

112-009-7D26

MOTC-IOT-111-H3CB001d

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間 越波影像判釋



交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

GPN : 1011200161
定價 300 元

111-009-7D26

MOTC-IOT-111-H3CB001d

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間 越波影像判釋

著者：吳昀達、陳鈞彥、林雅雯、蕭士俊、吳漢倫、
陳彥龍

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

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. (1/4) : 日間越波影像判釋 / 吳昀達, 陳鈞彥, 林雅雯, 蕭士俊, 吳漢倫, 陳彥龍著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 112. 03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-478-1(平裝)

1. CST: 海岸工程 2. CST: 環境監測 3. CST: 影像分析

443.3

112001087

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋

著 者：吳昀達、陳鈞彥、林雅雯、蕭士俊、吳漢倫、陳彥龍

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：(02)2658-7200

出版年月：中華民國 112 年 3 月

印 刷 者：OOOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011200161

ISBN：978-986-531-478-1 (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(1/4)-日間越波影像判釋			
國際標準書號（或叢刊號） 978-986-531-478-1(平裝)	政府出版品統一編號 1011200161	運輸研究所出版品編號 112-009-7D26	計畫編號 MOTC-IOT-111-H3CB001d
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：林雅雯 研究人員：陳鈞彥 聯絡電話：04-26587132 傳真號碼：04-26564415	合作研究/共同研究單位：國立成功大學 計畫主持人：吳昀達 研究人員：蕭士俊、吳漢倫、陳彥龍 地址：80424 高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5252000 轉 5352		研究期間 自 111 年 2 月 至 111 年 12 月
關鍵詞：影像智慧化、越波、海岸防護、浪襲預警			
摘要： 為減少海岸公路及港區因越波(浪襲)所造成的災害，本計畫透過網路攝影機監視影像資料，利用影像判釋方式發展溯升/越波觀測技術，分析易越波區域受波浪襲擊情況，以做為越波警示之依據。 本計畫共計 4 年期，本年度(民國 111 年)為第 1 年期，主要工作為發展「非學習型」影像判釋技術，以花蓮縣豐濱鄉台 11 線人定勝天路段為計畫範圍，透過影像輸入、強化、區分與水線擷取等分析步驟，建立日間溯升/越波影像判釋技術，並建置水線判釋影像有效性分析功能，藉以提升未來自動化判釋時影像分析結果之可靠性，期透過本年度影像判釋系統建置之經驗，做為後續年度完成自動化影像判釋評估與規劃之依據。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
112 年 3 月	150	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本計畫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: Development of the image recognition technology for wave overtopping on the coastal highway and breakwater (1/4)- Daytime image recognition			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-478-1	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200161	IOT SERIAL NUMBER 112-009-7D26	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-111- 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 February 2022 TO December 2022
RESEARCH AGENCY: National Cheng Kung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yun-Ta Wu PROJECT STAFF: Shih-Chun Hsiao, Han-Lun Wu, Yen-Lung Chen ADDRESS: No.1, University Road, East Dist., Tainan City 70142, Taiwan, R.O.C. PHONE: (06) 2757575 ext: 63272			
KEY WORDS: image recognition technology, wave overtopping and runup, Coastal protection			
ABSTRACT: To observe the wave overtopping and runup at the coastal road and port area, an image recognition technology for a webcam is developed in this project. The project has four phases. In the first year, the development of a “non-learning” image recognition technology is the primary work. The technology is established through image input, image enhancement, image segmentation, and water line detection. The daily images at Provincial Highway No. 11 in Hualien are utilized to develop the image recognition technology for wave overtopping. The developed technology is validated by human judgement, runup gauge, and forecasting system. The results show that the water line and runup height determined by image recognition are effective. The achievement in this project can be used as the basis for the automated image recognition system in the future.			
DATE OF PUBLICATION March 2023	NUMBER OF PAGES 150	PRICE 300	
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. 2. The budget of this research project is contributed by Institute of Transportation, MOTC.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 計畫目的.....	1-1
1.3 工作項目與內容	1-1
1.4 工作流程規劃	1-2
1.5 工作執行進度規劃安排	1-4
1.6 111 年度預期效益及成果	1-4
第二章 國內外溯升與越波觀測技術研究蒐集	2-1
2.1 環境背景現況說明	2-1
2.1.1 氣象	2-1
2.1.2 海象環境	2-4
2.1.3 地質環境	2-7
2.1.4 海岸災害	2-8
2.1.5 花蓮海岸公路浪襲預警系統概述	2-11
2.2 溯升與越波觀測技術研究	2-13
2.2.1 溯升計研究概述	2-13
2.2.2 國內溯升與越波影像判釋研究	2-16
2.2.3 國外溯升與越波影像判釋研究	2-20
第三章 溯升與越波觀測資料分析	3-1
3.1 溯升計觀測資料蒐集與分析	3-1
3.1.1 溯升計觀測站建置	3-2
3.1.2 溯升計觀測資料蒐集與分析	3-3
3.2 溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析	3-4
3.2.1 海岸公路溯升影像分析方法	3-5
3.2.2 近岸溯升/越波判釋與特性分析	3-14
第四章 影像分析驗證與調校	4-1

4.1 影像分析與人為判釋資料驗證	4-1
4.2 影像分析水線有效性判釋	4-5
4.3 溯升計與影像判釋資料驗證	4-8
4.4 海岸公路浪襲預警系統預警資料比對與分析	4-9
第五章 影像分析技術自動化判釋評估與規劃	5-1
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-2
6.3 成果效益及應用情形	6-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表	附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表	附 2-1
附錄三 期末審查簡報	附 3-1
附錄四 工作會議記錄	附 4-1

圖目錄

圖 1.1 計畫工作流程與執行架構	1-3
圖 2.1 計畫區與花蓮沿海鄉鎮氣象站分布圖	2-2
圖 2.2 花蓮沿海地區月平均溫度與日照時數分布圖	2-3
圖 2.3 花蓮沿海地區月平均降雨量與降雨日數分布圖(2017~2021)	2-3
圖 2.4 花蓮港域歷年觀測風玫瑰比較圖(2002~2019)	2-4
圖 2.5 花蓮港每月潮位統計圖(2002~2021)	2-6
圖 2.6 花蓮石梯每月潮位統計圖(2002~2021)	2-6
圖 2.7 花蓮港域歷年觀測海流玫瑰比較圖(2002~2019)	2-7
圖 2.8 浪襲台 11 線海岸公路事件現場概況	2-9
圖 2.9 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號	2-12
圖 2.10 比利時 MAST 計畫於拋石堤佈設溯升觀測設備示意圖	2-14
圖 2.11 成功大學水工試驗所波浪溯升觀測系統	2-14
圖 2.12 成功大學水利系波浪溯升觀測系統	2-14
圖 2.13 第七河川局委託計畫(2006~2008 年)於屏東縣車城鄉後灣海岸 灘面及消波塊上架設溯升觀測站	2-15
圖 2.14 水利署能專計畫(2013~2014 年)於臺南市七股區曾文海埔地海 堤堤面上架設溯升觀測站	2-15
圖 2.15 本計畫採用之溯升感測器	2-16
圖 2.16 高雄市彌陀區彌陀海堤堤面溯升觀測站配置概況	2-16
圖 2.17 波浪溯上時序變化	2-17
圖 2.18 水花辨識結果比對圖	2-18
圖 2.19 影像水線擷取流程	2-18
圖 2.20 影像法分析波浪於實際海堤溯升之流程圖	2-19
圖 2.21 彌陀海堤實際波浪溯升之時序變化(盧碧颱風)	2-20
圖 2.22 架設波浪溯升監視系統	2-21
圖 2.23 透過影像分析技術萃取波浪溯升情況	2-21
圖 2.24 影像堆疊法應用於測量實際海岸波浪溯升	2-22
圖 2.25 非學習型影像分析法流程(本計畫重新整理)	2-22
圖 2.26 時間堆疊計算平均值與標準差剖面結果	2-23
圖 2.27 時間堆疊分析各區域結果	2-24
圖 2.28 以 CNN 進行影像判釋之精確度比較	2-26
圖 3.1 台 11 線人定勝天路段海岸斷面現況 (攝於 2021/12/27)	3-1
圖 3.2 花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升計(南側)設置圖	3-2
圖 3.3 花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升計(北側)設置圖	3-3
圖 3.4 花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升觀測站之中繼站設置圖	3-3
圖 3.5 建置 FTP 站接收溯升觀測站回傳之逐時觀測資料	3-4

圖 3.6 本計畫影像判釋技術發展之流程圖	3-5
圖 3.7 影像擷取水線流程	3-6
圖 3.8 海岸公路原始影像	3-7
圖 3.9 RGB 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像	3-8
圖 3.10 HSV 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像	3-8
圖 3.11 YUV 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像	3-8
圖 3.12 YUV 色彩空間統計分析結果	3-9
圖 3.13 U 色彩空間(紅框表示白沫區)	3-10
圖 3.14 水線擷取之成果	3-10
圖 3.15 針孔相機模型	3-12
圖 3.16 現場量測及量測工具	3-12
圖 3.17 共線方程計算水平誤差分析	3-13
圖 3.18 共線方程計算高程誤差分析	3-13
圖 3.19 地形高程資料套疊影像之成果	3-13
圖 3.20 攝影機介面	3-14
圖 3.21 花蓮攝影機日夜間影像圖	3-15
圖 3.21 (續)花蓮攝影機日夜間影像圖	3-16
圖 3.22 夜間影像分析測試	3-17
圖 3.23 花蓮人定勝天路段熱成像	3-18
圖 3.24 水線分析([陰晴])	3-20
圖 3.25 水線分析(下雨[上午])	3-21
圖 3.26 水線分析(下雨[下午])	3-22
圖 3.27 水線分析(大浪[無雨])	3-23
圖 3.28 水線分析 (2022 梅花颱風期間)	3-24
圖 3.29 水線分析 (2022 軒嵐諾颱風)	3-25
圖 4.1 影像水線判釋誤差於(a)陰晴(小浪)和(b)下雨(小浪)之分析結果	4-3
圖 4.2 影像水線判釋誤差於(a)陰晴(大浪)和(b)下雨(大浪)之分析結果	4-4
圖 4.3 影像分析水線有效性之判釋成果	4-6
圖 4.4 影像分析水線有效性之分析結果	4-7
圖 4.5 影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果	4-7
圖 4.6 溯升計與影像於 2022 梅花颱風期間之比對結果	4-8
圖 4.7 溯升計與影像於 2022 軒嵐諾颱風期間之比對結果	4-9
圖 4.8 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號	4-10
圖 4.9 人定勝天路段之浪襲預警系統斷面位置與攝影機拍攝範圍	4-11
圖 4.10 花蓮浪襲預警系統 111/4/15 15:00~4/16 22:00 溯升預報資料	4-11

圖 4.11 花蓮人定勝天路段預報斷面於影像位置圖(111/4/15).....	4-12
圖 4.12 公路浪襲預警系統與影像分析結果比較(台 11 線 61K+300) ...	
.....	4-12
圖 4.12(續)公路浪襲預警系統與影像分析結果比較(台 11 線 61K+380)	
.....	4-12
圖 4.13 花蓮人定勝天路段預報斷面於影像位置圖 (111/9/12)	4-13
圖 4.14 花蓮人定勝天路段預報斷面於影像位置圖 (111/9/13)	4-13
圖 5.1 影像判釋自動化之流程圖	5-2

表目錄

表 1-1	本年度(111 年)計畫分項工作進度規劃.....	1-4
表 2-1	花蓮沿海鄉鎮氣象站資料概況.....	2-2
表 2-2	花蓮浮標每月波高統計表(2002-2021).....	2-5
表 2-3	花蓮沿海潮位統計	2-6
表 2-4	相關浪襲台 11 線海岸公路事件新聞蒐集	2-10
表 3-1	花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升計安裝位置	3-3

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

在颱風及季風肆虐期間，長浪對臺灣東部海岸造成災害時有所聞，尤其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。本所於 107 至 110 年已分別建置臺東及花蓮海岸公路浪襲預警系統，提供浪襲預警資訊，惟越波及浪襲仍無現場觀測數據或影像等直接量測資訊。因此，希望藉由攝影及影像判釋技術的應用，提供業管單位越波及浪襲的警示資訊，並可做為未來精進浪襲預警系統之參考依據。

1.2 計畫目的

為減少海岸公路及港區外廓防波堤發生越波(浪襲)事件所產生的災害，本計畫透過網路攝影機拍攝現場影像，再利用影像判釋方式，針對易浪襲區段，發展判釋越波(浪襲)示警技術，於發生越波(浪襲)時向業管單位提出警示，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 工作項目與內容

本計畫研究期程全程 4 年(111 年至 114 年)，本年度(111 年)為第 1 年期，主要工作項目如下：

1. 資料蒐集：蒐集並研析國內外波浪溯升與越波影像判釋及波浪溯升計之相關研究，蒐集海岸公路(台 11 線人定勝天路段)及花蓮港區防波堤波浪溯升與越波影像。
2. 近岸判釋：協助維護人定勝天路段攝影設備，探討台 11 線人定勝天路段影像判讀性及精確度，並辨釋其特徵；藉由現場勘查結果，於台 11 線人定勝天路段選定 2 處斷面設置波浪溯升計，進行溯升資料蒐集。

3. 影像特性分析：應用影像分析判釋台 11 線人定勝天路段日間波浪溯升與越波影像特性 (如：判定激起波浪邊界及分析波浪溯升、越波高度、越波次數、越波範圍與越波量等)，建立波浪溯升與越波影像資料庫。
4. 影像分析驗證：台 11 線人定勝天路段依據颱風事件或顯著越波事件進行影像、溯升計之波浪溯升與越波資料驗證，並與運研所海岸公路浪襲預警系統預警資料進行比對，研提該系統準確度精進之規劃。
5. 自動化判釋評估：台 11 線人定勝天路段影像判釋與波浪溯升計結果資訊回傳至運研所，評估自動化影像判釋可行性。

1.4 工作流程規劃

依據上述委辦計畫工作需求，擬訂「國內外溯升與越波觀測技術研究蒐集」、「溯升與越波觀測資料分析」、「影像分析驗證」及「溯升與越波影像分析技術自動化判釋評估與規劃」等四項工作項目。主要架構可分為三部分，第一部分為「資料蒐集作業」階段；第二部分為「建立影像分析技術作業」階段及第三部分為「技術評估與規劃作業」階段。整體計畫工作項目流程與執行架構如圖 1.1 所示。各作業階段概述如下。

1. 資料蒐集作業

此階段工作包含「國內外溯升與越波觀測技術研究蒐集」與「溯升與越波觀測資料分析」兩部分。溯升與越波觀測技術研究蒐集方面，主要針對國內外相關觀測技術研究進行蒐集，並瞭解其優劣處，俾利作為後續本計畫區影像判釋技術建立或分析驗證之參考。溯升與越波觀測資料分析方面，主要是蒐集本計畫觀測系統資料，其中包含溯升計資料與網路攝影機影像資料，溯升資料主要以數據資料為主；攝影機則會獲得各時段溯升或越波影像資料。

2. 建立影像分析技術作業階段

此階段工作主要為「溯升與越波觀測資料分析」與「影像分析驗證」兩部分。透過「資料蒐集作業」階段可獲得研究區域影像與溯升

計資料，其中，溯升計資料透過率定與解算可分析溯升或越波高度資料(以實際安裝高度間隔解析度為主)；影像資料會透過影像判釋後轉化為量化資料。而影像分析技術乃為間接性觀測技術，因此其數據會受分析參數(例如：邊緣偵測之門檻值設定)、環境背景不同而有所影響，此時可透過不同觀測方式(例如：人為判釋、溯升感測器資料等)來交叉比對，以確定分析技術之可靠性。此外，觀測資料亦需與既有浪襲預報系統結果作比對，以利瞭解目前系統預報資料與觀測資料之差異，據以做為未來精進預報系統之參考。

3. 技術評估與規劃作業階段

此階段工作主要為「溯升與越波影像分析技術自動化判釋評估與規劃對策可行性分析」工作項目。導入「影像分析驗證」結果進行各資料與影像判釋結果之比對，以瞭解影像判釋之可行性。另，需評估影像判釋分析程式之效率，並以「自動化判釋作業」為目標進行評估規劃，研提未來精進既有浪襲預報模式之規劃與執行方式。

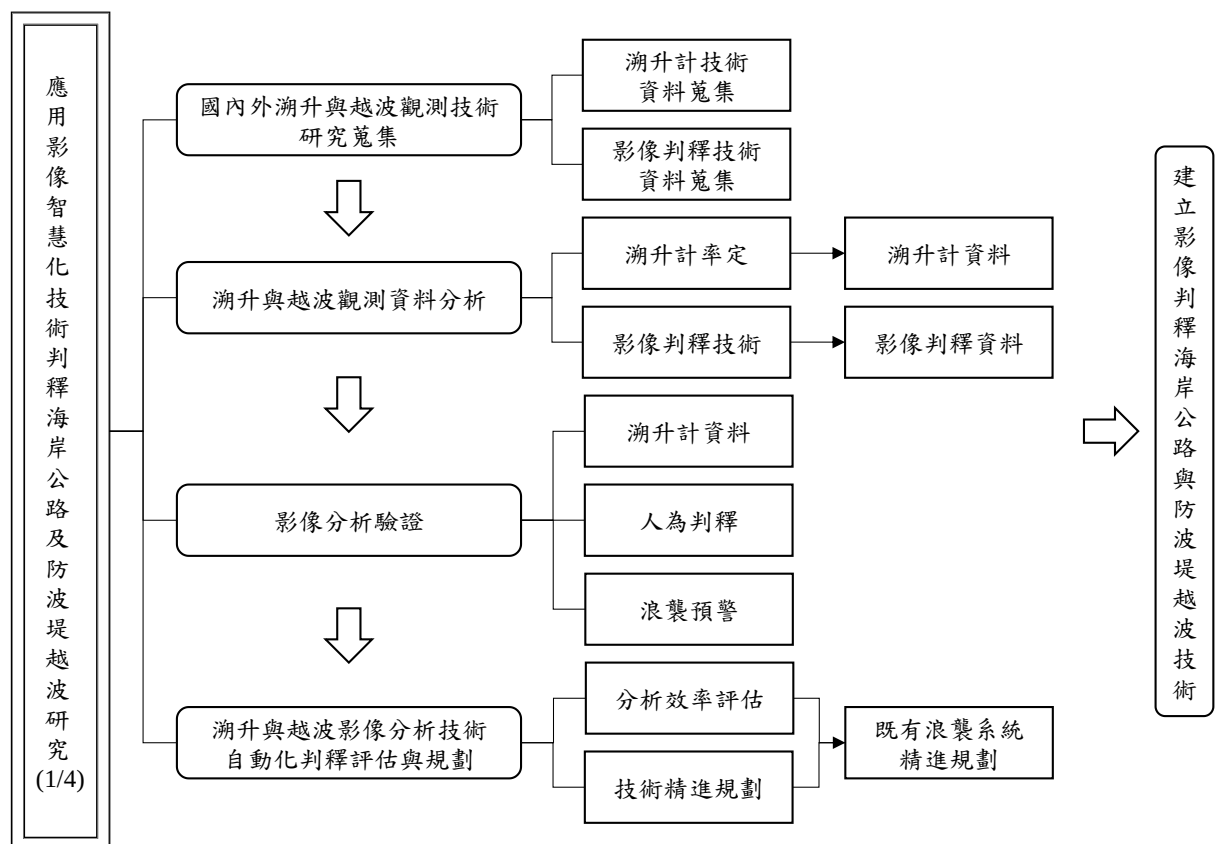


圖 1.1 計畫工作流程與執行架構

1.5 工作執行進度規劃安排

有關本年度工作進度規劃及預定進度甘梯圖如表 1-1 所示。

表 1-1 本年度(111 年)計畫分項工作進度規劃

工作項目	111 年												備註
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月		
(一)國內外溯升與越波觀測技術研究蒐集													
(二)溯升與越波觀測資料分析													
(三)影像分析驗證													
(四)溯升與越波影像分析技術 自動化判釋評估與規劃													
(五)報告撰寫													
	※				※				※		※		
工作進度估計 百分比(累積數)	15	20	25	35	45	55	65	75	85	90	100		
預定查核點	第 1 季：政府部門研究計畫基本資料表登錄												
	第 2 季：期中報告(初稿)												
	第 3 季：期末報告(初稿)												
	第 4 季：成果報告及經費支出報告表												

註：預定進度以深色線「■」表示，實際完成進度以淺色線「▒」表示。

1.6 111 年度預期效益及成果

本年度(111 年)計畫之預期效益及成果如下：

1. 初步建立影像判釋技術，針對海岸公路浪襲與波浪溯升事件進行事件發生、影響狀態範圍測定之偵測判釋與分析 (如：浪襲前之水位變化、溯上高度、越波次數、越波量及越波範圍等)，提供未來交通管理決策品質及浪襲預警之參考。
2. 藉由本計畫建立的海岸影像擷取技術，即時了解海岸公路的浪襲狀況，提升公路單位對浪襲事件的掌握。
3. 建立海岸公路即時影像判釋越波技術。
4. 提供精進海岸公路浪襲預警系統之規劃建議。

第二章 國內外溯升與越波觀測技術研究蒐集

2.1 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 1,000~2,000 公尺以上，海氣象環境背景概況說明如下。

2.1.1 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。茲蒐集中央氣象局花蓮沿海鄉鎮氣象站觀測資料，測站資料整理如表 2-1，分布位置如圖 2.1。2017 年至 2021 年間月平均溫度與日照時數分布如圖 2.2，顯示近 5 年間月平均溫度介於 16.9 ~ 27.4°C，較近 30 年(1991 年至 2020 年)平均值低約 0.8 ~ 1.8 °C，月平均溫度最高出現在 7 月，最低則為 1 月，相對日照時數亦以 7 月平均 259.1 小時為最多，1 月平均 68.5 小時為最少。圖 2.3 為 2017 年至 2021 年間月平均降雨量與降雨日數分布，月平均雨量介於 84.7~415.0 毫米，主要降雨月份集中在 8~11 月，年平均降雨日數約 176.2 日，年平均雨量約 1,966.6 毫米，其中，10 月份雨量較高於其他月份之主因為 2017 年 10 月卡努颱風與 2021 年 10 月圓規颱風所致。另根據 2019 年港灣海氣象觀測資料統計年報，2002 年至 2019 年間花蓮港域冬季東北季風風速介於 3.6 ~ 3.9 (公尺/秒)，夏季季風平均風速一般不超過 3.4 (公尺/秒)，強風以上風速平均發生日數約占全年 4.5%，強風多於冬季季風時期出現，疾風則多出現於 7 月至 10 月間之颱風好發期，平均疾風風速 20.5 (公尺/秒)，最疾風曾高達 53.8 (公尺/秒)，圖 2.4 為花蓮港域歷年觀測風玫瑰比較圖。

表 2-1 花蓮沿海鄉鎮氣象站資料概況

站號	站名	海拔高度(m)	經度	緯度	鄉鎮市區	資料起始日
466990	花蓮	16.1	121.613275	23.975128	花蓮市	1910/11/1
C0T9E0	大坑	415	121.581981	23.880628	壽豐鄉	2004/6/1
C0T9F0	水璉	251	121.542514	23.797131	壽豐鄉	2004/6/1
C0T9H0	加路蘭山	725	121.5274	23.682947	豐濱鄉	2004/6/1
C0T9I0	豐濱	152	121.514806	23.583897	豐濱鄉	2004/6/1
C0T9M0	靜浦	92	121.495028	23.455167	豐濱鄉	1997/7/1
C0Z100	東華	36	121.549833	23.89525	壽豐鄉	2014/1/1
C0Z150	吉安光華	27	121.595153	23.930925	吉安鄉	2017/6/3
C0Z180	新城	34	121.60454	24.03946	新城鄉	2017/12/1
C0Z270	蕃薯寮	343	121.540108	23.73835	壽豐鄉	2017/6/3

資料來源：中央氣象局

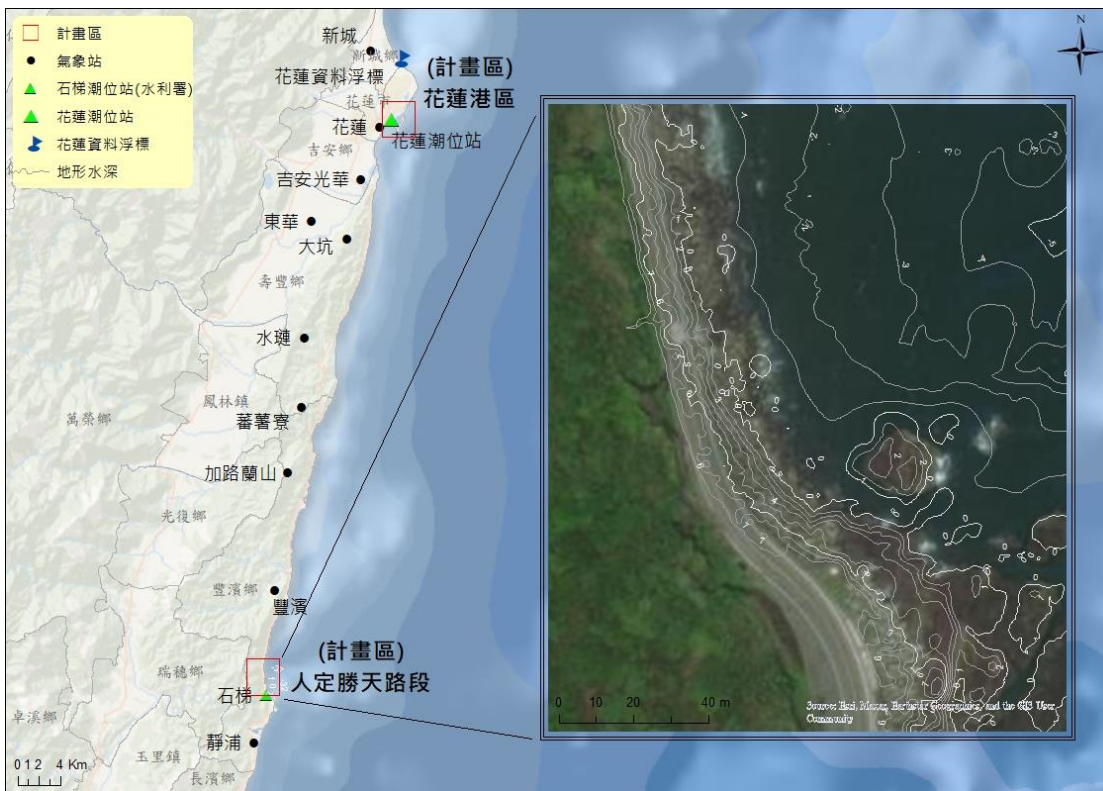
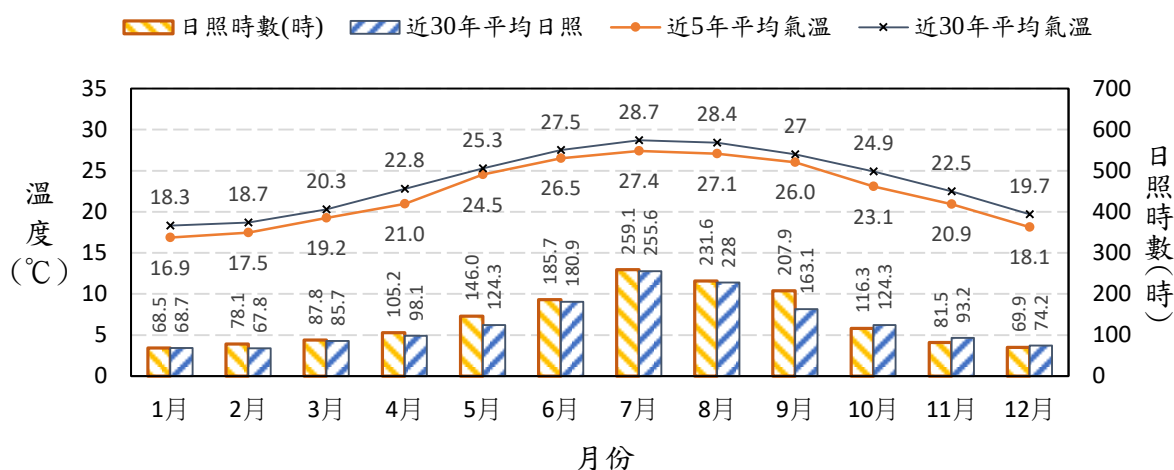
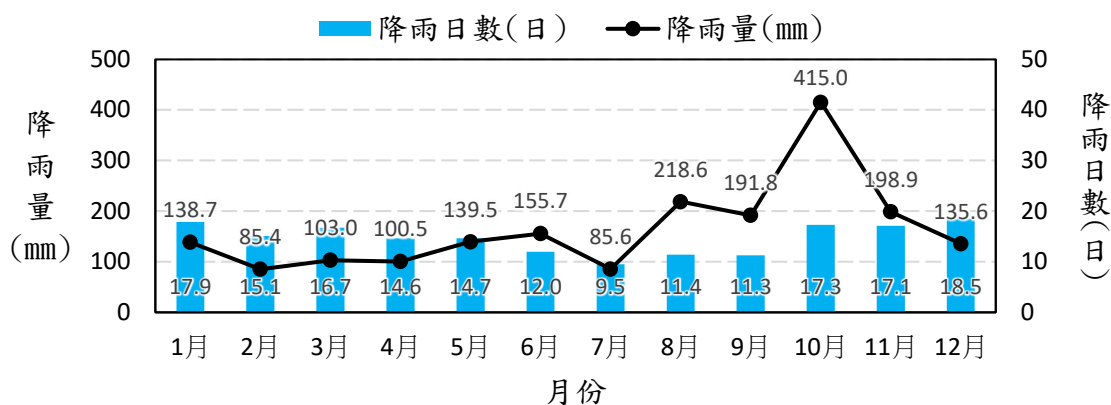


圖 2.1 計畫區花蓮沿海鄉鎮氣象站分布圖



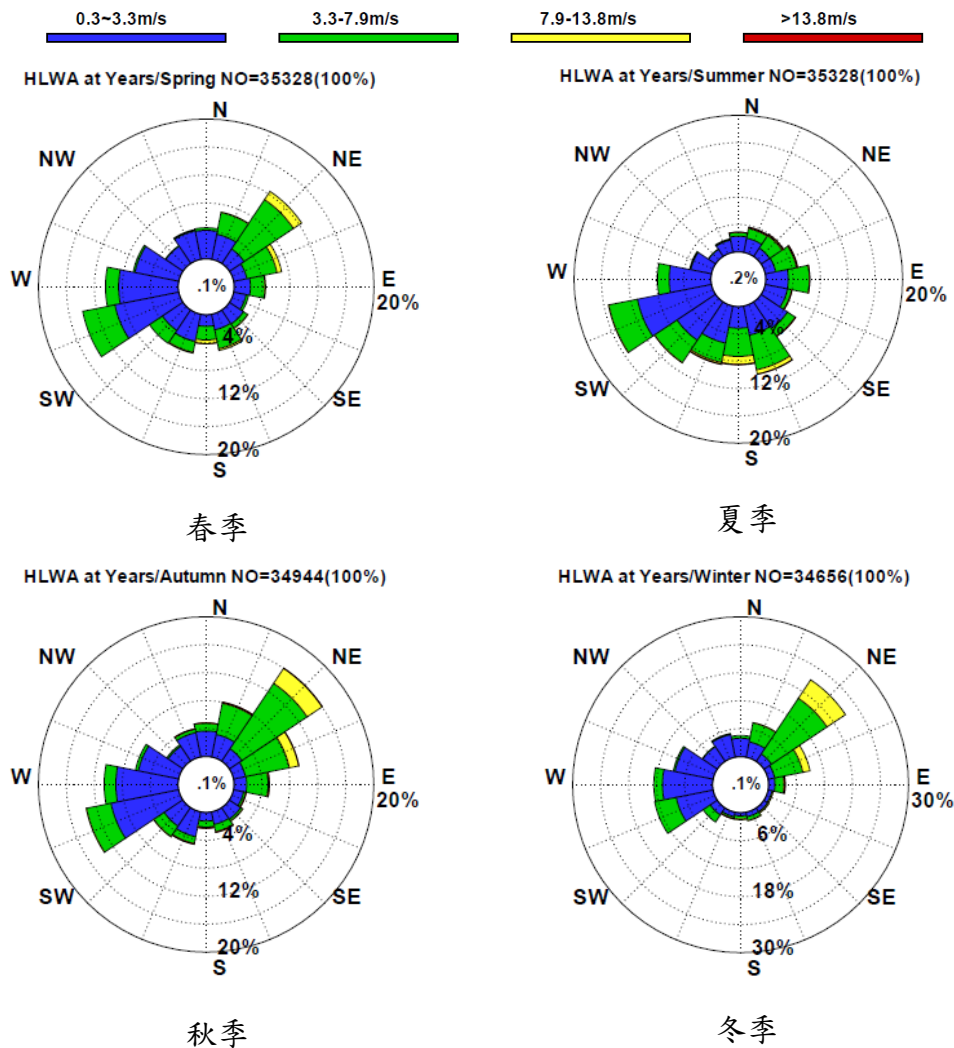
註：近 5 年平均值採用 2017~2021 年平均值、近 30 年平均值採用 1991~2020 年平均值。
資料來源：中央氣象局網站(<https://www.cwb.gov.tw/>)，本計畫重新繪製。

圖 2.2 花蓮沿海地區月平均溫度與日照時數分布圖



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

圖 2.3 花蓮沿海地區月平均降雨量與降雨日數分布圖(2017~2021)



