

交通部中央氣象署

委託研究計畫(期末)報告

海岸裂流監測與預警技術研究(3/3) Researches on Monitoring and Forecasting of Rip Current at the Coastal Area (III)

計畫類別：☐氣象☒海象☐地震

計畫編號：MOTC-CWB-112-O-02

執行期間：112 年 03 月 03 日至 112 年 12 月 29 日

計畫主持人：蔡政翰教授

執行機構：財團法人成大研究發展基金會

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

☐赴國外出差或研習心得報告 0 份

☐赴大陸地區出差或研習心得報告 0 份

☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各 0 份

中華民國 112 年 12 月

政府研究計畫(期末)報告摘要資料表

計畫中文名稱	海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)		
計畫編號	MOTC-CWB-112-O-02		
主管機關	交通部中央氣象署		
執行機構	財團法人成大研究發展基金會		
年度	112	本期期間	11203-11212
本期經費 (單位：千元)	1091		
執行進度	預定進度%	實際進度%	超前/落後%
	100	100	0
經費支用	預定支用經費 (單位：千元)	實際支用經費 (單位：千元)	支用比率%
	1091	1091	100
研究人員	職級	中文姓名	英文姓名
	兼任研究員	王敘民	Shu-Min Wang
		陳泓杰	Hong-Jie Chen
		簡子傑	Zi-Jie Jian
		洪昱翔	Yu-Xiang Hong
報告頁數	152	使用語言	中文
中英文關鍵詞	裂流/rip current、數值模擬/numerical simulation、海象監測/monitoring、海象預警/forecasting		
研究目的	本計畫目的為強化中央氣象署對危險海象監測和預報的能力，具體研究目標在於研發裂流預測模式和監測技術，提供臺灣海岸地區潛在裂流發生區域之預警訊息。		
研究成果	1. 更新裂流影像判釋程式，使模式可應用於動態影片，同時縮減分析流程，提升程式運算效率。 2. 透過裂流影像判釋程式持續分析四座監測站影片，已蒐集得437筆裂流案例，並統計裂流發生時周遭海氣象環境。 3. 提升數值模式之準確率，與現場觀測結果進行驗證，準確率接近8成，以及模擬不同水深地形條件下裂流發生情形。 4. 增加案例數量建立裂流經驗統計預測模式，模式在有裂流發生時的預警能力有明顯提升，反查率達85.8%。		

	5. 已完成宜蘭縣外澳裂流影像監測站更新規劃；同時選址五處海域作為未來建置監測站的位置，並協助氣象署監測站的規畫設置。 6. 初步規劃作業化裂流預警系統之雛形，提出以數值模式為主、經驗統計模式為輔的核心概念，並規劃兩系統的運作流程。
具體落實應用情形	1. 預期本計畫所建置之裂流數值模擬模式和裂流經驗模式，未來可提供於民眾災害性海象預警訊息。 2. 今(112)年度所完成之裂流影像判釋模式，後續將可以應用於全台灣海岸監測站，進行裂流災害的資料蒐集與即時監測。

(以下接全文報告)

摘 要

裂流(Rip current)不易察覺，常出現在海岸邊，流速強，垂直海岸線向海外流去，時常將遊客牽引流向外海，造成傷亡。本(2023 年)年度計畫延續前期工作，研發裂流分析、模擬與監測技術，以及建立裂流經驗預警模式。

本計畫提升了過去開發之裂流影像判釋程式功能，使可以直接分析裂流監測站的動態影片，共蒐集得 437 件裂流案例，分析這些案例發生時的海氣象狀況，結果顯示當示性波高約 1.0 m、平均週期約 5-6 秒、尖峰週期約 6-8 秒、波向接近垂直海岸線、高水位以及海灘類型參數和沙壩地形出現時，裂流有較高的發生機率。

本計畫在裂流模擬的研究工作上，改善了 SCHISM-WWM 波流耦合模式，提升了模式的準確率，重新模擬宜蘭外澳海域發生裂流時的流場，與實測資料比對，驗證結果優於去年結果，準確率接近八成；另外，透過模式進行三維流場模擬，發現各水深分層下的流場在描述裂流現象相當一致；同時還透過模擬沿岸沙洲槽(Longshore bar trough, LBT)、橫向沙洲(Transverse bar and rip, TBR)和邊界控制型海灘(Boundary Controlled)這三種易發生裂流的水深地形，結果顯示裂流之發生並非僅與地形有關，波浪入射也是重要條件之一。本計畫還開發一個基於類神經網路的裂流經驗統計模式，加上今年度新增案例進行訓練，模式準確率提升至 86.4%，但當使用四個監測站全部案例進行模式訓練後的驗證結果降低，這顯示裂流的發生具有地域性。

除此之外，本年度亦將宜蘭外澳監視站納入氣象署標準監視系統作業流程中，同時也提供了五個潛在應建置裂流監測站的位置。最後，本計畫提出一個以數值模式為主、經驗統計模式為輔的作業化裂流預警系統雛形，並且提出了其作業化運作流程。

以下列出本計畫合約要求驗收項目與報告內容對照表：

交付項目	對應報告內容或章節
1.裂流動態影片分析技術	2-2 節
2.裂流數值模擬	第三章
3.裂流監視站影像分析與海氣象條件分析	2-4-2 節、2-4-3 節
4.裂流監測站選點與規劃設計	2-1-2 節
5.裂流動態影片分析技術綜整	2-2 節、2-3 節
6.裂流經驗預測模式	4-3-2 節
7.裂流數值模擬模式驗證	3-3-1 節

Abstract

Rip currents are dangerous phenomena that often go unnoticed and occur primarily along coastlines, especially on beaches, posing a risk to beachgoers. This project, in its 112th year, continues to develop rip current analysis, simulation, and monitoring technologies, and establishes an empirical warning model for rip currents.

The project has modified a rip current image interpretation program to analyze video footage from monitoring stations, resulting in 437 documented rip current cases. These cases, combined with oceanic meteorological data, indicate that rip currents are more likely to occur under specific wave conditions, including significant wave height, wave period, wave direction, high tide, and specific beach morphology.

In the first half of the project year, significant improvements were made in rip current simulation research by enhancing the accuracy of the SCHISM-WWM wave-flow coupling model. Three-dimensional simulations revealed consistent flow patterns associated with rip currents. However, it was found that not all types of underwater topographies consistently result in rip currents.

The project refined the empirical statistical model by incorporating data from monitoring stations, achieving an increased accuracy rate. However, rip current occurrence was observed to be region-specific, emphasizing the need for region-specific models. Additionally, the project aimed to integrate the Yilan Outer Ao monitoring station into the meteorological bureau's standard monitoring system and assisted in selecting locations for future monitoring stations.

In conclusion, the project outlines the development of an operational rip current warning system, combining numerical modeling with empirical statistical modeling, and proposes a workflow for their integration.

目 錄

政府研究計畫(期末)報告摘要資料表	i
摘 要.....	iii
Abstract	v
目 錄.....	v
圖目錄.....	ix
表目錄.....	xiii
第一章 前言	1
1-1 背景.....	1
1-2 計畫目的.....	3
1-3 前期計畫成果摘錄.....	4
1-4 本計畫工作項目	8
第二章 海岸裂流影像分析與資料庫建立.....	13
2-1 裂流影像監測站資料.....	13
2-1-1 現行運作裂流監測站之資訊.....	14
2-1-2 監測站更新與建置規劃.....	17
2-1-3 監測站運作規劃.....	26
2-2 影像動態影像分析技術與方法.....	27
2-2-1 小波轉換邊緣偵測方法.....	28
2-2-2 裂流影像卷積法.....	31
2-2-3 監測站動態影片分析流程簡化.....	33
2-3 影像分析方法驗證.....	34
2-4 影像判釋結果與探討.....	37
2-4-1 宜蘭縣裂流特性分析結果.....	38
2-4-2 宜蘭縣外澳海域裂流發生時海氣象特性分析.....	48

2-4-3 福隆、沙崙和大里監測站裂流觀測結果.....	57
第三章 裂流數值模式模擬.....	77
3-1 模式理論.....	77
3-1-1 開源碼 SCHISM 模式(SCHISM-WWM)	77
3-1-2 波浪模式 WAVEWATCH III	80
3-1-3 商業 SMS 模式(CMS-Wave & CMS-Flow).....	82
3-2 裂流數值模擬環境建置.....	84
3-2-1 水深地形網格	84
3-2-2 模式參數設置.....	90
3-3 裂流數值模式模擬結果與分析.....	93
3-3-1 實測資料模擬與驗證.....	93
3-3-2 不同水深地形環境裂流發生情形.....	109
第四章 裂流經驗預測模式建置.....	124
4-1 類神經網路演算方法理論.....	124
4-2 裂流經驗預測模式建置.....	128
4-2-1 輸入資料與建置流程.....	128
4-2-2 模式訓練.....	130
4-3 裂流經驗預測模式建置驗證結果.....	132
4-3-1 評估指標.....	132
4-3-2 模式驗證結果.....	133
第五章 規劃作業化裂流預警系統雛形.....	138
5-1 作業化裂流數值預測模式雛形.....	138
5-2 作業化裂流經驗統計預測模式雛形.....	141
第六章 結論與建議.....	144
6-1 結論.....	144

6-2 建議.....	147
參考文獻.....	148
附錄一 服務建議書審查會議紀錄.....	附 1
附錄二 期中報告書審查會議紀錄.....	附 3
附錄三 期末報告書審查會議紀錄.....	附 6
附錄四 第一次工作會議紀錄.....	附 11
附錄五 第二次工作會議記錄.....	附 12
附錄六 第三次工作會議記錄.....	附 13
附錄七 第四次工作會議記錄.....	附 14
附錄八 外澳裂流監測站裂流案例與海氣象資料庫.....	附 15
附錄九 績效報告.....	附 23
附錄十 委託研究計劃執行說明書.....	附 41

圖目錄

圖 1-1 裂流影像紀錄(拍攝者：蔡政翰教授，地點：宜蘭大里海岸).....	3
圖 1-2 本計畫完整架構	4
圖 1-3 本計畫預定進度甘梯圖	12
圖 2-1 裂流光學影像監測站設置位置(a.外澳、b.沙崙、c.福隆、d.大里).....	15
圖 2-2 宜蘭縣外澳監測站影像觀測示意圖	16
圖 2-3 新北市沙崙監測站現場影像觀測示意圖	16
圖 2-4 宜蘭縣大里監測站影像觀測示意圖	16
圖 2-5 新北市福隆監測站影像觀測示意圖	16
圖 2-6 新北市白沙灣監測站系統架設位置與觀測區域	19
圖 2-7 新北市白沙灣裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬).....	19
圖 2-8 臺南市漁光島監測站系統架設位置與觀測區域	20
圖 2-9 臺南市漁光島裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬).....	20
圖 2-10 臺南市黃金海岸監測站系統架設位置與觀測區域	22
圖 2-11 臺南市黃金海岸裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬).....	22
圖 2-12 高雄市西子灣監測站系統架設位置與觀測區域	23
圖 2-13 高雄市西子灣裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬).....	23
圖 2-14 高雄市旗津監測站系統架設位置與觀測區域	24
圖 2-15 高雄市旗津裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬).....	24
圖 2-16 宜蘭縣外澳裂流監測站錄放影機和攝影機更新位置示意圖	25
圖 2-17 中央氣象署海氣象站資料與影像回傳與儲存架構圖	27
圖 2-18 小波轉換邊緣偵測結果(左.攝影機 1、中.攝影機 2、右.攝影機 3).....	30
圖 2-19 裂流影像遮罩建置流程示意圖	32
圖 2-20 影像擴增採用之方法	32
圖 2-21 影像平均結果(a.前 12 秒、b.平均間隔 5 秒).....	34

圖 2-22 衛星影像與監測站影片裂流判釋位置比較結果	36
圖 2-23 裂流影像判釋結果	37
圖 2-24 宜蘭縣外澳裂流監測站觀測之裂流案例示意圖	42
圖 2-25 宜蘭縣外澳海灘裂流發生位置分布示意圖	43
圖 2-26 宜蘭外澳海灘裂流各位置監測站實際拍攝結果	44
圖 2-27 宜蘭外澳海灘裂流各位置案例數量與累計時長統計結果	45
圖 2-28 宜蘭外澳海灘裂流各位置裂流發生機率	45
圖 2-29 宜蘭外澳海灘裂流平均各月份案例數量與累計時長統計結果	46
圖 2-30 宜蘭外澳海灘各位置裂流逐月發生機率	46
圖 2-31 宜蘭外澳海灘裂流位置隨時間變動示意圖	47
圖 2-32 宜蘭外澳海灘於 W4 裂流發生位置海岸地形變遷過程	47
圖 2-33 宜蘭縣外澳海域裂流發生期間海氣象參數最大值	52
圖 2-34 宜蘭縣外澳海域裂流發生期間海氣象參數最小值	53
圖 2-35 宜蘭縣外澳海域裂流發生時間海氣象參數累計時長	54
圖 2-36 宜蘭縣外澳海域不同海氣象條件裂流發生之條件機率	55
圖 2-37 宜蘭縣外澳海域不分案例裂流於漲退潮出現之水位	56
圖 2-38 宜蘭縣外澳海域裂流發生下海灘類型參數與相對潮差關係圖	56
圖 2-39 新北市福隆海灘裂流發生示意圖	70
圖 2-40 新北市福隆海灘裂流發生位置分布示意圖	70
圖 2-41 新北市福隆海域第一支攝影機拍攝到橫向沙洲地形(2023/05/20)	71
圖 2-42 新北市福隆海域第三支攝影機拍攝到沙丘地形(2023/06/19)	71
圖 2-43 新北市沙崙海灘裂流發生示意圖	72
圖 2-44 新北市沙崙海灘裂流發生位置分布示意圖	72
圖 2-45 新北市沙崙監測站第一支攝影機拍攝海灣地形(2023/06/26)	73
圖 2-46 新北市沙崙監測站第二支攝影機拍攝燒周槽溝地形(2023/06/22)	73

圖 2-47 宜蘭縣大里海灘裂流發生示意圖	74
圖 2-48 宜蘭縣大里海灘裂流發生位置分布示意圖	74
圖 2-49 福隆、沙崙和大里間測站裂流發生期間海氣象參數最大值	75
圖 2-50 福隆、沙崙和大里間測站裂流發生期間海氣象參數最小值	76
圖 3-1 宜蘭縣外澳海岸 SCHISM-WWM 模式計算網格	88
圖 3-2 裂流與水深地形關係圖	88
圖 3-3 沿岸沙洲槽地型示意圖(a.等水深線圖、b.地型剖面圖).....	89
圖 3-4 橫向沙洲與裂流地型示意圖(a.等水深線圖、b.地型剖面圖).....	89
圖 3-5 界控制型地型示意圖	89
圖 3-6 本計畫模擬台灣周遭海域長年波高分布圖	91
圖 3-7 台灣周遭海域 FES 模式調和參數計算之水位分布圖	92
圖 3-8 氣象署 WRF 風場大氣資料(左.風向、右.風速).....	92
圖 3-9 HYCOM 潮流資料(左.流向、右.流速).....	92
圖 3-10 SCHISM-WWM 模式模擬結果驗證	98
圖 3-11 宜蘭縣外澳海域模式模擬和現場觀測裂流發生之條件機率比較	99
圖 3-12 宜蘭縣外澳海域裂流模擬發生位置與現場觀測結果比對	100
圖 3-13 裂流數值模式參數設置改動前後模擬結果	103
圖 3-14 裂流數值模式參數設置改動前後模擬與現場觀測比對結果	104
圖 3-15 短持續時間裂流案例觀測與模擬結果相似示意圖	104
圖 3-15 長持續時間裂流案例觀測與模擬結果相異示意圖	105
圖 3-17 不同深度宜蘭縣外澳海域發生裂流時平面流場	106
圖 3-18 不同深度宜蘭縣外澳海域發生裂流時頗面流場(位置:北緯 24.875o) ...	106
和圖 3-19 不同深度宜蘭縣外澳海域平時平面流場	107
圖 3-20 不同深度宜蘭縣外澳海域發生裂流時頗面流場(位置:北緯 24.882o) ...	107
圖 3-21 不同深度宜蘭縣外澳海域流場與風場比對圖	108

圖 3-22 離岸堤型式(沙壩浮出水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩間模擬結果	114
圖 3-23 離岸堤型式(沙壩浮出水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩邊緣模擬結果	115
圖 3-24 潛堤型式(沙壩沒入水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩間模擬結果	116
圖 3-25 潛堤型式(沙壩沒入水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩邊緣模擬結果	117
圖 3-26 橫向沙洲與裂流地形在不同深度下模擬結果	118
圖 3-27 橫向沙洲與裂流地形在不同槽溝長度下模擬結果	120
圖 3-28 橫向沙洲與裂流地形在不同槽溝寬度下模擬結果	121
圖 3-29 邊界控制地形在不同海灣曲率下模擬結果	122
圖 3-30 邊界控制地形在不同海岸線長度下模擬結果	123
圖 4-1 單個神經元架構圖	126
圖 4-2 梯度下降法示意圖	126
圖 4-3 類神經網路基本架構示意圖	127
圖 4-4 非線性傳遞函數	127
圖 4-5 裂流預警模式建置流程	129
圖 4-6 海岸裂流機率預警模式架構	131
圖 4-7 k-fold 交叉驗證(假設 $k=4$)	132
圖 5-1 裂流數值預警系統運作時程圖	140
圖 5-2 裂流經驗統計預警系統運作時程圖	143

表目錄

表 2-1 裂流影像監測站選址評估結果	17
表 2-2 新北市福隆海灘海灘類型計算參數	18
表 2-3 臺南市漁光島海灘海灘類型計算參數	20
表 2-4 臺南市黃金海岸海灘類型計算參數	21
表 2-5 高雄市西子灣海灘類型計算參數	23
表 2-6 高雄市西子灣海灘類型計算參數	25
表 2-7 裂流影像判釋結果	36
表 2-8 宜蘭縣外澳海域裂流影像案例發生位置統計表	41
表 2-9 宜蘭縣外澳海域裂流影像案例發生每月平均統計表	41
表 2-10 各海灘類型和 Ω 值之比對	42
表 2-11 Masselink et al. (1993)海灘分類模型對照表	51
表 2-12 本計畫在新北市福隆蒐集之裂流案例清單	61
表 2-13 本計畫在新北市沙崙蒐集之裂流案例清單	66
表 2-14 本計畫在宜蘭縣大里蒐集之裂流案例清單	68
表 2-15 福隆、沙崙和大里裂流影像案例發生位置統計表	69
表 4-1 經驗預測模式建置之訓練與驗證資料數量	129
表 4-2 類神經網路建置模式之參數擬定範圍	131
表 4-3 模式預測裂流事件發生之混淆矩陣	133
表 4-4 網格搜尋法率定最佳訓練參數結果	136
表 4-5 類神經網路經驗預測模式之混淆矩陣結果	136
表 4-6 類神經網路經驗預測模式之訓練與驗證結果	136
表 4-7 不同測站驗證訓練結果	137
表 4-8 宜蘭縣外澳海域南北部驗證結果	137

第一章 前言

1-1 背景

臺灣四面環海擁有豐富的海洋資源，隨著近年來海岸地區的高度利用與蓬勃發展，相關的遊憩活動協會相繼成立，顯示民眾從事海域休閒活動日漸興盛。臺灣早期因政治戒嚴導致海洋活動發展受限，直至近二十年來方受到政府和民眾的重視，於民國 108 年 12 月行政院蘇貞昌院長仿照「向山致敬」的理念宣布「向海致敬」的政策，一改過去「擋」和「管」態度，鼓勵民眾「知海」、「近海」、「進海」和「淨海」，在保育海洋環境的同時，強調政府不應以危險等理由來「限制」人民，朝向未來全面開放海洋目標前進。

從事海域遊憩活動均潛藏風險，本計畫彙整近五年(民國 2016 年至 2020 年)消防署溺水案件，於近岸海域發生的意外事件的傷亡人數達 980 人，佔整體溺水人數的 22.66%，其中多是從事休閒遊憩活動時所發生的。有鑑於國內意外事件頻傳，若希望全面開放海洋供民眾使用，掌握災害潛勢(最好能預警)是不可或缺的工作之一，而在眾多的海洋災害中，「裂流(Rip Cruuent)」是最常造成海岸邊意外事件的原因，據美國國家大氣海洋局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)統計全國海域意外事件發生原因，顯示每年平均有 100 人因裂流而溺亡，甚至單在佛羅里達州就一年內就高達 30 人。臺灣周圍海域亦是裂流好發的區域，根據文獻記載於 2003 年至 2006 年間在福隆沙灘有 6 起案例(黃，2009)，甚至於 2005 年白沙灣海灘就有 45 起，近十年來宜蘭外澳海域、台南安平海域和新北沙崙海域均有裂流發生的記錄(林等，2007、2009；郭等，2011；蕭等，2014)。至今臺灣每年仍有數起於海岸邊活動時遭遇裂流襲擊被水流沖向外海的意外事件發生，為了海灘上從事遊憩活動遊客的安全，研究裂流發生的機制以及對裂流進行預報是有其必要性的。

岸邊時常發生民眾被海水捲走因而傷亡的案例，根據波浪和潮汐原理，「浪 (wave)」或「潮(tide)」僅傳遞能量不傳遞物質，理論上不是捲走民眾之主因，海水捲走戲水民眾

之主要動力來源係「流(current)」，一種發生海岸邊，流動方向向外海而去的強烈水流稱之為「裂流(rip current)」，也是一種離岸流(圖 1-1)。而裂流的流速可達 2 m/s (Short et al., 1994)，據實驗指出隨著裂流流速的增加，所受的阻力將成指數增加，且遊憩者需耗費至少兩倍以上的力量方能抵抗該外力(Zhang et al., 2020)，加上裂流不像波浪高低和潮汐變化都目視可辨別，時常發現裂流時，已陷入裂流的範圍甚至被帶至外海，若民眾對裂流的特性並不熟悉，此時依靠本能強行逆游而行，則有可能導致筋疲力盡而溺亡。

裂流具有時間短、流速快、尺度小等特點，可殺人於無形間，係具有高度危險性的海岸災害，為能夠預測裂流的發生，許多的科學家著手研究其發生機制，多數文獻均認為當波浪傳遞至近岸時所引發的淺化和折射效應導致海流流向轉外；或是當波浪於近岸堆積後，水體為平衡其輻射應力所產生的外力，亦會導致裂流的發生(Longuest-Higgins and Stewart, 1964; Benedet et al., 2004)。而造成上述現象的除了與近岸水深地形分布不均和海灘型態有密切相關外，入射的海氣象條件亦有相關，且隨著不同時間和營力產生，裂流發生的位置和強度也亦會有所不同(Short and Hogan, 1994; Lushine, 1991)。

在海岸觀測技術的日新月異的發展下，透過攝影機進行影像觀測已被廣泛運用於海岸邊，裂流的觀測亦是如此，透過攝影機拍攝進行海岸邊的監控，再配合影像分析技術便可以判釋裂流發生的時空間(Short and Hogan, 1994; Akila et al., 2021)，此外仍可使用督卜勒流速儀和 X-band 雷達等儀器進行近岸流場的直接或間接量測，進而評估裂流發生情形(Nieto-Borge, 2013; Lee et al., 2016)。隨著數值上海洋波浪和海流預測模式的發展，無論在時間與空間上的解析度日益精進，許多模式已滿足近岸海域模擬之能力，例如 Xbeach、Delf3D、SMS 和 SCHISM 等均可透過波流耦合的過程描述裂流發生的情形(Roelvink et al., 2009; Horta et al., 2018)。透過上述方法可更加地了解裂流的機制，甚至再結合人工智慧 AI 技術或是海氣象預報模式，即可提前預警裂流，藉此減少憾事的發生。在臺灣迄今尚未有裂流預測模式或預警機制，因此本計畫將著手於裂流的監測和預警技術的研發，藉由前者獲取足夠的裂流案例供本計畫系統化的分析，並將結果作為後續預警的基礎。

為達到強化防災科技的研發、保障民眾從事海域活動的安全，本計畫工作之目標係在於研發裂流預測模式與監測技術，藉由蒐集航空衛星影像(第一年已完成)以及監測系統的資料，經由影像辨識技術開發之執行，建置完善的裂流案例資料庫，同時以海洋數值模式建置裂流模式模擬的環境，透過上述實測數據進行數值模擬驗證，提升數值模式模擬的準確性和可信度，並與中央氣象署目前已在臺灣建置的波浪站和潮流站交叉比對，瞭解裂流發生時之海氣象特性以作為預警系統之基礎，完成後可應用於臺灣海岸地區，提供潛在裂流發生區域之預警訊息。

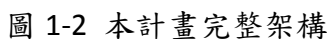


圖 1-1 裂流影像紀錄(拍攝者：蔡政翰教授，地點：宜蘭大里海岸)

1-2 計畫目的

本計畫目的為強化中央氣象署對危險海象監測和預報的能力，具體研究目標係在於研發裂流預測模式和監測技術，提供臺灣海岸地區潛在裂流發生區域之預警訊息。本計畫分三年執行，本計畫架構如圖 1-2 所示，第一年目標係著重在裂流影像分析技術研發，並初步建置裂流模擬能力；第二年除持續改進裂流模擬模式，並透過影像分析結果與鄰近海氣象資料，建置裂流海氣象經驗預測式；第三年進行裂流模擬之驗證，並建立作業化預警系統雛形。藉由達到前述目標提升中央氣象署現有災害預報系統，希望減少

本計畫第三年度要具體達到之研究目標有三：(一)強化裂流影像判釋模式，提升運算效率，使可以對監測站影像進行動態分析，持續擴充裂流案例和海氣象資料庫，提供科學研究驗證與預警系統用途；(二)精進以類神經網路方法研發之裂流經驗預警模式，提升預警模式準確率和泛用性；(三)透過監測站影像觀測結果驗證裂流數值模式(SCHISM-WWM)的準確性，並模擬多種海底地形或海灣型態，探討裂流發生情形；(四)提出裂流預警系統作業畫雛形的規劃與設計。期能藉由達到前述目標，強化中央氣象署在監測災害性海象並建立預警能力，以減少損失，滿足民眾和防救災單位之需求。



(1) 盤點國內外裂流監測與預警技術發展進程

4

海流被捲往外海，但截至目前為止，我國對於裂流研究的進程僅限特性上的分析，於實務上仍未有完善的裂流監測和預警系統等實際措施，甚至相關研究也是少之又少。

為能對這些難以捉摸的自然現況進行監測和預警，本研究分別蒐集 30 篇和 40 篇國外裂流相關監測與預警的文獻。影像觀測技術是目前進行裂流監控最常見的方法，透過光學攝影機拍攝岸邊影像，再經由影像處理或是人工智慧 AI 進而判釋裂流是否發生；而直接進行流場測定亦是觀測裂流的方法，如都卜勒流速儀(ADCP)、全球定位系統(Global Positioning system, GPS)漂流儀器或是基岸雷達等。然該些方式所需成本較高且儀器需佈放於近岸區域也並非易事，因此若考量後續實務的應用，前者的影像觀測是較為可行的方案，當前有美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)採用的岸邊架設網路攝影機(WebCOOS)，和韓國使用的感光耦合元件(CCD)攝影機進行裂流監測 (Song, 2011)。

在裂流預警技術主要則可透過「數值模式」和「經驗統計模式」進行，前者根據大氣預報模式做為輸入，不僅可以預測裂流是否會發生，也可以直接得到裂流的強度，然而該方法需要大量的運算資源，故當前國際主要是根據裂流發生的機制，透過回歸和相關性等方法統計影響裂流發生的因素，進而對裂流現象進行預警。目前有實際運行的裂流預警系統，本計畫已蒐集美國、紐西蘭、印度和韓國的系統，該些產品均可以做為未來氣象署建置預警系統的參考。

(2) 裂流監測站之規劃並協助建置

本計畫目前已經協助中央氣象署完成四座裂流光學影像監測站之規劃設計，分別為計畫第一年度(2021 年)完成宜蘭縣外澳乙座監測站，以及翌年(2022 年)完成宜蘭縣大里、新北市福隆和沙崙三座監測站。監測站建站選址均從過去裂流發生紀錄統計結果和形貌動力學的理論(Wright and Short, 1984)去進行裂流發生潛勢的評估，確保監測站可蒐集大量的裂流案例，供後續實務和研究所使用，同時亦進行現場勘查評估架設地點能提供良好的視野、拍攝角度以及儀器所需的電力供給和網路傳輸等功能。

四座裂流影像監測站均搭載 2 至 3 隻的 Full HD (1920×1080)高解析度攝影機，使影像能清楚的紀錄近岸碎波帶在時間和空間上的變化情形。為方便後續計畫使用，第一年建置的外澳監測站使用 4G 以上的網路進行傳輸，透過 OBS Studio 開源串流軟體於固定時間將影像回傳至研究團隊；第二年度則經委員建議直接納入中央氣象署所使用的行動數據企業網路(Mobile Virtual Private Network, MDVP)，同時採用即時串流協定

(Transport Protocol, RTSP)進行影像擷取。影像資料的儲存則規劃當年度所拍攝的影像將全部保留，且影像中若有裂流發生則額外將發生裂流期間的影像進行記錄，翌年則將未發生裂流時後的影像改以每分鐘存取一張歷史影像。

第一年度所建置的外澳監測站已於 2021 年 10 月 15 日運行至今，運作情形相當良好，排除暴雨和夜晚所導致影像不清晰，以及儀器故障或維護的情況，可分析的影像資料長達 3986 小時。第二年度所建置的三座監測站亦於 2022 年 11 月完成建置，由於影像拍攝的情況和資料儲存的方式都有所改變，故尚未進行影像分析蒐集裂流案例，目前於第三年度計畫執行前已初步完成監測系統的調整(如拍攝範圍、視角)和作業畫儲存系統的建置。

(3) 影像分析技術發展

為瞭解裂流發生時的原理和機制，完善的裂流資料庫是必不可少。本計畫所蒐集的裂流案例主要從影像中所獲得，然影像的資料相當龐大，以人工目視辨別不僅效率不彰，亦有可能因個人主觀意識間的差距而造成誤判，故需要建立一套可自動化從影像中判釋裂流的程式，來提升裂流案例蒐集的效率和準確性。

第一年度本計畫根據前人對裂流發生時的特性(Brander, 1999; Dalrymple et al., 2011; Akila et al., 2021)和研究團隊的經驗，提出四點從影像中判釋裂流的準則，包含(1)碎波帶有明顯斷裂處，或為斷裂但有向外海延伸之浪花或懸浮物；(2)碎波帶斷裂或是浪花或懸浮物向外海延伸之現象需維持 10 分鐘以上；(3)若同時出現兩處以上的碎波帶斷裂處，彼此間隔須大於 40 公尺；(4)若無劇烈的海洋或天氣現象(如暴潮、颱風等)，在合適的海氣象條件下，裂流之發生應會重複出現。同時以第一項準則為核心概念，利用小波邊緣偵測(Wavelet Edge Detector)和裂流影像卷積(Image Convolution)兩項技術，強化海面碎波帶特徵和擷取裂流發生的位置，建立一套半自動化裂流影像判釋程式。

翌年則於程式內加入第二點和第三點的準則、增加更多類型的裂流遮罩，以及使用影像平均(Image average)和幀數聚合(Frame Aggregation)兩項技術，使程式提升為全自動的同時，並增加模式的泛用性。不僅無須再進行人工檢核，輸入的資料亦從原先僅能使用於單張的衛星影像，擴展至可應用監測站的時序列影片資料。程式的判釋能力則透過與人工判釋的結果進行驗證，正確率已達 82%，顯示該程式已可於實務上進行使用。

(4) 裂流影像分析結果與討論

本計畫於第一年期間已使用半自動化裂流影像判釋程式進行分析，分析資料來源至中央大學太空遙測中心和 Google Earth 所提空的高解析度影像(解析度為 0.6 m/pixel 以上)，資料時間為 2016 年至 2020 年，而分析範圍則是參考近十年(2010-2019 年)臺灣裂流意外事件統計結果，選址事件頻率較高的東北角和西南部海域。本計畫共計分析約 2000 多張衛星影像，獲得 476 起的裂流案例，多發生於宜蘭縣外澳、新北市福隆、台南市漁光島等 36 處海灘。第二年度則開始對宜蘭縣外澳海域監測站所拍攝的影片進行分析，分析時間從 2021 年 11 月至 2022 年 10 月，共計蒐集 175 起的裂流案例，累計發生小時數達 503 小時，歸納外澳海灘裂流所發生的位置，主要分布於 11 處，基本涵蓋整個外澳海灘。

同時本計畫統計裂流發生當下的裂流特性(裂流寬度、延時和時間分布)以及。統計結果顯示在時間分布上秋末冬初(9 至 12 月)的期間裂流案例明顯較多；裂流持續的時間可從最短不到 1 小時至最長 10 多個小時；而裂流的寬度則多介於 20 至 80 m 間。根據不同海氣象條件下裂流發生機率的統計結果顯示，在示性波高約 1.0 m、平均週期約 0.6 s、波浪方向為垂直入射海岸、水位高於平均海平面，以及海灘類型參數 Ω 約為 5 左右時，裂流出現的機率較高，這亦同時反應為何在秋末冬初裂流案例較多的原因。同時本計畫亦將該些結果進行彙整建立裂流案例與海氣象資料庫，不僅可做為後續本計畫建置裂流預警系統建置和驗證上所使用，亦可提升我國未來裂流相關研究的能量。

(5) 裂流數值模式模擬

隨著海洋物理模型的發展逐漸完善，透過模式模擬海洋物理現象已是常見的研究手段，海岸裂流亦是如此，且相較於影像觀測還能夠直接計算近岸流場的流速和流向，為研究上提供更加完整的資訊。本計畫已於第一年度計畫執行期間透過 SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model)海流模式耦合 WWM (Wind Wave Model)風浪模式，建立一套可以描述裂流現象的數值環境，考量裂流的尺度和模式運算的效率，網格採用槽狀非矩形網格，解析度的設置從外海 2 km 逐漸精細至近岸 10 m，並採用自強顧問公司測量的高解析度 10 m 水深地形資料帶入近岸海域，藉此達到還原現場近岸還流的變化。於第二年本研究團隊持續提高對於模式的掌握性，藉由細緻近岸地形和調整邊界輸入的條件，不僅提高模式的準確率，亦減少模式運算所需的資

源，一個月的模擬案例僅需 3 至 4 天即可完成。

模式的應用接續第一年計畫研究成果，對外澳海域進行撥流場的模擬，模擬範圍東經 121.82° 至東經 122.01°，北緯 24.7° 至北緯 25.0° 範圍，模式所需要的邊界資料則採用氣象預測系統第二代 (Climate Forecast System Version 2, CFSv2)、Ifremer (French Research Insitutute for Exploitation of the Sea)透過 WAVEWATCHIII 所計算的大範圍波浪場資料和日本 FES (Finite Element Solution)模式於 2014-2016 年計算的 8 個分潮參數。模擬結果發現，裂流發生的位置與現場觀測結果相似，水動力驗證結果亦相當準確，NRMS 均為 0.2 上下。本計畫亦透過模式直接模擬不同條件下的裂流現象，實驗變因包含 6 種示性波高、5 種平均週期、8 種波向和 3 種風速，結果顯示當波高、週期、風速增加的時候，或是波浪入射方向較垂直海岸線時，裂流的流速均會增加。

(6) 裂流經驗統計模式初步建置

裂流一旦發生將可能造成無法挽回的意外，若能提前預警便能大幅降低風險。在前期計畫中，已從衛星影像和監測站所拍攝的影片蒐集數百筆的裂流案例，根據這些案例發生當下的海氣象統計結果，本研究團隊對於裂流可能發生的機制有初步概念，認為示性波高、平均週期、尖峰週期、波向、風速、水位和海灘類型參數 Ω 是顯著影響裂流發生的原因，及代表可透過上述海氣象參數來對裂流的發生進行預測。

於第二年度計畫執行期間利用裂流案例及海氣象資料庫進行訓練初步建立乙套「裂流經驗預測模式」。該預測模式的核心技術採用在處理如裂流現象的非線性問題有良好表現的倒傳遞類神經網路演算法，再透過網格搜尋法率定模式的最佳參數設置，結果顯示當學系率為 0.001、轉移函數為正切函數(hyperbolic tangent function, tanh)、隱藏層層數為三層、各層隱藏層神經元分別為 8、7、5 時預警效果最佳，正確率達 86.1%。本計畫亦對模式進行敏感性分析，證實波高、平均週期、波向與海岸線夾角以及海灘類型參數 Ω 是對裂流發生與否顯著參數。此外，亦比較利用不同資料來源進行模式的訓練，發現當模式是採用外澳影像監測站資料相較衛星影像訓練之模式有較佳的預警效果。

1-4 本計畫工作項目

本計畫為三年期計畫，旨在建立一套可預警裂流之監測系統。海洋變化萬千，裂流發生的成因極其複雜，本計畫藉由國內外意外事件和衛星航拍影像蒐集裂流事件，分析

鄰近現場測站在事件前後之海氣象資料，並建置監測站獲得更完善之裂流事件資料庫，同時也會以數值模式模擬裂流發生時海況，藉此掌握裂流事件之海象特徵。透過裂流發生時之海象統計分析建立經驗模式，以及對數值模式的模擬結果進行判定，提前預測裂流的發生，本計畫所提出之預警系統也將透過現場實際觀測資料驗證其準確性。

在前期計畫中監測工作項目已完成全自動化裂流影像判釋程式的建立，分析衛星影像和監測站動態影片，建立裂流案例資料庫，同時也持續協助中央氣象署建置監測站的規劃與設計。預警系統亦持續完成建置，不僅透過 SCHISM-WWM 模式建立乙套可模擬裂流現象的數值模式，同時應用於現場波流場的模擬，以及不同海氣象情境模擬上，驗證模式可信度的同時，亦探討水動力對裂流的影響；此外，本計畫於第二年度亦初步建立經驗統計模式，模式驗證結果表象亦相當良好，根據敏感性分析結果證實多項參數對裂流發生有顯著的影響。第三年本計畫將根據前期研究的基礎進行提升，主要工作項目如下及預計進度甘梯圖，如圖 1-3：

1. 裂流光學影像分析

對於從影像中如何判釋裂流，本計畫於第一年計畫中根據前人文獻和研究團隊經驗提出四項準則，準則如下：

1. 碎波帶需有明顯的斷裂處、未斷裂但有向外海延伸之浪花或懸浮物
2. 碎波帶斷裂情形需須達 10 分鐘以上(僅在有影像序列時使用)
3. 若在同時出現兩處以上的碎波帶斷裂，間隔須超過 40 公尺
4. 某處裂流之發生應會重複出現(檢測條件)

並於第二年度完成乙套「全自動化裂流影像判釋程式」，可應用於衛星影像和監測站影片之分析。在第三年度本計畫將修正該程式，在提升程式運算效率的同時，使該程式可應用於第二年度新建的三座監測站拍攝之影片。同時持續分析監測站動態影片，蒐集裂流案例和統計海氣象資料，建立完善的裂流案例及海氣象資料庫。

2. 裂流數值模式模擬

本計畫已透過 SCHISM 水動力模式耦合 WWM 風浪模式建立乙套可模擬裂流現象的數值模式。在前期計畫中，水動力驗證良好，裂流發生的位置亦與影像觀測結果相似，然在第二年度計畫成果發現，該模式在裂流發生的時間分布與觀測結果不全然相同。本研究團隊評估後認為該裂流數值模式仍須加以精進，對於模式的準確率和可信度在做進一步的探討。

在模式設置今年將從 SCHISM 水動力模式各項參數進行調整，參考過往文獻模擬的方法以及研究團隊的經驗，使模式模擬能更加符合實際情形，並模擬現場實際波流場，透過與影像觀測進行比較，進一步討論模式的可行性及侷限性。另，參考第二年度對不同海氣象條件模擬的研究成果，利用模式在邊界條件和水深地形設定上的高自由度，以最容易出現裂流的海氣象條件，模擬文獻中認為容易出現裂流的水深地形，藉此分析在不同水深地形與水動力交互作用下裂流發生的情形。

3. 裂流經驗預測模式建立

目前裂流案例及海氣象資料庫已有數百筆的資料，其中包含意外事件、衛星影像、監測站影片以及數值模式模擬的案例，且仍持續蒐集當中。本計畫其中一項目標就是進行裂流災害的預警，有鑑於目前對於裂流發生機制尚未完全瞭解，數值模式亦有其侷限在，若能透過經驗統計模式進行輔佐，便能愈早地完成裂流預警系統，藉此減少更多的憾事發生。

本計畫於第二年度已初步利用現有的裂流案例資料庫建立乙套裂流經驗統計模式，其核心方法採用倒傳遞類神經網路演算法，雖在前期計畫中已有不錯的驗證結果，然根據前期計畫研究成果發現，裂流經驗統計模式的準確率有著顯著的地域性，且由於模式的輸入是整個海域的代表性海氣象資料，因此無法確切的指出裂流將會於何處發生。故第三年度將會持續精進裂流經驗統計模式，提升模式的準確率和空間解析度，模式修正部分三，(1)藉由持續蒐集的裂流案例，增加模式訓練及驗證資料；(2)篩選模式驗證資

料，根據不同海域選用不同區域的案例；(3)將海域進行分區，建立多個預警子系統，提高模式在空間上的解析度。

4. 建立作業化裂流預警系統雛形

本計畫在完成前述裂流影像分析與資料庫建立，以及經驗統計模式和裂流數值模式的建置後，即可進一步建立裂流預警作業化系統。雖然目前無論是裂流數值模擬模式和裂流經驗統計模式離實務上應用仍需努力，但為能盡快地降低因裂流所造成的意外事件，加速裂流作業化預警系統的建立是有其必要性的。在第三年度本計畫將會提出裂流作業化預警系統的雛形，包含(1)作業化裂流預警系統如何彙整裂流數值模式和經驗統計模式之結果、(2)裂流數值模式在作業化預警系統上的運作流程、(3)經驗統計模式在作業化預警系統上之流程，以及(4)提出未來建置作業化系統的工作項目。

工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月
裂流動態影片分析技術											
裂流監視站影像分析與海氣象條件分析											
裂流數值模式模擬											
強化裂流經驗預測模式											
作業化裂流預警系統雛型建置											
期中報告											
期末報告											
工作進度估計百分比 (累積數)	5	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100

圖 1-3 本計畫研究進度甘梯圖

第二章 海岸裂流影像分析與資料庫建立

在研究裂流這個課題前，需要有充足的實測裂流案例方能進行討論，本計畫的裂流案例則主要通過分析監測站所拍攝的海岸影片所獲得。在前期計畫已完成「全自動化裂流影像判釋程式」，應用於衛星航拍影像和監測站動態影片，以及統計裂流發生當下的海氣象資料，著手建立裂流案例與海氣象環境資料庫，為後續裂流相關研究提供充足的能量。

本計畫於第一年度完成宜蘭縣外澳裂流光學影像監測站建置，於第二年度著手分析外澳監測站影片，同時新建“宜蘭縣大里”、“新北市福隆”和“新北市沙崙”三座裂流光學影像監測站，然第二年度建置的三座監測站在影像拍攝的設置和運作的系統，與第一年度建置的宜蘭縣外澳監測站均有所不同。本計畫在今(2023 年)度將會更新裂流影像判釋程式，以提升模式的泛用性和運算的效率，並持續分析監測站動態影片，完善裂流案例與海氣象資料庫，供數值模式和經驗統計模式訓練和驗證使用，同時協助建置裂流光學影像監測站的設置與規劃。

2-1 裂流影像監測站資料

本計畫所採用的監測站光學影像資料是由中央氣象署所提供，本計畫其一工作項目便是協助中央氣象署建置裂流光學影像監測站，根據研究團隊過去經驗和理論分析，提供監測站的規劃與設計，後續的使用、運作和維護等事項亦會由本研究團隊負責。本計畫已協助中央氣象署完成 4 座監測站的建置，分別為 2021 年建置的宜蘭縣外澳監測站，以及 111 年建置的宜蘭縣大里、新北市福隆和沙崙監測站。本計畫今(2023 年)度亦規劃五處海域作為裂流光學影像監測站建置地點之依據，並會更新宜蘭縣外澳監測站，將設備提升至與第二年三座監測站設備相同，尤其將網路傳輸模式納入氣象署內部的企業數據網路(MDVPN)，便利於後續影像監測上系統性的分析。

2-1-1 現行運作裂流監測站之資訊

監測站儀器設備均搭載高解析度攝影機(畫素至少 200 萬、影像格速率為 30 FPS、2 至 10 倍的可調焦距鏡頭)、網路傳輸系統和錄放影機，而目前四座監測站均已啟用，以下對四座監測站運作情形進行概述。宜蘭縣外澳監測站於本計畫第一年度執行期間完成建置，於 2021 年 10 月啟用至今，整體運作情形相當良好，排除雨天、夜晚和設備維護等無法拍攝的情形，截止至今共計可分析影片長度為 7891 個小時，該測站位於外澳海灘後方山坡上的飛行傘基地(如圖 2-1 a)，由於拍攝距離較遠(約 1.3 公里)，搭載三架攝影機，分別拍攝外澳海域北、中、南三處(如圖 2-2)。

第二年度計畫執行期間完成宜蘭縣大里、新北市沙崙和福隆三座監測站的建置(如圖 2-1 b 至圖 2-1 d)，前兩座監測站搭載兩台攝影機，分別建置於東北角大里遊客中心和北岸環保公司，福隆監測站則建置於福容貝悅飯店因此該站搭載三台攝影機。第二年度所建置的監測站在傳輸方式的改為使用氣象署內部的企業數據網路(MDVPN)，本研究團隊自行撰寫一套作業畫影像擷取程式，為能使影像順利回傳，考量影像檔案資料量較大和裂流時間尺度的大小，在畫素不變的情況下(1920×1080)將影像格速率(frame per second, fps)從原本 30 fps 壓縮至 8 fps，目前第二年度三座監測站已於 2023 年 2 月 20 日開始進行影像回傳作業，而影像回傳作業亦相當順利，從啟用至今可分析的影片，共計紀錄 3062 個小時。

有鑑於部分攝影機原本設定的拍攝角度和範圍無法蒐集到裂流案例，甚至進行影像的判釋，在分析過程中仍對監測站拍攝的位置進行調整和測試，在影像開始回傳後有再進行調整的攝影機共計有四隻，分別為沙崙監測站第一隻攝影機、大里監測站的攝影機和福隆監測站的第一隻攝影機。沙崙監測站第一隻攝影機於 2 月 20 日至 2 月 23 日拍攝的範圍為觀海路前方海域，由於此處較遠所以拍攝的角度近乎水平，導致無法進行分析，經評估後將該隻攝影機的拍攝位置調整至淡海路前方海域，而沙崙第二支攝影機僅稍微調拍攝角度，範圍為公司田溪出海口海域，圖 2-3 為目前沙崙監測站所拍攝的實際情形；大里第一隻攝影機和第二隻攝影機原先拍攝範圍為大里漁港北側防波堤和

大里遊客中心前方海灘，在第一隻攝影機的部分由於僅拍攝到防波堤旁有裂流出現，這與本研究想探討的在海灘旁突然出現的裂流現象較為不同，故在 3 月 1 日時將設已經拍攝範圍更改至大里南聖宮前方海灘，同一時間亦將第二支攝影機所拍攝的範圍拉大，並將拍攝的位置向北移動，然而經過三個月的時間在這兩個位置均為發現有裂流出現的現象，因此在 6 月 1 日將第一支攝影機拍攝位置調整回大里漁港北側防波堤，而第二隻攝影機考量在拍攝大里遊客中心前會受到房屋和樹木遮擋，故更改為大里南聖宮前方海灘(即第一隻攝影機第一次調整的位置)，希冀在此區域能拍攝到零星的裂流案例，**圖 2-4** 為目前大里監測站現場拍攝的實際影像；而福隆第一隻攝影機拍攝的位置雖有進行調整但均都在福隆東興宮前方海域，第一次拍攝範圍的改動於 2023 年 3 月 3 日至 3 月 17 日則將拍攝範圍被移動到福隆漁港北側防波堤，導致這段時間的影像無法有效的分析，在發現該問題後立馬進行修正，同時考量到出海口可能對於砂壩邊界的影像，因此將拍攝範圍調整至雙溪出海口，雖然在其間仍有發現裂流案例，但由裂流發生位置仍位於東興宮前方海灘，在出海口處並未有任何裂流現象的發生，故於 5 月 15 日將福隆第一支攝影機位置調整回一開始的拍攝範圍，**圖 2-5** 是目前福隆海域三支攝影機拍攝的實際影像。

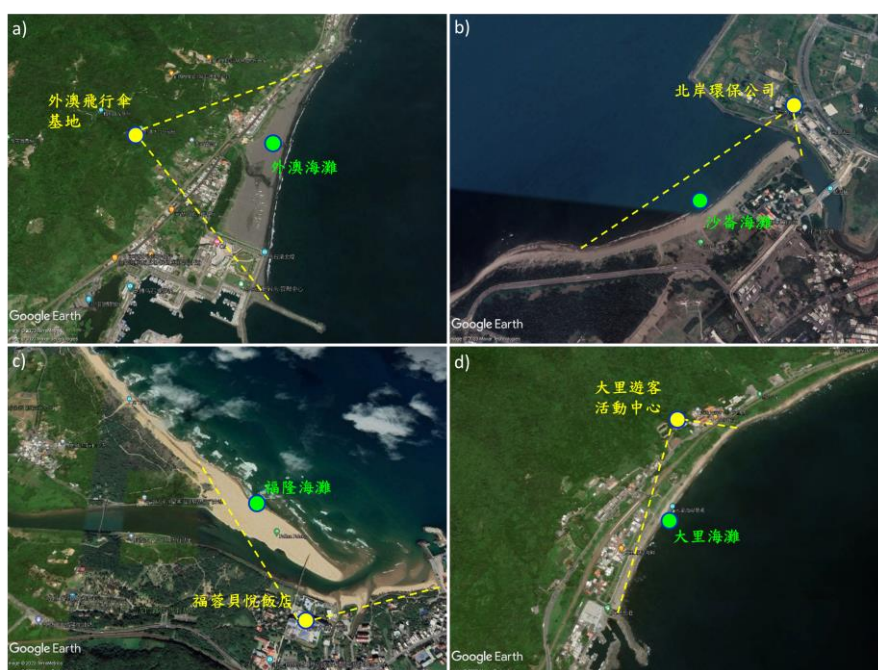


圖 2-1 裂流光學影像監測站設置位置(a.外澳、b.沙崙、c.福隆、d.大里)

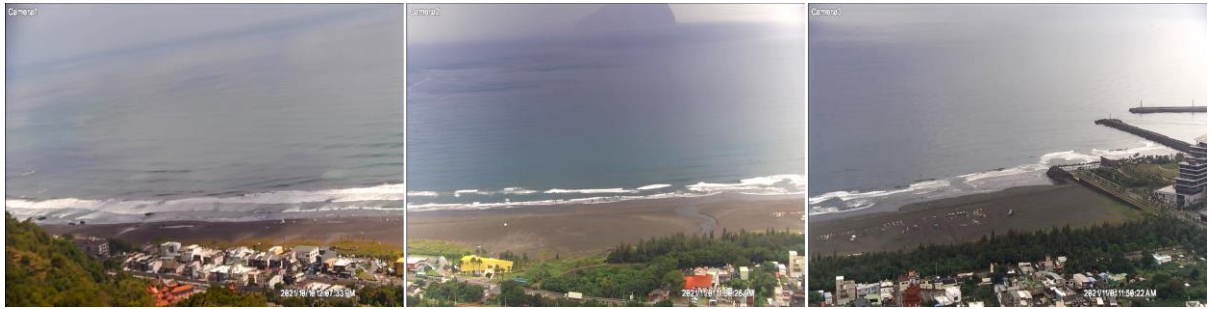


圖 2-2 宜蘭縣外澳監測站影像觀測示意圖(左.攝影機 1、中.攝影機 2、右.攝影機 3)

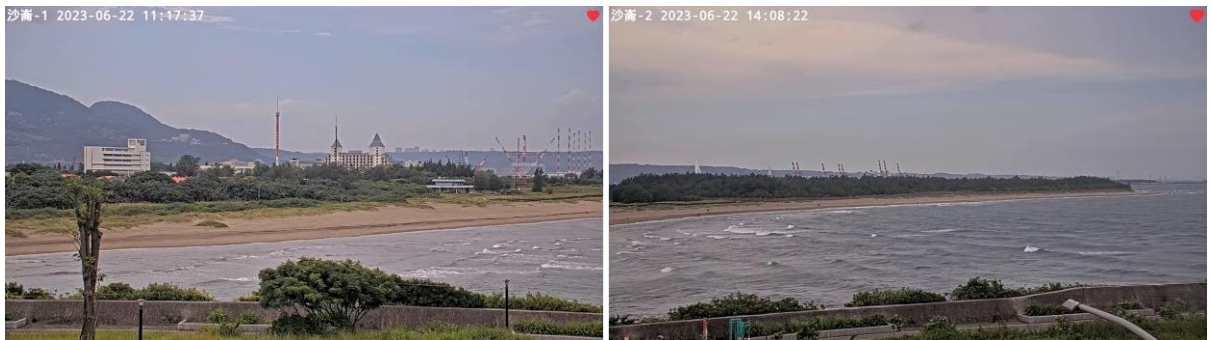


圖 2-3 新北市沙崙監測站現場影像觀測示意圖

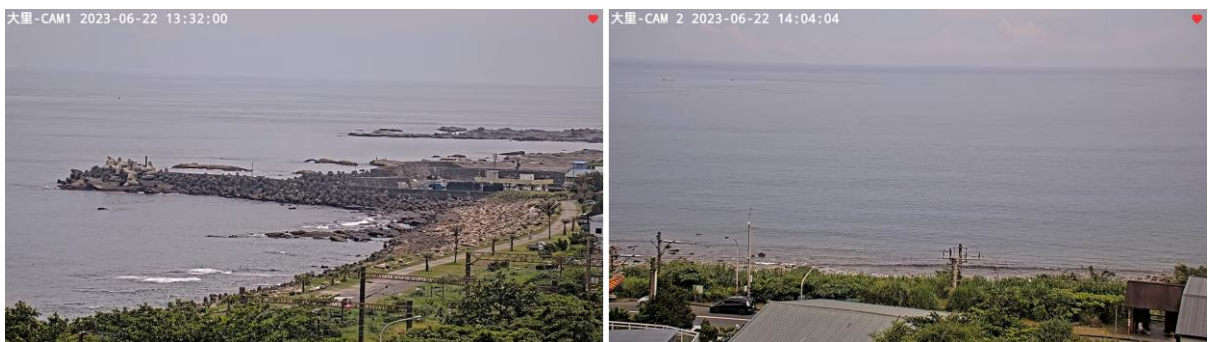


圖 2-4 宜蘭縣大里監測站影像觀測示意圖



圖 2-5 新北市福隆監測站影像觀測示意圖

2-1-2 監測站更新與建置規劃

協助氣象署建置裂流光學影像監測站，是今(2023 年)度本計畫其中一項工作項目，若能加速裂流監測站的建置，便能夠蒐集到更多區域的裂流案例，為後續裂流研究提供足夠的能量。本計畫根據行政上的需求、電力供給是否便利、是否具備網路傳輸、學理上分析的結果、具備高危險性(即是否熱門景點)和過去是否有相關裂流意外事件六項指標進行評估，同時參考前期計畫所建置的四座監測站的成果，選址未來可建置裂流光學影像監測站的海域，並詳細規劃監測站建置的地點和攝影機所拍攝的範圍，經研究團隊根據六項指標進行評估後，於本計畫提出五處未來可建置裂流光學影像監測站的海域，分別是“新北市白沙灣”、“台南市漁光島”、“台南市黃金海岸”、“高雄市西子灣海域”和“高雄市旗津海域”五處各縣市從事海域遊憩活動的熱門景點，評估結果(包含已建置的四座監測站)如表 2-1 所示。此外，考量到後續系統性的監測作業，宜蘭縣外澳監測站的設備和傳輸模式根據去(111 年)度審查意見將更新為氣象署的儀器設備和內部企業數據網路(Mobile Data Virtual Private Network, MDVPN)。以下將對今(112 年)度裂流光學影像監測站建置與規劃工作項目進行詳細說明。

表 2-1 裂流影像監測站選址評估結果

監測站	行政需求	電力供給	網路傳輸	學理依據	高危害度	歷史經驗
外澳	◎	◎	◎	◎	◎	○
沙崙	◎	◎	◎	◎	◎	◎
大里	◎	◎	◎	○	○	○
福隆	◎	◎	◎	◎	◎	◎
白沙灣	◎	◎	◎	◎	◎	◎
漁光島	◎	○	○	◎	◎	◎
黃金海岸	◎	◎	◎	◎	◎	○
西子灣	◎	◎	◎	◎	◎	◎
旗津	◎	◎	◎	◎	◎	◎

(備註：◎經海灘類型參數和 SMS 數值模式評估有裂流發生、遊客眾多曾發生意外事件；

○僅透過海灘類型參數評估有裂流發生、非著名海域活動遊憩景點但曾觀測到裂流)

(1) 新北市白沙灣監測站

新北市白沙灣海灘監測站系統規劃架設於白沙灣遊客中心屋頂，拍攝範圍如圖 2-6，圖 2-6.左中兩處紅色框均是可以建置攝影機的位置，考量拍攝距離較近且攝影機架設位置較低的關係，規劃 2 支攝影機。白沙灣海域過去有許多戲水溺斃的案例，林等(2007、2009)統計光是 2005 年就有 45 起，且當地時常有裂流的出現，故這些意外事件中極有可能有受到裂流所引致的。

參考前期計畫成果，同樣以 SMS 數值模式模擬該海域以及透過計算海灘類型參數評估其裂流潛勢風險，SMS 數值模式模擬結果發現在示性波高為 1.5 m、波向垂直入海海岸線的造波條件時，在白沙灣遊客中心正前方海域有兩道的裂流(如圖 2-7.右)；在海灘類型參數的評估，新北市白沙灣海域沙質粒徑係參考石(1975)報告為 0.35 mm，示性波高(H_s)和平均週期(T_{m02})採用富貴角浮標站 2021 年統計結果，計算結果如表 2-2 所示，結果顯示新北市白沙灣海域在春夏兩季是裂流好發的季節，春夏季為夏季海灘類型主要介於 LBT(沿岸沙洲槽溝)至 TBR(橫向沙洲與裂流)的容易發生裂流的過渡型地形，雖秋冬之際則較接近不易發生裂流的 DIS(消散型)海灘，但從 Google Earth 衛星雲圖分析結果顯示，過往有裂流發生的紀錄(如圖 2-7.左)，本計畫評估新北市白沙灣海域仍為裂流發生潛勢高的海域，且為熱門的遊憩景點屬於高風險，故在此建置裂流監測站是有其必要性的。

表 2-2 新北市福隆海灘海灘類型計算參數

	春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-翌年 2 月)
示性波高 H_o (m)	0.63	0.50	1.53	1.48
平均週期 T_{m02} (s)	4.67	4.41	5.65	5.57
	平均坡度	16.3/1000	砂質粒徑(mm)	0.35
海灘類型參數 Ω	4.1525	3.6220	6.0594	5.9340



圖 2-6 新北市白沙灣監測站建議架設位置與觀測區域(左.建置位置、右.拍攝範圍)

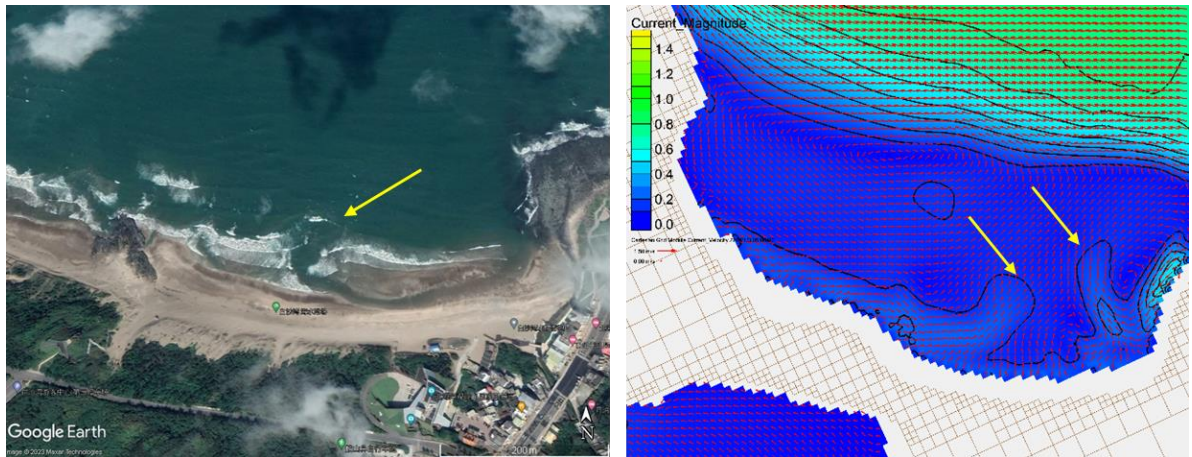


圖 2-7 新北市白沙灣裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬)

(2) 臺南市漁光島監測站

臺南市漁光島海域近年來發生數起可能與裂流有關的意外事件，其於去(2022)年 7 月 15 日同一天就發生兩起意外事件，不僅導致遊客溺水，甚至造成一人喪命；而 2020 年 7 月 18 日也發生一起一人死亡的溺水事件。然台南市漁光島海域周遭僅有北部安平舊港有一座較高的燈塔，可做為監測站系統建置的區域，但由於距離較遠，且燈塔高度不夠高，分析上恐會遇到些許困難，故於 8 月份和 10 月份工作會議討論，未來若要在漁光島建置監測站建議可與當地主管機關或相關單位(如臺南市政府或港務公司)合作，於當地建立觀測塔，而目前初步先規劃建置在安平舊港燈塔，並搭載兩支攝影機分別觀測漁光島北部和南部海域，如圖 2-8。

在裂流潛勢評估上，SMS 數值模式模擬結果顯示，在漁光島南側有裂流發生，與 Google Earth 衛星影像分觀測到裂流的位置相似(如圖 2-9)，郭等(2011)透過 TW2D1 海流

模式耦合 SWM 波浪模式在該處也有發現裂流的現象。而漁光島海域沙質粒徑係參考「台南市一級海岸防護計畫」為 0.299 mm，浮標資料採用七股浮標站，計算結果如表 2-3 所示，結果顯示漁光島海域春夏秋三季都是裂流好發的季節，春夏兩季的海灘類型主要為 LBT(沿岸沙洲槽溝)至 RBB(規律沙洲與海灘)過渡型海灘，秋季也是會發生裂流的 LBT(沿岸沙洲槽溝)過渡型灘。綜上所述，臺南市漁光島海域係屬易發生裂流的海域，加上係屬臺南熱門海域遊憩景點，若能解決監測站攝影機架設的問題，係可為裂流相關研究蒐集到大量的案例。

表 2-3 臺南市漁光島海灘海灘類型計算參數

	春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-翌年 2 月)
示性波高 H_o (m)	0.70	0.90	0.93	1.13
平均週期 T_{m0} (s)	4.40	5.20	4.86	4.63
	平均坡度	3.2/1000	砂質粒徑(mm)	0.299
海灘類型參數 Ω	4.3722	4.7241	5.0675	6.0564

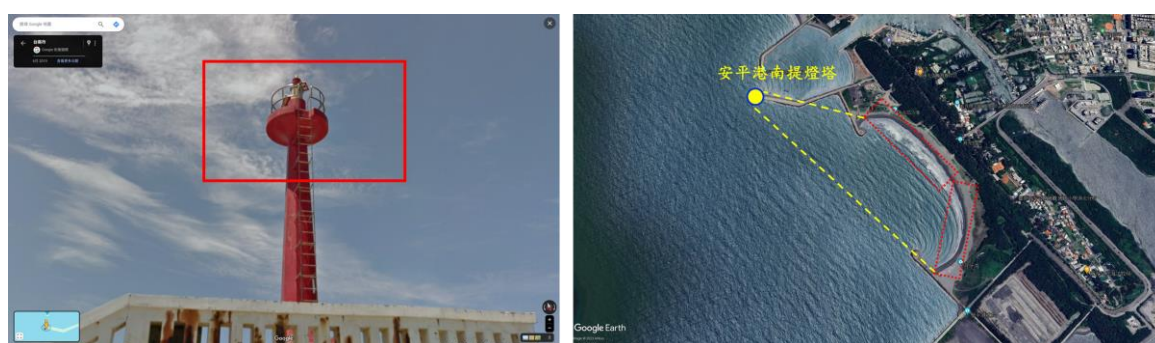


圖 2-8 臺南市漁光島監測站建議架設位置與觀測區域(左.建置位置、右.拍攝範圍)

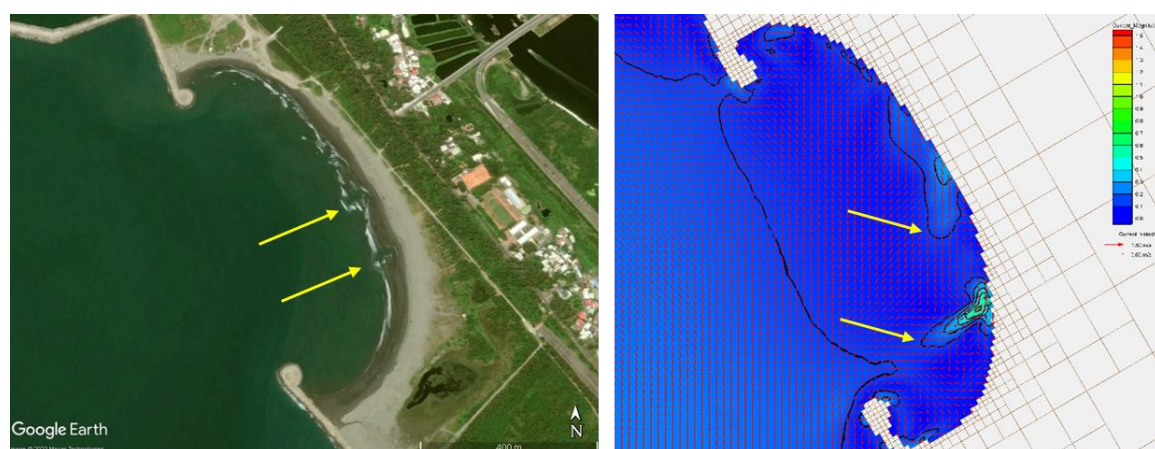


圖 2-9 臺南市漁光島裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬)

(3) 臺南市黃金海岸監測站

臺南市黃金海岸海域是南部著名的海域遊憩活動景點之一，經研究團隊評估目前規劃將監測站攝影機建置在黃金海岸方舟屋頂上方，如圖 2-10.左。臺灣西部海域會因為漲退潮的影響，海流呈現南北往復的情況，而受到流物交互作用的影響，在結構物旁或是兩突堤間均有可能產生裂流，本計畫以 SMS 數值模式進行模擬，結果如圖 2-11 所示，在南部海域四支突堤間均有裂流的發生，部分是在結構物旁，但也有出現在兩結構物海灣正中央處，且 Google Earth 衛星影像亦有觀測到裂流的現象。黃金海岸監測站主要拍攝範圍為方舟前方八支突堤的海域，全長大約 1 公里，故搭載兩支攝影機分別拍攝北部和南部海域，如圖 2-10.右。

在海灘類型參數的分析上，沙質粒徑大小由於與漁光島為至相差不遠，且該二處沙源大多來自南方的二仁溪或北方的鹽水溪，故沙質粒徑一樣為 0.299 mm，浮標資料也同樣採用七股浮標站的統計結果，計算結果如表 2-4 所示，由於該處平均坡度和水深與漁光島不同，故海灘類型參數計算結果兩處海域並非完全一樣，黃金海岸整體而言四季均是介於裂流好發的過渡型海灘，春夏秋三季的海灘類型主要為 LBT(沿岸沙洲槽溝)至 RBB(規律沙洲與海灘)過渡型海灘，冬季也是會發生裂流的 LBT(沿岸沙洲槽溝)過渡型海灘，故可做為裂流監測站建站選址地點之一。

表 2-4 臺南市黃金海岸海灘類型計算參數

	春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-翌年 2 月)
示性波高 H_o (m)	0.70	0.90	0.93	1.13
平均週期 T_{m0} (s)	4.40	5.20	4.86	4.63
	平均坡度	3.1/1000	砂質粒徑(mm)	0.299
海灘類型參數 Ω	4.2755	4.6054	4.9457	5.9162



圖 2-10 臺南市黃金海岸監測站建議架設位置與觀測區域(左.建置位置、右.拍攝範圍)

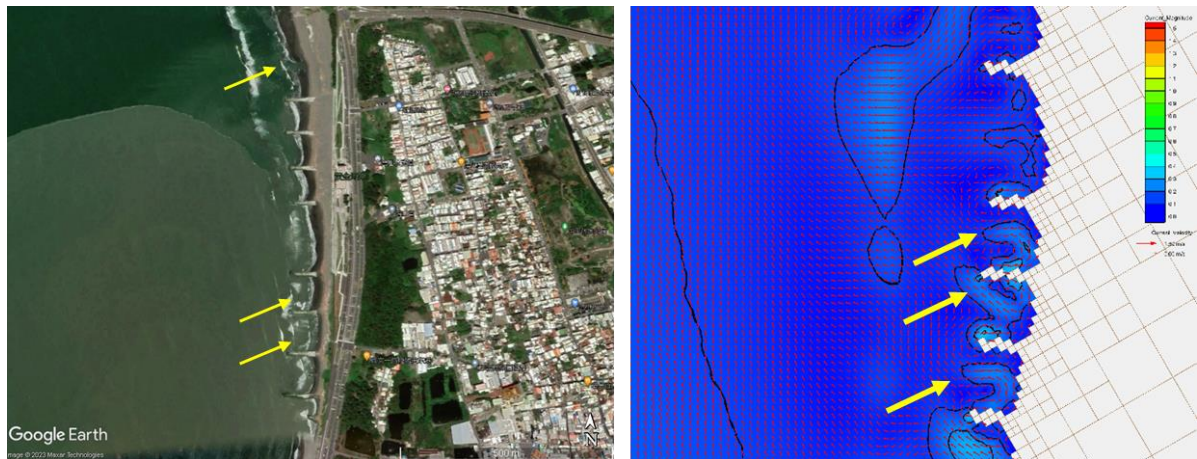


圖 2-11 臺南市黃金海岸裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬)

(4) 高雄市西子灣監測站

高雄市西子灣監測站規劃架設於國立中山大學海工館樓頂，由於海工館位於西子灣的北側，若要拍攝西子灣北側防波堤前方海域，距離較遠，故搭載兩支攝影機分別拍攝海工館前方海域和西子灣北側防波堤海域，如圖 2-12 所示。本計畫利用 SMS 數值模式進行模擬發現在北側防波堤處有裂流發生，而海工館前方海域也有一股較弱但流幅(長度)較長的裂流，與 Google Earth 衛星影像觀測發現的裂流相似，證實西子灣海域是有發生裂流的可能性。

參考許(2007)研究成果西子灣海域沙質粒徑為 0.263 mm，浮標資料採用彌陀浮標站的統計結果，計算結果如表 2-5 所示，結果顯示秋冬春三季都是適合裂流發展的過渡型海灘類型，春季係屬 RBB(規律沙洲與海灘)過渡型海灘，秋冬兩季則為 LBT(沿岸沙洲槽溝)過渡型海灘。透過上述分析，西子灣海域係屬易發生裂流之海域，加上架設位置

