 / 72
	杜蘇芮	0 / 120
	卡努	1 / 15
	蘇拉	2 / 38
	海葵	5 / 39
	小天	-
2024	凱米	8 / 120
	山陀兒	3 / 144
	康芮	-
2025	天兔	-
	丹娜絲	0 / 72
	薇帕	0 / 48
	楊柳	0 / 63
	樺加沙	5 / 63

- 以人工對結果進行審核，彙整成果，包含 2022 至 2025 年間越波分析結果。
- 今年度人定勝天路段因今年增設消波塊，大幅耗散波浪的能量，故越波現象較少。
- 整體而言，該區越波活動與消波結構物及風浪條件高度相關，顯示維護與修復工作對防止越波災害具有關鍵影響。

數值模擬預警技術研發

- ◆ 海象追算模擬：採用 SCHISM 模式
- ◆ 近岸潮升模擬：採用 FUNWAVE 模式



數值模擬預警技術研發

數值模擬成果 海象追算驗證

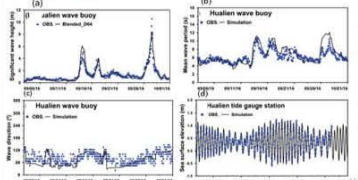
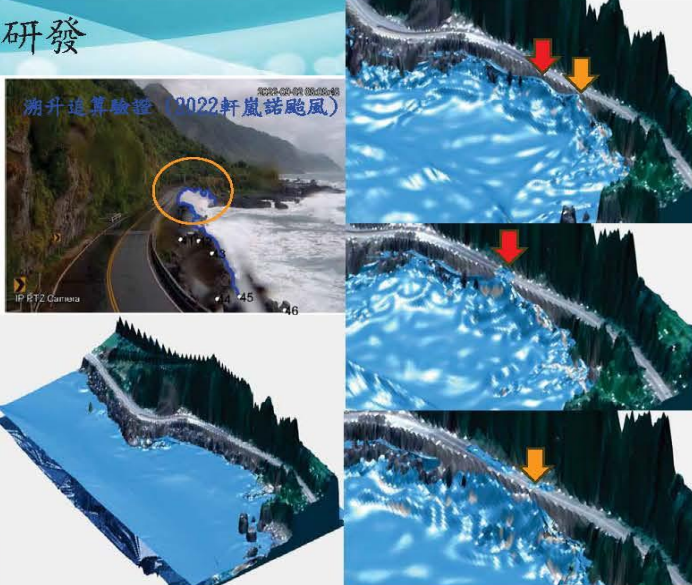
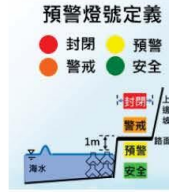
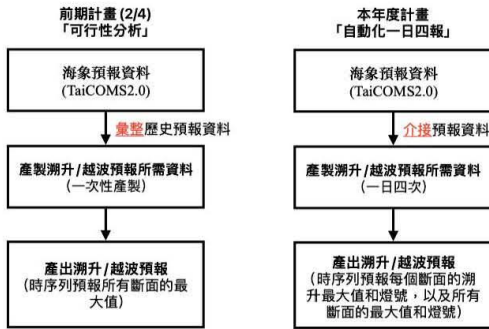


圖 5-6 颱風事件追算模擬與量測資料時序比較 (以 2016 年莫蘭蒂、馬勒卡、梅姬颱風事件為例)



數值模擬預警技術研發

作業化流程



預警燈號定義

● 封閉 ● 警戒 ● 預警 ● 安全

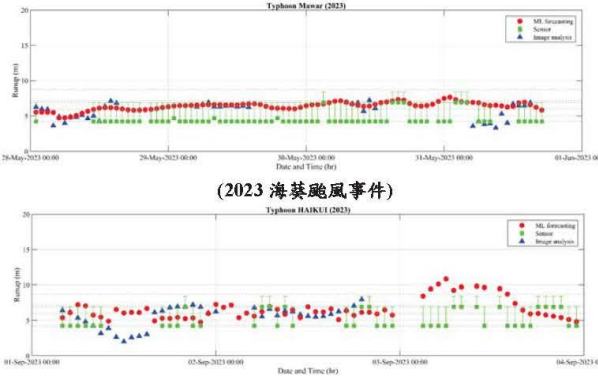
A = 路面高 - 潮升高
 $A \leq 0$ 紅燈 3
 $A > 0$ and $A \leq 1$ 黃燈 2
 $A > 1$ 綠燈 1

➤ 修改湧升值對應燈號

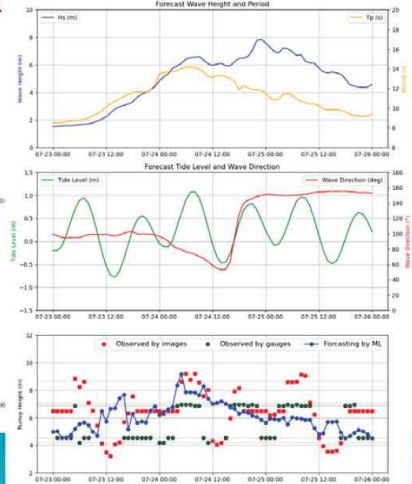
數值模擬預警技術研發

預警系統驗證

湧升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果
 (2023 瑪娃颱風事件)



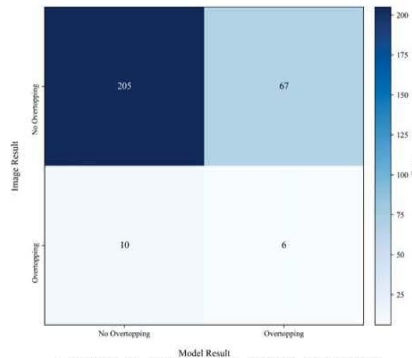
(2024 凱米颱風事件)



數值模擬預警技術研發

越波預報準確率分析

- 模型都傾向於「多報」越波（誤報率高於漏報率），預報相對保守。
- 模型已能掌握越波事件發生之時間趨勢，呈現出一定程度之相關性與預報潛力。此結果證實該模型於越波事件模擬中具備實際應用價值，可作為海岸防災之輔助分析工具



人定勝天路段越波預報模型混淆矩陣圖

結論

花蓮人定勝天路段：越波偵測與預警系統研究成果



總結：透過先進AI影像技術與穩定預報模型，成功建立人定勝天路段之長期作業化越波預警能力。

建議

- ◆ 目前已建立台11線人定勝天路越波警戒系統，惟其針對「有越波」情況的判斷仍差異。初判分析，若假設影像判釋資料為「真值」的條件下，人定勝天於波向120度至150度時潮升計算會有略為低估情況發生。
- ◆ 過去人定勝天路段影像判釋系統為擷取水線高程資料供越波預報系統驗證所用，因此透過K-means機器學習模型方式來進行分類，以配合水線判釋。然而，此方式雖可便於判釋水線詳細分布情況，惟於環境適應力較差，此會增加判釋技術建置之難度。在本計畫目前所建置的K-means判釋技術基礎之下，已可大致判釋各情境可用於越波判釋之影像資料，未來將此技術加值至「深度學習」影像判釋技術的發展，應可提升越波判釋模型之適用性。
- ◆ 本計畫所建立之越波影像判釋系統，已能有效分析多數越波影像資料並進行警戒判斷。然而，影像資料仍易受天候條件及人為設施影響，可能導致無法判釋或判釋結果不準確的情形。建議未來可將判釋系統與海象預報或浮標即時觀測資料進行整合，以輔助系統進行更精確之判釋與判斷。

花蓮海岸公路浪襲預警系統

預警系統網址：

<https://isohe.ihmt.gov.tw/station/display/Hualien/Hualien-212.aspx>

影像判釋燈號定義：
依圖中紅、橘、黃3條線所示(約每10秒判釋一次)

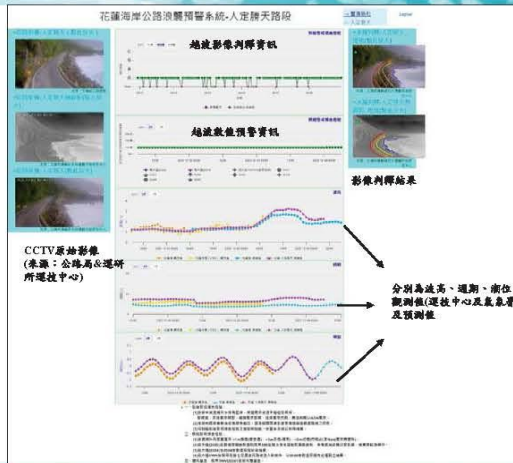
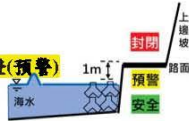
數值預警燈號定義

$A = \text{路面高} - \text{潮升高}$

$A \leq 0$ 紅燈(封閉)

$A > 0$ 且 $A \leq 1$ 黃燈(預警)

$A > 1$ 綠燈(安全)



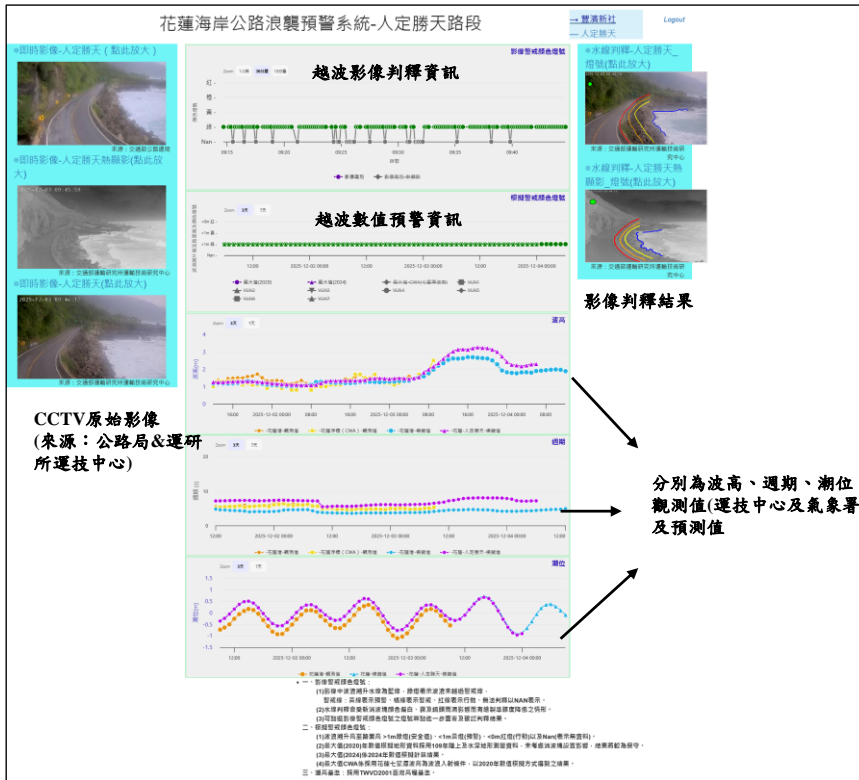
附錄四

花蓮海岸公路浪襲預警系統-人定勝天路段
與花蓮港東堤越波示警及預警系統

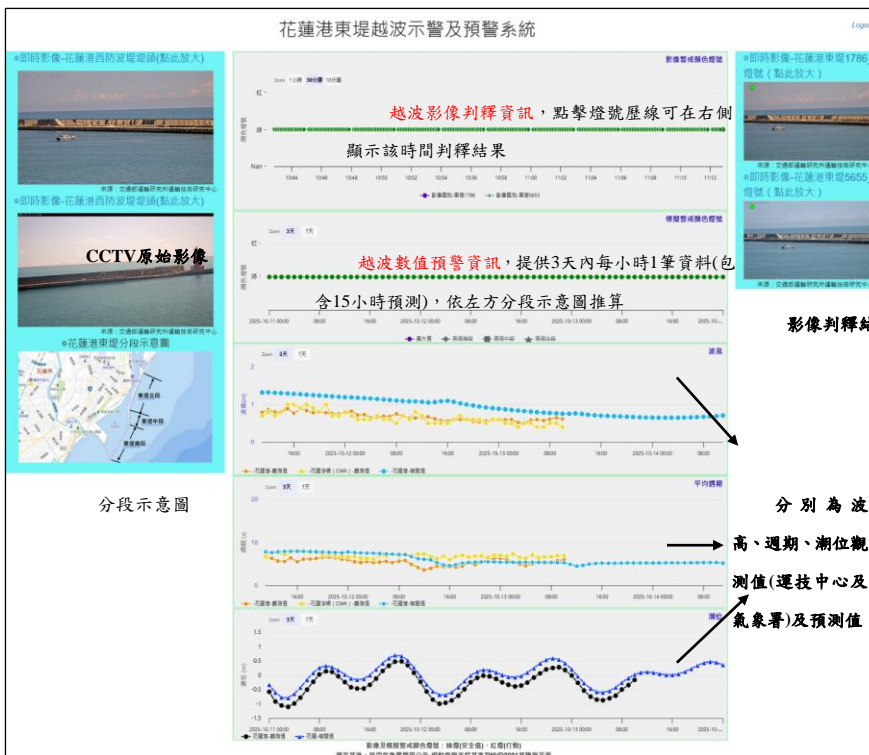
附圖 4-1 為花蓮海岸公路 (人定勝天路段) 浪襲預警系統畫面，系統中整合了即時影像、影像辨識結果以及數值模擬預報，可用於監測該路段是否會受到長浪或越波 (海浪打上路面) 的襲擊，提供防災預警。網頁介面主要分為三個部分：

1. 左側：CCTV 原始影像 (即時監控)：顯示該路段的即時攝影機畫面，包含一般光學影像以及熱顯像影像。
2. 中間：預警資訊與海象數據圖表，這一區是核心的數據展示區，由上而下分為：越波影像判釋資訊、越波數值預警資訊與海象觀測與預測圖表。越波影像判釋資訊係透過智慧化影像分析後的結果，以紅、橙、黃、綠燈號顯示不同時間點的危險程度(例如：綠燈代表安全，紅燈代表有越波；詳圖4.9)，點擊燈號歷線可在右側顯示該時間判釋結果；越波數值預警資訊基於數值模擬模型算出的預警資訊，同樣以燈號呈現，提供 3 天內每小時 1 筆資料(包含 15 小時預測)；海象觀測與預測圖表分別呈現波高(m)、週期(s)、運研所和氣象署之潮位觀測值(m)以及預測值。
3. 右側：影像判釋結果，展示即時影像與經過影像判釋後的水線與燈號。畫面中畫有彩色線條(如紅、橙、黃線)，這是系統標記出的警戒線，藍線則呈現偵測到的水線位置。此部分用來視覺化呈現系統判斷目前的浪況是否已越過堤防或路面警戒區。

附圖 4-2 為花蓮港東堤越波示警及預警系統畫面，與海岸公路的系統類似，這個系統專門針對花蓮港東防波堤進行越波(海浪越過堤防)的監測與預警，結合了影像智慧化判讀與數值模式預報。網頁介面同樣分為三個部分，惟因影像畫面呈現狀態，無法如海岸公路影像呈現 3 種不同危險程度之警戒燈號，而僅判釋波浪是否越過堤防是紅、綠燈號，紅燈表示波浪越過防波堤，綠燈則代表安全。