資料來源：交通部運輸研究所「2019 年港灣海氣象觀測資料統計年報(12 港域觀測風力資料)」

圖 2.4 花蓮港域歷年觀測風玫瑰比較圖(2002~2019)

2.1.2 海象環境

1. 波浪

中央氣象局於花蓮縣新城鄉設有資料浮標，觀測波浪、風速風向與海流。茲蒐集 2002 年至 2021 年間花蓮資料浮標觀測資料如表 2-2，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 ~ 6.3 秒；最大示性波高約 3.6~11.9 公尺，對應週期介於 10.0~15.1 秒，平均示性波高與最大示性波高差值約為 6 公尺。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 7 月至 9 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

參考中央氣象局 2002 年至 2021 年間潮位統計資料，花蓮沿海潮位統計如圖 2.5、圖 2.6 與表 2-3，平均潮差介於 1.199 ~ 1.235 公尺，最大天文潮潮差約 2.225 ~ 2.891 公尺，而暴潮潮差可達到 2.771 ~ 2.891 公尺。整體而言，花蓮南側海域潮高較北側海域高，潮差亦較北部略大些。

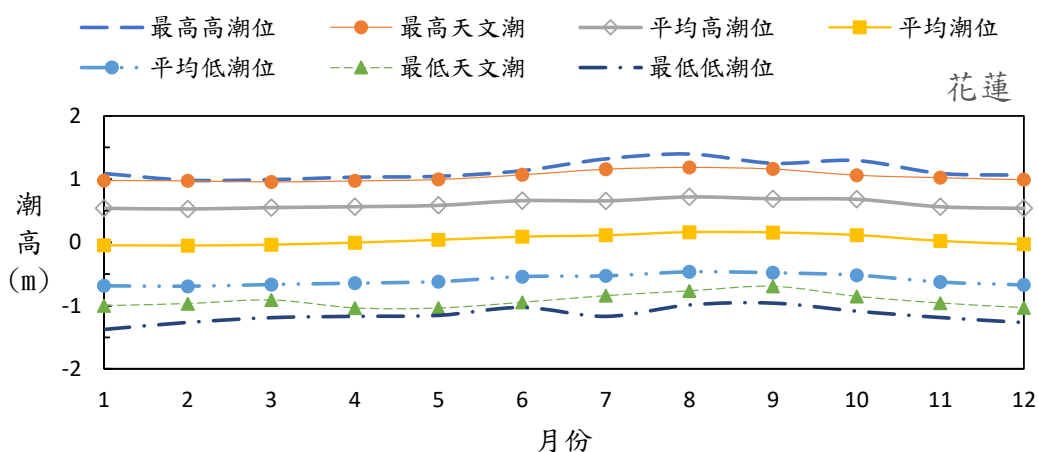
3. 海流

根據臺灣海氣象觀測資料統計年報資料，花蓮港域 2002 年至 2018 年間流速平均值為每秒 19.4 公分，平均流速介於每秒 0.9 ~ 5.6 公分，最大流可達每秒 3.1 公尺，漲潮時流向往西南，退潮時流向往東北，主要流向在西南西與東北東方上。在調查期間，流速甚少超過一節(約每秒 51.4 公分)，圖 2.7 為花蓮港域歷年觀測海流玫瑰比較圖。

表 2-2 花蓮浮標每月波高統計表(2002-2021)

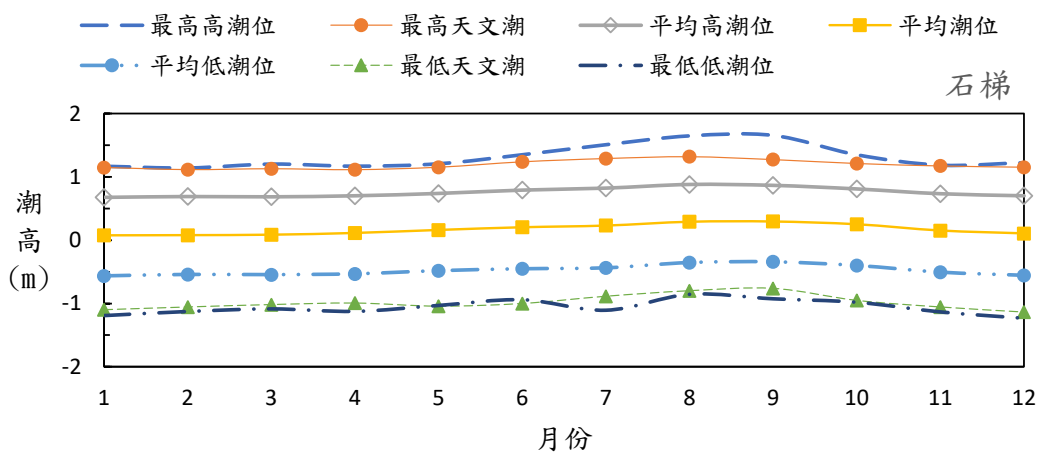
月份	最大示性波高				平均 示性波高 (公尺)	平均 週期 (秒)	示性波高分佈百分比			
	波高 (公尺)	尖峰 週期 (秒)	波向 (度)	發生時間 (年/月/日)			< 0.6 公尺 (%)	0.6~1.5 小浪 (%)	1.5~2.5 中浪 (%)	> 2.5 大浪 (%)
1	5.3	13.1	33	2011/1/15	1.5	6.2	1.9	53.5	37.8	6.9
2	5.2	11.3	22	2021/2/11	1.3	6.1	3.0	64.4	28.2	4.4
3	4.6	13.1	-	2005/3/4	1.2	6.0	7.0	69.1	20.4	3.5
4	3.8	10.0	45	2018/4/7	1.0	5.9	16.4	70.0	12.9	0.8
5	4.2	15.1	56	2011/5/29	0.8	5.6	40.2	55.3	4.2	0.3
6	3.6	13.1	-	2004/6/29	0.6	5.4	66.1	31.5	2.2	0.2
7	9.6	-	101	2008/7/28	0.7	5.7	62.7	31.1	3.9	2.3
8	11.9	13.1	90	2015/8/8	0.7	6.0	53.2	39.7	5.0	2.2
9	11.9	15.1	56	2010/9/19	1.0	6.2	30.8	51.9	11.9	5.4
10	10.1	15.1	315	2007/10/6	1.4	6.3	4.4	58	28.5	9.0
11	6.4	13.1	56	2007/11/27	1.4	6.3	2.2	59.6	31.6	6.5
12	8.1	-	22	2019/12/7	1.6	6.3	1.5	49.3	39.8	9.4

資料來源：中央氣象局網站(<https://www.cwb.gov.tw/>)，本計畫重新整理。



潮高基準：相對臺灣高程基準 TWVD2001 基隆海平面

圖 2.5 花蓮港每月潮位統計圖(2002~2021)



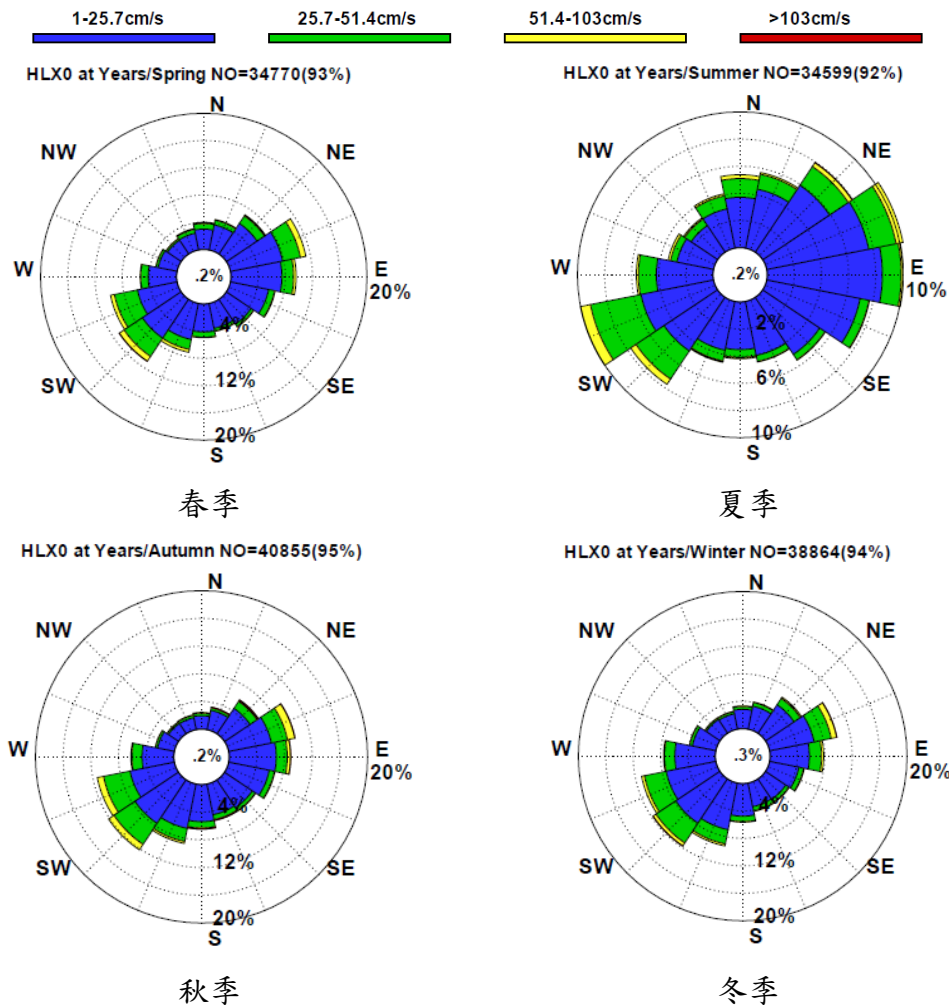
潮高基準：相對臺灣高程基準 TWVD2001 基隆海平面

圖 2.6 花蓮石梯每月潮位統計圖(2002~2021)

表 2-3 花蓮沿海潮位統計

潮位站	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)
花蓮	1.397	1.186	0.605	0.041	-0.594	-1.039	-1.374
石梯	1.656	1.321	0.761	0.174	-0.474	-1.136	-1.235

潮高基準：相對臺灣高程基準 TWVD2001 基隆海平面



資料來源：交通部運輸研究所「2019 年港灣海氣象觀測資料統計年報」

圖 2.7 花蓮港域歷年觀測海流玫瑰比較圖(2002~2019)

2.1.3 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。

2.1.4 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。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局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；其次為台東、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%出現在氣象局發布颱風警報時，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。

中央氣象局統計，2000 年到 2019 年 11 月間，共發生 360 件瘋狗浪擊落海事件，總計 589 人落海，其中，死亡或失蹤人數 363 人、

受傷人數 226 人。根據 2021 年中山大學與本所港研中心合作研究報告指出(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 2.8(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 2.8(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 2.8(c)。台 11 線人定勝天路段已屬公路總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, 公路總局將會於防災新聞稿發布時予以納入宣導防避之路段, 表 2-4 為臺灣東部海岸地區與海岸公路受到颱風波浪或異常浪等長波侵襲事件新聞蒐集。



(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.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

圖 2.8 浪襲台 11 線海岸公路事件現場概況

表 2-4 相關浪襲台 11 線海岸公路事件新聞蒐集

編號	日期	標題	事件地點	颱風	災情	管制措施
1	2015/8/8	人定不勝天!?花蓮「人定勝天碑」不見	台 11 線 62.1K	強颱 蘇迪勒	單線 地基流失	單線雙向 通行
	來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1405399					
2	2015/8/8	花蓮「人定勝天碑」遭捲入海！ 台 11 線先開放單線雙向	台 11 線 62 ~ 63K	強颱 蘇迪勒	單線 地基流失	單線雙向 通行
	來源：ETtoday 新聞 https://www.ettoday.net/news/20150808/546984.htm#ixzz6BjnF8DVT					
3	2015/8/8	蘇迪勒肆虐 人定勝天碑也倒	台 11 線 62K	強颱 蘇迪勒	淘空路基	
	來源：聯合新聞網 https://video.udn.com/news/354335					
4	2015/8/9	颱風蘇迪勒強風豪雨 全台 5 死百傷災情慘	台 11 線 62K	強颱 蘇迪勒	單線 地基流失	
	來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/firstnews/201508080432.aspx					
5	2015/8/23	大浪沖刷! 台 11 線邊坡崩落	台 11 線 47.6K	強颱 天鵝	路肩 邊坡流失	架設護欄
	來源：華視新聞 http://news.cts.com.tw/cts/general/201508/201508231651845.html#.Vdm1i4u5_p8					
6	2016/9/27	梅姬大浪拍擊台 11 線！漂流木、礫石飛上岸	台 11 線 62 ~ 63K	中颱 梅姬	浪襲道路	全面封路
	來源：自由時報 https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1838616					
7	2018/9/28	台 11 線 61.5k 花蓮豐濱鄉人定勝天路段路基掏空道路封閉	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	全面封路
	來源：公路總局 https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/news/news_details?node=eeb33aa6-58a1-4d5d-b6aa-28dd4d5270b0&id=3283263d-71a8-4b13-8572-286f3d39e232					
8	2018/9/28	颱風掏空路基 海岸公路花蓮豐濱鄉段封閉至 10 月 1 日	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	全面封路
	來源：中時 https://www.chinatimes.com/realtimenews/20180928004176-260402?chdtv					
9	2018/9/29	台 11 線人定勝天路段路基掏空 緊急搶修明天上午恢復通行	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：新頭殼 https://newtalk.tw/news/view/2018-09-29/145822					
10	2018/9/29	潭美掀浪！花蓮台 11 線豐濱鄉人定勝天路段路基掏空 道路封閉	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：ETtoday 新聞雲 https://www.ettoday.net/news/20180929/1269316.htm					
11	2018/9/29	潭美颱風掀浪 花蓮台 11 線豐濱鄉路基掏空	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：中央社 https://www.cna.com.tw/news/ahel/201809290031.aspx					
12	2018/9/30	搶修 8 小時 花蓮豐濱鄉人定勝天路段單線 雙向通行	台 11 線 61.5K	強颱 潭美	路基掏空	單線雙向 通行
	來源：聯合新聞網 https://news.housefun.com.tw/news/article/162895208427.html					

資料來源：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

目前學界對於瘋狗浪的成因尚未有定論，此類異常波浪隨機發生的現象，尚無法從實測水位來說明其出現的時空變化，但可以透過一些海氣象變化和海事災害來判斷瘋狗浪的形成原因、襲擊岸邊時機和地點等。中央氣象局指出，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。

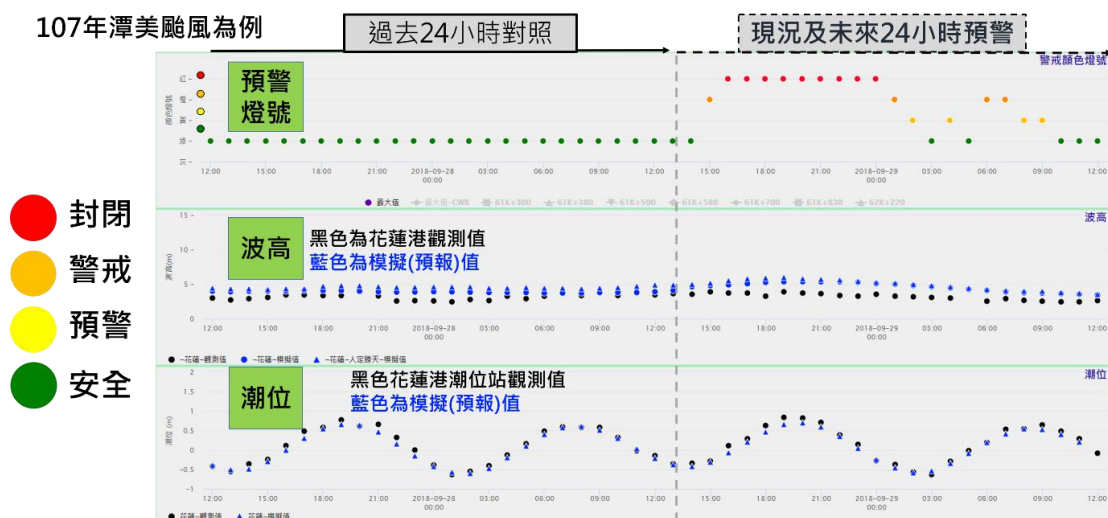
東部海岸公路受到浪襲所引致的災害除了對用路人行車安全造成威脅，更讓業管單位的現場巡檢人員受到一定的風險，且港區防波堤可能受颱風波浪越波造成破壞。鑒於許多浪襲意外與越波有關，惟越波及浪襲尚無現場觀測數據或影像等直接資訊，遂應針對海浪溯升情況進行監測，依據溯升計觀測數據和海岸即時影像監測畫面，來預測是否有越波發生，提供業管單位越波、浪襲資訊的警示資訊。

2.1.5 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。公路總局需於颱風期間派員駐點守視路段狀況，實施預警性或緊急性封路，應變作業採用即時觀測資訊，缺少海象預報資訊，預警及應變較為困難。

本所繼 2017 年建置完成「臺東海岸公路浪襲預警系統」後，於 2020 年與國立中山大學合作，針對花蓮台 11 線海岸公路，運用水動力數值模式模擬颱風波浪溯上情境，並整合臺灣東部海域之海象觀測資料，建置「花蓮海岸公路浪襲預警系統」，提供 24 小時之浪襲預警資訊，作為浪襲封路之決策輔助參據。透過花蓮海域歷年海象條件及颱風事件進行研究分析，發展出可推算颱風波浪在海岸公路溯上之技術，針對人定勝天路段，應用數值模式進行多變數情境分析。根據模擬結果建立颱風波浪溯上資料庫，並依公路總局浪襲防災標準，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 2.9 所示，讓公路管理單位與第一線人員都可隨時隨地經由電腦或手持裝置進行查詢，即時掌握此具預報性之封路輔助資訊，以預為因應，俾提高颱風期間用路人之安全性，降低行車風險。



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 2.9 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號

2.2 溯升與越波觀測技術研究

2.2.1 溯升計研究概述

臺灣沿岸一般性海堤全長約 339 公里餘，目前國內迄今尚無合適感測器可長期擺放在海堤區域監測海水溯升的全年歷程。主要困難在於海堤區域監測設備經常處於高溫曝曬、雨淋、海水浸泡腐蝕、漂流垃圾撞擊等嚴苛環境，造成建置成本昂貴，風險成本亦高。且因位處偏遠，除了可能的竊盜破壞以外，獨立電源供應、觀測資料即時傳輸等更是此項嚴峻工作亟待克服的問題。

比利時過去曾有 MAST I-III 計畫 (1998-2001 年) 支持海水溯升觀測研究，以水位計成功量測 Zeebrugge 港拋石堤上海水溯升變化歷程 (De Rouck et al., 2007)，如圖 2.10 展示，但總體經費昂貴且儀器未經保護，並不適用於臺灣多颱風的氣候環境條件。

國立成功大學水工試驗所執行經濟部水利署第六河川局委託研究計畫(2005 年)，於青草崙海岸沙灘上佈設溯升觀測系統，採用鐵棒樁定方式，於颱風來襲前進行架設，颱風過後即移除。觀測系統包括自記式水位計、溯升感應器、傳輸電纜及資料擷取系統等設備，如圖 2.11 所示。

國立成功大學水利系執行經濟部水利署 (2005-2006 年) 計畫，於嘉義縣好美里海岸及台南市黃金海岸建置波浪溯升觀測系統。觀測系統包括水位觀測樁、溯升感應器、攝影機、傳輸電纜及資料擷取系統等設備，如圖 2.12 所示。即時影像攝影機則用於拍攝記錄觀測樁上之尺標來判讀水位。此觀測系統之優勢，乃不易受到颱風浪之破壞搬移，亦可於夜間進行監測。

國立中山大學執行第七河川局委託研究計畫 (2006~2008 年)，於屏東縣車城鄉後灣海岸沙灘上埋設自計式水位計、溯升感應器、傳輸電纜及資料擷取系統等設備，輔以鄰近建築物高處架設數位攝影機錄製方式，綜合研判海水最大溯升位置之歷時變化，如圖 2.13 所示。成功觀測得到聖帕颱風、柯羅莎颱風侵襲後灣海岸期間的溯升演變情形。

成功大學近海水文中心執行水利署委託科專計畫 (2013-2014 年), 研發海堤區域潮升觀測系統, 成功觀測第六河川局轄區台南市七股區曾文海埔地海堤在尤特、潭美及天兔颱風影響期間, 波浪於堤面之最大潮升高度變化。圖 2.14 展示該計畫海堤潮升感測設備現場配置圖。

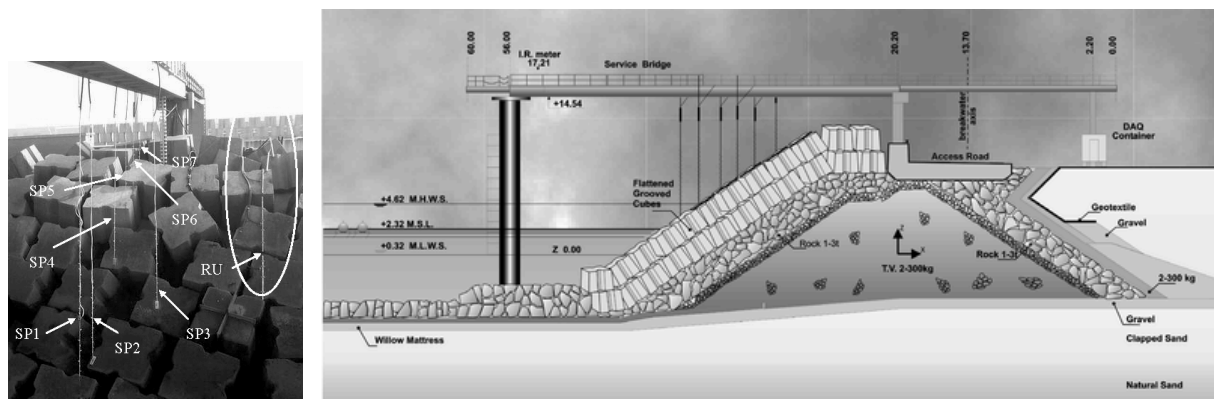


圖 2.10 比利時 MAST 計畫於拋石堤佈設潮升觀測設備示意圖



(左圖) 自記式水位計



(右圖) 潮升感測器

圖 2.11 成功大學水工試驗所波浪潮升觀測系統



(左圖) 水位觀測樁



(右圖) 潮升感測器

圖 2.12 成功大學水利系波浪潮升觀測系統

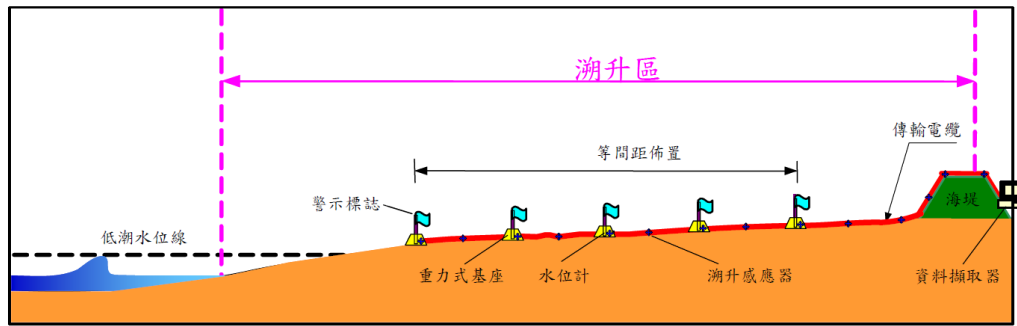


圖 2.13 第七河川局委託計畫(2006~2008 年)於屏東縣車城鄉後灣海岸灘面及消波塊上架設溯升觀測站



資料來源：水利署電子報 http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=20011F2991389F76。

圖 2.14 水利署能專計畫(2013~2014 年)於臺南市七股區曾文海埔地海堤堤面上架設溯升觀測站

財團法人工業技術研究院結合前述溯升感測觀測站優點，考量海堤區域使用環境，在兼顧售價、耐用性、通訊、電源、施工等重要關鍵，開發國人自主開發之「智能微型化溯升感測器」，如圖 2.15 所示。機組尺寸約為長 220 公厘、寬 150 公厘、高 75 公厘，具備自記式、獨立電源、防水防塵、無線傳輸功能，滿足在海堤區域嚴苛環境條件下的長期監測需求。此新型溯升感測器感測原理與前述近海水文中心開發的溯升觀測站相同，採用導電度計電解待測水體，分辨雨水與海水，避免颱風期間因雨勢而誤判海水的溯上高度，對於排除飛沫型溯

升亦有不錯的辨識能力。而與前述溯升觀測設備主要差異處，在於其獨立單元設計，不須額外拉電纜供電及傳輸資料，便於安裝維護，且亦因降低現地鋼材保護機構材料，大大降低建置成本。此溯升感測器的原型已於 2021 年第六河川局委託計畫中，成功記錄璨樹颱風期間，高雄市彌陀海堤的波浪溯升情形，並與影像判釋結果比對，成功驗證技術可行性與正確性，該觀測站佈設配置如圖 2.16 展示。



圖 2.15 本計畫採用之溯升感測器



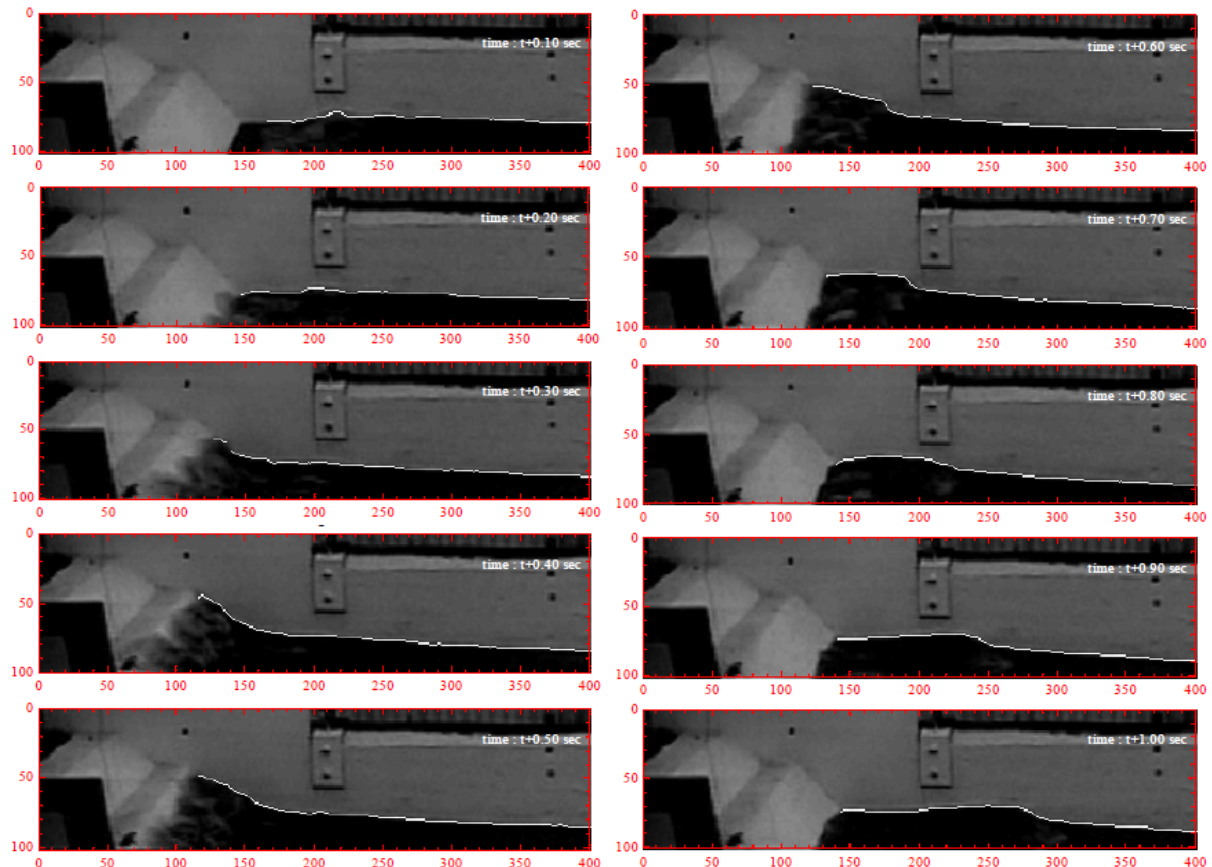
資料來源：110 年第六河川局河川監測資訊管理精進計畫(2021)

圖 2.16 高雄市彌陀區彌陀海堤堤面溯升觀測站配置概況

2.2.2 國內溯升與越波影像判釋研究

隨著攝像技術之發展，影像獲取速率大幅提升，以高速相機或攝影機進行地形、波流場等現地監測工作，記錄為影像資料，再據以分析、判釋或推論目標物及其相關資訊之方法日益精進。往昔對於波浪或溯上影像分析之研究多於實驗室內之透明玻璃水槽中進行拍攝，韓坤平等人(2006) 以 CCD 攝影機架設於戶外實驗水槽側邊，以俯視攝

影方式記錄波浪溯上水體剖面運動之情形，將所攝影像進行灰階轉換、幾何變形校正、影像重建、影像濾波增強處理等過程，再透過影像二質化與邊緣偵測法獲取波浪溯上與回降運動之剖面曲線，圖 2.17 為時間間隔 0.1 秒之波浪溯上實際影像與數值處理分析結果比對之時序變化。



資料來源：韓坤平等(2006)。

圖 2.17 波浪溯上時序變化

中央氣象局於 2016 年 5 月建置一套瘋狗浪光學監視系統，攝影機架設於龍洞四季灣(原龍洞管理站)之辦公室屋頂，監視系統的錄影畫素為 200 萬，影像更新頻率為 24 fps (frame per second)，可監看波浪與岬頭交互作用激起之浪花高度、捕捉到瘋狗浪成形的過程。王敘民等人(2017)提出一全自動影像辨識的分析流程，藉由視訊系統所攝影像，以每 0.5 秒為單位進行影像擷取，經過影像切割、灰階轉換、影像雜訊濾除與銳化、影像二值化和高程計算等數位影像處理過程，量化為可用資訊，分析激浪高度。該研究指出，二值化影像轉換的調整參數為 0.92，且視窗大小設為 15×15 時具有最高的辨識率，成功率

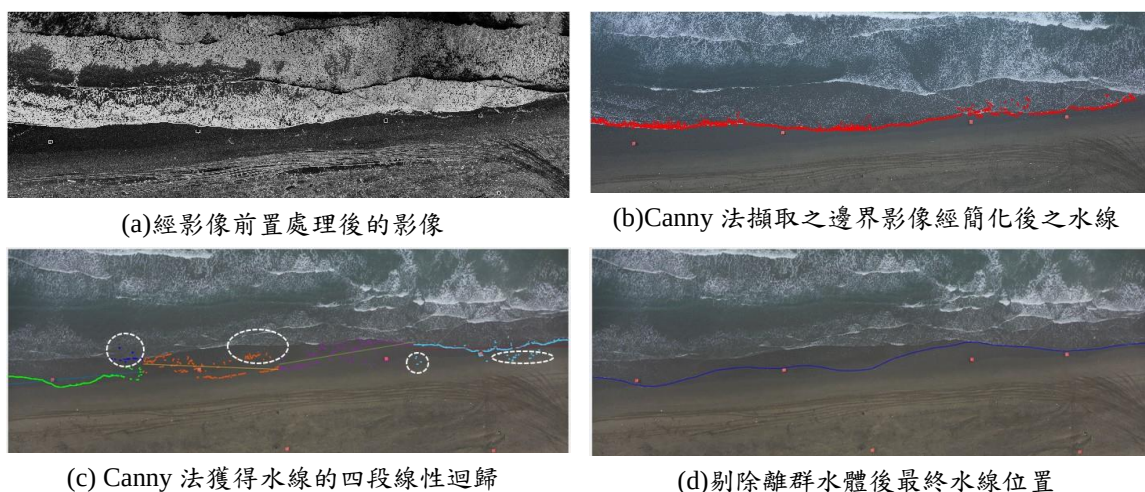
約有 86%；圖 2.18 為分析所得之水花邊界套疊至原圖中比對成果，顯示水花邊緣的辨識結果良好，可準確的描繪出水花邊界，而分析所得之水花邊界略小於實際圖片中之水花範圍，研判為該處水花密度較疏散所致。



資料來源：王敘民等人(2017)。

圖 2.18 水花辨識結果比對圖

張憲國等人(2018)利用無人載具搭載全片幅單眼相機於新月沙灣進行拍攝，紀錄波浪溯升的運動過程，所攝影像經過影像灰階化、影像強化與形態學等影像前置處理過程後，採用邊緣偵測的 Canny 演算法(Gonzalez and Woods, 2001) 擷取水線，再以四段水線的線性迴歸線，當水線可能的平均數，並以三倍標準差為範圍，來剔除已判辨水線的離群值(outliers)，以獲取最終水線位置，圖 2.19 為影像水線擷取流程。



資料來源：張憲國等人(2018)。

圖 2.19 影像水線擷取流程

經濟部水利署第六河川局(2021)「河川監測資訊管理精進計畫」透過 AI 人工智慧建立智慧化越波警戒模式，以影像時間堆疊法建立波浪溯升的量測及分析系統，包含影像梯形校正、擷取斷面、堆疊排序、像素強化及邊緣偵測等處理過程，獲取實際波浪於海堤溯升之時序變化。其流程說明如下(參見圖 2.20)：