高度夠高、距離也很近，且周遭設備也相當完善，無論是電力供給和網路傳輸都可採用學校已有之設備，降低架設監測站之難度和成本。

表 2-5 高雄市西子灣海灘類型計算參數

	春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-翌年 2 月)
示性波高 H_o (m)	0.60	1.03	0.76	0.80
平均週期 T_{m0} (s)	4.43	5.26	4.77	4.57
	平均坡度	3.1/1000	砂質粒徑(mm)	0.299
海灘類型參數 Ω	4.6024	6.0655	5.1575	5.5137

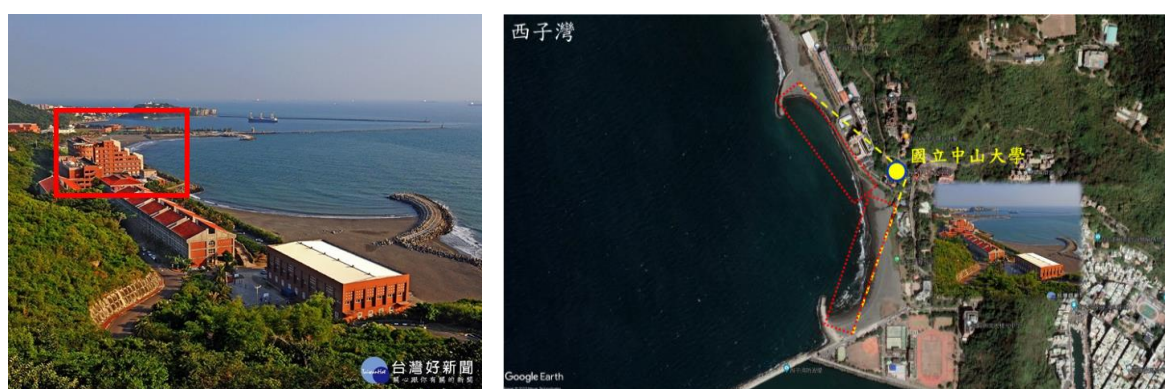


圖 2-12 高雄市西子灣監測站建議架設位置與觀測區域(左.建置位置、右.拍攝範圍)

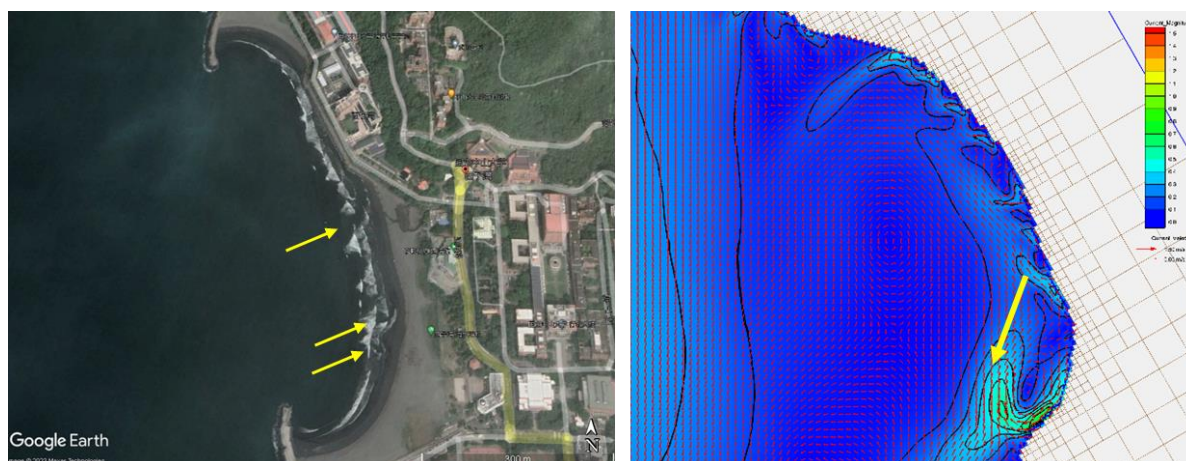


圖 2-13 高雄市西子灣裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬)

(5) 高雄市旗津監測站

高雄市旗津監測站目前規劃架設在旗津海水域場救生站的屋頂(如圖 2-14.左)，架設位置雖然高度不高，但監測站位置與海岸較近，約 150 m 左右，整體而言拍攝角度仍可進行裂流案例的分析，建議在該站搭載兩隻攝影機，並僅拍攝救生站正前方的第一個海

灣，兩隻攝影機則分別拍攝北側和南側(如圖 2-14.右)，以避免高度不夠造成分析上的困難。SMS 數值模式模擬結果與 Google Earth 衛星觀測結果也如前四個測站一樣，兩者均有裂流發生的紀錄，且兩者裂流發生的位置相近，均位於救生站正前方的海域。

高雄市旗津海域附近沙質粒徑大小係參考「高雄海域漂沙特性現場調查及數值模擬研究(1/2)」為 0.35 mm，而示性波高和平均週期同樣採用彌陀浮標站資料統計四季的代表性波浪特性，計算結果如表 2-6 所示，結果顯示旗津海域四季均是裂流高機率發生的過度類型，主要介於 TBR(橫向沙洲與裂流)至 RBB(規律沙洲與海灘)高機率發生裂流的過度海灘。在過去旗津海域亦有裂流相關意外事件，於 2020 年 8 月 9 日有遊客受海流影響，無法游回岸邊，因而造成一死的意外事件。有鑑於此，旗津海域係易發生裂流的區域，且當地也是高雄市熱門的遊憩景點，每年舉辦多項的海域遊憩活動比賽，同時位於港口附近亦是許多民眾工作的地點，故建置監測站是有其必要的。

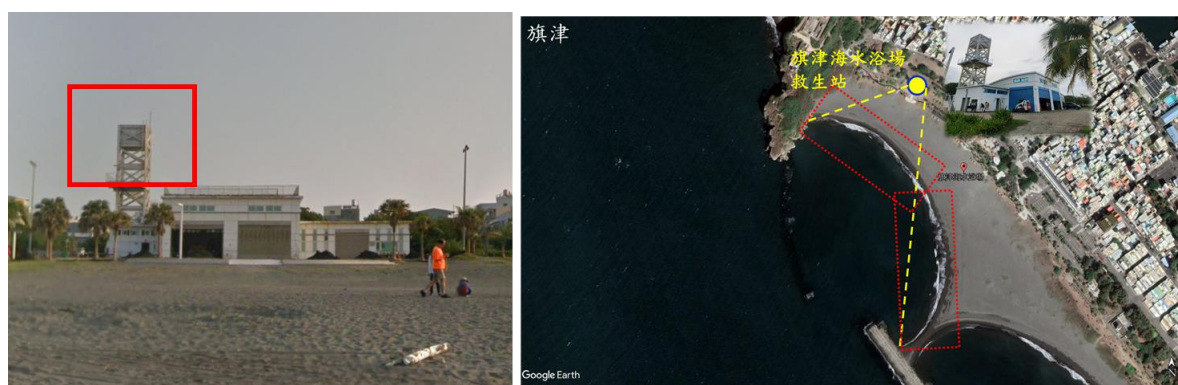


圖 2-14 高雄市旗津監測站系建議架設位置與觀測區域(左.建置位置、右.拍攝範圍)



圖 2-15 高雄市旗津裂流潛勢分析(左.衛星觀測、右.SMS 數值模擬)

表 2-6 高雄市西子灣海灘類型計算參數

	春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-翌年 2 月)
示性波高 H_o (m)	0.60	1.03	0.76	0.80
平均週期 T_{m0} (s)	4.43	5.26	4.77	4.57
	平均坡度	8.0/1000	砂質粒徑(mm)	0.35
海灘類型參數 Ω	3.5231	4.5946	3.9253	4.2064

本計畫今(2023 年)度不僅規劃五處未來可建置裂流監測站的地點，也更新目前已經運行接近兩年的宜蘭縣外澳裂流監測站，外澳監測站由於有穩定的電源供應，運作情形相當的順暢，少有影像無法紀錄的情況發生，然而當地係臺灣北部著名的遊憩景點，一到周末當地頻寬容易被大量遊客占用，導致影像回傳速率相當緩慢，甚至無法即時監控現場情形。經工作會議討論和評估後，建議外澳監測站的設備和網路傳輸系統更新與去(2022 年)所建置三站監測站相同，尤其網路部分改採用氣象署內部的企業數據網路(MDVPN)，且考慮到網路訊號接收效能，將主機由室內遷至室外，同時影像回傳的系統也會採用今(2023 年)度研究團隊所撰寫的自動化影像擷取程式，便利後續影像回傳及系統性分析，而攝影機架設位置考量到氣象署所使用的攝影機解析度和拍攝範圍較廣，在 3 月 22 日場勘後，評估將原先搭載三隻攝影機的配置縮減至兩隻，拍攝位置則分別拍攝外澳海灘南部和北部(以港澳溪出海口為界)，攝影機架設位置和主機架設位置如圖 2-16 所示。



圖 2-16 宜蘭縣外澳裂流監測站錄放影機和攝影機更新位置示意圖

2-1-3 監測站運作規劃

前期計畫所規劃的宜蘭縣外澳、大里和新北市福隆和沙崙四座監測站均已開始運行，預定位置均能提供固定電源，運作情形均相當順暢，少有影像無法紀錄的情況發生。現場所拍攝的影像資料均是透過中華電信光世代或 4G 網路(或未來 5G)進行傳輸，雖然宜蘭縣外澳監測站目前仍是研究團隊透過 OBS 串流系統回傳影像，但於今(2023 年)底 12 月完成監測站更新後，將會與去(2022 年)年建置的三座監測站相同，採用中央氣象署內部企業數據網路(Mobile Data Virtual Private Network, MDVPN)將影像傳送至安管外與安管內之 NVR 主機儲存，安管外主機儲存之影像可提供研究團隊下載分析，傳至安管內之影像則提供中央氣象署做進一步之應用，譬如對民眾展示海岸即時裂流影像之服務，整體流程詳如圖 2-17 所示。

當中宜蘭縣外澳監測站所拍攝的動態影片資料相當的龐大，加上仍持續規劃更多的監測站來完善裂流案例資料庫，往後還會增加沙崙、大里和福隆等更多新監測站的影片資料，若將所有回傳的影像進行儲存，會耗費不少的儲存資源，且根據前期計畫研究成果，大部分影像的時刻並未有裂流現象。因此，本計畫規劃將影像資料分為兩部分來進行儲存，其一為當年度的影像資料，當年度的影像資料會全部保留，並以回傳影像原始的格速率進行儲存(30 fps)，便於當年度裂流的案例分析和檢視。

其二則是過往的歷史影像資料，這部分則會分成有裂流案例的影像資料，和平時無裂流案例的影像資料，前者會將紀錄出現裂流整個時間段的影片，但考量到裂流時間尺度為數十分鐘至數小時，故會將影像進行壓縮，將影像格速率降至 8 fps，並且透過縮時攝影的方式，裂流發生期間的所有影像(裂流延時 $\times$ 8 fps)儲存成 3 分鐘內的影片，便利後續快速檢視裂流案例的同時，也保有足夠分析裂流案例的影像特徵；後者的平時影像由於也是相當珍貴的資料，經研究團隊評估仍予以保留，但每分鐘僅儲存一張影像，作為後續模式訓練和驗證所需的對照組。

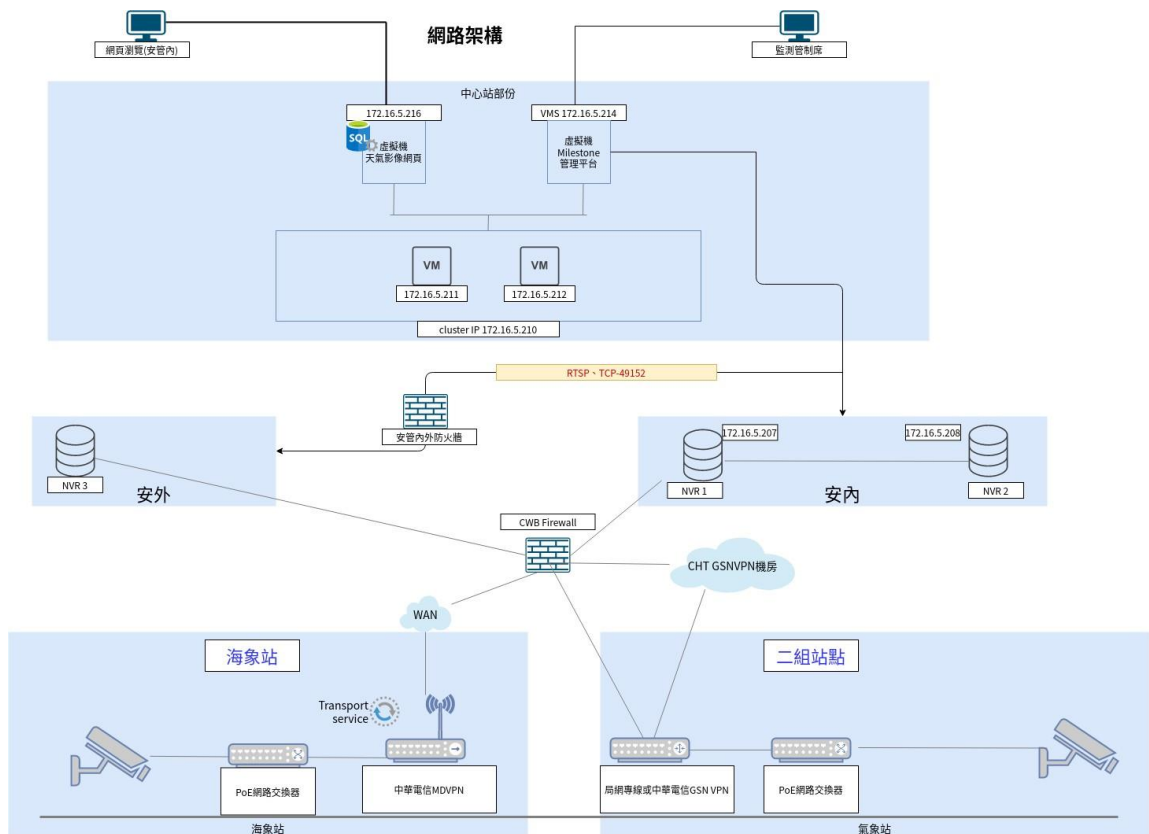


圖 2-17 中央氣象署海氣象站資料與影像回傳與儲存架構圖

2-2 影像動態影像分析技術與方法

海流的流速和流向很難由目視所辨別，當裂流發生時碎波帶的分布情形會有明顯的變化，裂流光學影像監測站則可清楚記錄近岸海面上的特徵，故從影像中判釋裂流是相當可行的方法。在前期計畫中，本計畫參考前人研究成果和研究團隊的經驗(Lushine, 1991; Holman et al., 2006; Dalrymple et al., 2011; Maryan, 2013)，對裂流發生的空間分布、持續時間、理論機制以及海表面的特徵提出四點從影像判釋裂流的準則，分別為

1. 碎波帶需有明顯的斷裂處、未斷裂但有向外海延伸之浪花或懸浮物
2. 碎波帶斷裂情形需須達 10 分鐘以上
3. 若在同時出現兩處以上的碎波帶斷裂，間隔須超過 40 公尺
4. 某處裂流之發生應會重複出現(即裂流事件發生位置，應至少有兩起以上之案例)

根據上述四點準則，於去(2022 年)年將準則一做為程式核心概念，結合準則二和準則三兩項檢核條件，建立乙套「全自動化裂流影像判釋程式」，程式所使用的核心技術有二，其一是影像處理的部分，藉由小波邊緣偵測方法增強碎波帶的影像特徵；其二則是透過影像卷積的技術，比對裂流遮罩與影像間的相似度，擷取出裂流出現的位置。截至第二年度計畫完成，已將該程式應用於衛星航拍影像和監測站動態影片，蒐集數百筆的裂流案例。

第二年度建置的三座監測站無論是系統設備或是海域的環境與外澳監測站有所不同，導致影片拍攝的範圍、角度和解析度均有明顯差異，無法透過前期計畫的程式直接進行分析。因此，今(2023 年)年度本計畫仍會使用先前的程式持續分析宜蘭縣外澳監測站動態影片，同時會對影像卷積方法提出建議，提升程式的泛用性，可廣泛應用於各處監測站動態影片的分析。此外，隨著監測站的數量逐漸增加以及往後需要進行現場即時監測，程式的運算效率成為一個重要的議題，亦會從影像分析的流程上對此進行改善。

2-2-1 小波轉換邊緣偵測方法

目前影像監測技術已被廣泛應用於海洋工程領域，(Boak and Turner, 2005; Guimaraes and Ardhuin, 2020)。為使影像分析能夠順利進行，以及有良好的分析結果，均會對影像進行強化處理，突顯研究目標區域的影像。如前文所述，本計畫是根據波浪向陸淺化過程中，以白色碎浪線之連續性進行判定，若碎浪線斷裂處呈現水域顏色較深之區域，即為疑似裂流流道所產生的位置 (Short, 2006; Turner et al., 2007; Pitman and Gallop, 2016)。有鑑於前期計畫的成果，小波邊緣偵測法自帶的濾波器可適用於不同的影像資料，無論是衛星航拍影像或監測站動態影片均有著良好的去雜訊能力和影像強化的功能，因此若要透過改善小波轉換邊緣偵測法使程式適用於新建的監測站，其效用微乎其微，今(2023 年)年度則將持續以該方法來強化碎波帶區域的海表面特徵。

本計畫所採用的小波轉換是參考 Liu et al. (1997)將該小波轉換應用在衛星照相所得的海洋探勘的方式，應用於衛星影像辨識裂流，該方法是根據 Mallat (1998)所提出的小

波理論，將灰階影像視為一個二維訊號矩陣 $f(x, y)$ ，利用二維小波轉換的離散傅立葉轉換來找尋影像邊緣。由於二維影像函數 $f(x, y)$ 均有其灰階值，函數 $f(\bar{x}) = f(x, y)$ 的二維傅立葉轉換可定義為下式(2-1)

$$F(\alpha, \beta) = F_x F_y [f(x, y)] \\ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp(-i\alpha x) \exp(-i\beta y) dx dy \quad (2-1)$$

根據上式(2-1)可推得二維小波轉換的定義為下式(2-2)

$$Wf(\bar{\zeta}, s) = \left\langle f(\bar{x}), \psi_{\bar{\zeta}, s}^*(\bar{x}) \right\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\bar{x}) \psi_{\bar{\zeta}, s}^*(\bar{x}) dx dy \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\bar{x}) \frac{1}{s} \psi^*\left(\frac{\bar{x} - \bar{\zeta}}{s}\right) dx dy \quad (2-2) \\ = Wf(\bar{\zeta}, \eta, s) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\bar{x}) \frac{1}{s} \psi^*\left(\frac{\bar{x} - \bar{\zeta}}{s}\right) dx dy$$

其中小波函數 $\psi_{\bar{\zeta}, s}^*(\bar{x})$ 可藉由小波母函數 $\psi(\bar{x})$ 平移及尺度擴張取得，但即便如此上述中仍有很多參數式我們無法得知的，因此本計畫將透過快速傅立葉轉換 (Fast Fourier transform, FFT) 和逆二維傅立葉轉換求解二維小波轉換。小波函數的二維傅立葉可定義為下式(2-3)

$$\Psi_{\bar{\zeta}, x}(\bar{\alpha}) = F_x F_y [\psi_{\bar{\zeta}, x}(\bar{x})] \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{s} \psi\left(\frac{\bar{x} - \bar{\zeta}}{s}\right) \exp(-i\alpha x) \exp(-i\beta y) dx dy \quad (2-3)$$

並且根據尺度擴張及平移的特性 $F_x F_y [\psi(\frac{\bar{x} - \bar{\zeta}}{s})] = s^2 \Psi(s\bar{\alpha}) \exp[-i(\alpha\zeta + \beta\eta)]$ ，可將小波函數 $F_x F_y [\psi(\frac{\bar{x} - \bar{\zeta}}{s})] = s^2 \Psi(s\bar{\alpha}) \exp[-i(\alpha\zeta + \beta\eta)]$ 的二維傅立葉轉換表示為

$$\begin{aligned}\Psi_{\bar{\zeta},s}(\alpha,\beta) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{s} \psi\left(\frac{\bar{x}-\bar{\zeta}}{s}\right) \exp(-i\alpha x) \exp(-i\beta y) \\ &= s\Psi(s\bar{\alpha}) \exp[-i(\alpha\zeta + \beta\eta)]\end{aligned}\quad (2-4)$$

利用二維迴旋定理 $F_x F_y \{f(\bar{x}) * g(\bar{x})\} = F(\bar{\alpha})G(\bar{\alpha})$ 可將影像 $f(x,y)$ 的二維小波轉換表示為 $f(x,y)$ 與 $\bar{\psi}_s(\bar{\zeta})$ 的二維迴旋積分，並由共軛複數特性可得到 $F_x F_y [Wf(\bar{\zeta},s)] = F(\bar{\alpha})s\Psi^*(s\bar{\alpha})$ ，取 $Wf(\bar{\zeta},s)$ 的二維傅立葉轉換，應用於迴旋定理、尺度擴張、平移及共軛複數的特性可得到式(2-5)

$$F_x F_y [Wf(\bar{\zeta},s)] = F(\bar{\alpha})s\Psi^*(s\bar{\alpha}) \quad (2-5)$$

再取出 $F_x F_y [Wf(\bar{\zeta},s)]$ 的逆二維傅立葉轉換可得到 $Wf(\bar{\zeta},s)$ 表示為式(2-6)

$$\begin{aligned}\Psi_{\bar{\zeta},s}(\alpha,\beta) &= F_{\alpha}^{-1} F_{\beta}^{-1} \{F_x F_y [Wf(\bar{\zeta},s)]\} \\ &= \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(\bar{\alpha})s\Psi^*(s\bar{\alpha}) \exp(i\alpha\zeta) \exp(i\beta\eta) d\alpha d\beta\end{aligned}\quad (2-6)$$

式中的 $F(\bar{\alpha})$ 和 $\Psi^*(s\bar{\alpha})$ 可藉由快速傅立葉轉換取得，並透過最後的逆二維傅立葉轉換公式，便可以計算影像二維小波轉換，最後將小波轉換後的影像係數結果，去除係數為零的結果便可進行邊緣偵測(如圖 2-18)，接著由於小波轉換後的結果使得圖像呈現等值線圖，導致後續在影像卷積閾值訂定不易，因此將會透過均質濾波和二值化的方法將碎波帶邊界至路域的色值調整為 1，而海洋部分則設定為 0。

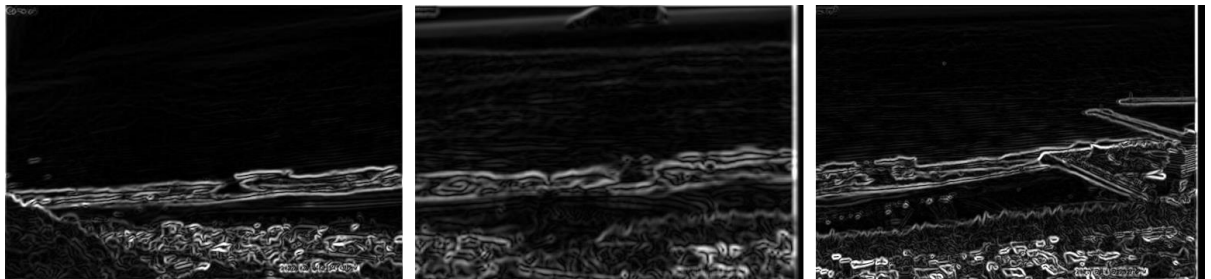


圖 2-18 小波轉換邊緣偵測結果(左.攝影機 1、中.攝影機 2、右.攝影機 3)

2-2-2 裂流影像卷積法

在前述分析過程中，可強化碎波帶周遭附近的海表面特徵，然該結果仍無法判定該影像中何處有裂流，亦無法判定影像中是否出現裂流。為此，本計畫利用「裂流影像卷積法」框選出裂流發生的位置和範圍，該方法的概念與機器學習中的卷積類似，以影像遮罩對於目標進行“掃描”，計算裂流遮罩與現場影像間的相似度，進而擷取裂流發生位置。

本計畫在第一年度計畫執行期間建置四周白色(碎波帶)、中間黑色(海水)的遮罩來模擬衛星航拍影像中裂流出現的位置。第二年度則再建立四種遮罩，解決監測站動態影片在拍攝時，裂流特徵可能因雜訊、拍攝角度所發生的變形。去(2022 年)年所建置的三座監測站現在亦面臨相似的問題，倘若直接使用前期計畫的程式和遮罩，在裂流判釋上則會出現不少的誤差。考量後續仍會有新的監測站完成建置，若每處監測站均需重新建置新的遮罩，則耗時又費力，因此今年度本計畫將會對遮罩進行調整、簡化，並對前期計畫提出的影像擴增(Image Data Augmentation)方法設定條件，使該程式往後面對新的動態影片，都能夠快速的於實務上使用。

在遮罩部分的修正，由於第二年度所建置的遮罩是針對宜蘭縣外澳監測站所建置的，所以在形狀上過度擬合的情形發生，雖然這樣的設計可以使程式更快的判釋裂流的位置，但同樣也造成遮罩有地域性的限制，為此本計畫將參考第二年度所建置的四種遮罩進行簡化，僅針對影像擴增無法處理的非線性變型(如裂流邊界突然出現的折返點)，簡化後的遮罩如圖 2-19 所示。動態影片中的裂流邊界必定無法像上述四種遮罩如此的平滑端正，為能讓該些遮罩能夠廣泛擬合影片中出現的各種裂流特徵，影像擴增的技術是一個非常合適的方法，參考前期計畫的成果，在影像擴增的參數設置採用旋轉、翻轉、縮放、扭曲和延伸(如圖 2-20 圖 2-19)，並且本計畫發現在進行影像卷積方法時所產生的誤差，主要是由於海岸線走向和影像解析度的問題，而這兩種情形都可以藉由調整影像擴增參數的設定來解決，前者則是調整旋轉角度，如宜蘭縣外澳監測站由於海岸線對於

影像是橫向的，若以上方為零度，則選轉角度的參數則置為 -30° 至 30° ，而宜蘭縣大里監測站由於海岸線在影像中為縱向，則選轉角度的參數則改為 240° 至 300° ；而後者解析度主要會導致裂流在影像中像素的大小，故可以透過影像擴增中的縮放來進行處理，而這部分則可以透過影像解析度來調整，由於目前設置的遮罩大小為 80×70 的畫素，而裂流大致的寬度則為20至80m，換算後可將遮罩的解析度假設為0.5至1.0 m/pixel，故可以根據影片的解析度來調整縮放參數的大小，同樣以外澳監測站為例，該監測站的影片解析度約為2 m/pixel，故縮放參數則設置為0.5至3.0倍，而大里監測站的解析度約為4 m/pixel，則設置為3.0至6.0倍。此外，影像擴增方法中的翻轉和扭曲則參考前期計畫的建議，翻轉上則選擇鏡向，而扭曲延伸的參數(即失真度(distortion))則為縮放的 $1/2$ 倍。

完成上述程式上的修正，則可以使遮罩廣泛應用於各種影像或影片當中。下一步便將裂流影像遮罩對小波轉換邊緣偵測結果進行卷積，比較監測站影像上各個位置與裂流影像之相似度，若該比對結果大於90%時，則將該位置紀錄且視為疑似裂流發生之位置，倘若影像中沒有出現疑似裂流發生位置，則會將相似度持續降低至80%，倘若仍未達到該相似度條件，則將視為該影像中未有裂流發生。

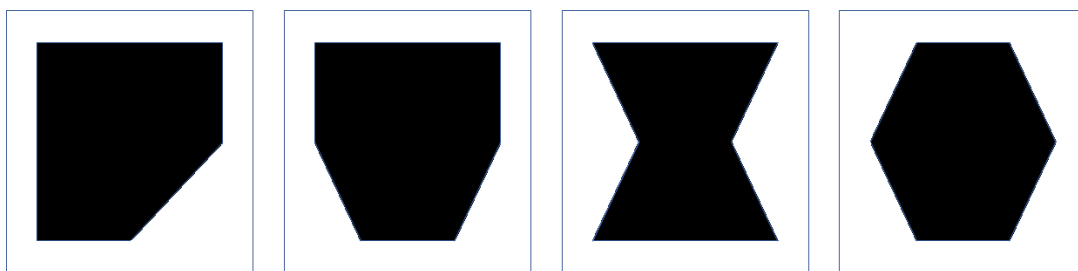


圖 2-19 裂流影像遮罩建置流程示意圖

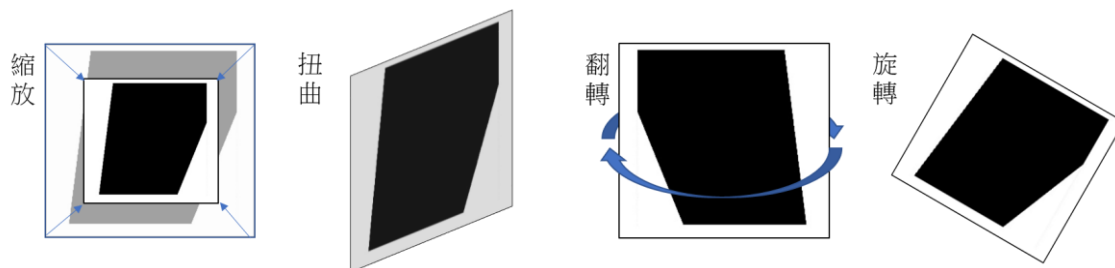


圖 2-20 影像擴增採用之方法

2-2-3 監測站動態影片分析流程簡化

監測站動態影片相較於衛星航拍影像有著更高的時空間解析度，優點是可以更清楚的紀錄碎波帶的分布，亦可以從時間尺度上瞭解裂流從生成至消散的整個過程，但相對的亦有更多的雜訊出現，例如波浪周期性的變化、突然的陣風導致碎浪的移動等。前期計畫中為解決該問題，提出幀數聚合(Frame aggregation)和影像平均(Image average)兩項技術，透過動態影片提供時間尺度的資訊，對動態影片進行資料的預處理，提升影像判釋的準確率和可信度。

前人研究認為裂流發生的時間多為數十分鐘以上，因此，目前本計畫裂流影像判釋程式則參考該研究成果，每 10 分鐘輸出一個裂流位置的判釋結果，程式整個運作過程可分為影像讀取、影像處理(灰階、平均和小波邊緣偵測)、影像卷積，以及幀數聚合四個步驟。根據研究團隊測試結果發現，整個分析過程中影像讀取和卷積兩個步驟是花最多時間，前者主要受限於影像平均所選取的頻率，頻率越高讀取影像的次數則越多，平均每讀取一張影像需要 0.2 秒，後者則是取決於幀數聚合的頻率，頻率越高則代表需要對越多張影像處理後的影像進行卷積來找出裂流發生的位置。前期計畫在影像平均和幀數聚合的頻率設置分別為 1 張/秒和 1 分鐘/次，經測試後發現每分析 10 分鐘的影片所需的時間至少為 1 小時，該效率對於後續監測站數量逐漸增加，以及往後現場即時監測作業是遠遠不足的。

有鑑於此，本計畫將降低幀數聚合和影像平均的頻率，幀數聚合調整為 2 分/次，影像平均調整為 12 張/分鐘。前者的改動在程式分析上並沒有太大的問題，仍是將每兩分鐘平均影像進行卷積，計算出每兩分鐘裂流發生的位置，再將該五張影像中裂流發生位置覆蓋率達 80%以上的區域視為裂流主要存在的區域，經調整後幀數聚合仍可以很好的處理影像中的雜訊問題。然而，影像平均的部分由於將頻率降低，若仍同樣採用相同時間間隔讀取影像，則可能與波浪週期相同，導致影像平均的時候均為波浪破碎的初期或是完全消散的時刻，使得平均影像的結果無法充分描述該段時間內近岸海域海面的特徵(如圖 2-21.b)。為此，本計畫在擷取影像時，改以挑選每分鐘前 12 秒的影像，並

且每秒讀取一張進行影像平均，結果則與選取相同時間間隔進行影像平均有著顯著的差異(如圖 2-21.a)。

經上述程式在影像平均和幀數聚合頻率上的改動，本計畫分析 2022 年 1 月整個月的影像資料，分析時間從原先的 2000 個小時降至約 800 個小時，運算速率提升約為兩倍以上，平均每 10 分鐘的影片分析時間減少至不到半個小時即可完成。此外，第二年度所建置的三座監測站，同樣會參考前期計畫的研究成果，挑選影片中裂流可能會出現的位置(即陸地與近岸碎波帶交界的部分)，作為影像卷積的範圍，藉此增加影像分析的效率。

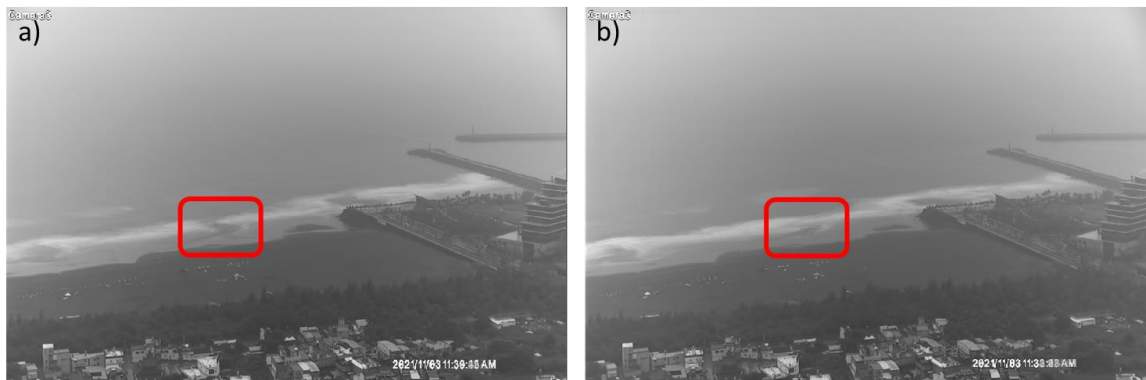


圖 2-21 影像平均結果(a.前 12 秒、b.平均間隔 5 秒)

2-3 影像分析方法驗證

今(2023)年度本計畫已修正裂流影像判釋模式，可廣泛應用於裂流監測站動態影片的分析，同時亦簡化影像分析的流程，提升模式運算的效率，模式所採用之理論流程已於上文中所述。由於今年度對模式的改動較多，為確保模式分析結果的正確性和合理性，本計畫與衛星航拍影像裂流案例判釋結果進行比對，當中有部分出現裂流的位置是相似的，可初步判定該些資料有一定的可信度，如圖 2-22 所示。

為檢視該模式是否能精準的判別疑似有裂流影像，本計畫將透過混淆矩陣中的正確率(Accuracy)和回應率(Precision)兩項指標進行評估，前者可以概括性的瞭解模式在判釋裂流發生與否的整體能力，而後者則是評估模式是否有高估的趨勢(即在沒有裂流的影像中，誤判有裂流現象)。驗證資料的真值同樣延續前期計畫的方式，透過人工判別

挑選 100 張平時影像(無裂流)和 100 張有裂流的影像來取得，上述兩項指標的公式說明如式(2-7)和式(2-8)

(1)正確率(accuracy rate)

$$\text{Accuracy rate} = \frac{\text{裂流影像判釋有裂流(TP)} + \text{平時影像判釋無裂流(TN)}}{\text{全部影像資料(TP+FP+FN+TN)}} \quad (2-7)$$

正確率即模式在全部實際資料中有預測正確的比率，代表模式對裂流發生或未發生判釋正確的能力，可用來評估裂流影像判釋模式的總體分析能力。

(2)回應率(response rate)

$$\text{Response rate} = \frac{\text{裂流影像判釋有裂流(TP)}}{\text{全部判釋有裂流的影像(TP+FP)}} \quad (2-8)$$

回應率即在模式判釋為裂流的資料中，有多少比率實際有裂流出現的比率，代表在模式判釋影像中有裂流的資料中，確實是裂流案例。故當回應率越高代表模式誤報的程度越低，反之當回應率越低時，則代表程式判釋的裂流案例大多為無裂流之影像，若此時正確率又相當高，則表示該程式有高估之情形。

式中「所有影像」為 100 筆疑似裂流影像和 100 筆平時影像，「判定有裂流影像」為程式認定有疑似裂流出現之影像(包含實際未發生和實際發生)。混淆矩陣的統計結果如表 2-7 所示，由人工判釋 100 筆疑似裂流影像中，程式判釋有裂流的影像有 80 筆，無裂流影像有 20 筆；而人工判釋為平時影像，經模式判釋後有 73 筆是沒有裂流的影像，而 27 是有裂流的影像，根據上式(2-7)和(2-8)計算結果，該模式之正確率為 76.5%，回應率則為 74.7%。結果顯示該模式已可大致將疑似裂流影像擷取出來，在有裂流的影像中有 80%的案例是能抓取出來的，然有近三成平時海況的案例被誤判為有裂流出現，雖然透過將相似度閾值提高，能有效減少高估的情況，但相對的在疑似裂流案例判釋的成功率亦明顯降低，由於今年度對遮罩進行的改動，雖然使得泛用性有大幅的提升，但對於地域性上的一些特徵變無法很好的進行判釋，故當相似度閾值調整至 85 %時，疑

似裂流案例的判釋成功率僅剩 47 %。考量裂流是一種有高度風險性的現象，些許的高估本計畫認為是可接受的，因此在相似度閾值上仍維持 80 %。

除對程式判釋裂流是否存在外，本計畫亦對判釋裂流位置的精準度(即模式判釋裂流發生位置是否與人工判釋位置相近)進行分析，透過挑選 3 個被判定為裂流影像進行檢視，從結果圖 2-23 顯示，程式所辨識出的裂流位置，均是碎波帶明顯的斷裂處。總上所述，該模式雖然相較前期計畫判釋能力較差，但在影像中有裂流發生的判釋成功率仍有 8 成，判釋裂流所發生的位置亦有一定的可信度和合理性。此外，修正後的程式泛用性和運算效率都有顯著提升，故本計畫認為該程式是可於實務上進行應用。

表 2-7 裂流影像判釋結果

	疑似裂流影像 (人工判釋)	平時影像 (人工判釋)
裂流影像 (系統判釋)	80 筆(TP)	27 筆(FP)
平時影像 (系統判釋)	20 筆(FN)	73 筆(TP)

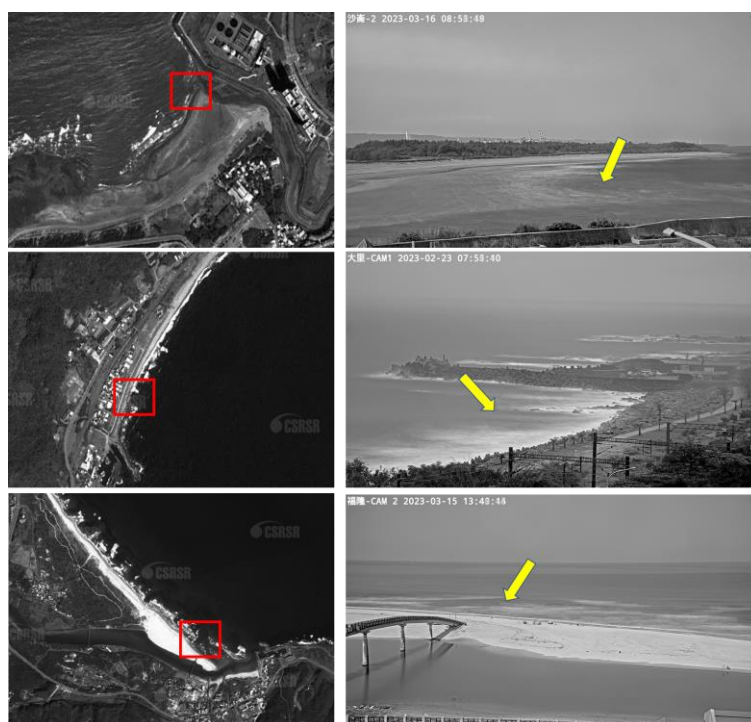


圖 2-22 衛星影像與監測站影片裂流判釋位置比較結果

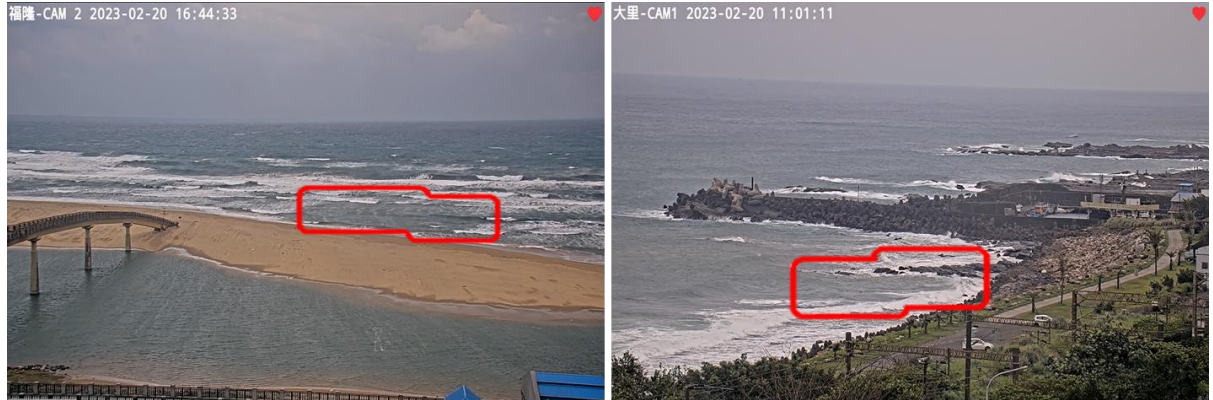


圖 2-23 裂流影像判釋結果

2-4 影像判釋結果與探討

本計畫已於前節中對裂流影像判釋程式的修正進行說明，並利用混淆矩陣評估程式判釋裂流的能力，結果顯示修正後的程式已可於實務上進行使用。今(2023 年)年度本計畫將會延續前期計畫，持續分析監測站動態影片，蒐集裂流影像的案例，擴建裂流案例與海氣象資料庫。該資料庫在紀錄上以各個裂流渠道作為一個單位，內容可分為基本資料有案例編號、開始時間、結束時間、裂流發生位置和延時，以及裂流發生當下的海氣象環境，包含有「示性波高」、「平均週期」、「尖峰週期」、「與海岸線夾角(正值為向岸、負值為離岸)」、「風速」、「水位」和「海灘類型參數」，在期中審查時陳文俊委員建議可探討相對潮差參數(relative tide range, RTR)與裂流間的相關性，故在期末報告亦會統計 RTR 參數。考量裂流發生多為數個小時，過程中海氣象環境會隨時間改動，本計畫將以最大和最小值進行表示，描述在裂流案例發生期間海氣象環境的變化。

裂流案例與海氣象資料庫所蒐集的案例，由於監測站受限於光線影響，僅記錄早上六時至下午六時，共計 12 小時的案例，且當拍攝時氣候惡劣或是儀器故障等突發狀況，即便有裂流發生亦無法進行分析。目前本計畫已有四座光學裂流監測站，第一年度所建置的宜蘭縣外澳監測站於 2021 年 10 月啟用，運行至今(第三年度期末報告繳交)均非常順利；第二年度所建的三座監測站，由於 2022 年年底方才完工，影片拍攝的範圍和角度仍須調整，同時由於網路傳輸的系統更改為氣象署的 MDVPN，為方便後續影像分析

的便利性，亦建立乙套作業化影像傳輸的程式，待上述前置作業完成後，該三座監測站已於今(2023 年)年二月開始進行影像紀錄。由於第二年度所建置的三座監測站在啟用後仍有根據現場情形持續的調整影像拍攝角度和範圍(已於 2-1-1 節詳述)，加上目前尚未晚整觀測一整年，統計上可能會有季節特性的影響，若討論在各海氣象條件下裂流發生的條件機率恐較不具意義(如春夏季大波高的情況較少，倘若在觀測期間有裂流案例的發生，則可能造成裂流發生機率非常高，出現不合理的情形)，故在 2-4-3 節中對福隆、沙崙和大里監測站影像判釋的結果，僅對裂流特徵和裂流發生時的海氣象環境進行案例說明。

2-4-1 宜蘭縣裂流特性分析結果

根據合約今(2023 年)度在分析裂流影片的工作項目，需要完成前一年監測站觀測的所有影片，目前本計畫已分析完成宜蘭縣外澳裂流影像監測站 2021 年 10 月至 2022 年 12 月的影片，可進行分析之清晰影像約 4508 個小時，共計蒐集 242 起的裂流案例，累計有發生裂流的小時數達 699 小時，裂流案例的影像如圖 2-24 所示(為使裂流案例能夠更加直觀，這邊採用平均影像進行展示)，完整裂流與海氣象資料庫資料詳如附錄七。

彙整裂流所出現的位置，於 2022 年 11 月和 12 月裂流發生的位置並沒有增加，仍位於前期計畫所彙整的 11 處(如圖 2-25)，而監測站實際拍攝到各位置的影像如圖 2-26 所示。考量後續會有不同監測站所觀測的裂流，在位置的編號上以海灘英文的第一個字作為編號，故外澳(Waiou)監測站所觀測的 11 處裂流位置和編號分別為攝影機一所拍攝的 W1[N24.8852°,E121.8490°]、W2[N24.8839°,E121.8478°]和 W3[N24.8818°,E121.8460°]、攝影機二所拍攝的 W4[N 24.8797 °,E121.8482 °]、W5[N 24.8776 °,E121.8482 °]和 W6[N 24.8744 °,E121.8433 °]，以及攝影機三所拍攝到的 W7[N 24.8737°,E121.8431°]、W8[N 24.8729°,E121.8428°]、W9[N 24.8721°,E121.8427°]、W10[N 24.8715°,E121.8425°]和 W11[N 24.8696°,E121.8426°]。本計畫統計外澳海域裂流發生的時空間分布，從表 2-8。顯示各裂流渠道的統計結果，烏石漁港北側防波堤旁的 W11 是最常發生裂流的區域，裂流出

現累積小時數達 203 小時，共計有 39 筆的案例，並將裂流累積時長除以所有可觀測的時間，則可得到各裂流渠道的發生機率，結果如圖 2-28 所示，顯示外澳海域所發生的裂流機率均小於 5.0%。各月分平均統計結果如表 2-9 和圖 2-29 所示，位於秋末冬初的 10 月至 12 月是裂流的好發期，更以 11 月為最，平均月發生案例數達 40 筆，平均累積小時達 86 個小時。

本計畫亦將各位置裂流發生機率逐月統計，從結果如圖 2-30 顯示，並非各個渠道發生的機率排名逐月都是相同的，甚至在一個月內裂流發生的位置就會有明顯的變化，從顯示，在 110 年 11 月初的時候位於第三支攝影機正中央 W7、W9 和 W10 的位置時常有裂流出現，然而到 11 月底時，僅剩 W7 有明顯的裂流現象，而到 12 月份在 W9 的位置上均未有裂流出現，反到是在 11 月份不怎麼出現裂流的 W8 位置有明顯的裂流渠道，且從 12 月 29 日的平均影像，可以看到在 W9 位置海岸線雖然不是很明顯，但仍有向岸彎曲的海灣，從海灘類型分類可屬 LBT(沿岸沙洲槽)和 RBB(規律沙洲槽)之間，而本計畫所計算的海灘類型參數在 29 日時介於 4.12 至 4.69 間，根據林等(2011)所提出的海灘類型參數與海灘類型對照表是完全吻合的(如表 2-10 所示)。此外，從圖 2-30 和圖 2-31 結果顯示，在 111 年 10 月以前 W4 位置裂流發生的機率並不高(均小於 2%)，然在 10 月份時裂流發生機率竟高達 7%，而從監視站拍攝的影片中顯示，在退潮時，九月份以前在 W4 的位置海岸線相當的平坦，且並未有任何適合裂流發展的地形(如槽溝、砂壩)，但 10 月份時卻可以明顯看到在這個位置有顯著的槽溝(如圖 2-32 所示)，而裂流發生的寬度亦與槽溝寬度相近，10 月份 W4 位置裂流實際觀測結果如圖 2-26 所示。

因此，本計畫初步推測與水深地形的變化有關，隨著時間海岸線變化或是近岸地形的變遷都是可能造成裂流型態的改變以及裂流好發位置更動，甚至當有大型的天氣系統經過時，這個現象會更加的明顯，以裂流發生位置 W3 為例，在 2021 年 11 月至 2022 年 8 月，W3 位置裂流發生機率均不到 1.0%，但在經過 2022 年 9 月颱風後，裂流發生積率提升至各位置第二，發生機率則超過 5.0%。

在裂流特性的分析，本計畫統計裂流發生時的平均寬度與延時。裂流發生的平均寬度是透過計算碎波帶斷裂處的平均寬度(分別碎波帶斷裂處的最外圍、中間和灘線位置的平均)，同時每小時計算乙次，最後將全部資料進行平均，視為該次案例發生時裂流的寬度，統計結果如**附錄七**所示，裂流寬度介於 12m 至 83 m，平均值約介於 30 m 至 40 m 間，並從**表 2-8**可發現於 W4 和 W11 位置所發現的裂流，寬度通常較大，平均均達到 40 m 以上，而 W3 和 W7 的裂流案例其寬度則相較於其他渠道的裂流較小。裂流發生的延時(即裂流發生的持續時間)可從最短不到 1 小時至最長十小時以上，且不同位置和時間裂流發生的持續時間亦不大相同，統計結果顯示裂流平均發生約為 4 個小時，在位置上 W4 和 W11 發生時間持續最久，可達 5 個小時；從**表 2-9**顯示，各月份裂流發生持續時間並沒有特別久的，但三月份所發生的裂流持續時間較短，平均只有 2.4 個小時，而該月份裂流案例數量亦僅有 8 筆，故初步推測三月份的海氣象環境是不適宜裂流所發展的。

綜上所述，本計畫截至期中報告為止較去年多分析 2022 年 11 月至 12 月的動態影片，整體上外澳海域出現的裂流特性與前期計畫的統計結果並無太大的差異。裂流發生的位置主要分布於外澳海灘的 11 處，裂流發生時長約為 4 小時，裂流寬度約為 30 m 至 40 m 間，裂流好發的位置與期間則主要位於 W11 的位置，以及秋末冬初 10 月至 12 月。此外，今年度增加各位置逐月發生機率的統計，透過該結果可發現，隨著時間海岸線變遷或地形水深變動，不僅各位置發生機率不同，各位置的排名亦會有差別，尤其當有大型天氣系統經過時，可能就會導致裂流好發的位置有明顯不同，而這亦可以說明為何宜蘭縣外澳海域經統計後，大部分的位置均有裂流發生的紀錄。

表 2-8 宜蘭縣外澳海域裂流影像案例發生位置統計表

裂流 位置	案例 數量	延時 (hr)	裂流 寬度(m)	示性波高(m)		平均週期(s)		尖峰週期(s)		與海岸線夾角(°)		平均風速(m/s)		水位(cm)		Ω(海灘類型參數)		RTR(相對潮差)	
				最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最大值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
W1	26	4.4	30.0	1.0	0.7	6.0	5.3	8.4	6.3	63.3	24.0	5.4	2.7	116.9	-214.3	5.1	4.0	2.44	1.89
W2	36	3.8	39.6	1.1	0.9	5.7	5.2	8.3	6.7	57.3	30.2	6.0	3.4	227.1	-42.1	5.5	4.6	2.17	1.87
W3	12	4.8	28.1	1.1	0.8	6.1	5.2	9.2	6.8	66.0	29.9	6.2	2.4	508.3	183.1	5.3	3.8	3.81	1.86
W4	21	5.3	41.5	1.0	0.7	5.8	5.1	8.7	6.8	68.3	26.0	6.3	2.5	260.9	-171.4	5.1	4.0	2.58	1.94
W5	22	4.1	35.5	1.1	0.8	5.8	5.2	8.3	6.7	66.6	35.7	6.6	4.9	292.6	-70.3	5.3	4.4	2.29	1.86
W6	11	4.3	34.6	1.2	0.9	5.7	5.4	8.3	7.1	64.7	42.1	6.6	4.1	459.4	150.6	5.6	4.8	2.05	1.69
W7	7	5.1	26.9	0.9	0.7	6.0	5.1	8.0	6.2	70.7	35.3	5.0	0.2	145.0	-291.6	5.0	3.8	2.26	1.87
W8	30	4.0	33.8	1.2	0.9	6.1	5.5	8.7	7.1	71.0	33.6	6.4	4.3	189.5	-147.8	5.5	4.3	3.15	1.67
W9	15	4.4	33.2	1.1	0.9	5.4	4.8	7.4	6.3	58.2	19.1	4.5	3.2	148.7	-119.0	5.1	4.2	2.95	2.64
W10	23	3.7	31.5	1.0	0.8	5.9	5.4	8.2	6.9	67.7	42.9	6.1	3.9	286.2	-92.6	5.1	4.3	2.83	1.85
W11	39	5.2	42.8	1.2	0.8	5.4	4.7	7.8	6.1	59.8	24.7	5.7	3.2	251.6	-214.9	5.4	4.1	3.53	2.33

表 2-9 宜蘭縣外澳海域裂流影像案例發生每月平均統計表

裂流 位置	案例 數量	延時 (hr)	裂流 寬度(m)	示性波高(m)		平均週期(s)		尖峰週期(s)		與海岸線夾角(°)		平均風速(m/s)		水位(cm)		Ω(海灘類型參數)		RTR(相對潮差)	
				最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
一月	6	4.0	35.2	1.3	1.2	5.8	5.4	8.1	7.1	74.3	55.9	8.5	7.0	157.7	-118.3	6.4	5.7	1.56	1.39
二月	16	3.9	39.8	1.4	1.1	6.0	5.6	8.9	8.1	64.8	50.6	7.7	5.5	470.6	200.8	6.3	5.4	1.59	1.36
三月	8	2.4	42.9	1.2	1.1	6.4	6.0	8.3	7.3	62.7	39.8	6.0	4.1	263.1	92.3	5.4	5.0	1.70	1.57
四月	9	3.6	35.6	1.2	1.0	7.0	6.4	10.1	8.8	69.3	24.0	4.3	3.2	381.3	229.0	5.4	4.5	1.67	1.34
五月	8	3.3	45.5	1.3	0.9	6.4	5.8	9.3	7.5	75.3	52.5	7.4	5.1	2.6	-342.6	5.9	4.6	1.90	1.38
六月	14	4.9	39.6	0.9	0.7	5.5	5.0	7.7	6.1	62.4	24.2	4.8	3.2	167.3	-359.1	4.9	3.1	4.87	2.19
七月	13	4.2	37.4	0.8	0.6	6.0	5.3	8.2	6.9	57.8	22.9	4.2	2.4	96.4	-323.8	4.3	3.3	3.98	2.18
八月	11	4.4	29.4	0.7	0.6	5.2	4.5	7.8	5.9	66.6	20.9	5.3	2.4	198.6	-136.9	4.5	3.8	3.04	2.52
九月	15	4.9	26.1	0.8	0.6	5.9	5.1	9.2	6.7	69.7	25.3	5.3	3.4	495.0	-69.1	4.4	3.4	3.05	2.32
十月	27	4.3	31.0	1.5	1.1	6.1	5.5	9.2	7.6	70.5	30.1	8.5	7.3	313.0	-47.4	6.6	5.5	1.91	1.48
十一月	40	4.7	36.2	0.9	0.7	5.4	4.7	7.3	5.7	56.2	24.5	4.7	1.3	221.0	-137.5	4.9	3.9	2.80	2.34
十二月	18	4.8	37.2	1.3	1.0	6.0	5.3	8.7	6.7	71.1	35.5	6.3	3.5	178.3	-161.4	5.7	4.5	3.39	1.72

表 2-10 各海灘類型和 Ω 值之比對

海灘類型	Wright and Short (1984)	Brander (1999)	林等 (2011)
DIS	>6	--	6
DIS-LBT		--	5.5
LBT		4-6	5
LBT-RBB		3-6	4.5
RBB		3-5	4
RBB-TBR	1-6	2-5	3.5
TBR		2-4	3
TBR-LT		1-4	2.5
LTT		1-3	2
LTT-REF			1.5
REF	<1		1

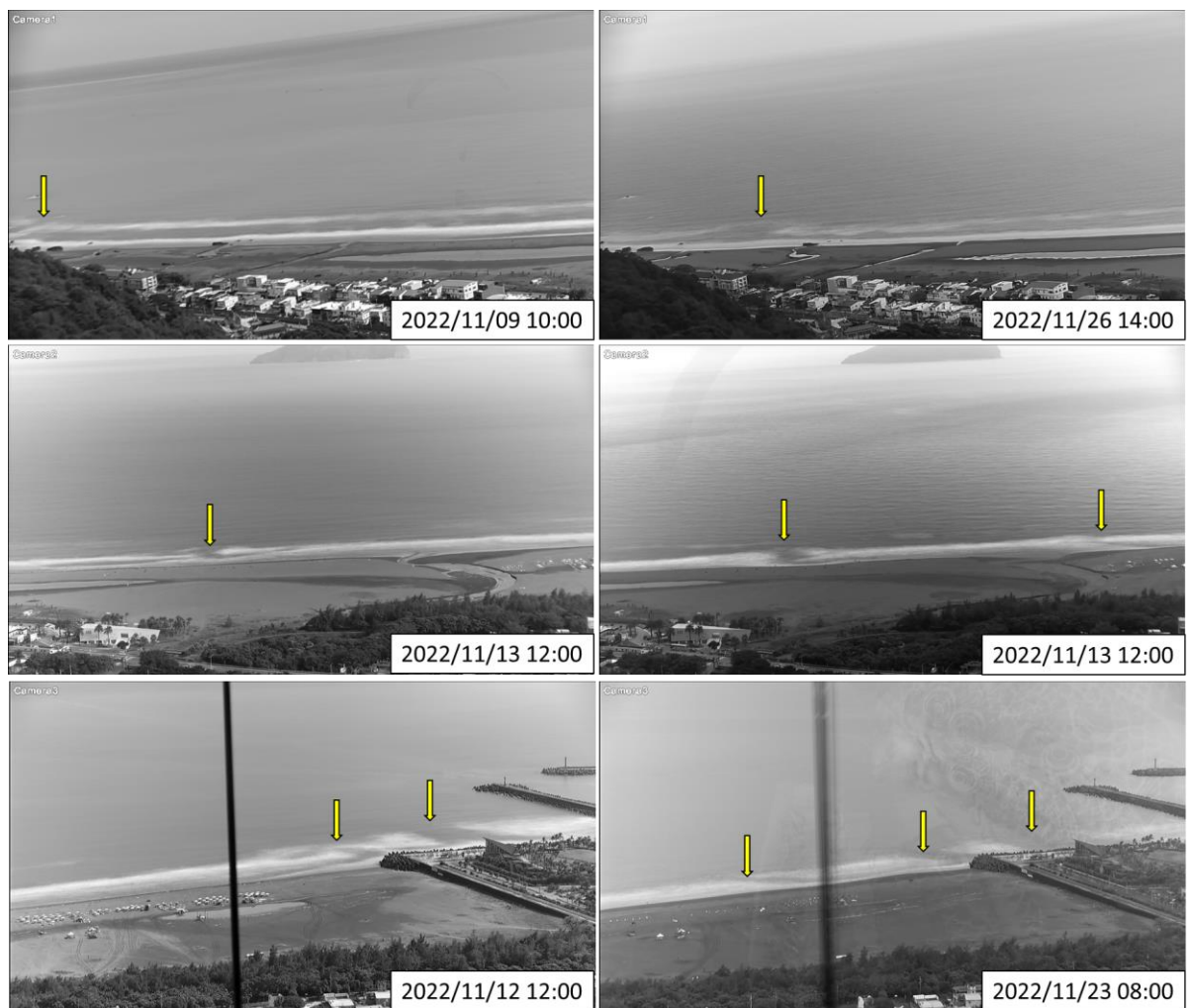


圖 2-24 宜蘭縣外澳裂流監測站觀測之裂流案例示意圖



圖 2-25 宜蘭縣外澳海灘裂流發生位置分布示意圖

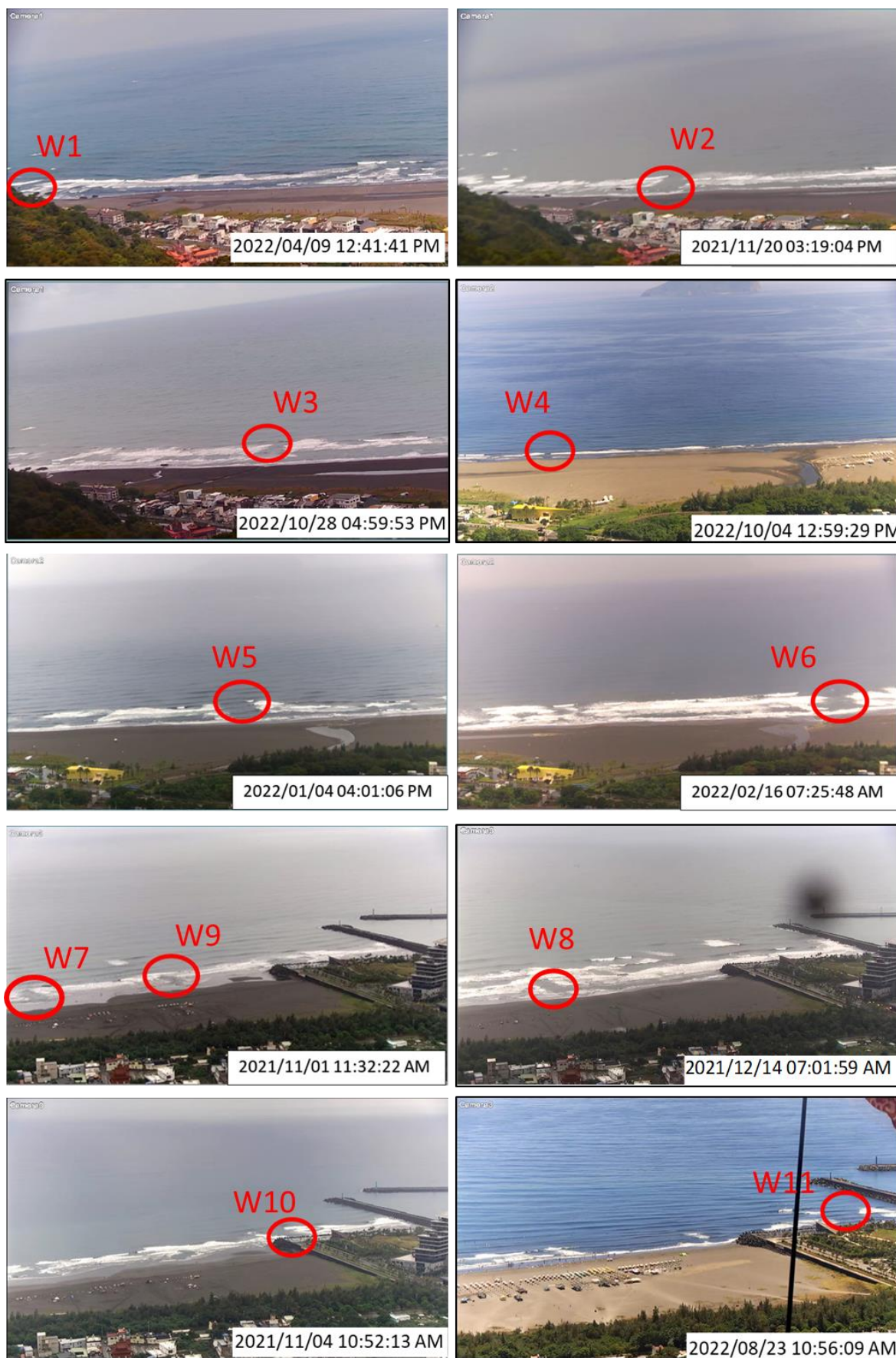


圖 2-26 宜蘭外澳海灘裂流各位置監測站實際拍攝結果

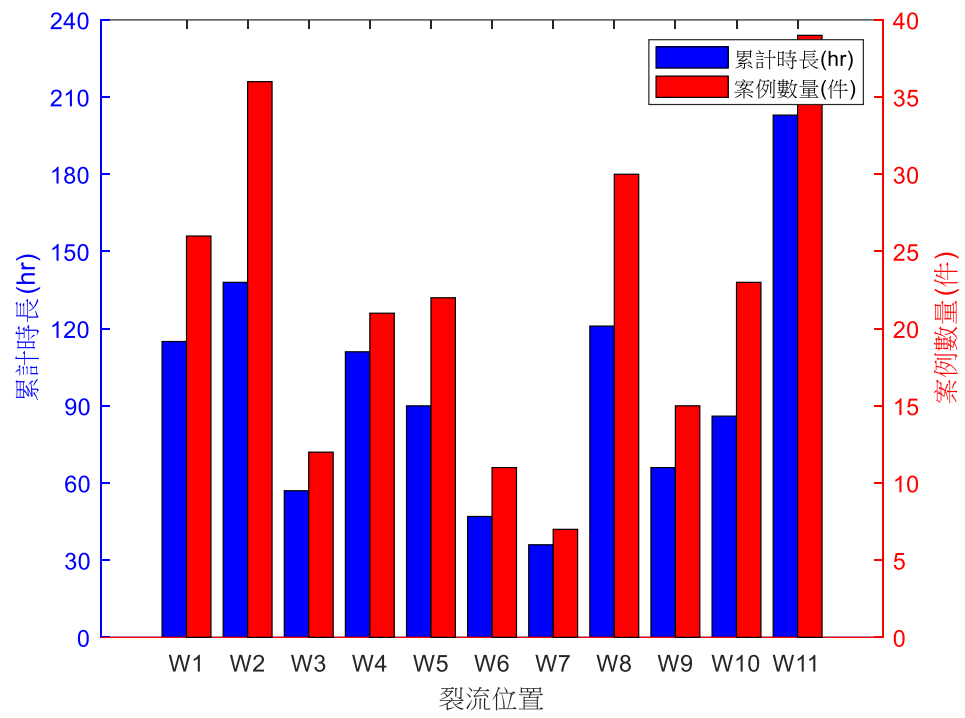


圖 2-27 宜蘭外澳海灘裂流各位置案例數量與累計時長統計結果

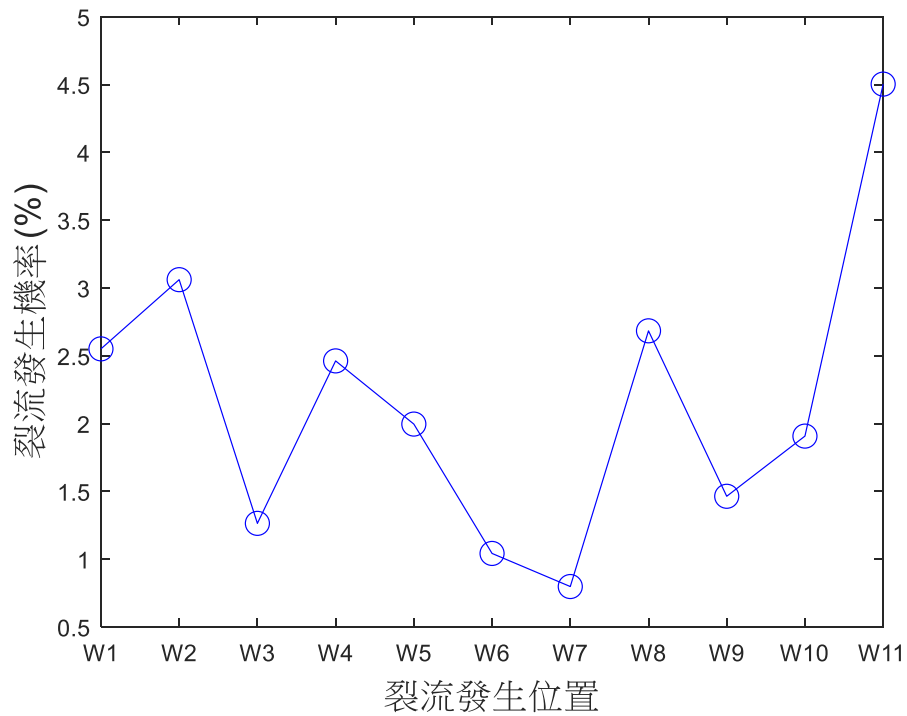


圖 2-28 宜蘭外澳海灘裂流各位置裂流發生機率

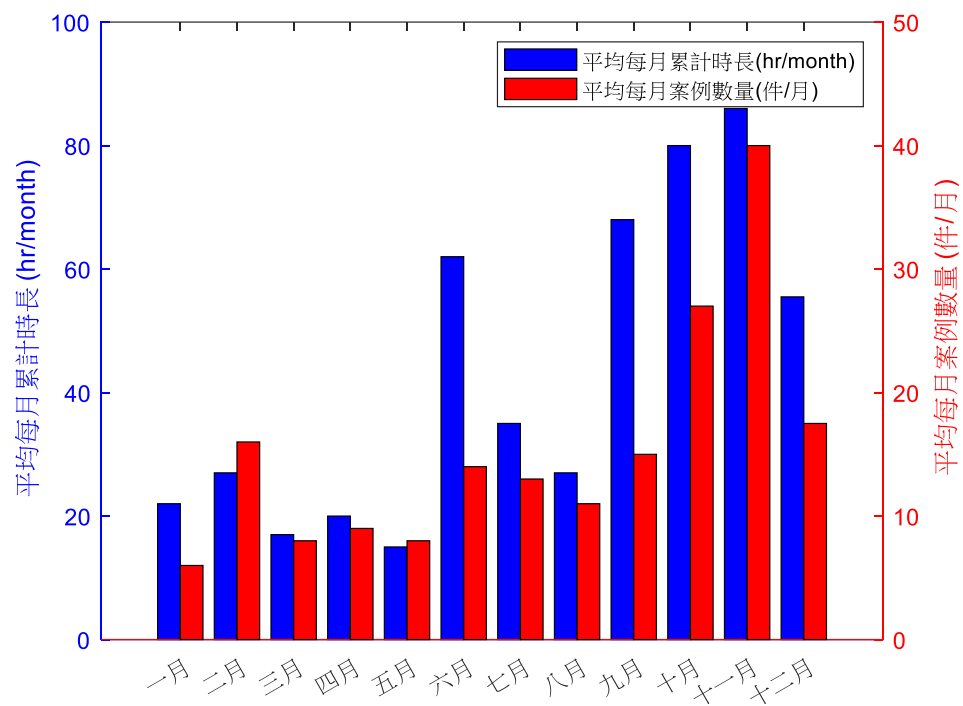


圖 2-29 宜蘭外澳海灘裂流平均各月份案例數量與累計時長統計結果

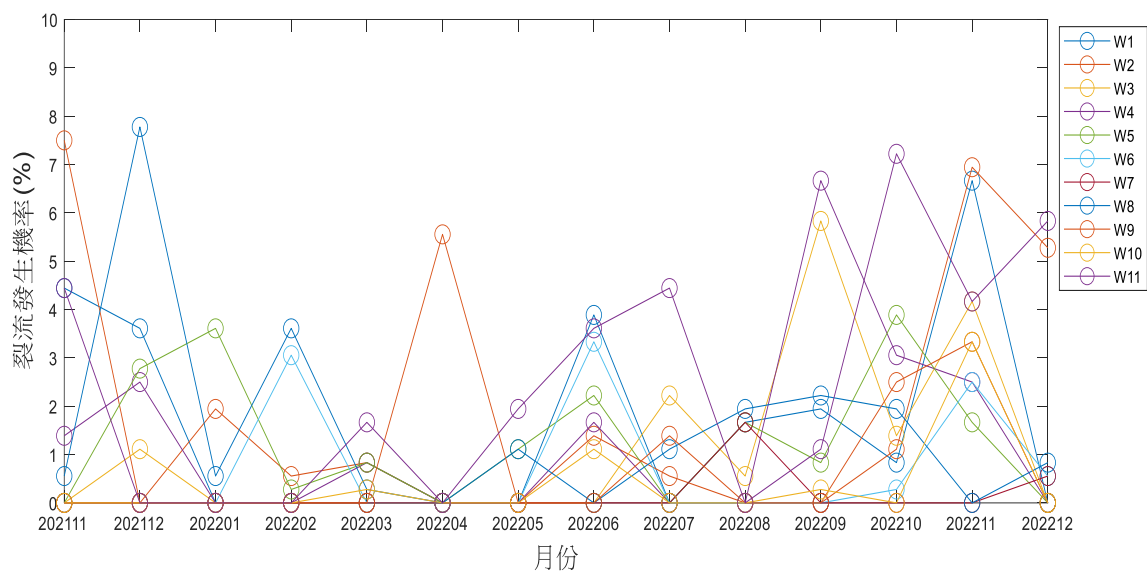


圖 2-30 宜蘭外澳海灘各位置裂流逐月發生機率



圖 2-31 宜蘭外澳海灘裂流位置隨時間變動示意圖
(上.2021/11/07、中.2021/11/25、下.2021/12/29)