附圖 4-1 花蓮海岸公路浪襲預警系統



附圖 4-1 花蓮港東堤越波示警及預警系統

附錄五

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-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警

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		
攝影機即使未更換，仍有可能受外力影響而位移，如何確保此狀況不發生，是否需先做資料的品管？	感謝委員的提醒。本計畫目前尚未規劃完整的資料品管作業，但已透過即時監控機制，降低攝影機位移造成的影響。運研所已將判釋影像串接至監控網頁，若畫面出現明顯異常，可立即被發現並回報處理。至於基準影像比對部分，目前尚未列入規劃，後續若時程與資源允許，將研議導入此功能，以檢視攝影機視角是否偏移並及時修正。	同意合作單位之說明。
應用到的 AI 模型共有幾個？是否需建立一附錄說明？輸入的各參數名稱也建議繪圖說明。	感謝委員意見，目前影像判識方面用到的 AI 模型有以 ResNet50 為 backbone 本計畫開發用於花蓮港區和 YOLO 用於人定勝天路段的車輛偵測藉以排除對於判釋結果的干擾。並於期末報告附錄中說明各模型架構、訓練流程及輸入參數，讓讀者更清楚理解判釋方法。	同意合作單位之處理情形。
花蓮港越波的預報程式，建議可以越波影像進行驗證比較。	感謝委員建議。本計畫於去 113 年度期末報告中已進行數值預報與影像判釋結果的比對。期末報告中已補充 2023 年至 2025 年預報與影像判釋驗證比對說明。	同意合作單位之處理情形。
二、黃偉柏委員		

<p>團隊經歷 4 年努力，成功利用影像分析技術判釋海岸公路及花蓮港的越波，具實質應用成效，予以肯定。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>建議圖 4.9 花蓮港波場模擬結果補充 colorbar 說明，以利判讀波高大小。</p>	<p>感謝委員提醒，已補充 colorbar 文字說明。</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>
<p>在判釋準確率分析部分，如何確認真值，例如過去在海岸公路有裝設波浪溯升計輔助確認，請補充說明。</p>	<p>感謝委員建議。本計畫在前 3 年研究期間，已於人定勝天路段裝設波浪溯升計，並同步記錄浪襲事件。其資料與影像判釋結果進行交叉比對，做為影像水線判釋高程之「真值」依據。另一方面，本計畫亦透過人工判釋與影像自動化判釋結果的比對，檢視影像判釋的準確率與穩健性。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>利用數值模擬時，在水位部分是模擬暴潮偏差，並未納入天文潮，在應用時如何假設？又目前做法將 TaiCOMS 模擬結果擷取，做為近岸模擬邊界條件，若暴潮偏差在近岸範圍是否有重複計算之可能性？</p>	<p>感謝委員意見，本計畫機器學習模型所使用的輸入資料為暴潮資料，即天文潮與暴潮偏差的合成水位，因此，不需再額外加入天文潮成分。而 TaiCOMS 所提供之資料亦為暴潮資料，內容同樣為合成水位，與模型所需納入條件相符，故在應用上不會發生重複計算的問題。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>三、鍾權宏委員(書面意見)</p>		
<p>因花蓮港新東堤人車活動的時間絕大部分在日間，報告書 P.68 影像資料集及訓練成果內提到日間模型準確率為 88.7%，未來是否有提高準確率之精進空間？以利即時告警。</p>	<p>感謝委員建議。本計畫已持續蒐集並擴充日間影像資料集，涵蓋不同天候、潮位與光照條件，以提升模型在多變環境下的適應性。並據此進行模型再訓練以及門檻值參數調校，使花蓮港港區日間影像判釋模型之準確率已提升至約 95%。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>P.92 表 5-1 所列中央氣象署發布「颱」(漏字)風資訊及資料蒐集情形，其中，康芮颱風及天兔颱風之資料都屬「待確認」</p>	<p>感謝委員指正，字句誤植部分將於期末報告中修正。關於康芮及天兔颱風之資料，</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>

<p>狀態，因此這兩個颱風均有越波情形（花蓮港 CCTV 觀測），尤其康芮颱風造成越波更是造成新東堤損毀之主因，若未能蒐集並累積資料庫，確有些遺憾。</p>	<p>因康芮颱風期間網路設備發生異常，導致該時段影像資料未能完整，此部分已有蒐集部分影像資料進行分析；而天兔颱風侵台期間，設備仍在維修中，故無法取得相關影像資料。</p>	
<p>113 年康芮颱風造成新東堤損毀部分，花蓮港務公司預計 114 年 8 月底開工，115 年 8 月完工。本次資料修復之颱風樣式異於舊胸牆樣式，相關設計圖再提供運輸技術研究中心，做為本案日後研究參考。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫已參考花蓮港務分公司提供之新東堤修復設計圖，並據此調整預報模型。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>P47，水體分群的「L*」分量較高，(*位置跑掉)</p>	<p>感謝委員意見，已修正符號。</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>
<p>四、陳麗華委員</p>		
<p>114 年公路局於台 11 線人定勝天路段補拋設防汛塊後，是否會影響影像之判釋，如果會影響，判釋精度是否可以改善？</p>	<p>感謝委員建議。因今年度新拋設的防汛塊在影像上呈現亮白色，與碎波顏色相近，確實造成一定程度的影像誤判。現階段本計畫已調整部分程式邏輯（關閉對於白沫的額外處理），以降低誤判情形。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>表 3-6，人眼可判釋水線之統計表中資訊-無雨，顯著越波或溯升及有雨，顯著越波或溯升 2 項資訊正確率在 2025.03.20 版比對結果比前一版差，請問如何改善？</p>	<p>感謝委員指正，影像判釋結果涉及準確率與誤報率的整體平衡。新版程式準確率在部分情境下，雖略低於前一版，但已大幅降低誤報情形，使整體判釋效能更趨穩健，且與前版之準確率維持在相近水準。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>本系統已運作多年，在各項觀測上也越發精進，目前對於浪襲預警方式，後續有沒有可提昇至部分資訊可透過影像判釋，可即時瞭解各階段水線上升的位置並提供正確的預警訊息，以精進本系統之準確度？</p>	<p>即時影像水線判釋雖具潛在應用價值，但其精準度仍受多重因素影響。若直接以影像推估未來變化，易產生誤差累積，進而降低預警可信度。基此，目前仍以數值模擬方式做為主要預警依據，並結合影像判釋結果為輔助資</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>

	訊，以逐步提升系統即時性與整體準確度。	
五、本所運輸技術研究中心蔡立宏主任		
有關海岸公路越波影像判釋，於大霧情境下及其他水線誤判問題，是否可以移動頻率或其他方式進一步解決？	感謝委員建議。本計畫確實觀察到在大霧或天候不良情境下，影像對比度降低，容易造成水線誤判。為改善此問題，本計畫規劃採用以 ResNet50 為 backbone 的模型，做為影像可用性判釋之方法，預期能有效排除因天氣變化造成的誤判情形。	同意合作單位之說明。
影像設備及傳輸容易受颱風期間影響，如何改善？	運研所已另案辦理花蓮港區與人定勝天路段 CCTV 系統之定期維護及不定期搶修作業，藉以強化設備耐候性與運作穩定度，預期可有效降低颱風期間對影像設備與傳輸系統的影響。	同意合作單位之說明。
花蓮港作業化呈現結果需與應用單位討論，以符合實際應用。	本計畫已於 10 月份工作討論會議中，先與相關應用單位進行意見交流與需求確認，做為教育訓練前的準備作業。後續將依據討論結果辦理教育訓練，確保花蓮港作業化成果及系統介面符合實際應用需求，並提升整體防災效能。	同意合作單位之處理情形。
六、本所運輸技術研究中心林雅雯科長		
第 72 頁，有船在港內及防波堤外用 YOLOv8 判釋，建議補充判釋結果照片及判釋的準確度。	本計畫初期曾嘗試以 YOLOv8 模型進行船體判釋，但在花蓮港區僅能有限度地排除部分船體干擾，為提升判釋可靠度，本計畫已透過持續蒐集並擴充日間影像資料集，涵蓋不同天候、潮位與光照條件，成功強化模型於多變環境下的適應性。因此，後續將不再以 YOLOv8 串接船隻判釋，而是改以擴充資料集結合既有	同意合作單位之處理情形。

	影像判釋模型的方式，確保成果更穩定可靠。	
機器學習模型仍為之前的 33 場颱風做追算模擬，第 77 頁顯示 2016 年，第 78 頁顯示 2023 年颱風事件，建議更新機器學習模型並分析 2024 年颱風事件。	將更新機器學習模型，於期末報告加入 2024 年颱風事件分析資料。	同意合作單位之處理情形。
人定勝天路段，公路局已在現場增加放置消波塊，請補充說明影像判釋及數值模擬如何因應。	因今年度新拋設的防汛塊在影像上呈現亮白色，與碎波顏色相近，確實造成一定程度的影像誤判。現階段本計畫已調整部分程式邏輯（關閉對於白沫的額外處理），以降低誤判情形。	同意合作單位之處理情形。
第 92 頁，表 5-1 2024 年康芮及天兔颱風的資料蒐集情形，建議再檢核。	由於康芮颱風期間網路設備發生異常，導致該時段影像資料未能完整蒐集；而天兔颱風侵台期間，設備仍在維修中，故無法取得相關影像資料。將再據以修改表格內容。	同意合作單位之說明。
第 93 頁，花蓮港 2023 年瑪娃颱風只顯示影像判釋結果，建議補充此颱風及 2024 年花蓮港颱風影像判釋情形及模擬比對結果。	已於期末報告中增入 2023 年至 2025 年颱風事件比對結果。	同意合作單位之處理情形。
數值模擬作業化成果請儘速提報本中心，俾利後續網頁建置及年度教育訓練。	目前已完成作業化預報工作。	同意合作單位之說明。
七、本所運輸技術研究中心陳鈞彥副研究員		
報告書頁碼請依本所出版品格式編寫。	已修正報告書頁碼格式(含章節編號)。	同意合作單位之處理情形。
報告書 P.35，攝影機型號請再確認，P.59 之維運表請確認為 113 或 114 年度內容，若為 113 年度，請將 114 年度維運內容補充於報告書內。	型號已改為 AXIS P5655-E。另已於期末報告補充 114 年度維運相關內容。	同意合作單位之處理情形。
報告書中有敘及花蓮港區防波堤越波影像判釋及作業，也引用圖 3.43 表示其流程，但本	判釋方法之說明及流程，將於期末報告說明。	同意合作單位之處理情形。

年度 (114 年) 因應花蓮港東堤損壞有變更越波影像判釋方法，建議補充判釋方法之說明及流程 (如簡報 P.25)。		
--	--	--

附錄六

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-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警

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		
建議整理近 4 年之成果，以及精進改善方法。	感謝委員建議。已彙整 4 年計畫相關成果概述，並補充於報告 1.7 節。	同意合作單位之處理情形。
所建之預警系統及影像判釋自動化，是否確實具備自動化及預警能力？能否及時提供相關單位進行災害避免的能力。目前仍存在哪些困難，可以如何解決，請詳加說明，如此才可以做為後續改善精進。	本計畫已確實建立具備自動化運作與實質預警能力的系統。在預警能力方面，系統整合了「CCTV 影像自動判釋」與「溯升/越波預警」，能提供災害發生前的預先警示以及災害當下與災後的即時監測與歷程檢視，確能提供相關單位於黃金時間內進行封路或防災決策。 目前系統存在的困難之一在於人定勝天路段 CCTV 安裝，因缺乏建築物的遮蔽，故較易發生損毀的情形。在 CCTV 替換後，因架設位置和角度會與原先產生差異，故需以人工檢視之方式重新進行影像上的警戒線繪製，方能繼續產製影像判釋資料，且亦需重新進行現場影像高程定位測量和分析，相當耗費人力。故在採用相同 CCTV 型號的情況下，建議採用具角度刻度之支架或輔助量測工具記錄原始拍攝參數，以物理方式固定拍攝視角，可降低維運的	同意合作單位之說明。

	<p>人力成本。</p> <p>另一方面，無論是人定勝天路段或花蓮港東防波堤，雖已導入 AI 技術，但現場複雜光影變化、車輛與船隻移動等環境雜訊，仍可能導致影像判釋出現偽陽性誤判。未來建議可搭配外海浮標或數值預報資料，透過海象條件進行篩率。例如，當海象條件未達警戒標準時，自動過濾影像判釋的異常訊號，藉此提升整體預警系統的可靠度與準確率。</p>	
<p>花蓮港在影像判釋系統，由表 5-2 顯示在颱風期間或氣候不佳環境條件下，資料無法收錄，常出現欠缺情形，表示此套系統與辨識技術仍有不足之處，有待改善與精進。例如康芮颱風形成大浪產生越波，造成堤防損毀，卻無任何資料可以審視，甚為可惜。</p>	<p>關於康芮颱風期間資料缺漏，主因為極端氣候導致現場電力及網路硬體設施中斷，致使資料無法即時回傳。經團隊事後重新檢索與復原，目前已成功取得康芮颱風期間之部分現場影像，可供後續分析使用。針對硬體限制，未來業管單位可強化電力備援(如設置 UPS)與網路通訊之強固性，以提升系統在災害期間之存活率與資料蒐集完整性。</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>
<p>二、黃偉柏委員</p>		
<p>計畫產出成果豐碩，且經歷多次極值事件實證，確認研提監測方法可行性與可靠性，予以肯定。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>計畫執行期間，海岸公路攝影機曾因更動以及花蓮港防坡堤破壞，造成監測參數模型需重新調校。前者影響因子來自設備，後者來自環境，請問就計畫團隊經驗，未來若再有此影響因子發生，可否建議如何進行後續補救措施，以加速監測恢復正常。</p>	<p>針對計畫執行期間遭遇設備更動與環境變異之挑戰，本團隊基於實務經驗，提出以下加速監測恢復之具體補救措施： 海岸公路(設備因素)建立標準化硬體復原機制：為解決設備更換後的視角偏差，建議建立標準化安裝</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>

	<p>作業程序。包含：a. 器材規格一致化：優先採用與原系統相同型號之 CCTV，避免鏡頭焦距或感光元件差異造成模型失效。b. 參數數位化紀錄：導入具備角度刻度之固定支架，或利用數位傾角儀記錄原始架設之俯仰角與方位角數據。一旦設備受損，維修人員可依據數據快速「歸零」回復原視角，大幅縮短人工重新標定警戒線與校正模型之時間。</p> <p>花蓮港防波堤(環境因素) — 導入 AI 模型持續學習策略：針對環境地貌改變(如防波堤破損或後續修復工程)，本年度已導入具高泛化能力之深度學習模型(ResNet50)，目前已能適應康芮颱風造成之部分地貌變異。若未來因修復工程導致地貌再次大幅改變，造成現有模型不適用，可將新收集的現場影像納入既有模型進行訓練，即可讓系統適應新環境，維持監測之有效性。</p>	
<p>本計畫利用 TaiCOMS 進行波場模擬，進行預報。但因花蓮歷年幾次大地震如(2024.4.3 花東大地震)即造成花蓮港部分區域地形抬升約 0.5 公尺，而碼頭區因震陷而損壞，最大差異沉陷約有 0.8 公尺。建議港公司應定期進行水深測量，以利模式進行地形更新，使模擬預報能符合現況，提升精度。</p>	<p>2024 年花東大地震造成花蓮港地形變動，因此，本計畫有引入更新後的地形水深資料進行模擬，以利符合花蓮港現地情況。另誠如委員所述，精確的水深地形為可靠數值模擬的基礎。於此前提下，若港公司能地形進行水深量測，不僅可定期檢視港區地形變動情況，亦能同步進行數值模式更新，以利模型更能符合在地化需求。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>