1. 首先要於計畫區域(攝影機涵蓋範圍內)註記定位點，以轉換成實際座標尺度，再經過影像邊緣偵測，即可量化不規則波之溯升與越波，詳述進行步驟如圖 2.20 所示。
2. 相機拍攝會有角度，使得拍攝出的影像會產生變形，故影像需進行梯形校正。
3. 現地拍攝之影像可能受光線不足或環境品質不佳，如空氣中過多懸浮粒子影響等，而導致影像成像模糊不清，故經梯形校正後亦須對影像進行像素強化，以利於使用影像法進行溯升與越波分析。
4. 攝影機所拍攝的影片需先以秒為單位進行圖像擷取，以獲得每分鐘 60 張之照片。接著，將影像進行梯形校正，以確保其不受鏡頭角度而產生變形，並將像素尺度轉換成實際物理尺度。
5. 隨後，將所有影像於同個位置擷取一段欲分析之斷面，如圖 2.21(右)為實際波浪於海堤溯升之時序變化，橫軸座標表時間之變化、縱軸座標代表波浪之溯升高，高程刻度為依據感測器位置及參照海堤剖面高程資料轉換後之實際尺度，紅線為邊緣偵測法擷取邊界之最高點位置，即最大溯升高。

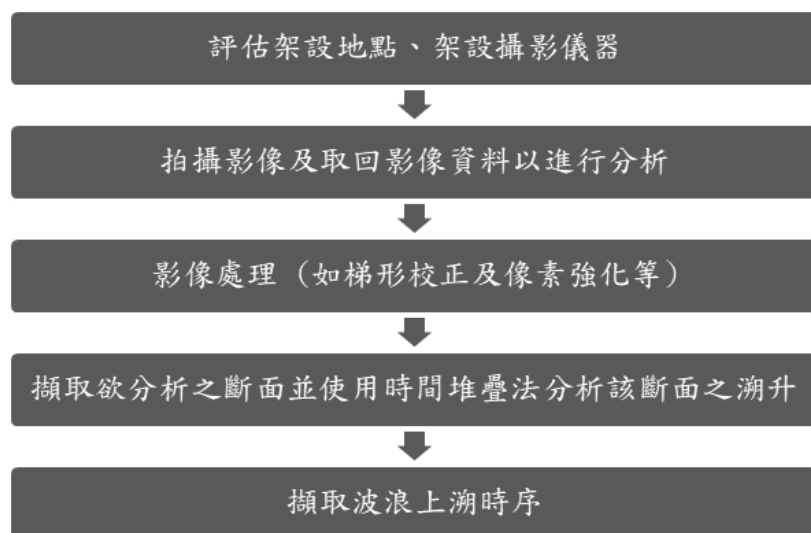
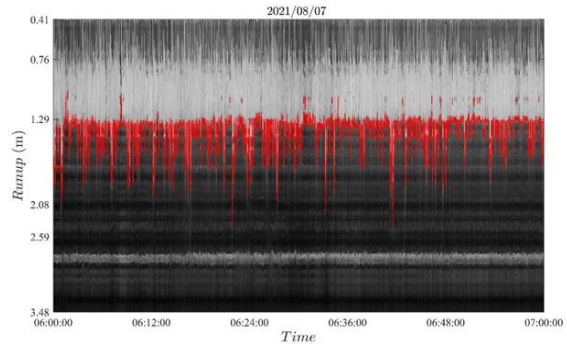


圖 2.20 影像法分析波浪於實際海堤溯升之流程圖



(左圖)案例影像及擷取欲分析斷面示意圖



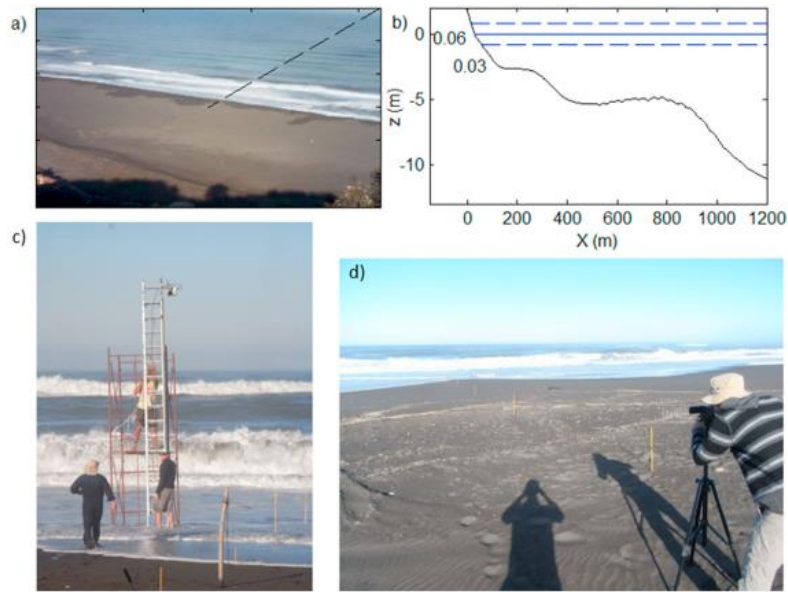
(右圖)以時間堆疊法分析實際波浪溯升之時序變化

資料來源：河川監測資訊管理精進計畫(2021)

圖 2.21 彌陀海堤實際波浪溯升之時序變化(盧碧颱風)

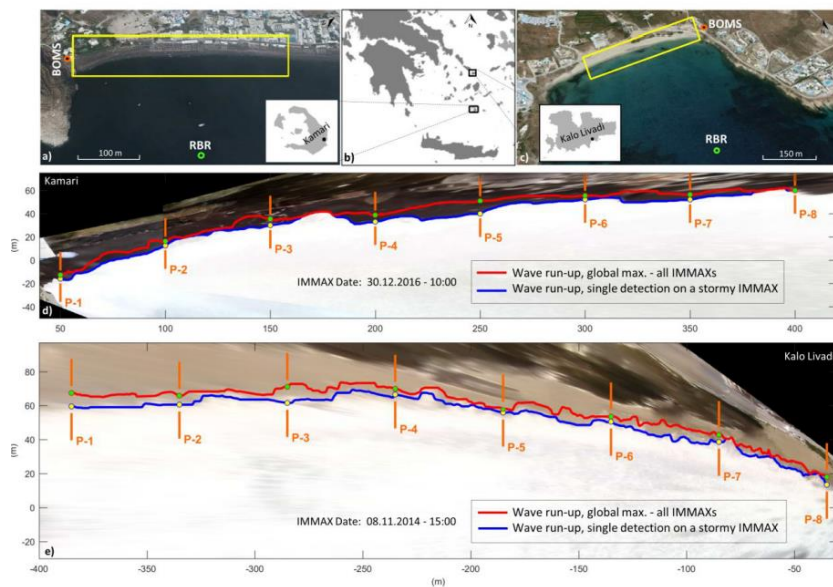
2.2.3 國外溯升與越波影像判釋研究

近年攝影技術成長且普及，無論是人們透過影像紀錄生活，抑或在實驗室中使用影像法進行精密流體力學實驗，均為攝影技術之應用。影像分析優點為可提供連續測量、非侵入式量測及成本相對傳統的固定式儀器低廉等特性，不失為經濟且高品質之數據採集技術，並且於過去數十年間，已被廣泛的應用於海岸工程方面。例如：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 2.22)，藉由地理圖像校正與影像分析技術，萃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。別於一般溯升計觀測方式，透過影像判釋波浪溯升技術，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 2.23)。本計畫依分析技術之不同，分為「非學習型」和「學習型」兩類型影像分析研究來進行資料蒐集。



資料來源：Almar et al., 2017。

圖 2.22 架設波浪溯升監視系統

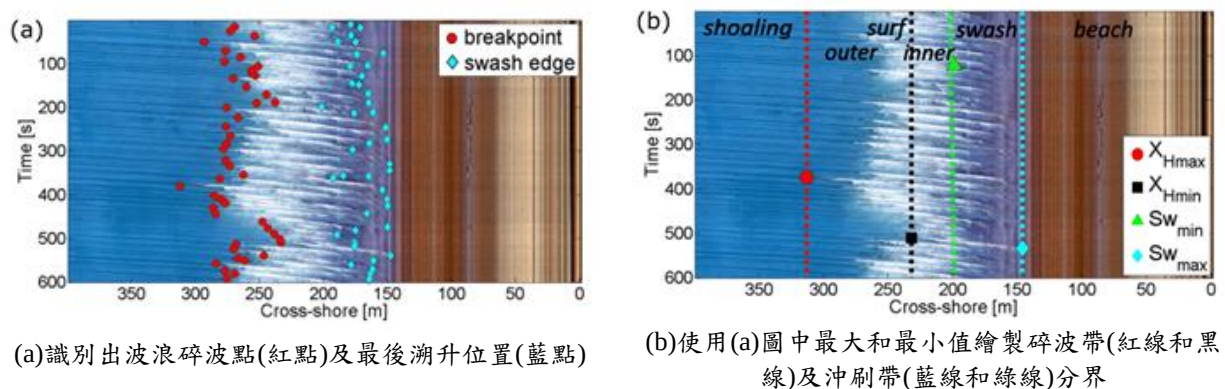


資料來源：Chatzipavlis et al. (2019)。

圖 2.23 透過影像分析技術萃取波浪溯升情況

「非學習型」影像判釋技術於波浪溯升研究方面，Andriolo (2019) 的研究成果顯示，影像分析法除可運用於追蹤波浪溯升高之水線外，亦可結合時間堆疊法進行分析，清楚地捕獲波浪在沿海地區溯升溯降之情形。時間堆疊法顧名思義為在取樣的時間內從每個圖像中採取一行像素影像，再根據取樣頻率將每個擷取像素影像組合，成為時間堆疊的圖像，此可易於判斷測量標的隨時間變化型態，如圖 2.24 [擷取自 Andriolo (2019)]。該研究於北大西洋西葡萄牙海岸的 Ribeira d'Ilhas

海灘和 Tarquinio-Paraiso 海灘進行現地實驗(圖中為 Ribeira d'Ilhas 海灘)，將攝影機架設在海拔約 80 公尺、距 Ribeira d'Ilhas 海灘約 400 公尺處的房屋屋頂上，於 2017 年 3 月 28 日至 29 日間拍攝了約 18 小時的影像，影像以 10 秒為單位擷取一段波浪入射海岸線之影像，使用時間堆疊法進行分析，藍色部分為波浪、白色部分為碎波、咖啡色部分為海岸，依 RGB 三原色光模式按像素強度判斷出波浪碎波起始點(圖中紅點)，和最後溯升位置點(圖中藍點)，且將碎波起始點的最大最小值(X_{Hmax} 、 X_{Hmin})分別繪製一條虛線(紅線及黑線)，也同樣繪製最後溯升位置點的最大最小值(Sw_{max} 、 Sw_{min})之虛線(藍線及綠線)，便可從影像中清楚的區分出淺灘區、碎波區、沖刷區及未被溯升影響到的區域。其分析流程如圖 2.25 所示，並說明如下：



資料來源：Andriolo (2019)。

圖 2.24 影像堆疊法應用於測量實際海岸波浪溯升

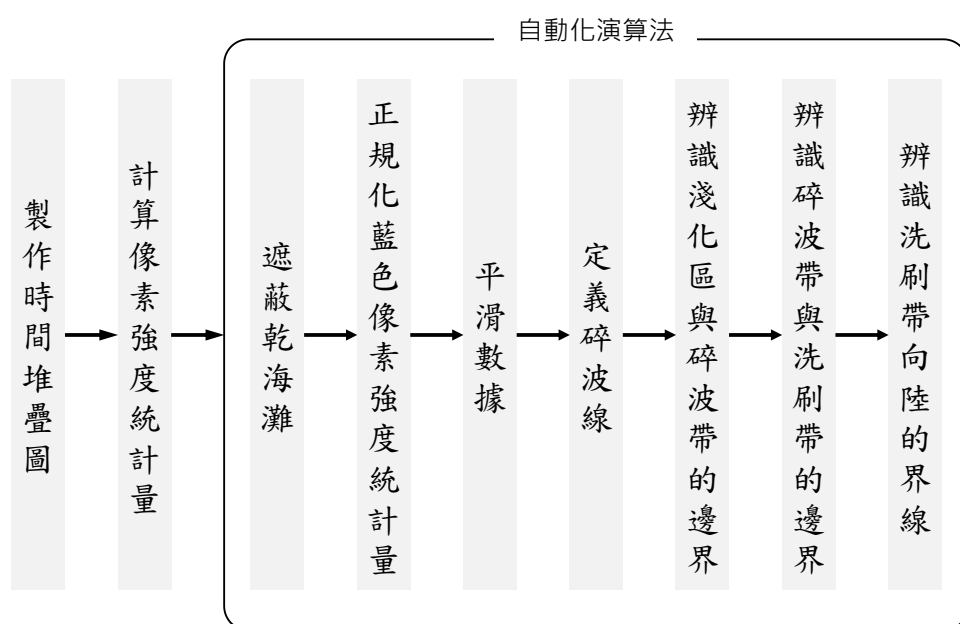


圖 2.25 非學習型影像分析法流程(本計畫重新整理)

1. 製作時間堆疊圖(Timestack)：

利用台 11 線人定勝天路段上既有的攝影設備，將所需影像經過影像處理(如梯形校正、像素強化等)後，選定斷面製作時間堆疊圖。

2. 計算像素強度統計量：

為了利用像素強度變化判斷波浪溯升的位置，我們將於時間堆疊圖上計算出平均值($\bar{I}_{px}$)剖面與標準差($\sigma_{I_{px}}$)剖面，如圖 2.26，計算公式如下：

$$\bar{I}_{px} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{x,i} ; \quad \sigma_{I_{px}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{x,i} - \bar{I}_{px})^2}$$

其中， $I_{x,i}$ 為像素強度， n 為像素數量。

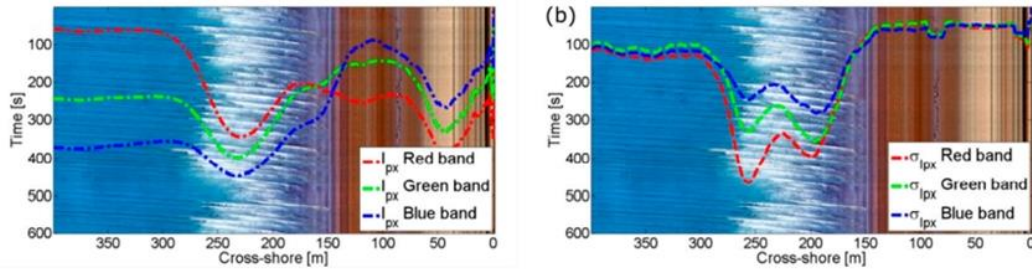


圖 2.26 時間堆疊計算平均值與標準差剖面結果

3. 自動化演算法

雖然憑藉視覺觀察已經足以於時間堆疊圖上判別波浪變形域，但若能以電腦程式自動化判別將對日後的研究更有效益，此處程式語言將使用 Matlab，細節概念敘述如下：

(1)遮蔽乾海灘：三原色光模式(RGB color model)中，紅色與綠色的比值可由 Timex 剖面獲得，將比值大於 1.4(較為保守的值，應用於台 11 線人定勝天路段應再評估)的部分除去，即可在時間堆疊圖上遮蔽乾海灘。

(2)正規化藍色像素強度統計量：遮蔽乾海灘後的平均值($\bar{I}_{px}$)與標準差($\sigma_{I_{px}}$)在時間堆疊圖上形狀相似，只有像素強度不同，去除紅色及綠色，使用藍色較能代表白色的碎波與深藍色的淺化(shoaling)，同時將像素強度的值域設為 0 到 1。

(3)平滑數據：使用移動平均(moving average)將平均值($\bar{I}_{px}$)與標準差($\sigma_{I_{px}}$)平滑處理，平均值($\bar{I}_{px}$)的窗口大小(window size)設為整個時間堆疊圖空間範圍的 5%，標準差($\sigma_{I_{px}}$)則設為 10%，因為標準差

比平均值較容易出現雜訊。

- (4)定義碎波線(breaking line)數量：使用 Matlab 功能中的 *peakfinder* 可以找出平均值($\bar{I}_{px}$)剖面的峰值，藉此判斷碎波線的數量，這些點代表外碎波帶與內碎波帶的邊界(X_{Hmin_shore} and X_{Hmin_bar} ，圖 2.27 中的Bs)，若只有一個峰值，則代表此處海灘為岩岸，並只有 X_{Hmin_shore} ；若出現兩個峰值，則代表此處為沙堆海灘(barred beach)， X_{Hmin_shore} 和 X_{Hmin_bar} 將同時出現。

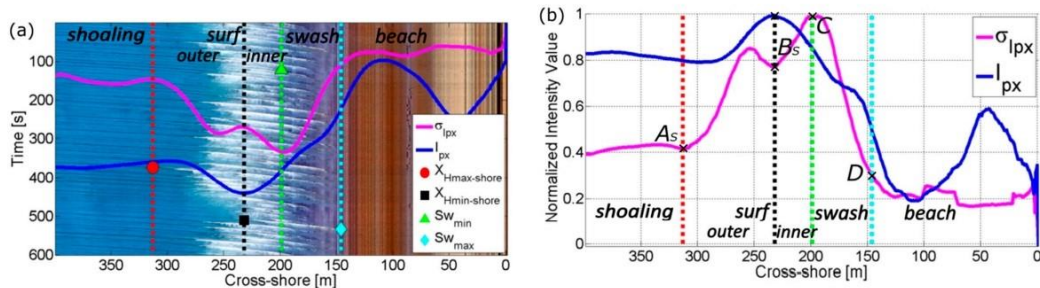


圖 2.27 時間堆疊分析各區域結果

- (5)辨識淺化區(shoaling zone)與碎波帶(surf zone)的邊界：第一個碎波出現的位置(X_{Hmax} ，圖 2.27 中的 A_s)可由標準差($\sigma_{l_{px}}$)剖面的一階微分辨認，在Bs前，當標準差($\sigma_{l_{px}}$)的一階微分超過 0.002 的位置，即為淺化區與碎波帶的邊界。
- (6)辨識碎波帶與洗刷帶(swash zone)的邊界：在Bs後，標準差($\sigma_{l_{px}}$)剖面的最高峰即為碎波帶與洗刷帶的邊界(Sw_{min} ，圖 2.27 中的C)。
- (7)辨識洗刷帶向陸的界線：D向陸後，平均值($\bar{I}_{px}$)剖面或標準差($\sigma_{l_{px}}$)剖面的第一個局部最小值即為洗刷帶向陸的界線(Sw_{max} ，圖 2.27 中的D)。

其中， X_{Hmax} 為淺化區與碎波帶的邊界； X_{Hmin} 為外碎波帶(outer breaking surf zone)與內碎波帶(inner breaking surf zone)的邊界； Sw_{min} 為內碎波帶與洗刷帶的邊界； Sw_{max} 為洗刷帶(swash zone)與海灘的邊界。

另一方面，den Bieman et al. (2020)以「學習型」影像判釋技術成功量測水位、潮升和地形。den Bieman et al. (2020)在實驗室中以深度學習-卷積神經網絡(Convolutional Neural Network, CNN)計算出相當

精確的溯升高，如圖 2.28 所示，大致作法歸類如下：

1. 建立影像資料庫

為了訓練卷積神經網路(CNN)，我們需要建立影像資料庫供訓練使用，即使用簡單的影像編輯軟體標註圖片，建立 ground truth 資料集，這個資料集含有原始照片及標註後的照片。同時，為了增加訓練所需的大量影像，可使用影像擴增(image augmentation)，如幾何變換、色彩變換等。

2. 訓練 CNN

實際應用上，為了提升訓練效率，可用事先訓練好的值初始化 CNN 的權重，如 VGG(Visual Geometry Group，英國牛津大學)，這些訓練好的值已經經過大量的資料庫(如：ImageNet)訓練，因為它們描述普遍的特徵，所以對任何影像分割問題都是有用的。

在訓練 CNN 的過程中，我們會將 ground truth 資料集分為訓練集和測試集，訓練集將負責訓練 CNN 的權重，CNN 在整個訓練集訓練一次稱為 epoch，為了增加正確率，通常訓練不只一次(den Bieman 於波浪溯升實驗中訓練了 80 次)；測試集將負責判斷 CNN 的執行成果及預防過度擬合(overfitting)，在測試集擁有最高正確率及最低損失的 CNN 將進一步用於影像分析，單憑這樣還不足以判斷 CNN 的好壞，故實際應用上，還需與其他實驗結果進行比對，如波浪溯升計或人為觀測。

3. 獲得溯升量測高度

於實驗室進行溯升量測驗 CNN 時，採用以下額外的方法從原本量測到的溯升高度獲得更方便表示的溯升高度：

(1)將量測時所獲得沿坡面的溯升高度轉換為垂直溯升高度， $R_u = R_{\parallel} \sin \alpha$ 。其中， R_u 為垂直溯升高度， $R_{\parallel}$ 為沿斜面溯升高度， α 為斜面夾角。

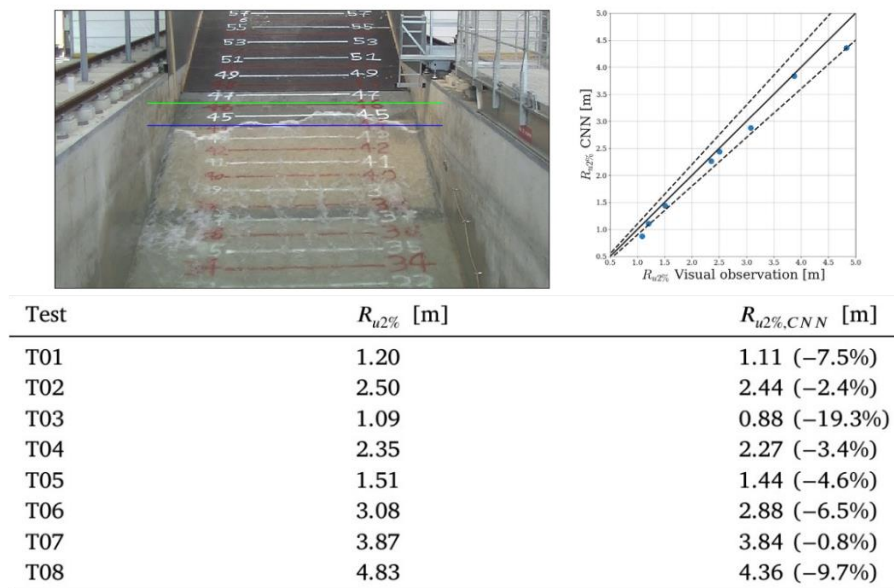
(2)移除波浪水槽靠近壁面的點以修正壁效應(wall effect)。

(3)將剩餘的點取平均後即代表整個水槽寬的平均溯升高度。

4. 於波浪溯升量測驗 CNN

(1)量測地點：荷蘭 Deltares 的 Delta 水槽。

- (2)量測次數：8 次。
- (3)波浪：不規則波；深水條件：水位為 5.33 公尺~6.83 公尺、示性波高為 0.43 公尺~1.40 公尺、尖銳度為 2%~4%。
- (4)人為視覺觀測：依照預先於水槽上標好的刻度，由三位不同的人以視覺觀察每次實驗波浪所到達到的最大刻度再取平均。
- (5)影像與模式數據：影格率為 25 赫茲、解析度為 1920x1080，Timestack 解析度為 250x1080、訓練集影像數目為 159 張、測試集影像數目為 39 張。
- (6)模式結果：正確率 98.4%、損失 0.045、epoch 為 20 次。
- (7)CNN 觀測：藉由超過隨時間變動的閾值來決定溯升的獨立事件，閾值由移動平均計算出，最終於 8 次量測中在水槽上獲得 36 個溯升點。
- (8)驗證結果：儘管與人為觀測驗證起來有些許誤差，但結果還算不錯，顯示 CNN 於波浪量測上的可行性。



資料來源：den Bieman et al. (2020)。

圖 2.28 以 CNN 進行影像判釋之精確度比較

上述這兩種方式最大的差異在於，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，免除了繁複的調校工作，可更好的運用在不同的觀測條件上。然而，學習型需要蒐集數千筆以上的資料，並且進行圖像標註(image annotation)建立學習所需之資料樣本。

第三章 溯升與越波觀測資料分析

本計畫所需進行之溯升與越波觀測資料蒐集與分析，分為溯升計與影像觀測兩種不同方式。溯升計方面，於適當位置安裝溯升感測器(於台 11 線人定勝天路段設置兩個斷面)，以利蒐集溯升或越波相關資料，此屬於侵入式的觀測，其技術相對影像判釋上單純，惟於適合設置點位、感測器維護運作、訊號率定與傳輸等考量上需要透過現地勘查來評估；影像判釋方面，主要蒐集既有網路攝影機影像資料，並配合影像判釋技術進行分析，其屬於非侵入式觀測，雖可較不受環境因素而導致觀測設備易破壞之影響，惟其在分析技術上相對較為複雜，且需透過多方校驗，才能確認分析技術之可靠性。此兩不同觀測方式概述如後。

3.1 溯升計觀測資料蒐集與分析

本計畫規劃於台 11 線人定勝天路段建置溯升觀測站，用以紀錄並回傳波浪溯升與越波的逐時資料。該海岸段現況如圖 3.1 所示，圖中左側電桿上方設有運研所攝影設備，本計畫乃規劃於前方向海側消波塊上布設溯升感測器數只，建構 2 處斷面之溯升觀測站。因該設備為接觸式量測，可在颱風事件或顯著越波事件發生時持續進行量測，不受驟雨或夜間能見度低的影響，用以做為後續影像判釋成果的比對驗證，提升海岸公路浪襲預警系統預警成效。



圖 3.1 台 11 線人定勝天路段海岸斷面現況 (攝於 2021/12/27)

實際應用於現場，溯升觀測站乃以 2 赫茲觀測頻率記錄感測探頭測得電壓值，用以界定海水是否已到達感測探頭高度；獨立電源功能乃規劃採用太陽能充電、鋰電池儲電方案，足供本計畫期間使用電量；設備防水防塵特性乃透過聚碳酸酯外殼及矽利康澆注方式達成；即時傳輸功能部分，為改善電信訊號因海堤屏蔽造成訊號不良，乃新增規劃設置儀器箱（訊號中繼站），在蒐集堤前感測器的觀測資料後，利用國內電信商所提供 4G 通訊方案，回傳逐時溯升觀測資料。

儘管感測器本體機構設計具防水防塵、抗壓等耐候特性，惟臺灣位處極端氣象環境，仍有可能因不可抗拒外力導致破壞或設備遺失，本計畫將於事件發生後，在施工安全無虞前提下，以備品支應，恢復觀測。

3.1.1 溯升計觀測站建置

本計畫執行期間，於 2022 年 4 月 13 日辦理溯升計設置位置現勘作業，根據現況條件擇定感測器布放位置。由於現場消波塊採不規則拋放方式，考量感測器太陽能板受光角度，以及施工安全性，最終決定在里程數 61K+380 處(南側)以及里程數 61K+300 處(北側)等 2 處斷面，各設置 3 只感測器，於鄰近位置設置一座訊號中繼站，在不影響號誌視線為前提下，中繼站安裝於公路向岸側。業已於 2022 年 6 月 16 日完成現場安裝，溯升計完工照片如圖 3.2 與圖 3.3，中繼站完工照片如圖 3.4，各感測計相對道路位置，如表 3-1 所示。截至目前為止，現場並未觀察到感測器因外力破壞或位移等情事發生。



註：圖中數字為感測器編號

圖 3.2 花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升計(南側)設置圖



註：圖中數字為感測器編號

圖 3.3 花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升計(北側)設置圖



圖 3.4 花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升觀測站之中繼站設置圖

表 3-1 花蓮縣台 11 線人定勝天路段溯升計安裝位置

	編號	TWD97_Y	TWD97_X	相對公路路面高度 (公尺)
北側斷面 (里程數 61K+300 處)	41	2600549.2	301428.8	-0.4
	42	2600546.9	301432.6	-1.7
	43	2600546.0	301435.0	-2.3
南側斷面 (里程數 61K+380 處)	44	2600524.5	301439.0	-0.4
	45	2600528.3	301440.7	-1.5
	46	2600528.0	301445.0	-2.7

3.1.2 溯升計觀測資料蒐集與分析

計畫執行期間已完成建置 FTP 站，接收溯升觀測站現場回傳逐時資料，如圖 3.5 所示。另完成撰寫溯升觀測資料自動分析程式，逐時分析感測器回傳之觀測資料，產出溯升高度時序列資料。回傳的逐

時觀測資料記錄欄位包括感測器編號、最大感測電壓、最大感測電壓發生時間、電池電壓等；分析最大感測電壓是否大於閾值，即可獲得溯升高度時序列資料，欄位包括觀測時間與最大溯升高度等。自溯升觀測站完工迄今，已分別於北側及南側斷面成功紀錄 60 筆及 3 筆溯升高度時序列資料，用以做為後續章節透過紀錄影像判釋公路浪襲高度變化的佐證依據。

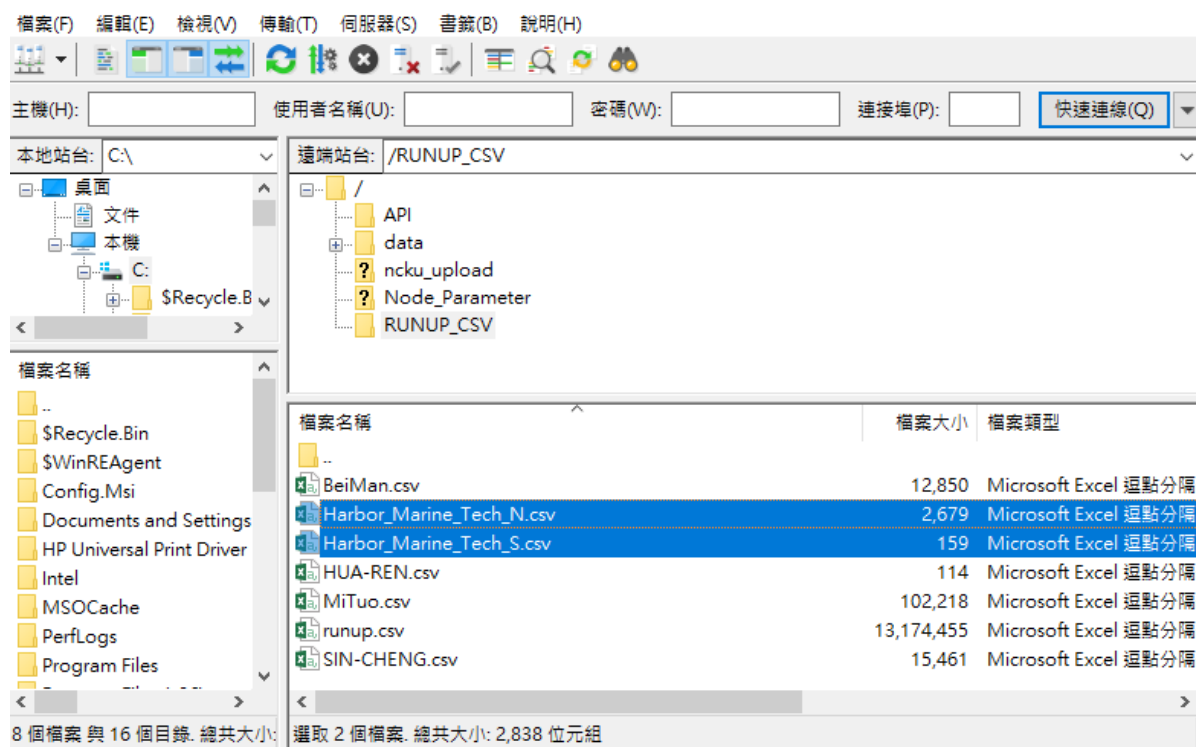


圖 3.5 建置 FTP 站接收溯升觀測站回傳之逐時觀測資料

3.2 溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析

依據前章溯升與越波影像判釋研究蒐集資料可知，目前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判釋之可靠度，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。因此，無論是上千筆資料之蒐集、前處理和校正，或是圖像以人工或演算法的方式進行標註都需要相當的時間、人力和物力。除此之外，以深度學習於溯升方面之判釋現階段是在實驗室下進行之成果(即 den Bieman et al.