圖 2-32 宜蘭外澳海灘於 W4 裂流發生位置海岸地形變遷過程(左.9 月、右.10 月)

2-4-2 宜蘭縣外澳海域裂流發生時海氣象特性分析

在上一節中，本計畫已對宜蘭縣外澳海域裂流發生時的特性進行分析，對裂流發生的時空間分布有一定的瞭解。根據文獻的研究成果，裂流的發生與當下的水動力條件有著顯著的相關性(Lushine, 1991; Engle et al., 2002)，因此，本計畫將延續前期計畫，持續分析裂流發生時的海氣象環境資訊。實測資料的部分將採用距離外澳海灘鄰近 25 公里內的“龜山島浮標”和“烏石漁港潮位站”，根據 Cavaleri et al. (2012)的研究成果，該浮標所測得的海氣象資料是足以代表外澳海灘周的海氣象特性，而統計的海氣象參數的項目則參考前期計畫研究成果，挑選對裂流發生有顯著影響的因素，紀錄的參數類型和方式已於前文中提及，故在此不多加贅述。統計資料經品管過後，242 筆的裂流案例均有實測的波浪資料，而風速部分則有 171 筆。

結果如**附錄七**、**圖 2-33** 和 **圖 2-34** 至所示，以下將分別針對七項海氣象參數進行分析，在裂流發生時示性波高的介於 0.22 - 3.3 m，平均週期介於 3.8 - 8.9 s，尖峰周期則介於 3.1 - 13.1 s，平均風速介於 1.1 - 13.7 m/s，波向與海岸線夾角介於 -16.4° 至 86.7° (正值為波浪向岸邊傳遞，負值則為向離岸方向傳遞)，水位介於 -814 至 827 mm，海灘類型參數 Ω 介於 0.37 - 10.73。本計畫亦進行不分案例的討論，對有裂流發生時的海氣象進行統計(即該小時內有發生裂流則紀錄為累計一小時)，探討前 12.5%至 87.5%區間內，裂流發生期間的海氣象及海灘類型參數分布情形。經統計 242 筆的裂流案例共計發生於 699 個小時內，分析結果如**圖 2-35** 所示，在發生裂流時波高主要介於 0.75 - 1.75 m 間、平均週期介於 5.0 - 6.5 s 間，以及尖峰週期介於 7.5 - 9.5 s；波向與海岸線夾角介於 40° - 80° 間，若以累積機率進行統計(從 90° 向 -90° 統計)，前 75 % 的案例波向與海岸線夾角均大於 60° ；水位的部分則介於 -300 mm 至 566 mm 間，烏石漁港潮位站在監測站觀測期間的平均海水位為 -10.9 mm，而裂流發生期間水位大於該閾值的佔全部案例的 71 %；海灘類型參數介於 3.5 - 6.5 間；風速介於 2.5 - 9.0 m/s 間；而漲潮和退潮兩者比例則相差不大，退潮的案例相較漲潮的案例多，漲潮的案例為 343 筆，退潮的案例為 356 筆。根據上述統計結果，可從以下三點推測裂流發生與波浪堆積造成水位提高有著顯著的關係，包含波浪能量不能太小(波高多大於 1.0 m)、波浪前進的方向近乎垂直海岸線(波向多垂直海岸線偏移 30° 以內)，以及水位則多高於平均海水面(裂流發生時水位有 7 成的比例大於平均值)。而風速小至一級風大至四級風都有裂流的發生，但可以發現當風速大於 10.0 m/s 時裂流發生的案例數量有明顯的下降。

裂流發在漲潮和退潮的比例雖然差距不大，但過去研究多提出當退潮的時候裂流現象會較為明顯(即流速、流幅會較大) (Francisco et al., 2019)。因此，本計畫參考委員提出的建議，對水位和漲退潮現象進行交叉比對，瞭解在觀測結果中漲退潮對裂流發生較不顯著之原因，在分析上本計畫將採用不分案例的統計，將 699 累計有裂流發生的時間段，以藍色為漲潮的案例、紅色為退潮的案例進行表示，並且同時去統計漲潮時有裂流發生時後的水位平均值，和退潮時有裂流發生時候的水位平均值。結果如圖 2-37 所示，退潮時有裂流發生的水位介於-600 至 800 mm 之間，而漲潮時有裂流發生的水位介於-500 至 800 之間，且漲潮時的平均水位為 228 mm、退潮時的平均水位為 87.2 mm，從該結果本計畫認為，漲退潮對裂流發生的影響的統計結果不顯著的主要原因，是因為無論是漲潮或是退潮，均會經歷水位較高的時刻，而水位較高則易導致裂流的發生，但也發現在退潮可在水位較低(水位小於-400 mm)的情況下有裂流發生。然上述裂流發生期間的海況與平時差異不大，並不能肯定當出現上述海氣象條件時就一定會有裂流發生。因此，本計畫將延續前期計畫的做法，透過探討裂流在不同海氣象參數量值區間所發生的條件機率(即計算不同量值下有裂流案例累積發生時間與整體觀測累積時間的比值)，評估上述這些裂流發生案例較多的海氣象條件是否確實為有利於裂流生長的條件，亦或者僅是該些海況本身係屬常見的海況所導致的。根據圖 2-36 結果顯示，在示性波高 1.0 m、平均週期為 5 - 6 秒、尖峰週期為 6 - 8 秒、波向近乎垂直海岸線(波向與海岸線夾角介於 30°)以內、高水位(水位約為 900 mm)，以及海灘類型參數介於 3 至 5 的過渡型海灘時，裂流發生的機率較高，除示性波高外，在該些條件下裂流發生機率達到 5 %以上，甚至波向、水位和海灘類型參數的條件機率超過 10 %。

今(2023 年)度經審查委員的建議加入相對潮差(relative tide range, RTR)的探討，從上段研究成果可得知水位的高低、漲潮或退潮以及兩者間的交互關係都可能會是影響裂流發生的原因之一，RTR 參數最早被應用於探討裂流發生是由 Masselink et al. (1993)所提出的，在 Wright and Short (1984)所提出的海灘類型參數模型上引入 RTR 參數的概念，透過考慮潮差的範圍建立更加完善的海灘分類模型，該分類不僅考慮海灘型態與波浪(碎波)之間的關係，從 RTR 參數的計算公式中，可得知在這個分類模型中同時考慮碎波能量與潮汐間的交互作用，而碎波能量亦是裂流發生原因的因素之一，RTR 參數的計算公式如式(2-9)

$$RTR = TR/H_b \quad (2-9)$$

其中 TR 是某海域長期大潮位的平均值，而則是 H_b 碎波波高。而 Masselink et al. (1993)所提出的海灘分類模型是透過將海灘類型參數 Ω 與相對潮差 RTR 交叉比對進行判定的(如表 2-11 所示)，與 Wright and Short (1984)透過計算海灘類型參數進行分類的模型最大的差異，在於 Masselink 的模型認為即便在 Ω 大於 6 時的消散型海灘(DIS)在相對潮差 RTR 較小的情形下裂流仍有發生的可能性；以及 Wright and Short (1984)認為可能發生裂流的過渡型海灘的低潮位階地型態海灘(Low tide terrace, LTT)，Masselink et al. (1993)認為當相對潮差 RTR 較大(大於 7)時，發生裂流的可能性非常小。本計畫為計算相對潮差 RTR 參數，採用烏石漁港潮位站 2006 年至 2022 年的資料，統計外澳海域長期平均大潮位值(Spring tide range)，而碎波波高的計算方法則與計算海灘類型參數一樣參考 Le Mehaute (1961)所提出之經驗式，如下式(2-10)

$$\frac{H_b}{H_o} = 0.76 \cdot S^{1/7} \cdot \left(\frac{H_o}{L_o}\right)^{-1/4} \quad (2-10)$$

式(2-10)中 H_o 為示性波高、 S 為近岸平均波度、 L_o 為波長。而外澳海域的示性波高和計算波長所需的平均週期將透過龜山島浮標站所取得，近岸的平均坡度則利用科技部海洋資料庫 200 m 解析度的地形資料，透過計算離岸 1 公里內的水深深度得到近岸坡度 S 。各案例所計算的相對潮差 RTR 結果如圖 2-33 和圖 2-34 所示，在裂流發生時，每一起案例的相對潮差 RTR 最大值介於 0.87 至 5.82 間，最小值則介於 0.59 至 4.45 間，而透過將裂流案例離散化，統計有發生裂流當下小時的相對潮差，結果如圖 2-35 顯示在前 12.5%至 87.5%區間大致介於 0.89 至 3.24 間。同樣上述的統計值並不能表示 RTR 在這些參數內就是裂流好發的條件，參考上述分析方法本計畫去計算不同量值下 RTR 參數發生的條件機率，結果如顯示，RTR 參數介於 1.5 至 2.5 間發生機率較高，均超過 15%，且 RTR 參數較小時在外澳海域有較高機率發生裂流。

根據 Masselink et al. (1993)對海灘分類的方法，應需加入海灘類型參數的比較，故本計畫以海灘類型參數為 X 軸、相對潮差 RTR 作為 Y 軸繪製外澳海域裂流發生的散布圖，並且根據表 2-11 和圖 2-38 對海灘分類表示可能發生裂流的區間，其中紅底代表有較高機率會發生裂流、黃底則帶表中度機率會發生裂流、而白底則代表較少機率會發生裂流，點的颜色越接近紅色代表資料數越多、反之藍色則代表資料數越少，結果如圖 2-

38 所示，外澳海域裂流發生時海灘類型參數與相對潮差的關係與 Masselink et al. (1993) 提出的海灘分類模型與裂流發生關係相似，在外澳海域裂流案例中大多數的案例都發生在沙壩型海灘、沙壩消散型海灘以及低潮位沙壩階地形海灘，而這三類的海灘主要是高中度裂流發生的海灘類型，而這也能說明為何前期計畫計算出的海灘類型參數大多介於 4-5 之間，甚至有部分的案例已經為消散型，倘若只單純根據 Wright and Short (1984) 所提出之分類，該些接近完全消散或完全消散型的海灘應是較少有裂流發生，故其原因是在於外澳海域的相對潮差 RTR 數值均較小，故海岸線位置變化較為緩慢，故有足夠的時間讓波浪能量堆積進而產生裂流。此外，本計畫亦統計裂流發生過程潮汐運動的變化(即裂流發生過程是由漲潮到退潮、退潮到漲潮、均是漲潮期間或均是退潮期間)，經統計裂流發生過程最多情況是由退潮到漲潮，共計有 84 筆(占全部案例的 34%)，其次為均是漲潮期間共計有 66 筆，而均是退潮和退潮到漲潮的案例數分別為 49 筆和 43 筆。

本計畫透過將裂流案例與實測的龜山島浮標資料和烏石漁港潮位站進行比對，發現各海氣象參數與海灘類型參數在多數的案例中都介於一定的範圍，也根據 Masselink et al. (1993) 提出的海灘分類方法，增加觀測結果的可信度，也解釋為何外澳海灘的海灘類型參數偏大(介於 4-5 之間)，但這並不代表在該些條件下必定有裂流的發生，裂流的發生並非是單一海氣象環境或是彼此間的線性交互作用產生的，甚至有更多複雜的交互作用存在，本計畫將會於第三章和第四章透過數值模式模擬和經驗統計模式來對裂流的發生機制做更深入的探討。

表 2-11 Masselink et al. (1993) 海灘分類模型對照表

海灘類型參數 Ω	相對潮差 RTR	分類
$\Omega < 2$ (反射型)	$RTR < 3$	完全反射型 (無裂流)
	$3 \leq RTR \leq 7$	低潮位階地型 (有裂流)
	$RTR > 7$	低潮位階地型 (無裂流)
$2 \leq \Omega \leq 5$ (過渡型)	$RTR < 3$	沙壩型 (有裂流)
	$3 \leq RTR < 7$	低潮位階地/沙壩型 (有裂流)
$\Omega > 5$ (消散型)	$RTR < 3$	消散/沙壩型 (有裂流)
	$RTR > 3$	消散型 (無裂流)
$\Omega > 2$ (完全消散型)	$RTR > 7$	完全消散型 (無裂流)

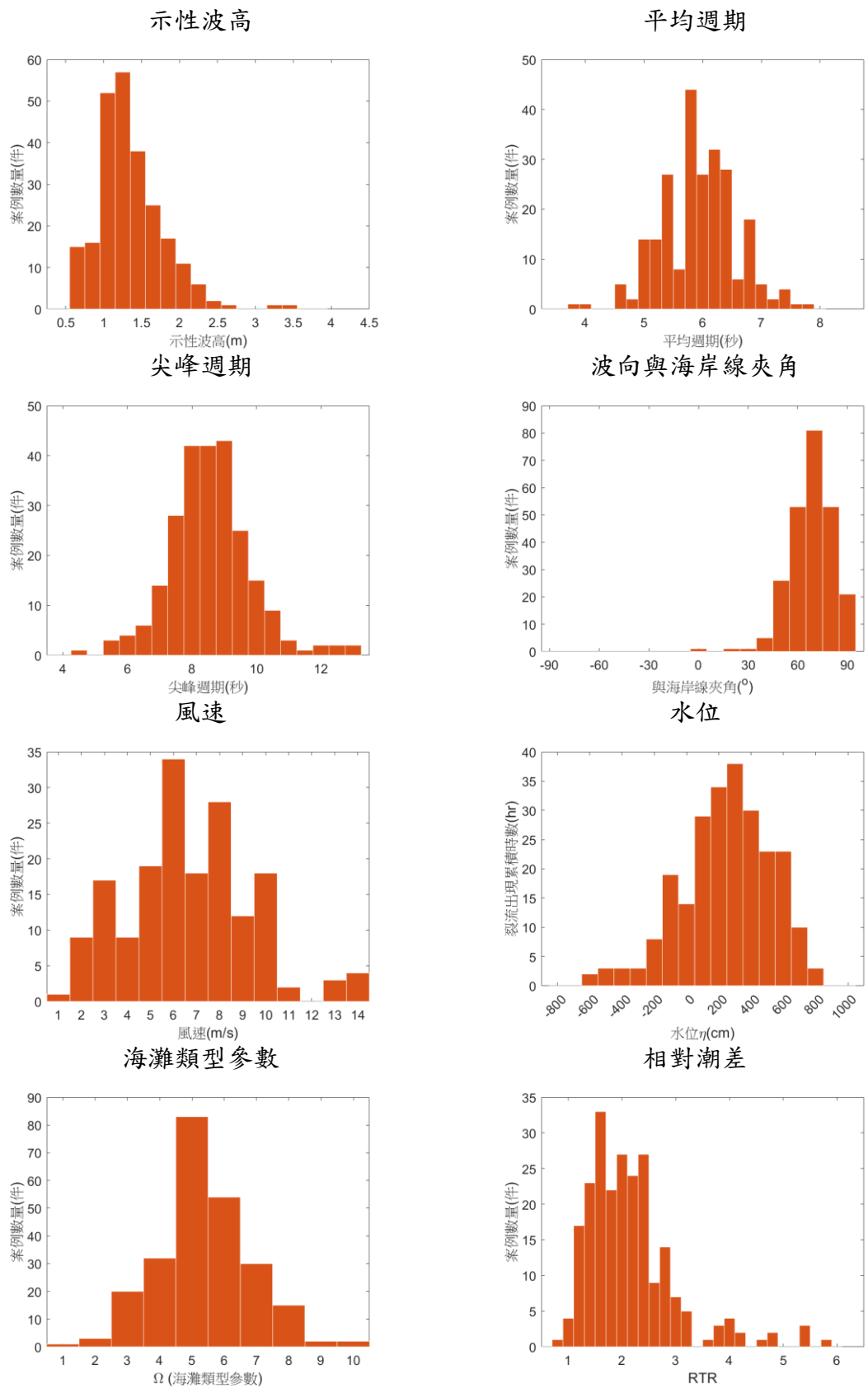


圖 2-33 宜蘭縣外澳海域裂流發生期間海氣象參數最大值
(資料時間: 2021 年 10 月 15 日至 2022 年 12 月 31 日)

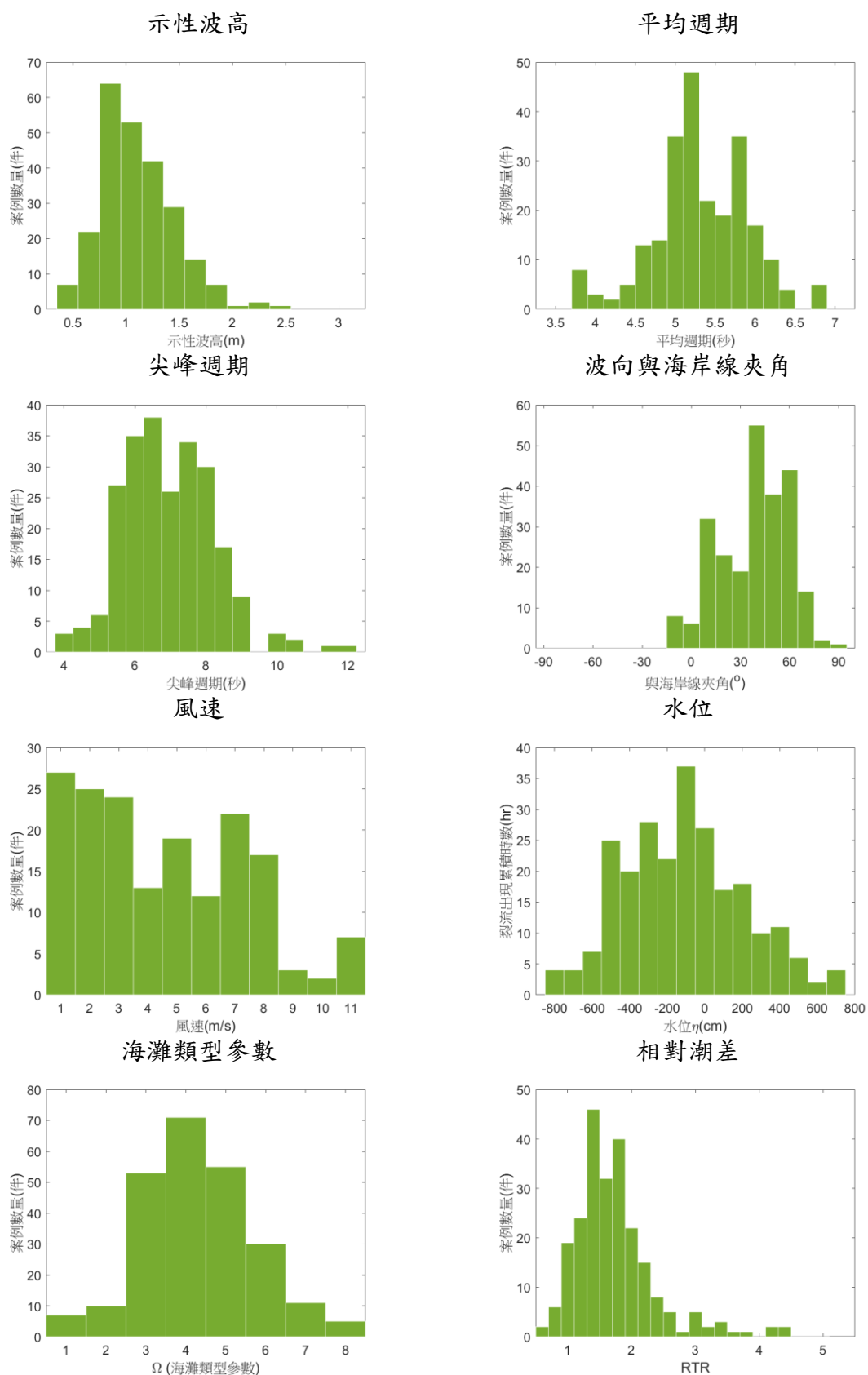


圖 2-34 宜蘭縣外澳海域裂流發生期間海氣象參數最小值
(資料時間:2021 年 10 月 15 日至 2022 年 12 月 31 日)

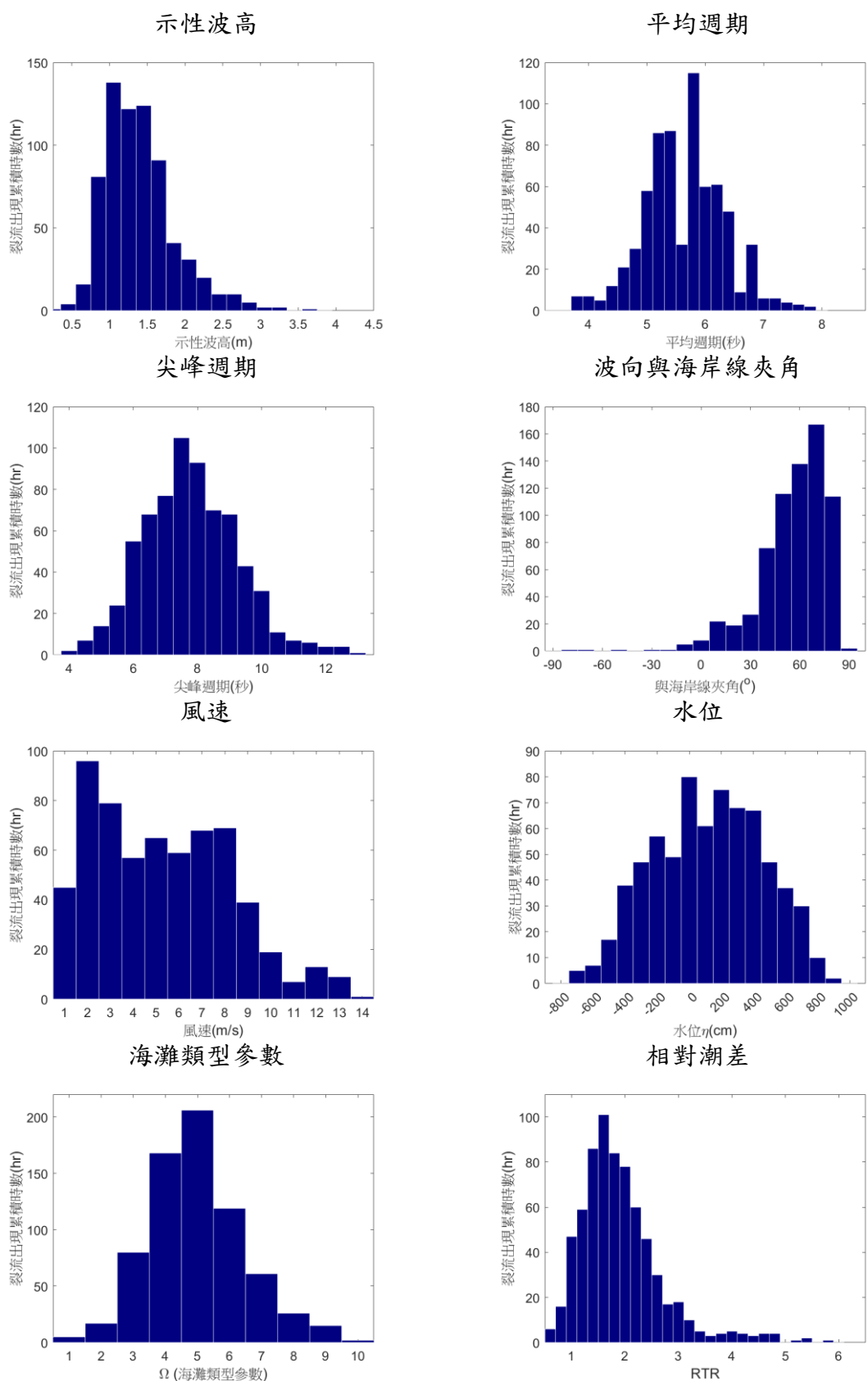


圖 2-35 宜蘭縣外澳海域裂流發生時間海氣象參數累計時長
(資料時間:2021 年 10 月 15 日至 2022 年 12 月 31 日)

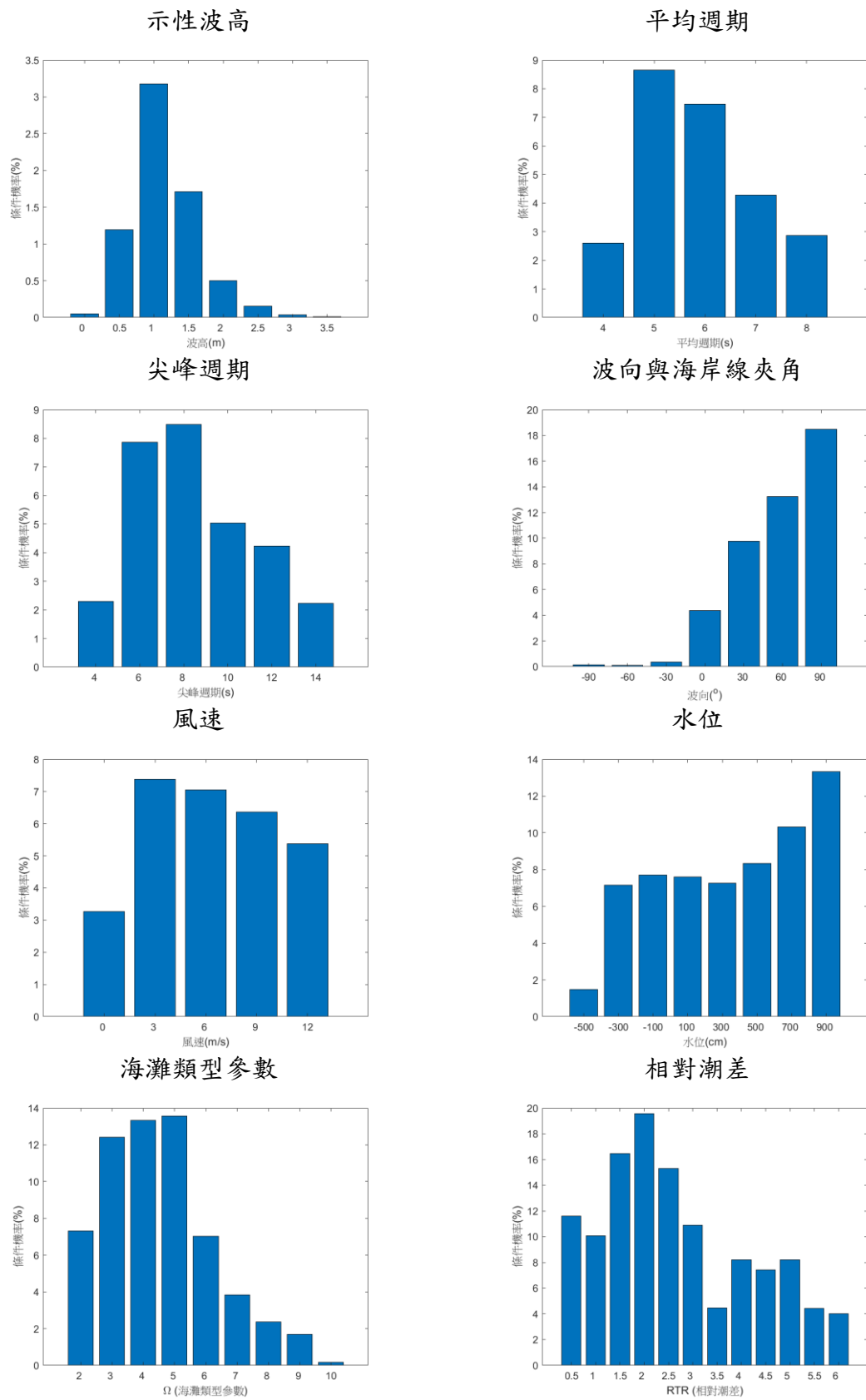


圖 2-36 宜蘭縣外澳海域不同海氣象條件裂流發生之條件機率
(資料時間:2021 年 10 月 15 日至 2022 年 12 月 31 日)

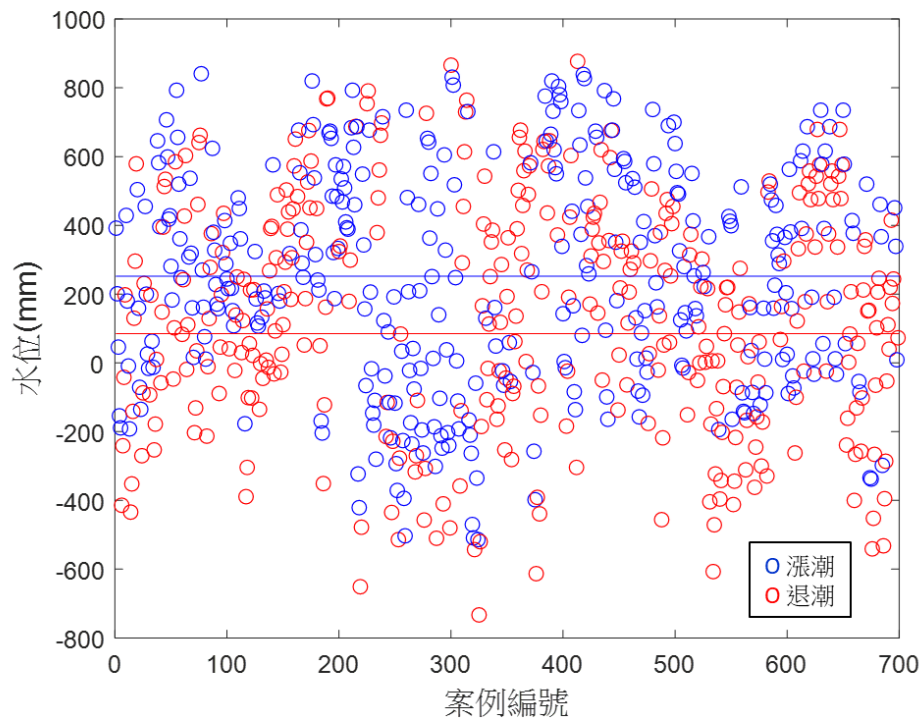


圖 2-37 宜蘭縣外澳海域不分案例裂流於漲退潮出現之水位
(資料時間:2021 年 10 月 15 日至 2022 年 12 月 31 日)

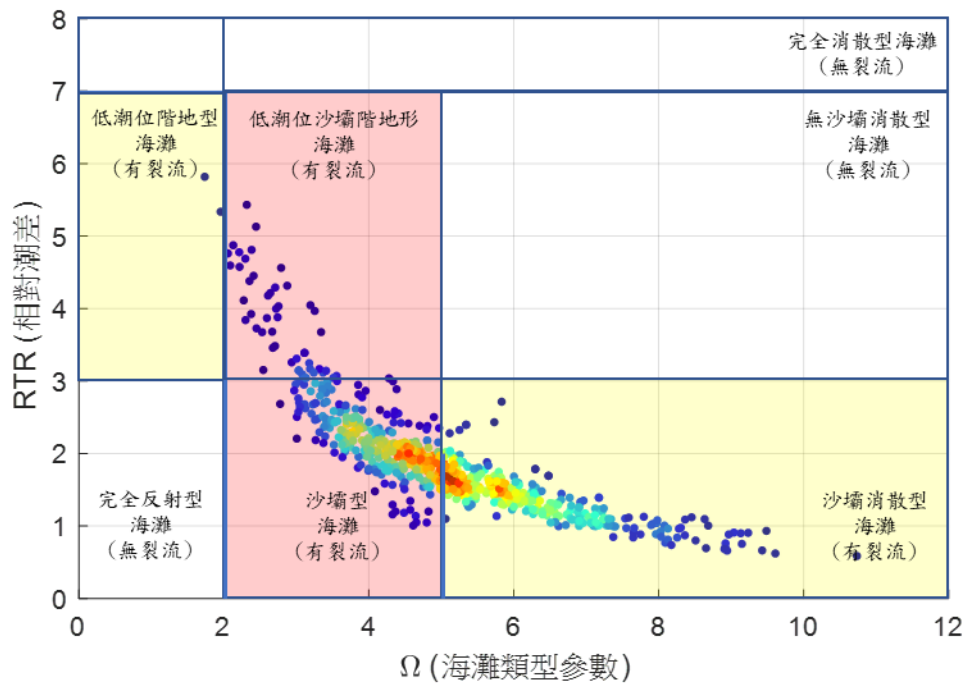


圖 2-38 宜蘭縣外澳海域裂流發生下海灘類型參數與相對潮差關係圖(紅底. 高機率發生裂流、黃底. 中機率發生裂流、白底. 低機率發生裂流)
(資料時間:2021 年 10 月 15 日至 2022 年 12 月 31 日)

2-4-3 福隆、沙崙和大里監測站裂流觀測結果

宜蘭縣大里、新北市沙崙和福隆監測站已於去(2022 年)年 11 月第二年度計畫執行期間完成建置，於今(2023 年)年 2 月 20 日正式啟用，開始記錄海岸邊動態影片，在這期間本計畫團隊建立乙套作業化影片回傳程式，透過擷取現場拍攝影片傳至氣象署期間的訊號，以每小時一個檔案進行剪輯，並於傍晚 5 點後將影像回傳至研究團隊進行分析。如所有光學影像，受限於光線影響，故影片時間僅記錄上午六時至下午六時共計 12 小時的影像，且當天候不佳、攝影機調整等時刻則無法有效地進行影像分析。另，上文中已述，去(2022 年)所採用的網路設備是氣象署內部企業數據網路(MDVPN)，透過擷取現場影像回傳至氣象署這段過程中的訊號，在考量網路傳輸速率、影像的連續性以及裂流時間尺度大小，在影像幀數上設置為 8 fps (即每一秒的影片有 8 張影像)，裂流發生時間通常數十分鐘以上，而波浪的週期約為 6 秒，故本計畫認為此設置，仍是足以將影像進行平均，找出近岸海表面的碎波帶特徵進而對裂流影像進行分析。

截至期末報告繳交，福隆、沙崙和大里三座監測站已分析 2023 年 2 月 20 日至 2023 年 6 月 31 日，四個月以上的動態影片，可有效進行分析累積影片時長達 1362 小時。裂流案例判釋結果表 2-12 至表 2-14 所示，新北市福隆監測站蒐集 145 筆的裂流案例，累計裂流發生小時數達 503 小時，平均每起裂流案例持續時間約為 3.46 小時，裂流出現的位置則可分為 8 區，分別為攝影機一中福隆東興宮前的(F1[N 25.0201°,E121.9478°])和雙溪出海口南側的(F2[N 25.0200°,E121.9468°])，攝影機二中雙溪出海口北側的(F3[N 25.0210°,E121.9455°])、彩虹橋正前方海域的(F4[N 25.0217°,E121.9448°])和彩虹橋北側海域(F5[N 25.0221°,E121.9443°])，以及攝影機三中分別由南向北的三個位置(F6[N 25.0223°,E121.9441°]、F7[N 25.0228°,E121.9434°]和 F8[N 25.0238°,E121.9422°])，福隆監測站實際拍攝到裂流的情形與裂流分布位置如圖 2-39 和圖 2-40 所示。

於福隆監測站所架設的攝影機位置距離海岸較近，故可透過海水退潮後看到海底地形的水深，從中不僅可以發現地形水深隨著時間變遷，也可以更清楚瞭解到地形對於裂流發生的影響。從表 2-12 顯示，在影像開始回傳初期，為於 F1 和 F2 兩位置少有裂流發生，直至四月底後裂流數量才有明顯上升，如所示從退潮時監測站的拍攝畫面，可以發現在該區域有明顯的橫向沙洲(如圖 2-41 所示)，且由於橫向沙洲長度並不長，隨著漲退潮影響海水淹沒這個沙壩的時間大約 3-4 個小時左右，從表 2-15 的統計結果顯示

在 F1 和 F2 兩處的裂流持續時間平均分別為 3.75 和 3 個小時，與福隆海域其他位置發生的裂流現象有明顯差異。此外，在第三隻攝影機所拍攝到的三個裂流位置(F6、F7 和 F8)在 2 至 5 月間均有拍攝到 F8 的裂流案例，然而到 6 月份時，不僅 F8 位置沒有觀測到裂流，第一支攝影機和第二支攝影也均未拍到裂流案例，初步評估 6 月份時海況較為良好，故沒有足夠的波浪能量引致裂流的發生，而 F6 和 F7 之所以有觀測到裂流，從退潮時所觀測到的地形，發現在 F6 和 F7 之間有沙丘(如所示)，初步評估當外海波浪入射近岸時受到該沙丘的波物和流物交互作用，繞射或折射效應引致裂流的發生，從表 2-15 統計結果也可以發現在 F6 和 F7 發生裂流的平均浪高較其他位置小。

如表 2-13 所示，新北市沙崙監測站蒐集 47 筆的裂流案例，累計裂流發生小時數達 127 小時，平均每起裂流案例持續時間約為 2.7 個小時，裂流發生的位置主要有四區，可根據漲潮和退潮進行區分，如圖 2-43 所示黃色箭頭為漲潮時拍攝到的裂流案例、紅色箭頭則為退潮時拍攝到的裂流案例，沙崙監測站第一支設影機拍攝的範圍較靠近防風林，故僅在漲潮時方能觀測到裂流，且目前僅發現一處裂流渠道為於公司田溪出海口南側的(S1[N 25.1914°,E121.4183°])，而第二支攝影機拍攝離防風林較遠的位置，在此處無論是漲潮或退潮均有裂流發生，分別位於 S1 向外海延伸的(S2[N 25.1923°,E121.4179°])、綠野馬術文創園區正前方海域的(S3[N 25.1919°,E121.4169°])以及淡水水上救生會正前方海域的(S4[N 25.1900°,E121.4159°])。如同福隆監測站攝影機一樣，目前拍攝的範圍和解析度足以讓本計畫探討地形和漲退潮對裂流的影響，在漲退潮對裂流影響的部分，由於沙崙的地形較為平緩，導致海岸線變化的範圍相當的大，可達 200 公尺，故退潮時較近岸的地區沒有海水、而漲潮時較外海的地區水深又太深已超過裂流容易發生的近岸碎波帶區域，這就導致在沙崙監測站所拍攝到的裂流案例持續發生的時間較短，甚至在 S2 位置發生的裂流案例平均發生延時僅有 1.67 小時，這個現象與新北市沙崙海灘 S1 和 S2 有著類似的情況。地形對裂流的影響可從 S1 裂流發生情形來看，根據表 2-13 所示，在 6 月底時 S1 位置連續五天都有裂流案例的發生，這是因為在 6 月底時原本在近岸區域平直的海岸線，經長期冲刷下逐漸形成一個沙灣的地形(如圖 2-45 所示)，因而形成一個適合裂流發展的環境；另一個影響裂流發生的地形因素出現在 S4 位置，從圖 2-46 顯示可以明顯看出 S4 位置上有明顯的沙壩斷裂處，也就是所謂的沙洲槽溝地形，但由於長度不長，結合上述結論受到漲退潮的影響，該處的裂流發生時間相當的短暫。

宜蘭縣大里監測站蒐集到 23 筆的裂流案例，累計裂流發生小時數達 152 小時，平

均每起裂流案例持續時間約為 6.6 個小時，然大里監測站雖然經過多次拍攝位置和範圍的調整(已於 2-1 節中詳述)然目前仍僅在 D1[N 24.9634°,E121.9224°]大里漁港北側防波堤旁發現有裂流的發生(如圖 2-47 和圖 2-48 所示)，而由於受到潮汐往復的影響，海流在結構物旁受到繞射也會呈現平行海岸線向岸或離岸的流場，這也可以說明為何該處的裂流發生持續時間約為半個潮汐週期 6 小時，同時從表 2-15 統計結果顯示，在 D1 處發生裂流當下的示性波高並未超過 1 公尺，其原因初步推測該處的裂流現象並非是傳統上受到地形不均波浪產生輻射應力引致的，而是波浪入射近岸時受到淺化影響導致的。

由於目前該三座監測站僅分析 2023 年 2 月至 6 月期間，倘若探討各海氣象條件下裂流發生的機率，恐因會有季節特性的影響導致分析結果並不真，加上在這過程中攝影機拍攝的範圍和角度都有在陸續的進行修正，若以目前蒐集的案例進行整體上的分析亦並不大(即統計結果尚無法作為該三處海域，裂流可能發生之海氣象條件)。但本計畫仍將三座監測站所觀測到的裂流案例進行裂流發生期間海氣象條件最大值和最小值進行統計，初步探討該三座監測站在這五個月內裂流發生當下的海氣象環境資訊。結果如圖 2-49 和圖 2-50 所示，經分析福隆、沙崙和大里三座監測站整體發生裂流的海氣象條件與外澳監測站觀測結果相似，波高範圍多為 1.0 m、波向則多垂直海岸線偏移 40° 以內，水位多高於平均海面(由於各潮位站所測得的水位基準點均不相同，故在統計前透過多項式擬合的方式去趨勢後，並以平均水位修正偏差值，使水位資料以 0 為基準點)、海灘類型參數介於 2-5 間的過渡型海灘以及相對潮差 RTR 參數除沙崙測站外大多為於 1.2 左右。

綜上所述，福隆、沙崙和大里三座監測站目前可順利運作，且拍攝位置均已固定，在影像分析上也相當的順利，可準確的擷取出有裂流案例的時間點，於 2023 年 2 月至 6 月間共計蒐集 215 筆的裂流案例，分布於 13 處。此外，由於該三座監測站拍攝距離和解析度相較於外澳海域清晰，可供本計畫探討地形和潮差對裂流的影響，在潮差部分從福隆 F1 和沙崙 S1 至 S4 的裂流案例可以看到，當漲退潮導致海岸線變化劇烈時，裂流發生的持續時間會明顯較短；而地型上，初步認為在有適合裂流發展的地型條件，較小的波浪能量也能造成裂流的發生，如結構物旁的 D1 和福隆的 F1 位置，而沙崙的 S1 和 S4 地形雖然也是常見會發生裂流的環境，但根據統計結果，其波浪條件仍超過 1 公尺，初步推測前者是因為海灣地形可能需要較強勁的波浪能量匯聚方能產生裂流，後者

則是因為沙洲槽溝的槽溝寬度太窄因而導致仍需較大的波浪。由於目前資料數量仍有限，待後續建置新的監測站獲取不同地形下裂流發生的案例，以及持續分析該些測站的影片，方能提出更多證據進行說明。

表 2-12 本計畫在新北市福隆蒐集之裂流案例清單(觀測時間：2023/02/20 至 2023/06/30；資料來源：攝影機、浮標和潮位站資料)

編號	起始時間	結束時間	位置	延時 (hr)	示性波高(m)		平均週期(s)		尖峰週期(s)		與海岸線夾角 (°)		平均風速(m/s)		水位(cm)		Ω(海灘類型參數)		相對潮差 RTR	
					最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
Fulung001	2023022717	2023022717	F6	1	1.0	1.0	5.7	5.7	7.2	7.2	69.5	69.5	4.9	4.9	-370	-370	5.1	5.1	1.23	1.23
Fulung002	2023022809	2023022814	F6	6	1.6	1.3	6.3	5.9	8.1	7.5	69.5	35.5	3.7	-5.0	103	-62	7.1	6.0	0.94	0.81
Fulung003	2023022810	2023022816	F4	7	1.8	1.4	6.8	5.9	8.2	7.5	69.5	35.5	4.0	-5.0	90	-143	7.1	6.2	0.91	0.71
Fulung004	2023030106	2023030113	F4	8	1.1	0.8	6.8	5.9	9.4	6.2	69.5	24.5	7.0	-5.0	184	76	5.0	4.2	1.37	1.04
Fulung005	2023030106	2023030109	F7	4	1.0	0.9	6.3	5.9	8.0	6.2	69.5	58.5	1.2	-5.0	184	159	4.9	4.6	1.29	1.16
Fulung006	2023030112	2023030113	F6	2	1.0	0.8	6.5	6.2	7.8	7.6	58.5	24.5	7.0	5.6	92	76	4.6	4.2	1.37	1.21
Fulung007	2023030117	2023030117	F7	1	0.7	0.7	6.0	6.0	8.9	8.9	80.5	80.5	7.0	7.0	-46	-46	3.7	3.7	1.64	1.64
Fulung008	2023030810	2023030814	F2	5	0.5	0.4	6.2	4.8	10.6	6.1	58.5	24.5	5.6	3.4	-23	-254	3.1	2.7	2.93	1.98
Fulung009	2023030810	2023030816	F5	7	0.6	0.4	6.7	4.8	10.6	6.1	58.5	13.5	5.6	3.0	-23	-254	3.3	2.7	2.93	1.67
Fulung010	2023030811	2023030816	F7	6	0.6	0.4	6.7	4.8	9.6	6.1	35.5	13.5	5.6	3.0	-41	-254	3.3	2.7	2.93	1.67
Fulung011	2023030811	2023030817	F8	7	0.6	0.4	6.7	4.8	9.6	6.1	35.5	13.5	5.6	3.0	130	-254	3.4	2.7	2.93	1.67
Fulung012	2023030906	2023030909	F2	4	0.6	0.0	5.9	-2.0	9.3	-2.0	41.5	13.5	2.8	-5.0	254	62	3.4	0.5		
Fulung013	2023030909	2023030917	F8	9	0.6	0.2	7.1	4.4	10.0	6.5	88.5	1.5	8.1	2.1	157	-260	3.3	1.8	4.77	1.77
Fulung014	2023030910	2023030916	F7	7	0.6	0.2	7.1	4.4	10.0	6.5	88.5	13.5	8.1	4.9	38	-260	3.1	1.8	4.77	1.77
Fulung015	2023030912	2023030915	F2	4	0.6	0.2	7.1	4.4	9.6	6.5	69.5	13.5	8.1	5.1	-39	-260	2.9	1.8	4.77	1.77
Fulung016	2023030913	2023030915	F2	3	0.6	0.2	7.1	4.4	9.6	6.5	69.5	13.5	8.1	6.8	-39	-260	2.9	1.8	4.77	1.77
Fulung017	2023030913	2023030916	F5	4	0.6	0.2	7.1	4.4	9.6	6.5	69.5	13.5	8.1	5.6	-39	-260	2.9	1.8	4.77	1.77
Fulung018	2023031009	2023031013	F5	5	0.7	0.6	5.1	4.7	8.0	4.8	80.5	35.5	3.0	-5.0	239	-294	4.2	3.8	2.06	1.73
Fulung019	2023031009	2023031017	F8	9	0.7	0.6	5.9	4.7	10.0	4.8	80.5	13.5	3.0	-5.0	239	-365	4.2	3.2	2.06	1.68
Fulung020	2023031010	2023031013	F7	4	0.7	0.6	5.0	4.7	5.3	4.8	80.5	58.5	3.0	-5.0	104	-294	4.2	3.8	2.06	1.73
Fulung021	2023031011	2023031016	F2	6	0.7	0.6	5.9	4.7	9.4	4.8	80.5	13.5	3.0	-5.0	-57	-365	4.2	3.2	1.98	1.72
Fulung022	2023031107	2023031117	F8	11	0.9	0.6	5.8	4.6	9.3	4.9	69.5	13.5	5.5	2.3	279	-379	5.1	3.6	1.99	1.43
Fulung023	2023031110	2023031115	F2	6	0.8	0.7	5.8	4.8	8.8	5.6	69.5	13.5	5.5	4.0	157	-379	4.7	3.8	1.81	1.54
Fulung024	2023031110	2023031116	F7	7	0.8	0.6	5.8	4.8	8.8	5.6	69.5	13.5	5.5	4.0	157	-379	4.7	3.6	1.99	1.54
Fulung025	2023031112	2023031116	F5	5	0.8	0.6	5.8	4.8	8.8	5.6	69.5	13.5	5.5	4.7	-135	-379	4.2	3.6	1.99	1.54
Fulung026	2023031211	2023031215	F7	5	0.7	0.5	5.8	4.9	10.6	5.2	58.5	24.5	5.0	1.7	136	-333	3.7	3.0	2.34	1.69
Fulung027	2023031211	2023031217	F8	7	0.7	0.4	5.8	4.6	10.6	5.2	69.5	24.5	6.3	1.7	136	-370	4.0	2.8	2.73	1.69
Fulung028	2023031212	2023031213	F2	2	0.5	0.5	5.0	4.9	6.0	5.2	58.5	58.5	2.1	1.9	-16	-130	3.3	3.2	2.34	2.28
Fulung029	2023031212	2023031215	F5	4	0.5	0.5	5.7	4.9	10.6	5.2	58.5	46.5	5.0	1.9	-16	-333	3.3	3.0	2.34	2.06
Fulung030	2023031507	2023031516	F8	10	1.0	0.7	6.2	5.2	8.9	6.7	69.5	35.5	7.1	-5.0	255	-191	5.1	3.9	1.72	1.17

Fulung031	2023031513	2023031516	F5	4	0.8	0.7	5.8	5.2	8.9	6.7	69.5	46.5	5.9	-5.0	78	-191	4.5	3.9	1.72	1.49
Fulung032	2023031616	2023031617	F8	2	0.7	0.6	5.0	5.0	8.2	6.4	69.5	58.5	-5.0	-5.0	-10	-109	4.2	3.8	1.96	1.73
Fulung033	2023031706	2023031716	F8	11	0.9	0.8	6.1	5.3	8.0	7.2	88.5	58.5	8.6	-5.0	235	32	4.8	4.4	1.50	1.28
Fulung034	2023031709	2023031716	F7	8	0.9	0.8	6.1	5.3	8.0	7.2	88.5	58.5	8.6	2.4	155	32	4.8	4.4	1.50	1.28
Fulung035	2023031716	2023031716	F6	1	0.9	0.9	5.9	5.9	7.3	7.3	88.5	88.5	2.9	2.9	32	32	4.5	4.5	1.36	1.36
Fulung036	2023031906	2023031917	F8	12	1.6	1.0	6.6	5.0	9.1	7.7	88.5	58.5	4.4	-5.0	325	-24	6.9	5.2	1.24	0.81
Fulung037	2023032006	2023032017	F8	12	1.0	0.6	6.2	5.5	8.9	7.0	88.5	46.5	8.4	1.7	455	-119	5.1	3.5	1.78	1.17
Fulung038	2023032106	2023032115	F8	10	0.8	0.5	6.1	5.0	8.8	5.6	80.5	24.5	6.8	-5.0	313	-182	4.4	3.0	2.11	1.52
Fulung039	2023032211	2023032216	F8	6	0.5	0.4	6.0	4.8	8.3	6.2	35.5	1.5	2.9	-5.0	89	-286	3.4	2.6	2.88	2.14
Fulung040	2023032313	2023032316	F8	4	0.6	0.3	5.8	4.2	6.3	4.3	88.5	46.5	9.7	-5.0	-261	-356	4.2	2.2	2.99	2.07
Fulung041	2023032910	2023032913	F4	4	1.8	1.3	5.7	5.1	7.3	6.5	80.5	46.5	1.8	-5.0	161	15	7.9	6.2	1.05	0.78
Fulung042	2023040111	2023040116	F7	6	1.3	0.8	6.7	5.8	9.1	7.1	88.5	69.5	4.9	2.3	135	19	5.8	4.2	1.48	0.94
Fulung043	2023040112	2023040117	F4	6	1.3	1.0	6.7	6.0	9.1	7.1	88.5	69.5	4.9	2.3	135	19	5.8	4.8	1.24	0.94
Fulung044	2023040113	2023040117	F3	5	1.3	1.0	6.7	6.0	9.1	7.8	88.5	69.5	4.9	2.3	135	52	5.8	4.8	1.24	0.94
Fulung045	2023040113	2023040113	F6	1	1.2	1.2	6.7	6.7	8.5	8.5	69.5	69.5	4.5	4.5	66	66	5.2	5.2	1.02	1.02
Fulung046	2023040206	2023040217	F4	12	1.1	0.7	5.8	5.0	9.6	7.8	80.5	46.5	4.4	2.5	208	4	5.4	4.2	1.75	1.19
Fulung047	2023040206	2023040217	F3	12	1.1	0.7	5.8	5.0	9.6	7.8	80.5	46.5	4.4	2.5	208	4	5.4	4.2	1.75	1.19
Fulung048	2023040308	2023040317	F4	10	1.3	0.8	6.1	5.0	8.8	5.8	88.5	46.5	6.9	1.4	316	-29	6.2	4.7	1.54	0.96
Fulung049	2023040609	2023040611	F8	3	1.1	0.7	5.9	5.0	12.8	7.5	80.5	69.5	1.5	-5.0	151	-166	5.3	4.2	1.62	1.15
Fulung050	2023040811	2023040816	F6	6	1.9	1.3	6.4	5.2	8.5	6.8	88.5	80.5	9.0	6.1	-180	-582	8.5	6.5	1.04	0.70
Fulung051	2023040913	2023040915	F6	3	1.2	0.9	6.7	6.6	10.0	8.8	69.5	35.5	4.5	4.1	-481	-645	5.3	4.4	1.23	0.99
Fulung052	2023041008	2023041011	F8	4	0.9	0.6	5.8	5.2	8.5	7.2	58.5	35.5	4.9	2.3	360	-30	4.6	3.6	1.78	1.39
Fulung053	2023041010	2023041016	F6	7	0.8	0.5	6.6	4.8	8.5	7.2	58.5	24.5	6.4	4.6	171	-604	4.4	3.2	2.19	1.44
Fulung054	2023041109	2023041115	F8	7	0.7	0.4	5.4	4.6	6.5	5.0	58.5	35.5	4.5	1.2	355	-464	4.5	2.7	2.86	1.67
Fulung055	2023041110	2023041117	F4	8	0.7	0.4	5.4	4.6	6.5	5.0	58.5	13.5	5.4	1.2	287	-542	4.1	2.7	2.86	1.83
Fulung056	2023041807	2023041814	F7	8	0.6	0.5	4.9	4.1	6.6	5.1	69.5	1.5	9.6	5.5	198	-251	3.9	3.2	2.57	2.08
Fulung057	2023042217	2023042217	F2	1	1.9	1.9	7.0	7.0	7.6	7.6	88.5	88.5	2.4	2.4	-285	-285	7.2	7.2	0.69	0.69
Fulung058	2023042514	2023042517	F8	4	1.2	0.8	6.5	6.0	8.9	7.3	88.5	80.5	4.7	3.4	-205	-409	5.4	4.3	1.39	1.01
Fulung059	2023042517	2023042517	F6	1	1.2	1.2	6.5	6.5	7.3	7.3	88.5	88.5	4.3	4.3	-409	-409	5.4	5.4	1.01	1.01
Fulung060	2023042808	2023042816	F4	9	1.0	0.7	6.1	5.5	8.5	5.3	58.5	35.5	5.8	-5.0	244	-60	5.0	4.1	1.61	1.19
Fulung061	2023042908	2023042914	F2	7	0.9	0.7	5.9	5.2	7.9	4.9	69.5	24.5	2.4	-5.0	288	195	4.6	4.0	1.78	1.37
Fulung062	2023050106	2023050117	F3	12	1.2	0.7	5.5	4.3	8.9	5.3	80.5	35.5	5.0	3.6	152	-41	6.1	4.1	1.95	1.10
Fulung063	2023050107	2023050117	F8	11	1.2	0.7	5.5	4.3	8.9	5.3	80.5	35.5	5.0	3.6	144	-41	6.1	4.1	1.95	1.10

Fulung064	2023050109	2023050115	F2	7	1.1	0.7	5.5	4.3	8.9	5.3	69.5	46.5	5.0	4.3	118	-41	5.8	4.1	1.95	1.18
Fulung065	2023050112	2023050112	F7	1	0.8	0.8	5.2	5.2	8.4	8.4	46.5	46.5	4.7	4.7	-41	-41	4.7	4.7	1.47	1.47
Fulung066	2023050206	2023050217	F3	12	1.5	0.9	6.3	5.3	7.8	6.0	80.5	24.5	6.0	-5.0	228	-110	6.7	4.5	1.33	0.88
Fulung067	2023050206	2023050215	F8	10	1.5	0.9	6.3	5.3	7.8	6.0	80.5	24.5	5.8	-5.0	228	-110	6.7	4.5	1.33	0.88
Fulung068	2023050210	2023050215	F6	6	1.5	0.9	6.3	5.6	7.8	7.0	80.5	24.5	5.8	1.9	157	-110	6.7	4.5	1.33	0.88
Fulung069	2023050306	2023050315	F3	10	1.5	0.9	5.9	5.4	7.7	5.7	69.5	24.5	7.8	3.2	252	-281	6.8	4.6	1.36	0.91
Fulung070	2023050306	2023050317	F8	12	1.5	0.9	5.9	5.4	7.7	5.7	69.5	24.5	7.8	3.2	268	-281	6.8	4.6	1.36	0.91
Fulung071	2023050308	2023050309	F2	2	1.1	1.1	5.6	5.5	7.3	7.1	69.5	58.5	4.2	3.2	19	-75	5.6	5.5	1.16	1.16
Fulung072	2023050315	2023050316	F2	2	1.3	1.2	5.9	5.7	7.5	6.7	35.5	24.5	6.7	6.3	194	42	6.3	5.8	1.03	0.99
Fulung073	2023050406	2023050414	F3	9	1.1	0.8	6.0	5.2	8.9	5.9	58.5	13.5	7.4	4.5	362	-384	5.7	4.3	1.56	1.20
Fulung074	2023050406	2023050416	F8	11	1.1	0.8	6.0	5.2	8.9	5.9	58.5	13.5	7.4	4.5	362	-384	5.7	4.3	1.56	1.20
Fulung075	2023050411	2023050413	F6	3	0.8	0.8	5.7	5.5	8.2	6.0	24.5	13.5	7.4	6.7	-277	-384	4.5	4.3	1.56	1.45
Fulung076	2023050508	2023050514	F8	7	0.8	0.7	5.8	4.9	9.5	7.9	69.5	13.5	6.3	2.0	192	-458	4.4	4.0	1.73	1.50
Fulung077	2023050510	2023050514	F3	5	0.8	0.7	5.8	4.9	9.5	7.9	46.5	13.5	6.3	5.2	-150	-458	4.4	4.0	1.73	1.50
Fulung078	2023050611	2023050615	F3	5	0.6	0.5	6.3	5.6	8.7	6.4	58.5	13.5	2.2	-5.0	-180	-499	3.4	3.2	2.02	1.81
Fulung079	2023050611	2023050616	F8	6	0.6	0.5	6.3	5.6	8.7	6.4	58.5	13.5	2.2	-5.0	-180	-499	3.6	3.2	2.02	1.74
Fulung080	2023050712	2023050717	F3	6	1.9	0.7	5.6	4.5	10.2	4.7	88.5	58.5	9.2	6.9	-182	-517	8.4	4.0	1.65	0.76
Fulung081	2023050807	2023050813	F8	7	1.7	1.2	6.2	5.6	9.1	7.1	88.5	69.5	7.7	4.2	609	-371	7.3	5.6	1.11	0.79
Fulung082	2023050807	2023050810	F7	4	1.7	1.4	6.0	5.7	8.4	7.1	80.5	69.5	5.4	4.2	609	260	7.3	6.4	0.95	0.79
Fulung083	2023051006	2023051016	F8	11	1.8	0.8	7.0	6.3	9.7	7.8	88.5	46.5	3.9	1.5	483	-598	6.8	4.2	1.36	0.72
Fulung084	2023051006	2023051017	F6	12	1.8	0.8	7.0	6.3	9.7	7.8	88.5	46.5	4.6	1.5	483	-622	6.8	4.2	1.36	0.72
Fulung085	2023051106	2023051108	F8	3	1.1	1.0	6.2	6.0	8.0	7.3	69.5	46.5	-5.0	-5.0	414	285	5.2	4.9	1.23	1.10
Fulung086	2023051106	2023051109	F7	4	1.1	0.9	6.2	5.6	8.0	7.3	69.5	46.5	-5.0	-5.0	428	285	5.2	4.7	1.36	1.10
Fulung087	2023051113	2023051117	F8	5	0.9	0.7	6.0	5.6	7.3	5.9	88.5	58.5	2.7	-5.0	29	-502	4.5	3.8	1.65	1.37
Fulung088	2023051113	2023051117	F6	5	0.9	0.7	6.0	5.6	7.3	5.9	88.5	58.5	2.7	-5.0	29	-502	4.5	3.8	1.65	1.37
Fulung089	2023051609	2023051612	F4	4	0.5	0.4	4.2	3.9	5.7	4.6	13.5	1.5	9.8	7.7	50	-133	3.5	3.1	3.05	2.55
Fulung090	2023051707	2023051713	F8	7	0.8	0.7	6.0	5.0	7.6	6.4	24.5	13.5	8.2	4.7	254	-303	4.5	3.8	1.79	1.44
Fulung091	2023051708	2023051714	F4	7	0.8	0.7	6.0	5.1	7.6	6.3	24.5	1.5	8.2	5.5	97	-303	4.5	3.8	1.73	1.44
Fulung092	2023051807	2023051815	F4	9	1.0	0.7	6.5	5.7	8.9	7.0	58.5	1.5	2.9	-5.0	381	-358	4.7	3.7	1.61	1.25
Fulung093	2023051808	2023051815	F8	8	0.9	0.7	6.5	5.7	8.9	7.0	58.5	1.5	2.9	-5.0	217	-358	4.6	3.7	1.61	1.35
Fulung094	2023051811	2023051813	F6	3	0.8	0.7	6.5	6.1	8.3	7.7	35.5	1.5	2.1	-5.0	-281	-358	4.2	3.7	1.51	1.42
Fulung095	2023051813	2023051816	F1	4	1.1	0.8	6.1	5.7	8.1	6.5	46.5	1.5	1.9	-5.0	192	-343	5.3	4.2	1.42	1.14
Fulung096	2023051908	2023051916	F8	9	1.0	0.6	5.8	4.9	8.1	5.7	69.5	24.5	4.1	-5.0	375	-422	5.6	3.7	1.87	1.26

Fulung097	2023051909	2023051914	F4	6	0.9	0.6	5.8	4.9	8.1	7.1	69.5	24.5	4.1	-5.0	152	-422	5.1	4.0	1.87	1.33
Fulung098	2023051912	2023051916	F6	5	1.0	0.8	5.3	5.1	8.1	5.7	69.5	24.5	4.1	2.3	-59	-422	5.6	4.4	1.59	1.26
Fulung099	2023052006	2023052009	F1	4	1.0	0.6	5.5	5.3	6.9	6.1	80.5	58.5	2.2	-5.0	592	201	5.4	3.7	1.81	1.21
Fulung100	2023052007	2023052017	F8	11	0.8	0.6	5.8	4.7	7.9	6.6	88.5	46.5	3.1	-5.0	537	-487	4.3	3.6	2.09	1.60
Fulung101	2023052010	2023052014	F7	5	0.6	0.6	5.8	4.7	7.9	6.6	80.5	46.5	2.7	1.6	-18	-487	3.8	3.6	2.09	1.77
Fulung102	2023052011	2023052015	F4	5	0.7	0.6	5.8	4.7	7.9	6.6	88.5	46.5	2.2	1.6	-204	-487	3.9	3.6	2.09	1.64
Fulung103	2023052014	2023052016	F6	3	0.7	0.6	5.8	5.5	7.7	6.8	88.5	58.5	1.7	1.5	-243	-487	4.1	3.6	1.77	1.61
Fulung104	2023052016	2023052017	F1	2	0.7	0.6	5.6	5.5	7.7	7.2	80.5	69.5	3.1	1.5	-25	-243	4.1	3.7	1.77	1.61
Fulung105	2023052016	2023052017	F2	2	0.7	0.6	5.6	5.5	7.7	7.2	80.5	69.5	3.1	1.5	-25	-243	4.1	3.7	1.77	1.61
Fulung106	2023052109	2023052115	F8	7	0.5	0.4	6.4	5.8	8.4	7.2	88.5	46.5	5.2	-5.0	278	-523	3.1	2.7	2.36	1.98
Fulung107	2023052111	2023052114	F7	4	0.5	0.5	6.4	5.8	8.3	7.2	88.5	46.5	2.9	-5.0	-146	-523	3.1	2.9	2.20	2.02
Fulung108	2023052114	2023052116	F6	3	0.7	0.5	6.7	5.8	7.9	7.2	69.5	46.5	5.2	-5.0	-337	-523	3.4	3.1	2.03	1.61
Fulung109	2023052212	2023052216	F8	5	0.6	0.4	5.9	4.4	7.7	4.2	88.5	69.5	1.5	-5.0	-145	-427	3.4	2.9	2.79	1.98
Fulung110	2023052214	2023052215	F4	2	0.4	0.4	4.6	4.4	6.5	4.4	76.5	69.5	1.2	-5.0	-404	-427	3.0	3.0	2.79	2.74
Fulung111	2023052217	2023052217	F2	1	0.5	0.5	4.5	4.5	3.9	3.9	88.5	88.5	2.0	2.0	-208	-208	3.5	3.5	2.36	2.36
Fulung112	2023052315	2023052316	F1	2	1.8	1.7	6.5	6.5	9.2	8.8	88.5	80.5	6.2	6.0	-418	-459	7.3	6.8	0.78	0.73
Fulung113	2023052315	2023052316	F2	2	1.8	1.7	6.5	6.5	9.2	8.8	88.5	80.5	6.2	6.0	-418	-459	7.3	6.8	0.78	0.73
Fulung114	2023052406	2023052409	F8	4	1.4	1.3	6.6	6.4	8.9	7.4	80.5	58.5	5.6	3.8	457	420	6.1	5.8	0.94	0.87
Fulung115	2023052406	2023052409	F6	4	1.4	1.3	6.6	6.4	8.9	7.4	80.5	58.5	5.6	3.8	457	420	6.1	5.8	0.94	0.87
Fulung116	2023052506	2023052511	F2	6	0.8	0.6	6.4	5.9	8.6	7.9	69.5	35.5	2.8	-5.0	401	273	4.1	3.3	1.84	1.39
Fulung117	2023052506	2023052506	F7	1	0.7	0.7	6.4	6.4	8.3	8.3	35.5	35.5	1.9	1.9	340	340	3.5	3.5	1.62	1.62
Fulung118	2023052708	2023052716	F8	9	1.1	0.0	5.4	-2.0	6.3	-2.0	58.5	35.5	6.8	3.9	317	-81	5.9	0.5		
Fulung119	2023052709	2023052717	F4	9	1.1	0.0	5.4	-2.0	6.3	-2.0	58.5	35.5	6.8	3.2	274	-142	5.9	0.5		
Fulung120	2023060307	2023060312	F7	6	0.9	0.5	6.6	5.5	8.9	6.8	88.5	35.5	4.5	1.9	415	-485	4.6	2.9	2.33	1.29
Fulung121	2023060316	2023060317	F7	2	0.9	0.8	6.0	5.8	8.9	7.6	35.5	35.5	2.7	2.3	174	-54	4.6	4.3	1.40	1.36
Fulung122	2023060408	2023060416	F7	9	1.0	0.6	6.7	5.4	9.4	6.7	69.5	35.5	3.7	2.0	363	-654	4.6	3.4	1.98	1.19
Fulung123	2023060509	2023060516	F7	8	0.6	0.4	5.7	5.1	7.0	5.6	88.5	13.5	4.8	-5.0	290	-746	3.5	2.7	2.57	2.05
Fulung124	2023060512	2023060515	F6	4	0.5	0.4	5.4	5.3	6.9	5.6	58.5	13.5	1.2	-5.0	-405	-746	3.2	2.7	2.57	2.21
Fulung097	2023060612	2023060617	F7	6	0.4	0.3	4.9	4.4	8.0	4.8	46.5	1.5	5.0	1.1	-272	-629	2.9	2.4	3.58	2.70
Fulung098	2023060712	2023060717	F7	6	0.4	0.2	5.9	4.5	8.9	6.0	69.5	46.5	3.7	1.1	-28	-600	2.6	2.0	4.24	2.75
Fulung099	2023060813	2023060817	F7	5	0.5	0.3	5.4	4.6	9.8	8.6	46.5	1.5	4.8	2.8	-22	-507	2.9	2.6	3.18	2.39
Fulung100	2023060813	2023060815	F6	3	0.5	0.3	5.4	4.6	9.5	9.0	46.5	35.5	4.8	2.8	-22	-385	2.9	2.6	3.18	2.39
Fulung101	2023060909	2023060912	F7	4	1.4	0.9	8.9	7.5	13.1	11.1	13.5	-9.5	2.1	-5.0	557	347	4.9	4.0	1.18	0.78