<p>本計畫執行成果已具有實質的應用能力，建議作業單位應編列維管費用，讓系統持續運作，同時於操作期間針對發生問題紀錄，以利未來提出精進的相關計畫。</p>	<p>感謝委員指教。針對系統持續運作所需之維管資源及操作回饋紀錄，本團隊深表認同。後續將依委員意見，整理相關運作經驗與課題，並轉知相關單位，期能做為未來系統精進與相關計畫規劃之參考。</p>	
<p>三、謝志敏委員(書面意見)</p>		
<p>由目前圖 4.20 的結果可觀察到，就越波事件而言，「人定勝天」路段之越波預報結果相較影像觀測資料略顯保守。此現象可能係由於模式參數設定中對波浪衝擊或地形反應之安全係數偏高，或邊界條件中未充分反映現地浪況變化所致，導致預報結果呈現偏向低估的趨勢。建議後續可針對模式參數敏感度與實測資料進行比對，以提升預報準確性。</p>	<p>感謝委員建議。依據目前模式比對結果顯示(圖 4.20)，越波預報相較於觀測資料來說略顯保守。其主要原因可能在於本報告比對資料包含今年度颱風事件，而今年初公路段於越波風險較高的北側以布置消波設施，惟模型仍是以原地形為主，因此，導致預報結果較為保守。而參數測試與實測資料比對方面，均已於前期計畫中完成。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>本計畫歷時 4 年，累積了相當豐富的溯升與越波觀測資料，並針對多場事件進行分析與彙整(如表 5-2 所示)，成果對於後續模式修正與交叉驗證均具重要參考價值。然而，目前表中部分颱風事件仍待分析，建議計畫團隊持續完成該部分資料處理與成果補充，以強化整體分析架構與資料完整性。</p>	<p>表 5-2 完整分析內容已補充至修正報告。</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>
<p>第 4.2.3 節中所提「港區作業化越波預報系統建置技術」，係參考前期計畫所開發之「溯升/越波預報自動化系統」建立。然而，根據前期工作進度，當時並未完成「港區作業化越波警戒系統」之建置，推測此處所指之參考系統應為「海岸公路越波警戒系統」。若屬實，建議於報告中補充說明兩者在系統架構</p>	<p>感謝委員意見。花蓮港預報警戒系統概念與人定勝天路段系統相同，均是採用多斷面方式來進行預報警戒。此外，為提升花蓮港防波堤越波警戒能力，除東防波堤外，亦建置東堤延伸至漁港段之越波模型，並採用多斷面方式來進行警戒。圖4.17 為各段</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>

<p>上的差異，例如是否同樣採用多斷面預報機制、警戒燈號設定方式等，以釐清系統間之關聯與差異。</p>	<p>防波堤分段與斷面數量，若各分段任一斷面紅燈警戒，則該段即發佈紅燈警戒；反之，則顯示綠燈訊息。該說明已補充至修正報告。</p>	
<p>本計畫已完成「海岸公路」與「港區」影像越波警戒系統之建置，現階段成果顯示該系統已具備作為越波警戒輔助工具之功能。然而，影像資料仍受天候、光照與能見度等環境條件限制，可能影響判釋穩定性。建議後續可將環境條件納入模式參數考量，進一步提升警戒準確度與系統穩定性，以增進其在實務作業上的應用效益。</p>	<p>感謝委員建議。本計畫所建立之越波影像判釋系統，已能有效分析多數越波影像資料並進行警戒判斷。然而，誠如委員所述，影像資料仍易受天候條件及人為設施影響，可能導致無法判釋或判釋結果不準確的情形。因此，本計畫亦建議未來可將判釋系統與海象預報或浮標即時觀測資料進行整合，以輔助系統進行更精確之判釋與判斷。該建議說明亦已於修正報告中補充。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>目前所發展之警戒系統(包括影像判釋與越波預報)均已進入作業化階段。建議說明是否已與相關作業平台(如防災決策支援或現場監控系統)進行整合，以即時提供警戒資訊予現場作業人員參考，強化系統於實務操作層面的應用價值。</p>	<p>感謝委員意見。目前花蓮港與人定勝天路段的越波影像判釋示警與預報警戒系統，除已完成作業化外，亦會同步將資料匯入運研所的浪襲預警系統網頁中進行展示。公路局與港務公司亦可透過該網頁瞭解越波警示與預報警戒之情況。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>四、鍾權宏委員</p>		
<p>謝謝運研所提供本計畫成果供花蓮港務分公司應用，本分公司刻正辦理花蓮港東防波堤消波胸牆與堤面道路修復工程，該工程之主辦，監造及施工廠商均有使用本計畫所開發之自動化警戒系統，做為工區安全維護的輔助依據。</p>	<p>感謝貴分公司的肯定，本計畫成果能實際應用於花蓮港東防波堤修復工程，並協助第一線施工團隊進行風險辨識與防災決策，達成跨單位之資訊共享與安全維護目標，實為本計畫執行之最大效益。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>期末報告 3-26 頁「本年度建置之越波判釋模型，整體判釋流程分為下列四個步驟...」，惟內</p>	<p>感謝委員細心校閱與指正。經確認，該處文字敘述確為誤植，實際判釋流程</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>

<p>文只列三個步驟，訛誤部分建議請更正。</p>	<p>應為三個步驟。本團隊已將報告內文修正為「三個步驟」，並確認流程內容如下，以符實際運作機制：(1)自動區分彩色與近似灰階影像。(2)依據影像特性選擇對應模型進行推論。(3)輸出判釋結果(含文字標記與標註影像)</p>	
<p>期末報告 6-2 頁「南區防波堤溯升高則推估則會較影像判釋結果保守」，建議修改為：「東防波堤南區溯升高則推估會較影像判釋結果保守」。</p>	<p>感謝委員建議。已將 6.2 建議的第一點「此外，於花蓮港越波模型顯示，南區防波堤溯升高則推估則會較影像判釋結果保守。」修改為「此外，於花蓮港越波模型顯示，東防波堤南區溯升高則推估會較影像判釋結果保守。」。</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>
<p>本計畫成果在應用時，除有預報及燈號外，建議能增加類似地震即時通知之警報(告)訊息至手機，以供本分公司或相關人員使用。</p>	<p>感謝委員建議。針對將預警資訊主動發送至手機端之功能，本團隊深表認同。由於此機制涉及跨平台通訊協定整合及資安與個資管理等層面，本團隊將此建議列入系統後續精進之研議項目，整理相關實作方式與課題，提供相關單位未來辦理系統升級時之參採依據。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>花蓮港務分公司刻正辦理東防波堤消波胸牆與堤面道路修復工程，工期預計至 115 年 10 月 30 日竣工，該工程施工期間先將原第三道胸牆全部打除至沉箱頂部，僅剩原第一，二兩道開孔胸牆，未來工程施工期間，在少了第三道胸牆保護下，極易發生越波情形，故在辦理該區防波堤上有無越波之辨識及影像蒐集上，建議在工程施工期間配合胸牆施工完成現況隨時酌予修正，以利影像判釋準確。</p>	<p>感謝委員建議。針對東防波堤修復工程期間之地貌變動與越波風險，本計畫執行期間，本團隊持續與運研所保持密切討論，並依據現場狀況適時進行判釋模型微調，以確保監測資料之有效性與判釋結果之準確性。考量本工程預計持續至 115 年，針對計畫結束後之施工期間，業管單位未來可透過納入新增影像資料進行模型再訓練，以維持影像判釋能力，</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>

	確保系統能隨工程進展持續穩定發揮效益。	
五、陳麗華委員(書面意見)		
p3-26, 影像判釋流程 4 步驟敘述中, (1)自動區分彩色與近似灰階影像、(2) 依據影像特性選擇對應模型進行推論、(3)輸出判釋結果, 未見第 4 步驟敘述, 請補充說明。	感謝委員細心校閱與指正。經確認, 該處文字敘述確為誤植, 實際判釋流程應為三個步驟。本團隊已將報告內文修正為「三個步驟」, 並確認流程內容如下, 以符實際運作機制:(1)自動區分彩色與近似灰階影像。(2)依據影像特性選擇對應模型進行推論。(3)輸出判釋結果(含文字標記與標註影像)	同意合作單位之處理情形。
六、本所運輸技術研究中心蔡立宏主任		
人定勝天路段之越波影像判釋, 受新設置消波塊顏色影響判釋準確度, 以色彩參數調整判釋門檻之可行性?	針對新設消波塊影響判釋之問題, 本團隊說明如下: 因新設之白色消波塊與海浪碎波產生之白沫, 在影像色彩特性上極為相似, 故難以單純透過色彩參數進行區分。本團隊雖曾嘗試調整參數將消波塊區域排除或提高門檻, 但測試結果顯示, 此舉極易造成真實越波被誤刪, 導致警戒系統發生低估情形。因此, 建議在影像判釋系統中納入海象觀測或預報資料進行輔助篩選, 以有效降低因消波塊顏色造成之誤判, 提升系統可靠度。	同意合作單位之處理情形。
目前影像判釋頻率為約 10 秒/1 張, 是否足以應對波浪溯升及越波示警?	波浪溯升及越波事件通常具有連續性與群聚性, 雖受限於目前網路傳輸頻寬與硬體算力, 無法進行每秒全幀率解析, 可能遺漏單一瞬間之極大值, 但在防災實務上, 已可達到判斷「危險等級」的警示作用。為進一步提升捕捉瞬間極大值之能力, 未來可	同意合作單位之說明。

	<p>規劃導入邊緣運算技術。將影像辨識模型直接部署於前端攝影機或現地主機，僅回傳運算後的數據結果而非原始影像流，藉此突破網路頻寬限制，進而提升影像判釋之頻率。</p>	
<p>七、本所運輸技術研究中心林雅雯科長</p>		
<p>人定勝天路段請納入設置新消波塊的影響及分析結果。</p>	<p>依據前期評估成果，公路局於本年度在人定勝天路段增設消波塊，以降低越波風險。惟新設消波塊色澤偏白，與浪花水色相近，致使影像判釋程式易將其誤判為越波。本計畫雖嘗試調整 K-means 門檻值以區隔兩者，然測試結果顯示，此舉雖能減少誤判，卻反致實際越波事件遭漏判。基於防災安全考量，建議維持現行門檻設定，確保判釋機制採取保守原則，避免漏失警訊。設置新消波塊影響與分析結果，已於修正報告第 3.1.5 節進行說明。</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>
<p>花蓮港無法判釋的情形請補充於報告。</p>	<p>本年度開發之深度學習模型係採「越波」與「無越波」之二元分類機制。在模型訓練過程中，已將船隻經過和光影變化等各種複雜情境，全數歸納於「無越波(正常)」類別中進行訓練。因此，只要影像訊號來源正常，模型皆能針對輸入影像產出判釋結果。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>
<p>p4-20 及 p4-21，花蓮港 2023 及 2024 颱風事件追算模擬結果不佳，後續會納入 Taicom 的模擬結果於越波預報模型，請補充其結果。</p>	<p>2023 及 2024 颱風事件追算模擬結果不佳，因此，該資料並未匯入模型進行預報模擬，僅採用 Taicom 追算結果做為模型匯入資料，進行預報驗證。而目前圖 4.21 和圖 4.22 則為採用</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>

	Taicoms 追算所產生的預報結果，且已完成與觀測資料之驗證。	
簡報第 22、37 及 46 頁請納入報告書。	簡報 p.22 和 p.37 的花蓮港防波堤於 2025 年的丹娜絲、楊柳和樺加沙颱風事件的越波影像資料，已整合補充於修正報告圖 2-12 至圖 2-15。簡報 p.46 的溯升與越波潛勢分析，也更新補充至修正報告表 5-2。	同意合作單位之處理情形。
簡報第 46 與 47 頁次數計算差別請加註文字說明。	感謝委員提醒。關於簡報第 46 頁與 47 頁統計數據之差異，已依照建議於簡報中加註文字說明，兩者之定義與區別如下： 簡報第 46 頁(顯著浪況事件)：統計範圍包含「實質越波」以及「高風險溯升(即浪襲至道路邊緣，或防波堤後方出現顯著大浪但尚未越堤)」之所有警戒事件總和。 簡報第 47 頁(實質越波事件)：係由上述結果中進一步篩選，僅統計「海水確實翻越堤防或淹沒路面」之事件次數。 透過此區分，可分別呈現系統對於「潛在風險偵測(警戒)」與「實際災害紀錄(越波)」之不同層次成果。	同意合作單位之處理情形。
建議部分請補充本案數值模擬與影像示警之設定條件。	人定勝天路段影像示警設定條件目前是由影像上的色線來做警戒條件(如圖 3.36)；數值預報警戒條件設定如圖 4.9 所示。港區示警部分則均以有/無越波作為設定條件。	同意合作單位之說明。
八、本所運輸技術研究中心陳鈞彥副研究員		
報告書 p3-20 之表 3-5、及 p4-10 之表 4-2，關於 114 年度維運項目，建議補充 8 月後精進	表 3-5 表名改為「本計畫(114 年度)海岸公路自動化影像判釋維運作業項目」，	同意合作單位之處理情形。

<p>修改內容，且表名列出海岸公路，另有關花蓮港東防波堤影像判釋或越波預報，亦可列出本年度改善紀錄表。</p>	<p>並增加：8/07 關閉產出 debug 用影像功能(可能被視為惡意攻擊)。8/12 修正 csv 輸出。8/15 修正編譯 yolo 模組問題。11/28 改善運行穩定性，log 檔輸出修正。增加表 3-6 本計畫(114 年度)花蓮港東防波堤自動化影像判釋維運作業項目，6/03 因應 2024 年康芮颱風造成花蓮港防波堤毀損，以深度學習方法重新建置影像判釋程式(pyhton 語法)，提供初版程式。7/28 加入 csv 輸出。10/01 更新越波判釋模型(savedmodel)。表 4-2 已涵蓋 8 月後的維運項目，增加表 4-3 花蓮港東防波堤作業化溯升/越波預報系統維運項目，09/05 安裝越波預報，同時進行防波堤三區域的越波警戒預報。</p>	
<p>有關人定勝天路段與花蓮港東防波堤之影像判釋示警、數值預警，建議將預警系統畫面、呈現資訊及燈號定義等補充於報告書中。</p>	<p>相關內容已補至修正報告附錄四中。</p>	<p>同意合作單位之處理情形。</p>
<p>報告書 p6-3，成果效益第(三)點，影像判釋模型及預報模組均具擴充性為何？</p>	<p>本段所指的擴充性，意指本計畫建置之資料處理流程、影像判釋模型與預報模組具備可延伸與移植的能力，未來可依不同場址特性進行調整後套用至其他海岸公路或港區，以建立更全面的越波監測與預警系統。同時，系統亦可與其他感測資料或平台整合，強化其功能性與操作彈性；隨著資料量持續累積，亦具備支援後續模式驗證、災害風險評估與相關研究的發展潛力。</p>	<p>同意合作單位之說明。</p>