(2020))，運用到現地除了有「大量圖像標註」之需求外，「良好的影像品管」亦是另一個需要建立的基礎任務。因此，本計畫第一年將以「非學習型」的影像分析法建立，同時建立學習型所需之圖像標註和影像品管之功能，做為後續三年進行學習型影像辨釋功能之建置基礎，圖 3.6 為本計畫影像判釋技術發展之流程圖。

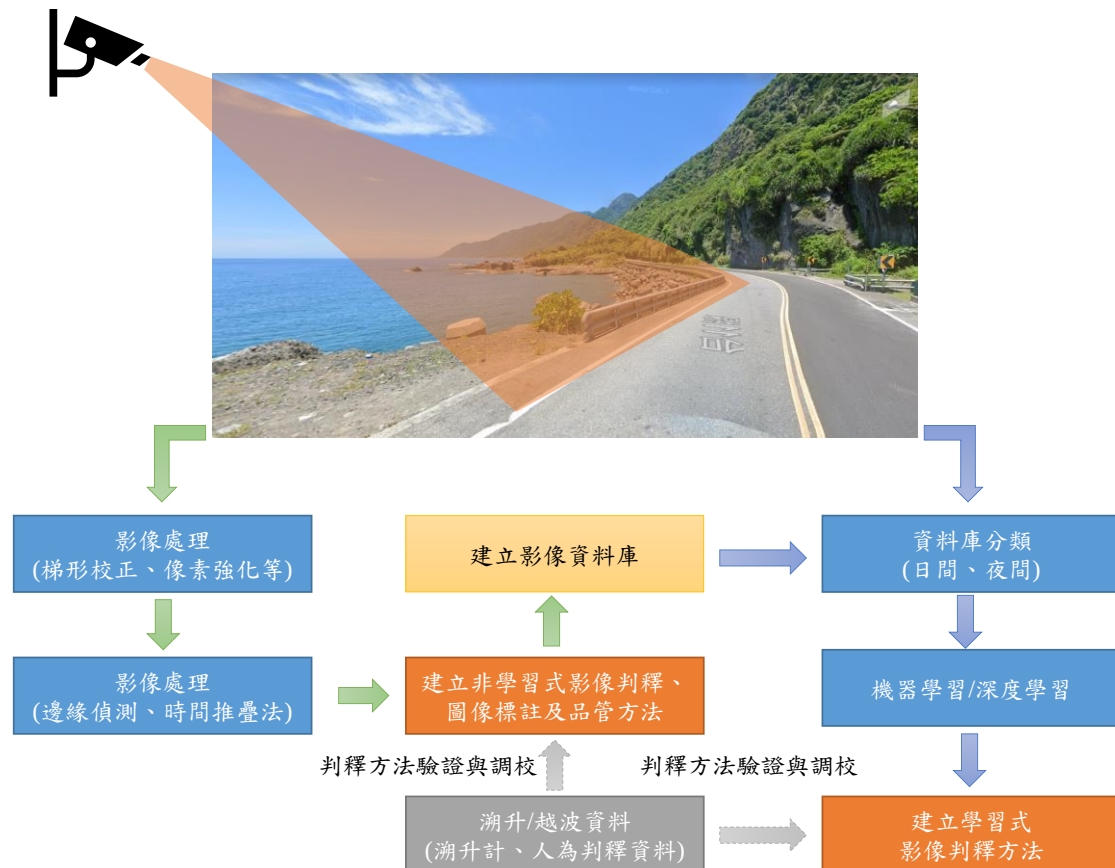


圖 3.6 本計畫影像判釋技術發展之流程圖

3.2.1 海岸公路溯升影像分析方法

數位影像分析可分為五個步驟(賴岱佑，2008)，依序為「影像輸入」、「影像強化」、「影像區分」、「特徵抽取和表示」和「影像描述」(圖 3.7)。因應分析標的不同，步驟進行的做法亦有所不同，需視實際的狀況進行規劃測試，制訂合適的做法。由於海岸公路影像是 RGB 的彩色影像，而為了取得水線之位置，藉以計算溯升高高度，故需分析輸入之 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。影像區分的則是進一步聚焦於出水線的部分，以利水線擷取。至此，則完成

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。本節將分三部分依序說明「1.影像輸入及影像強化」、「2.影像區分及特徵抽取和表示」和「3.影像描述」之分析方法和成果。



圖 3.7 影像擷取水線流程

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 色彩空間是一種以紅色(R)、綠色(G)和藍色(B)所組成之色彩模型，透過 RGB 這三種色彩強度不同的搭配，可建構出彩色的數位影像，本計畫所研究之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)和兩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 3.8 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 3.9、圖 3.10 和圖 3.11 所示。圖 3.9 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，從這三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 3.10 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 3.11 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 3.8 海岸公路原始影像



圖 3.9 RGB 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像

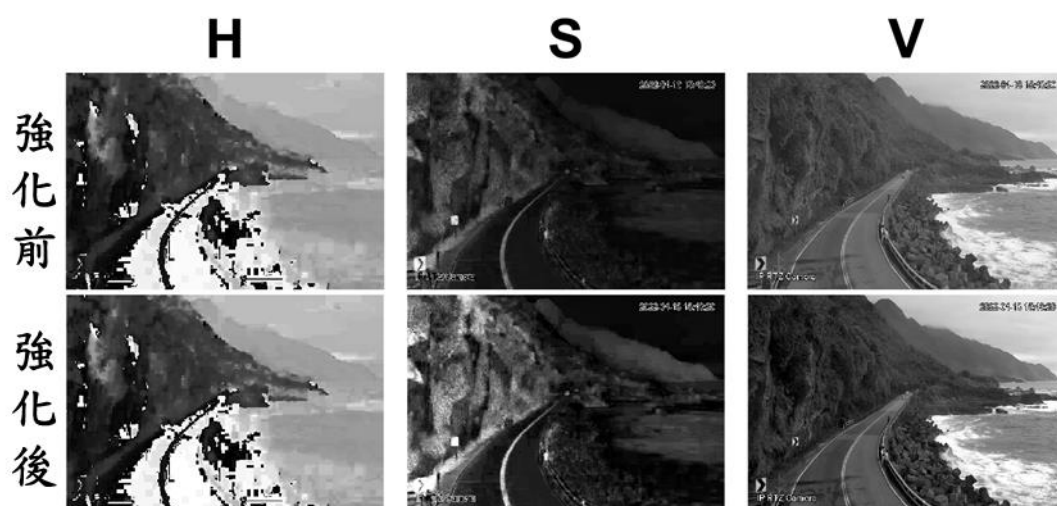


圖 3.10 HSV 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像

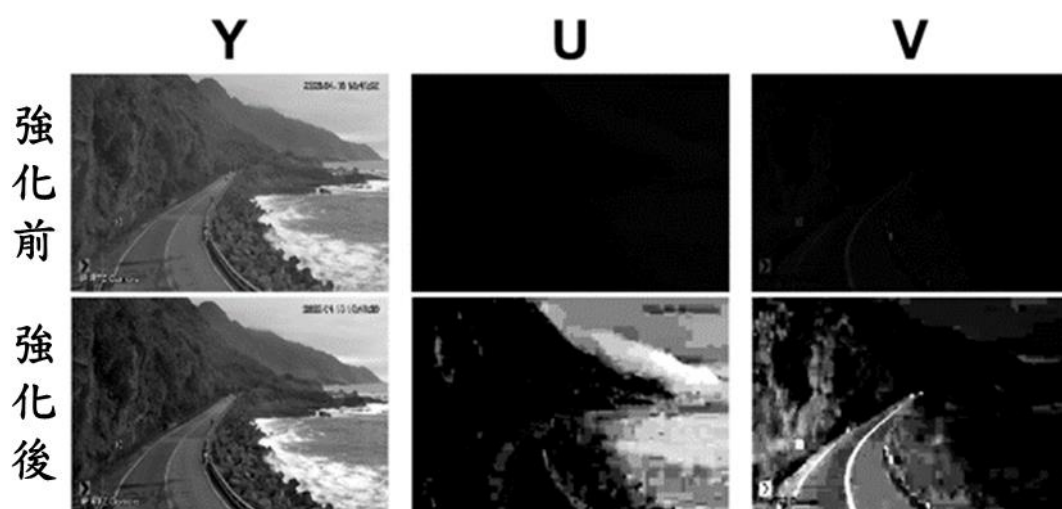


圖 3.11 YUV 色彩空間及其經對比度調整強化後的影像

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 min)，進行平均值(mean)和標準偏差(std)之分析，如圖 3.12 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。

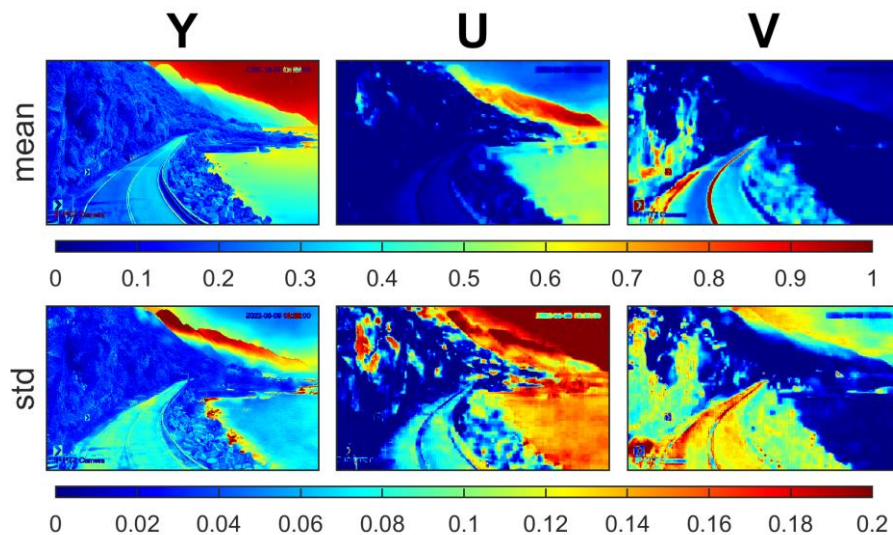


圖 3.12 YUV 色彩空間統計分析結果

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 3.13)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 3.14 所示。

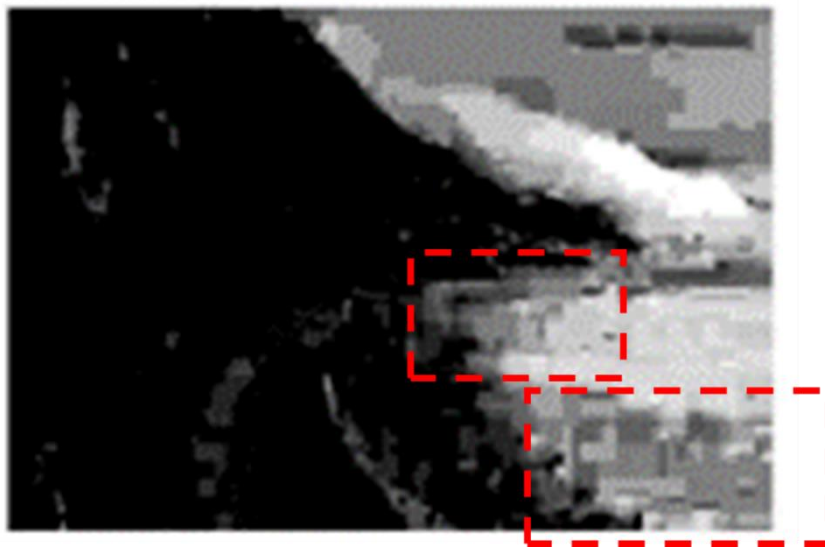


圖 3.13 U 色彩空間(紅框表示白沫區)



圖 3.14 水線擷取之成果

3. 影像描述：

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)，如圖 3.15 所示，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。

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 2022 年 4 月 27 日和 28 日以 GENSS 進行控制點量測(圖 3.16)，共量測 27 個點，將其中 15 個做為控制點，其餘 12 個做為校驗點進行誤差分析。

將 12 個校驗點的像素座標和量測高程帶入共線方程式可求解出空間上的 X 和 Y 座標，與量測定位之座標比較可發現其平均誤差為 0.4 cm，最大值為 1.6 cm，最小值為 0.4 cm，如圖 3.17 所示。另一方面，將 12 個校驗點的 GPS 量測高程與運研所提供之 DEM 資料比較可計算高程誤差(計算方式：DEM 高程 - GPS 高程)，其平均值為 1.4 cm，最大值為 14.4 cm，最小值為 -8.8 cm，如圖 3.18 所示。水平距離和高程之誤差分析結果顯示，目前研究所建置之共線方程可提供影像判釋描述空間座標，進行水線高度的計算分析。最後，將 DEM 之資訊藉由共線方程繪製於影像上可得圖 3.19，初步藉由路面、消波塊和水面確認，已可成功描述影像上不同位置之高程，後續透過影像分析出之水線，即可進一步得到水線所在之高程。

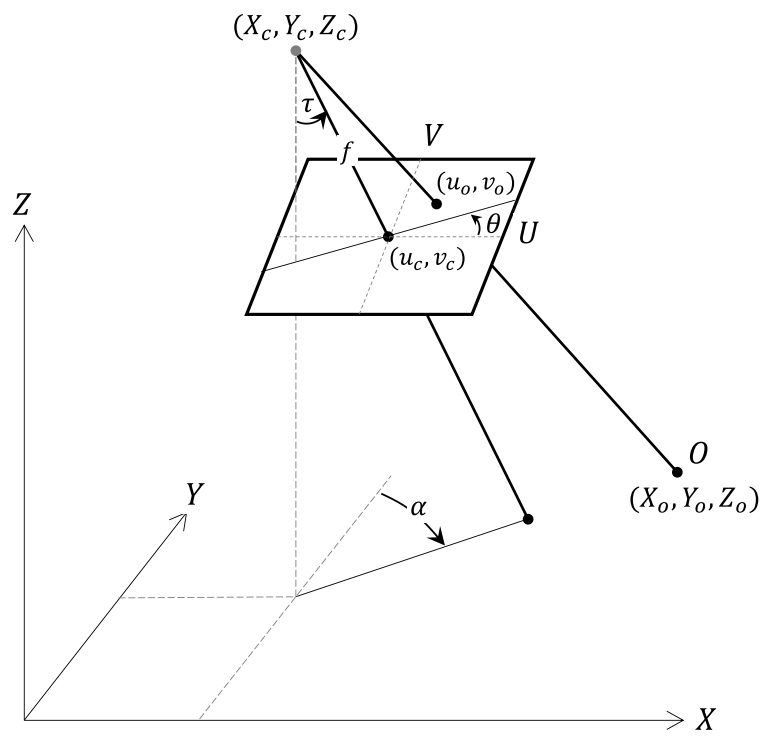


圖 3.15 針孔相機模型



圖 3.16 現場量測及量測工具

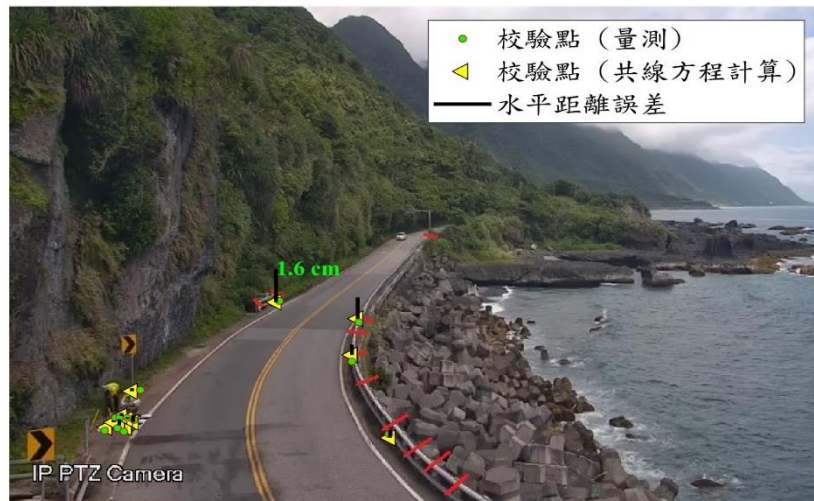


圖 3.17 共線方程計算水平誤差分析

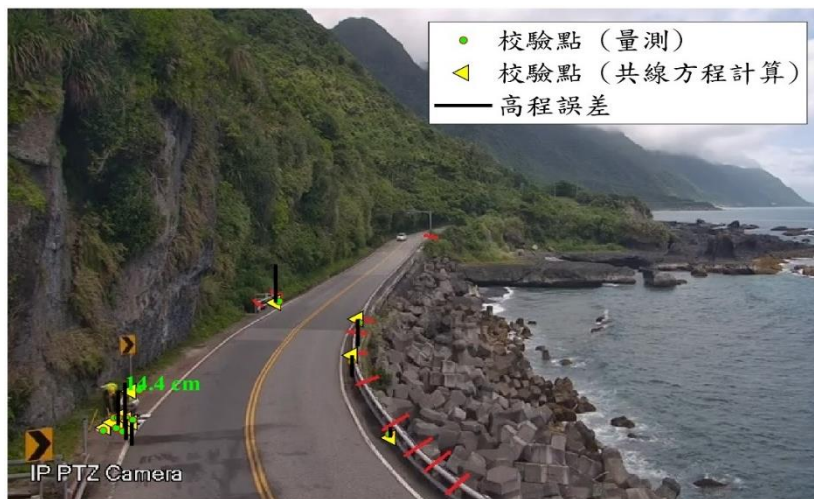


圖 3.18 共線方程計算高程誤差分析



圖 3.19 地形高程資料套疊影像之成果

3.2.2 近岸溯升/越波判釋與特性分析

由攝影機介面中，可知目前運研所於花蓮的攝影機共有 7 支，分別為人定勝天路段、花蓮水位辨識、花蓮港西防波堤、花蓮港西防波堤堤頭、花蓮港西防波堤堤頭、花蓮港西防波堤堤頭和花蓮港港務大樓等(參見圖 3.20)，本計畫先依日間與夜間兩種情境來說明各攝影機之影像特性。



圖 3.20 攝影機介面

圖 3.21 為花蓮 7 台攝影機日夜間影像圖，大多數攝影機於夜間時，因光源不足使其成像不佳。其中，西防波堤堤頭攝影機是熱成像攝影機，因此僅有該處攝影機的夜視效果良好。考量本計畫未來研究亦需建立夜間影像判釋技術，因此，先嘗試利用目前影像判釋方式進行夜間影像分析測試。圖 3.22 為夜間影像分析測試結果，目前計畫區(人定勝天路段)夜間影像較難判釋水線分布，其主要原因有兩個，其一是因光源不足導致影像中陸域與海域對比性不顯著，因而使水線界面無法明顯擷取；其二為該公路段有夜間燈照明，使其在影像判釋上需再想辦法濾除該雜訊之影響，且夜間車輛經過時還會再加上車輛本身照明燈之光源，這些都是增加夜間影像判釋難度之原因。相較本計畫區影像，花蓮港西防波堤堤頭採用熱成像攝影機，因此可發現於夜間顯示較為清楚，至少於水線界面上能夠明顯分辨，此使影像判釋上能夠順利於夜間影像終結取出水線分布，進而分析防波堤溯升情況。由以上測試結果，可知以目前判釋技術而言，若要分析夜間溯升資訊，熱成像功能攝影機之需求性較高。此外，在目前計畫區中夜間雜訊較多(例如：路燈、車燈等)，這些都會影響影像判釋功能，未來得建立一些影像處理程序，來降低干擾，以期提高影像判釋溯升/越波之可能性。為了確認熱成像影像的適用性，本計畫透過運研所於人定勝天路段臨時架設之熱成像攝影機，以本計畫所建置之水線分析方法為基礎進行水線分析，如圖 3.23 所示。從影像上可知無論是日間或是夜晚，

皆可從影像中辨別出水線的位置，惟目前僅以少量的影像資料進行熱成像影像水線判釋程式之建置，其於不同條件之適用性及準確度皆有待後續研究進行確認。儘管如此，從人定勝天路段的兩個不同攝影機於夜間的拍攝結果可知，熱成像影像有助於夜間的水線判釋。

時段 位置	日間	夜間
花蓮人定勝天		
花蓮水位辨識		
花蓮港西防波堤堤頭 (熱成像)		
花蓮港西防波堤		

圖 3.21 花蓮攝影機日夜間影像圖

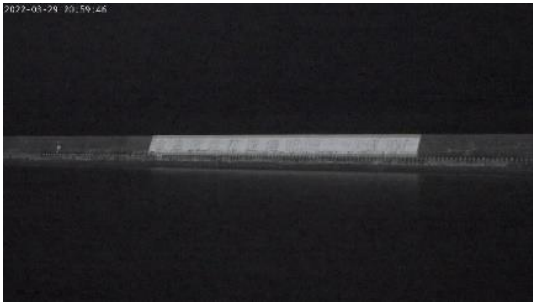
時段 位置	日間	夜間
花蓮港西防波堤堤頭		
花蓮港西防波堤堤頭		
花蓮港港務大樓		

圖 3.21 (續)花蓮攝影機日夜間影像圖

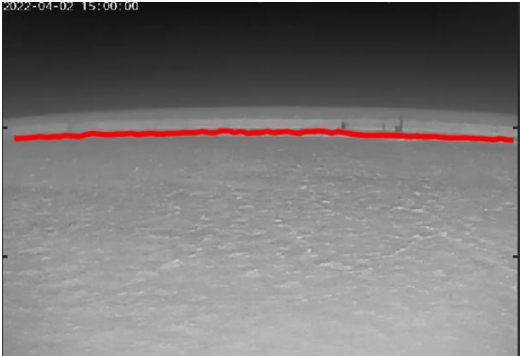
時段 位置	日間	夜間
花蓮 人定勝天	 2022-04-02 15:00:18 IP PTZ Camera	 2022-03-29 20:59:54 IP PTZ Camera
花蓮港 西防波堤堤頭 (熱成像)	 2022-04-02 15:00:00	 2022-03-29 20:59:46

圖 3.22 夜間影像分析測試

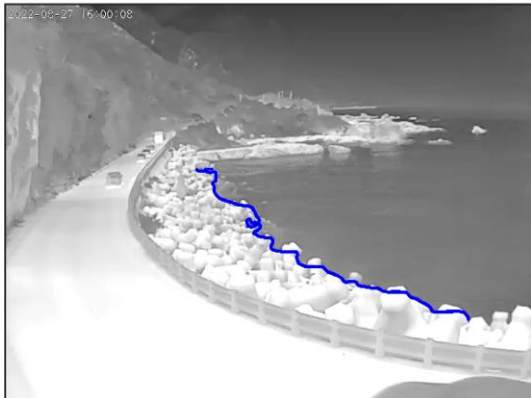
時段 位置	日間	夜間
花蓮 人定勝天	2022-08-27 16:00:00 	2022-08-26 21:00:00 
花蓮 人定勝天	2022-08-29 12:00:00 	2022-08-31 01:00:00 

圖 3.23 花蓮人定勝天路段熱成像

為瞭解目前影像判釋技術運用情況，茲以 4 種天氣情境方式呈現其影像分析特性，分別陰晴(上午)、下雨(上午)、下雨(下午)與大浪(無雨)等 4 種情境。圖 3.24 至圖 3.27 分別為 4 種情境之水線分析成果附表則為浪襲預報系統中當下海象預報情況，各情境分析成果分述如下。

1. 陰晴(上午)：

由圖 3.24 分析結果可知，在無下雨情況下，無雲層遮蔽(晴天)時，水線變化可清楚的透過影像判釋擷取出來。於此時段中，可發現雲層遮蔽(陰天)時，影像整體亮度會降低，但因其對影像對比度影響不顯著，因而仍能有效判釋水線分布變化。

2. 下雨(上午)：

由圖 3.25 分析結果可知，在下雨情況下，雖有雲層遮蔽整體影像亮度降低，惟其雨勢不大，使攝影機鏡頭被水滴影響不顯著，因此水線變化仍可清楚的透過影像判釋擷取出來。由雨天影像可知，公路和陸上結構物被雨淋濕後，期於影像上亮度會有所變化，此部分會影響影像判釋結果，因此本計畫會針對各種不同情況，持續修改影像判釋程式，使之能夠可靠分析。

3. 下雨(下午)：

由圖 3.26 分析結果可知，在雨勢偏大情況下，雨滴遮蔽到部分鏡頭拍攝範圍，使影像受到干擾，進而影響影像判釋水線變化之品質。然，以目前影像判釋技術分析結果來看，雨滴若無遮蔽到需要分析水線之範圍，其水線變化仍可有效分析，惟需判釋水線範圍被遮蔽時(例如：圖 3.26 中 13:30 時間點)，目前影像判釋技術則無法分析該處水線，進而發生不連續之水線情況。

4. 大浪(無雨)：

由圖 3.27 分析結果可知，在近岸浪雨偏大情況下，目前影像判釋技術能夠有效分析水線分布情況。而當浪侵襲至消波塊結構物時，在影像無被遮蔽前提下，亦能夠分析出水線變化情況，藉此則可透過影像判釋結果，反饋溯升/越波之現場觀測情況。

5. 颱風事件：

圖 3.28 和圖 3.29 分別為 2022 年 9 月梅花颱風和軒嵐諾颱風期間所觀測到的溯升影像及水線分析結果。圖 3.28 可看到於颱風較接近計畫區時，於 9 月 12 日的上午 7 點 14 分的影像顯示近岸波浪相當大，影像中的海域呈現白沫；另一方面，當颱風較遠離計畫區時，於 9 月 13 日的上午 7 點 52 分的影像顯示近岸的波浪雖已減弱，但仍出現不小的溯升情形。由此梅花颱風期間之影像可知，影像雖可能受到颱風降雨和雲層較多之影響而較為模糊，但目前影像判釋技術仍成功擷取出其溯上並接近道路路面的水線位置。圖 3.29 為本計畫分析資料中出現溯升最靠近道路路面的影像資料，其發生時間為 9 月 2 日的 8 點 8 分，可發現到受颱風降雨的影響，影像於靠近攝影機處的部分

有模糊之情形，故其有較不準確的情況。然而，位於攝影機較遠處之路面位置的溯上之水線仍成功判釋。

09-May-2022 08:00:00



09-May-2022 08:30:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.9

影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.9

09-May-2022 09:00:00



09-May-2022 09:30:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.8

影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.8

時間	示性波高(m)	尖峰週期(s)	潮位(m)
2022/5/9 08:00	0.886	7.694	0.112
2022/5/9 09:00	0.879	7.672	0.19
2022/5/9 10:00	0.891	7.643	0.237

註：海象資料為海象預報資料(時間解析度為每小時1筆)

圖 3.24 水線分析([陰晴])

09-May-2022 10:00:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.5

09-May-2022 10:30:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.8

09-May-2022 11:00:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	5.0

09-May-2022 11:30:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5037	23.5071	4.9

時間	示性波高(m)	尖峰週期(s)	潮位(m)
2022/5/9 10:00	0.891	7.643	0.237
2022/5/9 11:00	0.893	7.617	0.261
2022/5/9 12:00	0.928	7.597	0.261

註：海象資料為海象預報資料(時間解析度為每小時1筆)

圖 3.25 水線分析(下雨[上午])

09-May-2022 13:30:00



09-May-2022 13:40:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.9

影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.8

09-May-2022 13:50:00



09-May-2022 14:00:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.9

影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	5.1

時間	示性波高(m)	尖峰週期(s)	潮位(m)
2022/5/9 13:00	1.069	7.563	0.197
2022/5/9 14:00	1.137	7.542	0.091
2022/5/9 15:00	1.141	7.500	-0.043

註：海象資料為海象預報資料(時間解析度為每小時1筆)

圖 3.26 水線分析(下雨[下午])

13-Apr-2022 15:43:43



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	5.1

13-Apr-2022 15:44:00



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5037	23.5071	5.5

13-Apr-2022 15:44:20



影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5037	23.5071	5.5

13-Apr-2022 15:45:44

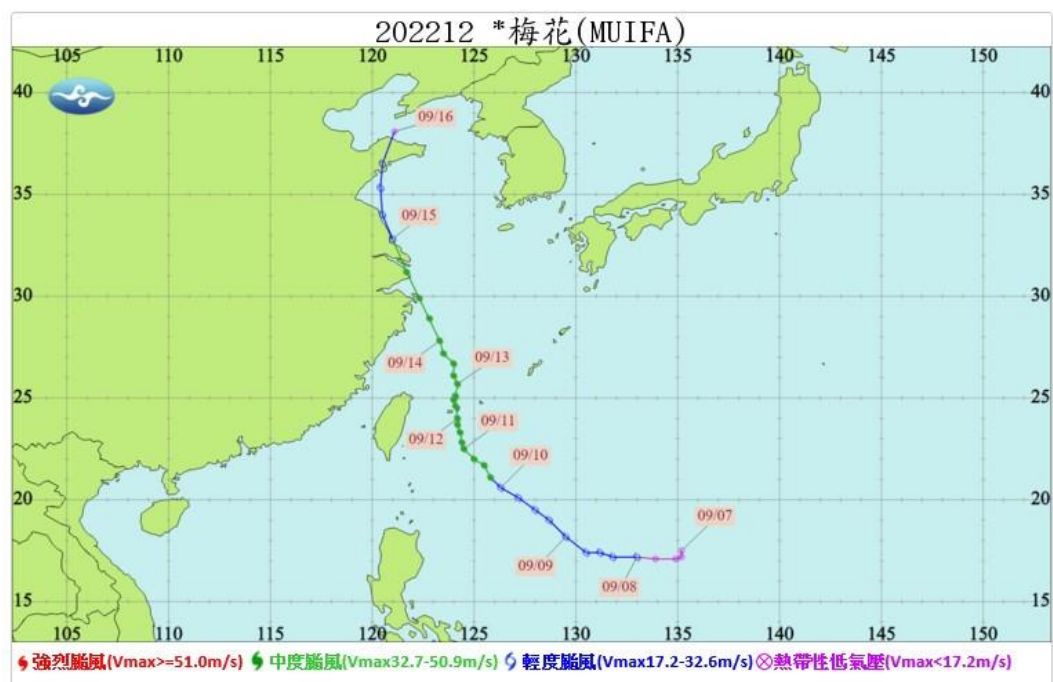


影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	5.0

時間	示性波高(m)	尖峰週期(s)	潮位(m)
2022/4/13 15:00	2.071	12.384	0.482
2022/4/13 16:00	2.084	12.403	0.532
2022/4/13 17:00	2.092	12.426	0.467

註：海象資料為海象預報資料(時間解析度為每小時1筆)

圖 3.27 水線分析(大浪[無雨])

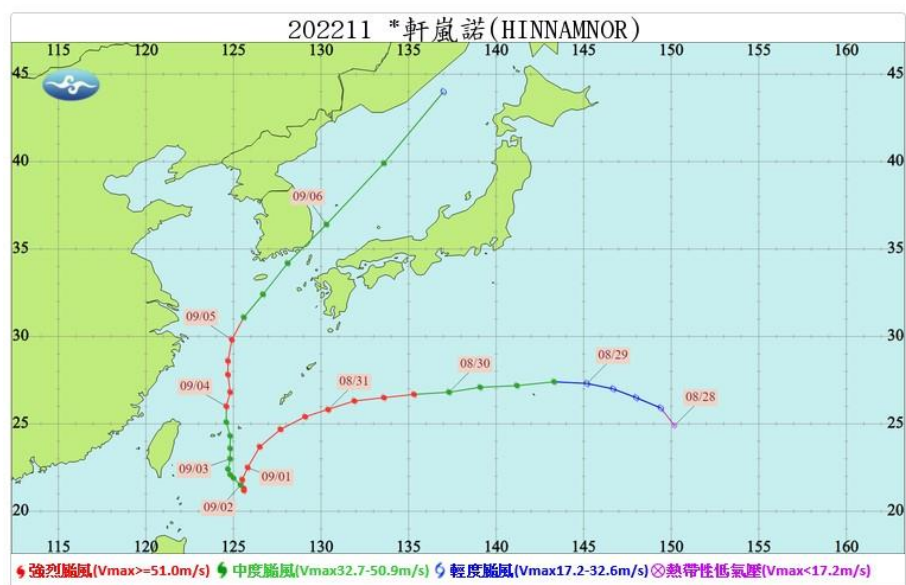


影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5037	23.5073	5.6

影像判 釋分析 所得溯 升資料	x	y	z
	121.5035	23.5077	5.7

颱風路徑來源：NCDR 全球災害事件簿

圖 3.28 水線分析 (2022 梅花颱風期間)



影像判釋分析 所得溯升資料	x	y	z
	121.5034	23.5080	9.1

颱風路徑來源：NCDR 全球災害事件簿

圖 3.29 水線分析 (2022 軒嵐諾颱風)

第四章 影像分析驗證與調校

本工項主要透過影像判釋資料與「溯升計」與「人為判釋」資料進行驗證，以對目前分析成果進行檢核，以確認其判釋技術之可靠性。此外，亦會將判釋成果與運研所既有浪襲系統資料進行比對，以瞭解目前預警資料與觀測資料之差異，做為未來精進預警系統規劃建議。

4.1 影像分析與人為判釋資料驗證

為了確認透過影像分析所得水線之誤差，在此進行人為的手動水線判釋，判釋方式為透過肉眼判斷水線位置，並擷取其影像座標。接著，為了量化影像分析判釋與人為判釋水線之間的差異，透過計算單一位置人為判釋座標與最鄰近之影像分析判釋位置間之距離的方式進行量化，並且當影像分析判釋所得結果為保守時（較靠近陸域）取正值。反之，靠近海域為負值。

為瞭解影像分析水線於不同情境下的誤差變化，茲以四種天氣情境方式呈現其影像分析特性，分別陰晴(上午)、下雨(上午)、下雨(下午)與大浪(無雨)等四種情境。圖 4.1 和圖 4.2 分別為四種情境之水線誤差分析成果，各情境分析成果分述如下。

1. 陰晴(小浪)：

由圖 4.1(a)的時序列分析結果可知，平均誤差極小，而最大誤差之絕對值大部分小於 20 pixels，惟 8 點 45 分時出現較大的誤差。雖然此刻的平均誤差和最大誤差皆較大，但仍能捕捉到水線整體之型態。

2. 下雨(小浪)：

由圖 4.1(b)的最大誤差時序列結果來看，此類型低估水線的情況整體之三分之二，影像判釋偏不保守。造成這個現象的主因是雨滴落於鏡頭使影像產生模糊的時候，如圖 4.1(b)的最大誤差發生時之影像所示。雖然受到雨滴模糊影像之影響，但其仍能提供一定程度的水線資訊，惟需對此情況之影像進行篩率，做其他進一步的處理。