Fulung102	2023061008	2023061011	F5	4	2.0	1.0	10.3	8.6	12.8	11.6	1.5	1.5	2.0	-5.0	450	375	5.7	4.0	1.01	0.57
Fulung103	2023061008	2023061011	F7	4	2.0	1.0	10.3	8.6	12.8	11.6	1.5	1.5	2.0	-5.0	450	375	5.7	4.0	1.01	0.57
Fulung104	2023061110	2023061113	F7	4	1.5	0.8	9.7	8.0	14.6	13.1	13.5	1.5	4.3	-5.0	408	274	4.9	3.5	1.27	0.71
Fulung105	2023061116	2023061117	F7	2	1.0	1.0	7.9	7.6	10.3	9.9	58.5	46.5	-5.0	-5.0	262	155	4.2	4.1	1.14	1.07
Fulung106	2023061307	2023061315	F7	9	0.7	0.5	7.2	5.1	8.4	6.2	69.5	13.5	5.6	1.9	301	-18	3.7	2.9	2.36	1.54
Fulung107	2023061411	2023061414	F7	4	0.7	0.6	6.5	4.8	9.8	6.6	46.5	13.5	5.0	3.8	103	-149	3.9	3.1	2.10	1.63
Fulung108	2023061506	2023061512	F7	7	0.6	0.4	6.3	4.8	10.5	5.9	80.5	1.5	3.1	-5.0	317	-311	3.4	2.8	2.55	1.85
Fulung109	2023062114	2023062117	F7	4	0.4	0.3	5.0	4.5	6.8	6.2	88.5	24.5	-5.0	-5.0	-278	-368	2.7	2.3	3.75	3.02
Fulung110	2023062313	2023062315	F7	3	0.3	0.2	5.5	5.2	6.7	6.0	88.5	58.5	3.2	2.1	39	-193	2.2	1.9	4.01	3.33
Fulung111	2023062415	2023062416	F7	2	0.4	0.4	4.0	3.7	4.9	4.4	13.5	1.5	7.4	5.9	-70	-153	3.3	3.2	2.99	2.90
Fulung112	2023062806	2023062813	F7	8	1.1	0.8	6.5	5.4	8.8	6.4	35.5	13.5	7.9	2.6	196	-16	5.1	4.4	1.54	1.13
Fulung113	2023062806	2023062811	F6	6	1.0	0.8	6.5	5.4	8.8	6.4	35.5	13.5	5.4	2.6	196	-16	5.1	4.4	1.54	1.18
Fulung114	2023062908	2023062913	F7	6	0.8	0.6	5.7	5.2	8.3	5.9	35.5	1.5	8.3	4.4	-11	-164	4.6	3.7	1.89	1.47
Fulung115	2023062908	2023062912	F6	5	0.8	0.6	5.7	5.2	8.3	6.8	35.5	1.5	8.0	4.4	-11	-164	4.6	3.7	1.89	1.47
Fulung116	2023063008	2023063014	F7	7	0.6	0.5	5.8	5.4	7.2	5.9	24.5	1.5	3.1	-5.0	29	-299	3.6	3.0	2.15	1.77
Fulung117	2023063008	2023063013	F6	6	0.6	0.5	5.8	5.4	7.2	5.9	24.5	1.5	3.1	-5.0	29	-299	3.6	3.0	2.15	1.77
Fulung118	2023022717	2023022717	F6	1	1.0	1.0	5.7	5.7	7.2	7.2	69.5	69.5	4.9	4.9	-370	-370	5.1	5.1	1.23	1.23
Fulung119	2023022809	2023022814	F6	6	1.6	1.3	6.3	5.9	8.1	7.5	69.5	35.5	3.7	-5.0	103	-62	7.1	6.0	0.94	0.81
Fulung120	2023022810	2023022816	F4	7	1.8	1.4	6.8	5.9	8.2	7.5	69.5	35.5	4.0	-5.0	90	-143	7.1	6.2	0.91	0.71
Fulung121	2023030106	2023030113	F4	8	1.1	0.8	6.8	5.9	9.4	6.2	69.5	24.5	7.0	-5.0	184	76	5.0	4.2	1.37	1.04
Fulung122	2023030106	2023030109	F7	4	1.0	0.9	6.3	5.9	8.0	6.2	69.5	58.5	1.2	-5.0	184	159	4.9	4.6	1.29	1.16
Fulung123	2023030112	2023030113	F6	2	1.0	0.8	6.5	6.2	7.8	7.6	58.5	24.5	7.0	5.6	92	76	4.6	4.2	1.37	1.21
Fulung124	2023030117	2023030117	F7	1	0.7	0.7	6.0	6.0	8.9	8.9	80.5	80.5	7.0	7.0	-46	-46	3.7	3.7	1.64	1.64
Fulung125	2023030810	2023030814	F2	5	0.5	0.4	6.2	4.8	10.6	6.1	58.5	24.5	5.6	3.4	-23	-254	3.1	2.7	2.93	1.98

表 2-13 本計畫在新北市沙崙蒐集之裂流案例清單(觀測時間：2023/02/20 至 2023/06/30；資料來源：攝影機、浮標和潮位站資料)

編號	起始時間	結束時間	位置	延時 (hr)	示性波高(m)		平均週期(s)		尖峰週期(s)		與海岸線夾角 (°)		平均風速(m/s)		水位(cm)		Ω(海灘類型參數)		相對潮差 RTR	
					最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
Shalung_001	2023022310	2023022312	S4	1	2.2	2.0	5.8	5.4	7.8	6.8	56.0	45.0	9.0	6.9	1240	-186	7.9	7.6	1.7	1.5
Shalung_002	2023022311	2023022314	S1	6	2.5	2.1	6.7	5.8	8.2	7.3	56.0	-0.1	9.0	6.1	1511	615	8.0	7.6	1.6	1.3
Shalung_003	2023022413	2023022414	S1	7	3.2	2.9	7.1	6.3	9.1	8.3	56.0	11.0	9.1	8.8	1422	1330	9.4	9.2	1.2	1.0
Shalung_004	2023022512	2023022514	S1	8	4.0	3.7	7.7	7.1	10.4	9.8	56.0	45.0	10.8	10.7	1104	371	10.7	9.9	0.9	0.8
Shalung_005	2023022706	2023022713	S4	4	2.5	1.4	6.6	5.7	9.1	8.0	45.0	23.0	9.7	4.7	218	-800	8.3	5.8	2.1	1.3
Shalung_006	2023022808	2023022814	S4	2	1.5	1.3	6.3	5.7	8.0	6.3	34.0	11.0	4.6	-5.0	108	-523	6.0	5.3	2.2	2.0
Shalung_007	2023030108	2023030109	S3	1	0.9	0.9	5.6	5.5	8.0	7.8	-0.1	-34.1	5.2	4.6	570	324	4.1	4.0	3.2	3.2
Shalung_008	2023030112	2023030113	S4	5	0.7	0.7	5.0	5.0	8.0	7.4	34.0	11.0	5.0	4.0	-345	-350	3.7	3.6	4.0	3.9
Shalung_009	2023031506	2023031512	S3	7	0.9	0.7	6.1	4.5	9.4	7.5	23.0	-22.1	5.7	1.8	658	-471	4.4	3.3	4.1	3.4
Shalung_010	2023031607	2023031609	S2	6	1.3	1.0	4.6	4.1	5.2	4.1	34.0	23.0	8.1	2.2	816	193	6.2	5.2	3.2	2.5
Shalung_011	2023032114	2023032116	S3	7	0.9	0.6	4.2	3.8	6.9	4.0	79.1	-22.1	6.8	4.4	19	-900	5.1	3.7	5.0	3.7
Shalung_012	2023032215	2023032215	S3	4	0.7	0.7	4.2	4.2	4.8	4.8	79.1	79.1	6.6	6.6	-279	-279	4.2	4.2	4.1	4.1
Shalung_013	2023032308	2023032310	S3	9	0.8	0.7	5.0	4.9	7.1	6.4	67.1	34.1	7.4	1.1	881	-624	4.1	3.6	4.0	3.6
Shalung_014	2023032309	2023032309	S4	7	0.7	0.7	5.0	5.0	7.0	7.0	34.1	34.1	7.4	7.4	115	115	3.6	3.6	4.0	4.0
Shalung_015	2023032714	2023032717	S3	4	2.5	1.9	6.7	5.8	8.6	7.3	45.0	23.0	8.9	8.3	892	-22	8.2	7.1	1.7	1.3
Shalung_016	2023040109	2023040113	S4	3	1.3	1.1	6.0	5.4	9.6	7.0	34.0	23.0	5.8	2.8	939	-382	5.3	4.6	2.6	2.2
Shalung_017	2023040212	2023040215	S4	4	0.9	0.9	5.6	5.1	8.9	7.7	11.0	-0.1	7.1	5.3	305	-655	4.5	4.1	3.1	3.1
Shalung_018	2023040513	2023040515	S3	5	1.0	0.9	7.5	6.6	13.1	12.8	11.0	-11.1	6.8	2.3	442	-623	3.9	3.7	2.8	2.5
Shalung_019	2023041017	2023041017	S4	9	0.7	0.7	4.6	4.6	4.8	4.8	11.0	11.0	3.1	3.1	-643	-643	4.1	4.1	3.9	3.9
Shalung_020	2023041309	2023041312	S3	4	1.5	1.1	5.1	4.9	7.2	5.7	56.0	34.0	7.0	5.8	-114	-406	6.4	5.0	2.8	2.2
Shalung_021	2023041310	2023041312	S4	6	1.5	1.1	5.1	5.0	6.8	5.7	56.0	56.0	7.0	5.9	-114	-406	6.4	5.0	2.8	2.2
Shalung_022	2023042015	2023042017	S3	11	1.3	0.9	4.7	4.5	6.1	4.6	56.0	23.0	3.4	3.2	-674	-1330	6.1	4.6	3.4	2.5
Shalung_023	2023042207	2023042209	S4	6	1.8	1.6	5.8	5.7	8.2	8.0	34.0	23.0	7.8	7.7	203	-736	6.8	6.3	1.9	1.8
Shalung_024	2023042809	2023042811	S3	7	0.8	0.7	5.0	5.0	9.3	7.0	23.0	-0.1	2.8	1.8	2	-257	4.2	3.7	4.0	3.5
Shalung_025	2023051114	2023051116	S3	5	1.0	0.9	5.2	4.6	7.3	4.6	45.0	-22.1	7.8	7.3	1014	825	5.0	4.5	3.5	2.9
Shalung_026	2023051315	2023051315	S3	5	0.6	0.6	4.3	4.3	4.8	4.8	45.0	45.0	3.7	3.7	358	358	3.6	3.6	4.8	4.8
Shalung_027	2023051610	2023051611	S3	7	0.3	0.2	5.2	5.0	9.8	8.6	34.0	-0.1	3.8	3.7	982	553	2.0	1.6	9.4	7.7
Shalung_028	2023051614	2023051615	S4	2	0.3	0.3	3.9	3.8	8.3	3.6	56.0	34.0	2.7	-5.0	-794	-937	2.5	2.4	8.2	7.7
Shalung_029	2023051711	2023051711	S3	4	0.4	0.4	5.0	5.0	6.4	6.4	34.0	34.0	-6.0	-6.0	868	868	2.5	2.5	6.0	6.0
Shalung_030	2023051808	2023051809	S4	10	0.8	0.6	5.5	4.9	6.0	5.8	56.1	45.1	8.3	7.5	1190	799	4.0	3.4	4.4	3.3

Shalung_031	2023052109	2023052109	S3	4	0.6	0.6	6.0	6.0	8.3	8.3	56.0	56.0	-5.0	-5.0	261	261	3.0	3.0	4.0	4.0
Shalung_032	2023052511	2023052511	S2	2	0.5	0.5	4.8	4.8	7.5	7.5	23.0	23.0	-5.0	-5.0	-37	-37	2.8	2.8	5.5	5.5
Shalung_033	2023052515	2023052516	S3	11	0.6	0.5	5.8	5.2	7.7	7.0	-0.1	-0.1	3.4	2.3	840	605	2.9	2.9	4.9	4.4
Shalung_034	2023052615	2023052616	S3	8	0.5	0.4	4.9	4.6	5.8	4.7	23.0	-0.1	1.1	-5.0	743	710	3.0	2.6	5.9	5.3
Shalung_035	2023052706	2023052706	S3	1	0.7	0.7	5.3	5.3	5.8	5.8	-22.1	-22.1	5.5	5.5	801	801	3.5	3.5	4.0	4.0
Shalung_036	2023060912	2023060914	S3	12	0.4	0.4	4.3	3.9	4.6	3.9	45.1	22.1	6.5	4.0	1130	350	2.9	2.6	7.4	6.2
Shalung_037	2023061412	2023061416	S4	12	0.5	0.4	4.9	4.2	9.6	5.6	68.0	-0.1	4.5	4.0	-252	-915	3.3	2.5	6.8	5.4
Shalung_038	2023061517	2023061517	S2	10	0.3	0.3	4.3	4.3	8.5	8.5	11.0	11.0	7.6	7.6	-745	-745	2.4	2.4	7.4	7.4
Shalung_039	2023061711	2023061712	S3	6	0.4	0.3	5.1	4.4	6.8	6.3	68.0	23.0	2.9	2.4	984	613	2.7	2.1	7.0	6.4
Shalung_040	2023061808	2023061812	S3	4	0.5	0.2	4.4	3.7	5.2	3.9	79.1	45.1	8.7	4.4	1135	389	3.2	1.7	3.5	6.2
Shalung_041	2023062206	2023062209	S4	4	0.8	0.5	4.4	4.0	6.6	5.2	67.1	34.1	7.0	-5.0	-86	-327	4.6	3.1	6.0	3.6
Shalung_042	2023062615	2023062617	S1	6	0.5	0.0	4.8	-2.0	5.2	-2.0	58.0	-0.1	3.6	2.6	990	776	3.3	0.4	5.5	5.4
Shalung_043	2023062706	2023062707	S1	6	0.3	0.3	5.0	5.0	7.0	6.6	-11.1	-11.1	1.7	1.2	1068	775	2.2	2.2	7.0	7.0
Shalung_044	2023062817	2023062817	S1	5	0.4	0.4	5.0	5.0	6.8	6.8	34.0	34.0	3.7	3.7	719	719	2.4	2.4	6.3	6.3
Shalung_045	2023062906	2023062908	S1	1	0.5	0.4	5.6	4.7	6.6	6.4	11.0	-11.1	2.1	-5.0	1150	945	2.8	2.3	5.9	5.6
Shalung_046	2023062917	2023062917	S1	12	0.3	0.3	4.6	4.6	6.4	6.4	23.0	23.0	2.3	2.3	341	341	2.3	2.3	7.2	7.2
Shalung_047	2023063006	2023063008	S1	12	0.6	0.3	4.8	4.6	8.6	5.3	34.0	-11.1	3.7	1.3	1172	792	3.3	2.2	7.1	4.9

表 2-14 本計畫在宜蘭縣大里蒐集之裂流案例清單(觀測時間：2023/02/20 至 2023/06/30；資料來源：攝影機、浮標和潮位站資料)

編號	起始時間	結束時間	位置	延時 (hr)	示性波高(m)		平均週期(s)		尖峰週期(s)		與海岸線夾角 (°)		平均風速(m/s)		水位(cm)		Ω(海灘類型參數)		相對潮差 RTR	
					最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
Dali_001	2023022108	2023022110	D1	3	1.9	1.6	6.5	6.1	10.6	9.6	76.2	17.6	11.0	9.4	230	120	6.6	6.1	1.0	0.8
Dali_002	2023022306	2023022311	D1	6	1.6	1.0	6.4	5.6	10.0	7.8	83.4	-6.6	7.5	2.6	270	-183	6.2	4.1	1.5	1.0
Dali_003	2023022713	2023022715	D1	3	0.8	0.7	7.1	6.5	9.8	7.6	38.4	-6.6	1.7	-5.0	-101	-250	3.5	3.3	1.8	1.5
Dali_004	2023030809	2023030815	D1	7	0.6	0.3	6.2	5.1	10.6	7.5	85.6	28.6	2.1	-5.0	104	-254	2.8	2.0	3.6	2.3
Dali_005	2023030910	2023030915	D1	6	0.7	0.4	6.2	4.1	10.0	8.8	73.6	28.6	6.0	-5.0	38	-444	4.0	2.2	3.0	2.2
Dali_006	2023031011	2023031016	D1	6	0.6	0.4	5.8	5.0	8.9	5.8	72.4	27.4	3.6	-5.0	-57	-365	3.3	2.3	3.0	2.2
Dali_007	2023031111	2023031116	D1	6	0.6	0.5	5.8	4.9	9.6	6.3	85.6	49.4	5.5	-5.0	3	-379	3.2	2.6	2.9	2.1
Dali_008	2023031211	2023031215	D1	5	0.7	0.5	6.3	5.5	10.0	7.5	73.6	40.6	3.5	-5.0	136	-333	3.2	2.7	2.6	1.9
Dali_009	2023031408	2023031410	D1	3	0.8	0.8	6.3	6.0	10.4	9.1	38.4	28.6	4.5	4.0	92	-13	3.6	3.5	1.8	1.7
Dali_010	2023052709	2023052715	D1	7	0.8	0.7	4.9	4.4	7.1	5.0	73.6	38.4	5.1	-5.0	274	5	4.3	3.7	2.1	1.8
Dali_011	2023060206	2023060216	D1	11	1.3	0.8	7.9	6.5	10.6	8.3	40.6	17.6	3.4	-5.0	463	-367	4.9	3.5	1.6	1.0
Dali_012	2023060306	2023060312	D1	7	0.9	0.6	6.8	5.6	9.1	8.0	62.6	16.4	2.3	-5.0	544	-485	3.9	2.8	2.0	1.5
Dali_013	2023060313	2023060317	D1	5	0.9	0.7	6.2	5.4	8.3	7.3	72.4	28.6	5.2	-5.0	174	-527	4.3	3.4	2.1	1.6
Dali_014	2023060509	2023060511	D1	3	0.6	0.5	4.3	3.8	4.7	4.4	85.6	73.6	4.6	-5.0	421	-311	3.7	3.3	3.0	2.6
Dali_015	2023060810	2023060813	D1	4	0.7	0.7	4.2	3.6	4.3	3.8	62.6	17.6	5.9	4.4	520	-22	4.4	4.1	2.4	2.1
Dali_016	2023061206	2023061210	D1	5	0.4	0.3	6.0	5.1	9.6	5.9	73.6	6.6	5.3	-5.0	345	99	2.6	2.0	3.5	2.7
Dali_017	2023061306	2023061318	D1	13	0.6	0.5	7.0	5.3	8.8	7.4	85.6	6.6	4.3	1.3	308	-18	3.0	2.5	2.6	2.0
Dali_018	2023061406	2023061413	D1	8	0.7	0.5	6.7	4.8	9.1	6.9	85.6	17.6	8.4	-5.0	332	-149	3.7	2.6	2.5	2.1
Dali_019	2023061815	2023061817	D1	3	0.9	0.5	4.7	4.2	5.5	4.9	62.6	40.6	-5.0	-5.0	-16	-410	4.8	3.3	2.8	1.7
Dali_020	2023062412	2023062418	D1	7	0.9	0.5	4.1	3.5	4.9	3.9	62.6	28.6	8.6	6.8	243	-197	5.1	3.6	3.0	1.8
Dali_021	2023062606	2023062618	D1	13	1.0	0.5	4.5	3.9	7.5	4.1	85.6	40.6	8.5	-5.0	272	-4	5.4	3.2	2.8	1.6
Dali_022	2023062706	2023062715	D1	10	0.9	0.0	5.3	-2.0	7.3	-2.0	51.6	30.6	7.3	-5.0	381	114	4.7	0.4	2.5	1.8
Dali_023	2023063007	2023063015	D1	9	1.0	0.0	5.2	-2.0	7.0	-2.0	62.6	30.6	7.3	-5.0	160	-299	4.8	0.4	2.1	1.5

表 2-15 福隆、沙崙和大里裂流影像案例發生位置統計表
(觀測時間：2023/02/20 至 2023/06/30；資料來源：攝影機、浮標和潮位站資料)

裂流 位置	案例 數量	延時 (hr)	示性波高(m)		平均週期(s)		尖峰週期(s)		與海岸線夾角(°)		平均風速(m/s)		水位(cm)		Ω (海灘類型參數)		RTR(相對潮差)	
			最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最大值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
F1	16	3.75	0.90	0.71	5.99	4.76	8.24	5.76	69.18	41.67	4.38	1.68	20.06	-149.1	4.57	3.81	2.82	1.53
F2	4	3.00	1.17	0.93	5.93	5.75	7.98	7.15	73.99	52.48	3.35	-0.63	85.25	-211.0	5.53	4.60	1.45	1.17
F3	9	8.44	1.21	0.75	5.99	5.13	8.93	6.39	72.38	33.26	5.91	2.02	91.67	-248.2	5.87	4.18	1.62	1.14
F4	15	7.07	1.04	0.69	5.85	4.65	7.89	5.68	65.56	33.21	5.03	-0.64	131.40	-195.4	5.13	3.93	2.58	1.38
F5	7	4.71	0.85	0.56	6.64	5.34	9.90	6.64	58.19	24.34	5.01	0.03	79.14	-190.8	4.02	3.27	2.40	1.55
F6	23	4.17	1.04	0.82	6.17	5.71	8.17	7.10	64.62	39.74	4.73	1.50	-54.78	-308.5	5.01	4.27	1.59	1.30
F7	36	5.03	0.82	0.61	6.30	5.42	8.81	7.03	59.54	28.37	3.95	0.42	150.42	-165.7	4.10	3.45	2.21	1.66
F8	35	7.74	0.97	0.64	6.07	4.94	8.63	6.10	72.78	35.97	4.81	-1.17	224.06	-259.2	4.93	3.64	2.29	1.38
S1	9	2.44	1.37	1.16	5.70	4.57	7.59	6.10	35.17	8.84	5.11	3.52	1053.0	740.4	4.92	4.28	4.74	4.39
S2	3	1.67	0.70	0.60	4.57	4.40	7.07	6.70	22.62	18.95	3.57	1.60	11.33	-196.3	3.78	3.47	5.38	5.15
S3	21	2.67	0.82	0.68	5.22	4.84	7.29	6.30	40.26	13.54	4.43	2.72	548.24	83.10	4.04	3.50	4.55	4.18
S4	14	3.57	1.16	0.94	5.32	4.96	7.76	6.35	42.54	24.97	6.36	3.16	148.86	-424.7	5.08	4.40	3.85	3.27
D1	23	6.52	0.87	0.56	5.84	4.39	8.42	5.91	69.31	26.14	5.07	-2.46	223.30	-203.1	4.18	2.93	2.43	1.81



圖 2-39 新北市福隆海灘裂流發生示意圖

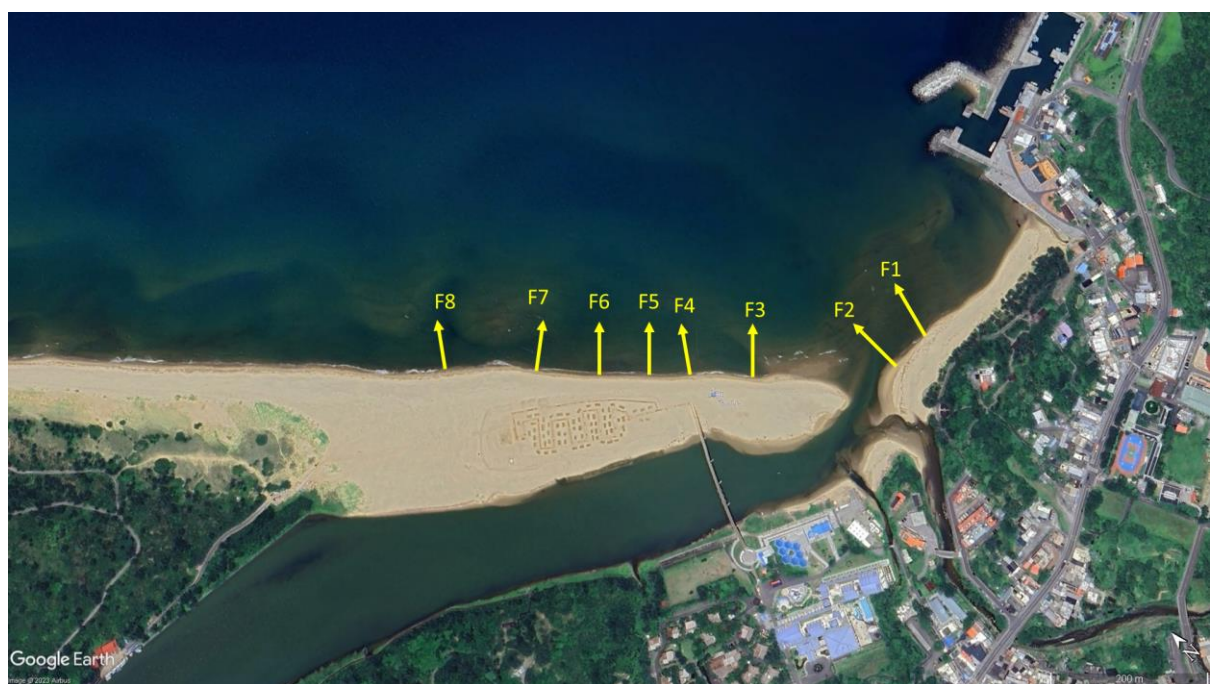


圖 2-40 新北市福隆海灘裂流發生位置分布示意圖
(尚未進行經緯度座標校正，故上述標示位置與實際發生位置仍有所誤差)



圖 2-41 新北市福隆海域第一支攝影機拍攝到橫向沙洲地形(2023/05/20)



圖 2-42 新北市福隆海域第三支攝影機拍攝到沙丘地形(2023/06/19)



圖 2-43 新北市沙崙海灘裂流發生示意圖



圖 2-44 新北市沙崙海灘裂流發生位置分布示意圖
(尚未進行經緯度座標校正, 故上述標示位置與實際發生位置仍有所誤差)



圖 2-45 新北市沙崙監測站第一支攝影機拍攝海灣地形(2023/06/26)



圖 2-46 新北市沙崙監測站第二支攝影機拍攝燒周槽溝地形(2023/06/22)



圖 2-47 宜蘭縣大里海灘裂流發生示意圖



圖 2-48 宜蘭縣大里海灘裂流發生位置分布示意圖
(尚未進行經緯度座標校正，故上述標示位置與實際發生位置仍有所誤差)

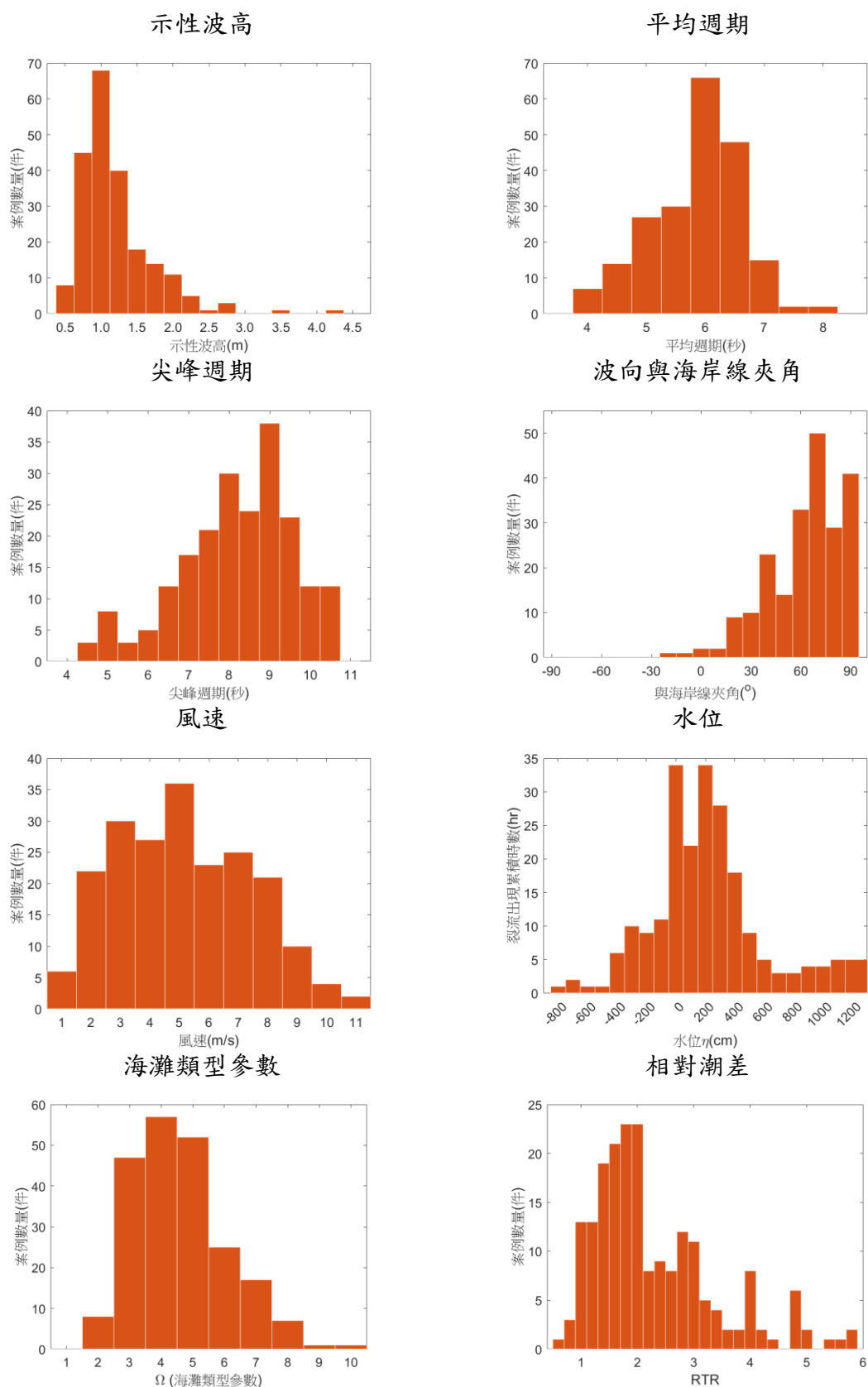


圖 2-49 福隆、沙崙和大里間測站裂流發生期間海氣象參數最大值
(資料時間: 2023 年 2 月 20 日至 2023 年 6 月 30 日)

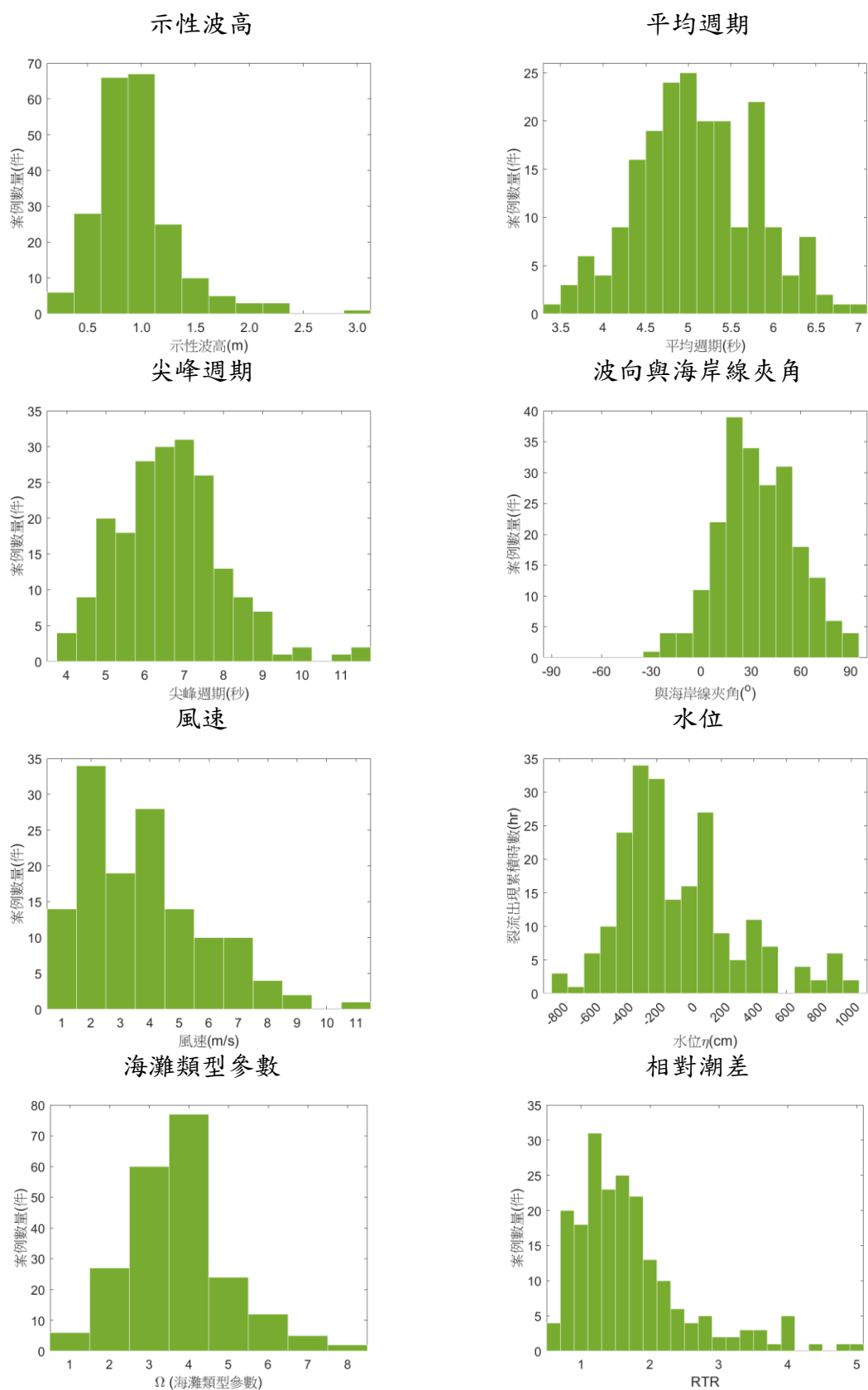


圖 2-50 福隆、沙崙和大里間測站裂流發生期間海氣象參數最小值
(資料時間: 2023 年 2 月 20 日至 2023 年 6 月 30 日)

第三章 裂流數值模式模擬

裂流具有很大的變動性、短暫性和不確定性，於岸邊架設觀測儀器實屬不易，限制裂流案例的蒐集，進而影響到後續研究的進程，若能善用數值模式，便可以透過模擬長期實測資料來蒐集裂流案例，亦可改變邊界條件的輸入，來進行裂流發生機制的探討，不僅本身可作為預警系統，亦可提供更多裂流案例供經驗統計模式訓練和驗證使用。

於前期計畫已掌握透過 SCHISM-WWM 波流耦合模式模擬裂流的技術，不僅進行至少一年以上的現場實測資料的長期模擬，亦利用模式的高自由度，設計不同海氣像環境探討裂流發生的情形。水動力驗證結果相當良好，裂流發生的位置與監測站觀測結果相似，顯示該模式在裂流模擬作業有一定的可信度，然目前模式仍有不足之處，在裂流出現的時間點，模式的結果不一定與觀測結果相符。因此，本計畫今(2023 年)年度將會持續精進該數值模式，主要包含兩項工作，(一)提高模式的準確率，比較模式與觀測間的差異，提出模式可能的侷限性；(二)延續第二年度計畫，利用模式設置的高自由度，設計不同的水深地形，分析不同環境下裂流發生的情形。預計完成上述兩項工作，本計畫將能更深入的掌握裂流發生的機制和發生時的特性，同時裂流數值模擬模式亦能開始規畫如何應用於預警系統所使用。

3-1 模式理論

本計畫將延續第一年的研究成果，使用三維跨尺度海洋數值模式(Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model, SCHISM)耦合第三代風浪模式(Wind Wave Model, WWM)描述裂流發生的現象，透過模擬水深地形分布不均導致波浪能量在傳遞過程中受輻射應力影響下的水動力變化，而在第一年本計畫雖然在波浪驗證上有良好的趨勢，然在極端波高的模擬有低估的情形發生，為此本計畫將自行透過波浪模式(WAVEWATCH III, WWIII)進行研究範圍的波浪模擬，再將此結果作為邊界條件帶入波流耦合模式。另，本研究團隊在過去曾使用由 Aquaveo 開發的地表水建置模型(Surface-water Modeling System, SMS)進行裂流案例的模擬，會利用 SMS 模式快速的評估裂流發生潛勢。

3-1-1 開源碼 SCHISM 模式(SCHISM-WWM)

本計畫採用由 Hsu et al. (2005)所發展能與 SCHISM 三維跨尺度海洋數值模式耦合的

WWM (Wind Wave Model) 第三代風浪模式進行近岸波場的模擬。根據 Berthert and Garrett (1968) 利用荷米頓法則 (Hamilton principle) 推導出適用於任意地形的波浪作用力平衡方程式 (Wave action balance equation, WAE)，描述二維近岸與遠洋之波浪演化過程。WWM 風浪模式之控制方程式如下式(3-1)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(C_x N) + \frac{\partial}{\partial y}(C_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(C_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta}(C_\theta N) = \frac{S_{total}}{\theta} \quad (3-1)$$

在考慮波流交互作用情況下， x 方向的波速 $C_x = \frac{dx}{dt} = C_g \cos \theta + U_x$ 可表示為，而 y 方向的波速可表示為 $C_y = \frac{dy}{dt} = C_g \sin \theta + U_y$ 。並藉由頻散方程式、波數保存方程式和波數向量基於無旋性下可推倒獲得角度空間上的波速式(3-2)和式(3-3)

$$C_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \frac{\partial \sigma}{\partial h} (\sin \theta \frac{\partial h}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial y}) + (\sin \theta \frac{\partial U_x}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial U_y}{\partial y}) \quad (3-2)$$

$$C_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial h} (\frac{\partial h}{\partial t} - U_x \frac{\partial h}{\partial x} + U_y \frac{\partial h}{\partial y}) - C_g k (\cos \theta \frac{\partial U_x}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial U_y}{\partial y}) \quad (3-3)$$

上述 $N(k, \theta; x, t)$ 為波浪作用力密度譜， θ 與 k 則為頻譜上波浪傳遞方向和周波數， $\sigma = (2\pi f)$ 為波浪頻率。上式(3-3)中 S 為源函數隨著海洋科學家現場觀測、實驗的校正以及大數據處理，模擬結果已經越來越接近觀測值。主要包含有線性風浪交互作用 S_{ln} 代表的是大氣傳輸至波浪的能量通量亦是啟動模式的主要項、風浪交互作用項 S_{in} 、非線性波波交互作用項 S_{nl} 代表波浪不同頻率分量因非線性交互作用導致的波能於頻率及 S_{nl} 方向上的重新分佈、白帽(whitecapping)能量消散項 S_{ds} 指深海中波浪破碎所導致的波能消散、底床摩擦力項 S_{bot} 、碎波消散項 S_{db} 、三波交互作用 S_{tr} 等，表示如下式(3-4)

$$S = S_{ln} + S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{db} + S_{tr} \quad (3-4)$$

在水動力模擬上本計畫採用 SCHISM 三維跨尺度海洋開放數值模式，該模式係屬開源代碼，其模擬範圍包含海洋、河口和海灣等，並可針對海洋和沿海地區常見的海岸線象進行模擬，如環流、海嘯和暴潮，另外亦可藉由偶和其他模組進行油污擴散、沉積物傳輸、沿海生態和波流交互作用等計算，目前已經廣泛運用在不同尺度的循環系統。

SCHISM 模式控制方程式是利用包式近似 (Boussinesq approximation) 和靜水壓近似 (Hydrostatic approximation) 求解三維淺水波方程 (3D-Navier-Stokes equations)，由連續方程式 (3-5) 與動量方程式 (3-6) 所組成

$$\frac{Du}{dt} = f - g\nabla\eta + m_z - \alpha |u| u L(x, y, z) \quad (3-5)$$

$$f = f(\nu, -u) - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \nabla \rho d\zeta - \frac{\nabla p_A}{\rho_0} + \alpha g \nabla \Psi + F_m + other$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \int_{-h}^\eta u dz = 0 \quad (3-6)$$

其中 $\eta(x, y, t)$ 代表水面高程[m]、 $u(x, y, z, t)$ 為水平速度[m/s]、 $w(x, y, z, t)$ 為垂直速度[m/s]、 P 為靜水壓[Pa]以及 ρ 和 ρ_0 代表水的密度[kg/m³]，式(3-7)中的 f 表示動量中斜壓梯度、水平黏滯性、科氏力、大氣壓力和輻射應力等。另，SCHISM 模式藉由傳輸方程式 (transport equations) 計算鹽度和溫度對流速和水位的影響，方程式如下式(3-7)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (uC) = \frac{\partial}{\partial z} \left[\kappa \frac{\partial C}{\partial z} \right] + F_h \quad (3-7)$$

其中 C 為懸浮物濃度、 ν 為垂直渦流黏滯力、 κ 代表垂直渦流擴散性以及為水平擴散傳輸方程式。

SCHISM 模式在進行波浪耦合數值模式計算時，會先將 WWM 波浪模式會先計算輻射應力，再透過輻射應力作為水動力模式的驅動力獲得流場和水位，而波浪模式再以新的流場和水位作為邊界條件進行下一輪的計算，該步驟為波浪及流場耦合數值模式的計算流程，以確保在計算波場和流場時均有考慮到波流交互作用下之情形。本計畫採用了 Longuet-Higgins(1964)提出最輻射應力參數化公式，方程式如式(3-8):

$$\left\{ \begin{array}{l} R_s = (R_{sx}, R_{sy}) \\ R_{sx} = -\frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \\ R_{sy} = -\frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0 H} \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \end{array} \right. \quad (3-8)$$

其中 S_{xx} 、 S_{xy} 和 S_{yy} 是輻射應力張量的組成部分，根據 Battjes (1972) 的在應力垂直方

向上為均勻的情況下，定義為不規則波譜的形式為、其中 $H=h+\eta$ 為總水深、 c_p 是群波相位速度，輻射應力張量(tensor)表示方程式，如下式(3-9)

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{xy} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N_{(\sigma,\theta)} \sigma \frac{C_{g(\sigma)}}{C_{p(\sigma)}} \sin(\theta) \cos(\theta) \\ S_{xx} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N_{(\sigma,\theta)} \sigma \left[\frac{C_{g(\sigma)}}{C_{p(\sigma)}} (\cos^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \\ S_{yy} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty N_{(\sigma,\theta)} \sigma \left[\frac{C_{g(\sigma)}}{C_{p(\sigma)}} (\sin^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \end{array} \right. \quad (3-9)$$

在波浪數值計算上在求解波浪作用力方程式需耗費大量記憶體和運算時間，故 WWM 風浪模式採用分步法(Fractional step method, Yanenko, 1986)，將複雜的波浪作用力平衡方程式分解成三個物理亦相同的空間包含頻率空間、角度空間和幾何空間，並可根據不同物理特性進行分析，再利用有限元素法(Finite element method, FEM)離散控制方程式，對於不規則或目標處之邊界直接加密，三個控制方程式如式(3-10)，其中 N^n 、 $N^{n+1/3}$ 、 $N^{n+2/3}$ 和 N^{n+1} 分別代表 n 、 $n+1/3$ 、 $n+2/3$ 及 $n+1$ 時刻的波浪密度譜。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{N^{n+1/3} - N^n}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial \sigma} (C_\sigma N) = 0 \\ \frac{N^{n+2/3} - N^{n+1/3}}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta N) = 0 \\ \frac{N^{n+1} - N^{n+2/3}}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial x} (C_x N) + \frac{\partial}{\partial y} (C_y N) = S_{tot} \end{array} \right. \quad (3-10)$$

而在數值上本計畫在 SCHISM 水動力模式以半隱式尤拉-拉格朗日法(Eulerian-Lagrangian Method, ELM)進行有限元素法解析(Finite element method, FEM)三維淺水波方程式(Navier-Stokes equations)，由於使用單一時間步長有限元素法來解析方程式，故可降低內外模組之間的誤差，加上半隱式和尤拉-拉格朗日法(Eulerian-Lagrangian Method, ELM)的處理，在同時計算連續方程式和動量方程式，亦達到模式穩定所要求的步長，且因為本身就含有擴散的特性，可在計算時忽略方程式中的擴散係數。

3-1-2 波浪模式 WAVEWATCH III

本文採用 WAVEWATCH III 波浪模式(文後簡稱 WW III)來模擬研究範圍的波浪場資料，並經由內插帶入 SCHISM-WWM 波流耦合進行近岸流場的計算，WW III 模式為美國

海洋大氣總署 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)下所屬的國家環境預測中心 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)所發展的全波譜第三代波浪模式，該模式係依據 WAM 模式改良而來的，本計畫所使用的版本為 WWIII Version 5.16 版。

WW III 波浪模式的控制方程式為二維波浪作用力平衡方程式(Wave action balance equation)，此方程式是由 Hasselmann et al. (1973)所提出，其卡式座標線型式如下所示：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \dot{x}N + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k}N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}N = \frac{S}{\sigma} \quad (3-11)$$

$$\dot{x} = C_g + U \quad (3-12)$$

$$\dot{k} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - k \cdot \frac{\partial U}{\partial s} \quad (3-13)$$

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + k \cdot \frac{\partial U}{\partial m} \right] \quad (3-14)$$

上式中的 $N(k, \theta, x, t)$ 為波浪作用力密度譜(wave action density spectrum)， $\dot{x}$ 為空間中 x 和 y 方向上波浪能量的傳遞速度(其考慮了群波速度 C_g 以及流速 U)， θ 和 k 則分別為波譜上的傳遞方向與波數， s 為 θ 方向的座標， m 方向為垂直於 s 方向的座標。

當模式應用於大尺度範圍時，可以將(3-11)式轉換為球面座標型式的平衡方程式，如(3-15)式所示：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \Phi} \frac{\partial}{\partial \Phi} \dot{\Phi} N \cos \theta + \frac{\partial}{\partial \lambda} \dot{\lambda} N + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k} N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}_g N = \frac{S}{\sigma} \quad (3-15)$$

式中，

$$\dot{\Phi} = \frac{c_g \cos \theta + U_\phi}{R} \quad (3-16)$$

$$\dot{\lambda} = \frac{c_g \sin \theta + U_\lambda}{R} \quad (3-17)$$

$$\dot{\theta}_g = \dot{\theta} - \frac{c_g \tan \Phi + \cos \theta}{R} \quad (3-18)$$

上式中的 Φ 與 λ 分別代表緯度與經度， Φ 與 λ 為波浪能量於緯度和經度方向上的傳遞速度， R 為地球半徑，(3-18)式中包含了在大曲率下傳遞時的修正項。

而與 WWM 風浪模式相似，透過(3-11)等號右側出現的源函數 S (source term)，對波浪在傳遞過程中所產生之能量成長與消散進行描述，在 WW III 計算深海地區波浪能量時，源函數 S 主要包含三個部分，分別為風浪成長項 S_{in} 、能量消散項 S_{ds} 以及非線性波-波交互作用項 S_{nl} ；另外，在淺海海域必須額外考慮到底床摩擦效應 S_{bot} 的影響 (Shemdin et al., 1978)，在 WW III 中源函數的定義如下式所示：

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} + S_{bot} \quad (3-19)$$

WW III 模式是以能量譜(energy spectrum)來定義各源函數項，但是模式源函數之計算過程在求解作用力密度譜，然後再將作用力譜所得到的物理結果轉換為能量譜，在得到每一個網格點上的能譜值後，在依數學關係轉換為示性波高、平均波向及週期等波浪參數。

3-1-3 商業 SMS 模式(CMS-Wave & CMS-Flow)

上述已對本計畫進行裂流模擬所使用的數值模式 SCHISM-WWM 波流耦合模式和研究範圍波浪場模擬的 WW III 波浪模式進行理論介紹，將 WW III 波浪場輸出結果內插帶入 SCHISM-WWM 波流耦合的邊界，WWM 風浪模式計算出之波浪輻射應力，與 SCHISM 潮流模式計算之水位資料進行耦合，進而模擬地形沙槽導致波浪堆積所產生之裂流現象。根據文獻，裂流發生的機制相當複雜，波浪的水動力機制均有可能影響裂流的發生，倘若在模式進行模擬時加入過多的影響條件，不僅會造成模式運算效率的不彰，甚至可能導致模擬結果發散，故本計畫會使由 Aquaveo 開發的地表水建置模型 (Surface-water Modeling System, SMS)，利用該模式有軟體介面之系統藉此提升本計畫執行之效率。

本研究採用的波浪模式為 SMS 11.0 版本下 CMS-Wave (STeady-state spectral WAVE)，該套組是一種二維波譜變換模型，採用有限差分 (Finite-difference method, FDM)和相位平均(phase-average)求解波浪作用守恆方程式(Wave action balance equation, WAE)(Mase, 2001)，方程式如下所示(3-20)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(C_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(C_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta N)}{\partial \theta} = \\ & \frac{\kappa}{2\sigma} \left[\left(CC_g \cos^2 \theta N_y \right)_y - \frac{CC_g}{2} \cos^2 \theta N_{yy} \right] - \varepsilon_b N - S \end{aligned} \quad (3-20)$$

其中 $N = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}$ ， N 為波浪作用力密度函數，為一頻率 σ 及方向 θ 的函數， $E(\sigma, \theta)$ 為波譜密度函數，表示每單位水表面積頻率間隔的波浪能量；且在考慮波流交互作用的情形下，波浪浪的特徵速度可表示為 $C_x = C_g \cos \theta + U$ 和 $C_y = C_g \sin \theta + V$ ；而 S 為與上述兩模式相同，為描述波浪能量成長和消散之關係，故在此不加以贅述。

而潮流模式即水動力模式係由淺水波方程(Shallow water equations)為控制方程式，計算海域潮汐、海流作用之對流、擴散等分布情形。本研究進行近岸流場模擬的模式採用同為 SMS 11.0 版中的 CMS-Flow 套組，該套組以利用有限差分法 (FVM) 進行深度積分 (depth-integrated) 求解連續方程式和動量方程式，方程式如式(3-21)、式(3-22)和式(3-23)所示

$$\frac{\partial(h+\eta)}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (3-21)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial u q_x}{\partial x} + \frac{\partial v q_x}{\partial y} + \frac{1}{2} g \frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial x} = \\ & \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial q_x}{\partial y} + f q_y - \tau_{bx} + \tau_{wx} + \tau_{Sx} \end{aligned} \quad (3-22)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial u q_y}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} + \frac{1}{2} g \frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial y} = \\ & \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial q_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial q_y}{\partial y} - f q_x - \tau_{by} + \tau_{wy} + \tau_{Sy} \end{aligned} \quad (3-23)$$

其中 h 為靜水深， η 是水面高度與靜水面的差， t 為時間， q_x 和 q_y 為單位寬度流量， u 和 v 為水深平均流速， g 是重力加速度， D_x 和 D_y 為擴散係數， f 是科氏力， τ_{bx} 和 τ_{by} 為底床剪應力， τ_{wx} 和 τ_{wy} 為表面風應力，而 τ_{Sx} 和 τ_{Sy} 為波浪應力，且 CMS-Flow 在考慮波浪的情況，是透過引入波浪輻射應力與 CMS-Wave 求解出波浪場進行波流耦合，採用 Smith et al. (1999) 提出的線性理論演算法求解，其中 S_{xx} 為正向海岸動量， S_{xy} 為平行海岸動量， S_{yy} 為沿岸流動量， E 為波浪能量密度。

$$S_{xx} = \iint E(\omega, \alpha) \left[0.5 \left(1 + \frac{2k(h+\eta)}{\sinh 2k(h+\eta)} \right) (\cos^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] d\omega d\alpha \quad (3-24)$$

$$S_{xy} = \iint \frac{E(\omega, \alpha)}{2} \left[0.5 \left(1 + \frac{2k(h+\eta)}{\sinh 2k(h+\eta)} \right) \sin 2\alpha \right] d\omega d\alpha \quad (3-25)$$

$$S_{yy} = \iint E(\omega, \alpha) \left[0.5 \left(1 + \frac{2k(h+\eta)}{\sinh 2k(h+\eta)} \right) (\sin^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] d\omega d\alpha \quad (3-26)$$

3-2 裂流數值模擬環境建置

在第二年度計畫執行期間，已對模式的水深網格地形進行精進(提高網格解析度至 5 m)，使得模擬結果更符合實際情況，同時也自定邊界條件來探討水動力對裂流發生的影響。在今(112 年)年度本計畫將延續前期計畫成果，對模式參數進行調整，嘗試解決裂流出現時間上的誤差，同時亦討論模式本身可能存在的侷限性。另，本計畫會建置至少三種地形水深進行模擬，探討形貌動力與水動力的交互作用下的裂流現象。

3-2-1 水深地形網格

數值計算上無論是 WWM 風浪模式或 SCHISM 三維水動力模式均是以有限元素法(Finite-Element methods, FEM)(Lydard et al., 2017; Carrere et al., 2016)進行數值解析，兩種模式在進行耦合時網格可以相互兼融。根據前人文獻和本計畫的研究結果(MacMahan et al., 2006)，裂流流幅(寬度)應介於數公尺至數十公尺間，加上裂流亦會受到海陸交界邊界控制的影響(Dalrymple et al., 2011)，故本計畫採用非矩型(三角網格)的巢狀網格，三角網格可以更好的擬合海陸交界的形狀，而巢狀網格可在重點區域的網格進行加細，能最大化還原實際地形的同時，亦能減少運算資源的消耗。

本計畫目前主要研究範圍為宜蘭縣外澳海灘，考量模式係透過邊界水位位能差進行驅動的，模擬範圍涵蓋整個宜蘭縣，以東經 121.82° 至東經 122.01°，北緯 24.7° 至北緯 25.0° 為模式計算範圍。為降低模式模擬的運算資源，水平網格的邊界僅在外澳海灘長約 2 km 的海岸線加細至 5 m 解析度，而外海的邊界網格則設置為 0.1° 解析度，並採用 Paving 的方式內差內部運算的網格點，外澳海域數值模擬網格如圖 3-1.a 所示，該水平網格不僅可良好的描述外澳海灘海岸線的分布情形和烏石漁港外防波堤，三角網格整體而言亦相當平滑(即三角網格均近似正三角形)，降低後續模式模擬上計算發散的機

率。

裂流主要位於海陸交界碎波帶範圍內的表層海水，故前期計畫僅採用二維模擬，然模擬結果在裂流出現的時間點與觀測有所差異，本計畫今(2023 年)年度將改用三維模擬盡可能地更加還原現場實測資料，在垂直網格採用 S-Z 混合網格，在淺水區採用 S 網格，深水區採用 Z 網格，參數設置上參考 Alvaro et al. (2019)模擬大湖裂流的設置，S 網格設置為 21 層，Z 網格曲率設置為 1×10^{-6} (如圖 3-1.b)。考量模式運算的效率，由於近岸區域垂直深度的溫、鹽傳遞較不顯著，故垂直網格的水動力動量傳輸，仍採用前期計畫正壓(barotropic)，經測試該網格在模擬運算效率並沒有下降，一個月模擬時間與之前差異不大仍約七天左右。本計畫採用的水深資料，在外澳海域主要研究範圍，目前仍是使用自強顧問公司於 2019 年 8 月船測內插後所得的近岸 10 m 解析度資料；其餘外海部分則使用 Etopic 1 200 m 解析度的水深資料。

今年度本計畫在裂流數值模擬還有一項工作項目，就是模擬不同水深地形來探討裂流發生的情形。由於裂流發生的機制相當複雜，除海氣象環境外，地形和海灘型態亦是影響裂流現象的原因，倘若僅以外澳海域的水深地形進行模擬，研究成果仍不足以全面的瞭解裂流發生的機制、條件，以及裂流發生時的特性(裂流的流速、流幅和持續時間等)。從前期計畫和上述觀測的統計結果亦顯示，不同位置所發生的裂流特性均有所不同，過去文獻中亦有許多學者對此進行探討，Wright and Short (1984)透過現場試驗提出海灘類型與裂流間的相關性，當海灘類型為沿岸沙洲槽(Longshore bar trough, LBT)至低潮位階地(Low tide terrace, LTT)四種過渡型海灘則容易有裂流的發生，如圖 3-2.a；Castelle et al. (2016)彙整過去文獻認為在非開放式海灘(即邊界有結構物或灘尖阻礙)，裂流發生的位置會受波浪折射、繞射和剪應力不穩定的影響並不固定，海灘中央、結構物旁或灘尖的尖端處都可能發生裂流，如圖 3-2.b。

如探討海氣象對裂流發生影響一樣，要從現場觀測中去歸納所有的情境是有其困難性，故透過數值模式的模擬便是一種較為可行的方法。過去亦有學者透過模擬對裂流與地形間交互作用進行探討(Haas et al., 2003; Uchiyama et al., 2017; Hong et al., 2018; Feng et al., 2020)。因此，本計畫將參考過去文獻，從中挑選較容易出現裂流的地形進行模擬，根據合約書要求本計畫挑選 Wright and Short (1984)提出六種海灘類型中的「沿岸沙洲槽(Longshore bar trough, LBT)」和「橫向沙洲與裂流(Transverse bar and rip, TBR)」兩類海

灘，以及 Castelle et al. (2016)認為的邊界控制型海灘(Boundary controlled)，同時設計不同情境進行模擬。以下將對這三種地形進行初步說明。

(1) 沿岸沙洲槽(Longshore bar trough, LBT)

沿岸沙洲槽(Longshore bar trough, LBT)型態的海灘通常在風暴過後幾天內逐漸形成，在外海會堆積形成沙壩，使沙壩與沙灘之間擁有一條橫向的沙槽，而外海的沙壩逐漸受到波浪侵蝕的作用，隨機於某處產生一道裂隙，並於此處發生裂流現象。本計畫將會照上述描述的情形建置 LBT 類型的水深地形資料，如圖 3-3，沙壩的設置則參考 Uchiyama et al. (2017)的研究，位於距海岸線 75 m 處，寬度和長度分別設為 30 m 和 500 m，並且設計 6 種不同沙壩間隙進行模擬，分別為 30 m、50 m、100 m 和 200 m，並考慮沙壩是沒入水下或浮出水面兩種型態。

(2) 橫向沙洲與裂流(Transverse bar and rip, TBR)

橫向沙洲與裂流(Transverse bar and rip, TBR)型態的海灘是當沙壩與海灘上的沙灣夾角相互連接時，便會形成一條由海岸線近乎垂直向外海延伸的槽溝，由於水會往低處流，因此這個槽溝就成為裂流容易生成的位置。本計畫所設計的槽溝地形，如圖 3-4，過去文獻認為槽溝的深度愈深，流速會愈大(Dalrymple et al., 2011)，故本計畫在固定槽溝寬度為 50 m、長度為 200 m 的設置下，將設計 8 種不同的水深進行模擬，分別為 0.1 m、0.5 m、1.0 m、3.0 m、5.0 m、10.0 m、20.0 m 和 30.0 m。此外，本計畫亦探討不同槽溝長度和寬度對裂流的影響，在對不同長度的槽溝進行模擬時深度固定為 5.0 m、寬度固定為 50 m，設計四種不同的槽溝長度進行分析，分別為 50 m、100 m、200 m 和 400 m；而模擬不同寬度槽溝則是固定長度 200 m、水深 5.0 m，設計 4 種不同寬度進行模擬，分別為 10 m、50 m、200 m 和 400 m。

(3) 邊界控制型海灘(Boundary Controlled)

當海灘的形狀呈現月牙灣，或甚至是非開放式海灘，則水體在波物、波流交互作用下則也會有裂流的產生。本計畫將參考 Feng et al. (2020)的實驗設置，建置一個海岸線成月牙灣形狀、左右兩側有灘尖的邊界控制型水深地形資料，如圖 3-5，首先，左右兩側的邊界為固定地形，設計為長度為自海岸線向外海延伸 100 m、寬度為 500 m 近似常態分佈的灘尖形狀，海灣的部分則設計五種海灣曲率(即海岸線長度/海岸線寬度)，分別

為 0.05、0.1、0.15 和 0.2，並且固定海岸線長度為 1 公里。根據 Akan et al. (2020)的研究成果，認為不僅是海灣曲率會影響裂流發生與否和強度，海岸線的長度本身就是影響裂流發生的一個原因。為此，本計畫固定曲率為 0.1 的情況下，設計四種不同的海岸線長度進行試驗，分別為 500 m、800 m、1000 m 和 1500 m。

該水深地形資料除上述特殊地形部份的設計外，在一些基本假設上則都是相同的，設計如下，而上述三種不同的海灘地形進行的模擬條件，如表 3-1 所示。

- 地形解析度均為 1 m
- 模擬大小為海岸線南北長約 2 km、寬度自海岸線向外海延伸 1.5 km
- 模擬範圍的形狀近似半橢圓形(該形狀可以有效降低模式發散的機率)
- 底床坡度則參考期初審查委員的建議，以實測外澳海域底床坡度為 0.05 設計
- 近岸解析度為 5 m、外海解析度為 200 m，同樣以 Paving 方式建構網格

表 3-1 模擬不同水深地形條件參數設計

沿岸沙洲(Longshore bar trough, LBT)				
Case	沙壩位置	沙壩寬度(m)	沙壩長度(m)	沙壩間隙(m)
LBT1	沙壩 沒入水中	30	500	30、50、100、200
LBT2	沙壩 浮出水面	30	500	30、50、100、200
橫向沙洲與裂流(Transverse bar and rip, TBR)				
Case	槽溝深度(m)		槽溝長度(m)	槽溝寬度(m)
TBR1	0.1、0.5、1.0、3.0、 5.0、10.0、20.0、30.0		200	50
TBR2	5.0		50、100、200、400	50
TBR3	5.0		200	10、50、200、400
邊界控制型(Boundary Controlled)				
Case	灘尖長度(m)	灘尖寬度(m)	海岸線直線距離(m)	海灣曲率
BC1	100	500	1000	0.05、0.1、0.15、0.2
BC2	100	500	500、800、 1000、1500	0.1

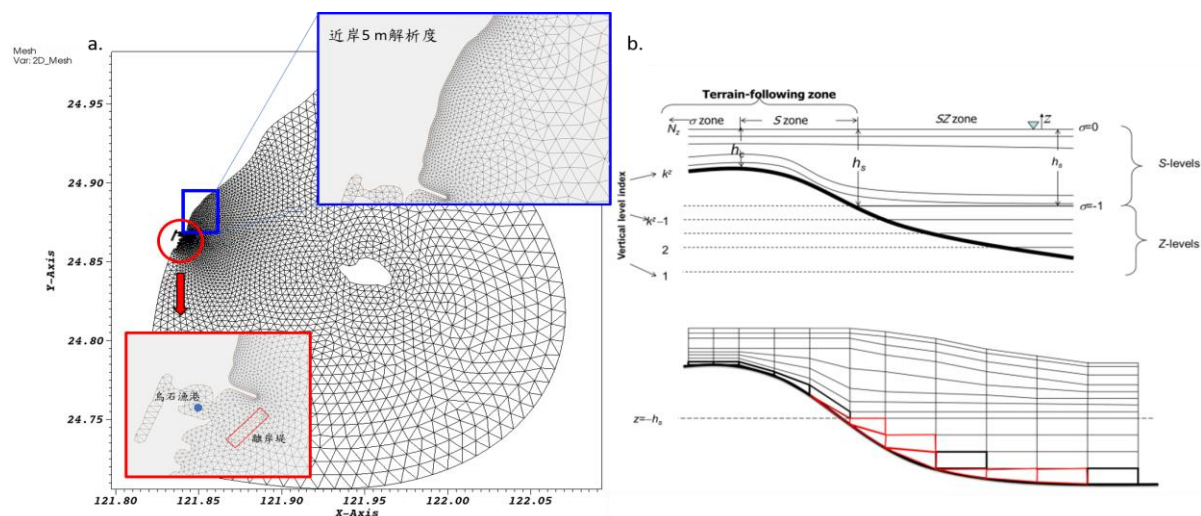


圖 3-1 宜蘭縣外澳海岸 SCHISM-WWM 模式計算網格(a.水平網格、b.垂直網格)

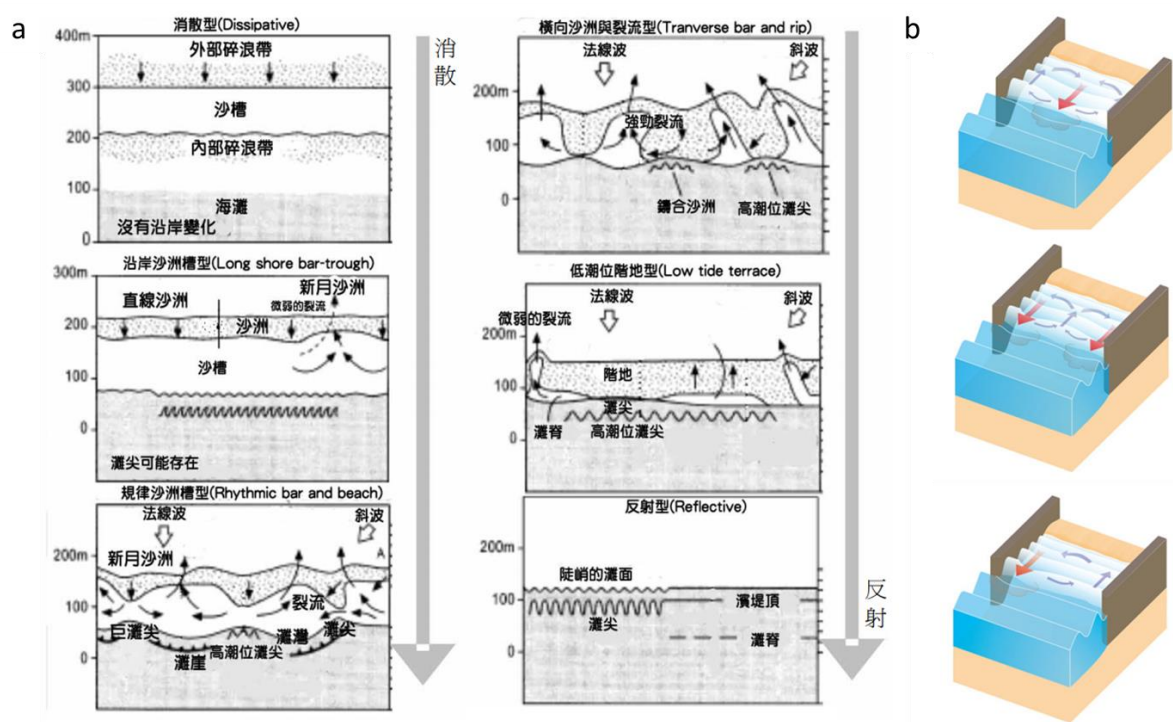


圖 3-2 裂流與水深地形關係圖(a.六種海灘類型、b.邊界控制型海灘裂流發生情形)

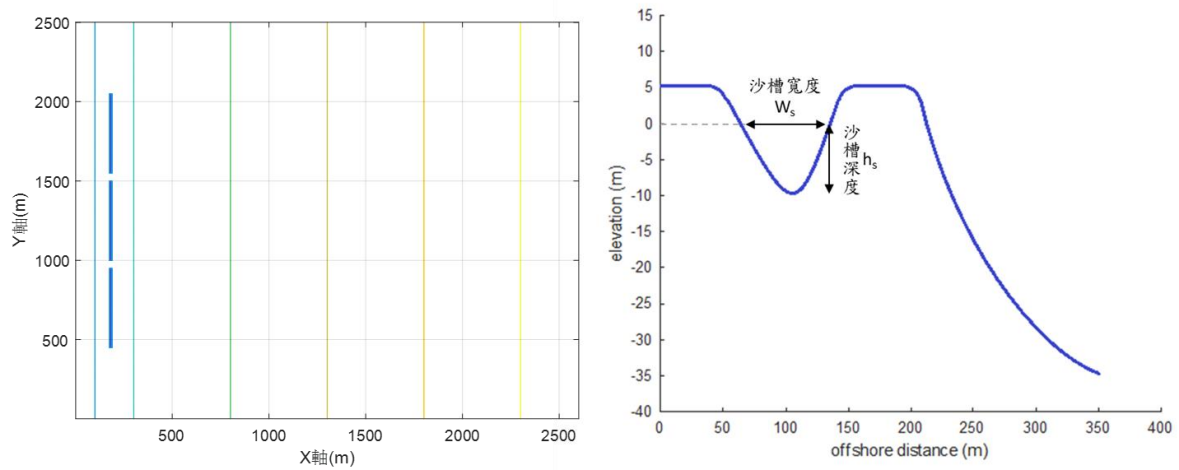


圖 3-3 沿岸沙洲槽地形示意圖(a.等水深線圖、b.地形剖面圖)

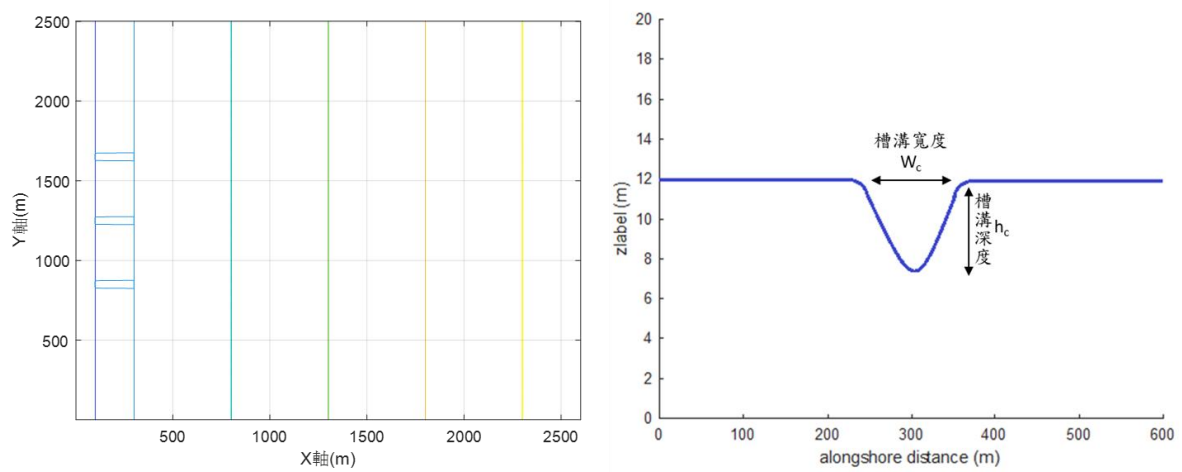


圖 3-4 橫向沙洲與裂流地形示意圖(a.等水深線圖、b.地形剖面圖)

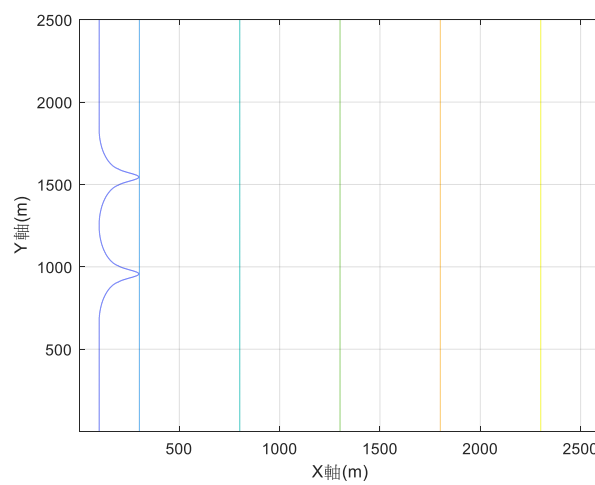


圖 3-5 邊界控制型地形示意圖

3-2-2 模式參數設置

本計畫採用的 SCHISM-WWM 波流耦合模式，是透過給定邊界條件作為驅動力進而計算模擬範圍的水動力變化情形，因此邊界條件的設定也是決定模擬結果是否準確的一個重要工作，同時亦會影響模式的運算效率。在第二年度計畫執行期間，考量模式運算的效率，在邊界條件的輸入中移除對近岸水動力影響較小溫度和鹽度，並且將波浪場的資料由原本法國海洋開發研究所(French Research Institute for Exploitation of the Sea, Ifremer)提供的 WAVEWATCH III 空間解析度為 0.25° 的資料，更改為本計畫自行模擬的 WAVEWATCH III 高解析度波浪場，不僅解析度提升至 0.15° ，使用的物理套組亦是較適合台灣周遭常出現極端波高的 ST4 深水物理套組(張等人，2019)。經上述改動後，模式運算效率有明顯提升，模擬一個月的外澳現場波流場實測資料，約需 2-3 天，模式的準確率亦有明顯的提升，尤其颱風期間的極端波高低估誤差有顯著降低。

然而模擬結果上對於裂流出現的時間點與觀測結果並不一致，有鑑於此，今(112 年)年度將調整模式參數設置來嘗試修正該些誤差，主要有兩個方向，其一已於上節中提及在模式模擬上將從二維提升至三維，討論是否有部分的裂流案例是發生於中間、甚至是底床；其二則是於模式中減少渦度平滑因子(shapiro)的影響，該調整可能會導致模式模擬解果較不平滑，但使模式可以更好的描述渦流的現象，而當渦流發生，則必定有一側的海流向外，亦代表裂流發生的情形會大幅增加。

其餘模式的設定仍參考前期計畫研究成果，波浪場的邊界條件使用自行模擬的 WAVEWATCH III 的高解析度波浪場，包含示性波高、平均週期、尖峰頻率、波向和方向分佈參數，時間解析度為 3 hr、空間解析度為 0.15° 、範圍涵蓋整個台灣周遭海域(東經 110° - 130° 及北緯 10° - 30° 間)、頻率域解析度為 0.04 - 0.4 Hz 分為 40 個頻帶、方向解析度為 10° ，資料如圖 3-6 所示。潮汐邊界採用 FES(Finite Element Solution)模式於 2014-2016 年計算的 8 個分潮，包含全日潮(K1、P1、O1 和 Q1)和半日潮(S2、M2、N2 和 K2)，代入模擬時間進行調和分析後，將分析結果與臨近烏石漁港潮位站的水位進行相位和水位基準點的修正，如圖 3-7。氣象場則使用我國中央氣象署預報風場(Weather Research & Forecasting Model, WRF)和美國國家環境預測中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 透過氣象預測系統第二代 (Climate Forecast System Version 2, CFSv2)所計算的全球大氣預報資料，10 m 高的平均風速採用 WRF 預報風場，如圖 3-8，其餘短