附錄七

歷次工作會議紀要

114年3月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-114-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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案3月份工作會議

時間：114年3月27日(星期四)下午2時

地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室(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、本年度主要工作為完成港區影像判釋技術及越波示警作業化，目前因現場設備網路傳輸異常，暫時無法取得即時影像(攝影機更換及網路修復預計於4月底前完成)，為利於裝機當下能即時確認影像拍攝角度，需於裝機前完成網路修復。
- 二、為有效提升海岸公路影像判釋程式之準確性與辨識率，正辦理程式更新，亦針對影像特性分類，包含：大雨、強光干擾、水體與道路顏色接近、車輛行經、大霧、無雨但顯著越波/溯升、有雨且顯著越波/溯升等情境，已完成車輛識別與大雨情境下之影像判釋精進，亦持續精進其他情境影像判釋。
- 三、花蓮港東防波堤因受113年10月康芮颱風侵襲而嚴重受損，依花蓮港務分公司規劃，堤防修繕後高度將降低2.5公尺，修繕範圍自新東堤末端燈塔起，總長度約1,500公尺，預計於115年完工，考量堤防修復完工後可能影響越波判釋結果，仍需評估對影像特徵的影響及影像判釋方式修正，以降低判釋準確度的影響。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學俟人定勝天路段攝影機更換作業工期確認後，儘速安排現場測量時程，以利海岸公路影像判釋程式精進。
- 二、請國立成功大學持續進行海岸公路影像判釋程式精進，並評估程式精進後執行效率，及規劃花蓮港東堤修復工程前中後情況下，越波影像判釋修正及精進方式，以利符合本計畫進度。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案 3 月份工作會議

貳、時間：114 年 3 月 27 日(星期四) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室（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>陳鈞彥</u>

114年4月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-114-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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案4月份工作會議

時間：114年4月24日(星期四)下午2時

地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室(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、人定勝天路段即時影像網路傳輸問題於4月23日完成修復恢復連線，惟影像擷取方式已變更，判釋程式隨之修正，已提供新版程式供本中心測試。
- 二、人定勝天路段北側礁岩平台近期有新設置消波塊，目前該區消波塊放置位置尚未對越波影像判釋造成影響，另溯升模擬仰賴現地精確的 DEM 資料生成數位地形，若未來於其他區域拋放消波塊，可能影響溯升模擬結果，使模擬結果與實際現場產生落差。
- 三、花蓮港東防波堤堤頂寬約18.65公尺，部分波浪衝擊堤身後，出現水體躍升高度高於堤頂，但並未完全越堤的情況，為保守判釋越波，後續將此類影像歸類為越波影像，以確保預警系統涵蓋越波潛在危險樣態。
- 四、花蓮港東防波堤越波判釋改採用卷積神經網路(Convolutional NeuralNetwork, CNN)方式之開源軟體，可應用於越波影像中水體是否越堤之自動判釋作業，執行期間亦可同步進行判釋結果之正確性檢核與統計分析，以驗證模型效能並持續優化其判釋準確率。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學於採用 CNN 進行影像判釋越波時，除進行正確性檢核與統計分析，亦需說明用於訓練及測試之影像統計。
- 二、攝影機更換作業與網路傳輸工程皆已完成，請國立成功大學協助確認影像視角及影像格式，並儘速現場測量調查作業時程。

三、請國立成功大學持續協助本中心本計畫成果展示網頁之穩定運作。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案 4 月份工作會議

貳、時間：114 年 4 月 24 日(星期四) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室（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	陳劍彥

114年5月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-114-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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案5月份工作會議

時間：114年5月27日(星期二)上午10時

地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室(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、已於5月22日完成人定勝天路段控制點測量，預計後續將結合影像，進行高程套繪，以建立完整之影像座標轉換基準。
- 二、現人定勝天路段北側礁岩平台上堆置之白色消波塊，對於水線判釋造成干擾，易產生誤判情形，經與花蓮工務段聯繫確認，該處消波塊僅為臨時堆置，為此，於影像中針對受影響區域導入局部遮罩，提供靈活處理方式，可於消波塊移除後再解除遮罩，以提升系統維運彈性與判釋效能。
- 三、花蓮港防波堤影像顯示，防波堤堤面因災後受損而形成間斷性灰白色塊狀紋理，易被誤判為越波現象，為因應此類破壞場景所產生之判釋誤差，導入監督式微調(Supervised Fine-tuning, SFT)策略，將新增之「無越波」場景影像納入訓練資料集，與既有標註樣本共同訓練深度學習模型，以提升模型判釋準確性。
- 四、花蓮港防波堤之影像顯示，目前可透過 YOLOv8 模型排除船舶進出港對防波堤遮蔽之影響，防波堤外側偶有船舶經過，對越波判釋之影響，仍需進一步分析相關影像樣態，以提升整體判釋系統之準確性。
- 五、有關颱風事件之近岸溯升模擬，本案先以 SCHISM 模式產製含不同波向之逐時波場資料，再轉換為近似一維之 JONSWAP 單向波譜格式，供 FUNWAVE 模式輸入使用，進行近岸溯升模擬，以建立機器學習模型。

貳、主要結論

- 一、本所將於會後提供113年花蓮港波浪觀測資料，供花蓮港區防波堤越波機器學習模型之驗證使用，請國立成功大學提供花蓮港區防波堤越波預警初步模型，供本所進行測試。
- 二、因即將進入颱風季節，請國立成功大學持續協助本所維護人定勝天之越波影像判釋程式，使浪襲預警系統穩定運作。
- 三、本案期中報告繳交期限為6月30日，請國立成功大學於期限前函文檢送。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案 5 月份工作會議

貳、時間：114 年 5 月 27 日(星期二) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室（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	陳金玲

114年6月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-114-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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案6月份工作會議

時間：114年6月27日(星期五)上午10時

地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室(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.有關花蓮港區防波堤越波判釋的深度學習模型建置，為因應花蓮港區防波堤破損前後之顯著差異，模型需要學習防波堤改變後的影像，因此，在資料集納入破損後的防波堤影像進行遷移學習，現已完成夜間影像的遷移學習，後續將進行日間影像之遷移學習，惟目前尚無防波堤破損後的越波影像，後續若有防波堤破損後的越波影像時，將納入資料集以提升模式判釋準確率。
- 二.花蓮港區防波堤外側有船舶經過，其影像特徵易誤判為越波，針對此類情境，原先用於判釋港內船隻的 YOLO 模型，無法有效判釋因距離較遠而呈現較小規模的船舶型態，現已再納入針對小型船舶判釋的 YOLO 模型，已可成功識別小船，現已提供花蓮港區防波堤越波判釋之初步程式，供本所測試作業化流程。
- 三.花蓮工務段近期於人定勝天路段北側礁岩平台及海岸增設消波塊，消波塊顏色較偏白，對目前水線位置判釋造成干擾，目前暫時關閉白沫判釋的設定，後續若有實際越波影像時，再依據影像判釋結果進行滾動式修正，另增設消波塊使局部地形高程發生變化，後續將依據模擬結果與實際情況的差異進行滾動式修正數值模式之機器學習模型。
- 四.人定勝天路段越波判釋，因現場網路訊號不穩定，導致影像串流有停止之情況，因降低解析度可能會造成判釋流程和分析測試上的困

難，現階段不建議改變影像解析度(1280*720)，建議可確認影像串流是否可設定自動重啟功能，恢復穩定傳輸做為因應。

貳、主要結論

- 一. 花蓮港區防波堤外側小船經過情況，以 YOLO 模型成功識別小船後，應歸類為「非越波」，而非「無法判釋」之影像類別。
- 二. 請國立成功大學整理近3年來發生的越波次數，包含影像判釋示警、數值模擬預警與溯升計觀測紀錄的越波數量與其準確率，以利研究結果呈現。
- 三. 本案期中報告繳交期限為6月30日，請國立成功大學於期限前函文檢送。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案 6 月份工作會議

貳、時間：114 年 6 月 27 日(星期五) 上午 10 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議室（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>陳金鈞</u>

114年7月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-114-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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案7月份工作會議

時間：114年7月31日(星期四)上午10時

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、有關花蓮港區防波堤越波影像判釋，已初步提供程式進行測試，該程式版本已完成輸出文字檔功能(包含時間及判釋燈號)，尚未完成日間影像之遷移學習。
- 二、因花蓮港防波堤於113年康芮颱風期間受損，攝影機畫面可直接拍攝到波浪衝擊臨海側消波塼後所濺起之水花，且該水花位置位於防波堤垂直面中段，該現象是否影響越波判讀，尚待判釋程式進行遷移學習後再行評估，惟目前尚無防波堤破損後的越波影像，後續若有防波堤破損後的越波影像時，將納入分析以提升模式判釋準確率。
- 三、有關人定勝天路段越波影像判釋，已配合 API 讀取方式變更，及程式運作停止問題增加自動重啟機制完成修正，並暫時關閉白沫判釋設定(因應今年中新設置之消波塊對影像判釋影響)。
- 四、有關人定勝天路段越波機器學習模型，為與既有預警燈號定義一致，已調整預警燈號定義及設定，有關新設置消波塊區域，使局部地形高程發生變化，後續將依據模擬結果與實際情況的差異進行滾動式修正數值模式之機器學習模型。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學測試運用白沫開啟與關閉2種判釋結果之差異，以評估後續執行策略，做為颱風期間判釋程式版本選用之依據。
- 二、請國立成功大學後續於報告書中補充颱風期間的越波分析，並確認發生越波時間是否位於颱風警報期間內，及公路局於6月在人定勝天路段進行消波塊堆置之情況。
- 三、期中報告審查會議為8月7日，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-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案7月份工作會議

貳、時間：114年7月31日(星期四)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(請假)
	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>陳金孺</u>

114年9月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-114-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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案9月份工作會議

時間：114年9月16日(星期二)上午10時40分

地點：國立成功大學水利及海洋工程學系3樓4645研討室

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、花蓮港防波堤越波影像判釋部分，判釋技術改採中值濾波(Median filter)技術，藉此提升越波影像判釋的正確率，目前已排除船舶出現造成誤判之情形，但仍可能受到光線反射、雲層遮蔽等自然環境因素影響，導致誤判情況發生。
- 二、花蓮港防波堤越波預報部分，原先東防波堤設定為單一斷面進行模擬，現已調整為劃分3個斷面分區進行預報模擬，數值預報程式產出資訊包含：TaiCOMS 海象預報、各斷面區域警戒燈號(3組)與全區整合警戒燈號，為降低風險並採取保守原則，當任一斷面出現越波警戒時，全區燈號以紅燈(警戒)呈現，如此可確保系統在極端海象下，能更即時且安全地反映越波風險狀況，程式已提供進行測試。
- 三、有關人定勝天路段越波機器學習模型，已調整預警燈號定義及設定，及針對資安弱點掃描誤判惡意攻擊行為修正程式。
- 四、確認期中審查意見回覆內容。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學提供更新後之花蓮港防波堤越波影像判釋程式，供本所測試使用。
- 二、為使本計畫成果能提供公路局東區養護工程分局花蓮工務段及臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司做為浪襲與越波防災、減災應用，預計於10月份工作會議邀請前述應用單位參與，確認其對成果網頁畫面內容。
- 三、請國立成功大學將本計畫成果投稿於海洋工程研討會。

會議簽到表

壹、會議名稱：MOTC-IOT-114-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋
海岸公路及防波堤越波研究(4/4)-浪襲影像判釋自
動化及數值模擬預警

貳、時間：114年9月16日(星期二)上午10時40分

參、地點：國立成功大學水利系3樓4645研討室

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
交通部運輸研究所 運輸技術研究中心		
	副研究員	陳劍彥 莊世琦
國立成功大學	計畫主持人	吳漢倫
	協同主持人	陳彥龍
	研究助理	左喬文

114年10月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-114-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(4/4)-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警」合作研究案10月份工作會議

時間：114年10月23日(星期四)下午2時

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、花蓮港防波堤越波影像判釋部分，透過準確率、誤判率與召回率的統計顯示，花蓮港日間與夜間影像的越波判釋準確率均表現良好，顯示整體辨識效能穩定。其中，準確率代表模型能正確判斷出實際發生越波事件的比例，誤判率則為未發生越波卻被判釋為越波的比例，召回率則反映模型在所有事件中找出實際越波案例的能力。
- 二、花蓮港防波堤越波預報部分，無溯升計觀測資料，僅能以影像判釋結果作為模型檢核依據，檢核方式係透過影像判釋判定是否發生越波事件，並與機器學習模型預報結果進行比對，以確認模型預測之符合程度。
- 三、由於CSFV2再分析風場資料存在異常現象（如2023至2024年間出現波高不合理情況），導致追算模擬結果不佳。為改善此問題，預計改採運研所TaiCOMS產出之模擬資料做為模型輸入條件，重新進行花蓮港及人定勝天路段之模型檢核，再與影像判釋結果進行比對分析，以確保模擬結果之準確性與可靠性。
- 四、有關人定勝天路段越波機器學習模型，過去年度除以影像判釋結果進行校驗外，亦結合溯升計觀測紀錄進行驗證，本年度採影像判釋分析作為主要檢核依據，因其具較高之時空解析度，模型檢核以影像判釋結果為標準，當水線高程超過 8 公尺即判定為越波，並同步比對預報模型是否呈現越波情形，以作為模型準確度之評估依據。

貳、主要結論

- 一、本所將提供 TaiCOMS 花蓮港區海象模擬資料予國立成功大學模擬驗證使用。
- 二、本計畫成果建立之預警系統網頁，可展示近1小時影像判釋資訊及未來24小時越波、浪襲預警資訊，若花蓮港務分公司或花蓮工務段有使用意見或特殊需求，可與本所聯繫或回饋，若有花蓮港東堤北段非颱風時期越波照片，亦可提供本所做為模型驗證或修正參考。
- 三、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 23 日(星期四) 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
	協同主持人	蕭士俊
	協同主持人	陳彥龍
	研究助理	左秀文
臺灣港務股份有限公司 基隆港務分公司	經理	許家榮
	工程師	劉侑盛
	高級事務員	黃嘉鈺
交通部公路局東區養護工程分局花蓮工務段		請假
本所運輸技術研究中心	副研究員	陳金鈞

附錄八

期末審查簡報



應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4) -浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警