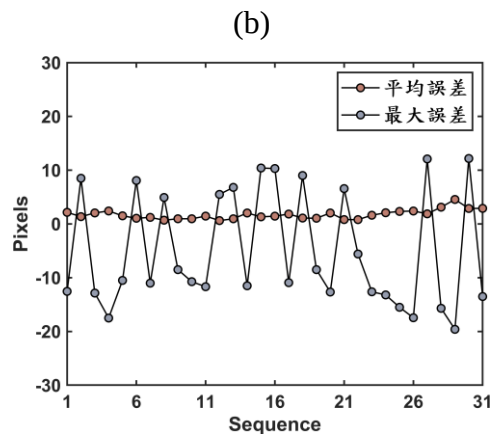
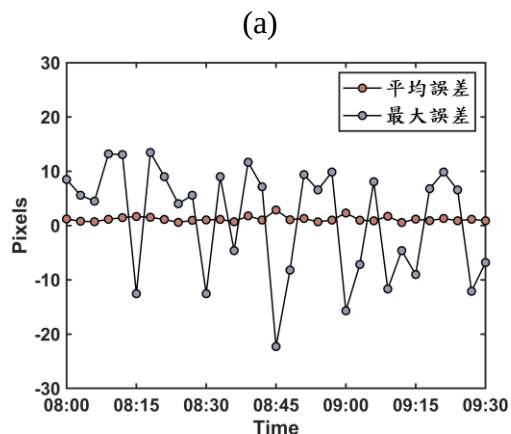
3. 陰晴(大浪)：

由圖 4.2(a)分析結果可知，此類型高估水線的情況整體之三分之二，影像判釋偏呈現偏保守之情形。

4. 下雨(大浪)：

由圖 4.2(b)分析結果可知，在近岸浪雨偏大情況下，低估水線的情況整體之三分之二，影像判釋結果偏向保守。雖然與圖 4.1(b)同未下雨的條件，但可以看到圖 4.2(b)判釋出現最大誤差之影像與圖 4.1(b)相比，水滴於鏡頭上呈現之模糊情形較少，可能的原因為大雨時雨滴滑落速度較快，反而對於鏡頭的影像較小。

時
序
列



最
小
誤
差



影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.8



影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	5.0

最
大
誤
差



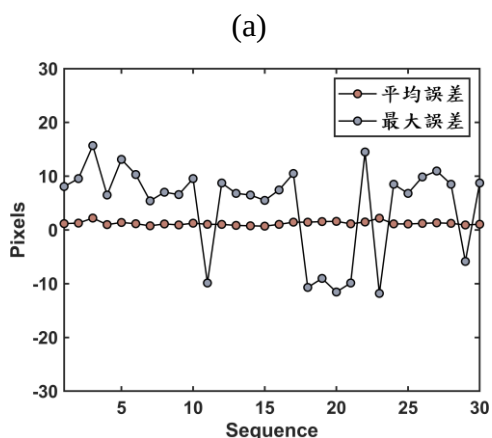
影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.9



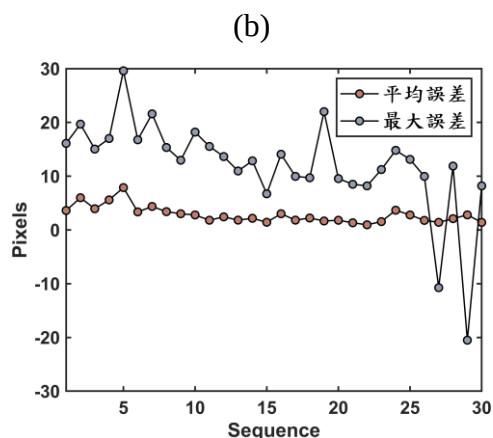
影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	5.0

圖 4.1 影像水線判釋誤差於(a)陰晴(小浪)和(b)下雨(小浪)之分析結果

時
序
列



平均誤差: 1 pixel; 最大誤差: 5 pixels



平均誤差: 1 pixel; 最大誤差: 7 pixels

最
小
誤
差



影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	5.0

平均誤差: 2 pixels; 最大誤差: 16 pixels



影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.9

平均誤差: 8 pixels; 最大誤差: 30 pixels

最
大
誤
差



影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5037	23.5071	5.5



影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5037	23.5071	5.2

圖 4.2 影像水線判釋誤差於(a)陰晴(大浪)和(b)下雨(大浪)之分析結果

4.2 影像分析水線有效性判釋

如 3.2.2 節和 4.1 節分析所述，受日夜和下雨的影響，影像判釋之水線可能會有不可用（夜間和清晨）或誤差較大（雨天）之情形，為了能建構一自動化之影像水線判釋程序，需開發檢核影像分析水線是否具有有效性之方法。本計畫提出計算 3 個影像特性的方式，並透過 2022 年 5 月 21 日 0 點至 5 月 24 日 0 點，共約 3 日的影像資料（部分影像缺漏），訂定水線分析有效性之門檻值。3 個影像特性之描述如下所述：

1. Variance-U：經影像強化後之 YUV 色彩空間中的 U（藍色分量）的變異量，
2. Sky：天空一處觀測點（圖 4.3 之紅圈處）的灰階值，其門檻值為 0.99。
3. Sharpness：水線判釋區間的影像銳利度(sharpness)，門檻值為 7.00。

透過此三日區間之影像（包含日夜間和雨天）本計畫訂出之影像辨識水線具有有效性之條件為： $\text{Variance-U} > 0.03$ 且 $\text{Sky} < 0.99$ 且 $\text{Sharpness} > 7.0$ 。圖 4.3 為影像分析水線有效性之判釋成果，可以看到當影像處於本計畫訂定之條件時，水線可有效的擷取出來；反之，於雨天、夜晚和清晨時的影像則會被剔除(No-Pass)。圖 4.4 為 2022/5/21 零時至 2022/5/24 零時之分析結果，下雨的區間約落於 5/22 下午，可以看到此區間雖然 Variance-U 和 Sky 皆符合各自的門檻值，但因影像受到雨滴影響而模糊，故導致銳利度下降，使其成為未通過水線有效性判釋之影像。需要注意的是，圖中呈現影像資料的時間間隔為 1 分鐘，故於 5/22 下午受降雨影響，導致影像判釋時而通過時而未通過，造成短時間內影像通過與未通過之結果呈現快速變化，如圖 4.5 所示。



Pass

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

影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5038	23.5071	4.9

No-Pass

Variance-U=0.11, Sky = 0.92 Sharpness = 5.6

影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	121.5037	23.5071	5.2



No-Pass

Variance-U=0.01, Sky = 0.43 Sharpness = 3.9

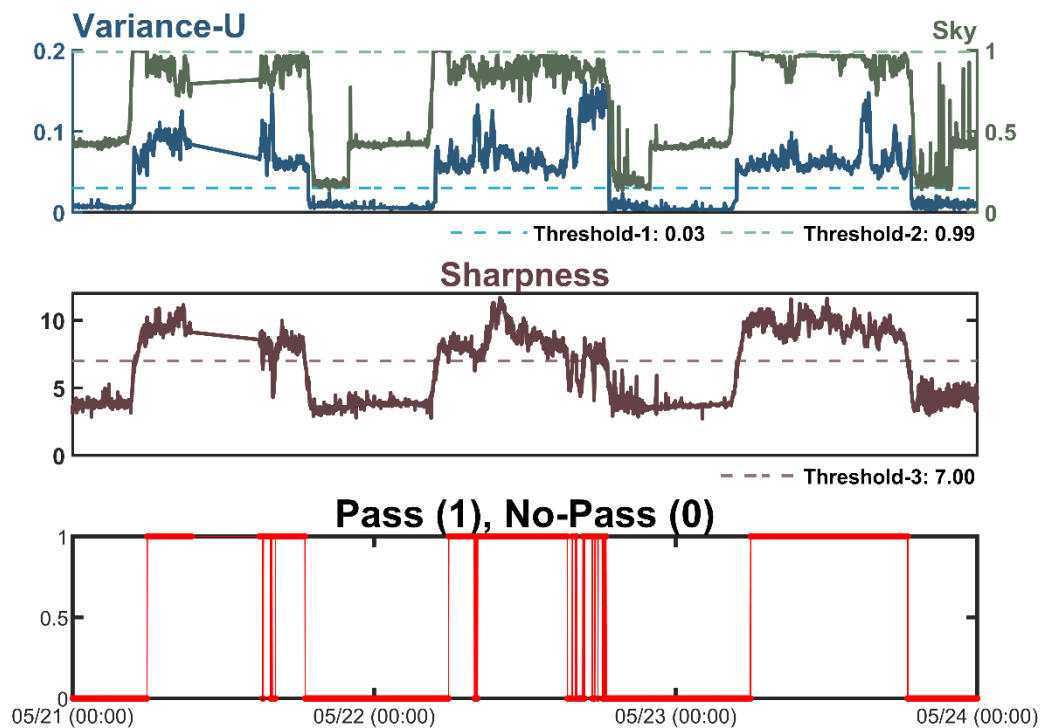
影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	-	-	-

No-Pass

Variance-U=0.01, Sky = 1.00 Sharpness = 5.0

影像判釋 分析所得 溯升資料	x	y	z
	-	-	-

圖 4.3 影像分析水線有效性之判釋成果



註：分析時段自 2022/5/21 零時至 2022/5/24 零時止

圖 4.4 影像分析水線有效性之分析結果

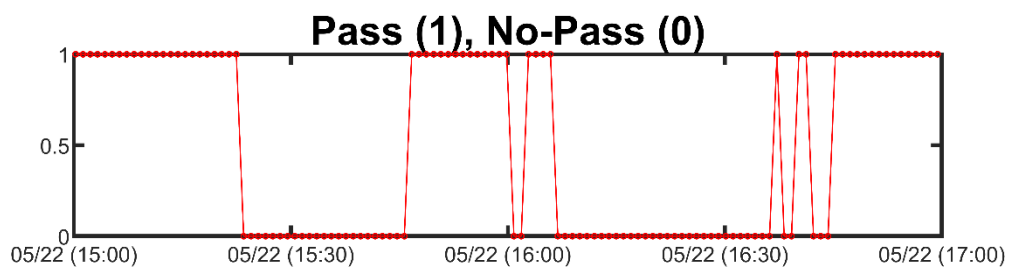


圖 4.5 影像分析水線有效性通過門檻之局部時間點結果

4.3 溯升計與影像判釋資料驗證

本計畫建置溯升計作為影像水線分析結果校驗之資訊，為了能便於進行比較，首先需將溯升計的空間座標轉換為影像上的像素座標，接著便可透過影像分析之水線與溯升計於影像中的關係確認所得水線以及空間和像素座標轉換之正確性。

圖 4.6 為 2022 年 9 月的梅花颱風期間之溯升計量測和影像及其水線分析成果。從 9/12 和 9/13 的溯升計觀測結果可知，溯升計 ID 46 和 ID43 於 9/12 的上午 7 點期間有收錄到溯升資訊。透過影像之比對，亦證實海水未接觸其他溯升計。另一方面，9/13 上午 7 點期間則顯示溯升計 ID 43 有收錄到溯升資訊，而其他溯升計亦無，此與影像水線分析之結果相符。

圖 4.7 為 2022 年 9 月的軒嵐諾颱風期間之影像及其水線分析成果，此時雖出現非常大的溯升情形，然從影像可知海水皆未接觸到溯升感測器，此結果亦與溯升計觀測之記錄相符。惟影像受颱風降雨之影響，畫面模糊，其水線分析之誤差較大。



圖 4.6 溯升計與影像於 2022 梅花颱風期間之比對結果

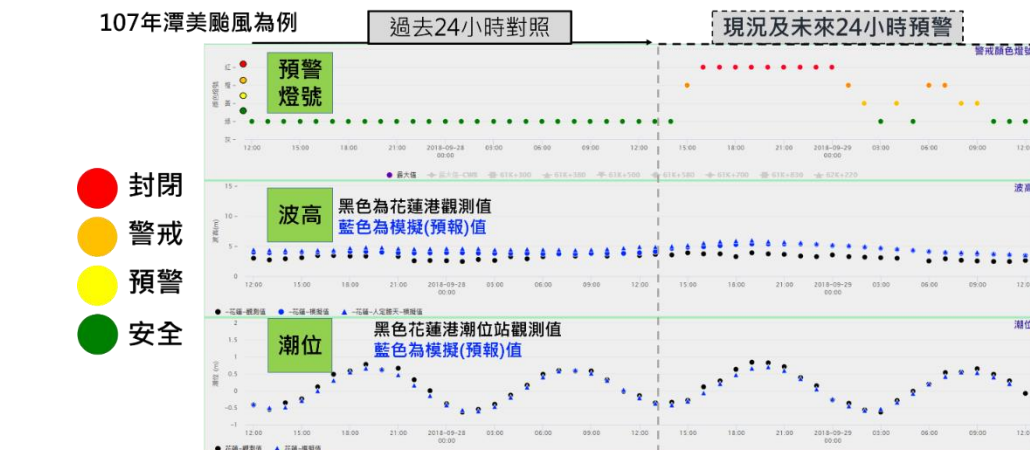


圖 4.7 溯升計與影像於 2022 軒嵐諾颱風期間之比對結果

4.4 海岸公路浪襲預警系統預警資料比對與分析

運研所分別於民國 107 與 110 年建置台東及花蓮海岸公路浪襲預警系統，持續於颱風時針對海岸公路進行 24 小時浪襲預報，作為浪襲封路之決策輔助參據，圖 4.8 為浪襲預警系統畫面。然而，該系統目前缺乏越波與浪襲觀測資料能夠與之進行更為量化比對。透過本計畫影像判釋技術與影像資料庫建立，可針對預報系統資料進行比對分析，以瞭解目前系統預報越波或浪襲之能力，並研提該系統準確度精進之建議。

該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報 (TaiCom) 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。



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 4.8 花蓮海岸公路浪襲預警系統畫面及燈號

圖 4.9 為該浪襲預警系統中「人定勝天路段」之預警斷面位置，其中包含里程數 61K+300 (北側)與里程數 61K+380(南側) 兩個斷面，且其分布位置與本計畫攝影機影像範圍重疊。本計畫透過人定勝天路段影像分析可獲得該路段溯升/越波之情況，而將此資料與目前浪襲預報系統成果進行比對，可瞭解其預報之可靠度。圖 4.10 為運研所提供本年度 3 月至 5 月浪襲預警系統資料，其中，可知 4 月 15 日 15:00 至 20:00 期間有顯著溯升高現象發生。藉由本計畫所建立之影像判釋水線技術(詳見 3.2.1 節)分析上述溯升發生時間點之影像，並匯出相對應斷面位置之溯升高程進行比對。於圖 4.11 中，黃色線段為里程數 61K+300 與里程數 61K+380 兩斷面於影像中剖面分布，依據此資料輸出影像分析後各斷面之溯升高程資料。

圖 4.12 為預警系統與影像分析之溯升高程比對成果。於里程數 61K+300 處，15:00 至 18:00 期間兩資料均顯示有溯升現象發生，而預報資料直至 20:00 仍顯示持續有溯升現象，惟 18:00 後影像因光線不足關係已無法進行溯升分析，因而無法顯示對應之溯升高程資料，而影像判釋溯升高程均低於預報溯升高程；於里程數 61K+380 處，預報溯升資料與影像分析溯升資料亦有溯升發生時間重疊現象出現，與里程數 61K+300 不同處為影像判釋溯升高程均較預報溯升高程高。於此時段案例比對結果可知，若以影像判釋結果作為現場溯升/越波觀測資料，浪襲預警溯升資料雖與之於溯升/越波高度上有所差異，但時間變化上有相似的趨勢。

除上述時段案例外，本年度計畫執行階段於9月份有經歷梅花颱風事件與軒嵐諾颱風事件，因此可藉由上述方式來進行資料比對。圖4.13與圖4.14為梅花颱風事件影像判釋結果，於里程數61K+380與里程數61K+300溯升高程分析中可知於此颱風事件影響下，無論影像溯升分析高程與影像水線分析結果，均顯示溯升高於無颱風影響時段之情況(本年度3-5月，如圖4.11所示)。然而，同時於此時段花蓮浪襲預警系統則顯示無溯升資料，因此，於此時段影像分析成果並無法與之比對。目前判斷發生此情況之原因，可能為預報系統於該颱風時段之海象預報值較低估，導致浪襲預警系統之溯升預報值亦有較低估情況出現。

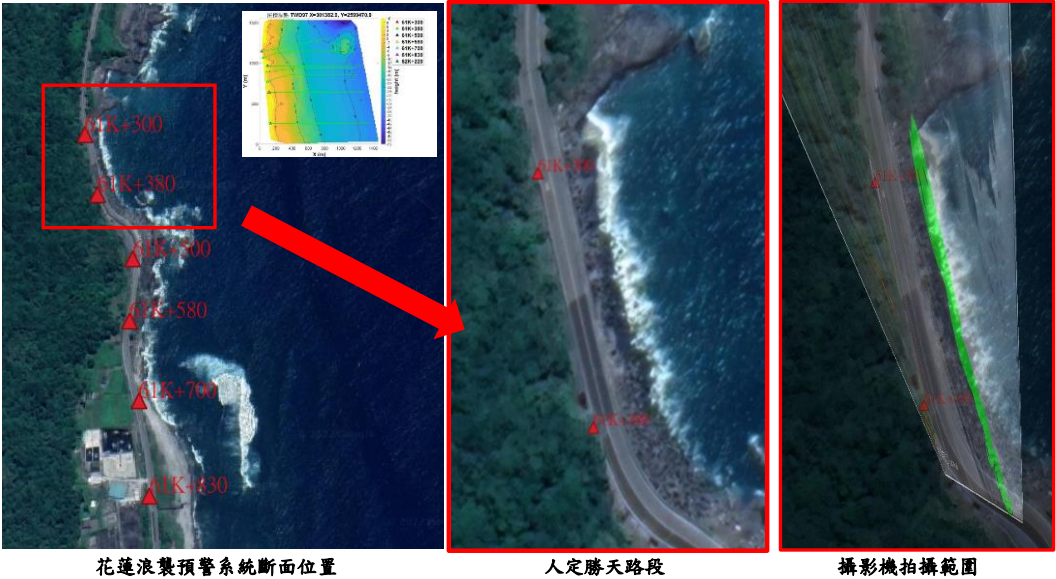


圖 4.9 人定勝天路段之浪襲預警系統斷面位置與攝影機拍攝範圍

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
ID	Station_ID	Date_Time	HS	TP	TideValue	HS_model	TP_model	TideValue_Value1_LightNum	Value1_Runup-Value	Value1_inundation	Value2_LightNum	Value2_Runup-Value	Value2_inundation	Value3	
278400	725	2022/4/15 15:00	3.775	15.323	0.273	7	15	0	1	7.29	0	1	0	0	
278401	725	2022/4/15 16:00	3.977	15.37	0.518	8	15	0.5	1	7.84	0	1	0.3	0	
278402	725	2022/4/15 17:00	4.135	15.422	0.64	8	15	0.5	1	8.26	0	1	2.92	0	
278403	725	2022/4/15 18:00	4.219	15.465	0.617	8	15	0.5	1	8.94	0	1	3.78	0	
278404	725	2022/4/15 19:00	4.268	15.472	0.437	8	15	0	1	8.14	0	1	0	0	
278405	725	2022/4/15 20:00	4.287	15.43	0.155	8	15	0	1	4.94	0	1	0	0	
278406	725	2022/4/15 21:00	4.23	15.367	-0.164	8	15	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278407	725	2022/4/15 22:00	4.168	15.381	-0.435	8	15	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278408	725	2022/4/15 23:00	4.088	15.232	-0.59	8	15	-1	1	0	0	1	0	0	
278409	725	2022/4/16 00:00	4.051	15.125	-0.594	8	15	-1	1	0	0	1	0	0	
278674	725	2022/4/16 01:00	4.017	15.024	-0.448	8	15	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278675	725	2022/4/16 02:00	3.98	14.916	-0.182	8	14	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278676	725	2022/4/16 03:00	3.931	14.799	0.135	7	14	0	1	0	0	1	0	0	
278677	725	2022/4/16 04:00	3.85	14.576	0.413	7	14	0	1	7.29	0	1	0	0	
278678	725	2022/4/16 05:00	3.711	14.455	0.577	7	14	0.5	1	7.29	0	1	0	0	
278679	725	2022/4/16 06:00	3.604	14.416	0.596	7	14	0.5	1	0	0	1	0	0	
278680	725	2022/4/16 07:00	3.537	14.479	0.446	7	14	0	1	0	0	1	0	0	
278681	725	2022/4/16 08:00	3.514	14.618	0.178	7	14	0	1	0	0	1	0	0	
278682	725	2022/4/16 09:00	3.5	14.774	-0.148	7	14	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278683	725	2022/4/16 10:00	3.479	14.841	-0.448	7	14	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278684	725	2022/4/16 11:00	3.448	14.863	-0.646	7	14	-1	1	0	0	1	0	0	
278685	725	2022/4/16 12:00	3.407	14.845	-0.697	6	14	-1	1	0	0	1	0	0	
278686	725	2022/4/16 13:00	3.363	14.779	-0.584	6	14	-1	1	0	0	1	0	0	
278687	725	2022/4/16 14:00	3.34	14.625	-0.332	6	14	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278688	725	2022/4/16 15:00	3.33	14.483	-0.005	6	14	-0.5	1	0	0	1	0	0	
278689	725	2022/4/16 16:00	3.322	14.36	0.32	6	14	0	1	0	0	1	0	0	
278690	725	2022/4/16 17:00	3.299	14.259	0.547	6	14	0.5	1	0	0	1	0	0	
278691	725	2022/4/16 18:00	3.261	14.177	0.634	6	14	0.5	1	0	0	1	0	0	
278692	725	2022/4/16 19:00	3.198	14.109	0.551	6	14	0.5	1	0	0	1	0	0	
278693	725	2022/4/16 20:00	3.11	14.05	0.33	6	14	0	1	0	0	1	0	0	
278694	725	2022/4/16 21:00	3.08	13.998	0.022	6	13	0	1	0	0	1	0	0	
278695	725	2022/4/16 22:00	3.058	13.947	-0.292	6	13	-0.5	1	0	0	1	0	0	

資料來源：運研所提供

圖 4.10 花蓮浪襲預警系統 111/4/15 15:00~4/16 22:00 溯升預報資料



影像判釋分析 所得溯升資料	
x	121.5038
y	23.5071
z	5.0

圖 4.11 花蓮人定勝天路段預報断面於影像位置圖(111/4/15)

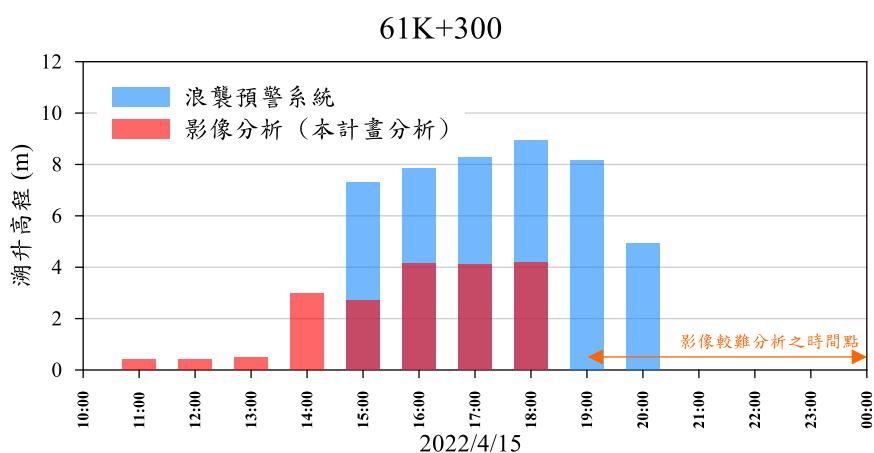


圖 4.12 公路浪襲預警系統與影像分析結果比較(台 11 線 61K+300)

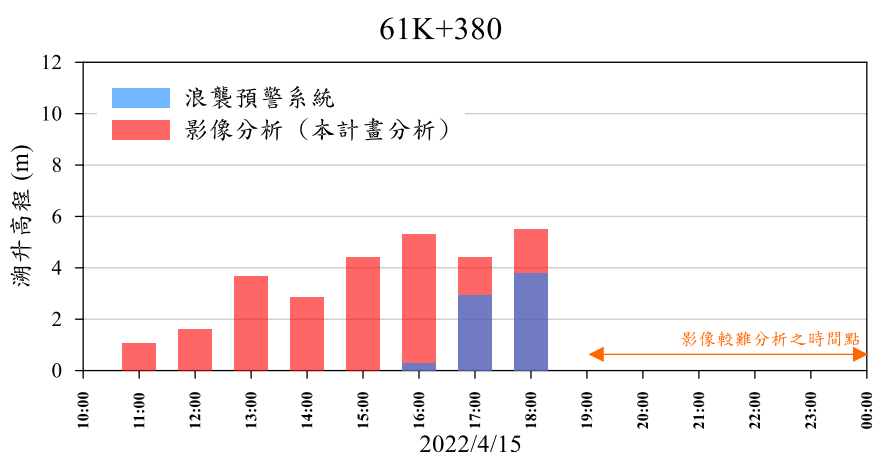


圖 4.12(續)公路浪襲預警系統與影像分析結果比較(台 11 線 61K+380)



影像判釋 分析所得 溯升資料	
x	121.5035
y	23.5077
z	5.7

圖 4.13 花蓮人定勝天路段預報断面於影像位置圖 (111/9/12)



影像判釋 分析所得 溯升資料	
x	121.5037
y	23.5071
z	5.3

圖 4.14 花蓮人定勝天路段預報断面於影像位置圖 (111/9/13)

綜上本計畫影像判釋技術溯升分析與預警系統比對結果，可知影像判釋溯升/越波技術確能輔助浪襲預警系統進行精進，研討目前分析成果及未來系統精進規劃方式如下：

1. 強化資料庫情境條件：

目前既有波浪溯升資料庫建立乃採用 COBRAS 模式來進行模擬，其主要是以 Navier-Stokes 方程為核心，並配合 Volume of Fluid Technique (VOF) 進行波浪溯升模擬，此方式於網格精細化前提下，應為相對嚴謹之溯升模擬資料。其缺點是計算效率較低，因此，透過

預先建立資料庫方式才能達至預報之效果。然，此方式則需要預先模擬不同情境條件，以提前建立波浪溯升資料庫，而情境條件之決定上則為關鍵要務。過往可透過分析浮標、潮位站、歷史新聞記錄來作為情境條件擇選之參考，其情境條件(波高、潮位、週期)擇選應是相對保守條件，為對實際發生溯升、越波或浪襲來說其條件連結性上仍屬間接關係。而由本計畫影像判釋技術之建立，則可收錄溯升/越波之觀測資料，並達與預報資料比對之目的。本年度分析資料與預報系統比對結果顯示，部分影像判釋資料之溯升高程趨勢與預報系統結果相似，惟高程值仍有差異，且低估或高估情況皆有發生。預警系統建立時是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。建議在未來預警系統精進方面，可將波向影響納入其中，以提升既有資料庫之可靠性。若需於目前既有資料庫中增加波向影響連結，則需透過更多溯升觀測資料蒐集，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(例如：機器學習模型)來建立其關係，此既有資料庫準確度之提升應有所助益。

2. 輔助修正預警值：

誠如上述，「波浪溯升資料庫」為浪襲預報系統之核心資料。然，資料庫建立均透過模擬資料來建立，於模擬環境條件難免與現實有所差異，例如：消波塊設施考量、地形變遷因素等。鑑此，已有透過「觀測值」滾動式修正預報值之相關技術發展，透過持續觀測資料導入，可持續修正預報資料，以提升預報之在地性與準確性。透過觀測資料回饋，可將溯升預報資料進行修正以提高可靠性。建議未來可透過目前影像判釋分析溯升資料之成果，做為溯升/越波觀測資料輔助修正浪襲預警資料。

第五章 影像分析技術自動化判釋評估與規劃

本工項主要針對第一年期成果進行研討，包含影像判釋技術架構、判釋成果、驗證成果、精進計畫及未來年期建置技術規劃等。藉以提出第 2 至第 4 年期「溯升與越波影像分析技術自動化判釋評估與規劃」。由前述工作項目成果，可知本年度計畫已建立影像判釋溯升/越波技術架構，藉由水線分析方式以能有效瞭解溯升分布情況。影像分析目前所採用之電腦規格為 Intel® Core™ i7-8700K CPU @3.70GHz，而分析一張影像約需 1 分鐘的時間，其效率應可進行影像自動化判釋。

然而，目前分析期間所歷經颱風事件不多且越波資料不多，因此在特殊情境下的分析結果仍有不足。為提升影像判釋計算可靠度與效率性，本計畫建議未來將以「學習型」影像判釋技術建立為標的，持續強化該溯升/越波影像判釋之能力。另本年度為使未來自動化判釋技術更為順利，已透過「影像分析水線有效性判釋」功能建立，使其能夠藉由 3 種參數門檻值之設定過濾影像分析成果，使其更能自動化提供可靠判釋之觀測成果。惟此功能仍須透過更多溯升/越波事件來做檢驗，以使其門檻值設定能夠有依據性。

除上述影像判釋技術核心持續精進外，為使該技術能夠更為廣泛使用於海岸公路防災，於明年度計畫中則開始進行自動化與作業化影像判釋系統之建立。由本年度計畫影像判釋建置技術過程中，概可規劃後續影像判釋自動化之方式，如圖 5.1 所示。第一種方法是以攝影機平台語法撰寫分析程式，使影像分析可於攝影機平台進行後，再回傳資料至港研中心；第二種方法則利用串流方式將影像回傳至港研中心，再透過中心電腦進行分析後獲得溯升資料；第三種方法是於現場架設小型電腦連結攝影機，收錄影像先至現場電腦進行影像分析後再回傳至港研中心。考量語法彈性與現場作業困難度，後續規劃之短期目標將以發展方法二為主，藉以建立影像分析系統能夠輔助越波警戒功能；長期目標則以方法三為主，透過邊緣計算方式分析現場結果來判斷是否需回傳資料。例如：透過自動化程式分析目前影像有顯著溯

升或越波情況，再回傳影像資料至港研中心，其餘時段均以回傳數字資料為主，藉以提升自動化傳輸之效率。

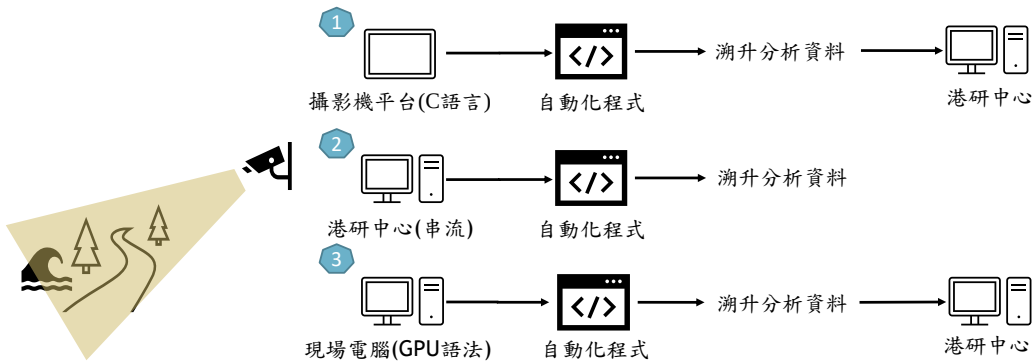


圖 5.1 影像判釋自動化之流程圖

第六章 結論與建議

6.1 結論

本計畫主要透過網路攝影機監視影像資料，利用影像判釋方式發展溯升/越波觀測技術，藉以作為越波(浪襲)警示所用。本計畫共分為4年期，本年度為第1年期，需完成「日間」越波影像判釋技術研發，並以此為基礎，規劃未來自動化判釋技術發展，俾利未來做為海岸公路與港灣越波警示參考。完成工作內容分述如下。

1. 針對國內外溯升與越波觀測技術研究，進行資料蒐集與分析，並以此內容為基礎，規劃本計畫現在與後續影像判釋技術發展之流程。本計畫第一年期(本年度)為發展「非學習型」影像判釋技術，主要能建立適合人定勝天路段溯升/越波影像判釋之流程與方法，藉以達到能可靠分析溯升/越波情況之目的；第二年度至第四年度則以本年度發展之技術為分析工具，建立越波影像資料庫，並發展「學習型」影像判釋技術，以達到為來自動化判釋之目標。
2. 已完成人定勝天路段溯升/越波影像判釋技術之流程與方法建立，並針對影像進行分析，以瞭解該影像於不同情境下分析結果之差異與限制性。透過影像輸入、強化、區分與水線擷取等分析步驟，已可分析各影像中水線分布情況，解以瞭解計畫區域波浪溯升與越波情形。
3. 本計畫於6月時完成溯升計架設，透過侵入式方式監測波浪溯升與越波情況，並於今年度梅花颱風事件蒐集到溯升資料，且與本計畫判釋結果進行比對，其觀測結果與影像判釋成果相吻合。此外，為瞭解既有浪襲預警系統之預報能力，透過預報資料與影像判釋結果之比對，部分分析溯升高程趨勢與預警系統相符，惟溯升高程有所差異；而部分分析資料顯示有溯升情況下，與預警系統資料有差異，此可能為海象預警系統預報值差異之影響。
4. 為使未來影像判釋自動化順利執行，於本年度計畫建置水線判釋影像有效性分析功能，藉以提升未來自動化判釋時影像分析結果之可

靠性。另透過本年度影像判釋系統建置之經驗，完成未來自動化影像判釋之評估與規劃。

6.2 建議

1. 於本年度計畫中，已先針對熱成像資料進行初步分析，其結果顯示相較於非熱成像攝影機來說，其夜間判釋能力確實較佳。建議未來可針對熱成像日間判釋結果進行詳細分析，並與非熱成像攝影機結果進行比對，以確認熱成像於日/夜間水線判釋之適用性。
2. 建議可參考不同海象預報資料進行觀測資料之比對，以增加目前影像判釋成果之比較對象，藉以增加影像判釋成果之客觀性。
3. 目前所建置之影像判釋技術雖能有效分析水線資料，藉以量化溯升高程，惟本年度顯著溯升與越波事件較少，因此無法較全面校驗分析程式之適用性。未來仍須持續監測並增加分析資料比對量，以期客觀評估該技術之實用性，並滾動式檢討修正程式之參數。
4. 彙整今年度(111 年)研究成果，研提三個目前分析技術上的限制，其一，若發生可能使公路面或消波塊位移之事件(例如：地震、海嘯等)，則需重新進行率定影像與實際空間高程關係，以避免溯升高程誤判；其二，本計畫針對影像判釋結果可行性方面有建立一套自動化判釋程式，藉以避免因分析品質較差影像而導致誤判(例如：下雨、光線不佳)，惟其仍須透過分析更多影像結果來做調校，才能使其門檻值設定上更具代表性；其三，計畫區攝影機之夜間影像目前仍難以用於影像分析，期未來透過熱成像方式能夠提升夜間分析之能力。

6.3 成果效益及應用情形

1. 溯升/越波影像判釋技術，針對海岸公路陰晴(上午)、下雨(上午)、下雨(下午)與大浪(無雨)等四種天氣情境呈現其影像分析特性，藉由水線分析方式，得以有效瞭解溯升分布情況。目前影像分析所採用之電腦規格為 Intel® Core™ i7-8700K CPU @3.70GHz，分析一張影像約需 1 分鐘的時間。未來可透過影像自動化判釋技術之建

立，獲得相對即時之溯升資料，可提供公路單位防災減災規劃之參考。

2. 本計畫已建立影像分析水線有效性判釋功能，藉由 3 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，提供後續年度發展影像自動化判釋技術之核心基礎。
3. 本計畫透過人定勝天路段影像分析獲得該路段溯升/越波之情況，將此資料與目前浪襲預報系統成果進行比對，結果顯示，若以影像判釋結果作為現場溯升/越波觀測資料時，雖與浪襲預警溯升資料於溯升/越波高度上有所差異，但時間變化上仍有相似的趨勢，證實影像判釋溯升/越波技術做為輔助浪襲預警系統進行精進之可行性，未來可依強化資料庫情境條件與輔助修正預警值兩方式進行系統精進。

參考文獻

1. 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.
2. Andriolo, U., 2019. Nearshore wave transformation domains from video imagery. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(6), 186.
3. 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. POLIpo
4. De Rouck, J., Van de Walle, B., Troch, P., Van der Meer, J., Van Damme, L., Medina, J. R., & Frigaard, P., 2007. Wave run-up on the Zeebrugge rubble mound breakwater : Full-scale measurement results versus laboratory results. *Journal of Coastal Research*, 23(3 (233)), 584-591.
5. den Bieman, J. P., de Ridder, M. P., & van Gent, M. R., 2020. Deep learning video analysis as measurement technique in physical models. *Coastal Engineering*, 158, 103689.
6. EurOtop, 2016. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures : An overtopping manual largely based on european research, but for worldwide application, Second Edition, Authors : J.W. van der Meer, N.W.H. Allsop, T. Bruce, J. DeRouck, A. Kortenhaus, T. Pullen, H. Schüttrumpf, P. Troch and B. Zanuttigh.
7. 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.
8. Liu, Y. and Wu, C.H., 2019. Lifeguarding operational camera kiosk system (LOCKS) for flash rip warning : Development and application.