波輻射(Short radiation)、長波輻射(Long radiation)、氣壓(pressure)、濕度(Humidity)和降雨量(precipitation)則使用 CFSv2 的預報資料。此外，為讓模式模擬結果更加快速、準確率更高，在邊界上亦會國家海洋同盟計畫(National Ocean Partnership Program, NOPP)所提供的混和座標海洋模型(The Hybrid Coordinate Ocean Model, HyCOM)輸出的大範圍水位和流速資料，時間解析度為 3 小時一筆，空間解析度為 0.04° ，垂直解析度為六層，如圖 3-9。

前一節中有提即，今年度本計畫會進行自行設計水深地形的模擬，該模擬工作將會參考前期計畫的研究成果，模擬時間為 7 天，第一天為冷啟動(即後續分析將會從第二天的時間點進行)，邊界條件則由使用者直接設置最可能出現裂流的海氣象參數，再透過 JONSWAP 波譜模型代入 SCHISM-WWM 數值模式進行計算。JONSWAP 公式如下

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4} \frac{1}{f^5} \exp[-1.25(\frac{f_m}{f})^4] \gamma^{\exp[-(f-f_m)^2/2\sigma^2 f_m^2]} \quad (3-27)$$

式中 α 代表能量尺度參數、 γ 代表譜峰升高因素、 f_m 代表譜峰頻率，以及 σ 代表峰形參數。參考前期計畫對不同海氣象的模擬結果，較易出現裂流的波高為 1.5 m、波向為垂直入設海岸、週期為 6 秒。模式的驅動力仍需要水位的變化，故潮汐邊界條件則是透過代入 2019 年 1 月 1 日至 1 月 7 日的實際水位，藉此模擬水位變化可能對不同地形所造成的作用力。此外，風應力則是固定強度(3 級風)和方向(垂直入射海岸)，分別設計代入整個模擬區域進行模擬。

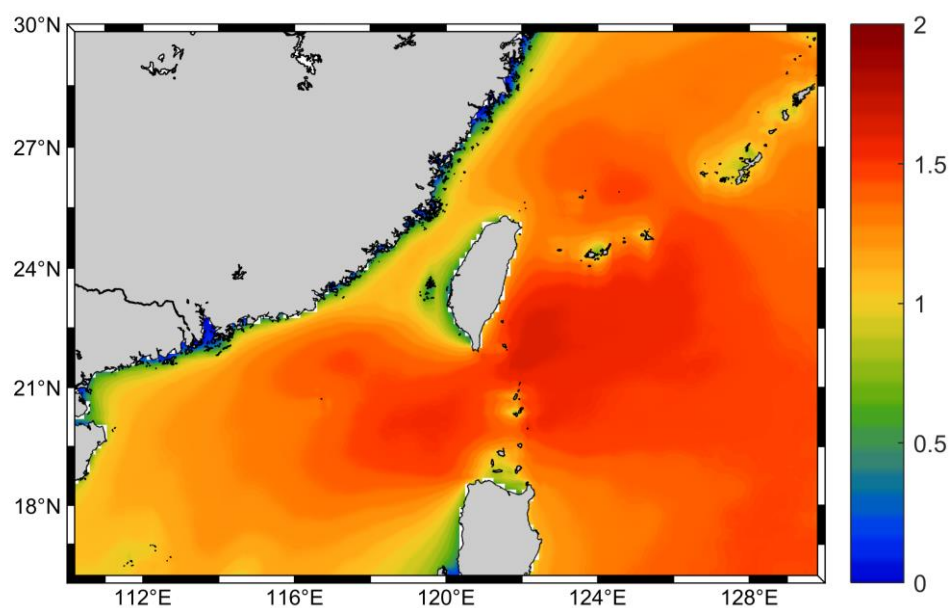


圖 3-6 本計畫模擬台灣周遭海域長年波高分布圖

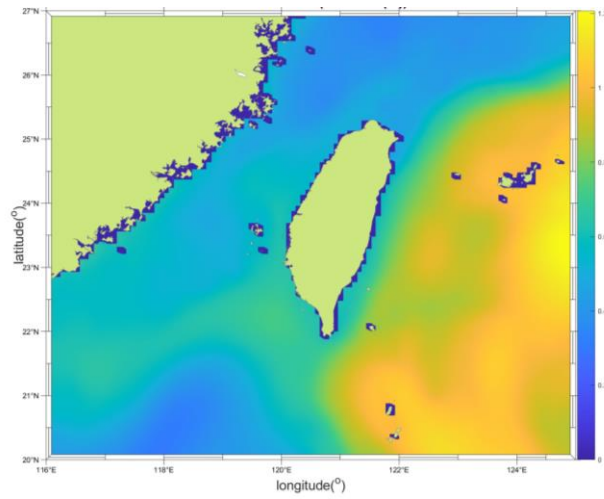


圖 3-7 台灣周遭海域 FES 模式調和參數計算之水位分布圖

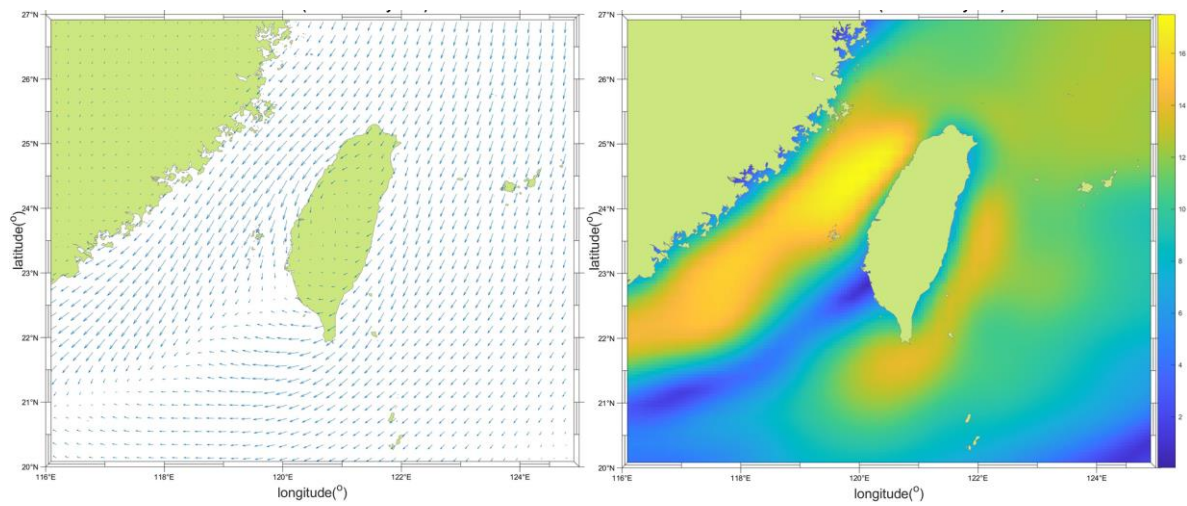


圖 3-8 氣象署 WRF 風場大氣資料(左.風向、右.風速)

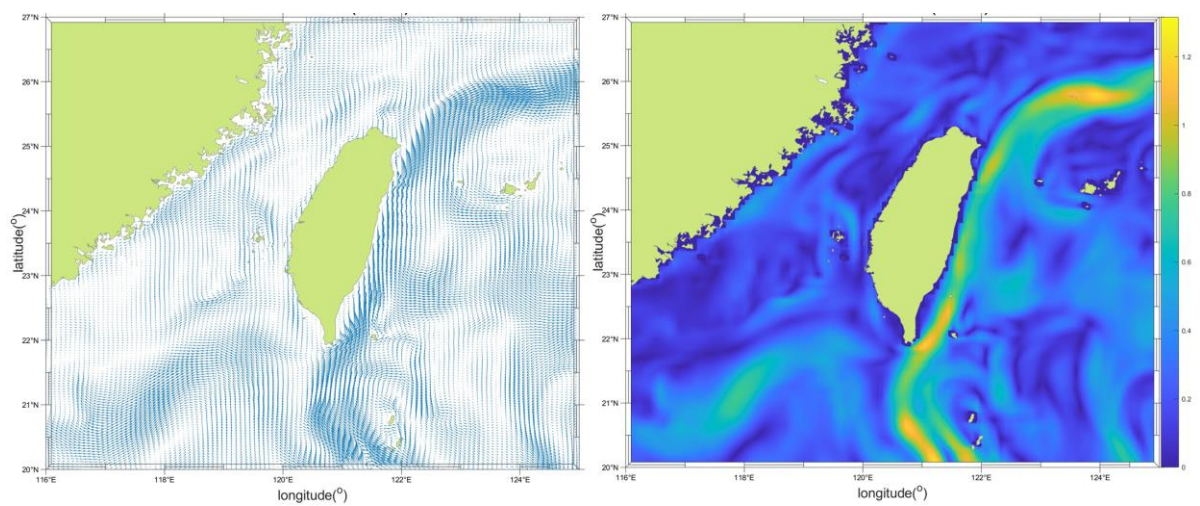


圖 3-9 HYCOM 潮流資料(左.流向、右.流速)

3-3 裂流數值模式模擬結果與分析

裂流的發生主要與近岸水深地形分布不均有關，當波浪入射海灣或槽溝時，波浪向中央匯聚引致水位的抬升，而水往低處流，因此產生向外海移動的流場，然而到底多大的波浪？波向為何？亦或者與風速有關？至今仍沒有定論，然而透過實際觀測案例進行分析，耗時又費力，且在沒有觀測儀器的海域則無法對當地裂流發生潛勢進行探究，因此亦有學者透過數值模式進行裂流案例的探討以及評析不同環境裂流發生的情形 (MacMahan et al., 2008; Austin et al., 2012; Feng et al., 2020)。

裂流數值模式模擬是本計畫相當重要的一項工作，不僅會是作業化裂流預警系統的主要模式，亦是探討裂流發生機制和裂流發生時的特徵相當有效的方法。本計畫係屬三年期計畫，在前兩年已對模式有一定的掌握，將其應用於長期現場實測資料的模擬，以及不同海氣象條件下裂流發生特性探討上。今(2023 年)年度已為本計畫第三年，主要目標則是將該模式應用於實務上，該部分的工作項目有二，其一，持續精進裂流數值模式，與現場觀測結果進行比較，評估模式的準確性和可信度，並提出模式可能的侷限性；其二，參考前期計畫對不同海氣象條件模擬的方式，對不同水深地形進行模擬，探討裂流發生時的特性。此外，本計畫亦根據期中報告審查時滕春慈委員建議，透過三維模式的模擬，探討可能存在於中間或是底床水深位置的裂流。以下將對上述工作項目進行詳述。

3-3-1 實測資料模擬與驗證

裂流數值模式已在前期計畫的基礎上進行調整，透過將模式從二維模擬增加至三維模擬，以及考慮渦流項對近岸水動力的影響，藉此提升模式模擬結果的準確率和合理性。在 WAVEWATCH III 的波浪模擬上，本計畫也對模式的參數進行調整，參考(張等人，2019)的研究成果，對頻率增幅倍數、波浪頻率維度的最低頻率、頻率維度離散後的個數、角度維度離散後的個數與角度偏移量五個物理參數進行調整，更改為台灣周遭海域適合的數值，分別為 1.06、0.04118、40、36 和 0。此外，今(2023 年)年 2 月份 SCHISM 開發者張應龍博士受邀來臺，本研究團隊有幸與他進行交流，由於裂流發生的原因除地形不均，導致波浪入射海岸時淺化或波浪輻射應力引致裂流發生外，近岸區域的渦流亦是造成裂流的原因之一，故在張應龍博士的建議下，本計畫對渦流項的平滑參數進行調整，將渦流效應在時間和空間尺度上的平滑作用關閉，雖然這樣的改動可能會造成流場

奇異點的發生(即鄰近網格流向、流速有顯著差異，甚至相反)，但這可以更好的描述渦流的現象，讓模式在模擬時能夠增加渦流效應對裂流產生之影響。

本計畫今(2023 年)度不僅將模式模擬由二維提升至三維，對於 WWIII 波浪模式更是根據臺灣周遭海氣象特性進行參數的調整，同時在水動力模式模擬上也增加考量渦流效應造成裂流發生之可能性。首先，考量後續模式會做為預警系統的主要程式，本計畫對模式的運算效率進行測試，結果發現模擬一個月現場實測資料所需的時間，只要在垂直動量傳輸上採用“正壓傳輸”，其模擬時間仍可維持在 3-4 天左右。

然而若要以數值模式進行裂流的預警，除運算效率，最重要的還是模擬結果的準確性，為驗證經過上述改動，模式準確性是否有所提升，本計畫參考前期計畫模擬的時間，進行 2019 年 8 月一整個月的模擬，並蒐集烏石漁港潮位站和龜山島浮標的波浪場和水位資料進行驗證。驗證結果如圖 3-10 所示，無論是示性波高、平均週期或是波向相較前期計畫，水動力驗證結果均有所提升。示性波高的部分原先在 8 月 8 日前模擬的波高有明顯高估的情形，約多 0.2- 0.3 m，經此次改動後雖然仍有高估，但已縮小許多；平均週期在 8 月 11 日至 8 月 14 間，前期計畫的模擬結果，不僅有高估的情況，相位也有所偏移，而今年度的模擬結果在解決相位偏移的問題；而波向的部分在 8 月 23 日之後，原先的模擬均有低估的情況，而改動後的模擬結果幾乎與實測資料一致。若從無因次均方根誤差(Normalized root-mean square error, NRMSE)來進行分析示性波高的 NRMSE 由原先 0.2707 提升至 0.2132、平均週期的 NRMSE 由 0.2290 提升至 0.1873、水位由於前期計畫就模擬得相當準確，但仍有些許提升，從 0.1743 提升至 0.1718；而前期計畫中模擬最不佳的波向 NRMSE 亦從 0.3197 提升至 0.2689，代表透過上述改動確實可顯著提升模式模擬的準確率。

在驗證完模式在水動力模擬的準確性後，便要比較模式模擬的裂流現象與現場觀測結果是否一致，而這部分亦是今(2023 年)度其中一項工作項目。在驗證模擬與現場觀測一致性，可分為三個部分，其一要驗證裂流發生時兩者之間周遭海氣象環境，方能確認模式描述裂流和現場發生裂流的機制相同；其二就是比對兩者發生裂流的位置，初步評估網格建置的合理性和地形的準確性；其三便是加入時間尺度的比較，驗證兩者間時空間分布的一致性。

在第一項比對模式與現場裂流發生的機制，本計畫參考前期計畫的方式，比較模式

和現場觀測裂流發生時在各海況下發生的條件機率，資料採用 2021 年 11 月至 2022 年 12 月的資料，如圖 3-11 結果顯示，兩者統計值相當的接近，代表透過該數值模式所描述的裂流現象，與實際情況發生裂流的水動力機制是一致的，也驗證模式對裂流描述的結果有一定的合理性。在空間分布裂流發生的位置，現場觀測到有裂流發生的位置，數值模式均有類似出模擬的案例，如圖 3-12 所示，但從結果顯示並非所有位置的裂流案例模式均有足夠的解析度將其精準的還原，在 R7、R8、R9 和 R10(在今(2023 年)度已將編號改成 W9、W8、W9 和 W10)雖然在此區域模式曾模擬出裂流現象，但較無法分辨出是位於上述 R7 至 R10 的哪個渠道。此外，經張應龍博士建議修改模式渦流平滑項因子後，本計畫確實從結果中發現裂流發生的比例有明顯增加，第一個案例是在 2019 年 8 月 6 日 4 時的模擬結果，如圖 3-13 顯示前期計畫在有進行濾波的情形下模擬結果並未有裂流發生，而當對模式進行改動後於外澳海灘 W1 位置則有明顯的裂流現象；本計畫亦從有監測站觀測期間中發現類似情形，在 2022 年 3 月 2 日 13 時，現場觀測在 W9 的位置有裂流的紀錄(如圖 3-14.a)，而前期計畫中模式模擬結果並未有裂流發生的現象，但模式在經過改動後，該處則有裂流現象的發生(如圖 3-14.b 和圖 3-14.c)，不僅證實降低渦流平滑化因子的影響能有效提高裂流發生的比率外，也能初步評估上述兩起裂流發生的原因是由渦流所引致的。

為驗證裂流發生的時間分布，本計畫從各個季節挑選一個月進行比對，驗證在不同季節下模式模擬裂流的能力，以及確保均有各個位置上的裂流案例，分別為 2022/11、2022/2、2022/5 和 2022/8 四個月分，在這四個月分外澳監測站共計蒐集 59 起裂流案例，累計裂流發生小時數達 135 小時。驗證的評估結果，本計畫採用混淆矩陣中正確率的計算方法(即全部觀測時段除觀測與數值模式相同的時段)，由於上段中提及有部分位置的裂流案例分辨率不夠精確，故本計畫先針對時間分布進行驗證(即不考慮裂流發生位置是否相同)，結果如表 3-2 所示，在 135 個有觀測到裂流發生的時間點中有 79 個小時模式有模擬出裂流，而在沒有發生裂流的 1305 小時中模式僅有 209 小時有模擬出裂流，故根據混淆矩陣計算結果準確率(Accuracy Rate)達 81.6%。若要同時考慮裂流發生的位置是否有相同，考慮到模式辨識率的問題，本計畫將模式模擬範圍有包含到觀測範圍的結果視為模擬正確，那其中模擬出裂流時間點正確的 79 小時中，仍有 55 個時間點是正確的，準確率(Accuracy Rate)仍有 79.9%。為瞭解模式模擬結果與現場觀測結果相異之處，本計畫去比對兩者案例，結果顯示在裂流發生持續時間較短的案例(裂流持續時

間為 3-4 小時)在經過調整渦流平滑項因子後，模擬結果較為一致，如和案例所示，兩者裂流持續時間分別為 1 小時和 3 小時；反之，在裂流持續時間較長的案例(裂流持續時間達 6 小時以上)，目前模式較無法描述該類型的裂流現象，如圖 3-16 所示。

由於監測站觀測裂流的方法是根據海表面碎波帶的特徵進行判釋，故模式在進行驗證時，本計畫亦是去分析海表面的流場與觀測結果進行比對，但仍有可能在中間水深或是底床水深的也會有裂流發生，且海表面亦會有碎波帶斷裂的特徵，此外由於近岸區域水深都較淺(頂多十幾公尺)，若裂流發生於中間或是底床水深的部分，亦有可能造成遊客在遊憩時的潛在風險。本計畫分析 2022 年 11 月一整個月的三維流場模擬結果(如圖 3-17 至圖 3-20 所示)，從圖 3-17 和圖 3-19 平面流場圖可發現無論在有裂流發生或是平常的時候，表層海流是指水位為 0 m 的深度，而底床海流則為當下位置的水深深度，在不同水深對於裂流現象的出現是有一致性的，即在表面發現有裂流，那底床海同一個位置亦會有離岸的海流出現；反之平常時候在表面沒有發現裂流，那底床亦不會有裂流的現象，但表面流和底床流的流向和流速分布仍有些微的差異，這部分推測可能與表面流場更容易受到風應力的影響，如圖 3-21 所示，表面流場較底床流場與風場更有一致性。同時本計畫也挑選上述平面流場相同時刻的資料，分別在緯度約 24.875°(裂流發生位置)和 24.882°的位置繪製剖面流速圖，從剖面流速圖來看其實在不同分層下在垂直海岸線方向的流向都相當的一致，若是裂流發生時則流速整體呈現離岸，反之平時的時候流速整體就呈現向岸。該結果目前僅是分析一個月的現場流場資料，尚未可以完全確認裂流的發生在不同水深均有一致性，故後續可增加模擬時長或不同區域來增加分析資料，同時探討不同水深下裂流發生情形是否有地域性的影響。

綜上所述，本計畫在水動力的驗證上相當的不錯，觀測結果中裂流發生的位置模式模擬大部分均能還原，並且在關閉渦流項平滑因子後，短延時裂流案例模擬結果亦有改善。觀測和模擬裂流結果在時空間分布雖有所差異，但在不考慮位置是否相同的情況，準確率已可達到 8 成以上，而其中約有 7 成案例位置也相近。根據上述分析結果，本計畫認為模式在模擬因海灣和水動力交互作用和渦流效應下所引致的短時延時的裂流案例有著不錯的結果，但因特殊地形如槽溝、沙壩或長延時裂流案例模擬結果較差，造成此原因推測仍是因為地形資料與現場情形相異(目前的地形資料是 2018 年時測的結果)，結合觀測和模擬出現裂流時海氣象條件相似、且驗證上時間點準確率不錯，代表模式還是能夠反應裂流受到水動力和海灣形貌動力的影響，若之後要以數值模式預測裂流發

生，可先以整個海域進行預警。

表 3-2 現場觀測與數值模式模擬裂流發生案例時間點比對結果
(無考量裂流發生位置)

	觀測 (有裂流)	觀測 (無裂流)
模式模擬 (有裂流)	79 筆(TP) 55 筆(TP) (考慮位置)	209 筆(FP)
模式模擬 (無裂流)	56 筆(FN)	1096 筆(TP)



圖 3-10 SCHISM-WWM 模式模擬結果驗證

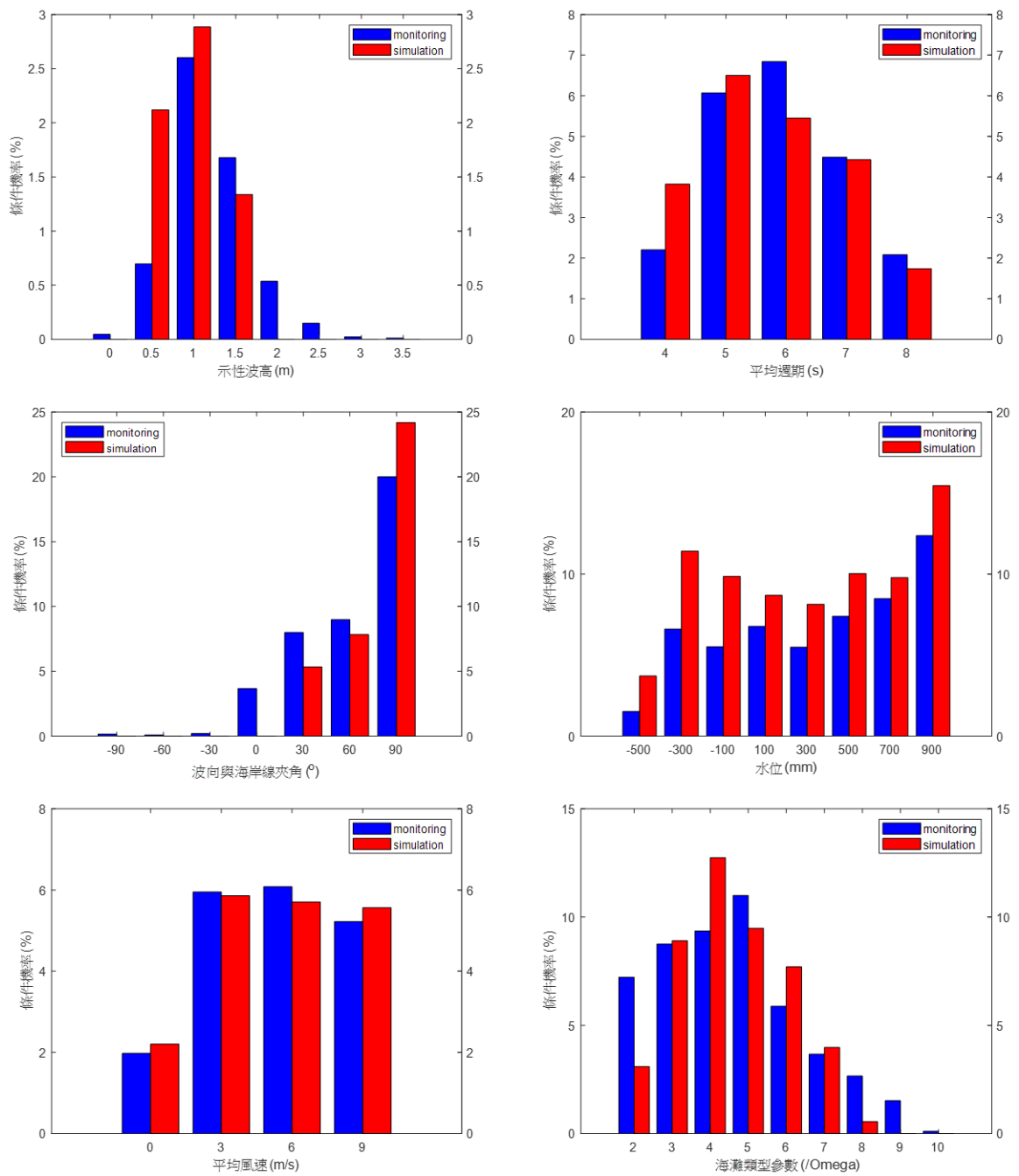


圖 3-11 宜蘭縣外澳海域模式模擬和現場觀測裂流發生之條件機率比較

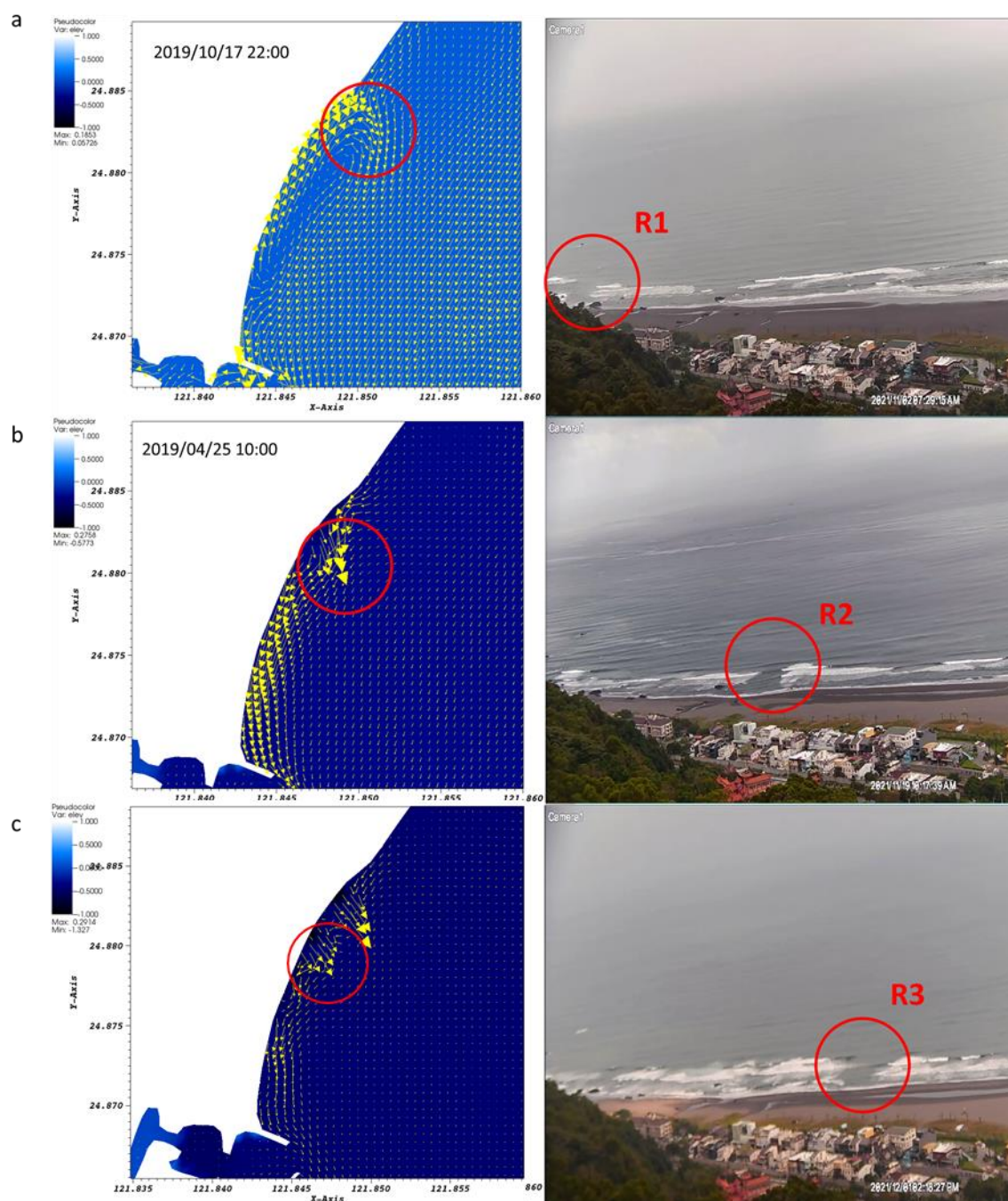


圖 3-12 宜蘭縣外澳海域裂流模擬發生位置與現場觀測結果比對

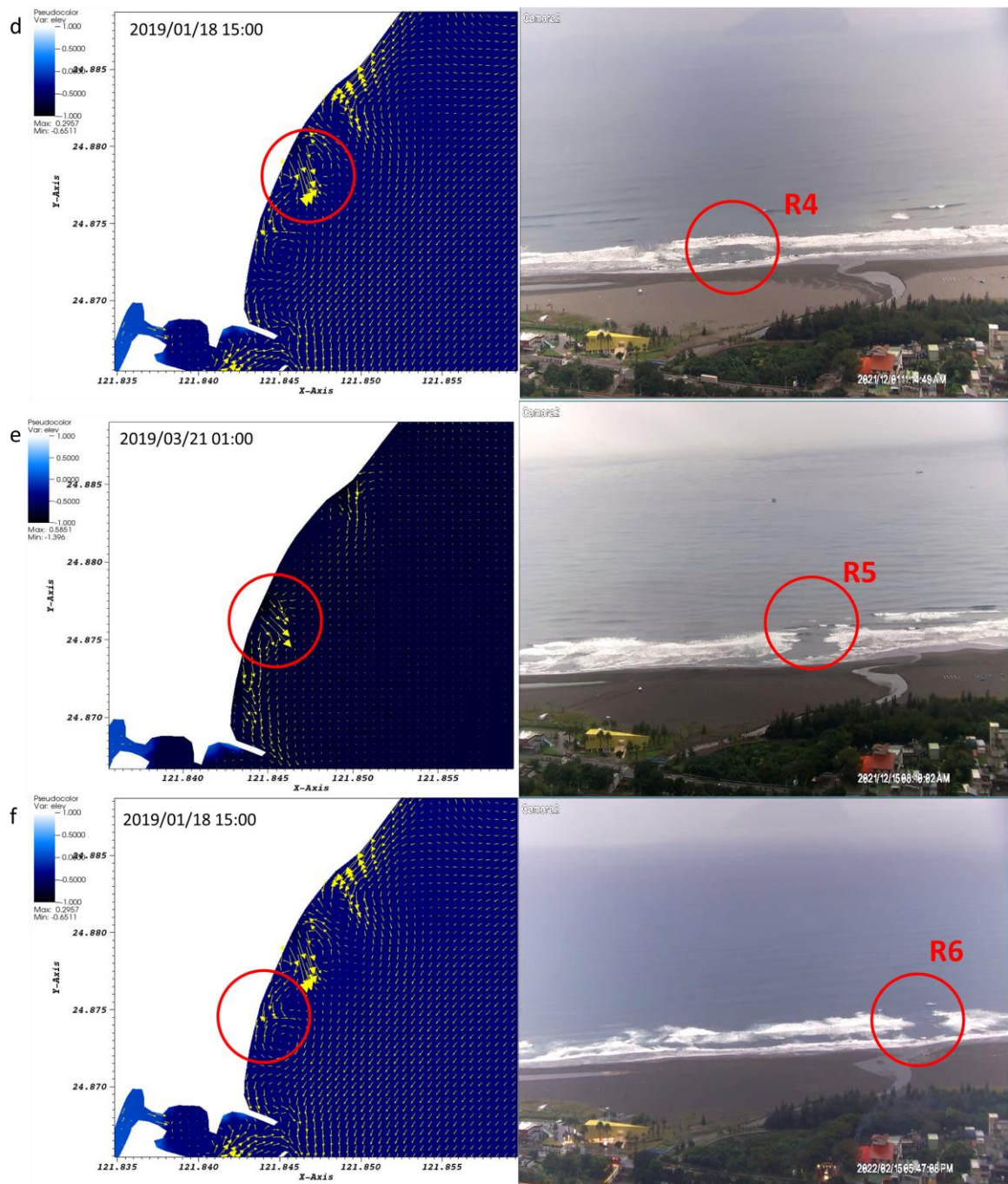


圖 3-12(續) 宜蘭縣外澳海域裂流模擬發生位置與現場觀測結果比對

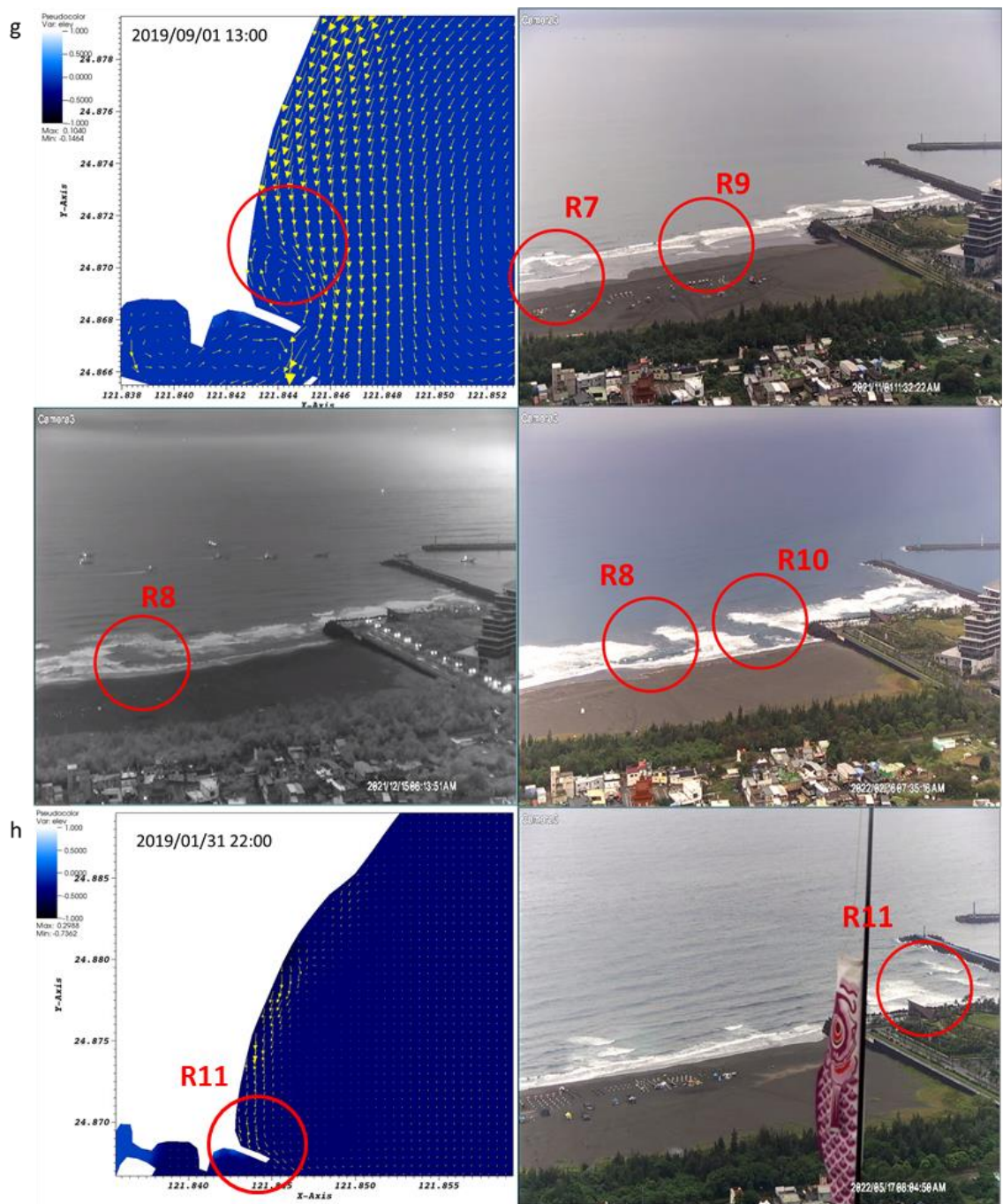


圖 3-12(續) 宜蘭縣外澳海域裂流模擬發生位置與現場觀測結果比對

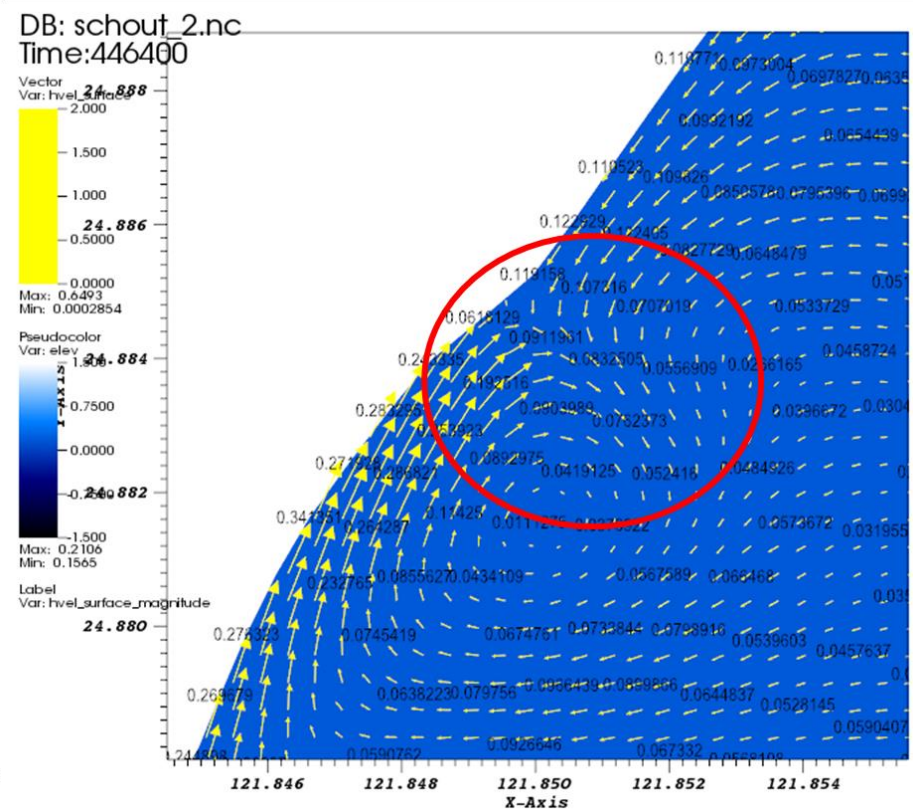
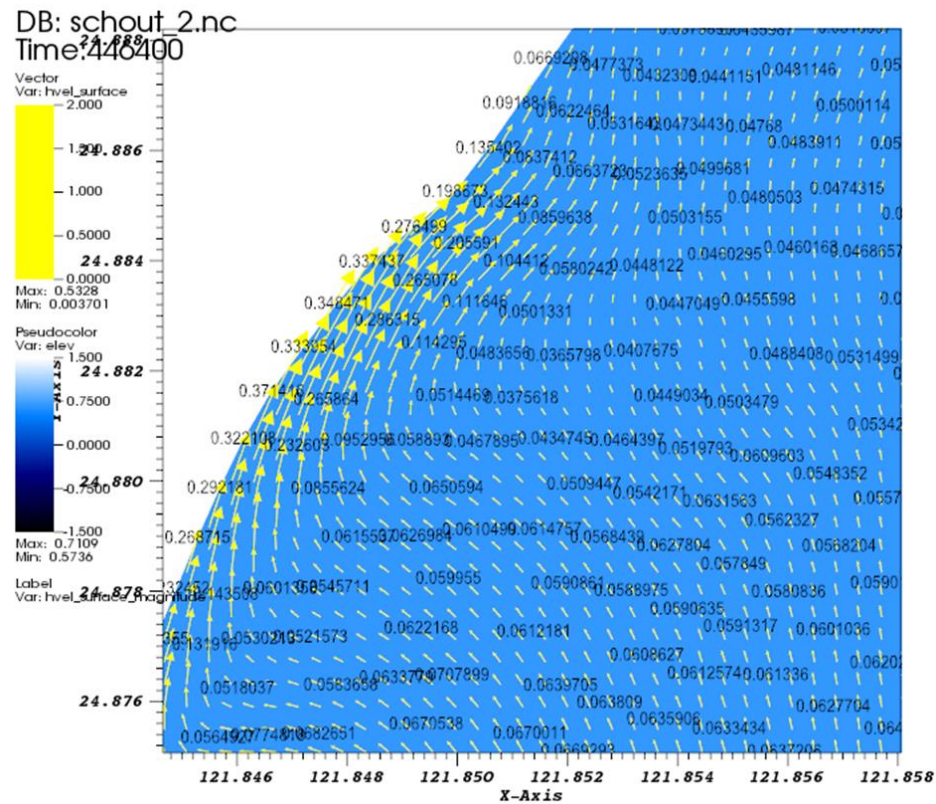


圖 3-13 裂流數值模式參數設置改動前後模擬結果(左.改動前、右.改動後)(2019 年 8 月 6 日 4 時)

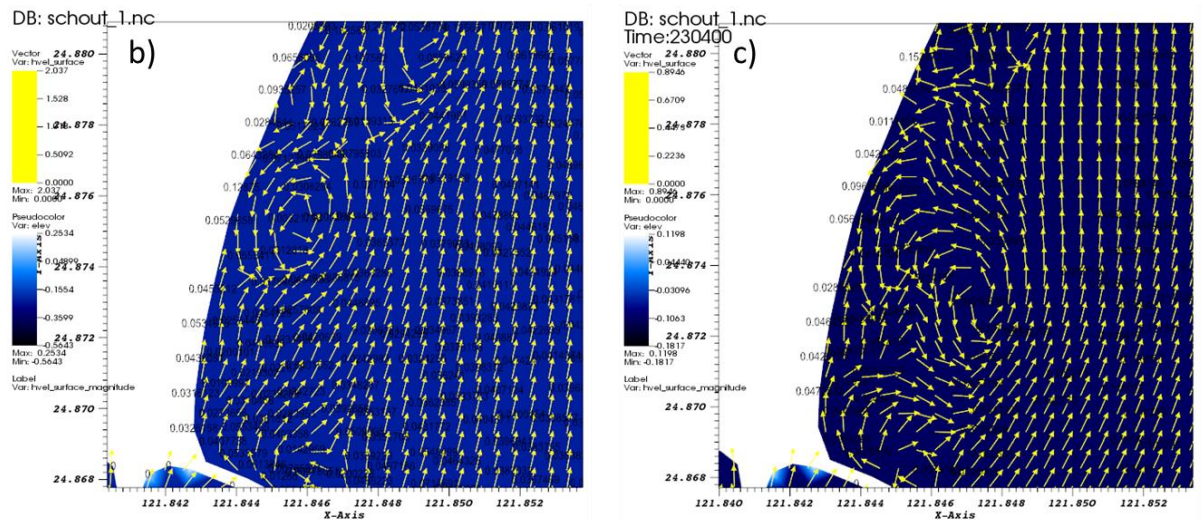


圖 3-14 裂流數值模式參數設置改動前後模擬與現場觀測比對結果
(a.現場觀測、b.改動前、c.改動後)(2022 年 3 月 2 日 13 時)

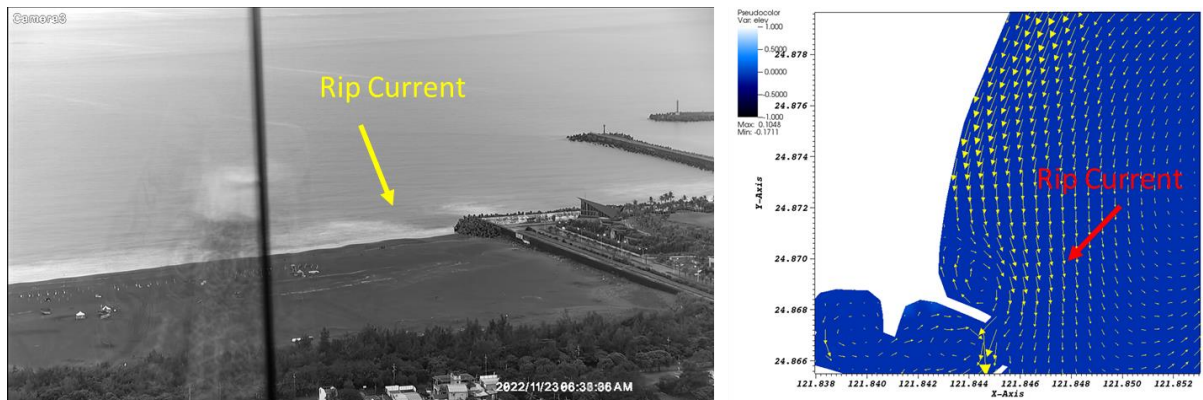


圖 3-15 短持續時間裂流案例觀測與模擬結果相似示意圖
(左.現場觀測、右.模擬結果)(2022 年 11 月 23 日)

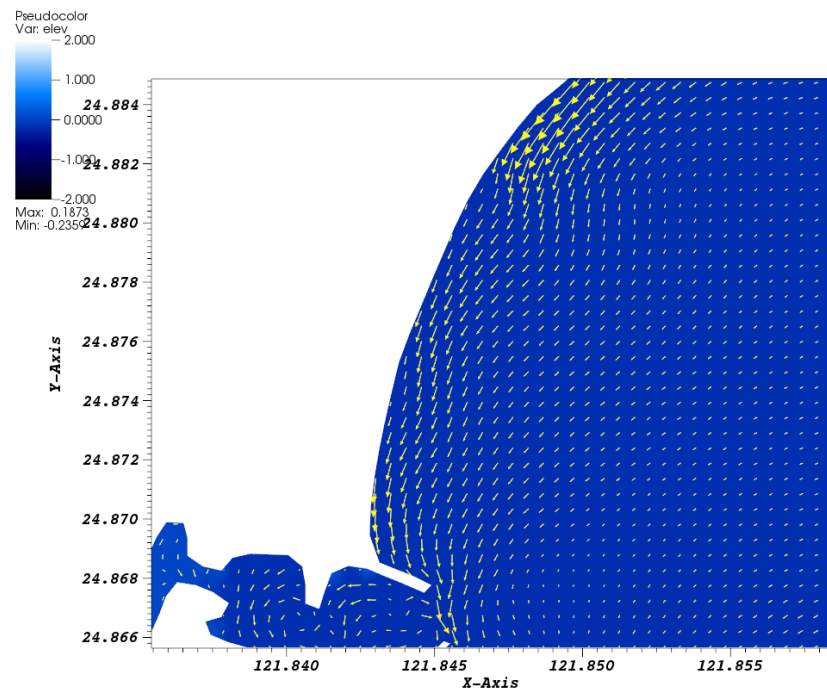


圖 3-16 長持續時間裂流案例觀測與模擬結果相異示意圖
(上.模擬結果、下.現場觀測)(2022 年 11 月 20 日)

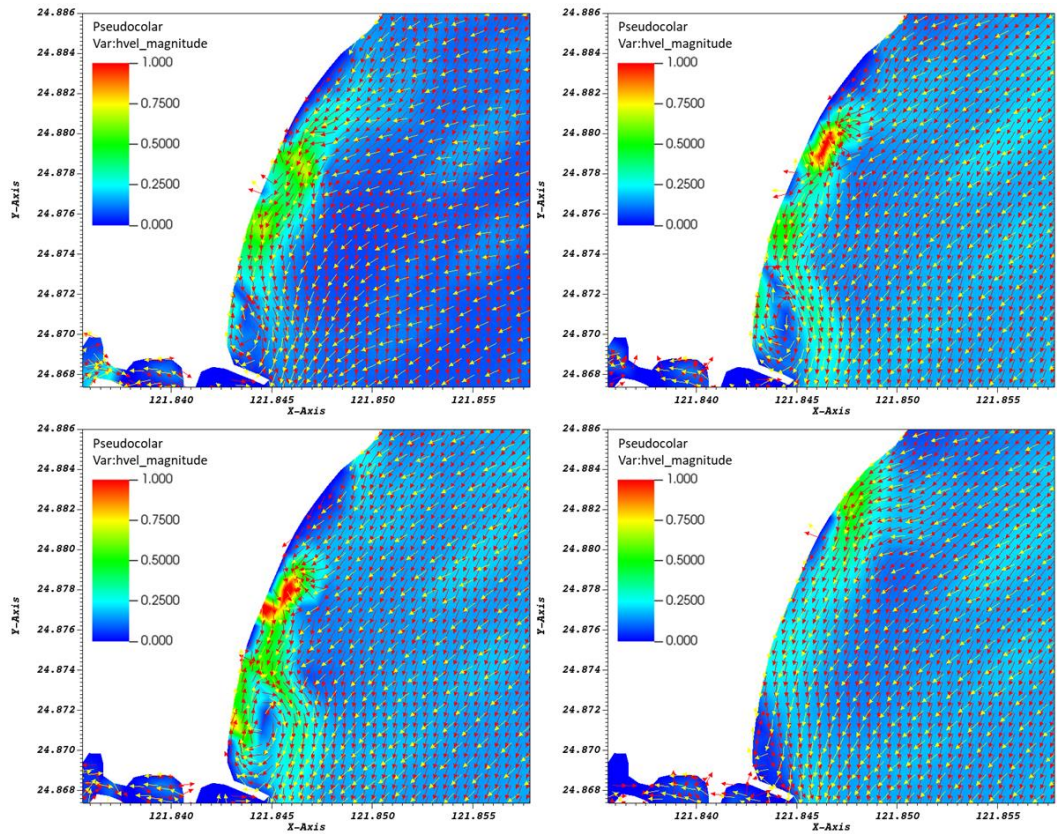


圖 3-17 不同深度宜蘭縣外澳海域發生裂流時平面流場
(紅色.底床、黃色.表面，時間:2022 年 11 月 13 日)

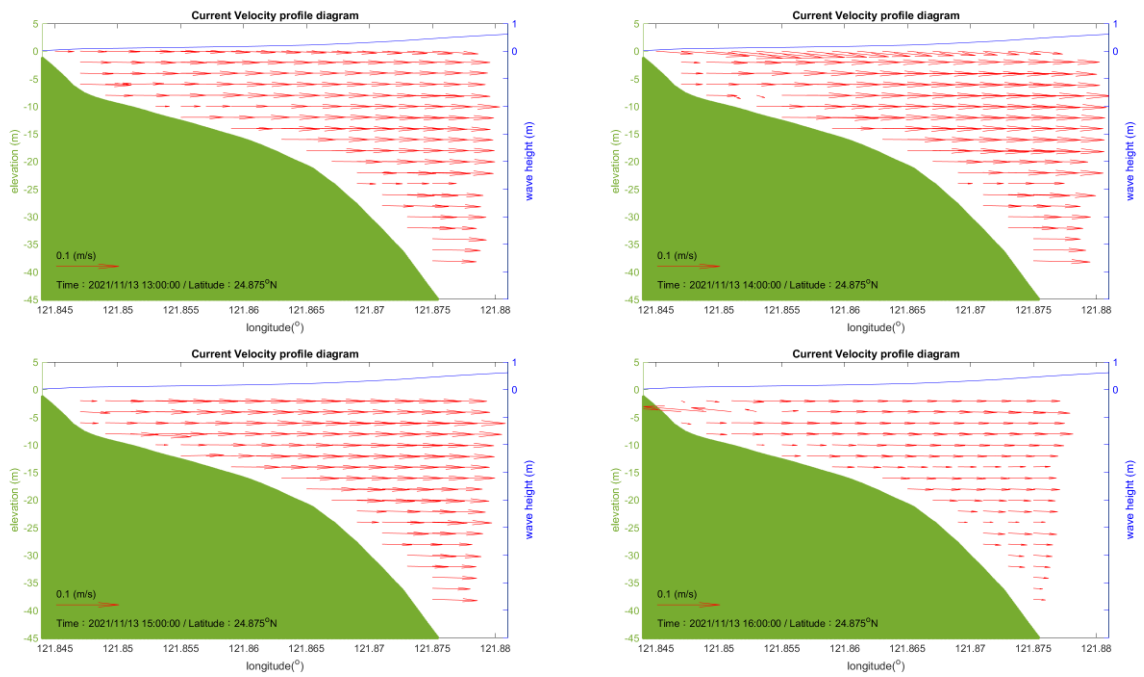
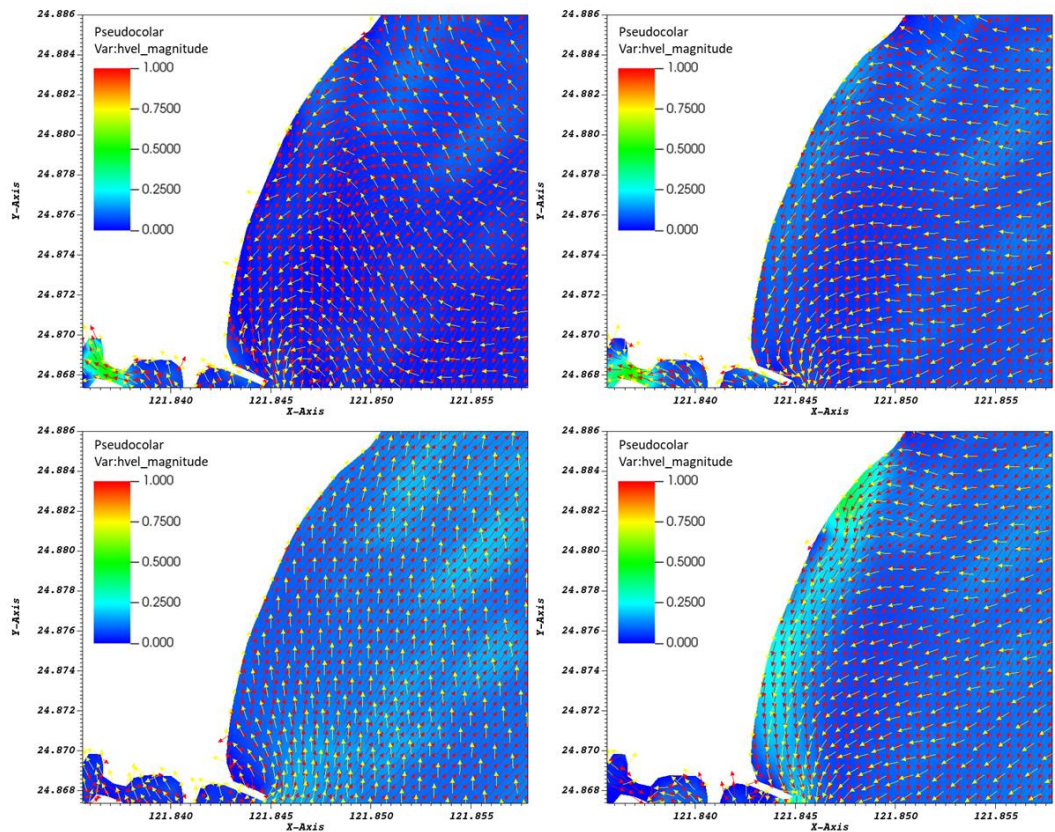


圖 3-18 不同深度宜蘭縣外澳海域發生裂流時剖面流場(位置:北緯 24.875°)



和圖 3-19 不同深度宜蘭縣外澳海域平時平面流場
(紅色.底床、黃色.表面，時間:2022 年 11 月 6 日)

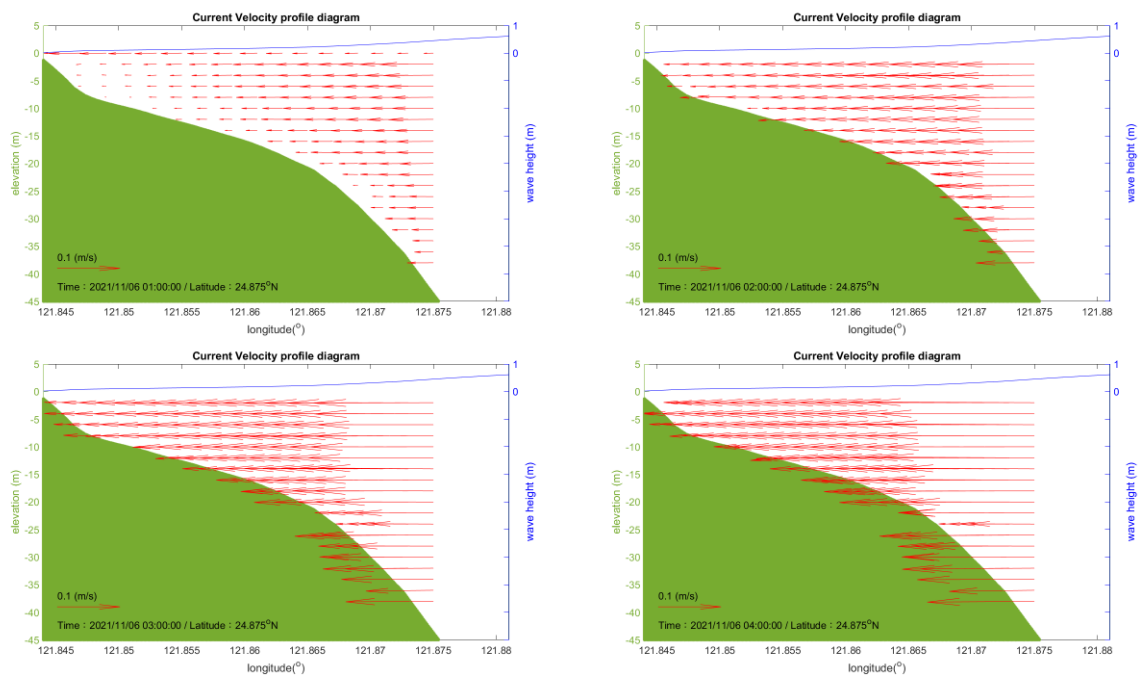


圖 3-20 不同深度宜蘭縣外澳海域發生裂流時剖面流場(位置:北緯 24.882°)

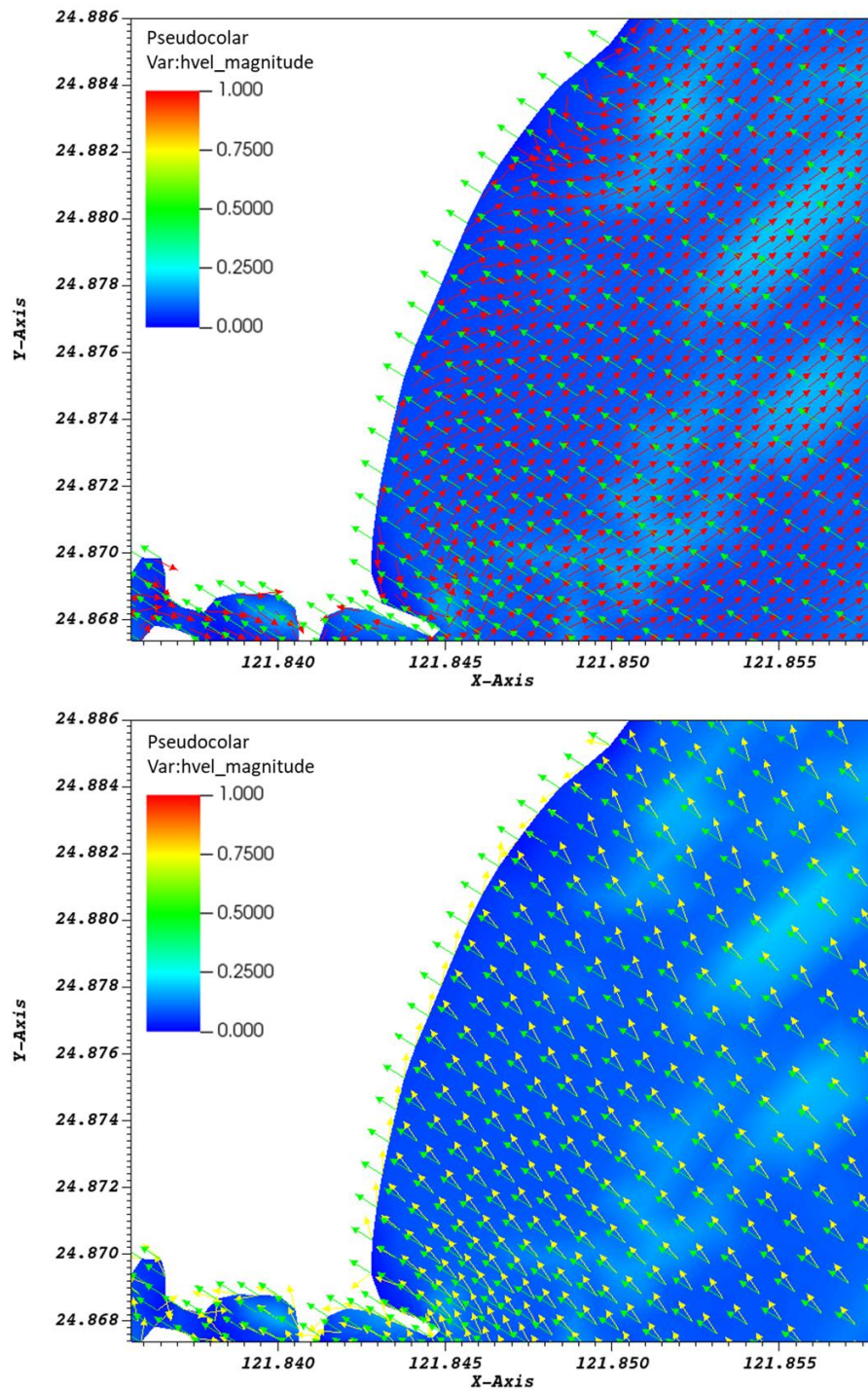


圖 3-21 不同深度宜蘭縣外澳海域流場與風場比對圖
(紅色.底床流場、黃色.表面流場、綠色.風場)

3-3-2 不同水深地形環境裂流發生情形

前節已初步對模式模擬裂流的能力進行評估，結果顯示模式現在所採用的設置，是足以反映不同機制下水動力對於裂流發生的影響，提供本計畫於裂流研究上所使用。在今年度數值模式的工作項目中，前節中已對模式模擬結果與現場觀測相異的情形，推測出可能的原因，並提出未來作為預警系統上的侷限性，以及可以實際應用上的策略。為能更加全面探究影響裂流發生的因素，透過模式擁有高自由度的特性，使用者可以設定不同的條件進行近岸環流的模擬，藉此分析裂流發生的可能性，甚至發生時的特性，相較長期觀測裂流獲得案例進行分析，可加速裂流研究得進程。此外，並非每個海域在未來都有裂流預警系統能夠提供裂流災害資訊給民眾，若能透過模式模擬來探討不同海氣象地形等環境對裂流發生的可能性和特徵，便可以在不借助裂流預警系統的情況下初步分析當下海況的裂流發生潛勢。本計畫已於去(2022 年)年度已對不同海氣象環境下裂流發生的現象進行模擬，今(2023 年)度將會接續該研究成果，進而分析不同水深地形下裂流發生的情形。

根據前人研究與裂流監測站分析結果顯示，裂流發生的機制和發生時的特徵與水深地形都有顯著的關係，不同地形導致裂流發生的機制亦有所不同，如在結構物旁的裂流，是受到邊界控制，波浪折射和繞射所產生的；而海灣中央的裂流，則可能是波浪堆積，水體為抵抗輻射應力，產生向外海移動的應力所導致的。因此，本計畫截至期中報告繳交為止，已初步模擬三種易發生裂流的水深地形，詳細的地形設計條件和模擬的方法已於 3-2 節中有詳述。以下將對(1)沿岸沙洲槽(Longshore bar trough, LBT)、(2)橫向沙洲與裂流(Transverse bar and rip, TBR)，以及(3)邊界控制型海灘(Boundary Controlled)模擬結果進行說明。

沿岸沙洲槽地形(LBT)的模擬結果如表 3-3 和圖 3-22 至圖 3-25 所示，結果顯示在有沿岸沙洲槽的地形裂流可能會發生於兩個位置，其一是兩沙壩間的間隔處，其二則是位於最外圍沙壩面向開放海域的側邊，沙壩的前方或是後方均未模擬出裂流。前者無論是離岸堤式(沙壩浮出水面)或是潛堤式(沙壩沒入水面)並非所有的沙壩間隙大小，都會出現裂流，當沙壩間隙為 30 m 時，流向均為向岸，反之，當沙壩間隙大於 50 m 後，則有裂流發生，但是每種間隙下裂流發生的時間點均不相同，流速、長度和寬度也沒有一定的規律性，但可以發現潛堤式的裂流寬度均較離岸堤式的寬，甚至有時候潛堤式的裂流

現象會涵蓋到沙壩的上方(如圖 3-24.b 和圖 3-24.c)；後者出現在最外圍沙壩面向開放海域側邊的裂流，在任何的沙壩型式和沙壩間隙均有裂流的出現，而裂流發生的時間點也與在沙壩間隙出現的裂流不同，沙壩邊緣的裂流裂流發生的時間點幾乎相同，少數會相差 1 至 2 小時，這也導致裂流發生的情形相似，在離岸堤式的裂流會呈現蕈菇狀離海岸線越遠裂流寬度會越大，而前提式的裂流當流幅超過沙壩後則會有向上偏移的情況出現，而在流速、長度和寬度上一樣是沒有規律性的，但可以發現當沙壩間隙等於 30 m 時，流速均是模擬案例中最大的，離岸離式和潛堤式測得的裂流流速分別為 0.24 m/s 和 0.29 m/s，初步推測造成此現象是由於當外海水體入射海岸後，由於沙壩間隙太窄，水流無法由此離開，僅能透過橫向槽溝向外海移動，而流速可以視為流量除以截面積，在流量不變的情況下，水體離開的截面積僅剩沙壩兩側槽溝出口，故此時的流速較大。

橫向沙洲與裂流地形(TBR)模擬結果如表 3-4 和圖 3-26 至圖 3-28 所示，在橫向沙洲與裂流地形的模擬，本計畫設計三個不同的情境，分別是不同的槽溝深度、不同槽溝長度和不同的槽溝寬度，而在所有的模擬結果中，所有案例在槽溝處均有發現裂流，以下將依序對三個不同情境進行詳述。在不同槽溝深度的模擬，與前人研究成果一致(Dalrymple et al., 2011)，隨著槽溝的深度越深流速會越大，在不同槽溝深度<0.1 m、0.5 m、1.0 m、3.0 m、5.0 m、10.0 m、20.0 m 和 30.0 m>所測得的流速分別為<0.09 m/s、0.07 m/s、0.09 m/s、0.11 m/s、0.25 m/s、0.37 m/s、0.44 m/s 和 0.57 m/s>，在槽溝深度小於 1.0 m 的案例中其實流速並未有明顯增加，但在槽溝深度增加幅大加大後，流速就有明顯的提升，而提升幅度最大的部分在槽溝深度從 3.0 m 至 5.0 m 間，平均槽溝每增加 1 m 的深度，流速就增加 0.06 m/s，而當槽溝深度達 10 m 以後，流速隨著深度增加的幅度就逐漸下降，此外裂流的長度和寬度目前模擬結果顯示並未與深度有顯著的相關。

在不同槽溝長度的模擬，最顯著的差別在於裂流的長度，若將裂流渠道轉向的位置視為裂流流幅最遠的位置，那隨著槽溝長度的增加裂流長度也會增加，且兩者長度間的差異不大，在槽溝長度為<50 m、100 m、200 m 和 400 m>所測得的裂流長度分別為<53.1 m、95.5 m、172.3 m 和 403.9 m>，但在 50 m、100 m 和 200 m 的模擬結果可以看到，在當裂流延伸超過槽溝渠道後，會受到上下兩方的渦流影響，在偏移原本的直線上繼續向外海延伸，且最終離岸的流場約都在 300 m 處轉向，此外隨著槽溝長度的增加，在裂流流速和裂流寬度上均未有明顯的變化，流速整體而言均為 0.25 m/s 至 0.27 m/s，而裂流寬度均介於 40 m 至 55 m 間。在第三個情境不同槽溝深度的模擬，從結果顯示無論

是裂流的寬度，甚至裂流的流速和長度都有顯著的影響，隨著槽溝寬度的增加，裂流的流速、長度和寬度均有明顯上升，在槽溝寬度為<10 m、50 m、200 m 和 400 m>所測的流速、長度和寬度分別為<0.23 m/s、0.27 m/s、0.30 m/s 和 0.44 m/s>、<159.3 m、313.5 m、458.1 m 和 738.6 m>以及<4.6 m、33.8 m、138.9 m 和 244.1 m>，在流速上可以發現當槽溝寬度小於 50 m 時，流速大約在 0.25 m/s，而當寬度大於 200 m 時，流速可達 0.3 m/s 以上，甚至在 400 m 的槽溝寬度可測得 0.44 m/s 的裂流，而裂流長度推測會有影響與裂流流速有關，由於槽溝寬度增加裂流流速亦會增加，所以從圖 3-28 結果顯示，在寬度為 10 m 的時候當裂流離開槽溝後就受到外海潮流的影響而轉向，當寬度來到 50 m 的時候，此時裂流流速提高，因此在與外海的潮流後形成上下兩股渦流，而當寬度大於 200 m 後，裂流向外海延伸後並不會受到南北向的潮流影響，直至外海流向完全與裂流流向相反才抑制裂流的發展，使得流向向上下兩側移動，而裂流的寬度並非與槽溝寬度一致，結果顯示裂流的寬度大約為槽溝寬度 50%。

第三類的水深地形為邊界控制型，即表示該海灘為非開放式的，目前本計畫設計的邊界均為雙邊(即海灘的上下兩側均灘尖存在)，並且固定灘尖的寬度、長度和曲率，僅改變海灣的型態，包含海灣曲率(透過海岸線寬度除以海岸線深度的海灣曲率來進行不同案例的模擬)和海岸直線長度，模擬結果如表 3-5、圖 3-29 和圖 3-30 所示，與不同槽溝寬度模擬相同，在本計畫中設計的所有情境均有裂流出現，但在該地形的模擬結果較 LBT 和 TBR 不同，前面兩種情境裂流發生的位置均是在特殊地形上，及沙壩間隙、外圍沙壩外側或槽溝處，但在邊界控制型地形並未有上述特殊的位置，故在該部分本計畫會增加探討裂流發生的位置。

在不同海灣曲率的模擬顯示，隨著曲率的增加裂流發生的位置會越接近海灣中央，海灣曲率為<0.05、0.10、0.15 和 0.20>所觀測到裂流位置分別在北緯<24.873°、24.874°、24.875°和 24.876°>的位置，且其中當 0.05 曲率時裂流是從灘尖處發生的，這與突堤處發生裂流的機制相似，是由於波浪海流入射近岸時，波浪淺化、折射和繞射造成的，而在裂流特徵方面隨著曲率的增加裂流流速和裂流的寬度也會隨之增加，海灣曲率為<0.05、0.10、0.15 和 0.20>所測得的流速和寬度分別為<0.36 m/s、0.39 m/s、0.41 m/s 和 0.75 m/s>和<51.7 m、86.4 m、99.3 m 和 105.3 m>，特別需要注意的是當海灣曲率達 2.0 時，裂流流速可達 0.75 m/s，此流速以超過一節；而在不同海岸線直線距離模擬，隨著海岸線直線距離的增加，裂流發生位置亦會越趨近海灣中央、流速亦愈大，但裂流的寬