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114年11月13日

簡報大綱

- ◆計畫緣起與目的
- ◆工作流程與架構
- ◆工作進度
- ◆溯升與越波影像資料蒐集
- ◆作業化影像判釋系統維運與精進
- ◆作業化越波警戒系統維運與精進
- ◆溯升與越波潛勢分析
- ◆結論與建議



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
<p>陳冠宇委員</p> <ul style="list-style-type: none"> 攝影機即使未更換，仍有可能受外力影響而位移，如何確保此狀況不發生，是否需先做資料的品管？ 應用到的 AI 模型共有幾個？是否需建立一附錄說明？輸入的各參數名稱也建議繪圖說明。 花蓮港越波的預報程式，建議可以越波影像進行驗證比較。 	<ul style="list-style-type: none"> 感謝委員的提醒。本計畫目前尚未規劃完整的資料品管作業，但已透過即時監控機制降低攝影機位移造成的影響。運技中心已將判釋影像串接至監控網頁，若畫面出現明顯異常，可立即被發現並回報處理。至於基準影像比對部分，目前尚未列入規劃，後續若時程與資源允許，將研議導入此功能，以檢視攝影機視角是否偏移並及時修正。 2.感謝委員意見，目前影像判識方面用到的AI模型有以ResNet50為backbone本計畫開發用於花蓮港區和YOLO用於人定勝天路段的車輛偵測藉以排除對於判釋結果的干擾。並於期末報告附錄中說明各模型架構、訓練流程及輸入參數，讓讀者更清楚理解判釋方法。 感謝委員建議。本計畫於去年底報告中已進行數值預報與影像判釋結果的比對。期末報告中已補充2023年至2025年預報與影像判釋驗證比對說明。
<p>黃偉柏委員</p> <ul style="list-style-type: none"> 團隊經歷 4 年努力，成功利用影像分析技術判釋海岸公路及花蓮港的越波，具實質應用成效，予以肯定。 建議圖 4.9 花蓮港波場模擬結果補充 colorbar 說明，以利判讀波高大小。 在判釋準確率分析部分，如何確認真值，例如過去在海岸公路有裝設波浪潮升計輔助確認，請補充說明。 	<ul style="list-style-type: none"> 感謝委員肯定。 感謝委員提醒，將補充colorbar文字說明。 感謝委員建議。本計畫在前三年研究期間，已於人定勝天路段裝設 波浪潮升計，並同步記錄浪襲事件。其資料與影像判釋結果進行交叉比對，作為影像水線判釋高程之「真值」依據。另一方面，本計畫亦透過 人工判釋與影像自動化判釋結果的比對，檢視影像判釋的準確率與穩健性。

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
<p>黃偉柏委員</p> <ul style="list-style-type: none"> 利用數值模擬時，在水位部分是模擬暴潮偏差，並未納入天文潮，在應用時如何假設？又目前做法將 TaiCOMS 模擬結果擷取，做為近岸模擬邊界條件，若暴潮偏差在近岸範圍是否有重複計算之可能性？ 	<ul style="list-style-type: none"> 感謝委員意見。本計畫機器學習模型所使用的輸入資料為暴潮資料，即天文潮與暴潮偏差的合成水位，因此不需再額外加入天文潮成分。而TaiCOMS所提供之資料亦為暴潮資料，內容同樣為合成水位，與模型所需納入條件相符，故在應用上不會發生重複計算的問題。
<p>鍾權宏委員(書面意見)</p> <p>1. 因花蓮港新東堤人車活動的時間絕大部分在日間，報告書 P68 影像資料集及訓練成果內提到日間模型準確率為 88.7%，未來是否有提高準確率之精進空間？以利即時告警。</p> <p>1. P92 表 5-1 所列中央氣象署發布「颱」(漏字)風資訊及資料蒐集情形，其中，康芮颱風及天兔颱風之資料都屬「待確認」狀態，因此這兩個颱風均有越波情形(花蓮港 CCTV 觀測)，尤其康芮颱風造成越波更是造成新東堤損毀之主因；若未能蒐集並累積資料庫，確有些遺憾。</p> <p>1. 113 年康芮颱風造成新東堤損毀部分，花蓮港務公司預計 114 年 8 月底開工，115 年 8 月完工。本次資料修復之颱風樣式異於舊越堤樣式，相關設計圖再提供運輸技術研究中心，做為本案日後研究參考。</p> <p>1. P47，水體分群的「L*」分量較高，(*位置跑掉)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 感謝委員建議。本計畫已持續蒐集並擴充日間影像資料集，涵蓋不同天候、潮位與光照條件，以提升模型在多變環境下的適應性。並據此進行模型再訓練以及門檻值參數調校，使花蓮港港區日間影像判釋模型之準確率已提升至約 95%。 感謝委員的指正，字句誤植部分將於期末報告中修正。關於康芮及天兔颱風之資料因康芮颱風期間網路設備發生異常，導致該時段影像資料未能完整，此部分已有蒐集部分影像資料進行分析；而天兔颱風侵台期間，設備仍在維修中，故無法取得相關影像資料。 感謝委員意見，本計畫已參考花蓮港務分公司提供之新東堤修復設計圖，並據此調整預報模型。 感謝委員意見，已修正符號。

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
<p>陳麗華委員</p> <ul style="list-style-type: none"> 114 年公路局於台 11 線人定勝天路段補拋設防汛塊後，是否會影響影像之判釋，如果會影響，判釋精度是否可以改善？ 表 3-6，人眼可判釋水線之統計表中資訊-無雨，顯著越波或潮升及有雨，顯著越波或潮升 2 項資訊正確率在 2025.03.20 版比對結果比前一版差，請問如何改善？ 本系統已運作多年，在各項觀測上也越發精進，目前對於浪襲預警方式，後續有沒有可提升至部分資訊可透過影像判釋，可即時瞭解各階段水線上升的位置並提供正確的預警訊息，以精進本系統之準確度？ 	<ul style="list-style-type: none"> 感謝委員建議。因今年度新拋設的防汛塊在影像上呈現亮白色，與碎波顏色相近，確實造成一定程度的影像誤判。現階段本計畫已調整部分程式邏輯(關閉對於白沫的額外處理)，以降低誤判情形。 感謝委員的指正。影像判釋結果涉及準確率與誤報率的整體平衡。新版程式準確率在部分情境下雖略低於前一版，但已大幅降低誤報情形使整體判釋效能更趨穩健，且與前版之準確率維持在相近水準。 即時影像水線判釋雖具潛在應用價值，但其精準度仍受多重因素影響若直接以影像推估未來變化，易產生誤差累積，進而降低預警可信度基於此，目前仍以數值模擬方式作為主要預警依據，並結合影像判釋結果作為輔助資訊，以逐步提升系統即時性與整體準確度。
<p>蔡立宏主任</p> <ul style="list-style-type: none"> 有關海岸公路越波影像判釋，於大霧情境下及其他水線誤判問題，是否可以以移動頻率或其他方式進一步解決？ 影像設備及傳輸容易受颱風期間影響，如何改善？ 花蓮港作業化呈現結果需與應用單位討論，以符合實際應用。 	<ul style="list-style-type: none"> 感謝委員建議。本計畫確實觀察到在大霧或天候不良情境下，影像對比度降低，容易造成水線誤判。為改善此問題，本計畫規劃採用以 ResNet50 為 backbone 的模型，作為影像可用性判釋之方法，預期能有效排除因天氣變化造成的誤判情形。 運研所已另案辦理花蓮港區與人定勝天路段 CCTV 系統之定期維護及不定期搶修作業，藉以強化設備耐候性與運作穩定度，預期可有效降低颱風期間對影像設備與傳輸系統的影響。 本計畫已於 10 月份工作討論會議中，先與相關應用單位進行意見交流與需求確認，作為教育訓練前的準備作業。後續將依據討論結果辦理教育訓練，確保花蓮港作業化成果及系統介面符合實際應用需求，並提升整體防災效能。



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
<p>林雅雯科長</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 72 頁，有船在港內及防波堤外用 YOLOv8 判釋，建議補充判釋結果照片及判釋的準確度。 機器學習模型仍為之前的 33 場颱風做推算模擬，第 77 頁顯示 2016 年，第 78 頁顯示 2023 年颱風事件，建議更新機器學習模型並分析 2024 年颱風事件。 人定勝天路段，公路局已在現場增加放置消波塊，請補充說明影像判釋及數值模擬如何因應。 第 92 頁，表 5-1 2024 年康芮及天兔颱風的資料蒐集情形，建議再檢核。 第 93 頁，花蓮港 2023 年瑪娃颱風只顯示影像判釋結果，建議補充此颱風及 2024 年花蓮港颱風影像判釋情形及模擬比對結果。 數值模擬作業化成果請儘速提報本中心，俾利後續網頁建置及年度教育訓練。 	<ul style="list-style-type: none"> 本計畫初期曾嘗試以 YOLOv8 模型進行船體判釋，但在花蓮港區僅能有限度地排除部分船體干擾，成效有限。為提升判釋可靠度，本計畫已透過持續蒐集並擴充日間影像資料集，涵蓋不同天候、潮位與光照條件，成功強化模型於多變環境下的適應性。因此，後續將不再以 YOLOv8 串接船隻判釋，而是改以擴充資料集結合既有影像判釋模型的方式，確保成果更穩定可靠。 將更新機器學習模型，於期末報告加入 2024 年颱風事件分析資料。 因今年度新拋設的防汛塊在影像上呈現亮白色，與碎波顏色相近，確實造成一定程度的影像誤判。現階段本計畫已調整部分程式邏輯(關閉對於白沫的額外處理)，以降低誤判情形。 由於康芮颱風期間網路設備發生異常，導致該時段影像資料未能完整蒐集；而天兔颱風侵台期間，設備仍在維修中，故無法取得相關影像資料。將再據以修改表格內容。 已於期末報告中增入 2023 年至 2025 年颱風事件比對結果。 目前已完成作業化預報工作。



期中審查意見處理情形表

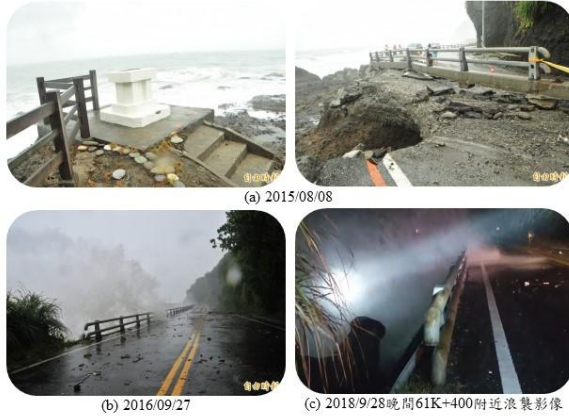
委員意見	意見回覆與處理情形表
陳鈞彥副研究員	
<ul style="list-style-type: none"> 報告書頁碼請依本所出版品格式撰寫。 報告書 P.35，攝影機型號請再確認，P.59 之維運表請確認為 113 或 114 年度內容，若為 113 年度，請將 114 年度維運內容補充於報告書內。 報告書中有敘及花蓮港區防波堤越波影像判釋及作業，也引用圖 3.43 表示其流程，但本年度 (114 年) 因應花蓮港東堤損壞有變更越波影像判釋方法，建議補充判釋方法之說明及流程 (如簡報 P.25)。 	<ul style="list-style-type: none"> 已修正報告書頁碼格式含章節編號。 型號已改為 AXIS P5655-E。另會於期末報告補充 114 年度維運相關內容。 判釋方法之說明及流程將於期末報告說明。
結論	
<ul style="list-style-type: none"> 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。 	

計畫緣起與目的



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



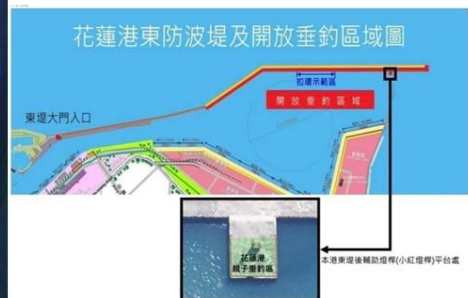
※資料來源：(a)(b)自由時報網站(<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1405399>)、(c)陳冠宇等人，2021，花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置

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 強颶蘇迪勒		
蘇迪勒肆虐人定勝天碑也倒	掏空路基	台11線62K
人定不勝天! 花蓮「人定勝天碑」不見		台11線62.1K
花蓮「人定勝天碑」遭捲入海! 台11線先開放單線雙向	單線地基流失	台11線62-63K
颶風蘇迪勒強風暴雨全台5死百傷災情慘		台11線62K
2015/8/23 強颶天鵝		
大浪沖刷! 台11線邊坡崩塌	路肩邊坡流失	台11線47.6K
2016/9/27 中颶梅姬		
梅姬大浪拍擊台11線! 漂流木、礁石飛上岸	浪襲道路	台11線62-63K
2018/9/28 ~ 2018/9/30 強颶潭美		
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
颶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
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
潭美颶浪! 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
潭美颶風掀浪花蓮台11線豐濱段路基掏空搶修8小時花蓮豐濱人定勝天段單線雙向通行		台11線61.5K

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
- ◆ 強烈颶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：花蓮港東防波堤的魚活動安全須知

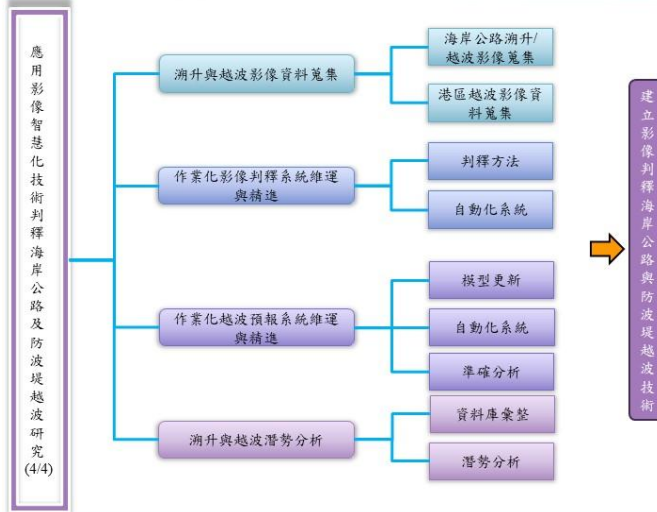
計畫緣起與目的



計畫緣起與目的



工作流程與架構



工作進度

預定進度
 達成進度

工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	年別	114年										
	月份	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
(一)溯升與越波影像資料蒐集		[Progress bars showing completion from month 3 to 10]										
(二)作業化影像判釋系統維護與精進		[Progress bars showing completion from month 3 to 11]										
(三)作業化越波預報系統維護與精進		[Progress bars showing completion from month 4 to 10]										
(四)溯升與越波潛勢分析		[Progress bars showing completion from month 3 to 10]										
(五)報告撰寫		▲			▲				▲		▲	
預定進度累積百分比(%)		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(114年6月30日)										
3	第三季	期末報告初稿(114年10月27日)										
4	第四季	成果報告修正及經費支出報告表										

潮升與越波影像資料蒐集

海岸公路(人定勝天)