Coastal Engineering, 152.

9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Molfetta, M., Valentini, N. & Damiani, L. (2015). Coastal Video Monitoring system: results and perspectives. In *Contributi di Ricerca 1-Research Contributions 1: 1° Workshop sullo stato dell'arte delle ricerche nel Politecnico di Bari—1st Workshop on the State of the Art and Challenges of Research Efforts at POLIBA* (p. 9). Gangemi Editore SpA.
13. Liu, Y., & Wu, C. H. (2019). Lifeguarding Operational Camera Kiosk System (LOCKS) for flash rip warning: Development and application. *Coastal Engineering*, 152, 103537.
14. Bechle, A. J., Wu, C. H., Liu, W. C., & Kimura, N. (2012). Development and application of an automated river-estuary discharge imaging system. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(4), 327-339.
15. 郭人維、潘庭馨、許明光、陳進益、練育貞、滕春慈(2015)，與颱風長浪有關之瘋狗浪事件研究，天氣分析與預報研討會
16. 蔡政翰(2016)，危險的海岸波浪—瘋狗浪，科學月刊 12 月號 564 期
17. 韓坤平、簡仲和(2006)，數值影像處理於堤面溯上水體剖面辨識之

應用研究，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。

18. 經濟部水利署第七河川局(2006~2008)，後灣海岸海堤改善後監測計畫。
19. 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。
20. 經濟部水利署(2013~2014)，海堤區域非接觸式水文觀測及越波溢堤預測新興技術之研發。
21. 邱永芳，陳冠宇，蘇青和，李俊穎，陳鈞彥(2018)，海岸公路異常波浪特性及防災應用技術之研究，交通部運輸研究所。
22. 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。
23. 張恩維、張憲國(2017)，應用無人載具於現地波浪溯升的初步研究，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
24. 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。
25. 經濟部水利署(2021)，110 年第六河川局河川監測資訊管理精進計畫。
26. 經濟部水利署(2021)，台南市一般海堤風險評估。
27. 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。
28. 賴岱佑(2008)，數位影像分析之智慧型監視系統，文魁資訊。
29. 陳冠宇，蔡立宏，李俊穎，陳鈞彥(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，交通部運輸研究所。

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」計畫案期中報告審查會議

貳、時間：111年7月19日(星期二) 下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

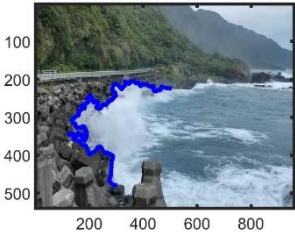
委員意見	意見回覆與處理情形表	本所計畫承辦單位審查意見
一、王藝峰委員		
1.本計畫目前成果尚為日間越波影像判釋，建議未來確認研發之影像判釋技術在夜間及颱風豪雨時仍具備正確性。目前運研所於花蓮的攝影機已佈設7支，溯升感測計已佈設6只，建議仍可同步將夜間影像攝影及溯升感測計的紀錄進行長時間資料蒐集，後續除可用以進行初步評估及模擬外，亦可作為比對資料使用。	感謝委員意見。本計畫為4年期計畫，今年屬第1年期，計畫目的為建立日間越波影像判釋技術，第2年期(112)與第3年期(113)計畫目的即分別為建立夜間越波與防波堤越波影像判釋技術，夜間影像資料擬於明年度計畫再行資蒐整理。	同意合作單位之說明。
2.依據110年水利署第六河川局河川監測資訊管理精進計畫中提到，溯升感測計於該年度觀測過程中，容易發生收訊微弱，原物料短缺及外力過大破壞等問題，並提出未來可透過串連感測器，多元備料及結構更換方式來強化觀測設備能力，此部分資料建議可洽本署第六河川局提供委辦成果供作參考。	感謝委員意見，水利署第六河川局本年度仍有辦理溯升感測器相關計畫，且亦由本團隊執行。因此，相關資料建議均會回饋此兩計畫之參酌。	同意合作單位之說明。

3.本計畫運用影像分析判斷溯升值，可提供完整2D 資訊。但影像資料是即時資訊，要運用於預警，建議應結合外海波浪模擬，才有足夠時間提供預警，以利進行交通管制或其他應變措施。	感謝委員意見，運研所於 107 至 110 年已分別建置臺東及花蓮海岸公路浪襲預警系統，提供浪襲預警資訊，惟越波及浪襲仍無現場觀測數據或影像等直接資訊，本計畫擬以自動化影像判釋作業為目標，回饋影像判釋資料至該系統，以強化其浪襲預報能力。	同意合作單位之說明。
4.另大風浪時，海岸地形應會發生動床現象，目前高程判斷方法是否仍然有效，預警系統涉及交通管制，系統的準確度應達到一定水準，否則在實務上不易運用。	感謝委員意見，本計畫已透過 DEM 資料、共線方程、影像等資料建立影像與地形空間之關係，因此海岸地形變化，並不會影響目前高程判斷方法，惟準確度部分仍須透過觀測資料來做輔助校驗，才能可靠運用於實務上。	同意合作單位之說明。
5.本期中報告已完整研發新型溯升感測計及智慧學習影像分析，已具成果。	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
二、陳冠宇委員		
1.本計畫對觀測技術已有相當掌握，為未來研究奠定良好基礎。	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
2.本計畫之最終目的應為改良或建立海岸公路浪襲預警系統，建議多方蒐集各種量測與預報資料，尤其是波浪預報之波向。	感謝委員意見，本計畫目的為利用影像判釋方式，針對易浪襲區段，發展判釋越波(浪襲)示警技術，進而輔助精進既有浪襲預警系統。目前亦有藉由港研中心提供系統中海象預報資料，以作為分析所用。	同意合作單位之說明。
3.建議以波向精進既有浪襲預警系統。	感謝委員寶貴意見，本計畫亦有蒐集浪襲系統之預報資料，惟目前顯著溯升資料較少，且亦有海象預警系統差異性問題存在，因此本年度計畫已將波向與預警值差異問題納入未來系統精進規劃之中。	同意合作單位之說明。

4.溯升感測計設置在消波塊最上端，可能有波浪打上道路，但溯升感測計仍無感應情況。	感謝委員寶貴意見。由於感測器需透過太陽能板以維持獨立電源運作，因此裝設位置及角度均有一定限制，故現勘後決議裝設於消波塊最上端。值得一提的是，感測器安裝高程位置均低於路面高程（參表 3-1），以及路緣的擋水護欄牆頂高程，因此在浪襲越上道路前，感測器所記錄的溯升高度仍會有一定參考價值。	同意合作單位之說明。
三、曾以帆委員		
1.封面內頁，著者欄中承辦人名列其中，在報告審查階段並不適合，建議移除。	感謝委員意見，已修正封面內頁著者欄。	同意合作單位之處理情形。
2.報告中及參考文獻多次提及運研所「花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用(2021)」，建議摘錄相關研究成果，彙整於本報告中。	感謝委員意見，本計畫已於報告補充相關內容。	同意合作單位之處理情形。
3.p.5，第 2-1 節環境背景現況說明，應強化海、氣、地象的收集分析，並說明與圖示研究區(台 11 線人定勝天路段)的相關位置。	感謝委員意見，相關資料已蒐集彙整，並於期末報告中呈現。	同意合作單位之處理情形。
4.p.7，倒數第 3 行，花蓮是全臺灣表面潮汐最弱的地區，請問是何意？花蓮平均潮差 1.199~1.235 公尺，仍遠大於高屏海域的 0.5~0.8 公尺。另文中請加入波浪玫瑰圖。	感謝委員意見。此處係指平均潮位而言，依據氣象局 2002 年至 2021 年潮位統計資料，花蓮年平均潮位僅為 0.041 公尺，相較臺灣本島其他測站，花蓮年平均潮位值偏小。未免誤解，將予以修正用語。	同意合作單位之處理情形。
5.p.10，請補充計畫區附近海岸之水深地形圖資。	感謝委員意見，相關資料蒐集彙整後，已於期末報告中呈現。	同意合作單位之處理情形。
6.p.10~13，文中提及郭人維等 (2015)、陳冠宇等	感謝委員意見，相關資訊已補充於參考文獻。	同意合作單位之處理情形。

(2021)、科學月刊第 564 期，請於最後參考文獻中補充相關資訊。		
7.p.13，文中最後一段提及「國內迄今尚無合適的感測器可長期擺在海堤區...」；p.13~15，文中也提及地面接觸式溯升觀測系統經費昂貴，較不適合廣泛佈置在臺灣沿海海堤區域。依據本人實際建置經驗，接觸式溯升觀測系統經費並不一定昂貴，也可以很便宜，端賴觀測目的與時間而定，也可以日夜都觀測。	感謝委員指正，已刪除相關文字，確保報告內容正確性。	同意合作單位之處理情形。
8.p.28，由圖 3-2 可看出，溯升感測計是安裝在消波塊頂端，離地面有 1 公尺以上的差距，此位置在小浪時不易感測到訊號，建議需調整位置。	感謝委員寶貴意見。由於感測器需透過太陽能板以維持獨立電源運作，因此裝設位置及角度均有一定限制，故現勘後決議裝設於消波塊最上端。值得一提的是，感測器安裝高程位置均低於路面高程（參表 3-1），以及路緣的擋水護欄牆頂高程，因此在浪襲越上道路前，感測器所記錄的溯升高度仍會有一定參考價值。另新增說明感測器與公路路面相對高程。	同意合作單位之說明及補充。
9.p.34，本計畫經由 YUV 影像強化技術，有效區分出水線位置，但無法於夜間進行影像分析。建議可選在西海岸有燈光的海堤（或沙灘）區進行，以利優化此分析方法。	感謝委員意見，本計畫目前乃以「海岸公路」與「港區」為分析對象，因此光線問題應為未來夜間影像判釋技術建立所需面臨之挑戰。此部分目前亦有與港研中心積極討論，期於能研提較可行之方法。	同意合作單位之說明。
四、黃偉柏委員		
1.本計畫於期中報告階段，完整歸納相關前人研究。較為可惜之處，為溯升感測計尚未有監測資料，期	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。

待於期末階段有更進一步之分析。		
2.目前海象資料記錄都屬於1小時的平均值，而影像要處理的波浪溯升及越波屬瞬時的紀錄，請問兩者如何整併？	感謝委員意見。影像分析之波浪溯升及越波資料會以與海象溯升觀測相同的時間平均方法進行處理，以利彙整比較影像分析之波浪溯升及越波成果。另一方面，將依照溯升越波預報採用之海象觀測之時間平均方法進行處理，以確保資料於時間分析之一致性。	同意合作單位之說明及處理情形。
3.針對驗證部分，溯升感測計以點狀非連續型態方式佈設，而就影像辨識的溯升高度則是以連續的方式可直接推算數值，兩者在比較會有一定的差異性，如何定義精度？	感謝委員意見，誠如委員所述，兩者量測技術於空間連續性上有所差異。其中，感測器空間解析度較差，因此於兩資料比對上會以該解析度作為比較精度。	同意合作單位之說明。
4.溯升感測計對飛沫型的溯升表現如何？另外，下雨會不會影響實際溯升高度的判讀？	感謝委員意見，感測器判釋海水溯升的原理，乃透過待測液體的導電度與感測器感測電壓的率定關係，即當感測電極浸沒於海水中，將測得明顯電壓，用以界定有無海水或受雨水(淡水)影響，同時對於排除飛沫型的溯升亦有不錯的辨識能力。	同意合作單位之說明。
5.表 3-1 裡的 X 及 Z 分別代表的意義？	感謝委員建議。已更新表 3-1，欄位改為經緯度以及相對路面高程。	同意合作單位之處理情形。
6.圖 3-5 每一張圖的對應溯升感測計位置或是內容請補充說明。	感謝委員建議。已於圖 3-5 中補述感測器編號，並於表 3-1 中補充說明各感測器對應經緯度與相對公路路面高程位置。	同意合作單位之處理情形。
五、謝志敏委員		
1.請問目前影像分析部分 1 個 pixel 所對應的實際解析度為何？	感謝委員意見。由於港研中心人定勝天路段 CCTV 拍攝採用俯視，故距離 CCTV 越遠的影像解析度越差。透過 DEM 和共線方程計算水線	同意合作單位之說明。

	判釋區域之解析度，得到： 遠處為 $O(30)$ cm/pixel， 近處為 $O(4)$ cm/pixel。	
2.目前團隊分析結果看起來，日間判釋水線結果不錯，惟夜間仍具挑戰性。因應第2年期計畫中需建立夜間影像判釋技術，請問此部分團隊是否有構思解套方式？	感謝委員意見，夜間影像判釋技術建立確實具挑戰性。此部分目前亦已與港研中心研討，且於計畫期間由中心租借「熱成像」攝影機收錄計畫區之影像，經初步分析可獲得不錯的水線分析成果。未來建議可以熱成像資料作為夜間判釋之基礎，應能有效加強夜間判釋之可靠性。	同意合作單位之說明。
3.當颱風天或者下雨天時，影像效果不佳時，請問如何辨識越波影像？	由本計畫目前情境分析結果來看，若雨滴未嚴重遮蔽攝影機鏡頭，水線仍可判釋。然而，影像判釋技術之建立除作為越波警示所用外，主要輔助既有浪襲預報系統之精進，當下雨天或颱風天時則以預報資料作為主要防災示警之工具。	同意合作單位之說明。
4.從圖3-23~圖3-26中發現各處浪襲高度不同，建議期末報告應呈現路段沿線浪襲水線，採用藍色或者醒目顏色標示，也建議期末報告時把水線影像資料轉成實際現場地形座標。 	感謝委員意見，相關圖資已於期末報告以醒目顏色標示，確保突顯水線位置。	同意合作單位之處理情形。
5.現場影像傳回伺服器的時差，與分析浪襲高度是否可能造成預報時間誤差？	感謝委員意見，影像判釋主要是作為現場警示所需，浪襲預報應以既有浪襲預報系統為主。	同意合作單位之說明。

6.如何驗證影像辨識成果的準確性，以利協助執行單位發布浪襲警報？	透過人為判釋與感測器觀測結果作為影像判釋成果驗證之對象，以確認目前判釋技術之準確性。相關內容已於期末報告中呈現。	
7.攝影機拍攝現場會造成影像扭曲，請問影像分析時是否做影像校正，讓影像為正射影像(Orthophoto)，建議期末報告時呈現此部分的成果。	感謝委員意見，影像分析部分有執行影像校正，相關內容已補充於期末報告。	同意合作單位之處理情形。
六、詹晨耀委員(書面意見)		
1.p.6 圖 2-1「花蓮沿海地區月平均溫度與日照時數分布圖」，圖中「氣溫資料與日照時數」為 2017~2021 年平均値，而「氣候月平均資料」為 1991~2020 年平均値，建議兩者可採用相同的統計區間年度資料呈現。	感謝委員意見。圖中呈現 2017~2021 年平均資料與 1991~2020 年平均資料進行比對，用意為呈現近 5 年間月平均氣溫相對於近 30 年間月平均氣溫值之變化，其中「氣候月平均」為氣象局近 30 年平均値之統計資料用語，為免混淆，已修正圖例說明。	同意合作單位之說明及修正。
2.p.6 圖 2-1「花蓮沿海地區月平均溫度與日照時數分布圖」與圖 2-2「花蓮沿海地區月平均降雨量與降雨日數分布圖」，各柱狀圖與折線圖中所對應之月份數據值資料，可一併呈現出來。(僅見降雨量之折線圖有數據資料呈現)。	感謝委員意見，已補充各月份數據資料。	同意合作單位之處理情形。
3.p.7 圖 2-3「花蓮港域歷年觀測風玫瑰比較圖」中之冬季與 p.9 圖 2-6「花蓮港域歷年觀測海流玫瑰比較圖」中之夏季，圖中所採用的最大百分率值界限分別為 30%與 10%，與其他 3 季所採用的最大百分率值界限 20%不同，建議圖中可採用相同	感謝委員意見，相關圖資摘錄自運研所「2019 年港灣海氣象觀測資料統計年報(12 港域觀測風力資料)」。	同意合作單位之處理情形。

的最大界限值，以利圖型判釋比較。		
4.p.11 第 2 段「中央氣象局統計，2000 年到 2019 年 11 月間，……，常為公路總局公告之浪襲路段，……。」，查台 11 線人定勝天路段已屬公路總局列管中之浪襲路段，故文字中「常為公路總局公告之浪襲路段」建議可予修正。(公路總局於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，將會於防災新聞稿發布時予以納入宣導防避之路段。)	感謝委員意見，相關文字已進行修正。	同意合作單位之處理情形。
5.p.33~51 研究單位以 CCTV 影像中北邊之影像 (61K+300~61K+380) 做為浪襲越波影像判釋之研究路段，按花蓮工務段歷年來之養護經驗顯示，於 p.50 圖 4-4 中位於臺 11 線樁號 61K+400~61K+500 間為本人定勝天路段中最易且最早遭受浪襲影響位置，由圖中南下靠山側路面有削挖山壁擴大路面寬度，以及 p.11 圖 2-7(a) 中人定勝天碑基座及其南端路基損壞與公路欄杆遭浪襲推到路面上的照片，所顯示即為上述遭受浪襲影響最大之位置，而公路總局 CCTV 影像常以北邊之影像作為常設之鏡頭角度，其用意係在對車流掌握與判斷上較為有利之緣故，如為觀測實際浪襲可能之影響時，花蓮工務段常會洽請	感謝委員意見，本計畫以維護公路安全為主要考量，攝影機鏡頭方向以可明確觀測波浪溯升之水線變化過程為主，依據浪襲預警系統分析結果顯示，目前拍攝範圍之公路段有浪襲可能，故仍維持目前拍攝範圍與角度。	同意合作單位之說明。

四工處交控中心將CCTV 鏡頭轉向以觀測原人定勝天碑南端之位置，以為瞭解浪襲影響程度。倘本計畫期程時間與預算可行下，建議可於原人定勝天碑南端增設越波影像判釋點位。		
七、本所港灣技術研究中心蔡立宏主任		
1.本計畫應用大量影像資料進行水線位置判釋，因目前尚未遇到較大波浪條件，波浪溯升較高情況的樣本數不多，實際遭遇颱風波浪產生較大的浪花及暴雨影響攝影機畫面等因素，如何確保影像判釋的準確性，是否有因應方式或構想？	感謝委員意見，影像判釋對於環境需求性較高，遇暴雨情況確實可能干擾攝影機畫面，進而影響影像判釋結果。因此，本計畫亦透過溯升感測器觀測方式來進行資料蒐集，並以此確認目前判釋技術之準確性。	同意合作單位之說明。
2.本計畫影像所建立的判釋方法是否僅適用於此路段(人定勝天路段)？是否能推廣應用至其他地方，或是需重新建立學習方式？	感謝委員意見，影像判釋技術建立需依據在地影像情況調校參數，因此目前判釋所用參數應適用於人定勝天路段。然而，本計畫技術方法與流程建立成熟後，則可推廣應用至其他區域，以達到影像判釋越波之成效。	同意合作單位之說明。
八、本所港灣技術研究中心林雅雯科長		
1.第 42 至 45 頁不同情境下(陰天、晴天、雨天及大浪)水線分析，影像判釋出水線，如何得知判釋結果的準確度、連續性、合理性，影像不能判釋的判斷方法建議再研析(目前以時間區分，為 17 時至 06 時影像無法判釋)，是否日後轉為數值分析，俾利後續自動化判釋結果評估。	感謝委員寶貴意見，本團隊擬遵照辦理，並已補充至期末報告中。	同意合作單位之處理情形。
2.第 13 頁「科學月刊第 564 期」建議列於參考文獻，	感謝委員意見，已補充於參考文獻。	同意合作單位之處理情形。

僅標示上標數字索引即可。		
3.第 15 頁提及作業化觀測系統，本案是否亦可能發展成作業化觀測系統？	感謝委員意見，若配合觀測資料傳輸與中心作業化平台運作應該發展作業化觀測系統，此部分於後續會再評估發展之可能性。	同意合作單位之說明。
4.第 27 頁溯升感測計以 2Hz 頻率記錄，回傳逐時溯升觀測資料，2Hz 記錄用途及 2Hz 目前記錄之資料是否有應用？	感謝委員意見。感測器是以 2Hz 觀測頻率記錄感測電壓，並逐時回傳紀錄期間的最大感測電壓。若感測電壓超過閾值，則判定浪襲到達感測探頭位置。考量感測器記憶體容量，並未留存 2Hz 觀測頻率感測電壓資料。	同意合作單位之說明及處理方式。
5.第 38 頁地形高程與第 51 頁預警系統溯升高程是否一致？	感謝委員意見，本計畫已蒐集預報系統斷面資料，並確認其高程一致。	同意合作單位之處理情形。
6.第 53 頁彌陀海堤預估溯升高程之輸入參數為何？建議補充說明。	預估溯升高程主要輸入海象預報資料(包含波高、週期、水位與波向)。	同意合作單位之說明。
九、本所港灣技術研究中心陳鈞彥副研究員		
1.建議於影像分析敘述中，將本所人定勝天路段攝影機蒐集影像檔案基本資料說明(例如解析度、檔案容量大小等)。	遵照辦理。	同意合作單位之說明。
2.請國立成功大學會後於政府研究資訊系統(GRB)網站填報期中進度。	遵照辦理。	同意合作單位之說明。

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」計畫案期末報告審查會議

貳、時間：111年11月24日(星期四) 下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

委員意見	意見回覆與處理情形表	本所計畫承辦單位審查意見
一、王藝峰委員		
1.本計畫完成且成功達成第1年建置溯升計且校驗、發展「非學習型」影像判釋技術、進行影像判釋技術與實測資料分析等目標，成果豐碩，本人同意通過。	感謝委員意見。	同意合作單位之說明。
2.目前市面上有許多商業性影像辨識軟體，建議蒐集並測試之，以作為研發參考或縮短運用所需之學習曲線。	感謝委員意見。明年度計畫欲進行深度學習之影像判釋程式開發前，將進行商業軟體與開源軟體的資料蒐集，並在考量運輸研究所具備之軟硬體設備之情況下，擇選合適的方式進行影像判釋作業。	同意合作單位之辦理方式。
3.本案目的為預警，依表 2-4 多發生於颱風期間，建議持續進行後續研究，以確認技術可行性。	感謝委員意見。	同意合作單位之說明。
二、陳冠宇委員		
1.波浪溯升計已經可以開始進行佈放，進度相當順利，值得肯定。	感謝委員意見。	同意合作單位之說明。
2.波浪溯升計是否有率定？請說明。	本計畫溯升感測器安裝於現場前，皆經出廠測試，包括感測電極觀測電壓的率定測試，即透過特定鹽度水體做	同意合作單位之說明。

	檢測率定，檢測範圍自純水至海水鹽度。	
3.如果在後續報告中能夠補充溢淹或高度的定量結果，有助於實質審查。	感謝委員意見。期末報告中有呈現影像判釋分析成果影像者，皆已補充判釋所得溯升高度於各圖。	同意合作單位之說明與處理情形。
4.如果在後續報告中能補充影像和儀器互相校驗的結果會更理想。	感謝委員建議，團隊會再精進此部分分析。	同意合作單位之說明。
5.有關波浪的邊界水線，如圖3.29，是否一定要連續的線？請說明。	目前程式是以擷取最靠內陸之水線為主，即判釋水域的最外圍。主要目的是為了擷取公路越波的距離和範圍，以利未來示警所用。因此，即便是分離水體，若影像能夠判釋的話，一樣會以連續線段顯示。	同意合作單位之說明。
6.熱成像的成果，若是氣溫較低，可能就看不出來。建議在後續報告中能有全年度的資料，判斷其可供使用的百分比。	感謝委員意見，熱成像確實會因溫度變化而影響分析結果，明年會再針對此部分進一步進行不同情境條件上的適用性，以利訂出適合使用參數與門檻。	同意合作單位之說明。
三、詹晨耀委員		
1.本計畫對於台11線人定勝天易遭浪襲路段，日後公路防災預警資訊提供具有相當參考性之預報資料依據，以供公路單位適時採取必要之防災作為，增加用路人之安全保障，感謝港研中心與研究團隊付出與協助。	感謝委員肯定。	同意合作單位之說明。
2.p3-2「…，最終決定在(南側)61K+380及(北側)61K+380至61K+300中間路段等2處斷面，各設置3只感測器，…」與表3.1「花蓮人定勝天路段溯升計安裝位置」(北側斷面)61K+380至61K+300中間路段與(南側斷	感謝委員建議，已於修正報告進行修正。	同意合作單位之修正。

面)61K+380 路段等敘述，其實際安裝位置為「(南側)61K+380」與「(北側)61K+300」，章節中之敘述建議不宜以「路段」或「中間路段」敘述，以免誤解。		
3.p3-20 及 p3-21，圖 3.24、圖 3.25「水線分析」所節錄的影像時間與表列時間，建議互為對應。(例：圖 3.24，影像時間為 2022/5/9 8:00、8:30、9:00、9:30，而表列時間為 8:00、9:00、10:00)	因圖 3.24 和圖 3.25 下方表列部分為海象預報資料，該資料時間解析度為每小時 1 筆，故以 1 小時為單位列表。此部分已加強標註說明，且參閱修正報告圖 3.24、圖 3.25、圖 3.26 和圖 3.27，p3-20 至 p3-23。	同意合作單位之說明與處理情形。
4.p4-5 圖 4.4「影像分析水線有效性之分析結果」，pass(1)與 no pass(0)，於 5/22 後段之上、下 2 條紅線有時間上重疊之現象，其判釋應如何說明？另表中橫坐標 5/21、5/22、5/23、5/24 之標示點顯示的時間軸起點是否為當日之 0 時(0:00)？建議清楚標示。	因圖 4.4 之橫軸(時間)橫跨三日，且呈現影像資料的時間間隔為 1 分鐘，故於 5/22 下午受降雨影響導致影像判釋時而通過時而未通過，故繪製成果造成看似有同時間重疊之現象，另時間軸座標為該日之 0 時 0 分。已重新繪製圖 4.4，並增加放大 5/22 下午 3 點至 5 點之結果(圖 4.5)於修正報告 p4-7 和 p4-7。	同意合作單位之說明與修正。
5.p4-8 第 2 段後段文字「…，若以影像判釋結果做為現場溯升/越波觀測資料，浪襲預警溯升資料分布趨勢與之具有一致性」一詞，經查閱圖 4.11、圖 4.11(續)之海岸公路浪襲預警系統與影像分析結果比較資料，其中 61K+380 路段之「浪襲預警系統」與「影像分析(本計畫分析)」比對，似乎難以說明其「分布趨勢有一致性」之佐證。	感謝委員提醒，現場資料與預警資料比對本身就具一定困難度。報告敘述表達的應該是至少預報與影像分析有重疊之趨勢，此文句團隊寫的太過絕對，已於修正報告進行修改避免誤會，請參閱 p4-11。	同意合作單位之說明與修正。
6.p4-9 圖 4.9「花蓮浪襲預警系統 111 年 3 至 5 月溯升預報資料」，其內容實為摘	感謝委員建議，已於修正報告進行修改，請參閱 p4-11。	同意合作單位之修正。

錄 4/15 15:00 至 4/16 22:00 之預報資料，故「花蓮浪襲預警系統 111 年 3 至 5 月溯升預報資料」一詞較為欠妥。		
四、羅偉佑委員		
1.有關在花蓮港區所收集溯升影像資料，建議研究團隊對現有收集的影像資料之攝影角度、攝影距離給予改善建議，以利未來評估花蓮港防波堤越波影像判釋之可行性。	感謝委員寶貴建議，本計畫本年度僅是初步針對各 CCTV 進行分析測試，未來若正式要進行花蓮港防波堤影像判釋時，確實要先針對攝影機角度、距離、拍攝範圍等參數進行調整，以利提升分析價值性。未來會透過現場勘查並與港局處人員討論後，再提出該相關參數調整建議。	同意合作單位之說明。
五、本所港灣技術研究中心蔡立宏主任		
1.溯升計高程資料是否有測量值？越波或波浪溯升高度、越波量等是否可估算？	感謝委員意見，溯升計本身位置有量測相對高程，因此透過公路高程即可推算各溯升計之高程值，藉此則可知溯升高度。然而，目前無論是溯升計或是影像判釋技術均較難可靠估算越波量，未來可結合越波經驗公式與觀測溯升高資料來概估可能越波量。	同意合作單位之說明。
2.影像判釋可能遇到各種環境條件的限制可加強探討，以利本案完成後提供應用單位參考。	感謝委員意見，彙整今年度研究成果，研提三個目前分析技術上的限制： 1.若發生可能使公路面或消波塊位移之事件(例如：地震、海嘯等)，則需重新進行率定影像與實際空間高程關係，以避免溯升高程誤判。 2.本計畫針對影像判釋結果可行性方面有建立一套自動化判釋程式，藉以避免因分析品質較差影像而導致誤判(例如：下雨、光線	同意合作單位之說明。

	不佳)，惟其仍須透過分析更多影像結果來做調校，才能使其門檻值設定上更具代表性。 3.計畫區攝影機之夜間影像目前仍難以用於影像分析，期未來透過熱成像方式能夠提升夜間分析之能力。	
六、本所港灣技術研究中心林雅雯科長		
1.p3-15 及 p3-16 花蓮攝影機日夜間影像左下角有三角形區域非同張影像，建議檢核。	感謝委員意見。此部分為印刷問題，將於印製書面期末報告修正版時進行校驗確保與電子檔的一致性。	同意合作單位之處理情形。
2.今年度影像分析所得之波浪溯升高程資料庫及程式(含原始碼)請提供給本中心。	遵照辦理。	合作單位已提供資料庫及程式，同意合作單位之說明。
3.p5-1 分析 1 張影像約需 1 分鐘的時間，是否足以即時判釋？	感謝委員意見。影像分析程式原以較舊型之電腦進行分析，故需費時 1 分鐘。為確認是否能即時判釋，改以今年度最新購入之電腦進行分析，發現可縮短至 5 秒。經分析，此部分與電腦之核心處理器、記憶體和硬碟有關。在未來的計畫中將注意硬體規格，確保能快速提供越波資訊。	同意合作單位之說明。
4.建議影像分析亦有警戒區域及示警燈號(綠、黃、橘、紅)。	感謝委員意見，後續自動化判釋技術建立後，可定義相關警戒區域，以達燈號警示功能建立。	同意合作單位之說明。
5.學習型影像未來是否可適用各個浪襲地區？	本計畫擬建置學習型影像分析方法主因為學習型相較於非學習型，免除了繁複的調校工作，減少了前製作業的時間，可更好的運用在不同的觀測條件上。然而，其適用性仍有待實際的執行和測試。	同意合作單位之說明。
七、本所港灣技術研究中心陳鈞彥副研究員		