度卻越小。在位置上，在海岸線直線距離為 500 m 時，裂流是發生於灘尖的位置，而當海岸線直線距離為 1500 時，可以發現裂流位置基本在海灣正中央，而海岸線直線距離為<500 m、800 m、1000 m 和 1500 m>所測得的裂流流速和寬度分別為<0.23 m/s、0.30 m/s、0.39 m/s、0.50 m/s>和<121.6 m、116.9 m、86.4 m、80.3 m>。

綜上所述，本計畫所模擬的三種易發生裂流的水深地形，並非每一種案例均有裂流現象的出現，且即便是有裂流出現，裂流發生時的流速、長度和寬度亦有明顯差異，從最小不到 0.1 m/s、毫無為害，最大可達一節以上，而影響範圍也從數十公尺至百來公尺，且裂流影像的長度可延伸至外海數百公尺，但這僅對於某些特定參數改變時，裂流特徵會有規律性的變化，仍有不少裂流特徵隨著地形水深的變動，並未有規律性(即隨著參數的增加或減少，裂流流速、長度和寬度也會隨之增加減少等)。在第二年度的計畫中本計畫發現部分海氣象條件對於裂流的影響，而今(2023 年)度則對水深地形的影響進行討論，故該結果表示，裂流發生的機制相當的複雜，水動力和形貌動力中每一項因素均能影響裂流的發生以及發生時的特徵，但有更多的情況是由於水動力條件的交互作用、形貌動力的交互作用，甚至水動力與形貌動力的交互作用均會影響到裂流的發展，故無法透過單一的海氣象或是簡單的評估水深地形來進行裂流預警。

表 3-3 沿岸沙洲槽溝地形在不同水深地形下裂流模擬結果

				沙壩間隙(m)			
				30	50	100	200
沙壩型式	離岸堤型式 (沙壩沒入水中)	沙壩間	流速(m/s)		0.12	0.10	0.21
			長度(m)		143.3	181.2	220.9
			寬度(m)		36.3	64.0	50.6
		沙壩邊緣	流速(m/s)	0.24	0.19	0.16	0.21
			長度(m)	126.5	288.6	273.0	268.8
			寬度(m)	40.3	38.7	86.2	78.5
	潛堤型式 (沙壩沒入水中)	沙壩間	流速(m/s)		0.12	0.28	0.21
			長度(m)		80.0	224.0	218.1
			寬度(m)		81.4	97.5	81.3
		沙壩邊緣	流速(m/s)	0.29	0.16	0.16	0.14
			長度(m)	160.3	172.5	158.2	135.0
			寬度(m)	83.7	56.0	78.5	76.8

表 3-4 橫向沙洲與裂流地形在不同水深地形下裂流模擬結果

		槽溝深度(m)			
		0.1	0.5	1	3
槽 溝 參 數	流速(m/s)	0.09	0.07	0.09	0.11
	長度(m)	218.4	154.3	259.9	300.8
	寬度(m)	81.9	116.9	55.4	58.4
		5	10	20	30
	流速(m/s)	0.25	0.37	0.44	0.57
	長度(m)	313.5	369.3	353.0	336.4
	寬度(m)	53.8	59.5	49.4	52.9
		槽溝長度(m)			
		50	100	200	400
	流速(m/s)	0.27	0.26	0.25	0.25
	長度(m)	303.8(53.1)	317.5(95.5)	313.45(172.3)	403.9
	寬度(m)	54.4	46.3	53.8	40.8
		槽溝寬度(m)			
		10	50	200	400
	流速(m/s)	0.23	0.27	0.30	0.44
	長度(m)	159.28	313.5	458.1	738.6
	寬度(m)	4.6	33.8	138.9	244.1

表 3-5 邊界控制地形在不同水深地形下裂流模擬結果

		邊界控制型			
		海灣曲率			
		0.05	0.10	0.15	0.20
邊 界 控 制 型 參 數	流速(m/s)	0.36	0.39	0.41	0.75
	長度(m)	467.3	351.6	459.6	228.0
	寬度(m)	51.7	86.4	99.3	105.3
		海岸線長度(m)			
		500	800	1000	1500
	流速(m/s)	0.23	0.30	0.39	0.50
	長度(m)	359.2	320.5	351.6	241.4
	寬度(m)	121.6	116.9	86.4	80.3

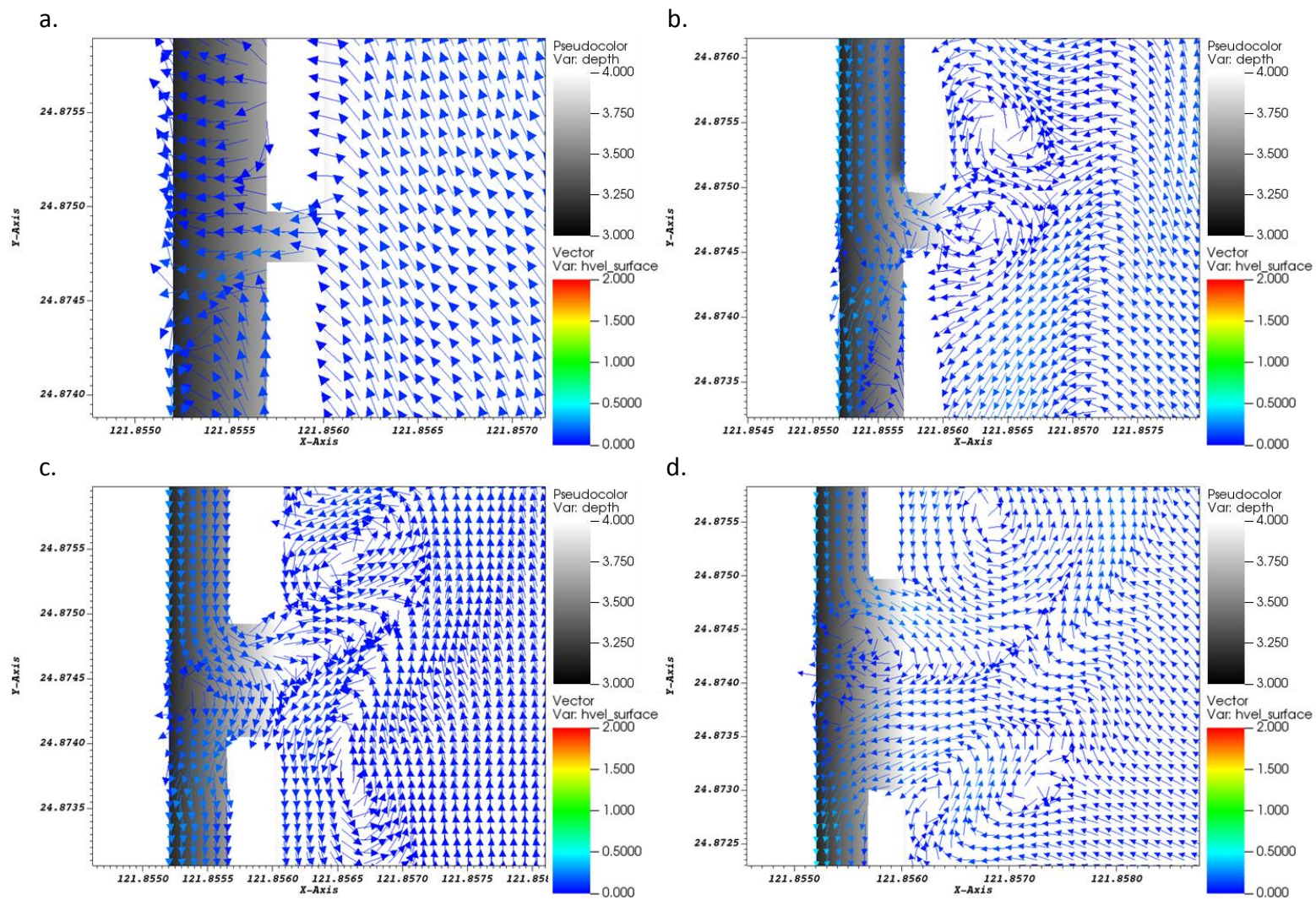


圖 3-22 離岸堤型式(沙壩浮出水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩間模擬結果(a. 30 m、b. 50 m、c. 100 m、d. 200 m)

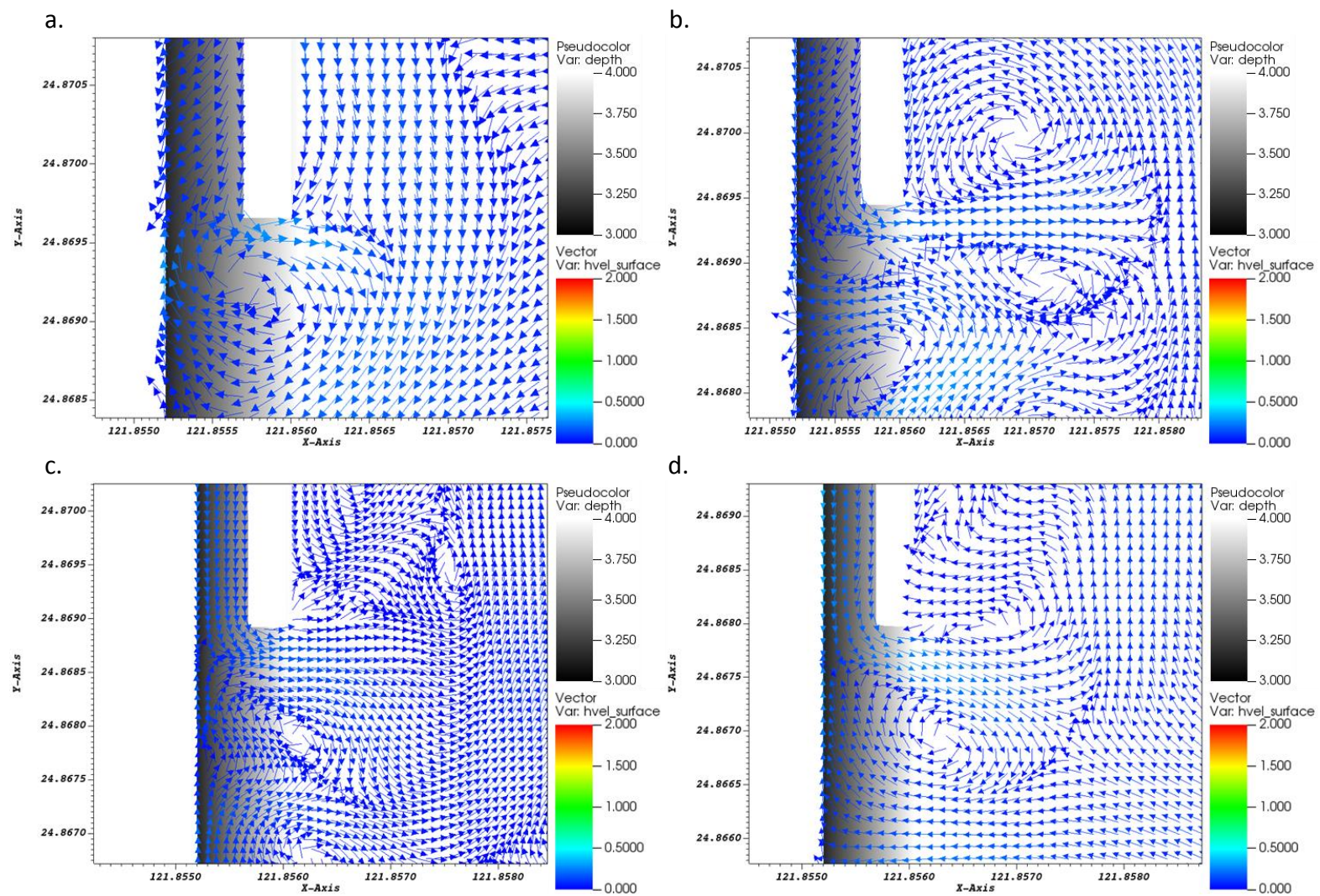


圖 3-23 離岸堤型式(沙壩浮出水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩邊緣模擬結果(a. 30 m、b. 50 m、c. 100 m、d. 200 m)

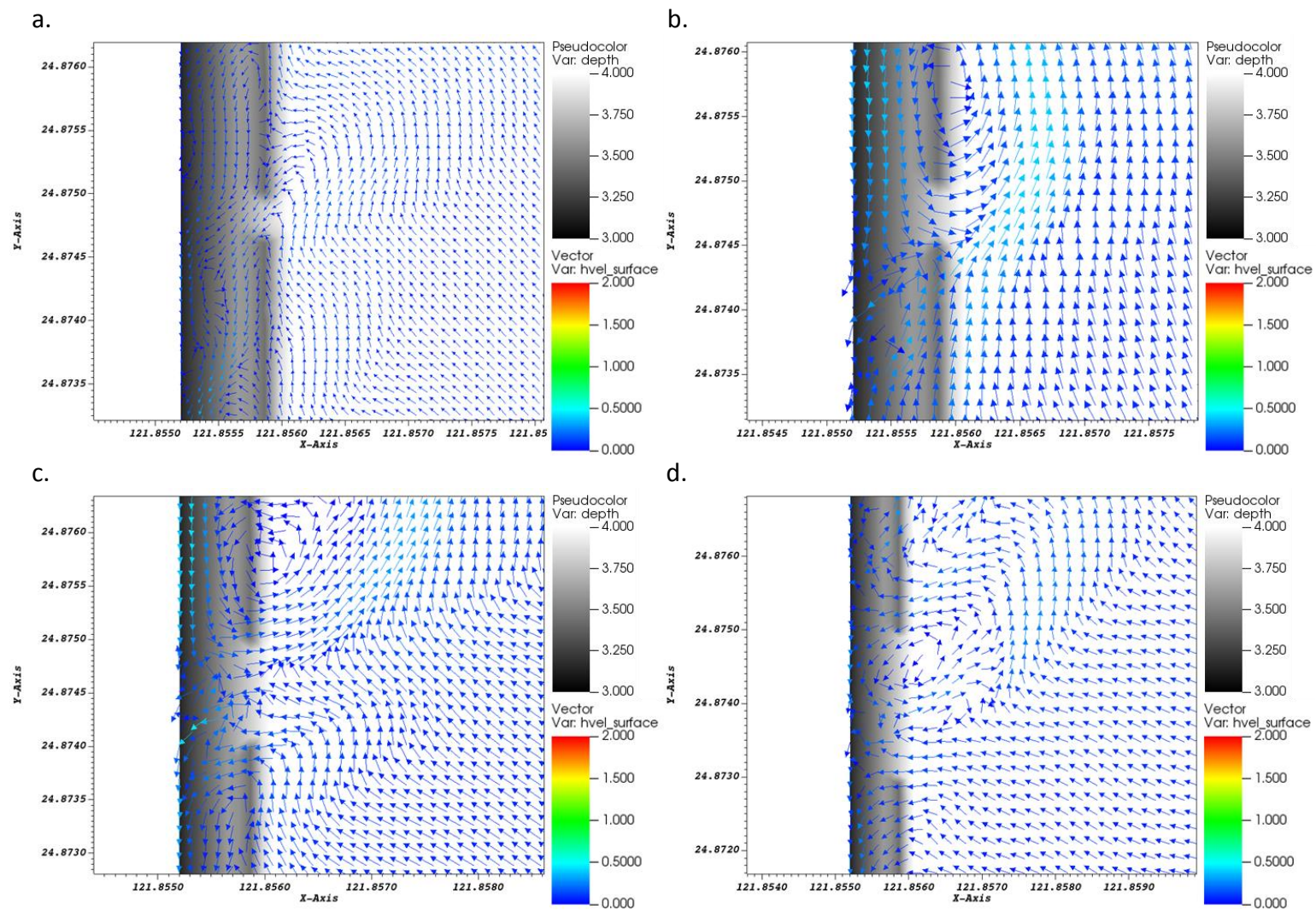


圖 3-24 潛堤型式(沙壩沒入水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩間模擬結果(a. 30 m、b. 50 m、c. 100 m、d. 200 m)

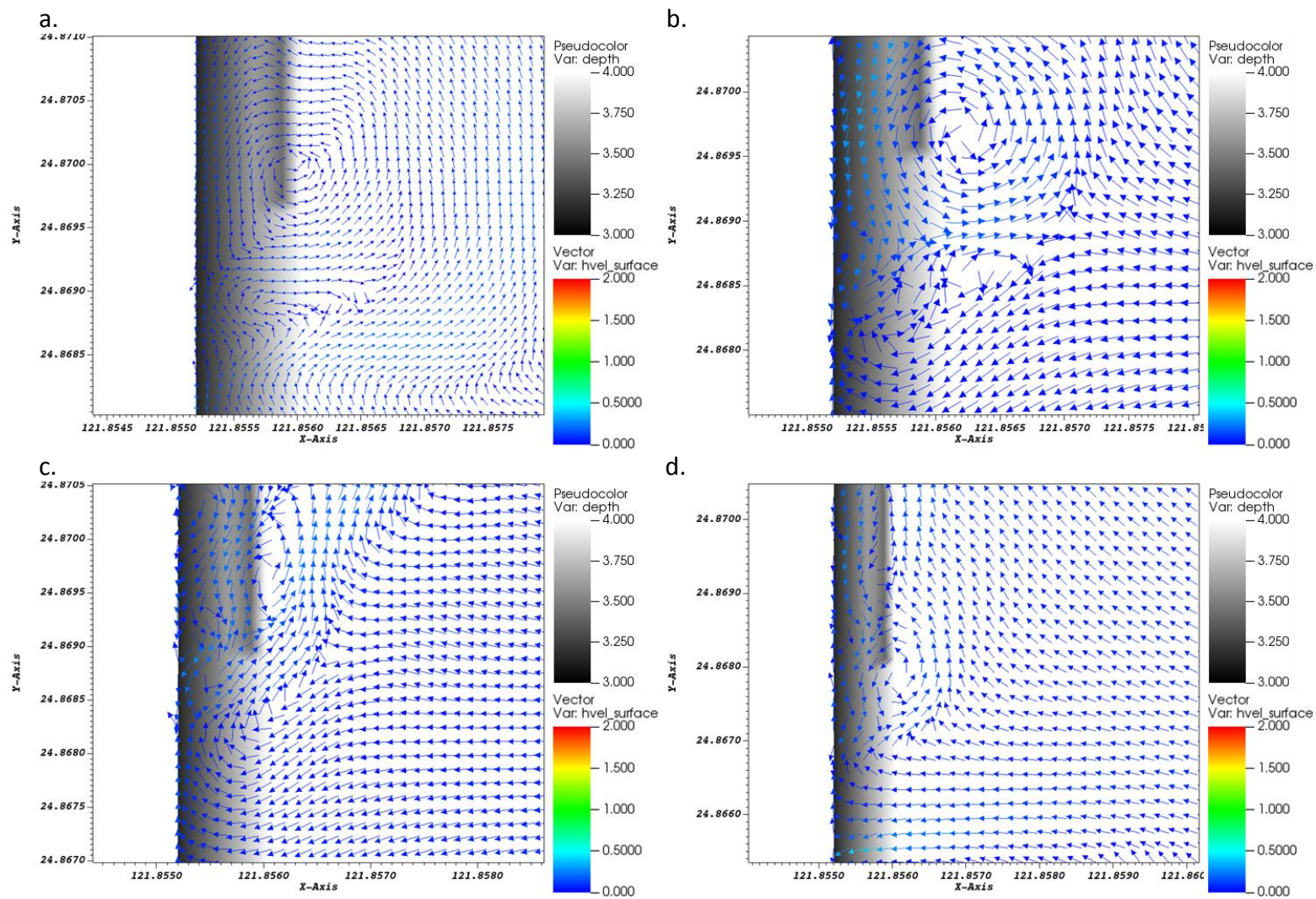


圖 3-25 潛堤型式(沙壩沒入水面)沿岸沙洲槽溝-沙壩邊緣模擬結果(a. 30 m、b. 50 m、c. 100 m、d. 200 m)

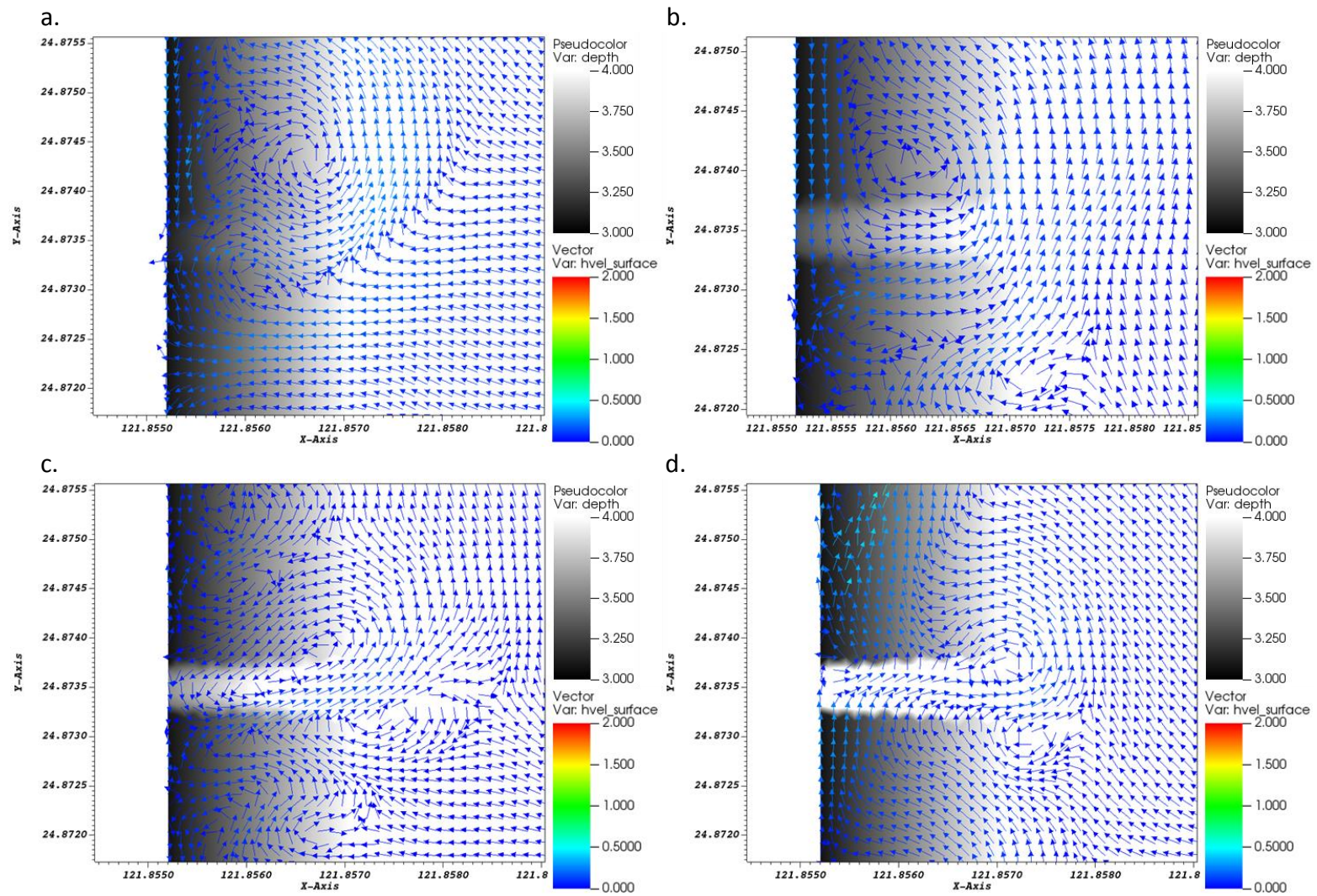


圖 3-26 橫向沙洲與裂流地形在不同深度下模擬結果(a. 0.1 m、b. 0.5 m、c. 1.0 m、d. 3.0 m)

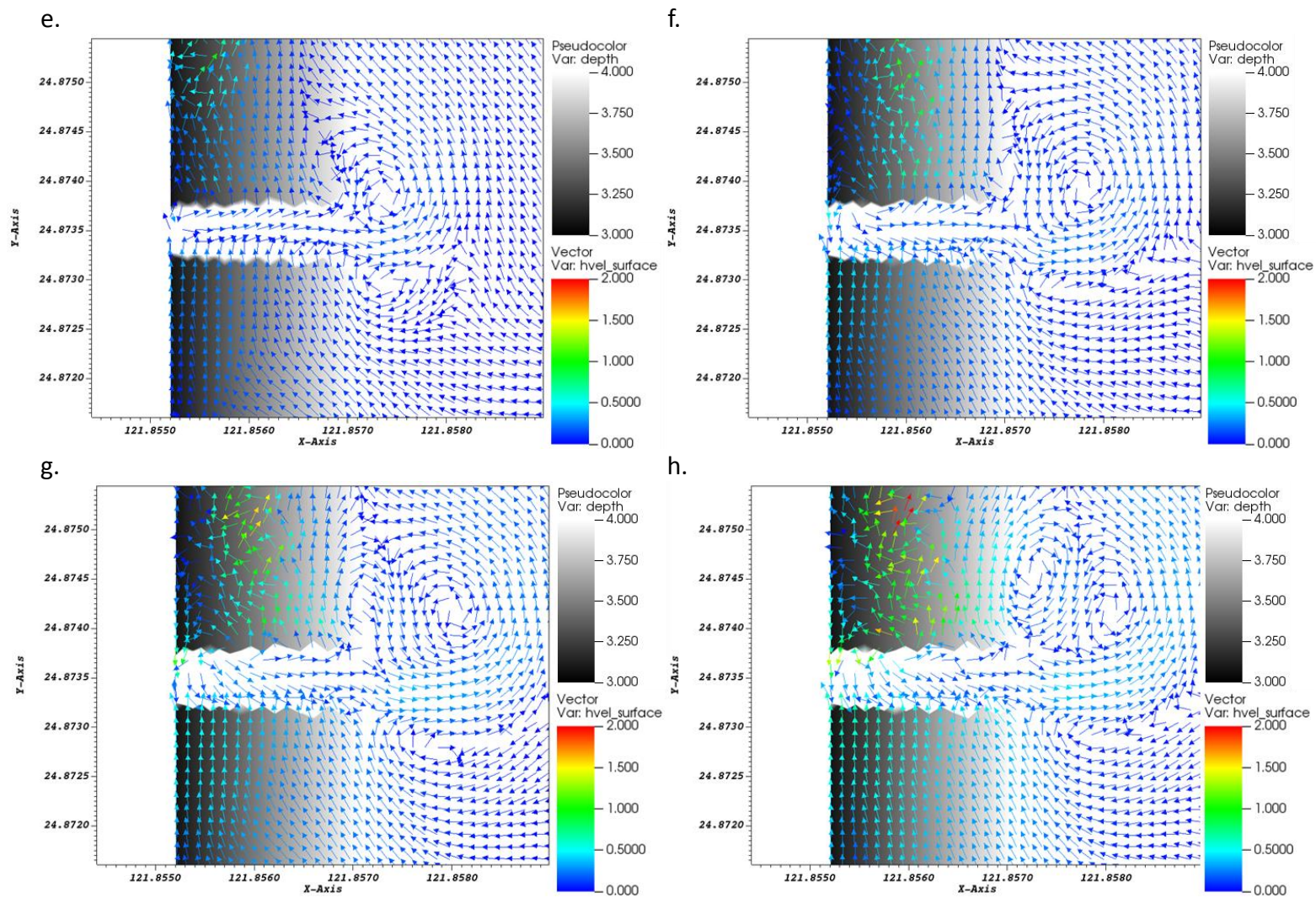


圖 3-26(續) 橫向沙洲與裂流地形在不同槽溝深度下模擬結果(e. 5.0 m、f. 10.0 m、g. 20.0 m、h. 30.0 m)

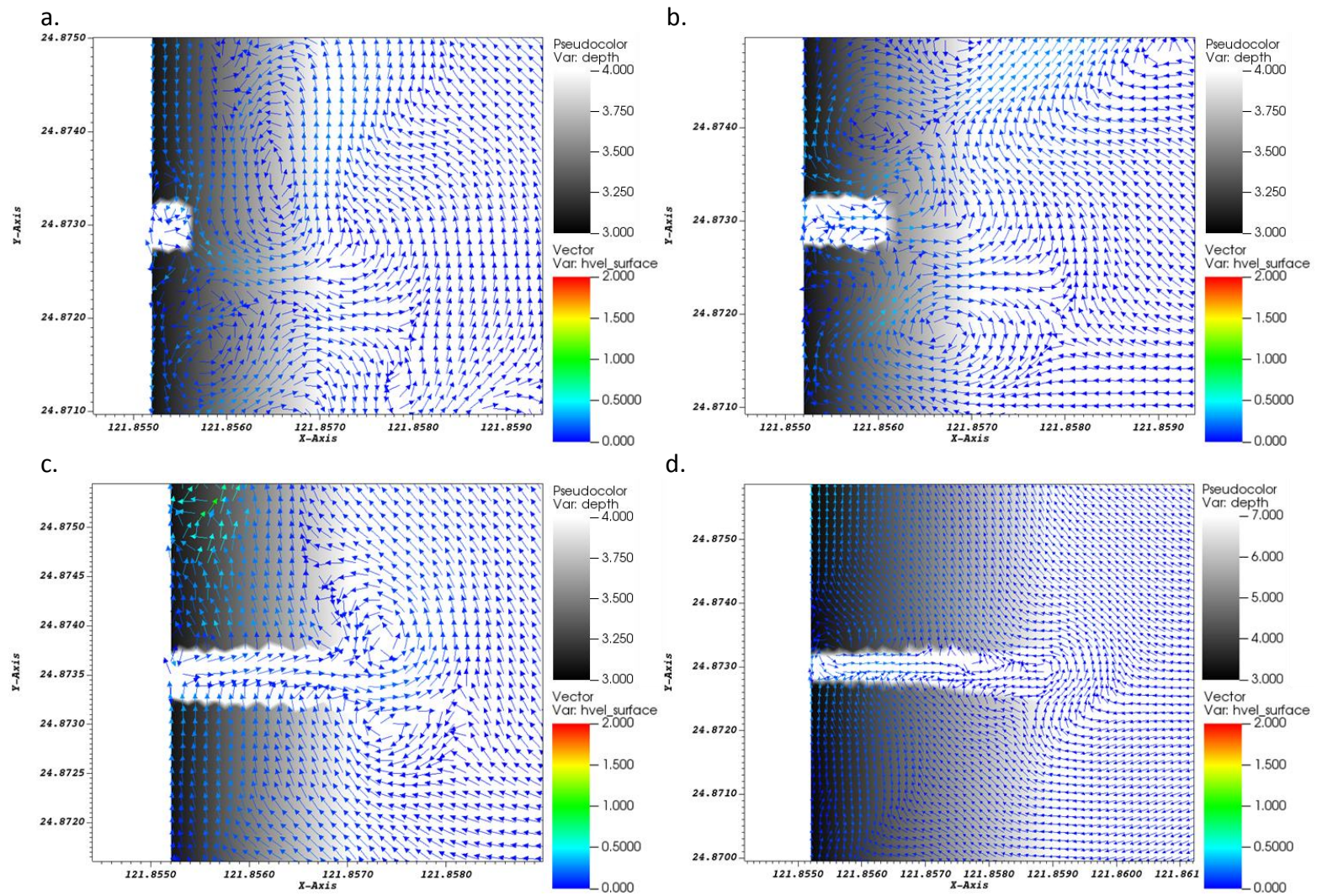


圖 3-27 橫向沙洲與裂流地形在不同槽溝長度下模擬結果(a. 50 m、b. 100 m、c. 200 m、d. 400 m)

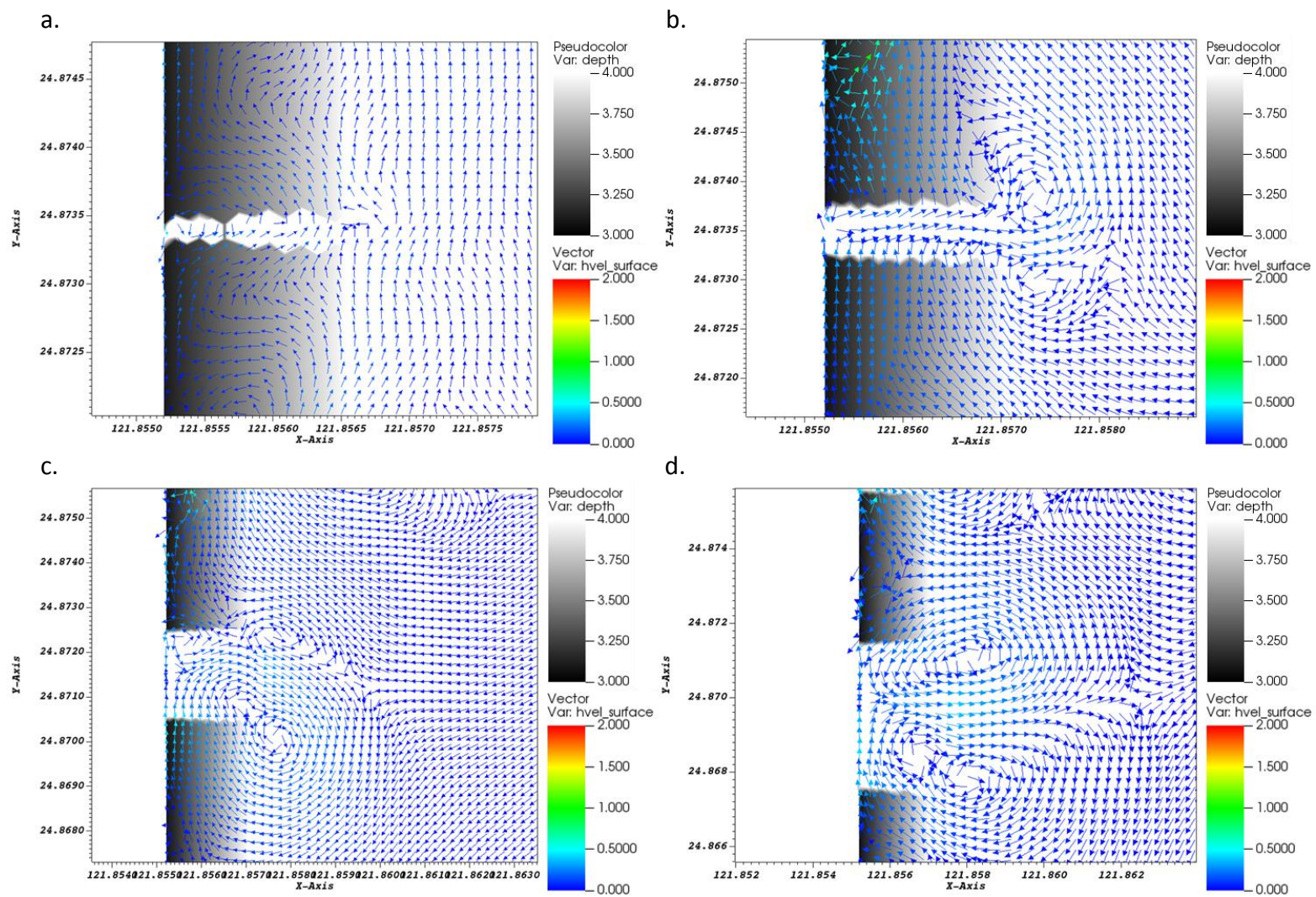


圖 3-28 橫向沙洲與裂流地形在不同槽溝寬度下模擬結果(a. 10 m、b. 50 m、c. 200 m、d. 400 m)

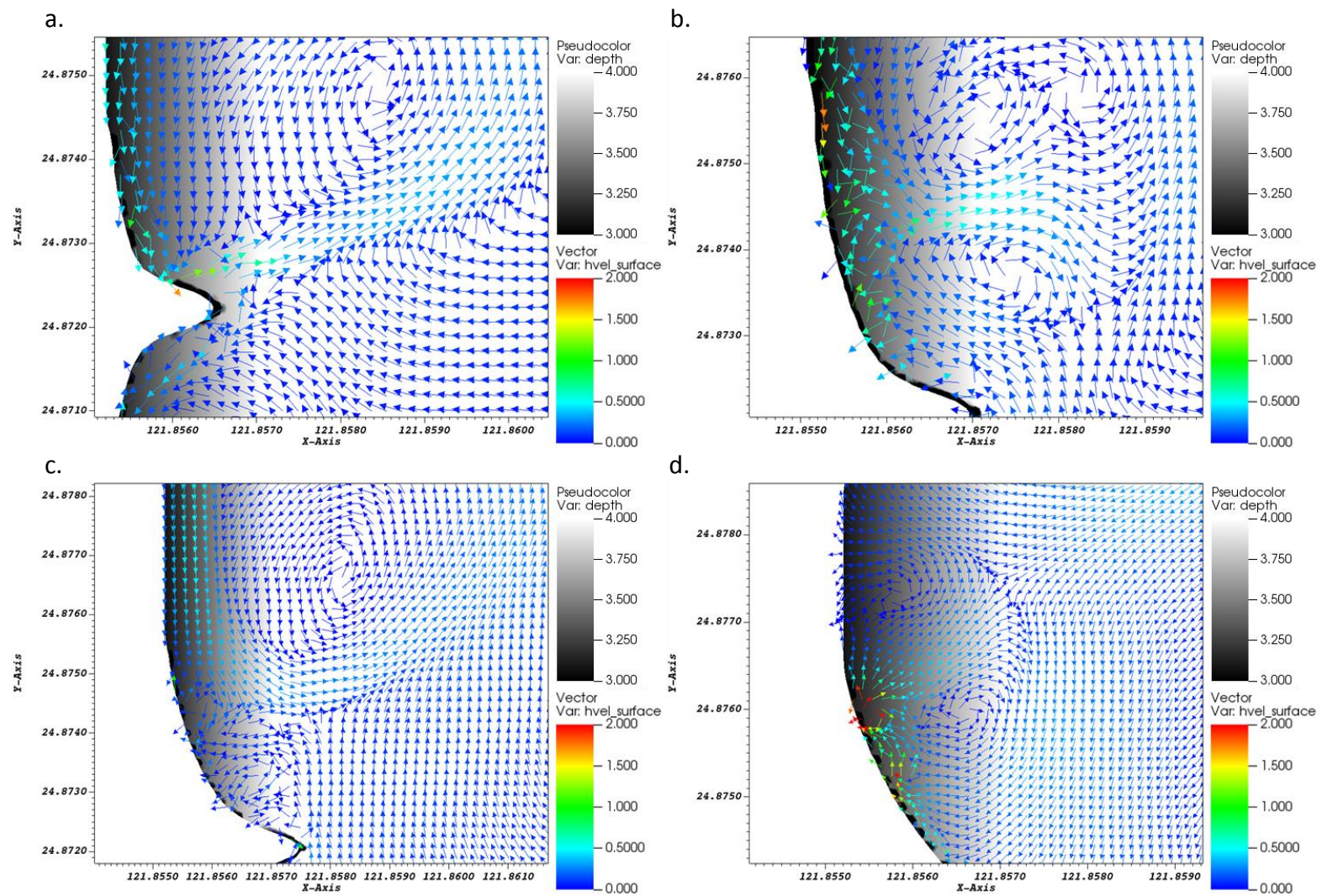


圖 3-29 邊界控制地形在不同海灣曲率下模擬結果(a. 0.05、b. 0.1、c. 0.15、d. 0.2)

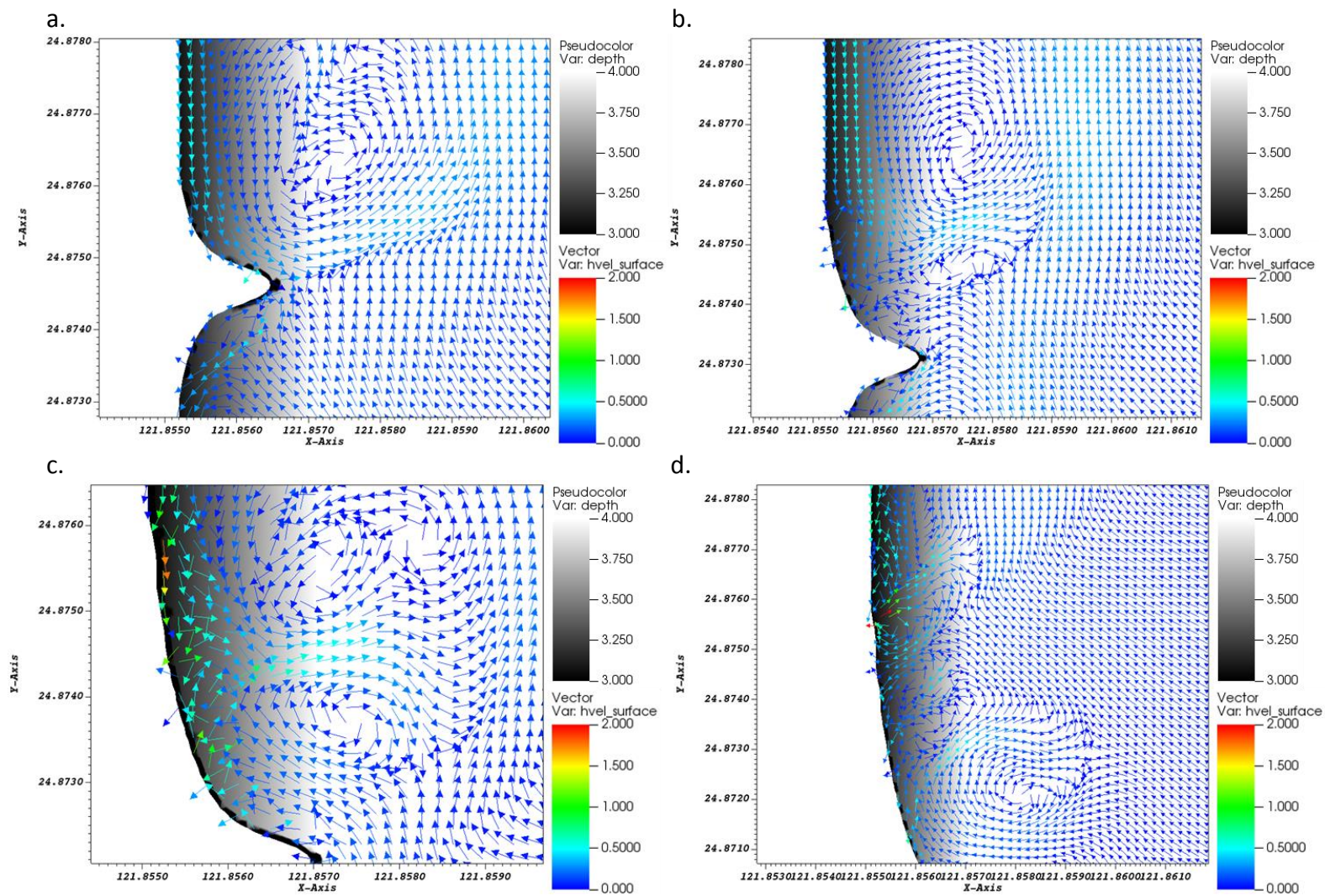


圖 3-30 邊界控制地形在不同海岸線長度下模擬結果(a. 500 m、b. 800 m、c. 1000 m、d. 1500 m)

第四章 裂流經驗預測模式建置

裂流的發生機制複雜且未明，至今未有完整的理論可以清楚地描述裂流發生的位置或是時機，近年來隨著電腦技術增強以及人工智慧技術的蓬勃發展，應用人工智慧技術於機制複雜自然現象的研究逐漸出現。因此，本計畫也將透過人工智慧技術分析裂流發生的歷史案例，學習容易有裂流發生的海氣象條件，建置出裂流經驗預測模式來預測裂流的發生，預警海岸遊憩人員進而幫助降低人員傷亡。

前期計畫中已使用第二章從光學影像蒐集的裂流案例，以倒傳遞類神經網路演算法為核心理論，初步建立乙套裂流經驗統計模式，模式驗證結果良好，且透過敏感性分析，討論各海氣象參數對裂流發生的影響程度。今(2023 年)年度將持續精進裂流經驗統計模式，改進方向主要有二，其一，增加模式訓練和驗證資料；其二，則是對裂流案例進行分區訓練，建立經驗統計子模式。透過完成上述兩工作，提高經驗統計模式的準確率和空間解析度，替後續作業化裂流預警系統建立穩固的基礎。

4-1 類神經網路演算方法理論

本計畫使用在處理如裂流現象的非線性問題有良好表現的類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)方法來建置裂流經驗預警模式。該模式係屬於監督式學習的演算法，且在模式訓練過程中可提供明確的正確答案，對後續模式驗證準確度相當便利。類神經網路為模仿人類大腦組織以及運作方式的資料處理技術，人類大腦由密集相互連接的神經細胞所組成，每個神經細胞的構造簡單，但大量的神經細胞結合起來能擁有可觀的計算與處理能力。透過讓電腦學習與人腦結構相同的神經傳遞資訊過程，從而讓電腦模擬神經傳遞訊息與反應動作，而由 Rumelhart et al. (1986)研究出倒傳遞神經網路(back propagation neural network)以及近代電腦能力日新月異，使類神經網路開始突出於機器學習領域，常被應用於機制尚未明確或是複雜的自然現象上，預期能找出自然現象的發生徵兆及機制等。因此，對於預測裂流的發生機率，預期使用 ANN 建置預警模式也能有不錯的效果。

神經元(neuron)為 ANN 最基本的組成單位，如圖 4-1 所示，輸入值經過權重值輸入至神經元後，神經元內部開始進行運算如式(4-1)所示，而權重值會逐步調整直到訓練完成，而計算結果即為神經元的輸出值。

$$Y_j = f(\sum_i W_i X_i - \theta_j) \quad (4-1)$$

其中 Y_j 為神經元的輸出值， W_i 為 ANN 各神經元間連結的權重值， X_i 為神經元的輸入值， θ_j 為神經元內的門檻值， f 為傳遞函數(activation function)，神經元內部計算後使其能有非線性的輸出。

倒傳遞演算法是利用將網路中所有的權重，計算損失函數的梯度，根據梯度下降法 (gradient descent) 來決定如何修正網路中的權重，如圖 4-2 所示，即透過計算誤差函數中的梯度方向來得到如何修正權重能使誤差降低的方法。在模式訓練的疊代過程中，根據目前輸出與目標輸出的誤差調整各神經元間連結的權重來完成訓練，假設輸入給神經元第 p 個資料，即在疊代 p 中，輸出為 $Y(p)$ ，目標輸出為 $Y_d(p)$ ，因此誤差為：

$$e(p) = Y_d(p) - Y(p) \quad (4-2)$$

假如誤差 $e(p)$ 為正，代表需增加權重來增加輸出，假如誤差 $e(p)$ 為負，代表需減少權重來減少輸出，以此方式來降低輸出值與目標輸出的誤差，因此可寫成下式：

$$w_i(p+1) = w_i(p) + \alpha \times x_i(p) \times e(p) \quad (4-3)$$

其中 α 為學習率，為介於 0~1 之間的常數，影響誤差回傳神經網路時調整權重的幅度。類神經網路基本的架構如圖 4-3 所示，由許多個神經元所組成，其中包含輸入層(input layer)、隱藏層(hidden layer)以及輸出層(output layer)，ANN 的輸入資料由輸入層輸入，傳遞至隱藏層的神經元進行運算，最後經由傳遞函數得出輸出，訓練的過程中，根據輸出值與目標值的誤差，倒傳遞至神經元並調整權重，不斷重複輸入資料進行疊代，此疊代過程會不斷進行直到權重調整至能使輸出值與目標值的誤差最小化。根據不同問題之複雜度可以決定不同的隱藏層數目、神經元數量、學習率以及傳遞函數。對於發生機制尚未明確或複雜的自然現象預測問題，常會使用如 S 型函數(sigmoid function)、雙曲線正切函數(hyperbolic tangent function)或線性整流函數(rectified linear function)作為神經元的傳遞函數(如圖 4-4)，使類神經網路具有非線性計算能力，建立複雜的函數關係，以描述整個物理現象。

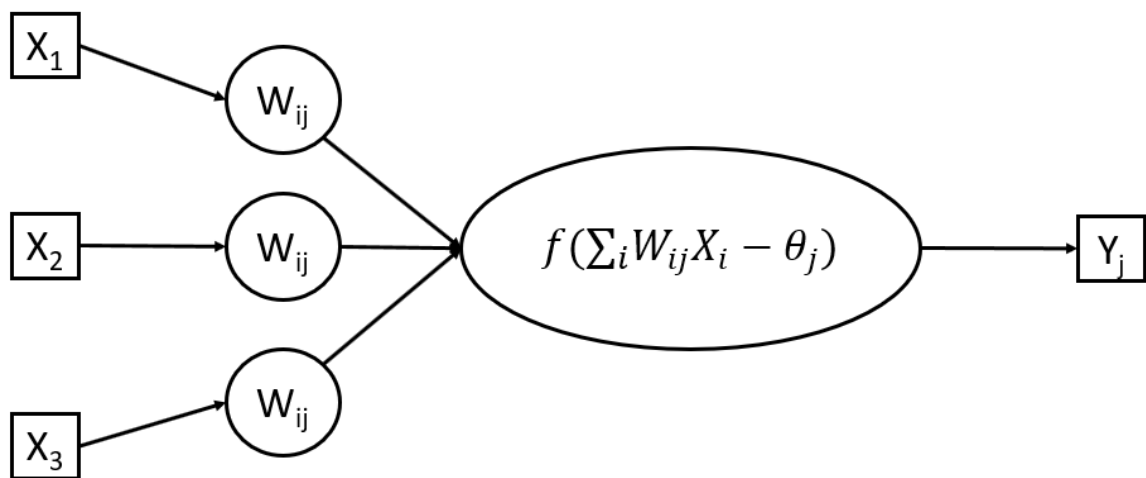


圖 4-1 單個神經元架構圖

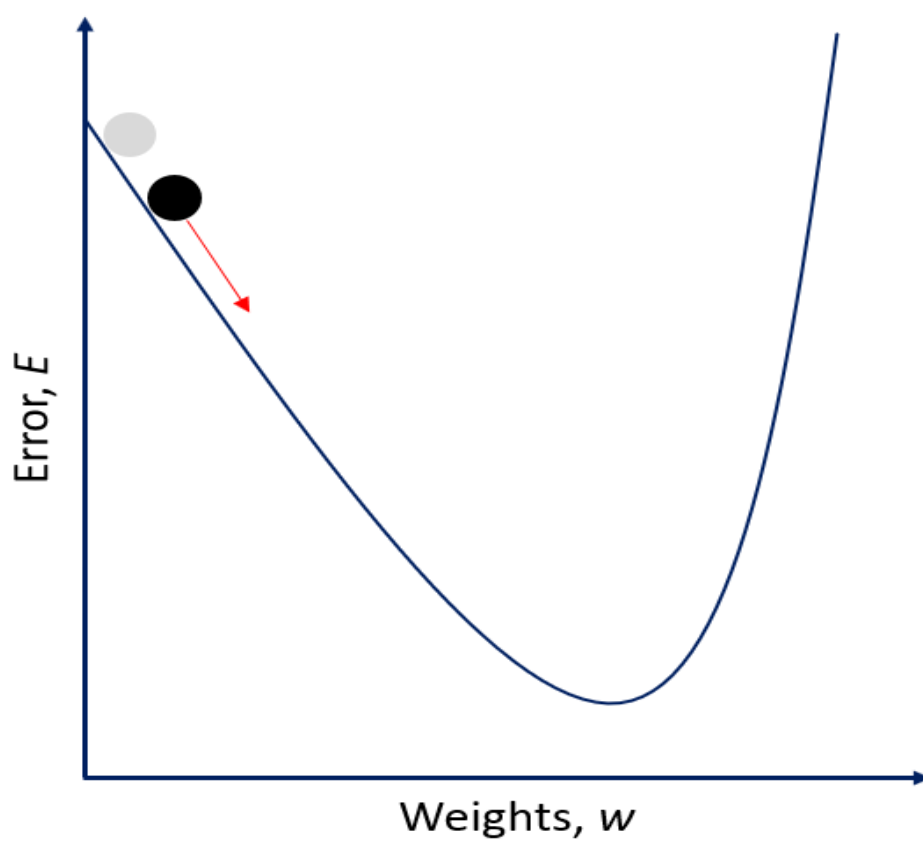


圖 4-2 梯度下降法示意圖

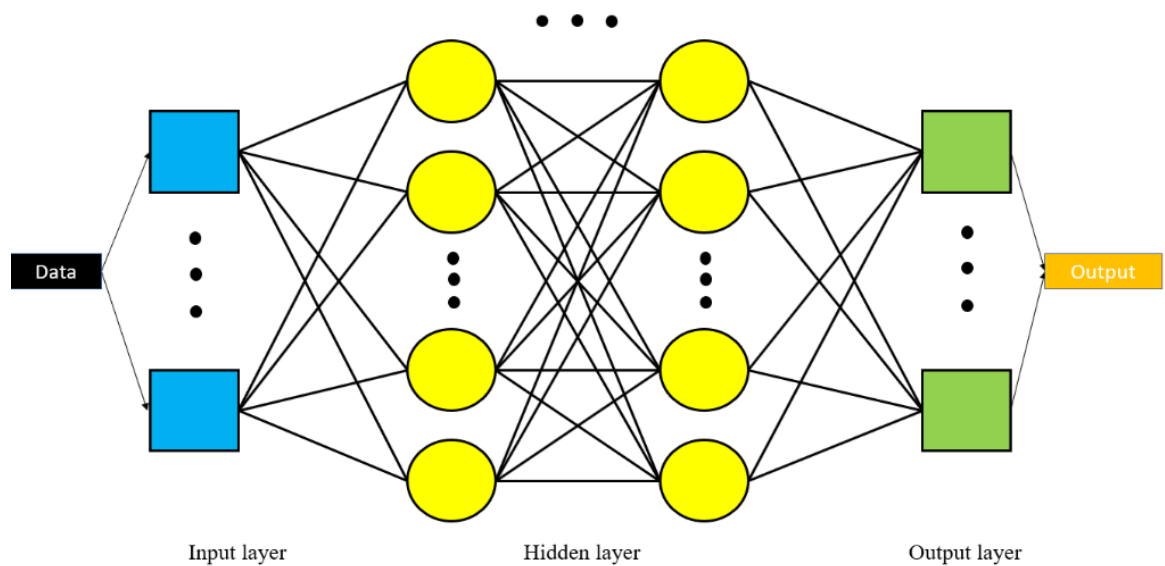


圖 4-3 類神經網路基本架構示意圖。類神經網路基本架構包含輸入層、隱藏層與輸出層

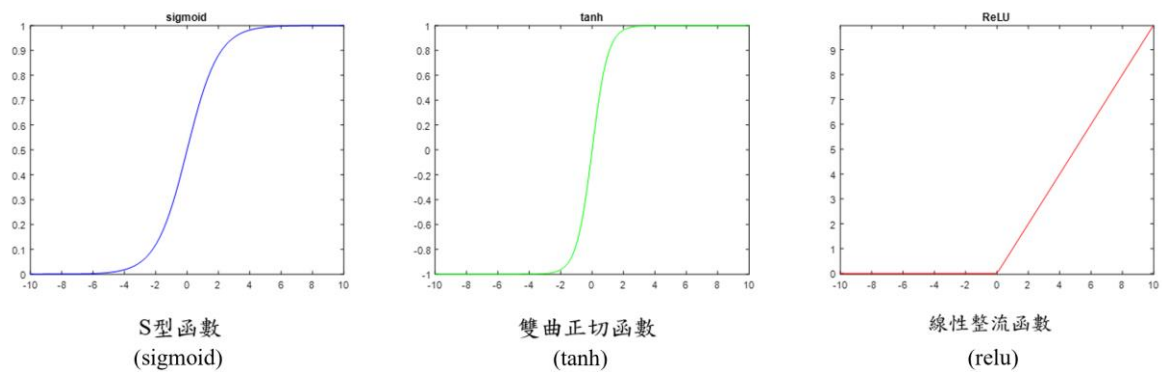


圖 4-4 非線性傳遞函數。從左至右分別為 S 型函數、雙曲正切函數以及線性整流函數

4-2 裂流經驗預測模式建置

本計畫自衛星航拍與裂流監視站影像獲得裂流發生的時間與案例，並且整理成訓練與驗證資料來建置裂流經驗預測模式，其中利用多個數值模式輸出欲建置模式海岸的波浪、風與潮汐資料，做為訓練模式時輸入的因子與資料，經過率定訓練參數的過程來建置最佳裂流經驗預測模式，並且以多個評估指標來驗證經驗預測模式的預測效果。

4-2-1 輸入資料與建置流程

在經驗預測模式建置上，本計畫所採用的裂流案例，經前期計畫研究成果顯示，採用監測站影像案例，能夠訓練出較佳的模型，故在期末報告嘗試去除透過衛星航拍影像分析後獲得在 2016 年至 2020 年間有裂流發生時的案例時間，僅採用 2021 年 10 月至 2022 年 12 月外澳裂流監測站和 2023 年 2 月至 6 月福隆、沙崙和大理監測站所測得以每一小時觀測到一個或以上裂流為基準進行資料離散處理的資料。並且為避免訓練不平衡(imbalanced training)，同時選取與裂流案例同樣筆數的無裂流發生時的資料，以 1:1 隨機挑選的方式進行訓練與驗證，一共蒐集到 1480 筆裂流資料以供預測模式建置，而本計畫使用全部資料中 70%作為訓練資料，剩下的 30%作為評估模式預測能力的驗證資料。**表 4-1** 列出本計畫經驗預測模式建置的訓練與驗證資料分配情形。

建置經驗預測模式時，因子之間的單位不同，其數字大小的代表性也各不相同，因此造成各因子變化程度不一，影響利用機器學習方法建置預測模式的結果。為了更有效地建置經驗預測模式，可先對資料進行正規化(normalization)，再進行預測模式的建置。本計畫設定資料正規化上下限範圍為 0 至 1 之間，將原始資料縮放成介於 0 至 1 之間的值，而資料正規化的公式如下式所示：

$$y' = lower + (upper - lower) \times \frac{y - \min}{\max - \min} \quad (4-4)$$

式中 y 為縮放前的數據、 y' 為縮放後的數據； $lower$ 為指定的縮放下限、 $upper$ 為指定的縮放上限； $\min$ 為原始數據的最小值、 $\max$ 為原始數據的最大值。

根據第一年度本計畫研究成果，選擇裂流發生時海氣象資料較有規則性的海氣象參數，作為影響裂流發生的潛在因子，包含波高(H_s)、平均週期(T_{m0})、尖峰週期(T_p)、波向(θ_{wave})、平均風速(V_{wind})、水位(η)和漲退潮(漲潮設置為 1、退潮設置為-1)，以及在

期末報告中新分析的相對潮差(RTR)參數。此外，根據前人文獻裂流的發生容易受到地形地貌的影響，故本計畫將海灘類型參數(Ω)納入，但由於該海灘類型參數(Ω)和相對潮差(RTR)的計算需要有近岸海域砂質粒徑的基本調查資料，故該參數將會作為選擇性因子，即在預測時可根據使用者選擇性加入或不加入。

模式進行訓練驗證時，本計畫以裂流光學影像監測站蒐集歷史裂流發生案例，並根據裂流案例數量隨機選取同樣比數的平時案例供模式驗證訓練使用，而上述無論是裂流案例或是平時案例，再比對浮標站和潮位站的實測資料，統計和計算當下對裂流發生的重要影響因子，建立經驗統計模式所需的裂流案例與海氣象資料庫，波浪和風相關參數採用浮標站資料、水位和漲退潮則採用潮位站資料，而海灘類型參數(Ω)和相對潮差(RTR)則參考相關報告配合經驗公式進行計算(以於前期報告和 2-4-2 節詳述)。最終，根據上述影響裂流發生的因子統計結果，採用 70%的裂流案例和平時案例以倒傳遞類神經網路演算法訓練裂流經驗統計模式，再用剩餘 30%裂流案例和平時案例進行驗證，其輸出資料提供裂流是否會發生的資訊，經驗模式建置流程如圖 4-5 所示。

表 4-1 經驗預測模式建置之訓練與驗證資料數量

資料類型		訓練/驗證資料分配	有裂流/無裂流資料分配
訓練資料	裂流資料	1036(70%)	518(35%)
	無裂流資料		518(35%)
驗證資料	裂流資料	444(30%)	222(15%)
	無裂流資料		222(15%)

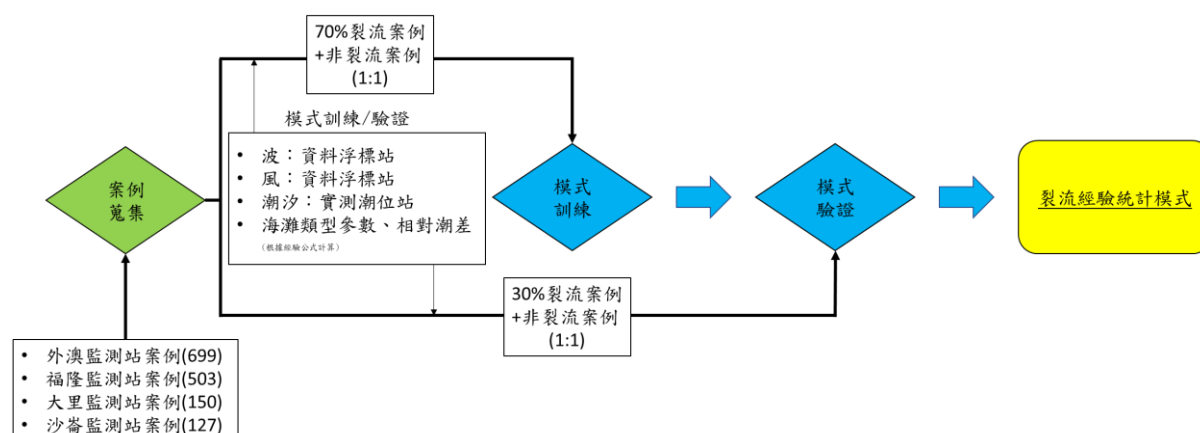


圖 4-5 裂流預警模式建置流程

4-2-2 模式訓練

本計畫選用的類神經網路方法為 Rumelhart et al. (1986)提出的倒傳遞神經網路，為監督式機器學習方法，學習過程中給予有輸入資料和學習目標，模式透過訓練找出輸入資料與學習目標之間的關係，利用權重(weight)與偏差值(bias)來表示其關係的強弱，預警系統模式架構圖如圖 4-6 所示。訓練過程中透過不斷調整訓練參數，以達到最佳訓練結果，訓練過程中的參數包含了隱藏層數目、神經元數目、學習速率以及隱藏層與輸出層傳遞函數等。

經驗預測模式訓練過程中，隱藏層層數和神經元數目決定神經網路的結構，學習速率影響神經網路調整權重時的幅度，傳遞函數則影響每個神經元內部如何非線性計算並傳遞到下個神經元的方式。因此，本計畫率定訓練參數時，隱藏神經元數、學習率、隱藏層層數與輸出層傳遞函數皆以網格搜尋法(grid search)與 k-fold 交叉驗證(k-fold cross-validation)來率定。網格搜尋法利用在指定的範圍內測試所有不同的參數組合並比較，選出訓練結果最佳的訓練參數組合，而比較的依據是藉由 k-fold 交叉驗證輸出訓練結果，如圖 4-7 所示。k-fold 交叉驗證將訓練資料分成 k 等份，k-1 等份的資料建置預測模式，其餘的資料用來測試該模式的正確率，此過程將會重複進行直至每一等份的資料都曾作為測試資料後，最後將每一次的測試結果平均加總起來，即為 k-fold 交叉驗證的輸出結果，亦為預測模式的訓練結果。

因此，本計畫設定學習率測試範圍取 0.001 到 0.1 之間進行測試，找出訓練結果最佳的學習率。隱藏層與輸出層傳遞函數測試則經由交叉測試 S 型函數(sigmoid function)、雙曲線正切函數(hyperbolic tangent function, tanh)(後續使用英文縮寫)以及線性整流函數(rectified linear unit, relu)等三種不同非線性函數後，找出最佳的隱藏層與輸出層傳遞函數。為了增加預測模式的非線性演算能力，隱藏層層數可設定為多層，以 1 至 3 層進行率定。隱藏層神經元數根據葉(2001)指出可由平均法求得，可從輸入層神經元數與輸出層神經元數兩者平均作為參考。由於期末報告在進行模型訓練和驗證時，多增加去年(2022 年)度新建置的福隆、沙崙和大里三座監測站所觀測的裂流案例，故以原先(2023 年期中報告以前)設置隱藏層神經元以 1 至 8 測試後，三層隱藏層的神經元數均是最大值 8，極有可能代表在增加各層神經元後可以再提高模式的準確率，故於期末報告時在模式建置參數中神經元的範圍擴大為 1 至 12，而其餘的設定均暫時不更動，透過倒傳

遞類神經網路演算法建置經驗統計模式所設置的參數擬定範圍如表 4-2 所示。

由於各神經元間經過非線性傳遞函數，使神經元能根據輸入的資料輸出介於 0 至 1 之間的值，而本計畫目前對於經驗統計模式的目標是輸出裂流是否發生(即有發生或沒有發生)，故根據研究團隊的經驗和測試，最終將模式訓練時的訓練目標的閾值設為為 0.5，表經驗統計模式模式輸出裂流發生機率大於 50%時，代表模式認為有發生裂流，低於 50%時代表模式認為未發生裂流，在訓練過程中透過輸出值與目標值之間的誤差調整神經元之間的權重，經過多次疊代後建置能輸出裂流發生機率的裂流預測模式。

表 4-2 類神經網路建置模式之參數擬定範圍

學習速率	[0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1]
隱藏層與輸出層轉移函數	[sigmoid, tanh, relu]
隱藏層層數	[1,2,3]
隱藏層神經元數	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9,10,11,12]

裂流經驗統計模式
(倒傳遞類神經網路演算法)

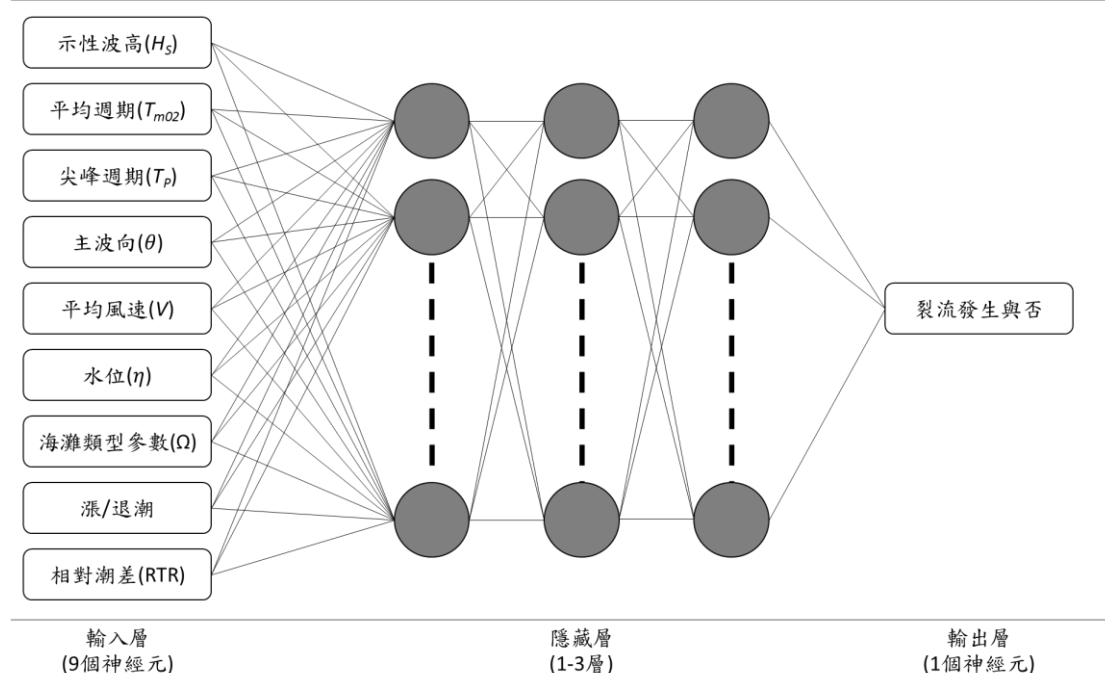


圖 4-6 海岸裂流機率預警模式架構

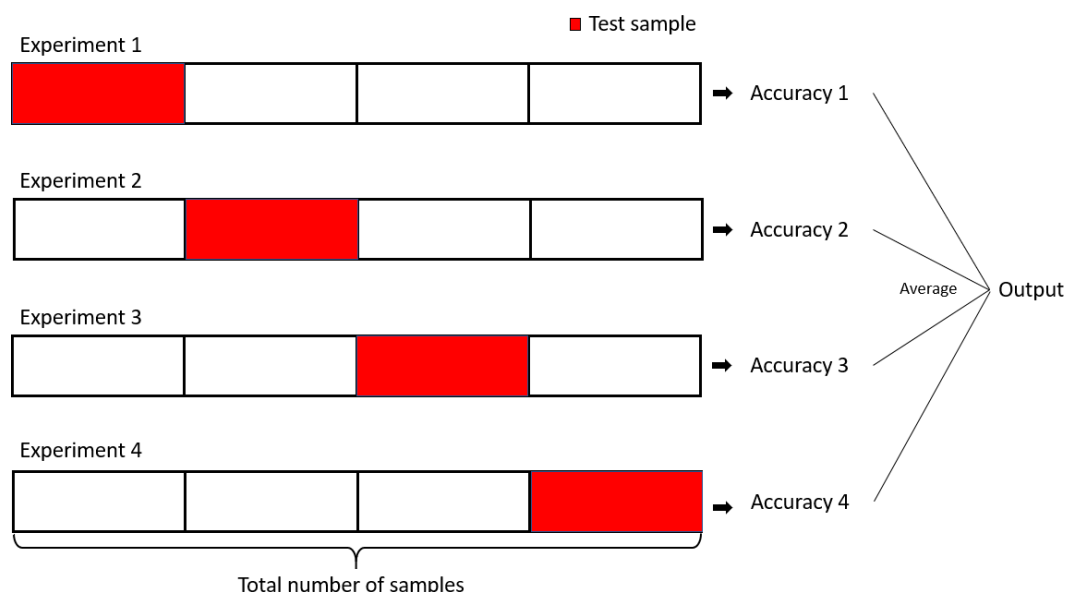


圖 4-7 k-fold 交叉驗證(假設 k=4)

4-3 裂流經驗預測模式建置驗證結果

4-3-1 評估指標

對於二元分類預測的問題，機器學習領域常使用混淆矩陣(confusion matrix)衍生而出的評估指標來驗證模式的好壞，根據輸入預測模式的訓練與驗證資料可計算出預測的混淆矩陣。以裂流經驗預測模式預測裂流發生或未發生，即為二元分類預測問題，如表 4-3 所示的裂流經驗預測模式混淆矩陣中：TN 代表模式預測不會發生裂流事件，實際也無裂流事件發生的事件個數；FN 代表模式預測不會發生裂流事件，實際卻有裂流事件發生的事件個數；FP 代表模式預測會發生裂流事件，實際卻無裂流事件發生的事件個數；TP 代表模式預測會發生裂流事件，實際也有裂流事件發生的事件個數。

根據混淆矩陣的結果可計算出四個評估指標來評估預測模式的優劣，除前文中所提及的正確率(accuracy rate)和回應率(response rate)，還會增加反查率(recall rate)和預兆得分(thread scope)兩指標，以下論述此 2 個評估指標：