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

潮升計觀測資料蒐集
(侵入式設備)
※本年度無繼續觀測



目前所採用潮升計

- 觀測物理機制較單純且直接



花蓮人定勝天路段



國立成功大學
National Cheng Kung University

15

潮升與越波影像資料蒐集

港區防波堤(花蓮港)

- ◆ 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)。



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA, Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

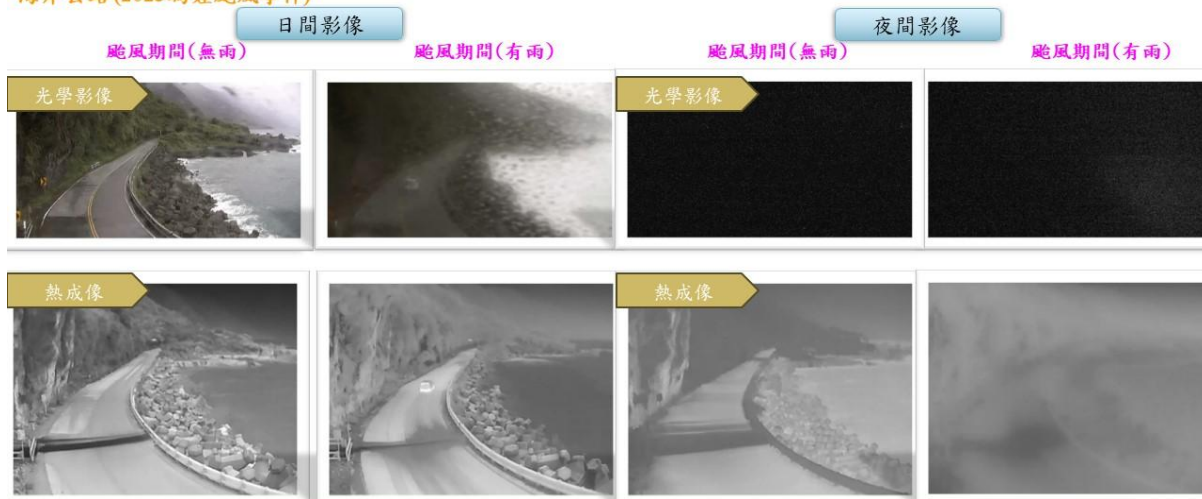


國立成功大學
National Cheng Kung University

16

溯升與越波影像資料蒐集

海岸公路(2023瑪娃颱風事件)



溯升與越波影像資料蒐集

海岸公路(本年度)

- ◆ 因前期計畫所蒐集的影像資料中發現光學攝影機於下雨情況下攝影機鏡頭沾附水珠情況較為顯著，因此於本年度進行光學攝影設備更換作業。
- ◆ 於4/16至4/18更換攝影設備，並於4/23恢復網路功能。
- ◆ 攝影機拍攝範圍與前期計畫略有差異，判釋部分仍須進行相關參數調整。
- ◆ 今年度因該研究區域增設消波塊，該判釋程式必須重新測試。



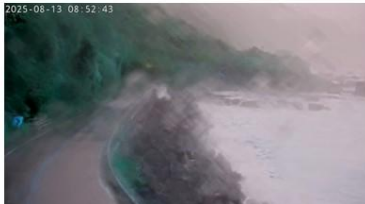
溯升與越波影像資料蒐集

海岸公路 (2025薇帕颱風事件)

海岸公路 (2025楊柳颱風事件)

海岸公路 (2025祥加沙颱風事件)

光學影像



熱成像



溯升與越波影像資料蒐集

港區防波堤 (2023海葵颱風事件)

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



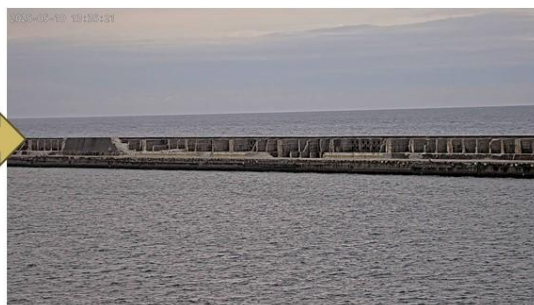
2023-09-03 06:25:00



溯升與越波影像資料蒐集

港區防波堤(本年度)

- ◆ 於去年底，因康芮颱風事件導致防波堤結構損壞與影像場景變動。
- ◆ 去年所建置之越波影像判釋程式亦需重新建構。



溯升與越波影像資料蒐集

花蓮港防波堤(2025丹娜絲颱風事件)



花蓮港防波堤(2025楊柳颱風事件)



花蓮港防波堤(2025樺加沙颱風事件)-日間



花蓮港防波堤(2025樺加沙颱風事件)-夜間



作業化影像判釋系統維運與精進

維運

- 海岸公路作業化影像判釋系統
 - ✓ 光學影像
 - ✓ 熱成像
 - ✓ 自動化判釋系統
- 因攝影機會進行更換
 - ✓ 控制點需再進行量測

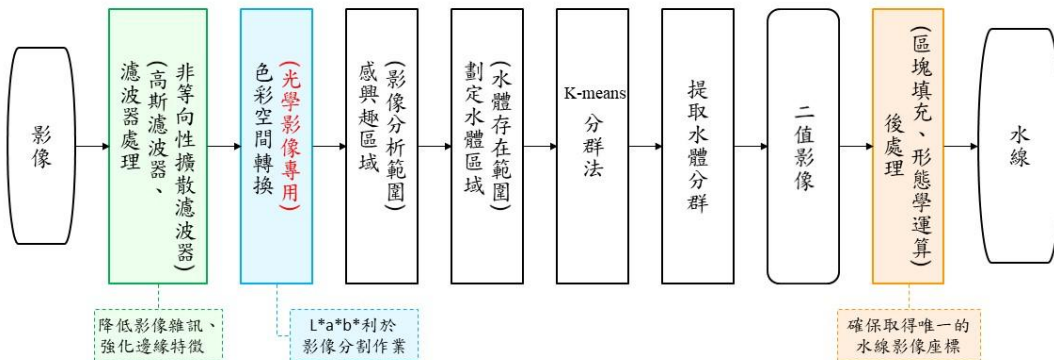
精進

- 港區作業化影像判釋系統
 - ✓ 建置自動化判釋系統
 - 自動化系統效率提升
 - ✓ 以Python語法重新編成
 - 判釋方法改善
 - ✓ 改善分群效率



作業化影像判釋系統維運與精進

海岸公路-維運



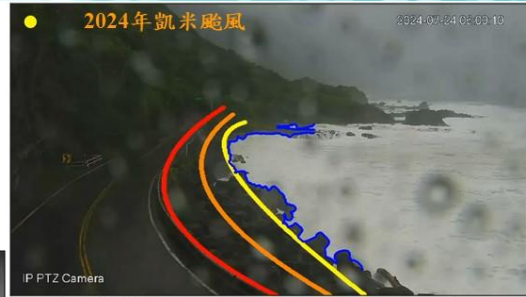
作業化影像判釋系統維運與精進

海岸公路-維運

越波警戒：光學影像



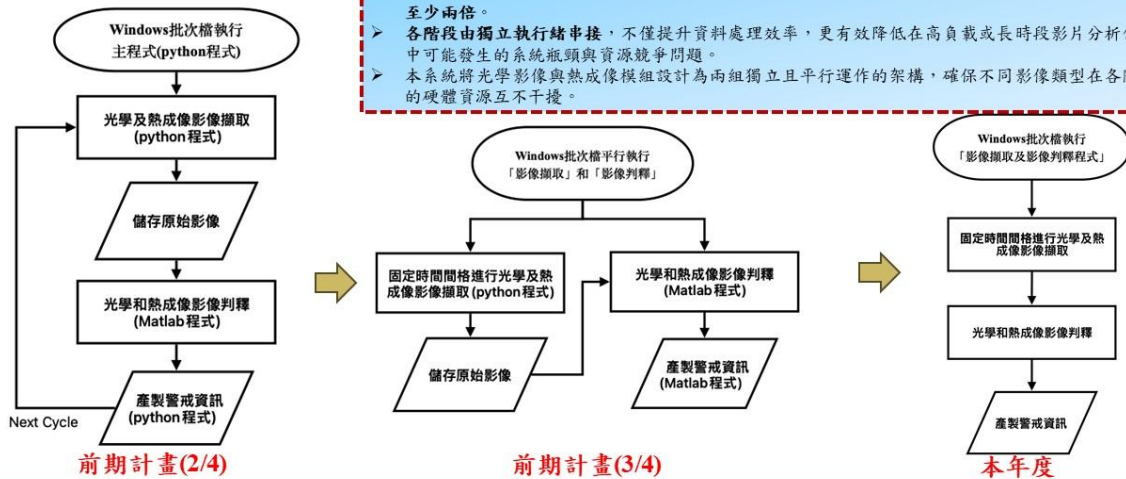
越波警戒：熱成像影像



作業化影像判釋系統維運與精進

海岸公路-精進

- 將原本matlab的程式，以python重新改寫，藉此增加穩定性。
- 演算法優化方面，針對 K-means 分群分析，目前改採 Mini-Batch K-Means，成功將運算效率提升至少兩倍。
- 各階段由獨立執行緒串接，不僅提升資料處理效率，更有效降低在高負載或長時段影片分析作業中可能發生的系統瓶頸與資源競爭問題。
- 本系統將光學影像與熱成像模組設計為兩組獨立且平行運作的架構，確保不同影像類型在各階段的硬體資源互不干擾。



作業化影像判釋系統維運與精進

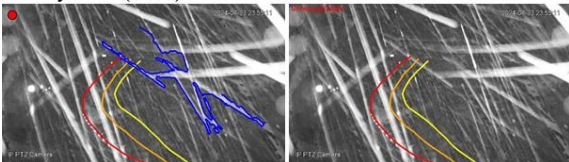
海岸公路-精進

- 期間：2024/07/23 ~ 2024/08/01 (含強烈颱風凱米)
- 總量：約 8 萬張影像 (每 10 秒一張, 影像類型多元)
- 應用：進行影像分類, 用於模型精度優化與正確率評估

人眼無法可判釋水線之類型	樣本 (張)	正確率 v2025.02.21	正確率 v2025.03.20
Heavy Rain (大雨)	7	0/7	7/7
Strong Light Interference (強光干擾)	7	0/7	7/7
Others (其他人眼無法判釋水線之影像)	-	-	-
人眼可判釋水線之類型	樣本 (張)	正確率 2025.02.22版	正確率 2025.03.20版
Water and Road with Similar Colors (水體和道路顏色接近)	8	0/8	8/8
Passing Vehicles (行經車輛)	10	0/10	10/10
Dense Fog (大霧)	22	0/22	0/22
Significant Wave Overtopping or Runup without Rain (無雨, 顯著越波或潮升)	130	130/130	129/130 (1張高估)
Significant Wave Overtopping or Runup with Rain (有雨, 顯著越波或潮升)	50	50/50	48/50 (2張列為無法判釋)
Others (其他人眼可判釋水線之影像)	-	-	-

作業化影像判釋系統維運與精進

Heavy Rain (大雨)

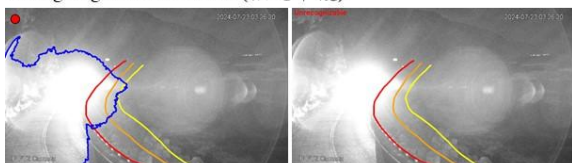


Passing Vehicles (行經車輛)



海岸公路-精進

Strong Light Interference (強光干擾)



Dense Fog (大霧)



Water and Road with Similar Colors (水體和道路顏色接近)



大霧

- 目前大霧造成的誤判無法移除 (會造成大量雨天影像被排除)

行經車輛

- 判釋車輛與水體鄰近時, 將影像判釋為「無法判釋」

作業化影像判釋系統維運與精進

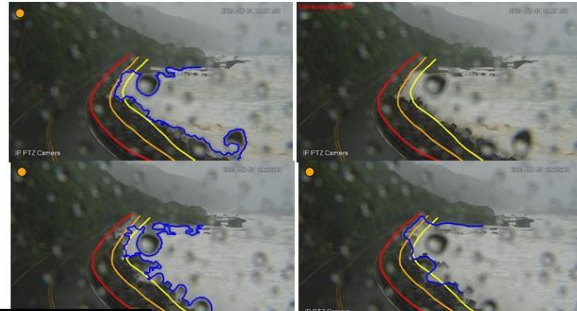
Significant Wave Overtopping or Runup without Rain
(無雨，顯著越波或潮升)



Model 1 Analysis (v20250221)

Model 2 Analysis (v20250318)

Significant Wave Overtopping or Runup with Rain
(有雨，顯著越波或潮升)



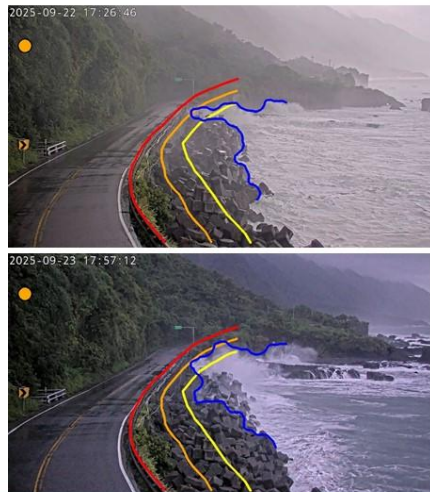
海岸公路-精進



v2025.03.20 在影像可用性判釋、KMeans 分群處理、車輛識別與大雨判釋方面進行了優化。
 ✓ 正確率提升 (如統計表所述)
 ✓ 顯著提升可判釋影像的數量 (透過連續影像的比較)

作業化影像判釋系統維運與精進

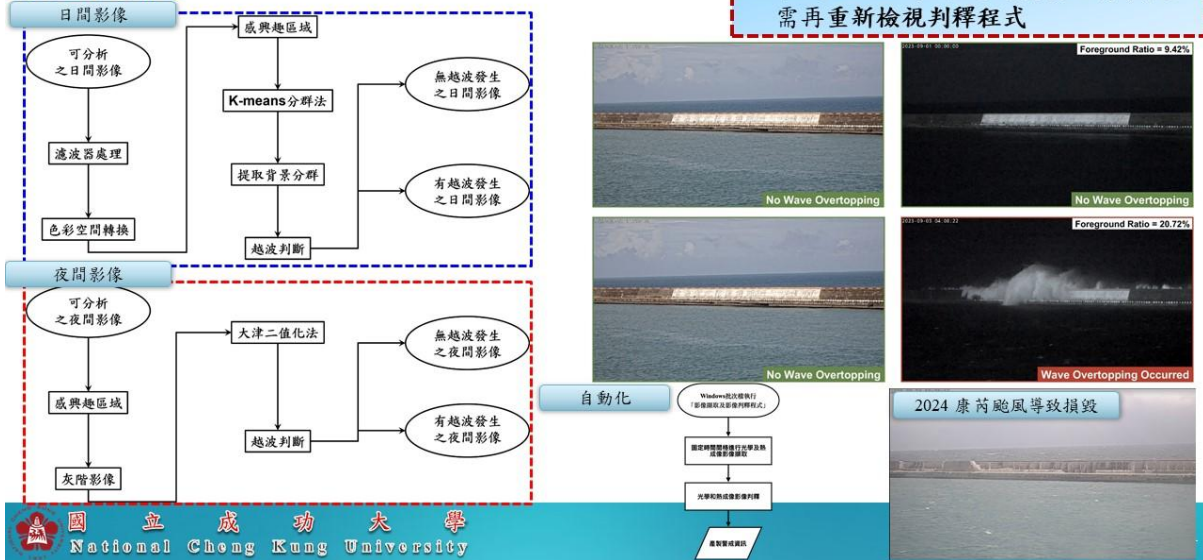
海岸公路-本年度(梓加沙颱風)