1.期末報告初稿及簡報中影像判釋之影片檔請提供至港研中心。	報告及簡報所用之影像判釋之影片檔已彙整，並於影片檔檔名標示對應之圖號，相關資料已儲存於資料成果電子媒體中。	研究成果之相關影像檔已提供本所，同意合作單位之說明。
2.請國立成功大學會後於政府研究資訊系統(GRB)網站填報期末進度。	遵照辦理。	合作單位已如期填報 GRB 進度及繳交報告，同意合作單位之說明。

附錄三

期末審查簡報

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

交通部運輸研究所

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)
-日間越波影像判釋

期末報告審查

計畫主持人：吳昀達 助理教授
協同主持人：蕭士俊 教授
協同主持人：吳漢倫 博士後研究員
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111年11月24日

簡報大綱

- ◆計畫緣起與目的
- ◆工作流程與架構
- ◆工作進度
- ◆溯升與越波觀測資料分析
- ◆影像分析驗證與調校
- ◆溯升與越波影像分析技術自動化判釋評估與規劃
- ◆結論與建議



期中審查意見回覆

委員意見	意見回覆與處理情形
王藝峰委員	
本計畫目前成果尚為日間越波影像判釋，建議未來確認研發之影像判釋技術在夜間及颱風豪雨時仍具備正確性。目前運研所於花蓮的攝影機已佈設7支，潮升感測計已佈設6只，建議仍可同步將夜間影像攝影及潮升感測計的紀錄進行長時間資料蒐集，後續除可用以進行初步評估及模擬外，亦可作為比對資料使用。	感謝委員意見。本計畫為4年期計畫，今年屬第1年期，計畫目的為建立日間越波影像判釋技術，第2年期(112)與第3年期(113)計畫目的即分別為建立夜間越波與防波堤越波影像判釋技術，夜間影像資料擬於明年度計畫再行蒐集整理。
依據110年水利署第六河川局河川監測資訊管理精進計畫中提到，潮升感測計於該年度觀測過程中，容易發生收訊微弱，原物料短缺及外力過大破壞等問題，並提出未來可透過串連感測器，多元備料及結構更換方式來強化觀測設備能力，此部分資料建議可洽本署第六河川局提供委辦成果供作參考。	感謝委員意見，水利署第六河川局本年度仍有辦理潮升感測器相關計畫且亦由本團隊執行。因此，相關資料建議均會回饋此兩計畫之參酌。
本計畫運用影像分析判斷潮升值，可提供完整2D資訊。但影像資料是即時資訊，要運用於預警，建議應結合外海波浪模擬，才有足夠時間提供預警，以利進行交通管制或其他應變措施。	感謝委員意見，運研所於107至110年已分別建置臺東及花蓮海岸公路浪襲預警系統，提供浪襲預警資訊，惟越波及浪襲仍無現場觀測數據或影像等直接資訊，本計畫擬以自動化影像判釋作業為目標，回饋影像判釋資料至該系統，以強化其浪襲預警能力。
另大風浪時，海岸地形應會發生動床現象，目前高程判斷方法是否仍然有效，預警系統涉及交通管制，系統的準確度應達到一定水準，否則在實務上不易運用。	感謝委員意見，本計畫已透過DEM資料、共線方程、影像等資料建立影像與地形空間之關係，若無顯著海岸地形變化，對目前高程判斷方法影響不大。惟準確度部分仍須透過觀測資料來做輔助校驗，才能可靠運用於實務上。
本期中報告已完整研發新型潮升感測計及智慧學習影像分析，已具成果	感謝委員肯定。

期中審查意見回覆

委員意見	意見回覆與處理情形
陳冠宇委員	
本研究對觀測技術已有相當掌握，為未來研究奠定良好基礎。	感謝委員肯定。
本研究之最終目的應為改良或建立海岸公路浪襲預警系統，建議多方蒐集各種量測與預報資料，尤其是波浪預報之波向。	感謝委員意見，本計畫目的為利用影像判釋方式，針對易浪襲區段，發展判釋越波(浪襲)示警技術，進而輔助精進既有浪襲預警系統。目前亦有藉由港研中心提供系統中海象預報資料，以作為分析所用。
建議以波向精進既有浪襲預警系統。	感謝委員寶貴意見，本計畫亦有蒐集浪襲系統之預報資料，惟目前顯著潮升資料較少，且亦有海象預警系統差異性問題存在，因此本年度計畫已將波向與預警值差異問題納入未來系統精進規劃之中。
潮升感測計設置在消波塊最上端，可能有波浪打上道路，但潮升感測計仍無感應情況。	感謝委員寶貴意見。由於感測器需透過太陽能板以維持獨立電源運作，因此裝設位置及角度均有一定限制，故現勘後決議裝設於消波塊最上端值得一提的是，感測器安裝高程位置均低於路面高程(參表3-1)，以及路線的擋水護欄牆頂高程，因此在浪襲越上道路前，感測器所記錄的潮升高度仍會有一定參考價值。

期中審查意見回覆

委員意見	意見回覆與處理情形
曾以帆委員	
封面內頁，著者欄中承辦人名列其中，在報告審查階段並不適合，建議移除。	感謝委員意見，已修正封面內頁著者欄。
報告中及參考文獻多次提及運研所「花蓮海岸公路波浪預警及防災應用(2021)」，建議摘錄相關研究成果，彙整於本報告中。	感謝委員意見，本計畫已於報告補充相關內容。
p.5，第2-1節環境背景現況說明，應強化海、風、地象的收集分析，並說明與圖示研究區(台11線入定勝天路段)的相關位置。	感謝委員意見，相關資料已蒐集彙整，並於期末報告中呈現。
p.7，例數第3行，花蓮是全臺灣表面潮汐最弱的地區，請問是何意？花蓮平均潮差1.199-1.235公尺，仍遠大於高屏海域的0.5-0.8公尺。另文中請加入波浪玫瑰圖。	感謝委員意見。此處係指平均潮位而言，依據氣象局2002年至2021年潮位統計資料花蓮年平均潮位僅為0.041公尺，相較臺灣本島其他測站，花蓮年平均潮位值偏小未見誤解，將予以修正用語。
p.10，請補充計畫區附近海岸之水深地形圖資。	感謝委員意見，相關資料蒐集彙整後，已於期末報告中呈現。
p.10-13，文中提及郭人維等(2015)、陳冠宇等(2021)、科學月刊第564期，請於最後參考文獻中補充相關資訊。	感謝委員意見，相關資訊已補充於參考文獻。
p.13，文中最後一段提及「國內迄今尚無合適的感測器可長期擺在海堤區...」；p.13~15，文中也提及地面接觸式潮升觀測系統經費昂貴，較不適合廣泛佈置在臺灣沿海海堤區域。依據本人實際建置經驗，接觸式潮升觀測系統經費並不一定昂貴也可以很便宜，端賴觀測目的與時間而定，也可以日夜都觀測。	感謝委員指正，已刪除相關文字，確保報告內容正確性。
p.28，由圖3-2可看出，潮升感測計是安裝在消波塊頂端，離地面有1公尺以上的差距，此位置在小浪時不易感測到訊號，建議需調整位置。	感謝委員寶貴意見。由於感測器需透過太陽能板以維持獨立電源運作，因此裝置位置及角度均有一定限制，故現勘後決議裝設於消波塊最上端。值得一提的是，感測器安裝高程位置均低於路面高程(參表3-1)，以及路緣的擋水旋輪頂高程，因此在浪襲越上道路前，感測器所記錄的潮升高度仍會有一定參考價值。另新增說明感測器與公路路面相對高程。
p.34，本研究經由YUV影像強化技術，有效區分出水線位置，但無法於夜間進行影像分析。建議可選在西海岸有燈光的海堤(或沙灘)區進行，以利優化此分析方法。	感謝委員寶貴意見，本計畫目前乃以「海岸公路」與「港區」為分析對象，因此光線問題應為未來夜間影像判釋技術建立所需面臨之挑戰。此部分目前亦有與港研中心積極討論，期於能研提較可行之方法。



期中審查意見回覆

委員意見	意見回覆與處理情形
黃偉柏委員	
本研究於期中報告階段，完整歸納相關前人研究。較為可惜之處，為潮升感測計尚未有監測資料，期待於期末階段有更進一步之分析。	感謝委員肯定。
目前海象資料記錄都屬於1小時的平均值，而影像要處理的波浪潮升及越波屬瞬時的紀錄，請問兩者如何整併？	感謝委員意見。影像分析之波浪潮升及越波資料會以與海象潮升觀測相同的時間平均方法進行處理，以利彙整比較影像分析之波浪潮升及越波成果。另一方面，將依照潮升越波預報採用之海象觀測之時間平均方法進行處理，以確保資料於時間分析之一致性。
針對驗證部分，潮升感測計以點狀非連續型態方式佈設，而就影像辨識的潮升高度則是以連續的方式可直接推算數值，兩者在比較會有一定的差異性，如何定義精度？	感謝委員意見，誠如委員所述，兩者量測技術於空間連續性上有所差異。其中，感測器空間解析度較差，因此於兩資料比對上會以該解析度作為比較精度。
潮升感測計對飛沫型的潮升表現如何？另外，下雨會不會影響實際潮升高度的判讀？	感謝委員意見。感測器判釋海水潮升的原理，乃透過待測液體的導電度與感測器感測電壓的非定關係，即當感測電極浸沒於海水中，將測得明顯電壓，用以界定有無海水或受雨水(淡水)影響，同時對於排除飛沫型的潮升亦有不錯的辨識能力。
表3-1裡的X及Z分別代表的意義？	感謝委員建議。已更新表3-1，欄位改為經緯度以及相對路面高程。
圖3-5每一張圖的對應潮升感測計位置或是內容請補充說明。	感謝委員建議。已於圖3-5中補述感測器編號，並於表3-1中補充說明各感測器對應經緯度與相對公路路面高程位置。



期中審查意見回覆

委員意見	意見回覆與處理情形
謝志敏委員	
請問目前影像分析部分1個pixel所對應的實際解析度為何？	感謝委員意見。由於港研中心人定勝天路段CCTV拍攝採用俯視，故距離CCTV越遠的影像解析度越差。透過DEM和共線方程計算水線辨識區域之解析度，得到：遠處為 $O(30)$ cm/pixel、近處為 $O(4)$ cm/pixel。
目前團隊分析結果看起來，日間判釋水線結果不錯，惟夜間仍具挑戰性。因應第2年期計畫中需建立夜間影像判釋技術，請問此部分團隊是否有構思解套方式？	感謝委員意見，夜間影像判釋技術建立確實具挑戰性。此部分目前亦已與港研中心研討，且於計畫期間由中心租借「熱成像」攝影機收錄計畫區之影像經初步分析可獲得不錯的水線分析成果。未來建議可以熱成像資料作為夜間判釋之基礎，應能有效加強夜間判釋之可靠性。
當颱風天或者下雨天時，影像效果不佳時，請問如何辨識越波影像？	由本計畫目前情境分析結果來看，若雨滴未嚴重遮蔽攝影機鏡頭，水線仍可判釋。然而，影像判釋技術之建立除作為越波警示所用外，主要輔助既有浪襲預報系統之精進，當下雨天或颱風天時則以預報資料作為主要防災示警之工具。
從圖3-23~圖3-26中發現各處浪襲高度不同，建議期末報告應呈現路段沿線浪襲水線，採用藍色或者醒目顏色標示，也建議期末報告時把水線影像資料轉成實際現場地形座標。	感謝委員意見，相關圖資已於期末報告以醒目顏色標示，確保突顯水線位置。
現場影像傳回伺服器時差，與分析浪襲高度是否可能造成預報時間誤差？	感謝委員意見，影像判釋主要是作為現場警示所需，浪襲預報應以既有浪襲預報系統為主。
如何驗證影像辨識成果的準確性，以利協助執行單位發布浪襲警報？	透過人為判釋與感測器觀測結果作為影像判釋成果驗證之對象，以確認目前判釋技術之準確性。相關內容已於期末報告中呈現。
攝影機拍攝現場會造成影像扭曲，請問影像分析時是否做影像校正，讓影像為正射影像(Orthophoto)，建議期末報告時呈現此部分的成果。	感謝委員意見，影像分析部分有執行影像校正，相關內容已補充於期末報告。

期中審查意見回覆

委員意見	意見回覆與處理情形
詹晨耀委員	
p.6圖2-1「花蓮沿海地區月平均溫度與日照時數分布圖」，圖中「氣溫資料與日照時數」為2017~2021年平均，而「氣候月平均資料」為1991~2020年平均，建議兩者可採用相同的統計區間年度資料呈現。	感謝委員意見，圖中呈現2017~2021年平均資料與1991~2020年平均資料進行比對，用意為呈現近5年間月平均氣溫相對於近30年間月平均氣溫之變化，其中「氣候月平均」為氣象局近30年平均之統計資料用詞，為免混淆，已修正圖例說明。
p.6圖2-1「花蓮沿海地區月平均溫度與日照時數分布圖」與圖2-2「花蓮沿海地區月平均降雨量與降雨日數分布圖」，各柱狀圖與折線圖中所對應之月份數據值資料，可一併呈現出來。(僅見降雨量之折線圖有數據資料呈現)。	感謝委員意見，已補充各月份數據資料。
p.7圖2-3「花蓮港域歷年觀測風玫瑰比較圖」中之冬季與p.9圖2-6「花蓮港域歷年觀測海流玫瑰比較圖」中之夏季，圖中所採用的最大百分率界限分別為30%與10%，與其他3季所採用的最大百分率界限20%不同，建議圖中可採用相同的最大界限值，以利圖型判釋比較。	感謝委員意見，相關圖資請參閱研所「2019年臺灣海氣象觀測資料統計年報(12港域觀測風力資料)」。
p.11第2段「中央氣象局統計，2000年到2019年11月間，……，常為公路總局公告之浪襲路段，……。」，包含11線人定勝天路段已屬公路總局列管中之浪襲路段，故文字中「常為公路總局公告之浪襲路段」建議可予修正。(公路總局於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，將會於防災新聞稿發布時予以納入宣導防避之路段。)	感謝委員意見，相關文字已進行修正。
p.33~51研究單位以CCTV影像中北邊之影像(61K~300~61K+380)做為浪襲越波影像判釋之研究路段，按花蓮工務段歷年來之養護經驗顯示，於p.50圖4-4中位於臺11線舊路61K~400~61K+500間為本人定勝天路段中最易且最早遭受浪襲影響位置，由圖中南下靠山側路面有削挖山壁擴大路面寬度，以及p.11圖2-7(a)中人定勝天碑基座及其南端路基損壞與公路欄杆遭浪襲推到路面上的照片，所顯示即為上述遭受浪襲影響最大之位置，而公路總局CCTV影像常以北邊之影像作為常設之鏡頭角度，其用意係在對車流掌握與判斷上較為有利之緣故，如為觀測實際浪襲可能之影響時，花蓮工務段常會洽請四工處交控中心將CCTV鏡頭轉向以觀測本人定勝天碑南端之位置，以為瞭解浪襲影響程度。倘本研究期程時間與預算可行下，建議可於本人定勝天碑南端增設越波影像判釋點位。	感謝委員意見，本計畫以維護公路安全為主要考量，攝影機鏡頭方向以可明確觀測波浪高升之水線變化過程為主，依據浪襲預警系統分析結果顯示，目前拍攝範圍之公路段有浪襲可能，故仍維持目前拍攝範圍與角度。

期中審查意見回覆

委員意見	意見回覆與處理情形
港灣技術研究中心蔡立宏主任	
本計畫應用大量影像資料進行水線位置判釋，因目前尚未遇到較大波浪條件波浪測升較高情況的樣本數不多，實際遭遇颱風波浪產生較大的浪花及暴雨影響攝影機畫面等因素，如何確保影像判釋的準確性，是否有因應方式或構想？	感謝委員意見，影像判釋對於環境需求性較高，過暴雨情況確實可能干擾攝影機畫面，進而影響影像判釋結果。因此，本計畫亦透過人為判釋與測升感測器觀測方式來進行資料蒐集，並以此確認目前判釋技術之準確性。
本計畫影像所建立的判釋方法是否僅適用於此路段(人定勝天路段)？是否能推廣應用至其他地方，或是需重新建立學習方式？	感謝委員意見，影像判釋技術建立需依據在地影像情況調校參數，因此目前判釋所用參數應適用於人定勝天路段。然而，本計畫技術方法與流程建立成熟後，則可推廣應用至其他區域，以達到影像判釋越波之成效。
港灣技術研究中心林雅雯科長	
第42至45頁不同情境下(陰天、晴天、雨天及大浪)水線分析，影像判釋出水線，如何得知判釋結果的準確度、連續性、合理性，影像不能判釋的判斷方法建議再研析(目前以時間區分，為17時至06時影像無法判釋)，是否日後轉為數值分析，俾利後續自動化判釋結果評估。	感謝委員寶貴意見，本團隊擬遵照辦理，並已補充至期末報告中。
第13頁「科學月刊第564期」建議列於參考文獻，僅標示上標數字索引即可	感謝委員意見，已補充於參考文獻。
第15頁提及作業化觀測系統，本案是否亦可能發展成作業化觀測系統？	感謝委員意見，若配合觀測資料傳輸與中心作業化平台運作應該發展作業化觀測系統，此部分於後續會再評估發展之可能性。
第27頁測升感測計以2Hz頻率記錄，回傳逐時測升觀測資料，2Hz記錄用途及2Hz目前記錄之資料是否有應用？	感謝委員意見，感測器是以2Hz觀測頻率記錄感測電壓，並逐時回傳紀錄期間的最大感測電壓。若感測電壓超過閥值，則判定浪襲到達感測探頭位置。考量感測器記憶體容量，並未留存2Hz觀測頻率感測電壓資料。
第38頁地形高程與第51頁預警系統測升高程是否一致？	感謝委員意見，本計畫已蒐集預報系統斷面資料，並確認其高程一致。
第53頁彌陀海堤預估測升高程之輸入參數為何？建議補充說明。	預估測升高程主要輸入海象預報資料(包含波高、週期、水位與波向)。
港灣技術研究中心陳鈞彥副研究員	
建議於影像分析敘述中，將本所人定勝天路段攝影機蒐集影像檔案基本資料說明(例如解折度、檔案容量大小等)。	遵照辦理。
請國立成功大學會後於政府研究資訊系統(GRB)網站填報期中進度。	遵照辦理。

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.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彙集

編號	日期	簡述	事件地點	浪高	浪速	浪向	浪向
1	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
2	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
3	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
4	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
5	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
6	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
7	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
8	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
9	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
10	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
11	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速
12	2015/08/08	花蓮海岸公路發生「人定勝天」浪襲	台11線 61K	2.40m	4.0m/s	浪高	浪速

計畫緣起與目的

透過既有影像設備
發展影像判釋技術



量化溯升/越波資訊



發展判釋越波(浪襲)
示警技術

- 向業管單位提出警示
- 減少巡檢人員面臨的風險
- 增加用路人行車安全



本年度研究區域

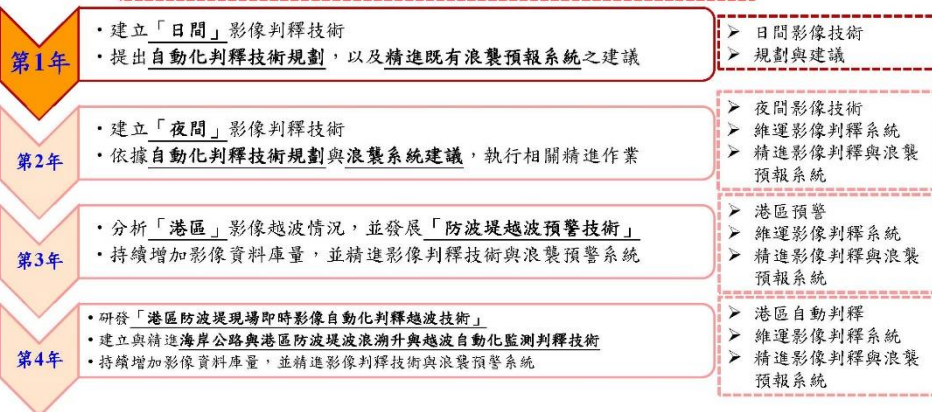


後續年度研究區域
6架CCTV
(已檢視特性)
人定勝天路段
1架CCTV
(已檢視特性及建置
影像判釋技術)

整體計畫研究範圍圖

計畫緣起與目的

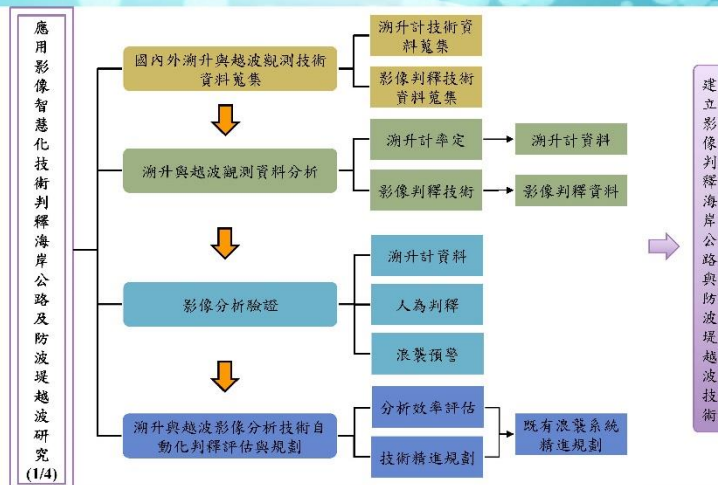
➢ 此為四年期計畫，本年度為第一期，各年度工作重點如下所示。



工作流程與架構



工作流程與架構

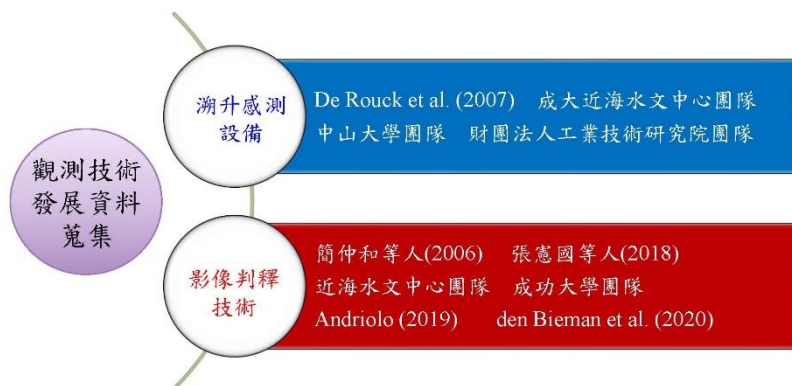


工作進度

▬ 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	11
	年別	111											
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(一)國內外潮升與越波觀測技術研究蒐集													
(二)潮升與越波觀測資料分析													
(三)影像分析驗證與調校													
(四)潮升與越波影像分析技術自動化判釋評估與規劃													
(五)報告撰寫													
預定進度累積百分比(%)		-	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90	100
查核點(▲)	預定查核點	查核點內容說明											
1	第1季	政府部門研究計畫基本資料表登錄											
2	第2季	期中報告初稿											
3	第3季	期末報告初稿											
4	第4季	成果報告修正及經費支出報告表											

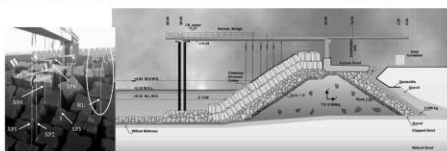
國內外潮升與越波觀測技術研究蒐集



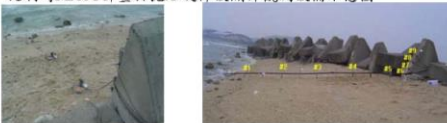
國內外潮升與越波觀測技術研究蒐集

國內外潮升計研究資料蒐集

- 潮升感測設備是以「侵入式」型式進行潮升與越波觀測，其觀測物理機制較單純且直接。
- 透過安裝感測器設備來強化潮升/越波觀測之可靠度，並輔助影像判釋技術建立。



比利時MAST計畫於拋石堤佈設潮升感測設備示意圖



中山大學研究團隊執行第七河川局委託計畫(2006-2008年)



成功大學近海水文中心執行水利署計畫(2013-2014年)



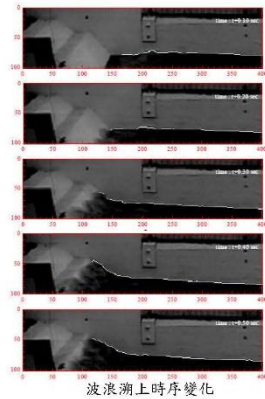
財團法人工業技術研究院研發微型潮升感測器
(本研究團隊採用)



本研究團隊執行第六河川局委託計畫(2021年)

國內外溯升與越波觀測技術研究蒐集

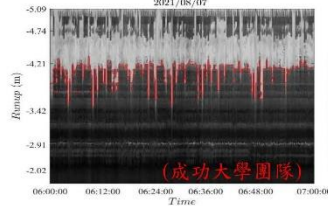
國內溯升與越波影像判釋研究蒐集



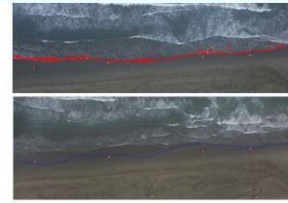
(資料來源：簡仲和等人(2006))



水花辨識結果比對圖
(近海水文中心團隊)



鵝鑾海堤實際波浪溯升之時序變化(盧碧鵬風)
(資料來源：河川監測資訊管理精進計畫(2021))

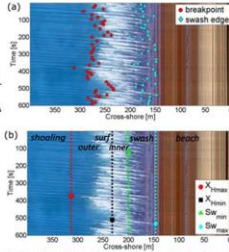
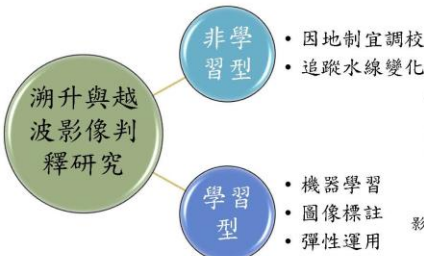


影像水線擷取流程
(資料來源：張憲國等人(2018))

- 影像判釋是以「非侵入式」型式進行溯升與越波觀測。
- 設備不易受損害。
- 影像易受天候影響，而使分析結果不佳。

國內外溯升與越波觀測技術研究蒐集

國外溯升與越波影像判釋研究蒐集

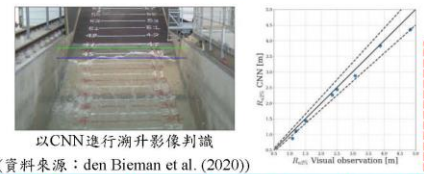


影像堆疊法應用於測量海岸波浪溯升
(資料來源：Andriolo(2019))



本計畫影像分析技術建置流程

- 蒐集學習型與非學習型兩種影像判釋方式，並彙整其方法與流程。
- 規劃本計畫影像判釋技術建立之整體架構
- 本年度以建立非學習型影像判釋為主，並以「日間」影像為分析對象
- 建立圖像標註及品管方法。



潮升與越波觀測資料分析

潮升計觀測資料蒐集與分析

- 本年度規劃於台11線「人定勝天路段」建置潮升觀測站，用以紀錄並回傳波浪潮升與越波的逐時資料。
- 建構2處斷面之潮升觀測站。
- 接觸式量測，不受驟雨或夜間能見度低的影響。
- 作為影像判釋成果的比對驗證，提升海岸公路浪襲預警系統預警成效



本計畫所採用潮升計



本年度研究區域



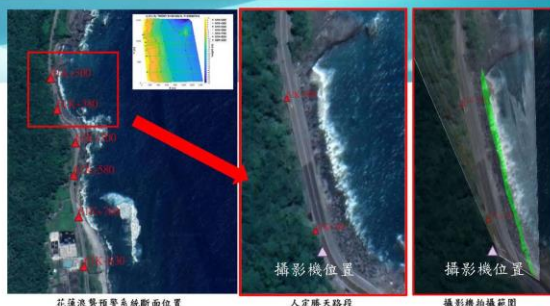
後續年度研究區域

花蓮港區

人定勝天路段

潮升與越波觀測資料分析

潮升計觀測資料蒐集與分析



花蓮浪襲預警系統斷面位置

攝影機位置

攝影機位置

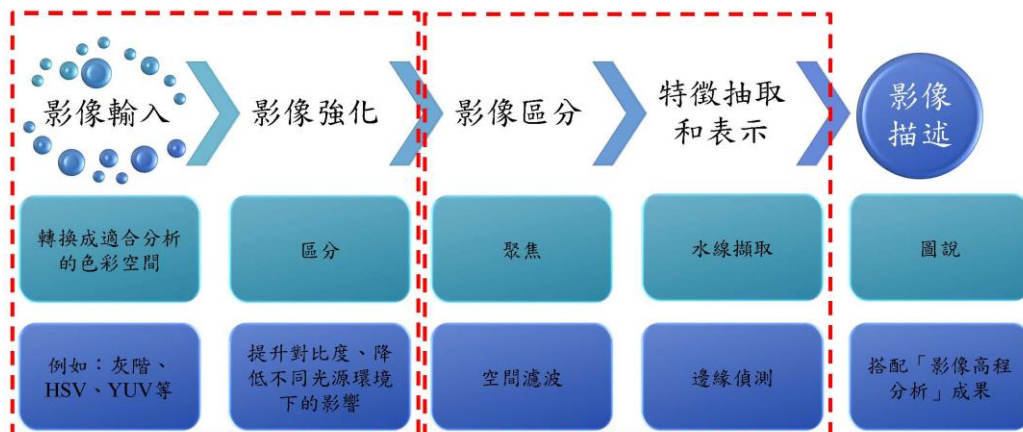


- 依據攝影機拍攝範圍與預警系統斷面位置，為感測器設點參考。
- 完成建置人定勝天路段2處斷面之潮升觀測站
- 設置中繼站，成功回傳逐時資料

溯升與越波觀測資料分析

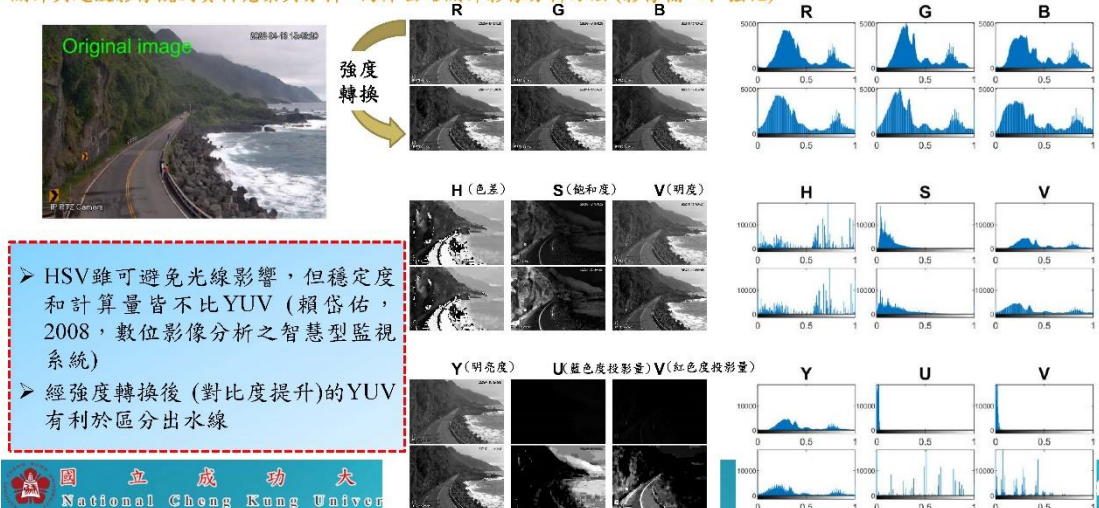
- 本計畫影像分析五步驟依序為「影像輸入」、「影像強化」、「影像區分」、「特徵抽取和表示」和「影像描述」

溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析 - 海岸公路溯升影像分析方法



溯升與越波觀測資料分析

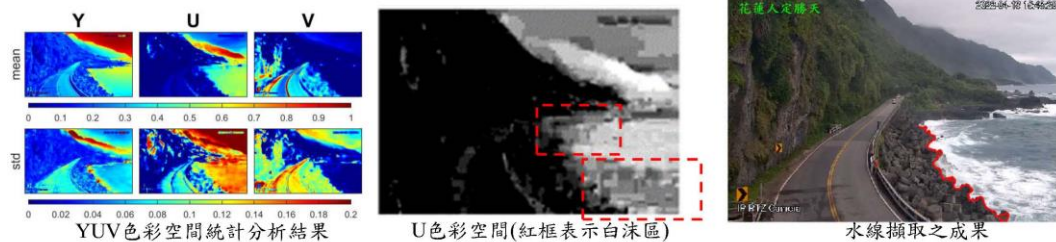
溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析 - 海岸公路溯升影像分析方法 (影像輸入和強化)