(1)反查率(recall rate)

$$\text{Recall rate} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4-5)$$

反查率即實際為陽性的資料中，模式正確預測為陽性的比率，代表預測模式在實際

裂流有發生的資料中，能正確預測裂流有發生的能力，可用來評估實際有裂流發生時，模式預測裂流發生時的預測能力。

(2)預兆得分(threat score)

$$\text{Threat score} = \frac{TP}{FN + FP + TP} \quad (4-6)$$

預兆得分是在天氣預報時常會引用之評估指標，主要在評估預警系統是否能正確預測裂流發生的能力，其值也是越高越好，由上述所示的四種評估指標可用於評估裂流預警模式之預警能力，若能通過模式驗證過程，則完成模式之建置。

表 4-3 模式預測裂流事件發生之混淆矩陣

	實際發生裂流	實際未發生裂流
預測發生裂流	TP	FP
預測未發生裂流	FN	TN

4-3-2 模式驗證結果

從今(2023 年)度期中報告完成至期末報告繳交，本計畫透過去(2022 年)度建置的福隆、沙崙和大里三座監測站觀測的影片中，分析出 780 筆的裂流案例，加上前期計畫研究成果顯示透過監測站所觀測的裂流案例建置的模型結果較佳，以及在今年度期中報告時將以外澳監測站所有裂流案例進行訓練，驗證結果的各項指標均達到 8 成。因此，在期末報告本計畫將嘗試僅使用監測站的案例，並且同時把宜蘭縣外澳、大里和新北市福隆和沙崙的案例進行模式的建置，評估未來是否可以將所有資料僅訓練一次模型，然後應用於各區域的預警作業。

為能建置最佳的模式，本計畫使用“網格搜尋法”和“K-fold 交叉驗證”來率定最佳訓練參數的組合，包含學習率、隱藏層數、轉移函數和每一層隱藏層的神經元數量(於 4-2-2 節已說明各項參數設置範圍)，其中隱藏層各層的神經元設置範圍在本次訓練進行調整，其原由是因為前期計畫所設計的 1 至 8 在進行率定後，三層神經元均是 8 個，已達到模式模擬範圍的上限，這也代表極有可能最佳的隱藏層神經元參數大於 8，所已在隱藏層神經元參數的設置範圍更改為 1 至 12。再更新資料後(去除衛星航拍影像，加入福

隆、沙崙和大里監測站的案例)，重新率定的模式最佳參數結果如表 4-4 所示，其中有部分的參數與前期計畫結果均不相同，學習率由 0.001 更改為 0.005，而隱藏層各層神經元數量則由(8, 7, 5)更改為(12, 12, 6)，經上述調整後透過倒傳遞類神經演算法可訓練出目前最佳的預測模式。

再加入新蒐集的裂流案例作為模式建置資料，重新率定的模式最佳參數結果如表 4-4，該結果與前期計畫相同，當學習速率為 0.001、隱藏層與輸出層轉移函數為 tanh、隱藏層層數為 3 層以及隱藏層神經元數各層為(8,7,5)，可建置出訓練效果最佳的預測模式，其訓練結果顯示正確率為 74.3%，並且根據率定好的最佳訓練參數組合來建置最佳經驗預測模式，輸入佔全部資料中剩餘 30%的驗證資料至經驗預測模式，以正確率、反查率、回應率和預兆得分四個指標來評估預測模式的預測效果，表 4-5 顯示類神經網路經驗預測模式驗證結果之混淆矩陣，而表 4-6 則是透過混淆矩陣計算之預測模式的訓練結果與驗證結果，結果顯示以所有監測站的裂流案例進行模式的訓練和驗證，其預測能力明顯較期中報告的成果較差，驗證正確率為 70.1%，而其於評估指標數值也相對較低<反查率、回應率和預兆得分>驗證結果分別為<73.0%、68.9%和 54.9%>，其中回應率是四個參數中最為不好(預兆得分由於是 $TP/(FN+FP+TP)$ ，是以正確預測會發生的案例同時處以不正確預測不會發生和會發生的案例，而其他參數通常是以一個正確預測的案例去除以一個不正確預測的案例，故預兆得分超過 50%就表訓練結果有一定的準確率)，顯示模式有高估的趨勢(即易將非裂流的案例預測有裂流發生)。

初步推測造成上述原因有二，其一是目前案例是通過四個測站觀測結果所取得的，而四個測站在無論是海岸線的變化、底床坡度和水深都有所差異，且根據 Masselink et al. (1993)研究成果潮差亦是影響裂流發生的重要因素之一，故導致可能原本在 A 處海灘不會發生的裂流的條件 A'，在 B 處海灘會發生，那在透過該模式進行預測時，就會在 A 處海灘發生 A'條件預測為有裂流發生，例如上文中監測站觀測結果所示，在宜蘭縣大里發生的裂流是因突堤導致折射繞射所發生的，而沙崙 S3、福隆的 F6 兩位置則是因地形變遷有槽溝和砂壩的型引致的裂流，若其他海域並未有該種易發生裂流的地形，將所有監測站案例納入訓練時，在預測結果上就會出現上述情況，導致模式有高估的情況。其二則是各個測站的裂流案例數量並不平均，恐會導致案例數量較少的海域驗證結果較差，因而導致整體的模型驗證結果降低，故本計畫將宜蘭縣外澳、宜蘭縣大里、新北市福隆和新北市沙崙四個監測站的案例進行分類，利用上述以所有監測站案例建置的

模型分別對這四個海域進行驗證。驗證結果如表 4-7 所示，其中發現確實在裂流數量最低的大里海域驗證結果最差，準確率僅有 65.6%，其他的評估指標也僅有 6 成左右，而資料量最多的外澳海域雖然較前期計畫成果低，但準確率仍有達到 75.6%，而第二多的福隆也有 74.9%，顯示確實有可能是因為大里案例較少使得模式驗證上被該區域的資料拉低了準確率，但其他部分的結果相較之前的模型較低，仍不排除裂流的發生與地域性有關，從 2-4 節分析結果亦可看出部分裂流與地形變遷有極度的關係。

此外，為確認分區建置各區域子系統的可行性，本計畫初步將外澳海域以港澳溪出海口為界分為北部和南部，以此來建置兩個子系統。北部為攝影機一和二所拍攝的 W1 至 W5 位置所出現的裂流案例，共計有 369 筆，南部則為攝影機二和三所拍攝的 W6 至 W11 位置所出現的裂流案例，共計有 330 筆。參考上述資料處理的方法，選取同樣筆數沒有發生裂流的案例，並且將其中 7 成作為模式的訓練資料，其中的三成作為模式的驗證資料。

表 4-8 顯示不同位置資料建置模式的驗證結果，從表中可以發現兩者模式的正確率均有些微下降，但正確率均仍有 80% 以上，且北部資料所建置的模式預測能力較南部資料建置的模式有較佳的結果。本計畫認為造成此現象的主要原因，是由於建置模式的資料數量減少所導致的，同樣亦可說明為甚麼北部模式較南部模式有較好的預警能力，可能原因就是北部資料數量較南部資料數量高。

綜上所述，結合期中報告的研究成果，以全外澳監測站的案例和衛星影像案例建置對外澳海域裂流預測模型有最佳的結果，而裂流經驗統計模式的空間解析度最大僅可以一個海域為預警範圍，倘若要對不同海域進行預警，則需要使用當地的裂流案例，對當地海域重新率定訓練參數，進而建置當地專用的裂流經驗統計模式。而透過將宜蘭縣外澳監測站觀測的裂流案例分為北部和南部兩個區域，並分別進行預警子系統的模式建置，結果顯示與全部外澳裂流案例訓練模型想筆準確率僅差 2-3%，而從北部資料量大於南部，因而準確率較高的情況，表示造成全部資料的預警系統和子系統之間的誤差可能是由於資料數量不足所導致的，而子系統建置結果良好，亦表示若之後要增加經驗

統計模式的空間分辨率，可透過相同的方法著手進行。

表 4-4 網格搜尋法率定最佳訓練參數結果

裂流案例來源	外澳監測站、衛星航拍	外澳監測站、福隆監測站、沙崙監測站、大里監測站
學習速率	0.001	0.005
隱藏層與輸出層轉移函數	雙曲線正切函數 (tanh)	雙曲線正切函數 (tanh)
隱藏層層數	3	3
隱藏層神經元數	(8,7,5)	(12,12,6)
訓練結果(正確率)	86.4%	74.3%

表 4-5 類神經網路經驗預測模式之混淆矩陣結果

(案例來源：外澳監測站、福隆監測站、沙崙監測站、大里監測站)

	實際發生裂流	實際未發生裂流
預測發生裂流	162	73
預測未發生裂流	60	149

表 4-6 類神經網路經驗預測模式之訓練與驗證結果

裂流案例來源		外澳監測站 衛星航拍	外澳監測站、福隆監測站 沙崙監測站、大里監測站
訓練結果	正確率	86.4%	74.3%
驗證結果	正確率	85.6%	70.1%

	反查率	85.8%	73.0%
	回應率	85.2%	68.9%
	預兆得分	74.7%	54.9%

表 4-7 不同測站驗證訓練結果
(案例來源：外澳監測站、福隆監測站、沙崙監測站、大里監測站)

輸入資料來源	正確率	反查率	回應率
外澳	75.6%	78.1%	72.8%
福隆	74.9%	72.9%	64.0%
沙崙	72.7%	69.2%	75.0%
大里	65.6%	63.6%	62.2%

表 4-8 宜蘭縣外澳海域南北部驗證結果
(案例來源：外澳監測站、衛星航拍)

輸入資料來源	正確率	反查率	回應率
北部	83.6%	84.5%	83.0%
南部	82.8%	83.8%	82.2%

第五章 規劃作業化裂流預警系統雛形

完成建置作業化裂流預警系統是本計畫最終的目標之一，為達到此目標本計畫於第一年度計畫執行期間便開始著手蒐集裂流案例，協助中央氣象署建置裂流光學影像監測站，以及研發裂流影像判釋程式，並同步進行裂流數值模擬模式的開發。第二年度則開始系統性的分析監測站影片，建立裂流案例與海氣象資料庫，初步建立裂流經驗統計模式的雛形，而數值模式的部分不僅提升模式的準確率，也加速模式運算效率。而地三年度則開始將兩模式(“數值模式”和“經驗統計模式”)與現場觀測結果進行比對，評估其實務應用之可行性。

考量裂流海洋災害造成的潛在風險，落實作業化裂流預警系統有即時性且必要性，根據上述第三節和第四節的研究成果，本計畫在今(2023 年)度完成後，待在做些修正和調整，即可獲得兩個在預測裂流發生有一定可信度的兩個模式，作為預警裂流的主要核心基礎，為加速後續裂流預警系統作業化作業，故今(2023 年)度其中一項工作項目為規劃作業化裂流預警系統雛形，一旦模式能有效的預警裂流的發生，便可以將其代入作業化系統，並於實務上開始測試，初步提供裂流發生訊息供相關單位參考，待作業化預警系統能夠順利運行後，則可將裂流預警資訊告知民眾，增加民眾自主防災的能力。以下將說明對兩模式規劃的作業化裂流預警系統雛形。

5-1 作業化裂流數值預測模式雛形

海岸裂流至今尚無準確的理論可以直接進行預測，因此本計畫在計畫執行第一年度就開始開發 SCHISM-WWM 波流耦合模式來描述裂流的現象，在第二年本計畫透過數值模式順利的進行長期現場波流場的模擬，第三年更是比對模式與現場觀測結果，驗證模式的可信度，為未來做為作業化裂流預警系統的模式準備，數值模式應用情形可參考第三章節報告成果。由於透過數值模式預測裂流發生，不僅可以得到裂流發生時間點，甚至可以提供詳細的位置和範圍的資訊，同時模式還能夠模擬裂流的流速，藉此瞭解當下裂流的危險程度。因此，本計畫規劃將以 SCHISM-WWM 波流耦合模式所開發的裂流數值預測模式作為預警系統的主模式。

作業化裂流數值預測模式由於本質上就是運行 SCHISM-WWM 波流耦合模式，在上文中提及目前在精進模式後，一個月的現場波流場模擬需要 3-4 天(模擬一天約需 2.8 小

時)，且進行每次模擬均需要多模擬一天的冷啟動，這導致若僅預測未來一天的資料，非常耗費運算資源，加上以防在模式輸入資料缺失或模式發散等問題導致沒有預測結果，規劃每次裂流預警系統執行需要模擬當天一天，加上預測未來三天，共計模擬四天的現場波流場，也就是需耗費約 11 小時，且未來某一時間點有三次預警結果可供參考。

SCHISM-WWM 波流耦合模式的模擬設置則與本計畫設置一樣，故需提供初始條件和邊界條件給模式進行驅動，共計有四大類，分別為(一)波浪資料(示性波高、尖峰頻率、平均週期、波向和方向分布參數)、(二)大氣資料(風速、大氣壓力、長波輻射、短波輻射、降雨量、比濕度)、(三)則是潮汐資料(調和參數)以及(四)大範圍海洋環境資訊，以下將說明各項資料來源，波浪資料部分可採用氣象署 NWWIII 輸出之波浪預測資料(備用資料可採用法國海洋開發研究院作業化預報波浪資料)，大氣資料則採用氣象署 WRF 預報資料(備用資料則可採用 NCDR 中第二代大氣預報模式(NCEP coupled forecast system model version 2, CFSv2)，而潮汐調和參數基本上是固定的僅需統計完成一次即可，而大範圍海洋環境資訊則可採用目前氣象署作業化 SCHISM-WWM 波流耦合模式的輸出結果(備用資料可採用 HYCOM+NCODA 全球模式預測的產品)。考量到上述資料均需要進行傳輸，根據過往經驗初步規劃一個小時的傳輸時間，以及 NWWIII 模擬時間一個小時和裂流數值預警模式模擬所需時間，故每一次預報需 13 小時。

裂流數值預警系統規劃每日進行一次預警，而裂流數值預警系統每日執行的時間點，則搭配中央氣象署 NWWIII 波浪模式運作的時程，於 NWWIII 波浪模式每日第一次運作時間 CST+8 04:00 開始作業，待中央氣象署波浪模式、大氣模式和 SCHISM 模式預報作業完成後，產出裂流預警系統模擬範圍所需的整個面資料後，傳入本計畫預警系統運作電腦，並觸發預警系統自動執行，裂流數值預警系統即可產出各預警海岸未來三天逐時的裂流在 11 個位置的發生訊息點，詳細運作流程如圖 5-1 所示。

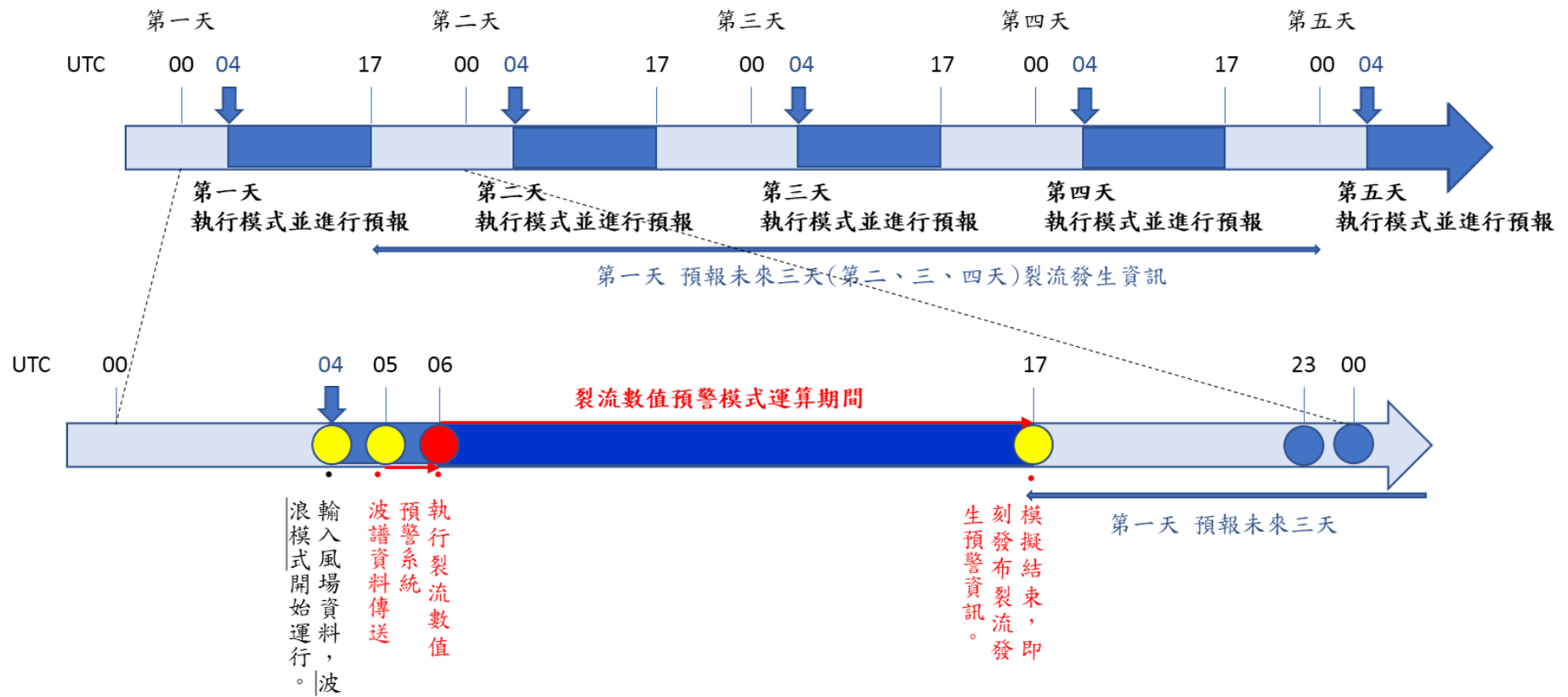


圖 5-1 裂流數值預警系統運作時程圖

5-2 作業化裂流經驗統計預測模式雛形

上述已介紹裂流數值預警系統整個架構的雛形，從中可知需要完成一次裂流數值預警不僅需要耗費長久的運算時間，更需要多個模式相互配合，即便大部分的資料本計畫均有提供備援，但本質上裂流數值預警系統仍相當的複雜，排除輸入預警系統模式可能會出現延遲，或是預報模式無法順利執行的情況，身為主要執行的 SCHISM-WWM 模式亦有可能在執行其間發生發散，導致模式無法順利完成模擬。為此，本計畫透過第二個模式(經驗統計模式)做為輔助系統，不僅可以作為主系統的備援外，後續亦可參考資料同化的方法，利用系集合並裂流數值預測模式，使預警系統更加的準確，以下將對作業化裂流經驗統計預測系統運作雛形進行說明。

作業化裂流經驗統計預測系統是建立在倒傳遞類神經網路演算法訓練的經驗統計模式上，裂流經驗統計模式主要花費時間的部分在於訓練出一個預測準確的模型，當有這個模型後，對於後續的預測基本上不會耗費太多的時間，根據研究團隊經驗測試 24 筆案例的時間預估少於一小時。因此，在裂流經驗統計預測系統的執行頻率，本計畫規劃完全根據中央氣象署的 NWWIII 波浪模式執行時間 CST+8 04:00、10:00、16:00 和 22:00，並且每次執行結果輸出未來 24 小時的裂流發生資訊，如此一來便與裂流數值預測系統一樣，在未來某時間點會有三次以上的預測，藉此以防某次執行時間無法順利執行，而無裂流發生資訊輸出等造成缺值，且後續經測試若統計模式預測長時間裂流發生情形有一定的準確率，則可在增加預報的時間(如未來 3 日逐時裂流發生情形)，這樣則能夠更降低模式因臨時狀況，無法順利執行導致缺值的情形。

而作業化裂流經驗統計預測系統除運算速率快，相較裂流數值預測模式的另一個優點就是他無需氣象署作業化的 SCHISM-WWM 流場預報模式進行配合，根據今(2023 年)度期末報告的改動，在經驗統計模式輸入因子共計有九項，其中有五項可以直接從氣象署 NWWIII 波浪預報模式和 WRF 大氣預報模式取得，分別為示性波高、平均週期、尖峰週期、主波向和風速，兩項潮系水位資料則可透過調和參數進行計算，而海灘類型參數和相對潮差則需另外撰寫程式，輸入 NWWIII 的波浪資料進行計算得來。無論是 NWWIII 的波浪資料還是 WRF 大氣預報資料，裂流經驗統計預測系統和裂流數值預測系統均需要等該些預報模式完成模擬後，傳入本計畫預警系統運作電腦，方可觸發預警系統自動執行，故資料傳輸和計算參數所需時間，仍預估需要 1 個小時左右。最後，裂流

經驗統計預測系統將會輸出未來 24 小時整個海域裂流發生訊息，詳細運作流程如圖 5-2 所示。

綜上所述，作業化預警系統雛形的主要模式為裂流數值預測模式，考量到裂流預警的立即性和氣象屬實務作業上需求，目前以研究團隊自行所使用的一般桌上型電腦的效能評估，每一次預報需 11 小時太過於費時，故後建議可將目前研究團隊所建立的模式(含數值模式和經驗統計模式)於氣象屬內電腦測試其效能，重新評估作業化預警系統的流程，倘若運算效率能夠提高至 1 至 2 小時完成運算則可維持以數值模擬模式為主、經驗統計模式為輔的系統；若否，則需重新規劃其模式應用，數值模式改以氣象屬目前作業化海流模式為主，並透過分析氣象屬海流模式與研究團隊的裂流數值模式兩者關聯性，嘗試用氣象屬作業化海流模式的輸出分析出裂流發生的情形。



圖 5-2 裂流經驗統計預警系統運作時程圖

第六章 結論與建議

6-1 結論

本計畫目的旨在進行兩項研究，包含研發「裂流監測技術」和「裂流預警系統」，今(2023 年)年度本計畫在過去研究的基礎下，提升影像判釋程式、數值模擬模式和經驗統計模式，並規劃作業化裂流預警系統雛形，希冀未來能提供災害性海象預警訊息。

本計畫今(2023 年)度在光學裂流影像分析作業，已完成裂流影像判釋程式的提升，在透過將程式簡化(減少遮罩數量，增加影像擴增的參數)，對於程式的運算效率和泛用性均有所改善，運算效率上分析 10 分鐘的動態影片分析時間減至不到 30 分鐘；而更新後的影像判釋程式可應用於各海域的監測站，且後續若有新建監測站亦無需增加遮罩，僅需稍作測試找到最佳的影像擴增參數即可，雖然經過上述改動判釋程式的準確率有些微下降，但驗證結果準確率仍有 75%。透過持續分析監測站動態影片，裂流案例與海氣象資料庫已蒐集到 437 筆裂流案例，累計裂流發生小時數達 1481 小時。該些案例分別從宜蘭縣外澳監測站 2021 年 11 月至 2022 年 12 月，以及新北市福隆、沙崙和宜蘭縣大里 2023 年 2 月至 2023 年 6 月的影片分析而來，裂流發生的位置分別為於外澳海灘 11 處、福隆海灘 8 處、沙崙海灘 4 處以及大里海域 1 處。

在裂流發生時的特徵分析上，由於去(2022 年)年新建的福隆、沙崙和大里監測站拍攝距離較近，可清楚地看到海岸地形的樣貌，在退潮時可從影像中發現地床地形分布，發現當有沙壩、槽溝等特殊地形時裂流發生頻率會明顯增加，同時也發現若漲退潮導致海岸線變動劇烈的海灘，裂流的持續時間會較小，如沙崙海域。本計畫今年度一樣有分析各海氣象參數在特定區間內裂流發生的機率，結果與前期計畫無異當示性波高 1.0 m、平均週期 5-6 秒、尖峰週期 6-8 秒、波向近似垂直海岸線以及海灘類型參數介於 3 至 5 間的過渡型海灘時，裂流有較高的發生機率。此外，今年度根據委員的建議有特別針對潮汐與裂流間的關係進行討論，結論有二，其一是通過分別統計漲退潮時發生裂流案例時的水位，發現裂流發生在退潮時水位分布範圍較漲潮時大，且漲潮時發生的裂流案例通常水位較退潮時高；其二就是增加相對潮差的分析，從結果發現外澳海域係屬於相對潮差參數小於 2 的沙壩型態海灘，也是較容易發生裂流的地形。

前期計畫已透過 SCHISM 水動力模式耦合 WWM 風浪模式，建置乙套可以模擬裂流

的環境。今(2023 年)年度本計畫精進該數值模式，並提高對模式的掌握程度，目前已調整模式的參數設定，在波浪模式上採用更適合台灣周遭海域的模擬參數，水動力驗證結果有明顯提升。而在 SCHISM-WWM 波流耦合模式的設定也有進行改動，經張應龍博士的建議，加強模式對於渦流現象的描述能力，透過該改動發現模式模擬的裂流案例有所增加，而為驗證模式模擬裂流現象的準確率，本計畫對裂流發生的時空間與現場觀測結果進行比對，以 2022 年 11 月一整月時間的裂流案例進行比對，在裂流是否發生的時間點驗證結果準確率達 81.6%，而其中更是有七成的位置相同。由於模擬與觀測結果兩者仍有相異，本計畫亦去探討是否與裂流並非發生於海表面有關，然經分析發現不同深度在裂流描述上均相當一致(即表層有裂流底層就有裂流，反之亦然)。因此，初步評估，本計畫認為目前兩者相異的主要原因可能還是來自於地形資料與現場觀測結果有些許不同。

另，在模擬不同水深地形的項目，本計畫挑選三種易發生裂流的地形進行設計，包含沿岸沙洲槽、橫向沙洲與裂流型，以及邊界控制型，模擬結果顯示，並非在易發生裂流的地形都會出現裂流，在沿岸沙洲槽地形模擬結果顯示，無論是離岸堤式或潛堤式的沙壩只要間隙過小(小於 30 m)，裂流僅會出現於兩側沙壩的邊緣，而潛堤式的沙壩發生的裂流寬度會較離岸堤式的寬；在橫向沙洲與裂流的模擬結果則發現，隨著槽溝的深度增加，裂流的流速會有所增加，在深度為 5 m 的時候裂流流速上升幅度是最大的，此外本計畫亦有進行不同槽溝長度和寬度的模擬，前者發現槽溝越長，裂流長度越長，且約為槽溝長度的 50%，但寬度和流速並未有相關，反倒是槽溝的寬度增加，無論在流速、長度和寬度都會明顯增加；而邊界控制型海灘模擬的結果顯示，隨著海灣曲率和海岸線直線距離的增加，裂流發生的位置會越往海灣中央靠攏，且海灣曲率增加裂流寬度和流速會增加，而海岸線直線距離增加裂流的流速也會增加但寬度卻會變小。

在裂流經驗預測模式建置方面，本計畫今(2023 年)已經透過增加案例進行訓練，提升模式整體的預測能力，反查率(即有裂流發生的情形，模式能成功預警的能力)有明顯提升，由 81.2%提升至 85.8%。本計畫也嘗試將所有監測站的裂流案例作為訓練資料建置經驗統計模型，透過加入福隆、沙崙和大里監測站的案例後，驗證結果反而從原先的 86.4%降至 70.1%，該結果本研究初步認為有兩項原因，其一是根據第二章對不同地區裂流案例的分析結果評估，認為是因為裂流發生與地域性有關(水深地形、潮汐變化)，相同海氣象條件在不同區域裂流發生情況也會有所相異；其二則是資料不足導致的，本

計畫對不同測站的案例進行驗證，結果發現確實在資料最少的大里驗證結果最差，準確率僅 65.6%。此外，本計畫也嘗試將資料根據裂流發生的位置進行分區，目前已初步將外澳海灘以港澳溪出海口為界分為北部和南部兩個區域，模式驗證結果顯示，雖然資料較少準確率較使用全部資料低，但準確率仍達到 80% 以上，代表若之後要增加經驗統計模式的空間分辨率，可透過相同的方法著手進行。

隨著裂流數值模式和裂流經驗統計模式逐漸的完善，考量裂流預警有急迫性，故今(2023 年)度本計畫就開始針對未來實務上需求做準備，開始著手規劃作業化預警系統的雛形，待數值模式和裂流經驗統計模式達到一定的預警能力後，可以馬上進行實務上的作業。本計畫目前初步以裂流數值模式為主、經驗統計模式為輔的方式規劃作業化裂流預警系統，並且無論是數值模式或經驗統計模式，在未來特定時刻均會有三次以上的預警結果，以防止不可控的因素導致預警作業中斷，為此在數值模式上規劃一天預警一次，輸出未來三天逐時裂流發生資訊，而經驗統計模式則是一天預警四次，每次輸出未來 24 小時逐時裂流發生資訊。而在輸入資料上，考量作業化裂流預警系統最終會回歸氣象署進行系統的執行，加上氣象署預報模擬資料有對台灣周圍環境進行特化，故在波浪相關參數採用氣象署 NWWIII 波浪預報模式、大氣資料採用氣象署 WRF 預報模式，而海流和溫鹽則採用氣象署的 SCHISM-WWM 模式，當然本計畫亦提供輸入資料的備援方案，以防止上述預報資料有無法回傳之情況發生。

本計畫今(2023)年度也協助中央氣象署規劃裂流光學監測站的設置，初步規劃新北市白沙灣、台南市漁光島、黃金海岸和高雄市旗津、西子灣海域，其中新北市白沙灣監測站預計今(2023 年)12 月 19 號進行場勘，同時目前已運行兩年的宜蘭縣外澳監測站經委員建議也將更新，目前已完成招標，預計年底前完成系統設備的更新。而未來三年(2024、2025 和 2026 年)本計畫將會持續協助氣象署規劃裂流影像監視站的建置，藉此蒐集更多裂流案例，並比對周遭時測資料站，建立更完善的裂流案例及海氣象資料庫，以供模式驗證訓練之需，並且無論在裂流監測或是預警上，可開始邁入作業化的工作項目中。

6-2 建議

1. 考量裂流資料是建置精準預警系統之基礎，本計畫已提出數個優先可建置裂流監視站位置，建議可與當地主管機關或是相關單位合作，加速裂流監視站之建置以蒐集更多資料提供預警系統建置。
2. 裂流數值模式的結果與水深地形資料有高度關係，目前之地形水深資料均為多年前所測，與實際情形略有誤差，若為求更精準模擬，建議可和主管機關協調進行近岸海域地形測量。
3. 裂流影像判釋程式已有不錯的成功率，建議可著手規劃現場之實際應用。
4. 目前宜蘭縣大里監測站所拍攝的裂流案例較少，考量本計畫建置監測站目的為蒐集案例，建議可將該站設備與系統轉移至今年規劃設計的五處海域。
5. 後續裂流預警系統雛形完成且數值模式模擬完善後，建議可以目前主要的研究區域(數值模式長期模擬的區域和最早建置監測站的位置)外澳海域作為預報站點上線選址的位置，並根據模式濾定的經驗，預估至少需 1-2 年時間方能新增一處站點。
6. 目前所規劃的作業化裂流預警系統是以研究團隊所使用的一般 PC 進行規劃，建議未來可將團隊的目前設置的模式(含經驗統計模式和數值模式)於氣象屬屬內的電腦進行其效能測是，並再次評估預警系統所使用模式的主次順序。
7. 建議可根據本計畫之成果，選擇易發生裂流熱點海域進行現場觀測試驗，可透過放置 ADCP、GPS 漂流器或染料等方式取得裂流流速資料，以進行更具體之驗證。
8. 影像判釋程式已相當精準，且運算速率也逐漸提升，然而隨著監測站後續仍會新建，分析速率可能無法趕上影像增加數量，後續可以嘗試使用不同的軟硬體技術(如 GPU 或是機器學習)來進行裂流影像判釋，藉此提升分析效率。

參考文獻

- [1] 中興顧問公司，鹽寮福隆沙灘變遷因應措施評估報告，台灣電力公司，2003。
- [2] 王敘民、邱啟敏、董東璟、蔡政翰，2021，裂流模擬與影響因子之評析，第 43 屆海洋工程研討會，共 6 頁。
- [3] 王敘民、邱啟敏、梁立翰、董東璟，2020，應用 SCHISM 模式模擬裂流時空分布，第 42 屆海洋工程研討會論文集，共 6 頁。
- [4] 交通部運輸研究所，96 年淡水河河口及附近海岸輸沙之研究，國立中央大學，2007。
- [5] 林雪美，2007，台灣北海岸海灘安全性之地形動力學研究，2007 年地理學者學術研討會，高雄師範大學，共 7 頁。
- [6] 林雪美，2009，宜蘭外澳海灘裂流判釋與遊憩安全告示牌設計，國立臺灣師範大學地理學系，交通部觀光局計畫。
- [7] 林雪美、黃翊翔、沈淑敏，2009，台灣東北部福隆海灘類型和裂流分布之長期變動研究，第十期地理研究，第 47-65 頁。
- [8] 張紘聞，「應用 WWIII 波浪模式於極端波高模擬之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，2019
- [9] 郭平巧、許弘莒、張裕弦、劉景毅，2011，臺南市海灘類型與離岸流分布之變動探討，第 33 屆海洋工程研討會論文集，第 453-457 頁。
- [10] 黃翊翔，2009，臺灣北部福隆海域海灘類型和裂流分布的時空間變動研究，國立臺灣師範大學地理學系碩士論文。
- [11] 經濟部水利署第一河川局，宜蘭海岸地形與漂沙及波潮流監測調查計畫(2/2)，2007。
- [12] 葉怡成，應用類神經網路，儒林圖書公司，2001。
- [13] 蕭仁豪、溫志中、李宗霖、蕭坤欣，2014，海水域場海灘安全性評估研究，第 36 屆海洋工程研討會論文集，第 141-146 頁。
- [14] Akila, D.S., Mori, I., and Dusek, G. 2021. Automated Rip Current Detection with Region based Convolutional Neural Networks. Preprint submitted to Elsevier.
- [15] Álvaro, I., Chin, H.W., Adma, J.B., Eric, J.A., and David, A.R. 2019. Unexpected rip currents induced by a meteotsunami. Scientific Reports. 9:2015. 1-9.
- [16] Austin, M.J., Scott, T., Russell, P., and Masselink, G. 2012. Rip Current Prediction: Development, Validation, and Evaluation of an Operational Tool. Journal of Coastal Research, Vol. 00, No. 0, 0000.
- [17] Benedet, L., Finkl, C. W., and Klein, A.H.F. 2004. Morphodynamic classification of beaches on the Atlantic coast of Florida: Geographical variability of beach types, beach safety and coastal hazards. Journal of Coastal Research, SI(39).
- [18] Boak, E.H. and Turner, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal

of Coastal Research.

- [19] Böse, M., Wenzel, F., Erdik, M. (2008). PreSEIS: A Neural Network-Based Approach to Earthquake Early Warning for Finite Faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98 (1), 366 – 382.
- [20] Brander, R.W. 1999. Field observations on the morphodynamic evolution of low wave energy rip current system. *Mar. Geol.* 157, 199 – 217.
- [21] Bretherton, F. P. & Garrett, C. J. R. 1968 Wavetrains in inhomogeneous moving media. *Proc. Roy. Soc. A* 302, 529–554.
- [22] Bruneau, N., and Castelle, B., Bonneton, P., Pedreros, R., Almar, R., Bonneton, N., Bretel, P., Parisot, J-P., and Senechal, N. 2009. Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology. *Continental Shelf Research* 29, 1650–1662.
- [23] Bui, D. T., Hoang, N. D., & Samui, P. (2019). Spatial pattern analysis and prediction of forest fire using new machine learning approach of Multivariate Adaptive Regression Splines and Differential Flower 59 Pollination optimization: A case study at Lao Cai province (Viet Nam). *Journal of Environmental Management*, 237, 476-487.
- [24] Carrere L., F. Lyard, M. Cancet, A. 2016. Guillot, N. Picot: FES 2014, a new tidal model – Validation results and perspectives for improvements, presentation to ESA Living Planet Conference.
- [25] Cavaleri, L., Bertotti, L., and Torrisi, L., Bitner-Gregersen, E., Serio, M., and Onorato, M. 2012. Rogue waves in crossing seas: The Louis Majesty accident. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C11).
- [26] Chang, F.J., Tseng, K.Y., Chaves, P. (2007). Shared near neighbours neural network model: a debris flow warning system. *Hydrological Processes*, 21, 1968 – 1976.
- [27] Chen, X., Huang, W., and Zhao, C. 2019. Rain detection from X-band marine radar images: A support vector machine-based approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote. Volume: 58, Issue: 3.*
- [28] Christian, S., Joerg, S., and Stylianos, F. 2008. Determination of Bathymetric and Current Maps by the Method DiSC Based on the Analysis of Nautical X-Band Radar Image Sequences of the Sea Surface. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46(8):2267 – 2279.
- [29] Cybenko, G. 1989. Approximation by superposition of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals and Systems* volume 2, pages303–314.
- [30] Dalrymple, R.A., MacMahan J.H., Reniers A.J.H.M., and Nelko V. 2011. Rip currents. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 43:551–81.
- [31] Engle, J., MacMahan, J., Thieke, R.J., and Hanes, D.M. 2002. Formulation of a Rip Current Predictive Index Using Rescue Data. *National Conf. on Beach Preservation Technology, FSBPA, January 23-25, Biloxi, MS*
- [32] Guimaraes, P.V. and Ardhuin, F. 2020. A data set of sea surface stereo images to resolve space-time wave fields. 7:145 | <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0492-9>.

- [33] Hong, X., Zhang, Y., Wang, B., Zhou, S., and Yu, S. 2021. Numerical study of rip currents interlaced with multichannel sandbars. *Natural Hazards* 108:593–605.
- [34] Horta, J., Oliveira, S., Moura, D., and Ferreira, Ó. 2018. Nearshore hydrodynamics at pocket beaches with contrasting wave exposure in southern Portugal, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, doi: 10.1016/j.ecss.2018.02.018.
- [35] Hsu, T.W., Ou, S.H., and Liao, J.M. 2005. Hindcasting nearshore wind waves using a FEM code for SWAN. *Coastal Engineering*, Vol. 52, 177-195.
- [36] Karimpouli, S., & Tahmasebi, P. (2019). Segmentation of digital rock images using deep convolutional autoencoder networks. *Computers & Geosciences*, 126, 142-150.
- [37] Kevin, A.H., Svendsen, I.A., Merrick, C.H., and Qun, Z. 2003. Quasi-three-dimensional modeling of rip current systems, *Journal of Geophysical Research*. Vol. 108. No. C7, 3217.
- [38] Kung, H.Y., Chen, C.H., Ku, H.H. (2012). Designing intelligent disaster prediction models and systems for debris-flow disasters in Taiwan. *Experts Systems with Application*, 39, 5838 –5856.
- [39] Leatherman, S.B. 2017. Rip Current Measurements at Three South Florida Beaches. *Rip Current Measurements at Three South Florida Beaches*.
- [40] Lee, L., Kim, D.H., Lee, S., and Lee, J.J. 2016. Lagrangian Observation of Rip Currents at Haeundae Beach Using an Optimal Buoy Type GPS Drifter. *Journal of Coastal Research*, SI(75), 1177-1181.
- [41] Liu, A.K., Peng, C.Y., and Chang, S.Y.S. 1997. Wavelet analysis of satellite images for coastal watch. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 22(1), 7-17.
- [42] Longuet-Higgins, M.S., and Stewart, R.W. 1964. Radiation Stresses in Water Waves; A Physical Discussion, with Applications[J]. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 11(4): 529-562.
- [43] López, V.F., Medina, S.L., Paz, J.F.d. (2012). Taranis: Neural networks and intelligent agents in the early warning against floods. *Experts Systems with Application*, 39, 10031 – 10037.
- [44] Lushine, B.J. 1991. A study of rip current drownings and related weather factors. *Nation Weather Service Forecast Office*, 13-19.
- [45] Lyard F., L. Carrere, M. Cancet, A. Guillot, N. 2017. Picot: FES2014, a new finite elements tidal model for global ocean, in preparation, to be submitted to *Ocean Dynamics* in.
- [46] MacMahan, J., Thornton, E., Reniers, A., Stanton, T., and Symonds, G. 2008. Low-energy rip currents associated with small bathymetric variations. *Mar. Geol.* 255:156–64.
- [47] MacMahan, J.H., Thornton, E.B., and Reniers, A.J.H.M. 2006. Rip current review. *Coastal Engineering* 53 191 – 208.
- [48] Masselink G, Short A D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model[J]. *Journal of Coastal Research*, 1993, 9(3):

785-800.

- [49] Mallat, S. G. 1998. A wavelet tour of signal processing, Academic Press , pp. 1-126.
- [50] Mase, H. 2001. Multi-directional random wave transformation model based on energy balance equation. Coastal Engineering Journal 43(4), 317-337.
- [51] Mase, H., Yasuda, T., Mori, N. (2011). Real-Time Prediction of Tsunami Magnitudes in Osaka Bay, Japan, Using an Artificial Neural Network, Journal of Water, Port, 137 (5), 263 – 268
- [52] Morgan, P. 1976. Geophysical methods in geology: P.V. Sharma. Elsevier, Amsterdam. DOI:10.1016/0016-7142(77)90040-0
- [53] Nieto-Borge, J.C. 2013. Use of X-band marine radars as a remote sensing system to survey wind-generated waves. COASTAL PROCESSES 2013 Volume: 169.
- [54] Ozturk, T., Talo, M., Yildirim, E. A., Baloglu, U. B., Yildirim, O., & Acharya, U. R. (2020). Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images. Computers in Biology and Medicine, 121.
- [55] Pitman, S., and Gallop, S.L. 2016. Synthetic Imagery for the Automated Detection of Rip Currents. Journal of Coastal Research, SI(75), 912-916.
- [56] Roelvink, D.J.A., Reniers, A., Dongeren, A., de Vries, J.V.T., McCall, R., and Lescinski, J. 2009. Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. Coastal Engineering 56(11-12):1133-1152.
- [57] Romano, M., Liong, S.Y., Vu, M.T., Zemskyy, P., Doan, C.D., Dao, M. H., Tkalic, P. (2009). Artificial neural network for tsunami forecasting. Journal of Asian Earth Sciences, 36, 29 – 37.
- [58] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., and Williams R.J. 1986. Learning Representations by Back-Propagating Errors. Nature 323(6088): 533-536.
- [59] Rutten J., Dubarbier, B., Price, T. D., Ruessink, B. G., & Castelle, B. 2019. Alongshore variability in crescentic sandbar patterns at a strongly curved coast. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 124.
- [60] Short, A.D. 2006. Introduction: Australian coastal geomorphology, Journal of Coastal Research, 22(1), 11-27.
- [61] Short, A.D., and Hogan, C.L. 1994. Rip currents and Beach Hazards: Their Impact on Public Safety and Implications for Coastal Management. Coastal Res, 12: 197-209.
- [62] Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., Antonoglou, I., Huang, A., Guez, A., Hubert, T., Baker, L., Lai, M., Bolton, A., Chen, Y. T., Lillicrap, T., Hui, F., Sifre, L., van den Driessche, G., Graepel, T., & Hassabis, D. (2017). Mastering the game of Go without human knowledge. Nature, 550(7676), 354-+.
- [63] Smith, J. M., D. T. Resio, and A. Zundel. 1999. STWAVE: Steady-state spectral wave model, Report 1: User's manual for STWAVE version 2.0. Instruction Report CHL-99-1, Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- [64] Song, D. and Bae, H.K. 2011. Observation and Forecasting of Rip Current Generation in Haeundae Beach, Korea Plan and Experiment. Journal of Coastal Research, SI 64,

946-950.

- [65] Sunkpho, J., Otamakorn, C. (2011). Real-time flood monitoring and warning system. *Journal of Science and Technology*, 33(2), 227 – 235.
- [66] Thirumalaiah, K., Deo, M.C. (1998). Real-Time Flood Forecasting Using Neural Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 13, 101 – 111.
- [67] Turner, I.L, Whyte, D., Ruessink, B.G., and Ranasinghe, R. 2007. Observations of rip spacing, persistence and mobility at a long, straight coastline. *Marine Geology* : 236, 209–221.
- [68] Yanenko, N.N., and Vasilkovsky, S.N. 1986. Application of the Method of One-Dimensional Functionals to the Solution of Elasto-Plastic Problems. First published: <https://doi.org/10.1002/zamm.19860660208>.
- [69] Zhang, K.; Zhang, M.C.; Leatherman, S.B., and Leatherman, S.P., 2020. Rip current hazard analysis. In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), *Global Coastal Issues of 2020*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 95, pp. 969–973. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- [70] Zorgani, E., Al-Awadi, H. Yan, W., Al-lababid, S., Yeung, H., and Fairhurst, C.P. 2018. Viscosity effects on sand flow regimes and transport velocity in horizontal pipelines. *Experimental Thermal and Fluid Science* 92, 89–96.

附錄一 服務建議書審查會議紀錄

交通部中央氣象署

112 年度服務建議書審查會議紀錄與回覆

一、專案名稱：112 年度「海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)」

二、場商名稱：財團法人成大研究發展基金會

三、審查日期：112 年 2 月 7 日（星期二）下午 02 時 00 分

四、地點：線上(Google Meet)

五、主 持 人：滕春慈 主任

紀錄：施景峯

六、出席人員：略

七、簡報：略

八、審查意見與回覆：

委員姓名與意見	團隊回覆
一、交通部中央氣象署海象測報中心 滕春慈 主任	
1. 發生裂流的海氣象環境會不會隨著不同的地形條件改變?今年以地形為裂流模式模擬中有無包括不同的海氣象條件的分析?	非常感謝委員的建議，目前數值模式在模擬不同地形條件時，考量模式運算的效率，會以較常出現裂流的海氣象環境進行模擬，倘若模擬過程中有發現不同條件和海氣象的交互作用會顯著影響裂流發生情形，則會再做進一步的模擬。
2. 有無分析模式模擬中發生裂流所需要的地形解析度?這個影響未來裂流模擬的作業需求。	非常感謝委員建議，今年度本計畫不僅會模擬三種不同類型的地形水深，且會設計不同槽溝和沙壩的形狀，藉此瞭解模式模擬所需要的地形解析度對需求。
3. 不同地點的統計裂流預報，是各點使用不統的模式還是都使用同一個?今年會發展幾個裂流統計預報站點?	由於地形水深環境對裂流發生有顯著之影響，故在不同的位置(海灘)會使用不同的模式。今年度則將會使用四處裂流影像監測站所蒐集的裂流案例，分別建立 4 處裂流統計預報模式。
二、交通部中央氣象署海象測 報中心 朱啟豪 技正	
1. 符合本局海岸裂流發展需求。	非常感謝委員的肯定。

三、國立嘉義大學土木與水資源工程學系 陳文俊教授	
1. 本計畫為延續前二年成果之持續計畫，且有其必要性，研究工作項目及方法亦具體可行，給予肯定。	非常感謝委員的肯定。
2. 本年度亦持續裂流及海氣象資料庫之蒐集，不知能否結合大數據之結合來提升統計經驗模式的精度。	非常同意委員的建議，本計畫已於第二年度初步完成裂流經驗統計模式，核心的方法採用倒傳遞類神經演算法，係屬大數據分析方法的一種。
3. 目前規劃之數模有海氣象及地形參數條件，不知能否檢核模擬條件之組合，能盡量符合四個監測站之海氣象及地形特性，期待數模結果亦能提供四個測站裂流之預測(即符合測估之實際狀況)	非常同意委員的建議，本計畫目前所設計的數值模式模擬條件，會參考實際現場環境。另，模擬的結果無論是有無發生裂流，均會作為裂流預報使用，如提供經驗統計模式的訓練和驗證資料。
4. 不知數值模式結果之驗，除裂流位置外，能否對裂流規模(流速、寬度、流長)亦能有所驗證。	非常感謝委員的建議，目前裂流現場監測係透過光學影像進行分析，故能獲得裂流發生時的寬度、長度以及延時，該些裂流特性均會與數值模式進行驗證。然流速的部分，由於影像尚未能計算流速，故暫無法進行比較，本計畫未來將可朝該方向進行嘗試。
四、弘光科技大學環境與安全 衛生工程學系 溫志中教授	
1. 計畫工作項目與預期成果建議項目一致。	感謝委員的建議，遵照辦理。
2. 核定進度甘梯圖，期中報告只佔40%，建議可調整比例，避免期末報告相關工作項目比重過多。	感謝委員的建議，遵照辦理。已將部份工作項目中提早 1~2 個月開始執行，並且所有的工作項目在期中報告繳交前均會開始執行。
3. 預警系統維護方式是否可以說明。	感謝委員的建議，本計畫工作主要協助中央氣象署建立裂流預警監測和預警的技術，故待系統開始作業化運作後，屆時將會進行軟體上的維護，對預警或監測程式的錯誤修正。該部分將會於期中報告中提出詳細規畫。

九、審查結果：通過

十、散會：下午 03 時 30 分

附錄二 期中報告書審查會議紀錄

交通部中央氣象署

112 年度期中報告審查會議紀錄

一、專案名稱：112 年度「海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)」

二、場商名稱：財團法人成大研究發展基金會

三、審查日期：112 年 7 月 3 日（星期二）上午 10 時 00 分

四、地點：線上(Google Meet)

五、主 持 人：滕春慈 主任

紀錄：施景峯

六、出席人員：略

七、簡報：略

八、審查意見與回覆：

委員姓名與意見	團隊回覆
一、交通部中央氣象署海象測報中心 滕春慈 主任	
1. 模式模擬是否可以作業化，尤其先需要精細海底地形資料？	模式模擬近岸流場時，若水深地形資料越精細，且有定期測量更新，模擬結果越可以反應現場波流場。根據前期計畫成果，裂流發生的時間點和位置與觀測有異，倘若能取得較新且精細的地形資料，則有助於解決該問題，加速模式作業化運行。
2. 模式模擬是否可以驗證，除了海表面的裂流(外澳)，是否有只存在海中、底的裂流。	感謝委員的建議。今年度本計畫已將模式從二維提升至三維，可探討不同水深的流場分布，於期末報告會對此作更深入的分析。
3. AI 預警加影像判定裂流，在時間上可以應用在作業，建議可以選擇海域開始推光工作，團隊可以建議業務單位的文宣及推廣方式。	感謝委員的建議。目前本計畫多以外澳海域作為研究地點，建議可以此作為示範區選址的位置。而今年度其中一項工作項目便是作業化系統雛形的規劃，屆時於期末報告會說明系統運作的流程，以及提供初步作業化系統輸出範例，可提供業務單位宣傳推廣之素材。
二、交通部中央氣象署海象測 報中心 朱啟豪 技正	

1. P18 錯字，空間「分部」	感謝委員的指正，遵照辦理。
2. P22 少字(如???)	感謝委員的指正，遵照辦理，修正報告將修正為“如圖 2-9”。
3. P26 文字敘述和表 2-2 不一致	感謝委員的指正，遵照辦理。
4. P29 表 2-3“找不到參照來源”	感謝委員的指正，遵照辦理，修正報告將刪除。
5. P92 是否該注意反查率，而非正確率 86.4%	同意委員的意見，在今年度增加更多的案例後，經驗統計模式在反查率有顯著的提升，即實際有發生裂流的情形，成功預測的案例增加。
三、國立嘉義大學土木與水資源工程學系 陳文俊教授	
1. 期中報告內容詳實，且符合進度要求給予肯定	感謝委員肯定。
2. P14 敘述今年新建大里等三站自 2/20 起開始有影像回傳，但其動態影像的角度、範圍仍在做調整，不知是否已調整至最佳狀態？亦敘述影像回傳率達七成以上，能否有再更提升的回傳率？	去年新建大里等三站中，福隆監測站已調整至最佳狀態。大里第二支攝影和沙崙兩支攝影機，由於裂流案例較少，且分析技術上有部分困難，故仍會再進行微調。此處的回傳率應為可分析影片佔全部觀測時間的比率，而目前這個比例較低的原因，主要是攝影機的拍攝設定持續再調整，導致影像時常中斷，預計後續該情況會有所改善。
3. 建議文中之海灘形狀因子能再給予定義說明。以利未參與前兩年計畫者之了解。而因子中之碎波波高是依影響判識之碎波位置，再據水深推算，亦或是有常用經驗公式求得？另未來研究或可再結合 Masslink & Short 相對潮差因子 RTR 參數，看能否在地形動力上有更佳之結果。	感謝委員的建議，海灘形狀因子的定義和計算方式會於期末報告進行補充。 目前的碎波波高是利用 Mehaute (1961)提出的經驗公式，利用示性波高與近岸碎波波高關係計算而來的。另，會遵照委員的建議，在期末報告中增加裂流發生時 RTR 參數的統計分析。
4. 為提升裂流時間分佈模擬之正確性，今年度將去年為解決模擬歧異現象之濾波因子關閉，以增加渦流效應。不知如此，去年之問題是否再發生？	於期中報告已透過 2021 年 8 月的一個案例初步證實該方法，可能對模式有所改善。於期末報告將會進行長期(至少一個月)現場波流場模擬，詳細比對兩者之間的差異。
5. 經驗預測模式已經訓練、驗證建立最佳之倒傳遞類神經模式。未來運用於另三站之預測是直接採用，抑或會再同外澳站般的處理程序，	目前經驗統計模式建置所使用的資料包含全台衛星和監測站所蒐集的裂流案例，理論上是可以應用於全台灣各處。但第二年度研究成果顯示，

建立各自的最佳模式？	以外澳影像監測資料練之模式有較佳的預警效果，故仍會嘗試改用現場觀測的案例對模式重新進行校驗。
6. 建議部份附圖 x、y 軸數字、說明可放大（如圖 2-21、22、24）。另 P75~P83 各圖似漏了色階圖示與矢號大小比例等。	感謝委員的建議，會於期末報告調整圖表的表現形式，使閱讀者能更容易理解。
四、弘光科技大學環境與安全 衛生工程學系 溫志中教授	
1. 期中報告成果豐碩值得肯定。	感謝委員肯定。
2. 建議裂流發生比對時間，數值結果是否與觀測時間一致。	感謝委員的建議，目前已於期中報告對模式參數進行調整，後續將會進行長期(一個月)現場波流場的模擬，並與觀測結果比對發生的位置和時間點。
3. 現場觀測與計算所得數值、資料，建議比對裂流渠道(觀測)點之現場地形特性。	感謝委員的建議，由於目前本計畫所採用的地形資料是 2018 年所測量的，與現在地形必定有所差異。因此，若要透過該地形資料分析現場觀測結果，恐有困難，而後續會對模式模擬出現裂的位置，進行地形特性的分析。
4. 建議依此成果課化期末報告。	感謝委員建議，會遵照辦理。

九、審查結果：通過

十、散會：上午 11 時 30 分

附錄三 期末報告書審查會議紀錄

交通部中央氣象署

112年度委託研究計畫

「海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)」

期末審查會議紀錄

一、計畫名稱：海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)

二、廠商名稱：財團法人成大研究發展基金會

三、審查日期：112年12月11日(星期一)下午2時

四、地點：視訊會議

五、主持人：齊委員祿祥

六、出席人員：溫委員志中、陳委員文俊、林委員芳如

、計畫主持人-蔡政翰(如附件簽到表)

七、期末簡報成果：(略)

八、審查意見與回覆：

紀錄：施景峯

委員意見	廠商回覆
(一)滕委員春慈	
1. 報告內容豐碩。 2. 相關工作包含模式預報、系統模式預報、影像觀測，這三者對裂流預警的業務面如何相互支持，有無建議方案。 3. 統計預報有無預報到達3日的規劃？	1. 感謝委員肯定。 2. 在這三項工項中，是以影像觀測蒐集裂流案例，作為模式建置的依據(訓練、驗證資料)。完成模式的驗證後，模式預報的輸出，則會作為經驗統計模式的輸入，藉此來進行作業化的裂流預警作業。 3. 感謝委員的建議。若模式預報結果有達3日，則經驗模式預報結果亦可達3日，未來可代先入模式預報未來3日的結果，評估經驗統計模式預警裂流發生的可行性。 4. 目前作業化系統的雛形，會再評估系統的運算效率和網路傳輸能力，再對系統的運作方式、輸出結果和兩模式間的配合進行調整，預估會於本計畫第2期未來3年的計

4. 離形系統上線後，新增預報站點的預估時間。 5. 包括所有海域的模式預報所需資源？ 6. 有無未來工作規劃建議？	畫內，完成作業化預警系統上線的作業。 5. 經期末審查後，海域的波浪、海流模式預報，會優先評估採用現有氣象屬的作業化模式，後續再將結果代入經驗統計模式進行預警，便可再無需投入大量的運算資源。 6. 有鑑於目前採用影像處理方法的影像判釋程式的運算效率不彰，雖有一定的準確率，但考量後續及時監測判釋仍有所不足，故未來3年計畫將會嘗試採用新技術，以人工智慧 AI 的方式進行判釋。另，亦會著手開始進行作業化裂流預警系統上線的工項，以及持續協助中央氣象署規劃裂流監測站的設置。
(二)陳委員文俊	
1. 期末報告內容極為豐碩，對未來氣象局設置裂流監測站及精進裂流預警機制有絕對的幫助，給予肯定。 2. 表2-1 選址評估結果中顯示大里監測站在學理依據、高危險度、歷史經驗似非最迫切，不知為何會列為先建置之規劃？漁光島評估似在電力供給、網路傳輸等條件較弱，如是裂流熱點，有無解決對策？ 3. 裂流數值模式經過精進改善後已可更精準預測裂流發生時間與位置，給予肯定，報告敘述3維數模中發現表層產生裂流時底層亦會有裂流發生，反之亦然。如此，機制上是表層裂流導引出底層，抑或底層導引出表層？或裂流引發時水動力驅動由表層至底層同時產生。另外不	1. 感謝委員肯定。 2. 本計畫所蒐集到的裂流案例主要是由監測站而來，故能蒐集到裂流案例是監測站最主要的目的，而在計畫執行前本研究團隊有在大里海岸拍攝到明顯裂流現象，故本計畫認為這相較過去歷史資料更能確認該處會發生裂流；漁光島海域當地相關管理單位對於該處建置監測站是持支持，故於第4次工作會議決議，建議可於當地相關管理單位協作，彼此分擔建置監測站的負擔。 3. 感謝委員的建議。根據本研究目前的研究成果，可知道地形(如水體尋找沙壩脆弱處離開)、水動力(如水位堆積引致水從高處往低處流)是造成裂流發生的主要原因。綜上所述，本計畫目前初步認為裂流的發生，是表層和底床的水體同時運動，然更加強力的證明，需提高模式的時間步

知表層與底層的定意深度為何？ 4. 由全部測站與單獨各站預測評估結果知，經驗統計預測模式有較多樣本加入訓練、驗證時對裂流發生有較精確的預測（即全部站納入較單一站判釋佳）。有無了解目前各測站中預測結果較差測站之地形參數與水動力參數是否與其他測站有較大之差異？ 5. 目前已可由影像辨識出裂流延時、寬度，不知能否由影像中判釋出裂流強度及歸納出各地裂流發生之最近離岸距離（或水深）？ 6. 建議部份文章可檢核修正，使報告更完整，如 P3 圖 2 應為 1-2，另有關流場圖的座標文字可酌放大，較能清晰閱讀等。 7. 本研究雖已獲得良好成果，惟如能持續改善數值模擬效益、提升預測與判釋正確率及精進作業化，將更可對裂流預報有更佳的成效，期盼委辦單位能有後續的研究計畫支持。另研究成果已大致可掌握幾處監測海灘裂流發生熱區，或可提供相關海灘管理權責單位參考，建立警示標示，提升戲水遊客提高警覺。	長，提高時間解析度來觀察水體的移動過程。而模式的表層指的是水表面（高層為0m）、底床則是當個網格點最深的位置（因網格點位置的水深不同，底床的水深亦會不同）。 4. 經本計畫研究成果顯示，單一測站案例訓練模型的結果會較全部測站訓練結果預測能力佳；而案例越多的測站期訓練出的模型，預測能力亦越佳；從2-4-2和2-4-3節中可發現有部分裂流案例是因有槽溝、沙壩或沙丘的情況，導致裂流發生，而這些地形因素較無法透過海灘地形參數和水動力參數下去表示，故導致統計模式預測上的誤差。 5. 感謝委員的建議。從數值模式模擬結果顯示，裂流發生的位置有從岸邊就開始向外海延伸，也有距岸一定距離才發生的。 6. 感謝委員的指正和建議，遵照辦理。 7. 感謝委員的肯定與建議。本計畫會於期末修正報告中，提供目前觀測到裂流發生高潛勢區域的座標，以利後續提供給先關管理權責單位參考和使用。
(三)溫委員志中	
1. 計畫內容豐富，可有效完成單位需求。 2. 現場計算參數，波浪週期長短是否敏感。	1. 感謝委員肯定。 2. 關於各因子對於裂流發生的影響程度，本計畫於第2(2022年)度計畫中已透過敏感性分析進行討論，其中以示性波高、海灘類型參數影響最大。而週期相關參數，平均週期較尖峰週期影響程度高。

3. 圖2-37裂流於漲退潮出現之水位，可否看出由漲退潮是由退潮至漲潮過程。	3. 感謝委員的建議，經本計畫分析在外澳242起裂流案例中，裂流由退潮道漲潮、漲潮倒退潮、都是退潮或都是漲潮的情況均有發生，而其中最常出現的潮汐變化是從退潮至漲潮，佔所有案例中34.3%。
4. P.109槽溝深度對流速之影響，請確認寬度大於200 m，流速可達3.0 m/s 是否合理。	4. 感謝委員指正，已於修正報告中修正。在槽溝寬度為200 m時，裂流流速模擬結果應為0.3 m/s。

(四)林委員芳如

1. P.51 第1段散布圖示指2-38，文字中未說明。”紅色框”、”黃色框”、”白色框”建議改為如紅底、黃底、白底。	1. 感謝委員的指正，遵照辦理。
2. 監測站原本認為拍攝角度較差的”沙崙”案例蒐集還比”大里”多，案例多少影響預測經驗公式的建立，所以在”大里”此站可以評估是否有其他適宜地點，較好蒐集案例。	2. 感謝委員的建議。於期末報告審查後，會開始調整大里監測站拍攝的位置和範圍，尋找”大里”該站可能出現裂流的地點。若仍然無法發現裂流發生的地點，建議後須可將該站設備轉移至今(2023年)度規劃設置監測站的海域。
3. P.5 GSP 與 P.143GPS 何者為正確？又 P.8NRMS, P93. NRMSE, P122ANN 請在名詞第一次出現時說明解釋。	3. 感謝委員的指正和建議，遵照辦理。全球定位系統應是 Global positioning system(GPS)；無因次均方跟誤差應是 Normalized root-mean square error(NRMSE)；而 ANN 是類神經網路(Artificial Neural Network)。

(五)齊委員祿祥

1. 期末報告內容部分文字撰寫錯誤，請修正。	1. 感謝委員的指正，遵照辦理。
2. 報告日期格式請統一。	2. 感謝委員的指正，遵照辦理。
3. 建議未來對於採用數值模擬和裂流監視站的預警方式，宜考慮運算資源和網路資源的使用合理性。	3. 感謝委員的建議。本計畫未來會嘗試採用目前氣象屬作業化波流場模擬模式來建立預警模式。在監視站影像傳輸和分析上則會評估邊緣運算的可行性。
4. 本報告依預定時程完成各工項符合業務單位需求，審核通過。	4. 感謝委員肯定。

九、審查結果：

審查通過，仍請承商依審查委員意見修改期末報告。

十、散會。(下午3時30分)

附錄四 第一次工作會議紀錄

「海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)」計畫案

【112年3月工作會議紀錄】

時 間：112年3月27日(一)上午 11:00

地 點：視訊會議

主 席：滕春慈主任

出席人員：海象中心：林芳如課長、施景峯技士、陳琬婷研究助理

財團發人成大研究發展基金會：蔡政翰教授、董東璟教授、王敘民研究助理

記 錄：王敘民研究助理

壹、工作進度簡報：

計畫執行進度報告。(如附件 1)

貳、討論及決議事項：

1. 今年預計更新外澳裂流影像監測站，目前已完成現場勘查與擇定攝影機建置的數量及位置，並使用中央氣象局內部數據企業網路(MDVPN)進行影像傳輸。
2. 與美國張應龍教授於本月初來台期間，針對 Schism 模式裂流模擬進行討論，初步發現調整模式內 shapiro.gr3 濾波器參數後，可增加裂流強度，將持續進行測試及驗證。
3. 由於氣象局與美國氣象單位持續有交流合作，若有機會，研究團隊可與美方交流裂流方面的研究成果，使本計畫成果能夠更加豐碩。

參、散會：12 時 00 分

附件 1：計畫工作進度簡報

陳閱長官

陳琬婷

0331/1400

課長林芳如

0331/1411

主任滕春慈

0331/1515

附錄五 第二次工作會議記錄

海岸裂流監測與預警技術研究(3/3) 【112年5月工作會議紀錄】

時 間：112年5月29日(星期一) 上午 11:00

地 點：視訊會議

主 席：滕春慈主任

出席人員：

海象中心：朱啟豪技正、林芳如課長、施景峯技士、蘇建華研究助理、陳琬婷研究助理

財團法人成大研究發展基金會：蔡政翰教授、董東璟教授、王敘民研究助理

記 錄：王敘民研究助理

壹、工作進度簡報：

計畫執行進度報告。(如附件1)

貳、討論及決議事項：

1. 目前已著手分析 111 年建置的裂流光學影像監測站拍攝影片，其中沙崙監測站拍攝視角過低，不易後續影像分析。故建議可調整拍攝焦距使影像涵蓋整個海灘，或是於該站另外加設支架提高攝影機位置，用以提高視角。
2. 在模擬不同地形的工作項目中，每個案例將會僅以一種地形進行模擬，藉此了解各種地形下裂流發生時的特性。若經評估有其必要性，亦可將地形結合，探討近岸流場在不同地形交互作用所帶來的變化。
3. 監測站影像中若有較多的水上活動者或遊客，於影像處理計算時會經由影像平均及濾波方式消弭，故對裂流分析不會造成干擾或影響。

參、散會：11：50

附件1：計畫工作進度簡報

陳琬婷

陳政翰
0605/1450

課長林芳如
0605/1433

主任滕春慈
0605/1540

附錄六 第三次工作會議記錄

「海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)」計畫案 【112年8月工作會議紀錄】

時間：112年8月31日(星期四) 上午 11:00

地點：視訊會議

主席：滕春慈主任

出席人員：海象中心：朱啟豪技正、林芳如課長、施景峯技士、陳琬婷研究助理

財團發人成大研究發展基金會：蔡政翰教授、董東環教授、王敘民研究助理

記錄：王敘民研究助理

壹、工作進度簡報：

計畫執行進度報告。(如附件 1)

貳、討論及決議事項：

1. 待裂流預警系統雛形逐漸具體後，再討論及研擬預警系統之產品，是預測裂流發生的地點及時間？或是預測裂流的精確發生位置及時間？
2. 本案主要依靠裂流監測站的設立，收集裂流案例及建置海氣象資料庫。因此，請研究團隊提前選址適合建置監測站的位置，提供監測站建置規劃與設計，建議可優先考量白沙灣、旗津、西子灣、黃金海岸和漁光島等熱門景點，其中多處站點難有合適之既有建築物可供設站，請研究團隊多加協助，研擬攝影機架設方式及位置。

參、散會：12 時 00 分

附件 1：計畫工作進度簡報

陳國良

陳琬婷

0905/0940

課長林芳如
0905/1045

陳國良

主任滕春慈
0905/1340

附錄七 第四次工作會議記錄

「海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)」計畫案 【112 年 10 月工作會議紀錄】

時 間：112 年 10 月 17 日(星期四) 上午 11:00

地 點：視訊會議

主 席：齊祿祥副組長

出席人員：海象氣候組：朱啟豪科長、林芳如技正、陳琬婷研究助理

財團發人成大研究發展基金會：蔡政翰名譽教授、董東璟教授、王敘民研究

助理

記 錄：王敘民研究助理

壹、工作進度簡報：

計畫執行進度報告。(如附件 1)

貳、討論及決議事項：

1. 裂流影像監測站的維護與傳輸費用高，後續若要新建監測站，需評析其需求性，或是有海域相關主管機關要求方才設立，並可與相關單位合作，共享影像資源與費用分擔。
2. 目前所規劃的漁光島影像監測站，根據過去經驗，自行架設高塔不僅建立時費用高昂，且後續維護不易，建議嘗試在現有的建築物上架設，或與當地相關單位合作。

參、散會：12 時 00 分

附件 1：計畫工作進度簡報

陳開長官

陳琬婷

1025/1500
科長朱啟豪
1026/1140

副組長齊祿祥
1025/1400

組長洪景山
1020/0920

附錄八 外澳裂流監測站裂流案例與海氣象資料庫

編號	起始時間	結束時間	位置	延時 (hr)	裂流 寬度 (m)	示性波高(m)		平均週期(s)		尖峰週期(s)		與海岸線夾角 (°)		平均風速(m/s)		水位(cm)		Ω(海灘類型參數)		相對潮差(RTR)	
						最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
Waiou_001	2021110106	2021110111	R1	6	34	0.92	0.75	6.8	5.6	7.7	5.9	71.4	37.4	-	-	92	-489	4.85	3.94	2.05	1.71
Waiou_002	2021110106	2021110114	R11	9	52	0.96	0.75	6.8	4.6	7.7	5.9	71.4	37.4	-	-	148	-489	5.30	3.94	2.15	1.71
Waiou_003	2021110207	2021110214	R1	8	33	1.17	0.65	7.1	5.3	8.3	5.8	82.4	14.4	6.4	2.4	129	-492	5.75	3.40	2.24	1.45
Waiou_004	2021110208	2021110214	R7	7	24	1.17	0.65	7	5.3	8.3	5.8	71.4	14.4	6.4	2.4	80	-492	5.75	3.40	2.24	1.45
Waiou_005	2021110208	2021110213	R11	6	54	1.17	0.65	7	5.4	8.3	6	71.4	14.4	6.4	2.4	-120	-492	5.75	3.40	2.24	1.45
Waiou_006	2021110109	2021110112	R7	4	24	0.96	0.81	6.4	5.3	6.7	5.9	71.4	37.4	-	-	-291	-489	5.18	4.05	1.95	1.78
Waiou_007	2021110109	2021110112	R9	4	39	0.96	0.81	6.4	5.3	6.7	5.9	71.4	37.4	-	-	-291	-489	5.18	4.05	1.95	1.78
Waiou_008	2021110209	2021110213	R9	5	32	1.17	0.65	6.5	5.4	7.7	6	71.4	14.4	6.4	2.4	-191	-492	5.75	3.40	2.24	1.45
Waiou_009	2021110315	2021110316	R1	2	35	1.3	1.11	5.8	5.8	7.7	6.7	48.4	37.4	6	5.3	529	246	6.15	5.46	1.53	1.34
Waiou_010	2021110409	2021110415	R11	7	53	1.09	0.59	6.3	4.9	8.2	6	71.4	26.4	-	-	204	-435	5.60	3.36	2.51	1.56
Waiou_011	2021110410	2021110414	R7	5	28	1.09	0.72	6.3	5.2	8.2	6.1	71.4	26.4	-	-	-137	-435	5.45	3.74	2.09	1.56
Waiou_012	2021110410	2021110414	R9	5	33	1.09	0.72	6.3	5.2	8.2	6.1	71.4	26.4	-	-	-137	-435	5.45	3.74	2.09	1.56
Waiou_013	2021110510	2021110515	R11	6	49	1.13	0.67	6.1	5	7.3	5.8	52.6	30.6	-	-	155	-316	6.06	3.74	2.28	1.60
Waiou_014	2021111609	2021111613	R4	5	54	1.02	0.68	6.1	5.7	8.6	6.4	59.4	41.6	-	-	-40	-313	5.13	3.74	2.24	1.63
Waiou_015	2021111706	2021111708	R2	3	39	1.11	0.99	6.1	6	7.5	6.8	48.4	7.6	2.9	1.5	346	96	5.29	4.91	1.65	1.50
Waiou_016	2021111713	2021111716	R2	4	37	1.26	1.13	6.1	5.6	8.5	6.8	63.6	7.6	-	-	463	-108	6.01	5.36	1.47	1.38
Waiou_017	2021111713	2021111714	R4	2	39	1.25	1.13	6.1	5.9	8.5	7.4	63.6	14.4	-	-	98	-108	5.91	5.36	1.47	1.38
Waiou_018	2021111806	2021111809	R9	4	46	0.97	0.69	6.1	4.6	9.8	8	52.6	18.6	7.7	5.2	484	118	5.63	3.70	2.19	1.75
Waiou_019	2021111910	2021111914	R2	5	47	1.29	0.72	7.2	6.1	8.9	7.6	71.4	14.4	7.2	3.1	128	-117	5.92	3.53	2.01	1.33
Waiou_020	2021112007	2021112011	R2	5	45	1.48	1.02	6.1	5.5	8.8	8.1	71.4	48.4	8	6.2	535	61	6.78	5.18	1.64	1.19
Waiou_021	2021112013	2021112014	R8	2	28	1.54	1.41	5.9	5.8	7.8	7.7	59.4	59.4	7.1	6.4	33	-52	6.98	6.47	1.25	1.17
Waiou_022	2021112015	2021112017	R2	3	47	1.37	1.19	5.6	5.4	7.6	6.4	37.4	3.4	6.4	4.3	553	192	6.61	5.88	1.46	1.32
Waiou_023	2021112508	2021112509	R7	2	58	0.69	0.66	5.5	5.3	7.1	6.2	14.4	3.4	-	-	61	-69	4.04	3.82	2.36	2.31
Waiou_024	2021112515	2021112515	R2	1	58	0.76	0.76	5.5	5.5	5.5	5.5	71.4	71.4	2	2	8	8	4.25	4.25	2.11	2.11
Waiou_025	2021120106	2021120112	R4	7	83	1.87	1.39	6.4	5.8	11.1	9.1	82.4	-3.4	9.8	6.9	237	-284	8.08	6.20	1.24	1.01
Waiou_026	2021120114	2021120117	R3	4	42	1.74	-	6.8	-	11.3	-	71.4	-16.4	8.3	6.9	612	411	6.90	0.47		1.00
Waiou_027	2021121406	2021121410	R8	5	35	1.55	1.31	6.4	6	9.6	8.2	82.4	37.4	3.5	1.1	-30	-289	6.73	5.87	1.31	1.12