作業化影像判釋系統維運與精進

- 將港區防波堤越波影像判釋技術進行作業化
- 東堤因2024康芮颱風侵襲而有損毀，需再重新檢視判釋程式

港區-維運/精進

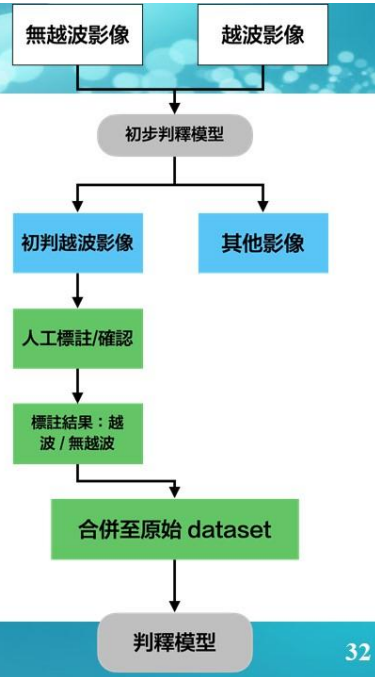
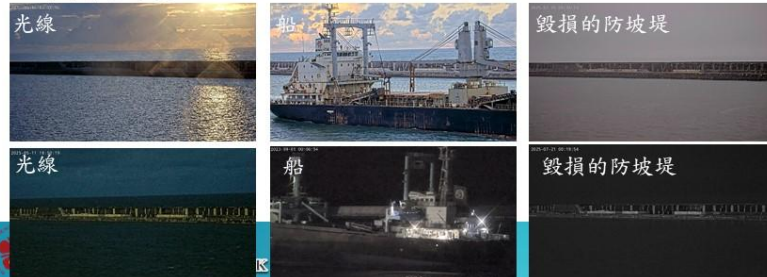


作業化影像判釋系統維運與精進

港區-維運/精進

[基於ResNet50的影像判釋模型建置]

- 首先，透過已有的越波影像（2023海葵颱風）建立初步的影像判釋模型。
- 然而，越波事件中的影像，其天空與水面的光線條件、船隻行經情況，皆與平日影像有所不同，且防波堤於2024年有毀損情形。
- 因此，進一步將模型應用於不同的無越波影像上，篩選出誤判為越波的影像，再由人工進行標註，並與原始資料合併，藉此提升模型對無越波影像的判釋準確度。



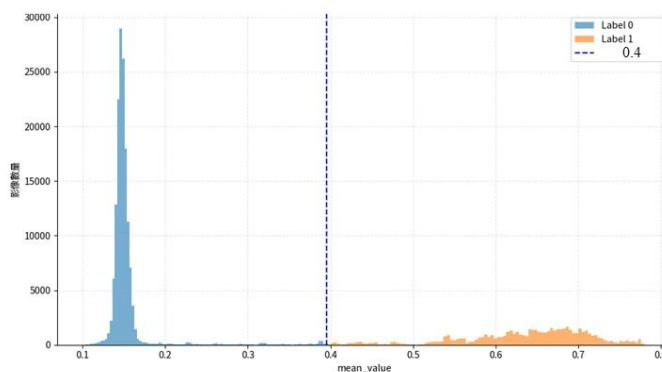
作業化影像判釋系統維運與精進

港區－維運/精進

[劃分日夜間影像之方式]

由於日夜間影像特性不同，分別建立模型是較佳的方案

- 將 RGB 影像轉換為 HSV 色彩空間後，取其中的 V (亮度) 通道計算平均值，藉此區分日間 (彩色) 與夜間 (紅外線補光) 影像。
- 透過k-means計算得到之門檻值為0.4
- 雖然部分彩色影像因亮度不足而被歸為夜間影像，但這也代表其影像特性接近夜間條件，因此納入夜間模型的建置與辨識範疇之中。



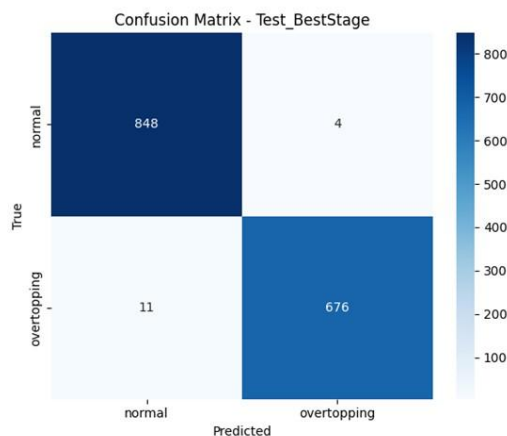
作業化影像判釋系統維運與精進

港區－維運/精進

[夜間影像判釋模型建置] (來源：2023-2025颱風期間)

	Normal	Overtopping
train	2553	2059
val	851	686
test	852	687

- 夜間模型測試結果顯示，在總計 1,539 張影像中，無越波 (Normal) 影像有 848 張正確分類，僅 4 張誤判為越波；越波 (Overtopping) 影像則有 676 張正確辨識，誤判為無越波者僅 11 張，整體分類錯誤張數僅 15 張，
- 整體準確率為 $(1,539-15)/1,539 = 99\%$ ，越波判釋準確率為 $676/(4+676) = 99\%$ 。
- 夜間模型於紅外補光模式下具備高度辨識穩定性與準確性，能非常高準確的判釋出越波，滿足實務應用需求。



花蓮港區防波堤夜間影像的測試集混淆矩陣

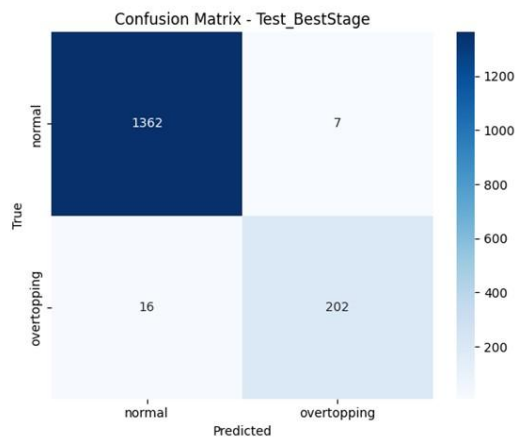
作業化影像判釋系統維運與精進

港區－維運/精進

[日間影像判釋模型建置] (來源：2023-2025颱風期間)

	Normal	Overtopping
train	4102	651
val	1367	217
test	1368	218

- 日間模型測試集共計 1,586 張影像，其中無越波影像有 1,362 張正確分類，僅 7 張誤判為越波；越波影像有 202 張正確辨識，另有 16 張誤判為無越波。
- 整體分類錯誤張數為 23 張，整體準確率為 $(1,586-23)/1,586 = 99\%$ ，越波判釋準確率為 $202/(7+202) = 97\%$ 。
- 本計畫建立之分類模型於日間與夜間影像皆展現出極高的辨識效能。然而，模型仍可能因日照變化、氣象條件或船舶通過等複雜因素而產生誤判。未來可進一步針對誤判影像進行錯誤型態分析與樣本擴充，以提升模型於多樣環境下之泛化能力與實務應用效益。

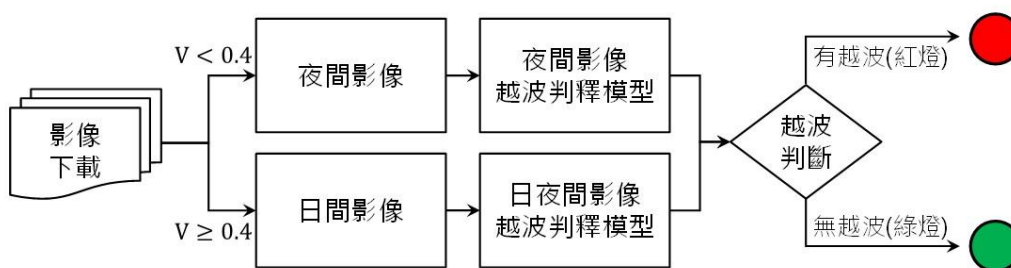


花蓮港區防波堤日間影像的測試集混淆矩陣

作業化影像判釋系統維運與精進

港區－精進

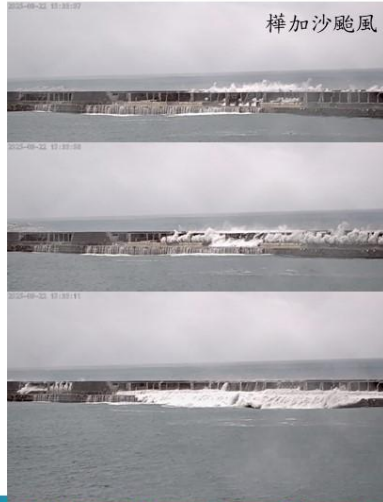
- 為實現花蓮港區越波影像之長期穩定監測與判釋，本計畫建置一套完整的影像作業化分析流程。
- 整體系統以自動化機制運作並以Python程式撰寫，定期自動下載影像資料，並進行後續分析。
- 當影像經模型判定為發生越波事件時，系統將此類影像視為有效資料，並標記為危險狀態(紅燈)；至於判釋結果為無越波之影像，在無風險顯現之情境下，系統將其直接標記為安全狀態(綠燈)。



花蓮港區防波堤越波影像作業化系統分析流程

作業化影像判釋系統維運與精進

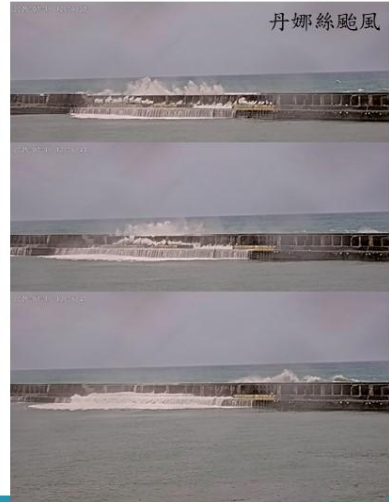
港區-本年度



禡加沙颱風



楊柳颱風

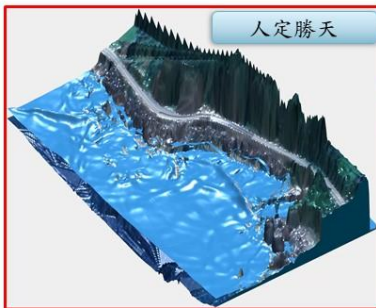


丹娜絲颱風

作業化越波警戒系統維運與精進

維運

- 海岸公路作業化越波警戒系統
- ✓ 自動化警戒系統維運



人定勝天



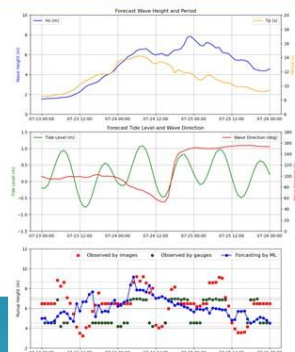
精進

- 港區作業化越波警戒系統
- ✓ 建置自動化警戒系統
- 模型檢核
- ✓ 再分析資料或追算資料納入模型進行比對

自動化警戒流程



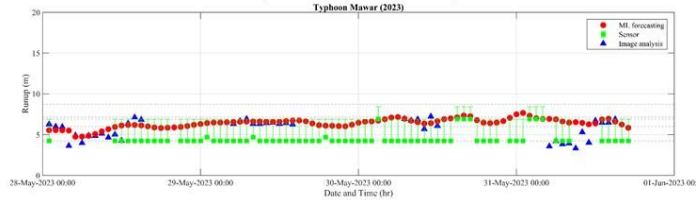
港區



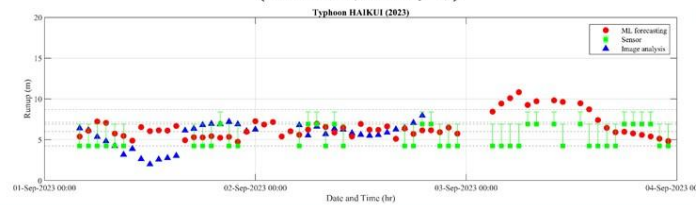
作業化越波警戒系統維運與精進

海岸公路-維運

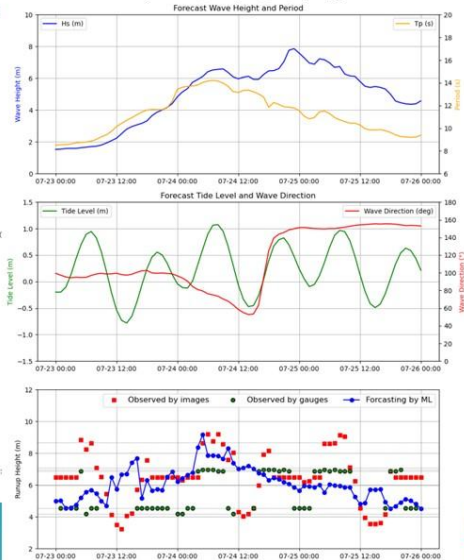
潮升預報、感測器觀測值與影像分析高程之比較結果
(2023 瑪娃颱風事件)



(2023 海葵颱風事件)

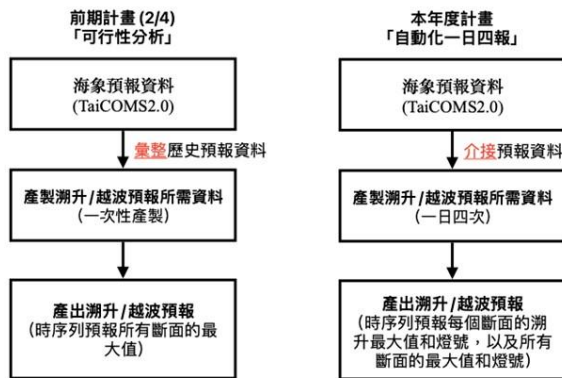


(2024 凱米颱風事件)