溯升與越波觀測資料分析

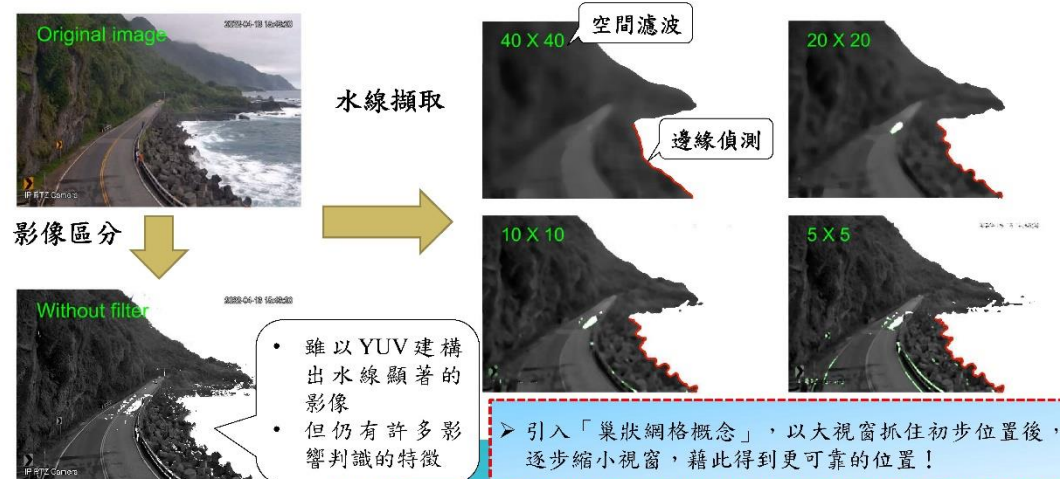
溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析 - 海岸公路溯升影像分析方法 (影像區分及特徵抽取和表示)

- 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
- 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
- U經對比度強化後之影像可凸顯水體和天空之區域，但其白沫區相較於其他水體區域像素值較小，為避免造成程式誤判可能性，需透過中值濾波器(median filter)降低其空間不均勻性
- 運用Canny邊緣偵測，擷取水線分布



溯升與越波觀測資料分析

溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析 - 海岸公路溯升影像分析方法 (影像區分及特徵抽取和表示)



潮升與越波觀測資料分析

潮升與越波影像觀測資料蒐集與分析 - 海岸公路潮升影像分析方法 (影像描述)

$$u_0 - u_c = -f \frac{m_{11}(X_0 - X_c) + m_{12}(Y_0 - Y_c) + m_{13}(Z_0 - Z_c)}{m_{21}(X_0 - X_c) + m_{22}(Y_0 - Y_c) + m_{23}(Z_0 - Z_c)}$$

$$v_0 - v_c = -f \frac{m_{21}(X_0 - X_c) + m_{22}(Y_0 - Y_c) + m_{23}(Z_0 - Z_c)}{m_{31}(X_0 - X_c) + m_{32}(Y_0 - Y_c) + m_{33}(Z_0 - Z_c)}$$

共線方程 (Bechle et al., 2012)



- 以15個控制點代入共線方程求解所需參數，其餘12個控制點作為誤差分析
- 比較量測和求解出的位置，其水平平均誤差為0.4 cm
- 高程平均誤差為1.4 cm (計算方式：DEM高程 - GPS高程)
- 可成功描述影像上不同位置之高程，後續透過影像分析出之水線，即可進一步得到水線所在之高程。



潮升與越波觀測資料分析

潮升與越波影像觀測資料蒐集與分析 - 近岸潮升/越波判釋與特性分析

- 運研所於花蓮的攝影機共有7支，本計畫先依日間與夜間兩種情境來說明各攝影機之影像特性。

1. 花蓮人定勝天
2. 花蓮水位辨識AXIS P1378-LE
3. 花蓮港西防波堤AXIS P5514-E
4. 花蓮港西防波堤堤頭AXIS P5515-E
5. 花蓮港西防波堤堤頭AXIS Q1786-LE
6. 花蓮港西防波堤堤頭AXIS Q1942-E
7. 花蓮港港務大樓AXIS M5525-E



攝影機介面

潮升與越波觀測資料分析

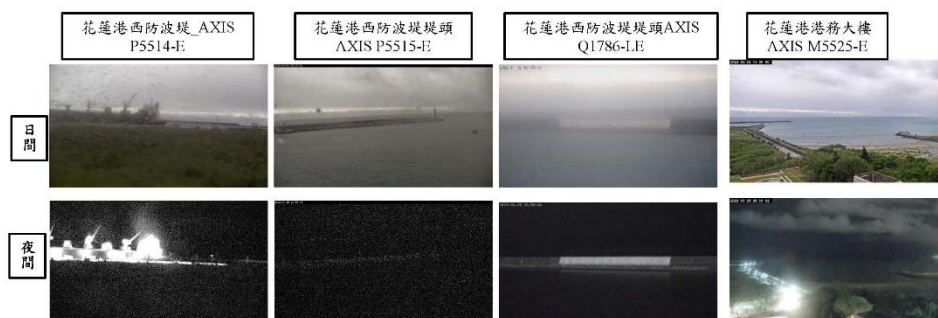
潮升與越波影像觀測資料蒐集與分析-近岸潮升/越波判釋與特性分析

➤ 熱成像攝影機的夜視效果良好



潮升與越波觀測資料分析

潮升與越波影像觀測資料蒐集與分析-近岸潮升/越波判釋與特性分析



➤ 其他花蓮港周遭影像，夜視效果不佳

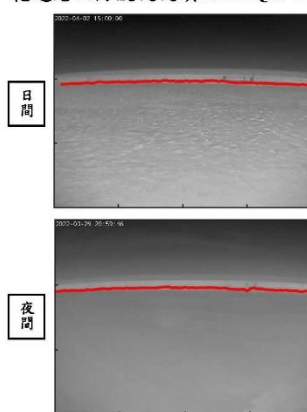
溯升與越波觀測資料分析

溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析-近岸溯升/越波判釋與特性分析

花蓮人定勝天



花蓮港西防波堤堤頭AXIS Q1942-E (熱成像)



- 透過影像分析判釋日夜間水線分布
- 夜間影像較難判釋水線分布
- 熱成像攝影機提供之影像，在日夜皆可順利辨識水位位置

溯升與越波觀測資料分析

溯升與越波影像觀測資料蒐集與分析-近岸溯升/越波判釋與特性分析

- 無雲層遮蔽時水線變化可清楚的透過影像判釋擷取出來
- 雨不大時，水線變化仍可判釋

A. 上午
(陰晴)



B. 上午
(雨)



C. 下午
(雨)

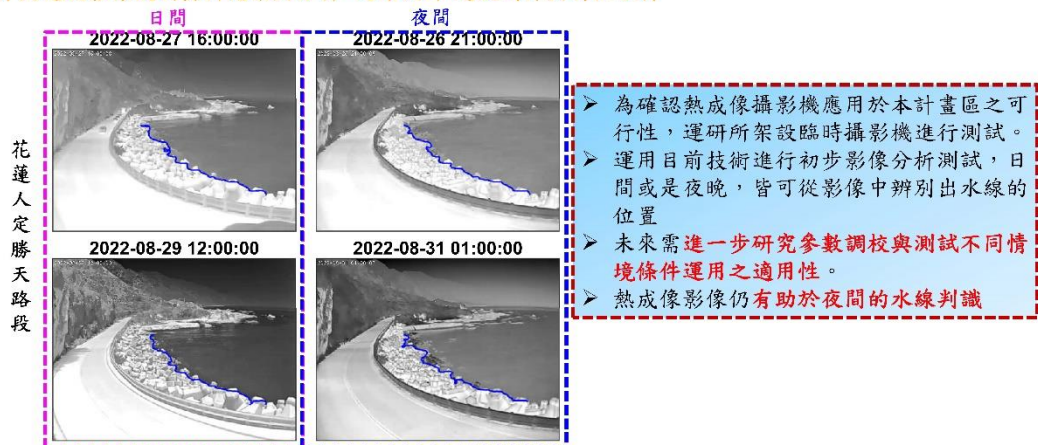


D. 大浪
(無雨)



潮升與越波觀測資料分析

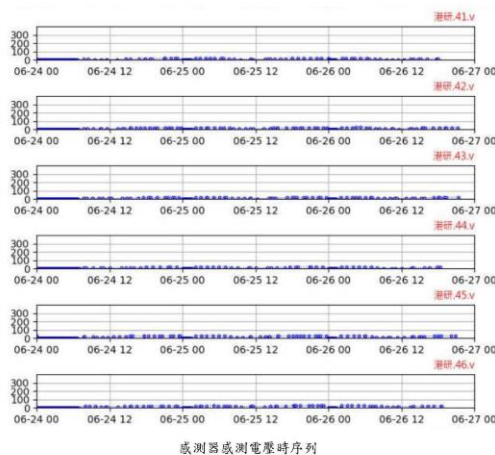
潮升與越波影像觀測資料蒐集與分析-近岸潮升/越波判釋與特性分析



影像分析驗證驗證與調校

潮升計與人為判釋資料驗證

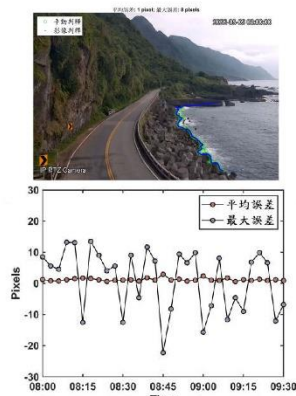
- 潮升觀測站完工迄今，並無顯著波浪及潮位條件可以造成波浪潮升至感測器觀測位置，以致目前回傳資料經由分析，尚無紀錄到潮升資料。
- 比對裝設潮升計後至今影像，其海象確實處於較為穩定之狀態，因此潮升計無收錄到觀測資料之可能性較高。



影像分析驗證與調校

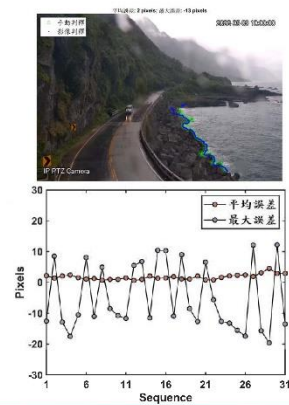
影像分析與人為判釋資料驗證

類型1. 小浪-陰晴



- 類型1：平均誤差小，而最大誤差之絕對值大部分小於20 pixels，惟8點45分時出現較大的誤差，仍能捕捉到水線整體之型態
- 類型2：平均誤差小，影像產生模糊時，會產生最大誤差，低估水線的情況整體之三分之二，影像判釋偏不保守

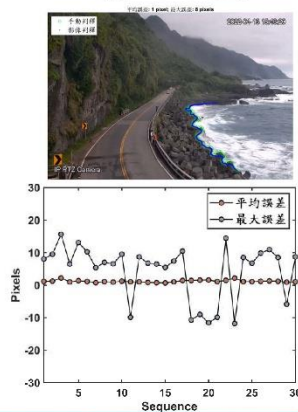
類型2. 小浪-下雨 (5/9 1000-1130、1330-1400)



影像分析驗證與調校

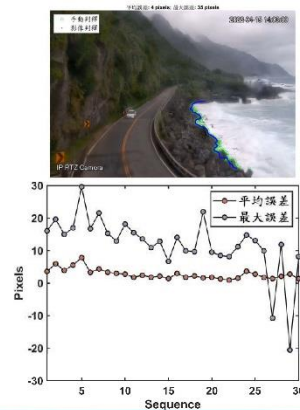
影像分析與人為判釋資料驗證

類型3. 大浪-陰晴



- 類型3：平均誤差小，而產生最大誤差時有高估水線的情況整體之三分之二情況發生，影像判釋呈現偏保守之情形
- 類型4：平均誤差小，在近岸浪兩偏大情況下，低估水線的情況整體之三分之二，影像判識結果偏向保守

類型4. 大浪-下雨-有預警系統

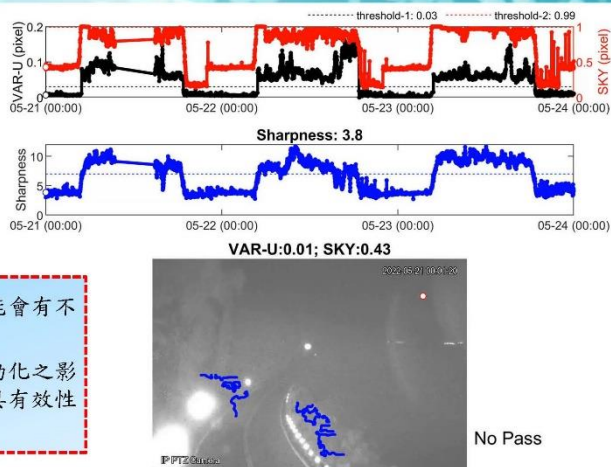


影像分析驗證與調校

影像分析水線有效性判識

- **Variance-U**：經影像強化後之YUV色彩空間中的U(藍色分量)的變異量，其門檻值為**Variance-U > 0.03**
- **Sky**：天空一處觀測點(紅圈處)的灰階值，其門檻值為**Sky < 0.99**
- **Sharpness**：水線判識區間的影像銳利度(sharpness)，門檻值為**Sharpness > 7.00**

- 受日夜和下雨的影響，影像判識之水線可能會有不可用(夜間和清晨)或誤差較大(雨天)之情形
- 未來此技術需自動化判釋，因此建構一自動化之影像水線判識程序，檢核影像分析水線是否具有有效性之方法



影像分析驗證與調校

潮升計與影像判識資料驗證



2022梅花颱風事件

紀錄時間	潮升計ID
22.09.12-07:52:02	43
22.09.13-07:52:00	43

- 從9/12和9/13(梅花颱風期間)的潮升計觀測結果可知，潮升計ID43於9/12和9/13的上午7點期間有收錄到潮升資訊，而其他潮升計亦無，此與影像水線分析之結果相符
- 2022年9月的軒嵐諾颱風期間之影像及其水線分析成果，此時出現非常大的潮升情形，然從影像可知海水皆未接觸到潮升感測器，此結果亦與潮升計觀測之記錄相符



南投		北投	
紀錄時間	潮升計ID	紀錄時間	潮升計ID
-	-	-	-

2022軒嵐諾颱風事件

影像分析驗證與調校

海岸公路浪襲預警系統預警資料比對與分析

- 目前能夠描述影像上不同位置之高程
- 透過影像分析出之水線，可得到水線所在之高程
- 擷取對應浪襲預警系統分析斷面，檢視潮升高程分布情況

15-Apr-2022 14:07:22



地形高程資料套疊影像之成果



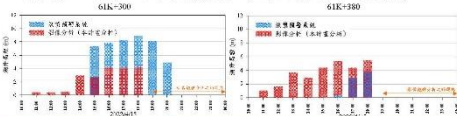
影像分析驗證與調校

海岸公路浪襲預警系統預警資料比對與分析

- 預警系統因潮升預報值較低，因此無潮升預報資料



花蓮人定勝天路段預報斷面於影像位置圖(111/4/15)

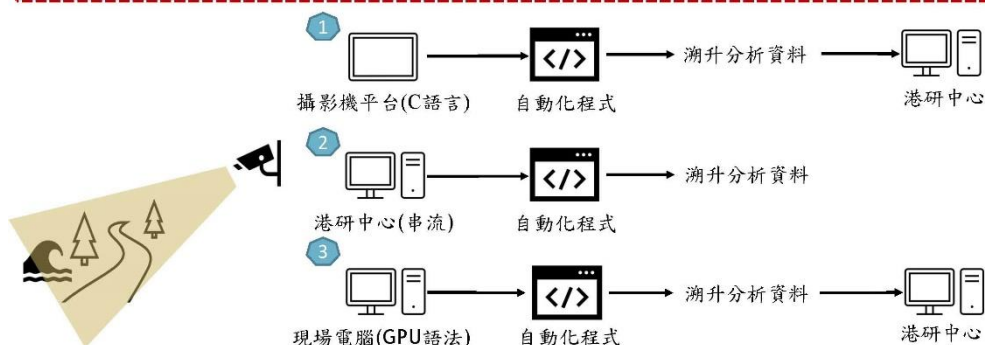


花蓮人定勝天路段預報斷面於影像位置圖(111/9/12)

- 111/4/15大浪情境時，預報潮升資料與影像分析潮升資料有發生時間有重疊
- 梅花颱風事件，可能因海象預報資料較為低估，反而無潮升預報資料能夠比對

影像分析技術自動化判釋評估與規劃

- 分析海岸公路影像自動化判釋與波浪潮升計結果，並研發人定勝天路段現場即時影像自動化判釋越波技術。
- 短程目標先以規劃方法2為主要發展方向，建立影像越波警戒系統；長程目標以方法3為主要發展標的。



結論與建議

本計畫共分為4年期，本年度為第1年期，需完成「日間」越波影像判釋技術研發，並以此為基礎，規劃未來自動化判釋技術發展，俾利未來作為海岸公路與港灣越波警示參考

結論：

- ✓ 針對國內外潮升與越波觀測技術研究進行資料蒐集與分析，並以此內容為基礎規劃本計畫續影像判釋技術發展之流程
- ✓ 已完成人定勝天路段潮升/越波影像判釋技術之流程與方法建立，並瞭解該影像於不同情境下分析結果之差異與限制性
- ✓ 透過侵入式方式監測波浪潮升情況，且與判釋結果進行比對，其結果吻合
- ✓ 透過預報資料與影像判釋結果之比對，部分分析潮升高程趨勢與預警系統相符；而部分分析資料顯示有潮升情況下，與預警系統資料有差異，此可能為海象預警系統預報值差異之影響
- ✓ 為使未來影像判釋自動化順利執行，於本年度計畫建置水線判釋影像有效性分析功能

建議：

- 建議未來可針對熱成像日間判釋結果進行詳細分析，並與非熱成像攝影機結果進行比對，以確認熱成像於日/夜間水線判釋之適用性
- 建議可參考不同海象預報資料進行觀測資料之比對，以增加目前影像判釋成果之比較對象，藉以增加影像判釋成果之客觀性
- 未來仍須持續監測並增加分析資料比對量，以期客觀評估該技術之實用性，並滾動式檢討修正程式之參數

應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-
日間越波影像判釋

簡報完畢 敬請指正



國立成功大學
National Cheng Kung University

附錄四

工作會議記錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案
3 月份工作會議

貳、時間：111 年 3 月 23 日(星期三)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室(視訊會議)

肆、主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)已進行人定勝天路段影像蒐集並初步規劃溯升計安裝位置，暫定於 111 年 4 月初辦理現場勘查。

(二)已完成 GRB 系統填報。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)111 年度預計將蒐集之海岸公路影像，經影像處理、校正後，建立非學習型影像判釋法、圖像標註及品管方法，分析及判釋波浪溯上。

(二)本所將提供人定勝天外海之海象模擬資料，供成功大學與實際影像資料判釋越波成果做比對，以評估現有資料庫是否充足。

(三)溯升計裝設與現場測量期間，如有影響公路使用需求，可能需提供交通維持計畫書，由本所向公路總局申請路權等事宜。

(四)有關人定勝天路段即時影像相關問題(如時間校正、鏡頭雨滴附著處理等)，已反映給設備廠商處理中，後續如有其他問題亦請提出，以利本研究分析。

柒、結論：

一、請成功大學於 111 年 3 月底前完成第 1 期款請款手續。

二、辦理現地勘查前，請成功大學提供現地勘查規劃，本所將確認路權申請所需文件。

捌、散會：上午 11 時 30 分



會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案
111 年 3 月份工作會議

貳、時間：111 年 3 月 23 日(星期三) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心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	教授	吳昀達(視訊)
	博士	吳漢倫(視訊)
	博士	陳彥龍(視訊)
本所港灣技術研究中心	副研究員	<u>陳鈞序</u>



交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議記錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案
4 月份工作會議

貳、時間：111 年 4 月 21 日(星期四)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：林雅雯科長

紀錄：陳鈞彥

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)國立成功大學已於 111 年 4 月 13 日偕同本所港灣技術研究中心赴人定勝天路段辦理溯升感測器裝設位置現地勘查，同時參考「花蓮浪襲預警系統」斷面位置與目前攝影機拍攝範圍，擇定 61K+380 與 61K+300 斷面做為感測器設點位置參考。考量實際影像解析範圍限制，擇定 61K+380 斷面規劃設置 3 顆感測器進行溯升監測；另一斷面選定 61K+380 與 61K+300 中間路段，並依據不同高程設置 4 顆感測器。

(二)本所於花蓮港區及人定勝天路段現有共 7 處即時影像攝影機，檢視影像結果顯示，日間與實際環境現況差異不大，夜間則以熱成像攝影機(花蓮港西防波堤堤頭)的效果較為良好，其餘花蓮港周遭影像設備，夜視效果較為不佳。溯升水位判釋部分，人定勝天路段日間判釋成果與實際水位大致吻合，夜間則受環境背景雜訊影響；花蓮港西防波堤堤頭之熱成像攝影機所提供之影像，日夜間皆可順利判釋水位位置。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)現有人定勝天路段攝影機夜視效果不佳，建議未來加裝熱成像攝影機，以利 112 年度夜間越波判釋技術建立工作之執行。

(二)期中報告前之工作目標，主要為建立影像特性分析方法，將影像轉化為量化數據，判釋溯升水位位置，與感測器實測水位進行校驗比對。

(三)111 年度以建立非學習型影像判釋技術為主，待非學習型技術建置完善後，可做為後續年度建立學習型影像判釋技術所需影像資料庫建置之基礎。

(四)感測器資料係為校正影像判釋成果精準度之基礎，以及後續建立學習型影像判釋技術機器學習演算所需，因此，裝設位置著重於不同高程與斷面之分布。

柒、結論：

一、請國立成功大學提供溯升感測器基地台儀器箱預計安裝位置及相關資訊，以利本所向公路總局申請裝設。

二、本所將協助評估人定勝天路段增設熱成像攝影機之可能性。

三、本次工作會議已呈現初步分析成果，請國立成功大學於5月份工作會議時，補充說明相關影像處理、校正、及溯升水位判釋之方法與過程。

四、目前花蓮港內攝影機多為由內陸往外海拍攝，初步分析之水位線屬港內水位，與港外水位關聯性尚未知，且拍攝之越波影像與拍攝高度及角度相關，本所將提供花蓮港攝影機配置平面圖與高程資料，請國立成功大學檢視現有拍攝角度，是否適合做為越波影像判釋。

捌、散會：上午 11 時 30 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案
111 年 4 月份工作會議

貳、時間：111 年 4 月 21 日(星期四) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心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	教授	吳昀達(視訊)
	博士	吳漢倫(視訊)
	博士	陳彥龍(視訊)
本所港灣技術研究中心	副研究員	<u>陳彥龍</u>

111 年 5 月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-111-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(1/4)-
日間越波影像判釋」合作研究案 5 月份工作會議

時間：111 年 5 月 31 日(星期二)上午 10 時至 12 時

地點：本所港灣技術研究中心 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：本所港灣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、國內外影像判釋技術資料蒐集，加強非學習型與學習型影像判釋方法與流程相關研究資料蒐集與說明。期中報告階段，影像處理方式擬先以情境方式(例如：陰天、雨天、大浪等)進行分析與測試，待溯升感測器裝設完成，並有蒐集觀測資料後，影像判釋分析結果會再與實測資料進行比對。
- 二、控制點坐標高程量測已於 4 月 48 日完成，原預定於 5 月 31 日安裝溯升感測器，惟因雨勢影響而暫緩。待降雨機率降低時，安裝團隊即會前往現場待命，視現場天候條件評估實際安裝時程，預計近 2 週內完工。
- 三、關於海岸公路浪襲預警系統準確度精進規劃之執行步驟，擬將影像分析所得之水線位置與預警系統之溯升高度值進行初步比對，再檢討預警系統所建立之資料庫是否充足。
- 四、現有人定勝天路段攝影機夜視效果不佳，建議未來加裝熱成像攝影機，以利 112 年度夜間越波判釋技術建立工作之執行。



貳、主要結論

- 一、本所將協助函請公路總局同意本計畫溯升感測器安裝事宜。
- 二、本所將提供海岸公路浪襲預警系統之溯升高度資料，供影像分析所得之水線位置進行比對，請國立成功大學於期中報告內呈現影像擷取水線分析成果時，說明該時段海象資料(預報或觀測資料)並與監測影像比對參考。
- 三、本案期中報告繳交期限為 6 月 29 日，請國立成功大學於期限前完成繳交。
- 四、本所將評估增設熱成像攝影機之可能性，若能取得熱成像影像資料，則請國立成功大學協助評估熱成像攝影機攝得影像，是否可解決人定勝天路段現有夜間光線不足與背景物件反光導致無法辨識之問題，或研擬其他解決方案。
- 五、本所將提供花蓮港攝影機配置平面圖與高程資料，請國立成功大學檢視現有拍攝角度是否適合做為越波影像判釋。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋
海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合
作研究案 5 月份工作會議

貳、時間：111 年 5 月 31 日(星期二)上午 10 時至 12 時(原訂 5 月 25 日
下午 2 時)

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊)

肆、主持人：林雅雯科長(視訊)

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	吳昀達(視訊)
	協同主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
本所港灣技術研究中心	副研究員	陳鈞堯

111 年 6 月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-111-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(1/4)-

日間越波影像判釋」合作研究案 6 月份工作會議

時間：111 年 6 月 30 日(星期四)下午 2 時至 3 時 20 分

地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

主持人：林雅雯科長

出席者：如簽到單

主辦單位：本所港灣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 111 年 6 月 16 日完成波浪溯升感測器安裝並開始蒐集資料(含 1 座訊號中繼站)。
- 二、持續蒐集人定勝天路段影像資料即進行波浪溯升分析，現階段本計畫影像判釋系統已可明確判釋出水線位置，後續將透過實際溯升越波資料進行調校，以提升程式影像判釋精確度。
- 三、本(111)年度尚未有颱風或顯著越波事件，根據浪襲預警系統 4 月 15 日顯著溯升高事件時段，透過本案影像判釋水線技術進行影像判釋分析，比對相對應斷面位置之溯升高程，結果顯示，目前預警系統於預報溯升現象部分已具可靠性。
- 四、影像空間濾波可濾掉路面上的反光，反光情況非僅發生於雨天，陽光於某些照射角度亦有路面反光發生，反光影像皆於影像擷取水線分析流程中之影像強化前置處理時，即予以濾除。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學檢視公路總局 CCTV 影像，做為本所影像設備故障時之備案可行性，並檢視花蓮海岸公路浪襲預警系統與影

像分析之波浪溯升高程之一致性(高程基準、溯升趨勢、溯升高
度斷面排序…等)。

二、請做好颱風時期影像及波浪溯升計監測之準備，俾利颱風時期
監測不中斷。

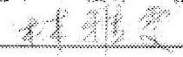
三、有關本案研究人力變更，請國立成功大學儘速函文本所，申請契
約變更。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸
公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案
111 年 6 月份工作會議

貳、時間：111 年 6 月 30 日(星期四) 下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：林雅雯科長 

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	吳昀達(視訊)
	協同主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	協同主持人	蕭士俊(視訊)
本所港灣技術研究中心	副研究員	



111 年 8 月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-111-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(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案 8 月份工作會議

時間：111 年 8 月 24 日(星期三)上午 10 時至 11 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 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：本所港灣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、持續蒐集海岸公路(台 11 線人定勝天路段)波浪溯升與越波影像，進行各相關事件資料分析及彙整，並針對期中報告審查意見分析補充相關資料。
- 二、持續蒐集人定勝天路段影像資料進行波浪溯升分析，針對目前自動影像分析成果進行檢核，以人為影像判釋進行驗證比對，確認自動影像判釋方法之可靠性。



- 目前尚未有颱風或顯著越波事件，目前溯升計尚未記錄到溯升觀測資料，近日雖有颱風(馬鞍)生成，惟行經路徑對臺灣本島影響不大，仍會持續追蹤注意。
- 四、現階段短期增設測試之熱成像攝影機夜間拍攝影像效果良好，明年度增設固定式熱成像攝影機，建議可與現階段使用之攝影機並存，同步提供全日影像畫面，供影像自動化判釋技術研發測試應用。

貳、主要結論

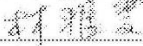
- 一、熱成像攝影機具有可調整影像亮度、銳利與對比值等參數之功能，本中心將提供不同參數(亮度、對比等)調校後之成果影像，請國立成功大學評估何種參數值對雨天與夜間影像辨識較有幫助。
- 二、若本年度無颱風越波事件資料，期末報告可加強論述影像判釋、誤差值量化、及雨天等天氣因素影響下影像判釋門檻值分析、驗證…等。
- 三、本計畫以維護公路安全為主要考量，攝影機鏡頭方向以可明確觀測波浪溯升之水線變化過程為主，另依據浪襲預警系統分析結果顯示，目前拍攝範圍公路路段較有浪襲可能，故仍維持目前拍攝範圍與角度。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案
111 年 8 月份工作會議

貳、時間：111 年 8 月 24 日(星期三) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室（視訊會議）

肆、主持人：林雅雯科長 

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	吳昀達(視訊)
	協同主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
本所港灣技術研究中心	副研究員	

111 年 9 月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-111-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(1/4)-

日間越波影像判釋」合作研究案 9 月份工作會議

時 間：111 年 9 月 28 日(星期三)下午 2 時至 3 時 30 分

地 點：本所港灣技術研究中心 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：本所港灣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、持續蒐集海岸公路(台 11 線人定勝天路段)波浪溯升與越波影像，進行各相關事件資料分析及彙整，111 年 9 月梅花颱風事件中，溯升計已有效收錄相關溯升資料，業已進行分析比對。
- 二、針對雨天環境下之影像自動化水線判釋，除了採用原先之藍色變異量與天空參考點變異度參數以外，新增尖銳度參數，雨天影像判釋方式已有初步分析成果，判釋門檻值目前設定為藍色變異量 >0.03 、天空變異度 <0.99 ，與新增之尖銳度 >7 ，前述門檻值易受日夜溫差等環境條件因素影響，擬針對不同環境條件，進行門檻值調整之評估。
- 三、前述水線判釋亦進行人為判釋作業，針對不同情境類型分析結果進行檢核，包含小浪-陰晴、小浪-下雨、大浪-陰晴、大浪-下雨，以及與 111 年 9 月梅花颱風事件之溯升計感測資料比對，以利驗證自動影像判釋方法之可靠性。
- 四、以台 11 線人定勝天路段熱成像攝影機蒐集短期影像初步分析，結果顯示，雨天影像對比度降低的可能來源為自然散熱與下雨降溫，目前初步規劃 112 年執行影像分析方法之程式參數，尚需進一步調教，以提高穩定度。



貳、主要結論

- 一、111 年 9 月軒嵐諾颱風事件中，影像範圍較遠端(非溯升計設置處)有發生波浪溯升至路面現象，請國立成功大學納入本案影像分析。
- 二、目前影像分析結果與人工驗證誤差較大部分、結果之準確度、誤差量表示方式及是否偏安全側，請再研析。
- 三、期末報告(初稿)繳交期程為 111 年 10 月 26 日，請國立成功大學依照本所出版品格式撰寫並注意繳交期限。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H3CB001d 應用影像智慧化技術判釋海岸公路及防波堤越波研究(1/4)-日間越波影像判釋」合作研究案
111 年 9 月份工作會議

貳、時間：111 年 9 月 28 日(星期三) 下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心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	吳昀達(視訊)
	協同指持人	蕭士俊(視訊)
	協同主持人	吳漢倫(視訊)
	協同主持人	陳彥龍(視訊)
	工作人員	左秀文(視訊)
本所港灣技術研究中心	副研究員	<u>陳劍鋒</u>



111 年 10 月工作會議紀要

採購案件編號：MOTC-IOT-111-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(1/4)-

日間越波影像判釋」合作研究案 10 月份工作會議

時 間：111 年 10 月 31 日(星期一)下午 2 時至 3 時 30 分

地 點：本所港灣技術研究中心 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：本所港灣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、持續蒐集海岸公路(台 11 線入定勝天路段)波浪溯升與越波影像，進行各相關事件資料分析及彙整，111 年 9 月軒蘭諾及梅花颱風事件中，已有越波及溯升計感測資料，業已進行分析比對。
- 二、111 年 9 月梅花颱風事件中，無發生越波，溯升計有感測到溯升資訊，影像之水線分析成果與溯升資料分析比對結果相符；9 月丹崙諾颱風事件中，有發生越波，但越波位置恰無設置溯升計，所以未感測到溯升資訊，影像之水線分析成果顯示有越波，比對結果相符。
- 三、後續年度規劃即時判釋 3 種方法：(1)攝影機平台安裝自動化分析，有極端事件值才回傳數據至本所港灣技術研究中心；(2)將即時串流影像介接至本所港灣技術研究中心電腦後進行自動化判釋分析；(3)現場架設電腦，惟較適合 GPU 電腦，體積小，耗電力少，將判釋後數據等資訊回傳數據至本所港灣技術研究中心，初步建議採用之方法優先次序為(2)>(3)>(1)，明年擬以方法(2)為主，方法(3)為輔，實際執行方式仍需再評估。

貳、主要結論

- 一、請國立成功大學提供颱風期間波浪溯升、越波時間及波浪溯升、越波高程、越波次數、越波位置等資訊，除供預警系統驗證及精進外，亦可提供公路總局公路養護參考應用。
- 二、本計畫期末審查會議訂於 111 年 11 月 24 日下午 2 時整召開，採視訊會議方式辦理，期末報告(初稿)尚有部分格式未符合本所出版品規定，請國立成功大學於期末報告審查會議後併委員意見修訂。



會議簽到表

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

貳、時間：111 年 10 月 31 日(星期一) 下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：林雅雯科長

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	吳昀達(視訊)
	協同指持人	蕭士俊(視訊)
	協同主持人	吳漢倫(視訊)
本所港灣技術研究中心	副研究員	陳鈞彥