Waiou_028	2021121412	2021121416	R8	5	41	1.68	1.12	6.4	5.8	9.4	7.5	63.6	30.6	2	1.3	326	-61	7.30	5.38	1.49	1.08
Waiou_029	2021121506	2021121515	R5	10	49	1.26	1.03	6.6	5.5	9.6	6.2	86.6	30.6	6.4	1.4	385	-142	5.91	4.75	1.60	1.36
Waiou_030	2021121506	2021121515	R8	10	37	1.26	1.03	6.6	5.5	9.6	6.2	86.6	30.6	6.4	1.4	385	-142	5.91	4.75	1.60	1.36
Waiou_031	2021121512	2021121513	R2	2	38	1.24	1.2	6.1	5.9	8.1	6.2	86.6	52.6	3.8	2.8	149	-4	5.75	5.73	1.42	1.37
Waiou_032	2021121608	2021121609	R4	2	64	0.91	0.87	6.3	5.9	9.4	9.1	63.6	63.6	-	-	114	-12	4.66	4.32	1.79	1.78
Waiou_033	2021121610	2021121612	R8	3	34	1.31	0.94	6.3	5.6	8.9	8.6	86.6	63.6	7.4	1.2	-9	-84	6.32	4.57	1.71	1.36
Waiou_034	2021121909	2021121912	R1	4	27	1.19	0.84	6.4	6	10.2	8.5	82.4	37.4	5.8	5	48	-192	5.40	4.34	1.88	1.39
Waiou_035	2021122106	2021122111	R1	6	31	0.97	0.77	5.6	5.2	8.9	5.3	52.6	18.6	-	-	200	-72	5.05	4.34	2.10	1.72
Waiou_036	2021122114	2021122116	R1	3	32	0.99	0.9	5.7	5.3	8.1	5.1	75.6	30.6	-	-	193	-20	5.18	4.94	1.87	1.70
Waiou_037	2021122807	2021122812	R8	6	36	1.24	1.03	6.8	6	9.4	7.7	82.4	-7.6	4.1	2	162	-477	5.35	5.06	1.60	1.31
Waiou_038	2021122808	2021122812	R10	5	31	1.24	1.03	6.8	6	9.4	7.7	82.4	59.4	4.1	2.1	162	-439	5.35	5.06	1.60	1.31
Waiou_039	2021122910	2021122912	R8	3	37	0.88	0.82	6.5	5.6	8.1	5.5	75.6	52.6	-	-	163	-152	4.69	4.12	1.96	1.82
Waiou_040	2021122910	2021122912	R10	3	35	0.88	0.82	6.5	5.6	8.1	5.5	75.6	52.6	-	-	163	-152	4.69	4.12	1.96	1.82
Waiou_041	2021122910	2021122912	R5	3	33	0.88	0.82	6.5	5.6	8.1	5.5	75.6	52.6	-	-	163	-152	4.69	4.12	1.96	1.82
Waiou_042	2021122910	2021122912	R8	3	37	0.88	0.82	6.5	5.6	8.1	5.5	75.6	52.6	-	-	163	-152	4.69	4.12	1.96	1.82
Waiou_043	2021122910	2021122912	R10	3	35	0.88	0.82	6.5	5.6	8.1	5.5	75.6	52.6	-	-	163	-152	4.69	4.12	1.96	1.82
Waiou_044	2021122910	2021122912	R5	3	33	0.88	0.82	6.5	5.6	8.1	5.5	75.6	52.6	-	-	163	-152	4.69	4.12	1.96	1.82
Waiou_045	2021123006	2021123011	R8	6	30	1.53	-	5.5	-	7.8	-	82.4	-16.4	9.7	8.4	24	-193	7.19	0.47		1.21
Waiou_046	2021123006	2021123011	R8	6	30	1.53	-	5.5	-	7.8	-	82.4	-16.4	9.7	8.4	24	-193	7.19	0.47		1.21
Waiou_047	2021123007	2021123010	R10	4	32	1.51	1.23	5.5	5.3	7.8	7.4	82.4	71.4	9.7	8.7	-114	-193	7.19	6.24	1.46	1.23
Waiou_048	2021123007	2021123010	R11	4	32	1.51	1.23	5.5	5.3	7.8	7.4	82.4	71.4	9.7	8.7	-114	-193	7.19	6.24	1.46	1.23
Waiou_049	2022010111	2022010112	R8	2	35	1.04	1.02	6.1	6	8.2	7.8	86.6	59.4	5.6	5.2	-95	-167	5.09	4.97	1.60	1.59
Waiou_050	2022010111	2022010112	R10	2	28	1.04	1.02	6.1	6	8.2	7.8	86.6	59.4	5.6	5.2	-95	-167	5.09	4.97	1.60	1.59
Waiou_051	2022010211	2022010214	R5	4	38	1.36	1.11	5.7	5.4	8.3	7.4	71.4	59.4	8.8	7	107	-111	6.50	5.52	1.54	1.32
Waiou_052	2022010406	2022010410	R5	5	23	1.09	0.86	5.1	4.8	7.3	6.4	59.4	37.4	8.4	6.8	347	-63	5.83	4.94	2.02	1.63
Waiou_053	2022010414	2022010417	R5	4	47	1.37	1.16	5.8	5.3	7.6	6.8	59.4	48.4	9.3	7.8	439	-82	6.61	5.65	1.51	1.32
Waiou_054	2022011106	2022011112	R2	7	40	2.17	1.76	5.7	5	9.1	6.6	82.4	71.4	13.4	9.8	243	-120	9.49	7.97	1.12	0.90
Waiou_055	2022020107	2022020107	R5	1	40	0.76	0.76	5.4	5.4	8	8	37.4	37.4	2.8	2.8	453	453	4.30	4.30	2.13	2.13
Waiou_056	2022021406	2022021407	R2	2	58	1.09	0.86	5.8	5.1	8.6	8.3	71.4	59.4	7.2	7	389	339	5.39	4.88	1.97	1.55
Waiou_057	2022021407	2022021407	R8	1	43	0.86	0.86	5.1	5.1	8.3	8.3	59.4	59.4	7	7	389	389	4.88	4.88	1.97	1.97
Waiou_058	2022021407	2022021407	R10	1	33	0.86	0.86	5.1	5.1	8.3	8.3	59.4	59.4	7	7	389	389	4.88	4.88	1.97	1.97
Waiou_059	2022021412	2022021414	R6	3	39	1.66	1.03	6.1	5.4	8.8	7.5	71.4	48.4	8.9	6.8	256	18	7.23	5.40	1.67	1.09
Waiou_060	2022021413	2022021416	R8	4	35	1.66	1.3	6.1	5.4	9.3	8.1	71.4	71.4	8.9	7.6	523	135	7.23	5.96	1.32	1.09

Waiou_061	2022021413	2022021416	R10	4	32	1.66	1.3	6.1	5.4	9.3	8.1	71.4	71.4	8.9	7.6	523	135	7.23	5.96	1.32	1.09
Waiou_062	2022021416	2022021418	R6	3	42	1.39	1.11	6.2	6	9.4	8.8	71.4	59.4	8	5.4	601	523	6.33	5.24	1.49	1.26
Waiou_063	2022021416	2022021418	R2	3	43	1.39	1.11	6.2	6	9.4	8.8	71.4	59.4	8	5.4	601	523	6.33	5.24	1.49	1.26
Waiou_064	2022021507	2022021511	R8	5	33	1.07	0.99	6.2	5.6	9.1	8.1	71.4	37.4	7.5	2	434	-10	5.43	4.91	1.65	1.55
Waiou_065	2022021507	2022021511	R10	5	24	1.07	0.99	6.2	5.6	9.1	8.1	71.4	37.4	7.5	2	434	-10	5.43	4.91	1.65	1.55
Waiou_066	2022021509	2022021517	R6	9	38	1.45	0.92	6.3	5.7	9.1	7.1	59.4	26.4	6.4	1.3	626	-51	6.46	4.75	1.77	1.21
Waiou_067	2022021509	2022021515	R1	7	59	1.45	0.92	6.2	5.8	8.9	7.1	48.4	26.4	6.4	1.3	301	-51	6.46	4.75	1.77	1.21
Waiou_068	2022021606	2022021611	R8	6	34	1.86	1.59	6.4	5.9	9.1	8.3	71.4	48.4	10.5	8.2	537	15	7.55	6.78	1.11	0.97
Waiou_069	2022021606	2022021608	R6	3	45	1.86	1.59	6.4	5.9	8.8	8.3	59.4	59.4	8.2	8.2	537	401	7.55	6.78	1.11	0.97
Waiou_070	2022021607	2022021611	R10	5	39	1.86	1.59	6.4	6.3	9.1	8.8	71.4	48.4	10.5	8.2	537	15	7.55	6.78	1.11	0.97
Waiou_071	2022030213	2022030213	R10	1	34	0.57	0.57	6.1	6.1	8.3	8.3	41.6	41.6	-	-	399	399	3.21	3.21	2.55	2.55
Waiou_072	2022031611	2022031613	R4	3	68	0.77	0.68	5.7	5.2	8.5	6.6	59.4	26.4	6.6	1.6	0	-88	4.44	3.82	2.27	2.14
Waiou_073	2022032013	2022032015	R2	3	49	1.18	1.01	6.3	5.5	8.1	5.7	71.4	26.4	5.4	4.2	-401	-504	5.85	5.04	1.68	1.47
Waiou_074	2022032015	2022032017	R11	3	42	1.18	1.07	5.7	5	6.4	4.7	59.4	26.4	5.4	2.7	112	-401	5.85	5.37	1.67	1.47
Waiou_075	2022032308	2022032309	R11	2	44	2.32	1.97	7.4	6.7	10.4	10.2	82.4	59.4	8.1	7.9	720	718	8.09	7.65	0.91	0.77
Waiou_076	2022032411	2022032412	R11	2	34	1.18	0.99	6.9	6.7	8.6	8.5	82.4	59.4	4.7	3.9	569	374	5.21	4.48	1.56	1.37
Waiou_077	2022032614	2022032614	R8	1	29	1.12	1.12	6.2	6.2	7.4	7.4	52.6	52.6	-	-	353	353	5.27	5.27	1.47	1.47
Waiou_078	2022032614	2022032617	R5	4	43	1.22	1.12	6.6	6.2	8.3	7.3	52.6	26.4	-	-	353	-113	5.47	5.22	1.47	1.34
Waiou_079	2022040811	2022040813	R9	3	28	1.08	1.03	6.5	6.3	7.2	6.7	82.4	7.6	3.9	2.3	276	33	5.08	4.80	1.56	1.51
Waiou_080	2022040910	2022040913	R9	4	33	1.23	0.75	6.2	5.7	9.3	7.1	52.6	3.4	-	-	290	168	5.97	3.98	2.06	1.42
Waiou_081	2022040910	2022040913	R11	4	37	1.23	0.75	6.2	5.7	9.3	7.1	52.6	3.4	-	-	290	168	5.97	3.98	2.06	1.42
Waiou_082	2022040910	2022040911	R1	2	23	1.23	0.99	6.2	5.7	9.3	8.5	41.6	3.4	1.5	1.2	290	274	5.97	4.80	1.63	1.42
Waiou_083	2022041207	2022041213	R9	7	30	1.07	0.87	6.5	6.1	9.4	7.8	86.6	41.6	-	-	271	89	5.04	4.41	1.82	1.52
Waiou_084	2022041208	2022041211	R4	4	64	1.04	0.87	6.5	6.1	9.3	7.8	86.6	63.6	-	-	209	89	4.83	4.41	1.82	1.54
Waiou_085	2022041406	2022041409	R9	4	32	1.3	0.99	8.9	7.9	13.1	11.6	86.6	-7.6	-	-	584	160	4.65	4.08	1.48	1.14
Waiou_086	2022041406	2022041407	R2	2	45	1.3	0.99	8.8	7.9	13.1	12.1	86.6	63.6	-	-	584	493	4.65	4.08	1.48	1.14
Waiou_087	2022041506	2022041507	R9	2	28	1.71	1.47	7.1	6.5	10.8	10.6	48.4	37.4	7.6	6	638	587	6.62	6.27	1.16	1.00
Waiou_088	2022050313	2022050316	R8	4	36	1.96	1.41	6.3	5.9	7.8	7.5	82.4	48.4	8.9	5.2	-528	-721	8.28	6.40	1.25	0.96
Waiou_089	2022050315	2022050316	R9	2	37	1.96	1.41	5.9	5.9	7.8	7.8	71.4	48.4	8.9	6.8	-528	-701	8.28	6.47	1.25	0.96
Waiou_090	2022050611	2022050614	R5	4	67	1.12	0.63	6.6	5.3	10.6	6.7	82.4	59.4	8.3	5.2	249	-366	5.22	3.46	2.49	1.47
Waiou_091	2022050611	2022050614	R5	4	37	1.12	0.63	6.6	5.3	10.6	6.7	82.4	59.4	8.3	5.2	249	-366	5.22	3.46	2.49	1.47
Waiou_092	2022050611	2022050614	R8	4	32	1.12	0.63	6.6	5.3	10.6	6.7	82.4	59.4	8.3	5.2	249	-366	5.22	3.46	2.49	1.47
Waiou_093	2022051706	2022051708	R11	3	55	1.19	1	5.8	5	9.1	8.1	59.4	37.4	7.1	5.4	741	577	6.30	5.11	1.67	1.53

Waiou_094	2022052215	2022052218	R11	4	52	1.1	0.85	6.9	6.7	10	8.1	82.4	48.4	4.8	2.6	-94	-481	4.85	4.07	1.78	1.43
Waiou_095	2022052216	2022052216	R2	1	48	0.87	0.87	6.8	6.8	8.1	8.1	59.4	59.4	4.8	4.8	-317	-317	4.10	4.10	1.74	1.74
Waiou_096	2022060112	2022060113	R1	2	43	0.32	0.28	5	5	7.3	5.5	41.6	41.6	-	-	-409	-580	2.35	2.13	4.87	4.38
Waiou_097	2022060606	2022060611	R6	6	15	0.5	0.37	5.3	4.7	7.7	4.5	75.6	18.6	-	-	648	329	3.37	2.72	4.00	3.09
Waiou_098	2022061109	2022061112	R5	4	33	0.92	0.64	5.6	5.1	6.8	6.2	63.6	41.6	-	-	-165	-338	5.02	3.70	2.42	1.84
Waiou_099	2022061209	2022061213	R1	5	44	0.87	0.61	6.1	5.4	8.5	5.7	82.4	18.6	-	-	-210	-518	4.55	3.41	2.43	1.85
Waiou_100	2022061309	2022061315	R1	7	45	0.96	0.59	6.1	5	8.8	5.5	71.4	18.6	-	-	34	-671	5.37	3.29	2.48	1.80
Waiou_101	2022061410	2022061413	R10	4	32	0.91	0.59	6.2	5.7	7.5	6.6	63.6	41.6	-	-	126	-803	4.76	3.36	2.51	2.20
Waiou_102	2022061912	2022061917	R6	6	36	0.61	0.48	5.2	4.6	6	5	63.6	30.6	-	-	435	-536	3.82	3.19	3.17	2.61
Waiou_103	2022062509	2022062513	R2	5	36	0.76	-	4.6	-	5.6	-	52.6	-16.4	-	-	61	-376	4.97	0.47	2.81	2.35
Waiou_104	2022062708	2022062714	R11	7	41	0.87	-	5.2	-	7.8	-	52.6	-16.4	4.7	1.9	161	-562	5.04	0.47		1.98
Waiou_105	2022062709	2022062714	R10	6	32	0.87	-	5.2	-	7.8	-	52.6	-16.4	4.7	1.9	-90	-562	5.04	0.47		1.98
Waiou_106	2022062806	2022062809	R5	4	37	0.87	0.8	5.5	4.9	8.6	7.8	63.6	41.6	2.6	1.7	676	63	5.04	4.42	2.10	1.98
Waiou_107	2022062806	2022062806	R6	1	36	0.8	0.8	5	5	8.2	8.2	63.6	63.6	1.7	1.7	676	676	4.68	4.68	2.10	2.10
Waiou_108	2022062909	2022062914	R11	6	46	1.54	1.08	5.9	5.3	9.3	4.9	63.6	41.6	7.6	6.2	251	-601	7.39	5.33	1.58	1.20
Waiou_109	2022063010	2022063015	R4	6	78	1.37	0.94	5.5	5	8.3	6.7	63.6	30.6	7.2	5.9	148	-548	6.61	5.10	1.81	1.32
Waiou_110	2022070110	2022070115	R11	6	46	1.32	1.03	5.9	5.8	8.8	7.1	41.6	7.6	6.3	3	305	-540	6.22	5.17	1.62	1.33
Waiou_111	2022070111	2022070115	R8	5	47	1.32	1.05	5.9	5.8	8.5	7.1	41.6	7.6	6.3	3	28	-540	6.22	5.24	1.60	1.33
Waiou_112	2022070208	2022070209	R3	2	28	0.86	0.67	6.3	5.3	8.1	7.3	63.6	63.6	-	-	816	731	4.28	3.96	2.37	1.81
Waiou_113	2022070208	2022070211	R2	4	36	0.93	0.67	6.9	5.3	10.8	7.3	63.6	-7.6	-	-	816	218	4.63	3.96	2.37	1.72
Waiou_114	2022070212	2022070216	R9	5	47	1.02	0.7	7.1	6.2	9.1	8.2	75.6	7.6	-	-	-52	-492	4.49	3.64	2.15	1.51
Waiou_115	2022070214	2022070217	R11	4	44	0.84	0.61	6.8	6	8.6	7.3	52.6	7.6	-	-	-189	-492	4.00	3.41	2.43	1.79
Waiou_116	2022070506	2022070511	R3	6	12	0.6	0.47	5.5	5.2	6.7	6.1	63.6	52.6	3.4	1.1	714	241	3.60	3.03	3.15	2.57
Waiou_117	2022070506	2022070509	R7	4	29	0.6	0.49	5.4	5.2	6.7	6.4	63.6	52.6	2.7	1.1	680	241	3.60	3.09	3.02	2.57
Waiou_118	2022071110	2022071111	R11	2	41	0.45	-	4.8	-	4.4	-	30.6	-16.4	4.3	3.4	-466	-510	3.11	0.47		3.39
Waiou_119	2022071311	2022071314	R8	4	37	0.45	0.37	5.6	5.2	9.3	6.7	63.6	30.6	2.6	1.8	-563	-809	2.94	2.45	3.73	3.26
Waiou_120	2022071312	2022071314	R11	3	43	0.45	0.38	5.5	5.2	9.1	6.7	63.6	30.6	2.4	1.8	-593	-809	2.94	2.53	3.68	3.26
Waiou_121	2022071411	2022071417	R11	7	42	1.27	0.38	6.1	4.2	8.3	7.2	63.6	30.6	6.1	3.1	116	-814	6.04	2.74	3.88	1.37
Waiou_122	2022071411	2022071412	R8	2	34	0.62	0.38	6.1	4.8	8.3	7.8	63.6	30.6	3.5	3.2	-359	-635	3.42	2.74	3.88	2.38
Waiou_123	2022081809	2022081810	R3	2	26	0.72	0.54	5	5	6.5	6	52.6	41.6	4.3	1.1	493	354	4.32	3.49	2.88	2.29
Waiou_124	2022081906	2022081912	R8	7	37	1.05	0.87	5.1	4.7	7.8	5.3	63.6	41.6	6.5	1.4	336	-170	5.79	5.10	2.00	1.69
Waiou_125	2022081907	2022081912	R11	6	38	1.05	0.87	5.1	4.7	7.6	5.3	63.6	41.6	6.5	1.4	336	-157	5.79	5.10	2.00	1.69
Waiou_126	2022081909	2022081913	R5	5	24	1.03	0.87	5.1	4.7	7.8	7.2	63.6	41.6	6.5	3.4	336	63	5.79	5.10	2.00	1.72

Waiou_127	2022081909	2022081909	R6	1	28	1.02	1.02	5.1	5.1	7.2	7.2	52.6	52.6	4.6	4.6	63	63	5.55	5.55	1.72	1.72
Waiou_128	2022082208	2022082212	R1	5	23	0.49	0.35	5.7	3.9	9.1	6.4	86.6	30.6	5.1	2.9	68	-251	3.25	2.38	4.03	2.96
Waiou_129	2022082209	2022082213	R1	5	24	0.49	0.37	5.7	3.9	9.1	4.1	75.6	-75.6	5.1	2.8	236	-251	3.34	2.75	4.05	2.96
Waiou_130	2022082212	2022082214	R5	3	26	0.44	0.4	4.1	3.9	7.3	4.1	63.6	-75.6	3.6	2.8	236	-73	3.34	3.19	4.05	3.67
Waiou_131	2022082310	2022082315	R7	6	36	0.75	0.64	5.4	4.3	8.1	7	75.6	41.6	6.4	-	314	-365	4.81	3.78	2.44	2.28
Waiou_132	2022082310	2022082313	R11	4	39	0.73	0.64	5.4	4.4	8.1	7.1	75.6	52.6	6.2	-	-94	-365	4.70	3.78	2.44	2.28
Waiou_133	2022083013	2022083016	R5	4	22	0.32	0.22	5.2	4.8	6.9	5.4	59.4	37.4	3.8	1.1	-139	-354	2.41	1.74	5.82	4.45
Waiou_134	2022090407	2022090413	R3	7	24	2.05	1.27	6.8	5.9	11.9	8.8	82.4	-37.4	9.7	5.7	627	-118	7.96	5.79	1.33	0.88
Waiou_135	2022090512	2022090515	R11	4	37	1.44	1.26	7.2	6.8	10.4	8.8	86.6	-3.4	2.1	-	566	268	5.76	5.37	1.29	1.14
Waiou_136	2022090714	2022090717	R4	4	18	0.87	0.65	5.3	5	10.2	6.4	59.4	26.4	5.4	1.5	523	-46	4.87	3.87	2.43	1.94
Waiou_137	2022090807	2022090814	R4	8	19	0.89	0.52	6.2	4.5	6.8	6.1	71.4	26.4	6	2.9	282	-698	4.96	3.43	2.99	1.86
Waiou_138	2022091014	2022091016	R4	3	17	0.61	0.58	3.9	3.8	7.1	7	48.4	37.4	8	7.8	157	-489	4.38	4.28	3.04	2.89
Waiou_139	2022091509	2022091512	R3	4	27	0.52	0.35	5.1	4.4	9.8	5.2	86.6	41.6	6	1.1	594	346	3.43	2.71	4.29	2.99
Waiou_140	2022091608	2022091617	R3	10	26	0.83	0.43	7.4	4	10.6	3.5	82.4	48.4	9.4	1.1	596	250	5.25	2.54	3.15	2.01
Waiou_141	2022091713	2022091715	R8	3	26	0.64	0.53	5.5	4.6	12.4	8	71.4	37.4	7.3	6.6	504	460	4.15	3.44	2.92	2.45
Waiou_142	2022092208	2022092216	R4	9	26	1.09	0.53	6.5	4.6	10.2	6.8	82.4	37.4	8.3	5.5	553	-314	5.45	3.36	2.88	1.51
Waiou_143	2022092610	2022092614	R1	5	34	0.85	0.62	5.8	5.4	9.1	7.5	71.4	37.4	4.9	3.1	141	-436	4.47	3.57	2.50	2.02
Waiou_144	2022092708	2022092712	R8	5	28	0.72	0.55	6.5	5.7	9.6	6.1	63.6	37.4	3	-	827	-220	3.74	3.12	2.69	2.06
Waiou_145	2022092709	2022092712	R10	4	28	0.68	0.55	6.1	5.7	8.6	6.1	63.6	37.4	3	1.1	634	-220	3.74	3.12	2.69	2.24
Waiou_146	2022092809	2022092811	R5	3	25	0.41	0.33	5.5	5.1	7.1	6.3	52.6	7.6	1.2	-	739	238	2.68	2.27	4.11	3.46
Waiou_147	2022092810	2022092812	R10	3	25	0.41	0.29	5.5	5.4	7.1	6.4	52.6	7.6	2.3	-	527	-17	2.68	2.09	4.59	3.46
Waiou_148	2022092912	2022092913	R1	2	32	0.35	0.28	5.8	5.3	7.7	7.2	71.4	37.4	3.3	1.4	155	-41	2.30	2.06	4.76	3.84
Waiou_149	2022100311	2022100317	R4	7	18	0.36	0.27	4.7	4	8.6	3.9	75.6	-86.6	5.4	2.4	385	121	2.87	2.32	5.43	4.18
Waiou_150	2022100312	2022100314	R8	3	21	0.35	0.27	4.6	4.1	8.3	4.6	75.6	-59.4	5.4	3.6	374	261	2.64	2.32	5.43	4.21
Waiou_151	2022100412	2022100415	R4	4	16	0.49	0.25	5.5	4.9	7.1	6.9	86.6	52.6	1.8	-	570	95	3.06	1.96	5.34	3.00
Waiou_152	2022100915	2022100916	R2	2	26	1.07	0.86	5	4.7	8.3	6.2	59.4	14.4	5.5	5.3	245	-100	5.82	5.12	2.04	1.67
Waiou_153	2022101008	2022101008	R2	1	28	1.06	1.06	5.1	5.1	8.9	8.9	-3.4	-3.4	10.9	10.9	692	692	5.71	5.71	1.67	1.67
Waiou_154	2022101011	2022101013	R1	3	31	1.64	1.1	5.9	5.1	9.3	4.8	82.4	48.4	10	8.3	-205	-464	7.24	5.67	1.58	1.11
Waiou_155	2022101206	2022101208	R5	3	31	1.22	0.97	5.9	5.3	9.1	8.1	59.4	37.4	7.4	6.6	626	306	5.93	5.22	1.76	1.42
Waiou_156	2022101206	2022101209	R6	4	32	1.22	0.97	5.9	5.3	9.1	8.1	59.4	37.4	7.4	6.6	626	306	5.93	5.22	1.76	1.42
Waiou_157	2022101310	2022101313	R8	4	36	1.42	1.18	6.4	5.7	9.3	8.5	82.4	37.4	7.1	6.2	468	-119	6.17	5.48	1.45	1.20
Waiou_158	2022101607	2022101614	R11	8	41	1.76	1.13	6.8	5.5	9.8	8.6	71.4	3.4	9.3	3.5	304	-187	7.98	5.54	1.50	1.05
Waiou_159	2022101608	2022101610	R4	3	37	1.62	1.18	6.4	5.8	9.8	8.6	71.4	59.4	9.1	7.3	275	-27	6.81	5.72	1.45	1.08

Waiou_160	2022101609	2022101612	R9	4	38	1.54	1.13	6.3	5.8	9.8	8.6	71.4	37.4	8	6.7	304	168	6.62	5.54	1.50	1.14
Waiou_161	2022101709	2022101709	R2	1	25	1.68	1.68	5.7	5.7	9.1	9.1	82.4	82.4	11	11	-114	-114	7.54	7.54	1.10	1.10
Waiou_162	2022101709	2022101713	R3	5	29	1.79	1.5	5.7	5.2	10	7.6	82.4	59.4	13.7	11	275	-114	8.36	7.24	1.24	1.09
Waiou_163	2022101709	2022101713	R4	5	31	1.79	1.5	5.7	5.2	10	7.6	82.4	59.4	13.7	11	275	-114	8.36	7.24	1.24	1.09
Waiou_164	2022101710	2022101714	R5	5	36	1.94	1.5	5.8	5.2	10	7.6	82.4	59.4	13.7	11	275	-114	8.36	7.24	1.24	0.98
Waiou_165	2022101709	2022101716	R11	8	43	2.18	1.5	5.9	5.2	10	7.6	82.4	-14.4	13.7	11	275	-114	9.04	7.24	1.24	0.88
Waiou_166	2022102006	2022102009	R9	4	31	1.76	1.6	6.5	6	9.6	8.2	59.4	48.4	8.4	7.1	-169	-457	7.17	6.90	1.12	1.01
Waiou_167	2022102308	2022102310	R5	3	34	1.42	1.07	6.4	6.2	8.1	7.6	82.4	48.4	7	5.4	51	-394	6.30	4.99	1.51	1.22
Waiou_168	2022102610	2022102612	R8	3	23	0.81	0.69	6.8	6.3	8.3	7.6	71.4	26.4	2.9	-	111	-286	3.89	3.52	2.13	1.84
Waiou_169	2022102613	2022102617	R9	5	27	1.15	0.89	6.1	5.1	8	6.4	59.4	18.6	3.4	-	456	-327	5.80	4.48	1.78	1.51
Waiou_170	2022102810	2022102816	R5	7	34	1.41	0.83	6.7	5.6	8.9	7.3	71.4	7.6	7	3.3	437	-137	6.26	4.23	1.95	1.23
Waiou_171	2022102812	2022102814	R11	3	35	1.58	0.88	6.7	5.7	8.9	7.3	71.4	7.6	7.7	4.1	330	-137	7.12	4.26	1.76	1.34
Waiou_172	2022102816	2022102817	R3	2	30	1.58	1.3	5.8	5.7	8.9	7.4	71.4	71.4	7.7	6.7	330	87	7.12	6.22	1.35	1.15
Waiou_173	2022103006	2022103012	R11	7	37	2.1	1.59	7.4	6.3	12.1	8.6	71.4	52.6	10	8.1	425	-506	8.03	6.72	1.07	0.84
Waiou_174	2022103010	2022103012	R1	3	31	2.1	1.7	7.4	6.4	9.3	8.6	71.4	59.4	10	8.1	425	385	7.65	7.06	1.04	0.84
Waiou_175	2022103109	2022103117	R11	9	37	3.3	2.13	7.7	6.4	10.4	9.8	71.4	48.4	12.7	10	405	10	10.73	8.13	0.87	0.59
Waiou_176	2022110910	2022110913	W1	3	31	2.1	1.7	7.4	6.4	9.3	8.6	71.4	59.4	10	8.1	425	385	7.65	7.06	2.48	1.69
Waiou_177	2022111011	2022111015	W1	9	37	3.3	2.13	7.7	6.4	10.4	9.8	71.4	48.4	12.7	10	405	10	10.73	8.13	2.22	1.55
Waiou_178	2022111108	2022111114	W3	4	23	0.94	0.6	6.3	5.8	7.7	7.2	86.6	59.4	-	-	126	-215	4.57	3.41	2.46	1.86
Waiou_179	2022111109	2022111116	W1	5	24	1.12	0.67	6.4	5.5	7.7	5.9	48.4	26.4	5.5	2.7	80	-107	5.69	3.59	2.46	1.71
Waiou_180	2022111207	2022111209	W3	7	28	0.86	0.61	6.3	5.6	8.8	6.5	71.4	7.6	-	-	424	-63	4.46	3.49	2.88	2.69
Waiou_181	2022111213	2022111217	W3	8	22	1	0.61	6.3	5.3	8.1	5.8	48.4	7.6	-	-	424	-63	5.28	3.49	2.70	2.01
Waiou_182	2022111212	2022111216	W1	3	31	0.55	0.53	5.7	5.2	9.1	6.9	37.4	18.6	-	-	352	50	3.40	3.26	2.70	2.07
Waiou_183	2022111406	2022111408	W1	5	34	0.83	0.53	6.2	5.2	9.1	6.5	26.4	7.6	2.6	1.7	266	22	4.70	3.04	1.73	1.39
Waiou_184	2022111506	2022111510	W1	5	18	0.77	0.53	6.2	5.6	9.1	6.8	48.4	7.6	2.6	1.7	167	22	4.25	3.04	2.48	1.58
Waiou_185	2022111506	2022111509	W2	3	22	1.33	0.98	5.4	5.1	8.1	5.7	48.4	48.4	9	8.2	56	-354	6.77	5.20	1.84	1.58
Waiou_186	2022111606	2022111609	W1	5	23	1.1	0.64	5.4	5.2	8.3	5.3	59.4	3.4	-	-	56	-557	5.70	3.87	1.51	1.35
Waiou_187	2022111606	2022111611	W2	4	32	1.1	0.92	5.4	5.2	8.3	5.3	59.4	37.4	3	1.4	-83	-557	5.70	5.02	1.68	1.35
Waiou_188	2022111612	2022111617	W2	4	24	1.38	1.2	5.1	5	7.2	5.4	59.4	26.4	8.6	8.3	-152	-394	6.96	6.27	1.61	1.26
Waiou_189	2022111707	2022111715	W2	6	36	1.38	1.08	5.3	4.8	8	4.7	59.4	26.4	9.8	7.4	135	-394	6.96	5.97	2.44	1.86
Waiou_190	2022111711	2022111713	W1	6	38	1.45	1.12	5.6	4.9	8.1	5.8	59.4	37.4	10.3	6.2	270	199	6.92	6.02	2.44	1.97
Waiou_191	2022111807	2022111813	W2	9	43	0.89	0.64	5.9	5.2	7.5	6.2	59.4	14.4	-	-	325	-364	4.83	3.78	2.84	1.99
Waiou_192	2022111810	2022111812	W1	3	19	0.83	0.64	5.9	5.4	7.5	6.7	59.4	14.4	2.4	1.4	198	-21	4.54	3.78	2.66	2.13

Waiou_193	2022111906	2022111914	W2	7	41	0.82	0.54	5.8	5.1	7.7	6.4	63.6	7.6	6	4.4	222	-345	4.54	3.40	2.88	2.17
Waiou_194	2022112010	2022112012	W2	3	23	0.78	0.59	5.3	5.1	7.7	6.6	30.6	7.6	6	5.2	68	-261	4.54	3.68	2.15	1.96
Waiou_195	2022112108	2022112111	W2	9	32	0.72	0.5	6	5.2	9.3	5.5	86.6	37.4	-	-	111	-347	3.99	2.97	2.12	1.34
Waiou_196	2022112116	2022112117	W2	3	31	0.82	0.75	6	5.1	8.2	8	59.4	26.4	-	-	-122	-322	4.49	3.98	1.78	1.75
Waiou_197	2022111209	2022111214	W2	4	36	1.3	0.77	5.8	5.3	7.7	6.6	48.4	26.4	7.1	5.8	-41	-287	6.15	4.39	2.84	2.37
Waiou_198	2022112410	2022112411	W2	2	37	0.97	0.94	5.5	5.4	9.6	6.7	48.4	37.4	5.2	4.1	579	547	5.16	4.99	2.20	1.79
Waiou_199	2022112614	2022112614	W2	6	42	0.62	0.52	6.2	5.2	9.1	6.6	48.4	7.6	-	-	352	22	3.40	3.03		
Waiou_200	2022111109	2022111114	W4	2	38	0.92	0.73	5.7	5.4	8.8	7.8	75.6	59.4	4.5	4.2	155	-41	4.80	4.17	2.46	1.86
Waiou_201	2022111210	2022111217	W4	1	29	0.68	0.55	6.1	5.7	8.6	6.1	63.6	37.4	3	1.1	26	26	4.37	4.37	2.79	2.01
Waiou_202	2022111312	2022111317	W5	6	38	0.86	0.61	6.3	5.8	8.1	6.5	48.4	7.6	-	-	424	-63	4.46	3.49	3.04	1.90
Waiou_203	2022111617	2022111617	W5	8	41	0.83	0.52	6.2	5.2	9.1	6.5	48.4	7.6	-	-	320	22	4.70	3.03	1.31	1.31
Waiou_204	2022111806	2022111814	W4	6	35	0.91	0.5	5.5	4.4	8.6	5.8	71.4	26.4	7.8	5.7	258	89	5.15	3.11	2.84	1.99
Waiou_205	2022111907	2022111912	W4	1	34	1.37	1.37	5.6	5.6	7.3	7.3	48.4	48.4	6.2	6.2	199	199	6.54	6.54	2.87	2.17
Waiou_206	2022112006	2022112012	W4	9	39	0.82	0.54	5.8	5.1	7.7	6.4	63.6	7.6	6	4.4	346	-345	4.54	3.40	2.64	1.96
Waiou_207	2022112207	2022112215	W6	6	37	0.72	0.5	6	5.3	8.8	5.5	86.6	37.4	-	-	-107	-347	3.99	2.97	2.43	1.79
Waiou_208	2022112307	2022112309	W4	7	44	0.82	0.54	6.9	5.1	8.6	8	59.4	18.6	-	-	165	-322	4.49	3.03	3.14	2.40
Waiou_209	2022111211	2022111213	W11	9	35	0.95	0.66	5.4	4.9	8.5	5.5	63.6	7.6	-	-	382	-273	5.26	4.00	2.76	2.46
Waiou_210	2022111212	2022111212	W10	3	41	0.78	0.5	4.7	3.8	5.9	3.1	71.4	18.6	9.8	2.6	545	191	5.34	3.41	2.46	2.46
Waiou_211	2022111806	2022111809	W11	3	40	0.59	0.52	6.2	6	8.6	8	48.4	7.6	2.6	1.3	274	63	3.26	3.03	2.33	1.99
Waiou_212	2022111808	2022111811	W10	1	32	0.59	0.59	6.2	6.2	8.6	8.6	48.4	48.4	2.4	2.4	167	167	3.26	3.26	2.26	1.99
Waiou_213	2022111908	2022111915	W11	4	39	0.82	0.67	5.8	5.1	7.5	6.5	63.6	37.4	5.8	4.4	-190	-345	4.50	3.87	3.04	2.17
Waiou_214	2022111909	2022111912	W10	4	28	0.82	0.71	5.8	5.1	7.3	6.5	63.6	7.6	5.8	4.4	-117	-345	4.54	3.95	2.49	2.17
Waiou_215	2022112007	2022112009	W8	8	38	0.72	0.49	6	5.2	8.8	5.5	86.6	37.4	6.3	1.2	416	-347	3.99	3.11	2.57	2.18
Waiou_216	2022112113	2022112116	W11	4	37	0.72	0.63	5.9	5.3	8.8	5.5	86.6	37.4	2.8	1.2	-107	-347	3.99	3.62	1.75	1.45
Waiou_217	2022112206	2022112208	W11	3	33	0.65	0.55	6.9	6.4	8.6	8.1	48.4	18.6	-	-	4	-289	3.32	3.03	2.43	2.00
Waiou_218	2022112206	2022112208	W10	4	37	1.24	0.97	5.4	5.1	8.1	6	48.4	26.4	5.8	4.1	547	26	6.28	5.16	2.43	2.00
Waiou_219	2022112213	2022112215	W11	3	46	0.82	0.66	5.4	5.1	7.1	6.2	52.6	52.6	2.5	1.6	487	181	4.55	4.00	1.90	1.79
Waiou_220	2022112213	2022112217	W10	3	29	0.82	0.66	5.4	5.1	7.1	6.2	52.6	52.6	2.5	1.6	487	181	4.55	4.00	2.18	1.79
Waiou_221	2022112306	2022112308	W10	3	41	0.95	0.92	5.3	4.9	8.5	5.5	59.4	30.6	-	-	382	-50	5.26	5.14	3.14	1.78
Waiou_222	2022112309	2022112312	W11	5	28	0.95	0.79	5.3	4.7	8.5	5.5	59.4	30.6	-	-	608	-50	5.26	4.64	2.40	1.39
Waiou_223	2022112308	2022112310	W8	5	27	1.06	0.5	5.2	3.8	6	3.1	71.4	18.6	9.8	2.6	545	-9	6.30	3.41	3.00	1.78
Waiou_224	2022112315	2022112317	W10	4	44	1.37	0.78	4.8	3.8	6	3.1	71.4	48.4	9.8	8.8	191	-233	7.17	5.34	1.62	1.60
Waiou_225	2022112315	2022112317	W11	3	32	1.06	0.53	4.7	3.8	5.7	3.1	71.4	18.6	9.8	7.6	388	-9	6.30	3.56	1.62	1.60

Waiou_226	2022112406	2022112412	W10	3	35	1.09	1.08	5.3	5.2	8.6	7.7	59.4	48.4	8.3	6.6	729	387	5.77	5.66	2.20	1.79
Waiou_227	2022112406	2022112412	W11	3	42	1.09	1.08	5.3	5.2	8.6	7.7	59.4	48.4	8.3	6.6	729	387	5.77	5.66	2.20	1.79
Waiou_228	2022112612	2022112617	W11	7	36	0.92	0.73	5.7	5	8.8	7.3	82.4	48.4	7.7	3	626	-144	5.03	4.12		
Waiou_229	2022112706	2022112708	W11	7	51	0.92	0.73	5.7	5	8.8	7.3	82.4	48.4	7.7	3	626	-144	5.03	4.12		
Waiou_230	2022112810	2022112815	W7	6	38	1.09	1.08	5.3	5.2	8.6	7.7	59.4	48.4	8.3	6.6	468	26	4.37	4.37		
Waiou_231	2022112911	2022112916	W7	3	42	1.09	0.53	6.5	4.6	10.2	6.8	82.4	37.4	8.3	5.5	276	-266	4.37	4.37		
Waiou_232	2022121709	2022121715	W2	6	31	0.72	0.49	6	5.2	8.8	5.5	86.6	37.4	6.3	1.2	365	134	4.37	4.37	0.96	0.62
Waiou_233	2022121910	2022121913	W2	6	32	1.37	1.37	5.6	5.6	7.3	7.3	48.4	48.4	6.2	6.2	415	269	4.37	4.37	2.03	1.68
Waiou_234	2022122009	2022122012	W2	7	34	2.99	1.94	7.6	6	12.4	10	86.7	59.4	13.3	11	257	-189	9.61	8.03	1.90	1.78
Waiou_235	2022122014	2022122017	W2	4	36	0.99	0.79	5.9	5.6	10.4	6.5	71.4	37.4	-	-	107	-350	5.07	4.33	2.08	1.92
Waiou_236	2022121613	2022121614	W6	4	33	0.93	0.86	5.9	5.3	6.9	6	71.4	37.4	3	2.1	-52	-285	5.06	4.61	1.33	1.30
Waiou_237	2022120106	2022120116	W11	4	37	0.85	0.79	5.6	4.9	8.1	5.8	59.4	14.4	5.4	3.8	408	262	4.82	4.33		
Waiou_238	2022120208	2022120213	W11	2	35	1.3	1.27	6.3	6.3	8.2	8.1	71.4	59.4	8.5	7.2	203	201	5.83	5.73	1.29	1.01
Waiou_239	2022120413	2022120415	W8	11	39	1.32	1.05	5.9	5.8	8.5	7.1	41.6	7.6	6.3	3	296	-538	0.37	3.37	1.35	1.16
Waiou_240	2022121910	2022121917	W11	6	47	1.78	1.39	6.9	5.6	10.2	7.1	82.4	48.4	10	8.2	161	-498	7.31	6.40	2.71	1.68
Waiou_241	2022121911	2022121913	W7	3	37	1.49	1.31	6.4	5.7	8.6	7.5	59.4	59.4	8.3	7.3	465	90	6.50	6.25	2.03	1.68
Waiou_242	2022122008	2022122014	W7	8	44	0.99	0.56	6	5.4	10.4	6.5	82.4	14.4	-	-	294	-350	5.07	3.42	2.08	1.78

*該表統計資料中最大值、最小值係表案例期間出現的最大值和最小值

附錄九 績效報告

112 年度政府科技發展計畫 績效報告書 (D006)

計畫名稱：海岸裂流監測與預警技術研究

執行期間：自 112 年 03 月 03 日 至 112 年 12 月 29 日止

主管機關：交通部

執行單位：中央氣象署

中華民國 112 年 11 月 29 日

年度	階段性目標達成情形 (每年度以 300 字為限)	重要成果摘要說明 (每年度以 600 字為限，過程性結果請免列)
112	「裂流」亦稱為離岸流，具有流速快，垂直海岸線向外海流去，時常造成遊憩者發生意外事件。本計畫目標為持續監測與分析裂流特性，驗證預測模式，並初步規劃作業化裂流預警系統雛形。今(112 年)度更新裂流影像判釋程式，使之可應用於動態影片分析，且透過簡化程式分析流程，增加程式運算效率。數值模式和經驗統計模式與現場觀測結果進行比對，結果顯示數值模式的準確率達 7 成，且能提握裂流發生條件，透過數值模式模擬不同水深地形下裂流發生情形；而經驗統計模式準確率達 86.4%，且經評析模式在空間上分辨率，每海域需率定一模型。最後，本計畫以數值模擬模式為主、經驗統計模式為輔，初步規劃作業化裂流預警系統，說明模式運算時所需的資料來源，以及模式運行流程。	[1] 更新裂流影像判釋分析流程，使程式可應用於動態影片分析，分析效率亦提高至每 10 分鐘影片僅需不到半小時。 [2] 分析 110/11 至 111/12 外澳影片，和 112/2 至 112/6 福隆、沙崙和大里影片，蒐集 437 筆裂流案例，分布於 24 處。 [3] 分析福隆和沙崙監測站的影片，發現退潮時可觀察水深地形，初步探討水深地形與裂流發生的關係。 [4] 當示性波高約 1m、平均週期約 6s、波浪垂直入射海岸、高水位、海灘類型參數 Ω 為 3-5，以及相對參數 RTR 小於 2 時，裂流發生的機率較高。 [5] 透過降低渦流平滑項的影響程度，以及在使用適合臺灣周遭的模擬參數進行模擬，提高模式描述裂流的能力，與現場觀測比對準確率亦達七成。 [6] 完成 TBR、LBT 和邊界控制型三種不同水深地形的模擬，歸納不同地形條件下裂流發生的位置、流速和流幅。 [7] 增加裂流案例進行統計經驗模式的建置，提升模式整體的預測能力，反查率由 81.2% 提升至 85.8%。 [8] 與現場觀測結果進行比對，探討經驗統計模在空間上的分辨率，顯示一個海域至少要一個模型方能有足夠的預測能力。 [9] 以數值模式為主、經驗統計模式為輔的架構，初步建立作業化裂流預警系統雛形，並規劃整個系統的運作流程，以及模式輸入和預期輸出的產品。

第一部分

壹、目標與架構

目標與效益

目標

本計畫目的旨在研發裂流預警模式和監測技術，提供臺灣海岸地區潛在裂流發生區域之預警訊息。根據前期計畫研究成果，本計畫協助裂流影像監測站的建置，亦持續進行監測站影像資料的分析，建立完善的裂流案例資料庫，掌握裂流發生時的特徵與海氣象環境，作為後續建置裂流預警系統的基石。

本計畫除上述目標，亦透過波流耦合模式模擬現場波流場，作為裂流預警系統的核心；也利用模式模擬各海氣象地形條件下裂流發生情形，瞭解裂流發生機制和裂流特徵。另一方面也同步建立裂流經驗統計模式，提供各海域裂流預警的訊息。同時，本計畫亦初步規劃作業化裂流預警系統雛形，為後續實務作業進行提前部署。

效益

台灣四面環海，經濟發展與海洋息息相關，同時，民眾休閒活動日益接近海洋，裂流相關災害問題頻繁發生，有必要針對此類災害建立預警機制。

「裂流」亦稱為離岸流，它是一種足以將人沖向外海而去的強勁水流，根據前人研究，裂流是海岸溺水事件發生最主要的因素。近十年對此部分的研究相當興盛，雖對於裂流生成的機制有初步的瞭解，但由於裂流發生機制相當複雜，包含地形不均導致波浪入射海岸時，為抵抗輻射應力所引致的外力，所產生向外海移動的水流，許多水動力交互作用均是裂流發生的原因，加上裂

流觀測不易，因此研究上也受到限制，至今仍無法完整掌握裂流發生的機制。

台灣也是受裂流危害相當嚴重的國家，過去十年在台灣海岸已發生數十起的裂流事件，每年因此死傷的人數甚鉅，亟需建立監測和預警系統，計畫最終目標為建置全台灣各濱海縣市裂流預警系統，提供裂流發生機率的訊息，並適時提出預警，減少意外事件的發生。在學術上也有創新作為，研究成果在國際上亦可能獲得關注。整體而言，本計畫在學術、實務上均將有重大貢獻。

● 國際比較與分析

比較項目或計畫產出成果	計畫執行前	計畫執行後
建立裂流案例與海氣象資料庫	僅有衛星和航拍影像所觀測到瞬間的裂流案例。	更新裂流影像判釋程式，使模式可應用於動態影片分析，並提升程式整體的正確率以及分析效率。同時本計畫蒐集周遭實測站，統計裂流發生時的海氣象地形條件。
建立海域裂流預警系統雛形	沒有適用於台灣海域的裂流預警系統	以波流耦合模式建立裂流數值模式；同時以倒傳遞類神經法建立經驗統計模式。並且結合上述兩兩模式初步規劃作業化系統。

主要內容

- 裂流監測站影片分析、案例蒐集
- 裂流數值模式廣泛模擬裂流發生情境
- 裂流預測模式與現場觀測比對
- 規劃建置裂流影像監視站
- 建立作業化裂流預警系統雛形

遭遇困難與因應對策

(執行計畫過程中所遭遇困難、執行落後之因應措施及建議，如無遭遇困難或落後情形者，請填寫「無」即可。)

類別	說明	因應措施與建議
執行困難	無	
執行落後	無	

貳、經費與人力執行情形

參、已獲得之主要成果與重大突破(含量化 output) (E003)

1.

性	績效指標類別	績效指標項目		112 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值		
術成就（科技基礎研究）	A. 論文	期刊論文	國內(篇)	4		將本計畫各部份研究成果於國內外研討會發表，增加研究成果能見度，提升討論空間，有助於提供後續預警模式之基礎，達到雙贏效益。	
			國外(篇)				
		研討會論文	國內(篇)		3		
			國外(篇)		1		
		專書論文	國內(篇)				
			國外(篇)				
	B. 合作團隊(計畫)養成	機構內跨領域合作團隊(計畫)數		1		組成國內研究裂流現象跨校研究團隊	
		跨機構合作團隊(計畫)數			1		
		跨國合作團隊(計畫)數					
		簽訂合作協議數					
		形成研究中心數					
		形成實驗室數					
C. 培育及	博士培育/訓人數		1	1	本計畫培育一位碩士班、一位博士		

性	績效指標類別	績效指標項目	112 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
術成就 (科技基礎研究)	延攬人才	碩士培育/訓人數		3	班研究生。培育之研究生未來在科研單位或海象相關研究部門可貢獻其在災害性海象分析技術，有助於學術科技發展與實務應用開發。	
		學士培育/訓人數				
		學程或課程培訓人數				
		延攬科研人才數				
		國際學生/學者交換人數				
		培育/訓後取得證照人數				
	D1.研究報告	研究報告篇數	1	1	產出研究報告乙本，研究報告中之裂流發生機制及影響條件，內容可提供國內學術研究參考；監測和預警系統運作內容可提供相關政府部門參考；至於報告中蒐集之裂流資料庫則可供政府與學界研究參考使用。所有蒐集案例與其原始資料均附於研究報告或光碟中。	
	AC.減少災害損失	開發災害防治技術與產品數				
		建立示範區域或環境觀測平台數				
		建築或橋梁補強數				
		輔導廠商建立安全相關生產或驗證機制之件數				
		預估降低環境危害風險或成本(千元)				
	其他					

性	績效指標類別		績效指標項目	112 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值		
會 影 響	境 安 全 永 續	Z. 調查成果	調查筆數				
			調查圖幅數				
			調查面積				
			影像資料筆數				
			調查物種數				
		其他					
其他 效 益 (科技政策管理及其他)	Y. 資訊平台與資料庫		新建資訊平台或資料庫數	1	1	分析 110/11 至 111/12 外澳裂流監測站影片，以及 112/2 至 112/6 福隆、沙崙和大里監測站影片，蒐集 437 筆案例，同時統計裂流發生時的海氣象，建立裂流與海氣象資料庫。對於後續該資料之研究提供完整的參考資訊，並已應用於預警系統建置和數值模式驗證之使用。	
			更新資訊平台功能項目				
			更新或新增資料庫資料筆數				
			資訊平台或資料庫使用人次				
	AA. 決策依據		新建或整合流程數			效益說明可包含政策建議被採納數、節省公帑(千元)等。	
			提供政策建議或重大統計訊息數				
			政策建議被採納數				
			決策支援系統及其反應加速時間(%)				
	其他						

112 年度計畫績效指標實際達成與原訂目標差異說明：

性	績效指標 類別	績效指標 項目	112 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原 訂 目標值	實 際 達成值		

績效指標與原訂目標相符。

第二部分

壹、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)

(請說明計畫所達成之主要成就與成果，以及其價值與貢獻度；若綱要計畫為多年期計畫，請填寫起始年累積至今之主要成就及成果之價值與貢獻度。)

學術成就(科技基礎研究)

裂流(Rip Current)發生的原因很多要因素包含地形不均、海灘型態的變化以及波浪間的交互作用，本研究分析裂流監視站影像資料，蒐集裂流案例，希望透過實測資料掌握裂流發生時海氣象狀況。同時使用SCHISM-WWM 波流耦合模式模擬不同的海氣象地形環境下近岸環流，藉此探討裂流可能發生的條件，以及裂流發生時的特徵。。該兩項為重要之學術成就，茲分點說明如下：

(一) 裂流實測案例特性分析

本計畫在第一年(110年)度初步建立裂流影像判釋程式，並於第二、三年更新精進，完成全自動化裂流影像判釋程式，並應用於衛星、航空、宜蘭縣大里、外澳和新北市福隆、沙崙監測站的影像或影片。分析近五年的衛星航拍影像、110/11 至 111/12 外澳影片和 112/2 至 112/6 福隆、沙崙和大里影片，共計蒐集 912 筆裂流案例。

在裂流空間分布，裂流的長度平均約為 80 至 100 公尺、寬度約為 30 至 40 公尺，而同一個海域常會有多處裂流發生的位置，在外澳海域有 11 個位置有出現裂流、福隆有 8 處、沙崙有 4 處，以及大里有一處，甚至同一時間同一海域還會出現多處的裂流渠道，從退潮的影像中發現，當地型有沙丘、槽溝。沙壩間有裂隙或結構物旁，裂流發生機率明顯上升，但從外澳分析的案例所示，各處的裂流發生的機率差異不大，

均小於 3%。而裂流時間的分布上，裂流發生的持續時間大約介於 3-4 小時，但每筆案例有異，從不到 1 小時到超過每天觀測時長 12 小時都有可能，裂流好發的季節則為秋末冬初(9 至 12 月)，其原由為東北季風導致波浪能量大，容易造成近岸水位堆積、輻射應力的產生引致裂流發生。

本研究參考過去文獻和前期計畫研究成果，統計裂流發生時 8 個海氣象地形環境因子，包含有示性波高、平均週期、尖峰週期、風速、波向、水位、海灘類型參數以 Ω 及相對潮差 RTR。根據各海氣象條件在各區間下發生的條件機率，發現在示性波高約 1m、平均週期約 6s、波浪垂直入射海岸、高水位、海灘類型參數 Ω 為 5 左右以及相對潮差 RTR 小於 2 時，裂流發生的機率較高。同時本計畫亦發現裂流發生在退潮的時候通常會較裂流發生在漲潮時水位較高、數值的區間也較大，而外澳海域的海灘屬易發生裂流沙壩型海灘(Ω 大、RTR 小)。

(二)裂流數值模式模擬

裂流的發生原因一直是海洋災害相關研究持續探討的重要課題，然而該災害性波浪現象仍然難以被全盤掌握。為瞭解裂流發生機制和發生時的特徵，除上述透過影像觀測技術蒐集裂流案例進行分析，亦能善用數值模式進行裂流模擬，不僅可考慮各因素間彼此的交互作用，更可直接利用模式的高自由度，讓使用者自行輸入不同的海氣象和地形資料，對各情境下裂流發生的水動力機制進行探討。

第一年(110 年)本計畫採用 SCHISM 水動力模式耦合 WWM 風浪模式，建置一套可以模擬裂流的環境。第二、三年則提高研究團隊對模式的掌握度，透過模擬外澳海域 111 年一整年長期現場波流場模擬，發現裂流發生時的海氣象地形條件與現場觀測相似(如上文所述)，並且在降低渦流平滑項對模式影響後，發現海灣地形的裂流現象多屬渦流所造成的，且這類型的裂流現象通常時間介於 3 至 5 小時的短延時型裂流。此外，從結果發現可根據裂流的流速分為兩類型的裂流，以流速 1.0 m/s 為界，雖然隨著波高增加流速都會變強，但大流速型態的裂流，隨

著波高變大流速的加速度較大。

本計畫亦自行設置不同的海氣象地形環境進行情境模擬，發現只要係能夠提高波浪能量發生的因素，隨著數值的增加均能使裂流流速變強，包含波高、風速，波向越垂直向岸裂流發生的流速也會增加，若波向非垂直入射海岸時，波向與流向垂直海岸線偏向的方向會相同。另，本計畫設計三種不同的水深地型進行近岸流場的模擬，包含沿岸沙洲槽、橫向沙洲與裂流型態以及邊界控制型的地形，結果顯示並非每一種適合裂流發展的地形，均會發生裂流現象，其中當槽溝深度、寬度、海灣曲率和海岸線長度增加，均會導致裂流流速增加，而槽溝的長度和深度增加則會導致裂流長度增加，且槽溝長度約為裂流長度的兩倍。

技術創新(科技技術創新)

裂流經驗預警模式

海洋現象如裂流的發生機制相當複雜，尚未有明確的理論可以完整說明其發生的時機以及地點，因此，預測裂流的發生相當困難。近年來，由於電腦計算能力與人工智慧技術的增強，利用人工智慧技術來分析自然現象的研究逐漸興起。人工智慧技術中的機器學習方法(machine learning)可以透過學習大量資料中所蘊含的知識與特徵來對新事物進行預測，至今衍生了許多機器學習方法，包含隨機森林(random forest)、支撐向量機(support vector machine)以及類神經網路(artificial neural network)。

本計畫使用在處理如裂流現象的非線性問題有良好表現的類神經網路方法來建置裂流經驗預警模式。該模式是屬於監督式學習的一種機器學習演算法，在模式訓練過程中提供明確的正確答案，對後續模式驗證準確度相當便利。類神經網路為模仿人類大腦組織以及運作方式的資料處理技術，人類大腦由密集相互連接的神經細胞所組成，每個神經細胞的構造簡單，但大量的神經細胞結合起來能擁有可觀的計算與處理能力。透過讓電腦學習與人腦結構相同的神經傳遞資訊過程，從而

讓電腦模擬神經傳遞訊息與反應動作，而由 Rumelhart et al. (1986) 研究出倒傳遞神經網路(back propagation neural network)以及近代電腦能力日新月異，使類神經網路開始突出於機器學習領域，常被應用於機制尚未明確或是複雜的自然現象上，能找出自然現象的發生徵兆及機制等。因此，對於預測裂流的發生機率，使用類神經網路建置預警模式也能有不錯的效果。

神經元(neuron)為類神經網路最基本的組成單位，神經元透過權重的連結將信號傳送至其他神經元，輸入值 X 與權重值 W 輸入至神經元後，神經元內部即開始進行運算，運算完後的結果再經過啟動函數(activation function)轉換，計算公式如下所示，而計算結果 Y 即為神經元之輸出值。

$$Y_j = f(\sum_i W_{ij} X_i - \theta_j)$$

其中 Y_j 為類神經網路中神經元的輸出值， $f(\text{network})$ 為啟動函數， W_{ij} 為類神經網路中各神經元間的連結權重值， X_i 輸入變數， θ_j 類神經網路處理單元的門檻值。

類神經網路利用倒傳遞演算法來更新權重，透過不斷地計算與更新權重，最終得到可以適應或是擬合欲解決問題的函數。在模式訓練時的疊代過程中，根據目前輸出與目標輸出的誤差調整各神經元間連結的權重來完成訓練，假設輸入給神經元第 p 個資料，即在疊代 p 中，輸出為 $Y(p)$ ，目標輸出為 $Y_d(p)$ ，因此誤差為：

$$e(p) = Y_d(p) - Y(p)$$

其中假如誤差 $e(p)$ 為正，代表需增加權重來增加輸出，假如誤差 $e(p)$ 為負，代表需減少權重來減少輸出，以此方式來降低輸出值與目標輸出的誤差，因此可寫成下式：

$$w_i(p+1) = w_i(p) + \alpha \times x_i(p) \times e(p)$$

其中 α 為學習率，為介於 0~1 之間的常數，影響誤差回傳神經網路時調整權重的幅度。

倒傳遞演算法可利用將網路中所有的權重，計算損失函數的梯度，根據梯度下降法(gradient descent)來決定如何修正網路中的權重，梯度下降法會透過計算誤差函數的梯度，得到如何修正權重能使誤差降低的方向，訓練過程中不斷地計算梯度並修正權重，使誤差隨著訓練次數而逐漸降低，最終得到訓練效果良好的神經網路模型。

類神經網路架構包含輸入層(input layer)、隱藏層(hidden layer)以及輸出層(output layer)，神經網路的輸入資料由輸入層輸入，傳遞至隱藏層的神經元進行運算，根據要解決的問題之複雜度，神經元的數量可以是一個或是多個，最後經由啟動函數(activation function)計算得到輸出值。而對於機制尚未明確或是較為複雜的問題，通常會使用如 S 型曲線函數(sigmoid function)和雙曲線正切函數(hyperbolic tangent function)，使類神經網路具有非線性計算能力，建立複雜的函數關係。

因此，本計畫提出一套利用人工智慧技術中類神經網路方法建置裂流經驗預警模式的流程，自衛星航拍與裂流監視站影像獲得裂流發生的時間與案例，透過類神經網路來建置裂流經驗預警模式。利用多個數值模式輸出波浪、風、潮汐和形貌資料，作為訓練模式時輸入的因子與資料，模式經過率定訓練參數來建置訓練效果最佳的裂流經驗預測模式，並且以多個評估指標來驗證經驗預測模式的預測效果。研究成果顯示使用此種人工智慧技術建置裂流經驗預警模式，能有效地預測裂流的發生。

經濟效益(經濟產業促進)

中央氣象局發布之海象資訊與許多遊憩活動息息相關，許多海上作業船隻與或是海邊遊憩戲水或衝浪的民眾，都需參考海象資訊。因此提升在海象災害方面的預警能力，將可有效的避免遭遇到海岸猜害，並避

免國人生命財產的損失。本計畫研究目標主要有二，其一是建置乙套裂流監測系統，海流與海浪不同，肉眼難以直接辨識，需要藉由儀器量測才能觀測得到；其二則是建立乙套裂流預警系統。目前已完成本計畫第一期三年計畫，在監測系統上，完成乙套裂流影像判釋程式，並協助規劃9站裂流監測站，其中四站已完成建置；同時完成數值模式和經驗統計模式的預警系統，也初步規劃作業化系統的雛型。相關研究成果是後續建置與警系統之基石，因此成果雖難以直接量化估計的經濟產值，但是對間接的減少海洋岸邊災害發生的隱憂，對海域遊憩民眾能提供更多的訊息。

社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

本研究建立裂流影像案例之資料庫，持續分析裂流監測站所拍攝的影像資料，蒐集完善的裂流案例以作為預警模式訓練、驗證之用，另一方面，透過數值模式模擬長期現場資料和不同海氣象地形環境下裂流發生情形，作為裂流預警系統的核心模型，同時也可在未有裂流預警系統的情況下，初步評估各海域裂流發生的潛勢風險。未來可提供相關研究之參考，從統計得到之裂流好發海氣象條件，也可事前瞭解活動期間，該時刻活動之風險性，甚至可透過監測技術提供裂流警示資訊。同時也可以讓社會大眾更了解變化多端的海洋，進一步提升社會大眾對海洋的認知與了解。

檢討與展望

海洋變化萬千，裂流(即離岸流)常導致近岸意外事件的發生，本計畫目的旨在透過「數值模式」和「經驗統計模式」發展裂流預警系統，並藉由建置裂流影像監視站，研發裂流監測系統進行系統性的分析，蒐集完善的裂流案例及海氣象資料庫，研究裂流成因與特性，使該系統能夠提供完善的海域遊憩安全資訊。在這三年的的工作中，本計畫已完成裂流影像判釋程式，並協助規劃建置裂流監測站，同時也開發兩種裂流預警模式，不僅做為作業化裂流預警系統的核心基礎外，亦提供裂流發

生機制和裂流特性等相關研究的探討。基於前述，對後續工作構想重點建議和未來展望條列如下：

- [1] 考量裂流資料是建置精準預警系統之基礎，本計畫已提出數個優先可建置裂流監視站位置，建議可與當地主管機關或是相關單位合作，加速裂流監視站之建置以蒐集更多資料提供預警系統建置。
- [2] 裂流數值模式的結果與水深地形資料有高度關係，目前之地形水深資料均為多年前所測，與實際情形略有誤差，若為求更精準模擬，建議可和主管機關協調進行近岸海域地形測量。
- [3] 裂流影像判釋程式已有不錯的成功率，建議可著手規劃現場之實際應用。
- [4] 建議可根據本計畫之成果，選擇易發生裂流熱點海域進行現場觀測試驗，可透過放置 ADCP、GPS 漂流器或染料等方式取得裂流流速資料，以進行更具體之驗證。
- [5] 影像判釋程式已相當精準，且運算速率也逐漸提升，然而隨著監測站後續仍會新建，分析速率可能無法趕上影像增加數量，後續可以嘗試使用不同的軟硬體技術(如 GPU 或是機器學習)來進行裂流影像判釋，藉此提升分析效率。

附表、佐證資料表

【A 論文表】

題 名	第一作者	發表年 (西元年)	文獻 類別	計畫名稱
應用 SCHISM 模式模擬不同地形對裂流影響	Hsu-Min Wang, 王敘民 (第四作者 Fang-Ru Lin, 林芳如)	2023	E	波浪資料同化與裂流監測技術研究
海岸光學裂流影像監測與海氣象特性分析之研究	Hsu-Min Wang, 王敘民 (第二作者 Fang-Ru Lin, 林芳如)	2023	E	波浪資料同化與裂流監測技術研究
基於 YOLOv7 建置分析海岸攝影機影片之裂流辨識模型	Zi-Jie Jian, 簡子傑	2023	E	波浪資料同化與裂流監測技術研究
Numerical Simulation and Factor Analysis for Rip Current	Hsu-Min Wang, 王敘民	2023	D	波浪資料同化與裂流監測技術研究

註：文獻類別分成 A 國內一般期刊、B 國內重要期刊、C 國外一般期刊、D 國外重要期刊、E 國內研討會、F 國際研討會、G 國內專書論文、H 國際專書論文；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【B 合作團隊(計畫)養成表】

團隊(計畫)名稱	合作對象	合作模式	團隊(計畫)性質	成立時間(西元年)
災害性海象預警團隊	國立成功大學 國立台灣海洋大學	B 跨機構合作	A 形成合作團隊或合作計畫	2002

註：合作模式分成 A 機構內跨領域合作、B 跨機構合作、C 跨國合作；團隊(計畫)性質分成 A 形成合作團隊或合作計畫、B 形成研究中心、C 形成實驗室、D 簽訂協議

【C 培育及延攬人才表】

姓名	機構名稱	學歷	性質
王敘民	國立成功大學水利及海洋工程學系	A 博士 (含博士生)	B 學程通過
陳泓杰	國立成功大學水利及海洋工程學系	B 碩士 (含碩士生)	B 學程通過
簡子傑	國立成功大學水利及海洋工程學系	B 碩士 (含碩士生)	B 學程通過
洪昱翔	國立成功大學水利及海洋工程學系	B 碩士 (含碩士生)	B 學程通過

註：學歷分成 A 博士(含博士生)、B 碩士(含碩士生)、C 學士(含大學生)；性質分成 B 學程通過、C 培訓課程通過、D 國際學生/學者交換、E 延攬人才

【D1 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年 (西元年)	是否 被採納	成果歸屬
海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)	蔡政翰、董東璟、王敘民	2023	C	波浪資料同化與裂流監測技術研究

註：是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【S1 技術服務表】

技術服務名稱	服務對象類別	服務對象名稱	服務收入(千元)	成果歸屬
裂流影像監測系統與影像判釋程式	中央氣象署、海域遊憩活動相關管理單位(縣市政府、國家風景管理處)、民眾及當地業者	A	0	波浪資料同化與裂流監測技術研究
裂流數值模擬模式	中央氣象署	A	0	波浪資料同化與裂流監測技術研究

註：服務對象類別分成 A 國內廠商、B 國外廠商、C 其他(請敘明)

【Y 資訊平臺資料庫表】

資訊平臺/資料庫名稱	內容描述	類別	資料筆數	成果歸屬
裂流案例與海氣象資料庫	儲存宜蘭縣外澳、大里和新北市福隆、沙崙裂流影像監測站觀測到之裂流影像	Text	437 筆	波浪資料同化與裂流監測技術研究

註：類別分成 Bibliography、Numerical、Factual、Multimedia、Text

附錄十 委託研究計畫執行說明書

交通部中央氣象局

委託研究計畫執行聲明書

立同意書人即本研究計畫主持人蔡政翰受交通部中央氣象局委託執行研究計畫「海岸裂流監測與預警技術研究(3/3)」(計畫編號MOTC-CWB-112-0-02，採購案號1122045E)，計畫成果報告係基於執行團隊本身學術專業知能自行撰寫，計畫主持人及參與人員對於計畫內容及研究成果，並未侵害他人之智慧財產權或其他合法權利，如有違反時，願自行負擔一切法律責任。

此致

交通部中央氣象局

計畫主持人：_____ (簽章)



中 華 民 國 112 年 7 月 16 日