作業化越波警戒系統維運與精進

海岸公路-維運



A = 路面高 - 潮升高
 $A \leq 0$ 紅燈 3
 $A > 0$ and $A \leq 1$ 黃燈 2
 $A > 1$ 綠燈 1

➤ 修改潮升值對應燈號

作業化越波警戒系統維運與精進

海岸公路-維運 > 海岸公路越波警戒作業化系統維運

項目	問題說明	處理方式
TaiCOMS 2.0 波浪預報資料缺漏導致程式終止	當 TaiCOMS 2.0 波浪預報資料缺漏時，溯升預報程式會因讀取失敗而異常終止，影響預報產出流程。	於程式中加入波浪預報檔案的存在性檢查機制，若檔案缺漏則跳過處理，避免程式當機。
未處理 TaiCOMS 2.0 追報時間	原始設計僅針對預報 (Forecast) 時間進行處理，導致追報時間的資料未能被納入，影響溯升預報的完整性。	調整溯升預報資料的產製邏輯，使其涵蓋對應的預報與追報時間，確保時間軸一致。
重啟預報時每次皆重新計算所有資料	溯升預報程式在每次啟動時，會針對 EAST4 (波浪一日四報資料) 所有時間點重新計算，即使部分資料已產製完成，仍會耗費大量時間與資源。	新增預報檔案比對機制，自動跳過已完成的時間段，只針對尚未產製的時段執行計算。同時保留強制重算功能，透過設定 FORCE_REDO = true 來觸發全面重算。
預報程式需仰賴 Windows 排程定期啟動	原本設計在完成一次溯升預報後即結束執行，需依賴 Windows 排程機制週期性啟動。若 TaiCOMS 2.0 預報服務中斷後重啟，溯升預報程式未必能及時自動接續運行。	調整程式為常駐服務模式，持續監控是否有新的 TaiCOMS 2.0 預報檔案加入，達成即時自動觸發溯升預報處理流程，無須手動或排程重啟。

```

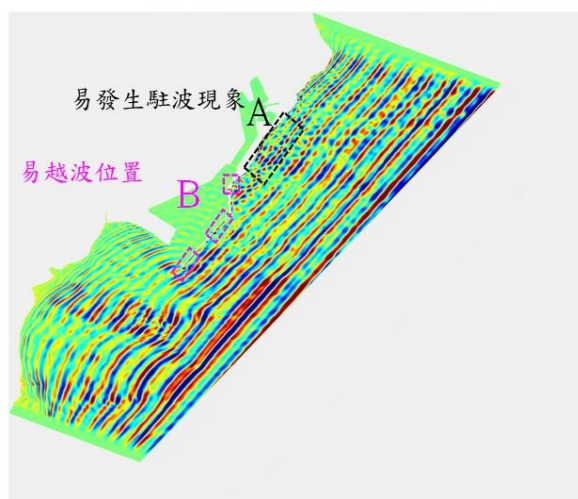
2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025060918, skipping.
2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025061000, skipping.
2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025061006, skipping.
2025-06-12 15:51:07,441 - INFO - Output already exists for 2025061012, skipping.
2025-06-12 15:51:07,456 - INFO - Output already exists for 2025061018, skipping.
2025-06-12 15:51:07,456 - INFO - Processing D:\taicom2\18\EAST4\W2025061100SMHL_T70:
2025-06-12 15:51:09,457 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FE2025061100.txt.
2025-06-12 15:51:09,457 - INFO - Processing D:\taicom2\18\EAST4\W2025061106SMHL_T70:
2025-06-12 15:51:10,035 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FE2025061106.txt.
2025-06-12 15:51:10,035 - INFO - Processing D:\taicom2\18\EAST4\W2025061112SMHL_T70:
2025-06-12 15:51:10,659 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FE2025061112.txt.
2025-06-12 15:51:10,660 - INFO - Processing D:\taicom2\18\EAST4\W2025061118SMHL_T70:
2025-06-12 15:51:11,259 - INFO - DataFrame saved to D:\runup_ML\output\FE2025061118.txt.
2025-06-12 15:51:11,261 - INFO - Starting watchdog observer for live file monitoring...
    
```

作業化越波警戒系統維運與精進

港區-維運



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%

作業化越波警戒系統維運與精進

港區－維運

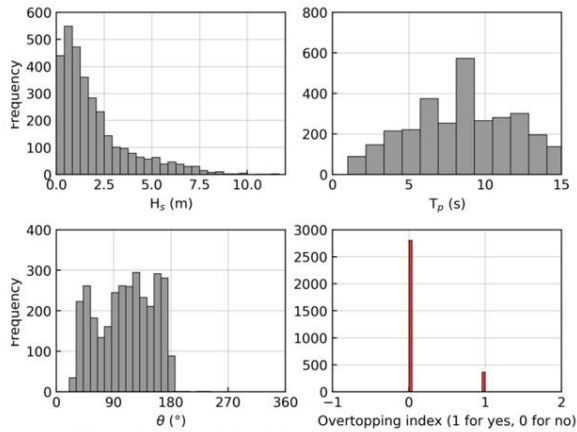


圖 4.14 花蓮港防波堤越波機器學習模型的訓練集樣本分佈

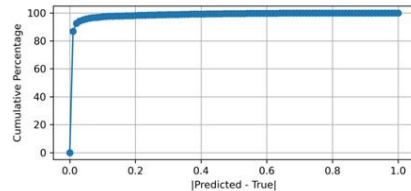


圖 4.16 花蓮港防波堤越波機器學習模型於不同越波誤差值的累積分佈

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。

作業化越波警戒系統維運與精進

港區－精進

港區越波警戒系統作業化

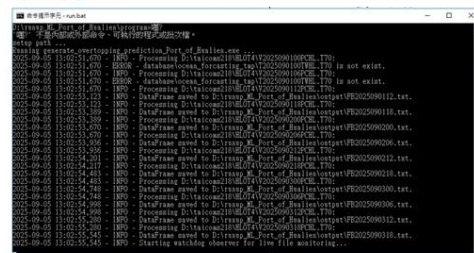
✓ 断面劃分



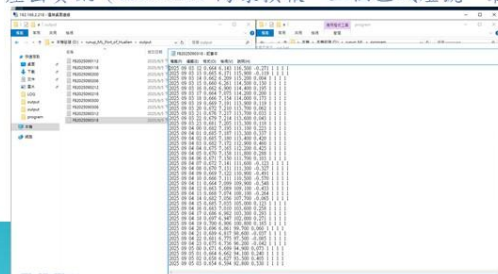
✓ 越波警戒燈號

- 2 >> 紅燈 (越波警戒)
- 1 >> 綠燈 (正常)

✓ 程式運行畫面



✓ 產出資訊 (TaiCOMS 海象預報、三個區域燈號、最大燈號)

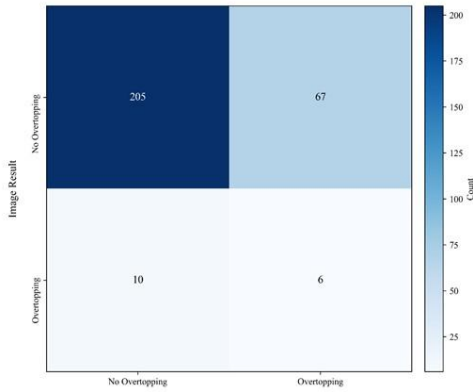


作業化越波警戒系統維運與精進

海岸公路與港區-精進 越波預報準確率分析

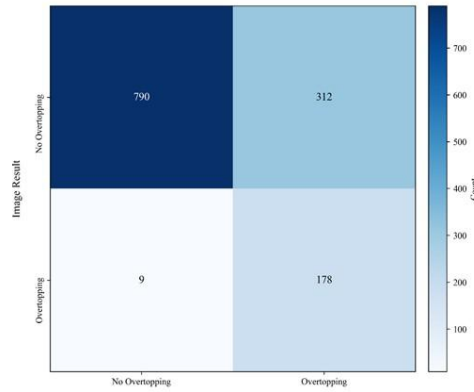
- 模型都傾向於「多報」越波（誤報率高於漏報率），預報相對保守。
- 模型已能掌握越波事件發生之時間趨勢，呈現出一定程度之相關性與預報潛力。此結果證實該模型於越波事件模擬中具備實際應用價值，可作為海岸防災之輔助分析工具

Confusion Matrix: Model vs Image



人定勝天路段越波預報模型混淆矩陣圖

Confusion Matrix: Model vs Image



花蓮港越波預報模型混淆矩陣圖

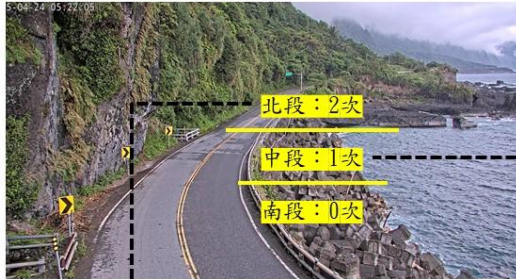
溯升與越波潛勢分析

年份	颱風名稱	人定勝天路段 溯升越波 / 總分析時間	花蓮港東防波堤 越波 / 總分析時間
2022	軒嵐諾	1 / 1	-
	梅花	2 / 2	1 / 7
	尼莎	-	-
2023	瑪娃	1 / 72	42 / 56
	杜蘇芮	0 / 120	33 / 122
	卡努	1 / 15	10 / 98
	蘇拉	2 / 38	0 / 97
	海葵	5 / 39	24 / 122
	小犬	-	16 / 121
2024	凱米	8 / 120	30 / 146
	山陀兒	3 / 144	11 / 139
	康芮	-	3 / 20
	天兔	-	-
2025	丹娜絲	0 / 72	7 / 98
	薇帕	0 / 48	0 / 120
	楊柳	0 / 63	13 / 121
	樺加沙	5 / 63	32 / 121

- 以人工對結果進行審核，彙整成果，包含 2022 至 2025 年間越波分析結果。
- 多數事件於花蓮港區皆能觀測到明顯的越波現象，顯示該區在強颱作用下具高度越波潛勢。
- 今年度人定勝天路段因今年增設消波塊，大幅耗散波浪的能量，故越波現象較少。
- 花蓮港東防波堤因局部結構受損，今年度於多次颱風期間（除薇帕颱風外）皆出現顯著的越波情形。
- 整體而言，該區越波活動與消波結構物及風浪條件高度相關，顯示維護與修復工作對防止越波災害具有關鍵影響。

溯升與越波潛勢分析

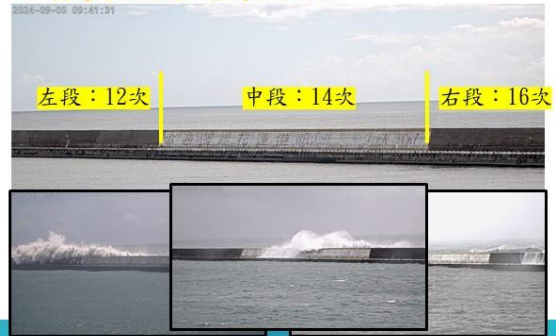
➤ 人定勝天路段：分為北中南段



- ◀ 統計2022~2025年間 13 場颱風事件。
- ◀ 同一個時數內的越波合併計算1次，僅採計有越上路面的情況。

- ↓ 統計2022~2023年間 6 場颱風事件。
- 同一個時數內的越波合併計算1次。

➤ 花蓮港防波堤：分為左中右段



結論

- ◆ 本年度於花蓮港及台11線人定勝天路段持續進行越波與溯升影像之蒐集與管理，彙整不同情境條件的影像資料。
- ◆ 為提升影像判釋之穩定性與準確度，本年度完成影像自動分類與多模型分流架構建置。花蓮港越波影像採用 ResNet50 為核心之影像分類模型，針對彩色與夜間灰階影像分別進行訓練與推論，以強化模型在不同光照條件下的適應性。人定勝天路段則導入 YOLOv8 車體偵測模型，以排除車輛遮擋造成的誤判，並整合 K-means 影像分群及閾值分割等影像處理方法，提升系統於不同環境的泛化能力。
- ◆ 越波預報系統在本年度完成與 TaiCOMS 2.0 海象預報資料之全面接軌。系統能持續進行越波資料產製，且提升預報作業之效率與穩定性。在花蓮港越波模型表現方面，混淆矩陣檢核結果顯示，模型對「無越波」事件辨識穩定，對「有越波」事件則略顯保守，其中花蓮港模型可成功捕捉約 80% 的實際越波事件，反映出其在事件趨勢掌握與實務應用上具相當潛力。人定勝天路段模型則能合理反映浪高與溯升關係，整體預測表現與影像判釋資料趨勢一致。整體而言，系統已達到穩定運行，具備長期作業化應用能力。
- ◆ 溯升與越波潛勢分析結果顯示，人定勝天路段以北段越波潛勢最高，南段未觀測到越波；花蓮港防波堤越波事件分布均勻，無明顯集中區段。

結論

- 作業化「影像判釋」系統維運與精進
人定勝天路段

日期	事項
7/28	建立每天定時重啟 (00:00)，避免連續運行三日左右不明原因停止的問題。
7/11	調整API讀取方式，讓影像擷取可以於運研中心直接透過內部網路連線，強化影像擷取穩定性
4/25	因應影像介接方式調整，修改影像下載程式
4/24	人定勝天路段光學和熱成像影像復站
3/20	透過2024凱米颱風影像資料，進行調校
2/21	原matlab+python程式，重新以python建置

花蓮港

日期	事項
7/28	加入文字檔(日期和燈號)輸出功能，以利運研進行網頁介接作業
6/3	提供初版作業化程式，以利運研進行網頁介接作業
4/1	因應防波堤破損，開始進行深度學習之判釋模型

- 作業化「越波預報」系統維運與精進

人定勝天路段

日期	事項
7/28	修改溯升值對應燈號
6/11	處理「TaiCOMS 波浪預報資料缺漏導致程式終止」、「未處理 TaiCOMS 追報時間」、「重啟預報時每次皆重新計算所有資料」和「預報程式需仰賴 Windows 排程定期啟動」等問題。

建議

- ◆ 目前已建立花蓮港及台11線人定勝天路越波警戒系統，惟其針對「有越波」情況的判斷仍差異。初判分析，若假設影像判釋資料為「真值」的條件下，人定勝天於波向120度至150度時溯升計算會有略為低估情況發生。此外，於花蓮港越波模型顯示，南區防波堤溯升高則推估則會較影像判釋結果保守。未來可再透過影像判釋資料持續累積，以確認越波模型特性與之差異，藉以調校模型進行可靠度優化。
- ◆ 過去人定勝天路段影像判釋系統為擷取水線高程資料供越波預報系統驗證所用，因此透過K-means機器學習模型方式來進行分類，以配合水線判釋。然而，此方式雖可便於判釋水線詳細分布情況，惟於環境適應力較差，此會增加判釋技術建置之難度。在本計畫目前所建置的K-means判釋技術基礎之下，已可大致判釋各情境可用於越波判釋之影像資料，未來將此技術加值至「深度學習」影像判釋技術的發展，應可提升越波判釋模型之適用性。
- ◆ 本計畫所建立之越波影像判釋系統，已能有效分析多數越波影像資料並進行警戒判斷。然而，影像資料仍易受天候條件及人為設施影響，可能導致無法判釋或判釋結果不準確的情形。建議未來可將判釋系統與海象預報或浮標即時觀測資料進行整合，以輔助系統進行更精確之判釋與判斷。

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(4/4)
-浪襲影像判釋自動化及數值模擬預警

簡報完畢 敬請指正

